

消研輯報

73

令和元年度

[グラビア]

[I 研究業務]

- 災害対応のための消防ロボットシステムの研究開発
- 高齢化、過疎化、災害を踏まえたモデル救急体制に関する研究（次世代救急車に関する研究）
- 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
- 大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究
- 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
- 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
- 泡消火技術の高度化に関する研究
- 化学物質の火災危険性を適正に把握するための研究
- 火災原因調査の能力向上に資する研究
- 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
- ライニングが施工された鋼製一重殻地下タンクの定量的評価に基づく健全性診断方法の研究開発
- 人口構造を考慮した住宅火災リスク評価に関する研究
- 建物火災時における歩行者の避難安全性に関する研究
- 自主防災組織や消防職団員による災害時要援護者の津波避難支援体制に関する研究
- 火災初期におけるドローンを用いた指揮判断支援方策の構築
- マルチロータ型ドローンの飛行制御技術の向上に関する研究

[II 研究発表等]

- 所外研究発表状況
- 一般公開
- 全国消防技術者会議
- 消防防災研究講演会
- 消防防災科学技術賞受賞作品概要
- 研究懇話会
- 調査技術会議

[III 関連業務]

- 研究交流
- 所外講師派遣及び所外委員会等参加状況
- 災害調査等
- 受賞
- 産業財産権
- 視察・見学

[付録]

- 研究体制
- 施設設備
- 年表
- 令和元年度刊行物

グラビア写真Ⅰ 消防研究センターの関連業務

●災害対応のための消防ロボットシステムの研究開発

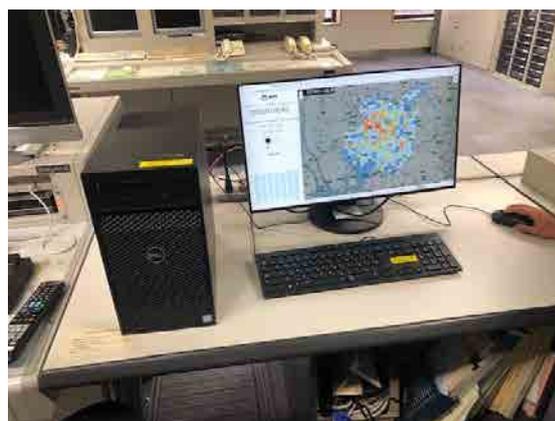


完成させた実戦配備型消防ロボットシステム

●高齢化、過疎化、災害を踏まえたモデル救急体制に関する研究



ストレッチャーが跳ね上がった状態



救急需要予測システム(名古屋市消防局の指令室内)

●大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究



Web版市街地火災延焼シミュレーションシステムの画面例

● 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

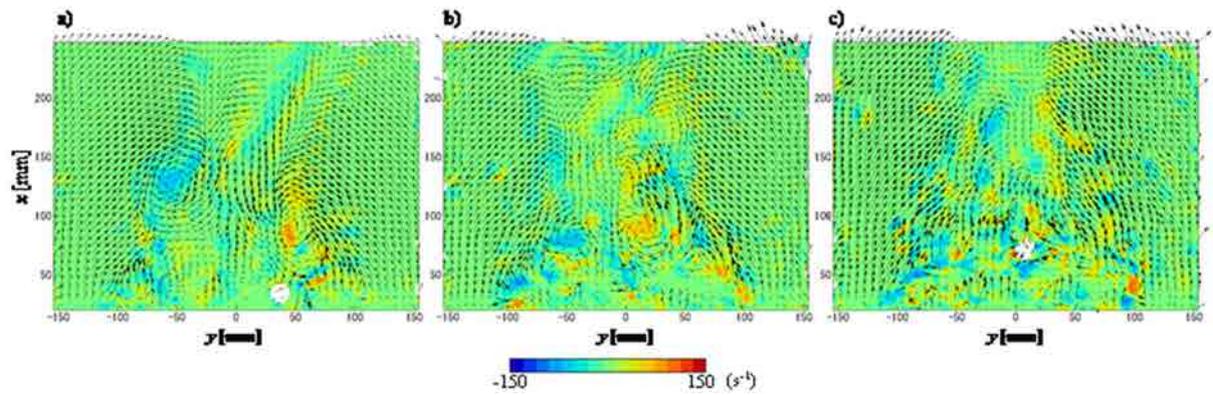
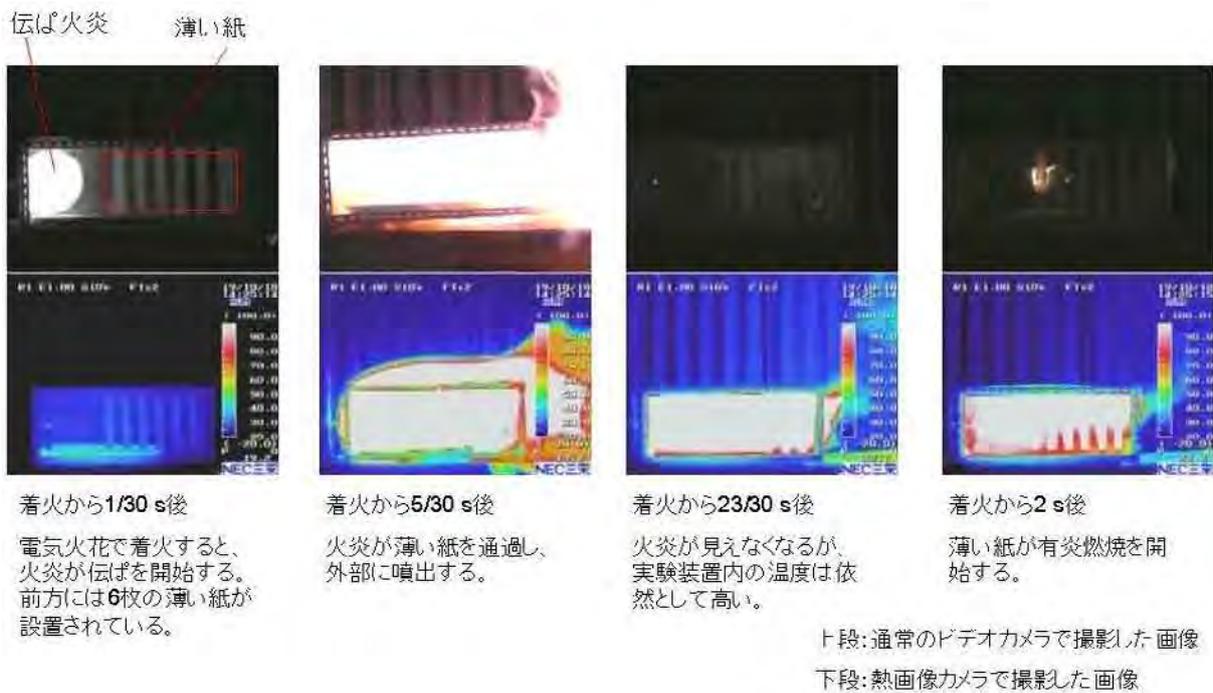


図 9 発熱速度が 0.84kW で風速を変えた時の瞬時速度・渦度の分布の一例：主流は各図の下から上方向である。各図の下の方の長辺の位置が、バーナーの燃料噴出部の風下端から 4 mm 風下の位置に相当する。(a) $U = 0.28$ m/s、(b) $U = 0.38$ m/s、(c) $U = 0.48$ m/s

● 火災原因調査の能力向上に資する研究



実験装置内に設置した薄い紙が有炎燃焼を開始する様子

グラビア写真Ⅱ 消防研究センターの研究発表・啓発活動



一般公開
(平成 31 年 4 月)



一般公開
(平成 31 年 4 月)



2019 年度消防防災科学技術賞表彰式
(令和元年 11 月)



第 67 回全国消防技術者会議 (特別講演)
(令和元年 11 月)



第 67 回全国消防技術者会議 (展示発表)
(令和元年 11 月)

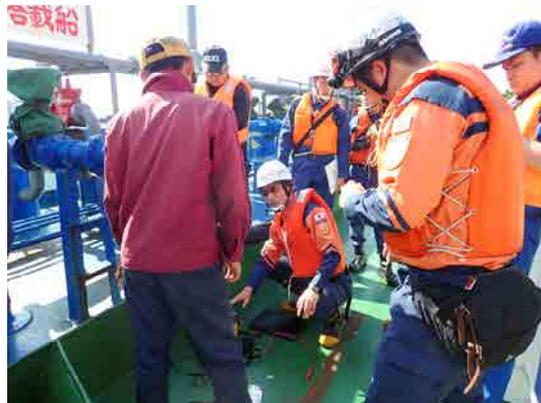


第 23 回消防防災研究講演会
(令和元年 11 月)

グラビア写真Ⅲ 消防研究センターの関連業務



調査技術会議（東京会場）
（令和元年5月）



徳島県徳島市 屋外タンク貯蔵所火災
（令和元年5月）



福井県永平寺町 繊維工場火災
（令和元年6月）



大阪府大阪市 G20 大阪サミット
（令和元年6月）



沖縄県那覇市 首里城火災
（令和元年10月）



鑑識支援
（令和元年11月）

I 研究業務

(1) 災害対応のための消防ロボットシステムの研究開発	3	(10) 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	100
(2) 高齢化、過疎化、災害を踏まえたモデル救急体制に関する研究 (次世代救急車に関する研究)	10	(11) ライニングが施工された鋼製一重殻地下タンクの定量的評価に基づく健全性診断方法の研究開発	110
(3) 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	19	(12) 人口構造を考慮した住宅火災リスク評価に関する研究	116
(4) 大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究	26	(13) 建物火災時における歩行者の避難安全性に関する研究	119
(5) 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	43	(14) 自主防災組織や消防職団員による災害時要援護者の津波避難支援体制に関する研究	121
(6) 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	56	(15) 火災初期におけるドローンを用いた指揮判断支援方策の構築	124
(7) 泡消火技術の高度化に関する研究	69	(16) マルチロータ型ドローンの飛行制御技術の向上に関する研究	127
(8) 化学物質の火災危険性を適正に把握するための研究	79		
(9) 火災原因調査の能力向上に資する研究	83		

※担当者とその所属について：平成26年4月から令和2年4月現在に至るまで研究に携わった全員の氏名を記載。所属は令和2年3月現在のもの。なお、特定の期間携わった者については、*1)、*2)、... で期間を示す。

II 研究発表等

1 所外研究発表状況	129	4 消防防災研究講演会	147
(1) 口頭発表	129		
(2) 論文発表	135	5 消防防災科学技術賞受賞作品	150
(3) 解説	137	概要	
(4) 所外報告書	139		
2 一般公開	141	6 研究懇話会	160
3 全国消防技術者会議	145	7 調査技術会議	166

III 関連業務

1 研究交流	171		
(1) 派遣	171	(3) 共同研究	173
(2) 受け入れ	172	(4) 競争的資金	174

2 所外講師派遣及び所外委員会等	176	4 受賞	198
参加状況		(1) 受賞	198
(1) 所外講師派遣状況	176	5 産業財産権	199
(2) 所外委員会、研究会への参加状況	179	(1) 特許	199
(3) 所外実験・研究等への参加状況	187	6 視察・見学	200
3 災害調査等	189	(1) 国内	200
(1) 災害調査	189	(2) 国外	201
(2) 鑑定・鑑識	192		
(3) その他の技術支援	196		

付 録

1 研究体制	203	3 年表	214
(1) 組織	203	(1) 昭和 22 年度～令和元年度略年表	214
(2) 予算	204	4 令和元年度刊行物	217
(3) 定員	205	(1) 消防研究所報告	217
(4) 職員	205		
(5) 人事異動	206		
(6) 委員会	207		
2 施設設備	209		
(1) 土地、建物の現況	209		
(2) 主な研究施設の概要	210		
(3) 主な研究設備・機器の整備状況	211		
(4) 図書	213		

I 研究業務

(1) 災害対応のための消防ロボットシステムの研究開発

研究期間：平成 26 年 4 月～令和 3 年 3 月

特別上席研究官	天野 久徳
火災災害調査部長	西 晴樹
技術研究部 危険性物質研究室	内藤 浩由 ^{*1)}
技術研究部 地震等災害研究室	佐伯 一夢、田村 佳宏 ^{*2)}
	清水 幸平 ^{*2)}

^{*1)}～平成 30 年 3 月、令和 2 年 4 月～

^{*2)}平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月

1. 目的

十勝沖地震では石油タンクの全面火災が発生し、東日本大震災では球形ガスタンクの火災・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。自然災害ばかりでなく、石油コンビナートや化学プラントにおける火災・爆発事故も発生しており、ここ数年間は事故件数も増加傾向にある。

これらエネルギー・産業基盤施設の火災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。自然災害や事故により被災した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、自然災害や事故に対して強靱な社会を実現する上で、これらの災害等によって発生した火災を早期に抑制することが重要である。

しかしながら、これらの特殊な環境下の大規模火災において、消防隊員が火災に近接して活動することは危険を伴う。遠隔操作機器での対応を想定した場合でも、通信条件の影響などにより、有効な活動

を行うには限界もある。そこで、より遠方から消防隊員の判断および指示に基づき、半自律的に火災抑制、消火活動を行うことができる消防ロボットシステムを研究開発する。消防ロボットシステムのイメージを図 1 に示す。消防ロボットシステムに自律的な機能や協調連携機能を取り入れ、消防隊員が進入できない状況、あるいは、遠隔操作機器では進入できない状況において、火災に近接し、高熱な領域でのより効率的な消防活動を可能とすることを第一の目的とする。

災害時に想定している消防ロボットシステムの活動は以下の通り。

- (1) 石油タンクの防油堤内火災や可燃性ガスホルダの防液堤内火災の発生時において、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) 大型の浮き屋根石油タンク全面火災が発生した状況下において、火災燃焼中の石油タンク側板を冷却し、石油タンクの倒壊を防ぐことができる活動。

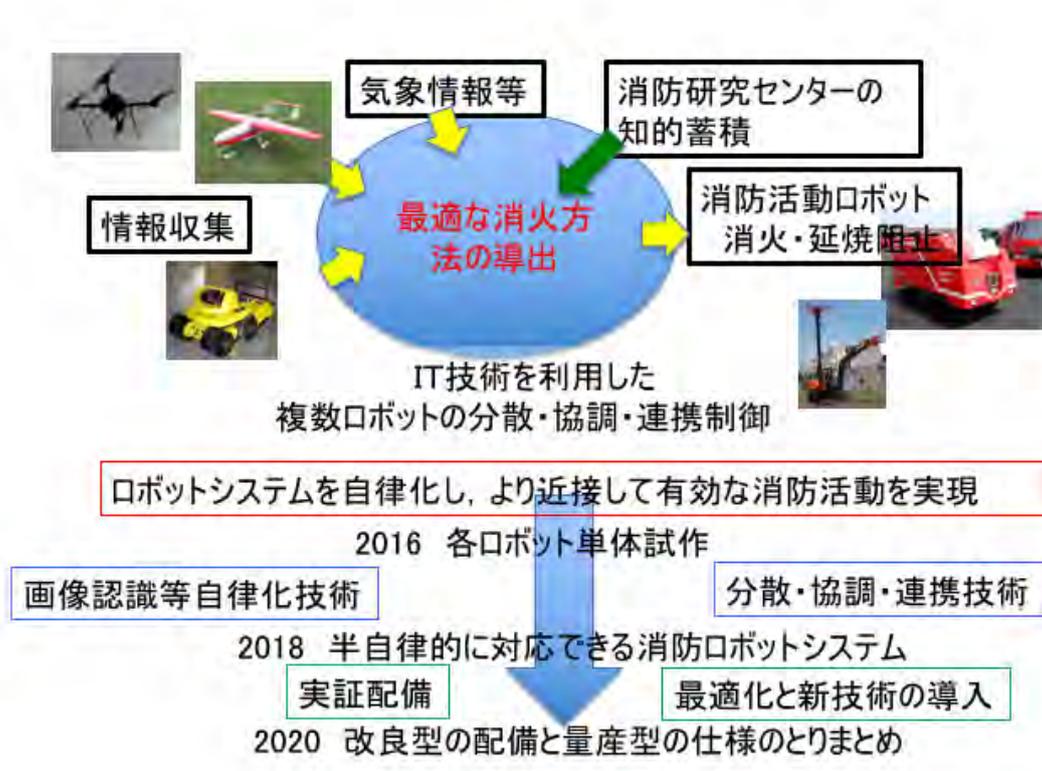


図1 開発する消防ロボットシステムのイメージ

(3) 中型の浮き屋根石油タンク全面火災が発生した状況下において、火災を抑制できる（鎮圧までできなくても、火災の拡大をコントロールできる）活動。

(4) 上記(1)～(3)の活動に伴う偵察・情報収集活動。とし、開発する消防ロボットシステムの全部または一部を複数セット用いることにより、対応できることとする（参考：石油コンビナートの防災アセスメント指針（平成 25 年 3 月 消防庁特殊災害室））。この他、大規模な火災への対応を可能とする汎用性、また、システム全体ではなく単体で機能することも考慮し、開発を進める。

一方で、消防ロボットには多くの技術要素が必要となる。そこで、消防ロボットに応用可能なロボット、制御等技術について研究を行う。

2. 平成 30 年度までの経過

消防ロボットシステムで対応する災害を想定し、平成 26 年度に消防ロボットシステムの構成について検討を行い、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各 1 台と消防隊員が指示を入力する指令システムとした。消防ロボットシステムの構成を図 2 に、活動イメージを図 3 に示す。平成 27 年度に各単体ロボットの一次試作に必要となる部分試作を行い、平成 28 年度には、一部自律機能を導入した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 2 消防本部（静岡市消防局、四日市市消防本部）において、各々 2 か月間試験を実施した。この試験における評価結果を基に、改良・改修した実戦配備型消防ロボットシステムの開発・製作を開始した。

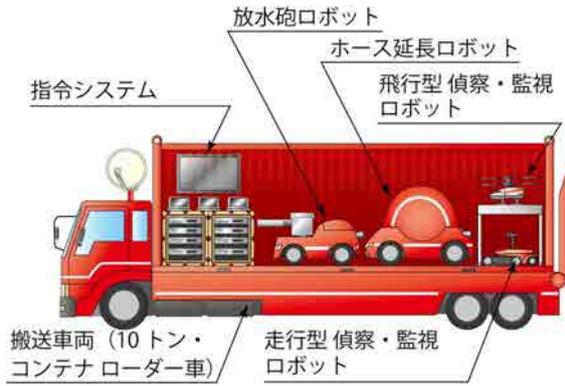


図2 消防ロボットシステムの構成



図3 消防ロボットシステムの活動イメージ

平成30年度には、実戦配備型消防ロボットシステムの搬送車両を製作した。配備が想定される消防本部管内の石油コンビナートにおける現地試験を

繰り返し実施し、実戦配備型として十分な性能であることが証明された。完成させた実戦配備型消防ロボットシステムを図4に示す。



図4 完成させた実戦配備型消防ロボットシステム

3. 令和元年度の研究計画と成果

(1) 実戦配備型消防ロボットシステムの実証配備

平成30年度に完成した実戦配備型消防ロボットシステムを消防本部に配備し、訓練を通しての機能の過不足、操作性について、訓練に立ち会っての意見交換の他ヒアリングを実施した。消防ロボットシステムの量産型開発のための最適化を目的として、

量産型仕様の骨子としてまとめた。実戦配備型消防ロボットシステムは遠隔操縦による動作モードと自律動作モードがあるが、令和元年度には、遠隔操縦での活動を実戦出動において確実に対応できるレベルまで習熟しており、自律動作については、習熟を進めた。訓練の様子を図5に示す。



図5 消防ロボットシステムの訓練の様子

(2) 新技術の導入の検討

消防ロボットシステムの研究開発は平成 26 年度から開始しており、この間に関連する新技術が開発されている。新技術を導入することにより、導入コストの低減化等が考えられるため、その検証を行った。

本格的運用が開始された準天頂衛星「みちびき」を利用した GNSS 受信機（図 6）について、より簡便に自律走行を実現できる可能性を、また、低価格

な新型レーザースキャナを利用した自律走行の可能性について実験的に検証した。自律走行のための検証実験に使用した台車を図 7 に示す。その結果、準天頂衛星「みちびき」を利用した GNSS について明らかな有利さは認められなかった。また、新型レーザースキャナは複数台の使用を前提とすると代替の可能性はあると認められた。新型レーザースキャナを使用して作成した電子的地図を図 8 に示す。



図6 準天頂衛星「みちびき」対応 GNSS 受信機



図7 検証実験に使用した台車：前方上部中央に新型レーザースキャナを搭載

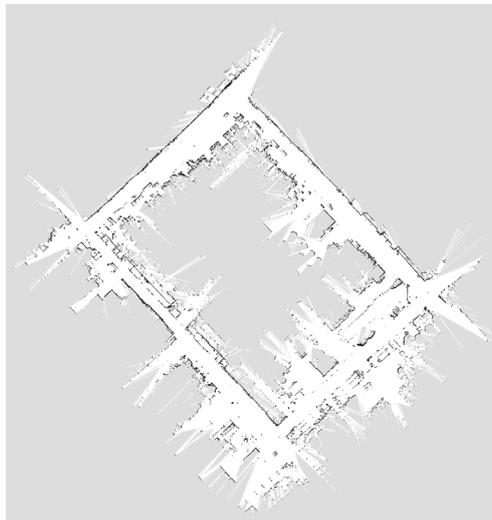


図8 新型レーザースキャナを用いた計測結果を基に作成した電子的地図

(3) 電子的地図の作成とより簡易な計測法の検討

消防ロボットシステムの自律走行のためには、事前に、石油コンビナートヤードの電子的三次元地図をロボットで計測し作成する必要がある。既に、実証配備する消防本部管内の主要な石油コンビナートヤードについては作成済みであり、他の消防本部管内の東京湾岸に立地する大規模石油コンビナートヤードのうち二箇所の計測を実施し、電子的地図

を作成した。その一例を図9に示す。

電子的地図作成にあたり、事後の修正をより簡便にするために、道路境界を計測員が明示する方法を採用し、計測を実施した。さらに、図10に示すように、計測する道路境界などに球体のマーカーを設置して計測する方法の検討を進め、その優位性が確認されたため、現システムとの整合性を取りつつ令和2年度に導入することとした。

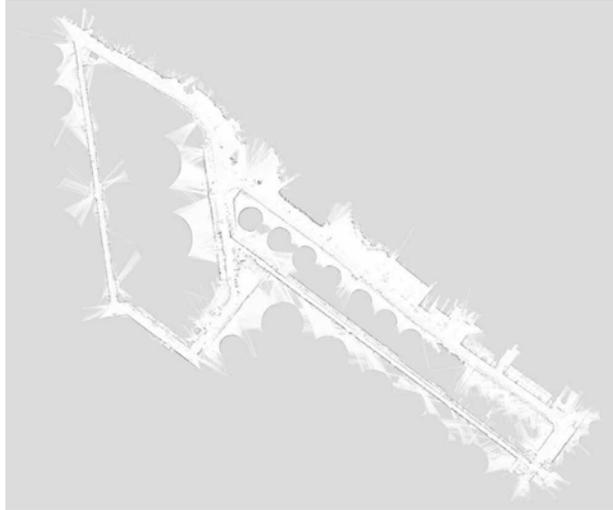


図9 東京湾岸域の石油コンビナートヤードの電子的地図の一例



図10 球体マーカーを利用した電子的地図作成用データ計測の様子

(4) 消防防災ロボットに応用可能な技術の基盤的研究(継続)

消防防災ロボットに応用可能な技術の研究を進め、「消防ロボットの自律移動経路生成法の改良」に関する論文発表等を行った。

4. 令和2年度の研究計画

(1) 実戦配備型消防ロボットシステムの実証配備(継続)

実戦配備型消防ロボットシステムを引き続き消防本部に配備し、最適化の検討を進める。また、実戦出動については、石油コンビナートヤードの電子的地図が取得できた事業所においては自律動作で実戦対応可能なレベルとする。

(2) 最適化及び新技術の導入改良と量産型仕様のと

りまとめ

実証配備を基に検討した最適化結果、また、令和元年度に実施した新技術の研究を基に、実証配備している実戦配備型消防ロボットシステムの改良を実施するとともに今後普及を進める量産型の仕様をとりまとめる。

(3) 電子的地図の作成(継続)とより簡易な計測法の導入

東京湾岸に立地する大規模石油コンビナートヤードの計測を引き続き順次進める。簡易な計測法を現システムとの整合性を取りつつ導入する。

(4) 海外市場への展開の推進

研究開発した消防ロボットシステムの海外での活用を推進する。

(5) 消防防災ロボットに応用可能な技術の基盤的研

究(継続)

5. 共同研究等外部との協力(一部予定)

(1) 実証配備

・市原市消防局

(2) 石油コンビナートヤード地図計測等協力

・川崎市消防局

・横浜市消防局

(3) 共同研究、試験協力等

・大阪大学

・東北大学

・埼玉大学

・和歌山大学

・立命館大学

・岡山理科大学

・明石高専

・松江高専

・三菱重工業株式会社

・深田工業株式会社

・三菱電機特機システム株式会社

・帝国繊維株式会社

・JXTG エネルギー株式会社

・コスモ石油株式会社 等

(2) 高齢化、過疎化、災害を踏まえたモデル救急体制に関する研究

(次世代救急車に関する研究)

研究期間：平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 特殊災害研究室 久保田勝明、尾川義雄

1. 目的

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 空間等を利用した「次世代救急車」を研究開発し、世界最先端の救急サービスを目指す。

具体的な背景及び目的を以下に示す。

1) 救急用多言語自動翻訳システム

昨今の外国人来訪者の増加に伴い、外国人の救急搬送人数が増加している（図 1）。また、外国人傷病者への対応では、言葉が通じなく対話に手間取り対応が困難となっており、現場滞在時間が全体平均と比べ 3～6 分と遅延が見られ（図 2）、救急業務における外国人対応は喫緊の課題である。これらの背景を踏まえ平成 27 年消防庁「救急業務のあり方に関する検討会」において「多言語翻訳を救急業務で使いやすいシステムにするかが課題」と指摘されている。

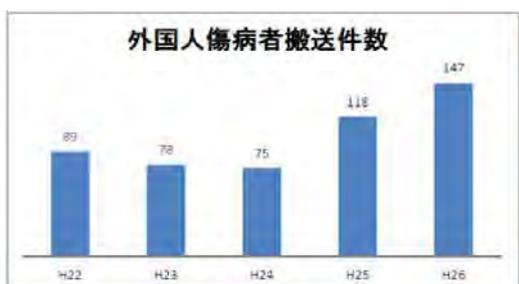


図 1 外国人の搬送件数例（札幌消防）

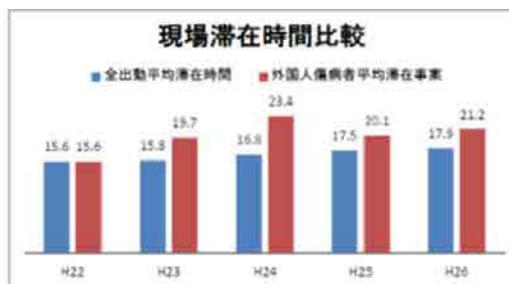


図 2 外国人傷病者の現場滞在時間（札幌消防）

そこで本研究では、救急現場で使用可能なスマホやタブレットにインストールして使用可能な、救急用多言語自動翻訳システムを開発する。開発内容は、既存の多言語自動翻訳ツールをベースに、マンパワーや対応時間が限られる救急現場に実装するために、使用頻度の高い会話内容を簡便な言葉で代替する「短縮ワード」や、自動翻訳機能を補う数字や体の部位を示した「会話シート」等を作成し、救急現場用にカスタマイズする。

2) 救急車運用最適化

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る。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た救急車運用最適化プログラムの開発を目指す。

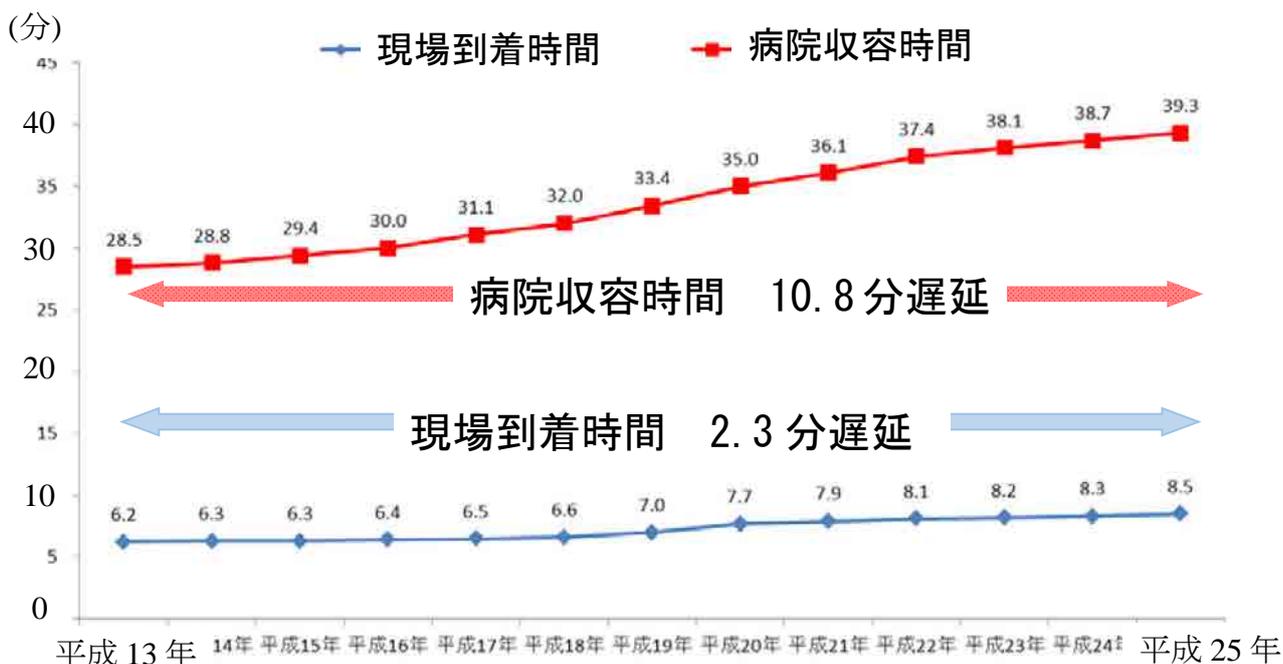


図3 現場到着時間、病院收容時間の推移 (H13-H25)

3) 乗員の安全防護

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の衝突安全基準はあり、既に多くの救急車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。

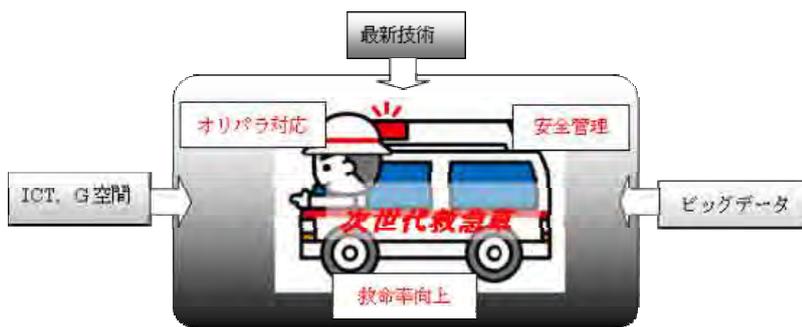


図4 本研究の全体概要

表 1 5 か年研究計画

		平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
多言語翻訳		実証実験、短縮ワード作成、運用マニュアル作成、実用化	実用化普及	フォローアップ		
運用最適化	救急車運用体制最適化ソフトの開発	救急需要分析、最適ルート分析、最適運用案作成	プロトタイプ作成	救急需要データの分析(災害時含む) 最適運用プログラムのアルゴリズム検討	プログラム実証実験	実用化へ
	走行時間の短縮技術の開発	車車間通信の効果検証	救急車の走行情報分析	実証実験		
乗員の安全防護	救急車の事故防止	海外調査、ニーズ調査 車車間通信の効果検証 試作車の検討	救急車の走行情報分析	プロトタイプ設計	プロトタイプ製作 実証実験	救急車の要件へ
	衝突時の安全防護	海外調査、ニーズ調査 安全防護の検討	安全性確認実験			

2. 平成 28 年度の研究計画と成果

2.1 救急用多言語自動翻訳システム

共同研究先の情報通信研究機構の多言語自動翻訳アプリ（ボイストラ）を用いて、消防機関での病気やバス事故の現場を想定した実証実験により、このアプリの課題を明らかにした。これを踏まえて、救急現場で使いやすいように救急現場でよく使うことばを定型文として追加する改良を行った。これを平成 29 年 1 月から札幌市消防局において試験運用し、救急隊員にその使用感に関するアンケート調査を行った。その結果「意思疎通のスピード」及び「意思疎通の質」に関して、従来の「コミュニケーションボード」と比較すると 6 割以上の方が、また改訂前の「ボイストラ」と比較して 8 割以上の方が早くてよくなったとの回答が得られた。

この結果より改訂版のアプリは十分現場活動に使用できると判断し、平成 29 年 4 月からの全国展開を行うことを決定し、その準備を行った。

2.2 救急車運用最適化

この研究には、救急車運用体制最適化ソフトの開発と、走行時間の短縮技術の開発の 2 つがある。この内救急車運用体制最適化ソフトに関しては、運用最適化案の作成を行った。具体的には、過去データから分析した地域ごとの救急需要発生率に携帯電話の位置情報を用いた人口動態を掛け合わせて救急需要予測を行うこととした。さらにこの救急需要予測結果に合わせ今後需要が多くなると予測する地域に救急隊を再配置する方法とした。また、この研究を進めるうえで協力していただける消防本部を調査し、名古屋市消防局が協力していただけることになった。

走行時間の短縮技術は、ITS の一つである ITS Connect^{*1}を採用技術の候補として、名古屋市と豊田市において検証実験を行った。しかし、ITS Connect の一般車両の搭載率が低いこともあり明確な時間短縮効果は得られなかった。

2.3 乗員の安全防護

救急車の事故、ヒヤリハット事例、消防機関のニーズ調査、海外の基準等調査を行った。

具体的には、救急車の事故事例として消防本部から事故事例情報と、全国での事故パターン別の救急車事故発生件数を収集した。また、海外の基準調査では、ヨーロッパの調査を実施しヨーロッパにおける衝突安全基準を把握した。

また、前記の時間短縮技術で検討を行っている ITS Connect は事故防止にも活用できる可能性が有るので、ニーズ調査として消防職員を対象とした実車及び VR を用いたアンケート調査を実施した。その結果「今後搭載車が増えていけば救急搬送時の迅速化安全化につながるのではと期待している」等の肯定的な意見が得られた。

3. 平成 29 年度の研究計画と成果

3.1 多言語翻訳対応

平成 29 年 4 月に「救急ボイストラ」として完成し、全国展開（Android 版 4 月、iOS 版 1 月）を行った。その結果、279 消防本部で運用を開始（平成 30 年 4 月時点）し、今後さらに 50 の消防本部で運用を開始する予定となっている。

3.2 救急車運用最適化

救急車の運用体制を最適化するプログラムは、「救急需要予測」、「救急隊の最適配置」の 2 つから構成される。この内「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。また「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。今後、実際の救急隊の運用を踏まえた改良が必要である。

走行時間の短縮技術では、ITS Connect の一般車への搭載率が上がっており時間短縮効果を得られる可能性が有るため、再度 ITS Connect 車載機を救急車に搭載し名古屋市、豊田市において実証実験を開始した。

3.3 乗員の安全防護

既存救急車の衝突安全性能を把握するため、衝突安全実験（前面衝突、側面衝突）を実施した。その結果、衝突の衝撃のみでは乗員の安全は確保されることは分かったが、一部積載品が衝突によりはずれ、これが乗員に当たることにより安全が確保できないことが判明した。

また、事故防止技術としては ITS CONNECT の中の路車間通信技術（右折時の対向車検知等）が有効であると考えられるので、この技術を持った車載機を新たに名古屋市、豊田市の救急車に搭載しその有効性の実証実験を開始した。

4. 平成 30 年度の研究計画と成果

4.1 多言語翻訳対応

既に「救急ボイストラ」として平成 29 年 4 月から実用化し、導入消防本部数は 728 消防本部中 386 消防本部（導入率 53.0% : H31 年 3 月 1 日現在）であり、さらに 14 消防本部が導入を予定している。

4.2 救急車運用最適化

「救急需要予測」「救急隊の最適配置」のプロトタイプ（図 5、6）を作成した。また、「救急需要予測」に関しては、このプロトタイプを使い名古屋市消防局の指令台及び救急隊において実証実験（図 7）を開始し、その予測精度や使用感に関するアンケート調査を行った。

プロトタイプ概要

救急需要予想・・・気象予測、季節、曜日、居住人口等を用いて 1 日単位の出場件数予測、過去のデータ分析からメッシュ予測。

*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）

最適配置・・・救急隊の移動先を任意の場所に配置させる方法 (K-means 法(図 8)を活用) 及び移動先を消防署に限定した配置が可能。最終的にはこれらを組み合わせた配置とする予定。

最適配置の効果の一例として、救急需要が集中する週末の繁華街において、配置換えを行った場合の現場到着時間短縮効果を試算したところ、0.1 分の短縮効果 (名古屋市における 2016 年のデータ約 11 万件分を分析) のあることが判明した。(図 9)

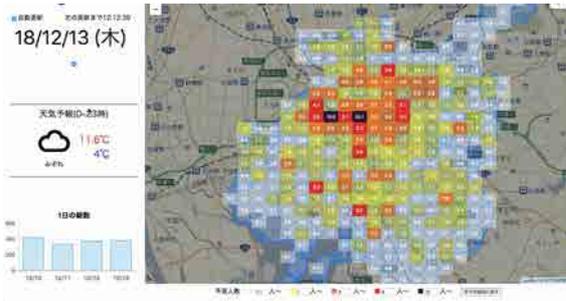


図 5 救急需要予測 プロトタイプ

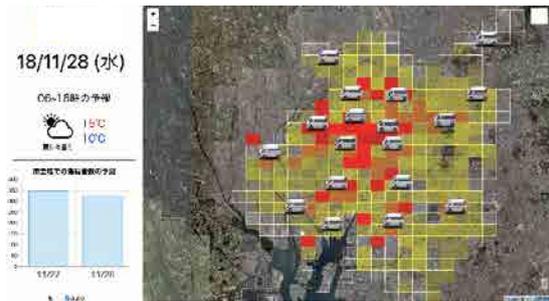


図 6 最適配置のプロトタイプ



図 7 実証実験状況 (救急隊)

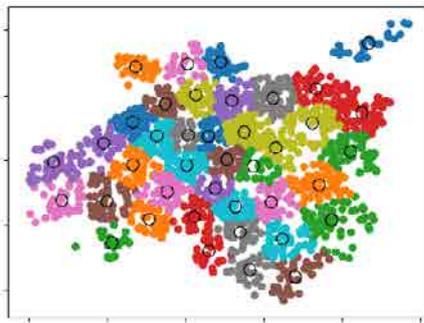


図 8 最適配置の手法例 (K-means 法)



凡例 赤・・・救急隊 2 隊、オレンジ・・・救急隊 1 隊、グレー・・・救急隊 0 隊

図 9 最適配置による時間短縮効果検証時の移動配置場所 (名古屋市)

ドライバーから直接見えない周辺車両の情報を、車両同士や道路と車両が直接通信しドライバーに知らせる安全運転を支援する ITS Connect 技術の中の、緊急車両存在通知(図 10)に関して、その効果に関する実証実験を名古屋市及び豊田市で行った。



図 10 ITS Connect (緊急車両存在通知)
自動車内モニター表示

その結果交差点や道路において自動車から直接救急車が見えなくても自動車が早めに停止したため、救急車がスムーズに走行できる状況となり(図 11)、救急車が走行する主要道の交差点間(計 16 区間)において、救急車の走行時間が平均 7.7% 短縮した。(検証条件を次に示す)



図 11 ITS Connect 実証実験状況
(交差点)

□検証条件

- ・方法
同一区間における ITS Connect 有無による搬送時間の比較
- ・検証対象路線の設定
対象市町村
一般車 ITS Connect 搭載率が高い名古屋市、豊田市(搭載率 約 1.0%)
対象路線
救急車の緊急走行時の ITS Connect 有無それぞれ 30 回以上の路線(実績 32 件~424 件)→名古屋市、豊田市の計 16 路線(距離 0.43 km~2.80 km)
- ・結果
搬送時間短縮効果 16 路線平均 7.7% (最低 -5.5%~最高 34.9%)

4.3 乗員の安全防護

平成 29 年度の救急車の衝突実験(図 12、13)により、救急車内のストレッチャー(上下分離型)の全体がその台となる防振架台から外れるとともに、ストレッチャーの分離する部分の金具が破損し分離したストレッチャー上部部分が傷病者を乗せたまま、その前方に座っていた救急隊に当たった。これによりストレッチャー上の傷病者の頭部

への合成加速度等が道路運送車両の保安基準より大きな数字となることが判明した。この対策として、ストレッチャーがその前方に座っている救急隊に当たらないように、ストレッチャーを分離する金具の補強及び傷病者がストレッチャーから飛び出さないような補強ベルトの対策を行った衝突実験を行った。その結果ストレッチャーを分離する金具は破損しなかったのと、補強ベルトにより傷病者がストレッチャーから飛び出さなかった。

(図 14)



図 12 救急車衝突実験状況(前面衝突)



図 13 ストレッチャーが跳ね上がった状態



図 14 ストレッチャー衝突実験

ITS Connect の乗員の安全防護の研究として、ITS Connect のサービスである右折時注意喚起（交

差点での対向車の有無を信号から救急車に対して通信にて知らせるシステム）等の有用性や必要性を評価する実証実験を行った。しかし、道路側の装置設置数が少なかったため、救急車運転中に右折時注意喚起等のサービスに遭遇する機会が少なく、救急隊による実証実験の評価はできなかった。

そこで、ITS Connect の有用性評価と救急車搭載の必要性に関して、実際の走行ではなく VR（バーチャルリアリティ）を用いて、消防職員 82 名に対してアンケート調査を行った。VR では「緊急車両存在通知」、「右折時注意喚起」、「赤信号注意喚起」（赤信号見落としの警告）、「信号待ち発信準備案内」（赤信号の待ち時間表示）の 4 サービスを紹介した。

その結果 ITS Connect の有用性は 87%が「大変役に立つ」、救急車搭載の必要性では 91%が「必要」との回答であり、消防職員は ITS Connect の有用性や必要性を高く評価していることが明らかになった。（図 15）



図 15 消防職員による有用性評価と救急車搭載の必要性

5. 令和元年度の研究計画と成果

5.1 多言語翻訳対応

フォローアップ調査の結果、導入消防本部数は 726 消防本部中 507 消防本部（導入率 69.8%：令和 2 年 1 月 1 日現在）と着実に普及が進んでいるのと、使用実績は 2,861 件ありシステム導入だけではなく実際に使用されていることが明らかになった。また、救急ボイストラを用いた接遇技術の

レベルアップを目的として、JIAM（全国市町村国際文化研修所）において全国の消防職員 31 名への研修として傷病者役を外国人の方（英語、ポルトガル語）とした訓練を行った。（図 16）

また、改善要望への対応策としては、令和 3 年度から開始する次期研究計画の研究項目として提案を行った。



図 16 救急ボイストラの訓練状況 (JIAM)

5.2 救急車運用最適化

実証実験で用いた救急需要予測(図 17)は、気象予測(気温、天気、湿度など)と直近の「救急活動データ」を加えることにより予測精度が上がる事が分かっていたが、「救急活動データ」の追加

は手作業で行っており月毎などまとまった単位で追加していた。そこで、名古屋市の指令システムから「救急活動データ」を、1 時間毎に抽出し救急需要予測のプログラムに入力するシステムを作成した。(図 18)

最適配置に関しては、本研究の実用化には最も重要課題である実運用可能な移動配置体制の検討を名古屋市と共同で行った。できる限り救急隊員の負担を増やさないことなどを考慮しつつ、救急需要を踏まえた搬送時間短縮を図ることが可能な移動配置体制を検討した。その結果、4 救急隊を選定し平日の 2 時間移動配置させることとして、事前に搬送時間短縮のシミュレーションを行った。その上で実際に救急隊を移動配置させる実証実験(図 19、20)を行った。その結果、搬送時間短縮効果が得られた。

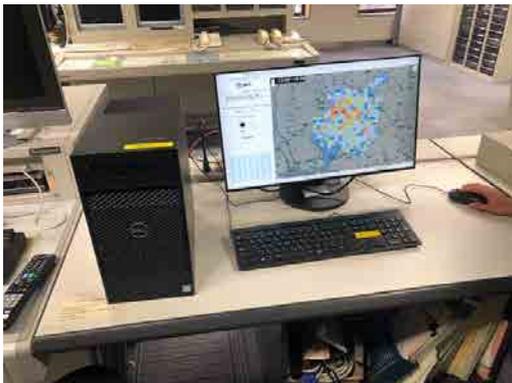


図 17 救急需要予測システム
(名古屋市消防局の指令室内)



図 18 救急活動データ抽出元の
ファイアーウォール



図 19 移動配置先で待機中の救急車



図 20 実証実験中を示す指令受信の
プリンター

ITS Connect 関連は、平成 30 年度に搬送時間短縮効果の有効性に関しては確認したが、複数の消防本部へヒアリングしたところ、実証実験の対象とした名古屋市及び豊田市以外の消防本部の管内の道路状況においても有効かどうかの確認が必要との意見が多かった。そこで実証実験対象都市以外の消防本部でも活用可能な客観的な指標として、車線数による救急搬送時間の相違と、早期に救急車の進路を譲る可能性について検証を行った。その結果、車線数の多い路線において搬送時間短縮効果が高いことが判明した。また、早期に譲ることに関しては救急車のドライブレコーダーの映像を確認したが、この検証方法では ITS Connect により譲ったかどうかの判断が困難であった。そこで、これらの結果を作成中の研究報告書に追加で記載することとしたため、研究報告書は令和 2 年度に取りまとめることとした。

5.3 乗員の安全防護

衝突安全性の検証として、平成 30 年度末に行ったストレッチャーに衝突安全対策を加えた衝突実験の結果をまとめた。救急車事故時の安全対策に関する指針の策定に関しては、救急企画室と調整し今後必要な時期に指針策定の検討を行うこととした。

