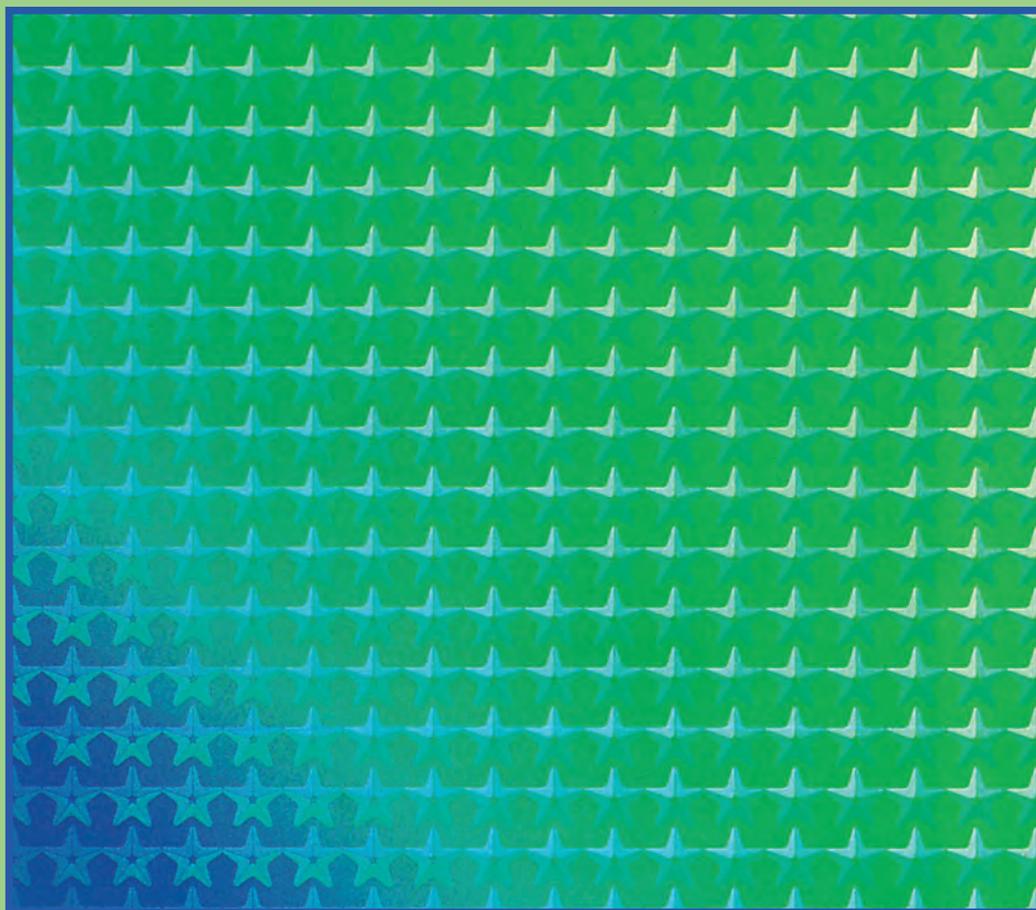


消防研修

特集 消防と科学

平成30年9月



第104号 消防大学校

目 次

特 集

消防と科学

- **巻頭言 作る前に整理しておくこと**
消防庁消防研究センター所長 長尾 一郎 …………… 1
- **「消防防災科学技術高度化戦略プラン2018」について**
消防庁総務課分室 …………… 3
- **消防研究センターの取り組み**
—災害現場から得た知見を消防活動に役立てるために—
消防庁消防研究センター 細川 直史 …………… 8
- **エネルギー・産業基盤災害対応のための消防ロボットシステムの研究開発**
—研究開発の概要と計画—
消防庁消防研究センター 天野 久徳 …………… 12
- **市街地火災延焼シミュレーションの高度化に関する研究**
消防庁消防研究センター 高梨 健一 …………… 22
細川 直史
- **次世代救急ツールの研究紹介**
消防庁消防研究センター 久保田勝明 …………… 33
尾川 義雄
- **土砂災害に関する研究開発**
消防庁消防研究センター 新井場公德 …………… 43
土志田正二
佐伯 一夢
- **広域火災における火災旋風・飛火による被害の防止に向けた研究**
消防庁消防研究センター 篠原 雅彦 …………… 52
鈴木佐夜香
佐伯 一夢
- **危険物に関する火災の消火および危険性評価に係る研究紹介**
消防庁消防研究センター 岩田 雄策 …………… 62

●石油タンク等危険物施設の安全性向上に関する研究紹介

消防庁消防研究センター 西 晴樹 …………… 72
畑山 健
徳武 皓也

●火災予防と火災による被害の軽減に係る研究

消防庁消防研究センター 田村 裕之 塚目 孝裕 …………… 87
鈴木 健 阿部 伸之
大津 暢人 佐藤 康博
藤井 皓介 松崎 崇史

●消防防災科学技術研究推進制度の研究紹介

—社会実装化研究開発課題の紹介—

消防庁総務課分室 …………… 99

消防研究センターから

●平成30年度下半期（平成30年10月～平成31年3月）の行事予定について

消防研究センター ……………109

特集 消防と科学

巻頭言

作る前に整理しておくこと

消防庁消防研究センター所長 長尾 一郎

大規模災害が発生するたびに課題として挙げられるのが災害に対応した新たな資機材の開発・導入や情報収集・伝達体制の強化である。これらは、今後の災害対応をより効果的に行う上で不可欠なものであるが、具体的に開発を行うためには、その機能、実現方法等を事前にきちんと整理してから事業に着手する必要がある。そこで、災害時に常に話題となる「防災情報システム」について一言。

そもそも「情報収集」とは、発信元に対して何等かのオペレーションを行うために入手するもので、「情報伝達」とは、受信先に対して何等かのオペレーションを期待して発信するものである。「今どうなっている。何でもいいから送れ」と言うような、何ら目的を明示しない要請は被災地を単に混乱させるだけであるし、「何でもいいから送っておけ」は、送られた方はそれをどうしていいのか分からず困惑するだけである。

何時 (When)、何処で (Where)、誰が (Who)、何を (What)、何のために (Why)、どの様な (How) 情報を必要とするのか。学生時代に英語で習った5W1Hを思い出していただきたい。特にシステム開発に当たっては、常にこの基本に立ち帰っていくことが重要である。

情報の目的が明確になってくると、次は情報の「形・実現方法」が見えてくる。例えば、音声、文字 (文書)、地図 (GIS)、数字 (表)、静止画、動画等のどれを使って伝えれば十分なのかという伝送方法も定まってくる。ここで重要なのは、レアなアプリケーションは今後の維持管理や改修等を勘案すればできるだけ避け、可能な限り汎用製品 (文書・表計算ソフトや画像ソフト) で構築することが望ましい。

なお、防災情報システムは、組織全体をカバーすることを設計の基本にする場合があるが、個々の部局や対処班、業務によっては、無用な画面があるとそれだけ操作に混乱を招くこととなる。それぞれの業務に特化したシステムである方が効果的である場合もある。極端な例では、避難所運営と消防の応援活動について、統一のシステムで構築することは意味が無く、これらは別々のアプリケーションとして開発されるべきものである。また、発災から事態の収束までを一貫して取り扱うことも避けるべきで、一定のフェーズ毎に別

のものとして構築する必要も出てくる。例えば人命救助に係るものについては発災から72時間に特化することも必要である。

さて、いくら情報の利用目的を明らかにし、情報収集・伝達を行っても、正確な情報が伝わってこないし、伝えることが出来ない。まして大規模災害では、リアルタイムで、かつ、高精度の情報を求めることは極めて難しいのが現実である。あるルートからの死者の数は100人と報告があり、別のルートからの情報では死者は200人と伝わってくることは、よくあることである。その際、重要なのは、情報の正確さではなく、その情報を使って「何を行うこととしているのか」に着目することになる。その機関が死者の数を求めているのが、棺桶やご遺体の保全のためのドライアイスを確認することであるならば、その業務を実施するためには、200人を前提にすることとなる。情報が正確でないことをもって業務ができないのではなく、行う（行いたい）業務に照らして安全側に対処することが重要である。

情報の目的や形、オペレーションの整理がなされた後に初めてエンジニアの出番（設計開始）となる。しかし、発注者側では必ずしもすべてが整理できるものではない。そこで、エンジニアは発注者に対して常に質問を投げかけて欲しい。例えば、備蓄物資の調整・管理に関するアプリケーションの場合、その保管場所は何処なのか？何がどれ位保管されているのか？という基本的な事項から派生し、その荷姿（大きさ、重さ等）は？運搬に必要な人数は何人か？倉庫に台車はあるのか？その倉庫には、何トンのトラックまでが寄りつけるのか？・・・等々、確認すべき事項は数多く出てくる。これらの整理が出来てくると、データベースシステムがリアルで実戦において使えるものとなっていく。

ここで、あらためて「情報の共有化」とは、まさに字に書いて有るとおり、組織間や対応者間での情報をできるだけ共有することである。しかし、情報共有化システムの構築だけで議論が終わってしまうと新たな混乱を招く、両刃の剣である。

共有化された情報で各機関がなんら調整無く個々に活動を開始したり、誰かがやっているだろうと思って未警戒となる場合もある。共有化された情報は、それを整理し、具体的に指示する機関・者と常に一体で運用されることによって、最高のパフォーマンスを発揮する。システム開発に当たっては、実際に指示・指揮を司る者との協議にも十分時間をかけて欲しい。

さて、消防の資機材や情報システムの研究・開発の一翼を私たち消防研究センターも担っているが、常にこれら機器などの研究・開発において、社会実装における有用性や運用実態を常に意識して行くことを自戒の念も込めて行きたいと思う。

2018年 秋

「消防防災科学技術高度化戦略プラン2018」 について

消防庁総務課分室

1 「消防防災科学技術高度化戦略プラン」とは

消防庁では、平成13年度より、産学官における消防防災関係者の力を結集し、消防防災科学技術の高度化を推進することを目的として、「消防防災科学技術高度化戦略プラン」（以下「戦略プラン」という。）を取りまとめ、概ね5年ごとに改訂を行っています。

消防庁における研究開発は、主に消防研究センターと競争的資金（消防防災行政に係る課題解決や重要施策推進のための研究開発事業）によって推進をしているところですが、戦略プランはこれらのマスタープラン的な位置づけのものとして、研究開発課題の提示、研究開発環境の整備方針の提示などを行っています。

今年度、戦略プランの改定を行うため、有識者からなる「消防防災科学技術高度化推進検討会」を開催し、結果を取りまとめて「消防防災科学技術高度化戦略プラン2018」として公表しました。

表1 「消防防災科学技術高度化推進検討会」委員名簿

委員名	役 職
石塚 一茂	さいたま市消防局 理事
井出 多加子	成蹊大学 経済学部 経済経営学科教授
大須賀 公一	大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻教授
関澤 愛	東京理科大学大学院 国際火災科学研究科教授（座長）
田島 松一	東京消防庁 消防技術安全所長
三宅 淳巳	横浜国立大学 先端科学高等研究院教授

50頁順

2 前戦略プランの実績

前戦略プラン（平成24年10月改訂）は、東日本大震災の経験を踏まえた研究開発の推進や研究開発成果の実用化の推進を中心にとりまとめを行いました。

研究開発環境の整備については、消防研究センターに新たに設けられた「企画研究部」を通じ、産学官連携、広報等の体制を強化した結果、産学官の連携や他省庁との連携による研究開発が複数実施され、成果につながりました。

消防研究センターでの研究開発については、中期計画に基づいて、研究開発を推進した結果、実施した研究開発の多くについて成果の社会還元が行われました。

また、競争的資金を活用した研究開発については、少額で応募できる枠を設けて研究開発のすそ野の拡大を図りました。

表2 前戦略プランを踏まえた研究開発成果の例

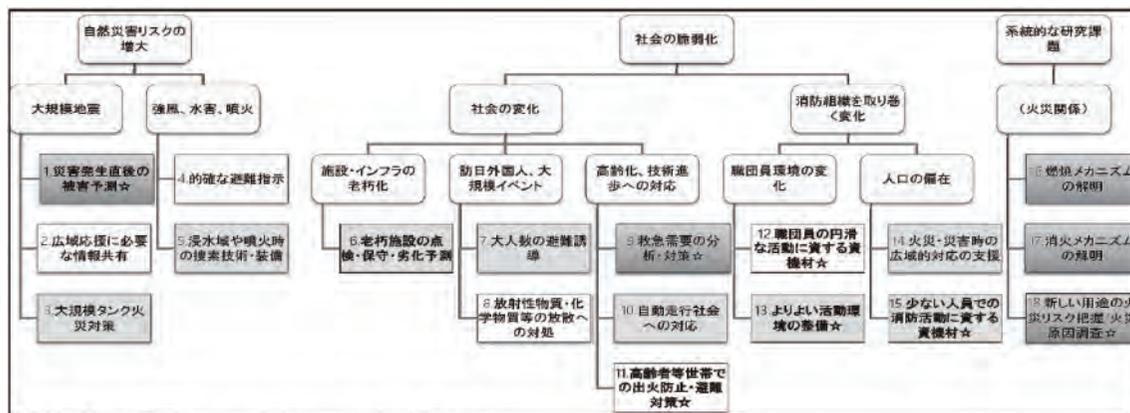
<p>(東日本大震災に対応した研究成果例 (消防研究センター関係))</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水害時の救助用の水陸両用バギーを実用化。(産学官連携) ・広域版地震被害想定システムを開発・頒布。 ・同時火災対応訓練シミュレータを開発・頒布。 ・「石油コンビナート等特別防災区域地震動観測情報システム」、「石油コンビナート地震・液状化危険度統合シミュレータ」等を開発・頒布。 <p>(競争的資金の活用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・救急患者の緊急度評価基準の確立と救急活動の質の評価を行い、消防庁における「緊急度判定体系に関する検討会」にて行った「緊急度判定プロトコル Ver. 1」改編作業に活用。

3 消防防災科学技術を取り巻く「変化」及び重点的に取り組むべき研究開発課題

(1) 自然災害対策

自然災害に対しては、局部的豪雨や台風による大雨等により大規模な浸水被害、中小河川の氾濫、土砂災害、流木被害などの多様な被害の発生、首都直下地震や南海トラフ地震の発生懸念の高まりの指摘、火山噴火の発生の多発などが懸念されます。

そのため、適時的確な避難勧告の発令、風水害の多発化等に対応した救助技術の高度化、地震火災時の消防戦術の強化、火山噴火に備えた消防機関の活動体制・資機材の整備などに向けた研究開発が必要となります。



※凡例：濃色＝消防研究センターが中心となって研究を実施するもの。
 淡色＝消防研究センターと研究機関・企業が共同で研究開発を実施し、製品開発等につなげるもの。
 白色＝研究機関・企業に対して研究開発の実施を促すもの。

図1 研究開発課題 俯瞰図

(2) 社会状況の変化への対応

社会状況としては、人口減少・少子高齢化により要支援者の増加や防災対策の担い手減少等が生じること、地方部で人口減少・高齢化・過疎化が急激に進行する一方で都市部の人口が増加する中で地方においても一部の人口密集地や物流倉庫などで火災リスクの増大が生じていること、各種のインフラ施設や危険物施設等の老朽化によって事故の懸念が高まっていること、東京オリンピック・パラリンピックやラグビーワールドカップなどの大規模集客イベントでの避難誘導などの対策が必要です。

そのため、高齢者等が居住する住宅における火災予防対策及び火災予防に資する機器開発の推進、救急搬送需要の分析・対策の強化、ベテラン職員の大量退職に備えた教育訓練の充実、若手職員の使用を前提とした資機材や戦術の見直し、情報弱者に対する災害時の情報伝達方法の工夫などに向けた研究開発が必要となります。

(3) 重点的研究開発課題

具体的な研究開発については、18の項目については、重点的に取り組むことが必要です。特に、そのうち5項目については、喫緊の課題であり、消防研究センターでの研究開発において優先して取り組むとともに、競争的資金における平成31年度以降の公募の際に重点的に取り組むべきものとして位置づけることを予定しています。

表3 特に注力すべき研究開発課題

テーマ	概ね5年後の研究開発目標
① 頻発する災害への対応	<ul style="list-style-type: none"> 適切な応急対応ができるよう、地震等発生直後に、コンビナート施設や建物等に係る被害の地域的拡がりを把握できるシステムを構築する。
② 糸魚川市大規模火災及び埼玉県三芳町倉庫火災を踏まえた消防活動資機材の開発	<ul style="list-style-type: none"> 石油コンビナート等における火災に対応する消防ロボット、強風下での消火活動に有効な汎用ノズル、遠隔操作ノズル、火災時のドローンによる迅速な情報把握システムを開発し、普及する。
③ 救急需要の増大に対応するための研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 傷病状況が軽度の時に救急車以外の搬送手段を選択できるよう、緊急度に併せた搬送手段選定システムを開発し、普及する。 救急車の現場到着時間の短縮のため、救急搬送に係るデータを関連データと併せて分析して救急搬送需要を予測して車両待機場所選定を支援するシステムを開発し、普及する。
④ 住宅火災の予防及び火災リスクの高い建物に対する予防に資する研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 火災傾向の分析、火災原因調査を通じ、新しく出現した用途の火災リスクについて、施策に反映する。 高齢者世帯における布団等の着火を防ぐことができる素材・機器を開発し、普及する。
⑤ 消防活動に係る技能継承及びよりよい活動環境の確保に必要な研究開発	<ul style="list-style-type: none"> 軽量・コンパクトな救急資機材や、活動支援のためのパワーアシスト機器を開発し、市場化する。 50歳以上で構成される消防隊の活動モデルケースを研究し、検証する。 熱中症対策が講じられ、隊員位置情報の把握も可能な軽量の防火装備を開発し、実証検証を行う。

4 研究開発成果の社会実装の強化に向けた取組

(1) 消防研究センターの役割

消防防災分野の研究開発を効率的に推進していくため、消防研究センターでは次の3つの事項に取り組みます。

- ① 火災メカニズムの調査分析、消防活動に係るマクロ分析など、消防研究センターが系統的に行っている研究分野については、消防研究センターにおける研究や火災原因調査の結果が消防庁や消防機関での施策に資するようになることを念頭に、分析や公表を行います。
- ② 製品開発など、消防研究センターに一定の知識・経験がある分野であるが、成果を得るためには他の研究機関や企業と連携する必要がある分野については、消防研究センターで構築する知識体系を活かしつつ、研究機関・企業における具体的な製品開発等と連携していけるよう、体制を整えます。具体的には、研究機関・企業と連携した研究開発の実施にあたり、消防研究センターの資源（研究官や研究施設・設備）を活用した、「消防防災オープンイノベーション協働スペース」（仮名）の構築に向けた検討を進めます。
- ③ 短期的な課題や地域的な課題など、研究機関・企業が中心となって研究開発を進める分野については、消防研究センターで消防防災分野全体での位置づけや関係する研究開発の進捗、消防庁や消防機関のニーズなどに関するアドバイスを行いながら研究開発を支援していきます。

(2) 競争的資金制度における研究開発支援

競争的資金については、科学技術基本計画等においても、研究開発の社会実装の推進が強く求められています。このため、次の事項への取組に向けた検討に着手します。

- ① 消防防災分野におけるニーズを的確に把握するため、消防機関等のニーズを集約し、研究機関・企業とのマッチングができるよう、データベースの構築についての検討を行います。
- ② 特に製品開発に係る研究開発の着手段階及び研究開発過程において、消防防災分野で使用するために必要な堅牢性、耐熱性等に係る技術検証の実施、導入費用に対する消防機関等に対する事前調査の実施等が適切に行われるような方策についての検討を行います。
- ③ 特に製品の市場化に向けた支援を強化するため、市場化の専門家による支援体制及び市場化に向けた資金面での支援方策の構築についての検討を行います。

5 おわりに

消防庁では、消防機関との間で、ニーズの把握、導入の際の評価等を適切に行うため、全国消防長会の技術委員会を通じた情報共有や、消防防災科学技術賞や全国消防技術者会議との連携などを図っていきたいと考えています。

今後とも、消防機関と連携しながら、戦略プランについての消防機関との情報共有や、競争的資金や消防研究センターの研究開発成果についての情報共有、製品化されたものについての適切な評価方法の確立などに向けた取組を進めてまいります。

消防研究センターの取り組み

—災害現場から得た知見を消防活動に役立てるために—

消防庁消防研究センター 細川直史

1 はじめに

消防研究センターは、平成18年4月1日、消防大学校の内部組織として新たなスタートを切った。消防研究センターの前身となった「消防研究所」は、昭和23年の自治体消防制度創設と同時に発足し、平成13年4月1日に独立行政法人化、その5年後に独立行政法人消防研究所が廃止されるなど、他の国立研究機関では類をみない経緯を経て現在に至っている。

現在の消防研究センターの主なミッションには、消防研究所の廃止と消防研究センター設置の際に、危機管理など災害への対応に関する業務が重要視されたことから、消防防災科学技術に関する研究開発に加え、以下に示すように、原因調査と消防活動支援に関する業務が掲げられている。

消防研究センターの主なミッション

- I 消防防災に関する基盤から応用にわたる研究開発の実施
- II 火災、危険物流出事故の原因調査の実施と支援
- III 大規模・特殊災害発生時の専門家集団としての消防活動支援
- IV 消防の科学技術関係者の連携の構築

IIの原因調査の実施と支援では、消防法の規定に基づく消防庁長官による火災原因調査及び危険物流出等の事故原因調査を行うとともに、消防本部からの依頼に基づき、専門知識を有する消防研究センター職員が消防本部の火災調査を支援するために、火災現場等への調査官の派遣や、消防研究センターの鑑識室で鑑識・鑑定を実施している。

IIIの消防活動支援では、災害・事故への緊急対応として、研究官などからなる専門家チームを災害現場へ派遣し、消火方法や消防活動への助言などの技術支援を実施している。平成28年4月、熊本地震においては、南阿蘇の検索救助現場において、安全管理に関する技術的支援を行うとともに、阿蘇大橋の崩落現場では、降雨による2次崩落の危険性について、ヘリコプターからの災害現場調査を行っている。また、平成30年9月の北海道胆振東部地震でも地震発生翌日から、斜面災害現場に入り、救助隊への技術支援

を行った。

IVの連携の構築については、消防研究センターで実施した研究開発や原因調査に関する取り組みを、消防防災関係者をはじめ社会へ発信し、研究成果や火災原因に関する知見を消防活動の現場に役立ててもらうことを目的にしている。毎年実施している「研究施設の一般公開（4月）」、「全国消防技術者会議（11月）」、「消防防災研究講演会（11月）」、「調査技術会議」はその主な取り組みであるが、それだけにとどまらず、消防職員などから電話や電子メールで寄せられる問合せや技術相談にも丁寧に答えるようにしている。

2 消防研究センターで実施している研究について

消防研究センターでは、近年増大しつつあるコンビナート施設での災害や、南海トラフ等の大規模地震、大津波といった従来の想定を超える大規模災害に備えるなど、消防防災行政において急ぎ対策が求められる課題や、消防防災の科学技術上の課題を解決するための研究開発を重点的に行っている。（表1）

特に、「エネルギー・産業基盤災害対応のための消防ロボットの研究開発」は、東日本大震災で発生した石油コンビナート施設での火災により、新たな消防用ロボットのニーズが高まったことから、平成26年度から開始された。また、平成28年12月に発生した糸魚川市大規模火災が、昭和51年に発生した酒田大火以後、はじめて延焼規模が3万m²を超える大規模な火災となったことを踏まえ、平成30年度から「火災延焼シミュレーションの高度化に関する研究開発」を開始したところである。

表1 消防研究センターで取り組んでいる重点研究

- | |
|---|
| <p>(1) エネルギー・産業基盤災害対応のための消防ロボットの研究開発
大規模地震発生時の石油コンビナートにおける特殊な災害では、災害現場に近づけない等の課題があるため、G空間×ICTを活用して安全な場所からの情報収集、放水等が可能な消防ロボットシステムを研究開発し、消防本部へ実戦配備する。</p> <p>(2) 火災延焼シミュレーションの高度化に関する研究紹介
糸魚川市で発生したような大規模火災は、全国の木造密集地域のどこでも発生する危険性がある。市街地火災に対する効果的な予防と消防活動を行うために、火災旋風のメカニズム解明や飛び火対策の研究開発、火災延焼シミュレーションの研究開発など、市街地火災対策に関する研究開発を行う。</p> <p>(3) 次世代救急車の研究開発
2020年東京オリンピック・パラリンピック等において、外国人来訪者に適切に対応するとともに、東日本大震災、広島市土砂災害、火山災害等を踏まえて、救命率向上・安全管理を図ることができるよう、最新技術やビッグデータ、G空間×ICT等を利用した「次世代救急車」を研究開発する。</p> <p>(4) 災害時の消防力・消防活動能力向上に係る研究開発
南海トラフ巨大地震、首都直下地震の発生に備え、災害時の消防活動能力を向上させ</p> |
|---|

るための技術を研究開発する。

ア 災害現場対応の消防車両の研究

イ 安全で迅速に土砂災害現場で救助活動をするための研究

(5) 危険物施設の安全性向上に関する研究開発

産業・エネルギー施設の強靱化のため、石油タンクの地震被害予測、石油タンク火災の泡消火技術、貯蔵化学物質の火災危険性評価の研究開発を行う。

ア 石油タンクの入力地震動と地震被害予測の高精度化のための研究

イ 泡消火技術の高度化に関する研究

ウ 化学物質の火災危険性を適正に把握するための研究

(6) 火災予防と火災による被害の軽減に係る研究開発

有効な火災予防対策が行えるよう、火災原因調査能力の向上に関する研究開発を行うとともに、建物からの効果的な避難に関する研究開発を行う。

ア 火災原因調査の能力向上に資する研究

イ 火災時における自力避難困難者の安全確保に関する研究

これら重点的に取り組む研究（重点研究）については、消防庁の策定する「消防防災科学技術高度化戦略プラン」を踏まえたものになっており、概ね5年間の研究計画に基づいて研究を実施している。なお、これら重点研究については、「国の研究開発評価の大綱的指針」と「消防庁研究開発評価実施指針」に基づき、外部有識者による「消防研究センター研究評価委員会」において研究評価が実施されている。

一方で、基盤技術の向上など将来の課題に対応するために、上記の重点研究以外にも、中長期的に視点にたった基礎的研究にも取り組んでいる。また、科学研究費助成事業（科研費）をはじめとした外部研究資金による研究開発も実施しており、特に、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）では、「地震時の液状化を考慮した石油タンク周辺施設等の損傷評価技術及び損傷被害防止技術の開発」を、(独) 港湾空港技術研究所や (独) 土木研究所などと連携して取り組んでいる。（図1）



図1 地震時の石油タンク周辺施設での液状化について（SIPでは、Eーディフェンス等を用いた大規模実験等により、巨大地震を想定した影響を分析・検証し石油タンクの安全性評価を行うとともに、石油タンク周辺施設の効果的な液状化対応技術を開発する。）

3 おわりに

現在の消防研究センターの組織は、火災災害調査部、技術研究部、研究企画部の3部体制（定数26名）であり、限られた人員で、消防の科学技術に関する研究開発や長官調査など原因調査業務を遂行しなければならない。そのため、これら業務を、効率的かつ実効的に実施する事が求められている。例えば、図2に示すように、①それまで蓄積してきた技術的知見をもとに緊急時の災害対応や消防活動支援を実施、②長官調査など原因調査を通じて現象や課題を現場から学び、③それを踏まえた研究開発を実施、④その研究による成果を普及し消防活動現場で活用、これらを繰り返すことで、経験や技術を蓄積、消防科学技術の向上を効率的に実施することが可能になると考える。消防研究センターにおいて、このPDCAサイクルを維持するためには、全国消防本部との協力関係は非常に重要であり、これまで以上に連携構築をすすめていく所存である。

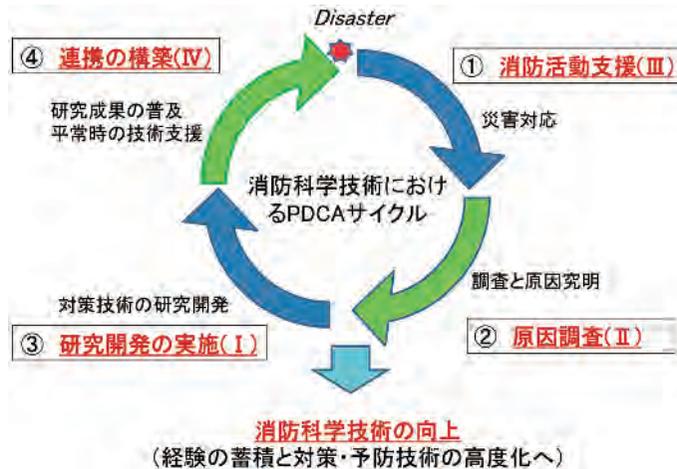


図2 消防科学技術のPDCAサイクル

エネルギー・産業基盤災害対応のための 消防ロボットシステムの研究開発 —研究開発の概要と計画—

消防庁消防研究センター 天野久徳

1 背景

東日本大震災では球形ガスタンクにおいて火災・爆発が発生した。現在、南海トラフ地震や首都直下地震の発生が懸念される中、自然災害によって石油コンビナートや化学プラントといったエネルギー・産業基盤施設において大規模な火災が発生することも考えられる。自然災害ばかりではなく、平成24年の姫路市における化学プラントの爆発事案においては、消防隊員1名が殉職し、多数の消防隊員等が負傷した。また、ここ数年は危険物施設における事故件数も増加傾向にある。

これら産業基盤施設の火災・爆発は市民生活に大きく影響を与え、市民の日常生活に支障をきたす。自然災害や事故時に避難を強いるばかりではなく、その後の地域の復興や市民生活の復旧には、エネルギー・産業基盤が不可欠である。したがって、災害を早期に抑制することが重要である。

しかしながら、これらの火災・爆発現場は特殊な状況であるため、消防隊員が火災に近接して活動することは困難を伴う。遠隔操作機器での対応にも通信距離の限界が、また、単体のロボットでは大規模な災害に対して有効な対応が難しい。そこで、自律的に動作し、互いに協調連携ができる複数のロボット等でロボットシステムを構成し、これらの災害に対応する消防ロボットシステムの研究開発を進めている。

2 研究開発の計画

平成25年度に基本的な構想をまとめ、平成26年度から5年計画にて消防ロボットシステムの研究開発を進めてきている。平成26年度に基本設計を行い、平成27年度に部分試作によって基本機能を確認し、平成28年度末に消防ロボットシステムを構成する各単体ロボットの一次試作機を完成させた。平成29年度には一次試作機を消防本部において試験評価し、試験評価結果を基に平成30年度末に実戦配備型を完成させる計画としている。さらに、実戦配備型を消防本部に実証配備し、訓練や実戦を通して得られた評価を基に機能の最適化や新技術の導入等を進め、平成32年度末に、量産型の仕様をまとめる計画としている。



図1 消防ロボットシステムの活動イメージ

3 想定事案と活動

開発する消防ロボットシステムによって対応を想定している事案及び活動は

- (1) 石油タンクヤード内における火災発生に対して、隣接する石油タンク等周辺施設への延焼を阻止するため、周辺施設を冷却する活動
 - (2) 火災が発生した危険物施設に対して、当該危険物施設を冷却し、火災による倒壊や爆発を防ぐ活動
 - (3) 石油タンク火災が発生した状況下において、火災を抑制する（鎮圧まではできなくても、火災の拡大をコントロールできる）活動
 - (4) 前述(1)～(3)の活動に伴う偵察・情報収集活動
- とする。なお、表現の煩雑さを避けるため、以下においては、放水及び泡放射を特段の必要が無い限り「放水」とまとめて表記する。

