

消防防災科学技術研究開発事例集 IV

〈競争的研究資金制度 平成 22・23 年度 終了課題〉

平成 25 年 1 月

消 防 庁

はじめに

平成23年3月に未曾有の被害をもたらした東日本大震災による津波被害、原子力発電所の爆発・放射能漏れ事故等をはじめ、同年8月の台風12号などの風水害、平成24年4月山口県岩国市、同年9月兵庫県姫路市で発生した危険物施設の爆発事故の発生、平成23年5月、6月に相次いで5名が亡くなる住宅火災の発生、平成24年5月の広島県福山市のホテル火災の発生など、我が国に於ける近年の自然災害や事故は、激甚化、大規模化している状況にある。

このような自然災害や事故から国民の生命、身体及び財産を守るという消防の責務はますます大きなものとなってきており、その中で国民の安心と安全を向上させていくためには、総合的な消防防災行政を迅速かつ積極的に推進していく必要がある。特に今後発生が予測されている首都直下地震、南海トラフの巨大地震等による被害を軽減するための対策など消防防災行政への期待はこれまで以上に高く、これらの期待に応えるためには、消防防災科学技術に関する研究開発へ積極的に取り組み、その成果を取り込むことにより高度で先進的な消防防災活動を実施することが極めて重要となっている。

消防防災科学技術に関する研究開発については、平成15年度から公募の形式により消防機関が直面する課題の解決に向けて、高い意義が認められる提案者に対して研究を委託し、国民が安心・安全に暮らせる社会を実現するための、「消防防災科学技術研究推進制度」を実施している。本制度において、平成24年度までに109件の研究課題を採択し、平成23年度までに90件の課題が終了した。この間、本制度を活用した研究課題が、内閣府（総合科学技術会議）等が主催する産学官連携功労者表彰において、平成17年度と19年度に総務大臣賞を受賞し、平成23度には本制度の成果を生かして実用化された「高圧水駆動カッター」が総務大臣賞に表彰されるなど、着実な成果をあげている。

本事例集は、消防防災科学技術研究推進制度における成果を、消防機関をはじめとする関係機関の方々に広く周知し、実際の消防防災活動における活用や実用化へ向けたさらなる研究につなげて頂くことを目的として取りまとめたものであり、関係機関の方々におかれては、本事例集を消防防災科学技術の発展のために利活用して頂くことを望むものである。

◆代表的な研究成果

水／空気 2 流体混合噴霧消火システムを用いた放水装備 【平成 17 年度第 4 回産学官連携功労者表彰総務大臣賞】

代表研究機関：三菱重工業株式会社横浜研究所

研究概要：都市の高層化火災への対応、消火活動時の下階への水損被害への抑制に効果のある、水と空気を同時に噴霧する 2 流体ノズル消火システムの研究開発を行った。この技術は、消火ホースの小口径化・軽量化により、マンション 1 室での火災や車両火災にも有効である。
(事例集 I・II 参照)



少水量型消火剤の開発と新たな消火戦術の構築 【平成 19 年度第 6 回産学官連携功労者表彰総務大臣賞】

代表研究機関等：北九州市立大学・シャボン玉石けん（株）
（株）古河テクノマテリアル・北九州市消防局

研究概要：界面活性剤をベースにし、かつ消防隊が使用することが出来る性能を備えた消火剤の開発により、放水量を従来の約 17 分の 1 に低減させた。また、消防車両や機材の小型軽量化により、消火活動の効率化・機動性を増大させる新たな消火戦術を提案した。
(事例集 I・II 参照)



高圧水駆動カッターの研究開発 【平成 23 年度第 9 回産学官連携功労者表彰総務大臣賞】

代表研究機関等：櫻護謨株式会社・東京消防庁
株式会社 スギノマシン・首都大学東京

研究概要：高圧水が持つエネルギーを高圧水駆動モーターで回転運動に変換し、切断刃に冷却水を掛けることで、火花の飛散量を大幅に抑制した技術の研究開発を行った。更に、ガソリン等の可燃性気体が発生している災害現場においても、引火の危険性を大幅に低減し、火災現場等の濃煙による酸欠状況下や、水中においても切断可能となった。



本事例集の見方

本事例集は、平成23年3月に刊行された「消防防災科学技術研究開発事例集Ⅲ」の続編にあたるものであり、以下の二部構成としている。

第一部 平成22年度、23年度それぞれの終了課題ごとに研究体制や概要をまとめた総括票及び研究内容と成果

第二部 平成20年度と21年度終了課題のフォローアップであり、事例集Ⅲがとりまとめられて以降に得られた成果等を加えた総括票

○第一部の総括票の構成は次のとおりである。

- ・ 研究実施期間
- ・ 配分額(研究実施各年度の競争的研究資金の配分額(契約額))
- ・ 研究代表者
- ・ 所属機関(研究代表者の所属機関)
- ・ 研究体制(研究に参加している機関の種別:産→民間企業等、学→大学等研究機関、官→消防機関等行政機関)
- ・ 研究概要
- ・ 研究成果の活用事例(研究成果を活用した事例又は活用を予定している事例)
- ・ 応用の方向性(今後、さらに研究を進めることによって期待される成果の活用)
- ・ 研究発表の状況等(学会、講演会、報道などへの発表の実績を発表のタイトル、発表先(学会名・論文集の巻番号・ページ番号)、年月日の順に記載)
- ・ 知的財産権の出願・登録状況等(本制度によって得られた成果が、特許・実用新案に申請されている場合は、その題名・申請・取得年月日などを記載)
- ・ 当該研究に対する今後の展開、意見等

○第二部の総括票は、第一部の総括票に加え以下の内容をフォローアップしている。

- ・ 特許や実用新案について(本制度によって得られた成果の、特許・実用新案への申請について)
- ・ 研究成果の応用例や製品化について(本制度によって得られた成果の応用例や製品化について)
- ・ 研究発表の状況等
- ・ 他の研究課題への波及

目次

第一部 平成22年度と23年度終了課題の成果

第1 防災情報通信システム等の高度化

1. 1 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム 5

第2 防災力の向上

2. 1 地域防災力強化のための学生消防組織のあり方研究 1 5
2. 2 安価で高精度なGPSと加速度計を用いた大地震発生時の戸別倒壊状況把握
システムの開発 2 7
2. 3 危険建物内の迅速安全な情報収集を行う投擲型探査装置の開発 3 5
2. 4 効果的戦術実現のための震災時消防活動統合支援システムの開発 4 5
2. 5 災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリング基本構造の理論的検討 5 5

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 1 階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発 6 3
3. 2 火災原因調査の高度化に資する手法の開発 7 1
3. 3 防火水槽吸管投入孔融雪システムの研究開発 8 1
3. 4 安全な消火活動のためのショアリング技術の開発 8 7
3. 5 噴霧放水機構を有する消防用ノズルの開発 9 5
3. 6 能動スコープカメラの実用化のための改良開発と実地試験 1 0 9
3. 7 疲労度指標に基づくストレス判断システムの構築 1 2 1
3. 8 災害現場における水分補給法の確立とその活用システムの構築 1 3 3
3. 9 消防隊員のストレスマネジメント支援システムの開発 1 4 1

第4 特殊災害対策の強化

4. 1 現場における有毒・危険物質の迅速質量分析システム開発 1 4 9
4. 2 放射線感応型防火服の開発 1 5 7
4. 3 個別粒子法を用いた火災旋風の発生予測ソフトウェアの開発 1 6 5
4. 4 圧縮空気泡を用いたアルミニウム火災の消火に関する研究 1 7 5

第5 危険物施設等の保安対策の充実

5. 1 円形断面クローラ駆動機構により迅速な探査活動を行う移動装置の開発 1 8 7

第6 救急・救助業務の高度化

6. 1 ウツタイン統計結果を救急業務に円滑に還元するための方策に関する研究 1 9 9
6. 2 脳指向型蘇生システムを備えた救急車の開発 2 0 7
6. 3 現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発 2 1 5
6. 4 心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用
・実用化にむけた検証 2 2 1
6. 5 メディカルコントロール体制における救急業務の安全性・確実性の向上に
関する研究 2 3 1
6. 6 救急車内傷病者用輸送ベッドの免震装置の開発 2 3 9

第二部 平成20年度と21年度終了課題のフォローアップ

第1 防災情報通信システム等の高度化

- 1. 1 GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究
開発・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2 5 1
- 1. 2 探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置・・・・・・・・ 2 5 3

第2 住宅防火対策等の推進

- 2. 1 自律分散協調型避難誘導システムの開発・・・・・・・・ 2 5 7

第3 防災力の向上

- 3. 1 高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究・・・・・・・・ 2 5 8
- 3. 2 機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用
手法の研究・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2 5 9
- 3. 3 『家庭の消防防災力』WEB 検定システムの開発・・・・・・・・ 2 6 0
- 3. 4 地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究・・・・・・・・ 2 6 1

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

- 4. 1 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能
は従来程度）の開発・・・・・・・・・・・・・・・・ 2 6 3
- 4. 2 水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発・・・・・・・・ 2 6 4
- 4. 3 視覚障害者のための災害用力感覚コンパス・・・・・・・・ 2 6 5
- 4. 4 高圧水駆動カッターの研究開発・・・・・・・・ 2 6 7
- 4. 5 効率的な消防戦術の開発・・・・・・・・ 2 6 8

第5 特殊災害対策の強化

- 5. 1 大容量放水砲による放水挙動の予測技術に関する研究・・・・・・・・ 2 6 9

第6 危険物施設等の保安策の充実

- 6. 1 自走式腐食減肉診断装置の開発・・・・・・・・ 2 7 0

第7 救急・救助業務の高度化

- 7. 1 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下（地下約5m）に埋まった生存者
の有無およびその位置を迅速に特定するための手法の開発・・・・・・・・ 2 7 1
- 7. 2 複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究・・・・・・・・ 2 7 3

第一部 平成22年度と23年度終了課題の成果

第1 防災情報通信システム等の高度化

第1 防災情報通信システム等の高度化

1. 1 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム

研究課題名	自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム
研究実施期間	平成20年度～平成22年度
配分額(千円)	18,165(平成20年度), 18,200(平成21年度), 15,600(平成22年度)
研究代表者	浦上美佐子(平成20年度, 平成21年度) 幸田三広(平成22年度)
所属機関	独立行政法人国立高等専門学校機構 大島商船高等専門学校
研究体制	産, 学, 官
研究概要	我々の研究グループでは、自己完結型のネットワーク技術、すなわち既存のキャリアなどによらない技術によって、被災情報を自律的に共有するシステムの開発に取り組んできた。本システムが目指すところは、被災者が避難所へ持ち寄った「現場の小さな情報把握のための情報」を、素早く共有することである。具体的には、(A)既設回線によらず、災害発生後に避難所にアンテナを立て、無線端末装置を設置して自律的な無線ネットワークを構築することで、(B)災害発生直後に最も重要な被災情報の交換・共有を避難所間で行うネットワークシステムの開発を行った。そして、実際に、開発中の無線端末装置を使用し、市街地においてネットワーク構築実験を実施した。同時に、開発した安否情報入力ソフトウェアおよびRF-IDシステムを統合し、実際の自治体を実施する住民避難訓練の様式に沿って社会実験を行い、検証した。
研究成果の活用事例	本研究で行ったすべての研究成果は、情報処理学会等における発表、講演会・シンポジウムの開催等によって、広く周知している。また、プロジェクトの成果を広く公開するためのホームページを作成した。 http://genome.ib.sci.yamaguchi-u.ac.jp/wlan2/xoops/ 本成果により、情報処理学会第19回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(2011)において、白鳥賞を受けた。
応用の方向性	本研究によって開発した、無線ネットワーク技術と被災情報伝達技術等の基盤技術を活用して、地震だけではなく、台風や大雨等の予め被災が想定できる災害にでも対応できるシステムへ拡張可能である。また平常時における地域活動に役立つシステムとしての機能も拡張していくことで、平時/非常時に活用できるシステムへと応用できる。

研究発表の状況等	<p>[1] 武田理恵子, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 災害時情報共有のための省データ表現法の提案と評価, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp145-150, 2008.</p> <p>[2] 亀川誠, 藤川昌浩, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム～情報入力と情報交換のためのソフトウェア開発～ マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, pp245-246, 2008.</p> <p>[3] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 避難所の耐震強度と収容可能人数に基づく通信経路構築手法の提案、マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, 情報処理学会, pp. 25-30, 2008.</p> <p>[4] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 耐震強度と収容可能人数を考慮した避難所間ネットワーク構築法の提案とその評価, 平成 20 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, pp.284-286, 2008.</p> <p>[5] T.Shigeyasu, M. Urakami and H. Matsuno, “Wireless Distributed Network System for Relief Activities after Disasters -- A Construction Policy of Heterogeneous Network Architecture --”, Proc. IWDENS2009 (AINA Workshop), accepted for oral presentation, 2009.</p> <p>[6] M.Urakami, K.Fujii, M.Kota and H.Matsuno, ‘’ A Design of Reduced Data Representation for Information Sharing in the Disaster-affected Area’’, Proc. IWDENS2009 (AINA Workshop), accepted for oral presentation, 2009.</p> <p>[7] 村上ひとみ, 2007 年新潟県中越沖地震による人的被害と救急救助活動の調査－2004 年新潟県中越地震との比較－, 東濃地震科学研究所報告, Seq. No.22-1/2, pp.165-175,2008.</p> <p>[8] 印南聡志, 浦上美佐子, 亀川誠, 重安哲也, 松野浩嗣:避難所間における被災情報共有化手法の提案, pp204-207, 第 11 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム, 2009.</p> <p>[9] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 被災情報提供システムにおける2階層ネットワーク導入による通信コスト削減効果に関する一考察, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, pp.236-237,2009.</p> <p>[10] 印南聡志, 浦上美佐子, 亀川誠, 重安哲也, 松野浩嗣, 避難所間における被災情報共有化手法に関する一考察, 平成 21 年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集,pp.232-233,2009.</p> <p>[11] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 被災情報提供システムにおける2階層ネットワークモデルの通信・機器設置コスト減少の効果, 第 17 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.177-182, 2009.</p> <p>[12] 浦上美佐子, 印南聡志, 亀川誠, 重安哲也, 松野浩嗣, 避難所間における被災情報共有化システムの提案, 第 17 回マルチメディア通信と分</p>
----------	--

	<p>散処理ワークショップ論文集, pp.123-124, 2009.</p> <p>[13] 亀川誠, 藤川昌浩, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム～安否情報入力用インターフェースの実装と評価～, 第 17 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.113-114, 2009.</p> <p>[14] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 自律的無線ネットワークを用いた被災情報提供システム～被災地域の地形を考慮した無線ノード置局アルゴリズムの提案, 情報処理学会研究報告, 2009-GN-73, Vol.2009, No.2, pp.1-6, 2009.</p> <p>[15] 亀川誠, 藤川昌浩, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム～安否情報の入力・変換・閲覧機能の実装と評価～, 第 18 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.49-50, 2010.</p> <p>[16] M. Urakami, S. Innami, M. Kamegawa, T. Shigeyasu, H. Matsuno, Wireless Distributed Network System for Relief Activities after Disasters -- A Field Experiment for Channel Setting and a System for Information Exchange among Shelters --, Proc.2010 International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications, pp.260-267, IEEE Computer Society, 2010.</p> <p>[17] 大瀧龍, 重安哲也, 浦上美佐子, 松野浩嗣, 自律的無線ネットワークを用いた被災情報提供システム～被災地域の地形を考慮した無線ノード置局アルゴリズムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.52, No.1, pp.308-318, 2011.</p> <p>[18] 浦上美佐子, 幸田三広: 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム, 消防防災科学技術研究推進制度研究成果報告書(平成 20 年～22 年度), 2011. http://genome.ib.sci.yamaguchi-u.ac.jp/wlan2/xoops/</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>本研究成果により, 無線ネットワーク技術と被災情報伝達技術等の基盤技術について, 実用に供するレベルの基本性能を持つシステムを開発することができた。本システムは, 地震に焦点を当てて開発したため, 台風や大雨等の予め被災が想定できる災害にでも対応できるシステムへ拡張をしていきたい。また, 本プロジェクトは, 2 大学, 1 高専, 1 公設研究機関, 2 企業, 2 自治体, 2 消防本部という, 多くの機関の参加によって遂行してきた。この 3 年間の研究を通じて, 強い信頼関係を持つ防災情報研究のための新しいグループが生まれたことも大きな成果であり, このグループの特性を生かし, 一般市民の協力を得ることによって, 自治体で活用される実用システムの開発を目指して研究を進めていきたい。</p>

自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム

○浦上美佐子¹ 幸田三広¹ 藤井敬治¹ 松野浩嗣² 村上ひとみ² 瀧本浩一²
横田尚俊² 重安哲也³ 松本佳昭⁴ 吉木大司⁴ 森信彰⁴
藤川昌浩⁵ 亀川誠⁵ 真野浩⁶ 森岡仁志⁶ 片山伸二⁷
田村真澄⁸ 木嶋勇人⁸ 長久龍夫⁸ 山根一男⁹ 河村健次¹⁰

Misako Urakami, Mitsuhiro Kota, Keiji Fujii, Hiroshi Matsuno, Hitomi Murakami, Koichi Takimoto, Naotoshi Yokota, Tetsuya Shigeyasu, Yoshiaki Matsumoto, Daiji Yoshiki, Nobuaki Mori, Masahiro Fujikawa, Makoto Kamegawa, Hiroshi Mano, Hitoshi Morioka, Shinji Katayama, Masumi Tamura, Hayato Kijima, Tatsuo Nagahisa, Kazuo Yamane and Kenji Kawamura

研究課題の要旨: 我々の研究グループでは、自己完結型のネットワーク技術、すなわち既存のキャリアなどによらない技術によって、被災情報を自律的に共有するシステムの開発に取り組んできた。本システムが目指すところは、被災者が避難所へ持ち寄った「現場の小さな情報把握のための情報」を、素早く共有することである。具体的には、(A) 既設回線によらず、災害発生後に避難所にアンテナを立て、無線端末装置を設置して自律的な無線ネットワークを構築することで、(B) 災害発生直後に最も重要な被災情報の交換・共有を避難所間で行うネットワークシステムの開発を行った。そして、実際に、開発中の無線端末装置を使用し、市街地においてネットワーク構築実験を実施した。同時に、開発した安否情報入力ソフトウェアおよびRF-IDシステムを統合し、実際の自治体が実施する住民避難訓練の様式に沿って社会実験を行い、検証した。

キーワード: 無線ネットワーク、避難所間通信、被災地支援情報、情報共有化、RF-ID

1. まえがき

地震等をはじめとする自然災害発生時には、被災状況を把握するか、また、要救援地域はどこであるかを迅速に把握することが災害による被害を小さくする鍵となる。しかし、現在の地方自治体等では、被災情報や避難者情報は災害時に開設する避難所からの電話やFAX連絡あるいは、直接、防災担当部署の職員が現地で調査するなどによって収集されている。

そのため、地震等による電話あるいは通信回線の切断、被災地につながる道路等の社会的インフラへのダメージ等によって情報収集が滞ってしまうことや、電話やFAXのようなアナログの情報伝達によって、送受信者間の意思疎通が正しく行われず、間違った情報が災害対策本部に集約されてしまうなどと言った非常に大きな問題点を抱えている。

そこで、本研究プロジェクトでは、

- 1) 災害発生時にも十分に機能する通信回線を用意すること
- 2) 情報伝達中に情報が変質することなく正しく、被災状況を収集できること

- 3) 災害対策本部に集約された情報を活用して、要救援地域とその規模を迅速に把握できることを目的とする被災情報提供システムを開発することを目的に研究、開発活動を実施した。

また、上記3点の要求条件を満たすために、本研究プロジェクトで開発する被災情報提供システムでは、

- A) 災害発生後に無線LANを用いた避難所間ネットワークを構築すること(強固なネットワーク構築)
- B) 開発するネットワーク情報伝達ソフトウェアによって被災情報の自律的な提供・共有を実現すること(避難所で使用するソフトウェア開発)

をその機能に組み込むことにした。図1に提案システムの概要を示す。

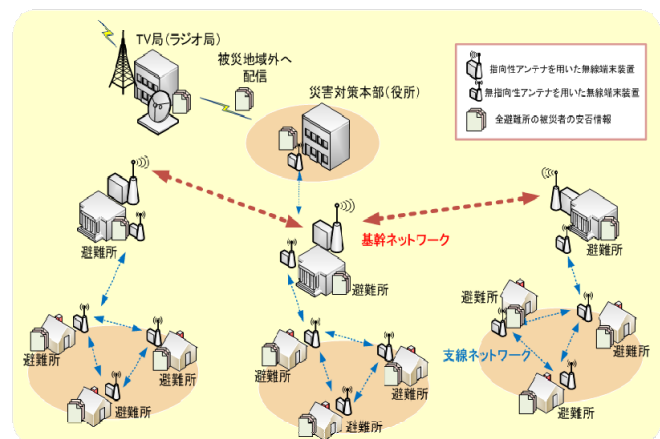


図1 被災情報提供システムの概要

(所属機関名)

- 1 大島商船高等専門学校
- 2 山口大学
- 3 広島国際大学(現 県立広島大学)
- 4 地方独立行政法人山口県産業技術センター
- 5 有限会社デジタル・マイスター
- 6 ルート株式会社(現 株式会社アライドテレシス開発センター)
- 7 山口市役所
- 8 周防大島町役場
- 9 山口市消防本部
- 10 柳井地区消防組合消防本部

本プロジェクトを、(A) 強固なネットワーク構築、(B) 避難所で使用するソフトウェア開発のグループに分け、開発した。研究期間は3年間で、1年目に、(A)では、無線ルータの開発方針を定め、電波伝搬速度のためのフィールド実験を実施した。また、無線ルータを設置する避難所の接続関係を計算するアルゴリズム開発や避難所の現地調査を実施した。(B)では、まずコミュニティの強弱による被災情報収集モデルを提案し、本システムで取り扱う情報を具体的に検討した。これらの被災情報を本システムで入力する際に優しいユーザインターフェースを持つ入力/出力システム、避難所における被災者情報の把握を容易にするためのRF-IDシステム、多量なデータを全避難所で共有するための省データ表現するためのソフトウェアの設計・試作を行った。2年目以降は、自治体が発行する住民避難訓練に参加し、また自治会レベルの住民避難訓練を自治会、老人会等と共同で企画し、本システムの統合実験および検証を実施した。

2. 取り扱う情報について

被災情報は、「全体把握のための情報」と「現場の小さな情報把握のための情報」に大別することができる。本研究プロジェクトでは、「現場の小さな情報把握」を行うためのシステム開発を目指している。被災情報には、安否情報、家屋の倒壊や生活公共インフラ（ガス、水道、電気など）等の破損情報の2種類がある。これらの情報は、その土地のことをよく知る被災住民により情報収集され、避難所で情報を整理することで信頼性を高め、避難所配置の役所職員により伝達され、全避難所および災害対策本部で共有情報として持つように流れていく。この情報の流れは、コミュニティが強い地域（小さな自治体）とコミュニティが弱い地域（大きな自治体）に分けて検討する必要がある。本研究プロジェクトでは、複数個所の被災地視察やヒヤリングで得られた情報をもとに、この被災情報の流れをモデル化し、本システムで取り扱う情報を提案した（図2）。

3. 被災情報の無線 LAN 伝送と交換共有ソフトウェア

図3に示すように、2. で提案した情報は避難所内のノート PC を用いて入力され、無線端末装置内の小型マイコンに蓄積される。蓄積された被災情報は、無線ルータを通して他の避難所に伝送され、伝送先の小型マイコンに蓄積される。このような自律的なデータの相互交換により、全ての避難所の小型マイコンが同じ情報が持つことになり、システムとしての耐故障性を高めている。

データ伝送の無線技術には IEEE802.11 を使う。汎用の無線規格であるため、ノート PC や既設アクセスポイントとの混信が心配されたが、後に示すよ

うに実証実験では十分な伝送性能を得ることができた。なお、避難所内のノート PC を用いて被災情報を入力する際の GUI を図4に示す。防災訓練後のアンケート結果より、この GUI は使いやすいとの評価を得ることができた。

図2 被災情報の流れ

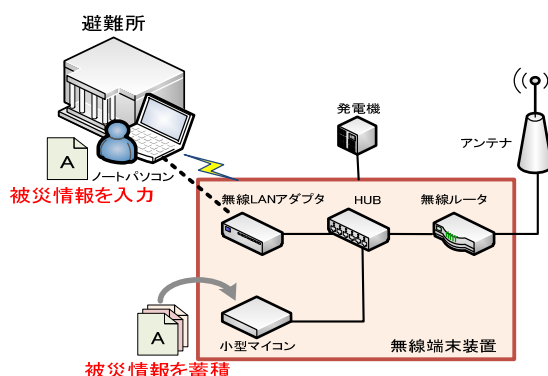
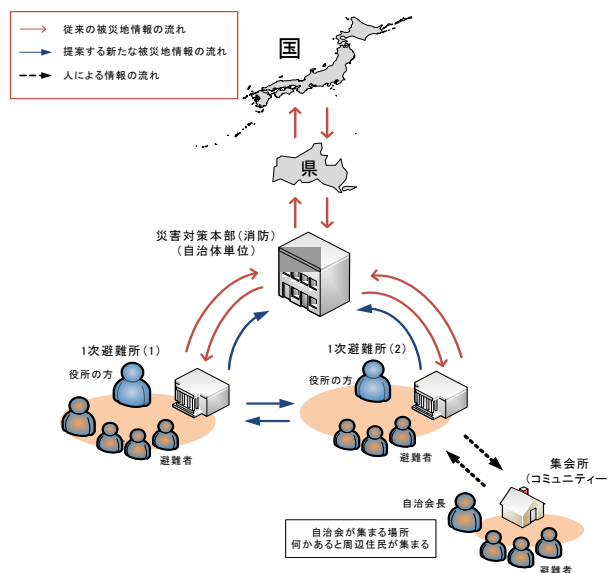


図3 避難所無線ネットワークによる被災情報提供システム

The screenshot shows a web-based GUI for entering disaster information. Fields include: '現在の場所' (Current location: 大聖船高等専門学校), '入力年月日' (Input date: 2010年01月30日), '漢字氏名' (Surname), 'ふりがな' (Furigana), '生年月日' (Date of birth), '性別' (Gender: Male/Female), '備考' (Remarks), '住所' (Address), '自治体名' (Municipality name), and '家族' (Family members table with columns for name, age, and gender). Buttons for '入力やり直し' (Reset input) and 'この内容で登録' (Register this content) are visible.

図4 被災情報入力用 GUI

4. 被災者支援のためのRF-IDによる情報管理システム

避難所における被災者管理のために、RF-ID タグを用いる(図5)。通常はパッシブ型タグ(ICカード)を渡すが、年配者や年少者にはアクティブ型タグ(自己発信式タグ)を渡し、持参しているだけで所在確認が行えるようにする。アクティブ型は効果であるので、この使い分けはコスト面でも効果がある。このタグの利用によって、被災者の避難所間移動や、物資や食料の供給、健康状態の把握等の情報の収集が容易に行える。本プロジェクトではアクティブ型タグシステムの開発と、両タイプのタグを上位アプリケーションで利用するためのプラグインモジュールの開発を行った。

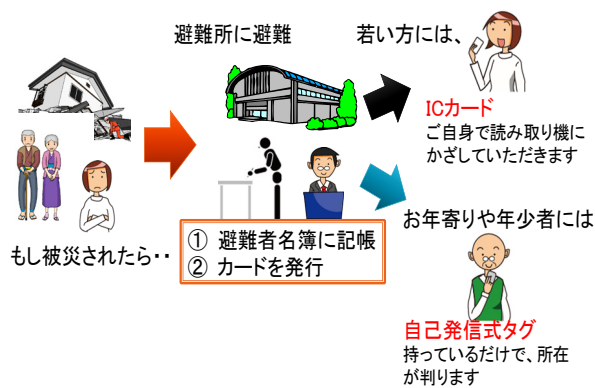


図5 避難所で用いるパッシブタグ(ICカード)とアクティブタグ(自己発信式タグ)

5. 統合実験による動作検証

5.1 IEEE802.11による無線ネットワークの性能

2010年12月24日に山口県柳井市において、上で述べたシステムの動作を検証するためのフィールド実験を行った。図6に使用した避難所をgoogleマップ上にプロットしたものを示す。



図6 統合実験に用いたネットワーク(2010年12月24日、山口県柳井市)

最長距離はウェルネスパーク-柳井商工高(3.4 km)であり、それぞれパラボラアンテナと八木アンテナを用いることで5Mbpsの通信速度を得た。マップの右端の柳東小学校-柳井商工高の2.9 km間は、どちらもパッチアンテナを用いて接続した。低利得指向性アンテナで比較的長距離をリンクしたため、1Mbpsの通信速度であったが、下に述べる被災者データ伝送実験は問題なく行うことができた。

5.2 安否情報データ伝送実験

以上で述べた無線ネットワークを用いて、実際の避難所における本システムの利用を想定したシナリオに従った、伝送実験を行った。避難者のデータを各避難所でも入力し、全避難所で同一データを共有するまでの時間を計る実験である。RF-IDタグを用いた被災者の避難所間移動の実験を含めて、良好にデータ共有ができていたことを確認した。

6. あとがき

IEEE802.11とRF-IDの無線技術を用いて、災害時の被災情報を共有するシステムを開発し、実証実験によって良好に動作することを確認した。今後の問題は、地域の自治会と協働して、本システムを実践的に利用することで、実用面での問題を洗い出すことであり、既にその活動を開始している。この活動概要や、本研究プロジェクトで開発したシステムの詳細については、プロジェクト報告書及びその公開用ホームページ¹⁾を参照されたい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、視察先である岩手県立大学・情報環境デザイン研究室、千葉科学大学、新潟県柏崎市役所、柏崎市北条コミュニティセンター、福岡東区役所、福岡東消防署、玄界島復興対策検討委員会、志賀島校区自治会協議会、勝間校区自治会協議会、消防科学総合センター、消防大学校消防研究センター、東京消防庁消防技術安全所、人と防災未来センター語り部ボランティア 市原聡美先生、等、様々な方々から有益な助言をいただいた。また、周防大島町役場、周防大島町各自治会、および柳井市役所には統合実験において全面的に協力をいただいた。そして消防防災科学技術研究推進制度の支援に対して、ここに記して感謝したい。

【参考文献】

[1] 浦上美佐子, 幸田三広: 自律的無線ネットワークによる被災情報提供システム, 消防防災科学技術研究推進制度研究成果報告書(平成20年~22年度), 2011.

<http://genome.ib.sci.yamaguchi-u.ac.jp/wlan2/xoops/>

第2 防災力の向上

第2 防災力の向上

2. 1 地域防災力強化のための学生消防組織のあり方研究

研究課題名	地域防災力強化のための学生消防組織のあり方研究
研究実施期間	平成 18 年度～平成 20 年度
配分額(千円)	3,521 (平成 18 年度) 3,640 (平成 19 年度) 3,120 (平成 20 年度)
研究代表者	長谷川和俊
所属機関	千葉科学大学
研究体制	産・官・学
研究概要	<p>地域防災力の強化が急務となっている現状にもかかわらず、その基盤である消防団の団員数の減少傾向が続いている。この課題に対し、消防団員の新たな担い手として大学生による学生消防組織により解決できるという仮説の下、その実現に向けた方策を多面的に試みた。学生消防隊のあり方について、現状の調査分析を踏まえて、創造的に見出し、組織化の方法論とその可能性を公表して、学生消防組織を造ることを広く手助けした。千葉科学大学の学生消防隊による様々な試みを実行し、一方、先進事例として国内の大学等の学生消防組織を有する機関等の参加を得てシンポジウムを開催し、学生消防組織の発展および全国への普及の方策等を論議し、その成果物を全国へ発信して、具体的に展開を図った。</p>
研究成果の活用事例	<ul style="list-style-type: none"> ・新たに学生消防組織を立ち上げようとする大学、地方自治体等から、組織化、運営等のノウハウについて問い合わせがあり、対応している。 ・消防白書に当該研究成果を踏まえた記述がある。
応用の方向性	<p>東日本大震災後、被災地などにおける学生ボランティア活動が特に活発化している。このような背景を踏まえ、組織化した学生消防組織の全国大学への普及は地域防災力の強化に極めて有効な施策である。様々な制度化、補助事業等の基での、本研究成果の幅広い活用が望まれる。</p>
研究発表の状況等	<p>(1) 室井房治、桐畑博樹：銚子市消防団と連携した学生消防隊—地域防災力を高める一つの試み—、日本消防、pp.36-39、Jun. (2008)</p> <p>(2) 木村栄宏、室井房治：消防・救急教育を通して培うキャリアデザイン支援の実践、キャリアデザイン研究(日本キャリアデザイン学会機関誌)、pp.121-129、Vol.4、Sep. (2008)</p> <p>(3) 未来を担う銚子市の「学生消防隊」、J RESCUE、pp.112-113、Sep. (2008)</p> <p>(4) 木村栄宏：学生消防組織の現状、地域防災力と学生消防組織シンポジ</p>

	<p>ウム講演梗概集、pp.7-10、13-Feb.(2009)</p> <p>(5) 桐畑博樹:学生消防隊の活動と展望、地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.33-40、13-Feb.(2009)</p> <p>(6) 室井房治:学生消防隊が活躍する地域の安心・安全確保のための防災情報システム提案、地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.99-106、13-Feb.(2009)</p> <p>(7) 小坂栄一:学生消防隊訓練マニュアル、地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.107-122、13-Feb.(2009)</p> <p>(8) 桐畑 博樹:千葉科学大学「学生消防隊」の直面してきた課題、第2回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.63-72、9/10-Feb.(2010)</p> <p>(9) 室井房治:大学生が入団した消防団のあり方、第2回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.73-79、9/10-Feb.(2010)</p> <p>(10) 岡根正貢:学生消防組織が関わる地域メディア、第2回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.134-142、9/10-Feb.(2010)</p> <p>(11) 嶋村宗正:防災組織と学生消防隊、第2回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.150-154、9/10-Feb.(2010)</p> <p>(12) 木村 栄宏:「学生消防組織の現状と今後」、第3回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.32-41、9/10-Feb.(2011)</p> <p>(13) 長谷川和俊:「3年間の「学生消防組織のあり方研究」から」、第3回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.61-66、9/10-Feb.(2011)</p> <p>(14) 嶋村宗正:「キャリアデザインの視点から見た学生消防組織」、第3回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.80-83、9/10-Feb.(2011)</p> <p>(15) 室井房治:「千葉科学大学学生消防隊による防災情報発信の試み」、第3回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集、pp.119-124、9/10-Feb.(2011)</p> <p>(16) 桐畑博樹、室井房治、長谷川和俊:「学生消防組織の地域防災活動への取り組み」、日本火災学会誌火災、311号、Vol.61、No.2、pp.37-42、Apr.(2011)</p>
知的財産権の出願・登録状況等	該当なし

当該研究に対する 今後の展開、意見 等	本研究成果による提言に基づく制度化、補助金事業等の展開を図ることを 消防庁へ期待したい。
---------------------------	---

地域防災力強化のための学生消防組織のあり方研究

○長谷川和俊¹・嶋村宗正¹・木村栄宏¹・小坂栄一¹・櫻井嘉信¹・室井房治²・椎名一成³・宮内俊行³・清水剛⁴・加藤和美⁴・藤崎利行⁵・岡根正賢⁶

Kazutoshi Hasegawa, Munemasa Shimamura, Hidehiro Kimura, Eiichi Kosaka, Yosinobu Sakurai, Fusaji Muroi, Kazunari Shiina, Toshiyuki Miyuchi, Takeshi Shimizu, Kazuyoshi Katou, Toshiyuki Fujisaki and Masatugu Okane

研究課題の要旨：地域防災力の強化が急務となっている現状にもかかわらず、その基盤である消防団の団員数の減少傾向が続いている。この課題に対し、消防団員の新たな担い手として大学生による学生消防組織により解決できるという仮説の下、その実現に向けた方策を多面的に試みた。学生消防隊のあり方について、現状の調査分析を踏まえて、創造的に見出し、組織化の方法論とその可能性を公表して、学生消防組織を造ることを広く手助けした。千葉科学大学の学生消防隊による様々な試みを実行し、一方、先進事例として国内の大学等の学生消防組織を有する機関等の参加を得てシンポジウムを開催し、学生消防組織の発展および全国への普及の方策等を論議し、その成果物を全国へ発信して、具体的に展開を図った。

キーワード： 地域防災力、学生消防組織、消防団、ボランティア、大学生

1. まえがき

地域防災力の強化に関して、阪神淡路大震災以降、総務省消防庁は常備消防の公助による防災力を補完する形で、地域住民相互の自助および共助による防災力の強化及び拡充を図り、消防団員の減少と高齢化傾向に歯止めをかけるべく、消防団員の確保、とくに若者への入団促進、地域住民による自主防災組織の組織化などを進めている¹⁾。このような流れの中で、若い大学生の力を地域防災に取り込めないかということが注目されている。大学生の消防団への入団促進、大学生による機能別分団、自主防災組織の結成など、地域防災力の強化を図る試みが行われている^{2) 3)}。

本研究では、大学生を防災に取り入れる試みの全国的な現状および著者らが実際に大学生を集めて地域防災活動を展開してきた活動を踏まえ、大学生の地域防災への活用方法について、幅広く調査研究を行い、具体的な様々な提案を行う。

2. 目的

地域防災力の強化が急務となっている現状にもかかわらず、その基盤である消防団の団員数の減少傾向が続いている。この課題に対し、消防団員の新たな担い手として大学生による学生消防組織により解決できるという仮説の下、その実現に向けた方策を多面的に試みる。学生消防隊のあり方について、現状の調査分析を踏まえて、創造的に見出し、組織化の方法論とその可能性を公表して、学生消防組織を造ることを広く手助けしようとするものである。

具体的な研究内容は、以下のとおりであり、各研究担当者が分担・連携して並行に進める。①学生消防組織が参加できる住民参加型地域防災活動の現状とこれからの体制についての調査研究、②既存の学生消防組織の体制や活動内容を事例分析し、他の大学の現状を調査し、学生消防組織のあるべき姿を探求、③消防団、学生消防隊、住民が災害情報を共

有するための防災情報プラットフォーム (CATV) への学生消防組織の参加活動に関する研究、④学生消防組織の活動指針および訓練マニュアルについての調査研究および構築、⑤海外における学生消防組織の実態について調査研究、⑥キャリアデザインの視点から現状と諸機能の検証を踏まえた学生消防組織のあるべき姿を創生、⑦学生消防組織の普及を図り、運用を援助するための調査研究。

3. 地域防災活動の現状と体制の調査研究

近年変革の兆しが顕著になってきた地域防災活動の中核である消防団のあり方、活動の内容などを踏まえて、消防団がこれから強化していかなければならない機能を分析し、消防団にとって、今、何が求められているかを指摘する。そして消防団が必要となる機能を整備充実するため、消防団活動に参加した大学生の機能が有効であるとの考えのもと、その機能が最大限発揮できる消防団のあり方を提案する。

1) これからの消防団のあり方

学生消防組織との関わりの上で、これからの消防団のあり方として、近年国が制度化した、消防団の機能を多角的に展開でき、入団の障害を和らげることができる「機能別消防団」の制度を活用することが、実現可能でよい方法である。機能別の切り口はそれぞれの地域、消防団の事情で異なってくると考えられる。東京都が展開している防災ボランティア登録制度も機能別消防団と同様な仕組みであると考える。若い力とりわけ大学生を消防団の機能に導入するためには機能別消防団は適切な方法である。

2) 大学生を受入れた消防団の現状と今後の課題

消防団に大学生が入団し、いろいろな消防団活動を通して以下のような問題点が明らかになった

・大学生個人の性格、考え方の違いもあるが、大学生が分団の部にとけこめるかどうかは、部の活動環境によるところが大きい。すなわち、消防団の部の

(所属機関名) 4 銚子市消防本部 警防課
1 千葉科学大学 危機管理学部 5 銚子市消防団本部
2 銚子市危機管理懇談会 6 銚子テレビ放送 放送制作部
3 銚子市役所 総務部

活動が活発で、まじめに運営を行っている部でなければ大学生は納得しない、と考えるべきである。

・懇親会などで団員相互の意志の疎通を図ることは大事ではあるが、大学生も含めた若者の団員に配慮をした企画を計画する必要がある。

・先輩団員が抱える消防団活動への不満・不平を大学生がダイレクトに感じとり、その影響で大学生自身の消防団活動への意欲の低下がみられた。

・銚子に転居してきた大学生がそれぞれの地域において基本消防団員として活動するにあたっては、それぞれの部が従来の慣習にとらわれることなく、部の活動を見直していく必要がある。

次に、大学生が消防団に入団して活動を通じて得られた様々な成果や反省点などを基に、今後、大学生の活動が、消防団にとって有効かつ強い力になることにより、地域防災力の強化に繋がるための提案を摘記する。

- ① 防災活動に意気盛んな若者は存在する。消防団にはその受け皿である自覚形成が必要である。
- ② 大学生を欠員の穴埋め要員にしてはいけない。何故受け入れるか内部で姿勢を明確にする。
- ③ 先輩の団員が、大学生の手本であり、人生の先生である。消防団員のあり方を示せること。
- ④ 上項のような認識をまず消防団幹部が認識し、普段の活動をしっかり遂行すること。
- ⑤ 大学生の力が発揮できる部門を創出する。大学によって異なる大学生のスキルが発揮できる。
- ⑥ 機能別消防団制度を基に、学生を活用することにより疎かな部門の強化が可能になる。
- ⑦ 消防団はあくまで地域住民が主体であり、学生は補完的である。
- ⑧ 大学生にとって消防団は、社会貢献の証で、社会人への有益な勉強の場でなければならない。

4. 既存の学生消防組織の分析

1) 学生消防組織の現況

大学生を地域防災に取り込む試みは大きく分けて2つの形態がある。1つは、大学生を消防団に勧誘、入団させ、基本団員として防災活動に取り込む試みである。総務省消防庁によれば、現在、大学生の消防団員は全国で1821名(2010年4月)であると報告されており、その割合は全消防団員の0.20%に満たないが、増加傾向にはある。2つに、基本団員ではなく大学生による機能別分団化の試み、大学生を集めて自主防災組織にする試みなどである。後者の学生消防組織(本稿では、機能別分団を含む、大学生が主体的に防災活動を展開している組織のことを学生消防組織と呼称する。)は14の組織がある(表1. 参照)。

学生消防組織をその発足形態によって分類すると、①自治体主導：京都学生消防サポーター(京都市消防局)、大学生防災サポーター(松山市消防局機能別団員)、環境・消防ボランティアサークル(北九州市消防局)、神戸水上消防署港町分団大学部(神戸市消防局)、永平寺町消防団 学生防災サポーター(福井県永平寺町・機能別消防団)等、②大学主導：災害&緊急支援チーム(青森中央学院大学)、関西国際大学 学生消防隊(関西国際大学)、学生消防ボランティア(玉川大学)、ポーアイ4大学連携事業(神戸学院大学、神戸女子大学、兵庫医療大学、神戸女子短期大学)等、③学生主導：千葉科学大学 学生消防隊(千葉科学大学)、淑徳大学 学生消防隊(淑徳大学、千葉市消防団第3分団5部)、帝京平成大学 学生消防隊(帝京平成大学、千葉市)、静岡大学 学生防災ネットワーク(静岡大学)、崇城大学 自主防災クラブ(崇城大学、熊本市)等である。

2) 持続性への課題と対応

表1. 全国の学生消防組織の一覧

(2010年4月)

名称	所在地	参加している大学	活動目的
手稲消防団 山岳救助隊	北海道札幌市	北海道工業大学	山岳救助
災害&緊急支援チーム	青森県青森市	青森中央学院大学	学内の災害対策本部の支援
学生防災ボランティア	東京都町田市	玉川大学	学内の自衛防災活動
淑徳大学 学生消防隊	千葉県千葉市	淑徳大学	消防団員としての防災活動
帝京平成大学 学生消防隊	千葉県千葉市	帝京平成大学	救命技術を生かした自主防災活動
千葉科学大学 学生消防隊	千葉県銚子市	千葉科学大学	災害時の消防団の後方支援活動
学生防災ネットワーク	静岡県静岡市	静岡大学	ボランティアコーディネート
永平寺町消防団 大学生防災サポーター	福井県永平寺町	福井大学	看護技術を生かした活動
関西国際大学 学生消防隊	兵庫県三木市	関西国際大学	防災ボランティア
京都学生消防サポーター	京都府京都市	京都市内29大学等	防災リーダー育成・自主防災活動
神戸水上消防署 学生分団	兵庫県神戸市	神戸水上消防署管内4大学	消防団員としての防災活動
大学生防災サポーター	愛媛県松山市	松山市内4大学	大規模災害時の避難所運営
環境・消防ボランティアサークル	福岡県北九州市	北九州市立大学	学内の自衛防災・消防団員として参加
自主防災クラブ	熊本県熊本市	崇城大学	地域の自主防災活動

学生防災組織が全国各地に誕生し、それぞれ様々な活動を行っている。しかし組織の継続性とか、学生のモチベーションの維持、地域との連携、大学との関係など様々な問題に直面している。

学生消防組織が地域防災力強化の大きな担い手になることは疑う余地はない。しかし、その組織がしっかり目的意識を持って継続していくことは困難を極める。シンポジウム⁴⁾ -⁸⁾においても、全国各地で誕生した学生消防組織が挫折をしている事例の報告がされている。これらの報告では、いかに学生消防組織が活発に活動を続けていくことができるかのヒントを提示することができたのではないかと考える。さらに、全国各地には、防災に関してしっかりしたモチベーションを持った大学生は存在し、このような大学生が消防団で活動することは地域防災強化の大きな力となることも判明した。そして、消防団に入団した大学生が防災に対するモチベーションを途切れることなく、活躍できる消防団のあるべき姿も提示できたと考える。

すなわち、若者が逃げない消防団とは、先輩団員が、社会人として、模範になれる立派な消防団活動を実践している消防団である。さらに、消防団が学生消防組織と連携することにより、大学生が防災意識に目覚め、使命感を高揚させ、しいては学生消防組織の活発な維持運営にも大きな力になると確信する。まじめな平素の活動、しっかりした訓練、いざという時の心構え、当たり前前の消防団活動が地域防災力強化のために大学生の力を呼び込む大きな力になる。そして、消防団が大学生をスムーズに受け入れ、また学生消防組織が消防団と緊密な関わりをもち、お互いにどのような心構えが必要なのか、いかなる対応が望ましいかを提示し、消防団と大学生が持っている機能を有効に連携されることにより、地域防災力が強化されるのである。

3) 学生消防組織の今後の方向性

学生消防組織の実態調査、関係者へのアンケート調査、シンポジウムでの講演および討論などを踏まえ、学生消防組織の今後の持続的な発展に向けて次の4点が重要である。

- ①自治体・大学・学生の三位一体化
- ②各地域の実情に応じた体制作り
- ③位置づけの再認識
- ④積極的なPR活動

つまり、自治体、大学、学生はそれぞれ学生消防組織に対する考え方や期待等に相違があるが、それは当然のこととして、各地域の実情に応じた形で、三位一体となって推進することが必要である。福井大学の機能別消防団や淑徳大学の消防団などは、まさに三位一体となって検討した結果の成果と考えられる。その過程で、各学生消防組織の位置づけが

再認識される。

一方、地域密着の必要性から、学生消防組織は積極的なPR活動を行わなければならない。全国への知名度露出は当該都市の魅力を増すことに繋がるので効果はあるが、地元消防団をはじめとする地元コミュニティへの浸透こそ、地域に根ざした学生消防組織が活躍するための基盤であることに留意するべきである。

なお、消防だけでなく警備・防犯を含めた学生組織も今後のひとつの方向になる可能性がある。

5. 千葉科学大学学生消防隊による防災情報システムの構築

防災・災害情報を住民に提供してその情報により災害を少しでも食い止めることは、防災機関の大きな役目である。このような現場で様々な防災情報の処理を行うには学生が持っているIT技術は大きな力になる。学生消防組織が防災活動で最も力を発揮できる分野の一つではないかと考える。とくに消防団に集まるキメの細かいタイムリーな情報を処理して、防災情報として住民に提供することは災害を少しでも食い止める大きな力になる。その作業を行うためにも、学生防災組織と消防団との連携は極めて有効である。

インターネットを活用した情報発信機能は、ごく普通の市民でも気軽に使える時代になった。ホームページやブログ、ツイッターといった機能は、その使い方によって、防災情報の発信や災害現場からの情報伝達などの手段として有効な道具である。消防庁においてもツイッターを活用した情報発信を始めたところである。

千葉科学大学学生消防隊は、2010年4月、銚子市で繰り広げられた20年に一回の銚子大神幸祭において、複数のお祭り会場からリアルタイムで会場の様子を市民に提供するシステムの運用に携わった。学生消防隊員が会場に関して作成した情報をリアルタイムで発信し、その情報をリアルタイムで入手した多くの市民は、複数会場のお祭りを見物するについて、このシステムを頻繁に活用し、大変役に立ったと好評を博した(図1. 参照)。この機能を災害情報へ活用した情報処理システムでは、災害発生時にはそのまま祭り会場を災害現場に置き換えて活用できるシステムであるとの認識の下、学生消防隊は銚子テレビと連携をした防災情報を発信する新しいシステムを提起し、試験運用を試みた。

情報システムが、災害時にスムーズに運用され、所期の目的を達するために大切なことは、運用する者、とくに情報を入力する要員が普段からその情報システムに慣れ親しんでいること、住民がそのシステムに対する信頼感を維持していることなどが挙

げられる。慣れ親しむために訓練を行うことは当然であるが、情報システムを運用するにあたり、日常的にそのシステムを使っていることが必要であるが、災害情報の発信を日常的に行うことはできない。ここでは、日常的に使い慣れているシステムがいざという時、ただちに災害情報発信システムに移行できることが可能なシステムとして考えた。



図1. 祭り会場から情報を入力する学生消防隊員

さらに、情報を入力するにあたり、普段から行政機関との連携、防災情報の日常的なやり取り、またキメの細かい地域情報収集に欠かせない消防団との連携が不可欠である。さらに情報を住民に発信する機能として大きな力を発揮する銚子テレビ放送との協力も必要であった。よって、このような関係を構築している学生消防隊が上述のような防災情報システムの運用に携わることは適切である。

情報処理システムは当初から理想の高価なシステムを構築することより、身近なシステムを使っているうちにそれが進化するように思える。さらに、情報システムの進化のスピードは非常に速い。ツイッターが使えると思っていたらさらに使い勝手のよい、SNS(ソーシャル・ネットワーク・サービス)などの新しいシステムは進化している。現在ある使えるシステムをまず活用することが大切である。

6. 学生消防組織の活動指針および訓練マニュアル

学生消防組織が組織としてその主旨に則って継続的に活動を遂行するためには、指針、マニュアルなどが必要である。これまでに、千葉科学大学学生消防組織の実態に合わせた以下の指針、マニュアル等の作成を指導してきた。

- ① 千葉科学大学 学生消防隊規約
組織の名称、所在、目的、会計、組織、入脱退などの条項からなる。
- ② 報告要領(表2. 参照)

学生消防組織の学内外の活動および訓練において、報告要領に則った動作を行うことにより、組織は規律が維持され、指揮命令系統が確立される。

- ③ 車両運転に関する基準
車両運転に関するガイドライン、運転前点検事項など。
- ④ 総合防災訓練シナリオ等
銚子市消防本部、陸上自衛隊、銚子市赤十字奉仕団などとの合同防災訓練では、訓練シナリオを作成した。
- ⑤ 各種マニュアル
規律訓練マニュアル、屋内消火栓マニュアル、消防自動車ポンプ操法マニュアルを作成した。

表2. 学生消防組織報告要領

学生消防組織報告要領の動作について	
動作をする隊員	動作の内容
指揮者(隊長)	基本の姿勢をとり、右手を垂直に上げ、「集まれ」の号令をかける。
右翼分隊長(おおむね副隊長、または身長の高い上級生)	指揮者の号令で、指揮者の前方おおむね5mの距離をとって基本の姿勢をとり、右手を垂直に上げ、「基準」と呼称し、左側に隊員が並んでくるのを待つ。左側に隊員が並び始めたら右手を下し、自主整頓を行う。
隊員	右翼分隊長の左方に順次並び(身長順が適当)、自主整頓を行う。
指揮者(隊長)	右翼分隊長が基準を呼称したら、たたちに右手を下し、基本の姿勢になる。そして隊員が半数位並んだところで、右向け右、手腰の姿勢から駆け足にて隊員列の中心に位置するところに向かう。おおむね中心地で止まり、左向け左で隊員と正面に向き合う。この時隊員の列の中心地に位置するよう微調整をし、基本の姿勢になる。
指揮者(隊長)	「きをつけー」、「右へならえ」「直れ」「番号」「整列休め」と順次号令をかける。
指揮者(隊長)	隊員がきちんと整列していることを確認したら、半ば左向け左、手腰で、右翼分隊長の1.5mの地点に向かって駆け足、右回りにて右翼分隊長の右側1.5mの位置に停止、位置を調整して基本の姿勢になり、整列を確認して休めの姿勢になる。
指揮者(隊長)	受令者が自分の前を通過した時点で「きをつけー」の号令をかける。そして受令者が中心地で止まり隊列と正対したら、「かしらーなか」「なおいれ」を号令する。受令者から休んでとの指示があったら「整列休め」を号令する。受令者が戻るとき自分の前を通過した時点で「整列休め」の号令をかける。なお号令する時には指揮者は基本の姿勢に戻っていないといけない。
指揮者(隊長)	すべての受令者のあいさつが終わったら、基本の姿勢に戻り手腰で半ば左向け左、隊列の前約5mの中心点に戻り、隊列と正対する。そして隊員に伝達事項を申し述べ、「きをつけー」「わかれ」の号令で解散する。
隊員が12名を超えた時には2列横隊で整列することが望ましい。	
諸動作については消防組織法の規定に基づく、消防訓練礼式の基準に従う。	

7. 海外における学生消防組織の実態について調査研究

主にアメリカ、イギリスおよびドイツに関して学生消防組織の有無、実状などを調査した。調査の仕方は、インターネットによる情報、海外の大学教員との面談、資料の交換などによった。

1) アメリカ

・University of Maryland: 学内に消防研究所を有し、

米国消防大学校に近接している。消防や防災に関する各種研究を行っている。数人程度とみられる学生が自主的に近くの消防機関に属し、実務活動に従事している。

・ University of Alaska : 大学の消防組織に学生消防士訓練所を有し、ジョブキャリアの一環として、学生の消防活動を積極的に勧めている。

・ University of California : 大学の消防組織に学生を隊員として雇い、消火活動および定期的な訓練を行う。手当てが支給され、15名(2010年)の学生隊員がいる。

2) イギリス

イギリスの18大学について調べた。Durham Universityでは、ボランティアとして、消防や救急職を紹介し、就職先およびインターンシップ先としても積極的に推薦している。University of LincolnおよびUniversity of Warwickでは卒業後の進路として消防を勧めていた。他に、学生が消防活動に携わっている、または学生消防組織のような記述は見当たらなかった。

3) ドイツ

ドイツの著名な大学12校について調べた。学生のボランティア活動に関する情報は数多く見られた。しかし、学生消防組織に関する記述は無かった。

8. キャリアデザインの視点から学生消防組織のあるべき姿に関する研究

学生は大学の中で、自らを鍛え、しかるべき社会に向かって卒業していく。このような学生をバックアップするのが大学であり、それを見守るのが行政や地域住民であるが、このような観点から学生と学生消防組織がどうあるべきかを考察する。

学生消防組織が目指す基本的な狙いは、平常時は災害に対する備えを行い、発災時には緊急対応を行い、地域の防災力強化を誇る一助になろうということであるといえる。しかし、我が国にある学生消防組織は、その構成や目的が異なっており、学生にとって好ましい仕組みが何であるかを見直すことが必要と考えられる。

そのために、まず我が国の大学等に存在する学生消防組織や学生防災組織に関する調査を行い、次いでこれら組織における目的、体制、成立の背景、サポート体制などを分析した。特に、積極的な活動を行っていると考えられる淑徳大学、帝京平成大学、神戸学院大学、北九州大学、青森中央学院大学、静岡大学、京都防災サポーター、松山機能別消防団、永平寺町防災サポーター、千葉科学大学などの大学とその学生消防組織、そしてこれらをサポートする行政機関について調査した。本研究が主催するシンポジウムでの発表内容を参考としたほか、直接訪

問し関係者から聞き取り調査を行った結果をまとめる。

学生としては自らの組織が行う活動に対する目的意識を持ち続けること、大学や行政としてはそれを具現化する活動の場と資金を提供することができれば、持続的な活動が可能と考えられる。このような学生消防組織における活動を行うことにより、学生は卒業後の進路を考え、自らの就職先を決断できるような人材が育つはずであるし、地域に貢献できる防災リーダーの役割を担えるといえる。

さて、学生消防組織が目指す目標を達成する上ではサークル的な活動でも善いだろうが、その組織の活動目標を維持し続けるためには、集団行動ができる組織でなければならず、そのためには日頃の教育、訓練活動が欠かせない。そのためには、適切な指導者の存在が欠かせず、また活動内容を振り返るためには、他の組織との連携も求められるといえる。

学生は、つねに社会に貢献できる自分を思い描いている。この思いをサポートできるのは大学であり、さらに行政である。学生、大学、行政といっしょになり、地位防災力に取り組むことが重要であろう。

9. 学生消防組織の普及のための調査研究

平成20年度から平成22年度まで毎年3回「地域防災力と学生消防組織シンポジウム」を開催した。この中で、パネルディスカッションを行った。シンポジウムの内容を小冊子にして、全国の消防本部へ配布し、本研究の主旨への理解および普及を図った。

地域防災力の強化に向けた学生消防組織のあり方に関心を持つ大学人、消防人、行政、市民が、全国から集まり、一堂に会して討議した。学生消防組織に関して現状報告、課題提出、将来展望など、また、地域防災力の強化に関する現状分析、学生消防組織との係わりなどが発表され、論議された。

シンポジウムの講演題目と発表者およびパネルディスカッションの話題を以下に記す。

1) 「第1回 地域防災力と学生消防組織シンポジウム」⁴⁾ 開催期日：2009年2月13日

基調講演：広域災害における若者の力と課題(関西学院大学教授 室崎益輝) ①学生消防組織の現状(千葉科学大学 木村栄宏) ②京都学生消防サポーターの現況について(京都市消防局 上野勝敏) ③青森市民の防災意識と学生組織による「災害&緊急支援チーム(DEST)」の活動概要について(青森中央学院大学 尹琳琳) ④学生消防隊の活動と展望(千葉科学大学 桐畑博樹) ⑤松山市の機能別消防団員(松山市消防局 岡本桂成) ⑥東京都の大学生による消防団への入団と活動実態(東京消防庁 君嶋幸夫) ⑦消防団の現状と課題(総務省消防庁 南部賢二) ⑧地域の自主防災力への期待と実態に関する調

査 -政令指定都市等の大都市を事例として- (東京大学 岡部弘志) ⑨学生消防隊が活躍する地域の安心・安全確保のための防災情報システム提案 (銚子市危機管理懇談会 室井房治) ⑩学生消防隊訓練マニュアル (千葉科学大学 小坂栄一) ⑪東京 23 区における自主防災組織に期待される役割と現状について (東京大学 清水智乗)

2) 「第2回 地域防災力と学生消防組織シンポジウム」⁵⁾ 開催期日：2010年2月9/10日

①基調講演：危機管理の理論と実際 (青森中央学院大学大学院 大泉光一) ②淑徳大学学生消防隊 平成21年度報告 (淑徳大学 松崎滋) ③東京都の大学生による消防団への入団と活動実態 (東京消防庁 高宮恭一) ④千葉科学大学「学生消防隊」の直面してきた課題 (千葉科学大学 桐畑博樹) ⑤大学生が入団した消防団のあり方 (銚子市危機管理懇談会 室井房治) ⑥神戸復興15年 (神戸学院大学 金芳外城雄) ⑦大学生による消防・防災活動がもたらす効果 (北九州市立大学 梅木久夫) ⑧静岡大学での学生防災組織とその活動 (静岡大学 里村幹夫) ⑨自主防災組織の現状等について (総務省消防庁 荒山豊) ⑩京都学生消防サポーターの現況 (京都市消防局 上野勝敏) ⑪防災教育の地域性と普遍性 (銚子「稲むらの火」防災教育ボランティア 和泉千恵子他) ⑫学生消防隊のネットワークについて (千葉科学大学 斉藤悠里) ⑬学生消防組織が関わる地域メディア (銚子テレビ 岡根正貢) ⑭総合防災教育について (東京消防庁 多田静也) ⑮防災組織と学生消防隊 (千葉科学大学 嶋村宗正)

3) 「第3回 地域防災力と学生消防組織シンポジウム」⁶⁾ 開催期日：2011年2月9/10日

①基調講演：松山市の消防・防災施策 (松山市副市長 山口最丈) ②大学生による消防団活動の効果と可能性 - 北九州市立大学国際環境工学部の取り組みと成果 - (北九州市立大学 梅木久夫) ③防災教育プロジェクトチームの活動について (大島商船高等専門学校 幸田三広) ④帝京平成大学学生消防隊 - 平成22年度活動報告 - (帝京平成大学 田邊崇修) ⑤学生消防組織の現状と今後 (千葉科学大学 木村栄宏) ⑥玉川大学学生防災ボランティア隊について (玉川学園 長野弘明、佐藤将) ⑦千葉科学大学学生消防隊が地域で活動できる防災活動 - チリ地震での銚子市民の避難行動から考察した提言 - (千葉科学大学 影島聖道) ⑧3年間の「学生消防組織のあり方研究」から (千葉科学大学 長谷川和俊) ⑨千葉科学大学学生消防隊から検証する学生防災組織が出来ることと今後の展望 (千葉科学大学 斉藤悠里) ⑩キャリアデザインの視点から見た学生消防組織 (千葉科学大学 嶋村宗正) ⑪京都学生消防サポーターの役割と課題 (京都市消防局 上野勝敏)

⑫地域防災力の向上に向けて (総務省消防庁 荒山豊) ⑬神戸発 あの日のあの時 (神戸学院大学 金芳外城雄)

4) パネルディスカッションの話題^{7) 8)}

① 第1回パネルディスカッション (平成20年度)
・学生消防組織の目的・方向性および学生消防組織への期待、
・学生ボランティアと学生消防組織の違い、
・いかにして学生消防組織へ学生を加入させるか、
・その他の話題

② 第2回パネルディスカッション (平成21年度)
主テーマ「学生消防組織が抱える問題点およびその解決案」の下で以下の話題が論議された。
・組織として直面している問題、
・消防団との係わりの問題点、
・その他の問題

③ 第3回パネルディスカッション (平成22年度)
主テーマ「地域防災力の強化に向けた学生消防組織の取り組み - 地域と大学の共生・共存の一環として -」の下で以下の話題が論議された。
・地域と大学の共生・共存の形態、
・学生消防組織の取り組み方、
・地域コミュニティーとは、
・地域コミュニティー力を高めるために、
・学生消防団として活動のモチベーションは何か。(図2. 参照)



図2. 第3回パネルディスカッションの状況

10. 結論

これまでの3年間の研究を通して、地域防災力の強化に向けた学生消防組織のあり方に関して、最も重要なことは、地域と大学の共生共存の一環として地域を守り大学を育てていくことに基盤を置くことである。その具体的な方策は、図3. に示した5本の柱であり、以下に内容を摘記する。

1) 地域防災機関との連携

・消防団との繋がり (基本団員、機能別分団、指導訓練、業務の一端を担うなど)、
・消防との関わり (防災リーダーの育成、消防防災イベントへの学生の参加協力など)、
・自主防災組織、
・ボランティア組織、
・警察との関わり (警防・防犯活動の学

生との連携)、など

2) 大学の協力支援

・地域防災機関との連携を支援(大学との協定、覚書など)、・施設、資機材等の供与、・教職員の指導または援助、・関係科目履修へインセンティブ付与、・大学のイベントなどでの活用、・防災など関連研究の担い手、など

3) 地域住民の理解

・日頃のコミュニケーション(祭りなどイベントでの学生の支援など)、・消防団OBなどの指導訓練、・若さゆえの効用と活用、・学生からの積極的なPR、など

4) 学生の防災への関心と積極性

・リーダーの存在と組織化(ルール作りなど)、・訓練と活動、・大学または学生の特質を生かした活動と助長、・学生の将来との結び付き、・自主的な積極的な活動、など

5) 制度の整備

・保険補償等の整備、・大学における位置付け、・地域防災機関での位置付け、・消防団制度以外の制度化、公安職へのインセンティブ付与制度、など

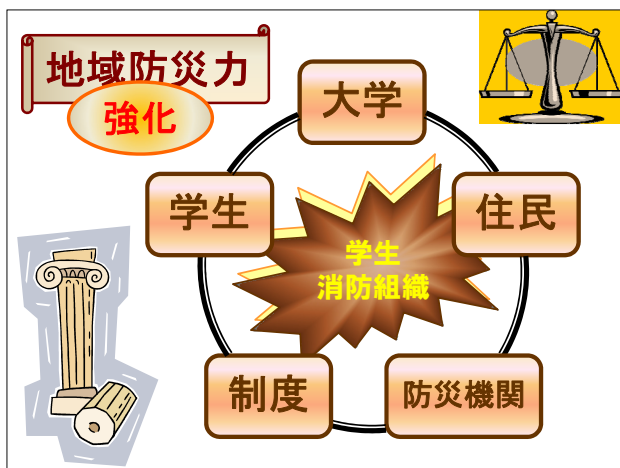


図3. 地域防災力に向けた学生消防組織の育成・強化の5本柱

以上の5本柱は、互いに密接に関係するものであり、地域性、大学の特質などそれぞれの地域に合った形で、必ずしも均等な力関係において発展するものではない。しかし、5本柱の中の1、2本だけに

強く依存して形成された学生消防組織が1時的に活発な活動が展開されたが消滅してしまった例などを見ると、これら5本柱に関してできるだけバランス良く発展することが持続性を保持するために重要なことのように思う。

1.1. あとがき

「地域防災力強化のための学生消防組織のあり方研究」を3年間続けてきた。この間、シンポジウム講演梗概集、学術誌への論文発表、消防庁への報告書などの成果物を出した。シンポジウムの開催などを通して同じ志を持つ全国の大学、消防機関などと互いに連携が出来た。成果物の一部およびシンポジウム開催通知を全国へ発信および配布してきたことにより、学生消防組織の全国への広がりを目的にした動きを全国に知らしめた。このようなことにより、本研究の目的達成に関して、一定の成果が得られ、方向性が見えてきたと考えている。

学生消防組織に現在関係している大学および消防防災関係機関は、今後、より一層連携を強め、密に情報交換が出来る体制を構築することによって、地域防災力の強化に向けた学生消防組織の拡充を推進させて行くことが可能と思う。

【参考文献】

- 1) 総務省消防庁：平成21年度消防白書、pp.121-131 pp.215-217、2009
- 2) 総務省消防庁：報道資料「消防団員確保の更なる促進」、平成18年7月14日付
- 3) 総務省消防庁：「消防災25号お願い」、平成18年1月20日付1)
- 4) 千葉科学大学：「地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集」、13-Feb.(2009)
- 5) 千葉科学大学：「第2回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集」、9/10-Feb.(2010)
- 6) 千葉科学大学：「第3回地域防災力と学生消防組織シンポジウム講演梗概集」、9/10-Feb.(2011)
- 7) 千葉科学大学：「地域防災力と学生消防組織シンポジウムー第1回、第2回補遺」、Dec.(2010)
- 8) 千葉科学大学：「第3回地域防災力と学生消防組織シンポジウムー補遺」、Mar.(2011)

第2 防災力の向上

2. 2 安価で高精度な GPS と加速度計を用いた大地震発生時の戸別倒壊状況把握システムの開発

研究課題名	安価で高精度な GPS と加速度計を用いた大地震発生時の戸別倒壊状況把握システムの開発
研究実施期間	平成 20 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日
配分額(千円)	平成 20 年度 9,100 平成 21 年度 19,500 平成 22 年度 13,000
研究代表者	小國健二
所属機関	慶應義塾大学
研究体制	学：東京大学，慶應義塾大学，東京理科大学 官：消防科学総合センター
研究概要	<p>GPS と加速度計を搭載した無線センサネットワークを用いて，首都直下地震などの大規模広域地震災害発生直後に家屋倒壊や道路の閉塞状況についての情報を生成・集約するシステムを開発した。集約した情報を GIS(地理情報システム)のレイヤーのひとつとして視覚的に表示できるようにし，災害発生直後の消防本部や市町村対策本部に正確かつ理解の容易な被害情報を迅速に提供する。初動体制における意思決定をサポートする，信頼度の高い情報の提供を目指したシステムである。</p> <p>個々の建物の屋上に GPS と加速度計を搭載した無線センサ・ノードを設置し，地震発生前後に屋根の位置を計測，個々の建物の変位の情報をセンサ間の自律的無線ネットワークを介して管理者のサーバに集約する。管理者のサーバ上の GIS に建物の変位情報を投影することにより，構造物の詳細な被害状況とともに道路の閉塞状況も把握可能となる。</p>
研究成果の活用事例	本研究で開発した GPS 無線センサネットワークシステムを基盤として，地震防災から環境制御まで幅広く利用可能な無線センサネットワークシステムを開発中
応用の方向性	費用対効果の観点からの検討は必要であるが，都市全体の地震防災から環境制御まで幅広く利用可能な無線センサネットワークシステムの技術は完成しつつある。

<p>研究発表の状況等</p>	<p>【国際会議発表】</p> <p>GPS on Every Roof, GPS Sensor Network for Post-seismic Building-wise Damage Identification, Kenji Oguni, Tomohiro Miyazaki, Masayuki Saeki and Naoki Yurimoto , The 3rd International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics: IMCIC 2012 (Best Paper 受賞), 2012 年 3 月 28 日</p> <p>MULTI-HOP POSITIONING</p> <p>Relative Positioning Method for GPS Wireless Sensor Network, asayuki Saeki and Kenji Oguni, Proceedings of PECCS 2012 – International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems, 2012 年 2 月</p> <p>Wireless Sensor Network for Post-seismic Building-wise Damage Detection, Kenji Oguni, Masayuki Saeki, Tomohiro Miyazaki, Naoki Yurimoto, 20th IEEE International WETICE Conference (招待講演), 2011 年 6 月</p> <p>Post-seismic building-wise damage detection system using sensor network equipped with affordable GPS, K. Oguni, International Symposium on Advances in Urban Safety (招待講演), 2010 年 3 月</p> <p>【原著論文】</p> <p>家屋倒壊推定システムにおけるデータ共有と GPS 測位解析, 塚本尚葵・佐伯昌之・小國健二, 土木学会論文集 A2(応用力学), 67, 2, I_429-I_437, 2011</p> <p>準静的変位モニタリングのための GPS 無線センサネットワーク, 佐伯昌之・澤田茉伊・志波由紀夫・小國健二, 土木学会論文集 A2(応用力学), 67, 1, 25-38, 2011</p> <p>大地震発生時の戸別倒壊状況把握のための GPS 無線センサネットワークの通信システムの開発, 宮崎知洋・小國健二・塚本尚葵・佐伯昌之, 土木学会応用力学論文集, 13, 621-629, 2010</p> <p>稠密多点配置を考慮した GPS 相対測位手法の開発, 塚本尚葵・佐伯昌之・</p>
-----------------	---

	宮崎知洋・小國健二, 土木学会 応用力学論文集, 13, 611-619, 2010
知的財産権の出願・登録状況等	該当なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	該当なし

安価で高精度な GPS と加速度計を用いた 大地震発生時の戸別倒壊状況把握システムの開発

○小國健二¹・佐伯昌之²・小松幸夫³
Kenji Oguni, Masayuki Saeki and Yukio Komatsu

研究課題の要旨: GPS と加速度計を搭載した無線センサネットワークを用いて、首都直下地震などの大規模広域地震災害発生直後に家屋倒壊や道路の閉塞状況についての情報を生成・集約するシステムを開発した。集約した情報を GIS (地理情報システム) のレイヤーのひとつとして視覚的に表示できるようにし、災害発生直後の消防本部や市町村対策本部に正確かつ理解の容易な被害情報を迅速に提供する。初動体制における意思決定をサポートする、信頼度の高い情報の提供を目指したシステムである。個々の建物の屋上に GPS と加速度計を搭載した無線センサノードを設置し、地震発生前後に屋根の位置を計測、個々の建物の変位の情報をセンサ間の自律的無線ネットワークを介して管理者のサーバに集約する。管理者のサーバ上の GIS に建物の変位情報を投影することにより、構造物の詳細な被害状況とともに道路の閉塞状況も把握可能となる。

キーワード: GPS, 無線センサネットワーク, 地震防災

1. はじめに

首都直下地震など、都市部を襲う大規模・広域地震災害が発生したとき、消防・警察・自治体などの限られたリソースを適切に配置して被害の拡大を防ぐことは重要な課題である。とりわけ、密集市街地においては、地震による家屋の倒壊とそれに伴う道路閉塞の状況の迅速な把握は的確な初動体制の発動のためには必要不可欠である。ところが、災害の規模が大きくなればなるほど、被害状況の把握の精度・スピードともに低くなっていく。さらに、基幹通信ネットワークが機能する可能性も低下する。

このような背景を鑑みると、基幹通信ネットワークに依存せず、かつ、多数の計測点での計測データを無線を介して集約できる無線センサネットワークによる被害状況の把握を目指すことは自然な流れである。特に、個々の家屋の屋根に GPS を搭載した無線センサノードを設置して、それらのノードからなるセンサネットワークを介して個々の家屋の屋根の変位情報を収集するという手法は、直接的であるが故に容易に思いつくアイデアである。しかし、GPS の測位精度と価格の関係から、この選択肢はほぼ自動的に棄却されてきた。また、現在市販されている無線センサネットワークの多くは省電力の制約を重視しており、センサノード間の無線通信の距離が (10m 程度と) 短い。そのため、市販のセンサノードを用いて広いエリアをカバーするセンサネットワークを作るためには、状況に応じて無線通信の経路を組みかえながら通信を確保するアドホック・マルチホップ通信を行わなくてはならない。このような無線通信はデータ欠損が起りやすく、これを処理するために再送要求や無線経路の組み換えなど、複雑かつ脆弱な通信アルゴリズムを用いる必要がある。広域地震災害発生時など、多くのセンサノードが損傷するような非常時においては、このような脆弱なセンサネットワークによる情報集約がうまく機能する可能性は低い。

本研究では、これまでに著者らのグループが進めてきた社会基盤センシングのためのセンサネットワークについての研究のうち、通信距離が長い無線通信ユニットを用いてスタティック・シングルホップ・ブロードキャスト通信を基本としたロバストな無線通信システムと、安価なハードウェアを用いつつ、高い測位精度・高い信頼性を確保できる GPS 測位解析アルゴリズム¹⁾²⁾³⁾を組み合わせたシステムを開発した。これは、個々の家屋の屋根に GPS を搭載した無線センサノードを設置して、それらのノードからなるセンサネットワークを介して個々の家屋の屋根の変位情報を収集するシステムである。

本稿では、開発したシステムの全体像、ハードウェア、実証実験の結果について詳述する。

2. 戸別倒壊状況把握のための無線センサネットワークシステム

本研究で開発した戸別倒壊状況把握のための無線センサネットワークシステムは、GPS を搭載したセンサノードからなる無線センサネットワークを用いて、首都直下地震などの大規模広域地震災害発生直後に家屋倒壊や道路の閉塞状況についての情報を生成・集約することを目指したシステムである。また、集約した情報を GIS (地理情報システム) のレイヤーのひとつとして視覚的に表示できるようにし、災害発生直後の初動体制における意思決定をサポートする、信頼度の高い情報を提供することも目指したシステムである。

個々の建物の屋上に GPS を搭載した無線センサノードを設置し、地震発生前後に屋根の位置を計測、個々の建物の変位の情報をセンサ間の無線ネットワークを介して管理者のサーバに集約する。管理者のサーバ上の GIS に建物の変位情報を投影することにより、個々の家屋の倒壊状況の詳細とともに道路の閉塞状況も把握可能となる。

ひとつの管理者サーバがカバーするエリアの目

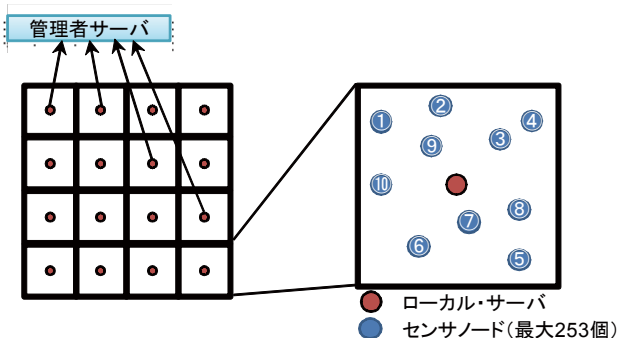


図.1 システムの階層

標値は 800m 四方（この中に 1 個あたり最大 253 個のセンサノードからなるネットワークを制御するローカル・サーバが 16 個。また無線ユニットが用意できる ID は最大 254 個でありローカル・サーバが 1 個使うのでセンサノードは最大 253 個）、空間分解能の目標値は各戸の倒壊状況（倒壊したか否かのバイナリー判定のみならず、倒壊した方向、倒壊建物の瓦礫の到達位置までの詳細な情報）と、倒壊建物の瓦礫による道路（細い路地まで）の閉塞状況の把握であり、ひとつの管理者サーバへのデータ集約・情報生成の所要時間の目標値は 20 分である。このシステムを複数並列配置することにより東京 23 区などの広いエリアをカバーする、階層型のセンサネットワークシステムである（図.1）。

3. システムの動作概要

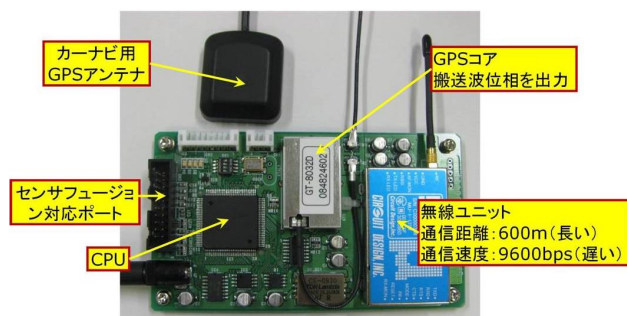


図.2 センサノード

戸別倒壊状況把握システムは、以下のように動作する。

1. 図.2 に示す、GPS、無線ユニット、CPU を搭載したセンサノードを個々の建物の屋上に設置して（図.3 (a)）、GPS 測位を開始する。それぞれのセンサノードは、GPS レシーバーで観測された GPS 衛星電波の搬送波位相の情報を用いて、参照点からの相対位置を決定する干渉測位解析を基板上の CPU で行い、計算の結果得られた相対位置のみをローカル・サーバに集約する。

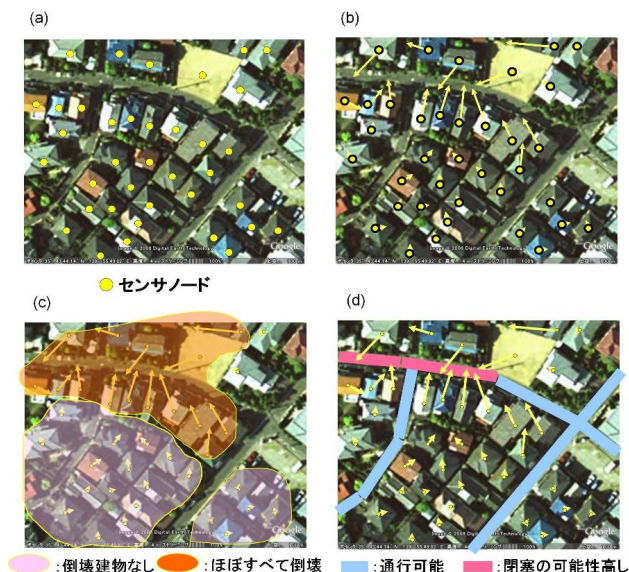


図.3 システムの動作概要

2. 大地震発生後、再び GPS 測位を開始する。
3. 大地震発生後の測位データを最適な無線伝送経路でローカル・サーバに集約する。集約された測位データと地震発生前の測位データの差を取り、個々の建物の屋根の変位（GPS アンテナの変位）を求める（図.3 (b)）。
4. 個々の建物の屋根の変位を GIS(地理情報システム)上に表示し、倒壊状況の詳細（図.3 (c)）、あるいは倒壊状況から道路閉塞の状況（図.3 (d)）の詳細が把握可能となる。

4. センサノードのハードウェア

図.2 に示すセンサノードの主要な構成要素は、GPS レシーバー、無線通信ユニット、CPU である。GPS、無線ユニットともに CPU との有線シリアル通信によってコントロールされている。

ブロードキャストを基本としたデータ共有を実現するために、無線通信ユニットとして、サーキットデザイン社の MU-1 を採用している。MU-1 は比較的ノイズが少なくクリーンな電波環境が得られる 1252MHz 帯で通信をする特定小電力無線装置であり、送信出力は 10mW である。無線局設置の免許が不要でありながら、通信距離は 600m と長い。この長い通信距離が、シングルホップでのロバストなデータ共有のカギとなっている。

代表的な市販センサノード、MOTE などで行われる無線モジュールは主に数十mの通信範囲のものが多く、このような短距離通信しか行えず、マルチホップ通信を前提とする無線通信モジュールは、広域に展開し、社会基盤全体をロバストに計測し続ける無線センサネットワークにはあまり適していない。

CPUにはルネサステクノロジ社のSH-2シリーズのうち、SH7144Fを使用している。SH7144FはRISC(Reduced Instruction Set Computer)方式の命令セットを持っており、基本命令は1命令1ステート(1システムクロックサイクル)で動作するので、命令実行速度が速い。また内部32ビット構成となっており、データ処理能力が高い。しかしセンサネットワークの分野ではSH-2のような高機能CPUの使用は一般的にはあまり推奨されていない。その理由が電力消費である。センサネットワークは多数のデバイスを自然環境など比較的広範囲な環境に展開して使うというスタイルを想定して開発されてきたため、バッテリー駆動を前提としている。SHシリーズのような高機能CPUは、電力の消費量も多いため、通常のセンサネットワークシステムではその使用がためらわれる。

本研究では、データ流通量を抑制し、かつ、位置情報を得るまでの時間を短縮するために、センサノード上での測位解析、オンボード測位解析が必要不可欠である。そこで、電力消費のデメリットをおしてSH-2を採用した。その理由は、SH-2の倍精度演算機能である。佐伯の相対干渉測位解析には倍精度演算が必要であり、オンボード測位解析を無理なく行うための自然な選択肢としてSH-2を採用した。

本研究のシステムでは、建物の屋根の上にセンサノードを取り付けるので、平常時は家庭用AC電源からの電力供給が可能である。地震後に停電が発生した場合はバッテリーに切り替えて駆動させる。現在までに行った実験では、単三電池3本で少なくとも8時間程度駆動し続けることが確認されているため、オンボード測位解析のためにSH-2を用いることは、センサネットワーク研究の中では特異な選択であるが、社会基盤としてのセンサネットワークのためには妥当な選択であると考えられる。

5. 実証実験

本研究で開発したGPS無線センサネットワークシステムの一連の動作(自動ID割り振り→GPS観測→参照点決定→参照点データの共有→オンボード測位解析→測位解析結果のローカル・サーバへの集約)が想定通りに行われること、そのための所要時間も設計通りに抑制されていることを実証し、GPS測位精度を確認するために、屋外で、位置を巻尺で計測しながらセンサノードをほぼ規則的に配置し、システムを稼働させる実験を行った。

図.4のように、センサノードをほぼ2m間隔のグリッド上に34個、少し離れた場所に4個と50m離れた場所に1個配置した。図.4のセンサノードの横に記載した3桁の整数は、個々のセンサノードの無線通信ユニットのシリアルナンバーである。

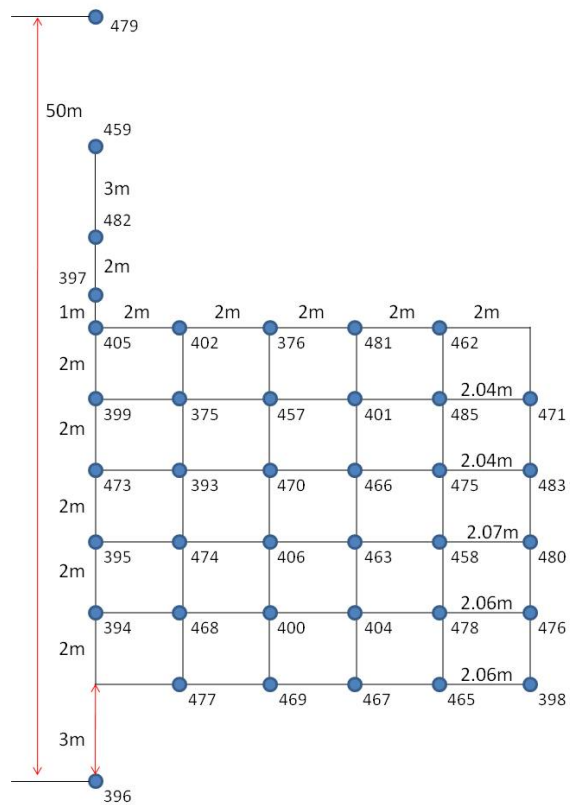


図.4 実証実験におけるセンサノードの配置

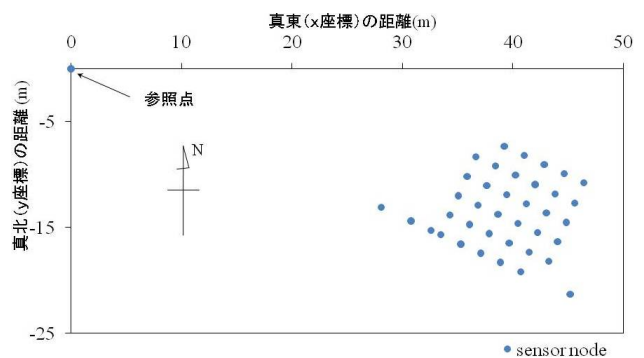


図.5 GPS測位で同定されたセンサノードの配置

ID割り振りは正常に機能し、39個すべてのセンサノードに1~39のIDがそれぞれ割り振られた。ID割り振りの所要時間も約1分と、設計通りであった。GPS観測の結果、最も多くの衛星を補足した、ID=38のノード(シリアルナンバー479のノード)が参照点となった。一番遠くで孤立しているノードである。そして参照点からローカル・サーバへのGPS観測データ送信の際には、データ欠損は生じなかった。次の工程であるローカル・サーバからの参照点GPSデータのブロードキャストではID=1, 7, 23が欠損を起

こし、欠損パケット数はそれぞれ 1, 1, 40 個であった。40 個という量の欠損も 1 回で処理することができた。通信ネットワークに関しては非常に良好な結果となった。そして測位解析の結果の z 座標(参照点を基準とした真上の距離)を無視し(ほぼ 0 のため)、x 座標(参照点を基準とした真東の距離)と y 座標(参照点を基準とした真北の距離)だけをプロットし散布図にしたところ図.5 のようになった。図.5 と図.4 とを見比べると、全ノードがほとんどずれのない位置情報を算出していることがわかる。巻尺による位置計測の誤差を考慮しても、誤差 3cm 以内での測位に成功している。

システムの総所要時間は 12 分 40 秒となっていた。その内訳は、ID 割り振りに 1 分 3 秒、GPS 観測と GPS データ作成に 8 分、参照点からのデータ受信に 54 秒、GPS データのブロードキャストに 44 秒、欠損処理に 1 分 10 秒、位置情報を集めるのに 55 秒である。他の数秒のやり取りも含めた結果、システムの総時間が 12 分 40 秒となった。

6. まとめ

首都直下地震など、都市部を襲う大規模・広域地震災害が発生したときに、基幹通信ネットワークに依存せず、かつ、多数の計測点での計測データを無線を介して集約できる無線センサネットワークによる被害状況の把握を行うシステムとして、個々の家屋の屋根に GPS を搭載した無線センサノードを設置、それらのノードからなるセンサネットワークを介して個々の家屋の屋根の変位情報を収集するというシステムを開発した。

参照点の GPS 観測データのブロードキャスト共有とオンボード測位解析によるスケーラブルなシステムを構築し、39 個のセンサノードからなるシステムを屋外に展開して行った実証実験では、自動 ID 割り振りから測位解析結果の集約までを 12 分 40 秒で完了できることが示された。このシステム構成を用いれば、ローカル・サーバー一つに対して 253 個のセンサノードまで、ほぼ同じ時間内で自動 ID 割り振りから測位解析結果の集約までを完了できる。

一方、GPS 観測データをローカル・サーバに集め、ローカル・サーバ上で測位計算を行うシステムでは、1 個のセンサノードが GPS データをサーバに送るのに約 40 秒かかるので、全 39 個のノードが送信終了するのに少なくとも 26 分かかかる。そして ID 割り振りに 1 分 3 秒、GPS 観測と GPS データ作成に 8 分を考慮に入れると、39 個のセンサノードからなるデータ集約型システムの総所要時間は約 35 分となる。この、データ集約型システムの所要時間はセンサノード数の増加に比例する。したがって、このようなシステムで本研究が目指す 30 分以内の測位データ

集約を行うためのセンサノード数の上限は約 30 個となる。

参照点 GPS データ共有とオンボード測位解析による測位解析の並列化は、システムの高速化のみならず、データ流通量の抑制によるシステムのロバスト性向上にも寄与する。これが、高い電力消費というデメリットをおして倍精度演算が可能な CPU を使用してのオンボード測位解析を行うメリットである。このようなメリットを持つ、スケーラブルかつロバスト性の高いセンサネットワークは、社会基盤としての無線センサネットワークの目指すべき方向のひとつであると考えられる。

【参考文献】

- 1) Saeki, M., Oguni, K., Inoue, J., and Hori, M.: Hierarchical Localization of Sensor Network for Infrastructure Monitoring, *Journal of Infrastructure Systems*, 14, 1, pp15-26, 2008.
- 2) Saeki, M., Oguni, K. and Hori, M.: Development of affordable GPS displacement monitoring system, *Bridge Maintenance, Safety, Management, Health Monitoring and Informatics*, pp1906-1913, 2008.
- 3) Saeki, M., J. Inoue, J., Khor, K.H., Kousaka, T., Honda, H., Oguni, K. and Hori, M.: Hierarchical Localization Algorithm Based on Inverse Delaunay Tessellation, *Lecture Notes in Computer Science*, 3868, pp180-195, 2006.