6. 令和 2 年度の研究計画

6.1 多言語翻訳対応

引き続きフォローアップ調査を行う。また、令和 3 年度から救急ボイストラの要望事項に関する改良を行うことを予定している。

6.2 救急車運用最適化

令和元年度に行った実証実験に比べて効果が高いと考えられる「救急隊の位置情報」を踏まえた最適配置手法を検討する。またこの効果を実証するために救急隊の位置情報を名古屋市の指令シス

テムから抽出するプログラムを作成し、実際に救急隊を移動配置させる実証実験を行う。実証実験の結果を踏まえ、名古屋市での実用化に向けた運用最適化手法の完成を目指す。

ITS Connect 関連は、令和元年度までの研究成果を報告書として取りまとめる。また、令和元年度に要因を解明できなかった救急車に進路を早期に譲ったかどうかの分析を、ドライブレコーダーの映像と周辺車両との通信ログのデータを用いて引き続き分析を行い、救急搬送時間短縮要因を明らかにする。これらの結果を用いて、社会実装化に向けて関係機関との調整を行う。

6.3 乗員の安全防護

ITS Connect の事故防止への効果に関しては、事故防止の検証結果（一般社団 UTMS 協会実施）により有効性が示されていることを、前節の報告書に参考掲載する予定である。また、社会実装化に向けて関係機関との調整を行う。

7. 研究協力・共同研究

・多言語翻訳

共同研究 国立研究開発法人 情報通信研究機構

研究協力 札幌市消防局、羊蹄山ろく消防組合消防本部

・救急車運用最適化

共同研究 日本電信電話株式会社、株式会社エヌ・ティ・ティ・データ

研究協力 名古屋市消防局、仙台市消防局、藤沢市消防局

・ITS CONNECT

協力機関 特定非営利法人 ITS JAPAN
次世代救急車タスクフォース

研究協力 名古屋市消防局、豊田市消防本部

(3) 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

研究期間：平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月（サブテーマⅠ、Ⅱ）

平成 31 年 4 月～令和 5 年 3 月（サブテーマⅢ）

技術研究部 地震等災害研究室

新井場公德、土志田正二

1. 目的

平成 23 年の台風 12 号による紀伊半島における災害、平成 25 年 10 月 16 日の伊豆大島における災害や平成 26 年 8 月 20 日の広島市における災害などの土砂災害現場での救助活動においては、災害の全体像の把握、行方不明者の位置の把握、活動の安全性の確保及び活動の効率性の維持が困難であった。本研究では、活動の効率性及び安全性を向上するために必要な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行う。本研究の成果は、土砂災害に対する対応の手順や国による災害現場に対する技術支援に実装し、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なり、もって国民の安全と安心の向上に寄与するものである。

サブテーマⅠ UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と利活用方法の構築

平成 23 年の紀伊半島における台風 12 号災害や平成 26 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、安全で迅速な捜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捜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。本サブテーマでは、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捜索救助活動の状況を収集し、俯瞰的情報から捜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。

サブテーマⅡ 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の構築

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、平成 16 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、平成 25 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。本サブテーマでは、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研究し、それを調べる装置を試作する。



図 1-1 本研究の内容のイメージ

表 1-1 本研究の概略

	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
サブテーマⅠ UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と利活用方法の構築	<ul style="list-style-type: none"> 過去の土砂災害における画像情報活用事例の収集及び検討 被災者の発見位置の資料収集 	<ul style="list-style-type: none"> 画像から土砂の流動を特徴付ける要因の分析 	<ul style="list-style-type: none"> 過去の事例を踏まえた画像情報の利活用方法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 行方不明者位置の予測手法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 画像情報の取得・利活用方法のガイドラインの作成及び検証
サブテーマⅡ 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> 岩を積み上げて崩す実験設備及び実験手順の開発 岩の相互関係のモデル化の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 岩が崩れる条件の検討 岩の相互関係を推測する調査手法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 崩れる条件に対応した計測手法の検討 		<ul style="list-style-type: none"> 計測・調査装置の試作 適用性に関する検証

サブテーマⅢ 災害夜間発生時の迅速な救助活動と最初期の安全管理技術

平成 26 年広島豪雨災害では、夜間に救助活動を行っていた消防職員が、要救助者の子供 1 名と共に、二次崩壊に巻き込まれ殉職する事案が発生した(安佐北区可部東の崩壊)。平成 28 年熊本地震、平成 30 年耶馬溪地すべり、平成 30 年北海道胆振東部地震など、夜間に発生した土砂災害においては、夜間中に安全に情報収集(全体把握)をすることが難しく、日の出と共に災害現場の全体像把握が開始された。上記の災害に限らず、夜間時においては土砂災害における必要最低限の目視による安全監視すら難しい。本研究では、土

砂災害最初期・夜間時において安全・迅速な救助活動を行うためのセンサー及びセンサーの利活用方法の開発を行う。夜間の現場においては、通常のドローン(可視画像カメラ)による情報収集は困難である。しかしドローンに搭載したレーザ測量(UAVレーザ)を用いるなど夜間において隊員の危険が少ない情報収集が可能になれば、より安全な救助活動が可能となる。また目視による観測が難しい夜間においては、目視を行える環境を整備するか、目視に代わる安全監視センサーが必要となる。以上の課題を解決し夜間の情報収集・安全監視が可能になれば、日の出と共に迅速かつ効率的な救助活動が実施できる。



図 1-2 サブテーマⅢの研究内容のイメージ

表 1-2 サブテーマⅢの研究の概略

	平成 30 年度 (追加前)	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
[追加テーマ] 災害夜間発生時の 迅速な救助活動と 最初期の安全管理 技術	[既存テーマ]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(平 成 28 年~平成 32 年)	・過去の活動事例 の整理、活動の流 れの作成	→		
		・夜間現場に必要な 新しいセンサー の実証試験		→	
			・データの分析 方法の開発		→

2. 平成 28 年度の研究計画及び成果

利活用方法の構築

2-1 UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と

(1) 過去の災害事例について、画像情報及び消防活動

状況に関する情報を収集し、これらの情報を取得できる時間、精度、範囲、取得方法について整理し、消防活動にこれらを活かすための分析方法について検討する。さらに、今後取得できるようになると見込まれる新しいデータの仕様を踏まえ、今後の土砂災害事例への利活用方法を考案する。

→過去の土砂災害発生地（平成 26 年広島豪雨災害）及び本年度発生した熊本地震による土砂災害を対象とし、無人航空機（ドローン）を用いた空撮を実施、実際に空撮にかかる時間、取得・解析方法などを整理した。また取得した空撮情報を消防活動に活かすため、数値標高データ (DEM: Digital Elevation Model) に変換し、その精度・範囲を検証した。また無人航空機データのほか、衛星データ・有人飛行機によるデータなども他機関との協力の元データを収集し、解析を行った。

(2) 行方不明者の発見位置に関する資料収集

発災時に行方不明者がいたと推定される位置、発見位置、発見状況について資料を集める。

→収集するデータの内容について整理した。既存の災害については十分なデータが得られなかった。

2-II 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の構築

(1) 岩を積み上げて崩す実験設備及び実験手順の開発

碎石を積み上げて崩す実験を行う為の設備を開発する。開発に当たり、採石業者、解体業者等に聞き取り調査を行い、岩の安全な取扱い方法についての経験知を収集する。

→小規模な実験設備を整備した。採石業者等への聞き取りは調整がうまくいかず、次年度実施とすることとした。急傾斜地における二次的崩落の事例を地質コンサルタントと共同で収集し分析を行った。

(2) 岩の相互関係のモデル化の検討

ある程度形状がそろっている岩を想定して、乱雑に堆積している岩の集合について、相互に作用している力がそれぞれの岩にどのような拘束条件を与えるのかを検討し、岩の相互の力学的な関係をモデル化する。→堆積した岩石の一部が崩落する機構を、転倒、アーチの崩壊及びすべりの 3 つのモードに分類し、その発生条件について分析を行った。

3. 平成 29 年度の研究計画及び成果

3-I UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と利活用方法の構築

(1) 画像情報の利活用方法についての検討

災害発生前に収集可能な各種データの整備、災害後に収集すべき各種データの取得及び利活用方法に関するガイドラインを、活動の時間的変化及び情報が得られる時間を考慮して作成する。また災害後に得られる情報の 1 つとして、ドローンによる空撮情報を基に作成した DEM を基に、二次崩壊危険地域・安全な避難箇所等の推定に繋がる解析方法の構築を目指す。→平成 26 年広島市豪雨災害の地形データ（国土地理院基盤地図情報 10m メッシュデータ、ドローンによる地形データ、航空レーザー測量データ）を用いて、二次崩壊危険地域の抽出方法、移動可能なルートの選定に役立つ分析方法及び災害前後の地形比較による災害概要把握の方法について検討している。また平成 28 年九州北部豪雨災害で発生した崩壊を対象に、ドローンによる空撮を実施し、災害前後の地形データの比較による情報の創出も試みている。

(2) 画像から土砂の流動を特徴付ける要因の分析

土砂災害全体としての土砂の流動状況、行方不明者がいたと思われる場所における土砂の流動状況及び行方不明者発見位置の土砂の流動状況の特徴付ける要因を、リモート・センシング画像及び画像から作成した数値標高データから分析する。

→平成 26 年広島豪雨災害における行方不明者の位置に関する情報を収集し、地形情報と関連づけた解析を行っている。

3-II 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の構築

(1) 岩が崩れる条件の検討

岩を積み上げて崩す実験及び岩の相互関係のモデルに基づき、岩山が崩れる条件を検討しモデル化する。→堆積した岩の転倒、アーチの崩壊及びすべりの 3 つのモードについて、それぞれの岩が受ける拘束条件について検討した。また、ベルトコンベア上で岩が転倒する様子を観察した。

(2) 岩の相互関係を推測する調査手法の検討

形状がそろっている岩を想定して、岩の相互関係を岩山の表面から知る方法について検討する。

→ 岩を積み上げた状態で、それぞれの岩の振動を測定する実験方法を検討し、位置による振動の特性の違いについて検討している。また、採石場における生き埋め事案について、安全管理方法等についての聞き取り調査を行った。

4. 平成 30 年度の研究計画及び成果

4-1 UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と利活用方法の構築

(1) 過去の事例を踏まえた画像情報の利活用方法の検討

消防ヘリにより得られる情報等の各種俯瞰的データを利活用する具体的な方法について、利活用方法の開発及び消防本部との意見交換を行い、検討する。

→ 横浜市消防局、名古屋市消防局、奈良広域消防組合などのドローン運用している全国の消防局・消防本部へヒアリングを行い、消防におけるドローンの利活用に関する問題点や課題の整理を行った。また、消防ヘリを運用している航空隊へのヒアリングを今年度末ならびに来年度にかけて行う予定をしている。

(2) 画像から土砂の流動を特徴付ける要因の分析

過去の災害事例における画像、数値標高データを基にして分析した土砂の流動状況を基に、行方不明者の存在確率の大きい場所を推定する手法を開発する。また地形・地質状況を整理し、発生しやすい土砂災害の種類などを仮定し、より精度の高い土砂の流動の特徴を得ることを模索する。(継続)

→ 平成 30 年度に発生した大分県耶馬溪地すべり、平成 30 年 7 月豪雨(西日本豪雨)、北海道胆振東部地震の土砂災害発生地において現地調査を行い、ドローン空撮を実施し解析を行った。耶馬溪地すべりにおいては、UAV レーザーデータ(中日本航空(株)提供)が入手できたことから、詳細地形データを用いて地形区分を行い、土砂災害現象の想定(土砂の流動の特徴を含む)や、救助活動において地形区分それぞれにおける特徴(安全管理)についての考察を行った。

4-11 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の構築

(1) 岩が崩れる条件に対応した計測手法の検討

形状がそろっている岩を想定して、取り除いても他の岩が崩れる条件に無い力学条件にある岩を推定する手法を開発する。また、ベルトコンベアを用いた効率的な土砂排除方法について検討する。

→ 上に乗った岩と下で支える岩に振動計を設置し、岩石に振動を与え、振幅及び振動方向が、上下の岩でどの程度異なるのかについて調べた(データの分析中)。ベルトコンベアを用いた土砂排除方法について、消防機関における対応訓練で用いて、手動による排除に対する効率性を調べた(時間とともに手動に対して(効率性の観点で)優位になることを示した)。

(2) 岩の形状が乱雑である場合の調査及び計測手法の適用性に関する検証

岩の形状が乱雑である場合を想定して、構築した調査及び計測手法の適用性の限界を調べ、当該適用性を拡張するための方向性について検討する。

→ 自重で全体のすべりを抑えている岩については、振動だけでは判定できないことが明らかになったため、除去の順番を全体の中の位置でも判定する方法を検討した(来年度に検討を継続)。

5. 令和元年度の研究計画及び成果

5-1 UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と利活用方法の構築

(1) 画像から情報を抽出する方法の検討

ドローン空撮画像から作成した地形データの解析方法の開発を行う。特に比高差の小さい地形において、平地か泥かの抽出方法の検討を行う。また衛星データの利活用方法について、平成 30 年 7 月豪雨(西日本豪雨)、平成 30 年北海道胆振東部地震の災害直後に撮影された可視画像衛星データ(SPOT 衛星)の解析を行い、災害直後の利活用方法の検討を行う。

ドローン空撮画像から作成した地形データの解析方法を開発し、北海道胆振東部地震の事例を学会発表・論文等(書籍)に投稿した。平地か泥の判別については、新しく導入したレーザスキャナセンサーの反

射強度データを利用する予定であり、現在検討中である。衛星データ取得の時系列を調査したところ、平成30年北海道胆振東部地震の事例では災害最初期で取得できていたものの、平成30年西日本豪雨では雲量が原因で、災害直後に利用可能なデータの取得が難しくなったことが明らかになった。現在の衛星データの撮影間隔では、衛星データの災害発生時における確実な利用は難しいと考えられた。

(2) 行方不明者位置の予測手法の検討

広島市消防局より情報提供頂いている平成26年広島豪雨災害の行方不明者発見位置情報を解析し、行方不明者がどのような場所で発見されたかについて定量的な評価を行う。

平成26年広島豪雨災害の行方不明者発見位置情報(全74件)の定量的評価を行った。移動無しの事例が27件、移動有りの事例が47件(うち、元々の場所がわからない(バイクで移動中が1件)、広島市街まで流下した事例1件)であった。例外の2件を除く、移動有り45件のうち、水平移動距離の最小値は約3m、最大値は約470mであった。

5-II 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の構築

(1) 岩が崩れる条件に対応した計測手法の検討

形状がそろっている岩を想定して、取り除いても他の岩が崩れる条件に無い力学条件にある岩を推定する手法を開発する。

離れた地面に打撃を与える実験を行い、自由な岩と支えている岩には振動の特性に違いがあることを見いだした。支えている岩の卓越振動数に比べ自由な岩はより低い振動数が卓越していた。岩の組み方を変更した実験を行っており、推定手法を検討している。

(2) 岩の形状が乱雑である場合の調査及び計測手法の適用性に関する検証

岩の形状が乱雑である場合を想定して、構築した調査及び計測手法の適用性の限界を調べ、当該適用性を拡張するための方向性について検討する(継続)。

すべりを抑制している岩の検出は振動だけでは困難であり、また、岩石内部の組み合わせ方によって変わるすべりの安定解析が、組み合わせ方が分からない

場合には難しいことから、斜面上部から岩を取り除くこととし、(1)の手法の開発に注力することとした。

5-III 災害夜間発生時の迅速な救助活動と最初期の安全管理技術

(1) 過去の活動事例の整理、活動の流れの作成

夜間及び災害最初期(土砂災害)の対応時の課題について、近年災害対応を行った消防本部や他機関へヒアリングを行う。

国土交通省のTEC-FORCEの活動について関係機関にヒアリングを実施した。TEC-FORCEの活動は復旧・復興に関する調査を主な目的としており、災害最初期における消防活動に関する助言は特別な位置づけであるとのことであった。

(2) 夜間現場に必要な新しいセンサーの実証試験

夜間現場での情報収集に利用可能と考えている、ドローンに搭載したレーザ測量(UAVレーザ)の情報収集を行う。また、レーザ測量装置を入手し、レーザ測量技術の夜間利用の実証試験を行う。

ドローン搭載用レーザスキャナシステムを購入した。車載して消防研究センター内で可視光を必要としないレーザ測量を実施し、その精度を検証した。相対誤差数cmの精度を持つ地形データを入手できることが実証されたため、災害現場への活用も可能と考えられた。

これらのほか、土砂災害における効果的な救助手法に関する高度化検討会(消防庁)に協力し、これまで得られた知見の供与を行った。

6. 令和2年度の研究計画

6-I UAV、航空機、衛星画像などの画像情報の取得と利活用方法の構築

(1) 行方不明者の位置の予測手法の検討

平成26年広島豪雨災害の行方不明者発見位置情報を、地形情報(標高・傾斜・谷からの距離等)と組み合わせ解析し、要救助者探索のための基礎データの一例としてまとめる。

(2) 画像情報の取得・利活用方法のガイドラインの作成及び検証

5年間の研究成果をまとめる。特にドローン空撮画

像の土砂災害最初期の実際の利活用事例をまとめると共に、その利活用方法についてのガイドラインを作成する。

6-II 乱雑に堆積した岩石やガレキを取り除く手法の構築

岩が崩れる条件に対応した計測手法の検討

形状がそろっている岩を想定して、取り除いても他の岩が崩れる条件に無い力学条件にある岩を推定する手法を開発する。

6-III 災害夜間発生時の迅速な救助活動と最初期の安全管理技術

(1) 過去の活動事例の整理、活動の流れの作成

夜間及び災害最初期（土砂災害）の対応時の課題について、近年災害対応を行った消防本部や他機関へヒアリングを追加で行う。特に近年発生した事例（令和元年東日本台風災害など）の現地調査も同時に行う。

(2) 夜間現場に必要な新しいセンサー実証試験

令和元年度に購入したレーザスキャナを搭載するドローンを購入する。またドローン搭載レーザスキャナによる空撮を実施し、その検証を行う。

(3) データの分析方法の開発

レーザスキャナセンサーによって得られた点群データを用いて、土砂災害の災害最初期の救助活動に活用できるような分析方法を開発する。例えば、点群データから DEM を構築し、水系網を算出することで二次的な土石流危険地域の抽出などを想定している。

7. 共同研究等外部との協力

- ・ 国立研究開発法人土木研究所
- ・ 国土交通省国土技術政策総合研究所
- ・ 宇宙航空研究開発機構(JAXA)
- ・ 東京大学空間情報科学研究センター
- ・ 国土交通省関東地方整備局

(4) 大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究

研究期間 平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 地震等災害研究室 高梨健一
技術研究部長 細川直史

1. 目的

近年、首都直下地震や南海トラフ地震の発生確率が高まり、その対策が急務とされている。また、平成 28 年 12 月 22 日に発生した糸魚川市大規模火災を踏まえ、木造密集地域等における火災防ぎょ計画の策定や訓練の実施が必要となっている。

大規模地震や強風に伴い発生すると予想されている市街地における同時多発火災の延焼シミュレーションは、事前・事後の対策を行う際の被害想定に重要な役割を担っているが、下記の課題が存在する。

- (1) 現行の広域事前想定で用いられているモデルはクラスタ方式などの簡易なモデルが主流であり、地域の火災リスクを詳細に把握するためには精度に欠けるものが多い。
- (2) 高精度で計算を行うモデルも存在するが、計算資源や多種多様なデータを大量に必要とするため、繰り返しての実行や広い範囲の火災延焼被害を高速で予測することが難しい。
- (3) 地震発生直後に、広い範囲の火災延焼被害を高速で予測する仕組みが無い。

消防研究センターにおいても、従来から消防本部の指令台や防災講演会での利用を目的として、高速性を重視した各棟延焼方式の市街地火災延焼シミュレーションシステムの開発を行ってきた。計算を高速に行うため、風速 0m の条件での延焼経路を事前に計算して利用するほか、建物の高低差や樹木等の延焼阻止要因を取り入れておらず、建物種別や延焼速度計算などに簡略化を行っているため、精度に関する検証が十分とは言えない状

況にある。

そこで、本研究では、上記の 3 つの課題を解決するために、次の 3 つのサブテーマの研究を行う。

- (1) 地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築

消防研究センターで従来行ってきた市街地火災延焼シミュレーションシステム開発に利用した延焼モデルの高速性を維持しつつ高精度化を図る手法について検討を行うとともに、延焼阻止要因や感震ブレーカー等の出火防止対策や自治体の初期消火対策の効果を評価可能なものとする。これにより、震災火災の減災効果の検証を行い、コスト等を考慮した提案も可能となる。

また、既開発の同時多発火災対応訓練シミュレータに対して、これらの高度化を反映する。

- (2) 広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築

複数の都道府県にまたがるような広い範囲の火災被害を高速で予測可能な延焼計算のモデルを検討する。更に、消防庁危機管理センターに導入済みの広域版簡易型地震被害推定システムに組み込み、地震発生とともに延焼被害予測を表示可能なものとする。これにより、震災発生直後に緊急消防援助隊派遣のための被害地域推定と必要部隊数の見積もりを行い、緊急消防援助隊派遣のための意志決定支援に資することが可能となる。

- (3) 大規模地震災害時の出火と緊急消防援助隊の活動に関する調査・分析

上記の 2 つのサブテーマにおける延焼モデル検討の基礎資料として、大規模地震災害時の出火に

関する調査・分析を行う。さらに、消防活動の要素を同時多発火災対応訓練シミュレータへ盛り込むための基礎的なデータとして、また、PDCA サ

イクルの一貫として緊急消防援助隊の運用改善のための基礎データとして、活動実績に関するデータを収集、蓄積し、それらの分析を行う。



図1 本研究の全体概要

表 1 5か年の研究計画概要

	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築	<p>従来の各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルの精度の検証</p> <p>従来の各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルに対して、高低差の要素を盛り込む手法の検討</p>	<p>高低差の要素を盛り込んだ各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルの実装</p>	<p>各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルに対して、新たな要素(植生、地震対策の効果)を盛り込む手法の検討</p>	<p>高低差の要素を盛り込んだ各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルの検証</p> <p>新たな要素(植生、地震対策の効果)を盛り込んだ各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルの実装</p>	<p>新たな要素(植生、地震対策の効果)を盛り込んだ各棟延焼方式の市街地延焼シミュレーションモデルの検証</p>
糸魚川大規模火災(平成 28 年 12 月発生)への対応		調査・分析	プログラムの公開と改良、消防本部での利活用促進		
広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築	既往の研究に関する調査	延焼シミュレーションモデルの検討及び検証			
大規模地震災害時の出火原因と出火率に関する調査・分析	東北地方太平洋沖地震など大規模地震災害時の火災について、出火原因、出火率、延焼速度等に関する既往の研究成果の調査・整理				
	緊急消防援助隊の活動に関する調査				

2. 平成 28 年度の研究成果

2.1 地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築

従来から開発してきた市街地火災延焼シミュレーションモデルの精度の検証として、平成 28 年 12 月 22 日に発生した糸魚川市大規模火災に関して消防本部からの情報や周辺住民への聞き取り調査の結果得られた情報に基づいて計算を行い、簡易な検証を行った (図 2)。また、市街地火災延焼シミュレーションプログラムの利用申請に基づき、東京都都市整備局、埼玉県都市整備部、広島市消防局、南魚沼市消防本部等にプログラムや延焼経路データを提供した。

また、同モデルに対して、高速性を維持しつつ、高低差の要素を取り入れる手法について検討を行った。現在利用している延焼速度式では建物

間の距離に基づいて延焼時間と延焼速度が計算されるが、高低差によって複数棟の影響を受ける事を考慮すると形態係数に基づく式に変更する必要があると思われる。そこで、現在利用している延焼速度式の導出条件にあわせて、建物間距離、形態係数の逆数、延焼時間を求め、多項式近似により延焼時間式を得た (図 3)。

更に、実際に斜面地で発生した延焼火災と照らし合わせて検証を行うために、昭和 25 年 4 月 13 日に発生した熱海市大火について、現行の市街地火災延焼シミュレーションシステムで利用可能な建物データおよび延焼経路データを作成した。また、同熱海市大火、昭和 31 年 8 月 18 日大館市大火および関東大震災横浜火災図から延焼速度データを作成した (図 4)。

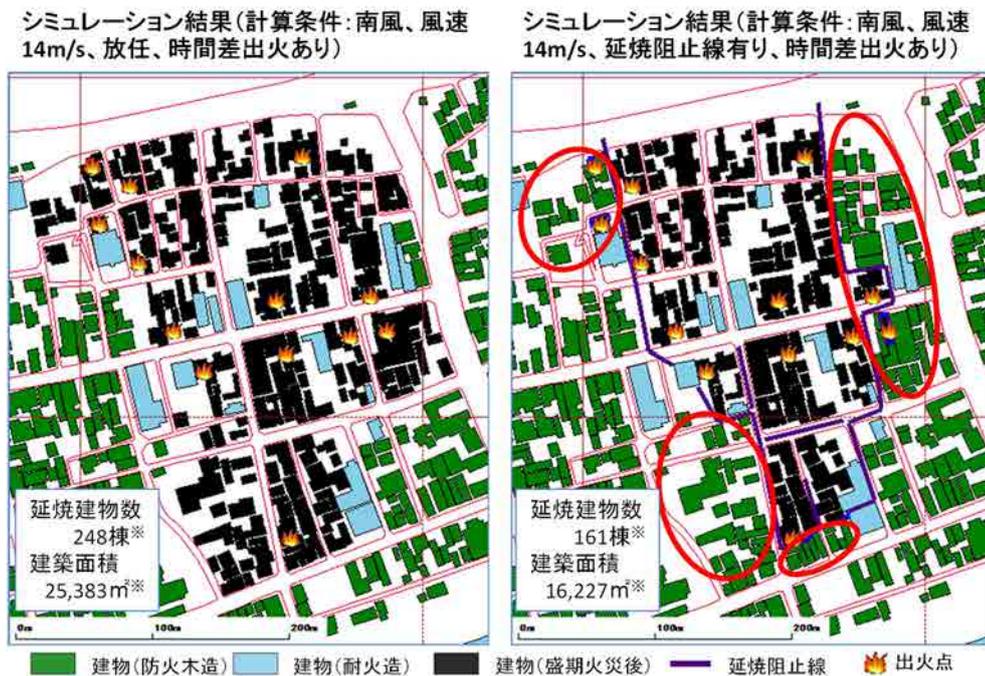


図 2 糸魚川市駅北大火の情報を用いた市街地火災延焼シミュレーションの検証例 (出火 6 時間後の状況)

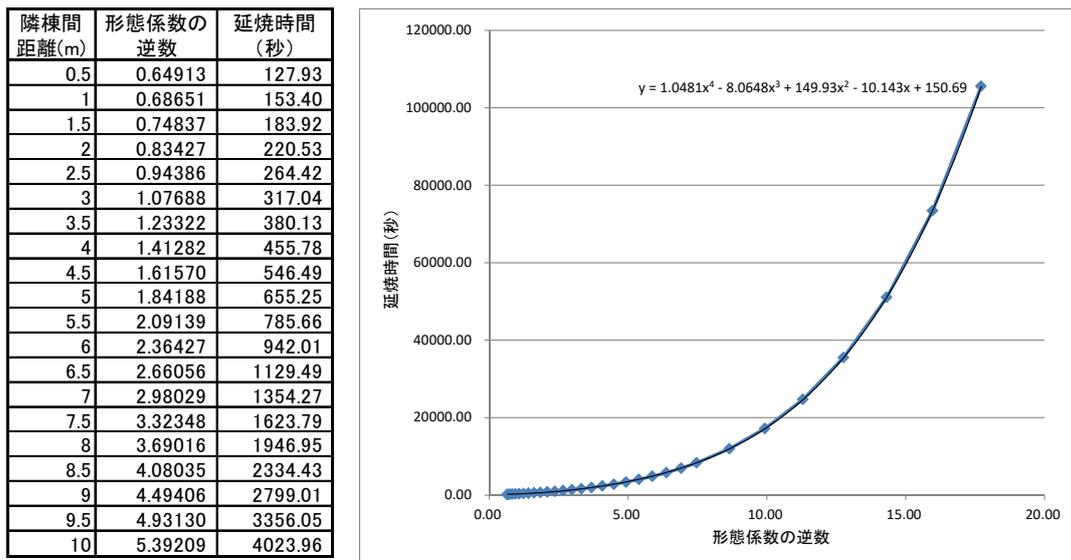
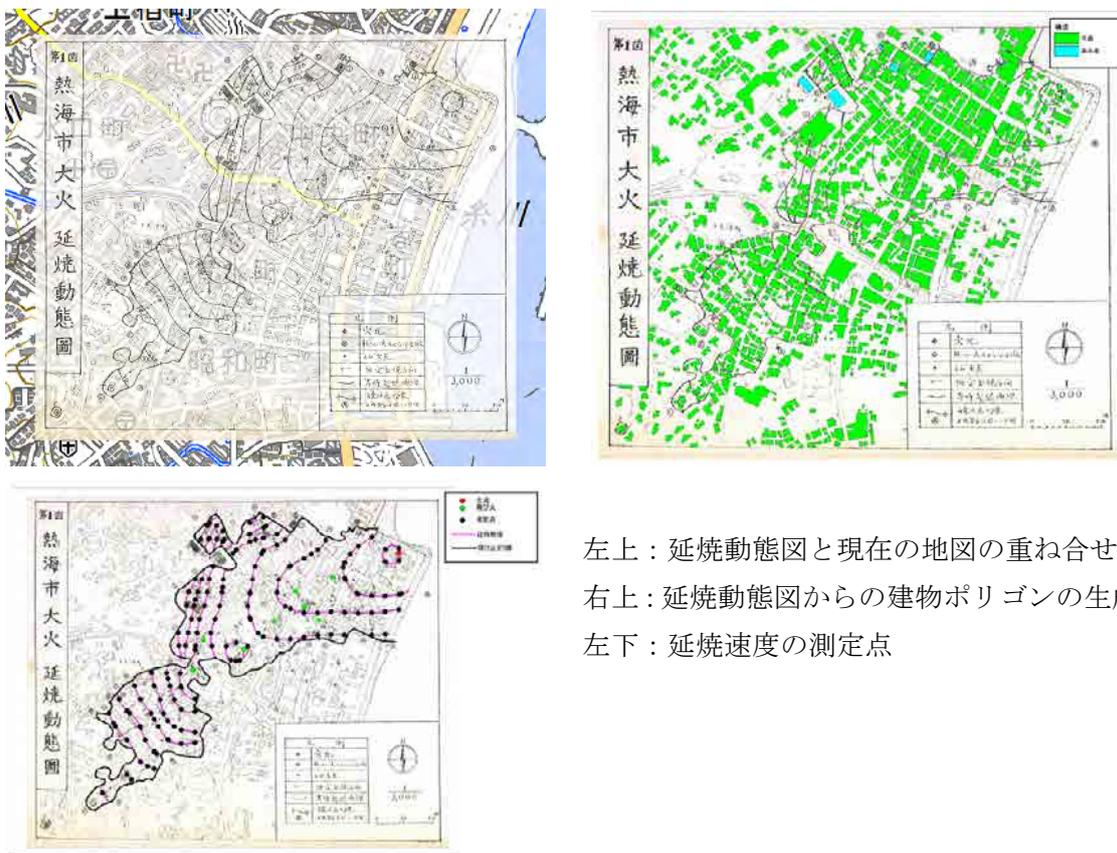


図3 隣棟間距離と形態係数の逆数、延焼時間の関係



左上：延焼動態図と現在の地図の重ね合せ
 右上：延焼動態図からの建物ポリゴンの生成
 左下：延焼速度の測定点

図4 過去の斜面地火災に関するデータの例（熱海市大火）

また、今後の開発に資するため、国土地理院の公開している基盤地図情報を利用して2次元の建物データ、延焼経路データおよび3次元の建物データを自動的に作成するツールの開発を行った。

2.2 広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築

既往の研究について調査を行うとともに、実装方法について検討を行った。想定される出火件数をメッシュ単位の木造率に基づき確率的に出火場所として割り当てることで、風向・風速に基づいた延焼予測計算を複数回実行し、経過時間ごとの平均延焼棟数や同時炎上棟数をメッシュ単位で計算する機能を、平成27年度までに開発した延焼シミュレーションに追加した。また、延焼クラスタを用いる被害予測の手法を取り入れることも一つの選択肢と考え、横浜市を包含する範囲について、現在各棟延焼方式の市街地火災延焼シミュレーションで用いている延焼速度式を利用して風向・風速に応じて延焼距離を変化させた延焼クラ

スタデータを試作した(図5)。

2.3 大規模地震災害時の出火と緊急消防援助隊の活動に関する調査・分析

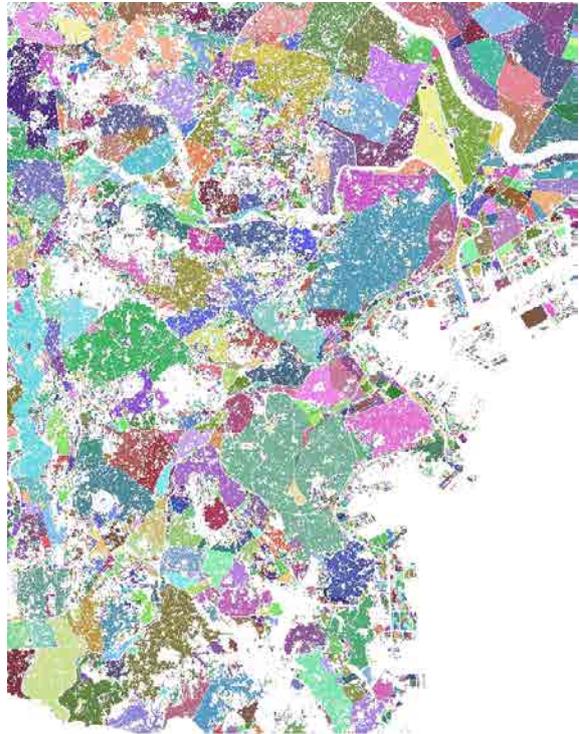
平成28年度開始当初は、

- ・過去の大規模地震災害時の火災の出火原因と出火率に関する既往の研究成果の調査・整理
- ・東北地方太平洋沖地震の際の火災について消防研究センターの行った調査結果の分析
- ・過去の緊急消防援助隊の活動実績に関する情報を収集及び移動経路について分析

の3項目を掲げていたが、平成28年4月の熊本地震の発生を受け、消防庁防災情報室と共同で熊本地震における消防本部の通信に関する被害等アンケート調査を実施したほか、広域応援室から平成28年熊本地震と平成28年台風第10号における緊急消防援助隊動態情報システムのログを入手した。また、講演会等で熊本地震の情報収集を行った。



(a) 北風 5m/s の場合



(b) 北北東の風 5m/s の場合

図5 風向・風速に応じた延焼クラスタの例

3. 平成 29 年度の研究成果

3.1 地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築

平成 28 年度に導出した形態係数に基づいて隣棟間延焼に要する時間を計算する式を、1 棟単位の市街地火災延焼シミュレーションに適用する方法について検討を行った。形態係数が建物の壁面の

位置関係により変化するため、壁面と微小面の向き合う角に応じた形態係数の式を導出した。また、形態係数の計算に必要なパラメータを絞り込み、建物の外壁上の有る点におけるパラメータを計算する機能を、市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの延焼経路作成プログラムに追加した (図 6)。

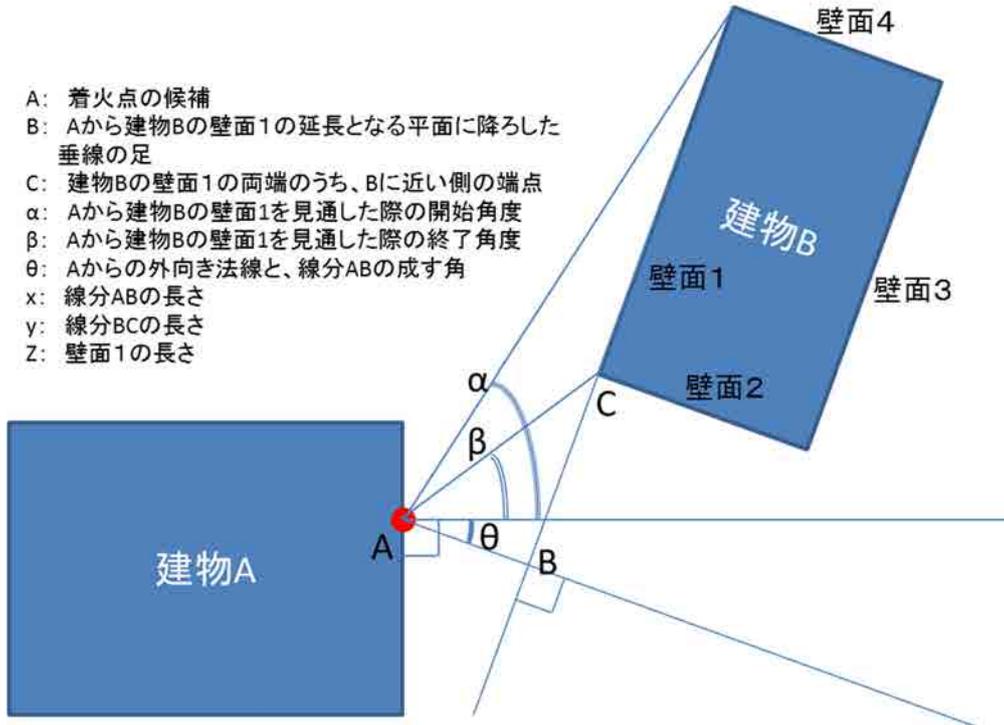


図 6 機能追加により計算するパラメータの例

また、市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの機能強化として、メッシュ単位の延焼リスク計算機能、建物 1 棟単位の延焼リスク計算機能

及びメッシュ単位の延焼量の計算機能を新たに構築した (図 7~9)。

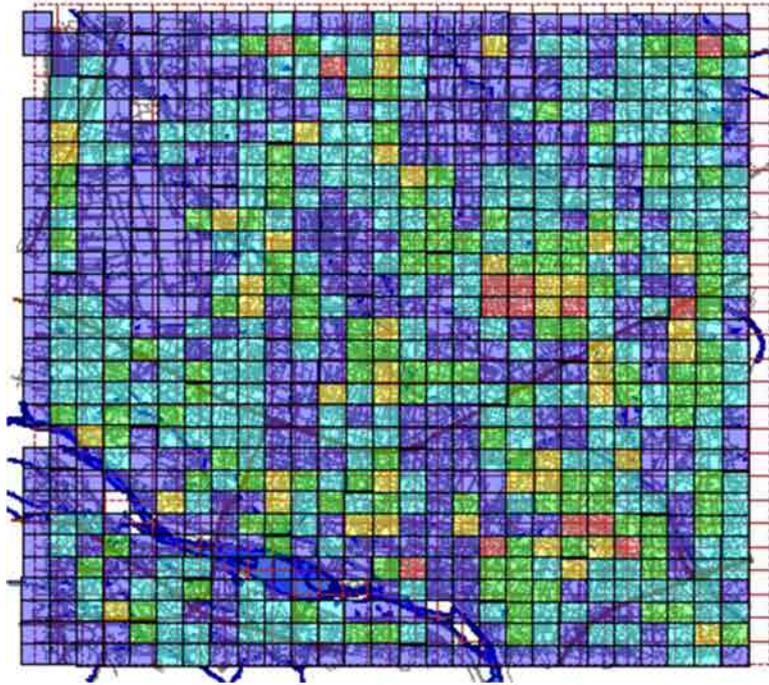


図7 メッシュ単位の延焼リスク計算機能
(地域の延焼危険度に関連すると考えられる各種指標の表示機能)

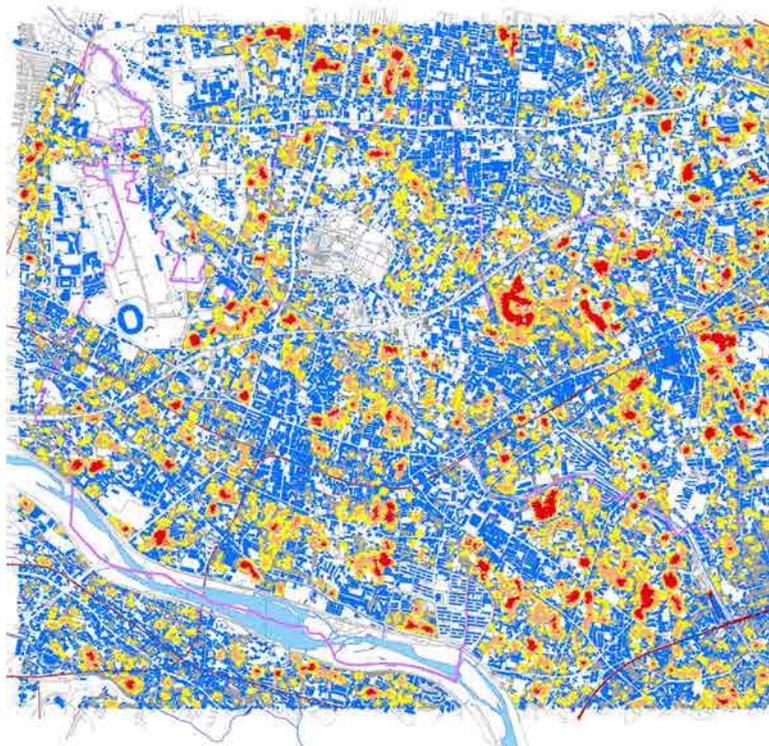


図8 建物1棟単位の延焼リスク計算機能
(ある1棟から出火した場合に何棟延焼するかを、すべての建物に対して計算を行う機能)

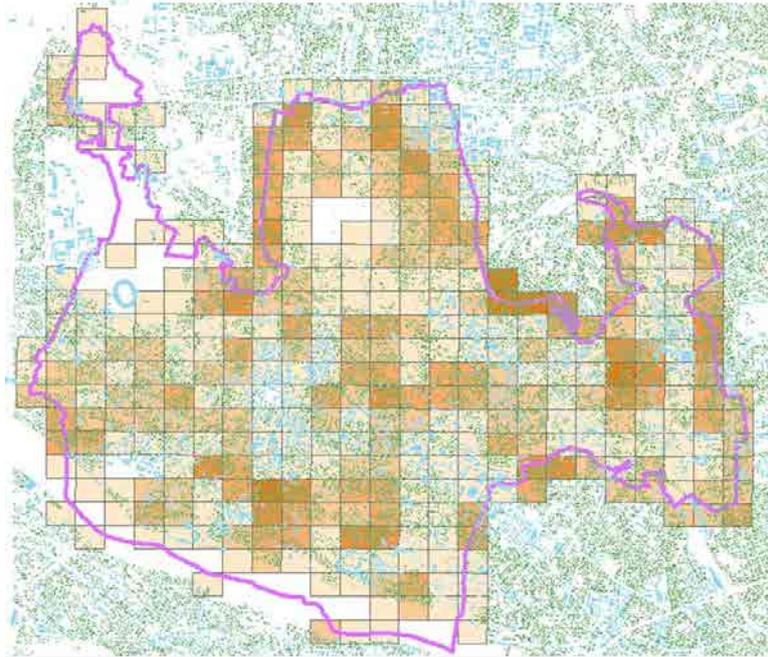


図9 メッシュ単位の延焼量の計算機能

((例えば地震被害想定の結果などに基づき) 地域内の出火件数を仮定し、出火建物をランダムに設定して繰り返し計算し、得られる延焼棟数などの値の平均値をメッシュ単元に計算する機能)

さらに、「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」の報告書を受け、平成29年9月29日に消防研究センターホームページにおいて、消防本部に対して、市街地火災延焼シミュレーションソフトウェア、延焼経路作成ソフトウェア及び関連資料を公開したほか、日本火災学会主催の火災科学セミナーや消防研究センターの消防防災研究講演会における発表や関係誌への投稿等を通じて市街地火災延焼シミュレーションの普及促進に努めた(図10)。

3.2 広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築

昨年度に引き続き、延焼クラスタを用いる手法を取り入れて被害予測を行う手法について検討を行った。今年度は、風向風速ごとの延焼クラスタをメッシュごとに事前計算するとともに、隣接メッシュに含まれる延焼クラスタ間の接続関係も事前に計算し、地震発生時にそれらのデータを基に延焼棟数の期待値を計算する手法について検討を行い、横浜市青葉区を包含する地域を対象として、データを試作して分析を行った。

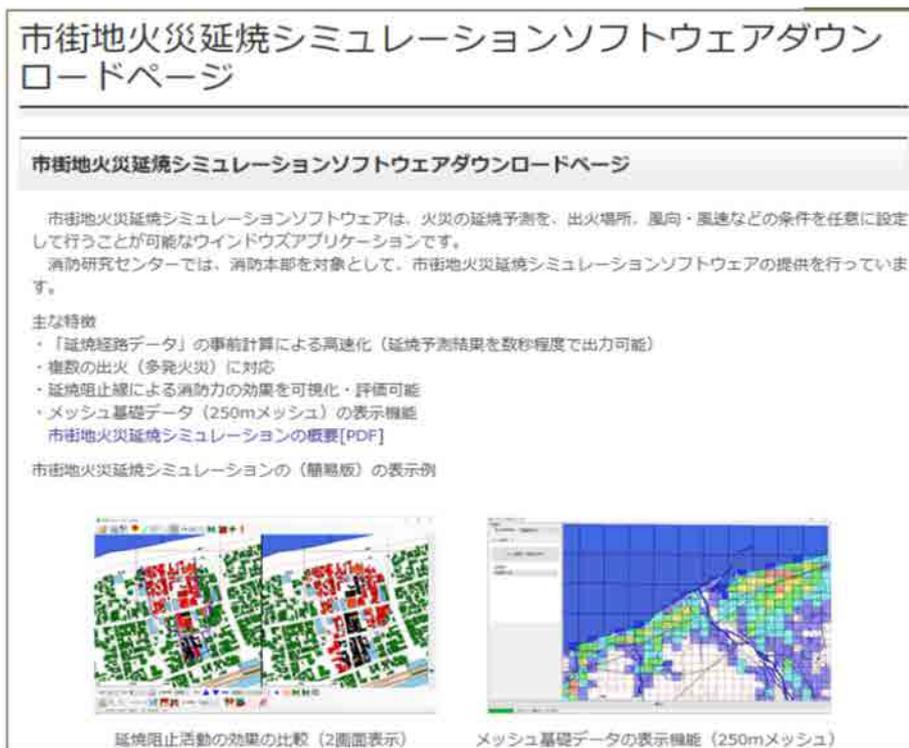


図 10 市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアのダウンロード用ページ

4. 平成 30 年度の成果

4.1 地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築

平成 29 年度に引き続き、平成 28 年度に導出した形態係数に基づいて隣棟間延焼に要する時間を計算する式を、1 棟単位の市街地火災延焼シミュレーションに適用する方法について検討を行った。敷地