4 活動のイメージ

開発中の消防ロボットシステムの活動イメージを図1に示す。消防ロボットシステムは飛行型偵察・監視ロボット、走行型偵察・監視ロボット、放水砲ロボット、ホース延長ロボットの4種類のロボットと、消防隊員の判断や指令等を入力し、各種情報を表示するコンソールを備えた指令システムで構成される。

ロボットシステムを積載した車両が現場に到着し、システムを立ち上げると、コンテナに設置されたGPSの位置データから、プラントの電子地図を自動的に読み込む。読み込まれた電子地図に発災タンク等の危険物施設を入力すると、システムが自動的に風向風速等を考慮し、上空から災害の状況を偵察するための飛行型偵察・監視ロボットの



図2 飛行経路の選択画面イメージ



図3 放水部署位置の選択画面イメージ

飛行経路を提案する。図2にシステムが提案した飛行経路の表示画面のイメージを示す。提案された経路が、風下側を除き、円弧状に示されている。システムからの提案を消防隊員が必要に応じて修正し決定する。次に、この偵察・監視飛行経路へ到達する複数の経路をシステムが提案する。図2に点線で二つの経路が示されている。周囲の状況を考慮し、消防隊員が選択し決定する。なお、飛行は当該敷地内の最高の高さの施設等から十分な安全距離を確保した高度とし、タンクの直上は飛行しない等の制約を組み入れる。飛行経路の決定と共に、飛行型偵察・監視ロボットは自律的に離陸、飛行し、搭載さ

れた可視光カメラ及び熱画像カメラの映像、放射熱や燃焼ガス検知器などの計測データを指令システムに伝送するなど上空から偵察活動を行う。走行型偵察・監視ロボットも同様に、走行経路をシステムが複数提案し、消防隊員が選択決定することにより、自律的に走行し、偵察を行う。

偵察活動を行っている間に、ホース延長ロボット及び放水砲ロボットの稼働準備を進める。ここでも、システムが放水砲ロボットの部署位置を複数提案する。表示画面のイメージを図3に示す。図の中に提案された放水部署位置が、①、②、③と示されている。システムが提案した放水部署位置周辺の画像等、偵察・監視ロボットから送られてきた情報を確認し、消防隊員が部署位置を選択する。飛行型偵察・監視ロボットの飛行経路と同様、選択された部署位置への移動経路が複数提案される。消防隊員が選択し決定することによって、放水砲ロボットが自律的に移動を開始するとともに、ホース延長ロボットが自律的に放水砲ロボットを画像認識し、追従移動を開始する。

放水砲ロボットが部署位置に到着すると、ホース延長ロボットは追従移動モードから、自律移動・ホース延長モードに切り替わり、移動してきた経路を逆向きに走行し、ホースを延長する。ホース延長ロボットが、消防隊員が活動可能な、安全な領域まで戻ると、加圧送水装置等の水源にホースを接続し、放水準備が完了となる。

システムは、発災石油タンクの高さ、放水部署位置からタンクまでの距離、風向風速、活動の内容等から放水砲の俯仰角及び旋回角を算出し、提案する。算出された値を消防隊員が確認し、決定するとロボットに取り付けられた放水砲が算出された向きに設定される。放水砲の設定が完了し、消防隊員が水源から送水し、放水が開始される。

放水開始後、放水の状況を、偵察・監視ロボットが継続的に監視する。偵察・監視ロボットが撮影する熱画像等から、放水の到達位置を自動認識し、風向風速の変化等によって目標位置から放水が外れた場合、自動的に修正する。これは、偵察・監視ロボットからの画像情報を指令システムで解析し、放水砲ロボットを制御する協調連携技術によって実現する。

本消防ロボットシステムのオペレーターとなる消防隊員は、システムから提案される選択肢を選ぶ、あるいは、提案を確認修正することが主な作業である。また、過度なロボット技術の開発に偏るのではなく、安全に活動ができる領域では、消防隊員が作業を行うことにより、効率的に災害被害を最小化することを目指している。

5 一次試作した各単体ロボット

全システムをコンテナにパッケージ化し、10トン車に積載できること、連続10時間以上稼働可能なこと等をシステム全体の仕様としている。なお、ロボットの寸法について

は、大災害対応ばかりではなく、工場火災等に対応できることにも配慮し、可能な限り小型化した。

消防ロボットシステムを構成する各単体ロボットの一次試作機の概観を写真1～4に、また、概要を表1～4に示す。



写真1 飛行型偵察・監視ロボット一次試作機の概観

表1 飛行型偵察・監視ロボット一次試作機の概要

寸法	機体長さ：1.5m、幅：0.5m、高さ：1.0m プロペラ径 2.6m
質量	69kg
飛行方式	同軸二重反転、バッテリー/モーター駆動
最高速度	時速約60km (16.0m/s)
搭載機器	カメラ、熱画像カメラ 燃焼ガス検知器、放射熱量計
情報伝送	無線
制御機器	高精度GPS、慣性航法装置など
自律機能	電子地図上の指定位置への飛行、 自動帰還、目標物へのカメラ自動追尾
耐放射熱	8.0kW/m ²
耐風性能	風速12m



写真2 走行型偵察・監視ロボット一次試作機の概観

表2 走行型偵察・監視ロボット一次試作機の概要

寸法	長さ：1.3m、幅：1.0m、高さ：1.8m (アンテナ等を含む)
質量	230kg
走行方式	車輪（後輪駆動、前輪操舵）、履帯 バッテリー/モーター駆動
最高速度	時速約5.5km（1.5m/s）
搭載機器	マニピュレータ、カメラ、熱画像カメラ 燃焼ガス検知器、放射熱量計
情報伝送	無線（中継器を自ら搬送設置）
制御機器	高精度GPS、回転式レーザー距離計 車輪回転計、慣性航法装置など
自律機能	電子地図上の指定位置への走行
耐放射熱	8.0kW/m ²
段差乗越	40cm
その他	電子地図生成機能

耐放射熱性能については、国内最大級の石油タンクの火災において、想定事案に示した活動を実施するために、放水砲ロボットは20.0kW/m²、偵察・監視ロボットについては8.0kW/m²とした。放水砲ロボットの部署位置から消防隊員が活動可能な領域に至るまでに300m程度の走行が必要と推定し、ホースを延長する距離を300mとした。なお、既存の放水砲ロボットより長い距離のホース延長が必要となり、新たにホースを延長するロボットが必要となった。これは世界初の試みである。また、本消防ロボットシステムにおいては、放水砲ロボットが高い放射熱環境下で活動するため、放水砲ロボットに

接続されるホースにも高い耐放射熱性能が必要となり、新たに開発した。



写真3 放水砲口ロボット一次試作機の概観

表3 放水砲口ロボット一次試作機の概要

寸法	長さ：2.0m、幅：1.4m、高さ：2.2m
質量	1,600kg
走行方式	4輪駆動、前輪操舵、バッテリー/モーター駆動、サスペンション機構
最高速度	時速約7.2km (2.0m/s)
搭載機器	カメラ、熱画像カメラ、風向風速計 燃焼ガス検知器、放射熱量計
情報伝送	有線（自動繰り出し、巻き取り）
制御機器	高精度GPS、回転式レーザー距離計 車輪回転計、慣性航法装置など
自律機能	電子地図上の指定位置への走行
耐放射熱	20.0kW/m ² （自衛噴霧機構付）
放水ノズル	放水：広角、ストレート 泡放射：セミアスピレート 4,000ℓ/min、1.0MPa（有効射程75m）
その他	電子地図生成機能

各単体ロボットともに耐放射熱繊維で覆う必要があるが、飛行型偵察・監視ロボットだけが耐放射熱繊維で被覆している。各ロボットの耐放射熱繊維による被覆は脱着式となっており、走行型偵察・監視ロボット及びホース延長ロボットは外した状態である。放水砲ロボットは、撮影用の耐放射熱繊維を装着した状態である。

飛行型偵察・監視ロボットは、ある程度の悪天候下でも運用できるように、風速12m

での飛行を可能としている。



写真4 ホース延長ロボット一次試作機の概観

表4 ホース延長ロボット一次試作機の概要

寸法	長さ：2.4m、幅：1.8m、高さ：2.2m
質量	2,800kg
走行方式	4輪駆動、前輪操舵、バッテリー/モーター駆動、サスペンション機構
最高速度	時速約7.2km (2.0m/s)
搭載機器	カメラ、燃焼ガス検知器、放射熱量計
情報伝送	有線（自動繰り出し、巻き取り）
制御機器	高精度GPS、回転式レーザー距離計 車輪回転計、慣性航法装置 ホース張力検出装置など
自律機能	電子地図上の指定位置への走行、 ホースの敷設
協調連携	先行者（放水砲ロボット）追従走行
耐放射熱	放水砲ロボットと同程度
搭載ホース	直径150mmホース、300m（耐放射熱）

走行型偵察・監視ロボットはこのシステムの中では最初に被災敷地内を走行するため、飛散物が散乱した状況での走行も想定し、車輪、履帯の2つの走行機構を備えている。履帯は、悪路や障害物に対する走破性能は高いが、移動速度が遅く、自律走行精度が低い。そこで、障害物等が検出されない範囲では、車輪で走行し、高速・高精度の自律走行を実現する。

放水砲ロボット及びホース延長ロボットは基本的に同じ走行機構を利用しており、車体の幅と長さが異なる。サスペンション機構を備えた4輪駆動であり、農業用の部品を多く利用しているため、地震時の地盤の液状化等に対応できる。

新たに開発したノズルは、広角噴霧放水、ストレート放水、泡放射をノズルの形状切り替えだけで実現している。泡放射は、放水軌跡の安定性並びに泡発泡性状の両立を実現できるセミアスピレート方式を採用している。消防隊が所有する最大級のポンプで送水可能な放水量4,000l/min、放水圧1.0MPaをノズルの仕様とした。

前節で説明した自律及び協調連携のうち、各ロボットの自律走行及び放水砲ロボットとホース延長ロボットとの画像認識による協調追従走行については既に実現できている。また、自律走行においては、ある程度の大きさであれば、障害物の回避が可能である。走行型偵察・監視ロボットおよび放水砲ロボットには自律走行に使用する電子地図生成機能も組み込まれている。



写真5 石油コンビナートにおける試験評価（自律走行）



写真6 石油コンビナートにおける試験評価（放水）

6 今年度の予定

平成29年度に行った消防本部における試験評価では、管内の石油コンビナートにおけるの試験も実施した。その様子を写真5、6に示す。試験評価では、実戦における使い勝手に関する意見や、石油コンビナート内における想定外の地形における自律走行の不安定性等が明らかになった。これらの結果を基に消防ロボットシステムの再設計を行い、搬送車両も含め、現在、実戦配備が可能なタイプの研究開発を進めている。これまで進めてきた分散・協調・連携技術、自律化技術の研究成果を基に、実用可能なレベルに引き上げ、消防ロボットシステムへの組み込みを進めている。本年度（平成30年度）後半から、実戦配備タイプを用いて石油コンビナート内での試験を繰り返し実施し、本年度中に実戦配備タイプを完成させる。完成後は、消防本部に実証配備し、データを蓄積し消防本部にとって使いやすいロボットシステムに改良を進める計画である。本年度末の完成時には、実戦配備する消防ロボットシステムの実演公開を予定している。

市街地火災延焼シミュレーションの 高度化に関する研究

消防庁消防研究センター 高 梨 健 一
細 川 直 史

1 はじめに

従来から、市街地における火災の進展を予測、再現するために、様々な市街地火災延焼シミュレーションが開発されてきた。これらの市街地火災延焼シミュレーションの結果は、防災関係機関による大規模地震災害に備えた被害想定や、消防本部において延焼危険度の高い地域で火災が発生した場合の活動計画を事前に作成するための参考情報、自治体の都市計画を担当する部局における防火対策の効果予測などに利用されている。平成28年12月22日に糸魚川市で発生した大規模火災⁽¹⁾を受けて設置された「糸魚川市大規模火災を踏まえた今後の消防のあり方に関する検討会」の報告書⁽²⁾においても、市街地火災延焼シミュレーションを活用した木造密集市街地における火災危険性の把握や、シミュレーション結果に基づいた関係機関との連携に関する訓練の実施などが提案されており、消防分野において更なる活用が期待されている。

本稿では、既存の市街地火災延焼シミュレーションについて幾つかの例を紹介するとともに、消防研究センターの市街地火災延焼シミュレーションの高度化に関する取り組みについて紹介する。

2 市街地火災延焼シミュレーションのいろいろ

前節で軽く触れたとおり、従来から様々な市街地火災延焼シミュレーションが開発され、活用されている。以前は、計算機的能力の制約により、市街地をメッシュや街区のような領域として分割し領域内を統計値に基づく均一な市街地として延焼範囲の計算を行う方式のシミュレーション（図1）が多く用いられてきたが、近年では、計算機技術の進展により個々の建物を単位として計算を行う方式のシミュレーション（図2）も多く提案されている。これらの市街地火災延焼シミュレーションの多くには、延焼計算に延焼速度式や燃焼・発熱現象に関わる物理モデルが用いられている。

2.1 延焼速度式を用いる方式

火災が拡大する時、その前線が進む速度が延焼速度である。

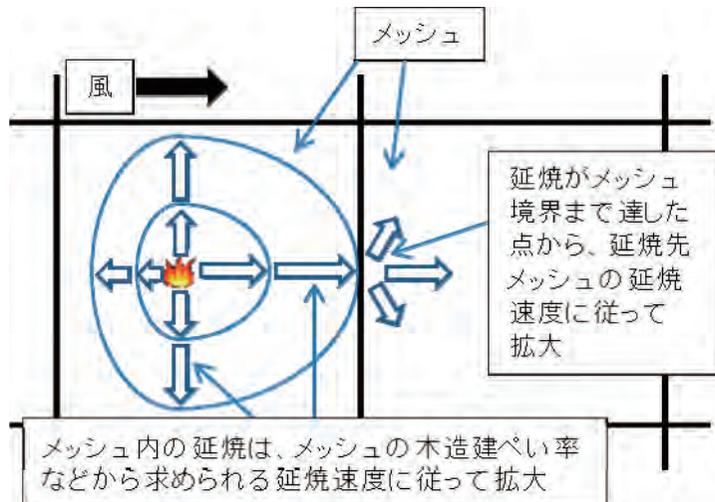


図1 領域内を均一な市街地として計算を行う市街地火災延焼シミュレーション（メッシュ単位）のイメージ

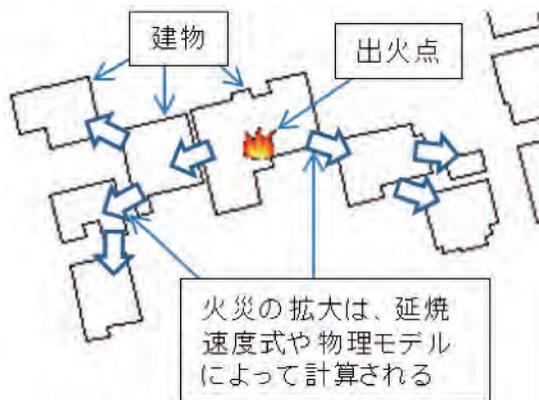


図2 個々の建物を単位として計算を行う市街地火災延焼シミュレーションのイメージ

延焼速度を求めるための延焼速度式は、物理的な根拠や通常時の市街地火災の調査結果、地震時の被害調査結果等に基づいて開発されており、木造建ぺい率や建物混成比など市街地の統計的なパラメータに基づいて延焼速度を計算する式や、出火建物とその隣接建物の位置関係や建物種別に基づいて建物間の延焼を求める式などがある。

市街地の統計的なパラメータに基づいて延焼速度を計算する式の代表的な例が、浜田式⁽³⁾⁽⁴⁾である。浜田式は、当初、裸木造平屋建物が立ち並ぶ市街地の延焼を予測するために開発されたが、その後、一般の市街地に適応できるよう、建物の代表長さと隣棟間隔、風速および建物混成比（木造、防火造、耐火造）を用いて計算するように拡張されて、メッ

シユ方式の延焼シミュレーションで良く用いられている⁽⁵⁾。

また、東京消防庁でも延焼速度式の開発が行われており、平成13年に東消式97の改良版として東消式2001⁽⁶⁾が開発されている。この東消式2001では、個別の建物の延焼時間を計算するマイクロ式と、広域の延焼を計算するマクロ式が定義されている。東消式2001のマイクロ式は構造別、用途レベルごとに、棟内の延焼速度式と、着火側建物構造と火元側建物階数の組合せに応じて隣棟間距離から建物間の延焼時間を求める式である。また、マクロ式はマイクロ式の設定結果を利用し、建べい率や建物種別ごとの建築面積比などを用いて表現された式で、炎上領域の拡大に合わせて延焼速度が上昇するような式になっている。東消式2001も様々な被害想定で用いられており、平成25年12月に中央防災会議の首都直下地震対策検討ワーキンググループから発表された首都直下地震の被害想定⁽⁷⁾では、250mメッシュ単位での市街地火災延焼シミュレーションの延焼速度式として用いられている。被害想定に用いられた手法では、出火率や消防ポンプ車の台数から放任状態となる火災の件数を予測し、放任火災をメッシュにランダムに割り当て、東消式2001を用いて燃え広がり⁽⁸⁾の計算が行われた。延焼遮断帯としては道路、鉄道、河川が考慮され、出火後、メッシュ中心に延焼が到達した時点で当該メッシュが焼失したものとして計算されている。

なお、大規模地震災害の被害想定⁽⁹⁾の分野では、加藤らが提案しているクラスターによる方式⁽⁸⁾も用いられている。この方式では、火災が発生した場合に相互に延焼被害を及ぼす可能性のある建物群（これをクラスターと呼ぶ）を考え、クラスターに含まれるいずれか一つの建物から出火した場合にはクラスターに含まれるすべての建物に延焼するものとして延焼被害を計算している。この方式では、火災の延焼過程の計算を行わずに最終的な延焼結果を求めており、いわゆる市街地火災延焼シミュレーションとは一線を画しているが、南海トラフ巨大地震の被害想定⁽⁹⁾や、名古屋市の被害想定⁽¹⁰⁾などで多く用いられている。

2.2 物理モデルに基づいた方式

計算機技術の進展により、様々な要素を盛り込んだ精緻な計算を行う事が可能となったことから、建物内で発生した火災の進展に関する詳細な計算に基づいて近隣建物へ延焼するか否かを判断する方式の市街地火災延焼シミュレーションが開発されている。

例えば、建築研究所で開発された方式⁽¹¹⁾では、耐火造、準耐火造、防火造、裸木造の建物構造ごとに火災の進展に関するシナリオを定め、シナリオの各段階において、火災区画の発熱速度、噴出火炎や合流火炎の形状、近隣建物や樹木への接炎、樹木の影響を考慮した輻射、風上側の火災家屋群からの熱気流などの計算を行っている。なお、この建築研究所の方式には、近年、火の粉の発生モデルと飛散モデルから火の粉の蓄積量を算定し、ステップごとに発生させた一様乱数と火の粉の蓄積量や受害建物の建築面積から計算され

る出火確率を比較して出火を判断するモデルが盛り込まれ、飛び火を予測できるよう拡張されている^{(12) (13)}。

また、樋本らは、一層ゾーンモデルの概念を導入して火災建物内の各部屋の現象を計算し、火災室内の高温ガスや開口噴出火炎といった熱源からの輻射熱伝達、風によって火災建物の風下側に形成される熱気流からの対流熱伝達、そして風によって飛散する火の粉について計算を行い、条件を満たした場合に、近隣建物への延焼が発生する詳細な方式での市街地火災延焼シミュレーションを行っている⁽¹⁴⁾。この方式は、その後、西野らによって簡易化による高速化が行われているが、高々2000棟程度の建物の延焼計算に8秒を要している⁽¹⁵⁾。

これらのような物理モデルを用いたシミュレーションは、計算に時間を要することに加え、事前のデータ作成にも多大な労力と費用を要するため、大規模な市街地火災の延焼を計算することが難しくなる。

3 消防研究センターにおける市街地火災延焼シミュレーションの高度化に関する研究

消防研究センターでは、従来から、大規模地震時の同時多発火災への対策立案や火災発生時の消防活動の方針作成への適用を念頭に、延焼速度式により一棟一棟の火災延焼を予測する方式を採用し、個々の火災に対して消防活動の効果を盛り込むことのできる市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発を行ってきた。

現在は、この市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの高度化に加え、広範囲で多数の火災が発生した場合の火災被害を高速で推定する手法について検討を行っている。本節では、これらの検討状況についてご紹介する。

3.1 一棟一棟の火災延焼を予測する市街地火災延焼シミュレーションの検討状況について

前述のとおり、消防研究センターでは、従来から、延焼速度式により一棟一棟の火災延焼を予測する方式の市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発を行ってきた。このシミュレーションソフトウェアでは、延焼速度式として風速と建物間の距離のみから建物間の延焼速度を求めることが可能な東京消防庁が開発した延焼速度式⁽¹⁶⁾を用いているが、この式は風速に対する感度が低いことから、シミュレーションソフトウェアでは風速に応じた浜田式の増加率を用いて延焼速度の補正を行うことも可能としている。

また、大規模地震時の同時多発火災の対策を検討するためには様々な条件の元で多数の試行を繰り返すことが必要であり、火災発生時の消防活動の方針作成に寄与するためには出火点情報を入力すると瞬時に結果を表示できなければならない。そのため、シミュレーションソフトウェアの開発にあたっては、正確さを考慮しつつ簡略化によって高速化を目

指している。簡略化の主な内容は次のとおりである。

(1) 市街地条件の簡略化

実際の都市空間には様々な建物が存在し、正確に延焼シミュレーションを行うためには、個々の建物の特徴にあわせて火災の進展を模擬する適切な計算を行うことが必要である。しかし、実際の市街地火災では一般住宅の延焼被害が主であると考えられることから、全ての建物を防火木造と耐火造の2種類に振り分けることとし、耐火造は延焼しないものとしている。

また、建物の階高や建物が建てられている地表の高さが延焼に影響を及ぼすことは明らかであるが、一般住宅を想定して全ての建物を2階建てと仮定するとともに、全ての建物は同じ標高の土地に建設されているものと仮定して計算を単純化することとしている。

(2) 延焼計算の簡略化

延焼計算の前提として、火災は出火建物の重心で発生し、延焼した建物内の火災は必ず建物の重心を経由することとした。すなわち、隣棟間の延焼には、火元建物の重心から火元建物の外壁までの屋内延焼、火元建物から延焼建物の外壁への隣棟間延焼、延焼建物内の屋内延焼の3つの段階を経ることとなる。また、重心に延焼が至った時間を全焼時間とした。この前提のもとで、風速0mの際の延焼速度を用いて、異なる建物の重心間の延焼時間が最短となる経路を平均的な延焼経路として事前に計算し、どちらの建物から延焼する場合もこの延焼経路を用いることとした。この結果、延焼経路を事前計算することによりプログラムを単純化でき、延焼計算の時間を軽減している。

これらの簡略化を施して作成した都市データの例を図3に示す。隣接する建物間では、それぞれの重心を結ぶ延焼経路が一つ作成されていることがわかる。

この方式に基づいて開発した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの画面例を図4に示す。この画面から、出火点、出火時刻、風向、風速等を入力することにより、市街地火災延焼シミュレーションを実行することが可能である。なお、この市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアには、飛び火の発生を予測する機能はないものの、大規模地震災害時には通電火災のように時間が経ってから火災が発生する場合があるため、設定する出火点ごとに、出火時刻を設定することができ、飛び火の発生時刻が判っていれば事後に飛び火の影響を検証することも可能である。

また、消防活動の効果を盛り込むための方法として、延焼阻止線を設定することができる。延焼阻止線とは消防活動時に計画として設定する線であり、この線より先に延焼を進ませないよう消防力を投入する防ぎょラインである。我々のシミュレーションでは、設定

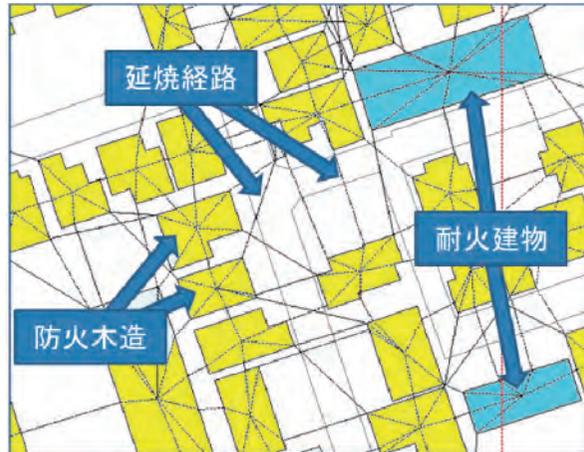


図3 簡略化を施して作成した都市データの例



図4 市街地火災延焼シミュレーションの画面例

した延焼阻止線が延焼経路と交差する場合に、当該延焼経路を延焼計算に利用しないことで、延焼阻止効果を実現している。

さて、消防研究センターでは、現在、この市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアに対して、計算手法の高度化及びシミュレーションを応用する機能の高度化を図っている。

計算手法の高度化としては、現在利用している延焼速度式では隣棟間距離から隣棟への延焼に要する時間を計算しているが、建物の階高や建物が建てられている地表の高さ、さらには複数棟の同時炎上をシミュレーションの計算に盛り込むために、隣棟間距離ではなく形態係数を用いて延焼時間を簡易的に計算するような手法を検討するとともに、斜面地の延焼について検証するために過去の大火調査結果から、焼けどまり要因、延焼速度、飛び火の影響などの調査を行うためのデータ作成を行った（図5）。

また、シミュレーションソフトウェアの機能の高度化としては、地域の火災リスクを計算できるよう、下記の機能を追加した。

- ・ 地域の延焼危険度に関連すると考えられる各種指標の表示機能（図6）
- ・ ある一定の風向・風速下において、対象地域内のある1棟から出火した場合に何棟延焼するかを、すべての建物に対して計算を行う機能（図7）
- ・ 地震被害想定の結果などから仮定される地域内の出火件数に基づいて出火建物をランダムに設定して市街地火災延焼シミュレーションの計算を繰り返し行い、計算結果から延焼棟数などの平均値をメッシュ単位に計算する機能（図8）

これらの機能は、糸魚川市大規模火災を受けて各地の消防本部において策定が進められている、危険な木造密集市街地を対象とした警防計画の立案等に活用することが期待されている。

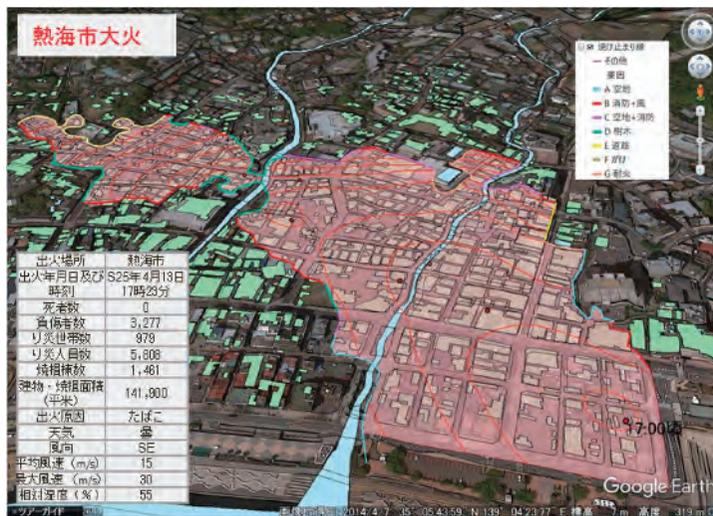


図5 斜面地の延焼について過去の大火に関する調査結果から作成したデータの例

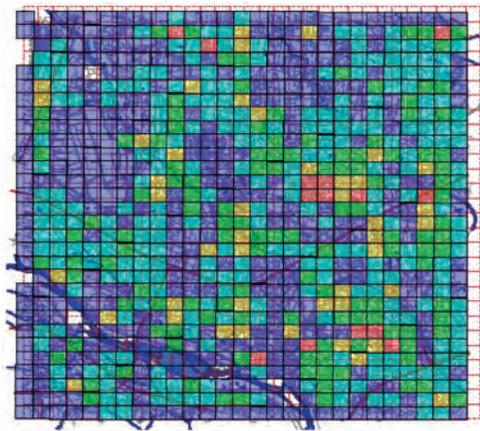


図6 地域の延焼危険度に関連すると考えられる各種指標の表示機能の例
(図は木造建ぺい率の例)

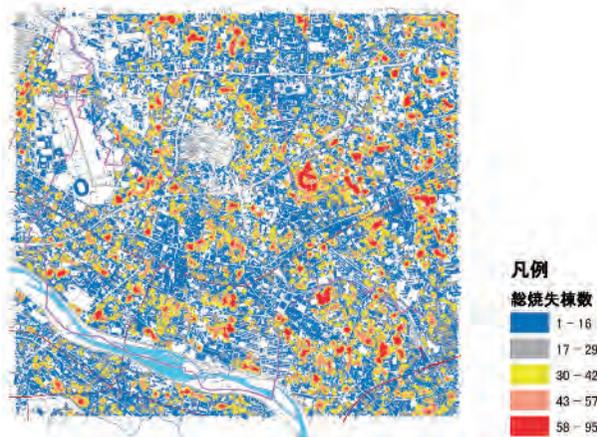


図7 各建物から出火した場合の延焼棟数予測の例

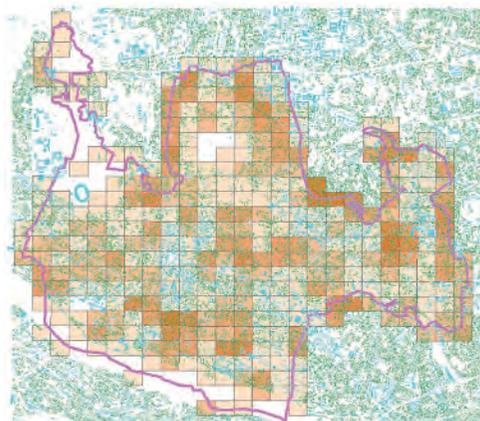


図8 メッシュ単位の延焼量の計算機能

3.2 広範囲で多数の火災が発生した場合の火災被害を高速で推定する手法の検討について

消防研究センターでは、先ほどまで紹介した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの高度化に加えて、大規模地震災害時に広範囲で多数の火災が発生した場合の火災被害を高速で推定する手法についても検討しており、現在は、加藤らの手法⁽⁸⁾の考え方を応用して、既開発の広域版地震被害想定システム（図9）に対して、地震動から得られる出火率に基づいて延焼棟数の期待値を表示する機能を追加する手法について検討を行っている⁽¹⁸⁾。

加藤らの手法では、建物ごとに風向・風速に応じた延焼限界距離を設定してクラスターを構築しているが、このクラスター構築に多大な時間を要するため、大規模な災害の発生直後に、延焼棟数の期待値を算出することは困難である。そこで、広域版地震被害想定システムでは各種計算がメッシュ単位で行われることを考慮し、風向・風速に対応する延焼クラスターをメッシュごとに事前計算するとともに、各延焼クラスターが隣接メッシュに属するクラスターと重なり合うのか否かについても事前に把握しておくことにより、地域の出火率が与えられた際に高速に延焼棟数の期待値を計算することができないか検討している。図10に風向・風速を変えた場合のメッシュごとの延焼クラスターおよび隣接メッシュに属するクラスター間の接続関係を用いた計算のイメージを示す。

