

# 消防防災科学技術研究開発事例集 Ⅲ

〈競争的研究資金制度 平成 20・21 年度 終了課題〉

平成 23 年 3 月

総務省消防庁

## はじめに

近年の災害や火災については、平成 21 年 7 月から 8 月にかけて、中国・九州北部豪雨や台風 9 号、駿河湾を震源とする地震が相次いで発生し、平成 22 年 2 月には、チリ中部沿岸を震源とする地震による津波、10 月下旬の鹿児島県奄美地方における大雨等の大規模自然災害が発生し、全国各地に大きな被害をもたらした。さらに同年 3 月には 9 名の死傷者を伴う北海道札幌市認知症高齢者グループホーム火災が発生するなど、消防防災行政を取り巻く環境は予断を許さないところである。このような災害等から国民の生命、身体及び財産を守るといふ消防の責務はますます大きなものとなっており、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。さらに、今後発生する可能性が指摘される東海・東南海・南海地震への災害防止や被害軽減のための対策など消防に対しては、予防のための措置や災害発生後のファーストレスポンスとしての迅速かつ効果的な活動の実施が期待されている。このような国民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に積極的に取り組み、その成果を積極的に取り込むことにより高度で先進的な消防防災活動を実施することが極めて重要となっている。

このようなことを背景に、消防防災科学技術に関する研究開発については、平成 15 年度から公募の形式により消防機関が直面する課題の解決に向けて、高い意義が認められる提案者に対して研究を委託し、国民が安心・安全に暮らせる社会を実現するための、「消防防災科学技術研究推進制度」を実施している。本制度において、平成 22 年度までに 91 件の研究課題を採択しており、平成 21 年度までに 61 件の課題が終了した。この間、本制度を活用した研究課題が、内閣府（総合科学技術者会議）等が主催する産学官連携功労者表彰において、平成 17 年度と 19 年度に総務大臣賞を受賞したほか、最近では「高圧水駆動カッター」がこの制度の成果を生かして実用化されるなど、着実な成果をあげている。

本事例集は、消防防災科学技術研究開発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る。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用して頂きたいと考えている。

## ◆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

【H 2 1 年度から実用化】

代表研究機関等：櫻護謨 株式会社・東京消防庁

株式会社 スギノマシン・首都大学東京

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



## 本事例集の見方

本事例集は、平成 21 年 3 月に刊行された「消防防災科学技術研究開発事例集Ⅱ」の続編にあたるものであり、以下の二部構成となっている。

第一部 平成 20 年度と 21 年度終了課題の「総括票」及び「研究内容と成果」

第二部 平成 18 年度と 19 年度終了課題のフォローアップであり、事例集Ⅱがとりまとめられて以降に得られた成果等を加えた「総括票」

○第一部の総括票の構成は次のとおりである。

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

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

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

## 目次

### 第一部 平成 20 年度と 21 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 GHz帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発 …… 5
- 1. 2 探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置 …………… 17

#### 第2 住宅防火対策等の推進

- 2. 1 自律分散協調型避難誘導システムの開発 …………… 33

#### 第3 防災力の向上

- 3. 1 高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究 …………… 43
- 3. 2 機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用手法の研究 … 49
- 3. 3 「家庭の消防防災力」WEB 検定システムの開発 …………… 57
- 3. 4 地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究 …………… 59

#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

- 4. 1 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具(大きさ,性能は従来程度)の  
開発 …………… 81
- 4. 2 水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発 …………… 93
- 4. 3 視覚障害者のための災害用力感覚コンパス …………… 103
- 4. 4 高圧水駆動カッターの研究開発 …………… 113
- 4. 5 効率的な消防戦術の開発 …………… 123

#### 第5 特殊災害対策の強化

- 5. 1 大容量泡放射砲のシミュレーション技術の構築 …………… 139

#### 第6 危険物施設等の保安対策の充実

- 6. 1 自走式腐食減肉診断装置の開発 …………… 149

#### 第7 救急・救助業務の高度化

- 7. 1 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無及び  
その位置を迅速に特定するための手法の開発 …………… 157
- 7. 2 複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究 …………… 169

## 第二部 平成18年度と19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 土砂災害危険時の住民と消防本部との双方向情報支援システム ..... 179

### 第2 住宅防火対策等の推進

- 2.1 分子認識による超高感度火災検知センサの開発 ..... 181  
2.2 火災感知に影響を及ぼす天井流の流動性状と区画形状の相互作用 ..... 183

### 第3 防災力の向上

- 3.1 航空・衛星画像を用いた災害時における救助活動の阻害要因調査に関する研究 ..... 185  
3.2 衛星データを利用した林野火災防御支援システムの開発 ..... 186

### 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 次世代防火服の開発 ..... 187  
4.2 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無及び  
その位置を迅速に特定するための手法の開発 ..... 188  
4.3 救助支援型担架システムの開発 ..... 189  
4.4 消防用多機能型ノズルの開発 ..... 190

### 第5 特殊災害対策の強化

- 5.1 多孔質珪質素材を用いた対原子力施設災害用放射線遮蔽材の開発 ..... 191

### 第6 危険物施設等の保安対策の充実

- 6.1 石油コンビナートのリスク評価・防災対策支援システムの開発 ..... 192  
6.2 全面タンク火災消火支援用筏の開発に向けた実行可能性研究 ..... 193  
6.3 浮屋根式タンクのスロッシング減衰装置の開発 ..... 194

### 第7 救急・救助業務の高度化

- 7.1 ヘリコプター救急体制の構築のもたらす社会的利益に関する定量的な研究 ..... 195  
7.2 心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発 ..... 198  
7.3 ICタグを使った救急搬送時の情報収集・伝達システムの開発 ..... 199

### 第8 環境への配慮

- 8.1 自然エネルギーを利用した林野火災用水利システム ..... 200

## 第一部 平成 20 年度と 21 年度終了課題の成果



## 第1 防災情報通信システム等の高度化



## 第1 防災情報通信システム等の高度化

### 1. 1 GHz帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発

研究課題名	GHz帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発
研究実施期間	平成18年度～平成20年度
配分額(千円)	19,136(平成18年度)、20,696(平成19年度)、18,408(平成20年度)
研究代表者	高木秀昭
所属機関	長野県工業技術総合センター
研究体制	産・学・官
研究概要	<p>地下災害やトンネル災害において、現場の映像確認や、外との通信は重要な役割を果たす。そこで災害現場と地上との間で双方向の高速・大容量通信が可能な、GHz帯の電波が伝送できる長距離漏洩同軸ケーブル(LCX)の研究開発を行った。同時に、この同軸ケーブルを利用した小型・軽量の映像伝送システム、テレメータシステム、遠隔操作システム、位置特定システムの研究開発を行った。</p> <p>作製したLCXの電界特性、耐熱耐水性等について評価し、実用性を確認した。災害現場や地下街を想定した場所での実証実験を行い、LCXを利用し各アプリケーションが有効に機能することを確認した。</p>
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研究成果発表会を開催し、成果の公表・周知を行った。</li> <li>・LCXについては、製品化し市販されている。</li> <li>・テレメータシステムについては、製品化を検討している。</li> </ul>
応用の方向性	地下街やトンネル内にLCXを設置することにより、外部との通信を含む高速通信網を確保することが可能である。災害時だけでなく、平常時の通信確保にも利用することができる。
研究発表の状況等	<p>[成果発表会]</p> <p>1) 「GHz帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発」研究成果発表会、長野県工業技術総合センター情報技術部門, 2010.2.19</p> <p>[口頭発表]</p> <p>2) 高速防災無線情報システム向け 2.4GHz帯長距離漏洩同軸ケーブル, 電子情報通信学会 2007年総合大会, 講演論文集 P170, 2007.3.23</p> <p>3) GHz帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速無線システム, 計測</p>

	<p>自動制御学会中部支部シンポジウム 2007, 講演論文集 P35-38, 2007.11.2</p> <p>4) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発, 長野県工業技術総合センター成果発表会岡谷会場, 予稿集 P43-48, 2007.11.13</p> <p>5) Development of a 300 m 2.4 GHz Frequency Band Leaky Coaxial Cable for Wireless Network Access, 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium, Proceedings PP.687-690, 2008.1.22-24</p> <p>6) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速無線システム(第 2 報), 計測自動制御学会中部支部シンポジウム 2008, 講演論文集 P146-147, 2008.10.31</p> <p>7) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 2 報), 長野県工業技術総合センター成果発表会プログラム C, 予稿集 P92-97, 2008.11.12</p> <p>8) Evaluation of a Dual-band Long Leaky Coaxial Cable in the 2.4 and 5 GHz Frequency Bands for Wireless Network Access, 2009 IEEE Radio and Wireless Symposium, Proceedings PP.510-513, 2009.1.18-22</p> <p>9) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 3 報), 長野県工業技術総合センター/長野県工科大学短期大学校研究成果合同発表会プログラム C, 予稿集 P95-100, 2009.11.27</p> <p>[誌上発表]</p> <p>10) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発, 長野県工業技術総合センター研究成果報告 No.2 2007, PP.I12-I5, 2007</p> <p>11) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 2 報), 長野県工業技術総合センター研究成果報告 No.3 2008, PP.I1-I6, 2008</p> <p>12) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発, 三菱電線工業時報 第 105 号, PP.6-10, 2008</p> <p>13) GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発(第 3 報), 長野県工業技術総合センター研究成果報告 No.4 2009, PP.E9-E14, 2010</p>
--	--

知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	地下街やトンネルにおいて、高速・大容量の通信を確保する方法を確立できた。今後、そのような場所に設置が進められることを期待する。アプリケーション装置の小型化等を進め、実用性を高めていく必要がある。



# GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発

○高木秀昭<sup>1</sup> 窪田昭真<sup>1</sup> 寺島潤一<sup>1</sup> 宮下純一<sup>1</sup> 中村正幸<sup>1</sup> 西川敏行<sup>2</sup> 守山直志<sup>2</sup> 小池幸永<sup>3</sup> 山辺常広<sup>3</sup> 水谷功明<sup>3</sup> 角田正幸<sup>3</sup> 内川富彦<sup>3</sup> 黒田善夫<sup>4</sup> 島崎健司<sup>4</sup> 中川泰孝<sup>4</sup> 岩崎直木<sup>5</sup> 桑島芳朗<sup>5</sup> 和崎克己<sup>5</sup>  
Hideaki TAKAGI, Shoshin KUBOTA, Junichi TERASHIMA, Junichi MIYASHITA, Masayuki NAKAMURA, Toshiyuki NISHIKAWA, Naoshi MORIYAMA, Yukinaga KOIKE, Tanehiro YAMABE, Noriaki MIZUTANI, Masayuki TSUNODA, Tomihiko UCHIKAWA, Yoshio KURODA, Kenji SHIMAZAKI, Yasutaka NAKAGAWA, Naoki IWASAKI, Yoshio KUWAJIMA and Katsumi WASAKI

**研究課題の要旨:** 地下災害やトンネル災害において、現場の映像確認や、外との通信は重要な役割を果たす。そこで災害現場と地上との間で双方向の高速・大容量通信が可能な、GHz 帯の電波が伝送できる長距離漏洩同軸ケーブル (LCX) の研究開発を行った。同時に、この同軸ケーブルを利用した小型・軽量の映像伝送システム、テレメータシステム、遠隔操作システム、位置特定システムの研究開発を行った。

作製した LCX の電界特性、耐熱耐水性等について評価し、実用性を確認した。災害現場や地下街を想定した場所での実証実験を行い、LCX を利用し各アプリケーションが有効に機能することを確認した。

## 1 緒言

災害時、災害現場の映像を利用した対策は重要となっている。現場の動画像を伝送し、災害規模の把握や被害の拡大防止に役立てようとする試みが行われている。例えば地滑り災害時に当該区域を上空からヘリコプタ等により撮影し画像を分析することが行われている。

しかし、地下災害やトンネル災害等においては、無線通信は、電波の伝搬を妨げる障害物が多く、災害現場との通信は困難である。現在、これらの災害現場から現場の状況を把握するのに効果的なライブ動画像伝送は、不可能な状況である。

そこで、地下街等で高速・大容量通信が利用可能な、GHz 帯の超高周波電波が伝送できる長距離漏洩同軸ケーブルの研究開発を行ない、同ケーブルを使用するアプリケーション装置の開発を行なった<sup>1),2),3)</sup>。また、災害現場や地下街を想定した場所での実証実験を行った。

## 2 漏洩同軸ケーブルシステム

### 2.1 概要

漏洩同軸ケーブル(LCX)は一般的に図.1 の構造をしており、スロットから電波を漏洩する事によりアンテナとして機能する。そのためケーブルに沿って同心円上に無線通信域ができ、障害物の影響を減らし不感帯を無くすることが可能である。結果、複数の基地局でカバーしていた場所を一つの基地局とケーブルで置き換えることができ、ハンドオーバーも不要となる。

### 2.2 開発 LCX

LCX は、2.4GHz 無線 LAN アンテナとしての特性

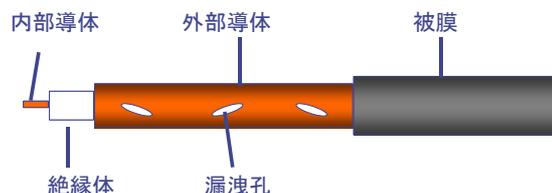
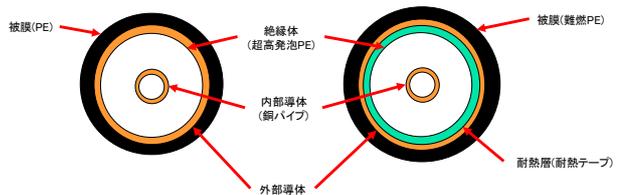


図.1 漏洩同軸ケーブル構造

のみを考慮した SBLCX、消防無線やテレメータなどで利用される 200~1200MHz でもアンテナとしての効果が期待できる、マルチバンド対応漏洩同軸ケーブル (MBLCX) を開発した。

さらに、消防法により地下街への敷設が可能な LCX として、420°C加熱後、延焼しないこと、内外導体間で短絡しないことなどの耐熱難燃性が要求される。そこで、LCX に耐熱の特性を持たせるため、高温時に内部導体と外部導体が短絡しないように耐熱テープを巻きつけた。さらに、難燃の特性を持たせるため、外部被膜に難燃ポリエチレンを用いた。通常品と耐熱難燃品の構成図を図.2 に示す。



通常 LCX 耐熱難燃 LCX  
図.2 通常 LCX と耐熱難燃 LCX の構造比較

### 2.3 特性評価

信号発生機から+10dBmで200~2000MHzの無線信号を、LCXケーブルで送信させ、5m離れた場所で平均相対利得5dBの対数周期アンテナで受信し、その強度をスペクトラムアナライザで測定した。結果を図.3に示す。MBLCXケーブルの方は近距離で強度が強い。また、周波数が低くなるほどMBLCXケーブルの受信強度が高くなっている。

1 長野県工業技術総合センター  
2 菱星システム(株)  
3 (株)サーキットデザイン  
4 加賀ソルネット(株)  
5 信州大学大学院工学系研究科

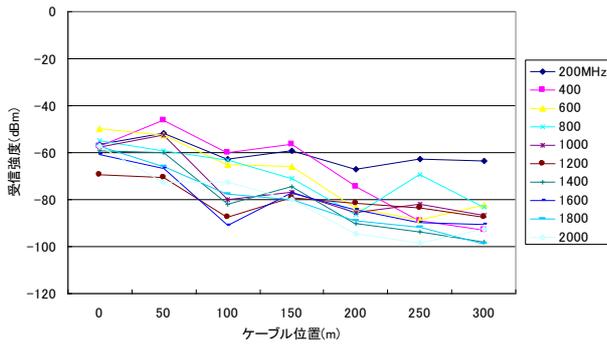


図.3-1 受信信号強度測定結果 (MBLCX)

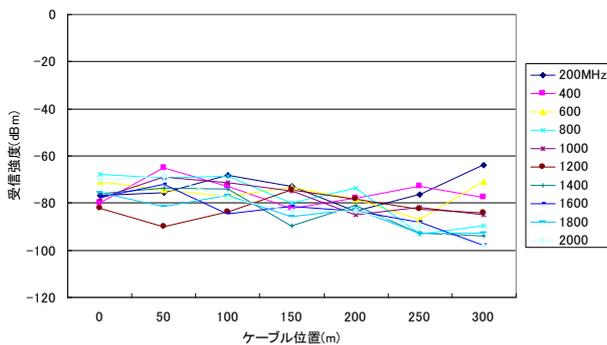


図.3-2 受信信号強度測定結果 (SBLCX)

耐熱難燃 LCX を、シングルバンド(SBLCX) 及びマルチバンド(MBLCX)の両種類にて製作を行った。減衰量および結合損失の仕様値について表.1 に示す。耐熱難燃 LCX は、通常 LCX と比べると耐熱テープの実装により実効誘電率が高くなることから、距離あたりの減衰量がいくらか増大する。

開放空間に直線状に各 MBLCX300mを設置し、無線 LAN アクセスポイント WB30021 の 1ch を使用し、通信速度を測定した。結果を表.2 に示す。測定には、Iperf v1.7 を使用し、LCX アンテナ側を Iperf Client、移動局側を Iperf Server とした。それぞれを比較したところ、通常 LCX では 300m まで通信できるのに対して、耐熱難燃 LCX では、250m 付近までの通信であった。RSSI 値を見ると 100m 付近から急激に低下していた。これは、耐熱難燃 LCX の減衰量が大きいためである。移動局側アンテナを高ゲイン化することで、双方とも通信速度の改善を図ることが可能であると考える。

## 2.4 中継装置

本研究のLCXは200~300mの通信エリアをカバーできるが、それ以上の距離が必要な場合について、中継装置の開発を行った。

中継装置は基地局と中継局からなり、双方を電力線通信のHomePlugAV方式(OFDM変調2~30MHz)で結んだ。LCXには2.4GHz無線LANと中継用HomePlugAVとの電波を合波して出力する。電源も

重畳してLCXを使って供給する(図.4)。中継は基地局-LCX-中継局-LCXの構成で行い、2本目以降も1本の時と同等の無線通信性能が期待できる。

表.1 LCX の減衰量および結合損失 (2.4GHz)

対応ケーブル	100m あたり の減衰量 [dBm]	0dBm 入力に対し の結合損失 [dBm]
通常 SBLCX	11.9	77±10
耐熱難燃 SBLCX	13.7	77±10
通常 MBLCX	16.6	64±10
耐熱難燃 MBLCX	18.6	64±10

表.2 開空間における無線 LAN 通信速度

距離 m	耐熱難燃 MBLCX			通常 MBLCX		
	cli→ ser [Mbps]	ser→ cli [Mbps]	RSSI	cli→ ser [Mbps]	ser→ cli [Mbps]	RSSI
0	15.9	15.4	51	16.4	18.7	55
50	16.6	15.9	35	16.3	18.8	44
100	8.05	6.54	18	16.3	17.6	31
150	5.15	6.47	13	7.40	7.23	14
200	9.74	9.07	12	1.52	2.43	10
250	3.64	1.72	9	1.17	1.13	10
300	—	—	5	0.776	0.297	6

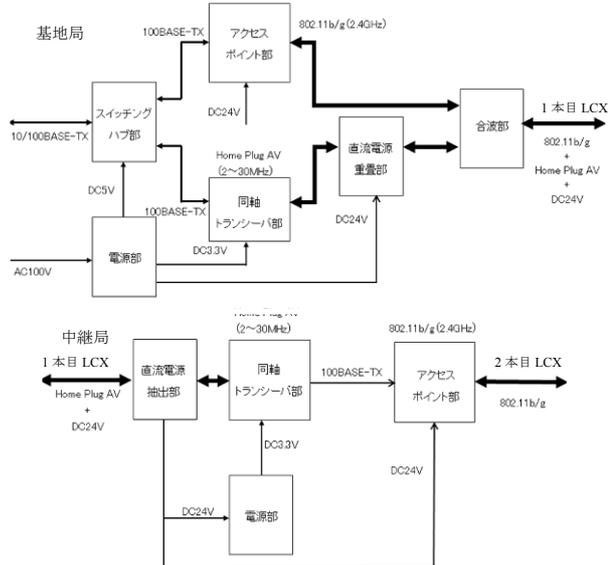


図.4 中継装置構成図 (上:基地局 下:中継局)

## 3 位置特定システム

### 3.1 位置特定原理

作業員や作業用ロボット等がLCX上のどの位置にいるかを推定する事は重要である。地下街等では

GPSの電波は届かない。また、携帯電話、ビーコン、RFタグ等で行う場合、複数の基地局からの電波が届かないと、位置特定を行うことが困難であり、限定された場所のみの位置特定となる。また、多数の基地局を設置する必要があるため、災害時にすべてを維持することは難しい。

そこで、本LCXで利用可能な位置特定システムの開発を行った。LCX内を往復する電波の時間を測定することで距離を推定する方式を取った。

測定概要を図.5に示す。2.4GHz信号の送信タイミングをスタートとし、端末側で周波数変換し戻ってきた1.2GHz信号を受信するまでの時間を測定する。周波数変換は往復を判別するためである。

今回のLCX内の電波速度を実測したところ約 $2.5 \times 10^8$ m/s程度であった。1mで約4nsecかかると計算される。

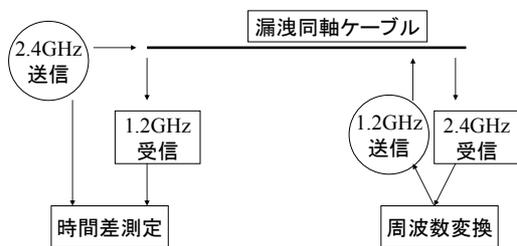


図.5 位置測定概要

### 3.2 位置測定装置

位置測定を行うための基地局および端末側装置を製作した。

基地局側は制御用PCからのタイミング信号により、一定時間2.4GHz信号をLCXに出力する。同時に、A/Dボードに内蔵された80MHzパルスカウンタをスタートさせる。端末側はアンテナから2.4GHzを受信すると、1.2GHz信号にダウンコンバートし、1.2GHz信号を送信する。送信された信号はLCXを介し基地局側で受信される。

基地局側は1.2GHz信号をDetectorで感知すると、パルスカウンタを停止する。この間に計られたパルス数が端末までの距離に比例する。

今回80MHzパルスカウンタを用いたので、最小分解能は12.5nsecである。したがって、片道2m以下の位置精度が期待される。

### 3.3 位置測定

装置を製作し、距離測定を行った。測定は、地下街を想定した(財)長野県下水道公社豊田終末処理場の地下通路で行った。

測定例を図.6に示す。基地局側画面左下側にプロットされているのが、観測位置情報である。系の遅れと、LCX内の電波の遅れを補正し、距離情報を計算している。その右側には頻度分布を表示してある。

測定値は中央値に集中しており、バラツキは±5m程度に収まっている。



図.6 位置測定画面

各観測点における、200回平均値をまとめた結果を図.7に示す。ほぼ、正確な距離を測定できたが、誤差が大きいところもあった。壁面の乱反射などが影響していると思われる。誤差が大きい場合は、いずれも距離が伸びる方向であった。そこで測定されたデータはバラツキが大きく、その下限値が真値に近いことがわかった。

位置特定測定は、1秒間に6回程度の測定が可能である。数秒間のデータを解析することで、数mの精度は確保できる。

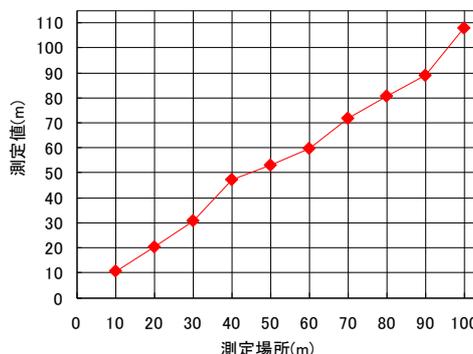


図.7 位置測定結果

## 4 ロボット遠隔制御システム

### 4.1 概要

本ネットワーク環境下において、IPネットワーク利用によるロボット遠隔制御（広域向けIEEE803.11b/g + 局所向けBluetooth）のためのネットワークシステムを試作し、通信実験を行った。サーボモータ等の制御器として、Ethernet-NIC側を無線化した上で、H8マイコンによるサーボ制御方式を採用した。

移動ロボットの制御を行うにあたり、障害物との衝突の回避、移動可能な経路の判別、目標物の発見などが重要な課題である。視覚センサはロボットの周辺の状況を知る上で有効なセンサであるが、標準

レンズを取り付けたカメラを使用した場合、ロボットの前方だけなど局所的な情報しか得られない。

広範囲の視覚情報を獲得する手段として、全方位カメラを用いた。周囲360度の情報を一度に観測することが可能であるが、獲得した全方位画像を直接、視覚情報として使用するのには難しいため、人間の視覚情報に準じた様式に変換(パノラマ展開) する必要がある。ロボット制御用の画像情報の取得をするにあたり、遅滞なく画像を取得できることが重要な課題であり、本研究では全方位画像のパノラマ展開の処理を実時間で実行するため、変換座標の逆引きテーブルを用いた処理方式の検討・実装を行った。また、人間の視覚に準じ、任意の視点から確認したような矩形の画像にする、透視投影変換処理を行った。

#### 4.2 全方位カメラの実装

全方位カメラからの映像信号はNTSC方式で、接続端子がRCA端子であるため、USB接続によるコンポジット映像信号のキャプチャユニットを用いて、全方位画像をロボット搭載の小型端末に取り込む。取り込まれた画像はデータ圧縮をし、伝送処理に送られ、LCXケーブルによって構築されたIPネットワークを通じて受信側端末に伝送される。

受信側の操縦者端末では、あらかじめ外部からの通信を待ち受けておき、ロボットに搭載された端末から画像の伝送があった時にデータ受信を開始する。受信したデータは圧縮されているため、同一の形式で伸張り、パノラマ展開処理を行って表示する。

ロボット搭載状況を図.8に示す。

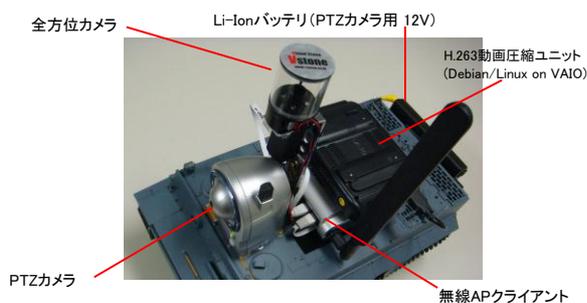


図.8 ロボット搭載状況

#### 4.3 透視投影変換処理

全方位カメラ画像の透視投影変換処理は、三次元空間上の座標点から全方位カメラ画像上の対応点を求め、画像の一部を切り抜き、人間の視覚に合わせて展開する。しかし、一々展開計算をしていると、実時間での処理が困難となる。

そこで、事前に全方位画像と透視投影変換画像の座標対応を計算し、テーブル化することで、処理時間を数値の読み出し時間だけに短縮した。

実験の結果、全方位カメラから、方向によらず矩

形画像が得られ、状況判断に役立つことが分かった。視点変更時の画面描写までの時間は約0.8secであり、視点変更の画面更新までの遅延は、ロボットの操作許容できる範囲内であった。しかし、透視投影変換画像は、画素数が少なく、解像度が劣化した。

操縦者に送られてきたカメラ画像を図.9に示す。これらの画像を見ながらロボットの操縦を行う。

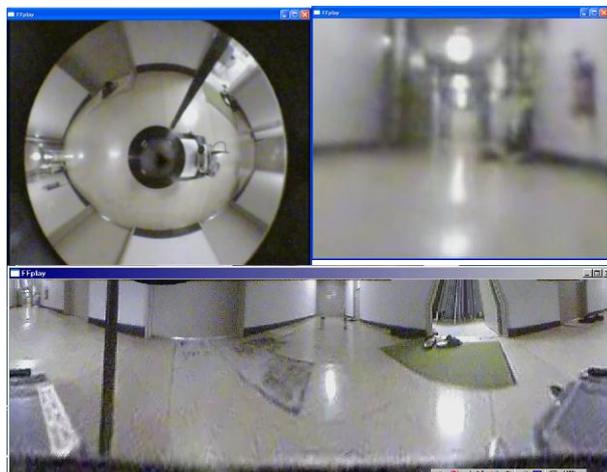


図.9 全方位カメラ画像 (左上:変換なし 右上:透視投影変換画像 下:パノラマ展開画像)

### 5 テレメータ装置システム

#### 5.1 環境データ送受信装置の開発

現場の環境情報を収集するために、テレメータ装置を開発した。携帯機は、環境データ収集センサとして酸素濃度センサ、可燃性ガスセンサ、周囲温度センサ、機器電源電圧センサを、アクチュエータとして警報ブザーを搭載した(図.10)。可燃性ガスセンサの検知ガスは水素、メタン、プロパン、イソブタンである。

管理ソフトは携帯機に対しポーリングをかけデータを収集表示し、収集データは時刻データ付きで保管することができる。また、収集データを分析して携帯機を所持した消防隊員に対して警告を発することができる。4台の携帯機を同時に管理する事ができ、400MHz,1200MHzの各無線機、複数台から同時に情報を得ることが可能である(図.11)。

#### 5.2 データ通信試験

LCXで、特定小電力無線モデムを使用してデータ通信試験を行った。試験内容はパケット到達率試験である。試験は開放空間および閉空間で行った。

親機モデムはシールドボックス内でLCXと電磁結合しPCに接続した。携帯機モデムは高さ0.9mの腰位置に取り付け、測定を行った。

測定結果は以下の通りとなった。

##### (1)開放空間 (MBLCX使用)

1252MHzモデムを使用し、ケーブルから水平方

向に20mの位置で、長手方向の50m間隔に300mまでの各地点で、32バイトランダムデータを100パケット送受信し、いずれも100%の到達率であった。

また、管理プログラムと携帯機の間でセンサ情報の取得を確認できた。

## (2)閉空間（トンネル内、SBLCX使用）

ケーブルから水平方向に2mの位置で、長手方向の100m間隔に300mまでの各地点で、255バイトランダムデータを50パケット送受信し、429MHzモデムではいずれも到達率100%であった。1252MHzモデムでは200m地点で96%であったが、他は100%の到達率であった。

また、管理プログラムと携帯機の間でセンサ情報の取得を確認できた。

以上より、LCXで問題なく本テレメータシステムが使用できることが確認できた。

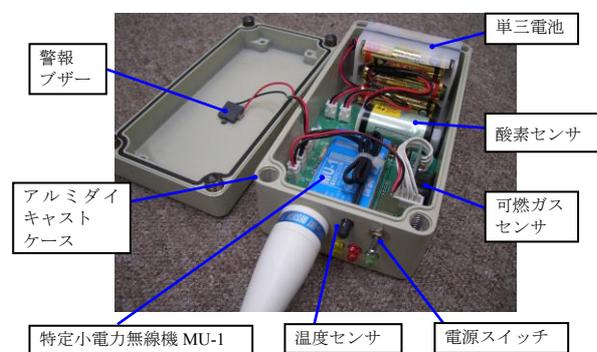


図.10 データ収集携帯機

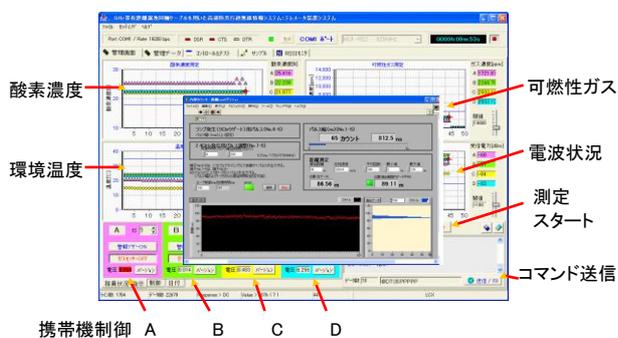


図.11 管理ソフト画面

## 6 映像伝送装置システム

### 6.1 FDM方式映像専用送受信機

映像専用送受信機は、送信機および受信機をペアで使用するもので送信部は単三型ニッケル水素充電電池4本で駆動し、市販ビデオカメラのアクセサリシューに着脱可能な構造とした。受信部は10.4インチ液晶モニター内蔵のアタッシュケース型で容易に可搬できNPタイプのリチウムイオンバッテリー1本を使用して長時間駆動させることができる。フィールドでの実験に大変有効な試作機として完成し

た(図.12)。

映像専用送受信機は、伝送される映像の品質を最重要視し、非圧縮でフルサイズのビデオ画像を30フレーム毎秒の伝送を可能とした2.4GHz非圧縮デジタル方式の伝送方式を採用した。これにより解像度・コントラストに優れ、滑らかな動画再生を実現した。



図.12 FDM方式映像伝送装置(左:送信機,右:受信機)

### 6.2 無線LAN映像送信機

限られた電波帯域を最大限有効に活用する手段として無線LANによる映像送信機を開発試作した。実験用試作機的设计コンセプトは、映像専用送受信機と同様、単三型ニッケル水素充電電池で作動する小型軽量を目指し、市販のビデオカメラのアクセサリシューを利用して着脱できることに留意した。

無線LAN映像送信機では、映像を圧縮してさらにビデオのサイズを小さくしたり、1秒間あたりのフレーム数を減らしたりなどして、データ量の縮小を図って限られた回線を映像が占有することの無いよう、テレメータ情報や音声情報、そして制御信号等との共存を最重点課題として開発した。映像の圧縮方式として最も古くから使用され互換性の高いM-JPEG方式を採用した。また、無線伝送方式には、最も広く利用され互換性の高いIEEE802.11bを採用した。

### 6.3 ウェアラブル化

災害現場の映像を撮影するときに、撮影者の負担を減らし、作業効率を上げるために、ウェアラブル化を行った。コストを押さえ試作機を製作するために、多くは市販品を分解してベストに収納できるよう組替えた。また、可視画像カメラと送信アンテナをヘルメットに組込むことでウェアラブルを実現した(図.13)

### 6.4 特殊映像伝送試験

瓦礫の中の生存者発見や、瓦礫から生存者を引き出す前に瓦礫の中を調査するのに有効なファイバースコープカメラや、可視光が届かない場所での状況把握や生体の発見に有効な赤外線サーモカメラの映像伝送を行った。

ファイバースコープカメラは長野県工業技術総合センターに仮設してある34mのSBLCXケーブル

を使用して伝送試験を行った。カメラで撮影したパイプ内部の映像を、受信部のディスプレイに映し出す事ができた(図.14左)。

赤外線サーモカメラの映像伝送試験は、光が届かない天龍村廃トンネル内に仮設された300m SBLCXケーブルを使用して行った。全く光の無い状況でもトンネル内の様子と人物を認識出来る映像を、送受信することができた(図.14右)。



図.13 ウェアラブル映像伝送装置

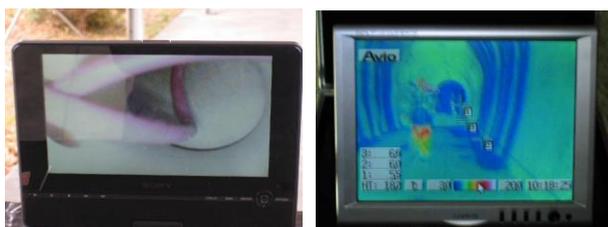


図.14 左:ファイバースコープカメラ映像  
右:赤外線サーモカメラ受信映像

## 7 災害現場を想定した実証実験

### 7.1 概要

災害時のLCXの活用性を確認するため、長野県消防学校訓練棟を使って実験を行った。訓練棟は火災を想定し、煙を充満させたり、木材などを燃焼させたりすることが可能である。建物は鉄筋コンクリート造りで、各部屋、スペースは壁で仕切られている。

LCXは耐熱難燃MB-LCX100mを使用し、建物外に約50m、建物内に約50m設置した。敷設には展開用ドラムを利用した。建物内は一階を横切った後、階段に沿って三階まで上げ、部屋の奥を終点とした。建物外の端点を本部として通信実験を行った(図.15)。

### 7.2 映像伝送実験

ウェアラブル映像伝送装置を使って、映像伝送実験を行った。

その結果、LCX終端まで鮮明な映像伝送が確認できた。LCXが配置されていない二階の部屋の中からも、LCXを直視できる場所からは、良好な映像伝送

が可能であった。また、煙を充満させ、肉眼では状況が確認できない状態であっても、赤外線熱画像カメラの映像により、人物の状況を捉えられ、災害時の状況確認に有効なことが確認できた(図.16)。

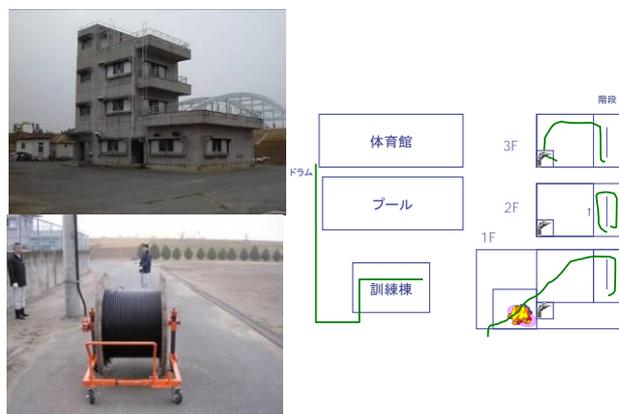


図.15 災害想定実験概要 (左上:訓練棟外観 左下:展開用ドラム装置 右:LCX設置状況)



図.16 伝送映像 (左:ヘッドマウント型熱画像カメラ 右上:煙内通常 右下:煙内熱画像)

### 7.2 LCX 燃焼試験

LCXの一部を燃焼させて、通信が保てるかを検証した。実験は、訓練棟一階、約55m付近で木片を燃焼させて、その上にLCXをかざして行った。燃焼は15分程で火勢が衰え、LCXは最高400℃前後まで加熱された(図.17)。

LCXの外被は溶けて外部導体が見える状態になったが、内外導体の絶縁は保たれ、燃焼地点以降からも正常に映像伝送、テレメータ通信が出来ることを確認した。

焼損部分のケーブルについて、TDR(日本Tektronix, TDS8000B/80E04)による特性インピーダンスと、ベクトルネットワークアナライザ(Anritsu, 37397C)による伝送損失を測定した。特性インピーダンスは焼損部分で正常値50Ωより落ち込んでおり、約85cm間で異常が確認できた。伝送損失は1.2GHzで約4dB、2.4GHzで約11dBであった。これは2.4GHzでLCX約100m分の伝送損失に相当する。

これらの結果から、焼損の範囲が長くなると、長距離での通信に影響が出てくると考えられる。

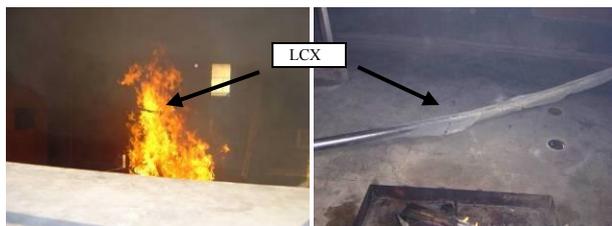


図. 17 燃焼試験 (左:燃焼の様子 右:実験後LCX)

## 8 地下街実証実験

### 8.1 概要

LCXが利用される地下街を想定し実験を行った。実験は(財)長野県下水道公社諏訪湖流域下水道豊田終末処理場の地下通路において行った。地下通路はコンクリート壁で仕切られており、携帯電話は通じない。

通路の中央部付近、高さ約2.2~2.8m付近に通常SB-LCX300mおよび耐熱難燃SB-LCX300mを設置し(図.18)、ロボット遠隔制御、テレメータシステム、映像伝送の各アプリケーションをテストした。

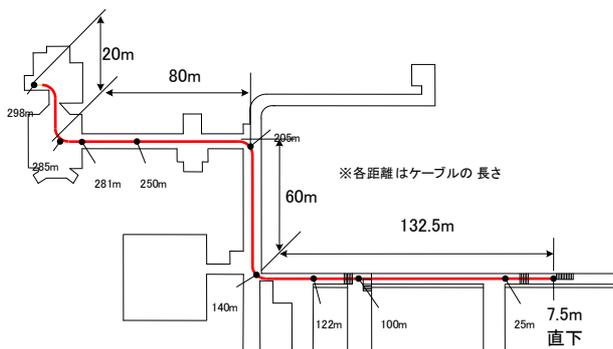


図. 18 LCX設置状況

### 8.2 通常 SB-LCX 測定

通常SB-LCXを使用し、テレメータ2台(400MHz2台、1200MHz2台)、ロボット2台(2.4GHz無線LAN使用、PTZカメラ・全方位カメラ・制御)、映像伝送装置1台(2.4GHz無線LAN使用、ヘッドマウント型熱画像カメラ)を同時に運用した。システム接続図を図.19に示す。

実験の結果、テレメータシステムは問題なくデータ転送が行えた。ロボット制御も2台ともケーブル末端まで制御可能であり、同時複数台制御が可能な事が検証できた。映像伝送装置の実用距離は約240mでロボットを2台操作しても、同時利用の影響は確認出来なかった。また、熱画像による、暗闇での視認性も確認できた。

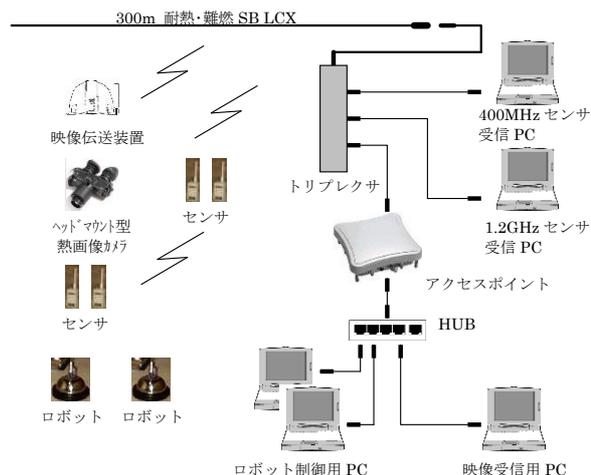


図. 19 システム接続図

### 8.3 耐熱難燃 SB-LCX 測定

前項と同じ構成で、LCXを耐熱難燃に変更して実験を行った。

実験の結果、テレメータシステムは問題なくデータ転送が行えた。ロボット制御は200m付近が制御限界であった。映像伝送装置も200m付近が限界であり、実用距離は約190mであった。これは、耐熱難燃LCXの方が減衰量が多いため、通距離が短くなったためである。同時利用の影響が無いことを確認した。

## 9 まとめ

本研究で、2.4GHz,1200MHzおよび400MHzの各周波数帯の信号を伝送し、1本または複数本の接続で長距離の通信エリアを確保するLCX、およびLCXを利用する映像、テレメータ、遠隔操作機器、位置特定について研究開発を実施した。これにより、地下街等、高速の無線通信を行うのが難しい場所からの、映像伝送等が可能になった。これらは、災害時に活用されるのは勿論、平常時に於いても、地下街、建物・工場内など、無線障害が多い場所での、高速無線利用に役立てられると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 中村正幸他、高速防災無線情報システム向け 2.4GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブル、電子情報通信学会 2007 年総合大会講演論文集、p170、2007
- 2) Masayuki Nakamura et al. Development of a 300 m 2.4 GHz Frequency Band Leaky Coaxial Cable for Wireless Network Access. 2008 IEEE RWS PP. 687-690. 2008
- 3) 高木秀昭他、GHz 帯長距離漏洩同軸ケーブルを用いた高速防災無線情報システムの研究開発 (第3報)、長野県工技センター研報 No.4、p. E9-E14、2010



## 第1 防災情報通信システム等の高度化

### 1.2 探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置

研究課題名	探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置
研究実施期間	平成18年8月1日～平成21年3月10日
配分額(千円)	平成18年度 10,400 平成19年度 9,360 平成20年度 8,840
研究代表者	岩橋 政宏
所属機関	国立大学法人長岡技術科学大学
研究体制	国立大学法人長岡技術科学大学
研究概要	複数のロボットと人が、通信ネットワークを介して連携防災活動を実施する際に有用な、スケーラブル映像伝送装置を開発した。各種利用形態に応じて伝送方式を最適化することで、限られた伝送帯域を有効活用できる映像伝送処理方法を提案した。また、移動ロボットの取得映像から運動パラメータを抽出することで、複数ロボットの連携による映像履歴の閲覧、各種センサ情報の統合、ロボット自律走行などを可能とするシステムを開発した。
研究成果	長岡技術科学大学が持つロボットコンテストへの参加実績技術、ロボカップジャパンオープン H22 大阪開催「レスキュー実機リーグ 3位」、H21 消防庁長官感謝状「新技術等を利活用した消防防災ロボット・高度な資機材等の普及の推進、貢献に対する功績」と密に連携しつつ、学術面での成果:第9回社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会「SI2008 優秀講演賞」や、電子情報通信学会第22回、回路とシステム軽井沢ワークショップ「研究奨励賞」といった学術的な成果も挙げている。また、新潟県中越沖地震にける「地震災害調査団報告書」H20.3.における活用、および、消防庁消防大学校消防研究センター一般公開 H18, 19, 20、テクノミュージアム企画展「明日の安全・安心をつくる先端技術」H21.9、「暮らしを豊かにする情報・制御技術」H21.5における展示を行い、成果を広く公開している。
応用の方向性	ロボットの自走による屋内施設の見回り(複数ロボットの連携、先頭車両のみを操縦して後続は自動追従)や、映像履歴による異常事象の発見や各種センサと履歴画像の統合、GPSの使えない屋内や床下点検での利用など。

研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. "Haar 基底を用いた階層符号化によるロボットビジョン・ネットワークシステム", 映像情報メディア学会, メディア工学研究会, ITE technical report, vol.31, no.14, pp.39-40, Feb. 2007.</li> <li>2. "階層符号化を用いたロボットビジョン・ネットワークの一構成法", 電子情報通信学会, 総合大会, vol.D, no.11, pp.47, March 2007.</li> <li>3. "3次元回転変換の構成に関する一検討", 画像電子学会第36回年次大会, S.4-1, pp.1-2, June 2008.【研究奨励賞・画像電子学会】</li> <li>4. "Video Data Compression for Robot to Robot Communication", IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.140-145, Oct. 2008.</li> <li>5. "ロボット間通信のための機能的階層符号化", 映像メディア情報学会, メディア工学研究会, ITE Technical Report, ME2008-190, vol.32, no.58, pp.5-8, Dec. 2008.</li> <li>6. "ロボット間通信のための機能的階層符号化", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム 2009, P-22, pp.161-164, Jan. 2009.</li> <li>7. "ロボットビジョン・ネットワークのための機能的階層符号化", 電子情報通信学会, 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp.388-391, April, 2009. 【研究奨励賞受賞・電子情報通信学会】</li> <li>8. "Functionally Layered Coding for Robot Vision Network", Picture Coding Symposium (PCS), no.2, pp.32-35, May 2009.</li> <li>9. "限定方位画像を用いた探査ロボットの姿勢推定", 電子情報通信学会信越支部大会, 5D-2, pp.93, Oct. 2009.</li> <li>10. "動き推定に対する外乱の影響", 電子情報通信学会信越支部大会, 5D-4, pp.95, Oct. 2009.</li> <li>11. "人とロボットによる連携探査用ビジョンネットワーク伝送容量の有効活用法", 計測自動制御学会, システムインテグレーション部門講演会 (SI 2009), 2M2-2, Dec. 2009.</li> <li>12. "Functionally Layered Video Coding Based on JP2K for Robot Vision Network", Journal of Robotics and Mechatronics, vol.21, no.6, pp.758-764, Dec. 2009.</li> <li>13. "不整地を走行する移動ロボットの自己位置推定のための伝送量削減", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, no.P10, pp.87-90, Jan. 2010.</li> <li>14. "映像を用いた移動量推定における信頼性評価尺度の理論解析", 生体情報処理と高度情報処理シンポジウム, P14, pp.103-106, Jan. 2010.</li> <li>15. "Band Determination of JP2K DWT for Robot to Robot</li> </ol>
----------	---

	<p>Communication”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), S12, pp.151-154, Jan. 2010.</p> <p>16. “Robot Vision Network based on Ceiling Map Sharing”, IEEE International Workshop on Advanced Control (AMC), 6, Mon 3-2, pp.164-169, March 2010.</p> <p>17. “複数の移動型ロボットによる天井マップ共有システムにおける伝送データ量の削減”, 電子情報通信学会, 回路とシステム軽井沢ワークショップ, pp.334-339, April, 2010.</p> <p>18. “Visual compensation in localization of a robot on a ceiling map”, Scientific Research and Essays, 2011 (採録決定).</p> <p>19. “Reduction of data size for transmission in localization of mobile robots”, International Journal of the Physical Sciences, 2011 (採録決定).</p>
<p>知的財産権の出願・登録状況等</p>	<p>「映像伝送システム、映像伝送装置、映像伝送方法、探査ロボット、及びプログラム」特願 2007-44723、特開 2008-211405, 2007年2月23日 (階層符号化によるロボットビジョン・ネットワーク)(審査請求手続中)</p>
<p>当該研究に対する今後の展開、意見等</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 屋上のような危険個所における有害鳥の監視や、「移動案内山子」、工場やビルの「一時的」な夜間見回りへの応用など、空間インフラ(床の白線、無線での誘導)を利用できない環境への、新しい展開を試みる。</li> <li>● データ量を大幅に圧縮できる機能的階層符号化に、カラー成分の非線形写像と、ビット深度の類別符号化を新たに導入することで、特徴点が不明確な床面上での、安定した自律走行を実現する。</li> </ul>



# 探査ロボット用スケーラブル映像伝送・表示装置

○岩橋政宏<sup>1</sup>                      木村哲也<sup>2</sup>  
Masahiro Iwahashi and Tetsuya Kimura

**研究課題の要旨:** 複数のロボットと人が、通信ネットワークを介して連携防災活動を実施する際に有用な、スケーラブル映像伝送装置を開発した。各種利用形態に応じて伝送方式を最適化することで、限られた伝送帯域を有効活用できる映像伝送処理方法を提案した。また、移動ロボットの取得映像から運動パラメータを抽出することで、複数ロボットの連携による映像履歴の閲覧、各種センサ情報の統合、ロボット自律走行などを可能とするシステムを開発した。

**キーワード:** 画像、映像、通信、ネットワーク、探査ロボット、連携探査

## 1. はじめに

近年、全方位カメラやステレオビジョンによる距離深度や障害物検出など、ロボットビジョンに関する様々な研究・開発が行われている[1,2,3]。とくに、移動型のロボットについては、その自己位置をリアルタイムに正確に把握することが、遠隔操作においては重要となる。その際、カーナビに代表されるような GPS を用いたシステムが活用できる[4]。しかし、トンネル内や屋内では、電波が届かず利用できない。

このように、整備された空間インフラを利用できない場合は、磁気センサや加速度センサ等を用いることで、自己位置推定が可能となる。また、不整地を走行する場合は、ジャイロセンサを用いることで推定精度を向上できる[5]。しかし、例えばレスキュー現場などでは、障害物との衝突や路面の崩壊などで、各種センサの検知範囲を超える外乱が生じることがある。このため、センサのマルチモーダル化による信頼度の向上が必要となる。

従来法の一つとして、映像を用いた自己位置推定が考えられ、オプティカルフローなどを用いた SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) が報告されている[6,7,8]。この処理を移動ロボット内で実行し、推定結果のみを伝送することも考えられる。しかし、その中に大きな誤差が含まれる場合は、人が映像を見て現場の状況を総合的に判断することになる。

このような状況では、映像の圧縮伝送処理は移動ロボット内で実行する必要がある。一方、自己位置推定処理は移動ロボット外でも実行できる。従って、映像の圧縮伝送処理はロボット内に組み込み、送信された映像に基づく自己位置推定処理はリモートサーバが実施することで、移動ロボットの小型省電力化が可能となる。

映像による自己位置推定としては、天井マップ共有システムが報告されている[9]。このようなシステ

ムでは、まず、移動ロボット（先行機）に天井に向けて設置されたカメラの映像から、パノラマ生成法[10]により、一枚の天井マップが生成される。次に、この先行機に追従する移動ロボット（追従機）が撮影した天井映像がリモートサーバに送られ、追従機の自己位置が天井マップ上に推定される。この際、膨大な量の動画データが通信される。従って、追従機の台数の増加に伴い、ネットワーク容量の不足が生じる問題がある。

こうしたデータ通信上の課題に対し、本研究では、デジタルシネマの国際標準として採用されている JPEG2000 の技術[11,12]を用いて映像符号化を行い、画像から移動ベクトルを推定するために必要最小な情報のみを伝送することで、ロボット通信に要するデータ伝送量を削減できる機能的階層符号化を開発した[13]。しかし、先行機と追従機が同じ画像処理を搭載しており、追従機数の増加に伴いデータ伝送量が膨大となってしまう。ただし、これは整地走行時に限定されている。このため、不整地走行時には、自己位置推定に誤差が生じる。

この推定精度の問題に対しては、天井方向のカメラに加えて、前方向のカメラから得られる情報を用いて、移動ロボットの姿勢推定を行い、不整地走行時においても自己位置を正しく推定する方法を開発した[14]。更に、前方向と天井方向のカメラ映像間の冗長性の排除と、追従機の伝送成分の機能特化を行う方法を開発した。

以上により、追従機の自己位置推定に必要な最小限の信号成分が、従来法に比べて低減できた。結果、ネットワークの限られた伝送容量のもとで、より多くの追従機の天井マップ共有システムへの参加が可能となった。

## 2. 開発の概要

研究内容の詳細について述べる前に、本課題の開発の概要を簡単にまとめる。

図 1 には、従来の問題点を示す。先行して現場を探査するロボット（先行車）は、操縦者により遠隔地からリアルタイムで操作される。この映像は信号

(所属機関名)

1 国立大学法人 長岡技術科学大学 電気系

2 国立大学法人 長岡技術科学大学 システム安全系

処理され、分析者により時間をかけて十分に精査される。現場は他のロボット（後続車）との連携により、様々なミッションが実行される。特に、ここでの情報交換が、映像によりデジタル回線を経て行われることに注意する。この場合、システムに対して以下の要求が生じる。

- (ア) 操縦者は滑らかに動く前方のリアルタイム映像が欲しい。
- (イ) 観察者は詳細な履歴パノラマ画像が欲しい。
- (ウ) 特定の位置では各種センサ情報や高解像度画像も見たい。
- (エ) 先行ロボットはいち早く現場の位置マップを作成したい。
- (オ) マップを共有して複数ロボットで連携探査活動を行いたい。

今回は、このような要求に応えるための一手法として、探査ロボット用スケラブル映像伝送・表示装置を開発した。以下、詳細を述べる。



図.1 これまでの問題点



図.2 本課題の目標

図2には、本課題の開発目的を示す。具体的には、以下の3点にまとめられる。

- ① 操縦者、観察者、複数ロボットによる、通信ネットワークを介した多地点連携防災活動を支援
- ② 各種利用形態に応じて伝送方式を最適化、限られた伝送帯域を有効活用できる映像伝送方法を開発
- ③ 映像履歴の閲覧、各種センサ情報の統合、ロボット自律走行などを可能とするシステムを開発

図3と図4には、今回開発した探査ロボットの概要を示す。円周魚眼レンズを無線伝送、全方位映像を生成・表示できるように、消防庁が開発した探査ロボット FRIGO を改良した。これをベースに、映像移動量からロボット本体の運動パラメータを推定した。



図.3 FRIGO の改良（その1）

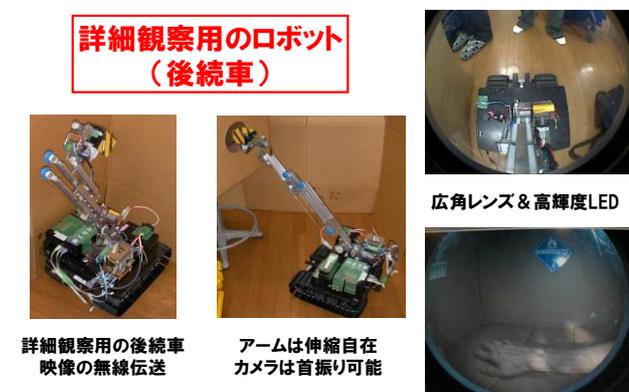


図.4 FRIGO の改良（その2）

図5と6には、開発したインターフェースを示す。解析の結果として得られたパラメータを統合して、時空間マップを作成・表示するインターフェースを作成した。その結果を活用し、パノラマ履歴映像やセンサ情報をマップ上でリンクさせた。

以上により、危険な場所に入り込んで、災害現場の映像を、いち早く収集する探査ロボットシステムが開発された。このシステムには、停電で真っ暗になっても、まるで昼間の様に明るく見える、超高速・画像処理回路が搭載されている。雨が降っても吹雪いても、じっと凝視することで、被災現場の様子が見えてくる、便利な機能が備わっている。



図.5 開発したインターフェース

図6には、学術的な研究成果の概要を示す。パラメータ抽出に必要な最小限な基底成分のみを通信することで、通信上の問題を解決する方法を開発した。

図7には、より詳細な内容を示す。国際標準を高機能化した、「機能的階層符号化」という、全く新しい映像処理回路を搭載している。MPEGあるいはJPEG2000をベースとしているため、国際標準様に開発された汎用的なLSIチップセットを活用できる利点がある。これにより、災害時の混雑した通信回線でも、多数のロボが迅速に連携できる。

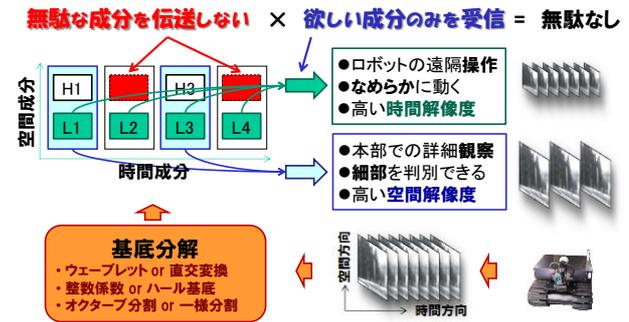
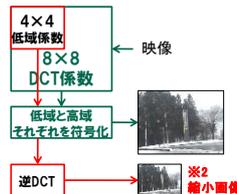


図.6 学術的な研究成果の概要

● MPEG (MC-DCT) ベースの方法

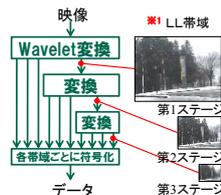
	時間方向	空間方向
遠隔操作	I,P,B ビクチャ	低域4×4係数※2
詳細観察	I ビクチャのみ	全8×8係数



- 解像度は1/2, 1/4, 1/8...のいずれか1つ。低域係数のみを使ってデコードする。
- 階層化による符号化の効率低下が大きい。帯域に跨りジグザグスキャンして、ブロックごとにエントロピ符号化するため。

● Motion JPEG 2000 (Wavelet) ベースの方法

	時間方向	空間方向
遠隔操作	全フレーム	LL帯域※1
詳細観察	フレーム間引き	全帯域



- 解像度を1/2, 1/4, 1/8...から選べる。第nステージのLLをデコードする。
- 階層化による符号化の効率低下が少ない。各帯域毎にエントロピ符号化するため。

図.7 学術的な研究成果の詳細

図8には、今後の活用の概要を示す。獣道や林道など里山特有のフィールドを半自律的に巡回し、映像を収集しながら環境マップを生成することで、遠隔地からウェブを介して指示されたルートで、効率的に安全に探査できるネットワークロボット群の開発を目指している。

更に将来には、有害鳥獣や雪害等の地域特有のニーズを迅速に見極め、オーダーメイドな組み込み技術の開発・教育を通し、地域社会の活性化に寄与する。あるいは、里山の安全を見守る分散協調型の情報制御収集システムを提供することで、地域社会の安全確保に貢献する。



図.8 今後の展開

### 3. 学術研究の概要

以下、上記の開発の核となった、学術研究内容の詳細について述べる。

#### 3.1 不整地走行時の自己位置推定誤差の補正法

図9に示すように、探査ロボットには2台のカメラが固定されている。一台は、ロボットの操作に使うための前方映像を取得する。もう一台は天井を撮影し、1秒あたり30枚のフレームを繋ぐことで、パノラマ・マップを生成する。これが、先行機の自己位置推定に相当する。追従機の自己位置は、追従機が撮影したフレームが、先行機により生成されたマップ上のどこに存在するかによって相当する。いずれの自己位置も、「画像認識」により推定される。

しかし、路面が凸凹である場合、自己位置推定に誤差が生じる。図9(a)では、ロボットの前輪がデブリに乗り上げることで、推定位置に前後の誤差  $T_{Ax}$  が生じることを示している。図9(b)では、左右の誤差  $T_{Ay}$  が生じている。本課題では、これらの推定誤

差を、2台のカメラの映像フィードバックにより、低減する方法を開発した。以下、詳細を述べる。

図10には、ロボットの運動と動きベクトル（フレーム間の動き情報）との関係を、前方カメラと天井カメラのそれぞれについてまとめる。ここで、ロボットの運動としては、前後への並進  $T_x$ 、あるいは、旋回角  $\theta_z$  による超信地旋回を仮定する。この場合、天井カメラの映像からは、並進ベクトル  $T_x$ 、および、回転角  $\theta_z$  が観測される。路面が平坦であれば、これらにより、 $T_x$  および  $\theta_z$  が誤差なく推定できる。

しかし、路面上に凸凹がある場合、ロボットの運動が、旋回角  $\theta_{Ay}$  および  $\theta_{Ax}$  を誤差として含んでしまう。これらが並進ベクトル  $T_{Ax}$  および  $T_{Ay}$  をそれぞれ誤差として生成する。結果として、天井カメラの映像には、 $T_x$  および  $T_{Ax}$  の混合された動き情報が  $X$  方向に抽出されてしまう。

この問題に対し、本課題では、前方カメラの映像から得られる動き情報を用いて、誤差を補正する方法を開発した。この方法では、まず、前方カメラ映

像の動き情報 ( $T_{\Delta X^*}, \Delta\theta_{Z^*}$ ) を推定し、次に、これらから誤差 ( $T_{\Delta x}, T_{\Delta y}$ ) を計算する。これにより、( $T_x, \theta_z$ ) の正確な推定が可能となる。

図 11 には、理論解析のためのモデルを示す。同図によれば、パラメータ間の関係が、

$$\begin{aligned}
 & d - (d + a \tan \theta_{\Delta y}) \cos \theta_{\Delta y} \\
 & + \left\{ \left( h + \frac{C_x}{\tan \theta_{\Delta y}} \right) \tan \theta_{\Delta y} - (d + a \tan \theta_{\Delta y}) \sin \theta_{\Delta y} \right\} \\
 & \times \left\{ \tan \theta_{\Delta y} + \frac{\tan \theta_2}{\tan \theta_1 - \tan \theta_2} (\tan \theta_{\Delta y} - \tan \theta_1) \right\} \\
 & = 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

として記述される。ここで、距離  $a, d$  および  $h$  は予め測定されている。この式により誤差が、

$$\begin{cases} T_{\Delta x} = (h - a \sin \theta_{\Delta y}) \tan \theta_{\Delta y} \\ T_{\Delta y} = (h - a \sin \theta_{\Delta x}) \tan \theta_{\Delta x} \end{cases} \tag{2}$$

として求められる。従って、上式における旋回誤差 ( $\theta_{\Delta y}, \theta_{\Delta x}$ ) を、前方カメラ映像から推定される動き情報 ( $T_{\Delta X^*}, \Delta\theta_{Z^*}$ ) から求めることができる。なお、動き情報の推定には回転不変・位相限定相関法 (RI-POC) を用いる。

以上により、デコボコな路面の走行時に発生する自己位置推定誤差を、低減することが可能となる。

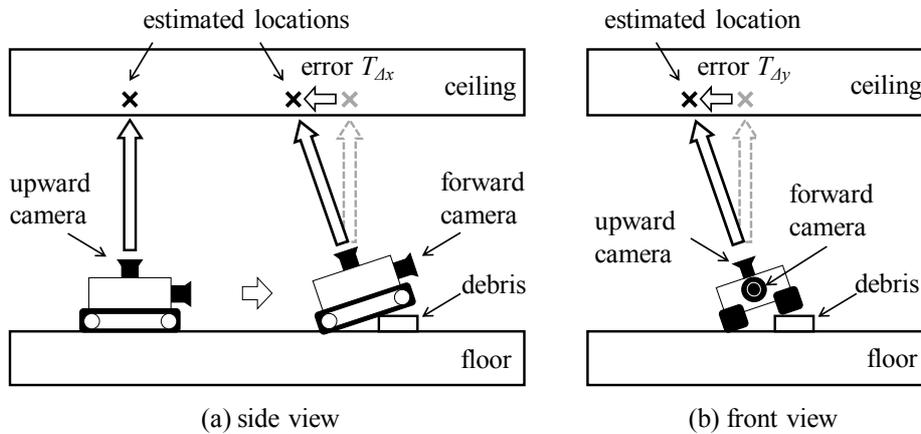


図.9 路面の凸凹により生じる自己位置の推定誤差

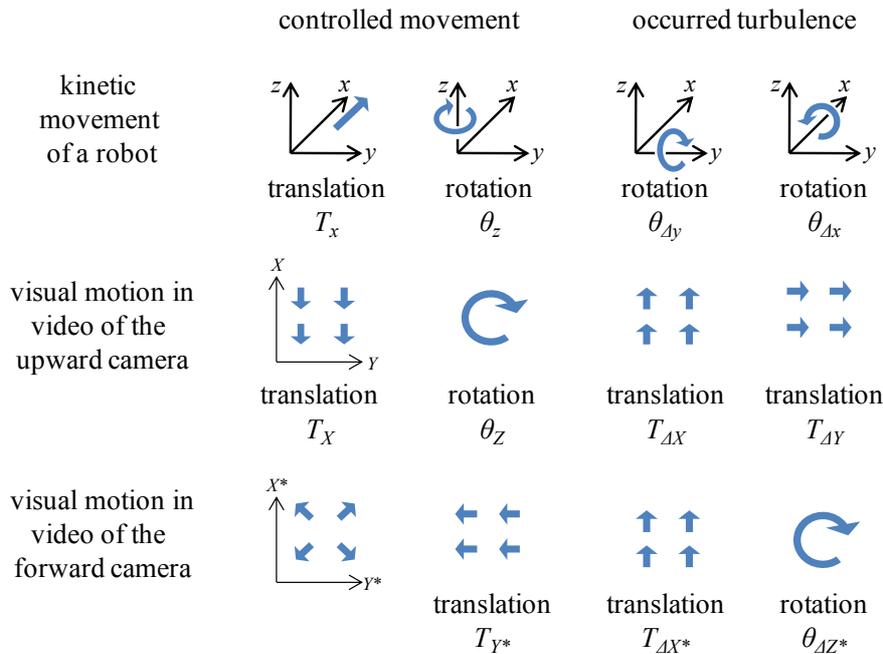


図.10 ロボットの運動と映像上の動き情報の関係

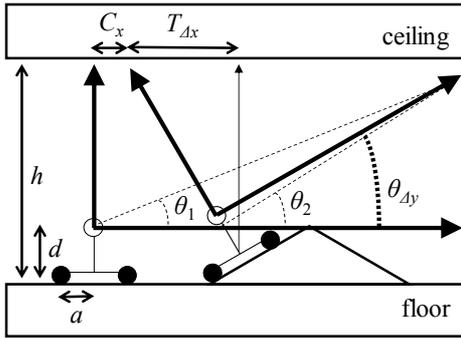
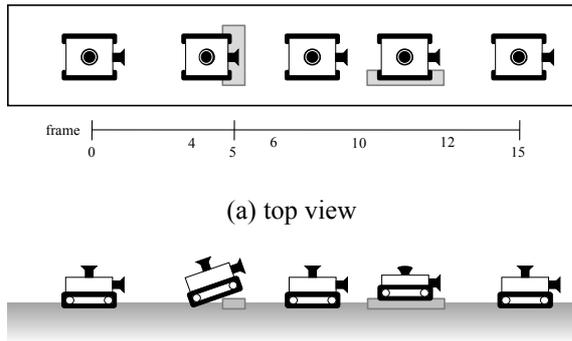


図.11 理論解析のためのモデル



(a) top view

(b) side view

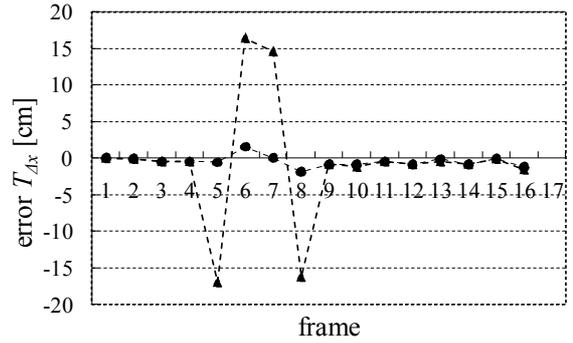


(c) before

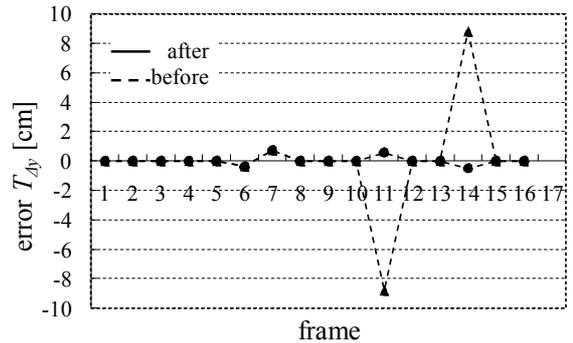


(d) after

図.12 実験結果



(a) x direction



(b) y direction

図.13 推定誤差の評価結果

以下、図 11 において、 $a=14$  [cm],  $d=45$  [cm],  $h=260$  [cm]と設定し、ロボットを等速直線運動させた場合の実験結果を示す。

図 12(a),(b)は、実験の様子の俯瞰図を示す。2つのデブリが誤差  $T_{Ax}$  および  $T_{Ay}$  を引き起こす。図 12(c)は、補正を行っていない場合の、推定された自己位置を示す。図 12(d)は、補正後の自己位置である。ロボットの等速直線運動に伴い、自己位置が直線上に等間隔にプロットされており、誤差なく推定できていることを確認できる。

図 13(a), (b)には、この場合の推定誤差  $T_{Ax}$  および  $T_{Ay}$  をまとめる。推定誤差の絶対値が、前後方向では 17 [cm] から 2 [cm] へ、左右方向では 9 [cm] から 1 [cm] へと、それぞれ低減されていることが確認できる。

以上、本課題により、自己位置の推定誤差を 11 [%] 程度、低減できることが確認された。この方法は、画像上の動き情報をフィードバックするため、ジャイロを使った傾斜計の利用時に問題となる計測時間のブレは生じない利点がある。

### 3.2 機能的階層符号化による伝送量の低減法

本システムでは、ロボットに搭載されたカメラから得られた映像信号は、符号化によりデータ圧縮され、デジタル通信回線を介してリモートサーバに伝送される。探査ロボットの小型化と、バッテリーによる長時間駆動を実現するため、自己位置推定のような計算負荷の高い「画像認識」および知識処理を、計算能力の高いリモートサーバにて実行する。

図 14(a)には、国際標準方式である JPEG 2000 による、映像信号の圧縮符号化の概要を示す。伝送される成分の集合 "A" は、離散ウェーブレット変換 (DWT)、および、ビットプレーン分解 (BPD) により得られる全成分を表す。

図 14(b)には、本課題における提案法である機能的階層符号化 (FLC: functionally layered coding) の概要を示す。この方法では、集合 "B" のみが、リモートサーバに伝送される。この成分の集合は、画像認識処理により、自己位置を推定するために必要かつ最小の成分から成る。但し、自動推定に問題があると思われる場合は、集合 "C" を送信する。これにより、現場の映像を人が確認できる。

通常は "B" のみを通し、人による判断が必要な際に "C" を送信する。ここで、集合 A、B、C のデータ量を  $D_A$ 、 $D_B$ 、 $D_C$  と表すと、関係式 " $D_A = D_B + D_C$ " が成り立つ。従って、" $D_A > D_B$ " が成り立ち、本課題で開発した FLC により、伝送データ量の低減が可能とすることが示される。

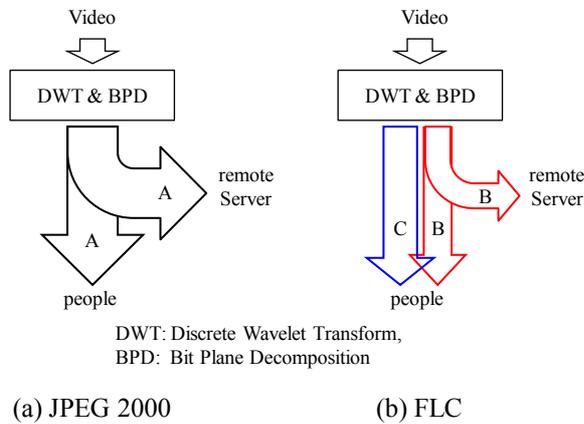


図.14 映像信号の圧縮

$$E_{POC} = F^{-1} \left[ \frac{X_1(\mathbf{w})\overline{X_2(\mathbf{w})}}{X_1(\mathbf{w})X_2(\mathbf{w})} \right] \quad (4)$$