境界や建物による遮蔽を考慮すると、輻射の発生源として考えられている炎上中建物の壁面が、受熱側からは（四角形から四角形や三角形を減じて作られるような）多角形に見えることとなる（図 11）。そのため、直角三角形平面と微小面の向き合う角に応じた形態係数の式を導出した（図 12）。

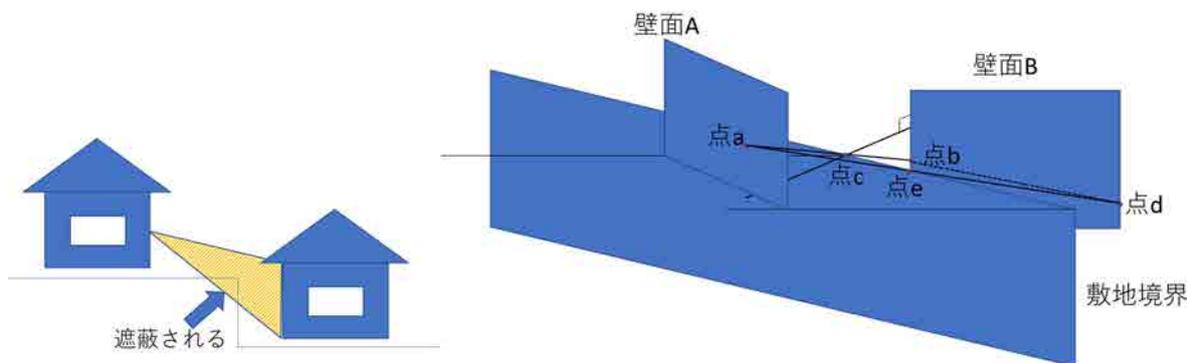
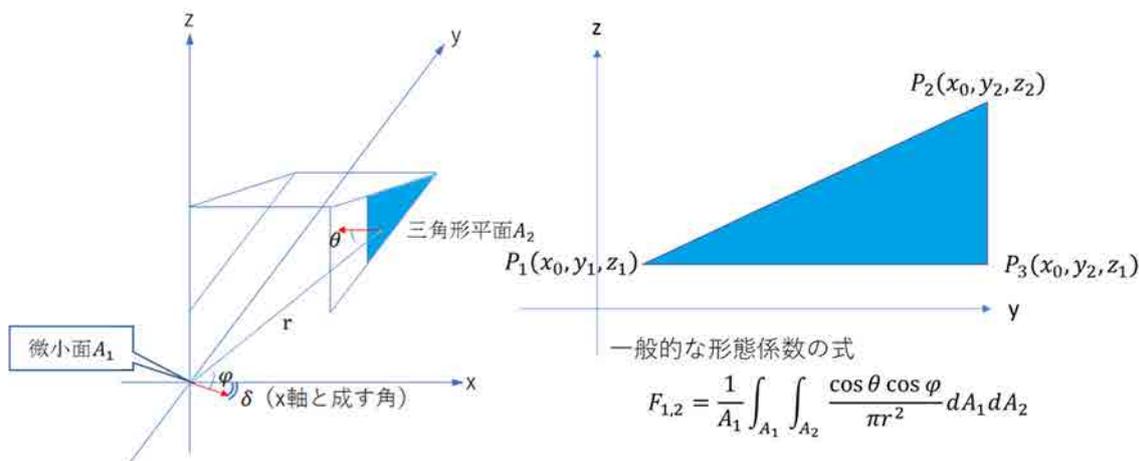


図 11 見通し壁面の遮蔽による影響イメージ



$$\begin{aligned}
 F_{1,2} = & \frac{\cos \delta}{2\pi} \left\{ \frac{y_2}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \tan^{-1} \frac{z_2}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} - \frac{y_2}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \tan^{-1} \frac{z_1}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \right. \\
 & + \frac{z_1 y_2 - z_2 y_1}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \tan^{-1} \frac{y_2(y_2 - y_1) + z_2(z_2 - z_1)}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \\
 & - \frac{z_1 y_2 - z_2 y_1}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \tan^{-1} \frac{y_1(y_2 - y_1) + z_1(z_2 - z_1)}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \\
 & \left. - \frac{z_1}{\sqrt{x_0^2 + z_1^2}} \tan^{-1} \frac{y_2}{\sqrt{x_0^2 + z_1^2}} + \frac{z_1}{\sqrt{x_0^2 + z_1^2}} \tan^{-1} \frac{y_1}{\sqrt{x_0^2 + z_1^2}} \right\} \\
 & + \frac{x_0 \sin \delta}{2\pi} \left\{ -\frac{1}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \tan^{-1} \frac{z_2}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \right. \\
 & + \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \tan^{-1} \frac{y_2(y_2 - y_1) + z_2(z_2 - z_1)}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \\
 & - \frac{z_2 - z_1}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \tan^{-1} \frac{y_1(y_2 - y_1) + z_1(z_2 - z_1)}{\sqrt{(z_2 - z_1)^2 x_0^2 + (z_1 y_2 - z_2 y_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 x_0^2}} \\
 & \left. + \frac{1}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \tan^{-1} \frac{z_1}{\sqrt{x_0^2 + y_2^2}} \right\}
 \end{aligned}$$

図 12 導出した三角形平面の形態係数の概要

また、市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアを提供した消防本部から警防計画の検討のために水利情報の表示に関して要望が寄せられたことを踏まえ、地図上の消火栓や防火水槽の位置に口径や容量に応じたアイコンを表示する機能向上を行った (図 13)。

そのほか、平成 29 年度に引き続き、消防本部からの問い合わせに対して市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの提供等を行い、普及促進に努めた。平成 31 年 2 月末までに、約 80 の消防本部等に対して市街地火災延焼シミュレーション

ソフトウェアや計算用の都市データを提供した。

また、従来から消防研究センターで開発してきた市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの都市データでは座標系として平面直交座標系を用いていたが、全国的なデータを整備するためには緯経度を座標系として用いる都市データを作成する必要がある。平成 30 年度は、手始めとして首都直下地震および南海トラフ巨大地震において被害が想定される関東、東海、近畿、中国、四国、九州地方の都道府県について、緯経度を座標系として用いる都市データを作成した。

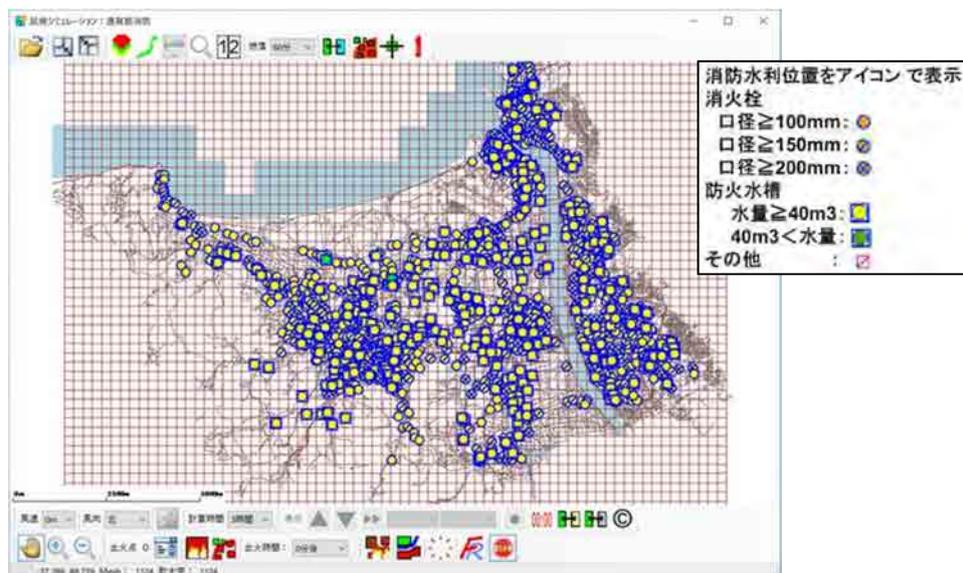


図 13 消防水利の入力機能の改良

4.2 広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築

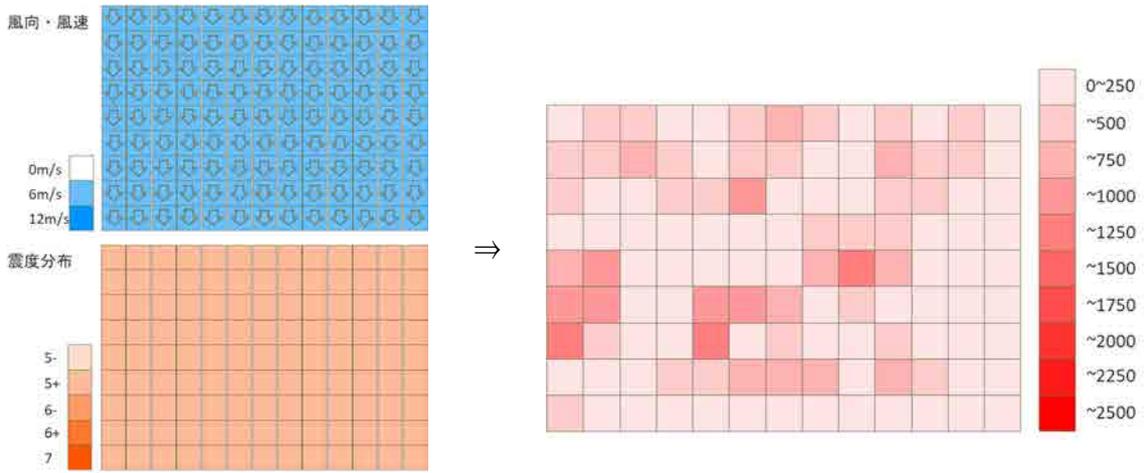
平成 29 年度までに検討した延焼クラスタの考え方をういて延焼被害予測を行う手法について、延焼棟数の期待値を計算するツールを開発した。平成 29 年度に作成したメッシュに対応した延焼クラスタデータを用いて、開発したツールを実行し、風向・風速、震度の変化に応じた延焼棟数の期待値の増減を確認した。開発したツールによる計算結果の例を図 14 に示す。

計算結果について検討を行った結果、計算結果は過大であり、次の 2 点がその理由として考えられた。

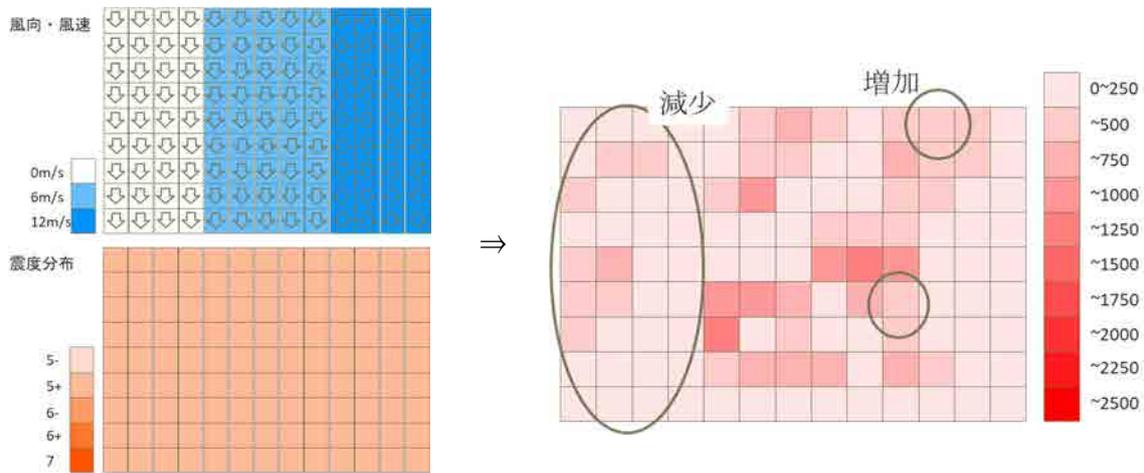
- ・平成 29 年度に作成した延焼クラスタは、従来か

ら被害想定に用いられている延焼クラスタとは延焼限界距離の取り扱いが異なり、大きな延焼クラスタとなっているため、建物が焼失する確率が過大になるとともに、延焼棟数の期待値も過大となっている。

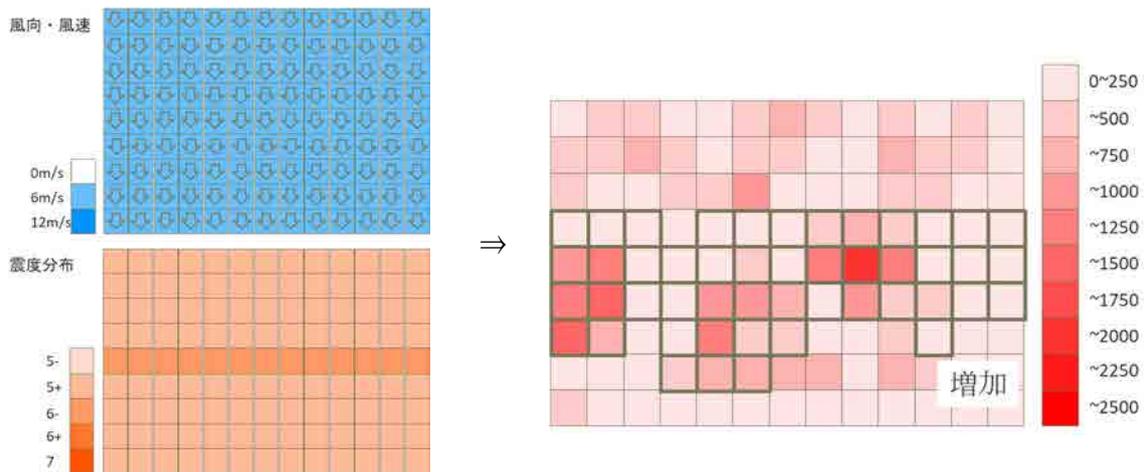
- ・被害想定に用いられている手法では、地震動から計算される出火件数から消防力や消防水利を想定した消火件数を減じた値を建物数で割り戻して、出火率を計算している。それに対して、試作にあたって地震動から計算される家屋被害率を全壊率に読み替え、全壊率から算出される出火率を計算に用いているため、出火率が大きくなっている可能性がある。



(1) 一様の風（北風、6m/s）、一様の揺れ（震度5強）の場合



(2) (1)に対して一部の風速を変更した場合



(3) (1)に対して一部の震度を変更した場合

図 14 建物周辺に延焼限界距離の幅のバッファ発生させて
延焼クラスタを作成した場合の延焼棟数の期待値の計算結果例

5. 令和元年度の成果

5.1 地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築

緯経度を用いた都市データについて、平成 30 年度に作成した地域を除く全国の都市データを作成した。また、従来から開発を継続している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、読み込み時に緯経度情報を直交座標系に変換するよう改修を施し、緯経度を用いた都市データ

を用いて市街地火災延焼シミュレーションを実行可能なソフトウェアを開発した。そのほか、作成した全国の都市データを利用し、GIS のブラウザソフトを用いてインターネット接続が可能な環境ならば実行可能な Web 版市街地火災延焼シミュレーションシステムを試作した。Web 版市街地火災延焼シミュレーションシステムの画面例を図 15 に示す。

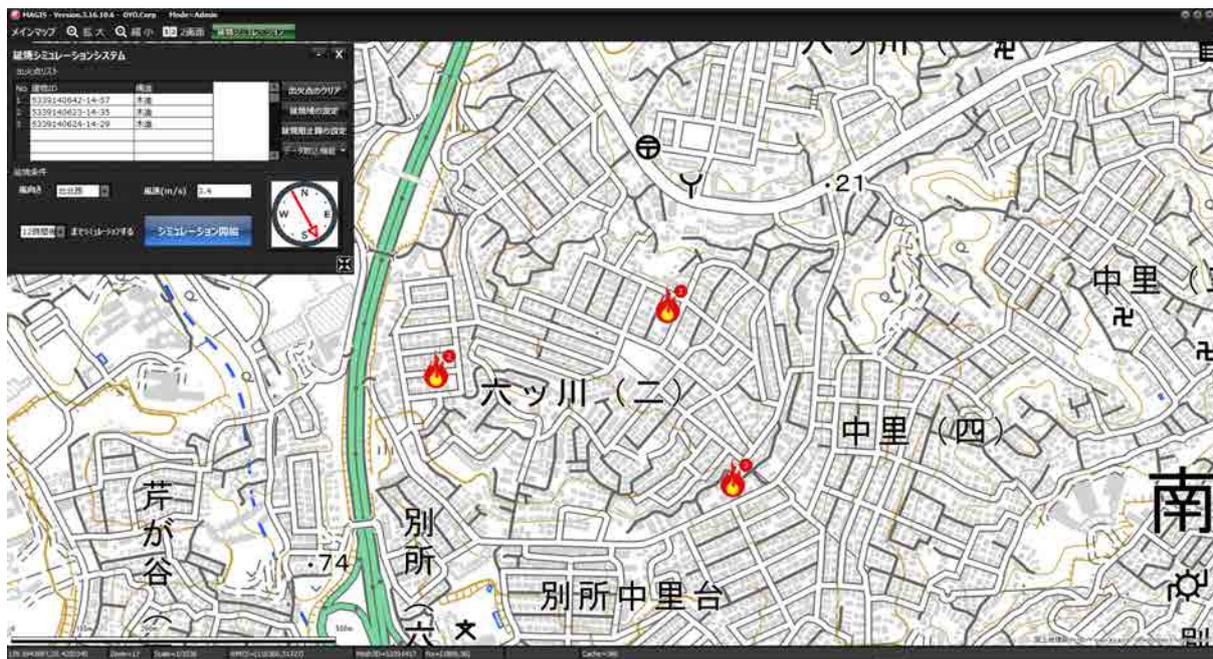


図 15 Web 版市街地火災延焼シミュレーションシステムの画面例

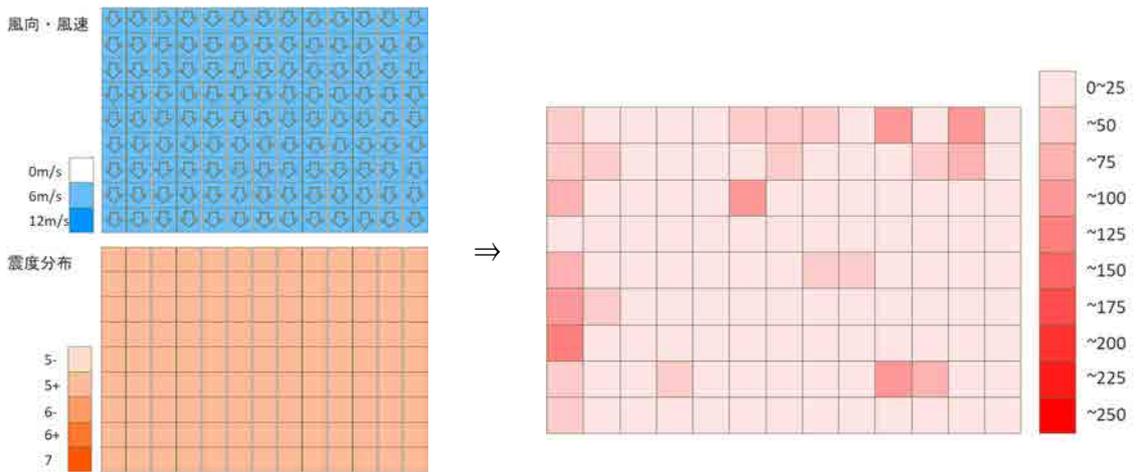
平成 30 年度に引き続き、消防本部からの問い合わせに対して市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの提供等を行い、普及促進に努めた。令和 2 年 3 月末までの提供先は、約 90 機関となった。

5.2 広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築

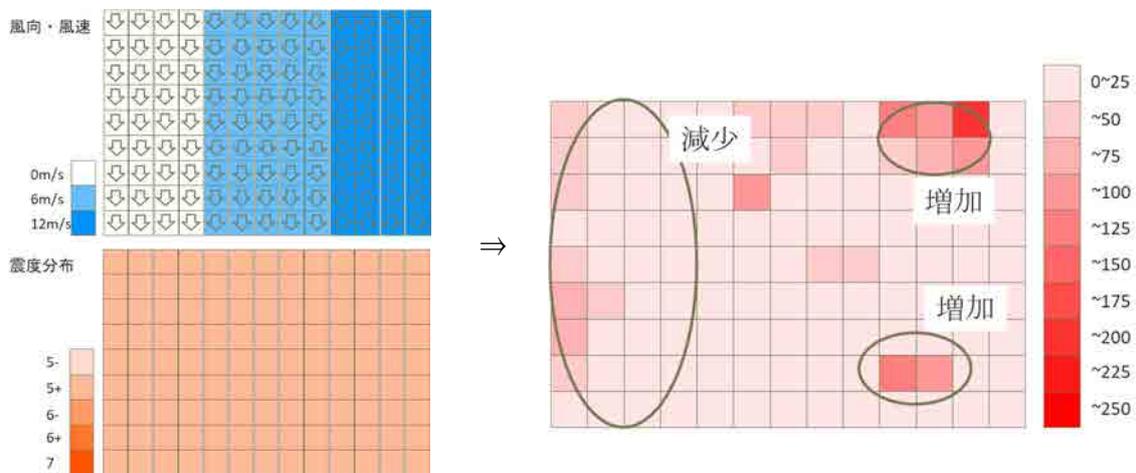
平成 30 年度にツールを用いて計算を行った結果を検証したところ、計算は正しく実行されているものの、延焼限界距離の設定が過大であると考え

られた。そのため、今年度は、延焼クラスタの作成にあたり、建物周辺に発生させるバッファの幅を延焼限界距離の半分とし、このバッファが重なり合う建物群を延焼クラスタとした。

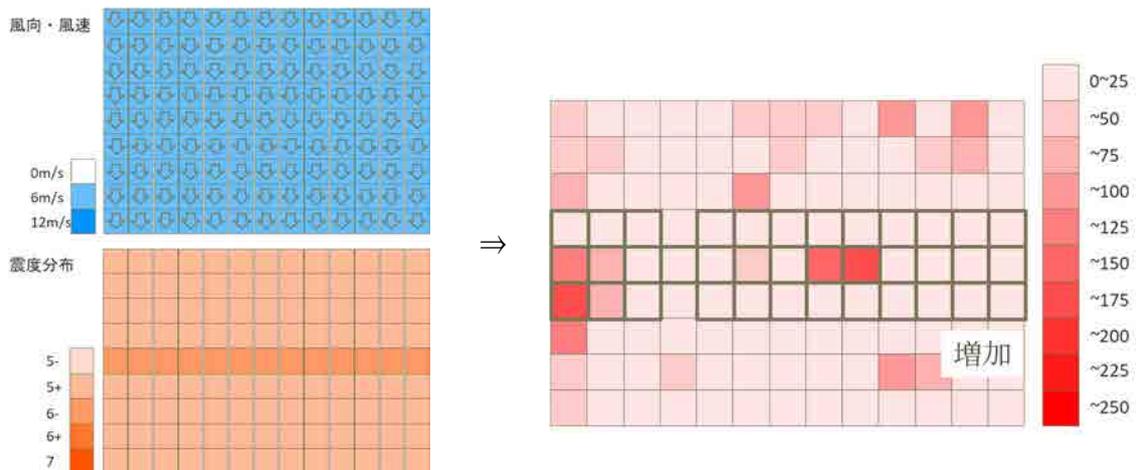
このデータを用いて計算を行った結果の例を図 16 に示す。建物周辺に発生させるバッファの幅を延焼限界距離の半分としたことから、延焼クラスタが小さくなり、それに伴って焼失確率が低下するため、延焼棟数の期待値も小さくなり、全体の延焼棟数の期待値は 1/15 程度となった。



(1) 一様の風（北風、6m/s）、一様の揺れ（震度5強）の場合



(2) (1)に対して一部の風速を変更した場合



(3) (1)に対して一部の震度を変更した場合

図 16 建物周辺に発生させるバッファの幅を延焼限界距離の半分にした場合の延焼棟数の期待値の計算結果例

また、従来の延焼クラスタの作成方法では、片方向の延焼を取り扱う場合に正確性に欠けると考えられることから、延焼被害を及ぼす可能性がある関係を用いて延焼クラスタを作成する方法について検討するとともに、焼失確率及び延焼棟数の期待値の計算方法についても検討を行った。延焼被害を及ぼす可能性がある関係を用いて、建物間の関係を有向グラフとしてあらわすと、延焼クラスタ

は有向グラフにおける強連結成分としてあらわすことができ、延焼クラスタを一つのノードとみなすと、延焼クラスタ間のグラフは有向非巡回グラフとなる。

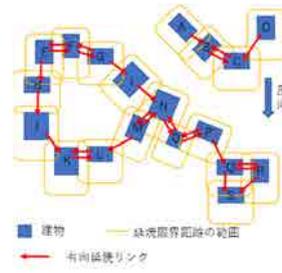
建物の配置例および延焼クラスタと焼失確率の計算例を図17に示す。この結果からは、焼失確率の計算において、重複を排除する必要があることがわかる。



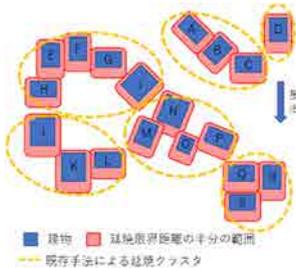
(1) 建物配置および延焼限界距離



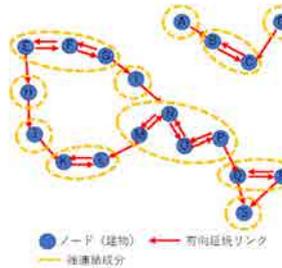
(2)-1 延焼限界距離の半分のバッファを発生



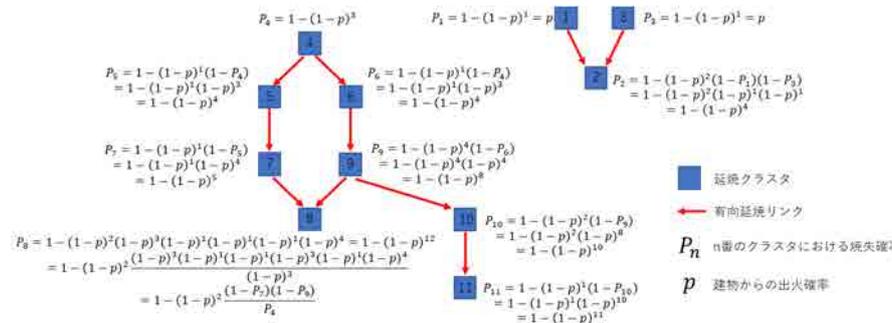
(3)-1 延焼被害を及ぼす関係による有向グラフ



(2)-2 既存手法による延焼クラスタ



(3)-2 強連結成分分解による延焼クラスタ



(4) 強連結成分分解により作成した延焼クラスタを用いた場合の焼失確率

図17 建物配置および延焼クラスタと焼失確率の計算例

このことから、焼失確率及び延焼棟数の期待値を求める手法について検討を行い、延焼クラスタをノード、延焼被害を及ぼす関係を有向延焼リンクとして作成される有向非巡回グラフにトポロジカルソートを適用し、上流側の延焼クラスタから確率の重複を考慮しつつ計算を行う手法について取りまとめた。また、検証に用いるため、これまで同様に横浜市青葉区を包含する地域を対象として、延焼被害を及ぼす可能性がある関係に基づく延焼クラスタデータを作成した。

6. 令和2年度の研究計画

6.1 地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築

昨年度開発した全国版市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアおよびWeb版市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの改良を行うとともに、これまで市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアを提供した消防本部に対して試用を依頼し、アンケート調査を行う。

また、改良した全国版市街地火災延焼シミュレーションソフトウェア及びWeb版市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアを全国の消防本部に対して公開する。

そのほか、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高低差の要素を取り入れる方法について検討した結果に基づき、従来の市街地火災延焼シミュレーションを改良して、高低差の要素を入れた市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアを試作する。

6.2 広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築

前年度に引き続き、高速で広域な延焼被害予測が可能なシミュレーションモデルの検討及び検証を行う。具体的な内容としては、延焼被害を及ぼす可能性がある関係を用いた焼失確率及び延焼棟数の期待値を計算するツールを作成し、計算結果の検証や、大規模地震災害直後の運用可能性について検討を行う。

6.3 大規模地震災害時の出火と緊急消防援助隊の活動に関する調査・分析

引続き、既往の研究成果について調査・整理を行う。また、兵庫県南部地震などの地震火災についてデータの収集・分析を行うほか、緊急消防援助隊の活動実績に関する情報の収集・分析を継続する。

7. 共同研究

横浜市消防局

(5) 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

研究期間：平成28年4月～令和3年3月

技術研究部 大規模火災研究室 篠原雅彦、鈴木佐夜香
技術研究部 地震等災害研究室 佐伯一夢

1. 目的

地震後の市街地同時多発火災や林野火災のような広域火災では、「火災旋風」や「飛火」が発生して被害を極端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。平成28年(2016年)12月22日の糸魚川市大規模火災では、強風下において相次いで飛火が発生し、平常時としては昭和51年(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。一方、火災旋風とは、火災の内部・周辺で起こる竜巻状の渦のことで、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。1923年の関東大震災では火災旋風が避難場所を襲い、その一ヶ所の避難場所だけで約3万8千人もの死者を出した。その後も空襲や、最近では北米の林野火災で火災旋風による死傷事故が続いている。

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、火災旋風と飛火による被害を防ぐために、以下の3つのサブテーマについて研究を行う。

サブテーマⅠ 火災旋風の発生メカニズムと発生条件に関する研究では、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少しでも早く予測することによって、優先的に消火すべき火災を特定できるようにし、また、効果的な

避難方法も提示できるようにするために、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を目指した研究を行う。

サブテーマⅡ 飛火現象における火の粉の着火性に関する研究では、a) 広域火災発生時に飛火の危険性の高い家屋の部位を市民に広報し、b) 効果的な飛火警戒方法を提案し、さらに、c) 避難ルートを含めた防災マップの作成を行うために、火の粉による着火メカニズム・火の粉に対する各種材料の脆弱性を解明するとともに、火の粉の着火性に関する評価手法を確立するための研究を行う。

サブテーマⅢ 火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究では、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) によって取得した火災周辺の気流の速度場のデータを、さらに時間的、空間的に高精度化することのできる技術を提案し、実現することで、サブテーマⅠ、Ⅱの現象解明や、火災時の空中偵察・効率的な消火の実現に寄与することを目的とした研究を行う。

2. 令和元年度までの主な成果

2-1 火災旋風の発生メカニズムと発生条件に関する研究

平成28年度

① 小規模実験研究

有風下で火災域風下に発生する火災旋風の源の候補となっているいくつかの渦について、その発生メカニズムを調べるために、小規模吹出型超低速風洞を製作し、吸込部から吹出部までを組み終えた。

② 大規模野外実験研究

本5年計画作成時には予定していなかったが、木造密集市街地を模擬した1/3スケールの木造住宅19棟を用いた大規模野外実験を平成28年1月に行う機会を得て、火災旋風、火災周辺気流などの観測を行った。この実験で測定した火災周辺気流の解析を行い、以下の結果が得られた。

- 1) 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～風横(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中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。
- 2) 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。また、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

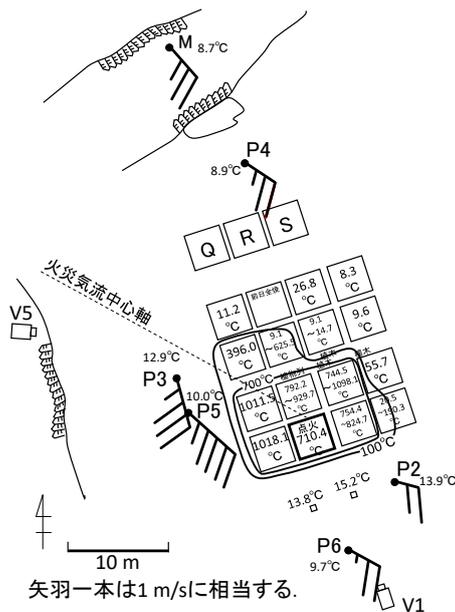


図1 着火20分後の火災周辺の1分間平均風向・風速および温度分布

なかった。以上の結果は、火災旋風の形態とも考えられている火災上昇気流内の旋回気流が、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する。

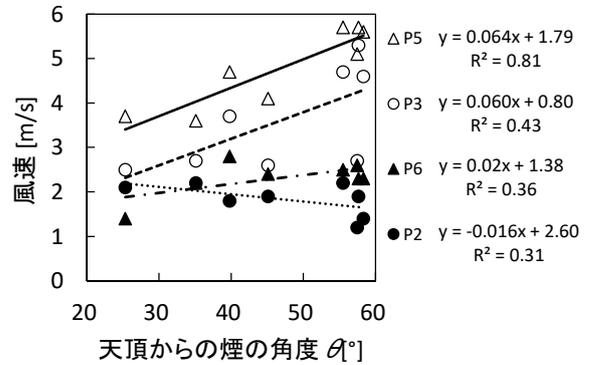


図2 火災からの煙の傾きと火災周辺地上部での風速の関係

平成29年度

① 小規模実験研究

有風下で火災域風下に発生する火災旋風の源の候補となっているいくつかの渦について、その発生メカニズムを調べるために、小規模吹出型風洞を完成させた。また、バーナーを設計、製作し、均一な火炎を形成することができるようになった。さらに、測定装置の整備・調整を行った。

また、火源風下に発生する火災旋風について、過去に行った実験の追加解析を行った。解析では、火炎の鉛直軸からの傾き θ 、床面上での火炎の風下方向への引きずり長さ D と、火災旋風発生との関係を調べた。その結果、旋風が発生する期間は θ が小さくなり、 θ と D の変動が大きくなることが分かった。また、旋風が発生しない風速下では、 θ の低下や θ と D の変動はなかった。

② 災害調査研究

平成28年12月に発生した糸魚川市大規模火災は、震災時を除けば酒田大火以来40年を経ての大規模な市街地火災であり、地震被害を受けてない大規模市街地火災を理解する上で重要な意味を持つ災害である。平成28年度末から平成30年度初旬に

かけては、本火災の延焼についての調査・解析に注力した。ここで明らかになったことは、本節で記すとおり、火災旋風を考える上で重要な点もあったが、火災旋風の研究からは外れる点もあった。しかし、消防研究センターは災害研究、防災研究を目的とする研究所であり、自分の研究との関連を考えたとき、当初の研究計画を一時中断してでも調査・解析に取り組むべき災害が発生することがある。本火災はそれに相当すると考え、この火災後の1年半程度は本火災の解析を優先した。

これまでの研究で、火災旋風の発生には、火災の燃焼領域の形状や寸法が大きな影響を与えることが分かっている。ところが、過去の市街地大火の延焼動態図では火災前線は分かるが、火災奥行き^(注1)は分からない。そのため、燃焼領域の形状、寸法は分からなかった。本火災では火災上空からの空撮映像・写真が得られたため、火災奥行きをはじめ、市街地での大規模火災のふるまいを、過去の大火調査

よりも詳細に把握することができる時間帯があった。実際の市街地火災の状況が詳細に分かれれば、旋風の発生条件を変数として与える際に、より現実的な条件を与えることができるようになる。そこで、本火災の延焼状況の調査・解析を行った。得られた主な結果は以下の通りである。

ある時間帯の火災の状況を地図上に落とした一例を図3に示す。これは、まだ燃えてないように見える建物から、最終的に燃え落ちたように見える建物までを、分かる範囲で地図上に色分けした図である。この図を用いれば、実際の市街地火災の燃焼領域の形状、寸法を知ることができる。

火災奥行きを図4に示す。当時は南風であったが、風上(南)方向へ延焼する火災の奥行きは、31~40 mの範囲で平均36.5 m、風横方向に延焼する火災の奥行きは2点しかないが23~28 mの範囲で平均25.5 mとなっており、平均の火災奥行きは風上方向が風横方向の1.4倍である。

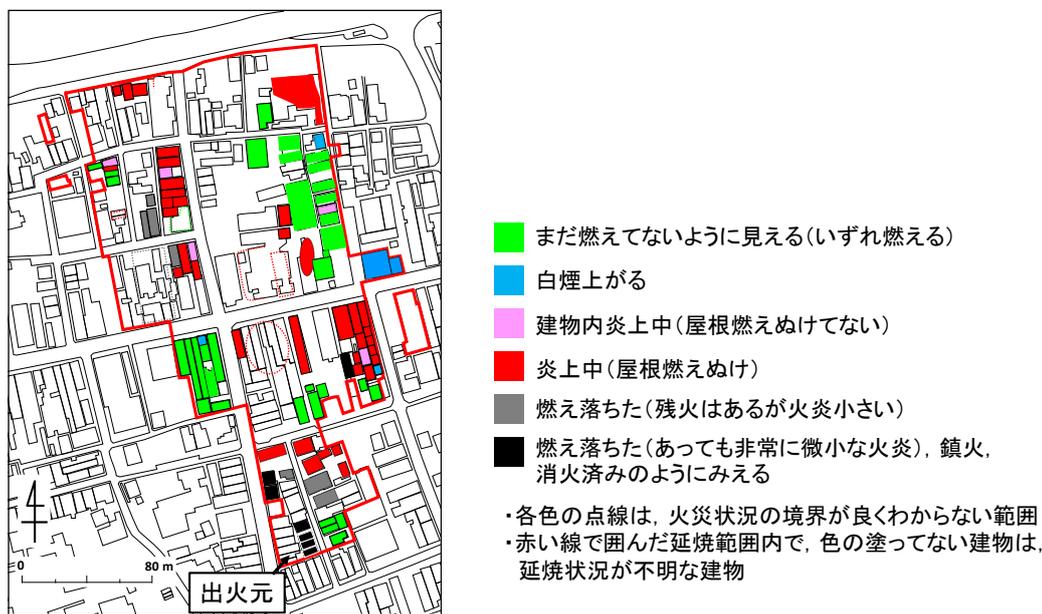


図3 糸魚川市大規模火災の同時炎上領域図の一例
 (2016年12月22日13時40分~13時46分)

(注1) 火災奥行き：火災前線の位置と、その場所での延焼方向と反対側のまさに燃え尽きようとしている火災の位置との間の距離。

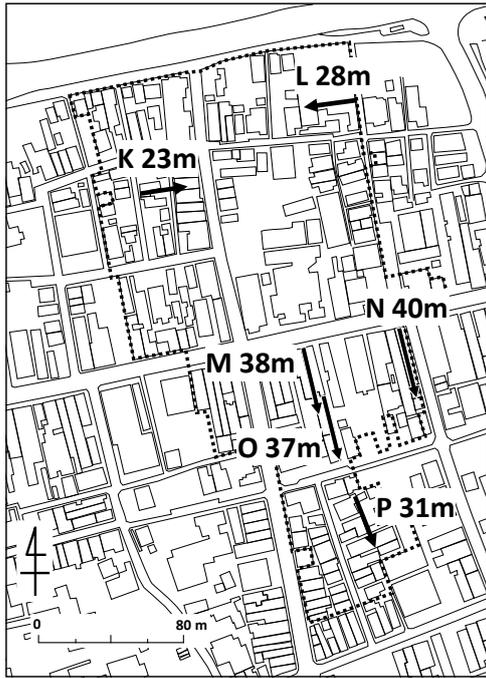


図 4 火災奥行き

矢印の長さはその場所の火災奥行き、
矢印の方向は延焼方向を示す。

燃焼領域の形状以外についての延焼状況について明らかになった主な点は以下の通りである。

- 1) 本火災は、各街区に飛火して、それぞれの街区内で延焼したものが多く。
- 2) 街区内部での延焼方向は、判明した範囲では、風下に向かうものは少なく、風横、風上に向かうものが多く (図 5)。これは、各街区での出火の多くが飛火によるもので、延焼方向が飛火地点に依存したからである。
- 3) 風横方向である東西方向の延焼速度は約 40～60 m/h なのに対し、風上方向である南方向の延焼速度は約 30～50 m/h と、風横方向の延焼速度の方が風上方向よりも大きい傾向にあった。この傾向は、過去の大火の傾向と一致している。
- 4) 風上方向の延焼速度は、同じ風速付近で見ると関東大震災時の火災と大差ない。風横方向の延焼速度は、関東大震災時の値よりも小さい。
- 5) 延焼領域の北西部の延焼速度は、東向きの方が西向きよりも大きかった。このことは、火災から発生する上昇気流が二股に分かれて互いに逆方向

に回転する渦対 (Counter-rotating Vortex Pair、CVP) が地上付近で起こす風の影響と考えるとつじつまが合う。

- 6) 延焼範囲の北西部では、ホースから上空に出された水が東向きに流されており、これは CVP の地上付近での風向きに一致する。このことはまた、CVP が放水障害にもなる可能性を示唆している。

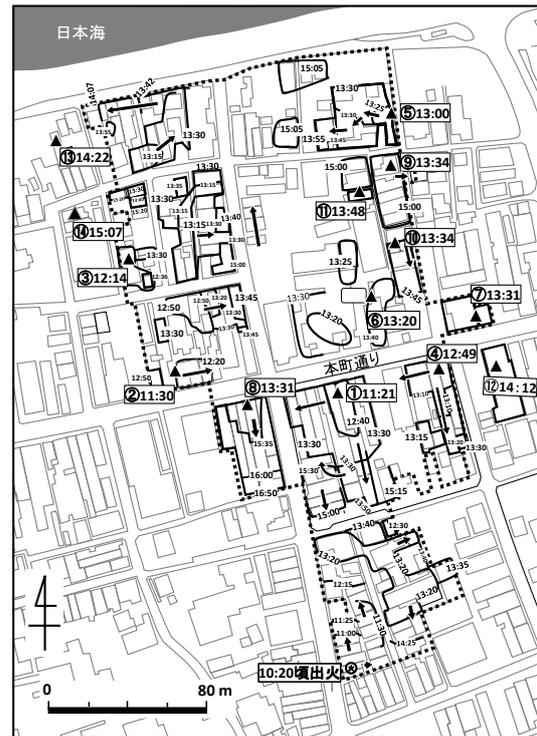


図 5 火災前線図

▲：飛火地点。矢印は延焼方向。点線は延焼範囲。四角で囲んだ時刻は飛火時刻。
時刻の前の丸で囲んだ数字は飛火の順番。

さらに、飛火の位置、時刻、個数について明らかになった主な点を以下に記す。

- 1) 消防の記録、証言、写真、映像を基に、14 件の飛火の位置、時刻を確認した (図 5)。
- 2) 飛火地点は、出火地点から見て北から 25 度東方向 (北北東) から 30 度西方向 (北北西) の 55 度の範囲に分布していた。北方向から若干西向きに偏っていることは、風向が南から南東であったことと一致する。
- 3) 飛火地点は延焼範囲の海側半分を U 字型に囲

むような位置にあり、延焼範囲の東西の縁に位置するものが、延焼範囲の中央部に位置するものよりも多かった。ただこれは、中央部の飛火の情報が得られなかったためかもしれない。

- 4) 飛火地点のうち4地点は、延焼範囲内で最も道幅の広い本町通りに面した街区の風下部であった。これは、これらの街区の風下側よりも風上側からの消火活動が多かったためかもしれない。
- 5) 飛火をもたらした火の粉の発生街区がほぼ特定できる飛火について、火の粉の最大飛散距離は、飛火②の少なくとも150mである。
- 6) 出火推定時刻から約1時間後には最初の2件の飛火があった。このころには、この2件の飛火の原因となった火の粉の発生源と考えられる出火街区では、約10軒に延焼していた。
- 7) 出火推定時刻から約3時間後の30分間に飛火が集中しており、合計6件発生した。
- 8) 空撮映像から分かった飛火時刻の方が、消防の飛火確定時刻よりも早いものや、消防の記録にはない空撮映像で判明した飛火があった。このことは、火災現場上空からの飛火早期発見の可能性を示唆している。
- 9) 火災現場の西側に位置する姫川河口付近の2つの気象観測地点で最大瞬間風速が急増した頃に、最初の飛火が発生した。しかし両者の間の因果関係は不明である。
- 10) 飛火の位置は、上空の煙の輪郭近傍に多い。これはCVPの影響かもしれない。この傾向が普遍的なものだとしたら、風向が大きく変わらない時点では、火災の風横方向は長距離飛火警戒する必要はなく、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飛火の情報が得られていないだけで、中央部にももっと多くの飛火があった可能性はある。
- 11) 1分間最大瞬間風速の風向の変動幅が大きくなった時期が飛火の開始時期と一致した。これは証言ともある程度一致する。しかし両者の間の因果関係は不明である。
- 12) 飛火の原因となった火の粉の発生源がほぼ特定できる最初の2つの飛火①、②の位置は、飛火

時刻頃の火災域中央部から見た1分間最大瞬間風速の風向の変動範囲内および近傍にあった。

平成30年度

① 小規模実験研究

a. 装置製作

超低速風洞測定部の製作、測定装置架台等の製作、測定装置の設置・調整、性能試験、予備試験を行った。

b. 実験

有風下で火災域風下に発生する火災旋風の源の候補となっているいくつかの渦について、その発生メカニズム、発生条件、発生した旋風の性質を調べるために、風速、発熱速度を変え、PIV（粒子画像流速測定法）を用いて、火炎を含まない火災旋風の速度場の測定を開始した。現在、主流風速と発熱速度を変えたときの火災旋風のふるまいとその周辺の速度場、火災旋風の渦の強さを調べている。

主流の風速が弱い場合は、図6の速度場が示すように、火源風下に明確な渦（旋風）が対になって定在する。ところが風速を強くするにしたがい、旋風はより風下側で発生して移動し、渦は不明確になっていく。主流の風速がある程度以上強くなると、図7に示すように、渦の強さは弱くなる傾向が明らかになった。この結果は、火災旋風は風が弱い時に比較的発生しやすいという、火災時の観測結果と定性的に一致する。