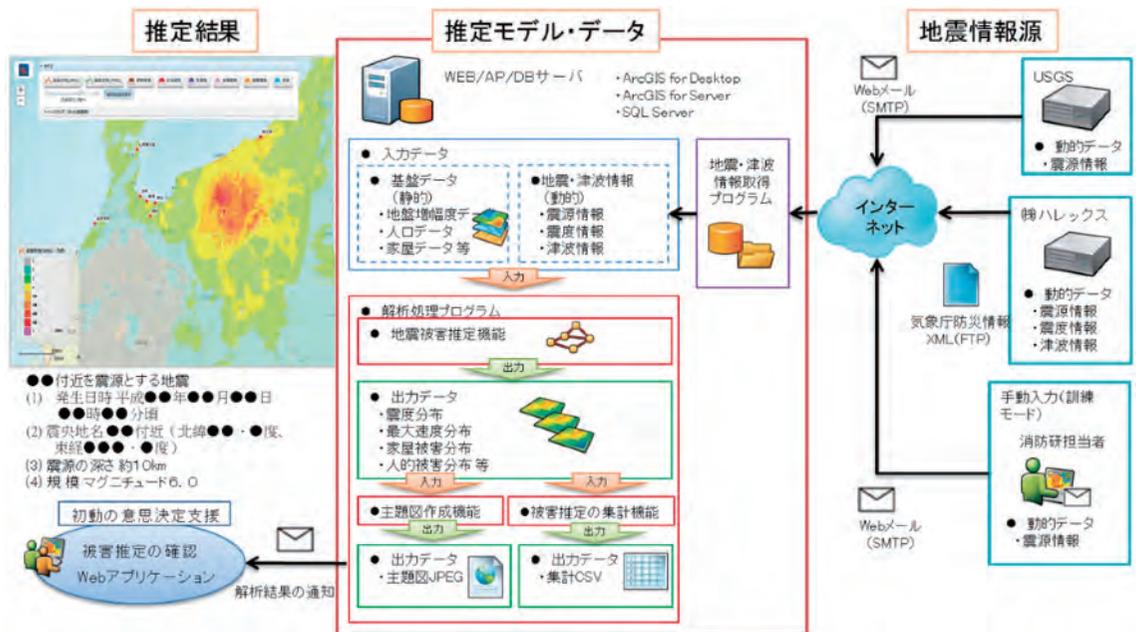


図9 広域版地震被害想定システムの概要

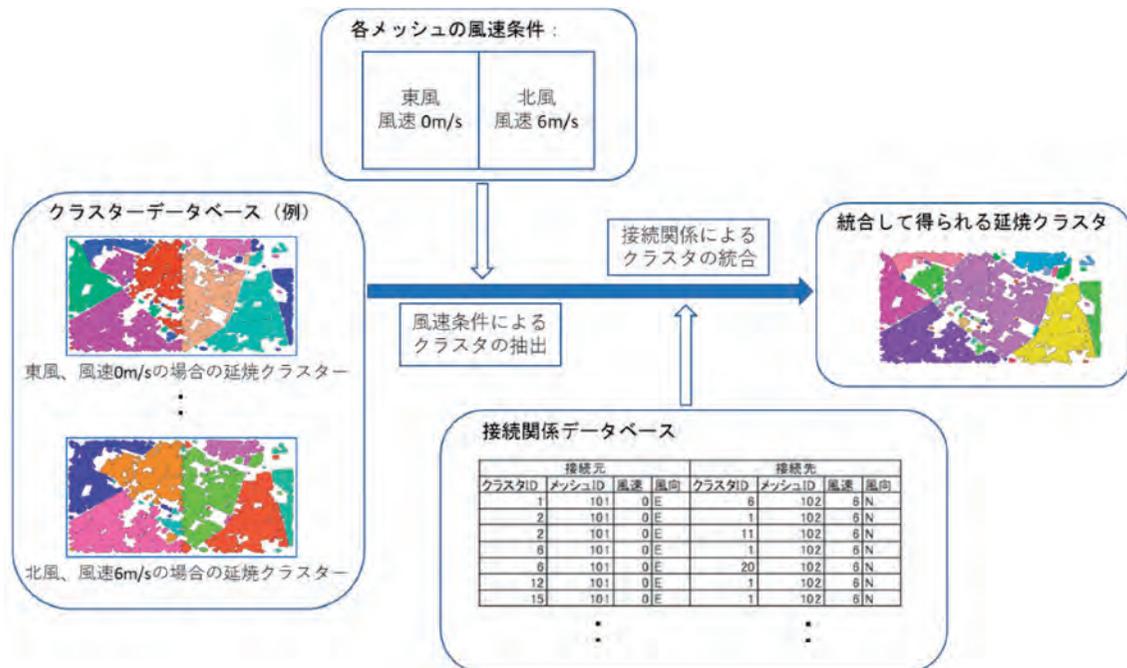


図10 メッシュごとのクラスター事前計算および接続関係を利用した延焼棟数の期待値計算手法に関するイメージ

この手法では、クラスター計算に要する時間が削減される反面、接続関係を検索する時間が増大することが予想されるが、横浜市青葉区を対象にメッシュごとの延焼クラスターを試作して計算量を試算したところ、実時間で計算できる見込みがあることが判っている。この手法を広域版地震被害想定システムに盛り込むことによって、大規模地震発生直後に延焼棟数の期待値を早期に示すことが可能となれば、大規模震災発生時の延焼被害量の予測手法の一つになるのではないかと考えられる。

4 おわりに

本稿では、既存の市街地火災延焼シミュレーションについて幾つかの例を紹介するとともに、消防研究センターの市街地火災延焼シミュレーションの高度化に関する取り組みを紹介した。

消防研究センターでは、今後も消防機関等にとって有用な市街地火災延焼シミュレーションの実現を目指して研究開発を続けていきたい。

引用文献

- (1) 総務省消防庁、新潟県糸魚川市大規模火災（第13報）

- (2) 総務省消防庁、糸魚川市大規模火災を踏まえた今後の消防のあり方に関する検討会報告書 (2017)
- (3) 浜田稔、火災の延焼速度について、火災の研究 I、1951
- (4) 日本火災学会、火災便覧第3版、共立出版、1997
- (5) 愛媛県、愛媛県地震被害想定調査 (最終報告) 第4編 建物被害 (2013)
- (6) 東京消防庁、地震火災に関する地域の防災性能評価手法の開発と活用方策 (2001)
- (7) 中央防災会議、首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要～人的・物的被害～、http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/pdf/syuto_wg_butsuri.pdf (2013)
- (8) 加藤ら、建物単体データを用いた全スケール対応・出火確率統合型の地震火災リスクの評価手法の構築、地域安全学会論文集、No.8、pp.1-10 (2006)
- (9) 中央防災会議、南海トラフの巨大地震 建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要、http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20120829_gaiyou.pdf (2012)
- (10) 名古屋市、震災に強いまちづくり方針 (本編)、<http://www.city.nagoya.jp/jutakutoshi/cmsfiles/contents/0000002/2717/honpen.pdf> (2015)
- (11) 独立行政法人建築研究所、市街地の延焼危険性評価手法の開発、建築研究報告、No.145 (2006)
- (12) 三浦ら、飛火を反映した市街地火災シミュレーションの構築 (その1) 火の粉の発生量の実験的解明、日本建築学会大会学術講演梗概集、(2011)
- (13) 岩見ら、飛び火を反映した市街地火災シミュレーションの構築 (その2) 飛火現象のモデル化とシミュレーションの構築、日本建築学会大会学術講演梗概集 (2011)
- (14) 樋本ら、都市火災の物理的延焼性状予測モデルの開発、日本建築学会環境系論文集、第607号、pp.15-22 (2006)
- (15) 西野ら、準定常的な計算法を用いた都市火災延焼性状の簡易予測モデルの開発、日本建築学会環境系論文集、第75巻、第647号、pp.9-18 (2010)
- (16) 東京消防庁、地震時の延焼シミュレーションシステムに関する調査研究 (1989)
- (17) 国土交通省国土政策総合技術研究所および国立研究開発法人建築研究所、平成28年 (2016年) 12月22日に発生した新潟県糸魚川市における大規模火災に係る建物被害調査報告書、国土技術政策総合研究所資料、No.980あるいは建築研究資料、No.184、(2017)
- (18) 高梨ら、広域版地震被害想定システムへの機能追加を目的とした大規模地震災害時の延焼被害推定手法に関する検討、平成30年度日本火災学会研究発表会概要集、pp.54-55 (2018)

次世代救急ツールの研究紹介

消防庁消防研究センター 久保田 勝 明
尾 川 義 雄

1 はじめに

本研究では、2020年東京オリンピック・パラリンピック競技大会等において、外国人来訪者に適切に対応するとともに、ビッグデータ、G空間情報等の最新技術を救急車や指令運用システムに活用し、現場到着時間・病院収容時間の延伸防止や救急車の交通事故防止を図るため、

- 1) 救急隊用多言語自動翻訳システム「救急ボイストラ」
- 2) 迅速な救急搬送を目指した救急隊運用最適化
- 3) 乗員の安全防護

の研究開発を平成28年度～平成32年度の5年間をかけて行っている。ここでは、既に実用化され多くの使用実績がある「救急ボイストラ」を中心に、その研究概要を紹介する。

2 救急隊用多言語自動翻訳システム「救急ボイストラ」

(1) 背景・目的

政府は2020年に訪日外国人旅行者を4,000万人とする目標を掲げる一方、日本の在住外国人は217万人を超えており、これに伴う外国人の救急搬送も増加している。

観光客の多い札幌市においては、平成23年に75人であった外国人の救急搬送者数が平成28年には355人と約5倍に急増している（図1 左図）。また、外国人対応においては、言葉が通じないことから、現場滞在時間が遅延する傾向がみられる（図1 右図）。この遅延が救命率の低下につながる可能性がある。

また、消防庁救急企画室の平成26年度救急業務のあり方に関する検討会で行われた、2020年オリンピック・パラリンピック東京大会に向けた「救急救命体制の整備・充実に関する調査」（調査対象：各都道府県・各消防本部）では、救急業務に関する課題として「外国語対応」が、その課題解決に向けて消防庁に期待する役割として「コミュニケーションシートやアプリの作成」の項目が多く挙げられた。

そこで、消防研究センターでは、これらの課題やアンケート調査結果を踏まえ、マンパ

ワーや活動時間が限られる救急現場に実装及び利用されることを目的とした救急隊用の多言語音声翻訳アプリ（スマートフォンやタブレット用）の開発を、多言語音声翻訳システムの先駆者である、情報通信研究機構（以下「NICT」という。）との共同研究及び外国人観光客が急増している札幌市消防局、羊蹄山ろく消防組合の協力を得て行った。

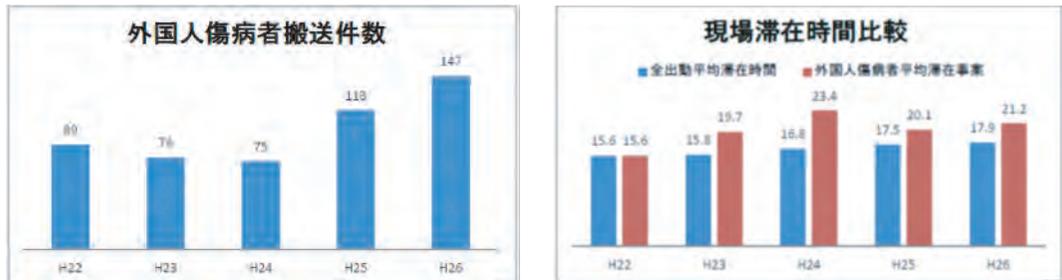


図1 外国人の搬送件数（左図）、現場滞在時間（右図）（札幌市消防局）

(2) 研究開発方針

このアプリを開発するにあたって、最も重要視したのが、「いかに救急隊員の方々に使いたいと思っていただけるか」である。せっかくアプリ開発を行い救急隊に実装が行われても、実際の外国人対応の時に使われないようであれば、意味がないと考えている。実は、研究開発を行っていくうえでこれが一番難しいことであり、多くの研究開発成果が使われない技術となっているのは、この視点が抜けていることが多いからである。今回のこのアプリ開発においては、特にこの点に注意しながら研究開発を行ってきた。

(3) 既存多言語音声翻訳技術の検証及び現場ニーズの調査

救急隊の多言語対応に関して消防研究センターでは、今まで検討したことが無かったため、まずは既存のNICTの多言語音声翻訳システム（VoiceTra）を、写真1～4に示す救急現場において検証実験を行った。

その結果、既存のVoiceTraを救急現場で使用する時に、以下の課題や特徴が明らかになった。

- ・日本語の音声認識→翻訳→外国語の表示（及び発話）を行うので、日本語同士の場合より会話時間が約2倍かかるため、短くする必要がある。
- ・音声認識において誤認識の可能性がある。（特に早口や長文、または周辺騒音が大きい時等）
- ・傷病者や付き添いの方への聴取は特定の救急隊員ではなく、複数の救急隊員が順不同に聴取する。



写真1 VoiceTraの検証状況（腹痛（中国語）：札幌市消防局）



写真2 VoiceTraの検証状況（外傷（英語）：羊蹄山ろく消防組合）



写真3 VoiceTraの検証状況（集団災害バス事故：札幌市消防局）



写真4 VoiceTraの検証状況（集団災害
バス事故：札幌市消防局）

救急現場の多言語対応には、病気やけがの状況をボードに書いた「コミュニケーションボード」が既に普及している。このボードは、英語、中国語、韓国語等があり、救急隊が普段聞いている病気やけがの状況を確認することができる。このコミュニケーションボードでもある程度対応は可能であるが、例えば「通訳できる人はいますか。いるのであれば、その人を通じて患者さんと話しをしたいのですが。」や、「病院に行く準備をしましょう。鍵や携帯電話、お金、身分証明できるものがあれば準備しましょう。」といった項目は無いため、症状確認以外のコミュニケーションで救急隊が困っているが明らかになった。

当初想定していたのは、救急隊の活動は傷病者から症状を聞くことが中心となると考えていたが、この検証結果は意外のものであった。したがってここを充実させることも重要であることが判明した。

(4) 研究開発

これらの課題を解決するために、ベースとなった翻訳アプリが持っている 音声認識+翻訳 の機能に加え、救急隊が普段多く使う言葉を定型文として作成し、それをアプリ上でワンタッチ選択できるようにした。(図2、写真5)

VoiceTraには今まで定型文を表示する機能はなかったのですが、NICTが開発する類似のアプリにはこの機能が搭載されていたため、一からその機能を構成する必要はなく開発はスムーズに進んだ。

また、定型文機能を開発する上において以下の点を考慮した。

- ・ 質問を決まった通りに順々に聞いていく階層形式は、様々な項目を順不同で聴取することが多い救急現場には向かないため、すべての項目を一画面とし画面が小さいタブレットの場合はスクロールするだけで探することができる仕様とした。

- ・定型文は、項目が多すぎると探すのが大変なため、よく使うものと長文の項目計46個に絞った。(定型文一覧 表1)
- ・回答が必要な項目は回答画面も作成した。
- ・対応言語 (計15言語) …(1)英語 (2)中国語 (簡体字) (3)韓国語 (4)タイ語 (5)フランス語 (6)インドネシア語 (7)ベトナム語 (8)スペイン語 (9)ミャンマー語 (10)中国語 (繁体字) (11)ドイツ語 (12)ネパール語 (13)ブラジルポルトガル語 (14)マレー語 (15)ロシア語



図2 救急ボイストラの画面



写真5 救急ボイストラ使用状況

この開発したアプリを、平成29年1月から札幌市消防局、羊蹄山ろく消防組合において先行導入を行い、その使用感に関する評価をいただいた。その結果、既存のコミュニケーションボード等の方法より「意思疎通のスピード」「意思疎通の質」とも7割以上の救急隊が良くなった、また9割以上の方が「今後も使っていきたい」と回答していただき、大変好評であった。

この結果により、十分現場で使っていただけるであろうと考え、全国展開することになった。

そこで、平成29年4月21日から各消防本部への提供を開始し、Android OSを搭載した通信可能なスマートフォンやタブレットにダウンロードが可能となった。また、iOS版については、平成30年1月からダウンロードが可能になった。

平成30年9月1日時点での導入状況を表2に示す。公開して1年4か月で、既に328消防本部（導入率45.1%）で使用開始されており、使用件数も1187件（平成29年4月～12月）とかなり多くの事案で使っていただいている。

(5) 今後の展開

平成29年1月から先行導入していた札幌市消防局においては、雪まつりや冬季アジア大会等のイベント対応や、観光客対応で既に多くの使用実績があり、定型文機能も使いこなしていただいている。多くの救急隊員から今ではなくてはならないアプリであると言っていただいている。ただし、札幌市消防局では開発段階からテストで使用していたので、使っている救急隊員の方々は、その使用方法を熟知していた。今回の全国展開においては、ほとんどの救急隊員の方に初めて使っていただくため、この方々が全国展開時に配布したマニュアルや説明用のビデオ通りに使っていただいているか、また課題が無いかなどは今後フォローアップ調査を行いながら必要に応じて改良を続けていきたいと考えている。

表1 定型文一覧

救急ボイストラ定型表現一覧

2017年4月21日現在

色	一覧表示	相手に伝える文
	救急隊です 翻訳アプリを使います	我々は救急隊です。これからこの翻訳アプリを使って質問します。この機械にむかって答えてください。
	意識の確認	会話ができますか。返事をしてください。
	主訴の確認	患者さんはどこが具合が悪いのですか。手で触ってください。
	発症時間はいつですか	発症したのはいつからですか。
	発症時何をしていましたか	患者さんは発症時何をしていましたか。
	いつまで元気でしたか	患者さんはいつまで元気でしたか
	最後の食事はいつですか	患者さんが最後に食事をしたのはいつですか。
	何か薬を飲んでますか	患者さんは何か薬を飲んでますか。薬の名前がわかるものがあれば見せてください。
	身分証はありますか	患者さんのお名前や誕生日を確認できるものはありますか。
	患者さんは何歳ですか	患者さんの年齢は。
	年齢を紙に書いてください	生年月日をこの紙に書いてください。
	既往症はありますか	患者さんは過去に大きな病気にかかったことがありますか。
	治療中の病気はありますか	患者さんは現在治療中の病気はありますか。
	初めての症状ですか	患者さんはこの症状は初めてですか。
	バイタルサインを測定します	患者さんの血圧などを確認させてください。
	触診します	患者さんの体に触れます。痛みがある場合は教えてください。
	視診します	患者さんの患部を確認させてください。
	ドロッピングテスト	あなたはこの状態を保つことができますか。
	構音障害はありますか	患者さんはこの症状が出てから話にくいですか。
	応急処置をします	患者さんに応急処置をします。
	患者さんを搬出します	救急隊が抱えたり器具を使い救急車で運びます。
	病院を探します	救急隊が症状にあった病院をさがしますのでお待ちください。
	搬送開始します	救急車は病院に向かいます。
	症状は良くなりましたか	あなたの症状は良くなりましたか。
	病院に到着しました	病院に到着しました。私達が誘導しますのでお待ちください。
	ヘリコプター搬送します	ヘリコプターでの搬送が有効なので、ヘリコプターで搬送します。
	CPA 特定行為をします	患者さんは心肺停止のため医師の指示を受け医療行為を行います。よろしいですか。
	CPA以外 特定行為をします	患者さんに医師の指示を受け医療行為を行います。よろしいですか。
	輸液実施します	患者さんに点滴を行います。よろしいですか。
	器具気道確保します	患者さんの口にチューブを入れて、人工呼吸をします。よろしいですか。
	アドレナリンを投与します	患者さんに心臓を興奮させる薬を使用します。よろしいですか。
	電気ショックを行います	患者さんに電気ショックを行います。よろしいですか。
	血糖値を測定します	患者の指先に針を刺して血糖値を測定します。よろしいですか。
	ブドウ糖を投与します	患者の血糖値が低い場合点滴からブドウ糖を投与します。よろしいですか。
	「はい」か「いいえ」で答えてください	これより先の質問は、「はい」か「いいえ」で答えてください。
	短い言葉で回答してください	機械に向って、なるべく短い言葉で回答してください。
	この症状はありますか	これから症状について質問します。この症状があるか教えてください。
	外傷 全身観察 動かないでください	救急隊です。けがの状況を確認しますので体を自ら動かさないでください。救急隊が体に触れますので痛みがある場合は体を動かさないで声で教えてください。
	全身を固定します	全身を器具で固定します。
	救急車でついでにきてください	救急車でついでに来てください。
	病院に行く準備をしましょう	病院に行く準備をしましょう。鍵や携帯電話、お金、身分証明できるものがあれば準備しましょう。
	通訳できる人はいますか	通訳できる人はいますか。いるのであれば、その人を通じて患者さんと話したいのですが。
	トリアージを行います	多数の負傷者が発生しています。救急隊が緊急の患者から搬送をします。ご協力をお願いします。
	日本滞在理由を教えてください	患者さんは、旅行や仕事で日本に一時的に来ているのですか。それとも日本に住んでいるのですか。
	いつまで日本に滞在しますか	患者さんは、いつまで日本に滞在するのですか。
	火の元を消します	火事にならないように火を消します。

説明 観察 質問 処置 依頼

消防庁消防研究センター

表2 導入状況（都道府県別）（平成30年9月1日現在）

都道府県	導入済 ()内予定	消防本部数	都道府県	導入済 ()内予定	消防本部数
北海道	31 (3)	58	滋賀	1 (0)	7
青森	6 (1)	11	京都	5 (0)	15
岩手	7 (0)	12	大阪	25 (0)	27
宮城	6 (0)	12	兵庫	15 (4)	24
秋田	8 (0)	13	奈良	3 (0)	3
山形	2 (0)	12	和歌山	6 (0)	17
福島	2 (1)	12	鳥取	2 (0)	3
茨城	8 (1)	24	島根	4 (0)	9
栃木	7 (0)	12	岡山	8 (0)	14
群馬	10 (0)	11	広島	4 (0)	13
埼玉	27 (0)	27	山口	5 (0)	12
千葉	12 (0)	31	徳島	2 (2)	13
東京	2 (2)	5	香川	7 (2)	9
神奈川	8 (1)	24	愛媛	2 (1)	14
新潟	5 (1)	19	高知	1 (0)	15
富山	0 (0)	8	福岡	2 (1)	25
石川	3 (1)	11	佐賀	4 (1)	5
福井	2 (1)	9	長崎	2 (0)	10
山梨	3 (0)	10	熊本	1 (0)	12
長野	8 (1)	13	大分	5 (0)	14
岐阜	20 (0)	20	宮崎	6 (0)	10
静岡	7 (0)	16	鹿児島	5 (3)	20
愛知	13 (1)	34	沖縄	11 (3)	18
三重	5 (0)	15	合計	328 (31)	728

3 迅速な救急搬送を目指した救急隊運用最適化

(1) 背景・目的

救急需要の増加に伴い現場到着時間、病院収容時間が遅延（図3）しており、救命率低下が懸念されます。そこで、救急車の需要分析、最適ルート分析、傷病者情報分析などにより救急隊の運用体制を最適化し、現場到着時間、病院収容時間の短縮を目指し、救急隊運用最適化プログラムの研究開発を行っている。

また、ITS（Intelligent Transport Systems：高度道路交通システム）の技術を用いて、救急車の走行時間短縮の技術開発を行っている。

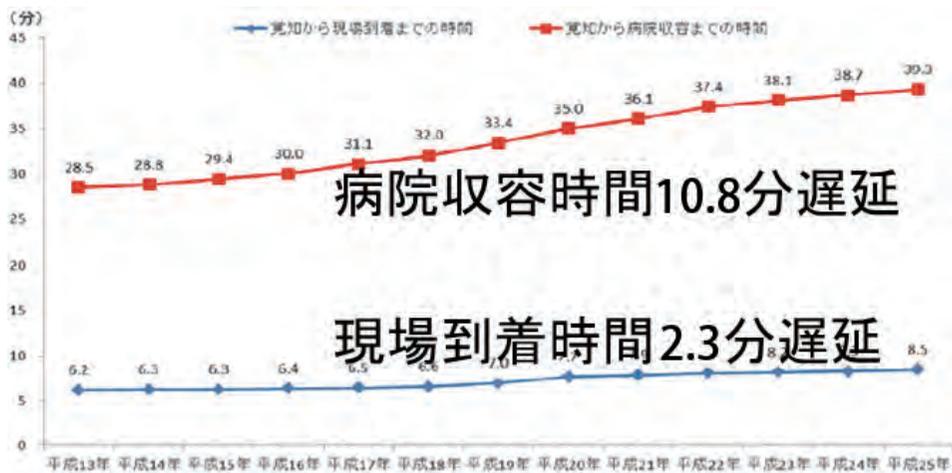


図3 現場到着時間、病院収容時間の推移（平成13年-平成25年）

(2) 今までの主な研究開発成果

救急車の運用体制を最適化するプログラムは、「救急隊の最適運用」と「救急需要予測」の2つから構成される。このうち「救急隊の最適配置」は、最適配置方法の基礎となる手法を開発し、その効果の見通しを明らかにした。また「救急需要予測」は、その基礎となる分析を実施し、ある程度予測が可能であることが判明したが、今後その精度を上げるため改良が必要である。

走行時間短縮技術では、ITSの一つであるITS CONNECT^{*1}の車載機を救急車に搭載し名古屋市、豊田市において走行時間短縮効果の実証実験を開始している。

*1 ITS CONNECT：見通しが悪い交差点などにおいて、車両同士や道路に設置された路側インフラ設備との無線通信によって得られる情報をドライバーに知らせることで、運転の支援につなげるシステム（出典：ITS CONNECT推進協議会 ホームページ）



写真6 ITS CONNECT 搭載救急車

4 乗員の安全防護

(1) 背景・目的

救急車の事故により負傷者が発生している。救急車の交通事故に係る正確な統計データはないが、様々な情報を総合すると年間数十件程度の交通事故は発生していると想定される。

現在日本の救急車の運転席部分に関しては、交通事故時の衝突安全基準が存在するが、救急車の処置室部分に関する衝突安全基準はない状況である。一方、欧米では処置室部分への衝突安全基準はあり、既にその基準が適用されている。

そこで、本研究では日本の交通事故における衝突時の速度などを考慮し、日本の交通状況に合わせた衝突安全基準を検討するため、救急車の走行情報（車車間通信など）を用いた事故防止技術の開発、及び衝突時の安全防護に必要な構造・強度等の安全仕様を作成することを目的としている。

(2) 今までの主な研究開発成果

救急車の衝突実験（正面、側面）を実施し、衝突時の挙動を把握した。また、事故防止技術として、名古屋市、豊田市においてITS CONNECT車載機を救急車に搭載し事故防止技術の実証実験を開始している。（3の研究と同実験）

今後これらの研究成果を踏まえ、救急車の走行情報（車車間通信など）を用いた事故防止技術の開発、及び衝突時の安全防護に必要な構造・強度等の安全仕様を作成していく予定である。

土砂災害に関する研究開発

消防庁消防研究センター 新井場 公 徳、土志田 正 二、
佐 伯 一 夢

安全で迅速に土砂災害現場で救助活動をするための研究

(1) 消防機関における土砂災害対応の現状と課題

土砂災害は平均して年間約1000件発生し、被害家屋は約300軒¹⁾という我が国の主要な災害の一つであるが、その対応については、個々の消防機関に経験が少ないことが多く、発生時に対応に苦慮することが多い災害でもある。平成26年度の「救助活動の高度化等検討会」では、土砂災害時の救助活動のあり方について検討され、基本原則のほか、救助隊一隊での活動から関係機関集結後の活動まで時系列に沿った安全管理や活動体制、連携のあり方などがまとめられている²⁾。また、当該報告書を参考にして、消防機関においても活動要領などの作成が行われており、土砂災害時の消防機関の対応について、一定の共通認識が醸成されているところである。

土砂災害の救助活動では、安全性の確保及び効率的な活動が求められる。消防研究センターでは、表1の土砂災害において、安全管理のための技術支援を実施している^{3)~8)}。図1は熊本地震による土砂災害現場における危険性評価の例である。これらの経験から、消防機関が活動する時間帯及び環境並びに消防機関の人的資源の現状に適合した土砂災害現場の安全管理のための機材が不足していると感じている。十分な調査及び対策が可能な防災工事とは異なり、消防活動においては、迅速に実施する必要があること、調査を十分に行う時間がないこと及び軟弱な地盤などの環境の悪さがあることから、我が国の高い土木技術が消防活動現場に十分に活かされていない現状がある。

このような背景から、消防研究センターでは、土砂災害に対する特に初動における安全管理及び迅速な救助に関する研究を実施している。また、消防防災科学技術推進制度においては、平成29年度より、「土砂災害現場での搜索救助活動等における二次災害防止を目的とした監視システムの研究開発」課題が実施されており、活動地点の上流に簡単に配置する警報装置の開発が進められているところである。

本稿では、近年の消防研究センターにおける土砂災害に関する研究開発を紹介する。

表1 土砂災害に係る消防研究センターの技術支援の実績

災 害	助言の内容
2004年中越地震	妙見崩壊地での救助活動における、二次的崩落の危険性（土木研究所の後を引き継いだもの）
2006年長野県岡谷市土石流災害	湊6丁目の土石流災害地での救助活動における、二次災害の発生危険性、監視場所及び監視対象、緊急待避にかかる猶予時間、降雨時の活動停止の基準、避難勧告の発出範囲
2008年岩手宮城内陸地震熊倉崩壊地	2箇所崩壊地での救助活動における、二次的崩落の危険性の評価、地下水の湧出量増に伴う退避の助言、立ち入り危険箇所の指定、監視場所、監視対象及び退避範囲の指定
2014年広島市土石流災害	「山が動いている」という通報に対するヘリコプタによる確認、保育園の安全性に関する助言
2016年熊本地震	3箇所の崩壊地において、二次的な崩落の危険性の評価、監視場所及び監視対象の指定、変状の監視、降雨時の活動停止の基準、降雨後の活動再開の判断
2018年北海道胆振東部地震	吉野地区、富里地区、幌内地区における搜索救助活動における、二次災害の発生危険性の評価、降雨時の活動停止基準、二次的な出水に対する対応策



図1 熊本地震による高野台の搜索救助活動現場における危険性評価結果

(2) 崩壊面の再崩壊を監視するシステムの開発

雨や地震を契機として発生したがけ崩れ現場で、再び崩壊が生じることがある（表2）。このような現象による二次災害を防止するため、崩壊面を遠隔で監視するシステムの研究開発を行ってきた。斜面崩壊実験における前兆変形を遠隔から捉えるシステムの開発を行い、地上に設置したレーザースキャナによる繰り返し測量により、崩壊前の前兆変位の検

出が可能であることを示し、その機構について検討を行った^{9) 10)}。地上に設置した場合、死角などがあることから、無人航空機にレーザースキャナを搭載して監視する技術の開発を行った。産業用の遠隔操縦ヘリコプタに、GPS/IMU、高速で長距離計測が可能なレーザースキャナ及びコンピュータを搭載して、レーザースキャンの結果を機体の位置及び姿勢データを元に20Hzでリアルタイムで補正して地上へ電送するシステムを開発し、その精度を検証した¹¹⁾。その結果、大規模な崩壊の前兆として想定される10cm程度の変形は検出可能であるが、表層崩壊の検知に必要な2cm程度の変形の検出は困難であると結論づけている。図2はシステムの変位検出精度の確認試験の様子と結果を示したものであるが、20cmの解像度で解析した場合、パーティションを10cm移動させた場合には検出が可能であるが、5cmは検出が困難であることを示している。