および、

$$\begin{cases} X_q(\mathbf{w}) = F \left[ x_q(\mathbf{n}) \right] = \sum_{\mathbf{n}} x_q(\mathbf{n}) W_N^{-\mathbf{w} \cdot \mathbf{n}} \\ \hat{x}_q(\mathbf{m}) = F^{-1} [X_q(\mathbf{w})] = \frac{1}{N} \sum_{\mathbf{w}} X_q(\mathbf{w}) W_N^{\mathbf{w} \cdot \mathbf{m}} \end{cases} \quad (5)$$

$$W_N = e^{j2\pi/N}, \quad q \in \{1,2\}, \quad \mathbf{n} = (n_1, n_2)$$

として計算される。ここで、 $x_1(\mathbf{n})$  および  $x_2(\mathbf{n})$  は隣接するフレームの位置  $\mathbf{n}$  における画素値である。また、 $F[x]$  は離散フーリエ変換を、 $F^{-1}[X]$  はその逆変換をそれぞれ意味する。

POC では、式(4)に示されるように、周波数成分が振幅値により正規化されている。このため、明るさの変動に対して堅牢である。更に、特徴量の少ない映像に対しても、動き情報を正確に抽出できる。これにより、道路標識や白線のような顕著な特徴点が存在しない路面上であっても、正確に自己位置を推定できる。

以上、機能的階層符号化と POC により、データ伝送量を低減し、なおかつ、正確な自己位置推定が可能となった。

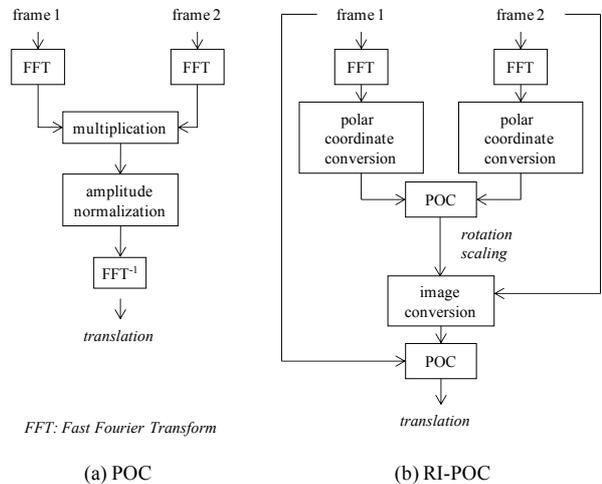


図.15 動き情報の推定方法

図 15 には、映像から動き情報を推定するためのアルゴリズムを示す。図 15(a)の POC では、動きベクトル  $mv$  は、隣接する 2 つのフレームにおける画素値から、評価関数  $E_{POC}$  により、

$$mv = \arg \max_{\mathbf{m}} E_{POC}, \quad \mathbf{m} = (m_1, m_2) \quad (3)$$

但し、

### 3.3 データ伝送量の更なる低減法

POC では、並進に関する動きベクトルが推定される。回転については、図 15(b)に示す RI-POC を適用する。ここでは、第 1 段階にて「回転角度」と「伸縮率」が計算され、第 2 段階にて「並進ベクトル」が計算される。なお、POC が 2 回使われていることに注意する必要がある。

表1には、3.2に記載したFLC(表中のexisting)における動きベクトルの推定方法をまとめる。この方法では、天井カメラ映像から、 $T_x$  および  $\theta_z$  がRI-POCにより推定される。また、路面の凸凹による誤差がある場合は、前方カメラ映像から、 $T_{AX}^*$  および  $\theta_{AZ}^*$  をRI-POCにより推定することで、誤差を低減している。

本課題では、データ伝送量を更に低減するため、RI-POCの使用回数が少なくなるような映像フィードバックを導入した(表中のproposed)。具体的には、旋回運動 $\theta_z$ を、天井カメラ映像の $\theta_z$ ではなく、前方カメラ映像の $T_{Y^*}$ から推定する。これにより、天井カメラ映像に対して、RI-POCではなく、POCを適用できる。結果、計算負荷が低減されるばかりか、次に示すように、データ伝送量の更なる低減が可能となった。

表1 動きベクトルの推定法

movement of robot		controlled		turbulence	
		translation $T_x$	rotation $\theta_z$	rotation $\theta_y$	rotation $\theta_x$
motion in video	upward	$T_x$	$\theta_z$	$T_{AX}$	$T_{AY}$
	forward	---	$T_{Y^*}$	$T_{AX}^*$	$\theta_{AZ}^*$
motion estimation	existing	upward	RI-POC		---
		forward	---	RI-POC	
	proposed	upward	POC		---
		forward	---	RI-POC	

表2には、推定誤差 $T_{AX}$ の値をまとめる。図14(b)の集合”B”として、DWTとBPDの全成分を含めた場合(all, 9BP)は、誤差が発生しなかった。RI-POCでは、ビットプレーン数を9枚から8枚に削減しても、誤差は生じなかった。POCの場合は、更に6枚に削減しても、誤差なく正確に自己位置を推定できた。

誤差の許容量を1[pixel]とすると、RI-POCの場合、7枚のビットプレーン(7BP)と全帯域(all)の組み合わせ、あるいは、8枚(8BP)と1ステージの最低域成分(1LL)に削減してもよい。

表2 推定誤差 $T_{AX}$  [pixel]

existing	motion estimation	RI-POC				
		bit plane	9	8	7	6
band	all	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.25</b>	13.07	29.83
	1LL	<b>0.24</b>	<b>0.23</b>	7.04	19.93	30.79
	2LL	15.77	15.36	20.96	25.13	35.73
	3LL	25.68	29.04	34.58	32.43	-
proposed	motion estimation	POC				
		bit plane	9	8	7	6
band	all	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	3.81
	1LL	<b>0.73</b>	<b>0.73</b>	<b>0.73</b>	<b>0.73</b>	15.17
	2LL	1.16	1.15	1.14	4.69	28.92
	3LL	4.96	8.24	14.72	26.02	-

表3には、このときの伝送データ量を示す。それぞれ、86.88[kB] および 46.73[kB] となっている。従って、RI-POCを用いた手法の場合、(1LL, 8BP)を伝送し、そのデータ量は46.73[kB]が必要となる。これに対し、POCを適用することで、(1LL, 6BP)を伝送し、その伝送量は10.82[kB]にまで低減できることが分かった。

表3 伝送データ量の評価 [kB]

bit plane	9	8	7	6	5
all	243.61	163.78	86.88	31.34	6.10
1LL	66.74	<b>46.73</b> (existing)	26.81	<b>10.82</b> (proposed)	2.71
2LL	17.61	12.40	7.12	2.96	1.09
3LL	4.97	3.59	2.22	1.24	0.83

表4には、2つの手法の比較結果をまとめる。従来法は、RI-POCにより天井カメラ映像から動きベクトルを計算する。この場合、成分(1LL, 8BP)を伝送し、その際のデータ量は46.73[kB]となる。一方、提案法は、POCにより動きベクトルを計算し、成分(1LL, 6BP)の伝送に、10.82[kB]なる伝送量を必要とする。従って、前方映像のデータ量も含めると、従来法は93.46[kB]、提案法は57.55[kB]となる。

以上、更なる映像フィードバックを適用することで、3.2に記載の手法に対し、データ伝送量を更に61.6[%]削減できた。これにより、図16に示すように、限られた通信容量の下で、より多くのロボットによる連携作業が可能となる。

表4 二つの手法の比較

	motion estimation	components in 1st layer	data size	total data size
existing	upward	RI-POC (1LL, 8BP)	<b>46.73</b>	93.46 (100%)
	forward	RI-POC (1LL, 8BP)	46.73	
proposed	upward	POC (1LL, 6BP)	<b>10.82</b>	57.55 (61.6%)
	forward	RI-POC (1LL, 8BP)	46.73	

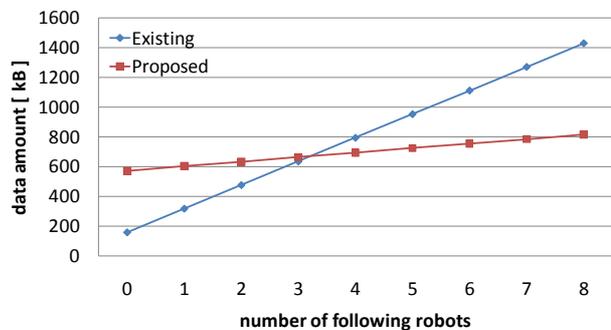


図16 追従ロボットの数と伝送量

図 17 には、先行ロボットにより生成されたマップの例を示す。蛍光灯のような顕著な特徴点がない部分でも、RI-POC により生成に成功している。

図 18 は、より特徴点の少ないカーペット上での自律走行が可能となることを示している。ここでは、図 19 に示すカラー成分の無相関化を適用している。



図.17 生成されたマップの例

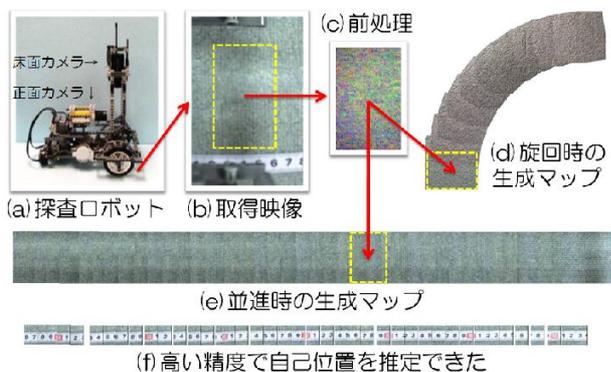


図.18 特徴点がないカーペット上での自律走行

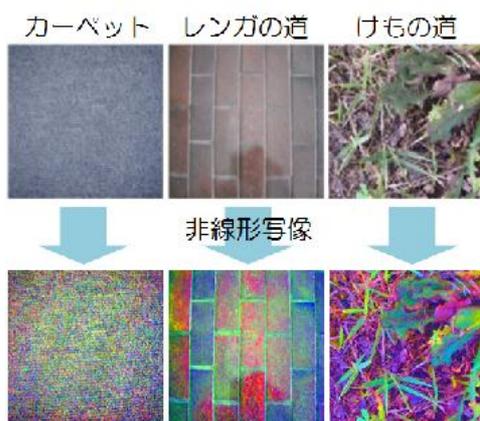


図.19 カラー成分の無相関化による安定化

#### 【参考文献】

- (1) G. N. Desouza, A. C. Kak, "Vision for Mobile Robot Navigation: a Survey", IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intelligence, vol.24, Issue 2, pp.237-267, Feb. 2002.
- (2) D. Nister, O. Naroditsky, J. Bergen, " Visual Odometry ", Proc. IEEE Computer Society

- Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vol. 1, 27, pp. I-652 - I-659, July 2004.
- (3) R. Munguia, A. Grau, "Monocular SLAM for Visual Odometry", IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP), pp.1 - 6, Oct. 2007.
- (4) Hofmann-Wellenhof, B.;Lichtenegger, H.; Collins, J.. Springer, Wien, "Global Positioning System. Theory and practice.", 1993
- (5) David M. Bevyly, "Global Positioning System (GPS): A Low-Cost Velocity Sensor for Correcting Inertial Sensor Errors on Ground Vehicles", J. Dyn. Sys., Meas., Control, Vol.126, Issue2, pp.255-264, June 2004
- (6) C. A. Wilson, J. A. Theriot, "A Correlation-Based Approach to Calculate Rotation and Translation of Moving Cells", IEEE Trans. Image Processing, Vol.15, Issue 7, pp.1939-1951, July 2006.
- (7) N. P. Papanikolopoulos, P. K. Khosla, T. Kanade, "Visual tracking of a moving target by a camera mounted on a robot: a combination of control and vision", IEEE Trans. Robotics Automation, Vol.9, Issue1, pp.14-35, Feb. 1993.
- (8) K. Ito, H. Nakajima, K. Kobayashi, T. Aoki, T. Higuchi, "A Fingerprint Matching Algorithm Using Phase-Only Correlation", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E87-A No.3 pp.682-691, March 2004.
- (9) Sebastian Thrun, Maren Bennewitz, Wolfram Burgard, Armin B. Cremers, Frank Dellaert, Dieter Fox, Dirk Hähnel, Charles Rosenberg, Nicholas Roy, Jamieson Schulte, Dirk Schulz, "MINERVA: A Tour-Guide Robot that Learns", Lecture Notes in Computer Science, vol.1701, 696-703, 1999
- (10) Richard Szeliski, Microsoft Corporation, "Video Mosaics for Virtual Environments", IEEE computer graphics and applications, Vol.16, No.2, March 1996, pp. 22-30
- (11) JTC1/ SC29, "Information technology - JPEG 2000 image coding system: Core coding system", ISO/IEC15444-1, 2004.
- (12) A. Descampe, F. O. Devaux, G. Rouvroy, J. D. Legat, J. J. Quisquater, B. Macq, "A Flexible Hardware JPEG 2000 Decoder for Digital Cinema", IEEE Trans. CAS for Video Technology, vol. 16, issue 11, pp.1397 - 1410, Nov. 2006
- (13) S. Udomsiri, H. Taguchi, T. Takahashi, M. Iwahashi, T. Kimura, "Functionally Layered Video Coding Based on JP2K for Robot Vision Network", Journal of Robotics and Mechatronics, vol.21, no.6, pp.758-764, Dec. 2009
- (14) T. Takahashi, Y. Fukutani, M. Iwahashi, "Band Determination of JP2K DWT for Robot to Robot Communication", IEEE International Workshop on Advanced Image Technology, January, 2010
- (15) H. Sasaki, K. Kobayashi, T. Aoki, M. Kawamata, T. Higuchi, "Rotation measurements using rotation invariant phase-only correlation" ITE Tech Rep 45: 55-60, 1998



## 第2 住宅防火対策等の推進



## 第2 住宅防火対策等の推進

### 2. 1 自律分散協調型避難誘導システムの開発

研究課題名	「自律分散協調型避難誘導システムの開発」
研究実施期間	3 ヶ年（2007年6月11日～2010年3月3日）
配分額（千円）	19,500（19年度） 19,012（20年度） 18,525（21年度）
研究代表者	三浦 房紀
所属機関	山口大学大学院理工学研究科
研究体制	産、学、官
研究概要	<p>地下街などの複雑な閉空間内で事故や火災が発生した場合に、時々刻々変化する状況に応じて安全な避難経路を決定し、最短の出口までの経路と距離を演算するアルゴリズムの開発、また避難者に確実に伝え誘導するための指向性音声情報伝達システムならびに光による誘導装置の開発。</p> <p>このため、マイコン、センサー（室温、CO、ガス濃度等）、通信ボードとカメラやスピーカー等を適宜組み合わせたユニットを適切な場所（通路の交差点の天井、出口など）に複数設置する。このユニットはセンサーによって通行不可能な通路を特定し、その情報を通信装置によって隣のユニットに伝達、この手続きを全てのユニットに対して順次行う。</p> <p>このときあわせて出口までの最適経路と距離を決定し、この結果を音声や無線で避難者に伝え避難方向を誘導する。</p> <p>このシステムは中央管理を必要とせず、通信装置によってユニット間の自律的な情報交換と演算によって実現しているところに大きな特徴を有している。</p> <p>配線が不要であるためユニットの設置位置の変更・追加や機能更新などの維持管理が簡単かつ経済的に行えること、したがって平常時での使用やイベント会場などの臨時の仮設空間においても適用可能である。</p> <p>さらには消防隊の進入を優先させたい経路を提示することも可能で、消防現場でも極めて有効なシステムである。</p> <p>これら機能についてプロトタイプを製作し、実際の建築物内部において実証実験を行い、その有効性を確認した。</p>
研究成果	<p>各ユニットが自律的に出口までの最適な経路情報を演算するアルゴリズムを開発し、これを搭載し避難者へ音声と光により誘導を行うプロトタイプを作成。さらに各ユニットから送られる情報を元に、火災状況（センサーデータ、経路情報）を簡易表示するシステムも開発した。</p> <p>製品化の事例は未定。</p>

応用の方向性	<p>① 消火救助活動ナビゲーションとしての利用 画像並びにセンサー、救助者位置情報等の連動により救助者有無判定、救助経路判定</p> <p>② 火災分析ツールとしての利用 発火点、延焼挙動、ガス発生状況などの確認と状況の再現（可視化）</p>
研究発表の状況等	<p>1) 須賀昌昭、三浦房紀、瀧本浩一：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その3 広帯域誘導音の効果に関する被験者実験）、日本音響学会講演論文集、No. 2-6-17, pp. 1221-1222, 2008. 9</p> <p>2) 瀧本浩一、三浦房紀、組田良則、山田茂：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その1 避難誘導アルゴリズムの実装）、日本建築学会大会梗概集、No.3032, pp. 63-64, 2008. 9</p> <p>3) 須賀昌昭、三浦房紀、瀧本浩一、岸下崇裕：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その2 若年被験者による音響誘導実験）、日本建築学会大会梗概集、No.3033, pp. 65-66, 2008. 9</p> <p>4) 淵野智博、松尾昂英、松元隆博、松藤信哉、瀧本浩一、三浦房紀：自律分散システムにおける格子型無線ネットワークの検討、電子情報通信学会総合大会通信講演論文集2、No. B-21-2, pp. 658, 2009. 3</p> <p>5) 関原弦、三浦房紀、瀧本浩一、山本新吾：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その3 フォトタイプによる実証実験）、日本建築学会大会梗概集、No. 3008, pp. 15-16, 2009. 9</p> <p>6) TakayukiHIRANO, ShinyaMATSUFUJI, TakahiroMATSUMOTO, KoichiTAKIMOTO, Fusanori MIURA, " On Transmission Characteristics of Lattice Wireless Networks" ,Proceedings of IWSDA ' 09, pp177-180, 2009</p> <p>7) TakayukiHIRANO, ShinyaMATSUFUJI, TakahiroMATSUMOTO, KoichiTAKIMOTO, Fusanori MIURA, " On Lattice Wireless Network for Autonomous Distributed System" , Proceedings of 2009 IEEE 9<sup>th</sup> , pp930-934, 2009</p> <p>8) 瀧本浩一、関原弦、三浦房紀：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その4 システムの実証実験）、日本建築学会大会梗概集、No. 3127, pp. 259-260, 2010. 9</p>
知的財産権の出願・登録状況等	無し
当該研究に対する今後の展開、意見等	

# 自律分散協調型避難誘導システムの開発」

三浦房紀<sup>1</sup>・瀧本浩一<sup>1</sup>・組田良則<sup>2</sup>・岸下崇裕<sup>2</sup>・関原弦<sup>2</sup>・山本信吾<sup>2</sup>  
Husanori Miura and Kouichi Takimoto and Yoshinori Kumita and Takahiro Kishisita  
and Yuzuru Sekihira and Shingo Yamamoto

**研究課題の要旨**：地下街などの複雑な閉空間内で事故や火災が発生した場合に、時々刻々変化する状況に応じて安全な避難経路を決定し、最短の出口までの経路と距離を演算するアルゴリズムの開発、また避難者に確実に伝え誘導するための指向性音声情報伝達システムならびに光による誘導装置の開発を行った。

本システムはマイコン、センサー（室温、CO、ガス濃度等）、通信ボードとカメラやスピーカー等を適宜組み合わせさせたユニットで構成し、これらを適切な場所(通路の交差点の天井、出口など)に複数設置する。ユニットは、センサーによって通行不可能な通路を特定、その情報を通信装置によって隣のユニットに伝達、この手続きを全てのユニットに対して順次行う。この時合わせて出口までの最適経路と距離を決定し、この結果を音声や無線で避難者に伝え避難方向を誘導する。

各ユニットが各種の情報から自律的に演算を実施する事で中央管理を必要とせず、通信装置によってユニット間の自律的な情報交換と演算によって実現しているところに大きな特徴を有している。また配線が不要であるためユニットの設置位置の変更・追加や機能更新などの維持管理が簡単かつ経済的に行えること、したがって平常時での使用やイベント会場などの臨時的仮設空間においても適用可能である。

これらの機能についてユニットのプロトタイプを製作し、実際の建築物内部において実証実験を行いその有効性を確認した。

## 1. はじめに

地下街や建物内などの閉空間において災害が発生した場合、そこに居る人々は急いで安全な場所へ避難しようとする。しかし、現実の災害時においては、災害状況の変化や群集の殺到などにより、あらかじめ定められた避難経路・避難場所の安全性は変化する。そのため、状況に応じた避難誘導手法として、建物管理者や消防隊、警察官などが拡声器を用いた音声による情報提供を行うことが多い。しかし、この手法は非常に混乱した状況では、情報が正確に伝達されない状況が生じることが課題として指摘されており、有効な情報伝達手法、例えば携帯電話などの一般市民に広く普及した個人情報端末を活用した情報伝達手法の併用などが期待されている<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、閉空間内における様々な災害状況に応じて避難誘導を行うため、閉空間内の天井に各種センサや送受信機を組み込んだ安価な装置（以下、ユニット）を設置し、ユニットから適切な避難誘導情報を逐一、店舗従業員や避難者へ伝達するようなシステムの開発を目的とする。

## 2. システムの概要

火災等が発生した場合、これを感知したユニットから一斉に隣接するユニットへ情報を送信する、情報を受信したユニットはその情報をプログラム処理し、また隣接するユニットへ送信、というように次々とリレー式で情報を送信していく。

ここでの情報の内容というのは、出口までの距離・ルート、通路閉塞状況、センサー計測情報などである。避難者は自分に最も近いユニットの音や光による誘導により最適な避難経路誘導情報を得ることができるものである。

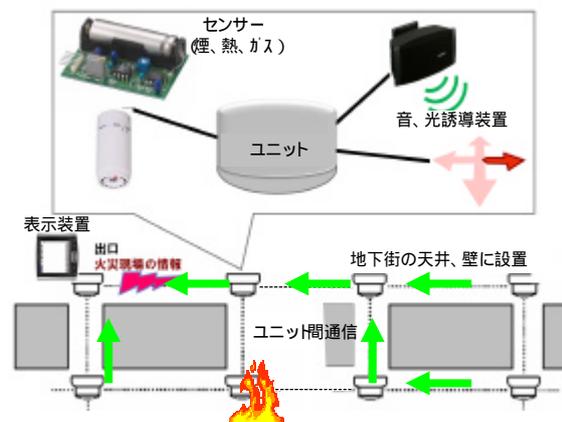


図 - 1 システムの概要

1 国立大学法人 山口大学

2 株式会社 フジタ

ユニットは各種演算、通信機能を持ち、設置箇所により出口ユニットと経路ユニットに分類される。

各経路ユニットはセンサーや音、光誘導装置と組み合わせ、それぞれ自律的に最短経路演算、情報通信、光音誘導ユニット制御、センサー入力（異常検知）を実施する、また出口ユニットは情報表示装置との連動により消防隊へ火災情報の提供を行う。



図 - 2 ユニット外観

### 3. システムの機能

#### 3.1 最短経路演算機能

出口以外の各経路ユニットは、最も近い出口までのルートそれぞれ自律的に演算により求める事ができる。(図 - 3)

【凡例】ユニット上部の数字はユニット番号、ユニット間の数字は距離を示す。

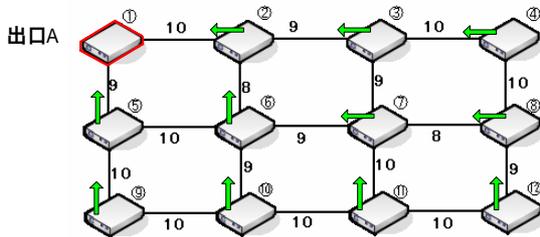


図 - 3 経路演算結果の例

次に図 - 4 の ユニットで火災が発生しこの経路が閉塞した場合、各経路ユニットが閉塞した経路を迂回する出口までの最短ルートを再演算する。

【凡例】、のユニットは、最演算により最短ルートを変更している

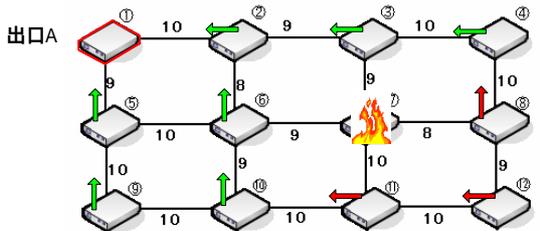


図 - 4 火災発生によるルート変更の例

これにより火災延焼に伴う経路閉塞が起こるたびに経路演算を実施し、都度最適な避難方向を避難者に提示することが可能である。

また複数の出口に対応することが可能で、出口および経路ユニット数に理論上制限は無い。

#### 3.2 情報通信、表示（消防支援）機能

火災発生時には、火災を感知した経路ユニットと隣接するユニット(図 - 5)のセンサー情報(表 - 1)を全出口ユニットへ送信する。出口ユニットでは情報表示装置(図 - 6)と連動し、火災発生現場付近の情報をリアルタイムに確認する事が可能となる。

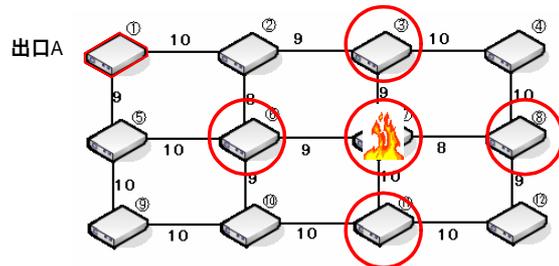


図 - 5 火災時にデータを送信するユニット例

表 - 1 センサー情報一覧

C O濃度	0 ~ 10,000ppm
室温	250 (MAX)
煙濃度 (減光率)	5%/m、10%/m、15%/m



図 - 6 情報表示装置画面表示例

また表示ユニットをWEBサーバとして機能させれば、遠隔地や移動中でも現地情報を確認する事が可能となり、消防隊が現場へ向かう移動中に現地状況を確認したり、現地到着後も火災現場の変化をリアルタイムに確認する事が出来る、また蓄積データを後の検証作業に役立てる事も可能となる。

### 3.3 環境変化計測・火災感知機能

各経路ユニットはセンサーユニットからの情報を元に、火災感知機能を持つ。

表 - 2 に各センサーデータにより火災を感知する閾値を示す。

表 - 2 火災検知閾値一覧

CO濃度	1,000ppm 以上
室温	50 以上
煙濃度(減光率)	10%/m 以上

### 3.4 光・音誘導機能

経路ユニットによる火災検知に伴い、全経路ユニットは最短出口への方向を光または音で避難者を誘導する。

光誘導では本システムの特徴である火災延焼に応じて避難方向が変化する場合に対応させるため、360度の旋回台に回転灯を取り付けて都度の方向変化に対応することが出来る。また回転灯の光走行により遠方からでも視認性の良い誘導が可能となる。



図 - 7 光、音誘導装置設置状況

また回転等とカメラを一体化させたことで、平常時にはセキュリティカメラとして利用が出来、避難誘導時には避難状況を目視確認するだけでなく要救助者の確認までも可能としている。

またカメラ映像を記録する事により、センサー情報と合わせ火災の発生原因やメカニズムの解析等様々な用途に利用が可能となる。

音誘導では、複数個のスピーカを分散配置させることで以下の機能を持たせている。

- ・暗騒音のある空間での明瞭度を良好にする。
- ・先行音効果(Hass効果)の活用により、発生音の定位を向上する。

また火災発生時の突発的なアナウンスのみで無く、平常時には出口との結びつきを、危険発生時にはアナウンスへの注意喚起を目的としたオリジナルのサイン音を流すことにより誘導効果をさらに

高めている。

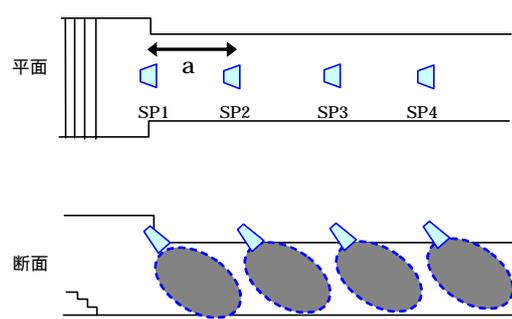


図 - 9 先行音効果を利用した音誘導装置概念

## 4. 実証実験

システムを図 - 10 に示す実際のオフィスビルの同一階のフロアに設置し、実証実験を行った。実験では、図 - 11 のように12台のユニットを組み合わせ、これらユニットに対して複数の出口と火災延焼を想定してユニットの火災感知数を時間とともに増加させるなど、条件をパラメトリックに変えながら、避難方向を提示する矢印のLEDが正しく点灯するか、実験を行った(実験その1)。また、システムへの負荷テストとして、ユニット間の通信回数の増加や同時多発的に火災が発生した等の想定で複数のユニットに同時に情報を与えて、実験その1と同様に正しく避難誘導ができているかの確認も行った(実験その2)。

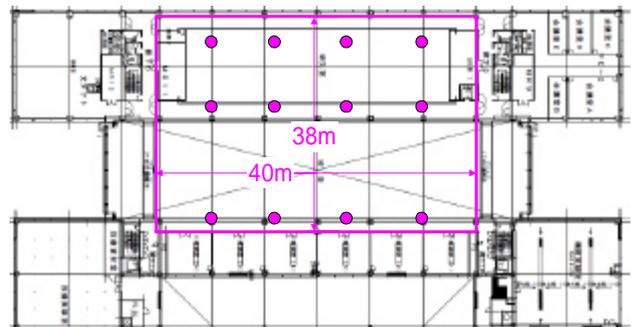


図 - 10 実験に用いたオフィスビル平面図

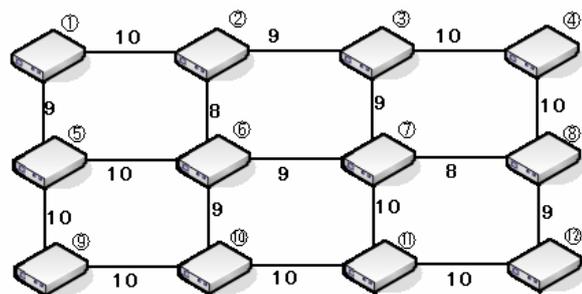


図 - 11 実験で用いたユニットの構成(12台)

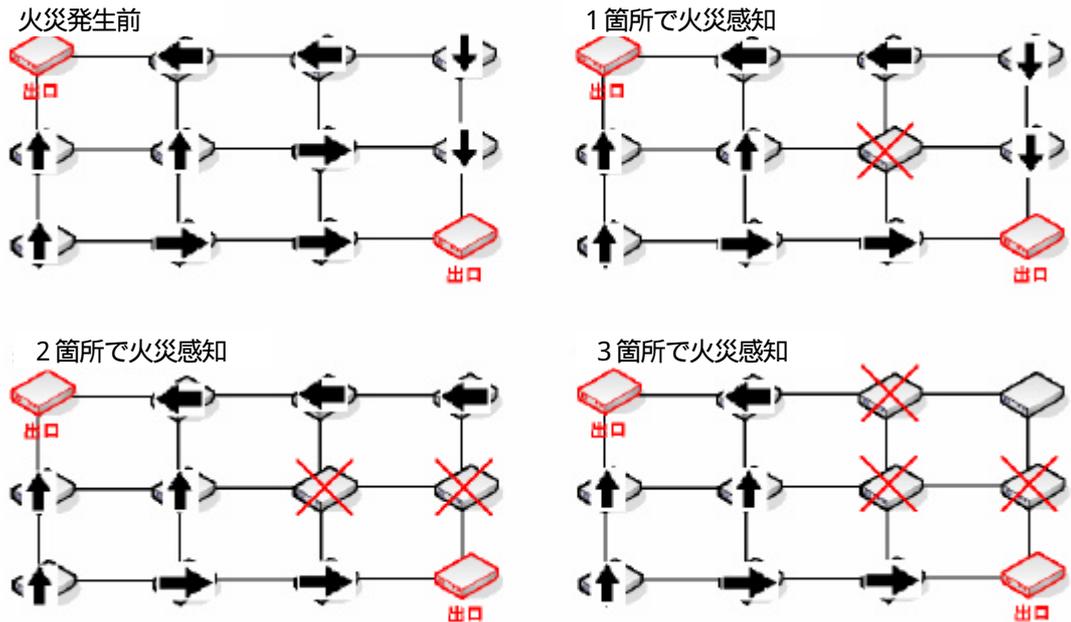


図 - 1 2 実験その1結果(一部) ~火災感知ユニットの増加による誘導方向の変化~

#### 4.1 実験その1結果と考察

実験結果として図 - 1 2 に火災発生箇所増加に伴う避難誘導方向(矢印)の変化をそれぞれ示す。火災を感知したユニットが発するSOS通知による最短経路の探索と表示、火災発生ユニット増加による避難経路の変更(迂回)、火災進展に伴う新たな通路閉塞による避難経路表示の取り消しが正常に行われていることが確認できた。

以上、その他同様のケースの実験においても、全てのユニットについても正常な動きをしており、複数の出口の条件下において、火災を感知するユニットが増加しても、避難経路の探索と表示に関して本システムは問題なく稼動していることがわかった。

#### 4.2 実験その2結果と考察

本システムを実際の地下街やビル等に設置する事を考えた場合、より厳しい状況にも対応できることが必要である。そこで、システム全体の信頼性を測るため、今回の実験で用いたユニット間のネットワークにおいて限界に近い無線通信回数が増加するよう火災発生点を設定した。さらに、爆発等を想定して順次増加させていた火災を、一度に全て発生させさせる等して、本システムの無線通信の信頼性、耐久性を確認した。以下にその結果と考察を示す。まず、図 - 1 3 のように通信の負荷が限界近くまで発生するように火災を設定した場合は、5つめのユニットが火災を感知した際には最短経路の収束までかなりの時間がかかった。これは、5つめの感知の時点では、以外の全てのユニットがセンサー情報を発信しており、更に3つの出口からの経路探索

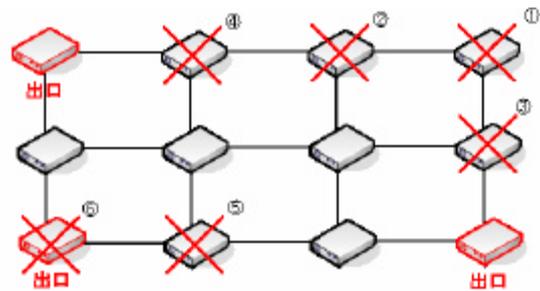


図 - 1 3 通信が限界になるような条件での実験

の指示が送信されるため、経路の収束に時間がかかったものと思われる。しかし、6つめの火災感知では、それほど時間がかかっておらず、3つの出口のうち1つがSOS通知を発信し、経路探索指示が2つに減ったためだと思われる。全体を通して、センサー情報が欠落したのは2回に留まった。

最後に、爆発など同時多発的に異常が発生した条件下では、結果としてセンサーの情報の送信に失敗するユニットがいくつか見られた。しかし、火災発生点のユニットからの送信以降はネットワークが格子状になっているため、隣接するユニットへの送信により、センサーの情報は別の経路を辿って出口に到達していた。

#### 4.3 実験まとめ

本研究はこれまで開発してきた自律分散避難誘導システムの改良を行い、実際のオフィスビルのフロアを用いて出口や火災発生箇所、発生条件などをパラメトリックに変えて実験を行った。その結果、概ね各種条件変化の際にも正しい避難経路情報を

提示することを確認できた。

## 5. まとめ

本研究により、地下街などの閉空間内の天井や壁に煙や熱など感知機能を持たせたユニットを簡易な工事により設置し、ユニットから適切な避難誘導情報を表示、また逐一出口ユニットに送信するようなシステムの開発が完了した。

ただし、今回はプロトタイプの開発であったため今後実用化に向けては以下のような課題の解決が必要と考える。

### 基本ユニットの小型化

今回作成した基本ユニットは各種の機能確認をするため、特に制御系の装置（演算部、入出力部）はデバッグが容易な製品の採用、あるいは構造となっている。このため筐体の寸法は横 450 × 縦 350 × 奥行 160 と大きなものとなった。

ただし、この制御系についてはワンボードマイコンに集約が可能であるため、最終的には家庭用の煙感知器程度の大きさ（105 × 50）程度になるものとする。

### 処理速度の向上

12 台の経路ユニットを利用した実験では、最短経路演算の収束が 2 分程度かかることが分かった。

煙の進行速度とユニットの設置間隔との関係にもよるが、短時間で次々と経路閉塞が生じた場合、現システムでは正確に経路が表示されない恐れがある。

このため、各種処理演算ロジックの見直し、特に通信速度の高速化が必要と考える。

### 避難経路演算ロジックの向上

現在の演算ロジックでは単にユニット間の距離のみをパラメータとして最短出口を算出しているが、実際には避難路の幅（広い、狭い）や障害物、避難者の集中具合など、単に距離だけでは計れない「避難のし易さ」も考慮すべきであるとする。

単に最短距離ではない最適ルートの演算ロジックの開発が必要と考える。

## 【参考文献】

- 1) 神成淳司・吉田茂樹：災害時における携帯端末を用いた効果的な避難誘導に関する考察、人工知能学会全国大会論文集、Vol.18th、p.262-04、2004
- 2) 瀧本浩一、三浦房紀、組田良則、山田茂：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その1 避難誘導アルゴリズムの実装）、日本建築学会大会梗概集、3032、pp.63-64、2008.9
- 3) 須賀昌昭、三浦房紀、瀧本浩一、岸下崇裕：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その2 若年被験者による音響誘導実験）、日本建築学会大会梗概集、3033、pp.65-66、2008.9
- 4) 関原弦、三浦房紀、瀧本浩一、山本新吾：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その3 プロトタイプによる実証実験）、日本建築学会大会梗概集、No.3008、pp.15-16、2009.9
- 5) 瀧本浩一、関原弦、三浦房紀：自律分散協調型避難誘導システムの開発（その4 システムの実証実験）、日本建築学会大会梗概集、No.3127、pp.259-260、2010.9



### 第3 防災力の向上



### 第3 防災力の向上

#### 3. 1 高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究

研究課題名	高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究
研究実施期間	平成 20 年度～平成 21 年度
配分額(千円)	15,840 (平成 20 年度)、1,784 (平成 21 年度)
研究代表者	木内俊明
所属機関	財団法人日本消防設備安全センター
研究体制	産・学・官
研究概要	<p>消防法施行規則に規定している「消火設備配管等には地震による震動等に耐えるための有効な措置を講じること。」について、「地震直後において建築物の機能が維持されている状態には、消火設備配管等の機能が維持されていること。」として具体的な耐震基準の手法を見出すことを目的とし、2年間にわたり研究を行った。</p> <p>本研究は、①消防業界としては初めての試みであるスプリンクラー配管のスケールモデルによる振動実験、②過去に発生した地震災害での消防用設備等の被害状況の調査、③耐震基準に関する各種文献の調査を行うなどして、消火設備配管等の耐震指針の核となる内容をとりまとめた。</p>
研究成果の活用事例	「大規模地震に対応した消防用設備等のあり方に関する検討会」の平成 20 年度中間報告書に参考資料として引用された。
応用の方向性	スプリンクラー設備の配管に係る耐震基準及びスプリンクラーヘッドの取り付け工法に係る耐震基準のとりまとめ
研究発表の状況等	<p>「高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究」</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 「大規模地震に対応した消防用設備等のあり方に関する検討会」平成 21 年 2 月 26 日 (資料提供)</li> <li>2) 消防研究センターの一般公開 平成 21 年 4 月 17 日 (パネル展示)</li> <li>3) 「大規模地震に対応した消防用設備等のあり方に関する検討会」平成 22 年 2 月 19 日 (資料提供)</li> <li>4) 第 58 回全国消防技術者会議 平成 22 年 10 月 21 日 (ポスター展示)</li> </ol>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	消火設備配管等の耐震基準に関しては、消防法施行規則第12条等に「地震による震動等に耐えるための有効な措置を講じること。」と規定しているが、明確な基準は示されていない。本研究成果を活用して、耐震設計、耐震工法について具体的な基準作成に向けた検討が望まれる。



# 高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準に関する研究

○木内俊明<sup>1</sup>  
Toshiaki Kiuchi

**研究課題の要旨：**消火設備配管等の耐震性に係る特有の性能として求められている「地震直後において建築物の機能が維持されている状態（使用状態）には、消火設備配管等の機能が維持されていること。」について具体的な耐震基準作成に向けて検討を行った。平成 20 年度は、初期消火設備として重要な役割を持つスプリンクラー設備の配管工法と建築物の天井形態との耐震性能の関係を把握するため、振動台に試験体モデルを設置して地震波を想定した振動実験を行い、貴重なデータを得ることができた。平成 21 年度は、平成 20 年度の実験データ及び建築設備耐震指針及び既に公表されている各種文献を参考として、消防法令に規定する消火設備配管等の耐震基準のあり方について整理した。

## 1. はじめに

一定規模以上の防火対象物には、消防法令により消防用設備等の設置及び維持の義務が課せられており、消防用設備等の設置及び維持に関する規定の一つとして、消防法施行規則第 12 条第 1 項第 9 号に「貯水槽、加圧送水装置、非常電源、配管等には地震による震動等に耐えるための有効な措置を講じること。」（以下「消火設備配管等の耐震基準」という。）と定性的な基準が規定されているが、具体的な耐震措置について明確にされておらず、現状における消火設備配管等の耐震基準は、「建築設備耐震設計・施工指針」（日本建築センター（以下「建築設備耐震指針」という。））、関係工業会等が自主的に定めた基準を参考として運用している。

また、建築設備耐震に関する法令は、1978 年 6 月に発生した宮城県沖地震を契機として 1981 年に制定したもので、行政指導書としての建築設備耐震指針は、1982 年 3 月に刊行、設備耐震に関する具体的規定として建設大臣の指定として制定されたが、対象は高さ 60m までの建築物としており、高さ 60m を超える高層建築物に関しての耐震基準は明確にされていない。

そこで本研究は、消火設備配管等の耐震性に係る特有の性能として求められている「地震直後において建築物の機能が維持されている状態（使用状態）には、消火設備配管等の機能が維持されていること。」に関して、2 年の期間で研究し、消防行政に反映するとともに、国民の生活に関する安心・安全に寄与することを目的として行なったものである。

平成 20 年度は「消火設備配管等の耐震性に係る振動実験」を行い、平成 21 年度は消防法令に規定する消火設備配管等の耐震基準及び高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震規準のあり方について整理した。

## 2. 平成 20 年度研究

### 消火設備配管等の耐震性に係る振動実験

初期消火設備として重要な役割を持つスプリン

クラー設備の配管工法と建築物の天井形態との耐震性能の関係を把握するため、振動台に供試体モデルを設置して地震波を想定した振動実験を行った。概要は次のとおり。

### 2.1 供試体モデル

#### ア 架台フレーム

鉄骨造で、平面 6,000 mm×6,000 mm、高さ 2,700mm

#### イ 天井

平面 4,800 mm×4,800 mm

耐震支持（X・Y 2 方向）のシステム天井（グリット 600 mm）

天井懐 1,240 mm

#### ウ 消火設備配管等

a 横走り配管は、耐震指針に規定する A 種耐震支持 1 箇所及び B 種耐震支持 1 箇所の系統と、A 種耐震支持 1 箇所のみ系統の 2 系統。

b スプリンクラーヘッド取り付け巻き出し管は、ステンレスフレキ管（全部フレキと部分フレキ 1~3.3m）を使用

c スプリンクラーヘッドは、フラッシュ型

d 横走り配管及びステンレスフレキ管には、充填水の重さに相当する鉛板を巻きつけ、配管内は、0.3MPa の空気圧を加圧した状態

### 2.2 加振波

加振波を表 1 に示す。

表 1 加振波

加振方法	加振加速度(ガル)			ベクトル値 (ガル)
	X方向	Y方向	Z方向	
ELセントロ	196	121	119	200
1940	392	241	237	400
JMA神戸	367	277	149	400
1995	551	416	224	600
告示波 (ELセントロ波位相)	637	652	380	800

(所属機関名)

1 財団法人 日本消防設備安全センター

## 2.3 測定

- ア 加速度計によって、振動台中央1箇所、架台フレーム中央1箇所、天井面中央1箇所及び横走り配管2箇所の加速度を測定。
- イ レーザー変位計によって、架台フレームとシステム天井の相対変位（4箇所）を測定。
- ウ ビデオカメラ（全体映像及びCCDによる天井部分映像）によって、加振映像を記録。
- エ 微小漏れ測定装置によって、配管内圧力を記録。

## 2.4 実験結果

地震動によるスプリンクラー設備配管工法と天井形態との一般的な関係は、次のとおり把握することができた。

ア スプリンクラー設備配管の支持・固定方法に関する事項

- a 横走り配管は、A種耐震支持1箇所のみシステムの支持金物が一部移動した。A種・B種の両耐震支持配管システムは損傷がなく、配管先端のB種耐震支持の効果が判明した。
- b スプリンクラーヘッド取り付け巻き出し管3.3mもので中間支持がされていないものが大きく揺れ、天井吊り金物に接触したものがあった。3.3mものでは、中間支持の効果が判明した。

イ 天井形態とスプリンクラーヘッド取り付け方法に関する事項

システム天井のクロスTバーにスプリンクラーヘッド支持用Tバーを渡し、当該支持用Tバーにスプリンクラーヘッド取り付け巻き出し管を取り付けた工法でスプリンクラーヘッドの損傷は見られない。

## 3. 平成21年度研究

平成20年度実施した「消火設備配管等の耐震性に係る振動実験」及び既に公表されている建築設備の耐震設計・施工指針や、地震災害により被害を受けた消火設備配管等の実態調査報告書を基に、平成21年度は消防法令に規定する消火設備配管等の耐震基準及び高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準のあり方について整理した。

### 3.1 消防法令に規定する消火設備配管等の耐震基準のあり方

#### 3.1.1 消火設備配管等の耐震基準の基本的考え方

消火設備は、一部の建築設備とは異なり、地震直後であっても建築物が健全な状況においては、その機能維持や機能復旧が容易でなければならない。特に、地震直後の火災拡大防止という観点から考えると、スプリンクラー設備等の自動消火設備（スプリンクラー設備、水噴霧消火設備、泡消火設備、不活

性ガス消火設備、ハロゲン化物消火設備、粉末消火設備をいう。）は、大規模地震においても機能維持\*1が要求され、その他消火設備（自動消火設備以外の初期消火設備をいう。）は、多少の損傷があっても容易に復旧が可能\*2であることが要求される。

\*1 機器、配管、電源等によって構成されるシステムが、地震によって損傷することなく機能する。

\*2 機器、配管、電源等によって構成されるシステムの一部が地震によって損傷しても、建築物が使用開始されるまでに容易に復旧できる。

上記に示したように、本研究では表2に示すように自動消火設備とその他の消火設備に区分し、耐震対策上の機能維持について基本的な考え方を示した。

表2 消火設備配管等の耐震対策の基本的な考え

	中規模地震	大規模地震
自動消火設備	機能維持	機能維持
その他の消火設備	機能維持	多少の損傷があっても容易に復旧可能

#### 3.1.2 消火設備配管等の耐震上の基本性能及び耐震クラス

地震災害による消火設備配管等の機能維持及び機能復旧は

- a 中地震時には、損傷が全くないこと。
- b 大地震時には、建築物からの脱落、転倒、あるいは移動することなく、消火設備等の機能確保、あるいは早急な機能回復が可能であること。
- c 自動消火設備においては、大地震時に建築物の機能が維持されている場合（使用状態）には、消火設備等の機能も維持されること。

に区分されるが、a及びcは消火設備配管等の基本性能であり、自動消火設備配管等機器については耐震クラスS、その他の消火設備配管等機器については施設に適した耐震クラス（一般には耐震クラスAを、施設により耐震クラスS、あるいは耐震クラスBもありえる）を選択することにより消火設備配管等の耐震基準とする。

自動消火設備機器の設計用標準震度を表3に示す。

表 3 自動消火設備機器の設計用標準震度（太線枠内）  
（その他の消火設備機器の場合は、施設に適した耐震クラスを使用する）

耐震クラス 区分 階区分	消火設備機器の耐震クラス			適用階の区分
	耐震クラスS	耐震クラスA	耐震クラスB	
上層階、 屋上及び 塔屋	2.0	1.5	1.0	
中間階	1.5	1.0	0.6	
地階及び 1階	1.0 (1.5)	0.6 (1.0)	0.4 (0.6)	

( )内の値は地階及び1階（地表）に設置する水槽の場合に適用する。

上層階の定義

- ・2～6階建ての建築物では、最上階を上層階とする。
- ・7～9階建ての建築物では、上層の2層を上層階とする。
- ・10～12階建ての建築物では、上層の3層を上層階とする。
- ・13階建て以上の建築物では、上層の4層を上層階とする。

中間階の定義

- ・地階、1階を除く各階で上層階に該当しない階を中間階とする。

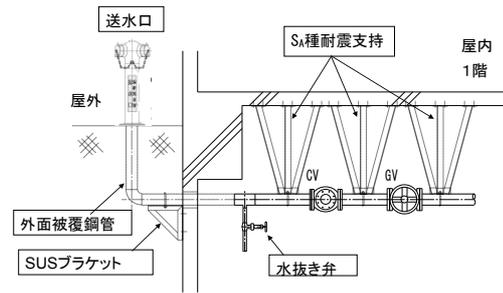


図 2 送水口周り耐震措置（例）

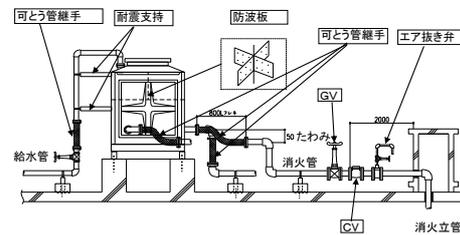


図 3 消火用水槽の耐震措置（例）

### 3.1.3 自動消火設備配管等の耐震工法（主な工法）

- 50A以下の配管も、耐震支持材の振止めを設ける。
- 屋上床上配管は、10m以内に1箇所、主要構造躯体と一体の柱、壁、機械基礎からS<sub>A</sub>種耐震振止めを設ける。
- 枝配管（50A以下も含む配管用炭素鋼管等）の末端部は、耐震支持とし、種別はB種耐震支持とする。
- 巻き出し配管は、ステンレス製フレキシブル巻き出し配管とする。2mを超える場合は、中間支持を設ける。

具体的な例を図1から図4に示す。

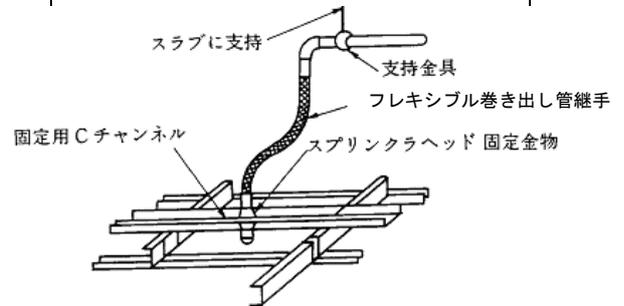


図 4 フレキシブル管の配管（例）

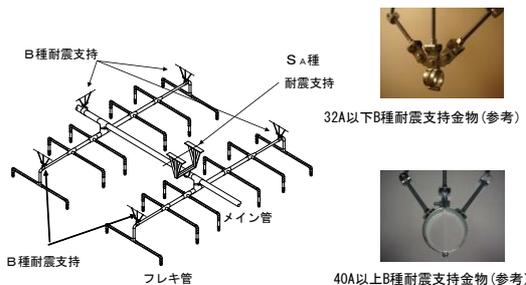


図 1 スプリンクラー配管の振止め耐震措置（例）

### 3.2 高層建築物に設置する消火設備配管等の耐震基準のあり方

高層建築物の消火設備配管等に係る耐震の安全性に関する基準を明確に規定したものはなく、建築設備（防災設備を含む）に関する一つの案として「長周期地震動と建築物の耐震性」（日本建築学会—2007年12月）で、超高層建築物に対する設備機器の設計用標準震度（案）が、表4のように提案されている。

表 4 超高層建築物に対する設備機器の  
設計用標準震度(案)

建物高さ 区分	地上 60m を超え 100m 以下		地上 100m を超える 建物	
建物階数 (例)	地上 20 階程度～ 30 階程度		地上 30 階程度を 超える階数	
耐震クラス	耐震クラス S	耐震クラス A	耐震クラス S	耐震クラス A
屋上、上層階	2.0	1.5	1.5	1.0
中間層	1.5	1.0	1.5	1.0
1 階、地階	1.0 (1.5)	1.0 (1.5)	1.0 (1.5)	1.0 (1.5)

- 【補記】① 上層階は全階数の 30% 程度を見込む。  
 ② 耐震クラス S：重要又は特に重要な機器を対象とする。  
 耐震クラス A：一般又は主要な機器を対象とする。

#### 4. 今後の展望

消火設備配管等の耐震基準に関しては、消防法施行規則第 12 条等に「地震による震動等に耐えるための有効な措置を講じること。」と規定しているが、明確な基準は示されていない。

本研究結果を活用して、耐震設計、耐震工法について具体的な基準作成に向けた検討が望まれる。

### 第3 防災力の向上

#### 3. 2 機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用手法の研究

研究課題名	機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用手法の研究
研究実施期間	平成19年度～平成20年度
配分額(千円)	6,825(平成19年度)、6,825(平成20年度)
研究代表者	重川 希志依
所属機関	富士常葉大学大学院環境防災研究科
研究体制	産((財)日本消防協会)・学(富士常葉大学)
研究概要	本研究では、全国の消防団が有する大規模災害時の活動上の教訓情報、消防団活動活性化に資するさまざまな取り組み、地域コミュニティとの連携方策など、災害時における消防団の機動的・効率的な消防活動に資する有益な情報を効率的に抽出することを目的として、消防団を対象とした災害エスノグラフィー調査を実施した。さらに得られた情報を全国の消防団員をはじめ多くの人と共有するための研修プログラムを開発した。その結果、大規模災害時における消防団活動をイメージするための情報、日常的な消防団活動活性化のための工夫、地域との連携強化のための具体的手法などを広く消防団・団員で共有することが可能となった。
研究成果	大規模災害時における消防団活動上の教訓ならびに活動活性化に関する情報の抽出と共有化に関する研究成果として、消防団員をはじめ、自主防災組織等住民を対象とした研修プログラムを実施し、消防団の重要性の理解ならびに、消防団活性化への取り組みの促進を図っている。また、消防団活動活性化事例集を刊行し、日本消防協会等で実施される消防団を対象とした研修の機会を通じ情報提供を実施している。
応用の方向性	本研究において、情報収集・共有化が可能となることを目的として、インタビュー・グループディスカッションによる調査方法、調査成果の分析方法、研修方法、蓄積した情報の発信方法等に関して標準的手法を検討したが、今後この手法を用いて全国の消防団の暗黙知として共有化されてこなかった情報の収集と情報発信を継続的に実施していくことが可能となる。

研究発表の状況等	<p>1)消防団活動の教訓を共有化するために、重川希志依、月間フェスク、2008年4月号</p> <p>2)災害エスノグラフィー調査に基づく災害対応教訓の活用手法に関する研究、重川希志依、田中聡、THE SECOND CHINA-JAPAN SCIENCE FORUM , THE 2008 WENCHUAN EARTHQUAKE AND NATUAL DISASTER MITIGATION, 2009.3.9, Beijing</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>大規模災害時における消防団活動エスノグラフィーを教材とし、消防団員等を対象とした研修を実施し、教育効果の測定並びに改善点を把握した上で、機動的・効率的な消防団活動に資する教育プログラムを策定したが、今後消防団員を対象とした本研究成果を活用した研修を実施し、研修効果の測定や研修方法の改善を図っていくことが必要と考えられる。</p> <p>また、インターネットを活用し、研究成果として得られた災害エスノグラフィーに基づく災害時・平常時における教訓情報の発信を開始したが、まだ一方向での情報提供に留まっており、今後は全国の消防団関係者との双方向での情報の共有化を可能とするしくみを開発していくことも求められる。</p> <p>研究期間終了以降も、消防団活動に関わる貴重な教訓情報の蓄積と共有化を継続的に図っていくことが必要である。このため、担当者等が交代しても継続的に情報収集・共有化が可能となることを目的として、インタビュー・グループディスカッションによる調査方法、調査成果の分析方法、研修方法、蓄積した情報の発信方法等に関して標準的手法を検討したが、今後この手法を用いて全国の消防団の暗黙知として共有化されてこなかった情報の収集と情報発信を継続的に実施していくことが求められる。</p>

# 機動的・効率的な消防団活動に資する災害エスノグラフィーの構築と活用手法の研究

○重川希志依<sup>1</sup>・田中聡<sup>1</sup>・高島正典<sup>1</sup>・植木一之<sup>2</sup>・秋山昭二<sup>2</sup>・五十嵐千恵<sup>2</sup>

Kishie Shigekawa, Satoshi Tanaka, Masasuke Takashima, Kazuyuki Ueki, Syoji Akiyama and Chie Igarashi

**研究課題の要旨：**本研究では、全国の消防団が有する大規模災害時の活動上の教訓情報、消防団活動活性化に資するさまざまな取り組み、地域コミュニティとの連携方策など、災害時における消防団の機動的・効率的な消防活動に資する有益な情報を効率的に抽出することを目的として、消防団を対象とした災害エスノグラフィー調査を実施した。さらに得られた情報を全国の消防団員をはじめ多くの人と共有するための研修プログラムを開発した。その結果、大規模災害時における消防団活動をイメージするための情報、日常的な消防団活動活性化のための工夫、地域との連携強化のための具体的手法などを広く消防団・団員で共有することが可能となった。

## 1. 研究の背景と目的

消防団は地域住民の熱意に基づくボランティア精神に支えられ、平常時における地域の安全・安心環境の創造と、災害時における被害軽減の双方に重要な役割を果たす組織である。しかしながら、かつては全国で200万人に達していた消防団員数は現在90万人にまで激減した。阪神・淡路大震災をはじめ大規模災害時において消防団は地域密着型の活動を行うことにより、いち早く人命救助や消火活動・避難誘導など地域住民の生命を守るために極めて大きな力を発揮することが知られている。防災上このように重要な役割を果たす消防団活動の充実と活性化を図ることは、地域の防災力向上に必須の条件である。

一方全国で約2万4千ある消防分団の中には、団員確保や活動活性化に優れた事例も多数見受けられる。ただし現状においては個々に存在するグッドプラクティスが、全国の消防分団や団員間で情報共有されておらず、各々の消防分団が具体的解決策を模索している。

そこで本研究では、全国の消防団が有する災害時の消防団活動上の教訓、平常時における訓練等消防団活動の状況、地域コミュニティとの連携のあり方などの情報を抽出するために、質的調査方法の一つである災害エスノグラフィー調査（インタビュー・グループディスカッションに基づく活動プロセスの同定）を実施し、全国の消防団が有する優れた知恵や工夫の表出化を試みる。さらに、その成果を共有化するための研修手法を開発し、消防団活動活性化のための工夫や地域との連携強化のための具体的手法などを広く消防団・団員で共有することを目的とする。

## 2. 研究方法

本研究では、

①大規模災害時における消防団活動上の教訓情報の抽出と共有化

②平常時における消防団活動活性化のための教訓情報の抽出と共有化

を目的として、以下に示す方法で研究を実施した。

### 1) 消防団員等に対するエスノグラフィー調査の実施

これまでに発生した自然災害や火災・事故時における消防団活動に関するエスノグラフィー調査を実施し、災害対応プロセスの推移と消防団活動の実態を把握し、災害対応上の教訓情報を抽出した。

また、消防団員を対象に実施されている教育・訓練活動や、意欲を持って活動に参加するための創意工夫、女性や若年層を含めた団員確保のための取り組みなど、日常時における活動に関するエスノグラフィー調査を実施し、①消防団員の防災力向上と参加意欲向上に資する教育・訓練の具体的あり方とノウハウの抽出、②団員の参加意欲を高めるための具体的な手法とノウハウの抽出、③消防団員確保のための具体的方法とノウハウの抽出を行った。

なお調査対象は表1、表2に示すとおりである。

表1. 大規模災害時における消防団活動に関する調査対象

災害事例	調査対象組織
阪神・淡路大震災	神戸市消防団
平成16年新潟豪雨災害	新潟県三条市消防団
平成16年豊岡水害	兵庫県豊岡市消防団
JR福知山線列車脱線事故	尼崎市消防団
平成18年7月鹿児島県北部豪雨災害	さつま町消防団
平成18年北海道佐呂間町竜巻災害	佐呂間町消防団
平成19年能登半島地震	石川県輪島市消防団
新潟県中越地震	新潟県見附市消防団
岩手宮城内陸地震	宮城県栗原市消防団 岩手県一関市消防団

表2. 平常時における消防団活動活性化に関する調査対象

活動内容	調査対象組織
基本団員保管制度として機動消防団制度の導入	愛媛県松山市消防団
市町村合併に伴う組織再編・団員確保成功事例	三重県松坂市消防団
漁村地区での女性分団結成・消防活動従事	熊本県津奈木町消防団
全国操法大会での優秀成績	高知市(旧鏡村)消防団
常備消防がない地区での消防団活動	新潟県見附市消防団
消防団支援優遇制度の導入	佐呂間町消防団

1 富士常葉大学大学院環境防災研究科

2 財団法人日本消防協会

## 2) 調査成果に基づく研修プログラムの構築と評価

災害エスノグラフィー調査により抽出した消防団活性化のために広く共有すべき現場での知恵や工夫、教訓情報を共有化する手段として、インタビュー記録の短縮版を作成しテキスト化した上で、テキストを用いて消防団員を対象とした研修プログラムを構築・試行し、その研修成果の効果測定を行った。

## 3. 災害エスノグラフィー調査の実施

表1、表2で示した調査対象消防団に対して実施したエスノグラフィー調査では、消防団活動の全体を見渡せる者、判断・意思決定を行う立場にあった者を選定し、調査対象者とした。具体的には消防団長、副団長、分団長を中心とし、さらに、当時の消防活動や消防団活動の状況を把握している消防職員にも参加してもらった場合もあった。

インタビューをするにあたってはインタビューアの予断を一切さしはさまぬよう留意し、時系列に沿って自らが見、聞き感じ体験したことを自由に話してもらう方法(Non-Structured Interview)を用いた。インタビューは対象者の話題の展開に従って話の進行を妨げないようにし話の途中での質問は極力行わず発言は話の先を促す程度に留めるが、防災に対する素人が話を聞きに来ているのではないことをお互いのやり取りを通して対象者が気づいた時に、対象者の胸のうちにあった様々な思いがあふれ出してくるという事が幾度も起こった。インタビュー・グループディスカッションは1回3時間程度を要し、インタビュー結果は全て、映像・音声並びに文字情報により一次データとして記録した。



写真1. 調査実施風景(熊本県津奈木町消防)



写真2. 調査実施風景(鹿児島県さつま町消防)

## 4. 大規模災害時における教訓情報の抽出

9つの災害事例に対する調査から得られた、大規模災害時における消防団活動に伴う事実、課題、教訓などを以下に整理する。なお整理に当たっては、災害等への対応のために米国において考案されたICS(Incident Command System)で提示される災害対応に求められる5つの機能およびそれに付随する3つの機能に従って情報の分類を行った。さらに、災害対応の体験を次の災害に生かすための新たな工夫や対策を加え、情報整理は次の9分類とする。

- ①指揮調整(Command)、②事案処理(Operations)、③情報作戦(Planning)、④資源管理(Logistics)、⑤財務管理(Finance/Administration)、⑥安全管理(Safety)、⑦広報(Information)、⑧連絡調整(Liaison)、⑨災害体験から得た新たな対策

### 1) 指揮調整(Command)-団員自らも被災者-

- ・団員の7割が被災した。しかし団員に頼んで召集をかけているわけだから、自分の家に帰れるわけがない。(新潟豪雨)
- ・自宅の後片付けは友人らが手伝ってくれたので本当に助かった。(新潟豪雨、鹿児島県北部豪雨)
- ・自分の母親を救助できず目の前で焼死させてしまった団員は、家族を救えなかったこととその後の消防団活動に従事できなかった両面で、非常に強い自責の念を持ち続けている。(阪神・淡路大震災)
- ・自らの家が床上浸水で、その後消防団活動に従事できなかった団員は非常に強い自責の念を持ち続けている。(鹿児島県北部水害)
- ・息子がいてくれればテレビ1台助かったのという団員の母親、召集かけた方にしてみれば非常にづらい
- ・消防本部の上に市の本部があるため、指示系統が一元化されていなかった。(新潟豪雨)
- ・復旧作業に関して、夜準備をしても翌朝になると方針が変わっていて一本化されていない。大勢

の団員を動かすわけだし、非常に困った。(新潟豪雨)

・最初はしたら良いのか何も分からない状態だった。1日目は自分の考えで動かなければならなかった。2日目からは団長の命令により動いた。(能登半島地震)

## 2) 事案処理(Operations) -多様な消防団活動-

・消防団は現場に入れない？入りにくい状況だった。また私らが救助できるような状況でもなかった。(JR 福知山線列車脱線事故)

・死んだ人を運ぶのは初めてだった。でも一人運んだら、あとは何人運んでも同じだった。(JR 福知山線列車脱線事故)

・負傷者のスムーズな搬送のために、野次馬整理と交通整理を行った。(JR 福知山線列車脱線事故)

・消防は全て現場に出払って消防署は空っぽ。いつ火災が起こるか分からないので団が各所に詰めてくれということで器具庫で待機していた。(JR 福知山線列車脱線事故)

・ヘリコプター離発着場に散水してもらいたいという消防本部からの指示で、分団の車でプールの水を2~3時間にわたり散水し続けた。(JR 福知山線列車脱線事故)

・普段は火消しばかりやっているので、救助活動ではとっさの場合の判断がつきにくかった。(JR 福知山線列車脱線事故)

・ありとあらゆる活動をした。へそまで水に浸かりながらローラー作戦で取り残し者のチェック、弁当配り、上越インターで緊急消防援助隊の出迎えなど。半端じゃない数の応援隊が入ってくるので、受入れ、誘導などが必要だった。(新潟豪雨)

・真っ暗な中で家に取り残された人の救助活動にまわった。こちらがライトを回すと向こうもライトを回す。それで要救助者の確認をした。(新潟豪雨)

・土嚢は砂を詰めたほうが土を詰めるよりも安定する。(新潟豪雨)

・水害後は自衛隊と一緒に教室内にたまった砂の洗い流しなど学校施設の清掃活動を行った。(新潟豪雨)

・交通規制のために国道の封鎖活動を行ったが、ドライバーとのトラブルが相当あった。(新潟豪雨)

・県警が入ってくると顔を知らないでフリーパスではなくなった。それまでは皆知っている人ばかりなので活動しやすかった。(新潟豪雨)

・屋根のブルーシートかけを3~4日間行った。自衛隊も断る危険な作業だった。1軒にかけると、次から次へと依頼がきた。(能登半島地震)

・防火水槽の水位や消火栓の点検活動を行った。

(能登半島地震)

・地震当日の昼は、各家庭のガスボンベの元栓確認を行った。(能登半島地震)

・地震当日の夜中は2回ほど、町内の巡回を行い、その日の夜はポンプ車で寝た。(能登半島地震)

・翌日中に、危険個所に黄色いテープをはり市民の安全を守った。(能登半島地震)

・緊急消防援助隊が100隊入って来たのでそれへの対応に振り回された。

## 3) 情報作戦 (Planning)

・どんどん川の水かさが増えてきたが、上流のダムが放流されたためだということは知らなかった。(新潟豪雨水害)

・情報が何も分からないので、消防車の消防無線を聞きながら、携帯で連絡を取り合いながら行動した。(豊岡水害)

・自分らは全く情報を知らなかった。1両目の車両がマンションの下に潜り込んでいることも知らなかった。(JR 福知山線列車脱線事故)

## 4) 資源管理 (Logistics)

・寒さでかなり消耗が激しかったですよ。ウェットスーツでもあればね。自衛隊の人は、「あんたら、ようこんなボロ船に救命ジャケットもつけんと乗っとるな」と言って。(豊岡水害)

・自衛隊は時間を限って、「はい、次、交代」といってバツと交代するわけ。消防団は全く交代がない。(豊岡水害)

・団員の食べ物がない、疲労度が増す、イライラする。本部からパン1個とジュースが1回だけ配られた。本部の人はライフジャケットつけているのに団員にはそれもない。(新潟豪雨)

## 5) 財務管理 (Finance/Administration)

・2時間の火災出動でも、24時間張り付いた活動でも手当てに差はない。

・団員の車を使用するときの費用弁償の規定がない。

・分団長の判断で、団員の日当を出し合ってプールし、防火週間の巡回や防火水槽点検時の車両代を出し合っている。

## 6) 安全管理(Safety) -使命感と団員の安全確保-

・最初は土のうを3段積み、水が越えたのでそれを2列にし、さらに土のうがひっくり返りそうになったので団員が手で土のうを押さえたが、こらえ切れなくなった。警官の避難しろという言葉でようやく撤収した。(新潟豪雨災害)

・決壊寸前、川の水が盛り上がり対岸が見えないほどだった。(新潟豪雨)

・決壊寸前には、川の水が蒲鉾のように盛り上がりて見えた。(鹿児島県北部豪雨水害)

・決壊場所から流れ出る洪水の勢いは、川の流れ

と同じ速さで非常に急流であり、ボートも流されてしまうほどだった。(新潟豪雨災害)

・農薬などが水に混じっているの、後になって身体のあちこちが赤くたれたりかゆみが出たりした。(新潟豪雨災害)

・団員の単独行動が一番怖かった。皆と合流できる地点まで戻れという指示を出した。(新潟豪雨)

・どこまで危険なところに団員を突っ込ませるか。突っ込むというより、黙っていても自分から行くんですね。(豊岡水害)

・団員の使命感達成と安全のための行動の掌握、このことは非常に難しいし非常に悩んでおります。(豊岡水害)

・安全は本来組織の規律だと思うんです。命令系統をきちっとして、団の規律を守るための訓練を徹底して身を守る。(豊岡水害)

## 7) 広報(Information) -表舞台に立てない、記録を残せない-

・マスコミに消防団活動は一つも出てこなかった。給料をもらっている人たちがちょっと仕事をすればマスコミにちやほやされるのに、消防団は宣伝もされず報われないのが残念。(能登半島地震)

・テレビに映るのは自衛隊ばかり、消防団はその日何をしてたんだと言われて・・・。(豊岡水害)

・雨風の中必死で救助してたのに、写真も映像もとる暇なんてあるわけがない。(豊岡水害)

## 8) 災害体験から得た新たな対策 -教訓を次の災害にいかす工夫-

・消防団にだって限界がある、土嚢 1000 袋と土を用意し、各地域ごとに持って行って自分で積んでくださいということにしました。(豊岡水害)

・自主防災組織にだって規律訓練すれば、1 日でピシッとできるようになります。(豊岡水害)

・分団長以上は消防から受令機が渡されているが、それ以外の団員は自前で1機 17,750 円の受令機を購入した。

・アマチュア無線の免許を順番にとらせ、情報収集と伝達に役立てています。

1 件 1 件の情報を書き入れた地区防災マップを作り、住民の方にも全てお配りしました。(豊岡水害)

・地区に聾啞者の方がいるので、団員で手話の勉強をして、逃げてくださいますか、簡単なことは皆言えるようにしています。(豊岡水害)

## 5. 災害エスノグラフィーを活用した研修テキストの作成

### 1) 大規模災害時における消防団活動に関わるテキストの作成

3. で得られたエスノグラフィー調査の一次データを基に、3 時間の発言記録から、①想像していな

かった新たな事実、②想像していた通りの事実、③普遍化すべき重要な事実の観点からエスノグラフィーとして残すべき部分を抽出し、エスノグラフィーテキストを作成した(概ね 1/10 に短縮)。

### 2) 平常時における消防団活動活性化に関わるテキストの作成

3. で得られたエスノグラフィー調査の一次データを基に、①特色ある消防団活動の経緯・背景・地域の特徴、②具体的な活動内容・現場での体験談、③安全確保のための留意点、④日頃の訓練内容、⑤家族からの協力体制、⑥地域との連携、⑦装備など、活動に必要と思われたもの、⑧苦勞している点・工夫している点、の 8 つの観点で、発言記録から該当する部分を抽出・記述して、エスノグラフィーテキストを作成した。