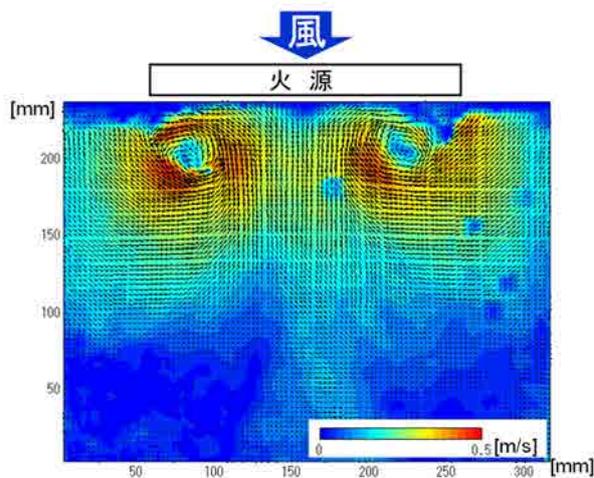


図6 火源風下に発生する火災旋風
およびその周辺の速度場の一例

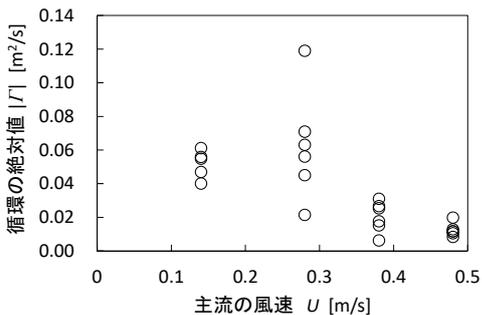


図7 火災旋風の渦の強さ（循環の絶対値）と主流の風速の関係

令和元年度

① 小規模実験研究

有風下で火災域風下に発生する火災旋風について、発生メカニズム、発生条件、発生した旋風の性質を調べるために、前年度に引き続き、風速、発熱速度を変え、PIV（粒子画像流速測定法）を用いて、火炎を含まない火災旋風とその周囲の速度場の測定を行った。昨年度は、主流風速を変えたときの火災旋風のふるまいとその周囲の速度場、火災旋風の渦の強さ（循環）を調べたが、渦核を目視で抽出していたため、図7に示したように渦のサンプル数が

各風速6個ずつと少なく、解析として不十分であった。そこで、渦核の抽出を自動化することでサンプル数を各条件840個と大幅に増やした。さらに、循環のほかに、渦核のサイズ、速度についての解析を行った。実験では、吹出風洞の測定部床面に200mm×20mmのバーナーを長辺を主流に直交させて設置し、メタンガス火炎を形成させた。発熱速度は0.84kWと2.23kWとした。風速 U は0.06~0.54 m/sの範囲で変えた。PIV測定の高さは床面から10 mm上方とした。その結果、以下のことが明らかになった。

1) $0.28 \text{ m/s} \leq U \leq 0.54 \text{ m/s}$ の範囲では、風速が減少するほど、渦の循環の絶対値、半径、接線速度の絶対値が増加する（図8a~c）。このことは、実火災で比較的風が弱い時に火災旋風が目撃が多いという傾向と一致する。

2) 風速が減少するほど、渦の循環の絶対値が増加する原因は、風速の減少に伴い渦核のサイズが増大するためであり、渦内の空間平均渦度の変化（図8d）によるものではない。

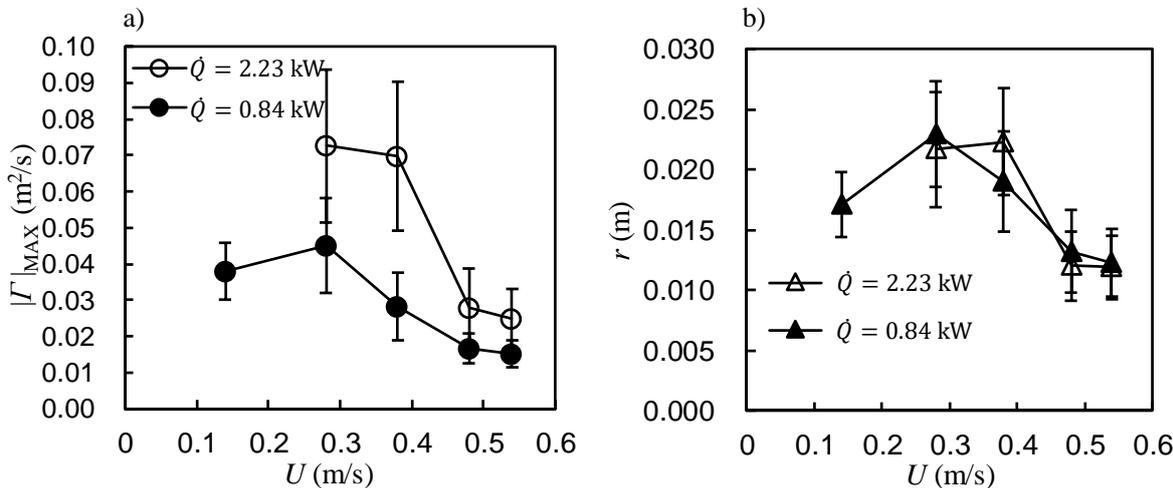


図8 火炎にあてる風の速さと発熱速度が渦に与える影響：PIV測定は15Hzで各風速56秒間行い、得られた各風速840セットの全速度場から渦核を抽出した。各速度場について、渦核内の循環の絶対値が最大の渦核についての、(a)循環の絶対値、(b)渦核半径、(c)渦核の接線速度の絶対値、(d)渦核内の空間平均渦度の絶対値。図内の各点は56秒間の時間平均値、エラーバーは標準偏差を示す。 $U = 0.06 \text{ m/s}$ では、渦の風上部がバーナー上に位置していたため、渦全体の解析ができなかったため、データから除外した。

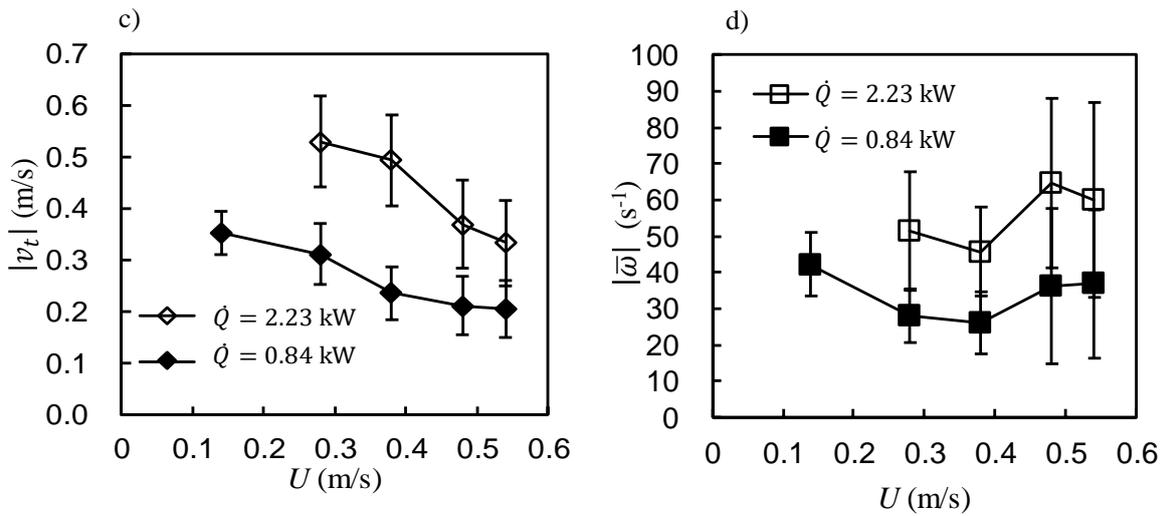


図8 (続き)

- 3) 低風速下で渦核が大きいのは、渦がほぼ定在するために渦度の蓄積が多いためである可能性があり、高風速下で渦核が小さいのは、渦がすぐに流出するため渦度の蓄積が少ないためである可能性があることが流れ場 (図9) から示唆される。
- 4) 風速が減少するほど、渦核の接線速度の絶対値

- が増加する主な原因は、風速の減少に伴い渦の半径が増加する傾向にあるためである。
- 5) 発熱速度が増加すると、渦核サイズは変わらないが、渦核内の空間平均渦度が増加することによって循環が増加する。この関係は風速には依存しない。

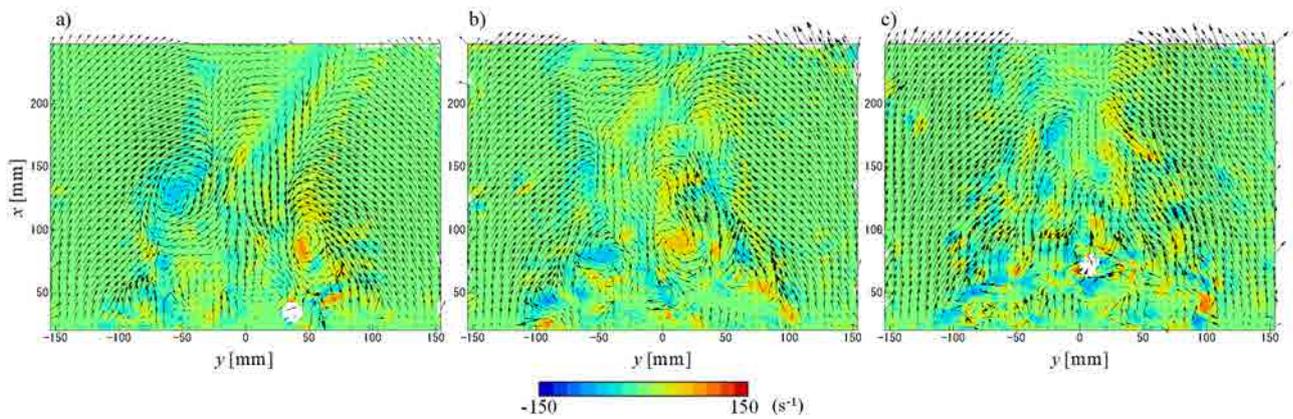


図9 発熱速度が0.84kWで風速を変えた時の瞬時速度・渦度の分布の一例：主流は各図の下から上方向である。各図の下の長辺の位置が、バーナーの燃料噴出部の風下端から4mm風下の位置に相当する。(a) $U = 0.28$ m/s、(b) $U = 0.38$ m/s、(c) $U = 0.48$ m/s。

② 野外観測研究

実規模の火災旋風の風速、規模を解明することを目的に、大室山の山焼きの観測を令和2年2月に行った。本観測では、ドップラーライダーによる旋風観測や気象、延焼の観測を試みた。

2- II 飛火現象における火の粉の着火性に関する研究

火の粉による飛火の影響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。そこで、本研究では以下の実験を行った。

- i) 大規模実験・中規模実験において、火の粉に対する家屋の着火挙動を確認し、着火防御手法等の検討を行うためのデータを採取した。
- ii) 家屋を対象とした火の粉発生実験を行い、素材・試験体の大きさ・風速等の関連を整理し、検討を行った。

また 2016 年 12 月の糸魚川市大規模火災を受けて行うことになった防御手法の参考とするため消防へアンケートを実施した。

① 災害調査

実際の建物火災においてどのような火の粉が発生し、どんな条件で着火するのかしらないのかに関して検討を行った。

a. 3 軒の建物火災調査

飛火被害が起こらなかった 3 件の個別の建物火災に関して火の粉の採取を行った。3 軒とも火災時の風速は 2m/s 以下で飛火は発生しなかった。採取された火の粉は小さいものが多く、ほとんどが投影面積 5cm²、質量 1g 以下であった。後述する糸魚川市大規模火災における火の粉の大きさとあまり変わらないことが分かった。

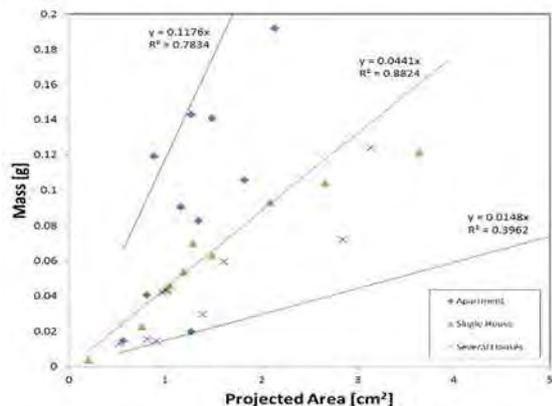


図 10 採取した火の粉の大きさと質量の関係

b. 糸魚川市大規模火災における飛火被害と火の粉

2016 年 12 月の糸魚川市大規模火災では飛火によって被害が拡大した。糸魚川市大規模火災の風速は平均して 9m/s 程度であった。そこで災害調査の際に火の粉を採取し、火の粉の大きさを確認した。道路上、又屋上など様々な場所で採取したが、採取場所による違いは見られなかった。ほとんどの火の粉は投影面積 10cm² 以下、質量 1g 以下である。

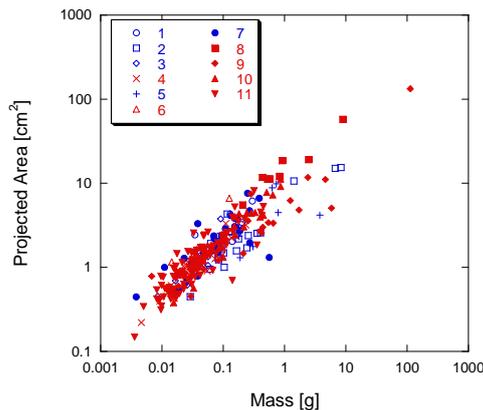


図 11 糸魚川市大規模火災において採取した火の粉の投影面積と質量

また、着火箇所は下の図に見られるように、屋根が多かったと考えられる。しかしながら火炎は上にする性質があるため、屋根のどこが着火したのか、という点に関しては具体的には断定できていない。



図 12 屋根の着火箇所

② 火の粉発生装置を用いた着火実験

火の粉発生装置を用いて実験するに当たって「使用する火の粉」をどのようなものにするのかは重要である。災害調査においてデータを得るだけでなく、実際に建物を燃焼させデータを得た。

a. 火の粉の発生に関する実験

まずは屋根から発生する火の粉に関して実験を行い、再現性のある実験手法を確立することを目指した。T字バーナーを用いて一定時間無風下で燃焼させた後、風速 6m/s もしくは 8m/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。

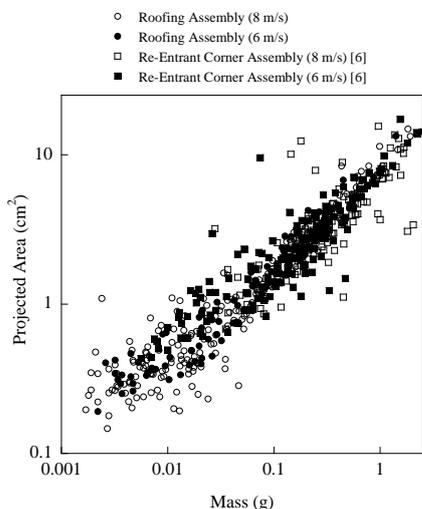


図 13 屋根を対象とした実験で発生した火の粉の大きさと質量

また、壁を対象とした中規模実験を実施し、再現性があり実大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 1g、投影面積 20cm² 以下であった。

また、質量と投影面積の間には一次の相関関係が見られ、その傾きが風速によって異なることが分かった。

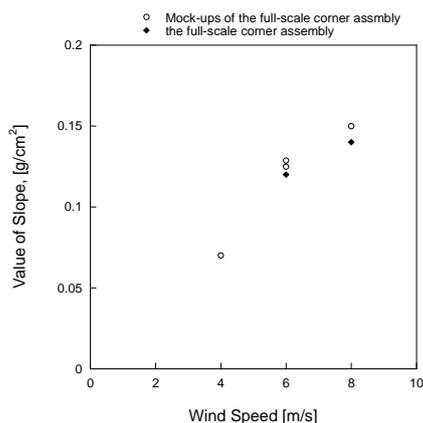


図 14 発生する火の粉の性状と風速の関係

この結果により家全体を燃やすことなく発生する火の粉に関する情報が得られることが分かった。

b. 火の粉による着火実験

家屋周囲にある可燃物を対象とし、近年人気のあるウッドデッキを対象として実験を行った。風速 8m/s で実験を行ったところ、下の図に見られるようにウッドデッキ上ではなくウッドデッキの間に火の粉が集積し着火に至る様子が確認された。着火箇所周囲に着床した火の粉の量を確認したところ、数 g 程度で着火に至ることが分かった。また、ウッドデッキ材が着火するだけでなく、下のサポート台への着火も認められた。



図 15 ウッドデッキの着火の様子

日本瓦屋根を対象とし、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。潜り込んだ火の粉の個数を比較したところ、日本瓦は平らな瓦と比較して多くの量が確認できた。日本瓦の作成手法上、平らな瓦と比較すると、瓦間のギャップが大きくなってしまいうためだと考えられる。



図 16 日本瓦を対象とした実験の様子

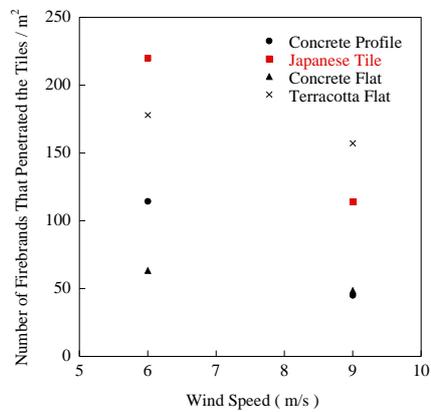


図 17 瓦の下にもぐりこんだ火の粉の個数と風速の関係

c. 火の粉の防ぎよに関する実験

火の粉による着火を防ぎよするための予備散水の効果に関して検討するため、予備実験を行った。着火実験でも利用した屋根瓦の予備散水に対する効果を確認したところ、散水を屋根上部から行った場合、一定量以上の予備散水を行っても 4g 程度の水分が瓦表面に残るのみであることが分かった。その結果、有風下では一回のみの予備散水ではほとんど効果がないことが分かった。



図 18 アンケート結果 飛び火警戒関連文書の有無(左) 及び飛び火警戒文書に沿った飛び火警戒活動の有無(右)

2- III 火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究

画像相関解析の技術を用いて、屋外における気流の速度分布を計測する方法として、PIV(Particle Image Velocimetry)やTIV(Thermal Image Velocimetry)がすでに提案されているが、現在の技術では、火災旋風や飛火の現象の解明に必要な精度で火災周辺の気流の速度場を得ることが困難である。

そこで、本研究テーマでは以下の段階を踏み、時間的、空間的に高精度な速度場を推定することが可能な技術の確立を目指す。

平成 28 年度

既存の PIV および TIV に関する文献調査を行い、主に可視画像の情報から PIV の手法を用いて流れの速度を算出するためのプログラムを作成した。画像処理を行った 2 枚の情報から粒子の移動量を差分として求め、粒子の速度として算出するものである。

また、参照速度場を計測する手段の一つとして風速センサの利用環境をととのえた(計測精度検証の

③消防へのアンケート

令和元年度以降の研究の実施に先駆けて延焼シミュレーション提供先を対象とし、飛び火警戒関連文書の有無、その文書に沿った消防活動の有無に関してアンケートを実施した。76 消防本部中 53 消防本部から回答を得た結果、飛び火警戒の経験のない消防本部が多く、飛び火警戒文書がない消防本部も多く見られ、飛び火警戒手法に関して情報が求められていることが分かった。

ための基礎実験の実施とデータ計測プログラムの構築)。

平成 29 年度

平成 28 年度に引き続き、既存の PIV および TIV に関する文献調査を行い、可視画像の情報から PIV の手法を用いて流れの速度を算出するためのプログラムを作成した。前年度は特徴的な 2 枚の画像のみを用いた初歩的な技術であったが、今年度からは実際に可視カメラで可視化・撮影した気流の画像を用いて速度場の算出に取り組んだ。また、熱画像情報から流れの速度を算出する方法を確立するために必要な熱画像カメラの仕様の選定と調達を行った。さらに、速度の空間的な算出精度向上のために、可視画像カメラと熱画像カメラの時刻を同期するシステムを構築した。

平成 30 年度

① 熱画像カメラを用いた気流の可視化と速度ベクトルの算出

前年度調達した熱画像カメラを用いて、アルコールの燃焼を撮影し、火災周辺の気流の可視化を行っ

た。火炎周辺の気流(主にプルーム)が可視化でき、可視化できている部分の気流のゆらぎを特微量として検出するプログラムの開発を行った。室内で近接撮影(炎から約1m以内の距離)した場合は、前年度までに開発した画像処理プログラムを用いて、何点かの特徴点として検出することに成功した。しかし、熱画像情報のみの利用では、複数の速度場ベクトルとして算出させるための情報としては分解能が足りない場合が多いことが明らかとなった。そこで、可視画像で撮影した、燃焼時のすす等の情報と統合させ、空間的な検出精度を向上させることができないかと考え、現在そのシステム開発と計測実験の準備を行っている。具体的には、当初の研究計画通り、可視画像と熱画像の情報を統合させて、空間的な計測精度を向上させることが必要であり、計測時の同期、データの統合・処理を行うためのシステムの開発を進めている。

② ステレオ計測による三次元速度ベクトルの算出

次年度以降、ステレオ撮影による三次元的な速度ベクトルの算出を目指しており、前年度調達した熱画像カメラを追加で1台調達し、これまでに開発した計測システムと同期させて撮影・データ計測を行うためのシステム開発も進めた(次年度も継続)。

③ 開発した手法の精度を定量的に検証するための方法の検討

本研究で開発中の計測技術(計測手段と高精度化アルゴリズム)の性能評価を行うための実験方法の検討を行った。室内で高精度に気流の可視化・速度場計測を行うことのできるレーザ計測技術(PIV)の調査を行い、室内での燃焼実験で本研究で開発する技術との性能評価を行うための実験計画について専門の業者と議論・検討を進めた。

令和元年度

① 室内燃焼観測における速度場算出精度の検証

2019年11月、2020年2月、3月に、これまでに開発した技術を用いて、室内での燃焼観測について、既存のレーザ計測(PIV)技術との性能比較実験を行い、計測精度を検証した。室内でプール火炎を対象として、熱画像による火炎周辺気流(特に上昇気

流)の可視化を行い、速度場の算出を行った。同時に、熱画像カメラと同期させた可視画像カメラでも撮影を行い、可視画像からPIV技術を用いて速度場を算出することで、これまでに開発した速度場算出手法の精度検証のためのデータを取得した。精度比較についての解析を現在継続して実施しており、解析結果を踏まえて今後の手法改善に関する課題を明らかにし、最終的な手法の改良に取り組む予定である。

② 野外での火炎周辺気流の可視化と速度場算出のための計測の実施

渡良瀬遊水地での野焼き(2020年3月21日に実施)時に、これまでに開発した技術を用いて、野外での火炎周辺気流の可視化と気流の速度場の算出のための計測を実施した。この結果についても現在解析中であり、この結果を踏まえて今後の研究開発の課題を明らかにする。

3. 令和2年度の研究計画

3-I 火災旋風の発生メカニズムと発生条件に関する研究

- (1) 有風下で火災域風下に発生する火災旋風の発生メカニズム、発生条件、性質を調べるため、小規模実験を継続し、風向・風速・発熱速度等が火災旋風の発生の有無と、発生する火災旋風の速度場、移動状況に及ぼす影響を調べる。
- (2) 実規模の火災旋風の風速、規模を解明することを目的に観測を行った山焼きのデータ解析を行う。
- (3) 実験・野外観測の結果、過去の災害、文献に残る実験記録等を用いて、火災旋風の発生条件・性質を求める。

3-II 飛火現象における火の粉の着火性に関する研究

- (1) 前年度の結果をもとに、防ぎよ手法を施した中規模実験を、有風下で火の粉発生装置を用いて行う。風速と瓦の種類を変化させた実験を行う。
- (2) 中規模実験の結果を元にして同様の防ぎよ手法を施して火の粉発生装置を用いた実大実験を実施し、スケールの違いによる影響を検討する。

- (3) 野焼きによる火の粉の発生に関して調査を行う。 の課題を明らかにする。
- 3-III 火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究 (2) 火災周辺気流の速度場の計測精度向上のための室内燃焼観測実験と野外観測実験を追加実施し、その評価結果から5年間で開発した技術の特徴や課題点をまとめる。
- (1) 令和元年度に実施した、室内での燃焼計測、野焼き等での野外観測の結果の解析を引き続き行い、これまでの開発した技術の性能評価と改良のため

表1 5か年の研究計画

	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度
サブテーマⅠ 火災旋風の発生メカニズムと発生条件に関する研究	有風下旋風・火災周辺気流の野外実験の解析 熊本地震火災分析	糸魚川市火災分析		野焼き観測結果の解析	
	有風下旋風の実験 計画・装置製作			有風下旋風の小規模実験	
				有風下旋風の発生条件導出	
サブテーマⅡ 飛火現象における火の粉の着火性に関する研究		着火：実大実験			
		着火：中規模実験			
		糸魚川市火災飛び火分析		防ぎよ：実大実験	
				防ぎよ：中規模実験	
サブテーマⅢ 火災周辺気流の速度場の計測精度向上に関する研究	文献調査・既存の手法による速度場計測(燃焼観測)				
	画像センサを用いた基礎実験				
		参照速度場の計測手段の選定とデータ取得			
			フィルタリングアルゴリズムの構築と性能評価(既存の手法との比較)		
全サブテーマ共通			野焼き観測(随時)		

4. 共同研究等

- ・米国国立標準技術研究所(NIST)
- ・国立研究開発法人建築研究所
- ・日本気象株式会社

(6) 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

研究期間：平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 施設等災害研究室

畑山 健、徳武皓也、西 晴樹

1. 目的

南海トラフにおける巨大地震、首都直下地震等の切迫性を背景として、中央防災会議等の政府機関や研究機関では、それらの地震が発生した場合の強震動の予測を行っている。これらの強震動予測結果は、石油コンビナート地域をはじめとする大型石油タンク立地地点も、極めて大きな短周期地震動及び長周期地震動に見舞われるおそれがあることを示しており、短周期地震動による石油タンク本体の被害や、長周期地震動による石油タンクのスロッシング（液面揺動）被害の発生が懸念される。しかしながら、以下に述べるように、石油タンクの地震被害予防・軽減対策や災害拡大防止のための地震時応急対応の基礎となる石油タンクの地震時の被害予測は、現状において十分な精度でできているとはいえない。

まず、石油タンクの短周期地震動応答を評価・予測する上で重要なパラメータの一つであるバルジング（側板と内容液の固液連成振動）の固有周期については、消防法令における石油タンクの耐震基準にその算定式（数値解析により構築されたもの）が示されているものの、その精度に疑問を呈する既往研究がある。実機の大型石油タンクにおけるバルジングの固有周期の実測により、本算定式の精度を改めて検証する必要がある。

短周期地震動を受けた大型石油タンクの応答・挙動、被害発生条件については、過去における被害実例のみならず、大型石油タンクが激しい短周期地震動に見舞われた事例自体が少ないことなどから、理解が十分ではない。しかしながら、2011 年東北地方太平洋沖地震では、東北地方太平洋沿岸部の大型石油タンク立地地点付近において、消防法令において

石油タンクの耐震基準として定められている設計用の地震動レベルを大きく上回る短周期地震動が観測されたものの、石油タンク本体には短周期地震動による構造上の被害が発生しなかった。また、2018 年北海道胆振東部地震でも、苫小牧東部の石油備蓄基地が震度 6 強程度のこれまた設計用地震動レベルを大きく上回る激しい短周期地震動に見舞われた。このとき、容量 11 万 kL の大型石油備蓄タンク本体には構造上の被害は発生しなかったものの、1 基のタンクで短周期地震動による片浮き上がり初めて計器計測された。また、容量 300 kL の燃料タンクの側板が座屈するという被害も発生した。これらの強震動を受けた石油タンクにおける被害の有無の経験、浮き上がり測定データは希有貴重であり、これらのことを構造計算、解析等により説明することは、短周期地震動を受けた大型石油タンクの応答・挙動、被害発生条件についての理解を深め、既往の短周期地震動による石油タンクの応答・挙動の解析手法の精度を検証し、その高精度化を図る上でまたとない機会である。

上述のとおり、これらの地震の際、大型石油タンクは激しい短周期地震動に見舞われたものの、タンク本体には構造上の被害は発生しなかった。それでは、どのような揺れの場合において、タンク本体に被害発生のおそれが高まるのかということに大きな関心を持たざるをえない。とくにタンク本体の短周期地震動による片浮き上がりについては、非線形性が強い現象であるため、大きな片浮き上がりをもたらす地震動はどのような性状を有するものであるかを明らかにするためには、さまざまな地震動記録によるさまざまな大きさ等のタンクに対する解析等を実施して調べる必要がある。

2011年東北地方太平洋沖地震では、新潟県内の石油備蓄基地において、わずか2 kmしか離れていない2つの地区で、スロッシング高さが最大1.5倍も異なるという現象が発生した。これは、周期10秒程度のたいへん長い波長の地震波からなる長周期地震動といえども、短い距離で大きく変動しうること示している。このような長周期地震動の短距離での空間較差の発生原因は、かならずしも明確ではない。すなわち、長周期地震動をピンポイント的に精度よく予測するためには、どの範囲におけるどのような情報・データが必要かということが、かならずしも明らかではない。さらに、このようなことが明らかになったとしても、ピンポイント的に長周期地震動を予測するための実務的な手法がないという課題もある。

2016年熊本地震では、大分の石油コンビナート地域に設置されている石油タンクに長周期地震動によりスロッシングが発生し、一部の浮き屋根式石油タンクでは浮き屋根浮き室部分が損傷する等の被害が発生した。この損傷を構造計算、解析等により説明し、発生原因を理解することは、浮き屋根のスロッシング被害の予測手法を高精度化する上で重要である。

石油タンク地震時被害予測を高い精度で行うには、石油タンク各部の鋼板板厚に代表される石油タンクが有する耐震性に関する状態を正確に把握する必要がある。しかしながら、汎用の板厚計を用いた板厚計測時においてはしばしば誤表示が出ることがあり、この原因はかならずしもよく理解されておらず、したがってそれへの対策もままならない状況にある。また、鋼板の腐食は、一般に不均一に進行するものであり、その結果、高経年化した石油タンクの鋼板の板厚は場所によってばらつくことになる。このばらつきがどのような分布になるかについては、まだ完全には理解されていない。この理解を深めることで、鋼板の一部から得られた板厚計測データから鋼板全体の腐食劣化状態を統計的に推測する手法をより信頼性の高いものにすることができる可能性がある。

以上で述べたことをふまえ、本研究では、石油タンク地震時被害予測の高精度化を目指して、

(1)実機の大型石油タンクにおけるバルジング固有周期の実測により、バルジング固有周期算定式の精度を検証すること、(2)既往の短周期地震動による石油タンクの応答・挙動の解析手法の精度を検証するとともに、石油タンクの被害(片浮き上がり)発生条件と相関の高い短周期地震動の性状を探索すること、(3)石油コンビナート地域の長周期地震動特性のピンポイント把握のための実務的手法を開発し、長周期地震動の短距離空間較差をもたらす地下構造中の支配的要因を解明すること、(4)2016年熊本地震の際の浮き屋根の損傷の発生状況を詳細に把握し、損傷発生が応力計算等により説明可能かどうか検討することに取り組む。また、平成30年度からは、石油タンクが有する耐震性の実力評価の高精度化を目指して、(5)石油タンク鋼板の板厚計測誤表示の原因究明と高経年化した石油タンクの鋼板の板厚の統計的分布性状の理解の深化に取り組む。

大地震発生時の石油コンビナート地域における被害軽減・災害拡大防止のためには、消防庁・消防機関等における迅速かつ的確な初動・応急対応が必要不可欠であり、そのためには被害・影響等に関する情報を素早く収集する必要がある。しかしながら、大地震発生時における実被害情報の収集には、たいへんの場合、一定の時間を要する。また、夜間及び悪天候の場合、余震が頻発し点検しようにもタンクに登ることができない場合、津波警報等の発表で事業所から保安要員も含め人が避難してしまう場合等を考えると、そもそも、被災地において被害状況を把握するための点検がままならないことも十分考えられる。また、浮き屋根の損傷形態のなかには、外見上の点検だけからでは判別困難なものもある。さらに、長周期地震動によるスロッシング被害は、思わぬところで発生することがある。このようなことへの備えとして、観測された地震動の記録に基づいて、石油コンビナート地域に立地する各大型石油タンクの被害をすみやかにシミュレーションし、被

害発生のおそれのある石油コンビナート地域をもれなく把握したり、被害の様相・程度に見当をつけたりすることのできる仕組みはたいへん有効であると考えられる。2011年東北地方太平洋地震では、多数の石油タンクが津波で被災した。このようなことから、本研究では、(6)「石油タンク地震・津波被害シミュレータ(全国版)」にも取り組む。

(1)~(5)の研究成果は、石油タンク地震被害シミュレーション技術に採り入れることにより、より精度の高い地震被害推定結果をもたらすものである。

すなわち、(1)~(5)の研究は、(6)のシミュレータの実現を通じて、地震発生後の消防庁・消防機関における応急対応に役立つものである。また、国において策定している石油タンクの耐震基準の発展に寄与するとともに、耐震改修すべき石油タンクの選別をよりの確に行うことに役立つものでもある。以上の取り組みにより、南海トラフ地震・首都直下地震等に対する産業施設のレジリエンス向上が図られるものと期待できる。

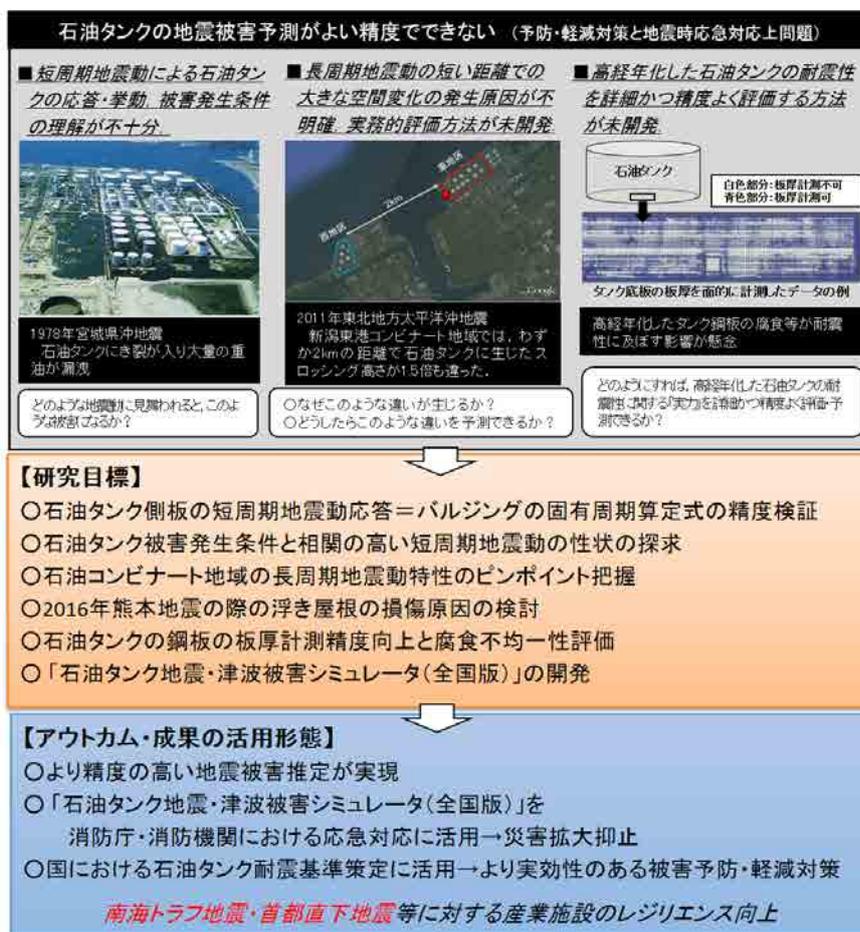


図 1-1 研究の概略

表 1-1 年度計画

研究項目	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
(1) パルジング固有周期算定式の精度検証		○容量 12 万 5 千 KL タンクに対する検証 (解析)	—————▶	○容量 5 千 KL タンクに対する検証 (微動測定)	○容量 5 千 KL タンクに対する検証 (解析)
(2) 石油タンク被害 (片浮き上がり) 発生条件と相関の高い短周期地震動の性状の探求	○既往の短周期地震動による石油タンクの片浮き上がり解析手法の整理・分析	—————▶ ○石油タンクデータの収集	○短周期地震動による石油タンクの片浮き上がり解析手法の精度検証	○さまざまな地震記録と石油タンクデータに対する短周期地震動による石油タンクの片浮き上がり挙動の解析	—————▶ ○石油タンク本体に被害をもたらすおそれの高い地震動の性状の抽出
(3) 石油コンビナート地域の長周期地震動特性のピンポイント把握	○石油コンビナート地域等における強震観測の継続実施	○気象官署等に対する石油コンビナート地域の長周期地震動増幅率の定量評価 ○長周期地震動特性のピンポイント評価のための実務的計算手法の開発			—————▶

表 1-1 (続) 年度計画

研究項目	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
(4) 2016 年熊本地震の際の浮き屋根の損傷原因の検討等	○2016 年熊本地震の際の長周期地震動の分析／損傷発生状況の詳細把握 ○損傷発生原因の応力計算等による検討				
(5) 石油タンク鋼板の板厚計測誤表示の原因究明と高経年化した石油タンクの鋼板の板厚の統計的分布性状の理解の深化			○腐食鋼材の不 均一性評価とそ れに基づく板厚 予測方法検討 ○試験片の腐 食・劣化状態と 超音波波形の相 関分析	→	→
(6) 「石油タンク地震・津波被害シミュレータ(全国版)」の開発				○全国大型石油 タンクデータベ ースの構築 ○石油コンビナ ート地域周辺地 形・堤防データ ベースの整備 ○石油コンビナ ート地域津波浸 水深迅速推定手 法検討	→ ○津波浸水深の 迅速推定システ ム化(プログラ ム開発) ○試験運用開始

2. 令和元年度までの研究成果

2-1 石油タンクのパルジング固有周期算定式の精度検証

平成 24 年に実施した硬質地盤上に立地する容量 12 万 5 千 kL の浮き屋根式工業用水タンクにおける微動測定データを再解析し、パルジング固有周期を実測により推定した。その結果、鉛直方向 1 次、円周方向波数 1 のパルジング基本モードに対して推定された固有周期は、消防法令で定められている硬質地盤立地条件に対するパルジング固有周期の算定式(危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第 4 条の 20) による算定値とよく一致することがわかった(図 2-1)。パルジング固有周期の実測値の推定は、タンク基部に対するタンク側

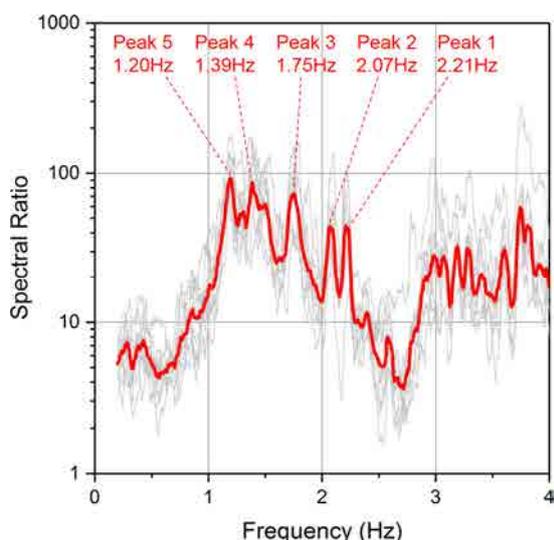


図 2-1 タンク基部に対するタンク側板中段の微動スペクトル比。Peak 1 が基本モードに対応すると考えられ、危告示式算定値 2.43 Hz とほぼ一致する。

2-2 石油タンク被害(片浮き上がり)発生条件と相関の高い短周期地震動の性状の探求

短周期地震動による石油タンクの片浮き上がりの解析手法について整理を行い、1 自由度系弾塑性応答振動子モデルに基づく方法について、解析プログラムを作成し、その動作検証を行った。

板中段の微動スペクトル比と基礎固定条件の下で実施された FEM による固有値解析の計算結果を比較照合することにより行った。その検討過程で、微動のスペクトル比に現れるピークのうち、最も周期の長いところにあるものが基本モードに対応するわけではないことが認識された。また、タンク最上部に対するタンク側板中段の微動スペクトル比に複数現れるピークの出現周期は、円周方向波数 1、鉛直方向各次数のモードの固有周期の実測値を示していることを発見した(図 2-2)。

令和元年度には、容量 5 千 kL の固定屋根式工業用水タンク 2 基において、パルジング固有周期を実測のための微動測定を行った。この測定データの解析は、次年度に実施する予定である。

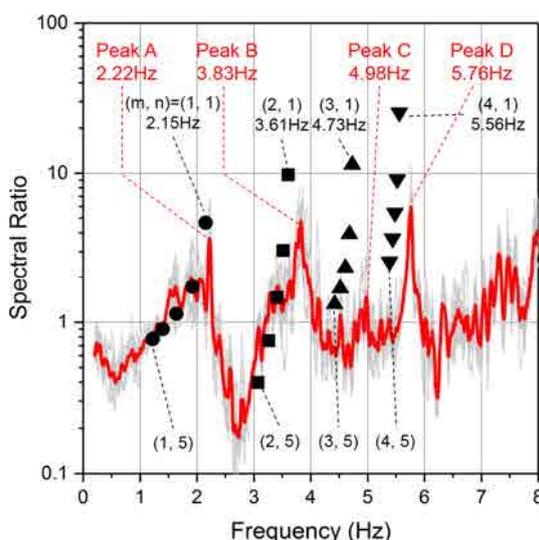


図 2-2 タンク最上部に対するタンク側板中段の微動スペクトル比。Peak A~D がそれぞれ、円周方向波数 1、鉛直方向 1~4 次のモードの固有周期に対応していると考えられる。

既往の研究では、石油タンクの片浮き上がりの評価する場合の 1 自由度系弾塑性応答振動子モデルの復元力特性(変位-復元力関係)は履歴減衰のない S 字的なカーブが適当であると考えられており、その形として 1 つの折れ曲り点のみからなるもの (bi-linear 型) と、3 つの折れ曲り点からなるもの

(tetra-linear 型) が提案されているが、どちらのモデルのほうが実際の現象をよく説明できるかは、石油タンクの片浮き上がりそのものが計器測定されたことがなかったため、検証が不十分であった。また、1 自由度系弾塑性応答振動子モデルにおいて仮定する減衰率も、10～15%程度とするのが適当であると考えられてきたが、石油タンクの片浮き上がりデータによる検証はデータがなかったためできなかった。

ところが、2018 年北海道胆振東部地震では、苫小牧東部の石油備蓄基地において、容量 11 万 kL の大型石油備蓄タンクで短周期地震動による片浮き上がりが初めて計器計測された。計測された最大浮き上がり量は約 44 mm、大きな浮き上がりの回数は 1 回であった (図 2-3)。このデータと 1 自由度系弾塑性応答振動子モデルによる計算結果を比較したところ、(1) tetra-linear 型復元力特性は過大な浮き上がり量、回数をもたらす傾向にあること (図 2-4)、(2) 今回の浮き上がり量と回数は、復元力特性を bi-linear 型とし、減衰率を 7 % とするとおおむね再現できること (図 2-5) がわかった (減衰率を 5 % とすると、浮き上がり量が過大評価となり、減衰率を 10 %、15 % とすると浮き上がらないという計算結果になった)。

そこで、石油タンクにおける大きな片浮き上がりの発生条件と短周期地震動の性状の関係を調べることを目的として、この容量 11 万 kL の大型石油備蓄タンクの片浮き上がり量を、さまざまな地震動記録を入力として、bi-linear 型の復元力特性を有する減衰率 7% の 1 自由度系弾塑性応答振動子モデルにより計算した。入力として用いた地震動記録は、これまでに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 において記録された地震波形記録のうち、3 成分合成最大地動加速度が 300 gal 以上の強震波形記録の水平 2 成分 (NS 成分と EW 成分)、計 1,820 波とした。その結果、多くの場合は、このタンクのパルジング固有周期における地震動の絶対応答加速度値 (減衰率 7%) がある閾値を超え、その超過量にほぼ比例して浮き上がり量が大きくなるという傾向にあることがわかった (図 2-6)、いくつかその比例傾向から外れて異常に浮き上がり量が大きくなる地震動もあることがわかった (図 2-6 の赤丸)。今後、異常に浮き上がり量が大きく計算される原因及びそれらの地震波形の持つ性状について調べる必要がある。また、他のタンクについても同様の検討を行い、石油タンク被害 (片浮き上がり) 発生条件と相関の高い短周期地震動が有する性状を把握することとする。

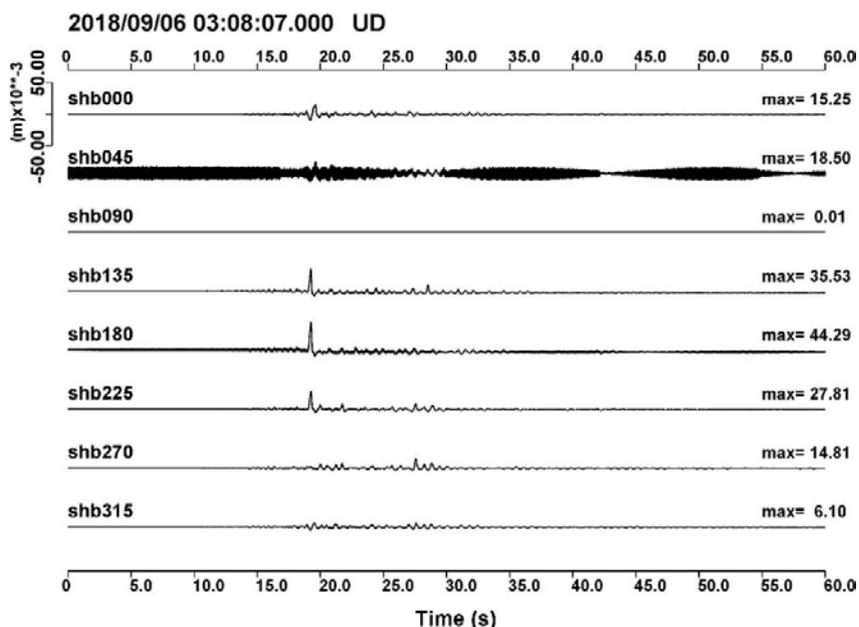


図 2-3 2018 年北海道胆振東部地震の際に苫小牧東部の石油備蓄基地において容量 11 万 kL の大型石油備蓄タンクで測定された短周期地震動による片浮き上がり