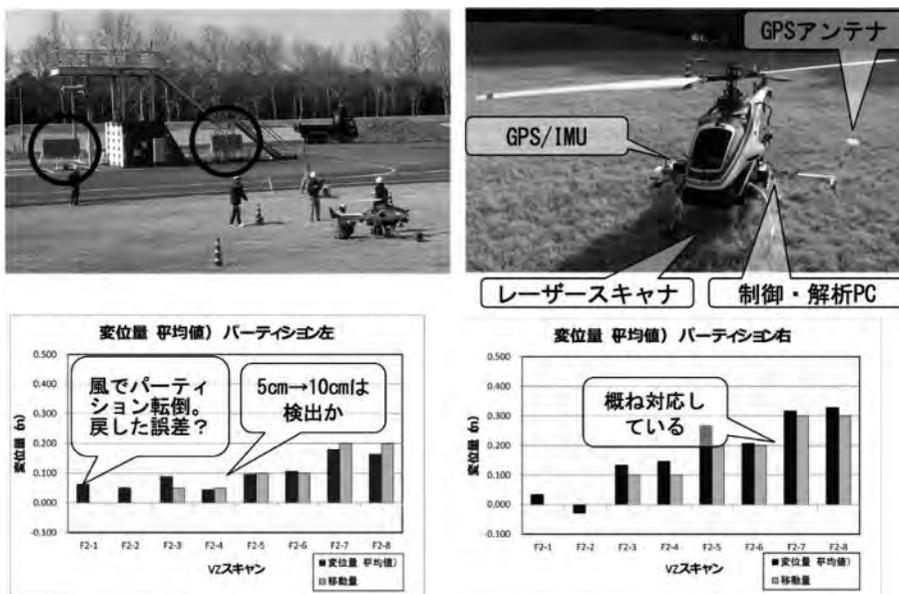


図2 レーザースキャナを無人航空機に搭載して変位を監視するシステムの変異検出精度の確認試験の様子及び結果

表2 一度土砂災害が発生してしばらく経ってから災害が発生した事例

年月日	場所	初めの災害の誘因	初めの現象	続いて発生した現象	概要
1972年 7月5日	高知県土佐山田町繁藤	降雨	崩壊	地すべり	6:45頃に発生した崖崩れによる行方不明者救助活動中の消防職団員等60名が10:55頃に発生した大規模な崩壊に巻き込まれた
1976年 9月13日	兵庫県一宮町福知	降雨	土石流	地すべり	6:50に発生した崩壊で6名生き埋め(うち3名救出)。その後救助活動中に上方山腹に亀裂を発見→撤退。9時頃大規模に崩壊(二次的な被害は無し)
1978年 6月14日	仙台市北根一念坊	地震	亀裂	崩壊	地震の2日後に水道の漏水が緩んだ地盤に浸透して斜面が崩壊した
1978年 6月22日	仙台市南黒松、仙台市旭ヶ丘2	地震	亀裂	崩壊	地震の10日後に降雨により石垣が崩壊した
1989年 8月1日	川崎市高津区蟹ヶ谷248	降雨	崩壊	崩壊	3:15頃に発生したがけ崩れの行方不明者3名の捜索救助活動中の消防隊員が4:20頃発生したがけ崩れに巻き込まれた(3名死亡12名負傷)
1995年 1月 18~19日	兵庫県津名町高滝	地震	亀裂	地すべり	17日5:46に発生した兵庫県南部地震の後18日深夜から19日にかけて地すべりとなり50~60m移動した
2000年 10月9日	鳥取県日野町貝原	地震	崩壊(?)	泥流	10月6日13:30に発生した鳥取県西部地震時にJ Rの線路の一部に土砂が堆積した。2日後の昼頃、泥流状の土砂が流出して来て線路を超えて国道まで到達した。
2000年 7月	東京都神津島物忌奈命神社裏山	地震	崩壊	崩壊	7月1日に震度6弱の地震があり、斜面の一部が崩壊していたが、9日には大規模に拡大していた。7~8日の連続雨量285mmの降雨によるものと見られる。
2000年 7月	東京都神津島集落東縁	地震	不明	崩壊	7月1日の震度6弱の地震時には崩壊していなかったが9日には崩壊していた。7~8日の連続雨量285mmの降雨によるものと見られる。
2003年 7月20日	熊本県水俣市宝内川集地区	降雨	不明	土石流	水防活動中の消防団員3名が4:20頃発生した土石流に巻き込まれ死亡。
2006年 7月19日	長野県岡谷市湊地区	降雨	洪水(土石流?)	土石流	出水に対応中の消防団員が土石流に巻き込まれて死亡。
2007年 7月15日	宮城県白石市小原	降雨	道路脇の崩壊	地すべり	地すべり活動が認識されている中、降雨により道路脇崩壊発生の連絡を17:15頃受けた消防団員3名が確認に向かったところ、大規模に活動を始めた地すべりに載ったまま数百m流された(無傷)。脱出して民家に着いたのは18:27
2014年 8月20日	広島市安佐北区可部東6	降雨	土石流	土石流	4時頃に土石流発生による救助要請があり5時頃に救助活動中の消防隊員及び住民1名が後続の土石流に巻き込まれて死亡。
2014年 8月20日	広島市安佐南区長東西4	降雨	不明	崩壊	降雨が停止して約2時間後に斜面が崩壊(近隣の崩壊が通報されたのは3時間半前)。

(3) 無人航空機(「ドローン」等)の活用

土砂災害や津波災害等の、広い範囲が被害を受け、地形が変わりかつ移動が困難となる災害において、被災状況を早期に把握するための無人航空機の機能及び活用方法に関する

研究を行った。広範囲の災害状況を把握するための無人航空機による偵察に必要な機能や仕様を調べるため、土砂災害地における試験運用、機材改良及び消防隊員からの意見聴取を行い、消防機関による偵察用の無人航空機が備えるべき仕様や機能について検討した¹²⁾。

また、無人航空機を用いて、土砂災害現場や火災上空から安全に偵察活動を行い、消防活動の支援を行うために、風向風速の変動に対しても対応できる飛行制御技術の研究開発を行っている。輸送効率が高く、地上にいる人に対する安全性や視認性が高いという特徴を持つ無人飛行船や、いわゆる「ドローン」と呼ばれる小型の無人ヘリコプタを対象に、風速 8 m/s 以上の状況下において、機体の位置と姿勢を従来よりも高い精度で目標値に保つ制御技術¹³⁾ や、上昇気流のような鉛直方向の風の変動に対しても機体の高さを一定に保つための制御技術を開発した。制御技術の開発にあたり、火災上空を飛行させた場合に、それらの無人航空機がどのような影響を受けるかについての検討も進めた^{14) 15)}。

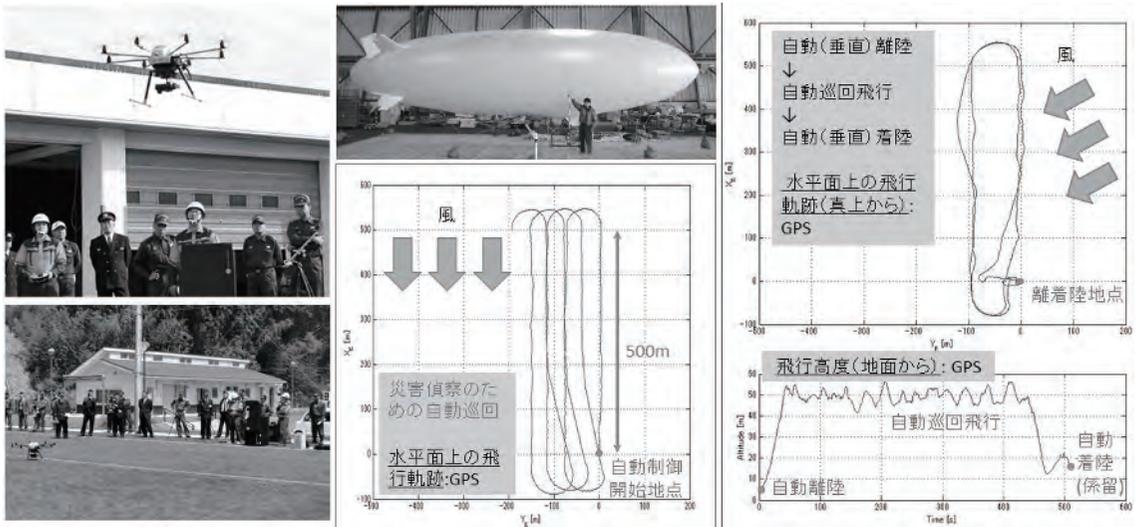


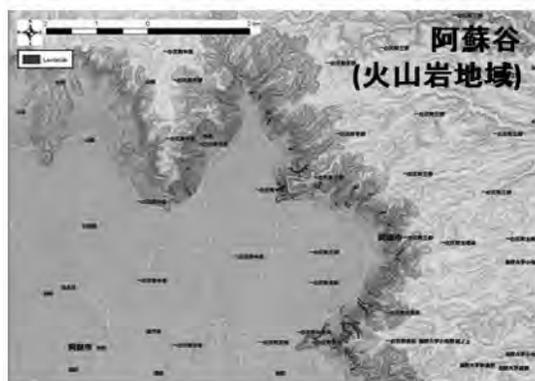
図3 (左) 消防機関での「ドローン」のデモと聞き取り調査の様子 (右) 災害監視・偵察用飛行船型無人飛行船と強風かつ風速変動の大きな状況での自動飛行制御技術の性能評価実験結果の一例

(4) 発生場所の予測

土砂災害は、地形・地質など地域の持つ特性に強く影響を受けることが知られている。しかし、斜面災害の発生危険度評価や、被害範囲の推定に地域的な地形・地質特性を十分に活用しているとは言い難い。本研究では過去の災害事例を調査・解析することで、地形・地質の特性を明らかにし、今後の斜面災害の発生危険度評価や被害範囲の推定に活用できるようにすることを目的とした。

日本全国の地すべり地形がどのような地質に分布しているかについて定量的な評価¹⁶⁾を行ったほか、同じ降雨イベントでありながら異なった地質で発生した斜面崩壊の分布・形状の比較（2011年9月紀伊半島豪雨、2012年7月九州北部豪雨）、および降雨・地震と異なった誘因によって発生した近傍地域（同地質）における斜面崩壊の分布・形状の比較（2012年7月九州北部豪雨、2016年熊本地震において発生した阿蘇地域の斜面崩壊）を行い、それぞれの地域における地形・地質特性を明らかにした^{17)~19)}。

本研究の結果、表層崩壊が多く発生した地形・地質、規模の大きな斜面崩壊（地すべり・深層崩壊）が多発した地形・地質が明らかになり、今後起こり易い斜面災害の種類を推定することができるようになった。一方、地形・地質のみならず降雨の降り方といった誘因の違いによっても斜面崩壊は強く影響を受けるといった課題も見いだした。



個々の斜面崩壊の大きさ
(面積)が大きく異なる

	阿蘇谷	星野村
Num.	94	78
Ave. of area (m ²)	2373.7	6418.9
Max. of area (m ²)	14978.8	64019.9

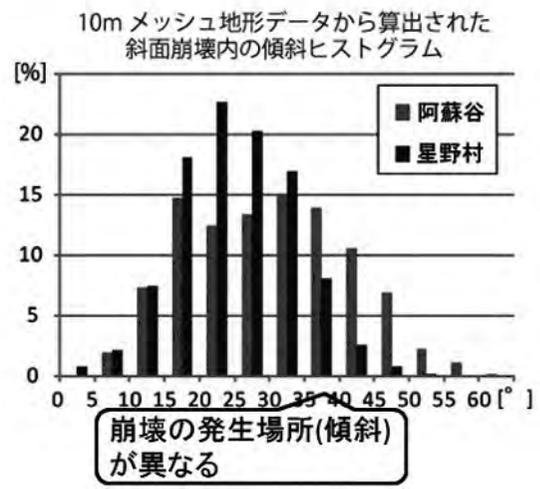
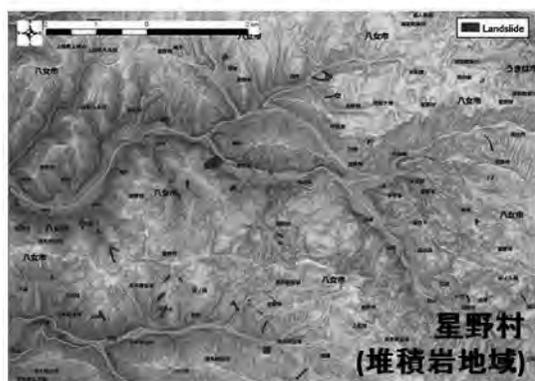


図4 同じ降雨イベント(2012年7月九州北部豪雨)における異なった地質で発生した斜面崩壊の分布・形状の比較結果

(5) 安全で迅速に土砂災害現場で救助活動をするための研究

無人航空機に関する技術、画像解析技術及びセンサー技術の進歩を背景として、土砂災

害現場における救助活動が安全かつ迅速に行えるようにすることを目的として、災害の全体像の把握と資源配分及び要救助者の存在確率の高い場所の絞り込みを目的とした俯瞰的情報の収集・分析の方法の研究並びに要救助者に悪影響を与えないように岩石やガレキを取り除く手法の確立を目的とした岩石の相互関係を現場で推察するための技術開発を平成28年度より行っている。

2011年の紀伊半島における台風12号災害や2014年8月20日の広島市における災害では、二次災害発生危険箇所の把握や要救助者の場所の同定及び現場への安全で迅速な進入経路の設定が困難であり、安全で迅速な搜索救助活動を実現する上での課題となっている。これを解決するため、時間経過と共にその量及び精度が増していく情報から搜索救助活動の安全性及び効率性を向上する情報を得るための方法及び要救助者の存在確率の高い場所を推定する方法について検討する。そのため、過去の土砂災害対応事例について、リモートセンシングデータ、被害発生状況、要救助者の発見位置及び搜索救助活動の状況を収集し、俯瞰的情報から搜索救助活動の安全性及び効率性を向上する情報を得るための方法及び要救助者の存在確率の高い場所を推定する方法について検討している。図5は、ドローンから得られた画像から高低を解析し、地表の荒さから移動の障害を評価しようとしている例である。

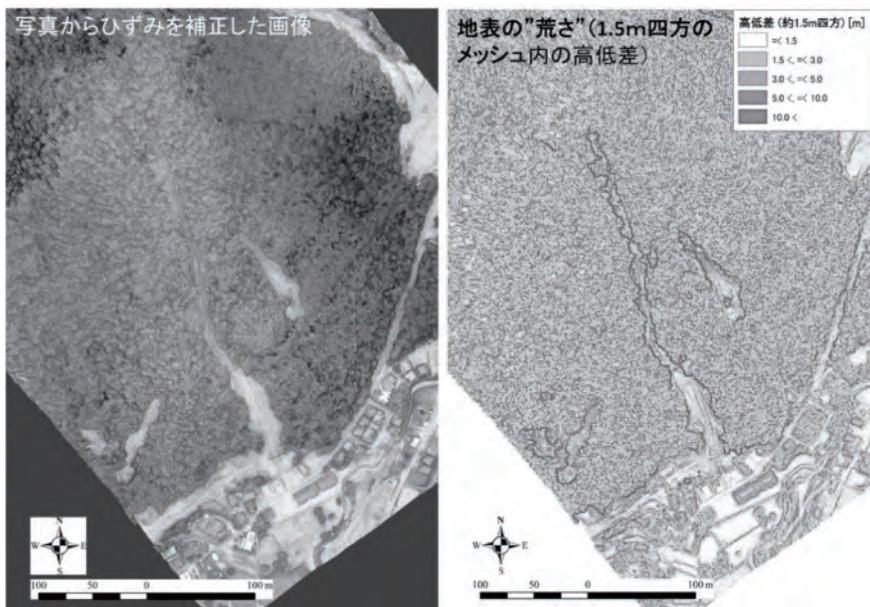


図5 ドローンから撮影した画像から、地表の“荒さ”を評価して移動の障害が少ないルートを探査しようとする研究の例

土砂災害現場においては、土砂や岩石、ガレキなどに要救助者が埋まっていることが多いが、これらを安全に取り除く方法は確立しておらず、現場ごとに試行錯誤で行われている現状がある。例えば、2004年新潟県中越地震時の妙見崩壊地における救助活動では、要救助者を覆っている岩を安全に取り除く順序が分からず、救出に時間を要した。また、2013年伊豆大島の災害では、ガレキに挟まれた生存者が救出作業中に亡くなったことが報告されている。本研究では、岩が堆積している状況を想定し、堆積状況に悪影響を与えずに取り除くことが出来る岩の判定方法について検討し、それを調べる技術を開発しようとしている。図6は岩石が落ちる条件を整理したものである。岩石の振動の特性から作用している力の向きなどを推定して条件に合わない岩石から除去することを考えている。

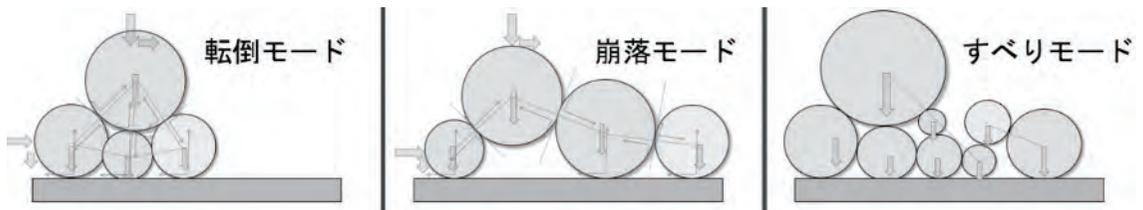


図6 堆積した岩石が落ちる条件

文献

- 1) 「平成29年全国の土砂災害発生状況」、国土交通省HP、<http://www.mlit.go.jp/common/001021024.pdf>
- 2) (「平成26年度救助活動の高度化等検討会報告書 土砂災害時の救助活動のあり方について」消防庁国民保護・防災部参事官付 平成27年3月)
- 3) 消防研究所：斜面崩壊現場の二次崩壊危険度予測手法に関する研究報告書、消防研究所研究資料第70号、平成18年3月
- 4) 新井場公德・田村裕之・杉井完治・喜多洋樹：岩手・宮城内陸地震における斜面災害地での技術支援について、消防研究所報告第106号、pp. 6-16 (2009)
- 5) 新井場公德・田村裕之・杉井完治・喜多洋樹：岩手・宮城内陸地震における斜面災害地での技術支援について、消防研究所報告第106号、pp. 6-16 (2009)
- 6) 新井場公德・土志田正二・尾川義雄：2016年熊本地震時の土砂災害現場における技術支援、消防研究所報告、第121号、pp. 9-22 (2016)
- 7) 新井場公德・土志田正二・尾川義雄：土砂災害地での応急対応活動における危険性管理、日本地すべり学会誌、第54巻2号、pp. 10-17 (2017)
- 8) 新井場公德・土志田正二・佐伯一夢：2014年8月広島市において発生した降雨停止後

- の土砂災害の要因と土砂災害時の活動の安全確保に関する考察、消防研究所報告、第121号、pp. 1-8 (2016)
- 9) Kiminori Araiba and Naoki Sakai: "Laser Scanner Application in Monitoring Short-Term Slope Deformation", Landslide Science for a Safer Geoenvironment, Vol. 2, pp. 5-11 (2014)
 - 10) Kiminori Araiba and Shoji Doshida: Mechanisms for secondary slope failure in slope having failed, Advancing Culture of Living with Landslides, Vol. 2 Advances in Landslide Science, Set 2, pp. 1165-1172. (2017)
 - 11) 佐伯一夢、新井場公德、森川泰、天野久徳：がけ崩れ現場での消防活動における二次被害防止機器の開発ー3次元レーザスキャナとGPS/IMUを用いた上空からの地形計測ー、ロボティクスメカトロニクス講演会2014 (2014)
 - 12) 佐伯一夢、新井場公德、土志田正二：消防活動用小型無人偵察ヘリコプタの運用の課題について、第16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 (2015)
 - 13) Hitomu SAIKI, Taisuke KOBAYASHI, Takanori FUKAO, Takateru URAKUBO, Kiminori ARAIBA and Hisanori AMANO : Control for Suppressing Roll Motion of Outdoor Blimp Robots for Disaster Surveillance, AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2015 (2015)
 - 14) Hitomu SAIKI : Longitudinal Control Considering Trim of Outdoor Blimp Robots for Disaster Surveillance, AIAA Science and Technology Forum and Exposition 2016 (2016)
 - 15) 佐伯一夢：火炎上昇気流中における無人航空機の飛行制御、第58回システム制御情報学会研究発表講演会 (2014)
 - 16) 土志田正二：地すべり地形分布と地質との関係. 日本地すべり学会誌, 52(6), pp. 271-281. (2015)
 - 17) Shoji Doshida: The Difference in the landslide information by the difference between geographical features and geological conditions, Advancing Culture of Living with Landslides, Vol.2 Advances in Landslide Science, Set 2, pp. 999-1005. (2017)
 - 18) Shoji Doshida: The types of the landslide by the heavy rain presumed from geographical and geological features in Japan, 2014 AGU Fall Meeting (2014)
 - 19) Shoji Doshida and Kiminori Araiba: Features of landslides by the Kumamoto Earthquake, in April 2016, compared with the past landslides by rainfall events, 2016 AGU Fall Meeting (2016)

広域火災における火災旋風・飛火による 被害の防止に向けた研究

消防庁消防研究センター 篠原 雅彦、鈴木 佐夜香、
佐伯 一夢

1 はじめに

大規模な市街地火災や林野火災のような広域火災では、火災旋風や飛火が発生して被害を格段に大きくすることがある。

「飛火」とは、火の粉が飛んで来て出火することで、火災を急速に広域化する現象である。2016年12月22日の糸魚川市大規模火災では、強風下で相次いで飛火が発生し、平常時としては1976年の酒田大火以来の大規模な市街地火災となっている。

「火災旋風」とは、火災の内部や周辺で起こる竜巻状の渦で、飛火の距離をさらに伸ばすだけでなく、火災域周辺に猛烈な風を巻き起こして人的・物的被害を拡大する現象である。関東大震災では東京・横浜で100個以上の火災旋風の発生が報告されている。なかでも、4万人の避難者が殺到していた被服廠跡ひふくしょうの空き地では、そこを襲った火災旋風の影響で約3万8千人の人々が亡くなったと言われている。

広域火災の研究は古くから行われてきたが、火災旋風も飛火も、その発生メカニズム、発生条件がいまだに解明されておらず、対策もない。

これらの現象を解明するには、これらの現象を大きく左右する「火災周辺の気流」を理解する必要がある。しかし計測が難しいため、その振る舞いはよく分かっていない。

そこで、我々は、「火災旋風の発生メカニズムと発生条件に関する研究」、「飛火現象における火の粉の着火性に関する研究」、「火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究」の3つのテーマについて研究を行っている。ここで、「火災旋風」と「飛火」の研究については、それぞれの担当者が現在の5ヵ年計画以前から取り組んできたものである。この2つについては、この5ヵ年計画の最初の2年で得られた研究結果のうちのいくつかを取り上げて紹介する。一方、「火災周辺気流の速度場計測」についての研究は、現5ヵ年計画で新たに開始した研究であり、他の2つの研究内容が現象解明であるのに対し、開発研究である。新規の開発研究は開発の最終段階になるまでまとまった成果物は出づらいため、この研究については開発の概要紹介に留める。

2 火災旋風の発生メカニズムと発生条件に関する研究

この研究の目的は、火災旋風の発生メカニズムを解明し、その発生条件と性質を予測

できるようにすることである。これが実現すれば、同時多発火災発生時に、大きな被害を及ぼす火災旋風が発生しそうな場所を予測できるようになり、それによって、優先的に消火すべき火災を特定でき、また、効果的な避難方法を提示できるようになる、と考えている。

火災旋風には大きく分けて3種類ある。火災域の周辺で発生する「火炎を含まない黒煙状の竜巻状渦（以後、黒煙状渦と呼ぶ）」、火災域の内部で発生する「火柱状渦」、火災域全体が回転する「火災嵐」である。黒煙状渦は、周囲の火炎を巻き込んで火柱状渦になることもある。火柱状渦の内部から火炎がなくなり、黒煙状渦になることもある。下部のみ火炎が入った黒煙状渦もある。

著者は、関東大震災で被服廠跡を襲ったタイプの火災旋風は、当時の様々な証言から、被服廠跡にやってきた時点では黒煙状渦であると考えている⁽¹⁾。この黒煙状渦は、有風下の火災域風下で発生しやすいことがこれまでに分かっている。

そこで、著者はこれまで、このタイプの火災旋風について、風洞実験を中心に研究を進め、このタイプの火災旋風の発生メカニズムや性質が徐々に明らかになってきた。これまでの研究結果の概要や発表論文の情報については、消防研究センターのホームページ上にある消研輯報を参照いただきたい。

この5年間の計画では、新たに低風速風洞を製作し、これまでの実験研究をさらに進める予定であった。ところが、計画開始2か月前に、めったにできない屋外での大規模な火災実験を行う機会を得た。この実験では火災旋風や、火災旋風と密接な関係がある火災上昇気流内の渦対に影響を受けたと考えられる火災周辺気流の観測ができた。さらに、その年の4月には熊本地震が、12月には糸魚川市大規模火災が発生した。そのため、最初の2年間はこの実験の解析と、これらの災害調査の解析に多くの時間を費やし、風洞はいまだ製作中である。しかし、糸魚川市大規模火災の調査・解析では、上述の屋外大規模火災実験で観測、解析した上昇気流内の渦対の影響と考えられる現象に関して、いくつかの知見が得られた。そこで、ここでは屋外大規模火災実験と糸魚川市大規模火災で見られた上昇気流内の渦対に関連する現象に絞ってその結果を紹介する。

2.1 屋外火災実験における火災周辺気流と上昇気流内の渦対⁽²⁾

屋外大規模火災実験は木造密集市街地の延焼状況を調べることに主目的の実験で、1/3スケールの木造住宅19棟のうちの1棟に着火して、その燃え広がり状況を観測した。その際、火災旋風の発生を期待して風速計、差圧計などの測定器やビデオカメラを複数台設置し、火災旋風、火災周辺気流などの観測も行った。

その結果、図1、2に示すように、火災風下地上部（地点P3、P5）の風速は、風上から風横にかけての地上部（地点P2、P6）の風速よりも大きく、図2に示すように、火災

からの上昇気流の傾きの増加に伴って、風上から風横にかけての地上部の風速よりも大きく増加する傾向があることが明らかになった。これは、一般風の風速増加によって上昇気流が傾くと、火災風下地上部には上昇気流内及びその周辺の旋回気流が近づくためである可能性があることを観測結果より示した。ここで、有風下では、火災から発生する上昇気流は風下に向かって傾き、二股に分かれ、互いに逆方向に回転する渦対（Counter-rotating Vortex Pair、CVP）を形成する。この渦対により旋回気流が発生する。

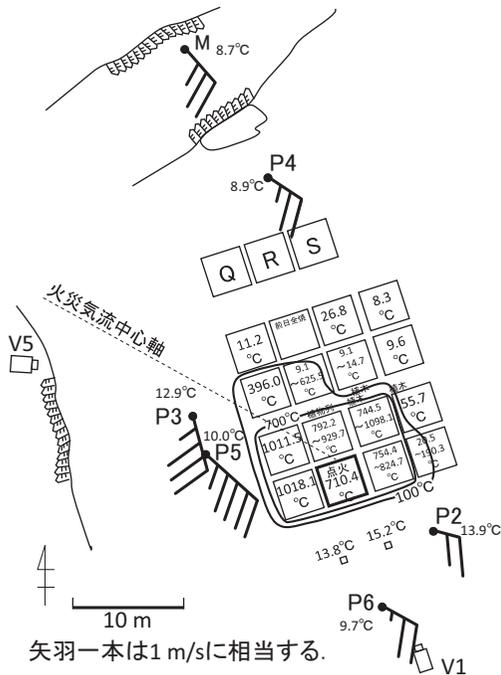


図1 屋外大規模火災実験での着火20分後の火災周辺の1分間平均風向・風速および家屋内温度分布

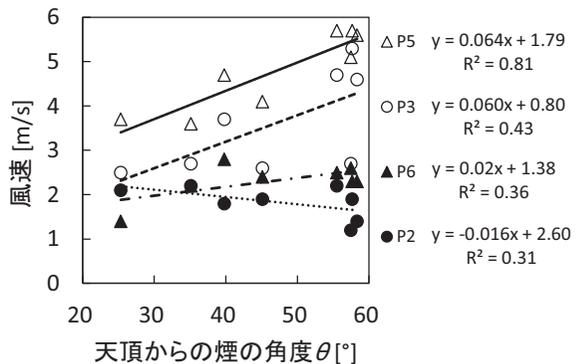


図2 屋外大規模火災実験での火災からの煙の傾きと火災周辺地上部での風速の関係

また、火災風下地上部の風向は、図1に示すように、火災気流中心軸に近いP3の方が火災気流中心軸から遠いP5よりも、火災気流中心軸に直交する向きにそれていることが分かった。ここで、火災気流中心軸とは、火災の中心部から、一般風の風向に近いP6の風向と平行に引いた直線のことである。この現象は、旋回気流の螺旋状の流れの影響であると考えることができる。さらに、火災風下地上部の風向は、上昇気流の傾きが変化しても変動が少なかった。

以上の結果は、火災旋風の一形態とも考えられている火災上昇気流内の渦対（CVP）が引き起こす旋回気流が、延焼、火の粉の飛散、消火などを左右する可能性が高い火災周辺

の気流に大きな影響を与えていることを示唆している。

2.2 糸魚川市大規模火災における延焼速度・飛火位置に上昇気流内の渦対が与えた影響^(3,4)

実際、糸魚川市大規模火災では、上昇気流内の渦対（CVP）が引き起こす旋回気流の影響によって延焼速度が増大したのではないかと考えられる状況や、この旋回気流が飛火の位置に影響を与えていた可能性が明らかになった。

糸魚川市大規模火災の調査・解析結果から分かった延焼速度を図3に示す⁽³⁾。延焼速度は図中の各矢印の始点から終点までの間の延焼について求めた。矢印の側に延焼速度を記している。延焼領域の西部のAとBを比べると、東向きのBの延焼速度は、西向きのAの延焼速度の約1.5倍である。CVPは、風下が北の場合、火災風下の西側地表付近では東向き成分の風を、東側地表付近では西向き成分の風を持つ。BがAよりも速いことは、この渦の回転が引き起こす地上付近の風が延焼速度を増加させたと考えるところとつじつまが合う。ただ、場所が異なれば可燃物である建物の構造も材質も隣棟間隔も異なるため、この延焼速度の差が本当に渦の回転の影響かどうか断定はできない。しかしA付近を撮影した写真では、ホースから上向きに出た水が東向きに流されており、これはCVPの回転が引き起こす風向に一致する。このことは地上付近の風がCVPの影響を受けていた可能性を支持している。このことはまた、CVPによる風が放水障害にもなる可能性も示唆している。

図4は、調査から分かった飛火の位置に、空撮映像から得られた火災からの煙の上空での輪郭の位置を重ねたものである⁽⁴⁾。煙の輪郭は、13時25分30秒前後の空撮映像から描いた。ただし、映像は火災周囲の上空から斜め下方向に撮影されているため、煙の完全な水平投影図ではなく誤差は大きい。13時25分以降の飛火時刻は白抜きで記した。図から、この時刻以降の飛火の位置は、上空の煙の輪郭近傍に多いことが分かる。このことは風で傾いた火災からの上昇気流内の渦対（CVP）によって火の粉が風と直交する方向、ここでは東西方向に飛散する可能性を示している。もしも市街地火災においてこの傾向が本当にあるのだとしたら、上空の煙の両サイドの下付近を飛火警戒すると効果的であるということになる。ただ、延焼範囲の中央部は煙に覆われている時間が長かったため、中央部にもっと多くの飛火があった可能性があるため、この傾向についてはさらに研究が必要である。

