

消防防災科学技術研究開発事例集 VI

〈競争的研究資金制度 平成 26・27 年度 終了課題〉

平成 29 年 1 月

消 防 庁

はじめに

平成 27 年には、台風 18 号から続く記録的な大雨による茨城県常総市の鬼怒川堤防の決壊や神奈川県川崎市の簡易宿泊所火災、平成 28 年には、震度 7 の揺れが連続して発生し甚大な被害をもたらした熊本地震、台風 10 号等による北日本から東日本にかけての大雨被害、震度 6 弱の鳥取県中部地震や東広島山陽自動車道の八本松トンネル内車両火災など、全国各地で多くの自然災害や火災・事故が発生している。これらの災害を踏まえ、自然災害に対する強靱な社会の構築や、災害に強いエネルギーシステム・次世代インフラの構築に対する取組の推進が求められている。

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南海トラフの巨大地震、首都直下地震による被害を軽減するための防災・減災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組み、その成果を普及させることにより高度で先進的な消防防災活動を推進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、消防機関が直面する課題解決のため産学官の研究機関等を対象に革新的かつ実用的な技術の育成・利活用を目的として、提案公募の形式により、研究内容に高い意義が認められる提案者に対して研究を委託する「消防防災科学技術研究推進制度」（競争的資金制度）を平成 15 年度に創設している。

本制度において、平成 28 年度までに 133 件の研究課題を採択し、平成 27 年度までに 117 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、消防機関の業務のみならず自治体における防災活動等でも活用されており、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。
(事例集Ⅲ・Ⅳ 参照)



本事例集の見方

本事例集は、平成27年3月に刊行された「消防防災科学技術研究開発事例集Ⅴ」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26年度、27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24年度と25年度終了課題のフォローアップであり、事例集Ⅴ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、など)
- ・ 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、事例集Ⅴ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。

- ・ 研究成果の活用事例(実用化の状況)(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)
- ・ 他の研究課題への波及
- ・ 研究発表の状況等
- ・ 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の、特許・実用新案への申請について)

目 次

第一部 平成26年度と27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 大規模災害、聴覚・言語機能障がいに対応した緊急通報技術の開発・・・5
- 1. 2 聴覚・言語機能障害者のための緊急ユニバーサル・コミュニケーションシステム・・・10
- 1. 3 ハイブリット通信によるロバストな双方向情報伝達システムの開発・・・18

第2 住宅防火対策等の推進

- 2. 1 地域特性を考慮した効果的な放火火災防止対策と支援システムの研究開発・・・27

第3 防災力の向上

- 3. 1 情報伝達・共有型図上訓練を用いた危機管理体制強化マネジメントプログラム・・・41
- 3. 2 既存の屋外拡声システムを豪雨等の劣悪環境適応型に拡張する装置の研究開発・・・48

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 福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システムの開発・・・73

第5 特殊災害対策の強化

- 5. 1 ゲル状消火剤の高精度投下による安全かつ効果的な航空消火システムの開発・・・91

第6 危険物施設等の保安対策の充実

- 6. 1 津波に対する危険物貯蔵施設の多段階防護システム・・・111
- 6. 2 水素スタンド併設給油取扱所の安全性評価技術に関する研究・・・128

第7 救急・救助業務の高度化

- 7. 1 確実な気道確保と急速脳冷却が可能な声門上気道デバイスと灌流装置の開発・・・137
- 7. 2 傷病者の体調に優しい救急車用ベッドの振動低減に関する研究開発・・・143
- 7. 3 通信指令専科教育導入プロジェクト・・・152

第二部 平成24年度と25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 聴覚・言語機能障がい者のための緊急通報システムの開発・・・161

第2 防災力の向上

- 2. 1 心肺蘇生開始までの時間短縮を目的としたファーストレスポnder体制の研究開発・・・163
- 2. 2 地域力を引き出し持続性を高める「地域防災支援技術パッケージ」の構築・・・167
- 2. 3 大震時火災リスクシミュレータの提供と地域消防におけるルール形成の支援研究・・・169

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 防火服の熱ストレスと動作性評価の標準テスト開発・・・171
- 3. 2 消防防災用無人ヘリコプタの高精度飛行制御技術の研究開発・・・173
- 3. 3 地震等災害時に救助活動を支援する障害物除去システムの開発・・・175

第4 危険物施設等の保安対策の充実

- 4. 1 石油タンクの底部鋼板の腐食劣化状態をタンクの外部から評価する手法の開発・・・177

第5 救急・救助業務の高度化

- 5. 1 救急搬送の予後向上に向けた医療機関との情報の連結に関する研究・・・179
- 5. 2 救急電話相談事業による救急業務の効率化に関する研究・・・180
- 5. 3 救急患者の緊急度評価基準の確立と救急活動の質の評価に関する研究・・・181
- 5. 4 精神科患者の救急搬送に関する研究・・・183
- 5. 5 心肺機能停止患者の気道確保および輸液の効果に関する検討・・・186
- 5. 6 病院前救護における ICT を用いた安全性確保と費用削減に関する実地検証・・・189

第一部 平成26年度と27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 大規模災害、聴覚・言語機能障がいに対応した緊急通報技術の開発

研究実施期間	平成 24 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 13,887 平成 25 年度 15,231 平成 26 年度 14,058
研究代表者	加納 貞彦
所属機関	一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) 兼 早稲田大学
研究体制	産・学・官 (早稲田大学、一般社団法人情報通信技術委員会、株式会社 NTT データ経営研究所、株式会社 NTT データだいち、アイフォーコム東京株式会社、埼玉西部消防局、一般財団法人全日本ろうあ連盟、日本電信電話株式会社、株式会社 NTT データ、株式会社 NTT ドコモ、KDDI 株式会社、ソフトバンクテレコム株式会社、ソフトバンクモバイル株式会社、日本電気株式会社、株式会社富士通ゼネラル、株式会社日立製作所、沖電気工業株式会社、株式会社シュアール、株式会社プラスヴォイス、株式会社ドーン)
研究概要	聴覚・言語機能に障がいを持った人でも円滑に緊急通報が行えるよう、携帯電話・スマートフォンからパケット通信を利用した緊急通報サービス(以下、「Net119」という。)の実現化にめどをつけることが本研究の目標である。平成 24 年度は、「調査・研究フェーズ」として位置付け、通報する側(聴覚・言語機能障がい者)及び受け付ける側(消防本部)双方の要求事項を整理した。加えて国内外の通信技術・サービス動向に関する調査結果を踏まえ、サービスモデル(Net119)を設定した。平成 25 年度は、「サービス設計フェーズ」として位置付け、平成 24 年度に設定したサービスモデル(Net119)を実現するために必要な各関連設備のソフトウェア設計書の作成を行った。平成 26 年度においては、Net119 に関わるプロトタイプ開発を行い、技術面と運用面での検証を行った。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	平成 27 年度に、これまでの一般社団法人情報通信技術委員会 (TTC) での研究・検討の場を消防庁へ移し、平成 29 年度の Net119 の運用開始へ向けた運用面での検討および実証試験を開始する。その際に、Net119 を「119 番通報の多様化」の一形態として、利用対象者を健聴者にも広げる予定である。さらに平成 30 年度からは、その 2 年後に開催が予定されている東京オリンピック・パラリンピックへ向けて、来日外国人にも利用対象者を拡大するべく、機能拡張(多言語翻訳機能等の活用)を開始する予定である。 一方、TTC においては、Net119 の展開に向けて、ゲートウェイに接続する 3 か所のインターフェースについて、国内標準・アジア標準・国際標準の 3 つの活動を行っていく。その標準化プロセスの中で取得した海外の技術動向や標準規格が策定された際には、その情報を消防庁の検討会に提供する形で引き続き連携をとっていく予定である。

応用の方向性	「どこでも・誰であつても・どのような状況でも」通報が可能となる、シームレスな緊急通報の仕組みを実現することが、本研究を通じた将来的な目標である。
研究発表の状況等	・ITU-T FG-DR&NRR 寄書を提出。「Emergency Communication System for Persons with Hearing and Speaking Disabilities」平成 25 年 2 月 ・IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference 2013,26 – 29 Aug 2013, Sendai, Japan にて、タイトル「Emergency Communication System for Persons with Hearing and Speaking Disabilities and Against a Large-scale Disaster」の論文投稿ならびに発表を実施。平成 25 年 8 月 ・ITU-T SG16 寄書および勧告草案を提出。「PROPOSAL OF A NEW STUDY ITEM TO PRODUCE A NEW RECOMMENDATION : APPLICATION LAYER INFORMATION SPECIFICATION AT THE TERMINAL TO NETWORK INTERFACE FOR PEOPLE WITH HEARING AND SPEAKING DIFFICULTIES TO REQUEST RESCUE TO EMERGENCY RESCUE AGENCIES」平成 26 年 7 月 ・ITU-T SG16 Workshop にて講演。「EMERGENCY COMMUNICATION SYSTEM PEOPLE WITH HEARING AND SPEAKING DIFFICULTIES TO REQUEST RESCUE TO EMERGENCY AGENCIES」平成 26 年 7 月 ・特定非営利活動法人日本聴覚障害者コンピューター協会向け講演会「聴覚障害者と緊急通報～シームレスな緊急通報(Net119)への取組のご紹介～」平成 26 年 9 月 ・ITU-T SG16 寄書提出。①「H.ACC-RDE※: some remarks and report a field trial」、②「H.ACC-RDE: Proposed title change and other updates - full text」平成 27 年 2 月 ・「ITU ジャーナル」平成 26 年 8 月号 「緊急通報アクセシビリティへの取り組みの御紹介～シームレスな緊急通報の実現を目指して～」平成 26 年 8 月 ・「New Breeze」平成 26 年秋号 「Making Emergency Services More Accessible : Aiming for the Seamless Handling of Calls to the Emergency Services (聴覚障がい者の利用を想定した緊急通報のアクセシビリティへの取り組み)」
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	PSTN 網の IP 化(マイグレーション)開始に合わせて、Net119 をインフラとして緊急通報に関わるあらゆる情報(音声・テキスト・画像・動画)が通報者と消防本部間でリアルタイムに送受信可能な仕組み(Total Conversation)の実現を図っていく。これにより、シームレスな緊急通報の仕組みの実現を図っていく次第である。

大規模災害、聴覚・言語機能障がいに対応した緊急通報技術の開発

○加納貞彦¹・山中幸雄²・増島幸夫³・中林裕詞⁴・秋元祐紀⁴・
鎌田成憲⁵・上村和明⁵・李鉉哲⁵・福田光洋⁶

Sadahiko Kano, Yukio Yamanaka, Yukio Masujima, Hiroshi Nakabayashi, Yuki Akimoto,
Masanori Kamada, Kazuaki Kamimura, Mitsuhiro Fukuda

研究課題の要旨：聴覚・言語機能に障がいを持った人でも円滑に緊急通報が行えるよう、携帯電話・スマートフォンからパケット通信を利用した緊急通報サービス（以下、「Net119」という。）の実現化にめどをつけることが本研究の目標である。平成 24 年度は、「調査・研究フェーズ」として位置付け、通報する側（聴覚・言語機能障がい者）及び受け付ける側（消防本部）双方の要求事項を整理した。加えて国内外の通信技術・サービス動向に関する調査結果を踏まえ、サービスモデル（Net119）を設定した。平成 25 年度は、「サービス設計フェーズ」として位置付け、平成 24 年度に設定したサービスモデル（Net119）を実現するために必要な各関連設備のソフトウェア設計書の作成を行った。平成 26 年度においては、Net119 に関わるプロトタイプ開発を行い、技術面と運用面での検証を行った。

キーワード： 緊急通報、聴覚・言語機能障がい、Net119、パケット通信、携帯電話、スマートフォン

1. 本研究の目標

聴覚・言語機能に障がいを持った人でも円滑に緊急通報が行えるよう、携帯電話・スマートフォンからパケット通信を利用した緊急通報サービス（以下、「Net119」という。）の実現化にめどをつけることが本研究の目標である。そのため、平成 26 年度においては、Net119 に関わるプロトタイプ開発を行い、技術面と運用面での検証を行った。

並行して、インターフェースの国際標準化に取り組むことにより、「どこでも・誰でも・どのような状況でも」通報が可能となる、シームレスな緊急通報の仕組みを実現することが、本研究を通じた将来的な目標である。

上記、本研究を通じた 2 つの取り組みが実現できれば、将来的には国内外を問わず、健常者および聴覚・言語機能障がい者を問わず、さらに平常時および災害時を問わず、緊急通報を利用できるようになる。海外渡航者の安心安全に寄与すると同時に、災害に対する課題先進国として、緊急通報に関わる日本企業の優位性が確保され、もって日本の経験が世界の安全・安心の向上に貢献できるようになる。

2. 平成 27 年度行った研究内容とその成果

(ア) 実証試験の実施

平成 27 年度は過去 2 年間の研究成果に基づき、Net119 を実現するためのゲートウェイ設備及び指令台装置の 2 つのプロトタイプ開発を行った。それを元に、12 月に埼玉西部消防局で試験通報を実施、そこで生じた課題解決を図るべく、再度 2 月に追加

試験を実施した。また、リレーサービスセンター及び IP-VPN への接続検証については、後述の理由により机上検証に切り替え実施した。

検証を通し下記 5 点の実現ができたことから、Net119 の実用化が可能との結論に至った。

A) 主要な通報者端末による通報の実現

通報者端末（フィーチャーフォン、スマートフォン・タブレット（iOS、Android の両方）、パソコン）から即時問題なく接続でき、通報中断の際も呼び返しによる再接続が実現できた。

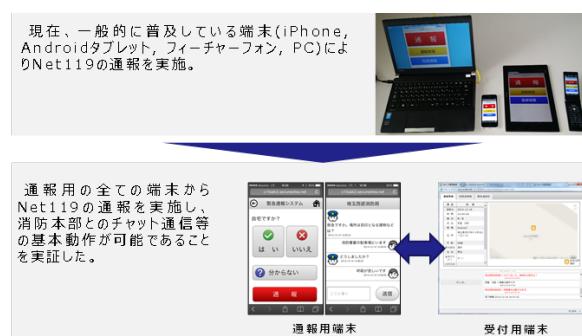


図 1-1 主要な通報者端末による通報の実現

B) 通報者及び消防本部側の操作性向上・所要時間の短縮

両者とも定型文選択による操作性の向上と所要時間の短縮が実現、音声 119 番時と同等、またはそれ以下の所要時間を実現できた。

（所属機関名）

1 一般社団法人情報通信技術委員会（TTC） 兼 早稲田大学

2 一般社団法人情報通信技術委員会（TTC）

3 埼玉西部消防局

4 株式会社 NTT データ経営研究所

5 株式会社 NTT データだいち

6 アイフォーコム東京株式会社

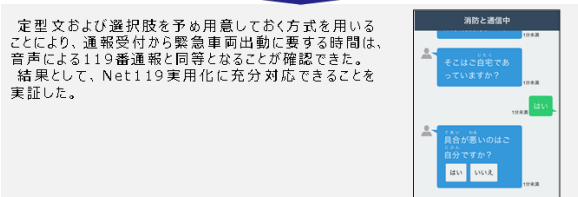
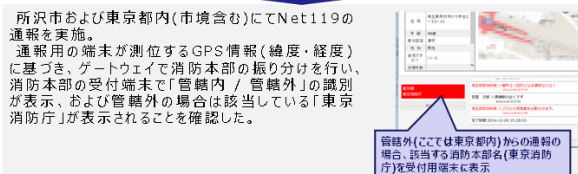
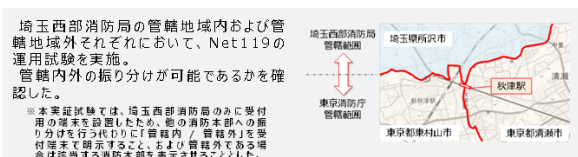


図 1-2 操作性の向上の実現

C) 管轄内外通報識別及び管轄先への振り分け受信の実現

実証フィールドが埼玉西部消防局のみだったが、管轄内外の別が識別でき、かつ管轄先への振り分け受信を実現した。



D) リレーサービスセンターとの接続の確認

リレーサービスセンターでの設備開発(WebRTC機能+ACD機能)が今年度に認められた予算では困難なため、机上検証を実施、接続が可能な旨確認できた。

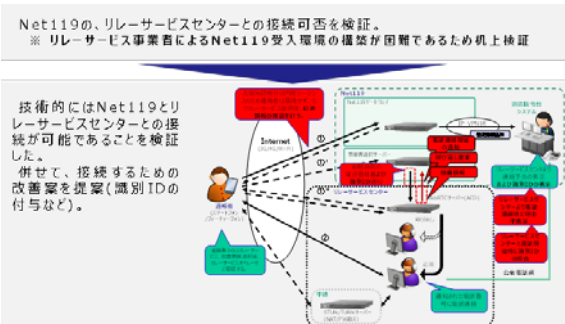
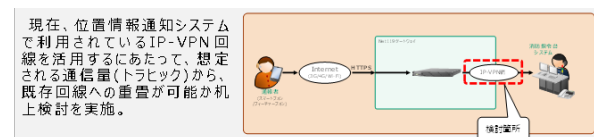


図 1-3 リレーサービスセンターとの接続の確認

E) IP-VPN 接続時の許容量の確認

実際に稼働中の音声 119 番の IP-VPN に直接重量検証するのはリスクが大きいため、想定トラフィックによる机上検証を実施、本運用でも問題ないことが確認できた。



国内で 119 番通報の件数が最も多い東京消防庁を念頭に、今後、聴覚・言語機能障がい者が Net119 を利用する頻度を試算(年間約 16 万件)。その上で、Net119 の同時接続数が最大 2 件であると想定。併せて、Net119 でやり取りされるパケットの最大電文サイズを試算(2.6KByte)。

⇒ 結果として、現状の IP-VPN 回線(帯域は 256kbps もしくは 128kbps で運用中)で、充分 Net119 の重量が可能であることを示した。

図 1-4 IP-VPN 接続時の許容量の確認

(イ)平成 27 年度の成果

実証試験の検証結果から、次の 3 点が平成 27 年度の研究成果である。

- Net119 国内展開と国際標準の原案となる仕様書を作成した。
- 本技術の国際標準化に向けて、ITU へ 2 度の寄書投稿を実施、我々が提案した勧告草案が議論のたたき台として採択され、勧告化に向けて継続審議を行うこととなった。
- Net119 普及展開時に解決が必要な運用面の課題を関係機関への要望書として作成した。

3. 今後の展望

今後のスケジュールとしては、平成 27 年度に、これまでの一般社団法人情報通信技術委員会(TTC)での研究・検討の場を消防庁へ移し、平成 29 年度の Net119 の運用開始へ向けた運用面での検討および実証試験を開始する。その際に、Net119 を「119 番通報の多様化」の一形態として、利用対象者を聴覚者にも広げる予定である。さらに平成 30 年度からは、その 2 年後に開催が予定されている東京オリンピック・パラリンピックへ向けて、来日外国人にも利用対象者を拡大するべく、機能拡張(多言語翻訳機能等の活用)を開始する予定である。

一方、TTC においては、Net119 の展開に向けて、ゲートウェイに接続する 3 か所のインターフェースについて、国内標準・アジア標準・国際標準の 3 つの活動を行っていく。その標準化プロセスの中で取

得した海外の技術動向や標準規格が策定された際には、その情報を消防庁の検討会に提供する形で引き続き連携をとっていく予定である。

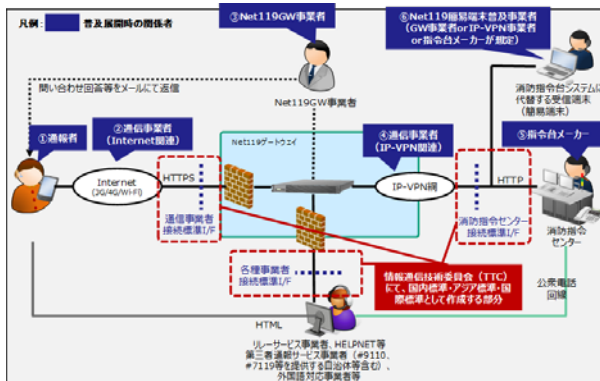


図 2-1 Net119 の展開に向けた標準 I/F の検討

平成 32 年度以降は、上記活動の総仕上げとして、PSTN 網の IP 化（マイグレーション）開始に合わせて、Net119 をインフラとして緊急通報に関わるあらゆる情報（音声・テキスト・画像・動画）が通報者と消防本部間でリアルタイムに送受信可能な仕組み（Total Conversation）の実現を図っていく。これにより、シームレスな緊急通報の仕組みの実現を図っていく次第である。

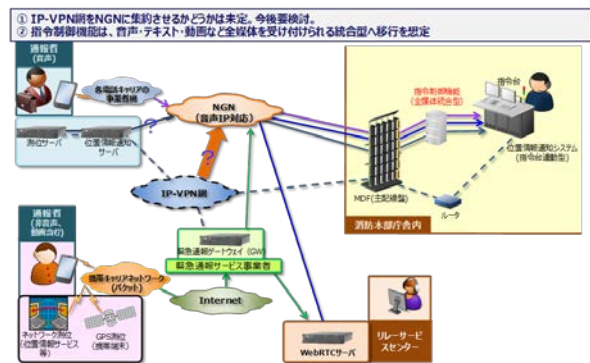


図 2-2 平成 32 年度以降の展望②Net119 機能拡張最終形イメージ

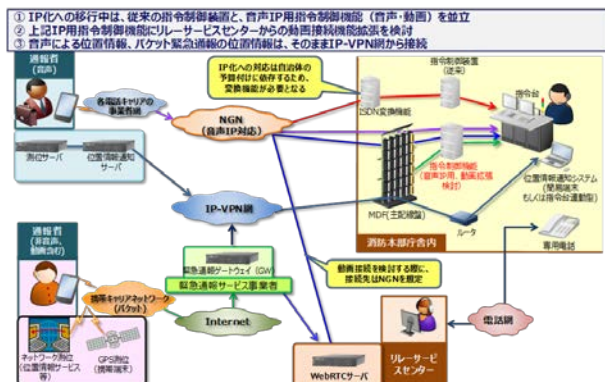


図 2-2 平成 32 年度以降の展望①Net119 機能拡張・音声網移行イメージ

1. 2 聴覚・言語機能障害者のための緊急ユニバーサル・コミュニケーション・システム

研究実施期間	平成 24 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 4,398 平成 25 年度 3,676 平成 26 年度 3,179
研究代表者	西島 勝
所属機関	沖コンサルティングソリューションズ株式会社
研究体制	産・官 研究協力者：細野 直恒, 三樹 弘之(沖コンサルティングソリューションズ株式会社) 研究支援者：因幡 敏幸, 宮嶋 文洋(春日・大野城・那珂川消防本部)
研究概要	言語が不自由な聴覚・言語機能障害者や外国人のため、出先で急病などになった時に、スマホ上のアイコンをタッチするだけで、素早く直近の消防本部に一報が入るシステムで、発話に頼らない対話のためのユーザーインタフェースを構築した。 成果としては、1)位置情報技術(GPS)の活用により、聴覚・言語機能障害者等がどこにいても、直近の消防本部へ緊急通報の可能性を確認したこと。2)テキストではなく、画面上のアイコンを選択することで、容易で敏速に通報ができる仕組みを完成したこと。3)情報管理センター集中方式ではなく、個人情報をも自分のスマホ上で管理する方式にしたことにより、セキュリティ向上と維持費軽減が実現できたこと。4)通報から現場での事情聴取までの一連の行為が、発話に依ることなくシームレスに行えるシステムに仕上げたこと。5)人間工学の概念を元にした聴覚障害者による実証実験の結果から、本アプリの実用化の期待切望が痛感できたことである。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	・本研究は平成 27 年度 消防庁・消防防災科学技術賞・奨励賞を受賞。 ・(財)情報通信技術委員会(TTC)緊急通信アクセシビリティ SWG で知見の展開
応用の方向性	・画面上のユーザーインタフェース(UI)の向上の為、アイコン作成の方法論の確立 ・ユーザー層として、聴覚・言語機能障害者から高齢者への展開 ・G 空間への展開 ・国際標準化への展開
研究発表の状況等	以下、すべて査読付きの学会・大会である。 <u>平成 24 年度</u> ・会議名：日本人間工学会第関東支部 42 回大会 - 発表タイトル：聴覚・言語機能障害者のための緊急ユニバーサル・コミュニケーション・システム - 開催期間・場所：2012 年 12 月・埼玉県立大学/埼玉県 - 発表内容：成果発表(口頭発表)

	<u>平成 25 年度</u> ・ 会議名: ACHI 国際会議 2013 発表タイトル: Sensory Evaluation Method to Create Pictograms Based on Multiplex Sign Languages 開催期間・場所: 2013 年 2 月・Nice/ France 発表内容: 成果発表(口頭発表) ※本会議において“Best Paper Award”を受賞し, その後 IARIA Journal へ推薦掲載; Pictogram Creation with Sensory Evaluation Method Based on Multiplex Sign Languages, pp.233-244, vol.8, no.3&4, IARIA Journal, 2015. ・ 会議名: 日本人間工学会第 54 回大会 発表タイトル: 聴覚言語障害者のためのユニバーサルな対話システム 開催期間・場所: 2013 年 6 月・日本大学生産工学部/千葉県 発表内容: 成果発表(口頭発表) ・ 会議名: AAATE 2013 発表タイトル: Emergency Communication Tool for Deaf, Language Dysfunction and Foreigners 開催期間・場所: 2013 年 9 月・Faro/ Portugal 発表内容: 成果発表(口頭発表) ・ 会議名: 日本人間工学会関東支部第 43 回大会 発表タイトル: 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム 開催期間・場所: 2013 年 12 月・首都大学東京日野キャンパス/東京都 発表内容: 成果発表(口頭発表) <u>平成 26 年度</u> ・ 会議名: 日本人間工学会第 55 回大会 発表タイトル: 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム-2 開催期間・場所: 2014 年 6 月・神戸国際会議場/兵庫県 発表内容: 成果発表(口頭発表) ・ 会議名: ACM Mobile HCI 2014 発表タイトル: Urgent Mobile Tool for Hearing Impaired, Language Dysfunction and Foreigners at Emergency Situation 開催期間・場所: 2014 年 9 月・Toronto/ Canada 発表内容: 成果発表(口頭発表) ・ 会議名: JSAC 2014 発表タイトル: User experience and inclusive design: Techniques that fit more people 開催期間・場所: 2014 年 11 月・Toronto/ Canada 発表内容: 成果発表(口頭発表)
--	---

	・ 会議名: 日本人間工学会関東支部第 44 回大会 発表タイトル: 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム-3 開催期間・場所: 2014 年 12 月・早稲田大学/東京都 発表内容: 成果発表(口頭発表) ・ 会議名: 日本人間工学会第 56 回大会 発表タイトル: 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム-4 開催期間・場所: 2015 年 6 月・芝浦工業大学/東京都 発表内容: 成果発表(口頭発表) 講演状況を NHK 手話ニュース 845 で放映された
知的財産権の出願・登録状況等	準備検討中
当該研究に対する今後の展開、意見等	聴覚・言語障害者の方々は、このような緊急通報システムが提供されることは、誰もが認めるところです。しかしともすると、この種の研究は、通信など技術が先行してしまう開発に偏重しがちです。一方、国際標準化機構(ISO)により、人間中心設計の概念(Human-Centred Design; HCD, ISO9241-210)が規格化されて久しく、企業では徐々に浸透して来ました。具体的には、人間工学の専門家の視点から、利用者として聴覚・言語障害者の方々が、真に望んでいることを見極めることであります。お座なりの実証実験では、解が見つかる可能性は低いです。さらに人間工学の国際規格でもある、利用の文脈 (Context of use, ISO9241-11)の概念を、もっと取り入れる必要があると考えます。 今後の展開としては、得られた成果の中で、2)テキストではなく、画面上のアイコンを選択、4)一連の行為をシームレスに行えるシステム、5)人間工学の概念を元にした聴覚障害者による実証実験の3件を中心に拡張推進させた方法論として、新入高齢者である団塊世代の人間像の見直しと、高齢者向けゲームや公共機器のユーザーインターフェース(GUI)の対応付けを、多変量解析を用いて検討・評価を実施しようとしています。 最後に意見として、以上に述べたように実際に使うユーザーである聴覚・言語機能障害者の方々の視点から、システムを再考する必要性を感じています。

聴覚・言語機能障害者のための緊急ユニバーサル・コミュニケーション・システム

○細野 直恒¹・因幡 敏幸²・宮嶋 文洋²・三樹 弘之¹・西島 勝¹

Naotsune Hosono, Toshiyuki Inaba, Fumihito Miyajima, Hiroyuki Miki, and Masaru Nishijima

研究課題の要旨：言語が不自由な聴覚・言語機能障害者や外国人のため、出先で急病などになった時に、スマホ上のアイコンをタッチするだけで、素早く直近の消防本部に一報が入るシステムで、発話に頼らない対話のためのユーザーインターフェースを構築した。成果としては、1) 通報から現場での事情聴取までの一連の行為を、発話に依ることなく、一台の端末だけでシームレスに行えるシステムに仕上げたこと。2) 位置情報技術(GPS)の活用により、聴覚・言語機能障害者等が全国どこにいても、直近の消防本部へ緊急通報の可能性を確認したこと。3) テキストではなく、画面上のアイコンを選択することで、容易で敏速に通報ができる仕組みを完成したこと。4) 情報管理センター集中方式ではなく、個人情報をも自分のスマホ上で管理する分散方式にしたことにより、セキュリティ向上と経費軽減が確認できたこと。5) 人間工学の概念を元にした聴覚障害者による実証実験の結果から、本アプリの実用化への期待が確認できたことである。なお本研究は、平成 27 年度 消防庁・消防防災科学技術賞・奨励賞を受賞した。

キーワード：聴覚・言語機能障害者、ユニバーサルデザイン、ユーザーインターフェース、スマホアプリ、緊急通報、感性・官能評価

1. はじめに

スマートフォン（スマホ）の普及により、聴覚障害者の行動体系は、従来の手話中心の生活から大きく変化している。最近ではスマホが生活上必須の手段となり、彼らの生活の質(Quality of Life: QOL)の向上にも寄与している。これらの人々や外国人が、震災や出先の急病などの際に、直近の消防署へ容易に連絡が出来るように、スマホ上のアプリにより、安価で操作性が良いシステムの研究開発を、消防庁の委託研究として行った。人間中心設計の概念に沿い、エンドユーザーであるこれらの方々のインタビューや評価と、現場の消防・救急隊員の意見の反映に努めた。煩雑な文字入力ではなく、文脈に沿って作られたアイコンをタップすることにより、簡単に容易に通報と現場での対話を、通報時から現場での対話時までシームレスに実現することを目指した。本文では、人間工学の視点から、聴覚・言語障害者や外国人により、このシステムを試作し評価した結果を述べる。

2. 背景

東日本大震災のような非常事態に対峙すると、一時的に認知性が低下して、思考が滞ることが知られている。本研究では、このような緊急を要する場面で、情報弱者のため、情報通信技術 (ICT: Information and Communication Technology) を活用して、安価で操作性の高いシステムの研究開発を、消防庁の委託研究により実施した。

現在、音声電話で 119 番緊急通報すると、電話局を介して、全国 750 消防本部の中で、発信地に直近

の消防本部へ繋がる仕組みになっている。しかし音声言語によるコミュニケーションが難しい聴覚障害者にとっては、音声通話ができないので、現在は FAX を利用している。

スマホの出現は、このような障害を持つ人々にとって、新たなコミュニケーション手段となり、日常の生活を送るに当たって、不可欠な存在になって来ている。

3. 評価システムの構築

本件の先行研究では、聴覚障害を持つ共著者からの依頼を受けて、通称「SOS カード」というアイコンをメニュー化¹⁾して、現場で指さしにより救急救命士と聴覚障害者の間のコミュニケーションを図る冊子を、東京都の助成金により約 6,000 部を作成し、全国の消防本部、官公庁、病院等に配布した(図 1)。しかしスマホの利用者が増えるに従い、この冊子をスマホ上のアプリケーションとして搭載して欲しいという、聴覚障害者からの要請が強くなった。そこで感性官能評価法²⁾を参考に文字ではなく、スマホ上に表現されたアイコンやピクトグラムをタップすることにより、緊急場面での対話を実現するユーザーインターフェース (UI) のアプリを試作し評価した。

まず実際に使われる場面を想定し、国際規格である人間中心設計 (HCD: Human Centred Design)³⁾を元に、研究支援者である九州福岡県の春日・大野城・那珂川消防本部の消防指令管制システムの運用状況を調査して、対話手順のプロセスを解析した(図 2)。この結果を踏まえて、システム構築にあたり、聴覚障害者の課題を抽出し、次に示す 6 項目をスマホ上のアプリの特徴とした⁴⁾

(所属機関名)

1 沖コンサルティングソリューションズ株式会社

2 春日・大野城・那珂川消防本部



図 1. SOS カード



図 2. 消防指令管制システムの対話の解析

1. 通報時点から、現場での障害者と消防・救急隊員の対話までシームレスに 1 台のスマホだけで完結すること。
2. 出先でも、直近の消防署へ迅速に通報できること。
3. 文章によるテキスト入力ではなく、分かりやすいアイコンをタップして入力できること。
4. 身の回りにあるテクノロジー（アルテック）⁵⁾を用い、サービス料を無料化すること。
5. 個人情報の外部流出防止と情報の陳腐化の防止と、個人情報保護を図ること。
6. スマホ上のアプリ適用による分散方式により、集中方式のセンター設置を不要とし、運営費と保守費の低減をさせること。

以上の概念を元に、スマホによるアプリ操作手順は次の通りである。

3.1 事前登録（図 3）

- ・事前に氏名、住所、既往歴、掛かり付け病院等を入力しておく。それには障害種別の情報も含める。これにより、利用者に障害者がセンターに事前登録などという煩雑な負荷を課さず、また日々刻々変化する情報を、自分のスマホの中で管理できる

ようにした。またセキュリティの観点から、センターなど第 3 者機関に登録して漏洩する危険も回避できる。当然センターの設置費、運営費は発生しない。なお最近ではスマホ自身のパスワード管理が徹底されて来ているので、スマホを紛失した場合の危険性は低下している。



- ・ 氏名
- ・ 障害の種類 *
- ・ 既往症 *
- ・ 現在のかかりつけの病院名 *
- ・ 現住所 *
- ・ 生年月日
- ・ 家族の連絡先の住所 *
- ・ 電話番号 *

図 3. 事前登録画面

3.2 通報（図 4）

- ・入力に手間取るテキストによる送信ではなく、画面上のアイコンを簡単にタップするだけの、必要最小限のコミュニケーション手段を提供した。以前の研究で、文脈に合致した適切なアイコン生成法（マープル・メソッド）⁶⁾を確立したので、その成果を利用した。
- ・発信地確認のために、発信地 GPS 位置データの添付、室内では Wifi 位置データを活用した。
- ・以前に高齢者向け ATM の画面設計で培ったノウハウを用い、アプリ上のプロセスを検討し、緊急時で一時的に認知性が低下した場合でも、ステップ・バイ・ステップの操作で、直近の消防本部へ通報ができるようにした。

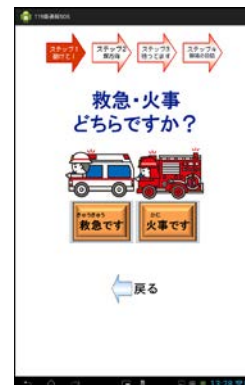


図 4. 通報時画面

3.3 消防車両配車中の指導（図5）

- ・通報時は、通報者からの単方向通信あるが、消防車両出動中の短時間でも、通報者と指令管制センターとの双方向対話通信を実現させて、側近による心肺蘇生法（CPR）等の救急処置を可能にした。

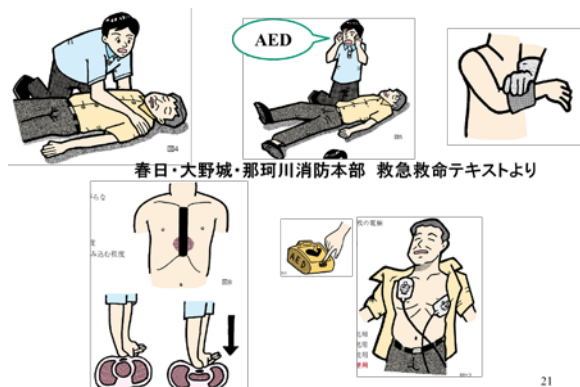


図5. 消防車両配車中の指導画面

3.4 現場到着誘導（図6）

- ・聴覚・言語機能障害者は、声を発することが苦手なので、通報スマホ自体から喚起音を発するとともに、暗所での通報者位置確認ができるよう、光点滅機能を付加した。



図6. 現場到着誘導の画面

3.5 現場隊員とスマホ端末を介しての対話（図7）

- ・現場での事情聴取を考慮して、必要最小限の対話の内容を抽出し、別途新規に研究開発したマール・メソッドを適用してアイコン化させ、メニューの要領でそれらを指さしするだけで、容易な対話の手段を提供した⁶⁻⁷⁾。



図7. 隊員と端末を介して対話する画面

4. 評価実験と結果

延べ3年間の研究開発期間中に、聴覚障害者に参加して貰い評価実験を実施した。1年目は、日常の困難さのヒアリングを行い、2年目は、パソコンメールによる通信と、開発されたスマホ上の試作機を用い、利用文脈（IS09241-11）³⁾から有効性、効率性、満足度について比較した。最終年では、スマホからの緊急通信を仮定して、アイコンのタップによる通信と、フリック入力や手書き入力での文字入力との比較を実施した。どの場合も、実際の使用場面を想定して、社会学等で言われる作業仮説²⁾を元に実施し、利用の文脈から緊急事態を想定し、効率性に注目して評価を行った。

4.1 パソコンとスマホの入力の効率性比較実験

スマホ上での試作物に対して、評価者を集め評価実験を実施した。その際、先ず直近の消防署への第一報が肝心であるので、前章に述べた通報時のタスクを中心に評価を行った。

実験協力者として、地域の聴覚障害者3人（男性60代2人、女性50代1人）と、外国人（女性30代1人）が参加した。

表1. パソコンとスマホの入力の効率性比較結果

実験協力者	スマホのアイコンで火災通報	スマホのアイコンで救急通報	パソコンの文字入力での火災通報	パソコンの文字入力での救急通報
SMZ	17.97	63.79	98.00	151.47
SZM	15.00	91.00	147.00	165.00
SZK	9.00	79.00	91.00	130.00
JMM	6.00	13.00	34.00	50.00
小計平均	11.99	61.70	92.50	124.12
平均時間	36.85		108.31	
			単位:秒	

評価実験では、次に示す4件のタスクを作成した。それらの作業内容については、手話通訳者を介して指示を行った。その後、操作性に関するインタビューも実施し意見を聞いた。

1. スマホのアイコンで火災通報
2. スマホのアイコンで救急通報
3. PC上のMS Wordの文字入力での火災通報
4. PC上のMS Wordの文字入力での救急通報

結果として、PCメールに比較して、スマホを使用して、アイコンをタップした場合は、約3倍の効率性が上がったことが確認できた（表1）。

4.2 スマホ文字入力とアイコンタップの比較実験

実験協力者として、地域の全員聴覚障害者、6人（男性60代3人と30代1人、女性50代1人と20代1人）が参加した。前年度と同様の手順で、次の4件のタスクについて、手話通訳者を介して実施し、評価を行った。

1. スマホのアイコンで火災通報
2. スマホのアイコンで救急通報
3. 慣れた自分のスマホで文字入力の火災通報
4. 慣れた自分のスマホで文字入力の救急通報

結果として、スマホを使用して、アイコンをタップした場合は、いつも使い慣れている自分のスマホによるフリック入力やトグル入力、手書き入力に比較して、約5倍の効率性が上がったことが確認できた（表2）。

表2. スマホ文字入力とアイコンタップの比較結果



実験協力者	携帯電話	入力方法	救急通報		火災通報	
			SOS AP	Smart Phone	SOS AP	Smart Phone
KHR	Android (Aquos)	Flick	0:00:26	0:01:58	0:00:17	0:01:16
ARK	Android (AU)	Hand Write	0:00:18	0:01:47	0:00:18	0:01:21
WTS	iPhone	Flick	0:00:27	0:01:18	0:00:17	0:01:10
SMZ	3G Mobile	Toggle	0:00:14	0:01:05	0:00:17	0:01:27
SZK	iPhone 5S	Flick	0:00:19	0:01:09	0:00:11	0:01:06
OND	iPhone 4S	Flick	0:00:16	0:01:32	0:00:14	0:01:05
小計			0:02:00	0:08:49	0:01:34	0:07:25
平均			0:00:20	0:01:28	0:00:16	0:01:14
標準偏差			0:00:05	0:00:19	0:00:02	0:00:08
比率			23%		21%	
倍率			4.41		4.73	

5. まとめ

本研究は平成27年度 消防庁・消防防災科学技術賞・奨励賞を受賞した。

また本研究では、通報から現場での事情聴取までの一連の行為が、発話に依ることなくシームレスに行えるシステムに仕上がったことが特徴であり、(財)情報通信技術委員会 (TTC) 緊急通信アクセシビリティ SWG で知見の展開中である。

本委託研究成果は、国内学会では日本人間工学会を中心に6回採択され、また海外学会ではACMなど

有力な国際学会でも3回採択されて発表する機会を得た^{4,8-15)}。いずれも査読付きの学会である。特に平成27年6月に日本人間工学会で発表した形式は、共著者である聴覚障害者が手話で発表報告し、それを手話通訳者が読み取り、会場内へ向けて音声化して行った。その様子はNHKの「手話ニュース845」の取材を受けて即日放映され、全国の聴覚障害者の話題になった。

謝辞

本研究は平成24～26年度の消防庁の消防防災科学技術研究推進制度委託事業で実施した。千葉県立保健医療大学の井上裕光教授、慶応義塾大学の中西美和准教授、富田豊名誉教授には研究推進にあたり助言を頂いた。アプリのプログラム化は、聴覚障害のプログラマーである、コスモシティの山下剛氏の協力を得た。ヒアリングと評価実験では、日本聴覚障害者建築協会 (AAJD) の鈴木道夫会長を筆頭に全面的な協力を得た。

【参考文献】

- 1) Hosono N., Inoue H., Tomita Y., Sensory analysis method applied to develop initial machine specification, Measurement, vol. 32, pp. 7-13, 2002.
- 2) 井上裕光, 官能評価の理論と方法, 日科技連, 2012.
- 3) International Organization for Standardization (ISO), ISO9241-210, ISO9241-11, ISO9241-110, Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs), 2006.
- 4) Hosono, N., Inoue, H., Nakanishi, M., Tomita, Y., Urgent Mobile Tool for Hearing Impaired Language Dysfunction and Foreigners at Emergency Situation, MobileHCI2014, ACM, Toronto/Canada, 2014.
- 5) 中邑賢龍, 巖淵守, 身の回りにあるテクノロジー (アルテク) を活用した障害支援技術開発の方向性とポイント, ATACカンファレンス2014 京都, 予稿集, 2014.
- 6) N. Hosono, et al, Pictogram Creation with Sensory Evaluation Method Based on Multiplex Sign Languages, pp233-244, vol 8, no 3&4, IARIA Journal, 2015. Available from: http://www.iariajournals.org/intelligent_systems/tocv8n34.html
- 7) Hosono, N., Inoue, H., Nakanishi, M., Tomita, Y., Sensory Evaluation Method to Create Pictograms Based on Multiplex Sign Languages,

- ACHI2013, Nice/ France, 2013, Best Paper Award を受賞.
- 8) 細野直恒, 井上裕光, 中西美和, 富田豊, 聴覚・言語機能障害者のための緊急ユニバーサル・コミュニケーション・システム, 日本人間工学会第関東支部 42 回大会, 埼玉県立大学/埼玉県, 2012.
 - 9) 細野直恒, 井上裕光, 中西美和, 富田豊, 聴覚言語障害者のためのユニバーサルな対話システム, 日本人間工学会第 54 回大会, 日本大学生産工学部/千葉県, 2013.
 - 10) Hosono, N., Inoue, H., Nakanishi, M., Tomita, Y., Emergency Communication Tool for Deaf, Language Dysfunction and Foreigners, AAATE 2013, Faro/ Portugal, 2013.
 - 11) 細野直恒, 宮嶋文洋, 因幡敏幸, 西島勝, 井上裕光, 中西美和, 富田豊, 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム, 日本人間工学会関東支部第 43 回大会, 首都大学東京日野キャンパス/東京都, 2013.
 - 12) 細野直恒, 井上裕光, 中西美和, 富田豊, 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム-2, 日本人間工学会第 55 回大会, 神戸国際会議場/兵庫県.
 - 13) Hosono, N., Inoue, H., Nakanishi, M., Tomita, Y., User experience and inclusive design: Techniques that fit more people, JSAC 2014, Toronto/Canada, 2014.
 - 14) 細野直恒, 井上裕光, 中西美和, 富田豊, 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム-3, 日本人間工学会関東支部第 44 回大会, 早稲田大学/東京都, 2014.
 - 15) 細野直恒, 鈴木道夫, 井上裕光, 中西美和, 富田豊, 聴覚・言語障害者のための緊急通報・対話システム-4, 日本人間工学会第 56 回大会, 芝浦工業大学/東京都, 2015, NHK 手話ニュース 845 で放映.

1.3 ハイブリット通信によるロバストな双方向情報伝達システムの開発

研究実施期間	平成 24 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 11,008 平成 25 年度 10,916 平成 26 年度 10,021
研究代表者	金子 正美
所属機関	学校法人酪農学園 酪農学園大学
研究体制	学・官 (酪農学園大学、江別市消防本部、日高西部消防組合消防本部)
研究概要	現場で活動する消防従事者の位置情報をリアルタイムに共有するためのシステムであり、現場と現地指揮本部、さらには遠隔地にある消防本部等と共有が可能である。自隊の位置情報のみならず、要救助者の位置を指揮車や本部から現場の機器端末の地図上に GIS データとして送信することも可能である事に加え、各端末の活動軌跡の表示が可能であることから、搜索活動等での効率向上や現場活動での安全性向上にも寄与できるものとなっている。 また、小型無線機を併用することにより、公衆回線が発災時に混雑した際や公衆電波圏外域での活動時でもデータの送受信が可能なロバスト(強靱)な構成となっている。 さらに、これらデータはインターネット上で GIS データとして処理できるため、警察や自衛隊など複数機関と連携する際に、状況認識を共有できる WebGIS システムとして稼働できるように設計しており、大規模災害時の活動サポートも可能な構成となっている。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究は、消防本部の協力を得て、水難救助訓練や森林での搜索活動訓練、雪中搜索訓練では使用したが、完全な実用化にはまだ至っていない。 機器端末は市販のスマートフォン/タブレット(AndroidOS)をベースとし、比較的、導入コストを低く抑えられる構成とした。当初想定していた機能については、上記訓練においても十全な成果が得られたが、実用化するにあたっては、耐水性や耐衝撃性等、現場での激しい活動に耐え得ることの担保や、現場作業者の操作負荷のさらなる低減が求められていることが解決すべき課題になっている。
応用の方向性	機能的な要件は達成できているため、現場作業者の操作負荷を低減できるように機能を絞り込むことによって、現場での携行が進むことが期待される。
研究発表の状況等	ハイブリッド通信によるロバストな双方向情報伝達システムによるリアルタイム位置情報の共有 2014 年 11 月 7 日 GIS 学会 ハイブリット通信によるロバストな双方向情報伝達システムの開発 2013 年 5 月 31 日 ESRI ユーザーコミュニティーフォーラム
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	本システムの開発・検証を通じて、各隊の現在地・状況を地図上に表示することで、消防活動を俯瞰的に把握し、隊員の安全管理を行う重要性が現場に浸透しつつある。また、タブレット端末やスマートフォンの利用についても、使い慣れた職員も多いことから、実現する可能性の高いシステムであると考ええる。特に予算的制約が厳しく、活動範囲の広く移動時間が長い広域消防組合では、導入メリットが大きく、現時点でも導入が可能であると考えられる。引き続き、本研究成果の普及を図りながら、既述した、携行に際しての負担を下げることにより、現場に装備できるシステム開発への働きかけを行っていく。
------------------------------------	---

○金子正美¹・小川健太¹・田中克佳¹・目黒茂樹²・梅津尚幸³
Masami Kaneko, Kenta Ogawa, Katsuvoshi Tanaka, Shigeki Meguro and Naovuki Umezumi

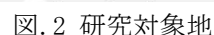
キーワード： 消防、リアルタイム、デジタル無線

このような課題に対し、二次災害防止のためにも、地図を使用した隊員、団員の位置情報などリアルタイム情報を共有できるシステムを開発することが活動に関わる隊員の方々の安全性向上に役立つと考え、本研究を行うこととした。研究を実施するにあたり、江別市消防本部、日高西部消防組合消防本部が連携し、消防の現場の意見、アイデアなどを反映させながら、災害時に利用できるシステムを開発した。以上の研究背景及び目的を図.1に示す。

電波回線は、公衆回線網とデジタル簡易無線を併用する。これらの回線を通じて、端末内蔵のGPSから取得される位置情報を、端末アプリケーションから一定間隔で送受信する。公衆回線網下においては両回線の併用、圏外においてはデジタル無線通信を通じてリアルタイム位置情報を共有する(図. 2)。



1 学校法人酪農学園 酪農学園大学
2 江別市消防本部
3 日高西部消防組合消防本部



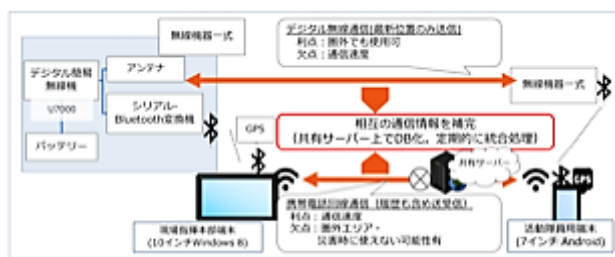


図.3 システム構成図

2.2 通信の概要

デジタル無線通信が利用できる場合、無線通信または公衆回線網を通じて得られた各隊の最新位置情報を、デジタル簡易無線（350MHz 帯、5W、技術標準 ARIBSTD-T98）を通じて同報通信する。通信到達距離は、最大 1.5km 程度まで情報伝達可能である。無線による通信可能距離を超える場合は、デジタル無線機を携帯した中継局を設置することでアドホック通信を行うことが可能であり、公衆回線網圏外においても位置情報共有可能な距離を伸ばすことができる。

公衆回線網が利用できる場合、各隊が所有する位置情報（行動履歴含む）を共有サーバー上にアップロードする。サーバー上では各端末から収集された位置情報の統合処理を行う。統合された情報を定期的かつ自動的に各隊がダウンロードすることで、最新位置情報を補完する。災害時にも代替サーバーが迅速に構築できるように、ファイル共有には汎用的なプロトコル（http、ftp）を使用する。

両者の回線を併用が可能な場合は、これらの情報をサーバー、端末で相互に補完することが可能である。公衆回線網内から圏外への双方向の情報伝達が可能である。

2.3 端末アプリケーション

端末アプリケーションは、タブレット端末を使用する。消防活動ではケブラー手袋等の装着が想定されるため、ペン操作も想定している。素手やスマートフォン対応の手袋での操作も可能である。活動用途に応じて(1)活動隊員用端末、(2)現場指揮本部用端末があり、両者の情報をリアルタイムに連携させることにより、位置情報を活用した高度な連携を可能にする。

(1)活動隊員用端末

検索、避難誘導などの現場活動に携帯を目的とした端末であり、端末に搭載された GPS をもとに、最新位置情報を自動で送り続けることを第一の目的としている。地図機能は現在位置の把握、各隊の状況、指示の確認などで利用する。消防活動中での利用を想定しているため、基本はバックグラウンド上

で動作する。背景地図はタイル形式の地図、公衆回線網内においては、電子国土（地理院タイル）や GoogleMaps などのオンライン地図を重ね合わせることが可能である（図. 4）。

また要救助者発見などのメッセージを送付するとともに、発見位置を地図上で共有することが可能である。



図.4 活動隊員用タブレットの画面及び
操作インターフェース

(2)現場指揮本部用端末

現場活動を統括指揮する現場指揮本部での利用を想定した端末であり、情報収集に重点を置いている（図. 5）。

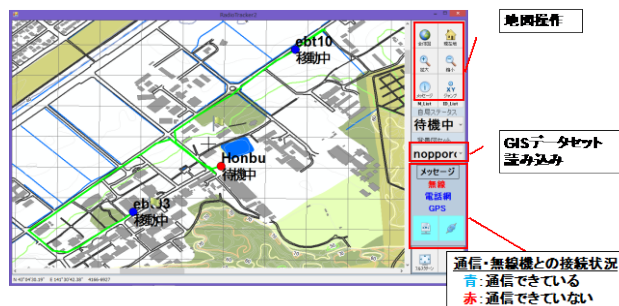


図.5 現場指揮本部端末の画面

現場指揮本部用端末では、活動隊員の情報を公衆回線網またはデジタル無線を介して収集する。また、GIS クラウドサービスを通じて災害現況や予測情報、現場ロケーション、現場の活動状況⁴⁾を共有可能である。これらの情報の重ね合わせを通じて、活動隊員の安全を把握しつつ、活動指示を行うことで迅速かつ確実な連携が可能になる(図. 6)。

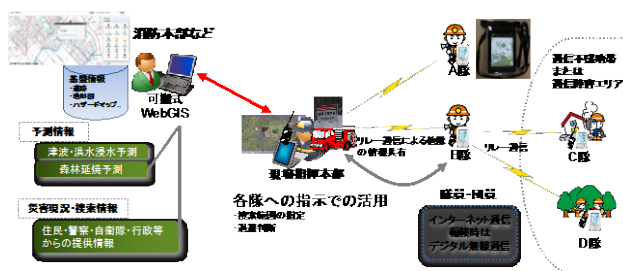


図.6 消防隊員間の情報連携イメージ

3. 消防職員を交えた実証実験の実施

本システムの有効性の検証と改善点の洗い出しを行うため、実際の災害想定に基づく訓練に随行した実証実験を行った。暴風雪時における捜索救助訓練の際に作成されたデータを図.7に示す。



図.7 暴風雪時捜索を想定した実証実験結果
(2014年2月7日実施)

この実証実験では、本システムを用いずに無線の音声で位置座標を伝達する方式も並行して試すことにより、本システムの利用効果について確認をしていただいた。(図.10)。

日高西部地方における公衆通信圏外での捜索訓練の結果を図.8に示す。

その他に図.9に示す実証実験をおこない本システムの改善点を抽出したうえで、有効性を確認することができた。

実証実験	場所	日付	検証内容
水難救助訓練	江別市	7/29	水難救助活動への活用
衛星回線・ハイブリット通信検証	江別市	10/25	衛星回線・デジタル無線(衛星通信・無線通信) (協力:情報通信研究機構)
山岳通信不感地帯検証	日高西部	10/29	公衆通信圏が利用できない、山岳地域でのデジタル無線通信検証
津波避難広報活動検証	日高西部	1/29	津波警報発令時の避難広報活動
冬季救助連携訓練	江別市	2/5	森林内での捜索・救助事業対応

図.9 捜索活動における活用



図.8 捜索活動における活用



図.10 本システムを用いた現場消防職員への説明
(捜索訓練時)

一連の実証実験後に聞き取りを行った結果、目標物に乏しい場合や土地勘がない場合に非常に有用であるとの意見のほか、音声通信に比べて位置情報共有が迅速に行えるなどの意見が挙げられた。また、隊の運用や装備、利用ニーズの観点から、随時意見の聞き取りを行った結果、以下の通りに集約された。

- ・ 通信状態や活動状態等が一目で分かるデザインや大きなボタンが望ましい
- ・ 地図を確認するため、スマートフォンサイズよりはタブレット、それも大きすぎないものが望ましい
- ・ 他組織との連携のため UTM 座標表示が必要

これらの意見を反映して、最終的なインターフェースデザイン変更やタブレットのサイズの選定(7インチ)を行った。なお、インターフェースデザインについて、操作しやすいよう、各種ボタンのサイズを大きくするなどの意見に対応した修正を行った。

4. まとめ

消防車両、救急車両には現在地を把握する動態管理システムが導入されている消防本部もある中で、GPS と GIS を活用した消防活動は注目され始めたばかりである。また、消防活動において現場画像をタ

タブレット端末で共有する試みも行われていることや、これらの技術を活用して、現場での情報処理活動を高度化させる需要への高まりから、GPS 搭載タブレット端末の活用についての積極的な検討が今後加速することが予想される。

本研究においては、本部を含む各隊が GIS データの重ね合わせにより地形や植生などの活動環境やお互いの位置を把握することによって安全性を向上させることや、活動軌跡の可視化による搜索活動の効率化、また森林など目標物が少ない場所における活動場所の把握などにおいて、そのような活動の端緒を形作り、提示することができたと考えている。

5. 今後の展開について

本研究は、消防本部の協力を得て、水難救助訓練や森林での搜索活動訓練、雪中搜索訓練では使用したが、完全な実用化にはまだ至っていない。

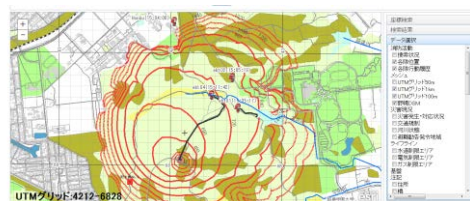
機器端末は市販のスマートフォン/タブレット(AndroidOS) をベースとし、比較的、導入コストを低く抑えられる構成とした。当初想定していた機能については、上記訓練においても十分な成果が得られたが、実用化するにあたっては、耐水性や耐衝撃性等、現場での激しい活動に耐え得ることの担保や、現場作業者の操作負荷のさらなる低減が求められていることが解決すべき課題になっている。

これらの課題に対応するためにも日常的な搜索に活用できること重要と考えている。図.11 に搜索活動における本システムの利用イメージを示す。



図.11 搜索活動における活用

図.12 には本システムを森林火災等の局面で活用したイメージを示す。本図では森林火災予測シミュレーション結果と各隊の活動状況を重ね合わせたものである。森林火災予測シミュレーション結果を取り組む方法については、今後検討とシステム開発を必要とするか、このように各種情報を重ねることにより、状況判断を支援することが可能となる。



森林火災予測シミュレーションと各隊の活動を重ね合わせ(10/25実証実験)

図.12 搜索活動における活用



①	アンテナ
②	デジタル簡易無線(登録局) 351MHz 5W モデム伝送速度 4800bps (コマンドレスモード) →※ 携帯電話と比べ非常に低速
③	シリアルBluetooth変換機
④	バッテリー

図.13 本システムで利用する無線機器

機器開発に関する課題と関連し、図.13は本システムで利用する無線機器を示す。今後の利用にあたっては、より簡易に利用でき、消防業務に活用可能な無線機と連携できるシステムを開発する必要があると考えている。

なお、本報告では一般社団法人地理情報システム学会第23回研究発表大会講演論文集(2014)に掲載された著者らの論文(C-4-3)の文章及び図の一部を利用した。

【参考文献】

- 1) 新井場公徳、河関大祐、高梨健一、細川直史、座間信作:東北地方太平洋沖地震時の消防活動に関する調査、消防研究所報告、115、pp. 18-27、2013.
- 2) 鄭炳表、滝澤修、遠藤真、座間信作:携帯電話を用いた災害時の情報収集システム「イージーレポート」、情報通信研究機構季報、57、1/2、pp. 147-154、2011.
- 3) 王康趙、門倉博之、加藤解、浦野義頼:アドホックネットワークを用いた消防無線通信システムに関する研究、地理情報システム学会研究発表大会講演論文集、4、pp. 121-126、2005.
- 4) 目黒茂樹、小川健太、鄭炳表:地図情報を活用した防災情報の収集共有サイクルに関する研究:情報収集方法と EMT 江別体制構築の検証、消防研究所報告、112、pp. 1-12、2012.

第2 住宅防火対策等の推進

2. 1 地域特性を考慮した効果的な放火火災防止対策と支援システムの研究開発

研究実施期間	平成 24 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 12,806 千円 平成 25 年度 15,301 千円 平成 26 年度 15,120 千円
研究代表者	佐土原 聡
所属機関	国立大学法人横浜国立大学
研究体制	産・学・官(横浜国立大学、東京大学、消防科学総合センター、ASロカス株式会社、大阪市消防局、横浜市消防局)
研究概要	本研究は、環境要素に着目し、放火されないまちづくりの方法論を整理するとともに、それらの効果的な実施を支援する情報システムの構築に関する研究開発を行うことを目的とした。 具体的には、放火火災危険度の評価、放火火災防止対策のあり方の検討と放火防止対策マニュアルの整理をふまえて、放火火災防止対策支援システム(放火対策 GIS)の構築を行った。その後、消防本部等におけるシステムの試験運用等により、システム機能の有用性の検証と改良を行った。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	研究実施期間終了後も放火火災防止対策支援システム(放火対策GIS)の更新作業を継続しており、今後、消防機関へのシステム配布を予定している。「放火対策 GIS」は以下に示す有効性が確認されており、これらの機能を活用することにより、放火火災予防対策の効果的・効率的な実施が期待される。 ・消防庁の火災報告データを取込んで火災発生状況を地図化し分析できる。火災報告データは火災の詳細な情報が得られる半面、情報量が多く、これをシステム上で簡易に表示・分析することで、放火発生状況を視覚的に把握でき、消防機関における火災発生状況の把握や対策検討のための資料として役立つ。 ・建物用途等の放火箇所別の放火火災予防対策マニュアルが実装されている。イラストを用いることで放火されやすい個所や対策が視覚的にわかり、ユーザーが自由に使用・カスタマイズも可能であることから、広報資料作成ツールとして役立つ。
応用の方向性	放火火災防止対策の実施にあたっては、本研究の対象ではないものの、防火、防犯といった観点も含めた総合的な対策の必要性がうかがわれた。そのような観点から、「放火対策 GIS」は放火火災以外の火災データも扱うことができるため、放火件数の少ない消防本部を含め、広く全国の消防本部において使用することができ、防火対策への応用が期待できる。 さらに、現在では多くの自治体で GIS を基盤とした部署間のデータ共有の仕組みが構築されてきていることから、個人情報保護の観点なども十分に踏まえた上で、消

応用の方向性	防本部が保有する火災データを、他の部署が保有するデータ(例えば、街灯・防犯灯等の配置や放火以外の犯罪の発生分布等)と重ね合わせるにより、放火火災の発生との関連性の検討や、安全安心なまちづくりに関する総合的な対策の検討も可能と考えられる。
研究発表の状況等	• Keiko INAGAKI and Satoru SADOHARA: Spatial Analysis of Urban and Regional Environments for the Mitigation of Disasters Caused by Acts of Arson, PROCEEDINGS OF CUPUM (Computers in Urban Planning and Urban Management) 2013, 2013.7 • 福谷亮, 稲垣景子, 吉田聡, 佐土原聡: 都市における放火火災と環境要因との関連分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.1137-1138, 2013.9 • 福谷亮, 稲垣景子, 佐土原聡: 放火火災の実態把握と発生要因分析, 地域安全学会梗概集, No.33, pp.53-54, 2013.11 • 菅田寛, 加藤孝明: 放火火災予防対策のための地域パネルデータの作成, 生産研究, 65(4), pp.459-463, 東京大学, 2013, http://dx.doi.org/10.11188/seisankenkyu.65.459 • 平野亜希子: 放火対策 GIS の開発について, 消防科学と情報, No.112, pp32-35, 2013 春 • 胡哲新: 放火火災に係る住民意識の現状と要因分析, 消防科学と情報, No.114, pp41-46, 2013 秋 • 福谷亮, 稲垣景子, 佐土原聡: 統計分析による放火火災発生予測に関する一考察, 日本建築学会学術講演梗概集, F-1, pp.947-948, 2014.9 • 稲垣景子, 佐土原聡: 放火されない環境づくりのための地域住民による対策の実態調査, 日本建築学会学術講演梗概集, F-1, pp.1137-1138, 2014.9 • 胡哲新, 平野亜希子, 阿部英樹: 放火火災防止のための公的機関による情報提供方策—住民を対象とした意識調査の結果を踏まえて—, 地域安全学会梗概集, No.35, pp.13-16, 2014.11 • 福谷亮, 稲垣景子, 佐土原聡: 放火火災の類型化に関する基礎的研究—出火箇所と着火物に着目して—, 地域安全学会梗概集, No.35, pp.49-50, 2014.11 • 福谷亮, 稲垣景子, 佐土原聡: 放火火災発生箇所の周辺環境に関する空間分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, F-1, pp.235-236, 2015.9
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	今後、放火火災防止対策支援システム(放火対策GIS)を消防機関へ配布する予定であるが、データの取り込みやより良い操作性の改良など実運用での課題を開発者にフィードバックする仕組みをつくり、システムの改良につなげたい。

地域特性を考慮した効果的な放火火災防止対策と支援システムの研究開発

○佐土原聡¹・加藤孝明²・稲垣景子¹・菅田寛²・胡哲新³・平野亜希子³・阿部英樹³・
谷勝博⁴・金子泰明⁴・酒井賢二⁵・下川博史⁵・鈴木喜久⁵・中道祐好⁵・金子博仁⁵・坂詰岳彦⁶

Satoru Sadohara, Takaaki Kato, Keiko Inagaki, Hiroshi Sugata, Hu Zhexin, Akiko Hirano, Hideki Abe
Katsuhiro Tani, Yasuaki Kaneko, Kenji Sakai, Hiroshi Shimokawa, Yoshihisa Suzuki, Masayoshi Nakamichi,
Hirohito Kaneko and Takehiko Sakazume

研究課題の要旨：本研究は、環境要素に着目し、放火されないまちづくりの方法論を整理するとともに、それらの効果的な実施を支援する情報システムの構築に関する研究開発を行うことを目的とした。具体的には、放火火災危険度の評価、放火火災防止対策のあり方の検討と放火防止対策マニュアルの整理をふまえて、放火火災防止対策支援システム（放火対策GIS）の構築を行った。その後、消防本部等におけるシステムの試験運用等により、システム機能の有用性の検証と改良を行った。

キーワード： 放火火災、GIS、火災報告データ

1. はじめに

全火災に占める放火火災（疑い含む）の割合は1970年頃から増加し続け、1997年に火災原因の第1位になって以来その順位は変わらず、特に、大都市での放火火災の割合は高い。

このような背景をふまえ、消防庁は「放火火災予防対策マニュアル」（1998年度作成）を活用し、放火火災の防止に努めてきた。2004年には、放火火災防止対策戦略プランを立て、地域住民、事業者の主体的な対策活動を期待し、放火火災危険度のチェックリストや放火を減少させる対策を提示し、対策を進めてきた¹⁾。

しかし、現在も放火火災（疑い含む）の割合は、依然として火災原因の第1位であり、定量的・客観的な判断基準に基づく評価指標の確立および新しい手段による対策行動の喚起が必要と考えられる。また、近年、放火監視を目的とした屋外用機器も製品化され、有効性も評価されているが、機器の性能、価格、維持管理などの課題に加え、設置場所の最適化や住民による設置意欲の向上などが求められる。

そこで、本研究では、放火火災に関する現状の課題を解決するため、地域における放火火災危険度の評価方法を明らかにするとともに、放火火災防止対策の実施状況を調査し、参考事例の収集・整理分析を行った。これらをふまえ、放火火災防止対策を支援するシステムを開発し、その効果を検証した。

本研究は、①放火火災危険度の評価（4章）、②対策の事例整理・分析（2章・3章）、③対策支援システムの開発（5章）、に大別される。概要を図1に示す。

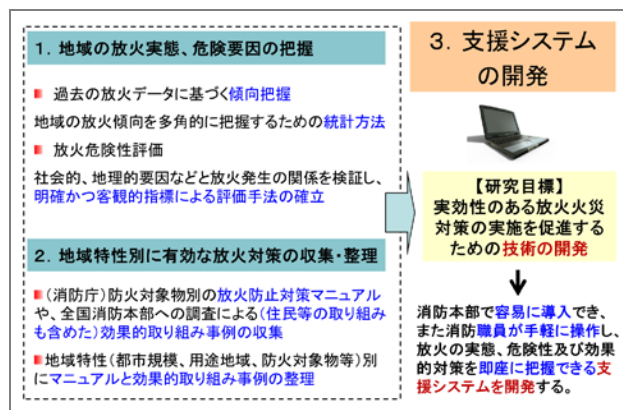


図.1 研究の概要

①放火火災危険度の評価

過去の放火火災事例を客観的に分析し、地域の地理、環境、空間要素などの特性や、放火対策への取り組み状況が、放火火災の発生や被害にどのように影響しているかを明らかにし、地域の放火危険度の評価手法を提示した。分析はスケール毎に、市区町村単位でのマクロ分析、地域コミュニティ単位でのメソ分析、出火箇所の周辺環境特性に関するミクロ分析をそれぞれ実施した。詳細は4章で後述する。

②放火火災防止対策の事例整理と分析

放火火災防止対策を検討するため、防火対象物別の放火防止対策マニュアルや、全国の消防本部へのアンケート調査およびヒアリング調査に基づく効果的な取り組み事例を、地域特性と関連づけながら整理・分析した。詳細は2章で後述する。

また、住民自らが対策に取り組むことを促す方策を検討するため、住民を対象に放火火災に対する意識と対策の実態に関するアンケート調査を実施した。また、調査結果をふまえてイラストによる住民の意識啓発手法を提案し、当該手法に対する住民による評価も行った。詳細は3章で後述する。

（所属機関名）

1 横浜国立大学

2 東京大学

3 消防科学総合センター（現 消防防災科学センター）

4 AS ロカス株式会社

5 大阪市消防局

6 横浜市消防局

③放火火災防止対策支援システムの開発

過去の放火火災の傾向や放火火災危険度評価の成果、放火火災防止対策マニュアル及び参考事例をパッケージで提示する支援システム(放火対策 GIS)を開発した。消防本部等において利用することにより、各地域の特徴に応じた対策の実施、検証、改善を行い、継続的に放火火災防止対策に取り組むこと(PDCA)を支援するものである。消防本部で容易に導入でき、また消防職員が手軽に操作し、放火の実態、危険性及び効果的対策を即座に把握できる支援システム開発を目指した。

本システムを、消防本部で試験運用した結果をフィードバックし機能の改良を重ねた。また、住民への広報資料作成機能については住民による評価(アンケート調査)を実施した。詳細は5章で後述する。

2. 消防本部における放火火災対策

1) 消防本部を対象とした調査

全国の消防本部における放火火災防止対策の実施状況(効果と課題も含む)を把握するとともに、優良な取り組み事例を収集することを目的として、消防本部(計791本部)に対してアンケート調査を実施した。調査期間は2012年9~10月、回収数は786(回収率99%)であった。調査結果は以下のとおりである。

年間放火件数が100件以上の本部の数は全体の2%に過ぎないものの、全国の放火火災件数の約4割を占めており、これらの本部の約9割は、放火が火災

原因の「常に1位を占めている」と回答している。また、約半数の本部で放火火災件数は「不規則に増減」しており、傾向を捉えにくい現状が示された。

対策に関しては、放火火災防止対策戦略プランに提示されている「評価シート」を住民等へ周知している本部は1割未満であった。また、放火火災対策上の最大課題として、約44%の消防本部で「住民意識の向上」が挙げられた。

2) 都市域における対策の実態

全国消防本部を対象としたアンケート調査で、消防本部で行っている取り組みについて回答を求めた結果を図2に示す。防犯環境づくりに係る取り組みは主に「訓練やイベント開催時」に、警察・自治会等との連携活動は主に「発生の都度」で行っていることがわかる。また、地域活動に関する取り組みは活発とは言えない傾向がうかがえる。

さらに、全国消防本部を対象としたアンケートから、各本部で行われている優良事例の抽出・整理を行った(地域特性と関連づけながらシステムに取り込める形でデータベース化)。また、代表的な取り組みについて消防本部(名古屋市、神戸市、北九州市、札幌市)へのヒアリングを行い、内容の詳細を把握、整理した。さらに、防犯対策における既存の方法論をふまえ、放火火災に特化した防止対策のあり方を検討したうえで、箇所別(階段まわり、路上など)、対象物別(住宅、学校など)に「放火の実態」と「対策」を整理し、放火防止対策マニュアルのとりまとめを行った。