## 6. 研修プログラムの開発と試行

### 1) 研修の目的

災害対応の任に当たるすべての消防団員が持つべき普遍的知識を身につけるため、過去に発生した災害時にどのような事態が起り、業務に携わった人や組織がどのように対応したかに関する暗黙知を共有化することによりイメージングの能力を養う。また、それらの暗黙知から知恵や教訓を見出すことにより、災害対応能力の向上を図ることを目的とする。

災害エスノグラフィーは、災害対応現場の暗黙知を知り、災害対応プロセスの全体像を理解することにより、実際の災害対応のイメージを描く一助となる。災害エスノグラフィーを読み、災害対応業務への意識を向上させるとともに、災害時の活動計画やマニュアルの見直しや日頃の訓練の改良とあわせて実施することにより、研修の成果を直に実務に活かしていくことも可能となる。

### 2) 研修プログラム

大規模災害時の消防団活動の教訓情報共有化を目的として開発した研修プログラムの、具体的な研修手順は以下に示すとおりである。

①災害エスノグラフィーの教材を配布したうえで、講師から、教材の背景となった災害や被害、対象地域の特徴など、また災害エスノグラフィーとは被災者や災害対応従事者の体験をもとに災害プロセスを理解するための手法であることを説明する。

②配布した教材を参加者が各自読んだ上で、消防団員がとった行動や果たした役割に関する記述を、それぞれが教材から決められた時間内にできるだけ抽出して付箋紙に書き込んでいく個人作業を行う。

③参加者によって a) 納得した点(やはりそうだったのかと思った点)、b) 半信半疑に思った点(そんなことがあるのかと意外に思った点)に分類し、なぜ

そう思ったかの背景を考える。

④グループを形成する。1グループあたり的人数は、限られた時間内でグループ内で各人発表や意見交換、ディスカッションなどを行うことを考え、多すぎるとメンバー全員の参加が困難となり、少なすぎると意見の幅が限られグループワークの効果が低減するため、概ね6～8人程度とする。

⑤グループ内のファシリテーターを決定してもらう。その後各グループに模造紙を2枚ずつ配布し、1枚の模造紙には各自が作成した付箋紙の書き出しを貼り付けていく。付箋紙をはる作業はグループ内で一人ずつ順番に行い、その際、付箋紙に書かれた内容を読み上げ、またなぜ自分がそう考えたかの理由を発表する。

⑥全員が張り出した付箋紙を、類似した物同士を集め、それにふさわしいタイトルをつけていく。この作業はファシリテーターの進行管理のもとに進めてもらう。ファシリテーターは議論の促進と出された意見の調整・とりまとめを担当する立場であり、決定者ではないことを説明する。並べなおしの作業においては、同じ内容の付箋紙をグループメンバーの合意を得てまとめる。また話し合いの中で、当初添付されていなかった他の意見が出てきた場合は、メンバーの合意を得て追懐しても構わない。

⑦各自の意見を張り出しまとめた模造紙をもとに、各グループごとに、災害時の消防団活動で重要な教訓を三項目にまとめ、もう一枚の模造紙に書き出してもらう。

⑧各グループごとに、5分～10分程度の時間をとり、重要な教訓三項目について発表を行い、質疑応答ならびに講師からその内容についてコメントをもらう。

### 3) 研修の試行と評価

消防団員・自主防災組織・自治体職員を対象として、本研修プログラムを試行し、研修に対する評価を行った。その概要は以下に示すとおりである。

#### ①対象者

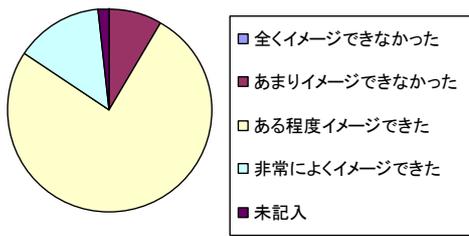
豊橋市：消防団員、自主防災組織役員（82名）、自治体職員：全国市町村防災担当職員（70名）

#### ②研修に対する評価

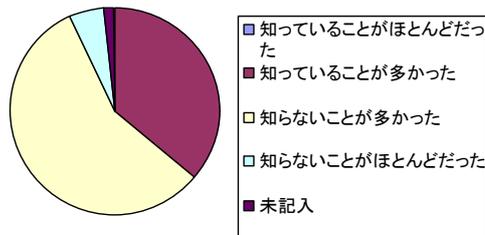
研修に用いたテキストに対する評価は以下のとおりである。

### 研修プログラム

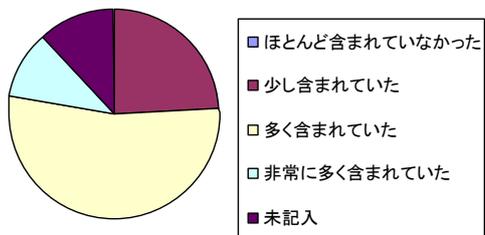
順番 時刻	作業1 9:30～10:00	作業2 10:00～10:30	作業3 10:30～11:00	作業4 11:00～11:30	作業5	作業6 11:30～12:05
カテゴリー	災害エスノグラフィーについてまなぶ	災害エスノグラフィーを通して災害対応をならう①		災害エスノグラフィーを通して災害対応をならう②		災害エスノグラフィーを通して災害対応をならう③
タイトル	災害エスノグラフィーから何を知ることができるのか	災害エスノグラフィーを読む	災害エスノグラフィーから得た教訓を整理する	災害エスノグラフィーを整理したものをさらに深化させる	成果の発表準備	各グループの成果発表
達成すべき目標	災害エスノグラフィーとは何かを知る	大規模災害時における自治体災害対応の実態についてイメージを形成する	エスノグラフィーを読み災害対応のプロセスを体験することにより、災害対応の教訓を整理する	災害エスノグラフィーを整理したものを囲んで、アドバイザーからさらに災害対応における課題について助言をうける	災害エスノグラフィーから抽出した教訓を枠組みで整理したものをグループごとに発表可能な形にまとめる	各グループがそれぞれの成果を発表する
生成物	教材として用いる災害エスノグラフィーへの理解	災害エスノグラフィーから教訓を抽出	災害対応の実態を枠組みに沿って整理することで現実の課題を抽出	災害エスノグラフィーを整理したものをさらに深化した理解	各グループの発表準備	各グループの得た知見を共有
進め方	1. 災害エスノグラフィーとは何か 2. 災害エスノグラフィーは何を教えてくれるのか 3. 今回の教材のなりたち	1. 各自エスノグラフィーを読む 2. 新たに知った事実、教訓として残すべき事実を抽出する 3. 抽出した事実を「納得したこと」と「半信半疑」に分類しカードに書く	1. 各自の書いたカードをグループ内で共有する 2. 「半信半疑」な項目についてお互いの意見を出し合う 3. グループ内で集まったカードについて模造紙に整理する	1. アドバイザー（実際に災害対応の実績のある人物、災害エスノグラフィーの収集経験のある人物、防災の専門家）にグループの理解を話す 2. 助言を受ける	1. 各グループで発表できる環境を整える 2. 発表者を決める	各グループ7分程度で成果を発表する



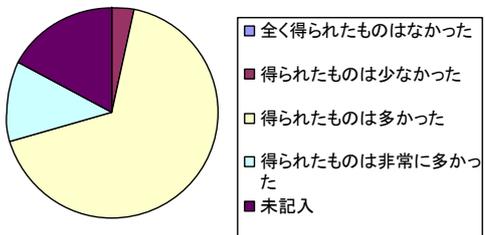
消防団活動の状況がイメージできたか



初めて知ったことの多さ



活動上知っておくべきことの多さ



研修を通じ得られたことの多さ

また、大規模災害時における消防団活動対応プロセスの理解と、活動上の教訓情報の抽出を抽出してもらった。以下にその内容を記す。

- ・「災害のイメージ化の重要性」このような規模の豪雨時に発生する災害のボリュームや形態などの具体的なイメージを持つておくことが重要である。
- ・「情報の一元化」常に指摘されることであるが、現場の消防団員に直接情報を届ける手段がないことが大きな課題である。
- ・「現場を識れ！」災害対応の現場のリアリティある状況を知らなければ、防災対策は考えられない。
- ・「避難勧告・避難所開設は明るいうちに」降雨の状況により避難の必要性が十分認められるときは、明るいうちに住民を避難場所に移動させる。暗くなってからでは、避難途中がきわめて危険な状況に陥

ってしまう。

・「情報は本部だけでなく住民とも共有すべき」降雨の予測情報や河川水位の予測情報などは、行政の災害対策本部だけでなく、住民とも共有をしておくべきである。

・「平素から自分の住んでいる地域の危険性を知る」水害が発生しないと自分が低地にすんでいることの危険性をつい忘れてしまい勝ちであるが、住民はハザードマップなどにより、自分の住んでいる地域の災害危険性を学んでおくべきである。

## 7. まとめと今後の展望

これまで記録として残されることのなかった、大規模災害時における消防団活動の対応プロセスと、暗黙知といえる対応現場での知恵や工夫・教訓情報を、災害エスノグラフィー調査を通して明らかにすることが可能となった。また調査成果を活用して、非経験者に対する研修方法を開発し、効果的に情報共有を図ることが可能となった。研修を通じた評価としては、災害のイメージ化の重要性や、災害対応現場のリアリティある状況を理解することができたなど、質的調査方法であるエスノグラフィー調査の利点が活かされた結果となった。

消防団活動の活性化を目指し、今後とも、消防団活動に関わる貴重な教訓情報の蓄積と共有化を継続的に図っていくことが必要である。本研究において、情報収集・共有化が可能となることを目的として、インタビュー・グループディスカッションによる調査方法、調査成果の分析方法、研修方法、蓄積した情報の発信方法等に関して標準的手法を検討したが、今後この手法を用いて全国の消防団の暗黙知として共有化されてこなかった情報の収集と情報発信を継続的に実施していくことが求められる。

### 第3 防災力の向上

#### 3.3 「家庭の消防防災力」WEB 検定システムの開発

研究課題名	「家庭の消防防災力」WEB 検定システムの開発
研究実施期間	平成20年度
配分額(千円)	6,825(平成20年度)
研究代表者	梶 秀樹
所属機関	国立大学法人東京工業大学 都市地震工学センター
研究体制	学・官
研究概要	<p>本研究は、個々の家庭の日常火災ならびに地震災害に対する「防災力」を、初級・中級・上級の3段階で評価できるような検定手法を開発したもので、平成21年4月より「家庭の消防防災力検定」として、WEB上で無償運用している。コンテンツとなる検定問題については、日常火災に対する消防力と地震時の防災力に関する合計で約600問の問題を開発委員会において作成し、難易度に応じて初級・中級・上級に区分して提供した。また、WEB画面設計ならびに出題・採点の自動通信システムの開発については、(1)受検者登録画面、インストラクション画面、出題および回答画面、検定結果およびコメント表示画面等についての詳細な設計仕様を作成し、(2)家族の特性に合わせた問題を選択・出題するためのマッチング手法、および類似問題の重複を避けるシステムを設計して、プログラミングおよびインターネットへの接続作業については業者へ発注した。</p>
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 現在、東京工業大学都市地震工学センターの管理の下に運用中。</li> <li>・ 2年間の受検者は、約700名。Web-Site <a href="http://www.bou-ken.net">http://www.bou-ken.net</a></li> <li>・ 東京防災指導協会発行「自主防災」No.215、2010年5・6月号に情報を掲載。</li> <li>・ 平成23年度より、東京防災指導協会に移管し、以後の運用および更新・検定合格証の発行等の事務手続きを行う予定。</li> </ul>
応用の方向性	検定合格者に対して、何らかの実質的資格を与えることを、東京消防庁において検討中
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記載してください。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)、年月日などを記載してください)

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入してください)
当該研究に対する今後の展開、意見等	

### 第3 防災力の向上

#### 3. 4 地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究

研究課題名	地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究
研究実施期間	H18年度～H20年度
配分額(千円)	H18年度 15,200 H19年度 6,660 H20年度 2,960
研究代表者	田中哮義
所属機関	京都大学防災研究所
研究体制	大学等研究機関および民間企業等
研究概要	従来の地震火災対策では、道路の拡幅や地区再開発などの大規模な都市計画的対策が採られることが多かった。しかし、例えば京都のような歴史都市では、木造建物が多いために火災安全上の大きな課題を抱えている反面、伝統的な町並みを保全する観点からは市街地構造の改変を伴うこうした対策を受け入れることが困難であるというジレンマがあった。一方、各種消火設備の配置による消防力の向上は、伝統的な町並みを保全したまま火災安全性能を向上させる可能性があるが、この定量的効果は必ずしも明らかにされていなかった。そこで本研究では、地震時にも効果的な活動が期待でき、かつ市街地構造の大規模な改変を伴わずに実施が可能な地域消防力に着目し、実大実験を行うことでその定量的延焼抑止効果を明らかにした。この結果を踏まえ、これまで開発してきた物理的延焼予測モデルを、消火活動の効果を検討可能なモデルへと発展させた。また、現地調査等を行うことで地域消防力の実態を明らかにし、今後の課題を明らかにすると同時に、延焼シミュレーションを利用した防火対策の検討を可能とした。
研究成果(特に研究成果の活用事例を中心)	市街地火災の物理的延焼性状予測システムとGISを統合することで、防災まちづくり等での利用が可能な地域防災性能評価システムの開発を行った。
応用の方向性	研究期間中には、地域防災性能評価システムの基本構造の開発を行った。その後もシステム開発・改良を継続しており、防災まちづくりの実務での利用が可能となっている。

研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 北後明彦・久保一樹・田中哮義・関沢愛・西田幸夫・樋本圭佑:地震火災時における地域消防力の簡易予測手法の開発, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.268-271 (2009.5)</li> <li>■ 樋本圭佑・西田幸夫・諸隈貴寛・芝真里子・秋元康男・北後明彦・関沢愛・田中哮義:地域防災力評価のための消防用可搬ポンプを利用した消火活動実験, 日本建築学会計画系論文集, Vol.73, No.634, pp.2665-2672 (2008.12)</li> <li>■ 樋本圭佑・秋元康男・北後明彦・田中哮義:伝統的木造密集市街地の延焼火災リスク評価に関する基礎的検討, 歴史都市防災論文集, Vol.2, pp.7-14 (2008.10)</li> <li>■ Himoto K, Akimoto Y, Hokugo A, Tanaka T, Risk and Behavior of Fire Spread in a Densely-built Urban Area, Fire Safety Science, Proceedings of 9th International Symposium, pp.267-278 (2008.9)</li> <li>■ 芝真里子・北後明彦・秋元康男・樋本圭佑・関沢愛・諸隈貴寛・西田幸夫・田中哮義:地震火災時における地域消防力評価手法に関する研究, 日本火災学会発表会概要集, pp.222-223 (2008.5)</li> <li>■ 諸隈貴寛・樋本圭佑・芝真里子・秋元康男・西田幸夫・関沢愛・北後明彦・田中哮義:住民の消火用可搬ポンプの操作能力に関する研究, 日本火災学会発表会概要集, pp.220-221 (2008.5)</li> <li>■ 秋元康男・樋本圭佑・北後明彦・田中哮義:火災リスク評価を用いた密集市街地の火災安全に関する研究, 日本火災学会発表会概要集, pp.202-203 (2008.5)</li> <li>■ 杉本綾亮・田中哮義・畑山満則・樋本圭佑:物理的火災延焼モデルを用いた GIS 基盤の市街地防災性能評価支援システムの開発, 日本火災学会発表会概要集, pp.200-201 (2008.5)</li> <li>■ Akimoto Y, Ikuyo K, Himoto K, Hokugo A, Tanaka T. Fire Risk Assessment of Kyoto Sannei-Zaka District Based on A Physics-based Model for Urban Fire Spread. Proc. 7th Asia-Oceania Symp. Fire Science and Technology (2007.9)</li> <li>■ Himoto K, Tanaka T, Sekizawa A. Simulation of Fire Spread in The Sakata Fire and Involved Fire Fighting Activities. 7th Asia-Oceania Symp. Fire Science and Technology (2007.9)</li> <li>■ Sugimoto R, Himoto K, Tanaka T. Simulation of Fire Spread in Higashiyama District of Kyoto - A Densely Built District of Historical Buildings. Proc. 7th Asia-Oceania Symp. Fire Science and Technology (2007.9)</li> </ul>
----------	--

	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 秋元康男・北後明彦・樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションを用いた火災安全対策に関する基礎的検討 和歌山県湯浅町湯浅伝建地区におけるケーススタディ, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集 A-2, pp.173-174 (2007.9)</li> <li>■ 樋本圭佑・田中哮義:消火活動を考慮した酒田市大火の火災延焼シミュレーション, 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集 A-2, pp.177-178 (2007.9)</li> <li>■ 樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションによる歴史的市街地の火災安全対策の検討, 歴史都市防災論文集, Vol.1, pp.21-26 (2007.6)</li> <li>■ 秋元康男・北後明彦・樋本圭佑・田中哮義:延焼シミュレーションを用いた火災安全対策に関する基礎的検討 -和歌山県湯浅町湯浅伝建地区におけるケーススタディ-, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.126-127 (2007.5)</li> <li>■ 石原慶大・樋本圭佑・箭内英治・砂原弘幸・吉川昭光・関沢愛・田中哮義:小規模区画模型実験による注水の火災抑制効果に関する基礎的検討 その1実験概要, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.230-231 (2007.5)</li> <li>■ 樋本圭佑・石原慶大・箭内英治・砂原弘幸・吉川昭光・関沢愛・田中哮義:小規模区画模型実験による注水の火災抑制効果に関する基礎的検討 その2 実験結果の考察, 日本火災学会研究発表会概要集, pp.232-233 (2007.5)</li> <li>■ 樋本圭佑・幾代健司・秋元康男・北後明彦・田中哮義:放水の物理的・火災抑制効果に着目した地域住民の消火活動モデル, 日本火災学会論文集, 第56巻, 第3号, pp9-19 (2006.12)</li> <li>■ 杉本綾亮・樋本圭佑・田中哮義:市街地延焼予測に関する建築物開口割合の実測手法に関する研究, 日本建築学会大会(関東)学術講演梗概集 A-2, pp.319-320 (2006.9)</li> </ul>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>地域消防力整備による地震火災の被害軽減効果の評価は、効果的な対策を講じる上で不可欠である。本研究では、地域消防力の有効性を消火活動実験等により明らかにし、現象の物理的メカニズムに基づく消火活動モデルを構築した。物理的モデルを利用することにより、対策の有効性を実態に沿って評価することが可能となった。こうした成果は、今後、地域特性に応じた防災まちづくりの実施につながるものと考えられる。</p>



# 地域消防力に着目した密集市街地の地震火災対策に関する研究

○田中喙義<sup>1</sup>・樋本圭佑<sup>1</sup>・杉本綾亮<sup>1</sup>・小林将之<sup>2</sup>・岡部弘志<sup>2</sup>  
諸隈貴寛<sup>2</sup>・大窪健之<sup>3</sup>・北後明彦<sup>4</sup>・秋元康男<sup>4</sup>・芝真里子<sup>4</sup>  
西田幸夫<sup>5</sup>・吉川昭光<sup>6</sup>・砂原弘幸<sup>6</sup>・石原慶大<sup>6</sup>・土橋常登<sup>7</sup>

Takeyoshi Tanaka, Keisuke Himoto, Ryosuke Sugimoto, Masayuki Kobayashi, Hiroshi Okabe  
Takahiro Morokuma, Takeyuki Okubo, Akihiko Hokugo, Yasuo Akimoto, Mariko Shiba  
Yukio Nishida, Akimitsu Kikkawa, Hiroyuki Sunahara, Takahiro Ishihara, and Tsuneto Tsuchihashi

## 研究課題の要旨:

従来の地震火災対策では、道路の拡幅や地区再開発などの大規模な都市計画的対策が採られることが多かった。しかし、例えば京都のような歴史都市では、木造建物が多いために火災安全上の大きな課題を抱えている反面、伝統的な町並みを保全する観点からは市街地構造の改変を伴うこうした対策を受け入れることが困難であるというジレンマがあった。一方、各種消火設備の配置による消防力の向上は、伝統的な町並みを保全したまま火災安全性能を向上させる可能性があるが、この定量的効果は必ずしも明らかにされていなかった。そこで本研究では、地震時にも効果的な活動が期待でき、かつ市街地構造の大規模な改変を伴わずに実施が可能な地域消防力に着目し、実大実験を行うことでその定量的延焼抑止効果を明らかにした。この結果を踏まえ、これまで開発してきた物理的延焼予測モデルを、消火活動の効果を検討可能なモデルへと発展させた。また、現地調査等を行うことで地域消防力の実態を明らかにし、今後の課題を明らかにすると同時に、延焼シミュレーションを利用した防火対策の検討を可能とした。

## 1. はじめに

わが国の市街地は伝統的に木造の建築物で構成されてきたため、ひとたび市街地で火災が発生すれば容易に複数棟を巻き込む延焼火災へと発展する可能性がある。事実、大規模な延焼火災は古くから常習的に発生しており、その度に多大なる被害をもたらしてきた。特に明治に入ってから建物・市街地の防火規制強化や公設消防機能の整備により、現在では日常的な火災が大規模延焼火災へと発展する危険性は低減されているものの、地震火災のように出火が同時発生する場合には、建物が建て詰まった状態にある密集市街地で被害が集中的に発生することが予想されている。

一方、京都のような歴史的市街地も同じく密集市街地に分類され、やはり延焼火災による被害の発生が危惧されている。ただし、一般的な密集市街地とは異なり、こうした歴史的な密集市街地の火災安全性能を確保することはわが国固有の伝統的な都市文化の継承を図る上で特別な重要性を有している。密集市街地の火災安全性能を向上させるには、一般に、老朽化した建物をRC造などの防火性能の高い建物へと建て替えたり、細街路を拡幅したりするといった対策が取られることが多い。しかし、こうした市街地構造の改変を伴う対策を歴史的市街地に適用すれば、街並みの文化的価値が損なわれる可能

性が高い。

本研究では、地域住民による消火活動の能力（地域消防力）の向上を図ることで、市街地の火災安全性能を確保する手法の開発を目的としている。こうした地域消防力の向上を図る対策は、従来の建築・都市計画的対策とは異なり、伝統的な街並みを保全したまま火災安全性能を向上させる可能性があるが、この定量的効果は必ずしも明らかにされていなかった。そこで、地域消防力による延焼抑止効果を評価可能な都市火災延焼モデルの開発を中心に、関連する防災対策上の課題の解決を図ることで、地域特性を考慮した、多様な地震火災対策を実現させる一助となることを目指している。

## 2. 注水の火災抑制効果に関する実験的検討

都市火災時に対する地域消防力の有効性を評価し、効果的な地域防災計画を講じるためには、地域住民による消火活動を数値的に解析するモデルが必要である。本研究ではその一環として、盛期火災状態とした小規模区画模型の内部に対して注水を行い、注水がもたらす火災抑制効果について定量的に調べると同時に、数値解析モデルを検証するための基礎データの収集を行った。

### 2.1 実験概要

実験で使用した区画模型の寸法を図1に示す。寸法は内法が幅700mm、高さ700mm、奥行き1000mmであり、壁にはケイ酸カルシウム板25mmを2枚合わせたものを使用した。区画内側には厚さ0.3mmのステンレス板を貼り付け、投入された水が区画外へ漏れないようにした。床面には3%の傾斜を付けてあり、蒸発し切れなかった水を回収することを図っ

1 京都大学  
2 東京大学  
3 立命館大学  
4 神戸大学  
5 東京理科大学  
6 ヤマトプロテック  
7 日本建築総合試験所

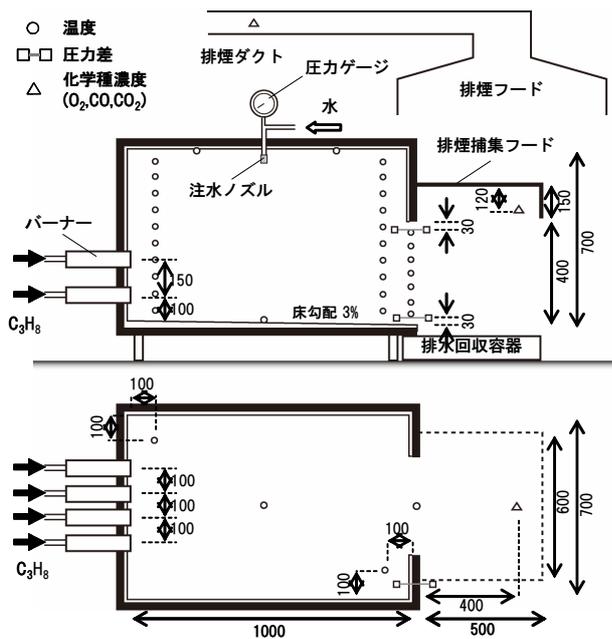


図1 区画模型 (上：立面図，下：平面図)

表1 実験条件

	開口幅 (m)	開口高さ (m)	ガス供給速度 (g/s)	発熱速度 (kW)	注水形式	
					注水速度 (g/s)	注水形式
A	0.2	0.4	0.46	21.4	0.0	—
					1.67	パン
					0.81	—
					1.42	KBO6025
					2.31	—
					3.27	KBO6071
B	0.2	0.4	0.61	28.3	0.0	—
					2.25	パン
					0.95	—
					1.87	KBO6025
					3.10	—
					3.28	KBO6071
					4.27	KKBP050
C	0.4	0.4	0.53	24.6	0.0	—
					1.43	パン
					0.86	—
					1.28	KBO6025
					1.61	—
D	0.4	0.4	0.77	35.8	0.0	—
					2.48	パン
					1.01	—
					2.05	KBO6025
					2.69	—
					2.98	—
					4.29	KBO6071
					4.87	KKBP050

た。ただし、本実験の範囲では未蒸発の余剰水が発生することはなかった。側壁には長方形開口部を1つだけ設け、これを自然換気によって起こる外部空気の流入および燃焼ガスの流出の唯一の経路とした。なお、開口部の形状は可変としたが、下端は常に床面に一致させた。火源には拡散バーナーを8基利用することとし、水損を避けて開口部とは反対側の側壁に設置した。ただし、燃料にはプロパンガスを使用し、磁気制御方式のマスフローコントローラ

(MKS 製 Mass-Flo1500) を利用して供給速度を調整した。注水は区画天井部に設置した空円錐型噴霧ノズル(いけうち製 KBO6025, KBO6071, KKBP050 の3種類)を介して行った。なお、これらとの比較のため、水を満たした鉄製パン(蒸発面が30cm×30cm、深さ5cm)を設置することで、蒸発形態の違いが及ぼす影響についても調べた。

温度測定点は図1に示す位置とした。測定にはK型シース熱電対(φ3.2mm)を用いることとし、模型内部の奥隅角部、手前隅角部に高さ方向に等間隔で10箇所設置した。ただし、測定部を上向きに設置し、測定部付近に水が留まることのないよう配慮した。開口部の幅方向中心には高さ方向に50mm間隔で熱電対を設置した。また、図1に示す通り、区画内部の側壁に3点、天井面に2点、床面に1点、外壁表面に1点熱電対を設置した。区画内ガスに含まれる化学種については、図1に示す区画内部および排気ダクトからガスサンプルを抽出し、酸素O<sub>2</sub>、一酸化炭素CO、二酸化炭素CO<sub>2</sub>の各濃度を計測した。発熱速度については、ガスサンプリングによる酸素消費法、ならびにプロパンガス消費による重量減少の両面から試みたが、本報では重量減少から求めた発熱速度を用いている。重量減少については、ガスボンベの重量変化を電子天秤により計測した。さらに、ノズルからの注水量についても、水源として用いた水タンクの重量変化を同様に、電子天秤を用いて計測した。

## 2.2 実験条件

本実験では、開口形状(幅、高さ)、燃料であるプロパンガスの供給速度、注水速度を表1に示すように変化させ、これらが区画火災性状に及ぼす影響を調べた。ただし、供給された燃料は全てが区画内で燃焼するように調整し、実験中に開口からの火炎噴出が観察されることはなかった。なお、本実験は盛期区画火災性状に対する注水の効果を明らかにすることを目的とするため、消炎に関する検討は行っていない。

## 2.3 実験結果

条件D群1～5における、プロパンガス供給量および注水量を図2に示す。図より、実験中において、プロパンガスの供給量は一定であることが伺える。発熱速度を計算すると次のようになる。

$$Q_F = \frac{0.04632 \times 1000}{60} \times 46.45 [kJ/sec] \approx 35.8 [kW]$$

ノズルによる注水に関しては、注水量を制御する目的で、配管経路中にバルブを設け、その開度を調節することにより、注水量に変化を持たせた(D3～5)。条件D2においては、区画模型内に設置したパンの中に満たした2007gの水が、13分30秒で蒸発したことを示している。

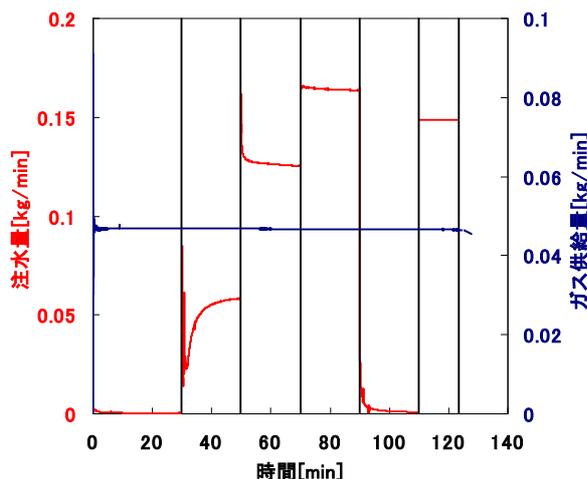


図2 プロパンガス供給量・注水量経時変化

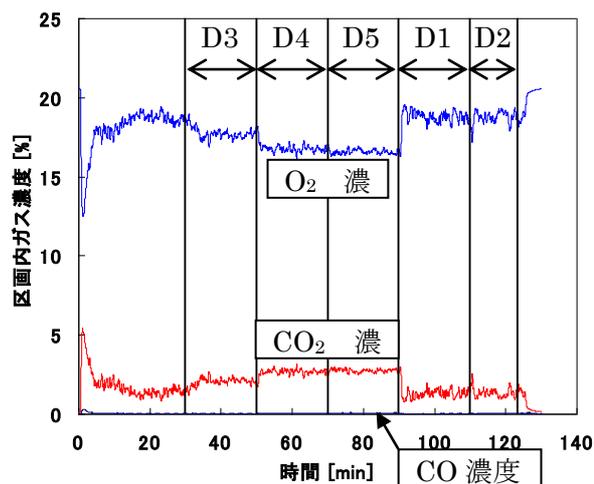


図4 区画内ガス濃度経時変化

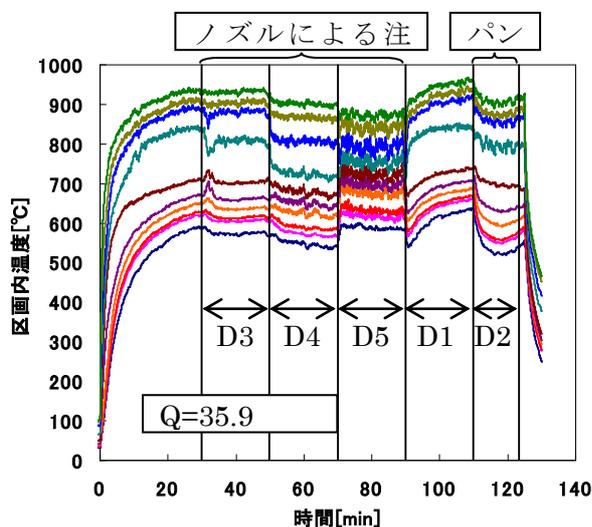


図3 区画内温度経時変化

条件D群1～5における、区画内温度の変化を図3に示す。ノズルによる注水や、水を満たしたパンを用いることで、水が蒸発する際の潜熱により、区画内温度が低下していることが分かる。ここで、条件D3から4,5へと徐々に注水量を増加させているが、条件D3,4とD5では、区画内の温度分布に違いが見受けられる。これは、注水量を増やしていく過程で、区画内が攪拌され易い状況(ノズルからの噴霧状況(粒子径や噴霧角)等が要因のひとつ)となり、区画上部と下部で温度差が小さくなったものと考えられる。

図4より、注水量が増加している中でも、プロパンガスの燃焼により、O<sub>2</sub>濃度が低下し、CO<sub>2</sub>濃度が増加していることが分かるが、その経過において、CO濃度はほとんど変化しておらず、供給されたプロパンガスは注水による影響を受けることなくすべて燃焼していると考えられる。これは、図2でプ

ロパンガス供給量が変わらず一定であることからも伺える。

### 3. 数値モデルによる注水の火災抑制効果の検証

区画模型実験の結果をもとに、消火放水の火災抑制効果を定量的に評価する手法について基礎的な検討を加えることを目的としている。ここでは、前述の区画模型実験の結果について考察を加えるとともに、数値モデルとの比較を行うことでその妥当性と今後の課題について検討を加える。

#### 3.1 注水時の区画内温度

実験条件は表1に整理してある。このうち、条件B群(B=0.2m, H=0.4m, QF=28.3kW)およびD群(B=0.4m, H=0.4m, QF=35.8kW)のいくつかの結果について、区画奥の高さ方向の温度分布を示したものが図5,6である。いずれの条件でも区画下方向に向かうにつれて緩やかに温度が低下する様子が捉えられた。ただし、開口幅の大きな条件D群の温度勾配がより急であり、開口部を經由して盛んに外部空気の流入が起こっていた状況がうかがえる。ここで、図5の条件B5とB6に着目する。両者の開口部形状、発熱速度は同じであり、注水速度もほぼ同じである。しかし、条件B5の場合には区画内温度が高さ方向にほぼ一様となったのに対し、条件B6では注水がない場合と同様、区画上部から下部にかけて緩やかに温度が低下している。両者の違いは使用した注水ノズルの噴霧粒径や噴霧角といった特性の違いにあり、条件B5のノズルを使用した場合において区画内がより攪拌され易く、区画上部と下部の温度差が小さくなったものと言える。同様の結果は図6の条件D5とD6の間でも確認できる。一方、図中の点線はパンを利用した条件B2およびD2の結果を示したものである。これらを注水のない条件B1およびD1の結果と比べると、水分蒸発

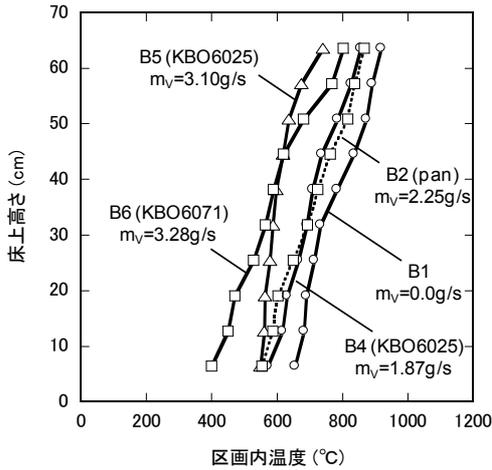


図5 区画奥における温度分布(条件B群)

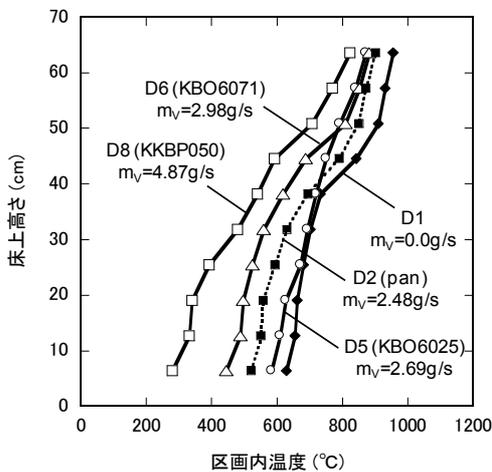


図6 区画奥における温度分布(条件D群)

により絶対値が小さくなっているものの、温度プロファイルの概形はよく一致する結果となった。これは区画内ガスが十分に攪拌されており、かつ、パンを利用した水分蒸発が区画内部の気流性状を大きく変化させることなく起こっているためと考えられる。

### 3.2 McCaffrey 式との比較

次に区画内温度の平均値を代表的な予測式の計算結果と比較する。ただし本報では、区画の奥と手前に2列、高さ方向には等間隔に配置された熱電対の全測定値の平均を代表値とみなす。まず、McCaffreyにより示された無次元温度上昇予測式<sup>1)</sup>、

$$\frac{\Delta T}{T_\infty} = 1.6 \left( \frac{\dot{Q}}{c_p \rho_\infty T_\infty g^{1/2} B H^{3/2}} \right)^{2/3} \left( \frac{h_k A_T}{c_p \rho_\infty g^{1/2} B H^{3/2}} \right)^{-1/3}$$

を適用した結果を図7に示す。ここで、 $T_\infty$ は基準温度、 $\Delta T$ は $T_\infty$ からの温度上昇、 $\dot{Q}$ は発熱速度、 $c_p$ は比熱、 $\rho_\infty$ は基準気体密度、 $g$ は重力加速度、 $B$ は

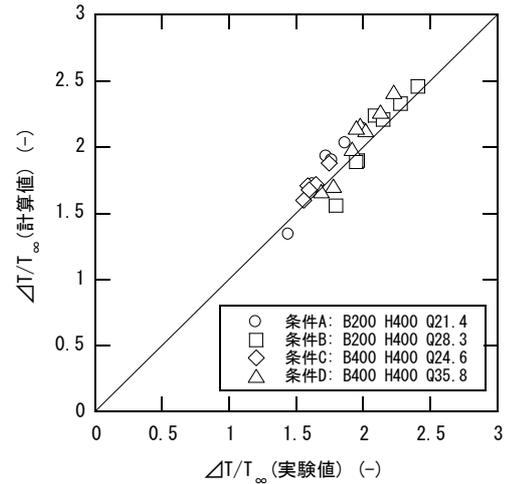


図7 無次元温度上昇の比較 (McCaffrey 式)

開口幅、 $H$ は開口高さ、 $h_k$ は実効熱伝達率、 $A_T$ は区画内表面積である。ただし、発熱速度 $\dot{Q}$ には、供給された全ての燃料が燃焼した場合の発熱速度 $\dot{Q}_F$ から、注入された全ての水が蒸発した際の潜熱消費速度 $\dot{Q}_V$ を引いた値を用いている。

実験値と計算値は良好に一致しており、注水時の区画内温度を予測する上では $\dot{Q}_F - \dot{Q}_V$ を実質的な発熱速度とみなしても支障がないことが分かる。すなわち、図5、6では高さ方向に温度分布の違いが生じている例があったものの、区画全体で見れば潜熱消費による温度減衰の効果に顕著な差はないものと言える。ただしこのことは、各種性状が区画内で概ね一様となる盛期火災であればこそ成り立つものと考えられ、例えば火災初期に形成される二層環境下ではその限りでない。

### 3.3 1層ゾーンモデルとの比較

次に、実験結果を1層ゾーンモデルの計算結果と比較する。図8は本計算で用いた1層ゾーンモデルの概念図である。投入された水が高温のため蒸発し、水蒸気として区画内ガスとの混合を起こすとともに、蒸発時の潜熱消費によって区画内温度の低下をもたらすものと考えている。このとき、ゾーンモデルの質量、エネルギー、化学種に関する各保存式、ならびに状態方程式は次のようになる<sup>2)</sup>。

$$\frac{d}{dt}(\rho_i V_i) = \dot{m}_{F,i} + \phi_i \dot{m}_{V,i} - \sum_j (\dot{m}_{j,i} - \dot{m}_{i,j}) \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt}(c_p \rho_i T_i V_i) = \dot{Q}_i - \sum_j (c_p \dot{m}_{j,i} T_i - c_p \dot{m}_{i,j} T_j) - \sum_j \dot{Q}_{D,j} - \sum_j \dot{Q}_{W,j} - \phi_i \dot{m}_{V,i} L_V + c_p (\phi_i \dot{m}_{V,i}) T_V \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt}(\rho_i V_i Y_{X,i}) = \dot{\Gamma}_{X,i} - \sum_j (\dot{m}_{j,i} Y_{X,i} - \dot{m}_{i,j} Y_{X,j}) \quad (4)$$

$$\rho_i T_i = 353 \quad (5)$$

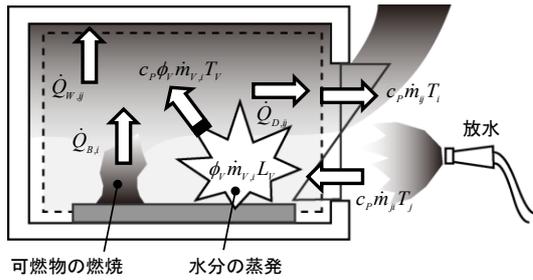


図8 消火放水時の火災区画内のエネルギー収支

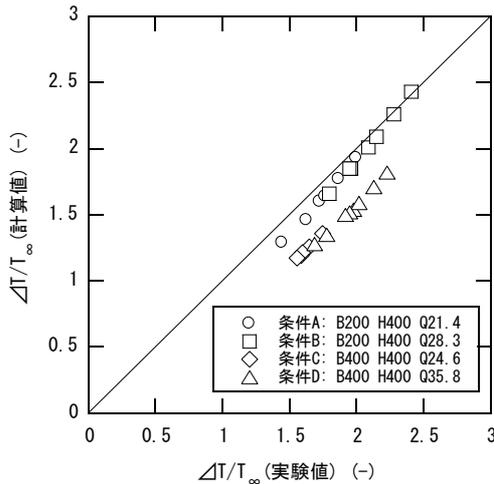


図9 無次元温度上昇の比較 (ゾーンモデル)

ここで、 $t$ は時間、 $V$ は区画容積、 $\dot{m}_F$ は可燃性ガスの供給速度、 $\phi_v$ は実際に蒸発する水の比率、 $\dot{m}_w$ は注水速度、 $\dot{m}$ は開口流量、 $\dot{Q}_D$ は開口を経由した輻射失熱速度、 $\dot{Q}_W$ は壁への失熱速度、 $L_v$ は水分の蒸発潜熱、 $T_v$ は水分の蒸発温度、 $Y$ は化学種濃度、 $\dot{\Gamma}$ は化学種の生成速度である。ただし本計算では区画内に投入された全ての水が蒸発するものと考え $\phi_v=1$ としている。図9は図7のMcCaffrey式の場合と同様の方式で区画内平均温度の比較を行ったものである。これによると、小さい開口の条件A群、B群(B=0.2m, H=0.4m)では実験値と計算値が良好に一致したのに対し、大きな開口の条件C群、D群(B=0.4m, H=0.4m)では計算値が区画内の温度上昇を過小評価する結果が得られた。こうした不一致には以下の原因が考えられる。まず、大きな開口の条件C群、D群では区画容量に対して開口流量が大きくなるため、流入する外部空気の一部が燃焼によって生成された高温ガスと十分に攪拌しないまま区画外へ放出されることがある。一方、ゾーンモデルでは燃焼生成ガスが低温の流入空気と完全に混合することを仮定しているため、その分温度上昇が過小評価されたものと考えられる。McCaffrey式においてこうした不一致が表れなかったのは、同式のモデル定数が数多くの実験結果から同定されており、こうした効果を陰に含んでいるためと考えられる。

### 3.4 まとめ

本研究では、注水の火災抑制効果を調べるための模型実験を行い、この結果をMcCaffrey式および1層ゾーンモデルの計算結果と比較した。この結果、盛期区画火災に対しては、これらのモデルを用いて概ね良い精度で火災抑制効果の評価が可能であることを確認した。ただし、本実験では投入された全ての水が区画内で蒸発したが、消火活動時にはその大半が蒸発前に区画外へ流出する。このため、消火活動の実際的な効果を評価するには蒸発比率を推定する必要がある。

### 4.消火活動を考慮した火災延焼シミュレーション

地震時等に発生が危惧される都市火災に対して効果的な対策を講じるには、市街地における火災の延焼拡大性状を合理的に説明可能なモデルが必要となる。筆者らはこうしたモデルの開発を行い<sup>3)</sup>、これまでに酒田市大火の記録等との比較を通じてその検証・改良を進めてきた<sup>4)</sup>。しかし、既報<sup>4)</sup>では、実際に比べて焼失範囲を過大に評価する結果が得られていた。これは、消火活動による火災抑制効果を考慮していなかったことが大きな原因と考えられる。そこで本報では、これを考慮した火災延焼シミュレーションを行い、延焼モデルの課題の確認を行うと同時に、当時の消火活動状況について検討を加える。

#### 4.1 消火活動モデルの概要<sup>5)</sup>

本火災延焼モデルは、現象の物理的知見に基づき定式化されており、他の建物火災の影響下における個々の建物火災の燃焼性状を予測することで、市街地全体の火災性状予測を行っている。

この中にサブモデルとして組み込まれる消火活動モデルでは、放水による火災抑制効果を、

- (1)水分蒸発に伴う区画内ガスの冷却効果
  - (2)水蒸気の発生に伴う区画内ガスの希釈効果
  - (3)可燃物表面の湿潤による熱分解抑制効果
- の3つの効果に分けたモデル化を行っている。また、消火活動の対象となる建物は、
- (1)消防水利から消防用ホースが延長可能な範囲内にあること
  - (2)消火活動に従事する者の安全のため燃焼領域内に孤立していないこと
  - (3)同じく周囲温度上昇が一定値以下であること
- といった条件を全て満たすものとしている。

#### 4.2 計算条件

計算入力条件として必要な、建物形状、階数、構造に関する情報は当時の都市計画図(1/1000縮尺)から読み取った。ただし、地形の高低差は考慮していない。

気象条件については外気温と市街地風の風速・風

向の変動に出火建物から南南西に 1km ほど離れた測候所のデータを使用した<sup>6)</sup>。なお、火災当日は断続的な降雨が観測されており、1時間あたりの降水量は最大で 2mm、出火から鎮火に至るまでの総降水量は 12mm であったが、本計算ではこの影響を無視している。

消防水利の位置は当時の消火活動状況を記した火災防御図<sup>7)</sup>から割り出した。ただし、各消火栓には消火ホース 2 本が接続可能であるものとし、各ホースの放水量は 10l/min、このうち区画内で蒸発して火災抑制に寄与する割合を 10%と仮定した。なお、本モデルでは飛び火発生の予測も可能であるが、確率論的な定式化を行っているため、実態調査の結果と比較が困難である。このため、実態調査から割り出された飛び火発生地点を与条件として与えた。

### 4.3 計算結果と考察

出火から 6 時間 20 分経過した 10 月 30 日午前 0:00 における火災の延焼状況を可視化した結果を図 10 に示す。消火活動によって焼失範囲が大きく減じる結果が得られたが、風向方向に比べ、風向と直角方向により顕著に効果が表れている。これは燃焼領域の風下側が高温の熱気流に曝されるため、風下側領域で消火活動が行えなくなるためと考えられる。このことは、図 1(b)に▽印で示した消火活動対象建物の位置からも明らかである。

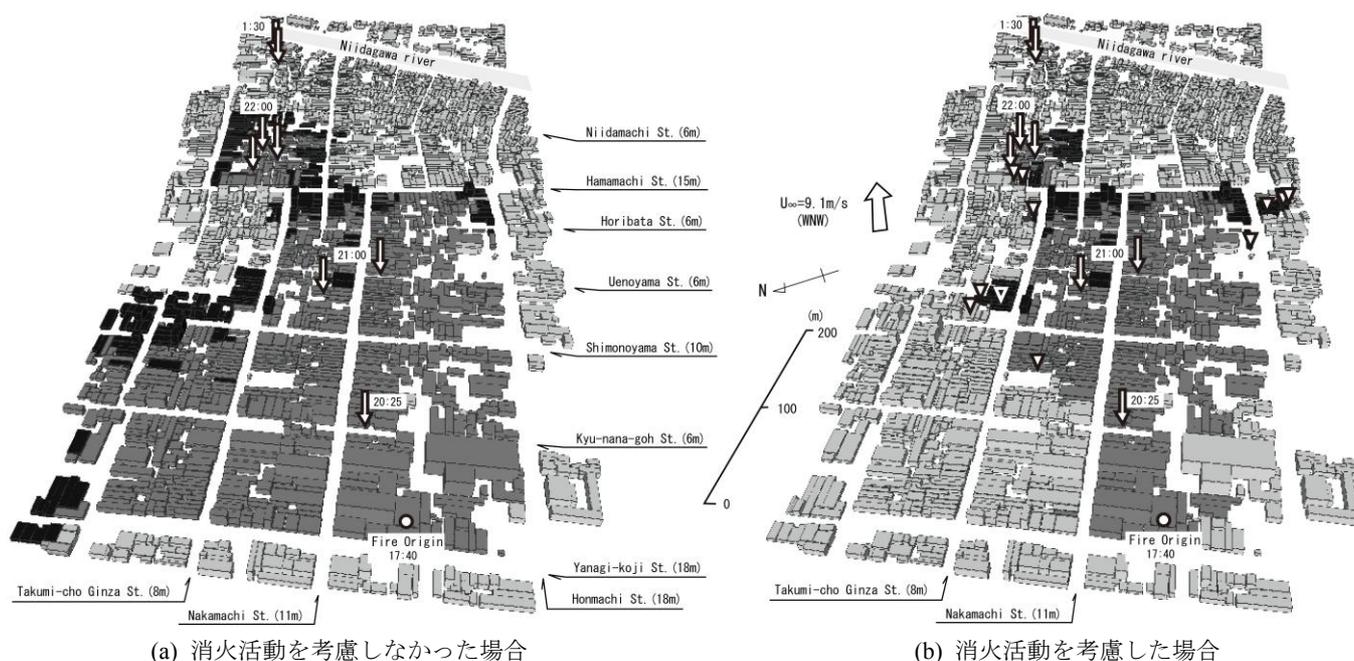
図 11 は、火災前線の移動を一定時間ごとに追った延焼動態図の比較を行ったものである。延焼状況の定性的な特徴は計算により良く再現されているものと考えられるが、消火活動の有無によらず実態調査

の結果との間で小さくない差が生じている。例えば、計算結果のいくつかの地点では実態調査の結果に比べて同時延焼線の間隔が狭くなっている場所がある。これは、比較的大規模な空地があったために延焼速度が小さく評価されたためであるが、こうした着火の限界条件に近い状況での延焼の発生については、現在のモデルでは考慮していない加熱の履歴効果の影響があるものと考えられる。

図 11(a)では、消火活動を考慮しなかったため、風向と直角方向の焼失を過大に評価している。一方、図 11(b)では、上の山通り以西で消火活動の効果が過大に評価されたのに対し、以東でその効果が過小に評価され、最終的な焼失範囲は消火活動を考慮しなかった場合と大差がなかった。これは、出火から時間が経ち、燃焼領域が拡大するにつれて高温の熱気流に曝される領域が拡大し、消火活動の可能な範囲に制限が加わったためと考えられる。なお、本計算では火災防御図から消防水利の位置を特定し、各水利には一律に 2 本の消防ホースを連結可能、ホースの放水性能は全て同じであるものと仮定した。しかし、個々の消防水利から取水可能な水量、動力源であるポンプの性能、利用可能なホースの本数などには、本来は差がある。当時の消火活動状況を整理した文献には、水利から十分な水の供給が得られなかったとの記述<sup>8)</sup>も見受けられることから、こうした仮定が計算結果に与えた影響も無視することができない。

### 4.4 まとめ

ここでは、酒田市大火の火災延焼シミュレーション

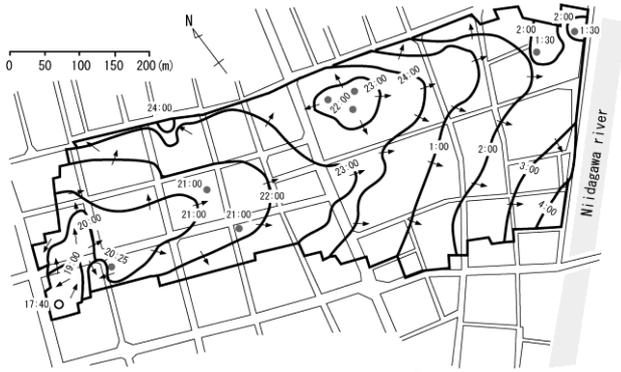


(a) 消火活動を考慮しなかった場合

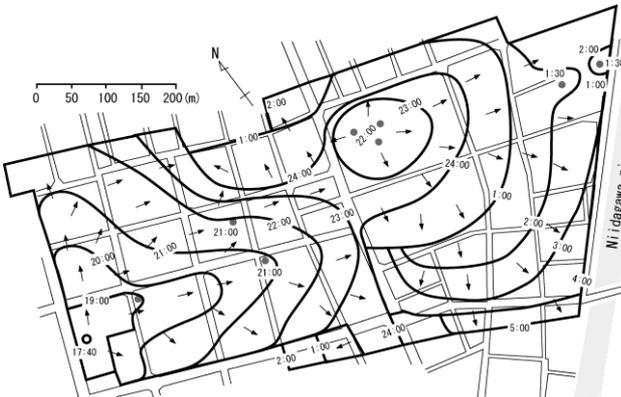
(b) 消火活動を考慮した場合

図 10 出火から 6 時間 20 分 (10 月 30 日 0:00AM) が経過した段階での火災延焼状況

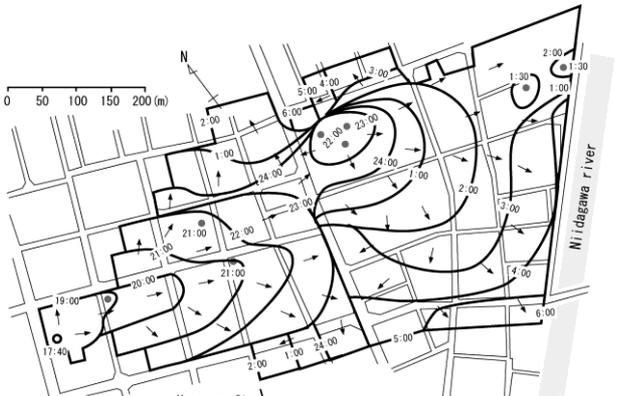
(濃色は燃焼中建物、薄色は燃え尽きた建物、⇒は飛び火による延焼発生地点、▽は消火活動の対象建物をそれぞれ示す。)



(0) 実態調査の結果<sup>6)</sup>



(a) 消火活動を考慮しなかった場合の計算結果



(b) 消火活動を考慮した場合の計算結果

図 2 延焼動態図の比較

(○が出火建物, ●が飛び火による延焼発地点を示す。)

ンを行い、消火活動の有無が焼失範囲の大小に与える影響について調べた。計算結果と実態調査結果との間には不一致が見られたが、火災当時の状況を完全に把握することは事実上困難であることから、この原因を正確に割り出すことは難しい。今後は、より具体的な火災状況の設定が可能な実験結果等との比較を通じてモデルの妥当性の検証を継続する予定である。

## 5. 市街地の火災延焼リスク評価システムの開発

これまで筆者らは、市街地の火災延焼リスク評価システムの開発を進めてきた。このシステムは個々

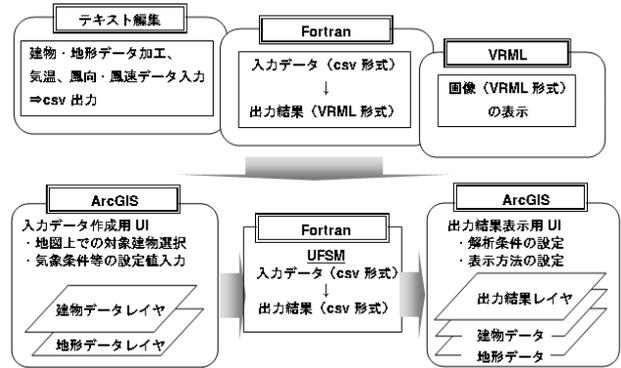


図 12 本評価システムの構成

の建物情報や気象条件を考慮し、熱源からの輻射熱伝達、熱気流からの対流熱伝達、飛散する火の粉を火災の要因として、周辺の建物火災の影響下における個々の建物火災の燃焼性状を評価した物理的延焼モデルを採用している点に特徴がある。

本評価システムでは、Fortran を言語とした解析プログラムを用意し、解析結果の可視化については、VRML 形式を採用している。解析のための入力データ作成は、建物や地形に関する情報(テキストデータ)の編集によって行われており、視覚的な操作ができないことや、操作のプラットフォームが多岐にわたることが、システムの汎用性向上にあって、障壁となっていた。そこで、視覚的操作が可能で、入出力操作ともに利用可能な ArcGIS を用いた支援システムが求められていた(図 12)。

### 5.1 火災延焼リスク評価システムの操作

筆者らが検討を進めてきた市街地の火災延焼リスク評価システム (Urban Fire Spread Model, 以下 UFSM とする。)では、表 2 のデータを入出力データとして取扱う。支援システムでは、地理的操作が必要な概要・ノード・壁の入力データ作成と、出力結果表示を行った。作業の流れを図 13 に示す。

### 5.2 入力データの作成

入力データの作成にあたり、必要となる GIS データは、建物外形(ポリゴン)で構成される、以下の属性値を保有したデータである(表 3)。

この都市データを ArcGIS で開き、入力データ作成用インターフェースを立ち上げる(図 14)。

入力画面で、値の設定と地図上での建物選択を行い、コマンドを実行することで、GIS 上で概要・ノード・壁データが作成される。値の設定と地図上での建物選択を行う項目は以下のとおりである。

- ① 値の設定を行う項目
  - ・可燃物密度、初期露出表面積比の設定
  - ・外気温、風向・風速の設定
  - ・出火室の設定
- ② 地図上での建物選択
  - ・延焼の解析の対象範囲の選択
  - ・出火建物の選択

表2 UFSMの入出力データ

データ名 (入力)	内容
○ 概要	建物種別や階高等の各建物情報と、気象条件等の市街地情報
○ ノード	各建物のノード(隅角部)座標
○ 壁	構成ノード等、壁面の情報
開口	開口部の位置と大きさ
形態係数	建物間の延焼における輻射熱算定に用いる係数
開口部材の熱物性	部材(開口部)の熱物性
壁の熱物性	部材(壁)の熱物性
データ名 (出力)	内容
○ 延焼結果	各建物の時間ごとの温度変化

※○は、GISによって取り扱ったデータ

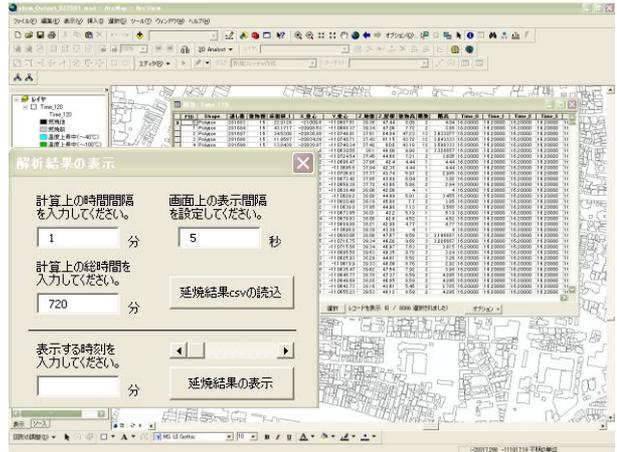


図15 出力結果表示画面

表4 解析結果を付加した都市データの属性値

建物番号	建物種別	1F床面積	重心(X)	重心(Y)
床面標高	屋根標高	建物高さ	階数	階高
建物温度 (時刻0)	建物温度 (時刻1)	建物温度 (時刻2)	...	建物温度 (時刻n)

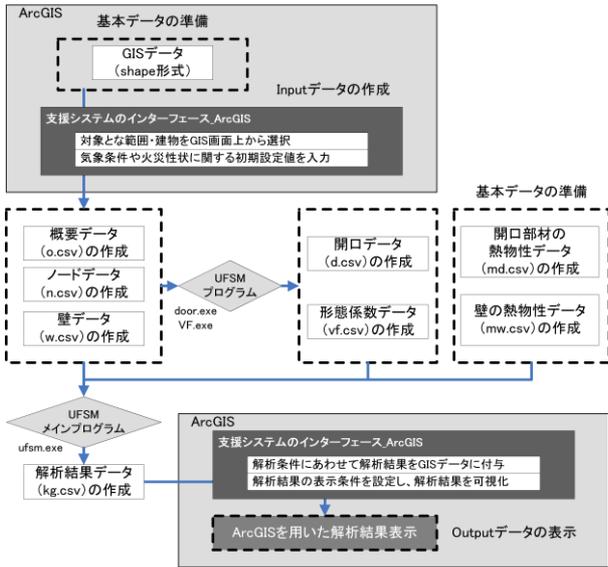


図13 火災延焼リスク評価システムの操作の流れ

表3 入力データ作成に用いる市街地データ

建物番号	建物種別	1F床面積	重心(X)	重心(Y)
床面標高	屋根標高	建物高さ	階数	階高

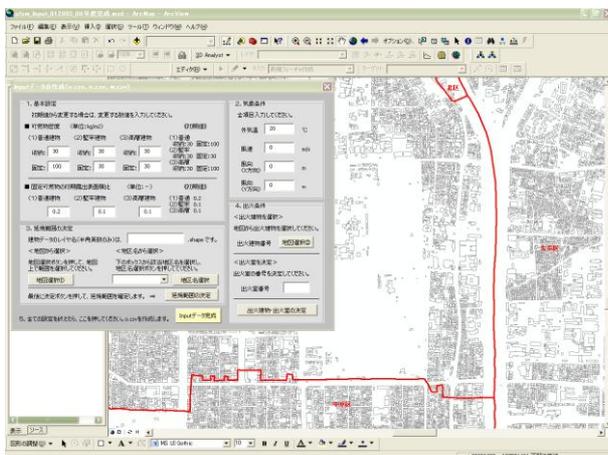
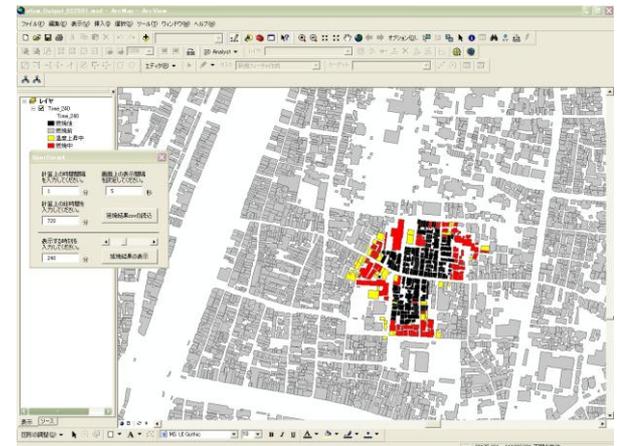
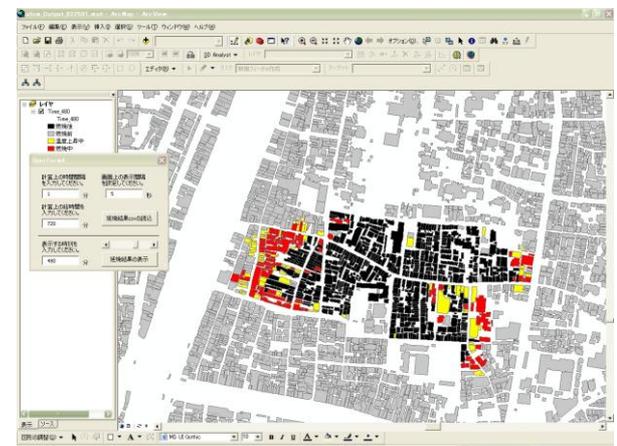


図14 入力データ作成画面



(a) 出火から4時間後



(b) 出火から8時間後

図16 解析結果の表示例

### 5.3 出力結果の表示

GIS インターフェースを用いて作成した概要・ノード・壁データに、別途用意した開口・形態係数・開口部材の熱物性・壁の熱物性データを加え、UFSM のメインプログラムを実行し、解析結果を出力する。この出力データを用いて、GIS 上にて解析結果を表示する。

GIS 上にて解析結果を表示するため、まず UFSM メインプログラムによって作成された出力結果である時刻ごとの建物温度の csv データを GIS データに変換する必要がある。そこで、支援システムの出力結果の表示インターフェースを用いて（図 15）、UFSM での解析条件に応じて、表 3 の都市データに各時刻での建物温度の情報を付加する（表 4）。

解析結果は、時刻を手動で設定することで表示を行うことができる。GIS 上では燃焼状態に応じて区分を行い、図 16 のように表示される。

### 5.4 今後の課題

入力データ作成と解析結果表示を GIS で操作可能としたことで、視覚的な操作が可能となった。

今後は、対象範囲の地区選択や時系列の気象条件に対応することで、より汎用性を高める必要がある。また解析結果は、時間経過に合わせた自動表示切り替えや 3 次元表示に対応させることで、より延焼動態をイメージしやすくなると考えられる。

さらに、より詳細なパラメータ設定を行うことで、延焼リスクの低減施策の具体的検討を行うことが可能となる。例えば、消防水利の GIS データを用意すれば、解析に必要な形にあわせて入力データを作成できるように支援システムを改良することも可能である。また、GIS 上で建物データの改変を行えるシステムとすることで、個々の壁の耐火がもたらす延焼防止効果を可視化して検討することも可能となる。

本システムで採用している物理的延焼モデルの特性を活かし、今後、本研究の成果である基幹的な支援システムの改善を進め、防災まちづくりの検討を行う都市計画ツールとして発展させていく。

## 6. 政令指定都市等の地域防災力実態調査

政令指定都市をはじめとして大規模な都市において大地震が発生した場合、悪条件が重なると甚大な被害が発生することが予想される。このような大規模な損害が発生する原因のひとつは、常備消防及び消防団の消火能力を大きく上回る同時多発火災を原因とする市街地大火である。したがって、地震災害の被害を軽減するためには同時多発火災を少しでも多く初期に消火し、市街地大火へ発展させないことが重要である。

このような中、地域を管轄する消防機関の消火能

力を補う防災力として、自主防災組織による迅速かつ的確な活動に大きな期待が寄せられている。

しかし、それぞれの都市における自主防災組織の指導育成への対応は様々であり、自主防災組織に期待する役割や自主防災組織の活動能力もまちまちであるため、単純に結成率を上げることが初期消火率の向上に直接結びつくとは限らない。自主防災組織の消火活動が効果を上げるためには、自主防災組織用の消火装備の充実、同時多発火災を想定に含めた組織の体制づくり、実際の消火活動につながるような放水訓練の実施等をどこまですすめられるかが問われている。

### 6.1 調査目的

地震災害時に大きく期待されている自主防災組織であるが、地域によりその期待されている役割は異なる。たとえば、木造密集市街地を多く抱えているため震災時同時多発火災で都市大火発展のリスクが非常に高い地域と、市街地において区画整理事業および建築物の不燃化が進み、その結果都市大火の危険性はかなりの程度減少している地域とでは、自主防災組織の果たすべき役割や期待される活動内容も異なるのは当然である。このように各自主防災組織は、様々な地域特性の上に置かれている。

したがって、本研究では地震時同時多発火災が発生した場合に市街地大火が発生する危険性が非常に高いと考えられる政令指定都市を対象として、自主防災組織が、どのような役割を担い、全体の計画の中でどのように位置づけされているか、また、そのために資機材の配備あるいは指導育成及び資機材購入等の助成金制度がどのように定められているかを調査することとした。

この調査結果に基づき、調査した政令指定都市における自主防災組織の状況について比較考察を行い、災害に強い地域社会のあり方、災害対応能力向上方策を提案するための基礎資料を作成する。

### 6.2 調査方法と調査対象

政令指定都市等において、自主防災組織を担当する部局（防災担当部局または消防本部等）とし、事前に質問項目を伝えて、その後担当者に対して訪問面接を行うことにより詳細について聴取するという形式とした。今回の調査では、以下の 8 都市に対して調査を実施した。

- ・広島市
- ・神戸市
- ・大阪市
- ・仙台市
- ・新潟市
- ・静岡市
- ・浜松市
- ・名古屋市

表5 防災資機材の配置と維持管理及び助成制度

都市	可搬ポンプの配置状況、及び維持管理	防災資機材購入時の助成制度について
広島	配置なし ※使用は困難	結成時上限 200 万円 年上限 150 万円
神戸	310 台配置 各組織が維持管理	結成時上限 150 万円分 リストから支給 年上限 34 万円
大阪	736 台配置 消防が維持管理	助成制度なし
仙台	配置なし ※使用は困難	結成時点数制で給付
新潟	市として未把握	結成時点数制で給付 年上限 2 万 5 千円
静岡	355 台は確認 市として未把握	購入費の半額を助成
浜松	831 台配置 各組織が維持管理	結成時に約 100 万円 年約 10 万円
名古屋	配置なし ※使用は困難	結成時基本的資器材 を給付

### 6.3 調査項目

主な調査項目は以下の 6 項目である。

- ・震災用として自主防災組織は、どのような資機材を保有し、その維持管理はどうなっているか。
- ・特に、消火器や消火バケツに比較して消火能力が高い、可搬式ポンプの配置状況等はどのようになっているか。
- ・自主防災組織が活動するため、また資機材購入のための助成制度はどうなっているか。
- ・震災時に自主防災組織は、どのような位置づけになっているのか。
- ・震災時に自主防災組織は、実際に、どのくらいの活動が可能か。
- ・震災時に自主防災組織が、組織的に活動できるために、どのような訓練を実施しているか。

### 6.4 調査結果及び考察

#### (1) 配備されている資機材と助成制度

可搬ポンプを配置している都市は 8 都市のうち 4 都市あった。残りの 4 都市については、助成金額が少ない、又は避難所運営用資器材等を優先させているため可搬ポンプの購入はかなり困難であるか、可搬ポンプでの消火を想定していないため助成の対象になっていない(表 5)。

#### (2) 行政が自主防災組織に期待する活動

発災直後は、災害情報の収集と伝達、近隣住民の救出救護、それに加えて簡易な消火活動を期待して、発災から数時間もしくは数日以降経過した段

階では、避難所運営に期待している、とまとめることができる(表 6)。

表6 期待する活動と実際にできる活動

都市	震災時に期待する活動 (○:特に重要な活動)	震災時に実際に出来る活動
広島	○初期消火(消火器等) 避難誘導	左記内容についてある程度可能
神戸	○消火活動(可搬ポンプ含む) 情報収集 救出救護/避難誘導/ 生活支援	左記内容についてある程度可能
大阪	○救出救護 消火活動(可搬ポンプ含む) /情報収集/避難誘導/ /避難所運営	左記内容についてある程度可能
仙台	○初期消火(消火器等) 避難誘導/避難所運営/ 救出救護	初期消火(消火器等)/避難所運営
新潟	○災害時要援護者支援 情報収集/避難誘導/ 救護/初期消火(消火器等) /避難所運営	災害時要援護者の避難支援 避難所運営
静岡	○避難所運営 初期消火(小型消火器等) /情報収集/救出救護/ /避難誘導	組織により差異
浜松	○避難所運営 ○情報収集 避難誘導/応急救護/ 初期消火	情報収集 避難誘導
名古屋	○初期消火 ○救出救護 情報収集/避難誘導	左記内容についてある程度可能

特に消火活動については、可搬ポンプを含む消火活動まで期待するとする都市は 2 都市、小型消火器やバケツリレーを用いた簡易な消火活動までは期待するとする都市が 6 都市であった。

また、行政として期待している活動について、実際にどこまで活動が出来るかという、ある程度までは期待できるという回答が、地域により格差はあるという条件付きの都市もあるが、8 都市すべての都市から得られた。

#### (3) 訓練計画・指導育成方針等について

自主防災組織全体に対して何か行うのではなく、自主防災組織を支えていくべきリーダーの養成に重点を置いて、そのリーダーに対する訓練等を実施している都市が 5 都市ある(表 7)。それ以外の都市では、行政側が積極的に訓練を企画するのではなく自主防災組織が自ら企画立案し、それに対して必

表7 訓練計画・指導育成方針等について

都市	訓練計画・指導育成方針等について	備考
広島	リーダー研修 自主防災組織員研修 防災フェアの開催	
神戸	各組織で自主的に計画 情報伝達/安全マップ作成	いのちの大切さを 育む防災教育推進 ※1
大阪	放水訓練/防災学習 DIG/破壊救出訓練 避難所開設訓練	災害活動支援隊 ※2
仙台	防災意識向上 (DIG)	仙台市地震防災ア ドバイザー※3
新潟	自主防災組織リーダー 研修	
静岡	防災技能者育成研修 防災指導員研修会	オフロードバイク 隊※4
浜松	総合防災訓練 地域防災訓練 防災委員研修会	
名古屋	災害対応基礎力養成 リーダー養成講習 DIG/発災対応型訓練 現地本部運営訓練	