第2 防災力の向上

2. 3 危険建物内の迅速安全な情報収集を行う投擲型探査装置の開発

研究課題名	危険建物内の迅速安全な情報収集を行う投擲型探査装置の開発
研究実施期間	平成 21 年 7 月 24 日～平成 24 年 2 月 20 日
配分額(千円)	10,660 (平成 21 年度) 9,360 (平成 22 年度) 9,360 (平成 23 年度)
研究代表者	塚越 秀行
所属機関	国立大学法人東京工業大学 大学院理工学研究科
研究体制	学
研究概要	<p>危険建物内の情報収集を安全かつ迅速に行うことを目指して、建物外の安全な場所から、目標地点にチューブ付き子機を遠隔操作により投擲し、建物内の画像の伝送や気体の回収作業などを行える装置を開発した。開発した装置は、i)チューブ付き子機の投擲装置・ii)回収装置・iii)チューブに沿って探査機を搬送する流体ロープウェイ・iv)壁面に吸着機能を備えた投擲式吸着体・v)これらを搬送する無人搬送車、などから構成されている。投擲装置においては、シリンダの終端速度で生成される運動エネルギーをチューブに有効に伝達する手法の導入により、従来の方式より 1.5 倍程度高い位置にチューブ付き子機を投擲することが可能となった。回収装置においては、長さ 20 m 程度のチューブをよじれがないように巻き取り、なおかつ投擲時に抵抗を生じにくい回収機構を実現することができた。さらに、無人搬送車により建物から 7m 程度離れたところまで近づいた後、建物 3F の窓に子機を投擲してチューブの一端を吸着固定し、流体ロープウェイ内のゴンドラに搭載したカメラによりその途中のフロア内の情報を収集可能であることを確認できた。そのうえ、本プロジェクトで開発した流体ロープウェイは、東日本大震災の復興支援として要求されていたがれきの山積した港湾海中内でも情報収集作業が行えることを検証することができた。</p>
研究成果の活用事例	<p>○流体ロープウェイ</p> <p>柔軟チューブに沿って探査機を流体圧で搬送する簡便な構成であるため、多様な不整地環境における情報収集作業への適用が可能となる。地震などによる半壊家屋内の人命探査や、有毒ガスが充満した懸念のある建物内のガスのサンプル回収、および岩場や波打ち際での海水内の情報収集にも有効となる。</p>

	<p>○MB シリンダユニット</p> <p>チューブや有線ケーブルを遠方・高所に投擲し、当該投擲物体を短時間で巻き取れる装置である。磁性を使って内圧を高めた状態で投擲できるため効率よく投擲しやすく、リールの回転運動を伴うことなくテーパ空洞体内部にチューブやケーブルを回収できるため、投擲時の抵抗も生じにくい。上記流体ロープウェイのチューブの設置や、水難事故時の救命ロープの設置においても有効となる。</p>
応用の方向性	<p>流体ロープウェイにおけるゴンドラ探査機の位置情報の把握、およびゴンドラ探査機で取得した情報をチューブ内で伝送する技術、などを実現すれば、さらに多様な用途への応用が可能となる。たとえば、地震や津波によりがれきが散乱した港湾施設において、行方不明者や海洋内港湾施設の被害情報を把握する際、ダイバーに代わって港湾内を安全かつ広範囲に探索することが可能となる。</p>
研究発表の状況等	<p>(論文)</p> <p>[1]Eyri Watari, Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, “A Higher Casting and Jump Motions Realized by Robots Using Magnetic Brake Cylinder,” Transactions of the ASME, Journal of Mechanism and Robotics, Vol.3, Issue 4, 041002-1/041002-11(2011)</p> <p>[2]森庸太朗, 塚越秀行, 北川能, “柔軟偏平チューブに沿ってスライドする流体アクチュエータ(第1報:A-drive の提案とその動作解析),”日本フルードパワーシステム学会誌, Vol.41, No.5, pp.98-105 (2010)</p> <p>[3]Yotaro Mori, Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, “Fluid Powered Ropeway: Self-propelled Probe Sliding Along Flexible Tube”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.2, 215-224 (2011)</p> <p>(講演会)</p> <p>[4]Yotaro Mori, Hideyuki Tsukagoshi, and Ato Kitagawa, “Flexible Sliding Actuator Using A Flat Tube And Its Application To The Rescue Operation,” 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ThA2.3 (2010)</p> <p>[5] Hideyuki Tsukagoshi, Yotaro Mori, and Ato Kitagawa, “Flexible Fluid Sliding Actuator Referring to Wave Shifting Motion Shown in Octopus Arms”, IEEE International Conference on Applied Bionics and Biomechanics(ICABB) Bio Robotics I No.2 (2010)</p> <p>[6] Eyri Watari, Hideyuki Tsukagoshi, and Ato Kitagawa, “Novel Method to Throw a Tube Into High Altitudes for a Throw and Collect Rescue Inspector”, Proceedings of the 13th International Conference</p>

	<p>on Climbing and Walking Robots (CLAWAR) and the Support Technologies for Mobile Machines, pp.1314-1322 (2010)</p> <p>[7] Hideyuki Tsukagoshi, Yotaro Mori, Ato Kitagawa, Fast Accessible Rescue Device y Using a Flexible Sliding Actuator, Fast Accessible Rescue Device y Using a Flexible Sliding Actuator (IEEE International Conference on Robotics and Automation 2012, KUKA Best Service Robotics Paper Award 受賞)</p> <p>[8]森庸太朗, 塚越秀行, 島田敏行, 北川能, 半壊家屋内の迅速な人命救助を目指した流体ロープウェイ —第2報: 凹凸地形のスムーズな踏破方法—, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A2-B24(2010)</p> <p>[9] Watari Eyri, 塚越秀行, 北川能, 投擲・回収型人命探査装置の開発-ケーブルの高所投擲方法に関する考察-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010, 1A1-B22(2010)</p> <p>[10] 塚越秀行, 森庸太郎, 北川能, “半倒壊家屋内の迅速な人命救助を目指した流体ロープウェイ (第3報, Δ-drive によるゴンドラの駆動法)”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 1A2-J10(2011)</p> <p>[11] 淵上和峻, ワタリエイリ, 塚越秀行, 北川能, “危険建物内のレスキュー活動を支援する投擲式吸着体の開発”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 2A1-J11(2011)</p>
<p>知的財産権の出願・登録状況等</p>	
<p>当該研究に対する今後の展開、意見等</p>	<p>本研究は、2008年5月に起きた四川大地震の救助作業に従事された消防隊員からのご要望をもとにスタートした。その意味では、実際の災害現場のニーズに即した装置を試作できたと考えている。消防署などに実践配備されるためには、より多様な情報収集機能の付加、耐久性・防塵性の向上、現場に持ち運ぶ際のポータビリティの向上など、改善すべき点も残されている。これらのなかには、大学の研究室では解決困難な課題もあり、メーカーとタイアップして実用化を早める必要があると考えている。</p>

危険建物内の迅速安全な情報収集を行う投擲型探査装置の開発

○塚越秀行¹ 森 庸太郎¹ Watari Eyri¹ 北川 能¹

Hideyuki Tsukagoshi Yotaro Mori Eyri Watari and Ato Kitagawa

研究課題の要旨：危険建物内の情報収集を安全かつ迅速に行うことを目指して、建物外の安全な場所から、目標地点にチューブ付き子機を遠隔操作により投擲し、建物内の画像の伝送や気体の回収作業などを行える装置を開発した。開発した装置は、i)チューブ付き子機の投擲装置・ii)回収装置・iii)チューブに沿って探査機を搬送する流体ロープウェイ・iv)壁面に吸着機能を備えた投擲式吸着体・v)これらを搬送する無人搬送車、などから構成されている。投擲装置においては、シリンダの終端速度で生成される運動エネルギーをチューブに有効に伝達する手法の導入により、従来の方式より1.5倍程度高い位置にチューブ付き子機を投擲することが可能となった。回収装置においては、長さ20m程度のチューブをよじれがないように巻き取り、なおかつ投擲時に抵抗を生じにくい回収機構を実現することができた。さらに、無人搬送車により建物から7m程度離れたところまで近づいた後、建物3Fの窓に子機を投擲してチューブの一端を吸着固定し、流体ロープウェイ内のゴンドラに搭載したカメラによりその途中のフロア内の情報を収集可能であることを確認できた。そのうえ、本プロジェクトで開発した流体ロープウェイは、東日本大震災の復興支援として要求されていたがれきの山積した港湾海中内でも情報収集作業が行えることを検証することができた。

キーワード： レスキュー機器 フルードパワー 情報収集

1. はじめに

有毒ガスが充満した懸念のある建物や、大地震直後の余震環境下で倒壊寸前にある建物において、内部の情報を安全かつ迅速に把握する手段の確立は、消防隊員の2次災害を回避するうえで必要不可欠である。本研究では、隊員がはしご車などで危険建物の中・高層階域にアクセスする際、事前の予備情報を収集する手段の一策を提案し、その有効性の検証を行うこととした。すなわち、建物外から目標地点にチューブを投擲し、当該チューブの先端からガスをサンプル回収する方法(図1)、および投擲したチューブに沿って探査機をロープウェイ式に誘導し、建物内の画像情報など突入時に有益な情報を建物外から効率的に収集する方法(図2)、などを検討する。

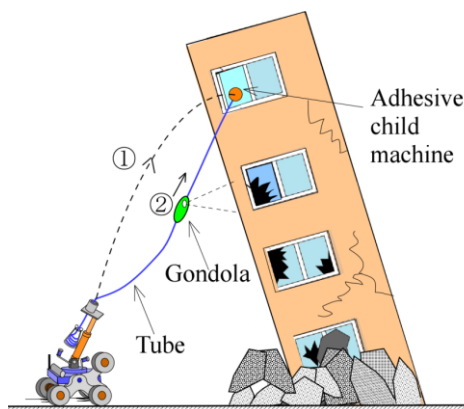


図1 建物内のサンプルガスの回収方法

(所属機関名)

¹ 国立大学法人 東京工業大学

それらの実現に向けて3つのアプローチから研究を進めた。それらは、i)チューブ付き子機を目標地点の高度が高い所へも投擲する技術、ii)投擲したチューブの一端を建物の外壁や窓に固定する技術、および iii)チューブ内の流体エネルギーを利用して探査機をロープウェイ式に搬送する技術(流体ロ

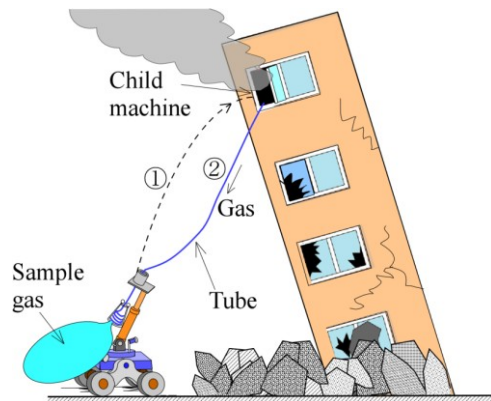


図2 流体ロープウェイによる情報収集

2. チューブ付き子機の投擲方法

チューブ付き子機の投擲高度の向上を図るために、MBシリンダ(磁性ブレーキ式空圧シリンダ)1,2)に対するチューブ収納部の適切な設置方法について検討した。まず、チューブ収納部の設置方法が4種類に分類され(図3)、そのうち、チューブ収納部全体にシリンダの運動エネルギーを与える理想的な方法が存在することを確認した。

次に、MBシリンダの負荷特性や運用上の制約条件なども考慮したうえで、投擲高度を最も高く生成しやすい設置方法の選定基準も考案した。実験の結果、提案手法は従来方式より1.5倍程度高く投擲できることを確認した(図4,5)。

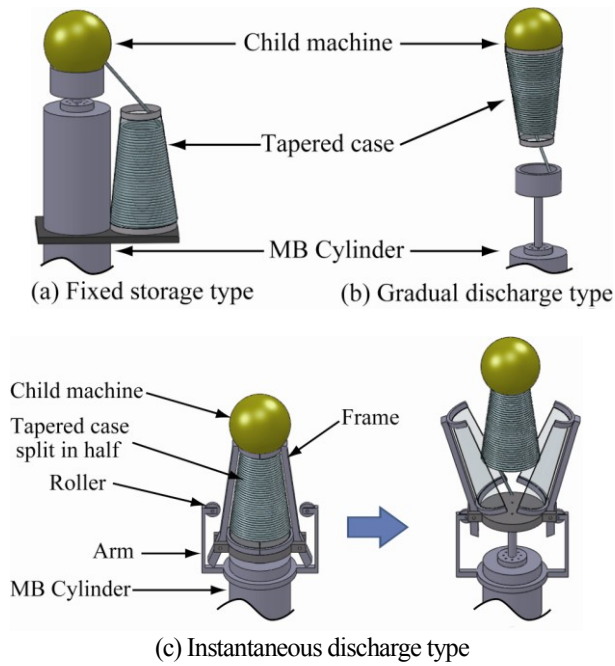


図3 チューブ付き子機を投擲する方法の比較

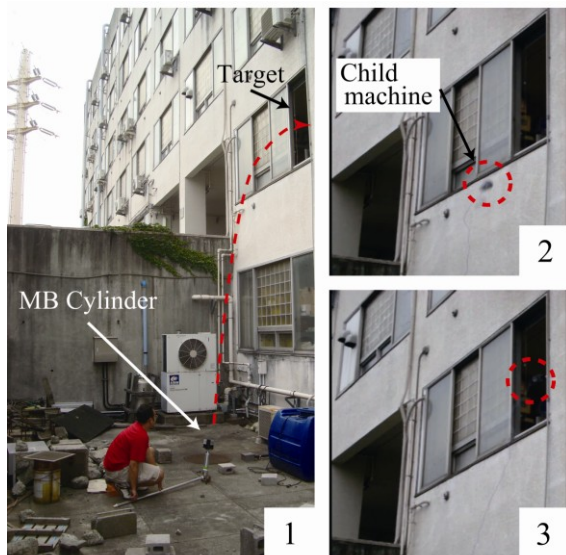


図4 逐次放出式による2Fの窓への投擲実験

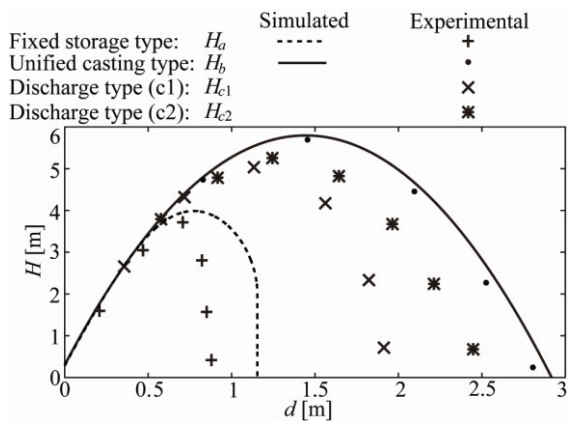


図5 4種類の投擲による投擲高度

3. 投擲吸着体 3)

投擲されたチューブの一端を壁や天井に瞬時に固定するための機能を開発した。開発した吸着体は、衝撃吸収機能・密閉機能を有する「仮吸着用」の粘着ゲルと、押し付け力増幅機能を有する「本吸着用」の真空吸盤とから成るハイブリッド構造で、飛行中の空気抵抗を軽減しつつ多様な材質・形状の壁面に吸着できるよう柔軟球体構造(図6)となっている。直径60mm、質量48gの吸着体は、10m離れた場所から窓枠の凹凸面に投擲された後、質量2kg程度の負荷を安定に支えられることが確認された(図7)。

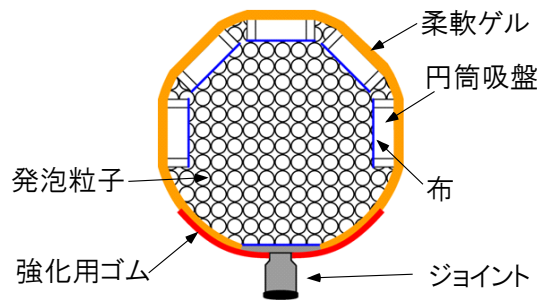


図6 投擲吸着体の構造

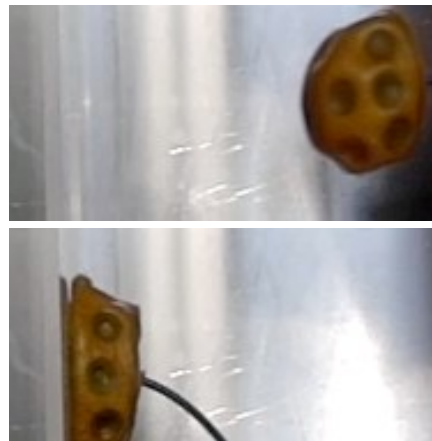


図7 変形しながら壁面に吸着する様子

4. 流体ロープウェイ 4)

設定したチューブに沿って、ロープウェイ式に探査機を搬送する手法を説明する。流体ロープウェイと名付けた駆動系は、内部に流体を流すチューブ、探査機を搭載したゴンドラ、およびボール(投擲吸着体)から構成される。チューブ内の流体エネルギーを利用して、ゴンドラ探査機をチューブに沿ってスライドさせながら搬送することにより、環境の形状や摩擦条件などに大きな影響を受けることなく、安定に探査移動を行うことを目指したものである。チューブ内の流体エネルギーを効率よく探査機の運動エネルギーに変換する手段として、以下に述べる全く新しい流体駆動方式を導入した。

図8に示すように、無加圧状態で断面の潰れた扁平チュ

ープを曲げてリング状のスライダに通し、その一方から内部を流体圧で加圧すると、スライダは下流側に搬送される。曲げ部中央のチューブで屈服座屈が生じ、流路を遮断したまま座屈点が下流側に移動するからである。曲げ部の形状とギリシャ文字 Λ との類似性から、この構成を Λ -drive (ラムダドライブ) と名付けた。なお、扁平チューブの代わりにパイプ状チューブの使用は適さない。なぜなら、流路は遮断できるものの、座屈点を境に下流側のパイプ状チューブを押し潰す力が抵抗となり、座屈点がスムーズに移動しにくいからである5)。よって、本稿で以降述べるチューブは、すべて扁平チューブを意味するものとさせていただきます。

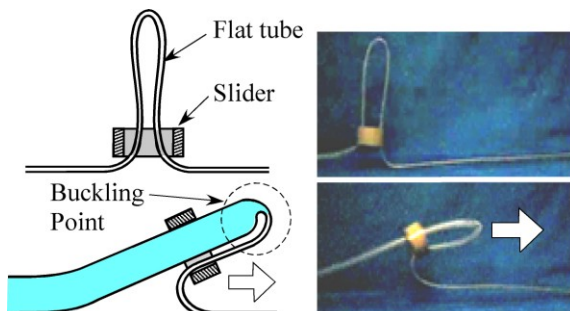


図8 チューブの座屈を利用した推進原理

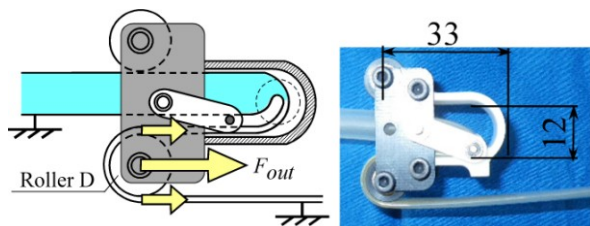
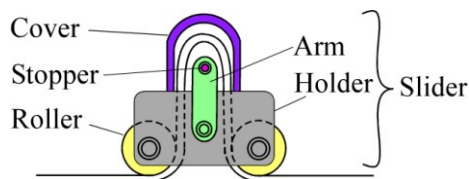


図9 Λ -drive の基本構成

Λ -drive をアクチュエータの駆動に利用する際、姿勢の変化や負荷の増減が生じて座屈によるシールを保ち、スライダを安定に動かすことが要求される。その対策として、図9に示すようにスライダの中央にホルダーを設け、チューブの抜け出し防止用のストップと、チューブのとび出し防止用のカバーをホルダーに付加する。また、チューブとスライダ間の摩擦を低減させるため、スライダへの出入り口部分、およびストップに受動回転できるローラーを搭載する。さらに、座屈点を境にどちらが上流側になってもチューブの膨らみ具合を阻害しないように、ホルダー上のピボットを中心に受動的に揺動するア

ームを取り付ける。設計方法の詳細は文献[6]に示す。

次に、スライダで生成された推力をゴンドラ探査機に効率よく伝達するための構成について説明する。その実現のためには、スライダの推力の方向とゴンドラの中心軸とを平行に保つ機能が求められる。そこで、ゴンドラの出入りにPivot Rollerを、そのローラー周りに揺動するSwing Rollerを設け、それらをリンクで連結して一方の揺動を他方に伝達する機構を導入した。これにより、加圧時に上流側Swing Rollerが持ち上がりながらスライダが下流側に傾くと、下流側Swing Rollerがチューブを押し下げる。その結果、下流側チューブの駆動方向とゴンドラの移動方向が常に平行に保たれる(図10)。

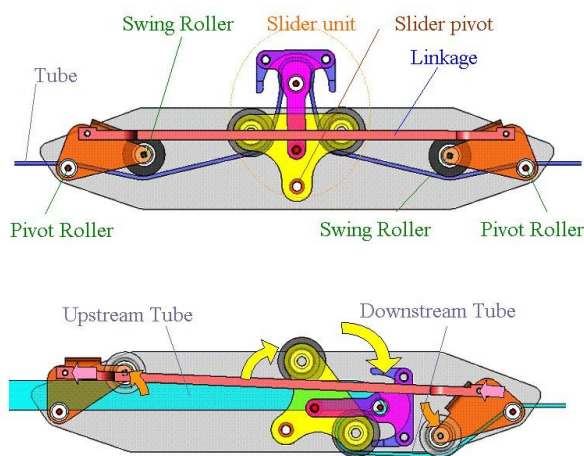


図10 ゴンドラ探査機の構成(上: 無加圧状態, 下: 加圧状態)

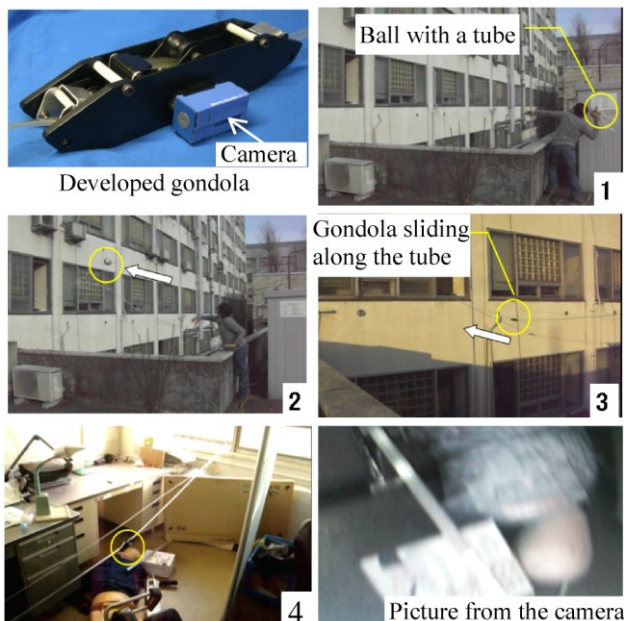


図11 流体ロープウェイによる建物内の情報収集

模擬フィールドで実験を行った様子を図 11 に示す。オペレータと建物との間に 7m のギャップがあり建物内を直視できない。質量 520g のチューブ付き低反発ボールを投擲後、0.4MPa の空圧で加圧しながら速度 2.0m/s でゴンドラを建物に近づけた。進入後は 0.7m/s に減速し、ゴンドラ内の無線カメラを使って、オペレータのモニターに要救助者(人形)の映像が映った。質量 14g のスライダで 41W を出力し、市販の電気モータの約 13 倍の出力重量比となった(7, 8)。

5. 総合実験

投擲型探査装置の建物内へのアクセス方法として、サンプルガスの回収作業および流体ロープウェイゴンドラを建物に近づけた。進入後は 0.7m/s に減速し、ゴンドラ内の無線カメラを使って、オペレータのモニターに要救助者(人形)の映像が映った。質量 14g のスライダで 41W を出力し、市販の電気モータの約 13 倍の出力重量比となった(7, 8)。による画像の情報収集作業の 2 種類を想定し、各々の有効性を確認した。まず、本プロジェクトで開発した投擲装置・回収装置・流体ロープウェイを無人搬送車に

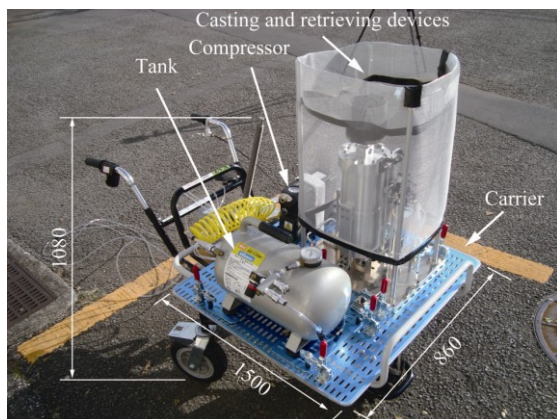


図 12 遠隔式無人搬送車に搭載した投擲・回収装置

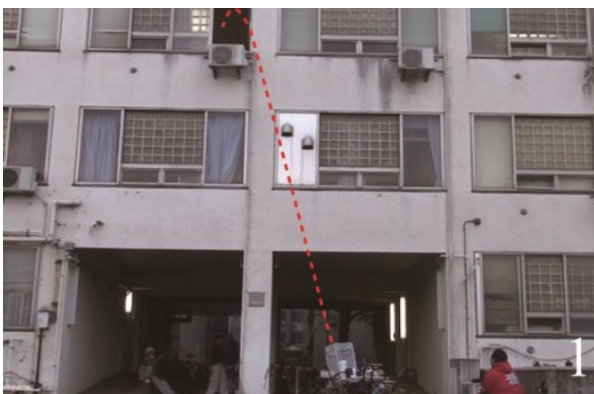


図 13 チューブ付き子機を 3F の室内に投げ入れ、ガスを回収している様子



図 14 チューブ付き子機を投擲後(上図), ゴンドラ探査機で室内の画像を収集(下図)

搭載し、当該搬送車を遠隔操縦により建物に接近させて情報収集を行うためのシステムを構成した(図 12)。ガスの回収作業においては、高さ 9m の室内にチューブの先端を投げ込み、室内のガス 10L 程度を約 30 秒で回収した(図 13)。流体ロープウェイにおいては、高さ 15m の窓枠にチューブの一端を投擲吸着体により固定し、チューブに沿ってゴンドラ探査機を搬送することにより、40 秒程度で 3F 室内の画像情報を取得可能なことを確かめた(図 14)。

6. 海洋探査への応用

今般の東日本大震災を踏まえ、本研究制度で開発した投擲型流体ロープウェイをがれきの散在する港湾内の情報収集作業に適用するための可能性を検証した。沿岸と海上のフロートとを結ぶホース上をゴンドラ探査機で往復しながら、情報収集作業を行った(図 15, 16)。実験の結果、海中に岩などの障害物のある環境、波打ち際で従来の海洋ロボットを使用しづらい環境でも、ホース内に供給される 0.2MPa の水道圧エネルギーをもとに、秒速 300mm 程度で 30m の距離をゴンドラが安定して往復移動できることが明らかとなった(図 17)。また、ゴンドラ内に装備されたビデオカメラにより、海中内の情報を無線で取得可能であることも確認できた。

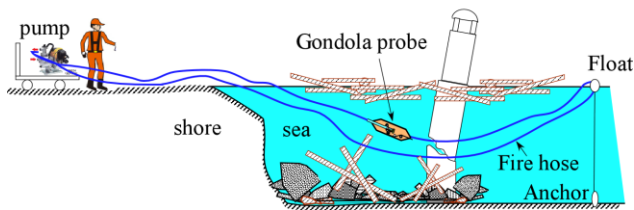


図 15 がれきの散在した海洋内探査の概念図



図 16 試作した海洋探査用のゴンドラ

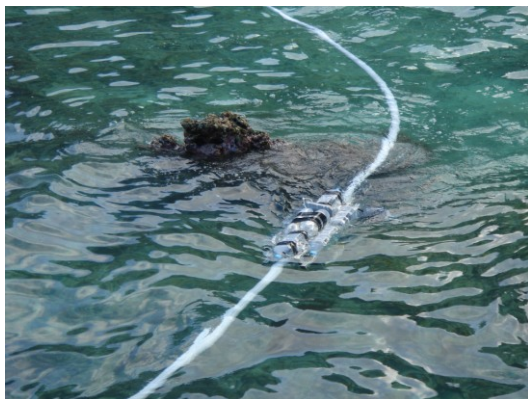


図 17 海中の岩の障害物でも踏破しながら移動したゴンドラ

6. おわりに

本研究では、危険建物内の迅速・安全な情報収集を目指し、チューブの投擲によるサンプルガスの回収作業や、流体ロープウェイによる中・高層階域の画像情報の取得作業を遂行するうえでの要素技術を提案し、それらをインテグレーションしたシステムの有効性について検証した。今後は、ゴンドラの位置情報の推定方法、およびゴンドラ探査機で収集した情報を有線でも伝達できる方法論について検討する予定である。また、可能なかぎり消防庁との連携を通じた実戦的実験を繰り返すことにより、本技術の実用化を早期に実現させたい。

【参考文献】

- 1) Watari, E., Tsukagoshi, H., Kitagawa, A., Tanaka, T.: "A Higher Casting and Jump Motions Realized by Robots Using Magnetic Brake Cylinder," *Journal of Mechanisms and Robotics*, Trans. of ASME, 3(4), pp. 041002-1 / 041002-11 (2011).
- 2) ワタリエイリ, 塚越秀行, 北川能: "空圧シリンダによりテザー付子機を高く投擲する方法", 日本フルードパワーシステム学会論文集, 掲載予定.
- 3) 淵上和峻, ワタリエイリ, 塚越秀行, 北川能: "危険建物内のレスキュー活動を支援する投擲式吸着体の開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11, 1A2-J11, 岡山 (2011).
- 4) Yotaro Mori, Hideyuki Tsukagoshi, Ato Kitagawa, "Fluid Powered Ropeway: Self-propelled Probe Sliding Along Flexible Tube", *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.23, No.2, 215-224 (2011)
- 5) Hideyuki Tsukagoshi, Nobuyuki Arai, Ichiro Kiryu, Ato Kitagawa, "Tip Growing Actuator with the Hose-shaped Structure Aiming for Inspection on Narrow Terrain", *International Journal of Automation Technology*, Vol.5, No.4(2011)
- 6) 塚越秀行 (解説) 柔軟チューブの座屈を利用した流体駆動 (Λ -drive) とその応用 *日本ロボット学会誌*, Vol.29, No.6, 8-11, 2011
- 7) 塚越秀行, 森庸太郎, 北川能 "半倒壊家屋内の迅速な人命救助を目指した流体ロープウェイ (第3報, Λ -drive によるゴンドラの駆動法) " *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011, 1A2-J10(2011)*
- 8) Hideyuki Tsukagoshi, Yotaro Mori, Ato Kitagawa, "Fast Accessible Rescue Device by Using a Flexible Sliding Actuator" *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012)*

第2 防災力の向上

2. 4 効果的戦術実現のための震災時消防活動総合支援システムの開発

研究課題名	効果的戦術実現のための震災時消防活動総合支援システムの開発
研究実施期間	平成21年度～平成23年度
配分額(千円)	平成21年度:14,000、平成22年度:12,000、平成23年度:11,778
研究代表者	高梨 成子
所属機関	防災・情報研究所
研究体制	産、官、学
研究概要	本研究においては、ICT(情報通信技術)を活用し、大規模震災時に中規模都市で運用が可能な実効性の高いシステムを、尼崎市消防局をモデルに開発した。本システムの開発に際しては、尼崎市に大きな影響を及ぼす大規模地震を想定した図上検討会を、尼崎市消防局及び応援消防関係機関等の参加を得て実施するなど、消防活動戦略、実戦性等の検討・検証を行い、消防活動シナリオの蓄積を図るとともに、消防職員のシステムへの親和性を高めた。また、システム的设计にあたっては、過去の震災事例を収集・分析し、モデル消防組織の現況から震災時の業務分析を行い、さらに、震災時における火災・延焼・人的被害等の被害推定及びシミュレーションや消防活動の需給推定し、意思決定の支援(部隊配置・広域応援要請等)に係るロジックの構築等を行った。
研究成果の活用事例	尼崎市消防指令センター及び警防本部(災害対策本部)設置予定の会議室に配備されている。
応用の方向性	東日本大震災の調査・研究成果を踏まえ、建物被害、出火・延焼メカニズム、人的被害・ライフライン・交通支障、津波浸水等の新たな被害予測ロジックを構築し、これらを取り入れた被害予測機能を充実させることによって、さらに実用性のあるシステムとなることが期待される。
研究発表の状況等	学会発表 1)坂本朗一, 高梨成子, 堂田深次, 大西一嘉, “消防活動支援システムを活用した震災時消防戦略の検討”, 安全工学シンポジウム 2010, 平成 22 年7月8日 2)坂本朗一, 大西一嘉, “効果的戦術実現のための震災時消防活動総合支援システムの開発”, 日本建築学会大会(東海)学術講演梗概集(防火), pp11-12(2012.9)

知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>消防部隊の広域運用の面から、防災部門等との連携や他の消防機関等も含めた広域運用システムを構築する必要がある。また、今後、南海トラフにおける連動型地震の発生等が危惧されていることから、システムの汎用性について考慮しつつ、早急に消防の広域運用支援システムを構築する必要がある。</p>

効果的戦術実現のための震災時消防活動統合支援システムの開発

○高梨 成子¹・坂本 朗一¹・堂田 深次²・大西 一嘉³
Naruku Tkanashi, Koichi Sakamoto, Mitsugu Dota and Kazuyoshi Ohnishi

研究課題の要旨: 本研究においては、ICT（情報通信技術）を活用し、大規模震災時に中規模都市で運用が可能な実効性の高いシステムを、尼崎市消防局をモデルに開発した。本システムの開発に際しては、尼崎市に大きな影響を及ぼす大規模地震を想定した図上検討会を、尼崎市消防局及び応援消防関係機関等の参加を得て実施するなど、消防活動戦略、実戦性等の検討・検証を行い、消防活動シナリオの蓄積を図るとともに、消防職員のシステムへの親和性を高めた。また、システムの設計にあたっては、過去の震災事例を収集・分析し、モデル消防組織の現況から震災時の業務分析を行い、さらに、震災時における火災・延焼・人的被害等の被害推定及びシミュレーションや消防活動の需給推定し、意思決定の支援（部隊配置・広域応援要請等）に係るロジックの構築等を行った。

キーワード: 消防活動、地震災害、統合支援システム、広域応援、都市火災

1. 本研究の背景及びシステム開発の目的

大規模地震が発生した際には、火災、建物倒壊等による生き埋め、負傷者の発生等が同時に多発する一方で、消防水利や道路支障、職員参集の遅れ等により、効果的な消防運用ができなくなる可能性が高い。さらに、消防機関の広域応援を受け入れ、全体の部隊運用を図るには、複雑な消防戦術の展開が必要となる。震災時に、時々刻々と変化する災害状況を把握して統合化し、効果的な消防戦術の展開を支援する情報システムは開発されていなかったことから、本研究では、大規模震災時に運用可能で、実効性の高いシステムを、中規模都市である兵庫県尼崎市をモデルとして開発した。なお、システム開発にあたっては、平常時利用を図るため、尼崎市消防局の消防指令システムとの連動を図ったほか、実効性を担保するため、図上検討会により震災時消防運用のあり方及びシステムを活用した場合の効果の検証等を行った。

2. 尼崎市の概要

2.1 尼崎市の市勢

尼崎市は、面積49.97km²、人口458,918人、世帯数217,742世帯（人口・世帯数は、平成23年10月31日現在）の中核都市である。全国の41中核都市の中で、人口は11位であるが、面積は中核市中で最も狭いことから、人口密度が9,184人/km²と非常に高いことが特徴である。

地理的には、兵庫県の最東端に位置し、南は大阪湾に面し、東は大阪市と豊中市、西は西宮市、北は伊丹市に囲まれている。また、市域はほぼ平坦で、最も標高が高い部分でも8m以下である。市域の南部は工業地域、中南部は商業地域、市中部から北部にかけては住宅地が広がる形で発展してきたが、近年は再開発で、工場跡地に高層マンションや大型商業施設が建設されている。

2.2 尼崎市の消防力

尼崎市消防局は、4消防署の下、2消防分署、3消防出張所で構成され、この他に消防車両専用の整備

工場を有している。消防職員は420名で、消防車両はポンプ車14台、はしご車4台、化学車5台、救助工作車2台、救急車10台を有している。

また、市の消防団は、団員920名、ポンプ車58台を有しているが、近年はサラリーマン化が進行しており、特に昼間は十分な出動体制が組めない地域も生じてきている。

2.3 尼崎市における災害・事故の状況と平常時の火災発生状況

平成7年阪神・淡路大震災で、尼崎市は震度6を記録し、火災8件、焼損棟数16棟（うち全焼7棟）、焼失面積2,572m²、死者48人、負傷者7,112人（重傷976人、軽傷6,136人）、全壊家屋10,166棟の被害が発生した。8件の火災のうち、立花町三丁目の火災では、5棟が延焼、死者11人が発生した¹⁾。

また、平成15年のJR福知山線（宝塚線）の尼崎駅と塚口駅間の列車脱線転覆事故では、死者107人、負傷者549人を出す大惨事となった。

尼崎市における近年の火災・救助・救急の活動状況を表1に示す。尼崎市では比較的大規模な火災が発生しており、平成2年には長崎屋尼崎店の火災により死者15名が発生したほか、2010年には大規模な市場火災が2件発生している。

表1 尼崎市における火災等の発生状況

種別	平成22年	平成21年	過去10年間の平均
火災件数	215	248	234
焼損面積 (m ²)	1,597	8,448	3,050
火災による死者数	7	4	6
救急出動件数	23,415	22,152	—
救助出動件数	318	330	—

3. 震災時消防活動統合支援システムの概要

3.1 システム開発の経過

システム開発は平成21年度から3か年にわたって行い、1年目に「火災延焼—消火」システム、2年目に「生き埋め・閉じ込め—救助・救出」と「死傷—

（所属機関名）

1 防災・情報研究所

2 尼崎市消防局

3 神戸大学大学院

救急・搬送」システムの検討・開発を行い、最終年にこれらを統合したシステムの開発を行った。また、震災時における消防活動戦略等を検討するため、各年に、被災消防本部における消火・救助・救急活動の活動方針、広域応援要請の判断と応援部隊の運用についての図上検討会を実施し、実効性を高めることとした。

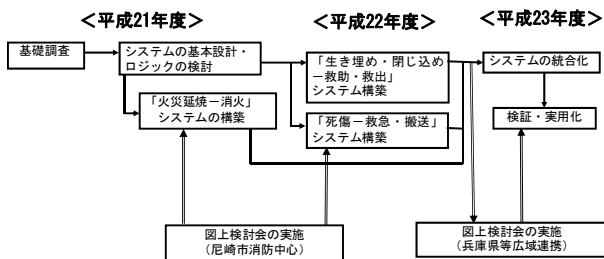


図1 システム開発の経過

3.2 システム構成

地震災害時における消防本部対応（消火、救急、救助等）の意思決定に必要な支援機能として、本システムは、「①火災延焼シミュレーション・システム」、「②災害対応システム」、「③部隊管理システム」の3つの基本システム（機能）で構成するものとした。

大規模地震発生時において、これら3つの基本システムを用い、以下に例示するような手順に従い、対応を行うことを想定して開発した。

- 1) 地震発生と同時に震度予測を行い、市内の被害状況を予測し、これを基に被害調査や部隊派遣等を指示する。
- 2) 消防指令センター（指令台）に入った火災・救急・救助、その他の事案及び道路被害等を「災害対応システム」で管理し、延焼予測や必要消防部隊数を算定し、応援要請の判断支援を行う。これにより、県（県代表消防本部）や国に応援要請を行う。
- 3) 応援隊に関する情報を「部隊管理システム」に入力し、事案が同時多発した際、「部隊管理システム」から出動可能な部隊を検索し、部隊配置の支援を行うとともに、県内応援や緊急消防援助隊等の受入、現場投入など、尼崎隊と応援隊双方の管理を行う。

システムの構成と情報のやり取りのイメージを図2に、尼崎市消防局における本システムの実際の配備状況を図3に示す。写真に示す4つの画面のうち、右の3つの画面は、消防指令システムの画面で、左端の画面が本システムであり、消防指令システムと同じ指令台で操作が行えるようにしている。

3.3 基礎データの整備

消防機関で日常的に使われている消防指令システムにおいては、消防活動の特性により、住宅地図データが使われていることが多く、尼崎市消防局においても例外ではない。本システムの構築にあたっては、将来的なデータ更新・活用を見込んでGISを採用

し、必要となる建物、消防水利、道路等のデータを収集し、消防活動支援に必要なデータを登録した。

このうち尼崎市内約10万棟の建物データについては、平常時における火災状況を考慮し、耐火造と非耐火造を以下のように区分した。

- ・耐火造：RC、SRC
- ・非耐火造：木造、S造、
250m²以下の非課税の建物

なお、S造建物について、従来は「耐火造」として扱っていたが、過去の尼崎市における延焼火災事例から、S造建物の実態を詳細に検討した結果、延焼阻止性能の低さが指摘されたため、本システムでは「非耐火造」として扱った。さらに、実際に発生した延焼火災について、本システムで延焼状況をシミュレーションで再現したところ、消防実務者の感覚に近い結果が得られている。

また、消防水利については、耐震防水水槽、防火水槽、プール、自然水利を登録している。さらに部隊運用として、消防署所毎の人員と車輛、予備車、消防団車輛等について登録した。

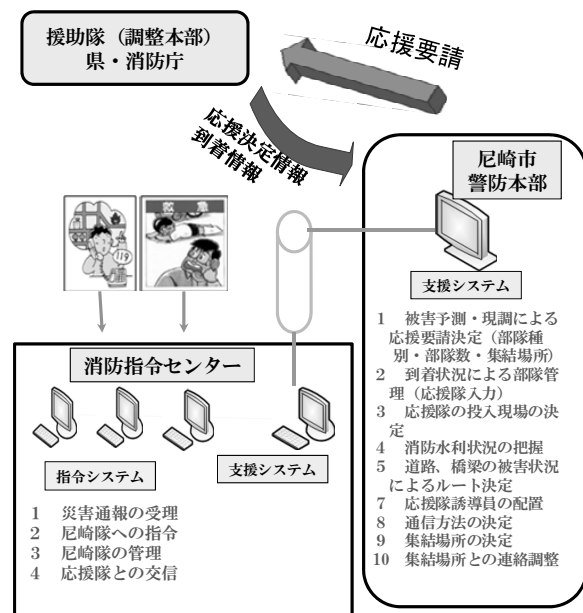


図2 システムの構成と情報のやり取り



図3 尼崎市消防局におけるシステム配備状況

3.4 各システムの概要と機能

各システムの概要を以下に示す。

①火災延焼シミュレーションシステム

本システムの火災延焼シミュレーションは、総務省消防大学校消防研究センターが開発した延焼予測・消火活動の効果の計算手法及びデータ等の取扱い方法等を継承した。ただし、実践に応じた消火活動の部隊配置の判断支援を行うため、「配置消防部隊数による延焼阻止線長さの上限表示」、「水利の選定及び使用量（残量）の予測」、「出動から消火開始までの時間予測」等の機能を追加するとともに、GIS上で部隊配置や水利の選定、具体的な消火活動の設定（延焼阻止線の設定）が自由に行えるようにした。

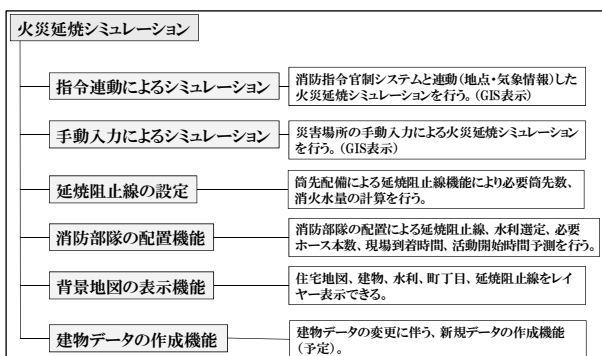


図4 延焼シミュレーションシステムの機能

延焼予測は、まず、任意の建物を出火点として設定し、風向・風速、シミュレーション時間等を設定する。計算が終了すると、結果が延焼中の建物と燃え落ちた建物に分けて表示される。任意の時間間隔毎の表示も可能である。さらに、延焼棟数のグラフ表示（時間経過別）や町丁目別の集計等が可能となっている。その他、事前に登録している地図データとの重ね合わせが可能である。また、出火点の設定にあたっては、指令システムからの情報により素早く建物の位置が特定できるよう、住所検索機能を有している。

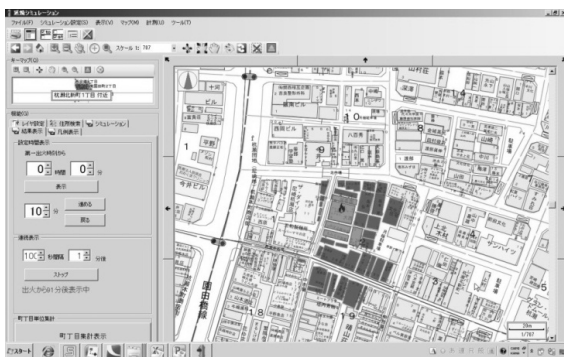


図5 火災延焼シミュレーションシステムの画面例

延焼予測については、消火活動の効果を評価することができる。消火活動は、延焼予測システムの地図上に「延焼阻止線」を設定することによって評価

する。消火活動を行わなかった場合の延焼状況と延焼阻止線を設定した場合の延焼状況を比較することにより、消火活動の効果を評価する。

また、効果的な延焼阻止線の設定のための消防車両配備の意思決定を支援するため、「署所から出火点までの距離・放水開始までの所要時間」、「設定した延焼阻止線に対する配備した車両の過不足、必要ホース本数」、「水利の必要量」を計算・表示できるようにしている。



図6 火災延焼シミュレーションシステムの設定の流れ

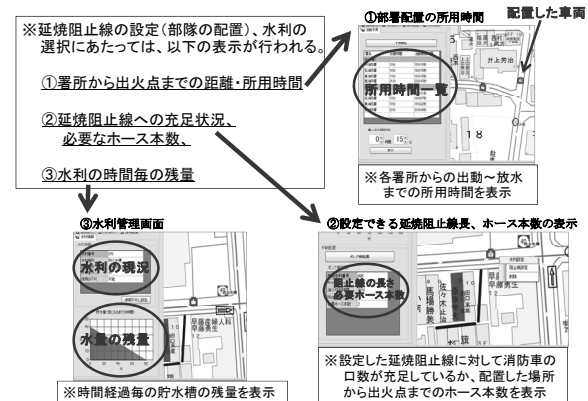


図7 部隊配置の支援機能

②災害対応システム

このシステムは、発生した災害事象に対する消防力の応需状況を管理するものである。現有の消防力のみでなく、外部からの応援部隊が入った場合についての管理も可能となっている。

具体的には、地震発生後、119番等から入手した個々の事案（実被害）に対して、事案の状況や消防車両・部隊の配置・活動状況の管理を行うもので、把握した事案に関する住所や事案の種別、規模等を入力する一方で、消防車両等の必要台数・出動部隊の配置状況等を表示する。また、投入する消防車両等の状況から活動終了時間を予測したり、目的時間までに終了するために必要な追加応援部隊等の予測を行う。

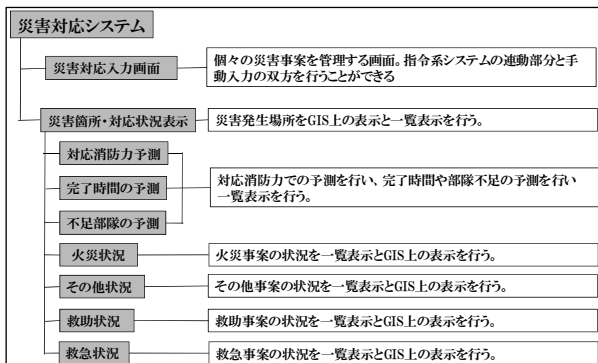


図8 災害対応システムの機能

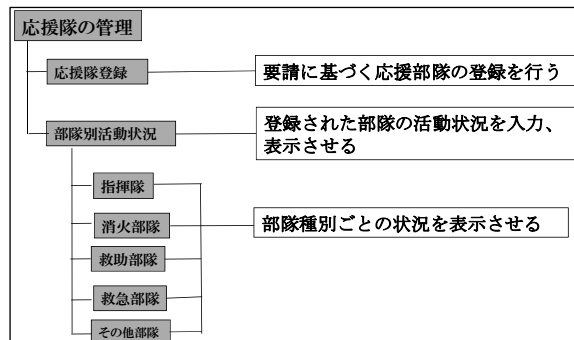


図11 部隊管理システムの機能

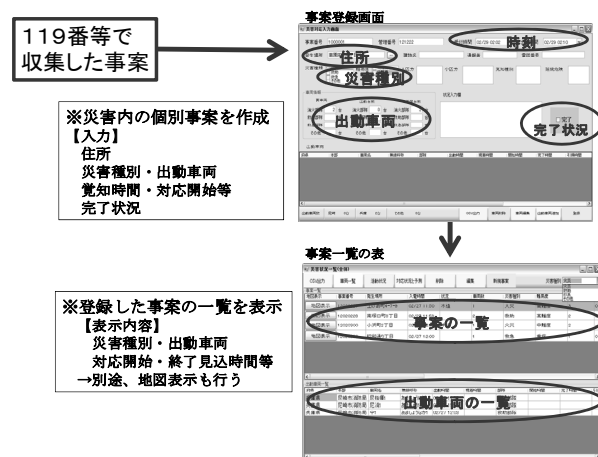


図9 災害対応システムの画面例（登録設定）

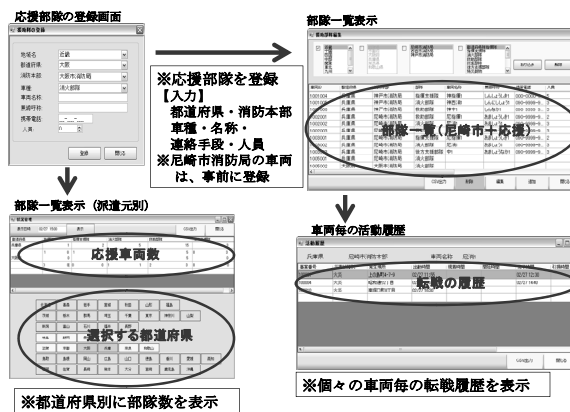


図12 部隊管理システムの画面例

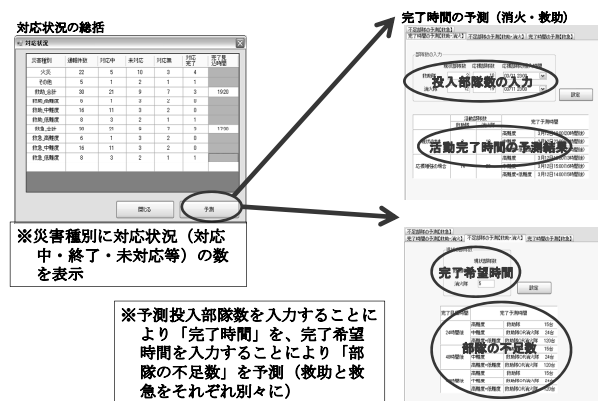


図10 災害対応システムの画面例（活動予測）

③部隊管理システム

部隊管理システムは、尼崎市消防局が所有する消防車両だけでなく、消防団車両や応援派遣された消防車両を含む、車両全体の管理及び個々の車両管理を行うものである。このシステムにおいては、現在活動中の部隊の全体状況及び個々の事案に対処している車両を表示し、さらに、応援部隊の派遣元別、部隊種別ごとの管理や個々の部隊の活動履歴の管理も行う。これにより、応援派遣部隊も含めた消防部隊の全体管理が可能となっている。

4. 図上検討会の実施

4.1 図上検討会の実施状況

本システムの開発にあたり、震災時にどのように開発されたシステムを活用して行くのか、また、震災時における消防活動戦略等を検討するため、被災側消防における消火・救助・救急活動の活動方針、広域応援要請の判断と応援部隊の運用についての図上検討会を、各年毎に計3回実施した。

各図上検討会とも、上町断層の地震を対象とし、尼崎市内の被害と119番通報等の状況を設定したほか、システムが開発された場合、提示される情報についても付与情報として示した。

次に、最終年度（第3回）に実施した図上検討会について示す。第2回までは尼崎市消防局内のみで対応を検討していたが、第3回では、消防部隊の広域応援要請と応援派遣の具体的配置について、応援側消防として県代表消防である神戸市消防局の参加の下、検討を行った。表2に、図上検討会における検討を行うフェーズの区分（時間設定の区切り）を、表3に第3回図上検討会における被害等の設定を示した。

図上検討会では、フェーズ毎に、被災消防側である尼崎市消防局は、「消火・救助・救急活動」及び「応援要請の必要性判断及び手続き・応援部隊等の受入体制」等について検討・発表し、応援消防側である神戸市消防局はこれを受けて、「応援派遣の可能性」、「応援派遣の方法」、「応援部隊の活動方針・内容」について検討・発表した。これをフェーズ毎に繰り返し、全体が終了した時点で、コントローラ

ーやオブザーバーを交えて、フェーズ毎の対応の評価及び対応上の問題点・課題を検討したほか、システムから提示される情報があった場合の効果等について検討した。

表2 図上検討会におけるフェーズ設定

フェーズⅠ：発災～2時間後（発災直後の対応）
フェーズⅡ：2時間後～5時間後（活動本格化）
フェーズⅢ：5時間後～24時間後（広域応援部隊等の到着・活動）
フェーズⅣ：24時間後～72時間後（広域応援の本格化）

表3 図上検討会における設定（抜粋）

<p><前提></p> <p>想定地震：上町断層地震（M7.3）</p> <p>地震発生時刻：冬の平日の昼間13:00</p> <p>気象条件：晴れ・風速2m（北の風）</p> <p><尼崎市内の被害設定></p> <ul style="list-style-type: none"> 出火7件、うち4件延焼、1件工場火災 救出箇所数：約50件 非木造建物倒壊による閉じ込め：5カ所 木造建物倒壊による閉じ込め：35カ所 家具転倒等による閉じ込め：10カ所 救急要請件数：約200件 重症者：約50件 軽症者・中等症者：約150件 医療機関からの搬送要請：7件



図13 図上検討会の様子

4.2 図上検討会における対応状況及びシステム活用による効果の検討

図上検討会における対応経過を表4に示す。表4では、被災地側消防（尼崎市消防局）と応援側消防（神戸市消防局：県代表消防）に分け、フェーズ毎に、想定される対応状況を示している。被災地側消防は、フェーズ1から震災時の特別の対応を取るとともに、応援要請と応援部隊の受入準備を行っている。応援側消防では、自地域の対応と並行して、応援派遣の準備を行っている。

フェーズ2では、被災地側消防では、部隊統制の関係から追加の応援要請を行わなかったが、被害の拡大や対応の長期化に伴って追加の応援要請を行った。一方、応援側消防は、体制が整い次第、応援部隊の派遣を順次行う一方で、被災地消防に対して応援要請の追加についての問い合わせを行うなどの対応をした。

以下、フェーズ3とフェーズ4の対応については、表4を参照されたい。

表4 図上検討会における対応経過（抜粋）

	尼崎消防局 （被災側地消防）	神戸市消防局 （応援側消防）
フェーズ1	<ul style="list-style-type: none"> 市災害対策本部消防本部設置 消火は、延焼危険に応じ3段階に分けて、ポンプ車を出動 救急は重症のみ対応、エレベーター閉じ込め等の人命に大きな影響が無い救助案件には対応しない 消防車両が不足した時点で、応援要請（2段階で要請） 応援受入の準備（受入拠点：小田南公園） 	<ul style="list-style-type: none"> 震災時の消防計画に沿って活動開始（消火活動優先） 県内の被害確認とブロック消防本部への応援可能性問い合わせ 非常参集職員の編成部隊による応援派遣の準備
フェーズ2	<ul style="list-style-type: none"> 消防車両応援部隊の受入れ 追加の応援要請はしない：応援部隊を受け入れても部隊統制が困難なため 	<ul style="list-style-type: none"> 応援要請に対し、派遣部隊を調整（当初は県内応援で対応し、不足分を緊急消防援助隊で対応） 特殊車両・部隊の応援派遣の打診 県内の応援部隊出発（半分は神戸市消防）
フェーズ3	<ul style="list-style-type: none"> 到着応援部隊の活動調整 延焼火災、救助活動に重点を置く 救助部隊と後方支援部隊を応援要請 特殊車両・部隊の応援要請 	<ul style="list-style-type: none"> 県内応援部隊到着 緊急消防援助隊が広域防災センター（三木市）に集結（島根・広島・徳島・香川） 追加の応援部隊派遣 特殊車両・部隊の派遣 交代部隊・後方支援部隊の派遣調整・準備
フェーズ4	<ul style="list-style-type: none"> 延焼箇所に対して重点的に消火活動 延焼地域に避難指示・勧告発令 	<ul style="list-style-type: none"> 延焼箇所に対しての対応調整（空中消火等）

4.3 図上検討会から明らかになった課題

尼崎市消防局においては、震災時初動対応等についてはマニュアルが存在していたが、図上検討会を行うことにより、震災時対応について、部隊編成や配分、震災時運用等を具体的に検討することになった。検討結果を検証する過程で把握された震災時対応上の課題を、応援派遣側も含め、以下に示す。

- ・県内応援及び緊急消防援助隊の部隊派遣調整の実施主体を決める必要がある。（被災消防本部では対応困難であり、県や代表消防本部に依頼）
- ・大枠の医療搬送やDMAT等の派遣・受け入れ調整の実施主体を決める必要がある（県や基幹病院等に依頼）。

- ・延焼地域内や隣接地域に避難所等の重要施設がある場合の消防活動の優先度や作戦を検討する必要がある。
- ・1箇所で多数の負傷者や要救出者が発生するなど、最悪の事態が発生した際の火災と救助の優先順位は異なることを考慮する必要がある。
- ・異なる消防機関が集まることにより、震災時の消防活動方針に差違がある（消火優先か否かなど）ため、活動調整を行う必要がある。
- ・延焼火災は、派遣元別に担当を決め、応援受入側消防を中心に、調整会議を行う必要がある。
- ・消防本部や応援部隊の集結拠点に多数避難者がいる場合の対処について、事前に検討する必要がある。
- ・自組織内の拠点だけでなく、被害状況や道路事情等に応じ、広範囲で応援部隊の集結拠点を事前に検討・調整しておく必要がある。
- ・応援派遣側から被災消防機関への応援部隊受け入れの助言を強化する必要がある。

4.4 本システムを活用した場合の消防戦略等への効果

次に、具体的にどのような局面で本システムが活用可能か、また効果的であるかについて検証した結果、以下のような点が把握された。

- ・初動時に、建物の延焼危険度に応じて車両派遣台数を派遣したものの、危険度が高い地域で火災が同時に多発し、延焼した時など、システム上で必要台数、活動終了時間等の予測を行えば、より効果的な運用が可能となる。
- ・救助・救急活動事案については、被害程度や規模により優先度を判断したが、転戦等の検討にシステムの活用が有効である。
- ・延焼拡大地区における消火活動戦略として、市街地木造密集地区では空中消火や破壊消防等の実施は困難なため、延焼阻止線を張って防御することとしたが、必要とされる消防車両台数を要請できなかった。GIS上で示された延焼予測や、消火可能な水利量等の情報を活用すれば、効果的な延焼阻止をすることができたと考えられる。“予測”することの重要性と、そのためにGISを活用することが有用であることが認識された。
- ・応援派遣側においても、被災地の詳細な被害状況や今後の予測の情報が重要である。単に地名や延焼棟数棟を聞いていただけでは、延焼地域の状況をイメージすることができなかったが、システムから延焼拡大状況（延焼シミュレーション結果等）が示された場合、消火方法の助言をしたり、被災地から断られたとしても、応援派遣が必要であることを説得したり、必要な車両台数を早めに手配したりするなど、応援部隊派遣や消火戦術の意思決定を左右するほどの効果が期待できることが判明した。
- ・道路支障や津波の影響がある場合についても、文字情報等では支障を無視ないしは極小化して見してしまう傾向があるが、システムで地図情報を示し、道路支障等を示して警告することにより、道路支

障による対応の遅れ等を考慮することが可能となる。

一方、延焼シミュレーションを活用する際の留意点として、この予測は通常火災に基づくものであり、倒壊建物の場合の延焼は異なり、延焼予測も変化する可能性があることを考慮する必要があることなどが指摘された。

5. 本システムの平常時活用

本システムは、震災時の消防運用を目的として開発したが、平常時においても、火災危険地区（消火困難地区）の把握や、消防水利の配置計画等にも活用可能である。また、尼崎市消防局管内で実際に発生した大規模火災（市場火災等）における検証作業等も行ったが、延焼シミュレーションの予測結果は、ほぼ実勢を反映したものであることが確認されており、通常の大規模火災時に運用することも可能である。

5.1 重点的消火活動地域の抽出

阪神・淡路大震災時、尼崎市においては、地震発生当日のうちに、記録されただけで2,000件近い通報があったが、実火災情報は駆けつけによるものだったうえ、消防署に近い火災現場へ重点的に消火隊を派遣するなど、バランスを欠いた運用となった。大規模震災時においては、重点的に消火すべき対象を特定し、優先的に消火活動を行う必要があることから、延焼火災危険地域の検討を、延焼シミュレーションシステムを用いて行った。

尼崎市では、「消火活動困難地域」が指定されているが、統一した基準や定量的判断の下で選ばれていなかったため、震災時における延焼危険性に関する定量的な検討を行い、大規模震災時の「重点的消火活動地域」を検討する事とした。まず、想定地震（ここでは上町断層を想定）における震度分布を設定し、これから市内の建物被害と炎上出火件数を地域別（メッシュ別・町丁目別）に想定し、出火危険の高い地域を抽出した。次に、市内における水利状況から、水利が確保できず消火活動が困難になる地域を抽出した。この消火用水利の空白地域抽出にあたっては、「①耐震性貯水槽・河川・プールの同心円の距離から評価する方法」、「②実際の道路距離から評価する方法」、「③非耐震貯水槽も入れた場合」の3ケースについて検討を行った。この結果、①では23箇所、②では19箇所、③では6箇所の空白地域が抽出された。特に③の条件による空白地域については、絶対的に水利が不足し、消火活動上の多大な不利が発生する可能性があることが指摘された。さらに、これら空白地域について、それぞれ延焼火災シミュレーションを行い、延焼の拡大状況を確認した。

5.2 洪水や津波被害の予測及び避難者数予測・避難所の適否確認等

震災時の消防部隊の運用に加え、システムのGIS機能と標高データ・人口データ・避難所の位置データ等を活用することにより、洪水や津波被害の予測と

これによる避難者数予測・避難所の適否の確認等も可能となるなど、幅広い防災対応への活用が可能である。

6. 今後の課題

尼崎市消防局に本システムが開発・設置されたことを受け、平成24年7月末に、尼崎市消防局において、大阪市消防局、神戸市消防局及び阪神地区の消防局・消防本部の職員を招き、本システムの公開と、活用可能性等に関する意見交換会を開催した。この意見交換会の検討結果を踏まえ、課題として把握された代表的なものを以下に示す。

- 本研究では、被害予測機能のロジックの検討は行ったものの、システムとしては本格的に構築できなかった。今後、東日本大震災の調査・研究成果を踏まえ、大規模地震の揺れによる建物被害、出火・延焼メカニズム、津波浸水予測等を反映させ、システム構築を図っていく必要がある。
- 消防部隊の広域運用の面から、防災部門等との連携や、他の消防機関等も含めた広域運用システムを構築する必要がある。
- 今後、東海・東南海・南海地震等南海トラフにおける連動型地震の発生等が危惧されていることから、システムの汎用性について考慮しつつ、早急に消防の広域運用支援システムを構築する必要がある。
- 本システムが設置された尼崎市消防局における運用のあり方、消防職員等教育への活用のあり方及び具体的な活用方策を検討する必要がある。
- 消防職員のノウハウを活用して開発したものだけに、消防職員にとってシステムとの親和性は高いものの、今後さらに、システムの処理時間の短縮と操作性や結果表示の見やすさの向上を図る必要がある。
- 震災時に実際に発生した被害に関するデータ等が入力され、延焼シミュレーション等が実施された結果について、関係機関や各部隊等に伝達する手段を構築する必要がある。
- 今後の各消防局・消防本部への導入可能性について、小規模消防本部ではシステムに関心はあっても、人的・財政的限界から導入は困難ではないかという意見があった。一方、中規模都市では、人的余裕はあったとしても、データ更新の手間や維持管理費用等が課題となることが指摘された。
今後、実際の地震災害等が発生した際の対応を踏まえ、本システムの向上を図り、現場の消防本部で本システムを活用できるよう、普及方策を検討し、普及を図ることなどが大きな課題となっている。

謝 辞

本研究の実施にあたり、総務省消防大学校消防研究センターを始め、神戸市消防局、大阪市消防局、京都市消防局等、各方面の関係機関等に多大なご協力をいただきました。紙面を通じて御礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 尼崎市消防局・尼崎市消防団、「阪神・淡路大震災 尼崎 119 の活動記録」, 1996
- 2) 独立行政法人消防研究所、「消防活動支援システムの開発に関する研究報告書」, 2003

第2 防災力の向上

2. 5 災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリング基本構造の理論的検討

研究課題名	災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリング基本構造の理論的検討
研究実施期間	平成 23 年度
配分額(千円)	3,640 千円
研究代表者	足立 忠晴
所属機関	豊橋技術科学大学
研究体制	産・官・学
研究概要	災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリングの基本構造について力学的観点から検討を行った。災害時には適切な状態で設置できず傾けた設置などが構造力学における初期不整となり耐荷重を低下させる。本研究では、重要でかつ基本的な構造である T ポストショアを主な対象として、ショア構造の上下端付近の剛性、設置角度などが耐荷重に及ぼす影響について有限要素解析により検討を行い、新たな構造を開発するための情報を得ることを目的とした。上端の回転を拘束することで耐荷重の低下を防ぎ、構造の設置が大きく傾いた場合でも耐荷重の低下を著しく抑えることが判明した。したがって T ポストショア構造では上下端の剛性、他の構造では結合部の剛性を高めることが高い耐荷重を得ることが可能である明らかとなった。このような指針に基づいて軽量で可搬性があり、少人数で設置できる新たなショアリング構造を開発する可能性が見いだされた。
研究成果の活用事例	本研究の成果に基づいて可搬性が高く少人数で設置可能なショアリング構造の開発を行っている。
応用の方向性	本研究の成果に基づいて可搬性が高く少人数で設置可能なショアリング構造の開発を行っている。
研究発表の状況等	森本卓也, 足立忠晴, 樋口理宏: 災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリング基本構造の理論的検討. 第 59 回全国消防技術者会議資料, (2011), pp.258-261. 久保雅裕: 倒壊構造物に注意せよ(仮題). 月刊消防(掲載予定).
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	本研究で得られた成果に基づいて、可搬性が高く、少人数でも組み立てることが可能なショアリング構造を開発、設計を行い、プロットタイプで試験を行っている。近いうちに知的財産権の出願および公表し、実用

	化をすすめる.
--	---------

災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリング基本構造の理論的検討

○足立忠晴¹・樋口理宏²・名木野晴暢³・森本卓也⁴

Tadaharu Adachi, Masahiro Higuchi, Harunobu Nagino and Takuya Morimoto

研究課題の要旨: 災害時の倒壊構造物の安定化のためのショアリングの基本構造について力学的観点から検討を行った。災害時においては適切な状態で設置できず傾けた設置などが構造力学における初期不整となり耐荷重を低下させる。本研究では、重要かつ基本的な構造である T ポストショアを主な対象として、ショア構造の初期設置角度とショア構造の形状が耐荷重に及ぼす影響について有限要素解析により検討を行い、新たな構造を開発するための情報を得ることを目的とした。ショア構造として設置が容易で長期保存が可能な金属製のパイプを用いるものとして解析を行った。その結果、初期設置角度が 25 度以上の傾きがあるときには耐荷重の急激な減少が生じることが判明した。パイプ長さにより耐荷重の減少要因、すなわち座屈モードが異なることを明らかにし分類を行い、新たなショアリング構造の開発のための設計データとした。

キーワード: ショアリング構造, 耐荷重, 座屈, T ポストショアリング構造

1. はじめに

近年、新潟県中越沖地震(2004年10月、2007年7月)、岩手・宮城内陸地震(2008年7月)、そして東日本大震災(2011年3月)のように大規模な災害が多発している。地震等の災害により倒壊の危険性が発生した構造物の内部に侵入して救助活動を行う場合、構造物が余震または自重等によりさらなる倒壊を起こす危険性が考えられる。そこで、救援活動中の二次災害を防止し、救助隊員及び要救助者の安全を確保するために、構造物の天井等に支柱を施して安定化させるショアリングという技術が用いられる^{1, 2)}。

これまでの日本では、倒壊構造物を安定化させるための知識と技術が体系的に構築されているとは言い難い状況であり、米国では都市型災害現場、特に「ヘビーレスキュー」と呼ばれる非常に困難な救援活動現場における安全管理の概念がショアリング技術を中心として構築され、救援活動の重要な要素として明確に位置づけられている。ショアリング技術は、国連に設けられている国際捜索救助諮問グループ(INSARAG)が実施する各国救助チームの外部評価分類(IEC)においても、その最上級クラスである「重(Heavy)評価」の必須項目の一つに規定されている¹⁾。今後、東海地震、東南海・南海地震および首都直下地震などの大規模地震の切迫性が指摘されている中で、日本国内においても複雑多様化する災害事象に迅速かつ的確に対処する救助隊員等の安全管理をより確かなものとするためにも、ショアリング技術の確立と導入は非常に重要であるといえる。

ショアリングには木材または救助用支柱器具等の既成の資機材が用いられている。木材の場合、安価で入手でき、現場への搬入も容易である等の長所がある。しかし、長期の保存が困難なことや迅速・適切な設置

には熟練が必要といった短所が存在する。一方、金属製の救助用支柱器具は、設置が素早く容易にでき、長期の保存が可能であるといった長所がある。そこで現在は比較的高価でなく、木材より高い耐荷重が得られる建設現場用の足場として用いられている単管パイプをショアリングに応用することが検討されている。しかし、実際の災害現場では支柱を設置する際に人為的な傾きが少なからず発生するため、支柱の座屈荷重が低下してしまう恐れがある。

本研究では、ショア構造の中でも重要かつ基本的な構造である T ポストショアを主な対象とする。傾いて設置された単管パイプの初期傾斜角と形状が耐荷重(座屈または塑性崩壊)と座屈モードに与える影響を有限要素解析によって検討し、新たなショア構造を開発するにあたっての考察を得ることを目的とした。

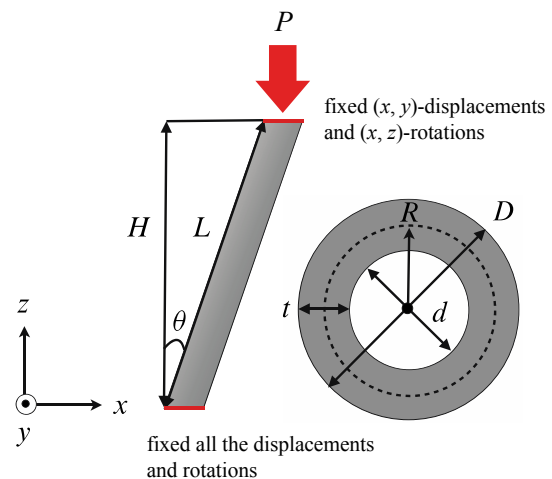


図1 単管パイプの解析モデル

1 豊橋技術科学大学

2 豊橋技術科学大学 (現 金沢大学)

3 大分工業高等専門学校

4 山形大学 (現 島根大学)

有限要素解析

本研究では、汎用有限要素解析ソフトウェアAbaqus / Standard を用いて初期傾斜角を考慮した単管パイプの静的圧縮挙動の有限変形・弾塑性シミュレーション

を行う。図1に示すような初期傾斜角 θ 、長さ L 、肉厚 t 、半径 R の幾何形状を有する単管パイプの下端を完全拘束し、上端は z 方向変位と y 軸まわりの回転を除いて拘束して垂直荷重 P を作用させて圧縮する。座屈後の荷重 P と変位 δ の応答を得るために解法には弧長増分法(修正 Riks 法)を用いる。

単管パイプの材料特性は、ミーゼスの降伏条件に従う等方硬化型の弾塑性体を採用する。材料は木材よりも高い耐荷重が得られる建築現場用の足場の材料 STK400(JIS G3444)を想定して、各材料定数はヤング率 $E=192$ GPa、ポアソン比 $\nu=0.3$ 、降伏応力 $\sigma_Y=250$ MPa とし、硬化則にはひずみが1%のとき $\sigma=400$ MPa となるような2直線硬化則を採用している(図2)。

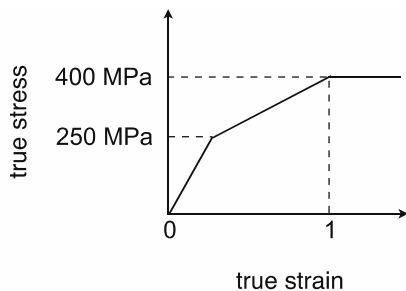


図2 単管パイプの応力-ひずみ関係

要素分割は4節点4辺形厚肉シェル要素で面外せん断変形を考慮した低減積分要素S4Rを用いた。要素分割数に関する収束計算を行った結果から計算円周方向節点数を30とし、長さの比 L/R の変化に対してほぼ正方形の要素形状となるように高さ方向の要素数を $30 \times L/(2\pi R)$ として設定した。

単管パイプの形状は、初期傾斜角 θ 、長さの比 L/R 、および厚さの比 t/R の3つの無次元量で記述できる。パラメータの条件として初期傾斜角度を1度から45度、 L/R を10から1000の範囲として、 $t/R=0.1$ として解析を行った。

2. 結果と議論

3.1 初期傾斜角が耐荷重に及ぼす影響

初期傾斜角が荷重-変位応答と耐荷重に及ぼす影響を図3に示す。長さの比を $L/R=100$ と固定したとき、初期傾斜角が大きくなるほど荷重が減少し、最大の荷重点である耐荷重も減少していることが確認できる。またそれぞれの初期傾斜角における変形形態は局所的な座屈を生じたものとなっており、耐荷重に達した後は急激な荷重の減少が確認できる。図3の差し込み図は、耐荷重に P_c/Et^2 に及ぼす初期傾斜角 θ の影響を示している。 $\theta=25$ 度を境にして、耐荷重の減少率が高くなっていることがわかる。したがって、できる限り初期傾斜角が小さくなるように単管パイプを設置する必要があること

が確認された。

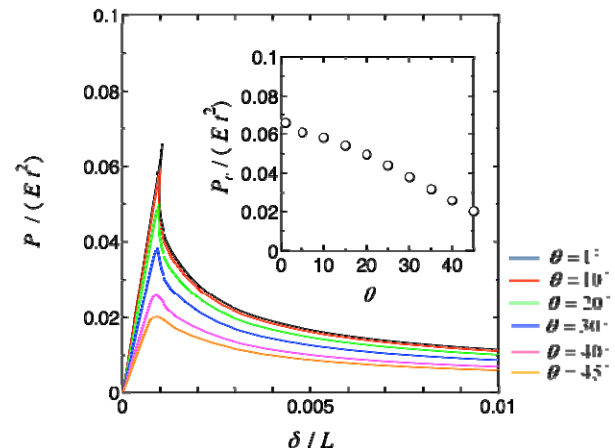


図3 初期傾斜角が荷重-変位応答と臨界座屈荷重に及ぼす影響

3.1 長さの比が耐荷重に及ぼす影響

次に初期傾斜角を $\theta=1$ 度として長さの比 L/R が荷重-変位応答と耐荷重に及ぼす影響をそれぞれ図4(a)と(b)に示す。図4(a)から長さの比 L/R が小さいときは最大荷重点(耐荷重)に達した後も一定値を取り、塑性崩壊を生じていることが確認された。一方、長さの比 L/R が大きいと臨界荷重に達したときに大きく荷重が低下し、弾性座屈を生じたモードとなった。以上から、塑性崩壊→局所座屈→大域座屈の順に耐荷重は高い値をとることが確認された。

長さの比 L/R によって弾性座屈モードか塑性崩壊モードのどちらを生じるのかはオイラー座屈理論にもとづく初等理論によって説明できる。弾性座屈モードを生じる条件は、次式で与えられるオイラーの座屈応力が降伏応力 σ_Y よりも小さいという条件 $\sigma_c < \sigma_Y$ が要求される。

$$\sigma_c = \frac{n\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (1)$$

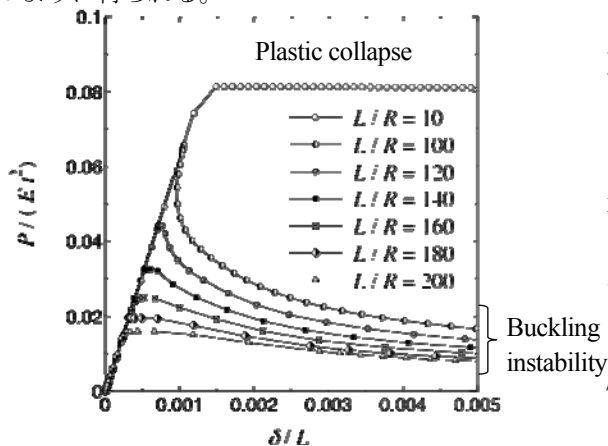
ここで n は端末条件係数、 λ は細長比である。単管パイプ細長比は断面2次半径 k を用いれば

$$\begin{aligned} \lambda &\equiv L/k = 4L/(D^2 + d^2)^{0.5} = \\ &= 2\sqrt{2}(L/R)/[4 + (t/R)^2]^{0.5} \approx \sqrt{2}(L/R) \end{aligned} \quad (2)$$

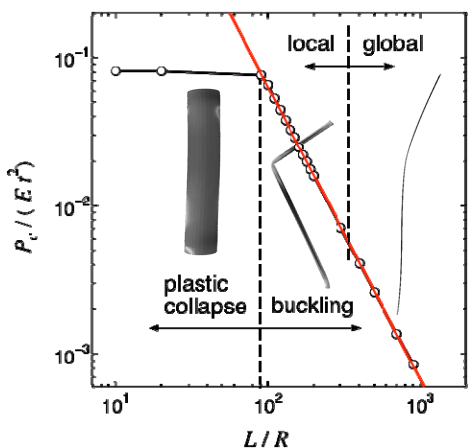
となり、また一端固定・他端回転の端末条件係数 $n=2$ を用いると式(2)は次式のようなになる。

$$\sigma_c = \pi^2 E \left(\frac{L}{R} \right)^{-2} \quad (3)$$

座屈を生じる場合の臨界細長比 λ_c は塑性崩壊を生じる降伏応力と座屈応力が等しいという条件から次式のように得られる。



(a) 荷重-変位応答



(b) 臨界座屈荷重

図4 長さの比 L/R が荷重-変位応答と臨界座屈荷重に及ぼす影響

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{n\pi^2 E}{\sigma_y}} \quad (3)$$

したがって、座屈を生じるための条件は次式で与えられる。

$$\frac{\sigma_y}{E} \left(\frac{L}{R}\right)^2 > \frac{n\pi^2}{2} = \text{const.} \quad (4)$$

本研究の条件下で座屈を生じる長さの比を求めると $L/R > 87$ と求められる。これは図4(b)からも妥当な値であることがわかる。また同図で座屈を生じている領域では $P_c/Et^2 - (L/R)^\alpha$ が成立しており、ここでの指数は $\alpha = -1.97$ となった。これは式(3)における指数 -2 とほぼ等しいことから、オイラー座屈に従っていることが確認できる。

さらに、長さの比によって座屈の中でも局所的に座屈が発生するモードと一般的な弾性座屈が生じるモードが確認された。局所的な座屈の場合は荷重が増加すると座屈を生じて断面形状が変形する局所領域に応力が集中していく。このとき、固定端部よりも一定の距離だけ離れた位置での応力が高くなる。一方、大域的な弾性座屈(オイラー座屈)のモードでは応力は均一に広く分布し、単管パイプの両端部で応力が高くなっている。

図5は長さの比 L/R と初期傾斜角 θ に対する座屈モードの分類を示したものである。いずれのモードも初期傾斜角 θ によらず長さの比によって決定されることがわかる。塑性崩壊モードは長さの比 L/R が10の小さい値であるときに発生し、耐荷重点直後で単管パイプ全体にわたって塑性降伏を生じている。一方、大域的な座屈は耐荷重点直後で弾性座屈によって両端部を支点とした面外変形を生じている。局所塑性座屈モードは、これらの中間的な変形モードに属している。耐荷重点に達すると、面外変形を弾性的に生じ始めるが、直後に局所的な塑性変形によって局所座屈を形成する。この局所的な塑性変形は劇的に耐荷重を低下させるため、座屈後の耐荷構造としての機能を失う。したがって、弾性座屈を生じた直後に局所的な塑性変形を生じ、損傷に至ることから従来は大域的な座屈に大別的に分類されていたモードである。

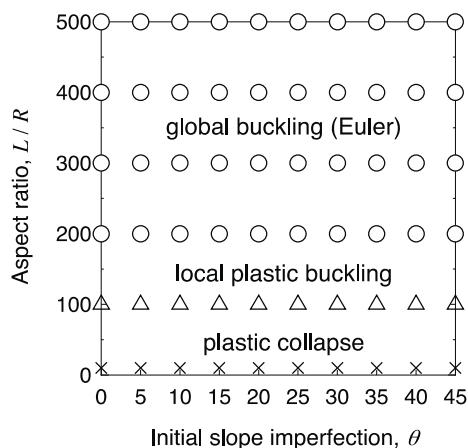


図5 長さの比と初期傾斜角による座屈モードの分類

最も高い耐荷重を得るための単管パイプの形状には、塑性崩壊を生じる長さの比 L/R を採用することか望まれる。しかし、塑性崩壊を生じる現実的なサイズは非常に限定され、さらに非常に短いものとなる。したがって、局所座屈を生じる長さの比 L/R を採用することが現実的である。図5はモードの相違のみを示しているが、より詳細に局所座屈モードを調査すると、初期傾斜角によってその局所化

を生じる位置が異なっている。この点については今後の検討課題である α が、もしこの局所化を生じる位置に及ぼす幾何形状の影響を明らかにできれば、この位置にダブル T ポストショアの結合部を設定することが可能となれば、見かけの長さの比が小さくなるため、さらなる高耐荷重が得られる可能性がある。

3. まとめ

本研究では傾いて設置された単管パイプが圧縮荷重を受けるケースの有限要素解析を行い、パイプの初期傾斜角と形状が座屈荷重および座屈モードに与える影響を検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- 単管パイプの長さの比 L/R が小さい値ほど高耐荷重(座屈または降伏)が得られる。
- 長さの比 L/R と初期傾斜角 θ の値によって塑性崩壊、局所的な座屈、および大域的な弾性座屈(通常のオイラー座屈)のモードに分類される。

4. 今後の研究の展望

本研究によれば、単管パイプの設置には初期設置角度が大きくなるように配慮すれば高い耐荷重を得ることが判明した。しかし、長さの比は限定されることから、様々な高さの構造物に対応することが困難であることも判明した。このため、単なる単管パイプを設置する T ポストショア構造では十分な耐荷重が得られないことも予想される。このため単管パイプを組み合わせた構造を用いて設置角度が大きくなるように安定させて設置する構造が求められるであろう。本研究の得られた結果に得られた単管パイプの力学的特性に基づいて新たなショアリング構造を開発している。

参考文献

- (1) 救助技術の高度化等検討会: 平成 20 年度救助技術の高度化等検討会報告書: 災害現場における倒壊建物等の安定化(ショアリング)について、総務省消防庁、2008。
- (2) 救助技術の高度化等検討会: 平成 21 年度救助技術の高度化等検討会報告書: 木造軸組構法に対するショアリングについて、総務省消防庁、2009。

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 1 階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発

研究課題名	階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発
研究実施期間	平成20年～22年度
配分額(千円)	3,810千円（平成20年度 1,400千円, 平成21年度 1,610千円, 平成23年度 800千円）
研究代表者	岩野 優樹
所属機関	国立明石工業高等専門学校 機械工学科
研究体制	学:明石工業高等専門学校
研究概要	本研究では、プラント施設や地下街をはじめとする施設内の災害において取り残された要救助者の救出時に、消防隊員の救助支援を行う担架システムの開発を目的とする。具体的には、上下にクローラを取り付けた担架を製作し、そのクローラを回転させることで要救助者を持ち上げることなく担架を体の下に滑り込ませる。そして、その担架を消防隊員の意思に従い、階段昇降時には地面側のクローラのみを回転させることで救助活動(搬送時)のパワーアシストを行う担架システムの開発を行った。
研究成果の活用事例	地下鉄サリン事件のような多数の要救助者が発生しつつ、地下街や高層ビルといった要救助者の搬送に労力を要する現場において、この担架システムを利用することで連続した救助活動が行えると考えている。
応用の方向性	老人ホームなどの高齢者施設や病院等に導入することにより、施設の職員や体力のない一般の人であっても、災害時の避難や平常時の移動などに利用できると考える。
研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳:“階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの検証”. 第9回システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.51-52,2008 2. 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳:階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの検討. 第14回ロボティクス・シンポジウム予稿集, pp.534-539,2009 3. 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳:“階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発”. ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 講演論文集, 1A2-H05,2009 4. 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳:“階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発 第2報 小型軽量化に向けての検討”. 第10

	<p>回システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.1294-1295,2009</p> <p>5. 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳:階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発 第 3 報 小型軽量化の効果に対する実験的検証. ロボティクス・メカトロニクス講演会'10 講演論文集,1A2-B26,2010,</p> <p>6. Y.Iwano,K.Osuka,H.Amano:Development of Rescue Support Stretcher System Proceedings of 8th IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics,No9,2010</p> <p>7. 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳:階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発 第 4 報 振動抑制に関する検討. 第 11 回システムインテグレーション部門講演会論文集,pp.1347-1348,2010</p>
知的財産権の出願・登録状況等	特になし
当該研究に対する今後の展開、意見等	本研究で製作したシステムにより, 要救助者(65kg)を持ち上げずに担架へ乗せ, 階段昇降を負担なく行えることが確認できた. 今後は, さらに階段昇降速度を向上させ, 同時に転倒安定性なども踏まえた改良を行っていく.

階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発

○岩野優樹¹
Yuki Iwano

研究課題の要旨：本研究では、プラント施設や地下街をはじめとする施設内の災害において取り残された傷病者の救出時に、消防隊員の救助支援を行う担架システムの開発を目的とする。具体的には、上下にクローラを取り付けた担架を製作し、そのクローラを回転させることで傷病者を持ち上げることなく担架を体の下に滑り込ませる。そして、その担架を消防隊員の意思に従い、階段昇降時には地面側のクローラのみを回転させることで救助活動（搬送時）のパワーアシストを行う担架システムの開発を行った。

キーワード： ダブルクローラ、パワーアシスト、救助用資機材

1. はじめに

近年、都市機能の一極集中や建築技術等の急速な発展に伴い、建築物の高層化および深層化が進められている。こういった状況の中、平成7年3月に発生した地下鉄サリン事件などの地下街災害においては、ほぼ密閉された空間ということから多数の傷病者が発生し、消防庁職員および地下鉄駅関係者による懸命な救助・救急活動が行われた。その際、災害が地下であったため、多くの傷病者を地下から地上へと搬送することが救助の主な活動内容であった。現在、災害の抑制や人命探査などにロボットが用いられてきているが、救助活動に関しては、対象が人であるという取り扱いの困難さから、消防隊員をはじめとする人の力に頼らざるを得ないのが現状である。実際その現場においても、職員や隊員が担架等を活用して人力で救助活動を行った。このような地下街の災害にかぎらず、一度災害が発生した場合、それが人為的であるか否かにかかわらず、多数の傷病者が発生し、その傷病者を一刻も早く安全な場所まで救出しなければならないということは言うまでもない。しかし、その度に傷病者の搬送を消防隊員が人力で行っていたのでは、消防隊員にかかる負担ははかりしれない。

そこで本研究では、地下街や高層ビル、プラント施設をはじめとする施設内の災害において、現場に取り残された傷病者を持ち上げることなく担架へ乗せ、搬送時のパワーアシストを行うことで消防隊員の負担を軽減する救助支援型担架システムの開発を行う。その際、消防隊員は一人で救助活動が行えるということを基本コンセプトとしている。

具体的には、救助活動の際に力を要する傷病者を担架へ乗せる作業を、図.1 に示すような上下両面にクローラベルトを取り付けた担架で傷病者を持ち上げることなく半自動的に担架に乗せることで負担を軽減する。そして、階段昇降での搬送時の負担は下面のクローラでパワーアシストすることにより軽減するという支援機器を開発する。本稿では、

救助支援型担架ロボットの概要を紹介し、階段昇降の可否および降下については既存の機器と比較・考察した結果について述べる。

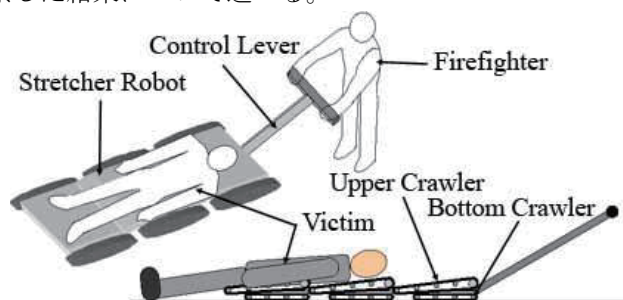


図.1 救助支援型担架システムのイメージ

2. 基本コンセプト

救助支援型ロボットの概要を紹介するに当たり、まず救助活動において消防隊員の負担となっている点について考察する。傷病者が発生した場合、災害現場から安全な場所までの搬送方法を大別すると、以下の2つが挙げられる。

i. 傷病者を背負う・抱きかかえる等の方法で救助隊員が直接搬送

ii. 傷病者を担架に乗せ、数名の隊員で搬送
ここで、それぞれの方法におけるメリットデメリットを考える。まず、iの方法の場合、隊員は傷病者の体重すべてを一人で搬送しなければいけない。そのため、隊員にかかる負担は大きくなる上に隊員より体が大きい・体重が重いといった場合の傷病者の搬送は非常に困難となる。ただし、一人で搬送を行うため、隊員の数が少ない場合においては比較的有効な手段であると考えられる。

一方、iiの場合担架を隊員2名で搬送するため、隊員一人当たりの負担は半分となり、大柄な傷病者であっても搬送は可能となる。しかし、この場合必ず数名の隊員が必要となってくることから、緊急性が高く十分な数の隊員を確保できる保障のない災害現場においては有効であるとは言い切れない。

ただし、これらの考察は救助活動の回数が少ない場合には当てはまるが、地下鉄サリン事件のような、

¹ 明石工業高等専門学校 機械工学科

傷病者が多数で地下と地上を何往復もしなければいけない状況下では、iの方法は通用しないと容易に想像がつく。

以上から、傷病者の搬送活動における救助隊員への負担を軽減させるには、搬送の際に担ぎ上げる動作を除くことが有効であると考えられる。さらに担架への積載の容易さと、搬送の負担が小さい作業方法が必要だといえる。

一方、先行研究として消防庁で図.2に示す傷病者の搬送を行う救出用台車の開発が行われている¹⁾。



図.2 救出用台車

この台車は、駅構内等でゴミの運搬に利用されているクローラ型の階段昇降機に似た形状をしており、クローラの上部には、傷病者を2名乗せることができる構造となっている。この台車を用いた場合と、担架を用いた場合において、地下鉄の地上入口から出発し、ホームの傷病者を救助して地上まで戻ってくるという検証実験を行った結果、担架に比べ台車の所要時間は2倍になった²⁾。ただし、担架は2名が一組となり1名の傷病者を搬送、一方台車は1名で台車を操作し2名を搬送した。当然、両者の疲労度も異なり、台車を用いた場合はすぐにでも再進入可能であったのに対し、担架を用いた場合は早急に再進入することは困難であった。このように、台車(搬送支援機器)を用いた場合、消防隊員の負担軽減に一定の効果があることが実験的に得られている²⁾。ただし、この台車の欠点として、以下の2つが挙げられる。

- ・人力で傷病者を台車へ乗せる必要がある
- ・台車本体が重く、現場への到達に時間を要する

そこで、本研究では消防隊員が一人で救助活動が行え、かつ負担を軽減することができるという従来の台車のメリットを備えつつ、上記のデメリットを改善した救助支援型の担架ロボットの開発を提案する。このロボットは、上下両面にクローラベルトを取り付けた担架を製作することで、上面のクローラを回転させると傷病者を持ち上げることなく担架を体の下に滑り込ませることができる。傷病者を担架の上に乗せた後は、下面のクローラを用いて搬

送のパワーアシストを行う。このロボットにより、一人で担架への移送および傷病者の搬送ができ、消防隊員の負担を軽減できると考える。なお、二つ目のデメリットは、ロボット全体を小型軽量にすることで、消防隊員が背負って現場へ向かい時間短縮を狙うこととする。

3. 階段昇降機構を付加したシステムの開発

まず始めに、本研究で開発した担架システムの外観と諸元を図.3に示す。

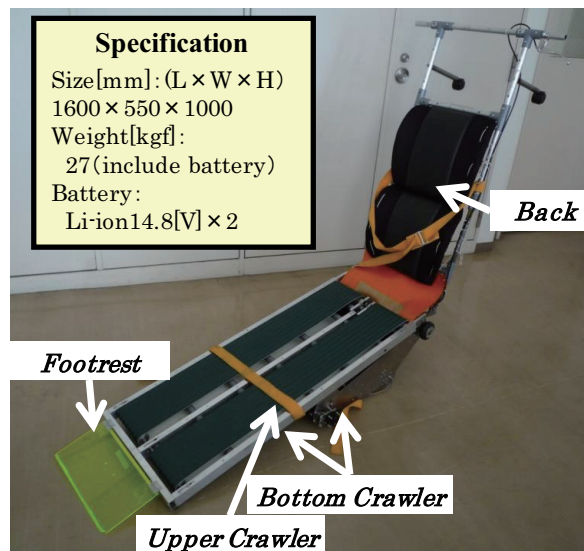


図.3 開発したシステムの外観

3.1 上部クローラの検討

傷病者を担架へ移送する際に、クローラにホコリ等が付着した状態では摩擦抵抗が低下し、滑りが生じるという問題に対し、工場のラインなどで用いられる傾斜搬送ベルトを上部クローラとして用いる。この傾斜搬送ベルトは摩擦係数が高く、ホコリが付着しても滑りにくいという特徴がある。上部クローラの外観と構造を図.4,5に示す。

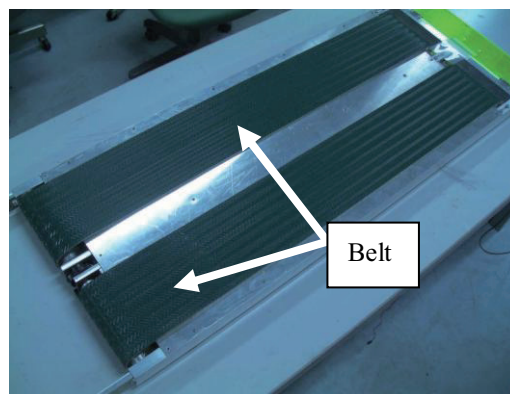


図.4 上部クローラの外観

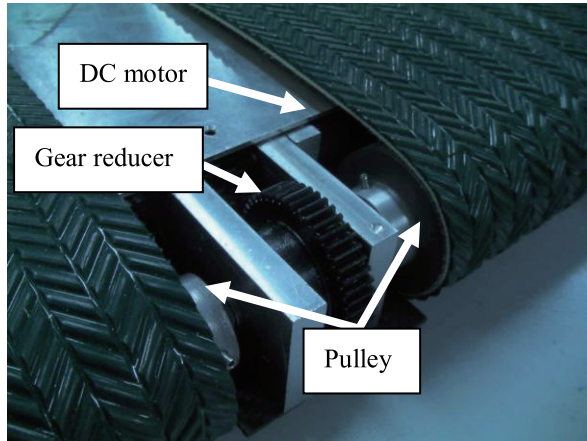


図.5 上部クローラの構造

ベルトは摩擦伝動方式とし、DC モータからの出力を平歯車を介してプーリへと伝達している。摩擦伝動とした理由は、万が一傷病者の服や髪の毛が巻き込まれた際に、過負荷によってプーリとベルトが滑り、事故にならないための安全対策である。

3.2 階段昇降用簡易ユニットの検討

次に、独自開発したクローラ接続型簡易ユニットについて紹介する。市販のクローラベルトではベルトの歯の高さが低く、階段昇降時にクローラが滑り落ちるといった現象が起こる。しかし、歯の高いクローラベルトを用いるとシステム全体が大型化・重量化してしまう。一方、特注のクローラを製作すると費用が高額となる。そこで、本研究では市販のクローラを利用しつつ歯の高さを高くする方法を提案する。提案する簡易ユニットは、図6に示すように「ユニット」「ネジ」「ゴム状突起」の三つの部品で構成される。

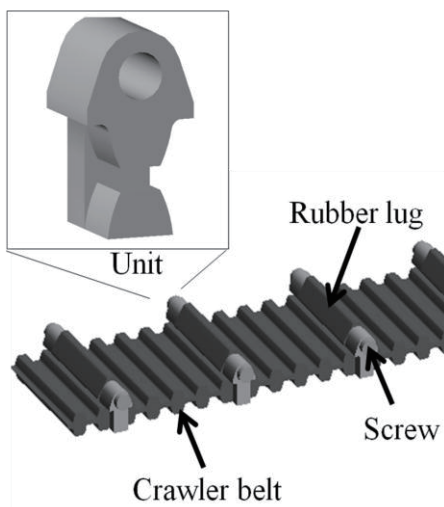


図.6 階段昇降用クローラユニット

取り付け方法は簡単で、まず市販のクローラベルトの任意の歯の部分に両側からユニットをはめ込む。ユニ

ットの形状はクローラの歯の形状と一致するように製作している。そして、ユニット間にゴム製の突起を挟み、最後に両側からネジで固定するというものである。突起は、アルミの棒に熱収縮チューブを巻いた構造になっており、任意に突起の形状・個数・場所を変えることが可能である(図.7参照)。なお、参考までにユニット一つあたりの重量は6[gf]と軽量で、ユニット取り付け前後の歯の高さは、図8に示すように3.05[mm]から8.7[mm]へと増加している。

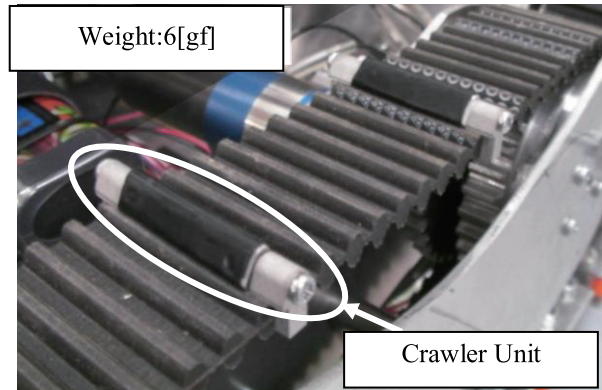


図.7 階段昇降用ユニットの外観

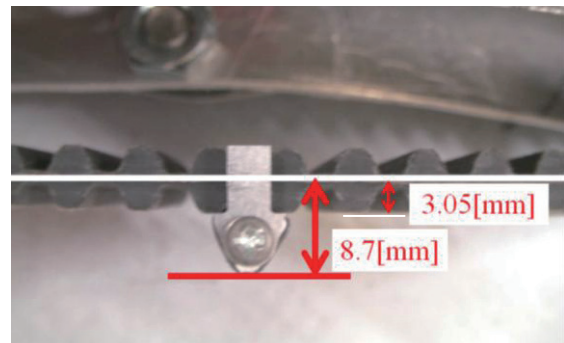


図.8 ユニット取り付け後の様子

3.3 連結部の振動抑制機構の検討

階段昇降用クローラは、階段の昇り始め、降り終わりの急激な角度変化を防止するために、2つのクローラが連結された構造となっている。その連結部がなめらかな角度変化を実現できるように、連結部にロータリダンパを接続する。ロータリダンパとは、回転方向に粘性抵抗を発生させるものであり、パッシブな関節を実現しつつ抵抗を持たせるために利用する。連結部の外観を図9に示す。ロータリダンパは、減速機を介して前後のクローラを連結している。これは、ロータリダンパを連結部に直結すると、クローラ部の重量が勝るため、ロータリダンパの粘性抵抗力が十分発揮できない。そこで、減速機を介することにより粘性力を増幅し、クローラ部の重量との釣り合いを保たせる。もし、クローラ部の重量が増加あるいは減少したとしても、減速比を変えることで対応が可能となる。

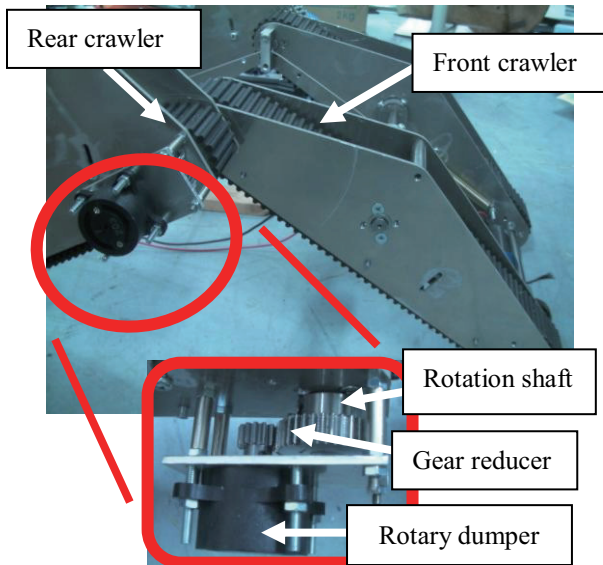


図9 ロータリダンパを接続した連結部

4. 検証実験

本章では、開発した担架システムの機能について実験的に確認する。実験は、次の三つの項目について検証する。

- 傷病者の移送時に摩擦抵抗が低下し、滑りが生じないか
- 階段昇降時に、下部クローラが段差に対して滑りが生じないか
- 階段昇降時に、下部クローラが振動し衝撃が発生するか

まず始めに項目 a について述べる。担架への移送実験は、約 60[kgf]の成人男性を対象に担架への移送および階段の昇降が行えるか確認する。実験の様子を図. 10 に示す。実験の結果、傷病者を持ち上げることなく担架システムに移送することができた。また、意図的にホコリ等が上部クローラに付着した状態においても実験を行い、摩擦抵抗の低下や滑りは発生しなかった。このことから、傾斜搬送ベルトの効果は十分あると考える。

次に、階段の昇降実験により、階段上昇時の滑りおよび、階段降下時の下部クローラの振動が発生するか確認する。実験で使用する階段の諸元を図. 11 に示す。

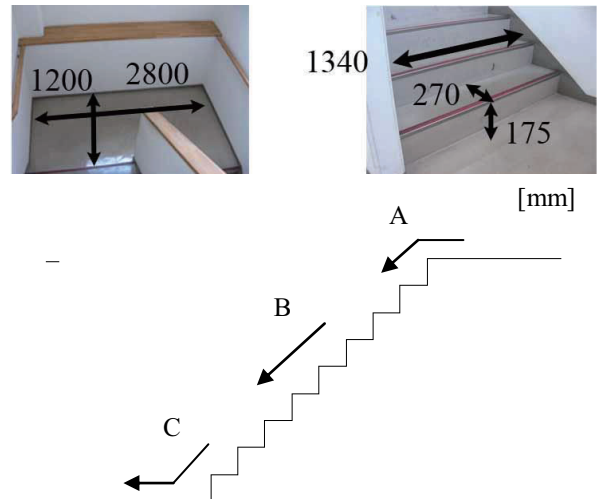


図. 11 昇降実験を行った実験環境

なお、項目 c については市販の階段避難車である Evac+Chair³⁾、CARRYDUN⁴⁾を用いて、階段降下時に機器に取り付けた加速度センサの値を比較する。この実験でも同様に、約 60[kgf]の成人男性を乗せた状態で、階段の降下を行い、その際の鉛直方向の加速度を計測する。図. 11 のように階段降り始め(A)、降りている途中(B)、階段の終りから平地への移行(C)に着目する。階段降下に要した時間とその時の加速度を検討し、開発したシステムの有効性を確認する。クローラの歯の高さが増加したことにより、階段上昇時における滑りが発生することはなかった。その際、定性的ではあるが、従来の担架システムに比べ階段上昇時のパワーアシスト効果が増加し、操作者がほとんど引っ張り上げることなく階段を昇り終えることが確認できた。これは、クローラの歯がしっかりと階段の段差に引っ掛かることで駆動力が発揮されたからと考える。

次に階段降下実験を行った結果を図. 12, 13 に示す。図. 12 は CARRYDUN と Evac+Chair、図. 13 は開発した救助支援型担架システムの結果である。図中に示したように加速度の最大値は、開発したシステムが最も小さくなっていることがわかる。特に、CARRYDUN 等は、(C)における振動が階段降下中で最も大きくなるのに対し、開発した担架システムも同様に(C)の部分で加速度が大きく乱れているがその値は大幅に低下している。

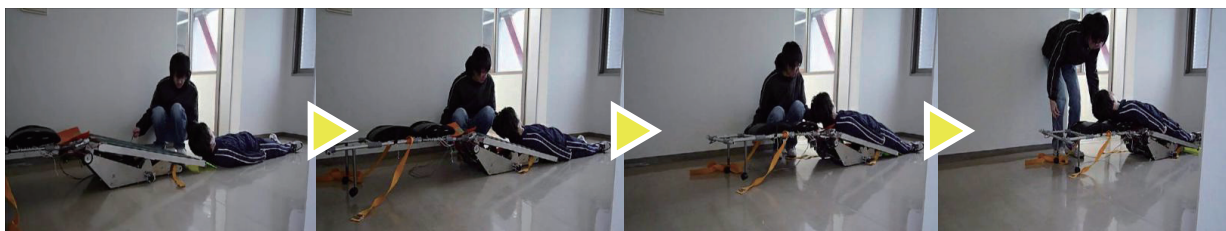


図. 10 担架システムへの移送実験

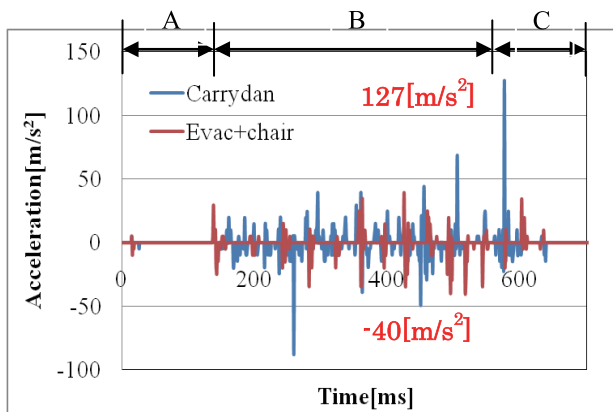


図. 12 CARRYDUN と Evac+chair の実験結果

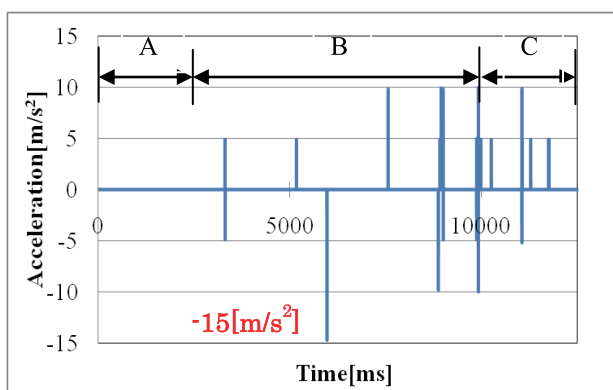


図. 13 担架システムの実験結果

一方、Evac+Chair では CARRYDUN に比べると全体的に加速度の値が低いですが、担架システムと比較すると振動が大きいたことがわかる。これらの点より、ロータリーダンパの粘性力の働きにより、急激な角度変化は発生せず、振動が緩和されているということが確認できた。しかし、図. 12, 13 を見てもわかるように、階段の降下速度は、CARRYDUN と Evac+Chair が約 7[s] であるのに対し、担架システムは 120[s] 近く要している。つまり、降下速度の違いが、加速度の違いになっている可能性もある。担架システムの仕様や安全性の観点から、現状ではこの速度で実験を行わざるを得ないが、逆に CARRYDUN と Evac+Chair の降下速度を非常にゆっくりとしたところ、定性的ではあるが、振動の大きさが大幅に減少したと感ぜられなかった。この点は、今後システムを向上させ、検証を行う。また、ロータリーダンパをクローラ