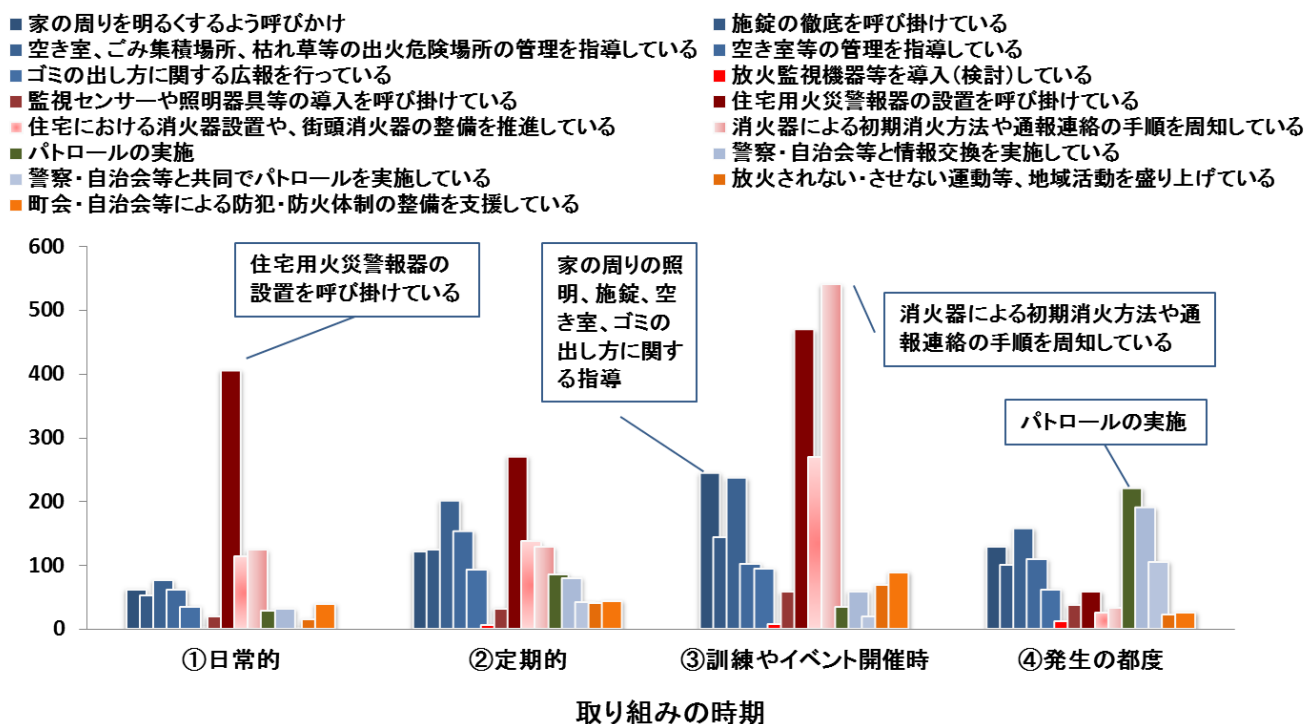


図.2 消防本部で行っている放火火災予防対策（取り組み）

3. 地域住民による放火火災対策

1) 住民による対策および意識調査

地域住民による放火されない環境づくりの取り組みとして、施錠など敷地や建物への侵入防止対策や、近隣との協力体制の形成など多岐にわたる事項がある。一方、放火火災対策上の最大課題として、「住民意識の向上」が挙げられている。

以上から、放火火災に係る地域住民意識の現状とその影響要因を把握し、公的機関による効果的な情報提供のあり方を検討することを目的として、放火火災の発生件数の多い都市（東京都区部、横浜市、名古屋市、大阪市）において、住民意識に関するアンケート調査を行った。調査期間は2014年1月、回収数は4,168である。

「地域の放火火災対策を知っている」人の「パトロール活動に参加している」割合(25%)が、「地域の放火火災対策を知らない」人の参加率(7%)と比べて大きいことがわかった(図3)。また、情報取得の有無によって、放火火災に関する意識が異なる傾向が見られた(図4)。さらに、個人属性と情報取得との関係をみると、年齢層が高いほど情報取得の割合が増えていくこと、性差による影響は特にないこと、年齢層が高いほど紙媒体による情報取得の割合が大きく「ホームページ」による情報取得の割合が小さいことが分かった。

以上のように、放火に対する意識及び対策の促進に係る要因の分析と考察を行うとともに、今後の消防機関等による啓発・広報活動における情報提供の要件を明らかにした。

2) イラストによる意識啓発手法の提案と評価

放火火災に対する住民意識の啓発手段として、特定の箇所(階段まわり、路上など)または対象物(住宅、学校など)における放火の実態及び対策を視覚的に捉えられるイラストが効果的と考えられる。そこで、第2章で整理した放火火災予防対策マニュアルに対応したイラストの制作を行うこととした。

「一般住宅」「共同住宅」のイラストを図5に示す。他に「雑居ビル」「百貨店」「学校・図書館」「工場・作業場」「病院・診療所」「駐車場」「ホテル・旅館」「空き家・空室」「工事中や増改築中の建物等」のイラストを作成した。

各消防本部の地域性を考慮し、イラストのコンテンツがパソコン上のシステム内で自由に編集・印刷ができる仕組みも試作し、住民を対象としたWEB調査(詳細は5章参照)によりその有用性を評価した結果、おおむね有用であることがわかった。

地域の放火火災対策を知っているか×
パトロール(見回り、巡回等の)活動に参加しているか

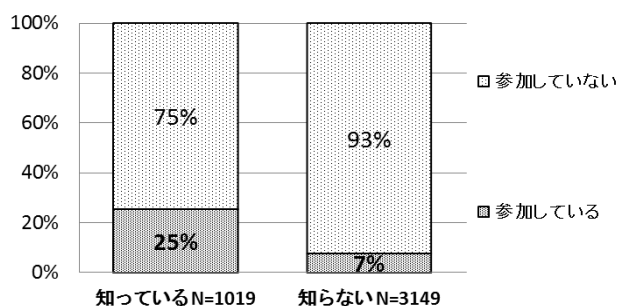


図.3 放火火災対策に関する知識が
対策の取り組みに及ぼす影響

放火火災に関する情報取得の有無×
住まいの地域が放火に遭わないための対策を知っているか

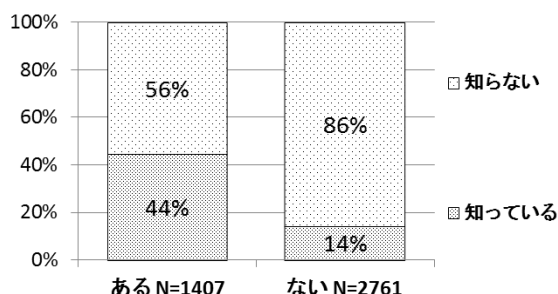


図.4 情報取得の有無が知識面に及ぼす影響



図.5 放火の実態に関するイラスト

4. 放火火災危険度評価手法の提案

1) マクロ・スケール評価

放火が多発している都市の特徴を明らかにするため、人口あたりの放火件数、死者数、被害額等に着眼し都市群を分類し、都市間比較を行った。次に、放火火災の背景と考えられる要因や指標（都市規模、人口、経済状況、犯罪率等）のうち都市群毎に異なるものを明らかにし、影響要因、評価指標の抽出を試みた。

次に、市区町村単位の放火火災危険度の暫定的な評価手法を構築した。警察政策等の他分野における研究成果等を整理し、その理論に整合するよう評価方法を検討した。

これまでの放火危険度のマクロ推計式を、抑止側の要因・実行側の要因・犯行機会、の掛合せからなる一般化線型（ポアソン回帰）モデルに修正した（図6）。複数の推計結果を得たが、犯行機会の係数の推定結果は、不安定なものとなった。この結果と従来研究から、①犯行しやすい環境は自治体内に散在し、個別対策が重要であること、②実行と抑止に係る人的要因は、既存の人口統計を用いてある程度表現できることを明らかにした。また、消防現勢から、市区町村別の消防定員数などを正確に導入するための作業を実施した。加えて、後に同種の分析を実施する際の手法上の課題を整理した。

$$\Pr(y_i | \lambda) = \frac{\lambda^{y_i} \exp(-\lambda)}{y_i!}$$

放火件数は、 λ を平均値・分散とするポアソン分布に従うと仮定

$$\log(\lambda) = \beta_g g + (\beta_d d + \beta_o o) + (\beta_k k + \beta_p p)$$

3つの要因群に分類（うち2つを2種に再区分）

放火件数 y_i : 建物放火件数

消防等による抑止 $\beta_g g$

領域内で放火企図者が下見する回数 $\beta_d d + \beta_o o$

放火対象物の数量 $\beta_k k$

下見対象の空間・密度 $\beta_p p$

一回の下見行為で放火対象を見つける確率の近似項 $\beta_p p$

図.6 市町村別マクロ評価モデル

2) メソ・スケール評価

放火危険のある地域の特徴を明らかにするため、過去に放火火災が発生した地域の都市構造や社会特性を調べた。

本研究では多変量解析（数量化Ⅰ類）手法を用いることとし、まず、スタディエリアの大阪市で2000～2013年に発生した放火火災（自損除く）と、地域の社会・環境要因を町丁目および連合町会単位で整理した。放火火災に影響する要因は用途地域や空間構成と関連があると考え、各町丁目については代表用途（商業系、工業系、住居系、混合用途）に分類し、さらに建物規模から地域を9つに類型化した。

目的変数は、放火火災件数のカーネル密度推定の結果とし、全放火火災と建物内放火火災、建物外放火火災の3ケースを設定した。説明変数は、国勢調

査結果と放火火災発生件数との単相関を調べたうえで、ほとんどの類型で相関が見られた6項目「人口密度」「非就業者世帯率」「持ち家世帯率」「高齢者のみ世帯率」「延べ面積0～29m²世帯率」「共同住宅世帯率」を選択した。また、見通しを確保し難いことから「4m未満道路率」を、交差点から近いほど放火火災が多いことから「交差点密度」を、さらに「消防署密度」「警察署密度」を町丁目毎に指標化し、前述の項目とあわせた計10項目を説明変数として設定した。

いずれの地域も「非就業者世帯割合」が高いほど放火が多い結果となった。住居系大規模・中規模地域以外では、「人口密度」「延べ面積0～29m²世帯割合」「高齢者のみ世帯割合」が高く、「持ち家世帯割合」が低い地域で、放火が多い傾向がある。「4m未満道路割合」が高い地域で放火が多い傾向も見られたが、例外も多い。建物規模の大きい住居系地域等で要因は把握し切れておらず、また、十分な分析精度を得られたとは言い難い。今後、地域類型に応じた条件設定の精査が求められる。

また、住民と消防団を対象に放火火災対策に関するアンケート調査を実施し、対策効果の指標化を試みたが、対策実施状況と放火火災件数との間に明確な関係は見られなかった。

さらに、多変量解析（数量化Ⅰ類）の予測値を放火火災危険度とし、地域特性に応じた対策の指標とすることを提案した。

3) ミクロ・スケール評価

放火火災を発生箇所別に分類すると「道路上」や「外壁・敷地内」での発生が多く「外壁・敷地内」での放火は、被害の大きな建物火災につながる危険性もある。また、建物外部での放火火災は特定の時刻に発生が集中している一方、全市に分布しており、全域での効果的な対策が求められる。

そこで、外部空間での放火火災に着目し、大阪市を対象に分析したところ、地形や周辺の道路環境との関連性が明らかになった。結果を以下に示す。

- 狭い道路に面した駐車場では、他の駐車場と比べ放火火災が多い。
- 放火発生履歴のある公園の方が、比較的起伏が大きい。
- 交差点から近いほど放火火災が多い。この傾向は全ての放火火災で同様に確認された。

ここで抽出された環境特性を有する場所は、特に放火火災対策に注力する必要があるといえ、また、これらを危険度評価指標の候補としてメソ・スケール評価に反映した。

5. 放火対策GISの構築と評価

1) 背景と目的

消防庁は「放火火災防止対策戦略プラン」¹⁾で、消防署と地域が一体となった放火火災防止対策の取り組みを継続的に行うことを推進しているが、この戦略プランでは放火火災防止対策の実施にあたり「放火火災情報地図」を活用することの有効性と方法について、次のように述べている。

- 地域の放火火災の発生傾向を把握する。
- 重点的に対策すべき地域の絞り込みを行う。
- 放火火災マップ等を統計資料の作成に活用する。
- 放火火災防止対策の効果を検証する。

このような背景をうけて、また、これまでの研究成果を取り込み、放火火災対策の立案に役立つ「放火対策GIS」の開発を行うこととした。

2) 開発コンセプト

放火対策GISの開発にあたり、消防本部の予防担当をユーザーとして想定し、スタンドアロンPCの利用を前提として、次項を開発コンセプトとした。

①消防機関による火災原因調査データの活用

消防機関には火災原因調査に関する膨大なデータが収集、蓄積されており、GISによる地図情報の分析技術等を導入することによって、これまで蓄積してきているデータを最大限に有効活用できる。

一方、火災原因調査データには、放火箇所を示す「住所」など個人情報に該当する項目がある。これらの情報の取り扱いには十分に配慮する必要がある、消防本部内で分析を行うことが望ましい。

②放火火災対策に活用可能な背景地図の用意

放火対策の検討に次の地図が有用と考えられる。

- 小縮尺地図：都道府県レベルなど広域的に放火火災の傾向を把握する
- 中縮尺地図：市町村レベルの放火火災の傾向を把握する
- 大縮約地図：正確な放火場所を把握する

③消防本部による放火火災対策の支援機能

過去の関連文献や第2章の調査結果などをふまえ、次の機能を開発することとする。

- 過去に発生した放火の傾向分析
- 連続放火の分析
- 広報資料作成

④導入が容易で安価であること

消防本部における利用を前提としており、導入が容易で安価であること、操作がわかりやすく消防実

務に直結したものであることなどが求められる。

すでに自治体の防災担当部局をユーザーとし、災害発生時の情報管理を効率的に行うための「消防防災GIS」²⁾を開発し、全国の市町村や消防本部に無償配布している。このシステムをベースに、放火火災の分析機能を搭載すれば、導入が容易で、地図データの無償利用も可能となる。

⑤操作が簡単であること

簡素な画面設計や、マニュアルなどを参照しなくても直感で扱いやすいインタフェースの開発、統計学、数理学に係る専門用語を分かりやすい表現に置き換えるなどの工夫を行う。

3) システムの構成と分析機能

本システムでは各消防本部が所有している火災情報をシステムへ取り込むことにより、地図上に火災情報及び放火の情報を分析して表示を行うことができる。システム構成図を図7に示す。

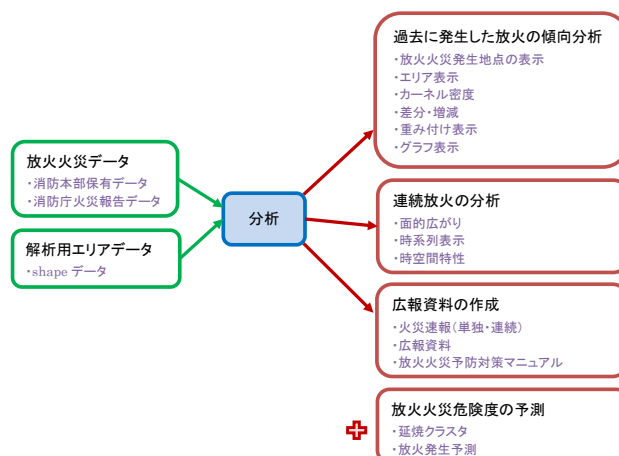


図.7 システム構成図

①背景地図

背景地図は、国土地理院の基盤地図情報及び株式会社MAPPLE デジタルデータ(200000、25000、10000)が無償利用可能なものとして準備した。

②データの取り込み

本システムでは放火火災データ及び分析用のエリアデータを読み込んで準備する必要がある。

放火火災データは、既存のデータファイルを一括取込する方法と、地図上で放火発生地点を指定して1件ずつ作成する方法がある。さらに、一括取込の方法は、消防庁の火災報告データ(CSV形式)を利用する方法と、消防本部が作成したデータ(CSV形式)を取り込む方法がある。分析用のエリアデータはshape形式(ポリゴンデータ)を取り込むことができ、必要に応じて分析時に選択できる。

③分析機能

分析機能は「過去に発生した放火の傾向分析」、「放火火災危険度の予測」、「連続放火」、「広報資料」の4分類に分けられ、それぞれ特有の機能を有す。機能の詳細について以下に記す。

○過去に発生した放火の傾向分析

放火火災地点の表示

放火火災発生地点を地図上にプロットする。放火火災発生地点は地図をクリックすることで情報の表示が可能である。さらに、火災種別や発生曜日、天気等の個別属性情報に基づき色分け表示することが可能である。(図8)

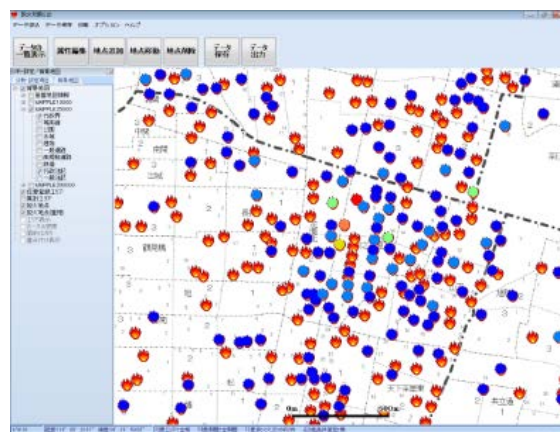


図.8 放火火災発生地点の表示

エリア表示

メッシュ単位、町丁目単位、または町内会などの任意に登録したエリア毎の放火火災発生件数を色分け表示する。放火火災の発生傾向を把握することが可能である。

カーネル密度

放火火災発生地点の面的分布を表し、ホットスポットとして捉えることが可能である。色が濃い(密度が高い)場所は放火火災が発生しやすいと解釈し、過去の放火発生地点より放火が発生していないエリアを推定する。なお、カーネル密度においては放火発生地点からの影響範囲の半径と広がり幅を定義する「バンド幅」を設定する必要がある、本システムの初期設定では500mとしている。(図9)

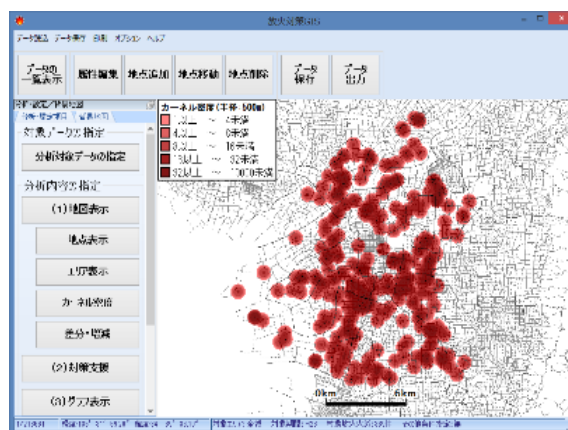


図.9 カーネル密度

差分・増減

放火火災発生地点分布の比較について、指定した2つの期間について、放火火災件数、密度分布の差分表示を行う。放火火災発生状況の変化をふまえて、指定期間内に実施した対策の効果を検証することが可能である。

重み付け表示

放火火災の社会的影響(人的被害の発生の有無など)を勘案し、事案ごとに重みづけ得点を与え、町丁目などのエリア毎の点数を集計し、色分け表示を行う。件数毎の色分けの場合、社会的影響が少ない放火火災でも件数が多ければ重点地区となるが、重み付けを行うことで被害の大きいエリアが抽出され、対策の優先度が分かる。

グラフ表示

全火災または火災種別毎に表1のグラフを作成し、放火の傾向を視覚的に把握することができる。

表.1 グラフ表示の内容

分析内容	概要
放火火災の年推移	放火件数、放火件数及び全火災に占める割合 死者数(火災種別毎) 負傷者数(火災種別毎) 死傷者数(火災種別毎) 焼損棟数(火災種別毎)
期間別の件数	月別の放火件数(火災種別毎) 曜日別の放火件数(火災種別毎) 1時間毎の放火件数(火災種別毎)
気象条件別の件数	天候別(火災種別毎) 風速別(火災種別毎) 気温別(火災種別毎)
出動時間別の件数	出火から覚知までの時間別(火災種別毎) 出火から放水時間までの時間別(火災種別毎) 出火から鎮火までの時間別(火災種別毎)
放火火災の内訳(割合)	火災種別、放火発生時の天候別(火災種別毎) 出火箇所別(火災種別毎) 発火源別(火災種別毎) 着火物別(火災種別毎) 火元火災の用途別 建物の構造別 焼損程度別

○放火火災危険度の予測 延焼クラスタ

市街地を構成する建物の焼失確率を求め、地図上で色分け表示を行う。(図 10)

「延焼運命共同体(延焼クラスター)」とは、同じ運命共同体に属する建物から集団火災が発生すれば、放っておけば燃え尽きてしまう建物群のことを指す。運命共同体の考え方は、延焼過程を簡便化して捉えることにより、潜在的な延焼範囲を簡便に同定するモデルである。

放火発生予測

放火火災危険度評価の成果の一部をシステムに反映し、高齢者世帯率、容積率など地域の人的・物的・環境的要素を用いて、放火火災発生危険度(件数/km²)の予測を行う。(図 11)

○連続放火

連続放火(面的広がり)

最も離れている放火火災発生地点を直径として円を描く。円内の範囲で次の放火火災発生の予測に応用が可能と考えられる。連続放火の中で最も遠い距離の2つの点を結ぶ線を直径とする円内に放火犯の活動拠点が含まれるという仮説に基づき連続警戒区域を抽出する。(図 12)

連続放火(時系列表示)

放火火災発生の時間順で地図上に表示する。どのような足取りで放火火災が発生しているかなどを視覚的に把握でき、次に放火が発生する場所が想定しやすくなる。また、各放火発生地点の間にはそこに到着するまでの時間と距離から速度が示され、移動手段を推測できる。(図 13)

連続放火(時空間特性)

1件目が発生してから2件目以後の放火火災が発生するまでの時間と距離の度数分布図(ヒストグラム)を表示するとともに、時間と距離の散布図もあわせて表示する。連続放火の特性を把握することができ、連続放火の特性に見合った対策の検討に役立つと思われる。

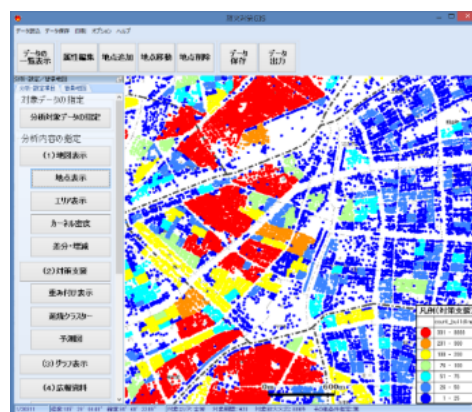


図. 10 延焼クラスタ

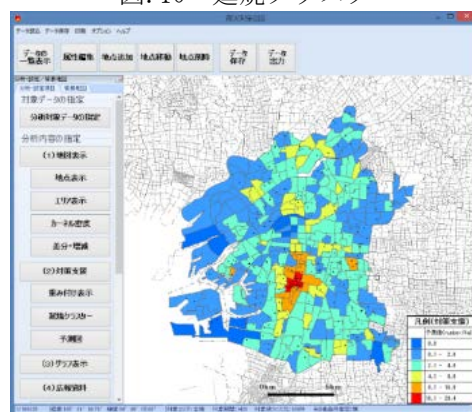


図. 11 放火火災発生予測

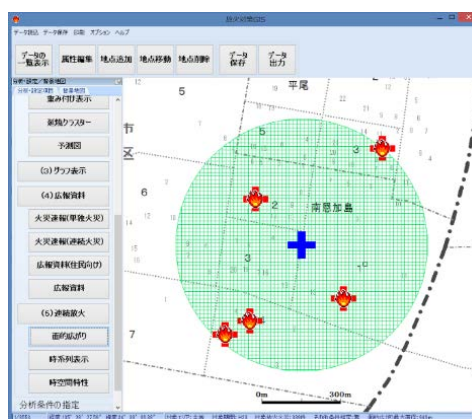


図. 12 連続放火(面的広がり)

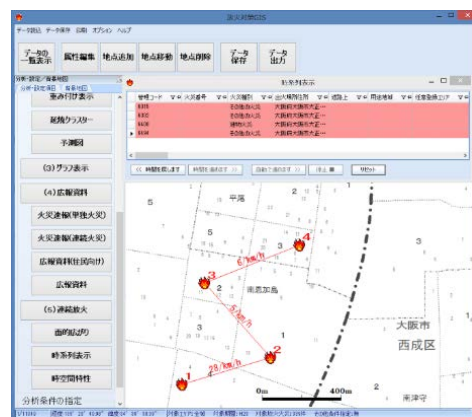


図. 13 連続放火(時系列表示)

○広報資料

火災速報、広報資料の作成

火災速報は隣接消防本部や市町村の防災担当部局への情報提供を目的としたもの、広報資料は地域住民への配布資料（広報紙など）やホームページ上の啓発資料（PDF ファイルなど）作成を目的とした機能である。過去に発生した放火火災地点の地図表示と共に、それぞれの放火事案の属性（出火時刻、着火物など）を一覧表形式で表示する。

放火火災予防対策マニュアル

住民が放火火災の予防対策を視覚的に捉えられるように、放火されやすい箇所や対策をまとめたイラストを対象物別に作成し、消防本部で自由に配布できるものとした。また、イラストの編集・印刷機能を搭載し、地域特性に応じた資料を作成できるようにした。（図 14）

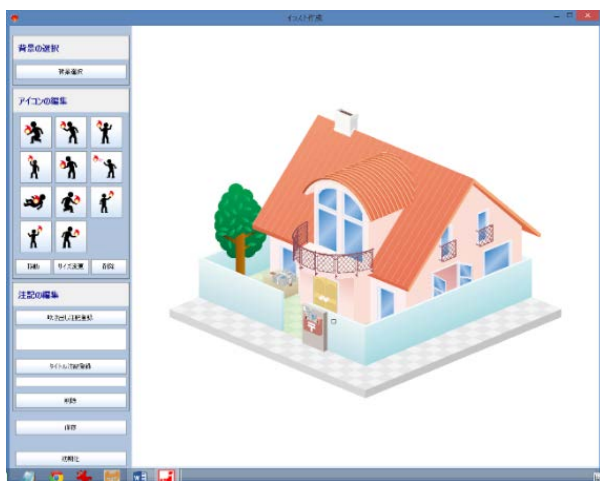


図. 14 マニュアル提示機能

（イラスト編集機能を用いたシステム画面）

4) システムの評価

①消防本部による放火対策 GIS の評価

本研究の協力消防機関である大阪市消防局、横浜市消防局をはじめとした政令指定都市の消防局の協力を得て、放火対策 GIS（試作版）の導入・運用と評価（有効性に関するアンケート調査）を実施した。結果の概要を以下に示す。

- 使用者は主に予防業務担当者を想定していたが、各署所の担当者や火災調査担当者などの回答もあった。
- 地図表示機能、対策支援機能、広報資料等作成、出力機能、連続放火の分析機能の各機能については、おおむね予防業務に使用可能との回答が得られたが、一部の消防本部では既存システムで対応可能との回答もあった。
- 放火火災対策への活用の可能性については、お

おむね活用可能との回答が得られた。

- システム使用にあたっては、インストール・データ設定、操作方法、分析方法の解説や分析結果の解釈についてサポートが必要との回答があった。

②住民による放火対策 GIS 広報機能の評価

消防機関による住民への放火火災に関する広報活動は多種多様な方法（ラジオ、新聞紙、回覧板など）で行われているが、住民の反応を把握する調査はこれまで見当たらない。そこで、本研究では、開発したシステム機能の一部（広報機能）を WEB 上に搭載し、調査対象者がそれを操作しながら意見を述べてもらう調査を行った。調査期間は 2014 年 12 月、回収数は 1,139 件である。結果の概要を以下に示す。

- 放火発生箇所が特定できないように工夫すれば情報を公表して良い。また、住所情報は「町名」まで良い（46%）との回答が最も多かった。
- 放火火災の集計単位について、「町丁目単位」が良いとの回答（42%）が最多で、次いで「小学校校区単位」22%、「行政区単位」22%であった。
- 放火火災の発生箇所を地図上に表示する場合、良いと思われるスケールについて「区全域」33%が最も多かった。次いで「町丁目」27%であった。
- 放火火災の発生について、公表してほしい情報について、「発生場所」23%が最も多かった。次いで「発生日時」22%であった。
- イラストについて、それをみて「放火されやすい場所が分かった」との回答が 92%であった。

6. まとめと今後の展望

1) 本研究のまとめ

本研究では、全国消防本部での対策の実態を調査し優良事例を整理するとともに、放火防止対策マニュアルを整理し、データベース化した。地域住民の意識や対策の実態も調査し、消防機関等による啓発・広報活動における情報提供の要件を明らかにした。また、本研究で開発された危険度評価手法は、社会統計データ等を用い各地域の潜在的な「放火されやすさ」を把握するもので、効果的な対策の実施に役立つと考える。マクロ評価指標に市区町村別の消防力が含まれ、消防力の向上を客観的に評価するツールとしても役立つ。メソ・ミクロスケールではケーススタディ対象地の危険度を町丁目別・連合町会別に示し、地域ぐるみの対策を促進する基礎資料としての可能性を示唆した。

これらの成果をふまえ、放火火災対策を支援するシステム「放火対策 GIS」を開発した。「放火対策 GIS」は消防本部での試験運用により以下に示す有

効性が確認されており、これらの機能を活用することにより、放火火災予防対策の効果的・効率的な実施が期待される。

- 消防庁の火災報告データを取込んで火災発生状況を地図化し分析できる。火災報告データは火災の詳細な情報が得られる半面、情報量が多く、これをシステム上で簡易に表示・分析することで、放火発生状況を視覚的に把握でき、消防機関における火災発生状況の把握や対策検討のための資料として役立つ。
- 建物用途等の放火箇所別の放火火災予防対策マニュアルが実装されている。イラストを用いることで放火されやすい個所や対策が視覚的にわかり、ユーザーが自由に使用・カスタマイズも可能であることから、広報資料作成ツールとして役立つ。

2) 今後の展望

放火火災防止対策の実施にあたっては、本研究の対象ではないものの、防火、防犯といった観点も含めた総合的な対策の必要性がうかがわれた。そのような観点から、「放火対策 GIS」は放火火災以外の火災データも扱うことができるため、放火件数の少ない消防本部を含め、広く全国の消防本部において使用することができ、防火対策への応用が期待できる。

さらに、現在では多くの自治体で GIS を基盤とした部署間のデータ共有の仕組みが構築されてきていることから、個人情報保護の観点なども十分にふまえた上で、消防本部が保有する火災データを、他の部署が保有するデータ（例えば、街灯・防犯灯等の配置や放火以外の犯罪の発生分布等）と重ね合わせるにより、放火火災の発生との関連性の検討や、安全安心なまちづくりに関する総合的な対策の検討も可能と考えられる。

今後、放火火災防止対策支援システム（放火対策 GIS）を消防機関へ配布する予定であるが、データの取り込みやより良い操作性の改良など実運用での課題を開発者にフィードバックする仕組みをつくり、システムの改良につなげたい。

【参考文献】

- 1) 放火火災防止対策検討会・消防庁予防課：放火火災の防止に向けて～ 放火火災防止対策戦略プラン～、2004. 12
- 2) 消防科学総合センター：消防防災 GIS の概要, http://www.bousaihaku.com/cgi-bin/hp/index2.cgi?ac1=BC51&Page=hpd2_tmp

第3 防災力の向上

3. 1 情報伝達・共有型図上訓練を用いた危機管理体制強化マネジメントプログラム

研究実施期間	平成 24 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 13,127 平成 25 年度 10,253 平成 26 年度 8,292
研究代表者	加藤 尊秋
所属機関	北九州市立大学
研究体制	産、官、学 (株)インフォグラム、損保ジャパン日本興亜リスクマネジメント(株)(現 SOMPO リスケアマネジメント(株))、北九州市危機管理室、同消防局、北九州市立大学、産業技術総合研究所
研究概要	地方公共団体の災害対応能力を高めるために、様々な組織や部署が効果的に連携して情報伝達と意思決定を行う力を養うための図上訓練手法を考案した。この手法では、災害対応に必要な標準的な目的に応じた情報伝達の流れを整理した意思決定ネットワークを作成し、その動作状況を図上訓練によって定量的に評価することにより、当該組織の災害対応の長所と短所を見つけ出す。 さらに、当該訓練を簡便に実施するための「危機管理教育・訓練支援システム」を開発した。また、大小 11 箇所の市区(北海道江別市、神奈川県横浜市旭区、香川県坂出市、北九州市・同 7 行政区)の図上訓練において上記の考え方と支援システムの有効性を確認した。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究で開発した図上訓練手法、および、支援システムについては、研究期間終了後も地方公共団体の訓練で活用している。また、大規模な災害への対応では、地方公共団体に限らず、組織内外の連携が重要な意味を持つため、本研究で開発した図上訓練手法と支援システムは、地方公共団体以外にも適用可能である。これまでの地方公共団体以外での活用事例として、内閣府における大規模地震想定図上訓練(平成 27 年 2 月)、北九州市における災害医療連携体制づくり(平成 27 年 10 月～11 月)等が挙げられる。
応用の方向性	各地の地方公共団体との情報交換やこれまでの訓練実施経験により、特に、図上訓練の経験が浅い団体向けに支援システムの拡張を行う計画がある。たとえば、当該システムの情報表示機能を使って訓練参加者に基本的な災害対応手順を示しながら予備的な訓練を行い、職員全員の災害対応に対する習熟度を高めた上で、シナリオを開示しないブラインド型図上訓練に移ることが有用と考える。 また、災害対策は多くの関係機関が市町村と協力して取り組む。本研究の成果は、対策のハブとなる市区町村の意思決定部署や機能の明確化を取り掛かりとして、災害対策で重なる部分が多くある民間も含む防災関係機関に横展開できる可能性が高い。さらに、都道府県、国といった縦の関係強化も合わせて行い、我が国の総合的な防災力の強化に資する方向に成果を発展させたい。

研究発表の状況等	原著論文 1. 加藤尊秋、郡山一明、伊藤重彦(2016): 災害医療に必要な非日常性 (下): 災害医療・作戦指令センター図上訓練における情報伝達と意思決定の見える化、リスク対策.com、Vol.54, 82-87. 2. 郡山一明、伊藤重彦、加藤尊秋(2016): 災害医療に必要な非日常性 (上): 体制構築、ICS 化、訓練パッケージ開発、リスク対策.com、Vol.53, 82-84. 3. 加藤尊秋、麻生英輝、松元健悟、木本朋秀、白石明彦、梅木久夫、田中耕平、松本裕二、稲田耕司、日南顕次 (2014): 図上シミュレーション訓練を用いた市町村における部局間連携能力の定量的評価、地域安全学会論文集、24、43-52. (査読付き) 4. 林優樹、加藤尊秋、谷延正夫、梅山吾郎、山下倫央、野田五十樹 (2014): 主要都市における災害時意志決定ネットワークの分類: 避難勧告発令及び避難所開設に着目して、地域安全学会論文集、22, 59-65. (査読付き) 5. 加藤尊秋(2014): 組織としての災害対応能力向上に向けて: 平成 25 年度北九州市総合防災訓練における技術実証、リスク対策.com、Vol.42, 34-43. 6. 加藤尊秋、山下倫央、野田五十樹、梅山吾郎、谷延正夫、郡山一明(2012): 市町村の災害時意志決定ネットワーク: 現状と展望、日本リスク研究学会講演論文集、Vol.25、pp.197-200. 学会発表 1. Kato, T., Aso H., Kimoto, T., Shoudai, S., Yamamuro, Y., Nakamura, A., Taninobu, M., Inada, K., Umeyama, G., Kurome, T., and Toratani, T. (2015) New evaluation model to improve the decision-making process of municipal governments for disaster management. World Congress on Risk, July 19-22, 2015, Singapore. (査読付き) 2. Kato, T., Aso H., Kimoto, T., Shoudai, S., Yamamuro, Y., Nakamura, A., Taninobu, M., Inada, K., Umeyama, G., Kurome, T., and Toratani, T. (2015) Use of functional exercises: New evaluation model to improve the decision-making process of municipal governments for disaster management. Tokyo Conference on International Study for Disaster Risk Reduction and Resilience, January 15, 2015, University of Tokyo, Japan. (査読付き) 3. 野田五十樹、加藤尊秋、谷延正夫、麻生英輝、梅山吾郎(2015): 図上訓練評価支援システムと情報可視化、減災情報システム第 4 回合同研究会、2015.9.14、愛媛県総合社会福祉会館. 4. 加藤尊秋(2015): 図上シミュレーション訓練の活用: 地方公共団体の災害対応能力向上のための新たな評価手法、日本自治体危機管理学会第 28 回定例研究会、2015.2.22, 明治大学駿河台キャンパス.
----------	--

	5. 梅山吾郎、黒目剛、虎谷洸、加藤尊秋、郡山一明、白石明彦、梅木久夫、田中耕平、松本裕二、谷延正夫、 稲田耕司、日南顕次、麻生英輝、松元健悟、木本朋秀、古川拳士、山下倫央、野田五十樹(2014): 危機管理訓練支援システムを用いた図上訓練における情報共有・意思決定プロセスの定量評価、地域安全学会梗概集、No.34.pp.91-94. 6. 加藤尊秋、松元健悟(2013): 災害に強い組織の作り方：図上訓練の普及に向けて、日本工学アカデミー九州支部シンポジウム兼 環境・消防技術開発センター5周年記念シンポジウム「大災害を機にした新たな潮流：工学者の使命とは」 2013.3.14, 北九州学術研究都市. 消防・防災関係者向け講演・演習 1. 部署間・組織間の災害時連携能力を強化する新たな取り組み、平成 27 年度 第 3 回地方公共団体の危機管理に関する研究会、(一財)日本防火・危機管理促進協会、九州ビル会議室、福岡市、2015.10.19. 2. 演習で学ぶ災害対処能力の高い組織づくり、平成 26 年度 第 2 回地方公共団体の危機管理に関する研究会、(一財)日本防火・危機管理促進協会、マイドームおおさか、大阪市、2015.1.26. 3. 演習で学ぶ災害対処能力の高い組織づくり、平成 26 年度 第 1 回地方公共団体の危機管理に関する研究会、(一財)日本防火・危機管理促進協会、BDK 会議室、東京都、2014.9.30. 4. 情報伝達・共有型図上訓練を用いた危機管理体制強化マネジメントプログラム 平成 25 年度 第 2 回地方公共団体の危機管理に関する研究会、(一財)日本防火・危機管理促進協会、2013.11.12.
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	本研究で開発した図上訓練手法を活用し、長所と短所を見つけ出しながら継続的に組織的災害対応能力を改善するための危機管理体制強化マネジメントプログラムを実現すべく、活動を続ける。世界的に進む災害対応標準化の動きの中に本研究の成果を位置づけるべく、国際的な情報交換を行う。

情報伝達・共有型図上訓練を用いた危機管理体制強化マネジメントプログラム

○加藤尊秋¹・郡山一明² 正代莊一³ 山室陽一³ 田中耕平³ 中村篤志³ 谷延正夫² 稲田耕司²
久保秀樹³ 麻生英輝⁴ 松元健悟⁴ 木本朋秀⁴ 梅山吾郎⁵ 黒目 剛⁵ 虎谷 洸⁵
野田五十樹⁶ 山下倫央⁶

Takaaki Kato, Kazuaki Koriyama, Souichi Syodai, Youichi Yamamuro, Kouhei Tanaka, Atsushi Nakamura, Masao Taninobu, Koji Inada, Hideki Kubo, Hideki Aso, Kengo Matsumoto, Tomohide Kimoto, Goro Umeyama, Tsuyoshi Kurome, Wataru Toratani, Itsuki Noda, Tomohisa Yamashita

研究課題の要旨：地方公共団体の災害対応能力を高めるために、様々な組織や部署が効果的に連携して情報伝達と意思決定を行うための図上訓練手法を考案した。この手法では、災害対応に必要な標準的な目的について、情報伝達の流れを整理した意思決定ネットワークを作成し、その動作状況を図上訓練によって定量的に評価することで、当該組織の災害対応の長所と短所を見つけ出す。さらに、当該訓練を簡便に実施するための「危機管理教育・訓練支援システム」を開発した。また、北九州市を中心に大小11箇所の市区の図上訓練において上記の考え方と支援システムの有効性を確認した。

キーワード：危機管理、組織的防災体制、図上訓練、危機管理教育・訓練支援システム

1. はじめに

災害対応では、行政に関わる様々な組織が迅速かつ的確に連携して様々な市民のニーズに応える必要が生じる。しかしながら、図1に示すように、災害対応には、日常業務にはない特徴があり、このことが組織間の連携を難しくしている。特に、災害対応は「すべて『時間との競争』」であると言われているにも関わらず¹⁾、ふだん行わない業務の実施に際して部署間調整に時間を要する事例がみられることは、早急に改善すべき課題である。この改善には、災害発生前に事前に業務の流れを整理し、部署間の調整をできるだけ済ませておくことが有用と考える。

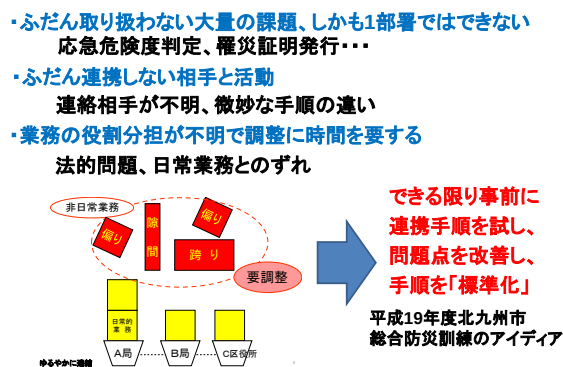


図. 1 組織的な災害対応の課題

本研究では、効果的な連携体制を作るための訓練手法として図上防災シミュレーション訓練(図上訓練)に着目し、以下の3つの主要課題に取り組んだ。
①組織的な災害対応能力を定量的に計測できる訓練手法の開発

②当該訓練を手軽に実施できる支援システム(危機管理教育・訓練支援システム)の開発

③当該訓練を用いた教育プログラム用教材の開発

2. 市区町村における組織連携の流れの整理

本研究チームでは、組織連携の課題を解決するために、まず、災害対応業務の目的(emergency support function)を整理し(図. 2の左側)、次に、各目的を実現するための主要な情報伝達・意思決定経路を整理することを推奨している。この経路を意思決定ネットワークと呼ぶ。したがって、まず、意思決定ネットワークを作り、机上訓練や図上訓練でその問題点を探り、改善した意思決定ネットワークについて、さらに訓練を行うことで、消防関係者を含む行政職員が組織をまたがる情報伝達・意思決定の流れに習熟することが本研究チームによる訓練と教育の骨子となる。

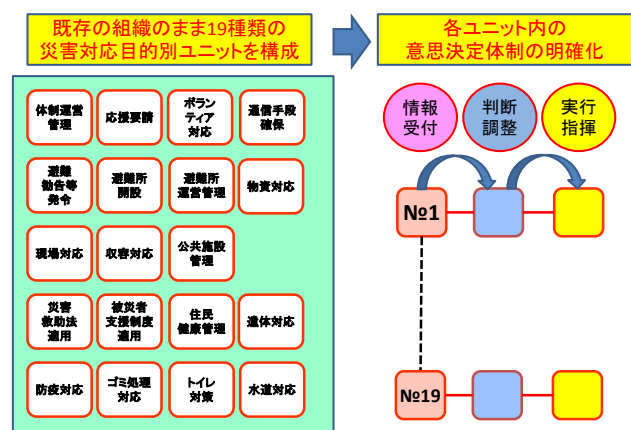


図. 2 災害対応目的別の意思決定ネットワーク

なお、本研究の一環として市区町村の危機管理部門を対象に行ったアンケート調査により、意思決定ネットワークは、多くの市区町村で3段階の部署により構成されることが判明している²⁾。

(所属機関名)

- 1 北九州市立大学
- 2 北九州市
- 3 北九州市消防局
- 4 (株) インフォグラム
- 5 SOMPO リスクアマネジメント (株)
- 6 産業技術総合研究所

3. 図上訓練における定量的評価

組織的な災害対応能力は、その姿を的確につかむことが難しい。本研究では、業務の処理時間に着目することで、組織的な災害対応能力を定量的に評価し、当該能力改善のための具体的な指針を得ることを目指した。図3は、本研究チームの図上訓練で用いる状況付与（訓練を受けるプレーヤーに与える課題）の例である。これまでの図上訓練では、図3の上部に示した課題をプレーヤーに与えるのみで、その後の行政組織内外を貫く情報伝達・意思決定の流れを正確に評価することは、ほとんど行われてこなかった。この理由の一つに、評価者にとっての正解を事前に想定できなかったことが挙げられる。これに対し、本研究チームの図上訓練では、事前に意思決定ネットワークを整理してあるため、これを仮の正解として扱うことができる。このため、職員が現在の防災計画に沿って訓練で動けたか、動けなかったとすると、それは、どのような業務なのか、また、現在の防災計画に時間を浪費する部分はないか、等の検証が可能となる。このように意思決定ネットワークを活用した図上訓練を、本研究では「情報伝達・共有型図上訓練」と称する。

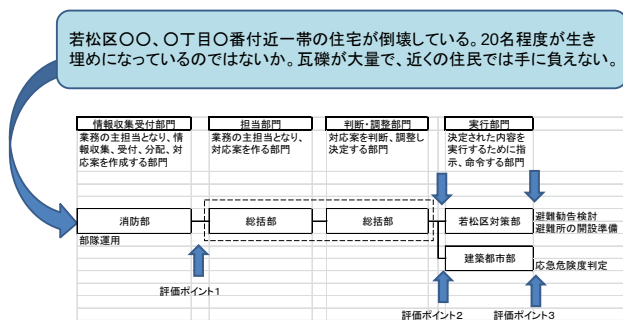


図. 3 状況付与の例

4. 危機管理教育・訓練支援システム

情報伝達・共有型図上訓練の原型は、2007年度に実施された大規模な図上訓練である北九州市総合防災訓練である³⁾。このときは、訓練の準備や訓練中の情報伝達・意思決定の追跡に多くの人手と労力を要したため、当該訓練を多くの地方公共団体が手軽に実施できるように支援システムを開発した。このシステムは、おもに次の機能を有する。

①訓練企画・準備段階

- ・意思決定ネットワーク作成支援
- ・訓練用シナリオ・状況付与作成支援
- ・訓練で予定される情報伝達の流れの可視化

②訓練実施段階

- ・状況付与の振り込み管理
- ・情報伝達・意思決定状況の追跡支援
(予定された行動の成否、処理時間計測)
- ・訓練進行状況リアルタイム表示

③訓練評価段階

- ・実際の情報伝達の流れの可視化
- ・災害対応機能（災害対応目的をさらに集約したもの）別の達成度評価
- ・組織・部署別の処理時間傾向分析

このシステムは、クラウド型で構築されており、訓練を実施する側では、特別なソフトウェアのインストールなしにさまざまな端末で動作させることができる。

図4は、このうち、訓練実施段階で情報伝達・意思決定状況を追跡するしくみを示す。コントローラーが状況を付与すると、プレーヤーの各部署が連携して対処する。この流れを、部署別に配置した評価者が本システムを用いて連携しながら、タブレット端末を用いて評価・記録する。評価結果は、即座に本システム上で集約され、コントローラーや見学者が状況付与達成状況をリアルタイムで確認することができる。さらに、訓練中に蓄積された記録をもとに、訓練終了後、即座に後述する定量的評価結果を示すことができる。これは、ホットウォッシュ（訓練直後の結果検討会）の内容充実に大きく役立つと考える。



図. 4 危機管理教育・訓練支援システムによる図上訓練中の情報伝達・意思決定状況追跡

5. 実証訓練

本研究では、消防関係機関および地方公共団体のご協力をいただき、さまざまな実証訓練を行うことができた。

図. 5は、2014年1月18日(土)に北九州市で実施した情報伝達・共有型図上訓練の災害想定である。この訓練は、北九州市役所および関係機関から合わせて500名規模の職員が参加した大規模な図上訓練である。3時間の訓練時間を発災直後（第1場面）と72時間後（第2場面）に分け、この中に、意思決定ネットワークに沿った情報伝達・意思決定の追跡を行う「重要付与」を111件用意した。1つの重要付与に対して様々な部署が連携して行動するため、これらの付与に付随して評価（行動の成否、処

理時間計測) がなされた行動 (個別行動という) は、計 355 個となった。

平日 (2014年1月17日(金)) の発災を想定

9:00 筑豊地方を震源とする直下型地震
(市内で震度6強)

9:10 高知県足摺岬沖を震源とする
プレート型地震
(市内で震度5強)

市内瀬戸内海沿岸に津波警報

第1場面 地震直後(9:00-10:30)

第2場面 72時間後(10:45-12:00)

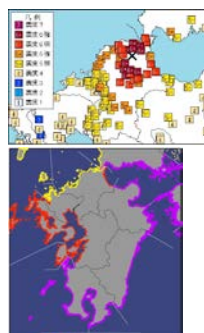


図. 5 北九州市総合防災訓練の災害想定

図.6 は、第1 場面について、重要付与に対して想定された情報伝達の流れ、および、各部署で処理が予定されていた個別行動の数を可視化したものである。第1 部署に届いた情報をもとに判断・指示を行う第2 部署として、総括部 (災害対応の総合調整を行う部署。他都市では、災害対策本部事務局などの名称の場合もある) に大きな負荷がかかる訓練であったことがわかる。なお、この訓練は、一連の部署に所属する行政職員の災害対応能力向上を主眼としたため、消防部への付与は、実際の災害に比べて少なめに設定されていた。

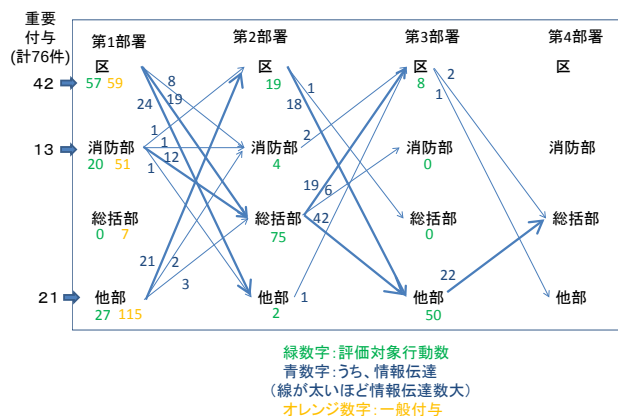
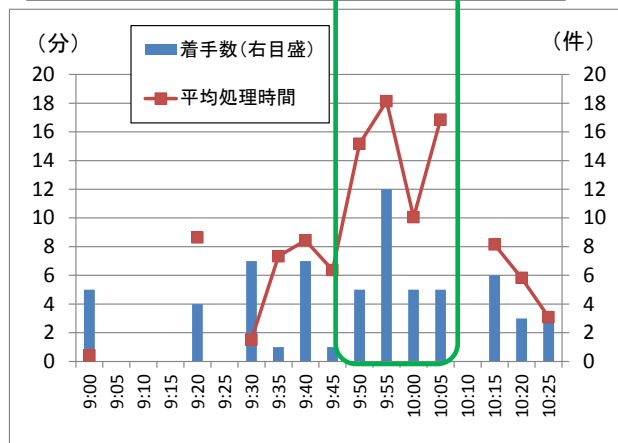
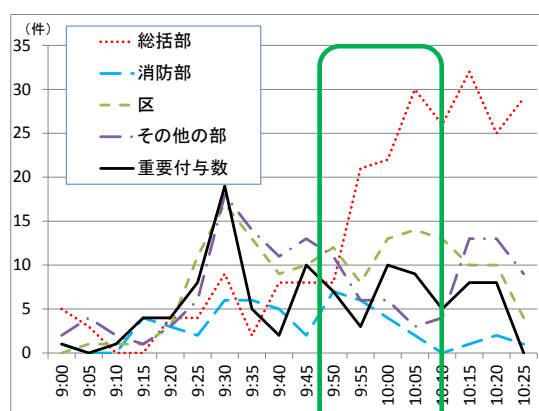


図. 6 重要付与に対する想定行動 (第1 場面)

図.7 は、総括部の評価者がタブレット端末上で危機管理教育・訓練支援システムの評価画面を操作し、個別行動の評価をしている様子である。この訓練では、同支援システムを活用して 35 名の評価者が連携し、北九州市役所の 27 の部署が行う 355 個の個別行動を評価した。



図. 7 危機管理教育・訓練支援システムによる評価



上のグラフ：各部の業務抱え込み数

下のグラフ：総括部の業務実施状況

図. 8 定量的評価結果の例 (第1 場面)

図8 は、同支援システムに蓄積された記録をもとに行った、組織的な災害対応能力に関する定量的評価の一例である。上のグラフは、第1 場面において、各部署が各時刻に抱えていた案件数 (重要付与に対する個別行動数) を示している。第1 部署 (図6 参照) から送られる情報・要請が集中した結果、9:50 ごろから総括部が業務に忙殺される様子が見て取れる。下のグラフは、総括部において、各時刻に

着手された重要付与関連個別行動の数と平均処理時間を示す。上下のグラフを組み合わせると、10:00 ごろから新たに生じる個別行動の数と個別行動一件あたりの平均処理時間が減ったにも関わらず、9:55 ごろに集中した個別行動の処理にひきつづき総括部が忙殺されていたことがわかる。

総括部の人数や意思決定ネットワークの形状など、条件を変えて訓練を行い、定量的評価結果を蓄積して傾向を調べることで、総括部に必要な人数の見積もりや、総括部をバイパスして他部署で直接処理すべき事項の検討など、組織的な防災体制改善のために必要な数値的な情報を得ることができる。なお、北九州市の訓練では、図.8 に示した結果以外にも定量的な評価を行っている⁴⁾。

図.9 に示すように、このほかに、北海道江別市、横浜市区、香川県坂出市、北九州市7行政区で訓練を行う機会をいただいた。これにより、情報伝達・共有型図上訓練は、小規模な都市から大規模な都市まで適用可能であることが明らかになった。また、北海道江別市訓練により、複数の庁舎など、地理的に離れた会場を用いる実務に近い形の訓練においても、組織をまたがる情報伝達・意思決定の流れを正確に追跡できることが明らかになった。これは、図上訓練の可能性を広げる成果と言える。



図.9 さまざまな条件下での実証訓練

6. 教育プログラム用教材

単発的な訓練のみでは、組織的な災害対応能力改善の効果は限られている。行政機関および関係機関の職員一般をまきこみ、訓練を通じて課題を見つけ、災害対応に関わる計画を修正し、継続的な能力向上を図る必要がある。このための教材を試作した。この教材の中では、総務省消防庁の「防災・危機管理e-カレッジ」等の既存の教材も紹介している。

7. 今後の展開

各地の地方公共団体との情報交換やこれまでの訓練実施経験により、特に、図上訓練の経験が浅い団体向けに支援システムの拡張を行う計画がある。

たとえば、当該システムの情報表示機能を使って訓練参加者に基本的な災害対応手順を示しながら予備的な訓練を行い、職員全員の災害対応に対する習熟度を高めた上で、シナリオを開示しないブライント型図上訓練に移ることが有用と考える。

また、災害対策は、多くの関係機関が市区町村と協力して取り組む。本研究の成果は、対策のハブとなる市区町村の意思決定部署や機能の明確化を取り掛かりとして、災害対策で重なる部分が多くある民間も含む防災関係機関に横展開できる可能性が高い。すでに、2015年度より、北九州市医師会医療救護計画にもとづく医療関係諸団体の連携訓練に情報伝達・共有型図上訓練を取り入れている⁵⁾⁶⁾。さらに、都道府県、国といった縦の関係強化も応用可能と考えている。これについては、内閣府を中心に行われる国の災害対応図上訓練において、本訓練手法を試行している（図.9 参照）。訓練手法・支援システムの改良により、市区町村以外にも応用しやすい形とし、我が国の総合的な防災力の強化に資する方向に本研究の成果を発展させたい。

【参考文献】

- 1) 防災対策推進検討会議，防災対策推進検討会議最終報告、中央防災対策会議、防災対策推進検討会議、2012.
- 2) 林優樹、加藤尊秋、谷延正夫、梅山吾郎、山下倫央、野田五十樹：主要都市における災害時意志決定ネットワークの分類：避難勧告発令及び避難所開設に着目して、地域安全学会論文集、22、59-65、2014.
- 3) 北九州市、平成19年度北九州市総合防災訓練報告書、北九州市、2008.
- 4) 加藤尊秋、麻生英輝、松元健悟、木本朋秀、白石明彦、梅木久夫、田中耕平、松本裕二、稲田耕司、日南顕次：図上シミュレーション訓練を用いた市町村における部局間連携能力の定量的評価、地域安全学会論文集、24、43-52、2014.
- 5) 郡山一明、伊藤重彦、加藤尊秋：災害医療に必要な非日常性（上）：体制構築、ICS化、訓練パッケージ開発、リスク対策.com、Vol.53、82-84、2016.
- 6) 加藤尊秋、郡山一明、伊藤重彦：災害医療に必要な非日常性（下）：災害医療・作戦指令センター図上訓練における情報伝達と意思決定の見える化、リスク対策.com、Vol.54、82-87、2016.

3. 2 既存の屋外拡声システムを豪雨等の劣悪環境適応型に拡張する装置の研究開発

研究実施期間	平成 27 年度
配分額(千円)	平成 27 年度 16,549
研究代表者	佐藤 逸人
所属機関	神戸大学 工学研究科
研究体制	産・学・官 (神戸大学, 東北大学, TOA 株式会社, 株式会社小野音響事務所, 伊丹市, 伊丹市消防局)
研究概要	一般に防災行政無線として認知されている屋外拡声システムは, 豪雨環境下では音響伝搬特性の変化や暗騒音の増加により, 明瞭性が悪化することが想定される。本研究では, まず降雨量の変化に応じて受音点における拡声音と暗騒音のエネルギー比(SN 比)を補償する技術開発の基礎データとするために, 降雨環境下における音響伝搬特性及び暗騒音特性の測定, 並びにノイズキャンセリングシステムの性能評価実験を行なった。その結果, SN 比を補償する有効かつ現実的な方法は, 屋外拡声システムの音響出力の周波数特性を降雨強度に応じて調整することであると考えた。単一の周波数補正特性を用いる方法と, 動的に周波数補正特性を切り替える方法の 2 つについて検討し, 両者ともに明瞭性の改善効果があることを聴取試験により確認した。さらに, 単一の周波数補正特性を用いる方法については, 既存の屋外拡声システムに増設可能な装置を試作した。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究で開発・試作した音響出力の周波数補正による明瞭度改善装置は, 既存の屋外拡声システムに簡易に導入できるように配慮した。しかし, 実用化にあたっては, 実装実験などによる改善効果の確認が必要であり, 今後も継続して研究を進める。
応用の方向性	拡声音の SN 比は, 降雨だけでなく他の気象条件によっても低下する。本研究をさらに推進することにより, どのような条件下でも屋外拡声システムの音声伝送性能を最大限に活かす装置を開発したいと考えている。
研究発表の状況等	学会発表 1) 栗栖清浩, 佐藤逸人, 森本 政之, “降雨が屋外音響伝搬特性に及ぼす影響 - 大型降雨実験施設における測定-”, 日本音響学会春季研究発表会, 2016 年 3 月 9 日-11 日, 桐蔭横浜大学 2) 佐藤逸人, 栗栖清浩, 森本 政之, “降雨強度が屋外騒音の周波数特性に及ぼす影響 - 定点観測によるケーススタディー”, 日本音響学会春季研究発表会, 2016 年 3 月 9 日-11 日, 桐蔭横浜大学

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	本研究で開発した SN 比改善装置の実用化に向けた研究を進める。具体的には、特に動的に周波数補正特性を切り替える方法については、補正を適用した際に明瞭性の劣化が生じないことを実験室における聴取実験により確認したうえで、自治体の協力の基に既存の屋外拡声システムに 2 種類の周波数補正方法の SN 比改善装置を実装し、現場でも明瞭性の改善が見られるかを確認することを予定している。

既存の屋外拡声システムを豪雨等の劣悪環境適応型に拡張する装置の研究開発

○佐藤逸人¹・栗栖清浩²・森本政之³
Hayato Sato, Kiyohiro Kurisu, and Masayuki Morimoto

研究課題の要旨：一般に防災行政無線として認知されている屋外拡声システムは、豪雨環境下では音響伝搬特性の変化や暗騒音の増加により、明瞭性が悪化することが想定される。本研究では、まず降雨量の変化に応じて受音点における拡声音と暗騒音のエネルギー比（SN比）を補償する技術開発の基礎データとするために、降雨環境下における音響伝搬特性及び暗騒音特性の測定、並びにノイズキャンセリングシステムの性能評価実験を行なった。その結果、SN比を補償する有効かつ現実的な方法は、屋外拡声システムの音響出力の周波数特性を降雨強度に応じて調整することであると考えた。単一の周波数補正特性を用いる方法と、動的に周波数補正特性を切り替える方法の2つについて検討し、両者ともに明瞭性の改善効果があることを聴取試験により確認した。さらに、単一の周波数補正特性を用いる方法については、既存の屋外拡声システムに増設可能な装置を試作した。

キーワード： 防災行政無線、豪雨災害、音声了解度

1. はじめに

災害時には正確な情報伝達がより多くの人命を守るために必要不可欠である。近年のICT技術の発展により、災害情報伝達の経路は多層化・高度化され、情報の発信方法についても平成25年度からは特別警報の運用も開始される等、その革新には目を見張るものがある。その一方で、比較的早い段階で普及した災害情報伝達システムとして、一般に防災行政無線として認知されている屋外拡声システムがある。このシステムは、例えば情報の受け手が携帯電話に代表される情報受信機を持っていないくても不特定多数に向けた情報伝達が可能という利点があり、情報伝達経路が多層化・高度化された現在でもその重要性は変わらない。

しかし、屋内に比べて屋外では様々な気象現象の影響を受けやすく、情報伝達の確実性に課題がある。例えば平成26年に長野県南木曾町や広島市で発生した豪雨災害のような環境下では、音響伝搬特性の変化や暗騒音の増加により、音声聞き取れなくなったことが容易に推測される。したがって、各自治体が所有する情報伝達基盤を有効利用しつつ、住民に向けて確実な情報伝達を行うためには、情報伝達の確実性に関する課題を解決する新たな技術を開発し、すでに普及している屋外拡声システムに実装することが肝要である。

音響伝搬特性、つまり屋外スピーカから放射された音が受音点に届くまでにどの程度減衰するかについては、通常の距離減衰特性や気温、湿度に応じた大気による減衰特性として比較的良好に分かっている[1]。したがって、晴天時で気温、湿度等の条件が限定されている場合には、受音点における拡声音

の明瞭性はある程度の精度で推定でき、屋外拡声システムに求められる仕様を決定することができる。一方、豪雨時は、単なる湿度上昇だけでなく多量の液体が空気中に分布していることから、そこを伝搬する音の距離減衰が大きくなると予想される。また、多量の雨粒が地面、建造物に衝突することから暗騒音エネルギーが上昇し、その結果、音声の明瞭性に対応する物理指標であるSNつまり暗騒音(N)のエネルギーに対する拡声音(S)のエネルギー比率が低下し、音声の明瞭性が悪くなる[2]と推測される。

この明瞭性の悪化を補償するためには、降雨量の変化に応じてアクティブに受音点におけるSN比を補償する技術が必要である。具体的には①屋外拡声システムの音響出力特性（例えば出力周波数特性）を変化させて受音点における拡声音エネルギーを上昇させる、②ノイズキャンセリング等の技術により、受音点における暗騒音エネルギーを低下させることにより、SN比を補償する技術が必要である。このためには、まず降雨時の音響伝搬特性及び暗騒音特性を知る必要があるが、これらに対する既往の研究はほとんど見られない。

以上を踏まえ、本研究では、降雨環境下における音響伝搬特性及び降雨時の暗騒音特性の測定、並びにノイズキャンセリングシステムの性能評価実験を行い、環境変化に適応してSN比を向上させるシステム構築のための基礎データを得る。さらに、これらのデータに基づいてSN比改善装置の試作を行ない、その性能を聴取実験により確かめる。

2. 降雨が屋外音響伝搬特性に及ぼす影響

2.1. 目的

豪雨の状況下において防災行政無線の屋外拡声システムを用いて、正確に情報を伝えるためには、降雨によって音の伝搬特性がどのように変わるか

（所属機関名）

1 国立大学法人 神戸大学工学研究科

2 TOA 株式会社

3 株式会社小野音響事務所

を明らかにする必要がある。

既存の研究では屋外で実測しているが、降雨強度等は制御できないため、必要なデータの収集には長期的な調査が必要である。また、風等の外乱要因が多く、降雨の影響のみを抽出することは非常に難しい。そこで、本研究では、大型降雨実験施設において、人工的に降雨を発生させて実測調査を行なった。これにより、降雨無しの条件から観測史上最高の瞬間降雨強度相当の条件まで様々な降雨条件のデータを短時間で収集可能である。さらに、半屋内環境であるため、風等の外乱要因の影響が小さい貴重なデータが収集可能である。

2.2. 実験方法

2.2.1. 測定日時・場所

実験は、2015年8月10日に、国立研究開発法人防災科学研究所（茨城県つくば市）敷地内の大型降雨実験施設で行なった。実験施設の室寸法は、49 m(W)×76 m(L)×21 m(H)であり、径が異なる4系統の降雨ノズルが地上16 mに設置されている。

2.2.2. 測定装置

測定用信号を再生するためのスピーカとして、ホーンアレイスピーカ（TOA社製特注品、以下HA）とスリムスピーカ（TOA社製特注品、以下SS）の2種類を用いた。2つの大きな違いは再生周波数帯域であり、HAは155 Hzから5 kHz、SSは350 Hzから7 kHzである。スピーカは図2-1の写真に示すように、台の上に中心高さを3.5 mに揃えて設置した。



図2-1 実験に用いたスピーカ
(左) スリムスピーカ (右) ホーンアレイスピーカ

受信装置として、全天候型スクリーンを取り付けた騒音計（RION, NL-32）を用いた。騒音計のAC出力を、ICレコーダ（Roland, R-09）を用いてサンプリング周波数44.1 kHzでPCM方式によりデジタル録音した。地面からの反射を考慮して、三脚を用いてできるだけ高い位置に騒音計のマイクロホンを設置した。マイクロホン高さは2.4 mである。

実験施設内の気温、相対湿度、風向、風速を、気象センサー（VAISALA, WXT520）を用いて、実測中連続して測定した。また、ディストロメータ（クリマ

テック, CTC-LPM）を用いて降雨量と雨粒の粒径を測定した。

図2-2に、各装置の配置を示す。実験施設の東西方向（長手方向）の中心軸上に、スピーカとマイクロホンを設置した。スピーカと1つのマイクロホンは降雨エリア端部に設置し、もう1つのマイクロホンは屋内中心に設置した。スピーカからの距離が近い順で、マイクロホン位置をP1（40.0 m）、P2（77.5 m）とする。なお、実験施設の東西方向の壁は開閉が可能であり実験中は開放した。

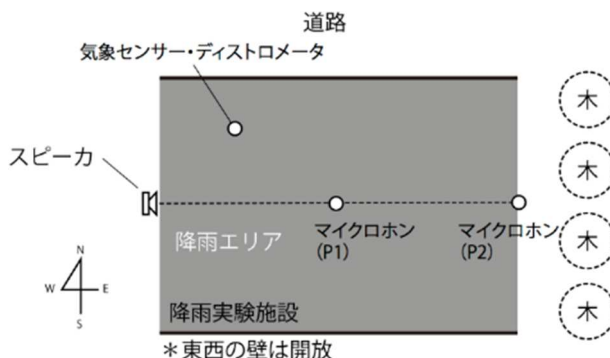


図2-2 測定装置の配置

2.2.3. 降雨条件

表2-1に、降雨条件を示す。降雨エリアは実験施設の全体である。地表面に雨水が浮くことにより音の反射特性が大きく変わることが想定されたため、降雨無しの条件（C5）を最後に実施した。実験には第2系統ノズルと第4系統ノズルの2種類を用いた。2つのノズルの違いは雨滴の粒径であり、第4系統ノズルの方が第2系統ノズルよりも大きい。

表2-1 降雨条件（実施順）

降雨条件	想定した状況	降雨強度等
C1	観測史上最高の瞬間雨量	300 mm/h（第4系統ノズル最大）
C2	猛烈な雨	200 mm/h（第4系統ノズル最小）
C3	猛烈な雨	200 mm/h（第2系統ノズル最大）
C4	激しい雨	40 mm/h（第2系統ノズル最小）
C5	降雨無し	0 mm/h

2.2.4. 実験手順

スピーカから測定信号を再生し、P1及びP2で同時に録音した。測定信号は、2つのスピーカのいずれか一方のみから再生した。測定信号は、周波数範囲を80 Hzから12 kHzに制限したログスイープ信号であり、継続時間は約23.8秒である。それぞれのスピーカと降雨条件について、この信号を10 sのインターバルを入れて4回ずつ再生及び録音した。

2.3. 結果と考察

2.3.1. 気温、相対湿度、風の影響

実験中の風速は、平均が 0.5 m/s、標準偏差が 0.4 m/s であり、ほぼ無風に近い条件であった。

気温は、実験開始前は約 31℃であったが、降雨と同時に 5℃程度低下し、測定中は 25～26℃でほぼ一定であった。降雨を停止した C5 の条件では、28℃程度まで上昇した。相対湿度については、実験開始前は約 60%であった。実験中の相対湿度は、70～90%の範囲で推移した。気温および湿度は、音の伝搬経路における空気吸収率に影響を及ぼす。しかし、音源から 100 m 離れた地点における空気吸収の影響は、本実験の気温と相対湿度の範囲において、4 kHz 以下では最大で 0.2 dB 程度であり、無視できる[1]。

以上より、気温、相対湿度、風は、本実験における結果にほぼ影響しないと言える。

2.3.2. 音響伝搬特性の時間特性

降雨が音の伝搬特性に及ぼす影響を検討するためには、境界面の影響を受けないインパルス応答の直接音に着目する必要がある。そこで、P1 および P2 で録音した測定信号に逆フィルタをかけることにより、インパルス応答を算出した。

測定結果の例として、HA を用いた場合の 1 回目の測定結果を図 2-3 に示す。直接音に着目するため、横軸の時間は、正の音圧の第 1 ピークを 0 ms とし、-1 から 5 ms の範囲を表示した。ただし、この範囲には地表からの第 1 次反射音が含まれる。スピーカと P1 および P2 の位置から、幾何学的に算出した遅れ時間は、P1 では 1.2 ms、P2 では 0.6 ms である。

P1 では、降雨条件によらず同じ時間パターンが 2 回繰り返されるのが明確に確認できる。2 回目の時間パターンは、遅れ時間から地表からの第 1 次反射音と見なせる。P2 においても、P1 ほど明確ではないが同じ時間パターンの繰り返しが見られ、遅れ時間から地表からの第 1 次反射音と見なせる。以上の傾向は HA の 2 から 4 回目の測定、および SS を用いた測定でも同様であった。

直接音のエネルギーを比較するために、P2 においても地表からの第 1 次反射音が到達しない範囲として、それぞれのインパルス応答から正の音圧の第 1 ピークを中心として±0.5 ms の範囲を抽出し、その 2 乗和を算出した。各スピーカと測定点の組み合わせについて平均値を求め、その値を基準として dB 表示した結果を表 2-2 に示す。

いくつかの条件では±2 dB を超える差が見られたが、降雨条件による系統だった影響は確認できない。また、4 回の測定を平均した値と比較すると、降雨条件による差はおおよそ±1 dB の範囲に収まる。したがって、同じスピーカおよび測定点であれば、降雨条件が直接音のエネルギーに及ぼす影響は無視できる程度である。

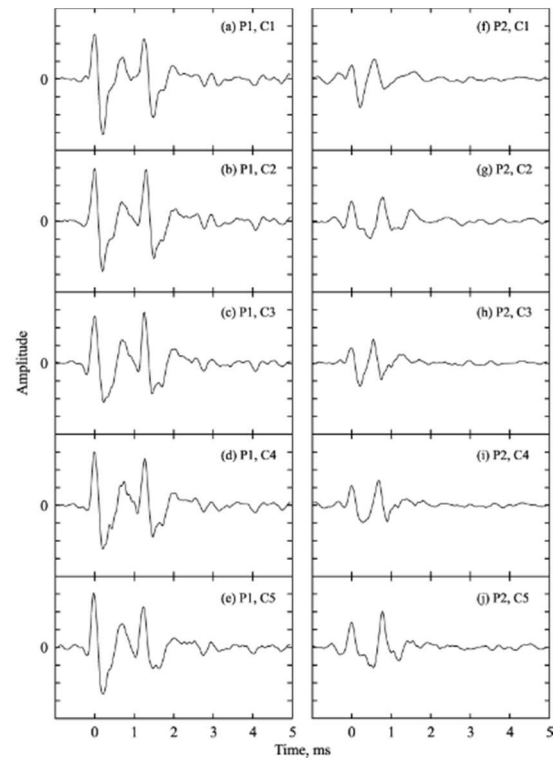


図 2-3 インパルス応答の測定例 (HA, 1 回目の測定)

表 2-2 スピーカと測定点の組み合わせ毎の平均値で基準化した直接音のエネルギー(dB)

スピーカ	測定点	降雨条件	1st	2nd	3rd	4th	Ave.
HA	P1	C1	0.2	-0.2	-0.2	0.1	0.0
		C2	0.2	-0.3	-0.4	-0.1	-0.2
		C3	-0.1	-0.1	-0.6	0.3	-0.1
		C4	0.3	0.3	-0.7	0.4	0.1
		C5	0.7	-0.1	0.1	-0.2	0.1
	P2	C1	-0.4	0.7	-2.2	1.3	-0.2
		C2	-0.8	0.1	0.3	1.7	0.3
		C3	-0.9	-0.2	0.4	-0.3	-0.3
		C4	-0.4	1.1	-1	0.6	0.1
		C5	1.3	-2.7	0.9	-2.9	-0.9
SS	P1	C1	0.3	-0.5	-0.9	0.0	-0.3
		C2	-0.4	0.4	0.0	0.0	0.0
		C3	-0.8	-0.4	-0.4	-0.9	-0.6
		C4	0.4	0.1	0.2	0.0	0.2
		C5	0.4	0.7	0.4	0.6	0.5
	P2	C1	0.5	-0.1	1.1	0.7	0.5
		C2	0.0	0.9	0.2	-1.2	0.0
		C3	-0.5	-0.2	-2.5	-1	-1.1
		C4	-0.4	-0.2	0.6	0.2	0.0
		C5	0.0	0.7	0.3	-0.4	0.1

2.3.3. 音響伝搬特性の周波数特性

2.3.2 節で述べたように、特に P2 では地表からの第 1 次反射音の遅れ時間が短いため、インパルス応

答から直接音のみを抽出するには、1 ms 程度の長さの時間窓を用いる必要がある。しかし、この時間窓で周波数分析を行なう場合、周波数分解能は 1 kHz と非常に粗いものになってしまう。