※1 小学校での一貫した防災教育を「学校」

「防災福祉コミュニティー」「消防」が協力して行い、学校と家庭と地域をつなげる取り組みを、消防がコーディネートし命の大切さを育むとともに学校・家庭・地域の相乗効果による地域力の向上を目指す取り組み。

※2 大阪市消防局の消防職員OBから構成。

震災時等大規模災害時のみ活動する(平常時活動なし)退職時の署に参集して消防隊の支援を行う(単独での活動なし)。現在 280 名。

※3 災害発生時の情報収集の手段として結成

された隊。静岡市職員で構成され、身分は防災課兼務または併任。現在 37 名。

※4 市民への普及啓発を専門とする地震災害

対策強化担当。地域地震防災アドバイザー養成研修を修了した消防職員で構成。現在 48 名。

要な支援を行う場合、総合的な防災訓練を実施して、その中に自主防災組織の訓練も含む場合、地域全体の防災意識向上を目的にDIGを行っている場合と様々である。

地域コミュニティーが育成されていない地域では対象を絞り、リーダーとして役割付けた人に対して、重点的に指導育成を実施して行く方法は効果的であると考えられる。

最後に、調査を進める中で興味深い事例として備考欄に4事例を挙げた。

神戸市の「いのちの大切さを育む防災教育推進」は、自主防災組織の消火班員が放水訓練を担当することで、早い時期からの恒常的な防災教育という当初の目的だけでなく、①自主防災組織員の動機付け②可搬ポンプ点検整備を兼ねられる③学校教職員との連携強化、といった影響もあり今後も注目していきたい。

また、他の3事例に関しては、消防職員や市役所職員、そして消防職員OBを活用している事例として取り上げた。一般市民や自主防災組織の構成員よりも高い防災意識を持つことが期待され、実際に高い意識を持つ市役所職員や消防職員を、有効に活用するシステムは今後ますます重要になると考えられる。ここで紹介した制度が他の都市でも整備され、災害対応も多様化していくことが必要である。

## 7. 自主防災組織の現状と活性化の課題

阪神・淡路大震災のように、同時多発火災が発生した場合には常備消防力だけでは対応できない場合があり、消防団や自主防災組織による消火活動が欠かせない。このため、筆者らは、地域の自主防災組織の実態分析とその防災力向上のための課題を探る研究を行っている<sup>7, 8)</sup>。

自主防災組織が使用する消火資機材の中で最も性能が高く、同時多発火災に対応可能な資機材として期待されているものに、消火用可搬ポンプ(以下「可搬ポンプ」)がある。本研究では、可搬ポンプを有する自主防災組織について、東京23区のうち、6区の35自主防災組織へのヒアリング調査、また、ある区では自主防災組織へのアンケート調査(回収数100票、配布数250票)を実施し、課題等を抽出しながら、今後のあり方を模索した。以下はその結果概要である。

### 7.1 自主防災組織の活動継続に関する課題

自主防災組織の活動継続に関しては、次のような課題が指摘される。

#### (1) 自主防災組織同士の形式的でない連携

ヒアリング調査の結果、自主防災組織同士が連携することの必要性を指摘する意見が聞かれた(35組織中5組織)。一方、ヒアリング対象とした6区のうち2区では、複数の町会が集まって町会連合会を結成しており、そこでは異なる町会の防災担当者が協力し合い、防災訓練等を実施していた。

このように、自主防災組織同士が連携し、活動上の課題を相談したり、不足する人手を補ったり、町会単位の少人数ではできなかった活動を行っている。このような連携は、例えば、「避難所を拠点とした

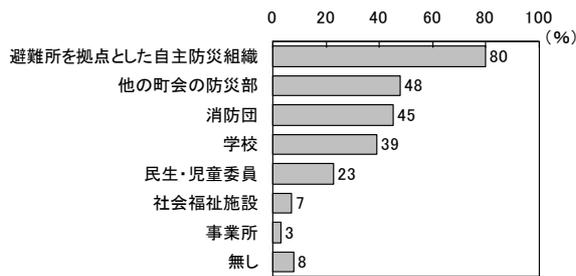


図 17 町会の防災部が連携している他の団体

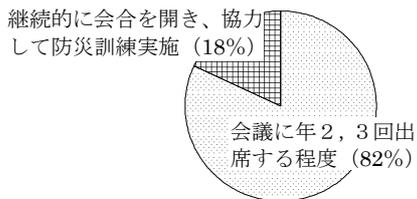


図 18 自主防災組織同士の連携の程度

自主防災組織」においても見られる。この「避難所を拠点とした自主防災組織」とは、阪神・淡路大震災以降、区や小中学校、PTA、町会が協力して、避難場所における避難者の生活支援を行うため、23区のうち7区で349組織結成されたものである。アンケート結果では、町会の防災部の80%が「避難所を拠点とした自主防災組織」と連携している(図17)。

この連携の内容について、ヒアリング結果を見ると、「避難所を拠点とした自主防災組織」と連携している22組織のうち18組織では、会議に年2、3回出席し、メンバーの顔見せや情報交換を行う程度の連携であった(図18)。また、「避難所を拠点とした自主防災組織」の役員のなり手が少ないため、町会防災部の役員が兼務する事例が4組織で見られた。しかし、「避難所を拠点とした自主防災組織」ではPTAの若い父母が活発に活動している例も多く見られる。また、「避難所を拠点とした自主防災組織」として防災訓練を実施し、このために継続的に会合を開いている例も、18%の自主防災組織で見られる(図18)。このような活動から、学校を核とした地域の連携が形成されていくことが期待される。

## (2) 地域特性を考慮した対策

ヒアリング調査の結果、自主防災組織に対する行政の取組みには大差なかったものの、自主防災組織の現状は、地域特性により差が見られた。以下は、地域特性ごとの現状と対策の事例紹介である。

### ① 住宅地

住民間のコミュニケーションが基本的に少ない。平日昼間に地域にいるのは高齢者ばかりという事例が多く見られ、また、自主防災組織のメンバー交

代は、死亡あるいは病気をきっかけとする場合が多い。これに対し、コミュニケーションを取るため、例えば、町会の資源回収の折に、役員が町内を歩きまわる等して、親睦を深めているという事例がある。

### ② 団地

団地の自治会の役員が数年ごとに定期的に交代する一方で、自主防災組織のメンバーは、高齢者や特定の年齢層に集中するケースが多く見られる。これに対し、自治会役員の交代と同時の機会に、自主防災組織メンバーを交代させている事例もある。また、若い人を取り込むため、パソコン作業など活躍の場を意図的に用意している事例もある。

### ③ 商業地

駅前などの商業地では、地域に居住していない商店主が多く、防災に関して彼らの協力を得るのが難しい状況も見られる。また、商店街の衰退により、商店主の息子などが地域外に働きに出ていて、平日昼間、地域には高齢者ばかりという地域もある。これに対し、商店街の仕事上の関係を活かして、新しい人を普段より勧誘し、飲み会を定期的に行い、防災活動を活発にしようとしている事例がある。

### (3) 助成金の有効な使い方について

ヒアリング調査の結果、助成金を数年度分貯め、高価だが必要な物を購入したいという意見が聞かれた(35組織中4組織)。現在、自主防災組織は各年度内に消費しなければならない助成金を交付されており、それでは、安価な消耗品しか購入できず、救助器具セットなど高価な物を買えない状況が見られる。

一方、ある区では、各自主防災組織が、実質的に2年度分の予算を積み立てて使用できるような工夫をしている。自主防災組織が本当に必要なものを購入できるようにするためには、年度ごとの予算消化とは別に、積み立ても可能とする等の仕組みが必要なのではないだろうか。

## 7.2 可搬ポンプを用いた消火訓練に関する課題

可搬ポンプを用いた訓練に関しては、次のような課題が指摘される。

### (1) 水利の不足

ヒアリング調査の結果、35組織中16組織の自主防災組織が、水利の不足を課題に挙げた。なぜなら、自主防災組織は可搬ポンプの水利として防火水槽を使用するが多いが、防火水槽は地域内に数箇所しかないため、ポンプを使用しての活動範囲は、数少ない防火水槽の周辺のみ制限されるからである。この課題に対して次の2つの意見があった。

- ・消火器を配置してほしい(35組織中4組織)
  - ・消火栓を使わせてほしい(35組織中12組織)
- 「消火栓を使わせてほしい」という組織について、現在、消火栓を使用できない理由として挙げられた

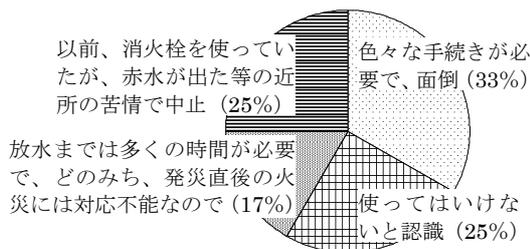


図 19 消火栓を利用できない理由

意見を図 19 に示す。

東京 23 区では、消防署に申し出れば、署の立会いのもと、自主防災組織は訓練で消火栓を使用できる。消火器ではごく初期の火災以外には対応できないにもかかわらず、消火器の配備を望む声が自主防災組織に多い。しかし、建物火災の消火や延焼火災の制御には可搬ポンプが必要で、可搬ポンプによる消火栓使用のための環境を整備していく必要がある。

#### (2) 消火栓を使用するための器具の配備

消火栓を使用するには、消火栓用媒介金具、消火栓鍵、スピンドルドライバーが必要である。ヒアリングの結果、その保有状況と訓練状況は下記である。

- ・媒介金具と消火栓鍵を保有 (35 組織中 12 組織)
- ・媒介金具と消火栓鍵、スピンドルドライバーを保有 (上記 12 組織中 7 組織)
- ・訓練で消火栓を使用 (上記 7 組織中 4 組織)

このように、消火栓を使用するための器具を保有している自主防災組織の 57% が訓練で消火栓を使っており、媒介金具と消火栓鍵だけでなく、スピンドルドライバーまで配備されていけば、消火栓を使用する自主防災組織が増えていくことが期待される。

#### (3) 防火水槽や道路使用等に関する手続きの煩雑さ

アンケートの結果、21%の自主防災組織が訓練に関する手続きの煩雑さを課題に挙げている。自主防災組織は、訓練実施にあたり、訓練実施計画書を区役所、消防署、警察署のいずれかに出す必要がある。また、水利として防火水槽や消火栓を使用するには、消防署に事前に申し出る必要がある。それから、公園を使用するには区役所に公園使用届を、道路を使用するには警察署に道路使用届を出す必要がある。ヒアリング調査の結果、これら手続きの実施状況は図 20 のように類型化できる。

図 20 のとおり、区役所、消防署、警察署それぞれに対して手続きしている自主防災組織が 20%あり、手続きの簡素化について考慮していく必要がある。

#### (4) 可搬ポンプのエンジン起動の難しさ

アンケートの結果、16%の自主防災組織が、可搬ポンプのエンジン起動の難しさを課題に挙げてい

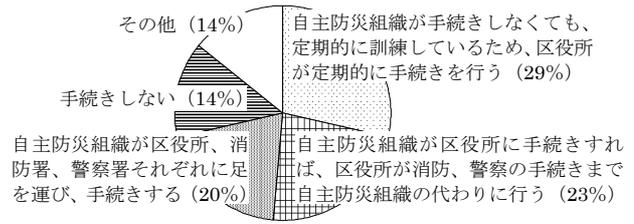


図 20 自主防災組織が行っている手続き

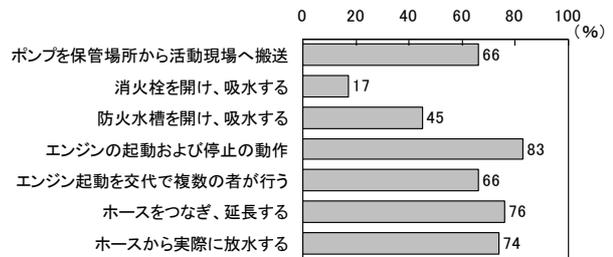


図 21 可搬ポンプの訓練で実際に行っている項目

る。

現在、自主防災組織の 66%では、訓練時、可搬ポンプのエンジン起動を交代で複数の者が行っている(図 21)。可搬ポンプの操作は確かに習熟を要する面があり、訓練では多くの参加者が交代でエンジン起動を行うことが望ましい。

### 7.3 まとめ

調査の結果、自主防災組織が活動を継続していくためには、次の 3 つの方策が必要と考えられる。

- ①自主防災組織同士の形式的でない連携
- ②地域特性を考慮した対策
- ③年度ごと交付の助成金を貯めて必要な物の購入

また、自主防災組織の消火訓練に関しては、参加者を急に増やすのは難しいとしても、次のような訓練し易い環境の整備は実現可能と思われる。

- ④建物火災には可搬ポンプが必要なことの広報
- ⑤手続きを経れば消火栓を使用できることの広報
- ⑥消火栓使用など訓練に関する手続きの簡素化
- ⑦消火栓使用のための器具として、媒介金具と消火栓鍵だけでなくスピンドルドライバーの配備
- ⑧消火栓を使用しなくても、使用方法を理解できる、消火栓を模した訓練ツールや施設の準備
- ⑨訓練参加者一人一人がポンプのエンジン起動

## 8. 地域消防力の向上に関する実験的検討

地震による同時多発火災では地域消防力として住民の初期消火活動が重要となる。そのために、東京都区部には約 3 千台の消火用 D 級可搬ポンプ(以下、可搬ポンプ)が配備されている。しかしこの可搬ポンプは、操作手順が多く、操作手順書(以下、手順書)の作成がされていないため、扱える人は少ない。本研究は、一般住民の可搬ポンプ操作実験と

アンケート調査を行い、これらから、可搬ポンプを利用した地域消防力の向上を図る方策の基礎資料とすることを目的とした。

### 8.1 研究方法

既往実験では手順書の利用したチームの 70%が放水に成功している。本研究では、改善した手順書と、手順を減少させた試作型可搬ポンプ(以下、ポンプ A)の使用による放水成功率や操作時間等とアンケートから手順書および手順数減少の効果を把握した。

### 8.2 アンケートおよび実験概要

#### (1) アンケートの概要

アンケートの概要を表-1 に示す。アンケートは実験場の隣にある被験者の控え室で記入してもらった。

#### (2) 実験概要

本実験では、地震による同時多発火災を想定して、住民の行動を、

- ①可搬ポンプを消防水利に移動する。
- ②可搬ポンプのエンジンを起動する。
- ③ホースを可搬ポンプに連結し、火災建物付近まで引き延ばす。
- ④火災建物に向かって放水する

と設定した(写真1)。概要を表8に示す。総被験者数は69人(1チーム3人で23チーム)で、全チームがポンプAを2回、従来型可搬ポンプ(以下、ポンプB)を1回操作した。実験種別は、可搬ポンプの実験順番と手順書の相違により4種に分けた。また、ポンプAの2回目のみ水利からの実験開始とした。

#### (3) 可搬ポンプ・操作手順書の概要

既往実験の結果から写真をより見やすくし、文中に専門用語を使用せず最低限の言葉で説明する等の改善を行った。図22は手順書B(エンジン起動用)であり、手順数(表9)は8である。一方、ポンプAは音声ガイダンス機能により半自動化された試作型である。この簡略化により放水成功率のさらなる向上を図ったもので、手順数は2~5と大きく減じている。

### 8.3 実験結果

#### (1) 被験者の属性

被験者の属性を表11に示す。年齢は10代~20代が最も多く、操作経験がある人は17人(25%)であった。

#### (2) 操作手順書による効果

□ 従来型可搬ポンプについて

表12にポンプBの放水成功率、表13に平均操作時間を示す。平均操作時間は計測開始後、水利到着、ホース延伸開始、ホース延伸完了、エンジン起動、ポンプ充水、放水開始それぞれの時点での時間を表している。放水成功率は約70%であり実験順番の影

表8 アンケート概要

	事前アンケート	事後アンケート
質問項目	11	10
アンケート数	69	69
アンケート回収率	100%	100%
回収方法	直接回収	直接回収
アンケート方式	直接記入方式	直接記入方式
主な質問内容	可搬ポンプ経験の有無 可搬ポンプ経験の知識	可搬ポンプの難易度 可搬ポンプ手順書の見やすさ



表9 実験概要

実験種別	1-1	1-2	2-1	2-2
実験年月日	2008.11.8		2008.11.9	
実施場所	東京消防庁奥戸訓練場			
被験者数(チーム数)	18(6)	18(6)	21(7)	12(4)
可搬ポンプ	A(試作型)、B(従来型)		A(試作型)、B(従来型)	
操作手順書	A、B		A'、B	
実験順番	B→A→A	A→B→A	B→A→A	A→B→A

表10 手順書A、A'、Bの手順数

ポンプ	手順書	手順数		手順書の枚数
		エンジン起動	ホース接続・延伸	
A	A	1	1	1
	A'	2	3	1
B	B	8	4	2

表11 被験者の属性

年齢							性別	
10代	20代	30代	40代	50代	60代	70代	男性	女性
3	26	14	12	6	4	4	43	26

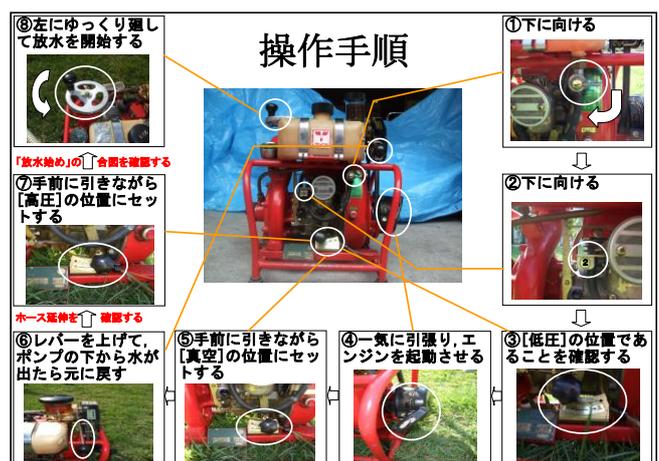


図22 手順書B(エンジン起動用)

響はあまりない。

□ 従来型可搬ポンプにおける既往実験との比較

表14にポンプBの放水成功率及びエンジン起動時間・放水開始時間を、手順書と操作経験の有無に分けて示す。手順書ありの場合では、放水成功率は

表 12 ポンプ B の放水成功率

ポンプ	手順書	実験順番	成功	失敗	成功率(%)
B	あり	B→A→A	9	4	69
		A→B→A	7	3	70

表 13 ポンプ B の平均操作時間

ポンプ	手順書	実験順番	水利到着 [s]	ホース延伸 開始[s]	ホース延伸 完了[s]	エンジン 起動[s]	ポンプ充水 [s]	放水開始 [s]
B	あり	B→A→A	46	154	365	215	388	439
		A→B→A	44	84	225	225	286	337

表 14 ポンプ B の放水成功率及び放水開始時間

実験年度	ポンプ	実験順番	手順書	経験	成功	失敗	成功率	エンジン 起動[s]	放水開始 [s]
2007	B	/	あり	あり	2	1	67%	264	303
				なし	5	2	71%	280	371
				あり	4	3	58%	271	357
				なし	1	3	25%	268	569
2008	B	B→A→A	あり	あり	5	1	83%	182	385
				なし	4	3	57%	268	493

表 15 ポンプ A の放水成功率

ポンプ	手順書	成功	失敗	成功率(%)
A(1回目)	あり	17	6	74
A(2回目)		23	0	100

表 16 ポンプ A の平均操作時間

ポンプ	手順書	水利到着 [s]	ホース延伸 開始[s]	ホース延伸 完了[s]	エンジン 起動[s]	ポンプ充水 [s]	放水開始 [s]
A(1回目)	あり	45	86	124	152	216	216

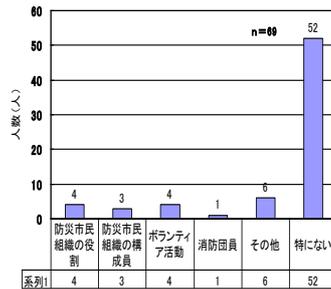
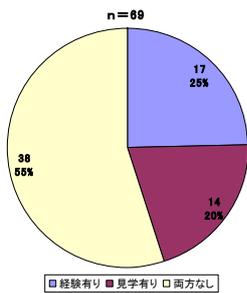


図 23 操作経験の有無 図 24 防災組織への参加

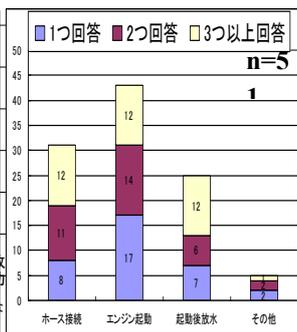
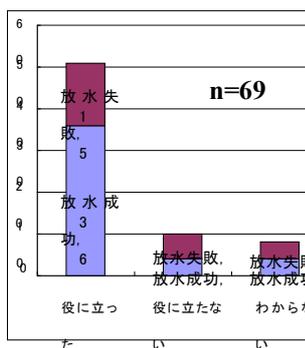


図 25 手順書 B の評価 図 26 手順書 B の利用

平均で約 70%であり既往実験とあまり変化はなかった。手順書あり・経験ありの場合では、既往実験より放水成功率が上がり、エンジン起動時間も早くなっている。

□ 試作型可搬ポンプ

表 15 にポンプ A の放水成功率、表-9 に平均操作時間を示す。放水成功率は 1 回目が 74%、2 回目は 100%である。なお、手順書 A'を用いたチームは 1 回目から 100%である。

### (3) アンケート結果

可搬ポンプの操作経験者は 69 人中 17 人(25%)で、その中で経験が年 1 回の人 が 10 人である。操作指導の経験がある人は 3 人だった(図 23)。操作経験のない者は 52 人(75%)すべてが防災組織へ参加していない(図 24)。図 25 は、手順書 B が役に立ったかという設問と放水の成否の関係を示している。役に立ったと回答した人では放水に成功した割合が高いことがわかる。図 26 は手順書 B の中で利用した項目を示しており、エンジン起動について利用したという回答が 43 人(84%)と多くなっている。

### 8.4 まとめ

被験者数が限られた実験ではあるが、従来型では、手順書の改善による放水成功率は上がらなかったが、既往実験の結果も踏まえると、手順書の使用によって約 70%の一般住民は放水できることが確認できた。エンジン起動では操作時間が短縮され、アンケート結果とあわせると、手順数が多いエンジン起動で改善の効果があったと言える。しかし、放水開始時間が短縮できなかったのは、各被験者の行動時間から「何もしない」、「3 人が同じ行動をとる」などの時間が多くあるため、チーム内の役割を決めて効率よく行動できるように、手順書を個別に作成し役割を独立させることも今後の改善策の一つとして考えられる。ポンプ A と手順書 A'を用いた実験では手順数 2 と減少したことで 1 回目の操作から放水成功率が 100%だった。可搬ポンプの操作性は手順書の改善だけでなく、手順数を減少させた可搬ポンプの開発等を行うことで大きく向上することがわかった。

### 【参考文献】

- McCaffrey, Quintiere, Harkleroad, Fire Technology, Vol.12, No.2, pp.98-119, 1981.
- 樋本, 幾代, 秋元, 北後, 田中, 日本火災学会論文集, Vol.56, No.3, pp.9-19, 2006.
- 樋本・田中, 日本建築学会環境系論文集, No.607, pp.15-22, 2006.
- 大浦・樋本・田中, 日本建築学会大会梗概集 A2, pp.355-356, 2005.
- 樋本・幾代・秋元・北後・田中, 日本火災学会論文集, Vol.56, No.3, pp.9-19, 2006.
- 自治省消防庁, 消防研究所技術資料, 第 11 号, 1977.
- 岡部弘志, 関澤愛, 清水智乗, 杉井完治: 「地域の自主防災力が置かれている現状と課題—

- 政令指定都市等の大都市における実態調査を  
基に一」, 日本火災学会研究発表会概要集, 2009
- 8) 清水智乗, 関澤愛: 「東京 23 区における自主  
防災組織の現状

#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化



#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4. 1 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能は従来程度）の開発

研究課題名	可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能は従来程度）の開発
研究実施期間	平成18年度～平成20年度
配分額(千円)	20,563(平成18年度), 19,864(平成19年度), 19,864(平成20年度)
研究代表者	松木 浩二(平成18年度, 平成19年度) 片倉 寛(平成20年度)
所属機関	一般社団法人日本ウォータージェット学会
研究体制	産学
研究概要	本研究は、事実上防爆無振動という極めて重要な特長を有するウォータージェット技術を利用した、手持ちのカッター部分の大きさは従来程度以下で性能は従来程度以上の、日本の実情に適した「可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断機具」を新たに開発しようとするものである。そのため本研究目的に適合する、ウォータージェットカッターを搭載しオフロード走行機能も有するウォータージェットカッターシステムの開発を行った。併せて、その切断能力等に関する性能評価、可燃性蒸気等が存在する雰囲気下での使用可能性の確認、ジェット噴射時の危険範囲の確認、その他の関連研究を実施した。以上で得られた結果に関する学会発表その他も実施した。
研究成果	現在までのところ今回開発されたシステムが実際の災害現場で使用された例は無い。本研究で得られた知識ノウハウ等の現場消防隊員への提供は、訓練展示等の機会を捉えて適宜実施している。
応用の方向性	本研究を遂行する過程で蓄積された知識やノウハウを含め本研究で開発されたシステムを、厚いコンクリート壁の切断、可燃性蒸気が立ち込めた雰囲気での切断作業、振動を嫌う救助活動などの、各地の消防隊に配備されている既存の機材では対応が難しい消防活動において利用することが可能である。

研究発表の状況等	<p>[1] 片倉: WJTSJ 消防防災科学技術研究特別プロジェクトについて, 2007年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.25, 2008.</p> <p>[2] 一柳: ウォータージェット用親子ロボット車両の開発, 2007年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.29, 2008.</p> <p>[3] 緒方, 久保田, 片倉, 島田: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブジェットによる構造物切断時の摩擦着火, 2007年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.33, 2008.</p> <p>[4] 清水: ASJ システムの試作, 2007年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.37, 2008.</p> <p>[5] 井上, 土井, 片倉, 一柳: ウォータージェットカッターシステムの性能評価について, 2007年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.41, 2008.</p> <p>[6] 片倉, 磯部, ウォータージェットカッターの安全距離について, 2007年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.43, 2008.</p> <p>[7] 土井, 井上, 一柳, 片倉: 消防用ウォータージェットカッターシステムの性能評価 (不整地走行車の稼働性能および建築材料の貫通・切断性能), 日本ウォータージェット学会, 噴流工学, 25-1, p.21, 2008.</p> <p>[8] 土井, 井上, 片倉: ウォータージェットカッターシステムの開発 [その1: システムの構成と基本性能], 日本建築学会 2008年度大会学術講演梗概集 F-1, p.295, 2008.</p> <p>[9] F. Inoue, S. Doi, H. Katakura, K. Ichiryu: Development of water jet cutter system for disaster relief, Proc. 19th International Conference on Water Jetting, BHR Group, p.87, 2008.</p> <p>[10] S. Doi, F. Inoue, H. Katakura, K. Ichiryu: Performance of water jet cutter for perforating and cutting construction material, Proc. 19th International Conference on Water Jetting, BHR Group, p.95, 2008.</p> <p>[11] B. Usman, 島田, 片倉, 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利: アブレッシブウォータージェットによる可燃性ガスの着火可能性評価, 第41回安全工学研究発表会講演予稿集, p.183, 2008.</p> <p>[12] 日本ウォータージェット学会消防防災科学技術研究特別プロジェクトチーム: ウォータージェットカッターシステム, 自治体消防制度60周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資機材等に関する展示作品資料集」, 総務省消防庁, p.197, 2008.</p> <p>[13] 片倉, 磯部, 齊藤: ウォータージェットカッター使用時の安全距離に関する研究 (スラージェットの危険範囲の評価とその改善への試み), 2008年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.79, 2009.</p> <p>[14] 井上, 土井, 一柳, 片倉, 齊藤: ウォータージェットカッターシステムの性能評価について (第2報, 不整地走行車および防爆ロボットによる相互稼働試験), 2008年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.75, 2009.</p> <p>[15] 相模, 彭, 清水: 災害救助用アブレッシブ・サスペンション・ジェットシステムの試作, 2008年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.71, 2009.</p> <p>(つづく)</p>
----------	---

	<p>[16] B. Usman, 島田, 片倉, 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレシブウォータージェット使用安全性評価, 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, p.63, 2009.</p> <p>[17] 片倉: 消防用ウォータージェットシステム「ウォーターカッター」, 日本機械学会誌, 112-1084, p.188, 2009.</p> <p>[18] 片倉, 井上: 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具 (大きさ, 性能は従来程度) の開発 (WJTSJ 消防防災科学技術研究特別プロジェクトの成果概要), 噴流工学, 26-1, p.4, 2009.</p> <p>[19] 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利, B. Usman, 齊藤, 片倉, 島田: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレシブウォータージェットによる構造物切断時の摩擦着火に関する実験研究, 噴流工学, 26-1, p.12, 2009.</p> <p>[20] H. Katakura: Research on the safety distance from a nozzle (Measurement of safe standoff distances of WJ and ASJ), Proc. 2009 American WJTA Conference and Expo, USA, paper 1-I, 2009.</p> <p>[21] A. Saito, H. Katakura, T. Isobe, C. Guo: Research on water jet rescue system (Assessment and improvement of its safe distances), Procedia Earth and Planetary Science, Volume 1, Issue 1, p.1544, 2009.</p> <p>[22] B. Usman, S. Shimada, H. Katakura, Y. Ogata, S. Kubota, T. Saburi, T. Mogi: Safety analysis on abrasive water jet spark under flammable gas condition, Water Jetting Technology for LOHAS, International Academic Printing Co., Ltd., p.261, 2009.</p> <p>[23] 片倉: 高圧水噴流利用時のリスク評価とその低減に関する研究 (ノズル周りの危険範囲を確認する方法), 2009 年度ウォータージェット技術年次報告会論文集, p.21, 2010.</p> <p>[24] 片倉: 高圧水噴流利用時の安全管理に関する研究 (ノズル周りの危険範囲を確認する方法), 噴流工学, 26-3, p.11, 2010.</p>
知的財産権の出願・登録状況等	なし

<p>当該研究に対する 今後の展開、意見 等</p>	<p>本委託研究は当初の目的を達成し完了した。今後はそこで得られた知識やノウハウの現場消防隊員への普及を含む研究結果の活用は当然として、その上で本研究を進歩させ更に有意義なものとするため、</p> <p>[1] ウォータージェットカッターシステムにおける切断切削性能や走行性能の更なる向上.</p> <p>[2] ウォータージェットカッターの防爆性能に関するより詳細な評価と、ノズル部分の防爆ロボット化によるウォータージェットカッターシステムの防爆性能の更なる向上. 特に近い将来身近での多用が予想される非常に引火爆発の危険性が高い水素ガス等の存在する雰囲気下における使用条件や安全性の評価.</p> <p>[3] ウォータージェットカッターの安全距離および危険範囲の確認などの対人安全性に関する更なる研究.</p> <p>などの研究・開発を引き続き実施する必要があるものと考えている.</p>
------------------------------------	---

# 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能は従来程度）の開発

○片倉寛<sup>1</sup>・○松木浩二<sup>1</sup>  
Hiroshi Katakura and Koji Matsuki

**研究課題の要旨:** 本研究は、事実上防爆無振動という極めて重要な特長を有するウォータージェットを利用した、手持ちのカッター部分の大きさは従来程度以下で性能は従来程度以上の、日本の実情に適した可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具を新たに開発しようとするものである。そのため本研究目的に適合する、ウォータージェットカッターを搭載しオフロードも走行可能なウォータージェットカッターシステムの開発、その切断能力等に関する性能評価、可燃性蒸気や可燃性気体が存在する雰囲気下での使用可能性の確認、ジェット噴射時の危険範囲の確認、その他の関連研究を実施する。

## 1. 緒言

2005 [平成 17] 年に発生した尼崎 JR 脱線事故 (107 人死亡) では脱線した車両の先頭車が駐車場に突っ込み、駐車中の車のガソリンタンクの破損に伴いガソリンが大量に漏れ、既存の救助用資機材が引火の危険性が大きいため使えず救助作業が難航した。たびたび発生するガソリンなどを輸送するタンクローリー車の火災事故の際にも同様の理由で、迅速な消火活動が非常に困難となる場合が多い。また一般に、ビルなどの崩壊や土砂崩れの現場では非常に崩れやすい瓦礫の下などに被災者が助けを待っている場合が普通のため、削岩機や爆薬などの振動の発生する資機材が使い難く、そのため迅速な救助活動の実施が非常に困難となることも多い。

その様な中、一般社団法人日本ウォータージェット学会は 2006 [平成 18] 年度より 3 年計画で消防防災科学技術研究推進制度に基づく総務省消防庁からの委託を受け、研究委員会「消防防災科学技術研究特別プロジェクトチーム」(略称「消防 PT」) を組織し委託研究課題「可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具 (大きさ、性能は従来程度) の開発」(以下「本委託研究」と略記) に取り組んだ。以下はその研究内容と成果の報告である。

なお本報告の内容の多くは、本委託研究の研究結果として本研究の研究代表者や研究担当者などにより学会等で報告済み<sup>[1]~[24]</sup>であることを付記しておく。

## 2. ウォータージェットカッターシステム

本研究で開発されたウォータージェットカッターシステムは大きく、ウォータージェットカッター (ウォータージェットカッター) とそれを搭載するオフロード走行車 (以後“SATV”と記す) から構成されている。図.1 がその写真である。

### 2.1 オフロード走行車 SATV

SATV は 2tトラックの荷台に収まるように設計され、車

重 1300 kg, 全長 2.8 m, 車幅 1.5 m で比較的コンパクトである。

SATV の動力源は排気量 1.6 L のディーゼルエンジンで、フレームの後方に配置された。無段油圧変速機 HST とステアリング用の可変アキシアルピストンポンプはエンジンのクランクシャフトとベルトで連結されている。HST は建設機械、農業車両に多く用いられており、無段変速性に優れると共に制御機能があるため本 SATV に適用した。

図.2 に油圧駆動システムを示す。HST には前輪用と



図.1 ウォータージェットカッターシステム

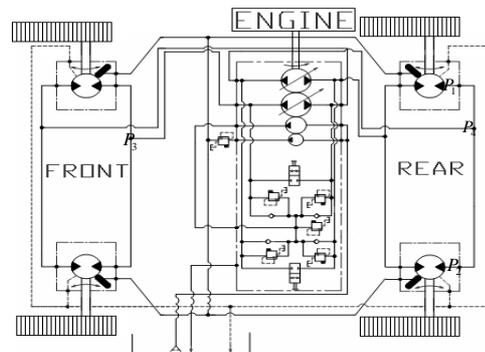


図.2 SATV の油圧回路図

(所属機関名)

<sup>1</sup> 一般社団法人日本ウォータージェット学会

後輪用の2台の可変容量アキシシャルピストンポンプ (16.4 cc/rev) がタンデム結合されている。各ポンプは左右2台のクローラ駆動用の油圧モータ (11 cc/rev, 減速比1:31) に接続されている。タイヤの代わりにゴムクローラ (以下, クローラ) を使用している。

ステアリングには前・後輪操舵機構 (4WS) を採用しており, 前輪の操舵方向に対し後輪は同方向及び逆方向に操舵することが可能である。(図.3参照) ステアリング機構として Z 形状のリンク機構を採用し, 前後それぞれ一本のシリンダにより 2 個のクローラの操舵が可能である。これにより, 左側 30° から右側 90°, 全操舵角 120° の角度制御が可能な機構となっている。この機構を使用することにより, 狭所での車両の方向転換が可能になるため, 作業性の向上・作業エリアの縮小および移動時間の短縮などが図られている。また, 真横移動が可能のため, 車両の通常の進行方向に対して垂直方向にも移動可能である。

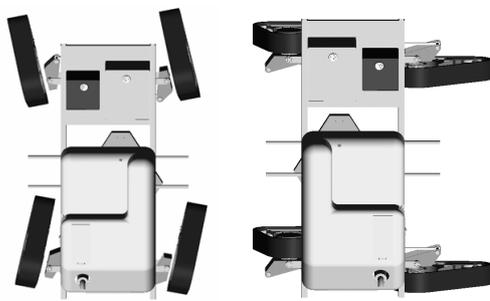


図.3 操舵中における車両姿勢; 逆位相 (左) と同位相 (右)

## 2.2 ウォータージェットカッター

現在日本国内で実際に消防用ウォータージェット装置 (ウォーターカッター) として配備されているウォータージェットカッターは共に, 研磨材を含む高圧の水ジェットを壁等に衝突させて切削や切断を行なうアブレシブウォータージェット [以下, “AJ” と略記] に属する,

**アブレシブウォーターインジェクションジェット** [以下 “AIJ” と略記]: 加圧されノズルから噴射された水ジェットに, ノズルの下流側で研磨材を混入する形式のもの。研磨材はガーネット (#36 [平均粒径 0.56 mm 程度])。ポンプ吐出圧 (最大) は 200 MPa. ポンプ吐出流量 (最大) は 10 L/min.<sup>[25]</sup>

**アブレシブウォーターサスペンションジェット** [以下 “ASJ” と略記]: 研磨材を懸濁した, 水をベースとする高圧のスラリーをノズルから噴射する形式のもの。研磨材はガーネット。作業圧力は 30 MPa. 放水量 (最大) は 30 L/min.<sup>[26]</sup>

の2機種である。本研究では後者とはほぼ同じ ASJ タイプのウォータージェットカッターが使用されている。ちなみに本報告で “PWJ” は研磨材を含まない水のみウォータージェットを意味している。

今回採用したウォータージェットカッターは大きく, ポンプモジュール, スラリーモジュール, ノズルアセンブリから成っている。図.4 にその構成を示す。

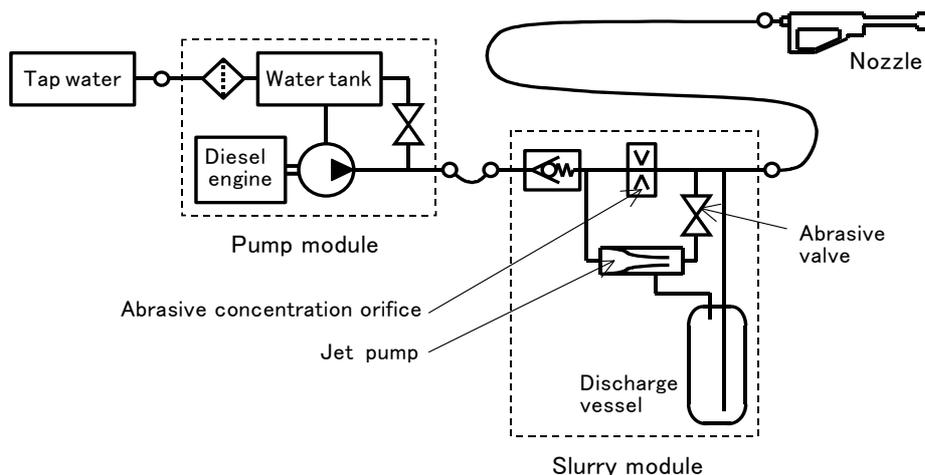


図.4 ウォータージェットカッターの構造

ポンプモジュールはスラリーモジュールに圧力 69 MPa、流量 5.5 L/min でフィルタでろ過された水を供給する能力をもっている。本研究ではこのポンプの吐出圧をノズルの上流側圧力  $P$  とみなしている。 $P = 60$  MPa で、実際に2分間 PWJ を噴射しその時のノズルからのジェット流量を測定したところ、5.1 L/min であった。今回使用されタングステンカーバイト製ノズルの口径  $D_n$  は 0.56 mm なので、この際の供試ジェットのノズル出口での平均流速  $v_j$  は  $3.5 \times 10^2$  m/s である。

研磨材としてはオリビンサンド（平均粒径 0.2 mm 程度）が使用されている。

### 3. ウォータージェットカッターシステムの性能

開発したウォータージェットカッターシステムの各種性能に関する確認実験の結果を次に述べる。必要に応じて参考文献の該当部分を参照するものとし、ここでは評価方法の細部の記載等は割愛し主要な結果のみを記してある。

#### 3.1 SATV の走行性能

災害時を想定した場合、災害現場は災害による不整地と進路を阻む障害物があることが予想されるため、ここでは災害現場の不整地状態を模擬した走行車 SATV の稼動試験を実施した。瓦礫状態はコンクリートブロック破片を積上げて起伏を作り、様々な角度から走行試験を繰り返した。

図.5 に走行状態での SATV の写真を示す。SATV のクローラ部が瓦礫の起伏に接触するとクローラ先端部が傾斜し、瓦礫上部に乗り上がる様子が分る(①)。SATV 全体が瓦礫の上になると(②、③)個々のクローラは独立して制御されているため即座に車体全体の姿勢が回復し、常に安定した走行が実現された(④)。また遠隔自動運転および手動運転による操作性（操舵性能、停止位置精度）も良好で、高さ 40 cm 程度の段差でも十分に走行が可能であることを確認した。

#### 3.2 ウォータージェットカッターの切削性能

消防用ウォータージェットカッターの使用目的は、(1)部材に開口を穿孔して内部にジェットを噴射し、消火作業の迅速化を行うこと、(2)建物内部に居残った人々を救出するための動線を確保するため、少なくとも施錠された部位を解く範囲（手の先が入る程度大きさ）まで部材を切断することが要求されている。ここでは切削性能評価結果の一例として、ノズルを自動的に移動させる装置を用いてノズルを一定の速度で回転させて円状に切削した結果を示す。

図.6 にこの時の実験条件を示す。実験は研磨材が水噴流に混合されて吐出され始めた時刻を開始時刻とし、噴射を適宜停止し、その都度円の 8 点について深さを計測し、その切削深さを平均して、その時点での切断

深さとしている。図.7、図.8 にはノズルをその条件で移動させて切削した場合における実験の状況および、切削時間と平均切削深さの関係の例を示す。ノズルが一周するだけでコンクリート表面に切削痕が残ることや、切削深さと所要時間の間にほぼ比例関係が存在することなどの実験結果（性能評価結果）を確認できる。

表.1 には代表的建築材料に対して行った性能評価実験の結果をまとめて示す。直径 10 cm の円形の穴を手動で開口する場合で、最初にジェットが貫通するまでの時間と完全に円形に切断されるまでの時間の両方で示してある。



図.5 SATV の走行状態

### 3.3 可燃性蒸気が存在する雰囲気下における着火の可能性

消防用ウォータージェット装置（ウォーターカッター）では研磨材を含むAJが使用されており、そのため切断器具として使用された時に火花を発生する場合があることが知られている。

一般にAJではこの火花のエネルギーは小さく、さらに可燃性蒸気が存在する雰囲気下においても水の存在により周囲の可燃性蒸気へ着火する可能性は小さいと考えられる。とは言え、その科学的確認は必要不可欠と考え、可燃性蒸気が存在する雰囲気下でAJを使用した場合における着火の可能性を調べる実験を行なった。なお今回は、今後のウォータージェットカッターシステムの利用範囲の拡大も視野に、可燃性蒸気（ここでは代表例として噴霧ガソリンを使用）の他に、メタン等の使用頻度の高い可燃性ガスが存在する雰囲気下における着火の可能性についても実験を行なっている。

AJでは切断能力を向上させるために、オリビンサンドやガーネットなどの微細な研磨材が水と共に噴射される。この研磨材が金属板等の被削材に高速度で衝突することで、火花の発生する場合があることが知られている。可燃性蒸気等が存在する雰囲気下においてAJが使用される場合におけるこの発生した火花による着火の可能性を検証するために、金属板と研磨材により発生する摩擦火花による着火実験を、一般の可燃性ガス（メタン、プロパンなど）および、噴霧により気化させた可燃性液体（ガソリン）の蒸気に対して実施した。また、口径45 $\mu\text{m}$ （流量20 mL/min）と口径300 $\mu\text{m}$ （流量0.5 L/min）の2種類の噴霧ノズルを使用しての水噴霧による火花着火抑制効果を確認する実験も実施した。

本研究で開発したウォータージェットカッターシステムで使用されているオリビンサンドと通常の砥石で使用される研磨材による火花の発生状況の確認実験から、オリビンサンドが通常の砥石に比べて発生する火花の量が少ないことが判明した。そこで以下の可燃性蒸気等の雰囲気での実験では、火花の発生が多いため引火危険性が特に大きい、砥石と金属の組み合わせによる検証実験を実施した。

その結果、メタン等の可燃性ガス雰囲気下では水噴霧のない状態においてさえ実験した全ての場合で全く着火しないことが確認された。併せて、水噴霧のない状況では、僅かではあるが噴霧ガソリン雰囲気下では着火する可能性があることも確認した。

そこで可燃性蒸気が存在する雰囲気下（ガソリン雰囲気下）で水噴霧の着火抑制効果についての実験を行なった。その結果が表.2で、ノズル径45 $\mu\text{m}$ を使用した場合、約15%の確率で着火し、ノズル径300 $\mu\text{m}$ を使用した場合、全く着火しなかった。

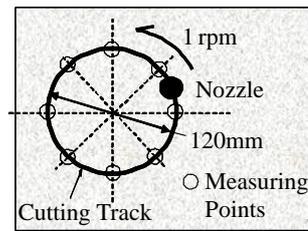


図.6 ノズルを一定の速度で回転させて円状に切削する実験における実験条件

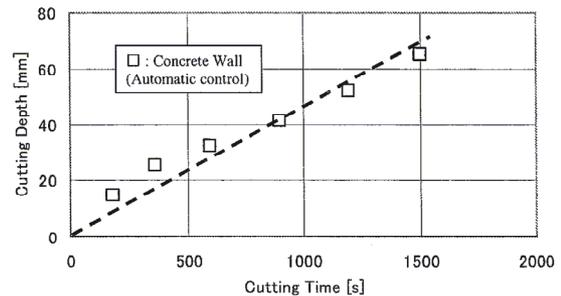


図.7 鉄筋コンクリート壁に円形の開口部を作る場合における切削時間と平均切削深さの関係

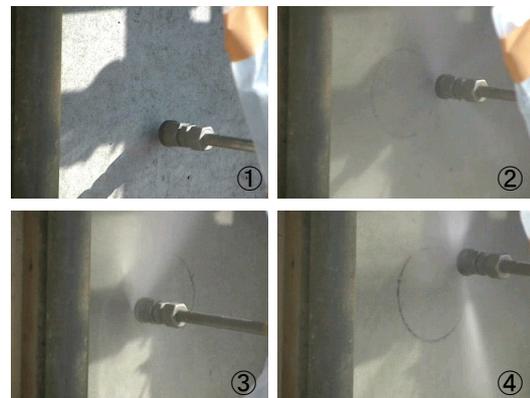


図.8 にノズルを一定の速度で回転移動させてコンクリート壁を切削した場合における実験状況

表.1 代表的建築材料における切削時間

Test piece	Thickness [mm]	Penetration time [min]	Cutting time [min]	Remarks
Plasterboard	12	0.0	0.3	Pure water jet
Plywood	25	0.2	1.5	
Concrete block	100	5.3	8.9	Abrasive water jet
Iron plate	10	5.8	25.3	
Ferroconcrete	100	10.8	39.3	

今回開発したウォータージェットカッターシステムでは火花発生のより少ないオリビンサンドが研磨材として利用されており、かつ水噴射量が本実験の場合に比べ格段に多い5L/min程度であることから、本システムがガソリン等の可燃性蒸気の存在する雰囲気下で十分に活用可能であることを確認できたものと考えている。実際にウォータージェットカッターで鉄管を切断する際に積極的にガソリンを噴霧する実験も行なったが、その際も火花の発生は確認したがガソリンへの着火等の兆候は皆無であった。

表.2 ガソリン雰囲気下での水噴霧の着火抑制効果

Nozzle (μm)	Sample	Gasoline (%)	Spark Time (min)	Ignition
45	SS400	3.2	3	×
		3.2	3	×
		3.6	5	×
		3.2	4	×
		3.2	3	○
		3.2	4	×
200	SS400	4.8	2.5	×
		3.2	1	
		3.2	3.5	
		3.2	2	
		3.2	4.5	
		3.2	7	
	S45C	3.2	5	

### 3.4 ノズル周りの危険範囲（安全距離）の確認

ウォータージェットカッターシステムを利用した救助活動の際にジェットが要救助者（被災者）に危険を及ぼす範囲を把握しておくことは重要である。そこでウォータージェットカッターの対人安全性の評価に関する実験が、人体表皮を代替する標準試料として機械的強度が人間の皮膚に近い豚皮を使用して行なわれた。ここではジェットの衝突により生じる損傷が、ジェットが皮膚を貫通しその背面まで到達した創傷である穿通損傷と、貫通せず皮膚の表側からのみ確認できる創傷である非穿通性損傷に分けられている。その上でウォータージェットカッターからの ASJ が人間に衝突した際に、それらの損傷が皮膚に生じるノズルからの距離の限界である穿通損傷限界  $R_p$  と非穿通性損傷限界  $R_n$  に基づき、開発されたウォータージェットカッターシステムについて危険範囲の評価が行なわれている。

図.9 および図.10 がジェットにより損傷した豚皮の例である。ノズルが45°の上昇角で遠ざかりながらASJを豚皮に向かって噴射している場合（豚皮表面のジェット衝突

点はジェット衝突開始点 A からジェット衝突終了点 B に向かって移動）で、スタンドオフ距離  $SD$  の増加（写真では左から右）につれて深い傷から浅い傷に、すなわち穿通損傷から非穿通性損傷に、そして最後には全く傷がつかない。また、このシステムにおける穿通損傷限界は70cm程度であり、非穿通性損傷限界はそのほぼ2.5倍であることが明らかにされている。十分安全なスタンドオフ距離である安全距離  $SSD$  はそのまた2倍程度であるものと考えている。

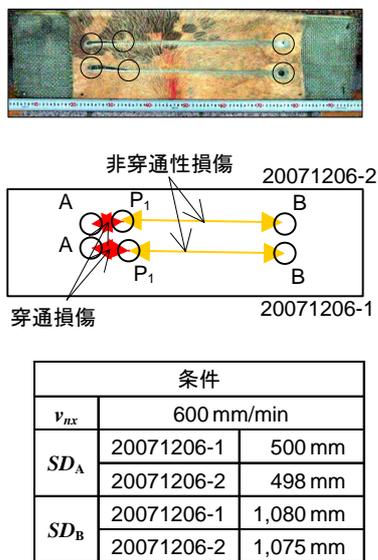


図.9 穿通損傷と非穿通性損傷の場合

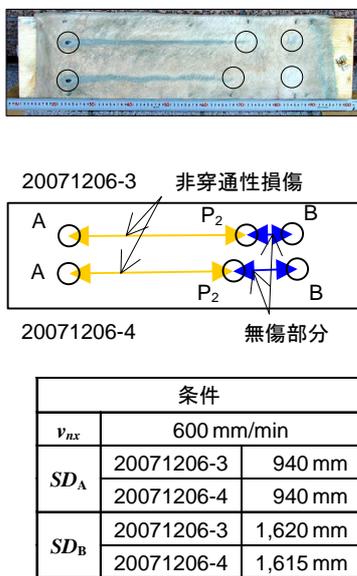


図.10 非穿通性損傷と無傷部分の場合

### 4. 結言

以上が、総務省消防庁の消防防災科学技術研究推進制度に基づく委託研究「可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具（大きさ、性能は従来

程度)の開発」で得られた結果の報告である。災害時における迅速な消火活動や救助活動は安全・安心を考える上で非常に重要であり、本委託研究がその為の技術開発の重要な礎となるものと信じている。ただし、どんな機器やシステムも人間が作るものである限り完璧ではあり得ず、今回開発したシステムも例外ではないので、今後もこの種の研究が行われることで将来より強力で安全で使い易い消防用高速切断器具が開発され、より多くの人命が救われることを願っている。

最後に、本委託研究の遂行に対しご尽力いただいた一般社団法人日本ウォータージェット学会の消防 PT メンバー各位、総務省消防庁の方々、そしてご助力いただいた全ての関係者各位に対し心より感謝の意を表す。

### 【参考文献】

- [1] 片倉: WJTSJ 消防防災科学技術研究特別プロジェクトについて, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp25-27, 2008.
- [2] 一柳: ウォータージェット用親子ロボット車両の開発, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp29-31, 2008.
- [3] 緒方, 久保田, 片倉, 島田: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブジェットによる構造物切断時の摩擦着火, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp33-35, 2008.
- [4] 清水: ASJ システムの試作, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp37-39, 2008.
- [5] 井上, 土井, 片倉, 一柳: ウォータージェットカッターシステムの性能評価について, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp41-41, 2008.
- [6] 片倉, 磯部: ウォータージェットカッターの安全距離について, 2007 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp43-45, 2008.
- [7] 土井, 井上, 一柳, 片倉: 消防用ウォータージェットカッターシステムの性能評価 (不整地走行車の稼動性能および建築材料の貫通・切断性能), 日本ウォータージェット学会, 噴流工学, 25-1, pp21-27, 2008.
- [8] 土井, 井上, 片倉: ウォータージェットカッターシステムの開発 [その1: システムの構成と基本性能], 日本建築学会 2008 年度大会学術講演梗概集 F-1, pp295-296, 2008.
- [9] F. Inoue, S. Doi, H. Katakura, K. Ichiryu: Development of water jet cutter system for disaster relief, Proc. 19th International Conference on Water Jetting, BHR Group, pp87-93, 2008.
- [10] S. Doi, F. Inoue, H. Katakura, K. Ichiryu: Performance of water jet cutter for perforating and cutting construction material, Proc. 19th International Conference on Water Jetting, BHR Group, pp95-103, 2008.
- [11] B. Usman, 島田, 片倉, 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利: アブレッシブウォータージェットによる可燃性ガスの着火可能性評価, 第 41 回安全工学研究発表会講演予稿集, pp183-186, 2008.
- [12] 日本ウォータージェット学会消防防災科学技術研究特別プロジェクトチーム: ウォータージェットカッターシステム, 自治体消防制度 60 周年記念事業「消防防災ロボット・高度な資機材等に関する展示作品資料集」, 総務省消防庁, pp197-202, 2008.
- [13] 片倉, 磯部, 齊藤: ウォータージェットカッター使用時の安全距離に関する研究 (スラリージェットの危険範囲の評価とその改善への試み), 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp79-84, 2009.
- [14] 井上, 土井, 一柳, 片倉, 齊藤: ウォータージェットカッターシステムの性能評価について (第2報, 不整地走行車および防爆ロボットによる相互稼動試験), 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp75-78, 2009.
- [15] 相模, 彭, 清水: 災害救助用アブレッシブ・サスペンション・ジェットシステムの試作, 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp71-74, 2009.
- [16] B. Usman, 島田, 片倉, 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブウォータージェット使用安全性評価, 2008 年度ウォータージェット技術年次報告会資料集, pp63-66, 2009.
- [17] 片倉: 消防用ウォータージェットシステム「ウォーターカッター」, 日本機械学会誌, 112-1084, pp188-189, 2009.
- [18] 片倉, 井上: 可燃性蒸気が存在する雰囲気下で使用可能な高速切断器具 (大きさ, 性能は従来程度) の開発 (WJTSJ 消防防災科学技術研究特別プロジェクトの成果概要), 噴流工学, 26-1, pp4-11, 2009.
- [19] 緒方, 久保田, 茂木, 佐分利, B. Usman, 齊藤, 片倉, 島田: 可燃性ガス雰囲気下でのアブレッシブウォータージェットによる構造物切断時の摩擦着火に関する実験研究, 噴流工学, 26-1, pp12-17, 2009.
- [20] H. Katakura: Research on the safety distance from a nozzle (Measurement of safe standoff distances of WJ and ASJ), Proc. 2009 American WJTA Conference and Expo, USA, paper 1-1 (15pages), 2009.
- [21] A. Saito, H. Katakura, T. Isobe, C. Guo: Research on water jet rescue system (Assessment and improvement of its safe distances), Procedia Earth

- and Planetary Science, Volume 1, Issue 1, pp1544-1548, 2009.
- [22] B. Usman, S. Shimada, H. Katakura, Y. Ogata, S. Kubota, T. Saburi, T. Mogi: Safety analysis on abrasive water jet spark under flammable gas condition, Water Jetting Technology for LOHAS, International Academic Printing Co., Ltd., pp261-264, 2009.
- [23] 片倉: 高圧水噴流利用時のリスク評価とその低減に関する研究 (ノズル周りの危険範囲を確認する方法), 2009 年度ウォータージェット技術年次報告会論文集, pp21-30, 2010.
- [24] 片倉: 高圧水噴流利用時の安全管理に関する研究 (ノズル周りの危険範囲を確認する方法), 噴流工学, 26-3, pp11-18, 2010.
- [25] 梅: ウォーターカッターの開発, 2009 年度ウォータージェット技術年次報告会論文集, 日本ウォータージェット学会, pp69-72. 2010 など.
- [26] 月刊消防 2007 年 5 月号, pp16-16, 2007 など.
- [以上]
-



#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4.2 水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発

研究課題名	水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発
研究実施期間	平成18年度～20年度
配分額(千円)	平成18年度 20,800 平成19年度 12,480 平成20年度 13,000
研究代表者	土井 智晴
所属機関	特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構 神戸ラボラトリー
研究体制	産・官・学
研究概要	<p>本研究の目的は、「震災時等に建築物などが倒壊した場合にできるガレキのような極端な不整地の内部へ進入することができる実用的な探索機材を複数個開発する。」とし、救助活動を迅速化させる救助資機材の高度化に寄与するものとして研究開発を平成18年～20年度に実施した。</p> <p>その目的を達成するため具体的には、「本研究により開発する探索機材群は、消防車両が備えている消火放水用の水圧や消防隊員が現場活動時に背負っている空気呼吸器の空気圧を駆動の動力源とし、ガレキ内に進入する軌道を確認し、内部の情報を得る探索機材により瓦礫内の要救助者を発見するシステム」を開発することとし、この探索機材群を開発するため研究開発グループを組織して各グループで探索機材を開発することとした。</p>
研究成果	<p>研究開発の成果については、平成20年度に「平成18年度～平成20年度 消防防災科学技術研究推進制度 総括報告書：水圧・空圧駆動の先進的探索機材群の開発」としてとりまとめている。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>本研究の詳細報告については、NPO 法人国際レスキューシステム研究機構のHPで情報を掲載。 <a href="http://www.rescuesystem.org/IRSweb/shobo.html">http://www.rescuesystem.org/IRSweb/shobo.html</a></li> <li>本研究で開発したシステムについては、各種防災関連イベントにて展示を行っている。</li> <li>棒カメラシステムについては、大阪府立工業高等専門学校において実用化に向けて研究開発中である。</li> <li>空圧ジャッキシステムについては、東京工業大学で実用化に向け研究開発中である。</li> </ul>

応用の方向性	本システムに関する要素技術については、各研究グループで研究開発が進行している。それら資機材の実用化に向けた開発が進み、機会をみつけて、今後も消防機関とともに継続した研究を進め、さらに実用的な高度な資機材の研究を進めようと考えている。
研究発表の状況等	<p>講演論文集</p> <p>1) 青木, 広瀬:レスキューを目的としたユニット型空圧ピラーと足踏みポンプの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 08 講演論文集, 2P1-A05(CD-ROM)(2008)</p> <p>2) 青木, 広瀬:レスキュー用ユニット型空圧ピラーの実用化開発, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1A2-4 (CD-ROM), 25/26 (2008)</p> <p>3) 盛, 鈴森, 脇元, 高橋, 細谷, 清板:高強力 PBO 繊維を用いた水圧 McKibben 型人工筋の特性評価, 平成 20 年春季フルードパワーシステム講演会, 17/19 (2008)</p> <p>4) 盛, 鈴森, 脇元, 高橋, 細谷, 清板, 楠本:高強力 PBO 繊維を用いた高水圧駆動 McKibben 型人工筋の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 08 講演論文集, 2P1-A07(CD-ROM)(2008)</p> <p>5) 林, 坪内, 土井:瓦礫内探索用小型ステレオカメラシステムの開発, 第 8 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, 2D2-3 (CD-ROM), 587/588 (2007)</p> <p>6) 林, 坪内, 土井:狭い空間内を立体視可能なステレオ棒カメラシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 08 講演論文集, 2P1-A03(CD-ROM)(2008)</p> <p>7) 土井, 矢野:水圧・空気圧を駆動源とした油圧発生装置の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 08 講演論文集, 2P1-A04 (CD-ROM)(2008)</p> <p>8) 土井, 矢野, 鈴森, 坪内, 広瀬:水圧・空圧駆動の先端的探索機材群の開発—第1報:研究概要とこれまでの成果—, 第 8 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, 2D2-2(CD-ROM), 585/586 (2007)</p> <p>9) 土井, 橋本, 藤田, 青木, 広瀬, 鈴森, 坪内:水圧・空圧駆動の先端的探索機材群の開発—第 2 報:平成 19 年度の成果と実用化に向けた取り組み—, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1A4-4(CD-ROM), 45/46 (2008)</p> <p>10) 土井, 青木, 広瀬, 鈴森, 坪内:水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発—第 3 報:3 ヶ年の研究成果の総括—, 第 10 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, 2M1-4 (CD-ROM), 1290/1293</p>

	<p>(2009)</p> <p>11)桑野, 坪内, 土井: 狹隘空間探査のための小型棒状ステレオカメラシステムの開発, 第 10 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, 2M2-5(CD-ROM), 1317/1319 (2009)</p> <p>12)相原, 青木, 広瀬: 空圧ジャッキのための負荷調整型足踏み空圧ポンプの開発, 第 10 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, 3M2-5(CD-ROM), 1979/1982 (2009)</p> <p>実証実験まとめ(機器説明シートおよび救助資機材検証チェックシートの整理)</p> <p>14)平成 20 年 1 月 20 日</p> <p>15)平成 20 年 10 月 26 日</p> <p>16)平成 20 年 12 月 23 日</p>
知的財産権の出願・登録状況等	該当なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	瓦礫内探索の研究については、各方面で研究開発が進行しているが、それら資機材の平常時の運用から、現場適用時までの完結した、運用体制の開発や方法の確立が必要であり、今後も消防機関とともに継続した研究を進めることで実用的な高度な資機材の研究を進める。



# 水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発

○土井智晴<sup>1</sup>・青木岳史<sup>2</sup>・広瀬茂男<sup>3</sup>・鈴木康一<sup>4</sup>・坪内幸司<sup>5</sup>  
Tomoharu Doi, Takeshi Aoki, Shigeo Hirose, Koichi Suzumori and Takashi Tsubouchi

**研究課題の要旨：**本研究の目的は、「震災時等に建築物などが倒壊した場合にできるガレキのような極端な不整地の内部へ進入することができる実用的な探索機材を複数個開発する。」とし、救助活動を迅速化させる救助資機材の高度化に寄与するものとして研究開発を平成18年～20年度に実施した。

その目的を達成するため具体的には、「本研究により開発する探索機材群は、消防車両が備えている消火放水用の水圧や消防隊員が現場活動時に背負っている空気呼吸器の空気圧を駆動の動力源とし、ガレキ内に進入する軌道を確認し、内部の情報を得る探索機材により瓦礫内の要救助者を発見するシステム」を開発することとし、この探索機材群を開発するため研究開発グループを組織して各グループで探索機材を開発することとした。

## 1. はじめに

阪神淡路大震災などの自然災害被災地およびワールドトレードセンタービル襲撃事件<sup>1)</sup>などのNBCテロ事件現場では、警察・消防・軍隊の人為的な救命救助活動が必要不可欠である。しかしながら、そのような現場すべてにおいて人為的な救命救助活動が効果的・効率的に行えるとは言い難い<sup>2)</sup>。そこで、探索・救助活動に対して科学技術の成果を適用する試みが日本だけでなく世界各地で活発に行われるようになった。日本においては、文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクト<sup>3)</sup>（以下、大大特）により世界最先端レベルのロボット技術およびIT技術を用いて探索・救助活動を高度化・効率化を目指した大規模なレスキューロボットの研究が平成14年度から平成18年度までの5年間行われ、研究段階にあった各種レスキューロボットを実用試験機レベルまでに高める研究が数多く行われた<sup>4)</sup>。

我々は、その大大特のなかの瓦礫内ミッションユニットのサブグループとして、アドバンスツールと呼ぶ比較的構造が簡易で実用レベルにより近い機材の開発<sup>5)~7)</sup>を行った。そして、そのような機材開発の研究経緯と機材研究開発のノウハウを踏まえ、平成18年度から平成20年度まで総務省消防庁・消防防災科学技術研究推進制度に「水圧・空気圧駆動の先進的探索機材群の開発」という題目で、NPO法人国際レスキューシステム研究機構<sup>8)</sup>が研究代表機関となり研究開発を行った。

本報告では、その3年間の中で開発された、いくつかの資機材のうち特に有用性・新規性の高い「空圧ピラー<sup>9)</sup>」「人工筋スプレッダ<sup>10)</sup>」「ステレオ棒カメラ<sup>11),14)</sup>」について述べる。また、これら開発のために設置した「先進的探索機材群の開発研究検

討委員会」により、開発者と消防現場の間でフィードバック体制を築き、ニーズ抽出の議論や実証実験を行った。このフィードバック体制は、今後の新しい救命救助機器や高度探索資機材の実用化レベルから実践配備レベルへの開発に有益な実践のひとつとして述べる。なお、この研究は、総務省消防庁・消防防災科学技術研究推進制度の助成を受けて行われたものであり、本報告で紹介する資機材は研究成果物のなかの特徴的なものをまとめている。したがって、この3年間で開発されたすべての資機材については、本委託研究の総括報告書<sup>12)</sup>を参考にされたい。

## 2. 開発コンセプト

本研究は「劇的に救助活動を迅速化させる救助資機材の高度化」の課題のもと「震災時等に建築物などが倒壊した場合にできるガレキのような極端な不整地の内部へ進入することができる実用的な探索機材を複数個開発する」ことを目的とした。そして、その目的を達成するため、開発する探索機材群は消防車両が備えている消火放水用の水圧や消防隊員が現場活動時に背負っている空気呼吸器の空気圧を駆動の動力源とし、ガレキ内に進入する軌道を確認し、内部の情報を得る探索機材により瓦礫内の要救助者を発見するシステム」を開発することとし、図1のようなガレキ内探索を行うシステムの開発を目指した。

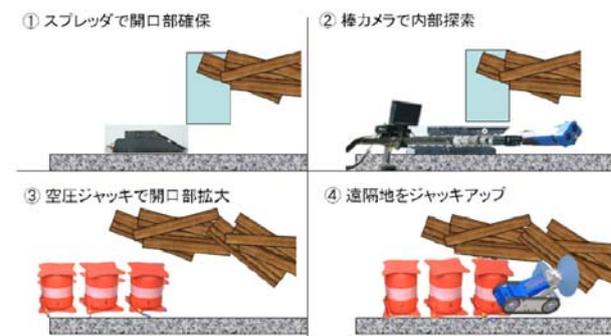


図1 瓦礫探索のコンセプト

(所属機関名)

- 1 大阪府立工業高等専門学校 総合工学システム学科
- 2 千葉工業大学 工学部 未来ロボティクス学科
- 3 東京工業大学 大学院 理工学研究科
- 4 岡山大学 大学院 自然科学研究科
- 5 筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

図 1 は、まず、ガレキ内部の探索を阻む重量物をスプレッダで開口部を確保し、そこに棒カメラを挿入し、ガレキ内部を探索する。そして、要救助者を発見すれば空圧ピラーによってさらに開口部を拡大して確保し、水圧ジャッキアップロボットで、さらに進入し、要救助者付近の重量物排除や要救助者とのコミュニケーションを行う。

### 3. 開発した資機材

#### 3.1 空圧ピラー<sup>9)</sup>

災害時に消防隊員や救助機器を侵入させる軌道を確認すると同時に、瓦礫に挟まった被災者を救助する作業が可能な空圧を利用した組合せ可能なジャッキを開発する。併せて、空圧源がない場所での救助活動の補助として、足踏みで容易に空圧を生成できる機器の開発も進める。

本研究では、従来の厚いゴムシートで構成された座布団形の空圧ジャッキと比較して軽量のゴム布製の空圧ピラーを開発し、複数個の空圧ピラーを同時に組み合わせて使用し拡張する使用方法を提案している。この空圧ピラーを図 2 に示す。



図 2 空圧ピラー

これは、救命ボートと同じ繊維入りゴム布製の円筒形エアバッグ本体と上下一對の天板で構成し、空圧で直径 300[mm]、高さ 250[mm] の円筒状に拡大する。円筒の周りにはタガを有し、内部には上下の天板を結ぶ拘束繊維を有するため、高圧空気が注入されても球形に膨張せずに円筒形を保持でき上下天板を平坦に保持することができる。この特性により安定な拡張作業が可能であるとともに揚程量に合わせて複数個を重ねて接続し使用することもできる。最大揚力は内圧が 0.1[MPa] 時に 7[kN] であり、減圧した場合は厚さ 70 まで収縮させることができ、さらに耐候性にすぐれる材質であるため収縮させた状態で長期間備蓄することができる。

#### 3. 2 人工筋スプレッダ<sup>10)</sup>

小型・軽量でかつ高出力を発揮するレスキューロボットおよびツールは、人命救助の現場で有用である。本研究では、瓦礫下などの狭窄部での重作業を支援する小型・軽量ハイパワーレスキュー機器の開発を行なっている。従来のレスキューツールでは、隊員が瓦礫内へ進入する必要があるとツールのサイズ以上の隙間がなければ使用が困難な場合が多く、隊員への精神的・身体的負担が大きい。本研究で開発した水圧人工筋スプレッダは、重作業支援という点から隊員が瓦礫内に進入する必要がある場合でも、小型・軽量かつ高出力にすることで身体的負担を減らし、短時間で作業を完了できるため精神的負担も軽減を目的としている。従来のスプレッダと本研究で開発するスプレッダの違い展開幅と本体質量で比較したものを図 3 に示す。今回開発したス

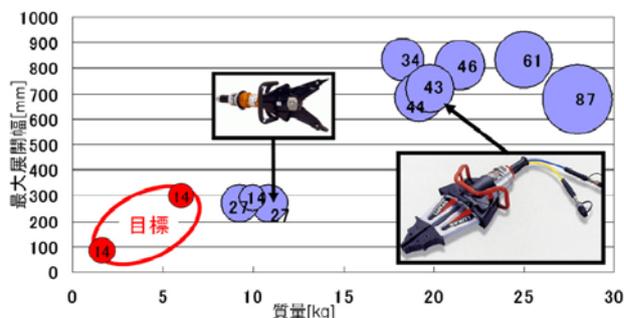


図 3 各種スプレッダの展開幅と本体質量比  
プレッダは図 3 の図の左下に位置し、従来のものと比較して小型軽量で高出力であることを示している。

水圧人工筋スプレッダを 2 機開発した。McKibben 型人工筋を基に開発した高出力水圧人工筋を用いている。その概観を図 4 に示す。今回開発した

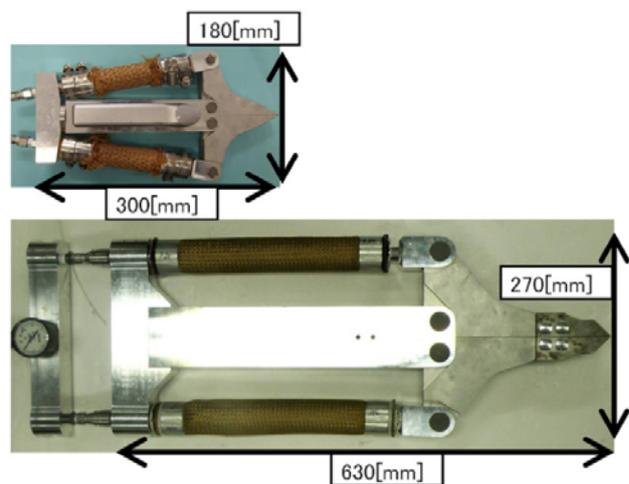


図 4 人工筋スプレッダの外観

人工筋は、ゴムチューブに高強度繊維(PBO 繊維)を被せ、それを加圧して径方向に膨張させ、軸方向の収縮力を発生させるものである。人工筋は従来の

油圧式シリンダと比較して、その重量とサイズに対する出力値が大きい。また、収縮量が小さい時に最も収縮力が大きいという特性を持つため、ジャッキのようにジャッキアップ初期に最も負荷がかかるツールにとって有用である。どちらも2本の人工筋を搭載し、水圧手動ポンプで駆動する。展開幅が70[mm]のスプレッド①は、人工筋に4.0[MPa]印加した時14[kN]の展開力を発揮する。搭載した人工筋の内径は20[mm]であり、サイズは300[mm]×30[mm]×180[mm]であり、質量は1.5[kg]である。また、展開幅が300[mm]のスプレッド②は、同様の条件で最大15[kN]の展開力を発揮し、人工筋内径は30[mm]であり、サイズは630[mm]×40[mm]×270[mm]、質量は7[kg]である。また、水圧値を表示するブルドン管をスプレッド本体にマニホールドを介して取り付けることにより手元で圧力値を知ることができる。4.0[MPa]印加時の出力特性のグラフを図5に示す。

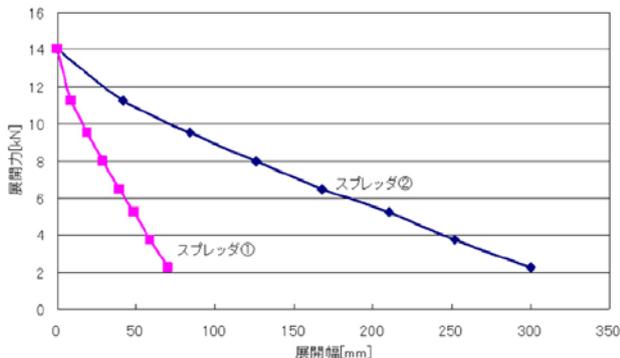


図5 展開力と展開幅の比による出力特性

### 3. 3 ステレオ棒カメラ<sup>11),14)</sup>

本ステレオ棒カメラ開発の目的は、実際のレスキュー現場で使用可能な立体感を提示可能な棒状ステレオカメラシステムを開発することである。のカメラシステムは、震災や事故などにより変形した建造物や車両などの狭い空間の内部を探索するのに用いることを想定している。可搬性を高めるためウェアラブルPCボックス(300[mm]×250[mm]×100[mm]、質量は4.5[kg])にPC等の機材を収納し、それをリュックサックにて背負う。このボックスに、ヘルメットと一体化させたヘッドマウントディスプレイとカメラを接続することで立体視が可能であり、これにより操作者は移動しながら探索活動を行うことができる。図6にヘッドマウントディスプレイおよび図7にステレオ棒カメラを装備した概観を示す。そして、ステレオ視の様子の一例を図8に示す。また、立体視している物体の距離を計測するソフトウェアも開発している<sup>11)</sup>。



図6 ヘッドマウントディスプレイの実装



図7 ステレオ棒カメラを装備した様子

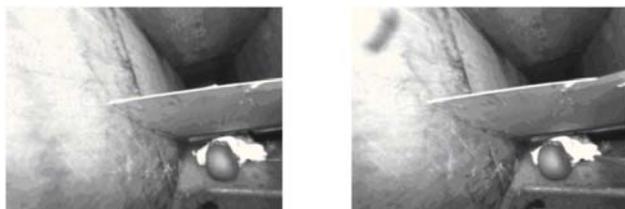


図8 ステレオカメラヘッドによる立体視の一例

## 4. 消防関係者と連携した実証実験

### 4. 1 IRS-U と連携した実証実験

IRS-U (International Rescue System Unit) とは、NPO 法人国際レスキューシステム研究機構と現役消防隊員によるボランティア組織である<sup>13)</sup>。その設立目的は、開発資機材の使用シナリオや操法の策定、試験評価に基づく研究者へのフィードバック、有効性の検証や状況の整理、全国の救助関係者への研究開発の成果を周知することである。

この IRS-U と連携した実証実験を平成 19 年度は 1 回 (平成 20 年 1 月 10 日・相模原)、平成 20 年度は 2 回 (平成 20 年 10 月 23 日・立川、平成 20 年 12 月 23 日・川崎) 実施した。なお、本論文では最終の実証実験結果についてのみ述べ、他の実証実験については、参考文献 12) を参照されたい。

平成20年12月23日に川崎市消防総合訓練場において第2回実証実験を行った。この実証実験では、図9～図14に示すように瓦礫内を探索する一連の動作を想定訓練として行った。

ラによりガレキ内部を探索した。その結果、ガレキ内に重量物で救出が困難な幼児を模擬した要救助者を発見した。その重量物除去のため小型人工筋スプレッドを携行してガレキ内に進入、スプレッドに



図9 空圧ピラーの設置



図12 要救助者を映像にて確認



図10 空圧ピラーによる開口部拡張と確保



図13 小型スプレッドを携行し救助活動開始



図11 棒カメラによる瓦礫内探索

図9～10のように、まず、空圧ピラーでガレキ入り口を塞ぐ重量物を持ち上げる。空圧ピラーの特性を生かし、複数のピラーを順次持ち上げることで開口部を確保する。その後、小型スプレッド付棒カメ



図14 要救助者の搬出

より重量物を除去し、要救助者を救出した。これにより、我々が3年間の研究の最終ターゲットとしていた実験であり、研究当初から掲げていた図1の探索シナリオとほぼ一致する実験結果が得られた。

## 5. おわりに

平成 18 年度から平成 20 年度の 3 年間で実用化に向けた資機材を行い、我々がターゲットにした探索シナリオに同等な実証実験を実施できたことから、本委託研究の目的を達成したことを述べた。これより、開発者としては実用化レベルに達した高度な探索資機材群を開発できたと思っている。

本研究では、文部科学省・大大特の成果を引き継ぎ、総務省消防庁の消防防災科学研究推進制度により、消防関係者と連携した実証実験を重ねたことで、さらに開発資機材の実用度を高め、研究フェーズから実用フェーズへと進化させることができた。

なお、本研究は、総務省消防庁の平成 18 年度～平成 20 年度消防防災科学研究推進制度の助成を受け研究である。

### 【参考文献】

- 1) 朝日新聞:NY テロ現場捜索終了, 朝日新聞(2002 年 5 月 30 日)
- 2) Robine R. Murphy:ニューヨーク世界貿易センター(WTC)でのレスキューロボット, 日本機械学会誌, Vol. 106 No. 1019, 794/802(2003)
- 3) 特集:大都市大震災軽減化特別プロジェクト, 日本ロボット学会誌, Vol. 22 No. 5 (2004)
- 4) 土井智晴:レスキューロボット研究開発の最新動向, 機械の研究, 第 60 巻第 8 号, 826/836, 養賢堂(2008)
- 5) 岩上, 坪内, 油田, 梶原:全球方向を撮像するカメラシステムの開発, 第 5 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, 1B1-2 (CD-ROM) (2004)
- 6) 盛, 鈴森, 田中, 神田:小型超高压油圧アクチュエータを用いたレスキューロボットの開発とその可能性検証試験, 日本ロボット学会誌, 日本ロボット学会, Vol. 25, No. 5, p. 111 (2007)
- 7) 土井, 笹原, 三藤, 玉利, 金田, 梅本, 葭谷:災害現場での探索活動を支援する人力駆動型簡易探索機, 計測自動制御学会論文集, Vol. 42, No. 12, p. 1005 (2005)
- 8) NPO 法人国際レスキューシステム研究機構, International Rescue System Institute, <http://www.rescuesystem.org>
- 9) 青木, 広瀬:レスキュー用ユニット型空圧ピラーの実用化開発, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 1A2-4 (CD-ROM) , 25/26 (2008)
- 10) 盛, 鈴森, 脇元, 高橋, 細谷, 清板, 楠本:高強力 PBO 繊維を用いた高水圧駆動 McKibben 型人工筋の開発, 日本機械学会ロボメカ講演会 08 講演論文集, 2P1-A07 (CD-ROM) (2008)
- 11) 林, 坪内, 土井:狭い空間内を立体視可能なステレオ棒カメラシステムの開発, 日本機械学会ロボメカ講演会 08 講演論文集, 2P1-A03 (CD-ROM) (2008)
- 12) 土井, 広瀬, 鈴森, 坪内:平成 18 年度～平成 20 年度消防防災科学研究推進制度総括報告書, NPO 法人国際レスキューシステム研究機構 (2009)
- 13) 国際レスキューシステム救助隊(International Rescue System Unit) : <http://www.rescuesystem.info/IRS-U/>
- 14) 桑野, 坪内, 土井:狭隘空間探査のための小型棒状ステレオカメラシステムの開発, 第 10 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, 2M2-5(CD-ROM), 1317/1319 (2009)



#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4.3 視覚障害者のための災害用力感覚コンパス

研究課題名	視覚障害者のための災害用力感覚コンパス
研究実施期間	平成19年度～平成20年度
配分額(千円)	2,350(平成19年度), 1,650(平成20年度)
研究代表者	栢田貞美(平成19年度), 西村常男(平成20年度)
所属機関	京都市消防局 消防学校
研究体制	官・産
研究概要	視覚障害者が安全・安心に暮らせるためには方位情報の獲得が欠かせない, しかしながら, 災害時や緊急時には方位情報を得ることが困難であり, より聴覚情報以外の手段でかつ直観的に方位情報を伝達できる方法が要望されていた. 本研究では視覚障害者が携帯できるサイズの端末で, 災害時に避難方向を「手を引いて」教えてくれる羅針盤を開発し, ナビゲーションシステムの構築を行った. 筆者らはこれまでに開発した, 人間の知覚特性を利用した牽引力感覚提示手法「ぶるなび」を応用し, 基本8方位への牽引を実現した. また, 電子コンパスによる姿勢測定と, 赤外線センサを用いた測位によって屋内での歩行誘導実験を行い, 有用性について検証した.
研究成果	開発した牽引力錯覚提示装置を用いて, 視覚障害者の歩行誘導, 特に災害時の避難支援に関するシステムの試作を行った. 得られた成果は学术界から受賞対象となるなど, 高い評価を得た. 実用化に向けては装置の耐久性や屋外での利用可能性に関するさらなる研究を進める. 製品化は未定.
応用の方向性	研究成果はすべて, 学術論文誌や報告書にまとめ, 研究成果を社会に還元した. また, 本研究で開発した装置は, 視覚障害者だけでなく, 晴眼者に対する歩行ナビゲーションへの応用にも期待できる.