の連結部に取り付けたことで、クローラの形状が変わり、いく階段の降り終わり (Fig. 11 の(C)の位置) での、走行の抵抗になることを危惧したが、傷病者の重量が作用し、特に問題なく階段へのアプローチが行えた。

最後に実験の様子を図. 14 に示す。階段上昇時と下降時の様子は写真では区別がつかないため、階段上昇時のみ示す。なお、瓦礫などの散乱していない平地では、下部クローラ後方に取り付けたキャストのみを用いることでクローラを用いずに台車のように迅速な搬送を行い、不整地等ではクローラを用いた搬送を行う。

5. おわりに

本研究では、地下街や高層ビル、プラント施設をはじめとする施設内の災害において、現場に取り残された傷病者を持ち上げることなく担架へ乗せ、階段の昇降も含めた搬送時のパワーアシストを行うことで消防隊員の負担を軽減する救助支援型担架システムの開発を行った。そして、60[kgf]の傷病者を乗せた状態で実験を行い、既存の階段降下装置と定性的に比較することでその有効性の検証を行った。その結果、既存の階段降下装置に比べ、最大加速度の値が最も低くなることから本システムの有効性が確認できた。しかし、階段降下時間に関しては、実際に使用するにあたり速いとは言いがたい。今後は、転倒安定性も踏まえて、さらに階段昇降速度を向上させていく。

【参考文献】

- 1) 加藤和利、矢ヶ崎孝、石塚敏久、米田雅一、島倉宏明：多数傷病者救出用台車の研究開発について (第1報)、消防科学研究所報、no.34, pp.70-77, 1995
- 2) 矢ヶ崎孝、石塚敏久、大原義雄、米田雅一、島倉宏明、橋本剛：救出用台車の研究開発について (第2報)、消防科学研究所報、no.35, pp.65-72, 1996
- 3) <http://www.evac-chair.com/>
- 4) <http://www.funayama.co.jp/product/4kizai/4-13carrydun.html>



図. 14 階段上昇実験の様子

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 2 火災原因調査の高度化に資する手法の開発

研究課題名	火災原因調査の高度化に資する手法の開発
研究実施期間	平成 20～22 年度
配分額（千円）	14,817（20 年度） 11,481（21 年度） 12,784（22 年度）
研究代表者	芳野政博
所属機関	松山市消防局
研究体制	官
研究概要	<p>多くの消防本部での火災調査は旧態依然として、科学的な調査が行われていないのが現状である。それと言うのも火災調査は個人情報等が多く秘匿性が高いために消防本部独自で行われ、他の消防本部と情報交換する機会が少ないことにある。結果的に原因究明が限定され、原因が不明若しくは不明確なまま長年の経験則で推定、又は推測で原因判定することもあると思われる。しかし、近年、消防が行う火災調査結果は製品火災や製品事故、或いは保険金訴訟による民事裁判等で提出を求められる機会も多くなり、火災原因の科学的な究明又は裏付けによる調査が必要になっている。</p> <p>今回の研究は、科学的な原因の究明を行なうために高度資機材と呼ばれる機材（X 線透過検査装置、デジタルマイクロスコープ、ガスクロマトグラフ等）の有効活用と、見落としがちな火災現場での試料収去に伴う保存方法について調査研究し、より精度の高い火災調査を目指すものである。</p>
研究成果の活用事例	なし
応用の方向性	高度資機材を有効活用するために、県内、近隣消防本部と火災調査に関する相互応援体制を構築し、火災調査支援を行なう。
キーワード	高度資機材、科学的、火災原因調査、相互応援体制
研究発表の状況等	なし
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	今回紹介した高度資機材と呼ばれる機材は、火災原因調査を科学的な視点から行う上では大変便利な機材である。しかし、これらの機材を一つの消防本部で整備する必要は無く、消防の広域化も視野に入れながら相互応援体制を構築し、多くの消防本部がこれらの機材を有効活用できる体制を模索し、より精度の高い火災調査を目指してほしい。

火災原因調査の高度化に資する手法の開発

○芳野政博¹・逢坂昌人²・花咲智敬³・西村篤史⁴・大森栄樹⁵
Masahiro Yoshino, Masato Osaka, Tomoyuki Hanasaki, Atushi Nishimura, Teruki Omori

研究課題の要旨：近年、電気用品・燃焼機器等の製品は消費者のニーズの多様化に伴い構造機能の複雑化・小型化が顕著であり、これらの製品からの出火原因の究明には、基本的な調査技術はもとより、高度な調査技術の習得が必要となっている。さらに、消費生活用製品安全法により製造者に義務付けられた重大製品事故に火災が位置付けられたことに加え、裁判員制度が平成21年5月から実施されることで、消防機関が行う火災原因調査は科学的な根拠による原因究明が求められている。

本研究では、高度資機材を活用した科学的な原因調査を行い、科学的な根拠や目に見える資料の作成により調査資料の精度を高めるとともに、火災現場における適正な証拠試料の収去などについて研究を行ったものである。

キーワード： 高度資機材、科学的、火災原因調査、相互応援体制

1. はじめに

近年、電気用品や燃焼機器等の製品火災、製品事故の情報は、日常的にマスメディアによって提供され、製造後十数年間使用された製品からの出火、又、海外から輸入された安価な電気用品・燃焼機器からの出火を始め、製造後間もない製品からの出火事例等も報告されている。

これらの製品火災や事故は、一般生活において時間を問わず身近な物から発生し、時には財産・生命まで奪う結果となることから、早急な原因究明と対策が必要となることは言うまでもなく、消防に与えられた火災の原因調査という責務は重大である。

このようなことから、火災原因調査を科学的に実施し、調査資料の有効性を高めるために高度資機材（X線透過検査装置、デジタルマイクロスコープ、ガスクロマトグラフ質量分析装置等）の有効活用と方法について紹介するものである。

便性が飛躍的に向上した一方で、発生する火災の態様は複雑・多様化しており、とりわけ、電気用品や燃焼機器等の製品は構造・機能の複雑化が顕著である。これらの製品に起因する火災の原因究明には高度な鑑識・鑑定技術が不可欠となっており、加えて、消費生活用製品安全法の一部改正に伴い重大製品事故の中に火災が位置付けられたことにより、製品からの出火原因を迅速かつ正確に、また科学的に調査することが求められている。

科学的な調査において、物事を実証的、合理的、体系的に進める中で、実証のための実験・観察は大きなウエイトを占めているが、火災現場から収去したものは、炭化して壊れやすくなっている場合や合成樹脂が固着して分解できない物も少なくない。

例を挙げると、電化製品の使用を立証するためには配線の接続状況を確認できればよく、配線の途中に中間スイッチがある場合や配線と中間スイッチが合成樹脂で固まり分解が困難な場合は、テスターを用いて導通を確認することができる。しかし、消火水によって回路が形成される場合もあることから、テスターのみの確認では使用立証は不十分である。

このような時に、産業分野や医療分野で精密検査やCT検査等に利用されているX線透過検査装置を活用することで、収去物を壊すことなく内部の透過画像が得られ、接点の状況や配線の断線箇所の有無が確認できる。又、分解が難しい物件などは、内部を確認しながら分解を進めることによって、重要な部分を損壊する可能性も大幅に軽減でき、原因判定を行なううえで証拠能力が飛躍的に向上することは言うまでもないことである。



写真1 X線透過検査装置



写真2 デジタルマイクロスコープ



写真3 ガスクロマトグラフ質量分析装置

2. X線透過検査装置の活用

近年、生活様式の多様化に伴い生活用製品の利

〈所属機関名〉

1 松山市消防局

《透過画像による通電立証》



写真4 焼損した3口
テーブルタップ



写真5 透過画像



写真6 ヒータのスイッチ
「入」



写真7 濾過器のスイッ
チ「切」

3. デジタルマイクロスコープの活用

火災調査の鑑識・鑑定において、細かなものを観察する手段として顕微鏡が活用されてきた。肉眼、或いはルーペで確認できないものは、顕微鏡での観察となるが、顕微鏡には大きく分けて光学顕微鏡と電子顕微鏡があり、試料に照射するのが光（可視光線）か電子（電子線）かの違いで分類される。一般的に使用されているのは収差が少ない高性能なレンズを用いた光学顕微鏡やデジタルマイクロスコープなどが、今日では主流となっている。

注) 収差とは、一点から出た光がレンズ・鏡などを通過したり反射したりして像を結ぶ場合に、正確に一点に結ばず、歪んだり、ぼやけたりすること。

火災調査業務において微細なものの観察には主としてルーペや実体顕微鏡が使用されている。しかし、被写界深度が浅いことや写真撮影が難しいなど扱いづらい場合があり、デジタルマイクロスコープを活用する方が有効である。

火災原因調査に携わる職員が容易に使用できることを前提として、参考となるデジタルマイクロスコープと実体顕微鏡の機能比較を次に示す。

表1 デジタルマイクロスコープと実体顕微鏡の相違点

	デジタルマイクロスコープ	実体顕微鏡
機器の構成	本体、カメラ	本体、光源
倍率	高倍率	低倍率
被写界深度	深い	浅い
観察方法	モニタ	肉眼
試料の加工	試料台に乗る大きさに加工が必要	試料台に乗る大きさに加工が必要
光源の必要性	本体に内蔵	必要

画像保存形式	デジタルデータ	主に写真
多人数での同時観察	モニタを介するため可能	不可
各種計測	可	不可

《拡大撮影》



写真8 電気痕を
写真撮影



写真9 電気痕をデジタル
マイクロスコープ
で撮影

4. ガスクロマトグラフ質量分析装置の活用

火災調査をするうえで出火箇所における油分の存在の確認や、燃焼機器に使用されている油分の特定は火災原因を導き出すうえで重要な作業である。特に、放火の可能性が疑われる火災現場では油分の存在を立証できるかどうかで火災原因が左右されると言っても過言ではない。

従来、火災現場で油分の存在を確認する際には、残渣物の臭いからの検出法や、残渣物を水中に投入した際の油膜の形成反応による検出法であった。これらに代わり、近年では科学的な視点に立った検出法として真空法ガス採取器やガスクロマトグラフ、ガスクロマトグラフ質量分析装置が活用されている。真空法ガス採取器は多くの消防本部で活用され、油分検知に必要不可欠な機器となっているが、実際に何の物質か特定することはできない。しかし、複数の消防本部で、真空法ガス採取器の検出結果により陽性反応が認められた後に、ガスクロマトグラフ或いはガスクロマトグラフ質量分析装置による油分分析が実施されている。

これらの検出器や分析機器は、火災現場での使用や残渣物を採取した後の分析時に使用するものであるが、採取してから分析に至るまでの残渣物の保存条件について十分に検討されておらず、保存方法は消防本部や消防職員ごとに様々であり、検知結果や分析結果は火災原因判定に係る重要な資料となることから、採取してから分析に至るまでの保存条件が一定でないために得られる分析結果が異なることは避けなければならない。

今回の研究は、試料の採取から分析に至るまでの保存条件が及ぼす分析結果への影響について、検証を行なったものである。

【1】実験概要

油分の分析結果は、保存条件が大きく影響する可能性があることから、今回、保存条件の大きな

要素となる「保存容器」「保存時間」「保存温度」の3条件を変え、残渣物中に含まれる助燃材の成分の変化を確認し、保存の最適な手段について考察した。

(ア) 保存容器

火災現場において残渣物を採取するには密閉性の高い容器に採取する必要がある。しかし、密閉性の高い容器であれば材質によってコストが高くなることもあり、採取用の保存容器を全ての消防本部が取り揃えているとは限らない。又、保存容器の必要性の認識が低いケースも見られる。このような場合、即席の採取容器としてポリエチレン製やポリプロピレン製の袋が代替品として利用される場合もあり、比較的安価な次の3種の容器による保存を想定した。



写真10 各種保存容器

(左：ごみ袋 中：チャック付袋 右：ガラス瓶)

① ごみ袋

宇陀化成工業株式会社製
製品名：ポリハイ（特厚口）
原材料：ポリエチレン（低密度）
大きさ：650 mm×800 mm
厚さ：0.04 mm
色：黄色半透明

採取状況：模擬残渣を採取後、袋の口を一重に縛り、模擬残渣に含まれる油分の揮発防止を図る。



写真11 ごみ袋

② チャック付袋

株式会社ライオン事務器製
製品名：P-ポケット
原材料：特殊ポリプロピレン
大きさ：210 mm×290 mm
厚さ：0.07 mm

色：無色透明

採取状況：模擬残渣を採取後、袋の口のチャックを閉じ、模擬残渣に含まれる油分の揮発防止を図る。



写真12 チャック付袋

③ ガラス瓶

日本山村硝子株式会社製
製品名：遮光瓶・広口700
原材料：ガラス
大きさ：円筒形、直径90 mm×高さ135 mm
色：茶色

採取状況：模擬残渣を採取後、中栓のはめ込みキャップ及び外栓のスクリーキャップを閉め模擬残渣に含まれる油分の揮発防止を図る。



写真13 ガラス瓶

(イ) 保存時間

火災現場において残渣物を採取し分析に至るまでの時間は、現場の状況や火災調査の進行具合で様々である。火災調査活動を終え採取物が直ちに分析されることは少なく、外部機関への依頼を経て採取物を持ち込み又は送付するなど、ある程度の時間経過の後に分析されるケースが殆どである。

このようなことから、保存時間については以下の時間経過を想定した。

① 6時間

同一本部内で短時間のうちに分析が行われる場合の所要時間

② 24時間

同一本部内の他署からの依頼、或いは分析依頼先が比較的近距离で翌日に分析が行われる場合の所要時間

③ 48時間

分析依頼先が比較的遠方で移送時間等により、2日後に分析が行われる場合の所要時間

④ 72時間

分析依頼先が遠方で移送時間等により、3日後に分析が行われる場合の所要時間

(ウ) 保存温度

火災現場において残渣物を採取し分析されるまでの保存温度は、現場の状況や火災調査の進行具合によって様々である。一般的に残渣物は採取され常温で保存することが多いが、冬季であれば低温で保存され、夏季であれば高温で保存されることとなる。

今回の実験では常温を事務所の室温(23℃)に設定し、常温、冷蔵、常温と冷蔵併用の3種の保存温度を想定した。

① 常温保存(23℃)

火災現場で残渣物を採取後、常温で保存することを想定し、残渣物の採取から分析に至るまで、常温による保存

② 冷蔵保存(2℃)

火災現場で残渣物を採取後、冷蔵で保存することを想定し、残渣物の採取から分析に至るまで、冷蔵による保存

③ 常温保存(23℃) + 冷蔵保存(2℃)

火災現場で残渣物を採取後、調査時は常温で保存し、帰署後冷蔵保存することを想定し、残渣物の採取から分析に至るまで、常温で6時間保存した後、冷蔵による保存

(エ) その他

① 模擬助燃材

放火火災現場では、我々が生活するうえで容易に入手できるガソリンや灯油などが助燃材として使用されることが多い。このようなことから、市内の販売店で流通しているガソリンと灯油を使用することとした。

② 模擬残渣

火災現場で助燃材が使われる場所は、建物の内外を問わず様々である。模擬残渣として一定の吸湿性を持つ、株式会社プロトリーフ製の園芸用の赤玉土を使用し、模擬残渣5% (重量4kg) に対して模擬助燃材(ガソリン50ml、灯油25ml)をそれぞれ数回に分け模擬残渣に加えた。模擬助燃材を加えた後よく攪拌し、100gずつ計量し各種容器に採取した。

【2】 実験結果

ガソリンと灯油のクロマトグラム(標準品)

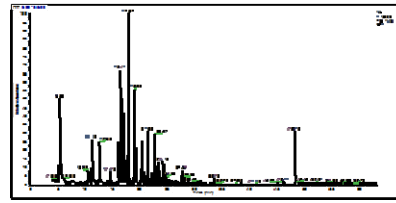


図1 ガソリン

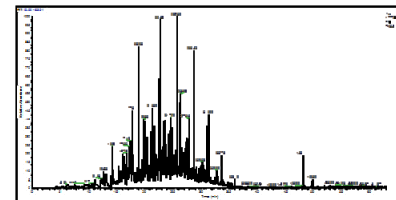


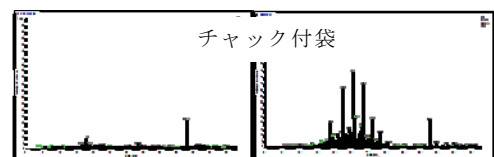
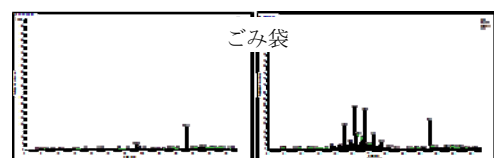
図2 灯油

(ア) 保存容器

残渣物を採取し分析に至るまでの保存容器として、ポリエチレン製ゴミ袋、ポリプロピレン製チャック付袋、ガラス瓶の3種について確認した。

その結果、全ての容器において時間の経過に伴い油分に由来する成分が減少していることが認められた。なかでも、ポリエチレン製ゴミ袋及びポリプロピレン製チャック付袋は、ガラス瓶に比べ油分に由来する成分が失われやすく、ガラス瓶の保存能力が高いことが分かった。

一時的にポリエチレン製ゴミ袋やポリプロピレン製チャック付袋を使用する場合には、保存時間を数時間程度の短時間にとどめ、保存能力の高い容器に移し替えるなどの措置が必要になる。又、ガラス瓶は他の容器に比べ保存能力が高いものの、模擬助燃材の油種にかかわらず、時間の経過に伴い油分に由来する成分が徐々に失われていることから、ガラス瓶で保存している場合であっても、早期に分析を行なうことが望ましいと言える。



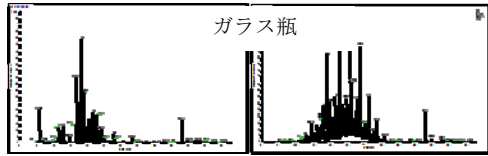


図3 常温保存24時間後の分析結果
(左：ガソリン 右：灯油)

ごみ袋で常温保存した場合、24時間経過後にはガソリンの成分はほぼ失われ、灯油であっても成分は半分以上失われている。対してガラス瓶は24時間後であっても成分の殆どが減少しておらず、油分に由来する成分の失われる速度が緩慢である。

(イ) 保存時間

残渣物を採取し分析に至るまでの保存時間を6時間、24時間、48時間、72時間に設定し、模擬残渣に含まれる油分を確認した。

その結果、今回用いた保存容器の種類や保存温度に影響されるものの、時間の経過に伴い油分に由来する成分が失われることが分かった。

今回設定した保存時間のうち、48時間以降は他の消防本部や他の機関に分析依頼した場合を想定したものであるが、残渣物を採取し分析に至るまでの時間が最長保存時間として設定した72時間を超えることも多い。又、遠方の機関に送付する場合は宅配便の活用が予想されるが、このような場合には輸送時の環境にも配慮する必要がある。

今回使用した保存容器のうち、保存能力が高いガラス瓶であっても、時間経過とともに成分が徐々に失われており、採取から分析にいたるまでの保存時間を短縮する必要があると言える。

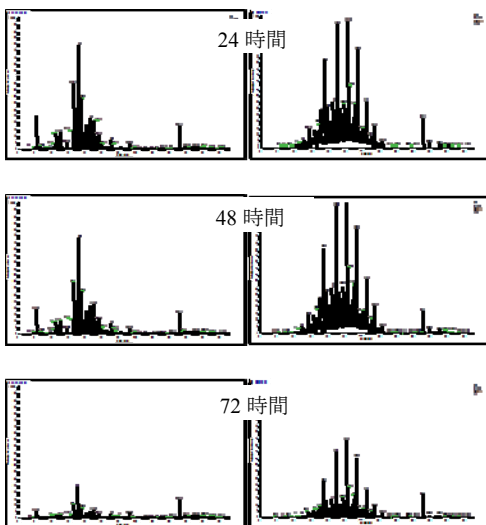


図4 常温保存時のガラス瓶の分析結果
(左：ガソリン 右：灯油)

今回使用した保存容器のうち、保存能力が高いガラス瓶であっても、時間経過とともに成分が徐々に失われている。特に揮発性の高いガソリンの場合、72時間後には明らかに油分に由来する成分が失われており、灯油にあっても同様のことが言える。

(ウ) 保存温度

残渣物を採取し分析に至るまでの保存温度として、常温保存(23℃)、冷蔵保存(2℃)、常温+冷蔵保存での保存を行ない、模擬残渣に含まれる油分を確認した。

その結果、残渣物を採取した後、早い段階で冷蔵保存することで、常温保存に比べ油分に由来する成分の減少を緩慢にする効果があることが分かった。今回確認した保存容器のうち、油分に由来する成分が比較的早く失われるポリエチレン製ごみ袋であっても、わずかであるが成分が残留しており、保存能力の高い容器を用い冷蔵保存することで分析結果の精度が上がると言える。

ただし、火災現場では残渣物を採取後直ちに冷蔵保存できる環境にあるとは言い難く、気温と同じ温度で保存されることになる。冬季であれば今回設定した常温以下での保存となるが、夏季であれば今回設定した常温をはるかに超える温度での保存となる。このような場合はクーラーボックス等を活用することで、採取した残渣物を外気より少しでも低温で保存することが可能となり、分析結果に与える影響が少なくなると言える。

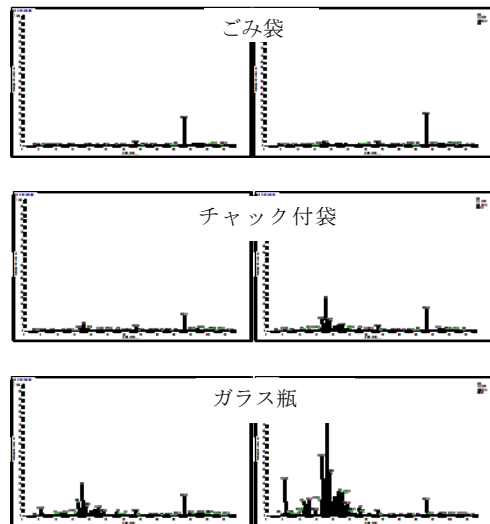


図5 ガソリンを常温、冷蔵保存した場合の72時間後の分析結果
(左：常温保存 右：冷蔵保存)

採取した残渣物を冷蔵保存することで、油分に由来する成分が比較的早く失われるポリエチレン製ごみ袋であっても、わずかではあるが成分が

残留している。

(エ) 実験結果から

それぞれの試料を分析し保存容器、保存時間、保存温度について考察した。

保存容器については、ポリエチレン製のごみ袋では保存温度に関わらず、時間経過に伴い油分に由来する成分の減少が顕著である。又、ポリプロピレン製のチャック付袋はごみ袋に比べ、成分の減少は緩慢であるがガラス瓶の保存能力より劣っており、採取から分析に至る時間が短時間である場合に一時的な保存容器として使用することは可能であるが、保存時間はごく短時間にとどめるべきである。又、適当な容器がない場合、少しでも油分の揮発を防止する目的でごみ袋やチャック付袋を用いることもあろうが、可能な限り早いうちにガラス瓶等の保存能力に優れる容器への移し替えが必要である。

次に保存時間については、時間の経過に伴い油分に由来する成分の減少がいずれの容器でも確認されていることから、早い段階で分析することが重要であることは言うまでもない。しかし、近隣に分析可能な施設がないことから、保存時間が長時間にわたる場合がある。このような場合には分析依頼先への早期の送付や油分成分が失われないように保存する措置が必要になる。具体的な方法として、分析依頼先と分析時の送付方法の事前確認やガラス瓶等の保存能力が高い容器を用い、採取後直ちに冷蔵での保存を心掛けるべきである。

保存温度については、残渣物に含まれる助燃材の揮発は冷蔵で保存することにより緩慢になる。火災現場では、残渣物を採取後直ちに冷蔵保存できる環境にあるとは言い難いが、保冷剤を入れたクーラーボックスや発泡スチロールを活用することで、採取した残渣物を少しでも外気温から遮断し低温で保存することが可能となる。又、分析を他の機関へ依頼する場合の送付環境も考慮すべきである。採取後、冷蔵保存していても送付時に常温に戻れば油分に由来する成分の減少に繋がるため、宅急便であればクール便を活用し、継続して冷蔵保存するべきである。

火災原因調査の現場では、油分が良好な状態で残っている場合が少なく、成分分析の精度を高めるためには、保存容器、保存時間、保存温度を考慮し、分析結果に影響を与えないよう注意するべきである。

5. 真空法ガス採取器と妨害物質の考察

【1】真空法ガス採取器とは

放火時には、容易に入手できる灯油やガソリン等が助燃材として使用されることがある。

真空法ガス採取器は検知対象周辺のガスを一定量吸引し、灯油、ガソリン等に含まれる低沸点

の芳香族化合物の違いによって反応が異なる性質を利用し、検知管内の試薬の変色状況によって、油種の識別を行なうものであり、現在多くの消防本部で活用され、油分検知及び油種の簡易識別に必要な不可欠な機器となっている。

真空法ガス採取器の代表的なものとして、光明理化学工業株式会社製の北川式ガス検知器と、株式会社ガステック社製の検知管式測定器等があるがその仕組みや構造に大差はない。

【2】真空法ガス採取器の使用時の注意点及び妨害物質の存在

真空法ガス採取器は、採取対象となるガスに応じ検知管を選択することで様々な物質の検知が可能となるが、火災原因調査では鉱油油類の検知に用いている。この場合、油種の明確な識別が困難な場合があることに加え、樹脂製品等の燃焼ガスにより試薬が変色することが知られており、試薬の変色のみで助燃材の存在を立証できるものではなく注意が必要である。

【3】実験概要

(ア) 概要

当消防局では、真空法ガス採取器として光明理化学工業株式会社製の北川式ガス検知器を、検知管は同社製の鑑識用石油を使用している。この検知管は火災現場で使用した際の変色と、検知管使用説明書にある変色とが合致しない場合がある。このような場合、油種の識別のみならず、油分の存在の判断に迷うことがある。

検知管の具体的な変色状況は明確にされていないことから、身の回りにあるものを燃焼させ検知し、検知管内の試薬の変色状況を確認した。油分にあつては焼損前と焼損後で検知し、検知管の変色差を確認した。

使用した検知器は以下のとおりである。

光明理化学工業株式会社		
種別	製品名	型式
真空法ガス採取器	北川式ガス検知器	AP-20
検知管	北川式ガス検知管 鑑識用石油	290P II

表2 検知器及び検知管の種類

(イ) 試料の準備

日本製クレシア株式会社製キムワイプ(サイズ120 mm×215 mm)を四つ折りし、液体の試料を中央部に1 cc滴下させた後、さらに半分に折りたたみライターを用いて着火、着火後概ね3分の2程度が燃焼した後に窒息消火した。又、固体の試料はそれぞれ1 g計量し、キムワイプに包み込んだ後にライターを用いて着火し、液体の試料と同様に概ね3分の2が燃焼した後に窒息消火した。

それぞれの試料は消火後直ちに検知することとし、ガスの吸引量は100mlとした。



写真14 北川式ガス検知器及び検知管



写真15 焼損前の検知状況



写真16 試料の燃焼



写真17 焼損後の検知状況

【4】検知管の変色状況

	検知管の発色状況 上段：焼損前 下段：焼損後 ※焼損前に検知し検知管の変色が見られない試料は焼損後の検知結果のみ表示	先端部 拡大
ガソリン		
灯油		
軽油		
着火剤		
天然ゴム (輪ゴム)		
合成樹脂 (発砲スチロール)		
合成樹脂 (スポンジ)		
防虫剤		
コーヒー (粉状)		

図6 試料別の変色状況

① ガソリン

焼損前後で検知管の変色に差が出る。焼損前に比べ焼損後は検知管先端部の黄色に変色する箇所が減少する。

② 灯油

焼損前後の検知管の変色差はわずかである。焼損前に比べ焼損後は検知管先端部の茶色の変色が濃い。

③ 軽油

焼損前後の検知管の変色差はわずかである。焼損前に比べ焼損後は検知管先端部の茶色の変色が濃い。

④ 着火剤

焼損前後とも検知管は変色しない。

⑤ 天然ゴム (輪ゴム)

検知管は検知管先端部に僅かな茶色の変色が見られる。

⑥ 合成樹脂 (発砲スチロール)

検知管に変色は見られない。

⑦ 合成樹脂 (スポンジ)

検知管に変色は見られない。

⑧ 防虫剤

焼損前は検知管の変色が見られないが、焼損後は全体がピンク色に変色し、検知管先端部にわずかな茶色の変色が見られる。

⑨ コーヒー (粉状)

焼損後は検知管先端部にわずかな茶色の変色が見られる。

【5】検知結果から

検知管の変色状況から分かるように、天然ゴムや防虫剤、コーヒー等の身の回りにある物品は焼損後、検知管が変色することが確認できた。

火災現場では関係者に対して焼損前の状況を確認するが、自宅や勤務先であっても収容物の詳細な状況の記憶が曖昧な場合がある。火災現場には検知管を変色させる妨害物質が存在することを念頭に置き、検知管のわずかな変色のみで助燃材が存在すると判断せず、検知管に変色が見られた場合には、ガスクロマトグラフ質量分析計による成分分析を行なう必要がある。

今回は9種類の試料によって、検知管の変色状況を確認したものであるが、今後様々な物品で同様の実験を行い、検知管の変色状況を確認する必要性を感じた。

6. 相互応援体制の構築

【1】県下消防本部の状況

火災原因調査は各消防本部で実施されており、消防本部によって調査体制や調査資機材は様々である。

過去の火災調査担当者会議では、職員の効果的な教育手段や資機材の整備方法について議論が交わされてきたが、個々の消防本部による対応では限界があるとの結論に至っており、今回あらた

めて県下13消防本部にアンケートを取り、火災原因調査における問題点を抽出したところ以下のとおりとなった。

火災調査における相互応援は必要ですか？との問いに対し、13本部中11本部が必要であると回答し、2本部は不必要又はどちらとも言えないとの回答であった。

【必要であるとした理由は？】

- ・現状の技術や経験では大規模火災や特異火災時に対応が困難。
- ・現状の火災調査技術では職員の教育に支障をきたす。
- ・現状の資機材では火災調査に限界がある。

【不必要であるとした理由は？】

- ・現行の体制で円滑に火災原因調査が行われている。
- ・これまで他の消防本部の調査協力が必要であった事例がない。

アンケート結果からは、火災原因調査における相互応援体制の必要性の高さが窺え、必要であるとした理由として、現状の体制での限界を感じている消防本部が多くあることが判明した。

【2】相互応援体制の構築

アンケート結果から火災原因調査における技術や経験の不足、又資機材の整備が最も解決しなければならない課題として挙げられたことから、相互応援体制の構築では職員教育における協力支援と資機材の支援が必要であると考え、消防本部間で職員研修を可能とし、併せて当消防局が今回の研究で整備した資機材の使用を可能とする火災調査相互応援に関する申し合わせを作成し、火災調査担当者による検討会を設けて内容を精査した後、県下消防長会での審議を経て、正式に火災調査相互応援体制を構築した。



写真 18 火災調査担当者における検討会

【3】相互応援体制の今後の課題

全国で同様の相互応援体制を構築していくには、依頼を受ける消防本部側の業務負担の多少も、体制構築を推進する重要な要素となる。当消防局における平成20年からの累積依頼件数は8件（平成23年3月現在）となっている。この依頼件数は、当消防局内で導入資機材を用いた火災原因調査件数約30件と比較すると少なく、現状で

は十分対応可能な業務量であることが判明している。しかし、今後依頼件数の増加も推察できるため、業務負担量の推移を追跡しなければならない。

これまで火災調査における相互応援体制は必要とされてきたが、多くの消防本部で構築されておらず、全国の応援体制を確立している消防本部においても応援の範囲が不明確であることや、火災原因調査で扱っている情報の多くが個人に関するものである等の理由から、十分に機能していない状況であった。今回、我々は有効な火災調査相互応援体制を確立するために、県下の火災調査担当者で構成される検討会を設け、現状の問題点を踏まえ、火災調査相互応援の内容に現場業務や職員教育における協力支援を盛り込んだ。

今後は毎年開催される火災調査担当者会議において、改善すべき事項を検討していくこととし、さらに効果的な応援体制の構築を検討する必要がある。

7. まとめ

本研究では、火災原因調査の鑑識・鑑定で使用する高度資機材の活用について検証したが、当該資機材を単独の消防本部で整備するのは財政的に困難である。県単位又は複数の県で火災調査に関する相互応援体制を構築し、高度資機材を分散整備することにより、科学的な火災調査が可能になると考える。今回紹介した高度資機材の内、X線透過検査装置とデジタルマイクロスコープは細部の観察や分解観察に使用することから、使用頻度が高く、火災調査書類の有効な証拠資料となるのは間違いない。又、ガスクロマトグラフ質量分析装置は、火災現場に存在する油分の成分を明らかにすることで、火災原因に結び付く有力な証拠となる可能性がある。しかし、ガスクロマトグラフ質量分析装置の取扱いについては、分析結果の信頼性を確保する上で、分析機器のメンテナンス並びに分析結果を的確に読み取ることができる人材の育成が重要である。今回の研究結果から分析の前段階である火災現場での試料の収去、保存方法の違いで分析結果に大きな差が生じることが判明した。今回の研究が各消防本部の火災調査の参考になれば幸いである。

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 3 防火水槽吸管投入孔融雪システムの研究開発

研究課題名	防火水槽吸管投入孔融雪システムの研究開発
研究実施期間	平成 21 年度～平成 22 年度
配分額(千円)	2,502,500 円 (平成 21 年度) 195,000 円 (平成 22 年度)
研究代表者	前川義和
所属機関	(株)ホクコン
研究体制	(株)ホクコン 大野市消防本部
研究概要	<p>冬季の火災現場において、積雪により防火水槽の吸管投入孔の位置が特定できないため、迅速に消火活動が行えない状況が生じている。各自治体の消防本部は、地上より1m程度突出した採水口を設置して対応している。しかし、採水口の建設費が高く、防火水槽1基に採水口1ヶ所の設置にとどまっており、緊急時に採水口周辺に障害物があるような場合や十分に吸水できない事態になると、結局もう一つの無処理の吸管投入孔を探さなければならぬことが予想される。この問題を解決するため、地中熱の影響を受けている地下式防火水槽内部の水を熱源とし、無動力で熱移動ができるヒートパイプを用いて吸管投入孔周囲の融雪を行う「防火水槽吸管投入孔融雪システム」を考案した。本システムの効果は、ランニングコストがゼロで安価であるため同程度の建設費で吸管投入孔2ヶ所に設置でき、消火活動時に吸管投入孔の位置を迅速に特定できる他に、人孔鉄蓋と受枠との凍結防止効果も期待でき、消防力の向上を図ることができる。</p>
研究成果の活用事例	<p>これまでに数件の問い合わせを受けており、現在、製品の実用化に向けての準備中である。本研究で得られた成果は、学会発表や専門誌でも紹介されている。</p>
応用の方向性	<p>本研究を行った大野市以外の豪雪地域でもヒートパイプの性能を向上させることにより融雪効果が期待できる。逆に比較的降雪の少ない地域では性能を小さくした安価な製品提供が期待できる。</p>

研究発表の状況等	<p>報道発表</p> <p>1) 福井県庁にて報道発表 平成 22 年 2 月 2 日 誌上掲載</p> <p>2) 前川義和、電気現場技術 電気情報社 平成 22 年 5 月 10 日 関連発表</p> <p>3) 永井二郎・鈴木健介・前川義孝・前川義和、” ヒートパイプを用いた防火水槽融雪システムの検討”、日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集(3)、G0601-3-2、(2009-9)、pp. 23-24.</p> <p>4) 永井二郎・鈴木健介・前川義和・谷口晴紀、” ヒートパイプ BACH を用いた防火水槽融雪システムの検討”、第 47 回日本伝熱シンポジウム講演論文集、I、I131、(2010-5)、pp. 247-248.</p> <p>5) Nagai, N., Suzuki, K., Maegawa, Y., Taniguchi, H., “Snow-Melting System around Steel Top of Underground Fire Cistern using Heat Pipe BACH”, Proc. the ASME/JSME 8th Thermal Engineering Joint Conference, Honolulu, USA, CD-ROM, AJTEC2011-44256, (2011-3), pp. 1-5.</p> <p>6) 永井二郎、「気泡駆動型無動力循環式ヒートパイプの開発と実証展開」地域イノベーションクラスタープログラム(ふくい若狭エリア) 2011.3.18</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>本システムのヒートパイプを有した融雪パネルの製品化を行い、実用化することが、我々の最終目的である。現状の問題点を解決することで、積雪地域に設置されている防火水槽全般に設置、適用できるよう改良を行っていく。</p> <p>本研究における、防火水槽吸管投入孔融雪システムだけでなく、消防活動をより迅速かつ安全に使用できる、効果的な消防設備の開発・改良・提案を行っていく。それは、本融雪システムのように、既存の施設を有効利用しながら解決できる手段でなければならない。その上で利用者の負担が大きくなるよう配慮した研究を行い、世の中に普及させていくべきと考える。</p>

防火水槽吸管投入孔融雪システムの研究開発

○前川義和¹・小林進²
Yoshikazu Maegawa and Susumu Kobayashi

研究課題の要旨：冬季の積雪地域では、火災現場において防火水槽の吸管投入孔位置が特定できず、迅速に消火活動が行えない問題が生じている。そのため、各自治体の消防本部は、地上より1m程度突出した採水口を設置して対応している。しかし、採水口の建設費が高く、防火水槽1基に採水口1ヶ所の設置にとどまっており、緊急時に採水口周辺に障害物があると無処理の吸管投入孔を探さなければならない状況が予想される。この問題を解決するため、地中熱の影響を受けている地下式防火水槽内部の水を熱源とし、無動力で熱移動ができるヒートパイプを用いて吸管投入孔周囲の融雪を行う「防火水槽吸管投入孔融雪システム」を考案した。本システムは安価であるため、同程度の建設費で吸管投入孔2ヶ所に設置でき、消火活動時に吸管投入孔の位置を迅速に特定できる効果がある他、人孔鉄蓋と受枠との凍結防止効果も期待でき、消防力の向上を図ることができる。

キーワード： 防火水槽、吸管投入孔、ヒートパイプ、融雪、凍結防止

1. システム開発の目的・背景

冬季の積雪地域では、火災現場において迅速な消火活動が行えない事象が発生している。その原因として、特に以下の2点が挙げられる。

- ①積雪で防火水槽の吸管投入孔の位置が特定できず、位置の特定に時間を要する。（看板があっても周囲360度のどこの位置か定かでなく、消防署員の記憶に頼られる）
- ②吸管投入孔の鉄蓋が受枠に凍り付いて開閉出来ない。（トーチバーナーで凍結部を融かす必要がある）

対策として、地上に突出した採水口（写真.1）を設置しているが、工事費が高いために防火水槽1基に対して1ヶ所しか設置できない。そのため、採水口付近に路上駐車などの障害物がある場合には、消火活動に支障をきたすケースが発生する。

加えて、採水口だけでは消火が追いつかない場合を想定すると、防火水槽に直接吸管を投入する必要がある。

以上から、採水口に替わる冬季の消火活動が迅速に行える安価な対策が求められており、「吸管投入孔（鉄蓋）の迅速発見」、「受枠の凍結防止」を目的に開発を行った。



写真.1 採水口の設置例

2. システムの概要・特徴

「吸管投入孔（鉄蓋）の迅速発見」、「受枠の凍結防止」の目的を達成する手段として、吸管投入孔周辺を温める融雪システムを考案した。しかし、融雪を行なうためには熱エネルギーが必要になり、電気を用いれば維持費用が発生する。そこで、熱エネルギー供給元として、防火水槽内の水を利用することとした。

地下式の防火水槽内の水であれば、地中熱の影響により冬場であっても凍ることはないため、有効なエネルギー源といえる。加えて無料である。

次に、防火水槽内の熱エネルギーを地上の吸管投入孔周辺へ輸送する必要があるが、その手段として、ヒートパイプを利用する融雪システムとした（図1）。

ヒートパイプは、一般的にパソコンなど機器内部の熱を逃がすために使用されることが多い装置で、動力を使用せず、温度差があれば熱輸送を行なえる。また、電気設備が不要であるため、どこでも設置可能である。温度差だけでヒートパイプが作動し、熱輸送を行なうことから、電気代などが一切発生せず、ランニングコストはゼロである。また、CO₂の排出もないため環境にやさしい融雪システムである。

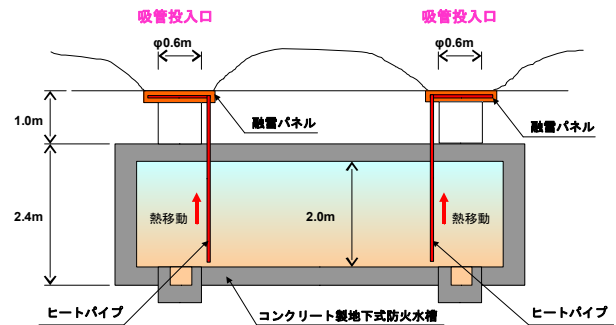


図.1 システム概要図

（所属機関名）

- 1 株式会社 ホクコン
- 2 福井県大野市消防本部

3. 山間部によるフィールド実験

フィールド実験は、山間部の多雪地域を対象とし、福井県大野市に設置されている2次製品防火水槽（内空寸法は幅3.50m×高さ2.38m×長さ4.90m、容量40m³）を利用して実施した。水槽本体は、地表面から60センチ下に埋設され、積雪対策として採水口が設置されていた。

実験装置の設置として、まず防火水槽内の水温や水槽本体の温度データを観測するため、T型熱電対を設置した。（写真.2）



写真.2 防火水槽内における熱伝対の設置様子

融雪を行う吸管投入孔部には、鉄筋コンクリート製で、融雪を行うヒートパイプと吸管投入孔の受枠を埋め込んだ2次製品の融雪パネル（写真.3）を設置した。尚、融雪パネルは、仕様の異なるヒートパイプを埋め込んだ2種類を用意し、融雪パネルの表面温度や受枠の温度、ヒートパイプ表面の温度を確認するために、T型熱電対を取り付けた。



写真.3 融雪パネル

現場での施工は、吸管投入孔の鉄蓋・受枠の撤去と融雪パネル・ヒートパイプの設置で、施工期間は1～2日であった。

その他としては、地中温度の測定装置、融雪状況を撮影するカメラ、観測所を現場に設け、写真.4

に示す状態でフィールド実験を開始した。



写真.4 実験装置の設置状況

4. 融雪状況

気温1.5℃・積雪深30cm時点での吸管投入孔周辺の状況を写真.5に示す。融雪パネル上は、融雪で積雪が無い状態であった。

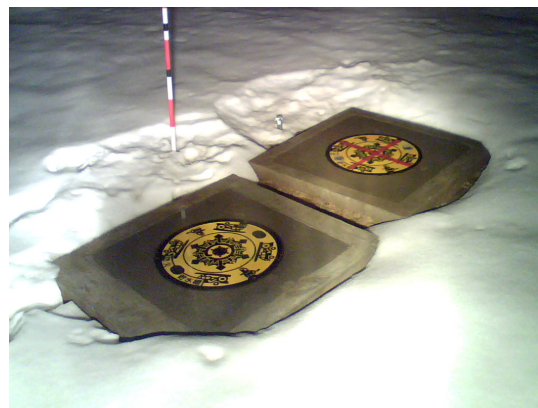


写真.5 2009.12.31 気温1.5℃ 積雪深30cm

気温0.0℃・積雪深42cmの積雪直後の吸管投入孔周辺の状況を写真.6に示す。写真.6に示す通り、吸管投入孔周辺は、積雪が融雪でカマボコ状に減少しており、特に、ヒートパイプの直上には雪がほとんど残っていない状態であった。



写真.6 2009.12.31 気温0℃ 積雪深42cm

気温-3.3℃・積雪深 74cm の積雪直後の吸管投入孔周辺の状況を写真7に示す。当日は断続的な強い降雪があり、融雪パネル上の積雪は周辺より窪んでおり、吸管投入孔がどこにあるかを迅速に見つけることができた。立ち合い頂いた大野市消防本部より、目視による確認には十分との見解であった。

また、融雪パネルの上や鉄蓋の上の雪はシャーベット状の雪で凍結はしていなかった。



写真.7 2010.1.7 気温 -3.3℃ 積雪深 74cm

5. 温度分布状況

本フィールド実験の期間中に採取した温度データを用いて、システムの効果確認を行った。

- 1) 防火水槽内の水温と地中温度および外気温の関係を図.2に示す。冬季の水槽内の水温と外気温の差は5℃以上であった。

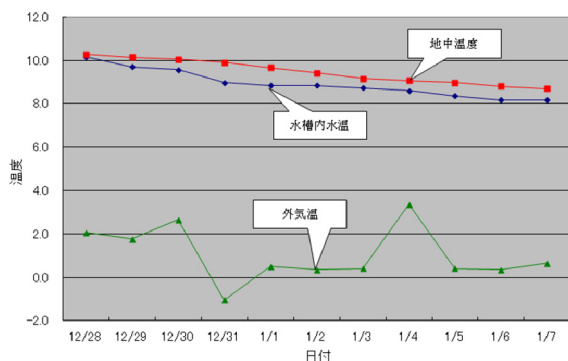


図.2 水温、地中温度、外気温の関係

- 2) 吸管投入孔上部における受枠の温度と外気温の関係を図.3に示す。外気温がマイナスになっても受枠の急激な温度変化は見られず、温度は2℃以上であった。
- 3) 年間を通じた水槽内の水温および受枠の温度分布を図.4に示す。

受枠の最低温度	2010年2月	0.4℃
水槽内の水温	2009年12月	10.0℃
	2010年12月	12.1℃

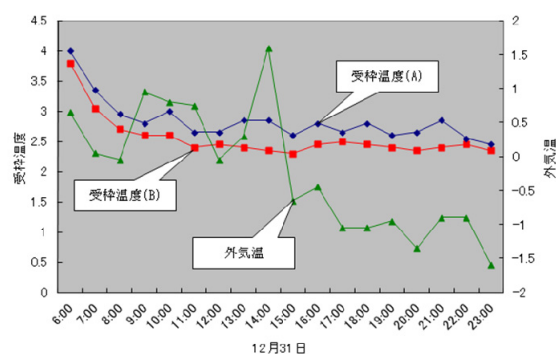


図.3 受枠温度と外気温の関係

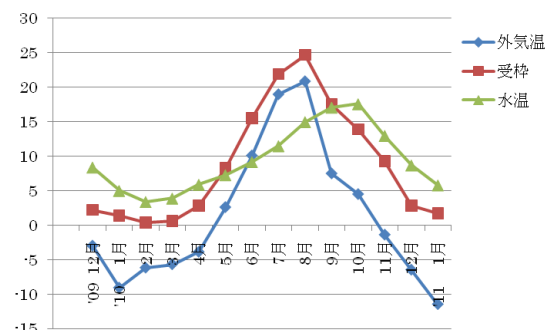


図.4 水温と受枠温度(年間)

以上より、フィールド実験で実証できた項目を以下に示す。

- ①冬期間を通じて水槽内の水温は外気温より高く、ヒートパイプが作動する環境にある。
- ②外気温が-11.5℃でも受枠は凍結しない。
- ③熱源(水槽内の水)における年間の熱収支はマイナスとならず、永久的に機能を維持できる。

6. 今後の展望と課題

本研究により、山間部における本融雪システムの有効性および「吸管投入孔(鉄蓋)の迅速発見」、「受枠の凍結防止」を満足するシステムであることが実証できた。

今後は、シミュレーションプログラムを確立し、様々な気象条件に対する本融雪システムが有効性を確認してゆくと共に、全ての積雪地域に適用できるよう益々の性能向上に努めてゆく所存である。

また、本現場実験を踏まえて本融雪システムの商品化を行い、対応可能な積雪地域の消防・消火活動に貢献してゆく所存である。

最後に、本融雪システムで判明した防火水槽の貯水の熱エネルギーの有効利用や、消防・消火活動へ貢献できるよう製品開発を行っていく所存である。

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3.4 安全な消火活動のためのショアリング技術の開発

研究課題名	安全な消火活動のためのショアリング技術の開発
研究実施期間	平成21年度～平成22年度（2年間）
配分額（千円）	H 21年度 12,848千円 H 22年度 12,883千円
研究代表者	城戸將江
所属機関	北九州市立大学
研究体制	産，官，学
研究概要	<p>火災に伴い木造建物の壁や2階部分が崩落し、消火活動中の消防職員が負傷したり命を落したりする事故が発生している。本研究では、消火活動へのショアリングの導入をめざし、木造2階建て建築物を対象とし、2階床崩落に関する基礎的研究を行い、崩落予測のための機器開発、ショアリング方法の提案を行った。2階床崩落に関して、木造実大梁実験ならびに燃焼させた木造柱梁接合部の実験を行い、炭化による耐力への影響を示した。崩落予測のための機器として火災現場監視カメラを製作した。ショアリングの資機材として適切な材質等について検討を行い、材質に応じてショアリングの設置時期を提案した。6畳の実大木造小屋の載荷実験では、火災現場監視カメラを用い危険度判定を行い、危険と判断された後パイプサポートによるショアリングを行い、実用性の検討を行った。また、同実験より建築構造的な観点から、ショアリングの設置が、効果的であることを示した。</p>
研究成果の活用事例	今のところは、研究室内での成果にとどまっているが、研究に対して幅広く意見を得、それらを基に発展させられるよう、学会発表、展示等を積極的に行っている。
応用の方向性	<p>まず、火災現場監視カメラについては、ロボット自体の小型化が必要である。また、ロボットの操作にノートPCを使用しているが、これも消火活動の現場に持ち込むのは難しいため、操作性の良いデバイス（タブレット端末）に変更するなど行うことで、実用性のある装置となるものと期待される。さらにすでに装備している無線により、火災現場以外のところに状況を送信するなどできるようなると考えている。</p>
研究発表の状況等	<p>【展示発表】</p> <p>1) 城戸將江：安全な消火活動のためのショアリング技術の開発，第59回全国消防技術者会議，pp.245-250，2011.10</p> <p>【口頭発表】</p> <p>1) 史貴秋，城戸將江：火災による炭化を想定した切欠きのある木造実大梁実験，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp.643-644，2012.9</p>

	<p>2) 山野悠平, 城戸將江: 火災後を想定した切り欠きのある木造梁の構造性能 その1: 実大梁実験, 日本建築学会研究報告九州支部, pp. 705-708, 2011. 03</p> <p>3) 史貴秋, 城戸將江: 火災後を想定した切り欠きのある木造梁の構造性能 その2: たわみの評価, 日本建築学会研究報告九州支部, pp. 705-708, 2011. 03</p> <p>4) 荒瀬直樹, 城戸將江, 三根直人: 火事で焼け残った木造軸組構法の仕口部分の耐力評価: 管柱について, 日本建築学会研究報告九州支部, pp. 701-704, 2011. 03</p> <p>5) 城戸將江: 安全な消火活動のためのショアリング技術に関する研究, International Conference on Fire and Environmental Safety, pp. 73-82, 2010. 10</p> <p>6) 坂田絢, 城戸將江, 三根直人: 火事で焼け残った木造軸組構法の仕口部分の耐力について, 日本建築学会研究報告九州支部, pp. 393-392, 2010. 03</p>
<p>知的財産権の出願登録状況等</p>	<p>特になし</p>
<p>当該研究に対する今後の展開、意見等</p>	<p>製作した火災現場監視カメラは、現場で使用するにはやや大きかった。今後は、小型化を図る、あるいは計測装置の見直しを行いたい。また、操作性を高めるために、現在ノートPCにて操作しているところを他のデバイスを利用できないか検討したい。危険度判定については、よりよい判定基準について検討を進めたい。</p>

安全な消火活動のためのショアリング技術の開発

○城戸 將江*

Masae Kido

研究成果の要旨: 火災に伴い木造建物の壁や2階部分が崩落し、消火活動中の消防職員が負傷したり命を落したりする事故が発生している。本研究では、消火活動へのショアリングの導入をめざし、木造2階建て建築物を対象とし、2階床崩落に関する基礎的研究を行い、崩落予測のための機器開発、ショアリング方法の提案を行った。2階床崩落に関して、木造実大梁実験ならびに燃焼させた木造柱梁接合部の実験を行い、炭化による耐力への影響を示した。崩落予測のための機器として火災現場監視カメラを製作した。ショアリングの資機材として適切な材質等について検討を行い、材質に応じてショアリングの設置時期を提案した。6畳の実大木造小屋の載荷実験では、火災現場監視カメラを用い、危険度判定を行い、危険と判断された後パイプサポートによるショアリングを行い、実用性の検討を行った。また、同実験より建築構造的な観点から、ショアリングの設置が、効果的であることを示した。

キーワード: 崩落, 木質構造, 2階建住宅, 倒壊, 安定化技術

1. はじめに

1.1 研究背景と研究目的

消火活動の際に、消防隊員の安全を確保することは非常に重要である。しかしながら、木造建築物について見ると、火災に伴い建物の壁や2階部分が崩落し、消火活動中の消防職員が負傷したり命を落したりする事故が発生している。

現在、「木造建築物の火災特性を踏まえた消防活動の安全管理対策」¹⁾や「火災現場における木造住宅の2階床落下原因に関する調査研究について」²⁾など、消防活動の際の安全を確保するための対策や、2階床の落下原因についての研究報告もあり、注意すべき点なども明らかになりつつある。火災現場では緊迫した状態で危険な環境の中で作業が行われており、その中でも比較的簡便に安全対策が行えるようにすることが望まれる。

ショアリングとは、地震等により倒壊危険が生じた建物の安定化を図るための技術であり、アメリカ等では実際の災害現場で導入されている。救助活動は、倒壊の危険性があっても建物内に近付き、進入して行わなければならない場合もあり、そのような状況で建物内部に進入し活動を行う際に、ショアリングにより2次災害を防止しようとするものである。

本研究は、ショアリングを消火活動に導入できるよう、木造2階建て建築物を対象とし、2階床崩落危険性の要因の追及に関する基礎的研究を行い、崩落予測のための機器開発、ショアリング方法の提案を、行った。

1.2 研究概要

本研究では、火災現場において消防隊員が建物内部に進入する際の安全を確保することを目的としているが、特に最盛期以後の進入を想定している。なお、研究項目としては、大きく3つに分けられる。

1) 2階崩落の原因に関する研究

2) 火災を受けた建物内部の部材状況の測定 (火災現場監視カメラの開発)

3) ショアリング技術の検討および開発

1.3 研究体制

本研究は、「安全な消火活動のためのショアリング」プロジェクト委員会により行い、北九州市消防局から10名、北九州市立大学から3名、さらに、ショアリング技術オブザーバーとして在日米軍統合消防局佐世保署訓練課に所属する草場秀幸氏、建築構造設計を専門とする鹿島九州支店に所属する尾宮洋一氏による共同研究である。

2. 木造2階建て住宅における2階床崩落原因について

2.1 木造梁の構造性能

過去の2階床崩落事故の要因が2階床梁の折損であったことから、本研究でも2階床梁に着目して研究を行った。具体的には、1) 木造実大梁実験を行い、梁部材の耐力と変形の関係について示し、2) 放水等による荷重の増加、炭化による部材断面の減少、を考慮した梁に生じる応力とたわみについて算定した。ここでは、実験の結果についてのみ示す。

図1に、実大梁実験の様子と荷重条件を示している。試験体は、a) 梁に切り欠きと呼ばれる断面欠損が無い場合、b) 断面欠損がある場合 (基準)、c) 断面欠損がありかつ断面が炭化により焼け細ったと想定した場合 (細) の3種類である。図2に基準試験体を示す。図に示す通り、切欠きは梁中央とその左右910mmの位置に設けている。細試験体は、基準試験体と比較して上下左右がそれぞれ5mm炭化したと想定し、梁せい・梁幅共に10mm断面を小さくしている。図3に実験結果のうち、基準試験体と細試験体の荷重 P と支点間距離 l と変位 δ の比(ここでは sl を部材角と呼ぶ)を示す。また、表1に実験結果一覧を示す。

1 北九州市立大学 国際環境工学部 建築デザイン学科

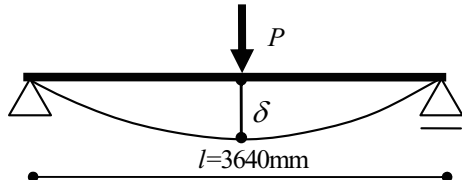
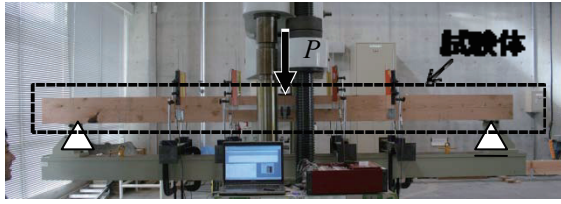
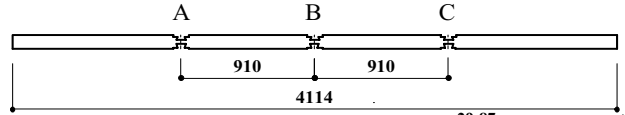
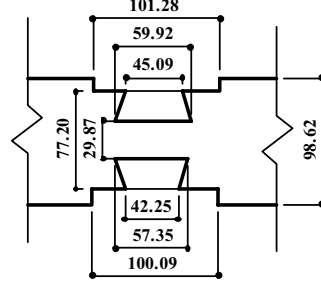


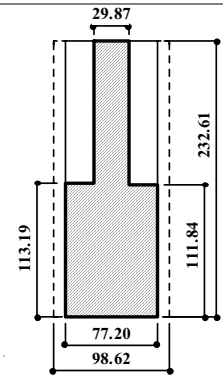
図1 実験の様子と荷重条件



(a)試験体全体平面



(b)切り欠き B 平面図



(c)切り欠き B 断面図

図2 基準-1 試験体(単位はすべて mm)

表1 実験結果

試験体名	最大荷重 (kN)	最大荷重平均 (kN)	最大荷重時の変位 (mm)	最大荷重時の変位平均 (mm)
パイロット	44.1	44.1	67.4	67.4
無-1	41.6	44.5	66.5	62.7
無-2	39.9		46.9	
無-3	52.1		74.6	
基準1	20.9	21.8	53.2	66.9
基準2	24.7		85.1	
基準3	19.9		62.4	
細-1	22.3	20.7	82.4	72.1
細-2	16.8		40.6	
細-3	23.2		93.2	

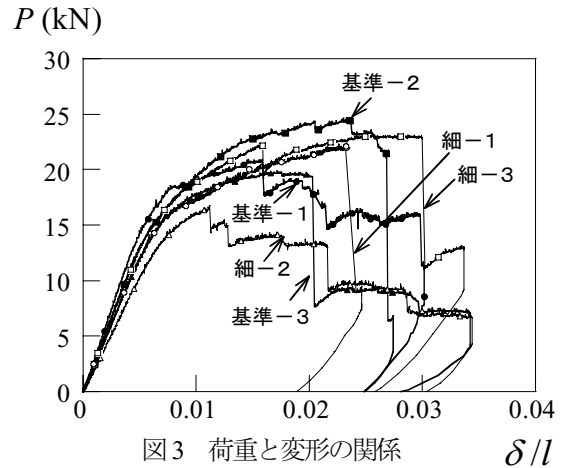


図3 荷重と変形の関係

図3によれば、基準試験体と細試験体には荷重変形関係に特徴的な差異は見られなかった。表1に示す通り最大荷重の平均値は、基準試験体が21.8kN、細試験体が20.7kNであり、基準試験体のほうがやや大きかった。また、図3によればいずれの試験体も最大荷重に達した後、急激に荷重が低下する傾向にある。そのときの変位 δ の平均

均は基準試験体で66.9mm、細試験体で72.1mmであり、部材角としては1/54、1/50となる。すなわち、この程度の部材角になると梁の耐力が急激に低下し、2階床崩落につながる可能性があるといえる。

2.2 木造柱梁接合部の耐力に及ぼす炭化深度の影響

柱梁接合部は木造骨組において重要な部位である。そ



図4 実験後の写真

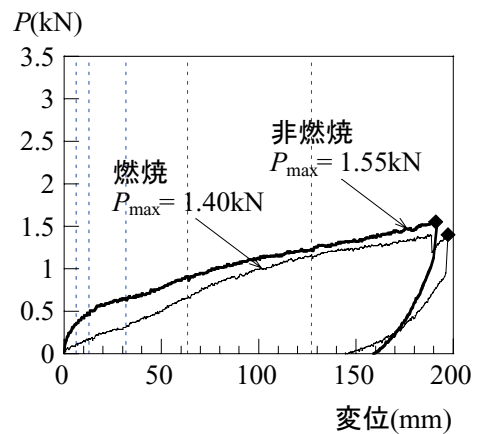
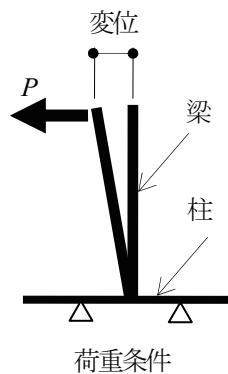


図5 荷重条件と実験結果の例

ここで、柱梁接合部を取り出した試験体を製作し、炭化する前と炭化した後でどの程度耐力が減少するかを実験的に検証することとした。実験パラメータとして、1階と2階の柱が一本でつながっている「通し柱」タイプと1階と2階の柱がつながっていない「管柱」タイプを設定し、それぞれに対し金物を使用しない伝統構法のタイプと金物を使用するプレカット構法のタイプを製作した。また、接合部を燃焼させないもの、燃焼させたものの両方を製作した。燃焼の方法は、バーナーを用いた手作業による方法と、小型耐火炉を使用する方法の2種類である。小型耐火炉を使用した試験体については、炭化深度がおおむね10mmとなるように燃焼時間を決定した。各タイプの試験体を3体ずつ製作し、荷重実験を行った。

図4、図5にそれぞれ実験終了後の試験体の写真と実験結果の一例を示している。すべての試験体について値は示していないが、通し柱でプレカットタイプの場合、耐力の低下率は平均して35%であり、伝統構法タイプの場合、耐力の低下率は平均して15%であった。管柱でプレカットタイプの場合、耐力の低下率は平均して40%であり、伝統構法タイプの場合、5%であった。

3. 火災現場監視カメラ 危険度判定の考え方と方法

部材の焼け細りの状況と荷重の変化を知ることができれば、崩落危険予測ができると思われるが、それらを知ることが極めて困難である。そこで、梁の変形に着目し崩落予測に役立てることとした。

第2章で示したように、木造の梁が折損するときの変形量は計算や実験により知ることができる。レーザー距離計を用いて梁の変形量を自動的に計測できる火災現場監視カメラを製作した。図6に火災現場監視カメラの写真を示す。自走式ロボットに、ビデオカメラとレーザー距離計を取り付けた雲台を載せている(図6(a)参照)。雲台は水平方向鉛直方向に回転できる。制御は、無線により離れ、PCにて行うことができる(図6(b)参照)。

危険度判定は第2章で述べた部材角 δl を用いて行う。計測および危険度判定は次の手順で行う。

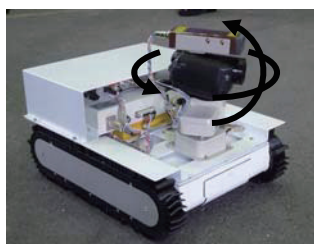
1) 部屋の中で最も長い距離を計測する(l を計測する)。
2) 部屋の中央やその他計測したい点を計測点として登録する。

3) その後は、自動的に計測点の天井からの高さの変化量(d)を計測することができ、設定した部材角 δl に到達すると、PC画面上に退避のメッセージが表示され警告音が鳴る(図6(c)参照)。

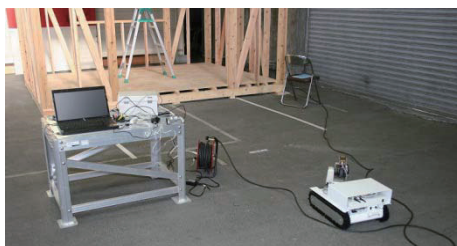
危険度判定を行うための部材角の数値をいくつにするかは、第2章で示した条件以外についても今後さらに検討し、決定する必要がある。

4. ショアリング方法に関する検討

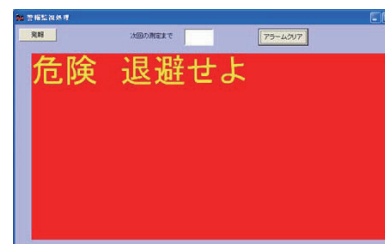
4種類の資機材について検討を行った。米国等で導入されている木材、災害時に使用されているレスキューサポートシステム(RSS)、建築現場の足場として使用されているパイプサポート、同じく建築現場等で使用されている水圧サポートについて、資機材に要求される安全性(Safety)、作業の簡単さ(Simplicity)、迅速性(Speed)の3つの性能(3つのS)と、コストの面から検討を行った。表2にその検討結果を示す。パイプサポートは、災害現



(a) 計測用ロボット



(b) 制御用PCと計測用ロボット



(c) 警告表示

図6 火災現場監視カメラ

表2 各種ショアリング方法の検討

	安全性 Safety	作業の 簡単さ Simplicity	迅速性 Speed	コスト Cost
木材	○*	△	×	△
RSS	-	-	-	-
パイプサポート	△	○	○	◎
水圧サポート	△	○	○	△

レスキューサポートシステム(RSS)を基準として、RSSより優れている場合は◎、やや優れている場合は○、やや劣る場合は△、劣る場合は×とした。○*は、素材の持つ燃えやすいという特性から火災現場では使用時期が限られることを示す。

場での使用が想定されていないため今後安全性の確認は必要だが、他の3項目については優れているため、パイプサポートをショアリング資機材として活用することを提案する。今後は安全性のみならず設置方法についても検討を進める予定である。

5. 木造小屋を用いたショアリングに関する実証実験

5.1 実験概要

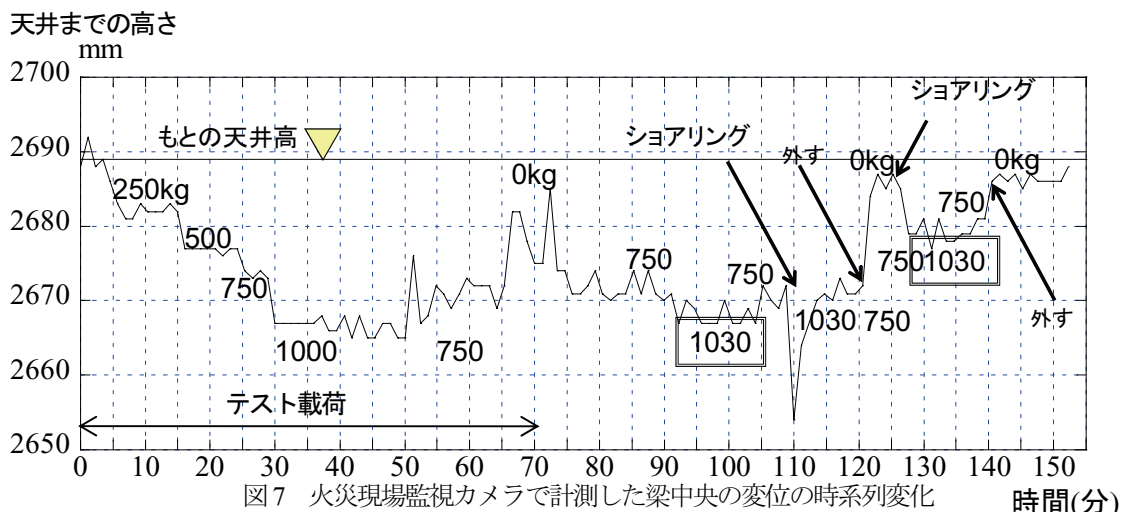
これまでに述べた研究成果を総括し、開発した機器等を実際の消火活動現場で使用することを想定し、木造小屋を用いた実証実験を行った。試験体は、6畳の広さの木造小屋であり、荷重が増大すると2階床の梁が折損するように設計している。実験は2回行った。1回目の実験は第3章で示した火災現場監視カメラを使用し、荷重の増加による2階天井面の変位を測定し、危険と判定された後、ショアリング（パイプサポート）を設置する、という一連の作業を実際に行うことを主目的としている。2回目の実験は、ショアリングの効果を明らかにすることを目的としている。

5.2 実験結果と考察

5.2.1 第1回目の実証実験

火災現場監視カメラにて計測した梁中央部分の変形量を図7に示す。試験体および実験の様子を図8(a)、(b)に示す。試験開始後70分まではテスト载荷である。载荷は、コンクリート製の錘を用いており、図7中に示す値は屋根面に載せた錘の重量を示している。テスト载荷は、錘の載せ方と計測が行われているかどうかを確認するためのものである。

この実験では、危険度判定のための部材角は1/200としており（2章の結果では1/60程度と考えられるが、ここでは実験の安全性を考慮してこの値とした）、750kgの重量となった時点で図6(c)警告が表示された。テスト载荷ののちの実験においても、錘が750kgとなった時点でやはり警告が表示されたため、ショアリングを設置した。ショアリングを設置すべき場所についてはこのとき特に決めなかったが、火災現場監視カメラで計測されたデータは制御用PCで確認できるため、どの地点が最も変形が進んでいるかわかる。このデータを参考に変形が過大となっている箇所を設置



(a) 試験体



(b) ショアリング設置

図8 実証実験1回目の試験体とショアリング設置の様子



(a) 試験体と荷重 (P) の作用位置



(b) パイプサポートの設置状況

図9 実証実験2回目

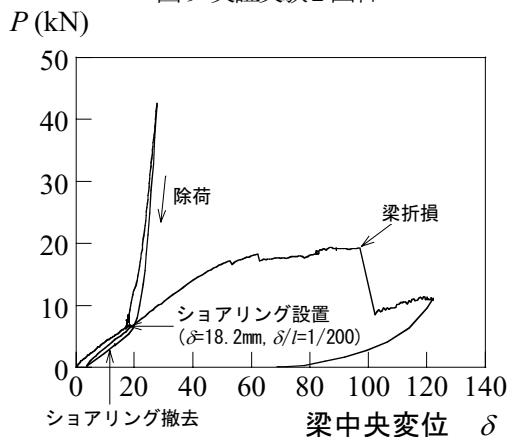


図10 実験結果 (2回目)

するなどの方法が考えられるが、今後の課題としたい。

また、時間が125分経過後に一度錘をすべて取り除き、ショアリング (パイプサポート1本) を設置した後錘を再度載せたが、ショアリングを設置せずに同じ重量の錘を載せたときと比較して変形が抑えられており、ショアリングを設置することの効果を観察された。

5.2.2 第2回目の実証実験

第1回目とは異なり載荷装置を使用して実験を行った。梁中央部に荷重を作用させ (図9(a)、部材角が1/200に到達した時点でショアリング (パイプサポート2本) を設置し、さらに荷重を増加させた。その後、ショアリングを取り除き、梁が折損するまで載荷を行った。図9(b)の二重線で囲んだ2本がパイプサポートである。

実験より得られた荷重-梁中央変位関係を図10に示す。図によればショアリングを設置することで、40kNの荷重には十分に耐えることができ、変形も小さく抑えられることがわかった。また、ショアリングを設置しない場合は梁中央の変位が約50mmくらいで最大荷重に近くなり、その後は変形のみが進み変位が約97mmとなると折損した。これは部材角 δ/l としては約1/37であり2章の切欠きのある実大梁実験の結果よりも大きな変形に達したのち折損していた。これは、梁の寸法が異なることや切欠きの状態が異なること、根太や上面に合板が取り付けられていることなど、様々な要因が考えられる。このことから、危険度判定の値をどの程度にするかは今後の検討課題であると言える。

6. 結び

ショアリングを消火活動に導入することを目的とし、木造2階建て建築物を対象とし、2階床崩落危険性の要因の追及、崩落予測のための機器開発、ショアリング方法の提案を行った。2階床崩落の危険性を予知するには、今後さらに研究を進める必要があり、火災現場監視カメラの改良に加え、ショアリング設置マニュアルの製作などを行い、2階床崩落の危険性を回避できる方法の確立を目指したい。

謝辞 本研究の試験体燃焼に当たり、(株)竹中工務店技術研究所大橋宏和氏、出口嘉一氏、九州工業大学毛井崇博教授にご指導と労を賜りました。載荷実験に当たり、北九州市立大学大学院城戸研究室の大学院生、中井良太君、山野悠平君に、三根研究室の荒瀬直人君、城戸研究室の平成22年度学部生の協力を受けた。関係各位に感謝します。

【参考文献】

- 1) 全国消防長会: 木造建築物の火災特性を踏まえた消防活動の安全管理対策, 2007
- 2) 今野利弘: 火災現場における木造住宅の2階床落下原因に関する調査研究について, 月間消防 2005.3.

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 5 噴霧放水機構を有する消防用ノズルの開発

研究課題名	噴霧放水機構を有する消防用ノズルの開発
研究実施期間	平成 21 年度～平成 22 年度（2 年間）
配分額（千円）	6,500（平成 21 年度）、6,500（平成 22 年度）
研究代表者	森田 昌宏
所属機関	東京理科大学 理学部第一部 数理情報科学科
研究体制	産（ヤマトプロテック株式会社）、学（東京理科大学）、官（堺市消防局）
研究概要	<p>現在使用されている消防用ノズルにおいては、棒状放水から、噴霧角度を可変させて放水させることが可能であり、放水量についても、段階的に調節可能な機構を有しているものが多く用いられている。また、フォグ状態の放水を行う資機材も一部で用いられているが、フォグを生成するための機構が通常の消防用ノズルとは異なり、専用のシステムとなっているため、消火活動の中においては、依然効果的な運用には至っていない。通常の放水が、火源の制圧に対して絶大な効果を発揮するのは言うまでもない。一方、耐火構造物等の比較的大きな区画での火災拡大時においては、消防隊が区画内に侵入し火源を特定することが困難であることが考えられる。そのような状況においては、天井付近の熱気流層や空間の冷却、視界確保の観点から、ミスト放水が有効な手段の一つである。また、フォグ放水による火傷の危険も報告されていることから、本研究では、フォグより更に大きな水滴＜ミスト＞での冷却・消煙・消火の効果を実験において検証し、通常の放水からミスト放水までをひとつのノズルで行うことができる機材の開発を行った。</p>
研究成果の活用事例	現在、堺市消防局にて、試作機を実際の火災現場での消火活動に投入し、実地評価を実施する予定。
応用の方向性	現状のポンプ車に搭載して消火活動が可能となる機材の開発により、その機材を用いた新たな消火戦術の構築も可能となる。

研究発表の状況等	<p>1) 石原慶大、木村安孝、松尾努、金田十三男、姉崎教史、砂原弘幸、吉川昭光、森田昌宏：区画火災におけるミスト放水による抑制効果 区画模型実験、日本火災学会研究発表会, 2010. 5</p> <p>2) 石原 慶大、砂原 弘幸、吉川 昭光、森田 昌宏：区画火災におけるミスト放水による抑制効果 実大実験結果、日本建築学会 大会, 2010. 9</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>本研究で実施した基本設計をベースに、いくつかの変更点を盛り込み、噴霧機構を有する消防用ノズルの試作機を製作し、基本性能評価、消防実地評価を行った結果、いくつかの課題点が明らかになった。しかしながら、現時点で、十分な検証が出来たとは言い難く、評価については継続して行っていく必要があると考えている。</p> <p>現状明らかになっている課題点に対しては、対策案の検討を行ったが、今後、これらの課題点を解決するための改良、その評価を行い、より良いノズルを目指す必要がある。</p> <p>また、実際の現場への投入を視野に入れた評価を予定しており、運用面における具体的な課題に対する検討や、消防戦術の構築にも踏み込むことが可能になると考えている。</p>

噴霧放水機構を有する消防用ノズルの開発

○森田 昌宏¹・金田 十三男²・松尾 努³・木村 安孝³・石原 慶大⁴

Masahiro MORITA, Tomio KANATA, Tsutomu MATSUO, Yasutaka KIMURA and Takahiro ISHIHARA

研究課題の要旨: 現在使用されている消防用ノズルにおいては、棒状放水から、噴霧角度を可変させて放水させることが可能であり、放水量についても、段階的に調節可能な機構を有しているものが多く用いられている。また、フォグ状態の放水を行う資機材も一部で用いられているが、フォグを生成するための機構が通常の消防用ノズルとは異なり、専用のシステムとなっているため、消火活動中においては、依然効果的な運用には至っていない。通常の放水が、火源の制圧に対して絶大な効果を発揮するのは言うまでもない。一方、耐火構造物等の比較的大きな区画での火災拡大時には、消防隊が区画内に侵入し火源を特定することが困難であることが考えられる。そのような状況においては、天井付近の熱気流層や空間の冷却、視界確保の観点から、ミスト放水が有効な手段の一つである。また、フォグ放水による火傷の危険も報告されていることから、本研究では、フォグより更に大きな水滴<ミスト>での冷却・消煙・消火の効果を実験において検証し、通常の放水からミスト放水までをひとつのノズルで行うことができる機材の開発を行った。

キーワード: 消防用ノズル、ミスト放水、冷却・消煙・消火効果

1. ミスト放水による効果検証

1.1 はじめに

ミストによる放水が、区画火災に対しどのような抑制効果があるのかを確かめるために、主に区画内の温度低減を観察し、効果の程を定性的・定量的に把握することを目的とし実験を実施した。

1.2 区画模型実験

1.2.1 実験模型

本実験では、1室程度の大きさを想定した区画模型を用い、放水量、粒子径、可燃物量をパラメータとして検証を行った。実験模型の概要を、図1、2に示す。

1.2.2 可燃物

本実験においては、可燃物として、A 火災用のクリブを用い、図1に示す区画内に積重ねた、図3のようなクリブ模型に対し、燃焼なべの助燃剤(n-ヘプタンを使用)に点火し燃焼させ、点火から3分経過した後に、ミスト放水を開始した。実験で使用したクリブ模型の概要を表1に示す。

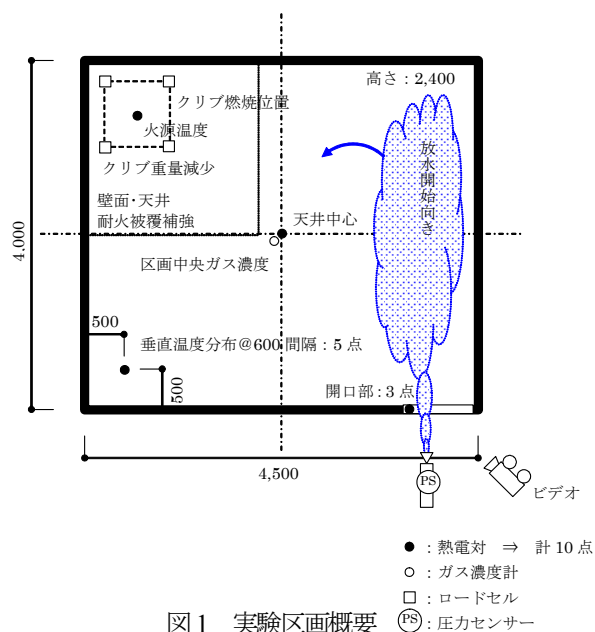


図1 実験区画概要



図2 実験模型

1 東京理科大学 理学部第一部 数理情報科学科

2 元 堺市消防局

3 堺市消防局

4 ヤマトプロテック株式会社

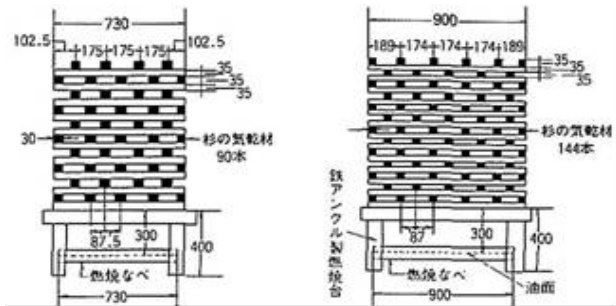


図3 A火災クリブ模型(左:A-1、右:A-2)

表1 クリブ模型

クリブ模型	A1用	A2用
使用材	杉気乾材	
サイズ	40×30×730[mm]	40×30×900[mm]
積上げ方 (下から)	5本+5本 +4本+4本 +5本+5本 +4本+...	6本+6本 +5本+5本 +6本+6本 +5本+...
助燃剤量	ヘプタン1.5L (1分30秒~2分程度燃焼)	

1.2.3 測定項目

表2に示す項目について計測を行った。計測器の設置位置は、図1中に示す通り。その他、デジタルビデオカメラにより、区画内の状況撮影を行った。

表2 測定項目

測定項目	測定点	計測器
温度	垂直温度分布 (600mm 間隔: 5点) 開口部(上・中・下: 3点) 天井中心、火源温度	熱電対
ガス濃度	O ₂ 、CO ₂ 、CO	ガス濃度計
発熱速度	クリブ重量減少	ロードセル
放水量	放水圧力 放水時間	圧力センサー ストップウォッチ

1.2.4 実験条件

実験条件は、表3に示す通り。実験7における様子を図4に示す。また、実験時の様子を図5、6に示す。

1.2.5 実験結果

(1) 区画内温度

区画内の温度変化を図6~9に示す。



図4 クリブ燃焼状況

表3 実験条件

	火源サイズ	ノズル種別	粒子径 [μm]	放水圧力 [MPa]	放水量 [L/min]
1	A1用 20段 90本	ミストノズル	200~300	0.76	18.4
2	A2用 20段 90本				
3				0.73	54.0
4	A1用 20段 90本	水噴霧ノズル	420~480	0.72	67.7
5					73.6
6					
7	A2用 10段×2 112本	ミストノズル	200~300	0.76	53.8
8	A1用 13段×2 128本				
9	A2用 13段×2 144本				



図5 ミスト放水状況

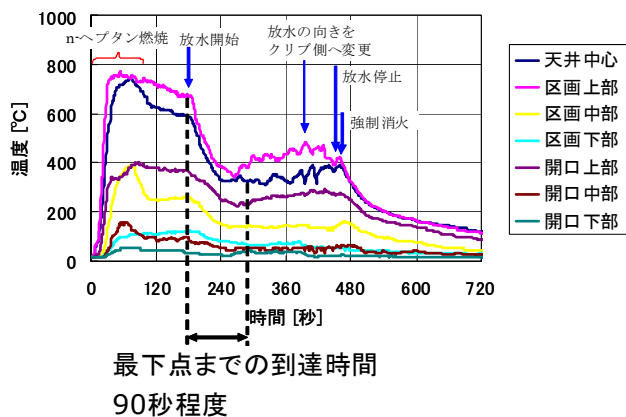


図6 実験1 区画内温度

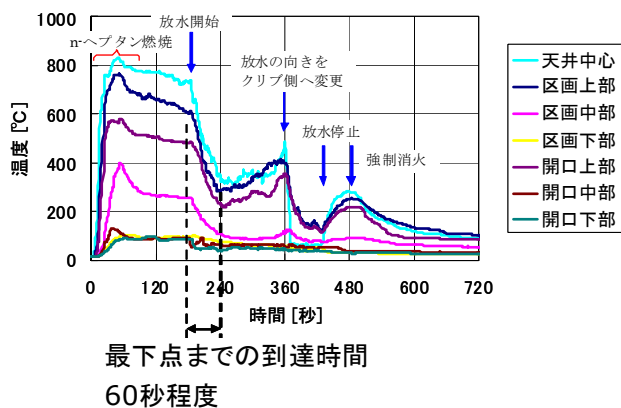


図7 実験3 区画内温度

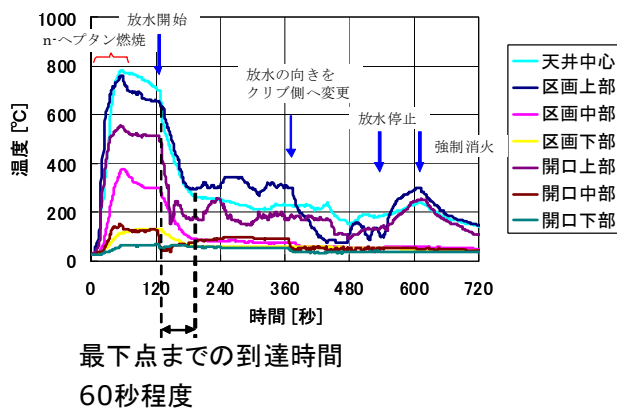


図8 実験5 区画内温度

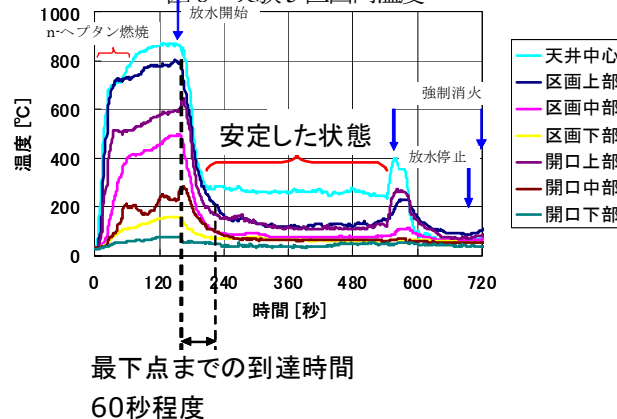


図9 実験7 区画内温度

(2) 発熱速度

クリブの重量変化から換算した、クリブ模型の発熱速度の変化を図10~13に示す。ただし、点火直後の発熱速度の立ち上がりについては、助燃剤 n-ヘプタンの燃焼によるものであり、ミスト放水を開始した以降については、クリブに放水がかかった影響が含まれている。

実験結果より、以下のことが分かった。

- a) 区画内温度：ミスト放水により、区画上部で、340~360°C程度低減している。
- b) 発熱速度：ミスト放水により、概ね、0.8~1.2MW 程度低減している。

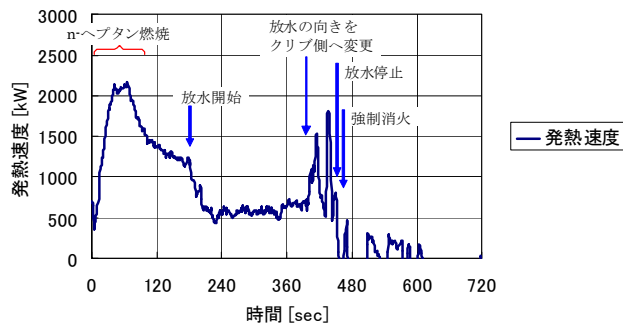


図10 実験1 発熱速度

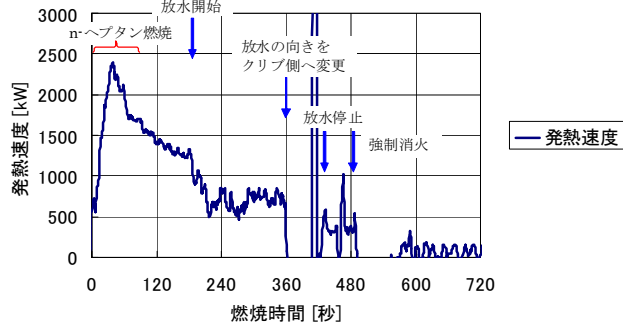


図11 実験3 発熱速度

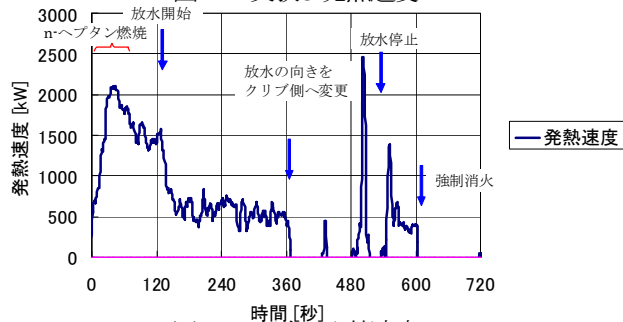


図12 実験5 発熱速度

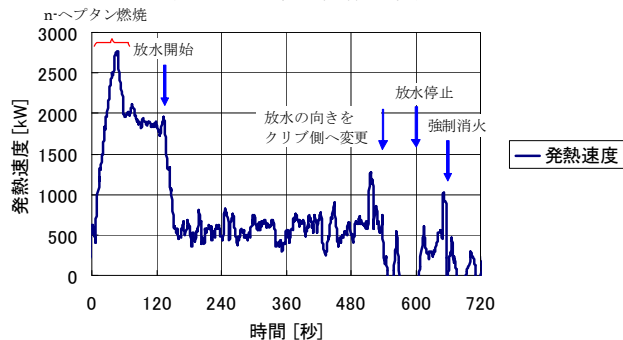


図13 実験7 発熱速度

放水開始後、区画内温度が最下点に到達するまでにかかる時間を放水量毎に見てみると、20L/minで90秒程度、50L/minで60秒程度、70L/minで60秒程度となっている。ただし、ミスト放水量を増加させても、ある一定の温度低減効果は見られなくなっている。

換気支配型の燃焼状況では、区画内温度は100℃程度以下、発熱速度は0.5MW以下に低減した状態で安定した区画内状況となっている。

また、可燃物量を増やした結果、燃焼による煙量が増加し、放水により区画内で煙が攪拌され、区画開口からの煙排出量が発生量より少ないために、区画内に煙が残り、視界の明瞭性を得るには至らなかった。一方で、区画内に煙が充満することにより、ミスト放水による燃焼抑制の効果と相まって、火勢を抑制する効果が大きくなった。

1.3 実大規模実験

1.3.1 実験概要

区画模型実験の結果を踏まえ、実大レベルでの検証を行うため、実大物件を用いた実験を実施した。

実験を実施した物件の外観を図14に、実施した区画の概要を図15に示す。

1.3.2 可燃物

図15の外側の点線で囲まれた枠内が、50m²程度あり(概ね、2LDK相当)、火災発生室には、家具に見立てA2クリブを可燃物として設置した。

ここで、集合住宅の火災荷重(可燃物量)の目安として、30kg/m²を本実験における設定値とした。

$$30\text{kg/m}^2 \times \text{約 } 14.5\text{m}^2 (\text{火災室}) = 433.2\text{kg}$$

A2クリブ模型1個あたりの重量は、53.3kg(実測平均)であり、

$$433.2\text{kg} \div 53.3\text{kg/個} = 8.13 \dots \text{個}$$

となり、9個設置することとした(可燃物量: 3.2kg/m²)。

火災室に隣接する、2室にはそれぞれ、火災室と隣接する壁面に、延焼確認用として、クリブを3個ずつ設置することとした。

火災室が全面火災になった時点(概ね、火災覚知から、通報を経て、消防隊が現場到着するまでの時間経過: 10分程度を想定)を、放水開始のタイミングとした。それまでにガラス面が破損し、フラッシュオーバーした場合には、その時点で放水を開始することとした。

なお、放水により、火災室内の温度低減が確認された場合は、一旦放水を停止し、再度、燃焼をさせた後に放水を行うシナリオとした。

1.3.3 測定項目

表4に示す項目について計測を行った。

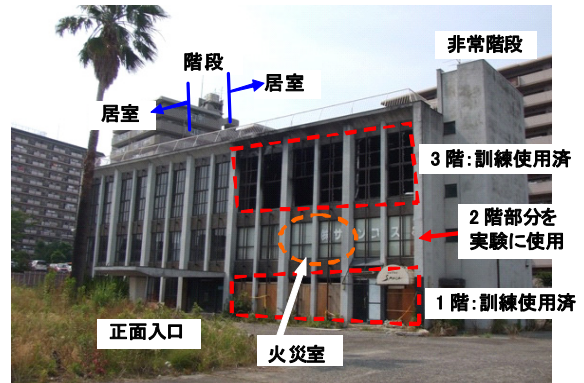


図14 物件概要

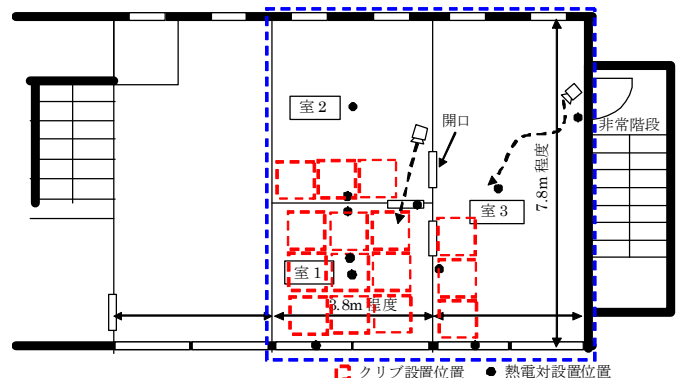


図15 実験区画概要

表4 測定項目

測定項目	測定点	計測器
温度	垂直方向(上・中・下3点) +天井中心×3室 計12点 室境界開口部 (上・中・下3点) 突入開口部 (上・中・下3点) 窓(上・中・下3点) ×2室 計6点 火源温度	熱電対
ビデオ	火災室、手持ち移動	小型カメラ
放水量	放水圧力 放水時間	圧力計 ストップウォッチ

1.3.4 実験経過



① 点火後、窓の一部が破裂

② 点火後5分ミスト放水開始
この後、火勢が一旦弱まる

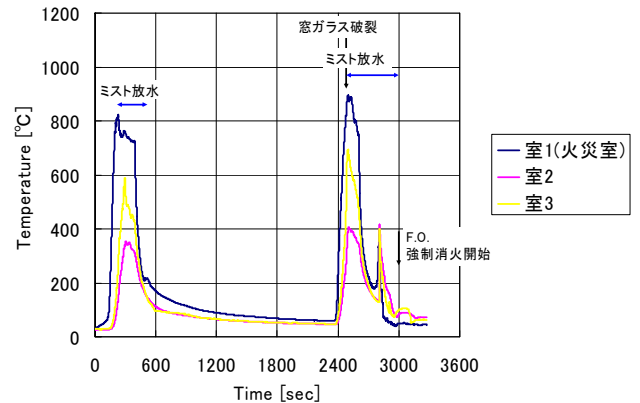


図16 各室上部温度

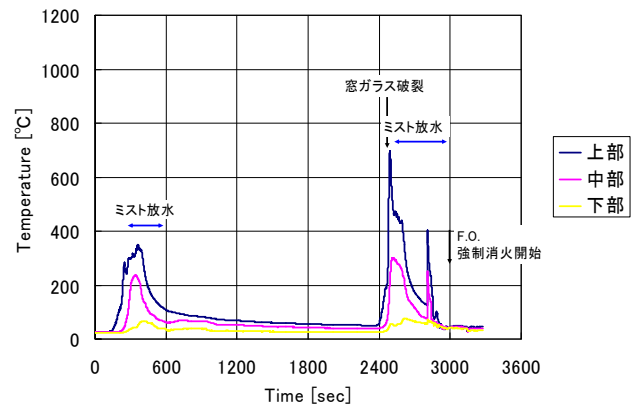


図17 火災室-隣室境界開口部温度

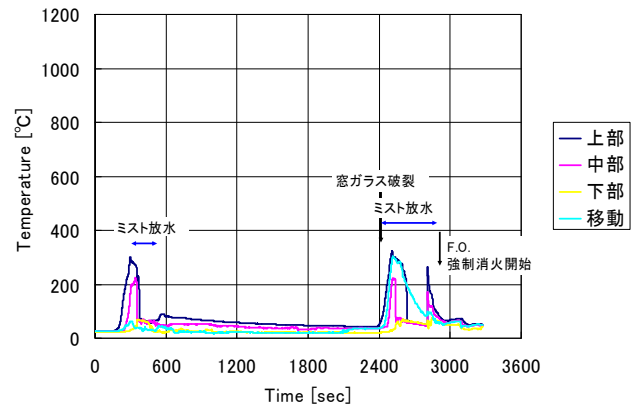


図18 突出開口部温度

1.3.5 実験結果

各室上部の温度変化を図16、火災室と隣室の境界開口部の温度変化を図17、突入部開口部の温度変化を図18にそれぞれ示す。

実験中、2回のミスト放水を行った結果、いずれにおいても、放水開始後、熱・煙の溜まっている室内上部の温度が低減していることが分かった。

1.4 まとめ

ミストによる放水が、区画火災に対しどのような抑制効果があるのか確かめるために区画模型を用いた実験を実施した。

- a) ミスト放水により区画内の温度低減効果がある。
- b) 放水量を変化させると、区画内の温度低減量に大きな差はないが、効果が現れる時間に違いがある。
- c) 粒子径が小さい方が、温度低減効果は大きい。
- d) 放水量を増加させても、ある一定以上において、温度低減効果は横這いの状態となる。
- e) 可燃物量を増やした場合、燃料支配型燃焼においては、ミスト放水により、燃焼により発生した煙が開口等から区画外へ排出され、視界が明瞭となる一方、換気支配型燃焼においては、ミスト放水により、燃焼により発生した煙が区画内で攪拌され、開口等からの排出が追い付かず、視界の明瞭性を得るには至らなかった。
- f) ただし、区画内に煙が残ることにより、ミストによる燃焼を抑制する効果と相まって、火勢が弱まり、安定した状況を創出する。

上記結果を踏まえ、実大レベルでの検証を行うため、実大物件を用いた評価実験を実施した。ミスト放水によって、室内上部の温度等が低減し、効果のあることが確かめられた。

2. 噴霧機構を有する消防用ノズルの基本設計

2.1 はじめに

噴霧機構を有する消防用ノズル(以下、ノズル)を新規に開発するにあたり、内部機構、外観デザインの検討を行った。現行ノズルによる考察や放水体験を通し、具体的な形状イメージを起し、内部機構も検討を行い、パッケージ検討の過程について記載する。

2.2 構成を検討するにあたり消防へのヒアリング

ノズルの構成を考える上で、現在、消防隊が消火活動に使用しているノズルの具体的な使用感等について、実際に消防隊員よりヒアリングを行う機会を得た。

2.2.1 現状ノズルに関する認識等

現行ノズルの使用感(図 19)に関する検討を行った結果は以下に示す通り。

- a) 現在のノズルの持ち方は、少し窮屈な感じがある。
- b) ひじが後ろに引ける。
前後方向の放水の反動力に対して堪えにくい上腕の角度。
- c) 左手の位置
放水の反動を抑えるためのポジション。動きの支点となる右手グリップ位置と非常に近い位置のため、反動力が強くノズルが暴れるものと思われる。
- d) 開閉バルブレバー
グリップの上部に、横軸動作のレバーで、グリップを支持する右手首に負担がかかる。



図 19 現行ノズルの構え

また、理想的な保持方法(図 20)等に関する考察を行った結果は以下に示す通り。

- e) 上腕が垂直近くの自然な角度になっている。
放水の水平方向の反動力に対しより堪えやすいポジション。
- 6) 左右の手の距離
比較的ゆったりしているため、ノズルを上下左右に小さな力で振りやすく、狙いを定めやすいやすいポジション。
- 7) 左手のグリップ
たて方向のグリップは、放水の反動力が上方にきた場合、抑制する方向としては不利に働いてしまう。バルブ開閉などの機構と絡めて検討の必要がある。



図 20 理想の構えの一例

2.2.2 新しいノズルに対する要望

隊員によりまちまちではあるが、以下の意見に集約された。

- a) 全体的には、現在のガンタイプが主流になりつつあるので、グリップ付ガンタイプを基本形に考えたい(新しく格好良いイメージもある)。
- b) バルブ開閉・流量調節・放水形状切替等の操作は、可能な限り手を離さず手元に近い場所で行いたい。
- c) 現在、グリップは支持する機能だけだが、ここに操作部などの機能を付与できないか。
- d) 活動中、ホースを体と腕ではさんで支えるが、より支えやすい形状はないか。放水の反動力を受け流せると良い。
- e) 内部抵抗を考慮すると、ストレートな形状の方が良いが、管路が根元で曲げることで、放水の反動力を受け流すことが可能か。
- f) 消防車等への収納性、活動中の機動性を考えると、コンパクトさが求められる。
- g) 活動中のみならず、地面に置いた状態などでも、誤操作がないような配慮。(例えば、ロック機構)。
- h) シンプルな操作性が望ましい。構造もシンプルなのが壊れにくくてよい。
- i) ホースカップリング(町野式)は、不意に外れぬよう配慮が必要。