ここでは、ある程度の周波数分解能を確保するために、天井および側壁からの第 1 次反射音以降の反射音を直接音から分離することを考える。幾何学的に算出した天井および側壁からの第 1 次反射音以降の反射音の遅れ時間は、23 ms 以上であり、測定結果からも 20 ms 以前には地表からの第 1 反射音以外に強い反射音は見られなかった。そこで、長さ 2048 サンプル（約 46 ms）のハニング窓を、時間軸上で直接音が中心となるようにかけることにより、周波数分析を行なうこととした。

図 2-4 に、例として HA を用いた場合の各条件におけるパワースペクトルを示す。4 回の測定結果を平均し、測定信号再生用スピーカのパワースペクトルで基準化した。比較のために降雨無しの条件である C5 のパワースペクトルを、降雨有りの条件である C1 から C4 についてオーバーレイして示す。赤線が C5 のパワースペクトルである。

まず、全体に共通して周期的に繰り返すピークとディップが見られる。これは、2.3.2 節で示した地表からの第 1 次反射音が、直接音と干渉した結果である。

降雨条件による違いについて、赤線で示した C5 のパワースペクトルを基準として比較する。まず、どの測定点においても、C3 が C5 との差が大きい。特に明確な差異は、P2 において C3 のディップ周波数が高周波数方向にずれる点である。C3 では地表からの第 1 次反射音の遅れ時間が他の条件と比較して短いことと対応するが、この原因は不明である。また、多くの条件に共通する事項として、ディップの深さが C5 と比較して C1 から C4 では深くなる傾向が見られる。2.3.2 節において、直接音のエネルギーが降雨条件によらずほぼ一定であったことを踏まえると、この傾向は C5 において地表からの第 1 反射音がやや弱まったことが原因であると推測される。以上の傾向は SS を用いた場合でも同様であった。

以上より、本実験における降雨条件による音響伝搬特性の周波数特性の差は、全体としては見られず、ディップの深さあるいはディップ周波数のずれとして局所的に見られる。ただし、これは直接音ではなく地表からの第 1 次反射音の影響により生じたと考えられる。

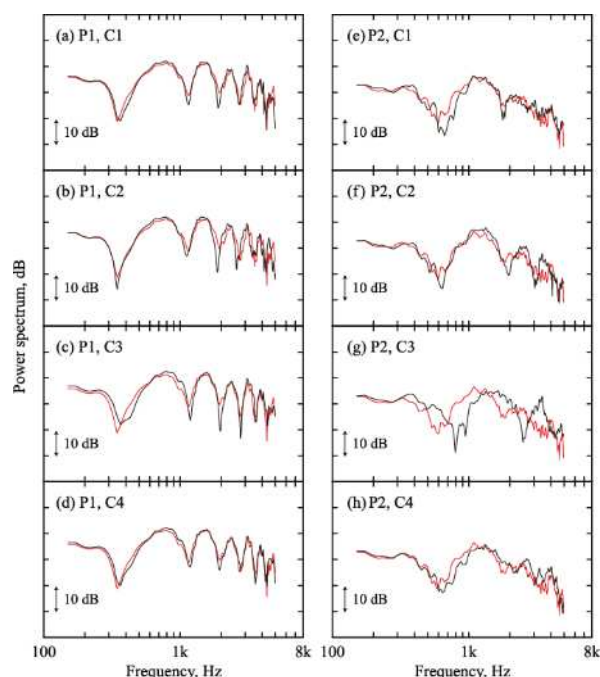


図 2-4 HA を用いた測定で得られたパワースペクトル
(赤線は C5 のスペクトル)

2.4. まとめ

風等の外乱要因の影響を最小化できる大型降雨実験施設において、降雨無しの条件、そして観測史上最高の瞬間降雨強度相当の条件を含む降雨条件下で音響伝搬特性の測定を行なった。その結果、以下を明らかにした。

- (1) 測定時における気温、湿度、風の影響が無視できる程度であることを確認した。
- (2) 音響伝搬特性の時間特性を分析した結果、降雨条件による直接音のエネルギーの差は無視できる程度であった。
- (3) 音響伝搬特性の周波数特性を分析した結果、降雨条件による差が見られたが、この差は地表からの第 1 次反射音の特性でほぼ説明可能であり、直接音そのものの周波数特性に差があるとは考えられない。

以上より、音源から 80 m 弱の範囲であれば、観測史上最高の瞬間降雨強度相当の条件においても、音響伝搬特性は降雨無しの条件とほぼ変わらないと言える。

3. 降雨が屋外騒音に及ぼす影響

3.1. 目的

防災行政無線の屋外拡声システムを用いた避難情報の伝達は、ゲリラ豪雨のような突発的な事態に対し、即時対応が可能という点で有効である。しかし、降雨時は雨滴の衝突音などにより屋外騒音の音圧レベルおよび周波数特性が変化し、音声明瞭度の

低下が想定される。

降雨によって屋外騒音の音圧レベルがどの程度上昇するかについては、石川ら[3]による道路交通騒音の測定事例がある。しかし、等価騒音レベル(L_{Aeq})が分析対象であり、音声明瞭度の予測において必要な屋外騒音の周波数特性については示されていない。また、降雨強度が及ぼす影響についても言及されていない。

そこで本研究では、4地点で降雨強度と屋外騒音の周波数特性を実測し、両者の関係を分析した。

3.2. 実測調査

3.2.1. 測定点

伊丹市、神戸市、宝塚市内の4地点に測定装置を設置した。外部電源が確保可能で、かつ歩行者等から測定装置を隔離できる地点のうち、雨滴が衝突する対象がある程度異なる地点を選択した。各測定点の特徴を表3-1に示す。また、Google Earthを用いて作成した測定点の周辺図を、図3-1に示す。図中の赤い点が測定点である。

表3-1 各測定点の特徴

測定点	設置場所	周囲の状況
1	建物（2階）屋上	大学構内、樹木が多い、歩行者が通る程度で静か
2	建物（3階）屋上	幹線道路沿いだが、マイクロホンは道路からやや遠い
3	地表面から1.5m	広い空地、砂利敷き、定期的に航空機騒音
4	建物（2階）側壁	幹線道路沿いで、マイクロホンは道路端近く

3.2.2. 測定装置

測定装置は、気象測定装置と騒音測定装置からなる。両者を1つのタブレットPC（Microsoft, Surface 3）に接続し、PC経由で測定データをクラウドサーバー（Dropbox）に記録した。

気象測定装置（Davis, VantagePro2）により、気温、相対湿度、風向、風速、降雨強度を1分間毎に記録した。騒音測定は、全天候型スクリーン（Rion, WS-03）を装着した騒音計（Rion, NL-21）のAC出力を、オーディオユニット（Roland, UA-11Mk2）を用いてPCに取り込み、30秒間の L_{Aeq} と1/3オクターブバンドごとの L_{eq} を1分間隔で計算することにより行った。気象測定と騒音測定の両者について、同時に時刻も記録されるため、同期することが可能である。

以上より、同期された気象データと騒音データのサンプルが1分間隔で得られる。例として、測定点



図3-1 各測定点の周辺図

2における測定装置の設置状況を図3-2に示す。

3.2.3. 測定期間

測定点により期間は異なるが、2015年10月初旬から11月末にかけて測定装置を連続稼働させた。なお、いずれの測定点においても、測定装置がやや不安定であったため、欠測が間欠的に発生した。表3-2に、各測定点における測定期間と、気象データと騒音データの両者が揃って得られたサンプル数



図 3-2 測定装置の設置例（測定点 2）

表 3-2 各測定点における測定期間と得られたサンプル数

測定点	測定期間	サンプル数
1	2015 年 10 月 2 日～11 月 30 日	66808
2	2015 年 10 月 13 日～11 月 30 日	63068
3	2015 年 10 月 21 日～11 月 24 日	41001
4	2015 年 10 月 14 日～11 月 30 日	61627

を示す。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 降雨強度

各測定点における降雨強度を図 3-3 に示す。降雨強度は、1 分間の測定から推定した 1 時間あたりの値である。図中の灰色の区間は欠測区間である。測定点間の距離は最大で 16 km 程度であり、おおむね同様の日時に降雨が見られる。また、瞬間的な値ではあるが、大雨警報の目安となる 40 mm/hour を超える降雨が測定期間中に確認された。

降雨が確認されたサンプル数と、40 mm/hour を超える降雨が確認されたサンプル数を表 3-3 に示す。以下では、降雨強度が 0 のサンプルを「降雨無し」、降雨強度が 0 より大きいサンプルを「降雨有り」と分類する。

表 3-3 各測定点における降雨が観測されたサンプル数

測定点	降雨強度, mm/hour	
	> 0	> 40
1	2358	13
2	2681	17
3	2418	25
4	2551	10

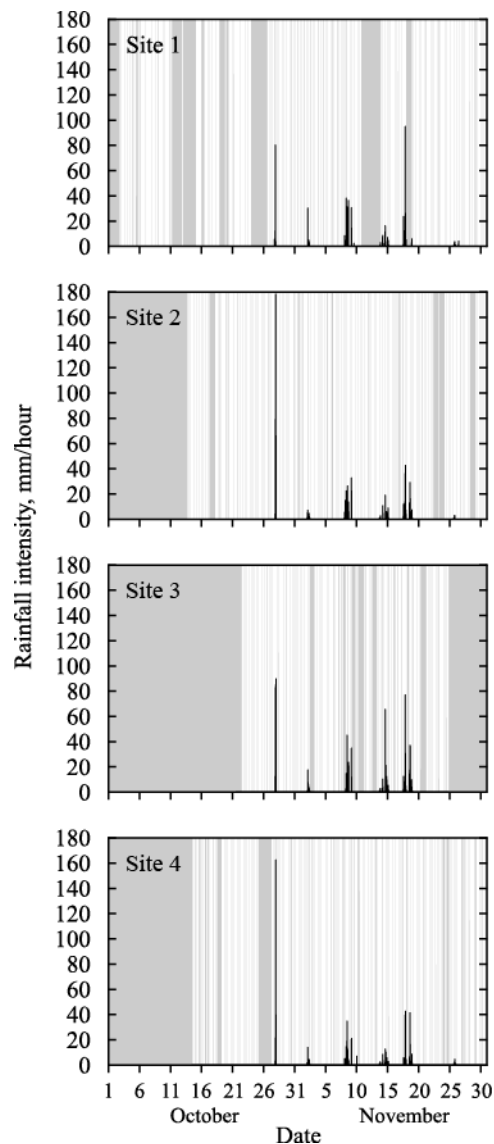


図 3-3 各測定点における降雨強度（灰色の区間は欠測）

3.3.2. 降雨無しの場合の屋外騒音

降雨が屋外騒音に及ぼす影響を分析するためには、基準となる降雨が無い場合の屋外騒音の周波数特性が必要である。しかし、屋外騒音の主たる構成要素は人間の生活音であり、屋外騒音の物理特性は人間の生活パターンにより日内変動する。そこで、日内変動の少ない安定した時間帯を抽出するために、物理特性の代表値として L_{Aeq} に着目する。各サンプルの L_{Aeq} は、30 s の測定時間によるものであり、正確には $L_{Aeq, 30s}$ と記述すべきであるが、以下では L_{Aeq} と略記する。 L_{eq} についても同様に略記する。

「降雨無し」のサンプルの L_{Aeq} を、1 時間単位で時刻ごとに算術平均した結果を図 3-4 に示す。なお、測定点 3 では、主に航空機騒音による平時よりも明らかに高い L_{Aeq} のサンプルが多く見られた。そこで、降雨の影響を受けにくい低周波数帯域の L_{eq} を目安

として航空機騒音の影響があると見なせるサンプルを抽出し、分析から除外した。具体的には、63 Hz 帯域の L_{eq} が 60 dB 以上のサンプルを除外した。

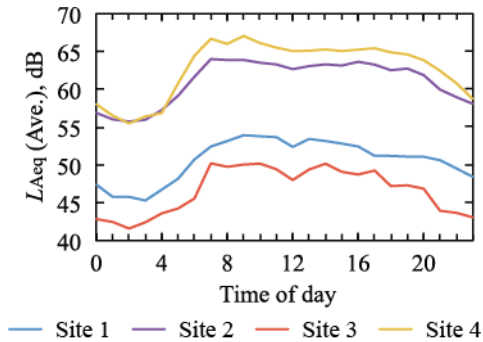


図3-4 時刻でまとめた「降雨無し」のサンプルの L_{Aeq} の平均値の時間変動

いずれの測定点においても、 L_{Aeq} の平均値は 4 時を過ぎると上昇し始め、7 時から 17 時の間はほぼ一定となり、それ以降はなだらかに減少する。この日内変動は人間の平均的な生活パターンと合致している。 L_{Aeq} の平均値の最大値と最小値の差は、測定点 1 から 4 について、それぞれ 8.6, 8.3, 8.6, 11.6 dB であり、昼夜間の L_{Aeq} の差は明確である。以上を踏まえ、比較的 L_{Aeq} が安定している 1 時から 4 時（夜間）と、7 時から 17 時（昼間）の 2 つの時間帯について詳細に分析する。

図 3-5 に、夜間と昼間の時間帯それぞれについて、「降雨無し」のサンプルの 1/3 オクターブバンドごとの L_{eq} の平均値を求めた結果を示す。すべての測定点に共通して、夜間よりも昼間の L_{eq} が高いが、昼夜間で周波数特性に大きな差は見られない。

周波数特性は大きく 2 つに分類できる。測定点 1 と 3 は、中心周波数が高くなるにつれて、ほぼ直線的に L_{eq} が低下する。低下の傾きは、1 オクターブあたり 3 あるいは 4 dB 程度であり、振幅が周波数の 2 乗に反比例するレッドノイズに相当する周波数特性であると言える。

一方、測定点 2 と 4 は、1.25 kHz 以下ではほぼ平坦であり、それよりも高い周波数範囲では周波数が高くなるほど L_{eq} が低下する。表 3-1 に示すように、測定点 2 と 4 は幹線道路沿いであり、さらにこの周波数特性は自動車走行音のバンドパワーレベルの周波数特性[4]とほぼ一致する。以上より、測定点 2 と 4 の周波数特性は自動車走行音でほぼ決定されると見なせる。また、昼夜間の L_{eq} の差は交通量の差により生じたと考えられる。

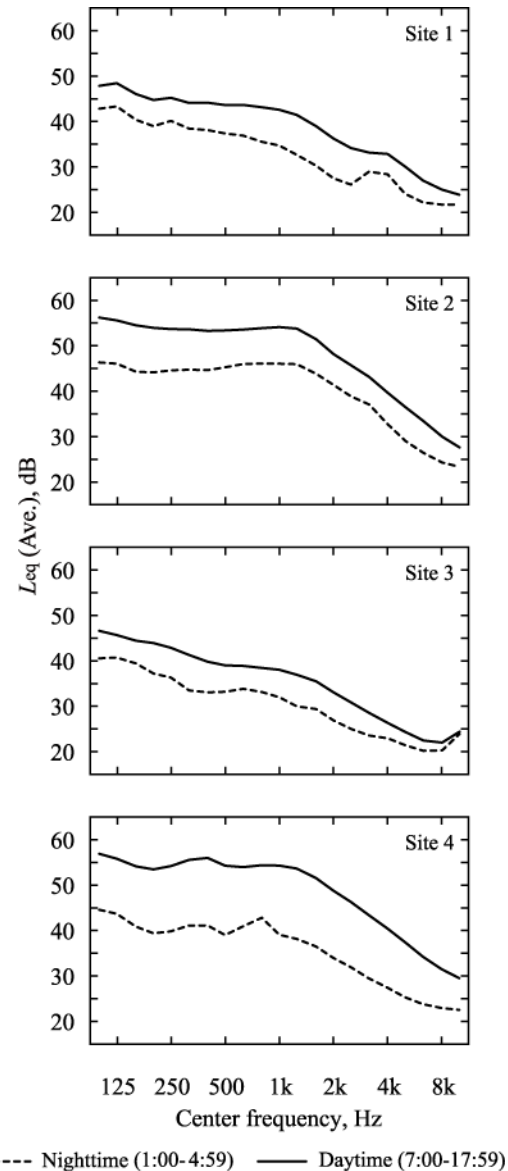


図3-5 降雨が無い場合の屋外騒音の周波数特性 (L_{eq} の平均値)

3.3.3. 降雨有りの場合の屋外騒音

Griffin and Ballagh[5]は、単一板に単一水滴が衝突する場合の理論式から、水滴の粒径が一定の場合、降雨強度が 10 倍になれば、水滴の衝突により発生する音の音圧レベルは 10 dB 増加するとしている。本研究では、自然降雨を実測対象とするため、雨滴の粒径は一定ではなくある分布を持つと考えられるが、降雨強度と L_{eq} の関係は対数関数になると考え、表 3-4 の 5 段階で降雨強度を分類する。それぞれの測定点および時間帯について、分類ごとの「降雨有り」のサンプル数を表 3-4 に併せて示す。なお、測定点 3 については、「降雨無し」の場合と同様に 63 Hz 帯域の L_{eq} が 60 dB 以上のサンプルを除外した。

表3-4 降雨強度の分類と「降雨有り」のサンプル数

分類	降雨強度, mm/hour	測定点1		測定点2		測定点3		測定点4	
		夜間	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間	夜間	昼間
1	2未満	222	400	205	521	71	422	166	599
2	2以上6未満	211	369	148	494	42	553	144	486
3	6以上14未満	20	79	23	108	16	167	10	79
4	14以上30未満	5	15	4	28	8	31	5	17
5	30以上62未満	3	6	4	0	1	6	0	3

それぞれの分類について、降雨強度と L_{Aeq} の平均値を算出し、両者の対応を散布図で表したものを図3-6に示す。横軸の降雨強度は対数軸を取っている。多くの時間帯と測定点の組み合わせに共通して、降雨強度が上昇するほど L_{Aeq} が直線的に上昇する傾向が見られる。ただし、その傾きには差があり、降雨が無い条件の L_{Aeq} が低いほど傾きは急になる。例えば、測定点1の場合、降雨強度が最小の分類と最大の分類の L_{Aeq} を比較すると、昼間はその差が5 dB程度だが、夜間は10 dB程度と差が広がる。

屋外騒音の L_{Aeq} が10 dB増加した場合に、音声了解度がどの程度減少するかは、受聴点における音声の音圧レベルによって異なる。しかしながら、例えば、Sato ら[6]が示した SN 比と単語理解度の回帰式によれば、SN 比が ± 0 dB の場合の単語理解度は96%であるのに対し、SN 比が-10 dB の場合は39%であることから、条件によっては降雨によって了解度が大きく低下することが想定される。

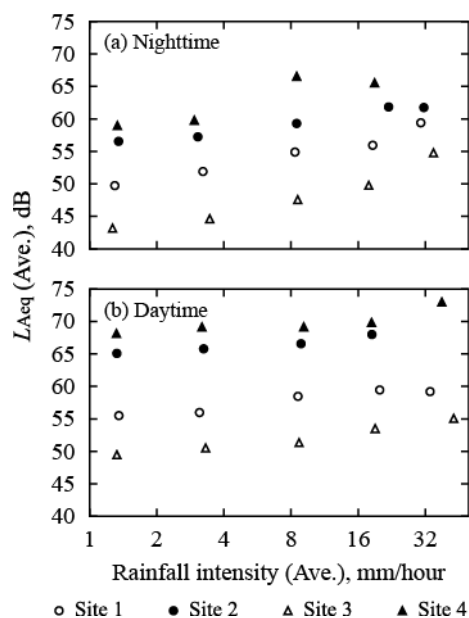


図3-6 降雨強度と L_{Aeq} の関係

図3-7にそれぞれの時間帯と降雨強度の分類について、1/3 オクターブバンドごとの L_{eq} の平均値を

求めた結果を示す。破線は、図3-5に示した「降雨無し」の結果である。色分けされた実線は、それぞれの降雨強度の分類における結果である。時間帯および測定点によらず、降雨強度が強くなるほど L_{eq} が上昇する。特に、降雨が無い条件の L_{eq} が低い高周波数帯域において大きな上昇が見られる。

降雨強度が最大の条件の周波数特性を比較すると、測定点1, 2, 4では1 kHz付近にピークが見られる。測定点1は周囲に樹木が多い点が測定点2および4と異なるが、周波数特性に大きな違いは見られなかった。一方、測定点3ではピークが見られず比較的平坦である。詳細は不明であるが、測定点3では主たる降雨音の発生源が雨滴が砂利敷きの地面に衝突する音であり、この衝突音の周波数特性が影響した可能性がある。

昼夜間の差に着目すると、降雨の影響が大きい1 kHz以上の帯域において、測定点1と3では降雨強度が最大の条件における L_{eq} の差があまり見られない。これは、時間帯による降雨音の差が小さいことを示唆する。一方、測定点2と4では、昼間の方が降雨強度が最大の条件における1 kHz以上の L_{eq} が高い。

測定点1と3では、周囲の状況を踏まえると降雨の影響は雨滴の衝突音のみで説明できる。一方、測定点2と4では自動車走行音が主たる騒音であり、降雨による自動車走行音の変化も考慮する必要がある。自動車走行音の変化は、昼夜間で差がある交

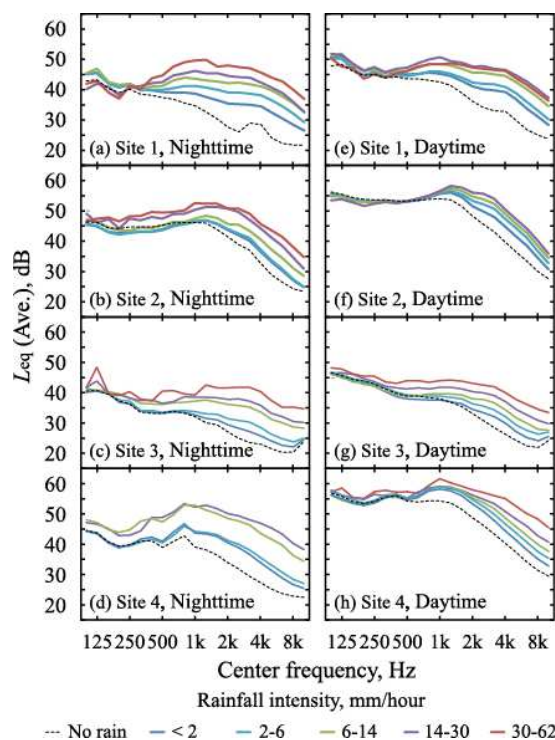


図3-7 降雨が有る場合の屋外騒音の周波数特性 (L_{eq} の平均)

通量との乗算で L_{eq} に影響することから、測定点 2 と 4 では昼夜間で差が生じたと推察される。

3.4. まとめ

降雨強度が屋外騒音の物理特性に及ぼす影響について明らかにするために、大学構内や幹線道路付近などの周辺環境の異なる 4 地点で降雨強度と屋外騒音の長期実測調査を行ない、両者の関係を分析した。その結果、以下を明らかにした。

- (1) 降雨強度が強くなるほど L_{Aeq} は上昇し、条件によっては音声了解度が大きく低下する可能性がある。
- (2) 時間帯および測定点によらず、降雨強度が強くなると特に高周波数帯域において L_{eq} が大きく上昇した。
- (3) ただし、その上昇の特徴は測定点によって異なり、降雨が無い条件の L_{eq} の強さ、地面の被覆状況、自動車走行音の影響が見られた。

4. アクティブ騒音制御による降雨音低減の可能性に関する検討

4.1. 目的

アクティブ騒音制御 (Active Noise Control, 以下 ANC) を行なうことにより、雨滴が屋根材などに衝突して発生する音を低減できるかを実験により検討した。

ANC にはフィードフォワード (Feed Forward, 以下 FF) 制御方式とフィードバック (Feed Back, 以下 FB) 制御方式がある [7]。FF 制御方式は比較的良好な騒音低減効果が得られるものの、広範囲で騒音を低減するには多くのスピーカ、マイクロホン等の機器が必要でシステムが大規模となり極端に高価なシステムとなる欠点がある。対して FB 制御方式は狭い周波数範囲の騒音低減にしか効果が無いが、システム規模を比較的小さくできることから安価なシステムを構成できる可能性がある。

本研究では上述の 2 つの制御方式それぞれについて雨滴衝突音に対する ANC 効果について検討した。

4.2. 制御方式の概要

表 4-1 は、騒音源を中心とする周囲の騒音を ANC により低減する場合の 2 つの制御方式の特徴をまとめたものである。

4.2.1. FF 制御方式

FF 制御では、図 4-1 に示す通り、参照マイクロホン①で收音した騒音源の騒音を制御フィルタ内臓の制御器で加工しスピーカ②から逆騒音 (anti-noise) を出力する。騒音の伝搬経路の上流で騒音を收音し、下流すなわち前方に送ることからフィードフォワードと呼ばれる。このとき、上流から伝搬してきた騒音とスピーカからの逆騒音とが合成され誤差マイクロホン位置③で音圧が可能な限り小さくなるよう制御器が動作することから、誤差マイク

表 4-1 制御方式の比較

制御方式	低減可能な騒音	システム規模
FF	低周波数であること。低周波数の範囲であれば、広帯域ランダムノイズを含め、様々な騒音を低減できる可能性がある。	1 システム当りの規模が大きい。また、1 システムが担当できる領域が狭いので、広い領域にわたり騒音を低減するには、多数のシステムが必要で大規模、高価なものになる。
FB	低周波数であること。ただし、周期性の騒音や狭帯域ノイズに限定される。	騒音源に近接してシステムを配置することで、小規模システムであっても周囲に広がる騒音を低減できる可能性がある。

ロホン位置③は制御点と呼ばれる。

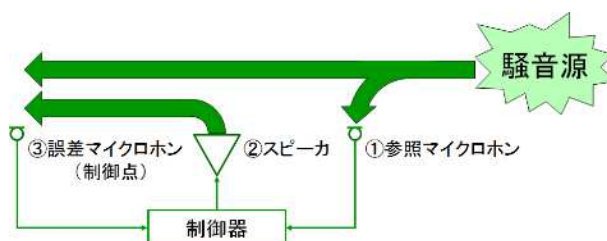


図 4-1 FF 制御方式

このように、FF 制御では、低減したい騒音を検知し、その騒音に特化した逆騒音を作り出すことから、騒音が広帯域ランダムノイズであっても制御点に於いて両者が正しく重畳しさえすれば、比較的良好な騒音低減効果が得られやすい。しかし、参照マイクロホン位置①から誤差マイクロホン位置③まで数メートルの距離が必要なることから 1 システムの寸法が大きくなる。また、騒音源から制御点を結ぶ直線方向の領域でしか騒音低減効果が維持されないことから、騒音源周りの広い範囲で騒音低減効果を得るためには、図 4-2 のように寸法の大きな FF 制御システムを多数並べなければならない、システムの規模が大きく、且つ、高コストになってしまうという欠点がある。

4.2.2. FB 制御方式

FB 制御は図 4-3 に示すように参照マイクロホンと誤差マイクロホンを兼ねたマイクロホンが制御点に置かれ (①=③)、その他はスピーカ②、制御器で構成される。ここでスピーカ位置②とマイクロホン位置 (即ち制御点) ③は近接して配置されている。マイクロホンで検知した制御点の音圧が可能な

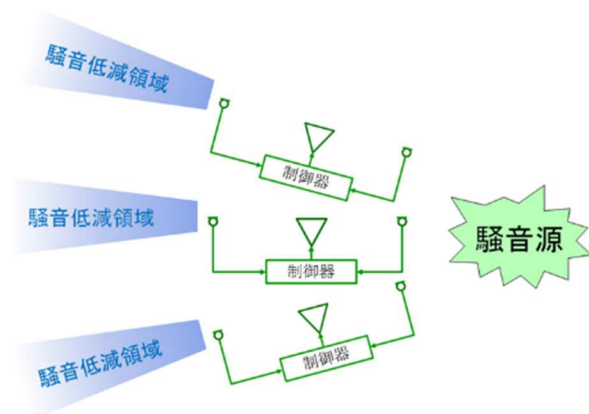


図 4-2 FF 制御による広域 ANC の概念図

限り小さくなるよう制御器が動作することは FF 制御と同じであるが、作り出した逆騒音を下流に出力するのではなく、検知した元の場所に戻すことからフィードバックと呼ばれている。

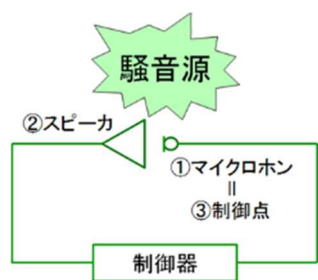


図 4-3 FB 制御方式

マイクロホンから制御器、スピーカーを経由し再度マイクロホン位置にまで戻ってくるフィードバック経路を信号が一巡するには僅かではあるが時間 τ がかかる。 τ 時間前に検出した騒音に基づいて作り出した逆騒音を出力するときには既にその騒音は伝搬してしまっており、新たな現在の騒音が制御点に到来している。したがって、過去の騒音と現在の騒音が同じであれば、即ち騒音が正弦波のように周期性を持ち狭帯域でピーク性の高いものであれば、騒音と逆騒音を重畳して低減できる可能性があるが、広帯域ランダムノイズのように過去と現在の騒音の相関が低い場合、騒音低減効果は殆ど得られない。しかし、1 システムあたりのスピーカーとマイクロホンが 1 対だけでよくシステムの小型化が可能であること、そして低周波数の騒音であれば 1～2 システムを騒音源に可能な限り近接して配置することで、周囲に広がる騒音をある程度抑えることができるという利点がある。

ただし、ある程度の広い空間で ANC する場合、FF

制御、FB 制御共に低周波数の騒音でないと低減できないことは共通している。これは周波数が高くなる、即ち波長が短くなると騒音と逆騒音の重ね合わせの精度が悪くなり、十分な低減効果が得られなくなること起因している。

また、制御器に内蔵されている適応フィルタは、制御点の音圧が常に最小となるよう時々刻々とその特性を調整しているのであるが、システムの初期設定と外界との間にずれが生じると、制御が不安定になり、場合によってはフィルタ係数が過度に大きく成長し、スピーカから大音量を放出してしまうことがある。これは ANC の発散現象として知られている。特に FB 制御では、不安定にならないよう一巡伝達関数の位相回転を抑えなければならない。

4.3. 実験方法

定常な降雨条件の下での ANC 効果を確認するため、降雨により建築材から発生する騒音の測定に関する国際規格 [8] を参考に実験施設を構成した。建築材として 3 種の屋根材を用い、それぞれから発生する降雨音への ANC 効果について検討した。

最初に、最も良い低減効果が得られると思われる FF 制御を試み、そもそも ANC で降雨音を低減できるかどうかを確認、次に、FB 制御を適用し、安価な実用システム構築の可能性について検討した。

4.3.1. 測定装置

定常な降雨条件とするため、国際規格 [8] に準拠した人工降雨装置 [9] (図 4-4) を用い、図 4-5 に示す実験装置を構成した。図 4-6 は実際に設営した様子である。

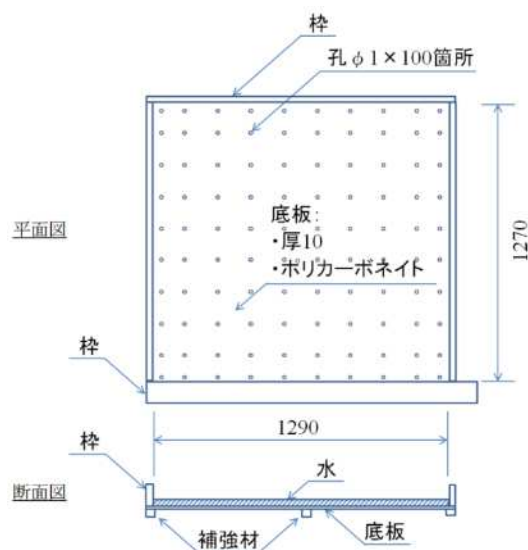


図 4-4 人工降雨装置 (寸法単位: mm)

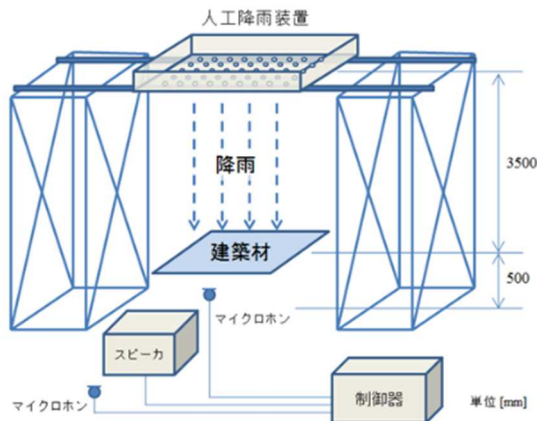


図4-5 実験装置の配置・構成



図4-6 実験装置の設置風景

降雨音を発生させる構造物として、屋根材としても使用される以下の市販の建築材3種を用いた：

- ・カラー鋼板（SSルーフ、230 mm×1820 mm×1820 mm）
 - ・中空ボード（ポリカーボネート製、910 mm×1820 mm×4.5 mm）
 - ・波板（ポリカーボネート製、660 mm×1820 mm×0.7 mm）
- 各建築材をそれぞれ複数枚使い面積1820 mm×1820 mmに降雨させ降雨音を発生させた。

ANCシステムには、実験用として利用できる汎用ANC装置ANCデュオ[10]（株式会社リデック製）を用いた。システム構成は、制御器（パワーアンプ内蔵）×1、スピーカー×1、防滴型マイクロホン×2（FF制御時）、又は×1（FB制御時）で、ANC対象としている騒音周波数帯域は40～1,000 Hzである。

4.3.2. 実験条件

人工降雨装置による降雨量を大雨（Heavy）相当の40 mm/hourに固定し、建築材3種それぞれに対し以下に示す実験1～4を実施した。実験日、実験場所、気象条件は以下の通りであった。

実験日 2015 年 11 月 26, 27 日

実験場所 TOA 株式会社宝塚事業場（兵庫県宝塚市高松町2-1）敷地内

気象条件 2015 年 11 月 26 日
天気：晴れ、気温：12.0 °C、湿度：56.6 %、風速：1.0 m/s、

2015 年 11 月 27 日
天気：晴れ、気温：11.1 °C、湿度：49.3 %、風速：1.4 m/s

気温、湿度、風速は、同敷地内に設置した屋外環境観測装置による観測データのうち実験時間帯（13:00～16:59）のデータを平均したものである。

A. 実験1

FF制御ANCを施し、そもそもANCで騒音低減が可能かどうかを確認した。図4-7に機器配置を示す。

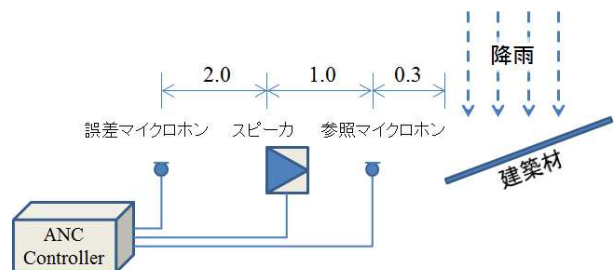


図4-7 実験1の機器配置（単位：m）

B. 実験2

実験1の機器配置からスピーカーを参照マイクロホン位置に移動した状態でFF制御を施し、低減効果を確認した。これは、参照マイクロホン信号から作り出された逆騒音が参照マイクロホン位置にフェードバックされる構成だが、制御点である誤差マイクロホンが離れていることから、疑似FB制御となっている。ただし低減対象はFBと同様に周期音である。図4-8に機器配置を示す。

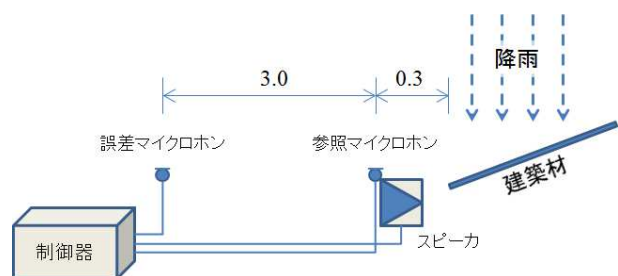


図4-8 実験2の機器配置（単位：m）

C. 実験3

FB 制御による ANC 効果を確認した。図 4-9 に機器配置を示す。

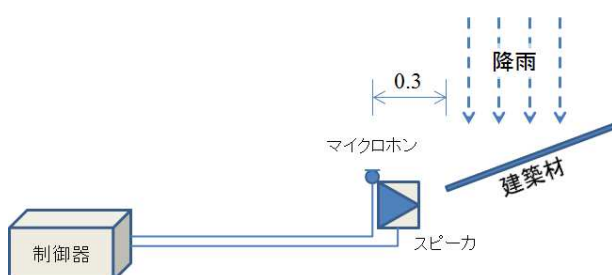


図 4-9 実験3の機器配置 (単位: m)

D. 実験4

構造物の共振に伴う鋭い線スペクトル状の騒音が発生している場合を想定した ANC 効果の確認実験を行った。人工降雨装置による降雨音に別途騒音用スピーカから発生させた 200 Hz 正弦波を重畳し、実験 1~3 の機器配置にて ANC を行った。騒音用スピーカは建築材直下に設置することで、建築材位置から降雨音と正弦波が同時に発生している状況を模擬した。

4.4. 結果と考察

A. 実験1の結果

図 4-10 に示す制御点（誤差マイクロホン）信号のスペクトルを見ると、(a)カラー鋼板、(b)中空ボード、(c)波板の3種類の建築材において、約 200~約 500 Hz における FF 制御の騒音低減効果が確認された。図 4-11 に示すように、参照マイクロホン信号と誤差マイクロホン信号のコヒーレンスを確認すると、ANC OFF 時 (a-1, b-1, c-1) 最大 0.4 程度であった同帯域のコヒーレンスが ANC ON 時 (a-2, b-2, c-2) に減少し、対象としている全帯域に渡りほぼ均一に零に近くなっている。このことは、今回用意した ANC システムではこれ以上の低減量が得られないほど十分に低減されていることを意味している。したがって、ANC には降雨音を低減する能力のあることが確認された。

B. 実験2の結果

図 4-12 に示す制御点（誤差マイクロホン）信号のスペクトルを見ると、3 建築材ともに疑似 FB 制御による騒音低減効果が殆ど見られなかった。このことから FB 制御による騒音低減の可能性は低いと推察される。

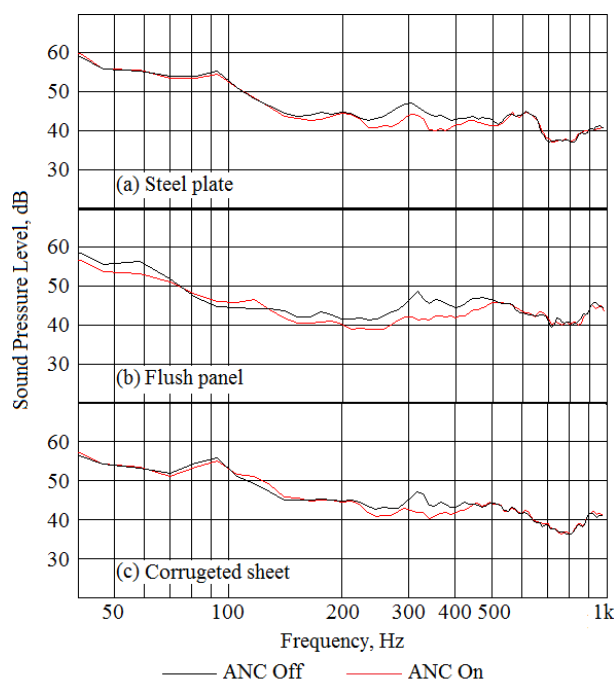


図 4-10 実験1：制御点音圧

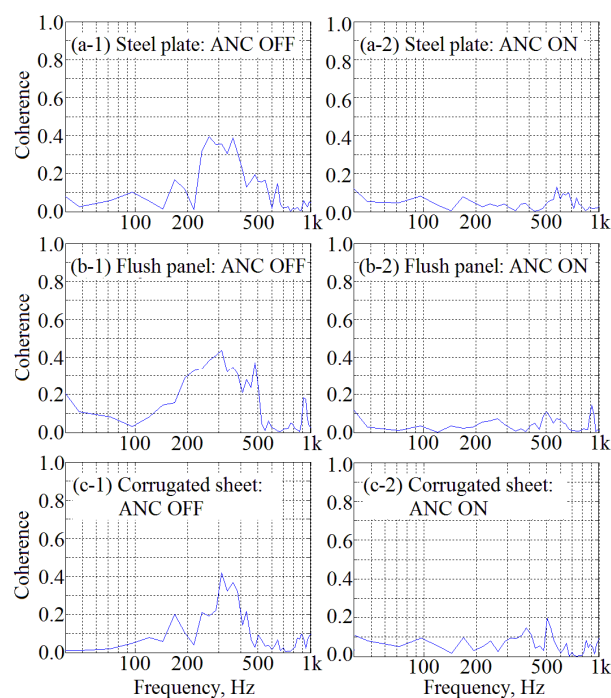


図 4-11 実験1：参照マイクロホン信号と誤差マイクロホン信号のコヒーレンス (左列: ANC OFF, 右列: ANC ON)

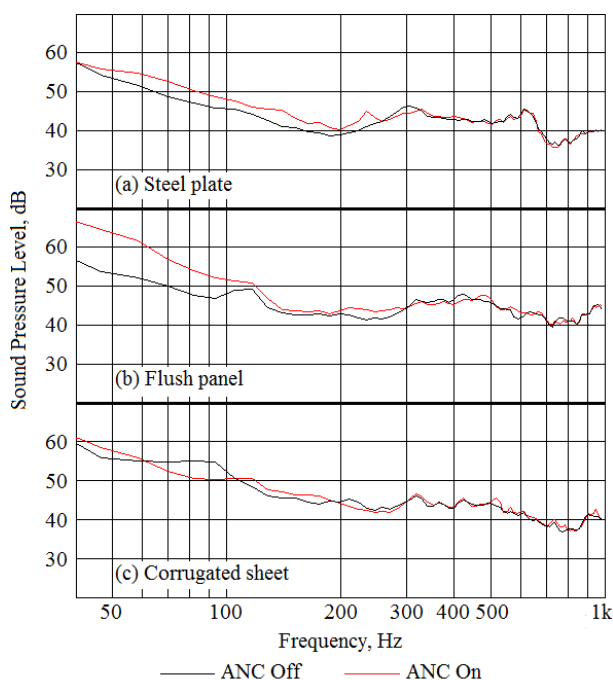


図 4-12 実験 2：制御点音圧

C. 実験 3 の結果

図 4-13 に示す制御点（マイクロホン）信号のスペクトルを見ると、(a)カラー鋼板、(b)中空ボードでは、実験 2 の結果から予想された通り FB 制御による騒音低減効果が殆ど確認できなかった。また (c)波板ではシステム設定が外界変化に追従できなかったことに起因すると思われる発散現象が生じたためデータを取得できなかった。

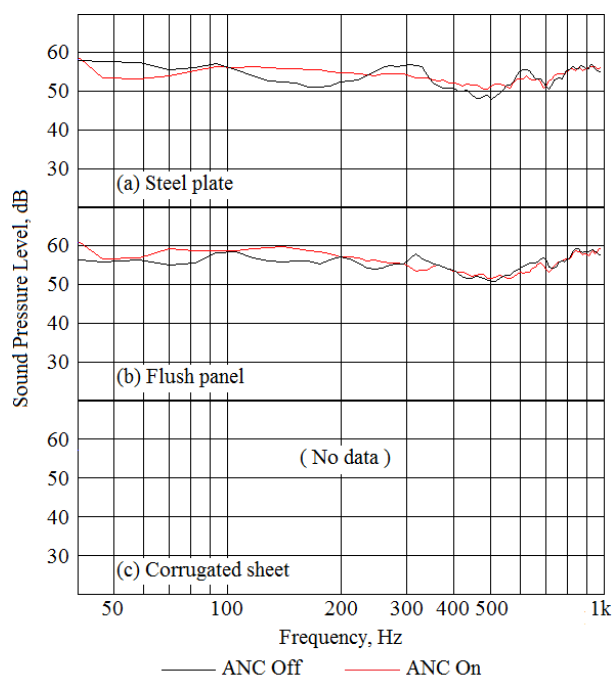


図 4-13 実験 3：制御点音圧

D. 実験 4 の結果

図 4-14 は、人工降雨装置により降雨音を発生させつつ建築材直下のスピーカから 200 Hz 正弦波を出力している状態での ANC の結果で、制御点音圧の変化を示している。FB 制御 (a, 実験 1 配置)，疑似 FB 制御 (b, 実験 2 配置)，そして FB 制御 (c, 実験 3 配置) とともに 200 Hz 正弦波が大きく低減していることが分かる。表 4-2 は 200 Hz 正弦波の具体的なレベル変化をまとめたものである。

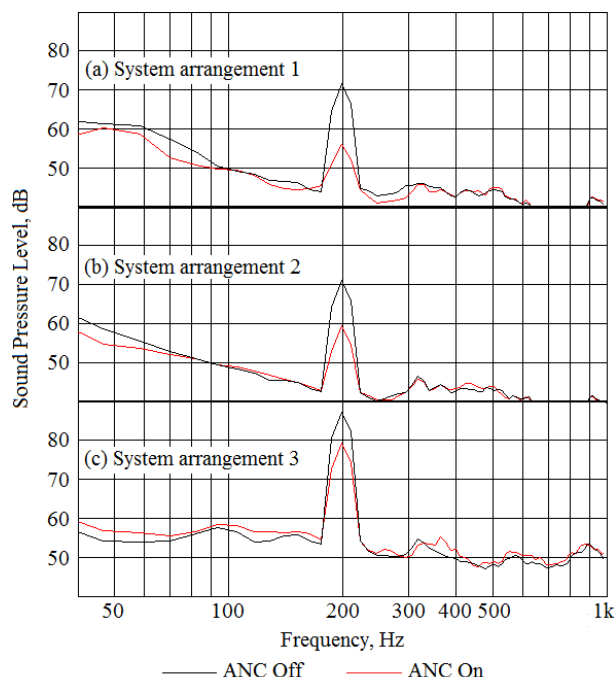


図 4-14 実験 4：制御点音圧

表 4-2 実験 4：200Hz 降雨音の ANC による低減量 (単位 dB)

	制御 OFF	制御 ON	低減量
(a) 実験 1 配置：FF 制御	71.9	56.5	15.4
(b) 実験 2 配置：疑似 FB 制御	71.4	59.8	11.6
(c) 実験 3 配置：FB 制御	87.6	79.7	7.9

E. 考察

実験 1 の FF 制御により降雨音の低減効果が得られたことから、ANC 自体には降雨音を低減する能力があるものの、実験 2 及び実験 3 の結果より、FB 制御の構成では通常の降雨音の低減は困難であることが分かる。一方、実験 4 のように降雨音に線スペクトル的な狭帯域成分が含まれている場合は、FB 制御であっても比較的良好な低減効果が得られることから、降雨音のスペクトルによっては、FB 制御でも降雨音低減効果が得られる可能性がある。しかし、今回用いた 3 種類の建築材による降雨音スペクトルにこのような狭帯域成分が現れなかったこと

からもわかる通り、一般の降雨音に FB 制御が得意とする線スペクトルが含まれるとは考えにくい。したがって FB 制御による降雨音低減システムの構築は避けるべきだと思われる。また、FF 制御によるシステム構築も、4.2.1 で述べたとおりコスト及びスペースファクタを考慮すれば、現実的ではないと思われる。

4.5. まとめ

本章では降雨により建築材から発生する降雨音の ANC の低減効果を確認し、ANC による降雨音低減システム構築の妥当性を検討した。

その結果、ANC には降雨音を低減する能力が確認されたものの、実用システムとして ANC を採用するのは現実的ではないと思われる。

5. SN 比改善装置の試作および音声了解度による性能評価

5.1. 目的

2 章及び 3 章で示した結果より、降雨による屋外拡声システムの明瞭性の低下は、屋外騒音の上昇が主たる要因であることが明らかになった。また、4 章において、アクティブ騒音制御を用いれば屋外騒音を低減できることが確認できたが、コストの観点から現実的ではないことを述べた。

以上の結果を踏まえると、降雨により低下した SN 比を補償する有効かつ現実的な方法は、屋外拡声システムの音響出力特性を降雨強度に応じて調整することである。

本章では、特に 3 章における屋外騒音の実測結果を参考として、SN 比改善装置を試作し、その効果を音声了解度試験により評価する。

5.2. SN 比改善装置の試作

本研究では、既存の屋外システムを拡張する装置として運用可能な装置を試作した。具体的には、以下の機能を持つ装置を、各子局設備における受信装置とパワーアンプの間に挿入することを想定する。

機能 1：受信装置からの信号を受け取る入力機能

機能 2：降雨強度に関する信号の入力機能

機能 3：機能 2 に入力された信号に基づき、機能 1 に入力された信号を調整する機能

機能 4：機能 3 で調整した信号をパワーアンプに出力する機能

なお、機能 2 に入力される信号としては、子局に付設した雨量計のような降雨強度を測定する装置からの信号だけでなく、親局から送信するアメダス等の情報を基にした信号も想定している。機能 1、2、4 は一般的な技術で実現可能であることから、本研究では機能 3 を実現するために 2 つの方法について検討した。

5.2.1. 単一の周波数補正特性による改善

導入コストを考慮し、最も単純な SN 比を改善する方法として、降雨強度がある閾値を超えた場合に、特定の周波数補正を有効にすることを考案し、それを実現する装置を試作した。

3 章で述べたように、屋外騒音は降雨の有無によらず低周波数帯域の音圧レベルが高く、加えて降雨有りの場合は特に高周波数帯域で音圧レベルが上昇する。この特徴に応じた周波数補正を行えば明瞭性の改善が見込まれるが、単純に信号を増幅すると、SN 比改善装置よりも下流のシステムにおいて過入力歪みが生じる可能性がある。

そこで、以下の 2 つの考え方にに基づき、3 章の測定結果と既存の明瞭性に関する物理指標を用いて総合的に周波数補正特性を検討した。

- (1) 音声の聴き取りに対する寄与率が高く、降雨によって屋外騒音の音圧レベルが上昇する高周波数帯域を増幅する。
- (2) 音声の聴き取りに対する寄与率が低く、降雨の有無によらず SN 比の確保が難しい低周波数帯域を減衰する。

その結果、図 5-1 に示す周波数補正特性を用いることとした。縦軸の利得が正であれば増幅、負であれば減衰する特性であることを示す。1 kHz 未満の周波数帯域は減衰させ、2 kHz から 4 kHz の帯域は増幅する。現状の防災行政無線の屋外拡声システムでは、狭帯域の音声信号（300 Hz から 3.4 kHz）を伝送することが多いことから、8 kHz の帯域は増幅していない。この特性を満たす周波数補正回路を設計し、本節の冒頭で述べた機能 1 から 4 を実装した装置を試作した。

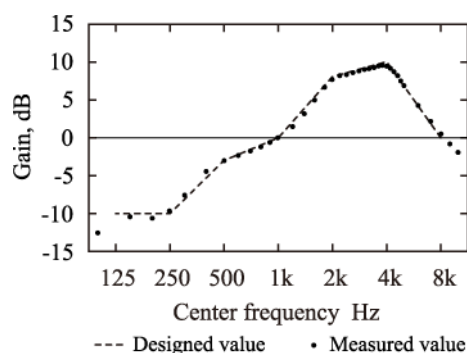


図 5-1 試作装置の周波数補正特性

装置の外観と寸法を図 5-2、ブロック図を図 5-3 に示す。図 5-3 の中央付近にあるスイッチが、機能 2 に相当する入力に応じて切り替わることにより、周波数補正が on/off される。また、実測した周波数補正特性を図 5-1 に併せて示す。



図5-2 試作装置の外観
(上) 正面の外観と寸法 (mm) (下) 背面の外観

5.2.2. 動的な周波数補正特性の切り替えによる改善

単一の周波数補正特性を用いた場合、音節や発話者による音声の周波数特性の違い、あるいは SN 比改善の対象とする受音点における屋外騒音の周波数特性の違いなどにより、期待される効果が得られない可能性がある。このような周波数特性の違いに対応できる高度な SN 比改善装置についても、単一の周波数補正と比較してコストや安定性の面で劣るが、将来性を考えて検討した。

音声の明瞭性低下について、降雨による屋外騒音の音圧レベルの上昇を、聴力損失による最小可聴値の上昇と同様に考えることができるものとし、補聴器に用いられる信号処理を応用することを考える。浅野ら[11]は、補聴器における入力信号の増幅方法として、入力信号の短時間平均スペクトルを逐次求め、その周波数要素ごとに、装用者の周波数要素ごとのラウドネス（音の大きさ）関数、つまり耳入力信号強度とラウドネスの対応関係に基づいて増幅量を決定する方法を提案した。この方法では、短い

時間窓ごとに周波数補正特性が切り替えられ、入力信号の音圧レベルの変化に増幅量が追従する。具体的には、装用者の聴力損失が大きいほど低い音圧レベルの入力信号が大きく増幅される一方で、入力信号の音圧レベルが十分に高く、装用者が聴き取り可能である場合は増幅量が小さくなる。

本研究では、この方法を応用し、受音点における SN 比が低いほど増幅量が大きくなるような周波数補正特性を逐次求め、切り替えつつ入力信号に適用することを考える。受音点の SN 比に着目するため、入力信号だけでなく屋外騒音の周波数特性の変化に対しても増幅量を追従させることが可能である。ただし、下流のシステムにおける過入力歪みが生じないように増幅量を抑制することも同時に考える。

図 5-4 に増幅量の決定方法の概念図を示す。横軸は増幅を行なう前の受音点における SN 比、縦軸は増幅を行なった後の受音点における SN 比である。図中の太線が増幅前後の SN 比の対応を示し、右上がりの対角線 ($y = x$) との差分が増幅量である。

過入力歪みへの対応の 1 つとして、増幅量の最大値を 20 dB に制限した。図中の (A) の領域では、SN 比が低いため大きな増幅量が必要であるが、その増幅量は 20 dB に制限される。(B) の領域では、傾き a にしたがって、SN 比が低くなるほど増幅量が大きくなる。もう 1 つの過入力歪みへの対応として、ある傾き a に基づいて増幅を行なった際に、最終的な出力信号の音圧振幅が入力信号全体の音圧振幅の最大値を超えた場合、 a を 0.1 だけ増やして増幅をやり直すという処理を繰り返すものとした。 a の初期値は 0.5 とした。また、この繰り返し処理にあたり、 a の最大値を 1 に制限し、増幅量が負にならないよう設定した。(C) の領域では、音声聴取に最低限必要な SN 比が確保されていると見なし、増幅は行わない。本研究では、最低限必要な SN 比を ± 0 dB とした。これらの設定値は、周波数によらず一定とした。なお、これらの設定値は、過入力歪みの有無と聴感印象を基準とした試行錯誤により求めたものであり、最適値とは限らない点に留意されたい。

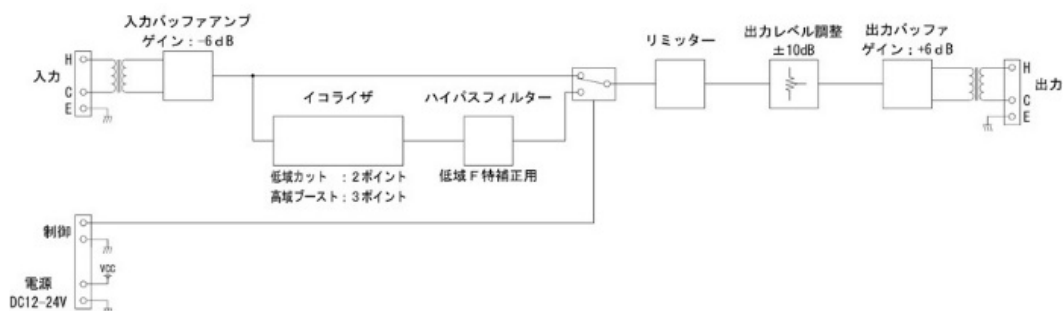


図5-3 試作装置のブロック図

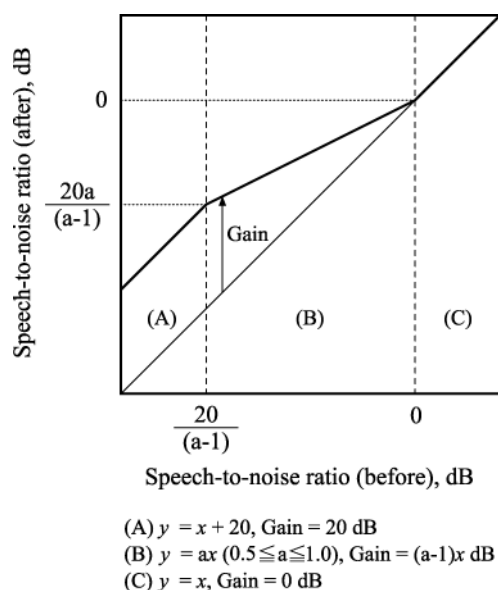


図 5-4 受音点における SN 比に基づく増幅量の決定方法

本研究では、実装可能な装置は試作せず、時間窓長などのその他のパラメータを浅野ら[12]に準じるものとした上で、上述の信号処理を実現するプログラムを作成した。なお、このプログラムが実行可能な PC とオーディオインターフェイスを組み合わせれば、機能 2 を除く形での試験的な実装は可能である。

5.3. 実験室における聴取実験による性能評価

5.3.1. 実験方法

A. 聴取者

聴取者は学生 10 名である。すべての聴取者に対して、オーディオメータ (RION, AA-73B) を用いて聴力検査を行い、正常な聴力レベルを有することを確認した。

B. 実験装置

実験は神戸大学工学部の無響室で行った。スピーカ配置を図 5-5 に示す。高さ 1.2 m の水平面内において、頭部中心から半径 1.5 m の円周上に、被験者正面を 0° とし、図 5-5 のように 8 個のスピーカ (Fujitsu ten, TD508II) を設置した。また、被験者の周囲を高さ 2.4 m、厚さ 1 mm 薄い黒色フェルトで囲い、スピーカ配置が被験者に見えないようにした。フェルトを通して測定した、実験に用いたスピーカの周波数特性は、刺激の周波数範囲 (100 Hz から 10 kHz) において、 ± 6 dB で平坦である。

C. 屋外騒音の模擬

3 章における屋外騒音の実測結果を用いて、降雨無しと降雨有りの条件の屋外騒音を無響室において模擬した。模擬対象は、自動車走行音の影響が見られず、降雨が屋外騒音に及ぼす影響が大きい測定点 1 および 3 とした。

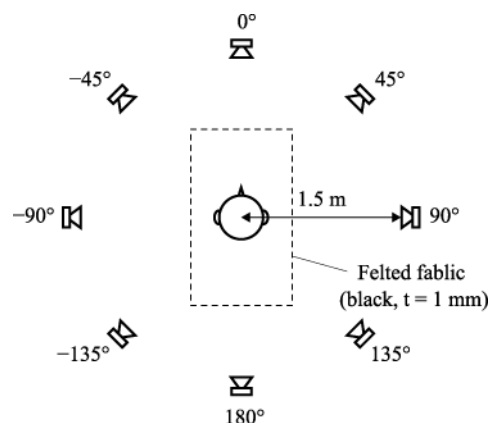


図 5-5 評価実験におけるスピーカ配置

まず、降雨無しの条件について検討する。図 5-6 に、図 3-5 に示した測定点 1 および 3 における 1/3 オクターブバンドごとの L_{eq} の平均値を再掲する。測定点 1 および 3 の L_{eq} は、中心周波数が増加するにつれて直線的に低下する。 L_{eq} を目的変数、バンド番号 (100 Hz を 1 とした整数) を説明変数とした直線回帰分析の結果を表 5-1 に示す。相関係数はほぼ -1 であり、 L_{eq} とバンド番号の関係は直線で近似できる。また、測定点と時間帯によってややばらつくが、傾きは -1 に近い。

そこで、周波数が 1 オクターブ上昇すると L_{eq} が 3 dB 減少する定常騒音、すなわちレッドノイズを降雨無しの条件の模擬に用いることとした。レッドノイズはスペクトル密度が周波数の 2 乗に反比例する定常雑音であり、そのオクターブバンドレベルは -3 dB/oct. の傾きを持つ。

レッドノイズを 100 Hz から 10 kHz の範囲で帯域制限した音源を、降雨無しの条件の模擬騒音として用いた。また、音圧レベルは、測定点 1 および 3 の昼間の L_{Aeq} を参考にし、 L_{Aeq} が 50 dB となるよう設

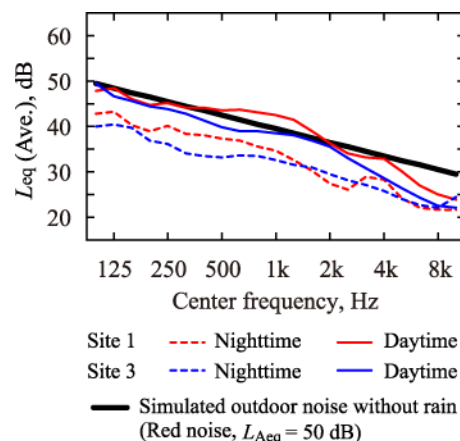


図 5-6 降雨無しの場合の屋外騒音の模擬騒音の周波数特性

定した。図 5-6 に、模擬騒音の周波数特性も併せて示す。

表 5-1 直線回帰分析の結果

測定点	時間帯	相関係数	傾き	切片
1	夜間	-0.98	-1.13	45.2
	昼間	-0.96	-1.18	51.8
3	夜間	-0.98	-0.889	41.2
	昼間	-0.98	-1.29	50.8

次に、降雨有りの条件について検討する。ここでは、SN 比改善装置の効果の有無を確認することが目的であるため、降雨音の音圧レベルが高い測定点 1 の降雨音を模擬対象とする。図 3-7 に示した測定点 1 における降雨が有る場合の屋外騒音のうち、降雨強度が最大となる 30～62 mm/hour の L_{eq} の周波数特性を図 5-7 に示す。500 Hz 以上の周波数では、昼夜間の差はほとんど見られない。500 Hz 未満の昼夜間の差は、降雨無しの条件における L_{eq} の差と推測される。ここでは、降雨無しの条件の L_{eq} が低い夜間の値を用いて降雨により発生した音（降雨音）の周波数特性を求める。

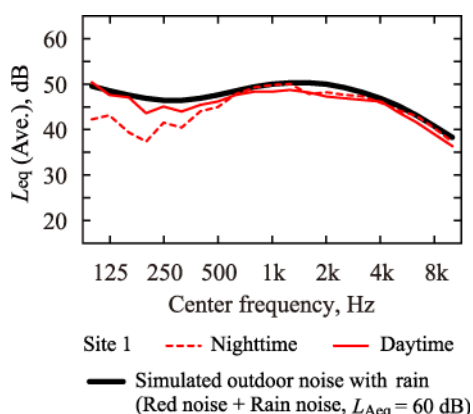


図 5-7 降雨有りの場合の屋外騒音の模擬騒音の周波数特性

図 3-7(a) より、おおむね 315 Hz より高い周波数において、降雨無しと降雨有りの L_{eq} に差が生じる。315 Hz 以上の周波数範囲について、 L_{eq} を目的変数、バンド番号 (i , 100 Hz を 1 とした整数, 315 Hz のバンド番号は 6) を説明変数とした 2 次曲線による近似式を求めた結果を式 (5-1) に示す。

$$L_{eq,i} = -0.179i^2 + 4.54i + 20.4 \quad (5-1)$$

この近似式の決定係数は 0.96 であり、この式を用いて測定点 1 における 30～62 mm/hour の降雨音の L_{eq} の周波数特性を模擬できると言える。

降雨有りの条件の屋外騒音には、降雨音以外の音、つまり降雨無しの条件で発生している騒音も含ま

れる。そこで、図 5-6 に示した降雨無しの模擬騒音に、式 (5-1) の定数項を調整して作成した周波数特性を持つ定常騒音を加えることにより、降雨有りの条件の屋外騒音を模擬した。具体的には、定数項に 0.9 を加えることにより、最終的な L_{Aeq} が 60 dB となるように調整し、降雨有りの条件の模擬騒音とした。図 5-8 に、(a) 降雨無しの模擬騒音、(b) モデル化した降雨音、(c) 降雨有りの模擬騒音の L_{eq} の周波数特性を示す。上述の通り、(c) は (a) と (b) を加算した結果である。また、降雨有りの模擬騒音の周波数特性を図 5-7 に併せて示す。測定点 1 において実測した昼間の周波数特性とほぼ一致することがわかる。

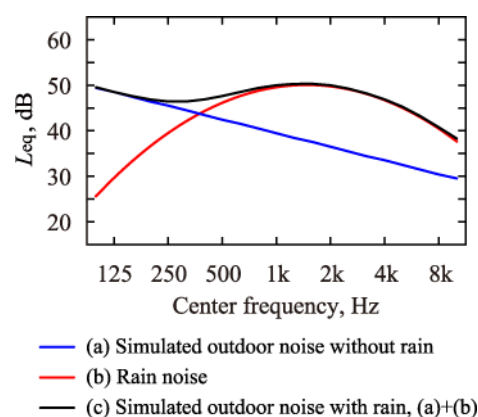


図 5-8 降雨有りの場合の模擬騒音の構成要素の周波数特性

屋外騒音の空間特性を模擬するために、図 5-5 に示した 8 個のスピーカから、それぞれ周波数特性は等しいが互いに無相関である模擬騒音を同時に提示した。実験者が聴取し、定位感が無く全体から広がって聞こえることを確認した。模擬騒音の継続時間は 5 s であり、先頭と末尾に 50 ms の立ち上がりとしち下がりをつけた。模擬騒音の提示レベルは、被験者の頭部中心に相当する位置において、上述した値になるように設定した。

D. 音声刺激

単語は親密度高いほど了解度が高くなることが知られている [2]。ここでは、親密度が統制された単語了解度試験用音源である [2] を用いる。FW03 には、単語親密度によって 4 つにランク分けされた 4 モーラの単語が、それぞれのランクに対して 1000 語ずつ収録されている。単語親密度は、最高のランクである 7.0-5.5 を使用し、1000 語中 400 語を実験に用いた。

音声刺激として、FW03 に収録された話者 mya による無響室録音音源を用いた。防災行政無線では狭帯域の音声信号が伝送されていることが多いことを踏まえ、無響室録音音源を 300 Hz から 3 kHz を通

過帯域とするバンドパスフィルタに通した。

この音源を基準刺激とし、SN 比改善装置による周波数補正を施した音声刺激と比較する。ここでは、5.2 節で述べた 2 つの方法による周波数補正を、計算機上で行なった刺激を用いる。単一の周波数補正特性を用いる方法については、図 5-1 に示した周波数補正特性を持つ FIR フィルタを別途作成し、基準刺激に畳み込むことにより補正を行なった。以下ではこの方法により補正した刺激を Static と記す。動的な周波数補正特性の切り替えを用いる方法については、5.2.2 節で作成したプログラムを用いて補正を行なった。以下ではこの方法により補正した刺激を Dynamic と記す。なお、この方法の場合、後述する SN 比の条件によって増幅量は異なる。

音声刺激は、図 5-5 に示したスピーカのうち、聴取者正面のスピーカのみから提示した。提示レベルは、被験者の頭部中心に相当する位置における基準刺激の L_{Aeq} で統制し、50, 55, 60 dB の 3 種類とした。

図 5-9 に、例として「アマグモ」の基準刺激、Static、Dynamic の時間波形を示す。それぞれの L_{Aeq} も併せて示す。基準刺激と Static を比較すると、第 2 音節や第 3 音節の開始部分などにおいて音圧振幅が増幅されているのが確認できるが、 L_{Aeq} にはほとんど差がない。基準刺激と Dynamic を比較すると、特に各音節の立ち上がり部分において大きな増幅が見られるが、振幅の小さい部分のみが増幅されているため、音圧振幅の最大値に差がない。 L_{Aeq} は、音圧の低い部分が少なくなった影響で、3 dB 上昇した。

図 5-10 に、図 5-9 に示した刺激の周波数特性を示す。図中の黒線が基準刺激、赤線が周波数補正を行なった刺激の結果である。Static は、図 5-1 に示した特性の通り、低周波数帯域では減衰し、高周波数帯域では増幅している。Dynamic は、広い周波数帯域に渡って増幅されているが、高周波数帯域の方が増幅量が大きい。

E. 実験条件

表 5-2 に示す 10 条件で実験を行なった。5.3.10 節で述べたように、模擬騒音の L_{Aeq} は、降雨無しで 50 dB、降雨有りで 60 dB である。したがって、条件 1 から 4 の基準刺激の L_{Aeq} で求めた SN 比は、降雨無しについて ± 0 dB、降雨有りについて -10 dB である。同様に、条件 5 から 7、条件 8 から 10 の SN 比は、それぞれ -5 、 ± 0 dB である。ただし、周波数補正がある場合は、単語や補正方法により異なるが、図 5-9 に示したように音声刺激の L_{Aeq} が上昇するため、SN 比は数 dB 程度上昇する。

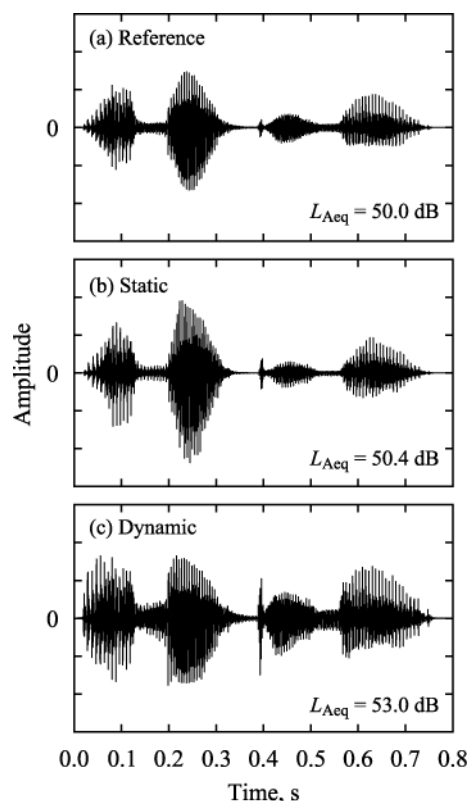


図 5-9 音声刺激の時間波形の例(アマグモ)

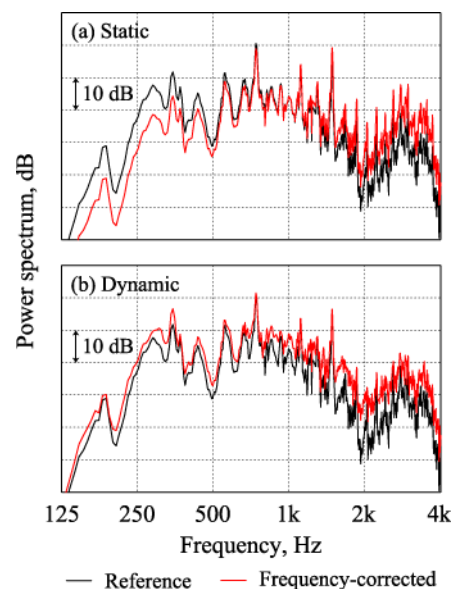


図 5-10 音声刺激の周波数特性の例(アマグモ)

表5-2 聴取実験の条件

条件番号	模擬騒音	基準刺激の L_{Aeq} (dB)	周波数補正
1	降雨無し	50	なし
2	降雨有り	50	なし
3	降雨有り	50	Static
4	降雨有り	50	Dynamic
5	降雨有り	55	なし
6	降雨有り	55	Static
7	降雨有り	55	Dynamic
8	降雨有り	60	なし
9	降雨有り	60	Static
10	降雨有り	60	Dynamic

F. 実験手順

音声刺激は、同じ条件で4単語を連続して提示し、聴取者1人につき、それぞれの条件について10組の4連単語を提示するものとした。そこで、まず400語の高親密度単語から100組の4連単語を作成し、表5-2に示した10条件を組み合わせた1000種類の刺激を作成した。1000刺激を、4連単語の重複が無くかつ10条件がそれぞれ10個ずつ含まれるように、100刺激からなる10種類の刺激群に振り分けた。

聴取者1名につき1個の刺激群を提示した。聴取者10名が実験を終了することにより、すべての刺激が1回ずつ提示される。このことにより、条件間で使用される4連単語のバランスは保たれる。聴取者1名あたりの実験は、5回に分けて行った。刺激群を条件が2つずつ含まれるように20刺激ごとの5つに分け、それぞれをランダムに並び替えて提示した。

聴取者を無響室に頭を固定させずに座らせ、刺激を聴こえた通りに書き取らせた。無響室の照明はつけたままにし、回答の記入に十分な明るさを与えた。模擬騒音の提示開始から0.5 s後に音声刺激の提示を開始した。刺激と刺激の時間間隔は20 sとした。なお、事前に実験に使用しない4連単語を15組用いて練習を行なった。

5.3.2. 結果と考察

聴取者の回答について、4連単語の回答順序は問わないものとし、正しく書き取れた単語数を求めた。すべての聴取者の結果をまとめ、条件ごとに正しく書き取れた単語の割合である単語了解度を算出した。1条件につき、100組の4連単語が集計対象となるため、サンプル数は400である。

基準刺激の L_{Aeq} が50, 55, 60 dBの条件を、それぞれ図5-11, 図5-12, 図5-13に示す。基準刺激の L_{Aeq} が高いほど、SN比が高く聴き取りやすい条件である。

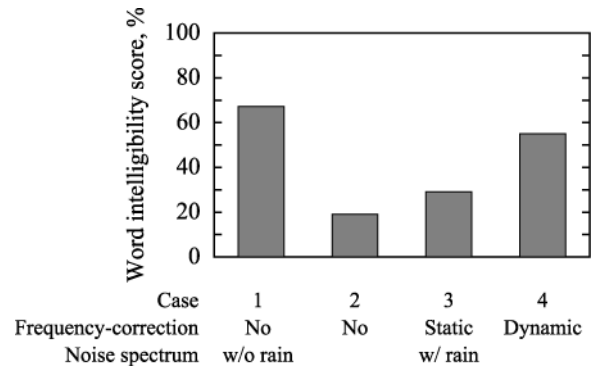
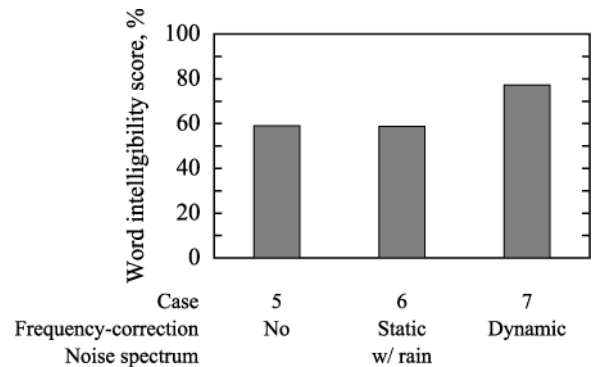
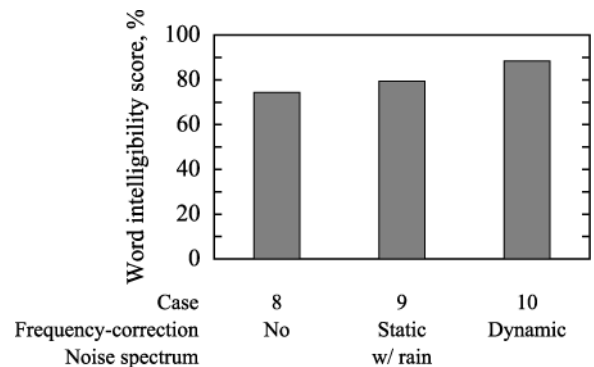
図5-11 条件1～4の単語了解度（基準刺激の L_{Aeq} = 50 dB）図5-12 条件5～7の単語了解度（基準刺激の L_{Aeq} = 55 dB）図5-13 条件8～10の単語了解度（基準刺激の L_{Aeq} = 60 dB）

図5-11より、基準刺激の単語了解度について、降雨無しの模擬騒音の場合は約70%であるが、降雨有りの場合は50ポイント程度低下し、約20%であった。この結果より、条件1から4のようなSN比が低い条件では、30から62 mm/hour程度の強い降雨によって、単語了解度が大幅に低下する可能性があることが改めて確認された。また、このような条件下で、本研究で提案した周波数補正を適用すると、単語了解度はStaticの場合は約30%、Dynamicの場合は約55%であり、それぞれ10ポイント、35ポイント程度の上昇が見られ、改善効果が実証できた。

図5-12および図5-13は、降雨が有る場合でもあ

る程度 SN 比が確保されている条件であり、基準刺激の単語理解度がそれぞれ約 60%、約 75%である。このような条件下においては、Static では基準刺激と比較して単語理解度は大きく上昇しないが、反対に減少することもなかった。一方、Dynamic の場合は、基準刺激と比較して単語理解度が 10 ポイント以上上昇しており、ある程度 SN 比が確保されている条件でも改善効果が確認できた。

音は距離減衰するため、屋外拡声システムのスピーカと受音点の距離が離れるほど SN 比は低くなる。また、周波数補正を適用できるのは、スピーカからの音響出力のみである。つまり、ある特定の周波数補正を適用した音声は、様々な SN 比で聴取されることになる。

本実験において、Static の周波数補正特性は SN 比によらず一定であり、さらにどの SN 比でも基準刺激の単語理解度を下回ることはない。したがって、実用化した場合に、スピーカと受音点の距離によっては逆に明瞭性が劣化するといったことは生じないと考えられる。

一方、Dynamic による補正は、ある特定の受音点における SN 比に基づいて最適化する方法である。本実験において、条件 4、7、10 における増幅量は異なり、基準刺激の SN 比が低くなるほど増幅量は大きくなる。実験結果から、最適化の対象とした受音点では、SN 比によらず明瞭性が改善すると言える。しかし、スピーカからの距離が遠い受音点の SN 比に基づいて Dynamic による周波数補正を行なった場合に、スピーカ近傍の受音点において過度な周波数補正により明瞭性が劣化しないかどうかについては、本実験の範囲では不明である。この問題の検証については今後の課題とする。

5.4. まとめ

降雨により低下した SN 比を改善させるために、屋外拡声システムの音響出力の周波数補正を行なう方法について検討した。単一の周波数補正特性を用いる方法と、動的に周波数補正特性を切り替える方法の 2 つについて検討し、さらに実験室における聴取実験に基づく性能評価を行なった。以下にその結果をまとめる。

- (1) 3 章の結果を基に、単一の周波数補正特性を決定し、既存の屋外拡声システムに増設可能な装置を試作した。
- (2) さらに高度な周波数補正方法として、補聴器に用いられる信号処理を応用し、受音点における SN 比に基づいて周波数補正特性を動的に切り替える方法を考案し、それを実現するプログラムを作成した。
- (3) 実験室において、3 章の結果を基に模擬した屋外騒音下で提案した周波数補正を適用した音声の書き取り試験を行ない、特に SN 比が低い条件で周波数補正により明瞭性が改善されることを客観的に実証した。

6. 本研究で得られた成果と今後の課題

本研究では、降雨による環境変化に適応する屋外拡声システムの SN 比改善装置の開発を目標とした。まず、降雨量の変化に応じて受音点における拡声音と暗騒音のエネルギー比 (SN 比) を補償する技術開発の基礎データとするために、降雨環境下における音響伝搬特性及び暗騒音特性の測定、並びにノイズキャンセリングシステムの性能評価実験を行なった。その結果、SN 比を補償する有効かつ現実的な方法は、屋外拡声システムの音響出力の周波数特性を降雨強度に応じて調整することであると考えた。単一の周波数補正特性を用いる方法と、動的に周波数補正特性を切り替える方法の 2 つについて検討し、両者ともに明瞭性の改善効果があることを聴取試験により確認した。さらに、単一の周波数補正特性を用いる方法については、既存の屋外拡声システムに増設可能な装置を試作した。

降雨が屋外音響伝搬特性と屋外騒音の物理特性に及ぼす影響と、アクティブ騒音制御による降雨音低減の可能性について実測あるいは実験により明らかにした。また、その結果に基づき周波数補正を行なうことにより SN 比を改善する装置を 2 種類考案し、聴取実験を用いて改善効果を実証した。さらに、2 種類のうち 1 つは実際に試作した。

今後の課題としては、本研究で開発した SN 比改善装置の実用化に向けた研究を進める。具体的には、特に動的に周波数補正特性を切り替える方法については、補正を適用した際に明瞭性の劣化が生じないことを実験室における聴取実験により確認したうえで、自治体の協力の基に既存の屋外拡声システムに 2 種類の周波数補正方法の SN 比改善装置を実装し、現場でも明瞭性の改善が見られるかを確認することを予定している。

謝辞

研究支援者として本研究に参画いただいた伊丹市および伊丹市消防局の関係者各位には、特に屋外実測調査において多大なご協力をいただいた。同様に研究支援者として参画いただいた東北大学電気通信研究所の鈴木陽一教授には、SN 比改善装置の開発にあたり的確なアドバイスをいただいた。防災科学研究所の酒井直樹氏、日本建築総合試験所の村上剛士氏には、実測実験にあたり多大なご協力をいただいた。その他にも多くの方々のご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

【参考文献】

- [1] JIS Z8738:1999, 屋外の音の伝搬における空気吸収の計算, 1999.
- [2] S. Amano, S. Sakamoto, T. Kondo and Y. Suzuki, Development of familiarity-controlled word lists 2003 (FW03) to assess spoken word

- intelligibility in Japanese, *Speech Communication*, 51(1), 76-82 (2009).
- [3] 石川, 福井, 長岡, 降雨時の排水性舗装の騒音低減効果に関する一検討, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演 論文集, 140-142 (2010).
- [4] 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会, 道路交通騒音の予測モデル ‘ASJ RTN- Model 2008’, 日本音響学会誌 65(4), 179-232 (2009).
- [5] D. Griffin and K. Ballagh, A consolidated theory for predicting rain noise, *J. Build. Acoust.* 19(4), 221-248 (2012).
- [6] H. Sato, M. Morimoto, Y. Hoshino, and Y. Odagawa, Relationship between sound insulation performance of walls and word intelligibility scores, *Applied Acoustics* 73(1), 43-49 (2012).
- [7] 西村, 宇佐川, 伊勢 (著), 日本音響学会 (編), *アクティブノイズコントロール* (コロナ社, 2006)
- [8] ISO 140-8: 1997, *Acoustics, Measurement of sound insulation in building and of building elements, Part 8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor* (改訂版: ISO 10140-1: 2010, *Acoustics, Laboratory measurement of sound insulation of building elements, Part 1: Application rules for specific products*) .
- [9] 村上, 実験室における屋根材の降雨騒音の測定方法, *音響技術*, No. 170, pp. 59-62, 2015.
- [10] 株式会社リデック, デュアル制御スピーカーANC, http://redec.co.jp/anc_Duo.htm (2015年12月1日より, 株式会社 ANC ラボに移管 http://www.anc-lab.com/anc_duo.html)
- [11] 浅野, 鈴木, 曾根, 林, 佐竹, 大山, 小林, 高坂, ラウドネス補償特性を有するデジタル補聴器の一構成法, 日本音響学会誌 47(6), 373-379 (1991).