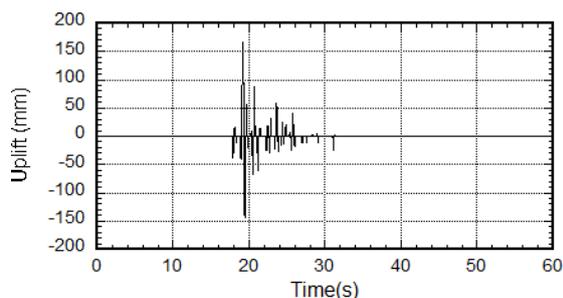


図 2-4 tetra-linear 型復元力特性 (減衰率 15%) による 2018 年北海道胆振東部地震の際の苫小牧東部の石油備蓄基地容量 11 万 kL 大型石油備蓄タンクの片浮き上がりの計算結果。

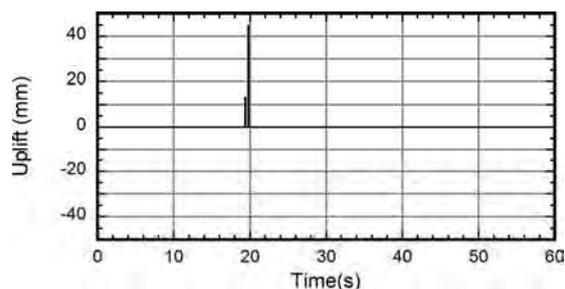


図 2-5 bi-linear 型復元力特性 (減衰率 7%) による 2018 年北海道胆振東部地震の際の苫小牧東部の石油備蓄基地容量 11 万 kL 大型石油備蓄タンクの片浮き上がりの計算結果。

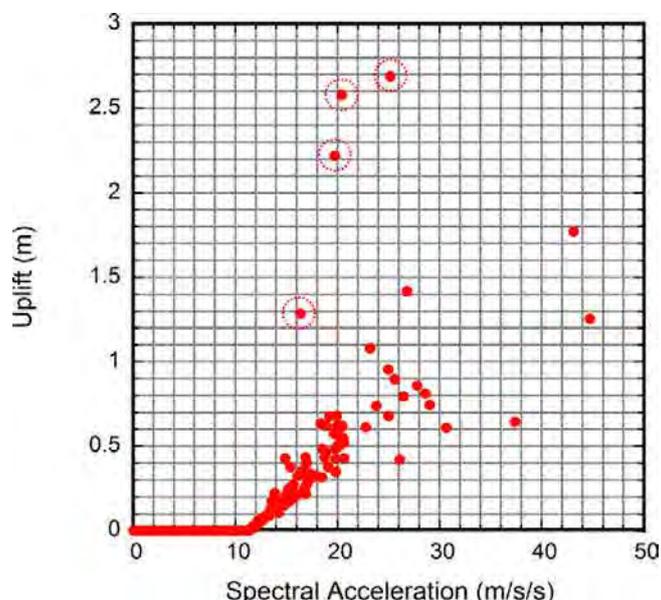


図 2-6 容量 11 万 kL の大型石油備蓄タンクのさまざまな入力地震動に対する片浮き上がり量の計算結果を対象タンクの変形固有周期における入力地震動の絶対対応加速度値 (減衰率 7%) に対してプロットしたもの。浮き上がり量は、bi-linear 型の復元力特性を有する減衰率 7% の 1 自由度系弾塑性応答振動子モデルに基づいて計算されたもの。

2-3 石油コンビナート地域の長周期地震動特性のピンポイント把握

(1) 気象官署等に対する石油コンビナート地域の長周期地震動の増幅率の定量評価

将来、石油コンビナート等特別防災区域 (特防区域) に指定される可能性が生じた羽田空港地域の長周期地震動を調べるため、気象庁が羽田空港に設置している震度観測点 (J47671) 及び消防研究センタ

ーが東京湾岸特防区域に速度型強震計を設置している 6 地点について、M6.5 以上、深さ 60km 以下、羽田空港で震度 1 以上の揺れが観測された 15 個の地震の記録を用いて、観測点毎に東京千代田区大手町震度観測点 (J47662) に対する疑似速度応答スペクトル (減衰率 0.5%, 水平 2 成分の幾何平均) の比を計算した (図 2-7)。2005 年消防法令改正の際の液面揺動の設計水平震度 (Kh2) の引き上げでは、東

京湾岸特防区域についての K_h2 は、基本的に東京千代田区大手町の気象官署における過去の地震記録の分析から得られる長周期地震動増幅特性に基づいて定められた。このため、本検討では大手町震度観測点を基準点とした。

検討の結果、これら7地点の長周期帯域の揺れは、東京千代田区大手町に対しておおむね 0.7~1.8 倍の間に収まっていることがわかった。詳しく見ると、東京湾岸沿岸でも、長周期地震動特性は、「川崎水

江 (PCKNG1)、横浜 (PCKNG2)、羽田 (J47671)」、「市川 (PCCHB1)」、「市原 (PCCHB2)、袖ケ浦 (PCCHB3)、君津 (PCCHB4)」の3つのグループに分けることができそうであること(観測点コードが「PC」で始まる観測点は消防研究センターの観測点)、例えば、「市原 (PCCHB2)、袖ケ浦 (PCCHB3)、君津 (PCCHB4)」グループには、周期9秒以上の成分が他に比べて大きくなりやすいといった特徴が見られることなどがわかった。

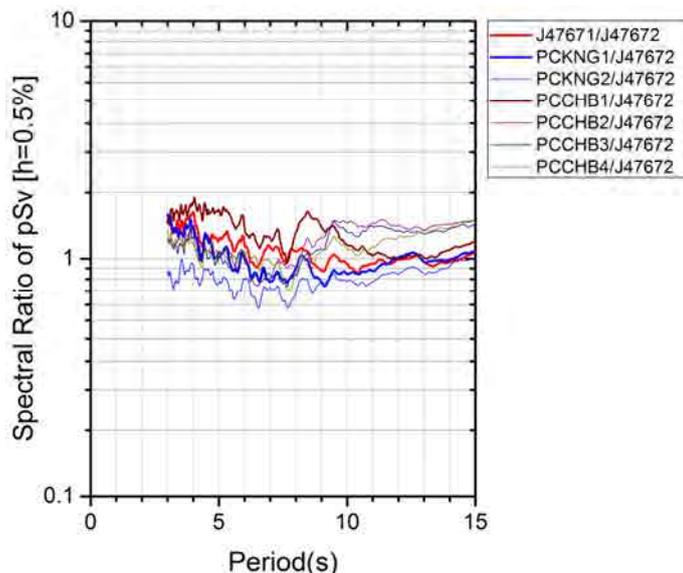


図 2-7 東京千代田区大手町(J47662)に対する東京湾岸特防区域・羽田空港のスペクトル比

(2) 長周期地震動特性のピンポイント評価のための実務的計算手法の開発

石油タンクにおける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)事例がしばしば観測される。こ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、簡単な数値実験(図2-8(a))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わかった。

さらに、図2-8(a)の2次元地下構造モデルに対して計算されたやや長周期表面波(周期4~10秒)を主体とする地表面地震動のスペクトル振幅の空間較差の評価に、グローバルな長周期表面波(周期20秒以上)の評価のためにTromp and Dahlen(1992)により提案された「表面波伝達関数」が適用できるかどうかを調べた。その結果、差分法により厳密に計算されたスペクトル振幅の空間較差(図2-8(b)の赤線FDM)は、地表面各点直下の1次元地震波速度構造から計算される「表面波伝達関数」により評価

されたスペクトル振幅の空間較差 (図 2-8(b)の青線 Rayleigh wave) とおおむね一致することがわかった。これは、地表 2 地点直下の 1 次元地震波速度構造がそれぞれわかれば、やや長周期表面波を主体とする地震波動場であっても、これら 2 地点間のスペクトル振幅の違いがある程度予測できる可能性がある

ことを示している。ただし、これは 2 次元地下構造モデルに対する検討結果である。今後は、3 次元地下構造モデルに対して同様の検討を行い、現実の 3 次元地震波動場に対する「表面波伝達関数」の適用可能性を調べる。

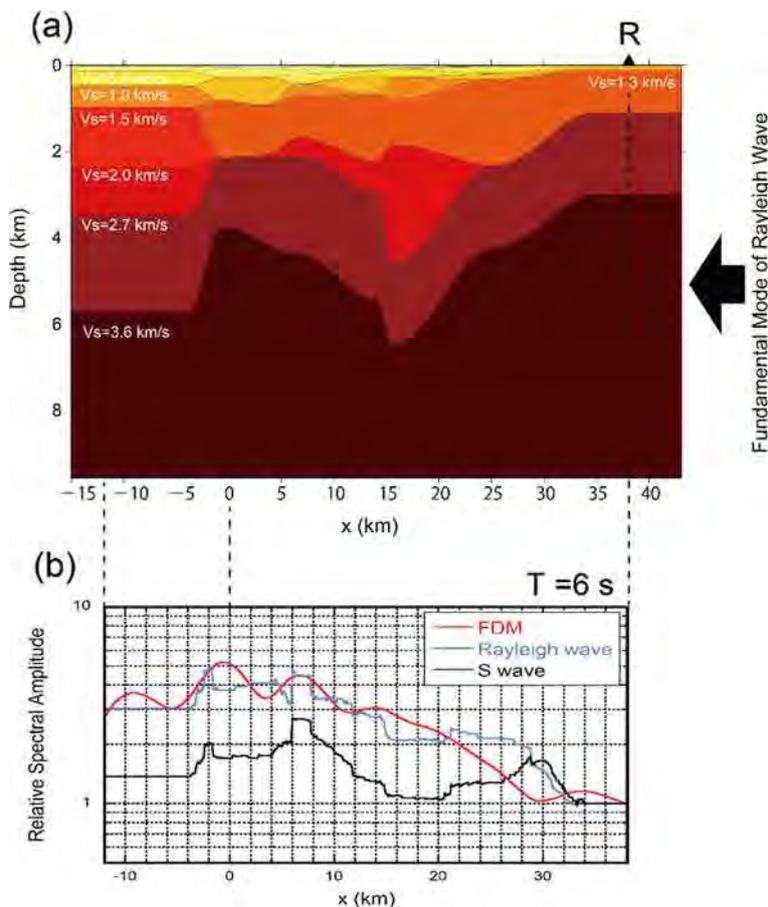


図 2-8 (a)数値実験に用いた現実的な 2 次元地下構造モデル。(b) 2 次元地下構造モデル (図(b)) に対して差分法により厳密に計算されたスペクトル振幅の空間較差 (赤線 FDM) と、地表面各点直下の 1 次元地震波速度構造から計算される「表面波伝達関数」により評価されたスペクトル振幅の空間較差 (青線 Rayleigh wave) の比較。黒線 S wave は、比較のため、S 波鉛直入射に対する「S 波伝達関数」により評価されたスペクトル振幅の空間較差を示したものの。

2-4 2016 年熊本地震の際の浮き屋根の損傷原因の検討等

(1) 2016 年熊本地震の際の長周期地震動の分析

石油コンビナート区域等における強震観測 (20 地域 25 地点) を継続実施した結果、2016 年熊本地震等から長周期成分に富む良好な地震記録を取得した。2016 年熊本地震本震では、大阪湾岸、東京湾岸、

新潟地域等の震源から遠く離れた石油コンビナート区域でも非常に発達した長周期地震波群が観測された。これらのスペクトルのレベルは、既存の長周期地震動経験的予測式 (座間、2000) による予測結果を大きく上回った。これは、この地震では、地震の規模のわりには長周期地震動が大きいということを示唆している。この地震では、震源断層面上

の地表近くの部分でも大きなすべりが生じたという解析結果がある(Asano & Iwata, 2016)。また、地表地震断層も出現した。地表地震断層も出現する場合としない場合では、前者のほうがより大きな長周期地震動を発生させるとの研究結果がある(Somerville, 2003)。これらのことにより、地震の規模のわりには長周期地震動が大きいということが説明できるかもしれない。

(2) 浮き屋根損傷発生原因の応力計算等による検討

2016年熊本地震の際に、大分の石油コンビナート地域の浮き屋根式石油タンクでスロッシングにより発生した浮き屋根浮き室部分の損傷について、損傷発生状況を詳細に把握すること等を目的として3度にわたる現地調査等を実施した。その結果、この地震の際、大分地区の石油コンビナート区域では、一部の周期で同区域に対して定められている Kh2 に相当する速度応答を上回る大振幅の長周期地震動が観測されたこと、同区域内の浮き屋根式石油タンクでは、液面上昇量 0.3~1.9m のスロッシングが発生したことがわかった。同区域内の強震観測記録に基づくスロッシング高さの推計値は、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。同区域内では、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の故障・不具合したりするなどの被害が発生した。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、同区域内の強震観測記録に基づいて、平成 17 年消防危第 14 号及び平成 18 年消防危第 157 号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。被災した浮き屋根

はローデックタイプであるが、この形式では用いた応力推計式では考慮できないような応力集中が生じるおそれ指摘されており [屋外タンク貯蔵所浮き屋根審査基準検討会報告書 (危険物保安技術協会、2004)]、このことがくいちがいの原因となっている可能性も考えられる。

2-5 石油タンク鋼板の板厚計測誤表示の原因究明 および高経年化した石油タンクの鋼板の板厚の統計的分布性状の理解の深化

(1) 石油タンク鋼板の板厚計測誤表示の原因究明

石油タンク底板の外面 (裏面) が激しく腐食した鋼材について、典型的探触子である一探触子及び二探触子の 2 種類の素子を用いて、ほとんど腐食が生じていない内面側から板厚計測を行い、超音波波形および板厚データを取得した。超音波が探触子接触面から底板裏面を反射して戻ってくるまで時間から求めた板厚値は、各探触子でかならずしも一致せず、3 mm 程度の読み取り誤差が生じる場合もあった。これは、同じ腐食形状であっても、探触子の違いによって底面から反射してくる超音波波形に差異があるため、反射時間の読み取り位置が異なることに起因することがわかった。今後、各探触子が得手不得手とする腐食形状を詳細に整理し、適切な反射時間の読み取り条件を探求することで、タンク裏面のような視認できない箇所の複雑な腐食形状を、高精度に捉えられる可能性がある。

本課題は、令和元年度からは、「ライニングが施工された鋼製一重殻地下タンクの定量的評価に基づく健全性診断方法の研究開発」に移行して実施している。

(2) 高経年化した石油タンクの鋼板の板厚の統計的分布性状の理解の深化

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・統計論的手法として、極値統計に基づく解析方法がある。極値統計は、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るが、全体の分布性状 (基本分布) に応じた適当な分布関数を選定する必要があることから、基本分布性状の把握が必須であるが、それは完全に把握

されているとは言いがたい。このため、(1)で述べた腐食減肉部の板厚を精度よく読み取る方法について検討した超音波板厚計測や、高分解能で腐食部の面的形状を捉えることが可能な形状計測手法及びデプスゲージを活用し、腐食鋼材の減肉量を面的に計測した。取得した鋼の減肉量をヒストグラムに整理した結果、分布は減肉量が小さい位置で最頻値を持ち、減肉量が大きくなると頻度はいったん減少するが、再び増大して、準最頻値の山を持つような特徴であることが分かった。この分布形状は、浅い腐食と深い腐食の進展メカニズムがそれぞれ異なることにより、性質の異なる2つの分布が重なった結果として現れている可能性がある。

2-6 「石油タンク地震・津波被害シミュレータ（全国版）」の開発

「石油タンク地震・津波被害シミュレータ（全国版）」のうちの地震被害シミュレーション部分（既往の手法を用いたもの）の原型はこれまでの研究開発によりほぼできあがっているが、津波被害シミュレーションの部分は、手つかずの状態である。このため、全国に84ある特防区域の周辺の地形（海底地形を含む）及び堤防のデータベースを整備するとともに、地震後に気象庁等から発表される地震・津波に関する情報に基づいて特防区域の津波浸水深をある程度の精度で迅速に推定する手法の検討に着手した。

3. 令和2年度の研究計画

3-1 石油タンクのバルジング固有周期算定式の精度検証

令和元年度に実施した容量5千kLの円筒縦置き型鋼製工業用水タンク2基における微動測定で取得したデータを解析してバルジング固有周期を推定し、既往の簡易算定手法の精度検証を行う。

3-2 石油タンク被害（片浮き上がり）発生条件と相関の高い短周期地震動の性状の探求

さまざまな地震記録と石油タンクデータに対して短周期地震動による石油タンクの片浮き上がり挙動の解析を行い（継続）、その結果に基づき、石油

タンク本体に被害（片浮き上がり）をもたらすおそれの高い地震動の性状を見出す。

3-3 石油コンビナート地域の長周期地震動特性のピンポイント把握

- (1) 石油コンビナート地域等で行ってきた強震観測（20地域25地点）を継続実施し、石油コンビナート地域における地震観測記録を蓄積する（継続）。
- (2) 長周期地震動特性のピンポイント評価のための実務的計算手法を開発するため、2地点の1次元地下構造モデルから長周期地震動増幅特性の相対比較を行えるようにするための計算手法の検討を数値模型実験により行う（継続）。

3-4 高経年化した石油タンクの鋼板の板厚の統計的分布性状の理解の深化

高経年化した石油タンクの鋼板の板厚の統計的分布性状の理解の深化のため、腐食部の減肉分布データの蓄積を継続し、分布性状を整理する。これにより、鋼板の一部から得られた板厚データから、全体の腐食を精度よく推定するための方法を考案する。

3-5 「石油タンク地震・津波被害シミュレータ（全国版）」の開発

「石油タンク地震・津波被害シミュレータ（全国版）」のうちの地震被害シミュレーション部分の原型はこれまでの研究開発によりほぼできあがっているが、石油タンクデータがない状況である。また、津波被害シミュレーションの方法は未確立である。そこで、

- (1) 全国大型石油タンクデータベースを構築する。
- (2) 地震後に気象庁等から発表される地震・津波に関する情報に基づいて石油コンビナート地域の津波浸水深をある程度の精度で迅速に推定する手法について検討する。
- (3) 石油コンビナート地域における津波浸水深の迅速推定をシステム化する（プログラム開発）。
- (4) 「石油タンク地震・津波被害シミュレータ（全国版）」の試験運用を開始する。

4. 共同研究等

国立大学法人 横浜国立大学大学院工学研究科

国立大学法人 鳥取大学大学院工学研究科

国立研究開発法人 防災科学技術研究所

(7) 泡消火技術の高度化に関する研究

研究期間：平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 危険性物質研究室 内藤浩由*1)、岩田雄策

*1)～平成 30 年 3 月

1. 目的

危険物施設の老朽化に伴い、図 1 に示す火災・流出等の事故発生件数は、最も低い平成 6 年時に比べ、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は非常に高まっており、また科学技術イノベーション総合戦略 2015

では、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に取り組むこととされ、泡消火技術に関する研究は、今後、災害に備えるべき重要な課題である。

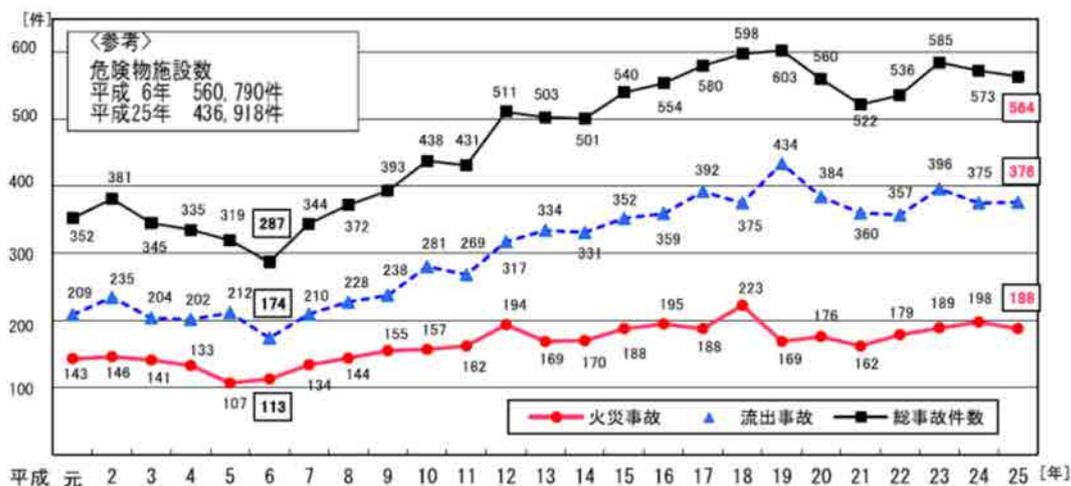


図 1 危険物施設の火災及び流出事故件数の推移
(平成 26 年 5 月消防庁危険物保安室報道資料より抜粋)

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（図 2）であるため、泡の性能を定める「泡消火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。

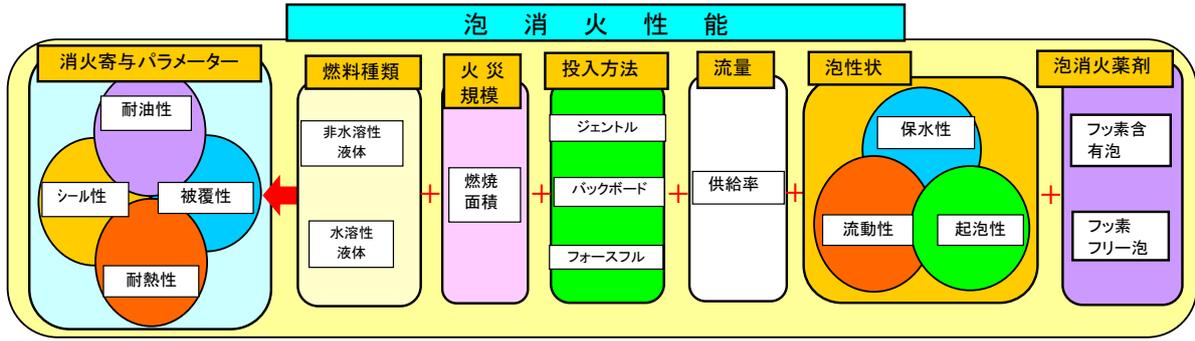


図2 泡消火性能に寄与するパラメーター

これまで、消防研究センターにおいて、フッ素含有及びフッ素フリー泡消火薬剤に対し、泡性状（起泡性・保水性）、泡供給率（単位面積、単位時間あたりの泡投入量）の違いによる泡の消火性能について検討し、限定的な条件ではあるが、泡消火に対する最適な泡性状及び泡供給率を明らかにしてきた。さらに、フッ素化合物の使用禁止が、泡消火薬剤の消火性能に与える影響評価と対応策に関する検討も行い、固定泡消火設備等で現在使用されているフッ素含有泡消火薬剤が規制され、フッ素フリー泡消火薬剤で消火対応する場合の、泡性状に対する泡供給率も示してきた。具体的には、現行の消防法で規定されている、「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）」において、上部泡放出口（Ⅰ型、Ⅱ型）に対する泡供給率は、 $4 [L/min/m^2]$ 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で、同等な消火性能を得ようとした場合、各泡性状に対する係数を乗じた泡供給率で対応する必要があると考えられる。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、最小消火限界泡供給率と、各泡性状の消火限界泡供給率との比を「泡性状係数A」と定義し、フッ素フリー泡消火薬剤で消火対応する場合の泡供給率を示すことができた。

しかしながら、図3に示すように、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、泡性状係数だけではなく、油種の違いや泡の投入方法、また火災規模によっても泡消火性能は大きく影響するため、これらパラメーターに対する、各種係数の検討を併せて行い、最終的に、フッ素フリー泡消火薬剤代替時の泡供給率を示すことを目的とする。

$$\begin{aligned}
 & \text{【フッ素フリー泡消火薬剤に対する泡供給率：} Y^{*1} \text{】} = && \text{: 研究目的} \\
 & \text{【告示の泡供給率：} 4 \text{ L/min/m}^2 \text{】} \times \text{【泡性状係数：} A^{*2} \text{】} && \text{: 検討済} \\
 & \times \text{【スケール係数：} B^{*2} \text{】} \times \text{【泡投入係数：} C^{*2} \text{】} \times \text{【燃料係数：} D^{*2} \text{】} && \text{: 検討課題}
 \end{aligned}$$

- *1 : 実設備可能な上限値及び安全率や経済性を要検討
- *2 : 係数A~Dは、 $1 < A \sim D <$ 実設備可能な上限値

図3 フッ素フリー泡消火薬剤代替時の泡供給率の各係数について

2. 平成 28 年度の研究計画および成果

(1) 油種の違い (ガソリン、灯油、軽油、A 重油) による泡消火性能の検討

フッ素フリー泡消火薬剤で、同等な消火性能を得ようとした場合、各泡性状に対する泡性状係数を乗じた泡供給率で対応する必要がある、また消火対象となる燃料種によっても、泡消火性能は大きく異なることから、各非水溶性液体燃料に対しても、図 3 に示す泡性状係数 A と同様に、燃料係数 D[-](以下 D)を定める必要がある。D の算出においては、基準燃料を n-ヘプタンとして、n-ヘプタンの積算放射熱抑制効果 γ [%] (消火性能の指標) に対する、各泡消火薬剤及び各燃料で得られる γ の比を、燃料係数 D と定義した。表 1 に、各泡消火薬剤における、最も消火効率が低い泡性状・泡供給率となる、最小消火限界泡供給率 Q_{cmin} [L/min/m²] (以下 Q_{cmin}) の、各

燃料に対する γ と D の関係を示す。n-ヘプタンに対しては、各泡消火薬剤に対して、 γ が約 70[%] (γ が 70[%]の条件は、火炎抑制及び消火可能な閾値(いきち)) になるように、泡性状に対する消火限界泡供給率 Q_c (以下 Q_c) を定めており、その γ 値を基準として、各種燃料の D を算出した。

その結果、ガソリンは、最小消火限界泡供給率 Q_{cmin} に対し、粘性付与水成膜泡 (以下 AR-AFFF)、フッ素たん白泡 (以下 FP) で各々 2.7、4.5 倍、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) で 3.0、6.5 倍、また軽油は、AR-AFFF、FP で 0.9、1.3 倍、N-AR-AFFF、N-FP で 0.9、5.4 倍、そして A 重油は、AR-AFFF、FP で 1.4、4.5 倍、N-AR-AFFF、N-FP で 2.9、4.6 倍の泡供給率で消火対応する必要があると考えられる。

表 1 各種燃料に対する積算放射熱抑制効果 γ と燃料係数 D

泡消火薬剤	泡供給率 Q [L/min/m ²]	発泡倍率 E[-]	還元係数 C[s ⁻¹]	積算放射熱抑制効果 γ [%]				燃料係数 D[-]			
				n-ヘプタン	ガソリン	軽油	重油	n-ヘプタン	ガソリン	軽油	重油
AR-AFFF	0.69(Q_{cmin})	8.0	0.0011	76	28	86	55	1.0	2.7	0.9	1.4
N-AR-AFFF	1.70(Q_{cmin})	8.0	0.0011	70	23	78	24	1.0	3.0	0.9	2.9
FP	0.81(Q_{cmin})	4.0	0.0022	67	15	52	15	1.0	4.5	1.3	4.5
N-FP	0.97(Q_{cmin})	10.2	0.0027	65	10	12	14	1.0	6.5	5.4	4.6

さらに、燃料の種類 (n-ヘプタン、ガソリン、軽油) に対する、泡の油面被覆面積と放射熱の関係も併せて調べ、油種の違いによる泡消火性能の検討を行った。図 4 に各燃料に対する放射熱の減少速度が最大となる時刻での、タンク面積に対する泡の被覆率と、その時刻における自由燃焼時の平均放射熱に対する放射熱の減少率を放射熱抑制効果[%]と定義して示す。n-ヘプタンは、図 4 の右上の領域に位置し、被覆面積が約 80~100[%]被覆することにより、放射熱を自由燃焼より約 60~80[%]程度まで低減することが可能となる。軽油は、図 4 の中央の領域に位置しており、被覆面積を約 30~50[%]被覆すれば、放射熱を自由燃焼より約 30~80[%]の範囲で低減す

ることが可能となり、低い被覆率でも火炎抑制可能な燃料といえる。逆に、ガソリンにおいては、図 4 の右下の領域に位置し、被覆面積を約 75~100[%]被覆しても、放射熱は自由燃焼時に比べ、約 10~30[%]しか低減できない。詳細な検討は必要となるが、 Q_{cmin} の条件では泡の厚さが薄く、また蒸気圧が他の燃料に比べて高いことなどから、消火性能が大きく低減したと考えられる。

従って、n-ヘプタン及び軽油においては、泡の被覆面積増加と放射熱低減に強い相関性を示し、ガソリンは相関性が低く、最小消火限界泡供給率 Q_{cmin} では、消火困難であることが明らかとなった。

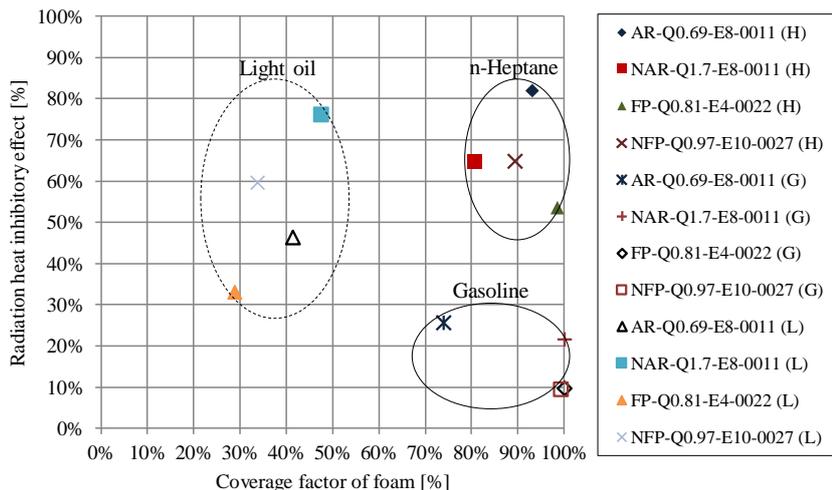


図 4 各種燃料に対する泡の油面被覆率と放射熱抑制効果

(2) 火災規模による泡消火性能の検討

泡消火における泡の被覆速度と抗力との関係を表す無次元数としてフルード数があるが、火災規模による泡消火性能の検討を行う場合、模型側の泡の被覆速度を、タンクスケール比の 1/2 乗で変化させる必要がある。そのため、平成 28 年度は、泡の被覆速度と泡性状（発泡倍率、還元係数）を可変できる

ノズル開発に着手し、既存の泡性状コントロールノズル構造を基に、出口形状や泡の投入方法を変更し、泡水溶液流量一定のもと、泡の油面被覆速度の制御可能なノズルの試作を行い、泡の油面被覆速度のレーザー計測等を行うことができた（写真 1）。しかしながら、泡性状の制御が極めて困難であり、次年度も引き続き、改良・試作等を行う必要がある。

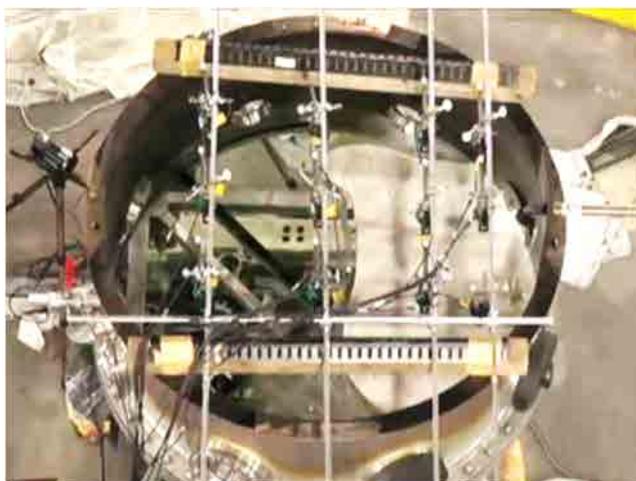


写真 1 泡の油面被覆速度レーザー計測時の様子

3. 平成 29 年度の研究計画および成果

(1) 油種の違いによる泡消火性能の検討【継続】

平成 28 年度に、n-ヘプタン、ガソリン、軽油、A 重油燃料に対する、フッ素含有泡、フッ素フリー泡の消火実験を実施し、n-ヘプタンの積算放射熱量抑制効果（以下 γ ）に対する、各泡消火薬剤および各燃料で得られた γ の比を、燃料係数 D と定義し係数

を定めたが、この D を用いた消火実験を実施した結果、各泡消火薬剤に対して約 10~20% 程度過大に見積もられていることが、消火実験結果より明らかとなった。そのため、平成 29 年度は、泡供給率をパラメーターとした時の、各燃料の消火実験を実施し、 $\gamma=70\%$ （消火時の閾値）となる各燃料係数 D の再検討を実施した。

図 5 に、泡消火薬剤毎に任意設定した各泡供給率 (以下 Q) に対する γ を、燃料種別に示す。また、同図には、 γ が 70[%]となる基準線を点線にて示した。

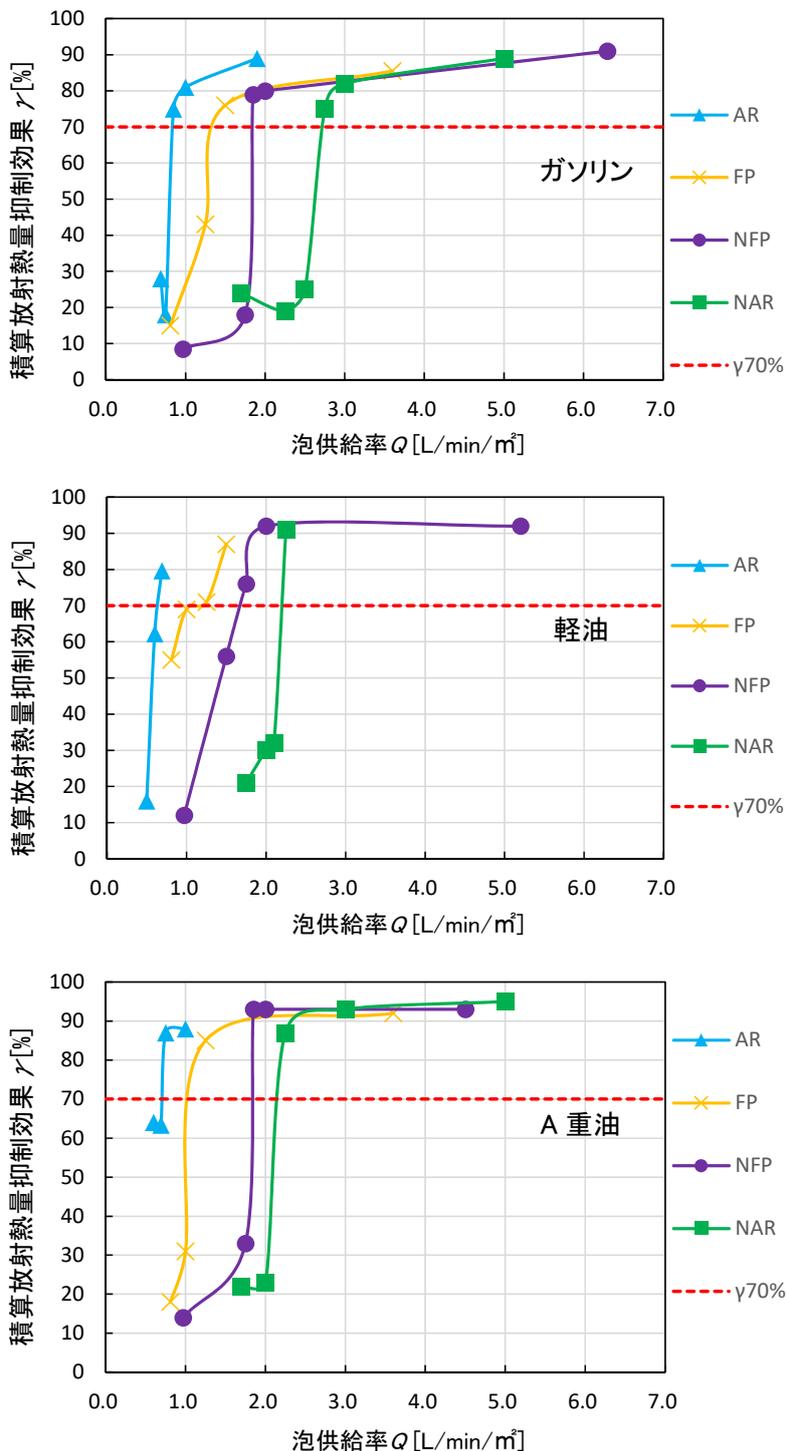


図 5 各泡消火薬剤の泡供給率 Q に対する積算放射熱量抑制効果 γ の関係 (上図 : ガソリン、中図 : 軽油、下図 : A 重油)

γ は、各条件固有の Q で急激に増加し、Q が一定値以上となると、当該値によらず 80~90% に収束す

る傾向を示した。同様に Q が一定値を下回る場合も、 γ は Q によらず 10~20% に収束する傾向を示し

た。これら傾向は、過去に実施した n-ヘプタンの消火実験と類似しており、消火対象に対して Q が不十分であると、消火困難になることを示している。また、 γ が急激に増加する Q は、泡消火薬剤や燃料種によって異なり、各々に最適な Q が存在している。さらに、泡消火薬剤別に Q を比較すると、同じ γ を得るために必要な Q は、何れの燃料種でも AR-AFFF < FP < N-FP < N-AR-AFFF の順となった。これは、本実験条件において AR-AFFF が各燃料種に対して最も低い Q で消火対応できることを示している。逆にフッ素フリー泡消火薬剤である N-AR-AFFF 及び N-FP は、相対的に高い Q が必要となることがわかる。なお同等の γ を得るためには、N-AR-AFFF は、AR-AFFF に対して約 2.5~3.5 倍の Q が必要となり、また N-FP は、FP に対して、約 1.5~2.0 倍の Q が必要となる。フッ素系界面活性剤が消火性能に寄与する割合は、AR-AFFF が相対的に高いといえる。

さらに、 $\gamma=70[\%]$ の基準線を上下に挟む 2 点から直線近似にて算出した消火限界泡供給率 Q_{C70} (以下 Q_{C70}) を、各泡消火薬剤、及び燃料種別に表 2 に示す。また同図には、ベンチマークである n-ヘプタン消火実験での Q_{Cmin} を併記するとともに、両者の比として算出した燃料係数 D を示す。ここで表 2 よ

り、各泡消火薬剤の D は何れも n-ヘプタン ($D=1.0$) と比較して同等又はそれ以上の値を示しており、燃料種に起因する消火性能の差異が定量的に算出された。また、軽油及び A 重油の消火実験にて、AR-AFFF を使用した場合の D が約 1.0 倍となり、ガソリン消火実験にて N-FP を使用した場合は、約 1.9 倍となる。D は、条件によって最大で 2 倍程度の差が生じることが明らかとなった。また AR-AFFF と FP の泡消火薬剤について、フッ素系界面活性剤含有の有無から D を比較すると、燃料種にもよるが、フッ素フリー泡消火薬剤でそれぞれ 1~4 割高い値を示した。また、n-ヘプタン消火実験においては、同等の Q_{Cmin} を示した AR-AFFF と FP であるが、軽油や A 重油に対する消火実験では、両者の Q_{C70} に差が生じている。D で比較すると、FP が AR-AFFF に対して 5 割程度高い値となった。この差異について、軽油及び A 重油の燃焼は、時間経過に伴い油温上昇するため、泡の被覆速度が相対的に遅い FP は、油温が上昇しやすく、消泡が促進されたものと考えられる。また、D を燃料種別に評価すると、特にガソリンで、D は高い値を示し、n-ヘプタンに対し約 2~9 割程高い D で対応する必要があることがわかった。

表 2 各種燃料に対する消火限界泡供給率 Q_{C70} と燃料係数 D の関係

泡消火薬剤	$Q_{Cmin} [L/min/m^2]$	$Q_{C70} [L/min/m^2]$			燃料係数 D [-]			
	n-ヘプタン	ガソリン	軽油	A 重油	n-ヘプタン	ガソリン	軽油	A 重油
AR-AFFF	0.69	0.84	0.64	0.72	1.00	1.22	0.93	1.04
N-AR-AFFF	1.71	2.73	2.20	2.18	1.00	1.59	1.28	1.28
FP	0.81	1.45	1.13	1.18	1.00	1.80	1.39	1.46
N-FP	0.97	1.84	1.68	1.81	1.00	1.89	1.73	1.87

(2) 火災規模による泡消火性能の違いを検討【継続】

泡の被覆速度と泡性状（発泡倍率、還元係数）を可変できるノズル開発に着手し、泡の油面被覆速度及び泡性状の制御も併せて可能となるノズル開発を行った。図 6 に示す、泡の油面被覆速度レーザー計測装置を用い、AR-AFFF、 $Q=0.75 [L/min/m^2]$ 、発泡倍率（以下 E[-]）12 倍の一定条件のもと、泡の保水性の指標となる還元係数（以下 $C[s^{-1}]$ ）を 3 段階（保

水性：高、中、低）に可変した時の、泡投入開始から 60 秒後の泡被覆状況を写真 2 に示す。写真 2 より、泡性状の違いにより、泡の油面被覆速度は大きく異なることが明らかとなった。引き続き、各泡消火薬剤、泡供給率、泡性状の違いによる、各被覆速度のデータ取得を行い、模型側の泡の被覆速度を、実タンクスケール比の 1/2 乗（フルード相似則）になる条件を検討する。

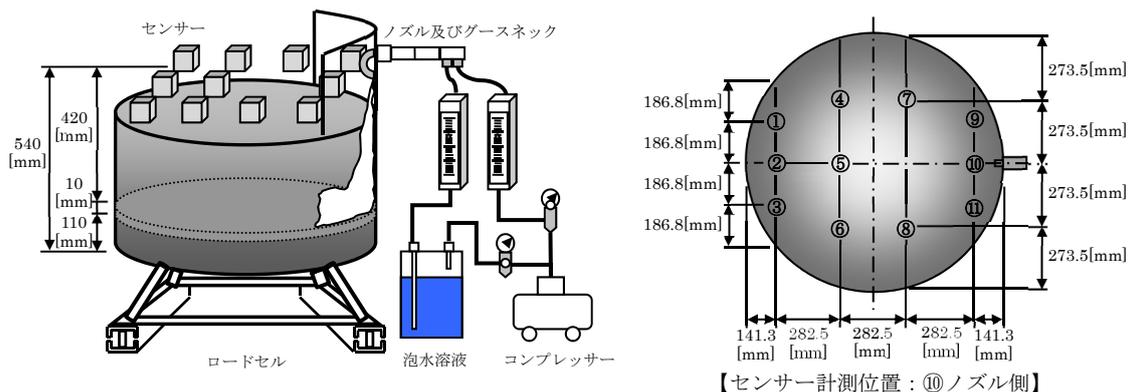


図 6 泡の油面被覆速度レーザー計測実験装置の概略

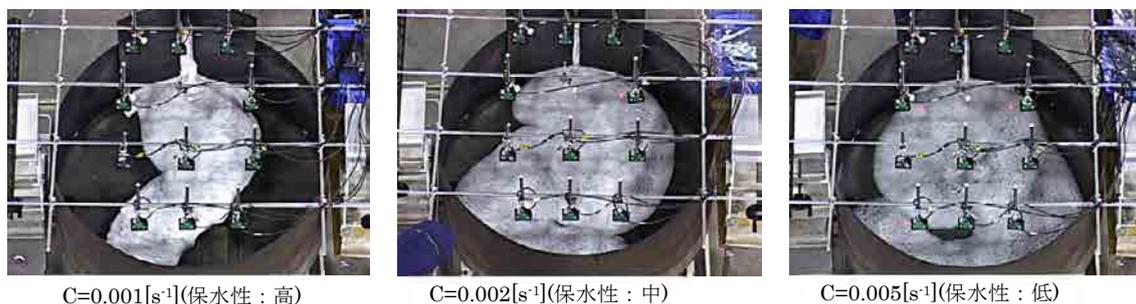


写真 2 泡性状（保水性）の違いによる油面被覆速度計測の様子（泡放出 60 秒後）

4. 平成 30 年度の研究計画および成果

(1) 火災規模による泡消火性能の違いを検討【継続】

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（4m²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（1m²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、4m²タンクにおける γ は、1m²タンクに対して約 50～70%減少した。また、FP の場合、4m²タンクにおける γ は、1m²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、規模効果が比較的小さ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、4m²タンクにおける γ は、1m²タンクに比べて約 20%増加し、N-

FP の場合も同様に、 γ は 1m²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、1m²タンクと 4m²タンクで、泡放出口の構造の違いや、燃焼時の泡の被覆速度が、非燃焼時と比べ大きく異なっている可能性も考えられる。引き続き、燃焼規模効果の検討を引き続き行う必要がある。

(2) 泡の投入方法の違いによる泡消火性能の検討

泡の投入方法の違いによる泡消火性能の検討のための、泡放出口の数を変えられるタンク（泡放出口最大 4 カ所）及び泡性状を変化できるノズルの設計を行った。

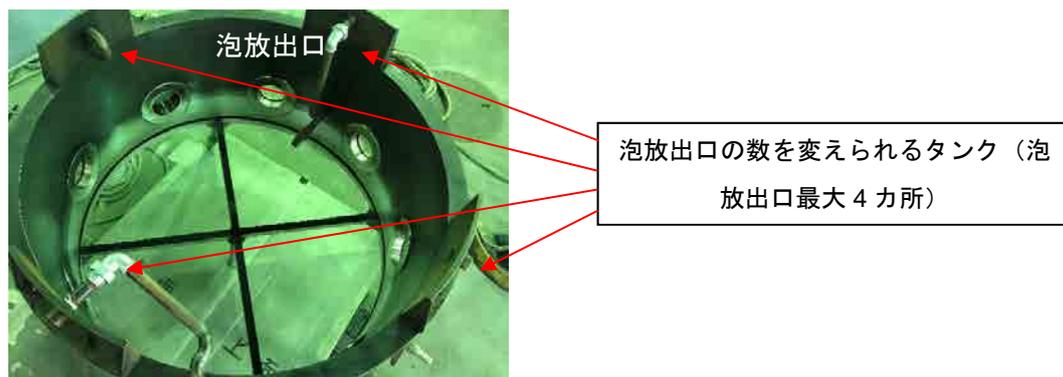


写真3 泡の投入方法の違いによる泡消火性能評価燃焼模型の外観

5. 令和元年度の研究計画および成果

(1) 火災規模による泡消火性能の違いを検討【継続】

泡消火性能に寄与する相似則のパラメーター及びその実現可能性の考察を行った。

泡の消火原理は、燃料油表面を泡層により被覆し、封鎖することによって、燃料油から発生する可燃性蒸気を防ぐ除去消火が主たる要因となる。泡が油面を被覆する過程の主な物理量を考えた場合、主要パイナナンバー Π (同種の物理量の比) は、式(1)~(4)に示すように、 Π_1 のフルード数:Fr (泡の被覆速度と抗力) と Π_2 のウェーバー数:We₁ (泡と燃料油面の表面張力と抗力)、 Π_3 のレイノルズ数:Re (泡の粘性力と慣性力)、そして Π_4 のウェーバー数:We₂ (壁面と泡の表面張力と抗力) が、泡の油面被覆における主要パイナナンバーであると考えられる。

$$\Pi_1 = F_i/F_g = \sqrt{(\rho l^2 V^2)/(\rho g l^3)} = V/\sqrt{gl} \quad (1)$$

$$\Pi_2 = F_i/F_s = (\rho l^2 V^2)/(\sigma_s l) = \rho l V^2/\sigma_s \quad (2)$$

$$\Pi_3 = F_i/F_v = (\rho l^2 V^2)/(\mu l V) = \rho l V/\mu \quad (3)$$

$$\Pi_4 = F_i/F_w = (\rho l^2 V^2)/(\sigma_w l) = \rho l V^2/\sigma_w \quad (4)$$