研究発表の状況等	<p>原著論文</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Tomohiro Amemiya, Hisashi Sugiyama, "Orienting Kinesthetically: A Haptic Handheld Wayfinder for People with Visual Impairments", ACM Transactions on Accessible Computing, Vol.3, No.2, pp. 1-23, 2010.</li> <li>2) 雨宮智浩, 杉山久, "牽引力錯覚を利用した牽引式羅針盤の開発と視覚障がい者の歩行誘導の評価", ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.11, No.4, pp. 303-310, 2009.</li> <li>3) Tomohiro Amemiya, "Haptic Direction Indicator for Visually Impaired People Based on Pseudo-Attraction Force", eMinds: International Journal on Human-Computer Interaction, Vol. 1, No. 5, pp.23-34, March 2009.</li> </ol> <p>学会発表</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Tomohiro Amemiya, Hisashi Sugiyama, "Haptic Handheld Wayfinder with Pseudo-Attraction Force for Pedestrians with Visual Impairments", In Proc. of 11th ACM Conference on Computers and Accessibility (ASSETS 2009), pp. 107-114, Pittsburgh, PA, October 2009.</li> <li>2) Tomohiro Amemiya, Hisashi Sugiyama, "Navigation in Eight Cardinal Directions with Pseudo-Attraction Force for the Visually Impaired", In Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2009), pp. 33-38, San Antonio, TX, October 2009.</li> <li>3) 雨宮智浩, 杉山久, "牽引力錯覚を利用した牽引式羅針盤による視覚障がい者の歩行誘導の評価", 信学技報, Vol. 109, No. 27, WIT2009-43, HCS2009-43, HIP2009-43, pp. 215-220, 沖縄, May 2009. [電子情報通信学会 ヒューマンコミュニケーション賞 受賞]</li> <li>4) Tomohiro Amemiya, Hisashi Sugiyama, "Design of a Haptic Direction Indicator for Visually Impaired People in Emergency Situations", In Proc. of 11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2008), pp.1141-1144, Linz, Austria, July 2008.</li> <li>5) 雨宮智浩, 杉山久, "牽引力錯覚を利用した視覚障がい者避難用力覚コンパスの設計", ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 10, No. 3, ヒューマンインタフェース学会研究会 第 49 回研究会, pp.9-14, 函館, Aug. 2008. [ヒューマンインタフェース学会 第 5 回研究会賞 受賞]</li> </ol>
----------	---

知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>平成 19 年度に京都府立盲学校において、教員の協力の下、試作機の予備評定を行い、その設計指針を基に平成 20 年度に「力覚コンパス」を開発し、同盲学校の体育館にて、歩行誘導実験を行った。一般的に新しい福祉機器では訓練を必要とするが、本研究では事前にトレーニングをすることなく、90%以上の実験協力者を所定の経路に誘導することができた。このことから、直観的な情報提示を実現することができたと考えられる。こうした直観的な情報提示は、たとえば母国語の異なる国へ行った観光旅行者などの歩行誘導、災害避難支援にも有用であると考えられる。</p> <p>本研究では、力感覚に着目したが、これは他の感覚と比較して力感覚が優れていることを示すことが目的ではなく、ユーザの選択肢の一つとなりうるかを検証した事例であり、従来の支援技術との融合など、様々な利用シーンで応用され、ユニバーサルデザインという観点から国民の安心・安全に寄与することを期待したい。</p>



# 視覚障害者のための災害用力感覚コンパス

○杉山久<sup>1</sup>・杉原康雄<sup>1</sup>・鈴木通治<sup>1</sup>・雨宮智浩<sup>2</sup>

Hisashi Sugiyama, Yasuo Sugihara, Michharu Suzuka and Tomohiro Amemiya

**研究課題の要旨:** 視覚障害者が安全・安心に暮らせるためには方位情報の獲得が欠かせない。しかしながら、災害時や緊急時には方位情報を得ることが困難であり、より聴覚情報以外の手段でかつ直観的に方位情報を伝達できる方法が要望されていた。本研究では視覚障害者が携帯できるサイズの端末で、災害時に避難方向を「手を引いて」教えてくれる羅針盤「力感覚コンパス」を開発し、ナビゲーションシステムの構築を行った。筆者らはこれまでに開発した、人間の知覚特性を利用した牽引力感覚提示手法「ぶるなび」を応用し、基本8方位への牽引を実現した。また、電子コンパスによる姿勢測定と、赤外線センサを用いた測位によって屋内での歩行誘導実験を行い、有用性について検証した。

## 1. はじめに

視覚障がい者の歩行には定位(orientation)と移動(mobility)が重要な要素とされており[1]、自分の位置姿勢や目的地の位置などを「定位」することが求められる。単独歩行する際に必要な地理的空間定位は環境との相互作用によって行われるが、湾曲した街路の歩行、本人の転倒、環境の変化(地震や道路工事、放置自転車)などが原因で方向感覚を失うことが報告されている。こうした状況で方位情報を知るための補助装置は定位獲得の手がかりの一つとして有効であると期待されている。

これまでに音声などの聴覚情報を通じて方位を伝達する装置が数多く報告され、有効性が議論されてきた[2],[3]。しかしながら、環境雑音が大きな場所や避難サイレンが鳴っている場合などの聴覚情報が利用できない状況ではこうした装置を使用することが難しい。

こうした背景から力触覚による方位伝達方法が注目されている。なお、ここでは触覚とは皮膚感覚、力感覚とは筋などから得られる運動感覚を指す。従来の触覚による情報提示では、技術的難易度からバイブレータ(あるいはそれらを背中やベルトに空間的に配置したもの[4]~[6])に限られていた。この理由として、力覚情報の提示には作用・反作用の法則によって生じる反力を支持するため、外部に装置を固定する必要があるが、携帯端末のように外部に固定しない状態で力覚を提示することが事実上不可能であったためである。ジャイロ効果を利用した方式[7]や角運動量変化を利用した方式[8]も提案されているが、これらの方式ではごく短い時間でのトルク感覚のみが提示可能で、手を引くような並進方向への連続的な力感覚を提示することはできなかった。

共同研究機関である NTT では、これまでに揺動

クランクスライダ機構によって非対称な加速度振動を生成し、人間の知覚特性によって牽引力感覚を提示できることを、心理物理実験を通じて示してきた[9]。本研究ではこの牽引力錯覚を用いて、視覚障がい者に方位情報を力感覚で伝達することができる力覚コンパスを提案し、開発したプロトタイプを用いた視覚障がい者の歩行支援手法を提案した。

## 2. 牽引力錯覚の原理

本研究の力覚コンパスで採用した、外部に非固定で牽引力感覚を生成するための手法について概要を説明する。ある軸上で直線往復運動(振動)する質量を持った物体を考える。単に物体が前後に振動するだけでは力感覚は生成されないが、この物体が非対称な加速度を持った振動運動、つまり、ある方向に大きな加速度を短時間(パルス状で急峻な加速度変化)、それと逆の方向に小さな加速度を長時間(元の位置に復帰する緩やかな加速度変化)という振動運動をさせる。そのうち小さい方の加速度で発生する力を人間の力触覚受容器で検出できないような閾値下に設計すれば、周期的に繰り返すことで、物理的には正逆の2方向に力が生成されているにもかかわらず、結果として1方向に連続的に牽引される力感覚を作り出すことができる。詳細については[9-10]を参照されたい。

先行研究では急峻な加速度変化を生成するために揺動クランクスライダ機構を採用してきた。また、振動運動は本来外部に対して仕事をしないため、出力は小さくても大きなトルクが得られればよい。そこで、先行研究では小型のモータに歯車の減速機を介してクランクへの動力伝達を行った。しかしながら、減速機は高トルクが得られると同時に雑音が発生する問題が生じる。京都府立盲学校の協力による予備評価実験では装置の駆動雑音を小さくするような要望が多かった。

この雑音は小型のモータのピニオンギアとクラウンギアとの接触によって生成されるため、歯車以

(所属機関名)

1 京都市消防局

2 日本電信電話株式会社 コミュニケーション科学基礎研究所

外の伝達方式による動力伝達を採用すれば小さくすることが出来る。また、力を二次元平面へ提示するために、先行研究では揺動クランクスライダ機構の出力である振動方向を、ターンテーブルなどの別の機構を用いてそれ自体を回転させる方式を採用したが[11]、当該振動方向が所望の方向に一致するまでに要する時間が問題であった。また、回転に要する時間を減らすために高速に回転させると角運動量の変化によってトルクが発生するという問題も生じる。そのため、回転方式でなく高速にカベクトルの方向転換が可能な代替方式を考える必要がある。また白杖歩行時に利用することを想定すれば、装置の寸法は片手に収まるサイズが要求される。先行研究で採用された揺動クランクスライダ機構では回転運動を並進運動に変換するためのリンクの長さが影響し、小型化には限界があったため、別の機構を採用することが必要である。

### 3. 試作と評価

以上の問題点を解決するために、(1) 摩擦伝動による駆動騒音の低減化、(2) カベクトルの合成による多自由度化、(3) カム機構の採用による小型化の特徴を有する装置を開発した。

(1) については歯車でなく、モータに取り付けられたローラとクランクとが摩擦駆動によってモータの動力をクランクに伝達している。ローラの直径は4 mmで、クランクの外径は44 mmであるため、減速比は1:11となる。(2) については回転方式ではなく、ベクトル合成方式を採用した。先行研究の予備実験では方位の提示に必要な角度の分解能については八方位提示で高い成績が得られたことから[12]、東西南北のようにそれぞれが90度ずつ異なる方向を向いた揺動クランクスライダ機構を4つ用いて、カベクトルの組み合わせで最大8方位への提示を行う装置の設計を行った。また、それらを

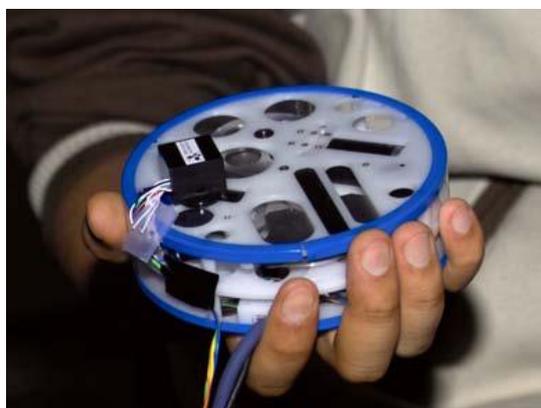


図. 1 力感覚コンパスの外観

積層する形で小型化を図った。(3) については、従来の揺動クランクスライダ機構と機構的に等価な機構をカムで設計した。この等価機構により、従来の従属節(ロッド部分)の長さをほぼ零にできる。また、すべてのリンク機構をカムで置き換えることも可能であるが、カムの圧力角が非常に高くなることや、複雑なカム曲線となることを考慮し、ここでは揺動クランクスライダ機構とカム機構を組み合わせたハイブリッド型の機構とした。

図1に開発した牽引式羅針盤の外観を示す。片手で持てるサイズとして直径はコンパクトディスク(CD)と同じ寸法(120 mm)とした。厚さは36 mm、重量は430 gとなった。

(1) の評価として装置の発生する雑音の音圧レベルを比較計測するため、NTT コミュニケーション科学基礎研究所内の無響室において、騒音計(リオン社製 NL-31 Class 1)を用いてA特性音圧レベルを計測した。騒音計と装置は床から1.0 mの高さに三脚で固定され、両者間の距離は0.3 mとした。計測結果から摩擦伝動は、従来の歯車減速機による駆動より音圧レベルで10 dB(A)以上小さい値となり、静粛化の効果が確認された。

### 4. 評価実験

#### 4.1 実験概要

開発した牽引式羅針盤を用いて、屋外での誘導における有効性を検討するため、京都の街路を模した格子状の迷路を京都府盲学校の体育館内に敷設し、視覚障がい者の誘導における牽引力錯覚の有効性を調べる実証実験を行った。また、災害時などの聴覚情報が利用できない状況を想定して聴覚情報を遮断した条件での実験も行い、有用性を検討した。

#### 4.2 実験協力者

右利きの23名の視覚障害を有する被験者(17から62歳、平均30歳、男性20名、女性3名)が実験に参加した。すべての被験者は上肢や手指に関する感覚障害や運動障害は報告されていない。本実験はNTT コミュニケーション科学基礎研究所の倫理委員会によって承認された。すべての被験者から実験の参加について同意を得た。

#### 4.3 構成

実験装置は前章で述べた牽引式羅針盤(力感覚コンパス)、12 Vのバッテリーおよび制御回路、小型コンピュータ(OQO model 02; OQO Inc.)が入ったバッグで構成されている。力感覚コンパスの方向は上部に取り付けられた姿勢センサ(MDP-A3U9S; NEC TOKIN Corp.)で計測された。力感覚コンパスで生成される非対称振動刺激の周波数は先行研究

の実験結果を基に 5 Hz とした

衝突が起きても安全な発砲スチロールのパネル(1,800 mm × 900 mm) を壁として、9 m × 15 m の領域に迷路を作成した。迷路内の 9 個の赤外線センサーで被験者が転換点に到着したことを検出し、制御用 PC へ情報が送信された。制御用 PC と、被験者が身につける小型コンピュータ間は Bluetooth で通信した。なお、Bluetooth 2.1 による通信では、迷路内のすべての場所で通信が可能であった。小型コンピュータはモータ制御ドライバーおよびマイクロプロセッサ(PIC18F2525; Microchip Tech. Inc.) を介して力感覚コンパスを制御した。被験者の歩行軌跡は体育館 2 階に設置された DV カメラで記録された。

聴覚情報を遮断した条件では、ノイズキャンセルヘッドフォン(Quiet Comfort 3; Bose Corp.) が用いられ、クリップ式の音声再生装置(iPod shuffle; Apple Inc.)でホワイトノイズが再生された。

#### 4.4 実験手続き

力感覚コンパスを把持した被験者は、はじめに出発点に案内された。白杖歩行を日常的に行っている被験者は白杖を持ち、白杖を持っていない側の手で装置を把持させた。また、白杖を使わない被験者には利き手あるいは両手で装置を把持させた。

はじめに、力感覚コンパスによって前方に押し出す力が提示され、被験者は歩行を始めた。その後、予め設定された経路に応じて、特定の転換点で曲がるべき方向に引っ張られる感覚が発生する非対称振動刺激が被験者に与えられた。被験者が設定経路を外れた場合、元の設定経路に復帰するように非対称振動刺激の方向が変化した。被験者は 4 回のターンの後、出発点とは異なる到着点(S1, S2, S3 のい



図.2 ノイズキャンセルヘッドフォンにより聴覚情報を遮断した条件での歩行誘導の様子

れか) に到着し、実験は終了となる。把持の姿勢は実験内で統一させ、実験中は被験者には常に非対称振動刺激が提示される状態とした。

また、被験者は実験終了後に 2 種類のアンケートに口頭で回答した。質問 1 は「本手法による経路案内は分かりやすい」、質問 2 は「本手法は災害時に役に立つ」とした。各質問は「完全に同意できる」を+3、「完全に同意できない」を-3 とした Likert 尺度の 7 段階評定を用いた。

#### 4.5 実験結果

図 2 に聴覚情報を遮断したときの条件下での歩行誘導実験の様子を例を示す。聴覚情報の遮断の有無によらず、提案手法によって 23 名中 21 名の被験者(91 %) が予め設定された歩行に誘導することができた。また、数名の被験者は設定された転換点において牽引力感覚を知覚できなかった場面がいくつか観察されたが、いずれの場合も力感覚コンパスによってもとの経路に回復させることができた。DV カメラによって得られた被験者の位置( $x'$ ,  $y'$ ) は以下の等式による射影変換によって直交座標系( $x$ ,  $y$ ) に変換された。射影変換のための 4 点の特徴点を取得画像から手動で選択し、射影変換行列  $H$  を計算し、被験者の位置も同様に手動で選択した後、 $H$  を用いて変換した。再配置された被験者の歩行経路の例を図 3 に示す。

被験者ごとに実験における歩行移動距離が異なるため、歩行速度によって正規化し、比較した結果を図 4 に示す。歩行誘導が成功した 21 名の被験者に関して、聴覚情報の有無の条件間で歩行速度について有意差が認められなかった( $t(20) = 1.16$ ,  $p = 0.26$ , n.s., 対応のある両側  $t$  検定)。このことは、聴覚情報を遮断しても歩行誘導の速度には影響を与えないことを示唆している。実験終了後に被験者から得られた 7 段階評定の回答は、ほとんどすべて高い値となった。質問 1, 2 とも中央値、四分位数はそれぞれ+2, 1 であった。はずれ値は観測されなかった。

また、7 段階評定の得点を高得点(+2 あるいは+3) とそれ以外の 2 水準に分けて、強く有効性を感じたかに関して解析を行った。その場合においても高得点の回答は 23 名中 21 名( $p < .0001$ ) と 18 名( $p < .0001$ ) であり、ともに高い有効性が示唆された(二項検定による)。

#### 5. 考察

実験結果から、提案手法による力覚を通じた歩行ナビゲーションの明確な有用性が示された。一方で課題についても明らかになった。白杖を用いなかった被験者は外壁に衝突した場面が数回観察された。今回実装したシステムにおいては、蛇行歩行を修正

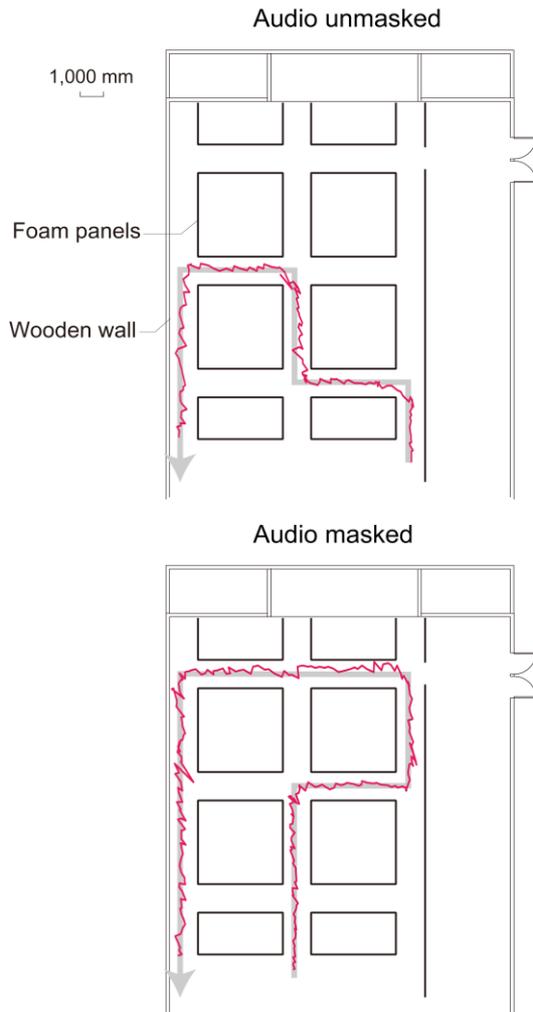


図.3 実験協力者の歩行軌跡の例

するような機能は実装されていなかったため、方向転換時に生じたわずかなずれを修正できないまま直進したために衝突が起こったと考えられる。衝突

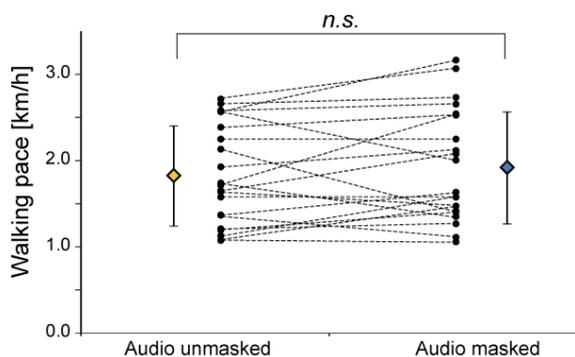


図.4 聴覚情報の有無に関する被験者の歩行速度の被験者ごとの分布。エラーバーは標準誤差を表す。実験協力者の歩行経路

を避けるため、あるいは蛇行歩行を修正するための力覚刺激を与えることもできるが、一方で刺激の種類や指示の数が増えると、心的負荷の増加から効果に関してトレードオフがある[14]。こうした点を考慮しながら、将来的には取り込んでいく必要があると考えられる。

また、歩行誘導が失敗した2名の被験者のうち、1名は左方向の力覚刺激を常に右方向と判断し、もう1名は右方向を常に左方向と判断したため、誘導ができなかった。提案手法では180度提示の方向を誤る可能性がある[9]。一方で、その後の経路修正の刺激でも方向を誤っていたことから、基礎となる牽引力錯覚の刺激についても更なる改善が必要であるといえる。

また、角を曲がる時のアルゴリズムも非常に重要である。これはヒューマンインタフェース技術の性能と位置計測技術の精度の両方に依存する。提案手法はGPS技術や屋内測位技術などと組み合わせることでさらに有効に機能すると期待される。また、多くの晴眼者は歩行誘導では定位情報、通りの名称、ランドマークに頼っていることが報告されており[15]、特に交差点における方向転換では主に定位情報に依存しているため、本研究で提案した牽引式羅針盤による定位情報の補助は晴眼者、たとえば母国語の異なる国へ行った観光旅行者などにも有用であると考えられる。また、視覚障がい者が交差点を渡る実験においては聴覚情報と触覚情報の組み合わせによる効果も示唆されており[16]、たとえば言語情報のような力覚提示では難しい情報表現を聴覚、直観的な方向を力覚や触覚で、といった情報統合や使い分けを含めた手法については今後の課題としたい。

実験結果では、聴覚情報の有無の条件間で歩行速度に有意差が認められなかったが、聴覚情報を遮断した条件の平均歩行速度がわずかに聴覚情報のある条件のときより大きな値となった。これは実験の安全性の観点から聴覚情報ありの条件を最初に遂行したため、順序効果(学習効果)が含まれていることに起因すると予想される。聴覚情報を遮断する可能性については今後の検討課題とする。

本実験では歩行誘導中に常に非対称振動が提示されたが、歩行経路の誤り数や壁への衝突数が実験のはじめと終わりで大きな差は見られなかった。このことから非対称振動の刺激による順応による感度低下は2分間程度の刺激ではほとんど知覚に影響がないことが分かった。さらに実験終了後の内観報告では感度低下やわかりやすさの変化に影響はないことを確認した。一方で手がだるくなると報告した被験者もあり、装置の重量も含めて改善する必要があるといえる。

また、アンケートの回答結果から本手法の直観的な理解が容易なこと、災害時での利用に関して高い期待が持たれていることが示された。加えて、被験者から装置の駆動音の静粛性に関する評価もあり、日常生活や公共の場でも受け入れられる水準であると評された。

静粛性の高さは、視覚障がい者が歩行時に利用する環境音に与える影響も少ないため、重要な項目の一つであることが改めて確認された。

## 6. おわりに

本稿では外部に非固定で牽引力の感覚を提示できる手法を利用した方向誘導が、視覚障がい者に方向情報を伝える手法として適用可能かを歩行誘導実験を通じて検討した。視覚障がい者による模擬街路の誘導実験結果から、提案手法によって聴覚情報が遮断された状態でも設定された順路にナビゲーションができることが示された。今後はGPS機能等を実装し、屋外での利用のための評価を進めたい。

### 【参考文献】

- 1) Golledge, R. G.: Place recognition and wayfinding: making sense of space; *Geoforum* 23(2), pp.199–214, 1992.
- 2) Crandall, W., Brabyn, J., Bentzen, B., Myers, L.: Remote infrared signage evaluation for transit stations and intersections; *Journal of Rehabilitation Research and Development* 36, pp. 341–355, (1999).
- 3) Loomis, J., Marston, J., Golledge, R., Klatzky, R.: Personal Guidance System for People with Visual Impairment: A Comparison of Spatial Displays for Route Guidance; *Journal of Visual Impairment and Blindness*, (2005).
- 4) Tan, H. Z., Gray, R., Young, J. J., Traylor, R.: A haptic back display for attentional and directional cueing; *Haptics-e: The Electronic Journal of Haptics Research* 3(1), (2003).
- 5) 雨宮智浩, 広田光一, 廣瀬通孝: バーバル・ノンバーバル情報を利用した視聴覚障害者の歩行支援のためのウェアラブル触覚インタフェースの研究; *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 9(3), pp. 207–216, (2004).
- 6) Erp, J.B.F., Veen, H.A., Jansen, C., Dobbins, T.: Waypoint Navigation with a Vibrotactile Waist Belt; *ACM Trans. Appl. Percept.* 2(2), pp. 106–117, (2005).
- 7) 吉江将之, 矢野博明, 岩田洋夫: ジャイロモメントを用いた力覚提示装置; *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 7(3), pp. 329–337, (2002).
- 8) 仲田謙太郎, 中村則雄, 山下樹里, 西原清一, 福井幸男: 角運動量変化を利用した力覚提示デバイス; *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* 6(2), pp. 115–120, (2001).
- 9) Amemiya, T., Ando, H., Maeda, T.: Lead-Me Interface for Pulling Sensation in Hand-held Devices; *ACM Trans. Appl. Percept.* 5(3),15, (2008).
- 10) Amemiya, T., Maeda, T.: Asymmetric Oscillation Distorts the Perceived Heaviness of Handheld Objects; *IEEE Trans. Haptics* 1(1), pp. 9–18, (2008).
- 11) Amemiya, T., Sugiyama, H.: Design of a haptic direction indicator for visually impaired people in emergency situations; *Proc. 11th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2008)*, Springer, pp. 1141–1144, (2008).
- 12) Amemiya, T.: Haptic Direction Indicator for Visually Impaired People Based on Pseudo-Attraction Force; *eMinds: International Journal on Human-Computer Interaction* 1(5), pp. 23–34, (2009).
- 14) Enriquez, M., MacLean, K.: The Role of Choice in Longitudinal Recall of Meaningful Tactile Signals; *Proc. of 16th IEEE Symposium on Haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems*, pp. 49–56, (2008).
- 15) Bradley, A., Dunlop, D.: An Experimental Investigation into Wayfinding Directions for Visually Impaired People; *Personal Ubiquitous Computing* 9(6), pp. 395–403, (2005).
- 16) Ross, D.A., Blasch, B.B.: Wearable Interfaces for Orientation and Wayfinding; *Proc. Forth Intl. ACM Conf. on Assistive Technologies (ASSETS'00)*, pp. 193–200, (2000).



#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4. 4 高圧水駆動カッターの研究開発

研究課題名	高圧水駆動カッターの研究開発
研究実施期間	平成 19 年度～平成 20 年度
配分額（千円）	18,200(平成 19 年度)                      17,100(平成 20 年度)
研究代表者	中村 浩士
所属機関	櫻護謨株式会社
研究体制	産・官・学（平成 20 年度）
研究概要	<p>消火活動、救助活動、水防活動など消防部隊が各種災害活動において使用する資機材のうち、開口部の設定や脱出空間の設定において諸元性能、使い勝手の面からエンジンカッターの使用頻度はかなり高く、全国の消防機関の保有度合いは 100%に近いと思われる。ただし、エンジン駆動ゆえの吸排気問題や鋼材切断時に発する火花の二次的影響面から使用環境を制限されてしまうことがある。しかしながら、単に手を拱いていることはできない。要救助者の救出や被害の軽減のためには新たな資機材の開発が望まれていることから、今回、消火用の水流を活用して可燃性で引火危険のある雰囲気下、濃煙熱気的环境下や水中での駆動切断ができることを目標においた高圧水駆動カッターの研究開発に着手した。</p>
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1.5MPa タイプについては、平成 21 年度に東京消防庁に納入し、実戦部隊に試験的な配備をしている。</li> <li>・ 櫻護謨株式会社は、平成 21 年度版の総合カタログに登載した。</li> <li>・ 平成 22 年 6 月、ライプチヒで開催された国際防災展において櫻護謨のブースに日本発の防災機器として展示し世界に発信した。</li> <li>・ 同年 8 月、韓国テグ市でのアジア消防長会開催に合わせて開催された韓国防災展においても櫻護謨ブースで展示した。</li> <li>・ 同年 10 月ビックサイトでの洗浄機器展示会においてスギノマシンのブースで 10MPa と 1.5MPa の両タイプを展示した。</li> </ul>
応用の方向性	<p>消防活動において引火危険や酸欠状況下等も特殊環境下でエンジンカッターに代わる切断機器として開発したものであるが、地下街やトンネル等でも排出ガスが出ないクリーンな機器として利点がある。また、冷却水の放射により石材やコンクリート切断時の粉塵抑制効果が期待できる。</p> <p>動力源である水流駆動モータの活用範囲は、コアカッターやブロワー等にも可能性があり、冷却水放射を併設することの利点も考えられる。</p>
研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実演展示      2008.4.17 東京消防庁消防技術安全所業務公開                          2009.4.16 同 上</li> <li>・ パネル展示    2008.4.18 総務省消防庁消防研究センター公開                          2009.4.17 同 上</li> </ul>

研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 論文発表等 1) 伊東光一：高圧水駆動カッターの研究開発、第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集</li> <li>2) 伊東光一：高圧水駆動カッターの研究開発、2008 年度ウォータージェット学会技術年次報告会、pp11～14</li> <li>3) 小原弘道：高圧水駆動カッターの研究開発、第 10 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集、pp 1312～1313</li> <li>4) 伊東光一：フルードパワーの挑戦 高圧水駆動カッターの研究開発、(社)日本フルードパワー工業会機関誌 Vol24pp28～31</li> </ul>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>これまでの結果として、出力性能は、エンジンカッターと遜色なく、切断性能や特殊環境下での特性は、エンジンカッターより優れていることが検証されたが、操作性の面では、ホースラインを含めた重量やデザイン性をさらに検討することにより消防部隊に普及する切っ掛けにつながるものと考えられる。</p>

## 高圧水駆動カッターの研究開発

- 中村浩士<sup>1</sup>・中村清之介<sup>1</sup>・中村公孝<sup>1</sup>・島田均<sup>2</sup>・伊東光一<sup>2</sup>・高橋茂男<sup>3</sup>・鳥谷淳<sup>3</sup>  
日比康友<sup>3</sup>・後藤真也<sup>3</sup>・太田正廣<sup>4</sup>・小原弘道<sup>4</sup>

Hiroshi NAKAMURA Seinosuke NAKAMURA Kimitaka NAKAMURA  
Hitoshi SHIMADA Koichi ITO Shigeo TAKAHASHI Sunao TORIYA  
Yasutomo HIBI Shinnya GOTHO Masahiro OTA Hiromichi OBARA

**研究課題の要旨：**消防活動には、「延焼危険の切迫した建物から要救助者を救出するための開口部設定」および「交通救助時の車枠の除去」など切断作業を必要とする場面が多く存在する。その中で最も代表的な器具にエンジンカッターがあり、多くの消防機関が活用しているところではありますが、エンジンカッターは、内燃機関を動力源とする回転刃で切断するものであることから、「可燃性気体が滞留する雰囲気下での引火危険」や「濃煙充満の屋内でのエンジン停止」などの問題点が指摘されている。このことから、引火危険の環境下や特殊な状況下で災害活動において切断作業が行える機材の開発を目的に水流駆動モータを動力源とする高圧水駆動カッターの開発及び切断火花の抑制機材の研究に着手した。

### 1 緒言

内燃機関を動力源としたエンジンカッターは、様々な災害現場で、広く消防機関が活用する切断型破壊器具の一つである。しかしながら、平成17年4月に発生したJR福知山線電車脱線事故現場では、災害に巻き込まれたマンション1階駐車場の自動車からガソリンが漏洩したため、切断時に火花の出るエンジンカッター等の破壊器具の使用が制限され、長時間の救助活動を余儀なくされたなど切断時に出る火花による二次的災害発生危険のある現場、また、火災現場で発生する濃煙による酸欠状況でエンジンが停止したり、水没下での切断作業に使用できないなどのケースが発生している。この様に、ガソリン等の可燃性気体が発生している現場やエンジン始動困難な酸欠状況、水災時の救出活動などで自ら発火源とならず、多面的な環境下でも活用できる「高圧水駆動カッター」の開発とその有用性について検証した。

### 2 試作機の製作

試作機の開発するにあたり、前提条件としては次のとおりである。

- ① エンジンカッターと同等以上の性能を有する。
- ② 可燃性気体が存在する環境下で使用が可能。
- ③ 濃煙充満し酸素濃度希薄状況下での使用が可能。
- ④ 水中に没した状況下での使用が可能。
- ⑤ 切断時の火花発生を抑制できる。

#### 2-1 エンジンカッターの諸元性能調査と製作目標

エンジンカッターの性能を満足させるために、市販のエンジンカッター10社31機種の諸元性能をデータ調査し、次のとおり、設計目標に反映させた。  
ア 質量の平均値が11.13kgであり、「12kg以下」

(所属機関名)

- 1 櫻護謨株式会社
- 2 株式会社スギノマシン
- 3 東京消防庁 消防技術安全所
- 4 首都大学東京 大学院 機械工学専攻

とした。

- イ 出力は動力源が異なり単純比較できないものの平均値4.1kWであり、「4kW以上」とした。
- ウ 切断刃回転数は刃の材質により、最高使用周速度が定まっており、レジノイド300Φに照「4500rpm」とした。
- エ 全長・全高・全幅は、「750×420×210」mm以内とした。
- オ 騒音は、1社だけのデータ掲出であり、「100dB以下」とした。
- カ 切断性能は、実測値を参考とすることからエンジンカッター2機種を選定して押付け力と切断速度の測定値から設定する。(切断材料はSS400、t1.6)

#### 2-2 高圧水駆動カッター試作機

エンジンカッターの諸元性能調査結果及び製作目標に基づき、駆動水圧10MPaタイプと、消防ポンプを駆動源とする1.5MPaタイプの2機種を試作機とし製作した。

いずれも、高圧水が持つエネルギーを回転運動に変換する水流駆動モータを採用し、切断刃を回転させる機構である。また、切断刃には、火花の発生が少ないダイヤモンド切断刃を採用した。

モータ駆動後の水流は、リターンホースを介して再使用が可能であり、さらにはそのリターン水の一部を切断刃の冷却水として活用し火花の発生抑制を図っている。

- ① 10MPaタイプの仕様

- (a) カッター径：Φ305
- (b) 最高出力：4.0kW
- (c) 駆動水圧：10MPa
- (d) 使用水量：80ℓ/min
- (e) 動力伝達：ギヤ駆動
- (f) 減速比：6.0
- (g) 外形寸法：W220×L708×H466
- (h) 本体質量：15.6kg (切断刃・配管含まず)



図1-1 10MPaタイプ

② 1.5MPa タイプの仕様

- (a) カッター径：Φ305
- (b) 最高出力：3.6 kW
- (c) 駆動水圧：1.5MPa
- (d) 使用水量：400ℓ/min
- (e) 動力伝達：V ベルト駆動
- (f) 減速比：1.5
- (g) 外形寸法：W 235×L 886×H 399
- (h) 本体質量：15.6 kg（切断刃・配管含まず）

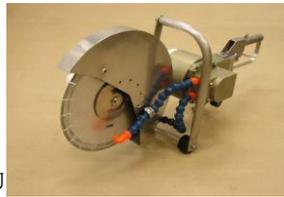


図 1-2 1.5MPa タイプ

1/2 で最大となり、回転速度が下がるほどにトルク値が上がっている。

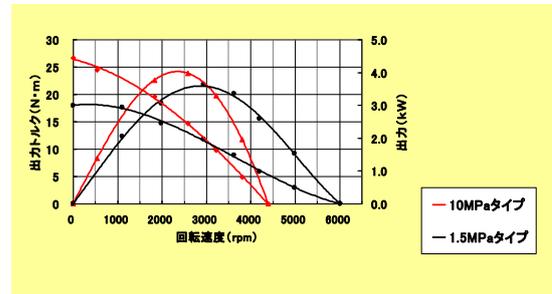


図 3 水流駆動モータの出力・トルク曲線

2-3 切断試験装置

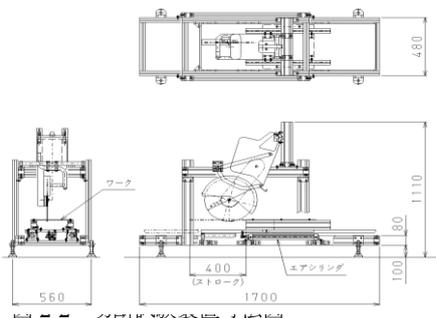
高圧水駆動カッター本体及びダイヤモンド刃の切断能力を確認するため、下に示す切断試験装置を用いて、切断速度を測定し比較検証した。

この装置は、切断器具を扱う者の技量による影響をなくすためにカッターを固定した状態で始動し、切断刃に向けて切断試料を一定の力で押し当てて切断させ、その速度を計測するものである。

なお、押し当てていく力はエアシリンダの圧力を調節して行うものである。



図 2-1 切断試験装置外観



3-2 エンジンカッターとの切断性能比較

エンジンカッターで使用頻度が比較的に高い、レジノイド切断刃は火花飛散が多く、また、水に濡れると切断できなくなることから、高圧水駆動カッターでは、採用していないが、エンジンカッターとの切断性能を比較するため、ここでは、冷却水なしの条件で実施した。

その結果、エンジンカッターに比べて 1.5MPa タイプでは押付け力 11 kg の時点でほぼ同等の切断速度が得られ、10MPa タイプでは押付け力 16 kg の時点で約 1.5 倍の 67mm/sec の切断速度を示し、押付け力 8 kg で回転が停止したエンジンカッターに比べ、同等以上の切断速度が確認された。

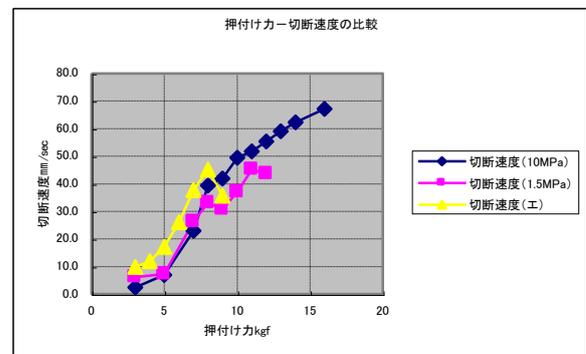


図 4 切断速度の比較

3 性能確認

3-1 試作機の水圧モータ出力・トルク

水流駆動モータの出力測定から得られた性能曲線は、下図に表したとおり、出力は、最高回転速度の約

3-3 切断性能の確認

(1) 切断刃の違いによる切断性能試験結果

レジノイド切断刃装着時の切断性能を基に、ダイヤモンド切断刃を装着した高圧水駆動カッターで冷却水を使用した場合の切断性能試験を実施した。その結果、押付け力 10 kg において約 40mm/sec の切断速度が得られた。これは、レジノイド切断刃(冷却水なし)と同等の値であり、実用面で十分な切断速度が得られることが確認できた。また、2機種を比べると、切断速度は、

10MPa タイプの方が若干速いものの大差でないことが、確認できる。

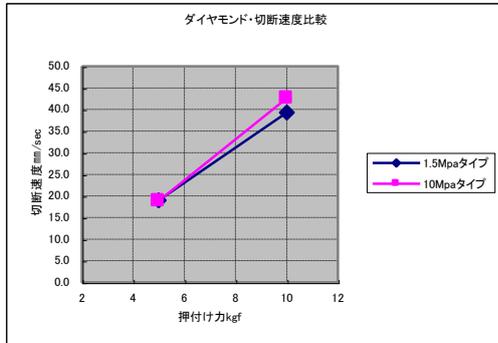


図5 10MPaと1.5MPaとの切断速度比較

(2) 切断火花の飛散状況

切断試験装置に鋼板 (SS400 t1.6) をセットし、エンジンカッター (レジノイド切断刃) と試作機 (ダイヤモンド切断刃) で冷却水なしと冷却水ありとで切断火花の発生状況を確認する。その結果は、エンジンカッターではかなり大量の火花が発生しているのに比べ、試作機で冷却水なしは、火花が発生するものの抑制効果が見受けられ、冷却水を放射することにより、さらに大幅な火花抑制効果が確認できた。



図6-1 エンジンカッターによる切断状況

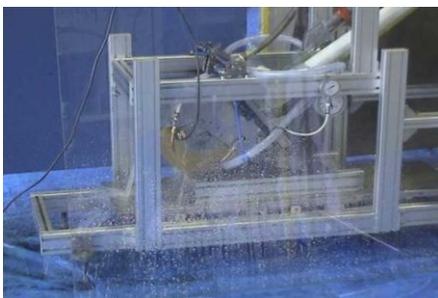


図6-2 高圧水駆動カッターによる切断状況 (冷却水放射)

3-4 ガソリンへの引火危険確認

高さ 1m の位置に鋼材 (単管パイプ) を三脚に固定し鋼材からの距離 1.5m の位置にガソリン 30cc が入ったトレーを設置した。次に、エンジンカッター及び試作機で鋼材を切断した。その際に発生する火花の目視確認及びガソリンへの引火確認を行い、同時に赤外線カメラによる撮影を行った。トレーの距離は、切断時に発生する火花が集中して飛散する場所とし、予備実験により距離を決めたものである。

- (1) エンジンカッターの場合、火花が保護カバーから噴出し、地面に落下、その後、トレー内のガソリンに引火した。
- (2) 試作機 (冷却水なし) の場合、火花は保護カバーから噴出し、地面に落下したが、その量はエンジンカッターと比較して少なく、トレー内のガソリンにも引火しなかった。
- (3) 試作機 (冷却水あり) の場合、火花の発生は、微少で、鋼材切断部附近のみに飛散する程度でありガソリンへの引火もしなかった。



図7-1 エンジンカッターによる切断時 赤外線カメラ映像



図7-2 高圧水駆動カッターによる切断時 赤外線カメラ映像 (冷却水放射)

3-5 耐久性の確認

- (1) 試作機本体の長時間運転を検証するため、SS400 の厚さ 22mm の鋼材の切断実験を行った。

10MPaタイプで900秒(15分)、1.5MPaタイプで1186秒(19分46秒)の結果であるが、振動の増加や異臭の発生等は認められなかった。

連続切断時間は、工業用切断機としては、十分なものといえるが、消防隊員が保持すること及び消防活動における切断対象の様態を勘案すると、実用に耐える水準にあるものと考えられる。この連続切断時間をt 1.6鋼板の切断距離に換算すると、各々18mと28m以上となる。

- (2) ダイヤモンド切断刃の耐久性能についても確認を行った。これまで、ダイヤモンド切断刃による鋼材の切断事例はほとんどなく、耐久性能のデータもない状況であることから、市販の切断刃による試験を繰り返した結果、独自のダイヤモンド切断刃改良に繋げ、実切断時間の累計が30分超えても切断能力が残っていることを確認した。

### 3-6 特殊環境下での使用可能性の確認

#### (1) 酸素欠乏状況下での可能性

密閉性の高い耐火造建物などの室内における火災では、燃焼現象で酸素が減少するとともに燃焼ガスの増加や吸気温度の上昇等により、エンジンカッターのエンジンが停止してしまうことがある。

このことを踏まえ、燃焼実験室内で木材を燃焼させてエンジンカッターの状況変化を確認する再現実験を行った。

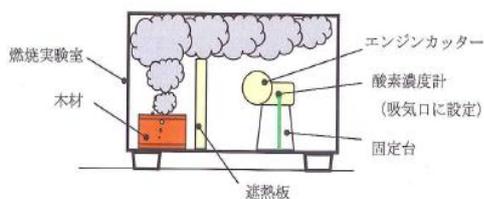


図 8-1 再現実験イメージ



図 8-2 エンジン駆動時  
(酸素濃度 21%)



図 8-3 エンジン停止時  
(酸素濃度 18.4%)

その結果、酸素濃度が、18.4%から18.6%でエンジンが停止してしまうことを確認した。

高圧水駆動カッターにあつては、動力源となる水流が確保されている限り酸素濃度に影響を左右されることはあり得ない。

#### (2) 水中での使用可能性の確認

水災時において、救助活動で水没状態の扉を破壊するためには、水中での切断性能を確認しておく必要があるため、水槽内において確認を行った。その結果、水流駆動モータ部は、水中でも駆動可能であることを確認するとともに駆動水流のリターン水はホースで戻すこと及び冷却水の放射は不要であること、また、動力伝達方式が、試作機では、Vベルトのため滑りの症状があり、タイミングベルト導入の必要性があることを確認した。



図 9-1 水中での駆動確認



図 9-2 水中での切断確認

## 4 実用機の製作

試作機による各種性能確認の結果及び消防隊員からの改善要望等を踏まえた改良を行う。主として次の観点に着目し、性能向上を図った実用機の製作を行った。

### 4-1 改良点

試作機の結果を踏まえて実用機的主要諸元性能を次のとおり設定した。

- (1) 本体質量の軽量化、10MPaタイプで4.8kg 1.5MPaタイプで4.2kg各々軽量化を図った。
- (2) 切断刃回転速度の見直し、10MPaタイプはギヤ駆動からベルト駆動に変更し、回転数を5000rpmまで向上させ、1.5MPaタイプでは最高回転数を6000rpmまでに押さえトルクの向上を図った。
- (3) 駆動方式を10MPaでは、ベルト駆動に変更し、1.5MPaともども滑り対策としてタイミングベルトを採用した。
- (4) 火花冷却性能の向上策として、両タイプとも冷却水ノズルと切断刃カバーの改良を行い、回転する刃先に冷却水が当たるようにした。
- (5) 耐水性の強化として、10m防水を目途にベルト駆動部、モータ取付部を中心に対策を講じた。

(6) 操作性の向上策として、本体ハンドル部の材質・形状を改良し、1.5MPaタイプではホース取付部にスイベル機能を持たせた。

①10MPaタイプの仕様

- (a) カッター径：Φ305
- (b) 最高出力：4.4 kW
- (c) 駆動水圧：10MPa
- (d) 使用水量：80ℓ/min
- (e) 動力伝達：タイミン  
グベルト
- (f) 外形寸法：W 215×L 749×H 423
- (g) 本体質量：11.4 kg (切断刃・配管含まず)

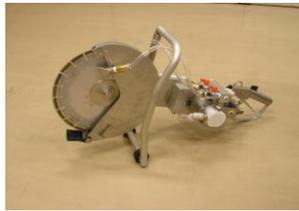


図 10-1 10MPa 実用機

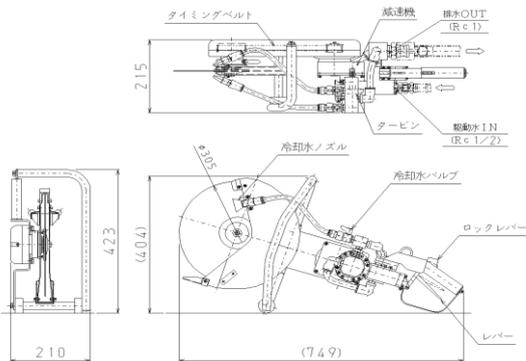


図 10-2 10MPa 実用機寸法図

②1.5Mpaタイプの仕様

- (a) カッター径：Φ305
- (b) 最高出力：4.1 kW
- (c) 駆動水圧：1.5MPa
- (d) 使用水量：400ℓ/min
- (e) 動力伝達：タイミン  
グベルト
- (f) 外形寸法：W 210×L 817×H 423
- (g) 本体質量：10.8 kg (切断刃・配管含まず)



図 11-1 1.5MPa 実用機

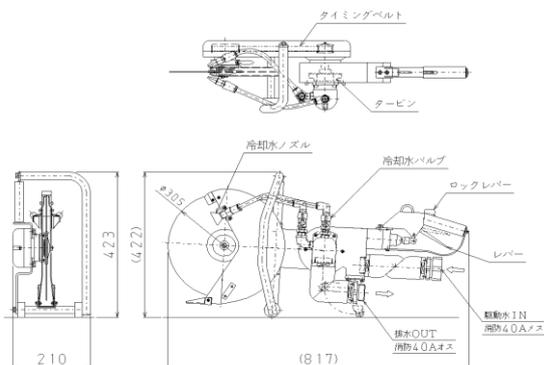


図 11-2 1.5MPa 実用機寸法図

4-2 切断試験装置の改良

試作機の切断試験装置と同様に押付け力を一定にする調整機能に加えて、ドアの開放を想定した貫通試験に対応できるように改良した。

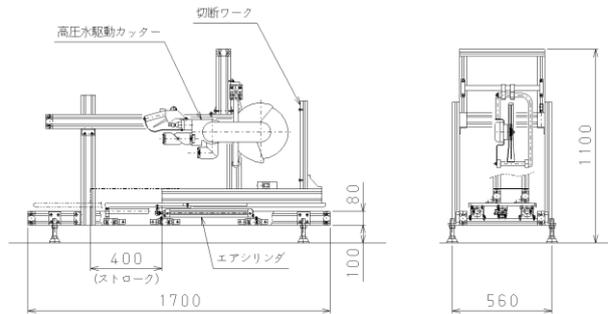


図 12-1 切断（貫通）試験装置寸法図

ワーク（鋼板）

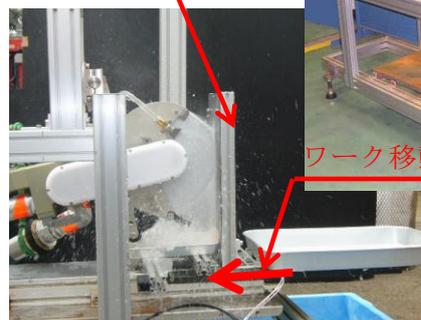


図 12-2 切断(貫通)試験装置

4-3 実用機の性能確認

水流駆動モータ及び駆動方式の見直し等により出力は両タイプとも向上している。トルクについては、1.5Mpaタイプでは向上したが、10MPaでは低下した。しかし、1.5MPaの試作機の値は上回った。

切断性能試験としては、試作機と同様の試験装置で駆動水圧を変化させて確認した。1.5MPa実用機の場合、連結送水管使用時を考慮し、0.7MPaまで下げて確認したところ、切断速度は低下するが、切断可能であった。

また、新たな切断試験装置により、ドアの切断などに際して、従来の貫通後の切断性能より貫通させる切断性能の方が厳しい条件であることから貫通試験を実施した。その結果、押付け力の違いがあり単純比較は難しいが、10MPaに比べて1.5MPaの方が貫通時間は、短い傾向にあった。

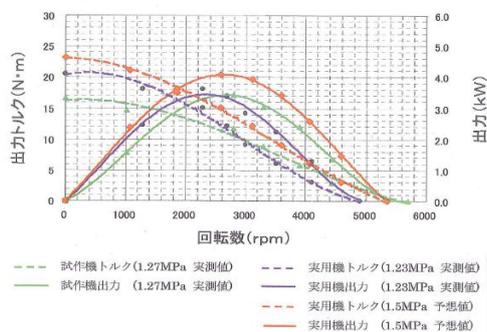


図 13-1 1.5MPa タイプの出力・トルク特性

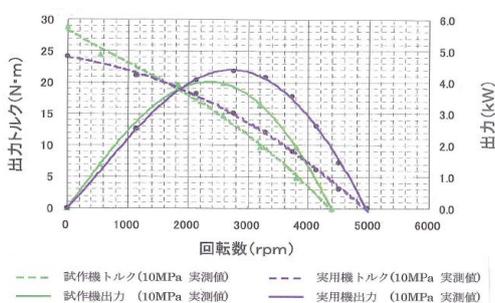


図 13-2 10MPa タイプの出力・トルク特性

## 5 切断火花の性状・飛散特性

試作機においても切断時火花の発生具合とガソリン気体への引火危険の確認を行ったが、実用機を試用して切断時の火花飛散状況・引火危険の確認をさらに詳細に検証を行った。

### 5-1 火花飛散状況の確認

#### (1) 火花飛散分布計測

実用機での切断試験の重点は、ドアの貫通時としており、エンジンカッター（レジノイド切断刃）と 1.5MPa タイプ（ダイヤモンド切断刃）で切断した場合に火花飛散拡大、その熱影響がどのような状況を呈するかについて確認した。

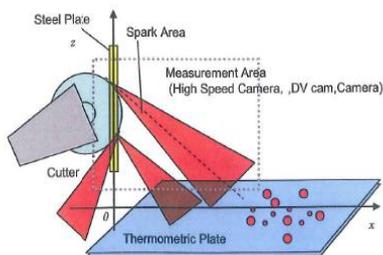


図 14-1 火花飛散分布計測実験概要

切断時の火花飛散状況を検証した結果については、右の実験様相のとおりである。

また、高速度カメラで撮影した火花飛散画像について、グレースケールテーブルを反転させ、様相判別が容易になるように処理した図は、右のとおりである。エンジンカッターにおいては、鉄板貫通後からとぎれることなく連続して火花が飛散しているが、水駆動カッターにおいては、ほとんど火花は見られず、散発的に数粒の火花が確認される程度で、エンジンカッターに比して統計的に処理が困難な程度まで大幅に火花の飛散が抑制されていることが確認された。



図 14-2 実験様相

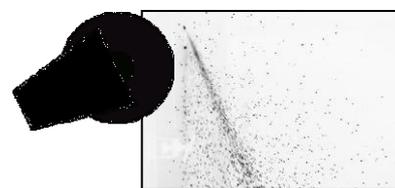


図 14-3 エンジンカッターの火花飛散状況

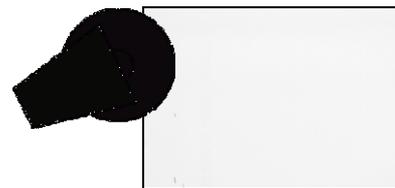


図 14-4 高圧水駆動カッター（冷却水全開）の火花飛散状況

#### (2) 火花飛散量の評価

高圧水駆動カッター(1.5MPa、ダイヤモンド切断刃)の冷却水放射量を変化させて火花の飛散量を確認した。

火花を含む鉄粉飛散量を計測したが、切断面手前側は、冷却水量の開閉度合いによって回収量にバラつきが多いことが分かった。切断面裏側（室内側）の飛散量を計測すると冷却水無しの場合に比べ、半開時の飛散量は約半分の値となった。これは、冷却水ありの場合となしの場合における鉄板部分での接触特性や温度特性が異なり、このことが、切断特性に影響していると考えられる。また、飛散した火花・鉄粉を顕微鏡により形状・大きさから整理した結果、冷却水の有無により大きく異なり、冷却水

が無い場合には火花に対応する球状粒子が支配的であり、対して冷却水有りの場合には、比較的大きな紐状鉄片の多くなる傾向が確認され、冷却水により冷やされることの影響であると思われる。

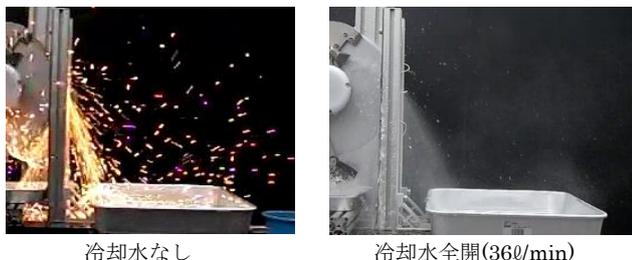


図 15 1.5MPa タイプの火花飛散量計測

冷却水の有る場合には球状粒子の散見される度合いは、1%以下であることから、冷却水が有る場合には、大幅に室内側の移流する熱も低下すると考えられる。

### 5-2 引火危険性の検証

ダイヤモンド切断刃を装着する高圧水駆動カッターは、エンジンカッターと比較して、大幅に火花飛散が抑制され、さらには、冷却水条件を最適化することにより、ほぼ火花飛散を抑制することが可能であることが明らかになった。

本項では、実際の爆発雰囲気環境下において、高圧水駆動カッターを使用することによる引火・爆発危険性を確認するため、実験装置を製作して検証を行った。

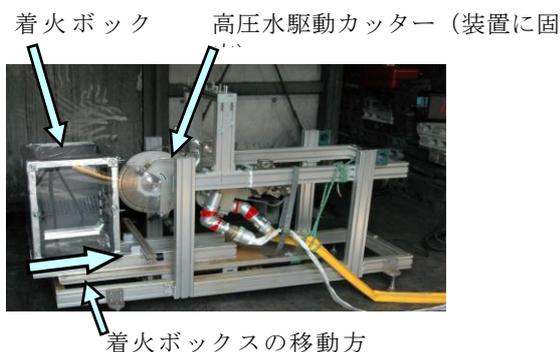


図 16 引火実験装置

前面は透明アクリル板、天井部は爆発時の爆風を逃すため、薄膜フィルムで囲われた着火ボックス内にガソリンを注入し引火雰囲気状況をつくり、エン

ジンカッター、高圧水駆動カッター（冷却水有無）セットして繰り返し実験をした。

エンジンカッターによる切断では、切断刃がボックス内部へ貫通した直後に引火・爆発した。他方高圧

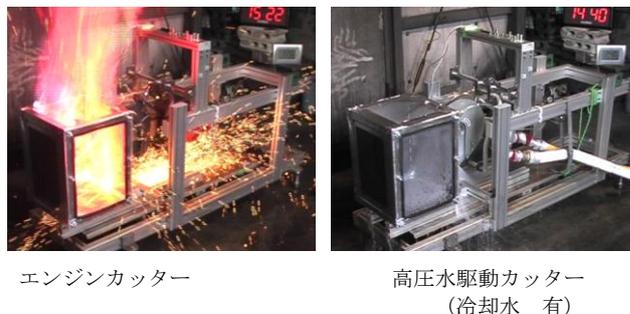


図 17 切断刃貫通時の引火実験結果

高圧水駆動カッターで冷却水ありの場合には、一度も引火しなかった。ただし、冷却水放射なしの場合には、数回に1度引火・爆発することがあった。今回の結果のみで完全に結論づけることは難しいが、火花飛散がほとんどなくなり引火の危険性を大幅に低減できたものと確認できた。

## 6 結言

高圧水駆動カッターは、従来のエンジンカッターと同等の出力・切断性能を持つことを目標に 10MPa タイプと 1.5MPa タイプの2機種を開発し、いずれも、当初の性能をクリアした。その中で消防ポンプを動力源とする「1.5MPa タイプ」については、消防隊が装備する救助資器材（切断機器）として十分な能力を有することが実証できた。

また、冷却水供給が最適化された高圧水駆動カッターは、切断時の火花飛散が大幅に抑制され可燃性気体への引火危険の大幅な低減等も確認できた。

さらには、火災現場等で濃煙による酸欠状況下や水中においても切断可能であることも実証できた。

なお、高圧水駆動カッターは、エンジンカッターに取って代わるものではなく、エンジンカッターの使用できない環境下においての活用を主に想定して開発したものであり、今後さらに軽量化はじめ性能や操作性の向上を目指して改良する余地が多々あるが、消防機関にとって不可欠な「水」を消火目的のみならず、各種災害活動で活用できる消防用資機材開発の切っ掛けになることを願うものである。



#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4.5 効率的な消防戦術の開発

研究課題名	効率的な消防戦術の開発
研究実施期間	平成19年度、平成20年度
配分額（千円）	20,730（平成19年度）、20,281（平成20年度）
研究代表者	佐々木卓実
所属機関	北九州市立大学 国際環境工学部
研究体制	産・学・官
研究概要	<p>水・CAF（Compressed Air Foam）を適切な形状・放水量で放射可能な軽量可変口径ノズルの開発、および、建物内においてもスムーズな延長で高圧放水にも耐える軽量強化小口径ホースの開発を行い、全ての建物火災に対応でき、かつ隊員の負担軽減も可能となる普遍的な消防戦術を確立する。研究の結果、ノズルについては、水用の棒状および噴霧用ノズルとCAF用のストレートノズルをひとつのノズル筐体に納めた新型ノズルを開発し、従来品にない高機能性、多機能性と操作性を実現した。ホースについては、圧力損失、耐摩耗性、キンク性等のホース性能を向上させる織り組織を開発し、低コストで、従来品の性能を大幅に上回る新型ホースを開発した。</p>
研究成果	<p>【ノズルについて】製品への実用化を行い、各メディアへの公開、カタログの配布、ホームページ、実演等により、多くの全国消防関係者からの評価を得た。その結果、70消防本部、74台に対し、107本の販売実績を得る事ができた。このことは今後のCAFSに対する認知度、使用実績により更に伸びるものと見ており、成果があった。</p> <p>【ホースについて】現在も実証中である。</p>
応用の方向性	<p>【ノズルについて】今後、納入実績に対し、実使用での実績を調査し、応用の方向性と改良点を抽出し、更なる品質向上を図る。</p> <p>【ホースについて】柔軟性について検討する等して、品質向上を図る。</p>
研究発表の状況等	<p>1. 効率的な消防戦術のためのノズル、ホースの開発、北九州学術研究都市 産学連携フェア、平成19年10月</p> <p>2. Development of a Nozzle and Hose for the Efficient Firefighting Strategy, Proc. of The 3rd Japan-Taiwan Joint International Symposium on Environmental Science and Technology, pp.105-110, 平成20年12月</p>

	<p>3. 効率的な消防戦術の開発研究（新型ホースの開発）、日本機械学会関東支部第15期総会講演会講演論文集、pp. 383～384、平成21年3月</p> <p>4. 効率的な消防戦術の開発研究（新型ノズルの開発）、日本機械学会関東支部第15期総会講演会講演論文集、pp. 385～386、平成21年3月</p> <p>5. 効率的な消防戦術のための新型消防用ノズル・新型消防用ホースの開発、日本化学工学会第2回化学工学3支部合同北九州大会、平成21年10月</p> <p>6. 泡消火時代の最強ガンタイプノズル、J-レスキュー（イカロス出版）Vol. 44, pp. 26～29、平成22年3月</p>
<p>知的財産権の出願・登録状況等</p>	<p>【ホースについて】 特許・実用新案について、出願を検討中である。</p>
<p>当該研究に対する今後の展開、意見等</p>	<p>【ノズルについて】 ノズルの開発を通して、今後消防実務者から使用状況の意見を収集することにより、更なる性能と品質の向上を図る。</p> <p>【ホースについて】 今後、品質向上等を図り、実用化を目指す。</p>

## 効率的な消防戦術の開発

○佐々木卓実<sup>1</sup>・宮里義昭・村井直行<sup>2</sup>・稲本順司・川東誉・柴田健一<sup>3</sup>・根立敏・広川登朗・坂口正記  
山本高裕<sup>4</sup>・高雄信行・中村篤志<sup>5</sup>・井元淳也・小田晋

Takumi Sasaki, Yoshiaki Miyazato, Naoyuki Murai, Junji Inamoto, Homare Kawahigashi,  
Kenichi Shibata, Satoshi Nedachi, Takaaki Hirokawa, Masatoshi Sakaguchi, Takahiro Yamamoto, Nobuyuki Takao,  
Atsushi Nakamura, Junya Imoto and Susumu Oda

**研究課題の要旨:** 水・CAF (Compressed Air Foam) を適切な形状・放水量で放射可能な軽量可変口径ノズルの開発、および、建物内においてもスムーズな延長で高圧放水にも耐える軽量強化小口径ホースの開発を行い、全ての建物火災に対応でき、かつ隊員の負担軽減も可能となる普遍的な消防戦術を確立する。研究の結果、ノズルについては、水用の棒状および噴霧用ノズルと CAF 用のストレートノズルをひとつのノズル管体に納めた新型ノズルを開発し、従来品にない高機能性、多機能性と操作性を実現した。ホースについては、圧力損失、耐摩耗性、キック性等のホース性能を向上させる織り組織を開発し、低コストで、従来品の性能を大幅に上回る新型ホースを開発した。