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 福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システムの開発

研究実施期間	平成 25 年度～平成 27 年度
配分額（千円）	平成 25 年 18,200 千円 平成 26 年 15,890 千円 平成 27 年 20,855 千円
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	学・官 (杏林大学医学部救急医学、日本工業大学工学部機械工学科、東京消防庁 警防部特殊災害課、東京消防庁消防技術安全所消防技術課)
研究概要	東日本大震災では、福島第一原子力発電所における東京消防庁の放水活動に際して、特殊災害時の放射線管理等による安全・確実な活動に課題が生じた。特殊災害環境で消防職員が行う探索救助には、環境評価、活動状況把握、撤退判断を一連のステップとして管理すべきである。本研究では、事前に災害環境の危険度を評価する「突入判断システム」、活動中の隊員各自の危険度を評価する「撤退判断システム」、これらを統合運用し特殊災害環境における活動管理を担う『突入撤退判断システム』の開発を行った。 成果として、構成機器の選択・開発と運用手法を提案した。各種センサ機器は急速な技術革新が続いており、今後も短期間でよりよい選択肢が生じうる。導入を検討する際には、構成の最適化が求められる。また実証実験の結果から、商品化の際には、支援車両の複数台運用等を含めて、導入計画に応じたオーダーメイドの調整が能力を最大化すると考えられた。
研究成果の活用事例 (実用化の状況)	現段階で研究成果は製品化に至っておらず、実用化を考えた場合は“導入を前提とした具体的なニーズ”に合わせて追加の検討と開発が必要になる（機器機能レベルの設定や組み合わせ及びプログラム開発等）。 突入判断に係る情報収集能力の向上には、無線 LAN 中継局の小型化・積載量増加と無人航空機の併用も含めた複数台・複数車種車両群によるシステム構築を考慮すべきである。本研究範囲内では、無線 LAN の試作中継局及び主車両の開発に留まっている。 撤退判断に用いられるセンサ類は、限られた端末と専用ソフトウェアでしかデータ取得できないものが多く、独自のシステムを構築するハードルは高い。しかし、近年開発が進む小型高性能デバイスの利用と合わせて、隊員装備の簡略化やプログラムの高度化は一定の資金投入により可能となる。 生体情報センサには、現場活動に耐えうる機器という絶対的制約が存在するために、取得項目やデータレートとの機器性能に大きな影響がある。研究期間中も市場には多くの新規製品が登場した。製品化にあたっては、装着センサ数や測定精度、データの量や質について、導入検討時点で最適な機器を選択し、それに合わせたプログラムを開発し直す必要がある。同様に今回提示した危険度判定基準も、現段階で測定可能な項目を用いた消防活動環境下の生体情報評価の一例である。

応用の方向性	車両やセンサ、プログラムのひとつひとつは、現場応用可能な基礎的機器・システム案が示された。しかし開発・報告したツールは、本研究段階での全体構成と機能・性能付与であり、使用現場で求められる消防活動支援の詳細と、それに対応した危機・システムの高性能化に期待される。また全体システムの各構成要素は、救助部隊の突入・撤退判断に限らず、広く消防・防災活動に係る安全管理に活かすことが可能と考えられる。
研究発表の状況等	<学会発表> 1)石川貴一郎、山口芳裕、久保田勝明:「福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システム」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014、平成 26 年 5 月 25 日～29 日、富山 2)塚越貴哉、天野嘉春、石川貴一郎、山口芳裕、久保田勝明:「福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システム(第 2 報)ー消防活動のための遠隔無人情報収集システムの開発ー」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014、平成 26 年 5 月 25 日～29 日、富山 3)樋口輝和、田口晴也、塚越貴哉、石川貴一郎、山口芳裕、久保田勝明:「福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システム(第 3 報)ー遠隔操縦のための無線中継局設置機構の開発ー」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015、平成 27 年 5 月 17 日～19 日、京都 4)塚越貴哉、小林正尚、天野嘉春、石川貴一郎、山口芳裕、久保田勝明:「福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システム(第 4 報)ー不整地における自律走行のための経路計画ー」ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015、平成 27 年 5 月 17 日～19 日、京都 5)山口芳裕:「福島第一原発三号機注水作業の教訓を踏まえた突入撤退判断システムの開発ー消防防災科学技術研究推進制度対象研究ー」第 43 回日本救急医学会総会・学術集会 会長特別企画、平成 27 年 10 月 21 日～23 日、東京 <雑誌掲載> 「Rescue Photo New 02. 最悪の現場で隊員を守るための 2 つのシステム」 J レスキュー 2015:75:p.8 <TV 報道> 「テレ玉イブニング NEWS」テレビ埼玉、平成 27 年 3 月 4 日
知的財産権の出願・登録状況	特になし
当該研究に対する今後の展開・意見等	今後、本研究段階では担いきれなかった機器の高性能化・小型化、統合運用体制の構築等が必要になる。そのためには、より具体的なニーズに焦点を当てるべきで、機械が担うべき部分の明確化と、そこにシーズをマッチさせる作業が求められる。特殊災害環境に限らず、広く消防・防災活動の安全管理に応用可能なシステムであることから、部分導入や試験運用も考慮した追加研究開発が必要である。

福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システムの開発

○山口芳裕¹・加藤聡一郎¹・石川貴一郎²・石川洋介³・今井孝祐³・尾崎純⁴

Yoshihiro Yamaguchi, Soichiro Kato, Kiichiro Ishikawa, Yousuke Ishikawa, Takahiro Imai and Jun Ozaki

研究課題の要旨：東日本大震災では、福島第一原子力発電所における東京消防庁の放水活動に際して、特殊災害における放射線管理等の安全・確実な活動管理に課題が生じた。特殊災害環境で消防職員が探索救助を行う際には、環境評価→活動状況把握→撤退判断のステップが一連となって管理される必要がある。本研究では、事前に災害環境の危険度等を評価する「突入判断システム」、活動中の隊員各自の危険度を評価する「撤退判断システム」と、それらを統合的に運用し災害環境における活動管理を担う『突入撤退判断システム』の開発を行った。研究成果として、機器の選択・開発とシステム構成を提案した。しかし、昨今の各種センサ機器における急速な技術革新に応じて、機器の選択等に短期間でよりよい選択肢が生じうる。システム導入に際してはこの判断に加えて、システム性能を向上させる支援車両の複数台運用等、資金や想定場面に応じた全体構成の調整が必要になる。

キーワード： 特殊災害、突入支援車両、放射線量、生体情報センサ、撤退判断アルゴリズム

1. 本研究の背景と目的

平成23年3月11日に発生した東日本大震災において、研究代表者は特殊災害支援アドバイザーとして、福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）における東京消防庁の放水活動に同行した。放射線管理をはじめとした、隊員の安全・確実な活動を支援した。このとき、以下の課題が明らかになった。

1) 災害現場環境の評価と突入判断

災害現場において、突入する前に活動環境の状況を把握することは救助関係機関の最重要事項であるが、今回突入にあたって障害物や空間線量率などの状況を事前に把握する術がなかった。そのため現場指揮本部では、隊員の被ばくを覚悟の上で、突入の判断を下さざるを得なかった。実際、突入後に隊員自らの手作業で空間線量率を測定し、地図に手書きでプロットすることで記録した(図.1)。

事前に、無人で被害状況や空間線量率等を把握することができれば、必要な防護や活動時間管理など正確な作戦立案が可能となり、より安全に活動を展開し得ると考えられた。



図.1 発災当時に手書きでプロットした空間線量率の一例

2) 活動現場における被ばく状況の把握

現状では、活動現場における個人の被ばく線量は各隊員が自己管理するしかなく、たとえ個人の装備する線量計が許容被ばく線量を超えたとしても、個々人の撤退を判断する隊長まで情報が伝わらない。また、被ばく線量を隊全体で組織として管理するシステムはないため、万が一、特定の隊の被ばく線量が急上昇を示すような事象が生じて、撤収後に個人線量計を読み取るまで把握されなかった。そのため、特定のミッションに従事する隊の被ばく線量が許容限度を超えてしまう可能性があった。

3) 活動継続・撤退の判断

特殊災害で活動する際は特に、個人防護衣を装着しており、活動中の体調変化が他の隊員によって早期に覚知されることが少ない。そのため活動の可否は、本人の申告に頼らざるを得ない。装着した生体情報モニタのパラメータ変化から、第三者が客観的に体調を察知することが課題となった。重大な事態に至る前に、強制的に現場から離脱させる判断を支えるガイドライン作りが求められた。

これらの教訓を踏まえ、特殊災害環境であっても安全・確実な消防活動を展開するために必要なシステムの開発を行うことが必要と考えられた。その根底に、特殊災害現場等で消防職員が探索救助を行う際、環境評価→活動状況把握→撤退判断までのステップが一連となって管理される必要がある(図.2)。そこで、事前に災害環境等の危険度を測定する「突入判断システム」と、探索救助中の消防職員から得た生体情報・環境情報により消防職員各自の危険度を判断する「撤退判断システム」の開発を目指した。撤退判断システムの中核となる危険度判断については、基準となるガイドライ

(所属機関)

1 杏林大学 医学部 救急医学

2 日本工業大学 工学部 機械工学科

3 東京消防庁 警防部 特殊災害課

4 東京消防庁 消防技術安全所 消防技術課

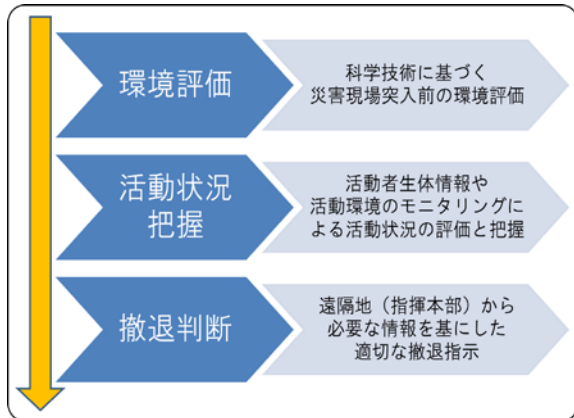


図.2 特殊災害環境下で消防活動に求められるステップ

ンのアルゴリズム作成を行うこととした。そのうえで、これらの統合的運用を背景とした『突入撤退判断システム』の開発を最終目的とした。

なお研究内容の詳細は、別途発行の「福島第一原発での教訓を踏まえた突入撤退判断システムの開発」平成25年度～平成27年度総括研究報告書に記しており、本稿はこれを要約した成果報告としての位置づけであることをご了承ください。

2. 突入判断を支える機器・システムの開発

突入判断を支える構成要素は、先行投入車両により収集される環境情報と、その後に続く隊員の個人装備等により収集される追加情報からなる。

1) 支援車両としての "Argo J5"

突入判断を支える最重要機器が、“Argo J5” (ODG社製) を元に改良した支援車両 (J5 Improved version ; J5I) である (図.3、図.4)。



図.3 J5Iの初号機（左）と最終機（右）

開発したシステムでは、車両側が周辺の障害物を自動認識し、自律的に移動するシステムとした。このことにより、伝送遅延があっても遠隔で目的地指示が可能となった。遠隔操縦では、レーザスキャナによって取得された3次元情報をもとに、操縦者がコントローラーで通過地点を指定する。遠隔車両は、指定された通過点まで自動で走行する。この際、遠隔車両はポテンシャル法によりロ

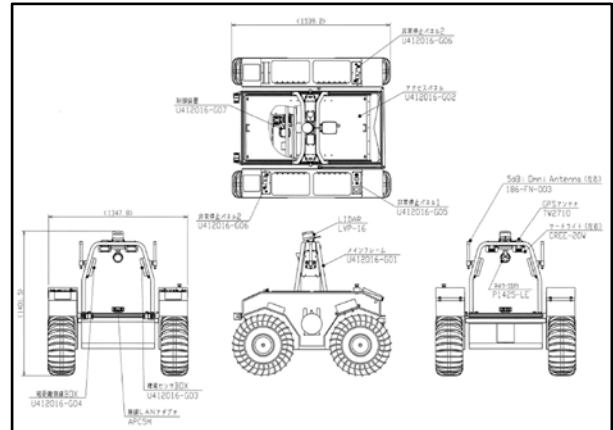


図.4 J5Iの概観図面

ーカル経路計画を行い、移動障害物や障害物が経路上に存在する場合は、回避経路を計算し、自律的に障害物回避を行う。また回避するだけの走行スペースがない場合は停止し、障害物が取り除かれた後に走行を再開する。J5Iの開発に際して、初号機による走行試験等を繰り返し、本研究における最終形に至っており、その特徴を以下に記す。

1-1) ハードウェア

初期段階では、制御ユニットを車体上部に搭載していた。J5Iではこれを軽量化と合わせて車体内部に格納し、車両重量軽減による走行性能の向上と防水性の向上を達成した。また、後述するレーザスキャナの変更に伴い、環境認識能力が向上した。赤外カメラへの切り替えも可能な高感度カメラを搭載したことで、夜間における画像視認性も格段に向上した。レーザデータと画像の組み合わせで、操縦者へより具体的なイメージを提供できるようになった。

車両の基本走行性能は、最大速度が陸上18km/h、水上4km/h、登坂能力が最大傾斜40°となっている。J5Iを用いて、不整地であっても問題なく登坂可能であることが確認された。がれきに見立て、ブロック塀を階段状に5段（約50cm）積み上げた走破実験も行っているが、片輪のみ乗り上げた場合でもバランスを崩すことなく安定して走行することができた (図.5)。基本仕様としては、車体に人を乗せても水上走行が可能となっており、J5Iにおいてもレーザやカメラの設置部位を調整し車体上部にカーゴスペースを設け、資機材の搭載やバックボード固定した傷病者等の乗車を可能にしている。突入時には、折りたたみ式バックボードや応急救護資機材等を搭載して進入することが想定される。撤退時や負傷者発生時には、傷病者や隊員を車体に乗せて、最小限の隊員数で傷病者や負傷隊員を安全な区域まで撤退させることをも可能とする。



図.5 がれき走行実験の様子



図.6 J5I に資機材や傷病者を搭載した様子

1-2) ソフトウェア

GNSS (Global Navigation Satellite System) 主体による位置推定から、レーザスキャナを用いた三次元 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) へと位置推定手法を変更することにより、GNSS が使用できない環境においてもシステム運用を可能とした。またタイヤ近傍に取り付けられた 2 次元レーザスキャナにより路面の断面形状を取得し、走行可能か判定を行う機能を追加している。遠隔操縦インターフェースを三次元化することで、操縦者による環境認識性も向上している。

2) 地理情報評価機器

J5 に搭載され、突入するための地理情報を評価する機器について、その性能比較における評価・検討の結果を記す。

2-1) レーザスキャナ

周辺の物体までの距離情報を取得する役割を担う。現在、さまざまな種類のレーザスキャナが存在しているが、災害地においては、走行路面上の形状判断も重要となるため、現時点で販売されているレーザスキャナのなかでも三次元計測が可能なセンサが望ましい。本研究では、障害物回避センサとして使用するため、移動計測を念頭においた三次元レーザスキャナについて、低価格帯である Velodyne LiDAR の VLP-16 と北陽電機の三次元測域センサの機種を比較・検証した。

前者のセンサは同時に 16 本のレーザを発射し、上下方向 16° ・全周 360° 、距離にして 100m まで計測可能だが、上下方向の空間分解能が荒く、車両周辺の足周りが死角となりやすい。一方で北陽電機の三次元測域センサは、1 本のレーザを三次元に振りながら計測し、上下方向 40° ・前方 210° 、距離

にして 30m 程度まで計測可能である。VLP-16 に比べ空間分解能が高く、車両前方に設置することで、車両前方直下の情報も取得できる。一方で、計測可能距離は短く、後方の計測も不可能なため、車両後方監視のため 2 台必要となる。

これらのことから本研究では、空間分解能は低いが 1 台で全方位監視が可能な VLP-16 を採用した。また補助センサとして、二次元レーザスキャナ UTM-30LX-EW を前輪上部に左右 1 台ずつ搭載した。

2-2) カメラ

操縦者にとって直感的に分かりやすい画像情報を表示でき、現場状況を把握しやすいという長所がある。一方でデータ量が多く、データ伝送のための無線通信帯域を必要とする。また、表示に 1 秒近い遅れがあるため、カメラのみでの操縦は困難と考えられた。本システムにおいては、操縦者のための環境認識補助センサとして、ネットワーク対応のカメラを 1 台搭載することとした。

2-3) GNSS

衛星測位システム GNSS には、さまざまな種類、精度の手法・製品が存在する。屋外環境において空が開けている箇所では、上位の製品では 2~3cm の精度で位置測位を行うことができるが、一方で屋内環境や高層建造物が林立するような環境下では位置推定そのものが難しい。そのため、ロボット等で単独で使用されることは少なく、慣性航法装置と組み合わせて使われることが多い。

高精度に位置測位可能な方式の一つとして RTK (Real-Time Kinematic) 測位方式がある。RTK 測位方式を実現するためには、2 台の GNSS 受信機を必要とし、片方を移動局、もう片方を基準点とし座標の分かっている定点に設置する必要がある。移動局の位置を出すためにはリアルタイムに基準点から補正情報を送信する必要がある。また基準局を自分で設置せず電子基準点を利用する方法もあるが、こちらも配信サービスを契約する必要があるほか災害時に通信インフラが破壊されれば使用することはできなくなる。また電子基準点も、震災では地殻変動により移動してしまうため、RTK 測位演算が破綻し、位置測位できなくなることがあり、本システムには向いていない。

一方で、測位精度を必要としない場合は GNSS 受信機単独での使用が可能であり、D-GPS 方式の受信機であれば、1/2500 の地図上に位置を表示する程度であれば問題なく使用することができる。また、価格も高精度な製品の 10 分の一以下である。そこで本システムでは、GNSS はあくまでもシステ

ムの地図上での大まかな位置を知るためのセンサとして採用している。

3) 環境情報評価機器

J5I 等に搭載し、現場環境の評価を行う機器については、空間線量率、温度計については、個人装備品と同じものを使用している（詳細は後述の撤退判断システムにまとめて記載）。

なお研究開始当初、最適突入ルートの自動作成システムを危険度警告と合せて同じ GIS (Geographic information system) に機能付与することを計画していた（「最適突入ルート作成システム」と仮称）。その手法としては、遠隔操縦無人車両の移動経路上で計測した空間線量を地図上にマッピングし、その結果から最も被ばく線量が低いと思われる経路を提示する方法を検討した。しかし、走行していない部分に関しては推定値であり、その信頼性は低いことが否めなかった。色分けされた地図から指揮本部が推測することと比べて、経路推定のために煩雑な入力作業を行う優位性が見いだせなかった。より正確な最適突入ルートの提示には、コンピュータによる自動経路計画、UAV (unmanned aerial vehicle) や複数車両との統合運用による網羅的スクリーニング等といった、より先進的な技術やシステムの開発が必須と考えられ、現段階で本機能は除外した。

4. 撤退を支える機器・システムの開発

撤退の判断に用いられる情報には、危機的な環境情報と、危機的反応を示した生体情報が挙げられる。そこで、各隊員が装着した生体および環境情報センサのパラメータ変化により、第三者が客観的に変調を察知する方法論の検討を行った。

重大な事態に至る前段階で、強制的な現場離脱の判断を下すためには、取得する情報の正確性と迅速性が必要になる。そのため本研究では、危険度判断基準ガイドラインの原案から、生体モニタの評価・選定を行った。特に、消防組織において救助や被害拡大防止という任務を背景に活動するため、一般的な医療分野でいうオーバートリージは許容し難かった。また活動強度や特殊性の問題から、活用できる装備はその装着部位や重量、大きさ、形態をはじめ様々な制限があった。そのため、隊員個人が装備するシステムの洗練と、専門的アルゴリズムにより複数情報の組み合わせから自動で危険度判断を支援する必要性が考えられた。危険度の警告としては、個人装備から取得した各隊員の位置情報を地図上にリアルタイムでマッピ

ングし、被ばく線量や選択した生体情報の規定条件に応じて、各隊員の危険度を色分けで表示することとした。

以下に検討項目毎の概要を記す。

1) 隊員位置情報・環境情報評価機器

現場活動において隊員の現在位置情報や環境情報等を俯瞰し、評価するために必要なセットとして、位置推定や空間放射線量の測定に関する機器の検討・検証を行った。

1-1) GNSS/INS (inertial navigation system) 推測航法

隊員の位置推定のために GNSS と慣性センサを複合した推測航法モジュールをヘルメット部に着用した。モジュールには u-blox 社製の NEO-M8L を使用した。NEO-M8L は本来車両用の推測航法モジュールであり、隊員に装備した場合の位置推定性能を把握するため検証試験を行った。検証試験では、アンテナをヘルメット上部に取り付け、大学構内を歩いて得られた情報を使用した。地図上にその位置をプロットし、位置に大きなずれが生じていないか確認した。空が十分に開けた屋外環境下においては、定性的な評価ではあるが、歩いた道路の上に測位結果がプロットされており、隊員の位置を地図上で把握するのに十分な結果を得ることができた。一方で、位置推定を GNSS に大きく依存しているため、屋内環境においては 10m 以上の位置推定誤差が発生した。本来いるはずの建物から外に位置が大きくずれているため、隊員の正確な位置把握は困難であった。

1-2) 個人線量計

隊員は、防火服の胸ポケット内に携帯型の放射線量計を入れる想定で実験を行った。公共無線通信網を利用した放射線量計データ取得実験の概要と結果を示す（図.7）。実験機器により計測された放射線量 0.030[μ Sv/h] であった。較正された放射線量計を所有していなかったため、同一時間帯におけるモニタリングポストの放射線量と比較した

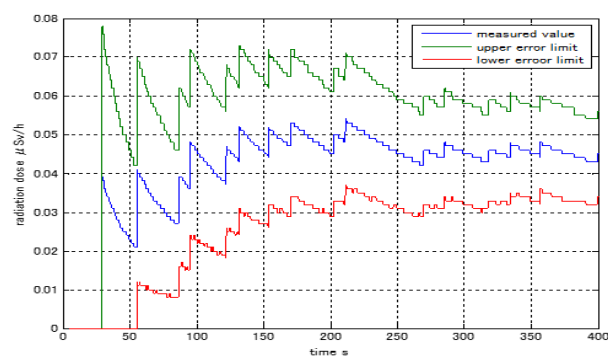


図.7 放射線量の取得結果

結果、モニタリングポストにおける放射線量は、0.0338 [$\mu\text{Sv/h}$]（東京都健康安全研究センター）とほぼ同じ値が計測されており、十分な性能を有していると推察された。

なお本研究では、大規模災害時など通信インフラが破壊された状況を想定しているが、限定的なエリアにおける災害時には公共無線通信網が使える可能性が高い。そのような場合、わざわざ無線通信網をシステムのために設置する意義は低い。

2) 生体情報評価機器

活動中の隊員から、生体情報を得て撤退判断に活用するため、下記の機器類に関して実験を行った（図.8）。最終的には、システム統合や早期実現性の観点から、後述する脈波センサおよびヘルスパッチ[®]MDを中心に組み合わせたシステムを用いた。



図.8 防火服の下に生体センサを装着し踏み台昇降運動をモニタリングした実験風景

2-1) Hitoe 改良品（心拍数・心電波形、三軸加速度、呼吸数等）

着衣により心拍数および心電波形などの生体情報を取得できる機能素材として、東レ株式会社および日本電信電話株式会社が開発・実用化したHitoeを基本装備として用いた。これを元に、三軸加速度や呼吸数の測定ツールを付加した総合的な隊員装備を試作し、実証実験を行った（図.9）。加速度測定用端末にはBOSCH社製BMA250Eを用いた。姿勢や活動状況による加速度周波数成分の違いを確認した。また、身体活動に伴う各生体情報

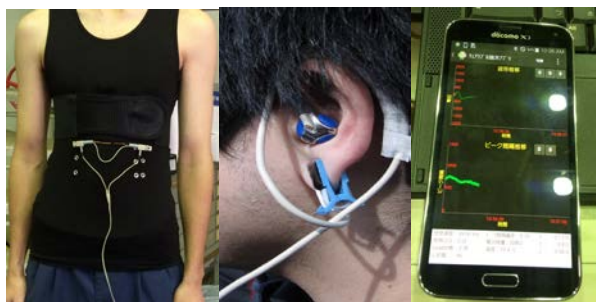


図.9 Hitoe、呼吸数測定機器（腹部）、耳型 SpO₂ モニタを装着し、結果を Android 端末で収集

項目の測定についても評価を行い、一定のデータ収集が可能であること確認した。しかし、各項目の測定センサをそれぞれ組み合わせて使用する形であり、そのデータ様式の開示や統合といった面で限界が生じた。

2-2) SpO₂ センサ（パルスオキシメータ）

パルスオキシメータは透過型と反射型に分けられ、使用部位等により使い分けることが一般的である。今回、消防隊員における使用であり、作業に支障を来す手指での測定は避けることとなった。前額部・足趾・耳朶等の各部位で、上記検証と合せて試行錯誤を繰り返した。平成 26 年度の段階では、耳朶による測定もとに基本仕様を計画した。しかし、撤退判断のアルゴリズム作成に際して、パルスオキシメータを使用した実用化の目処が立たなかったこと、耳朶型測定機器のシステム組み込みにおける煩雑性などを考慮し、本システムでは SpO₂ を項目として使用することを見送った。

2-3) 脈波センサ

既存の報告で、ネックバンドに装着した脈波センサにより、頸部から脈波を検知することが可能である。当該分野の専門家である大阪電通大学医療福祉工学部医療福祉工学科の松村雅史教授に技術指導を得て、ネックバンド型脈波センサを試作し実際の測定を行った（図.10）。波形は、頸部の粗大な運動で変動を認めるが、動作が収まった段階で速やかに元の波形を示した。ネックバンドによる高い装着性・密着性が得られ、逆に頸部の締め付けが活動に影響すると感じることもなかった。後頸部を半周する形状であり、引っかかるなど強い力が頸部に加わった場合は、容易に外れることも安全性を担保すると考えられた。ネックバンドには咽頭マイクを用いているが、咽頭マイクによる音声の利用や、余った部位にその他のセンサを装着することで機能を追加付与できる可能性があり、今後の発展性に富む手法であると感じられた。



図.10 ネックバンドに取り付けた脈波センサ

2-4) ヘルスパッチ[®]MD

ヘルスパッチ[®]MD は、Vital Connect, INC (米国) が開発・製造し、日本ではオムロンヘルスケア株式会社が販売する、パッチ型のウェアラブル生体センサである (図.11)。研究機関向けの発売が平成 27 年 11 月 20 日に開始されたため、本研究でも Android を介した取得データの送信アプリ開発を含めこの機器の使用に関して検証した。

本製品の取得情報としては、単誘導の心電図波形、心拍数、呼吸数、皮膚温度、姿勢、活動状況などが挙げられる。他にも、センサ外れや残電池量の表示など、細かな機能も付与されており、すでに高い実用性が認識されている。Bluetooth LE によるデータ通信に対応しており、Android 端末に測定データの自動転送が可能である。実際に本研究で開発 (外注) した Android 端末から先のデータ送信を CSV 形式のファイルで行うアプリを用い、生体から取得したデータを図.12 に示した。取得されたデータを元に、心拍数を得るだけでなく心電波形を表示させられることは、アーチファクトやセンサ外れ等を現場指揮本部で目視確認できるメリットがあり、同時に波形診断による致死的不整脈検出に繋がる可能性がある。機器単独でみると、最大 96 時間連続使用に耐えうる電池と、粘着剤による高い装着性をもつため、東日本大震災のように活動が長期化する場合でもセンサの頻回な取り替えを行う必要がない。重量 11g、11.5cm×4.0cm 大のパッチを胸部に貼り付けるだけであり、発汗にも強く、実際に装着して生活してみたが高い適合性がある (図.13)。



図.11 パッチの外観

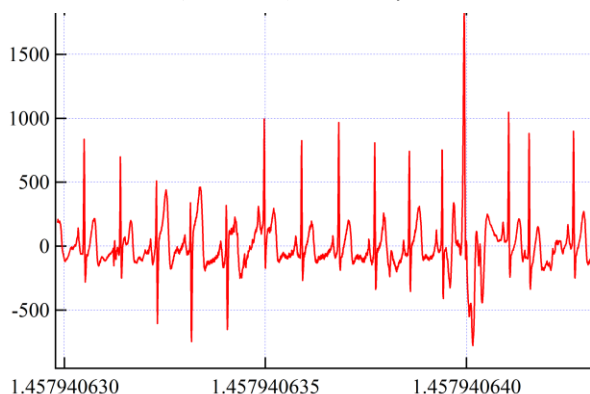


図.12 取得 ECG データの拡大表示 (姿勢変動時)



図.13 パッチを前胸部に装着した様子

これらの結果、小型で活動阻害性が低い装置の選択という点から、パッチ型センサによる心電図・呼吸数・三次元加速度計の測定と、ネックバンド型センサによる脈波計を用いた。当初計画からは大幅に装備の小型化・軽量化に成功したが、現段階でこの上記 2 つのセンサは別々の測定機器として組み合わせによる使用とした (図.14、15)。隊員装備の量が増えることはデメリットとなるが、心電図計や脈波計をネックバンドに一体化して測定する手法は確立されつつある。脈波を用いることで、血圧測定をせずに心血管系をモニタリングする方法も報告されており、発展が著しい領域である。パッチ型のセンサにおいても、経胸壁で脈波・SpO2 測定が可能な機器の開発実現性は高い。これらの進歩は将来的に、単一機器でのモニタリングを可能にするのみでなく、両者を併用することで、活動環境を考慮した相補的なもしくはバックアップとしての活用も可能にする。



図.14 隊員の装着装備一覧



図.15 当初計画からは大幅に小型化・軽量化した撤退判断システム装備群

3) 危険度判断基準

環境因子の変化や、隊員個人の被ばく状況に応じた撤退判断は比較的容易であるが、生体情報の変化に応じた撤退判断は、隊員間の許容限界における個体差、消防活動環境・活動強度の特殊性などから困難を極める。そのため、複数の生体情報の組み合わせが、リスクの見逃しや過剰評価を低減するとの考えから、アルゴリズムを作成した。

すでに述べてきた通り、活動に伴う個人の危険度を評価するにあたり、消防活動という環境・対象者において、正しい測定、適した評価・判断という観点から、生体情報の各項目を平等に採用することは困難であった。一般的に心電波形は身体活動状況に大きく影響を受け、アーチファクトが大きい項目として知られている。しかし、心電波形はそれ単独で生死を分ける病態の判断材料でもあり、応用性は極めて高い。このように相反する機体と現実を埋める作業に難航した。そこで、現段階で利用しうる機器を組み合わせ、それに合せた階層的なアルゴリズムを組むことで、撤退判断を支援する危険度判断基準を設定した（詳細は第6項の図.22 参照）。

各種センサを搭載した端末は、計測データを処理し、撤退判断に必要なデータのみを抽出し、撤退判断端末に逐次送信する。撤退端末は、5秒に1回の心電・脈波評価と、過去20秒分のデータを用いた状態判断を行い、その結果を指揮所端末まで送信する形とした。

4) 危険度警告システム

危険度警告システムは、撤退システム個人装備により取得した各隊員の位置情報を地図上にリアルタイムにマッピングし、被ばく線量や生体モニタの結果に応じて各隊員の状況を色分けして表示する形態とした（図.16）。各部隊および隊員も、腕に装着した小型の警告モニタで、現在の危険度を視覚的に確認することができるように設計した。

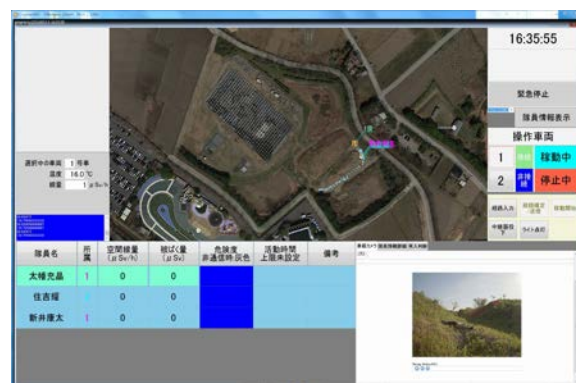


図.16 現場指揮本部の危険度警告システム
生体センサ情報から隊員の危険度が変化（演習時に生体センサ模擬訓練用実験端末を使用したもの）

これにより、現場指揮本部との連絡が途絶えたとき、通信が確保できないときでも、部隊内で一定の解決策を図ることが可能である。ヘッドマウントシステムも検討したが、現時点の装備性能においては十分な安定性が得られなかった。

5. システムを支える通信環境構築

先の東日本大震災では、発災直後の通信インフラが壊滅し十分な役割を果たせず、大規模災害で既存通信インフラが破壊されることが鮮明となった。日本においては電波法により高出力の無線が制限されているため、単一の無線システムでは長距離通信を実現することは難しい。よって、低出力無線の組み合わせ技術等により、通信距離の拡大を図ることになる。そこで、利用可能な通信ネットワーク手段の検証を行った。

1) Xbee

Xbeeの通信距離実験を行った。実験では親機と子機を用意し、子機から定期的に親機に対して加速度情報を送信し通信が安定的に行える距離を計測した。結果、安定的に通信できる距離は見通しで約50m程度だった。またXbeeはメッシュ通信網を自動的に構築できるが、通信網が増加するほど

通信速度は低下する傾向にあり、現時点の性能で本システムの使用には耐えられないと判断した。

2) IEEE802.11(a/j/n)4.9GHz 無線アクセスシステム

電波干渉の少ない4.9GHz帯の無線アクセスシステム（以下、4.9GHz帯無線LAN）を検証した。4.9GHz帯無線LANは、2.4GHz/5GHz無線LANの干渉を受けずに、ネットワークを構築することが可能である。また4.9GHz帯無線LANでは5GHz無線LANと比べ、電源投入後の接続に時間がかからないといった特徴がある。検証機器(APC5M-H)では、見通し200m程度であった。見通しを確保できない位置においては、各交差点に一台ずつ設置する必要がある。通信アンテナ間に障害物が存在すると通信が途切れる。例えば災害現場であれば、消防車両等の大型車が進入してくると通信が途切れてしまう。そのため、アンテナ位置を可能な限り高く設置する必要があった。

3) TOCOS TWE-Lite

通信速度は250kbpsと無線LANよりも低速だが、通信距離にはかなり優れており、検証を実施した日本工業大学構内の範囲では、限界値が現時点で不明だった。途中で障害物があると通信が途切れてしまうのは他の無線機器と同様だが、それでも他の無線より安定的に通信が可能だった。

これらの結果から、現有機器による安定的通信環境の確保を考慮し、4.9GHz帯無線LAN・低レート無線の組み合わせによる通信体系を構築した。

6. 突入撤退判断システム“D-RED”の統合運用

特殊な災害では、救助者にかかるリスクも高く、通報受診時から先着隊が現着し活動を開始するまでの間を含め、事故概要や負傷者・要救助者の状況確認、被ばく・汚染のリスクや進入経路などの情報収集を徹底する。定型的な情報収集の仕方は存在するが、全く同じ災害は存在しないため、現場指揮活動で先着隊や指揮隊の情報収集を支援する科学技術は重用される。D-RED (Detecting system for “Rush or Evacuate” Determination)において、今後の実践配備を目標とするなかで、現場使用を前提とした機器の準備・展開方法をまとめる。

1) D-RED のシステム・機器構成とアルゴリズム

D-RED 各システムについて、機器構成とアルゴリズムをリストアップする。突入判断、撤退判断、通信に分割して記載した。各構成要素の詳細は、別途発行の総括研究報告書を参照されたい。

1-1) 突入判断システム

<システム構成（図.17）>



図.17 突入判断システムのソフトウェア群構成図

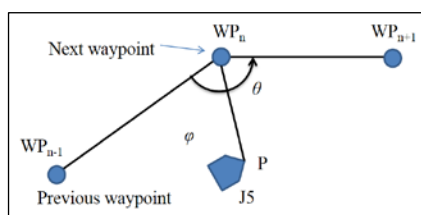
<機器構成（図.18）>

地理情報計測：
レーザスキャナ... VLP-16
(Velodyne LiDAR)
レーザスキャナ... UTM-30LX-EW(×2)
(北陽電機)
車両位置推定：
GNSS... NEO-M8L(u-blox)
慣性センサ... STIM-30(センソノア)
環境情報評価：
線量計... ポケットガイガーType5
(Radiation-Watch JAPAN)
温度計... SHT-21(SENSIRION)
カメラ... P1425-LE (AXIS)
通信機器：
無線LAN... APC5M-L/APC5M-H
(ハイテクインター株式会社)
低レート無線... TOCOS TWE-Lite
(東京コスモス電機株式会社)
照明：
20WLED ライト (×2)
状態表示灯：
赤色LED、青色LED

図.18 突入判断システムの機器構成

<各要素ソフトウェア>

車両位置判定ソフトウェア (Localizer)
路面状況判定ソフトウェア (Road surface analyzer)
経路計画ソフトウェア (Path Planner)
経路通過判定ソフトウェア (Route manager)
(図.19)
車両制御ソフトウェア (Vehicle controller)
通信ソフトウェア (Communicator)



1-2) 撤退判断システム

＜システム構成（図.20）＞

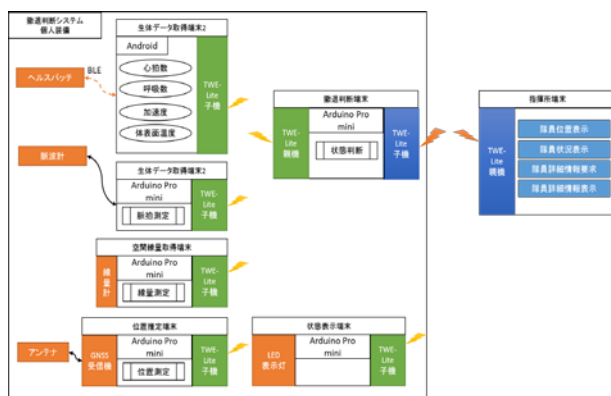


図.20 撤退判断システムのソフトウェア群構成図

<機器構成 (図.21) >

隊員位置推定：

GNSS ... NEO-M8L (u-blox)

慣性センサ... STIM-300 (センソノア)

環境情報評価：

放射線量計... ポケットガイガーType5
(Radiation-Watch JAPAN)

生体情報評価：

心電波形・脈拍数・呼吸数・三軸加速度・
姿勢・体表面温度... ヘルスパッチ®MD
(Vital Connect, INC)

脈波センサ... M9008-3P

(株式会社秋葉原)

フォトセンサは APDS-9008 を使用

ネックバンド... 咽頭マイク SH-12iK

(有限会社南豆無線電機)

データ中継端末：

Xperia Z1 Android ver. 5.1.1 (Sony)

判断端末：

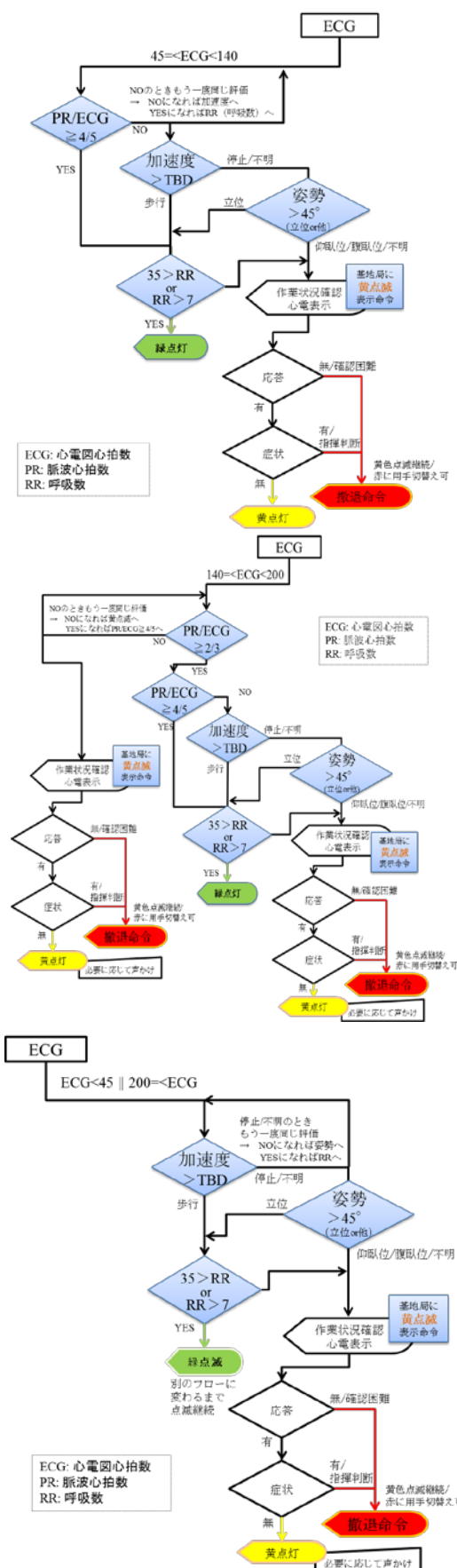
Arduino Pro Mini (Arduino)

図.21 撤退判断システムの機器構成

＜各要素ソフトウェア＞

撤退判断アルゴリズム(危険度判断基準)(図.22)

危険度警告システム (図.16)



1-3) 通信システム ＜機器構成（図.23）＞

低レート無線通信：
TOCOS TWE-Lite
(東京コスモス電機株式会社)
通常無線通信：
無線 LAN (IEEE802.11 a, j, n) j
APC5M-L/APC5M-H

図.23 通信システムの構成機器

2) D-RED 運用手順

実際の統合運用にあたって、本システムを通した一連の流れを、図を中心に提示する。

2-1) 現場展開前の準備（図.24、図.25）

活動する隊員は、隊員装備を装着し電源を入れる。現場指揮本部では、システム起動の準備を行う。関係機器の設置と接続を行い、現場活動のための資機材を含む準備を整える。



図.24 現場指揮本部の遠隔操縦・隊員管理機器



図.25 隊員の装備装着と J5I を含む資機材の準備

2-2) ネットワーク環境の構築（図.26）

ネットワーク環境を構築する。基地局としての無線アンテナを、なるべく高い位置に設置する。各装備の通信ネットワークをオンラインにする。



図.26 基地局の無線 LAN アンテナ（伸長式）

2-3) 運用要員の配置と基地局準備

現場指揮本部での運用要員は、合計 2 名必要になる。車両の遠隔操作を 1 名の隊員で行う。もう 1 名の隊員は、活動中の隊員をモニタリングし、適宜隊員の生体情報画面と切替え、隊員の位置や活動状況、危険度の評価を行う。

2-4) 突入判断・対応（図.27～図.29）

突入支援車両の運用をベースに、突入判断システムを中心とした往路運用を行う。

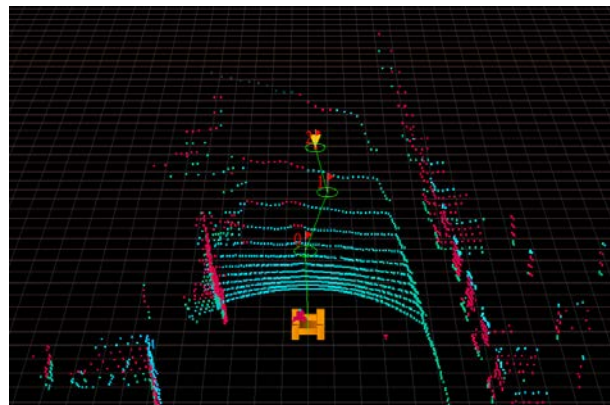


図.27 J5I の遠隔操縦画面（3D で確認・操縦）



図.28 遠隔操縦で J5I が調査活動開始



図.29 必要に応じて無線中継器を射出(初号機仕様)
(最終機では小型軽量化し車体下への装着を想定)

2-5) 撤退判断・対応 (図.30)

地図上に活動中の隊員の位置情報が表示されている。隊員毎に被ばく線量や危険度も表示されており、危険度が上がると点滅・点灯による警告が表示される。周辺の環境評価としては、モニタリングに加えて JSI のカメラも利用できる。



図.30 活動状況のモニタリング及び撤退判断画面

2-6) 撤退 (図.31)

撤退時等で JSI は傷病者搬送にも利用できる。複数台運用で、活動中の評価性能向上や搬送活動への利用など、運用方法の可能性が広がる。



図.31 バックボードを JSI に固定することも可能

7. 本システムによる模擬演習

本システムにおける一連の手順と動きを、実際の運用を想定した演習で確認した(図.32～図.34)。

【想定】放射性廃棄物を輸送中のトラック運転手が、国外のテロリスト集団に感化され暴走した。テロリストは、路地で他の自動車と衝突を繰り返し、最終的に標的とされた公共施設の建物に衝突させたもの。

【演習概要】消防隊は現場到着時、現場の警察官から、「テロリストによる犯行であるが、目撃情報からテロリストは既にトラックを捨てて逃走し、現在警察官が追跡している」との情報を得る。現場では、施設への衝突に加えて、複数の車両と衝突しながら走行しており、意図的災害であることから放射性物質漏洩の可能性が高く、化学・生物剤散布の可能性もあると判断した。各種測定装置を活用するとともに、D-RED を用いて安全を確保しながら傷病者の捜索と救助に当たる。

本演習風景は動画で編集しており、近日中に動画投稿サイト等にて確認できるよう調整中である。



図.32 演習の想定図



図.33 演習の一風景：JSI 車載カメラで傷病者を確認した指揮所から、隊員に傷病者接触の指示が出た場面

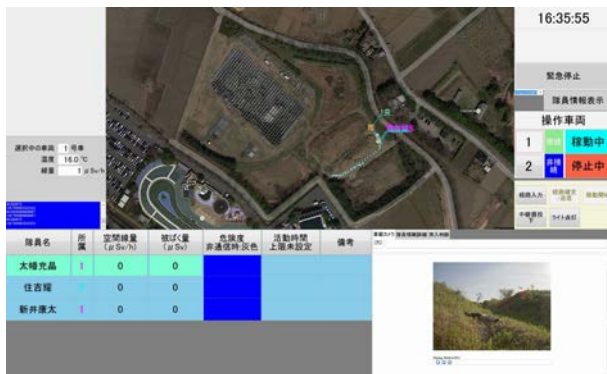


図.34 傷病者発見時の撤退判断画面。右下の車両カメラ画像で中央に傷病者が確認できる。

8. 課題と今後の展望

ここまで、研究期間の時点において選択し得るセンサ機器や新たな機器開発、システム構成を提案した。しかし、採用したそれぞれが、機能的な限界や環境上の制限、延いては本研究の範囲における資金的制約などから、最大限望ましい構成を達成し得ていない。今後の搭載機器における機能追加や技術的発展の可能性、金銭的制約を取り除いた条件下等を鑑みた場合に、期待される展望を以下にまとめる。

1) 支援車両の複数台・複数種運用

通信レートを稼ぐためには無線 LAN による通信網の確立が望ましい。そのためには、中継局として無線 LAN を設置していく必要がある。低レート無線通信機器で、現状 12 台まで J5 改良機に搭載することができる。低レート無線通信では中継器 1 台につき、見通し 1km (メーカー公称値) まで通信が可能になる。しかし、市街地や瓦礫等、十分な見通しを確保できない環境ではこれがより短くなり、およそ 100m から 200m おきに中継局が必要となる (各交差点には 1 台ずつ中継局が必要)。中継局が増えると通信遅延が増加するため、システムの自律性が重要となる。通信可能な距離は環境に大きく影響を受けるため、場合によっては通信距離が足りなくなる可能性も考慮した運用方法が必要である。現在の無線 LAN は大きいものであり、J5 の車両サイズでは大量に搭載することが難しく、複数台で構成される車両群によってシステム構築されることが望ましい。複数台で構成されたシステムでは調査速度が格段に上がり、車両故障や傷病者搬送利用があってもほかの車両で補うことができる。ホイールタイプ、クローラタイプなど様々な種類の車両を用意することで、進入できるエリアを広げることが可能になる。

情報収集面では、UAV を併用することで、更なる迅速な活動展開が期待できる。車両では分からない上空からの画像取得は突入判断の大きな武器となる。UAV を先行投入して上空からの現況地図を作成し、次に車両群による地表面付近での詳細情報の収集を行うことも有効な手段と考えられる。現状で UAV の飛行可能時間は 10 分程度と短く、災害現場における運用上の飛行精度も、環境因子の影響を強く受けるため十分とは言えない。車両との有線接続による飛行時間向上など、現段階で対応可能ないくつかのサポートは考慮しうるが、その場合でも複数車両による運用体制が必須となる。ほかにも、ミリ波レーダ等の搭載による霧・雨・雪など過酷な環境への対応力・冗長性向上、サーマルカメラ搭載による現場温度等の計測、ガンマカメラ・レーザスキャナ複合によるホットスポットの 3 次元位置同定など、技術の発展や高額機器の取得など、条件が揃えば考慮・改善しうる課題は多く存在する。

2) 生体センサシステムの小型化・高性能化

現在、さまざまな生体情報センサが小型化され、測定項目や装着場所がある程度選べるようになってきている。一方でこれらのセンサは、スマートフォンなどの携帯端末と専用ソフトウェアのみによってしかデータ取得できないものが多く、これらを利用して独自のシステムを構築する段階でハードルが高くなる実情がある。今回構築したシステムでは、マイコンレベルの組み込み機器として開発を行ったが、ハードウェア上の限界があり撤退判断プログラムの高度化には至らなかった。スマートフォンのような機器をより小型化し、スマートウォッチに代表される小型高性能デバイスに組み込むことができれば、隊員装備の簡略化・軽量化が促進される。

3) 隊員位置推定手法

隊員の位置推定に関しても今後の発展に期待される。GNSS を使用した位置推定は、GNSS 衛星を観測する必要があるため、屋内環境においては、位置を推定することができない。本研究では、GNSS と慣性センサを組み合わせた推測航法モジュールを使用した。GNSS 主体に調整されており、屋内に入ると位置が大きくずれてしまう。消防活動では屋内も想定する必要がある。屋内における安定的な位置推定手法が求められる。有効な位置推定手法として、レーザスキャナ等により周辺の形状情報を取得しながら地図構築と位置推定を同時に行う SLAM が挙げられる。しかし現時点で SLAM に使用できるレーザスキャナは大きく、消防活動の妨げとなる。一方、近年 MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスの進歩によりレーザスキャナの小型化が進んでいる。これらが実用化されヘルメットに搭載できるサイズにな

れば、隊員位置情報の正確な推定に加えて、建物内部の3次元地図も同時に生成し、指揮所で確認することもできるようになる。また煙が充満している環境下でレーザスキャナの計測データから煙を除去し、壁の位置を特定するといった研究例も報告されており、これらを組み合わせれば、“視界がほとんどない現場における隊員の目”としての応用も期待できる。

4) 適応環境

J5のバッテリーは、初期状態で1回の満充電による走行可能距離が18kmである。制御機器を含む各積載物の重量により、更に減少することが予想される。J5は、現状で高熱に対して脆弱であり、火災同時発生事案において周辺環境が高温になる場合には運用できない。また火災による煙が発生した場合も、レーザスキャナは煙を透過しないため障害物として認識する可能性がある。研究レベルで、レーザスキャナの計測点群から煙を除去する方法の報告もあるが、どの程度の煙まで使用可能か実際に試験を行っていく必要がある。耐薬品性についても今回の研究では考慮できておらず、腐食性ガス発生現場等での使用には今後の追加検証が必要となる。

また、本システムで計測される放射線量は、あくまで走行時の計測であり、定点で十分な時間の観測がなされたものではない。移動時における放射線測定誤差や、急激な放射線量の変動が想定される場合の手法について今後検証が必要になる。無線中継器と一緒に、もしくは同様の手法で、放射線量測定器を定点観測用に落としていくこと等も実験に値する。

5) システム運用

運用上、最大の問題は車両整備にある。機械の種類や特殊性が高く、電気系統やソフトウェア系統が混在するシステムとなる。そのため不具合発生時の対処には、高い専門性が必要となる可能性がある。製品化を考えた場合には、企業の保守・サポート体制を含めた課題が残る。運用判断や実運用にあたる消防隊員の習熟は必須であり、事前に十分な教育・訓練の体制作りが求められる。

撤退判断において、心電図解析などの医学的な判断に

ついてはいわゆる改正薬事法の範疇に入るため、本研究のなかでは組み込むに至っていない。過活動によるモニタ外れと生命徴候消失の見分け、待機・避難等による体動なしと意識障害による体動なしの見分けなど、遠隔から正しく判断しづらい状況も少なからず存在する。モニタの進化により検知の可能性は向上しているが、隊員の健康・安全確保と、救助活動のバランスを考えると、自動判断にはより一層の確実性の保証が求められる。

本研究において、システム概念や構図、基本的な判断手法の開発は大きく進んだと考えられる。しかし、製品として消防装備に採用するにあたっては、統合システムとして運用するに耐えうる操作性や耐久性などの解決が求められる。これには、主に開発資金としての問題が大きく影響することが予測される。本システムをベースに、災害時だけでなく平時においても活用できるような機材として商品化することは、普及を早めると考えられる。突入判断システムは、警備・警戒用ロボットとして急病人への対応も含めた使用に耐えうる。水陸両用車両であることを活かして、例えば橋梁の支柱の点検、豪雨時の堤防遠隔点検など、到達しづらい場所での三次元計測システムとして、基本システムの商品化推進に期待する。各システム単位であっても十分に活用は想定し得るため、救助部隊に限らず試験的な導入等も望まれる。

【参考文献】

- 1) 全国消防長会：実戦 NBC 災害消防活動 3 訂版。p.210-219。一般財団法人全国消防協会；2012。
- 2) 酒井徳昭、松田知之、松村雅史：Spo2 測定部位に関する研究—ネックバンド型アタッチメントの試作—。医工学治療，Vol.26, No.2, pp.90-93(2014)
- 3) 西本光輝，黒木勇介，松村雅史：心電図・光電脈波センサー一体型ネックバンドデバイスによる脈波伝播時間のモニタリング～心電図検出用フィルタによる雑音低減～，電子情報通信学会，信学技報，vol. 115, no. 116, MBE2015-19, pp. 35-38, 2015年6月26日，北海道大学

第5 特殊災害対策の強化

5. 1 ゲル状消火剤の高精度投下による安全かつ効果的な航空消火システムの開発

研究実施期間	平成 25 年度～平成 26 年度
配分額（千円）	平成 25 年度：15,698 平成 26 年度：17,845
研究代表者	松原 雄平
所属機関	国立大学法人鳥取大学 大学院工学研究科
研究体制	学・官・産 (国立大学法人鳥取大学、鳥取県東部広域行政管理組合消防局、株式会社イルカカレッジ)
研究概要	大規模な森林火災に対する消火活動では、主に航空機による上空からの散水消火が行われるが、高高度での散水では放出された水が霧状になって風に流されてしまい消火効果が低く、低高度における消火活動は火災に巻き込まれる危険を伴い墜落事故なども発生している。 本研究では、高高度からの消火活動においても消火剤が霧散せず高い消火効果を発揮することが期待できるゲルパック消火剤を投下することを提案し、安全かつ効果的な航空消火を実現することを目指す。 また、航空消火で一般的に使用されている空中消火バケットを使用した消火方法とし、消火効果の有効性の確認、機内での投下タイミング等を管制するシステムの開発に取り組み、地上での準備から離陸、火災現場への飛行、消火剤の投下、再充填と一連の活動を検証し、迅速・正確な森林火災の消火活動を実現するための実用化を目指す。
研究成果の活用事例 (実用化の状況)	高高度からであっても霧散することなく、投下したゲルパック消火剤が全量消火に充当できることを確認した。落下したゲルパック消火剤は、投下地点に滞留し、保水による吸熱反応、酸素遮断、燃焼物への圧着により消火効果を格段に高めることを確認した。
応用の方向性	ゲルパック消火剤による消火について国内での普及実証とあわせ、海外で多数発生している大規模森林火災への適用を検討している。
研究発表の状況等	特になし
知的財産権の出願・登録状況	投下装置 バンビバケットの投下口の改造による投下装置を開発 特許出願：2014 年 2 月 発明の名称「消火剤放出装置」 PCT 出願：2015 年 2 月
当該研究に対する今後の展開・意見等	機会を得て更なる実証試験並びに関連する研究開発を実施したい。 ・再燃防止消火薬剤を併用し消火効果を高めた新ゲルパック消火剤の開発 ・林野火災に実運用するための更なる航空消火試験の実施 ・航空隊等が保有する多様な投下装置でのゲルパック消火剤の投下の実用化 ・高精度投下システムの機能拡充

ゲル状消火剤の高精度投下による安全かつ効果的な航空消火システムの開発

○松原雄平¹、三浦政司¹、田中俊行¹、山本俊夫²、朝山規子³、坂上芳洋³、石倉知男³、島田一郎³

Yuuhei Matsubara, Masashi Miura, Toshiyuki Tanaka, Toshio Yamamoto,
Noriko Asayama, Yoshihiro Sakaue, Tomoo Ishikura and Ichiro Shimada

研究課題の要旨: 大規模森林火災に対する航空消火剤としてゲルパック消火剤を開発し、消火剤の環境機能面の安全性ならびに航空機による高高度投下時の消火効果について実証的に検討し所定の機能を確認した。また、航空消火で一般的に使用される空中消火バケットとゲルパック剤を併用した消火方法について、消火効果の有効性の確認、機内での投下タイミング等を管制するシステム開発に取り組み、地上準備・離陸、火災現場への飛行、消火剤の投下、再充填までの一連の活動を検証するとともに、さらなる迅速・効果的な森林火災の消火活動を可能とするための実用化への課題を取りまとめている。

キーワード: 森林火災 航空消火 ゲル状消火剤 投下管制システム

1. はじめに

大規模な森林火災に対する消火活動では、主に航空機による上空からの散水消火が行われるが、高高度での散水では放出された水が霧状になって風に流されてしまい消火効果が低い。

そこで本研究では、ゲル化した消火剤を高高度から投下することで安全かつ効果的な航空消火を実現することを目的とし、ゲル状消火剤を用いた航空投下消火システムの開発・実証・評価に取り組むこととした。

(1) 研究の目的

安全・正確・迅速な高高度航空消火システムの開発により、林野火災の拡大を抑え、地球温暖化防止に貢献する。

(2) 本研究の目標

航空消火に適したゲル状消火剤の開発及び目標地点に高精度でゲル状消火剤を投下できるシステムの開発を目標とし、製作・実証実験・評価に取り組み、実運用採用の資を得る。

(3) 研究項目

本研究は二ヶ年の計画で、初年度の平成 25 年度においては、次の各項目に取り組んだ。

- 1) 航空消火技術に関する調査・評価
 - 2) 航空消火に適したゲル状消火剤の開発
 - 3) ゲル状物質の空中落下運動の解析及び消火効果の確認
 - 4) 高精度投下手法の構築
 - 5) 投下装置の設計・試作
- 初年度の研究で、消火剤をパック化すればコントロー

ルし正確に投下できることが判明したことから、26 年度においては、航空機実機での運用を可能とするため、次の各項目に取り組んだ。

- 1) 航空消火に適したゲルパック消火剤の開発と消火効果の検証試験
- 2) ゲルパック消火剤の空中落下運動解析
- 3) 消火剤の投下管制プログラムの開発
- 4) 投下装置の設計・試作
- 5) 航空消火技術に関する調査及び評価
- 6) 実機によるゲルパック消火剤の投下・消火試験

2. ゲルパック消火剤の開発

ゲル状消火剤は、粘性液体が燃焼面に付着することで冷却と窒息の二面的効果で消火効率が上がり、ゲル状消火剤の粘度の増加により再燃防止効果が増すことが東京消防庁等の研究により報告⁽¹⁾⁽²⁾されている。また、流動性のある水に比べ、水を吸水した粘性ゲル剤が燃焼面に残存することにより、吸熱効果をもたらす顕著な延焼抑制効果があることも確認⁽³⁾されている。

本研究においては、ゲル状消火剤の消火効果と延焼抑制効果を有するゲルパック消火剤を、航空消火に適したものとして開発することとした。

2.1 ゲルパック消火剤の定義

- 1) 「ゲル化剤」 液体の物質をゼリー状に固めるゲル化作用を発生させる機能を持つ増粘安定剤をいう。
- 2) 「パック材」 生分解性かつ透水性があり、機械で封入できる袋剤をいう。
- 3) 「ゲルパック消火剤」 ゲル化剤をパック材に封入したものをいい、水を外部から吸収して一定の体積と形状を維持することができる消火剤をいう。

2.2 要求性能

(所属機関)

- 1 国立大学法人 鳥取大学
- 2 鳥取県東部広域行政管理組合消防局
- 3 株式会社 イルカレッジ

ゲル化剤の特性や成分を調査し、林野火災の消火剤として使用する目的に合致し、安全・正確・迅速の観点から重要な要求内容を満たすゲル化剤を選定した。

- (1) 安全性：投下したゲル化剤が、人体や動植物の自然環境に影響を与えないものとする⁽⁴⁾。
- (2) 正確性：航空機からの投下において、投下位置の予測が可能な塊で粘弾性があるものとする。試験からストークスの抵抗法則等により高度・風速条件による空中落下運動の解析を行いゲルパック投下運動の予測モデルとする。
- (3) 迅速性：離陸から火災現場までの飛行時間内（約 5 分間）に、乾燥状態のゲル化剤が約 100 倍に吸水膨張し、ゲルパック消火剤として利用できるものとする。

2.3 ゲル化剤の選定及び評価

(1) 選定

ゲル化剤は、製造元各社の製品十数種類を調査し、適切な粘弾性、投入後すぐにゲル化する高い運用性を満たすことができるものを選定した。

調査した製品で、A社が保有するゲル化剤が 1%程度の低濃度であっても簡単な攪拌で容易にゲル化することがわかった。これをベースに改良をA社に依頼し、水温及び水質の違いにも大きく影響を受けず、速やかな吸水が可能なゲル化剤として開発提供を受けた。

(2) 評価

選定したゲル化剤は、食用に使う天然の多糖類からなり 100%天然素材である。一般の食用に使われている材料のため、動物が食しても安全で植物への悪影響もないと思われる。さらに、FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議（JECFA）による安全性評価で ADI 値は「特定しない」の評価とされている安全な物質である。土壌への埋没試験において、約 3 週間で生分解し消滅することを確認した。

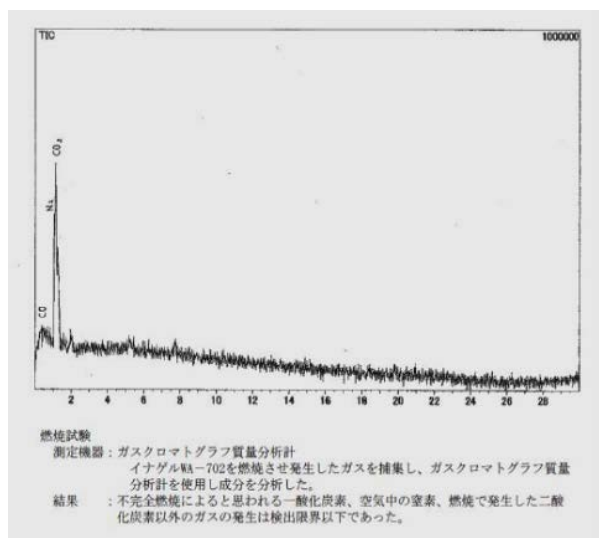


図.1 ガスクロマトグラフ質量分析計による測定

さらに火災に対して引火性はなく、有機物のため水分が蒸発し燃焼した後は灰になる。鳥取県保健事業団に依頼しゲル化剤の燃焼による発生ガスの総量及び有毒ガスの発生について調査した。不完全燃焼時の一酸化炭素及び燃焼時の二酸化炭素以外、有毒ガスの発生は検出限界以下であることを確認した（図.1）。

また、同事業団においてゲル化剤の燃焼による発生ガス及び燃焼後の残渣物についても測定し、環境に与える影響を調査した。その結果、表 1 及び表 2 に示すように人や動植物に影響を与える有害物質の検出はされず、環境汚物もないことが確認された。

表.1 発生ガス総量

発生ガス総量試験				A148086401
試験回数	全体量(g)	試験使用量(g)	試験使用量発生ガス総量(L)	全体量発生ガス総量(L)
1	86.8380	6.0594	0.897	12.86
2	86.8380	6.0011	0.970	14.04
平均	86.8380	6.0303	0.934	13.45
				報告値