2.3 現行ノズルによる実放水体験

現行ノズルを使用し、実際に放水体験(図 21)を行うことにより、更なる要素抽出を行った。結果は以下に示す通り。

- a) 放水時は上・手前方向への反動力が強く、支えるのが容易ではない。腕の力のみを使うのではなく、脇で挟み込むなど体全体でノズルを保持するようなポジションが望ましい。
⇒コンパクトにしすぎず、必要十分なサイズの検討が必要。
- b) ホース内に水が充満することにより、ノズルを水平に保持するのが困難。
⇒ノズル後方の流路を曲げることで、水平ポジションを容易にする。同時に、放水による反動を軽減できる可能性もある。
- c) ミスト放水時や視界不良時の放水への配慮
⇒視界が十分確保できない場合でも、現在の放水形状や流量が、視覚情報・触覚情報の複合などで、分かりやすくする必要はある。
- d) 操作の容易さ・確実さの追求
⇒グローブをはめた状態でも操作が容易で確実となる操作部形状の検討が必要。
- e) 可搬性への配慮
⇒高層階の現場への移動など、ノズル自体の可搬性も考慮する必要がある。



図 21 現行ノズルによる実放水体験

2.4 簡易模型による形状検討

塩ビパイプ等を使用し、簡易なモデルを作成し、全体形状に対する検討を実施した(図22)。



図22 簡易模型による形状検討

- a) 開閉バルブより後方部の管路曲げ角度調整
⇒曲がり角度が大きすぎると、低い体制(しゃがんだ状態等)では、ホース内の水の充満により、後方が上に押し上げられてしまう。角度としては、30度程度が目安となる。
- b) グリップより前方部の操作位置関係の有効性
⇒操作部の位置関係は有効と判断できるが、回転部との寸法関係により詳細を決定。
- c) 拡散放水の改良
⇒拡散放水時に各方位へ満遍なく放水できるよう放水口のプロテクター内部にデフューザーを付加する。
- d) 各部のボリュームに留意し、全体に軽量化に配慮する
- e) グリップステイ
⇒グリップステイは低い体制(しゃがんだ状態等)での放水時に有効と判断できるため、素材や構造を検討。

2.5 内部機構検討・簡易試作

前項、形状検討に併せ、ノズルが内部機構の検討を行い(図23:次頁)、簡易試作品(図24)を製作し、性能確認を実施した。簡易試作による内部機構の性能試験の様子を図25に示す。

2.6 ラフモックによるイメージ検討

前項までの検討内容を踏まえ、ラフイメージを作成し(図26)、更に本体一部分のラフモックを作成し(図27、28)、操作感等の検証を行った。

2.7 内部機構検討

前項、ラフモック検討に併せ、内部機構のパッケージ検討を行った。検討内容を、図29に示す。



図24 簡易試作品



棒状放水 拡散放水
図25 内部機構性能検証



図26 ラフイメージ



図27 ラフモック



図28 操作感の検証

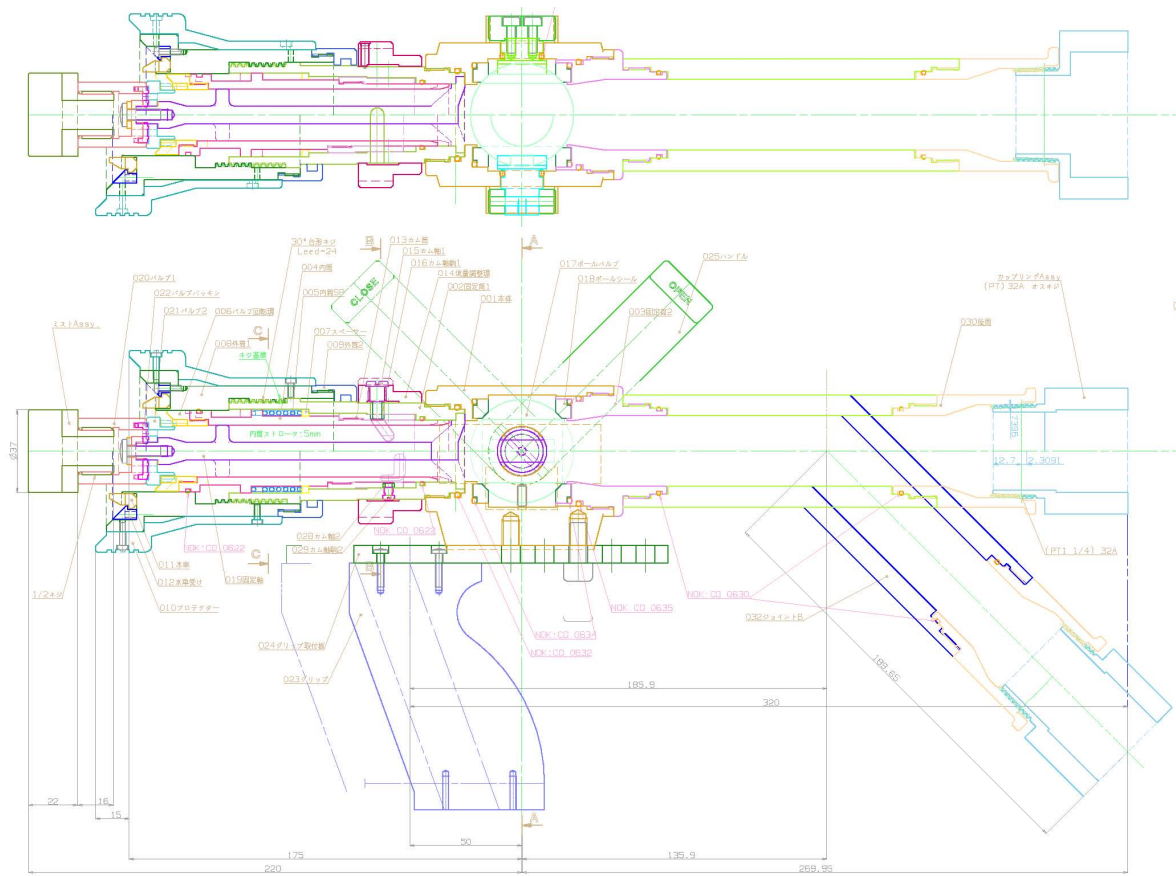


図 23 内部機構検討

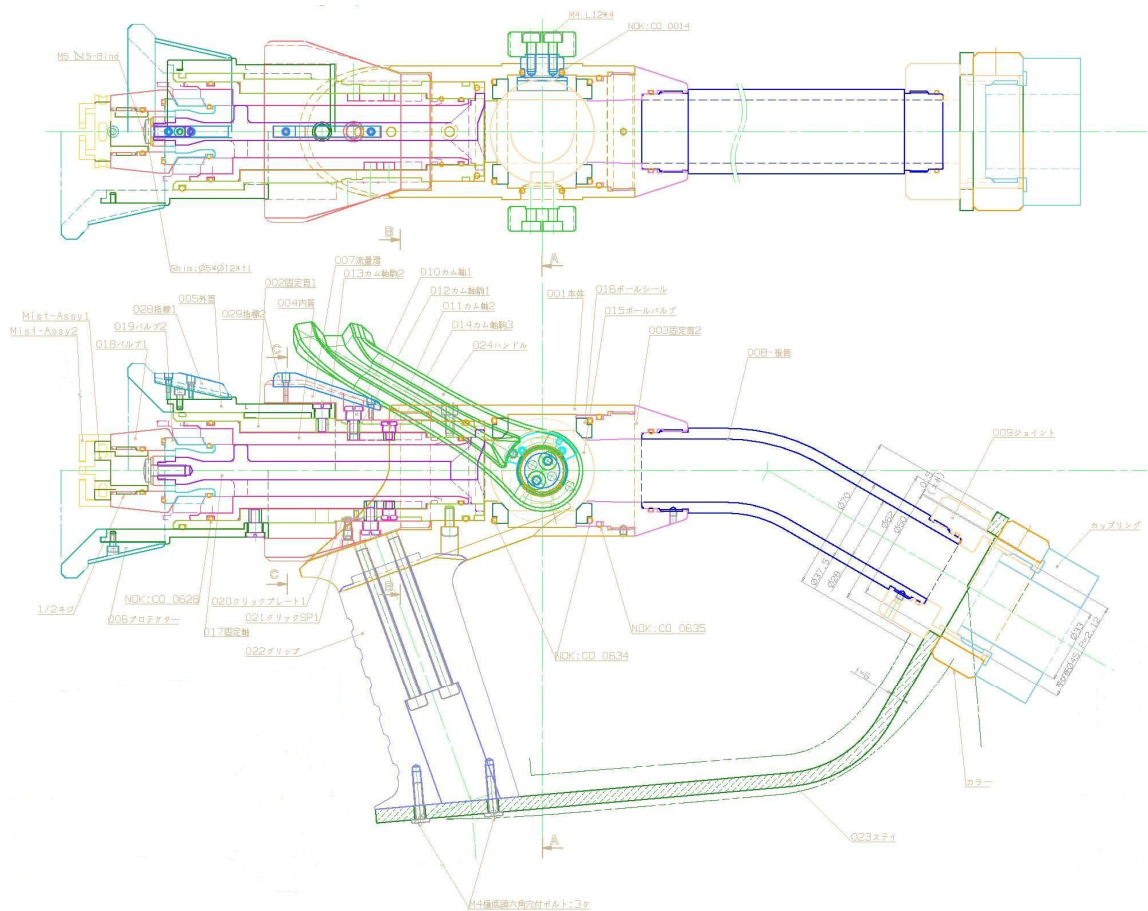


図 29 内部機構パッケージ検討

3. 噴霧機構を有する消防用ノズルの試作

3.1 はじめに

前述までの基本設計をベースに、噴霧機構を有する消防用ノズル(以下、ノズル)試作機の製作を行い、基本性能評価を実施した。

3.2 基本設計からの変更点

実際に消防隊員よりヒアリングを行う機会を得、機能面において、追加検討を行うこととした。

(1) 放水量

接続ホース径との関係で、上限を設定している現行ノズルの放水量より、より多い放水レンジ。

(2) 放水開閉のハンドルロック機構

誤操作防止、運用上の安全面から、ノズルの放水開閉を操作するハンドル部にストッパーを追加。

3.3 ラフモックによるイメージ検討

変更点の検討内容を踏まえ、追加設計を行い、本体一部分についてラフモックを作成し(図30)、構成部品の大きさ、バランス、ならびに操作感のイメージ把握を行った。



図30 ラフモック

3.4 内部機構検討

ラフモックによる形状把握の後、ノズルの内部機構のパッケージ検討を行った。

3.5 外観デザイン検討

内部機構のパッケージ検討内容を踏まえ、外観のモデルファイを実施した。外観デザインイメージを図31に示す。

3.6 試作機の製作

以上の設計内容を踏まえ、試作機の製作を行った(図32: 末尾)。

3.7 基本性能評価

製作した試作機を用い、基本性能評価を実施した(図33、34)。



図32 試作機

(1) 諸元

全長	約 495mm
全高	約 255mm
全幅	約 110mm
重量	約 3.3kg
最大放水量	500L/min@0.7MPa 棒状放水時
ホース接続口径	町野式 メス金具

(2) 放水量

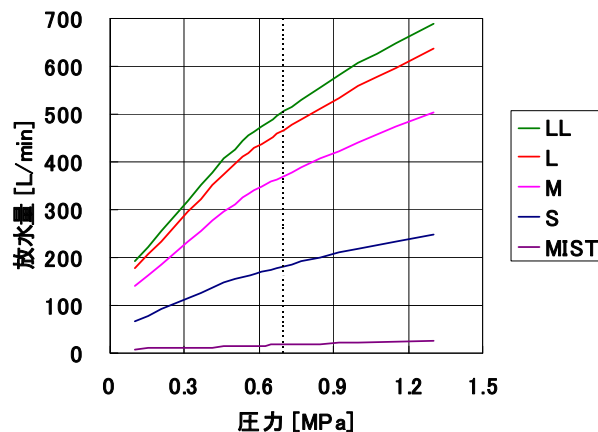
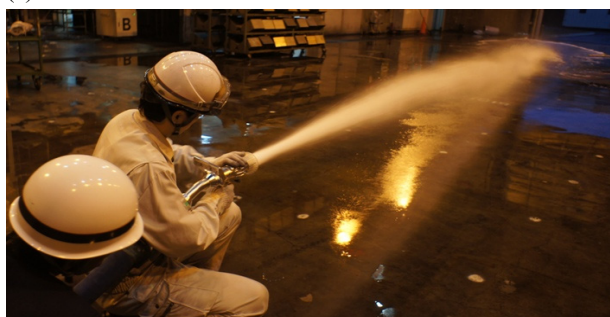


図33 試作機放水量

(3) 放水形状



棒状放水



拡散放水



ミスト放水

図34 放水形状

3.8 消防による実地評価

基本性能評価を行った後に、消防隊員による実地評価の機会を得た(図35)。実際に消防活動に携わる隊員による、試作機の操作性・使用感について評価を実施した結果についてヒアリングを行った。



棒状放水



拡散放水



ミスト放水

図35 実地評価

3.9 抽出された課題点

(1) 重量

長時間に及ぶこともある消防活動において、重量のあるノズルを保持し続けることは、負荷を強いることに繋がる。また、重量のあるノズルは、機動性にも影響を与えてしまうこととなる。

これら負荷軽減、機動性向上のためにも、現状からの軽量化が課題となる。

(2) 大きさ

グローブを着用した手で操作することも念頭に、ノズル外径をデザインしたものの、「見た目以上に、使用時は大きく感じられた」という声があり、操作性に関わる部分であるため、再検証を行う必要がある。

引続き、課題点に対する改良・改造、また、その評価を行い、より良いノズルの完成を目指していく。

(3) 表示

各放水量位置での表示については、大きさと同様のイメージを持つべく、「LL～S、MIST」という表示を採用したが、「具体的な放水量の数値で表示されている方が良い」、という意見も聞かれた。

(4) 放水量改善

試作機の放水量 S、M、L 表示位置における放水量が、想定値に比べ、高い結果となった。要因としては、以下のことが考えられる。

- a) ミスト放水機構を付与させるため、ノズル先端部中央に、ミスト放水部を設けた結果、棒状放水・拡散放水を行う流路形成上に制約ができたこと
- b) また、複数の内部稼働部品の連動により、流路面積を変更させるにあたり、各放水量の表示位置の関係と、放水量を決定付ける流路面積との関係性のずれが想定以上に大きかったこと

表示位置	想定放水量	想定値との差
S	115 L/min	約 50 L/min
M	230 L/min	約 130 L/min
L	350 L/min	約 100 L/min
LL	500 L/min	想定通り

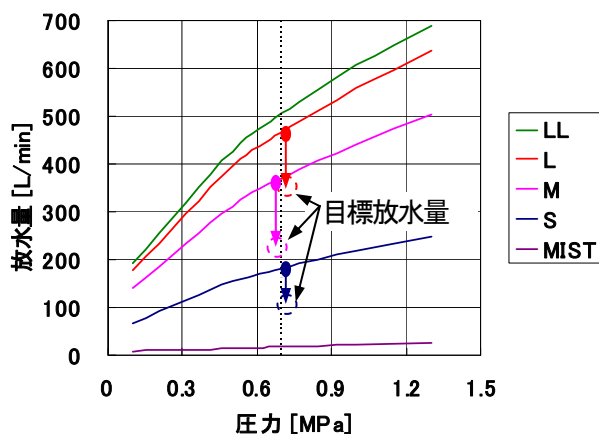


図 36 放水量の改善

(5) 放水距離・形状

現状、立位、水平方向に放水を行った場合、棒状放水では、前方 15m 程度の放水距離を有している。また、拡散放水においては、概ね 90°の噴霧角度を有する放水形状となっている。

これらの満足度については、意見が分かれている部分もあり、判断の難しいところであるが、より良い放水状態を作り出せるよう改善を行っていく。

3.10 まとめ

基本設計をベースに、いくつかの変更点を盛り込み、試作機を製作し、その評価を行った。現段階で、いくつかの課題点も明らかになり、その対策案の検討を実施した。



No.	名称	No.	名称	No.	名称
①	本体	⑦	外筒	⑬	ハンドル軸
②	ハンドル	⑧	指標 2	⑭	固定筒 2
③	ハンドルカバー	⑨	プロテクター	⑮	後筒・ジョイント
④	ノブ	⑩	ミストノズル	⑯	セットカラー
⑤	流量調整環	⑪	バルブ 1	⑰	カップリング
⑥	指標 1	⑫	グリップ	⑱	ステイ

図 32 外観デザインイメージ

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3.6 能動スコープカメラの実用化のための改良開発と実地試験

研究課題名	能動スコープカメラの実用化のための改良開発と実地試験
研究実施期間	平成21年度～平成23年度
配分額(千円)	平成21年度：19,240, 平成22年度：17,235, 平成23年度：14,888
研究代表者	田所 諭
所属機関	国際レスキューシステム研究機構
研究体制	学
研究概要	能動スコープカメラは自走式の救助用ビデオスコープであり、瓦礫数mの奥深くへ自立的に進入し、段差乗り越えや障害物を回避しながら、内部の映像などの情報を収集することができるため、従来のビデオスコープでは困難な事案への適用が期待されており、事故現場調査等への適用実績を持っている。これがもつ技術的課題を解決することを目的として研究開発を行った。その結果、視野の広角化、踏破性能の向上(特に絨毯など)、音声対話機能、重力方向の認識・表示機能、ケーブルの長距離化、防塵防水・耐久性の向上、防爆に関する調査検討、小型ガスセンサの調査検討、東日本大震災のケースに対する適用検討、消防訓練施設における実証試験、を行い、実用性の向上を図った。
研究成果の活用事例	東日本大震災では出動に向けた準備を行ったが、倒壊家屋からの救助に関する要請が無かったため、実際には使われなかった。
応用の方向性	実用性は確実に高まっているため、製品化が望まれる。
研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> • Michihisa Ishikura, Eijiro Takeuchi, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Vision-based localization using active scope camera - accuracy evaluation for structure from motion in disaster environment-, Proc. 2010 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2010), A1-5, 2010. • Satoshi Tadokoro, Rescue Robotics Challenge, Proc. 2010 IEEE International Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO2010), invited speech, 2010. • 吉村明子, 清水秀丸, 佐藤史明, 加古嘉信, 田所諭, US&R 訓練施設の整備と運用に関する研究－テキサス Disaster City(R)の調査を通じて－, 地域安全学会論文集, No. 13, pp. 265-274, 2010.

	<ul style="list-style-type: none"> • Thorsten Linder, Viatcheslav Tretyakov, Sebastian Blumenthal, Peter Molitor, Hartmut Surmann, Dirk Holz, Robin Murphy and Satoshi Tadokoro, Rescue Robots at the Collapse of the Municipal Archive of Cologne City: a Field Report, Proc. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2010), 2010. • Satoshi Tadokoro, Masashi Konyo, Kazuna Sawata, System Integration in R&D of Active Scope Camera, IROS 2010 Workshop on Robots and Sensors Integration in Future Rescue Information System (ROSIN'10), 2010. • Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Actuation of Long Flexible Cables Using Ciliary Vibration Drive, Next-Generation Actuators Leading Breakthroughs, Toshiro Higuchi, Koichi Suzumori, Satoshi Tadokoro, Ed., Springer, pp.177-188, 2010. • Michihisa Ishikura, Kazuhito Wakana, Eijiro Takeuchi, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Running Performance Evaluation of Inchworm Drive and Vibration Drive for Active Scope Camera, Proc. 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2011. • Satoshi Tadokoro, Rescue robotics in action, The 1st Korea-Japan Workshop on Firefighting and Disaster Prevention Robots, Invited Speech, 2011.11.23, Songo Conventia, Incheon, Korea • Satoshi Tadokoro, Rescue robots in Great Eastern Japan Earthquake, 2011 International Conference on Service and Interactive Robotics, Plenary Speech, National ChungHsing University, 2011.11.26, Taichung, Taiwan • Satoshi Tadokoro, Robotic Response in Great Eastern Japan Earthquake, IEEE/SICE International Symposium on System Integration, Plenary Speech, 2011.12.22, Kyoto • Kazuhito Wakana, Michihisa Ishikura, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Development of Linear Inchworm Drive using Flexible Pneumatic Actuator for Active Scope Camera, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 4315-4321, 2012. • Hiroaki Namari, Kazuhito Wakana, Michihisa Ishikura, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Tube-type Active Scope Camera with High Mobility and Practical Functionality, Proc. 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012 (accepted).
--	---

知的財産権の出願・登録状況等	該当なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>ケーブルの長距離化に関して目処が立ち、絨毛振動駆動によってこれまでの約3倍の移動速度を実現できた。新しい機構設計によってケーブル表面の凹凸を無くすことができたため瓦礫や屈曲部への引っかかりが少なくなり、立川消防署の訓練用瓦礫での下り試験でも性能の向上が明らかに見られた。さらには、音声対話、重力方向認識・表示機能等の有効性も確認できたことから、本研究によって能動スコープカメラは実戦配備に飛躍的に近づいた。そのため、本研究の所期の目的の80%は果たされたと考えている。新たに開発した異方摩擦インチウーム機構については、絨毛振動駆動が不得意とする環境での有効性が確認されたが、柔軟空気圧アクチュエータの開発に困難があったため、絨毛振動駆動と組み合わせた能動スコープカメラへの実用的な実装には至らなかった。今後さらなる試行錯誤と実践的改良が必要であると考えている。また、試験配備に際しては、両者を組み合わせたものについて、訓練所等での実践的な試験と併せて進めていくことが望ましいと考えられる。防爆については、可能性の高い方法論が複数検討できたので、今後の研究開発によって実現可能と考える。津波や原発等の災害事象については、水中での移動、放射線環境への対応に関する研究開発によって、適用が可能になると考える。</p>

能動スコープカメラの実用化のための改良開発と実地試験

○田所諭^{1,2}・ 昆陽雅司²・ 竹内栄二郎²・ 大野和則²・ (10 ポイント)
Satoshi Tadokoro, Masashi Konyo, Eijiro Takeuchi and Kazunori Ohno

研究課題の要旨: 能動スコープカメラは自走式の救助用ビデオスコープであり、瓦礫数mの奥深くへ自立的に進出し、段差乗り越えや障害物を回避しながら、内部の映像などの情報を収集することができるため、従来のビデオスコープでは困難な事案への適用が期待されており、事故現場調査等への適用実績を持っている。これがもつ技術的課題を解決することを目的として研究開発を行った。その結果、視野の広角化、踏破性能の向上（特に絨毯など）、音声対話機能、重力方向の認識・表示機能、ケーブルの長距離化、防塵防水・耐久性の向上、防爆に関する調査検討、小型ガスセンサの調査検討、東日本大震災のケースに対する適用検討、消防訓練施設における実証試験、を行い、実用性の向上を図った。

キーワード: 救助用ファイバースコープ、ビデオスコープ、ロボット、自走式、瓦礫内

1. はじめに

能動スコープカメラは自走式の救助用ビデオスコープであり、瓦礫奥深くへ自立的に進出し、内部の映像などの情報を収集することができる。有しており、段差乗り越えや障害物を回避しながら、瓦礫内数 m へ進入することができるため、従来のビデオスコープでは困難な事案への適用が期待されており、事故現場調査等への適用実績を持っている。

しかしながら、能動スコープカメラはいくつかの技術的問題点を持っており、実用化のためにはそれらの解決が求められている。問題点とは、視野の広角化、音声呼び掛け聞き取り機能追加、踏破性能向上、耐久性向上、防塵防水化、ガスセンサ搭載、上下方向の認識提示、ケーブルの長尺化、防爆、進入位置・経路の3次元認識、収集情報の記録活用、制御性の向上、などである。

本研究は、消防防災科学技術研究推進制度の支援により、平成21年度～23年度にこれらの問題点のいくつかの解決を試みた。本報告では、主として最終年度に行った成果を発表する。

2. 平成21年度、平成22年度の研究成果

平成21年度には下記の成果を上げた。

1) 視野の広角化に関する検討・設計

150度の視野角を持つレンズアタッチメントを新規に設計開発し、また、照明に関する検討を行った。

2) 踏破性能の向上

織毛の素材・太さ・密度・傾き角等設計パラメータの検討を、テストピースを作成した実験により行った結果、走行速度を高めるための最適なパラメータの性質が徐々に明らかになってきている。振動伝達特性の解析を行い、空隙を埋めることで走行速度低下の問題を解決できることがわかった。絨毯等の床面での走破性能のための検討を行い、駆動性能を

上げるための新たな駆動方式を考案し、その基礎実験を行った結果、大幅な改善が見込めることがわかった。

3) 音声対話機能

4) 重力方向の認識・表示機能に関する検討

音声と重力方向の機能を実現するため、マイク・スピーカ、加速度センサ、ジャイロ、照明用LEDを能動スコープカメラに実装する検討を行った。それを踏まえ、専用の電子回路基板のハードウェアを設計試作した。

5) ケーブルの長距離化に関する調査検討

検討の結果、長距離化した場合には、進行方向制御、ノイズ、製造方法の課題を解決する必要があることが明らかになった。

6) 防塵防水、耐久性の向上

設計変更により、ある程度の向上が見込めることがわかった。

7) 防爆に関する調査検討

設計の指針が得られたが、法令に基づいた防爆および試験法については、さらに検討が必要であることがわかった。

8) 仙台市消防局の協力による試験評価

能動スコープカメラの試験を行い、畳・カーペット・布団・毛布上での走行が困難であること、倒壊建物を想定した障害物等の段差がある場合の平地走行性能が十分でないこと、が確認された。これらの知見は、2)の研究の進め方に反映させた。また、瓦礫内検索における機材の重量の問題点が、新たに指摘された。

平成22年度には下記の成果を上げた。

1) 視野の広角化に関する検討・設計

150度視野角レンズアタッチメントの評価を行い、220度視野角の試作を行い、LED照明の設計試作試験を行った。

2) 踏破性能の向上

摩擦異方性を利用したインチウォーム機構を考案した。様々な条件下での実験の結果、凹凸の大き

(所属機関名)

1 NPO法人 国際レスキューシステム研究機構

2 国立大学法人 東北大学大学院情報科学研究科

い床面で高い走行性能を持ち、斜面登坂性能に優れるなど、従来の繊維振動駆動機構の欠点を補完することができるため、能動スコープカメラの走行性能の大幅な改善が見込めることがわかった。

3) 音声対話機能

小型マイク・スピーカを専用電子回路基板で駆動することによって、離れた部屋間で明瞭かつ十分な音量で呼びかけと聞き取りができることを確認した。

4) 重力方向の認識・表示機能に関する調査検討

超小型加速度センサによって能動スコープカメラ先端のロール角、ピッチ角を計測できるようにした。姿勢角を画面上に示す方法と、画像を回転して重力方向が動かないようにする方法の2つの提示法を実装し、実験の結果、前者は移動経路の全体を把握するのに適しており、後者はローカルな経路の操縦を直感的に判断するのに適していることがわかった。

5) ケーブルの長距離化に関する調査検討

新たな繊維の製造法を開発し、駆動に適した安価なケーブルの選定を行うことによって、30mの長さの能動スコープカメラを試作した。パイプを使った実験室内の走行試験によって、屈曲が少ない場合には十分な速度を実現できることを示し、長距離化が可能であることがわかった。

6) 防塵防水、耐久性の向上

5mmの深さの水たまりで使用可能であることを示した。

7) 防爆に関する調査検討

調査の結果、超小型機器で法令に則った防爆を実現することはきわめて困難であることがわかった。

8) 小型ガスセンサの調査検討

調査の結果、先端に半導体小型センサを設ける方法よりも、パイプにより手元まで測定気体を吸入し、手元の計測器で測定する方法が優れていることが明らかになった。

9) 仙台市消防局の協力による試験評価

仙台市消防局と2回にわたる実証試験を行い、性能や操作感、改良すべき点などについての意見をいただいた。

3. 平成23年度の成果

それまでの成果に基づき、最終年度は次の成果を上げた。

3.1 ケーブルの長距離化に関する設計・試作・試験

長距離の繊維ケーブルを製作するための製造法を確立し、製造装置を製作した。これまでの繊維の製作では、整形した繊維を炉の中で加熱冷却する方法を採っていたため、1回の加熱冷却で製作できる

長さに制約があった。新たに、室内で加熱冷却できる装置を製作することによって、単体で1mの長さまでを1つの装置で製作できるようにした。この方法は、場所さえあれば数m～数十mに延伸することが可能であり、製造法において、長距離化を実現するためのブレイクスルーを果たした。

これまでの工業用ビデオスコープに振動源と繊維を取り付ける方式には限界があった。すなわち、これまでは、振動源がケーブルの外側に取り付けられていたため、繊維ケーブルに突起が存在しており、瓦礫等にひっかかるという問題があった。また、繊維ケーブル径を3cm程度に抑えるために振動源のサイズの制約が非常に大きく、もととなる駆動力が小さいという問題があった。さらには、ガス吸引パイプの設置にも困難があった。これらの問題を全て解決する方法として、あらたなチューブの機構設計を行うこととした。それによって、ケーブル内部に振動源を納めること、振動源を最大限大きくすること、映像・信号・電源ケーブルとガス吸引パイプをケーブル内に納めること、を仕様としてあげた。

図. 1 に試作したいくつかの機構のうちの一つを示す。この設計によって、外皮の凹凸を無くし、アタッチメントの空隙にケーブルやパイプを通すことが可能になった。

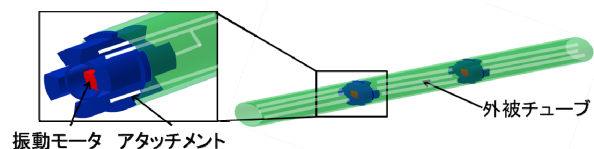


図. 1 チューブの機構設計

チューブとしては、軽量性、柔軟性、接続性に加え、振動減衰特性、重量密度等を検討し、市販チューブの中から適切なものを選択した。図. 2 に選択したいくつかのチューブの1つであるコルゲートチューブと試作したアタッチメントを、図. 3 に振動減衰特性の測定装置の概要と、ポリアミド樹脂とポリプロピレン樹脂のチューブの特性を示す。

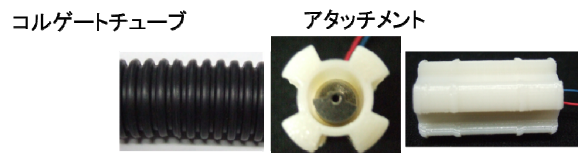


図. 2 ケーブルチューブとアタッチメント

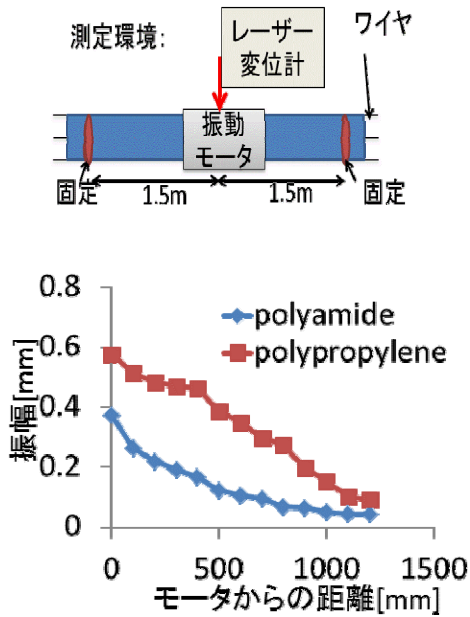


図. 3 振動減衰特性の測定装置の概要と、2種類の樹脂に関する測定結果

従来の能動スコープカメラでは、工業用ビデオスコープの首振り機構を使って先端部の曲げ伸ばしを行っていた。この方式はチューブの内部に牽引用のワイヤを複数本通す方式であり、長距離化が困難であるという問題点があった。そのため、新たな能動スコープカメラにおいては、専用の首振り機構を設けることとし、いくつかの方式の試作や試験を行った。その結果、十分な曲げ力と応答速度を実現できる方式として、マッキベン型空気圧アクチュエータを複数本設け、それによってコイルを内蔵した湾曲部チューブのワイヤを引っ張って屈曲させることとした。空気圧源としては消防用のボンベが使用可能と考えた。図. 4にその概要を、図. 5にその屈曲の様子を、図. 6にゲージ圧と屈曲角度との関係をそれぞれ示す。

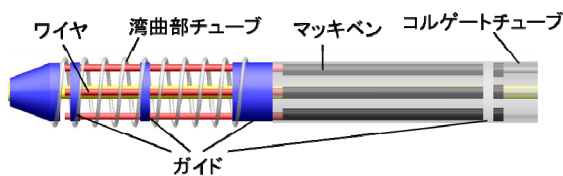


図. 4 先端部首振り機構

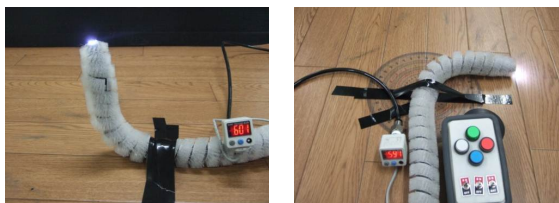


図. 5 試作した首振り機構とその屈曲

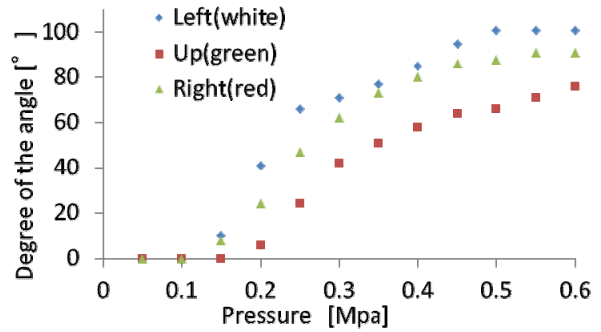


図. 6 屈曲特性

超小型カメラとしては、オリンパス製小型パイプカメラシステムを採用することとした。その仕様を表1に示す。ここで視野角は150 deg以上が望ましく、これまでに広角レンズの有効性に関する検証を行ってきたが、製品のラインアップに存在せず、開発は困難であるため、今回は75 degを採用することとした。

表1 小型パイプカメラシステムの仕様

諸元	仕様
先端部太さ	φ6.5 mm
先端部照明	LED 4 灯
先端部長さ	約 30mm
視野角	75 deg
映像出力	NTSC, S ビデオ
コントロール部電源	9V
コントロール部寸法	95 x 46.4 x 158mm

振動源としては、直径7mm、全長16,6mmの振動モータを用いることとし、チューブの振動減衰特性からモータの間隔は300mm、全長約10mに対して、9個のモータを1系統とし、3系統を独立にON/OFFできる構成とした。

さらには、(2)の音声対話機能、重力方向認識・表示機能の実装のために、チューブ内部に専用電子回路基板、小型マイク・スピーカを設置し、信号線の配線を行った。また、ガス吸引のためのチューブも内蔵することとした。

以上のシステムについて、走行試験を行った。

図. 7に、織毛ケーブルの先端1~3mを内径50mmのアクリルチューブに挿入した際の、挿入距離と発生牽引力との関係を示す。新型の能動スコープカメラは、従来型に比べて50~100%大きい発生力をもつことがわかる。

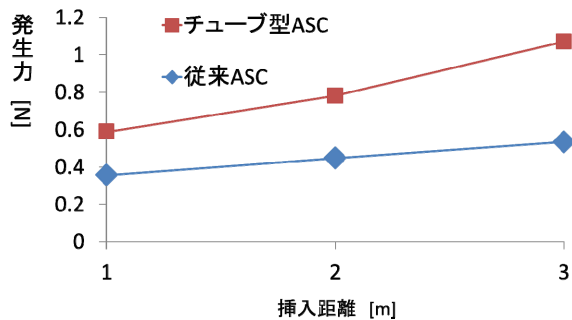


図. 7 新型能動スコープカメラの発生力

同じアクリルチューブを用いて、登坂性能の評価を行った。図. 8に試験環境の写真を示す。その結果、従来型能動スコープカメラは27 degの登坂が限界であったのに対し、新型は38 degを登坂できることがわかった。

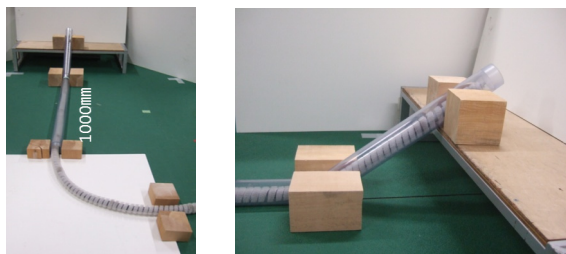


図. 8 登坂試験

3.2 音声対話機能、重力方向認識・表示機能の実装試験

新しい能動スコープカメラに、専用電子回路基板と小型マイク・スピーカによる音声対話機能を実装した。図. 9に先端電子回路基板と手元基板の写真を、図. 10にシステム全体の構成を示す。この先端電子回路基板には、超小型マイク、加速度センサ、ジャイロセンサが搭載され、音声信号やセンサ信号はデジタル信号として手元基板に伝送され、USB インタフェースによってコントロール用のPCにデータが送られるようになっている。加速度センサ信号によって重力方向を認識し、PCに取り込まれたカメラ映像を回転させる、あるいは、上下方向をアイコンで表示することができる。これらの基本機能は昨年度までに開発したものであるが、今年度は新しい能動スコープカメラへの実装と、ソフトウェアの改良、信頼性向上を行った。

3.3 立川消防署での実証評価

新しい能動スコープカメラの実証評価を、東京消防庁第8方面隊立川訓練所の瓦礫救助訓練フィールドにて行った。その際の新しい能動スコープカメラの構成と試験評価の様子を図. 11に示す。

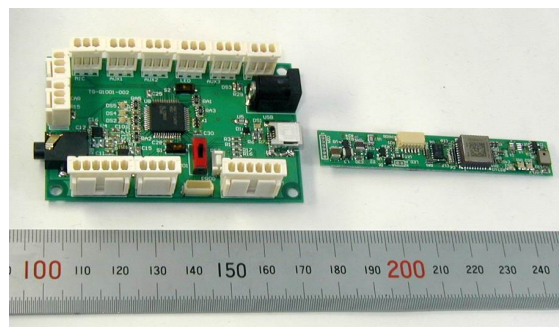


図. 9 先端電子回路基板と手元基板

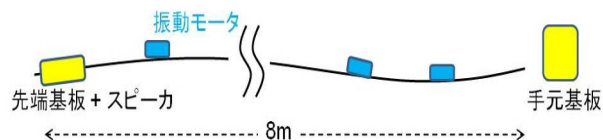


図. 10 システム全体の構成

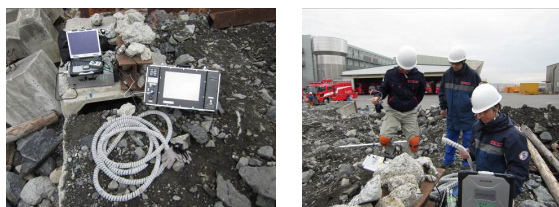


図. 11 立川訓練所での新しい能動スコープカメラの構成と試験評価の様子

(評価試験1)

図. 12に示す瓦礫について、写真の機材を置いている場所のコンクリート暗渠から、能動スコープカメラを挿入し、段差ができた暗渠の継ぎ目や内部の障害物を避けたり乗り越えたりしながら、暗渠の通路の突き当たりまで進み、左折して、能動スコープカメラのケーブルの限界である、暗渠の出口付近まで探索を行った。



図. 12 評価試験1

(評価試験2)

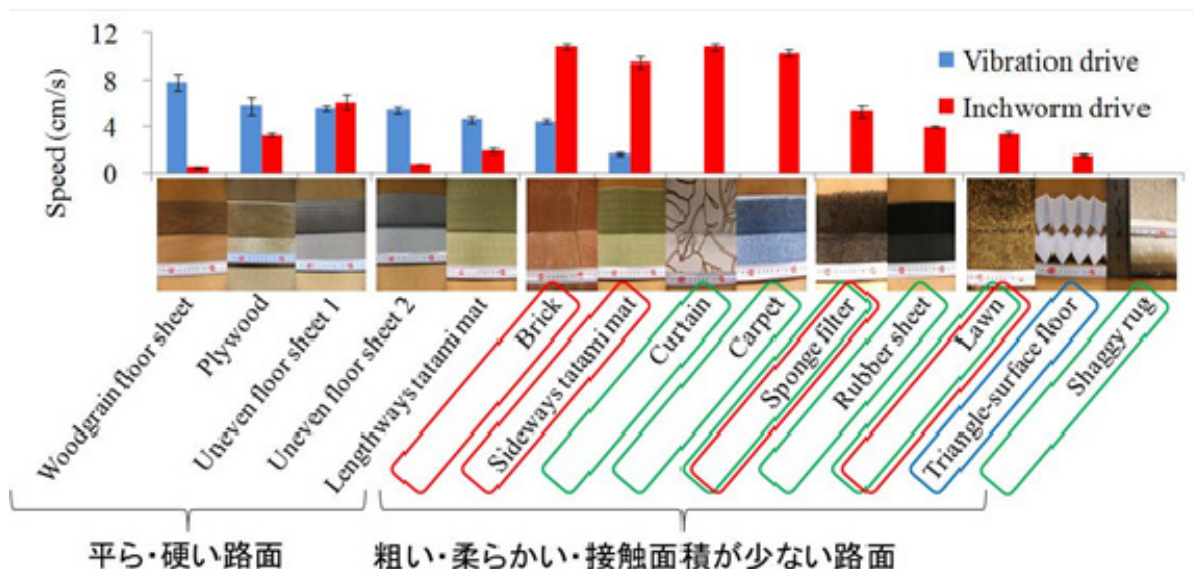


図. 15 各種路面における2原理の性能比較

同じ瓦礫について、暗渠の通路の突き当たりを右折して、その奥の探索を行った。これらの評価試験の結果、従来の能動スコープカメラと比べて運動性能が優れているため、大きな段差などでもある程度乗り越えながら進入でき、従来の能動スコープカメラと比較すると、探索可能範囲をかなり拡大できていることがわかった。また、映像の上下回転に合わせて表示画面を回転させ、常に画面の下方方向がカメラの下方方向になるように表示する操縦のためのヒューマンインタフェースが、瓦礫内の状況を把握するために非常にわかりやすく、操縦を容易にすることがわかった。

(評価試験3)

図. 13に示す円管のコンクリート構造体からなる環境について、能動スコープカメラを内部に挿入した探索評価実験を行った。奥に土砂などがたまっており、障害物の多い環境であったが、それらを乗り越えたり避けたりしながら、内部の探索を行うことができた。最終的に、能動スコープカメラの長さの最大まで、瓦礫内に侵入させることができた。以上から、本年度の改良によって、瓦礫環境での進入能力が確実に高まっていることが示された。



図. 13 評価試験3

(評価実験4)

破碎石の瓦礫の上で、能動スコープカメラの走行

試験を行った。図. 14に示すように、高い場所から能動スコープカメラを操縦した。その結果、石の間を縫い、ギャップを乗り越えながら、あるいは、石の表面を登りながら走行できることが示された。これは明らかに従来の能動スコープカメラと比べて飛躍的に運動能力が高くなったことを意味している。特に、先端の剛性が高くなっているため、石と石の間のギャップを乗り越える能力が特に改善されていることが確認された。



図. 14 評価実験4

以上の評価実験により、改良した新型の能動スコープカメラは、従来と比べて、はるかに高い運動性能をもつことが示された。

3.4 異方摩擦インチョーム機構の開発

繊維毛振動駆動では困難な場所での運動を可能にする方式として、昨年度までに異方摩擦インチョーム機構を発明した。図. 15に示すように、その特性がちょうど繊維毛振動駆動の欠点を補完する関係にあることがわかった。

しかしながら、瓦礫内のように屈曲した狭路では、インチョームを動かすための直動アクチュエータが剛体であるため、それが原因となってスタック

してしまうという問題点がある。アクチュエータとしてストロークの短いものを使用するとこの問題が緩和されるが、柔軟な路面において運動性能が著しく低下してしまう。ストロークの長いアクチュエータは、屈曲部を通過することができない。

以上の問題を解決するために、図. 16に示すような柔軟空気圧リニアアクチュエータの開発を行った。これは、テフロンチューブと蛇腹ゴムとの間を加圧することによって伸長することができ、それによって異方摩擦インチョーム機構に必要な伸縮運動を行う。

試作機が通過可能な経路幅について、図. 17のような屈曲路で実験を行った結果を示す。柔軟リニアアクチュエータは、剛体シリンダに比べて、明らかに通過特性が優れていることが示された。

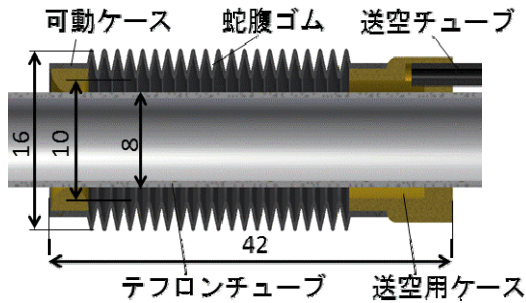


図. 16 柔軟空気圧リニアアクチュエータ

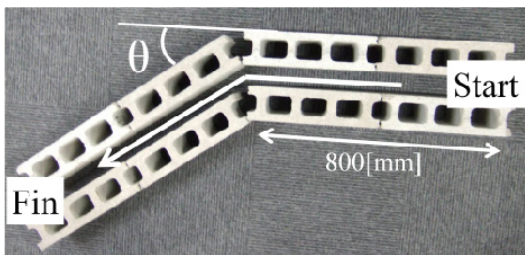
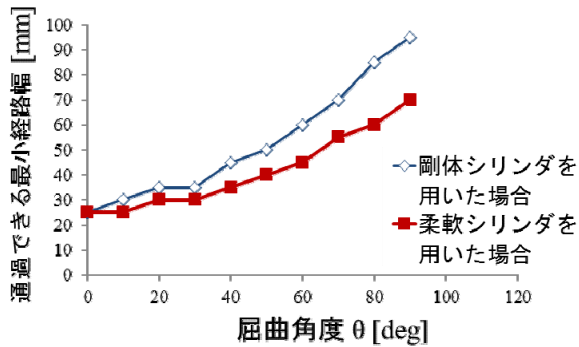


図. 17 柔軟リニアアクチュエータと剛体シリンダの比較実験

しかしながら、この試作機は、ストロークが未だ短い、耐圧が低い、可動部に潤滑油が必要、粉塵環境に弱い、という問題を持っており、改良を行う必要があった。

種々の検討と試作、試行錯誤の結果、図. 18のような構造原理を持つアクチュエータが有効であることが明らかになった。エアチューブ・ゴムチューブ層を加圧すると、ゴムチューブが膨張し、それによってローラーが回転し、右方向に移動する。この方式は、ストロークを非常に長く採ることが可能であること、潤滑油が必要ないこと、の利点を有している。

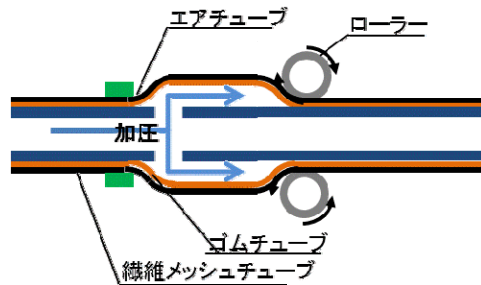


図. 18 新たな柔軟空気圧アクチュエータ

力学的なモデリングによって、ローラー径、数などの機械設計パラメータの最適化を行い、詳細機構設計を行った。繊維メッシュチューブで覆うことによってエアチューブの膨張を防ぐ工夫を行った。試作したアクチュエータを図. 19に示す。実験の結果、1m/s以上の高い速度でローラーパッキンを動かすことができることが示された。

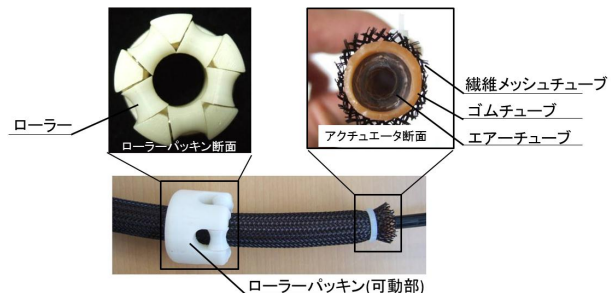


図. 19 試作した柔軟リニアアクチュエータのローラーパッキン

屈曲による影響を調べるため、図. 20のように、曲げ半径 R を変化させ、印加圧力と発生力の関係を調べた。この結果は、湾曲していても発生力への影響は小さいことを示している。

これを能動スコープカメラに組み込むための設計および試作については、本研究の期間に終えることはできなかった。

測定環境
 ・印加圧力：20kPa～60kPa
 ・曲げ半径R：150～300mm

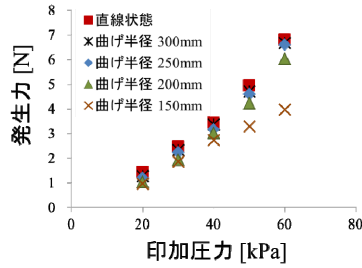
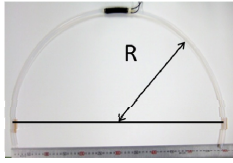


図. 20 屈曲の影響

3.5 防爆のための検討

小型の電磁モータを本質防爆にすることは非常に困難であり、振動源を変更する以外には防爆を実現することはできない。そのため、空気圧アクチュエータ、水圧アクチュエータの採用を検討した。

空気圧アクチュエータによって振動を発生する機構は数々知られているが、細径チューブによる大きい圧力損失、空気の圧縮性による圧力波の減衰などの問題があり、アクチュエータのための振動源としては望ましい特性とは言えない。それに加えて、配管が破損した際に、可燃性ガス雰囲気酸素を供給してしまう可能性があることが指摘された。

水圧アクチュエータは、消防ポンプによって圧力源の確保が比較的容易であると考えられる上、発生力が大きく、防爆には非常に適している。

調査を行った結果、ウォーターハンマー現象、水の慣性力、非線形振動子が有効である可能性がわかった。前二者については、水とホースの力学モデルに基づき、ホース各部に生じる慣性力、および、ウォーターハンマー現象による振動を明らかにすることができる。図. 21のような簡易的な実験により、振動を発生できることが明らかになった。また、水圧アクチュエータに適用可能な織毛チューブの試作を行った。



図. 21 ウォーターハンマーの実験と試作した織毛チューブ

3.6 東日本大震災への適用検討

東日本大震災では津波被害が甚大であった。水中における捜索は、人命救助において最も困難な作業の一つである。瓦礫環境にダイバーが潜ることは大変危険である上、水の透明性が低く視界が極端に短いことが大きな問題であった。そのような環境において、水中ロボット ROV は大きな役割を果たすことができると考えられる。特に、近年解像度が非常に

高くなってきたソナーの有効性は高い。ROV の最大の欠点はケーブルである。ケーブルが瓦礫等の構造物に絡まったり引っかかったりすること、ケーブルを引きずるための力が大きく運動性能を低下させること、が大きな問題である。

この問題に対して能動スコープカメラの技術は大きく貢献できる可能性を持っている。能動スコープカメラを直接狭い瓦礫内に差し込むことによって、ROV が狭く入り組んだ場所に入る必要がなくなる。さらには、ケーブルとして織毛振動機構や異方摩擦インチウォーム機構を適用することによって、上記の問題を解決することができると思われる。

しかしながら、このためには水中での運動制御の問題を解決する必要があり、現状では対応が困難であるため、本格的な研究開発が必要である。

福島第一原子力発電所の問題は世界的な大きな問題である。現在、原子炉格納容器の内部の状況を調べる手段が無く、ボアホールの入口付近をビデオスコープで撮影したに過ぎない。

この問題に対して、能動スコープカメラを使用すれば、原子炉格納容器の入り組んだ構造内の奥深くを調査できる可能性がある。

しかしながら、耐放射線性能など、解決すべき課題は多いと考えられる。

3.7 プロジェクト運営委員会の開催

神戸国際会議場でプロジェクト運営委員会を開催し、研究開発内容の発表とデモを行い、有識者からの意見とアドバイスをいただいた。デモの様子を図. 22 に示す。



図. 22 プロジェクト運営委員会におけるデモンストレーション

4. おわりに

ケーブルの長距離化に関して目処が立ち、織毛振動駆動によってこれまでの約3倍の移動速度を実現できた。新しい機構設計によってケーブル表面の凹凸を無くすことができたため瓦礫や屈曲部への引っかかりが少なくなり、立川消防署の訓練用瓦礫での下り試験でも性能の向上が明らかに見られた。さらには、音声対話、重力方向認識・表示機能等の有効性も確認できたことから、本研究によって能動スコープカメラは実戦配備に飛躍的に近づいた。そのため、本研究の所期の目的の80%は果たされたと考えている。新たに開発した異方摩擦インチウォーム機構については、織毛振動駆動が不得意とする

環境での有効性が確認されたが、柔軟空気圧アクチュエータの開発に困難があったため、繊毛振動駆動と組み合わせた能動スコープカメラへの実用的な実装には至らなかった。今後さらなる試行錯誤と実践的改良が必要であると考えている。また、試験配備に際しては、両者を組み合わせたものについて、訓練所等での実践的な試験と併せて進めていくことが望ましいと考えられる。防爆については、可能性の高い方法論が複数検討できたので、今後の研究開発によって実現可能と考える。津波や原発等の災害事象については、水中での移動、放射線環境への対応に関する研究開発によって、適用が可能になると考える。

最後に、本研究開発にご協力やご意見をいただいた、総務省消防庁、東京消防庁、仙台市消防局、神戸市消防局、および、有識者の方々に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) Michihisa Ishikura, Kazuhito Wakana, Eijiro Takeuchi, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Running Performance Evaluation of Inchworm Drive and Vibration Drive for Active Scope Camera, Proc. 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2011), pp. 599-604, 2011.
- 2) Kazuhito Wakana, Michihisa Ishikura, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Development of Linear Inchworm Drive using Flexible Pneumatic Actuator for Active Scope Camera, Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012), pp. 4315-4321, 2012.
- 3) Hiroaki Namari, Kazuhito Wakana, Michihisa Ishikura, Masashi Konyo, Satoshi Tadokoro, Tube-type Active Scope Camera with High Mobility and Practical Functionality, Proc. 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), 2012 (accepted).

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 7 疲労度指標に基づくストレス判断システムの構築

研究課題名	疲労度指標に基づくストレス判断システムの構築
研究実施期間	平成 21 年度～平成 23 年度
配分額(千円)	H21 年度：直接経費 9,250,000 円，間接経費 2,775,000 円 H22 年度：直接経費 9,750,000 円，間接経費 2,925,000 円 H19 年度：直接経費 6,600,000 円，間接経費 1,980,000 円
研究代表者	岡 泰資
所属機関	国立大学法人 横浜国立大学
研究体制	学・官
研究概要	<p>火災現場での消火・救助活動，化学物質漏洩現場での漏洩物質の確認・除去活動は，防火服や防護服を着装しての作業となる。消防隊員の活動に伴う産熱や発汗により防護服内は高温多湿状態となり，このような状態での活動の継続は，各隊員の加速度的な疲労蓄積を招き，適切な水分補給ができなければ熱中症の危険性も高くなる。このため，活動の効率化，適切な労働安全管理，疲労に起因した集中力低下に伴うヒューマンエラーの撲滅，さらに各隊員の疲労度に応じたきめ細かい活動指示（負荷の低減，退域指示，休息等）を実施するには，各隊員の疲労状態をリアルタイムでモニタリングする必要がある。そこで本研究では，従来の現場指揮者の経験や各隊員の自己判断に加えて，活動現場で利用できる科学的な根拠に基づく新規指標の導出とその判断閾値を確立し，かつ出動命令の変更による隊員数の増減にも対応可能なシステムが必要であるとの観点から研究を実施し，以下の結果を得た。</p> <p>(1) 8 階建ての中層建物を利用した実践的な消火訓練中の消防隊員の外耳温度や心電の連続測定値と活動内容毎の各状態量の変化の分析から，立体的な動きを伴う消火活動を室内の平面的な活動で模擬できる活動メニューを策定した。</p> <p>(2) 現役消防隊員 18 名（24～54 歳）の同意のもと，人工気候室（室温 30℃，湿度 60～70%）で防火衣，空気呼吸器を着装し，策定した模擬活動を実施した。心臓の収縮期に発生する R 波間隔時系列の周波数解析から，0.1 Hz 以上の周波数領域でのパワースペクトル形状の変動とパワースペクトルの周波数に対する減衰値が，隊員の心拍状態を推測できる指標として活用できる可能性を明らかにした。</p>

	<p>(3) 模擬活動中の自律神経機能状態量は、健常者の安静・座位時のそれと異なり、極端に交感並びに副交感神経機能が抑制されることが観測され、この抑制は模擬消防活動の終了により解除された。</p> <p>(4) 被験者の個人特性を補償するために、模擬活動中の自律神経機能状態量を第1ノンレム睡眠中の代表値で除し、模擬活動全体で積分した値が、模擬活動前後に採取した唾液中に含まれるストレス反応バイオマーカー（α-アミラーゼ、コルチゾール、クロモグラニンA）の変化と強く相関することがわかった。</p> <p>(5) 中空イヤフォンタイプ（外の音も聞こえ、イヤフォンにもなっている）の温度・脈拍数同時測定器への改良を試みた。</p> <p>(6) 消火活動現場における隊員の活動に応じて動的に対応可能な簡易無線ネットワークモデルを想定し、中継端末を配置した消防隊員用無線通信ネットワークの特性を明らかにした。</p>
研究成果の活用事例	製品化の事例はありません。
応用の方向性	・ヒートストレス機器の開発
研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> • 大場淳一，池田盛雄，藤馬千典，伊藤悠史，江成美沙，岡 泰資，栗山幸久：消火活動を模擬した訓練手法の提案 消防隊員の疲労度判定方法の検討 その3，平成24年度日本火災学会研究発表会，pp.34-35，2012.5. • 伊藤悠史，江成美沙，岡 泰資，栗山幸久，大場淳一，池田盛雄，藤馬千典：高負荷活動従事者の疲労状態把握手法の提案 消防隊員の疲労度判定方法の検討 その4，平成24年度日本火災学会研究発表会，pp.36-37，2012.5. • 貞苺 圭，児玉哲郎，安藤弘輝，渋谷文那，西田 優，岡 泰資，三浦 大，小泉淳一：消防士の活動不能状態を予見した自律神経機能から推定する睡眠指標，日本生物工学会大会，2012.10. • 大場淳一，池田盛雄，藤馬千典，岡 泰資，栗山幸久：消防隊員の疲労度判定方法の検討について（その3），第60回全国消防技術会資料，2012.10. • 江成美沙，岡 泰資，川縁健二，藤馬千典，三浦 大，池田盛雄：消防隊員の疲労度判定方法の検討（その2），平成23年度日本火災学会研究発表会，pp.98-99，2011.5. • 江成美沙，伊藤悠史，岡 泰資，栗山幸久，角津光憲，藤馬千典，

	<p>池田盛雄, 大場淳一: 消防隊員の疲労度判定方法の検討について, 第43回安全工学研究発表会, pp.139-142, 2011.10.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 角津光憲, 藤馬千典, 池田盛雄, 大場淳一, 江成美沙, 伊藤悠史, 岡 泰資, 栗山幸久: 消防隊員の疲労度判定方法の検討について (その2), 第59回全国消防技術会資料, pp.62-65, 2011.10. • 小野文枝: 制御可能な可動型ノードを用いたマルチホップネットワークに関する研究, 電子情報通信学会技術報告, WBS2011-8, pp.41-44, 2011. • 吉田翔大, 小野文枝: 火災現場における追従型中継端末を用いたマルチホップネットワークの性能評価, 電子情報通信学会技術報告, WBS2011-20, pp.59-63, 2011. • 小川真司, 小野文枝: 直交偏波を用いたSTBC-MIMOネットワークコーディングのアウトージキャパシティ, 電子情報通信学会技術報告, WBS2011-31, pp.53-58, 2011. • 吉田翔大, 小野文枝: 消火活動支援のための無線ネットワーク構築に関する一検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 130, no. A-5-14, 2011. • Ogawa,S., Ono, F., "STBC-MIMO Network Coding with Dual Polarization Antennas", Proc. of the 20th International Conference on Computer Communications and Networks, pp.1-5, 2011. • Yoshida,S., Ono, F., "Wireless Sensor Network with Tracking Relay Node for Firefighter", Proc. of IEEE Asia Pacific Wireless Communication Symposium, pp.1-5, 2011. • Ogawa,S., Ono, F., "Effect of Polarized Orthogonal STBC-MIMO Network Coding on Wireless Multi-hop Networks", Proc. of the 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, pp.11-15, Brest, 2011. • Kato,Y., Ono,F., "Disjoint Trajectory in Wireless Sensor Networks with Two Mobile Sinks", Proc. IEEE International Workshop on Wireless Distributed Networks 2011, pp. 1-5, 2011. • Kato,Y., Ono,F., "Node Centrality on Disjoint Multipath Routing", Proc. of 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring), pp. 1-5, 2011. • Ogawa,S., Ono,F., "Effect of Polarized Orthogonal STBC-MIMO Network Coding on Wireless Multi-hop Networks", Proc. of the 14th International Symposium on Wireless Personal Multimedia
--	--

	<p>Communications , pp. 11-15, 2011.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ogawa,S., Ono,F., "STBC-MIMO Network Coding with Dual Polarization Antennas", Proc. of the 20th International Conference on Computer Communications and Networks , pp. 1-5, 2011. • 三浦 大, 川縁健二, 増田 豊, 村下康文, 増田久美子, 瀬古裕也, 西田 優, 貞刈 圭, 岡 泰資, 小泉淳一: 消防隊員の疲労度判定方法の検討, 平成22年度日本火災学会研究発表会, pp.204-205, 2010.5. • 三浦 大, 川縁健二, 増田 豊, 村下康文, 増田久美子, 瀬古裕也, 西田 優, 貞刈 圭, 岡 泰資, 小泉淳一: 消防隊員の疲労度判定方法の検討, 第 58 回全国消防技術者会資料, pp.66-69, 2010.10. • 小川真司、小野文枝: アンテナ放射特性を考慮した MIMO ネットワークコーディングの伝送容量, 電子情報通信学会技術報告, WBS2010-2, vol. 110, pp. 5-10, no. 72, 2010. • 小川真司、小野文枝: 3次元空間における MIMO ネットワークコーディングの性能評価, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp. 105, no. A-5-3, 2010. • Fukuda,K. Ono,F., "STBC-MIMO Network Coding with Adaptive Modulation Asymmetric Traffic and Channel", Proc. of the 4th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, pp. 1-9, 2010.
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>各要素のさらなる進展のために以下の点の改良が必要である。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 非侵襲に計測できる心電情報を周波数解析することで、活動中の隊員の心拍状況を推し量ることができるようになったが、活動現場での隊員の疲労度を総合的に判定するには、高負荷活動下でも安定なデータを取得できる条件の確立と隊員の個人差を考慮した閾値の設定のための判定ロジックの高度化 • 消火・救助活動時における隊員の自己管理支援と負担軽減につながるストレスアラーム機器の開発と機器の小型・防水化および高速演算機能と表示機能を有するシステム構築 • 各隊員および部隊（消防力）のレベルアップのために、消防活動モデルの標準化、各消防署での日頃の訓練への展開・組み込みのため

	<p>に、各隊員の体力・心肺機能能力に応じた日常訓練メニューの開発、および周囲の環境変化を鋭敏に察知しての繊細な対応、不確定要素が多い空間への進入など心理的要因を加味した模擬活動メニューの提案と検証</p>
--	---

疲労度指標に基づくストレス判断システムの構築

○岡 泰資¹, 小泉淳一¹, 渡邊昌俊¹, 竹村泰司¹, 小野文枝¹
藤馬千典², 池田盛雄², 大場淳一²

Yasushi OKA, Jun-ichi KOIZUMI, Masatoshi WATANABE, Yasushi TAKEMURA, Fumie ONO,
Kazunori TOMA, Morio IKEDA, Junichi OBA

研究課題の要旨: 火災現場での消火・救助活動, 化学物質漏洩現場での漏洩物質の確認・除去活動は, 防火服や防護服を着装しての作業となる。消防隊員の活動に伴う産熱や発汗により防護服内は高温多湿状態となり, このような状態での活動の継続は, 各隊員の加速度的な疲労蓄積を招くだけでなく, 熱中症の危険性も高くなる。このため, 活動の効率化, 適切な労働安全管理, 疲労に起因した集中力低下に伴うヒューマンエラーの撲滅, さらに各隊員の疲労度に応じたきめ細かい活動指示(負荷の低減, 退域指示, 休息等)を実施するには, 各隊員の疲労状態をリアルタイムでモニタリングする必要がある。そこで本研究では, 従来の現場指揮者の経験や各隊員の自己判断に加えて, 活動現場で利用できる科学的な根拠に基づく新規指標の導出とその判断閾値を確立し, かつ出動命令の変更による隊員数の増減にも対応可能なシステムが必要であるとの観点から研究を実施した。

キーワード: 消防隊員, 疲労,

1. はじめに

消防隊員は, 専門的かつ広域的な災害対応が求められるが, その労働環境は, オフィス, 生産工場などでの労働者に比べ, (1) 火災の発生, 救急要請など, 何時起こるか判らない, (2) 現場は暑い・寒いは関係なし, (3) 不特定な活動場所(活動場所, 活動環境が一定でない, 一定にできない)など, 快適な作業環境ではない。労働環境を改善するには, (1) 環境管理, (2) 作業管理, (3) 健康管理が重要であるが, 消防隊員の活動現場は上述の通り, 極端な周辺環境温度や不特定な活動場所での重労働, 化学薬品による損傷の恐れや生物学的な感染の恐れ, 救急出動に伴う緊張感や不安感などのさまざまな負荷がかかっており, これが肉体的・精神的な疲労へと繋がると考えられる。さらに近年の消防隊員の高齢化にともなう消火活動上の身体的な負荷の増加も懸念される。また, 近年の活動内容の拡大および出動件数の増加は, いずれも消防隊員にとって負担増となっている。

このような社会的状況の変化や過酷な労働環境による負担が, 現場の消防隊員の肉体および精神的な疲労へと繋がり, 人的ミスや安全管理の欠如, 傷病者やその関係者との対応時の誤解などを生じる可能性がある。このため, 隊員の肉体および精神的な疲労状態をもとに休憩や交代を実施することで, 疲労から生じる様々な現象を軽減することができると考えられる。しかし, 現状では現場指揮者の判断や, 一定の時間間隔によってのみ休憩や交代が行われているものの, 活動中の隊員の疲労状態を指標化した客観的な基準が確立されて

いない。このため, 消防隊員が献身的かつ過剰な活動を行い, 自らの健康状態にまで気が回らず, 熱中症に陥る事例なども報告されている。このことから, 隊員自らがリアルタイムで疲労状態を確認することに加え, 現場指揮者が各隊員の疲労度をリアルタイムで共有することで, 隊員の疲労に起因するミスや事故の未然防止, 誤判断による無理な活動継続の回避, 早期の交替による安定な消防活動の持続的, かつ限られた部隊数での有機的・効率的な展開を支援するシステム作りが必要であるとの立場から, 個々の隊員の疲労状態をリアルタイムでチェックして管理できるシステム構築を目標とした。

2. 生体情報と生理情報の相関について

消防活動中に曝される各種のストレス(熱・煙等の物理要因, 燃焼生成物等の化学要因, 恐怖等の心理的要因)が引き起こすストレス反応は, ヒトの神経系, 免疫系, 分泌系を刺激し, 特定の応答を引き起こす。このため消防隊員へのストレスの被曝量, それによる好ましくないストレス反応の強度等を, 消防活動中に推定でき, 好ましくないストレス反応に起因する不幸を避けられるよう, 活動をコントロールすることは重要である。そこで, 疲労評価バイオマーカーの変化を追跡することで, 消防活動が与える心理的・身体的ストレスを推定でき, またその結果である精神と肉体に与える脳の疲労信号の強度を推定できないかとの観点から検討した。疲労評価バイオマーカーとして, 唾液で測定できる, 免疫系についてはイムノグロブリン A (IgA), 分泌系に関してはコルチゾールとクロモグラニン A (CgA), 外分泌性の α -アミラーゼの4種を選

扱した。しかしながら、これら疲労バイオマーカーは、活動前後にしか測定できないため、測定値をもとに消防活動の安全性を高めることに直接貢献できない。そこで、疲労バイオマーカーの変化を推定でき、リアルタイムで、かつ非侵襲的な方法で計測でき、しかもその結果を伝送できる心電情報を心拍変動解析して得られる自律神経機能信号との相関に注目した。

心拍変動の解析手法には主に、時間領域解析と周波数領域解析がある。時間領域解析は、測定値の計算が簡単に行える半面、自律神経のバランス、即ち交感神経と副交感神経の作用の時間的配分を量的に測定する事が出来ないという短所を持つため、ここでは、周波数領域解析を用いた。European Society of Cardiology と North American Society of Pacing Electro-physiology の共同タスクフォースが RR 間隔（心室の収縮期に現れる心電のピーク R 波の間隔）時系列を採取し、その時系列に対し周波数解析を施し、低周波成分パワー値 (LF, Low Frequency : 0.04~0.15 Hz), 高周波成分パワー値 (HF, High Frequency : 0.15~0.40 Hz) を求めることを基本とした。LF は交感神経機能を、HF は副交感神経機能を反映していると言われており、交感神経、副交感神経それぞれの心臓への影響を薬物等で遮断し、遮断された方の神経活動を示す周波数成分が観察されなくなるという結果から証明されている。

消防活動中の自律神経機能状態量は、健常者の安静・座位時のそれと異なり、極端に交感並びに副交感神経機能が抑制されることが観測され、この抑制は模擬消防活動の終了により解除された。

交感神経が最も鎮静化し、また脳の休息のため副交感神経が適度に活動する時期が睡眠であり、特に入眠後、最初に観察されるノンレム睡眠期間が、最も脳の回復に有効であるとされている。また、慢性疲労症候群患者では、睡眠時に副交感神経の適度な活動がないことも報告されている。このため、睡眠時の自律神経機能は、その個人の属性を代表するものと仮定し、被験者全員の睡眠時の心電を測定し、交感神経と副交感神経機能のバランスを示す LF/HF の値変動が一定閾値以下(1.8 を採用)となった領域をノンレム睡眠期間と定義し、特定した。表 2.1 に示したように、被験者の個人特性を補償するために、模擬活動中の自律神経機能状態量を第一ノンレム睡眠中の代表値で除し、模擬活動全体で積分した値が、模擬活動前後に採取した唾液中に含まれるストレス反応バイオマーカー (α -アミラーゼ、コルチゾール、CgA) の変化と強く相関することが明らかとなった。CgA は身体的ストレスでは変

表 2.1 消防模擬活動前後の疲労バイオマーカーの変化比と自律神経機能指標との相関

	相関係数			
	免疫系	内分泌系		外分泌系
	IgA	Cortisol	CgA	α -Amylase
A	相関無し	0.67	0.57	0.93
B	相関無し	0.78	0.60	0.91
C	相関無し	0.87	0.73	0.88

- A: 消防模擬訓練中の TP(=LF+HF)積算値に対して
 B: 消防模擬訓練中の TP(=LF+HF)積算値を被験者の第一ノンレム睡眠期平均値で個人特性を補償した Q 値に対して
 C: 消防模擬訓練中の TP(=LF+HF)積算値を被験者の第一ノンレム睡眠期最大値で個人特性を補償した Q 値に対して

化はないが、心理的ストレスに対応して濃度を増すバイオマーカーとされている。従って、消防模擬活動における負荷は、少なくとも心理的な負荷（緊張・興奮・切迫感等）が大きかったと結論できる。また、Q 値は、消防活動時に伝送でき、リアルタイムにモニタリングできる値でもあることから、外部から消防活動の負荷およびそれに起因する疲労推定が可能である。特に、今回の測定結果からは、交感神経の亢進（興奮）や心理的な要因に由来する疲労については検知できた。

さらに、実測結果から以下の事項が明らかとなった。

1. 消防活動のような苛烈な活動においては、安静時測定を前提とした、これまでの自律神経機能指標の基準値は、有効とは言えない。
2. 個人に備わった属性を無視して、その時の計測値のみから心身の状態を基準値を基に判断することは危険であり、個人特性を補償できる水準で、新たな基準値または指標値を設定すべきである。
3. 消防従事者について第一ノンレム睡眠期の自律神経機能指標を定期的に把握することで、慢性疲労の早期発見という好ましい副次効果が期待できる。

3. 消防活動中の消防隊員の活動時の心電周波数解析の検討

心拍数は、生体的な負荷を把握する指標として有用であるが、消防活動のような激しい活動を伴う場合、最大心拍数のみにもとづく疲労判定は難しい。

心電は、心房・心室の心筋の活動に応じて発生する電位を観測するが、心室の心筋が一斉に収縮し大動脈へ血液を吐出する際（心室放電時）に発生する電位（R

波間隔 (RR 間隔) を周波数解析することで、自律神経系の亢進度、身体的な負荷など、多くの情報を非侵襲的に得ることができる。しかし、従来の心拍変動解析を適用した研究は、安静時あるいは軽負荷を対象としてきたが、本研究では、消防活動など身体的負荷が大きな状態への適用を試みた。これは $1/f$ ゆらぎという“質”の評価を判定指標に用いることで、心拍変動の有用性が更に増すだけでなく、活動時の消防隊員の安全衛生の向上に役立つとの考えたためである。本研究では、2つの指標、LF/HF および β を取り上げ、心拍変動解析から見た疲労度の評価を試みた。LF/HF はそれぞれの周波数帯域のパワーの比 (交感神経活動と副交感神経活動のどちらが優位に働いているかというバランスを表す指標) であり、パワースペクトル密度 (PSD) のゆらぎ指標 (傾き) β である。

本研究では、まず消防隊員の消火活動時の疲労度を判定するロジックあるいは閾値設定のための前段階として、各消防隊員に印可する負荷量を一定とするために、活動負荷量の標準化を目指した消火活動項目の策定を試みた。この活動項目は、実際の中層建物 (8 階建て建物) を利用した消火訓練時の消防隊員の活動履歴と RR 間隔や体温変化のデータをもとに、一定の環境空間を維持できる室内空間 (人工気候室) で、立体的な動きを伴う消火活動を、室内の平面的な活動で模擬できるように、各活動の種類と質 (活動時間) から表 3.1 に示した活動メニューを考案した。

中層建物での消火活動時の体温および心電データの時間変化と策定した模擬活動を実施したときのそれらの時間的な変化を比較することで、策定した模擬活動の妥当性を検討した。中層建物での消火訓練と策定した模擬活動における瞬時心拍数を比較した結果を図 3.1 に示す。いずれの活動においても瞬時心拍数は活動開始と同時に急激に上昇し、活動終了まで 160~180 bpm 前後の高い心拍数を推移し、よく一致した。

また図 3.2 に示したように、外耳温に関しても、活動開始から単調に上昇し、いずれも約 3°C 上昇した。

これらの測定結果から、策定した模擬活動は、実際の消火活動の身体的負荷を模擬できたと考えられる。

現役消防隊員 18 名 (24~54 歳) の同意のもと、表 3.1 に示した消防模擬活動を実施した時の心電の周波数解析結果を以下に示す。

心電データのセグメント解析 (サンプリング時間 3 分、そのずらし幅 15 秒) は MemCalc/win で行い、パワースペクトル密度 (PSD) と周波数の関係を求めた。得られたデータをもとに PSD の周波数に対する減衰率を

表 3.1 策定した消防模擬活動メニュー

①	開始	1 分
②	空気呼吸器装着	
③	φ 50mm ホース 2 本 (7 kg×2 個) トレッドミル (傾斜 10%, 5 km/h)	3 分
	踏み台昇降 (ステップ高さ: 18 cm)	1 分
④	10 kg (5 kg×2 個) の錘を持つ トレッドミル (傾斜 10%, 4 km/h)	3 分
	踏み台昇降 (ステップ高さ: 18 cm)	1 分
⑤	要救助者①に接触、バイタル確認	1 分
⑥	25 kg のナップサックを前面で抱える トレッドミル (傾斜 0%, 2 km/h)	3 分
⑦	要救助者①のバイタル再確認	1 分
⑧	24 kg (12 kg×2 個) の吊り下げ錘 トレッドミル (傾斜 10%, 3 km/h)	3 分
	踏み台昇降 (ステップ高さ: 18 cm)	1 分
⑨	発電機起動、照明活動	2 分
⑩	トレッドミル (傾斜 10%, 5 km/h)	2 分
⑪	要救助者②に接触、バイタル確認	1 分
⑫	25 kg のナップサックを前面で抱える トレッドミル (傾斜 0%, 2 km/h)	3 分
⑬	活動終了	計 26 分

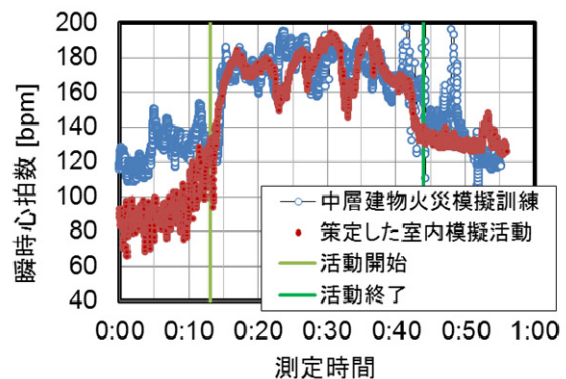


図 3.1 同一被験者での瞬時心拍数の比較

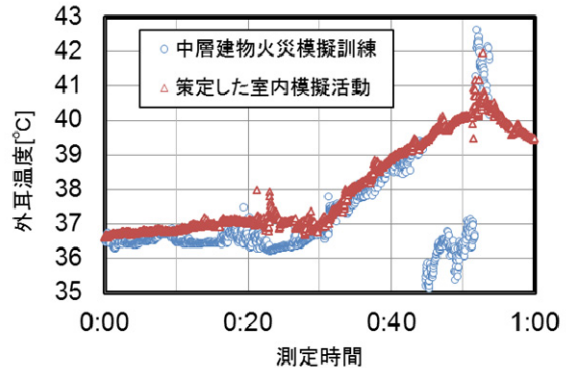


図 3.2 同一被験者での外耳温度の比較

示す心電のゆらぎ指標 (β) を求めた。日常生活時の β 値は 0~2 で変動すると報告されているが、図 3.3 に示したように、消防活動時は 3 を越えた値となった。

図 3.4 に、訓練前、訓練前半、訓練後半および訓練活動後のある 3 分間の心電データを基に算出した PSD と周波数の関係を示す。活動中は 0.1 Hz 以上の周波数領域での PSD の傾きが、周波数に対して徐々になだらかになり、負荷活動を継続することで、その傾きがより小さくなる（平坦となる）傾向が見られた。また、このなだらかな減衰を示す領域が、低周波領域に広がる傾向も確認された。この領域の PSD の傾きや周波数に対する PSD の依存性を示すグラフ形状は、休息をとることで訓練開始前の状態へと回復した隊員 B と、活動を継続できなかった隊員 Q を比較すると、PSD の周波数に対する依存性 (β の値) がゼロに近づく時間帯が長くなるとともに、活動終了後も 0.1 Hz 以上の領域での PSD 値の傾きが、なだらかとなる違いが確認できた。さらに、0.1 Hz 以上の領域で負荷の上昇とともに PSD 値の上昇が認められたが、この高周波側の PSD 値の上昇は、高負荷活動による指標 β の値の低下の要因と考えられる。同様な結果は他の隊員においても確認された。なお、この高周波数側の PSD 値の上昇の理由としては呼吸成分の影響が考えられる。なお、心電のゆらぎ指標 β を求めるための周波数範囲の低周波数側は、サンプリング時間[sec]の逆数の半分（今回は $1/(3 \times 60)$ の半分で、0.0027778 Hz)、高周波数側は 0.4、0.15、0.1 Hz の 3 通りとした。その結果、高周波数側を 0.15 Hz あるいは 0.1 Hz とした場合、0.4 Hz とした場合に比べて、負荷による β 値の変動をとらえやすいが、周波数領域が短くなるため変動が大きくなった。

以上のように、RR 間隔の周波数解析から求められる、PSD と周波数の関係から、0.1 Hz 以上の周波数領域の PSD の形状が、訓練前後で顕著に変動することが確認できた。この PSD のパターン形状の変化や心電のゆらぎ成分の変化を示す指標 β は、隊員の心拍状態を推し量ることのできる指標として有用である。特に、訓練中断者と非中断者の大きな相違点が、休息時における回復能力（回復時間）であることから、時間毎の PSD と周波数の関係をモニタリングすることで、活動の中断・再開・休憩の継続の判断が可能となると期待される。さらに、RR 間隔の周波数解析から求められる LF/HF は、自律神経機能の亢進状態を示す貴重な情報ではあるが、心理的な要素が深く関与するため、この指標に対する影響については、さらなる検討が必要である。

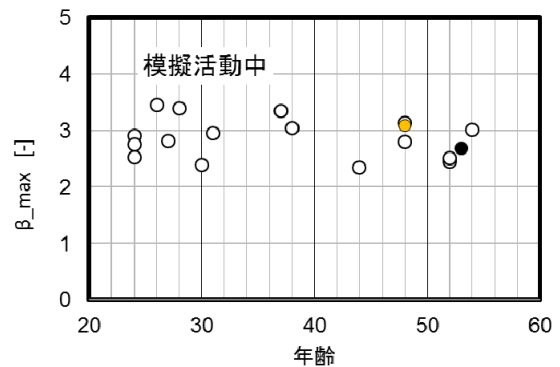


図 3.3 指標 β の最大値と隊員の年齢との関係

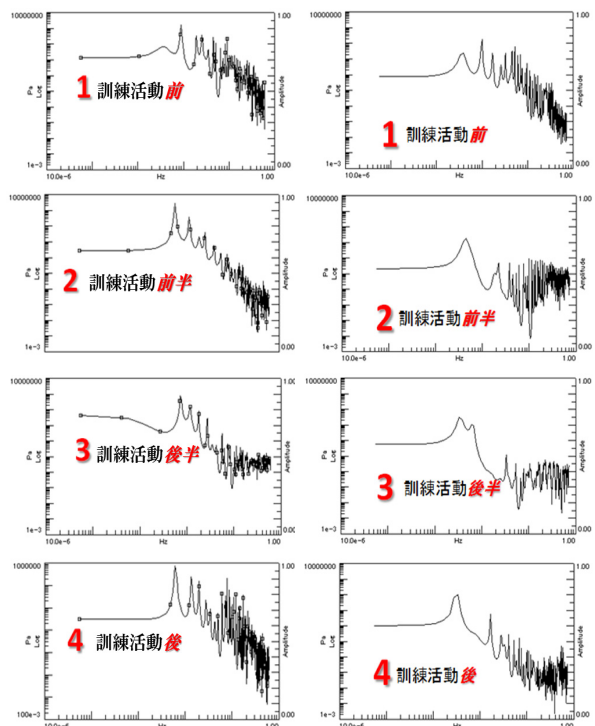


図 3.4 隊員 B と隊員 Q の PSD と周波数の比較
(右：隊員 B, 左：隊員 Q)

4. バイタルサインのセンシング手法の検討

活動中の隊員の安全確保のために、バイタルサインのセンシングおよびその活用は、極めて重要な課題であり、

- (1) 隊員自身が、バイタルサインから身体状態等を認識し、それに応じて活動内容を決定する。
- (2) 現場指揮者あるいは隊長が、各隊員のバイタルサインをもとに身体状態等を認識し、これをもとに活動範囲・内容を決定、指示する。

といった効果が期待される。通常、消防活動中は、部隊長と隊員間、隊員同士で各活動内容を、目視や無線音声により常時相互確認しながら様々な活動を実施していることから、バイタルサインのセンシングは消防

活動に支障ない部位でのセンシングが望まれる。

体温および脈拍数は、個々の隊員からリアルタイムでセンシング可能な有力なバイタルサインであると考え、イヤフォンタイプの体温・脈拍数同時測定器を試作した。イヤフォンは、無線通信の音声を高品質で聞きやすくするものであるが、同時に周辺状況把握の観点から外界からの音を遮断することはできない。

そこで、イヤフォンタイプ・バイタルサインセンサの構成条件として、

- (1) イヤフォンでは、無線音声を明瞭に聞くことができ、かつ外部音をイヤフォン装着側からも聞けること（両耳から情報を得る）
- (2) 体温と脈拍数をモニタできるセンサを装着していること
- (3) 活動中の動きや発汗等の影響なく体温・脈拍数の測定ができること
- (4) 現時点では、無線機本体からイヤフォンまでは有線を想定し、無線音声とバイタルサイン信号を通信する（無線にすることも可能）

ことを設定した。

上記の構成条件を満たすためには、イヤフォン形状を工夫し、着脱が簡便で、装着感が軽く、かつ無線音声と外部音の双方を聴くことができる構造が必要となる。その一貫として、オープンエア・タイプのヘッドフォンに光学式温度センサ（赤外線を利用するものであり、鼓膜温を体温として計測する。外耳部温度よりも、深部体温を反映するものであることが知られている。またセンサヘッドは軟性の樹脂パイプの先端に設置されており、パイプは外耳孔に沿って変形する）を実装した。なお、サーミスタを利用した温度・湿度センサで構成することが可能である。

イヤフォン（ヘッドフォン）に体温・脈拍数センサを実装した一体化型構造とすることで、隊員のバイタルサインのモニタと無線音声の伝達を両立させるには有用であるが、さらなる改良のために以下の事項があげられる。

無線機の電源（電池：余裕を持って交換することを想定）から有線が望ましいが、ヘッドフォン側に無線デバイスと電池を実装するとサイズ・重さの増加、ヘッドフォン側の電池交換が必要となるなどの問題があるが、音声を確実に通信するためには有線が望ましい（無線のトラブル回避）。

体温測定には、種々の方法があるが、活動中の動きを考えると空気温度と鼓膜温度の測定が適当である。しかし絶対温度の測定に拘ると、センサや信号処理の方法・装置に制約が生じるが、活動開始時（ヘッドフォン装着、無線電源 ON のときのセンサ温度）からの変動（温度変化としての相対値）をモニタリングすれ

ば、この問題は生じない。

脈拍数にも、種々の方法があるが、活動中の動きを考え、光式（耳たぶの透過光を測定）が有利であり、ヘッドフォンへの実装、実用化に際しても問題ない。

ヘッドフォンの形態については、装着感、音声や外部音の聞き取りやすさ、センサ実装などから、さらなる改良の余地がある。

5. 小隊長から現場指揮本部までのローカルエリアネットワークについて検討

屋内外のさまざまな環境下で繰り返される消防活動では、信頼性を保ちつつ、かつ柔軟に対応可能な通信ネットワークの構築が必要である。消火活動時の通信ネットワークは、隊員から小隊長までのパーソナルエリアネットワーク、小隊長から現場指揮本部までのローカルエリアネットワーク、および現場指揮本部から本部までの小都市規模のネットワーク等、複数のネットワークで構成される。

本研究では、特に小隊長から現場指揮本部までのローカルエリアネットワークを対象とし、その特性を評価するために、まず、消防隊員の突入パターンにおける伝送容量の比較を行い、問題点を明確化した。次に、単一偏波 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 伝送と直交二偏波 MIMO 伝送を検討した。さらに、伝送パケットに優先度を設けたメディアアクセス制御プロトコルを検討した。

まず、消防隊員の突入パターンにおける伝送容量を比較するために、図 5.1 に示したように、(1)シングルホップ伝送、(2)固定中継機または小隊長を中継機として利用するマルチホップ伝送、(3)常に重心を保つことが可能な移動中継機を利用したマルチホップ伝送の三つの方法を取り上げ、周波数帯域幅で正規化した 1 秒あたりに送信可能なビット数（伝送容量）を用いて性能を比較した。その結果、図 5.2 および 5.3 に示したように、従来のシングルホップ伝送では、小隊長の位置（隊員の配置）によりその伝送特性に偏りが存在したが、この偏りを軽減するための手法として固定型中継機や移動型中継機の導入が効果的であることを確認した。

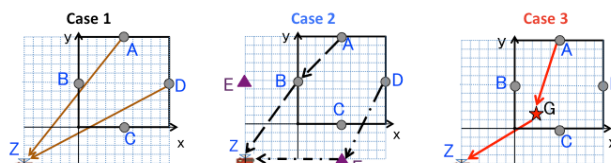


図 5-1 Case1, 2, 3 の伝送法の例

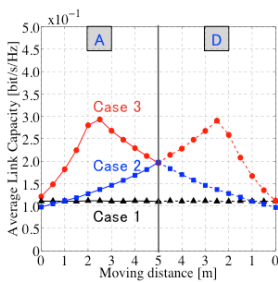


図 5-2 小隊長 A, D の移動距離に対する平均伝送容量特性

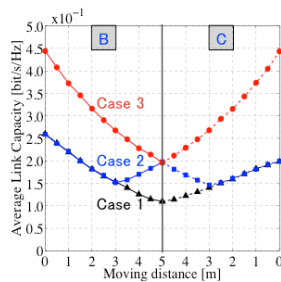


図 5-3 小隊長 B, C の移動距離に対する平均伝送容量特性

消火活動では、現場指揮本部と小隊長が常に同一平面上に存在する訳ではないため、三次元空間での検討が必要である。そこで、単一偏波を用いた MIMO 伝送と直交偏波を用いた MIMO 伝送を取り上げ、三次元空間における有効性を明らかにするために角度に対する伝送容量を評価した。その結果、直交二偏波の活用により伝送可能範囲を三次元的に拡大可能であることを確認できた。

伝送パケットに優先度を設けたメディアアクセス制御プロトコルを検討した結果、消火活動時にやり取りされる情報に優先度を設けることで、信頼性の向上が期待できることを示した。

以上の結果から、消防活動を支援するローカルネットワークとしては、直交偏波アンテナを活用した送受信機を用いて、優先度に応じたデータ伝送を行うネットワークを構築することで、高信頼な伝送を実現可能であることが明らかとなった。

6. まとめ

3年間を通して、当初の目標であったシステム構築までに辿り着くことができなかった。しかし、各要素はプロトタイプシステムを構築するに耐えられるレベルとなっており、これら各要素のつなぎ部分の遅れによることから、この部分の強化が必要である。

また、各要素のさらなる進展のために以下の点の改良が必要である。

- 非侵襲に計測できる心電から得られる情報を周波数解析することで、活動中の隊員の心拍状況を推し量ることができるようになったが、活動現場での隊員の疲労度を総合的に判定するには、高負荷活動時でも安定なデータを採取できる条件の確立と隊員の個人差を考慮した閾値の設定のための判定ロジックの高度化
- 消火・救助活動時における隊員の自己管理支援と

負担軽減につながるストレスアラーム機器の開発と機器の小型・防水化、および高速演算機能と表示機能を有するシステム構築

- 各隊員および部隊（消防力）のレベルアップのために、消防活動モデルの標準化、各消防署での日頃の訓練への展開・組み込みのために、各隊員の体力・心肺機能能力に応じた日常訓練メニューの複数開発、および周囲の環境変化を鋭敏に察知しての繊細な対応、不確定要素が多い空間への進入など心理的要因を加味した模擬活動メニューの提案と検証

参考文献

- 1) 三浦 大, 川縁健二, 増田 豊, 村下康文, 増田久美子, 瀬古裕也, 西田 優, 貞刈 圭, 岡 泰資, 小泉淳一: 消防隊員の疲労度判定方法の検討, 平成 22 年度日本火災学会研究発表会, pp.204-205, 2010.5.
- 2) 渡辺恭良: 医学のあゆみ, 医歯薬出版株式会社, 2005.
- 3) 井澤修平, 城月健太郎, 菅谷渚, 小川奈美子, 鈴木克彦, 野村忍: 唾液を用いたストレス評価, 日本補完代医療学会誌, 第 4 巻, 第 3 号, 2007.
- 4) 林 博史: 心拍変動の臨床応用, 医学書院, 1999.
- 5) 日本自律神経学会: 自律神経機能検査 第 4 版, 文光堂 2007.