ここで、 F_i [N]は慣性力、 F_g [N]は重力、 F_s [N]は泡と油面の表面張力、 F_v [N]は泡の粘性力、そして F_w [N]は泡と壁面の表面張力を示し、また、 l [m]は代表長さ、 V [m/s]は代表速度、 g [m/s²]は重力加速度、 ρ [kg/m³]は泡の密度、 μ [Pa·s]は泡の粘度、 σ_s [N/m]は泡と燃料の拡張係数、 σ_w [N/m]は泡とタンク壁面の拡張係数を示している。

そこで、泡消火過程の相似則を成立させるためには、原型タンクにおけるパイナナンバー Π と、模型タンクのパイナナンバー Π' (以下、模型の物理量は (\cdot)

とする) が、等しくする必要があり、 $\Pi_1 = \Pi_1'$ 、 $\Pi_2 = \Pi_2'$ 、 $\Pi_3 = \Pi_3'$ 、 $\Pi_4 = \Pi_4'$ の関係を満たす必要がある。フルード数:Frに関しては、 $g=g'$ とすれば、

$$\Pi_1 = \Pi_1' : V'/V = (l'/l)^{1/2} \quad (5)$$

となり、泡と燃料油面のウェーバー数:We₁においては、式(3)の関係をを用いれば、

$$\Pi_2 = \Pi_2' : \sigma_s'/\sigma_s = (\rho'/\rho) \cdot (l'/l)^2 \quad (6)$$

となる。また、レイノルズ数:Reにおいては、動粘性係数を $\mu/\rho = \nu$ とし、式(5)の関係をを用いれば、

$$\Pi_3 = \Pi_3' : \nu'/\nu = (l'/l)^{3/2} \quad (7)$$

となる。さらに、泡と壁面のウェーバー数:We₂においても同様に、式(5)の関係式から、

$$\Pi_4 = \Pi_4' : \sigma_w'/\sigma_w = (\rho'/\rho) \cdot (l'/l)^2 \quad (8)$$

が得られる。しかしながら、今回の泡消火実験用の模型タンクは、上部泡放出口II型を採用しており、泡被覆時の阻害要因として、タンク側壁の摩擦の影響は比較的少ないことを考慮すれば、式(8)の関係は、無視できると考えられる。また、式(5)、(6)、(7)の関係を満たす、模型実験ができれば良いが、特に、式(6)、(7)の関係を満たすには、既存の発泡器や模型タンク装置、そして、既存の燃料油、泡消火薬剤では、極めて困難であることがわかる。具体的には、式(6)の関係から、泡密度を $\rho=\rho'$ とすれば、 $\sigma_s'/\sigma_s = (l'/l)^2$ になるので、模型実験での拡張係数は、長さスケールの2乗にしなければならない。拡張係数 σ_s は、燃料油の表面張力と泡の表面張力及び燃料油と泡の界面張力で定まる値であり、 σ_s の値を変化させるためには、表面張力が大きく異なる燃料や泡消火薬剤を選定する必要がある。例えば、直径40~100[m]の

石油タンクに対し、1[m²]タンクで、 σ_s' を算出すると、約 10^{-4} 倍の拡張係数にする必要がある。この様な値を有する、燃料と泡消火薬剤の試作は極めて困難で現実的ではない。また、式(7)のレイノルズ数:Re においては、模型側の泡の動粘性係数をスケール比の $3/2$ 乗で変化させる必要があり、例えば、直径 40~100[m]の石油タンクに対し、1[m²]タンクで、 v' を算出すると、約 10^{-3} 倍の動粘性係数にする必要がある。しかしながら、現在使用している泡性状コントロールノズルは、E、C の制御は可能であるが、泡の動粘性係数は、E、C を制御すると従属的に決まるため、動粘性係数を大きく可変した泡を生成するには、発泡器、泡消火薬剤設計を含めた制御技術を確立する必要がある。

一方、式(5)のフルード数:Fr においては、模型側の泡の被覆速度を、スケール比の $1/2$ 乗で変化させる必要があり、例えば、実際の直径 40~100[m]の石油タンクに対し、1[m²]タンクで、 V' を算出すると、約 10^{-1} 倍の泡の被覆速度にする必要がある。泡の被覆速度を可変させるためには、ノズルの断面積や泡の投入方法を変更し、ノズルの改良等行えば、模型実験は可能と考えられる。

フルード相似則に従って、泡水溶液流量を考えると、原型の泡水溶液流量 Q 及び模型の泡水溶液流量を Q' とし、式(5)及び原型と模型の時間を各々 t 、 t' 、泡密度を $\rho=\rho'$ とすれば、

$$Q'/Q = (\rho' l'^3 / t') / (\rho l^3 / t) = (l'/l)^{5/2} \quad (9)$$

となり、 Q' は、スケール比の $5/2$ 乗で変化させる必要がある。

現行の消防法で規定されている、「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)」で定められている、上部泡放出口 (I 型、II 型) の泡供給率は、貯蔵物が水溶性危険物の場合を除き 4 [L/min/m²]と定められている。例えば、直径 40[m]の石油タンクの場合、必要となる泡水溶液流量 Q は、5.024[L/min]となり、1[m²]タンクとのスケール比で Q' を算出すると、約 0.5[L/min]となる。さらに、式(7)より算出した v' は、実際の固定泡消火設備で放出される泡の動粘性係

数に対し、約 10^{-3} 倍の泡を模型側で生成することができれば、 Π_1 と Π_3 を満たした模型実験が可能となるが、泡の粘度を可変するノズル開発が必要となる。

以上の検討から、式(5)~(8)の全てを満たす模型実験は極めて困難であるため、式(6)~(8)の関係は、副次的に作用するものと仮定し、本研究においては、式(9) のフルード相似則の泡水溶液流量から模型実験を実施し、最終的に「スケール係数 B」の検討を行う予定である。

(2) 泡の投入方法の違いによる泡消火性能の検討 【継続】

昨年度は、泡の投入方法の違いによる泡消火性能の検討のため、泡放出口の数を変えられるタンク(泡放出口最大 4 カ所)の設計・製作を行った。今年度は、1 方向 (0°)、2 方向 (0° 、 180°) から、最小消火限界泡供給率(以下 Q_{cmin})時の泡性状において、泡を投入した場合の消火性能の比較を行い、フッ素含有泡 (AR-AFFF、FP) とフッ素フリー泡 (N-AR-AFFF、N-FP) に対し検討を行った。また Q_{cmin} は、以前の検討で、AR-AFFF : 0.69 L/min/m²、N-AR-AFFF : 1.71 L/min/m²、FP : 0.81 L/min/m²、N-FP : 0.97 L/min/m² となり、2 方向投入時の消火性能を評価するベンチマークとしている。

図 7 に、2 方向投入時の泡供給率 Q (以下 Q) に対する積算放射熱量抑制効果(以下 γ)を示す。 γ が 70[%]の条件は、自由燃焼時の最大放射熱に対し、9 割以上放射熱を抑制できる条件となり火炎抑制及び消火可能な閾値である。

その結果、2 方向投入時の AR-AFFF、N-AR-AFFF においては、1 方向投入時の消火性能とほぼ同等になり、逆に、FP、N-FP は、1 方向投入時の消火性能に比べ、低くなることがわかった。 Q_{cmin} の投入量も各放出口で $1/2$ となること、またそれに応じた泡の油面被覆速度、泡厚さも変化する。流動性の高い AR-AFFF、N-AR-AFFF の場合、1 方向投入時の泡の被覆速度は、投入量に比例し速くなる。2 方向投入時は、 Q_{cmin} の $1/2$ の投入量となるため被覆速度は遅くなるが、被覆すべき面積が半分となるため、油面全体を泡が被覆する時間は、1 方向投入時と比べ

ほぼ変わらないことが現象論的にわかった。逆に、流動性の低いFP、N-FPは、AR-AFFF、N-AR-AFFFと比べ、1方向及び2方向投入時の被覆速度が遅く、特に投入量が1/2となる2方向投入時の被覆速度は、1方向投入時に比べ、定性的ではあるが2~3割遅く、泡の被覆時間を要することがわかった。そのため、2方向投入時の場合、被覆すべき油面面積が半分で

あっても被覆時間は増大しており、その結果、火炎からの受熱量増大に伴う消泡や、また流量低下に伴う泡厚さの減少により、シール性が低下し、消火性能が1方向投入に比べ低くなったと考えられる。引き続き、消火過程の解析を進め「泡投入係数C」の検討を行う。

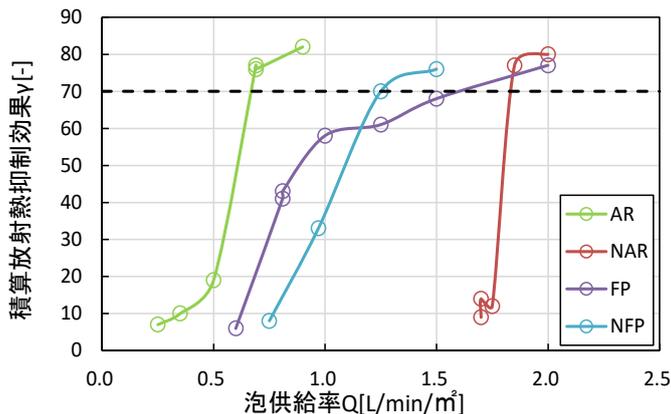


図 7. 2方向投入時の泡供給率に対する積算放射熱量抑制効果の関係

6. 令和2年度の研究計画

(1) 火災規模による泡消火性能の違いを検討【継続】

火災規模が泡消火性能に及ぼす影響等を検討し、「スケール係数B」の検討を行う。

(2) 泡の投入方法の違いによる泡消火性能の検討

【継続】

泡の投入方法の違いによる、泡消火性能の評価を行い、「泡投入係数C」の検討を行う。

(3) 泡消火予測に関する検討

泡消火薬剤、泡性状、油種、泡投入方法、火災規模の効果を加味した、フッ素フリー泡消火薬剤代替時の泡供給率の検討を行う。

7. 泡消火技術の高度化に関する研究計画

研究内容に基づく(1)~(4)の5か年研究計画の予定を表3に示す。

表 3 5か年の研究計画

研究課題	H28	H29	H30	R1	R2
泡消火技術の高度化に関する研究	(1)油種の違いによる泡消火性能の検討			(3)投入方法の違いによる泡消火性能の検討	
		(2)火災規模による泡消火性能の検討			
					(4)泡消火予測の検討

8. 共同研究等外部との協力

- (1) 深田工業株式会社 開発研究室
- (2) 第一化成産業株式会社 エアフォーム事業部

- (3) 株式会社モリタホールディングス 技術研究所
- (4) 東京電機大学 燃焼工学研究室

(8) 化学物質の火災危険性を適正に把握するための研究

研究期間：平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 危険性物質研究室 岩田雄策

1. 目的

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、多岐に及ぶ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。本研究の課題は化学物質および化学反応について、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である。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。本研究では上記の課題を解決するために、次の 4 つのテーマについて研究を行う。

- (1) 熱量計等を用いた定量的な分解危険性評価方法
- (2) 燃焼熱・燃焼速度・発熱速度等を指標とした燃焼危険性評価方法
- (3) 有機物および無機物の蓄熱による自然発火危険性評価方法
- (4) 水等の添加によって可燃性気体を発生する化学物質等の定量的な混合危険性評価方法

2. 平成 28 年度から平成 30 年度までの研究成果

- (1) 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、熱量計を用いて実験を行い、定量的な分解危険性評価方法を提案するための基礎データを得た。発熱量に対する試料量および気相における分解反応の影響を検討し、提案した分解危険性評価法の妥当性を検証した。
- (2) 燃焼速度に加えて、燃焼熱および pDSC(温度圧力同時測定差走査熱量計)によって測定される発熱速度および圧力等を指標とした燃焼危険性評価方法を提案するための基礎データを得た。燃焼速度に加えて、燃焼熱および pDSC によって測定される発熱速度および圧力等を指標とした燃焼危険性評価方法を検討し、その妥当性を検証した。
- (3) 高感度熱量計熱量計を用いた蓄熱による自然発火危険性評価方法によって、再生資源燃料を含む種々の有機物試料について火災危険性評価を行った。蓄熱による自然発火危険性と水分量および空気との関係を明らかにした。

3. 令和元年度の研究成果

- (1) 自触媒反応により分解する過酸化クメンを用いた研究成果を基に、自触媒により分解が促進される物質の分解危険性評価方法を提案した。
- (2) 種々の試料の測定結果を基に、燃焼危険性の重要な指標である燃焼速度について推算法を提案した。

(3) 有機物に対して圧力を指標とする蓄熱による自然発火の危険性評価法に関する基礎データを得た。また、過硫酸アンモニウム等の無機物に関する蓄熱による自然発火の危険性評価法に関する基礎データを得た。

4. 令和2年度の研究計画

- (1) 高感度熱量計等を用いた有機物および無機物に対する蓄熱による自然発火の危険性評価方法を提言する。
- (2) 水等の添加によって可燃性気体を発生する化学物質等の定量的な混合危険性評価方法を提言する。

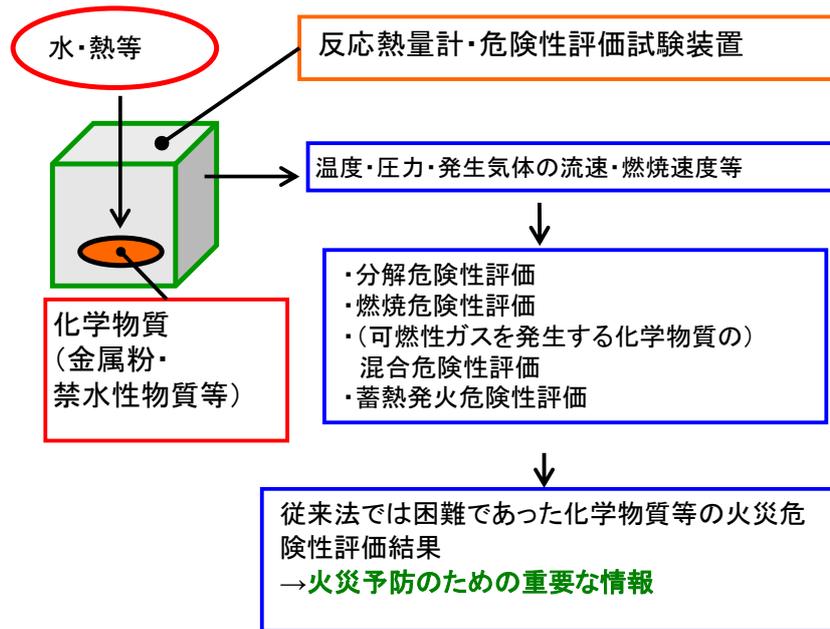


図 1 研究概要

表 1 平成 28 年度から令和 2 年度までの研究計画

	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
分解危険性評価	・熱量計等を用いる圧力・温度を指標とした定量的な分解危険性評価方法を提言するための基礎データを取得する。		・気相反応を考慮した分解危険性評価法を検討する。	・熱量計等を用いて圧力・温度を指標とした定量的な分解危険性評価方法を提言する。	
燃焼危険性評価	・燃焼速度等を指標とした燃焼危険性評価方法を提言するための基礎データを取得する。		・燃焼速度を指標とした燃焼危険性評価法を検討する。	・燃焼速度等を指標とした燃焼危険性評価方法を提言する。	
蓄熱発火危険性評価			・熱量計を用いた自然発火危険性評価法を用いて種々の有機物について火災危険性を評価する。	・温度に加えて圧力を指標とする自然発火危険性評価法を検討し、基礎データを取得する。	・高感度熱量計等を使用した自然発火危険性評価方法を提言する。
混合危険性評価				・定量的な混合危険性評価法を検討し、基礎データを取得する。	・定量的な混合危険性評価方法を提言する。

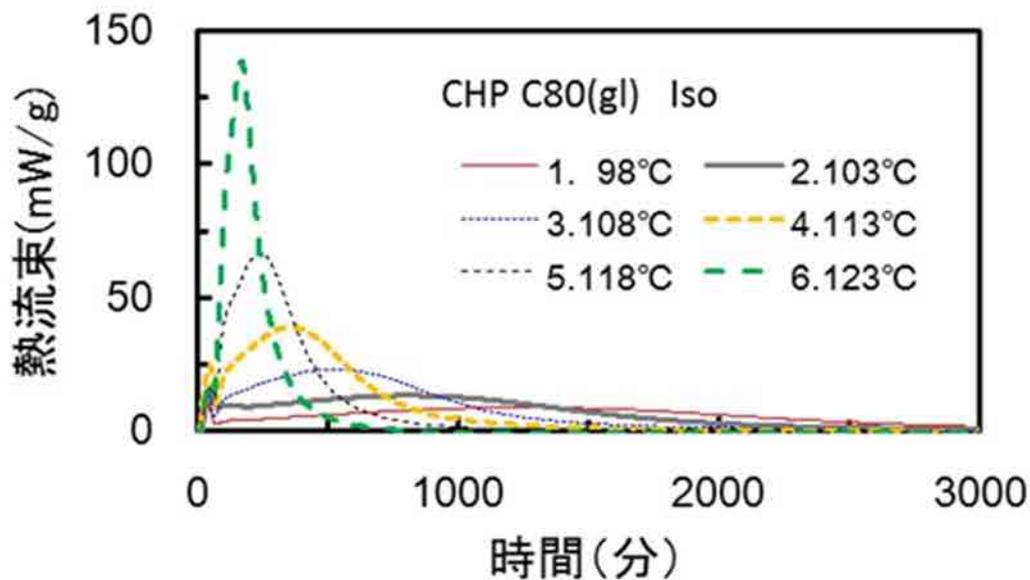


図 1 自触媒反応により分解する過酸化クメン(CHP)の等温測定における発熱挙動

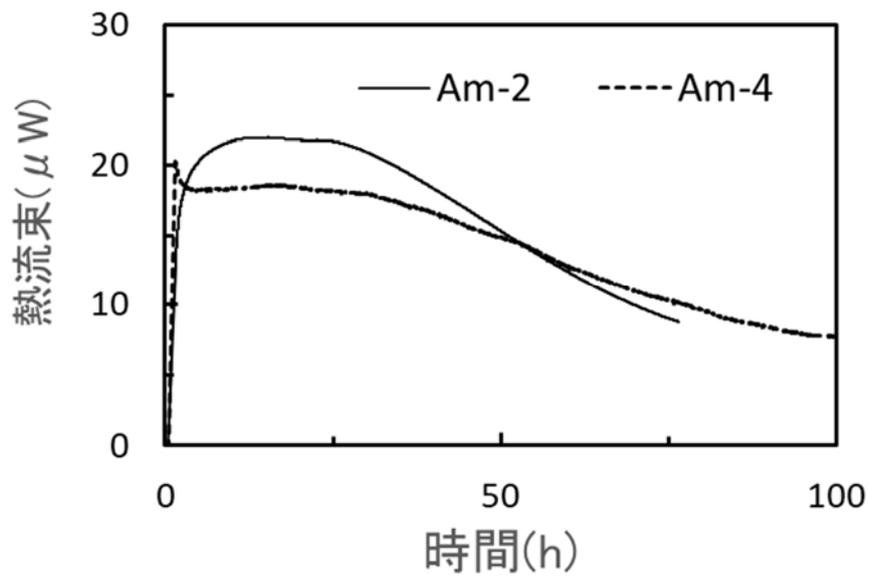


図2 等温型高感度熱量計を用いた試料容器内の空気量による過硫酸アンモニウム(Am)の発熱挙動の比較 (Am-2:4mL 試料容器, Am-4:20mL 試料容器, 水およびセルロースの添加無)

(9) 火災原因調査の能力向上に資する研究

研究期間：平成 28 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室	田村裕之、原島裕貴 ^{*4)} 、松崎崇史 ^{*3)}
技術研究部 危険性物質研究室	佐藤康博
技術研究部 上席研究官	河関大祐 ^{*1)}
火災災害調査部 原因調査室	塚目孝裕、鈴木 健、阿部伸之、長谷川巧 ^{*2)}

^{*1)}平成 28 年 4 月～平成 29 年 3 月

^{*2)}平成 28 年 4 月～平成 30 年 3 月

^{*3)}平成 29 年 4 月～平成 31 年 3 月

^{*4)}平成 31 年 4 月～

1. 目的

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。火災は、「出火→拡大→鎮火」の経路をたどるが、火災原因調査は、鎮火の状況を詳しく調べることによって出火に遡る作業であるが、さらには、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。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もの、例えば、静電気着火や爆発などのように専門的な知見やデータが必要な分野での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、多くの手法をまとめることが可能で、分析のノウハウや現場の見方について、火災原因調査を行う上で活用できる、新たなマニュアルを作成することができる。また、火災原因調査の能力向上を目的として行われた研究は少なく、調査能力向上のための研究が早急に求められている。

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、火災現場から収去した物

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 5 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。

【現象の理解】

- 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では、放電を起こす物質の導電性や接地の有無の違いにより着火性に影響があるかを確認するとともに、放電の元となる静電気帯電の帯電量の予測を行う。
- ② 不良部品、不適切な取り扱いによる電気火災発火危険性の分析では、新規電気器具を含めた、電気器具の使用環境及び不適切な取り扱い等を想定した火災発火危険性を検討する。また、発火実験を行い焼損前から焼損後各部位の状態を画像資料に整理しデータベース化する。(平成 28 年度のみ)

【分析技術の選択と結果の評価】

- ③ 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では、原因解明の重要な手段となる現場試料に関して、その採取法、保管法について検討し、その後の機

器による分析結果に影響を及ぼさない採取方法、保管方法の確立を目指す。また、現場で試料採取に有効な採取キット等の試作を行う。更に、分析機器による結果から何がわかるか、また、結果の評価法についての指針を示し、試料採取からデータ解析までの一連の手順の高度化を目指す。

【火災現場の状況を把握する技術】

④ 煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定では、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開発し、火災調査に活用している火災シミュレーション

ョンにその煤の壁面付着モデルを導入し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を目指す。

⑤ 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では、化学工場等で、爆発があったかどうか容易に判断できない場合に、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資料、ガイドライン等を作成する。



図 1 本研究の全体概要

表 1 5 か年の各項目の研究計画概要

	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
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	・ 放電エネルギーの測定系の検討、構築 ・ 静電気火災の事例収集及び調査	・ 絶縁物からの放電エネルギーの計測 ・ 種々の放電による着火性の検討 ・ 静電気火災の事例収集及び調査		・ 着火性放電の帯電機構の把握及び帯電量予測 ・ 静電気火災の事例収集及び調査	・ 静電気火災の事例収集及び調査 ・ 火災原因調査に有効なマニュアル作成
② 不良部品、不適切な取り扱いによる電気火災発火危険性の分析	・ 電気器具火災発火危険性の検討 ・ 焼損前後の画像データベース化 (平成 28 年度のみ)				
③ 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	・ 試料の採取・保管方法の検討 ・ 現場採取キットに使用する用具のデータ取得。 ・ 各種機器データの系統的整理	・ 現場採取キットの試作 ・ 機器データの検討 ・ 分析結果を評価法について標準データを例示		・ 機器のデータの検討 ・ 分析結果を評価法について標準データを例示	・ 指針、マニュアル策定

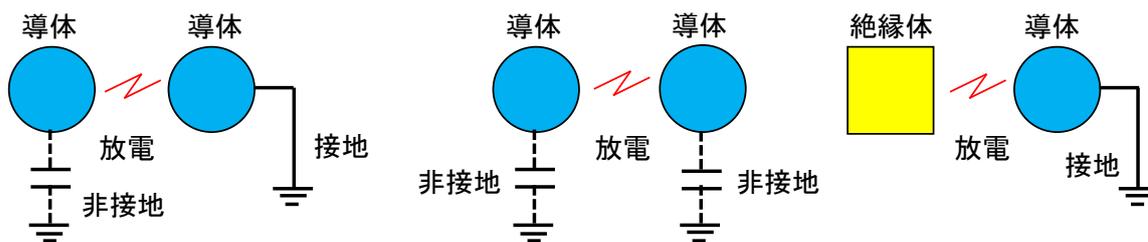
④煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定	<ul style="list-style-type: none"> ・実験装置作成 ・煤の壁面付着条件に関する実験 	<ul style="list-style-type: none"> ・煤の壁面付着条件に関する実験 	<ul style="list-style-type: none"> ・煤の壁面付着条件に関する実験 ・煤の壁面付着再現に関する煙流動の数値解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・煤の壁面付着再現に関する煙流動の数値解析 ・調査員向けマニュアル作成
⑤火災現場において、どのような爆発があったか判断するためのガイドラインの作成	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模な実験の実施 ・工場等で発生した小規模な爆発火災の事例収集、分析 			<ul style="list-style-type: none"> ・小規模な実験の実施 ・消防機関向けガイドライン作成

2. 各項目の5か年の研究計画概要

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、消防白書によるとここ数年静電気放電が出火原因の1位を占めている。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。



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

静電気放電のエネルギー、帯電の機構と帯電量についてデータを収集し、出火原因の特定や出火防止対策に役立つ情報を提供する。

図2 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の概要

②不良部品、不適切な取り扱いによる電気火災発火危険性の分析 (平成28年度のみ)

電気は社会を支えるために不可欠なものであるが、機器の不適切な取り扱い、経年劣化、製造上の欠陥等が原因で出火源となる危険がある。電気機器等による火災を低減するためには、電気火災

を特定し、原因となった機器等の出火の機構を明らかにすることが重要である。

ここでは、電気火災の原因となった機器等を対象に、出火過程を推定し、焼損前から焼損後の各部位の状態を画像に記録し、電気火災の特定や出火予防に資するデータベースを構築する。



電気火災の原因となった機器のデータを収集し、発火実験等により焼損前から焼損後の各部位の状態を画像資料に整理しデータベース化する

図3 不良部品、不適切な取り扱いによる電気火災発火危険性の分析の概要

③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

ここでは、機器分析に供するために採取する現場試料について、分析機器のデータに影響を及ぼさない採取方法、また分析機器に導入するまでに変質・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。

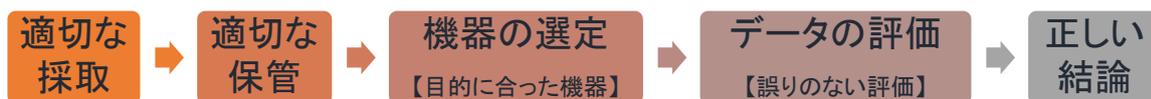


図4 試料の採取・保管方法、及び解析結果をどのように利用するかに関する指針の策定の概要

④煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定

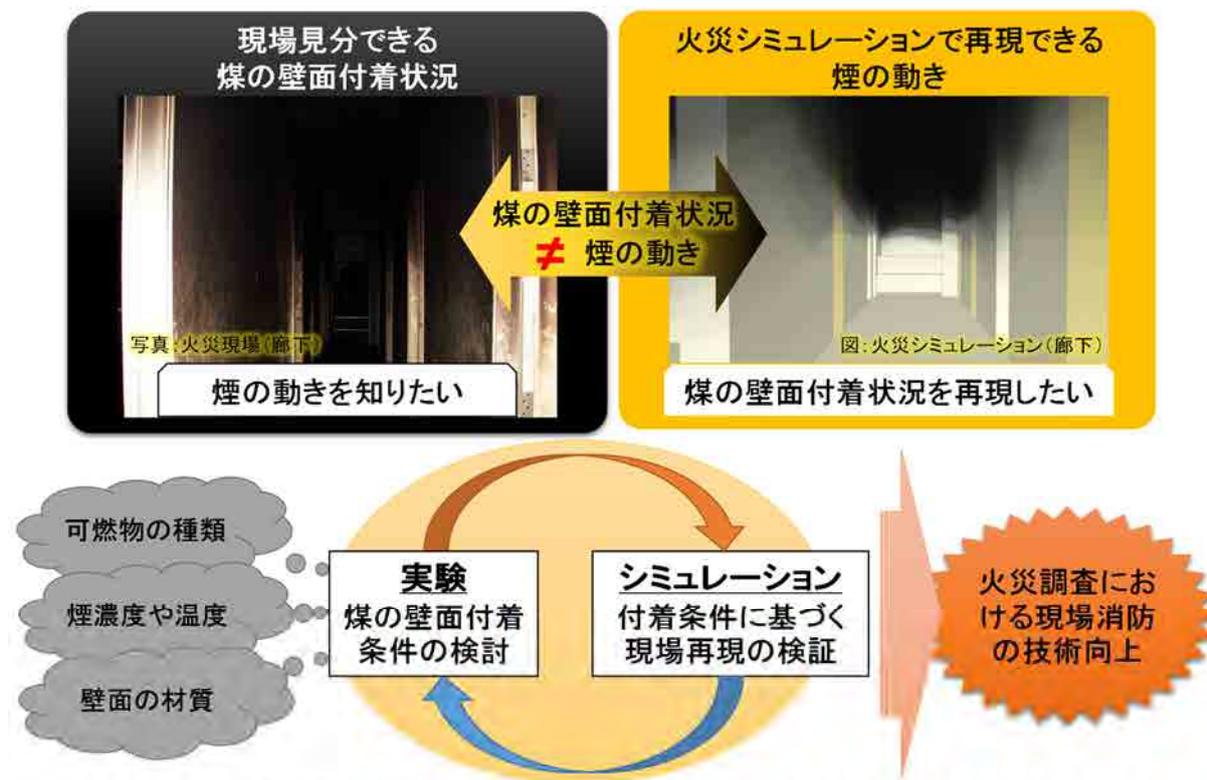
火災現場ではしばしば壁面に煤の付着が見受けられるものの、証言から得られる煙の動きと必ずしも一致しない。したがって、火災原因調査において単に「煤の付着状況＝煙の動き」と見誤る可能性も否定できない。より確度の高い煙の動きを見極める方法を確立することは、火災原因調査の高度化のために必須である。

煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定では、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開発するために実験を実施する。まずは、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実験装置を作成する。その実験装置を用いて、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する。

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を用いて確認する。この火災シミュレーションは火災原因調査に活用しているの、そ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も目指す。

最後に、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、マニュアルを作成する。



- 火災現場における煤の壁面付着状況から、調査員が煙の動きを推定可能にする方法を確立する。
- 火災調査で活用している火災シミュレーションに煤の壁面付着モデルを導入し火災シミュレーションの現場再現性を検証する。

図5 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

⑤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

公設消防機関が、化学工場で爆発があったらしいという通報を受けて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ガイドラインを作成する。

過去の研究としては以下のようなものがある。メタンと空気の予混合気のガス爆発の際に生じる火炎により、周囲に置かれた薄い紙が加熱された場合、どのような条件で着火するかについて、平野

らが実験を行った。また、メタノール蒸気と空気
の予混合気のガス爆発の際に生じる火炎により、
周囲に置かれた薄い樹脂製シートが加熱された場
合、どのように溶融、変形するかについて、鶴田
が実験を行った。

軍事的な目的から、何 kg の爆薬が爆発すると、
何 m 先のものをどのくらい破壊できるかを調べる
ために、以前から多くの爆薬を使った爆発実験が
行われてきた。実験結果からつくられた予測式が
発破工学ハンドブックにまとめられている。石油
コンビナートのリスクアセスメントのために、LP
などの燃料が大規模な漏洩を起こし、爆発したら、
どの程度の被害が出るかを予測するための実験が
かつて行われた。その結果は、石油コンビナート
の防災アセスメント指針にも使われている。米国

ATF では爆弾テロの捜査のために、爆発現場の調
べ方の講習会を開催している。しかしながら、こ
れらは、化学工場等の火災原因調査のためではな
い。

国内で広く利用されている新火災調査教本(第 6
巻, p. 171)には、「建築物等(特に構造体)に加わった
圧力による変形の程度、破壊の形状から一般的な
火災によるものとの違いを見分し爆発現象の有無
を判定する」と記載されているが、「判定」をどの
ようにするのかについてはほとんど記載されてい
ない。海外における火災調査の手引きとして、
NFPA 921 Guide for Fire and Explosion Investigations が
ある。21 章で Explosion について解説しているが、
爆発があったかどうか容易に判断できないような
場合については、記述が少ない。

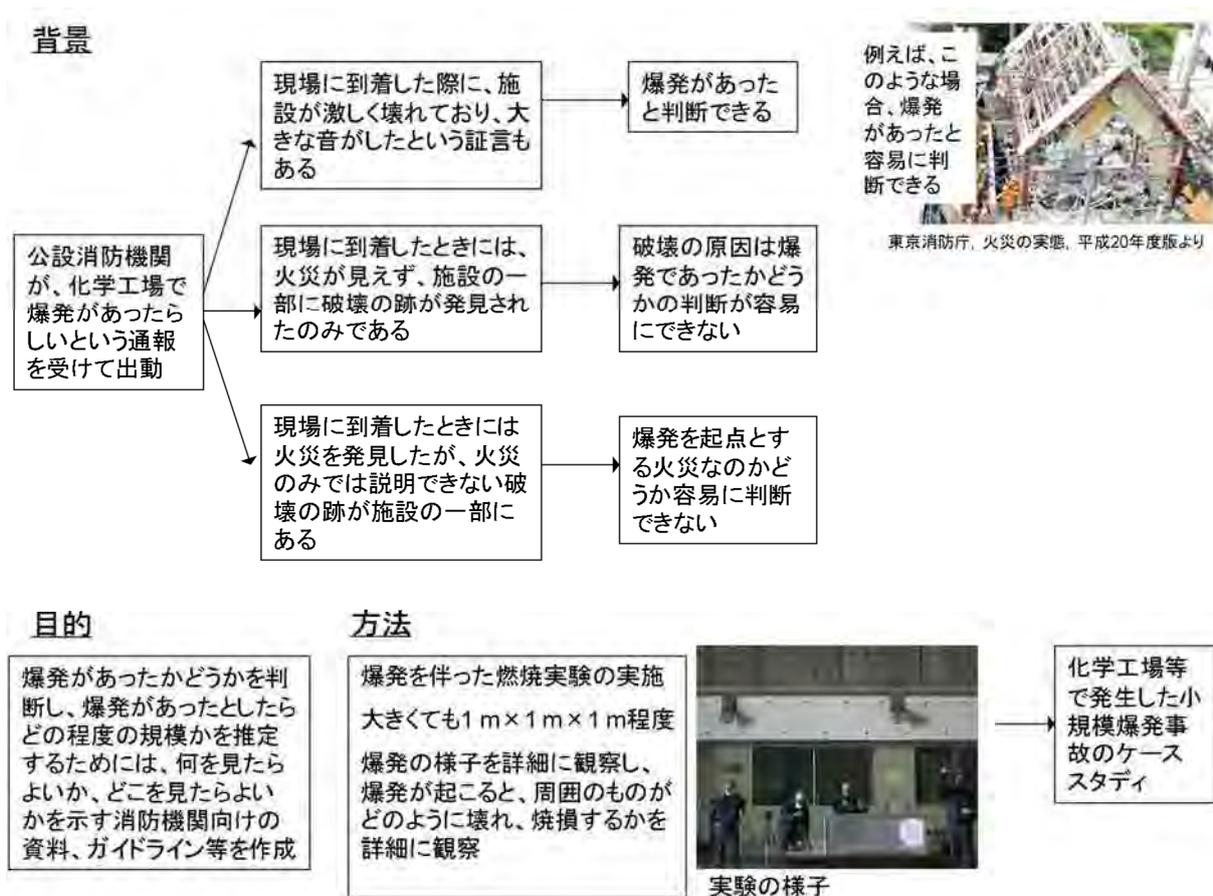


図 6 火災現場において、どのような爆発があったか判断するためのガイドラインの作成の概要

3. 令和元年度までの研究成果

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

(1) 絶縁物からの放電や非接地導体間の放電のエネルギーを計測する計測系を構築し、布状絶縁物からの放電の放電電流を測定する。

【平成 28 年度成果】

絶縁物から放電したときのエネルギーを計測するために放電電流を計測する方法について、負荷抵抗を用い電圧プローブで負荷電圧波形を測定する方法や、電流プローブを用いて電流波形を測定する方法を試みた。負荷抵抗の挿入により波形の乱れや反射が発生すること、周波数帯域が数百 MHz の電流プローブでは電流波形にひずみが出てしまうこと等が分った。

【平成 29 年度成果】

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。プローブとオシロスコープをつなぐ配線に含まれるインダクタンスによる波形の乱れが観測された。

【平成 30 年度成果】

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 7)。数種類の作業着に使われている生地を用いて、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 (図 8)。図 8 の例では、放電エネルギーは約 1×10^{-10} J となり、最小着火エネルギーの小さい水素ガスにさえ着火させることはできない。

【令和元年度成果】

布上絶縁物として各種作業着の生地を 25 cm 角に切り出し、イオン発生器で帯電させ、生地表面からの放電電流を計測した。素材 (綿、ポリエステル、アクリルなど) の違い、防炎加工の有無、帯電防止加工の有無などを基準に、作業着の生地を選定した。7 種類の生地に対して -5 ~ -21 kV に帯電させ、終端抵抗 50Ω の放電電流プローブを用いて放電電流波形を計測した。放電時間は、生地の種類や帯電電位の違いの影響は少なく、おおよそ 200 ~ 250 ns であった。放電電流の例を図 8 に示す。この放電電流から求めた放電エネルギーは、 5×10^{-5} mJ であり、小さいエネルギーで着火させやすい水素やアセチレンの最小着火エネルギー (0.016 mJ、0.017 mJ) よりも 2 桁以上小さい値となっている。

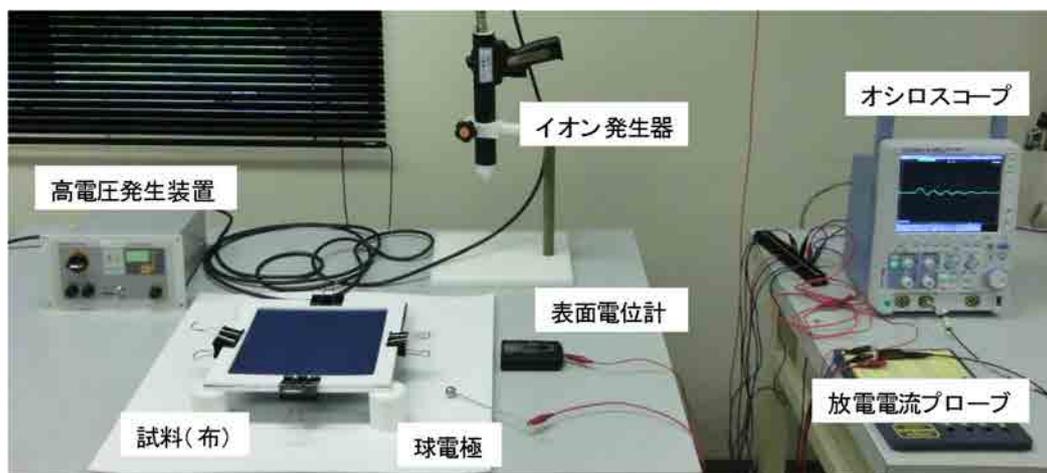


図 7 放電電流波形計測装置

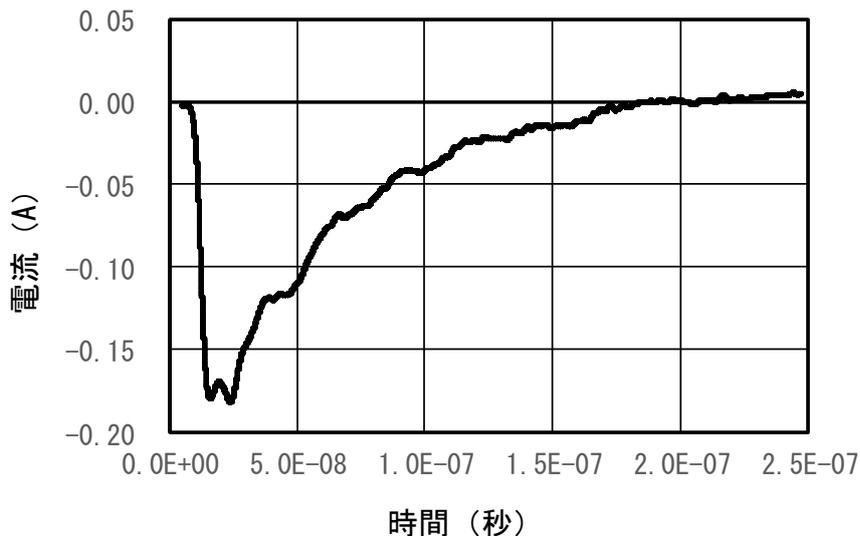


図8 -21 kVに帯電した布からの放電電流の例
(作業着の布で、ポリエステル65%、綿35%、制電仕様である。)

(2) 静電気放電による着火が考えられる火災事案を収集し、調査する。

【平成28年度成果】

機会を捉え消防本部を訪問して静電気が原因と疑われる火災の情報を聞き取った。伊賀市消防本部では静電スパークが原因の火災が平成24年から28年の間に7件発生した。導体である人や機器の接地を取ることが疎かになった際に発火している事案が多い。横浜市の製油所火災において、浮き屋根上作業員の帯電量等の測定を行った結果、作業員の帯電はわずかであり、着火を起こすエネルギーがないことを明らかにした。富山市の化学工場火災で、樹脂製のロートを通して粉体を流し込んだ際の粉体の帯電量を計測し、着火に至るエネルギーは溜まらないことを明らかにした。また、京都市消防局からの依頼で導電性ビニルがガソリンに触れたときの導電率の変化について共同で測定した結果、ガソリンに触れると導電率の悪化が確認された。

【平成29年度成果】

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、経年劣化した導電性ゴムパッキ

ンの剥離帯電が大きいことを明らかにした。プラントでの粉じん爆発事故が2件発生し、それぞれの原因調査のなかで、静電気放電を発生させるような帯電機構を調査した。タンクローリーの給油装置の性能点検をしている際に火災となった。静電気放電の可能性を検討するため、漏洩抵抗等の計測を実施した。イソヘキサンを洗浄剤として用い、アルミ製品の削りかすを除去している作業中に発火した火災の原因調査として、静電気帯電の可能性を検証した。

【平成30年度成果】

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、経年劣化した導電性ゴムパッキンの剥離帯電が大きいことを明らかにし、誘導帯電による金属部での放電による着火の可能性が高いことを示した。また、ゴムパッキンからの放電電流の計測(図9)によれば放電エネルギーは 10^7 J程度であったため、水素ガスへの着火が起こらないことを示した。タンクローリーの給油装置の性能点検をしている際に火災となった事案では、静電気放電の可能性を検討するため、灯油の漏洩抵抗等の計測を実施した。帯電した灯油からの放電

によりミスト状の灯油に着火した可能性を示した。イソフタロニトリルの粉体をタンクに投入している際に火災が発生した事案で、この粉体の導電率を測定し、帯電しやすい粉体であることを示した。トルエンに粉体のポリエステルワックスを混合し

た液体を釜内に移送している際に、釜内で爆発が起こった。トルエン、粉体の導電率の測定とステンレス管内を流れる混合液の流動帯電量について計測し、帯電しやすい液体であることを示した。

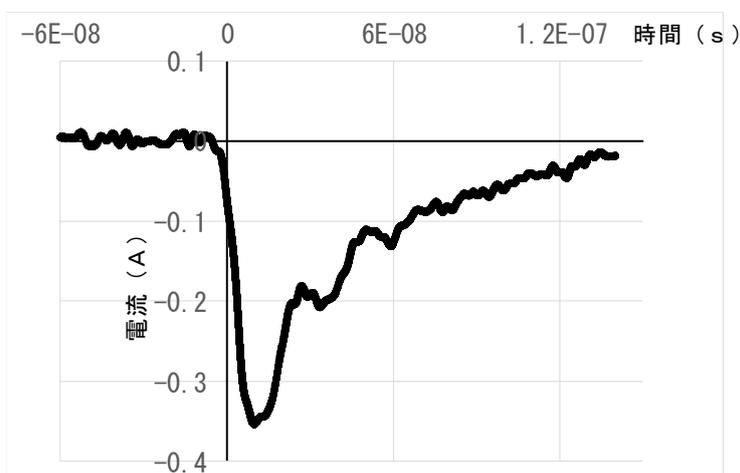


図9 -27 kVに帯電したゴムパッキンからの放電電流の例（ゴムパッキンはクロロブレン製で、新品時は導電性ゴムであったが、9年経過し導電率が3桁低下したもの。）

【令和元年度成果】

エチルシクロヘキサンを主成分とする薬剤を混合する合成釜において、薬剤の噴霧投入をしている際に火災が発生した。重量計上の薬剤入りドラム缶からポンプを用いて薬剤を吸い出し、ステンレスのホースとパイプを介して合成釜内に薬剤を噴霧している。合成釜の投入口にはテフロンパッキンを用いた蓋によりステンレスパイプが設置さ

れ、釜内にパイプが導かれていた。各金属部の漏洩抵抗を計測すると、重量計のタイヤとテフロンパッキンの絶縁性が高いことが確かめられ、実際に漏洩抵抗が高い状態で噴霧作業を150秒行くと、ステンレスパイプ等は-4 kV以上の帯電を記録した（図10参照）。このとき放電すると、放電エネルギーは4 mJ以上となり、エチルシクロヘキサンの着火に必要なエネルギー以上となると考えられた。