今後、屋外実験、糸魚川市大規模火災で得られた結果のさらなる考察と、火災旋風の実験研究を進めていく予定である。

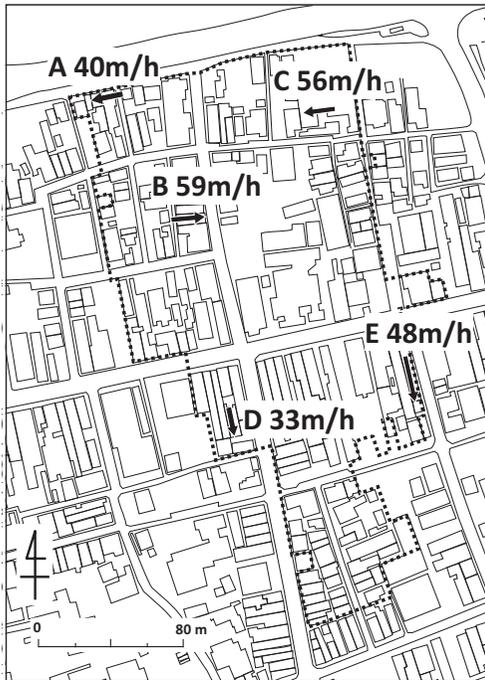


図3 糸魚川市大規模火災の延焼速度。矢印の始点から終点までの延焼についてその速度を求めた。点線は延焼範囲。

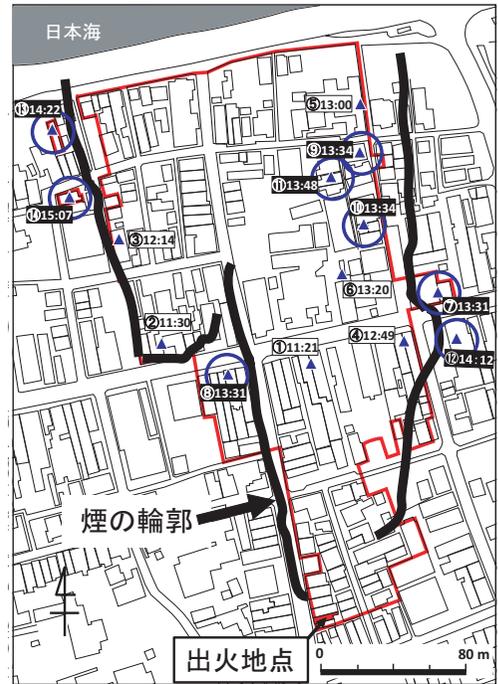


図4 糸魚川市大規模火災での飛火の位置と上空の煙の輪郭。▲は飛火の位置。時刻は飛火推定時刻。時刻の前の丸で囲んだ数字は飛火の順序。赤の線は延焼範囲。黒の太線は13時25分30秒前後の上空の煙の輪郭。この時刻以降の飛火は青の丸で囲んである。

3 飛火現象における火の粉の着火性に関する研究

火の粉による飛火は火災拡大の大きな要因となっているが、その着火性に関しては検討され始めたばかりである。何にどのように着火するのか、何が着火の主な要因なのか、ということがわかっていないため、火の粉による着火を防止する方法も分かっていない。「火の粉による建物着火」という点に関しては国によらず共通であるため⁽⁵⁾、大規模屋外火災が問題になっている米国研究機関（米国国立標準技術研究所・NIST）と共同研究を行っている。

2016年度からの研究計画においてはどのような火の粉が発生するのか（発生実験）、火の粉によってどのように着火するのか（着火実験）を行っている。同時に大規模実験を模擬できる中規模実験の開発も進めている。また、2016年12月22日に起こった糸魚川市大規模火災を受けて火の粉の採取・再現実験に取り組んだ。

3.1 火の粉発生実験

屋根・壁を対象として再現性のある実験手法を確立することを目指した大規模・中規模火の粉発生実験を行った。バーナーを用いて一定時間無風下で燃焼させた後、風速 6 m/s もしくは 8 m/s での火の粉の発生の様子と発生した火の粉の性状確認を行った。中規模実験では大規模実験を再現することのできる手法を開発することが出来た。採取した火の粉のほとんどは質量 1 g、投影面積 20cm²以下であった⁽⁶⁾。また、建築資材の違いによって発生する火の粉が異なることもわかった⁽⁷⁾。一回の実験で数百個から数千個の火の粉の解析が必要なため、火の粉の性状に関しては継続して解析を続けていく。

3.2 火の粉による着火実験

火の粉による着火を検証する上で、風に舞う火の粉を再現する必要があるため、火の粉発生装置を用いた実験を行っている。現在火の粉発生装置 (NIST Dragon) は大規模実験用と中規模実験用 (baby Dragon) がある。

3.2.1 壁面・壁面外装材を対象とした実験⁽⁸⁾

家屋の中でも大部分を占める壁面・壁面外装材を対象とし、火の粉発生装置を用いて大規模実験を行い、壁面の、火の粉による着火メカニズムを調べた。また、壁面周囲の脆弱部位を確認した。大きさの違う壁面を対象として壁面周囲の火の粉の挙動を観察することで、火の粉の堆積しやすい場所、火の粉によって着火しやすい部分の確認を行った。

風速が 10m/s になると、火の粉が壁面前方に堆積することが不可能であり、そのため、可燃物等が周囲に存在しない場合には、着火の可能性が低くなることが予測された。また、フェンスを用いて壁面に対する着火の効果を確認した。ラティスフェンスを用いて風速を変化させて実大実験を行ったところ、風速によって着火挙動が異なることが確認された。風速が速くなればなるほど、壁で押し返される力が強くなり、壁への到達が遅れることが分かった。

壁面・壁面外装材を対象として、大規模実験を模擬することが可能な中規模実験手法を確立した。大規模実験と同様の実験を中規模実験施設で行い、壁面周囲の火の粉の挙動に関して同様の結果を得ることができた。フェンスを用いた実験では、実大実験の 4 分の 1 のモックアップを作成し、実験を行った。実大実験と同じ風速で実験を行ったところ、実大実験と同様の現象が確認できた。今後実験を工夫することで、中規模実験を実大実験のスクリーニング試験として利用できる可能性が示唆された。

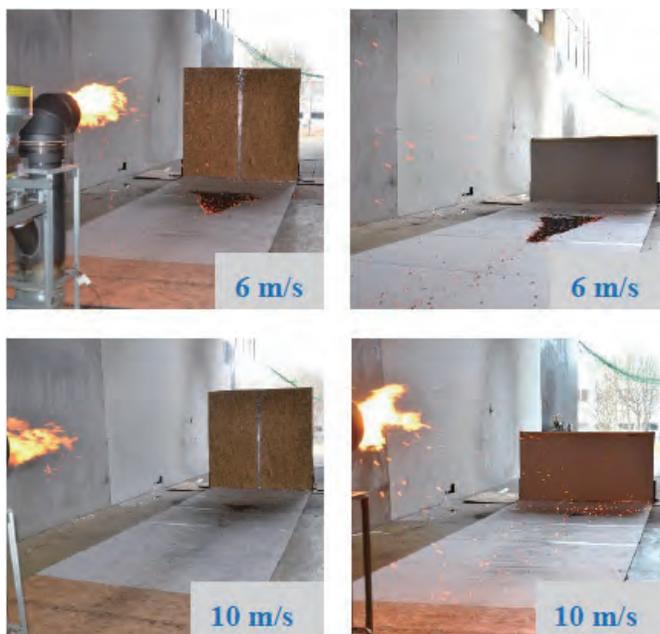


図5 壁面周囲の火の粉の堆積の様子⁽⁸⁾

3.2.2 瓦屋根の脆弱性確認実験

糸魚川市大規模火災を受けて、日本瓦屋根を含めた屋根瓦を対象とし、火の粉発生装置を用いた大規模・中規模実験を行い、瓦屋根付近での火の粉の挙動を観察した。大規模・中規模両方の実験で火の粉が瓦の下に潜り込む現象を確認した。着火は確認できなかったが、栈木（さんぎ）が焦げているのが確認された。潜り込んだ火の粉によって屋根の栈木・野地板等から着火に至る可能性が確認できた⁽⁹⁾。



図6 日本瓦を対象とした中規模実験の様子

3.3 糸魚川市大規模火災において採取した火の粉

糸魚川市大規模火災で採取した火の粉の解析を行った。最大の火の粉は114gあったが、火災現場で採取した火の粉に関しては質量0.1g以下の小さなものが60%以上を占めていた。また、火の粉の投影面積と質量の間には正の相関関係が見られた⁽¹⁰⁾。

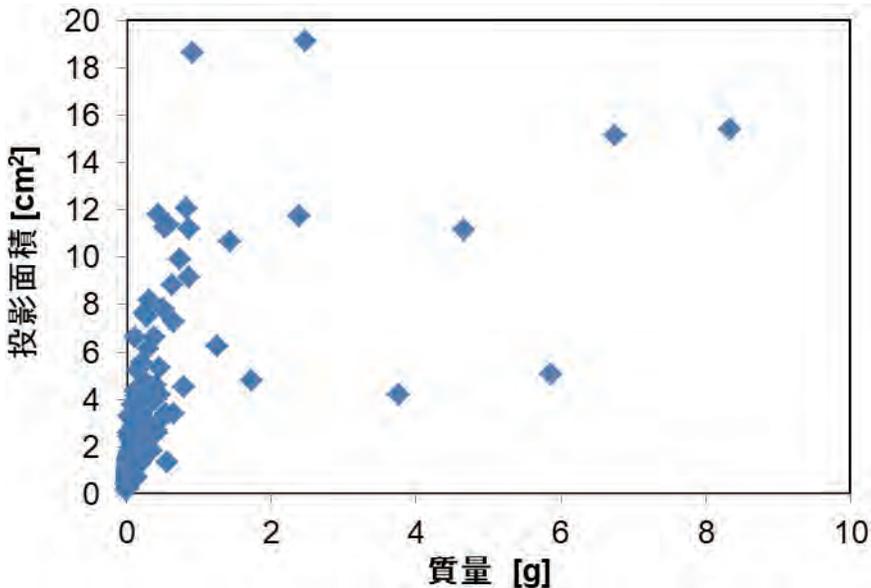


図7 質量10g、投影面積20cm²以下の火の粉の質量と投影面積

飛火被害を受けた箇所は目撃情報、半焼家屋の状況から屋根が多いと考えられる。また、飛火を受けたと考えられる家屋の全てが瓦屋根であり、屋根の棟が火元に向いていたと考えられる。

4 火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究

本章では、火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究について述べる。この研究の目的は、野外で火災周辺の気流を可視化し、その流れの速度を詳細に計測する手段を開発することである。近年、野外で気流の速度を計測する手段として、ドップラーライダーや、ドップラーソーダなどの技術開発が行われ、計測精度も年々向上してきているが、本研究では、30m×30mの領域内の気流をターゲットに、その領域内の詳細な流れの速度分布を計測する方法の確立を目指している。具体的には、主に次の2つの技術の研究開発に取り組んでいる。

① 野外で火災周辺の気流を可視化する画像処理技術

② 計測誤差をもつ①で得たデータをもとに、真の速度分布を推定するフィルタリングアルゴリズム

火災周辺の気流の可視化手段の開発では、流れの速度分布を計測する方法であるPIV (Particle Image Velocimetry) やTIV (Thermal Image Velocimetry) を組み合わせ、野外での気流の流れが可視化可能な新たな画像処理技術の開発を進めている。これまでの2年間では、可視化技術の基本的な原理の開発と、基本的な可視化の性能(計測速度や計測精度)を明らかにするための基礎実験を実施してきた。

また、①の技術を用いて、同時刻において複数の地点で計測、可視化した気流の流れの情報をもとに、計測誤差を推定し、気流の流れの真の速度分布を算出するフィルタリングアルゴリズムの研究開発も並行して進めており、数値シミュレーションによる方法の確立に取り組んでいる。

最終年度には野外での計測実験の実施を計画しており、これまでにない計測技術で「飛火」や「火災旋風」といった現象の解明にどの程度寄与できるかを明らかにしたいと考えている。また、局所的な火災周辺の気流の流れを測れるようにすることで、将来的には、火災時の空中偵察や効率的な消火の実現に寄与できる技術になることを願っている。

5 おわりに

火災旋風も飛火も、実際の現象を観測することは極めて難しい。そのため、今後も各種規模の実験を中心に研究を進めていく予定である。現象の理解は、新たな計測技術の誕生により飛躍的に進むことがある。引き続き、現象解明と計測技術の開発を地道に進めていきたい。

参考文献

- (1) 篠原雅彦、関沢愛、関東大震災で被服廠跡を襲った旋風についての新たな仮説：日本火災学会誌 火災57巻4号、pp. 33-39、2007.
- (2) 篠原雅彦、ほか4名：中規模模型家屋群を用いた火災拡大実験 その3 火災風下の風、平成29年度日本火災学会研究発表会概要集、pp. 174-175、2017.
- (3) 篠原雅彦、ほか8名：糸魚川市大規模火災の延焼動態とその特徴、安全工学シンポジウム2018講演予稿集、pp. 436-439、2018.
- (4) 篠原雅彦、ほか8名：糸魚川市大規模火災での飛火の位置と飛火数の時間変化 — 風・上空の煙の輪郭との関係 —、平成30年度日本火災学会研究発表会概要集、pp. 58-59、2018.
- (5) Manzello, S.L., and Suzuki, S.: Special Issue on Operation Tomodachi-Fire

Research, Fire Technology, Vol. 52, pp. 959-966, 2016.

- (6) Manzello, S.L., Suzuki, S., Naruse, T : Quantifying wind - driven firebrand production from roofing assembly combustion, Fire and Materials, (published online April 2018, DOI: 10.1002/fam.2661)
- (7) Manzello, S.L., Suzuki, S., Naruse, T. : Influence of base sheathing material on wind-driven firebrand production during real-scale building component combustion, 11th AOSFST, Taipei Taiwan, 2018.
- (8) Suzuki, S. and Manzello, S. L.: Experimental Investigation of Firebrand Accumulation Zones in Front of Obstacles, Fire Safety Journal, Vol. 94, pp. 1-7, 2017.
- (9) Suzuki, S. and Manzello, S. L.: Experiments to Prove the Scientific-Basis for Laboratory Standard Test Methods for Firebrand Exposure', Fire Safety Journal, Vol. 91, pp. 784-790, 2017.
- (10) Suzuki, S. and Manzello, S. L., 'Characteristics of Firebrands Collected from Actual Urban Fires' Fire Technology, (published online July 2018, DOI 10.1007/s10694-018-0751-x)

危険物に関する火災の消火および 危険性評価に係る研究紹介

消防庁消防研究センター 岩田雄策

1 はじめに

近年、一旦火災が発生すると消火が困難な物質および火災危険性に関して知見が少ない物質が普及し、危険物施設における火災・爆発事故の発生が後を絶たないなど化学物質に関する防火安全上の課題が生じている。

消防研究センターでは、長年にわたって危険物の事故・災害の抑止を図るため、危険物等の化学物質について、消火方法および火災危険性の評価に関する研究・開発に取り組んできている。

2 本研究のスタッフ

本研究は、危険性物質研究室の内藤、岩田が担当している。

3 泡消火技術の高度化に関する研究

危険物施設の老朽化に伴い、火災・流出等の事故発生件数は、最も低い平成6年時に比べ、近年では約2倍に増加している。直下型地震等による危険物施設の大規模災害の発生リスクも非常に高まっており、地震・津波発生時における石油タンクなどの重要インフラ設備の災害・事故対策、消火技術に関する開発等は、今後、災害に備えるべき重要な課題である。特に石油タンク火災や流出油火災時の消火対応としては、泡消火が最も有効であるが、その泡消火過程は、燃料の種類、泡の投入方法、泡消火剤の種類、泡性状（起泡性、保水性、流動性）が関与する極めて複合的な現象であるため、泡の性能を定める「泡消火薬剤の技術上の規格を定める省令」においても、消火性能評価試験の実験条件等は、海外の規格の条件を参考にしたり、また経験的に取り決められていたりするのが現状である。また現在、危険物用に販売されている泡消火薬剤は、規格省令試験には合格し、一定の実験条件等（ガソリン・n-ヘプタン、所定の寸法・形状の火皿や定められた発泡器等）における泡消火性能評価であり、それ以外の消火性能データ等の蓄積は、ほぼなされていないのが現状である。そのため、泡消火性能の定量的な評価は、極めて難しく、大規模石油タンク火災等に対する詳細な消火戦術や、より効率的な泡消火技術の提案までには至っていないのが現状である。

更に、国際的な動向として、2009年に開催された、ストックホルム条約（POPs条約）

の第4回締約国会議（COP4）で、残留性有機汚染物質である、ペルフルオロオクタン
スルホン酸（以下PFOS）とその塩類を含む9種類の物質が、同条約の付属書Bに追加
された。このことを受け、2010年の化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化
審法）改正時に、第一種特定化学物質に指定され、日本国内においても、PFOS含有の
泡消火薬剤は、事実上使用禁止となった。PFOSとその塩類は、水にも油にも溶けやす
いため、主に界面活性剤として利用され、最近まで撥水剤や紙の防水剤及び泡消火薬剤
等の製品に使用されてきた。また、PFOSは安定な化学構造をしているため、環境中で
分解されにくく、高い蓄積性も有するため、近年、野生動物や環境中に広範囲に存在し
ていることが報告されている。難分解性、生物蓄積性、長距離移動性、人の健康又は環
境への悪影響を有する化学物質である。しかしながら、石油タンク火災時に使用される
泡消火薬剤のほとんどは、消火性能を担保するために、フッ素化合物（PFOSやペルフル
オロオクタン酸（以下PFOA））が含有されている。現在、規制対象となっていない
PFOAの使用禁止も、近い将来、危惧されている。このような状況を踏まえ、現在、国
家検定品として販売されている泡消火薬剤に添加されているフッ素化合物が、将来、使
用禁止になった場合を想定し、その使用禁止が消火性能に与える影響評価と、フッ素フ
リー泡消火薬剤で消火対応する場合の具体的な泡供給率等の対応策を検討した。これら
成果を以下にまとめる。

3.1 燃焼油面中におけるフッ素含有及びフッ素フリー泡の挙動解析及び消火性能の比較

試作したフッ素フリー泡消火薬剤と泡性状コントロールノズルを使用し、所与の起泡性
（発泡倍率）、保水性（還元時間）の泡を生成させるための条件を明らかにして、泡性状の
データベースを作成した。この泡性状データベースを用いて、フッ素含有及びフッ素フリー
泡消火薬剤の消火性能比較実験を行った。その結果、泡消火薬剤の種類により消火性能は
異なるが、フッ素化合物の添加の有無が火災抑制の効果に大きく影響し、泡の消火性能を
担保する上で重要であることを、実験的に明らかにした。

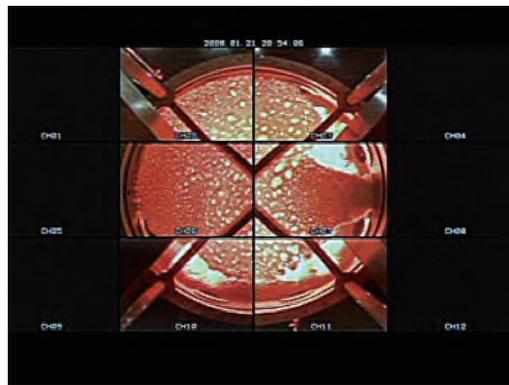
また、燃焼油面中の泡の挙動解析については、泡消火過程を可視化できるガラス製のタ
ンクを作製し、泡の被覆面積や泡の厚さの解析を行った（図1：小規模タンク実験装置を
用いた泡消火実験の様子）。その結果、効果的に火災抑制可能な条件は、粘性付与水性膜
泡（以下AR-AFFF）の場合、泡の被覆率が80%以上、フッ素たん白泡（以下FP）の場合、
泡の被覆率が70%以上で、油面中心付近の見かけ泡厚さが25mm以上確保される条件であ
れば、効果的な火災抑制が可能であることが示唆された。



(a) 燃焼実験の様子



(b) 火炎と泡の様子



(c) 泡の燃焼容器表面に対する被覆状況

図1 小規模タンク実験装置を用いた泡消火実験の様子

3.2 泡性状と消火限界泡供給率の関係の検討

各泡消火薬剤（AR-AFFF、FP、フッ素フリー粘性付与水成膜泡（以下N-AR-AFFF）、フッ素フリーたん白泡（以下N-FP））に対する、各泡性状（発泡倍率（以下E）、還元係数（以下C））の消火限界泡供給率（以下 Q_c ）の検討を行い、以下のことが明らかとなった。

- 1) AR-AFFFの場合、泡消火性能の指標である積算放射熱量抑制効果（以下 γ ）を、 $\gamma = 70\%$ を達成（消火可能な閾値）するための泡性状毎の消火限界泡供給率（以下 Q_{c70} ）は、 $0.7 \sim 1.2$ (L/min/m²) となり、N-AR-AFFFの場合、 Q_{c70} は、 $1.7 \sim 2.2$ (L/min/m²) となる。また、AR-AFFFの最小消火限界泡供給率（以下 Q_{c70min} ）は、 0.69 (L/min/m²) となり、N-AR-AFFFは、 1.71 (L/min/m²) となる。これより、フッ素フリー泡消火薬剤のN-AR-AFFFで消火対応する場合、フッ素含有泡のAR-AFFFに比べ、約2.5倍以上の泡供給率で対応する必要があることを明らかにした。
- 2) FPの場合、 $\gamma = 70\%$ を達成するための泡性状毎の Q_{c70} は、 $0.8 \sim 1.2$ (L/min/m²) となり、また、N-FPの場合、 Q_{c70} は、 $1.0 \sim 1.8$ (L/min/m²) となる。さらに、FPの Q_{c70min} は、 0.81 (L/min/m²) となり、N-FPは、 0.97 (L/min/m²) となる。これより、フッ素フリー泡消火薬剤のN-FPで消火対応する場合、フッ素含有泡のFPに比べ、約1.3倍以上の泡供給率で対応する必要があることが明らかとなった。

3.3 燃焼規模と消火限界泡供給率の関係の検討

燃焼規模が消火限界泡供給率に及ぼす影響の評価を目的とし、スケールアップした石油タンク模型（4 m²タンク）を用いた泡消火実験を行い、小規模石油タンク模型（1 m²タンク）との比較を、泡消火性能の指標である積算放射熱量抑制効果（以下、 γ ）により評価した。その結果、フッ素含有泡であるAR-AFFFの場合、4 m²タンクにおける γ は、1 m²タンクに対して約50～70%減少した。また、FPの場合、4 m²タンクにおける γ は、1 m²タンクに比べ、約15%減少した。燃焼規模の変化において、 γ の低下は、AR-AFFFほど大きくなく、規模効果が比較的少ない泡消火薬剤であることが定性的に明らかとなった。一方でN-AR-AFFFの場合、4 m²タンクにおける γ は、1 m²タンクに比べて約20%増加し、N-FPの場合も同様に、 γ は1 m²タンクに比べて約8%増加する結果となった。これは、燃焼規模の大きいタンクの方が消火性能が高くなることを示しており、フッ素含有泡の規模効果の検討結果と大きく異なる結果となった。しかし、消火限界泡供給率近傍での検討であるため、消火不安定性や、フッ素フリー泡は耐熱性がフッ素含有泡に比べて劣ること、さらに、1 m²タンクと4 m²タンクで、泡放出口の構造の違いにより、泡の被覆速度が大きく異なっている可能性も考えられる。引き続き、油面被覆速度を可変した場合の消火性能の違いや、泡の動粘性係数をパラメータにした場合の消火実験を通し、スケール則に沿った、燃焼規模効果の検討を行う必要があると考えられる。

3.4 フッ素フリー泡消火薬剤代替時の泡供給率の検討

現行の消防法のうち、「製造所等の泡消火設備の技術上の基準の細目を定める告示（総務省告示第559号）」では、上部泡放出口（Ⅰ型、Ⅱ型）に対する泡供給率は、4（L/min/m²）と規定されているが、フッ素フリー泡消火薬剤で消火対応する場合、同等な消火性能を得ようとする、各泡性状（発泡倍率 以下E、還元係数 以下C [s⁻¹]）に、対する係数を乗じた泡供給率で対応する必要がある。泡性状係数の算出においては、最も消火効率の高い泡性状で得られる、AR-AFFF、FPの最小消火限界泡供給率（以下Q_{c70min}）を用い、各泡性状の消火限界泡供給率（以下Q_{c70}）との比を、泡性状係数とした。

表1に示すように、AR-AFFFは、泡性状の変化により、最大で1.8倍の泡供給率で消火対応しなければならないことを示し、また、N-AR-AFFFにおいては、泡性状を最適化しても2.5倍以上の泡供給率で対応する必要があることが分かった。また、FPは、泡性状の変化により、最大で1.7倍の泡供給率で消火対応しなければならないことを示し、また、N-FPにおいては、1.3倍以上の泡供給率で対応する必要があることが分かった。

今後、フッ素フリー泡消火薬剤代替時の泡供給率を厳密に考える場合は、泡性状に対する係数だけではなく、油種の違いや、泡の投入方法、燃焼規模による各係数の検討も併せて行う必要がある。

表1 泡性状係数

AR-AFFF		C[s ⁻¹]					
		0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
E[-]	4	1.1	1.1	1.3	1.3	1.4	1.8
	8	1*	1*	1.3	1.3	1.3	1.7
	12	1*	1.0	1.2	1.3	1.4	1.4
N-AR-AFFF		C[s ⁻¹]					
		0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
E[-]	4	2.5	2.6	3.0	-	-	-
	8	2.5	2.5	2.8	3.2	-	-
	12	2.5	2.5	2.7	2.9	-	-
FP		C[s ⁻¹]					
		0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
E[-]	4	1.1	1.3	1.3	1.6	1.6	1.7
	8	1.3	1.3	1.3	1.6	1.6	1.6
	12	1*	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7
N-FP		C[s ⁻¹]					
		0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006
E[-]	4	2.0	2.2	2.1	2.1	2.4	-
	8	2.1	1.7	1.4	1.7	1.9	2.0
	12	2.1	1.5	1.3	1.4	1.7	2.1

*E：発泡倍率 [-]，C：還元係数 [s⁻¹]

4 化学物質の火災危険性を適正に把握するための研究

現代社会において、科学技術の発達および社会環境の変化にともなって、膨大な種類の化学物質が製造・使用されている。さらに、化学物質は貯蔵・取扱の形態によって、種々の火災危険性を有する。化学物質を取り扱う危険物施設等が、一旦、火災となると多大な人的被害および経済的損失をもたらす。化学物質の火災を予防するためには、膨大な化学物質の火災危険性を適正に把握し、火災予防・被害軽減対策を立案しておくことが重要である。しかしながら、消防法等を含む従来の火災危険性評価方法では、加熱分解、燃焼性、蓄熱発火および混合等に対する危険性評価が困難で不十分な場合がある。また、地球温暖化対策やエネルギー源の多様化に対応するために、近年、多種類の再生資源燃料等が開発されているが、再生資源燃料等の中には、火源が無くても蓄熱によって自然発火するものがある。

本研究において、化学物質および再生資源燃料等について現在把握できていない火災危険性を明らかにするために、適正な火災危険性評価方法を提言することを目的とする(図2)。提言した評価方法を用いて得られた火災危険性に関する知見は、化学物質による火災に対する予防・被害軽減対策に役立てることができる。また、火災原因物質の火災危険性を適正に把握することによって、火災原因調査にも有用な情報を与えることができる。以下、研究成果の一部を紹介する。

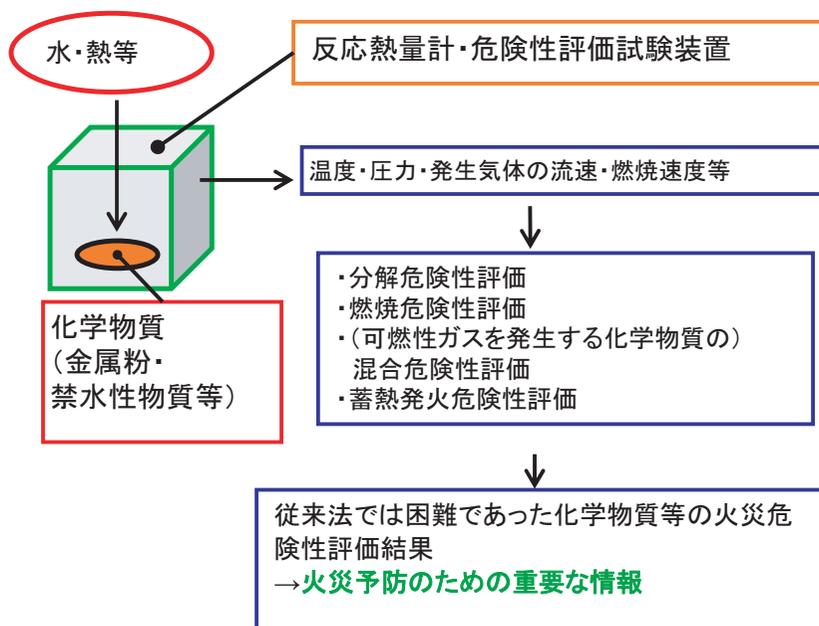


図2 化学物質の火災危険性を適正に把握するための研究の概要

4.1 本研究に使用する主な熱量計等について

化学物質等による火災の発生・拡大において必ず熱の発生がある。特に初期段階での非常に微少な熱の発生とその蓄積は、火災原因と直接結び付くため極めて重要で、これを捉える必要がある。また、危険性物質の分解において、大量のエネルギーが放出されるため、火災危険性を把握するためには少量の試料量を用いて安全に測定を行う必要がある。そのため、少量の試料で安全に測定できる高感度の熱分析装置は、化学物質等の火災危険性評価および火災原因調査に有効な手段である。本研究において、高感度な熱分析装置から得られた測定結果を元に、危険性物質および再生資源燃料等の火災危険性およびその評価手法について幅広く研究を実施している。

TG-DTA（熱重量－示差熱測定装置）またはDSC（示差走査熱量計）は化学物質の火災危険性を把握するためのスクリーニング試験に使用した。C80（双子型高感度熱量計）およびTAM（等温型高感度熱量計）は微少発熱の検知に使用した。C80は基準容器および試料容器を持ち、周囲を昇温することにより試料容器からの発熱を、熱流束として検知する熱流束型熱量計である。基準容器および試料容器の周囲温度を昇温して測定を実施する。密閉式の試料容器を用いるため、水分の蒸発による影響を抑えて測定できる。TAMはC80と同様に基準容器と試料容器を使用するが、C80と異なり、周囲温度が一定の条件で試料容器からの熱流束を検知する装置である。TAMは装置の熱安定性も良く、微少発熱の危険性を調べるために有効な装置で、C80と同様、密閉式の試料容器を用いるため水分の影響も検討できる。SIT（自然発火測定装置）は試料の環境温度を一定に保ち、試料内部に発生した熱が外部へ逃げないように断熱制御を行い、酸化反応等による試料温度の上昇を検出して蓄熱による自然発火の危険性を調べる測定装置である。試料容器に空気を導入することによって測定する。微少発熱は評価できないが、酸化発熱による蓄熱発火の危険性を容易に解析することができる。

4.2 化学物質の分解危険性評価

熱量計等を用いて定量的な分解危険性評価方法に関して基礎データを得ることを目的とした。有機過酸化物であるDTBP（ジ-tert-ブチルペルオキシド）のトルエン溶液を試料として実験を行った。発熱量に対する試料量および気相における分解反応を検討し、昨年度提案した分解危険性評価法についてその妥当性を検証した。DTBPのトルエン溶液を試料として、熱量計を用いた実験を行った。各濃度におけるDTBPの発熱量はある試料量までは減少し、それ以上ではほぼ一定となった。実験結果を基に、発熱量に対する試料量および空間体積の関係を考慮した分解危険性評価法を提案した（図3）¹⁾。