表.2 焼却残渣率試験

焼却残渣率試験				A148086401
試験回数	試料量(g)	残渣量(g)	残渣率(%)	
1	3.0371	0.0022	0.07	
2	3.0045	0.0018	0.05	
3	3.0262	0.0020	0.06	
4	3.0012	0.0020	0.06	
5	3.0184	0.0020	0.06	
平均残渣率	3.0175	0.0020	0.06	
				報告値

またゲル化剤濃度 1%の膨潤物は、保水力が高く室温では時間経過により脱水現象は生じないことを確認した。さらに吸水したゲル化剤の熱特性を調べるために、示差走査熱量計を用いて常温から 100℃まで加熱しゲル化剤の熱量を測定した。図 2 に示すように、ゲル化剤は水と同様な蒸発熱による吸熱反応が起き、1 気圧 100℃において 1g のゲル化剤は水と同じ 1932 ジュールの熱量を吸収することが分かった。

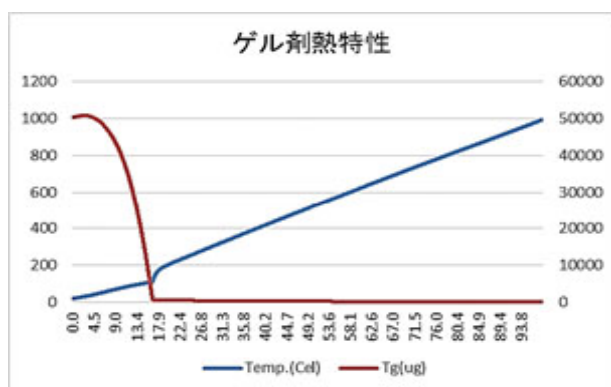


図.2 示差走査熱量計による測定

ゲル化剤 1%水溶液の pH は 5.5 で弱酸性である。機体に吊り下げた投下バケツ内では吸水させゲル化させることから、航空機の機器材への影響は運用方法を確立することで総合的に回避できるものと考えられる。

2.4 パック材の選定及び評価

(1) 選定

ゲル化剤を封入するパック材は、生分解性かつ適度な透水性を有し、機械での封入作業が可能な袋剤を選定する必要がある。パック材のきめが粗すぎるとゲル化剤が漏れ出し吸水後の重量が変わってしまう。また、細かすぎると詰まりが生じ吸水に時間を要することとなり、適度なきめの細かさが要求される。

10 種類の紙について、それぞれの袋を用いてゲル化剤を封入し浸水試験等の調査を行った。調査した製品で、B社の紙製パック材が乾燥状態でゲル化剤が漏れず、適度な透水性を有し生分解することが判明した。このパック材は、トウモロコシを原材料としたポリ乳酸繊維を 100%使用し、火災に当たらなかった場合でも自然界において 3 ヶ月以内に生分解するものであることから、パック材に適切であると判断した。

(2) 評価

ポリ乳酸繊維は、パルプ材や PET 素材と比較して、生分解性と難燃性があることが知られているが、45 度メセナミンバスケット法による燃焼試験結果の提供を、表.3 に示すようにメーカーから受け燃焼特性を確認した。

表.3 ポリ乳酸繊維の難燃性結果

難燃性	素材	PET	PLA	特性
燃焼性*	(分)	6	2	自己消火性
発煙性*	(m3/kg)	394	63	低発煙性
臨界酸素指数 (LOI)**		20	29(26)	難燃性
燃焼熱	(Kcal/kg)	5,500	4,650	低燃焼熱

*ASTM E1354(Cone Calorimetry:50Kw heat flux, 19.1mm

thick fabric)

**JIS K 7201 準拠 (日本化学繊維検査協会測定値 A-2 号 : 27.2,B-1 号 30.2,B-2 号 : 28.1)

パック材に使用する紙材の坪量を決定するにあたり、乾燥状態でゲル化剤がこぼれないことと、浸水した時の吸水を妨げない透水性が得られることを条件に、メーカーの協力を得て坪量 10 g・15 g・20 g・30 g (1 m²あたり) の試験紙を試作した。

パック材の製造には、超音波シーリングを行うため、それぞれの試験紙について引っ張り強度試験を行った (図.3)。

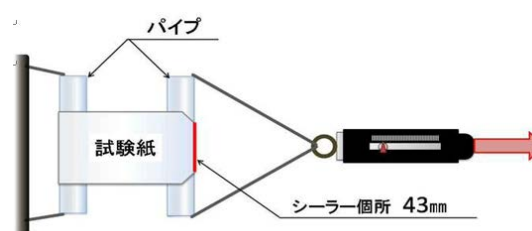


図.3 パック材の引っ張り試験

表.4 パック材用試験紙の強度試験結果

試験紙坪量	1 回目(kg)	2 回目(kg)
10g	0.62	0.50
15g	0.80	0.90
20g	1.80	計測オーバー

乾燥状態での強度は、ゲルパックを連続して製造するためのパック製造機械の引っ張り強度を確認したうえで 1kg 前後の強度が得られることとし、本試験結果に基づき坪量は 15 g ~ 20 g と決定した。また、浸水状態での強度は 1 日浸水状態で放置しても破れないことを条件とし、浸水放置を繰り返した結果、100%ポリ乳酸で抄紙した試験紙は 15 g・20 g いずれも破断しないことが分かった。なお、坪量 30 g は透水性が悪かったので除外した (表.4)。

紙の製造方法には湿式と乾式がある。両方式による特徴が機能性に影響を及ぼすため、両方の方式で試作したシートを用いてゲルパックを作り、経過時間ごとの重量を測定して吸水能力を比較した。各試験体であるゲルパックの乾燥状態の重量は 1.1g で、材料の内訳はゲル化剤重量 0.9g とシート重量を 0.2g とした (表.5)。

表.5 製造方法による吸水率比較

試験紙	1分後	3分後	5分後	30分後	60分後
湿式1	74.8	86.9	88.9	97.2	98.1
湿式2	71.8	82.4	82.9	89.1	92.8
乾式1	70.0	86.2	88.9	91.8	94.8
乾式2	70.8	81.2	84.9	95.1	96.9

この試験結果により、坪量 15 g ～20 g で抄紙した場合は、抄紙方法による吸水能力の違いは認められなかった。このことから、秤量は 10g から 20g のものがパック材として適切であることを確認した。

2.5 ゲルパックの質量と形状の決定

消火活動においては、吸水を始めてから 5 分後にはゲルパック消火剤ができていなければならない。選定したゲル化剤は自重量の約 100 倍の吸水特性を有するが、この特性を速やかに引き出すため、0℃から 50℃の水温でパック材に封入するゲル化剤の重量を変化させ、吸水状況を測定した（図4、写真.1）。

5 分間経過時点の状態を最優先し、ゲル化剤 1.0 g の充填量を採用することとした。短時間で理論値に近い吸水量を示しており、火災現場で求められる迅速な消火活動に適用できる即応性を有するものであると思われる。

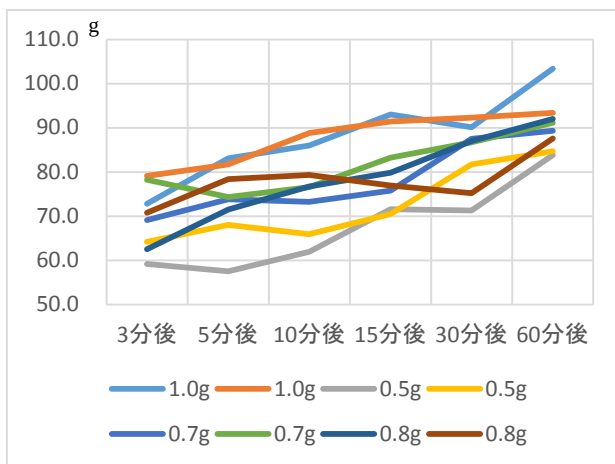


図.4 時間経過によるゲル化剤の吸水量比較



写真.1 吸水試験

本吸水試験において、界面活性剤による吸水性能の向上を期待しゲル化剤に混ぜた試験も行ったが、界面活性剤を高濃度にしても選定したゲル化剤の吸水能力には影響がないことがわかった。

100 g に膨張したゲル材を包むパックの形状として、機械による大量生産化が可能で親水性が良好な 1 辺が 8 cm のテトラ形状とすることを決定した（写真.2）。

ゲルパック 1 袋に入れるゲル化剤の量を均一にすることにより、吸水したゲルパックの重量もほぼ均一とすることができる。ゲルパック 1 袋を 100 g の体積と特定することで、投下予測モデルにより投下位置をほぼ正確に特定できることとなる。



写真.2 パック材（左：乾燥状態 右：吸水状態）

2.6 消火効果等の確認

本試験は、ゲル状消火剤を航空消火に応用するにあたり、消火剤の落下特性を確認し、地上の研究で確認された既報^{1) 2)}の消火効果が、上空からの投下でも同様の効果を有するかを確認するため行った。

平成 25 年度はゲル状消火剤及び開発途上のゲルパックで、26 年度は新たに開発、導入されたテトラ形状のゲルパック消火剤について、水との比較試験を行った。

2.6.1 平成 25 年度の試験

ゲル状消火剤等の消火効果について、平成 26 年 2 月に鳥取県東部広域行政管理組合湖山消防署の敷地内で実施した。

表.6 試験実施内容

試験日	消火試験・投下試験		
	水	ゲル状	ゲルパック
2月12日	1	2	1
2月17日	2	2	4

(1) 2月12日の試験実施要領

- 1) 梯子車を20mの高さに展張し、梯子車バケットから模擬火災に対し消火剤を投下し、落下特性、消火効果等の確認を行った。
- 2) 投下した消火剤

表.7 消火剤の内容

回	消火剤	内 容 物
1	水	水 10ℓ
2	ゲル状	水 10ℓにゲル化剤 0.5kg
3	ゲル状	水 10ℓにゲル化剤 0.1kg
4	パック	水 10ℓにゲル化剤 10g をパック化

- 3) 消火試験は、火災模型を燃やし全体に炎が広がるのを確認し、消火剤を投下して消火状況を調査した。
- 4) 模擬火災は、45mm 角、長さ 1m のクリブを 5 段積みとしたものを使用した。なお、火災模型の大きさは両日とも消防当局の確認を得て本寸法とした。

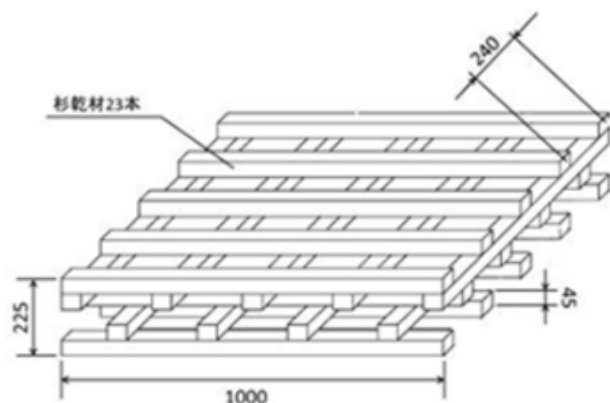


図.5 火災模型

(2) 2月17日の試験実施要領

- 1) 落下特性に影響を与えない 5m の高さに梯子車を展張し、梯子車バケットから模擬火災に対し消火剤を投下し消火効果の確認を行った。
- 2) 投下した消火剤
4回目までは水 3ℓ を、5回以降は水 2ℓ をベースとした。

表.8 消火剤の内容

回	消火剤	内 容 物
1	水	水 3ℓ
2	ゲル状	水 3ℓにゲル化剤 30g
3	パック	水 3ℓにゲル化剤 5g をパック化したもの 6 袋
4	パック	3 回目の内容に同じ
5	水	水 2ℓ
6	ゲル状	水 2ℓにゲル化剤 20g
7	パック	水 2ℓにゲル化剤 5g をパック化したもの 4 袋
8	パック	7 回目の内容に同じ

- 3) 消火試験は、火災模型を燃やし全体に炎が広がるのを確認し、消火剤を投下して消火状況を調査した。
- 4) 模擬火災は、45mm 角、長さ 50 cm のクリブを 5 段積みとしたものを使用した。

2.6.2 平成 26 年度の試験

平成 26 年度の研究において、ゲルパック消火剤を開発した。本ゲルパック消火剤の消火効果等を確認するため、引き続き湖山消防署で平成 26 年 11 月、12 月及び平成 27 年 2 月に試験を実施した。

表.9 試験実施内容

試験日	投下試験回数		消火試験回数	
	水	パック	水	パック
11 月		5		
12 月	2	5	1	3
27 年 2 月		2	1	2

(1) 試験実施要領

- 1) 消火剤の落下特性を調査するため、地上約 20m の高さに梯子車のバケットを展張し、バケット内から投下装置を水平に保ちつつ、消火剤を鉛直下向きに投下した（図.6）。

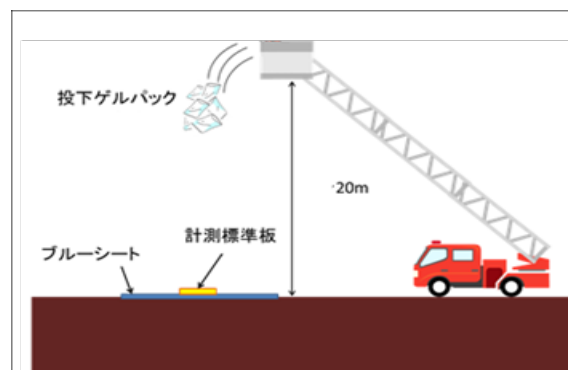


図.6 投下試験

- 2) 消火剤は、11 リットルの水及び 11 リットルの水にゲルパック 100 個を浸しゲル化させたゲルパック消火剤を使用した。
- 3) 投下試験は、目標の真上から目標に投下し、落下特性を調査した。
- 4) 消火試験は標準火災模型（図.7）を燃やし、点火後 5 分程度待機し火災模型全体に炎が広がるのを確認し、消火剤を投下して消火状況を調査した。なお、ゲルパックが真下に落下し、命中精度が高いことから 20m の高さで実施した。

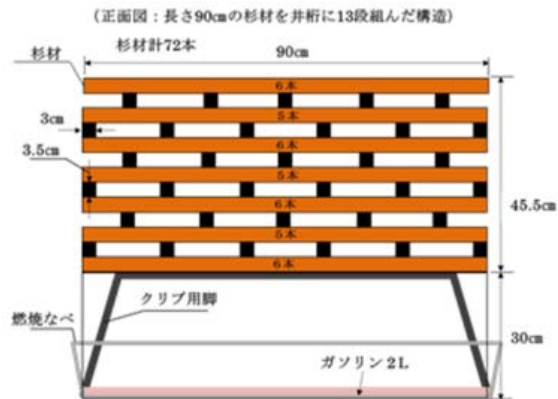


図.7 火災模型

2.6.3 落下特性

平成 25 年度、26 年度の両年度の試験において、水の投下は高度が高くなるほど風の影響で霧状になり、偏流拡散し落下位置がずれることを確認した。

ゲル状消火剤は、塊のままほぼ真下に落下し偏流傾向も少ないことが確認できた。さらに、ゲルパック消火剤はゼリー状個体ようになり、消火剤は高度が高くても直下に落下し、偏流もほとんど認められなかった。

また、ゲル状物質では塊の大きさを揃えられず、投下タイミングが不均一であったが、パック化することで消火剤全量を同時に投下できることを確認した。

この結果から、ゲルパック消火剤による上空からの消火は、目標に対しまとまった量の消火剤を、正確に投下できることが期待できる。

2.6.4 消火効果

平成 25 年度の試験で、ゲル状消火剤を投下すると、ゲル状物質のまま燃焼体を覆う現象や、火面で熱変性によりゴム膜状に変化する現象が確認できた。この現象は窒息消火の効果を生み出すものである。

平成 26 年度の試験で、ゲルパック消火剤を投下すると、着地時にパック材が破裂して中身のゲルが飛散し、平成 25 年度の試験と同様に燃焼体を覆い、燃焼面に被膜が生じる現象も確認できた。ゲルパック消火剤を上空から落とす方法でも、ゲル状消火剤と同様に窒息消火の

効果を生じることが確認できた（写真.3）。

水は流動的で燃焼面に留まりにくいだが、本研究の対象とする粘性ゲル状物質は、水を吸水した状態で燃焼面に長時間留まり保湿時間も長い。2.3節で示した示差走査熱量計による測定結果のとおり、炎に対し水と同等の吸熱効果を有し冷却効果を発揮するが、ゲル状消火剤が燃焼面に留まっていることは延焼抑制効果も有することとなる。

このように、ゲルパック消火剤による消火は、冷却消火と窒息消火の二面の消火効果を有し、延焼抑制効果も水に比べ長い時間期待できるものと考えられる。



写真.3 木材燃焼面

3. 高精度投下に向けた検証

水を用いる従来の航空消火に対して、本研究が提案するゲルパック消火剤投下法の最大の特徴は、消火剤を落下時に霧散することなく目的の場所に高密度で投下できること、およびその運動を予測しやすいことである。本研究ではこの特徴を活かし、航空機の状態と火災位置に基づき消火剤の投下位置を高精度に管制するシステムを構想している。ここでは、ゲルパック投下法の優位性の検証と管制システムの構築に向けて、ゲルパックの落下運動の数値モデル化ならびにパラメータ同定のための諸実験等について報告する。

3.1 運動モデル

ゲルパックおよび水粒子について、2 次元空間座標系で質点系モデルに準じた落下運動モデルを構築した。さらに投下実験等の結果からゲルパックの効力係数および水粒子の粒径をパラメータとして同定し、高精度投下のためのシミュレーションを行なった。

(1) ゲルパックの落下運動モデル

ゲルパックは柔軟構造物であり、落下中に空気抵抗等の外力を受けて変形するが、ここでは簡単のため剛体であると仮定する。また、ゲルパックの形状は三角錐で、落下運動の進行方向に対する向きにより有効断面積や抵抗係数が変化すると想定されるが、ここでは有

効断面積と抵抗係数の積 $S_p \cdot C_{Dp}$ が一定であるとする。このような近似はゲルパックの運動の記述としては厳密さを欠くが、実験等から有効的な抵抗係数の分布を近似し、多数のゲルパックの平均的な落下を想定した落下範囲を考えるにあたっては十分である。

表.10 に各変数の定義を、図.8 にモデルの概要を示し、以下に数理モデルについて説明する。

表.10 変数の定義

F	ゲルパックに働く力の合力ベクトル
F_A	空気力ベクトル
F_G	重力ベクトル
V	ゲルパックの速度ベクトル
V_w	風ベクトル
V_{rel}	相対風ベクトル
X	状態ベクトル
M_p	ゲルパックの質量
g	重力加速度
ρ	空気密度
S_p	ゲルパックの代表面積
C_{Dp}	ゲルパックの抵抗係数
θ	相対風ベクトルの x 軸からの偏角

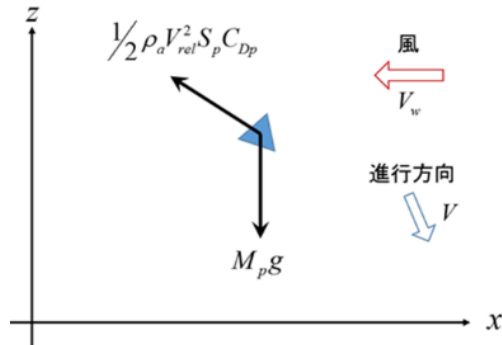


図.8 ゲルパックの運動モデル

空中を落下するゲルパックには空気力と重力が働くので、ゲルパックに働く力の合力は式(1)のようになる。

$$F = -F_A + F_G = \begin{bmatrix} F_{Ax} \\ F_{Ay} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -Mg \end{bmatrix} \quad (1)$$

空気力が働く方向は機体から見た風（相対風）の方向であり、相対風ベクトルおよびその大きさはそれぞれ式(2)、式(3)のように算出できる。ここで風速 V_w は向かい風を正としている。

$$V_{rel} = -V_w - V = \begin{bmatrix} -V_w \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$V_{rel} = \sqrt{(\dot{x} + V_w)^2 + \dot{z}^2} \quad (3)$$

空気力の大きさは空気密度、相対風の大きさ、ゲルパックの代表面積、抵抗係数等から規定され、式(4)のように表すことができる。

$$F_A = \begin{bmatrix} F_{Ax} \\ F_{Az} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \rho_a V_{rel}^2 S_p C_{Dp} \cos \theta \\ \frac{1}{2} \rho_a V_{rel}^2 S_p C_{Dp} \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここまでで定式化した量を用いると、式(5)のような状態変数に対する状態方程式（運動方程式）は式(6)のように書ける。

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \ddot{x} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \ddot{x} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \frac{F_x}{M_p} \\ \frac{F_z}{M_p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ -\frac{1}{2} \rho_a \{(\dot{x} + V_w)^2 + \dot{z}^2\} \frac{S_p}{M_p} C_{Dp} \cos \theta \\ -\frac{1}{2} \rho_a \{(\dot{x} + V_w)^2 + \dot{z}^2\} \frac{S_p}{M_p} C_{Dp} \sin \theta - g \end{bmatrix} \quad (6)$$

(2) 水粒子の運動モデル

水粒子もゲルパックと同じく実際には落下中に空気による力を受けて変形するが、ここでは簡単のため剛体の球であるとする。ただし、投下された水は様々な粒径の粒子に分かれるため、ここでは粒径 r_w に対して変化する断面積と質量をそれぞれ $S(r_w)$ 及び $m(r_w)$ とし、粒径 r_w を運動を規定する主要なパラメータとして扱う。表.11 に各変数の定義を、図.9 にモデルの概要を示し、数理モデルについて説明する。

表.11 変数の定義

F	水粒子に働く合力ベクトル
F_A	空気力ベクトル
F_G	重力ベクトル
V	水粒子の速度ベクトル
V_w	風ベクトル
V_{rel}	相対風ベクトル
X	状態ベクトル
r_w	水粒子の粒径（半径）
$m(r_w)$	粒径 r_w のときの水粒子の質量
g	重力加速度
ρ	空気密度
ρ_w	水の密度
$S(r_w)$	粒径 r_w のときの水粒子の代表面積
C_{Dw}	球の抵抗係数
θ	相対風ベクトル x 軸からの偏角

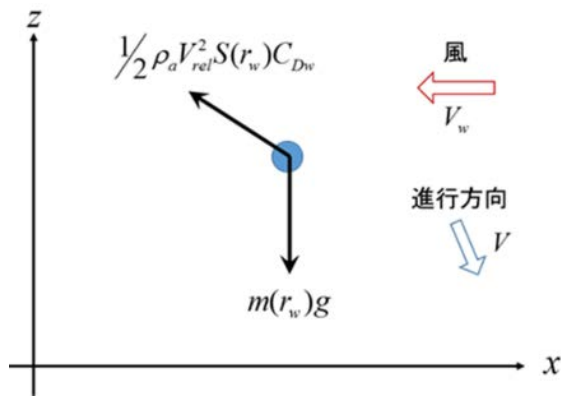


図.9 水粒子の運動モデル

空中を落下する水粒子には空気力と重力が働くので、粒子に働く力の合力は式(7)のようになる。

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_A + \mathbf{F}_G = \begin{bmatrix} F_{Ax} \\ F_{Ay} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m(r_w)g \end{bmatrix} \quad (7)$$

空気力が働く方向は機体から見た風（相対風）の方向であり、相対風ベクトルおよびその大きさはそれぞれ式(8)、式(9)のように算出できる。

$$\mathbf{V}_{rel} = \mathbf{V}_w - \mathbf{V} = \begin{bmatrix} -V_w \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$V_{rel} = \sqrt{(\dot{x} + V_w)^2 + \dot{z}^2} \quad (9)$$

空気力の大きさは空気密度、相対風の大きさ、水粒子の代表面積、抵抗係数等から規定され、式(10)のように表すことができる。

$$\mathbf{F}_A = \begin{bmatrix} F_{Ax} \\ F_{Az} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \rho_a V_{rel}^2 S(r_w) C_{Dw} \cos \theta \\ \frac{1}{2} \rho_a V_{rel}^2 S(r_w) C_{Dw} \sin \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

粒子の代表面積を球の表面積とすると、代表面積及び質量は粒子の半径を用いてそれぞれ式(11)、式(12)のように表される。

$$S(r_w) = \pi r_w^2 \quad (11)$$

$$m(r_w) = \frac{4}{3} \pi r_w^3 \rho_w \quad (12)$$

ここまでで定式化した量を用いると、状態方程式（運動方程式）は式(13)のように書ける。

$$\dot{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \ddot{x} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ \frac{1}{m(r_w)} F_{Ax} \\ \frac{1}{m(r_w)} F_{Az} - g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{z} \\ -\frac{1}{2} \rho_a \{(\dot{x} + V_w)^2 + \dot{z}^2\} \frac{S(r_w)}{m(r_w)} C_{Dw} \cos \theta \\ -\frac{1}{2} \rho_a \{(\dot{x} + V_w)^2 + \dot{z}^2\} \frac{S(r_w)}{m(r_w)} C_{Dw} \sin \theta - g \end{bmatrix} \quad (13)$$

3.2 パラメータ同定のための実証試験

運動モデルを用いて落下運動予測を行うため、平成25年度に千葉大学の協力により実施した UAV（無人機

）による水の投下試験及び2.6節で示した梯子車からの投下試験から得た偏流距離や散布状況をもとに、ゲルパックの効力係数及び水粒子の粒径をパラメータとして同定した。



写真.4 UAV 及び梯子車による投下試験

2.6節の投下試験結果は、大きさが既知である画像計測標準板を配置し、直上から撮影した画像により水・ゲルパックが着地した際の位置・範囲を測定した。計測データのサンプルを図.10 及び図.11 に示す。

20141215_case01_water_11L_20.4m

	地上	上空
風向[°]	117	
風速[m/s]	1.1	1.9

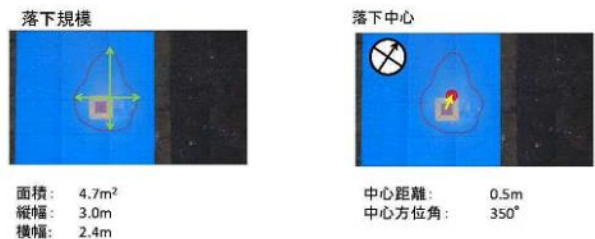


図.10 水の落下特性試験データ

20141215_case02_gellpacks_100_20.4m

	地上	上空
風向[°]	101	
風速[m/s]	0.7	1.6

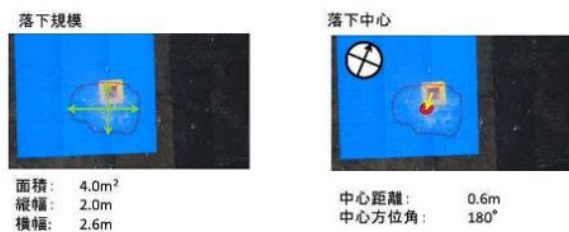


図.11 ゲルパックの落下特性試験データ

検証試験によって得たゲルパック及び水粒子のパラメータの範囲を表.12 に示す。

表.12 得られた特性値

ゲルパック特性値 $Sp \cdot CDp$	$2.4 \times 10^{-6} \sim 6.0 \times 10^{-6}$
水粒子の半径 r_w [mm]	1.5 ~ 30

3.1節で述べたモデルに3.2節で得られた特性値を代入して、様々な条件下でのゲルパックの運動をシミュレーションした。

以下にその代表的な結果を示す。計算条件は図のキャプションに記載し、赤いラインは抵抗係数が大きい場合、青いラインは抵抗係数が小さい場合、緑のラインはそれらの中間の特性値の場合を示す。(図.12 及び図.13)

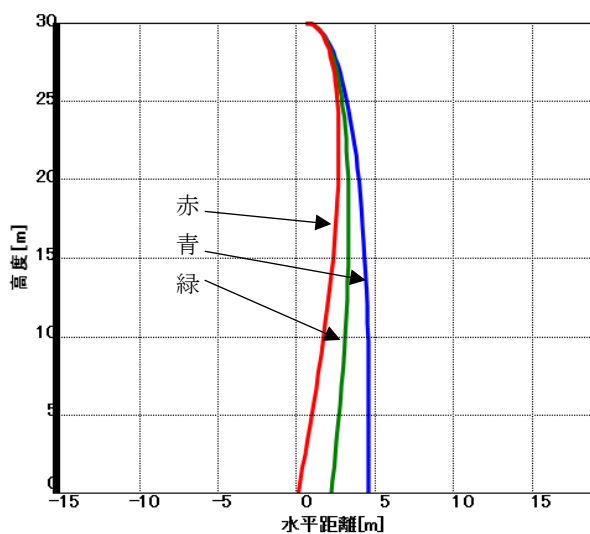


図.12 投下高度 30m、対地速度 3m/s、風速 5m/s

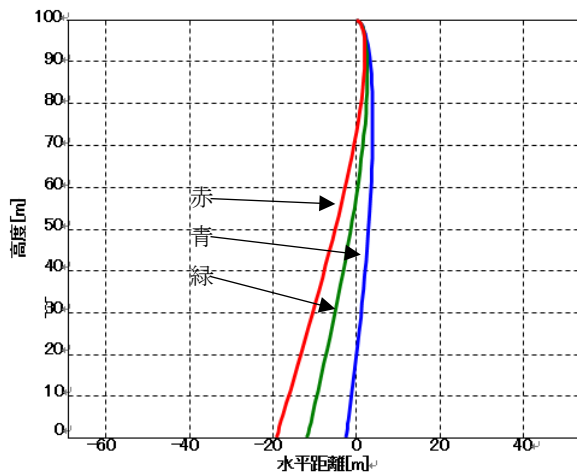


図.13 投下高度 100m、対地速度 3m/s、風速 5m/s

これらの図において、対地速度および風速を一定として、投下高度が高くなるとゲルパックの飛散範囲が大きくなっている。即ち、投下高度 30m の場合、飛散範囲

5m 程度に治まるのに対し、高度 100m でのそれは 20m 程度の範囲となっていることがわかる。

一方、これらゲルパック消火剤の飛散に対して水の落下について飛散量を予測し、比較したものが図 14 及び図 15 である。赤いラインの範囲はゲルパック消火剤が落下する範囲を、青いラインの範囲は水の落下する範囲を示している。

1) 高度 30m からの投下

航空機が高度 30m・向かい風・風速 2m/s において対地速度 3m/s で飛行しながら投下した場合、ゲルパック消火剤はまとまった範囲に落下するが、水は偏流して拡散落下することが示される(図.14)。

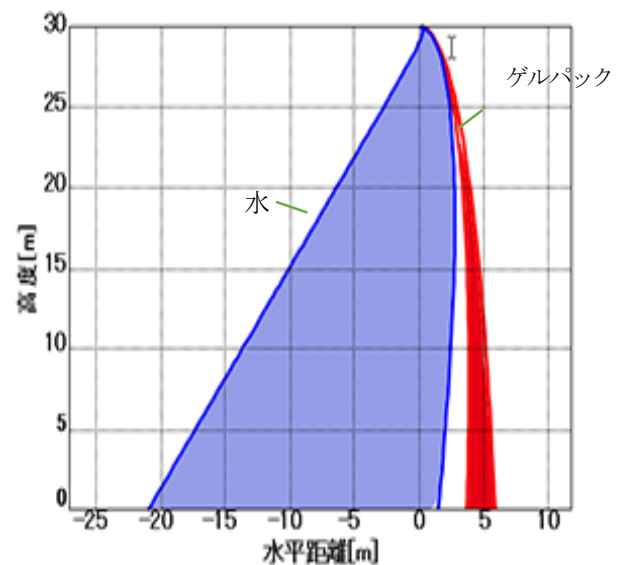


図.14 高度 30m からの投下

2) 高度 100m からの投下

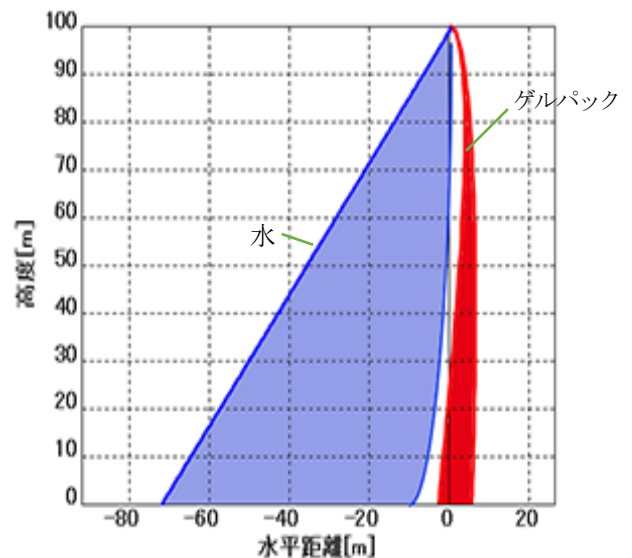


図.15 高度 100m からの投下

さらに図 15 は、高度 100m・向かい風・風速 2m/s において対地速度 3m/s で飛行しながら投下した場合の計算結果であり、ゲルパック消火剤の飛散範囲は 10m 以下の範囲に落下するが、水は 60m 以上の広範囲に偏流落下することが示される。

これらの結果から分かるとおり、ゲルパック消火剤は水と比べてはるかに偏流距離や落下の範囲が小さく、高高度からの投下、高速での投下、風力が高い時にそれらが顕著となる。逆に言えば、水を用いた消火活動では有効でない高度、速度、風条件のときであっても、ゲルパック消火剤であればまとまった量を狙った地点に投下することができる。水に比べて安全で高精度な消火活動を行うことができる。と期待できる。

4 航空消火における投下管制プログラムの開発

4.1 プログラムに対する要求性能等

航空消火において、航空機の状態と火災位置に基づき消火剤の投下位置を高精度に管制し、安全かつ正確にゲルパック消火剤を火点や延焼防止目標に投下し、火災を早期に鎮圧・消火に至らせるため、プログラムの要求性能を次のとおり設定した。

(1) プログラムデータ設定

- 1) 風向風速、火点位置、自機の進路・速度・高度、ゲルパック消火剤の重量並びに実動モード又は訓練モードの選択の専用画面を設けること。
- 2) PC に接続する GPS レシーバーにより、自機の位置を常に掌握し地図画面上に表示すること。
- 3) 火点の位置を、数値入力又は地図画面の押下で入力でき随時更新できること。航空機で上空通過時に火点位置として登録できること。
- 4) 風向風速、投下時の航空機の方角、自機の対地速度・高度を随時入力でき、投下装置の水量、機体からの吊り下げ長等の諸元を登録できること。
- 5) 火点位置、風力、諸元等により、最も適切な投下位置を PC 画面に表示し、自機が同地点に接近したら PC にアラート表示をすること。
- 6) 本プログラムより、投下バケットの電磁開閉弁を作動させる信号を送出できること。
- 7) 繰り返される消火活動に継続して対応できること。

(2) 保守モードに関する事項

- 1) 駆動信号を PC 内に留める機能を持たせること。
- 2) 装備を仮装備した状態で、訓練用データを専用入力画面から入力でき、総合動作訓練が行えること。

4.2 プログラムの作成環境等

- 1) Windows OS 環境とした。
- 2) 開発言語は C、C++、JAVA、VB .NET、Ruby か

ら選択することとした。

4.3 筐体及び外部接続機器について

- 1) 搭載する PC の筐体は薄型ノートパソコンとした。
- 2) 外部接続機器として GPS レシーバー、IR センサー、HDMI、USB 機器、SD メモリー等が接続でき、音声出力端子を有するものとした。

4.4 投下管制プログラムの検証

完成した投下管制プログラムを PC に搭載し動作試験を行い、筐体の仕様、プログラム機能、外部接続機能等の要求性能を満足していることを確認した。

平成 26 年度の研究では、航空機に搭載する試験が制約によりできず、地上から本プログラム算出による投下指示座標、タイミングを航空機に伝達する方法でゲルパックの消火剤の投下試験を行った。PC の表示機能、操作性等については、地上で航空隊隊員の検証・評価を受けた。

これらのことから、火点情報等を用いて地図データ上に投下するタイミングを自動管制するシステムの基礎が構築できた。



写真.5 投下管制装置の画面表示例

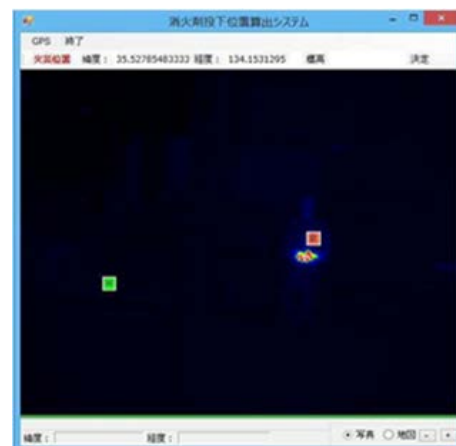


写真.6 IR カメラによる表示画面

4.5 今後の改善点及び機能拡張

4.4節で述べた投下試験による検証、航空隊員の検証・評価などから、入力操作性、画面表示等について改善・機能拡張の必要性を認めた。

- 1) 搭載する PC は、航空機内での操作性等から、画面サイズ 11 インチ程度のタブレットが適切である。
- 2) 流体移動解析及び落下運動解析を更に進め、投下精度の高いパラメータ設定が必要である。
- 3) 自機の飛行経路、火点位置、航行状況に対応する投下指示位置の表示等の改善が必要である。
- 4) 航空機内での操作性を改善する必要がある。
- 5) 投下管制プログラムを英語と日本語表記とし、海外での運用にも対応する必要がある。
- 6) 航空機の環境に耐えるよう熱対策、ノイズ対策、静電気対策等を措置し、堅牢化を図る必要がある。

5 航空消火の運用形態

ゲルパック消火剤が運用される時は「高高度からの投下でも霧散せず、まとまった量の消火剤を狙った地点に投下できる」という特徴を最大限に活かし、火点への直接消火や延焼防止帯の形成という消火活動が連続的に行われ、林野火災の早期鎮火・延焼防止に活用されることを期待する（図.16 及び図.17）。

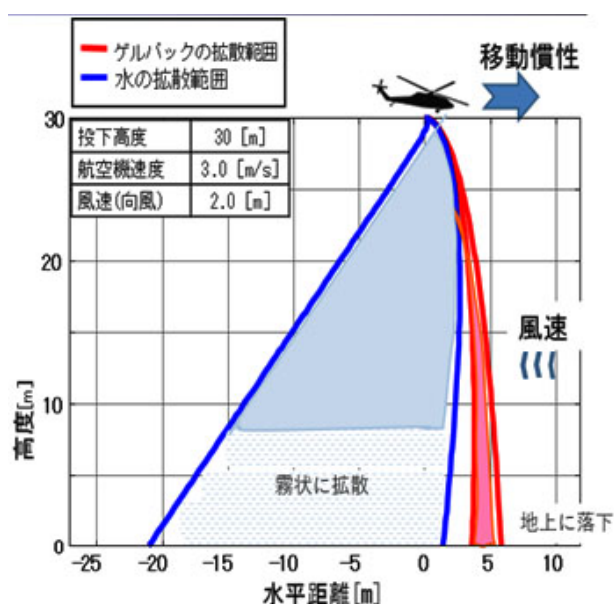


図.16 ゲルパック消火剤の落下特性の特徴

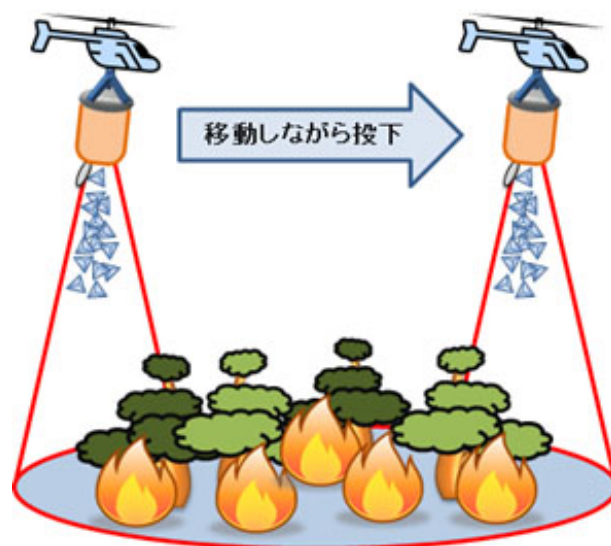


図.17 期待する航空消火の運用

本研究で提案する安全で効果的な航空消火システムの一連の流れを示すフローチャートは図.18 のようになる。

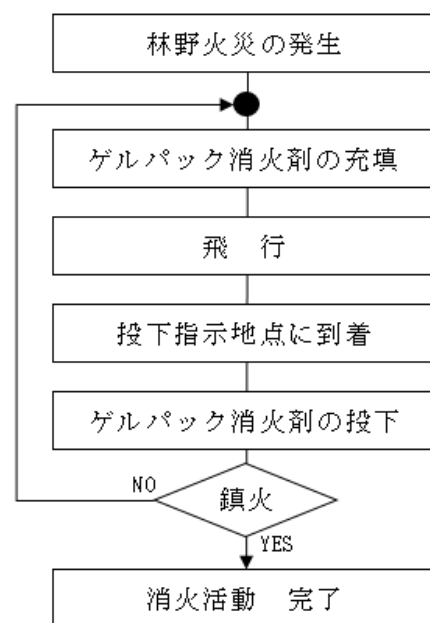


図.18 航空消火システムのフローチャート

6 投下装置の設計・試作

6.1 投下装置の現状

消防防災航空隊が活用している投下装置は、複数のメーカーがあり多種多様であった。これらの投下装置の構造を調査したところ、消火水が通過する部分が比較的狭く設計されたものも確認された。投下の際に一気に消火水を投下するのではなく、遅延時間を持たせた構造とも考えられる。

本研究では、開発したゲルパック消火剤の特徴を活かすため、投下装置に収まっている消火剤が一気に投下さ

れることが望ましい。

6.2 設計・試作の目的

投下装置の開発は、我が国で広く普及している消防防災航空隊の航空機に適用できることを条件とし、ゲルパック消火剤の特徴である落下特性と消火効果を、最大限活かせる投下装置の開発・試作を行うこととした。

6.3 開発する投下装置

SEI 社の投下装置（バンビバケット）は、世界の約 80 国で使用され、投下装置の容量も 18 種類ほど揃えられ、国内の航空隊への配備も多かった。また、投下装置には電磁開閉装置が使用され、本研究で開発した投下管制プログラムでの制御が期待できることから、バンビバケットをベースに開発・試作を行うこととした。なお、本開発・試作は、バンビバケットの日本総代理店の協力を受け行った。

6.4 開発・試作のポイント

(1) 放出口の改良

バンビバケットの放出口には多数のロープがあり、ゲルパック消火剤を全量投下することができないため、放出口を取り替えることとした（写真.7）。



写真.7 放出口の改良

(2) 電磁開閉弁の制御機能の利用

既存の放出口の開閉に使用されていた制御機能を、新しく取り替えた放出口の電磁開閉制御に利用した。なお、放出口の開閉は、投下管制プログラムでの制御でも、手動による開閉でも可能とした。

6.5 改良投下装置の検証

耐空証明の取得が間に合わず、航空機での試験を断念し、クレーンで吊り下げた状態での検証とした。

改良バンビバケットを満水状態とし吊り上げて確認したところ、取り替えた放出口からの漏水は認められなかった（写真.8）。



写真.8 満水にした状態での漏水試験

ゲルパック消火剤を改良バンビバケットに充填し、クレーンで吊り上げた状態で、電磁開閉制御で放出口を開放した。ゲルパック消火剤は放出口から一気に放出され、消火剤の残渣はなかった（写真.9）。



写真.9 吊下げ状態での投下試験

7 防災ヘリコプターによる投下試験

平成 25 年度に引き続き、鳥取県消防防災航空隊の協力のもと、同隊のヘリコプター（Bell 412EP）を用いて高高度かつ移動状態等でのゲルパック消火剤投下試験を実施した。なお、この試験は鳥取県東部広域行政管理組

合湖山消防署と鳥取県消防防災航空隊による消火実証訓練の一環として実施させて頂いた。

7.1 使用した投下装置

本試験の投下装置は、鳥取県消防防災航空隊が保有するものを使用した（写真.10）。なお、事前に投下装置を用いて消火剤の投下について予備実験を行い、本試験を実施した（写真.11）。



写真.10 航空隊保有の投下装置



写真.11 予備実験の様子

7.2 実機によるゲルパック消火剤の投下試験

- (1) 試験実施日 平成 27 年 2 月 11 日
- (2) 実施場所 鳥取市河原町地内 鳥取大学所有地
- (3) 試験実施要領
 - 1) ゲルパック消火剤は、投下装置に水 300 リットルを入れゲルパック 2000 個を入れ吸水させる。
 - 2) 水は、投下装置に水 300 リットルを入れる。
 - 3) ヘリコプターに投下装置を搭載し、高度 30m から火災模型に対し消火剤を投下する。
 - 4) 投下タイミングは、模擬火災の位置、飛行時の風向風速等を元に、管制プログラムで算出した投下位置（緯度経度）を航空隊に伝達する。
 - 5) 投下時の航法はホバリング（上空停止状態）又はスライド（移動状態）とし、消火剤は全量投下する。
 - 6) 火災模型 1 は標準火災模型、火災模型 2 は 75 cm 四方の火災模型を 5 個並べたもの。

表.13 各回の試験実施内容

回	投下する消火剤	航法	投下対象
1	水	ホバリング	火災模型 1
2	ゲルパック消火剤	ホバリング	火災模型 1
3	ゲルパック消火剤	スライド	火災模型 2
4	ゲルパック消火剤	スライド	火災模型 2

(4) 試験実施中の状況

投下装置に消火剤を充填しヘリコプターに装備。模擬火災の上空まで飛行する（写真.12）。



写真.12 投下装置を装備し模擬火災上空へ移動

模擬火災上空に到着後、消火剤をホバリング又はスライドしながら投下し消火効果を確認した。

4 回目の投下試験で、火災模型 2 に対しゲルパック消火剤を投下した結果を写真.13 及び写真.14 に示す。



写真.13 スライドでゲルパック消火剤を投下



写真.14 ゲルパック消火剤による消火結果

7.3 投下試験の結果

鳥取県消防防災ヘリコプターを用いた投下試験は、現実の航空消火活動に近い条件で試験が行えたものである。地元消防機関との協力体制の構築も含め、航空消火実験に関する実験手順、計測手法等のノウハウを蓄積することができた。

また、実際の航空消火において、消火剤をゲルパック化することで風の影響を大きく低減できること、管制プログラムによる最適な投下地点の算出が、効果的な消火活動が結びつくことが確認できた。

写真.15 に水（左）とゲルパック消火剤（右）の投下時の落下状況を撮影した写真を示す。ほぼ同程度の風速であったが、水は明らかに霧散する傾向があるのに対し、ゲルパック消火剤はほとんど風の影響を受けずにほぼ真下に落下していることが分かる。



写真.15 水とゲルパック消火剤の落下状況

また、4 回目の投下試験では、すべての条件が整い目標通りの投下が実施でき、結果としてゲルパック消火剤が火災模型全範囲を網羅するように落下し消火することができた。GPS による飛行経路等を表記したものを図.19 に示す。

- ・投下目標：管制プログラムで算出した投下指示座標
- ・火災模型：火災模型 2 の始点の座標
- ・投下地点：防災ヘリコプターが投下開始した座標

表.14 4 回目の投下目標等の座標

項目	緯度 35°	経度 134°	備考
投下目標	30' 41.7"	10' 16.2"	模型端から 4.6m の位置
火災模型	30' 41.7"	10' 16.8"	
投下地点	30" 41.8"	10' 16.1"	機内 GPS



図.19 GPS の測位計測結果

8 総括

(1) 航空消火技術に関する調査

林野火災を主とした国内外の航空消火活動の事例について情報を入手し研究開発の参考とした。

(2) 航空消火に適したゲル状消火剤の開発

動物が食しても安全な多糖類からなる食用ゲル化剤を、透水性の紙を用いてテトラ形状に機械でパック詰めし、乾燥状態で保管できるゲルパック消火剤を開発した。

本剤は 1g のゲル化剤を生分解可能なポリ乳酸の繊維でパック化し乾燥状態で保管備蓄できる。航空機が消火活動で火点に向かう飛行中の 5 分で 100 倍の消火水を吸水し、100g の消火剤を生成することができる。生分解性試験及び燃焼ガス分析によって環境安全性を確認した。

(3) 空中落下運動解析

平成 25 年度はゲル状物質の落下、26 年度はゲルパック消火剤の落下運動について実験及び数値計算シミュレーションを用いて解析し、水との優位性を確認できた。特に高高度からの高速投下及び風力が大きい時にそれが顕著であることが分かった。さらに、投下範囲を航空機

からの投下実験によりデータ化した。

(4) 高精度投下手法の構築

上記結果に基づき、目標エリアにゲルパック消火剤を高精度で投下する手法を構築した。航空機の航法データ、システムに搭載した IR センサーを含む各種センサーからの情報、出動時に入力する火点位置情報を用いて、地図データ上に消火剤の投下指示位置を示す管制プログラムの基礎を構築した。

(5) 投下装置の設計・試作

ゲルパック消火剤を効果的に投下するため、バンビバケットを改造して投下装置を開発・試作した。

(6) 総括

風などの条件に係らず霧散することなく投下したゲルパック消火剤が全量消火に充当できることを確認した。ゲルパック消火剤は投下地点に滞留し、吸熱反応、酸素遮断、燃焼物への圧着により、消火効果を格段に高めることを確認した。

9 今後の展望

機会を得て、更なる実証試験並びに関連する研究開発を実施する。

- 1) 環境に影響の少ない再燃防止消火薬剤を併用した消火効果を高めた新ゲルパック消火剤を開発する。
- 2) 各種航空機投下装置でのゲルパック消火剤の投下方法を検討し、多方面での利用を可能とする。
- 3) 航空機の仕様適合する投下管制プログラムを提案し関連企業との共同開発を図る。
- 4) 投下管制プログラムと新ゲルパック消火剤を、林野火災での実運用化に向け、自治体の理解を得て制度的な調整を図り、航空消火試験を企画する。
- 5) 防衛省自衛隊にも説明を行い、省庁間協力による航空消火試験への協力を得る。
- 6) 自治体等での本消火剤の利用が見込まれる段階では、緊急な要請に応じられる備蓄体制と製造ラインを構築する。

10 本研究に対する第三者評価

○東京理科大学名誉教授 菅原進一先生

(元東京理科大 火災科学研究センター長)

本研究開発の成果から次のように評価できる。

最近の林野火災は世界的に大規模化する傾向にあり、その消火方法について卒災の視座から十分に検討する必要がある。卒災とは、災害は起こり危険であると認識することを前提として諸施策を進めることを意味し、今後の災害対策の基幹となるものである。特に林野火災に関

しては、水の霧散が問題であるより有効な消火手段が求められている。本調査研究は、このことを解決するためにゲル化消火剤を活用した空中消火の有効性を究明しており、極めて有意義であると考えられる。

(1) ゲル状消火剤をパック化したゲルパック消火剤は、均一に生成され取扱いが容易となり、また乾燥状態で圧縮収蔵できるため、量的な移動活用にも適しており林野火災の発生を前提に対処する卒災の観点からも航空消火の要求事項を十分に満足できるものと思われる。

(2) 同上消火剤は多糖類で動物に害がなく、パックの紙袋がポリ乳酸製で生分解可能であることは、環境に配慮した消火剤である。投下試験においては、消防で使用される模擬火災火源を参考に実施されたが、霧散せず消火剤の全量が火源に当たりその有効性が確認された。

(3) 模擬火災に投下されたゲルパック消火剤は水消火にはない圧着効果により吸熱・酸素遮断性を発揮し消火効果を高めていることは大いに評価できる。

(4) 今回の航空機による消火試験には、改造したバンビバケットを制約上使用する事が出来なかったが、地上から機上への投下タイミングを伝達し実施されたため、ゲルパック消火剤の空中からの投下は、管制装置による投下散布界を正確にできることが想定でき林野火災には極めて効果的であると評価した。

(5) 今後機会を得て、トータルシステムによる投下実験を繰り返し実施し実用化を推進して行くことが望ましい。

(6) 本消火法は、消防車がアクセスできない住宅密集地に対する火災にも効果があるように研究を進めることは可能であると評価できる。

○徳島文理科大学准教授 土肥 修先生

(元海上自衛隊大村航空隊司令、1等海佐、操縦士)

航空機を使用した空中消火作業における、基本的な問題として、散布消火剤が消火目標位置に到達せずに空中で離散、霧状化することにより、消火効果を低下もしくは消火不能とすることである。

この問題は、消火剤が液体であることが原因で、これは、固形ではまた消火効果の点で問題があることは、自明である。従って、本研究の狙いとするところはその点にあり、ジェル状化した消火剤が目標地に的確に投下することにより、消火効果を発揮させるという点にある。

今般の、実験ケースのうち投下手順の適正な航過は2ケースであり、そのうち最終航過は、明らかな消火能力を証明するものとなった。他のケースは、気象状況と運航に関する不手際により投下位置に正確に投下することができなかったためであり、その点を考慮すれば、2ケースのいずれもが消火の効果が認められると言える。

ただし、従来から航空消火に求められる「最大兵力の連続的投入」は、消火剤が十分効果のあるものとなっても、不変である。ただし、従来の水消火に比較すれば、その仕様航空機数の激減は明らかであるものの、その効果について定量的な評価をするためには、更なる試験の実施と評価が必要である。

1 1 謝辞

今回の調査研究を実施するにあたり、航空消火の実証試験では、鳥取県危機管理局所管の消防防災航空隊ヘリコプターならびに鳥取県東部広域行政管理組合湖山消防署の多大なるご協力を賜った。これら実証試験にご協力頂いた総ての関係者の皆様に、記して深甚の謝意を表するものである。

【参考文献】

- (1) 東京消防庁：水ゲルについて（第 1 報、第 2 報及び第 3 報）、消防研究所報第 10 号、第 12 号及び第 13 号
- (2) 近代消防社：海外消防情報(189)ゲル消火剤の消火効果、近代消防 43(12)
- (3) 東京消防庁：ゲル化剤（高吸収性樹脂）利用による延焼抑制効果の研究、消防科学研究所報第 24 号
- (4) 古河電気工業株式会社：環境に配慮した林野火災用消火剤の開発、古河電工時報第 132 号

第6 危険物施設等の保安対策の充実

6.1 津波に対する危険物貯蔵施設の多段階防護システム

研究実施期間	平成 25 年度～平成 27 年度
配分額(千円)	平成 25 年度：6,170 26 年度：5,578 27 年度：2,656
研究代表者	田島 芳満
所属機関	国立大学法人東京大学
研究体制	学：東京大学 官：名古屋市消防局
研究概要	本研究では都市沿岸域氾濫災害における危険物貯蔵施設に伴う被害増大を総合的に軽減することを目的とし、危険物流出リスクの低減策に、危険物流出時の氾濫域の被害軽減策を加えた、耐津波多段階防護システムの開発を試みた。まず室内実験を実施し、危険物貯蔵施設に作用する波力を明らかにするとともに、その効果的な補強策を検討した。 さらに、防油堤の配置の違いによる津波波力への影響を検証し、防油堤の最適配置による波力低減策を検討した。また漂流物群を含む大規模氾濫場再現実験も実施し、氾濫流と漂流物の相互作用による氾濫場への影響を分析し、これらの物理現象を考慮した高精度数値再現モデルを構築した。 最後に、構築したモデルを名古屋市沿岸域における氾濫解析に実施し、漂流物の集積や火災のリスクを考慮した減災策の検討を行い、これらの多段階防護システムの効果を検証するとともに実現にむけた課題を分析した。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究で検討した防油堤や避難施設の最適配置や危険物貯蔵施設の補強は、それぞれ施設の改修や新たな避難所の設置など比較的大規模な改善を伴うため、まだその実用化には至っていない。詳細検討のためのモデルは構築されており、名古屋市に限らずどこでも検討が可能な状態にはある。
応用の方向性	漂流物の集積やそれに伴う氾濫流特性の変化、危険物貯蔵施設の防護機能を評価する手法を構築した。これらの技術を応用し、様々な地域の特性に応じた実現性の高い減災策を具体的に検討していくことが重要であると考える。
研究発表の状況等	田島芳満・桐ヶ谷直也・櫻澤崇史:漂流物群と氾濫流の相互作用に関する研究, 土木学会論文集 B3(海洋開発), vol.72, No.2, pp.I_2015-I_210, 2016. 櫻澤崇史・田島芳満:漂流物群を伴う氾濫場の平面実験とその特性の分析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), vol.72, No.2, 2016(採択済) 小山毅: 有限幅の壁に作用する津波サージ力, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, No. 713, pp. 1001-1011, 2015.7.
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	本研究を通じて、特に発達した都市部沿岸域において重要な危険物貯蔵施設の防護技術や、危険物が流出した際に重要となる漂流物の発生・集積に伴う被害の拡大、それに対する被害軽減策を講じるための数値再現モデルが構築できた。 今後の展望としては、これらの要素技術を様々な地域に適用し、実現性の高い減災策を実際に講じていき、実現に向けた課題や問題点に対する知見を蓄積していくことが重要であると考えられる。
------------------------------------	---

津波に対する危険物貯蔵施設の多段階防護システム

○田島芳満¹・小山毅¹・下園武範¹・加藤孝明²・桑村仁¹・佐藤慎司¹

Yoshimitsu Tajima, Tsuyoshi Koyama, Takenori Shimozono,
Takaaki Kato, Hitoshi Kuwamura and Shinji Sato

研究課題の要旨：本研究では都市沿岸域氾濫災害における危険物貯蔵施設に伴う被害増大を総合的に軽減することを目的とし、危険物流出リスクの低減策に、危険物流出時の氾濫域の被害軽減策を加えた、耐津波多段階防護システムの開発を試みた。まず室内実験を実施し、危険物貯蔵施設に作用する波力とその応答特性を明らかにした、さらに、防油堤の配置の違いによる津波波力への影響を検証し、防油堤の最適配置による波力低減策を検討した。また漂流物群を含む大規模氾濫場再現実験も実施し、氾濫流と漂流物の相互作用による氾濫場への影響を分析し、これらの物理現象を考慮した高精度数値再現モデルの構築を試みた。最後に、構築したモデルを名古屋市沿岸域における氾濫解析に実施し、漂流物の集積、火災のリスクを考慮した減災策の検討を行い、これらの多段階防護システムの効果を検証するとともに実現にむけた課題を分析した。

キーワード： 氾濫、危険物貯蔵施設、漂流物、津波、波力、防油堤

1. はじめに

港湾区域には、石油タンクや化学物質貯蔵庫など危険物が多数存在し、その多くは海岸堤防や胸壁の外に位置するため、頻度の高い比較的小規模な津波に対しても氾濫流に晒される可能性がある。これらの危険施設の転倒、破壊、漂流は深刻な二次災害を引き起こすリスクがあるため、その防護は喫緊の課題である。

東日本大震災を含む過去の氾濫浸水被害では、微地形や周辺建造物等の影響によって、同じ氾濫域でも深刻な破壊を免れた建造物等が局所的に存在する事例が多く見られた。本研究ではこのような被害の局所性に着目し、堤防などの防護構造物を最適配置することにより、危険物周辺での流体力や浸水深を局所的に低減し、さらに津波の規模に応じた漂流物の制御や排水機能の促進など、多段階な減災機能を有する耐津波防護システムの構築を試みる。

2. 研究の概要

以上の背景、研究目的を鑑み、本研究では危険物貯蔵施設に作用する氾濫流による外力の特性および、防油堤等を用いた外力の低減策、さらに、危険物流出時の火災被害の増大に特に影響が大きいと考えられる漂流物の集積特性と軽減策の大きく3つに分け、研究を実施した。以下にそれぞれの研究成果の概要を紹介する。

3. 危険物貯蔵施設に作用する外力

1) 越流が生じない場合に構造物に作用するサージ力

背景

陸上を遡上する津波が構造物に及ぼす水平力は

その作用形態から、津波の先端が構造物に衝突することで発生する津波サージ力と流れが準定常状態に達することで発生する流体力に大別される¹⁾。サージの衝突によるサージ力は特に力が大きいと考えられて研究がなされており、米国FEMAP646²⁾では通常の流体力の1.5倍の力、日本の津波避難ビル等に係る防災ガイドライン³⁾では浸水深の3倍の静水圧が作用すると考えた力で評価することが推奨されている。しかし、これら評価式の根拠となっている実験等は、有限幅の構造物に作用する陸上遡上津波のサージ力を評価するには必ずしも妥当ではない^{4),5)}。また、サージ力そのものの性質に関しても未知な点が多く、その衝撃性が先端勾配と相関があることが既往研究で指摘されているが、具体的にどのような場合に衝撃的な最大値が発生するかなどは未だ解明されていない。

目的

陸上を遡上する津波サージが構造物を越流しない場合に、基本的な構造物である有限幅の壁に及ぼすサージ力 F_s はサージ係数 C_s を用いて次式で表される¹⁾。

$$F_s = C_s \frac{1}{2} \rho v^2 B h \quad (1)$$

$$C_s = C_s^{2D} (\tan \theta, \text{Re}, \text{Fr}) R_B (h/B)$$

ここで、 ρ は密度、 v は流速、 h は浸水深、 B は構造物の幅、 $\tan \theta$ はサージの表面勾配、 Re はレイノルズ数、 Fr はフルード数である。サージ係数 C_s は無限幅の壁におけるサージ係数 C_s^{2D} と壁が有限幅であることに対する低減係数 R_B の積で表すことができる。ゲート急開法に基づく水理実験及び数値流体解析を通して上式のサージ係数 C_s の影響因子を評価し、影響度を明らかにする。

¹ 国立大学法人 東京大学大学院工学系研究科

² 国立大学法人 東京大学生産技術研究所

方法

水理実験にはオリフィス付貯水型水路を用いる。装置の寸法を記した平面図及び断面図を図. 1 に示す。高置水槽及び水路(幅 0.5m) からなる装置は木製のコンクリートパネルから作成され、角型鋼管及び山形鋼からなる架台の上に設置されている。高置水槽に貯水し、オリフィスを塞いでいる鋼板を手動により上へ引き上げることで、水路にサージを起す。本研究では完全に乾いた床面(dry bed)上のサージによるサージ力を対象としているため、サージを発生させる直前に水路下面の水を完全に拭き取る。水路を流れるサージ特性は高置水槽の貯水水頭 H によって決定され、200, 250, 300, 400mm と 4 段階に変化させる。

サージ力を計測する対象の壁の構造模型として、幅 50mm 高さ 200mm (B50)、幅 100mm 高さ 200mm (B100) の 2 枚の鋼板(板厚 2.3mm)、B100 の板の両側に木壁(198mm)を配置し、水路幅を占有する無限幅の壁に作用する単位幅当たりのサージ力を計測する B500 の計 3 種を用いる。鋼板に作用する力は、図. 2 に示すように、鋼板背面にねじで取り付けた 2 台の引張圧縮荷重計で計測する。無限幅の板を模している B500 の実験から C_s^{2D} に関する影響因子を、有限幅の板を模す B100 と B50 の実験と B500 の比較から低減係数 R_B の受圧面アスペクト比 h/B の影響を調べる。

数値解析において(1)式の影響因子のサージ係数への影響度を調べるために、浸水深の時刻歴形状に基づいて図. 3 のように水平方向に一定速度で移動する先端勾配 θ を有する台形状の水塊としてモデル化する^{1),7)}。粘性力や重力が与える影響が小さいと考え、粘性係数及び重力 0 としたシミュレー

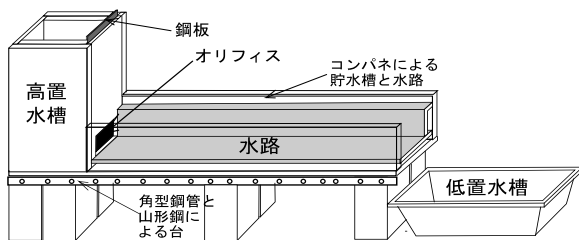


図. 1 オリフィス付貯水型水路

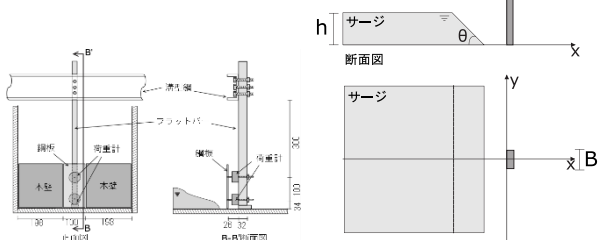


図. 2 荷重計測装置

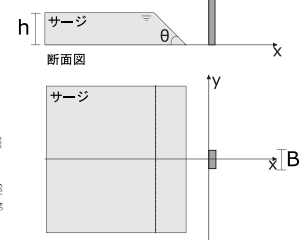


図. 3 数値解析上のモデル

ションを行う。数値計算には有限体積法プログラム OpenFOAM[®]及び東京大学 FX10 スーパーコンピュータシステムを用いる。

結果

B500 の実験から得られた C_s^{2D} とサージ勾配の関係及び B100 と B50 の実験との比較から得られた低減係数 R_B と受圧面アスペクト比の関係を図. 4, 5 に示す。サージ勾配が大きくなり、サージが切り立った形状になるほどサージ係数が大きくなり、受圧面アスペクト比が大きくサージの浸水深にくらべて構造物幅が小さいほど低減係数が小さくなることが読み取れる。また数値解析から得られた結果も実験と同じ傾向を示し、解析結果から得た近似式が実線で示されている。近似式を用いてサージ係数を計算し、幅 100 の板に作用するサージ力(B100 の実験結果に対応)を計算した結果を図. 6 に示す。提案手法を用いることで、比較的良好に実験によるサージ力が予測されている。

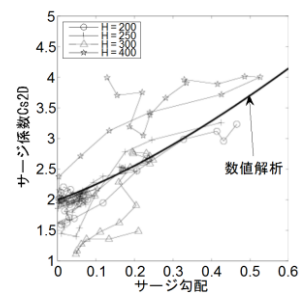


図. 4 C_s^{2D} とサージ勾配の関係

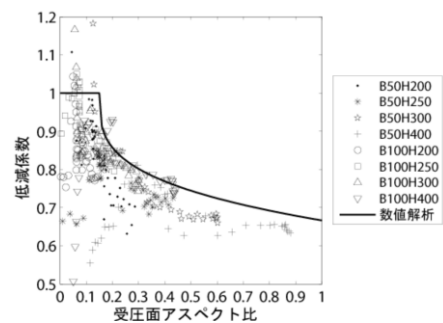


図. 5 低減係数 R_B とアスペクト比の関係

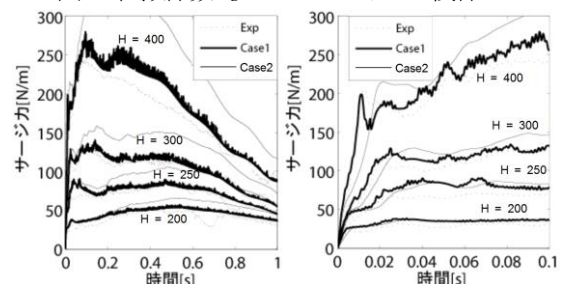


図. 6 予測式と実験によるサージ力の比較
(Case1: 提案手法, Case2: $C_s^{2D}=2, R_B=1$ で固定)
(左図: 0~1 秒間, 右図: 0~0.1 秒間)

結論

実験及び解析より、次の点が明らかにされた。

1. 無限幅の壁に作用するサージ力のサージ係数は、浸水深及び流速から求めたサージ形状の勾配と正の相関を示し、勾配の増大とともに大きくなる。また、本研究が対象とする高いフルード数、レイノルズ数ではこれらのパラメーターのサージ係数への影響度が小さい。

2. 低減係数は、受圧面のアスペクト比（浸水深と構造物の幅の比）と負の相関を示し、アスペクト比が大きいほどサージ力は低減される。

3. 重力及び水の粘性の影響を無視し、サージを一定速度で床面上を滑るように並進運動する台形水塊とモデル化し、この水塊が有限壁に衝突する数値モデルの数値流体解析から得られたサージ係数とサージ形状勾配・受圧面のアスペクト比の関係は概ね実験の傾向を捉えている。

4. 数値モデルから得られた解析結果を元にしたサージ係数の予測式によるサージ力の時刻歴の算定結果は、サージ衝突直後の素早い力の立ち上がり挙動、サージ力の過大な評価を防げることができた。

2) サージ力を受ける構造物の弾性応答

背景

津波サージ力はサージ衝突直後の短い時間に発生するため、地震力や風力と同様に動的に作用し、構造物の安全性や耐力を正確に評価するためには、力の時刻歴性状や構造物の動的特性を考慮する必要がある。また、水中で振動する構造物には、周囲の流れ場との相互作用により、付加的な慣性力、減衰力、復元力が生じ、その影響も加味する必要がある。風力の元となる空気密度は建築物などの構造物の単位体積当たりの質量の約 1/300 倍であり、空気密度の約 1000 倍の密度を有する水は結果として建築物の単位体積当たりの質量の約 3.3 倍となる⁸⁾。従って、船体などの海洋構造物⁹⁾の場合と同様に、付加される力は風力以上に重要となる。

目的

陸上を遡上する津波が構造物に衝突する際の弾性応答に及ぼす津波サージ力・構造物の動特性や付加的な力の影響を、水理実験によって明らかにする。構造物は等価 1 自由度系に置換可能な、弾性支持された有限幅の壁を選択し、津波の越流が生じない条件のもとで実験を行う。等価 1 自由度系の支配方程式は次の通りである。

$$(m + m_a)\ddot{u} + (c + c_a)\dot{u} + ku = F_s \quad (2)$$

ここで、 m は質量、 c は減衰係数、 k は剛性、 u は変位、 F_s はサージ力である。また、 m_a は付加慣性力による付加質量¹⁰⁾、 c_a は付加減衰力による水力

減衰係数で、サージが構造物の一部を取り囲むことで生じる。実験結果より、付加慣性力や付加減衰力のモデルを導き、これらを取り入れた時刻歴応答解析を行い、その予測精度の検討を行う。

方法

オリフィス付貯水型水路（図 1 参照）を用い、高置水槽と水路を隔てる止水板を急速に取り除くことで、高置水槽の貯留水を開放し、水路に津波サージを発生させる。構造物はオリフィスから 960mm の位置に設置し、構造物への入力であるサージ力、構造物の応答である層せん断力 Q 、サージの特性である浸水深 h や流速 v をそれぞれ計測する。高置水槽の貯水水頭 H を 200, 250, 300, 400mm と 4 段階に変化させて実験を行い、構造物へのサージ衝突時の流況を把握するために、高速度カメラ（500fps）による撮影を行った。

応答を計測する対象構造物は図 7 に示す有限幅の壁体を模した板である。板は幅 50mm、高さ 200mm、幅 100mm 高さ 200mm の 2 種類を用いる。板と 3 分力計はネジ棒を介して力が伝達され、3 分力計はフラットバーを介して水路幅方向に渡した角形鋼管にボルトで固定する。サージ力を受ける板、ネジ棒、3 分力計を等価 1 自由度系と見做し、3 分力系から計測される水路方向の力を系の層せん断力 Q とする。1 自由度系の振動特性を変化させるために板の材質を木材（ファルカタ）、プラスチック（アクリル樹脂）、鋼（SS400）の 3 種類、板幅 50mm、100mm を 2 種類選択し、表 1 に示す計 6 つの板の応答を計測する。表中には基本振動数 f_0 、剛性 k 、質量 m_0 が示してある。いずれの板の場合も振動モードは板頂部稜線を中心として板が回転運動する 1 次モードである。

(2) 式中の付加質量 m_a や水力減衰係数 c_a はサージの密度 ρ 、浸水深 h 、流速 v や、構造物特性である幅 B などに依存することが予想される¹¹⁾。サージ作用時における付加質量や水力減衰係数の影響因子を導くため、滞留水中に設置（一定浸水深の滞留水にひたす）した時の影響も調べる。

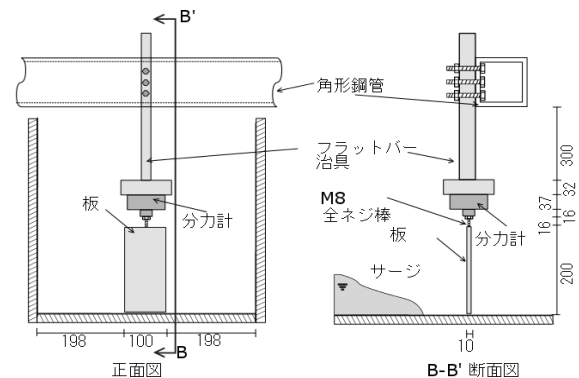


図 7 応答計測システム

結果

滞留水設置時の浸水深と付加質量 m_a 及び減衰係数 $c_0 + c_a$ の関係を図. 8 に示す。浸水深の増加とともに付加質量及び減衰係数が増加し、結果として構造物の固有周期が長くなる。図. 8 左中には振動モード及び自由水面効果による効果を考慮して導き出した付加質量の予測式が示されている。

サージ作用時のサージ力、浸水深、層せん断力応答 Q 及び構造物の振動による高周波応答成分 Q_H 時刻歴を図. 9 左に示す。 Q_H を分析することによって得られる固有周期及び減衰定数の変化が図. 9 右に示されており、浸水深の増加に伴った固有周期の増加及び減衰が見られる。幅 100 の構造物 3 種に対して、各初期水頭のサージが作用するときの浸水深と付加質量 m_a 、減衰係数 $c_0 + c_a$ の関係を図. 10 に示す。サージ作用時は板の片面のみが浸水状態にある点で滞留水時と異なるが、浸水深と付加質量が正の相関を有する点では変わらない。図. 10 左には、データの近似式及び滞留水中の質量係数予測式を補正した式を示す。両者はおおよそ同じ傾向を示す。図. 10 右の減衰係数も浸水深に対して正の相関を示し、図中に空气中を振動する構造物が受ける空力減衰力の式を水力減衰に適用した場合の減衰係数を示す^{8), 11)}。水の密度、サージの流速及び浸水深、抗力係数の代わりにサージ係数を代入して用いる。実験とおおよそ同傾向である。これら付加質量、水力減衰係数のモデルを用いて、サージ力作用時の応答解析¹²⁾を行った結果を図. 11 に示す。Case1 は付加質量 0、減衰係数 0、Case2 は付加質量 0、減衰係数は空気中の値、Case3 は付加質量有り、減衰係数は空気中の値、Case4 は付加質量有り、減衰係数は水力減衰の値を用いている。提案手法である Case4 がもっとも精度よく実験を再現していることが読み取れる。

結論

1. 空気の約 1000 倍の密度を有する水による付加的な効果はサージ力作用時の短時間においてさえも、固有振動数の減少や減衰力の増加として現れる。
2. 受圧面アスペクト比に依存する境界面低減関数及び構造物のモード関数を適切に選択することで、滞留水中の付加質量の近似式を導き、サージ作用中の等価なサージ付加質量の予測式を導いた。
3. 1 層流中の空力減衰力の抗力係数の代わりに受圧面アスペクト比に依存するサージ係数を用いた減衰力モデルを用いることで、水力減衰力の傾向をおおよそ捉え、サージ付加減衰係数の予測式を得ることができた。
4. 導出したサージ付加質量及びサージ付加減衰係数のモデルを用いた等価 1 自由度系の応答解析

表. 1 試験体の特性

Name	Material	Width [mm] B	Mass [kg] M	Freq. [Hz] f_0	Stiffness [N/mm] k	Eff. mass [kg] m_0 (ratio***)
W50	Wood	50	0.0704	109	7.75	0.0164 (0.233)
W100	(Falcata)	100	0.0995	78.4	7.57	0.0312 (0.316)
P50	Plastic	50	0.145	60.7	5.10	0.0351 (0.242)
P100	(Acrylic resin)	100	0.264	46.8	6.50	0.0752 (0.285)
S50	Steel	50	0.805	36.7	18.6	0.349 (0.434)
S100	(SS400)	100	1.59	26.8	19.7	0.693 (0.436)

*Mass includes the M8 stud bolt.