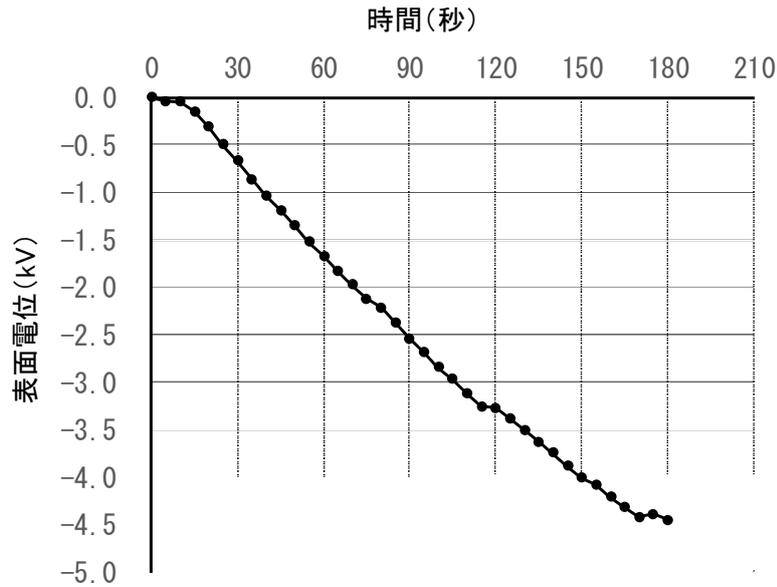


図 10 重合釜内にエチルシクロヘキサン含有の薬剤を噴射した際のステンレスパイプの電位変化
(薬剤を 5 kg/分で噴射)

酢酸エチルを主成分とする薬剤を人が一斗缶からステンレスタンク (60 L) に投入している際に火災が発生した。ステンレスタンク、人、一斗缶などの接地は取られており、唯一接地が取れていなかった部品が、ステンレスタンク投入口に取り付けられたかご状のステンレスフィルターであった。このステンレスフィルターには樹脂製のメッシュフィルターが巻かれ、樹脂バンドで固定されていた。樹脂バンドの影響で、ステンレスフィルターは接地されていない状態となった。このステンレスフィルターに回りにこぼれないように薬剤を 5 秒間注ぐと、ステンレスフィルターは -5 kV 以上に帯電した。この状態で放電すると、酢酸エチルの最小着火エネルギーを超えることを示した。

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

【平成 28 年度成果】

(1) 平成 28 年度は、採取から保管についての項目について重点的に実施した。火災現場において試料を採取する場合において、効果的かつ間違いのない採取ができるように、試料採取のための器具、保管のための袋、ビン類等を一つにまとめた、図 11 のような試料採取用キットを製作

し、静岡市、さいたま市の消防本部に対して供用し、試用を開始した。また、富山県とは共同研究の一環として、県内 8 本部に試料採取用キットを配布し、試用を開始した。



図 11 試料採取用キットの例

(2) ガスクロマトグラフによる灯油検出限界を明確にしたうえで、一定量の灯油をかけた布片を、燃焼時間などの条件を変えて燃焼させ、火災現場における灯油の残存に関してどの程度の残量で検出することができるかについて検討を行った。

【平成 29 年度成果】

(1) 平成 28 年度に試作した試料採取用キットを富山県内 8 本部、さいたま市消防局、静岡市消防局で試用を行った。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、確定した。

(2) 鉱物油類が付着した試料の保存方法について、異なる条件における鉱物油の残量を定量的に調べる実験を行った。内部標準物質の選定、ポリ袋が 1 重と 2 重の場合の比較を行った。

(3) 熱分解 GC を用いた焼損物の材質同定に関する検討を行った。市販されている高分子化合物について TG-DTA による加熱を行い、加熱前後の変化を熱分解 GC で調べた。その結果、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熱分解 GC の結果が変化することが分かった。また、富山県で実施された模擬家屋燃焼実験において燃焼前後のサンプルを採取した。

【平成 30 年度成果】

(1) 試料を分析する際の前処理の方法について、動物油が混入した場合の鉱物油の検出等に関して、消防機関向けに必要な器具のリストアップを行い手法の検討を行った。

(2) 鉱物油類の検出について、ポリ袋が 1 重と 2 重の場合の比較を行った上で、揮発せず検査に影響を及ぼさない保管方法を確立すべく、保存温度、保存容器の違いが及ぼす影響について検討を行うための実験環境を整備し、予備的なデータの取得を行った。

(3) 熱分解 GC を用いた焼損物の材質同定について、富山県で実施された模擬家屋燃焼実験において燃焼前後のサンプルについて分析を行い、標準試料や TG-DTA により加熱した試料との比較を行った。

【令和元年度成果】

(1) 前年度までに得られた現場採取、前処理について得られた成果についてまとめ、マニュアルの作成に向けて不足しているデータを補足する

実験を行った。また、現場採取に関連して、鉱物油を染み込ませた試料の燃焼時の変化についての知見を得るための実験を行った。

(2) 油類付着試料の保存方法について、保存温度、保存容器の違いが及ぼす影響についてさらなる検討を行った。

(3) 熱分解 GC を用いた焼損物の材質同定に関して、ナイロン、セルロースなどの縮合型の高分子化合物に焦点を当て詳細な検討を行った。また、FT-IR で得られるデータとの比較を行うために実験データの取得を行った。

③ 煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定

【平成 28 年度成果】

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実験装置を作成した。

【平成 29 年度成果】

(1) 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実験装置について、煙濃度計、熱電対、二方向管、ビデオカメラを設置し、データを取得できる環境を整備した。

(2) 実験装置を用いて、煤を付着させる壁面を石こうボード、燃料を n-ヘプタンとした火災実験を実施した (図 12)。

(3) 実験データを検証するために、実験条件と同様の計算条件にて数値計算を実施した。



図 12 火災実験の様子

【平成 30 年度成果】

- (1) 火災シミュレーションの煤堆積モデルに対して、重力沈降・熱泳動・拡散乱流堆積の機能別に煤堆積量（煤付着）を評価した。重力沈降のみを考慮した場合は、側壁のため煤は付着しないが、拡散乱流堆積のみ考慮した場合には、わずかに煤付着するものの、熱泳動のみ考慮した場合に及ばず、熱泳動が煤付着に寄与していることがわかった（図 13）。
- (2) 火災シミュレーションと実験について、煤の壁面付着状況を比較した。火源から立ち上がるプルームやそれが天井に衝突する領域での煤付

着を火災シミュレーションと実験では捕らえているが、火災シミュレーションの天井流の煤付着が、実験では照明の陰と区別がつかず不明瞭であった（図 14）。

- (3) 火災シミュレーションと実験について、壁面近傍気体温度の鉛直方向分布を比較した。実験に比べ、火災シミュレーションでは天井流の温度が高く、高温層の厚さが薄い（図 15）。煤付着で支配的な熱泳動速度を求めるために温度勾配が必要となるので、気体温度に対して高い計算精度が求められる。

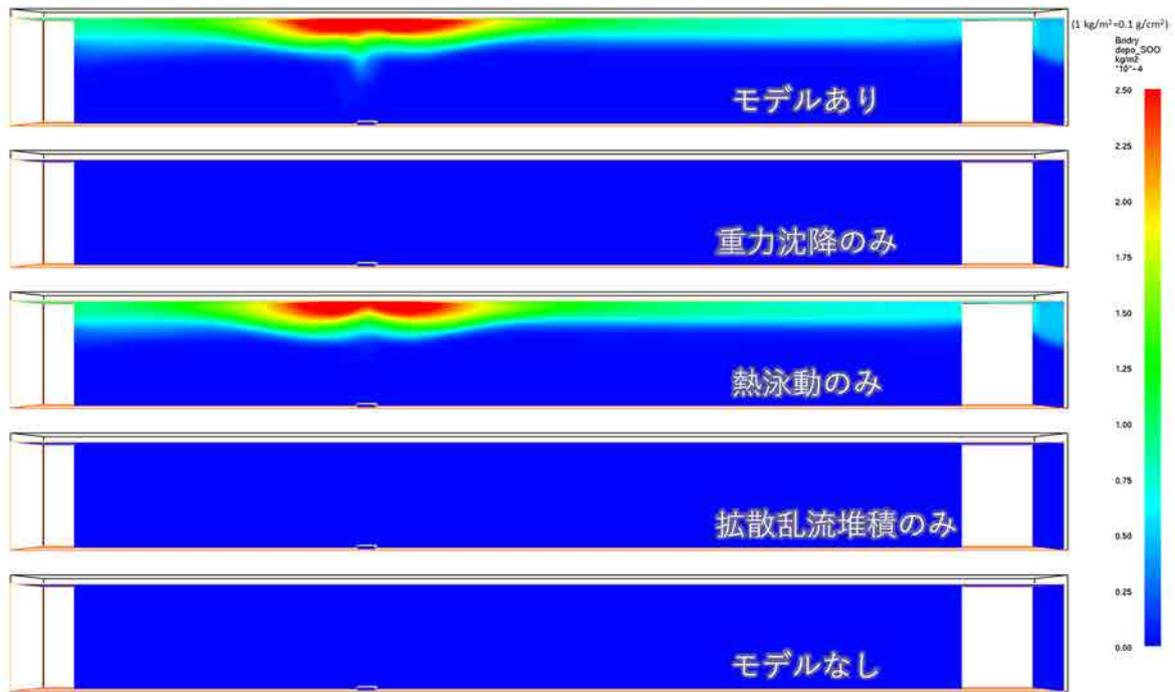
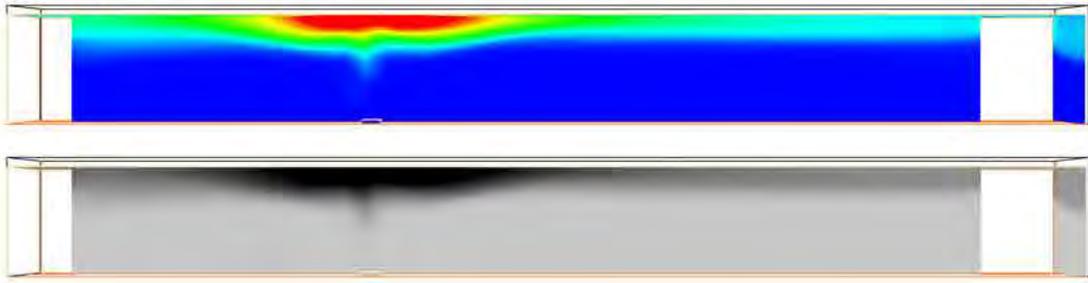


図 13 火災シミュレーションの煤堆積モデルの違いによる煤壁面付着への影響

Calculation



Experiment



図 14 煤壁面付着における実験と火災シミュレーションの比較

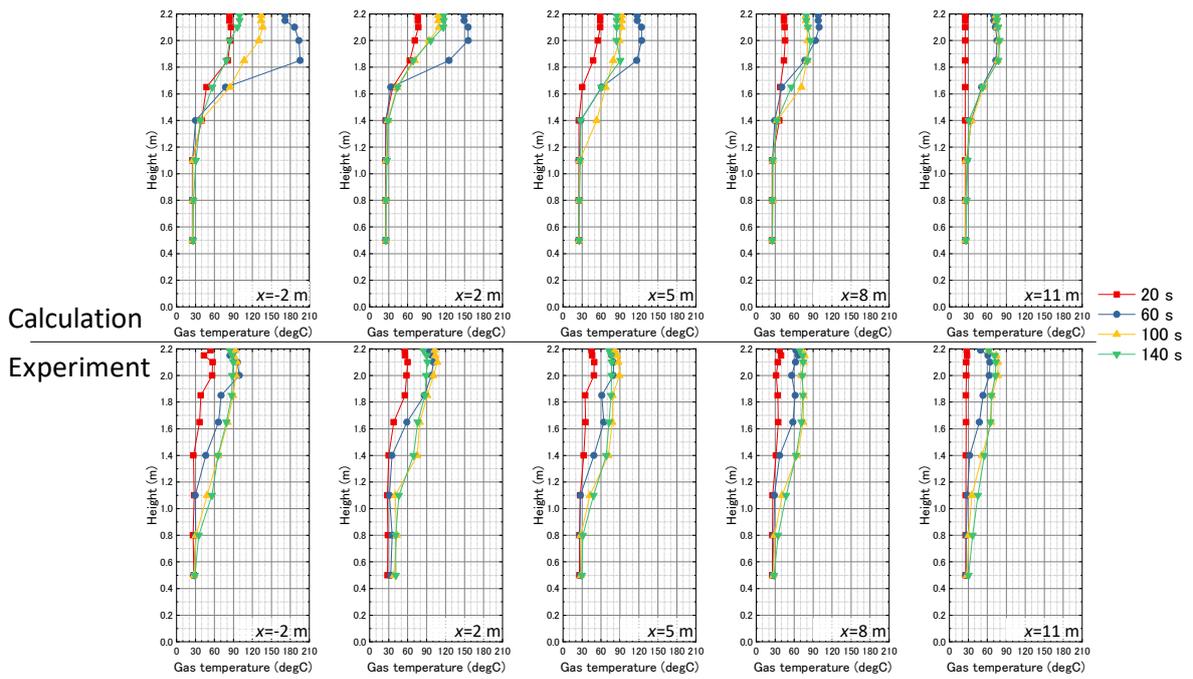


図 15 壁面近傍気体温度の鉛直方向分布における火災シミュレーションと実験の比較

【令和元年度成果】

(1) 昨年度は単純な廊下状区画を使用したのが、より現実の状況を考え、宝塚市カラオケボックス店火災に係る火災シミュレーションで計算対象とした建物モデル（2階建て）を活用し、火源の位置を変えた3種類の条件(①～③)について煤の壁面付着に関する火災シミュレーションを実施した（図16、図17）。外気に通じる開口部は、1

階厨房の換気口および建物1階玄関の2箇所で開催してある。また、建物内部にある戸はすべて開放してある。

(2) 例として、火源位置が1階である場合(①,②)と2階である場合(③)について、階段室の側壁への煤付着状況は、煙の流れの影響により前者が階段に沿うような付着パターンであるのに対し、後者は地面と平行の付着パターンとなる（図18）。



図16 建物モデル

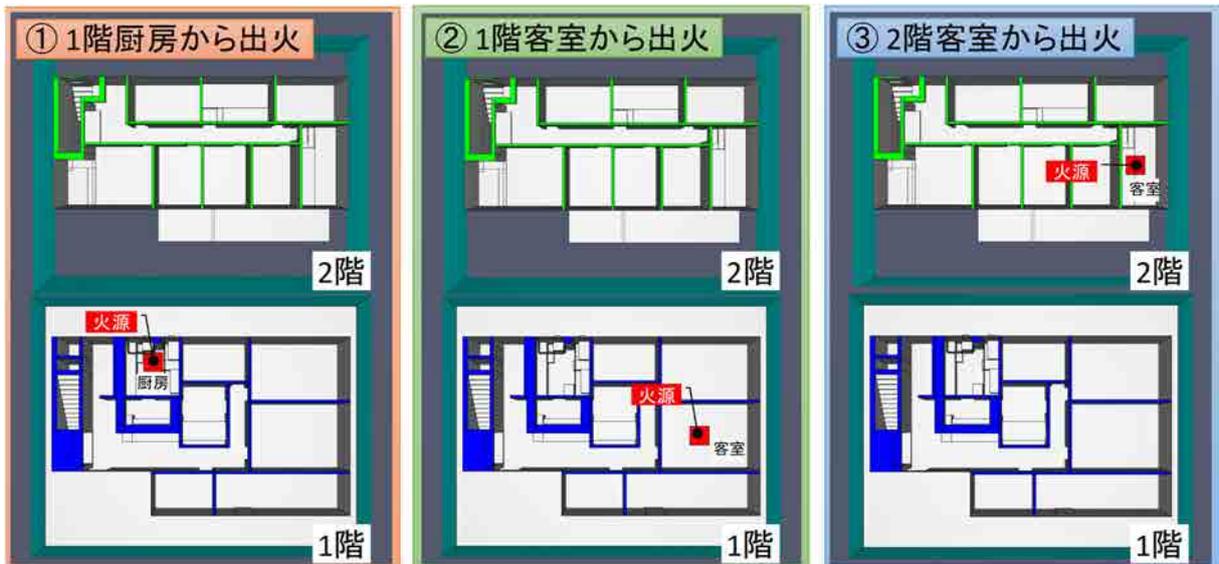


図17 火源の位置を変えた3種類の火源条件（平面図）

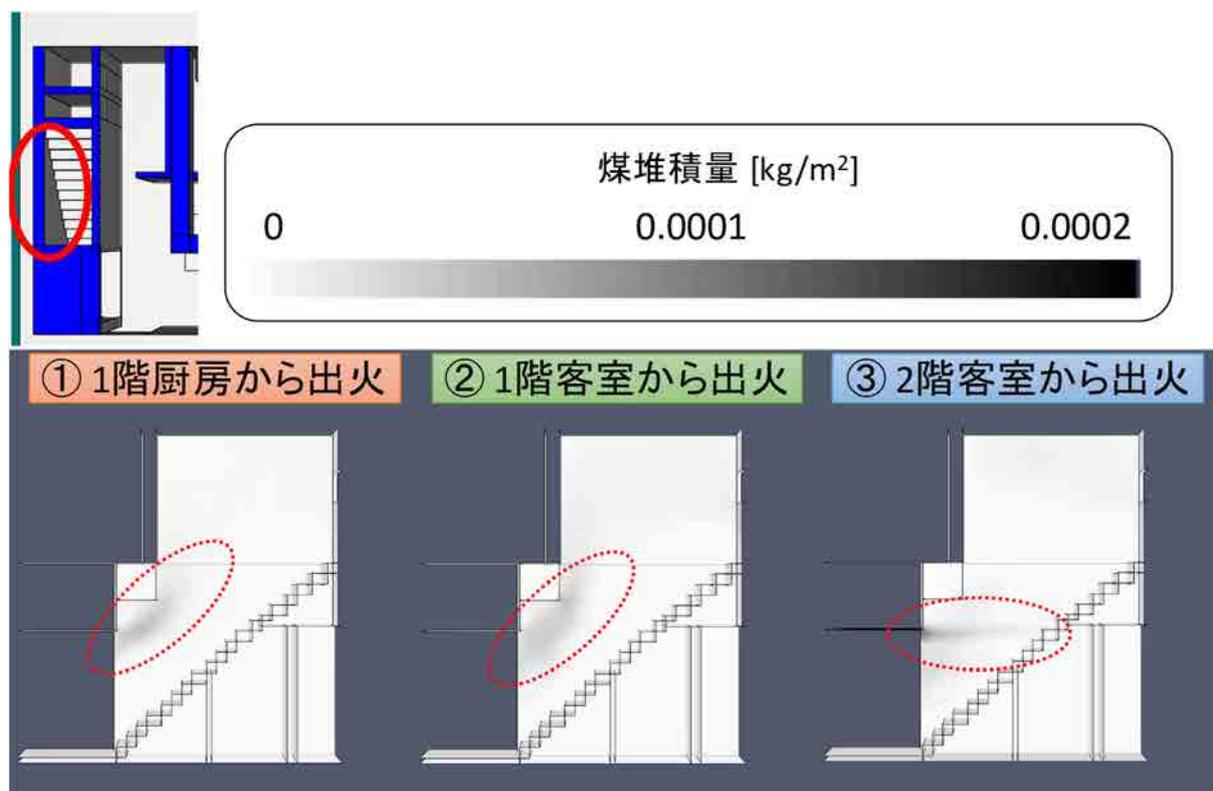


図 18 火源の位置の違いによる煤壁面附着パターン（煤堆積量）への影響〔例〕

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

【平成 28 年度成果】

- (1) 爆発を伴った燃焼の実験を行った。実験装置は、0.7 m x 0.7 m x 0.4 m、容積約 200 リットルとした。燃料には、揮発性の高い溶媒であるヘキサンを用いた。ヘキサンの蒸気と空気からなる可燃性予混合気に着火すると、装置内を火炎が伝ばし、内圧の上昇により、装置の一部が壊れる様子を撮影し、解析した。
- (2) 化学工場等で発生した小規模爆発事故の事例を集め、分析した。

【平成 29 年度成果】

- (1) 爆発を伴った燃焼の実験を行った。実験装置の大きさは、容積約 400 リットル(1 m×1 m×0.4 m)、または約 700 リットル(1 m×1.8 m×0.4 m)とした。燃料には、揮発性の高い溶媒であるヘキサンを用いた。ヘキサンの蒸気と空気からなる可燃性予混合気に着火すると、装置内を火炎が伝ばし、内圧の上昇により、装置の一部が壊れ

る様子を撮影し、解析した。

- (2) 化学工場等で発生した小規模爆発事故の事例を集め、分析した。

【平成 30 年度成果】

- (1) 爆発を伴った燃焼の実験を行った。実験装置の大きさは、容積約 400 リットル(1 m×1 m×0.4 m)とした。燃料には、揮発性の高い溶媒であるヘキサンを用いた。ヘキサンの蒸気と空気からなる可燃性予混合気に着火すると、装置内を火炎が伝ばし、装置内に設置した可燃物が熱により収縮、溶融、焼損する様子を撮影し、解析した。
- (2) 化学工場等で発生した小規模爆発事故の事例を集め、分析した。

【令和元年度成果】

- (1) 爆発を伴った燃焼の実験を行った。実験装置の大きさは、容積約 400 リットル(1 m×1 m×0.4 m)とした。燃料には、揮発性の高い溶媒であるヘキサンを用いた。ヘキサンの蒸気と空気からなる可燃性予混合気に着火すると、実験装置内

を火炎が伝ばし、実験装置内に設置した可燃物が熱により収縮、溶融、焼損する様子を撮影し、解析した。図 19 に実験装置内に設置した薄い紙が有炎燃焼を開始する様子を示す。薄い紙は伝ば火炎(裸火)により着火されるのではなかった。高温に気体に加熱されて、火炎が通過した後に、

自然発火した。撮影にはハイスピードビデオ等を使用した。火炎が伝ばする際の圧力変化を測定した。燃料として、スプレー缶を使用した実験も行った。

(2) 化学工場等で発生した小規模爆発事故の事例を集め、分析した。

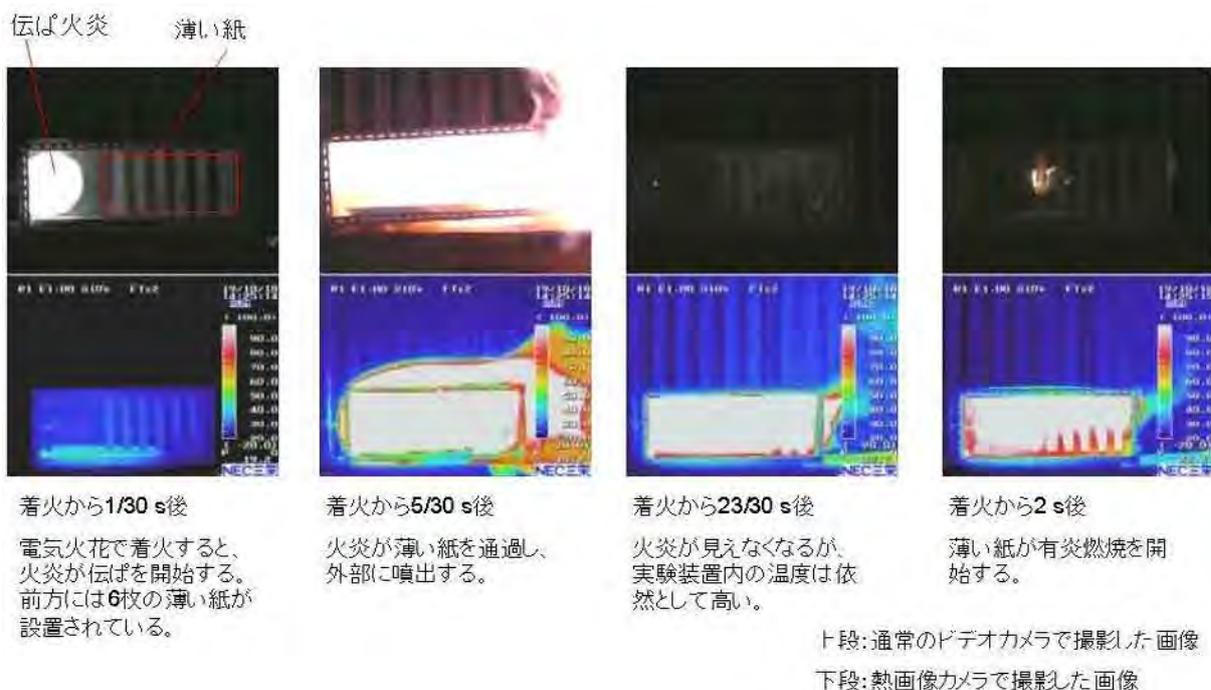


図 19 実験装置内に設置した薄い紙が有炎燃焼を開始する様子

4. 令和2年度の研究計画

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

- (1) 布状絶縁物からの放電の放電電流を測定する。
絶縁性の高い布地から接地導体への放電が発生したときの放電エネルギーを計測するため、種々の作業着に使われている布地からの放電電流を計測する。その布地の電気的特性を測定し、放電エネルギーとの関連を調べる。
- (2) 静電気放電による着火が考えられる火災事案を収集し、調査する。
静電気放電による火災事例を収集するとともに、帯電の機構等の調査を実施する。
- (3) 火災原因調査に有効なマニュアルを作成する。
静電気火災が疑われる場合の火災原因調査で役

立つ、測定項目や測定方法、原因判定に関する情報を盛り込んだマニュアルを作成する。

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

- (1) 前年度までに得られた現場採取、保存方法、前処理について得られた成果についてまとめ、マニュアルの作成を行う。
- (2) 熱分解 GC を用いた焼損物の材質同定に関して、熱分解 GC と FT-IR で得られるデータとの比較を行う。

③ 煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定

- (1) 煤の壁面付着に関して、様々な区画の計算空間を用いた火災シミュレーションを実施する。
- (2) 火災シミュレーションの結果から、煙流動と

煤の壁面付着パターン関係を調べ、整理する。

- (3) 火災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判断できるように、マニュアルを作成する。

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

- (1) 規模を大きくし、爆発を伴った燃焼の実験を行う。実験装置の大きさは、最大で、容積約1000リットル(1 m×1 m×1 m)とする。爆発の様子を詳細に観察し、爆発が起こると、実験装置内外のものがどのように壊れ、焼損するかを詳

細に観察する。観察には、ハイスピードビデオ等を使用する。燃料には、揮発性の高い溶媒等を用いる。

- (2) 消防機関向けのガイドラインを作成する。

5. 共同研究等外部との協力

- ・秋田県立大学
- ・横浜市消防局
- ・富山県
- ・さいたま市消防局
- ・静岡市消防局

(10) 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

研究期間：平成28年4月～令和3年3月

火災災害調査部	原因調査室	塚目孝裕, 阿部伸之
技術研究部	上席研究官	河関大祐 ^{*1)}
技術研究部	大規模火災研究室	田村裕之, 藤井皓介
技術研究部	地震等災害研究室	大津暢人 ^{*2)}

^{*1)}平成28年4月～平成29年3月

^{*2)}平成30年4月～

1. 目的

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。これらを踏まえ、消火設備等が義務付けられ安全対策が図られている。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し、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が一層重要となる。

これまで、自力避難困難者を要避難者のタイプ別として「自力のみで行動ができてにくい人」と分類され、「重病人、老衰者、乳幼児、精薄者、身体障害者など」が例示されているものがある。また、病院まで含めた特養ホーム等の避難を対象とした報告は、日本建築学会の報告書がある。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が、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、要介護度には運動能力に対する介護要件に、認知に関する介護要件が内在される。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が難しい。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、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。

これらを踏まえ、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を目標とする。

2. 5か年の研究計画

特養ホーム等での避難計画、避難訓練等に関する基本的情報の収集・調査、及び入居者の避難能力についての基礎的データの収集を実施する。

(1) 現場医療の視点から、入所者一人一人の運動能力や認知能力、短距離での避難時間の基礎データを取得、及びそれらを加味した避難能力の評価

自力避難困難者の各障害、機能低下、移動能力の種類ごとについて、避難準備から含めた実際の避難行動に要する時間を、各施設の避難訓練時に調査・計時し、入所者の詳細な避難能力の基礎データを取得。この作業は、対象をなるべく多くす

るために、各年にわたり継続して行う。それに併せ、各特養ホーム等での避難計画はどのようなものが作成されているかを調査し、特養ホーム等における避難の基本的情報を収集する (表 1)。

(2) 既存で使用している避難補助器具の性能や使い勝手の調査

各施設独自で使用している避難補助器具について、実際の避難での使用計画、使用実例等を調査し、避難時における効果等を検討する (表 1)。

各年度の計画概要を表 1 に、(1)の調査による自力避難困難者の分類の概要を図 1 に、最終的な目的に至る研究の実施方法を図 2 に示す。

表 1 各年度の計画概要

	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
(1) 入居者各個人の運動能力等、基礎的データの取得	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">取得データの集計解析。評価に耐える対象数の蓄積 各年のデータを取得年毎に下記項目にフィードバック</div>				各年度の結果を総合して、施設における避難計画等の提案
(2) 避難補助器具の性能や使用実例などの調査 改善・開発	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">使用実例などの調査 使用に関しての課題抽出</div>		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">調査結果を基に改善・開発 試作品の試行利用</div>		
(3) 施設で生じた火災を想定し、初期消火を加味した煙拡散の予測	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">調査施設での条件検討、想定による 計算の実施</div>				
(4) 介護者間、介護者・要介護者間の意思疎通手段の調査	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">問題点の抽出、既存技術の適用検討</div>				

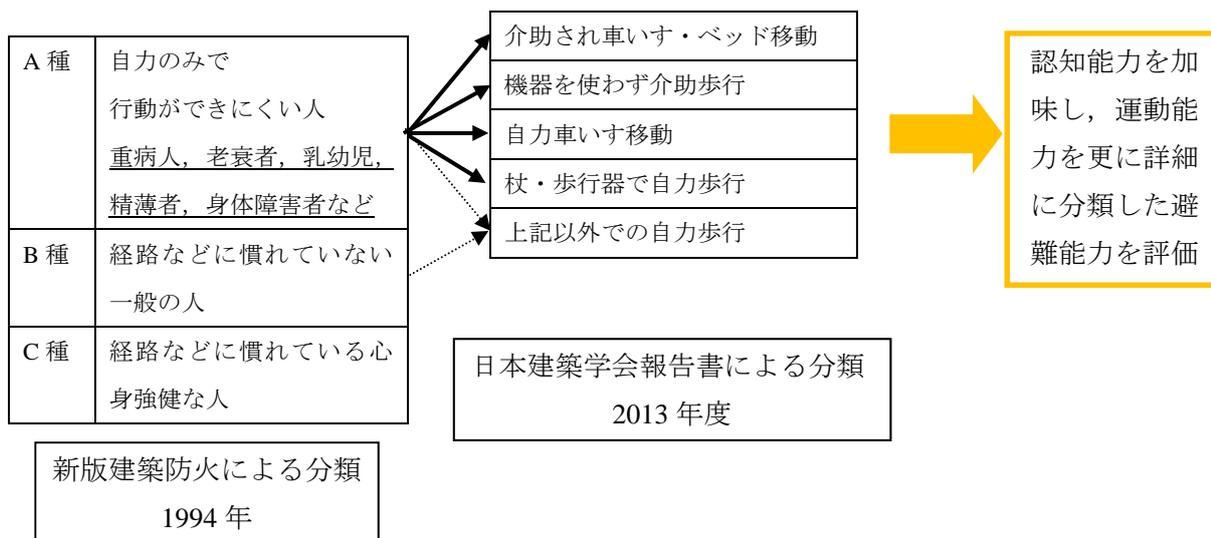


図1 自力避難困難者の分類

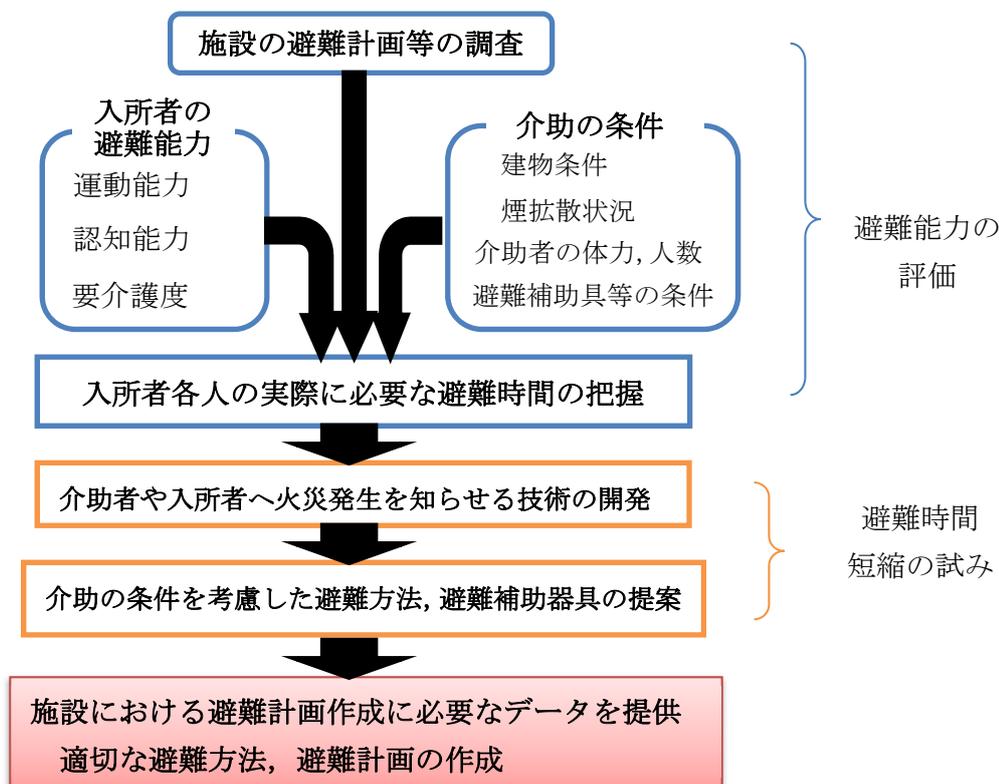


図2 研究実施方法と目標

2.1 令和元年度までの成果

(1) 令和元年度までは、特養ホーム等の避難訓練を調査し、基礎データを収集した。調査した特養ホーム等に入居者に関するアンケートを依頼

し、入居者の運動能力や認知能力の状態を、個人が特定できない形で収集した。これらの情報から、入居者の避難能力の分布や避難にかかる時間を集計する作業を行った。

調査結果を取りまとめた一部を表 2、同 3 に示す。

避難能力の評価には運動能力と認知能力の双方を考慮する必要ある。特に、運動の力の欠如には身体介助、認知能力の低下には見守り介助が必要であり、異なる性質の解除方法双方を考慮する必要がある。

車いすの種類によっては避難に支障が出る可能性がある。専用車いすは、大型のものもあり、防火区画付近の避難を妨げている例も見られた。これらを平成 28 年度火災学会において発表した。

(2) 調査を行った施設などで使用している避難補助器具を調査した。多用されているものは、

表 2 調査項目および集計結果

施設種別	GH		特養			
	男	女	男	女		
基本属性	人数(人)(特養は任意抽出)		5	28	2	8
	平均年齢(歳)		87.8		88.8	
	平均要介護度		3.0		4.2	
	平均介助人数(人)		1.0		1.2	
	人数(人)	率(%)	人数(人)	率(%)		
身体機能	体重60kg以上		6	18.2	0	0.0
	座位 背もたれ無し椅子可		18	54.5	1	10.0
	座位 背もたれあり椅子必要		13	39.4	9	90.0
	おんぶ可能		23	69.7	0	0.0
運動機能	階段昇降		12	36.4	0	0.0
	歩行(居室から同フロア避難口へ)		15	45.5	2	20.0
	車いす移動(標準)		14	42.4	6	60.0
	車いす移動(専用・特殊)		2	6.1	2	20.0
歩行支援機器	杖		5	15.2	0	0.0
	歩行器		1	3.0	0	0.0
	装具		0	0.0	0	0.0
	義足		0	0.0	0	0.0
認知機能	軽度		7	21.2	1	10.0
	中等度		16	48.5	3	30.0
	重度		10	30.3	6	60.0
	出口・避難口を認識可		6	18.2	0	0.0
	従命、指示に従うことができる		18	54.5	0	0.0
	眠剤など常用		5	15.2	0	0.0
介助必要性	準備・移乗・移動 見守り介助		14	42.4	0	0.0
	準備・移乗・移動 身体介助		17	51.5	10	100.0
	避難に介助必要		31	93.9	10	100.0
その他			13	39.4	4	40.0

移動に用いる車いすであったが、小規模の施設では、被介護者をそのまま、更に布団にのせたまま引きずり移動する手段を取っているところが見られ、補助器具を用いることで避難時間が短縮できる可能性が示唆された。実際に施設で行っている布団引きずりの方法で、引きずり力がどの程度であるかを測定し(写真 1)、その結果を平成 29 年度火災学会において発表した。写真のような引きずり方法を用いた場合、スライディングシートを接地面に敷いた場合は最大約 110 N、敷かない場合は最大約 180 N であった。

更に、引きずりの際の摩擦力を低下させることを目的として、布地に薄いプラスチックを張り付け(写真 2)、床面との摩擦を少なくした避難補助器具を試作し、60 kg ダミーを乗せた状態で引きずり力の測定を実施した(写真 3)。接地面に数種類のプラスチックを用いたものを試作したが、引きずり力はどれも約 250 N であった。上記 2 つの実験では測定方法が異なるため、測定値の単純比較はできないが、今後試作品の測定回数を増やし、器具の使用の有無について適切な比較ができる方法を考察した。

表 3 入所者の日常移動能力と災害時移動能力

	本調査結果				先行報告 ¹⁾		
	GH	特養	GH	特養	GH	特養	
高齢者施設							
平均要介護度	3.0	4.2	3.0	4.2	2.78	3.89	
	人数(人)		率(%)				
日常移動能力	1. 自力歩行	2	0	6.1	0.0	49.1	8.3
	2. 杖・歩行器で自力歩行	0	0	0.0	0.0	16.9	8.5
	3. 自力車いす移動	0	0	0.0	0.0	3.9	10.5
	4. 機器使わず介助歩行	9	2	27.3	20.0	13	14
	追加: 機器(杖・歩行器)を使い介助歩行	6	0	18.2	0.0	--	--
	5. 介助されて車いす・ベッドで移動	16	8	48.5	80.0	17.2	58.9
	計	33	10	100.0	100.0	100.1	100.2
災害時移動能力							
	独歩	2	0	6.1	0.0	49.1	8.3
	搬送	15	2	45.5	20.0	33.8	33
	担送	16	8	48.5	80.0	17.2	58.9
	計	33	10	100.0	100.0	100.1	100.2



写真 1 被介助者を引っ張っている様子



写真 2 試作した引きずり用器具



写真 3 60 kg 人形を乗せた状態

調査した施設の一つでは、布団の上に要介助者を乗せ、引きずることで安全な個所まで移動する方法を採用しているところがあったことから、布団と試作の引きずり用器具でどの程度の力が必要かということ測定した。布団カバーを取り付けた疑似的な布団を作成し(以下、カバー付き PTFE と呼ぶ)、カーペット上の引きずり力を PTFE とカ

バー付き PTFE 間で比較を行った。この実験では、引きずり距離を 4 m に延ばし、布に変位計を取り付け移動距離と力の関係の詳細を測定した。その結果を図 3、図 4 に示す。ここで、左側の縦軸は引きずり力(kN)、右側の縦軸は移動距離(m)、横軸は時間(sec)である。

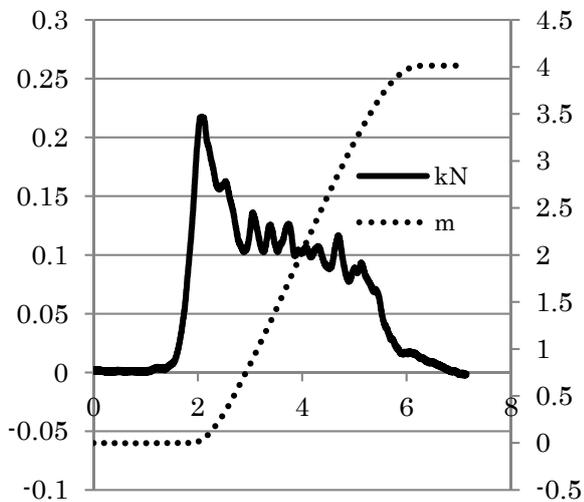


図 3 PTFE の引きずり力

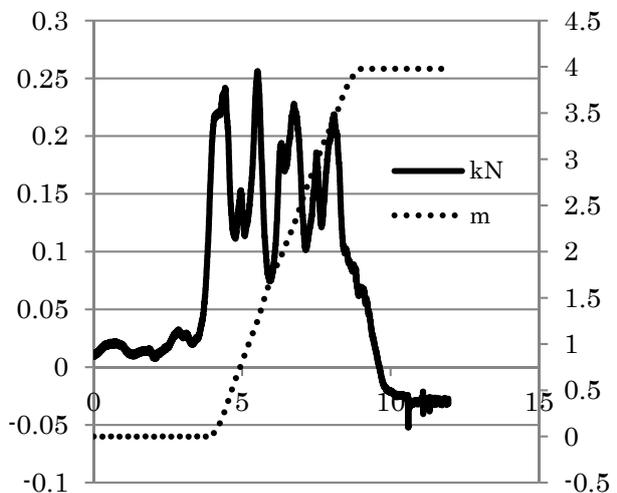


図 4 カバー付き PTFE の引きずり

PTFE は、動き始めに約 0.2 kN の力を要するが、動き出してしまうと 0.1 kN で移動している。これに対しカバー付き PTFE では、動き始めの約 0.2 kN は同じであるが、移動の間も約 0.2 kN の力を必要としている。また、PTFE では変位曲線の傾きがほぼ一定であり、移動速度がほぼ一定であるが、カバー付き PTFE では、引きずり力が 0.1 kN 以下になるあたりで、変位曲線の傾きがなだらかになる。即ち移動速度が落ちている。PTFE を用いた移動補助器具を用いることにより、移動開始後に異動させるために必要な力はカバー付き PTFE の約 1/2 となり、介助者の負担軽減、また移動時間の短縮に寄与していることが明らかになった。この内容は、令和元年度第 23 回消防防災研究講演会において発表した。

(3) 複数の職員が避難介助を行っている施設で、避難済み居室の明示を行っているところは調査 10 施設のうち 2 施設であった。そこで避難済み居室を明示して、複数の職員が機能的に避難介助を行えないかについて検討し、避難済み居室

を明示するランプの仕様を作成した。その内容を平成 29 年度火災学会で発表した。居室入り口にランプを付けることを前提に、ランプの点灯方法について検討した。その結果を表 4 に示す。表中の「ランプ表示方式 3」の方式で、「在不在表示装置」を試作した。親機と子機 9 台で構成し、親機は自動火災報知設備の受信機のそばに、子機は各居室の入り口付近の廊下側に設置する。親機と子機間は無線により通信を行い、要確認の信号や避難済みの信号をやり取りする。各室の避難が完了したら、その部屋の子機のボタンを押し、子機と親機のランプ表示を完了の緑点灯にする。試作機は持ち込んですぐに訓練で試用できるようにするため、自動火災報知設備との連動までは行わず、自動火災報知設備の受信機で火災発報を確認した人が、そばに置かれた親機の発報ボタンを押し、異常発生の信号を各室の子機に送信するようにした。次年度に、福祉施設の避難訓練時に試用してもらう予定である。

表 4 調査項目および集計結果

	平常時	火災時			問題点等
		自火報発報	避難未確認	避難確認済	
ランプ表示方式1	- off	- off	- off	◎ on	避難未確認の居室へ行くのに不利
ランプ表示方式2	● on	● on	● on	◎ on	平常時に安らぎ感を損なう
ランプ表示方式3	- off	● on	● on	◎ on	自火報との連動機構が必要

凡例
 -off : 消灯
 ● on : 点灯 (発光色 ; 例えば赤)
 ◎ on : 点灯 (発光色 ; 例えば緑)

(4) 計算対象として選定した施設の建物モデルを構築し、スプリンクラー設備の効果を考慮した建物内の火災シミュレーションを実施した。

対象とした施設は、鉄筋コンクリート 4 階建ての介護老人保健施設である。

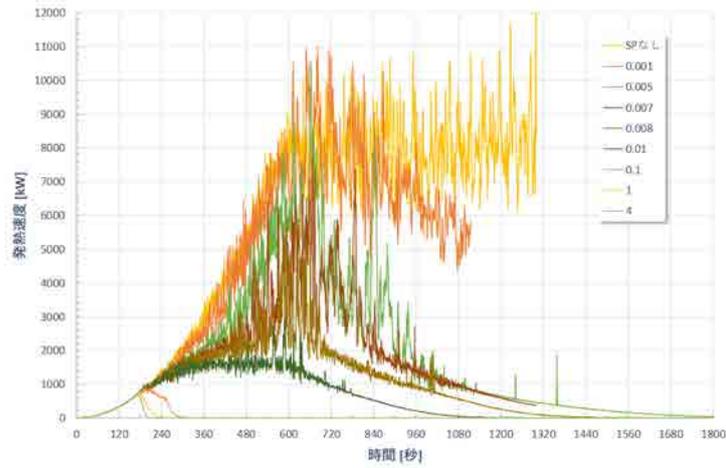


図5 係数E と発熱速度の経時変化

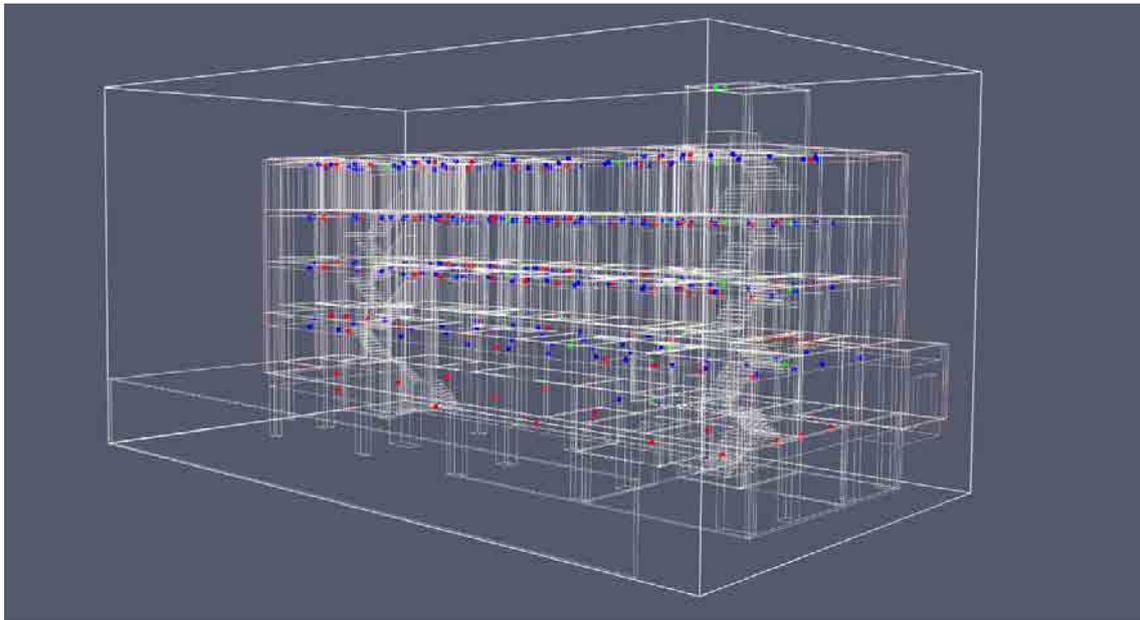
この施設においてスプリンクラー設備の効果を考慮した、経過時間と発熱速度のグラフを図5に示す。