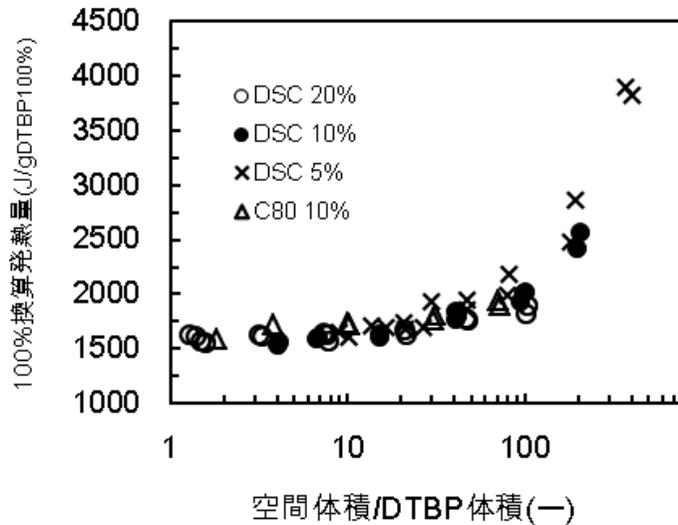


図3 DSCおよびC80（双子型高感度熱量計）によって測定された[空間体積/DTBP体積]とDTBP100%に換算した発熱量の関係（DTBP/トルエン濃度：5%、10%、20%）
[空間体積/DTBP体積]が20以下で100%換算発熱量がほぼ一定値を取ることから、この指標以下で測定を行うことが望ましい。

4.3 化学物質の燃焼危険性評価

燃焼速度、燃焼熱および発熱速度等を指標とした燃焼危険性評価方法を得ることを目的とした。試作した燃焼速度測定装置を用いて有機過酸化化物等の燃焼速度を測定した。燃焼速度、燃焼熱および発熱速度等を指標とした燃焼危険性評価方法を検討している（図4）。



図4 燃焼速度測定装置における過酸化ブチルの燃焼の様子

4.4 再生資源燃料等の危険性評価

固体系再生資源物質について、C80、TAMおよびガス分析を組み合わせた、蓄熱発火の相対的な危険性評価方法を提案した。本方法によって水添加有無の条件で測定を実施し、各種試料の火災危険性を評価した（図5）^{2,3)}。

発熱検知温度、発熱量及びガス発生量を指標として各再生資源燃料等の火災危険性を比較するために相対的な危険性評価を行った。発熱検知温度は「発熱反応の起こりやすさ」を、発熱量は「発熱の強度」を表すものと考えられる。各再生資源燃料等に水を添加した場合についても同様な判定方法で危険性評価を行った。低い発熱検知温度のものほど、危険性が高いことから高い危険性評価点を与えた。発熱量についてTAMによる64時間または74時間の発熱量によって評価を行った。64時間の発熱量と74時間の発熱量の間に大きな差は無い。発熱量が大きいものほど、危険性が高いことから高い危険性評価点を与えた。発熱量に関して、あくまで、経験的な推定ではあるが、C80で室温付近から発熱が始まり120℃程度までの発熱量が10 (J/g) 以上、またはTAMにおいて周囲温度50℃で24時間の発熱量が10 (J/g) 以上の条件が、火災となる必要条件であることが考えられた。なお、C80およびTAMの発熱量は試料容器中の空気量に依存しているため、換気すると再び発熱する。

可燃性ガス発生量について可燃性ガスの可燃限界を考慮して危険性評価点を与えた。ガスクロマトグラフにより発生ガスの定量分析を行い、測定した水素、一酸化炭素およびメタンの発生量を可燃下限界濃度でそれぞれ除した値を足し合わせてガス発生危険性評価の指標とした。水素、一酸化炭素およびメタンの可燃下限界濃度はそれぞれ4.0%、12.5%、5.0%とした。

「水添加無」及び「水添加有」の場合について、各試料の相対的な危険性を比較し易くするために、危険性評価結果を図5にまとめた。水分量は基本的に内割で20wt%とした。横軸は発熱検知温度に関する危険性を表し、縦軸はTAMの50℃での発熱量の危険性評価点を示す。基本的に72時間の発熱量を用いた。グラフの右上にある試料が、火災危険性が、グラフの左下にある試料より火災危険性が高いことを示す。円の面積は発生した可燃性ガスによる燃焼危険性を表している。木材チップについて乾燥前のものを水添加有としてプロットしている。水分が添加されると火災危険性および可燃性ガスによる危険性も増加することがわかる。この危険性評価方法は経験的知見に基づくものであるが、新規の試料についても適用可能である。

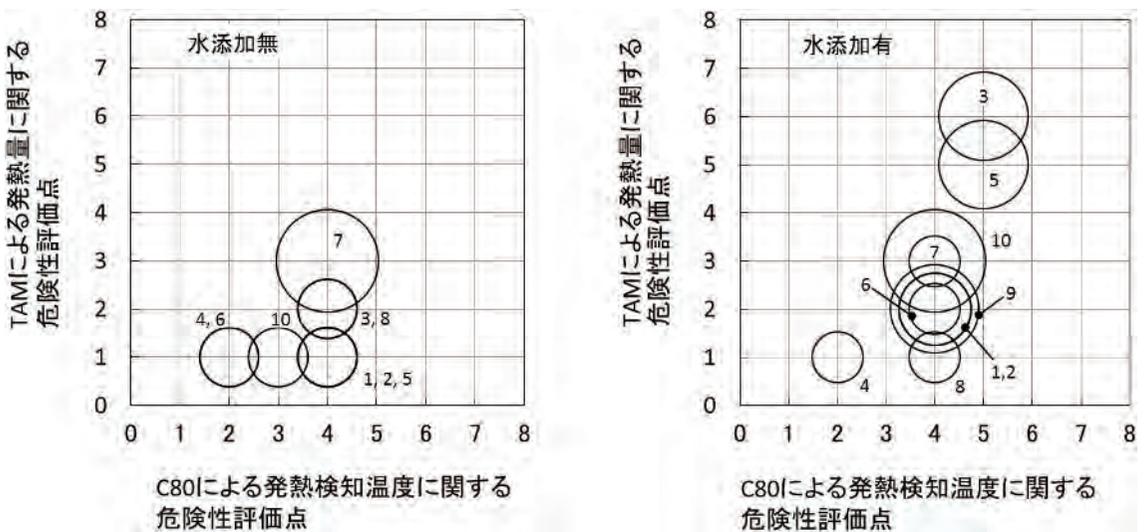


図5 再生資源燃料等の火災危険性評価結果

1. 木質ペレット (ホワイト)、2. 木質ペレット (パーク)、3. 汚泥燃料、4. RPF (廃プラスチック固形化燃料)、5. RDF (生ごみ固形化燃料)、6. PKSF (やし殻燃料)、7. 石炭 A (亜瀝青炭)、8. 石炭 B (瀝青炭)、9. 木材チップ、10. 枯草

参考文献

- 1) 岩田雄策、熱量計によって測定される発熱量に対する試料量の影響、日本火災学会平成29年度研究発表概要集、pp.48-49 (2017)
- 2) 再生資源燃料等危険性評価に関する研究報告書、消防研究技術資料 第79号 (2007)
- 3) 岩田雄策、高感度熱量計とガス分析を用いた再生資源燃料等の火災危険性評価方法、消防研究所報告124号、pp.26-37 (2018)

石油タンク等危険物施設の 安全性向上に関する研究紹介

消防庁消防研究センター 西 晴 樹、畑 山 健
徳 武 皓 也

1 はじめに

消防研究センターでは、長年にわたって、石油タンクをはじめとする危険物施設の安全性向上に関する研究・開発に取り組んできている。今日、南海トラフ巨大地震、首都直下地震等の大地震が切迫している中で、東日本大震災の経験から、地震発生後の早期復旧・復興の実現に向けて、大型の石油タンクなどエネルギー産業施設の被害の未然防止、火災等災害発生時の早期鎮圧と徹底した拡大抑止が極めて重要視されている。加えて、危険物施設については、近年老朽化が進行し、その健全性（このまま使用してよいかどうか、あとの程度の期間継続使用可能なのか等）を的確に診断することは、施設の安全性向上のために欠かせない。

これらのことから、現在、消防研究センターでは、次の研究テーマに取り組んでいる。

- (1) 石油タンクの地震防災に関する研究
- (2) 石油タンク底板内面に施工されるコーティングの健全性診断に関する研究

2 本研究のスタッフ

本研究は、火災災害調査部長の西、施設等災害研究室の畑山、徳武が担当している。

3 石油タンクの地震防災に関する研究

ここでは、過去約10年間に消防研究センターにおいて石油タンクの地震防災に関して実施した研究のうち主なものを紹介する。

3.1 平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震の際の石油タンクの被害等調査

平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震（M9.0）では、各地において石油タンクをはじめとする危険物施設も甚大な被害を受けた。この地震による2万2,000人余りというおびただしい数の死者・行方不明者は、主として最大遡上高40mにも達した津波によるものであったが、石油タンクにも津波による甚大な被害が数多く発生した。また、このような大地震に特有の大振幅の長周期地震動によって、各地の大型石油タンクにはスロッシング被害も生じた。消防研究センターでは、このような石油タンクの被害について、地震発生直後から現地調査を数次にわたって行った。以下、被害原因別に被害調査結果を記す。

3.1.1 津波による被害

消防庁及び消防研究センターが2011年6月から7月にかけて、北海道、東北地方、関東地方及び中部地方の一部地域を対象として実施したアンケート被害調査結果を再集計したところ、この津波によりタンク本体、配管、防油堤、基礎・地盤等のいずれかに何らかの被害（浸水による設備等の故障を含む）が生じた危険物屋外タンク貯蔵所は、北海道及び青森県から千葉県にかけての太平洋沿岸の道県で418基あった。このうちタンク本体が流失、移動、転倒するなどの被害、すなわちタンク本体の移動被害は、青森県から福島県にかけての太平洋沿岸の各県にある合計157基で発生したことが分かった（図1）。このような大規模な石油タンクの津波被害は、我が国ではこれが初めてのことであり、世界的にも初めてのことと思われる。

これらの被害状況と津波浸水深の関係を整理した結果、浸水深が5 m以上の場合は、タンク本体が移動するなどタンク本体及び附属配管に被害が生じるおそれが大であること、浸水深が2.5～5 mの場合は、空に近い小さなタンクを除きタンク本体は移動しないものの附属配管には被害が生じるおそれが大であることなどの経験則が見出された。また、今回の被害事例により、消防庁が平成21（2009）年に提案した石油タンク津波移動被害予測式（津波を受けた円筒形縦置き型タンクに滑動、浮き上がりなどの被害が発生するおそれの有無を簡便に評価できる方法）の精度検証を行った。その結果、実際の被害発生状況と予測結果が照合できたタンク197基のうち、移動被害の有無について予測結果と実際の被害が合致したものが147基あり、的中率は約76%と高いことが分かった。本予測式は水理模型実験に基づいて提案されたものであって、その予測精度は未検証であったが、この検討により、予測式の有効性が確認された。

消防庁では、平成24（2012）年に本予測式を用いたソフトウェア「屋外貯蔵タンクの津波被害シミュレーションツール」を消防庁HPで公開した（平成24年8月21日消防危第197号）。これは、全国の消防本部や事業者等で広く利用されている。

また、再集計した被害データに基づいて、石油タンクの配管の被害率（津波最大浸水深の1 m間隔の階級毎の [配管に被害が生じたタンク基数] / [当該階級に含まれるタンク基数]）と津波最大浸水深の関係を求め、これを対数正規分布関数でモデル化して、津波による配管の被害率曲線を作成・提案した。この曲線によれば、最大浸水深2 mでは被害率は約25%であるが、これが4 mになると被害率は約80%に急増する。仮に津波浸水深を低く抑えることによって、配管被害を軽減するという対策を考える場合には、目標として浸水深2 m程度以下というのが一つの目安となるといえる。

平成26（2014）年には、津波で動いた石油タンクの諸元や津波時の原位置及び移動先を把握することを目的として、改めて現地調査を実施した。その結果、福島県内において容

量9,800kLタンク（1万kLクラス）2基が移動したという事例については、貯油量はそれぞれ6,000kLと7,400kLもあったこと、最も遠くまで動いたタンクは女川にあった980kLタンクで、移動距離約5 kmであったことなどが分かった。また、貯油量が多かったゆえに移動被害を免れたと思われる事例（ほぼ同じ場所で貯油量が多かったタンクは動かず、少なかったタンクは動いたという事例）や、容量数十kLクラスの小規模なタンクではあるが、アンカーボルトで留められていたがゆえに移動被害を免れたと思われる事例（ほぼ同じ場所でアンカーボルトが設置されていたタンクは動かず、設置されていなかったタンクは動いたという事例）を数例把握した。



図1 平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震の際の石油タンクの津波被害（気仙沼市）

3.1.2 長周期地震動によるスロッシング被害

長周期地震動による石油タンクのスロッシング被害発生地区の確認と、被害の内容・程度を知るために、アンケート調査を実施した（調査主体は消防庁）。その結果によれば、スロッシング被害は、北海道、秋田、宮城、福島、山形、新潟、茨城、千葉、東京、神奈川の10都道府県の64基で生じている。消防研究センターでは、平成15（2003）年の十勝沖地震を受けて実施された設計地震動の見直し、浮き屋根の補強等の対策の検証という観点も併せ、石油タンクのスロッシング被害に関する現地調査を行った。

それによると、酒田地区では、アルミニウム製内部浮き蓋のデッキスキン、フロートチューブの破断が認められた。また、当該事業所に設置された消防研究センター強震観測

点での地震動の速度応答スペクトルは、このタンクのスロッシング固有周期4.17秒付近では約200cm/sと大きな値となっていること等から、フロートチューブに対して許容を超える歪みとなり、破断に至ったものと推定された。新潟・新発田地区では、最大2mのスロッシングが発生し、ポンツーン内の滞油、アルミニウム製内部浮き蓋の破損、ゲージポールの変形、浮き屋根上への油の流出などが認められた。川崎地区では、ポンツーン内の破損に起因する浮き屋根の沈没（図2）、ガイドポール固定ボルトの破損、内部浮き蓋上への滞油、ポンツーン内の滞油等が認められた。浮き屋根が沈没したタンクサイト近傍にある消防研究センター強震観測点での地震記録を入力とするスロッシング応答を解析すると、最大波高は1.3mで側板の油痕から測定された値（1.0～1.5m）と整合することから、この強震動データを用いた浮き屋根損傷評価を行ったところ、発生応力は許容応力の約1/3程度であり、ポンツーンは破損しない結果となった。これに対し、その後の調査で、破損ポンツーンの補強リングが下部デッキから外れていたこと、および初期浮力の影響を考慮すると被害を説明できることを指摘した。



図2 平成23（2011）年東北地方太平洋沖地震の際の重油タンク浮き屋根沈没事故（川崎市）

3.1.3 短周期地震動による被害

石油コンビナート最寄りの強震記録から、設計震度と相関すると考えられる減衰10%加速度応答値を求めてみると、仙台、広野、いわき、鹿島臨海地区で設計震度相当値を上回っており、何らかの被害があってもおかしくないことになるものの、短周期（約0.1～1秒）の地震動そのものによる石油タンク本体の被害は認められなかった。

一方、千葉県の上総LPG球形タンク群で、水張り中のタンクの倒壊を機に、火災・爆発

(BLEVE)が発生し、負傷者6人(重傷者1人、軽傷者5人)、隣接するアスファルトタンクの損傷、漏えい、飛散物・爆風等の影響による隣接事業所での火災、一般住宅地区等での爆風による窓ガラス、シャッター、スレート等への破損及び保温材等の軽量飛散物による車両の汚損を生じた。BLEVEに伴って発生したファイヤーボールの直径は、映像の解析から約600mと推定された。なお、この火災・爆発は、消防法第35条の3の2に基づく火災原因調査の対象となった。

いわき地区では、強震動による液状化などの地盤の変状によるタンク本体の被害が認められた。タンクサイトは河口付近の埋立て地にあり、地盤の固さを表すN値には相当のばらつきがある。被害としては、タンクたらい回り付近下での側方流動と思われる地盤変状に伴い、タンク底板が傘型に変形し(最大不等沈下率1/61)、底板溶接部に亀裂が発生して、若干の油の滲み出しがあったものである。また鹿島地区では、極めて大きな地盤変状の発生に伴い、防油堤の目地部分が大きく開口するといった被害が認められた。

消防庁が行ったアンケート調査結果によれば、鹿島地区では、200~950kLのタンク11基に、アンカーボルトの破断、伸び、変形、浮き上がり等が発生した。これらは、タンク本体が浮き上がったことを示唆するものであるが、これらのうちの9基は地震が原因であるとの回答があり、2基は地震によるものか津波によるものか判別不明との回答であった。消防研究センターでは、後日、鹿島地区においてこれらタンクの浮き上がりに関する調査・データ収集も行った。

3.2 平成28(2016)年熊本地震の際の大分地区の石油コンビナート等特別防災区域におけるスロッシング被害調査

平成28(2016)年4月16日に発生した熊本地震本震(M7.3)の地震の際、大分地区の特防区域を擁する大分県中部地域では「長周期地震動階級3」の大振幅の長周期地震動が観測され、同特防区域内では浮き屋根式石油タンクにおいてスロッシングによるものとみられる被害が発生したとの一報がもたらされた。

このため、消防研究センターでは、同年中に三度にわたって現地調査を行った。その結果、同特防区域では、消防法令により同特防区域に対して定められている「液面揺動の設計水平震度(Kh2)」相当の速度応答を一部の周期で上回る大振幅の長周期地震動が観測されたことがわかり、浮き屋根式石油タンクでは、液面上昇量0.3~1.9mのスロッシングの痕跡が確認された。

これらのスロッシング高さの実測値と、同特防区域内の強震観測記録に基づいて推計したスロッシング高さを比較したところ、推計値は実測値とおおむねよく合っているが、実測値が推計値を若干上回る傾向が見られた。これは、地震計設置位置よりも、タンクサイトのほうが長周期地震動が大きかった可能性を示唆しているかもしれない。

被害については、同特防区域内では、2基のタンクの浮き屋根のポンツーンが損傷して油が室内に滞留したり、25基のタンクで液面計に故障・不具合が生じたりするなどの被害が発生したことが分かった。浮き屋根のポンツーンが損傷したタンクは、容量10万kL原油タンク1基（1室破損）と容量2万kLガソリンタンク1基（2室破損）であった。損傷はいずれも外リムとポンツーン下板の接続部に開口が生じたものであった。

浮き屋根のポンツーンが損傷したタンク2基について、同特防区域内の強震観測記録に基づいて、平成17年1月14日消防危第14号及び平成18年6月30日消防危第157号で示されている浮き屋根外周部ポンツーン発生応力算定式の基になっている方法により、浮き屋根外周部ポンツーンに発生した応力を推計したところ、発生応力は降伏応力を上回らなかった。この原因としてさまざまなことが考えられるが（例えば、タンク固有の問題、地震動の問題、当該浮き屋根がローデッキタイプであることによる応力集中等）、解明に至っておらず、今後の課題とすべきものである。

3.3 石油コンビナート等特別防災区域等における強震観測

消防研究センターでは、2003年十勝沖地震後の取組として、特防区域で強震観測を行っている。2003年十勝沖地震において浮き屋根式石油タンクに甚大なスロッシング被害が発生したことを受けて行われた2005年の消防法令及び技術基準改正では、将来の大地震でとくに大きな長周期地震動が予測される地域に存する20の特防区域に対して「液面揺動の設計水平震度（ Kh_2 ）」が引き上げられた。この引き上げは、これらの特防区域には強震観測点がなかったことから、主として特防区域直近の気象官署等にある既存の強震観測点における過去の地震記録の分析から、将来の地震による長周期地震動を予測した結果（3.4.1参照）に基づいて行われた。しかしながら、波長の長い地震波からなる長周期地震動といえども、短い距離でその特性が大きく異なることがありえる（3.4.2参照）ことから、特防区域内における詳細な長周期地震動特性の把握が必要であるとされ、 Kh_2 が引き上げられた20の特防区域を対象として消防庁が速度型強震計を設置し、地震観測が開始された。また、これとは別に、消防研究センターでは、近い将来における発生確率が高いと評価された大地震の震源域近くに立地する特防区域の強震動予測を目的として、数ヶ所の特防区域において速度型強震計による強震観測を開始していた。

これらの2つの異なる経緯からの特防区域における強震観測点を合わせると、現在、全国に83ある特防区域のうちの20の区域に23地点ある。他に特防区域以外の場所にも2地点ある。1地点は消防研究センターにあり、もう1地点は、設置当初は特防区域だったものの現在は特防区域の指定が解除された石油タンクサイトにある。現在、これら25の強震観測点（図3）は、消防研究センターにより、一体的に管理・運用されている。

この強震観測によるデータは、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）のものを含めて

蓄積が進んでおり、近年では、新たに特防区域に指定される可能性のある地域に対して、定めるべきKh2の検討に活用されたり、特防区域を抱える道府県の防災本部による特防区域の防災アセスメントにおける長周期地震動の想定のための参考データとして活用されたりしている。また、地震時の石油タンクの被害等を予測・推定するシステムの入力データとしても利用されており（3.7参照）、地震発生時の消防防災活動にも役立てられている。

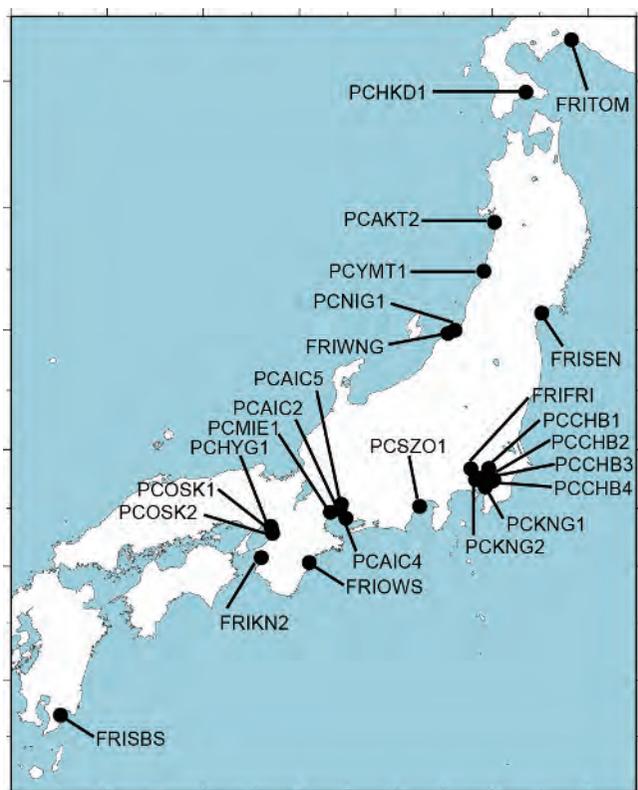


図3 消防研究センターの石油コンビナート等特別防災区域等における強震観測点

3.4 長周期地震動の予測

3.4.1 長周期地震動スペクトルの経験的手法による予測

石油タンクのスロッシングによる貯液の溢流や浮き屋根ポンツーンの損傷などの被害は、石油タンクの直径と液高から求まるスロッシング固有周期（概ね3秒から10秒程度の長周期帯域）での地震動強さ（擬似速度応答スペクトル）によってほぼ推定できる。上述のKh2の見直しに用いられた経験的予測手法（座間、2000）の適用性について、2011年東北地方太平洋沖地震を対象として検証したところ、遠方近似で点震源を仮定している手法

であるにもかかわらず、気象官署での観測スペクトルのレベルや形状を比較的良好に表すことが分かった。ただし、周期10秒以上での観測値と予測値との間に乖離が認められたことから、原因と考えられる震源スペクトルのスケーリング則について、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域とその周辺で発生した地震規模マグニチュード（M）の異なる3つの大きな地震（1933年三陸地震、1978年宮城県沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震）を東京大手町での観測記録により検討した。その結果、特にこれら3地震のスペクトルから求まる、みかけのカットオフ周期とMとの関係が、従前と大きく異なる可能性があること、それがスペクトルの予測性に与える影響は大きいものであることを示した。

3.4.2 長周期地震動振幅の短距離間空間較差の発生要因の理解と簡易的予測

石油タンクのスロッシングの原因ともなる、堆積盆地で観測される周期数秒から十数秒の長周期地震動の主成分を表面波であるとした場合、その波長は水平方向におおむね数kmから20ないし30kmと見積もられる。しかし、この波長に比べて1波長にも満たないような短い距離で、長周期地震動のスペクトル振幅が大きく異なる（例えば1.5倍とか）事例、またはそれを示唆するような事例が観測され得ることは、例えば、2003年十勝沖地震（M8.0）の際に、石油タンクに甚大なスロッシング被害が生じた苫小牧周辺及び同地域を擁する勇払平野での地震動の観測事例や、苫小牧東部の石油備蓄基地内の石油タンクにおけるスロッシング高さの計測事例（約2km四方の基地内において、スロッシング1次固有周期が約11秒のタンクに発生したスロッシングの高さが、南側の地区のほうが北側の地区よりも系統的に1.5倍程度大きかった）などにより、以前から認識・指摘されていた。同一の石油備蓄基地内の石油タンクにおけるスロッシング発生高さが系統的に異なるという事例は、2011年東北地方太平洋沖地震（M9.0）の際に大きな長周期地震動に見舞われた新潟東港地域（容量6～11万kLの大型石油タンクが17基ある）の石油備蓄基地でも観測された。新潟東港地域の石油備蓄基地は、港をはさんで東地区と西地区に分かれており、両地区は2km程度離れている。両地区では、立地している石油タンクの大きさがほぼ同じ、すなわちスロッシング固有周期がほぼ同じ（地震発生時の液面高さでのスロッシング1次固有周期は10.8秒程度）であるにもかかわらず、西地区で発生したスロッシングの高さ（実測値）は2m程度であるのに対し、東地区では1.5m程度と系統的な差違が見られた。これは、東西両地区の石油タンクのスロッシング1次固有周期である周期11秒程度の長周期地震動のレベルが、2kmというその波長に比して、かなり短い距離しか離れていない場所どうしで、1.3倍程度異なっていた可能性を示唆している。

2011年東北地方太平洋沖地震の際、東地区では消防研究センターの強震計により地震記録が得られたが、西地区には強震計はなかったため、この地震の際の実際の揺れを実記録から比較することはできない。しかし、この地震の後、西地区に隣接する事業所が強震計

を設置したため、両地区で得られた2011年東北地方太平洋沖地震の余震等の記録を比較できるようになった。Mw5.8~7.3の5つの余震について比較を行った結果、問題となる周期11秒付近の疑似速度応答（減衰0.5%）は、西地区のほうが大きく、平均して東地区の1.1倍程度、+ σ で1.2倍程度のものが観測されることが分かった。地震動の観測結果は、2011年東北地方太平洋沖地震の際に発生したスロッシングの高さの東西両地区間の相違と調和的である。

この東西両地区の長周期地震動特性の相違を、地下構造の観点から解釈することを目論んで、新潟東港地域の石油備蓄基地の東西両地区において、微動アレイ観測による1次元地震波速度構造の推定を行った。東地区では西地区に比べて、全体的に堆積層が薄く、とくにS波速度1.2km/s程度の堆積層が200m程度薄いことが分かった。これは、2011年東北地方太平洋沖地震の余震記録に見られた東西両地区の長周期地震動特性の相違と、定性的には調和的である。実際に、この地下構造の違いが、両地区での長周期地震動レベル及びスロッシング高さの差異をもたらした要因となり得るものであるかは、定量的な検討を行いながら考察していく必要があるが、仮にそうであるとすると、周期10秒程度という長周期の地震動といえども、その高精度な予測には、堆積盆地の全体的な堆積層の厚さにとどまらず、より詳細な地下構造情報が必要であることを意味するものとして銘記すべき事例といえる。

以上のような短距離間での大きな振幅較差が生じる仕組み・要因を理解することを目的として、2次元面内地震波動場を検討対象とした簡単な数値実験により、横方向に不規則な地下構造の中を伝播する表面波について、短距離でそのスペクトル振幅がどの程度変化するかを調べるとともに、不規則な地下構造の中でどのような波動場が形成されているかを調べた。その結果、観測されるような短距離間での大きな振幅較差が生じうることは理論的な計算から確認された。また、短距離間での大きな振幅較差は、地表近くの低速度の媒質が形成する細かな構造の違いが原因である可能性があることが分かった。横方向に不規則な地下構造において形成される長周期地震動の波動場の深さ方向のフーリエスペクトル振幅分布は、入射波の条件や周期によっては、その地点直下の1次元地下構造から計算される表面波基本モードの固有関数の形状と概ね一致する場合があることも分かった。この性質をうまく利用すれば、対象地点直下の1次元地下構造モデルから、長周期地震動の増幅特性を粗くではあるかもしれないが簡易な方法で推定することが可能かもしれない。

3.5 地震時における石油タンクからの溢流量推定の高精度化

発生が懸念されている大地震に対して、適切な消防力を算定するために、防油堤内火災の規模に関する漏えい危険物の量の把握が重要となる。溢流量の算定に関して、直径4mや直径7.6mの模型タンクを用いた実験を行い、タンク近傍で記録された水平2成分の地

震記録があれば、高精度で溢流量を推定できることが分かった。

3.6 石油タンクの内部浮き蓋に関する検討

長周期地震動を受けた石油タンクの内部浮き蓋上に、どの程度の量の危険物が溢流するかという点について、大規模振動台を用いて実験的検討を行った（図4）。スロッシングに伴い、浮き蓋が最も下降したところから上昇に転ずるときに溢流が発生することが確認できた。浮き蓋上への溢流量は換算速度応答と比例関係にあり、代表的な石油タンクの浮き蓋を想定した場合、消防法令で想定されている地震動では浮き蓋は沈没しないという結果になった。

アルミニウム製の簡易フロート型内部浮き蓋は、内容液の揮発の抑制を目的として、石油タンク内に設置されるものであるが、耐震性については明確に定められていなかった。そこで、アルミニウム製の簡易内部浮き蓋のスロッシング時の挙動について、大規模振動台を用いて検討を行った。スロッシング時の減衰定数や、浮き蓋各部に発生する歪みと地震動の大きさとの関係が求められた。



図4 石油タンクの内部浮き蓋の振動実験

3.7 地震時の石油タンクの被害等を予測・推定するシステムの開発

消防研究センターでは、石油コンビナート等特別防災区域等における強震観測（3.3参照）を活用して、特防区域等における地震時応急対応を支援するためのものとして、3.7.1～3.7.3のような石油タンクの地震時の被害等を予測・推定するシステムを開発してきている。また、3.7.4のように、緊急地震速報を利用して、揺れに見舞われる前に長周期地震動による

石油タンクへの影響を予測する研究開発も行った。

3.7.1 「石油コンビナート等特別防災区域地震動観測情報システム」の開発

このシステム（図5）は、地震後すみやかに特防区域の揺れの情報を自動的に収集・処理し、どの特防区域の震度・長周期地震動レベルが大きいかをわかりやすく表示するものである。現在、全国に特防区域は83あるが、消防研究センターが強震計を設置していない63の特防区については、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網K-NET及びKiK-netの観測点のうち、特防区域直近にあるものの強震記録を利用して全国の特防区域をカバーするようにしている。