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 8 災害現場における水分補給法の確立とその活用システムの構築

研究課題名	「災害現場における水分補給法の確立とその活用システムの構築」
研究実施期間	平成 22 年度～平成 24 年度
配分額（千円）	4, 148(平成 22 年度), 4, 413(平成 23 年度)
研究代表者	鈴木 志保子
所属機関	神奈川県立保健福祉大学
研究体制	学・官
研究概要	消防職員が消火活動中に着用する防火衣は熱防御のために特殊な構造をしており、熱中症の危険は極めて高いと言える。しかし、水分補給の重要性が明らかになっているにも関わらず、現時点で災害現場における水分補給法は確立されていない。本研究では、消防職員の現場での水分補給の実態および脱水・熱中症に対する意識を明らかにすることを目的に、アンケート調査を行った。その結果、現場活動中の水分補給が困難であることや、普段から口渇感がなくとも水分補給を行う者が6割いること、出場前は熱中症の不安を感じる者が3割程度いることなどが明らかとなった。特に現場活動中の給水について、傷病者や家族の前では給水しにくいという意見が多数あることから、消防職員における熱中症のリスクおよび水分補給の重要性について市民に浸透させる必要があることが示唆された。
研究成果の活用事例	研究で得られた成果をもとに、消防職員における水分補給法および熱中症予防に関するガイドライン(案)を作成し、特別招集で集まった全消防職員に対し、教育・啓蒙活動を行った。
応用の方向性	本研究で作成したガイドラインおよびシステムを現場で実践し、消防機関とともにさらに実践的なガイドラインおよびシステムの構築を図る。
研究発表の状況等	1. 消防職員における水分補給・脱水および熱中症に関する現状と課題の検討、第6回 NPO 法人日本スポーツ栄養研究会学術集会、平成 24 年 7 月 8 日
知的財産権の出願・登録状況等	特になし
当該研究に対する今後の展開、意見等	災害活動現場および訓練、演習時、ガイドラインに基づき、各所属で運用(災害活動・訓練時)を開始し、検証を随時実施し、定期的にシステムの評価を行う。

執筆要領（研究の内容と成果）

災害現場における水分補給法の確立とその活用システムの構築

○鈴木志保子¹・片岡沙織¹
Shihoko Suzuki and Saori Kataoka

研究課題の要旨：消防職員が消火活動中に着用する防火衣は熱防御のために特殊な構造をしており、熱中症の危険は極めて高いと言える。しかし、水分補給の重要性が明らかになっているにもかかわらず、消防職員が現場活動中に水分補給を行うことは現実的ではなく、現時点で災害現場における水分補給法は確立されていない。本研究では、消防職員の現場での水分補給の実態および脱水・熱中症に対する意識を明らかにすることを目的に、アンケート調査を行った。その結果、現場活動中の水分補給が困難であることや、普段から口渇感がなくとも水分補給を行う者が6割いること、出場前は熱中症の不安を感じる者が3割程度いることなどが明らかとなった。特に現場活動中の給水について、傷病者や家族の前では給水しにくいという意見が多数あることから、消防職員における熱中症のリスクおよび水分補給の重要性について市民に浸透させる必要があることが示唆された。

キーワード：水分補給、水分補給システム、完全防火着

1. はじめに

消防職員が着用する防火衣は熱防御のため特殊な構造をしており、熱中症の危険は極めて高いといえる。運動による脱水や熱中症を防ぐためには、運動前に十分な体水分量を確保すること、運動中にこまめに短い間隔で水分補給を行うこと、そして運動後に失った水分量を確実に補充することが必要だと言われている¹⁾²⁾。しかし、水分補給の重要性が明らかになっているにもかかわらず、消防職員が現場活動中に水分補給を行うことは難しく、現時点で災害現場での消防職員のための水分補給のガイドライン等は出されていない。本研究では消防職員の現場での水分補給・脱水および熱中症に関する現状と課題を明らかにすることを目的に調査を行った。

2. 方法

対象はA市消防局に勤務する消防職員332名（年齢40.7±0.6歳、消防歴19.6±0.6年）とし、水分補給・脱水および熱中症に対する意識を把握するためのアンケート調査を行った。調査項目は勤務状況、給水状況および水分補給内容、給水しない理由であり、指令が出る前、現場活動中、現場活動後のそれぞれにおいて調査した。また普段から口渇感がなくとも水分補給を行うか、出場時に熱中症の不安を感じるか等のアンケート調査を行った。

3. 結果

(1) 対象者の勤務状況

対象者の勤務状況について図1に示した。

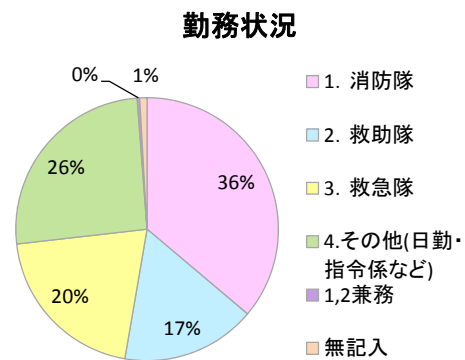


図1 勤務状況

(2) 出場前の水分補給

出場前の給水状況、給水内容、給水しない理由について、図2～図4に示した。

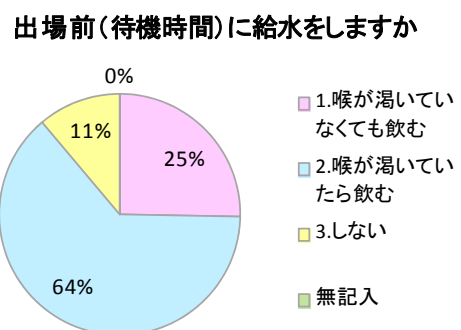
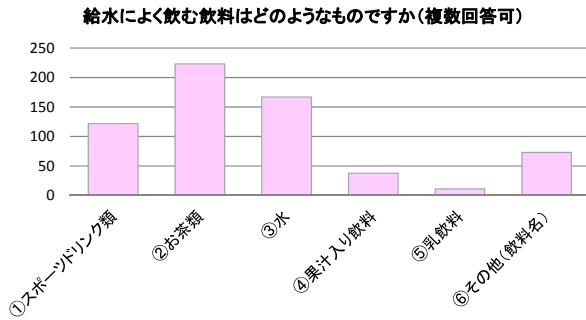


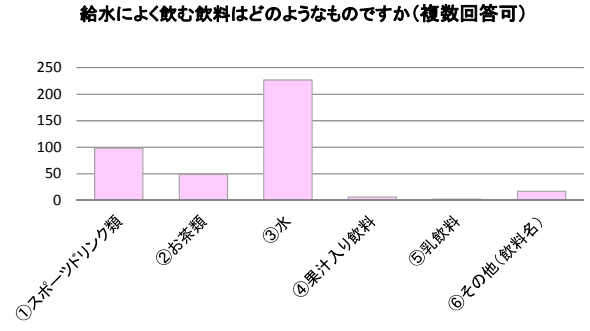
図2 出場前の給水について

1 神奈川県立保健福祉大学



【その他】
 コーヒー類・・・20
 炭酸飲料・・・20
 電解水・・・1

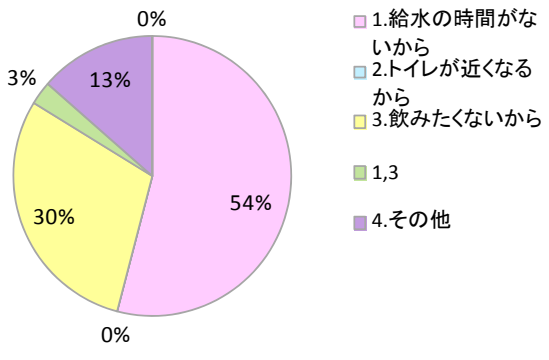
図3 出場前の給水内容



【その他】
 放水中の水・・・8
 水の場合は合わせて塩をなめる・・・1
 水(水道水)・・・1
 コーラ・・・1
 ブラックコーヒー・・・1
 飲めるものなんでも・・・1

図6 現場活動中の給水内容

給水しない理由はどのようなものですか



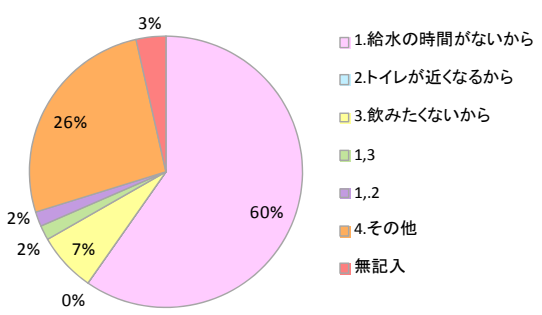
【その他】
 指令が出てから飲む時間がない・・・2
 我慢する・・・1
 平気だから・・・1
 出場がないから・・・1

図4 出場前に給水しない理由

(3) 現場活動中の給水

現場活動中の給水状況、給水内容、給水しない理由について、図5～図7に示した。

給水しない理由はどのようなものですか



【その他】
 ・飲める環境ではない、弱いイメージ・・・1
 ・救急活動中に傷病者等の前では飲めない・・・3
 ・飲む環境ではない・・・1
 ・飲むことができないため・・・3
 ・出場がないから・・・1
 ・傷病者や家族の前では水分補給しにくい環境であり、また飲み物を救急車に積載していなかった。・・・1
 ・自分が当直勤務をしていた10年前当時は、活動後の給水は考慮されていなかった・・・1
 ・多少の渴きは後で補給した・・・1
 ・のどが渇くまでの活動をしない・・・1
 ・持っていないから・・・1

図7 現場活動中に給水しない理由

現場活動中に給水をしますか

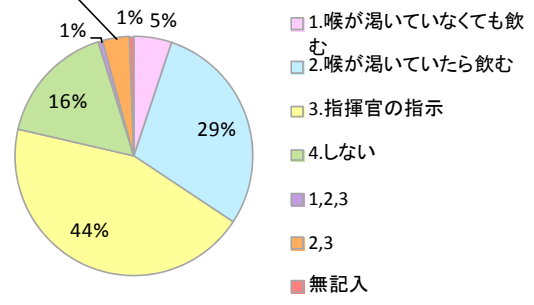


図5 現場活動中の給水について

(4) 現場活動後の給水

現場活動後の給水状況、給水内容、給水しない理由について、図8～図10に示した。

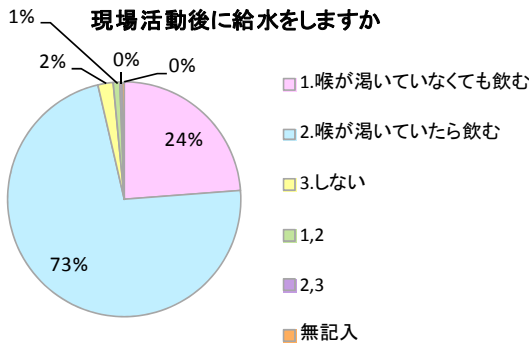
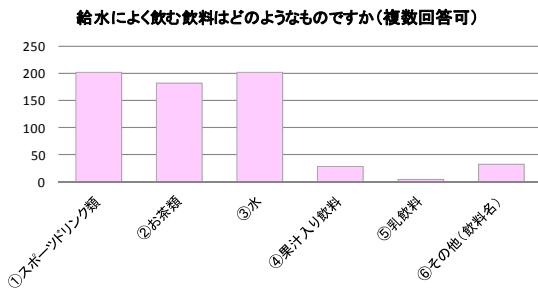


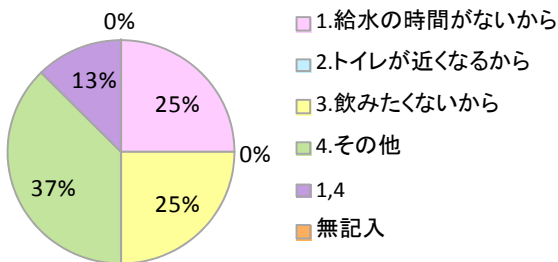
図 8 現場活動後の給水について



【その他】
 [飲む]
 水・水道水・・・3
 コーヒー・・・4
 炭酸飲料・・・7
 電解還元水・・・1
 [飲まない]
 勤務中に飲み物を購入する手段がない・・・1

図 9 現場活動後の水分補給内容

給水しない理由はどのようなものですか



【その他】
 ・着替えたいから・・・1
 ・自分が当直勤務をしていた10年前当時は、活動後の給水は考慮されていなかった・・・1
 ・出場がないから・・・1
 ・飲める環境ではない、弱いイメージ・・・1

図 10 現場活動後に給水しない理由

(5)脱水および熱中症に関する意識

出場前に熱中症の不安を感じるか、普段から口渇感がない場合でも給水をするか、給水により熱中症を防ぐことができると思うか、脱水や熱中症に関する教育を受けたことがあるかについて、図 11～図 14 に示した。

出場前は熱中症の不安を感じますか

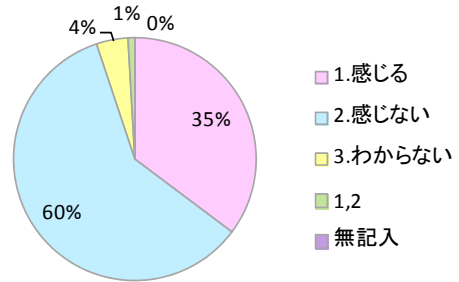


図 11 出場前に熱中症の不安を感じるか

普段からのどが渇いていなくても水などの飲料を給水しますか

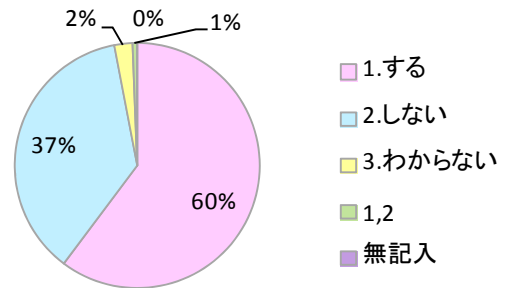


図 12 普段から口渇感がない場合でも給水をするか

給水することで熱中症は防ぐことができますか

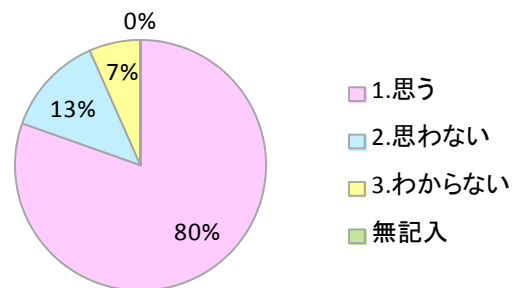


図 13 給水により熱中症は防ぐことができると思うか

脱水や熱中症に関する教育を受けたことがありますか

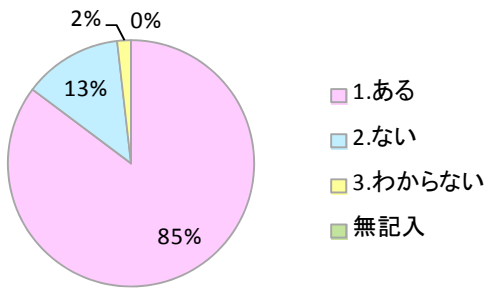


図 14 脱水や熱中症に関する教育を受けたことがあるか

4. 考察

(1) 出場前の水分補給

出場前の給水状況については図 2 に示す通りであり「のどが渇いていなくても飲む」と答えた者の割合は全体の 4 分の 1 であった。口渇感が現れている状態では、出場前においてすでに体重の 1% が失われている状態であるため、今後その割合を増加させることが、消防職員の身体を守る上で重要であると推測された。また「給水しない」と答えた者の約半数が、その理由について「給水の時間がないから」としたこと、いつ発生するか予測できない災害現場への上場に向け、職員が体内水分貯蔵量の自己管理を行うことの必要性が明らかとなった。

(2) 現場活動中の給水

現場活動中の給水については図 5 に示す通りであり、大隊長の指示によるところが大きいことが明らかとなった。また給水しないと答えたものの半数がその理由として「給水する時間がないから」とした。さらに水分補給内容について「放水中の水」と答える者もあり、消防職員の現場活動における水分補給が困難であることが推測された。そして傷病者や家族の前では給水しにくいという意見が多数あることから、消防職員における熱中症のリスクおよび水分補給の重要性について市民に浸透させることが必要であると考えられた。

(3) 現場活動後の給水

現場活動後の給水について「のどが渇いていなくても飲む」とする者は、出場前の給水と同様に全体の 4 分の 1 程度であった。防火着状態は脱水のリスクが高く、またスポーツ等と異なり、次の出場が予測できない環境にあることから、自らの体内水分貯蔵量の自己管理を徹底することの必要性が明らかとなった。

(4) 脱水および熱中症に関する意識

出場前に熱中症の不安を感じる者が全体の 35% おり、普段から口渇感がない場合でも給水をする者の割合は 6 割程度であった。現在、A 市消防局においては災害活動時の水分補給について、システム構築を進めているが、給水により熱中症の危険性が低下すること、および日頃から体内水分貯蔵量を十分にしておくことの重要性の周知を徹底させることが必要であると推測された。

また給水により熱中症を防ぐことができると思う者の割合が 8 割と高かったが、最終的にすべての職員が熱中症と水分補給の関係を理解できるよう、脱水・熱中症に関する教育を進めることの重要性があると示唆された。

5. システム構築および教育・啓蒙活動

水分補給法活用システム(案)構築のため、消防局の安全衛生委員会にて検討を行った(写真 1)。



写真 1 安全衛生委員会

後方支援隊のシステム、事前の準備に関するシステム、現場での水分補給システム、消防職員の教育システムに分類し、構築を行った(図 15~19)。

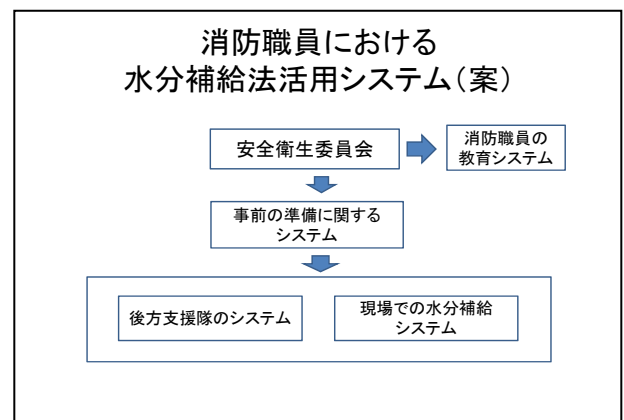


図 15 水分補給法活用システム(案)

後方支援隊のシステムでは、冷凍・冷蔵庫で飲料や保冷剤を冷却すること(写真2)、現場での配布についてなど、準備、出場時、現場活動時、帰署時に実施する項目を挙げ、実践を図ることとした(図16)。



写真2 冷凍・冷蔵庫の設置
後方支援隊のシステム

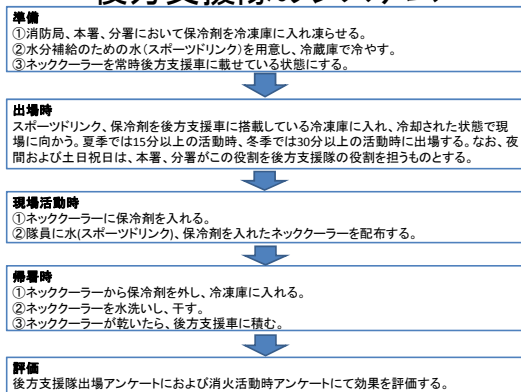


図16 後方支援隊のシステム

事前の準備に関するシステムでは職員が体重計で脱水状況を自己管理すること、熱中症の危機管理のためにWBGTによって情報発信を行うこととした。(写真3)(図)。



写真3 体重計および使用法の教育媒体

事前の準備に関するシステム

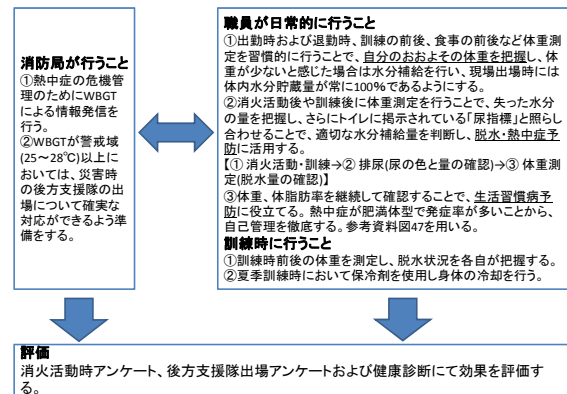


図17 事前の準備に関するシステム

現場での水分補給システムは、個々人がガイドラインに従うものとした。消防職員の教育システムでは資料を作成・掲示し、職員が目にする機会を増やす取り組みを行うこととした(図18)。

現場での水分補給システム

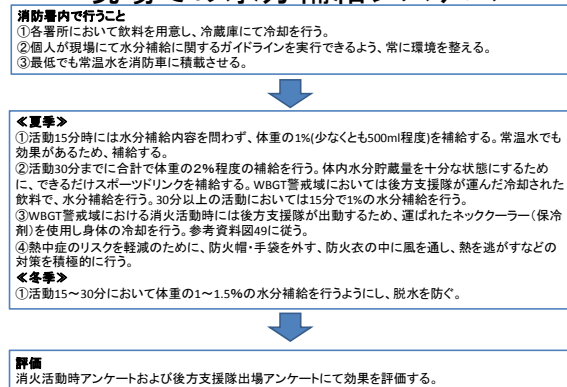


図18 現場での水分補給システム

消防職員の教育システムでは資料を作成・掲示し、職員が目にする機会を増やす取り組みを行うこととし、さらに平成24年度の消防局主催の特別招集において、災害活動時の水分補給法やガイドラインの教育・啓蒙活動を行い、ネッククーラー装着の映像や実験時にビデオカメラで撮影した映像等をプロジェクターで職員に公開した(図19)。

消防職員の教育システム

システムを実行するための教育
それぞれのシステムにおける教育媒体を作成・掲示し、職員が目にする機会を増やし、教育効果を高める。

水分補給に関するガイドラインの研修(4月特別招集にて実施)
実験より明らかとなった完全防火着状態における脱水リスクや水分補給の効果等を説明し、水分補給に関するガイドラインの実践に関して教育を行う。

消防職員における体力測定および健康診断
体力測定および健康診断において、消防職員が自身の生活を振り返るきっかけ作りとなるよう教育を行う。



評価
脱水・熱中症に関するアンケートを実施し、当初行ったものとの比較を行い、効果について評価する。

図 19 消防職員の教育システム

6. 結論

本研究は、消防職員の現場での水分補給の実態および脱水・熱中症に対する意識を明らかにすることを目的に、アンケート調査を行った。アンケート調査を行った結果、以下のことが明らかとなった。

出場前の給水状況については、今後「のどが渴いていなくても飲む」とする割合を増加させ、いつ発生するか予測できない災害現場へのお場に向け、職員が体内水分貯蔵量の自己管理を行うことの必要性が明らかとなった。

現場活動中の給水については「放水中の水」と答える者もあり、消防職員の現場活動における水分補給が困難であることが推測された。そして傷病者や家族の前では給水しにくいという意見が多数あることから、消防職員における熱中症のリスクおよび水分補給の重要性について市民に浸透させることが必要であると示唆された。

現場活動後の給水については、次の出場が予測できない環境にあることから、自らの体内水分貯蔵量の自己管理を徹底することの必要性が明らかとなった。

現在、A市消防局においては災害活動時の水分補給について、システム構築を進めており、消防職員の脱水、熱中症の予防対策として現場活動において水分補給を行うことができる環境を整え、現場活動がより安全なものとなるように期待したい。

【参考文献】

- 1) 高橋誠ら. 暑熱下運動時の水分補給に必要な飲料と摂取タイミング. 保健の科学. 2005, vol. 47, no. 1.
- 2) 高取直志, 長谷川博, 山崎昌廣ら. 水分摂取間隔の違いが暑熱下運動中の体温調節反応に与える影響. 体力科学. 2002, vol. 51, p. 317-324.

第3 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

3. 9 消防隊員のストレスマネジメント支援システムの開発

研究課題名	「消防隊員のストレスマネジメント支援システムの開発」
研究実施期間	2010年5月～8月面接調査、同年9月～10月質問紙調査
配分額(千円)	総額 3,081,000円(直接経費 2,370,000円、間接経費 711,000円)
研究代表者	松井 豊
所属機関	筑波大学人間系
研究体制	産、学、官
研究概要	パソコンや携帯電話を用いた消防職員のストレス・セルフチェック・システムを開発し、東日本大震災に関わった消防職員に対して同システムを無料公開した。予備調査では消防職員6名への面接調査を行った結果、累積性惨事ストレスや全般的疲労感を測定する候補項目を準備した。予備調査の結果を踏まえて、328名の消防職員を対象に質問紙調査を行い、試作版を作成した。消防職員80名を対象とした試作版の2回の試用テストを経て、PTSD予防チェックリスト、蓄積性惨事ストレスチェックリスト、全般性疲労チェックリストおよび、相談先リストで構成される、ストレス・セルフチェック・システムを完成させた。
研究成果の活用事例	2011年3月11日に発生した東日本大震災に関わった消防職員向けに同システムを一年間の予定で無料公開し、同システムへのアクセス数などを解析した。総計1422件のアクセスがあり、被災地である「東北地方」が468件と最も多く、「南関東」が28件と続いていた。アクセスは4月に集中していたが、「東北地方」だけは、5月以降もアクセスが続いていた。実際に尺度に回答し、ストレスチェックを行った者は総計875名であった。回答者数は、アクセス数と同様に5月以降は全体的に減少したが、「東北地方」を中心に若干の回答が続いていた。これらの結果から、本システムは、東日本大震災に関わった消防職員、特に被災地の消防職員のメンタルケアに資する部分があったと推定される。
応用の方向性	日常的な小惨事や日常的に起こる惨事ストレスの実態に対して対応のできるようなシステムの開発ができた。紹介先の病院名などがあつたほうが有用であることが明らかになった。現在のところ、以下の2点の発展方向が考えられる。第1に、日常的におこる小惨事に各消防本部の要求・要請があれば平時に使えるシステムを作ること、第2に、東日本大震災に匹敵するような大規模の惨事が起こったとき、広報を徹底させるように準備をする必要がある。

研究発表の状況等	<p>○松井豊・畑中美穂・兪善英・服部文憲・小宮茂・立脇洋介(2012).消防職員のストレスセルフチェックシステムの開発と試行 筑波大学教育相談研究、印刷中.</p> <p>○畑中美穂・松井豊・兪善英 (2011). 消防職員の職務満足感と精神的健康の規定因、日本心理学会大 75 回大会発表論文集、245.</p> <p>○松井豊・畑中美穂・兪善英・服部文憲・小宮茂 2011 消防職員のストレスマネジメントシステムの開発と利用 第 59 回全国消防技術者会議資料 (消防庁消防大学校・消防研究センター)、250-253.</p>
知的財産権の出願・登録状況等	該当なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	上記の 2 方向の展開を考えている。

消防職員のストレスセルフチェックシステムの開発と試行

○松井豊¹・畑中美穂²・兪善英¹・服部文憲³・小宮 茂⁴・立脇洋介⁵

Yutaka Matsui, Miho Hatanaka, Seonyoung Yoo, Hattori Fuminori, Shigeru Komiya, and Yosuke Tatewaki

研究課題の要旨：パソコンや携帯電話を用いた消防職員のストレスセルフチェックシステムを開発し、東日本大震災に関わった消防職員に対して同システムを無料公開した。予備調査では消防職員6名への面接調査を行った結果、累積性惨事ストレスや全般的疲労感を測定する候補項目を準備した。予備調査の結果を踏まえて、328名の消防職員を対象に質問紙調査を行い、試作版を作成した。消防職員80名を対象とした試作版の2回の試用テストを経て、システムを完成させた。同システムは、PTSD 予防チェックリスト、蓄積性惨事ストレスチェックリスト、全般的疲労チェックリストおよび、相談先リストで構成されており、パソコンや携帯電話でセルフチェックするシステムである。2011年3月11日に発生した東日本大震災に関わった消防職員向けに同システムを無料公開し、同システムへのアクセス数などを解析した結果、同システムの有効性が示唆された。

キーワード：消防職員、ストレスマネジメントシステム、PTSD 予防チェックリスト、蓄積性ストレスチェックリスト、全般的疲労チェックリスト

1. はじめに

1995年阪神・淡路大震災や2001年歌舞伎町雑居ビル火災以降、消防職員の惨事ストレス(Critical Incident Stress)への関心が高まり、社会的関心が向けられるようになった。消防職員の惨事ストレスの実態調査だけでなく、消防職員の惨事ストレスの規定因や関連要因の検討およびケアのあり方に関する検証の他、惨事ストレスに限定しない、より全般的な職務ストレスや健康状態に関する検討も展開している。

こうした学術的知見に基づき、全国の消防本部では惨事ストレス対策を構築しようという機運が高まっている。ただし、各消防本部における惨事ストレス対策の現状を調査した消防職員の現場活動に係るストレス対策フォローアップ研究会(2005)¹⁾では、惨事ストレス対策を「実施済み」である本部は11.2%にとどまり、多くの本部が惨事ストレス対策の導入や実施に関わる問題を抱えていた。

こうした現状を踏まえ、松井ら(松井・立脇・高橋, 2008²⁾; 兪・松井・立脇, 2010³⁾)は消防職員のための惨事ストレス教育研修プログラムを考案しているが、同研修は惨事後の対応や日常的なストレスの管理を直接的に支援しうる取り組みは未だ手薄である。

そこで、本研究ではパソコンや携帯電話を用いて消防職員が簡便に自身のストレス状態を把握できるストレスセルフチェックシステムを構築し、全国の消防職員に提供することを目的として、一連の研究を行った。本研究では、消防職員の惨事ストレスセルフチェックシステムの開発過程と、本システムを2011年3月11日に発災した東日本大震災で使用した事例を報告する^{注1)}。

2. システムの開発過程

2.1 開発手順の概要

システム開発にあたり、本研究では、消防隊員の蓄積性ストレス反応や全般的疲労に焦点を当て、それらを測定する新たな尺度を作成することとした。次に、作成された尺度と、地方公務員安全衛生推進協会(2003)⁷⁾が作成した消防職員が大規模事故などで体験する惨事ストレスを測定する尺度(惨事ストレスによるPTSD 予防チェックリスト)を、携帯電話やパソコンでセルフチェックするシステムに組み込み、試用テストを行った。試用テストの結果を踏まえ、画面や呈示情報を改善し、消防職員のストレスマネジメント支援システムを完成させた。

2.2 蓄積的ストレス尺度と全般的疲労測定尺度の開発

2.2.1 方法 2010年5月から8月にかけて厚木市消防本部や小田原市消防本部及び東京消防庁有志の協力を得て面接調査を行い、救急隊員などの蓄積性ストレスの症状や原因を検討した。

この結果に基づき、衝撃的災害への出場後の蓄積性惨事ストレスを測定する尺度の候補項目(「さまざまな事案の光景が突然よみがえることがある」などの21項目)と全般的疲労感を測定する尺度の候補項目(「ボンヤリしてしまい、意欲が出ない」などの18項目)を準備し、同年9月から10月にかけて、消防職員が職務の中で経験している衝撃的事案やストレスについて質問紙調査を行った。

調査は、職場での集団配布個別郵送回収によって行われた。調査対象は厚木市消防本部・小田原市消防本部などの消防司令以下の消防職員であった。配布総数は461部で、有効回答は328部(男性314名・女性13名・不明1名)で、有効回収率は71.2%であった。

2.2.2 尺度の開発 衝撃的災害への出場後の蓄積性惨事ストレスを測定する新たな尺度項目と、全般的疲労感を測定する尺度を作成した。

(所属機関名)

1 筑波大学人間総合科学研究科

2 名城大学人間学部

3 (株) エフビーアイ

4 厚木市消防本部

5 独立行政法人大学入試センター

蓄積性惨事ストレス尺度の項目選定は、外傷性ストレスを測定する改訂版出来事インパクト尺度

(Impact of Event Scale Revised: IESR, Weiss & Marmar, 1997⁴⁾, Asukai, Kawamura, Kim, Yamamoto, Kishimoto, Miyake, & Nishizono, 2002⁵⁾)の合計得点および侵入、回避、覚醒亢進のうちの当該下位尺度との相関係数を基準に行った。侵入、回避、覚醒亢進の分類ごとに、IES-R 合計得点および当該下位尺度との相関係数が高い順に4項目を選定した。ただし、質問紙調査および後述する試用テストにおいて無回答や項目内容に関する質問が多くみられた項目は選定候補から除外した。侵入、回避、覚醒亢進の各分類から4項目ずつ、計12項目に対する回答を単純加算し、尺度構成を行った。この得点が高いほど、外傷性ストレス反応の程度が高いことを示す。IES-R 得点との違いは、衝撃的事案が1つに特定できず複数の事案によってストレス反応が蓄積的に現れていると考えられる場合でも、外傷性ストレス反応の程度が測定可能な点である。IES-R 合計得点との相関係数は.75 ($p < .001$)と有意であった。

全般的疲労尺度の項目選定は、精神的健康尺度 (General Health Questionnaire: GHQ-12, Goldberg, 1972)⁷⁾ 得点との相関係数を基準に行った。項目内容の重複や構成概念からのずれが懸念された項目 (「何もかも面倒に感じる」など) の3項目を除外した上で、GHQ 得点との相関係数が高い順に10項目を選定して単純加算し尺度構成を行った。この得点が高いほど、全般的な疲労感や疲労から生じる身体症状の程度が高いことを示す。GHQ 採点法による GHQ-12 得点との相関係数は.74 ($p < .001$)と有意であった。

2. 3 システム試作と試用テストの結果

2.3.1 試作版の作成 調査結果に基づき、(株)エフ・ビー・アイ社が、携帯電話やパソコンで回答し、ストレスを自己評価できるシステムを試作した。また、総務省消防庁消防救急課の許可を得て、地方公務員安全衛生推進協会 (2003)⁷⁾ が作成した消防職員が大規模事故などで体験する惨事ストレスを測定する尺度である「惨事ストレスによる PTSD 予防チェックリスト」を、上述した蓄積性惨事ストレス尺度と全般的疲労感尺度とともに同システムに組み込んで試作版を作成した。

2.3.2 試用テスト 厚木市消防本部職員の協力を得て2回の試用テストを行った。テストは、2010年11月～2011年1月に2回実施され、80名の消防職員の回答を基にシステムの修正が行われ、完成版が作成された。

完成版の使用評価を尋ねたところ、「使いにくい」0%、「やや使いにくい」7.5%、「ふつう (まあまあ)」60.0%、「やや使いやすい」8.8%、「使

いやすい」23.8%との、ほぼ満足すべき評価を得た。

3. 完成されたシステム

完成したシステムは、入り口画面 (図. 1)、3種のチェックリスト (「惨事ストレスによる PTSD 予防チェックリスト」、「蓄積性惨事ストレス尺度」、「全般的疲労・うつ尺度」)、ストレス状態の表示画面、結果の読み取り方の説明画面、相談先リストで構成されている。

利用者が、携帯電話やパソコンでホームページにアクセスすると、「PTSD 予防チェックリスト」19項目、「蓄積性ストレスチェック」12項目、「全般的疲労チェックリスト」10項目にそれぞれ回答することができ、回答結果に基づいてストレスの度合いが表示される。また、ストレスを自覚した職員が相談できる相談先のリストも呈示している。リストに掲載されている相談先は、回答者の居住地域に合わせて精神保健福祉センター、こころのケアセンター、労災病院を主に紹介し、筆者の個人的知己を使って各地方の基幹的な大学附属病院に依頼して掲載の許可を取り、掲載した。



図. 1 入り口画面

4. 東日本大震災における公開

2011年3月11日に発災した東日本大震災にあたり、本システム作成に関わった担当者の協議に基づき、本システムを同震災に緊急援助消防隊として派遣された消防職員や、被災地の消防職員に無料で公開することとした。

4.1 公開のための準備：公開のための手続き

公開にあたって、相談先を地域ブロックごとに分けて掲載することとした。相談先リストの掲載にあたっては、地方公共団体運営の組織以外に関しては、

可能な限りメールで掲載許可を得た。

4.2 結果・本システムへのアクセス実績

本システムへのアクセス実績を地域別に、4月から8月24日まで集計した結果を、表1に示す。総計1422件のアクセスがあり、被災地である「東北地方」が468件と最も多く、「南関東」が28件と続いていた。アクセスは4月に集中しているが、「東北地方」だけは、5月以降もアクセスが続いていた。このうち、実際に回答した人は総計875名であり、アクセス数と同様に、5月以降は回答人数も減っているが、「東北地方」を中心に若干の回答が続いていた（表2）。

総アクセス数に対する回答人数の比率（表2第5列）を見ると、いずれの地方でも、6～7割台で、とくに北関東の比率が高くなっていた。

表.1 地域別のアクセス数

	4月	5月	6月	7月	8月	総計
全体	1215	97	46	43	21	1422
北海道	122	5	1	2	2	132
東北	357	48	27	26	10	468
北関東	117	4	3	2	0	126
南関東	117	4	3	2	0	284
信越北陸	56	1	0	0	1	58
東海	75	2	1	2	0	80
近畿	37	3	0	2	0	42
中国四国	59	0	0	0	0	59
九州沖縄	43	0	0	0	0	43

注：8月は24日までの集計値

表.2 尺度に回答した人数

	4月	5月以降	計	%
全体	734	141	875	61.5
北海道	87	10	97	73.5
東北	260	81	341	72.9
北関東	78	19	97	77.0
南関東	140	21	161	56.7
信越北陸	34	2	36	62.1
東海	43	5	48	60.0
近畿	27	3	30	71.4
中国四国	37	0	37	62.7
九州沖縄	28	0	28	65.1

注：%は、総アクセス数に対する回答者人数（単位%）

4.3 考察・本システムの位置づけ

以上のように、2012年4月の混乱期においても、一定のアクセス数と回答数が認められ、また、5月以降も主に東北地方において尺度への回答が続いたという事実は、本システムに対する消防職員の関心の高さとともに、被災地の消防職員のメンタルケ

アに対する本システムの貢献を示すものと考えられる。

第1著者は東日本大震災後の消防職員のメンタルケア支援活動を行う中で、被災地における消防職員の多くが自身のメンタル状態に不安を抱えながらも、被災住民への遠慮や同僚に気づかれたくない気持ちから、自身へのケアに対する不安を周囲に表明できないでいる状況を実見してきた。こうした状況においては、被災住民や同僚に知られないで実施できる携帯電話を用いたシステムは有用であると考えられる。

【注】

注¹⁾ 本システムの構築及び、無料公開にあたっては、多くの方がたの御協力を頂きました。すべての方の挙名は出来ませんが、とくに調査に御協力頂いた厚木市消防本部、小田原市消防本部、東京消防庁の職員の皆様には、感謝いたします。本発表は、2011年の第59回全国消防技術者会議での発表（松井・畑中・兪・服部・小宮, 2011）⁸⁾及び紀要（松井・畑中・兪・服部・小宮・立脇, 印刷中）⁹⁾に基づいています。

【参考文献】

- 1) 地方公務員安全衛生推進協会：消防職員の現場活動に係るストレス対策フォローアップ研究会報告書、2005年
- 2) 松井 豊・立脇洋介・高橋幸子：消防職員の惨事ストレス研修の試み筑波大学心理学研究, 36, pp19-23, 2011年
- 3) 兪善英・松井豊・立脇洋介・高橋幸子：「消防職員の惨事ストレス初級研修」のフォローアップ研究--効果の持続性及び実践現況の視点から 筑波大学心理学研究, 39, pp65-72, 2010年
- 4) Weiss, D. S., Marmar, C. R.: The Impact of Event Scale-Revised. In J. P. Wilson & T. M. Keane (Eds.), Assessing psychological trauma and PTSD, pp399-411, New York: Guilford Press, (1997)
- 5) Asukai, N., Kato, H., Kawamura, N., Kim, Y., Yamamoto, K., Kishimoto, J., Miyake, Y., & Nishizono, M. A.: Reliability and validity of the Japanese-language version of the Impact of Event Scale-Revised (IES-R-J): Four studies of different traumatic events. Journal of Nervous and Mental Disease, 190, pp175-182, (2002).
- 6) Goldberg, D.P.: The detection of

psychiatric illness by questionnaire.
Maudsley Monographs, 21. London: Oxford
University Press, (1972). (ゴールドバーグ
D.P. 中川泰彬 (訳編著) : 質問紙法による精
神・神経症症状の把握の理論と臨床応用 (第1
部) 国立精神衛生研究所, 1981年)

- 7) 地方公務員安全衛生推進協会: 消防職員の現
場活動に係るストレス対策研究会 消防職員の
惨事ストレスの実態と対策のあり方について,
2003年
- 8) 松井豊・畑中美穂・兪善英・服部文憲・小宮茂:
消防職員のストレスマネジメントシステム
の開発と利用 第59回全国消防技術者会議資
料(消防庁消防大学校・消防研究センター),
pp250-253, 2011年
- 9) 松井豊・畑中美穂・兪善英・服部文憲・小宮茂・
立脇洋介(2012). 消防職員のストレスセルフ
チェックシステムの開発と試行 筑波大学教
育相談研究, 印刷中.

第4 特殊災害対策の強化

第4 特殊災害対策の強化

4. 1 現場における有毒・危険物質の迅速質量分析システム開発

研究課題名	現場における有毒・危険物質の迅速質量分析システム開発
研究実施期間	平成 21 年度-23 年度
配分額(千円)	18,200 (平成 21 年度), 15,600 (平成 22 年度), 15,600 (平成 23 年度)
研究代表者	豊田岐聡
所属機関	国立大学法人 大阪大学 大学院理学研究科
研究体制	産・学
研究概要	近年, 質量分析の高感度という特徴を活かし, 有毒ガスや爆発物, 違法薬物などの検知にも用いられるようになり, また「現場」に持ち出すことを考慮した質量分析装置が市販化されたりもしている. しかし, 装置の大きさや性能(分解能)は相関があるといわれ, 「現場」のような夾雑物の多い「汚い」環境で十分な同定能力を有する小型質量分析装置はこれまでなかった. 大阪大学では, 小型でありながら超高分解能を達成できるマルチターン飛行時間型質量分析計を開発してきた. 本研究では, このマルチターン飛行時間型質量分析計を可搬できるように, 装置のさらなる小型化・軽量化, 耐久性の向上, システムの構築を行った. これにより, 火災現場や事故現場などで有毒ガスや危険物質の検知/同定を迅速かつ正確に行ない, 安全性の確認などの消火・救助活動の支援や, 火災や有毒ガス, 異臭などの原因特定などが可能なシステムの構築を行った.
研究成果の活用事例	本プロジェクトで開発したプロトタイプ機をもとに製品化を行うことを計画している.
応用の方向性	消防本部などとの連携を進めて, 実際に現場で利用し, データを蓄積していくことで実際に役に立つ装置に仕上がっていくとともに, 現在想定している用途以外への展開も期待される.
研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miniaturized high-resolution time-of-flight mass spectrometer “MULTUM-S II” with an infinite flight path: Shuich Shimma, Hirofumi Nagao, Jun Aoki, Keiji Takahashi, Shinichi Miki and Michisato Toyoda, <i>Anal. Chem.</i>, 82 (2010), 8456-8463. 2. ロッド電極間に挿入した板状電極を用いたリニアイオントラップからのイオン排出方法の開発: 長尾博文, 加納英朗, 岩本賢一, 豊田岐聡, <i>J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.</i>, 59 (2011), 13-17.

	<p>3. International Congress on Analytical Sciences (ICAS) 2011 (2011年5月22日 - 26日), Development of Multi-turn Time-of-Flight Mass Spectrometers (Invited Lecture), Michisato Toyoda, 2011年5月24日, 24aJ-04, 京都国際会館</p> <p>4. The 59th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics (2011年6月5日 - 6月9日), Development of a multi-turn time-of-flight mass spectrometer with an Atmospheric ionization, Masanobu Nakasono, Hiroki Andoh, Hirofumi Nagao, Shinichi Miki, Michisato Toyoda, 2010年6月9日, ThP66, Colorado Convention Center, Denver, USA</p> <p>5. The 59th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics (2011年6月5日 - 6月9日), Application of a multi-turn time-of-flight mass spectrometer with a vacuum ultraviolet photo ionization source with high light intensity, Hirofumi Nagao, Shuichi Shimma, Shinichi Miki, Shigeki Matsuura, Michisato Toyoda, 2010年6月6日, ThP67, Colorado Convention Center, Denver, USA</p> <p>6. 第59回質量分析総合討論会(2011)(2011年9月13日 - 15日), 質量分析装置開発の「これまで」と「将来展望」(基調講演), 豊田岐聡, 2011年9月13日, 1A-PL-1000, ホテル阪急エキスポパーク</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	消防の現場で使用することが可能な装置のプロトタイプ機は完成したので、今後消防本部などと連携し、実際に現場での使用を進めるとともに、製品化を進めていくことで、消火・救助活動の支援や、火災や有毒ガス、異臭などの原因特定などが可能なシステムとして広く利用されていくことが期待される。

現場における有毒・危険物質の迅速質量分析システム開発

○豊田岐聡^{1,3}・新間秀一²・青木順¹・三木伸一³

Michisato Toyoda, Shuichi Shimma, Jun Aoki and Shinichi Miki

研究課題の要旨: 近年、質量分析の高感度という特徴を活かし、有毒ガスや爆発物、違法薬物などの検知にも用いられるようになり、また「現場」に持ち出すことを考慮した質量分析装置が市販化されたりもしている。しかし、装置の大きさや性能（分解能）は相関があるといわれ、「現場」のような夾雑物の多い「汚い」環境で十分な同定能力を有する小型質量分析装置はこれまでなかった。大阪大学では、小型でありながら超高分解能を達成できるマルチターン飛行時間型質量分析計を開発してきた。本研究では、このマルチターン飛行時間型質量分析計を可搬できるように、装置のさらなる小型化・軽量化、耐久性の向上、システムの構築を行った。これにより、火災現場や事故現場などで有毒ガスや危険物質の検知/同定を迅速かつ正確に行ない、安全性の確認などの消火・救助活動の支援や、火災や有毒ガス、異臭などの原因特定などが可能なシステムの構築を行った。

キーワード: マルチターン飛行時間型質量分析計、オンサイト質量分析、小型・高分解能

1. はじめに

現在、質量分析装置は、様々な分野で必要不可欠な分析機器となっている。NMR、X線回折といった他の分析手法より圧倒的に高感度で、微量の試料（フェムトモル以下）でも測定できるという特長がある。この高感度という特長を活かして、安全・安心分野では、爆発物や違法薬物の検知などに用いられ、食品や環境関係では、残留農薬や内分泌かく乱物質、温暖化ガスの定量などにも用いられるようになってきている。また、法医学などでは、中毒の死因同定などにも用いられている。

しかしながら、現在は専門の機関で専門家が分析をしており、「現場」に装置を持ち出して分析できるケースは極稀である。「現場」に持ち出すことから、携帯性や小型であることが要望される。しかしながら、「現場」での測定では、十分な前処理などは行なえないため、測定対象が「汚い」ことが想定され、実際に検知したい化学物質を夾雑物と区別して正確に同定するためには、装置の分解能は十分に高く（近い質量のものを分けることができる）なければならない。しかも、数分以内で迅速に正確な結果を出さなければならない。また、操作も分析の専門家ではない者が行なうことになる。一般的に、どのような分析機器でもそうであるように、装置の大きさや性能は相関があるといわれ、「小型」「ポータブル」を謳った装置が市販化されたりもしているが、十分な性能を達成している装置はこれまでにない。

大阪大学の質量分析グループは、1930年代後半に国内初の質量分析装置を開発して以来、数々の質量分析装置の開発と、それらを用いた応用研究を行っ

てきている。1990年代後半から豊田らが中心となり開発した「マルチターン飛行時間型質量分析計」は、小型でありながら非常に高い質量分解能が得られる装置である。飛行時間型質量分析計の質量分解能は、飛行距離に比例するため、扇形電場で ∞ 形状の閉軌道を作りイオンを多重周回させることで、飛行距離をかせいでいる。小型軽量でありながら、飛行時間型質量分析計としては世界最高の分解能35万を達成している。高分解能装置であれば、近い質量の化学物質が混ざっていても正確に同定することができる。市販されている実験室に設置する通常の飛行時間型質量分析計の分解能は、せいぜい1~5万程度であり、この装置は40 cm × 40 cmと小型でありながら一桁以上高い分解能を得ることができている。さらに半分サイズの小型装置「MULTUM-S」シリーズ（20 cm × 20 cm）も開発している。

本プロジェクトでは、装置のさらなる小型・軽量化、長期安定性、専門家以外でも簡単に使えるシステム化を押し進め、「現場」で使用できる装置の開発を行った。これにより、工場火災で発生している有毒ガスや可燃性ガスなどの現場での迅速な検知が可能となったり、事故発生現場などでの有毒ガスや危険物質、異臭のもととなっているガスの検知/定量を行なったりすることができ、消防/救急活動の助けになる装置のプロト機が出来上がった。ある特定の化学物質のセンサーは小型のものが数多く開発されてきているが、質量分析は装置のサイズは大きくなるが、1台で同時に多数の対象物質の同定と定量を行なえ今後広く使われる装置となることが期待される。

(所属機関名)

1 国立大学法人 大阪大学大学院理学研究科

2 国立がん研究センター研究所

3 MSI.TOKYO株式会社

2. マルチターン飛行時間型質量分析計

飛行時間型質量分析法 (time-of-flight mass spectrometry; TOFMS) は、1946年に Stephens により紹介され¹⁾、1970年代以降のパルス計測技術の進歩により、さまざまな分野で有用な質量分析法として利用されるようになってきている。TOFMSは、一般に次のような長所を持つといわれている。(1)原理上測定できる質量範囲に制限がない。(2)スキャンを行う必要がないため、全質量範囲のイオンを同時に検出することが可能であり、高感度である。一方、質量分解能は低くて使い物にならないという時代が長く続いてきた。しかし、15～20年前ぐらいから高速のパルス回路技術が格段に進歩し、さらに以下に述べる分解能を向上させるための様々な改良をすることで、1～2万程度の質量分解能が得られるようになり、現在では多くの高分解能が得られる装置が市販されるようになってきている。

まず、TOFMSの測定原理を簡単に述べる。図1

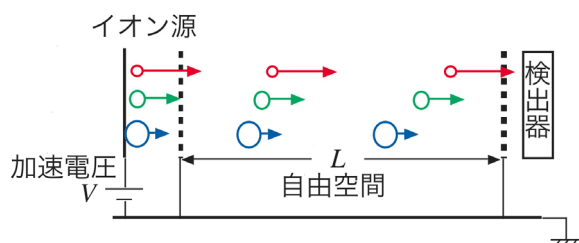


図1 飛行時間型質量分析計の原理

に飛行時間型質量分析計の概略図を示す。イオン源で一定の加速電圧 V で加速されたイオン (質量 m 、価数 z) が、飛行距離 L を飛行した場合の飛行時間 T は、

$$T = L \sqrt{\frac{m}{2zeV}} \quad (1)$$

となる。ここで、 e は素電荷である。したがって、飛行時間を測定することにより、イオンの質量電荷比 m/z を測定することが出来る。実際には、イオン源でイオンをパルス化し、検出器に到着するイオン強度と飛行時間との関係 (飛行時間スペクトル) を測定する。また、質量分解能 $m/\Delta m$ は、飛行時間スペクトルのピーク幅 ΔT (すなわち、到着時間の広がり。飛行時間型の場合、通常半値幅をとる。) と

$$\frac{m}{\Delta m} = \frac{T}{2\Delta T} \quad (2)$$

の関係にあり、分解能を向上させるためには、ピーク幅 ΔT を小さくする (広がらないようにする) か、または飛行時間 T をのばす (飛行距離を伸ばす) ようにすればよい。ピーク幅 ΔT が大きくなる原因と

しては、イオン源内での初期位置・エネルギーの広がり、およびイオン源射出条件の広がり、すなわちエネルギー・位置・角度の広がりなどがある。これらの影響をできるだけ小さくするために、二段加速型イオン源²⁾、time-lag 収束型イオン源²⁾、直交加速型イオン源³⁾、イオンミラー (リフレクトロン)⁴⁾、扇形電場を用いた飛行時間型質量分析計⁵⁾などが開発されてきた。これらにより、 ΔT は数ナノ秒以下に抑えられるようになってきている。現状では、検出器や電気回路の応答速度などの問題で、仮にこれ以上ピーク幅 ΔT が小さくできても、効果がないところまできている。一方、分解能は飛行時間 T 、すなわち飛行距離に比例する。したがって、分解能を向上させるためには、飛行距離を長く取る必要がある。しかし直線型・反射 (リフレクトロン) 型では、「飛行距離を伸ばす」=「装置が大きくなる」であり、スペースの問題から数メートル程度の飛行距離 (質量分解能は数千～数万程度) というのが、実際に使用可能な装置の限界となる。

そこで我々は、1996年頃から彗星探査ロゼッタミッションに搭載する小型質量分析計の開発を機に、イオン光学系や入射方法の検討を行い、マルチターン飛行時間型質量分析計の開発を行ってきた^{6,7)}。マルチターン飛行時間型質量分析計では、高分解能を得るために、同一飛行空間をイオンを複数回周回させて飛行距離を長くしている。ただしこの場合、周回部の収差が大きければ、周回させるごとにイオンが広がっていき、かえって分解能・感度が低下してしまうことが考えられる。したがって、周回部は空間および飛行時間に関して完全収束 (周回後のイオンの状態が周回前と全く同じ) している必要がある^{6,8)}。イオン光学系の構成要素 (電場・Q レンズなど) を対称に配置することで、空間・飛行時間に関する複数の収束が満たされることが報告されており、我々は、対称性を導入した場合について、完全収束を満たすための条件を系統的に調べた⁸⁾。この結果を適用し、円筒電場4個と四重極レンズ (Q レンズ) 8個からなる完全収束条件を満たす光学系「MULTUM」や、四重極レンズを無くして、円筒電場をトロイダル電場 (軌道平面と垂直な方向にも曲率をもった電場) に変えた光学系「MULTUM II」 (図2) を見つけ出した⁶⁾。図3は、「TRIO-DRAW」⁹⁾ によるイオン軌道シミュレーションの結果である。図の緑色の線は初期位置の違い、青色は初期角度の違い、赤色は初期エネルギーの違いをもったイオンの軌道を示している。さまざまな初期位置・角度・エネルギーを持ったイオンは、周回後には出発した状態と全く同じ状態に戻ってきていることがわかる。飛行時間に関しても、さまざまな初期条件を持ち同時に出発した同じ質量電荷比のイオンは、周回

後、同時刻に到着する。これにより、多重周回させてもイオンが空間的・時間的にひろがっていくことなく、高分解能を得ることができる。

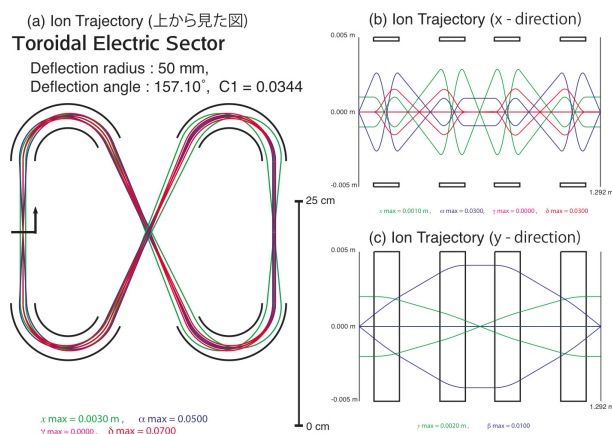


図2 TRIO-DRAWでシミュレーションした「MULTUM II」のイオン軌道

一号機の「MULTUM Linear plus」は、4個の円筒電場と28個の四重極レンズで構成されており、彗星探査ロゼッタミッションに搭載する質量分析計のラボラトリーモデルとして製作された。真空容器の大きさは60×70×20 cm、分析部の大きさは40 cm×40 cm(扇形電場の軌道半径が50 mm)である。イオンを501.5周回(飛行距離644 m)させることに成功し、電子イオン化イオン源で $^{12}\text{C}^{16}\text{O}-^{14}\text{N}_2$ のダブルレットを測定し、飛行時間型の世界最高となる分解能35万(m/z 28, FWHM)を得ることができている⁶⁾。探査機への搭載のためにはさらなる小型・軽量化を図る必要があり、四重極レンズを無くして4個のトロイダル電場のみからなるイオン光学系を採用した二号機「MULTUM II」を開発した¹⁰⁾。MULTUM IIでも同様に多重周回により分解能が向上することを示した。その後、「MULTUM II」のイオン光学系を基に、マルチターン飛行時間型質量分析計を核とした応用研究を行える装置開発を行っている。その中の1つが、本プロジェクトのベースとなっている「MULTUM-S II」である¹¹⁾。「MULTUM-S II」は、「MULTUM II」のイオン光学系を1/2に縮小した(扇形電場の軌道半径が25 mm)装置であり、マルチターン飛行時間型質量分析計のさらなる小型化を目指した装置である。真空排気系や制御系込みでサイズは45 cm×23 cm×64 cm以下、重量は35kg以下でありながら、質量分解能は3万以上が達成できる。

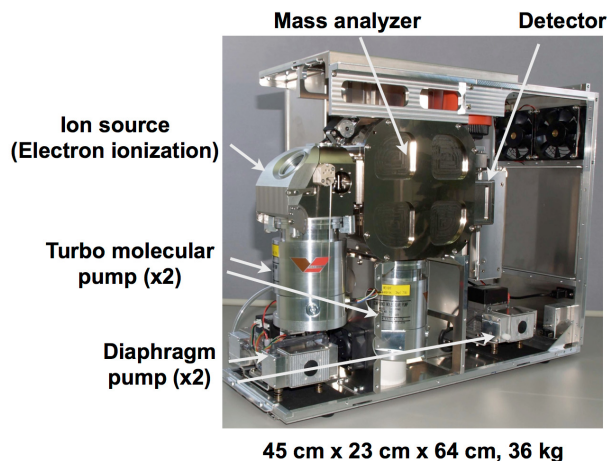


図3 「MULTUM-S II」の装置写真

3. さらなる小型・軽量化とシステムの構築

MULTUM-S IIは、小型で高分解能を達成できるが、火災現場などに持ち出すには、さらなる小型、軽量化と、長期の安定性、制御系やソフトウェアなどのシステムの最適化、バッテリーなどでの電源が無い環境での駆動方法の検討が必要である。そこで本プロジェクトでは、まずさらなる小型・軽量化に対する取り組みを行った。

装置で大きさ、重量の大部分を占めているのは真空排気系と電源である。そこでこれらの見直しを行った。まず真空排気系であるが、本体の真空容器の真空特性をあげるために、これまではアルミを用いていたが、チタンを用いることにした。チタンにすることにより、脱ガスが大幅に減り、かつメタルOリングを用いることができるようになり真空特性が格段に向上した。これにより、排気量の小さい真空ポンプの利用が可能となった。真空ポンプそのものの構造の見直しも本プロジェクトで行い、ターボ分子ポンプと背圧を保つためのポンプを一体化した構造のポンプを開発した。また、あわせてMULTUM部の電極の加工方法を見直し、組立後にカットする方法を採用して加工・組立精度が格段に向上する方法を開発した。これらにより、イオン軌道も安定し、これまで以上に容易に多重周回をさせることができるようになった。

次に、電源の小型化と消費電力の低減を行った。各電源基板サイズのさらなる小型化、イオン源部に大阪大学で発明したポテンシャルリフト¹²⁾の技術を採用することで高電圧のフロート回路を無くすことができ、放電による故障のリスクを格段に抑えることができた。これにより基板間隔を詰めることも可能となり、基板そのものの回路の見直しによる小型化とあわせ、電源全体のサイズは当初の1/2

程度、消費電力は1/3になった。

これらにより、筐体は設計していないが、プロトタイプ機の装置全体の大きさはおよそ2/3程度になった（奥行きが短くなった）（図4）。

装置のバッテリーでの駆動を試みてみた。DC24Vのバッテリーでの駆動が可能であるが、今回は容易に入手できるホームエネルギーサーバー（ソニーCP-S300W）での駆動を試したところ、1時間以上動かすことができた。また装置本体を移動させての測定も試みてみた。共通教育の講義でデモをするために、理学研究科から共通教育棟までキャンパスの端から端まで、小型の台車に乗せて悪路の中15分ほどかけて装置を運んで使用してみた。今回は、移動直前まで真空排気をしており、念のためポンプ停止してから移動し、講義室のコンセントに接続して10分ほどして測定を行ったところ、移動前と同じ条件で分解能1万以上を簡単に出すことができた。

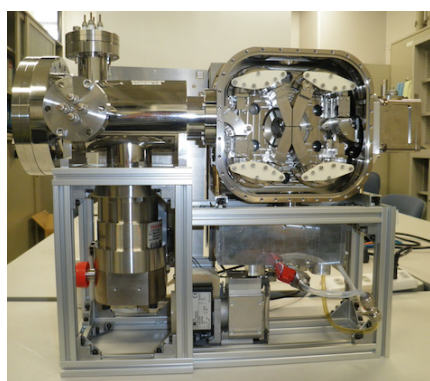


図4 開発した装置の写真

「現場」で質量分析の専門家ではない消防隊員などが使用することを考慮したシステムの改良も行った。質量分析では、電源電圧のドリフトなどの影響を補正するための質量校正作業は必須であり、またサンプルごとに測定条件を調整する必要があるなど、従来は専門の分析担当者を必要としてきた。しかし、火災現場での有毒ガスの分析など用途を限定すれば、既知物質が対象であり、測定条件などは固定できる。また、質量校正は、常に導入される大気成分を基準にして、自動で使用者が気づかないうちに行うことが可能である。このようなことを考慮し、Qtツールキットを用いたC++で装置制御/データ解析プログラムを開発した。精密質量と同位体分布から元素組成の特定、ならびに化合物データベースとのリンク機能（現状は一部機能のみ）を実装している。

4. 測定例

消防現場での使用を想定した測定を行った。イオン化法として、ガスをそのまま測定する電子イオン化(EI)と真空紫外光(VUV)による光イオン化と、ガスや試料表面に付着した物質の測定に適したバリア放電イオン化による測定を行った。

4.1 異臭の分析

消防の出動要請の中で、異臭の発生によるもののがかなりある。異臭の原因物質の迅速な同定への活用を考え、まずは簡易的なガスクロマトグラフ(GC)と電子イオン化を組み合わせ、大気中の微量成分の測定を試みた。GCを用いるのは、大気中の主要成分である窒素、酸素、水がイオン源内に同時に入るとイオン化抑制により感度が低下するため、イオン源内に試料が入る時間差をつけるためである。ただし、GCを用いることにより、連続かつリアルタイムでの測定が困難になる。一般的にはGCで様々なガス種を十分に分離できるように数分~15分程度の保持時間が必要になる。しかしながらマルチターン飛行時間型質量分析計を用いると、ガス種が全て完全に分離していなくても、近い質量のものも高分解能で分離することができる。これによりGCのカラムを大幅に短くすることが可能になり、GCの保持時間は30秒以内で測定が可能となった。図5に亜酸化窒素を測定した結果を示す。図5(A)は質量数が同じ44である二酸化炭素と亜酸化窒素を高分解能で質量分離した質量スペクトルである。(B)はトータルイオンクロマトグラム(TIC)と亜酸化窒素のみを選んだマスクロマトグラムである。TICで最初に出ているピークが窒素と酸素で、後のピークが二酸化炭素と亜酸化窒素である。二酸化炭素と亜酸化窒素は、ガスクロマトグラム上では分離できていないが、高質量分解能の質量分析で分離していることになる。(C)は検量線で、現状で200ppb程度(大気レベルの亜酸化窒素)まで検出が出来る¹³⁾。

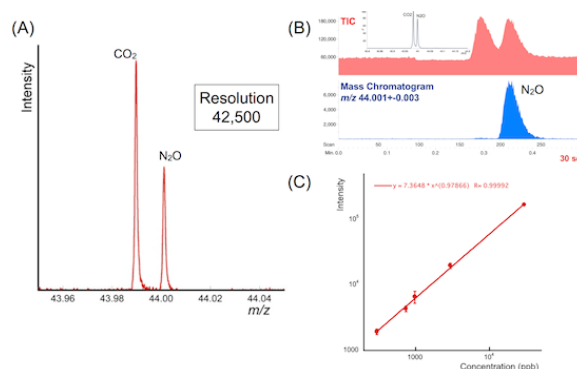
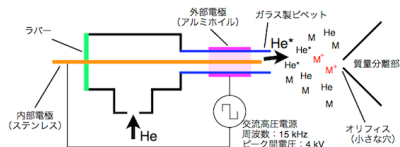


図5 亜酸化窒素の測定結果

また、異臭の分析ということで、バリア放電イオン化¹⁴⁾により、雰囲気ガスを直接分析する方法を試みた。バリア放電イオン化は、バリア放電により生成されたメタステーブルのヘリウム原子とサンプルとの間の反応で起こるイオン化である(図6)。



バリア放電により、準安定励起原子を作り、準安定励起原子が試料分子をイオン化、大気圧で雰囲気ガスを簡便にイオン化。

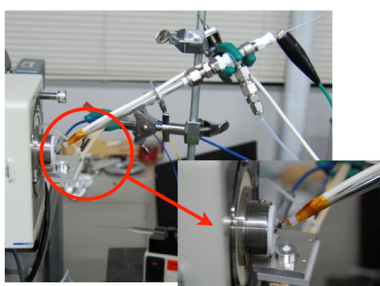


図6 バリア放電イオン化

大学のドラフト排気口付近でサンプリングバッグに採取したガスをバリア放電イオン源で測定した結果が図7である。大気中の微量成分が検出されている。また、精密質量から元素組成は決定できている。分子種の特定には、データベースの構築を進めていく必要がある。

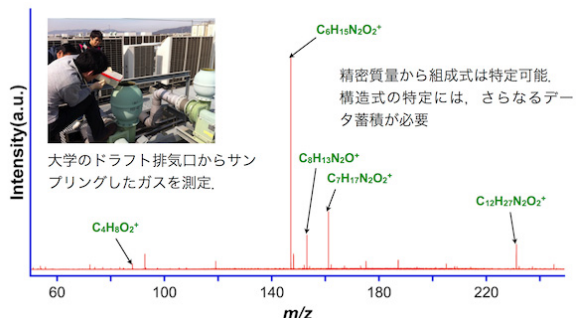


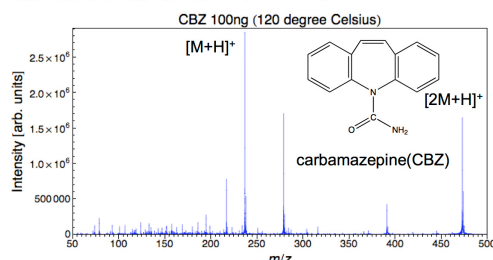
図7 ドラフト排気の測定結果

4.2 薬物の分析

救急の現場では、薬の誤飲が問題になるケースがある。そこでバリア放電イオン化で市販薬などの検出ができるかどうかを確かめてみた。図8は抗てんかん薬のカルバマゼピンと、市販風邪薬を測定した結果である。薬の粉末を120度程度に加熱して、その蒸気を測定したものである。薬由来の物質を検出することが出来ている。今後、呼吸からの検出など

の検討を進めることで、誤飲した薬の特定などを行える可能性がある。この手法を用いることで、違法薬物の検知も可能である。また、微量の爆発物の検知が可能であることも実証している。バリア放電での測定は、夾雑物が多くあるため、高分解能での測定と、高い質量精度での元素組成の特定が有効である。

抗てんかん薬 (カルバマゼピン)



風邪薬 (パブロンSゴールド微粒)

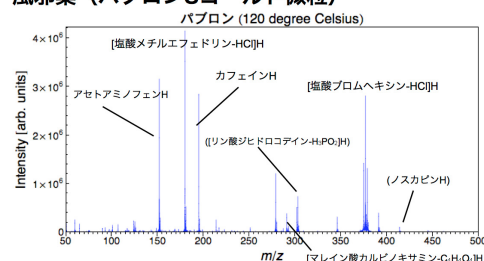


図8 市販薬などの分析

4.3 ガソリンの分析

現場での火災原因の特定の可能性を探るため、ガソリンの分析を行った。ガソリンのような炭化水素の混合物の測定は、EIではイオン化時にフラグメンテーションが起こり困難である。したがって、通常はGCを用いて測定を行う。我々は、キャピラリーを通して吸引したガスをリアルタイムで測定する方法を模索し、10.2eVのVUV光による光イオン化を試みた。VUV光での光イオン化ではイオン化時に余剰エネルギーを獲得しないためにフラグメンテーションが起こらず、分子イオンのみが観測される。図9は装置の写真と、EIで測定した場合とVUV光イオン化の場合を比較したものである。VUV光イオン化の場合は分子イオンのみが観測され、ガソリンを構成している炭化水素の分布がきれいに観測されている。

また図10はブランドの違うガソリンを測定した結果である。レギュラーとハイオクでは明らかに炭化水素の分布が異なっており、またレギュラーでもブランドの違いでm/z87付近のイオンが観測されたりされなかったりの違いが見られた。

このように、VUV 光イオン化により、リアルタイムで混合物の同定が行えることが分かった。

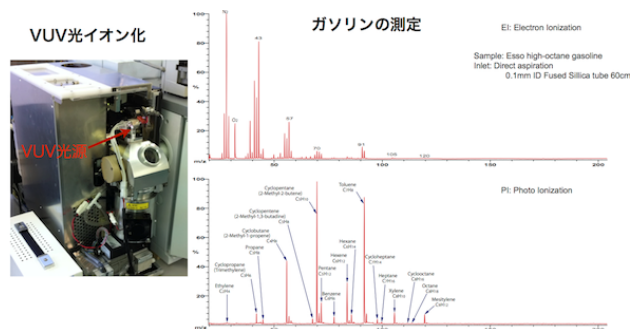


図9 VUV 光イオン化によるガソリンの測定

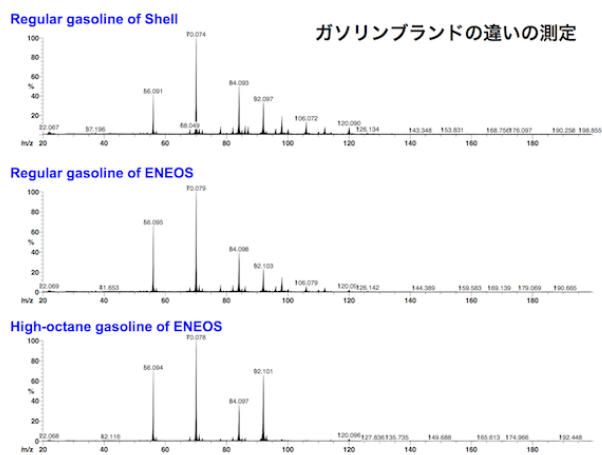


図10 ガソリンのブランドの違いの分析

【参考文献】

- 1) W.E. Stephens, A pulsed mass spectrometer with time dispersion. *Phys. Rev.*, **69**, pp 691, 1946.
- 2) W.C. Wiley and I.H. McLaren, Time-of-flight mass spectrometer with improved resolution. *Rev. Sci. Instr.*, **26**, pp 1150-1157, 1955.
- 3) J.H.J. Dawson and M. Guilhaus, Orthogonal-acceleration time-of-flight mass spectrometer. *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, **3** (5), pp 155-159, 1989.
- 4) B.A. Mamyryn, *Russian Patent*, No. 198034 1966.
- 5) W.P. Poschenrieder, Multiple-focusing time-of-flight mass spectrometers. II. TOFMS [time-of-flight mass spectrometer] with equal energy acceleration. *Int. J. Mass Spectrom. and Ion Phys.*, **9** (4), pp 357-373, 1972.
- 6) M. Toyoda, D. Okumura, M. Ishihara and I. Katakuse, Multi-turn time-of-flight mass spectrometers with electrostatic sectors, *J. Mass Spectrom.*, **38** (11), pp 1125-1142, 2003.
- 7) M. Toyoda, Development of multi-turn time-of-flight mass spectrometers and their applications, *Eur.J.Mass.Spectrom.(Chichester, Eng)*, **16** (3), pp 397-406, 2010.
- 8) M. Ishihara, M. Toyoda and T. Matsuo, Perfect space and time focusing ion optics for multiturn time of flight mass spectrometers, *Int. J. Mass Spectrom.*, **197** (1-3), pp 179-189, 2000.
- 9) M. Toyoda and T. Matsuo, Computer program "TRIO-DRAW" for displaying ion trajectory and flight time, *Nucl. Instrum. Methods A*, **427** (1-2), pp 375-381, 1999.
- 10) D. Okumura, M. Toyoda, M. Ishihara and I. Katakuse, A Simple Multi-Turn Time of Flight Mass Spectrometer 'MULTUM II', *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **51**, pp 349-353, 2003.
- 11) S. Shimma, H. Nagao, J. Aoki, K. Takahashi, S. Miki and M. Toyoda, Miniaturized high-resolution time-of-flight mass spectrometer MULTUM-S II with an infinite flight path, *Anal.Chem.*, **82** (20), pp 8456-8463, 2010.
- 12) D. Okumura, K. Kumondai, S.-. Yamaguchi, M. Toyoda, M. Ishihara and I. Katakuse, Development of a Potential-Lift Ion Source, *J. Mass Spectrom. Soc. Jpn.*, **48**, pp 357-359, 2000.
- 13) S. Shimma and M. Toyoda, Miniaturized Mass Spectrometer in Analysis of Greenhouse Gases: The Performance and Possibilities, *Greenhouse Gases - Emission, Measurement and Management, Dr Guoxiang Liu (Ed.), InTech*, pp 235-254, 2012.
- 14) N. Na, C. Zhang, M. Zhao, S. Zhang, C. Yang, X. Fang and X. Zhang, Direct detection of explosives on solid surfaces by mass spectrometry with an ambient ion source based on dielectric barrier discharge, *Journal of Mass Spectrometry*, **42** (8), pp 1079-1085, 2007.

第4 特殊災害対策の強化

4. 2 放射線感応型防火服の開発

研究課題名	放射線感応型防火服の開発
研究実施期間	平成21年7月24日～平成22年3月3日 平成22年8月2日～平成23年2月28日
配分額(千円)	平成21年度 10,920千円 平成22年度 6,500千円
研究代表者	鈴木敏和
所属機関	独立行政法人 放射線医学総合研究所
研究体制	産・官
研究概要	放射線災害もしくはNテロ対策時の初動対応者である消防隊員の高線量外部被ばくを防ぐ手立ては、確実かつ迅速に線量警報を発することによる退避以外に存在しない。本研究は現場作業環境に適応した超小型温度センサ/放射線センサ群並びに耐熱性警報表示シートを防火服と一体として開発し、随伴者には視覚、着用者には視覚・聴覚・触覚の観点から確実に線量警報を知らしめる防火服の実用化を図ったものである。更に、電波の届く範囲であれば隊員毎に防火服内温度と線量をリアルタイムで監視出来るシステム性も具備させた。
研究成果の活用事例	福島第一原子力発電所事故を契機として、防火服メーカーや放射線機器メーカーより本防火服の製品化依頼が来ている
応用の方向性	福島第一原子力発電所事故のような局面では、指揮車内から各隊員の線量や防火服内温度が一括把握可能であり、緊急時の対応を素早く判断出来る。又、内蔵された線量センサの防水性・耐衝撃性に鑑み、機器の故障に配慮すること無く、消火・救助作業に専念出来る。
研究発表の状況等	1) 保健物理学会 第43回研究発表会(2010年6月) “放射線感応型防火服の開発” 2) テロ対策特殊装備展 2010 (2010年10月) “防火服内蔵用防水型個人線量計” 3) 千葉市・放医研 NIRS テクノフェア(2010年12月) “放射線感応型防火服の開発”

知的財産権の出願・登録状況等	未提出
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>NR テロや放射線事故への初動対応者は消防隊員である。最も不明確な状況下で、最も危険な任務に当たる彼らの最後の拠り所は逃げるための警報発報である。そのため、防火服内温度や被ばく線量を過酷な環境下でも計測出来、警報を自他共に知らせる当該研究成果は、一刻も早く現場配備されるべきと考える。福島事故後、大量に購入されたサーベータ等は現場突入時は十分に有用であり、本研究成果との組み合わせにより、隊員の不安をより低減できるものとする。</p>

放射線感応型防火服の開発

○鈴木敏和¹・山田祐司¹・藤本敏明²・小林寿太郎³
Toshikazu Suzuki, Yuji Yamada, Toshiaki Fujimoto, Jyutaro Kobayashi

研究課題の要旨:放射線災害もしくはNRテロ対策時の初動対応者である消防隊員の高線量外部被ばくを防ぐ手立ては、確実かつ迅速に線量警報を発することによる退避以外に存在しない。本研究は現場作業環境に適応した超小型温度センサ/放射線センサ群並びに耐熱性警報表示シートを防火服と一体として開発し、随伴者には視覚、着用者には視覚・聴覚・触覚の観点から確実に線量警報を知らしめる防火服の実用化を図ったものである。更に、電波の届く範囲であれば隊員毎に防火服内温度と線量をリアルタイムで監視出来るシステム性も具備させた。

キーワード: 放射線、NRテロ、初動対応、外部被ばく、線量、 γ 線

1. はじめに

本研究は、放射線事故・Nテロにおける初動対応者としての消防隊員を計画外の被ばくから未然に防ぐ機器の実用化研究である。

わが国では欧米諸国に比して当該機器の開発は非常に遅れており、N災害、Nテロ関係の資機材が充実している東京消防庁においてすら、主たる放射線計測器は海外製品である。これは、米国がホームランドセキュリティに代表される膨大な国家予算を機器開発に投じ、フランスは国家機関であるCEAが開発した技術を無償でMGP社等に供給していることが大きな要因となっている。その一方、我が国では純然たる民間企業が商業ベースで開発を行っており、原子力産業等に比して大きな売り上げを期待出来ない防災関係資機材が開発のターゲットとなることは無いに等しい。更に、放医研が実施している消防、警察向けの「初動セミナー」での討議を通じて、地元消防が独自に調達している放射線関係資機材には統一性が無く、中には現場での使用には適さないものもあることが判った。

図1.1はいくつかの消防で採用されている放射線防護服の γ 線に対する遮蔽効果を検証したものであるが、NRテロや放射線災害に関しては事実上、効果が無い事を示す結果となっている。このような状況に鑑み、高線量外部被ばくの可能性を速やかに、かつ確実に検知して消防隊員の退避を可能ならしめるのが、本研究の目的である。

2. 概要

放射線/温度センサ3チャンネルを内蔵し、自発光反射帯用防水ケーブル保持構造を有した防火服を完成させた。これは着用試験と不均等被ばく時の放射線センサ配置を考慮して決められたもので、人体正面部と背面部並びに利き腕部の各々内側防水層内に放射線/温度センサが装備されている。

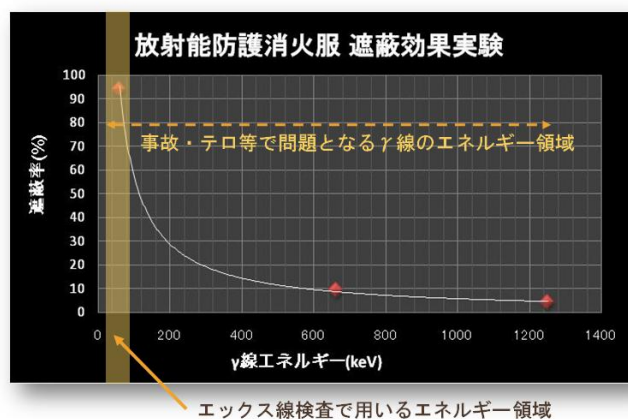


図1.1 放射線防護防火服の γ 線遮蔽効果実験結果

センサ収納ポケットは非貫通縫いつけ処理で内側防水層に取り付けられているとともに排水孔が設けられており、ポケット内に水がたまった場合にも速やかに排水できる構造となっている。防水ケーブルは自発光反射体と一体化処理された極細多芯ケーブルで超小型防水コネクタにより腰ベルト部に装着する警報発報器と接続される。

自発光反射帯は防火服の左右正面並びに空気ポンベを避けた背面臀部に、マジックテープ方式で脱着が可能よう取り付けられている。これは表面層に500℃耐熱の透明ポリイミドを使用した反射体で、反射体には超高輝度LED3個と蛍光物質を一体化した発光体を等間隔に配してある。防火服内温度並びに被ばく線量、線量率が任意の設定値を超えた場合、自発光反射帯はフラッシュ状に発光する。この自発光反射帯と防水ケーブルアッセンブリーは独立した3セットが各位置に取り付けられており、破損時もしくは防火服の洗濯時には容易に取り外すことが出来る。

警報発報器はバッテリーと共に防水シェル内に収められ、自発光反射帯へドライブ電流を供給するとともに警報音を発報する。また、無線通信回路を有し、放射線センサからの警報信号を受信して警報発報回路に伝達する。放射線センサはシリコン半導体検出

(所属機関名)

- 1 独立行政法人 放射線医学総合研究所
- 2 富士電機株式会社
- 3 小林防火服株式会社

器を放射線センサとして、サーミスタを温度センサとして内蔵している。単体でも積算線量計として機能できるようにリチウムバッテリーを内蔵し、非接触で警報発報器に警報ステータス信号を伝送する。この放射線センサは耐衝撃・防水構造を有し、水中に浸けた状態で放射線を検出し、データ通信が可能であることが確認された。保管時は専用の収納ケースに入れることで自動的に電源が切れるため、1年以上電池交換の必要が無く、収納ケースから取り出した瞬間からセンサとして機能する。これら放射線センサ、警報発報器、自発光反射帯は必要に応じて防火服に装着すればよい。本研究により放射線事故時等は過剰な被ばくなしに的確な警報発報が可能となった。

3. 構成

放射線感应型防火服は防火服本体、温度・放射線センサ、自発光反射体、警報モジュールの4要素で構成される。(図3.1)

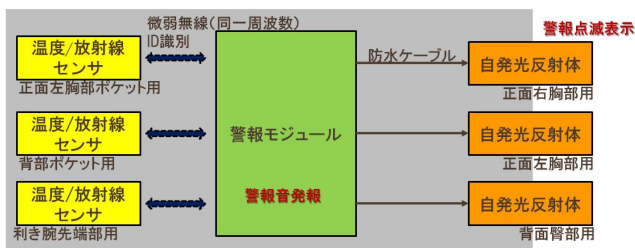


図 3.1 放射線感应型防火服の構成

4. 防火服

防火服は小林防火服のBLACKTECH®防火服をベースに開発を行った。アウター素材はケブラーの2倍の引張強度と弾性率を持つPBO繊維(ポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール-商品名 東洋紡ザイロン)を用い、同繊維の欠点である光・熱劣化を補うためにカーボンブラックをアラミド繊維に配合した原糸で補強を施してある。インナーにはゴアテックスを用い、防水・通気性を確保した。(図4.1)

温度・放射線センサを入れる内ポケットは、指向性と距離効果低減のため、正面左胸部、上背部、右腕先端部、左腕先端部の4か所に設け、縫い合わせは防水性担保のため非貫通縫合とした。更にポケット上部にはセンサ脱落防止用のマジックテープ、下部には汗抜き用のドレンホールを設けた。(図4.2)

これは不特定の方向から来るγ線による不均等被ばくの効果を最小限に抑え、確実に警報を発報させるための手段である。

5. 温度/放射線センサ

温度/放射線センサはシリコン半導体検出器とサーミスタを検出器とするγ線と温度の複合センシング

ユニットで、防火服内に入れて放射線警報信号と温度警報信号を無線で伝送する。

温度/放射線センサ用ポケット(4か所)



図 4.1 放射線感应型防火服

放射線警報信号は、γ線積算線量、γ線線量率、使用時間について設定値を超えた場合に発生する。温度警報は放射熱暴露等により警戒体温(38.5℃)を超えないよう防火服内の温度上昇を検知して設定値を超えた場合に発生する。

図5.1において、①の本体ケースはABS樹脂で出来ており、検出器周辺は携帯電話等からの電磁雑音防止用のシールドが施されている。使用に際しては放水、発汗等に起因して水没も想定されるため、防水性を確保した。防水試験は1m深の水槽底部に3台のセンサを24時間放置(水温16℃~22℃)し、試験前後での動作確認と内部の浸水状況目視確認を行った。その結果、異常は認められなかった。これはIEC並びにJISの保護等級IP67に相当し、内部への粉塵侵入並びに水没に対して十分な保護がなされている事が判った。一方、電磁雑音に関しては携帯電話(NTTdocomo, softbank系の2GHz帯、au系の800MHz帯)をセンサ前後及び4側面に密着使用しても誤計数を生じない事が確認された。

②は無線用Li電池ホルダは防水性を持った電池ホルダで微弱無線回路専用の電池を挿入する。これは通信信頼性向上のための冗長化電源であり、本体用の電池がダウンした場合でも無線通信を確保する事を目的としている。尚、ここに電池を入れなくても動作上

温度・放射線センサ



図 4.2 センサ用ポケット

の支障は無い。



図 5.1 温度・放射線センサの外観と各部の名称

③は本体用電池ホルダは防水性を持った電池ホルダでセンサ内の全系統に給電する。電池はCR2430 コインリチウム電池を1個用いる。

④の警報表示ランプは γ 線積算線量警報、 γ 線線量率警報、使用時間警報、温度警報の何れかが発報したときに赤色LEDが点滅する。尚、センサ本体から警報音は発生しない。ここで、 γ 線線量率警報と温度警報は設定値以下となった場合は自動復帰する。尚、警報発生時に有機EL表示が消灯しても本ランプは消灯しない。

⑤の有機EL表示窓は10種類の表示を行い、無灯火環境でも読み取り可能である。又、一定時間表示した後は全て自動的に消灯する。

⑥の表示切替ボタンを押すと表示が点灯し、続いて押すと γ 線積算線量 \rightarrow γ 線線量率 \rightarrow 温度 \rightarrow 使用時間の順に表示が切替る。尚、警報表示、故障表示等は自動表示であり本ボタンとは無関係に表示される

⑦は赤外線通信窓で、配備直後の各種設定をパソコンから行う際に用いる。本センサは計測モードに加え、保管モード、特殊処理モードの3モードがあり、赤外線通信によりパソコンからセンサ内の警報設定変更や計測値の読み出し、トレンドデータの読み出し等が可能である。

⑧の位置には内蔵アンテナがあり、150MHzの微弱電波により発生した警報や故障、一定時間ごとの測定値を送信する。そのため、この部分は電磁シールドを施していない。また、個人毎に同一の周波数を用い、センサ挿入位置毎に異なるIDコードを持たせて識別している。従って、腰ベルト位置に装着する警報モジュール周辺まで電波が届けば十分であるが、水にぬれた防火服やその内側で汗にまみれているセンサからどこまで電波が届くか確認する必要があった。評価は3個のセンサを用いて乾燥気中と水中で通信が確立する最短距離を計測した。その結果、水中では6m以上、気中では8m以上通信可能であることが確認された。

ここで、水中とは水深30cmで10cm幅の水槽中央底面部に置いたセンサと外側に置いた警報モジュールまでの距離、気中とは机の上に置いたセンサと警報モジュールの距離である。

⑨位置に挿入されたリードリレーは、電源のソフトスイッチとして機能する。センサ内のCPUは常時リードリレーの状態を監視しており、専用形態のマグネットによりスイッチが切られると下記の保管処理が行われた後、電源が切れる。センサ保管時は常にこの保管モードにあり、1年以内の保管であればマグネットから離れることにより瞬時に計測モードに投入される。

5.1 温度/放射線センサのエネルギー特性

γ 線、X線の中で、50keV以下のものの大部分は医療用等のX線発生装置であり、電源が入っていなければ放射線が発生することは無い。 ^{93m}Nb (30.4keV、半減期13.6年)、 ^{125}I (35.5keV、半減期59日)、 ^{51}Cr (32keV、半減期27.7日)等のごく少数の例外を除けば50keV以下の γ 線のみ放出し、有意な外部被ばく線量を与える核種は見当たらない。しかもこれら例外的な核種も大量に用いられている例は無い。従って、放射線放射線取扱施設での火災、原子力施設事故、テロ等で想定される放射線源のエネルギーは50keV-6MeVの間にあると考えれば十分である。そこでシリコン半導体検出器の入射窓フィルタ材の材質と厚さを適切に組み合わせることにより、図5.2のエネルギー特性を得た。これに拠れば校正基準である ^{137}Cs の662keVを基準として40keV~6MeVまで $\pm 20\%$ 以内の精度で測定出来ており、事実上、想定される全エネルギーの γ 線で計測可能であることが判る。

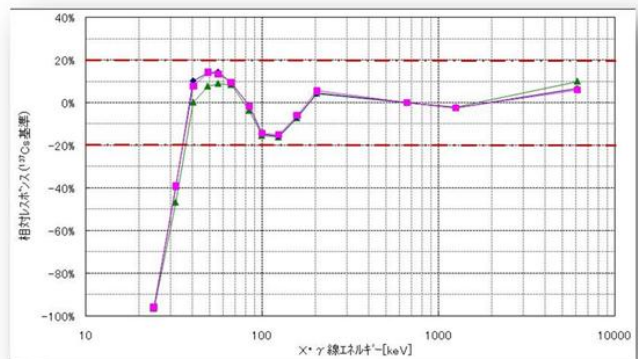


図 5.2 温度/放射線センサの γ 線エネルギー特性

5.2 温度/放射線センサの温度特性

人体の体温調節機能は35.8 $^{\circ}\text{C}$ ~40.9 $^{\circ}\text{C}$ とされている。従って、使用上限温度が+45 $^{\circ}\text{C}$ まで担保されている原子力施設向けの個人線量計であれば、一般的な作業環境下での使用に問題は無い。しかし、消防の場合は放射熱やフラッシュオーバー時の熱伝達問題があり、従来の規格では測定データや警報機能が喪失す

る可能性がある。そこで、耐温度特性に優れた電子部品と素材を用いてセンサ開発を行った結果、図 5.3 に示す通り、 -20°C から $+70^{\circ}\text{C}$ の範囲で $\pm 10\%$ 以内の感度変動に抑えることが出来た。

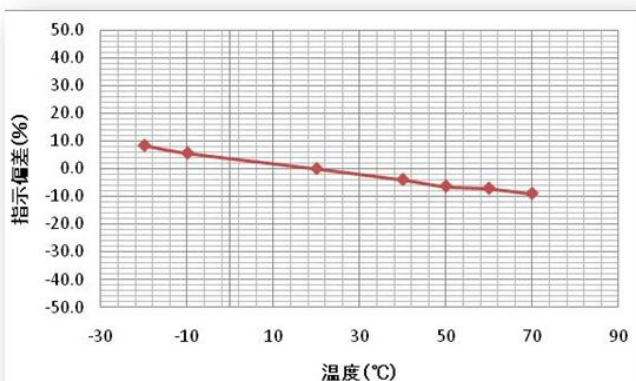


図 5.3 温度・放射線センサの温度特性

5.3 温度/放射線センサの線量率直線性

NR テロ時、原子炉事故時等では状況によって想定外の高線量率環境に入ってしまう事が想定される。図 5.4 は従来の信号処理回路の応答特性を改善し、且つ、数え落としの補正プログラムをファームウェアに導入した本センサの線量率直線性である。図より数 10Gy/h に至るまで計測と警報発報が可能であることが判る。これは、 100TBq 程度の ^{60}Co γ 線源から 1m の距離における線量率とほぼ等しく、初動に必要な線量率範囲は十分カバーすると考えられる。因みに大規模な放射能汚染事故を引き起こしたブラジルのゴイアニア事故では汚染源となった ^{137}Cs の放射能は 50.9TBq であった。

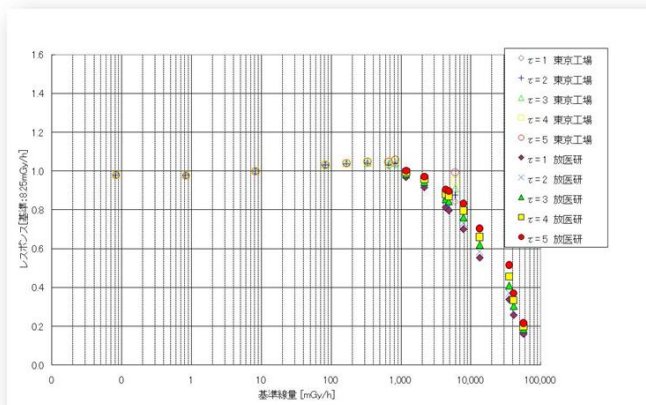


図 5.4 温度・放射線センサのエネルギー特性

6. 自発光反射体

自発光反射体は通常の反射体に警報表示用の蛍光体一体型 LED を組み込んだものである。反射素材には再帰反射性がガラスビーズの 3 倍高く、表面がぬれた場合にも反射性能を損なわないよう Reflexsite 社製マイクロプリズムを用いた。しかし、同素材は塩化

ビニルが原材料のため、耐炎性がガラスビーズに比して劣ることに加え、LED 保護の目的からも光透過性の耐熱保護フィルムが必要となった。そこで三菱ガス化学の協力を得て、透明ポリイミド“ネオプリム”の $200\mu\text{m}$ シートを作成し、耐熱層とした。図 6.1 は自発光反射体の構造、図 6.2 は自発光反射体の外観、図 6.3 はネオプリムの温度と体積変化の関係を示す。図 6.3 は三菱ガス化学の協力を受けた試験結果であるが、 500°C 以上でも溶融、変形は無く、体積収縮率も 10% 以内であることが判る。

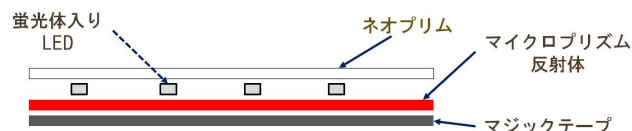
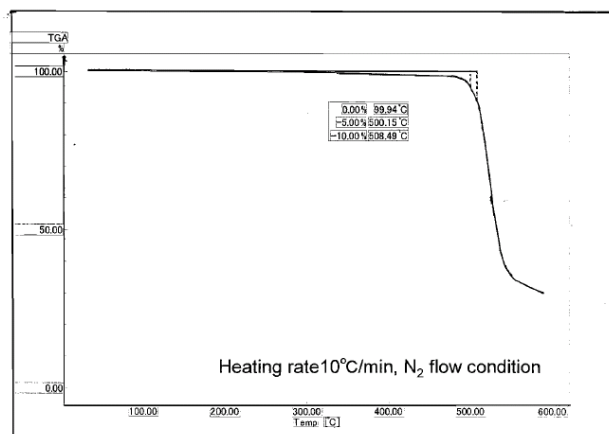


図 6.1 自発光反射体の構造



図 6.2 自発光反射体の外観



□ 5% weight loss temp. is 500°C
10% weight loss temp. is 508°C

図 6.3 ネオプリムの温度に対する体積変化の割合

本反射体の最適動作条件を確認する目的で LED の順方向電圧と照度、順方向電流の関係を評価した。測定は暗箱内に LED1 チップ (3 LED エレメント入り) を入れて 10cm の位置で印加電圧を変えながら照度を測定した。図 6.4 にその結果を示すが、LED

チップの絶対最大定格電流が 75mA であることに加え、凡そ 8.1V から直線的に照度が上がっていくことを考慮して 60mA (約 9V) が適当と判断した。そのため、反射体内に埋め込む LED は直列接続とし、60mA の定電流回路で駆動することとした。

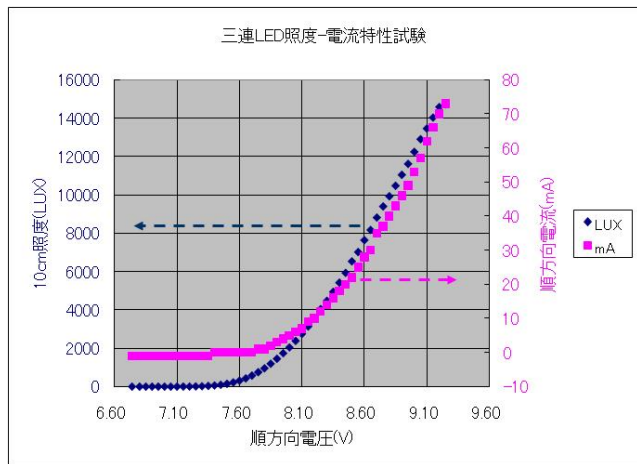


図 6.4 LED の電流と照度の関係

上記暗箱内で計測した照度と LED の有効面積の関係から輝度を計算すると、警報発生時は $6 \times 10^5 \text{Cd/m}^2$ であった。これは 100W クリア白熱灯の輝度 ($4 \times 10^6 \text{Cd/m}^2$) と 400W 水銀灯の輝度 ($1 \times 10^5 \text{Cd/m}^2$) のほぼ中間に位置し、点滅時には十分な視認性を与えることが出来る。図 6.5 は暗箱内で撮影した発光の様子である。



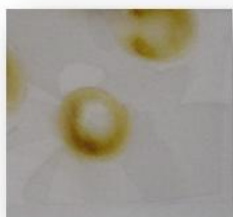
図 6.5 LED 点灯の様子

耐熱性に関しては、ISO11613 に規定されるオープン試験 (180°C / 5 分) にて、分離、落下、熔融、発火等は認められなかった。

耐炎性評価のため、500-530°C に制御したガスバーナーで耐熱層に用いるネオプリアムフィルム (厚さ 0.2 mm) を焼いた結果、その耐炎時間 (熔融貫通) は 90 秒以上であった。図 6.6 に 60 秒燃焼時と、90 秒燃焼時の表面状態を示す。



90秒燃焼時の平均的画像



60秒燃焼時の平均的画像

図 6.6 耐熱層の燃焼試験結果

7. 警報モジュール

警報モジュールは 2 系統の微弱電波受信回路と警報ブザー駆動回路、LED 駆動回路に加えてバイブレーション用モータ、警報ブザーと電池電源を内蔵しており、データ伝送と警報発報の要となる。

図 7.1 はその結線図であるが、これらは図 7.2 に示す防水容器内に収められ、データ通信に関しては非接触、自発光反射体とは防水ケーブルで結ばれている。

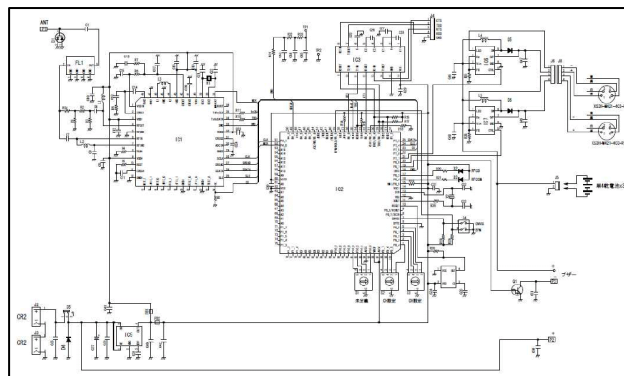


図 7.1 警報モジュール回路



図 7.2 警報モジュール容器外観

温度・放射線センサから微弱電波で送信された測定データ、警報信号のうち、警報のみが取り出され警報ブザーと LED 点滅に使われる。ここで線量率警報と温度警報は警報発生後に測定値が設定値を下回ると警報状態は自動復帰するが、積算線量警報と使用時間警報は消防隊員が外に出て、警報モジュール内のリセットスイッチを押すまで警報停止は出来ない仕組みとした。ここで、警報ブザー音圧は騒音下でも確実に識別できるよう、防水共鳴型を用いた。A 特性の騒音計を用いた実測値は空間上に設置した警報モジュール中心点から 1m の位置で 100dB であった。これはガード下において電車通過時の騒音レベルに匹敵する音圧である。

警報モジュール内のもう一つの無線通信回路は消防士毎のデータと状態を指揮車等のパソコンで把握する事を目的としており、隊員毎に異なった ID が割り当てられている。帯域は 2.4GHz の特定小電力データ通信システムで、センサから微弱無線で送られた全データと状態信号を転送する。図 7.3 は指揮車用パソコンに送信された個別の消防隊員状態表示画面である。



図 7.3 個別隊員データ受信画面例

8. まとめ

放射線感応型防火服、温度/放射線センサ並びに自発光反射体はすぐにでも商品化可能なレベルにまで完成した。本研究による機器類は、一般消火作業時や防火服洗濯時には容易に取り外しが出来ることから、通常出動後に、放射線の存在が判ったとしても消防車両内に当該機器を常時保管しておくことにより、速やかな放射線対応が可能となる。

警報モジュールは未だ試作品の域を出ないが、特定小電力無線を今後展開が予想される ZigBee 型無線システムに置き換えて行けば、個々の隊員を中継することにより地下室からでも指揮車にデータ伝送が可能となる。視認出来る場所であれば、中継器無しで 350m のデータ伝送が可能であることは確認済みである。

近い将来、空気呼吸器の全面マスク内にヘッドアップディスプレイ機能を統合することにより、温度・放射線のみならず、空気呼吸器残量、酸素濃度、有害ガス濃度、緊急退避命令等の重要項目を逐次消防隊員が把握出来るシステムの登場があろうが、本システムがその草分けとなれば幸いである。

第4 特殊災害対策の強化

4. 3 個別粒子法を用いた火災旋風の発生予測ソフトウェアの開発

研究課題名	個別粒子法を用いた火災旋風の発生予測ソフトウェアの開発
研究実施期間	平成 21 年度, 平成 22 年度
配分額(千円)	2,987.4 (平成 21 年度), 1,677 (平成 22 年度)
研究代表者	桑名一徳
所属機関	山形大学
研究体制	大学等研究機関
研究概要	火災時に何らかの理由で火炎と旋回流が相互作用すると、火災旋風と呼ばれる炎の竜巻のような現象が発生することがある。火災旋風が発生すると、炎の高さが通常の数倍から十倍以上に増加し、火災被害が拡大する。本研究では、模型実験の手法を用いて実験室規模の実験で火災旋風を再現することにより、火災旋風の火炎高さおよび発生条件に関する基礎的知見を得た。さらに、数値流体力学シミュレーションにより火災旋風発生を予測する手法を提案した。
研究成果の活用事例	本研究で構築した手法を用いれば都市火災や林野火災における火災旋風の発生しやすさを予測できる。様々な条件での都市火災や林野火災が想定されるが、これらに対して火災旋風発生予測を実施し、発生が予想される条件では、どのように対策すれば発生しにくくなるかなどについて検討していく予定である。
応用の方向性	例えば、住宅密集地における延焼遮断帯の導入や、避難所の選定において、地形や気象条件等を考慮しながら火災旋風の発生可能性を予め検討することにより、火災時に火災旋風が発生しにくい街づくりに応用することが考えられる。あるいは、火災旋風が発生しやすい建物や屋内の可燃物の配置が存在するが、このような条件を見いだして、火災旋風が発生しにくくなるよう対策を講じるための手段として用いることができる。
研究発表の状況等	<p>【学術論文】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. K. Kuwana, K. Sekimoto, K. Saito, “Wind-tunnel fire whirl experiments using a scale model,” Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol. 43, pp. 952-955, 2010 年 11 月 2. K. Kuwana, S. Morishita, R. Dobashi, K.H. Chuah, K. Saito, “The burning rate’s effect on the flame length of weak fire whirls,” Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 33, pp. 2425-2432, 2011

	<p>年 1 月</p> <p>3. K. Kuwana, K. Sekimoto, T. Minami, T. Tashiro, K. Saito, “Scale-model experiments of moving fire whirl over a line fire,” Proceedings of the Combustion Institute, 2013 年(掲載決定)</p> <p>【学会発表】</p> <p>4. K. Kuwana, K. Sekimoto, N. Akahuah, K.H. Chuah, J. Lei, K. Saito, F.A. Williams, “The moving-type fire whirl observed during a recent Brazil bush fire,” 7th US National Combustion Meeting, Atlanta, GA, Paper 2F04, 2011 年 3 月</p> <p>5. Y. Hayashi, K. Kuwana, R. Dobashi, “Influence of vortex structure on fire whirl behavior,” Fire Safety Science—Proceedings of the Tenth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, College Park, MD, pp. 671-679, 2011 年 6 月</p> <p>6. K. Kuwana, K. Sekimoto, T. Minami, T. Tashiro, K. Saito, “Scale-model experiments of moving fire whirl over a line fire,” 34th International Symposium on Combustion, Warsaw, Poland, 2012 年 8 月</p> <p>7. 落合智之, 桑名一徳, 「火災旋風発生時における火炎高さのスケール効果」, 平成 22 年度日本火災学会研究発表会, 札幌, pp. 224-225, 2010 年 5 月</p> <p>8. 桑名一徳, 落合智之, 「拡散火炎の長さに及ぼす浮力流および旋回流の影響」, 日本機械学会熱工学コンファレンス 2010, 長岡, pp. 89-90, 2010 年 10 月</p> <p>9. 落合智之, 高橋一徳, 桑名一徳, 「プール燃焼する可燃性液体の火炎高さに及ぼす旋回流の影響」, 第 48 回燃焼シンポジウム, 福岡, pp. 212-213, 2010 年 12 月</p> <p>10. 田代貴洋, 桑名一徳, 関本孝三, 斉藤孝三, 「線状火炎上に発生する火災旋風の模型実験」, 平成 23 年度日本火災学会研究発表会, 東京, pp. 318-319, 2011 年 5 月</p> <p>11. 落合智之, 高橋一徳, 桑名一徳, 「浮力による非定常性が火災旋風の火炎高さに及ぼす影響」, 平成 23 年度日本火災学会研究発表会, 東京, pp. 320-321, 2011 年 5 月</p> <p>12. 桑名一徳, 田代貴洋, 関本孝三, 斉藤孝三, 「火災旋風の発生予測手法」, 安全工学シンポジウム 2011, 東京, pp. 415-416, 2011 年 7 月</p> <p>13. 落合智之, 桑名一徳, 田代貴洋, 関本孝三, 斉藤孝三, 「線火災上の火災旋風発生条件」, 第 49 回燃焼シンポジウム, 横浜, pp. 526-527, 2011 年 12 月</p>
--	---

知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>本研究では、特に有風時の火災旋風について、風洞を用いた実験と数値流体力学シミュレーションにより、発生機構や発生予測手法を検討した。数値流体力学シミュレーションによる予測結果は模型実験の結果と比較して、妥当性を評価した。また、異なるスケールで実験を実施し、発生条件のスケール則を構築することにより、本研究の成果が大規模火災に対しても妥当であろうと確認した。今後は、実際の(過去の)大規模火災事例などに対してもシミュレーション予測を実施し、既知のデータと比較することにより、更なる妥当性の確認や予測精度の向上に努めることが望まれる。</p>

個別粒子法を用いた火災旋風の発生予測ソフトウェアの開発

○桑名一徳¹
Kazunori Kuwana

研究課題の要旨: 火災時に何らかの理由で火炎と旋回流が相互作用すると、火災旋風と呼ばれる炎の竜巻のような現象が発生することがある。火災旋風が発生すると、炎の高さが通常の数倍から十倍以上に増加し、火災被害が拡大する。本研究では、模型実験の手法を用いて実験室規模の実験で火災旋風を再現することにより、火災旋風の火炎高さおよび発生条件に関する基礎的知見を得た。さらに、数値流体力学シミュレーションにより火災旋風発生を予測する手法を提案した。

キーワード: 火災旋風, 発生予測, 火炎高さ, 模型実験, 数値流体力学シミュレーション

1. 諸言

本研究の目的は、火災旋風の発生予測手法を確立することである。火災旋風とは、火災時に何らかの理由で火炎と旋回流が相互作用すると発生する、炎の竜巻のような現象である。火災旋風が発生すると、火炎高さが通常の数倍から十倍以上に増加し、火災被害が拡大する。したがって、火災旋風の発生機構や被害評価方法についての研究が重要である。

国内における火災旋風発生事例として特に知られているのが、大正12年の関東大震災後に本所被服廠跡で発生し、わずか15分程度の間には38,000人が焼死する原因となった火災旋風である¹⁻⁴⁾。他にも、世界各地で火災旋風発生事例が報告されており、甚大な被害を引き起こされている。

これらの火災旋風は、大規模火災からの上昇気流と横風の相互作用により発生すると言われている⁵⁾。したがって、火災旋風の発生予測手法の確立のためには、上昇気流と横風の相互作用、および、それにより生じる旋回流・火災旋風の基礎的性質を理解しなければならない。本研究では、火災旋風の発生条件に関する基礎的知見を得るために、模型実験の手法を用いて実験室規模の実験で火災旋風を再現した。また、火災旋風発生装置を用いて火災旋風の火炎高さ増大機構について検討した。さらに、数値流体力学 (computational fluid dynamics, CFD) シミュレーションにより、火災旋風発生を予測する手法について検討した。

2. 火炎高さの増大機構

まず、火災旋風発生装置による火炎高さ増大機構解明のための実験およびその結果について記す。

2.1. 実験装置

図.1に実験装置図を示す。縦方向に半分に切断したアクリルパイプをずらして置き、中心でエタノールをプール燃焼させた。この装置を用いれば、燃焼に伴う上昇気流により、パイプの隙間を通過してパイプの内側へ空気が流入する。このとき旋回流が発生し、火災旋風が起こる。火炎高さを測定すると同時

に、電子天秤をも用いてエタノール質量の揭示変化を測定し、燃料消費速度を求めた。アクリルパイプの高さは100 cmで、直径は20 cmまたは30 cmとした。エタノール容器の直径は2.2~20 cmと変化させた。なお、アクリルパイプを使わず、旋回流の無い通常のプール燃焼に対しても同じ実験を行った。

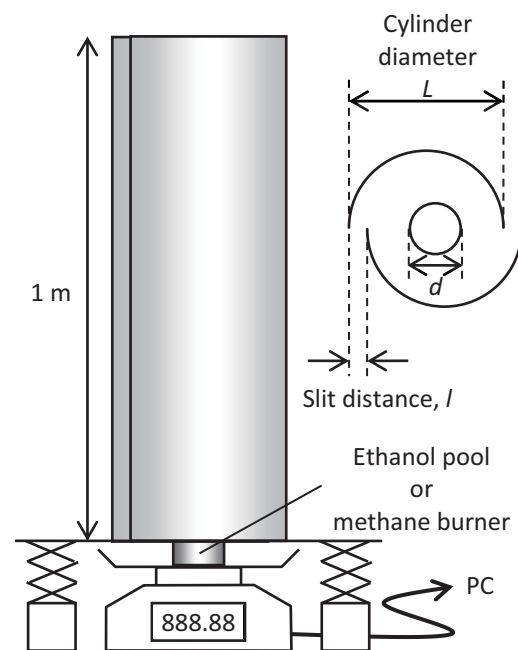


図.1 火災旋風発生装置

2.2. 結果および考察

図.2に測定された火炎高さと燃料消費速度の関係を示す。ただし、火炎高さは h/d と無次元化し、燃料消費速度は $Pe \equiv \dot{m}''d/\rho D$ と無次元化した。ただし、 h は火炎高さ、 d はエタノール容器直径、 Pe はPéclet数、 \dot{m}'' [kg/m²s]は単位面積当たりの燃料消費速度、 ρ [kg/m³]はエタノール蒸気密度、 D [m²/s]は拡散係数である。異なる容器直径のデータを比較し、さ

¹ 国立大学法人 山形大学工学部物質化学工学科

らに、火炎高さのスケール則を得るために、このような無次元化を行った。

Péclet 数が小さい領域では、旋回流の有無にかかわらず、無次元火炎高さと Péclet 数の間に比例関係がみられた。これは、(旋回流の無い) 通常の定常な層流拡散火炎の結果⁶⁾と同じである。通常の拡散火炎の場合、無次元火炎高さと Péclet 数の間に次の関係が成り立つことが知られている。

$$\frac{h}{d} = \frac{Pe}{16 \ln[1/(1 - Z_{st})]} \quad (1)$$

ただし、 Z_{st} [-]は混合分率の化学量論値であり、燃料により値が異なる。図.2 には(1)式も示した。これらの結果より、Péclet 数が小さい領域では、旋回流の有無にかかわらず、火炎高さが燃料消費速度にほぼ比例する。つまり、火炎旋風が起こると火炎高さが増大するのは、旋回流による流体力学的な効果というより、火炎旋風が発生すると燃料消費速度が上昇するのが主な原因だと考えられる。そして、火炎旋風の発生により燃料消費速度が上昇するのは、旋回流の存在により火炎基部形状が変化し、高温の火炎が液面に近づくので液体の蒸発が促進されるためである(図.3)。

図.2 より、Péclet 数がある程度以上に大きくなると、火炎高さと Péclet 数の関係が比例関係から外れてくることがわかる。これは、通常のバーナー拡散火炎⁷⁾と同様、火炎が乱流化あるいは非定常化するためだと考えられる。しかし、バーナーからの燃料噴流の慣性力が粘性力を上回り非定常化する通常のバーナー拡散火炎とは異なり、今回のように液体がゆるやかに蒸発するような系では、火炎の非定常性は浮力により誘起されると考えられる。

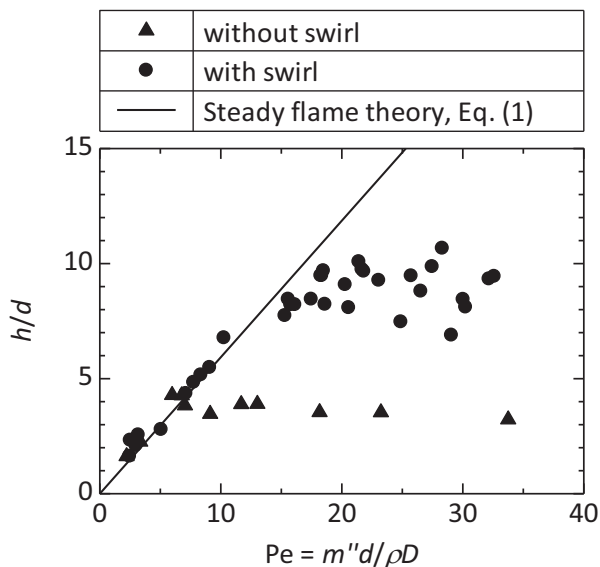


図.2 無次元火炎高さと Péclet 数の関係

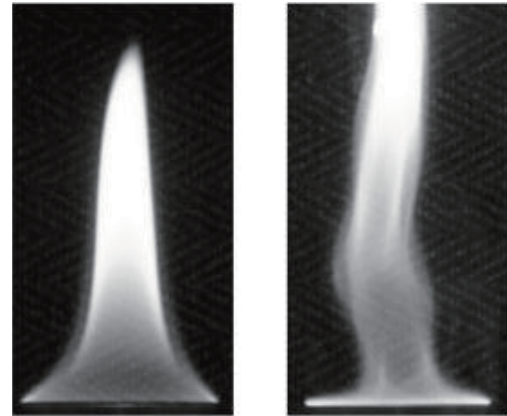


図.3 火炎旋風の発生による火炎基部形状の変化 (左図：旋回なし、右図：旋回あり)

非定常火炎に対して(1)式を応用するときは、Péclet 数の定義に用いられる拡散係数 D のかわりに有効拡散係数 D_{eff} を用いればよい⁸⁾。本研究のように非定常性が浮力により誘起される場合は、有効拡散係数は次元的に次式で与えられる。

$$D_{eff} \sim (gh)^{1/2} d \quad (2)$$

ただし、 g [m²/s]は重力加速度である。このとき、(1)式は次のように書き直せる。

$$\frac{h}{d} \sim Fr^{1/3} \quad (3)$$

ただし、 Fr は Froude 数で、 $Fr \equiv m''^2/\rho^2gd$ と定義される。

以上の議論に従い、無次元火炎高さの測定結果を Froude 数の関数として図.4 に示す。図中の黒塗り記号はエタノール容器径 4 cm 以上の結果で、白抜き記号は 4 cm 以下の結果である。この図から、エタノール容器径が 4 cm 程度以上になると浮力の影響により非定常燃焼への遷移が始まり、火炎高さは Froude 数に主に支配され(3)式を用いて表されることがわかる。

図.2 および図.4 より、旋回流の有無にかかわらず、定常燃焼の領域では(1)式、非定常燃焼の領域では(3)式を用いて無次元火炎高さを表せることがわかった。いずれの場合も、火炎高さは燃料消費速度により決まり、旋回流の有無が直接火炎高さに及ぼす影響は限定的であることがわかった。むしろ、旋回流の存在により火炎基部形状が変化し、高温の火炎が液面に接近することで液体の蒸発が促進され、燃料消費速度が上昇するために、火炎高さが上昇する。

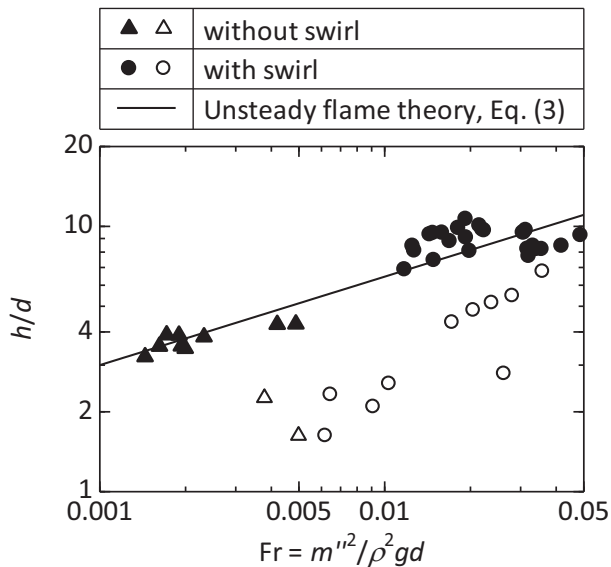


図.4 無次元火炎高さ と Froude 数の関係. 黒塗り記号はエタノール容器径 4 cm 以上の結果, 白抜き記号はエタノール容器径 4 cm 以下の結果を示す.