### 1. 緒言

今日まで、一般火災発生時の消火戦術は、その火災の規模にかかわらず、大口径 (65mm、50mm) ホースと大口径ノズルを使用した大量放水による戦術が一般的に採用されることが多い。しかしながら、このような消火戦術を採用した場合、階下への水損被害、自然災害時の消火水量の確保の問題、大きなホース重量による機動性の低下、大きな放水反動力、消防隊員の高い肉体的負担が問題視されるようになってきた。このような問題に対して、少ない水量で効率的に消火する技術、さらに、使用資機材の改良による消火活動の効率化および消防隊員の負担軽減を図ることが急務の課題となっている。このような問題に対する打開策のひとつとして、北九州市立大学の上江洲らは、産学官の連携により、天然系消火剤の開発 (平成 15~16 年 消防防災科学技術研究推進制度による競争的資金交付対象事業) を進め、消火水量の節減とともに環境負荷の軽減にも取り組んできた。さらに、北九州市消防局では、40mm ホースの導入、クアドラフォグノズルの導入、CAFS (Compressed Air Foam System) 搭載車両の導入を進め、消火水量の低減化、機動性の向上、放水反動力の低減化に対して一定の成果を上げてきた。しかしながら、その反面、機動性が向上したことによってホースの引き擦りによる損傷が生じやすい環境になったこと、階段室などの狭隘かつ屈折する箇所に延長する機会が増加したことによるホースの折れが生じやすくなったことなどが問題として生じた。また、ノズルから放射された CAF の発泡性の適切さ、大規模火災などで大量放水が必要な際のノズル流量不足によるノズルの取り替え作業など、ノズルについても問題点が生じた。

このような問題を解決し、総合的に真に効率的な消防戦術を確立するため、本研究では、耐外傷性や曲げ性、耐熱性を十分に備えた小口径ホース、および水および CAF を最適な流量および形状で効率的に放射可能な軽量ノズルの開発を行った。

### 2. 新型ホースの開発

#### 2.1 既存ホースの問題点と新型ノズルの開発目標

これまで、一般火災の消防戦術では 50 mm あるいは 65 mm の大口径ホースによる大量放水によって消火活動を行うことが多い。しかし大口径ホースは通水時にかなりの重量となることや、放水時に強い放水反動力をもつために、複数の隊員でホースを保持しなければならない。また、近年消防職員の高齢化により、大口径ホースによる消火活動は機動性の低下の原因となっている。

北九州市消防局では、上述の問題点を改善するために、環境に優しい消火剤を用いた CAFS の導入を進め、さらに、65mm ホースと 40mm ホースを組合せた新しい消防戦術の開発に取り組んできた。その結果、消火水量の低減化、ホースの軽量化、機動性の向上、放水反動力の低減化、1 人の隊員でノズルを保持することが可能となったなど、一定の成果が得られている。ところが一方では、このような新しい消防戦術の導入に起因した消防用資機材に関する問題点も指摘されるようになってきた。中でも、消防用ホースに関するものでは、機動性が向上したことによる引きずりによる摩耗、外傷の多発、階段等狭隘部でのホースの折れ曲がり (キック) による圧力損失や外傷の多発、CAF と水との熱容量の差によるホースの冷却効果の低下が原因の熱損傷などが挙げられる。また、既存の 40 mm の小口径ホースを使用すると、例えば 500 l/min の水を流した場合、ホース入口の圧力はホース内の壁面摩擦によって 20m 先では入口圧力の約半分近くまで減少する。ホース出口の圧力を確保するには、できるだけ圧力損失を生じないホース

1 公立大学法人 北九州市立大学 国際環境工学部

2 株式会社モリタホールディングス

3 芦森工業株式会社

4 ヨネ株式会社

5 北九州市消防局

が望ましい。また、ホースに1ヵ所折れ曲がり（キック）が生じると、大きな圧力損失を生じることが報告されており、できるだけキックを生じないホースを開発する必要がある。

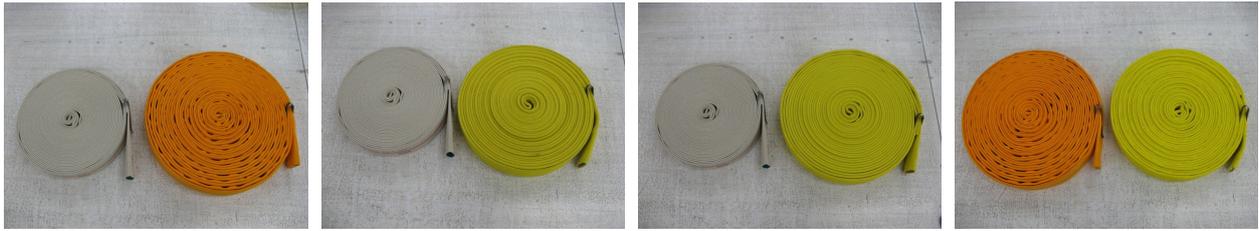
そこで本研究では、上記のような観点から、既存ホースより圧力損失が少なく、耐外傷性・耐キック性・耐熱性の高い新型40mmホースを開発することを目標とした。

## 2.2 新型ホースの試作

上記の開発目的を踏まえ、2種類のシングルジャケットホース（SJN1、SJN2）と1種類のダブルジャケットホース（DJN）を試作した。これらの新型ホースに対して試験を行い、現行ホース（SJC、DJC）との性能を比較した結果を表2.2に、これらの写真を図2.1に示す。

表 2.1 現行ホースと新型ホースの性能比較

試験品		現行ホース <sup>注1</sup>		新型ホース <sup>注2</sup>			
		SJC	DJC	SJN1	DJN	SJN2	
試験項目		タテ糸 アラミド18%混 ヨコ糸 ポリエステル 計アラミド比12% 耐炎・耐摩加工	外筒、内筒とも ポリエステル糸使用 表面加工あり	タテ糸 アラミド25% 混、ヨコ糸 外 ポリエステル 内 アラミド 計アラミド比 23% 表面加工あり	外筒 ポリエステル 100% 内筒タテ糸ポリエステル、 アラミド各50% ヨコ糸アラミド100% 計アラミド比 20% 表面加工あり	タテ糸 アラミド25%混 ヨコ糸 ポリエステル 計アラミド比 13% 表面加工あり	
	二重巻き時の直径 cm	35	45	38	44	45	
重量	ホース本体 g/m	190	306	250	294	252	
	金具 g/本	350	330	330	330	330	
	合計 kg/20m	4.2	6.6	5.5	6.4	5.5	
破断圧 MPa	直断	6.2	9.6	9.2	10.0	9.4	
	折曲	6.1	9.6	8.1	10.9	7.7	
耐	耐摩耗性 (回数)	0.5MPa	292	648	1000以上	1000以上	1000以上
		0.8MPa	-	-	1000以上	1000以上	865
		1.0MPa	-	-	1000以上	1000以上	732
外 傷	釘外傷 <sup>注3</sup>	0.5MPa	3.8MPa 残存圧61%	外筒に傷発生 破断圧低下せず	タテ糸に僅かに傷 発生	←	←
		0.8MPa	2.0MPa 残存圧 32%	8.0MPa 残存圧 83%	タテ糸に僅かに傷 発生	←	←
		1.0MPa	噴出	7.6MPa 残存圧 79%	9.3MPa 残存圧 100%	10.0MPa 残存圧 100%	9.4MPa 残存圧100%
性	キック性 (cm)	0.5MPa	56	71	43	52	40
		0.8MPa	-	-	40	42	39
		1.0MPa	-	-	39	41	39
耐熱性	キューブ 加熱 <sup>注4</sup>	0.8MPa	噴出	小漏水	小漏水	小漏水	小漏水
	キューブ 加熱 <sup>注5</sup>	充水なし	熔融	熔融	1.7MPa	6.4MPa	0.5MPa
圧力損失 (500ℓ/min 送水時)	圧損 MPa	0.42	0.27	0.20	0.27(0.21) <sup>注6</sup>	0.22	
	内径 mm	39.4	39.5	39.4	37.5(39.5) <sup>注6</sup>	39.7	
操作性等		コンパクトで操作性は良好。	操作性はSJCに劣る。視認性あり。	固いが、嵩、二重巻き径ともDJC以下。固さの改善余地あり。	柔らかいが嵩が大きく二重巻き径も大きい。	固く嵩高い。固さの改善余地は少ない。	
備考		注1 : SJC : 現行シングルジャケット、DJC : 現行ダブルジャケット 注2 : SJN1 : 新型シングルジャケット試作1、DJN : 新型ダブルジャケット、 SJN2 : 新型シングルジャケット試作2 注3 : 加圧したホースに対し45度の角度で約1.2kgの荷重をかけた釘で引っ掻き、破断や噴出がないか確認する。破断等しない場合は残存圧力を測定する。 注4 : 13mm角の鉄片を600~610度に加熱し、0.7MPaに加圧したホース上へのせ、15秒以内に破断しないこと 注5 : 13mm角の鉄片を600~610度に加熱し、ホース上に15秒のせた後、残存圧力を測定する 注6 : カッコ内の数値は、新型ダブルジャケットの内径を現行ダブルジャケットの内径と同じと仮定した場合の圧力損失を示す。					



(a) (左) SJC (右) DJC      (b) (左) SJC (右) SJN1  
(c) (左) SJC (右) SJN2      (d) (左) DJC (右) DJN

図 2.1 現行ホース (SJC、DJC) と新型ホース (SJN1、SJN2、DJN) の写真

### 2.3 新型ホースの検証

以下に、新型ホースの検証結果を示す。

#### 2.3.1 新型ホースの圧力損失

**2.3.1(a) 圧力損失に関する理論** 断面積一定の直管内の十分発達した流れでは、断面にわたる平均速度は流れ方向に一定に保たれるが、静圧は粘性による摩擦によって流れ方向に減少する。

図 2.2 に示すように、内径  $d$  の真っ直ぐな円管内の定常流れを考える。断面 1~2 間の距離を  $l$ 、管摩擦による圧力損失を  $\Delta p_s$  とおくと、

$$\Delta p_s = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.1)$$

また管内を流れる体積流量を  $\dot{Q}$  とおくと、

$$\dot{Q} = \frac{\pi}{4} d^2 v \quad (2.2)$$

であるから、これを式(2.1)に代入すると、

$$\Delta p_s = \lambda \cdot \frac{8\rho l \dot{Q}^2}{\pi^2 d^5} \quad (2.3)$$

すなわち管内を流れる体積流量  $\dot{Q}$  が一定の場合、圧力損失は管の内径の 5 乗に反比例する。

管が曲がっている (キंक) 場合の圧力損失を  $\Delta p_k$  とおくと、この場合の損失係数を  $\zeta$  として、

$$\Delta p_k = \zeta \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.4)$$

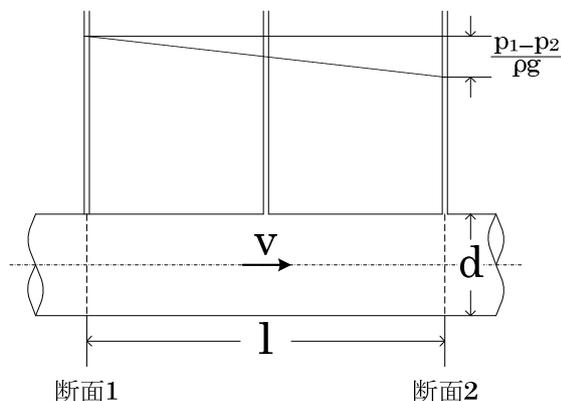


図 2.2 円管を通る定常流れ

したがって、管内の全圧力損失を  $\Delta p_f$  とすれば、式(2.1)と式(2.4)より、

$$\begin{aligned} \Delta p_f &= \Delta p_s + \Delta p_k = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} + \zeta \cdot \frac{\rho v^2}{2} \\ &= \left( \lambda \cdot \frac{l}{d} + \zeta \right) \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.5) \end{aligned}$$

**2.3.1(b) 圧力損失の測定方法** ホース内を流れる水による圧力損失を測定するための実験装置の概要を図 2.3 に示す。消防車によって加圧された水は、65mm 分岐ホースと流量計 (愛知時計電機製電磁式流量計、TAV065V-30UEFVFIX020)、試験ホース、ノズルを通った後、大気に放出される。ホースの圧力損失は、ホース入口と出口で圧力計 (第一計器製作所製一般形圧力計、1MPa、1.6 級) による測定によって求めた。

実験は屋内で行っており、真っ直ぐなホースの圧力損失の測定は、できる限りホースの曲率半径が大きくなるようにして行った。図 2.4 はホースに 90° のキंकを 1 ヶ所設けた場合のホースの様子を示す。実験では表 2.1 に示す 2 種類の現行ホースと 3 種類の新型ホースに対して、ホースを真っ直ぐにした場合とホースに 90° のキंकを 1 ヶ所設けた場合の圧力損失およびホースを真っ直ぐにし、水に対する消火剤の混合比を 0.5% および 0.1% と設定したときの混合水、および水のみを流した場合の圧力損失を測定した。

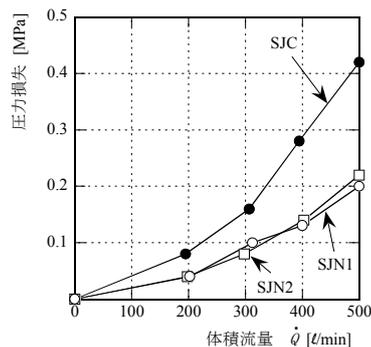
ホースを真っ直ぐにした場合とホースに 90° のキंकを 1 ヶ所設けた場合の圧力損失測定結果をそれぞれ図 2.5 と図 2.6 に示す。

図 2.5(a) からわかるように、2 種類の新型シングルジャケットホースは、いずれも現行シングルジャケットホースよりも圧力損失が低い。特に、ホースを流れる水の体積流量が 500 l/min のときには、新型シングルジャケットホースは、現行シングルジャケットホースに比べて圧力損失が半分程度まで低くなる。また新型ダブルジャケットホースは、体積流量が約 300 l/min 以下では両新型シングルジャケッ

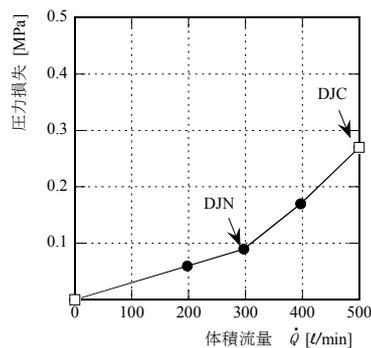
トホースと圧力損失がほぼ同じ値となり、体積流量が約 500 l/min では、現行ダブルジャケットホースと圧力損失が同じになる。ただし、新型ダブルジャケットホースの内径は 37.5 mm で、現行ダブルジャケットホースの内径は 39.5 mm である。従って圧力損失が内径の 5 乗に反比例することを考慮して、仮に新型ダブルジャケットホースの内径を現行ダブルジャケットホースの内径を同じと仮定すると、新型ダブルジャケットホースは現行ダブルジャケットホースの圧力損失の約 2/3 程度まで減少する。

図 2.5 と図 2.6 の 3 種類の新型ホースの圧力損失を比較すると、ホースに 90°のキックが 1 カ所あると、圧力損失が約 2 倍になることがわかる。したがって、できるだけキックを生じないホースが理想的であることがわかる。

圧力損失に及ぼす消火剤の影響を調べた結果を図 2.7 に示す。図 2.7 から、消火剤の濃度を変えてもほぼ同じ圧力損失を示していることがわかる。これより、ホースの圧力損失に及ぼす消火剤の影響はないものと考えられる。



(a) シングルジャケットホース



(b) ダブルジャケットホース

図 2.5 新型と現行ホースの圧力損失 (直線)

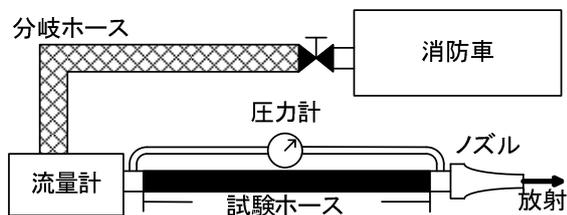


図 2.3 ホース内圧力損失測定用実験装置の概要



図 2.4 90°キック状態

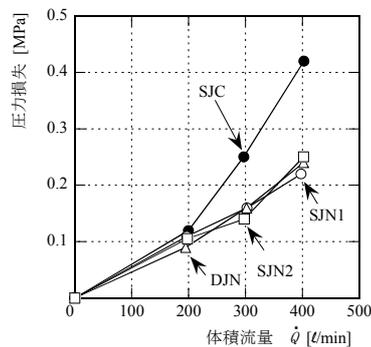


図 2.6 新型と現行ホースの圧力損失(1カ所キック)

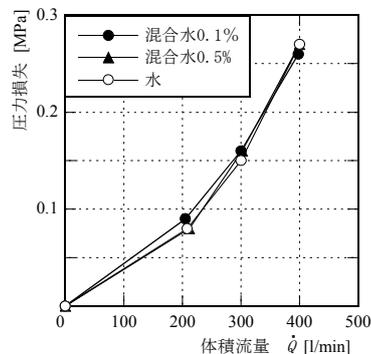


図 2.7 水および混合水 (消火剤濃度 0.5%、0.1%) 圧力損失の比較

### 2.3.2 新型ホースの実践的検証

実際の消火活動を想定し、屋内消火で想定される狭隘箇所でのホースの動きの検証を、主にキンク性および耐外傷性に注目して行った。使用したホースは、3種類の新型ホースと現行のシングルジャケットホースの4種類で、ホース内を水で充填し、以下のような検証を実施した。

#### 検証(a) 屋内階段の踊り場でのホースの延長

1階から2階への屋内階段の踊り場を使用し、消防隊員がホースを延長する際のホースの延長状態およびキンク状況について検証した。図2.8に屋内階段の踊り場の見取り図を示す。検証時の写真を図2.9に示す。検証の結果、新型シングルジャケットホースは、2種類ともに円状に広がり、キンク箇所はほとんど鈍角であった。新作ダブルジャケットホースは楕円状に広がり鋭角のキンクが数ヶ所生じた。新型ホースは3種類ともに、延長するとキンク箇所が次第に回復され、スムーズな延長ができた。現行シングルジャケットホースは三角形に広がり鋭角のキンクが多数生じた。ホースを延長するとキンクが回復する際の反発によって別の箇所でキンクが生じ、円滑な延長ができなかった。

**検証(b) 狭隘部分でのホース保持・移動** ホースの接触部分(図2.10)が予想される場所での、ホースの損傷状況およびホース保持・移動時における活動支障を検証した。図2.11に屋上の一部の見取り図を示す。見取り図のとおり、ホースを事物に接触した状態をつくり、ホースに水を通した。消防隊員がホースを持ち移動する際の、ホースの接触部分における損傷程度および活動支障の状況を検証した。検証時の写真を図2.12に示す。検証の結果、新型ホースは、3種類ともにキンクは全く生じず、地面との摩擦による損傷も見られなかった。またホースの移動がスムーズであった。現行シングルジャケットホー

スは、一度キンクが生じるとキンク箇所がずれるように再度キンクが生じた。またキンク箇所が引きずられることでホースに若干の損傷が生じた。

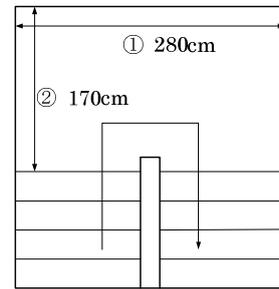


図 2.8 検証(a)の見取り図



図 2.10 ホース接触部分

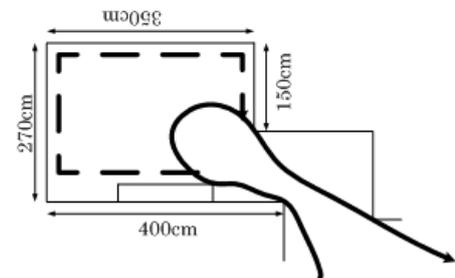
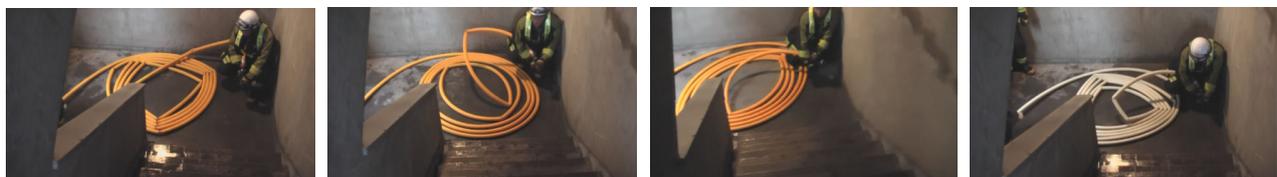


図 2.11 検証(b)の見取り図



SJN1

SJN2

DJN

SJC

図 2.9 検証(a)の様子



SJN1

SJN2

DJN

SJC

図 2.12 検証(b)の様子

**検証(c) 狭隘通路での回転** 地上から2階部分へホースの延長を行い、消防隊員がホースを持ち移動する際の、ホースの壁面接触時における耐摩耗性および屈曲性を検証した。図 2.13 に狭隘通路の概観、図 2.14 に狭隘通路の見取り図を示す。検証時の写真を図 2.15 に示す。検証の結果、新型ホースは、3種類ともにキックは全く生じず、地面や壁との摩擦による損傷も見られなかった。現行シングルジャケットホースは、壁と壁の間ではキックは生じないが、段差部分(図 2.14)に近づくとキックが生じた。

以上の実践的検証結果から、新型ホースは現行ホースに比べキック性において非常に改良されている。したがって、ホース表面の損傷の主な原因であるキック箇所の地面との摩擦が軽減されるようになったので耐外傷性も良い。またキック性が改良されたことで、機動性の向上に伴う問題も緩和される。

最後に、現行ホースと新型ホースについての、費用比較結果を表 2.4 に示す。表 2.4 より、2種類の新型シングルジャケットホースは、現行シングルジャケットホースより推定価格費は高く、新型ダブルジャケットホースは、現行ダブルジャケットホースと比較して推定価格費は高い。しかし、耐熱性と耐摩耗性を考慮した年間費用費を比較すると、2つの新型シングルジャケットホースは、現行シングルジ

ャケットホースより低価格で、新型ダブルジャケットホースも現行ダブルジャケットホースと比べて低価格になる。



図 2.13 狭隘通路の概観

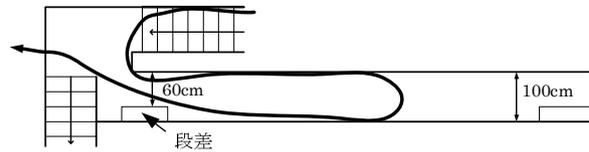
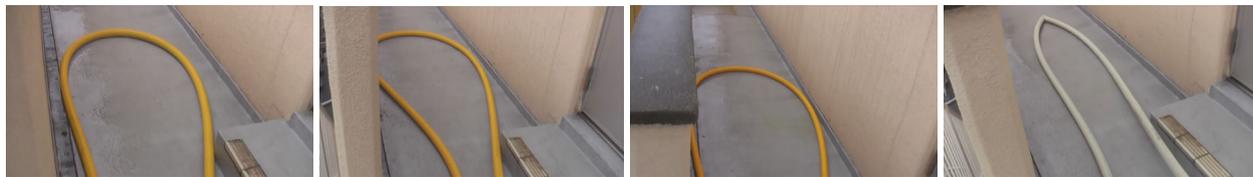


図 2.14 検証(c)の見取り図



SJN1

SJN2

DJN

SJC

図 2.15 検証(c)の様子

表 2.2 現行ホースと新型ホースの費用比較

	SJC	DJC	SJN1	DJN	SJN2	備考
推定価格比	1.0	1.3	1.4	1.7	1.3	SJC を 1 とした場合.
耐摩耗性による損傷 (本/年)	1.0	0.5	0.3	0.3	0.3	耐摩耗性 300 回の時 5 回に 1 回損傷と仮定.
耐熱性による損傷 (本/年)	0.3	0.3	0	0	0.3	耐熱での損傷を 20 回の使用で発生と仮定.
合計 損傷数 (本/年)	1.3	0.8	0.3	0.3	0.6	上 2 枠含め 5 回/年の実戦使用と仮定.
年間費用比	1.3	1.0	0.4	0.5	0.7	年間損傷数×推定価格比.

### 3. 新型ノズルの開発

#### 2.1 既存ノズルの問題点と新型ノズルの開発目標

北九州市消防局では、全ての火災に対して、より効率的な消火活動を行うため、効果的な消防用ノズルの使用法について模索を行ってきた。この中で、既存ノズルを用いた消火活動を行うことで、次のような点が問題視されるようになってきた。

(1) 通常規模の火災では、消火水量の低減のため、筒先でのオープン/シャットが可能なノズル（北九州市消防局ではクアドラフォグノズル）を採用し、できるだけ効率の良い消火を目指す。しかしながら、このノズルの最大流量の関係から、大規模火災時の大量放水へは向かず、その際には大口径のストレートノズルに付け替えて活動を行っていた。隊員は現場でノズルの付け替えをする必要があり、必ずしも効率的な消火活動とは言えない状況となっていた。

(2) 通常規模の火災では、水あるいはCAFを放射する際、どちらの場合もクアドラフォグノズルを用いていたが、CAFを放射する事に対して、必ずしも当該ノズルが最適なノズル形状となっているとは言えなかった。（CAFの泡がノズル出口で崩壊する。）

このような問題点を解決できるようなノズルの選定を試みたが、この問題を解決できる既存の消防用ノズルはないというのが現状のようである。

そこで、本研究では、上記の問題点を踏まえて、CAF用のストレートノズルおよび水放射用の可変口径ノズルをひとつのノズル筐体に納めた新型ノズル（オールインワンノズル）の開発を行う。新型ノズルの試作に当たっては、既存ノズルよりも小型・軽量化を目指し、形状や操作法についても実際に現場で用いる消防隊員からの意見を多く取り入れて設計を行う。その上で、オールインワンノズルの開発目標を以下のように定めた。

- ・ ストレートノズルと可変口径ノズルをひとつのノズル筐体に納めた上で、ノズル筐体の大きさは、既存品と同等あるいは小型化したものとする。
- ・ CAFの発泡性を既存ノズルと比較して大幅に改善する。
- ・ 水放水時には、大規模木造火災などを想定した550 l/min以上の放水から、130 l/min前後の少量放水までをいくつかの段階に分けて調整可能なものとする。
- ・ ノズル全長については、消防隊員が保持したときに体感ノズル反動力を軽減させるため、ノズルを腕や脇を使ってサポートできるような長さとする。
- ・ 大量放水時においてもホース接続部の構造を

改良し放水時の反動力を軽減させ、操作性の向上、負担軽減を図る。

#### 2.2 新型ノズルの試作

前節に述べた開発目標に沿って製作した新型ノズルの試作品の主要諸元を表3.1に、写真を図3.1に示す。表および図のように、新型ノズルは4つの可変口径ノズルの中心にストレートノズルをもつ構造である。流量は5段階に切り替え可能で、最大流量は580 l/minであり、大規模木造火災等における大量放水も行うことができる。また、ストレートノズルと可変口径ノズルを併用した場合は、最大800 l/minの流量を得ることができる。さらに、ホース接続部の構造を改良することで、放水時の反動力を軽減させ、操作性の向上、負担の軽減が図られているため、最大流量時にも一人の消防隊員で保持することも可能になると期待される。

#### 2.3 新型ノズルの検証

**2.3.1 新型ノズルの射程および発泡倍率** 試作した新型ノズルと既存ノズル1（クアドラフォグノズル）、既存ノズル2（CAFSノズル）およびストレート21mmノズルとでCAFを放射した際の射程および発泡倍率を測定した。測定法としては、一定角度（放射角38°）で固定したノズルからCAFを放射し、放射方向に1m毎に設置した容器に溜まったCAFの質量と体積を計測した。以下の図はノズルから容器までの距離とそれぞれの容器に溜まった

表 3.1 新型ノズルの主要諸元

項目	摘要
名称	オールインワンノズル（仮名）
全長 (mm)	約 540
質量 (kg)	約 3.2
ホース接続部	40 差込式メス金具
流量レンジ	5レンジ(φ21ストレート含む)
流量(l/min)	0.7MPa 140/270/430/490/580 (ストレート)
放水形状	ストレート・棒状・噴霧(フルコーン)・自衛噴霧
放水開閉	ボールバルブ式



図 3.1 試作新型ノズル

CAFの質量との関係、および溜まったCAFの平均発泡倍率を示したものである。図3.2(a)はDRY泡(気水比18:1)を放射した場合の射程、図3.2(b)はその際の平均発泡倍率である。それぞれの図中の凡例の意味は、新型ノズル(ストレート) / (Max)は、新型ノズルのストレートノズルによる放射/流量切り替えノズルの最大流量位置(490 l/min)での放射である。同じように、既存ノズル1(Max)は、クアドラフォグノズルの最大流量位置(475 l/min)での放射である。なお、実験は風の影響を受けない屋内で行ったが、放射方向を一定にすることはかなり困難であったため、容器に溜まるCAFの量は一定とはなっていない。よって本実験では、容器に溜まった質量の大きさは考慮せず、ノズルから容器までの距離に着目して評価を行うことにする。なお、平均発泡倍率は、以下の式から各容器に溜まったCAFの発泡倍率を求めた後、その値を平均して求めた。

$$\text{発泡倍率} = \left( \frac{\text{容器に溜まったCAFの体積 [m}^3\text{]}}{\text{容器に溜まったCAFの質量 [g]}} \right) \times \text{水の比重 [g/m}^3\text{]}$$

図3.2(a)から、新型ノズルのストレートおよび最大流量位置での射程が、既存ノズル1、既存ノズル2およびストレート21mmノズルの射程よりも大きいことがわかる。新型ノズルおよび既存ノズル1の最大流量位置での流量がほぼ同程度のものであることを考慮すれば、新型ノズルの射程における優位性が確認できる。また、図3.2(b)より、この際の発泡倍率は、CAFの放射に特化した既存ノズル2(CAFSノズル)の発泡倍率が大幅に大きいことを

除くと、新型ノズルのストレート放射の発泡倍率は、ストレート21mmノズルのものとほぼ同等の発泡倍率を示しており、実用上十分な発泡倍率が得られている。この結果から、CAFの放射にストレートノズルを用いることは、発泡倍率の面で非常に有効であることが確認される。なお、既存ノズル1および既存ノズル(Max)では、可変口径ノズルのため、ノズル出口において泡が崩壊し、発泡倍率は低いものとなっており、DRY泡を放射したにもかかわらず、放射されたCAFはCAFとしての特性を十分に発揮できないものと考えられる。また、新型ノズルのストレート放射とその他の口径の既存ストレートノズルとの比較を行った結果、新型ノズルのストレート放射は、既存のストレート21mmノズルのものとほぼ同じ値を示した。このことから、新型ノズルの水・CAF切り替え部での乱流の発生によるCAFへの影響は少ないものと確認される。

以上の結果から、射程については新型ノズルの射程が既存ノズルと同程度かそれ以上の値を示していることが確認される。発泡倍率については、既存ノズル2が最も大きな値を示したが、既存ノズル2が水放射には適さないこと、および新型ノズルの発泡倍率が実用上十分であることを考慮すれば、水・泡ともに効率的に放射できる新型ノズルの優位性が理解される。

**2.3.2 CAFの壁面付着性** 新型ノズルにより放射したCAFの放射対象への付着性を確認するため、新型ノズル、既存ノズル1(クアドラフォグノズル)およびストレートノズルによりCAFをコンパネ製壁面に放射し、壁面に付着したCAFの挙動を観察した。CAFはDRY泡(気水比18:1)とWET泡(気

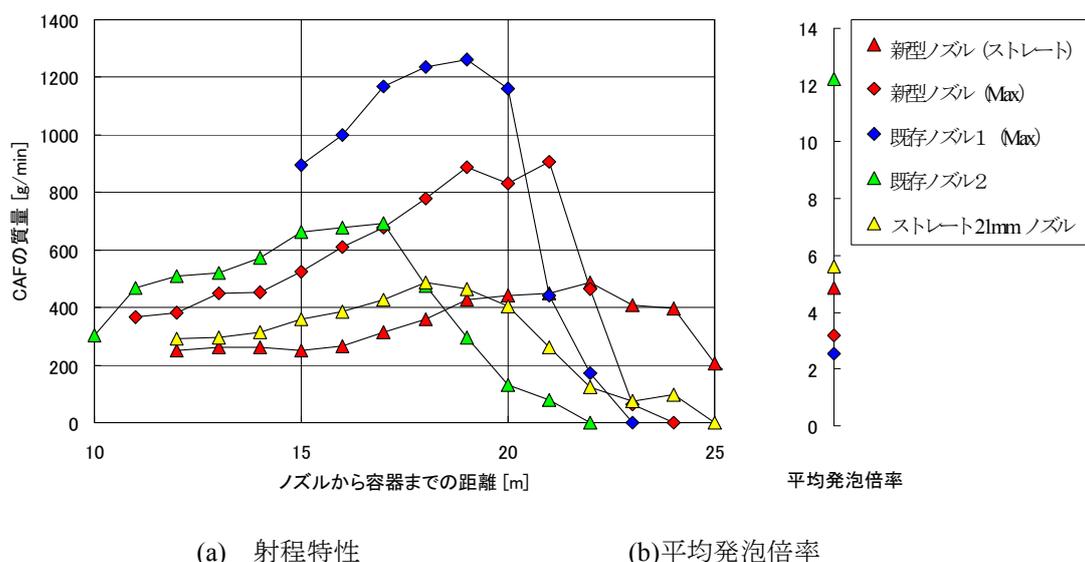


図3.2 新型ノズルと既存ノズルの射程特性と平均発泡倍率

水比 7:1) とし、各ノズルで種々のノズルポジションを用いて放射した。ノズルから壁面までの距離はすべて 6.0 m とし、消火剤はミラクルフォームを用いた。壁面に放射直後から、1 分間隔で壁面の様子を写真撮影した。

表 3.2 に、DRY 泡放射時の壁面写真を抜粋したものを示す。写真からわかるように、新型ノズルのストレートノズルを用いた場合は、放射後 3 分経過しても壁面に CAF が十分に付着している。新型ノズルの可変口径ノズルを用いた場合は、ノズル出口で泡が崩壊するので、2 分程度の時間で CAF が消滅している。また、既存ノズル 1 を用いた場合も、すべて放射後 2 分程度で CAF が消滅している。これに対して、ストレートノズルを用いた場合は、放射後 3 分経過しても CAF は付着している。このことから、新型ノズルによる CAF の付着性は、既存のストレートノズルと同等の性能を持ち、十分に有効であることが確認される。

**2.3.3 CAF の泡形状と流動特性** 各ノズルによって放射された CAF の形状特性を把握するため、ガラス面に CAF を放射し、放射された裏側からマイクロスコープを用いて CAF を観察した。また、マイクロスコープを用いた動画解析によって、CAF がガラス面を伝って落下する際の平均落下速度を求めた。なお、CAF は DRY 泡 (気水比 18:1) と WET 泡 (気水比 7:1) とし、用いたノズルおよびそのポジションは新型ノズルのストレートノズルおよび既存ノズル 1 (クアドラフォグノズル) の 475 l/min ポジションである。

**(a) CAF の泡形状** 図 3.3 および図 3.4 はそれぞれ新型ノズルおよび既存ノズル 1 による DRY 泡の画像である。それぞれ、放射後 1 分間隔で 3 分後まで撮影したマイクロスコープの画像を示している。写真右下の赤の交差した線は、一辺 10mm を表している。それぞれの図からわかるように、新型ノズルによる CAF と既存ノズル 1 による CAF を比較する

表 3.2 各ノズルによる CAF の壁面付着性実験結果

	放射直後	1 分後	2 分後	3 分後
新型ノズル ストレート (580 l/min)				
既存ノズル 1 (クアドラフォグ ノズル) 475 l/min				
ストレート 21mm ノズル				

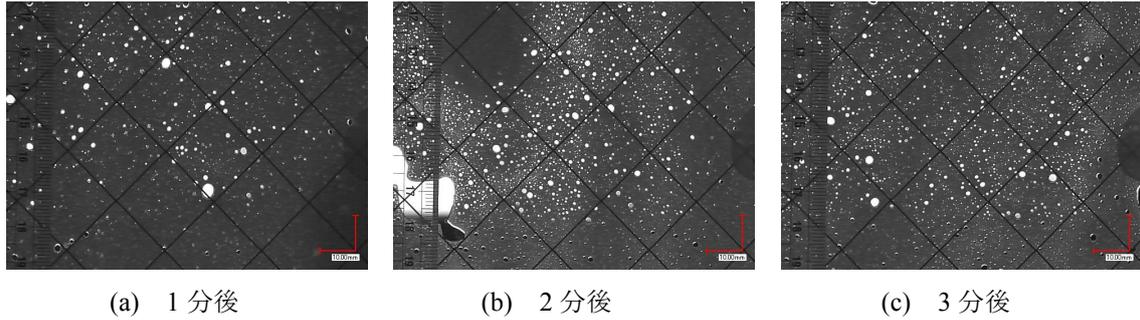


図 3.3 新型ノズル（ストレート）による DRY 泡の形状

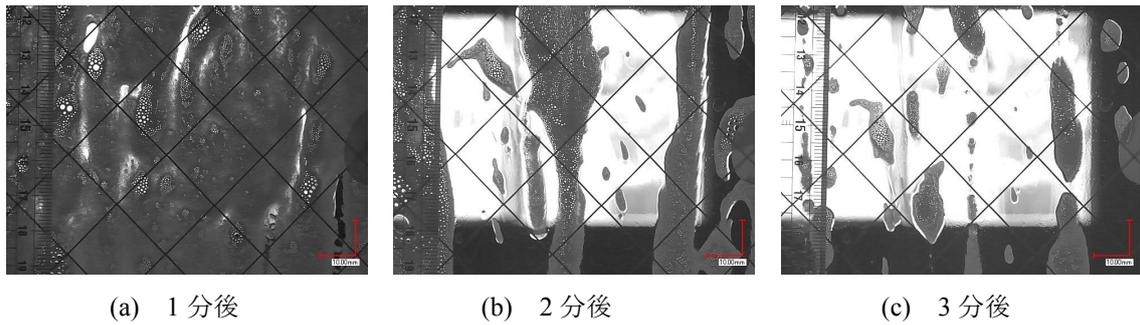


図 3.4 既存ノズル 1（475 l/min ポジション）による DRY 泡の形状

と、新型ノズルによる泡は明らかに大きな泡が形成されていることがわかる。これは、新型ノズルの泡は崩壊することなくガラス面に付着し、逆に、既存ノズル 1 の泡がノズル出口で崩壊した結果と判断される。また、新型ノズルによる泡が一定時間経過後もガラス面に大きな泡形状のまま残っているのに対し、既存ノズル 1 の泡は 2 分経過後にはほとんど残っておらず、大部分が流れ落ちていることがわかる。このように、各ノズルによって泡の形状に大きな違いが出ることを確認された。また、新型ノズルによる泡が、壁面付着後も形状を保持しており、壁面に CAF の膜を張るため、放射対象物の鎮火および延焼防止に非常に有効であることが確認される。

**(b) CAF の流動特性** 2.3.3(a)に示したように、既存ノズル 1 では、壁面に付着した泡が短時間に流れることが見て取れる。本項では、2.3.3(a)で撮影したマイクروسコープによる動画を解析することによって、泡の平均落下速度の定量化を試みる。平均落下速度は、動画上に泡のサンプルを 4 つとり、それらの落下速度を平均して求めた。動画解析による変位量、速度の解析画面を図 3.5 に示す。

各ノズルにより放射された泡の平均落下速度を表 3.3 に示す。新型ノズルの平均落下速度は、放射後 1 分後、2 分後および 3 分後にそれぞれ 10 秒間で計測した平均落下速度をさらに平均したものを表示している。既存ノズル 1 については、2 分後および 3 分後は泡が観測されなかったため、1 分後に取った 10 秒間の平均落下速度を表示している。表か

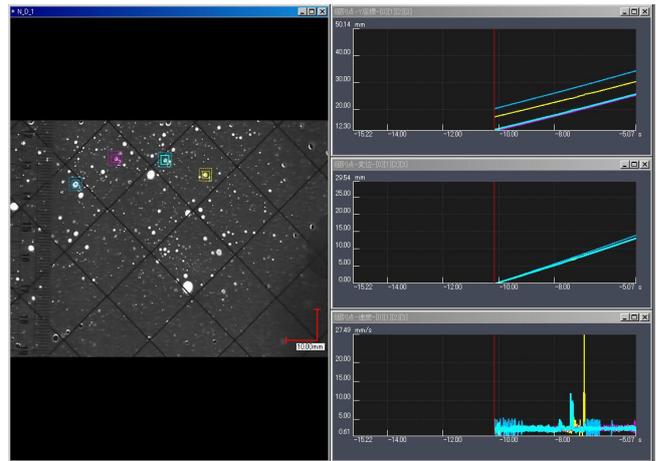


図 3.5 泡の落下速度の解析

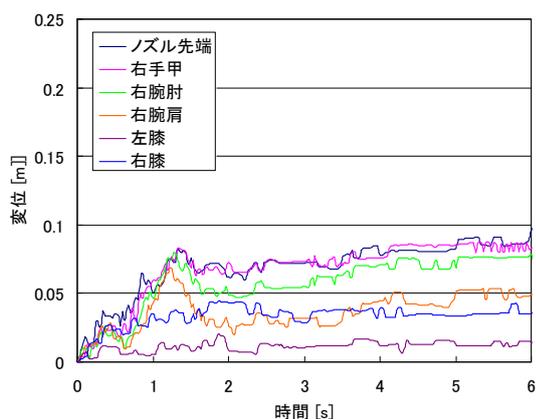
表 3.3 各ノズルによる泡の平均落下速度

		DRY	WET
平均落下速度 [ mm/s ]	新型ノズル (ストレート)	1.68	2.29
	既存ノズル 1 (475 l/min)	3.14	2.92

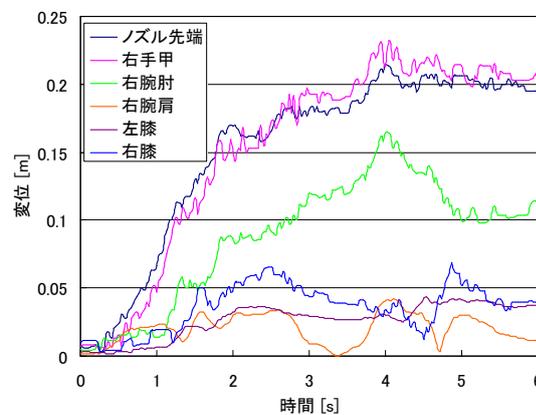
ら分かるように、新型ノズルによる泡の平均落下速度は、既存ノズル 1 のものより小さくなっている。このように、新型ノズルによる壁面付着性が定量的に示された。

**2.3.4 新型ノズルの反動力特性** 本項では、消防隊員が実際にノズルを保持した状態で、隊員が感じるノズル反動力の計測を試みる。消防隊員がノズルを保持した状態で放水を始めた際に、保持した体の各関節の変位量を計測することで、その反動力の大きさを定性的に把握することを試みる。用いるノズルおよびノズルポジションは、新型ノズルのストレートノズルおよび既存ノズル1の475 l/minポジションである。放射体は水で行った。関節の変位量の測定は、消防隊員の関節部分にマーカーを設定した上でビデオ撮影し、映像を動画解析することによって求めた。

図3.6(a)および図3.6(b)にそれぞれ新型ノズルおよび既存ノズル1で放水を始めた際の各関節の変位を示す。図から分かるように、放水を始める際、新型ノズルでは各関節の変位量が10cm未満となっている。これに対して、クアドラフォグノズルでは、関節変位が大きく、とくにノズル先端と右手甲は新型ノズルの場合の2倍以上、右手肘も大きく変位している。これは、新型ノズルに対して、新型ノズルの体感反動力がかなり小さく押さえら



(a) 新型ノズル



(b) 既存ノズル1

図3.6 放水時の各関節の変位

れているものと推測できる。新型ノズルでは、ホース取り付け角度を調整することによって、体感反動力を軽減させ、消防隊員の負担軽減が図られている。

### 3. まとめ

本研究では、消防用資機材の中でもホースおよびノズルに着目し、軽量強化小口径ホースの開発と軽量可変口径ノズルの開発を目指した研究を行った。試作したノズルおよびホースの評価を通して、以下に示す結論を得た。

#### 新型ホースについて

- (1) ホースを流れる体積流量 500 l/min のとき、二つの新型シングルジャケットホースは、いずれも現行シングルジャケットホースより圧力損失が約半分となり、新型ダブルジャケットホースの圧力損失は、ホースの内径を同じと仮定すれば、現行ダブルジャケットホースの圧力損失より約 2/3 近くまで減少することができる。
- (2) ホースに 90 度のキックが 1 ヶ所あると、ない場合と比べて 2 倍の圧力損失を生じる。
- (3) 水に対する消火剤の混合比を 0.5% および 0.1% と設定したときの混合水による圧力損失は、水の圧力損失とほとんど同じである。
- (4) 耐摩耗性について、ホースに 0.5MPa 加圧時、新型シングルジャケットホースの方が現行シングルジャケットホースより約 3.4 倍以上、現行ダブルジャケットホースより 1.5 倍以上耐摩耗性に優れている。
- (5) キック性（曲げ直径）については、現行のホースに比べ約 3 割減少させることができる。
- (6) 屋内階段の踊り場でのホースの延長による検証の結果、2 種類の新型シングルジャケットホースは、両方ともに円状に広がり、キック箇所はほとんど鈍角である。新型ダブルジャケットホースは楕円状に広がり鋭角のキックが数ヶ所生じる。新型ホースは 3 種類ともに、延長するとキック箇所が次第に回復され、スムーズな延長ができる。現行シングルジャケットホースは三角形に広がり鋭角のキックが多数生じる。ホースを延長するとキックが回復する際の反発によって別の箇所でもキックが生じ、円滑な延長ができない。
- (7) 狭隘部分でのホース保持・移動の結果、新型ホースは、3 種類ともにキックは全く生じず、地面との摩擦による損傷も見られない。またホースの移動がスムーズである。現行シングルジャケットホースは、一度キックが生じるとキック箇所がずれるように再度キックが生じる。またキック箇所が引きずられることでホースに若干の損傷が生じる。

- (8) 狭隘通路での回転の結果、新型ホースは、3種類ともにキックは全く生じず、地面や壁との摩擦による損傷も見られない。現行シングルジャケットホースは、壁と壁の間ではキックは生じないが、段差部分に近づくとキックが生じる。
- (9) 結論(7)~(8)より、新型ホースは現行ホースに比べキック性において非常に改良されている。したがって、ホース表面の損傷の主な原因であるキック箇所の地面との摩擦が軽減されるようになったので耐外傷性も良い。またキック性が改良されたことで、機動性の向上に伴う問題も緩和される。
- (10) 耐熱性と耐摩耗性を考慮した年間費用費を比較すると、2つの新型シングルジャケットホースは、現行シングルジャケットホースより低価格で、新型ダブルジャケットホースも現行ダブルジャケットホースと比べて低価格になる。

#### 新型ノズルについて

- (1) 新型ノズルとして、ストレート・棒状・噴霧（フルコーン）・自衛噴霧の各形状での放水が一つのノズルで可能なオールインワンノズルを開発した。
- (2) 新型ノズルは、ノズル圧が 0.7MPa で最大 580 l/min の放水が可能であり、木造建築などの大規模火災時にも対応可能である。また、新型ノズルにおいて、ストレートノズルと可変口径ノズルを併用した場合は、最大 800 l/min の流量を得ることができる。なお、放水試験では、800 l/min で放水した際も1人でノズルを保持することが可能であった。
- (3) 新型ノズルと既存ノズルとで CAF を放射した際の射程および発泡倍率を測定した結果、DRY 泡、WET 泡ともに、新型ノズルのストレートおよび最大流量位置での射程が、既存ノズルと同等あるいは上回っていることが確認された。
- (4) 新型ノズルの発泡倍率は、ストレート 21mm ノズルのものとほぼ同等の発泡倍率を示しており、実用上十分な発泡倍率が得られている。この結果から、CAF の放射にストレートノズルを用いることは、発泡倍率の面で非常に有効であることが確認される。なお、既存ノズル1および新型ノズルの可変口径ノズルを使用した場合は、ノズル出口において泡が崩壊し、発泡倍率は低いものとなっている。
- (5) 新型ノズルにより放射した CAF の壁面付着性については、新型ノズルのストレートノズルを用いた場合は、放射後 3 分経過しても壁面に CAF が十分に付着していることが確認された。なお、既存ノズル1を用いた場合は、放射後 2 分程度で CAF が消滅した。このことから、新型

ノズルによる CAF の付着性は、既存のストレートノズルと同等の性能を持ち、十分に有効であることが確認された。

- (6) 新型ノズルによる CAF と既存ノズル1による CAF を比較すると、新型ノズルによる泡は明らかに大きな泡が形成されていることが確認された。また、新型ノズルによる泡が一定時間経過後もガラス面に大きな泡形状のまま残っているのに対し、既存ノズル1の泡は DRY、WET ともに 2 分経過後にはほとんど残っておらず、大部分が流れ落ちた。このように、各ノズルによって泡の形状に大きな違いが出ることを確認された。また、新型ノズルによる泡が、放射対象物の鎮火および延焼防止に非常に有効であることが確認された。
- (7) 新型ノズルにより壁面に付着させた CAF の平均落下速度は、既存ノズル1のものより小さくなる。
- (8) 新型ノズルおよび既存ノズルで放射を行った際の消防隊員の体の各部の変位を観察すると、新型ノズルでは各関節の変位量が 10cm 未満となったのに対して、既存ノズルでは、関節変位が大きく、とくにノズル先端と右手甲は新型ノズルの場合の 2 倍以上、右手肘も大きく変位した。これは、新型ノズルに対して、新型ノズルの体感反動力がかなり小さく押さえられているものと推測できる。
- (9) 新型ノズルの操作性、体感反動力などは既存ノズルと比較して大幅に改善され、さらに効率的に水および CAF を放射できることが確認された。なお、外形寸法については、小型化が可能であるが、ノズル操作性を考慮した結果、本新作ノズルの大きさが消防隊員にかかる負担が軽減される形状となることを確認している。
- (10) 放水反動力を流体力学的手法と機械力学的手法により計測し、その有効性を検証した。

上記の結果から、ホースおよびノズルについて、当初設定した、建物内及び狭所においてもスムーズな延長で高圧放水にも耐える軽量強化小口径ホースの開発、および、噴霧・棒状及び放水量の切替えが自在でかつ重量も従来以下となる軽量可変口径ノズルの開発がほぼ達成されたと考える。これにより、これまで北九州市消防局で提唱してきた効率的な消防戦術を総合的に確立することが可能となった。今後は、この消防戦術が国内外の新たなスタンダードとなるべく、本戦術による消火活動の現場での評価が望まれる。

## 第5 特殊災害対策の強化



## 第 5 特殊災害対策の強化

### 5. 1 大容量泡放射砲のシミュレーション技術の構築

研究課題名	大容量泡放射砲のシミュレーション技術の構築
研究実施期間	平成 20 年度, 平成 21 年度
配分額(千円)	4,160 (平成 20 年度) 3,744 (平成 21 年度)
研究代表者	川端 信義
所属機関	国立大学法人 金沢大学
研究体制	学・官
研究概要	<p>水滴球が空気流中におかれ分裂を繰り返す現象を, 気流からの流体力と表面張力のバランスによって表した簡易分裂モデルを提案し, 分裂の進行を決定する運動方程式を導出した. このモデルを用い, 周囲気流を LES 乱流モデルを用いた CFD 解析と粒子挙動をラグランジュ的に解析する粒子計算の相互作用を考慮して時系列的に連立して解く 2-way 手法と, 周囲気流を既知として粒子計算のみを高速に時系列的に解く 1-way 手法とを開発した. 2-way 手法と実験との比較により, 射程距離および放水軌跡はよく一致した. また, 1-way 手法と実験との比較により, 最大射高は解析の方が高く, 最大流量位置は実験の方が大きい結果となったが, その違いは小さく十分に実用的な結果であることが分かった. 10000L/min 以上の大容量の場合に対して 2-way 手法によって解析し, 流速が同じであっても流量が増加すると到達距離も大きくなることを明らかにした.</p>
研究成果(特に研究成果の活用事例を中心に)	本研究で行ったすべての研究成果は, 火災学会研究発表会, 安全工学シンポジウム, 日本機械学会北陸信越支部講演会にて発表し, 広く周知している.
応用の方向性	本研究によって開発された 1-way 手法は高速に解を得ることができることを活用して, 大容量にかかわらず様々な放射砲の訓練シミュレータの開発が期待できる. 特に泡消火剤の訓練シミュレータは泡消火剤の使用が制限される状況を考えて大きな需要があると考えられる.
研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 高橋, 川端, 日本機械学会北信越支部第 46 期・総会講演論文集, pp.241-242, 2009.3</li> <li>2) 高橋, 川端, 田中, 佐宗, 内藤, 金田, 平成 21 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp. 154-155, 2009.5</li> <li>3) 田中, 倉橋, 高橋, 川端, 佐宗, 内藤, 金田, 平成 22 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp190-191, 2010.5</li> </ol>

	<p>4) 川端, 内田, 高橋, 佐宗, 内藤, 金田, 平成 22 年度日本火災学会研究発表会概要集, pp192-193, 2010.5</p> <p>5) 川端, 内田, 長谷川, 佐宗, 内藤, 金田, 安全工学シンポジウム 2010, 8-2, pp430-433, 2010.6</p>
知的財産権の出願・登録状況等	特になし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>本研究はを用いた放水現象が主体となり, 本来の目的であった泡消火剤の放射現象に関しては, モデル化の提案にとどまった. その原因は研究計画立案時には泡消火剤による実験の必要性の認識が低く, 研究計画に盛り込まなかったためである. 本研究はモデルの構築を目的にしており, 基礎研究に属する. 今後は, 1-way 手法の高速性を活用した訓練シミュレータの開発, 2-way 手法の高精度性を活かしたデータベースの作成などの応用研究が課題となる.</p>

# 大容量泡放射砲のシミュレーション技術の構築

○川端信義<sup>1</sup>・田中太<sup>2</sup>・和田正彦<sup>3</sup>・竹澤正美<sup>4</sup>・土田昭廣<sup>5</sup>

Nobuyoshi Kawabata, Futoshi Tanaka, Masahiko Wada, Masamo Takezawa and Akihiro Tsuchida

**研究課題の要旨:** 水滴球が空気流中におかれ分裂を繰り返す現象を、気流からの流体力と表面張力のバランスによって表した簡易分裂モデルを提案し、分裂の進行を決定する運動方程式を導出した。このモデルを用い、周囲気流をLES乱流モデルを用いたCFD解析と粒子挙動をラグランジュ的に解析する粒子計算の相互作用を考慮して時系列的に連立して解く2-way手法と、周囲気流を既知として粒子計算のみを高速に時系列的に解く1-way手法とを開発した。2-way手法と実験との比較により、射程距離および放水軌跡はよく一致した。また、1-way手法と実験との比較により、最大射高は解析の方が高く、最大流量位置は実験の方が大きい結果となったが、その違いは小さく十分に実用的な結果であることが分かった。10000L/min以上の大容量の場合に対して2-way手法によって解析し、流速が同じであっても流量が増加すると到達距離も大きくなることを明らかにした。

## 1. 序論

2003年9月に発生した十勝沖地震によって発生した製油所のナフサタンク火災の際には、泡放射による消火が試みられたが、火勢が強く、消火剤が上昇流と風にあおられ、その消火能力を十分には発揮できなかった。その後、オイルタンク大規模火災を想定した大容量泡放射砲を配備することが決定された。しかしながら、泡消火剤は使用後の処理に膨大な費用がかかり、放射実験例も極めて少なく、放射特性の知見が十分でないのが現状である。更に消火技能向上のための訓練も泡消火剤を用いることは殆ど不可能という問題もある。これらの問題の解決のために、高精度で高速計算が可能な泡消火剤の放射シミュレーション技術の構築が必要とされている。

泡放射砲から放射される泡消火剤は、放射直後の水柱状の連続的流れから、徐々に大きな水塊から小さい水滴に分裂し、大変複雑な問題となる。さらに泡消火剤は、密度や粘弾性特性が時々刻々変化していくため、その分裂挙動は極めて複雑である。本研究では、泡消火剤の前段階として水放射の水滴分裂挙動に関するモデリングを提案し、これを火災熱気流CFDシミュレータと連立したシミュレーション手法を構築する。その後、泡消火剤に対するモデリングを提案することを目的とする。

## 2. 水滴の簡易分裂モデル

### 2.1 水滴の挙動のモデル化

ノズルから放出された水滴は空気抵抗を受け、分裂しながら移動する。図1に示すように、気流が当たる水滴前面部分は風圧が作用し、側面には負圧が生じ、その結果水滴は風速の直交方向に伸びる。この変形が進むと水滴は分裂

する。実際には水滴の分裂は不規則で、大きな水滴から細かい飛沫まで大きさも個数も明確ではない。本研究では同じ大きさの2つの水滴に分裂すると仮定し、これらの挙動を水滴が空気中を抵抗と重力を受けながら並進運動する過程と2つの水滴に分裂する過程に分けて簡略化したモデル化を試みる。

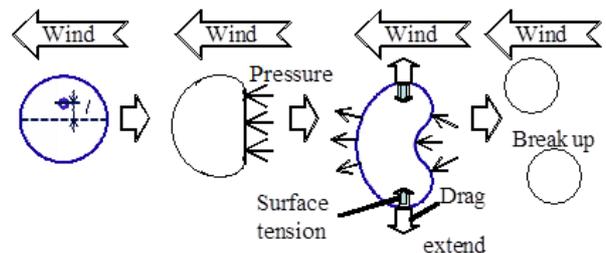


図1 水滴分裂のモデル化の模式図

まず並進運動については、初期の水滴径  $d$  を保ったままの球形として考える。空気中を球体が速度  $\mathbf{v}$  で運動するとき、水滴には周囲空気からの抗力と重力が働き、球体の運動方程式は質量を  $m$ 、位置ベクトルを  $\mathbf{r}$ 、空気の密度  $\rho$ 、抵抗係数  $C_D$ 、球体の速度と周囲風速との相対速度  $(\mathbf{v} - \mathbf{u})$ 、球体の投影面積  $s$ 、重力加速度  $\mathbf{g}$  を用いると、球体の運動方程式は次式となる。以後、この球体を大球体と呼ぶ。

$$m \frac{\partial^2 \mathbf{r}}{\partial t^2} = -\frac{\rho}{2} C_D (\mathbf{v} - \mathbf{u}) |\mathbf{v} - \mathbf{u}| s - m \mathbf{g} \quad \dots (1)$$

ここで、抵抗係数  $C_D$  はレイノルズ数によって変化する。

次に分裂については、前述の直径  $d$  の球体を2つの小球体に分割して考え、その小球体の相対運動を考える。小球体の質量を  $m'$ 、直径を  $d'$  とし、式(1)の球体中心の座標  $\mathbf{r}$  から  $l$  の位置に小球体の中心があるとす。なお、2小球体の中心は  $2l$  離れ、その中点に大球体中心があり、 $l$  の方向は大球体の進行方向と直交方法である。小球体の運動を考えるに際し、図1の水滴の側面に作用する負圧によって2小球体を引き離す  $\mathbf{F}_u$  と表面張力によって引き付けられる力  $\mathbf{F}_p$  を考える。 $\mathbf{F}_u$  は動圧  $\rho U^2 / 2$  に比例するとし、

1 金沢大学理工研究域  
2 福井大学大学院工学研究科  
3 財団法人危険物保安協会  
4 福井市消防本部  
5 嶺北消防本部

$$F_u = a \frac{\rho U^2}{2} \frac{\pi d'^2}{4} \dots (2)$$

と表す. 表面張力による力  $F_p$  は, 表面張力係数  $\sigma$  を水と空気との表面張力係数  $\sigma=72.75$  [mN/m] を用い,

$$F_p = b \sigma \pi d' \dots (3)$$

と表す. ここで,  $a, b$  はモデル定数である. これらの力による小球体の運動方程式は

$$m' \frac{\partial^2 l}{\partial t^2} = a \frac{\rho U^2}{2} \frac{\pi d'^2}{4} - b \sigma \pi d' \dots (4)$$

となる.

式(1), (4) の連立常微分方程式を解くが, 式(4)を解く際に,  $l$  の初期値は大球体の半分の重心位置

$$l_0 = 3d/16 \dots (5)$$

とし, その速度は 0[m/s] とする. 最大値は  $l_{max}$  とし,  $l$  が  $l_{max}$  に達した時に水滴が分裂したとし, 新たに大球体の直径を  $d$ , 速度 0 [m/s] を再び式(4)の初期値として計算を繰り返す.

## 2.2 既往実験との比較・検証

前節のモデルにより, 直径 10 [mm] の水滴が風速 10~40 [m/s] の気流中に置かれた場合の最終粒子径を求め, 吉田らの実験結果<sup>1)</sup>との比較から, 係数  $a, b$  を  $a = 0.06283, b = 0.03981$  と決定した. 図2は  $We$  数と水滴の直径  $d$  の関係について表したもので, 実線は吉田らの実験式(5)および Hinze らの理論解析 ( $We=6$ ) である. 図より, 水滴径が小さい場合には,  $We$  数は吉田らの結果より大きい, 水滴径が 3[mm] より大きい場合には, 吉田らの結果に近くなり, さらに  $We=6$  に漸近していくことが分かる. 本研究で対象にする放水砲では, 粒子径が比較的大きく水流本流では 3[mm] 以上の範囲となることから, 吉田らの実験とよく一致する範囲であることが分かる.

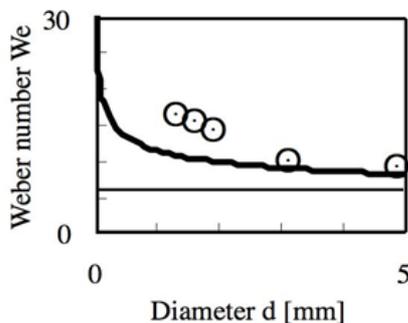


図2  $We$  数と水滴の関係 (実験結果と簡易分裂モデルとの比較) 水滴分裂のモデル化の模式図

## 3. 放射水流のシミュレーション

### 3.1 粒子計算と気流計算の連立

泡放射シミュレーション技術の構築には, まず水放射シミュレーション技術を確認する必要がある. この挙動をシミュレーションする為には, 図3に示すように気流計算と粒子計算を組み合わせた計算を行う. 通常は気流計算によって求められる気流の速度分布を用いて粒子に作用する流体抗力①を求めて粒子挙動の解析を行い, さらに新たに求められた粒子座標と速度から流体抗力の反力②としての流体力を求め再度気流計算をする 2-way の手法が用いられる. ただし気流計算は 3次元 CFD 解析を用いるため, 計算時間が多くかかり, 効率が悪くなるのが難点である. 高速計算を可能にする簡易計算手法としては, 図3の② [流体抵抗の反力] を気流計算へフィードバックすることを止め, ① [速度分布] のみを粒子計算に反映させる 1-way の手法がある. 本研究では 1-way, 2-way の両方の手法の開発を行う.