消防庁では、大地震発生時に全職員が参集して、被害情報等の収集や緊急消防援助隊の派遣に関する任務にあたる。実際に、このシステムの情報が、どの特防区域の情報を優先して収集すべきかといったことの判断の参考にされるなど、迅速・的確な情報収集活動に役立てられている。

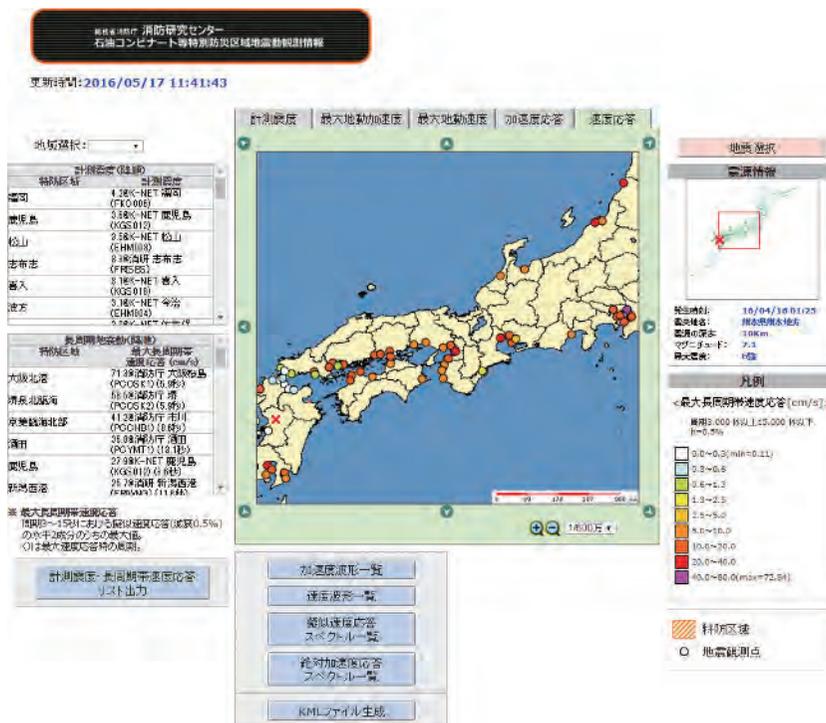


図5 「石油コンビナート等特別防災区域地震動観測情報システム」の出力画面（2016年熊本地震）

3.7.2 「石油コンビナート地震・液状化危険度統合シミュレータ（全国版）」の開発

このシステムは、3.7.1の「石油コンビナート等特別防災区域地震動観測情報システム」

で収集された特防区域内またはその付近で取得された地震動データに基づいて、全国の特防区域について、長周期地震動の影響により各石油タンクに発生するスロッシング高さ、短周期地震動の影響により各石油タンクの側板に発生する円周方向引張応力、軸方向圧縮応力及びアニュラ部についての必要保有水平耐力を計算し、地震動によるタンクへの影響・被害を地震発生後すみやかに推定できるものである。計算・出力の仕組みの根幹についてはほぼできあがっており、全国的なタンクのデータ整備が目下の課題となっている。

また、本システムは、特防区域ごとに代表的な微地形区分をあらかじめ与えておくことにより、計測震度と微地形区分から液状化発生確率を推定する既存の簡便な式に基づいて、各特防区域の液状化危険度も地震発生後すみやかに推定できる機能を有している。

3.7.3 「石油タンク地震被害推定システム」の開発

このシステムは、主として事業所を対象として、大規模地震発生時の石油タンクの多様な被害を評価することのできるものである。タンクの経年劣化等の影響を考慮に入れることができるなど、3.7.2の「石油コンビナート地震・液状化危険度統合シミュレータ（全国版）」よりもきめ細かい評価ができることが特徴である。

3.7.4 緊急地震速報に基づくリアルタイムスロッシング予測

石油タンクのスロッシング被害の軽減を図るための方策としては、浮き屋根の耐震強度向上等の予防的方法と併せ、効率的なパトロールの実施、人員・資機材の効率的運用、引火防止、溢流危険物の拡散防止等を図るための可燃性蒸気の濃度測定、泡放射による流出油面の被覆、土嚢積み等の措置応急対応を効率的に行うことによって、被害を極小化することが考えられる。このような措置をできるだけ迅速・的確に行うためには、まず地震直後にどのタンクでどのような被害が発生し得るのかを即時的に判断し、それに基づいた効率的な点検、対応を行うことが重要である。この目的のために、地震動観測記録に基づくリアルタイムシステムが構築されてきている。しかし、地震記録が得られた後での情報周知には通信の輻輳による遅延が考えられる。より確実な周知のためには、大地震直後に懸念される通信の輻輳が始まる前のより早い段階で、情報の受発信ができることが望ましい。そこで、2007年から運用が開始された緊急地震速報を用いたスロッシング評価手法について検討してきた。さらに、このスロッシング評価手法とインターネット配信された緊急地震速報の震源情報に基づく種々の演算結果をメール配信できるシステムを、市販の手のひらサイズのLinuxサーバーで構築した。12基の石油タンクを対象としたシステム性能評価では、溢流危険度、浮き屋根損傷度の評価を緊急地震速報取得後0.4秒以下という短時間で行うことができることを確認した。2011年東北地方太平洋沖地震の際、六ヶ所、男鹿、大分において受信された緊急地震速報の情報を入力し、システムの有用性についての検証を行った結果、スロッシング最大波高の計算値は測定値と比較すると過小評価となつては

いるものの、地震発生後極めて早い段階でおよそのスロッシング状況を把握することができ、初動体制の確立に寄与できるものと考えられた。

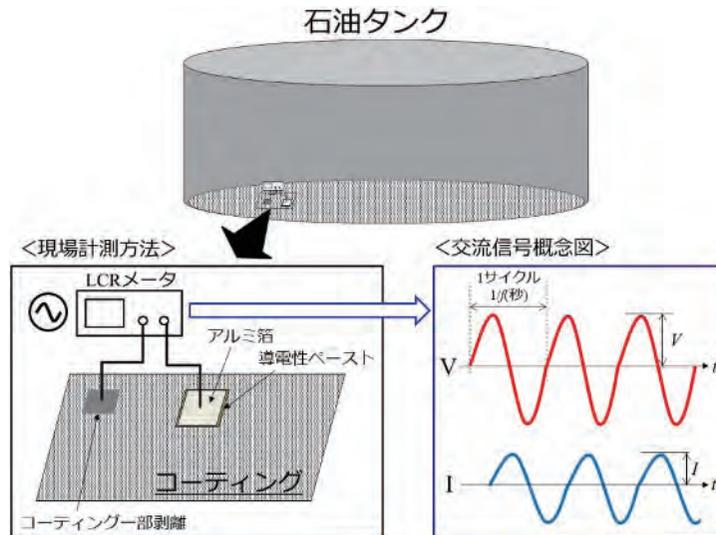


図6 石油タンク底板内面に施工されたコーティングにおけるインピーダンス測定方法の概念図

4 石油タンク底板内面に施工されるコーティングの健全性診断に関する研究

石油タンク内面の底部は、活性な腐食を引き起こすイオンを多量に含んだ水溶液に曝される厳しい環境である。そこで、腐食性水溶液と母材である鋼板の接触による金属の腐食を抑制するため、石油タンク底板内面には、耐久性の高い有機コーティングが施されるようになった。一般的に、コーティングが施工された鋼板の寿命は、未塗装のものに比べ、著しく長くなるものの、近年発生した危険物流出事故の中には、底板内面コーティングが何らかの要因で早期に劣化するとともに、鋼材の腐食開口が生じ、流出事故に至ったものも存在する。そのため、一定期間使用後に行われる開放検査において、コーティングの健全性を定量的に評価することは、事故の未然防止のために極めて重要と考えられる。

電気化学インピーダンス測定は、非破壊かつ定量的なコーティング健全性評価技術の一つである。図6に石油タンクにおけるインピーダンス測定の方法の概念図を示す。本手法の原理は、測定対象であるコーティングにある周期（周波数 f ）の交流電圧（ V ）を印可し、交流電流（ I ）を検出することで、電気の“ながれにくさ”に相当するインピーダンス（ $|Z| = V / I$ など）を評価するものである。アルミ箔のような電極、導電性ペースト、LCRメーターなどの可搬計測装置をタンクに持ち込めば、フィールドでの評価

も可能となる。本研究ではインピーダンス法を用いて、石油タンク底板内面に施される有機コーティングのインピーダンス特性を評価するとともに、実機タンクに適用可能な健全性診断方法について検討を行った。

4.1 コーティングのインピーダンス特性評価によるタンク健全性診断手法

石油タンク底板内面用のコーティングとして主流である、ビニルエステル樹脂系ガラスフレーク塗装鋼板の模擬腐食水溶液（食塩水）への浸漬試験および20年以上もの長期にわたって供用されたコーティングの評価を通じて、インピーダンスの基礎的特性を検証した。インピーダンス測定では、測定対象で起こる物理化学現象を回路素子に置き換えて評価する、等価回路解析という手法がよく行われる。代表的な回路素子としては、抵抗 R やコンデンサ C といったものが挙げられるが、一般的に有機コーティングで生ずる物理化学現象は複雑であり、これらの単純な素子だけでは十分表現できない。そこで、抵抗とコンデンサの中間の特性を表現できる、Constant-phase-element (CPE) なる特殊な回路素子を導入して解析をしたところ、劣化初期から長期供用段階に至るまで、コーティングのインピーダンスはCPEの特徴を有していることがわかった。CPEのインピーダンス式は、それを特徴付ける2つのパラメータとして、CPE定数及び乗数の T と n を有するが、これらのCPEパラメータ値によってコーティングの長期的劣化をモニタリングできる可能性を、各種実験を通じて示すことができた。

コーティングの基礎的なインピーダンス特性の検証と同時に、実機石油タンクのフィールド調査を通じて採取した数十点の定点インピーダンスデータの詳細な分析を行った。その結果、コーティングのインピーダンス特性は、2つのCPEを並列に接続する等価回路モデルによって、正確に表現できることを示した。このことは、長期使用したコーティングの物理化学現象を、正確に捉えた評価ができる可能性を示唆した結果と考えられる。さらに、CPEパラメータ T と n を散布図としてプロットし、その分布傾向からタンクの健全性を把握する手法を提案した。

4.2 統計的アプローチに基づく解析による健全性診断手法の高度化

広大なタンクから採取した定点データ群の解析として有望と考えられた、極値解析なる統計的手法*を多点のコーティング電気的特性値に適用し、その健全性診断への活用可能性を検討した。検討の結果、測定領域にグルーピングされた採取データ群から抽出したコーティング電気的特性の最大値データ群は、代表的な極値分布であるGumbel分布、

* 観測された一部のデータから、全体を推定できるとされる確率・統計論的手法。

比較的多くのサンプルから得た観測極限値データ群は、母集団の持つ基本的な確率分布に応じて、Gumbel分布やFrechet分布といった、いくつかの極値分布に漸近することが知られる。

Frechet分布に従うと考察された。この特徴を利用することで、異なる石油タンクにおける健全性の比較評価や広大な底板内面コーティングの最大劣化値を推定できることを示唆できた。

火災予防と火災による被害の軽減に係る研究

消防庁消防研究センター 田村裕之、塚目孝裕、
鈴木健、阿部伸之、
大津暢人、佐藤康博、
藤井皓介、松崎崇史

このテーマは、「火災原因調査の能力向上に資する研究」と「火災時における自力避難困難者の安全確保に関する研究」の2つのサブテーマで構成されており、有効な火災予防を実現するためにより正確な火災原因を判定できる能力を向上させるための研究と人的被害の軽減に資する研究を行っている。

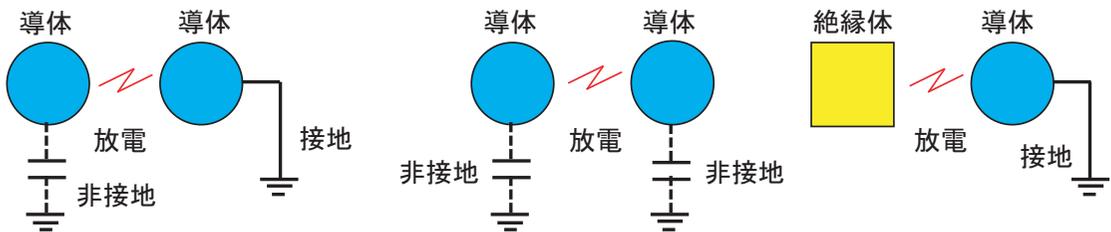
1 火災原因調査の能力向上に資する研究

火災が発生したときの原因調査は消防の義務として消防法第31条に示されている。火災原因調査は、建物火災や工場災害の防止、人的物的被害の低減等の対策を決定する根拠となる重要な役割を担っている。しかし、調査現場においては、分析方法や現場の見方で経験値的に対処していたことが多く、分析方法のノウハウや現場の観察の仕方において科学的データを基にした方法をまとめたマニュアルがなかった。一方、消防研究センターには過去の火災原因調査における火災事例や分析事例が蓄積されており、分析のノウハウや現場の見方について、新たなマニュアルを作成することができると思う。火災原因調査では、火災現場で起きたかもしれない「現象の理解」や、火災現場から取去した物質に対する「分析技術の選択と結果の評価」、また、「火災現場の状況を把握する技術」が重要である。ここでは、以下の4項目において、実火災の現場の状況や証言、データ等を活用しながら研究を進め、消防現場の火災原因調査に有効なマニュアルを作成する。

(1) 着火性を有する静電気放電の特性を把握することによる原因特定能力の向上

危険物施設での火災では、消防白書によると静電気放電が出火原因の1位を占める年が多い。大規模な工場で発災すれば人的物的被害は甚大となる。静電気放電による着火のリスクを低減するには、適切な対策を取ることが重要であるが、そのためには、帯電する部分はどこで、どのように帯電し、その帯電量がどのくらいであるのか、また、どのような物質間で放電が起こると着火が起こるのか、を明らかにする必要がある。これらの結果を基に、静電気放電による着火の条件や火災防止の対策をマニュアル化する。また、実際の火災原因調査で静電気放電が原因と考えられる火災では、測定や実験を行い、静電気放電着火の可能性が高いかどうかを判断できる測定データを提供する。

図1に静電気放電の代表的なパターンを示した。左に書いた非接地の導体から接地導体への放電は、エネルギーが高く着火性が最も強い。真ん中の非接地導体間の放電は、導体間の電位差が大きければ着火性が増す。右に書いた絶縁体から接地導体への放電は、エネルギーが小さく、着火性が低いと考えられているが、実際の火災現場ではこれに近い条件での着火が疑われる事案がある。現在、この絶縁体から接地導体への放電が発生した場合の放電エネルギーを計測し、着火性を有しているかを検討している。絶縁体としては、作業服に使われている生地を用いている。



非接地導体と接地導体間の放電 非接地導体間の放電 絶縁体と接地導体間の放電
 図1 放電形態による着火性の違いを検討

絶縁物からの放電エネルギーを計算するために、放電電流を計測する方法について、高周波数帯域をもつ電流プローブで電流波形を測定する系を構築した(図2)。ここでは、イオン発生器から+または-のイオンを発生させ、布状の試料を+または-の極性で表面を帯電させ、アースにつながった球電極を用いて、試料表面から球電極へ放電させる。放電時に球電極からアースへ流れる放電電流を、オシロスコープを用いて記録し、放電エネルギーを算出する。数種類の生地を用いて、帯電させた生地から接地された球電極への放電電流を計測した。その中で、フェルトのような厚みのある布を用いたときの放電電流波形の一例を図3に示す。

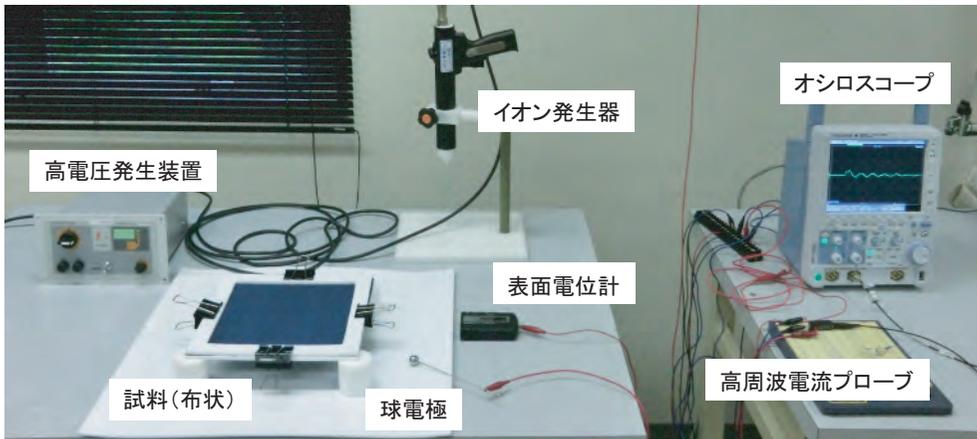


図2 電流波形計測用の実験装置

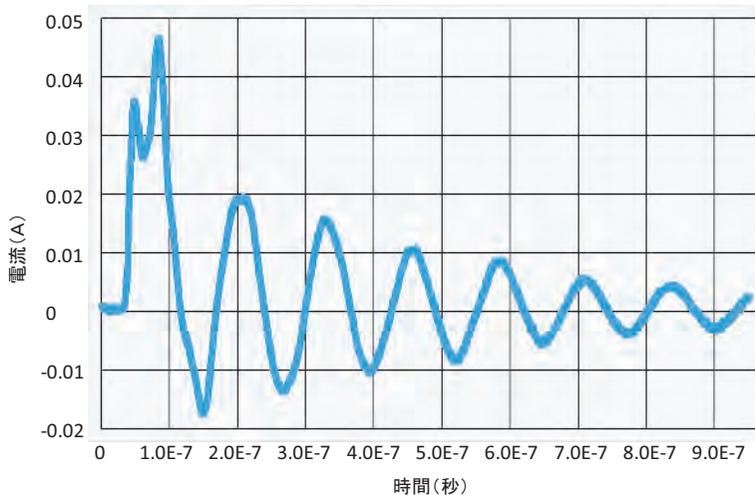


図3 帯電した作業着生地からの放電電流の例（生地の帯電電位：-16kV、生地組成：メタ形アラミド75%、ポリエステル20%、バラ形アラミド5%）

また、静電気放電が火災原因と疑われた火災において、検証のために導電率、静電容量の測定や、再現実験による帯電電位の測定を実施した。次にその一例を示す。海上のGPS波浪計のバッテリーを交換する際に、バッテリーから発生した水素が静電気放電で着火し、爆発したと思われる火災が発生した。この火災の原因調査で、使用されていた導電性ゴムパッキンの導電性が経年劣化で低下し、剥離帯電が大きいことを明らかにした。

今後、放電データや現場での測定方法などを盛り込んだマニュアルを作成していく予定である。

(2) 試料の採取・保管方法、及び解析結果をどのように利用するかに関する指針の策定

火災原因調査において分析機器を活用することで得られる情報は調査の方針を裏付けるものとして非常に有効な場合がある。しかし、分析機器を適切に活用するためには専門的な知識が要求されることが多い。そこで、現場で採取する試料について、分析機器のデータに影響を及ぼさない採取方法、また分析機器に試料をかけるまでに変質・変化させない試料の保管方法に関して検討を行い、現場調査時に各調査員が実施できる指針としてマニュアルの作成、現場活動時に使用しやすい採取キット等の作成を目的とする。更に、分析機器で採取試料を検査する際に、どのような機器を用いれば何がわかるのか、機器のデータはどのように解釈するのかを一般に使用される数種類の機器毎にデータと共に示し、過誤の無い結果を導くための理論的裏付けを示し、技術の向上を図ることを目的とする。この一連の研究の中で、「現場活動時に使用しやすい採取キット作成」、「分析機器で採取した試料の検査」について今回紹介する。

「現場活動時に使用しやすい採取キット作成」では、機器分析を見据え、円滑に火災現場で試料を収去できる最低限必要な資器材一式の作成を目指した。このため、このキットには火災原因調査で一般的に使用されるメジャー、画盤、表示盤等が入っておらず、全国の消防本部を対象として、「物件の収去に有効なもの」、「使いやすいもの」、「安価で全国どこでも購入できるもの」、「洗浄して繰り返し使えるもの」、「必要最低限の品数に抑えること」、以上5点に留意し、採取キットを作成した。試作した試料採取キットを10本部で試用を行い、各本部から、実際の使用に関しての意見を聴取し、使用頻度の低かった内容物やポリ袋などのサイズ、数量を変更し、試料採取キットの内容物を確定した。試料採取キットは外寸450×225×320mmのアルミケースの中に、大きさの異なるポリ袋4種類（3種類はチャック付き）ガラス管瓶、ガラスボトル、蓋付プラスチックケース、ピンセット、チゼル（金属製ヘラ）、スコップ、ハサミ、カッター、スポイト、紙ワイパー、脱脂綿、荷札、ラベル、油性ペン、ニトリル手袋、ルーペ、北川式ガス検知器、検知管（鑑識用石油）の22種類の内容品が入っている。

「分析機器で採取した試料の検査」は、ガスクロマトグラフ（以後、GCと表記する）分析を中心とした研究を行っており、「鉍物油の検出」と「焼損物の同定」の2つのテーマで進行している。

「鉍物油の検出」については、灯油の濃度によるGC測定結果の影響と燃焼による灯油の変化を検討し、鉍物油の検出限界に関する基礎的な知見を蓄積した。まず、灯油の検出限界を調べる目的で、異なる灯油濃度のn-ペンタン溶液（0.001g/L、0.01g/L、0.1g/L、5g/L、50g/L、100g/L）を調整し、GCによる分析を行った。その結果、GCで灯油を検出できる最低限度の濃度は0.01g/L程度であり、0.01～100g/Lの濃度範囲で安定したピーク

面積比を与えることがわかった。さらに、燃焼による灯油の変化を調べる目的で、以下の燃焼実験を行った。金属製バットに砂を敷き、その中央に雑巾をおき、一定量の灯油を雑巾に散布・着火し、水で消火した後に、焼損した雑巾とその下の砂をそれぞれポリ袋に採取し、前処理を行った後にGCによる分析を行った。その結果、灯油をかけた雑巾より、その下の砂の方が高い強度で灯油を検出でき、同一灯油量の条件では、燃焼による灯油の変化は燃焼時間の影響が大きく、燃焼時間が長いほど、GCのピークの最大値は高沸点成分側にシフトした。これらの結果を、鉱物油類が付着した試料の保存方法について検討に活かすことを考え、異なる条件における鉱物油の残量を定量的に調べることを計画している。現段階では、内部標準物質の選定、チャック付きポリ袋が1重と2重の場合の比較を行っており、今後、試料の保存温度などについても検討を行い、試料の適切な保存方法について検討する予定である。

「焼損物の同定」では、焼損物の同定手法の確立を目的とし、キューリーポイントパイロライザーを用いた熱分解GCを用いた焼損物の材質同定に関する研究を行っている。市販されている高分子化合物について示差熱重量同時測定装置（以後、TG-DTA と表記する）による加熱を行い、加熱前後の変化を熱分解GCで調べる予備的検討を行ったところ、以下のような結果が得られた。ポリアミド（ナイロン6,6）、セルロース以外の試料は、窒素雰囲気での加熱では未加熱の標準試料と比較的類似のピークパターンが得られた。しかし、空気雰囲気での加熱では、ポリエチレン、ポリカーボネート以外の試料で大きくピークパターンが変化した。この結果は、焼損物の材質同定を熱分解GCで行う場合、空気に触れていない焼損物の内部を採取・分析することで可能であることを示唆している。ポリ塩化ビニル、ポリ酢酸ビニルは加熱前後にかかわらず、ピークパターンが類似している。これは、この2種類のポリマーの分解過程が類似しており、共通の分解生成物が生成するためと考えられる。このことから、構造や分解過程が類似する高分子化合物については熱分解GCによる材質同定では同様のピークパターンが得られ判別が難しいことが推測される。熱分解GCでの焼損物の材質同定は有効であると認められたが、材質によってはピークパターンの類似性により同定に注意が必要な試料がある。また、ポリアミド（ナイロン6,6）、セルロースなどの縮合型の高分子は加熱前後で大きくピークパターンが変化するため、詳細な検討が必要である。今後の研究として、TG-DTAによる加熱の結果が実際に燃焼したサンプルと同じ結果になるかということを確認し、結果の集積を目指している。

(3) 煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定

火災現場ではしばしば壁面に煤の付着が見受けられるものの、証言から得られる煙の動きと必ずしも一致しないことがある。したがって、火災原因調査において単に「煤の付着状況＝煙の動き」と見誤る可能性も否定できない。そこで、より確度の高い煙の動きを見

極める方法を確立することは、火災原因調査の高度化のために必須である。

図4に本研究の概要を示す。本研究では、火災現場において調査員が煤の壁面付着状況から煙の動きを推定する方法を研究するために、建物火災時の煙の動きと煤の壁面付着の関係性を見出すのに必要な廊下状区画の実験装置を作成した。実験装置には、液体燃料が燃焼した際の重量減少量（発熱速度）を測定するための重量計、流れてくる煙の濃度・温度・速度を測定するための煙濃度計・熱電対・二方向管（微差圧計）、全体の煙の流動性状を記録するためのビデオカメラが設置されており、煙の濃度・温度、燃料の種類、付着する側の壁の材質等をパラメータとした実験を実施し、煤の壁面付着条件を検討している。図5は、煤を付着させる壁面を石こうボード、燃料をn-ヘプタンとした時の火災実験の様子である。さらに、煤の壁面付着条件を建物火災に適用したときに壁面にどのように煤が付着するかについて火災シミュレーション（数値計算）を用いて確認する。図6は、実験条件と同様の計算条件にて火災シミュレーションを実施し、比較検討することで実験データの妥当を確認したものである。この火災シミュレーションは火災原因調査にも活用しているもので、火災シミュレーションの現場再現性の向上を図ることを通して、火災原因調査の技術向上にもつながる。

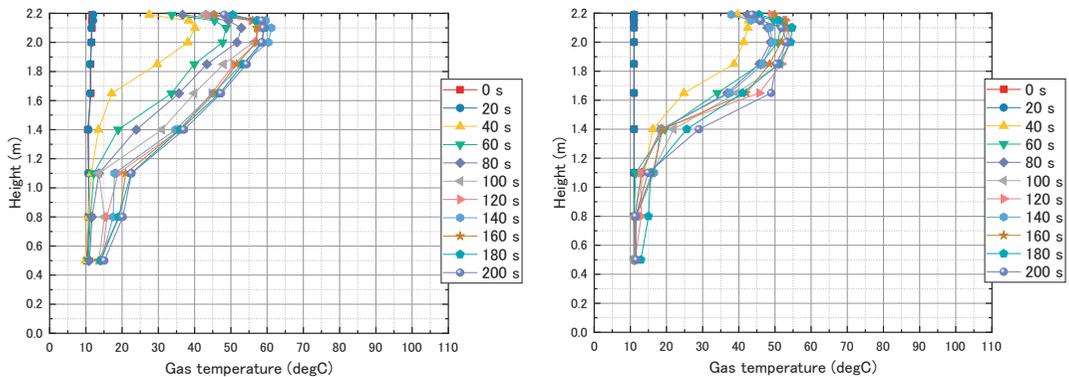
以上のような研究に取り組み、火災原因調査において調査員が煤の壁面付着状況から煙の動きが現場で判断できるように、煤の壁面付着状況を類型化したマニュアルを作成し、調査員がそれを活用することで、火災原因調査のより一層の技術向上を目指している。



図4 煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定の概要



図5 火災実験の様子



実験

数値計算

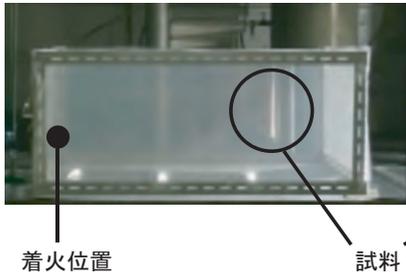
図6 火点から11m離れた場所の鉛直方向ガス温度分布
(実験と火災シミュレーション(数値計算)の比較)

(4) 火災現場において、どのような爆発があったか判断するためのガイドラインの作成

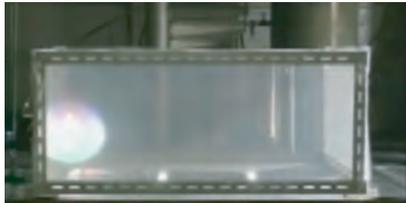
化学工場等で爆発があったらしいという通報を受けて、消防機関が出動し現場に到着した際に、施設が激しく壊れており大きな音がしたという証言があれば、爆発があったと判断できる。しかし、現場に到着したときには火災が見えず、施設の一部に破壊の跡が発見されたのみであった場合、破壊の原因は爆発かどうかの判断が容易にできないことがある。また、現場に到着したときには火災を発見したが、火災のみでは説明できない破壊の跡が

施設の一部にあった場合、爆発を起点とする火災なのかどうか容易に判断できないことがある。このように、小規模な爆発が発生し、施設の一部のみが破壊されると、爆発があったかどうか容易に判断できないことがある。爆発があったかどうかを判断し、爆発があったとしたらどの程度の規模かを推定するためには、何を見たらよいか、どこを見たらよいかを示す消防機関向けのマニュアルを作成する。そのために、過去の事故事例を参考にし、小規模な爆発実験を行った。

低引火点の可燃性液体が建物内に漏えいして気化し、可燃性予混合気が形成されて着火し、火炎が伝ばし、建物が壊れるという想定で、小規模なガス爆発の実験を行った。実験は消防本部と共同で行った。金属製のアングルを組んで、直方体の枠をつくり、その6面を薄いプラスチックシートで覆うことにより、内容積約400リットルの角形密閉容器を作成した。容器内をヘキサンと空気から成る可燃性予混合気で満たし、電気火花で着火し、火炎が容器内を伝ばする様子を観察した（図7）。着火する位置と反対側に、4種類の試料を設置した。設置した試料が、伝ばする火炎によりどのような影響を受けるかを観察した。試料には、工場等にありそうなものとして、薄い紙、段ボール紙、工事用養生シート、工事用養生シート(難燃)を選んだ。火炎が通過した後、薄い紙は燃えていた。段ボール紙は端面がわずかに焦げただけであった。工事用養生シートと工事用養生シート(難燃)は、溶融し、落下していた。このようにして、ガス爆発が発生した際に、現場にあったもののどのような痕跡が残るかを実験的に調べた。



①着火位置と反対側に、試料を設置する。



②着火すると、可燃性予混合気中を火炎が伝ばする。



③火炎が伝ばすると、容器内の圧力が上昇し、プラスチックシートの一部が破れる。



④火炎が試料を通過し、外部に噴出する。



⑤火炎が通過した後、薄い紙は燃えている。段ボール紙は端面がわずかに焦げただけである。工事用養生シートと工事用養生シート(難燃)は、熔融する。

図7 火炎伝ばの様子（左：側面から撮影した画像、右：正面から撮影した画像）
 設置した試料は、左から、薄い紙、段ボール紙、工事用養生シート、工事用養生シート（難燃）

2 火災時における自力避難困難者の安全確保に関する研究

特別養護老人ホーム、グループホーム等の要介護者が入居する施設（以下、特養ホーム等という）は、入居者が介護を必要とすることから、健常者よりも避難が困難であり、過去の火災事例をみても多数の死者が発生している。これから超高齢化社会を迎えるにあたって、これらの施設が増加することが容易に予想されることから、入居している自力避難困難者の火災時における安全確保は一層重要となる。