3. 火災旋風の発生条件

次に, 風洞を用いた模型実験結果に基づき, 横風中で火災旋風が発生する条件について検討した結果を報告する.

3.1. 対象とする火災旋風

火災旋風の基礎的性質を理解しやすくするためには, 可能な限りシンプルな系で発生する火災旋風を模型実験の対象とすることが望ましい. 本研究では, 2010 年にブラジルで発生が報告された火災旋風⁹⁾を対象として検討を行った. これは 2010 年 8 月にサンパウロ州で起きた林野火災時に, 線状の火災前線上に火災旋風が発生したものである. この火災旋風の様子を図.5 に模式的に示す.

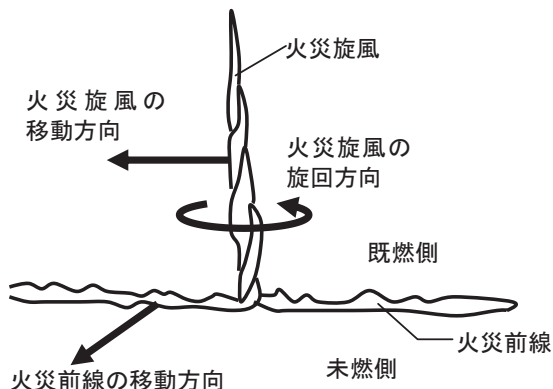


図.5 ブラジルで観察された火災旋風の模式図

このときの火災における火災前線は, 幅は数メートル程度だが長さは非常に長く, 線火災と呼べるような燃焼形態である. 前線背後で燻焼している領域から立ちのぼる白煙の動きより, 強くはないが風が吹いていることがわかる. 初めは普通に火災前線で 1 m 程度の炎を上げて燃焼しているのだが, 突如として火災旋風が立ち上がり, 前線に沿って移動する. また, この火災旋風は火災前線の端付近で発生しているようである. 周囲に高木や建物, 山や丘などは無く, 線火災と横風の相互作用のみで火災旋風が発生したものと考えられる. したがって, この火災旋風の発生機構は最もシンプルな火災旋風発生モードの一つだと言える. そこで, 本研究では, このような線火災上に発生する火災旋風を模型実験で再現し, 発生条件を検討した.

3.2. 模型実験方法

図.6 に本研究で実施した模型実験の模式図を示す. 火災前線を最大三本の電熱線の通電加熱により模擬し, 風洞を用いて横風をあてた. 電熱線を用いるのは, 発熱速度を容易に制御できるようにするためである. 電熱線の長さは 500 mm で固定した. 電熱線と横風の成す角度 θ , 発熱速度 Q [W] および横風速度 U [m/s] をパラメータとして実験を行った. ブラジルでの火災旋風 (以降, 模型に対して「原型」と呼ぶ) が火災前線の端付近で発生しているようなので, 端付近を詳細に観察できるように, 発熱領域の一端が観測部の中央近くに位置するように電熱線を配置した. この端付近の現象が他方の端からの干渉を受けないように, もう一方の端が観測部の境界 (壁) まで届くようにした. また, 流れの様子を可視化するため, 風洞出口付近の床面近くからスモークを導入した.

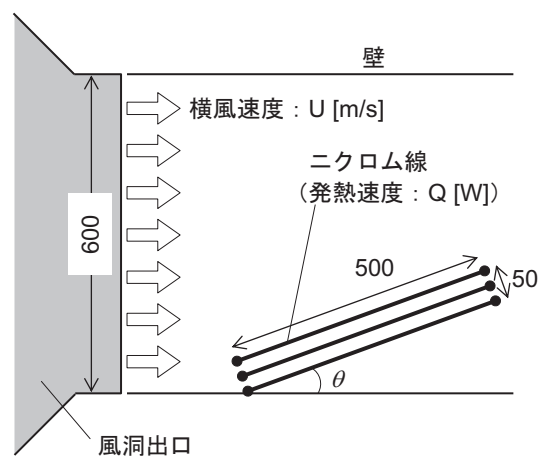


図.6 ニクロム線を用いた模型実験の模式図 (数字の単位は mm)

3.3. 結果および考察

電熱線と横風の成す角 θ が 20° から 30° 前後のときに、発熱領域上に旋風が発生しやすいことが観察された。原型と同様、発熱領域の端付近で旋風が発生しやすかった。図.7に発生した旋風の例を示す。

本研究で実施した模型実験により、横風速度 U がある狭い範囲内にある場合のみ旋風が発生しやすいことが確認された。この旋風が発生しやすい風速（臨界風速 U_c と呼ぶ）は、発熱速度の増加とともに増加する傾向がみられた。

電熱線を用いた模型実験では、原型のような炎を伴った竜巻状の火災旋風を発生させることができない。しかし、図.7のように発熱領域上で旋風が発生する状況で、火災旋風が起こりやすいのだと考えられる。発熱領域上に旋風が生じると原型のような火災旋風発生へとつながることを確認するため、電熱線に替えて、幅 10 mm の容器でエタノールをプール燃焼させて同様の実験を行った（図.8）。

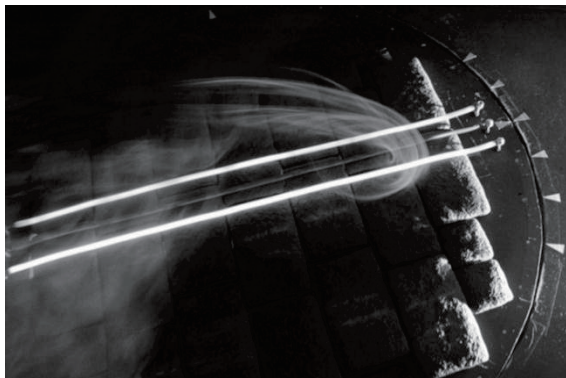


図.7 観察された旋風の様子（横風は左から右）

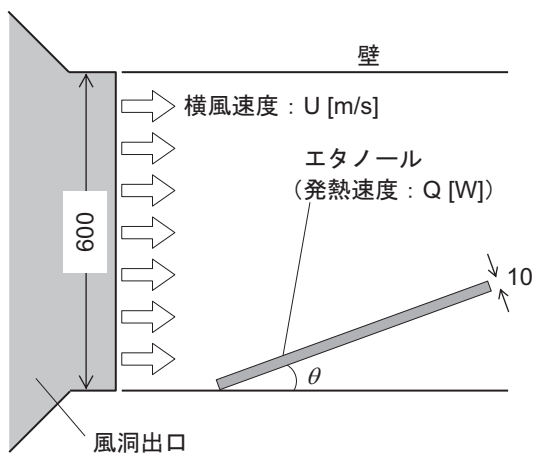
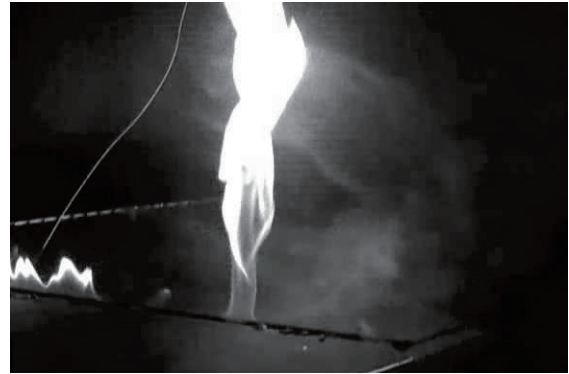


図.8 エタノールを用いた模型実験の模式図（数字の単位は mm）

その結果、原型とよく似た火災旋風が発生した。また、この火災旋風が線火災に沿って移動する様子も観察され（図.9），原型と類似した特徴を示した。



(a) 火災旋風発生直後



(b) 上の写真より 2 秒後

図.9 エタノール線火災上で観察された火災旋風

なお、エタノールをプール燃焼させて実験した場合も、電熱線加熱の場合と同様に、旋風が発生しやすい横風速度が存在することが確認された。臨界風速と発熱速度の関係を無次元化したものを図.10に示す。ただし、図中の L [m], \dot{Q}'' [W/m²], ρ_∞ , $c_{p\infty}$, T_∞ は、それぞれ、発熱領域または燃焼領域のスケール、単位面積当たりの発熱速度、空気密度、比熱、雰囲気温度である。また、過去の実験結果や実際に起きた大規模火災旋風のデータ（関東大震災後の火災旋風など）³⁾も同じ図に示す。なお、本研究のように線火災を対象としたものは、 L を燃焼領域の幅（例えば図.8の場合は 10 mm）として定義した。過去の火災旋風事例は、燃焼域の幾何学的形状が様々に異なっているため、図.10で臨界風速と発熱速度の間に完全な相関があるとまでは言えない。しかし、本研究の実験結果も、次に示す相関関係をほぼ満たしており、本研究の結果を大規模火災に対して適用できることが示唆される。

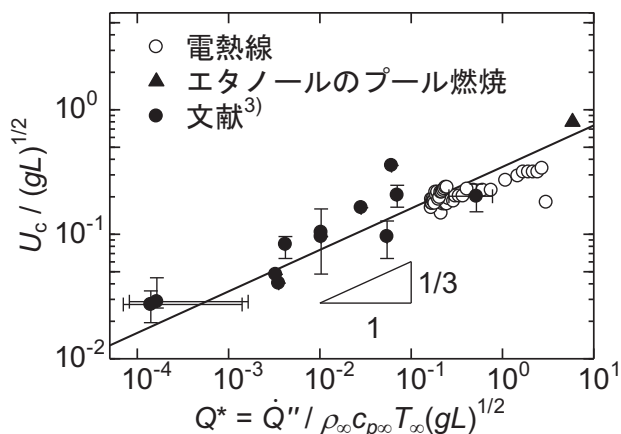


図.10 臨界風速と発熱速度の関係

$$\frac{U_c}{(gL)^{1/2}} \sim \left[\frac{\dot{Q}''}{\rho_{\infty} c_{p\infty} T_{\infty} (gL)^{1/2}} \right]^{1/3} \quad (4)$$

また、電熱線を用いた実験結果もエタノール火炎を用いた実験結果もほぼ同じように(4)式の相関関係を満たしており、火炎を用いなくても電熱線を用いた実験により火災旋風の発生について検討できることがわかる。なお、(4)式の相関関係の理論的背景は参考文献³⁻⁵⁾で検討した。

4. 火災旋風の発生予測手法の検討

本研究の目的である、火災旋風の発生予測を可能にするための指標を検討するため、電熱線を用いた模型実験の系を対象とした CFD シミュレーションを実施した。短時間での発生予測を可能にするため、燃焼反応は考慮せず、定常な系を仮定し、発熱領域を温度一定の境界条件として与えた。また、標準 $k-\epsilon$ モデルを用いて乱流の効果を考慮した。

CFD シミュレーションにより計算された温度分布の一例を図.11 に示す。上昇気流と横風の相互作用により渦状の流れが誘起され、それにより温度分布が影響を受けていることがわかる。

発熱領域の温度を固定し（つまり、発熱速度がほぼ一定）、横風速度 U を変化させながら行った CFD シミュレーションにより求められた、ある高さにおける発熱領域上での鉛直方向渦度の最大値を図.12 に示す。 U が 0.3 m/s 以下および 0.6 m/s 以上の条件では渦度の最大値が $1/\text{s}$ 以下であった。つまり、これらの条件では、上昇気流と横風の相互作用による渦度の生成がほとんどみられない。ところが、横風

速度を 0.5 m/s とすると渦度の最大値が極大となり、 $5/\text{s}$ 程度まで増加した。この CFD シミュレーションの結果は、 U がある狭い範囲内の場合のみ旋風が発生するという実験結果と一致している。また、予測された臨界風速の値も実験結果とほぼ一致していることを確認した。これらの結果より、CFD シミュレーションにより発熱領域（火災域）上の渦度の最大値を計算すれば、火災旋風発生予測の指標として用いられることを示唆している。



図.11 計算された温度分布の例

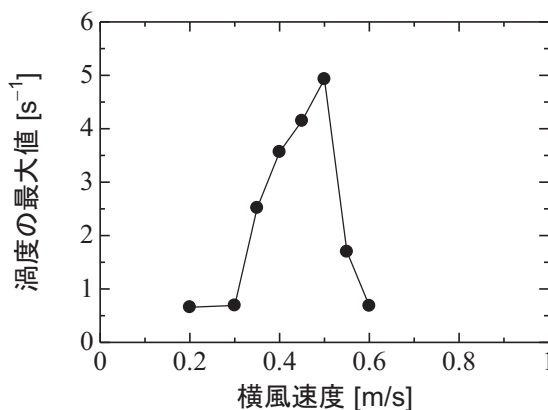


図.12 渦度の最大値と横風速度

5. まとめ

火災域からの上昇気流と横風の相互作用により発生する火災旋風の発生予測を可能にする目的で、模型実験および CFD シミュレーションを実施した。

まず、火災旋風発生装置を用いた実験により、火災旋風発生時の火炎高さ増大機構を検討した。無次元火炎高さが Péclet 数あるいは Froude 数、つまり、無次元燃料消費速度に主に依存することがあきらかになった。旋回流の直接的な流体力学的影響による火炎高さの増大は限定的で、旋回流の存在により燃料消費速度が上昇するのが火炎高増大の主な理由である。この燃料消費速度の上昇は、旋回流の存

在による火炎基部形状の変化，そしてそれに伴う火炎から燃料への熱移動の促進が主な理由である。

また，火災旋風発生条件を実験的に検討するため，比較的シンプルな系で火災旋風が発生したブラジルの事例（線火災と横風の相互作用で火災旋風が発生した）を模型実験の対象とし，検討した。

模型実験により，発熱領域（火災域）と横風の成す角度，および，横風速度が旋風発生を左右する重要なパラメータであることが明らかになった。発熱領域における発熱速度，つまり，火災域における燃焼速度が上昇すると，火災旋風が発生しやすい横風速度（臨界風速）も増加する傾向がある。発熱速度と臨界風速を無次元化して整理すると一定の相関関係が得られることが分かった。

また，CFD シミュレーションにより，発熱領域上の渦度の最大値を予測することで，火災旋風発生予測の指標とできることがわかった。本研究の成果により，火災旋風発生の予測手法を提案することができた。

【参考文献】

- 1) S. Soma, K. Saito: Reconstruction of fire whirls using scale models, *Combustion and Flame*, 86, pp. 269-284, 1991
- 2) K. Kuwana, K. Sekimoto, K. Saito, F.A. Williams, Y. Hayashi, H. Masuda: Can we predict the occurrence of extreme fire whirls?, *AIAA Journal*, 45, pp. 16-19, 2007
- 3) K. Kuwana, K. Sekimoto, K. Saito, F.A. Williams: Scaling fire whirls, *Fire Safety Journal*, 43, pp. 252-257, 2008
- 4) K. Kuwana, K. Sekimoto, K. Saito: Wind-tunnel fire-whirl experiments using a scale model, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 43, pp. 952-955, 2010
- 5) 篠原雅彦: 横風中の火炎風下に発生する旋風に関する実験研究, *日本火災学会論文集*, 58, pp. 1-12, 2008
- 6) S.P. Burke, T.E.W. Schumann: Diffusion flames, *Industrial and Engineering Chemistry*, 20, pp. 998-1004, 1928
- 7) H.C. Hottel, W.R. Hawthorne: Diffusion in laminar flame jets, *Proceedings of the Combustion Institute*, 3, pp. 254-266, 1949
- 8) F.A. Williams: *Combustion Theory*, Addison-Wesley, 1985
- 9) 桑名一徳: 大規模火災の模型実験, *日本燃焼学会誌*, 53, pp. 78-84, 2011

第4 特殊災害対策の強化

4.4 圧縮空気泡を用いたアルミニウム火災の消火に関する研究

研究課題名	圧縮空気泡を用いたアルミニウム火災の消火に関する研究
研究実施期間	平成22年度
配分額(千円)	3,200
研究代表者	坂本 直久
所属機関	株式会社モリタホールディングス
研究体制	産・官
研究概要	水系消火剤によるアルミニウム粉末火災に対する消火の有効性と危険性を検証するために実験室レベルで燃焼生成ガスを全量回収し分析できる検証装置を試作した。検証装置を用いて、燃焼アルミニウム粉に水または異なる気水比(空気と泡水溶液の体積比)の圧縮空気泡(CAF)を放射したときの燃焼挙動と燃焼物の飛散状況を観察するとともに、水素の発生状況を定量的に測定した。測定結果より、水系消火剤は燃焼アルミニウム粉を効果的に消火でき、生成ガス中の水素濃度も爆発下限界以下で、爆発の危険性が小さいことを明らかにした。さらに、実験室レベルで得た知見に基づき、圧縮空気泡消火システム(CAFS)搭載の消防車による実規模火災の消火実験をおこない、安全かつ有効な消火戦術を構築した。
研究成果の活用事例	全国の消防に対して水素発生データの提供と消火戦術の提案をおこなっている
応用の方向性	金属火災に対する水系消火剤の有効性及び安全性を解明することにより、新たな消火戦術を確立することができる
研究発表の状況等	1) 近藤、廖、山野、松島、坂本、松下、神田、佐宗、内藤、平成23年度日本火災学会研究発表会概要集、pp.390-391、2011.5 2) 山野、廖、近藤、松島、坂本、松下、神田、佐宗、内藤、第59回全国消防技術者会議、pp.262-271、2011.10
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	金属火災の消火は、水素爆発の危険性があるため、さらに大規模な検証をおこなうためには、安全な場所の確保が課題である。

圧縮空気泡を用いたアルミニウム火災の消火に関する研究

○坂本直久¹・廖赤虹¹・近藤伸一¹・山野光一¹・松島至俊¹・松下孝志²・神田聡²
Naohisa SAKAMOTO, Chihong LIAO, Shinichi KONDO, Koichi YAMANO, Yoshitoshi MATSUSHIMA,
Takashi MATSUSHITA and Satoshi KANDA,

研究課題の要旨：金属火災の消火は一般的に粉末系消火剤が用いられるが、現場での貯蔵量が限られるほか、遠方および高所への効果的な散布が困難である。一方、大規模アルミニウム火災に対し、水系消火剤を用いた圧縮空気泡による消火成功の事例がある。しかし、アルミニウム火災に対する水系消火剤の使用は、水素発生にともなう爆発等の二次的被害が危惧され、消火活動における安全性が懸念される。そこで本研究では、アルミニウム火災での水系消火剤使用の危険要素となる水素の発生に重点を置き、小規模実験と実規模実験により検討した。小規模実験では圧縮空気泡による水素発生量を測定するとともに、消火挙動を把握した。また、小規模実験で得た知見に基づき、実規模レベルの消火実験では、圧縮空気泡消火システム搭載の消防車を用い、消火の有効性と危険性を評価した。

キーワード： CAFS、金属火災、アルミニウム火災、消火

1. はじめに

アルミニウムはアルカリ金属とは異なり、通常常温では水と激しく反応することはないが、高温下ならびに、酸化剤との接触で水素が発生する。アルミニウム火災に対する水系消火剤の使用は、水素に起因する爆発等の二次的被害が危惧される。したがって、危険物第二類に該当する一定粒径以下のアルミニウム粉は、消防法上、水系消火器具の使用は不適とされ、粉末消火剤や乾燥砂の使用が推奨されている。しかし、これらの消火機構は酸素の遮断と冷却であるため、十分な量を散布して燃焼表面を被覆する必要があり、遠隔での消火作業は極めて困難となる。

2009年に東近江行政組合消防本部管内で発生したアルミニウム鋳造工場火災では、工場内に立体的に設けられたダクト等に堆積した多数のアルミニウム粉が点在した状態で燃焼した。このため、粉末消火剤を使用すると高所にあるアルミニウム粉が落下し、粉じん爆発を引き起こす可能性が危惧された。そこで、消防車に搭載された圧縮空気泡

(Compressed Air Foam、以下 CAF という) 消火システムの使用を工場関係者と協議検討(CAFの起泡性等の性状確認、当該工場に存在する金属粉じん種等の精査)した。同関係者の安全確認のもと、CAF消火を試み当該火災を消火した。

過去30年間に国内で発生したアルミニウム火災は31件であり、年平均の発生頻度は高くないが、発生場所は東近江行政組合消防本部管内をはじめ、特定の地域に集中している。

先のとおり、CAFにてアルミニウム火災を消火しているが、一事例である。アルミニウム火災の再発に備えより適切な消火戦術を構築するには、CAFによる消火事例を検証し、消火の有効性と危険性を明

(所属機関名)

1 株式会社モリタホールディングス

2 東近江行政組合消防本部

らかにする必要がある。

ここでいう消火の有効性とは、水系消火剤が燃焼中のアルミニウム粉に接触する際、燃焼アルミニウムが確実に冷却され、燃焼反応が停止することを指す。また、消火時の危険性については下記2点が想定される。

① 水素発生により燃焼下限界を超える水素が区画内に滞留し、爆発に至る

② 燃焼物の飛散と、飛散に伴う火勢の急拡大

本研究では、上述の有効性と危険性を検証することを目的として、燃焼アルミニウム粉に水または異なる気水比(空気と泡水溶液の体積比)のCAFを放射したときの燃焼挙動と燃焼物の飛散状況を観察するとともに、水素の発生状況を調べた。本稿では、研究の背景となったアルミニウム工場火災の概要を紹介し、アルミニウム火災に対するCAF消火の有効性と危険性を小規模実験および実規模実験により検討した結果を併せて報告する。

2. CAF消火事例の概要

2.1 火災状況

表1に2009年に発生したアルミニウム鋳造工場火災事例の概要を示す。火災発生工場内は、溶解炉の周辺にダクト等の設備の他、建物構造材である鉄骨および作業通路等が複雑に設けられていた。浮遊するアルミニウム粉を回収するために集じん装置が設置されていたが、前述のように建物内は複雑な形状であったため、設備の上には多量のアルミニウム粉が塵埃と共に堆積していた。

火災はこれら粉じんを清掃する際、高所にあるアルミニウム粉が落下し、熔融炉内の熱によって爆発し延焼したものと見られる。火災時、10~30cm程度の大きさのアルミニウム粉の赤熱集塊物が、工場内の広範囲に立体的に点在していた。

表1 消火活動の概要

建物	
構造	鉄骨造アスファルト ルーフィング葺き2階建 鑄造工場 (消防法施行令別表第1(12)項イ)
延べ面積	13,272 m ²
被害状況等	
物的被害	建物焼損面積 366 m ² 付設集じんタンク 1基
人的被害	死者 1名、負傷者 4名
出動台数	20台 (署 16台、団 4台)
出動人員	109人 (署 59人、団 50人)
CAFS 使用状況	
泡放射体形	クアドラフオグノズル1線2口放射
泡性状	気水比 : 16倍 薬剤濃度 : 0.5%
使用水量	9,000 L (泡薬剤使用量 : 45 L)

2.2 消火活動

消火活動初期、消防隊は工場設置の粉末消火器および二酸化炭素消火器を集めて消火活動をおこなった。しかし、消火器では冷却効果が低く、高温のアルミニウム集塊物の温度を下げるには不十分であった。また、アルミニウム集塊物がダクト等の設備上にも点在していたため、近距離から消火器あるいは乾燥砂等の消火剤を使用することは消防隊にとって極めて危険な作業であった。

これら状況にかんがみ、消防隊は CAF 消火システムによる消火を検討した。消防隊は、気水比 16 倍の CAF を路上に放射し、発泡性状等の確認を工場関係者に求めた。CAF の状態を確認した工場関係者は消火効果が期待できると判断し、当該火災の消火に CAF を使用することを了承した。

CAF を用いた消火活動は、溶解炉に蓋をして水分の進入を防いだ上でおこなった。当初、屋外の梯子車梯上から工場内へ CAF 放射を実施したが、広範囲の消火ができないため、屋内進入によるクアドラフオグノズル 2 口放射へと移行した。

屋内進入し、アルミニウム集塊物に CAF を放射すると、赤く燃焼している状態は瞬間的に収まるが、放射を止めるとすぐに再び赤く燃焼した。しかし、これを 1 分程度繰り返すことによりアルミニウム赤熱集塊物を消火することができた。

一方、放射した CAF は燃焼熱により直ちに蒸発し消泡する状態であり、放射中は絶えず水蒸気が発生していた。さらに、CAF 放射中、発生頻度は少ないもののアルミニウム集塊物内部から「白色の閃光」が生じ、消防隊員が危険を感じる場面もあった。

しかし、総じて CAF の高い冷却効果が確認できたため、CAF 放射を継続し最終的に当該火災の消火を完遂した。

3. CAF 消火の有効性と危険性に関する検討

3.1 実験装置と実験方法

3.1.1 小規模実験

CAF によるアルミニウム火災の消火挙動および水素発生挙動を小規模な実験装置にて調べた。具体的には、換気流量を制御できる密閉容器内で一定量のアルミニウム粉を安定的に燃焼させ、一定量の水または CAF を放射し、燃焼挙動を観察するとともに、水素残留量と酸素濃度の変化を測定した。また、燃焼中のアルミニウム集塊物に水系消火剤が接触した直後の消火剤および燃焼物の飛散状況を観測した。

試料のアルミニウム粉 (以下アルミ粉) は、安全性および再現性等を考慮し、表 2 に示す試料を用いた。

実験装置の概要を図 1 に示す。燃焼室は、内部の状況を観察するために耐熱ガラス管を用いた。燃焼室内に、アルミ粉試料を入れたステンレス製シャーレを設置し、シャーレ下と容器内雰囲気温度を、シース径 2.2 mm の CA 熱電対にて測定した。

電極に電圧を印加し、マグネシウムリボンを助燃剤として試料の燃焼を開始した。アルミ粉燃焼時には換気装置により 200 L/min の空気を燃焼室内に供給するとともに、燃焼生成ガスを排気電磁弁より排出した。シャーレ下の熱電対が 1200°C を示した時点で消火開始のタイミングとし、消火時に発生する水素を捕集するため、消火剤放射直前に空気供給電磁弁と排気電磁弁を閉じ、燃焼室を密閉した。

CAF 生成装置は、気水比を変化させることにより、水が多い柔らかい泡 (Wet 泡) から水が少ない固い泡 (Dry 泡) まで任意に調整することができる。水または CAF (薬剤濃度 1.0%) をアルミ粉試料に放射した。燃焼アルミ粉に放射した CAF および水 (気水比 0 倍) の水量と空気流量、ならびに放射方法を表 3 に示す。5 秒×2 回の放射方法においては、各放射の間隔を 1 分間とした。

消火剤放射後、シャーレ下の温度が 100°C 未満になった時点で、燃焼室内のガス濃度の均一化を図るため攪拌用エアポンプにて燃焼室内のガスを 3 分間攪拌させた。攪拌終了直後に生成ガス採取装置内を減圧し、内部に設置したアルミニウムバッグに燃焼室内の気体を引き込み採取した。採取したガスは、環境計量証明分析機関にて、水素および酸素濃度をガスクロマトグラフにて測定した。

また、着火から消火に至るアルミ粉の燃焼挙動および消火時の消火剤の飛散挙動を、ビデオカメラお

よびハイスピードビデオカメラを用いて記録した。

表2 アルミ粉の配合

平均粒径(μm)	質量(g)	合計(g)
1.3	10	20
3.3	10	

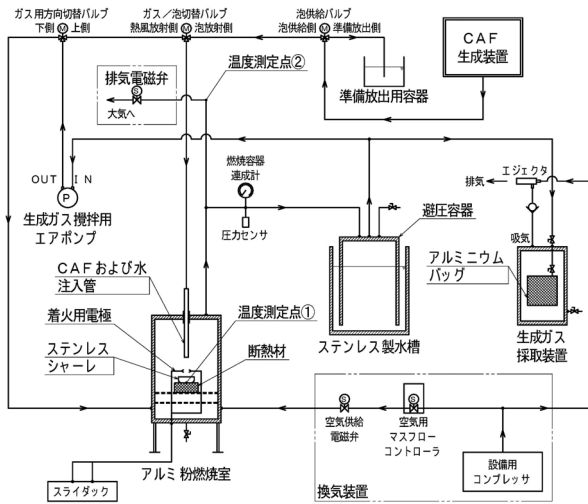


図1 実験装置配管系統図

表3 実験条件一覧

実験番号	CAFおよび水放射方法	消火条件		
		水 (L/min)	空気 (L/min)	気水比 (倍)
1-1	5秒×2回	0.5	10.0	20
1-2	10秒×1回			
2-1	5秒×2回		7.5	15
2-2	10秒×1回			
3-1	5秒×2回		5.0	10
3-2	10秒×1回			
4-1	5秒×2回		2.5	5
4-2	10秒×1回			
5-1	5秒×2回		0.0	0
5-2	10秒×1回			

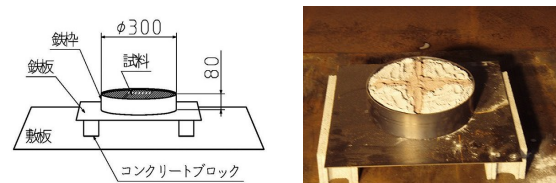
3.1.2 実規模実験

消火挙動におよぼすアルミ粉集塊物の規模効果を検討するため、実規模アルミ粉集塊物を用いた密閉区画内消火実験をおこなった。また、水素の区画上部への滞留状況と燃焼物の飛散挙動を調べるため、垂れ壁を設けた半開放区画内ならびに区画外の開放空間でも、同規模の燃焼アルミ粉集塊物の消火実験をおこなった。

燃焼模型は、火災現場に点在していたアルミ粉集塊物の大きさは最大約30cmであったため、図2に

示す燃焼模型とした。

実規模実験で使用した試料と着火剤の組成を表4に示す。前述のCAFSによる消火事例において、火災現場に残留していた粉末の組成を分析したところ、アルミニウム66%、ケイ素28%であったことから、アルミ粉末に二酸化ケイ素(SiO_2)を20% (ケイ素として9.3%)配合した。また、粒径に関しては、平均粒径が40~50 μm であったため表4に示す試料を用いた。また、粒径が大きくなると着火性能が低下するため平均粒径1.0~1.3 μm のアルミ粉末をベースに酸化鉄(Fe_2O_3)を配合し、テルミット反応により燃焼を促進するための着火剤を用いた。半開放区画内の実験(表5B-3)のみ、表4の試料②に示すアルミニウムとマグネシウムの合金を用いた。



※写真中、色の濃い十字部分が着火剤

図2 燃焼模型

表4 実規模実験の試料と着火剤の組成

試料	粒径		配合量 (kg)
	Al	SiO ₂	
試料①	Al	45 μm 以上最大15%、 45 μm 以下最小85%	2.0
		平均粒径 24~27 μm	1.0
	平均粒径 14~16 μm	1.0	
	合計	5.0	
試料②	Al	45 μm 以上最大15%、 45 μm 以下最小85%	1.0
		平均粒径 24~27 μm	0.5
		平均粒径 14~16 μm	0.5
	AlMg	Al 50%+Mg 50%	2.0
	SiO ₂	試薬1級	1.0
合計	5.0		
着火剤	Al	平均粒径 1.0~1.6 μm	0.16
		45 μm 以上最大15%、 45 μm 以下最小85%	0.02
	Fe ₂ O ₃	試薬	0.02
	合計	0.20	

実験 A 密閉区画

図3に実験区画の概略図を示す。区画は2m×2m×2mの立方体で、正面扉に付属するゴムパッキンにより密閉される。床中央に燃焼模型を設置し、その1500mm上方に消火剤放射口を設置した。天井下50mmにガス採取口を設けた。

水素濃度の測定には、定電位電解式水素濃度計（株）東科精機 TIP-HY）を使用した。212 ppmの水素標準ガスの測定誤差は2.8%であった。

密閉区画内実験時には、区画内のガスを攪拌するためのファンを区画内に設置した。また、消火時の水蒸気発生に伴う区画内圧力上昇を吸収するため、区画外に容積約800Lの避圧用フレコンバックを接続した。正面扉を開放した状態で燃焼模型に着火し、予燃中は自然換気をおこなった。試料のほぼ全面が赤熱した時点で扉を閉鎖し、気水比15倍、泡水溶液流量1L/minのCAFを3分間放射した。水蒸気の発生により膨らんだ避圧用のフレコンバックがほぼ元の状態に戻った時点で、区画内のガスを採取口から採取し、水素濃度計の校正濃度付近まで希釈した後、水素濃度を測定した。

実験 B 半開放区画

区画上部に滞留した水素の危険性を調べるための実験は、垂れ壁を設けた半開放区画でおこなった。区画の概要を図4に示す。図3の区画の扉を開放し、高さ900mmの垂れ壁を取り付けたものである。床中央に設置した燃焼模型を予燃後、気水比15倍のCAFを放射し、区画内の天井下50mmのガスを連続的に吸引し、水素濃度の変化を前記の水素濃度計により測定した。

実験 C 開放区画

消火活動時の燃焼物の飛散挙動を調べるための実験は、区画外でおこなった。実際の消火活動時の消火挙動を把握するため、消防用ノズルを使用し、消防隊員が燃焼模型から5m以上離れた任意の場所から水放射（120L/min）またはCAF放射（50L/min）をおこない消火挙動を観察した。

実験 A、B、Cの実験条件を表5に示す

表5 実験条件一覧

実験	試料	水溶液 (L/min)	気水比	放射時間 (min)
A-1	試料①	1	15	3
A-2		1	15	3
B-1		2	15	1
B-2		1	15	3
B-3	試料②	0.5	15	6
C-1	試料①	50	16	—
C-2		120	水のみ	—

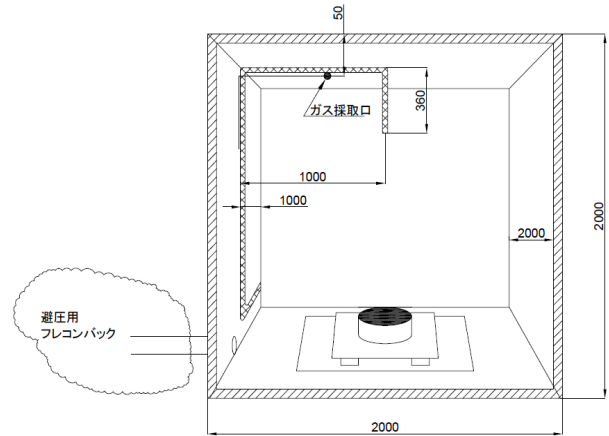


図3 実験 A 密閉区画

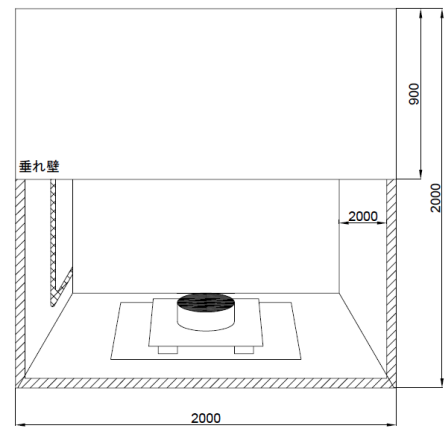


図4 実験 B 半開放区画

3.2 結果および考察

3.2.1 CAF 消火時の燃焼挙動と残留水素量

(1) 小規模実験

図5にシャーレ下の温度と燃焼室内の圧力変化の一例を示す。温度変化が1400℃付近で平坦であるのは、熱電対の測定限界を超えたためである。CAFを放射すると、水蒸気の発生により燃焼室内の圧力が急上昇したが圧力の変化は数kPaに留まった。シャーレ下の温度は、測定限界を超えた平坦部分を除き消火開始後単調に低下した。

表3の各実験条件において採取したガス中の、残留水素および酸素濃度の測定結果を、図6に示す。全ての実験条件において、CAFまたは水放射時に水素の発生が認められた。また、ハイスピードビデオカメラ映像から、CAFまたは水放射時に試料周囲に図7のように火炎が観察され、発生した水素の一部がその場で燃焼していることがわかった。

映像から、CAF放射開始後速やかに、燃焼アルミ粉表面が高温の飽和水蒸気で覆われ、アルミニウムと水の反応が遮断されたと考えられた。水放射時も燃焼アルミ粉表面が膜沸騰による水蒸気膜で覆われ、反応が遮断されたと考えられた。

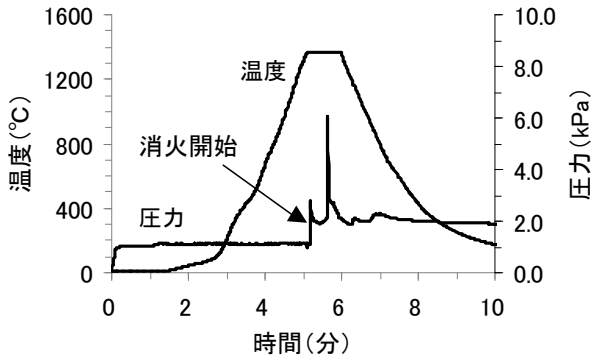
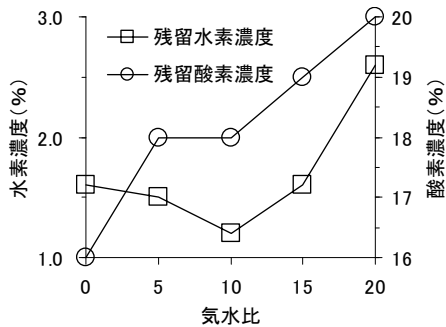
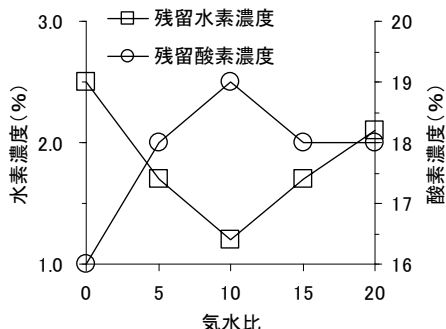


図5 予燃時と消火時の温度・圧力変化



(a) 消火剤放射方法：5秒×2回



(b) 消火剤放射方法：10秒×1回

図6 水素と酸素の残留濃度の分析結果

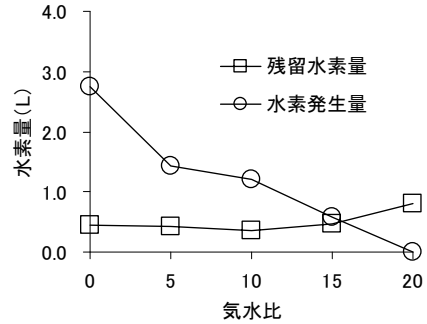


図7 注水時に観察された火炎

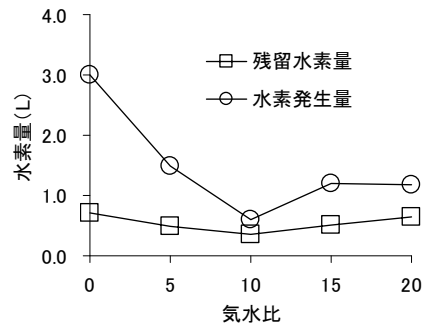
図6の酸素濃度と消火開始直前の酸素濃度(20%)の差を水素の燃焼で消費された酸素量と仮定し、水素発生量を見積もった(図8)。水放射時の水素発

生量はCAF放射時のおよそ2倍となったが、水素残留量はほぼ同程度であったことから、水素が大量に発生する条件では、発生した水素の燃焼も多くなることが示唆された。ただし、本実験における酸素濃度測定精度は±1%であるため、見積もられた水素発生量の誤差は最大±80%となる。また、計算には酸素と水素の反応による体積減少は考慮していない。

図9に、アルミ粉試料の単位質量(左軸)および単位面積(右軸)当たりの残留水素量の算出結果を示す。単位質量および単位面積当たりの残留水素量の平均値は、各々26.2L/kgと185.5L/m²であった。単位面積より単位質量当たりの平均残留水素量が、試料規模の増大に伴う危険性が大きく見積もられるため、以下の議論は単位質量当たりの残留水素量でおこなう。



(a) 消火剤放射方法：5秒×2回



(b) 消火剤放射方法：10秒×1回

図8 水素発生量の推定結果

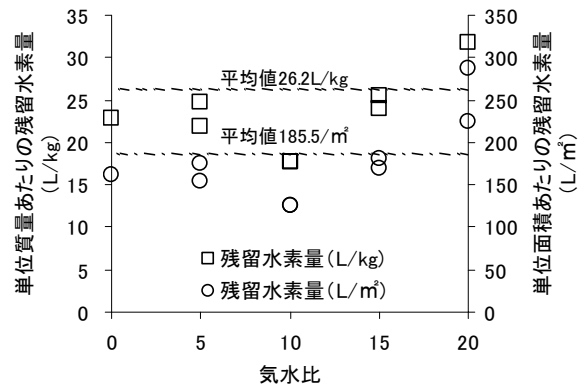


図9 試料単位質量・単位面積当たりの残留水素量

(2) 実規模実験

表5に実規模燃焼模型を用いた密閉区画内のCAF消火による水素濃度の測定結果を示す。実験A-1とA-2で測定された区画内の水素濃度は各々0.31、0.42%であった。この違いは消火開始時の燃焼状態の違いによるものと考えられる。水素濃度と区画の容積から、アルミニウムの単位質量あたりの残留水素量を各々6.2 L/kg、8.4 L/kgと見積もった。

表6 密閉区画内の水素濃度測定結果

実験番号	水素濃度(%)	残留水素量(L/kg)
A-1	0.31	6.2
A-2	0.42	8.4

(3) 考察

小規模実験および実規模実験の全ての条件において、CAFおよび水を放射することによりアルミ粉試料は冷却され消火に至った。

小規模実験の全ての実験条件において、CAFまたは水放射時に水素の発生を確認し、発生した水素の一部はその場で燃焼することを確認した。また、水素発生量が多い条件では発生した水素の燃焼も多くなるため、残留水素量は放射方法によらずほぼ一定となった。試料20gの小規模実験におけるアルミニウム単位質量あたりの残留水素量は、約26L/kgであった。

一方、実規模実験において測定されたアルミニウム単位質量あたりの残留水素量の平均値は約7L/kgであり、小規模実験の約1/4であった。この違いは、使用したアルミ粉の粒径と試料周囲の断熱性、そして試料表面積に対するCAFの体積流量の差によると考えられる。小規模実験は燃焼性のよい1~2 μ mのアルミ粉を使用しており、単位質量当たりの表面積が大きく、またシャーレの底を断熱材により保温している。実規模実験に使用したアルミ粉は実火災に近い数十 μ mのものであるため、小規模実験にくらべて燃焼性が悪く、水との反応性も低い。さらに、小規模実験の表面積約30cm²のアルミ粉試料に対する気水比15倍のCAFの流量は8L/minであり、試料表面がCAFで瞬時に覆われ水素が残留しやすいのに対し、実規模実験の表面積約700cm²のアルミ粉試料に対するCAF流量は16L/minであり、試料全面がCAFで覆われる前に水素が燃焼しやすい。

水素の燃焼下限は4%であることから、より条件の厳しい小規模実験の残留水素量26L/kgを用いて限界空間容積を計算すると、アルミニウム1kgに対し0.7m³以上の空間容積があれば、残留水素濃度が燃焼下限を下回ることになる。燃焼アルミニウムの量に対して火災区画の容積がこれより十分大きい、もしくは換気が十分であれば、水系消火剤の使用により発生した水素の爆発危険性は小さいと考えられる。

3.2.2 区画上部における水素の滞留危険性

図10に半開放区画内の実規模実験(B-1、2、3)における消火開始後の天井50mmの水素濃度推移を示す。また、表7に最大水素濃度を示した。

実験B-1、B-2のアルミ粉試料では、消火開始から天井付近の水素濃度がほぼ直線的に増加し、約1分後に最大濃度に達し、その後減少に転じた。2回の実験で測定された水素濃度の最大値は各々0.082%と0.085%であった。

A-1、A-2の密閉区画内実験で測定された水素濃度の最大値は0.42%であり、同試料の半開放区画内実験で測定された最大水素濃度0.085%の約5倍であった。この差は、垂れ壁の下から流入した外気による希釈のためと推測する。高温のアルミニウム集塊物に水系消火剤を放射すると、集塊物表面で水素とともに多量の水蒸気が発生し、周囲の空気が攪乱され水素が希釈される。さらにこれらが上昇する過程で周囲の空気により希釈され、天井付近で滞留する間に再び濃縮されることはない。したがって、区画上部に燃焼下限を超える水素が滞留し爆発に至る危険性は、区画の高さと開口面積に依存することになる。本研究で用いた燃焼模型の規模(アルミニウム4kg)に対し区画の高さが2mあれば、水系消火剤による消火時に、開口部を有する区画の上部に燃焼下限の4%を超える水素が滞留する可能性は低いことがわかった。

実験B-3のアルミニウムとマグネシウムの合金についても、実験B-1とB-2のアルミ粉試料と同様に、CAF放射により消火に至った(図10)。しかしながら天井付近の水素濃度の最大値0.119%はアルミ粉の場合より高く、また0.1%付近の高濃度が約6分間継続した。最大水素濃度が高かった原因としては、マグネシウムはアルミニウムに比べて水との反応性が高いため、より多くの水素が発生し、一部はその場で燃焼するものの未燃のまま残留する水素の量がアルミ粉より多いためと考えられる。また、高濃度の継続時間が長かった原因としては、マグネシウムの反応性に加え、実験B-3の実験条件におけるCAF流量が実験B-1とB-2に比べて少ないため冷却に要した時間が長くなったと考えられる。

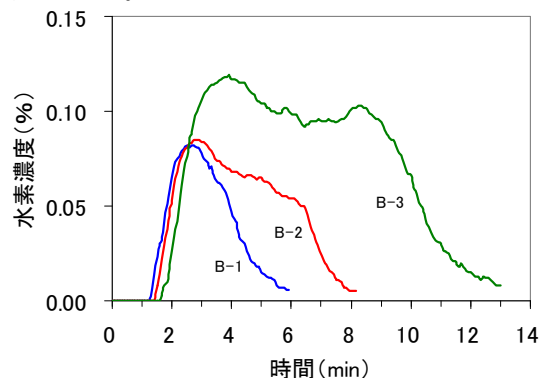


図10 区画天井の水素濃度の推移

表 7 最大水素濃度

実験番号	最大水素濃度(%)
B-1	0.082
B-2	0.085
B-3	0.119

実験 B-3 では、組成 Al : Mg=3 : 1 のアルミニウム - マグネシウム合金の燃焼集塊物に CAF を使用することにより、水素の燃焼下限界を超えることなく消火に至った。しかし、マグネシウムと水との反応性はアルミニウムと水の反応性より大きいため、合金中のマグネシウムの割合が増大すると、消火がより困難になると考えられる。水系消火剤によるマグネシウム火災の消火¹²⁾は、アルミニウム火災の消火よりさらに危険性が大きいことが経験的に知られているが、本研究の結果は、従来の知見を裏付けるものである。

3.2.3 消火剤および燃焼物の飛散挙動

図 11 に、小規模実験における気水比 10 倍の CAF (左) と水 (右) による消火時の様子を示す。気水比 10 倍以上の CAF は、燃焼アルミ粉と接触してもほとんど飛び散ることなく堆積していくのに対し、水は接触直後から激しく飛散し、シャーレ下温度が 100℃以下になるまでその状態を持続した。

図 12 に区画外でおこなった実規模実験 (C-1、2) における消火時の様子を示す。黄色の輝炎は、水素火炎中で酸化アルミニウムが発光したものと推測する。図 12(a)のように、燃焼模型から離れた位置から放物線状に CAF を放射した場合、アルミニウムと水との反応は比較的穏やかで、燃焼物の飛散もほとんど見られなかった。一方、消火剤を近距離から燃焼模型に直撃すると、溶融アルミニウムが集塊物から飛び出す現象が観察された。さらに気水比を小さくすると、飛散するアルミニウムの量も飛距離も増大する傾向がみられた。燃焼アルミ粉集塊物に接触した水が単位時間にアルミニウムと反応する量は、気水比の大きい CAF よりも気水比の小さい CAF や水の方が多いため、反応も激しくなると考えられる。ただし、本実験において観察された溶融アルミニウムの飛距離は、最大でも 1m 未満であった。

また、気水比の大きい CAF を放射すると、火炎はより赤味を帯びた色を呈し、気水比の小さい CAF や水を放射すると、火炎はより高輝度の白色に近い色を呈した。このような火炎の色や輝度の違いは、消火活動時にアルミニウムの酸化反応の激しさを判断するための指標になると考えられる。本研究では、アルミニウムと水との反応による水素発生の限界温度は検討していないが、アルミ粉集塊物の赤熱状態がほぼ完全に消えるまで火炎が継続して観察さ

れた。

以上の結果から、水系消火剤を用いてアルミ粉火災を消火する際には、反応が比較的穏やかで燃焼物が飛散し難い気水比 10 倍以上の CAF を使用することが望ましいと考えられる。

なお、水系消火剤によるアルミ粉火災の消火時には、アルミニウムが空気中の窒素と反応して生成した窒化アルミニウムが加水分解され、アンモニアが発生するため、空気呼吸器を装着して消火活動をおこなう等の対策を講じる必要がある。

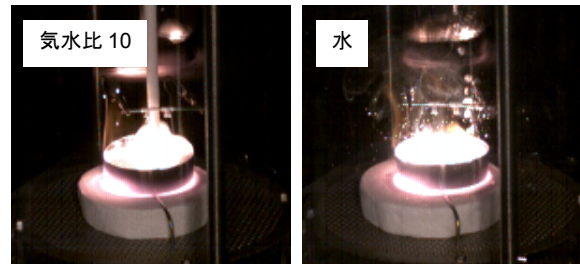


図 11 消火時の消火剤飛散挙動の比較



(a) 気水比 15 倍の CAF による消火



(b) 水による消火

図 12 消防ノズルによる消火時の様子

4. まとめ

アルミニウム火災の CAF 消火事例を紹介するとともに、粉末消火剤や乾燥砂による消火が困難なアルミニウム火災を水系消火剤で消火する際の有効性と危険性について、小規模実験と実規模実験により検討した。CAF または水を燃焼アルミニウムに放射した時の燃焼挙動ならびに水素発生挙動と、消火剤や燃焼物の飛散挙動を調べ、以下の知見を得た。

- 1) アルミ粉 20g に対し水量 0.5L/min の CAF または水を 10 秒間放射することにより、アルミ粉の温度は単調に低下し、消火に至った。
- 2) 全ての実験において、CAF または水放射時に水素の発生が確認された。また、発生した水素の一部はその場で燃焼することが確認された。
- 3) 水や気水比の小さい CAF では水素発生量が多いが、水素の燃焼も顕著になるため、水素残留量は気水比に依らずほぼ一定となった。
- 4) アルミ粉の粒径が小さい程、水素発生量が増大する傾向が示唆された。
- 5) アルミ集塊物の赤熱面を残しながら泡を放射すると、水素を消費し残留水素濃度を低減できる。
- 6) アルミニウム 4kg に対し区画の高さが 2m あれば、開口部を有する区画の上部に燃焼下限界を超える水素が滞留する可能性は低い。
- 7) アルミニウム - マグネシウム合金 (Al : Mg=3 : 1) の燃焼集塊物に CAF を使用すると、水素の燃焼下限界を超えることなく消火に至った。合金中のマグネシウムの割合が増大すると、消火がより困難になることが示唆された。
- 8) 気水比が小さい程、反応が激しくなり、飛散する熔融アルミニウムの量も飛距離も増大した。気水比 10 倍以上の CAF の使用が望ましい。
- 9) 燃焼アルミニウムを直撃せずに遠隔から CAF を放物線状に放射した方が、反応が穏やかで燃焼物の飛散も少ない。平時の CAF 放射訓練が重要である。

【参考文献】

- 1) Fire Protection Handbook, National Fire Protection Association, pp.6-404, 1997
- 2) John B. Sachse : Fire Engineering, pp.40-43, 1995-04

第5 危険物施設等の保安対策の充実

第5 危険物施設等の保安対策の充実

5. 1 円形断面クローラ駆動機構により迅速な探査活動を行う移動装置の開発

研究課題名	円形断面クローラ駆動機構により迅速な探査活動を行う移動装置の開発
研究実施期間	H22年8月～H24年2月
配分額(千円)	H22年度：3,640（内直接経費 2,800）， H23年度：3,120（内直接経費 2,400）
研究代表者	多田隈 建二郎
所属機関	国立大学法人 大阪大学大学院
研究体制	学，官
研究概要	<p>従来の円形断面クローラには、特異線といって、接触するものに駆動力を発生できず、スタックの可能性のある線部を有しているという要改善点があった。従って、無特異線構造の円形断面クローラ機構の実現を試みた。この特異線を無くすために、隣接間動力伝達方式および円弧状歯形機構を考案し、全体の完全対称化することにより、無特異線構造を考案した。</p> <p>また、実際に機体を設計・試作し、また、上記構造により、路面においてスタックする状況遭遇が著しく低下し、より連続的な移動を可能にするという提案構造の有効性を、実機を用いた実験を通して確認した。さらに、同時に走破性の向上を鑑み、駆動機構全体の直径の1.5倍の大型化にも成功している。さらに、円形断面クローラに、フリッパアームを搭載する際の、搭載位置の最適化についての検討を行った。まず、中央に2関節連結機構を設けた2車体連結クローラを、その検証用実験機として開発した。この実機を用いた走行実験により、クローラ単体の場合よりも、走破性が向上することを確認した。</p>
研究成果の活用事例	原子力発電所内外での探査活動用の移動機構の研究開発に、初期の円形断面クローラそのものは駆動ベースとして活用されており、本研究での無特異線構造も小型化することで将来的には組み込めるよう、試みている。
応用の方向性	本研究で取り扱った、内外が連続した構造は、グリッパ機構にも活用できる。このグリッパ機構の基本把持性能としてのなじみ性の高さについても、実験を通して調べ、把持対象物との間に位置・角度のオフセットがあったとしても、把持が可能であることを、実験を通して確認した。さらに、把持力の向上として、過飽和水溶液を用いる方法も確立している。今後は災害時の不定形物把持が可能な機能として、さらに発展させることを考えている。

	<p>また、円形断面クローラを、駆動要素の観点から、より走破性を向上させるために、全方向面状駆動機構の考案を行った。円形断面クローラは線で走行面に接触するが、考案した全方向面状駆動機構は、面で走行面に接触することが可能となっている。この構造を駆動させる全方向駆動歯車機構に関しても、試作機によりその有効性を確認できており、今後さらなる発展が見込まれる。</p>
研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> ・第12回 公益社団法人 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会 SI2011, 2011 年 12 月 23 日～25 日「円弧状歯形動力伝達ベルトを用いた全方向駆動ユニット」1N1-5 ,緒方 裕彦, 多田隈 建二郎, 多田隈 理一郎, 東森 充, 金子 真 ・一般社団法人 日本機械学会 関西学生会 学生員卒業研究発表講演会 2102 「円弧状の隣接ベルト動力伝達を用いた全方向駆動ユニット」緒方 裕彦, 多田隈 建二郎, 多田隈 理一郎, 東森 充, 金子 真 ・日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012(ROBOMECH2012) 2012 年 5 月 27 日～29 日「隣接ベルト間動力伝達による無特異線構造の全方向駆動ユニット」緒方 裕彦, 多田隈 建二郎, 多田隈 理一郎, 東森 充, 金子 真
知的財産権の出願・登録状況等	<p>該当ございません。</p>
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>今後の展望として、実際の現場投入に向けた以下のものを考えております。</p> <p>1) 消防現場での使用に対して</p> <p>今年度研究目標として研究開発した無特異線構造の円形断面クローラは、直径が 150mmと設定して、新規に開発した円弧状歯型を用いての隣接間駆動を行った。今後は、実際の消防現場に向けて、以下の事柄が課題として挙げられると考えている。</p> <p>i) 耐熱性</p> <p>消防活動を行う場所は、当然ながら非常に高温な環境であるため、本機体が極力火災発生場所に近づいて作業を行うことを可能にするためにも、耐熱性を高めることが必要になってくる。具体的な対策としては、履帯部を軽量金</p>

	<p>属製にすることにより、ゴム類に比べて耐熱性は向上するが、一方で重量の増大化や熱膨張による履帯の緩みが懸念される。従って、耐熱性ゴムを用いた履帯を装備し、消耗するものであるとして、履帯の交換が容易に可能な構造とすることが望ましい。</p> <p>ii) 防塵防水性 本対策の具体的方法としては、現在の本機体の両端部に保護カバーを付けること、及び、外クローラと内クローラの接触開始部に、防塵ブラシを取り付けることが挙げられる。防水性としては、クローラユニット内部のシャフト部に防水シールを施すことにより実現可能とみている。</p> <p>iii) 耐荷重性 本機体における中央の回転軸の直径を可能な限り大きくし、軸の表面にも窒化処理を行うなどして、耐荷重性を向上させることを考えている。</p> <p>2) 原子力発電所の探査活動に対して 原子力発電所内外の探査・調査活動用として、各種耐放射線対策を考えている。具体的には、</p> <p>i) 無限軌道の履帯部の金属使用(ゴム類、樹脂類の使用は不可能ゆえ)、および、金属使用にする際の路面とのグリップ力維持のための履帯表面形状の検討</p> <p>ii) 電子機器類の鉛ケースにての放射線遮蔽</p> <p>iii) 上記二つを含めての、力学的・対放射線的、両側面からの耐久性向上試験</p>
--	---

隣接ベルト間動力伝達による無特異線構造の全方向駆動ユニット

○多田隈 建二郎¹⁾, 緒方 裕彦¹⁾,
多田隈理一郎²⁾, 東森 充¹⁾, 金子 真¹⁾
Kenjiro TADAKUMA¹⁾, Hirohiko OGATA¹⁾, Riichiro TADAKUMA²⁾,
Mitsuru HIGASHIMORI¹⁾, Makoto KANEKO¹⁾ 1) Osaka University, 2) Yamagata University

研究課題の要旨: 従来円形断面クローラには、特異線といって、接触するものに駆動力を発生できず、スタックの可能性のある線部を有しているという要改善点があった。従って、無特異線構造の円形断面クローラ機構の実現を試みた。この特異線無くすために、隣接間動力伝達方式および円弧状歯形機構を考案し、全体の完全対称化することにより、無特異線構造を考案した。また、実際に機体を設計・試作し、上記構造により、路面においてスタックする状況遭遇が著しく低下し、より連続的な移動を可能にするという提案構造の有効性を、実機を用いた実験を通して確認した。

キーワード: 機構, 全方向移動, 円形断面, クローラ, ロボット

1. はじめに(円形断面クローラとは)

全方向移動とは、前後・左右・斜めなど任意の方向に移動する移動様式である。この運動を実現できる移動体は、工場内や病院内などの狭い場所で活動する上で非常に有用であると考えられている([1]~[10])。

従来の全方向移動ロボット用の機構として、図1に示す円形断面クローラ[11]が研究開発されてきた。円形断面クローラは外界との接触部において直交する2方向に駆動力を生成する特徴を有する。その原理は図1に示すように接触部においては2方向の組み合わせにより全方向に駆動力を伝達することが可能となる。これを言い換えると、意図した任意方向に駆動力生成可能であると言える。しかし、この円形断面クローラには駆動力を伝達できない特異線が存在するという問題が残されていた。

本研究では上記の問題を鑑み、特異線を持たない円形断面クローラを考案し、実機の開発を通して提案する全方向駆動原理の具体的な実現及び検証を目的とする。

に複数個入れ子状に交互に配置した構造である。この構造においては、先端から終端まですべての円周面上で同じ方向に駆動力を伝えることが可能であり、特異線が存在しない。ここで、回転直径が大きく外側に位置するクローラを外クローラ、回転直径が小さく内側に位置するクローラを内クローラと定義する。

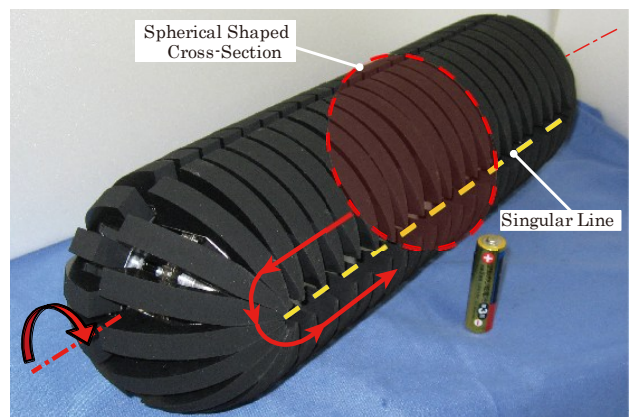


図1：円形断面クローラの外観

2. 特異線を持たない円形断面クローラの構造

2.1 基本構造

前述した特異線を持たない円形断面クローラを実現するにあたって、図2(a)はこの円形断面クローラの理想形を示したものである。一方の端部では内側から外側に、逆の端部では外側から内側に連続的に駆動する断面が円形状の構造が円形断面クローラの理想構造である(例えば[12])。この構造には特異線がないと言える。前述した理想構造はあくまでも理想構造であり、実際は構成が極めて困難である。実際の構造は図2(b)に示すような円周面を複数個に分割した構造となる。図2(b)は大小回転直径の異なる円弧型のクローラモジュールを円周上

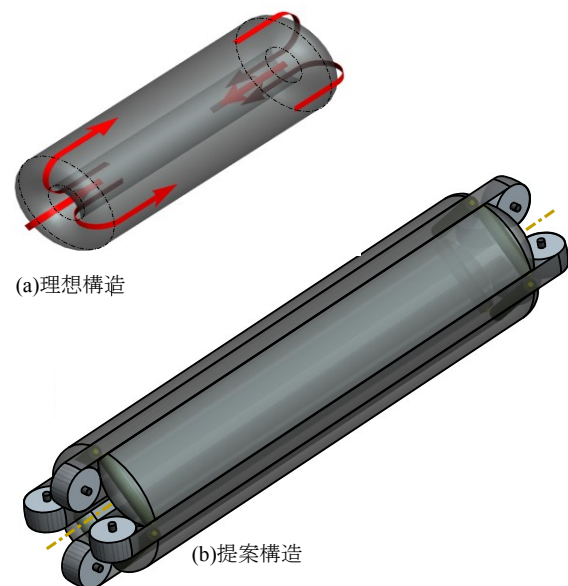


図2：無特異線構造の円形断面クローラ

(所属機関名)

1 国立大学法人 大阪大学大学院

2 国立大学法人 山形大学

2.2 動力伝達方法

この大小回転直径の異なる円弧型のクローラを円周上に複数個入れ子状に交互に配置した構造においては、内クローラと外クローラの回転半径が異なるためその軸をその半径の逆比で駆動させなければならない。その場合、如何にして駆動力を内外それぞれのクローラに伝達するかということが問題となる。例えば、内外それぞれのクローラの回転軸を独立に複数のモータで速度を制御して駆動する方法があるが、小スペースでの実現は困難なばかりか、クローラ直径が異なるため、全周表面での速度・力の一定化はさらに困難である。さらに、モータの個体差などを考えると1個のモータですべての内・外クローラを同期させて駆動させるのが望ましい。ここで、新たな動力伝達方法を提案する。全周表面での速度が一定であることを利用して、内外それぞれのクローラの側面の摩擦によって片方のみの軸を回すことでその動力を伝達することを考える。

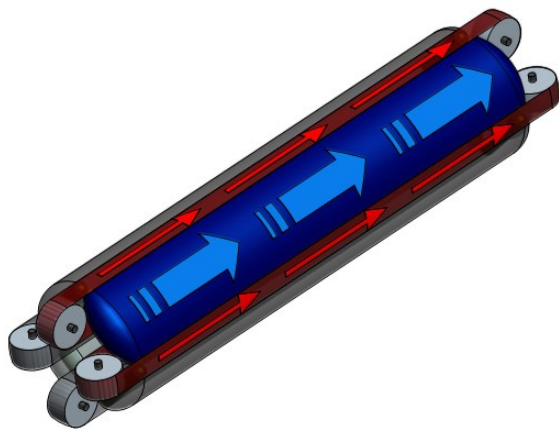


図3：隣接間駆動ベルトを用いた動力伝達

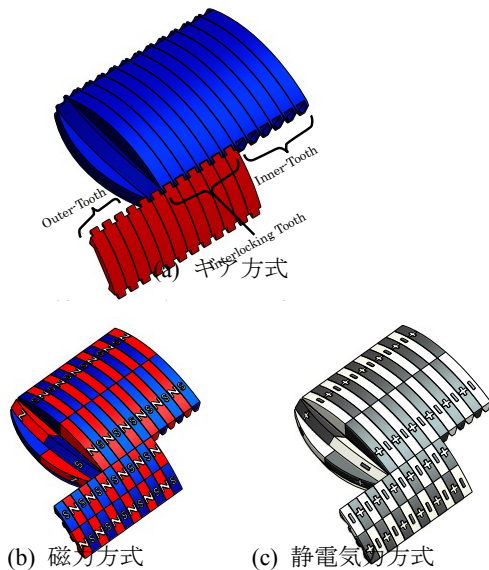


図4：隣接間駆動の例

例えば、図3に示すように外クローラをモータからの動力で能動的に回転させると、内クローラは側面の摩擦によって二次的に回転される。今回は実際に構成するにあたり表1に示すように隣接ベルト間駆動力が高く、両先端部での着脱機構を必要としない噛合せ(図4(a))を採用するが他にも磁力(図4(b))や静電気力(図4(c))、吸着剤などを用いても可能である。

表1：隣接間駆動の特性比較

	Geared	Magnetic	Electronic	Adsorbed
Strong power	○	○	△	△
Simple to use	×	×	×	×

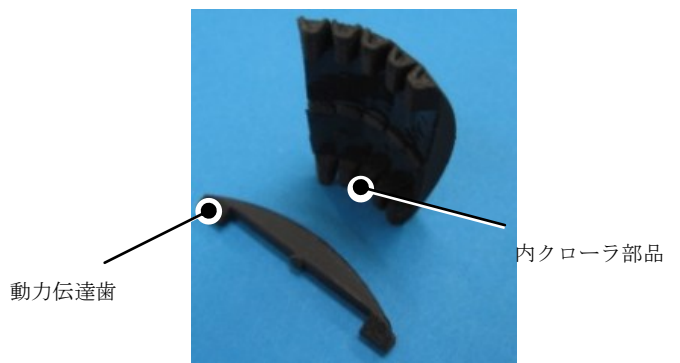


図5：ベルト表面装着部品

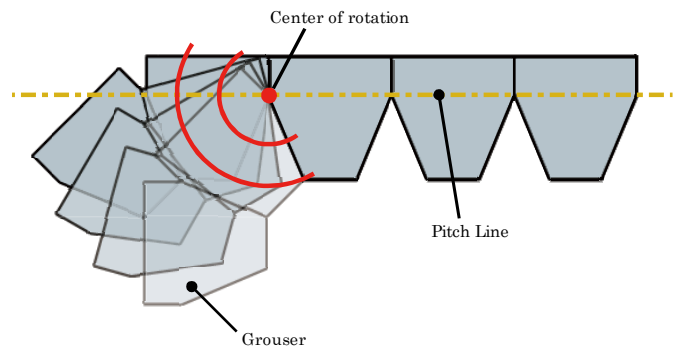


図6：ベルト表面部品（グローサ）の軌跡

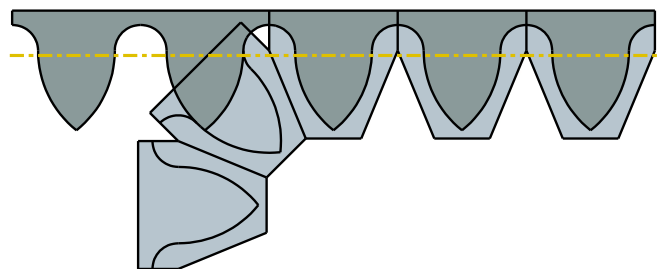


図7：円弧状歯形

3. 円弧状歯形による動力伝達

3.1 円弧状歯形的设计

本項では内外それぞれのクローラの側面を噛合わせる場合の歯形について考える。内外それぞれのクローラは図5に示すような両端部に歯を有するグローサから構成される。内クローラ先端の回転部でのグローサの動きを相対的に観察してみると図6に示す通り、ベルト基準線上のグローサの角を中心として回転していることが確認できる。つまり、グローサの角を中心とする歯形を用いれば、内クローラ先端の回転部で内クローラ、外クローラがお互いに干渉せず運動することが可能となる。内・外クローラ間の動力伝達要素として図7に示すように歯形形状が円弧状のものを考案した。その形状は、ベルト基準線上のグローサの角を円弧中心とした歯形構造となっており、直線部では内・外クローラが噛合い、内クローラ先端の回転部で内・外クローラがお互いに干渉することなく運動可能である。

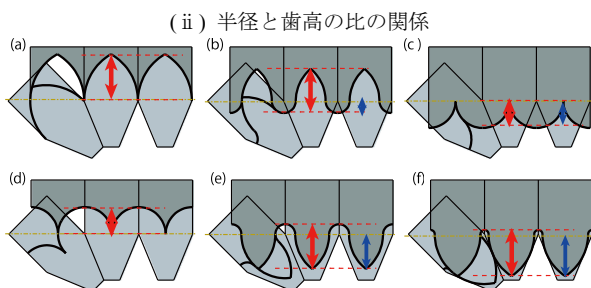
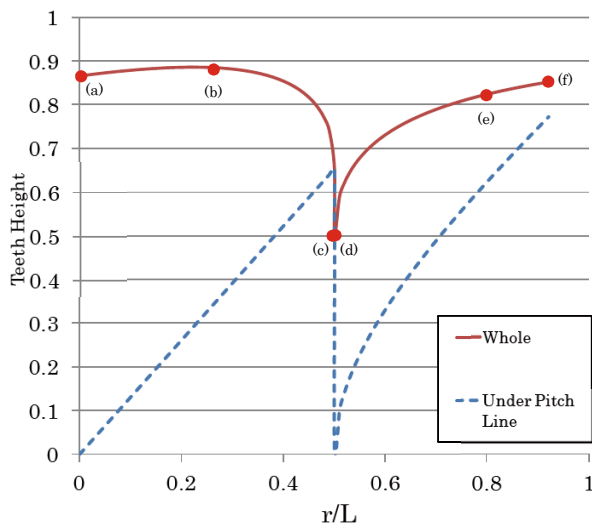
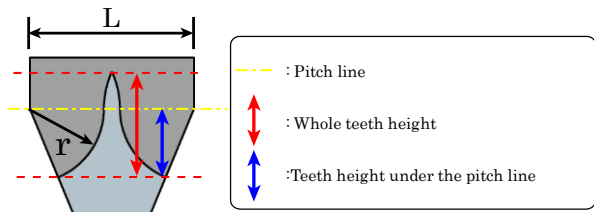
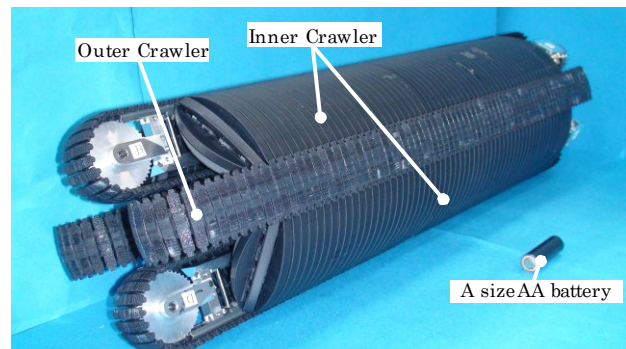


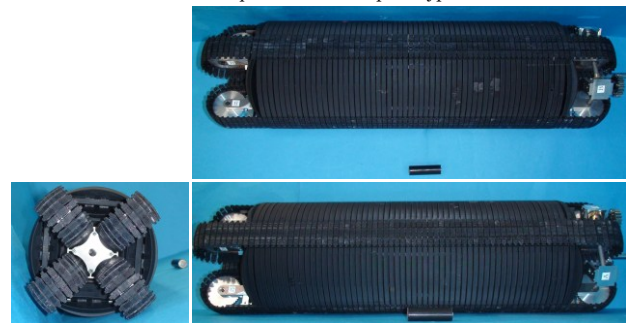
図8：円弧半径の変化による歯高の変化

3.2 円弧状歯形の最適化

考案した円弧状歯形ではその円弧半径によって形状が変化する。円弧状歯形において凹型・凸型構造の遷移状態と、その噛み合い率の関係図を図8に示す。図8(i)は噛み合い率の定義を、(ii)は円弧半径と噛み合い率の関係グラフを、(iii)は(ii)のグラフ上の(a)~(f)における歯の形状をそれぞれ図示したものである。図中、グローサ幅をLとした時の、噛み合い全体高さは赤実線で示してある。さらに、ピッチ線より下での噛み合い高さを青破線で示している。断面を円形状とするクローラ機構を構成するグローサの断面外界接触部は円弧状である必要があるため、噛み合い部においては歯の高さが十分取れないという問題が生じる。それ故に、実際の構成ではピッチ線より下での噛み合い率が特に重要となる。今回、上記の基準とさらに歯厚の強度面も考慮した図8中の(e)を実機においては採用することにした。



(a) Oblique view of the prototype



(b) Three orthogonal views of the prototype

図9：試作機の外観

表2：試作機の仕様

Length	535[mm]
Diameter	150[mm]
Weight	5.9[kg]

4. 実機および基本動作試験

4.1 実機的设计

前述した基本概念を実際の実機として構成したものを図9に示す。正面図からは断面が円形であり、横方向に回転できる構造であること、側面図、上面図からは特異線となるものが無いことが確認できる。仕様は表2のようになる。

4.2 駆動試験

実機の動作の様子を図10から図13にそれぞれ示す。まず、図10は横方向移動の動作を示す。この横方向移動は円形断面の中心に配置された軸を回転させることで可能となる。次に、対象物に非接触とした場合の軸方向の駆動の様子を図11に示す。この場合、内クローラと外クローラが同速で駆動していることが確認できる。さらに、床面での軸方向移動動作を図12に示す。二次的に駆動される内クローラが床面と接触しているにもかかわらず、移動体として機能していることが確認できる。最後に、以上の横方向・軸方向を組み合わせた斜め移動の動作を図13に示す。Omni-Crawler[11]では制御なしでは不可能であった斜め移動動作が可能であることが示された。ただし、現行モデルでは前方に取り付けたキャストの抵抗が大きく斜め移動に回転運動が加わっている状態である。

4.3 軸方向速度の均一性

斜め移動を行う際、内クローラが地面に接している場合と、外クローラが地面に接している場合の2種類が考えられるが、実際にその2種類の場合において、同速で駆動するか確認するため、内クローラ・外クローラ接触時の速度比較実験を行った。実際に速度を計測した結果を図14に示す。内・外それぞれが接触している場合の速度に約1.1%の誤差が生じるが、測定誤差範囲であるため同速で駆動していると言える。

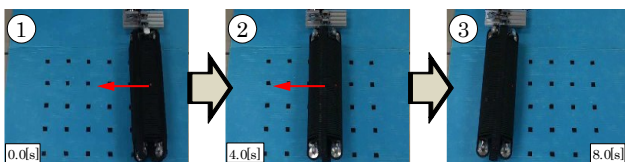


図10：横方向移動

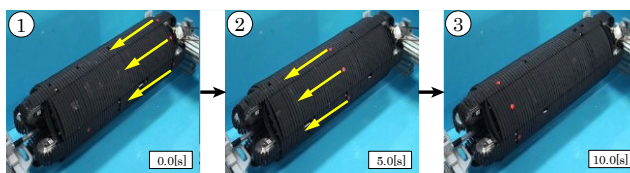


図11：前後駆動

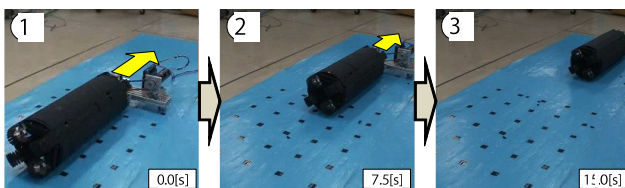


図12：前後方向移動

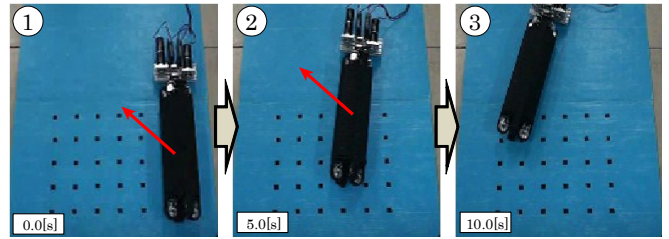


図13：斜め方向移動

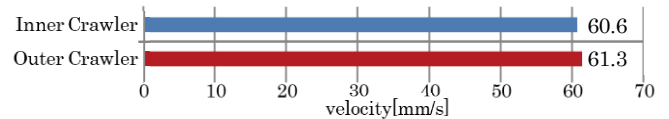


図14：速度比較実験の結果

5. まとめ

本研究では全方向駆動ユニットの無特異線化を実現するために大小回転直径の異なる円弧型のクローラを円周上に配置した構造を用いた。その際、内クローラ、外クローラの2種類のクローラを入れ子状に交互に配置した。また、複数のクローラの動力伝達法として、それぞれのクローラベルトの側面に歯を設け、隣接するクローラ間でその歯を噛み合わせ動力を伝達する、隣接ベルト間噛み合い動力伝達方式を提案した。さらに、その歯形として円弧状歯形を考案したのみならず、その円弧状歯形比率の最適形状を示した。最後に、以上の基本概念を実機として構成し、全方向移動の一例である斜め移動を実現し、提案する無特異線構造及び、その構造ゆえの連続的な全方向駆動が可能であることを確認した。

【参考文献】

- 1) Shigeo Hirose, Shinichi Amano : “The VUTON: High Payload High Efficiency Holonomic Omni-Directional Vehicle”, Proc. ISRR, Hidden Valley, USA, 253 - 260 (1993)
- 2) 広瀬他：“大荷重高効率全方向車両の開発”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会’93 講演会論文集, pp.350-355 (1993)
- 3) 磯田他：“オフロード走行用ローラ・クローラ型全方向移動ロボット”，日本機械学会論文集 (C 編), vol.65, no.636, pp.3282-3289 (1999)
- 4) A control system for an omnidirectional mobile robot, Paromtchik, I.E.; Asama, H.; Fujii, T.; Endo, L.; Control Applications, 1999. Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Volume 2, 22-27

- Aug. 1999, 1123 - 1128 vol. 2 (1999)
- 5) 浅間他：“2 台の自律移動ロボットの相互ハンドリングによる協調搬送”，日本ロボット学会誌, vol.15, no.7, pp.1043-1049, (1997)
 - 6) 和田他：“ホロノミック全方向移動ロボットの開発”，日本ロボット学会誌, vol.15, no.8, pp.1139-1146, (1997)
 - 7) K. Tadakuma, “Tetrahedral Mobile Robot with Novel Ball Shape Wheel ”, The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob 2006). Parallel Session 6: “Animal-Inspired Model and Mechanisms”, Pisa-Italy February 20th 2006 ISBN1-4244-0040-6, Page(s):946 - 952, (2006)
 - 8) Yu, H., Spenko, M., and Dubowsky, S. “Omni-Directional Mobility Using Active Split Offset Castors.” ASME J. Mechanical Design. 126.5: 822-829, (Sept., 2004)
 - 9) 山田健介、宮本共生、臼井清一、「4 個の球を用いた全方向移動機構に関する研究」、日本機械学会論文集、2005 年 8 月、第 71 巻、第 708 号、p127-132, (2005)
 - 10) 六車義方：座椅子自動車，特許出願公開番号 P2000-33876A, (2000)
 - 11) Tadakuma K., Tadakuma R., Nagatani K., Yoshida K., Peters S., Udengaard M., Iagnemma K : “Crawler vehicle with circular cross-section unit to realize sideways motion” , Proc.IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2422 - 2428 (2008)
 - 12) Hong, D. W., “A Biologically Inspired Whole Skin Locomotion Strategy for Mobile Robots” , US-Korea Conference on Science, Technology and Entrepreneurship (UKC2005), Mechanical Engineering & Robotics Symposium, University of California, Irvine, California, August 11-13, (2005)

第6 救急・救助業務の高度化

第6 救急・救助業務の高度化

6. 1 ウツタイン統計結果を救急業務に円滑に還元するための方策に関する研究

研究課題名	ウツタイン統計結果を救急業務に円滑に還元するための方策に関する研究
研究実施期間	平成20年度～平成22年度
配分額(千円)	20,000(平成20年度)、20,160(平成21年度)、18,060(平成22年度)
研究代表者	平出敦
所属機関	近畿大学
研究体制	学
研究概要	病院外の心肺機能停止傷病者に対する統計データ(ウツタイン統計データ)を科学的に解析し、救急業務に還元することにより救命率を向上させる為の方策を検討した。まず全国ウツタインデータのクリーニングとその解析により、国レベルでAEDの効果検証を行い、小児に対する蘇生の効果的な方法を明らかにするなど貴重な知見をえた。さらに大阪市のウツタインデータを救急活動記録とリンクさせて解析した。これにより、救急隊の処置の具体的な示唆を得るとともに、病院選定の業務にも貴重な知見をえた。救命率の向上の為には一般市民の蘇生努力が必須の為、啓発も重要な領域としてその方略を検討した。これは、蘇生された方の語りを分析してホームページに掲載する“集う蘇生の心”の研究プロジェクトとして展開した。
研究成果の活用事例	製品化の事例はありません
応用の方向性	この研究によってえられた貴重な知見は、救急隊がどのように具体的に病院前に処置を実施することが好ましいかというプロトコールに反映される。また、現在、消防では一般市民への救急蘇生の講習を広げているが、このような活動に対する方策を与えてくれる。
研究発表の状況等	1. Nationwide public access defibrillation in Japan. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Hiraide A. N Engl J Med. 362:994-1004. (2010) 2. Conventional and chest-compression-only cardiopulmonary resuscitation by bystander for children who have out-of-hospital cardiac arrests: a prospective, nationwide, population-based cohort study. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Nadkarni VM, Berg RA, Hiraide A. Lancet. 375:1347-1354. (2010) 3. Quality of chest compressions during continuous CPR; comparison

	<p>between chest compression-only CPR and conventional CPR. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T, Ando M, Yonemoto N, Hiraide A, Nonogi H. <i>Resuscitation</i>. 81:1152-1155. (2010)</p> <p>4. Incidence and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest with shock-resistant ventricular fibrillation: Data from a large population-based cohort. Sakai T, Iwami T, Tasaki O, Kawamura T, Hayashi Y, Rinka H, Ohishi Y, Mohri T, Kishimoto M, Nishiuchi T, Kajino K, Matsumoto H, Uejima T, Nitta M, Shiokawa C, Ikeuchi H, Hiraide A, Sugimoto H, Kuwagata Y. <i>Resuscitation</i>. 81:956-961. (2010)</p> <p>5. Bystander-initiated rescue breathing for out-of-hospital cardiac arrests of noncardiac origin. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Hiraide A; Implementation Working Group for All-Japan Utstein Registry of the Fire and Disaster Management Agency. <i>Circulation</i>. 122:293-299. (2010)</p> <p>6. Impact of transport to critical care medical centers on outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. Kajino K, Iwami T, Daya M, Nishiuchi T, Hayashi Y, Kitamura T, Irisawa T, Sakai T, Kuwagata Y, Hiraide A, Kishi M, Yamayoshi S. <i>Resuscitation</i>. 81:549-554. (2010)</p> <p>7. Reduction in incidence and fatality of out-of-hospital cardiac arrest in females of the reproductive age. Kitamura T, Iwami T, Graham Nichol, Nishiuchi T, Hayashi Y, Nishiyama C, Sakai T, Kajino K, Hiraide A, Ikeuchi H, Nonogi T, Kawamura T. <i>Eur Heart J</i>. 31:1365-1372. (2010)</p> <p>8. Impact of transport to critical care medical centers on outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. Kajino K, Iwami T, Daya M, Nishiuchi T, Hayashi Y, Kitamura T, Irisawa T, Sakai T, Kuwagata Y, Hiraide A, Kishi M, Yamayoshi S. <i>Resuscitation</i>. 81:549-554. (2010)</p> <p>9. Incidence of Adverse Drug Events and Medication Errors in Japan: the JADE Study. Morimoto T, Sakuma M, Matsui K, Kuramoto N, Toshiro J, Murakami J, Fukui T, Saito M, Hiraide A, Bates DW. <i>J Gen Intern Med</i>. 26:148-53. (2010)</p> <p>10. 交通事故および墜落・転落による病院外心停止症例の検討 ウツタイン大阪プロジェクトより. 林靖之, 西内辰也, 梶野健太郎, 行岡秀和, 平出敦, 池内尚司, 甲斐達朗. <i>日本外傷学会雑誌</i>. 24:21-26. (2010)</p> <p>11. Comparison of neurological outcomes following witnessed out-of-hospital ventricular fibrillation defibrillated with either biphasic or monophasic automated external defibrillators. Kajino K, Iwami T, Berg RA, Hiraide A, Hayashi Y, Yukioka H, Tanaka H, Shimazu T, Sugimoto H. <i>Emerg Med J</i>. 26:492-496. (2009)</p> <p>12. Effects of BLS training on factors associated with attitude toward CPR in college students. Hamasu S, Morimoto T, Kuramoto N, Horiguchi M, Iwami T, Nishiyama C, Takada K, Kubota Y, Seki S, Maeda Y, Sakai Y, Hiraide A. <i>Resuscitation</i>. 80:359-364. (2009)</p> <p>13. Continuous improvements of chain of survival increased survival after out-of hospital cardiac arrests: a large-scale population-based study. Iwami T, Nichol G, Hiraide A, Hayashi Y, Nishiuchi T, Kajino K, Morita H, Yukioka H, Sugimoto H, Ikeuchi H, Yokoyama H,</p>
--	--

	<p>Kawamura T. Circulation. 119: 728-734. (2009)</p> <p>14. Public perception and willingness to perform bystander CPR in Japan. Kuramoto N, Morimoto T, Kubota Y, Maeda Y, Seki S, Takada K, Hiraide A. Resuscitation. 79:75-81. (2008)</p> <p>15. Survival rate and factors associated with 1-month survival of witnessed out-of-hospital cardiac arrest of cardiac origin with ventricular fibrillation and pulseless ventricular tachycardia: the Utstein Osaka project. Nishiuchi T, Hayashino Y, Fukuhara S, Iwami T, Hayashi Y, Hiraide A, Ikeuchi H, Yukioka H, Matsuoka T. Resuscitation. 78:307-313. (2008)</p> <p>16. Major qualitative research methods in patient-doctor communication studies. Kobori E, Maeda Y, Kubota Y, Seki S, Takada K, Kuramoto N, Hiraide A, Morimoto T. Gen Med 9: 5-12. (2008)</p> <p>17. Effectiveness of simplified chest compression-only CPR training for the general public: a randomized controlled trial. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T, Ando M, Yonemoto N, Hiraide A, Nonogi H. Resuscitation. 79: 90-96. (2008)</p> <p>18. 心肺蘇生講習会による受講者の救命意識の変化. 西山知佳, 石見拓, 川村孝, 米本直裕, 平出敦, 野々木宏. 日本臨床救急医学会雑誌 11:271-277. (2008)</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	この研究成果は、単に、救急隊のプロトコルや、一般市民への講習に役立つだけでなく、今後、さらに広く展開することにより、救急蘇生の国際ガイドラインの内容にも寄与できる内容であり、我が国の救急に役立つだけでなく、国際的にも貢献できる知見を含んでいる。今後、救急蘇生の国際ガイドラインの改定に取り入れられることが期待される。

ウツタイン統計結果を救急業務に円滑に還元するための方策に関する研究

Study concerning strategy for applying the result of Utstein report for improvement of emergency service

○平出 敦、人見 幸弘、中山 健夫、石見 拓、森本 剛、嶋津 岳士、藤井 茂樹
Atsushi Hiraide, Yukihito Hitomi, Takeo Nakayama, Taku Iwami, Takeshi Morimoto,
Takeshi Shimazu, Shigeki Fujii

研究課題の要旨：病院外の心肺機能停止傷病者に対する統計データ（ウツタイン統計データ）を科学的に解析し、救急業務に還元することにより救命率を向上させる為の方策を検討した。まず全国ウツタインデータのクリーニングとその解析により、国レベルでAEDの効果検証を行い、小児に対する蘇生の効果的な方法を明らかにするなど貴重な知見をえた。さらに大阪市のウツタインデータを救急活動記録とリンクさせて解析した。これにより、救急隊の処置の具体的な示唆を得るとともに、病院選定の業務にも貴重な知見をえた。救命率の向上の為には一般市民の蘇生努力が必須の為、啓発も重要な領域としてその方略を検討した。これは、蘇生された方の語りを分析してホームページに掲載する“集う蘇生の心”の研究プロジェクトとして展開した。

キーワード：救急蘇生、ウツタイン、病院外心肺機能停止、AED、集う蘇生の心

本文

本研究では、特に救命率に直結する病院外の心肺機能停止傷病者に対する救急救命処置等についての国際的様式に基づいた悉皆的な統計データ（ウツタイン統計データ）を用いて、科学的に解析し、実際の救急隊運用レベルでの改善とその効果検証を実証的におこなった。また、このような病院外の心肺機能停止傷病者の救命に関しては、救急隊や医療機関のパフォーマンスがよいだけでは不十分であり、居合わせた人々による手当てが不可欠であり、その内容を一般市民に対して、実際に蘇生に貢献していただける形で啓発し、その手法を評価することもこの研究の目的とし、病院外心停止傷病者の救命の向上に貢献するために研究を展開した。本研究の柱は、まず、全国ウツタインデータのクリーニングとその解析であり、これにより、AEDの国レベルでの効果検証や、小児に対する蘇生の方法等、世界的にもきわめて貴重な知見がえられ、大きな反響をえるとともに、2010年の救急蘇生の国際ガイドラインの改訂にも寄与した。また、次の柱として、大阪市のウツタインデータを救急活動記録とリンクさせて、どのように救急業務に結び付けられるかを検討した。これにより、たとえば、窒息の患者では鉗子の救急隊員による活用が重要であり、従来の救命士による除細動、気管挿管、薬剤投与だけでなくさらに業務に重要な手段を示唆することができた。このことは、処置にとどまらず病院選定などの業務に関しても貴重な知見をえることができおり、本研究の中心になった。さらに最後の柱として、全国ウツタインデータからも、救急隊員だけでなく一般市民