**Plates are 10mm thick, except W50 and W100 which are 13mm thick.

***Ratio between effective mass m_0 and mass M

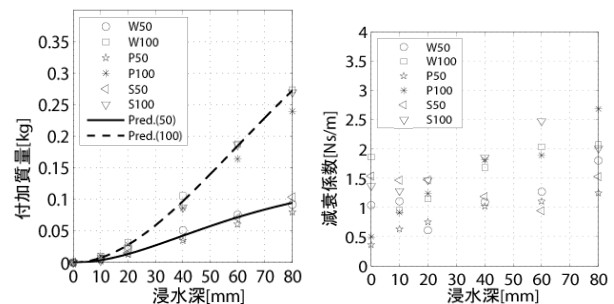


図. 8 滞留水設置時の浸水深と付加質量減衰係数の関係

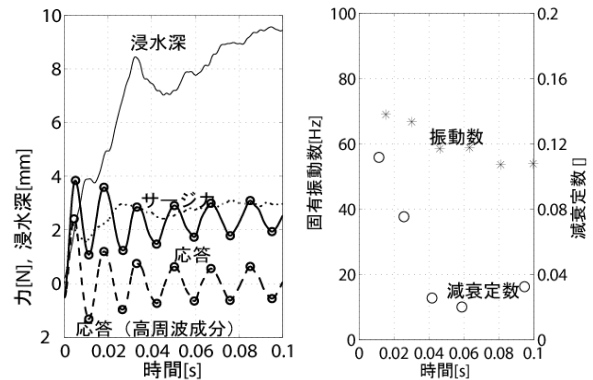


図. 9 サージを受ける構造物の各値の時刻歴

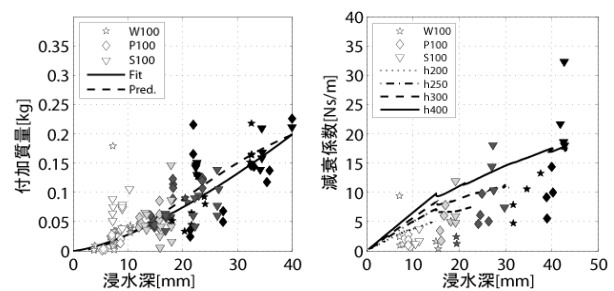


図. 10 サージ作用時(幅B100)の浸水深と付加質量及び減衰係数の関係

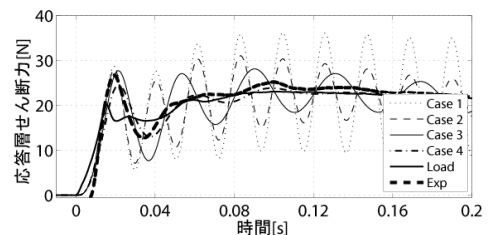


図. 11 サージ作用時の応答(板P100, 初期水頭H400)

より、実験結果の固有振動数の増加傾向を再現でき、一部の実験で減衰力を過大評価しながらも、振動する応答の振幅の大きさをおおむね評価できた。

4. 防油堤による対策工の検討

消防庁の「危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書」¹³⁾において「対策検討のフロー」が示されており、その中でまず防油堤構造強化の検討が提案されている。一方で、藤井ら¹⁴⁾は水理実験や貯蔵タンク津波被害シミュレーションツールの開発の中で防油堤の影響が考慮されていない。稲垣ら¹⁵⁾は防油堤を考慮した水理実験を行っているが、防油堤による貯蔵タンクに作用する津波波力の低減に着目している研究ではなく、防油堤の構造も一種類で実験が行われている。

これらを踏まえ、本節では防油堤による津波波力の低減効果に着目し、水理実験を行うことで危険物貯蔵タンクに作用する津波波力の低減に対して効果の高い防油堤構造を提案する。

1) 水槽実験の概要

本研究ではまず断面二次元水槽における水理実験を実施し、防油堤による貯蔵タンクへの波力の低減効果を検証した。

貯蔵タンクや防油堤、防潮堤はアクリル板を用いて模型を作った。これら模型のサイズは現地観測や文献調査により得られた情報を基とし、想定する貯蔵タンクは高さ 18m、直径 27m、容量は 10,300kL とした。この容量は、津波による被害の大きい貯蔵タンクが 10,000kL 以上のものであるという消防庁の報告書¹⁶⁾から判断した。防油堤の諸元については、その容量がタンク容量の 1.1 倍以上にするという規定と現地調査により得られた情報^{17), 18), 19)}に基づき、幅 0.4m、高さ 2.8m、長さを 64m とした。防潮堤についても同様に、幅 1.0m、高さ 2.0m、長さは無限長(断面二次元水槽の幅に

等しい)とした。これら構造物の大きさと断面二次元水槽の大きさを勘案し、実験スケールは 1/200 とした。相似則はフルード則に従うものと仮定した。

断面二次元水槽内には空圧式のコンプレッサを動力として鉛直方向に開閉する仕切板を導入し、その仕切板を閉めることによってゲート前後での水位差を与え、その状態で仕切板を瞬時に開けることにより段波を発生させた。図. 12 に実験施設の概要を示す。水槽岸側に作成した標高 36cm の水平床上には防潮堤、防油堤、貯蔵タンクが設置した。断面二次元水槽に固定した三方向分力計をタンク上部に固定することにより、貯蔵タンク模型に作用する津波波力を分力計で直接計測した。この波がタンクに当たる様子はハイスピードカメラにより 1/120 秒ごとに撮影されており、これら画像はタンク周囲の水位解析に用いた。

2) 実験条件

津波波力の低減に関して、防潮堤と防油堤との距離や防油堤自体の構造の違いにより低減効果が異なると考えられる。そのため二つの異なる実験(実験 1 および 2)を行い、これら違いが津波波力低減効果に与える影響を検証した。

実験 1 では、防潮堤が地震動による被害を受けておらず防潮堤としての機能が残っているものと仮定し、防潮堤と防油堤との距離の違いが貯蔵タンクに作用する津波波力の低減に与える影響を考察した。防潮堤と防油堤前面との距離は図. 13 のように 20, 60, 100mm の三パターン(以降それぞれ D02, D06, D10 と呼ぶ)で実施した。これに加えて防潮堤がない場合も検証した。

実験 2 では、防潮堤が地震動により被害を受けて機能せず、津波が直接防油堤に作用すると仮定した。この時の防油堤自体の構造の違いによる、貯蔵タンクに作用する津波波力低減効果への影響を検証した。防油堤の構造は図. 14 のように次の五種類を考えた。(i) STA: 防油堤の配置が正方形

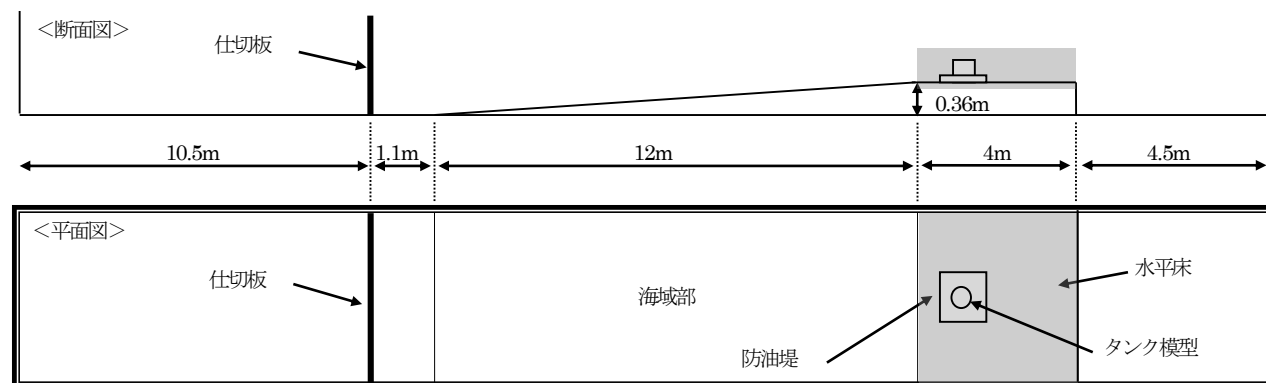


図. 12 断面二次元水槽全体のセッティング

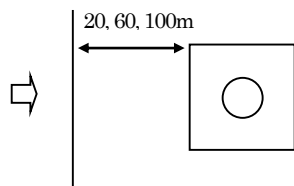


図. 13 断面二次元水槽全体のセッティング

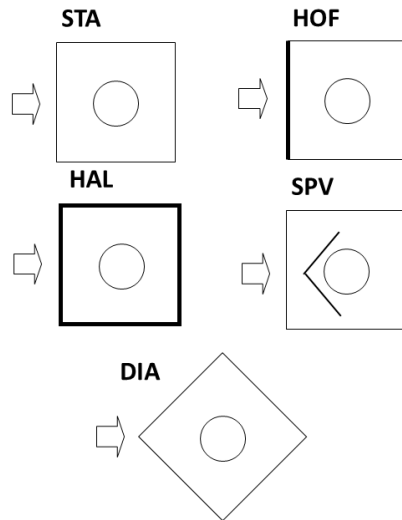


図. 14 断面二次元水槽全体のセッティング

のもの；(ii) HOF：STAの前面の防潮堤だけが1.5倍の高さになっているもの；(iii) HAL：STAの四つ全ての面の防潮堤が1.5倍の高さになっているもの；(iv) SPV：STAの防潮堤内にV字型の仕切堤を入れたもの；そして(v) DIA：STAの防潮堤群を波の侵入方向に対して45°回転させたもの。

実験で用いた津波の大きさは、名古屋湾における南海トラフ地震の予想最大津波高さが5.0mであることを参考にし、予想津波高さ以内である3.0mと、予想津波高さを越える6.7m(ともに現地スケール)の2ケースで行った。

3) 実験結果

防潮堤と防潮堤との距離が貯蔵タンクに作用する津波波力に与える影響を検証した実験1における水平方向および鉛直方向の津波波力の測定結果を図. 15に示した。

水平方向の波力に関しては、津波の大きさに関わらず防潮堤と防潮堤との距離が大きくなるほど波力の低減効果が見られた。また防潮堤と防潮堤との距離が最も短かったD02では防潮堤を設置しなかったSTAとほぼ変わらない、あるいは津波高さを6.7mとした条件では逆に波力を増大させる傾向が見られた。一方、鉛直方向の応力(浮力)に着目すると、水平波力に比べて防潮堤と防潮堤との距

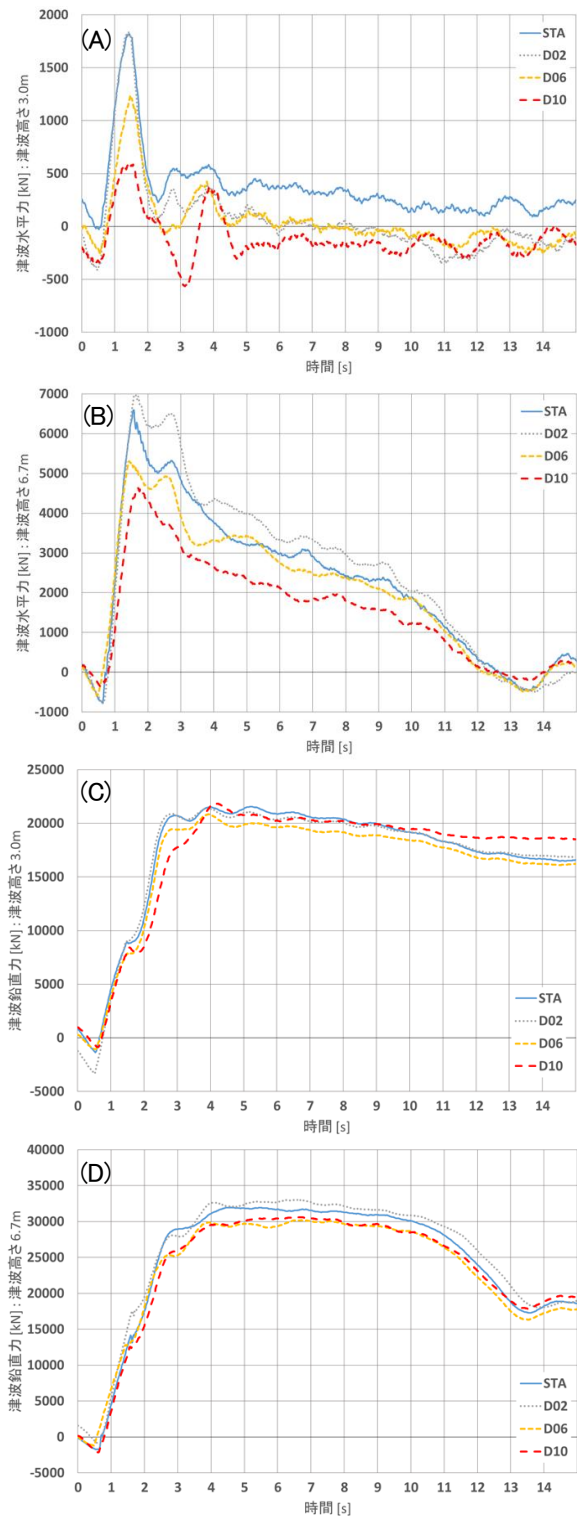


図. 15 実験 1 における貯蔵タンクに作用した水平(A&B)・鉛直(C&D)方向応力。(津波高 3.0m(A&C), 6.7m(B&D))
離による顕著な違いはみられなかった。

次に実験2について、実験2での津波高さ3.0mのときの貯蔵タンクに作用した水平方向、鉛直方向の津波波力の時間波形の測定結果を図. 16に示す。津波高さが3.0mのときには水平方向の力、鉛直方向の力ともに防潮堤の前面が高い場合(HOF)

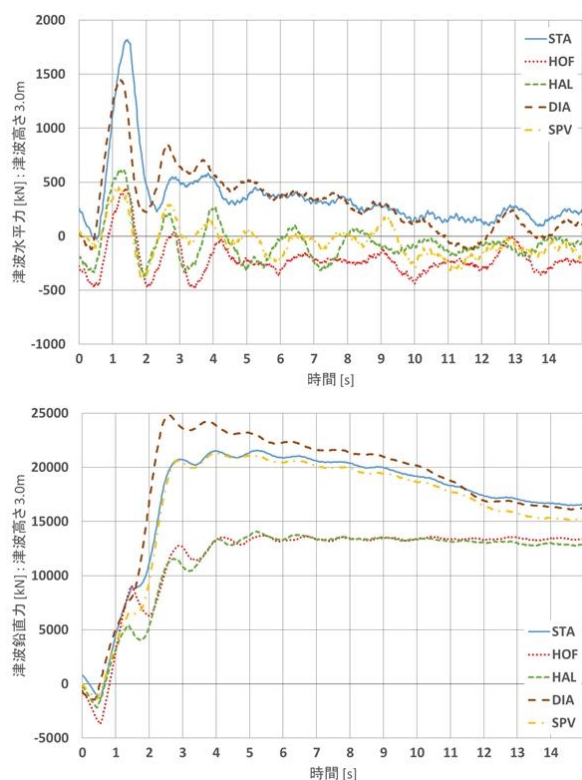


図.16 実験 2 における貯蔵タンクに作用した水平(上)・鉛直(下)方向応力。(津波高3.0m)

と、防潮堤の全ての面が高い場合(HAL)において大きな津波波力低減効果が見られた。防油堤内に仕切堤を入れたSPVにおいても、標準のSTAと比べて津波波力がやや低減されていることがわかる。一方で来襲波の方向を45度回転させたDIAでは、水平波力ではSTAと同程度であったものの、鉛直方向応力ではSTAよりも有意に高くなった。

次に、津波高さを6.7mとした場合における水平方向および鉛直方向の応力の時間波形を図.17に示した。津波高さを高くした図.17の方が、防油堤の配置条件による違いがより明確に現れており、水平方向の波力に関しては、HAL, HOF, SPV, STA, そしてDIAの順番に波力が大きくなった。その一方で、鉛直方向の力に関しては、HOF, SPV, STA, DIA, HALの順に値が大きくなった。津波高さが6.7mの場合には水平方向と鉛直方向の力の大きさの低減程度が異なっており、津波波力の低減に対して一概に効果的であるかを判断するのが難しい。そこで二つの指標を用いて各配置の優劣の比較を試みた。

一つ目の指標は貯蔵タンク浮き上がりに関するもので、水中重量に等しい値とする。すなわち、貯蔵タンクの自重に内容物の重さを加えたものからタンクに作用する鉛直方向上向き正の力を引いた値を最初の指標として用いた。この指標が正の値をとる場合にはタンクが浮き上がらないことを

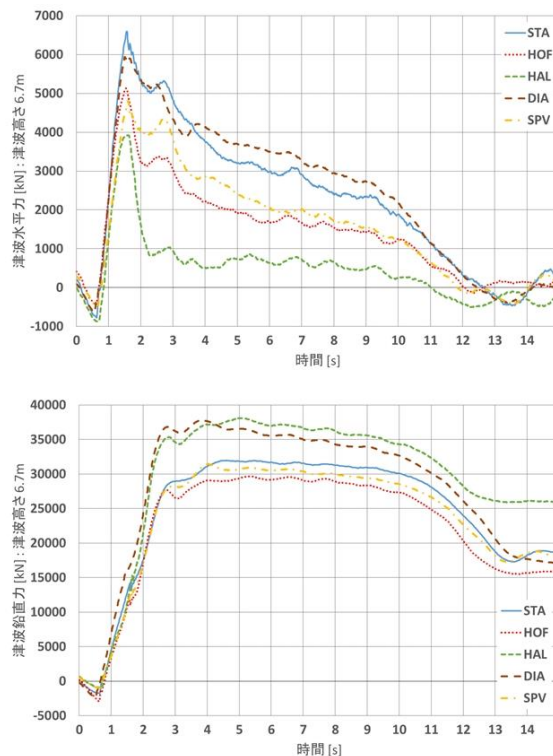


図.17 実験 2 における貯蔵タンクに作用した水平(上)・鉛直(下)方向応力。(津波高6.7m)

表す。二つ目の指標は滑動に関するもので、タンクに作用する水平方向津波進行方向正の力(絶対値)を水中重量で割った値である。この値が屋外貯蔵タンクの設計で標準的に用いられる静止摩擦係数の0.5から0.7より小さければ滑動しないことを表す。タンクの自重は消防庁が提供する「屋外貯蔵タンク津波被害シミュレーションツール」により算出された値2424kNを、貯蔵タンク内容物は重油と仮定し、その一般的な比重である0.87を用いた。

実験2における防油堤の異なる配置に設定したそれぞれのケースに対するこれら二つの指標の時間変化を図.18および図.19に示した。各パターンの違いがよくわかるように、津波高さ3mの場合には貯蔵率を22%に、津波高さ6.7mのものには貯蔵率を35%にそれぞれ設定した。貯蔵率とともに浮き上がり指標、すなわち水中重量の値は増加し、滑動指標の値は減少するが、貯蔵率の変化は防油堤の配置を変えた各ケースにおける指標の相対的な大小関係には影響しない。

図に見られる様に、津波高さが3.0mのときにはHOFと、HALで最も水中重量が大きくなり、また、滑動のリスクも小さくなった。また、防油堤内に仕切堤を入れたSPVでも、標準ケースのSTAに比べて滑動しにくいことが分かる。

一方で津波高さが6.7mの場合には、HOFは他の

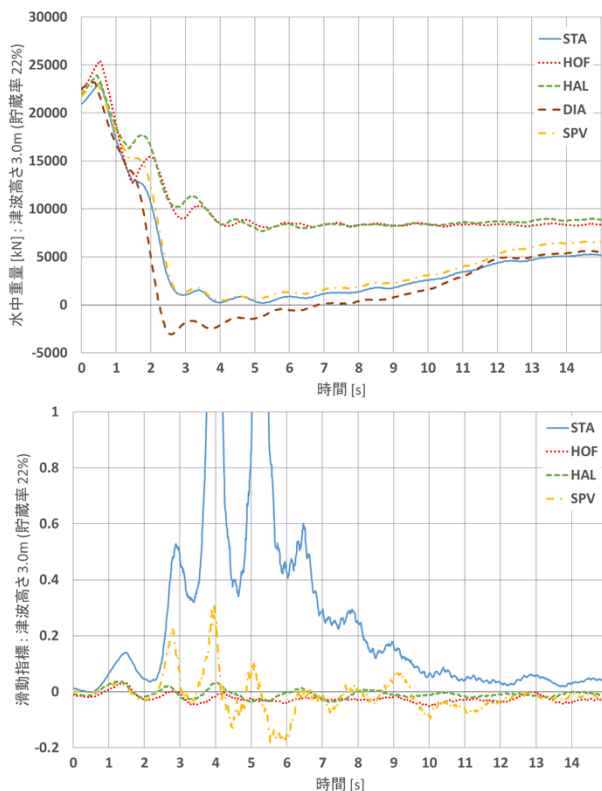


図18 浮上り・滑動に関する指標の時間変形(津波高3.0m)

ケースに比べて相対的に浮き上がりにくくまた滑動しにくい結果を得たが、全ての面の防油堤を高くした HAL では他のケースと比べて最も浮き上がりやすい結果となった。また津波高を 3.0m とした場合と同様に、中仕切り堤を導入した SPV においても、STA に比べて有意に滑動リスクを低減する効果が見られた。

以上の結果から、貯蔵タンクの沖側(来襲波作用側)の防油堤の高さを高くした HOF において、浮き上がり、滑動の両面において高い津波波力の低減効果が見られた。一方で、四方全ての防油堤高さを高くした HAL では、津波高さが 3.0m のときには低減効果がみられたものの、津波高さを 6.7m としたときには逆に波力を増大させてしまうことが分かった。また防油堤の高さを変えずに仕切堤を設置した SPV においても、標準形に比べると一定の波力低減効果があり、来襲波方向に対して防油堤の配置を 45 度回転させた DIA では、津波高さに関わらず貯蔵タンクに作用する津波波力を増大させることなどがわかった。

以上の指標における安定性はいずれも水中重量に依存するため、タンク内の重油等の貯蔵率によって安定性も異なる。すなわち、以上の指標と水平応力、鉛直応力の情報を用いれば、滑動、浮き上がりの両面において安定性を保つために必要な貯蔵率を算定することができる。表.2 には、防油

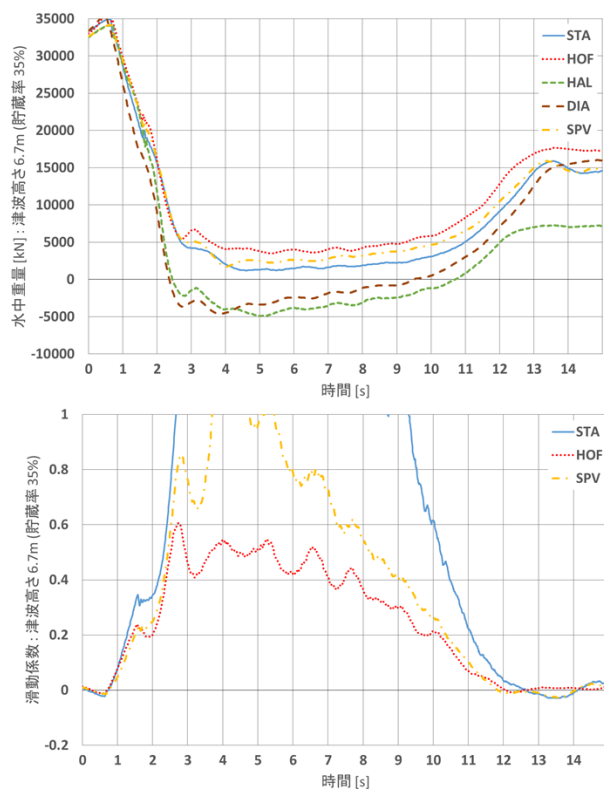


図19 浮上り・滑動に関する指標の時間変形(津波高6.7m)

表.2 浮上り、滑動に対する限界貯蔵率の比較

指標	浮上り	浮上り	滑動	滑動
津波高さ	3.0m	6.7m	3.0m	6.7m
STA	22%	34%	23%	39%
D02	22%	35%	23%	42%
D06	21%	32%	22%	37%
D10	22%	32%	23%	36%
HOF	13%	32%	14%	34%
HAL	14%	41%	14%	42%
DIA	26%	41%	27%	47%
SPV	22%	33%	22%	38%

堤の配置を変えた各ケースにおいて浮き上がり、滑動指標が限界に到達する「限界貯蔵率」を整理した。タンク貯蔵率がこの表の値よりも高い場合には浮き上がらない、あるいは滑動しないことを意味している。すなわち、この限界貯蔵率が低いほど、滑動および浮き上がりのリスクが小さく安定性が高いことになる。表より津波高さに関わらず、HOF が最も安定性が高く、DIA が低いことが分かった。特に湾内においては津波の来襲方向も限定されるため、来襲方向に正対する様に防油堤の配置することが、津波に対する波力の低減効果という観点では重要であることが分かった。

5. 漂流物の氾濫特性

危険物の流出と大量の漂流物群の集積は、火災リスクの増大や避難の阻害などの直接的な被害を及ぼすだけでなく、氾濫時の浸水深や排水特性にも影響を及ぼすことが推察される。しかしながら、集積する漂流物群と氾濫流場との相互作用を考慮した、氾濫場の特性に関する研究例は比較的少ない。たとえば松富²⁰⁾は、漂流物群を仮想の流体として扱うことにより、漂流物群の挙動や氾濫流との相互作用を考慮するモデルを提案し、室内実験との比較を通じて妥当性を検証している。しかしながら、漂流物の衝突を伴う集積、散逸、漂着などの挙動や、それに伴う氾濫流場への影響の評価については明らかになっていない。一方、後藤²¹⁾は流体力をモリソン式で与えた運動方程式を個々の漂流物に適用し、その挙動の再現を試みている。同様の手法は漂流物の回転や底面摩擦等の影響を考慮するなどの改良が加えられ、広く用いられているが(例えば菅²²⁾、野島²³⁾)、漂流物群と流体との相互作用による影響については考慮されていない。

そこで本節では、漂流物群と氾濫流の相互干涉による影響に焦点をあて、室内実験および数値モデルを通じてその特性の分析を試みる。

1) 水槽実験の概要

本研究で実施した室内実験の概要を図. 20 に示す。図に示した断面水槽は幅 60cm で水槽左端から 10m の位置にダムブレイク式の開閉ゲートを設置している。本論文では、ゲートからの距離を x (m) として定義し、 $x=4$ m から斜面を設置し、斜面上には立方体の木片をランダムに配置した。斜面勾配は模型の都合で場所によってわずかに変化し、その標高は $x=6.3$ m で 10cm、9m で 19cm、12m で 29cm である。以上の条件に加えて、ゲートの沖側の水位 h_1 や、木片の配置、斜面粗度を変えながら、ゲートを鉛直方向に引き上げて段波を発生させる実験を行った。コンプレッサを用いたゲートの引き上げ速度は 35cm/s であり、後述する数値モデルでも同じ条件を用いた。実験ケースを表. 3 に整理する。ここで漂流物群として用いた 850 個の木片は全て一辺 1.8cm の立方体で、比重は水に浸した状態で 0.6 であった。木片群は設置範囲内にランダム

に敷き詰め、複数回の実験において木片や氾濫流の挙動に再現性があることを確かめた。またケース 1-4 では、 $8\text{m} < x < 10\text{m}$ の範囲に、人工芝マットを敷き底面粗度を大きくした。

またこれらの実験では、水を青く着色した状態で実施し、水槽側面に 4 台、上部に 2 台設置したビデオカメラを用いて、木片および氾濫流の挙動を同期撮影した。撮影した画像および、画像中の基準点に基づき、水槽側面および一様斜面上で座標変換した画像の例を図. 21 に示す。水槽側面で撮影した画像については、図. 21(c) に示すように水面位置を抽出し、時々刻々の水面分布を $6\text{m} < x < 10\text{m}$ の範囲で抽出した。座標変換や水面位置の抽出には田島^{24), 25)}の手法を用いた。

また図. 22 には、二つのビデオカメラによって撮影した画像を一様斜面上で座標変換し、接続して得られた $6\text{m} < x < 10\text{m}$ の範囲の時々刻々のスナップショットのうち、段波が木片群に到達した時間から、0, 2, 4, 6, 14 秒後のものを並べて示した。図は表. 3 に示したケース 1-2 における画像である。

表. 3 実験条件

case	h1(cm)	h2(cm)	木片(850個)	人工芝マット
1-1	20	10	なし	なし
1-2			$6.3\text{m} < x < 7.1\text{m}$	
1-3			$6.6\text{m} < x < 7.7\text{m}$	
1-4			$6.3\text{m} < x < 7.1\text{m}$	
2-1	30		なし	なし
2-2			$6.3\text{m} < x < 7.1\text{m}$	

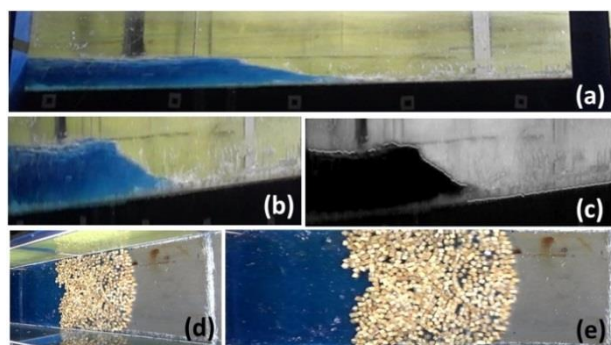


図. 21 (a) 水槽側面上で座標変換した画像の例、(b) および (c) 水面位置の自動抽出例、(d) 水槽上部からの撮影画像例と (e) 底面上での座標変換画像の例

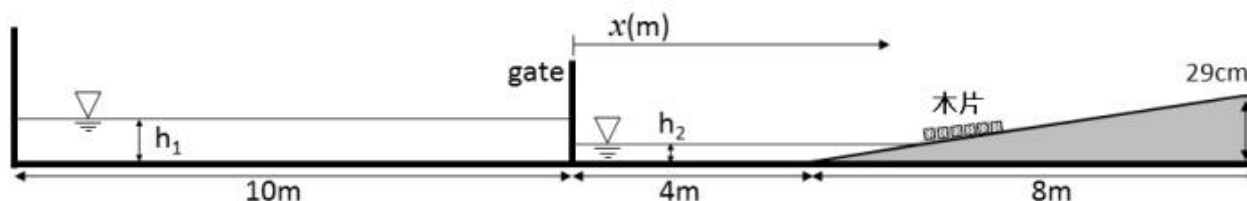


図. 20 断面二次元水槽における実験の概要

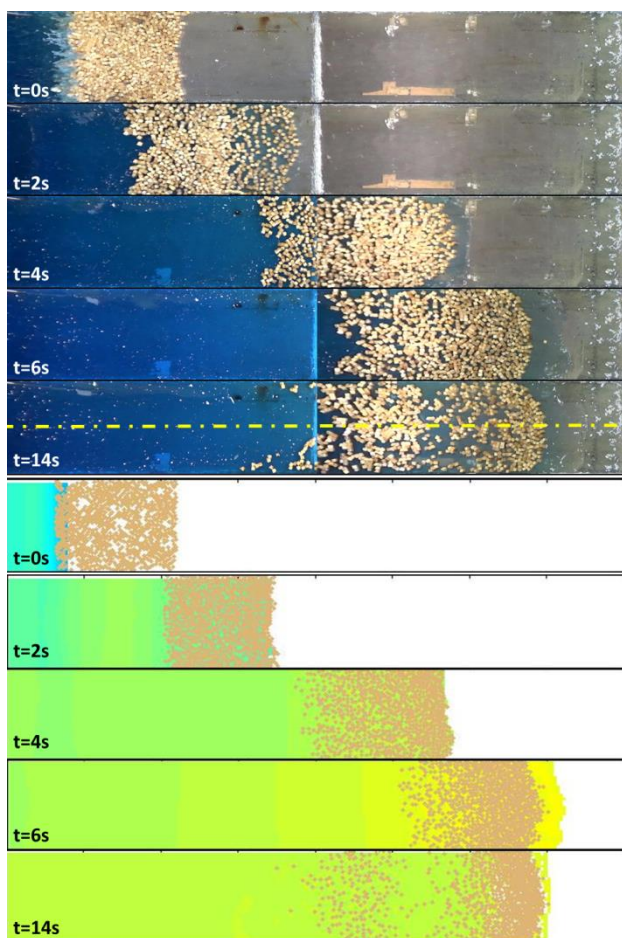


図. 22 座標変換画像(6m < x < 10m)による木片の移動状況(上5段)および数値モデルによる再現計算例(下5段)

また図. 22 には、同時刻における後述する数値モデルによる計算結果も示している。

次に、実験ケース 1-1～1-4 における木片群の挙動の違いを俯瞰するため、図. 22 の $t = 14$ 秒の画像に示した破線上の画素列を抜き出し、25 秒間の静止画像群から同様に抽出した画素列を横に配列することによって木片群の挙動の時空間変化を示す画像を作成した(図. 23)。図. 23 は横軸右方向に時間経過を表わし、左端が段波が木片群に到達する 0.3 秒前、右端がその 25 秒後である。縦軸方向は上向きが、図. 20 に示した x 座標の正方向(岸向き)で、下端が $x=6\text{m}$ 、上端が $x=10\text{m}$ である。図では、白い木片群に加え、やや色が薄いものの、氾濫流の遡上端が移動する様子も判別できる。

図. 23 (a)～(d) はそれぞれケース 1-1～1-4 に対する画像である。これらの比較より、たとえば木片を用いなかったケース 1-1 では、遡上端が他のケースよりも岸向きに大きく到達している様子が分かる。また、同数(850 個)の木片を異なる密度で配置した 1-2 と 1-3 の比較では、木片の配置や密度がその挙動に有意な影響を与えること、さらに

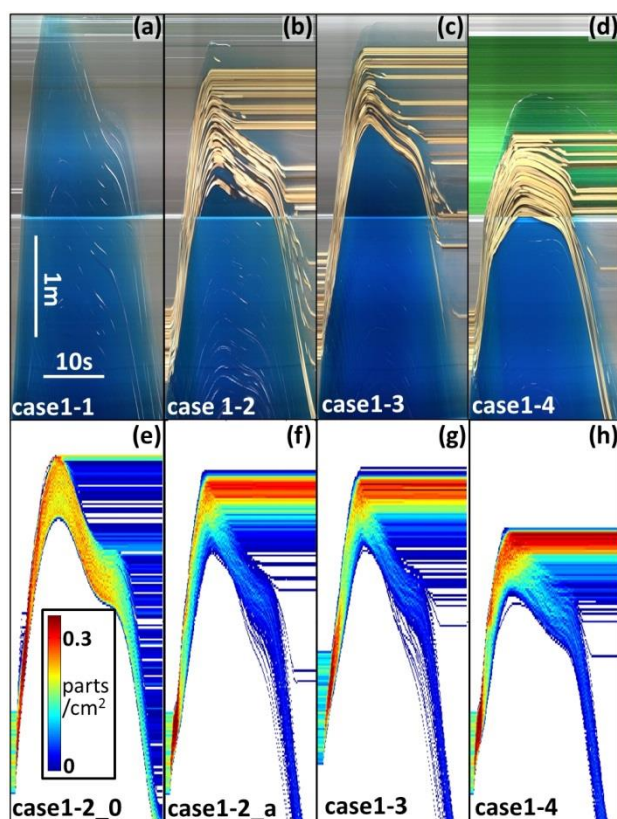


図. 23 座標変換画像の水槽中心線(図-3 破線)に沿った画素列の時間変化(上段)と、数値計算結果における岸沖方向の木片密度分布の時間変化

底面粗度を大きくした 1-4 では、木片群の移動距離および氾濫流の遡上端ともに大きく減少しており、底面の粗度が大きな影響を及ぼしていることが分かる。

2) 数値再現モデルの構築

モデルは、段波の伝播および遡上を再現する流体モデルと、流体による個々の木片群の挙動を再現する木片運動モデルに大別され、両者による影響を相互に考慮する。

まず木片の運動については、後藤²¹⁾と同様に個別要素法を用い、個々の木片に対して以下の運動方程式を解くことにより、木片群の水平方向移動速度ベクトル $\mathbf{u}_d$ を算定する。

$$s\rho V_d \frac{\partial \mathbf{u}_d}{\partial t} = \mathbf{F}_{cd} + \mathbf{F}_{cm} + \mathbf{F}_b + \mathbf{F}_k \quad (3)$$

ここで ρ は流体の密度、 s は木片の比重($=0.6$)、 V_d は木片の体積でここでは一辺長さ l ($=1.8\text{cm}$) の立方体を用いているため $V_d = l^3$ である。左辺の 4 つの項は順に流体による抗力、慣性力、底面摩擦力、漂流物群の衝突による斥力であり、抗力および慣性力は次式で算定する。

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{cd} &= \frac{s\rho C_D A_w}{2} (\mathbf{U} - \mathbf{u}_d) |\mathbf{U} - \mathbf{u}_d| \\ \mathbf{F}_{cm} &= \rho V_w \left[(C_M - 1) \left(\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} - \frac{\partial \mathbf{u}_d}{\partial t} \right) + \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

ここで C_D : 抗力係数, $\mathbf{U}$: 周辺流速ベクトル, A_w : 木片没水部の流速方向への投影面積, C_M : 慣性力係数, V_w : 没水部体積である. これらの係数や投影面積 A_w は流下方向に対する木片の傾きによって変化すると想定されるが, 本研究では単純に一定値を用い, A_w は立方体の没水深 d_w と一辺の長さ l を用いて $A_w = d_w l$ とした. 同様に没水部の体積 V_w は $V_w = d_w l^2$ とした. 底面摩擦力は, 木片が接地している場合のみ作用し, 底面からの垂直抗力に木片の運動状況に応じて静止摩擦係数あるいは動摩擦係数を乗じて算定した. また, 木片どうしの衝突による斥力の算定には, 木片を球体近似したばねモデルを適用し, 周辺の木片との重心間の距離が辺の長さ l より小さいときのみ, 辺の長さ l と重心間距離の差分に比例する斥力を衝突面の法線方向に与えた. この斥力を周辺の全ての木片に対して同様に算定し, その値を成分毎に積分して斥力の合力成分を求めて $\mathbf{F}_k$ とした.

また, 水平方向の移動速度成分の算定に式(3)を用いたのに対し, 鉛直方向の移動については運動方程式は用いず, 浮力と重力, さらに木片が接地している場合には垂直抗力が瞬時に釣り合うものと仮定した. すなわち, 木片の没水深 d_w は木片周辺の氾濫水深 h あるいは浮遊時の最大没水深 $d_{\max} = l_s$ のどちらか小さい方となる.

次に, 段波の伝播および遡上の計算には, 実験で観察された段波の伝播に伴う分裂波の生成を妥当に再現するため, 後藤²⁶⁾の全水深に対する分散項を加えた非線形長波方程式を用いた. さらに, 木片の運動に伴う影響を考慮するため, 個々の木片に作用する流体力である抗力および慣性力の反作用力としての応力 $\mathbf{F}_w$ を次式で算定し, 非線形分散長波方程式に外力項として加えた.

$$\mathbf{F}_w(\mathbf{x}) = -\sum_i \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{d,i}) (\mathbf{F}_{cd,i} + \mathbf{F}_{cm,i}) \quad (5)$$

ここで δ はクロネッカーのデルタ関数で, $\mathbf{x}$ は任意の水平座標, $\mathbf{x}_{d,i}$ は木片 i の水平座標, $\mathbf{F}_{cd,i}$ および $\mathbf{F}_{cm,i}$ は木片 i に作用する抗力および慣性力である. また, 木片の浮遊による静水圧の増加を考慮するため, 断面積分した非線形分散長波方程式中における圧力勾配項 $\mathbf{F}_p$ を次式で与えた.

$$\mathbf{F}_p = -g D \nabla_H (\eta + \eta_d) \quad (6)$$

ここで ∇_H は水平方向の微分演算子, D は全水深, g は重力加速度, η は水位である. さらに, η_d は

木片の浮遊に伴う静水圧の増大に相当する仮想水位であり, 木片 i の没水深 $d_{w,i}$ を用いて次式で算定した.

$$\eta_d(\mathbf{x}) = \sum_i \delta(\mathbf{x} - \mathbf{x}_{d,i}) l^2 d_{w,i} \quad (7)$$

数値モデルの時間積分には予測子・修正子法を用い, 時々刻々の水位変動およびすべての木片の速度ベクトルおよび水平位置を同時に計算し, 計算時間ステップの更新と共に木片と流体間に作用する抗力, 慣性力, 浮力およびこれらの反作用力を相互に反映させた.

3) モデルの適用

構築したモデルを, 本研究で実施した実験ケース 1-1~1-4 に適用した. 木片は表. 3 に示した範囲に乱数を用いてランダムに配置し, 木片どうしの重なりがあった場合には, 上述した斥力のみを用いて, 重なりが解消されるまで木片を予め移動させた. 図. 22 の下 5 段には, ケース 1-2 における漂流物群の挙動計算結果を示している. 図に見られる様に, モデルは $t=4s$ や $6s$ における木片群の岸沖方向への広がりをやや過小評価する傾向がみられるものの, 移動特性を妥当に再現できている. 木片の岸沖方向への広がりを過小評価した要因としては, 底面摩擦や斥力の大きさ, さらにモデルでは考慮していない水槽側面による摩擦抵抗や木片のわずかな個体差や傾きによる影響などが考えられる. このうち底面摩擦や斥力による影響については, 後述する感度分析で考察を加える.

また図. 23 の上段に示した, 水槽中央測線上 (図. 22 破線) における木片の分布の時間変化と比較するため, 図. 23 下段には, 数値計算結果による木片分布から x 軸方向の各座標に位置する木片の個数を数えて算出した木片密度 (単位面積あたりの木片個数) の時空間分布を示した. 縦軸および横軸は, 図. 23 上段の画像と同様に, それぞれ x 軸方向距離, 時間であり, 出力範囲も図. 23 上段と同じである. 図に見られる様に, モデルはケース 1-2 における木片の移動特性に加え, 1-3 では 1-2 に比べてより岸向き (図中上向き) に木片が運ばれ, かつ, 木片が集中する岸沖方向幅が狭くなっている様子や, 1-4 では人工芝を敷いた $x=10m$ を越えた領域で動・静止摩擦角をそれぞれ 20 度, 40 度から 30 度, 60 度へと増加させることで礫の岸向き移動が停滞し, より多くの木片が人工芝マット上に漂着する様子なども妥当に再現できた.

4) 考察

本節では, 木片群と氾濫流場との相互作用による影響に焦点をあて, さらなる分析・考察を行う.

4-1) 相互作用の影響

図. 23 (e) および (f) では, 同じケース 1-2 におい

て木片と氾濫流の相互作用を考慮した場合(f)としなかった場合(e)の比較をしている。相互干渉を考慮しなかった場合の氾濫流場は、漂流物のないケース 1-1 と同じであり、このときの水位や流速に対する漂流物の運動を式(1)や(2)に基づき計算した結果が図. 23(e)に示されている。図に見られる様に、相互作用を考慮しなかった場合(e)では、考慮した場合(f)に比べてわずかに岸側遠くまで木片が運ばれるものの、引き波時には木片はほとんど波打ち際に漂着せず、沖へと流されている。

この現象のメカニズムを検証するため、図. 24には木片群による影響を考慮した場合としなかった場合における水位と、両水位の差分の x 軸方向分布の時間変化を比較した。断面水槽の横断方向の水位はほぼ一様であるが、ここでは、横断方向に平均した水位の岸沖方向分布を求めて比較した。図. 23 と同様に図の縦軸は x 軸方向、横軸は時間経過を表している。図. 23 では $x=6\text{m}$ から $x=10\text{m}$ までの範囲を出力しているのに対し、図. 24 では $x=0\text{m}$ から $x=10\text{m}$ までの範囲を出力している。両ケースの水位差の時空間変化に着目すると、 $t=8\text{s}$ 程度、 $x=6\text{m}$ 付近から右斜め下に向かって、差分値が正となる赤い領域が伝播している様子が分かる。これは、木片の影響を考慮することによって水位が上昇した領域であり、木片群による段波の反射の影響を表していると考えられる。一方、遡上端部周辺では差分値が負となる青い領域が広がっている。特に遡上端がピークに達し、引き波に転じる時点において差分値が負となる領域が多くの木片が位置する先端部付近で卓越しており、この木片の影響による水位の低下が、木片の漂着を促進していることが分かる。

図. 25 にはケース 1-1 および 1-2、さらにゲート沖側の水位を 10cm 高くしたケース 2-1 および 2-2 における $x=6.2\text{m}$ 、 $x=8.2\text{m}$ 、 $x=12.2\text{m}$ における水位変動の実測値と計算値を比較した。図. 24 で見られた特徴と同様に、初期の木片群の岸側に位置する $x=6.2\text{m}$ では、木片の影響によって水位が増大しており、岸側の $x=8.2\text{m}$ では特にピーク近傍で水位が低減していることが分かる。一方、ゲート沖側の水位を $h_1=30\text{cm}$ と 10cm 高くした条件では漂流物の有無による水位の差が小さくなっており、漂流物群による氾濫場への影響は、漂流物群の密度や個数と津波の規模との相対的な関係に依存すると推察される。

4-2) 感度分析

次に、木片群による氾濫場への有意な影響が見られたケース 1-2 を対象に感度分析を行った。表. 4 に整理したように、木片群の比重や抗力係数、摩擦係数(摩擦角)、衝突ばね定数に対する感度分析

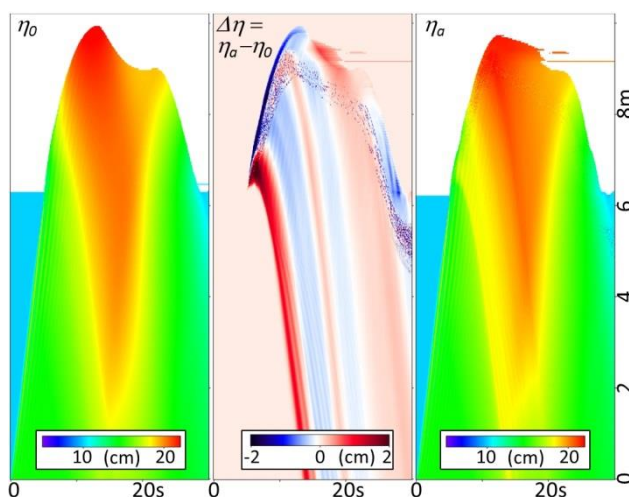


図. 24 木片群の影響を考慮した場合(右)およびしなかった場合(左)の水位と、その差分(中央)の時空間変化。縦軸は x 軸、横軸は時間

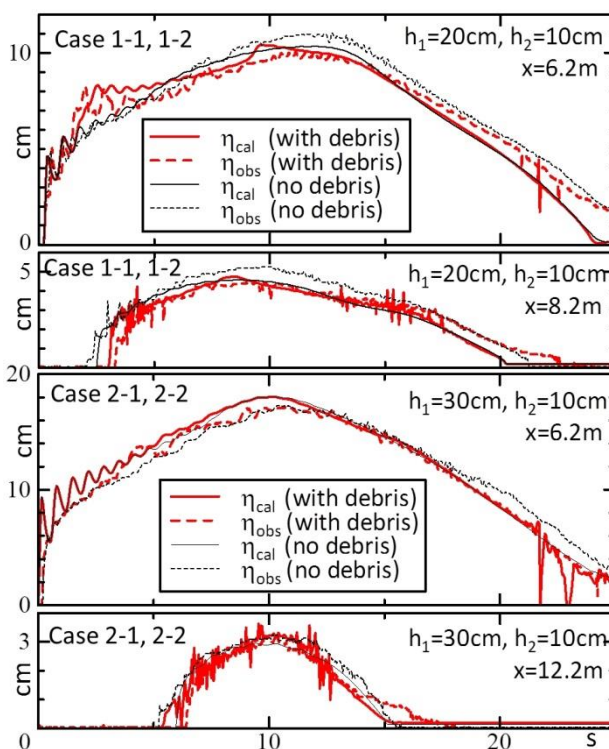


図. 25 木片群の影響の有無による水位変動の比較 (ケース 1-1, 1-2, 2-1 および 2-2)。

に加え、慣性力項の有無、木片の浮遊に伴う静水圧増加分(d)の影響についても、これらの項目を無視した条件で計算を行うことにより、その結果の比較を行った。計算結果の比較は、ここでは漂流物群の移動特性に着目して行う。図. 26 に、図. 23 と同様の木片密度の時空間分布の比較を示す。中央に基本ケース a の計算結果を示し、条件を変えた場合の計算結果をそれぞれその周辺に配置した。また図. 27 には図. 25 と同様の $x=6.2\text{m}$ および $x=8.2\text{m}$ において各ケースで計算された水位の時間

表. 4 感度分析条件

case	比重	抗力	慣性力	底面摩擦	ばね定数 (N/m)	相違点
a	$s=0.6$	$C_D=1.3$	$C_M=1.8$	$\phi_d=20^\circ, \phi_s=40^\circ$	$K=0.1$	基本ケース
b	$s=0.3$					比重減
c	$s=0.9$					比重増
d	$s=0.6$	$C_D=2.0$		$K=2.0$	抗力増	
e		$C_D=1.3$			$K=0.1$	ばね定数増
f			$\phi_d=30^\circ, \phi_s=60^\circ$			底面摩擦増
g			$\phi_d=10^\circ, \phi_s=20^\circ$			底面摩擦減
h			$\times$	慣性力無視		
i		$C_M=1.8$	$\phi_d=20^\circ, \phi_s=40^\circ$		η_d を無視	

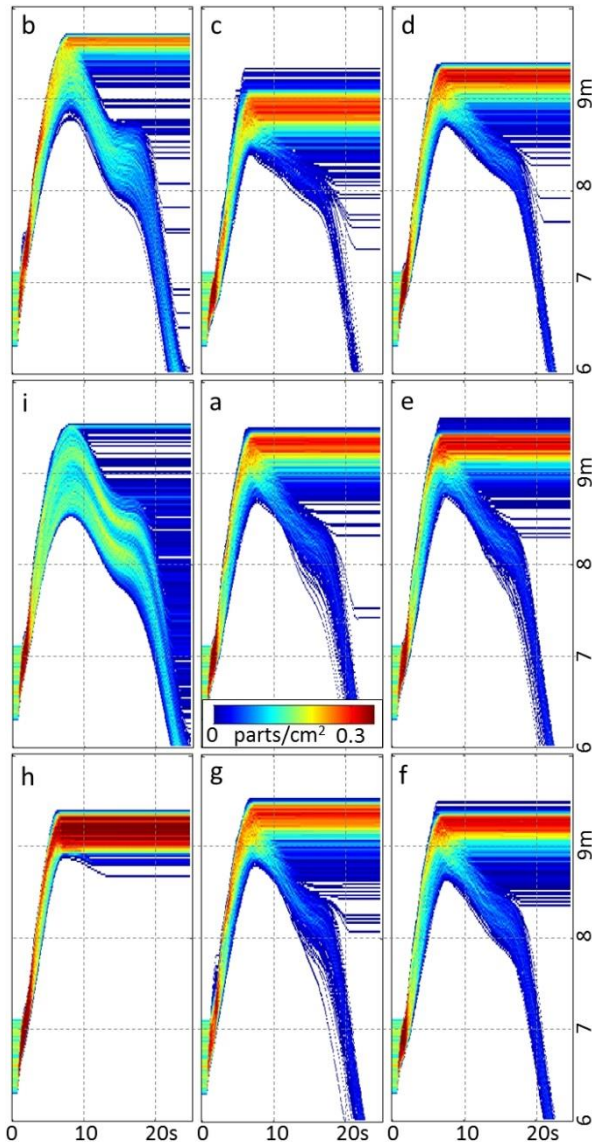


図. 26 木片群移動特性の感度分析結果

変化を比較した。

図. 26 および図. 27 の a, b および c の比較から、漂流物群の比重の違いは、氾濫場の水位や漂流物の運動に他のケースに比べて相対的に大きな影響を有しており、特に比重が大きいと沖側 ($x=6.2\text{m}$) での水位を増大させ、岸側 ($x=8.2\text{m}$) での浸水開始

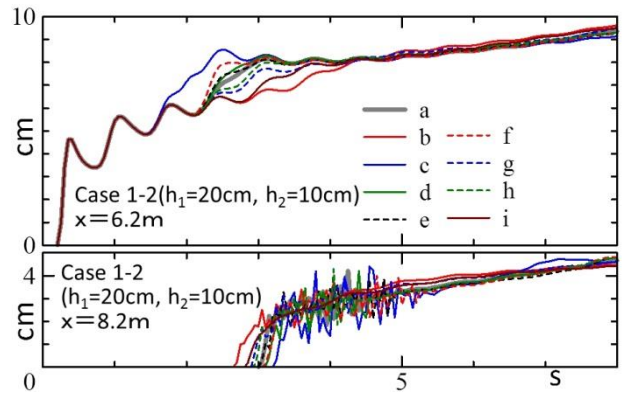


図. 27 感度分析各ケースにおける水位変動の比較

時間が遅くなっている。一方、抗力係数や衝突によるばね定数を大きくした d や e、また摩擦角を増減させた f および g では基本ケースの a との差が比較的小さく、感度がそれほど高くないことが分かる。これに対して、慣性力による影響を無視した h では、全ての木片が遡上端近傍で漂着する結果となった。これは、氾濫流が遡上のピークに到達する際に岸向きの流速が急激に減じるのに対し、慣性力を無視したケースでは漂流物の岸向き移動速度の減速が過小評価となり、結果として、引き波に追従できずに遡上端部に取り残されてしまうためであると推察される。最後に、木片の浮遊に伴う静水圧の増大を無視した i では、木片は氾濫域に漂着せず、ほぼ全ての木片が引き波とともに沖に運ばれた。これは、漂流物群の浮遊による静水圧の増大を考慮した条件では、氾濫流のエネルギーの一部が木片の浮遊に変換されるため、結果として漂流物群周辺の水位が低下するのに対し、静水圧の増大を無視したケース i では水位の低下が促進せず、遡上端近傍でも木片が浮遊したまま接地せず、引き波によって運ばれたためであると考えられる。図. 27 に示した水位変動においては、h や i はそれほど大きな変化を生じなかったことから、漂流物群と氾濫流場との相互干渉による影響は、氾濫場の水理特性だけでなく、漂流物群の集積・挙動にも大きな影響を及ぼすことが分かった。

5) まとめ

氾濫流とそれに伴う漂流物群との相互作用による影響に着目し、室内実験および数値解析を通じてその特色の分析を試みた。断面二次元水槽における実験では、段波の規模と漂流物群の個数や比重との相対的な関係により程度は異なるものの、両者の相互作用は有意な影響を及ぼすことが分かった。また両者の相互作用を考慮したモデルは、実験結果に見られた漂流物の挙動をよりよく再現し、相互作用は氾濫流場だけでなく、漂流物の挙動にも大きな影響を及ぼすことなどが明らかとな

った。以上の結果は、漂流物群の集積、散逸が氾濫場におけるハザードの不確実性や危険度の増大に有意な影響を与える可能性を示唆しており、特に漂流物の多い沿岸部都市域においては、これらの影響を考慮したハザードの推定、減災策の考案が重要になると考えられる。

6. 名古屋市沿岸域におけるモデルの適用

最後に、構築した漂流物の動態を考慮した氾濫モデルを名古屋市沿岸域に適用し、漂流物の集積に伴う避難への影響を検証した。検討対象地点は図. 28 に示す名古屋市南西部の中川区下之一色地区とした。当該地は東西を新川と庄内川に挟まれた、ゼロメートル地帯となっており、木造住宅が密集していることから、地震時、氾濫時における火災による被害の拡大も懸念される。

まず、当地点における建築物の構造(木造・非木造)や築年のデータと基に、地震発災時における建造物の損壊およびそれに伴う瓦礫の発生量を推定した(図. 29)。これに名古屋市における津波被害想

定と同等の波源に基づき、地震発生から 500 分間の津波の伝播・氾濫計算を実施した。ここで堤防高は地震に伴う 25%の沈下を想定して 1.12m とし、潮位は最悪のシナリオとして満潮時(T. P+1. 2m)を想定した。氾濫解析においては、震度 7 に対する瓦礫分布を予め与え、本研究で構築したモデルに基づき漂流物群の動態を算定した。図. 30 に示した計算結果より、漂流物群は第一波だけでなく、第二波の来襲によって、大きく内陸部に漂流し、特に避難ビルの集中する北西部の領域にも集積する傾向を示した。これは、避難後の避難ビルにおける漂流物に伴う延焼が被害を拡大する可能性を示唆しており、コンクリート建造物の配置や、道路等の配置により、避難ビル周辺への漂流物の集積を軽減することが氾濫時の被害を軽減するための重要な対策のひとつになると考えられる。

7. おわりに

危険物貯蔵施設の被害とそれに伴う氾濫域における被害拡大の防止に焦点をあて、貯蔵施設に作用するサージ

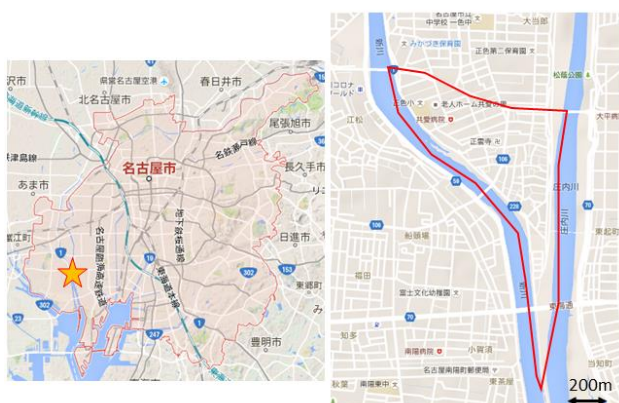


図. 28 氾濫解析対象地点

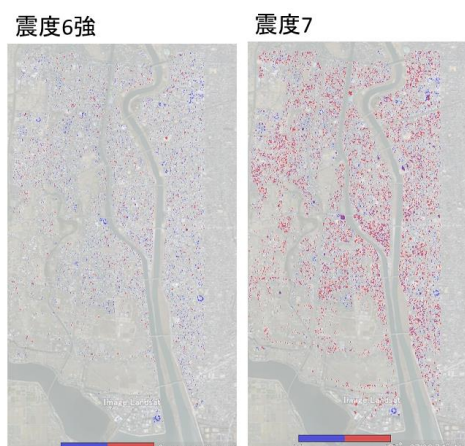


図. 29 地震により生じる瓦礫空間分布の推定結果

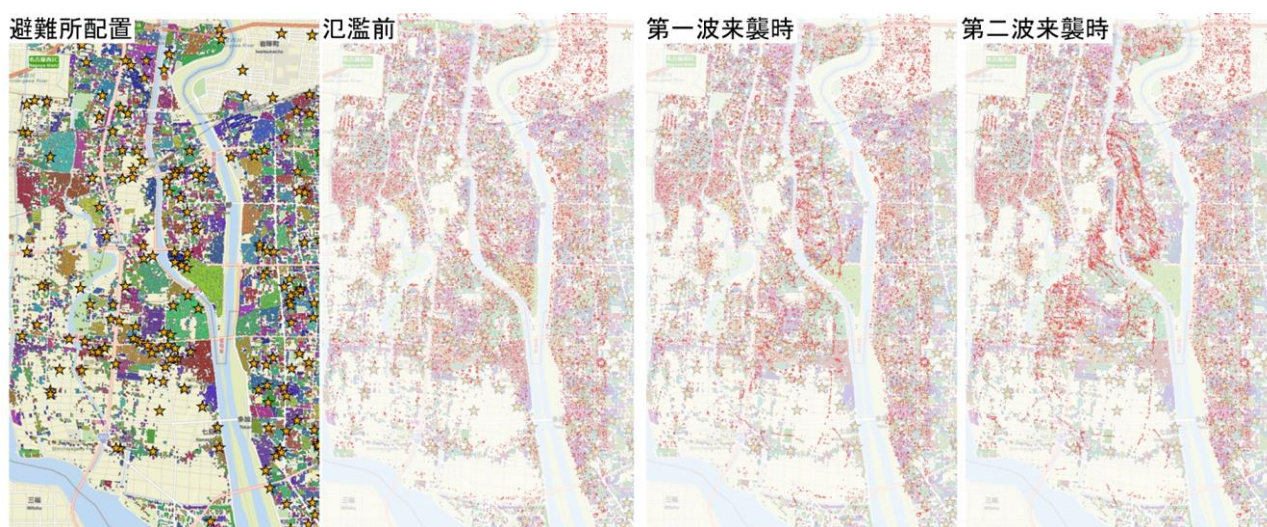


図. 30 避難ビルの分布(左: ☆)と氾濫に伴う瓦礫(赤点)の漂流状況の計算結果

力や防油堤の最適配置による防護方法を検討した。また、危険物が流出した際の火災被害の増大に直結する漂流物の動態を把握し、それに伴う影響を予測するための数値解析ツールを構築した。特に、大量の瓦礫が発生することが想定される都市沿岸域においては、漂流物群の集積が氾濫流にも影響を与え、氾濫域におけるハザードやリスクを大きく変えることも想定されるため、不確定要素を含めたこれらの影響を考慮したモデルによる被害想定を行い、地域毎に異なる状況に即した被害軽減策を講じていくことが重要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 小山毅： 有限幅の壁に作用する津波サージ力，日本建築学会構造系論文集，Vol. 80, No. 713, pp. 1001-1011, 2015. 7.
- 2) FEMA: Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis FEMA646, FEMA, 2008.
- 3) 内閣府政策統括官： 津波避難ビル等に係るガイドライン. 2005.
- 4) 朝倉良介，岩瀬浩二，池谷毅，高尾誠，金戸俊道，藤井直樹，大森政則： 護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海岸工学講演会論文集，Vol. 47, pp. 911-915, 2000.
- 5) H. Arnason, C. Petroff, and H. Yeh: Tsunami bore impingement onto a vertical column, J. of Disaster Research, Vol. 4, pp. 391-403, 2009.
- 6) OpenFOAM Foundation: OpenFOAM, 入手先 <<http://www.openfoam.org>>, (参照2014 年11 月10 日).
- 7) E. Cumberbatch: The impact of a water wedge on a wall, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 7, pp. 353-374, 1960. 2.
- 8) 大熊武司，神田順，田村幸雄： 建築物の耐風設計，鹿島出版会，1996.
- 9) 元良誠三： 船体と海洋構造物の運動学，成山堂，1992.
- 10) Kurt Wendel. Hydrodynamic masses and hydrodynamic moments of inertia. Technical report, Navy Department, The David W. Taylor Model Basin, 1956.
- 11) Robert D. Blevins: Flow-induced vibrations, Krieger Publishing Company, 2001.
- 12) Anil K. Chopra: Dynamics of structures, Prentice Hill, 2001.
- 13) 総務省消防庁： 危険物施設の津波・浸水対策に関する調査検討報告書，2009.
- 14) 藤井直樹・今村文彦： 津波に伴う屋外タンクと漂流物による被害に関する実用的評価手法の提案，2010.
- 15) 稲垣聡・池谷毅・大森政則・藤井直樹・向原健・畑山健： 津波による屋外タンクの滑動・漂流実験および予測手法の提案，2008.
- 16) 総務省消防庁： 津波による屋外貯蔵タンク及び配管の被害分析，屋外タンク貯蔵所等分科会配布資料，2011.
- 17) 消防科学総合センター： 第二回「石油コンビナート等における災害時の影響評価等に係る調査研究会」報告事項，2012.
- 18) 畑山健： 石油タンクの津波被害について. 消防科学総合センター季刊「消防科学と情報」109 号, 2012.
- 19) 鈴木康幸： 大規模石油タンクで講じられている地震・津波対策と今後の課題. 危険物保安技術協会機関誌「Safety & Tomorrow」144 号, 2012.
- 20) 松富英夫，藤井碧，山口健： 漂流物を伴う氾濫流の基礎実験とモデル化，海岸工学論文集，vol. 54, pp. 226-230, 2007.
- 21) 後藤智明： 津波による木材の流出に関する計算，第30 回海岸工学講演会論文集，pp. 594-597, 1983.
- 22) 菅裕介，越村俊一，小林英一： 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾における大型船舶の漂流・座礁の解析，土木学会論文集 B2(海岸工学)，vol. 68, No. 2, pp. I_251-I_255, 2012.
- 23) 野島和也，櫻庭雅明，小園裕司： 水没を考慮した実務的な津波漂流物による被害リスク算定，土木学会論文集 B2(海岸工学)，vol. 70, No. 2, pp. I_261-I_265, 2014.
- 24) 田島芳満，高川智博，浅野泰志，佐藤慎司，武若聡： 特性の異なる二つの台風による天竜川河口砂州の大規模変形，海岸工学論文集，vol. 55, pp. 646-650, 2008.
- 25) 田島芳満，石指裕章，佐藤慎司： 沿岸域地形急変部周辺における長周期変動を伴う波・流れ場の局所集中機構，海岸工学論文集，vol. 56, pp. 211-215, 2009.
- 26) 後藤智明： アーセル数が大きい場合の非線形分散波の方程式，土木学会論文集，vol. 351, pp. 193-201, 1984.

6. 2 水素スタンド併設給油取扱所の安全性評価技術に関する研究

研究実施期間	平成 26 年度～平成 27 年度
配分額(千円)	平成 26 年度：15,888 (千円) 平成 27 年度：13,382 (千円)
研究代表者	三宅淳巳
所属機関	国立大学法人 横浜国立大学
研究体制	産学官 JX エネルギー(株)、千代田化工建設(株)、 横浜国立大学、横浜市消防局
研究概要	本研究課題は、横浜国立大学と共同研究機関である横浜市消防局を中心とし、JX エネルギー、千代田化工建設が連携を図りつつ、水素スタンド併設給油取扱所の安全性評価技術を開発、実用化するための検討を行った。 [1] 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所および有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所のモデル設定を行った。 [2] [1]で設定したスタンドモデルを用いて、給油取扱所に併設した際の事故シナリオについて検討を行った。抽出したシナリオに関し、既存の消火設備による消火能力についての検討も行った。さらに、事故の被害を軽減する安全上重要な設備を整理し、抽出した重大事故シナリオとの関係から必要な性能基準も検討した。 [3] リスクランクが高く、併設特有なシナリオについて、数値シミュレーションにより安全対策技術の開発に向けた検討を行った。 [4] 以上の検討により、併設給油取扱所の技術基準の策定に必要な基礎情報を整理した。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究で得られた研究成果の情報を提供することで、以下のような施策を立案する上で貢献した。 「危険物の規制に関する規則の一部を改正する省令」2015 年 6 月 5 日公布。総務省令第 56 号。 液化水素型水素ステーション併設給油取扱所において、液化水素の貯槽を設ける場合には、固定給油設備又は固定注油設備から火災が発生した場合にその熱が当該貯槽に著しく影響を及ぼすおそれのないようにするための措置を講ずることが決められた。
応用の方向性	今後は、有機ハイドライドシステムのような個別のシステムやプロセスに対してリスク評価を行い、法令や業界の自主基準を整備するための基礎資料の作成に貢献する。

研究発表の状況等	論文(査読有り) [1] Effect gasoline pool fire on liquid hydrogen storage tank in hybrid hydrogen-gasoline fueling station, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 41, No. 3, pp. 2096-2104, January 2016. [2] Preliminary hazard identification for qualitative risk assessment on a hybrid gasoline-hydrogen fueling station with an on-site hydrogen production system using organic chemical hydride, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 41, No. 18, pp. 7518-7525, May 2016. 国際会議 [3] Risk assessment for a gas and liquid hydrogen fueling station, 11th Global Congress on Process Safety, Austin, USA, 26-29 April 2015. [4] Hazard identification study for risk assessment on a hybrid fueling station including gasoline and hydrogen with an on-site hydrogen production system using organic hydride, 6th International Conference on Hydrogen Safety, Yokohama, Japan, 19-21 October 2015. 国内学会 [5] トルエンおよびメチルシクロヘキサンの燃焼特性に及ぼす水素の影響, 平成 27 年度火薬学会秋季大会, 別府(大分), 2015 年 12 月. [6] 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所に関する HAZID Study を用いた Safety Critical Elements の抽出, 第 48 回安全工学研究発表会, 新潟(新潟), 2015 年 12 月. [7] 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所のリスクアセスメント, 第 8 回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム, 港区(東京), 2015 年 10 月. [8] 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所における HAZID 解析と ETA を用いた損傷発生確率の検討, 日本機械学会 2015 年度年次大会, 札幌(北海道), 2015 年 9 月. [9] 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所におけるガソリン火災時の液化水素貯槽に及ぼす輻射熱の影響解析, 日本機械学会 2015 年度年次大会, 札幌(北海道), 2015 年 9 月. [10] 有機ハイドライド型水素ステーションにおける蓄圧器に及ぼすプール火災の影響, 平成 28 年度日本火災学会研究発表会, 長岡(新潟), 2016 年 5 月.
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	今後の展開としては、本研究課題で行ったリスク評価を基に、水素スタンド併設給油取扱所で使用される個別のシステムやプロセスに対してリスク評価を行う。

水素スタンド併設給油取扱所の安全性評価技術に関する研究

○三宅淳巳¹・澁谷忠弘¹・笠井尚哉¹・土橋正彦²・芳村泰孝²・瀬戸勇²・大場淳一²・
壺岐英³・中川幸次郎³・伊藤正⁴・小淵彰⁴・二宮光良⁴

Atsumi Miyake, Tadahiro Shibutani, Naoya Kasai, Masahiko Tsuchihashi, Yasutaka Yoshimura, Isamu Seto, Jyunichi Ohba,
Hideshi Iki, Nakagawa Kojiro, Tadashi Ito, Akira Obuchi, Mitsuyoshi Ninomiya

研究課題の要旨: 燃料電池自動車の普及開始に向け、安全かつ効率的な普及のため、ガソリンスタンドに水素ステーションが併設される水素スタンド併設給油取扱所の安全性評価技術を構築し、技術基準への反映について検討を行った。特に、液化水素ならびに有機ハイドライドシステム併設給油取扱所について、各併設給油取扱所のモデル設定、事故シナリオの検討、消火能力の検討、必要となる安全技術の抽出及び安全技術の開発検討を実施した。さらに、その成果を技術基準への反映するための検討も行った。

キーワード: 水素スタンド併設給油取扱所、液体水素、有機ハイドライド、ブール火災、蓄圧器

1. 緒言

水素エネルギー普及への機運が高まる中、燃料電池自動車の開発、社会実装が進められている。社会実装の課題として挙げられるのが、安全な水素スタンドの構築であり、水素スタンドにおける安全性評価が必要である。燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle、以下FCV）の一般発売が2014年12月に開始され、燃料電池実用化推進協議会は、2015年にFCVの一般ユーザーへ普及開始することを目指し、2015年から2025年の10年間は水素スタンドの先行的設置が特に必要な時期と位置づけている。FCVの普及初期段階においては、現行のガソリン自動車とFCVの両方に燃料供給できるように、水素スタンド併設給油取扱所が増えると予想される。また、狭い国土の有効活用といった点においても、様々な燃料供給が可能なマルチスタンドが求められる。

本研究では、液化水素型と有機ハイドライド型について、ガソリンスタンドに水素ステーションが併設される水素スタンド併設給油取扱所について、併設リスクを抽出するとともに、事故未然防止および被害拡大防止に向けた安全対策を提案することを目的としている。

2. 水素スタンド併設給油取扱所のハザード解析とリスク評価

近年、ヨーロッパで使用されている Hazard Identification Study (HAZID) と呼ばれる手法を用いて、液化水素型及び有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所で想定されるハザードと事故シナリオの洗い出しを行った。まず、液体水素型と有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所の一般化したモデルを作成した。図1に液体水素型水素スタンド併設給油取扱所のモデルを示す。当該給油取扱所では、ローリーにより液化水素が搬入さ

れ、液化水素貯槽に貯蔵される。その後、水素は蒸発器および圧縮機を経て82MPa蓄圧器に送られ、最終的に水素ディスペンサーからFCVへ供給される。有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所についても同様に一般化したモデルを作成した。有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所では、メチルシクロヘキサン(MCH)を脱水素し、水素を製造、トルエン(TOL)が副生物として生成される。製造された水素を圧縮機へ送り、蓄圧器、ディスペンサーを経て、FCVへ供給される。副生成物のトルエンは回収用地下タンクへ送られる。

これらのモデルと本研究で作成したガイドワードを用いて併設給油取扱所全体のハザードと事故シナリオを抽出した。次に、高圧水素ガス、液体水素、有機ハイドライドシステムなど流体及び機能毎にシステムを区分し、ハザードと事故シナリオを解析することで、事故シナリオを網羅的に抽出・解析するようにした。抽出したハザードについて影響度と発生頻度のランキングルールを設け、リスクマトリクスによってそれらのリスクを評価した。

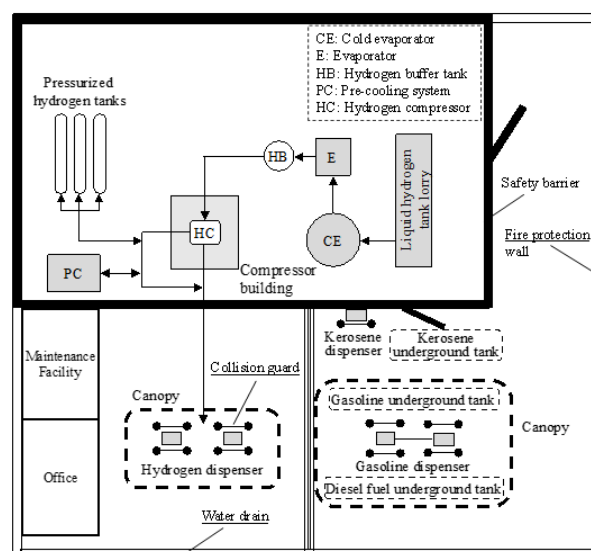


図1 液体水素型水素スタンド併設給油取扱所

(所属機関)

- 1 国立大学法人 横浜国立大学
- 2 横浜市消防局
- 3 JX 日鉱日石エネルギー 株式会社
- 4 千代田化工建設 株式会社

その際、安全対策前後でリスク評価を行うことで安全対策の効果も考察した。評価結果の一例として安全対策後の液化水素型水素スタンド併設給油取扱所のリスク評価結果を表1に示す。また、本研究で使用したリスクレベルを表2に示す。表1の括弧内に示す値は液体水素型水素スタンドと給油取扱所の併設に起因する事故シナリオの数を示している。液化水素型水素スタンド併設給油取扱所のリスク評価では、計850件の事故シナリオを抽出・解析した。当該併設給油取扱所の安全対策は、特に可燃性ガスの滞留を防ぐ大気拡散が重要な対策であることがわかった。これらの一連の解析では安全対策としてハード的対策のみを対象としており、運転員による対応などのソフト的対策については対象としていない。したがって、最終事象発生後の運転員と消防隊との連携などの被害低減に向けたマニュアル整備も必要であると考えられた。また、液体水素型水素スタンド併設給油取扱所において、ハイレスクランクの併設に伴う事故シナリオが3つあることがわかった。それらの事故シナリオの内の1つのハザードが、併設給油取扱所の火災である。この輻射熱により、スタンド内で最も多量の水素を貯蔵している液化水素貯槽が損傷を受け、水素が漏洩・爆発することが懸念された。このため、併設給油取扱所の火災による輻射熱によって温度上昇した液化水素貯槽の構造解析を行い、火災時の液化水素貯槽の安全性について詳細に考察した。

表1 安全対策後の液体水素型水素スタンド併設給油取扱所のリスク評価

		Probability			
		1	2	3	4
Consequence severity	5	3 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	4	135 (29)	43 (3)	0 (0)	0 (0)
	3	226 (21)	115 (9)	23 (0)	0 (0)
	2	212 (40)	50 (0)	0 (0)	0 (0)
	1	3 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所では、HAZIDにより1,248件の事故シナリオを抽出した。当該併設給油取扱所では、水素製造後にトルエンをタンクローリーで回収する必要があるため、タンクローリーの使用頻度が他の種類の水素源による水素ステーション併設給油取扱所よりも多く、リスクが相対的に高いことがわかった。したがって、タンクローリーの停車位置を取り囲む排水溝等のハード面と移送操作マニュアル等のソフト面の安全対策により、リスクを低減するような取り組みの必要性を指摘した。また、併設特有な事象では無いが有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所における有機ハイドライドシステムの火災時の輻射熱が水素蓄圧器に及ぼす影響について調べる必要があることを明

らかにした。蓄圧器の安全対策は、例えば障壁や安全弁等が設置されているが、火災発生時においてそれらが有効に作動することを検討した研究は無い。したがって、有機ハイドライドシステムにおけるプール火災、蓄圧器の安全性検討、緊急時の水素放出について、各種シミュレーションを用いて考察した。

さらに、併設給油取扱所において重要な安全対策及び抽出した事故シナリオを防ぐためにそれらに必要な性能を検討した。

表2 本研究で用いたリスクレベルと定義

Level	Definition
High	This risk is high. Further safety measures should be taken to reduce risk.
Medium	This risk may be acceptable but a redesign or other changes should be considered if reasonably practical.
Low	This risk is low and further safety measures are not necessary.