特養ホーム等（病院も含む）の避難を対象とした報告は、日本建築学会の報告書があり⁽¹⁾、その報告書では、避難行動能力は5段階に分類されている。この分類は、日常の運動能力による分類であり、認知まで含めた運動能力との相関に関しては言及がなされていない。また、介護の必要性の指標として要介護度があるが、要介護度は通常生活を営む上での指標であり、運動能力に対する介護要件と認知に関する介護要件双方が関係している。更に、介護度が運動能力による指標で同じであっても、障害の部位によって避難能力は大きく差がある。このため自力避難困難者の避難能力を要介護度で判断することは難しい。この問題点は、日本火災学会の報告書においても述べられているが⁽²⁾、自力避難困難者個々の詳細な評価を実施するまでは至っていない。

この研究では、自力避難困難者の避難能力に部位による運動能力の詳細と現場医療の視点を取り入れて認知度を考慮した評価を行い、そこから避難時間短縮の方法を検討し、更に施設における避難計画の作成に必要な情報提供、適切な避難方法・避難計画の提案を事業者に対し行うと共に、指導に当たる消防職員の参考となる情報を提供すること、及び避難時間の短縮が図られると考えられる避難補助器具の試作・改良を目標としている。

札幌市内の特養ホーム等の避難訓練の状態を調査し、以下の避難に関する問題点を抽出した。

- (1) 入居者を避難させる際に、避難補助器具として利用されているものの多くは車いすであるが、一部の施設では入居者を布団に乗せ床面を引きずり移動させている例が見られた。布団の引きずりは、床面との摩擦、引きずりの体勢などにより相当の引っ張り力が必要とされ、補助器具を活用することにより避難時間の短縮が図られると考えられた。
- (2) 避難が終了しているか各部屋を介助者が確認していたが、避難終了のインジケータを各部屋に設置することで、介助者が効果的に避難行動を介助することができ、避難時間の短縮が図られる可能性が考えられた。
- (3) 要介助者が避難を起こすまでの準備時間（声かけから起き上がり、立位に至る時間）について測定し、避難時間の短縮方法について考察した。

特養ホーム等の施設においては、通常時においても移動手段として車いすを一般的に使

用している。しかし避難時には2階以上のフロアーにおいて、階段などの防火区画付近に要介助者避難に使用した車いすが滞留し、避難行動の障害となる例もあった。車いすに移乗させず布団のまま引きずり安全な場所まで移動させることは、布団の持ち手、引っ張りの握力等の問題から、車いすによる移動に比較して避難時間を多く要している。ここで、布地にプラスチック板を装着させ、引っ張り用ベルトを付けた補助器具を試作して、プラスチックの違いによる引っ張り力の大小を計測した（図8）。

接地面とプラスチック板の組み合わせによっては、小さい力で長時間の引っ張り移動が可能となることが分かった。今後、引っ張り力をより小さくできる素材を検討することと、要介助者の安全性に配慮した補助器具へと改良を行う予定である。



図8 引っ張り力測定の様子

大規模施設では、複数の介助者が避難介助を行っている。各部屋から要介助者を安全な場所まで避難させた後、各部屋の在室確認のために再度見て回る必要が生じている。一部の施設では、部屋の入口に避難済みを示す紙などを貼っているが、介助者が容易に空室かどうかを確認する手段があれば、より効果的に避難介助が行える。そこで、各居室に避難終了を示すインジケータの制作を試みた。これは、従来の研究で行ってきた無線連動型住宅用火災警報器の技術を取り入れたもので、試作に向けて準備中である⁽³⁾。

特養ホーム等の調査結果において、避難時間を「介助者の駆け付け」、「避難準備」、「避難」に分類し、それぞれの時間の割合を算出すると、「駆け付け」が21.2%、「避難準備」が28.2%、「避難」が50.6%であった⁽⁴⁾。「避難」に関しては、要介助者個々の運動能力に依存するものであるが、「避難準備」については、介助者の基本的介助技術の熟練度にも依存していると考えられた。また、特養ホーム等の施設においては、入居者が避難訓練に

参加するパターンと、職員が入居者役になるパターンがあり、後者が圧倒的に多数を占めていた。夜間想定での避難訓練では、避難準備に要する時間が長くなることが予想されるので、声かけから立位までの避難準備行動も取り入れた訓練も行い、避難準備時間の短縮を試みることも必要であると考えられた。

いくつかの特養ホームの平面図を基に、火点を想定した煙流動のシミュレーションを行い、実際の火災の際に留意すべき点等を見える形で施設職員等に示す準備を実施した。

参考文献

- (1) 一般社団法人日本建築学会、避難安全のバリアフリーデザイン特別調査委員会2013年度報告書
- (2) 公益社団法人日本火災学会、高齢者が生活する空間における火災安全対策のあり方に関する調査研究事業報告書2014年3月
- (3) 河関大祐、塚目孝裕、田村裕之、阿部伸之、高梨健一、藤井皓介、宮坂智哉、齋藤貴幸、山崎正信、高齢者施設における避難済み居室の確認方法について、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 154-155、(2017)
- (4) 宮坂智哉、塚目孝裕、田村裕之、阿部伸之、高梨健一、藤井皓介、河関大祐、齋藤貴幸、山崎正信、伊藤潤、高塚浩平、認知症グループホーム火災避難訓練時における解除を伴う避難準備と所要時間に関する考察、日本火災学会研究発表会梗概集、pp. 82-83、(2016)

消防防災科学技術研究推進制度の研究紹介

— 社会実装化研究開発課題の紹介 —

消防庁総務課分室

1 消防防災科学技術研究推進制度（競争的資金）について

「消防防災科学技術研究推進制度」は、消防防災分野に係る研究開発課題等を募り、提案された課題の中から、専門家を含む複数の者による科学的・技術的な観点を中心とした評価に基づき、実施すべき課題を選択し、研究者等に研究資金を配分する制度である。統合イノベーション戦略、骨太方針、未来投資戦略等の政府方針や消防機関等のニーズを踏まえ定めた重点研究開発目標の達成や、消防職団員の安全確保のための技術等、消防庁における重点施策の推進のために、平成15年から実施している事業である。企業・大学等の研究機関と消防機関とが協働し、これまで約150件もの研究開発が行われており、代表的な研究成果として、平成17年度に産学官連携功労者表彰総務大臣賞を受賞した、「水／空気2流体混合噴霧消火システムを用いた放水装備」や、平成19年度には、「少量型消火剤の開発と新たな消火戦術の構築」、また平成23年度には、「高圧水駆動型カッターの研究開発」が受賞し、社会実装された研究開発課題である。

研究開発の事例【その1】で紹介する研究開発課題は、平成28年に総務大臣賞を受賞した、テーマ設定型研究開発（重要施策プログラム）であり、福井大学、福井県勝山市消防本部、福井県嶺北消防組合嶺北消防本部の3機関によって実施した研究開発である。

更に【その2】で紹介する研究開発課題は、テーマ設定型研究開発（重要施策プログラム）であり、モリタ宮田工業株式会社、横浜市消防局消防訓練センターの2機関によって実施した研究開発であり、既に、市場展開している研究開発である。

2 研究開発の事例 【その1（クラウド型救急医療連携システムの研究開発）】

(1) 研究開発の背景

一刻を争う救命救急の分野では、モバイルを用いて、現場と医療機関を結び、迅速な対処・治療を実現するさまざまな仕組みが開発されている。しかし、導入・運用にかかるコストや手間がハードルとなり、命を救うための有用性は明らかでも、普及が進まないケースも少なからずある。福井大学医学部技術専門職員の笠松眞吾氏は、急性心筋梗塞患者の救命率向上につながる病院搬送前の心電図データ共有の仕組みに関して、大都市圏だけでなく、全国の60%を占める人口規模10万人以下の自治体や消防本部でも導入・運用が可能な「クラウド型救急医療連携システム」の開発を行った。笠松氏によれば、急性心筋梗塞

(ST上昇型)の診療ガイドラインでは、立体的に心筋の電流を捉える12誘導心電図を救急要請先から送信し、病院到着後90分以内に治療を開始すれば、救命率が高いとされており、政令指定都市などでは、病院到着後の迅速な対処を実現するための遠隔心電図伝送システムが普及し始めている。しかしながら、地方では、緊急手術が可能な二次救急病院まで30分以上かかることも多く、物理的に搬送時間を短縮できないのが現状である。搬送中に心電図を送信するシステムの必要性はむしろ都市部よりも高いと言え、従来のシステムは高額な初期投資と運営費から、地方自治体への導入が進まない状況にある。



図1 クラウド型心電図伝送システムの概要

(2) 心電図からタブレットにBluetooth経由でデータ転送

遠隔心電図伝送の研究に着手したのは、平成22年まで遡り、デンマークの大学病院を視察した際に、12誘導心電図伝送システムによる急性心筋梗塞患者の搬送救命事案を視察したことがきっかけとなった。その後、総務省の戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) に採択 (平成23年度～平成26年度の4回) され、試行錯誤を繰り返しながら、メディカルジャパン社とともに、オンプレミス環境からクラウド利用へのシフト、救急現場で12誘導

心電計と組み合わせるIoT端末の開発などに成功した。平成26年12月に福井県勝山市消防本部、平成27年2月には同県坂井市の嶺北消防組合消防本部で、救急車からのクラウド型12誘導心電図伝送実証試験を開始した。さらに、携帯型心電計とBluetoothで接続しモバイル通信（3G/LTE）にてクラウドへと心電図データを送信できる廉価なタブレット端末を開発し、平成28年に福井県内の5消防本部・12救急隊と急性心筋梗塞指定病院・救命救急センター5病院に試験導入することになった。

(3) 端末操作は極めて簡便に導入コストは従来の1/6以下に

システムの特徴として、まず挙げられるのは使いやすさ。救急隊側、病院側ともに3回以内の端末操作ですべての作業を行えるよう簡略化した。同システムを利用する嶺北消防組合では、「操作が難しくないので、救急の現場で迷うことなく測定と送信が行えます。写真も送れるので状況をすぐに伝えられるのは助かります」と話している。センター側のクラウド基盤には、Amazon社の「AmazonWeb Services」(AWS)を採用し、クラウド上のサーバを仮想化し、医療圏ごとに分けた「仮想プライベートクラウド」(VPC)を構築したうえで、仮想医療圏クラウドへVPN接続する形式をとることで高セキュリティを確保した。

現場では、まず救急隊側が電話連絡で搬送先の病院を決定したうえで心電図を送信することが多い。クラウド上に送られたデータは、病院側にプッシュ送信されるため、ほぼリアルタイムで搬送中の患者を遠隔診断でき、受け入れ後の処置や人的体制を事前に準備することが可能になった。福井大学医学部附属病院では、壁にかけたモニターに緊急受信警報とデータが表示され、見やすく使いやすい工夫がなされている。また、システム開発で最も重点をおいた低廉化に関しては、従来システムに比べて導入コストで6分の1以下を実現し、これにより、人口3万人以下の自治体でも、12誘導心電図伝送システムの導入が可能となった。

(4) 救命率向上に明確な効果広域災害時の遠隔支援も可能

「クラウド型救急医療連携システム」を活用したことで、実証試験期間中だけでも6名のST上昇型急性心筋梗塞患者を検出し、搬送先での緊急心臓カテーテル治療により救命に結びつけることができた。また、5病院で12救急隊での運用でも、搬送時間の短縮や到着後の治療開始までの時間短縮で救命例が増え、これら実績により、システム活用への前向きな姿勢も強まっている。また、地域連携を視野に入れて、医療圏ごとに分けているVPC間で、広域災害が起こった際には、相互にVPCを組み替えて、相互アクセスを可能にし、医療圏を越えた遠隔支援が行える仕組みも引き続き整備している。福井県外からもオファーがあり、システムによる広域連携の実験も進めているという。将来的には、マイナンバーと連携し、個人の医療記録や服薬履歴など、独居高齢者の救急搬送時にもクラウド

ド上で既往歴を紹介できるような仕組み等も付加する予定である(図2)。

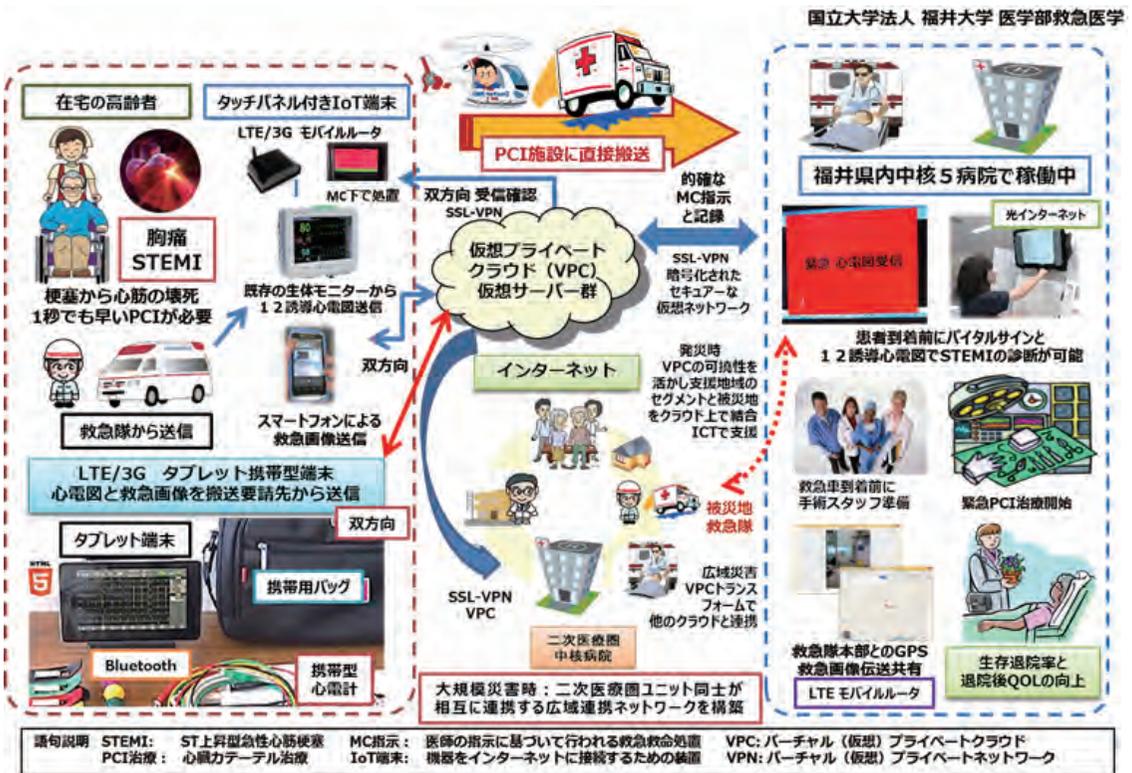


図2 クラウド型救急医療連携システム

3 研究開発の事例 【その2 (小規模な社会福祉施設等に適した簡易な自動消火設備の研究開発)】

(1) 研究開発の背景

平成18年から平成25年にかけて、小規模な社会福祉施設や医療施設において、多数の死傷者を生じる火災が相次いだ。これらを契機とし、消防法施行令の一部を改正する政令(平成25年政令第368号)が施行され、防火対象物令別表第1(6)項口に該当する社会福祉施設、ならびに防火対象物(6)項イ(1)または(2)に該当する医療施設は、延べ床面積にかかわらず原則スプリンクラー設備(以下SP)の設置が義務付けられた。福祉施設においては平成27年4月1日より、医療施設においては平成28年4月1日よりそれぞれ施行されている。しかし、SP設置に伴う大きな費用負担や設置工事中の営業停止等の影響、また借家で運営される施設では、SP設置工事等に貸主の理解を得にくい場合もあり、SP設置への障壁になっており、代替策が急がれていた。本研究開発はこれらの社会的背景に応じて実施したもので、その目的は、小規模な社会福祉施設や医療施設に対して、SPや水道連結型SPと

同等の火災抑制性能を有し、且つ、設置が簡易で建物への負荷が少ない自動消火設備の研究開発を行ったので紹介する。

(2) 既存の自動消火設備に係わる課題

福祉施設や医療施設等においては、SPの代替設備として、従来からパッケージ型自動消火設備の設置が認められていた。一方で従来のパッケージ型自動消火設備においては、 21m^2 以下の防護面積を消火薬剤量 216L で防護するタイプしかなく、小規模な社会福祉施設等においては、オーバースペックの可能性があった。また、「設置工事に伴う営業停止」や「配管を貫通できない壁・床がある」という問題、建物への負荷やそれに伴う原状復帰の費用等を考慮すると、従前のパッケージ型自動消火設備よりも、例えば住宅用下方放出型自動消火装置の様な、小型で簡易に設置が可能な消火装置が有効な場合もあると考えられた。

本研究開発では、これら課題に着目し、下記に示す①の装置タイプ、及び、②の設備タイプを開発目標とした。

①装置タイプ：住宅用下方放出型自動消火装置の様に簡易に設置が可能な消火装置に対する水道連結型SPと同等の延焼抑制性能を有する設備の仕様構築と開発

②設備タイプ：既存のパッケージ型自動消火設備において、小規模な社会福祉施設等を見据え薬剤量等を最適化した設備の仕様構築と開発

(3) 小規模社会福祉施設等についての可燃物調査の実施

小規模な社会福祉施設等に適した自動消火設備の具体的な仕様を検討するに当たり、より詳しく施設や各室の状況を知ることが不可欠である。そこで、横浜市に所在する小規模社会福祉施設185件を対象にアンケートを実施し、個室の数や床面積等の調査を実施した。アンケートでは、施設の種類、建物構造、床面積別の個室の数、および個室の合計数を調査した。

その結果、建物構造では、木造が3分の2を占めることが示され、また床面積別の個室数からは、居室の約91%が 13m^2 未満に収まることが分かった。更に、個室の数を見ると、一施設当たりの個室6～7部屋の割合が多く、平均7.4部屋となった。

更に、SP代替設備の延焼抑制性能を評価する手法を、可燃物量を参照して構築することを検討したが、小規模な社会福祉施設の可燃物に係る調査結果は、過去に報告されていない。そこで、横浜市の 275m^2 未満の社会福祉施設を対象として、可燃物調査を実施した。調査対象施設としては、横浜市所在の延床面積 275m^2 未満で、且つ消防法施行令の一部を改正する政令（平成25年政令第368号）令別表第1(6)項口に該当する防火対象物で、調査に同意を得た34施設（介護施設、障害者施設、老人ホーム等）で実施した。施設内（居室、事務室、台所、倉庫等）の可燃物調査は、目視によって行われ、物品を構成する主たる材

質と各部位の寸法測定から、可燃物の分類別（木材、紙類、綿、麻、ウレタン、ゴム、アクリル、ABC樹脂、ポリエチレン、ナイロン、レーヨン等）の発熱量の代表値を用い、簡易的に発熱量を算出した。その結果、施設内で、居室、事務室の可燃物密度が、他に比べ高く、積載可燃物密度平均値は、約728MJ/m²になることがわかった。この値は、2000年の建設省告示1442号の「住宅の居室」の積載可燃物量である720MJ/m²に近い値となった。

(4) 消火装置の延焼抑制性能の評価手法の選定

水道連結型SPに代えて、新たに開発する初期消火設備には、水道連結型SPと同等の延焼抑制性能が必要である。しかし我が国では、水道連結型SPを含め、SPの延焼抑制性能を直接的に評価する試験方法を備えた技術基準は現存せず、代替設備の小規模社会福祉施設における延焼抑制性能をいかに評価するかに課題があった。

そこで、住宅を対象とした国内外の自動消火設備に係る技術基準のうち、消火性能や延焼抑制性能を評価する試験を有する規格としては下記が挙げられる。

- 1) パッケージ型自動消火設備の認定評価細則
- 2) 性能評定住宅用下方放出型自動消火装置
- 3) 住宅用スプリンクラー設備の品質評価細則
- 4) ISO6182-10 Fire Protection-Automatic Sprinkler Systems

Part.10 : Requirements and Test Methods for Domestic Sprinklers

下記等の理由により、開発品の延焼抑制性能の評価方法として、4)の「ISO6182-10」を採用することが適切と判断した。

- a. 国際的に認知された規格に則った試験であること
- b. 火災区画の天井裏温度が判定基準に含まれるなど隣接区画への延焼抑制に主眼を置いていること
- c. 燃焼物近辺の壁面への延焼と、壁等で仕切られていない隣接防護区域へ熱放射の影響を同時に評価することが可能であること
- d. 各試験の可燃物密度の比較では、現地調査で得られた居室の可燃物密度平均値728MJ/m²に対し最も近似していること

消防庁より「パッケージ型自動消火設備の設置及び維持に関する技術上の基準を定める件」（平成28年1月29日消防庁告示第3号）が告示され、従来のパッケージ型自動消火設備は、「パッケージ型自動消火設備Ⅰ型」として位置付けられるとともに、13m²の同時放射区域ごとに、自動消火設備本体一台を設置するタイプの『パッケージ型自動消火設備Ⅱ型』が、新たに消防用設備等の中に位置付けられた。上述した、ISO6182-10火災試験は、パッ

ケージ型自動消火設備Ⅱ型に求められる消火・延焼抑制性能評価試験の一つとして位置付けられることになった。

(5) パッケージ型自動消火設備Ⅱ型の開発

パッケージ型自動消火設備Ⅱ型の3機種仕様を表1に、また外観を図3に示す。区画の内装下地が準不燃材料の施設に対応可能なパッケージ型自動消火設備Ⅱ型として、防護面積13m²当たりの総薬剂量が16Lまたは、18Lの機種を開発することとした。なお防護面積13m²の根拠は、アンケート調査の結果に基づき設定した。対応する天井高さは、実地調査した小規模社会福祉施設や、共同住宅100件の天井高さを調べ、全体の99%をカバー可能な2.8mとした。共同住宅を調査した理由は、その一部を社会福祉施設として使用するケースもあるためである。三種類の自動消火装置で火災拡大抑制試験を実施した際の各試験での温度推移から、天井高2.8mにおいて基準を満たすことが確認された。また施設の建物の内装材の照明が取れない場合を考慮し、厚み9.5mmの石膏ボード+可燃性ビニルクロス区画条件でも同試験に要求される火災拡大抑制性能を有することを確認した。

表1 パッケージ型自動消火設備Ⅱ型の仕様

タイプ		CPW13-044	CPW13-092	CPW13-161
防護面積		13m ²		
設置対象天井高さ		2.8m		
使用温度範囲		0～40℃		
管胴本数		4本	2本	1本
消火薬剤	種類	第三種浸潤剤等入り水		
	充填量	4L/本×4本	9L/本×2本	16L/本×1本
加圧ガス	種類・量・本数	CO ₂ +N ₂ ・60g・4本	CO ₂ +N ₂ ・126g・2本	CO ₂ +N ₂ ・126g・2本
感知部		検出方式の異なる2つの感知器（国家検定合格品）例：差動2種+定温特種60℃		
銅配管	径・長さ・曲げ数	Φ10・10m・10ヶ所以下		
放出口有効放射範囲		1286mm（壁までの最大距離910mm）		
放射時間（20℃）		18秒	28秒	24秒
電源		リチウム電池		
箱寸法H×W×D・総質量		400×900×179mm・約43kg	830×380×213mm・約44kg	1400×230×213mm・約42kg
その他		内装材が準不燃材料の部屋に設置可能		

タイプ	CPW13-044	CPW13	CPW13-161
格納箱内部			
想定設置場	壁面収納内（天袋等）	収納内	室内床置き

図3 パッケージ型自動消火設備Ⅱ型の外観

(6) 内装下地が準不燃材料未満の区画に設置可能なパッケージ型自動消火設備Ⅱ型の開発
表1に示したCPW13-044等の三機種は「防火性能が準不燃材料未満の壁で構成された居室等へは設置できない」という問題点があった。そこで、そのような居室等へも設置可能なパッケージ型自動消火設備Ⅱ型の開発を実施した。開発したCPW13-094の仕様を表2に示す。CPW13-094は、火災拡大抑制試験および他の必要な試験等においても基準を満たし、パッケージ型自動消火設備Ⅱ型の型式を取得した。

表2 準不燃材料未満対応型のパッケージ型自動消火設備Ⅱ型の仕様

	CPW-13-094
防護面積	13m ²
設置可能な天井高さ	最大2.8m
使用温度範囲	0℃～+40℃
感知部	検出方式の異なる2つの感知器 例：差動2種+定温特種60℃
電源ユニット	リチウム電池
接続銅管	外径φ12mm、t=1.0mm
消火薬剤	第三種浸潤剤等入り水
薬剤量	計36L（9L×4本）
放射時間	約28秒（於20℃）
一台当たり放出口数	4個
寸法・質量	H830×W734×D195mm・約87kg

(7) 防護面積13m²パッケージ型自動消火設備Ⅰ型の開発

パッケージ型自動消火設備Ⅱ型は、同時放射区域13m²ごとに一台設ける必要があるため、施設の同時放射区域の数によっては、設置費用が高くなる。場合によっては、パッケージ型自動消火設備Ⅰ型の方が安価になる可能性もある。そのため、施設側の選択肢を広げるために、既存型式品の防護面積13m²タイプのパッケージ型自動消火設備Ⅰ型の活用が必要であると考えられた。しかし既存型式品は、設置可能な天井高さが2.4m以下であり天井高さによって設置できない施設もあることが予想されたため、より高い天井高さでも設置可能とすべく、高天井で必要な性能を得るための仕様を構築した。開発品となる「FSSM013M」の基本仕様を表3に示す。「FSSM013M」は必要な性能を満たし、パッケージ型自動消火設備Ⅰ型の型式を取得した。

表3 防護面積13m²パッケージ型自動消火設備Ⅰ型の仕様

種別	パッケージ型自動消火設備Ⅰ型		型式記号		FSSM013M型	
認定番号	PGA-014号	防護面積	13m ² (1系統あたり)		受信盤	最大時30系統
放射時間	約60秒	使用温度範囲	0～+40℃			
本体ユニット	消火薬剤	種別	消火設備用消火薬剤	型式	第三種浸潤剤等入り水	
		型式番号	品評剤第28～1号	貯蔵容	108L	
	消火薬剤貯蔵容器等	消火薬剤貯蔵容器	容量108.5L			
		窒素ボンベ	容量10L、ガス種類N ₂			
	格納箱諸元	幅720mm×奥行560mm×高さ2,000mm、総質量350kg(梱包150kg)				
受信盤	定格電圧AC100V、定格電流2A (最大時：30回線)					
	非常電源型式	7.2Ah/10HR				
放出口	最大個数	放出口4個 または9個				
	最高取付高さ	2.4m (放出口4個の場合：)、3.6m (放出口9個の場合)				
感知器	差動式ホット型感知器	国家検定合				
	定温式ホット型感知器	国家検定合				
放出導管	放出口4個	材質：銅管 外径：φ12, 内径：φ10mm 最大長さ：6m				
	放出口9個	材質：銅管 外径：φ10, 内径：φ8.4mm 最大長さ：8m				
主配	SGP25A または SUS304TPD				本体ユニットから最大60m	

以上に示したパッケージ型自動消火設備Ⅱ型と同Ⅰ型「FSSM013M」によって、防火性能が準不燃材料未満の壁下地材で区画された施設に対しても、水道連結型スプリンクラー設備以外の選択肢を示すことが出来た。

これら開発品は、いずれも市場供給を開始しており、スプリンクラー設備の設置が困難な小規模な社会福祉施設等に対し設備の普及が進む予定であり、これら自動消火設備が、小規模な社会福祉施設等の火災安全性向上に寄与することを期待する。

4 おわりに

「消防防災科学技術研究推進制度」は、平成15年から実施している事業でありこれま

で約150件もの研究開発が行われているが、社会実装化された研究開発事業は、約1割程度となっている。政府戦略である、「統合イノベーション戦略」や「経済財政運営と改革の基本方針（骨太方針）」においても、研究成果等の社会実装化を掲げており、本制度における研究開発成果においても、より確度を上げ、社会実装化を推進するための取り組みをしていく必要がある。そのため、次年度より制度の見直しを行い、各研究開発課題に対してステージゲート方式の導入や、研究開発の進捗によるステージ毎の公募・評価基準等を導入する予定である。また、消防機関のニーズや、AI・IoTやG空間情報等を活用した技術シーズを広く共有して、革新的な研究開発を促進するとともに、当該ニーズ及びシーズをマッチングさせ、製品化に結びつけるための仕組みを構築して行く予定である。

平成30年度下半期（平成30年10月～平成31年3月） の行事予定について

消防研究センター

消防研究センターでは、平成30年度下半期において下記の行事・事業を予定しております。この行事につきましては、適宜、消防研究センターホームページ（<http://nrifd.fdma.go.jp/>）等で情報提供を行っていく予定です。

第66回全国消防技術者会議

消防研究センターでは、全国の消防技術者が消防防災の科学技術に関する調査研究、技術開発等の成果を発表するとともに、聴講者と討論を行う「全国消防技術者会議」を毎年開催しております。本会議では、消防関係者による一般発表に加え、平成30年度消防防災科学技術賞の表彰式および受賞者による口頭発表・展示発表、さらに、消防研究センターにおける研究成果等を発表する「第22回消防防災研究講演会」も併せて実施します。皆様のご参加をお待ちしております。

記

- 1 開催日 第1日 平成30年11月21日（水）
第2日 平成30年11月22日（木）
- 2 場所 ニッショーホール（日本消防会館）東京都港区虎ノ門2-9-16
- 3 定員 両日とも650人（参加費無料）
- 4 内容 11月21日（水）
 - 特別講演
講師：吉田 信彌 氏（東北学院大学 教授）
演題：「安全知識をいかに共有するか」
 - 平成30年度消防防災科学技術賞表彰作品の発表・表彰式11月22日（木）
 - 消防関係者による一般発表
 - 「第22回消防防災研究講演会」

テーマ：「大規模物流倉庫火災」

(消防研究センター等の研究成果を発表し、聴講された消防関係者や消防防災分野の技術者との意見交換を行います。)

5 プログラム 消防研究センターのホームページ (<http://nrifd.fdma.go.jp/>) をご覧ください (「イベント情報」欄の「【技術】第66回全国消防技術者会議」のリンクをクリック)。逐次詳細なものに更新します。

6 参加申込み方法 消防研究センターのホームページから、申込専用サイトにアクセスし、必要事項を入力してください。申込みを取り消す場合又は申込み内容を変更する場合にも、このサイトをご利用ください。

なお、上記の方法が難しい場合は、下記にお問い合わせください。

7 参加申込み期間 8月13日(月)から11月18日(日)まで
(但し、定員になり次第締め切ります。)

8 問い合わせ先 消防庁 消防研究センター 研究企画室
〒182-8508 東京都調布市深大寺東町4-35-3
TEL：0422-44-8331 FAX：0422-42-7719
E-mail：66_gijutsusha@fri.go.jp

消防研修 (第104号)

平成30年9月

消防庁
編集発行 消防大学校
(調査研究部)

〒182-8508

東京都調布市深大寺東町4-35-3

電話 0422 (46) 1713

F A X 0422 (46) 1988

印刷所 株式会社 丸井工文社

※個人情報、ご本人へのご連絡及び個人を特定できない統計的な資料の作成以外には利用いたしません。

< キリトリ >

郵便はがき

1 8 2 - 8 5 0 8

恐れ入りますが
62円分の切手を
お貼り下さい。

東京都調布市深大寺東町 4-35-3

消防庁消防大学校

調査研究部 行

ハ
キ
リ
ト
リ
▽

消防研修第104号（平成30年9月発行）

本誌についてご意見・ご希望などをお聞かせください。

◇面白かった記事、役に立った記事等、またその理由等をご記入ください。

◇今後掲載してほしいテーマ等がございましたらご記入ください。

氏名

e-mail

連絡先（電話番号）

切り取ってお使いください。→