の蘇生努力がどうしても救命率の向上のためには必須であることから、一般市民への啓発の方略に関して検討した。これは、蘇生された方の語りを分析してホームページに掲載する“集う蘇生の心”の研究プロジェクトとして発展的に展開している。以上の3つの柱が本研究の支柱であり、融合的に展開して重要な成果をえることができた。

研究の目的

現在、救急需要の増大は著しく、救急医療システムの抱える問題は大きい。住民の安心・安全を確保するためには、消防救急業務に携わる限られた人的、物的資源を効果的・効率的に運用することが必要となる。しかし、こうした課題に対する、科学的、実証的なアプローチは従来、まったく不十分である。

一方、我が国では、救急業務の質の向上のため、平成3年より救急救命士制度を導入しその処置範囲の拡大が随時行われてきている。その成果を客観的に検証することが必要であるが、検証のための基礎データも欠如している。従って、そのための課題の抽出、対応策の検討、試行実施、効果検証というPDCAサイクルを継続的に回転させるための科学的根拠となる救急に関する統計データを活用することが重要である。

以上より、本研究では、特に救命率に直結する病院外の心肺機能停止傷病者に対する救急救命処置等についての国際的様式に基づいた悉皆的な統計データ（ウツタイン統計データ）を用いて、科学的に解析し、実際の救急隊運用レベルでの改善とその効果検証を実証的におこなうことを目的とした。

また、このような病院外の心肺機能停止傷病者の救命に関しては、救急隊や医療機関のパフォーマンスがよいだけでは不十分であり、居合わせた人々による手当てが不可欠であると指摘されている。従っ

（所属機関名）

- 1 近畿大学
- 2 京都大学
- 3 大阪大学
- 4 大阪市消防局
- 5 財団法人 消防科学総合センター

て、そのような一般市民による関与がどの程度、必要であるかを実際に検証するとともに、その内容を一般市民に対して、実際に蘇生に貢献していただける形で啓発し、その手法を評価することもこの研究の目的とした。

研究の経過

ウツタイン様式は、心肺停止傷病者の記録を国際的に標準化されたフォーマットでおこなうために提案された様式である。たとえば、心停止の原因別（心原性、非心原性）に分類するとともに、心肺停止時点の目撃の有無、バイスタンダーや救急隊員による心肺蘇生の有無やその開始時期、除細動の有無などに応じて傷病者の経過を詳細に記録することにより、地域間・国際間での蘇生率等の統計比較を可能とすることができる。また、これにより、システムの問題を客観的に示すことができる。

我が国におけるウツタイン様式に基づく調査統計オンライン処理システムは、平成 17 年より全国の消防機関において一斉に導入され、救命率等の状況について記録集計がなされている。この国際的共通様式に基づく統計情報は、世界的にも例がない国家レベルの貴重なデータであり、我が国の救急業務の高度化に役立つのみならず、世界的にも貴重な情報発信を行うことができると期待されている。

しかしながら、このデータベースは平成 17 年から導入されたばかりということもあり、入力要領の徹底やデータの精度の向上、現場における入力担当者、救急隊の意識の向上など、未だ基本的なデータ収集段階での改善が必要とされている。今後、中長期的な観点からは、集積データを科学的に解析し、その成果を一般住民への普及・啓発と救急隊業務の改善のために還元すべきであり、その手法、方策開発が必要となっている。平成 20 年度においては、この全国ウツタインデータをブラッシュアップして、その質を向上させる方策について、精力を注いだ。平成 20 年度の評価委員会からは、この年度はデータ整理が主となっているので、今後の解析、フィードバック手法の検討に期待する。というコメントであった。またクリーニング作業のプログラム化等何らかの効率化・合理化の方策を工夫する必要がある。クリーニングのうえで有効な方策が提案されることを希望するという指摘もあった。また、この年度には、大阪市の救急活動記録データ 10 年分（平成 10 年～平成 19 年）を利用し、このデータをウツタインデータとリンクさせて解析することも行われた。大阪市消防局は、日本において最初にウツタイン様式を導入し、精度の高いデータを蓄積しており、府全体としても医師や衛生部局と協力して、データ公表と一般住民への普及・啓発にも取り組もう

としているところであり、膨大な貴重なデータが得られた。このように、平成 20 年度には、膨大なデータベースのクリーニングによる整備が実施された。

平成 21 年度には、2 年目として大阪市救急データ（ウツタイン統計データ・救急活動記録データ）のクリーニングを進めるとともに、得られたデータを解析し、救急行政に還元できる形でまとめること、全国版ウツタイン統計データを解析し、スケールメモリを生かした情報を国際的に発信すること、ウツタイン統計結果を救急行政に還元するため、ウツタイン統計を使用する側の消防あるいは医療者向けの情報公開体制の構築を行うとともに、一般市民の病院外心停止に対する意識を高めることをめざした。

大阪市ウツタイン統計と救急活動記録を連結して解析したところ、院外心原性心停止の多くが、前駆症状を有しており、早期の通報、受診によって未然に防ぎうる心停止が存在すること、意識障害のため救急搬送された傷病者のうち、救急隊到着時血圧が高いものは、頭蓋内病変を有している可能性が高いことなどを明らかにした。また、全国ウツタイン統計データのクリーニングに協力するとともに、国際的にも貴重な国家レベルの統計である本データを解析し、日本における一般市民による除細動（非医療施設に設置された AED による除細動）の効果を明らかにするとともに、Bystander CPR 種別効果の検討を進め、成人の心停止については、胸骨圧迫のみの蘇生法が人工呼吸付の蘇生法と同等に有効であるとの従来の報告に加え、小児の非心原性心停止では、人工呼吸の実施が望ましいことを明らかにした。これらの結果は、2010 年の心肺蘇生法の国際ガイドライン改訂にも大きな影響を与えた。また、全国ウツタインデータ改善のための提言を具体的にを行うとともに『病院外心停止記録活用研究会』の準備会（平成 22 年 2 月 8 日）を実施し、本研究班のノウハウを全国のウツタイン統計に関わる方と共有するための具体的な試みを開始した。また、ホームページを活用し、病院外心停止に関し、一般の人々の意識を高める試みを開始した。

研究期間の最終年度には、なんとといっても全国ウツタインデータの解析結果が、4 つの報告としてまとめられ、大きな反響をえたことが特筆される。トップジャーナルに掲載された一般市民による除細動の効果、小児の蘇生法に関する知見のほか、非心原性の蘇生に関する検討、心停止から時間が経過した場合の蘇生法に関する検討の結果がいずれも国際的なジャーナルに掲載された。一般市民による除細動の効果に関する知見は、米国の雑誌で、もっともインパクトがある臨床系の雑誌とされるニュー

イングランド・ジャーナル・オブ・メディシンに、掲載された。検討の結果、心停止の現場に居合わせた人による AED を用いた除細動では、社会復帰率は 30%を超えており、救急隊が到着してから除細動を実施した場合に比較して、およそ 2 倍に達した。小児の蘇生に関しては、従来、頻度が低いために十分な疫学的な分析ができていなかったが、国全体におよぶ解析により、十分な症例をえて、分析ができた。その結果、小児においても心原性の心停止では、胸骨圧迫のみの心肺蘇生でも成人と同じように標準的な救急蘇生法と比較して、効果に遜色がないことが示された。その結果は、英国の雑誌で歴史的に極めて医学に大きく貢献した論文を掲載してきた権威ある雑誌であるランセットに掲載された。なお、非心原性の蘇生に関する検討は、循環系のトップジャーナルとされるサーキュレーションに掲載、心停止から時間が経過した場合の蘇生に関する検討は、蘇生領域の専門誌であるリサシテーションに掲載された。こうした成果は、病院外心停止記録活用研究会で議論された。これは、本研究の研究者がよびかけて、全国データの健全な活用の道を定着させるために有志で開催したものであるが、平成 22 年には、6 月 26 日と、12 月 25 日に開催でき、その後、この研究補助の期間が終了した後も、定期的に開催されており、この領域の研究者の間に定着している。貴重な議論を行うことができ、データの信頼性や全国データのクリーニングに関しても情報交換に役立っている。

しかし、救急業務に還元されるという点では、大阪市の救急活動記録をもとにしたデータが最も、説得力のある結果をもたらした。病院外心停止の前駆症状に関する検討では、病院外心停止が極めて突然に発生しているかの先入観があるものの、実際には、過半数の症例に 1 時間以上前から前駆症状があることが示された。気道異物に関する検討では、治療という点で救急隊員の鉗子による処置の重要性を示唆することができた。救急業務に還元する点で重要である。意識障害の患者に関する検討では、その血圧が脳卒中かどうかを判断する上で、重要であることを示しており、救急業務における病院選定の点で極めて有用である。血圧の上昇が、くも膜下出血や、脳出血など頭蓋内出血のエピソードと強く結び付いていることを、明示した。市民の除細動に関する検討では、駅の AED の重要性が示された。また、実際に、AED を使用している方の 4 割は医療従事者である点も示唆的である。交通事故傷病者を搬送する上で、何が搬送中に重症化する因子になっているかを検討しており、救急業務の点で重要である。

本研究の 3 番目の柱である一般市民への啓発に関しては、蘇生された方の語りを中心に、” 集う蘇生

の心 “のホームページを展開できた。啓発に対する方略をホームページの評価という点でも検証できた。以上、3 つの柱に沿って最終年の成果を提示した。

【参考文献】

1. Nationwide public access defibrillation in Japan. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Hiraide A. *N Engl J Med.* 362:994-1004. (2010)
2. Conventional and chest-compression-only cardiopulmonary resuscitation by bystander for children who have out-of-hospital cardiac arrests: a prospective, nationwide, population-based cohort study. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Nadkarni VM, Berg RA, Hiraide A. *Lancet.* 375:1347-1354. (2010)
3. Quality of chest compressions during continuous CPR; comparison between chest compression-only CPR and conventional CPR. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T, Ando M, Yonemoto N, Hiraide A, Nonogi H. *Resuscitation.* 81:1152-1155. (2010)
4. Incidence and outcomes of out-of-hospital cardiac arrest with shock-resistant ventricular fibrillation: Data from a large population-based cohort. Sakai T, Iwami T, Tasaki O, Kawamura T, Hayashi Y, Rinka H, Ohishi Y, Mohri T, Kishimoto M, Nishiuchi T, Kajino K, Matsumoto H, Uejima T, Nitta M, Shiokawa C, Ikeuchi H, Hiraide A, Sugimoto H, Kuwagata Y. *Resuscitation.* 81:956-961. (2010)
5. Bystander-initiated rescue breathing for out-of-hospital cardiac arrests of noncardiac origin. Kitamura T, Iwami T, Kawamura T, Nagao K, Tanaka H, Hiraide A; Implementation Working Group for All-Japan Utstein Registry of the Fire and Disaster Management Agency. *Circulation.* 122:293-299. (2010)
6. Impact of transport to critical care medical centers on outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. Kajino K, Iwami T, Daya M, Nishiuchi T, Hayashi Y, Kitamura T, Irisawa T, Sakai T, Kuwagata Y, Hiraide A, Kishi M, Yamayoshi S. *Resuscitation.* 81:549-554. (2010)
7. Reduction in incidence and fatality of out-of-hospital cardiac arrest in females of the reproductive age. Kitamura T, Iwami T, Graham Nichol, Nishiuchi T, Hayashi Y, Nishiyama C, Sakai T, Kajino K, Hiraide A, Ikeuchi H, Nonogi T, Kawamura T. *Eur Heart J.* 31:1365-1372. (2010)
8. Impact of transport to critical care medical centers on outcomes after out-of-hospital cardiac arrest. Kajino K, Iwami T, Daya M, Nishiuchi T, Hayashi Y, Kitamura T, Irisawa T, Sakai T, Kuwagata Y, Hiraide A, Kishi M, Yamayoshi S. *Resuscitation.* 81:549-554. (2010)
9. Incidence of Adverse Drug Events and Medication Errors in Japan: the JADE Study. Morimoto T, Sakuma M, Matsui K, Kuramoto N, Toshiro J, Murakami J, Fukui T, Saito M, Hiraide A, Bates DW. *J Gen Intern Med.* 26:148-53. (2010)
10. 交通事故および墜落・転落による病院外心停止

症例の検討 ウツタイン大阪プロジェクトより. 林靖之, 西内辰也, 梶野健太郎, 行岡秀和, 平出敦, 池内尚司, 甲斐達朗. 日本外傷学会雑誌. 24:21-26. (2010)

11. Comparison of neurological outcomes following witnessed out-of-hospital ventricular fibrillation defibrillated with either biphasic or monophasic automated external defibrillators. Kajino K, Iwami T, Berg RA, Hiraide A, Hayashi Y, Yukioka H, Tanaka H, Shimazu T, Sugimoto H. Emerg Med J. 26:492-496. (2009)

12. Effects of BLS training on factors associated with attitude toward CPR in college students. Hamasu S, Morimoto T, Kuramoto N, Horiguchi M, Iwami T, Nishiyama C, Takada K, Kubota Y, Seki S, Maeda Y, Sakai Y, Hiraide A. Resuscitation. 80:359-364. (2009)

13. Continuous improvements of chain of survival increased survival after out-of hospital cardiac arrests: a large-scale population-based study. Iwami T, Nichol G, Hiraide A, Hayashi Y, Nishiuchi T, Kajino K, Morita H, Yukioka H, Sugimoto H, Ikeuchi H, Yokoyama H, Kawamura T. Circulation. 119: 728-734. (2009)

14. Public perception and willingness to perform bystander CPR in Japan. Kuramoto N, Morimoto T, Kubota Y, Maeda Y, Seki S, Takada K, Hiraide A. Resuscitation. 79:75-481. (2008)

15. Survival rate and factors associated with 1-month survival of witnessed out-of-hospital cardiac arrest of cardiac origin with ventricular fibrillation and pulseless ventricular tachycardia: the Utstein Osaka project. Nishiuchi T, Hayashino Y, Fukuhara S, Iwami T, Hayashi Y, Hiraide A, Ikeuchi H, Yukioka H, Matsuoka T. Resuscitation. 78:307-313. (2008)

16. Major qualitative research methods in patient-doctor communication studies. Kobori E, Maeda Y, Kubota Y, Seki S, Takada K, Kuramoto N, Hiraide A, Morimoto T. Gen Med 9: 5-12. (2008)

17. Effectiveness of simplified chest compression-only CPR training for the general public: a randomized controlled trial. Nishiyama C, Iwami T, Kawamura T, Ando M, Yonemoto N, Hiraide A, Nonogi H. Resuscitation. 79: 90-96. (2008)

18. 心肺蘇生講習会による受講者の救命意識の変化. 西山知佳, 石見拓, 川村孝, 米本直裕, 平出敦, 野々木宏. 日本臨床救急医学会雑誌 11:271-277. (2008)

第6 救急・救助業務の高度化

6. 2 脳指向型蘇生システムを備えた救急車の開発

研究課題名	脳指向型蘇生システムを備えた救急車の開発
研究実施期間	平成 20 年度－平成 22 年度
配分額(千円)	(研究実施各年度の競争的研究資金の配分額(契約額)) 平成 20 年度：14,560,000 円 平成 21 年度：15,470,000 円 平成 22 年度：9,360,000 円
研究代表者	武田 吉正
所属機関	岡山大学
研究体制	学・官・産
研究概要	救急隊員により年間11万人に心肺蘇生が施行されているが社会復帰率は数%以下である。咽頭の1cm外側を総頸動脈が走行する。咽頭を冷やすと総頸動脈が冷却され血行性に脳温が低下する。蘇生時に咽頭冷却エアウェイを挿入しカフ内に冷却水を灌流し、気道確保と同時に選択的脳低温療法を開始する。塩化ビニル製の咽頭冷却エアウェイと可搬型冷却水灌流装置により蘇生の現場で脳保護と気道確保が同時に施行可能なシステムを開発した。
研究成果の活用事例	(研究成果を活用した事例や製品化・実用化又はその予定について概要を具体的に記載してください) 気道確保機能の無い咽頭冷却装置は2011年に治験を終了し承認申請中である。気道確保機能を有する咽頭冷却機器は2012年度消防防災科学技術研究開発制度の競争的研究資金を得て開発を継続中である。
応用の方向性	咽頭冷却機器の開発による蘇生後脳症の改善 ラリンジアルマスクの開発による日本人に最適化されたエアウェイの開発
研究発表の状況等	【報道・表彰】 平成 23 年 1 月 4 日 山陽新聞 救急車内で「咽頭冷却」 平成 22 年度消防防災科学論文表彰制度で表彰 【論文】 「新しい手技による脳低温療法」、武田 吉正 救急・集中治療, 21, 1452-1456, 2009. 「脳低温療法の基礎」、武田 吉正 脳神経外科速報、19, 185-192, 2009

	<p>「脳低温療法の現状と今後」、武田 吉正 Anet、13, 8-13, 2009</p> <p>【学会】 気道確保と脳低温療法が同時にできる咽頭冷却カフと可搬型灌流装置の開発、神経麻酔集中治療研究会 2010 年 脳保護戦略:咽頭冷却法 中国・四国支部麻酔科学会、2010 年 9 月 11 日 脳蘇生 その新たなる挑戦 脳死・脳蘇生学会 2010 年 6 月 19 日 気道確保と脳低温療法が同時にできる咽頭冷却カフと可搬型灌流装置の開発、蘇生科学シンポジウム 2010 年 大宮 蘇生後脳症に対する新しい低体温療法について 西播磨救急医療研究会 2010 年 9 月 10 日 招請講演「神経保護/低体温」 麻酔科学会 2010 年 6 月 4 日 脳低温療法 日本臨床麻酔学会、2009 年 10 月 31 日、浜松、教育講演</p>
<p>知的財産権の出 願・登録状況等</p>	<p>「喉頭鏡」 特願 2009-207006 号 PCT 出願 064008 米国出願 2012 年 3 月 8 日(出願番号 13/395,052) 中国出願 2012 年 2 月 29 日(出願番号 201080038921.7)</p> <p>「挿管訓練用モデル」 特願 2009-244391 特許査定 認証日 2009 年 12 月 15 日</p> <p>「挿管訓練用モデル及び挿管訓練用モデルの製造方法」 特願 2009-133825 特許査定 認証日 2009 年 12 月 15 日</p> <p>「脳冷却装置及びこれに適した脳冷却用具」 特願 2010-036374 号 PCT 出願 WO2011/102146</p> <p>「ラリンジアルマスク」</p>

	<p>特願 2011-121976</p> <p>PCT 出願 003327</p>
<p>当該研究に対する 今後の展開、意見 等</p>	<p>気道を確保する気密カフと、冷却水を灌流する咽頭冷却カフを分けることで気道確保の安全性が向上した。しかし、カフ構造が複雑になったため、現在の技術では量産が困難である。形状の工夫と製造方法の開発により量産化への道筋をつける必要がある。</p>

脳指向型蘇生システムを備えた救急車の開発

○武田吉正¹・森田潔¹・大塚愛二¹・長瀬正典²・那須浩一²・麓耕二³・小林武治⁴・小畑仁司⁵
Yoshimasa Takeda, Kiyoshi Morita, Aiji Ohtsuka, Masanori Nagase, Koichi Nasu, Koji Fumoto, Takeharu Kobayashi, Hitoshi Obata

研究課題の要旨: 救急隊員により年間 11 万人に心肺蘇生が施行されているが社会復帰率は数%以下である。咽頭の 1 cm 外側を総頸動脈が走行する。咽頭を冷やすと総頸動脈が冷却され血行性に脳温が低下する。蘇生時に咽頭冷却エアウエイを挿入しカフ内に冷却水を灌流し、気道確保と同時に選択的脳低温療法を開始する。塩化ビニル製の咽頭冷却エアウエイと可搬型冷却水灌流装置により蘇生の現場で脳保護と気道確保が同時に施行可能なシステムを開発した。
キーワード: 咽頭冷却、脳低温療法、蘇生後脳症

1. はじめに

救急隊員により年間 11 万人に心肺蘇生が施行されているが社会復帰率は数%以下である。脳低温療法は蘇生後意識障害に対し有効性が確認されている唯一の治療法である。早期の脳低温療法は神経学的予後を改善するが、現在の脳低温療法は病院到着後に全身冷却で行われているため貴重な治療機会を逸している。蘇生の現場で気道確保と同時に選択的脳低温療法を開始することで、蘇生後の意識障害抑制をめざした。

2. 脳低温療法について

心停止蘇生後の神経細胞障害は 3 つの機序で進行する。「分」のオーダーでグルタミン酸放出による障害が発生し、「時間」のオーダーでフリーラジカルによる障害が発生し、「時間～日」のオーダーでアポトーシスによる障害が発生する。グルタミン酸が最も重要な障害因子であるため、蘇生時に「分」のオーダーで脳温を低下させる事が求められる。しかし、

(1) 脳低温療法は全身温を低下させるため目標温到達に数時間を要する。

(2) また、全身温を低下させると不整脈を誘発するため、蘇生後に循環の安定を確認した後に冷却が開始されている。

これらの理由により脳冷却が遅延し治療効果が大きく損なわれている。全身循環に悪影響がなく、蘇生時に「分」のオーダーで脳温を低下させる事のできる冷却法の開発が必要である。

3. 咽頭冷却について

図 1 に示すように、咽頭の 1 cm 外側に総頸動脈が存在し、更なる外側に内頸静脈や外頸静脈が存在する。頸部の体表を冷却すると静脈血が先に冷却

され全身温が低下するが、咽頭側から冷却すると総頸動脈が先に冷却され脳温が低下する。ニホンザルでは咽頭冷却により脳温が選択的に低下 (30 分で 4 °C) することを観察している。本研究では咽頭冷却機能を持ったラリンジアル・マスクを開発目標とした。これにより、救急救命士が気道確保を行うと同時に咽頭冷却を開始できるシステムを製作した。

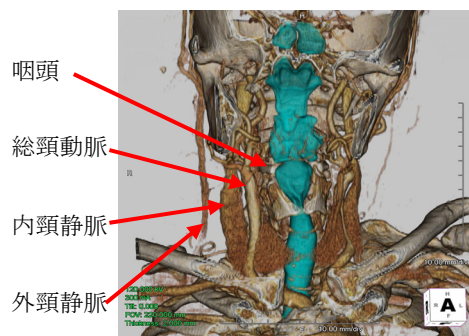


図 1. 咽頭の外側を総頸動脈が走行する。咽頭冷却により総頸動脈を効率よく冷却することが可能である。

4. 試作と評価

＜咽頭冷却エアウエイ＞

エアウエイの気道確保能力 (シール圧) を高めるためには、咽頭の生理的な形状を把握する必要がある。そこで、解剖体で頸部の高精細度 3D-CT 撮影を行い、三次元データから咽頭の石膏モデル (図 2) を作成した。



図 2. 咽頭の立体構造

(所属機関名)

- 1 国立大学法人 岡山大学
- 2 岡山市消防局
- 3 釧路高等専門学校 (国立大学法人弘前大学へ異動)
- 4 大研医器株式会社
- 5 大阪府三島救命救急センター

この石膏モデルをもとに咽頭冷却エアウェイのデザイン開発を行った。咽頭冷却エアウェイは以下の特徴を持つ。

1. 食道閉鎖式エアウェイと同様に中咽頭と食道をカフで閉鎖し気道のシール性を高める。
2. ラリンジアル・マスクと同様に下咽頭にカップを設け気管入口部の閉塞を防ぐ。

咽頭冷却エアウェイはカフ内に冷生理食塩水(5℃)を灌流し咽頭を冷却することを目的としている。図3は熱流体解析の結果を示す。

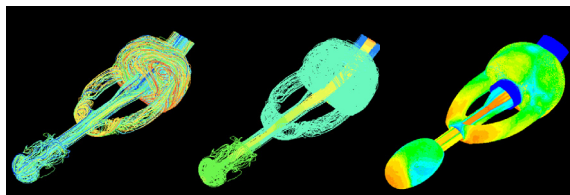


図3. 咽頭冷却エアウェイの熱流体解析
左より流速解析、圧力解析、温度解析

灌流液は膜表面に沿って層流を形成し(流速解析)、カフ内圧は突出することなく均等に分布し(圧力解析)、良好な熱伝導性を有していることが示された。シミュレーションの正当性は氷スラリーを用いて検証している。

図4、図5は咽頭冷却エアウェイの実物写真を示す。塩化ビニル製で生物学的安全性試験を通過し、耐圧限界は200 cmH₂Oである。灌流液の流入路と流出路に圧力センサーと温度センサーを備える。4 msec毎に情報を灌流装置に転送する。

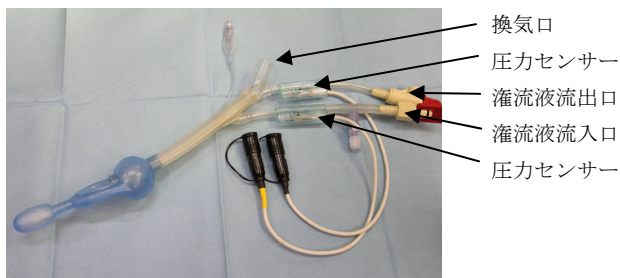


図4. 咽頭冷却エアウェイ全体写真

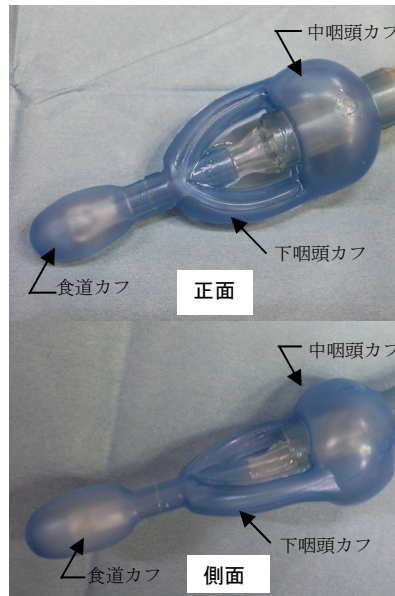


図5. 拡大写真

<冷却水灌流装置>

救急車から持ち出すことを想定し、岡山市消防局が使用している救急バッグに収まる設計とした(図6、図7)。



図6. 冷却水灌流装置



図7. 救急車内に設置した冷却水灌流装置

灌流装置は、サイズ 350 (幅) × 290 (高さ) × 150 (奥行き) mm (突起物含まず)、重量 10 kg、バッテリー駆動により約 60 分間携行可能である。冷却源に氷の融解熱を用いて灌流液 (生理食塩水) を 5℃ に冷却し駆出する。図 8 に示すように、灌流液の流入路と流出路にポンプを有し、灌流装置の高さが変化してもカフ内圧は変動しない。

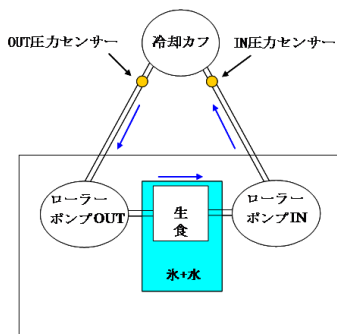


図 8. 送液機構

咽頭冷却エアウェイより圧力情報を 4msec 毎に得て灌流圧 (50 cmH₂O)、灌流速度 (500 ml/分) を自動制御している。図 9 は室温 (27℃) の灌流液を冷却したときのベンチマークを示している。1 分以内に灌流液は 10℃ 以下に低下、7 分で目標温の 5℃ に到達し、その後目標温 (5℃) を維持していることがわかる。

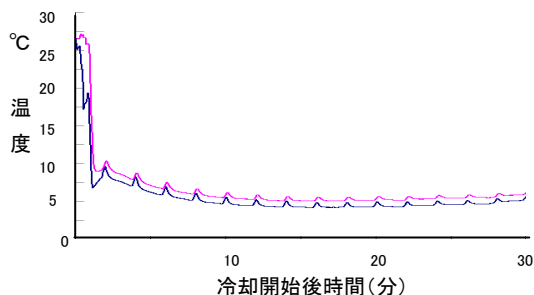


図 9. 冷却速度

5. おわりに

本研究で製作した灌流装置は除細動に耐える電気的安全性試験を通過しており、機能的にも臨床で使用できるレベルに達している。今後取り回しを改善するため、更に軽量・小型化が必要であると考えている。

咽頭冷却のできるエアウェイは 3 年間改良を重ねてきた。最終年度のカフは挿入が容易で咽頭へのフィットが改善された。また、気道を確保する気密カフと、冷却水を灌流する咽頭冷却カフを分けることで気道確保の安全性が向上した。しかし、カフ構造が複雑になったため、現在の技術では量産が困難である。形状の工夫と製造方法の開発により量産化へ

の道筋をつける必要がある。

【参考文献】

- 1) 武田吉正：新しい手技による脳低温療法、救急・集中治療, 21, 1452-1456, 2009
- 2) 武田吉正：脳低温療法の基礎、脳神経外科速報, 19, 185-192, 2009
- 3) 武田吉正：脳低温療法の現状と今後、Anet, 13, 8-13, 2009

第6 救急・救助業務の高度化

6.3 現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発

研究課題名	現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発
研究実施期間	H20年度～H22年度
配分額(千円)	H20年度 11,952 H21年度 11,814 H22年度 9,828
研究代表者	牛島 久三
所属機関	株式会社福岡ソフトウェアセンター
研究体制	消防機関、医療機関及び民間企業等
研究概要	福岡県の飯塚地区消防本部及び飯塚病院救命救急センターを中心に、「重症度・緊急度に応じた症状別の業務フローに基づく情報入力・伝達システム」の開発を行った。併せて、救急隊や医療機関など救急現場に携るスタッフ自らが現場のニーズを踏まえて簡易にシステム構築を行うことが出来る「症状別業務フロー作成支援システム」の開発を行った。前者のシステムについては、救急自動車への実装を行い、これまでの搬送記録票を用いた記録と携帯電話を用いた情報伝達と比較して、情報伝達の迅速性や正確性が高いことが明らかとなった。また、初心者の隊員についても円滑にシステム操作が行えるよう研修用学習システムの開発も行った。
研究成果の活用事例	メディカルコントロールとして消防隊員や医療機関による業務フロー及び救急処置ガイド、その他参考資料を共有サイトにアップロードを行い、情報共有化による業務の標準化及び処置技術向上をめざしている。
応用の方向性	これまで現着から搬送中、搬送先到着までの情報を集約化し、情報伝達における正確性、迅速性を高め、救命率向上をめざしてきた。またシステムの普遍性を考慮し、救急処置における情報共有サイトの構築を行った。今後は現システムの他地域展開をめざす。
研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> ■日本救急医学会(平成20年10月) 「救急現場・搬送時の患者情報収集と記録、医療機関への情報伝達支援システム(RSS)の運用実験結果と課題」 ■第37回日本集中治療医学会学術集会(平成22年3月) 「モバイル端末を活用した救急搬送時の情報伝達・メディカルコントロールシステムの開発」 ■第13回日本臨床救急医学会学術集会(平成22年6月)

	「IT 機器を使用した正確な情報伝達と傷病者情報提供について」
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	搬送受付書・搬送記録票・救急業務日報支援や統計支援を円滑に、かつ親和性の高いデータ連携を図り、隊員の業務効率化及びメディカルコントロールの検証データに活用したい。

現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発

○牛島久三¹・鮎川勝彦²・松岡修司³・渡辺康³・田頭司朗⁴・高野晋一⁴・國松功⁴
Hisami Ushijima, Katsuhiko Ayukawa, Shuuji Matuoka, Yasushi Watanabe,
Shirou Tagashira, Shinichi Takano, Isao Kunimatu

研究課題の要旨：福岡県の飯塚地区消防本部及び飯塚病院救命救急センターを中心に、「重症度・緊急度に応じた症状別の業務フローに基づく情報入力・伝達システム」の開発を行った。併せて、救急隊や医療機関など救急現場に携るスタッフ自らが現場のニーズを踏まえて簡易にシステム構築を行うことが出来る「症状別業務フロー作成支援システム」の開発を行った。前者のシステムについては、救急自動車への実装を行い、これまでの搬送記録票を用いた記録と携帯電話を用いた情報伝達と比較して、情報伝達の迅速性や正確性が高いことが明らかとなった。また、初心者の隊員についても円滑にシステム操作が行えるよう研修用学習システムの開発も行った。

1. はじめに

救急搬送における情報伝達の課題は、事故発生から救急車による搬送、そして医療機関への収容の中で、迅速にかつ正確で詳細な情報が伝わらない事である。ここを解決する事で、救命率の向上が期待できる。本研究では、①重症度・緊急度に応じた胸痛の症状に対する業務フローに基づく情報入力・伝達システム、②救急隊や医療機関などが現場のニーズを踏まえて簡易にシステム構築出来る症状別業務フロー作成支援システム、③その他の症状に対する情報入力・伝達システムの開発を行い、救急自動車実装検証を行う事で、救急隊員の救命技術の質向上及び救命救急処置の迅速化を目指す。

2. 平成 20 年実施内容

福岡県飯塚地区消防本部に所属する救急救命士の協力の下、『胸痛』、『心肺機能停止』、『頭痛』、『腰背部痛』、『腹痛』の5つの症状についてヒアリングを行い、救急現場にあった「重症度・緊急度に応じた業務フローに基づく情報入力・伝達システム」の作成を行った。

また併せて同消防本部と飯塚病院救命救急センターへのニーズ調査を行い、特に以下の点について考慮したシステム開発を行った。

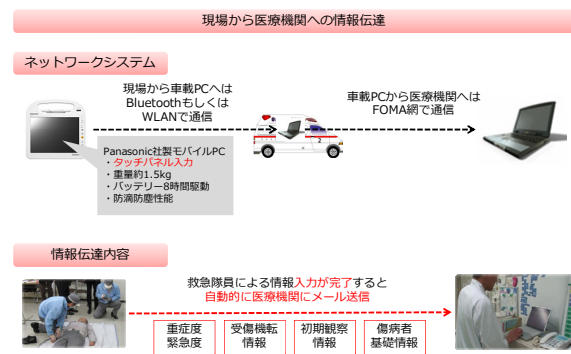
- 画面構成を当初予定から大幅に縮小し(10画面程度→3画面)画面切替時間を短縮した。
- バイタルと処置記録は業務フローのいかなる場面でも入力できるよう配慮した。
- バイタルの記録をグラフ化することで視認性が高まるよう配慮した。
- 汎用性を考慮しWeb型の医療機関の情報受信アプリケーションを開発した。

Web型の医療機関の情報受信アプリケーションについては、インターネットがつながる病院では新たなシステムを導入することなく利用が可能で、かつ複数の救急搬送を一覧表示できるよう配慮した。

また本システムでやりとりする個人情報や患者情報は独自文字テーブルによる変換でデータ暗号化が施されており、外部からの読み取り防止を実現している。

上記の改良を加えたシステムを用いて、平成21年2月から救急自動車への実装を行い、動作確認、救急隊へのトレーニング、入力方法や入力内容の検証等を行った。

情報伝達のフロー



その結果、以下に示す成果を得ることができた。

- デバイスへの情報入力は、これまでの搬送記録票への記載時間と大差なく実行可能。
- 傷病者の基礎情報については、これまでの携帯電話での伝達よりも正確性が向上。
- 重症度・緊急度が低い傷病者についても重要事項のみを選択して伝達できる。

一方で実際にシステムを利用した救急隊員から以下の新たな要望があげられた。

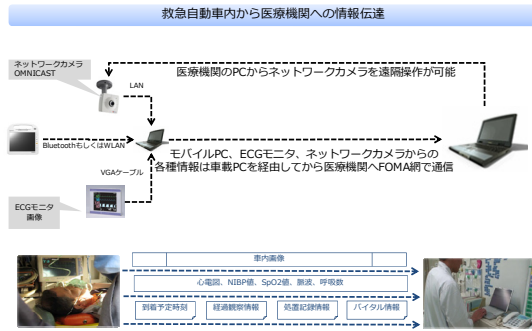
▲内因性・外因性からのフロー以外に事故種別→症状別フローへの展開を追加。

(所属機関名)

- 1 株式会社福岡ソフトウェアセンター
- 2 飯塚病院 救命センター
- 3 飯塚地区消防本部
- 4 株式会社麻生情報システム

- ▲システムの立ち上げ・終了時間の短縮（もしくは低電力消費での稼働）。
- ▲同乗者の属性情報の入力項目の追加。
- ▲搬送先での受け入れの可否を事前確認できるシステムの開発。

他のシステムとの連携



3. 平成 21 年度実施内容

平成 21 年度については、主に以下の 3 点について、開発を行った。

- ①「重症度・緊急度に応じた胸痛の症状に対する業務フローに基づく情報入力・伝達システム (Rescue Support System)」のプロトコルの拡充 (救急隊側)
- ②傷病者の搬送状況、バイタル・処置記録等の表示システムの拡充 (病院側)
- ③学習用システムの基本仕様設計

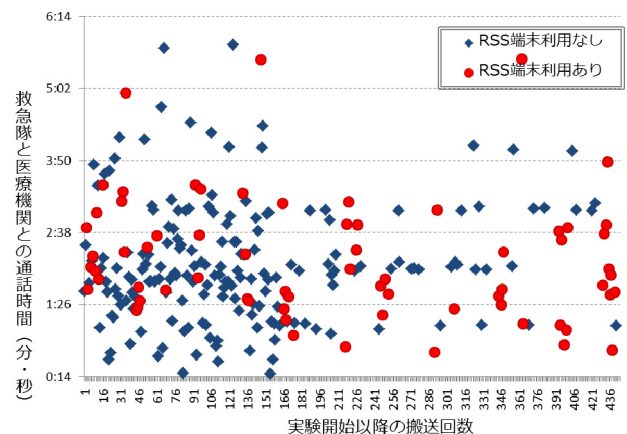
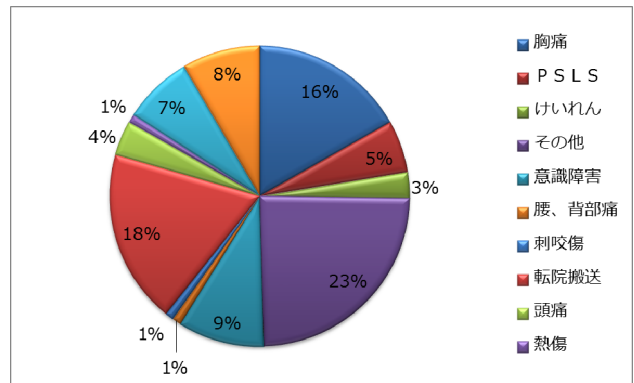
①については、これまでの胸痛、心肺機能停止、頭痛、腰背部痛、腹痛に加え、消防隊員自らが本システムを使い、意識障害、けいれん、中毒、転院搬送、その他、のプロトコルを追加し、現在は 10 種類の傷病についての対応が可能となっている。

②については、汎用性が高い Web アプリケーションを利用した表示システムを開発し、これまでの救急車両情報、搬送患者情報、バイタル・処置情報に加え、病院側と消防隊員の双方が簡単なテキストのやりとりができるチャット機能、および送られてきた情報をレシートサイズの用紙に印刷する機能も追加した。

③については、飯塚病院救命救急センターへのヒアリング調査に基づき、救急隊、メディカルコントロール協議会、研修所等での利用を想定した学習システムの基本仕様の設計を行った。

またあわせて、平成 21 年の 10 月～平成 22 年 2 月末にかけて、開発したシステムを救急車両に実装し、現場ニーズの把握と本システムのユーザビリティ (操作性)、本システムを利用することによる現場作業の効率化 (医療機関との通話時間の縮減) の

把握を行った。



操作性について救急隊員へのアンケート調査を行った結果、おおむね 3 回目以降については、これまでの紙媒体による搬送記録表への記入と同程度に操作・記録ができるという結果を得られた。

効率化については、病院へのファーストコールを行った時点で既に傷病者の基礎情報、初期観察記録、バイタルなどの情報が送信されていることから、救急隊員と医療機関での携帯電話による通話時間は大幅に削減され、救命処置への集中が可能になったとの意見を得られた。

4. 平成 22 年度実施内容

主に研修用学習システムの開発、医療機関側の情報受信システムの開発、車内画像や救急現場で撮影された静止画像伝送システムの開発を行った (下表 1 のとおり)。

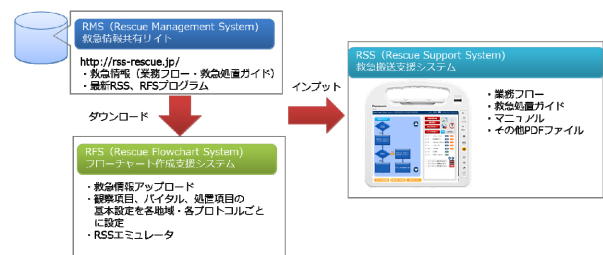


表 1：システム開発内容

加えて、システムの普遍性を高めるために業務フローや救急処置ガイド（図1）、マニュアル等（図2）、救急処置に関わる多様な情報を共有可能なWebサイト（RMS）の構築（図3）を行った。公開された業務フロー、救急処置ガイドのダウンロードを行い、円滑にデータ伝送端末に入力可能なシステム開発を行っている。その他機能として、他地域の消防機関や医療機関との意見交換や評価機能、検索機能が実装されている。

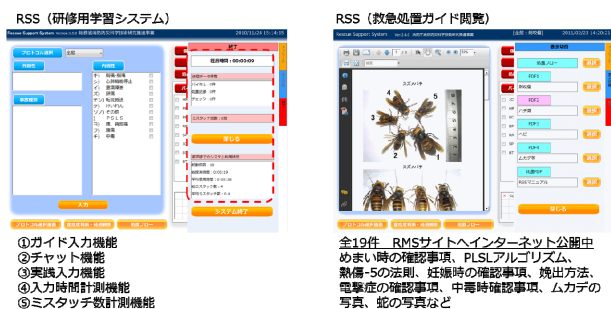


図1：業務フローや救急処置ガイド



図2：マニュアル等

業務フロー及び救急処置ガイド、マニュアル等の救急業務における多様な情報を共有可能なサイトの構築を行った。

主機能：
ファイル検索機能、評価・コメント機能、一括ダウンロード機能、
ダウンロード数表示など

現在、業務フロー：18件、救急処置ガイド：19件公開中

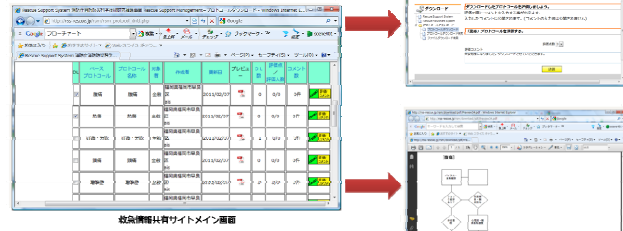


図3：Web サイト

昨年12月より開始された実証実験を通じて救急現場への導入を進め、システムの有効性の検証を行っている（実証実験期間：平成22年12月～平成23年2月末）。

また併せて、メディカルコントロールとして消防隊員や医療機関による業務フロー及び救急処置ガイド、その他参考資料を共有サイトにアップロードを行い、情報共有化による業務の標準化及び処置技術向上をめざしている。

＜研修用学習システムの開発＞

昨年度に定めた基本仕様にもとづき、RSSの研修用学習システム開発を行った。主な仕様は下表2のとおりである。

研修用機能	詳細
①ガイド入力	搬送先決定や傷病者基本情報、到着予定時刻の入力完了の表示を行うことで漏れや重複を解消する。
②チャット機能	バイタル、処置記録、観察項目以外の搬送先に伝達を行いたいメッセージを送信
③実践入力機能	学習用DVDを見ながら実践入力可能な機能
④入力時間計測機能	RSS起動からシステム終了までの時間計測を行っている。
⑤ミスタッチ数計測機能	多様な入力項目の中でバックスペースやクリアが押下された場合、ミスタッチとしてカウントを行う。
⑥マニュアル閲覧機能	バイタルの記録や処置記録に際して、注意すべき点や処置方法を共有サイトよりダウンロードを行い、RSS端末上で閲覧可能

表2：研修用学習システム仕様

加えて、救急現場を想定したシステム操作の撮影を行い、初心者の隊員についても円滑にシステム操作が行えるよう学習コンテンツの充実化を図っている。現在、撮影は完了し、学習用DVDを制作中である。

＜静止画像伝送機能＞

医療機関においては、これまで隊員からの音声情報をもとに事故現場の規模や傷病者の患部を救命救急センター内のホワイトボードに書き、処置準備にあっていた。隊員からの音声情報はあいまいな表現が多く、情報伝達における正確性、迅速性に欠如していたと見られる。今年度はデータ伝送端末付属のカメラを活用し、円滑に搬送先へ静止画像を伝達できるシステム開発を行った。加えて、静止画像については個人情報が含まれる場合があるため、送信にあたっては[SMTP over SSL]セキュリティ技術を駆使し、個人情報漏洩リスクの防止につなげている。下表3は現時点において実証実験にて送信された静止画像の内容である。

静止画像種類	送信件数
傷病者患部情報（顔部）	2件
傷病者患部情報（顔部以外）	2件
心電図モニター	5件
吐物	2件
事故現場	1件
落下事故現場	1件

表3：送信された静止画像内容
期間：平成22年12月1日～平成23年2月3日時点（システム使用件数：94件中）

<救急処置に関わる情報共有サイトの構築(RMS)>

今年度は飯塚地区以外の他地域についてもシステム利用が可能な情報共有サイトの構築を行った。業務フロー及び処置ガイド、マニュアル等のダウンロードを行い、データ伝送端末へ円滑にインプット可能なシステム開発を行っている。業務の標準化、処置効率化の向上に期待できると考えられる。下表4は現時点における情報共有サイトにアップロードされている内容である。

種類	内容	件数
プロトコール	意識障害(けいれん・刺咬傷)、PSLS、アナフィラキシー、胸痛、熱傷、妊娠・分娩、頭痛、電撃症、転院搬送、中毒、精神障害、腰、背部痛、めまい症、その他など	18件
救急処置ガイド	めまい時の確認事項、PLSLアルゴリズム、熱傷-5の法則、妊娠時の確認事項、娩出方法、電撃症の確認事項、神経学的評価、中毒時確認事項、農薬中毒について、ムカデ等の写真、蛇の写真、蜂の写真など	19件
マニュアル	RSS、RFS、RSSWシステム操作マニュアル	3件

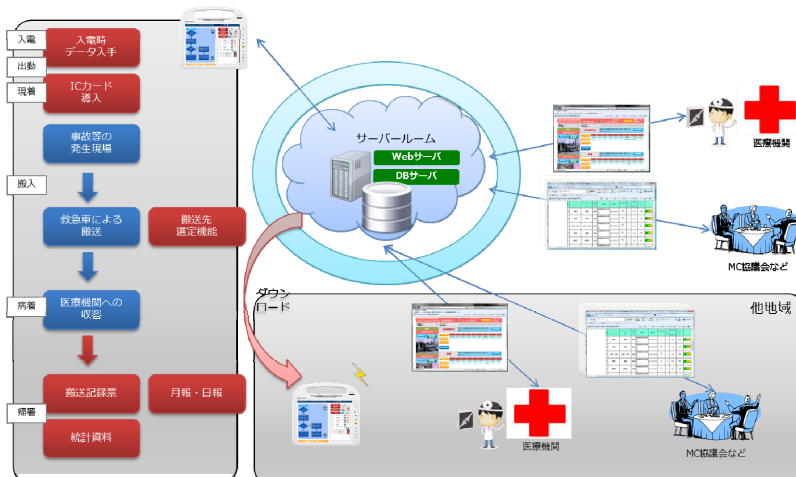
表4：アップロードされている情報
(平成23年2月9日時点)

5. 今後の展望

これまで現着から搬送中、搬送先到着までの情報を集約化し、情報伝達における正確性、迅速性を高め、救命率向上をめざしてきた。またシステムの普遍性を考慮し、救急処置における情報共有サイトの構築を行った。今後は現システムの他地域展開をめざし、システム販売を行っていききたい。

また現着から搬送先到着にとどまらずデータ伝送端末にて収集した情報を活用し、搬送受付書・搬送記録票・救急業務日報支援や統計支援を円滑に、かつ親和性の高いデータ連携を図り、隊員の業務効率化及びメディカルコントロールの検証データに活用したいと考えている。

加えて、ICカードを導入し、あらかじめ登録を行った傷病者基礎情報を自動で読み込み、さらなる情報伝達の正確性、迅速性を高めていききたい。



第6 救急・救助業務の高度化

6.4 心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化にむけた検証

研究課題名	心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化にむけた検証
研究実施期間	平成20年度～平成22年度
配分額(千円)	3,640,000円(平成20年度), 3,640,000円(平成21年度), 3,120,000円(平成22年度)
研究代表者	山口芳裕
所属機関	杏林大学医学部救急医学
研究体制	産・学
研究概要	<p>本研究課題では、平成17年度から3年間で実施した消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」の成果をもとに、実際の医療現場(杏林大学高度救命救急センターER室)に検証システム(早期認知システムの試作機)を設計・導入し、提案するシステムの有効性、および安全性を検証した。検証に際しては、実際の現場で記録された心電図波形データに対してのみではなく、高性能シミュレータ(SimMan®:レールダ社製)を用いて得られるデータについても実施した。更に、検証システムに記録されるデータを医療現場で用いられる心電図モニターと同様に表示するための早期認知システム検証用シミュレータを構築し、システムの動作検証のみならず、医療現場と同様な心電図波形データの処理・結果表示が可能となった。</p> <p>今後は、解析停止条件等を含めたシステムの仕様を明確化するとともに、継続してデータを記録しつつシステムの高速度・高精度化を図り、早期認知システムの実用化を進める予定である。</p>
研究成果の活用事例	<p>本研究課題で提案する早期認知システムは、蘇生処置を講じながらも除細動適用波形を認知するものであり、心停止患者の蘇生率向上に寄与することができる。本研究課題で得られた成果は、AEDとリンクさせることにより、医療現場のみならず、院外心停止患者に対し、bystanderが蘇生処置を行う際にも非常に有効であると考えられる。今後は、AEDメーカーと協議し、システムの仕様を確立させるとともに、現状のAEDのようにコンパクトな形での製品化を検討していく予定である。</p>
応用の方向性	<p>本研究課題で提案している早期認知システムが臨床応用(実用化)できれば、心肺停止患者の蘇生率向上に大きな効果をもたらすことが期待される。</p>

	<p>そのため、医療現場における検証作業、およびカスタマイズ作業を継続して実施し、除細動適応波形の認知の感度と特異度を評価を行う。また、システムの仕様や使用方法の確立、および使用方法を誤った場合に安全性を保つための処理や解析処理の停止条件などを確立し、現状の AED とリンクさせることで実用化を図る。</p>
<p>研究発表の状況等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 岡井貴之、大屋英稔、萩野剛二郎、山口芳裕、島崎修次、桐岡茂、”心肺蘇生中の心電図波形解析に基づく除細動適用波形の検知”，平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会， pp. 1011-1013, 2011 ● 岡井貴之、大屋英稔、萩野剛二郎、山口芳裕、島崎修次、桐岡茂、”心肺蘇生中の心電図波形解析に基づく除細動適用波形の検知”，電気学会研究会資料 産業計測制御研究会， IIC-10-184~192， pp. 41-43, 2010 ● 岡井貴之、大屋英稔、萩野剛二郎、山口芳裕、宮内洋、桐岡茂、”心肺蘇生中の心電図波形の抽出、およびリアルタイム表示”，平成 22 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会， pp. 1011-1013, 2010. ● 岡井貴之、大屋英稔、萩野剛二郎、山口芳裕、島崎修次、桐岡茂、”心肺蘇生中の心電図波形データの解析と 解析結果のリアルタイム表示”，電子情報通信学会 2010 年総合大会講演論文集， pp.37, 2010. ● 大屋英稔、山口芳裕、島崎修次、萩野剛二郎、桐岡茂、岡井貴之、”心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発”，平成 21 年度電気学会 電子・情報・システム部門大会論文集， pp.781--786, 2009.
<p>知的財産権の出願・登録状況等</p>	<p>(本制度によって得られた成果が、特許・実用新案に申請されている場合は、その題名・申請・取得年月日などを記入してください)</p>
<p>当該研究に対する今後の展開、意見等</p>	<p>AED メーカーも含めて実用化を進めていく予定である。</p>

心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの 臨床応用・実用化に向けた検証

山口芳裕*, 大屋 英稔†, 宮内洋*, 桐岡茂‡, 岡井貴之‡

Yoshihiro YAMAGUCHI*, Hidetoshi OYA†, Hiroshi MIYAUCHI*,
Shigeru KIRIOKA‡ and Takayuki OKAI‡

研究課題の要旨：心肺停止患者に対する蘇生処置においては、早期の電氣的除細動（以下、単に除細動という）が有効であることが知られており、AHA（米国心臓学会）のガイドラインにおいても「早期の除細動」と「絶え間ない心臓マッサージ」を推奨している。しかしながら、除細動を適応すべき心電図波形が出現しているか否かを判断するためには、患者から全ての医療者が手を離し、外部からの人為的な要因を排除しなければならず、ある時間間隔で一定期間の心臓マッサージの中断を余儀なくされることとなってしまふ。このような問題に対し、筆者らは、蘇生処置（心臓マッサージ）を講じながらも除細動を適応すべき心電図波形を認知する早期認知システムの開発を進めてきた。本稿では、検証システム（早期認知システムの試作機）を医療現場に設計・導入し、提案するシステムの有用性、および安全性の検証を行った結果、ならびに実用化に向けた展開について述べる。

キーワード：心臓マッサージ、心電図波形、心室細動 (VF)、除細動、早期認知システム

1 はじめに

突然の心停止による年間死者数は、日本国内で約 30,000 人、ヨーロッパで約 275,000 人にもものぼり、救命率は 5 % 以下であるともいわれている [1]。このような心肺停止患者に対する蘇生処置の要点は、「早期の電氣的除細動（以下、単に除細動という）」である。また、心肺蘇生法の標準的なガイドラインを提供している AHA（米国心臓学会）ガイドラインでは、「早期の除細動」に加えて、「絶え間ない心臓マッサージ」も重要な基本コンセプトとなっている [2]-[4]。しかしながら、除細動を適応すべき心電図波形が出現しているか否かを判断するためには、すべての医療者が患者から手を離し、かつ外部からの人為的な刺激を排除して心電図波形を確認する必要がある。当然のことであるが、この方法に従うと、ある時間間隔で一定期間の心臓マッサージの中断を余儀なくされることになり、AHA ガイドラインの推奨する「絶え間ない心臓マッサージ」を阻んでしまうという重大な内部矛盾に直面する。

そこで、筆者らは、平成 17 年度から 3 カ年にわたり、極めて低電位であっても除細動の適応波形（心室細動波形、心室頻拍波形）の確実な認知を可能としながら、その一方で、環境および蘇生処置にともなう人為的に加わるノイズ波形を除去できるシステム、および機器の開発を目的とした消防防災科学技術研究推進制度による研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出

波形の早期認知システムの開発」を実施した [5]-[7]。この研究課題において、蘇生行為（心臓マッサージ）を中断することなく心電図波形を解析し、除細動を適応すべき心電図波形（心室細動）の認知を可能とするシステム（心電図波形認知アルゴリズム）を開発した。実際の医療現場において、開発した心電図波形認知アルゴリズムを実装したシステムの有用性、および安全性を検証し、実用化することができれば、「絶え間ない心臓マッサージ」を講じながら、搬送途上であっても安全かつ確実に除細動適応波形を判断でき、迅速な搬送と早期除細動を両立させることが可能となる。そのため、心肺停止患者の蘇生率向上に大きな効果をもたらすことが期待される。さらに、一般市民による半自動除細動器（AED：Automated External Defibrillator）の使用に際しても、より安全、かつ確実な早期の除細動を可能にし、プレホスピタルの蘇生処置の普及にも貢献することが期待される。しかしながら、提案する早期認知システムを実用化するためには、除細動の適応判断結果に誤りがないかを蘇生処置中の患者について検証する必要がある。すなわち、提案するシステムを医療現場に試作・設置し、除細動を適応すべきと判断された時点で、ただちに患者固有の心臓由来する波形を確認し、真に除細動を適応すべき心電図波形か否かを検証することが必要である。さらに、認知精度（感度・特異度）の向上や処理を高速化するためのカスタマイズを行う必要がある。

本稿では、平成 17 年度～平成 19 年度の研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」の継続課題として実施した平成 20 年

*杏林大学医学部救急医学

†徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

‡(株)CAE ソリューションズフルイド事業部



図 2.1: SimMan[®] の外観 [8]

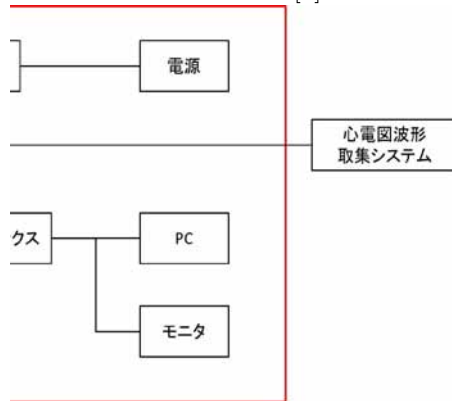


図 2.2: SimMan[®] の構成

度から 3 か年にかけて行った研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化に向けた検証」の研究成果について述べる。なお、本稿の構成は、以下のとおり。まず、高性能シミュレータ SimMan[®] を用いた実験について概説する。次に、本研究において、設計・導入した早期認知システムの試作機（検証システム）とその概要、ならびに早期認知システム検証用シミュレータについて述べる。さらに、検証システムから得られた結果をまとめる。そして、最後に提案する早期認知システムの実用化に向け、今後の展開についてまとめる。

2 高性能シミュレータ SimMan[®] による実験 [8]

2.1 SimMan[®] の概要

高性能シミュレータ SimMan[®] は、有用なシミュレーション教育が実現できるようシナリオプログラミングやチームトレーニングを実施する際のインストラクター/ファシリテータの負担を出来るだけ軽減するよう工夫され、臨床教育に幅広く活用できるシミュレータである [11]、レールダル メディカル ジャパン株式会社が販売しているものである。

図 2.1, 2.2 に SimMan[®] の外観、およびシステムの構成を示しておく。SimMan[®] では、脈、呼吸、音声等の再現、モニターによる心拍数や SPO2 等のバイタルサインの確認、患者の状態を操作用 PC を使用して、



図 2.3: SimMan[®] が出力可能な心電図波形の例

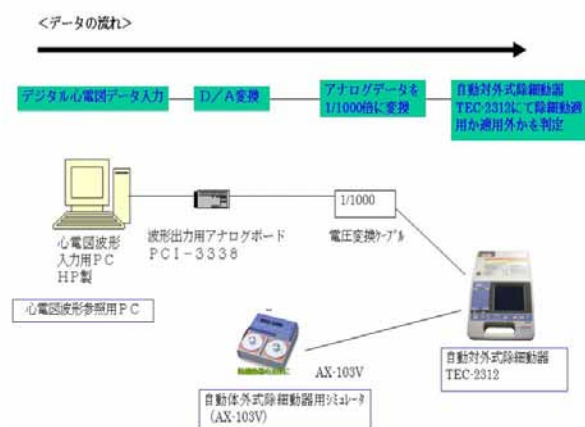


図 2.4: 心電図波形シミュレーションシステム

シナリオにあわせて自在にプログラミングが可能であり、時々刻々と変化する患者の状態をリアルに再現することが可能である。本研究で使用した SimMan[®] は、身長：167 [cm]、横幅：55 [cm]、重量：29 [kg] と標準的な日本人の体格に沿ったものとなっている。

2.2 SimMan[®] を用いた実験

SimMan[®] には、様々な種類の心電図波形をシミュレートする機能が備わっており、実際に除細動の実施が可能である。SimMan が、出力可能な心電図波形の一例を図 2.3 に示す。この機能を使用して、各種心電図波形を SimMan[®] に出力させ、心臓マッサージを行うことで、なるべくノイズの混入しない状況下での蘇生処置による心電図波形認知アルゴリズムのシミュレーション実験を行った。また、同時に、実際の蘇生処置時に患者に対し、ノイズを与え得る行動の実験、記録も行った。なお、本研究課題で実施した実験では、次の 2 種類の心電図波形を用いた*。

*実施した実験内容については、文献 [8] を参照されたい。

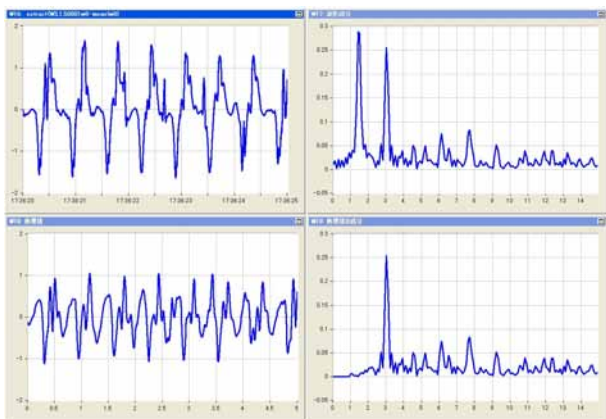


図 2.5: 解析結果 (正常洞調律+心臓マッサージ)

- 正常洞調律 (自己心拍)
- 心室細動 (VF)

実験では、正常洞調律、もしくは心室細動 (VF) を発生させ、それと同時に心臓マッサージを実施した際に記録される心電図波形データを心電図波形認知アルゴリズムで処理し、処理した波形データを既存の半自動除細動器 (AED) で使用されている除細動適応判定アルゴリズムに誘導することによって、除細動に適応すべきか否かを判定した。なお、心電図波形認知アルゴリズムと AED の除細動適応判定アルゴリズムとの通信は、平成 19 年度に導入した心電図波形シミュレーションシステム [7] によって行った。心電図波形認知アルゴリズムによる処理結果の検証方法は、以下に示すとおりである。

- PC 上で信号解析ソフト (DADiSP[®]) を用いて心電図波形認知アルゴリズムを実行する。
- 心臓マッサージ実施中に記録された心電図波形データから心臓マッサージ成分を除去する。
- D/A 変換ボードを介して、心電図波形認知アルゴリズムで処理した波形をシミュレータに転送する。
- シミュレータの解析アルゴリズムで除細動適応波形か否かを判定する。

ここで、心電図波形シミュレーションシステムの概要を図 2.4 に示しておく。

2.3 SimMan[®] を用いた実験結果の検証

早期認知システムでは、5 秒間のデータに対して処理を行っている[†]。このため、除細動適応判定アルゴリズムへ出力する波形データは、5 秒間の心電図波形データが繰り返された形となる。また、除細動適応波形認知アルゴリズムにおける解析は、手動で行うため、解析開始点が一定ではない。そのため、同じ心電図波形

[†]心電図波形データの記録時間は、現状の AED で用いている波形データ、および処理時間を考慮して決定している。

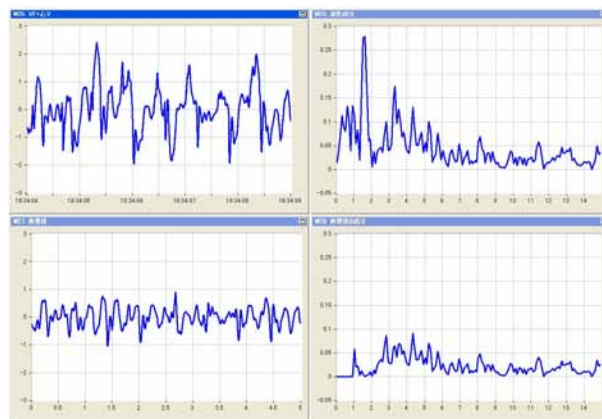


図 2.6: 解析結果 (心室細動+心臓マッサージ)

を解析しても開始点によって波形が異なるため、解析結果が異なる場合があることもある。

心電図波形認知アルゴリズムで処理をした結果の一例を図 2.5, 2.6 に示す。図 2.5, 2.6 において、“正常洞調律+心臓マッサージ”は、SimMan[®] で正常洞調律を発生させた際に心臓マッサージを実施した場合、“心室細動+心臓マッサージ”は、心室細動を発生させた場合に心臓マッサージを実施した場合の結果を示している。ここで、左上のグラフが原波形、左下のグラフが処理後の波形であり、右側のグラフは、右上が原波形の周波数特性、右下が処理後の波形の周波数特性となっている。SimMan[®] において、正常洞調律、心室細動 (VF) を発生させ、同時に心臓マッサージを実施した際の心電図波形データを処理し、現状の AED における除細動適応判定アルゴリズムで判定した結果、次のような知見が得られた[‡]。

- 正常洞調律+心臓マッサージ波形の処理後の波形では、除細動適応波形と判断されなかった。
- 心室細動+心臓マッサージ波形の処理後の波形では、除細動適応波形と判断された。

また、心電図波形データを記録している際に、コード等を跨ぐ、あるいはコードを踏むといったことにより、ノイズが発生することがある。このようなノイズについては、心電図波形データの処理は行わずにそのままの波形データが出力されるようにプログラムされている。

3 早期認知システムの実用化に向けた検証 [9,10]

3.1 検証システム (早期認知システムの試作機) の設計・導入

本研究課題では、平成 17 年度～平成 19 年度に杏林大学医学部高度救命救急センターに設置した心電図波形データ収集システム (心電図波形データ、映像データ、および音声データの 3 つのデータを記録される)

[‡]実験を実施している際には、正常洞調律+心臓マッサージ波形の場合などに除細動適応波形と判断されるものもあったが、心電図波形認知アルゴリズムをカスタマイズすることで、誤判断率は、ほぼゼロとなった。

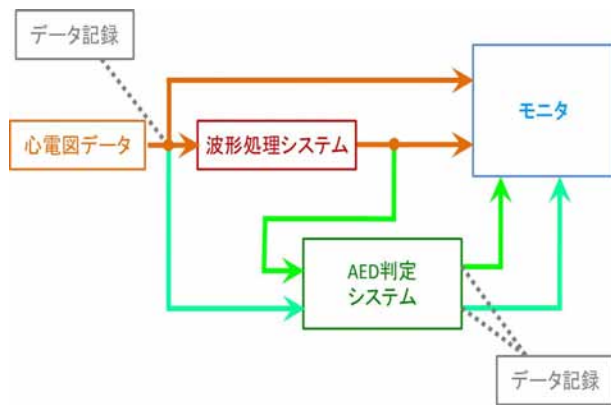


図 3.1: 検証システムの構成

を基に心電図波形認知アルゴリズムを内蔵したシステムと現状の AED に内蔵されている除細動適応波形判定システムを連動させることで心電図波形データの記録、心電図波形の解析、および除細動適応波形判定までの一連の処理をオンラインで実施できる検証システム（早期認知システムの試作機）を医療現場に設置し、提案するシステムの有用性を検証した。すなわち、導入した検証システムでは、次の 4 つのデータが記録される。

- (i). 心電図波形データ
- (ii). 画像データ
- (iii). 音声データ
- (iv). 除細動適応波形判定結果データ[§]

検証システムでは、ある一定時間記録された心電図波形データ（原波形データ）を心電図波形認知アルゴリズム[¶]に基づいて処理し、処理波形データと原波形データを同時にモニター表示することが可能である。更に、原波形データ、処理波形データの双方に対し、除細動を適応すべき心電図波形データか否かを判定し、その結果を表示・記録することもできる。検証システムの構成は、図 3.1 のようになっている。図中、波形処理システムは、心電図波形認知アルゴリズムに基づいて心電図波形データを解析・処理する部分であり、AED 判定システムは、現状の AED に内蔵されている除細動判定アルゴリズムによって、除細動を適応すべき心電図波形か否かを判定する部分である。図 3.1 中の AED 判定システムには、処理波形データのみでなく、原波形データも入力されていることに注意されたい。これは、次のような理由によるためである。検証システムでは、心臓マッサージ施行時に記録される心電図波形データを解析し、心臓マッサージ成分（心臓マッサージによる影響）を除去した心電図波形データ（処理波形データ）が除細動を適応すべき心電図波形か否かの判定を行う。しかしながら、実際の医療現場や AED で

[§]現状の AED に内蔵されている除細動判定システムでの判定結果のデータである。

[¶]心電図波形認知アルゴリズムについては、平成 17～19 年度消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」の成果物であり、詳細については、実施報告書 [5, 6, 7] を参照されたい。

解析開始時刻	所要時間	元波形解析結果	処理波形解析結果
8月20日 14時16分26秒	0.14		
8月20日 14時16分30秒	0.063		
8月20日 14時16分38秒	0.156		
8月20日 14時16分40秒	0.032		
8月20日 14時16分44秒	0.172		
8月20日 14時16分49秒	0.156		
8月20日 14時16分54秒	0.218		
8月20日 14時16分58秒	0.219		
8月20日 14時17分03秒	0.047		
8月20日 14時6分57秒	0.295		
8月20日 14時6分01秒	0.141		
8月20日 14時6分06秒	0.281		
8月20日 14時6分11秒	0.156		
8月20日 14時6分15秒	0.031		
8月20日 14時6分20秒	0.282		
8月20日 14時6分25秒	0.343		
8月20日 14時6分30秒	0.329		
8月20日 14時6分34秒	0.234		
8月20日 14時6分39秒	0.313		
8月20日 14時6分44秒	0.235		
8月23日 13時07分27秒	0.016		
8月23日 13時07分32秒	0.016		
8月23日 13時07分37秒	0.015		

図 3.2: 除細動適応波形判定結果ファイルの一例

は、約 2 分間毎に心電図波形を確認するために蘇生処置を中断し（心臓マッサージ間歇期）、除細動を適応すべきか否かを判定している。このため、本研究課題で提案するシステムの有用性の検証は、処理波形データと心臓マッサージ間歇期の心電図波形データを比較し、その異同を検討することによって行うこととなる。このような理由から、AED 判定システムへの入力を処理波形データと原波形データの 2 チャンネルとしている。また、検証システムにおける除細動適応波形判定結果データは、CSV ファイルとして記録される。記録されるデータは次の通りである。

- 解析開始時刻
- 所要時間
- 原波形判定結果
- 処理波形判定結果

記録された除細動適応波形判定結果ファイルの一例を図 3.2 に示す。なお、原波形データ、および処理波形データの判定結果の数値の意味は、次のとおりである。

- 「1」：除細動を適応すべきでない心電図波形（除細動適応外波形）
- 「2」：除細動を適応すべき心電図波形（除細動適応波形）

3.2 早期認知システムの検証と検証用シミュレータ

3.2.1 早期認知システムの検証

図 3.3 に検証システムにおけるモニター表示の様子（一例）を示す。図中の画面中央の青色の波形が患者から直接得られる心電図波形データ（原波形データ）、赤色の波形が、心電図波形認知アルゴリズムに基づいて解析処理を行うことによって得られる波形データ（処理波形データ）である。それぞれの波形凡例の下部に AED 判定システムからの出力（除細動適応判定結果）が表示される。除細動を適応すべき心電図波形と判定された場合は「○」、そうでない心電図波形の場合は「-」が表示される。画面左下、および右下に表示され



図 3.3: 検証システムにおける PC モニタ

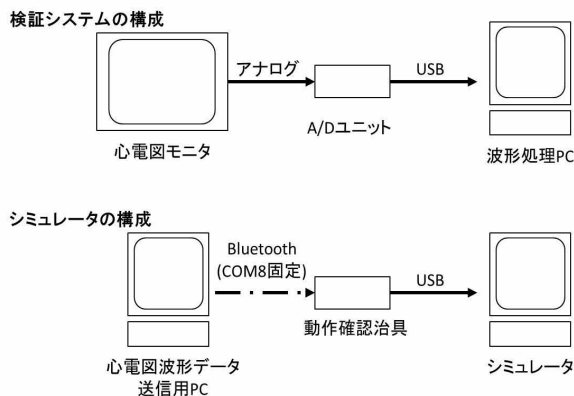


図 3.4: 早期認知システム検証用シミュレータの構成

ている映像は、蘇生処置中の映像であり、心電図波形データとリンクしている。このように記録された映像を確認することにより、除細動を適応すべきか否かを容易に確認できるようになっている。なお、同時に音声も記録されており、音声データも処置の確認における重要な役割を果たしている。

早期認知システムの検証では、記録された心電図波形データから、心臓マッサージ間歇期（心電図波形の確認時）の心電図波形データとその直前、あるいは直後の心臓マッサージ実施時における処理波形データ、および除細動判定結果ファイルの内容を一つ一つ確認して行っている。これは、誤判定の有無を見落とさないためである。

3.2.2 検証用シミュレータの開発

本研究課題で提案する早期認知システムを実用化するためには、医療現場に設置した検証システムによって記録されるデータ、および解析結果を検討し、早期認知システムの中核である心電図波形認知アルゴリズムのカスタマイズ等を行い、より有用で安全性の高いシステムに更新していくことが必要不可欠である。一方、処理時間の検証や動作試験については、むしろ実際の医療現場ではないところで行うことが必要である。すなわち、記録された種々の心電図波形データを読み込



図 3.5: 早期認知システム検証用シミュレータ動作例

んで医療現場と同様に処理を行うことのできるシミュレータが有用である。そこで、本研究課題では、動作試験のみならず、PC上で医療現場での心電図波形データの処理を再現できる早期認知システム検証用シミュレータを開発した。

早期認知システム検証用シミュレータは、検証システムで記録された心電図波形データを読み込むことにより、心電図波形データの解析、除細動を適応すべきか否かの判定を行うこと、すなわち提案するシステムのカスタマイズを行い、その効果を迅速に検証することが可能である。早期認知システム検証用シミュレータの構成を図 3.4 に示す。検証システムが、心電図波形モニタから心電図波形データを入力するのにに対し、早期認知システム検証用シミュレータでは、PCからBluetoothによる通信によって、心電図波形データが入力される。図 3.5 に早期認知システム検証用シミュレータの動作例を示す。除細動を適応すべき心電図波形（除細動適応波形）と判定された場合は、判定が「○」と表示され、除細動を適応すべきでない心電図波形（除細動適応外波形）と判定された場合、判定が「-」と表示される。なお、早期認知システム検証用シミュレータで行っている処理の詳細については、文献 [10] を参照されたい。

4 早期認知システム検証結果と実用化^[9,10]

4.1 検証システムから得られた結果

本研究課題では、平成 17 年度から 3 カ年にわたって実施した研究課題「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」の成果に基づき、心電図波形データの記録、心電図波形の解析、および除細動適応波形判定までの一連の処理をオンラインで実施できる検証システム（早期認知システムの試作機）を医療現場に設置し、提案するシステムの臨床応用、および実用化に向けた検証を行った。これにより、下記のことが明らかになった。

- 検証システムの導入により、解析結果の評価が医療従事者のみしか行えなかったものが、除細動適応判定結果からも評価することが可能となった。

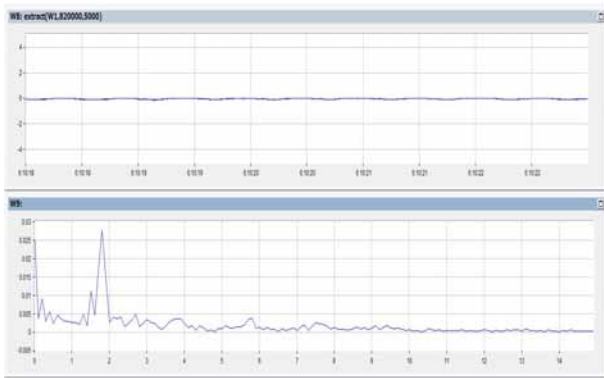


図 4.1: 心臓マッサージの効果が見られない場合の心電図波形データとその周波数特性の一例

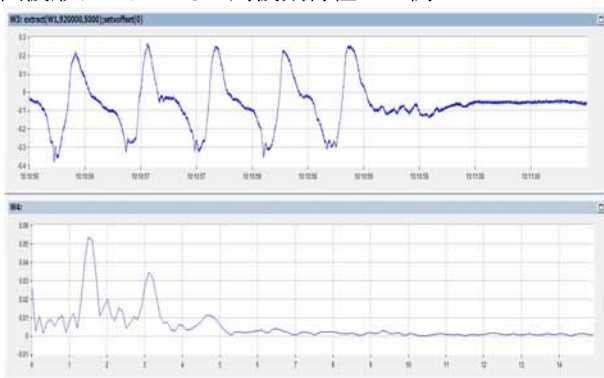


図 4.2: 基線 (ゼロレベル, GND レベル) に沿った部分が見られる心電図波形データとその周波数特性の一例

- 早期認知システム検証用シミュレータにより、医療現場と同等の処理を事前に確認すること、および事後にも同様な評価を行うことが可能となった。
- 新たに導入した検証システムでの記録データを確認すると、非常に大きなノイズが混入したり、心臓マッサージの影響が心電図波形に現れていない場合を除き、確かに心臓マッサージによる影響を除去していることが確認された。

これらの結果から、従来のように心臓マッサージを中断することなく、除細動を適応すべき波形をリアルタイムで早期に認知することが可能であり、提案するシステムの有用性が確認できた。また、早期認知システムの中核をなす心電図波形認知アルゴリズムに対してもカスタマイズを継続して実施し、特に解析停止条件について、下記のような対策を講じた。

- 解析停止条件
 - － 振幅情報に対する制約
 - － 周波数情報に関する制約
 - － 基線と考えられる部分を認知するための論理の付加
- 心臓マッサージ実施中にも関わらず、その効果が見られない場合 (図 4.1 参照) に対する対策

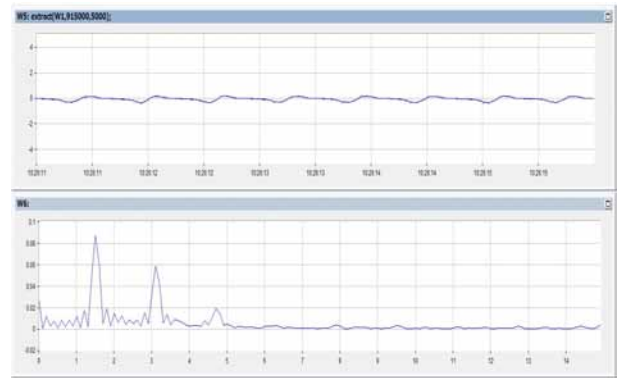


図 4.3: Asystole 直前の心臓マッサージ実施時の心電図波形とその周波数特性の一例

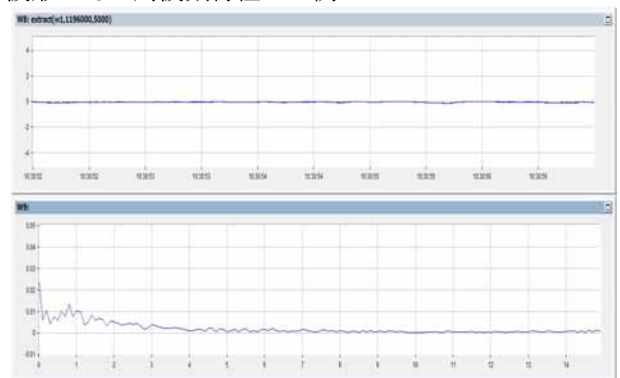


図 4.4: Asystole とその周波数特性の一例

- 基線 (ゼロレベル, GND レベル) に沿った部分が見られる心電図波形データ (図 4.2 参照) に対する対策
- Asystole と考えられる心電図波形データ (図 4.3, 4.4 参照) を識別するための対策

これにより、従来よりも高精度で心臓マッサージの影響を除去することが可能となった。

4.2 早期認知システムの実用化

本研究課題では、実用化を念頭に、早期認知システムの実用機的设计、すなわち仕様の検討を実施した。実用機的设计について、決定済のものとは今後検討を要する主なものは、以下のとおりである¹⁾。

- システム概観, サイズ (筐体) 検討
- 動作概要
- システムの基本機能
 - 解析基本機能等と解析停止条件
 - 使用方法の確立, 使用上の注意事項, および使用方法を誤った場合の対策

¹⁾ほとんどの部分で決定済, あるいは一部決定済であり, 今後継続してメーカーを含めた検討を進める予定である。

- (iv). システムの構造, ハードウェア構成
 - モジュール構成と各モジュールの機能
 - AED との関係部分 (インターフェース) 等
- (v). システム動作モード
- (vi). ソフトウェア構成
 - プログラム仕様, プログラムフロー
 - プログラム関連図
- (vii). ファイル設計
 - データ仕様
 - 入出力ファイルフォーマットとフォルダ管理
- (viii). 動作試験計画
 - 機能別テスト, 全システムテスト
 - テスト項目策定

5 むすび

本研究課題は, 下記に示す全 3 段階で計画され, 平成 20 年度から平成 22 年度までの 3 カ年で実施した研究である. 本研究課題では, 心電図波形データ, 映像データ, 音声データの記録, 解析処理, および除細動判定がオンラインで行えるシステム (早期認知システムの試作機) を医療現場に設計・導入し, その有用性, および安全性を検証した.

- 第 1 段階: (実施年度: 20 年度)
心電図波形認知アルゴリズムの臨床応用のためのシステムの設計・導入, および高性能シミュレータ (SimMan[®]: レールダル社製) を用いた検証作業
- 第 2 段階: (実施年度: 21 年度, 22 年度)
早期認知システムの臨床応用, および検証作業
- 第 3 段階: (実施年度: 22 年度)
早期認知システム (検証システム) の開発作業, および検証作業

本研究課題では, 提案する早期認知システムの試作機 (検証システム) を医療現場に設置し, 臨床応用, および実用化を検討した. 有用性, 安全性については, 概ね良好な結果が得られているが, 解析停止条件の仕様化や AED 判定システムによる除細動判定結果との整合性を継続して検討する必要がある. また, 処理の高速化についてもこれまでに検討しているが, 実装を考えた場合, PC のような処理速度は望めないため, あわせて検討する必要がある. さらに, 実用化については, ユーザが使用する際の禁止事項・注意事項について検討するとともに, 装置のコンパクト化・低価格化も念頭に進める必要がある. 提案する早期認知システムが実現されれば, 「絶え間ない心臓マッサージ」をはじめ様々な蘇生処置を講じながらも安全かつ確実に除細動適応波形を判断できるため, 心肺停止患者の蘇生率向上に大きな効果をもたらすことが期待される.

謝辞

本研究課題の推進にあたり, 終始適切な御助言を賜りました萩野剛二郎電気通信大学名誉教授に心より深く感謝の意を示します. また, 本研究課題は, 総務省消防庁消防防災科学技術推進制度の助成によるものであり, ここに改めて謝意を表します.

参考文献

- [1] M. S. Eisenberg and T. J. Mengert, “Cardiac resuscitation”, N. Engl. J. Med., vol.344, pp.1304–1313, 2001.
- [2] 岡田 和夫, 青木 重憲, 金 弘: “ACLS プロバイダーマニュアル”, American Heart Association Inc., 2004.
- [3] American Heart Association, “2005 American Heart Association for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care”, Circulation, Vol.112, pp.35–36, 2005.
- [4] American Heart Association, “ACLS Provider Manual” (in Japanese), Synergy International, Inc., 2008.
- [5] 山口芳裕, 嶋崎修次, 萩野剛二郎, 大屋英稔, 広木強, 平澤一浩, 桐岡茂, ヘラス・クマラゲ・ウパーリ・サマランシガ, 岡井貴之, “平成 17 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心配蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」”, 2006.
- [6] 山口芳裕, 嶋崎修次, 萩野剛二郎, 大屋英稔, 広木強, 平澤一浩, 桐岡茂, ヘラス・クマラゲ・ウパーリ・サマランシガ, 岡井貴之, “平成 18 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心配蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」”, 2007.
- [7] 山口芳裕, 嶋崎修次, 萩野剛二郎, 大屋英稔, 広木強, 平澤一浩, 桐岡茂, ヘラス・クマラゲ・ウパーリ・サマランシガ, 岡井貴之, “平成 19 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心配蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発」”, 2008.
- [8] 山口芳裕, 嶋崎修次, 萩野剛二郎, 大屋英稔, 桐岡茂, 岡井貴之, “平成 20 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心配蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化に向けた検証」”, 2009.
- [9] 山口芳裕, 嶋崎修次, 大屋英稔, 桐岡茂, 岡井貴之, “平成 21 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心配蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化に向けた検証」”, 2010.
- [10] 山口芳裕, 宮内洋, 大屋英稔, 桐岡茂, 岡井貴之, “平成 22 年度総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度研究課題「心配蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化に向けた検証」”, 2011.
- [11] Laerdal Medical,
Available <http://www.laerdal.com/jp/>

第6 救急・救助業務の高度化

6. 5 メディカルコントロール体制における救急業務の安全性・確実性の向上に関する研究

研究課題名	メディカルコントロール体制における救急業務の安全性・確実性の向上に関する研究
研究実施期間	平成 22 年 8 月 2 日（契約締結時）～平成 23 年 2 月 28 日
配分額(千円)	18,200 千円
研究代表者	谷川 攻一
所属機関	国立大学法人 広島大学 広島大学大学院医歯薬学総合研究科病態薬物治療学講座（救急医学）
研究体制	学・官・医療機関
研究概要	救急救命士が行う気管挿管におけるエアウェイスコープ(Pentax 社、以下 AWS)の有効性と安全性について検討した。 対象となった救急救命士は、新規気管挿管実習救急救命士（以下、新規救命士）5 名、再教育気管挿管認定救急救命士（以下、認定救命士）5 名の合計 10 名であった。救急救命士一人当たり 5 名以上の手術予定成人患者を対象として AWS を用いた気管挿管が試行された。AWS を用いた患者は、新規救命士が 27 名、認定救命士が 26 名の合計 53 名であった。
研究成果の活用事例	AWS による気管挿管成功率は新規救命士が 96%、認定救命士は 100%であった。AWS による気管挿管成功までの試行回数は認定救命士の方が明らかに少なかった。AWS による気管時間は、新規救命士の方が短時間であった。合併症は報告されなかった。以上より、AWS は少ない実施経験数で気管挿管を可能とし、病院前救護における気管挿管器具として適していると判断される。
応用の方向性	AWS のビデオ端子を用いて、AWS の映像を遠隔地（例えば、医療機関に常駐する指示医師）に伝送することにより、医師よりリアルタイムでアドバイスを受けることができる。経験の少ない救命士が AWS を用いて気管挿管する場合にも、映像伝送することによって安全に気管挿管を実施することが可能である。
研究発表の状況等	1, エアウェイスコープを用いた救急救命士による気管挿管. 日本麻酔科学会第 58 回学術集会（平成 23 年 5 月 19 日） 2, Effects of clinical experiences on successful tracheal intubation using AirwayScope, a rigid type video-laryngoscope. Society of Critical Care Medicine' s 41th critical care congress, Houston, USA, 2012
知的財産権の出願・登録状況等	特になし
当該研究に対する今後の展開、意見等	救急救命士が AWS を使用し、迅速、安全かつ確実に気管挿管を実施できることを明らかにしたことにより、病院前救護においてビデオ喉頭鏡の使用が推進されることになる。結果として、気管挿管に係わる合併症の削減と患者予後の改善が期待される。

メディカルコントロール体制における 救急業務の安全性・確実性の向上に関する研究

○谷川 攻一¹

Koichi Tanigawa

研究課題の要旨

救急救命士が行う気管挿管におけるエアウェイスコープ (Pentax 社、以下 AWS) の有効性と安全性について検討した。気管挿管実施者は、新規に手術室における気管挿管実習を予定された救急救命士 (新規救命士) と再教育のための気管挿管認定救急救命士 (認定救命士) である。AWS に関する事前講習を行った後に手術予定患者に対して AWS による気管挿管を実施した。10 名の救急救命士 (新規救命士 5 名、認定救命士 5 名) が 53 名の患者 (新規救命士 27 名、認定救命士 26 名) に対して AWS を用いた気管挿管を実施した。AWS による気管挿管成功率は新規救命士が 96%、認定救命士は 100%であった。AWS による気管挿管成功までの試行回数は認定救命士の方が明らかに少なかった。AWS による気管挿管時間は、新規救命士の方が短時間であった。合併症は報告されなかった。以上より、AWS は少ない実施経験数で気管挿管を可能とし、病院前救護における気管挿管器具として適していると判断される。

1. はじめに

気管挿管では、マッキントッシュ型喉頭鏡を用いて喉頭展開し、声門を直視しながら気管チューブを挿入するのが一般的である。しかしながら、安全に実施するためには相当の熟練を要する。特に、救急領域における緊急気管挿管では、さまざまな制約が存在するため、手術室でのそれに比して難易度は高い。欧米においても病院前救護での食道誤挿管など、不適切な挿管が問題となっており、従来、このような致死性の合併症を防止するために、さまざまな気管挿管器具や気管挿管確認方法が提唱、開発されてきた。これらの気管挿管器具として AirwayScope (Pentax 社、日本、写真1、以下 AWS) の有用性が手術室や救急医療の現場において報告されている。AWS は実施者の技量によらず迅速かつ安全に気管挿管する目的で開発された器具である。従来型喉頭鏡とは異なり、独特の L 字型のブレード形状を有し、また、CCD カメラを備えたビデオ喉頭鏡である。



写真1 エアウェイスコープ (Pentax 社)

AWS については、従来型喉頭鏡として一般的に用いられているマッキントッシュ型喉頭鏡との比較検討調査は数多く存在し、その安全性と有効性が報告されている¹⁻⁵⁾。また、気管挿管困難例に対してもその有用性が多々報告されている^{6, 7)}。我々が実施した臨床研究では、救急患者を対象とした非熟練者 (臨床研修医) と熟練医師 (救急科スタッフ) による AWS を用いた気管挿管において、両群間において挿管成功率および気管挿管までの時間に有意差がないことが明らかとなっている^{8, 9)}。また、高性能シミュレータを用いた挿管困難を想定した研究では、非熟練者 (医学部生) による従来型喉頭鏡と AWS を用いた気管挿管の成功率および気管挿管までの時間を比較したところ、AWS は従来型喉頭鏡と比較して、あらゆる挿管困難事例において、有意に挿管成功率が高く、気管挿管までの時間が有意に短く、歯牙損傷の危険性が少ないことを報告した¹⁰⁾。これらの研究は、非熟練者が行う気管挿管において、従来型喉頭鏡と比較して、AWS による気管挿管はより安全かつ確実であることを示唆している。

一方、我が国において救急救命士は平成 16 年より心肺停止状態の傷病者に対する従来型喉頭鏡を用いた気管挿管を行うことが認められている。救急現場での気管挿管を実施するために救急救命士は病院実習にて 30 症例の気管挿管事例を経験することになっている。しかしながら、活動現場での気管挿管はしばしば困難であり、30 症例という経験数は十分とは言えない。加えて病院実習終了後に 1 名の救急救命士が実際の気管挿管を実施する件数は年間数例未満にとどまっておき、高度な技術を要する従来型喉頭鏡による気管挿管の技能維持が極めて困難であることが懸念されてきた。結果として重篤な合併症も報告されており、気づかれることのない食道挿管事例も発生している。こうした中で、より安全かつ確実に気管挿管が行えるビデオ喉頭鏡が注目され、救急救命士など非熟練者による使用が推奨されてきた。

(所属機関)

1 広島大学大学院救急医学

AWSは薬事承認器具であり、従来型マッキントッシュ型喉頭鏡と比較してその安全性と有効性は確立しており、手術室および日常救急診療において幅広く使用されている気管挿管補助器具である。総務省消防庁における平成21年度の救急業務高度化推進検討会の作業部会（メディカルコントロール作業部会）ではビデオ喉頭鏡としてのAWSの有効性が高く評価されるとともに、AWSなどのビデオ喉頭鏡を用いることにより、より効率的に安全で確実な救急業務を実現する体制を確保していくことが提言されている¹¹⁾。

救急救命士がAWSを使用し、迅速、安全かつ確実に気管挿管を実施できることを明らかにすることにより、病院前救護においてAWSの使用が推進されることになる。結果として、気管挿管に係わる合併症の削減と患者予後の改善が期待される。

2. 対象と方法

本研究については研究実施施設での倫理審査委員会の承諾の下に患者から書面による同意取得を得て行った。

救急救命士による気管挿管実習の同意が得られた成人手術予定患者を対象とした。今回研究参加した救急救命士は、従来型喉頭鏡による気管挿管技能の習得を目的として所属消防局長より推薦を受けた救急救命士である。彼らは既に十分な現場活動実績を有し、かつ気管挿管に関する基礎講習の修了者である。

手術室でのAWS使用に先立って、すべての救急救命士はAWSに関する講義、ビデオ学習そしてマネキンを用いたシミュレーション訓練から構成されるAWS事前教育（表1, 表2）を受けた。

1時間目	AWSについての知識
2時間目	(DVD、講義)
3時間目	挿管人形を用いた講義と実習
4時間目	
5時間目	事例提示によるシミュレーション実習
6時間目	
7時間目	試験

表1 AWS事前教育カリキュラム

AWS学習項目

- 1, 気道のしくみ(DVD、講義)
- 2, AWSの構造と特徴(DVD、講義、実習)
- 3, マッキントッシュ型喉頭鏡との比較(DVD、講義、実習)
- 4, 基本的手技(DVD、実習)
 - 1) 患者体位、気管挿管の準備
 - ・患者体位
 - ・バッテリーの確認
 - ・イントロックの装着
 - ・気管チューブの準備
 - ・気管チューブ装着
 - ・口腔内吸引
 - 2) 挿管基本操作
 - ①AWSの保持
 - ②開口操作
 - ③挿入操作
 - ④披裂部確認
 - ⑤声門部確認
 - ⑥気管チューブ挿入
 - ⑦挿管チューブ位置確認
 - ⑧イントロックの抜去
 - 3) 気管挿管時のポイントとトラブル対策
 - ・イントロックの口腔内挿入困難
 - ・口腔内分泌物、吐物、出血への対応
 - ・イントロック先端の位置異常
 - 4) 注意すべき合併症と予防
 - ・食道挿管の予防と対応
 - ・歯牙損傷
 - ・口腔内裂傷

表2 AWS学習項目一覧

【手術室における実習】

救急救命士に対する気管挿管実習要綱を遵守した気管挿管を実施した(以下、①から⑤)。ただし、気管挿管に用いる挿管補助器具としてはAWSを用いた。

- ① 通常の麻酔導入と同様に、心電図モニター、血圧、SpO₂ 等生体監視モニター可にて麻酔導入を行う。
- ② 適切な麻酔深度が得られ、バッグマスクによる人工呼吸により適切な換気が行われ、循環が安定していることを確認する。
- ③ 気管挿管にはAWSを使用する。
- ④ 挿管時はニュートラルポジションを基本とする。
- ⑤ 指定された評価項目を記録する。

*1 回目の挿管の試みにて成功しない場合で、患者の状態が許す場合には、再挿管を試みる。AWSで2回の試行にても気管挿管ができない場合、従来の喉頭鏡もしくはその他の代替方法へ変更を考慮する。他の装置に変更する場合にはその理由を記載する。

【評価項目】

1) 被験者特性 (手術予定患者) の評価項目

- ・性別, 年齢, 身長, 体重, 診断名
- ・Mallampati 分類
- ・Cormack グレード

2) 観察・検査・評価項目

挿管時間 (秒) はAWSの先端が歯牙を越えた時から計測し, 以下の時刻を記録する。

- ① AWSの先端が歯牙を越えた時刻
 - ② 声門部が確認された時刻
 - ③ 気管チューブ先端が声門部を通過した時刻
 - ④ 人工呼吸を再開し胸郭挙上が確認された時刻
- ・適切な声門部視野や気管挿管チューブの挿入に際して, AWSの再挿入やブレードの深さの調節を行った回数を記録する。
 - ・AWSのブレードが歯芽を圧迫した場合, その回数を記録する。
 - ・気管挿管の成否を記録する。失敗した場合にはその理由を記録する。
 - ・気管挿管実施中, 抜管後に認められた合併症を記録する。

1回目の気管挿管にて挿管できなかった場合で2回目に気管挿管された場合は, 2回目の記録を記入する。

3. 結果

今回の研究では, 10名の救急救命士が参加した。このうち, 5名は新規の気管挿管実習を予定された救急救命士が, 5名は既に気管挿管認定を受けた再教育実習のために病院実習を受けた救急救命士であった。彼らはそれぞれ少なくとも5名以上の手術予定患者に対してAWSを用いた気管挿管を実施した (表4)。

	実施者数	対象患者数
新規の気管挿管実習救急救命士	5	27
再教育気管挿管認定救急救命士	5	26
計	10	53

表4 救急救命士背景と対象患者数

気管挿管成功率は, 98% (52例中51例) であった。新規救命士が試みた1例において, 食道挿管が発生し, 担当医の判断で気管挿管の試みが中止された。新規救命士では1回目の試みで気管挿管が成功した例は25例中23例であり, 認定救命士と比較して, 1回目の成功率は有意に高かった (表5)。

手術室実習評価表		救急救命士番号:	
実施日	平成 年 月 日		
被験者特性 (性別: [M F], 年齢: 歳, 身長: cm, 体重: kg)			
診断名:			
Mallampati分類: I II III IV			
最大開口幅 (唇部導入前, 仰臥位で計測)	mm, あるいは 備注		
気道確保生体監視パラメータ	1回目 HR: /分, 血圧: /mmHg, SpO2: % 2回目 HR: /分, 血圧: /mmHg, SpO2: %		
項目	1回目	2回目	備注
AWSの先端が歯牙を越えた時刻	開始ゼロ秒	開始ゼロ秒	備注: 観察者はAWSの先端に隣接するマウスは行かない。観察者の鼻先が接触する場合は認めない。
声門確認時刻	秒	秒	AWSで喉頭入口を視認できるまで一旦挿入し, そのままブレードを引いた後に声門を確認する。
気管チューブ挿入時刻	秒	秒	
胸郭挙上確認時刻	秒	秒	AWSを挿入した直後に胸郭を挙上し, 聴音を聴取, 聴取する。
AWS操作回数	回	回	適切な声門部視野の確保や気管チューブの挿入に際してAWSのブレードの調節を行った回数。
ブレードによる歯牙圧迫回数	回	回	ブレードによって歯牙を圧迫した場合にその回数を記載。圧迫した場合はその場合のみ記載。
気道確保生体監視パラメータ	1回目 HR: /分, 血圧: /mmHg, SpO2: % 2回目 HR: /分, 血圧: /mmHg, SpO2: %		
気管挿管の成否	1回目で成功 2回目で成功 否	AWSで2回試行して気管挿管できない場合は挿管医が気管挿管を行う。	
失敗した場合の原因			
実施中合併症	有 無		
Cormack分類	Grade		
挿管医経験	I II III IV		
実習生経験	I II III IV		
気道合併症			
鼻, 舌の異常	有 無		
歯牙の異常	有 無		
喉頭, 咽頭の異常	有 無		
気道の異常	有 無		
その他の異常	有 無		
挿管医手技総合評価 (良い方が点数が高い):	VAS 点		
VAS定規	0 100		
実習後挿管による評価判定	良・普通・要努力		
気管挿管チューブの種類とサイズ	標準, スパイラル, RAE ID= mm		

表3 手術室実習評価表

気管挿管成功までの試行回数	1回目	2回目	3回目	不成功	成功率
新規の気管挿管実習救急救命士	23*	2	0	1	96%
再教育気管挿管認定救急救命士	13	11	2	0	100%
計	36	13	2	1	98%

表5 救急救命士背景と気管挿管成功までの試行回数

* p<0.01 vs. 再教育救命士

新規気管挿管実習救急救命士においては, 1例の中止例あり。

気管挿管に係わる必要時間では, T1, T2, T3のいずれの時間においても, 新規救命士の方が短く, チューブ挿入までの時間は認定救命士と比較して有意に短時間であった。

	T1	T2	T3
新規救命士による気管挿管 (n:26)	22.6±17.9	36.6±25.5*	63.5±30.1
再教育救命士による気管挿管 (n:26)	33.6±24.9	53.4±25.4	69.0±22.7
計(n:52)	25.7±20.6	41.2±26.4	65.1±28.1

表.6 気管挿管に関わる必要時間 (秒)

* p<0.05 vs. 再教育救命士

T1 : AWS イントロクの口腔内挿入から Lock on までの時間 (秒)

T2 : チューブ挿入までの時間 (秒)

T3 : 最初の人工呼吸までの時間 (秒)



写真2 AWSによる咽頭・喉頭画像

本研究中に AWS による気管挿管による合併症は発生しなかった。

7. 考察

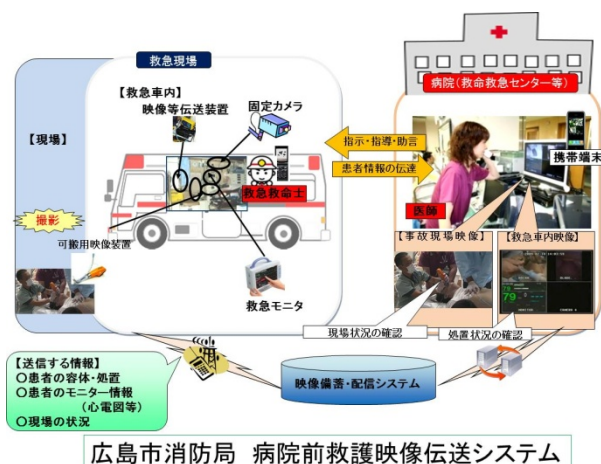
AWS による気管挿管成功率は新規救命士が 96%、再教育救命士が 100%であった。つまり、従来型喉頭鏡を用いた気管挿管の経験がない救命士においても、AWS を用いることにより、気管挿管成功率が極めて高いことが明らかとなった。従来型喉頭鏡を用いた気管挿管の成功率が 80%となるには気管挿管実施経験数が 57 例必要であるという報告と比較した場合に、少ない実施経験症例数で高い成功率を達成する AWS の気管挿管器具としての有用性は明確である。

一方、AWS による気管挿管までの試行回数は新規救命士の方が明らかに少なかった。また、AWS による声門部視認、気管チューブ挿入、そして換気開始までの時間は、いずれも新規救命士が認定救命士より短時間であった。こうした事実は、AWS の使用方法が従来型マッキントッシュ型喉頭鏡の扱いと異なることを示唆している。これは、一つには AWS ブレードの独特の形状によるものと考えられる。また、従来型マッキントッシュ型喉頭鏡ではブレード先端を喉頭蓋谷に当てる必要があるのに対して、AWS では直接に喉頭蓋を持ち上げるという操作の違い

も、従来型マッキントッシュ型喉頭鏡の使用に慣れた認定救命士が新規救命士と比較して、試行回数が多く、また、挿管時間が延長した背景と考える。

今回の調査では、少ない実施例数にも関わらず、新規救命士、認定救命士のいずれにおいても、AWS による気管挿管成功率は極めて高いことが示された。従って、新規、既認定を問わず、救急救命士が AWS を用いて気管挿管を行うことは理にかなっていると言えよう。

AWS を使用するのに求められる実施経験数は 5 例程度の病院実習症例で十分と考えられる。ただし、AWS の使用に際しては、従来型喉頭鏡との違いに留意した事前教育が重要であることも示唆された。また、AWS を用いた気管挿管実施に際しても、従来型喉頭鏡の場合と同じく、適切なオンラインメディカルコントロールが前提である。AWS のもう一つの特徴は、本体にビデオ端子が付属していることである。このビデオ端子を用いて、AWS の映像を遠隔地 (例えば、医療機関に常駐する指示医師) に伝送することにより、医師よりリアルタイムでアドバイスを受けることができる。経験の少ない救命士が AWS を用いて気管挿管する場合にも、映像伝送することによって安全に気管挿管を実施することが可能である。広島市では既に運用されている救急画像伝送システムを用いることにより、AWS を用いた気管挿管時に指示医師に気管挿管映像を伝送する体制を構築している。



まとめ

- AWS による気管挿管成功率は新規救命士が 96%、認定救命士が 100%であった。
- AWS による気管挿管成功までの試行回数は新規救命士の方が認定救命士より明らかに少なかった。
- AWS による声門部視認、気管チューブ挿入、そして換気開始までの時間は、いずれも新規救命士が認定救命士より短時間であった。

【参考文献】

1. Sakles JC, Rodgers R, Keim SM. Optical and video laryngoscopes for emergency airway management. *Intern Emerg Med* 2008;3(2):139-43.
2. Koyama J, Aoyama T, Kusano Y, Seguchi T, Kawagishi K, Iwashita T, Okamoto K, Okudera H, Takasuna H, Hongo K. Description and first clinical application of AirWay Scope for tracheal intubation. *J Neurosurg Anesthesiol* 2006;18:247-50.
3. Miki T, Inagawa G, Kikuchi T, Koyama Y, Goto T. Evaluation of the Airway Scope, a new video laryngoscope, in tracheal intubation by naive operators: a manikin study. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2007 ;51(10):1378-81.
4. Suzuki A, Toyama Y, Katsumi N, Kunisawa T, Sasaki R, Hirota K, Henderson JJ, Iwasaki H. The Pentax-AWS(®) rigid indirect video laryngoscope: clinical assessment of performance in 320 cases. *Anaesthesia.* 2008 ;63(6):641-7.
5. Enomoto Y, Asai T, Arai T, Kamishima K, Okuda Y. Pentax-AWS, a new videolaryngoscope, is more effective than the Macintosh laryngoscope for tracheal intubation in patients with restricted neck movements: a randomized comparative study. *Br. J. Anaesth,* 2008; 100: 544–8.
6. Asai T, Liu E, Matsumoto S, Hirabayashi Y, et al. Use of the Pentax-AWS® in 293 Patients with Difficult Airways. *Anesthesiology* 2009; 110:898–904.
7. Hirabayashi Y, Seo N. Airway Scope: early clinical experience in 405 patients *J Anesth* 2008. 22:81–85.
8. Sadamori T, Kusunoki S, Ishida M, Otani M, Tanigawa K. Video laryngoscopy for emergency tracheal intubation during chest compression. *Resuscitation* 2008; 77: 155-156.
9. Sadamori T, Kusunoki S, Otani T, Ishida M, Masuda R, Tamura T, Takeda T, Tsumura R, Shokawa T, Kondo T, Sakai H, Iwasaki Y, Yamanoue T, Hirohashi N, Tanigawa K. Airway Scope for emergency intubations: usefulness of a new video-laryngoscope. *Hiroshima J Med Sci.* 2008; Dec; 57:99-104.
10. Liu L, Tanigawa K, Kusunoki S, Tamura T, Ota K, Yamaga S, Kida Y, Otani T, Sadamori T, Takeda T, Iwasaki Y, Hirohashi N. Tracheal Intubation of a Difficult Airway Using Airway Scope, Airtraq and Macintosh Laryngoscope: A Comparative Manikin Study of Inexperienced Personnel. *Anesthesia & Analgesia.* 2010; 110:1049-55
11. 総務省. 第2回救急業務高度化推進検討会報告書. 平成22年3月12日

第6 救急・救助業務の高度化

6. 6 救急車内傷病者用輸送ベッドの免震装置の開発

研究課題名	救急車内傷病者用輸送ベッドの免震装置の開発
研究実施期間	平成 22 年 8 月 1 日から平成 24 年 3 月 31 日
配分額(千円)	平成 22 年度 809,000 円 平成 23 年度 1,058,000 円
研究代表者	新谷真功
所属機関	福井大学
研究体制	学、官
研究概要	緊急車両の中で、救急車は、病人、けが人を乗せて医療機関等に搬送する大切な車両であるが、搬送中には、路面の凸凹によって、振動が傷病者に伝わり、発進・停止の時には慣性力が、交差点などを曲がる場合は、傷病者に遠心力が働く。それらは傷病者にとって、不快であり、時には車酔いを引き起こす。そこで、本研究では路面からの振動、発進・停止の時の慣性力及びカーブ時の遠心力を傷病者に伝えないような免震装置を開発し、実用化することを目的にする。免震装置は上下方向には圧縮ばねと摩擦力を利用して、加速度の低減を行い、水平方向には振り子型慣性力抑制装置により、慣性力や遠心力の抑制を行う構造となっている。実験の結果より、加速度値は、水平方向の遠心力、慣性力 0.4G を 0.2G 程度まで低減しており、上下方向の加速度を 0.25G まで抑えていることがわかった。
研究成果の活用事例	今までの研究成果より、性能向上のために装置の改良が必要であることがわかりました。従って、研究成果を活用した製品化・実用化の予定は今のところありません。
応用の方向性	プロトタイプの免震装置を製作した。基礎実験を行い、免震性能や問題点を抽出した。免震性能を上げて行くために装置の改良を行っていく。さらに、問題点を解決していき、装置の実用化のために繰り返し、実験を行っていく。
研究発表の状況等	救急ベッド用の免振装置の開発 新谷真功、平井義人、小川勇治 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション (S I) 部門講演会 S I 2 0 1 0 講演概要集 (2010. 12. 23-25、仙台、東北大学川内キャンパス) 2H3-1, pp. 233.