3. 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所におけるガソリン火災時の輻射熱が液化水素貯槽に及ぼす影響

併設給油取扱所の火災の輻射熱が、水素を貯蔵している液化水素貯槽にどのような影響を及ぼすかについて、有限要素解析を行った。

図2に、構造解析で用いたモデルおよびメッシュを示す。構造解析は、汎用有限要素法解析ソフト ANSYS ver.15.0 を用いて行った。プール火災の形状を円柱と仮定し、寸法を Toxic Release Analysis of Chemical Emissions (以下 TRACE) を用いて算出した。算出する際に用いたガソリンの化学成分はオクタン 87.7 mol%、n-ヘプタン 12.3 mol%とし、密度は 0.61 g/cm³、流量は 50 L/min とした。

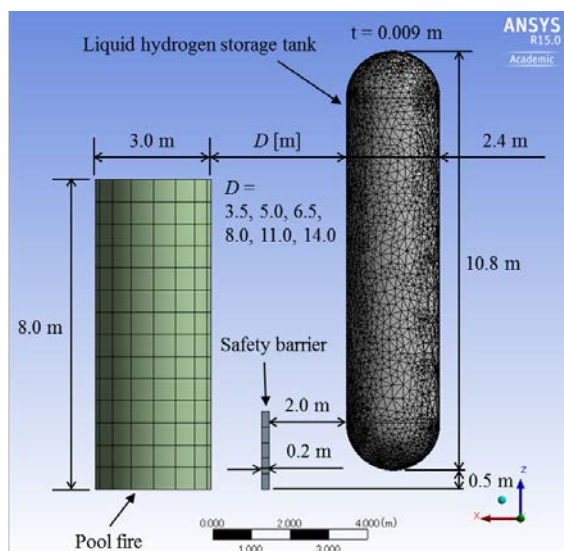


図2 構造解析で用いたモデルおよびメッシュ

その結果、直径がおよそ 3.0 m、高さがおよそ 8.0 m と算出された。ここで、プール火災の温度を 1,200℃ と仮定した。通常、液化水素貯槽は、内殻が耐水素性材料の JIS SUS316L、外殻が一般構造用鋼材の 2 重殻で構成されるが、今回は外殻のみをモデル化した。貯槽の外殻は、板厚を 9 mm の JIS SS400 とし、密度を 7,800 kg/m³、比熱を 473 J/kgK、熱伝導率を 51.6 W/mK、放射率を 0.7 とした。解析開始時の貯槽および障壁の温度、また空気の温度を 22℃ とした。

図 3 に、貯槽の外殻の最高温度と輻射時間の関係を示す。プール火災と液化水素貯槽の距離が大きくなるにつれ、最高温度および温度上昇速度は小さくなる。プール火災と液化水素貯槽の距離に関係なく、輻射熱を受け始めてからある程度の時間が経過すると温度変化は緩やかになる。図 3 のコンター図は、 $D=3.5$ m、 $t=30$ min のときの温度分布を示している。プール火災側の液化水素貯槽の温度上昇は著しいが、プール火災と反対側に温度変化は全く見られなかった。この寸法の効果を解析するために、1/10 の寸法の液化水素貯槽モデルを作成し解析を行った結果、プール火災と反対側に温度変化が確認された。このことから、液化水素貯槽の寸法が大きいため、熱が液化水素貯槽の反対側まで伝わらず温度変化が見られなかったと考えられる。このように液化水素貯槽の寸法が大きい場合、温度分布を持ち局所的に熱膨張の大きさが異なるため、熱応力が発生する。

さらに、最大のミーゼス相当応力と輻射時間の関係を考察したところ、プール火災と液化水素貯槽の距離が大きくなるにつれ、最大のミーゼス相当応力は小さくなった。相当応力が最大となる所は、プール火災側ではなく側面であることがわかった。これは、最高温度が発生する場所ではなく、温度勾配が最大となる場所であると考えられる。SS400 の一般的な引張強さは 400-500 MPa 程度であり、降伏応力は 250-300 MPa 程度である。つまり、液化水素貯槽に近いところでプール火災が起こる場合、降伏応力を超える熱応力が発生する。このことから、ガソリンプール火災時の液化水素貯槽の安全性を考慮する際には、高温時の強度低下だけでなく、温度分布による熱応力も考慮する必要があることが明らかになった。

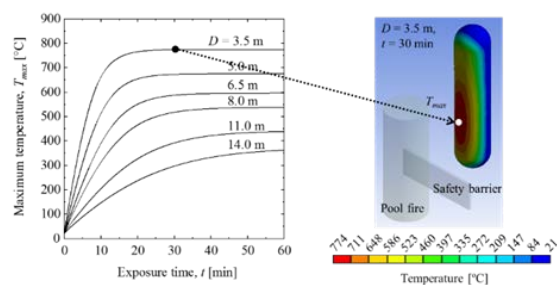


図 3 貯槽の外殻の最高温度と輻射時間の関係

4. 有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所における有機ハイドライドシステムの火災時の輻射熱が水素蓄圧器に及ぼす影響

有機ハイドライドシステムにおいて、何らかの原因により MCH または TOL が漏えいし、プール火災が発生、その輻射熱が蓄圧器へ影響を及ぼし、安全弁から水素が放出されるという事故シナリオを解析した。当該シナリオは、蓄圧器に隣接する有機ハイドライドシステム内においてインベントリ量や流量が多い、MCH 及び TOL により、最悪の場合、蓄圧器が輻射熱の影響を受け、水素の放出時間よりも蓄圧器の温度上昇による強度低下が早く進行してしまい、蓄圧器自体が破裂し、広範囲に影響を及ぼし得るものである。ここでは、簡易的シミュレーションにより当該シナリオを定量的に評価することを目的とし、既存の安全対策、プール火災、蓄圧器の温度上昇および緊急時の水素放出について検討した。

高圧ガス保安法により、蓄圧器は高さ 2 m 以上の障壁に囲まれているが、蓄圧器の厳密な設置位置についての記載はなく、障壁を挟んで有機ハイドライドシステムと蓄圧器が接近して設置される可能性がある。なお、蓄圧器には蓄圧器自体の温度上昇を防ぐ目的で冷却用散水設備が設置されているが、本検討では最悪事象を想定するため、散水設備が作動しない場合を検討した。

有機ハイドライドシステムにおいて、MCH 又は、TOL の漏えい流量は、現状の有機ハイドライドシステムへの最大供給見込み流量として仮定し、13.3 L/min とした。ここでは、CCPS guideline に従いプール火災の大きさを求め、DNV 社製 Phast version 6.5.4 を用いて火災高さ等を算出した。なお、解析では無風の状態を想定し、解析ソフトで設定可能な風速の最小値である、0.01 m/s を風速とした。

上記の解析条件の蓄圧器の温度上昇を ANSYS version 16.0 を用いて計算した。計算モデルを図 4 に示す。蓄圧器は、高さ 3.1 m、横 2.5 m、幅 3 m の建屋の中に 12 本設置した。障壁の厚さを 0.2 m とし、高さを 2m、コンクリート製と考え、この放射率を 0.9 とした。蓄圧器については、外径を 0.5 m、厚さを 0.05 m とし、炭素繊維複合材料製の Type III を想定し、これを簡易的に表現するためにエポキシで模擬し、この放射率を 0.9 とした。蓄圧器建屋では厚さを 6 mm、材料を構造用鋼、放射率を 0.7 とした。またプール火災表面と建屋との距離を 2.7 m とした。有機ハイドライドシステムにおけるプール火災を計算した結果を表 3 に示す。表 3 より、TOL と MCH のプール火災の性状は近く、ほぼ同様な結果となった。したがって、有機ハイドライドシステムにおけるプール火災の評価は、簡易的には MCH と TOL を同様に扱って良いことがわかった。このプール火災の計算結果に基づき、ANSYS の解析条件を決定した。プール火災の直径を 1.6 m、高さを 5.1m とし、放射率を 0.5、表面温度を 1,200℃ とした。また、ガソリンスタンドで火災が発生した場合の消防隊員の到着時間は一般的に 30 分以内と予想されるため、30 分間プール火災

が継続した場合の蓄圧器の表面温度を算出した。

各蓄圧器の表面温度を計算した結果、プール火災に最も近い蓄圧器が最も温度上昇することがわかった。その蓄圧器の温度上昇結果を図5に示す。蓄圧器の表面温度は、建屋がない場合は428℃まで上昇した一方で、建屋がある場合は224℃となった。既往の研究より、Type III 容器に窒素を20 MPa 充填した場合の限界表面温度は約205℃とされている。したがって本研究より、プール火災の輻射熱により蓄圧器の耐圧性能が低下することがわかった。さらに、蓄圧器内圧力と水素放出時間の関係を考察したところ、安全弁の径が小さい場合には、30分後に多くの水素が蓄圧器内に残存しており、危険な状況下で消防活動が行われることが示唆された。一方、安全弁の径が大きい場合、30分後には殆ど水素が系外放出されているが、水素の迅速な系外放出は必然的に放出流量が上昇し、水素を迅速に放出する際には、ベント直後で水素が燃焼範囲に存在することが明らかになった。

表3 プール火災の計算結果

	Diameter of pool fire	Height of pool fire	Maximum temperature
TOL	1.59 m	5.07 m	1159℃
MCH	1.54 m	5.41 m	1161℃

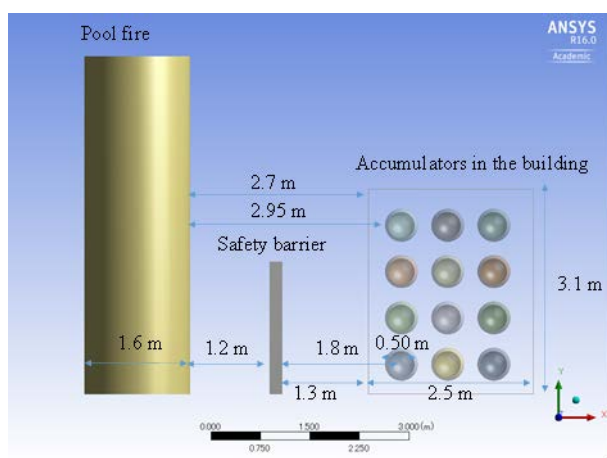


図4 有機ハイドライドシステムの火災と蓄圧器のモデル

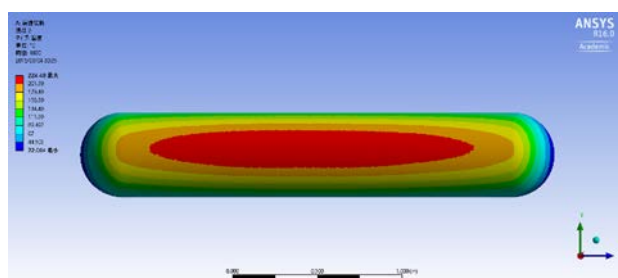


図5 蓄圧器の表面温度結果

5. まとめ

本研究で、得られたまとめを以下に示す。

- ・ 液化水素型及び有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所の一般化したモデルを構築した。
- ・ 定性的安全性評価を行った結果、液化水素型及び有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所の事故シナリオとハイリスク事象を明らかにした。
- ・ 液化水素型水素スタンド併設給油取扱所におけるガソリンプール火災時の液化水素貯槽に及ぼす輻射熱の影響を調べるために液化水素貯槽の安全性を検討する際には、高温時の強度低下だけではなく、温度分布による熱応力も考慮する必要があることを明らかにした。
- ・ 有機ハイドライド型水素スタンド併設給油取扱所における、有機ハイドライドシステムの火災の輻射熱が蓄圧器に及ぼす影響について検討し、蓄圧器の輻射熱対策および緊急時の水素放出方法の重要性を明らかにした。

第7 救急・救助業務の高度化

7. 1 確実な気道確保と急速脳冷却が可能な声門上気道デバイスと灌流装置の開発

研究実施期間	平成 24 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 15,972 平成 25 年度 21,182 平成 26 年度 15,275
研究代表者	武田 吉正
所属機関	岡山大学病院集中治療部
研究体制	産学官 (岡山大学、弘前大学、岡山市消防局、大研医器株式会社)
研究概要	年間 12 万人が心停止のため救急搬送されている。心停止患者の社会復帰率の向上には早期の脳冷却が必要である。本研究では気道確保と同時に脳冷却が施行できる咽頭冷却装置を開発した。現在、国内で販売されている声門上気道デバイスは、全て輸入品である。体の小さい日本人には形状が合わず気道確保に失敗することがある。そこで 550 名の頸部 CT データを元に日本人に合った声門上気道デバイスを開発した。 また、現場で使える小型灌流装置を開発し、運用シミュレーションにより改良を加えた。声門上気道デバイスに装着する咽頭冷却カフは熱流体解析により至適形状を決定した。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	気道確保機能が無い咽頭冷却装置は 2014 年に医療機器として承認され、2016 年に保険収載された。救急外来で使用可能な脳保護装置として実用段階に入った。しかし、気道確保機能を有する咽頭冷却装置は実用化にいたっていない。 今後、蘇生現場で施行する咽頭冷却の有効性(社会復帰率の向上)を臨床研究で検証する必要がある。
応用の方向性	救命士が蘇生の現場で気道確保と同時に咽頭冷却で脳保護を開始できるようにする事を目標にしている。これにより患者の社会復帰率の改善を目指す。
研究発表の状況等	学会:Development of a supraglottic airway device with the function of pharyngeal cooling. (American Heart Association, 2013) 論文: 1.低体温療法、武田 吉正、神経麻酔 Q&A 内野博之編 東京 総合医学社 2014 年 266-271 2.咽頭冷却による脳低温療法、武田 吉正、臨床麻酔 39(1),P53-P56、2015 3.咽頭冷却による脳低温療法のための工学的検討(咽頭冷却用カフ内の流れと冷却性能について)、麓耕二、武田吉正、橋本裕志、日本冷凍空調学会論文集 Trans. of the JSRAE Vol.33, No.3 (2016), (in press).

知的財産権の出願・登録状況等	1) 出願日：平成 24 年 5 月 22 日 出願番号：特願 2013-517851 発明の名称：ラリンジアルマスク 2) 出願日：平成 26 年 1 月 31 日 出願番号：特願 2014-016675 発明の名称：ラリンジアルマスク
当該研究に対する今後の展開、意見等	今後臨床研究を行い、蘇生の現場から咽頭冷却を施行することで神経学的予後が改善することを示す必要がある。

確実な気道確保と急速脳冷却が可能な声門上気道デバイスと灌流装置の開発

○武田吉正¹・大塚 愛二²・麓 耕二³・守谷 宏太郎⁴・江原 穰⁵・橋本 裕志⁶・辻 秀和⁶・市原 貴晴⁷・
國部 雅誠⁶・倉下 直人⁶・亀谷 大樹⁶

Yoshimasa Takeda, Aiji Ohtsuka, koji Fumoto, kotaro Moriya, Jo Ebara, Hiroshi Hashimoto, Hidekazu Tsuji,
Takaharu Ichihara, Masatomo Kokubu, Naoto Kurashita and Hiroki Kametani

研究課題の要旨: 年間 12 万人が心停止のため救急搬送されている。心停止患者の社会復帰率の向上には早期の脳冷却が必要である。本研究では気道確保と同時に脳冷却が施行できる咽頭冷却装置を開発した。現在、国内で販売されている声門上気道デバイスは、全て輸入品である。体の小さい日本人には形状が合わず気道確保に失敗することがある。そこで 550 名の頸部 CT データを元に日本人に合った声門上気道デバイスを開発した。また、現場で使用できる小型灌流装置を開発し、運用シミュレーションにより改良を加えた。声門上気道デバイスに装着する咽頭冷却カフは熱流体解析により至適形状を決定した。

キーワード: 心停止、脳保護、脳冷却

1. 研究目的

年間 12 万人が心停止のため救急搬送されている。心停止患者の社会復帰率の向上には早期の脳冷却が必要である。本研究は気道確保と同時に脳冷却が施行できる咽頭冷却装置の開発を目的としている。

2. 研究結果

1) 声門上気道デバイスの改良

現在、日本国内で使用されている声門上気道デバイスは、全て海外製品である。そのため体の小さい日本人（アジア人）には形状が合わず気道確保に失敗することがある。平成 24 年度は頸部 3D-CT 撮影データ（550 名）を解析し、基本設計を行った。平成 25 年度は昨年の解析データを元にカフ基板の改良を行った。平成 26 年度は、25 年度に作製したデバイスに改良を加えた。カフ、カフ基板の構造を見直し、解剖体への挿入実験で至適形状を決定した。

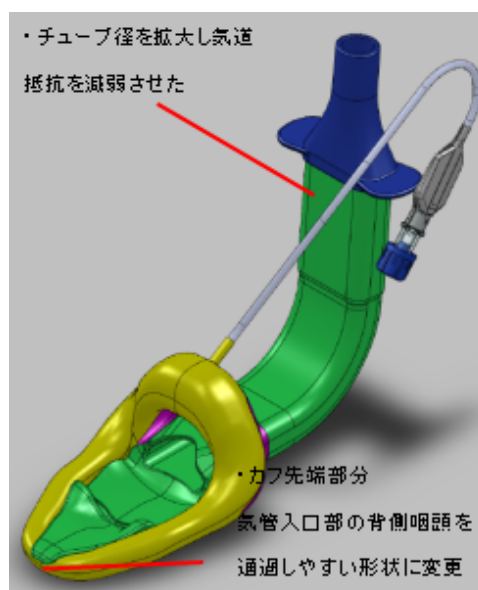
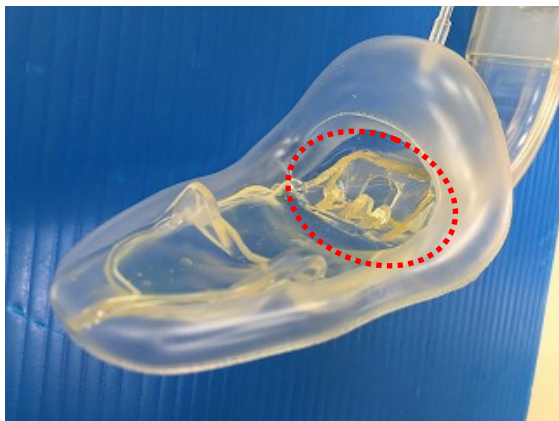


図. 1 声門上気道デバイス構造図

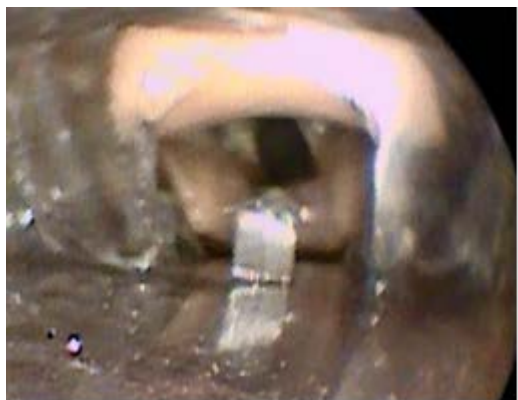


写真. 1 声門上デバイス試作品（側面図）
舌骨部で後端カフが挙上することにより、デバイスが前方に移動し確実な気道確保を可能にしている。

-
- 1 岡山大学病院集中治療部・准教授
 - 2 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 人体構成学・教授
 - 3 弘前大学大学院理工学研究科・准教授
 - 4 岡山市消防局・審議監
 - 5 大研医器株式会社企画開発部・執行役員開発部長
 - 6 大研医器株式会社企画開発部・研究員
 - 7 大研医器株式会社製造部・主任



写真． 2 声門上デバイス試作品（斜面図）
日本人の咽頭は横に広いため、輸入市販品では気道リークがしばしば認められる。本試作品は頸部 CT データを元に設計し、横幅を拡充している。
赤線部：舌や喉頭蓋がチューブ内へ迷入することを防ぐプロテクターを装着した。



写真． 3 声門上気道デバイスの検証（解剖体）
試作声門上気道デバイスを解剖体に挿入し、その挿入状況をファイバースコープで確認・検証した。気管入口部が観察され、プロテクターにより喉頭蓋が挙上していることがわかる。

2) 小型灌流装置の改良

平成 25 年度に小型灌流装置（図 4）を試作し、平成 26 年度にヘッドイモビライザー型のデザイン素案を試作した。



写真． 4 小型灌流装置試作品（平成 25 年度）
氷や化学物質の吸熱反応で 30 分間冷却する能力を持つ。



写真． 5 ヘッドイモビライザー型小型灌流装置のデザイン素案（平成 26 年度）
ヘッドイモビライザー内に灌流装置を埋め込むことで搬送時の運用効率が大きく改善した。

3) 小型灌流ポンプと自動胸骨圧迫装置の併用運用シミュレーション

高機能シミュレーターと防災ヘリコプターを用い咽頭冷却と蘇生装置がヘリコプター内でも併用運用できる事を検証した。また、ヘッドイモビライザー型灌流装置であればヘリコプター内でもかさばらず蘇生行為等の妨げになることはなかった。



写真. 6 搬送シミュレーション

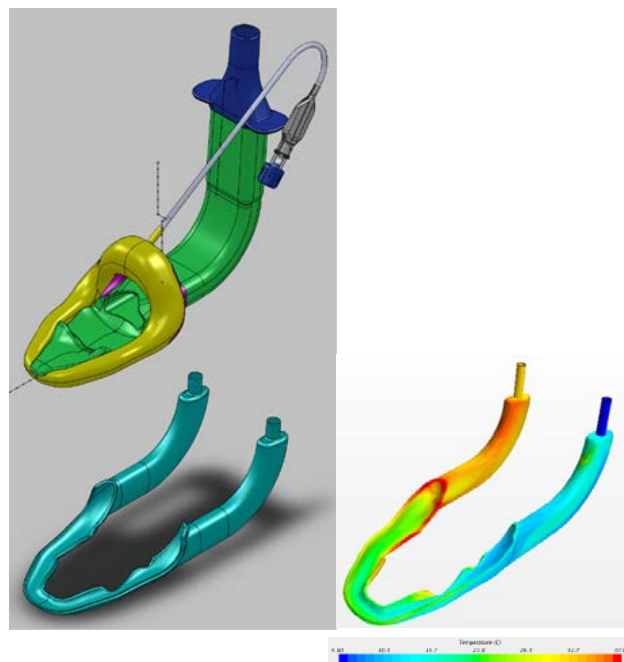


図. 2 初回設計時のカフ形状と熱流体解析結果
流出路では灌流液温が上昇していることがわかる。



写真. 7 防災ヘリコプター運用シミュレーション

4) 咽頭冷却カフの熱流体解析

名古屋大学情報基盤センターのスーパーコンピュータに搭載されている熱流体解析ソフト STARCCM+Ver9 を用い温度分布のシミュレーションを施行した。その結果、これまでの馬蹄型カフ(図2)に比べ、カフを分割(図3)することで咽頭部分の側面部を効果的に冷却できることがわかった。

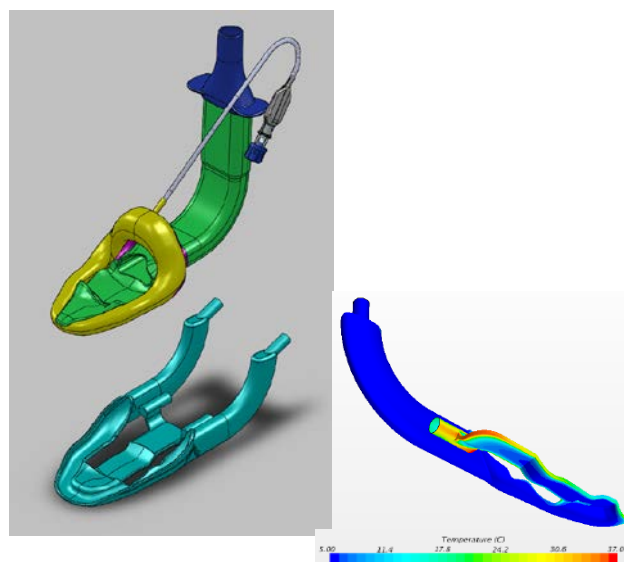


図. 3 最終設計時のカフ形状と熱流体解析結果
分割することにより頸動脈に接する側壁温が低下している事がわかる。

5) 咽頭冷却カフの最終試作モデル

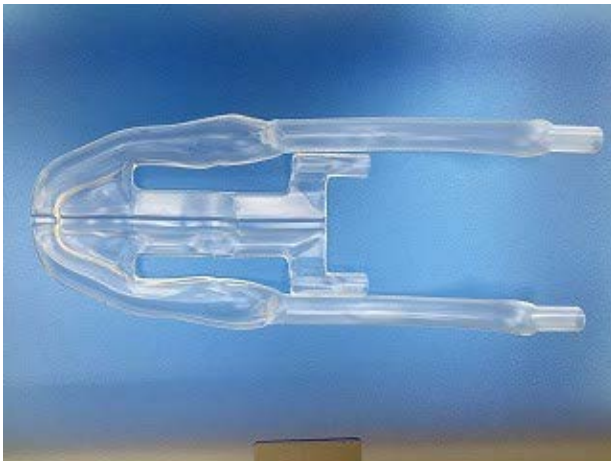


写真. 8 咽頭冷却カフは塩化ビニル製で耐圧限界は 100cmH₂O 以上。

6) 咽頭冷却カフを装着した声門上気道デバイス



写真. 9 日本人の体型に合った密着性の高い声門上気道デバイスに咽頭冷却カフを装着している。現場で気道確保と同時に咽頭冷却を開始することが可能である。

2. 今後の展望

A. 開発したカフの動物実験

1. ニホンザルを対象に脳の冷却速度を測定

B. 開発したカフの臨床研究

1. 生物学的安全性検査を施行
2. 倫理委員会承認後、同意の得られた患者の手術で気道確保具として使用
3. 倫理委員会承認後、蘇生中の患者の気道確保と脳冷却に使用

C. 医療機器として承認申請

1. 治験を行い、医療機器として承認取得を目指す

3. 特許出願

- 1) 出願日：平成 24 年 5 月 22 日

出願番号：特願 2013-517851

発明の名称：ラリンジアルマスク

- 2) 出願日：平成 26 年 1 月 31 日

出願番号：特願 2014-016675

発明の名称：ラリンジアルマスク

3. 外部発表

Development of a supraglottic airway device with the function of pharyngeal cooling. (American Heart Association, 2013)

【参考文献】

1. Feasibility study of immediate pharyngeal cooling initiation in cardiac arrest patients after arrival at the emergency room.
Takeda Y, Kawashima T, Kiyota K, Oda S, Morimoto N, Kobata H, Isobe H, Honda M, Fujimi S, Onda J, I S, Sakamoto T, Ishikawa M, Nakano H, Sadamitsu D, Kishikawa M, Kinoshita K, Yokoyama T, Harada M, Kitaura M, Ichihara K, Hashimoto H, Tsuji H, Yorifuji T, Nagano O, Katayama H, Ujike Y, Morita K.
Resuscitation. 2014 Dec;85(12):1647-53.
2. 低体温療法
武田 吉正
神経麻酔Q&A 内野博之編 東京 総合医学社
2014 年 266-271
3. 咽頭冷却による脳低温療法
武田 吉正
臨床麻酔 39(1),P53-P56、2015
4. 麓耕二、武田吉正、橋本裕志
咽頭冷却による脳低温療法のための工学的検討 (咽頭冷却用カフ内の流れと冷却性能について)
日本冷凍空調学会論文集 Trans. of the JSRAE
Vol.33, No.3 (2016), (in press).

7. 2 傷病者の体調に優しい救急車用ベッドの振動低減に関する研究開発

研究実施期間	平成 25 年度～平成 26 年度
配分額(千円)	平成 25 年度 1,814 平成 26 年度 1,054
研究代表者	新谷 真功
所属機関	福井大学大学院工学研究科機械工学専攻
研究体制	学 (福井大学)、官 (福井市中消防署)
研究概要	本研究は、実用サイズの救急車架台に対して、上下方向の振動や前後方向の慣性力を低減する防振架台の開発を行い、傷病者が受ける振動や加速度の大きさを低減することを目的にしている。装置は、上下方向には圧縮ばねと、磁石を用いた摩擦力による加速度低減機構を用いており、上下方向に対して振動低減を行う。前後方向には、振り子型傾斜台を用いて、慣性力低減を行う。 本研究では、救急車が街中を走行した際の上下方向振動波形を用いて加振実験及び加速度低減装置の評価を行う。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	救急車用の防振架台を製作している企業に研究内容を発表して、意見を頂いている。 走行実験の結果、ロッキング振動が発生していることが分かった。そのために、加速度の低減率が上がらなかった。
応用の方向性	ロッキング振動を抑えるための改良を行っている。今、改良を行った結果、低減率を上げることができた。今後は、解析と実験を繰り返しながら、安定した低減率を上げていく予定である。
研究発表の状況等	(1) 331 救急車ストレッチャ用の加速度低減装置に関する研究 新谷真功,渡邊貴大 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2015(2015.8、弘前大学), 査読なし (2) 救急車用搬送ベッド対応の加速度低減装置に関する研究 新谷真功,渡辺貴大,小川勇次,久池誠 日本機械学会北陸信越支部第 52 期総会・講演会(2015.3.7、新潟工科大学), 査読なし (3) 救急車用防振架台に対する加速度低減装置の開発 新谷真功, 久池誠, 小川勇治 日本機械学会2014年度年次大会(2014.9、東京電機大学), 査読なし

研究発表の状況等	(4) 救急車搬送ベッド用の加速度低減装置の研究（可変摩擦ダンパーを用いた加速度低減効果の確認） 新谷真功，渡辺貴大，久池誠，小川勇治 日本機械学会Dynamics and Design Conference 2014(2014.8、上智大学)， 査読なし (5) 救急車用防振架台に対する加速度低減装置の開発 新谷真功，久池誠，小川勇治 日本機械学会Dynamics and Design Conference 2014(2014.8、上智大学)， 査読なし (6) 救急車用防振架台の加速度低減装置に関する研究 新谷真功，久池誠，小川勇次， 日本機械学会北陸信越支部第 51 期総会・講演会(2014.3.8、富山県立大学)， 査読なし (7) 救急車用防振ベッドの加速度低減装置に関する研究 新谷真功，渡辺貴大，小川勇次，久池誠 日本機械学会北陸信越支部学生会第 43 回学生員卒業研究発表講演会 (2014.3.7、富山大学)，査読なし (8) G101061救急車用防振架台の加速度低減装置に関する研究 新谷真功，久池誠，小川勇治 日本機械学会年次大会(2013 年 9 月 8 日から 11 日、岡山)，査読なし。
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	我々の開発した加速度低減装置、あるいは装置の一部や、考え方でも、実用化に繋げていくことを目標としたい。

傷病者の体調に優しい救急車用ベッドの振動低減に関する研究開発

○新谷真功¹

Masanori Shintani

研究課題の要旨：救急車に装備されている防振架台は、上下振動のみの対応のものが多く、現在においても傷病者の体調にやさしい防振架台の開発が望まれている。本研究は、上下方向と前後方向の振動・加速度低減を行うストレッチャーに対応した加速度低減装置の開発を目的とする。加速度低減装置は、圧縮ばねの伸縮とシャフトとブシュの支持、可変摩擦ダンパーで上下方向と前後方向の加速度を抑え、振子型傾斜車台で前後方向の加速度を抑えるものである。本装置を救急車に設置して福井市内の道路を走行する実験を行い、上下方向の加速度 RMS 値の低減率の平均は 8.3~14.5 [%]であり、前後方向の加速度 RMS 値の低減率の平均は 26.9~28.6 [%]であり、加速度低減効果を確認できた。

キーワード：救急車、防振架台、加速度低減、低減率、可変摩擦ダンパー

1 緒言

救急車による傷病者の搬送中には、様々な方向に加速度が発生する。上下方向では路面の凸凹やくぼみによる振動が、左右方向ではカーブによる遠心力が、前後方向では加減速による慣性力が加速度発生の原因となる。救急車で搬送される傷病者の数は全国で年間約 534 万人である。その内、急病の搬送人員の数は約 337 万人であり、循環器系に当たる脳疾患や心疾患等の傷病者数は約 60 万人で約 17%となっている(平成 25 年度)。

これらの傷病者は搬送中に体に受ける加速度によって病状を悪化させる可能性があり、それ以外の病状の傷病者も、病院到着時に心肺停止状態になる CPAOA (cardiopulmonary arrest on arrive) になる可能性が高くなる。また、車体がゆれることで傷病者の気分が車酔いのように悪くなったり、傷病者が不快感、ストレスを感じたりする可能性もある。

現在、救急車に装備されている防振架台は、上下振動のみの対応のものが多く、現在においても傷病者の体調にやさしい防振架台の開発が望まれている。

したがって、本研究は、上下方向と前後方向の振動・加速度低減を行うストレッチャーに対応した加速度低減装置の開発を目的とする。本研究により、傷病者に与える加速度を低減させて、救急車の走行中に傷病者が感じるストレスや不快感、また、病状の悪化を抑えることができると考えられる。

2 2次元加速度低減装置

(所属機関名)

1 国立大学法人 福井大学学術研究院工学系部門・工学領域
機械工学分野

2.1 装置概要

救急車の走行中に発生する加速度を低減させるための装置の設計・製作を行った。本研究装置は上下方向と前後方向の2次元方向の加速度を対象とする。本研究で製作した2次元加速度低減装置を図1に示す。

加速度低減装置の仕組みは、圧縮ばねの伸縮とシャフトとブシュの支持、可変摩擦ダンパーで上下方向と前後方向の加速度を抑え、振子型傾斜車台で前後方向の加速度を抑えるものである。

ここで、可変摩擦ダンパーは、すべり摩擦と磁石の吸着力を利用して変位を抑えるものである。すべり摩擦力は磁石が板の上をすべるときに発生する。また、磁石がすべる板には磁性体の部分と非磁性体の部分があるため、磁石の変位によって磁石の吸着力の強さが変化し、すべり摩擦力が変化する。

振子型傾斜車台は、4輪のついた傾斜車台が円弧に切られた板(ころ板)の上を動き、慣性力が与えられると台が振子のような動きをするものである。

装置には、ストレッチャーを 30[kg]、傷病者を 70[kg]と想定して合計 100[kg]の質量を積載する。ばね定数を 4670 [N/m]としてばね上の固有振動数を 0.95[Hz]に設定し(天板等の 30[kg]を含む)、救急車の走行中に発生する振動のピークである 2.0[Hz]付近から、振動のピークをずらすようにしている。また、可変摩擦ダンパーの摩擦力は 22[N](非磁性体)、121[N](磁性体)とし、振子型傾斜車台について、ころ板の円弧の半径を 0.555[m]、慣性モーメントを 34.5[kg²m]とする。



Fig.1 2-dimensional acceleration reduction device

2.2 本研究装置の改良点

これまでの研究では、前後方向の振り型傾斜車台が大きな変位を発生させた場合、傾斜車台の車輪がころ板の壁に衝突して大きな加速度を発生させることが問題として挙げられた。そこで、車輪の衝突による衝撃を抑えるために、ころ板の壁への緩衝材設置と可変摩擦ダンパーの取り付けを行った。

緩衝材は、硬さ 25 のクロロプレンゴムスポンジクッションを使用し、図 2 のように、ころ板の両端の壁に取り付ける。傾斜車台の車輪が緩衝材に衝突した際に緩衝材が変形することによって、その際に発生する衝撃による大きな加速度を抑える効果が期待できる。



Fig.2 Side view of the pendulum tilting table which cushioning materials attached

前後方向の可変摩擦ダンパーについて、図 3 に傾斜車台と可変摩擦ダンパーの断面図を示す。傾斜車台は天板に取り付けられたリニアガイドにリンクロッドで繋がれており、傾斜車台が移動するとリニアガイドも移動する構造となっている。磁石はリニアガイドに取り付けられている。可変摩擦ダンパーは上下方向と同じ構造になっている。傾斜車台の車輪が壁に衝突する前に強いすべり摩擦力を発生させ、車輪のころ板の壁への衝突を防ぐストッパーとしての効果が期待できる。可変摩擦ダンパーの摩擦力は 15[N](非磁性体),65[N](磁性体)とする。

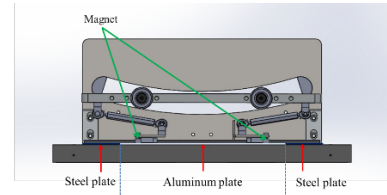


Fig.3 Cross section of the pendulum tilting table and the variable friction damper

3 救急車による実車走行実験

3.1 実験方法

救急車の走行中に発生する振動に対する本研究装置の加速度低減効果を確認するために、本研究装置を救急車に設置して福井市内の道路を走行する実験を行う。救急車による実車走行実験で得られる加速度データから、本研究装置の加速度低減性能を評価する。同時に防振架台上の加速度も計測し、防振架台の性能も調査する。

実験に使用する救急車は、図 4 に示すトヨタ製の救急車で、ストレッチャーの下には空気ばねによる防振架台が装備されている。なお、本実験は福井市消防局中消防署に協力をしていただいた。



(a) Front view



(b) back view

Fig.4 Picture of ambulance

救急車の運転は中消防署の救急隊員に依頼する。実験は 2 回行い、2 回目は 1 回目の実験よりも加速減速を強く行うように意識した運転で行った。ここで便宜上、1 回目の実験を Am8、2 回目の実験を Am9 とする。

走行経路は中消防署を開始地点とし、福井市内を右回りに走行し、中消防署に戻る経路である。1 周約 13.8[km]で走行時間は信号待ちの時間を含め、約 50 分である。データをまとめる際には、経路を 11 分割するものとする。

計測する加速度について、装置基礎部を入力加速度（自動車の床面で発生する加速度）、装置に載せたおもりの上を応答加速度 1（装置上で発生する加速度）、防振架台の上を応答加速度 2 とする。計測する方向は、入力加速度と応答加速度共に上下方向と前後方向である。加速度計測のサンプリングタイムは 0.01[s]とする。

防振架台について、ストレッチャに体重 75[kg]の人間を仰臥位に設置し、防振架台の防振機能が働いている状態で行う。

3.2 上下方向における実験結果及び考察

図 5 に Am8 の、図 6 に Am9 のそれぞれの経路の実験結果の加速度波形とその PSD 図の 1 例を示す。図中の黒線は入力加速度、赤色(a)は応答加速度 1（本研究装置上）、青色(b)は応答加速度 2（防振架台上）を示す。図 7,8 に各低減率を示し、図中の青と赤は最大加速度（順に応答 1, 2）、水色と黄は RMS（順に応答 1, 2）を示す。

加速度波形から、研究装置上の加速度は入力加速度よりも低減されているが、防振架台上の加速度は入力加速度と同様または増幅していることがわかる。

研究装置上の加速度 RMS 値の低減率の平均は 8.3~14.5 [%]であり、目標値である 50[%]には達していない。また、低減率がマイナスの値が存在することがわかる。低減率が低い原因として、4 本のシャフトが同じ動きをせず、天板の片側方向のシャフトのみ上下する動きが発生したためだと考えられる。

防振架台上の加速度 RMS 値の低減率はすべて経路でマイナスの値を示している（平均で -40.3~-38.3[%]）ことから、防振架台上の加速度は救急車床上の加速度よりも増幅していることがわかる。

PSD 図から、研究装置では 1.0[Hz] 付近に小さいピークがあることがわかる。これは固有振動数を 0.95[Hz]と設定しているためであり、想定した応答が得られたといえる。しかし、入力加速度のピークである 2.0[Hz]付近の振動の影響が出ていることから、上記のシャフトの問題

があることが考えられる。

防振架台では 2.0[Hz]付近で増幅し、6.0[Hz]付近で下がることわかる。2.0[Hz]付近で増幅した原因として、共振が発生したことが考えられる。

以上より、本研究装置について、加速度 RMS 値の低減率の平均が 8.3~14.5 [%]であることと、PSD において入力加速度と同様の振動が発生していることから、シャフトの動きに問題があ

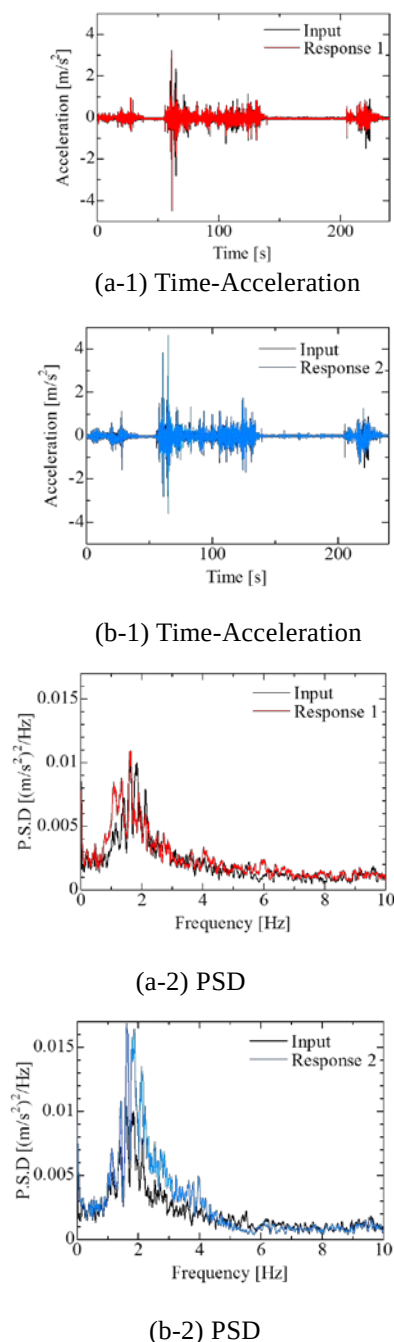
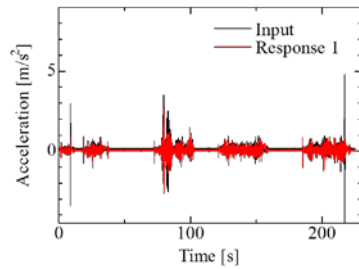
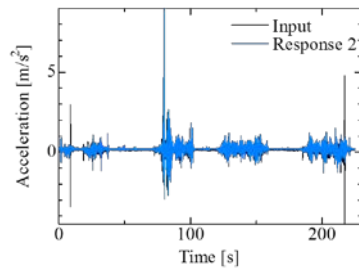


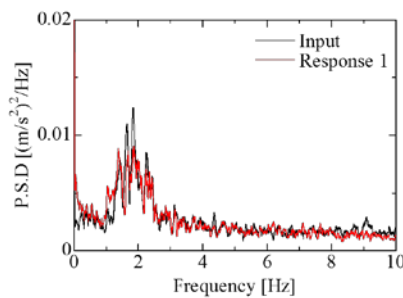
Fig.5 Experimental results (Am8, Route1, up-down)



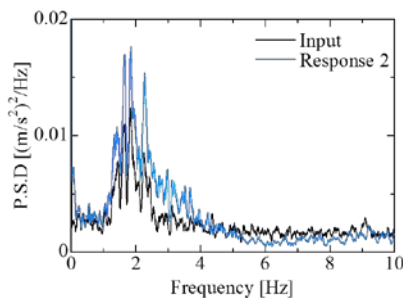
(a-1) Time-Acceleration



(b-1) Time-Acceleration



(a-2) PSD



(b-2) PSD

Fig.6 Experimental results (Am9, Route1, up-down)

ることが考えられる。防振架台では 2.0[Hz]付近で共振が発生し、加速度が増幅していることを確認した。



Fig.7 Decreasing rate (Am8, up-down)

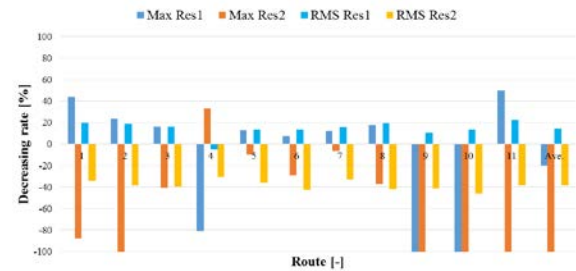


Fig.8 Decreasing rate (Am9, up-down)

3.3 前後方向における実験結果及び考察

図 9 に Am8, 図 10 に Am9 のそれぞれの経路の実験結果の加速度波形の 1 例を示し, 図 11, 12 に各低減率を示す。

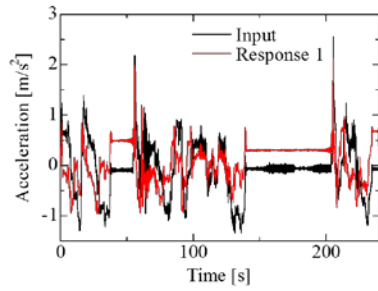
加速度波形から, 研究装置上の加速度は入力加速度よりも低減されているが, 防振架台上の加速度は入力加速度と同様または増幅していることがわかる。

防振架台上の加速度は常に入力加速度と同様の形をしていることから, 空気ばね式の防振架台は前後方向の加速度に対応しておらず, 空気ばねの振動が前後方向に伝わったと考えられる。

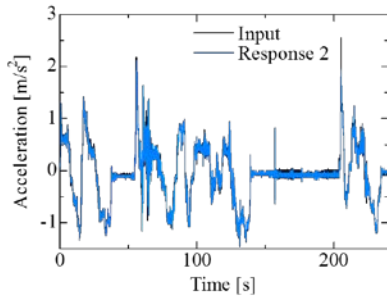
加速度 RMS 値と低減率から, 研究装置上の加速度 RMS 値の低減率の平均は 26.9~28.6 [%] であり, 目標値である 30[%]に近い値であった。また, 研究装置上の最大加速度値の低減率の平均値は 21.8~37.6[%]であり, 緩衝材と可変摩擦ダンパーによる効果が得られた。

防振架台上の加速度 RMS 値の低減率はすべて経路でマイナスの値 (平均で -6.8~-4.0[%]) を示していることから, 防振架台は前後方向の振動に対応していないことがわかる。

以上より, 研究装置における加速度低減効果を確認した。また, 防振架台は前後方向の振動に対応していないことを確認した。

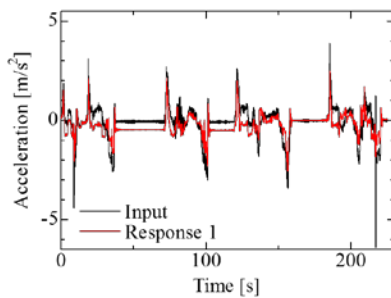


(a-1) Time-Acceleration

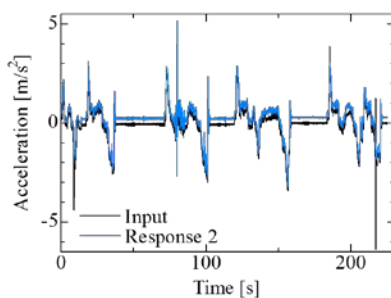


(b-1) Time-Acceleration

Fig.9 Experimental results (Am8, Route1, front-back)



(a) Time-Acceleration



(b) Time-Acceleration

Fig.10 Experimental results (Am9, Route1, front-back)

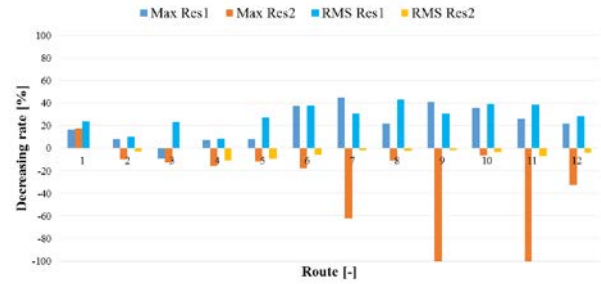


Fig.11 Decreasing rate (Am8, front-back)

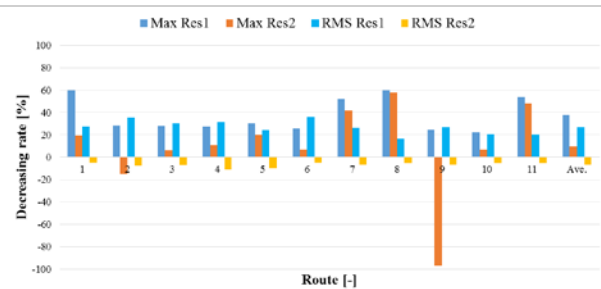


Fig.12 Decreasing rate (Am9, front-back)

4 リニアガイドを用いた上下方向振動の改良

救急車による実車走行実験の結果から、PSDにおいて研究装置上の加速度は入力加速度のピークである 2.0[Hz]付近の振動の影響が出ていることがわかった。この原因として、4本のシャフトが同時に上下方向に動かず、片側（一側面）のシャフトが上下に動くことが考えられ、課題として挙げられた。

この問題を解決するために、上下方向に動くリニアガイドを取り付け、上下方向の支持を増やすことを考案した。

リニアガイドはL字の板（レール保持板）とブロック保持板に取り付けられ、図 13 のように、装置前方と装置後方の2箇所に取り付ける。リニアガイドのレールを垂直方向に立て、レールの下側（レール保持板）を装置基礎部にボルトで固定する。リニアガイドのブロックはブロック保持板に取り付けられ、ブロック保持板は天板側面にボルトで固定する。これにより、天板の片側が下がることを抑え、4本のシャフトが同時に上下方向に動くようになることが期待できる。

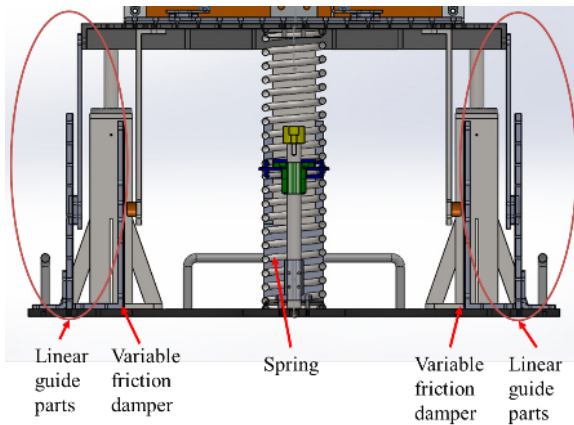


Fig.13 The device with linear guide parts (cross section)

5 改良型 2 次元加速度低減装置を用いた商用車による実車走行実験

5.1 実験方法

リニアガイドを用いた上下振動の改良の効果を確認するために、本研究装置を商用車に設置して福井市内の道路を走る実車走行実験を行い、装置天板上の前方と後方で発生する上下方向の加速度を比較する。実験に使用する自動車は、図 14 に示すトヨタハイエースバンである。



(a) Front view (b) back view

Fig.14 Picture of TOYOTA Hiace-van

実験方法は救急車による実車走行実験と同様とする。

計測する加速度について、装置基礎部を入力加速度（自動車の床面で発生する加速度）、装置に載せたおもりの上を応答加速度 1（装置中央）、装置天板上前方を応答加速度 2（天板前方）、装置天板上後方を応答加速度 3（天板後方）とする。

実験は 2 回行い、1 回目はリニアガイド無しで、2 回目はリニアガイド有りで行う。ここで便宜上、1 回目の実験を Hi7、2 回目の実験を Hi8 とする。

5.2 実験結果及び考察

図 15 にリニアガイドの有無による実験結果の加速度波形とその PSD 図の 1 例を示す。図中の黒は入力加速度、赤は応答加速度 1（装置中央）、青は応答加速度 2（天板前方）、緑は応答加速度 3（天板後方）を示す。

加速度波形から、リニアガイドの有無に関わらず、応答加速度は 3 箇所すべてにおいて入力加速度よりも低減されているが、計測場所によって加速度の大きさに違いがあることがわかる。

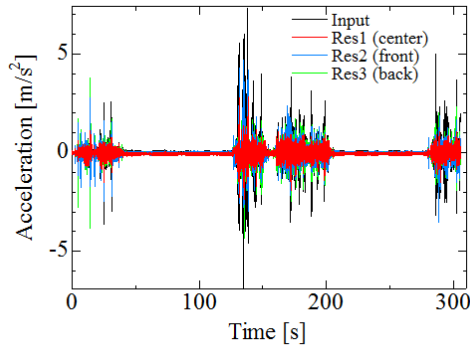
加速度 RMS 値の低減率の平均は、リニアガイド無しの場合、装置中央で 46.1[%]、前方で 39.0[%]、後方で 30.4[%]、リニアガイド有りの場合、装置中央で 42.8[%]、前方で 35.6[%]、後方で 27.4[%]であった。したがって、リニアガイドの有無に関わらず、天板上後方、天板上前方、おもりの順に小さい加速度を示す傾向にあることがわかった。

装置天板前方と後方についての加速度 RMS 値を比較すると、リニアガイド無しの場合、天板前方で $0.375[\text{m/s}^2]$ 、天板後方で $0.427[\text{m/s}^2]$ 、リニアガイド有りの場合、天板前方で $0.386[\text{m/s}^2]$ 、天板後方で $0.435[\text{m/s}^2]$ であった。したがって、天板後方でリニアガイドの有無に関わらず 10[%]強の差があることがわかった。この原因として、振子型傾斜車台の移動によって重心位置の移動することばね（天板）に均等に力が加からなくなったと考えられる（図 16）。

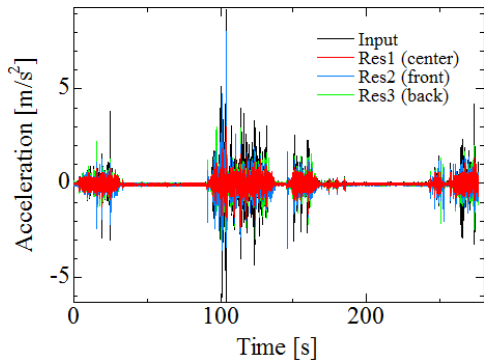
以上より、上下方向の加速度低減効果を確認することはできたが、リニアガイド部による結果の違いを得ることはできなかった。しかし、応答加速度は常に低減される傾向が見られ、天板前方と後方で発生する加速度の差は 10[%]と小さかった。

6 結言

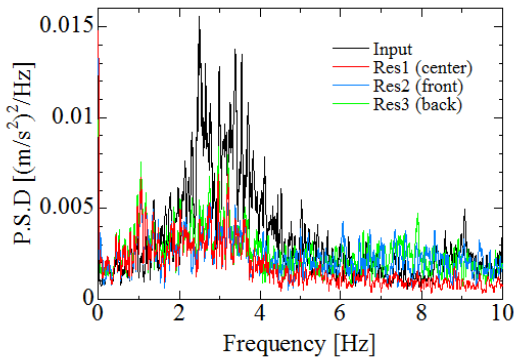
- (1) 研究装置の上下方向の加速度 RMS 値の低減率の平均は 8.3~14.5 [%]であり、加速度低減効果を確認できた。
- (2) 研究装置の前後方向の加速度 RMS 値の低減率の平均は 26.9~28.6 [%]であり、加速度低減効果を確認できた。
- (3) 研究装置に上下方向の加速度低減構造に変摩擦ダンパーを取り付けた。



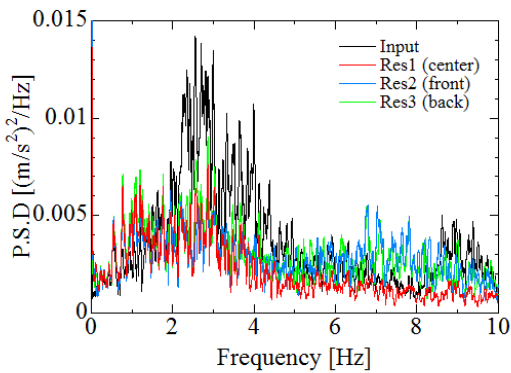
(a-1) Time-Acc. (without)



(b-1) Time-Acc. (with)

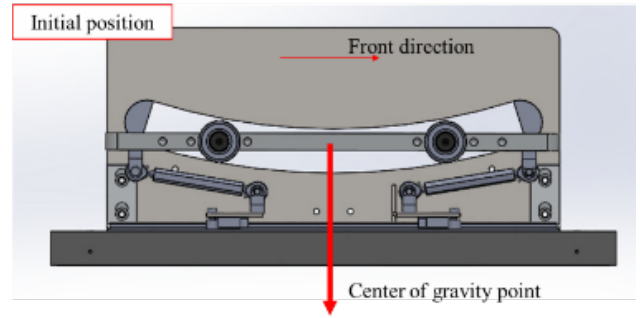


(a-2) PSD (without)

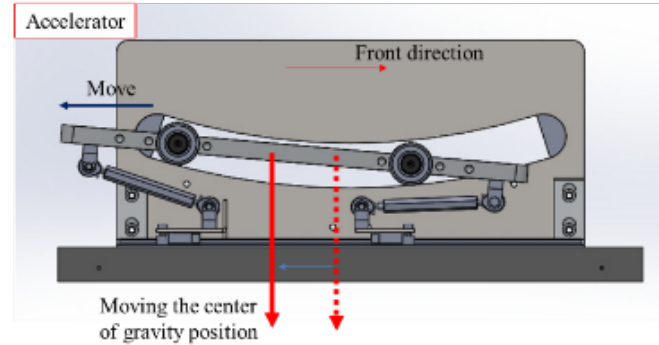


(b-2) PSD (with)

Fig.15 Experimental results
(Hi7, 8, Route1, up-down)



(a) Initial position



(b) Accelerator

Fig.16 State of movement of the center of gravity point

- (4) 研究装置に前後方向の加速度低減構造に緩衝材と可変摩擦ダンパーを取り付けた。
- (5) 研究装置の上下方向の加速度低減性能を高めるために、リニアガイドによる改良案を考案し、実装した。
- (6) 改良した装置を用いた実車走行実験から、上下方向の加速度 RMS 値にわずかの加速度低減効果を確認できた。
- (7) 以上より、本研究装置における上下方向と前後方向の加速度低減効果について確認することができた。
- (8) 救急車による実車走行実験から、本研究装置の上下方向性能について、PSD 図より、4 本のシャフトが同時に動いていないことを確認した。
- (9) 今後の課題として、上下方向の加速度低減に関して、研究装置の 4 本のシャフトを同時に動かして、固有振動数である 0.95[Hz] の PSD 値を高くしていく改善が挙げられる。

7.3 通信指令専科教育導入プロジェクト

研究実施期間	平成 27 年度
配分額(千円)	10,479
研究代表者	坂本 哲也
所属機関	帝京大学
研究体制	産・学・官 (帝京大学・京都橘大学・国士舘大学・横浜市立大学・救急救命東京研修所・神戸学院大学・藤沢市民病院・藤沢市消防局・豊中市消防局・岸和田市消防本部・泉州南広域消防本部・和歌山市消防局・出雲市消防本部・佐世保市消防局・沖電気工業株式会社)
研究概要	本研究では指導的立場の通信指令員を養成する専科教育モデルの作成を行った。国内で先進的な取り組みを行っている地域からマニュアル等の収集を行って参考資料とし、教育内容について①救急分野、②コミュニケーション・教育手法、③事案対応・多数傷病者運用、④法律・個人情報・報道対応・セキュリティ対策に分けて、各作業班で分担して検討を行った。並行して、教育効果の高い模擬指令台の開発も行った。加えて、海外の通信指令教育および平成 27 年 8 月茨城県での水害対応事例について視察を行った。これらの検討結果からテキストを作成し、平成 28 年 3 月に和歌山県消防学校にてモデル教育を行い、アンケート調査にて受講者に高い評価を得た。
研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究では、和歌山県消防学校にてモデル専科教育として、通信指令業務における救急以外の分野も含めた研修会を実施した。その中において、これまでわが国では行われてこなかった心理学的知見を基にしたコミュニケーションスキルの教育を実施し、受講生から良好な評価を得た。これまでに消防庁で作成された救急分野のテキスト以外の内容を含めた通信指令教育と口頭指導等の動画を作成することで、通信指令専科教育のモデルが提示できたものと言える。今後、本研究を活用して、山形県内の消防機関において、模擬指令台を活用した口頭指導訓練を実施する予定である。
応用の方向性	今回作成した資料・教材等を、通信指令教育を模索している全国の消防学校などで活用していただく。またこれまでわが国では実施されていなかった、心理学的知見をベースとした通話技術の研究を進めることで、より確実な聴取や口頭指導が実施できると考えられる。
研究発表の状況等	・北小屋裕、他：通信指令における専科教育導入の試み。第 19 回日本臨床救急医学会総会、郡山市、平成 28 年 5 月 13 日 ・北小屋裕、他：通信指令専科教育導入プロジェクト。プレホスピタルケア 2016 年 6 月号(第 29 巻第 3 号)

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	本研究で作成した通信指令員の教育内容については、各地での実践的な活用も始められているが、実践をふまえたフィードバックから今後さらなる検討を加えることができれば、より洗練されたものにできると考えられる。また、混乱した通報者と通信指令員のコミュニケーションについては、海外で行われているように事例・通信記録の集積を行い、心理学の専門家などを交えて通話技術について検討を行うことで、円滑な情報収集と口頭指導の可能性が高まり、迅速な現場到着および救命率向上に資すると考えられる。

通信指令専科教育導入プロジェクト

○坂本哲也¹・田中秀治²・森村尚登³・田邊晴山⁴・中田敬司⁵・阿南英明⁶・富士原彰⁷・志村秀実⁸・山本政明⁹・西川正則¹⁰・大西保¹¹・谷口慶¹²・手銭俊貴¹³・山崎扶治男¹⁴・松本信介¹⁵・北小屋裕⁷

Tetsuya Sakamoto, Hideharu Tanaka, Naoto Morimura, Seizan Tanabe, Keiji Nakata, Hideaki Anan, Akira Fujiwara, Hidemitsu Shimura, Masaaki Yamamoto, Masanori Nishikawa, Tamotsu Ohnishi, Kei Taniguchi, Toshitaka Tezen, Fujio Yamasaki, Shinsuke Matsumoto and Yutaka Kitagoya

研究課題の要旨：本研究では通信指令教育において指導的立場を担う通信指令員を養成する専科教育モデルの作成を行った。国内で先進的な取り組みを行っている地域からマニュアル等の収集を行って参考資料とし、教育内容を①救急分野、②コミュニケーション・教育手法、③事案対応・多数傷病者運用、④法律・個人情報・報道対応・セキュリティ対策に分けて、各作業班で分担して検討を行った。並行して、教育効果の高い模擬指令台の開発も行った。加えて、海外の通信指令教育および平成27年8月茨城県での水害対応事例について視察を行った。これらの検討結果からテキストを作成し、平成28年3月に和歌山県消防学校にてモデル教育を行い、受講者より高い評価を得た。

キーワード：通信指令員、専科教育モデル、口頭指導、緊急度判定、模擬指令台、コミュニケーションスキル、多数傷病者

1. 背景・目的

119番通報を受ける通信指令は市民からのファーストコンタクトに対応し、通報内容から必要な情報を短時間で的確に聴取し、口頭指導や応急手当に関する適切な情報を与えるとともに、応援隊やドクターカー、ドクターヘリなど医療資源の投入の判断や医療機関選定の支援、緊急度・重症度の判断など多くの役割が求められる業務である。更に、火災や救助、多数傷病者などへの対応、個人情報保護や報道対応などの社会的知識も求められる。

我が国の消防における通信指令員の配置は、専従職員を充てている場合から他の業務との兼任職員の場合など、その体制は多岐にわたっている。このため通信指令員に対する教育においては全国共通の手法が存在していない。総務省消防庁の平成25年度救急業務のあり方に関する検討会では通信指令員テキストが作成され¹⁾、平成26年には教育モデルが検討されているが²⁾、全国の消防本部や消防学校等において通信指令業務についてのより充実した教育が行われるためには、標準的な教育カリキュラムの開発と指導的立場の通信指令員の養成が必要となる。

(所属機関)

1 帝京大学医学部救急医学講座

2 国士舘大学大学院救急システム研究科

3 横浜市立大学救急医学教室

4 救急救命東京研修所

5 神戸学院大学現代社会学部社会防災学科

6 藤沢市民病院救命救急センター

7 京都橘大学現代ビジネス学部

8 藤沢市消防局

9 豊中市消防局

10 岸和田市消防本部

11 泉州南広域消防本部

12 和歌山市消防局

13 出雲市消防本部

14 佐世保市消防局

15 沖電気工業株式会社

2. 研究方法

当研究班では、政令指定都市などで先進的な取り組みを行っている国内の消防組織や海外の通信指令教育内容の情報収集を行って基礎資料とし、平成25年度救急業務のあり方に関する検討会での通信指令員テキスト¹⁾や平成26年度の通信指令員向け教育モデル²⁾を踏まえ、通信指令教育の検討のため①「救急・口頭指導対応作業班」、②「指令・事案対応作業班」、③「コミュニケーションスキル・教育手法作業班」、④「個人情報・セキュリティ作業班」の4つの班を設置して教育内容の検討を行った。そのうえで平成28年3月に和歌山県消防学校においてモデル専科教育を実施、専科教育をしていく上で、必要な授業時間数及び確保が必要な講師等の体制について明らかにした。

(1) 先進的な取り組み事例及び海外の通信指令教育の情報収集

国内の先進的な取り組みを行っている消防組織として、横浜市消防局および福岡市消防局に依頼してカリキュラムおよびテキスト等を入手した。また海外の通信指令教育では、米国ソルトレイクシティのInternational Academies of Emergency Dispatch、ワシントン州ベルビューのBellevue Dispatch Center等を視察し情報収集を行った。

(2) 研究班の役割分担

研究体制として、親研究班の下に、4つの作業班（①救急・口頭指導対応作業班、②指令・事案対応作業班、③コミュニケーションスキル・教育手法作業班、④個人情報・セキュリティ作業班）を設置した。親研究班では、研究班全体の方針の決定及び、作業途上における方向性の確認を行うとともに、各作業班での議論の中で生じた共通の課題について検討を行うことを役割とした。

(3) 作業班の具体的担当と進め方

①救急・口頭指導対応作業班

検討内容については、平成 25 年度に出された、「通信指令員の救急に係る教育テキスト」¹⁾ および「緊急度判定体系に関する検討会報告書」³⁾ を基本とし、口頭指導・緊急度判定などを中心として映像教材と講義資料を作成する。また、指令台メーカとともに模擬指令台の開発を行うことで、消防学校等において実践的能力を修得する教育プログラムの作成を役割とした。

②指令・事案対応作業班

火災、救助など、救急以外も含む通報事案について、入電時の確認事項、負傷者の状況、災害規模などを適切に把握する能力、また集団災害や特殊災害などの入電時の事例を通して知識の共有化を図る教育プログラムの作成を役割とした。

③コミュニケーションスキル・教育手法作業班

119 番受信時に必要とされる、顔の见えない相手とのコミュニケーション能力、パニックになっている通報者から素早く有益な情報を聞き出す能力や、職場内において指導的立場の通信指令員に必要とされる、指導方法や実技指導時のフィードバック方法などの教育手法を修得する教育プログラムの作成を役割とした。

④個人情報・セキュリティ作業班

消防機関における個人情報の漏えいは社会的問題となる。通信指令業務および災害事案の対応時に取り扱う個人情報の取り扱いの指針などを修得する教育プログラムや、情報管理に必要な能力を修得する教育プログラムの作成を役割とした。

3. 結果

(1) 先進的な取り組み事例及び海外の通信指令教育の内容

横浜市消防局においては、医学教育を含む 118 時間の養成教育が実施されており、地域のメディカルコントロール医師と上席の通信指令員が教育内容の監修及び指導を行っていた。また福岡市消防局ではビデオカメラによる録画を随時併用して、先輩指令員の指導のもと On the Job Training にて実技訓練が実施されているなど、個々の消防本部において先進的な教育内容が模索されていた。

また、ディスパッチの先進地である米国ワシントン州ベルビュー等では、未経験の一般の人を指令員として養成する教育が行われていた。その内容は、ディスパッチャーセンターに蓄積された通報時の記録をもとに、通報者の行動を統計化し、通報者の行動心理を分析したデータをもとに作成されたものであり、聴取や口頭指導時の手順、パニックコントロールの方法を身につけさせる 1 ヶ月間の養成教育が行われていた。

(2) 作業班ごとの教育内容検討の概要

①救急・口頭指導対応作業班

総務省消防庁の「通信指令員の救急に係る教育テキスト」および「緊急度判定体系に関する検討会報告書」をもとに、事例ごとの映像教材を作成した。また、指令台メーカにより市販のパソコン上で動く