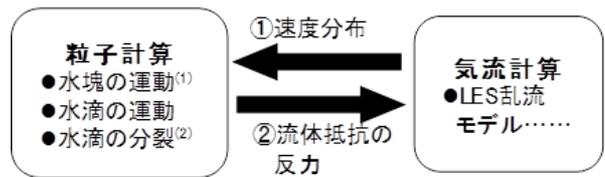


図3 多数の水滴粒子挙動解析と周囲気流計算の連立

粒子計算では 1-way, 2-way とともに 2章で述べた簡易分裂モデルを用いるが, 周囲気流との相対速度から求める流体力を

$$f = C_V \frac{\rho}{2} C_D (\mathbf{u} - \mathbf{v}_i) |\mathbf{u} - \mathbf{v}_i| \frac{\pi}{4} d_i^2 \dots (6)$$

によって求める. 係数  $C_V$  は流体力の大きさを調整するパラメータであり, 1-way の手法では水滴粒子によって周囲気体が誘起される速度を無視することから, 相対速度を大きく見積もり過ぎることになり, 粒子に作用する抗力を大きく見積もり急激に降

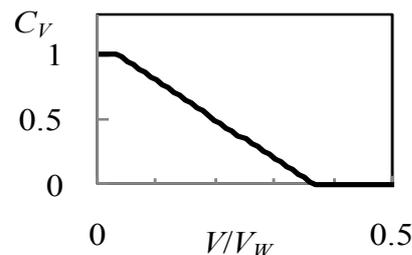


図4 水粒子の密集度と流体力評価係数の関係

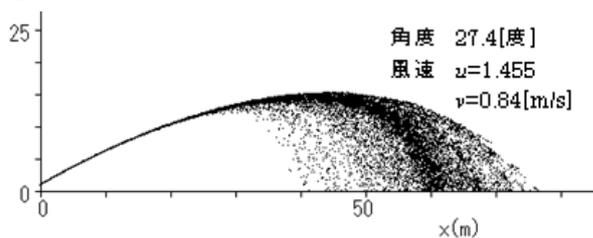
下することになってしまう。そこで、周囲水粒子の密集度によって流体力を調整することにした。係数 CV と密集度  $V/VW$  の関係を図 4 に示す。ここで  $V/VW$  は粒子周囲の水粒子が占める体積割合である。

### 3.2 2-way シミュレーションと実放水実験との比較

2-way シミュレーションにおける気流計算では LES 乱流モデルを用いた CFD 解析ツール Fireles<sup>2)</sup>を用いる。本研究では火災プルームとの干渉は考えない為、非圧縮性流体として取り扱い、運動方程式の時間進行は Crank-Nicolson 法とし、連続の式と運動方程式の連立は SMAC 法を用いた。

放水シミュレーションは 2007 年 10 月に四日市で行われた実験<sup>3)</sup>と比較検討を行った。解析条件として実験条件を用いる。実験条件は、流量 5000 [L/min]、放水角度 27.4, 33.7, 36.7 [度]、圧力 0.7 [MPa]、放水速度は圧力から損失を無視してベルヌーイの式より求めた 37.4 [m/s]を用いた。なお、高速ビデオによる画像処理を用いた PIV 解析の結果、放水直後の速度は 33 [m/s]であった(4)が、PIV 解析は水流の外側を計測するため実際の放水速度よりも低い値となっている。実験では時系列風向風速を地表、上空の 2 箇所計測した。しかしシミュレーションでは水平方向速度は平均風速を一樣流として与え、垂直方向速度の風速は 0 [m/s]とした。

放水角度 27.4 [度] のときの 2-way 手法によるシミュレーション結果を図 5(a)に示す。図は横軸に放水地点を起点とした放水方向の座標を、縦軸は地表を起点とした鉛直座標を取り、放水開始から 20 秒



(a) 2-way シミュレーション結果(粒子分散分布)



(b) 実放水実験結果 (赤外線映像から抽出)  
図 5 実放水実験の放水軌跡とシミュレーション結果との比較 (放水角度 27.4°)

経過した水滴の分散図である。早く分裂した水滴は、他の水滴より小さくなるため、空気抵抗の影響の合いが大きくなり、急激に減速し、飛距離は伸びない。また、水滴が地表に達する部分では、中央部に多数の水滴が集まっている様子を観察できた。図 5(b)に放水角度 27.4 [度] の実験画像を示す。これらの図を比較すると、射高、射程距離、及び放水軌跡はよく一致していると言える。

最大射高、最大射高位置、最大射程距離を実験とシミュレーションとで比較した結果を表 1 に示す。最大射高は実験よりもシミュレーションの方が高くなり、最大射高位置、射程距離はシミュレーションの方が短い。最大射高や、最大射程距離では、実験とシミュレーションとの違いは数 m 程度であるが、最大射高位置は 10 m 近く違っている。これはシミュレーションにおいて風速を一樣流として与えているからであり、高さによる風速の変化が影響していると考えられる。

表 1 実放水実験結果と 2-way シミュレーション結果との比較

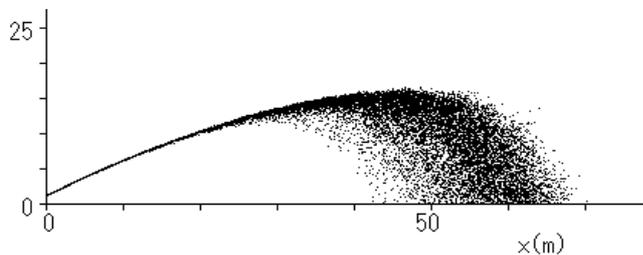
放水角度[度]		最大射高 [m]	最大射高位置 [m]	最大射程距離 [m]
27.4	実験	15.4	53	71.9
	計算	16	44	72.16
33.7	実験	19.8	53	74.9
	計算	21	45	73.4
36.7	実験	23.4	50	74
	計算	22	46	73.3

### 3.3 1-way シミュレーションと実験結果との比較

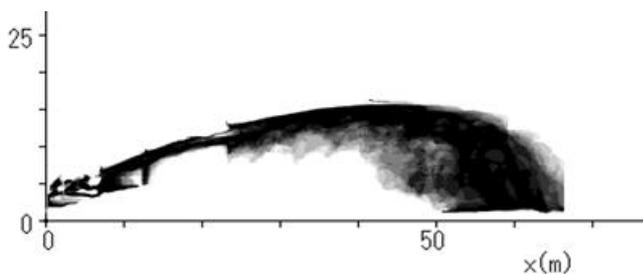
3.2 節と同じ実験との比較を行う。流量 5000[L/min]、放出角度 28.8[度]、放出速度 37.4[m/s]とした。実験では地表と上空の 2 箇所において 1 秒間隔の風速を計測した。シミュレーションでは地面に垂直方向の風速は 0[m/s]とし、水平方向の風速は、上空の風速データを線形的に近似した値を一樣流として与えた。 $U$ は放水方向、 $V$ は放水方向に垂直なベクトルとした。図 6(b) は 時系列の赤外線画像を、放水開始後 110 秒から 120 秒の 10 秒間の軌跡を抽出し平均化した結果である。

図 6(a)に同じく 110 秒から 120 秒の 10 秒間の解析結果を重ね合わせた結果を示す。また、表 2 に実験と解析の最大射高、最大射高位置、最大流量位置の結果を示す。最大射高は解析の方が高くなっているが、最大流量位置は実験の方が大きい。これは実験に比べ、解析の方が最大射高位置の周辺からの減速が大きい為と考えられる。最大射高位置周辺か

ら水滴が分裂を繰り返して起こし、流体力を大きく受けた結果と考えられる。



(a) 1-way シミュレーション結果(粒子分散分布)



(b) 実放水実験結果 (赤外線映像から抽出)

図5 実放水実験の放水軌跡とシミュレーション結果との比較 (放水角度 27.4°)

表2 放水実験結果と1way シミュレーション結果との比較

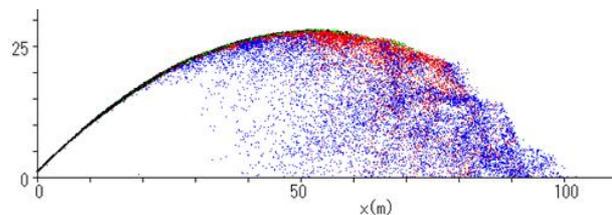
	実験	解析
最大射高 [m]	15.4	16.1
最大射高位置[m]	53	51
最大流量位置[m]	62.5	57.5-60

#### 4. 2-way シミュレーションによる大容量放水挙動

現在導入されている大容量泡放射砲は放水流量が 10000~40000[L/min]である。そこで 2008 年 11 月ヒューストンで行われた放水実験を参考にして大容量泡放射砲のシミュレーションの検証を行う。放水流量を 10000[L/min], 2000[L/min], 40000[L/min]とし、放水圧力 0.8[MPa], 放水初速度 40[m/s], 放射角度 45 度とし解析を行った。

放水流量 20000[L/min]のシミュレーション結果を図 6 に示す。(a)はシミュレーション結果の粒子分散図、(b)は実放水実験の結果である。これらの図から放射流の周囲に渦度が生成され、その渦度が水流に沿って運ばれ水流の減速を防ぎ放物線状の軌跡を維持するメカニズムがあることが分かる。また、渦

度により実際にも見られるように放水が波打つ現象が見られ、実験に近い結果が得られていると考えられる。



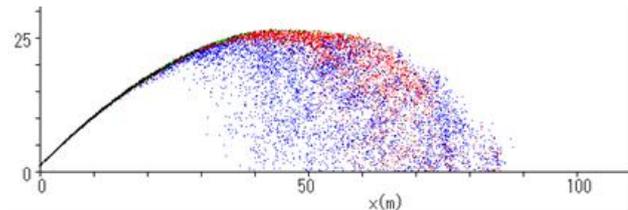
(a) シミュレーション結果(粒子分散分布)



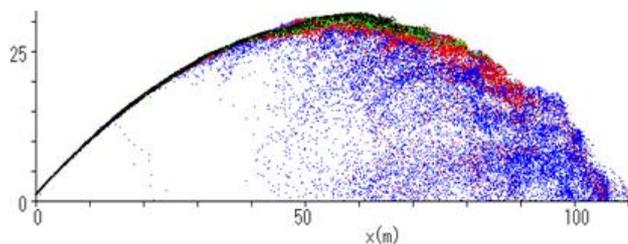
(b) 実放水実験結果

図6 大容量放水(20000L/min)の場合の実放水実験とシミュレーション結果との比較

図 7 に(a)放水流量 10000[L/min], (b)40000[L/min]のシミュレーション結果を示す。放水初速度は共に 40[m/s]である。(b)は(a)に比べ飛距離が伸びており、放水流量が増加することによって放射水流によって誘起された気流も大きくなり、流体抗力が小さくなり、さらにはがより太くなり水流によって誘起された気流との相乗作用により、放射軌跡がより放物線軌跡に近くなり遠くに飛ぶと考えられる。



(a) 10000L/min



(b) 40000L/min

図7 放水流量による放水軌跡の比較

## 5. 結言

放射水流を多くの水粒子でモデル化し、その水滴の分裂過程の簡易モデルによる放水粒子解析と、粒子周囲の空気の流れとの干渉を考え、水粒子の挙動が気流解析に影響を及ぼさない 1-way の手法と水粒子と気流解析との相互干渉を考えた 2-way の手法のそれぞれを提案した。それぞれ実放射実験との比較を行い、定量的には放水到達距離がシミュレーションのほうが若干短くなる傾向を示すものの、概ねの傾向を捉えており、十分実用的な手法であることを確認した。本手法の特徴は水滴の分裂過程の物理現象の簡易的なモデル化導入したことであり、これにより実験を実施していないケースに対しても同様な予測精度でのシミュレーションが可能になったと考えている。泡消火剤に対するモデル化についても提案しているが、実験による検証が不十分であり、今後の課題として残されている。

なお本研究はモデルの構築を目的にしており、基礎研究に属するものである。今後は、1-way 手法の高速性を活用した訓練シミュレータの開発、2-way 手法の高精度性を活かしたデータベースの作成などの応用研究が課題となる。

## 参考文献】

- 1) 吉田, 永井, 機論, 52-475, **B**, pp1363-1371, 1986
- 2) N.Kawabata, et.al. : Simulation of Water Spray for Fire Accident in Large Cross Section Tunnel, Tunnel Fire -Fifth International Conference, 69-78, 2004
- 3) 佐宗, 他 : 平成 20 年度日本火災学会研究発表会 概要集, pp. 22-23, 2008



## 第6 危険物施設等の保安対策の充実



第6 危険物施設等の保女対策の充実

6.1 自走式腐食減肉診断装置の開発

研究課題名	自走式腐食減肉診断装置の開発
研究実施期間	平成19年度～平成20年度
配分額(千円)	14,564(平成19年度) 5,339(平成20年度)
研究代表者	久保山 清
所属機関	JFEメカニカル(株) 設備診断技術部
研究体制	産官
研究概要	屋外タンク貯蔵所の維持管理に関する報告書によると、近年、法的検査義務のある底板の漏洩は減少しているが、法義務のない側板からの漏洩事故は微増傾向にある。そこで、本報では消防庁殿ご指導のもと、JFEグループが従来開発してきた架空配管の腐食減肉診断装置をベースに、より板厚の厚い、巨大な屋外タンクの側板の劣化診断装置を開発した。
研究成果	板厚が24mmと厚い屋外タンクの側板の腐食減肉を精度良く診断可能な新型センサを開発できた。 屋外タンク表面に付着可能な強力な磁石輪を装備した自走装置を開発できた。 残厚推定精度が従来評価法では不十分であったが、板厚を加味して見直し必要な精度を達成した。 カメラやジャイロスコープを利用し自走装置の遠隔操作性を向上できた。
応用の方向性	無線化技術もトライし、試作機にて実現可能であることを確認した為、実機化すれば、電源やユーティリティホースの取り回しが不要となり、診断装置の機動性が更に向上する。
研究発表の状況等	なし
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	今後は、本装置を使用し屋外タンクへの適用拡大を図ってゆく。



# 自走式腐食減肉診断装置の開発

○久保山 清<sup>1</sup>・横山 康雄<sup>2</sup>

Kiyoshi Kuboyama and Yasuo Yokoyama

## 研究課題の要旨：

屋外タンク貯蔵所の維持管理に関する報告書によると、近年、法的検査義務のある底板の漏洩は減少しているが、法義務のない側板からの漏洩事故は微増傾向にある。そこで、本研究では消防庁殿ご指導のもと、JFE グループが従来開発してきた架空配管の腐食減肉診断装置をベースに、より板厚の厚い、巨大な屋外タンクの側板の劣化診断装置を開発する。実験では、磁束発生センサを大型化するとともに、これを十分タンク表面に付着可能な磁石輪を装備した自走装置を開発した。当初、残厚推定精度が悪化したが、評価方法を見直し従来並みの精度を達成した。また、自走装置の遠隔操作性の向上対策や、無線化技術もトライし、試作機にて実現可能であることを確認した。

キーワード：屋外タンク、側板、腐食減肉診断、自走装置、遠隔操作性向上

## 1. はじめに

「屋外タンク貯蔵所の維持管理に関する調査検討会報告書（平成17年3月）によれば、屋外タンク貯蔵所からの漏洩事故は、昭和52年の政令改正で導入された内部部品等タンク開放時における底板測定義務付け等により減少傾向で推移してきたが、法令による義務付けのない側板からの漏洩事故は微増傾向になっている。

また、設置後30年以上が経過した屋外タンク貯蔵所も多く、経年劣化による漏洩の危険が高まるとともに、今後、発生が予想されている大規模地震時における大規模漏洩の危険性も危惧されている。

一方、側板の劣化状況を把握するためには、高所あるいは側板内面の腐食の進行について早期発見が行われにくい状況から、点検が容易な個所を中心とした目視点検が主流となっており、足場等の必要のない、簡便かつ高精度の測定技術の実用化、普及が求められている。

本研究は、これらのニーズに応えるべく、屋外タンクの側板の腐食減肉による劣化状況を移動中に、簡易、高速に外面から「面」で把握、診断することを目的とする。

## 2. タンク側板の腐食減肉状況診断方法の考え方

従来、タンク側板の腐食減肉状況は長大な足場を布設し、超音波厚さ計を使用し（UT法：Ultra Sonic Testing）、人手ないしロボットで直接、鋼板の肉厚を測定する検査方法が採用されてきた。しかし、本方法は側板に超音波センサを接触させ、超音波を投射、受信するため、側板、センサ間を超音波を通す水などの媒質で満たす必要があり、媒質を供給する装置が大型化し、効率的な測定を行う上で課



図1. 従来の腐食減肉診断装置(JFEグループ)

(所属機関名)

1 JFE メカニカル㈱ 設備診断技術部

2 JFE スチール㈱ 西日本製鉄所倉敷地区 設備部

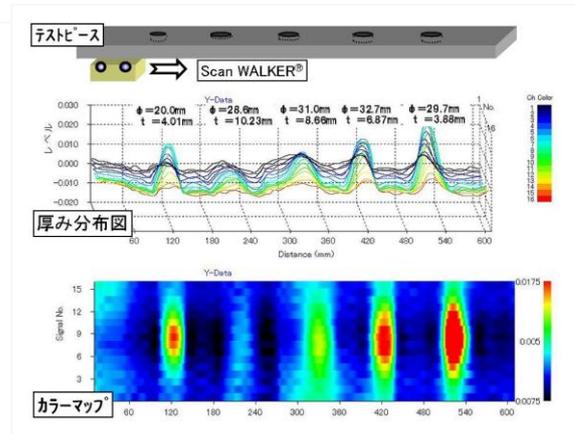


図2. 肉厚分布図

題があった。そこで、JFE グループでは鋼板に磁束を印加し、肉厚変化で鋼板から漏洩する磁束が変化するという原理を使った腐食減肉測定装置を開発し、実用に供してきた。

本装置を屋外タンク側板に適用可能とする改善条件を下記のように整理した。

- 1) 測定可能板厚の拡大: 12mm ⇒ 24mm
- 2) 磁石輪の鋼板付着力の増大: 従来機の2倍
- 3) 遠隔操縦性能の向上: 目視運転⇒モニタ運転  
または自動運転
- 4) 無線化: 省ケーブルのための可能性調査実験

## 3. 平成19年度開発

1) センサ感度の改善については、印加電圧や極間距離を大きくした新型センサを製作することで、板厚24mmまで検知できるようになった。但し、センサの大型化によりセンサ重量が従来の約2倍となった。

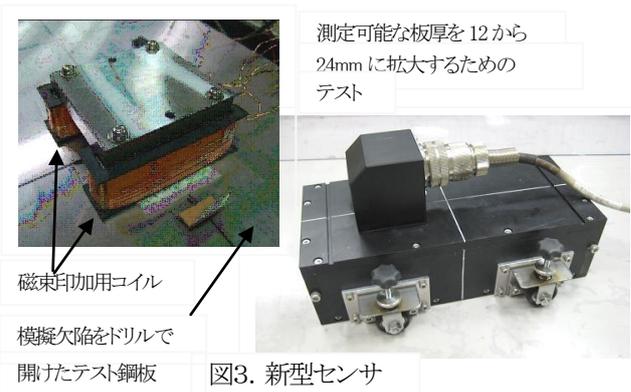


図3. 新型センサ

2) 石油タンク表面上の走行性確認テストを行い、自走装置の基本構造そのものは従来方式で可と判断した。しかし、上記のようにセンサー重量が従来の約2倍となったため、対応として、①吸着力倍増(ネオジウム磁石を使用し、大径化)②駆動モーターのツイン化および前後車輪の同軸駆動化を盛り込んだ新型自走装置を製作した。

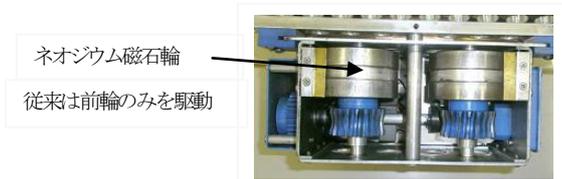


図4. 新型駆動装置

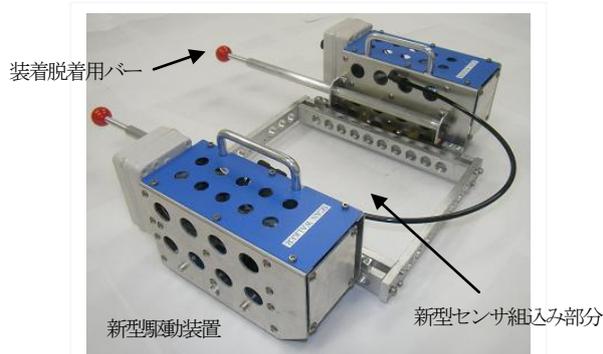


図5. 新型自走装置

3) 塗装の影響は京浜コンビナートの石油タンクで確認したが、ほとんど問題にならなかった。すなわち新型自走装置では、経年劣化等で剥離しかかった塗装上もネオジウム磁石輪が脱落することなく走行可能であった。



図6. 新型自走装置の実物タンク側板での走行性能テスト

#### 4) 平成19年度の残件

##### ①残厚推定ロジックの精度向上:

従来型センサの残厚推定ロジックは±10%であったが、新型センサはセンサを大型化したことで残厚推定ロジックが±20%に精度が悪化した。これを評価方法の見直しで従来並みの±10%に改善する必要がある。

##### ②自走装置の遠隔操作性向上

実機の石油タンクは巨大なものが多く、走行のズレが目視では判別しにくい。走行の基準となる罫書き線を、CCDカメラ等を利用して、手元でモニターできるようにし、遠隔での操作性を向上させたい。

#### 4. 平成20年度開発

##### 1) 残厚推定ロジックの精度向上

①表示解像度に対する要求条件はφ20mm程度のアバタ状の腐食が検知できることであり、新型センサによる欠陥の解像度をサンプルピースで確性した。その結果、φ20mmの腐食で十分な表示解像度が得られることを確認した。



図7.1 φ20mm程度のアバタ状の腐食

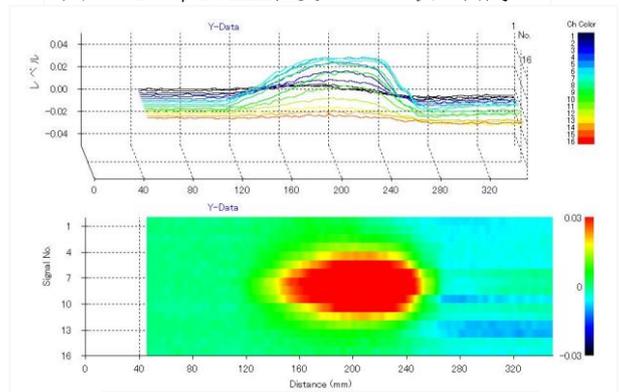


図7.2 表示解像度の確性テスト

##### ② 残厚推定ロジックの精度向上

残厚推定ロジックを従来のピーク値対残肉厚の相関から、ピーク値対残肉厚/板厚(母材の板厚)の相関とすることで、±10%まで向上することができた。

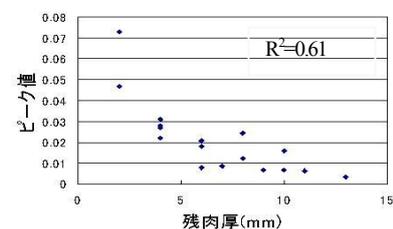


図8.1 従来の残厚推定ロジック

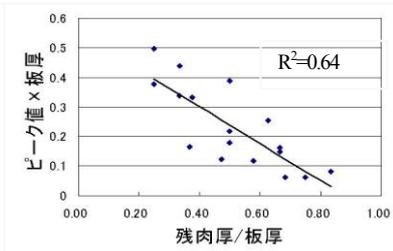


図8.2 改善後の残厚推定ロジック

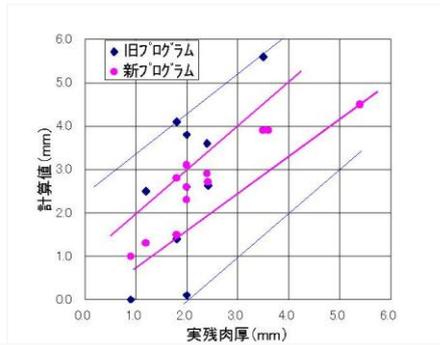


図8.3 新旧残厚推定ロジックの精度比較

## 2) 自走装置の遠隔操作性向上

### ①自動操舵化

自走装置は、平成19年度までは操作者が目視で蛇行を判断し、手元のコントローラーで直進走行を確保していたが、ジャイロスコップを装備し、自動的に直進走行できるようにした。



図9. ジャイロスコップによる自動操舵テスト

### ②センサ位置の記録化

平成19年度まではエンコーダで起点からの距離を出力させ、センサ位置の同定および記録化を図っていたが、平成20年度の開発で監視カメラの映像を同時に記録することで、より詳細な位置の同定が可能となった。さらに自動でジグザグ走行させ、ある範囲を走査記録することも試みた。

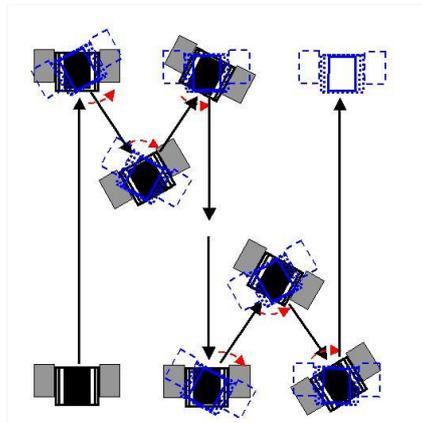


図10. 自動ジグザグ走行テスト

### ③無線化

更に、有線から無線での操縦化を図り、作業効率アップを目指した。平成20年度は研究の趣旨からして、機能の実現を優先し、プロトタイプを製作することとした。即ち、解析を移動機側で行ない、結果だけを伝送する方法を採用した。移動機自体の小型軽量化は図れないが、(プロトタイプ止まりだが、)機能的には十分満足できるものが本研究予算内で実現した。

無線方式	方法	特徴	合計点/評価
1. SS無線利用方式	センサー・エンコーダ信号、自走装置コントローラ信号=計22チャンネルのA/D⇒D/A変換処理	信号のA/D変換⇒D/A変換が必要、重量大、2.4GHz周波数は制約大	10
			×
2. 無線LAN利用方式	上記+カメラ機能	上記+カメラ画像を送信	18
			△
3. デジタル送信方式	通信側のハード改番とソフトの作り直し	実用性高いが、オールリメイク	19
			×
4. PC搭載無線LAN方式	測定用PCをA/D変換機として利用する	ハード変更はDC駆動のみ、ソフト変更は不要、5.6GHz周波数使用	33
			○

→本方式でプロト記製作し、実験

表1. 各種無線方式の検討

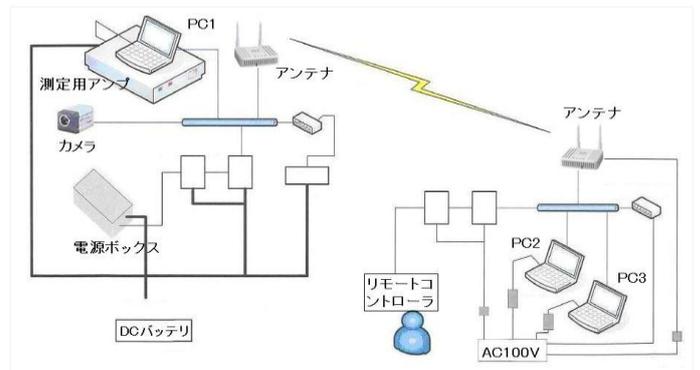


図11. PC搭載無線LAN方式のシステム構成図



図12. 機上局

図13. 地上局



図14. 無線走行テスト

### 3) 開発品のフィールドでの実証試験

これら開発項目の内、無線化を除いた(有線)装置を使用して、再度京浜コンビナートの石油タンクで確認を行なった。結果は、溶接線を含めて十分な直進性が確認できた。

### 5. おわりに

本研究により、屋外タンクの側板の腐食減肉による劣化状況を稼働中に、簡易、高速に外面から「面」で把握、診断することが可能となった。

今後は、本装置を使用し実タンクへの適用拡大を図ってゆく所存である。

#### 【参考文献】

- 1) 檀上武克ら「設備の健全性評価技術—架空配管・埋設配管の診断—」JFE 技報 No.11 2006. 4
- 2) 特願 2005-023890 檀上武克ら「内部欠陥測定方法および装置」
- 3) 特願 2005-324779 横山 康雄ら「検査機器用自走台車」

## 第7 救急・救助業務の高度化



## 第7 救急・救助業務の高度化

### 7.1 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無及びその位置を迅速に特定するための手法の開発

研究課題名	震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無及びその位置を迅速に特定するための手法の開発
研究実施期間	平成18年度～20年度
配分額(千円)	19,760 (平成18年度) 19,240 (平成19年度) 18,566 (平成20年度)
研究代表者	秋山いわき
所属機関	特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構 川崎ラボラトリー
研究体制	産・学・民
研究概要	本研究課題では、複数のアンテナをガレキ上に配置して、電波によって生存者の有無と位置を特定するレスキュー用レーダーシステムを開発した。ガレキ下の生存者の探査方法は、雑音に埋もれた受信信号から生存者の呼吸に関する変動成分を抽出することによって行われる。開発した手法は、複数のアンテナで取得された信号に対して相関処理を応用したビームフォーミングを行って、雑音を大きく低減させながら位置を特定する。本手法の有効性を検討するために、高さ3m、縦横4mのやぐら構造の実験塔を設置して、送信9個、受信36個の計45個のアンテナを最上部に配置して実験塔下層に存在する被験者の呼吸変動の有無およびその位置を特定することに成功した。
研究成果	本研究課題によって、電磁波を用いてガレキ下の生存者の有無と位置を特定できることが実験的に示された。実用化のためには、運搬性能向上のため、アンテナおよびレーダー本体の小型化が重要であり、引き続き研究をおこなっている。研究成果については <a href="http://www.rescuesystem.org/IRSweb/shobo.html">http://www.rescuesystem.org/IRSweb/shobo.html</a> で公開している。
応用の方向性	我国だけではなく、海外の諸地域でも地震による被害が甚大である。今後は、海外での利用をもう一つの方向性として検討している。

研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 災害救助用パルスレーダに対する直交位相検波法の応用, 第 82 回パターン計測部会研究会, pp.7-12, 2010/07/21.</li> <li>2. 瓦礫の下の生存者位置検出のためのレスキューレーダシステム, 情報処理学会第 72 回全国大会, pp.3ZC-3, 2010/03/10.</li> <li>3. アレイアンテナ搭載レーダーを用いたガレキ内生存者探査システムの開発, 第 15 回画像センシングシンポジウム講演論文集, IS2-2, pp.1-4, 2009</li> <li>4. Measurement of Survivor Location by using GPR with Two Dimensional Array Antenna Proceedings of SICE Annual Conference, pp.2082-2088, 2008</li> <li>5. Measurement of Survivor Location for Rescue Radar System by using Two Dimensional Array Antenna Proceedings of IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.1-6, 2008</li> <li>6. Rescue radar system with array antennas, Proceedings of 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, pp.1782-1787, 2008</li> <li>7. レスキュー用アレイアンテナ搭載レーダシステム, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.12, pp.962-969, 2008</li> <li>8. Search for Survivors Buried in Rubble by Rescue Rader with Array Antennas-Extraction of Respiratory Fluctuation, Proceedings of IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.1-6, 2007</li> <li>9. レスキュー用アレイアンテナ搭載レーダシステム, 第 8 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, 2D2-1, pp.583-584, 2007</li> <li>10. アレイアンテナを用いた地中レーダによるガレキ内要救助者の探査, 第 13 回画像センシングシンポジウム講演論文集, IS2-20, pp.1-4, 2007</li> </ol>
知的財産権の出願・登録状況等	なし
当該研究に対する今後の展開、意見等	<p>実際のレスキュー現場に近い状況での実験を行って, 開発したレーダーシステムの性能を高めていくことが重要であると考えている. そのためには, 専用の実験場所の確保が課題である.</p>

# 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下（地下約5m）に埋まった生存者の有無及びその位置を迅速に特定するための手法の開発

○秋山いわき<sup>1,2</sup>・松野文俊<sup>1,3</sup>・斎藤英雄<sup>4</sup>・青木義満<sup>4</sup>・大矢晃久<sup>5</sup>

Iwaki Akiyama, Fumitoshi Matsuno, Hideo Saito, Yoshimitsu Aoki and Akihisa Ohya

**研究課題の要旨:** 本研究課題では、複数のアンテナをガレキ上に配置して、電波によって生存者の有無と位置を特定するレスキュー用レーダーシステムを開発した。ガレキ下の生存者の探査方法は、雑音に埋もれた受信信号から生存者の呼吸に関する変動成分を抽出することによって行われる。開発した手法は、複数のアンテナで取得された信号に対して相関処理を応用したビームフォーミングを行って、雑音を大きく低減させながら位置を特定する。本手法の有効性を検討するために、高さ3m、縦横4mのやぐら構造の実験塔を設置して、送信9個、受信36個の計45個のアンテナを最上部に配置して実験塔下層に存在する被験者の呼吸変動の有無およびその位置を特定することに成功した。

## 1. はじめに

大地震発生後のレスキュー活動における重要な任務のひとつは、倒壊した建築物に閉じ込められた生存者の有無と位置を迅速に特定することである。従来、このような生存者探査を目的としたレーダーは、生存者の呼吸による周期的な動きを捉えるCWドプラレーダが用いられている<sup>1) 2)</sup> このレーダーは生存者の有無を検知するもの<sup>3)</sup> であるが、生存者の位置を特定するためには、距離分解能をもつレーダーを用いる必要がある。Wu and Huang はパルスレーダーを用いて、障害物の後方に存在する生存者を反射波の位相変化を検出することで探知できると報告している<sup>4)</sup>。また、Ahmad et al.<sup>5)</sup> は障害物後方を映像化するいわゆる wall-through imaging のためのビームフォーミングについて報告している。Maaref et al.<sup>6)</sup> は位置の特定が可能なFM-CWレーダーを用いて建築物中の生存者の探査について試みている。

秋山らは、UWBパルスレーダーを用いて、送受計5つのアンテナからなるレーダーシステムを用いることにより、呼吸変動の周期性を利用して、SNRの低い受信信号から生存者の呼吸変動を検出する手法を提案し、実験によって被験者の呼吸を検出した<sup>7)</sup>。また、2次元的に並べた複数のアンテナで得られた信号から被験者の位置を特定するために、事前に取得されたデータとの相関を計算する手法を提案し、実験を行って被験者の位置を特定した<sup>8)</sup>。

しかし、瓦礫の状態によっては実際に測定される受信波と事前取得データが大きく異なる場合があり、その場合では正しく生存者の位置を測定できないという問題があった<sup>9)</sup>。そこで、本論文では、複数のアンテナを用いて受信される瓦礫内からの反

射信号から、生存者の呼吸を検出して、その3次元的位置を推定するレーダーシステムを開発した。

本システムでは、安定してその存在位置を正確に推定するために遅延相関型のレーダー方式を採用した。さらに、呼吸による微小な位相変化を検出するため、時間軸サンプリングの非線形性の補正を行った。さらに、SNRの低い受信信号から位置を特定するため、相関演算を用いたビームフォーミングを考案した。

本手法の有効性を確認するために、地上3m、縦横4mの室内実験塔を構築し、施設上部から被験者に向けて電波を送受し、提案手法の有効性を確認する。この大きさの空間に閉じ込められている被験者の有無と3次元的位置の特定に要する時間は10分程度以内であった。

## 2. アレイアンテナを搭載した遅延相関型パルスレーダーシステム

生存者の呼吸に伴う周期的な運動によって、受信波の振幅と位相も周期的に変化する。従って、受信波から、呼吸の周波数で変動する成分を取り出すことで生存者からの信号のみを取り出すことができる。また、呼吸周波数は通常0.2Hz~0.5Hzの範囲で変動することが実験的に求められており<sup>6)</sup>、その周波数の範囲の変動成分を取り出すことで、他の機械振動と区別することができる。

このような呼吸と同じ周期で変動する周波数成分を抽出するために開発したパルスレーダーと、ガレキ上に配置された複数のアンテナで受信された信号から生存者の位置を特定する手法を考案した。本研究で開発したレーダーシステムは図1のようにガレキ上に展開した複数のアンテナで送受信される電波の時間的な変動から生存者の有無と位置と特定する。以下に詳細を説明する。

(所属機関名)

1 特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構

2 湘南工科大学

3 電気通信大学

4 慶應義塾大学理工学部

5 筑波大学大学院

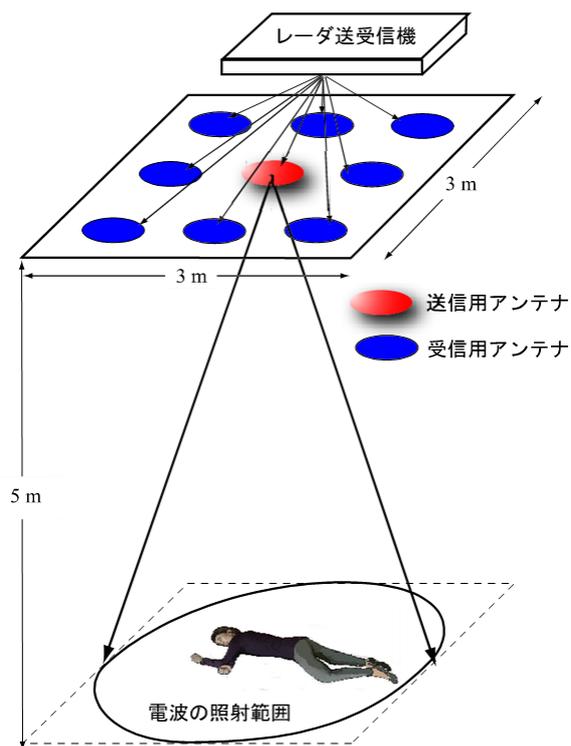


図.1 アレイアンテナの配置

### 2.1. 複数のアンテナで受信された信号を用いた雑音低減手法

複数のアンテナをガレキ上に展開して、ガレキ下からの反射波を受信する。周期的に変動する物体が存在すると、それぞれのアンテナで受信された信号も同じように周期的に変動する成分を有する。パルスレーダーではパルス波を繰り返し送信して、その反射波を受信する。受信波の遅れ時間がアンテナから被測定対象までの距離に比例する。被測定対象が周期的に変動していれば、受信波の振幅と位相も周期的に変動する。そこで、パルス波を繰り返し送信して得られた、それぞれの受信信号を時系列に並べて、同一の遅れ時間、すなわち同一の距離からの反射波の複素振幅をサンプリングすると、パルス繰り返し周期と同一の時間間隔でサンプリングされた複素信号となる。この時系列複素信号を離散フーリエ変換することによってスペクトルを求めると、その周波数成分によって信号を弁別できる。すなわち、サンプリングされた信号の時間遅れ、すなわちその距離における生存者の有無を検出できることになる。このとき、それぞれのアンテナの位置が波長に比べて大きく離れていなければ、それぞれのアンテナでの受信波のスペクトルは同じような分布とな

る。一方、生存者の存在しない場合は、それぞれのアンテナでの受信波のスペクトルは一致しない。したがって、スペクトルを乗算すれば生存者の呼吸変動に相当する周波数成分が増大し、それ以外の周波数成分は低下する。

### 2.2. アレイアンテナの構成

呼吸周波数の検出感度や、位置測定精度を向上させるためには、アンテナを多く展開することが好ましいが、レスキュー現場までの運搬や移動を考慮すると、あまり多くすることは難しい。そこで、本研究では、図2のように送信アンテナを中心に1つ、そしてその周囲に受信アンテナを4つ配置した構成をひとつのモジュール内に組み込み、このモジュールを9個用いることとした。ひとつのモジュールに組み込まれた4つの受信アンテナは主に、信号対クラッタ比を改善するために用いられる<sup>6)</sup>。アンテナは、450MHzから8.0GHzまでの帯域幅を有したもので、スパイラルアンテナとした。送信アンテナと受信アンテナは円偏波の偏波方向の異なるものを用いて反射波をより効率よく受信するとともに直接波によるカップリングの影響を減少させる。モジュール内のアンテナ上部の空間は電波吸収体で満たされているため、下部方向のみについて電波が送受信される。このスパイラルアンテナのリターンロスを図3に示す。800MHz以上では広帯域な特性を持っており、パルス伝送に十分な性能がある。また個々のアンテナのアンテナパターンを図4に示す。送受信アンテナ間距離3m、700MHz~4GHz構成アンテナを使用し、神奈川県産業技術センター電波暗室にて測定した。半値幅は片側50°程度である。瓦礫の性状、形状は千差万別であり、生存者位置は予知不能であるから、指向性の緩やかなアンテナが適しているが、このアンテナでは片側50°程度の半値幅なのでこの用途に使用可能であると考えられる。

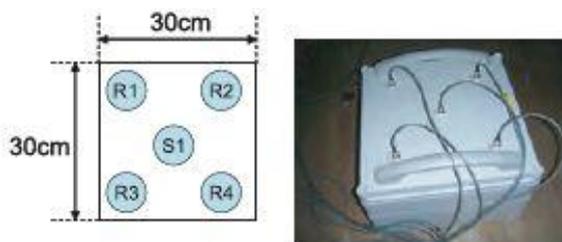


図.2 1つの送信アンテナと4つの受信アンテナ

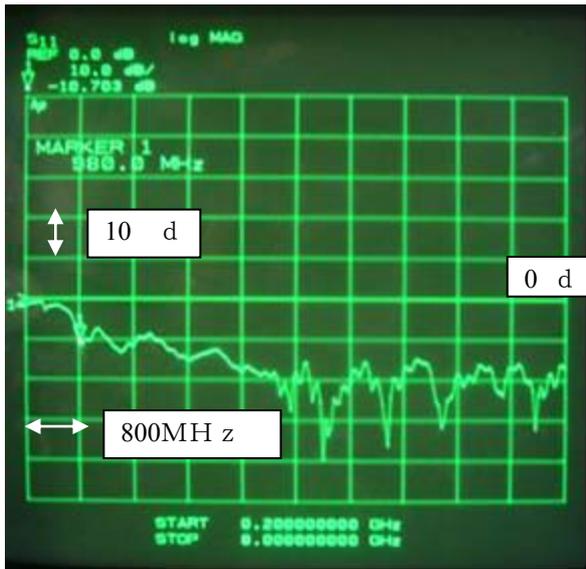


図. 3 アンテナのリターンロス

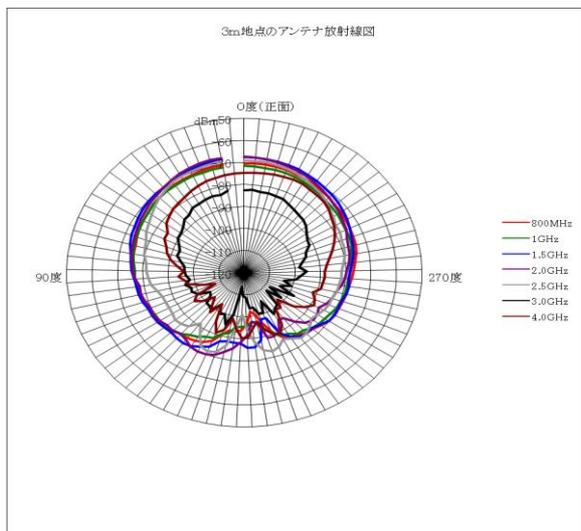


図. 4 アンテナの放射パターン

### 2.3. レーダー送受信機の構成

レーダー送受信機は9個の送信アンテナを切り替えるマニュアルスイッチと36個の受信アンテナを高速に切り替える高周波スイッチ、電波を送信するための高周波パルス発生回路、受信信号を増幅するための高周波増幅器、パルス発生のタイミングを制御するための電圧制御型発振器 (Voltage Controlled Oscillator ; VCO) , 受信信号を低速のAD変換器でサンプリングするための、遅延線と相関器からなる。このレーダー送受信機はノート型コンピュータ (Panasonic CF-Y8) に挿入されるカード型信号入出力器 (National Instruments DAQcard NI-6062E) でレーダーの制御および受信信号の取得が行われる。

高周波パルス発生回路と送信用アンテナの切替スイッチは高周波ケーブルで結ばれ、受信信号は遅延線を介して、高周波パルス発生回路から分岐された Local 信号として相関器に入力される。相関器出力はアンテナで受信された高周波信号を低周波に変換した信号となっているため、低速のAD変換器でデジタル信号に変換することができる。AD変換器によって取得する受信信号の最長の遅れ時間は、測定しようとする生存者の最大距離によって決まる。本研究では、最大距離を5mと考えて、取得される反射波の最大遅れ時間を50nsとした。この50nsを周期とする発信周波数は20MHzであるので、VCOは10MHzから20MHzの周波数の範囲で出力が変化するものを用いた。遅延相関型レーダーシステムの特徴は、1個のパルスジェネレータによって生成したパルス波形を送信および相関検波に使用することであり、二つのパルスジェネレータを使うシステムと比較すると原理的に検波時の不要ノイズが小さいこと、低コストで安定して受信波形を等価サンプリングできることにメリットがある。VCOへの線形な制御信号はコンピュータで計算して、信号入出力器のDA変換器で出力した。

9個のモジュールには、それぞれ4個の受信アンテナが内蔵されているので、4個の受信アンテナで受信された信号は上述の相関出力としてアナログ入力4チャンネルのAD変換器に接続される。モジュールの切替は、入力9チャンネル、出力1チャンネルの高周波スイッチ4個で行われる。制御用コンピュータからの信号によって、36個の受信アンテナは各モジュール内の4個のアンテナ毎に切り替えられる。この4つのスイッチの出力とAD変換器の4つの入力チャンネル間には増幅器が接続され、信号を約40dB増幅する。送信用パルス出力回路は入力1チャンネル、出力9チャンネルのマニュアルスイッチが接続されており、送信アンテナを切り替えられるようになっている。4個のアンテナによって受信された信号はそれぞれ512サンプル、12ビットのデジタルデータとしてコンピュータのメモリに転送され、すべてのモジュールについての受信波、すなわち36個の受信信号は、約1秒で取得される。

### 2.4. パルス波形

送信アンテナに入力されるパルス波形を図7に示す。波形は20dBのアッテネータを挿入して計測されている。パルス幅は200ps以下であることが分かる。

距離分解能  $R_{res}$  はパルス幅から概算され、次式で表せる<sup>13)</sup>。

$$R_{res} = c \tau / 2 \quad (1)$$

ここで、 $c$  は光速、 $\tau$  はパルス幅である。(1)式から

距離分解能は約 3cm となり、十分な距離分解能を持つことが分かる。

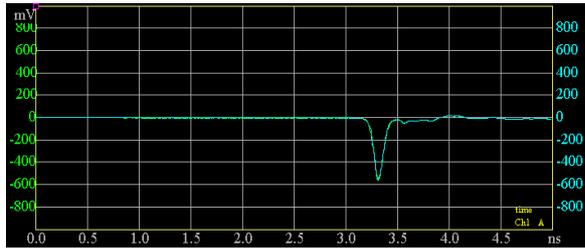
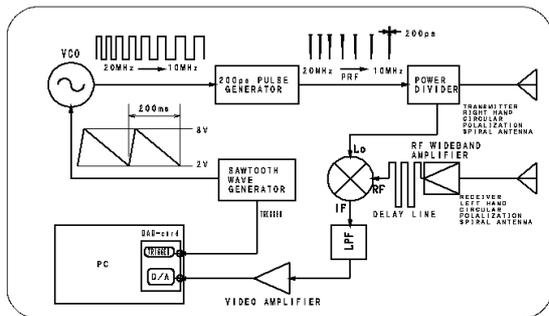


図.5 アンテナに入力されるパルス電圧

## 2.5. 遅延相関型レーダーシステム

本研究では荒井らによって報告されている遅延相関型のレーダーシステム<sup>10)11)12)</sup>を使用した。VCOの制御電圧を直線的に変化させる簡易な遅延相関型レーダーにおいてはレーダー受信波の等価サンプリング位置が実距離に対して等間隔ではないという問題があるが、距離計測に厳密性を求められない条件下では近似的に等間隔とみなして使用されている。しかしながら本研究においては9つのモジュールの受信信号の遅れ時間の違いから生存者位置を検知しようとしているのであり、近似ではなく厳密な距離計測が要求される。そこで、受信信号に対してサンプリング波形が等時間間隔となるような補正を行った。

遅延相関型の1チャネルレーダシステムのブロック図を図6に示す。受信信号を遅延線によって遅延させて供給しているのが特徴であり各部の波形の



概略を示している。制御系の中心であるVCOは制御電圧に対して発振周波数はほぼ直線的に変化し、発振周波数があるままPRF (Pulse Repeating Frequency) となる。前述のとおりPRFが直線的に変化した場合、IPP (Inter Pulse Period) は直線的にはなく周波数に反比例して変化する。

図.6 レーダーのブロック図

## 3. 生存者3次元位置推定法

### 3.1. 提案手法

瓦礫下の生存者をアレイアンテナで構成される

レーダーからその位置を探査しようとするために、著者らは、次のような2つの問題を検討した。ひとつは瓦礫のように比誘電率の不均一な媒質中を電波が伝搬する際に受ける、電波の位相歪みの影響であり、もうひとつは、アレイアンテナを含めた装置全体の小型軽量化である。瓦礫の比誘電率は、土砂、木材で2~3、コンクリートで6~9であり、位相歪みの影響は大きいと考えられる。また、大地震発生直後では、道路等の崩壊により、大型装置の運搬が強く制限されるため、小型化のためアンテナの総数を可能な限り抑える必要がある。そこで、まず、アレイアンテナによる位置特定法として一般的に用いられている、位相補償後コヒーレントに加算するビームフォーミング方式の信号対雑音比 (SNR) の改善効果について考える。いま、アレイアンテナの存在する平面と生存者が大気中に図1のように配置されていて、ひとつの送信アンテナから正弦波を送波したときに複数のアンテナで受信される信号を位相補償後コヒーレントに加算して、ビームフォーミングを行う。このときの出力信号  $E_s$  は次式で表される。

$$E_s = \sum_{i=0}^{M-1} E_i W_i \quad (4)$$

ここで、 $E_i$  は  $i$  番目のアンテナで受信される信号、 $W_i$  はビームフォー

ミングを行うために受信信号の位相を補償する項である。 $M$  はアンテナの総数である。位相補償項が実際の生存者までの距離に対応する位相遅れと一致する場合は、

$$E_i W_i = |E_i W_i| e^{j\phi} \quad (5)$$

と表され、それぞれのアンテナの位置に依存しない位相  $\phi$  の項と振幅 (絶対値) の積で表される。したがって、出力信号  $E_s$  は、(5) 式を (4) 式に代入して、次式となる。

$$E_s = e^{j\phi} \sum_{i=0}^{M-1} |E_i W_i| \quad (6)$$

この出力信号の電力は、

$$|E_s|^2 = \left[ \sum_{i=0}^{M-1} |E_i W_i| \right]^2 \quad (7)$$

と表される。このとき、すべてのアンテナのSNRが同じであれば、出力信号  $E_s$  のSNRは、

$$(S/N)_s = \sqrt{M} (S/N) \quad (8)$$

となり、アンテナの総数  $M$  の平方根に比例して改善する。しかし、アンテナと生存者の間に瓦礫が介在する場合は、電波が瓦礫を伝搬する際に受ける位相

歪みによって、(5)式は、

$$E_i W_i = |E_i W_i| e^{j(\phi_0 + \phi_i)} \quad (9)$$

となる。ここで、 $\phi_i$ は*i*番目のアンテナで受信される信号がうける位相歪みを表す。瓦礫の分布は不均一であり、かつその分布をあらかじめ知ることは困難であるので、位相歪みはアンテナの位置に依存してランダムに変動する一種の雑音と考えることができる。この信号に対して、コヒーレントなビームフォーミングを行った場合の出力は、

$$E_s = e^{j\phi_0} \sum_{i=0}^{M-1} |E_i W_i| e^{j\phi_i} \quad (10)$$

と表され、位相歪みを含んだ項の総和となる。したがって、出力信号の電力は、次式のように位相歪みを含まない場合の電力(7)式に比べて小さくなる。

$$|E_s|^2 = \left| \sum_{i=0}^{M-1} |E_i W_i| e^{j\phi_i} \right|^2 < \left[ \sum_{i=0}^{M-1} |E_i W_i| \right]^2 \quad (11)$$

つまり、この場合のSNRは

$$(S/N)_s < \sqrt{M}(S/N) \quad (12)$$

となる。このように、瓦礫下の生存者を探査する場合には、コヒーレント加算によるビームフォーミングでは、SNRの改善効果は小さいことがわかる。次に、すべてのアンテナで受信された信号を乗算した出力信号  $E_m$  を考える。すなわち、

$$\begin{aligned} E_m &= \prod_{i=0}^{M-1} E_i W_i \\ &= \prod_{i=0}^{M-1} |E_i W_i| e^{j(\phi_0 + \phi_i)} \end{aligned} \quad (13)$$

$$= \exp \left\{ j \left( M\phi_0 + \sum_{i=0}^{M-1} \phi_i \right) \right\} \prod_{i=0}^{M-1} |E_i W_i|$$

と表せる。したがって、出力信号の電力は、

$$|E_m|^2 = \prod_{i=0}^{M-1} |E_i W_i|^2 \quad (14)$$

と表され、位相歪み  $\phi_i$  を含む項は消去される。しかし、雑音電力も信号電力と同様に乗算されるので、SNRは、それぞれのアンテナのSNRの積で表されることになる。つまり、それぞれのSNRが1より大きければ、乗算出力信号  $E_m$  のSNRは改善されるが、1以下であると、SNRは低下する<sup>14)</sup>。いま、すべてのアンテナのSNRが一定であるとすれば、出力信号  $E_m$  のSNRは、

$$(S/N)_m = (S/N)^M \quad (15)$$

となる。

ここで、乗算方式と加算方式のSNRを比較する。そこで、まず、乗算方式のSNRが加算方式のSNRを超える臨界値を計算する。アンテナの総数とSNRの臨界値は、(8)式と(15)式から、

$$(S/N)^M = \sqrt{M}(S/N) \quad (16)$$

を満足する。(16)式を解くと、次のような関係式を得る。

$$(S/N) = M^{1/2(M-1)} \quad (17)$$

アンテナの総数  $M$  を2から100の間で変化させた場合の、(17)式で表されるSNRの臨界値をプロットしたものが図7である。同図より、乗算方式が有利となるSNRはアンテナが2個のとき、3.0dBであるが、アンテナの総数が増大するにつれて急激に低下し、10個を超えると1dBを切るようになる。

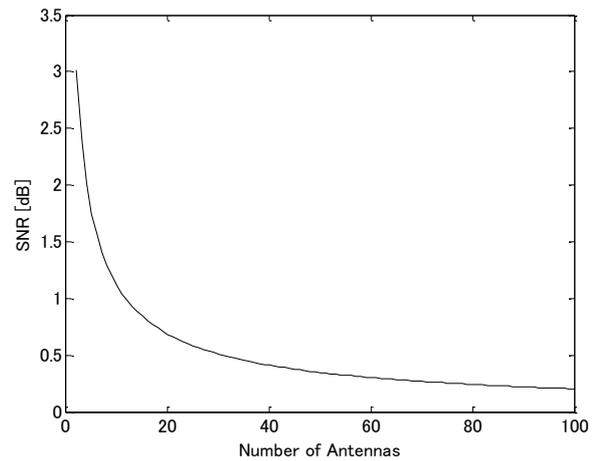


図.7 アンテナの総数とSNRの関係

前述のように本研究で開発しようとしているレスキュー用のレーダーは、アンテナの総数はなるべく少なくする必要があるため、アンテナ総数が少ない場合のSNRの改善を考察することは重要である。図8はアンテナのSNR=1.0dBとしたときの総数に対する出力信号のSNRを加算方式と乗算方式で比較したものである。同図より、アンテナ総数が10を超えると、乗算方式の方が、SNRの改善が優れていることがわかる。

一方、SNRが1以下の場合では、乗算方式よりも加算方式が優れているが、電波が瓦礫を伝搬する際に受ける位相歪みの影響により、SNRの改善は(8)式よりも低下することになる。また、アンテナの総数が少ないときは、加算方式のSNRの改善は小さいので、優位性はさらに低いと考えられる。これらの考察から本研究では、乗算方式を採用した。

本研究で開発した 36 個の受信アレイアンテナにおける SNR の改善を図 9 に示す。SNR が約 0.5 dB 以上となると、乗算方式が優れており、出力信号の SNR は 20 dB 以上を確保できることがわかる。

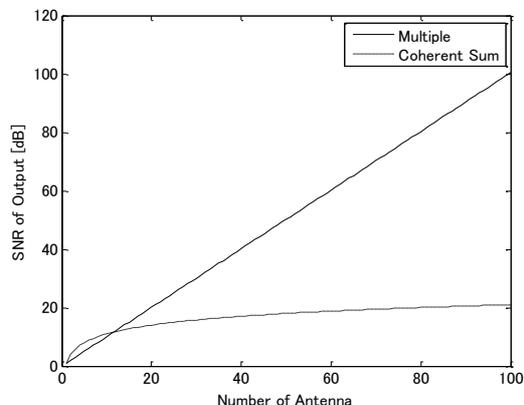


図. 8 アンテナの総数と出力信号の SNR の関係

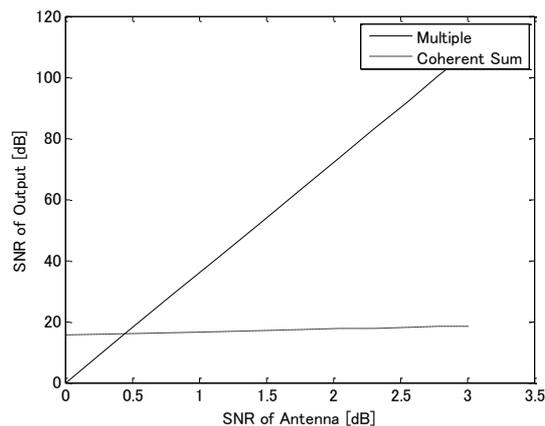


図. 9 アンテナ 1 つの SNR と出力信号の SNR の関係

模擬環境で計測したデータに積算方式と加算方式を適用した。物標はスピーカーによって 0.278 Hz で動くアルミニウム箱を張り付けた発泡スチロール板であり、ヤグラ中央 2 m の距離においた。アンテナ数は合計 16 個 (4 モジュール) 使用した。演算結果のパワースペクトルを図 10 に示す。ピークを除いたノイズの自乗平均値の平方根と信号のピーク値との間で SNR を計算したところ積算方式の場合 SNR = 62 dB、加算方式の場合 SNR = 20 dB となった。

次に、位置の検出精度について考察する。コヒーレントに加算する方式では、アレイアンテナを構成するそれぞれのアンテナの位置によって受信電波の位相が  $\pi$  異なるときに加算出力の電力は低下す

ることを利用してビームを形成するため、検出位置精度は半波長が基本となる。一方、乗算方式では (14) 式のように出力信号の絶対値をとるため、位相情報はなくなり、位相補償によるビーム形成はできない。そこで、パルスエコー方式を採用すると、各アンテナでの受信波に対して送信パルス長以上の時間遅れが生じれば、乗算出力信号の電力低下を用いてビームを形成することができるが、検出位置精度は加算方式に比べると劣化する。本研究では生存者のレスキュー活動を目的としているため、検出位置精度は 1 m 程度あれば十分であると考えられる。一般にパルスエコー方式の距離分解能はパルス長の 2 分の 1 と考えられているので、パルス長は 2 m が必要な値となる。つまり、乗算方式は、分解能を犠牲にして SNR を改善する方式と考えることができる。

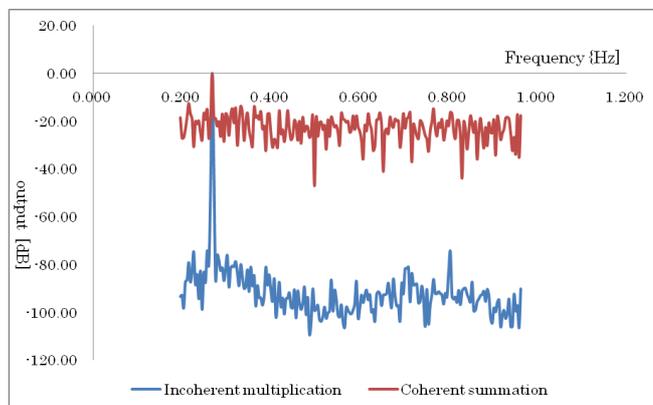


図. 10 コヒーレント加算方式と乗算方式の SNR の比較

呼吸による胸部の変位を検出する災害時救出用近距離レーダーの周波数は、1215.1 MHz が使われている<sup>15)</sup>。この波長は大気中で、約 24 cm であるので、1.2 GHz を含む周波数帯域のパルス長が約 2 m 以下 (1.2 GHz で波長の 8 倍程度以下) のパルス波が必要であるが本研究においてはこの条件を十分に満たしている。さて、乗算出力からの位置測定法は次のように行なう。受信アンテナごとのデータを前節で述べたような遅延時間間隔の補正を行った後、直交検波によって I Q 信号を計算する。直交検波は、ソフトウェアで行い、等価 1.2 GHz の正弦波と余弦波を受信信号に乗算した後、直流を中心とするハニング窓を周波数領域で乗算することによって実現した。36 個のアンテナで受信される信号をすべてコンピュータのメモリへ取り込むために 1 秒要するので、結果としてサンプリング周波数 1 [Hz] で I Q 信号を時系列に取得することになる。この信号は、遅延時間 (等価サンプリング間

隔約 50ps, アンテナからの距離に対応) と反射波を繰り返し受信する時間 (サンプリング周波数約 1Hz) という 2次元の複素関数となる。これら 2つの時間を区別するため、前者を遅延時間または距離、後者を繰り返し時間と呼ぶことにする。計算された 2次元複素関数は、MTI (Moving Target Indicator) フィルタによってクラッタ成分を取り除いた後、FFTによってスペクトルを計算する。このような処理によって計算された信号は、距離と周波数の 2次元関数となる。ひとつのモジュールに内蔵されている 4つのアンテナについては、同一地点での受信波と考えて、4つのスペクトルの距離を移動せずにそのまま乗算する。それを、そのモジュールの中心を座標とする位置で得られた距離対スペクトルマップとする。被験者の呼吸を測定した例を図 11 に示す。アンテナからの距離 3.0m 付近において 0.2~0.3Hz にピークが見られ、この周波数で変動する成分が観察される。この周波数は呼吸周波数に対応する。

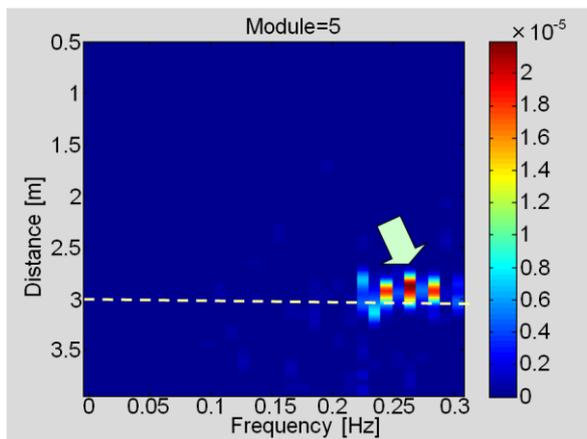


図. 11 被験者の呼吸

ガレキ上に展開された 9個のモジュールで得られた受信信号から、上述の処理によって 9つの距離スペクトルマップが計算される。これらのマップから生存者の位置を推定するために、探査を行う 3次元空間を格子状に分割して、各格子点についての呼吸周波数の成分を計算する。各格子点での送信アンテナ→生存者→受信アンテナという電波の伝搬経路長が異なるので、その経路長に対応する時間遅れを (4) 式によって計算する。

$$\tau_i = \frac{d_{Tx} + d_i}{c} \quad (18)$$

ただし、 $d_{Tx}$  は候補点と送信アンテナ間の距離、 $d_i$  は候補点と  $i$  番目のモジュール間の距離、 $c$  は光速である。なお、各モジュール内に 4つのアンテナの位置については、前述のとおり計算を簡略化する

ためモジュールの中心位置で代表させた。

それぞれのモジュールの距離対スペクトルマップは、式 (18) から求めた  $i$  番目のモジュールの遅れ時間  $\tau_i$  だけ推移させた後、すべて乗算される。この乗算後のスペクトルマップについて、呼吸周波数を 0.2Hz ~ 0.5Hz と考えて、この周波数帯域のデータを加算する。さらに、電波がガレキ等を透過する際に受ける位相変化を考慮して、 $\tau_i \pm \Delta\tau$  の範囲について、乗算された値を加算した。すなわち、(18) 式で与えられる値を  $x$  番目の格子点における生存者の存在する可能性を表す指標とした。これを生存度分布とすることにする。

$$v_x = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N \prod_{i=1}^9 a_{ijk} \quad (19)$$

ここで、 $a_{ijk}$  は  $i$  番目のモジュールの距離対スペクトルマップを表し、 $N$  と  $M$  はそれぞれ周波数方向に加算するデータの数と遅延時間 (距離) 方向に加算するデータの数を表す。

### 3.2. 実験

これらの生存度分布計算の有効性を示すために実験を行った。実験には屋内に設置された木製実験ヤグラを使用した。実験ヤグラの大きさは縦横 4m × 4m であり、1m ごとに床を設置し、4階にモジュールを展開した。図 12 にテストサイトの全体像を示す。4階に展開したアレイアンテナの長さは縦 2m, 横 2m である。2階と 3階には写真に示すように木製家具、木材を配置して災害現場を模擬した。探査領域において、高さ方向に 50cm ごとの平面を考え、各平面上に 8cm × 8cm の格子点を設定した。アンテナモジュールは 2m × 2m の平面に置かれており、その下 2m × 2m × 5m の 3次元空間の生存度分布を計算した。

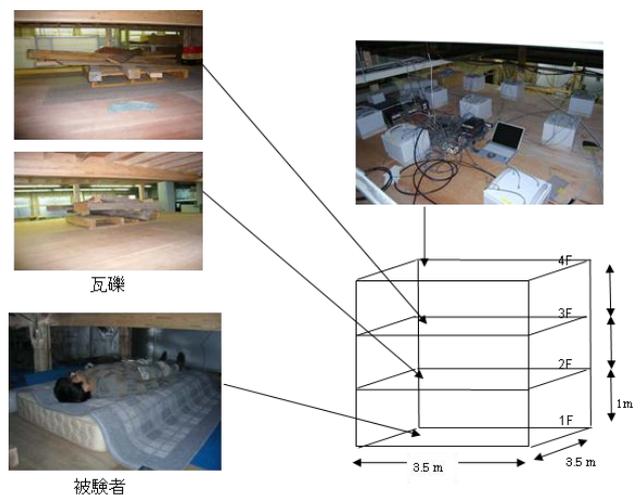


図. 12 実験環境の写真とその大きさ。高さ 3m, 奥行き 4m × 4m. 最上部にアンテナを展開した。

図 1 3 のアンテナ下の 3m に被験者がいるときの被験者の位置と生存度分布である。実際の被験者の位置と、生存度分布のピーク値（図中赤い領域）の位置が一致していることがわかる。

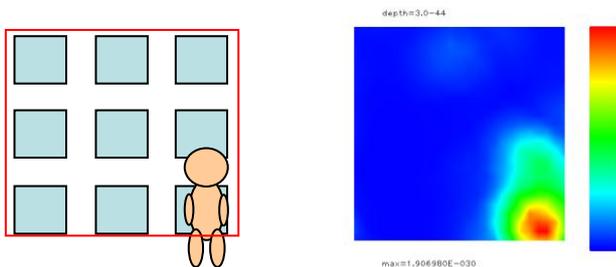


図. 13 アンテナ下 3 m での被験者の位置（左）とその生存度分布（右）

さらに、生存者位置を変えて行った実験の結果を図 1 4、図 1 5 に示す。これらの実験ではそれぞれの図の左に示した被験者の位置と、生存度分布のピーク値の位置が良く一致していることがわかる。

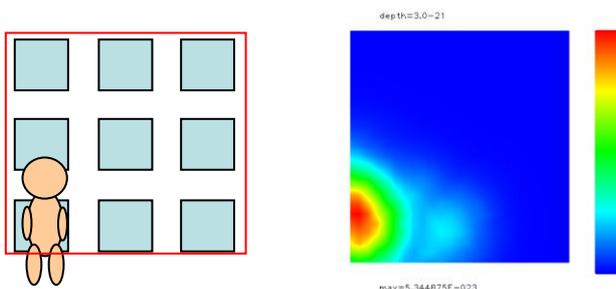


図. 14 アンテナ下 3 m での被験者の位置（左）とその生存度分布（右）

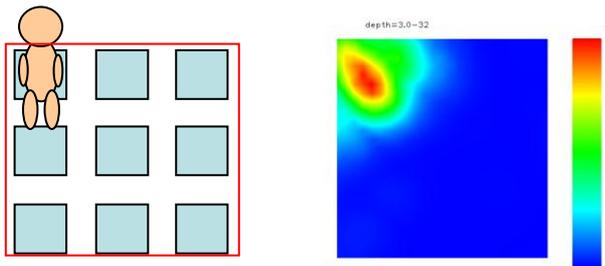


図. 15 アンテナ下 3 m での被験者の位置（左）とその生存度分布（右）

実際の現場では、瓦礫の下に生存者が 1 人だけとは限らない。そこで、瓦礫の下に生存者が同時に 2 人いるときにその位置を特定できるかどうかについて調べた。図 1 6 と図 1 7 は被験者の位置とその平面での生存度分布を示したものである。図 1 6 では、アンテナからの距離 2m および 3m の距離において被験者がそれぞれひとりずつ存在する場合である。被験者の位置と生存度分布のピークの位置が

一致していることがわかる。図 1 7 はモジュール下 2m および 2.5m の距離において、それぞれ被験者の位置と生存度分布のピーク位置が一致していることがわかる。

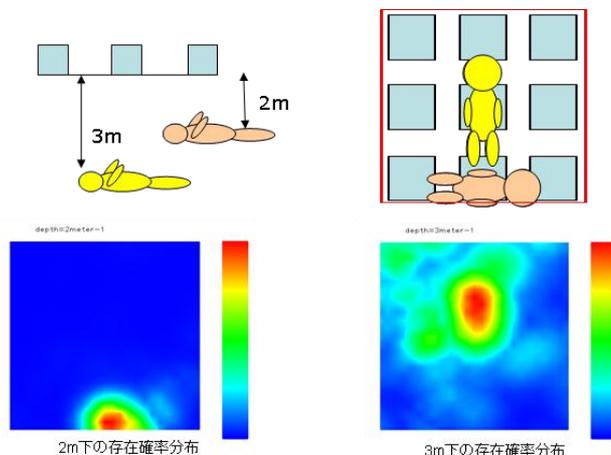


図. 16 被験者 2 人の場合の位置（上段）とその生存度分布（下段）

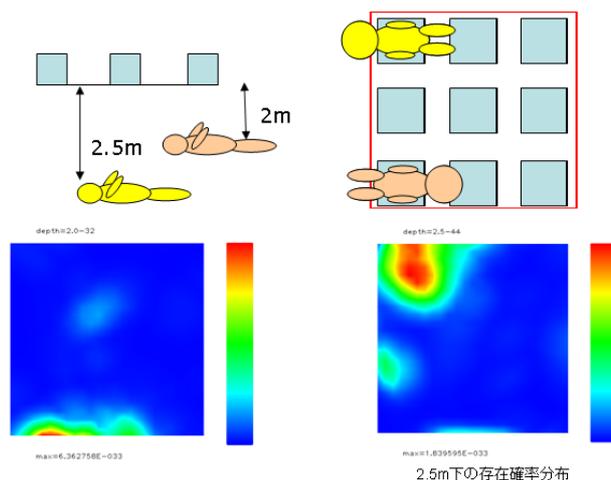


図. 17 被験者 2 人の場合の位置（上段）とその生存度分布（下段）

#### 4. おわりに

本研究では、2次元アレイアンテナを搭載した遅延相関型パルスレーダシステムによって構成した生き埋め者探索用レスキューレーダシステムについて述べた。生存者探査のために、探索領域内の生存度分布を表示することによって生存者の位置を特定する方法を提案した。

実際に構築した実験システムを用いて、ガレキモデル実験を行い、2m×2m 高さ 3m の範囲で、被験者位置を 3 次元的に推定することができた。また、計測に要した時間は約 10 分であった。今後、これらシステムの軽量化を含めた可搬性の向上、減衰の大きなガレキに対しての検出能の向上など行う必

要があると考える。

#### 【参考文献】

- 1) K.M.Chen, Y.Huang, J.Zhang, A.Norman: Microwave Life-Detection Systems for Searching Human Subjects Under Earthquake Rubble or Behind Barrier, IEEE Trans. Biomed. Eng., vol.27, pp.105-114 (2000)
- 2) H.R.Chuang, Y.F.Chen, K.M.Chen: Automatic Clutter-Canceler for Microwave Life-Detection System, IEEE Trans.Instrum.Meas., vol.40, pp.747-750 (1991)
- 3) A.S.Bugaev, V.V.Chapursky, S.I.Ivashov, V.V.Razevig: Through Wall Sensing of Human Breathing and Heart Beating by Monochromatic Radar, Proceeding of GPR 2004, vol.1, pp.291-294 (2004)
- 4) Chi-Wei Wu and Zi-Yu Huang: Using the Phase Change of a Reflected Microwave to Detect a Human Subject Behind a Barrier, IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, VOL.55, NO.1, pp.267-272 (2008)
- 5) Fauzia Ahmad, Yimin Zhang, and Moeness G.Amin :Three-Dimensional Wideband beam forming for Imaging Through a Single Wall, IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, VOL. 5, NO. 2, pp.176-179 (2008)
- 6) N. Maaref, P. Millot, C. Pichot, and O. Picon: A Study of UWB FM-CW Radar for the Detection of Human Beings in Motion Inside a Building, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, VOL. 47, NO. 5, pp.1297-1300 (2009)
- 7) Iwaki Akiyama, Masatoshi Enokito, Akihisa Ohya, Yoshimitsu Aoki, Fumitoshi Matsuno: Search for Survivors Buried in Rubble by Rescue Radar with Array Antennas -Extraction of Respiratory Fluctuation, Proceeding of the 2007 IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.1-6 (2007)
- 8) T. Takeuchi, Y. Uematsu, H. Saito, Y. Aoki, A. Ohya, F. Matsuno and I. Akiyama: Measurement of Survivor Location for Rescue Radar System by using Two Dimensional Array Antenna, Proceedings of the IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp.1-6 (2008)
- 9) Takeuchi, T.; Saito, H.; Aoki, Y.; Ohya, A.; Matsuno, F.; Akiyama, I.: Rescue Radar System with Array Antennas, Proceedings of 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, pp. 1782-1787 (2008)
- 10)荒井郁男, 富沢良行, 鈴木 務: 遅延相関を用いたパルス圧縮地中レーダー: 電子情報通信学会, 宇宙・航行エレクトロニクス研究会資料, SANE92-26, pp.23-30 (1992)
- 11) Ikuo Arai, Yoshiyuki Tomizawa, and Masanobu Hirose : Pulse Compression Subsurface Radar, IEICE Trans. Commun. Vol.E83-B, No.9, pp.1930-1937 (2000)
- 12) 富澤良行, 荒井郁男: 遅延相関器を用いたチャープ信号パルス圧縮地中レーダー, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J83-B, No.1, pp.113-120 (2000)
- 13)電子情報通信学会編吉田孝監修: 改訂レーダ技術, pp.12, 社団法人電子情報通信学会 (1996)
- 14)関根松夫: レーダー信号処理技術、電子情報通信学会(東京), pp.267-270, (1991)
- 15) 災害時救出用近距離レーダー用, 地域周波数利用計画策定基準一覧表の詳細: 総務省電波利用ホームページ,  
<http://www.tele.soumu.go.jp/cgi-bin/areadetail.cgi?KAN=112200000&FLOW=1215.1&FHIGH=1215.1&HZ=3&CHOU=00010553&CHNL=&YOUT=&LOCT=1089>



## 第7 救急・救助業務の高度化

### 7.2 複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究

研究課題名	複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究
研究実施期間	平成19年7月から平成21年9月
配分額(千円)	10,906(平成19年度) 5,806(平成20年度)
研究代表者	石原 哲
所属機関	医療法人社団誠和会 白鬚橋病院
研究体制	<p>氏名 所属 本年度分担項目</p> <p>石原 哲(白鬚橋病院)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・病院救急車に乗務する救急救命士に対するメディカルコントロールのあり方</li> <li>・病院救急車の運用モデル具現化に向けた課題の再抽出</li> </ul> <p>東京消防庁救急部</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・救急需要対策の観点から、新たな救急搬送システムの構築に向けた検討の支援を行う。</li> </ul> <p>山本 保博(東京臨海病院)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・救急救命士に対するメディカルコントロールの法的課題</li> </ul> <p>坂本 哲也(帝京大学医学部)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・救急救命士に対する教育のあり方</li> </ul> <p>川井 真(日本医科大学)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・救急救命士の活動記録及び事後検証のあり方</li> </ul> <p>森村 尚登(帝京大学医学部)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・救急救命士のプロトコルのあり方</li> </ul> <p>藤崎 修吉(有限会社ジャストコーポレーション)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・病院救急車の運用に伴う経費</li> </ul>
研究概要	<p>平成17年総務省消防庁において「救急搬送業務における民間活用に関する検討会」が設置され、医療機関や報道機関、消防機関等、関係各機関の有識者により、増大する救急需要対応策の検討が行われた。</p> <p>病院救急車が医療機関における転院搬送において機能すれば、消防機関の救急車がより迅速かつ適切に救急患者に対応することが可能となり、救命効果の向上が期待できるという観点から、経費負担等、病院救急車の活用促進方策について検討が重ねられ、病院救急車を複数の医療機関が共同で利用するモデルが提言された。</p> <p>本研究は、このモデルを試験的に運用し、諸課題を抽出・検討することで、病院救急車の共同利用に関する具体的な運用要領を確立するものである。将来的には本運用モデルが各地域に広がり、緊急性のある転院</p>

	<p>搬送を病院救急車が担うとともに、消防救急は救急現場の搬送に専従できる体制を構築し、救急患者の救命効果の向上に資することを目的とする。</p>
研究成果	<p>本研究は、地域における救急搬送体制の充実を目的に、当院が所有する「病院救急車」を活用し、総務省消防庁の検討会で提言された複数医療機関による共同利用運用モデルを試験的に行い、実務上の問題点等を抽出するものである。</p> <p>2年計画の、平成19年度に得られた研究成果を踏まえ、より実態に則した病院救急車の共同利用を行うため、メディカルコントロール体制に関する検討及び共同利用に参画する医療機関を対象にアンケート調査を行うとともに、病院救急車の運用を行った。</p> <p>アンケート調査の結果、病院救急車を病院間搬送に活用することで地域の救急医療体制の向上につながるという、本研究の趣旨が確実に理解されていることが確認できた。また、搬送に伴う診療報酬の自己負担額の未収の発生については、アンケート調査結果等を踏まえ、患者の個人情報に支障がない範囲で保険情報の提供を受けることとし、その結果、未収額を最小限に抑えることができた。</p> <p>平成19年7月運用開始から、平成20年9月までの搬送件数は、初年度252件（9ヶ月間）、昨年度294件（6ヶ月間）であり、平成19年度（平成19年7月～平成20年3月）1日平均0.89件、平成21年度（平成21年4月～9月）1.61件であった。初年度・昨年度の1日平均件数を比較すると0.72件の増加がみられた。これは、アンケート調査結果等に基づき参画医療機関と当院との連携内容の充実に努めた結果であるとともに、本研究事業に関する周知及び理解が図られ、その有用性が確認されたものと思料した。なお、病院救急車の運用終了後、複数の医療機関から搬送の要望が寄せられており、本研究事業の定着化の可能性が強く示唆された。</p>
対応の方向性	<p>病院救急車の活動範囲の拡大  東京消防庁が取り組んでいる救急相談センターや救急搬送トリアージとの連携、ドクターカーとして病院救急車を活用する。</p>
研究発表の状況等	<p>第11回日本臨床救急医学会 総会  一般演題「病院救急車の地域共同利用における救急救命士の役割」  全日本病院協会主催  第12回地域防災緊急医療ネットワーク・フォーラム  「病院救急の共同利用」  第12回日本臨床救急医学会 総会  一般演題「病院救急車の地域共同利用における救急救命士の役割」</p>

<p>知的財産の 出願・登録 状況等</p>	
<p>当該研究に 対する今後の 展開、意見等</p>	<p>現在、救急医療の現場は、早期に救急患者を医療の管理下におくために様々な対策が講じられている。本研究事業では、救急医療機関における急性期の救急患者に対する医療処置後、他の医療機関への後方搬送も行っており、救急医療機関における救急患者受け入れ体制を効果的かつ迅速に確保する上で非常に有効である。このことから、東京都で実施されている地域救急医療センターのように、一定の地域において救急医療の中核的な機能を担う基幹病院が病院救急車を有し、共同利用を行うことで、病院救急車が急性期を脱した救急患者の後方搬送を担い、地域内の救急医療機関が適切に救急患者に対応することが可能となる、との観点から、救急医療体制の事業の一環として本事業が位置づけられることを強く望む。</p> <p>また、本研究における病院間搬送は、医療処置継続中の患者を搬送することが圧倒的に多く、そのためより広汎な医学的知識・技術が要求される。今回の研究では、当院がメディカルコントロールの担い手となり搬送業務の質を確保しているが、今後、本運用モデルの各地域への普及を考慮すると、病院救急車を運用する医療機関ごとに異なるMC体制をとるのではなく、一定の広域的な範囲内で共通のMC体制に基づいて搬送業務の質を確保していくことが必要である。このことから、現在各地域で整備されている地域メディカルコントロール協議会において、病院救急車に乗務する救急救命士に対するメディカルコントロール体制を位置づけていく必要がある。本事業の有用性については確認されたものの、運用に伴う経費負担については現行の診療報酬で賄うことは困難であり、普及・定着を図る上で大きな障害となっている。</p>