	<p>緊急自動車用の交通振動除去のための免震装置に関する研究 新谷真功、平井義人</p> <p>日本機械学会北陸信越支部第 40 回学生員卒業研究発表講演会 (2011. 3. 4、上田、信州大学繊維学部発表)</p> <p>J103012 緊急自動車用の交通振動除去のための免振装置に関する研究 新谷 真功(福井大), 小川 勇治, ○平井 義人</p> <p>日本機械学会 D & D 2011 (2011 年 9 月 10 日から 14 日、東京、東工大) 1407 救急車用防振ベッドの三次元免震装置に関する研究 新谷真功(福井大), 平井義人(福井大), 小川勇治(福井大)</p> <p>日本機械学会北信越支部第 49 期総会・講演会 (2012 年 3 月 10 日、金 沢、金沢工大)</p> <p>TuA08-06 Study on two dimensional base-isolating device for sick person's bed in ambulance Masanori SHINTANI(University of Fukui), Yoshito HIRAI, Yuji OGAWA</p> <p>SICE Annual Conference 2012, Akita University, Akita, Japan August 20-23, 2012</p> <p>J102023 救急車用防振ベッドの二次元免震装置に関する研究 新谷 真功(福井大), ○平井 義人, 小川 勇治</p> <p>日本機械学会年次大会 (2012 年 9 月 9 日から 12 日、金沢、金沢大学) 407 救急車用防振ベッドの二次元免震装置に関する研究 新谷 真功(福井大), ○平井 義人, 小川 勇治</p> <p>日本機械学会 D & D 2012 (2012 年 9 月 18 日から 21 日、横浜、慶應義 塾大学)</p>
知的財産権の出 願・登録状況等	特にありません。
当該研究に対する 今後の展開、意見 等	今、プロトタイプの免震装置の改良を行っています。さらに、プロトタイプより 実用的な大きさの 2 号機的设计・製作を行っています。さらに、今後、防振ベ ッドを製作している企業に見学に行き、意見交換をしながら、実用化の目処 を立てていきたいと思っています。

救急車内傷病者用輸送ベッドの免震装置の開発

○新谷真功¹
Masanori Shintani

研究課題の要旨： 緊急車両の中で、救急車は、病人、けが人を受けて医療機関等に搬送する大切な車両であるが、搬送中には、路面の凸凹によって、振動が傷病者に伝わり、発進・停止の時には慣性力が、交差点などを曲がる場合は、傷病者に遠心力が働く。それらは傷病者にとって、不快であり、時には車酔いを引き起こす。そこで、本研究では路面からの振動、発進・停止の時の慣性力及びカーブ時の遠心力を傷病者に伝えられないような免震装置を開発し、実用化することを目的にする。免震装置は上下方向には圧縮ばねと摩擦力を利用して、加速度の低減を行い、水平方向には振り子型慣性力抑制装置により、慣性力や遠心力の抑制を行う構造となっている。実験の結果より、加速度値は、水平方向の遠心力、慣性力 0.4G を 0.2G 程度まで低減しており、上下方向の加速度を 0.25G まで抑えていることがわかった。

キーワード： Ambulance, Base-isolating device, Friction force, Reduction of response acceleration, Pendulum type inclination chassis

1. 緒言

現在、救急車で搬送される傷病者は年間 470 万人、その中でも重症および中等症な脳疾患、心疾患などの傷病人は 40 万人になる。これらの傷病者は少しの振動でも病状が悪化する可能性がある。救急車搬送中には、ベッド上の傷病者は路面表面の凸凹、路面のくぼみ、踏切のレール等による上下方向に振動を受ける。水平方向には発進・停止時に慣性力を受ける。さらに、交差点やカーブ等を曲がる時に遠心力を受ける。救急車用防振架台の除振機構は、磁力や油圧、空気圧サスペンションを用いたものが大半を占めているが¹⁾、上下方向の振動の免震を行っているが、水平方向の慣性力、遠心力の免震は行っていない。そこで、上下方向の振動だけでなく、水平方向の慣性力、遠心力も低減する免震装置の開発が望まれる。

そこで、本研究は、精密機器や美術品等をトラックで輸送する際に転倒防止装置付き除振台を参考に²⁾、上下方向の振動と水平方向の発進・停止時の慣性力を低減する 2 方向装置の開発を行うことで、傷病者が受ける振動の低減を目的としている。本研究の装置は、上下方向にはばねと摩擦力による振動低減機構を、水平方向には振り子型傾斜車台を用いた慣性力抑制機構によって構成されている。本研究は、救急車が走行している時の測定した上下方向の振動や水平方向の慣性力をもとに解析を行い、免震装置の設計、製作、実験、評価を行っている。

2. 免震装置

2.1 概要

本研究では、救急車に積載する前の基礎実験装置として小型の免震装置の設計試作、走行実験、解析を行ったことを報告する。想定積載質量は傷病者とストレッチャ

ーを含め約 100kg であるが、今回試作した装置の積載質量は 50kg としている。また、水平方向の慣性力・遠心力は車両の前後左右の 2 方向に発生するが、本研究では車両進行方向の 1 方向の発進・停止の慣性力抑制を行う。救急車のベッドにかかる外力として、カーブ等を曲がる時に生じる遠心力は、ベッド上の身体を左右に揺する。この左右に揺する外力は、発進・停止の慣性力による身体を前後に揺する外力よりも影響が小さいとして、遠心力方向の力については、今回考えないとする。また、路面表面の凸凹、路面のくぼみ、踏切のレール等による上下方向に振動の抑制を行う。

座標軸は、車両前後方向を x 軸として進行方向を正、左右方向を y 軸として進行方向の左側を正、上下方向を z 軸として上向きを正と定義する。

2.2 水平方向モデル

水平方向には、図 1 に示す振り子型傾斜車台を用いた慣性力抑制装置を使用する。装置は、ころ板、ローラー、傾斜車台で構成されている。想定積載対象物は傾斜車台上に積載する。図 1 の記号の説明をする。 o は回転中心、 m は積載質量、 θ は傾斜角度、 R はころ板の円弧半径、 d はローラー直径、 h_1 は傾斜車台の高さ、 h_2 は積載対象物の重心高さ、 r は回転中心から積載対象物の重心までの距離、 g は重力加速度、 \ddot{x}_{inp} は入力加速度、 F をローラー部ところ板間の摩擦力の総和である。水平方向の運動方程式を式(1)に示す。

$$mr\ddot{\theta} + \text{sgn}(\dot{\theta})F + mg \sin \theta = m\ddot{x}_{inp} \cos \theta \quad (1)$$

2.3 上下方向モデル

上下方向の免震モデルには、図 2 に示す摩擦のある 1 自由度振動モデルを用いる。装置中央に圧縮ばねを取り付け、その上に振り子型傾斜車台を積載する構造

(所属機関名)

¹ 国立大学法人 福井大学大学院工学研究科

である。上下方向の路面表面の凸凹、路面のくぼみ、踏切のレール等による振動に対して、圧縮ばねによって相対変位を大きくして、応答加速度を低減する。そして、摩擦力によって相対変位を低減する免震構造となっている。上下方向の運動方程式は式 (2) で示す。

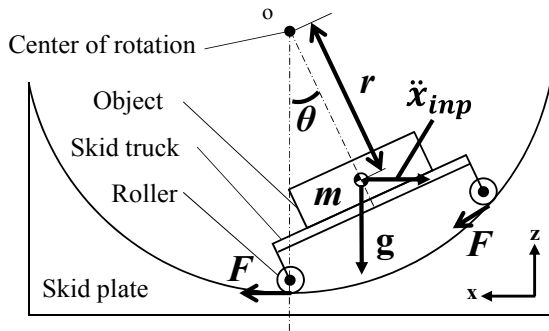


Fig.1 Horizontal model

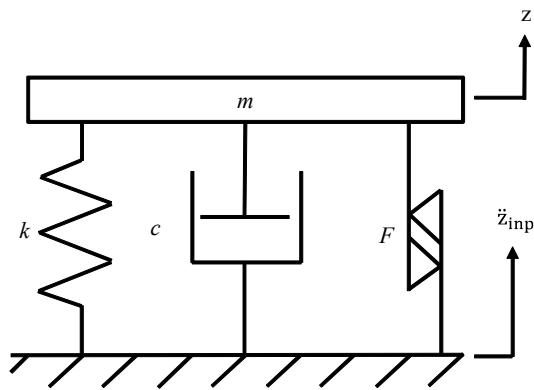


Fig.2 Vertical model

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz + \text{sgn}(\dot{z})F = -m\ddot{z}_{inp} \quad (2)$$

ここで、 z は上下方向の変位、 \ddot{z}_{inp} は入力加速度、 k はばね定数、 c は減衰定数、 F は摩擦力である。

2.4 免震装置

上下方向の免震は、四隅に配置したリニアブッシュ、軸と中央に配置した圧縮ばねによって、上部に積載する水平方向装置を支える構造となっている。そして、上下方向の振動は、圧縮ばねと摺動部品の摩擦力により低減する。圧縮ばねのばね定数は 2180N/m、摩擦力は 4.6N と設定した。

水平方向は、振り型台車の上に対象物の代わりにおもりを搭載し、慣性力が働くと台車が動くことで台車の面が傾斜して、慣性力を低減する構造となっている。この装置では 1 軸方向のみの稼働である。

本装置は、幅 0.4m、奥行き 0.6m、高さ 0.45m である。おもりを 50kg 積載し、水平方向は $\pm 0.05\text{m}$ の移動量で傾斜角度が 10° となるように設定した。

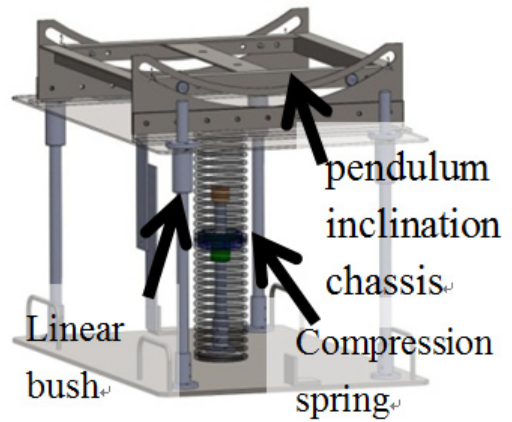


Fig.3 Base-isolation device

3. 実験

3.1 救急車による走行実験

2012 年 6 月 15 日に福井市消防局中消防署の協力のもと、免震装置を救急車に積載して、救急車による走行実験を行う。また、2012 年 2 月 13 日に測定した上下方向波形を用いて、シミュレーション解析を行い、また振動台により加振実験を行い、最適な摩擦力を求めた。走行経路を図 4 に示す。この経路を走行した時の、中消防署の発進から中消防署に戻るまでの測定データを 9 分割して、データ処理をする。

実験の測定には、ひずみゲージ式加速度計とレーザー変位計を用いる。救急車の床面上の前後・左右・上下の 3 軸方向の加速度を測定する。免震装置の天板上の上下方向加速度と変位を、前後方向の加速度を測定する。実験の様子を図 5 に示す。



Fig.4 Experiment route

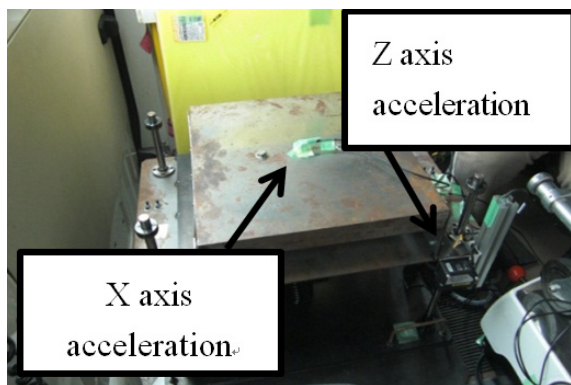


Fig.5 Experiment setting

3.2 前後方向実験結果

前後方向の実験結果を図6～図8に示す。図6は前後方向の最大加速度の絶対値である。図7は前後方向の二乗平均値(RMS)である。図8は経路区間のNo7の前後方向の加速度波形で、黒線が救急車床面上の加速度で、赤線が免震装置上の加速度である。

図6により、No2, No3, No7, No8, No9を除けば、応答加速度が入力加速度よりも小さくなっており、低減されている。加速度が大きくなっている原因は、入力加速度が大きいため、傾斜車台がストッパーに衝突していることと、上下方向の振動によって、天板がストッパーに衝突することにより、水平の加速度に影響を与えているためである。1例として、図8の波形の230秒付近の応答加速度のピークは、図9に示す上下方向の波形の影響を受けていることがわかる。衝突を無くすることによって、加速度を低減できることがわかった。図7により、衝突の影響を無くしたRMS値では、すべての区間で加速度を低減していることがわかる。

図8より、走行区間の大半で加速度が0になるように傾斜車台が動いていることがわかる。そのため、図7より、今回の走行区間全てで応答加速度は入力加速度に対して小さくなり、RMS値平均で39%の大きさになった。

以上の結果から、振子式傾斜車台を用いた免震装置の有効性が示された。

3.3 上下方向実験結果

上下方向の実験結果を図9～図15に示す。図10は上下方向の絶対値の最大加速度を示している。図11は二乗平均値(RMS)である。図12に絶対値の最大変位を示す。区間No3の時の加速度波形を図13、変位波形を図14、加速度波形を周波数解析した結果のPSDを図15に示す。図中の黒線が救急車床上の入力加速度で、赤線が免震装置上の応答加速度、応答変位である。

図10の区間No3の応答加速度が大きくなっている原因は、図14より応答変位が大きいため、下側のストッパーに衝突したためである。また、全部の区間で入力加速度よりも応答加速度が増大している。応答加速度が増大した原因は、図15の周波数解析の結果より、1Hz付近で共振しているためである。しかし、式(2)の固有振動数と入力振動数の応答倍率では、理論上は低減する4.5Hzや12Hz付近で応答が増加している事も、応答加速度が大きくなった原因であると考えられる。図11により、RMS値はすべての区間で応答加速度の方が大きくなっていることがわかる。また、図12により、全体的に変位量が大きく、4.6Nの摩擦力では変位が抑えることができなく、応答加速度を増大してしまうことがわかった。

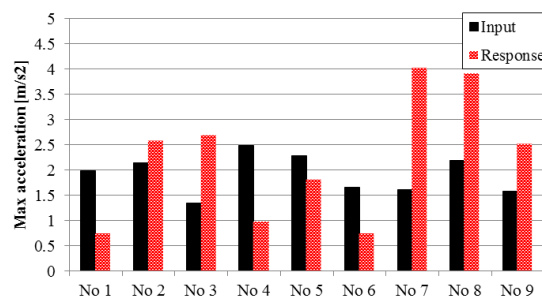


Fig.6 Max acceleration (X axis)

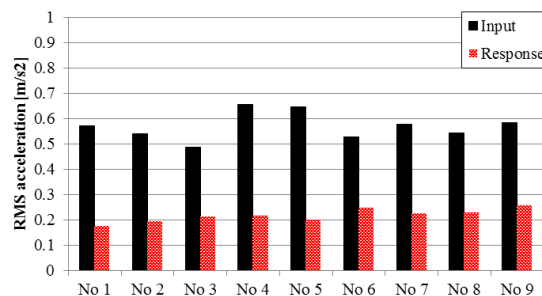


Fig.7 Acceleration RMS (X axis)

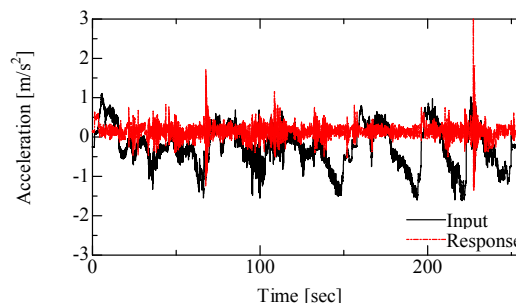


Fig.8 Acceleration (X axis No 7)

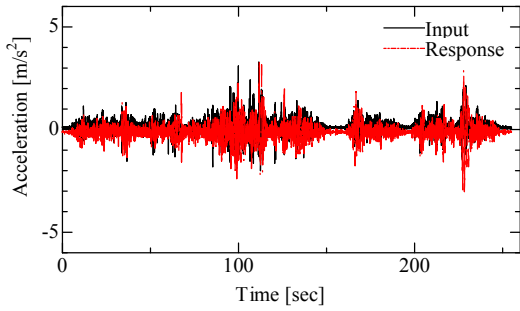


Fig.9 Acceleration (Z axis No 7)

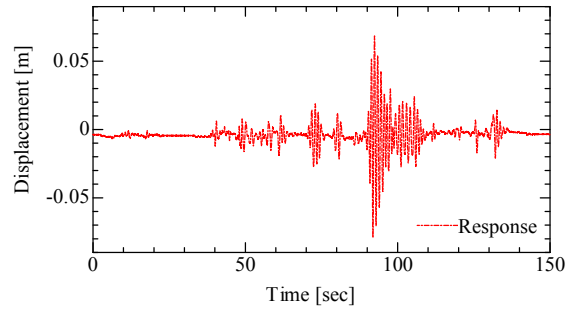


Fig.14 Displacement (Z axis No 3)

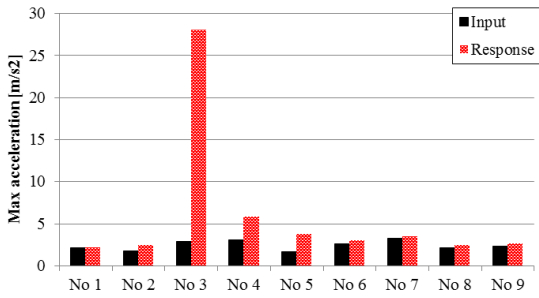


Fig.10 Max acceleration (Z axis)

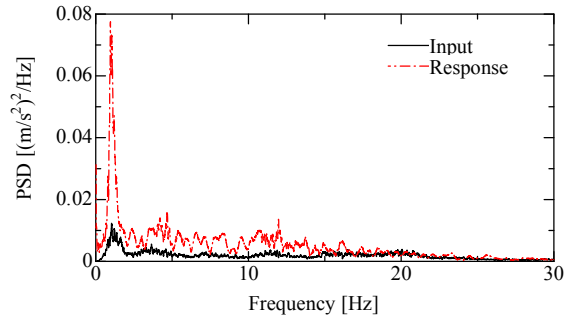


Fig.15 Power spectrum density (Z axis No.3)

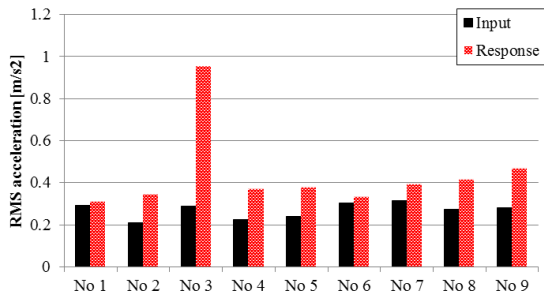


Fig.11 Acceleration RMS (Z axis)

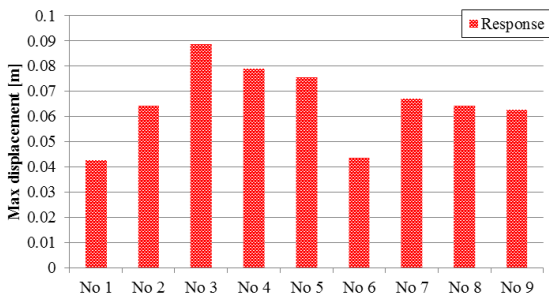


Fig.12 Max displacement (Z axis)

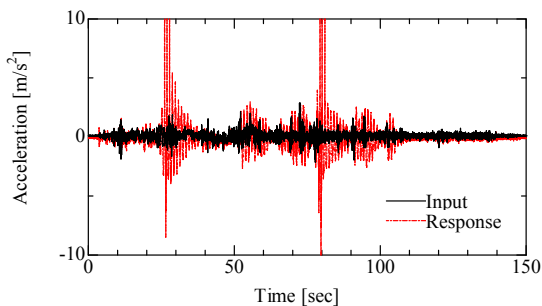


Fig.13 Acceleration (Z axis No 3)

4. シミュレーション解析

4.1 実験とシミュレーション解析の比較

第2章 2.3 で述べた上下方向の解析モデルを用いて、シミュレーション解析を行い、実験結果と比較することで解析モデルの有効性を確認する。解析条件は実験と同様に、積載質量を 50kg と振り型傾斜車台 15kg を合わせた 65kg で、ばね定数は 2180N/m、付加する摩擦力は 4.6N と設定する。

解析と実験を比較した結果を図 16 から図 21 に示す。図 16 は各波形での最大加速度の絶対値を示している。図 17 は二乗平均値(RMS)である。図 18 は最大変位の絶対値である。図 19 は区間 No.1 の時の加速度波形である。図 20 は No.1 の時の変位波形である。図 21 は No.1 の時の加速度波形を周波数解析した結果の PSD を示している。図中の黒線は実験の入力加速度波形、赤線は実験の応答加速度波形、応答変位波形、青線はシミュレーション解析の応答加速度、応答変位の結果である。

図 16、図 17 より、実験の応答加速度よりも解析結果の方が小さくなるのがわかる。最大値での誤差は 31%、RMS 値での誤差は 17% になっている。図 18 では、最大値での誤差は 4% となっている。図 21 より、加速度で誤差が出る原因は、実験の応答加速度波形が 4.5Hz と 12Hz 付近の振動数成分を含んでいるためであると考えられる。したがって、今後、4.5Hz と 12Hz 付近の振動数成分の原因を検討していくことが必要である。しかし、図 21 より共振点では実験結果と解析結果はよく一致していること

がわかる。以上のことから、本解析モデルは有効であると考えられる。

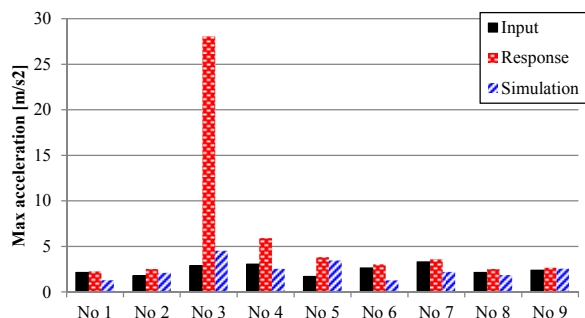


Fig.16 Max acceleration (Z axis)

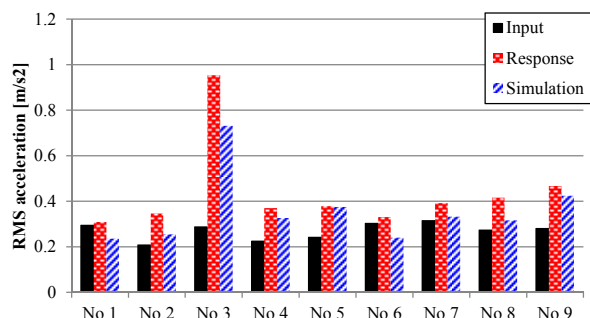


Fig.17 Acceleration RMS (Z axis)

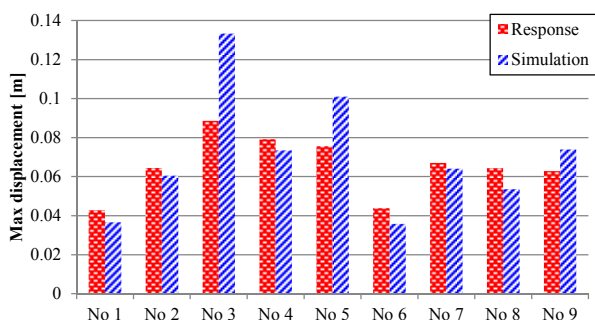


Fig.18 Max displacement (Z axis)

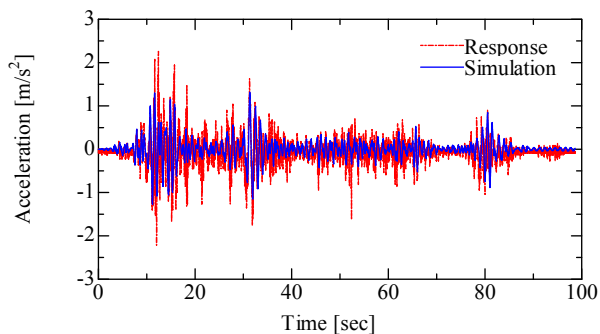


Fig.19 Acceleration (Z axis No.1)

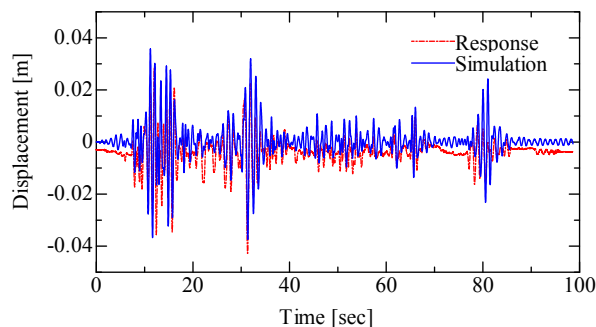


Fig.20 Displacement (Z axis No.1)

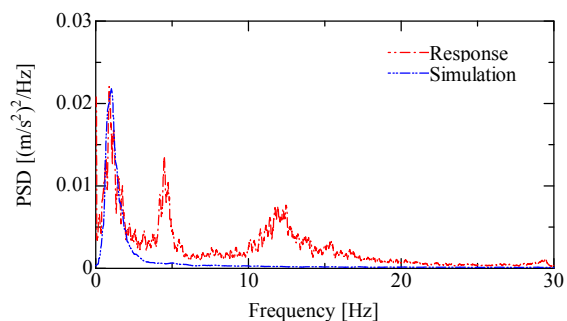


Fig.21 Power spectrum density (Z axis No.1)

4.2 摩擦力を变化させた上下方向のシミュレーション解析

経路区間 No.1 と No.3 の上下方向の加速度波形を用いて、摩擦力を 5N から 5N きざみで 40N まで变化させて、シミュレーション解析を行った。解析結果を図 22～図 28 に示す。図 22 は摩擦力による最大加速度の変化を示す図である。図 22 より、区間 No.1 の場合は摩擦力が 20N で最大加速度が最小となっている。区間 No.3 の場合は摩擦力が大きくなるほど最大加速度も小さくなっていくことがわかる。図 23 は摩擦力による加速度の RMS 値の変化を示す図である。区間 No.1 の場合は 10N の時に RMS 値が最小となり、No.3 の場合は 35N で RMS 値が最小となっている。図 24 は摩擦力と最大変位の関係を示す図である。区間 No.1、No.3 ともに摩擦力が 40N の時に最小となっている。図 25～図 26 は区間 No.1 の入力加速度と解析結果を示している。図 25 は摩擦力が 10N、図 26 は摩擦力が 20N の結果である。図 27～図 28 は区間 No.3 の入力加速度と解析結果である。図 27 は摩擦力が 10N、図 28 は摩擦力が 20N の結果である。

以上の結果より、摩擦力を増やすことで、加速度の低減をすることがわかった。実験で行った摩擦力 4.6N は少し小さいことも確認できた。図 23 により、摩擦力は 10N から 20N 程度にすることにより、応答加速度を低減できると思われる。

区間 No.1 の路面の状況は、路面電車のレールの横断、マンホールの凸凹、路面の凸凹等である。

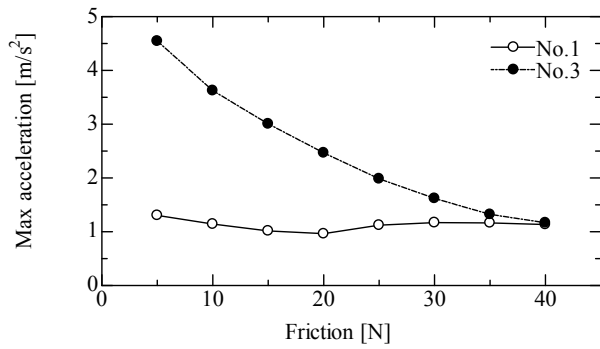


Fig.22 Friction result (Max acceleration)

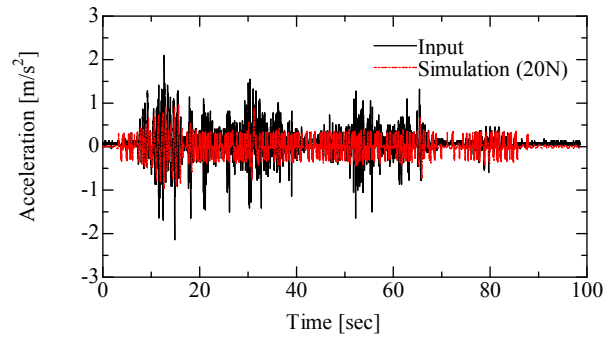


Fig.26 Acceleration (Z axis No.1 Friction: 20N)

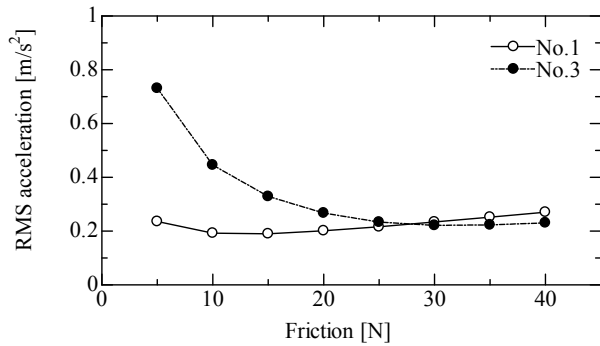


Fig.23 Friction result (RMS acceleration)

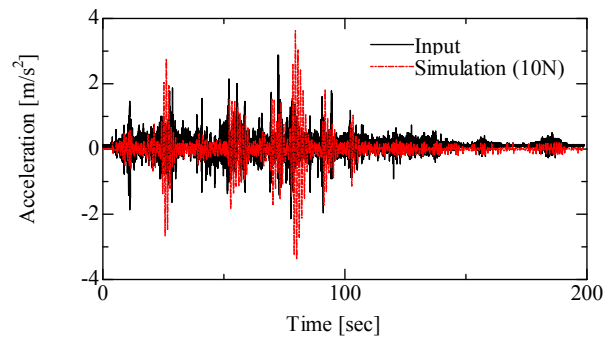


Fig.27 Acceleration (Z axis No.3 Friction: 10N)

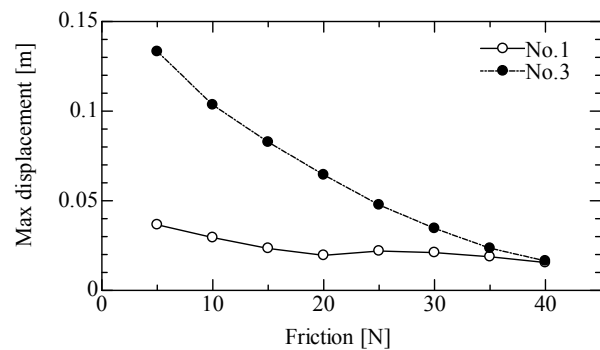


Fig.24 Friction result (Max displacement)

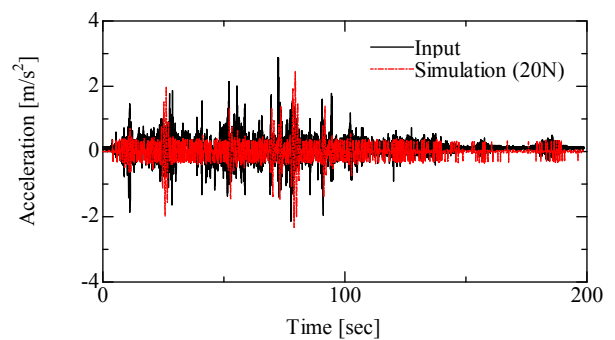


Fig.28 Acceleration (Z axis No.3 Friction: 20N)

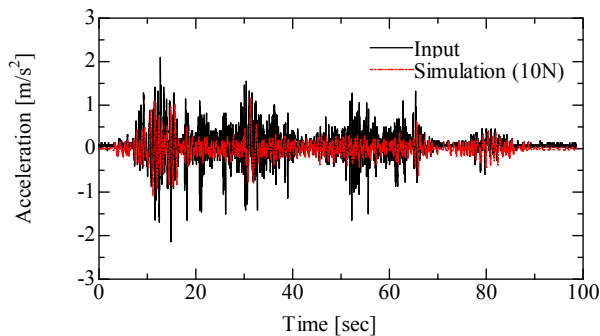


Fig.25 Acceleration (Z axis No.1 Friction: 10N)

区間 No.3 は、陸橋の上り、下りと路面の凸凹等である。特に、陸橋からの下りの終端部で上下の加速度が大きくなっていることがわかる。

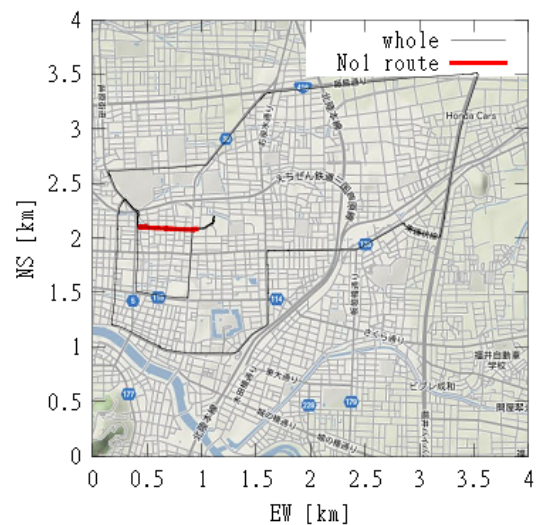


Fig.29 Experiment route No.1

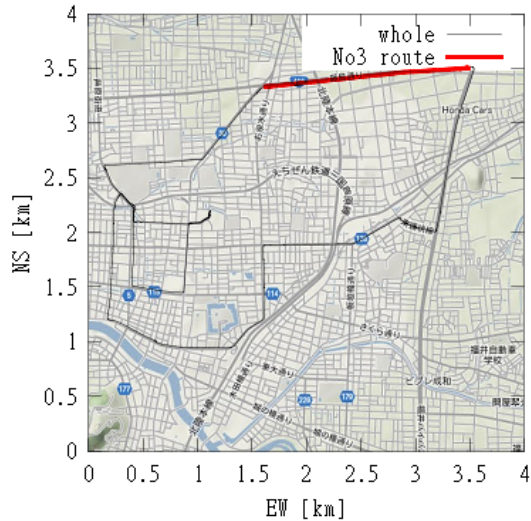


Fig.30 Experiment route No.3

4.3 摩擦力を変化させた上下方向の振動実験及び解析

免震装置の天板に長辺方向と短辺方向に2カ所ずつ簡単なリブを入れて、余分な振動の抑制する改良を行った。そして、摩擦力を4.6N, 10.6N, 35.7Nと変えて、振動台を使用して、上下方向の振動実験を行い、免震効果について検討を行う。振動台は福井大学工学部建築建設工学科所有の地震波再現装置を用いる。

解析と実験結果の加速度の二乗平均値(RMS)と最大変位を図31から図37に示す。摩擦力が4.6N, 区間No.1の加速度の周波数解析結果PSDを図37に示す。Response1は天板の端の短辺方向の中央の加速度で、Response2は天板の中央(圧縮ばねの位置の上)の加速度を示している。

図31と図32の摩擦力が4.6Nの結果より、No.3を除くと、加速度を低減していることがわかる。前述の図17では、加速度は増幅していた。リブを入れたことで、免震装置が改善していることがわかる。図32の最大変位においても、前述の図18と比べて、変位が小さくなっていることがわかる。また、図31と図32の解析と実験結果はよく一致していることがわかる。図33から図36の摩擦力10.6N, 35.7Nについても、解析と実験結果はよく一致していることがわかる。

加速度の低減を比較すると、摩擦力が図31の4.6N, 図33の10.6Nの場合が、図35に示す大きな摩擦力35.7Nよりも、よく低減していることがわかる。大きな摩擦力では、図36に示すように、最大変位を小さくしている反面、図35に示す加速度は低減されていない。また、図31と図33の摩擦力が4.6N, 10.6Nの場合では、摩擦力10.6Nの方が、加速度をより低減していることがわかる。

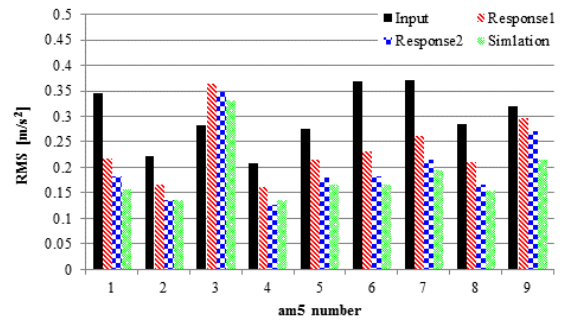


Fig.31 Acceleration RMS (Z axis)
Friction force 4.6N

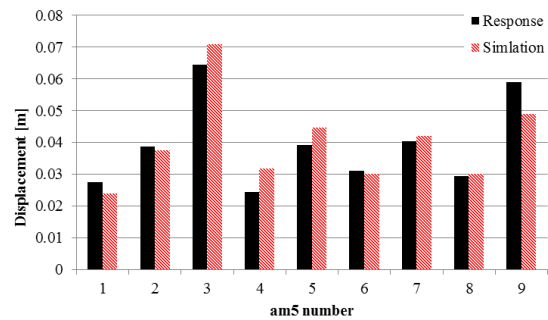


Fig.32 Max displacement (Z axis)
Friction force 4.6N

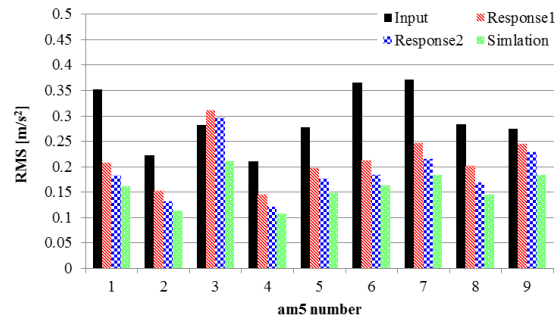


Fig.33 Acceleration RMS (Z axis)
Friction force 10.6N

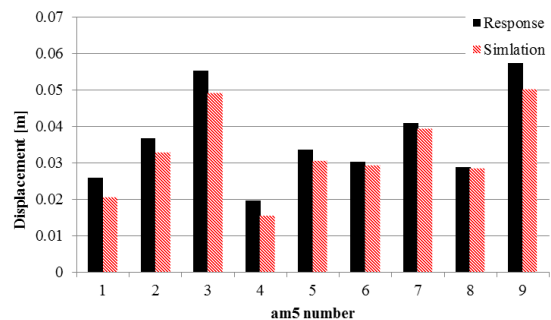


Fig.34 Max displacement (Z axis)
Friction force 10.6N

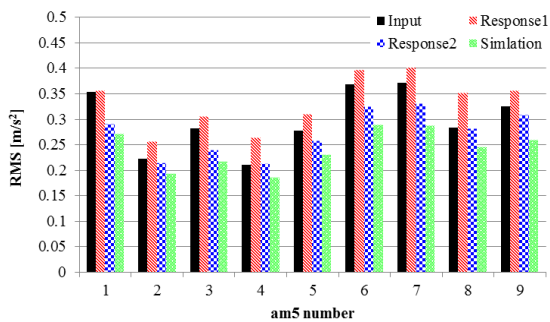


Fig.35 Acceleration RMS (Z axis)

Friction force 35.7N

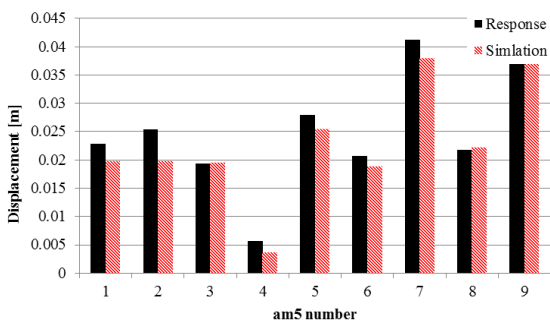


Fig.36 Max displacement (Z axis)

Friction force 35.7N

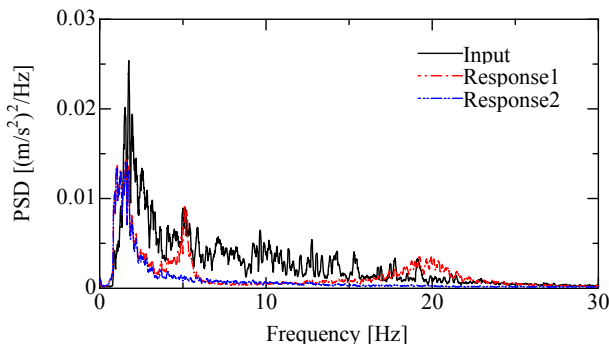


Fig.37 Power spectrum density (Z axis No.1)

Friction force 4.6N

図 37 より、Response1 には、5Hz 近傍の振動数成分が残っており、まだ十分な振動の補強にはなっていないことがわかった。Response2 では、1Hz 近傍の振動数成分のみであることがわかる。

今後の課題は、天板にリブを入れて、4 隅の軸の支持剛性を上げて、さらに免震装置全体を補強することにより、余分な振動数成分を無くすることにより、装置の免震性能を上げていく必要がある。

5. 結言

2 方向の免震装置を新たに設計・製作した。免震装置を救急車に搭載して、走行実験を行い、免震性能評価を行った。免震装置には、対象物のおもりを 50kg 搭載し、水平方向に 10° まで傾斜可能にした振子型慣性力抑制装置を。上下方向は圧縮ばねと摩擦力により加速度の低減を行った。

水平方向の走行実験より、免震対象が受ける応答加速度の RMS 値の平均は、入力加速度の 39% になり、本研究の装置の免震性能の有効性が確認出来た。

上下方向の走行実験より、固有振動数である 1 Hz 付近の応答加速度が最も大きく、4.5Hz や 12Hz でも応答加速度の振動数成分が含まれていることが分かった。

上下方向の解析モデルを用いたシミュレーション解析の結果より、共振点では実験結果と解析結果は一致していることがわかった。したがって、本解析モデルが有効であることが示された。

上下方向のシミュレーション解析の結果より、摩擦力を増やすことで、応答加速度の低減をすることがわかった。

免震装置の天板にリブを入れた改良を行い、振動実験と解析モデルを用いた解析を行った。解析と実験の結果により、摩擦力 4.6N よりも、少し大きくした 10.6N の方がより低減していることが確認できた。

さらに摩擦力を大きくした 35.7N の結果では、加速度の低減は確認できなかった。

最後に、本研究において実験にご協力いただいた福井市消防局中消防署の諸氏に対して感謝の意を表す。

【参考文献】

- (1) 藤田, 中川, 小倉, 小島, 救急車用防振架台の乗り心地と設計, 設計工学会 35(12), 32-40, 2000-12-05
- (2) 土佐, 松久, 宇津野, 他 2 名, 転倒防止装置つきトラック用除振台の研究, 日本機械学会 D&D2010,410(2010.9)

第二部 平成20年度と21年度終了課題のフォローアップ

第1 防災情報通信システム等の高度化

1. 1 GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発

研究課題名	GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	特になし
	研究成果の製品化等について	○難燃耐熱型漏えい同軸ケーブル(三菱電線工業株) 地下街、地下駅及び地下駐車場などに設けられる防災無線システム用に、火災燃焼時においても人体に有害な塩素ガスの発生が無く、耐熱性能を有したノンハロゲン難燃耐熱型 LCX として製品化、販売されている。 ○テレメータシステム(株)サーキットデザイン) 製品化を検討している。
	研究発表の状況等	[成果発表会] 1)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発」研究成果発表会, 長野県工業技術総合センター情報技術部門, 2010.2.19 [口頭発表] 2)「高速防災無線情報システム向け 2.4GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブル」, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, 講演論文集 P170, 2007.3.23 3)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速無線システム」, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2007, 講演論文集 P35-38, 2007.11.2 4)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発」, 長野県工業技術総合センター成果発表会岡谷会場, 予稿集 P43-48, 2007.11.13 5)「Development of a 300 m 2.4 GHz Frequency Band Leaky Coaxial Cable for Wireless Network Access」, 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium, Proceedings PP.687-690, 2008.1.22-24 6)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速無線システム(第 2 報)」, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2008, 講演論文集 P146-147, 2008.10.31 7)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 2 報)」, 長野県工業技術総合センター成果発表会プログラム C, 予稿集 P92-97, 2008.11.12 8)「Evaluation of a Dual-band Long Leaky Coaxial Cable in the 2.4 and 5 GHz Frequency Bands for Wireless Network Access」, 2009 IEEE Radio and Wireless Symposium, Proceedings PP.510-513, 2009.1.18-22 9)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 3 報)」, 長野県工業技術総合センター/長野県工科短期大学校研究成果合同発表会プログラム C, 予稿集 P95-100, 2009.11.27 [誌上発表] 10)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発」, 長野県工業技術総合センター研究成果報告 No.2 2007, PP.II2-I5, 2007 11)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 2 報)」, 長野県工業技術総合センター研究成果報告 No.3 2008, PP.II-I6, 2008 12)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発」, 三菱電線工業時報 第 105 号, PP.6-10, 2008 13)「GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 3 報)」, 長野県工業技術総合センター研究成果報告 No.4 2009, PP.E9-E14, 2010

	他の研究課題 への波及	特になし
--	----------------	------

第1 防災情報通信システム等の高度化

1. 2 探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置

研究課題名	探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	「映像伝送システム、映像伝送装置、映像伝送方法、探査ロボット、及びプログラム」特願 2007-44723、特開 2008-211405, 2007年2月23日(階層符号化によるロボットビジョン・ネットワーク)、特許登録番号第 5017646 号、登録日 H24年6月22日(2012年)
	研究成果の製品化等について	IEEE Circuits and System Best Student Demonstration Award、画像電子学会・研究奨励賞、電子情報通信学会・研究奨励賞受賞、他、多くの賞を受賞する等、本課題の研究結果は注目を集めている。
	研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> 1. "Haar 基底を用いた階層符号化によるロボットビジョン・ネットワークシステム", 映像情報メディア学会, メディア工学研究会, ITE technical report, vol.31, no.14, pp.39-40, Feb. 2007. 2. "階層符号化を用いたロボットビジョン・ネットワークの一構成法", 電子情報通信学会, 総合大会, vol.D, no.11, pp.47, March 2007. 3. "3次元回転変換の構成に関する一検討", 画像電子学会第36回年次大会, S.4-1, pp.1-2, June 2008.【研究奨励賞・画像電子学会】 4. "Video Data Compression for Robot to Robot Communication", IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.140-145, Oct. 2008. 5. "ロボット間通信のための機能的階層符号化", 映像メディア情報学会, メディア工学研究会, ITE Technical Report, ME2008-190, vol.32, no.58, pp.5-8, Dec. 2008. 6. "ロボット間通信のための機能的階層符号化", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2009, P-22, pp.161-164, Jan. 2009. 7. "ロボットビジョン・ネットワークのための機能的階層符号化", 電子情報通信学会, 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp.388-391, April, 2009.【研究奨励賞受賞・電子情報通信学会】 8. "Functionally Layered Coding for Robot Vision Network", Picture Coding Symposium (PCS), no.2, pp.32-35, May 2009. 9. "限定方位画像を用いた探査ロボットの姿勢推定", 電子情報通信学会信越支部大会, 5D-2, pp.93, Oct. 2009. 10. "動き推定に対する外乱の影響", 電子情報通信学会信越支部大会, 5D-4, pp.95, Oct. 2009. 11. "人とロボットによる連携探査用ビジョンネットワーク伝送容量の有効活用法", 計測自動制御学会, システムインテグレーション部門講演会 (SI 2009), 2M2-2, Dec. 2009. 12. "Functionally Layered Video Coding Based on JP2K for Robot Vision Network", Journal of Robotics and Mechatronics, vol.21, no.6, pp.758-764, Dec. 2009. 13. "不整地を走行する移動ロボットの自己位置推定のための伝送量削減", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, no.P10, pp.87-90, Jan. 2010. 14. "映像を用いた移動量推定における信頼性評価尺度の理論解析", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P14, pp.103-106, Jan. 2010. 15. "Band Determination of JP2K DWT for Robot to Robot Communication", International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), S12, pp.151-154, Jan. 2010. 16. "Robot Vision Network based on Ceiling Map Sharing", IEEE International Workshop on Advanced Control (AMC), 6, Mon 3-2, pp.164-169, March 2010. 17. "複数の移動型ロボットによる天井マップ共有システムにおける伝送データ量の削減", 電子情報通信学会, 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp.334-339, April, 2010. 18. "Visual compensation in localization of a robot on a ceiling map", Scientific Research and Essays, , Vol. 5 (23), pp.131-135, Dec. 2010.

		<p>19. "Reduction of data size for transmission in localization of mobile robots", International Journal of the Physical Sciences, Vol. 5(17), pp. 2652-2657, Dec., 2010.</p> <p>20. "Real Time Eyeball Tracking via Derivative Dynamic Time Warping for Human-Machine Interface", International Journal of Innovative Computing, Information and Control, pp. 4335-4346, vol.7, no.7, July 2011.</p> <p>21. "Optimization of Lifting Structure of Reversible KLT Based on Permutation of Signal's Order and Sign," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), no.MA-PD.7, pp.465-468, Sept. 2010.</p> <p>22. "Reversible Color Transform with Compatibility to Irreversible Transform," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), no.TP-PD.7, pp.2881-2884, Sept. 2010.</p> <p>23. "Avoidance of Singular Point in Reversible KLT", Picture Coding Symposium (PCS), no.P1-23, pp.110-113, Nov. 2010.</p> <p>24. "Word Length Assignment of DC Lossless DWT", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2010 Annual Summit and Conference (APSIPA), pp.679-682, Dec.2010.</p> <p>25. "Blind User Indoor Environment Mapping System for Self-Localization", IEEE International Conference on Computer and Commun. Devices (ICCCD), no.57, pp.497-500, May 2011.</p> <p>26. "Regularity Guaranteeing Implementation of DWT Designed under Lifting Structure", Asia-Pacific Signal and Information Processing Association 2011 Annual Summit and Conference (APSIPA), Wed-AM.RS12, pp.1-4, Oct.19.2011.</p> <p>27. "Lossless Integer Color Transform for Four Color Components," IEEE Circuits and Systems Society, Visual Communications and Image Processing (VCIP), pp.1-4, Nov.7, 2011.</p> <p>28. "Lossy Compression of Sparse Histogram Image", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), pp.1361-1364, March 30, 2012.</p> <p>29. "Fine Rate Control and High SNR Coding for Sparse Histogram Images", Picture Coding Symposium (PCS), pp.205-209, May 2012.</p> <p>30. "複数の移動型ロボットによる天井マップ共有システムにおける伝送データ量の削減", 電子情報通信学会 第23回 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp.334-339, (2010.4)</p> <p>31. "順序置換と符号置換による可逆KLTの係数特異点の回避", 電子情報通信学会, 信学技報 IE 2010-5 (2010-4), vol.110. no.22, pp.25-30, April 2010.</p> <p>32. "ロッキー符号化とロスレス符号化を相互接続するカラー画像のためのトランスコーディング"電子情報通信学会, 信学技報 SIP2010-39, pp.99-104, June, 2010</p> <p>33. "映像オドメトリのためのカラー画像を用いた旋回角度の推定", 電子情報通信学会, 信越支部大会, pp85, Oct. 2010.</p> <p>34. "DCT 係数の正負符号によるロボットの自己位置推定", 電子情報通信学会, 信越支部大会, p. 84, Oct. 2010.</p> <p>35. "順序置換と符号置換に基づく整数 KLT の可逆符号化効率", 電子情報通信学会, 信越支部大会, pp.81, Oct. 2010.</p> <p>36. "主成分分析を用いた映像オドメトリの旋回角度推定", 電気学会, 東京支部新潟支所研究発表会, pp.15, Nov.2010.</p> <p>37. "視線検出を用いたユーザーインターフェースの開発", 電気学会, 東京支部新潟支所研究発表会, pp.16, Nov. 2010. 【優秀論文発表賞受賞】</p> <p>38. "天井マップ共有システムにおける DCT 係数の正負符号を用いた伝送量削減", 電気学会, 東京支部新潟支所研究発表会, p.98, Nov. 2010. 【優秀論文発表賞受賞】</p> <p>39. "整数 KLT を用いた RAW 画像の可逆符号化効率", 電気学会, 東京支部新潟支所研究発表会, pp.13, Nov. 2010.</p> <p>40. "可変ウィンドウとプレートマッチングに基づく視線入力インターフェース", ヒューマンインタフェース学会, 研究報告集, vol.12, no.12, pp.11-16, Dec. 2010.</p> <p>41. "カラー成分の無相関化に基づく画像相関法の性能評価", 電子情報通信学会, 研究会技法, IEIC Technical Report CS2010-64, IE2010-103, pp.107-112, Dec. 2010.</p>
--	--	--

42. “カラー成分の無相関化に基づく映像オドメトリ手法”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2010, P-41, pp.255-258, Jan. 2011.
43. “可変ウィンドウ方式による視線入力システムの開発”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2011, P-40, pp.251-254, Jan. 2011.
44. “DCT 係数の正負符号を用いた自己位置推定”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2010, P-42, pp.259-262, Jan. 2011.
45. “次世代 4 色カラー画像の無ひずみ圧縮”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-39, pp.247-250, Jan. 2011.
46. “順序・符号置換を用いた可逆 KLT によるカラー画像のロスレス圧縮”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P-44, pp.267-270, Jan. 2011.
47. “機能的階層符号化によるデータ圧縮と画像認識の融合 – 河川防災、探査ロボットへの応用”, 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, G-3, pp.99-104, Jan. 2011.
48. “整数直交変換を用いた 4 色 RAW 画像のロスレス圧縮”, 電子情報通信学会, 画像工学研究会, IE2010-104, pp.1-6, Feb. 2010.
49. “多方向多色照明下における色情報を用いた映像オドメトリ”, 第 13 回 DSPS 教育者会議, pp.6-11, Sept. 2011. **【IEEE Circuits and System Best Student Demonstration Award 受賞】**
50. “多方向多色照明による形状取得を用いた映像オドメトリ”, 電子情報通信学会信越支部大会, 5D-1, pp.91, Oct. 2011.
51. “ジェスチャ動作と無意識的動作との判別手法の検討”, 電子情報通信学会信越支部大会, 6C-2, pp.105, Oct. 2011.
52. “マップ共有システムにおける DCT 係数の量子化と正負符号を用いた伝送量削減”, 電子情報通信学会信越支部大会, 5D-2, pp.92, Oct. 2011.
53. “整数型カラーネン・レーベ変換による RAW 画像の可逆圧縮”, 電子情報通信学会信越支部大会, 5A-3, pp.79, Oct. 2011. **【学生奨励賞受賞】**
54. “ヒストグラムの疎性を利用したトーンマッピング手法の比較”, 電子情報通信学会信越支部大会, 5A-5, pp.80, Oct. 2011.
55. “多方向多色照明を利用した自律走行ロボットのための映像オドメトリ”, 第 26 回 信号処理シンポジウム, pp. 302-307, Nov. 2011.
56. “照明条件の変化に堅牢なナンバープレート認識システムの検討”, 電気学会 東京支部新潟支所, 研究発表会, Nov. 2012.
57. “疎ヒストグラム画像の非可逆圧縮のための階調写像”, 電気学会東京支部新潟支所, 研究発表会, Nov. 2012. **【優秀発表賞】**
58. “Lossless Color Component Transform for Data Compression”, 電気学会東京支部新潟支所, IEEE session, 研究発表会, Nov. 2012.
59. “自律走行ロボットのための床映像ビジュアルオドメトリ”, 生体情報処理と高度情報処理, pp. G-3, pp.113-120, Jan.2012.
60. “多方向多色照明を用いた影情報抽出による映像オドメトリ”, 生体情報処理と高度情報処理, P-34, pp. 243-246, Jan.2012.
61. “ナンバープレート認識のためのウェーブレット変換によるノイズ除去”, 生体情報処理と高度情報処理, P-35, pp.247-250, Jan.2012. **【ポスター発表優秀賞】**
62. “タイトル:4つの色成分を持つ Bayer 配列画像の可逆圧縮”, 生体情報処理と高度情報処理, P-36, pp.251-254, Jan.2012.
63. “多色照明を用いた位置推定システムに適した画像の RGB 成分の伝送量削減”, 生体情報処理と高度情報処理, P-37, pp.255-258, Jan.2012.
64. “照明変化に堅牢なナンバープレート認識システムの検討”, 電子情報通信学会, PRMU 実世界センシングとその応用 (VR 学会 SIG-MR と共催), 信学技報, PRMU 2011-178, MVE2011-87, pp.335-340, Jan., 2012.
65. “多方向多色照明下における影情報を用いた映像オドメトリ”, 電子情報通信学会, PRMU 実世界センシングとその応用 (VR 学会 SIG-MR と共催), PRMU2011-174, MVE2011-83,

		<p>pp.285-290, Jan., 2012.</p> <p>66. “ロボットの遠隔操縦のための顔方向による直感的ウィンドウ切替え操作の検討”, 電子情報通信学会, PRMU 実世界センシングとその応用 (VR 学会 SIG-MR と共催), PRMU2011-177, MVE2011-86, pp301-304, Jan., 2012.</p>
	<p>他の研究課題への波及</p>	<p>[2008-2010] 文科省・科研費, 基盤研究 C, “人と探査ロボットによる映像共有ネットワークのための機能的階層符号化”</p> <p>[2009] 共同研究, 民間企業, “目マウス・インターフェースの開発”</p> <p>[2010] 共同研究, 民間企業, “身障者のための車両認識画像処理システムの開発”</p> <p>[2011-2013] 文科省・科研費, 基盤研究 C, “カラー成分の非線形写像を伴う映像オドメトリのためのビット深度階層符号化”</p>

第2 住宅防火対策等の推進

2. 1 自律分散協調型避難誘導システムの開発

研究課題名		「自律分散協調型避難誘導システムの開発」
フォローアップの内容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	なし
	研究発表の状況等	(論文) 瀧本浩一, 三浦房紀, 松元隆博, 関原弦, 組田良則, 山本真吾: 自律分散協調による避難誘導システムの開発, 社会技術研究論文集, Vol.8, pp.82-90, 2011.
	他の研究課題への波及	なし

第3 防災力の向上

3. 1 高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究

研究課題名	高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究 (平成20年度～平成21年度)	
フ ォ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	なし
	研究発表の状況等	<p>「高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究」</p> <p>1) 「大規模地震に対応した消防用設備等のあり方に関する検討会」平成21年2月26日 (資料提供)</p> <p>2) 消防研究センターの一般公開 平成21年4月17日 (パネル展示)</p> <p>3) 「大規模地震に対応した消防用設備等のあり方に関する検討会」平成22年2月19日 (資料提供)</p> <p>4) 第58回全国消防技術者会議 平成22年10月21日 (ポスター展示)</p>
	他の研究課題への波及	<p>平成23年3月11日に消防庁ホームページの報道資料として全文公表された「大規模地震に対応した消防用設備等のあり方に関する検討会報告書」において本研究成果が参考資料として採用された。</p> <p>http://www.fdma.go.jp/neuter/topics/houdou/h23/2303/230311_1houdou/01_houdoushiryou.pdf</p> <p>平成24年6月19日付け消防庁予防課事務連絡において、「検討会報告書公表日(平成23年3月11日)に発生した東日本大震災における消防用設備等に関する破損等の状況について確認したところ、検討会報告書で示す留意点に沿って施工されたものについて被害が報告されておらず、改めて留意点の有効性が確認されたものと考えられます。」と紹介された。</p> <p>http://www.fdma.go.jp/concern/law/tuchi2406/pdf/240619_jimurenraku.pdf</p>

第3 防災力の向上

3. 2 機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用手法の研究

研究課題名	機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用手法の研究	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	<p>消防団を対象とした災害エスノグラフィー調査結果を活用し、全国の消防団員をはじめ多くの人と暗黙知の情報共有を行い、防災対応能力の向上を目的とした研修プログラムを開発した。その後、本研修プログラムは消防団員をはじめ、一般行政職員、自主防災組織等住民を対象とした研修プログラムで活用するなど、研究成果の実用化を現在も進めているところである。その結果として、消防団の重要性の理解ならびに、消防団活性化への取り組みの促進を図っている。以下に実用化事例の一部を紹介する。</p> <p>1) 愛知県田原市において自主防災会役員・一般市民を対象に「地域コミュニティの防災力」の向上を目的として、開発した研修プログラムに基づいた研修を実施した。(平成21年7月)</p> <p>2) 愛知県豊橋市中消防署において「身近でできる防災対策の実践と、地域の平常時・災害時の防災対応能力向上」を目的として、開発した研修プログラムを実施した。(平成21年7月)</p> <p>3) 平成22年度に消防庁が実施した消防団員災害対応力向上研修会において、秋田県、富山県下の消防団員を対象に「豪雨、地震等の自然災害の特徴と防災対策及び消防団の活動について」の講演をおこなった中で、本研究成果を活用した。(平成22年度)</p> <p>4) 内閣府(防災担当)による合同研修において国家公務員防災担当職員を対象に「エスノグラフィー調査成果を活用した研修プログラム」を実施した。(平成20年度～平成22年度)</p> <p>5) 市町村職員中央研修所において「防災力の向上と自治体の危機管理能力の向上」を目的として、開発した研修プログラムに基づいた研修を実施した。(平成21年度～平成22年度)</p>
	研究発表の状況等	<p>1) 消防団活動の教訓を共有化するために、重川希志依，月間フェスク，2008年4月号</p> <p>2) 災害エスノグラフィー調査に基づく災害対応教訓の活用手法に関する研究，重川希志依、田中聡，THE SECOND CHINA-JAPAN SCIENCE FORUM, THE 2008 WENCHUAN EARTHQUAKE AND NATURAL DISASTER MITIGATION, 2009.3.9, Beijing</p> <p>3) 防災の決め手「災害エスノグラフィー」NHK出版、共著、平成21年12月</p> <p>4) 広報消防基金2011年7月号 東日本大震災 平成23年7月、消防団員等公務災害補償等共済基金</p>
他の研究課題への波及	<p>1) 本制度によって得られたエスノグラフィー調査成果を活用した防災研修プログラムを、自治体職員による災害時の広域応援能力向上を目的とした研修プログラムに発展応用することを前提として、(財)日本科学協会 笹川科学研究助成「災害時自治体職員による広域応援活動のための事前研修プログラムの開発」を獲得した。研究者代表:重川希志依，平成21年度</p> <p>2) 本制度によって得られたエスノグラフィー調査手法を活用することにより、文部科学省「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト(3)広域的危機管理・減災体制の構築に関する研究 1)自治体等の一元的危機管理対応体制の確立」を実施した。研究分担者:重川希志依，平成21年度～平成23年度</p> <p>3) 本制度で得られた成果であるエスノグラフィー調査手法を用いた災害対応上の暗黙知の体系化を活用することにより、科学研究費補助金(研究基盤B)「自然災害からの創造的な復興の支援を目指す統合的な民族誌的研究」(研究代表者 清水展)を実施した。研究分担者:重川希志依，平成23年度～平成26年度</p>	

第3 防災力の向上

3. 3 『家庭の消防防災力』WEB 検定システムの開発

研究課題名	『家庭の消防防災力』WEB 検定システムの開発 国立大学法人東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授 梶 秀樹	
フ ォ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	申請していない。
	研究成果の製品化等について	本事業の終了した平成 21 年度より、2 年間の試験運用期間を設け、東京工業大学都市地震工学センターの管理のもとで、Web-Site 上に公開して検定実務を開始し、プログラムのバグやあいまいな問題表現の改定を行った。またそうした作業と平行して、平成 23 年度からの本運用を、防災関係の行政法人または公的機関に移管すべく交渉を進めた。2 年間の試験運用期間中のアクセスは 1,000 件を超え、その間に発見されたバグや問題表現上の改定もほぼ完了したが、結局、本運用を引き受けてくれる予定の機関との交渉がまとまらずに試験運用期間が終了し、サーバーレンタルに掛かる大学予算も 23 年度以降の支出を予定していなかったため、試験運用を中止した。 以上より、製品としてはひとまず完成したが、本運用に当たっては、検定証の発行主体が誰になるのか？検定に合格した場合の実用的な特典をどう与えるか、などの問題をクリアにするとともに、災害態様の変化や対応する法令の改定に伴った問題・解答の更新体制を整えねばならず、サーバー管理費とは別に相応の経費が必要となるため、残念ながら現在のところ、本運用の目途が立っていない状況である。
	研究発表の状況等	『家庭の消防・防災力検定』の本運用を開始しました」、自主防災、No.215、東京防災指導協会、pp.24-25、2010 年 5 月 (注)この時点では、23 年度から協会が本運用を所管する可能性が高かったため、実際には本運用ではなく、試験運用の第 2 年目であったが、先行的に宣伝したものである。
	他の研究課題への波及	平成 22 年に、「小学校高学年を対象とした対話型地震防災ネットワークゲーム教材の開発」という課題で、科学技術融合振興財団の調査研究助成金を獲得した。

第3 防災力の向上

3. 4 地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究

研究課題名	地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	特になし
	研究成果の製品化等について	特になし
	研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> 1) 北後明彦・久保一樹・田中哮義・関沢愛・西田幸夫・樋本圭佑:地震火災時における地域消防力の簡易予測手法の開発, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.268-271 (2009.5) 2) 樋本圭佑・西田幸夫・諸隈貴寛・芝真里子・秋元康男・北後明彦・関沢愛・田中哮義:地域防災力評価のための消防用可搬ポンプを利用した消火活動実験, 日本建築学会計画系論文集, Vol.73, No.634, pp.2665-2672 (2008.12) 3) 樋本圭佑・秋元康男・北後明彦・田中哮義:伝統的木造密集市街地の延焼火災リスク評価に関する基礎的検討, 歴史都市防災論文集, Vol.2, pp.7-14 (2008.10) 4) Himoto K, Akimoto Y, Hokugo A, Tanaka T, Risk and Behavior of Fire Spread in a Densely-built Urban Area, Fire Safety Science, Proceedings of 9th International Symposium, pp.267-278 (2008.9) 5) 芝真里子・北後明彦・秋元康男・樋本圭佑・関沢愛・諸隈貴寛・西田幸夫・田中哮義:地震火災時における地域消防力評価手法に関する研究, 日本火災学会発表会概要集, pp.222-223 (2008.5) 6) 諸隈貴寛・樋本圭佑・芝真里子・秋元康男・西田幸夫・関沢愛・北後明彦・田中哮義:住民の消火用可搬ポンプの操作能力に関する研究, 日本火災学会発表会概要集, pp.220-221 (2008.5) 7) 秋元康男・樋本圭佑・北後明彦・田中哮義:火災リスク評価を用いた密集市街地の火災安全に関する研究, 日本火災学会発表会概要集, pp.202-203 (2008.5) 8) 杉本綾亮・田中哮義・畑山満則・樋本圭佑:物理的火災延焼モデルを用いた GIS 基盤の市街地防災性能評価支援システムの開発, 日本火災学会発表会概要集, pp.200-201 (2008.5) 9) Akimoto Y, Ikuyo K, Himoto K, Hokugo A, Tanaka T. Fire Risk Assessment of Kyoto Sannei-Zaka District Based on A Physics-based Model for Urban Fire Spread. Proc. 7th Asia-Oceania Symp. Fire Science and Technology (2007.9) 10) Himoto K, Tanaka T, Sekizawa A. Simulation of Fire Spread in The Sakata Fire and Involved Fire Fighting Activities. 7th Asia-Oceania Symp. Fire Science and Technology (2007.9) 11) Sugimoto R, Himoto K, Tanaka T. Simulation of Fire Spread in Higashiyama District of Kyoto - A Densely Built District of Historical Buildings. Proc. 7th Asia-Oceania Symp. Fire Science and Technology (2007.9) 12) 秋元康男・北後明彦・樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションを用いた火災安全対策に関する基礎的検討 和歌山県湯浅町湯浅伝建地区におけるケーススタディ, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集 A-2, pp.173-174 (2007.9) 13) 樋本圭佑・田中哮義:消火活動を考慮した酒田市大火の火災延焼シミュレーション, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集 A-2, pp.177-178 (2007.9) 14) 樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションによる歴史的市街地の火災安全対策の検討, 歴史都市防災論文集, Vol.1, pp.21-26 (2007.6) 15) 秋元康男・北後明彦・樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションを用いた火災安全対策

		<p>に関する基礎的検討 -和歌山県湯浅町湯浅伝建地区におけるケーススタディ-, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.126-127 (2007.5)</p> <p>16) 石原慶大・樋本圭佑・箭内英治・砂原弘幸・吉川昭光・関沢愛・田中哮義:小規模区画模型実験による注水の火災抑制効果に関する基礎的検討 その1実験概要, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.230-231 (2007.5)</p> <p>17) 樋本圭佑・石原慶大・箭内英治・砂原弘幸・吉川昭光・関沢愛・田中哮義:小規模区画模型実験による注水の火災抑制効果に関する基礎的検討 その2 実験結果の考察, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.232-233 (2007.5)</p> <p>18) 樋本圭佑・幾代健司・秋元康男・北後明彦・田中哮義:放水の物理的火災抑制効果に着目した地域住民の消火活動モデル, 日本火災学会論文集, 第56巻, 第3号, pp9-19 (2006.12)</p> <p>19) 杉本綾亮・樋本圭佑・田中哮義:市街地延焼予測に関する建築物開口割合の実測手法に関する研究, 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集 A-2, pp.319-320 (2006.9)</p>
	<p>他の研究課題への波及</p>	<p>1) 文部科学省・科学研究費補助金(若手B):文化財建築物に適用される地震火災対策の実効性向上に関する研究</p>

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4. 1 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能は従来程度）の開発

研究課題名	可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能は従来程度）の開発	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	<p>題名: ノズル移動機構及びノズル移動装置. [出願中] 発明者: 井上文宏, 片倉寛, 特許出願人: (株) 大林組 出願番号: 特許出願 2009-61662, 出願日: 平成 21 年 3 月 13 日 公開番号: 特許公開 2010-214488, 公開日: 平成 22 年 9 月 30 日</p>
	研究成果の製品化等について	<p>現在までのところ今回開発されたシステムが実際の災害現場で使用された例は無い。</p>
	研究発表の状況等	<p>[1] 片倉, WJTSJ 消防防災科学技術研究特別プロジェクトについて, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.25, 2008. [2] 一柳, ウォータージェット用親子ロボット車両の開発, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.29, 2008. [3] 緒方, 久保田, 片倉, 島田: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブジェットによる構造物切断時の摩擦着火, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.33, 2008. [4] 清水, ASJ システムの試作, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.37, 2008. [5] 井上, 土井, 片倉, 一柳: ウォータージェットカッターシステムの性能評価について, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.41, 2008. [6] 片倉, 磯部, ウォータージェットカッターの安全距離について, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.43, 2008. [7] 土井, 井上, 一柳, 片倉: 消防用ウォータージェットカッターシステムの性能評価 (不整地走行車の移動性能および建築材料の貫通・切断性能), 日本ウォータージェット学会, 噴流工学, 25-1, p.21, 2008. [8] 土井, 井上, 片倉: ウォータージェットカッターシステムの開発 [その1: システムの構成と基本性能], 日本建築学会 2008 年度大会学術講演梗概集 F-1, p.295, 2008. [9] F. Inoue, S. Doi, H. Katakura, K. Ichiryu: Development of water jet cutter system for disaster relief, Proc. 19th International Conference on Water Jetting, BHR Group, p.87, 2008. [10] S. Doi, F. Inoue, H. Katakura, K. Ichiryu: Performance of water jet cutter for perforating and cutting construction material, Proc. 19th International Conference on Water Jetting, BHR Group, p.95, 2008. [11] B. Usman, 島田, 片倉, 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利: アブレッシブウォータージェットによる可燃性ガスの着火可能性評価, 第 41 回安全工学研究発表会講演予稿集, p.183, 2008. [12] 日本ウォータージェット学会消防防災科学技術研究特別プロジェクトチーム: ウォータージェットカッターシステム, 自治体消防制度 60 周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資機材等に関する展示作品資料集」, 総務省消防庁, p.197, 2008. [13] 片倉, 磯部, 齊藤: ウォータージェットカッター使用時の安全距離に関する研究 (スラージェットの危険範囲の評価とその改善への試み), 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.79, 2009. [14] 井上, 土井, 一柳, 片倉, 齊藤: ウォータージェットカッターシステムの性能評価について (第2報, 不整地走行車および防爆ロボットによる相互移動試験), 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.75, 2009. [15] 相模, 彭, 清水: 災害救助用アブレッシブ・サスペンション・ジェットシステムの試作, 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.71, 2009. [16] B. Usman, 島田, 片倉, 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブウォータージェット使用安全性評価, 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.63, 2009. [17] 片倉: 消防用ウォータージェットシステム「ウォーターカッター」, 日本機械学会誌, 112-1084, p.188, 2009. [18] 片倉, 井上: 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具 (大きさ、性能は従来程度) の開発 (WJTSJ 消防防災科学技術研究特別プロジェクトの成果概要), 噴流工学, 26-1, p.4, 2009. [19] 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利, B. Usman, 齊藤, 片倉, 島田: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブウォータージェットによる構造物切断時の摩擦着火に関する実験研究, 噴流工学, 26-1, p.12, 2009. [20] H. Katakura: Research on the safety distance from a nozzle (Measurement of safe standoff distances of WJ and ASJ), Proc. 2009 American WJTA Conference and Expo, USA, paper 1-1, 2009. [21] A. Saito, H. Katakura, T. Isobe, C. Guo: Research on water jet rescue system (Assessment and improvement of its safe distances), Procedia Earth and Planetary Science, Volume 1, Issue 1, p.1544, 2009. [22] B. Usman, S. Shimada, H. Katakura, Y. Ogata, S. Kubota, T. Saburi, T. Mogi: Safety analysis on abrasive water jet spark under flammable gas condition, Water Jetting Technology for LOHAS, International Academic Printing Co., Ltd., p.261, 2009. [23] 片倉: 高圧水噴流利用時のリスク評価とその低減に関する研究 (ノズル周りの危険範囲を確認する方法), 2009 年度ウォータージェット技術年次報告会論文集, p.21, 2010. [24] 片倉: 高圧水噴流利用時の安全管理に関する研究 (ノズル周りの危険範囲を確認する方法), 噴流工学, 26-3, p.11, 2010. [25] 片倉, 井上: 消防用ウォータージェット装置「ウォーターカッター」の切断速度の向上, 2010 年度ウォータージェット技術年次報告会論文集, pp. 19-26. [26] H. Katakura, T. Mita: Research on hazard range of high-pressure water jet. Proceedings of the 21st International Conference on Water Jetting, Ottawa, Canada: 19th-21st September 2012.</p>
他の研究課題への波及	<p>他の競争的資金での研究費獲得 平成 24 年 4 月 ~ 平成 26 年 3 月 片倉寛 (研究代表者)・三田俊裕, 科学研究費補助金 (基盤研究 C), 水素ガス存在下での使用可能性を有するウォーターカッターの対人安全性評価, 日本学術振興会/文部科学省, 5,460 千円。</p>	

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4.2 水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発

研究課題名	水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	該当なし
	研究成果の製品化等について	該当なし
	研究発表の状況等	水圧・空圧駆動の先進的探索機材群の開発 第3報:3か年の研究成果の総括、第10回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集(H21.12) 狭隘空間探査のための小型棒状ステレオカメラシステムの開発、計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集(H21.12) 完全人力発電による簡易型棒カメラの開発、計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集(H21.12)
	他の研究課題への波及	平成23年度に文部科学省 科研費 基盤研究(B)「ICT技術を用いた消防隊員遠隔支援用レスキューベストの開発」が採択された。研究期間は3年間で、助成総額は1,140千円である。本課題は、消防庁の研究を通して、消防隊員と多くの実証実験を行った成果に基づく部分が非常に多い。

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4. 3 視覚障害者のための災害用力感覚コンパス

研究課題名		視覚障害者のための災害用力感覚コンパス
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	なし。ただし、得られた成果は学術界から賞を受賞するなど、高い評価を得ている。
	研究発表の状況等	<p>原著論文</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Tomohiro Ameyama, Hisashi Sugiyama, “Orienting Kinesthetically: A Haptic Handheld Wayfinder for People with Visual Impairments”, ACM Transactions on Accessible Computing, Vol. 3, No. 2, pp. 1-23, 2010. 2) 雨宮智浩, 杉山久, ”牽引力錯覚を利用した牽引式羅針盤による視覚障がい者の歩行誘導の評価”, ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol. 11, No. 4, pp. 303-310, 2009. 3) Tomohiro Ameyama, Hisashi Sugiyama, “Haptic Direction Indicator for Visually Impaired People Based on Pseudo-Attraction Force”, eMinds: International Journal on Human-Computer Interaction, Vol. 1, No. 5, pp. 23-24, March 2009. <p>学会発表</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Tomohiro Ameyama, Hisashi Sugiyama, “Haptic Handred Wayfinder with Pseudo-Attraction Force for Pedestrians with Visual Impairments”, In Proc. of 11th ACM Conference on Computers and Accessibility (ASSETS 2009), pp. 107-114, Pittsburgh, PA, October 2009. 2) Tomohiro Ameyama, Hisashi Sugiyama, “Navigation in Eight Cardinal Directions with Pseudo-Attraction Force for the Visually Impaired”, In Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2009), pp. 33-38, San Antonio, TX, October 2009. 3) 雨宮智浩, 杉山久, ”牽引力錯覚を利用した牽引式羅針盤による視覚障がい者の歩行誘導の評価”, 信学技報, vol. 109, No. 27, WIT2009-43, HCS2009-43, HIP2009-43, pp. 215-220, 沖縄, May 2009. [電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション賞 受賞] 4) Tomohiro Ameyama, Hisashi Sugiyama, “Design of a Haptic Direction Indicator for Visually Impaired People in Emergency Situations”, In Proc. of 11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2008), pp. 1141-1144, Linz, Austria, July 2008. 5) 雨宮智浩, 杉山久, ”牽引力錯覚を利用した視覚障がい者避難用力感覚コンパスの設計”, ヒューマンインターフェース学会研究報告集, Vol. 10, No. 3, ヒューマンインターフェース学会研究会 第49回研究会, pp. 9-14, 函館, Aug. 2008. [ヒューマンインターフェース学会 第5回研究会賞 受賞]

	他の研究課題への波及	特になし。ただし、研究成果はすべて学術論文誌や報告書にまとめ、研究成果を社会に還元した。本研究は、視覚障害者だけでなく、青眼者に対する歩行ナビゲーションへの応用も期待できる。
--	------------	---

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4. 4 高圧水駆動カッターの研究開発

研究課題名	高圧水駆動カッターの研究開発 (平成19・20年度)	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	平成21年度、東京消防庁消防技術安全所に1セット納入
	研究発表の状況等	論文発表等 【1】 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集『高圧水駆動カッターの研究開発』 【2】 2008年度ウォータージェット学会技術年次報告会報『高圧水駆動カッターの研究開発』pp11～14 【3】 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集『高圧水駆動カッターの研究開発』pp1312～1313 【4】 社団法人日本フルードパワー工業会機関誌『フルードパワーの挑戦 高圧水駆動カッターの研究開発』Vol124pp28～31 展 示 【1】 平成22年6月7～12日 ドイツ ライプチヒ にて 2010インターシュッツ国際防災展の櫻護謨ブースで展示 【2】 平成22年8月20日～23日 韓国 テグ にて 2010アジア消防長会総会併設防災展の櫻護謨ブースで展示 【3】 平成22年10月 東京 ビックサイト にて 洗浄機器展示会のスギノマシンのブースで展示 【4】 平成23年9月21～22日 東京 国際フォーラムにて 産官学共同研究表彰式の受賞者ブースで展示 【5】 平成24年6月22～23日 札幌 コンベンションセンターにて 2012アジア消防長会総会併設防災展の櫻護謨屋外ブースで実演展示
	他の研究課題への波及	なし

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4. 5 効率的な消防戦術の開発

研究課題名	効率的な消防戦術の開発	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	特許出願1件:発明の名称「ホース」、申請年月日平成24年1月23日
	研究成果の製品化等について	効率的な消防戦術のためのノズルについて、研究成果を元にしたガンタイプノズルを開発、製品化を行った(製品名:エコファイターノズル、販売元:株式会社モリタ)。従来品では水およびCAF(圧縮空気泡)を効果的に放射する為には、専用のノズルをそれぞれ使用する必要があったが、本品では切替ノブによりひとつのノズルにて使い分けが出来る構造とした。北九州市消防局ではエコファイターノズルを6基保有し、火災現場において実際に使用中である。また、他にも多くの消防局に納入済みである。 ホースについては、現在も品質面の改良および実証中であり、今後、品質向上等を図り、実用化を目指している。北九州市消防局で、40ミリホースの試作品を訓練等で使用し、使用感などの検証を実施している。
	研究発表の状況等	講演 「効率的な消防戦術のための振多が消防用ノズル・新型消防用ホースの開発」、日本化学工学会 第2回化学工学3支部合同北九州大会、P10、2009年10月30日 雑誌等 「泡消火時代の最強ガンタイプノズル」、Jレスキュー、2010年3月号 Vol.44、PP.26~29
	他の研究課題への波及	特にありません

第5 特殊災害対策の強化

5. 1 大容量放水砲による放水挙動の予測技術に関する研究

研究課題名	大容量放水砲による放水挙動の予測技術に関する研究	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	該当なし
	研究成果の製品化等について	該当なし
	研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> ・ 泡消火剤の消火特性に関する実験, 平成 22 年度火災学会研究発表会概要集, A30, 2010. 5. 17, 18 札幌, 190-191 ・ 気流解析と連立した放水砲による放射挙動シミュレーション, 平成 22 年度火災学会研究発表会概要集, A31, 2010. 5. 17, 18 札幌, 192-193 ・ 大容量放射砲による放水挙動シミュレーション, 安全工学シンポジウム 2010 講演予稿集, 8-2, 2010. 7. 8, 9, 430-433 ・ Numerical Simulation of Water Discharge from Large Capacity Foam Monitor, FIRE COMPUTER MODELING, Santander (Spain), 2012. 10. 19.
	他の研究課題への波及	該当なし

第6 危険物施設等の保安策の充実

6. 1 自走式腐食減肉診断装置の開発

研究課題名	自走式腐食減肉診断装置の開発	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	<p>製鉄所で開発・実用化していた従来型機(鋼板厚 10mm 以下で使用)に対して、石油タンク検査用(鋼板厚 20mm 以下で使用)の自走式腐食減肉診断装置を開発し、自走性および測定精度などについて実機確性して良好な結果を得た。</p> <p>無線化技術もトライし、試作機にて実現可能であることを確認した。問題点として、軽量化を進める必要性はあるが、実機化すれば電源やユーティリティの取り回しが不要となり、診断装置の機動性が更に向上する。</p> <p>但し、石油タンク、屋外タンク側板の腐食検査では、防爆仕様が必要となるため、製品化へは現在未着手である。今後の課題として検討中である。</p> <p>《参考》 今回の研究開発ではないが、従来型機については以下の通り幅広く適用中である。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 製鉄所のガス配管の腐食減肉部位を検出し補修に貢献した 2. 製鉄所の給水配管の部分的な腐食減肉部位を検出し補修に貢献した 3. 焼却工場の鋼製煙突の腐食減肉部位を検出し強度算出用データとして貢献した 4. 製鋼所のダウンカマ配管の腐食減肉部位を検出し補修に貢献した
	研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> 1. 月刊「計装」(工業技術社) 2011年4月号(2011年3月10日発行)へ 「設備診断の効率化に貢献する腐食・減肉診断装置『Scan-WALKER®』」のテーマで投稿 2. 機関紙「アロマティックス」(日本芳香族工業会) 第63新年号(H23年1月発行)へ 「石油タンク・大径配管等の構造物診断技術(非破壊検査技術)」のテーマで投稿 3. 「インフラのヘルスマonitoring」(JACIC)情報97号(2010年3月発行)へ 「Scan-WALKER®」による配管診断技術のテーマで投稿 4. JFE技報 No.27号「安全安心を確立する設備状態診断技術特集号」(2011年2月 P54, 55)へ 「配管腐食診断装置『Scan-WALKER®』」のテーマで投稿
他の研究課題への波及	特になし	

第7 救急・救助業務の高度化

7. 1 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無およびその位置を迅速に特定するための手法の開発

研究課題名	震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無およびその位置を迅速に特定するための手法の開発	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	特になし
	研究成果の製品化等について	プロトタイプ機による、中国国務院直属の中国地震局での実験・デモを2010年以降模索しているが実現に至っていない。
	研究発表の状況等	<p>災害救助用パルスレーダに対する直交位相検波法の応用, 村上太一, 青木義満, 斎藤英雄, 秋山いわき, 後藤眞二, 第82回パターン計測部会研究会, pp.7-12, 2010/07/21.</p> <p>災害救助用パルスレーダ用信号処理に関する考察, 村上太一, 青木義満, 斎藤英雄, 秋山いわき, 後藤眞二, 第15回パターン計測シンポジウム, 2010/12/04.</p> <p>Toshio Takeuchi, Hideo Saito, Yoshimitsu Aoki, Akihisa Ohya, Fumitoshi Matsuno and Iwaki Akiyama, Rescue Radar System with Array Antennas, The 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.1782-1787, Orlando, November, 2008</p> <p>Toshio Takeuchi, Yuko Uematsu, Hideo Saito, Yoshimitsu Aoki, Akihisa Ohya, Fumitoshi Matsuno and Iwaki Akiyama, Measurement of Survivor Location for Rescue Radar System by using Two Dimensional Array Antenna, Proceeding of the 2008 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics(SSRR2008), pp.1-6, Sendai, October, 2008</p> <p>竹内敏夫, 斎藤英雄, 大矢晃久, 青木義満, 松野文俊, 秋山いわき, レスキュー用アレイアンテナ搭載レーダシステム, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.12, pp.962-969, 2008</p> <p>植松裕子, 竹内敏夫, 斎藤英雄, 青木義満, 大矢晃久, 松野文俊, 秋山いわき, 2次元アレイアンテナによるレスキューレーダシステムのための瓦礫下生存者の複合現実提示, MIRU2009 画像の認識・理解シンポジウム, IS3-62, Jul. 2009</p> <p>竹内敏夫, 斎藤英雄, 青木 義満, 大矢晃久, 松野文俊, 秋山いわき, Measurement of Survivor Location by using GPR with Two Dimensional Array Antenna SICE Annual Conference 2008, pp2082-pp2087, Aug. 2008</p>
他の研究課題への波及	<p>本システムでは瓦礫の外部から電波の送受信を行うため、表面での散乱波によるノイズの発生、がれき内での乱反射によるマルチパスの発生の問題があった。次世代型として、表面反射や瓦礫内部での乱反射を極力抑圧するために、がれき内に挿入した複数のアンテナによってアレイアンテナを構成するシステムを提案していた。その提案そのものは採択に至らなかったが、その発想から単体の棒状アンテナを備えた挿入可能レーダーと従来の棒状のカメラ、マイク、ランプなどを融合する「ボーカメ・レーダー」の発想が生まれ、これは平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業「画像音声探索機とマイクロ波センサの融合による災害救助用探索装置の新分野開拓」として採択され、プロトタイプ機を完成した。この成果の上にさらに、分散挿入型アレイアンテナによるレスキューレーダーシス</p>	

		テムを今後も追究していきたい。
--	--	-----------------

第7 救急・救助業務の高度化

7. 2 複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究

研究課題名	複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	なし
	研究成果の製品化等について	来る高齢化社会に於いて、疾病・事業及び在宅医療に関わる医療体制について、厚生労働省は新たな医療計画の指針として、各医療機能を担う地域の医療機関が互いに信頼を醸成し、円滑な連携を推進する事を示し、そのための都道府県が実施すべき手順を示した。本研究の病院救急車の地域共同利用は、2年間に渡り医療機関連携の元で事業を実践した。このことにより、地域連携の基礎となる体制づくりがなされており、消防庁が行う救急医療搬送と地域連携として行う後方搬送と言われる転院搬送が、役割を分担し連携しあうことにより、高齢社会の不必要な消防庁救急車の出場を減らすことが可能となる。
	研究発表の状況等	<p>報道：</p> <p>1. Japan Medicin: 病院救急車の転院搬送活用でモデル事業: 第1378号:007/9/10:</p> <p>2. 日本経済新聞: 救急出動ムダ減らし; 病院が車共同利用: 2008/4/20</p> <p>雑誌：</p> <p>1. 石原 哲、医師会における救急医療の現状と取り組み: 医学のあゆみ、p681-686、Vol.226.No.9. 2008.8.30</p> <p>発表：</p> <p>1. 松村直樹、石原 哲、渡部晋一、長岡一美: 病院救急車の地域共同利用における救急救命士の役割: 第50回全日本病院学会東京大会、2008.11.22</p> <p>2. 石原 哲: 病院救急車の共同利用: 第12回地域防災緊急医療ネットワークフォーラム: 2009.3.</p> <p>3. 渡部晋一、石原 哲、古市真由美、松村直樹: 病院内における救急救命士の現状・役割: 第13回日本臨床救急医学会・学術総会、2010.6.1</p> <p>4. 松村直樹、石原 哲、渡部晋一、古市真由美: 病院救急車の活動状況: 第13回日本臨床救急医学会・学術総会、2010.6.1</p> <p>5. 安藤貴政、石原 哲、渡部晋一、古市真由美: 病院救急車の地域共同利用について; 第6回東京都病院学会、2011./02.20</p> <p>講演：</p> <p>1. 石原 哲、東京都における救急医療の現状と将来: 野村病院総合診療セミナー 2010.11.29</p>
他の研究課題への波及	<p>診療報酬の改定: 救急搬送患者地域連携紹介加算・救急搬送患者地域連携受入加算・在宅患者緊急入院診療加算名など、病院間搬送に関わる地域連携が評価され、搬送に関わる事業が注目され診療報酬は増点となった。今後の高齢社会を見据え、地域での在宅療養中の高齢者の緊急移送に関しては、病院救急車が適しており、かかる経済的基盤作りが急がれ、今後検討に入る計画である。特に、救急需要が増大している状況下で、高齢化社会になりそのニーズは益々増加するとされている。東京都は、在宅療養推進体制の今後の方向性を検討し、その取り組みとして、地域でのネットワーク構築を挙げている。高齢者対策として、在宅医療事が在宅患者訪問診療を行う医療機関（主に開業医）と緊急事態を受け入れる地域の2次救指定病院の役割と相互の連携内容を明確にする為に重要な鍵として、病院救急車の地域共同利用は再認識されているところである。</p>	

消防防災科学技術研究開発事例集 IV

平 2 5 年 1 月 発行

禁無断転載

発行者 消防庁 消防技術政策室
電話 03-5253-7541