模擬指令システムの開発を行った（図 1、2）。



図 1 模擬指令台画面



図 2 模擬指令台画面

②指令・事案対応作業班

政令指定都市の大規模消防本部など、先進的な取り組みを行っている地域の消防本部の通信指令マニュアルを収集し、その内容について整理した上で、中小規模の消防本部においても活用可能な対応マニュアルを作成した。また多数傷病者事案や大規模災害事案対応については、北関東豪雨災害の常総地域の消防本部を調査し、多数傷病者事案における対応マニュアルを作成した（図 3）。



図 3 事案・法令テキストマニュアル（表紙）

③コミュニケーションスキル・教育手法作業班

消防機関における対応困難事例を調査して類型化を図り、その結果をもとに、有識者の協力も得て通報者の心理学的状況を解析し、パニックや興奮している通報者の心理状況を把握するとともに、困難事例に対し、コミュニケーションを如何に図るかについて明らかにした。また、受講した通信指令員が職場内において、指導的役割を担ってもらうための教育資料を作成した。

④個人情報・セキュリティ作業班

災害時における個人情報の提供について、消防機関としての対応について大学教授や弁護士などの有識者を交えて、標準的な対応を検討し、一般問い合わせ及び報道機関からの問い合わせについての一般的な情報提供の方法についてマニュアルを作成した。また通信指令は、数多くの情報を管理していることもあり、情報漏えい防止など情報管理について、有識者の意見を検討し、セキュリティ対策についてマニュアルを作成した（図3）。

以上作成した教育プログラム及びテキストをもとに、3月22日から25日の間、和歌山県消防学校においてモデル専科教育を実施し、和歌山県下16消防本部から24名の受講生に教育プログラムを実施した。カリキュラムを表1～4に示す。

受講生アンケート結果については図4～9に示すように、ほぼすべての受講生から良好な評価をいただくとともに、約半数の受講生からは、教育期間が短く、もう少し長く設定してほしいとの意見がでた。また、本モデル専科教育を実施した際、近隣の消防機関、消防学校からも多数の見学があった。

3月22日 火曜日	
13:00	入校式
	通信コミュニケーション総論 (通信における障害をきたす因子)
13:50	
14:00	実技
14:30	通信コミュニケーション症例提示 1
14:40	
	通信指令とコミュニケーション各論
15:50	
16:00	実技
	通信コミュニケーション症例提示
16:50	2・3

表1 モデル専科教育カリキュラム（1日目）

3月23日 水曜日	
9:00	実技
	通信コミュニケーション症例提示
9:50	4・5
10:00	
	講義
10:50	照会及び問い合わせ等
11:00	
	講義
11:50	照会及び問い合わせ等
13:00	講義 障害発生時の対応
13:40	セキュリティ対策について
13:50	
	講義
14:30	通報機器別の受報要領 指令、無線運用
14:40	講義 事業別における受信時の注意事項 項及び対応要領(救急を除く)
15:20	多数傷病者事案
15:30	
	講演
17:00	「平成二十六年八月二十日 広島市豪雨災害について」

表2 モデル専科教育カリキュラム（2日目）

3月24日 木曜日	
9:00	講義
	聴取、緊急度判定の講義
9:50	
10:00	講義
	聴取、緊急度判定の動画視聴
10:50	
11:00	実技
	聴取、緊急度判定の模擬練習
11:50	
13:00	講義
	口頭指導の講義、動画視聴
13:50	
14:00	実技
	口頭指導の模擬練習
14:50	
15:00	実技
	総合演習
15:50	
16:00	実技
	総合演習
16:50	

表3 モデル専科教育カリキュラム（3日目）

3月25日 金曜日	
9:00	講義
9:30	教育技法 総論・各論
9:40	実技 通信コミュニケーション シナリオステーション
11:10	
11:20	
	修了式
12:00	

表4 モデル専科教育カリキュラム（4日目）

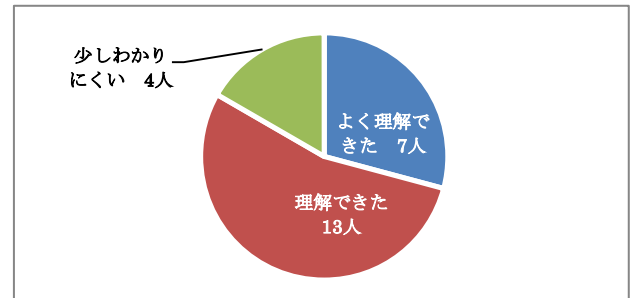


図7 受講生アンケート結果：
照会・セキュリティ対策について

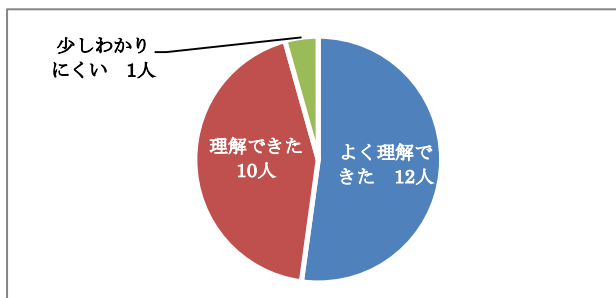


図4 受講生アンケート結果：
救急対応・口頭指導・緊急度判定について

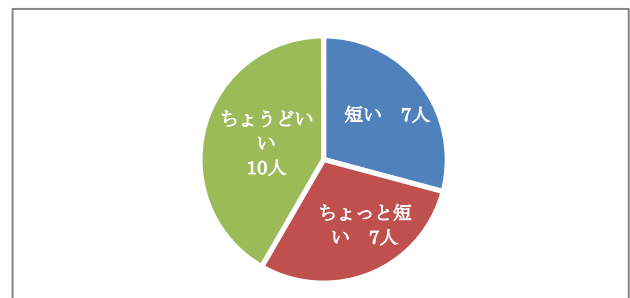


図8 受講生アンケート結果：
教育時間数について

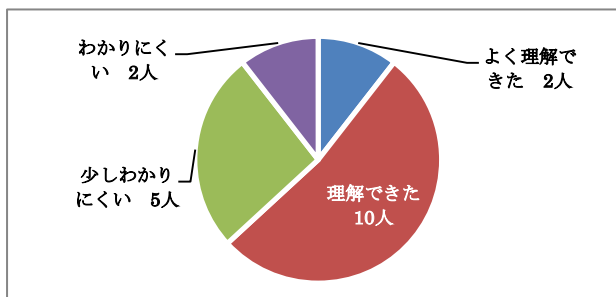


図5 受講生アンケート結果：
事案対応・多数傷病者について

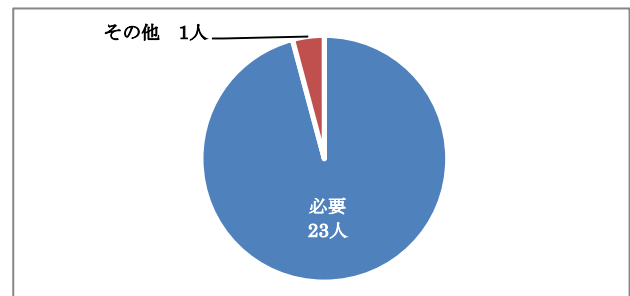


図9 受講生アンケート結果：
専科教育の必要性について

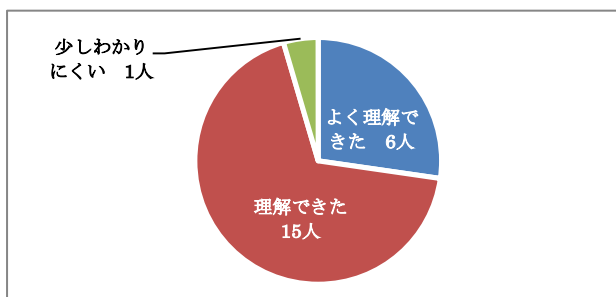


図6 受講生アンケート結果：
コミュニケーションスキルについて

4. 考察

通信指令教育については標準化された手法がこれまで存在しておらず、現職の者が、新任職員の指導に当たって通信指令教育を実施してきた。そのため、指導者個々人の能力に左右される部分が大きく、また救急以外の分野についてはテキスト等も存在していないため、指導内容についても機器の操作や、出動体制についての教育に留まっているのが現状であった。

通信指令員に対する教育として、救急分野以外に、火災や救助、多数傷病者対応などの災害事案に対する対応や通報者とのコミュニケーションを図るため

のスキル、個人情報保護、報道対応、セキュリティ対応などについて、通信指令教育として初めてまとめた。

今回のモデル専科教育は、すべての教育を研究班メンバー（研究協力者、有識者）で担当したが、今後は消防学校教官や地域のメディカルコントロール医師が加わる形での教育体制の整備も検討する必要がある。

また、米国では通信指令教育に、心理学的知見が大きく取り入れられており、蓄積された通報内容の記録から通報者の心理状況を分析し、行動心理に応じた受信要領や口頭指導の手順について教育が実施されていた。今後わが国においても、通報内容のデータの蓄積を図り、パニックに陥っている人や災害時の通報者の行動パターンを集計し、心理学的な分析を加えたうえで、通信指令員に対する効果的な教育内容の改善に反映していく必要がある。

5. 結論

平成 27 年 7 月より、研究班において、先進的な取り組みを行っている消防組織の通信指令マニュアルや米国の先進的な通信指令教育体制を視察した結果をふまえて、各作業班において、火災や救助などの災害事案対応や個人情報などの社会的能力をまとめた教育プログラムを作成し、和歌山県消防学校において、県下消防本部の通信指令担当 24 名に教育を行った。

その結果、困難事例などにおける心理学的側面から考察した教育プログラムや自消防本部では体験したことがない多数傷病者事案の教育、災害発生時の対応状況などについては、受講生から高い評価結果となった。

今回の受講生は、救急分野の知識については、すべてⅡ課程以上の知識を持っており、救急分野にお

ける講義については、ほとんどの受講生が理解できており、緊急度判定や口頭指導方法についても、高い評価であった。

以上のように、今回のモデル専科教育は、大規模消防本部ではない中小規模の消防本部において、通信指令教育を実施していくにあたっての必要な教育内容や手法について模索している段階であって、すでに国から示された救急以外の分野についての標準的なテキストについても作業班において取りまとめ提供することができ、通信指令教育の標準化に向けた第 1 歩となった。今後は研究で得られた結果をもとに、より実践的な通信指令教育の開発、全国の消防学校においても普及可能な教育プログラムの開発を進めていく必要があり、早期に通信指令教育の標準化を図りつつ、全国の消防学校において導入を図る必要がある。

【参考文献】

- 1) 通信指令員の救急に係る教育テキスト. 消防庁、平成 26 年 3 月. http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h25/kyukyu_arikata/pdf/text.pdf
- 2) 平成 26 年度救急業務のあり方に関する検討会報告書. 消防庁、平成 27 年 3 月. http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h26/kyukyu_arikata/02/houkokusyo.pdf
- 3) 緊急度判定体系に関する検討会報告書. 消防庁、平成 26 年 3 月. http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h25/kinkyudohantei_kensyo/03/index.html

第二部 平成24年度と25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 聴覚・言語機能障がい者のための緊急通報システムの開発

研究実施期間		平成 25 年度
配分額(千円)		3,430
研究代表者		高島 真
所属機関		株式会社エス・エフ・ティー
研究体制		産・学・官 (株式会社エス・エフ・ティー、株式会社日本緊急通報サービス、秋田大学、小田原市消防本部)
研究概要		聴覚・言語機能障害を持つ方々が全国どこからでも最寄りの消防本部に通報ができる仕組みをヘルプネット(株式会社日本緊急通報システム殿)の全国対応サービスの活用を基本構想として構築することを提案した。本研究では、要素技術の研究開発を目的として、実験システムを構築し、実証実験を行った。 (1)実験システム 通報者がスマートフォンを操作し、通報サーバーを介してヘルプネットと双方向のコミュニケーションが可能なシステムを構築した。通報サーバーにおいては、音声合成および DTMF を利用してヘルプネットオペレータとのコミュニケーションを実現した。 (2)実証実験 聴覚・言語機能障害を持つ通報者が、実験システムおよびヘルプネットを介して消防本部まで通報を行う実証実験を行った。実験の結果として通報内容は十分に伝達され、基本構想の有効性を立証できた。一方、通報時間の短縮など、今後の実用に向けての課題を抽出した。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	平成 25 年度研究では、スマートフォンと既存コールセンターを活用する基本構想の有効性を立証し、通報の正確さと通報時間における課題を抽出しました。 課題： ① 通報時間の短縮（含む通報者への携帯操作の習熟教育） ② 初期通報の画面 [ボタンの大きさ／数（通報項目数）] 正反対のアンケート結果が拮抗しており、両者のニーズへの更なる対応。 ③ 位置情報の精度向上（不十分な場合の補完対策） ④ 音声合成による通報（明瞭化・通報文言／オペレータ側） ⑤ DTMF による応答（メッセージの数／文言の充実）
	他の研究課題への波及	平成 26 年度公募テーマ「聴覚・言語機能障がい者のための緊急通報システム」において、 ・ 既存通報手段の調査分析 ・ テキストメッセージ交換、カメラの活用、地図入力、先行入力による課題解決 ・ 実証実験を通して技術的方策の確立等を計画し応募(不採択)。・・・積み残し課題となっております。

フォローアップの内容	他の研究課題への波及	◆社内自主研究開発(平成 27 年～) GPS および自律測位による位置情報と地図情報を用いた位置精度の向上 ・ 高速道と並走する一般道との区別 ・ 高架都市高速道と高架下の一般道との区別 ・ トンネル内の位置特定の精度向上 ・ 高層ビル内及び地下街における現在地 等の条件下における通報地点を特定する方法の研究を進めている。 この方法を緊急通報システムに組み込むことにより、 ・ 通報地点の正確さが大きく向上できる ・ 用途並びに利用範囲の拡大 等が図れるものと期待しております。 ◆今後計画中の研究テーマ 訪日外国人に対応したシステムのリニューアル並びにシステムの充実 (インバウンド政策並びに 2020 年のオリンピック・パラリンピック等による訪日外国人の増加対策) ・ 対応言語の追加(英語／繁体字／簡体字／ハングル／タイ語) ・ 公共交通(電車・バス等)／駅へのナビゲーション機能の追加 ・ 病院・警察・消防署等の公共施設の検索機能の追加 ・ アプリケーション対応 : iOS / Android への対応 端末機器対応 : スマートフォン／Tablet
	研究発表の状況等	特にありません。
	知的財産権の出願・登録状況等	・ 特許申請「聴覚障がい者等向け緊急通報システム」(H24.11.13 出願・H25.10.1 拒絶).

第2 防災力の向上

2.1 心肺蘇生開始までの時間短縮を目的としたファーストレスポnder体制の研究開発

研究実施期間	平成 23 年度～平成 24 年度
配分額(千円)	平成 23 年度 13,000 平成 24 年度 18,200
研究代表者	鈴木 正之
所属機関	自治医科大学 救急医学講座
研究体制	学・官 (自治医科大学、帝京大学、京都橋大学、金沢大学、石橋地区消防組合消防本部、小山市消防本部、芳賀地区広域行政事務組合消防本部、出雲市消防本部、加賀市消防本部、加賀市、福岡市消防局)
研究概要	本研究は、本研究推進制度のテーマ設定型研究開発「⑥心肺蘇生開始までの時間短縮を目的とした救急体制の研究開発」を行った。本研究では、英国や米国等で既に実施され効果が報告されている、地域における心肺停止事案に、救急隊以外の一般人や医療従事者などを救急車到着前に現場到着させ、応急手当を実施させる体制、ファーストレスポnder(FR)体制の日本独自の体制開発及びガイドラインの作成を行った。 ガイドラインは、海外における先行事例の調査、地域住民(栃木県、東京 23 区それぞれ無作為抽出の 18 歳以上男女 1,350 名)への意識調査、及び FR 体制の模擬実験を実施し、それら結果を参考にして作成した。 そのガイドラインを参考として、実際に石川県加賀市塩屋町において FR 体制を導入しその運営にも成功した。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況) 本研究では、救急車到着までに時間のかかる地域へのファーストレスポnder体制導入について研究開発を行ってきた。研究期間中に石川県加賀市塩屋町にファーストレスポnder体制導入を完了している。塩屋町では、これまでに地域住民が 6 回の出動を行っている。その後、島根県出雲市奥田儀地区、伊野地区においてもファーストレスポnder体制が導入され、それぞれ出動を行っている。 消防機関の救急隊が心肺停止を目撃されてから傷病者に心肺生法等を開始するまでの時間が 10 分以上かかると、急激に患者生存率が低下する。これらのファーストレスポnder体制導入地域ではファーストレスポnderが傷病者に救急隊よりも先に患者に接触し、心肺蘇生法を開始することができている。日本の各地域からこれらファーストレスポnder体制が導入された地域に対し、その導入方法についての問い合わせが多く入っている。 今後、このような地域が増え、ファーストレスポnder体制が導入されると、消防機関ではカバーできない心肺停止の時間において、心肺蘇生法が実施されるようになり、将来的には地域での生存率が向上することが考えられる。
	他の研究課題への波及 特になし

フォローアップの内容	研究発表の状況等	【論文発表】 1. Toyokuni Y, Suzukawa M, Yamashita K, Yonekawa C, Kubota K, Yasuda Y, Kobayashi A, Matsubara H. Introduction of the community first responder system into Japan: is that possible? International Journal of Emergency Medicine 2013 年 9 月 2. Yonekawa C, Suzukawa M, Yamashita K, Kubota K, Yasuda Y, Kobayashi A, Matsubara H, Toyokuni Y. Development of a first-responder dispatch system using a smartphone Journal of Telemedicine Telecare 2014 年 3 月 3. Kenji Narikawa, Tetsuya Sakamoto, Katsuaki Kubota, Masayuki Suzukawa, Yoshiki Toyokuni, Chikara Yonekawa, Keisuke Yamashita, Yasuharu Yasuda, Akihiro Kobayashi, Kazunori Iijima. Predictability of the call triage protocol to decide if dispatchers should activate Community First Responders. Prehosp Disaster Med 2014 年 7 月 4. 久保田勝明、坂本哲也、安田康晴、豊國義樹 救急現場活動時間短縮等へのPA連携の効果 消防研究所報告 第 109 号 2010 年 9 月 【学会発表】 1. Yasuharu Yasuda, Yoshinori Kato, Shigeru Tanaka, Daisuke Kumagawa, naoya Tsunoda, Yoshiki Toyokuni, Katsuaki Kubota: The causes of low quality chest compression during ambulance transportation, European Resuscitation Council Congress 発表年月:平成 22 年 10 月 2. 安田康晴, 鈴川正之, 豊國善樹, 久保田勝明:米英におけるファーストレスポonder体制について. 第 14 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 23 年 6 月 3. 久保田勝明, 鈴川正之, 安田康晴, 豊國義樹:米英における一般人によるファーストレスポonderの処置範囲,出場体制. 第 14 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 23 年 6 月 4. 豊國義樹, 鈴川正之, 安田康晴, 久保田勝明:ファーストレスポonderの自力走行速度に関する研究 . 第 14 回 日本臨床救急医学会 発表年月:平成 23 年 6 月 5. Yoshiki Toyokuni, Masayuki Suzukawa, Yasuharu Yasuda, Katsuaki Kubota: Introduction of civilian based first responder at the Great East Japan Earthquake struck area and investigation of their responding speed and fatigue,2011 European Resuscitation Council Congress 発表年月:平成 23 年 10 月 6. Yasuharu Yasuda, Hirofumi Oda, Yoshiki Toyokuni: Study on appropriate tempo of the chest compression -Relations of a tempo and the fatigue-, 2011 European Resuscitation Council Congress 発表年月:平成 23 年 10 月 7. 鈴川正之、豊國義樹、久保田勝明、安田康晴:離島におけるファーストレスポonder(FR)制度の確立. 日本生体医工学会大会 発表年月:平成 24 年 5 月
---	-----------------	--

フォローアップの内容	研究発表の状況等	8. 豊國義樹、鈴川正之、久保田勝明、安田康晴:イタリア ピアチェンザ郡におけるファーストレスポnder体制. 第 15 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 24 年 6 月 9. 成川憲司、坂本哲也、小林明宏、飯島一則、鈴川正之、山下圭輔、米川力、豊國義樹、久保田勝明、安田康晴:ファーストレスポnder対象コール・トリアージ・プロトコルの検討. 第 15 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 24 年 6 月 10. 久保田勝明、川正之、山下圭輔、米川 力、豊國義樹、菅原康一、安田康晴:ファーストレスポnder体制の構築とその効果. 第 15 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 24 年 6 月 11. 米川 力、鈴川正之、山下圭輔、三浦久美子、濱田徹、豊國義樹、久保田勝明、安田康晴、柳沢淳一、馬籠宏一:位置情報サービスを利用したドクターカー出動指令の試み. 第 15 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 24 年 6 月 12. 高山好弘、北村浩一、鈴川正之、山下圭輔、米川 力、豊國義樹、久保田勝明、菅原康一、安田康晴:バイスタンダーCPRの有効性について. 第 15 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 24 年 6 月 13. 宮本英二、中山辰志、鈴川正之、山下圭輔、米川 力、豊國義樹、久保田勝明、菅原康一、安田康晴:目撃ありCPA症例の119番通報までの時間経過及び通報遅延因子の検討. 第 15 回 日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 24 年 6 月 14. Yoshiki Toyokuni、Masayuki Suzukawa、Chikara Yonekawa、Yasuharu Yasuda、Katsuaki Kubota、Kenji Narikawa: Why civilian based first responder system does not exist in Japan? Factors that limit the implementation of first responder system. 2012 European Resuscitation Council Congress 発表年月:平成 24 年 10 月 15. 豊國義樹、鈴川正之、山下圭輔、米川 力、久保田勝明、安田康晴、小林明宏、飯島一則、古市貴志:ファーストレスポnder体制導入に関するアンケート調査. 第 16 回日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 25 年 7 月 16. 豊國義樹、鈴川正之、米川 力、安田康晴:スウェーデン スtockホルムにおけるファーストレスポnder体制. 第 16 回日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 25 年 7 月 17. 松原裕樹、山下秀男、高野久一、大和克幸、倉谷日出夫、鈴川正之、久保田勝明、稲葉英夫、安田康晴、豊國義樹:加賀市塩屋町でのファーストレスポnder体制の時間的効果. 第 16 回日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 25 年 7 月 18. 成川憲司、坂本哲也、久保田勝明、鈴川正之、山下圭輔、米川 力、安田康晴、小林明宏、飯島一則、豊國義樹:ファーストレスポnderを対象としたコール・トリアージ・プロトコルの検討. 第 16 回日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成 25 年 7 月
---	-----------------	--

フォローアップの内容	研究発表の状況等	19. 米川力、鈴川正之、山下圭輔、久保田勝明、安田康晴、成川憲司、豊國義樹:携帯電話の位置情報システムを利用した First Responder 応答時間短縮の試み. 第16回日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成25年7月 20. 安田康晴、鈴川正之、久保田勝明、松原裕樹、豊國義樹:ファーストレスポonder養成における教育体制の検討. 第16回日本臨床救急医学会 学術集会 発表年月:平成25年7月 21. Chikara Yonekawa, Masayuki Suzukawa, Keisuke Yamashita, Yoshiki Toyokuni, Yasuharu Yasuda, Katsuaki Kubota, Akihiro Kobayashi, Hiroyuki Matsubara : Are we ready to start? Introduction of community first responder system into Japan. 2013 European Resuscitation Council Congress 発表年月:平成25年10月 22. 松原裕樹、山下秀男、高野久一、大和克幸、倉谷日出夫、鈴川正之、豊國義樹市民が支える救急医療 石川県加賀市塩屋町ファーストレスポonder隊 第17回日本臨床救急医学会学術集会 2014年5月 23. 福田貴之、浅津圭治、梶谷貴志、飯塚行則、竹田豊、安田康晴、鈴川正之:出雲市におけるファーストレスポonder体制の構築について 第17回日本臨床救急医学会学術集会 平成26年5月 24. 豊國義樹、鈴川正之、山下圭輔、米川力、松原裕樹、竹田豊、梶谷貴志、小林明宏、高山好弘、地域へのファーストレスポonder体制導入の課題、第18回日本臨床救急医学会学術集会 平成27年5月 25. 豊國義樹、鈴川正之、山下圭輔、米川力、竹田豊、梶谷貴志、出川徹:出雲市伊野地区ファーストレスポonder隊員の傾向. 第19回日本臨床救急医学会 学術集会 平成28年5月
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

2. 2 地域力を引き出し持続性を高める「地域防災支援技術パッケージ」の構築

研究実施期間	平成 23 年度～平成 24 年度
配分額(千円)	平成 23 年度 8,580 平成 24 年度 7,735
研究代表者	加藤 孝明
所属機関	東京大学生産技術研究所
研究体制	産・学・官 (日本能率協会総合研究所、キャドセンター、東京大学生産技術研究所、 芝浦工業大学、茅ヶ崎市、茅ヶ崎市消防本部、葛飾区)
研究概要	持続的な「自助、共助、公助」の実現を図る必要条件として、①起こり得る地域の状況の共有、②相互の役割分担の共有を掲げ、特に①に焦点を絞って地域社会における共助を高めるための地域防災活動の支援ツールを開発した。本技術開発は、単なる情報支援ツールの開発を目的とするのではなく、地域社会の防災まちづくり活動の中に支援ツールを位置づけ、効果的な地域社会の活動をデザインすることを目的としている点が特徴である。 成果として、①タブレット型端末で稼動する AR を基盤とする「iPad/iPhone」による地域環境理解のためのツールの地域協働型開発と実用化、②茅ヶ崎市の防災都市づくりワークショップにおけるツールの活用を通じた防災まちづくり支援効果の検証、③ツール群 (AR、PC 端末) を活用した地域社会の防災まちづくり活動の標準形として「地域防災支援技術パッケージ」の提案ができた。
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究成果の活用事例 (実用化の状況) 本研究の成果である AR アプリ「天サイ！まなぶくん」(葛飾版、茅ヶ崎市版)で蓄積したノウハウを直接活かし、(株)キャドセンターが新潟市、名古屋市、三郷市、川口市に納入。調査を行った訳ではないが、他社開発の類似のアプリが自治体に納入されているようである。自治体の啓発ツールとして一定の定着をみていると判断される。 ただし、次のような課題がある。単なるツール提供ではなく、その使い方とパッケージ化することに意味があるが、そのような使い方が使われている事例は限定されているように見受けられる。先進事例を社会に紹介し続ける努力が必要である。 また、本研究成果の成果品である AR アプリのバージョンアップの費用を捻出することが課題である。現在、協力者であったキャドセンターの協力のものとバージョンアップを図っているが、自治体からの拠出は、現行システムが研究成果品であって自治体所有ではないので、バージョンアップ費用を予算化できないという背景がある。持続性を考えると、今後の研究の枠組みとして、ノウハウの開発は研究助成金を使い、本格的な社会実装は自治体が費用負担、あるいは、消防庁の補助金とする方がベターである。一考の価値があると思われる。
	他の研究課題への波及 本研究助成で開発された「地域防災支援技術パッケージ」を拡充、かつ、理論化し、日本全国への展開を目的とした。文部科学省地域防災支援研究プロジェクト「「地域防災支援技術パッケージ」を活用した「地域が進める防災まちづくり」の推進(平成 25-27)」「地域防災対策支援技術パッケージの一般化と普及方策の研究(平成 28-29)」につながっている。

フォローアップの内容	研究発表の状況等	2013 年: ・本アプリの開発対象地域の一つでもあった葛飾区の街づくり団体が防災まちづくり大賞「総務大臣賞」(※総務大臣賞:最高賞)受賞 2014 年: ・平成 26 年「情報通信に関する現状報告」(平成 26 年版情報通信白書)に取り上げられる. 2015 年: ・平成 27 年度「土地白書」112 ページに先駆的な取り組みとして取り上げられる, ・加藤孝明:持続性のある市民主体の地域防災の進め方モデルの試案—総合性, 内発性, 自律発展性の創出と維持—, 地区防災計画学会論文集 No.2, 地区防災計画学会, 2015.1【地区防災計画学会論文賞】 2016 年 ・震災技術展大阪において VR 特集の一環として4ブース分のスペースにて招待展示. 2013 年～2016 年度: ・市町村アカデミーにて地域防災力の向上をテーマに講義. その中で地域防災支援パッケージの一つとして研究成果を紹介. ・その他:研究代表者(加藤)の市民向け, 自治体向けの講演会で紹介. その数多数(数えていませんが, 確実に 50 回以上).
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

2. 3 大震時火災リスクシミュレータの提供と地域消防におけるルール形成の支援研究

研究実施期間		平成 24 年度～平成 25 年度
配分額(千円)		平成 24 年度 4,315 平成 25 年度 2,709
研究代表者		二神 透
所属機関		国立法人 愛媛大学
研究体制		学・官 (愛媛大学、金沢大学、松山市消防局)
研究概要		著者等は、大震時の火災延焼シミュレーション・システムを開発し、住民とリスク・コミュニケーションを行っている。従来は、専門家である著者等が現地を訪れ、一軒一軒の建物を調査し、都市構造データを採取しながら、シミュレーション・データを作成していた。そのため、住民とリスク・コミュニケーションを行う対象が限られていた。そこで、国土地理院の空間情報データから建物形状・構造種別を採取し、著者等のシミュレーション・データに変換するシステムを開発した。これにより、多くの地域を対象として住民とのリスク・コミュニケーションを行うことが可能となった。また、丸亀市、松山市を対象に自主防災組織とのリスク・コミュニケーションを行いシミュレータの効果、命を守るためのルール作りについてアンケート調査・結果の分析を行った。
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	現在、スマホ上で地震火災延焼シミュレータの開発を行っており、愛媛県西予市、高知県須崎市の住民とワークショップを行いながら、開発したシステムの効果をアンケートを用いて分析する予定である。来年度は、避難シミュレータをスマホで活用可能とし、全国での展開を考えている。
	他の研究課題への波及	2016 年 (SCOPE(地域 ICT 振興型) 地理空間情報と環境情報を活用した災害避難共助支援による減災力向上に関する研究開発 2015, 2016 年 公益財団法人 都市緑化機構 茅ヶ崎市浜竹 1 丁目及び荒川区町屋 4 丁目におけるみどりの延焼抑制・遅延効果検証作業
	研究発表の状況等	2015 以降 二神透・井出皓介・今西桃子:防災シミュレータを活用した防災教育推進のための実践研究, 土木学会論文集 F6(安全問題), 安全問題・論文集 8 頁 2014. 掲載決定【査読有り】 二神透・國方祐希:地区防災計画のための大震時火災熱リスク分析システムの開発と適用研究, 土木学会論文集 F6(安全問題), 安全問題・論文集 8 頁 2014. 掲載決定【査読有り】 片岡 源宗・吉井 稔雄・二神 透・大口 敬:救急救命搬送需要予測手法の構築, 土木学会論文集 D3(土木計画学)8 頁, 2015. 掲載決定【査読有り】 羽鳥剛史・二神透:災害想定に関わるメタ無知の実証分析, 科学技術研究, 第4巻, 1号, pp.77-82,2015.2015. 【査読有り】

フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究発表の状況等	2014 1)二神透, 今西桃子, 井出皓介:大震時火災延焼シミュレーション・システムを用いた命を守るための地域ルール作りの実践研究, 土木学会論文集 F6(安全問題), 安全問題・論文集 8 頁 2014.【査読有り】 2)二神透, 國方 祐希:自主防災会・行政・専門家による地域防災力支援システムの開発, 土木学会論文集 F6(安全問題), 安全問題・論文集 8 頁 2014.【査読有り】 3)羽鳥剛史, 二神透:地震火災に関わるメタ無知と災害シミュレーションの効果検証, 土木学会論文集 F6(安全問題), 安全問題・論文集 6 頁 2014.【査読有り】 2013 1)二神透, 秋月恵一, 松山優貴, 國方祐希:津波避難地域を対象とした要援護者支援システムの開発, 土木学会論文集 F6(安全問題), 安全問題・論文集 7 頁 2013.【査読有り】 2)秋月恵一, 二神透:松山市を対象とした救急車両の走行速度の現状分析, 第 47 回土木計画学講演集, CD-ROM6 頁, 2013. 3)二神透, 秋月恵一:愛媛県中予医療圏を対象としたドクターカー出動促進のための救命効果分析, 第 47 回土木計画学講演集, CD-ROM6 頁, 2013. 4)二神透:連合自主防災組織を対象としたリスク・コミュニケーション形成論に関する研究, 第 47 回土木計画学講演集, CD-ROM6 頁, 2013. 5)松山優貴, 二神透, 大本翔平:大震時火災延焼シミュレーション・システムを用いたリスク・コミュニケーション実践研究, 第 47 回土木計画学講演集, CD-ROM6 頁, 2013. 6)片岡源宗, 吉井稔雄, 二神透, 大口敬:救急救命搬送要請頻度に関する分析, 第 48 回土木計画学講演集, CD-ROM6 頁, 2013.
	知的財産権の出願・登録状況等	出願番号:特願 2013-1700237 発明の名称:防災対策システム 出願日:2013/8/20 出願番号:特願 2014-108770 発明の名称:津波対策システム 出願日:2014/5/27

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 防火服の熱ストレスと動作性評価の標準テスト開発

研究実施期間	平成 22 年度～平成 24 年度
配分額(千円)	平成 22 年度 15,600 平成 23 年度 13,000 平成 24 年度 13,856
研究代表者	栃原 裕
所属機関	九州大学大学院 芸術工学研究院
研究体制	産・学・官 (日本防災協会、九州大学、文化学園大学、東京消防庁、福岡市消防局)
研究概要	消防隊員は安全確保のために、耐熱性、耐炎性、引裂耐性等を重視した消防用防火服の着用が不可欠であるが、着用により、隊員の活動動作制限や大きな熱ストレスの危険性などが指摘されている。消防用防火服着用時の熱ストレスや動作性を評価するために、多くの負荷テストが各種研究機関で開発されているが、標準的な評価テスト法はなく、消防用防火服の相互性能比較は出来ず、再現性試験も不可能であった。そこで、1,282 名の消防隊員を対象とした調査研究を行い、標準評価テストに適する暑熱負荷時間や活動中に動作制限を受ける消防動作を調べた。その結果、消防模擬動作を 20～30 分間実施する運動能力テストの前後に各種テストを行うことで、客観的に動作性評価を行うことができた。また、熱ストレス評価については、フル装備で防火衣を着用した消防隊員に対しての 30 分の歩行運動(5.5km/h)テストを標準テストとできた。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況)
	消防用防火服の熱ストレスや動作性を評価するための標準テストは、国内向けだけに作成しても意味が少ないと思われる。そのためには、国際標準規格(ISO)の作成が必要となるが、企画から国際標準作成までには、多くのステップが必要である。本研究の成果は、英語論文として多数公表しており、議論の基礎資料として活用されている。
フォローアップの内容	他の研究課題への波及
	本研究課題の成果を参考にして以下の競争的資金を獲得が可能になり、研究活動を行った。 ・ Development of Smart Personal Protective Equipment (PPE) to Protect and Prevent Heat Injuries in Firefighters. Korean National Emergency Management Agency (Korean NEMA), 平成 24 年度～25 年度, 研究代表者: Joo-Young Lee (Seoul National University) すなわち、本研究成果を参考にして、研究協力者であった Joo-Young Lee 氏が韓国ソウル大学赴任後に消防用防火服・装置の国際共同研究を開始した。具体的には、消防隊員の動作性改善や暑熱ストレスを防ぐため、開発しなければならない未来型消防用防護服に必要な要素を調べる大規模アンケート調査を4カ国(日本、韓国、アメリカ、オーストラリア)で行った。

フ ォ ロ ー ア ン プ の 内 容	他の研究課題への波及	その成果は、2014 European Conference on Protective Clothing と 2014 Asia Protective Clothing Conference にて発表し、海外の消防用防護服研究グループとの活発な討論及び情報交換が行われた。
	研究発表の状況等	「発表論文及び解説」 ・ Ilham Bakri, Joo-Young Lee, Kouhei Nakao, Hitoshi Wakabayashi and Yutaka Tochihara Effects of firefighter's self-contained breathing apparatus' weight and its harness design on the physiological and subjective responses, Ergonomics 55(7): 782-791, 2012, ・ Su-Young Son, Joo-Young Lee, Yutaka Tochihara Occupational stress and strain in relation to personal protective equipment of Japanese firefighters assessed by a questionnaire, Industrial Health 51: 214-222, 2013 ・ Su-Young Son, Ilham Bakri , Satoshi Muraki, Tochihara Yutaka Comparison of firefighters and non-firefighters and the test methods used regarding the effects of personal protective equipment on individual mobility, Applied Ergonomics, 45(4), 1019-1027, 2014 ・ Joo-Young Lee, Joonhee Park, Huiju Park, Aitor Coca, Jung-Hyun Kim, Nigel A.S. Taylor, Su-Young Son, and Yutaka Tochihara What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey. Ind Health 53, 434-444, 2015. ・ Joo-Young Lee, Yota Yamamoto, Riichi Oe, Su-Young Son, Hitoshi Wakabayashi, Yutaka Tochihara The European, Japanese and US protective helmet, gloves and boots for firefighters: thermoregulatory and psychological evaluations, Ergonomics, 57(8), 1213-1221, 2014 ・ ソン スヨン 防護服着用者に伴う着用者の負担,「繊維と災害」シリーズ. 繊維製品消費科学 2016 年 1 月号, 6-11. 「発表」 ・ Su-Young Son ,Tochihara Y Effects of Protective Clothing with Self-Contained Breathing Apparatus on Wearers' Balance Ability and Joint Range of Motion. Asia Protective clothing Conference 2014, Proceedings, p764-770, 2014 ・ Su-Young Son Occupational safety and health issues in Japan on personal protective equipment, International Symposium on Firefighters and Heat Strain 2015, p.238-258, 2015 年 4 月 8 日 ・ Su-Young Son Personal protective equipment and safety. Seminar for trend of protective clothing technology, Busan International techtextile&materal exhibition 2015, p.1-55 (ppt 資料)、2015 年 11 月 6 日
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

3. 2 消防防災用無人ヘリコプタの高精度飛行制御技術の研究開発

研究実施期間	平成 23 年度～平成 25 年度
配分額(千円)	平成 23 年度 6,760 平成 24 年度 8,320 平成 25 年度 7,414
研究代表者	森川 泰
所属機関	独立行政法人 産業技術総合研究所
研究体制	学・官(独立行政法人産業技術総合研究所)
研究概要	災害が起こった場合、迅速に災害現場の情報収集を行い、救助活動をすることが重要であり、特に上空から得られる情報は重要である。この時、無人ヘリコプタなどの無人航空機を用いることは、有人航空機よりもコストやリスクの低減や迅速性の面で優れている。例えば、災害現場の斜面崩壊監視システムによって上空から継続的に観測することは非常に効果的であることが期待される。しかし災害現場で各種観測を正確に行うためには、観測時の無人ヘリコプタや搭載観測機器の位置姿勢が高精度で制御される或いは計測される必要である。そこで本研究では、GPS などのセンサーやコンピュータビジョンを利用して高精度で位置姿勢が計測され、振動の少ない無人ヘリコプタの飛行技術の研究やシステムの開発を行った。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況) 本制度の終了後も、本研究は平成 27 年度まで消防研究センターと共同で研究を続け、開発した無人ヘリコプタシステムに消防研究センターが研究開発している斜面崩壊監視システムを搭載して飛行実験をするなどの研究開発を行っていた。飛行実験では、斜面崩壊監視システムのセンサーで地形の 3 次元データなどを歪みが少ない形でデータを取ることが出来たが、問題点もいくつか明らかになった。搭載機器に補正データとして送る位置姿勢データについては、目標としていた精度での計測がほぼ可能となったが、計測精度の安定性にはまだ改善の余地が残っている。特に、ヨー方向の精度については目標値を達成させる為に、コンピュータビジョンで補正する必要がある、このセンサーフュージョンの部分が重要である。ヨー方向の精度については、初期設定の仕方や飛行や観測方法などの運用の仕方に起因していると考えられ、この点について解明、改善を進めているところで、引き続き開発を行っていく予定である。
	他の研究課題への波及 将来の発展としては、今回搭載した斜面崩壊監視システム以外の観測装置を搭載して、災害現場での情報収集手段として活用が考えられる。また、今回のシステムで使用した慣性航法装置やそれと組み合わせたコンピュータビジョンシステムの技術も他の無人機システムへ応用して研究を進めており、消防防災分野に限らず、今後、無人機のナビゲーションの研究に応用していく予定である。研究課題としては、アルゴリズムの研究の他にもシステムの小型軽量化やコンピュータ処理の高速化などがある。

フォローアップの内容	研究発表の状況等	1) 森川泰, 松本治, 富田文明, 神村明哉, 天野久徳, 新井場公德, 消防防災用無人ヘリコプタシステムの研究開発, 第 12 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, 1A4-2, 2011.12.25 2) 森川泰, 松本治, 神村明哉, 天野久徳, 新井場公德, 消防防災用無人ヘリコプタによる観測飛行実験, 第 13 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, 2I2-1, 2012.12.19 3) 森川泰, 松本治, 神村明哉, 天野久徳, 新井場公德, ステレオビジョンによる位置姿勢計測技術の研究開発, 第 14 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, 2D3-3, 2013.12.19
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

3. 3 地震等災害時に救助活動を支援する障害物除去システムの開発

研究実施期間		平成 24 年度～平成 25 年度
配分額(千円)		平成 24 年度 15,487 平成 25 年度 11,812
研究代表者		久保田 士郎
所属機関		独立行政法人産業技術総合研究所
研究体制		産・学・官 (株式会社相模工業、カヤク・ジャパン株式会社、独立行政法人産業技術総合研究所、東京消防庁)
研究概要		本研究では、地震等の災害時に倒壊した建物の中から人命を迅速に救助するために、重機を使用せず小規模爆破技術を適用して倒壊コンクリート壁等を局所的に破碎し、突破口を作り(ブリーチング)、救助活動を支援するブリーチング技術開発を実施した。壁の裏側に要救助者が存在する場合、壁の表側だけにクレータを発生させ、裏側には亀裂を発生させつつブリーチング達成のための2次破碎を容易とし、破片は飛ばさない技術を開発した。要救助者が存在しない場合は、迅速性を優先した効率的な破碎技術を開発した。具体的には125～250mmの範囲で任意の壁厚(ダブル配筋)について上記2種類のブリーチングに適当な穿孔長、薬量の条件を示した。同時に、爆風圧等、各条件での爆発影響を計測して、本技術の安全性を検証するデータを得た。さらに、作業時間を計測し、本技術の迅速性を示した。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	高性能爆薬を使用した本研究で開発された新規ブリーチング技術は、安全・確実・迅速性を実現する設計方法を提案するなど、技術的には完成している。しかしながら、実用化のためには火薬類の貯蔵や消費に関する諸手続きの簡略、並びに製品化における問題を解決する必要がある、引き続き検討する。
	他の研究課題への波及	本成果は、他の競争的資金による研究費獲得につながっていない。しかし、本研究で開発した、ある方向には破片を飛ばさず部分的にコンクリートを取り除く技術は、コンクリート構造物等へ応用する新規部分発破解体法として有力な技術であり、競争的資金を獲得し、新技術を開発すると同時に、同技術の実用化を目指す。
	研究発表の状況等	論文 “Estimation of crater in reinforced concrete wall caused by mini-blasting”, 西野佳奈,久保田士郎,和田有司,緒方雄二(産総研),伊藤農利夫,長野正幸(株式会社相模工業),中村聡磯,田口琢也,福田淳也(カヤク・ジャパン株式会社), Materials Science Forum Vol.767, Trans Tech Publications, pp.154-159, (2014)

フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究発表の状況等	““Partial destruction of reinforced concrete wall by small blasting”,K. Nishino, S. Kubota, Y. Wada, Y. Ogata, N. Ito, M. Nagano, S. Nakamura, T. Taguchi, and A. Fukuda, Applied Mechanics and Materials 566, pp. 268-273, (2014) “Development of new blasting technique for rescue work”, 西野佳奈, 久保田士郎,和田有司,緒方雄二(産総研),伊藤農利夫,長野正幸(株式会社相模工業),福田淳也(カヤク・ジャパン株式会社),熊崎美枝子(横浜国立大学), Science and Technology of Energetic Materials, Vol.77, No.2, 40-46, (2016). 国際会議 “Relationship between the fragmentation effect and the blast wave on the controlled blasting for breaching”, 西野佳奈,久保田士郎,和田有司, 緒方雄二(産総研),伊藤農利夫,長野正幸(株式会社相模工業),福田淳也(カヤク・ジャパン株式会社),熊崎美枝子(横浜国立大学), The 4th Asia-Pacific Symposium on Engineering Blasting & the 8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction (APS Blasting 8), New Development on engineering blasting APS blasting, Metallurgical Industry Press, 中国深圳 2014.11 “Development new blasting technique for rescue work”, 西野佳奈,久保田士郎,和田有司,緒方雄二(産総研),伊藤農利夫,長野正幸(株式会社相模工業),福田淳也(カヤク・ジャパン株式会社),熊崎美枝子(横浜国立大学), The 5th International Symposium on Energetic Materials and their Applications (ISEM2014), 福岡,2014.11 “The difference of fracture situation by the angle of borehole in careful blasting”, 西野佳奈(横浜国立大学/産総研),久保田士郎,和田有司,緒方雄二(産総研),伊藤農利夫,長野正幸(株式会社相模工業),中村聡磯(カヤク・ジャパン株式会社),熊崎美枝子(横浜国立大学), The 8th International Conference on Explosives and Blasting Techniques, 福岡, 2015.11 国内口頭発表 「少量を用いたRC壁の部分解体 - 込め物の効果 - 」, 西野佳奈,久保田士郎,和田有司,緒方雄二(産総研),伊藤農利夫,長野正幸(株式会社相模工業),福田淳也(カヤク・ジャパン株式会社), 熊崎美枝子(横浜国立大学), 第 11 回 構造物の衝撃問題に関するシンポジウム, 四谷,2014.10
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

第4 危険物施設等の保安対策の充実

4. 1 石油タンクの底部鋼板の腐食劣化状態をタンクの外部から評価する手法の開発

研究実施期間	平成 22 年度から平成 24 年度
配分額(千円)	平成 22 年度 18,109 平成 23 年度 14,346 平成 24 年度 16,164
研究代表者	日置 輝夫
所属機関	千代田化工建設株式会社
研究体制	産・学・官 (千代田化工建設株式会社、日本工業検査株式会社、青山学院大学、周南市消防本部)
研究概要	準特定屋外タンク貯蔵所の新基準適合確認を非開放の検査によって実施するための手法として、「アクティブ Lamb 波法」「ロングレンジ UT 法」を併用したタンク板厚の定量評価法の構築を試みた。ラボ試験の結果に基づき構築した評価手法を用いて、新基準適合確認作業を行うための実運用方法を策定した。新基準適合確認の一連作業は、火災や漏洩の危険性が考えられるため、消防機関が検査に伴う工事に係る安全対策の確認及び当該検査手法に関する関係法令等の整合性について検討した。検査技術及び新基準適合確認作業に関する実運用方法について実機タンクに対する実験検証により適用性を評価した。タンク外部からの非開放検査とタンク開放による内部板厚検査結果を比較検証したところ、底部鋼板腐食減肉部の残板厚について 0.4mm 程度の誤差で評価することができた。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況) 本研究の成果の一部であるロングレンジ UT 技術を活用し、周南市消防本部では「準特定屋外タンク貯蔵所の新基準適合に係る底部板厚の測定方法について」を整備し、実運用を開始している。 千代田化工建設では、周南コンビナート地区以外の事業所において、本研究開発のロングレンジ UT 技術を用いた準特定屋外タンク底部鋼板の検査を実施した(2 件程度)。
	他の研究課題への波及 実運用方法まで整備した周南市消防本部との連携体制が、他年度の競争的資金による新たな研究(※)に活かされ、現在、同体制により開発に取り組んでいる。 ※:AE 法による保温材撤去不要の供用中配管 CUI 検査・評価技術開発(平成 26 年度～平成 28 年度)
	研究発表の状況等 ・甲斐大介、日置輝夫、佐伯吉憲、出牛利重、”タンク底部鋼板の非開放検査への超音波法の適用”、日本非破壊検査協会 保守検査ミニシンポジウム、(2013-5)、pp.53-pp.58

フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究発表の状況等	・甲斐大介、日置輝夫、佐伯吉憲、出牛利重、”超音波を用いたタンク底部鋼板の非開放検査”、日本機械学会、第 23 回環境工学総合シンポジウム 2013 講演論文集、(2013-7)、pp.86-pp.89 ・日置輝夫、前田守彦、渡邊慎也、甲斐大介、井澤淳二、藤井徹、佐伯吉憲、長秀雄、出牛利重、”石油タンク底部鋼板の腐食劣化状態をタンクの外部から評価する手法の開発”、第 61 回全国消防技術者会議予稿集、(2013-10)、pp.142-pp.154
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

第5 救急・救助業務の高度化

5.1 救急搬送の予後向上に向けた医療機関との情報の連結に関する研究

研究実施期間		平成 23 年度～平成 25 年度
配分額(千円)		平成 23 年度 9,750 平成 24 年度 7,800 平成 25 年度 5,559
研究代表者		飯原 弘二
所属機関		独立行政法人国立循環器病研究センター
研究体制		学・官 (国立循環器病研究センター、静岡県立総合病院、市立堺病院、京都大学、吹田市消防本部)
研究概要		超高齢化社会を迎えた本邦にあって、年々増加する救急要請への対策は喫緊の課題である。それに対応するため、消防法の一部改正が行われ、全国各都道府県単位で搬送基準の策定と医療機関の選定が行われるようになった。本研究では、消防法の一部改正などの救急制度の変更の効果を検証するため、IT 技術を応用して、最も有効かつ救急隊および医療機関に負担をかけないように、救急現場における病院前情報と病院における診療情報を連結させるシステムを開発した。また、そのシステムを用いて、解析や効果判定を容易に行うことができるかどうか検証した。
フ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	吹田市消防本部と国立循環器病研究センターの間で、一定期間、開発したスマートフォンに搭載したソフトウェアを用いて、救急搬送情報と医療機関情報との突合を施行し、救急活動の事後検証に活用した。 その後、大阪府全域で ORION が導入されたことで、本研究で開発したシステムは使用が中止となった。
	他の研究課題への波及	平成 27 年度日本医療研究開発機構 研究課題「脳卒中を含む急性循環器疾患の救急医療の適確化を目指した臨床指標の開発に関する研究」に、本研究成果を活用する予定である。
	研究発表の状況等	論文発表 Smartphone-assisted prehospital medical information system for analyzing data on prehospital stroke care. <u>Nakae T1, Kataoka H, Kuwata S, Iihara K.</u> <u>Stroke.</u> 2014 May;45(5):1501-4.
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

5. 2 救急電話相談事業による救急業務の効率化に関する研究

研究実施期間		平成 23 年度～平成 25 年度
配分額(千円)		平成 23 年度 12,500 平成 24 年度 8,750 平成 25 年度 17,516
研究代表者		溝端 康光
所属機関		公立大学法人大阪市立大学大学院医学研究科 救急医学
研究体制		学・官 (大阪市立大学、大阪市消防局)
研究概要		1. 大阪市内の医療機関を救急受診した患者を対象に、救急電話相談事業の普及にともなう救急受診への意識、行動の変化について調査した。平成 23 年から平成 25 年の間に、救急受診前に救急安心センターおおさかを利用する件数が増加したこと、さらに看護師からの助言にもとづき救急車を利用した受診が減少したことが明らかとなった。また、緊急処置を必要とする傷病者の適切な選別にも役立っており、救急安心センターおおさかが効率的な救急車利用に寄与している可能性が示された。 2. 大阪市内の救急医療機関を対象に、救急電話相談事業の普及に伴う変化を調査した。救急受診の必要性や診療の可否についての問い合わせが減少しており、救急電話相談事業が医療機関の負担軽減に寄与している可能性が示唆された。 3. 救急電話相談事業における、軽症や不搬送事案についての検証や、助言したにもかかわらず医療機関が対応不可であった事例について調査し、同事業を実施するなかで解決すべき課題を明らかにした。特に、看護師が医療機関を助言するにあたり、データベースとして対応可能な診療領域が正確に登録されていることが不可欠であることを明らかにした。
フ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	救急安心センターおおさかにおけるトリアージプロトコルを、研究成果に基づき改訂した。救急安心センター大阪には年間約 25 万件の相談が続いており、研究成果を反映させた改訂プロトコルが活用されている。
	他の研究課題への波及	平成 27 年度厚生労働科学研究「要救護者・救急隊・医療機関でシームレスな多言語緊急度判断支援ツールの開発普及研究、主任研究者:東京慈恵会医科大学 小児外科吉澤穰治」の分担研究者として参加し、本研究成果をもとにトリアージツールの開発に取り組んでいる。
	研究発表の状況等	The effect of the telephone triage for the patient's usage of ambulance transports to the emergency department. 8 th European Congress of Emergency Medicine, Amsterdam, 2014, 10, 01.
	知的財産権の出願・登録状況等	本研究成果をもとに小児用のスマートフォンアプリケーションを開発し、「市民向け症状別緊急度判断に基づく救急医療サービス提供アプリケーション・プログラム」特願 2016-43594 として、2016 年 3 月 7 日、大阪大学片山祐介とともに特許出願中である。

5.3 救急患者の緊急度評価基準の確立と救急活動の質の評価に関する研究

研究実施期間		平成 24 年度～平成 25 年度
配分額(千円)		平成 24 年度 10,280 千円 平成 25 年度 9,159 千円
研究代表者		森村 尚登
所属機関		公立大学法人横浜市立大学
研究体制		学・官 (横浜市立大学、大阪大学、順天堂大学、日本医科大学、昭和大学、 日本大学、市立堺病院、横浜市消防局、東京消防庁、横浜市)
研究概要		近年増加の一途を辿る救急需要に効率よく対応するためには、救急患者が受診に至る各段階(家庭、救急相談、指令センター、救急現場、救急外来)における緊急度判定体系が必要である。 そこで本研究班は、平成 24 年度に各段階の緊急度判定の確からしさを評価するための緊急度検証基準を医療機関搬送後の処置内容を基に策定した。 次に平成 25 年度に、地域と救急隊を限定して救急隊員による病院前段階での緊急度判定の精度評価を実施した。救急隊の緊急度判定の陽性的中率(救急隊が高緊急度と判断した症例のうち検証基準で高緊急度に該当したものの割合)は、地域間ならびに地域内の救急隊間で差をみとめた。 今回の検討によって、本邦初の救急隊の緊急度判定の質の評価が実現された。各救急隊の緊急度判定に係る精度の比較のみならず、調査対象を拡げることによって地域全体の質評価も可能になることを示した。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	研究の成果物である緊急度評価(検証)基準を、平成 25 年度緊急度判定体系に関する検討会報告書(消防庁、平成 26 年 3 月)において、緊急度判定プロトコル Version 1 の各段階における緊急度判定の精度評価指標として明記した。
	他の研究課題への波及	本制度により得られた成果を基に下記の競争的資金での研究費を獲得した。 ① 軽症患者の救急車利用の抑制等、二次、三次救急医療体制確保のための研究、平成 26・27 年度神奈川県医師確保・地域医療力向上事業補助金 ② 緊急度判定体系の市民への普及・利用促進ツールの開発、平成 27 年度消防防災科学技術研究推進制度
	研究発表の状況等	■学会発表 ① Development of national overall acuity scale in Japan. International Conference on Emergency Medicine, 香港, 2014.6 ② わが国の病院前『緊急度判定指標』(Version 1.0)の策定. 第 17 回日本臨床救急医学会総会・学術集会, 宇都宮, 2014.6

フォローアップの内容	研究発表の状況等	③ 救急医療を俯瞰して体制を構築する メディカルコントロールの新たなあり方 救急電話相談センター(#7119)の運用経験から社会を俯瞰した救急医療体制 作りを考える. 日本救急医学会雑誌 (0915-924X)26 巻 8 号 Page318(2015.08) ④ 救急外来の診療プロセス評価のための Clinical indicator 頭部外傷症例に対する来院から CT 検査までの目標時間内実施率の検討. 日本救急医学会関東地方会雑誌(0287-301X)37 巻 1 号 Page107(2016.02) ⑤ 家庭における緊急度自己判断プロトコルの現状と課題. 日本臨床救急医学会雑誌(1345-0581)19 巻 2 号 Page387(2016.04) ⑥ 地方都市におけるコビキタスネットワークを用いた病院前救護体制の向上の試み. 日本臨床救急医学会雑誌(1345-0581)19 巻 2 号 Page324(2016.04) ⑦ 救急疾患における緊急度の確立 緊急度判定指標 (NOAS:National Overall Acuity Scale)と検証基準. 日本臨床救急医学会雑誌 (1345-0581)19 巻 2 号 Page214(2016.04) ⑧ 救急疾患における緊急度の確立 救急疾患における緊急度の確立に関しての検討. 日本臨床救急医学会雑誌(1345-0581)19 巻 2 号 Page213(2016.04) ⑨ 救急疾患における緊急度の確立. 日本臨床救急医学会雑誌 (1345-0581)19 巻 2 号 Page202(2016.04) ■講演ほか ① 緊急度判定の現状と課題 第 31 回佐久総合病院救急事例研究会, 2014.12 ② 「救急車を呼ぶ前に」～市民が行うトリアージ～.第 23 回全国救急隊員シンポジウム市民公開講座, 相模原, 2015, 1.
	知的財産権の出願・登録状況等	特になし

5. 4 精神科患者の救急搬送に関する研究

研究実施期間	平成 24 年度
配分額(千円)	平成 24 年度 3,024 千円
研究代表者	伊藤 重彦
所属機関	北九州市立八幡病院救命救急センター
研究体制	官 (北九州市消防局、福岡県、北九州市立八幡病院、北九州市医師会、福岡県救急業務メディカルコントロール協議会)
研究概要	(研究目的) 本研究は精神科患者のソフト救急にスポットを当て、搬送救急隊や受入れ医療機関の負担要因と問題点を調査し、今後の精神科救急医療体制の取り組みに資する提言を行うことを目的とした。 (研究内容) 以下の 6 項目の分担研究を行った。 1. 福岡県における精神科患者の救急搬送及び受入れに関する実態調査 2. 精神科患者受入れにおける救急病院、精神科医療機関の負担要分析 3. 精神科患者の救急搬送に関する救急隊員アンケート調査結果 4. 救急要請内容と重症度の相関について 5. 精神科患者の緊急度判定プロトコル作成を目的とした救急病院搬送患者の緊急度および重症度と転帰調査 6. 精神科患者搬送におけるタブレット型端末 (iPad) を用いた緊急度判定の有用性の検討 (研究結果) 研究の結果、以下のような結論が得られた。 1. 身体合併症のない、外来対応で済む軽症者が救急病院へ集中している。精神科医療機関は身体合併症のない患者受入れに対し相応の負担をすべき。 2. 精神科救急情報システムは、ソフト救急患者の外来対応を行う体制になっていない。身体合併症がないことが明らかな精神科患者を、時間外に精神科医が外来対応できる新たな体制作りが急務。 3. 精神科患者の主訴とバイタルサインを判定要素とする緊急度判定プロトコルを開発した。タブレット型端末 (iPad) を用いた緊急度判定の実証研究を行った結果、簡便な判定手法として有用であった。
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況) ・平成 25 年度救急医療等のあり方に関する検討会に参考人出席し、研究結果をもとに、精神科病院協会代表と精神科ソフト救急に関する協議を行った(第3回検討会、第4回検討会、第6回検討会出席)。 ・研究結果に基づく政策提言により、福岡県では精神科救急医療体制について医師会、精神科医、救急医、消防機関の代表が集まって話し合う協議会が設置された。

フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	・北九州市医師会では、研究結果に理解を示す精神科医が中心となって、ソフト精神科救急を考える会(精神科医の会)が発足した。 ・福岡県の精神科救急については、研究結果から得られた改善策に向けて、福岡県行政(健康増進課、消防防災課、医療指導課)が横断的に取組むようになり、また精神科医療機関と救急病院の連携も進んだ。その結果、福岡県の精神科患者の搬送・受け入れ状況は、若干ではあるが改善してきている(平成 27 年度)。
	他の研究課題への波及	特になし
	研究発表の状況等	2013 年 (発表) ・伊藤重彦、ほか:精神科救急における搬送・受入れの問題点と負担軽減のための対策(パネルディスカッション 17)。第 16 回日本臨床救急医学会 7 月 13 日(東京) ・伊藤重彦:精神科救急における搬送および受入れの負担要因の調査および緊急度判定プロトコルの開発とタブレット型科端末を用いた緊急判定の有用性の研究。第 61 回全国消防技術者会議 10 月 24 日(東京) 2014 年 (発表) ・伊藤重彦:「北九州地域メディカルコントロール協議会の取組(パネルディスカッション)」平成 25 年度全国メディカルコントロール協議会連絡協議会 1 月 31 日(北九州市) (講演) ・伊藤重彦:「精神科患者の救急搬送に関する研究」地域医療連携研修会 1 月 24 日(横浜市) ・伊藤重彦「精神科救急に関する研究 ―ソフト救急の搬送・受入れの現状と問題点について」下関・長門地区メディカルコントロール協議会 7 月 31 日(下関市) (論文) ・伊藤重彦、ほか:福岡県における精神科ソフト救急患者の搬送・受入れの現状、および関係機関の負担要因の検討 日臨救急医学会誌 17(4):515-21,2014. 2015 年 (発表) ・伊藤重彦:「精神科救急が抱える課題～円滑な救急活動を目指して」第 23 回全国救急隊員シンポジウム 1 月 30 日(相模原市) (講演) ・伊藤重彦:「精神科救急の現状と関係機関の連携について」平成 26 年度福岡県精神科救急医療システム研修会 3 月 14 日(福岡市)

フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研 究 発 表 の 状 況 等	・伊藤重彦:「精神科救急の現状と関係機関の連携について」平成 26 年度いのちのワクチン 事業かかりつけ医精神保健研修会 3 月 20 日(下関市) 2016 年 (講演) ・伊藤重彦「地域 MC 体制の充実強化に係る取組について」山口県救急 MC フォーラム 3 月 11 日(山口市) (論文) ・伊藤重彦:精神科救急が抱える課題解決に向けた福岡県、北九州市の取組 プレホスピタルケア 29(2):18-23,2016
	知 的 財 産 権 の 出 願 ・ 登 録 状 況 等	特になし

5. 5 心肺機能停止患者の気道確保および輸液の効果に関する検討

研究実施期間	平成 24 年度～平成 25 年度	
配分額(千円)	平成 24 年度 2,133 平成 25 年度 1,788	
研究代表者	萩原 明人	
所属機関	国立大学法人九州大学	
研究体制	学・官 (九州大学、福岡市消防局、九州大学病院、厚生労働省)	
研究概要	病院外心肺停止 (OHCA) 患者に対する病院到着前の乳酸リンゲル液輸液と予後の関係は不明である。そこで、1 年目に、ウツタインデータを用い、傾向分析を行い、病院到着前の乳酸リンゲル液の使用と患者の予後の関連を検討した。その結果、病院到着前の乳酸リンゲル液の使用は病院到着前の心拍再開の増加と関連し、発症 1 ヶ月後の脳および全身機能の低下と関連していることが分かった。なお、乳酸リンゲル液の使用と 1 ヶ月生存との間に関連性は見られなかった。 また、OHCA 患者に対する病院到着前の気道確保があらゆる場合に常に効果がないかどうかは明らかになっていない。そこで、2 年目に、信号検出分析法を用いてウツタインデータを分析し、1 カ月後の脳機能(カテゴリー1, 2)に関連する要因を特定した。その結果、病院到着前に OHCA 患者に対し特定の挿管器具を使用することは一定の条件下において有効である可能性が示唆された。	
フォローアップの内容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	本研究において、病院外心肺停止患者に対するエピネフリンの使用は、患者の病院到着前の心拍再開と関連するが、1 か月生存率や 1 か月後の脳機能の低下と関連することを明らかにした。 本研究成果の発表後、国際蘇生連絡委員会 (ILCOR)、日本蘇生協議会 (JRC) において、2015 年版の救急蘇生ガイドラインの改訂に際し、本知見を踏まえて成人の病院外心肺停止患者に対するエピネフリンの使用に関する規定を見直すべきか否かが協議された。しかし、本研究は疫学研究であり、類似の知見の集積が十分でないことから、エピネフリンの扱いに関する規定は 2010 年版救急蘇生ガイドラインの内容と変わらず、ガイドラインの改訂にまでは至らなかった。
	他の研究課題への波及	本研究では病院外心肺停止患者に対する救急隊員のエピネフリン使用と患者予後の関係を検討したが、当然ながら、病院到着後の治療内容が患者の長期予後に影響していた可能性がある。 そこで、本研究知見を踏まえ、更に研究を発展させるため、入院治療データと救急搬送データを結合し、入院後の治療の影響をコントロールしたうえで、病院到着前のエピネフリン使用と患者の長期予後の関係を検討する研究を計画した。以下がその研究課題の概要で、現在、研究が進行中である。 ・「救急搬送及び入院治療データの分析による救急医療システムの検討」(課題番号 16H05247) . 日本学術振興会 基盤研究 (B)、2016 年 4 月～2019 年 3 月 (代表 萩原明人) (567 万円)

フォローアップの内容	研究発表の状況等 1. <u>Hagihara A</u>, Abe T, Hasegawa M, Nagata T, Wakata Y. Intravenous epinephrine use before hospital arrival and survival among out-of-hospital cardiac arrest patients. <i>JAMA</i> 2012; 307(11):1161-1168. 2. <u>Hagihara A</u>, Abe T, Nagata T. Use of epinephrine for cardiac arrest prior to hospital arrival. <i>JAMA</i> 2012; 308(1):29-31. 3. Kuwabara K, <u>Hagihara A</u>, Matsuda S, Fushimi K, Ishikawa KB, Horiguchi H, Fujimori K. A Community-Based Comparison of Trauma Patient Outcomes between D-and L-Lactate Fluids. <i>The American Journal of Emergency Medicine</i> 2013; 31:206-214. 4. 萩原明人. 病院到着前エピネフリン投与は1カ月生存率の低下と有意に関連. <i>MMJ</i> 2012; 18(4):188-189. 5. <u>Hagihara A</u>, Hasegawa M, Abe T, Wakata Y, Nagata T, Nabeshima Y. Prehospital Lactated Ringer's Solution Treatment and Survival in Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Prospective Cohort Analysis. <i>PLoS Med</i> 10(2): e1001394. 6. <u>Hagihara A</u>, Hasegawa M, Hinohara Y, Abe T, Motoi M. The aging population and future demand for emergency ambulances in Japan. <i>Internal and Emergency Medicine</i> 2013; 8:431-437. 7. <u>Hagihara A</u>, Hasegawa M, Abe T, Nagata T, Nabeshima Y. Physician presence in an ambulance car is associated with increased survival in out-of-hospital cardiac arrest: A prospective cohort analysis. <i>PLoS ONE</i> 9(1): e84424. doi:10.1371/journal.pone.0084424. 8. Nagata T, Abe T, Hasegawa M, Noda E, Hashizume M, <u>Hagihara A</u>. Factors associated with the clinical outcomes of pediatric out-of-hospital cardiac arrest in Japan. <i>BMJ Open</i> 2014;4:e003481. doi:10.1136/bmjopen-2013-003481. 9. 安部猛, 長谷川学, 萩原明人. 乳児の院外心肺機能停止後の生存に関連する救命措置－探索的分析－. 日本 SIDS・乳幼児突然死予防学会雑誌 2013; 13(1): 8-16. 10. Hasegawa M, Abe T, Nagata T, Onozuka D, <u>Hagihara A</u>. The number of prehospital defibrillation shocks and 1-month survival in patients with out-of-hospital cardiac arrest. <i>Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine</i> 2015; 23:34. DOI 10.1186/s13049-015-0112-4 11. <u>Hagihara A</u>, Onozuka D, Nagata T, Abe T, Nabeshima Y. Ambulance dispatches from non-affected areas after the Great East Japan Earthquake: impact on emergency care in the non-affected areas. <i>Disaster Medicine and Public Health Preparedness</i> DOI: http://dx.doi.org/10.1017/dmp.2015.92 12. <u>Hagihara A</u>, Onozuka D, Hasegawa M, Nagata T, Abe T, Nabeshima Y. Resuscitation outcomes of reproductive-age females who experienced out-of-hospital cardiac arrest. <i>European Heart Journal: Acute Cardiovascular Care</i> 2016; 1-9. DOI: 10.1177/2048872616633879.
---	---

	知的財産権の 出願・登録状況 等	該当なし
--	------------------------	------

5. 6 病院前救護における ICT を用いた安全性確保と費用削減に関する実地検証

研究実施期間		平成 24 年度
配分額(千円)		19,050 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保健学研究院 救急医学
研究体制		学・官 (広島大学、広島市消防局)
研究概要		救急隊が行う病院前救護は高度化されるとともに、その処置範囲が年々拡大されている。一方、近年の伝送システムの発達により、高画質映像など大容量データのリアルタイム伝送が実用化されている。ICT による伝送システムを用いて指導医師がリアルタイムに指示指導助言を行うことにより、現場活動に関わるリスクを大幅に低減にすることができる。 今回の調査では、ビデオ喉頭鏡に備えられた映像出力端子を使用して、広島市消防局で既に導入されている高画質映像伝送システムにより、気管挿管時の咽頭喉頭の映像をメデイカルコントロール指示医師に伝送し、その効果を検証した。 その結果、ICT を用いて MC 指示医師が映像で挿管操作を確認できることは、気管挿管実施の判断、気づかれることのない気管挿管の防止や実施中の適正指導など、業務の安全実施にとって極めて有効であることが示唆された。
フ ロ ア ッ プ の 内 容	研究成果の活用事例(実用化の状況)	平成 23 年 3 月より運用している広島市救急画像伝送システムにおいて、平成 24 年よりビデオ喉頭鏡を画像伝送装置に接続し、リアルタイムで気管挿管の映像を医療機関で確認できるようになった。
	他の研究課題への波及	文部科学省科研平成 28 年度基盤研究 C:災害時における衛星通信を利用したドローンの有効活用 病院前からの ICT を利活用した情報共有の技術および概念は、ドローン、高圧縮画像伝送装置、衛星通信などを用いることで、今まで容易でなかった情報共有手段の確立を目指すことが可能となった。
		学会発表 ・第 15 回日本臨床救急医学会:救急画像伝送システムの運用状況と有用性の実際:平成 24 年 6 月 16 日 ・第 8 回日本病院前救急診療医学会(ランチョンセミナー):病院前・災害現場における情報共有について:平成 25 年 12 月 6 日 ・日本救急医学会中国四国地方会(シンポジウム):救急医療における ICT の利活用と課題:平成 26 年 4 月 23 日 ・Euroanaesthesia 2014(ESA): Out-of-hospital tracheal intubation under visual direction of emergency physicians with video-laryngoscope and real-time image transmission system. :平成 26 年 6 月 1 日

フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	研究発表の状況等	・27th European Society of Intensive Care Medicine (ESICM) : Novel Real-time Data Transmission System for Pre-hospital Emergency Care: Experience of Hiroshima-city Emergency Medical Services. : 平成 26 年 10 月 1 日 ・日本救急医学会北海道地方会(ランチョンセミナー):病院前救護における情報共有について:平成 26 年 11 月 23 日 ・Resuscitation 2015 (ERC): Out-of-hospital tracheal intubation by paramedics under real-time medical supervision by emergency physicians Out-of-hospital tracheal intubation by paramedics under real-time medical supervision by emergency physicians.: 平成 27 年 10 月 30 日 ・第 10 回日本病院前救急診療医学会(パネルディスカッション):病院前救護における情報共有システムについて:平成 27 年 11 月 27 日 ・第 3 回 12 誘導心電図を考える会:(特別講演):病院前救護における情報共有:平成 27 年 1 月 16 日 ・第 19 回日本臨床救急医学会総会:ワークショップ「救急領域におけるビデオ喉頭鏡の現状」:平成 27 年 5 月 14 日 ・第 29 回日本外傷学会・学会総会:ランチョンセミナー 病院前救護における気道確保の進歩 ～安全性と確実性の向上をめざして～:平成 27 年 6 月 12 日 ・第 43 回日本救急医学会総会:嘔吐モデルに対する救急救命士による気管挿管における Airway Scope と Macintosh 型喉頭鏡の比較:平成 27 年 10 月 22 日 ・第 43 回日本救急医学会総会:ドクターヘリでの気道管理に関するアンケート調査:平成 27 年 10 月 22 日 ・第 24 回全国救急隊員シンポジウム:病院前気管挿管におけるビデオ喉頭鏡の有用性の検討:平成 27 年 12 月 3 日 ・Euroanaesthesia 2016(ESA) : Improved success rate and esophageal intubation incidence in out-of-hospital tracheal intubation performed by paramedics by use of video-laryngoscope: three-year experience of Hiroshima City emergency medical services:平成 28 年 5 月 28 日 報道 ・KBS スーパーニュース:救命率向上へ・・・救急隊シンポジウム:平成 25 年 1 月 14 日 ・読売テレビかんさい情報ネット ten!:モクゲキ...アプリで命を救う IT 医療の最前線:平成 26 年 9 月 16 日
	知的財産権の出願・登録状況等	題名:気管挿管装置 申請:平成 23 年 10 月 21 日 取得:平成 25 年 5 月 3 日

消防防災科学技術研究開発事例集 VI

平成29年1月 発行

禁無断転載

発行者 総務省 消防庁 総務課（消防技術政策担当）
電話 03-5253-7541