## 複数医療機関による病院救急車の共同利用に関する研究

○ 石原 哲・山本 保博・坂本 哲也・川井 真・森村 尚登・藤崎 修吉

Toru Ishihara, Yasuhiro Yamamoto, Tetsuya Sakamoto, Makoto Kawamura  
Naoto Morimura and Syuukiti Fujisaki

**研究課題の要旨:** 社会的資源である消防救急車が、重症度・緊急度の高い傷病者に適切に対応できなくなり、「救える命が救えなくなる」という事態が懸念されている。医療機関が保有する病院救急車は、多大な経費負担と診療報酬点数との兼ね合いなどから十分に活用されていない現状にある。その中で、病院救急車が医療機関における転院搬送において機能すれば、消防機関の救急車がより迅速かつ適切に救急患者に対応することが可能となり、救命効果の向上が期待できる、という観点から、経費負担等、病院救急車の活用促進方策について検討が重ねられ、単独の医療機関が保有する病院救急車を複数の医療機関が共同で利用するモデルが提言された。本運用モデルが各地域に広がり、緊急性のある転院搬送を病院救急車が担うとともに、消防救急は救急現場の搬送に専従できる体制を構築し、救急患者の救命効果の向上に資することを目的とし研究を行った。

### 1. はじめに

消防機関が担う救急搬送業務の需要は、年々増加し、その需給ギャップにより、救急隊の現場到着時間の遅延を生ずるとともに、傷病者の収容先医療機関の選定に時間を要するなど、患者の受け入れ側である医療機関にとっても悪影響を及ぼしている。

また、平成19年中の東京消防庁管内における救急搬送人員 622, 987 人のうち、入院を要しない「軽症」と判断された割合は 62.6%を占めており、その中には緊急性がない、利便性に着目した救急車の利用も見受けられる状況にある。

このような状況から、今後、社会的資源である救急車が、重症度・緊急度の高い傷病者に適切に対応できなくなり、「救える命が救えなくなる」という事態が懸念される。

一方、医療機関が保有する救急車は、(以

下「病院救急車」という。) 単一の医療機関のみの運用では搬送ニーズに限界があることや、多大な経費負担と診療報酬点数との兼ね合いなどから十分に活用されていない現状にある。

東京都医師会救急委員会が東京都指定二次救急医療機関を対象に実施した病院救急車の保有状況等に関するアンケート調査結果(平成18年1月)では、回答があった211施設のうち、救急車を保有する施設は40施設(19%)で、その活用状況も年間100件以上の搬送実績を有する施設は12施設に過ぎず、病院救急車が活用されているとはいいがたい現状が明らかになった。また、病院救急車を保有していない理由としては(複数回答)、「人件費負担が大きく運転手の確保ができないから」(50%)、「燃料等の経費負担が大きく、経営上維持できない」(47%)、「同乗する医師、

看護師、救命士等の確保が困難」(47%)、「保有していなくても困らない」(45%)、「収益性がなく採算が合わない」(39%)、「活用する場がないから」(21%)の順となっていた。

病院救急車が活用され難い背景として、病院救急車の運用範囲が保有する医療機関の患者の搬送に限られており、1日1件程度の利用では運転手や同乗医師、看護師等の確保等に要する経費に見合うだけの採算がとれないことがあげられる。

これらの現状を踏まえ、平成17年、総務省消防庁において、「救急搬送業務における民間活用に関する検討会」が設置され、医療機関や報道機関、消防機関等、関係各機関の有識者により、増大する救急需要への対応策としての民間活用のあり方について検討が行われた。

その中で、病院救急車が医療機関における

## 2. 目的

当院が保有する病院救急車を活用し、墨田区内及び近隣の複数の医療機関による共同利用を試験的に行う。救急需要対策の一環として、転院搬送の一部を病院救急車と消防救

急車において機能すれば、消防機関の救急車がより迅速かつ適切に救急患者に対応することが可能となり、救命効果の向上が期待できる、という観点から、経費負担等、病院救急車の活用促進方策について検討が重ねられ、単独の医療機関が保有する病院救急車を複数の医療機関が共同で利用するモデルが提言された。

本研究は、このモデルを試験的に運用し、諸課題を抽出・検討することで、病院救急車の共同利用に関する具体的な運用要領を確立するものである。将来的には、本運用モデルが各地域に広がり、緊急性のある転院搬送を病院救急車が担うとともに、消防救急は救急現場の搬送に専従できる体制を構築し、救急患者の救命効果の向上に資することを目的とするものである。

急車が役割分担することにより、救命効果を高め、地域の安全・安心を確保していくことを目的とする。

## 3. 方法

### (1)運用概要

病院救急車の管理責任者

- ・白鬚橋病院

共同利用参画医療機関

- ・墨田区内及び近隣の複数の医療機関

4 4 施設

搬送中の患者の管理責任者

- ・患者の搬送元又は搬送先医療機関
- ・医師、看護師、救急救命士が同乗できない場合は、病院救急車に乗務する救急救命士の管理者である白鬚橋病院とする。

搬送従事者

- ・白鬚橋病院所属の救急救命士、民間救急事業者乗務員

搬送実施時間

- ・平日日中のみ(平成19年7月運用開始)

所有者・使用者

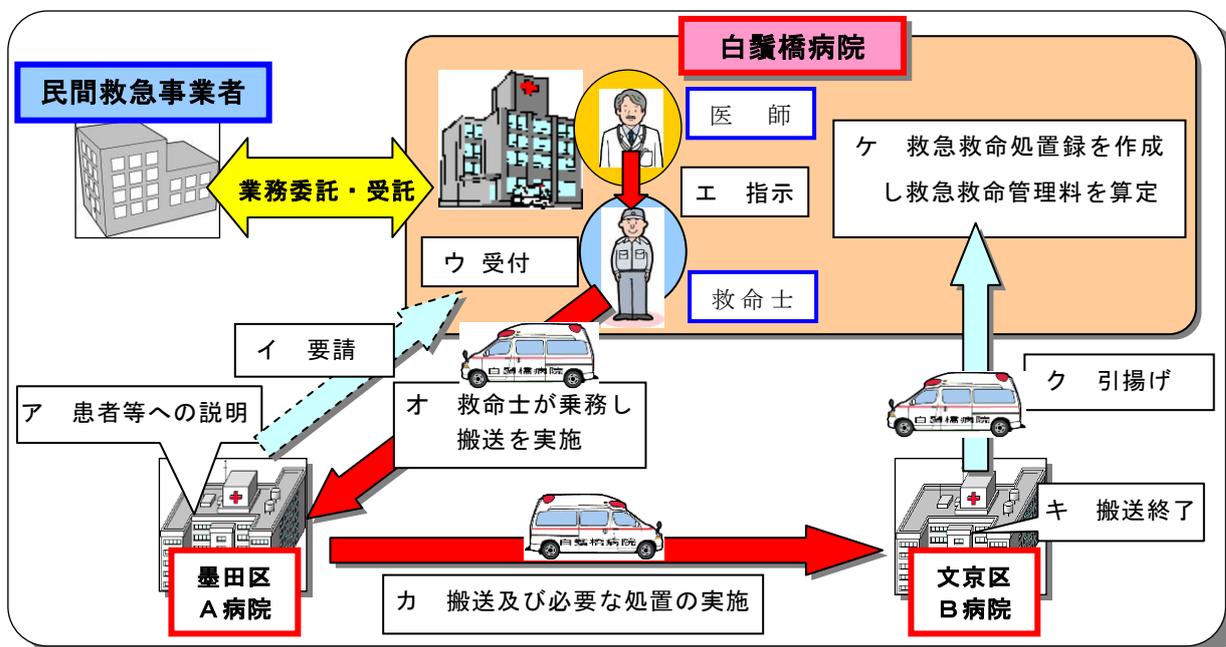
- ・白鬚橋病院

運行業務車両保守管理業務の実施者

- ・白鬚橋病院の委託により民間救急事業者が実施搬送対象；墨田区から概ね5キロ圏内の医療機関への搬送で、なおかつ、救急救命管理料の算定対象となる事案
- ・共同利用参画医療機関相互の転院搬送
- ・共同利用参画医療機関から、他の医療機関への転院搬送

## (2) 搬送実施の流れ

共同利用参画医療機関（墨田区A病院）から文京区B病院への搬送例



## (3) 乗務体制

当初の計画では、乗務員1名、救命士1名の計2名の乗務体制としていたが、要請を受けた救急患者の重症度を考慮し、より安全な搬送が必要と判断したため、救命士を2名とし、乗務員と合わせて計3名の体制で運用している。

### ア) 救急救命士

当院所属の救急救命士2名が乗務し、搬送に当たっている。救急救命士の教育については、初期研修として、救急隊同乗実習、JPTECを受

講した。また、的確な病態把握のため、継続して救急外来・病棟支援業務に従事するとともに、院内勉強会に参加している。

### イ) 乗務員

車両の運行・整備については、民間救急事業者へ委託し、安全運行はもとより、点検手順、整備手順に関するチェックシートを活用した適正な管理に努めている。

## 4. 研究成果

本研究は、地域における救急搬送体制の充実を目的に、当院が所有する「病院救急車」を活用し、総務省消防庁の検討会で提言された複数医療機関による共同利用運用モデルを試験的に行い、実務上の問題点等を抽出するものである。

2年計画の、より実態に則した病院救急車の共同利用を行うため、メディカルコントロール体制に関する検討及び共同利用に参画する医

療機関を対象にアンケート調査を行うとともに、平成19年7月運用開始から、平成20年9月まで、546件の病院救急車の運用を行った。

アンケート調査の結果、病院救急車を病院間搬送に活用することで地域の救急医療体制の向上につながるという、本研究の趣旨が確実に理解されていることが確認できた。また、搬送に伴う診療報酬の自己負担額の未収の発生については、アンケート調査結果等を踏まえ、患

者の個人情報に支障がない範囲で保険情報の提供を受けることとし、その結果、未収額を最小限に抑えることができた。

平成19年7月運用開始から、平成20年9月までの搬送件数は、初年度252件(9ヶ月間)、昨年度294件(6ヶ月間)であり、平成19年度(平成19年7月～平成20年3月)1日平均0.89件、これは、アンケート調査結果等に基づき参

画医療機関と当院との連携内容の充実に努めた結果であるとともに、本研究事業に関する周知及び理解が図られ、その有用性が確認されたものと思料した。なお、病院救急車の運用終了後、複数の医療機関から搬送の要望が寄せられており、本研究事業の定着化の可能性が強く示唆された。

## 5. 今後の展望

### (1)メディカルコントロール体制について

本研究における病院間搬送は、医療処置継続中の患者を搬送することが圧倒的に多く、そのため、より広汎な医学的知識・技術が要求される。今回の研究では、当院がメディカルコントロールの担い手となり搬送業務の質を確保しているが、今後、本運用モデルの各地域への普及を考慮すると、病院救急車を運用する医療機関ごとに異なるメディカルコントロール体制をとるのではなく、一定の広域的な範囲内で共通のMC体制に基づいて搬送業務の質を確保していくことが必要である。

このことから、現在各地域で整備されている地域メディカルコントロール協議会において、病院救急車に乗務する救急救命士に対するメディカルコントロール体制を位置づけていく必要がある。

### (2)救急医療体制の一環としての病院救急車の運用について

本事業の有用性については確認されたものの、運用に伴う経費負担については現行の診療

報酬で賄うことは困難であり、普及・定着を図る上での大きな障害となっている。

現在、救急医療の現場は、早期に救急患者を医療の管理下におくために様々な対策が講じられ始めたところである。本研究事業では、救急医療機関における急性期の救急患者に対する医療処置後、他の医療機関への後方搬送も行っており、救急医療機関における救急患者受け入れ体制を効果的かつ迅速に確保する上で非常に有効である。

このことから、本事業は、東京都で実施されている地域救急医療センターのように、一定の地域において救急医療の中核的な機能を担う基幹病院が病院救急車を有し、病院救急車が急性期を脱した救急患者の後方搬送を担うことで、地域内の救急医療機関が適切に救急患者に対応することが可能となる、この観点から、救急医療体制の事業の一環として本事業が位置づけられることを強く望むものである

### 【参考文献】

総務省消防庁  
救急搬送業務における民間活用に関する  
検討会報告書 平成18年3月  
東京都医師会  
救急搬送における需給対策について(答申)  
平成19年3月

## 第二部 平成 18 年度と 19 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 土砂災害危険時の住民と消防本部との双方向情報支援システム

研究課題名	土砂災害危険時の住民と消防本部との双方向情報支援システム	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	なし
	研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地域性を反映させた、確度の高い新たな斜面崩壊危険度評価法を開発</li> <li>・消防本部が現場住所の不明な災害通報を受けた際、聞き出した地物情報より場所を特定できるシステムを開発</li> <li>・双方向情報支援システムのペーパープロトタイプを作成し、自治体や消防本部の職員等を交えた図上実験を行った。その結果、風水害の被害もリアルタイムに予測して欲しいとの要望が出された。図上実験で得られた結果は、秋田県防災情報センターシステムを実現するための参考として利用されている。</li> </ul>
	研究発表の状況等	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 浅野耕一, 小笠原茂宏, 小川淳二, 水田敏彦, 角本繁: 時空間情報の Web 配信による地域防災力の向上に関する研究—その 1. 土砂災害情報を事例としたシステムの検討と試作、地域安全学会梗概集、第 14 号、pp. 89-90、2004 年 5 月</li> <li>2) 小笠原茂宏, 浅野耕一, 水田敏彦, 小川淳二: 時空間 WebGIS の開発と一般向け災害情報システムへの応用—時空間情報システムと自治体・防災情報環境の構築 (4) —、第 13 回地理情報システム学会講演論文集、pp. 241-244、2004 年 10 月</li> <li>3) 水田敏彦, 浅野耕一: インターネットを活用した土砂災害情報提供システムの検討と試作、日本地震工学会大会梗概集、pp. 460-461、2005 年 1 月</li> <li>4) 菅原達哉, 水田敏彦, 浅野耕一: 消防防災活動支援のための土砂災害情報システムの検討と試作—その 1 データベースの構築と斜面崩壊危険度予測—、日本建築学会大会学術講演梗概集 B 構造 II、pp. 645-646、2005 年 9 月</li> <li>5) 水田敏彦, 浅野耕一, 北野寛二: 消防防災活動支援のための土砂災害情報システムの検討と試作—その 2 土砂災害情報処理と災害現場高速絞込み検索システムの開発—、日本建築学会大会学術講演梗概集 B 構造 II、pp. 647-648、2005 年 9 月</li> <li>6) 水田敏彦, 浅野耕一: 土砂災害情報をリアルタイムに算出するシステムの開発—消防防災活動支援のための土砂災害情報システムの構築 (1)、地理情報システム学会講演論文集、pp. 489-492、2005 年 10 月</li> <li>7) 浅野耕一, 水田敏彦, 北野寛二, 三浦常男: 時空間 GIS を用いた緊急通報現場特定支援システムの検討と試作—消防防災活動支援のための土砂災害情報システムの構築 (2)、地理情報システム学会講演論文集、pp. 493-496、2005 年 10 月</li> <li>8) 水田敏彦: 地震後の降雨による斜面崩壊危険度に関する基礎的研究—数値標高モデルに基づく検討—、東北地域災害科学研究、pp. 115-120、第 42 巻、2006 年 3 月</li> <li>9) 浅野耕一, 水田敏彦: 消防防災活動支援のための土砂災害情報システムの検討と試作 (その 3 土砂災害時空間情報公表システムの試作)、日本建築学会大会学術講演梗概集 A 防火 海洋 情報システム技術、pp. 493-494、2006 年 9 月</li> <li>10) Toshihiko MIZUTA and koichi ASANO: Two-Way Information Support System Between Residents and Fire Headquarter in Case of Landslide Disaster、Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology、Geneva、Switzerland、CD-ROM、2006. 9</li> <li>11) 水田敏彦, 菅原達哉: 数値標高モデルに基づく豪雨によるリアルタイム斜面崩壊危険度予測システムの開発—秋田県を事例対象として—、地域安全学会論文集、No.8、pp.7-14、2006 年 11 月</li> <li>12) Toshihiko MIZUTA and koichi ASANO: Study on disaster information linkage between Fire Headquarters and Local government -A case study for landslide disaster-, Proceedings of Fourth International Conference on Urban Earthquake Engineering、Tokyo、Japan、</li> </ol>

		<p>pp.519-526、2007.3</p> <p>13) 水田敏彦,浅野耕一:土砂災害危険時の消防本部と自治体間の双方向情報支援システムの開発、東北地域災害科学研究、pp.91-96、第43巻、2007年3月</p>
	<p>他の研究課題への波及</p>	<p>・積雪寒冷地における住民と除雪本部との情報支援システムへの発展を計画中である。</p>

## 第2 住宅防火対策等の推進

### 2.1 分子認識による超高感度火災検知センサの開発

研究課題名	分子認識による超高感度火災検知センサの開発	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	なし
	研究成果	研究成果については、下記「研究発表の状況等」にて詳述しているとおり、講演会や学会にて頻繁に発表している。特に、火災検知ロボットについては、そのプレスリリース時の映像はインパクトがあり、聴講者からも毎回「嗅覚をもつロボットが実現したのですね」と賞賛を頂いている。  本成果により、消防庁長官表彰・奨励賞（2007年度）、応用物理学会フェロー表彰（2008）、第1回立石賞「功績賞」（2009年度）表彰を受けた。
	研究発表の状況等	<p><b>【論文・著書】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 都甲 潔, “プリンに醤油でウニになる”, ソフトバンククリエイティブ, pp.1-206 (2007年9月)</li> <li>2. 竹井義法, 岩崎幸代, 吉栄康城, 大藪 多加志, 南戸秀仁, 林 健司, 高本陽一, 都甲 潔, “匂いセンサ搭載ロボットの研究・開発”, AROMA RESEARCH, Vol.8, No.4, pp.374-379 (2007年11月)</li> <li>3. 都甲 潔, “においセンサ”, AROMA RESEARCH, No.38, (Vol.10, No.2), pp.176-180 (2009年5月)</li> <li>4. 都甲 潔, “フードナノテクノロジー”, シーエムシー出版, 監修:中嶋光敏, 杉山 滋, 第2章, pp.259-266 (2009年9月)</li> <li>5. 柴田慎一, 東野 翼, 沢田史子, 大藪 多可志, 竹井義法, 南戸秀仁, 都甲 潔, “室内に設置された酸化スズ系ガスセンサによる初期火災検知”, 電気学会論文誌E, 130巻, 2号, pp.38-43 (2010年2月)</li> <li>6. 都甲 潔, “感性を測る 味覚センサの着眼と開発”, FUJITSU, インターネットコラム Qfinity の広場, Vol.57 (2010年6月)</li> </ol> <p><b>【講演・発表】</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 都甲 潔, “感性バイオセンシング”, 平成18年度福岡県理科・科学教育懇談会総会 (2007年2月)</li> <li>2. 都甲 潔, “感性バイオセンサ”, 応用物理学会第10回基礎セミナー (2007年3月)</li> <li>3. 都甲 潔, “感性バイオセンサー”, MEMS International 2007 センサーシンポジウム (2007年6月)</li> <li>4. 都甲 潔, “味を目で見る, 匂いを探す”, 平成19年度 日本鉄道電気技術協会九州支部 通常総会 講演会 (2007年7月)</li> <li>5. 都甲 潔, “感性バイオセンサの開発”, 第58回産学交流サロン「ひびきのサロン」 (2007年8月)</li> <li>6. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサ”, 「命をはかる」研究会 第22回研究会 (2007年8月)</li> <li>7. 都甲 潔, “味を目で見る, 匂いを探す”, 戦略的商品開発イノベーションセミナー2007 (大阪) (2007年10月)</li> <li>8. 都甲 潔, “味とにおいを目で見る”, 第14回日本機械学会九州支部フォーラム基調講演 (2007年11月)</li> <li>9. 都甲 潔, “未来を拓く最先端計測技術 バイオ・センサの開発と国際テロ対策への応</li> </ol>

		<p>用”, 計測展 2007 TOKYO (2007 年 11 月)</p> <p>10. 都甲 潔, “味を眼で見る, 匂いを探す”, 2007 年度「科学を語る会」第 2 回講演会 (2007 年 11 月)</p> <p>11. 都甲 潔, “味を目で見る, においを探す”, 福岡西ロータリークラブ卓話 (2007 年 11 月)</p> <p>12. 都甲 潔, “味を目で見, 匂いを探す”, 税関記念日記念講演会 (2007 年 11 月)</p> <p>13. 都甲 潔, “味を目で見る, 匂いを探す”, 戦略的商品開発イノベーションセミナー 2007 (東京) (2007 年 11 月)</p> <p>14. 都甲 潔, “味を眼で見る, においを探す”, BT, NT, IT 関連産業振興研究会 (2008 年 3 月)</p> <p>15. 都甲 潔, “味を目で見る, においを探す”, 火力電子力発電技術協会 九州支部記念講演会 (2008 年 5 月)</p> <p>16. 都甲 潔, “感性バイオセンサー”, 化学技術戦略推進機構 エレクトロニクス交流会 (2008 年 6 月)</p> <p>17. 都甲 潔, “味覚センサ・においセンサ”, 有機エレクトロニクス材料研究会 (2008 年 9 月)</p> <p>18. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサの開発”, セラミックス協会 2008 年秋季シンポジウム (2008 年 9 月)</p> <p>19. 都甲 潔, “味を目で見る, 匂いを探す”, 第 1 回環文研セミナー (2008 年 10 月)</p> <p>20. 都甲 潔, “味と匂いの計測技術の進化”, 戦略的商品開発イノベーションセミナー 2008 (2008 年 10 月)</p> <p>21. 都甲 潔, “味やにおいのわかるロボット開発”, 福岡・台湾経済交流ミッション (2008 年 11 月)</p> <p>22. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサ”, 2008 年応用物理学会九州支部学術講演会 (2008 年 11 月)</p> <p>23. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサ”, 生体機能を活用した先進的ナノバイオテクノロジーシンポジウム (2009 年 2 月)</p> <p>24. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサー味と匂いのデジタルデータベース”, コンテンツ創成国際シンポジウム (2009 年 2 月)</p> <p>25. 都甲 潔, “生体を模倣した味覚センサの開発”, 2008 年度食創会「第 13 回安藤百福賞」受賞記念講演会 (2009 年 3 月)</p> <p>26. 都甲 潔, “味と匂いのわかるロボット”, 2008 年応用物理学会九州支部学術講演会 (2009 年 5 月)</p> <p>27. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサの開発”, 戦略的商品開発イノベーションセミナー 2009 (2009 年 10 月)</p> <p>28. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサの開発”, 第 6 回ナノバイオ国際シンポジウム (2010 年 2 月)</p> <p>29. 都甲 潔, “感性ナノバイオセンサの開発”, 日本比較生理生化学会第 32 回大会 (2010 年 7 月)</p> <p>30. 都甲 潔, “分子技術に基づく感性バイオセンサー”, 応用物理学会・JST 共同特別公開シンポジウム (2010 年 9 月)</p> <p>31. 都甲 潔, “味と匂いのセンシングとデジタル情報処理技術の開発”, 第 11 回アロマ・サイエンス・フォーラム (2010 年 9 月)</p>
他の研究課題への波及		<p>地域イノベーションクラスタープログラム (グローバル型【第Ⅱ期】、旧知的クラスター創成事業: 2007~2011 年度) にて, 匂いセンサの研究開発を続行している。</p>

第2 住宅防火対策等の推進

2.2 火災感知に影響を及ぼす天井流の流動性状と区画形状の相互作用

研究課題名	火災感知に影響を及ぼす天井流の流動性状と区画形状の相互作用
フ ォ イ ー ア ッ プ の 内 容	<p>特許や実用新案について</p> <p>なし</p> <p>研究成果(特に研究成果の活用事例を中心)</p> <p>火災感知の作動時間に多大な影響を及ぼす天井流の流動性状の解明にむけて、研究を継続して実施中 具体的には以下の通り。 傾斜天井に沿った流れ性状についての実験を継続し、その結果、上昇温度と移動距離の関係、速度と移動距離の関係、天井流の厚みに対する天井傾斜角度の影響を考慮した関係式を導出した。また、障害物の影響を加味した温度関係式を導いたが、速度に関するデータ不足から継続して取り組んでいる。 なお、本研究を通じた得られた成果は下記に示した論文、口頭発表にて公表している。</p>
研究発表の状況等	<p>審査付き論文</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Nitta, K., Oka, Y., Yamauchi, J., Ko Muraoka, K., and Mase, R., “Prediction for heat release rate based on ceiling jet temperature in case of time-dependent fire”, Int. Assoc. of Fire Safety and Science, Proceedings of the 9th International Symposium on Fire, pp.813-824, 2008.</li> <li>2) Oka, Y., Nitta, K., Yamauchi, J., and Muraoka, K., “Method of Predicting Fire Location and Intensity based on Ceiling Jet Temperature under an Unconfined Ceiling” Proceedings of 5th International Seminar on Fire and Explosion Hazards, pp.361-370, Edinburgh, 23-27 April 2007.</li> </ol> <p>口頭発表</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 安藤真樹, 岡 泰資, 須川修身, 古屋賢一, 宮下達也: 無限傾斜天井に沿った熱気流の流れ性状 —その1 実験と結果—, 平成20年度日本火災学会研究発表会, pp.270-271, 2008.5.</li> <li>2) 古屋賢一, 須川修身, 宮下達也, 岡 泰資, 安藤真樹: 無限傾斜天井に沿った熱気流の流れ性状 —その2 数値計算による流れ性状の予測—, 平成20年度日本火災学会研究発表会, pp.272-273, 2008.5.</li> <li>3) 土井 央, 岡 泰資, 山内幸雄, 万本 敦: 幸雄, 万本 敦: 天井下気流に及ぼす梁の影響に関する研究—その1 梁を乗り越える条件—, 平成19年度日本火災学会研究発表会, pp.46-47, 2007.5.</li> <li>4) 岡 泰資, 土井 央, 山内幸雄, 万本 敦: 天井下気流に及ぼす梁の影響に関する研究—その2 梁を乗り越えた気流性状—, 平成19年度日本火災学会研究発表会, pp.48-49, 2007.5.</li> <li>5) 新田孝太郎, 山井秀仁, 岡 泰資, 山口淳一, 村岡 宏: 成長火源時の天井流温度に基づく火点検知手法に関する研究, 平成19年度日本火災学会研究発表会, pp.226-227, 2007.5.</li> <li>6) 新田孝太郎, 山口淳一, 村岡 宏, 岡 泰資: 天井面下の熱気流温度に基づく出火</li> </ol>

		<p>位置予測手法に関する研究, 平成18年度日本火災学会研究発表会, pp.222-225, 2006</p> <p>7) 土井 央, 岡 泰資, 森本靖徳, 山内幸雄, 万本 敦, 江幡弘道: 減光式煙濃度計の小型化と性能評価, 平成18年度日本火災学会研究発表会, pp.258-261, 2006.5.</p>
	<p>他の研究課題への波及</p>	<p>なし</p>

### 第3 防災力の向上

#### 3.1 航空・衛星画像を用いた災害時における救助活動の阻害要因調査に関する研究

研究課題名	航空・衛星画像を用いた災害時における救助活動の阻害要因調査に関する研究	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	
	研究成果	衛星画像を利用した災害時周辺状況の検知手法に関わる研究成果をさらに発展させ、地上情報との融合をはかることで検知精度を上げ、災害時における道路交通情報に関わる組織での有効な利活用を予定している。
	研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原田裕里, 海野弘志, 佐治斉, ステレオ動画画像を用いた車両追跡, MIRU2008, 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp. 1554-1559 (2008年7月).</li> <li>・中澤幸子, 佐治斉, 大規模地震災害後の航空画像を用いた車両通行不能地点の抽出, MIRU2008, 画像の認識・理解シンポジウム論文集, pp. 1342-1345 (2008年7月).</li> <li>・Yuichi Ishino and Hitoshi Saji, Extraction of Road Markings from Aerial Images, SICE Annual Conference 2008, (CD) (2008年8月).</li> <li>・Yukiko Nakazawa and Hitoshi Saji, DETECTION OF IMPASSABLE AREAS ON ROADS USING DIGITAL MAP AND AERIAL IMAGE OBTAINED AFTER LARGE-SCALE EARTHQUAKE, ASIA GIS 2008, (CD) (2008年9月).</li> <li>・Kazuya Urabe and Hitoshi Saji, EXTRACTION OF ROAD-BLOCKAGE AREAS IN MOUNTAINOUS DISTRICTS AFTER DISASTER USING AERIAL IMAGE AND DIGITAL MAP, ASIA GIS 2008, (CD) (2008年9月).</li> <li>・河合荘景, 佐治斉, 航空画像を用いた都市部における地震災害後の道路閉塞状況解析, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第4号, pp. 45-58(2008年11月).</li> <li>・佐治斉, 佐藤史耶, 衛星画像を用いた都市部における車両検知, 画像ラボ 12月号, pp. 7-10, 日本工業出版(2008年12月).</li> <li>・小林真紀, 田村裕之, 佐治斉, 地震災害前後の空撮画像の自動位置合わせ, ITS シンポジウム2008, in proceedings CD (2008年12月).</li> <li>・丸地絢子, 田村裕之, 佐治斉, 空撮画像と三次元データを用いた道路閉塞領域の自動検出, ITS シンポジウム2008, in proceedings CD (2008年12月).</li> <li>・丸地絢子, 田村裕之, 佐治斉, 衛星画像とデジタル地図を用いた道路閉塞領域の自動検出, MIRU2009, 画像の認識・理解シンポジウム論文集(CD), pp. 663-668 (2009年7月).</li> <li>・浦部和哉, 佐治斉, 空撮画像を用いた山間部における地震災害後の道路閉塞領域検出, 日本地震工学会論文集, 第9巻, 第4号, pp. 26-38(2009年8月).</li> <li>・原田裕里, 佐治斉, ステレオ道路画像からの対応点抽出, ITS シンポジウム2009, in proceedings CD (2009年12月).</li> <li>・佐治斉, 田村裕之, 小林真紀 被災前後に撮影した都市域空撮画像の位置合わせ手法, 日本地震工学会論文集, 第10巻, 第5号, pp. 119-122(2010年5月).</li> </ul>
他の研究課題への波及	文部科学省平成21年度受託研究(宇宙利用促進調整委託費)の獲得につながり、衛星画像の災害時における救助支援活動への活用について研究を進めている。	

第3 防災力の向上

3.2 衛星データを利用した林野火災防御支援システムの開発

研究課題名	衛星データを利用した林野火災防御支援システムの開発	
フォローアップの内容	特許や実用新案について	該当なし
	研究成果(特に研究成果の活用事例を中心に)	<p>我が国の林野火災の消防戦術においては、火災情報の収集と情報共有化が重要な課題となっている。現行では、各機関が持つ紙ベースの林野火災防御図を基に、無線連絡により林野火災の発生位置や規模などの情報伝達が行われている。しかし、その情報量と質には限界があり、林野火災の早期発見、詳細な延焼状況の把握、正確な延焼予測を実施するには不十分な状況にある。本研究開発は、各種の衛星データを利用して林野火災情報を抽出・提供し、消防戦術の迅速な策定支援に活用することを目的としている。そのため、3つのサブテーマ(林野火災監視システムの開発、林野火災樹冠火危険度マップ作成手法の開発、林野火災延焼シミュレーションシステムの高精度化)を連携して実施することにより、衛星データを活用した林野火災消防戦術支援システムを開発した。</p> <p>本システムは、林野火災の発生が予想される全国の消防本部への配備を想定して開発したもので、平常時～発災～沈火後の報告書作成までの林野火災防御活動の各段階において利用可能である。</p> <p>研究においては竹原広域消防本部の支援を頂き、平成19年度後半に実施した2回のデモンストレーションにおいては、実際の林野火災防御活動を行う上で本システムは概ね有効であるとの評価を得ているが、現状では実用までは至っていない。図上演習における利用や日々の林野火災防御活動における運用を通じた、実証的利用に向けたデモンストレーションを今後も継続的に実施していく予定である。</p>
	研究発表の状況等	<p>1) Hozuma Sekine : Forest Fire Detection and Forest Environmental Preservation based on Remote Sensing Technology, State Key Laboratory of Fire Science, University of Science &amp; Technology of China, Dec. 2007</p> <p>2) 大木 孝 (ほか)研究担当者連名:衛星データを利用した林野火災防御支援システムの開発、東京情報大学 MODIS ワークショップ 2008年2月</p> <p>3) 朴、安田、関根、大木:MODIS データを用いた雲と雪を抽出するための White Index の提案、日本リモートセンシング学会誌 投稿予定</p> <p>4) 佐野、木場、藤田:森林の林床可燃物の燃焼実験による延焼速度と火炎長の計測、日本火災学会平成19年度研究発表会概要集、60-60、2007</p> <p>5) 佐野、大輪、平野、鈴木:香川県東かがわ市地域における森林の種類別林野火災樹冠火危険度の格付け、日本火災学会平成19年度研究発表会概要集、130-131、2007</p> <p>6) 鈴木 圭、大野勝正、大輪安信、佐野俊和:林野火災拡大危険度マップ作成手法の開発、第117回 日本森林学会大会、2006</p> <p>7) 佐野俊和、鈴木 圭、大輪安信、大野勝正:広島県竹原市地域における森林の種類別林野火災樹冠火危険度の格付け、平成18年度日本火災学会研究発表会概要集、pp314-317、2006</p>
他の研究課題への波及	特になし	

#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4.1 次世代防火服の開発

研究課題名	次世代防火服の開発
特許や実用新案について	本研究に係る知的財産権の出願・登録は、平成16年4月研究開始以降、平成22年11月現在に至るまで、行っていない。
研究成果	<p>本研究で深耕された要素技術「耐熱高強度繊維の有効活用」については、研究試料作製に協力いただいた全国消防服装協会の会員各社において実用化研究が行われ、一部メーカーにおいて防火服表地の織り組織の改良や耐熱高強度力のパラ系アラミド等を有効活用した新型防火服を開発商品化して、数消防本部において採用されたと聞く。当該メーカーを含み各社で、最新技術を開発し更なる高機能防火服の開発を進められている。</p> <p>本研究で防火服内冷却手段としての効果を調べるために試験したPCM相変化物質を利用した冷却ベストについては、氷を用いる現行品に比較して費用対効果が低いいためか、その普及は進んでいない様子である。</p>
研究発表の状況等	既報告以後に、本研究関連の研究発表は、行っていない。
他の研究課題への波及	<p>本研究は、消防隊員が火災現場で着用する防火服に必要な性能として、「耐熱耐炎性」とともに、消防隊員の熱中症に係る「快適性」及び運動能力に係る「動作性」の3つの重要性能に調和の取れた防火服の設計開発が研究テーマであった。しかし、「快適性」と「動作性」については、いまだに定量的で国際標準となるような定量的な評価方法が技術確立されていない。</p> <p>このたび消防防災科学技術研究開発制度平成22年度採択テーマとして、「防火服の熱ストレスと動作性評価の標準テスト開発(研究代表者: 梶原 裕 九州大学大学院教授)」において、性能評価方法に係る人間工学的な研究が行われることになった。</p>

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4.2 震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無及びその位置を迅速に特定するための手法の開発

研究課題名		震災時等に建築物等の倒壊現場のガレキ下(地下約5m)に埋まった生存者の有無及びその位置を迅速に特定するための手法の開発
フォローアップの内容	特許や実用新案について	無し
	研究成果(特に研究成果の活用事例を中心)	大学の研究室での研究にとどまっている
	研究発表の状況等	慣性写真測量の実用化に関する基礎的研究、応用測量論文集、日本測量協会 Vol.19,pp.43-53,2008年
	他の研究課題への波及	慣性カメラによる風の空間3次元観測システムの開発の研究に波及している。

#### 第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

##### 4.3 救助支援型担架システムの開発

研究課題名	救助支援型担架システムの開発	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	なし
	研究成果(特に研究成果の活用事例を中心)	<p>本研究では、プラント施設や地下街をはじめとする施設内の災害において取り残された要救助者の救出時に、消防隊員の救助支援を行う担架システムの開発を目的とする。具体的には、上下にクローラを取り付けた担架を製作し、そのクローラを回転させることで要救助者を持ち上げることなく担架を体の下に滑り込ませる。そして、その担架を消防隊員の意思に従い、地面側のクローラのみを回転させることで救助活動(搬送時)のパワーアシストを行う。それにより、救助活動時の消防隊員の負担を軽減する機器の開発を行った。その後、製作した担架機構を参考に、階段昇降機能を付加した担架システムを製作した。そして、担架システムを用いて「要救助者を持ち上げることなく担架へ乗せる」という機能の再確認、および「階段の昇降」に対する性能評価を行い、40kgf程度の重量物を乗せた状態で階段の昇降が行える事が確認できた。今後は、地元消防に実際に使用してもらうことで、現場でも活用してもらえるよう実用化に向けてさらに開発を進めていく予定としている。</p>
	研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>Y.Iwano, K.Osuka, H.Amano</u>: Development of Rescue Support Stretcher System. Proceedings of 8th IEEE International Workshop on Safety, Security, and Rescue Robotics, Bremen, No.9, 2010.7</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: 階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発 第2報 小型軽量化に向けての検討. 第10回システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.1294-1295, 2009.12</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: “階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発”. ロボティクス・メカトロニクス講演会'09 講演論文集, 1A2-H05, 2009.5</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: 階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの検討. 第14回ロボティクス・シンポジウム予稿集, pp.534-539, 2009.3</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: “階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの検証”. 第9回システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.51-52, 2008.12</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: “救助支援型担架ロボットの開発—担架ロボットの走行実験—”. ロボティクス・メカトロニクス講演会'08 講演論文集, 2P2-A10, 2008.6</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: 救助支援型担架ロボットの機能評価. 第13回ロボティクス・シンポジウム予稿集, pp.395-400, 2008.3</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: “救助支援型担架ロボットの機能評価”. 第8回システムインテグレーション部門講演会論文集, pp.591-592, 2007.12</li> <li>・ 岩野優樹, 大須賀公一, 天野久徳: 救助支援型担架ロボットの開発. 第12回ロボティクス・シンポジウム予稿集, pp.342-347, 2007.3</li> </ul>
他の研究課題への波及	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 消防防災科学技術研究推進制度(総務省消防庁) H20~H22 「階段昇降機構を付加した救助支援型担架システムの開発」</li> </ul> <p>その当時の担架システムのノウハウをベースとし、実行できなかった階段昇降に対応する機構を検討し、実際に階段の昇降を行えるシステムを開発途中である。</p>	

第4 消防活動支援施設、消防活動用資機材等の高度化

4.4 消防用多機能型ノズルの開発

研究課題名		消防用多機能型ノズルの開発
フォローアップの内容	特許や実用新案について	
	研究成果	・一部、改良を要するが、実用化に向け進めている。
	研究発表の状況等	
	他の研究課題への波及	多様化する現在の消火活動において、その時代に合った新たな機器の開発が求められている。 しかし現状は、直ぐ様ニーズに合った機器を完成させることは非常に難しく、多くの時間と費用を要する。 そのような状況のもとで、本制度は非常に意義あるものであった。

第5 特殊災害対策の強化

5.1 多孔質珪質素材を用いた対原子力施設災害用放射線遮蔽材の開発

研究課題名	多孔質珪質素材を用いた対原子力施設災害用放射線遮蔽材の開発
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	<p>特許や実用新案について</p> <p>本制度による研究の実施前に申請したのですが、下記二件が特許登録されています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・公開記事:2006-275645 (平 18.10.12)、発明の名称:放射線遮蔽材、出願人:村上 英樹、独立行政法人海上技術安全研究所 &lt;NATIONAL MARITIME RESEARCH INSTITUTE&gt;、中央シロカ株式会社、発明・考案・創作者:村上 英樹、小田野 直光、奥田 博昭、登録記事:3926823 (平 19.3.9)</li> <li>・公開記事:2006-329915 (平 18.12.7)、発明の名称:放射線遮蔽材、出願人:国立大学法人秋田大学、独立行政法人海上技術安全研究所 &lt;NATIONAL MARITIME RESEARCH INSTITUTE&gt;、ジークライト株式会社、発明・考案・創作者:村上 英樹、小田野 直光、苅部 隆、登録記事:4140059 (平 20.6.20)</li> </ul>
	<p>研究成果</p> <p>原子力施設災害用放射線遮蔽材については、下記のような方法で実用化を目指している。本研究課題では、酢酸ジルコニウム溶液を遠隔から放水して、珪藻土やゼオライトに吸水させ、中性子やガンマ線を遮蔽することを想定していたが、より安価な物質として、塩化カルシウムの代用を検討している。塩化カルシウムに含まれる塩素に放射化の心配があるものの、水に対する溶解度が大きいため、緊急時に迅速に対応できる。今後、塩化カルシウム溶液を吸水させた珪藻土やゼオライトの放射線遮蔽効果を測定すると共に、どの程度の放射化が起きるかについても検証を行う。</p> <p style="text-align: center;"><b>災害時用放射線遮蔽材</b></p> <p style="text-align: center;">製品像</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・土嚢として原子力施設やその周辺に備蓄する。</li> <li>・珪藻土とゼオライトの混合比は、運搬の容易さと、ポンプの水圧で簡単に動かない重量との兼ね合いを基に決定する。</li> <li>・珪藻土粒子及びゼオライト粒子には、予めホウ酸を吸着させておき、熱中性子吸収性能を持たせる。</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 災害時に、放射線源の周囲に積み上げ、遠隔から放水して、土嚢に吸水させるだけで中性子が遮蔽できる。</li> <li>2. ゼオライトには3,000ppm、珪藻土には5,000ppmのホウ素を吸着させられるので、熱中性子も遮断する。</li> <li>3. ガンマ線遮蔽は、遮蔽材の質量に依存するので、厚く設置することで達成できる。</li> </ol>
	<p>研究発表の状況等</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・珪藻土資源の高度利用化 珪藻土を用いた対原子力施設災害用放射線遮蔽材の開発、地質情報展 2008 あきた、2008年9月19～21日(展示)</li> <li>・秋田県の主要資源「珪藻土」を活用した環境対策技術 珪藻土を基材とした緊急時用放射線遮蔽材の開発、あきた産学官連携フォーラム2009、平成21年11月10日(発表と展示)</li> <li>・秋田県の主要資源「珪藻土」を活用した環境対策技術 珪藻土を基材とした緊急時用放射線遮蔽材の開発、彩の国ビジネスアリーナ2010(埼玉)、平成22年1月27～日28日(展示)</li> <li>・秋田県の主要資源「珪藻土とゼオライト」の可能性、平成22年度秋田大学公開講座 環境と資源が誘う先端科学の旅、平成22年9月29日</li> </ul>
他の研究課題への波及	現在、科学研究費補助金平成23年度(2011年度)挑戦的萌芽研究に申請中。

第6 危険物施設等の保安対策の充実

6.1 石油コンビナートのリスク評価・防災対策支援システムの開発

研究課題名		石油コンビナートのリスク評価・防災対策支援システムの開発
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	
	研究成果(特に研究成果の活用事例を中心)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発したシステムを使用して、以下の道府県における石油コンビナートの防災アセスメントを実施。 神奈川県(H17)、静岡県(H18)、福島県(H19-20)、沖縄県(H19)、佐賀県(H19)、北海道(H19)、山口県(H20)、青森県(H20)、千葉県(H21)</li> <li>・開発したシステムを以下の道府県及び関係機関、関係事業所に配布。 北海道(試験運用)、神奈川県及び関係機関及び県内の石油コンビナート特定事業所、静岡県及び関係機関及び県内の石油コンビナート特定事業所、福島県、青森県、山口県、千葉県及び関係機関及び県内の石油コンビナート特定事業所、神戸地区石油コンビナート等特別防災区域協議会(簡易版の配布)</li> </ul>
	研究発表の状況等	<p>山瀬敏郎・他:石油コンビナートのリスク評価・防災対策支援システムの開発, 地域安全学会梗概集 (19), 47-50, 2006-11</p> <p>平野亜希子:石油コンビナートのリスク評価・防災対策支援システムの開発, 消防科学と情報 (88), 64-69, 2007</p> <p>平野亜希子:石油コンビナートのリスク評価・防災対策支援システム, 安全工学 47(1), 32-38, 2008-02-15</p>
	他の研究課題への波及	

第6 危険物施設等の保安対策の充実

6.2 全面タンク火災消火支援用筏の開発に向けた実行可能性研究

研究課題名	全面タンク火災消火支援用筏の開発に向けた実行可能性研究	
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	特許や実用新案について	特許や実用新案に提出していない。
	研究成果	研究成果は、日本火災学会、安全工学学会、Asia Pacific Symposium on Safety にて発表し、新しい防災手段の一つとして認知を受けた。実用化に向け、防災企業と協議を開始した。その結果、浮子（フレームサブプレッションボール）だけではなく、泡消火薬剤と総合的に消火を行う方向で検討をしている。
	研究発表の状況等	学会発表 1) 宮下達也、須川修身：全面タンク火災消火支援用浮子の実験的評価、平成 20 年度 日本火災学会研究発表会、2008 年 5 月 2) 田中初実、宮下達也、須川修身：全面タンク火災消火支援用浮子の実験的評価、平成 21 年度 日本火災学会研究発表会、2009 年 5 月 3) 宮下達也、田中初実、須川修身、和田義孝：粒子法による泡消火剤投入シミュレーション、平成 21 年度 日本火災学会研究発表会、2009 年 5 月 4) 宮下達也、須川修身、和田義孝：粒子法による泡消火剤投入シミュレーション、第 42 回 安全工学研究発表会、2009 年 10 月 5) Tatsuya Miyashita, Osami Sugawa, Yoshitaka Wada : Simulation on Flying Behavior of Fire Foam using MPS Method, Asia Pacific Symposium on Safety 2009, October 2009. 6) Hatsumi Tanaka, Osami Sugawa, Tatsuya Miyashita, : Fire Fighting Assistant of Buoyant Object for Oil Tank Fire, Asia Pacific Symposium on Safety 2009, October 2009. 7) 田中初実、宮下達也、石川亮、須川修身、今村友彦、上矢恭子：全面タンク火災消火支援用浮子の実験的評価、平成 22 年度 日本火災学会研究発表会 8) 宮下達也、田中初実、石川亮、須川修身、今村友彦、上矢恭子：粒子法による泡消火剤投入シミュレーション、第 43 回 安全工学研究発表会、2010 年 5 月 9) 宮下達也、川口靖夫、石川亮、田中初実、須川修身、今村友彦、上矢恭子：粒子法による放水及び泡放射シミュレーション、第 43 回 安全工学研究発表会、2010 年 11 月 10) 田中初実、石川亮、須川修身、今村友彦、宮下達也、上矢恭子：全面タンク火災消火支援用浮子の実験的評価、第 43 回 安全工学研究発表会、2010 年 11 月
他の研究課題への波及	本研究の成果を基にして、「大型タンク火災時のフレームサブプレッションボール(浮子)の開発」と題して、平成 21 年度～22 年度に科学研究費補助金挑戦的萌芽研究を受けた。浮子の材質の違い、表面状況の違い(材質と表面状態(しわの有無や光沢の有無)および、油面積に対して浮子が覆う率(覆率)を変化させたときの燃焼抑制効果の変化また、大きさの異なる浮子を用いた時の燃焼性を明かにした。さらに、燃焼中に浮子を投入したときの燃焼性状などを実験的に求めた。	

第6 危険物施設等の保安対策の充実

6.3 浮屋根式タンクのスロッシング減衰装置の開発

研究課題名	浮屋根式タンクのスロッシング減衰装置の開発
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容</p>	<p>特許や実用新案について</p> <p>2010年4月9日 登録 浮屋根式タンクの制振構造 (特許登録 4491304、特開 2006-069627、特願 2004-255968) 発明者：平野廣和、丸田光政、坂東 譲、井田剛史、連 重俊</p>
	<p>研究成果 (特に研究成果の活用事例を中心)</p> <p>本研究により実証試験を実施したスロッシング減衰装置は、提案した手法・工法に関して学術的認知を十分に得ることができた。しかし、H20年度政令改定には、参考程度との表現がなされたことから、事業主体からコストアップと判断され、実用化には至っていない。</p> <p>(政令改定の要旨)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 貯液面を2m下げて越流防止対策とする。(貯液量減少を伴う)</li> <li>2. 浮屋根強度を200カインに耐えうるものに補強する。(10年点検時の対応)</li> <li>3. スロッシングを制御する手法もある。(本研究のような提案工法の紹介)</li> </ol> <p>以上が2年間の研究課題の成果である。ここで、効果と必要性が明確に学術的にも新技術として認識されても、政令改定への貢献度も少なく、かつ監督官庁としては事業主体への行政指導に限界があるのか、結果的に強制力の乏しい政令改正で終始してしまった。社会的被害の甚大さから、大規模な生命財産被害が発生する前に予防保全策としての行政側からの前向きな対応が望まれる。</p>
<p>研究発表の状況等</p>	<p>池田達哉，井田剛史，平野廣和，佐藤尚次： 矩形断面容器におけるスロッシング対策案の検討， 土木学会応用力学論文集，Vol.11，pp.549-556，2008年9月</p> <p>井田剛史，平野廣和，森川卓保： 造波機を用いての実機浮屋根式タンクでのスロッシング実験方法の提案， 土木学会論文集A編 Vol.63，No.3，pp.568-573，2009年9月</p> <p>池田達哉，井田剛史，平野廣和，佐藤尚次： 矩形断面容器におけるスロッシング1次・2次モードの対策案に関する検討， 土木学会応用力学論文集，Vol.13，pp.659-666，2010年9月</p>
<p>他の研究課題への波及</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実用化されず、大学での持続的な研究課題として継続している。2009年度は、経済産業省「平成21年度ものづくり中小企業製品開発等支援補助金」の助成を(株)十川ゴムを通じて受けた。ここでバッファ設置時の温度変化を把握し、消防法で定められた危険物保安域での安全性の確認を実施した。さらに新たな展開である越流現象の制御を加味し、科学技術研究費の補助金を2010年度から3年間交付される予定である。</li> <li>・ 事業主体からの改善検討の依頼はあるものの、年次点検項目として義務付けされていないため、あくまでも検討の域をでない範囲の参考資料説明に終始している。</li> <li>・ 制振装置設置が義務付けされていないため、他の研究課題への応用展開はなされていない。</li> <li>・ 浮屋根補強のための強度照査時の外力設定低減に貢献可能な要素としての研究波及は未展開のままであり、適正な補強照査手法に研究課題が存在している。</li> </ul>

第7 救急・救助業務の高度化

7.1 ヘリコプター救急体制の構築をもたらす社会的利益に関する定量的な研究

研究課題名	ヘリコプター救急体制の構築をもたらす社会的利益に関する定量的な研究
特許や実用新案について	特になし
研究成果	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 千葉北総病院データで、交通事故被害者におけるドクターヘリの入院日数ならびに医療費削減効果が認められたのを受け、手稲溪仁会病院、久留米大学病院、東海大学医学部附属病院で追試が行われ、有用性が再確認された。</li> <li>2. 救急ヘリの社会的効果研究に関するオランダ及びイギリス出張調査の結果を受け、ドクターヘリ特別措置法案が国会で可決成立した。</li> <li>3. 消防防災ヘリの救急運用を促進するための方策に関する研究結果を受けて、総務省消防庁は平成21年3月26日、消防防災ヘリの救急活動への積極的活用を謳った「消防防災ヘリの効果的な活用に関する検討会報告書」を公表した。</li> <li>4. 救急ヘリの医療提供体制の維持・向上方策に関する米国出張研究の結果を受けて、HEM-Net 医師・看護師等研修助成事業が平成22年4月からスタートした。</li> <li>5. 救急ヘリ搬送の母体・胎児に与える影響の研究を受けて、周産期・母子医療のドクターヘリ活用が促進した。</li> <li>6. ドクターヘリ非運用病院における救急搬送症例の転帰から推定されるヘリ搬送効果の研究結果を受けて、全国へのドクターヘリ配備が促進した。</li> <li>7. 救急ヘリの運用によってもたらされる地域救急医療の「質」の向上に関する研究結果を受けて、超党派国会議員連盟が発足してドクターヘリ事業の推進を後押しした。</li> <li>8. 救急ヘリ運航費用の負担問題に関する国際シンポジウムの開催を受けて、ドクターヘリの健康保険適用について議論されるようになった。</li> <li>9. ドクターヘリ運用病院におけるヘリ搬送患者に関するヘリ搬送の費用対効果の研究結果を受けて、ドクターヘリのコストベネフィットが議論されるようになった。</li> <li>10. 救急ヘリの導入による交通事故死者数等の削減効果に関する基礎的な研究結果を受け、交通事故負傷者に対するドクターヘリ要請が増加し、交通事故死者数は毎年減少している。</li> </ol>
研究発表の状況等	<p>論文</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 益子邦洋：ドクターヘリによる救急医療の展望、宮城県救急医療研究会雑誌、8：5-8、2007</li> <li>2) 益子邦洋：ドクターヘリの役割とその有効性、日病会誌、53：66-75、2006</li> <li>3) 益子邦洋：プレホスピタルMOOK シリーズ3 エアレスキュー・ドクターカー、永井書店、大阪、2007</li> <li>4) 益子邦洋：ドクターヘリによる逸失所得の回避効果に関する研究、ドクターヘリ導入と運用のガイドブック、(小濱啓次、杉山 貢、西川 渉編) メディカルサイエンス社、東京、172-178、2007</li> <li>5) 益子邦洋、金丸勝弘：ドクターヘリの現状、ドクターヘリ導入と運用のガイドブック、(小濱啓次、杉山 貢、西川 渉編) メディカルサイエンス社、東京、24-31、2007</li> <li>6) 益子邦洋：救急医療システム、最新整形外科学大系5 運動器の外傷学、(糸満盛憲編) 中山書店、東京、20-26、2007</li> <li>7) 益子邦洋：特定非営利活動法人救急ヘリ病院ネットワーク (HEM-Net) の活動、プレホスピタルMOOK シリーズ3エアレスキュー・ドクターカー (監修/石原 晋・益子邦洋)、永井書店、大阪、103-113、2007</li> <li>8) 益子邦洋：日本版ADAMSとCANを整備し、交通事故死者数の更なる削減を、アスカ21、第65号、P10～11、2008</li> <li>9) 益子邦洋：小児救急・周産期救急にもヘリコプターの活用を図れ、日刊航空通信、第13757号、P8-9、2008.2.25</li> <li>10) 益子邦洋：ドクターヘリと外傷センターの整備で交通事故死者数を5千人以下に、アスカ21；17(2)：10-11、2008</li> <li>11) 益子邦洋：〔分担〕第5章 救命率向上のためのドクターヘリ・ドクターカー</li> </ol>

フロアアップの内容

		<p>の導入. 救急医療改革—役割分担, 連携, 集約化と分散— (編集 小濱啓次 ) , 2008 ; pp145-160, 東京法令出版.</p> <p>12) 益子邦洋: [分担] 第1章ドクターヘリとヘリ救急. 2. ドクターヘリの効果. フライトナース実践ガイド (監修 日本航空医療学会 編集 小濱啓次・杉山貢・坂田久美子), 2008 ; pp13-19, へるす出版.</p> <p>13) 阪井裕一: 国立成育医療センターにおける救急医療への取り組み. 日本小児科学会雑誌 2003;107(5):800-802.</p> <p>14) 宮坂勝之、武井健吉、清水直樹、他: ヘリコプターによる小児重症患者搬送. 小児医療施設での運用開始4年間の経験. 日本小児麻酔学会雑誌 2007; 13: 89-99.</p> <p>15) Ohara M, Shimizu Y, Satoh H, Kasai T, Takano S, Fujiwara R, Furusawa Y, Kameda S, Matsumura T, Narimatsu H, Kusumi E, Kodama Y, Kami M, Murashige N, Suzuki M. Safety and usefulness of emergency maternal transport using helicopter. J Obstet Gynaecol Res. 2008 Apr;34(2):189-94</p> <p>16) 岡田真人: 「ドクターヘリ事業の分析と24時間運航に向けての課題」、平成19年度厚生労働科学研究「救急医療体制の推進に関する研究」分担研究「ドクターヘリの病院間の連携、患者と医療資源の集約化への効果についての研究」報告書、P37-38, 2008. 3</p> <p>17) 岡田真人: 「ドクターヘリ事業の分析と24時間運航に向けての課題」、平成19年度厚生労働科学研究「救急医療体制の推進に関する研究」分担研究「ドクターヘリの病院間の連携、患者と医療資源の集約化への効果についての研究」報告書、P39-40, 2008. 3</p> <p>18) 岡田真人: 「ドクターヘリ事業の分析と24時間運航に向けての課題」、平成19年度厚生労働科学研究「救急医療体制の推進に関する研究」分担研究「ドクターヘリの病院間の連携、患者と医療資源の集約化への効果についての研究」報告書、P33, 2008. 3</p> <p>19) 岡田真人、植田育也: 広域小児救急ネットワーク構築に向けて、日本小児救急医学会雑誌、Vol 16, Nov. 2, 2007</p> <p>20) 坂田久美子, 川谷陽子, 山崎早苗, 他: 日本におけるフライトナースの選考基準と看護実践項目, 日本航空医療学会雑誌 2007 ; 8(2) : 22-28.</p> <p>21) 小濱啓次, 杉山貢, 坂田久美子編集, 日本航空医療学会監修: フライトナース実践ガイド. へるす出版, 東京, 2008.</p> <p>2. 学会発表</p> <p>1) Mashiko K: Trauma care system in Japan, Annual Meeting of Korean Society of Traumatology, (Seoul Korea), June, 2007.</p> <p>2) Mashiko K, et al.: Evolving physician- staffed helicopter emergency medical service system (Doctor-Heli) in Japan. 15<sup>th</sup> World Congress on Disaster and Emergency Medicine, (Amsterdam The Netherlands), May 2007.</p> <p>3) Yamaguchi T, Mashiko K, et al.: Comparison between helicopter emergency medical services and ambulance transportation to rescue people injured by traffic crashes in Japan, 15<sup>th</sup> World Congress on Disaster and Emergency Medicine, (Amsterdam The Netherlands), May 2007.</p> <p>4) Mashiko K, et al : PHYSICIAN STAFFED HEMS (DR-HELIX) IN JAPAN. The 2nd Japanese- Korean Joint Session of 36th Annual Meeting of JAAM, 2008.10.</p> <p>5) Mashiko K : Air Transportation System in Trauma Care – Japanese Perspective -, 24<sup>th</sup> Annual Meeting of the Korean Society of Traumatology, (Korea) 2009. 6.</p> <p>6) Mashiko K: Helicopter Emergency Medical Service Dispatched by Automatic Crash Notification System - A Japanese Perspective -, JSAE Workshop 2009. 2009.5.</p> <p>7) 益子邦洋: わが国傷診療体制の現状と課題、第11回日本救急医学会九州地方会、2007.5.</p> <p>8) 益子邦洋: ドクターヘリのこれまでとこれから、大橋救急フォーラム2007、2007.4.</p> <p>9) 益子邦洋: 大型トラックの事故とドクターヘリ. 第8回自動車安全シンポジウム, 2007. 10.</p> <p>10) 益子邦洋: 本邦におけるドクターヘリの現状 - 特に医学的効果について -, 秋田ドクターヘリフォーラム2007、2007.10.</p> <p>11) 益子邦洋: 交通事故におけるドクターヘリの効果. 第44回日本交通科学協議会総会・学術講演会, 2008. 5.</p> <p>12) 益子邦洋: ドクターヘリ整備法案施行による今後の展望. 第32回茨城県救急医学会, 2008. 9.</p> <p>13) 益子邦洋: ドクターヘリの有効性. 第2回湯島救急フォーラム, 2008. 12.</p>
--	--	---

		<p>14) 益子邦洋：“翼を持ったER”ドクターヘリは命の危機管理. 第9 回山口救急初療研究会, 2008. 12.</p> <p>15) 益子邦洋：ドクターヘリの現状. 茨城県救急医療フォーラム, 2009. 1.</p> <p>16) 益子邦洋：ドクターヘリ法案成立と今後の展望. 花巻市医師会平成20 年度救急医療講演会, 2009. 2.</p> <p>17) 益子邦洋：ドクターヘリの現状と展望（大規模災害におけるドクターヘリの活用）. 印旛市郡医師会大規模災害講演会, 2009. 2.</p> <p>18) 益子邦洋：ドクターヘリ法案成立は病院前救急診療の幕開け. 鹿児島救急医学会（第65 回医師部会）, 2009. 3.</p>
他の研究課題への波及		<p>1) 平成 18 年度厚生労働科学研究（分担）「ドクターヘリの病院間の連携、患者と医療資源の集約化への効果についての研究」：救急医療体制の推進に関する研究（主任研究者：小濱啓次）主任研究者一括計上 800 万円</p> <p>2) 平成 19 年度厚生労働科学研究（分担）「ドクターヘリの病院間の連携、患者と医療資源の集約化への効果についての研究」：救急医療体制の推進に関する研究（主任研究者：小濱啓次）主任研究者一括計上 800 万円</p> <p>3) 平成 20 年度厚生労働科学研究（分担）「ドクターヘリの病院間の連携、患者と医療資源の集約化への効果についての研究」：救急医療体制の推進に関する研究（主任研究者：小濱啓次）主任研究者一括計上 400 万円</p> <p>4) 平成 21 年度厚生労働科学研究（分担）「ドクターヘリの効果、病院間連携と消防との協力体制のあり方」：ドクターヘリ、ドクターカーの実態を踏まえた搬送受け入れ基準ガイドラインに関する研究（主任研究者：小濱啓次）主任研究者一括計上 240 万円</p> <p>5) 平成 22 年度タカタ財団助成研究「事故自動通報システム（ACN）が起動するドクターヘリシステムによる交通事故死亡削減効果の研究」500 万円</p>

第7 救急・救助業務の高度化

7.2 心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発

研究課題名	心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの開発
フ ォ ロ ー ア ッ プ の 内 容	<p>特許や実用新案について</p> <p>(本制度によって得られた成果が、特許・実用新案に申請されている場合は、その題名・申請・取得年月日を記入してください。)</p> <p>(1). 心電図波形処理システム及び方法, 特願 2007-337193, 2007 年 12 月 27 日出願</p> <p>(2). The system and methodology for analyzing the waves of electrocardiogram, PL4393US(米国), PL4393EP(ヨーロッパ)</p>
	<p>研究成果(特に研究成果の活用事例を中心に)</p> <p>本研究課題は、平成 17 年度から 3 ヶ年で進められ、その成果として、蘇生行為(心臓マッサージ)を中断することなく、除細動の適応波形をリアルタイムに認知することが可能であるシステム(波形認知アルゴリズム)を開発した。また、開発したシステムについては、</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 心電図波形処理システム及び方法, 特願 2007-337193, 2007 年 12 月 27 日出願</li> <li>● The system and methodology for analyzing the waves of electrocardiogram, PL4393US(米国), PL4393EP(ヨーロッパ)</li> </ul> <p>として、国内、および海外に特許申請を行った。本研究において提案するシステムが実用化できれば、蘇生処置の要点である「絶え間ない心臓マッサージ」を阻むことなく、除細動適応波形を認知することが可能となるため、心肺停止患者の蘇生率向上に大きな効果をもたらすことが期待される。さらに、一般市民による AED 使用に際しても、より安全かつ確実な早期除細動を可能にし、プレホスピタルの蘇生処置の普及にも貢献する可能性を秘めている。ただし、実用化に向けては、臨床現場における有用性の検証等が必要であり、現在も実用化に向けた研究を継続して進めている。実用化に向けて実施している内容は以下のとおり。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 本研究課題の成果物である波形認知アルゴリズムを搭載した検証システムを設計し、臨床現場に導入</li> <li>● 検証システムに記録される心電図波形データ、画像データ、音声データの解析・検討</li> <li>● 既存の AED に搭載されている除細動適用判定アルゴリズムと連携させ、オンラインでの判定が可能なシステムの試作、およびその検証</li> <li>● PC 上で臨床現場での処理を再現するためのシミュレータ開発</li> <li>● 心電図波形データのリアルタイム表示のためのツールの開発</li> </ul> <p>これらの作業を進め、得られた成果を統合することで、われわれの提案する早期認知システムの実用化を目指している。</p>
	<p>研究発表の状況等</p>
他の研究課題への波及	<p>(本制度によって得られた成果を更に発展させることで、他の競争的資金での研究費獲得につながった場合など、この課題の他への波及について記入してください。)</p> <p>本研究課題では、蘇生処置(心臓マッサージ)を講じながらも除細動を適用すべき心電図波形を抽出するシステム(波形認知アルゴリズム)を開発した。このシステムを実用化するためには、臨床現場での検証が必要不可欠であるが、臨床応用(実用化)できれば、心肺停止患者の蘇生率向上に大きな効果をもたらすことが期待される。このような背景から、本研究課題は、「心肺蘇生中の心電図解析に基づく抽出波形の早期認知システムの臨床応用・実用化にむけた検証」という研究課題名で平成 20 年度からの 3 ヶ年計画で引き続き、消防防災科学技術研究推進制度の助成を受け、実用化に向けた研究を進めさせて頂いている。</p>

第7 救急・救助業務の高度化

7.3 IC タグを使った救急搬送時の情報収集・伝達システムの開発

研究課題名	IC タグを使った救急搬送時の情報収集・伝達システムの開発
フォローアップの内容	特許や実用新案について
	研究成果 本研究課題では、救急現場や救急搬送中のバイタル・処置等の情報を入力・即時伝達する「重症度・緊急度に応じた胸痛の症状に対する業務フローに基づく情報入力・伝達システム」および、救急隊や医療機関など救急現場に携るスタッフ自らが現場のニーズを踏まえて簡易にシステム構築を行うことが出来る「症状別業務フロー作成支援システム」の開発を行った。 上記2つのシステムについては、福岡県飯塚地区消防本部および飯塚病院救命救急センターで試験導入されている。
	研究発表の状況等 松岡修司、鮎川勝彦、渡辺康、救急現場及び搬送中のバイタル情報収集と記録、医療機関への情報伝達システムのIT化—迅速性と正確性を追求して—、日本救急医学会雑誌・Vol.18, Num.8, P458、平成 19 年 10 月 浦野晃一、鮎川勝彦、病態別シミュレーションプログラムを活用した救急隊員の現場活動の標準化、日本救急医学会雑誌・Vol.18, Num.8, P536・平成 19 年 10 月 鮎川勝彦、モバイル端末を活用した救急搬送時の情報伝達・メディカルコントロールシステムの開発、第 37 回日本集中治療医学会学術集会、平成 22 年 3 月 4 日 渡辺康、IT機器を使用した正確な情報伝達と傷病者情報提供について、第 13 回日本臨床救急医学会学術集会、平成 22 年 6 月 1 日
他の研究課題への波及	本研究については、引き続き消防防災科学技術研究推進制度(平成 20~22 年度)による助成により、「現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発」として現在も開発および普及が進められている。 「現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発」では、「IC タグを使った救急搬送時の情報収集・伝達システムの開発」による成果と試験運用等の結果と救急隊や医療機関からのニーズを踏まえ、重症度・緊急度に応じた胸痛の症状に対する業務フローに基づく情報入力・伝達システムのプロトコルの拡充(救急隊側)、傷病者の搬送状況、バイタル・処置記録等の表示システムの拡充(病院側)、救急隊の研修・学習用システムの開発(救急隊側)を中心とした開発を行っている。 なお「現場の業務フローに基づく救急搬送支援・学習システムの開発」については、現在は福岡県の第三セクターである株式会社福岡ソフトウェアセンターが代表企業として、また福岡県飯塚地区消防本部、飯塚病院救命救急センター、株式会社麻生情報システムが連携主体として研究開発を行っている。

第8 環境への配慮

8.1 自然エネルギーを利用した林野火災用水利システム

研究課題名	自然エネルギーを利用した林野火災用水利システム
フォローアップの内容	<p>特許や実用新案について</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・題名：(特許) サボニウス型風車の変形翼</li> <li>・出願日：平成20年2月29日(特願2008-050179)</li> </ul>
	<p>研究成果</p> <p>次のプロトタイプシステムを構築した、何れも自然エネルギーを利用した自己完結型のポンプシステムであり、これを組み合わせることによりツリー状に繋がった防火水槽群や林野消火栓からなる「自然エネルギーを利用した林野火災用水利システム」が構築できる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水車駆動ポンプ(水源用)</li> <li>・風車駆動ポンプ(中継送水用)</li> <li>・太陽光発電ポンプ(中継送水用)</li> </ul> <p>このシステムは、屋内実験の他、実用時の問題点を探るため、実用配備に近い状態で1.5年間のフィールドテストを行った。その結果、実用化に際して次のような検討すべき点が残されていることが分かった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・河川の季節的な水量変動への対応できる水車駆動ポンプ</li> <li>・流水中の土砂や草木など異物への対応</li> <li>・豪雨時の増水への対策(機器及び配管、配線)</li> <li>・林野における日照や風の確保</li> <li>・現場(林野)状況に即したエネルギー確保パターンの策定</li> <li>・山岳地への搬入のための分解・組立の容易な機器</li> </ul> <p>[対応策]</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水車駆動ポンプについては、同一性能の複数の水車からなり、渇水期には1台で、通常時には複数台で自動的に稼働する連結型水車駆動ポンプの開発を行うことが挙げられる。川を堰き止めた水溜りを利用したポンプの間歇運転では、川魚に影響を与えることが懸念されるが、連結型水車駆動ポンプでは必要水量を河川水量に適した値にすることができるため川魚に影響を与えることなく、あらゆる河川水量にも対応できるものとする。</li> <li>・流水中の土砂などの異物や豪雨時の増水への対策のため、水車の形状や材質の検討による対摩耗性の向上、ならびに水車導水管の設置方法として導水管の橋上配管の検討を行うことが挙げられる。</li> <li>・種々の林野における設置現場に即したエネルギー確保パターンの策定を行い、その現場に最も適したポンプの選択が行えるようにする。これにより、各ポンプ(水源ポンプ、中継ポンプ)の動力源を水力、風力、太陽光のうちのいずれのエネルギー源とするかが決めやすくなり実用化が進む。</li> <li>・本システムの設置場所は、車道のない山岳地をも想定しており、現地配備時にはシステムの搬入が大きな要素を占めるため、本システムのすべての物は分解可能とし、1部品あたり約25kg以下として人間によって搬送し、現地において2時間程度で組み上げられるように改良する。</li> </ul> <p>以上のような方法で、本システムを実用化することにより、進入路や電力供給のない地点の防火水槽へ給水が可能となる。また、送水管各所に設置された林野消火栓は、防火水槽との落差を利用して放水できるため、隊員の労力の軽減化と消火活動の効率化を図ることができる。ツリー状に繋がった防火水槽群や林野消火栓は、消防庁の「林野火災対策に係わる消防水利のあり方に関する調査研究報告書」記載の、「一定の距離ごとに防火水槽を設置することについても積極的に検討する必要がある」という考えに近いものとなる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・空気抵抗を大幅に少なくしたサボニウス型風車(特許出願中)については、東工大北川塚越研の特許リストに掲載</li> </ul>

研究発表の状況等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火災消火のための水利システム、日本機械学会、北川 能 , 林下 剛, 平賀俊哉, 留 滄海林野、日本機械学会 2006 年度年次大会講演論文集, Vol. 2, 315-316 (2006)</li> <li>・林野火災消火のための水利システム、日本フルードパワーシステム学会、北川 能 , 林下 剛, 平賀俊哉, 留 滄海、(S45-1 フルードパワー機器 I, S45 フルードパワー機器)</li> <li>・自然エネルギーを利用した林野火災用水利システム、日本火災学会、平賀俊哉, 北川 能, 留 滄海, 林下 剛、平成18年度日本火災学会研究発表会, 570-573 (2006)</li> </ul>
他の研究課題への波及	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実用化のための問題点を明らかにし、これをクリアするための研究費を消防庁の競争的研究資金に応募したが、不採用となった。</li> </ul>



## 消防防災科学技術研究開発事例集 Ⅲ

---

平 2 3 年 3 月 発行

**禁無断転載**

発行者 総務省 消防庁 予防課 消防技術政策室  
電話 03-5253-7541