シミュレーションにおいてもスプリンクラーの設置効果が現れているが、モデルとする施設の構造、火点等の条件を考慮する必要がある。

更に、計算対象として選定した別の施設の建物モデルを構築し、スプリンクラー設備の効果を考慮した建物内の火災シミュレーションを実施した。対象とした施設は、鉄筋コンクリート造・地下1階地上4階建てのグループホームである(図6)。



(a) 外観



(b) スプリンクラーヘッド(青色●)・煙感知器(緑色●)・熱感知器(赤色●)の各階設置状況



(c) 建物2階に設置した火源および設備の設置状況(●印の色種別は(b)と同様)

図6 火災シミュレーションで使用する建物モデル

モデルとした施設においてスプリンクラー設備および感知器の効果を考慮した。経過時間と発熱速度のグラフを図7に、スプリンクラー設備作動

の様子を図8に示す。着火120秒後に散水開始するものの発熱速度が低減しない。

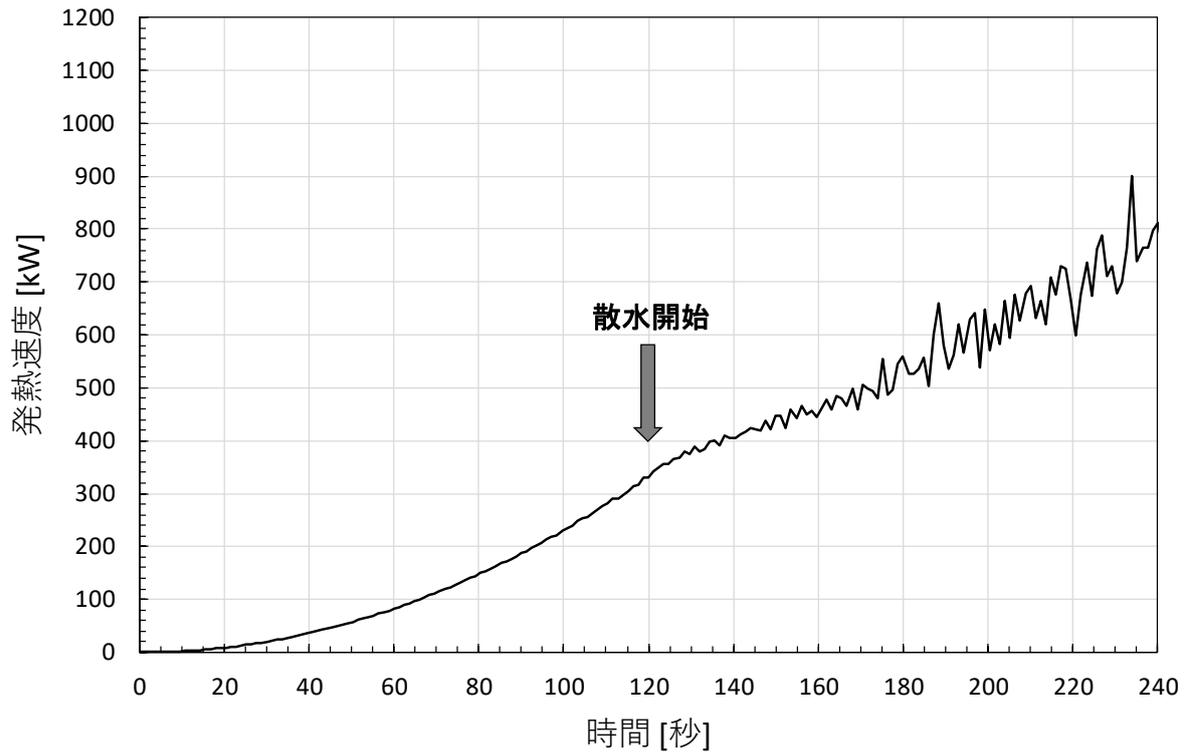


図7 発熱速度の経時変化（スプリンクラー作動時の発熱速度）

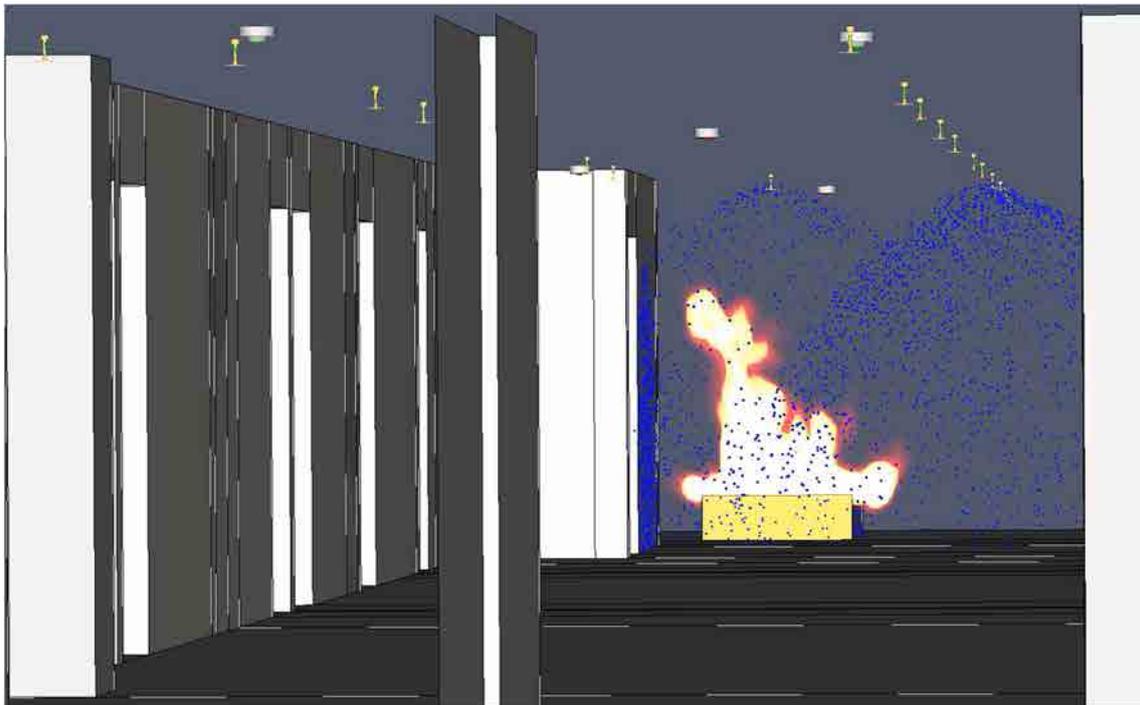


図8 スプリンクラー設備作動の様子

スプリンクラー設備が作動することにより火源を消火せずに抑制状態を維持するための計算条件を調整する必要がある。

3. 令和2年度の研究計画

- (1) 引き続き、入居者の運動能力・認知能力の情報を収集し、評価に耐えうる調査数を蓄積すると共に、避難能力・避難時間のデータとの関連

- を検討する。
- (2) ベッドから降ろす作業など、介助作業の時間をより実態に即したものにするため、通常行っている介助作業の様子を調査し、それぞれの動作時間を計測する。
- (3) 試作した避難補助器具を用いて、多様な場面での引きずり力の測定実験を継続して行い、改善点や実用化の検討を行う。
- (4) 試作した「在不在表示装置」を実際の施設職員に試用してもらい、問題点等の収集を行い改良につなげる。
- (5) 施設の避難訓練の際に、火災で発生する煙の動きをイメージしてもらうための教材としてシミュレーション結果を活用可能にするための結果の可視化を行う。
- (6) 各年度の結果を総合して、施設における避難計画等を提示する。

4. 共同研究等

- ・札幌市消防局
- ・北海道科学大学

(11) ライニングが施工された鋼製一重殻地下タンクの定量的評価に基づく健全性診断方法の研究開発

研究期間：平成 31 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 施設等災害研究室 徳武皓也、畑山 健

1. 目的

土壌に直接埋設された、石油類等危険物を貯蔵する鋼製一重殻地下タンクは、長期間使用された場合における腐食進行のリスクが高い上、腐食が進行していったん開口が生じると、流出事故の早期発見が比較的困難であるため、大量流出、海・河川の汚染等重大な事故になりやすい。こうしたことから、H17(2005)年以降、鋼製一重殻地下タンクは土壌への直接埋設が禁止され、新設の場合はコンクリート造等のタンク室に設置するなどとされた。また、未だに多く存在する既設の鋼製一重殻地下タンクは、その仕様に応じて様々な流出防止対策を講ずることが、平成 22(2010)年の政令の一部改正により義務化され、危険物流出事故の未然・拡大防止が図られている。これらの流出防止対策の中では、タンク内面の鋼板を外部環境から遮断するための内面ライニングが施工される事例が最も多い。一般的にライニングのような有機材料が施工される鋼板の寿命は、未塗装のものとは比べ著しく長くなるものの、その環境遮断性は経年劣化により年々低下する。従って、定期的に地下タンクを開放し、ライニング及び鋼板の健全性(このまま使用し続けてよいかどうか、あとどの程度の期間継続使用可能なのか等)を正確に評価することが重要である。

内面にライニングが施工された地下タンクについては、平成 22(2010)年 7 月 8 日消防危 144 号通知等において、10 年以内の開放点検が望ましいことが示されているが、その際のライニング自体の劣化判断基準は、歪み、ふくれ、亀裂、損傷、孔等がないこと、という定性的なものに留まっている。また、今後も進行するであろうライニングの経年劣

化や鋼板の腐食進展を考慮に入れた健全性診断手法は確立されておらず、危険物保安行政上の大きな問題となっている。以上のことから、ライニング鋼板の経年劣化に伴う劣化・腐食挙動に基づく、より高度な診断基準の考案や健全性診断手法の確立が必要不可欠である。

地下タンク等の大型構造物の健全性を正確に診断するためには、開放点検時に現場において各種非破壊検査を行うことが欠かせないが、その非破壊検査手法としては、電気化学インピーダンス法や超音波板厚計測が、現実的かつ有効と考えられる。

電気化学インピーダンス法(EIS法: Electrochemical impedance spectroscopy)は、測定対象にある周期(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、電気の流れにくさに相当するインピーダンスを評価するものである。先行研究¹⁾において、石油タンク底板に施工される高耐久性ガラスフレイクコーティングの経年劣化評価に、電気化学インピーダンス法が有効であることが明らかとなっている。このことから、本手法を同じ有機材料であるライニングに適用することにより、その劣化をインピーダンス特性の変化として捉えることができると考えられる。しかし、測定により得た定量的指標(インピーダンス)とコーティングやライニング等の膜の経年劣化に伴う物理化学的变化との結びつきは十分明らかにされていない。すなわち、インピーダンス特性を得ることで、膜が初期状態から変化したこと自体は分かるが、どの程度の劣化状態にあるかが正確に分からない、という課題がある。

超音波板厚計測は、測定する鋼板表面より入力し

た超音波が、鋼板の底面で反射して戻ってくるまでの反射時間から鋼板の板厚を計測する手法であり、現在の開放点検時に用いられる一般的なものである。ただし、ライニングは樹脂層やガラスマット等の多層構造により、各界面での超音波反射が無視できなくなるため、ライニング等が施工されていない鋼板を計測する場合と比べると反射波が複雑となり、反射時間の読み取りが困難となる。その上、ライニング鋼板の経年劣化が進行すれば、鋼板の板厚減少や各界面での剥離などにより、S/N比が悪くなるため、精度よく板厚を計測することがますます難しくなる。従って、より精緻な板厚計測のためには、経年劣化に伴う超音波波形の変化挙動をよく理解することが必要である。一方、各界面からの超音波反射を積極的に活用すれば、経年劣化に伴う樹脂／ガラスマット界面や樹脂／鋼板界面の物理的な剥離などを、超音波により判別できる可能性がある。これについては、船舶に用いられる強化繊維プラスチック (FRP) 単板の劣化診断に適用した既往研究²⁾や、火力原子力発電所設備の海水系配管の外側から内面ライニング材の剥離を検出しようとする試み³⁾などがあるが、地下タンクに施工されるライニングについては、このような研究事例はない。それゆえ、超音波の反射波を地下タンクライニング鋼板の劣化診断に積極的に活用する研究に取り組む価値がある。

電気化学インピーダンス測定や超音波板厚計測は、地上タンク底板内面の健全性を診断するための

非破壊検査としても用いられており、ライニング鋼板に対する研究課題と同様の課題が、有機コーティングが施工された地上タンク底板の非破壊検査でも生じている。このことから、地下タンクのライニング鋼板に加え、コーティング施工の地上タンク底板も研究対象とし、ライニング、コーティングなどが施工・塗布された鋼板について一体的に研究を進めることで、効率的に地下タンク、地上タンク双方の課題の解決を図ることができる。

2. 研究内容

本研究開発では、内面にライニングが施工された鋼製一重殻地下タンクやコーティングが施工された地上タンク底板について、一定期間使用後の健全性の診断基準と評価手法の確立を目指し、ライニング、コーティング及び鋼板の劣化・腐食についての測定(各種非破壊計測手法を用いた定量的評価)と観察(表面・断面観察、物理化学分析、破壊試験など)を行うことにより、劣化・腐食メカニズムを理解し、測定データと劣化・腐食状態との関係を明らかにする。本研究の成果は、地下タンクや地上タンクの健全性を定量的に評価するための基礎資料として役立つものである。さらに、将来的に健全性診断手法が確立されれば、タンクでの危険物流出事故の未然防止・事故による損害の軽減が図られるほか、長期使用可能なタンクを精緻に判別できるようになることから、合理的に必要十分な安全性を担保できるようになることが期待される。

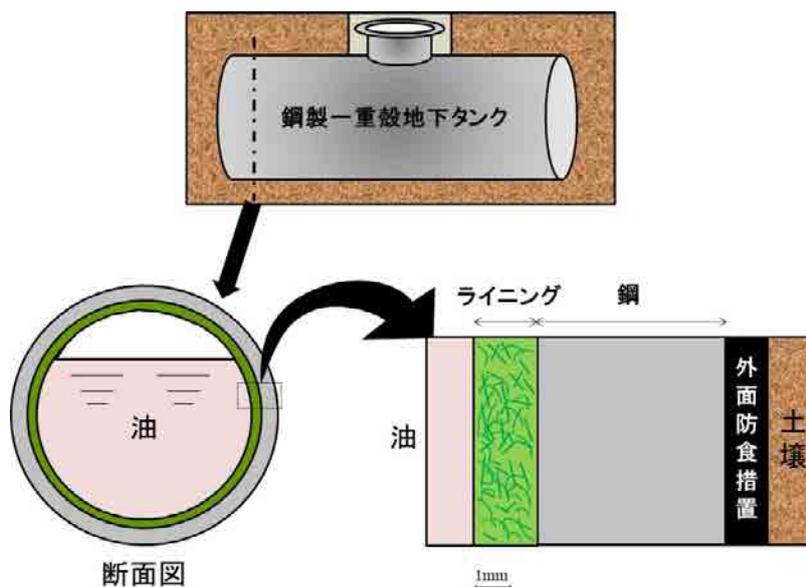


図 1 鋼製一重殻地下タンクへの内面ライニングの施工概念図

表 年度計画

研究項目	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度以降
(1)ライニング・コーティング 鋼板の劣化・腐食の測定と観察	・試験片作製	・劣化促進試験実施 ・電気化学インピーダンス測定、超音波測定等による定量的計測	・物理化学分析及び破壊試験等の適用による劣化状態の分析	・現場での面的計測方法に関する実験及び計測器具の試作品開発 ・健全性診断方法のマニュアル・ガイドラインの作成 ・実機タンクでの実証試験及び健全性診断手法のブラッシュアップ
	・計測の予備実験			
(2)板厚計測精度向上のための必要条件の把握	・劣化状態分析方法の検討	・腐食減肉鋼材における超音波波形データの取得・蓄積及び腐食形状の定量的把握	・促進試験適用後及び経年劣化が進行したサンプルにおける超音波波形の取得・蓄積	・取得・蓄積データに基づく板厚を精度よく計測するために必要な条件の把握
	・未使用コーティング・ライニング鋼板における超音波波形の基礎特性の把握			

(3)地下・地上タンクの現状に関する各種調査	現地調査、長期使用試験片入手・評価、聞き取り、各種文献収集などによる、石油タンクの腐食・劣化の実態把握
------------------------	---

3. 令和元年度の研究成果

3-1 ライニング・コーティング鋼板の劣化・腐食の測定と観察

(1) ライニング鋼板試験片を用いた電気的特性の計測方法に関する検討

地下タンク内面に施工される仕様のライニング鋼板試験片を作製した。予備実験として、ライニング鋼板試験片の一部に対して電気化学インピーダンス測定を実施したところ、ノイズ対策を十分に行う必要はあるが、石油タンク底板内面コーティング鋼板試験片同様にインピーダンス特性が取得できた。すなわち、電気特性に基づいて、ライニングの状態のモニタリングが可能であることが分かった。

(2) コーティングのインピーダンス特性とその劣化状態の関係に関する検討

電気化学インピーダンス測定により得たコーティングのインピーダンス特性とその劣化状態との関係を調べるため、石油タンク底板内面に施工されるコーティングを長期的に水と油の混合物に浸漬(供用)したことにより、インピーダンス特性を初期より低下させたものに対して、化学分析を実施した。具体的には、コーティングの表層ほど劣化の進行が強く起こり、素地鋼板に近づくにつれて、劣化が進行しにくい状態になるという仮説のもと、樹脂の化学構造を特定するためによく用いられる分析方法である、フーリエ変換赤外分光分析(FT-IR)とラマン分光分析を用いて、コーティング厚さ方向の分布を調べた。その結果、FT-IR で得た赤外吸収スペクトルにおいて、明確なピークシフト・消失などの厚さ方向の変化は見られなかった一方、ラマン分光分析では、素地からコーティング表層に向かって、取得したラマンシフト

が上昇する傾向が見られた。これは、コーティングの長期劣化は、コーティングの化学的性質というよりも、物理的性質が変化することであることを示唆している。さらに、厚さ方向の電気物性分布を考慮してインピーダンス特性を解析することにより、コーティングの防食性能を表すものと考えられるコーティング抵抗を、精度よく推定できることがわかった。今後、類似の環境で使用されるライニングについても、このような知見を見出せるかどうかの検討を行う。

3-2 板厚計測精度向上のための必要条件の把握

(1) 新規製作試験片における超音波反射特性の取得

新規製作したライニング及びコーティング鋼板に対して超音波板厚計測を行い、経年変化が進行したライニング・コーティングサンプルの評価実施時の基礎となる、超音波波形を取得した。

(2) 腐食減肉鋼材の板厚計測によるコーティング上からの板厚計測精度の検証

超音波板厚計測を用いて残存板厚を精度よく計測する方法を探るため、超音波により計測した腐食減肉量と実減肉量との関係を調べた。試験片は実機石油タンクの底板より切り出したものであり、内面側はコーティングが施工されており腐食がほぼ進行していないが、基礎接地面(裏面)では著しい腐食減肉が見られる。本試験片に対して、コーティング施工面から超音波板厚計測でよく用いられる、面方向に送受信センサが分割されている構造を有する二振動子型探触子を用いて、超音波により減肉量を計測したものと、裏面側からデプスゲージにより実測した減肉量を比較した。その結果、二振動子

型探触子では、その接触方向(送受信センサの位置)と腐食形状に応じた反射波が発生し、これが板厚計測上のノイズとなりうるものの、探触子を適宜回転させ、送信パルスが腐食減肉部から有効に受信センサに入力されるように取得した反射波から反射時間を読み取れば、超音波板厚計測による減肉量は、デプスゲージで得た実値と、完全に同一ではないが、よい一致を示すことが分かった。今回試した反射時間の読み取り手順については、コーティング、ライニングが施工された腐食減肉鋼材の残存板厚高精度計測に向けて、今後さらに検討を行う必要がある。

3-3 地上・地下タンクに関する各種調査

長期的な油接液時のライニング状態を詳しく調べるため、廃棄される灯油、軽油、レギュラーガソリン、ハイオクの4基のライニング施工

の鋼製一重殻地下タンク(ライニングは約17年間供用)について現地調査を行い、その側面からライニング付きの鋼板を切り出した。図2に4つのタンクから切り出した試験体のライニングの表面状態を示す。本図から分かるように、灯油、軽油タンクサンプリング板のライニング表面は緑色を、レギュラー、ハイオクサンプリング板については、赤茶色を呈している。同樹脂を用いて新規製作したライニングの表面は緑色に近いため、レギュラーガソリン及びハイオクへの接液では、ライニングの状態が変わったことが示唆される。各試験体の違いや初期状態からの変化を評価するため、各種サンプリング板に対する電気化学インピーダンス測定等の定量的計測や物理化学分析を行い、データを採取した。

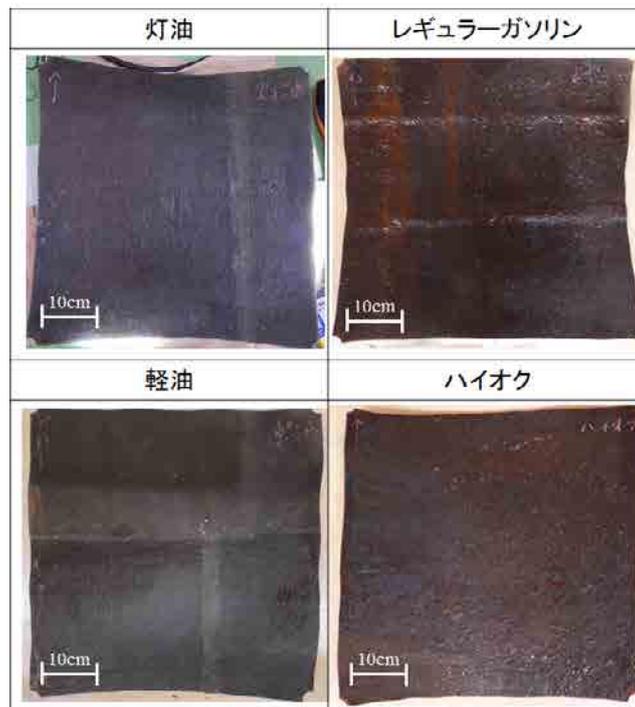


図2. 約17年間、灯油・軽油・レギュラーガソリン・ハイオクに接液され続けたライニングの表面状態。灯油・軽油とレギュラーガソリン・ハイオクでは表面状態が大きく異なる。

4. 令和2年度の研究計画

4-1 ライニング及び鋼板の劣化・腐食の測定と観察

- (1) 劣化促進剤や高温液体への浸漬等、ガラス及び樹脂からなる複合材料の劣化促進に有効な方法を用いて、各種ライニング及びコーティングを塗布した試験片を強制的に劣化させ、表面及び断面状態を観察するとともに、吸水、膨潤、界面剥離等により特性が変わると考えられるインピーダンス、超音波反射波の減衰率などを計測する。
- (2) 硬さ計測や疲労試験機などによる破壊試験を通じて、促進試験前後及び長期供用されたライニング試験片の硬度、曲げ強度保持率などの機械的性質の変化を調べる。

4-2 板厚計測精度向上のための必要条件の把握

長期使用されたライニング及びコーティング鋼板や腐食減肉鋼板に対する超音波板厚計測により、超音波波形及び超音波板厚データの取得・蓄積を行う。また、腐食減肉面の三次元形状測定により、実腐食減肉値を広範囲に取得する。

4-3 地下・地上タンクの現状に関する各種調査

実機タンクの現地調査、関連機関や専門家などへの聞き取り、各種文献収集を通じて、石油タンクが遭遇する劣化・腐食の実態を整理する。可能であれば、長期使用されたサンプルを入手し、その評価を実施する。

5. 令和3年度年度以降の研究計画

5-1 ライニング及び鋼板の腐食・劣化の測定と観察

- (1) 劣化に伴うライニング試験片の機械的性質の変化を前年度に引き続き調べるとともに、ライニング内部の状態をさらに正確に評価するため、厚さ方向の硬さ分布等の物性分布を調べる。
- (2) モニタリング試験により得た数値と各種物性の関係から、現場でのライニング健全性診断に資する定量的指標を考案する。
- (3) 有限要素法を用いたシミュレーションにより、機械的性質や電気化学的特性を数値計算で予測するための方法を検討する。

5-2 板厚計測精度向上のための必要条件の把握

超音波波形と板厚データ及び実腐食減肉値の取得を継続して行うとともに、蓄積された超音波波形と腐食試験片の形状および劣化状態の相関を検証し、経年劣化したライニング及びコーティング鋼板の板厚を精度よく計測するために必要な条件を明らかにする。

5-3 地下・地上タンクの現状に関する各種調査

現地調査、長期使用した試験片の入手・評価、聞き取り、文献収集などを継続しておこなう。

5-4 健全性診断方法の実用化に向けた検討

令和3年度までに得る基礎的な知見の社会実装を目指し、現場での健全性診断を効率的に行うための各種実用的なツールについて検討する。具体的な成果物としては、現場での面的な計測を簡易に実施可能な器具の試作品、計測・解析方法のマニュアル、健全性診断のためのガイドライン等が考えられる。

(12) 人口構造を考慮した住宅火災リスク評価に関する研究

研究期間：平成 30 年 4 月～令和 3 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 鈴木恵子

1. 背景と目的

住宅火災による死者数は 2005 年の 1220 人をピークに減少傾向にあるものの、2017 年の死者数は 889 人に上り、建物火災による死者の 86.3% を占めている。高齢期の住宅火災死亡率が他の年齢層に比べて高いことは既に知られており、高齢化は死者数の増加をもたらす一方、総人口の減少は死者数の減少につながる。つまり、死者数や死亡率は、人口と人口構造の変化の影響を受けることから、これらの推移をみるだけでは、社会全体の住宅火災による死亡リスクがどのように変化しているかを把握することは困難である。

そこで本研究は、コウホート分析法を用いて、住宅火災による死亡率の変動を年齢、時代、コウホート効果に分けることにより、過去の住宅火災による死亡リスクの変動状況を明かにするとともに、死者

数の将来予測手法を検討し、人口構造の変化の影響を受けにくい施策評価手法を提案しようとするものである。

2. 研究計画概要

本研究は、住宅火災による年齢階級別死亡率の長期推移に対してコウホート分析法を適用し、年齢、時代およびコウホートの 3 効果にすることにより、死亡率推移の要因を理解しようとするものである。「年齢効果」は分析対象期間の加齢による普遍的な傾向を、「時代効果」は社会全体の住宅火災による死亡リスクの経年変化を、「コウホート効果」はコウホート（同時出生集団）毎の死亡率の傾向を明らかにする。また、分析結果と将来予測人口から住宅火災による死者数の将来予測を行い、この予測手法を基に施策評価の指標を提案する。

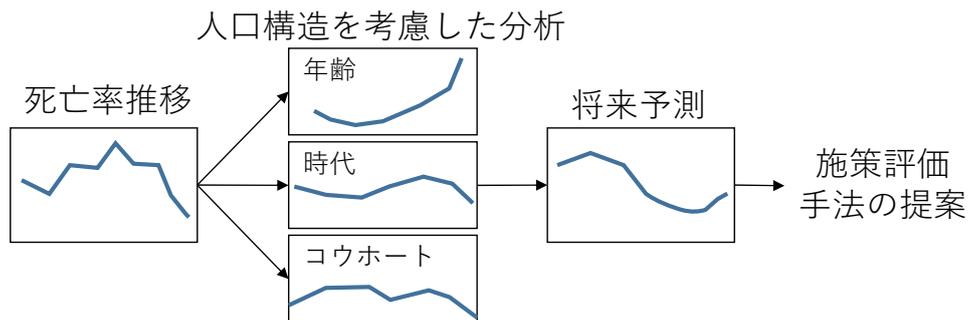


図 1 研究の概要

表 1 3 か年の研究計画概要

	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度
人口構造変化を考慮した住宅火災のリスク評価	人口構造変化を考慮した分析の実施 ・全体の推移と傾向の把握 ・性別、出火原因別の把握	将来推計手法の検討 ・分析結果を用いた住宅火災死者数の将来予測と検証	施策評価指標の提案 ・将来予測を用いた評価手法の検討と検証

3. 令和元年度までの研究成果

3.1 人口構造を考慮した住宅火災死亡率の分析結果

住宅火災による死亡率の推移を、ベイズ型コウホート・モデルを用いて年齢・時代・世代効果に分離した結果を図2に示す。図の縦軸は分析によって得られた各効果の指標であり、相対対数死亡率である。

3効果のうち年齢効果の変動幅が最も大きく示され、次いで世代効果が大きく、時代効果の幅が最も小さい。年齢効果は、15～19歳階級が最も低く、加齢に伴い上昇する。これは住宅火災死亡率の年齢階

級分布と同様の分布である。世代効果は、1910年代後半から1930年代前半生まれの世代で低く、1950年代から1960年代前半生まれで高い。1990年代以降に生まれた世代では、急激に低下している。ただし、若い世代は現在年齢以降のデータが得られていないため、計算の特性上低く出る傾向にある。この傾向は以下の分析結果にも共通する。時代効果は、1981年以降微減の傾向にあるが、2006年を境に低下傾向が強まっており、推移の傾向が転化したように見える。

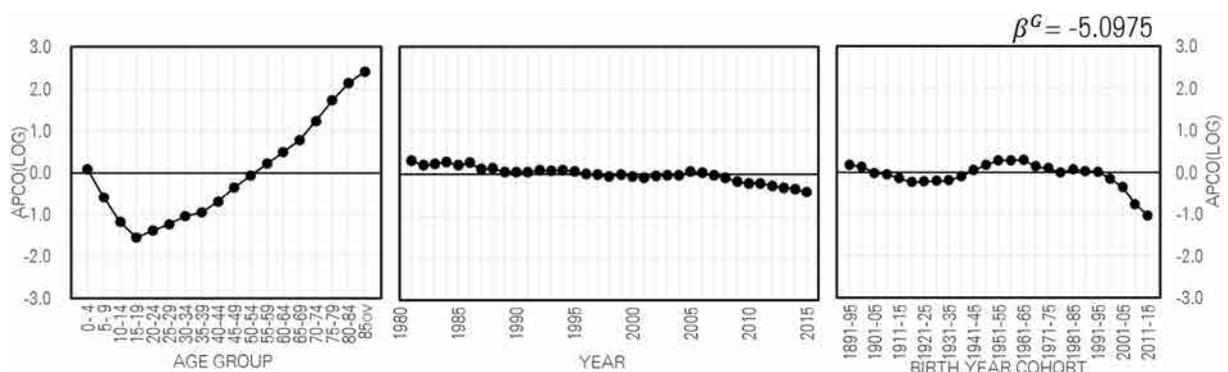


図2 住宅火災死亡率の年齢（左）・時代（中央）・世代（右）効果

3.2 属性別の分析結果

男女別のコウホート分析を行った結果、年齢効果は15～19歳階級が最も低く、加齢に伴い上昇するのは男女共通であるが、男性は青壮年期から上昇するのに対して、女性では上昇時期が遅く、高齢期に急激に上昇していた。世代効果は、女性に比べ男性の方が世代による差異が大きい。1970年代から1990年代生まれの世代は、男性が1950年代生まれに比べて比較的低い効果を示すのに比べ、女性では同程度の効果を示した。時代効果は、男性では1990年頃から2005年頃までほぼ一定であるが、2006年以降は顕著な低下傾向を示す。女性は1980年代から90年代にかけて緩やかな低下傾向を示し、2006年以降は低下傾向が強まるものの、男性に比べ緩やかである。

男女のリスク差は総平均効果 ($\beta^A G$) の差で示さ

れる。総平均効果は、年齢・時代・世代による違いを取り除いた全体平均と理解でき、これを自然対数で逆変換した値は男女それぞれの全体平均としての死亡率を表す。本報の分析対象の全体平均としての死亡率は、男性0.80人/10万人・年、女性0.44人/10万人・年であった。

3.3 出火原因別の分析結果

主な出火原因として、たばこ、ストーブ、コンロ、火遊び、線香・灯明、放火及び放火自損による死亡率についてコウホート分析を行った。

また、出火原因を熱源別に分類し、石油、ガス、電気から出火した火災の死亡率についてコウホート分析を行った。時代効果から算出した死亡率(時代効果死亡率)の推移を比較すると(図3)、石油とガスは分析期間を通して低下傾向を示し、分析期間の最初と最後を比較するとそれぞれ1/4、1/2に低下

したのに対して、電気は4/5程度に低下するにとどまった。その結果、分析期間の最初には石油による

時代効果死亡率が最も高かったのに対し、1990年代後半以降は電気が最も高くなっていった。

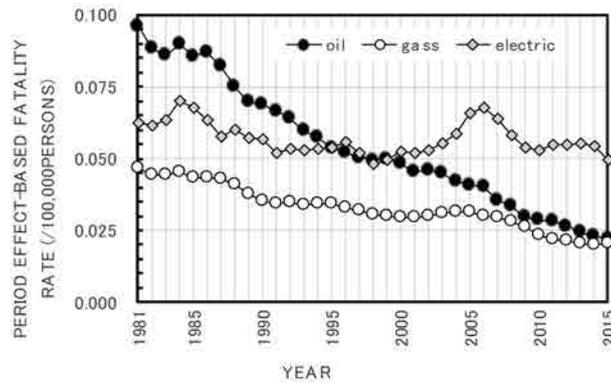


図3 住宅火災の熱源別時代効果死亡率の比較

3.4 将来推計と施策評価指標の検討

将来推計を行うためのプログラムの開発を共同研究先において着手した。また、推計結果の評価と施策評価指標の検討を行うための比較データとして、1981年～2005年、1981年～2018年の2種類の期間の死亡率についてそれぞれコホート分析を行った。

4. 令和2年度の研究計画

住宅火災死者数の推計と検証を行い、住宅火災による死者数の推計手法を提案する。また、これに基づき施策評価手法の検討を行う。

5. 共同研究等外部との協力

- ・ 統計数理研究所

(13) 建物火災時における歩行者の避難安全性に関する研究

研究期間：平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 藤井皓介

1. 目的

建物火災時において在館者の逃げ遅れが生じた場合、これに伴う救助活動が発生する。このような人的被害と消防活動の負担を減らすためには、被害発生前の歩行可能な状況下において避難を完了させ、逃げ遅れを未然に防ぐとともに、逃げ遅れが発生した場合には迅速な救助を行い、要救助者の被害を軽減することが必要となる。一方で、建物火災時には、避難者による混雑や照明の不足など日常から逸脱した状況となる可能性がある。人的被害を防止・軽減するためにはこのような状況における避難安全性の確保が重要となる。避難安全に関わる防災対策も定められているが、建物における多様な状況の全てに対応したものとは言えない。屋外等安全な場所への迅速な避難と救助を効率化するためには、消防機関や施設管理者らによる現場活動もしくは事前の計画に避難者の行動を反映する必要がある。避難行動予測に資するデータの取得を目的とし、ここでは、3 年間を通して避難安全に関する以下の 3 課題について検討を行う。

【避難行動と消防活動による相互影響の把握】

地震後の火災等、非常用エレベーターを使用できない場合、多数の避難者のいる階段を通過して消防活動を行う場合も考えられるが、避難行動と消防活動が双方に与える影響について、現在の避難計画及び消防活動では反映されていない。避難行動の安全性と消防活動効率を担保するために、避難行動と消防活動による相互影響を把握する。

【階段避難時における混雑状況の把握】

2001 年の WTC テロ事件を例として、高層建築物や大規模複合施設などの多数の在館者がいる施設では、避難階段における混雑が発生し、避難時間の長期化、逃げ遅れによる人的被害の発生が懸念される。リスクを考慮した効率的な避難計画方法についての検証が十分とは言えない状況がある。混雑・滞留状況を含む流動メカニズムの把握を行う。

【低視環境下における避難行動の把握】

不特定多数の利用する建築物や一定規模以上の建物については、非常照明の設置が義務付けられているが、非常照明下における照度は通常照明下に比べて極めて小さく、用途・広さによっては非常照明のない場合もある。このような低照度下における避難行動の可否については明らかになっていない。また、避難経路を提示する設備として消防法に基づき誘導灯の設置が義務付けられているが、現行の誘導灯が導入されて以降、煙中や増加する大規模施設の空間に応じた視認性について法規上考慮されていない。照明光の不足や煙などにより避難者の周辺環境が悪化した場合における避難行動および誘導灯の誘導効果を把握する。

2. 令和元年度の研究成果

【避難行動と消防活動による相互影響の把握】

被験者実験により得られた記録映像を用い、階段において避難群集と消防隊が逆方向に移動する場合の両者の行動と基礎となる単独の行動について再度観測した。避難群集と消防隊の移動形態ごとに、階段における避難群集の流動量と消防隊の移動速度を算出するとともに、階毎の数値から移

動形態毎に移動状況を明らかにした。

【階段における避難者の混雑状況の把握】

前年度に引き続き実際の高層建築物における避難訓練を調査し、記録映像の整理を行った。記録映像をもとに、階段を大量の避難者が通ることにより混雑が生じる階段について、避難時間および流動量、流動係数に基づき混雑および滞留状況を把握することで、訓練時における流動状況の推定を行なった。

【低視環境下における避難行動の把握】

被験者実験により得られた測定値および記録映像に基づき、誘導灯および煙濃度、照明が歩行速度に与える影響について、各条件の歩行速度を算出し、その差異を把握した。

3. 令和2年度の研究計画

【避難行動と消防活動による相互影響の把握】

- (1) 実験により得られた行動データの分析を通じて、避難群集と消防隊の移動形態による移動状況の差異を明らかにすることで、両者の相互影響を把握する。

【階段における避難者の混雑状況の把握】

- (1) 前年度に引き続き、避難訓練調査を実施し、避難者の歩行データを取得する。
- (2) 調査により得られた歩行データを分析し、混雑および滞留状況を含む流動メカニズムを把握する。

【低視環境下における避難行動の把握】

- (1) 引き続き、実験条件間の歩行状況の比較を行うことで、照度等環境の違いによる歩行状況の差異を明らかにし、当該環境下における誘導灯の効果を把握する。

(14) 自主防災組織や消防職団員による災害時要援護者の津波避難支援体制に関する研究

研究期間：平成30年4月～令和3年3月

技術研究部 地震等災害研究室 主任研究官 大津 暢人

1. 背景と目的

近い将来に危惧される南海トラフ巨大地震では、死者数最大約 323,000 人(東海地方が大きく被災するケース、うち津波による死者数約 230,000 人)と想定されている¹⁾。高齢化が進行する日本の社会において、避難支援が必要な災害時要援護者(以下、「要援護者」という)の数に比べ、支援者となるべき年代の人口は減少し²⁾支援者の負担が増すことが想定されるため、要援護者のみならず支援者層を含めた全年代における人的被害の低減のためにも、要援護者の避難支援体制の整備は急務である。消防職員や消防団員が訓練指導や避難計画作成の支援を行う自主防災組織(図1)においても、適切な避難行動をとることができる指針等が求められる。



図1 消防庁の役割
 (総務省消防庁「消防行政の現状と展望」
<http://www.fdma.go.jp/neuter/about/pdf/Japanese/2015/all.pdf>
 平成30年5月19日参照)

既往文献としては、歩行による避難に重点が置かれた「津波避難対策推進マニュアル検討会報告書」³⁾や、避難行動要支援者の避難態勢の確保の必要性を記した「消防防災科学技術高度化戦略プラン2018」(総務省消防庁、平成30年3月、p15)等がある。ま

た、「平成29年版 消防白書」においては、自主防災組織を含む地区居住者等の自発的な防災活動の内容を最大限尊重して、当該地区防災計画に係る地区防災計画を定めることが望まれる(p225)と記されている。

学術的背景として、福祉面からは、地域包括支援センターによる地域在住の要援護者への支援充実に関する研究³⁾や、津波からの避難支援を目的とした要援護者の施設への送迎避難交通の動的制御モデルに関する研究⁴⁾がある。

しかし、シミュレーションで得られた結果を用いた住民対象の訓練での検証や、歩行が困難な要援護者の避難手段の検討や自主防災組織による支援体制の構築、消防職団員による自主防災組織の訓練や計画作成の支援に関する研究は、多くない。

そこで、これらを踏まえ、自主防災組織等による要援護者の避難支援体制の構築や、それを予防段階で可能にする消防職団員による計画の作成支援や訓練指導に資する指針の作成を目的として、以下の3点を行う。

- (1) 訓練の立案や避難計画の作成に必要な情報提供として、避難開始時間や避難行動時間を含めた総避難時間の計測
- (2) (1)の成果をもとに、地区防災計画等に反映すべき要援護者の支援体制の検討
- (3) (2)を可能にするため、消防本部や消防団が支援する際の指針の検討

(1)で得られた成果を、(2)で自主防災組織等を含む地域住民に還元し、(3)において市町村や消防本部・消防団が指導することにより、将来の津波災害による人的被害の軽減を目指す(図2)。

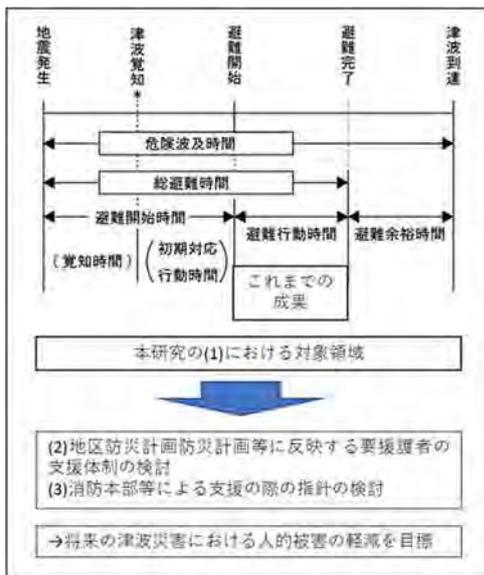


図 2 津波避難に関する時間経過と
本研究のイメージ

2. 3年間の研究計画

実施期間である3年間の研究計画を以下に記す。

- (1) 訓練の立案や避難計画の作成に必要な情報提供として、避難開始時間や避難行動時間を含めた総避難時間の計測

既往研究が多数存在する避難行動時間のみならず、総避難時間に影響を与える避難開始時間にも焦点を当てる。

- (2) (1)の成果をもとに、地区防災計画等に反映すべき要援護者の支援体制の検討

前項において検討した総避難時間や速度を、避難行動につなげるために、要援護者の避難を支援する体制構築や組織整備を地区防災計画に反映する方法について検討する。

- (3) (2)を可能にするため、消防本部や消防団が支援する際の指針の検討

自治体支援型による自主防災組織や住民による地区防災計画の作成には、消防職団員や地方自治体職員による支援が必要である。また、提案型の審査や、計画内容を訓練に取り込み災害当日の有効な避難につなげる際にも、消防職団員や自治体職員が避難に関する基礎知識を共有することは有効である。発災直後の対応段階において避難の失敗を防ぐために、予防段階から共通認識のもと計画と訓練の支援に当たることができるよう、支援のための指針の内容を検討する。3年間の計画の概要を、以下の表1に示す。

表 1 各年度の計画概要

	平成30年度	令和元年度	令和2年度
(1) <u>避難開始時間</u> や <u>避難行動時間</u> を含めた <u>総避難時間の計測</u>	・ <u>避難開始時間</u> に関する <u>計測</u> と調査		
(2) 地区防災計画等に反映すべき要援護者の <u>支援体制の検討</u> (対象：自主防災組織等)	・ 既往研究の調査	・ 要援護者の避難を支援する <u>体制構築</u> や <u>組織整備</u> を、 <u>自主防災組織が地区防災計画に反映する方法</u> の検討	
(3) 消防職団員が支援する際の <u>指針の検討</u> (対象：消防職団員)	・ 既存の文書や指針の調査と課題の抽出 ・ 社会実装に向けた関係機関との調整	・ 地区防災計画作成や訓練支援に資する内容を検討	

3. 令和元年度までの成果

- (1) 和歌山県、兵庫県、高知県において、自主防災組織による要援護者支援体制の予備調査として、津波避難訓練の記録および聞き取りを行った^{1,2)}。

- (2) 避難開始時間の計測を円滑に実施するために、自主防災組織や関係機関との調整を行った。成果の一部を学会にて口頭発表を行った^{3,4)}。

- (3) 実災害における避難時間と自主防災組織・消

防団の活動の関係を明らかにするため、水害からの避難行動を行った岡山県総社市において聞き取り調査を行い結果を発表した⁵⁾。

4. 令和2年度の計画

(1) 避難開始時間に関する計測と調査を継続するとともに、要援護者の避難を支援する体制構築や組織整備を、自主防災組織が地区防災計画に反映

する方法の検討を行う。

(2) 消防本部や消防団が支援する際の指針の検討のため、地区防災計画等の作成に資する内容の検討を行う。

(3) 指針の社会実装に向けて、関係機関との調整を行う。対象地域は、和歌山県、兵庫県、高知県、岡山県等とし、状況により、災害発生地を適宜追加する。

(15) 火災初期におけるドローンを用いた指揮判断支援方策の構築

研究期間：平成 30 年 4 月～令和 2 年 3 月

技術研究部 地震等災害研究室 清水 幸平

1. 目的

火災現場において火災初期の素早い情報収集と確実な実態把握は、消防活動の方針や応援要請等の指揮判断を迅速に行う上で重要であり、現在、先着した消防隊は最初に火点を一巡して全ての方向から火災現場を視認することで火災の全容把握に努めている。しかし、火災現場によっては地上からの情報収集のみで全容を視認できない場合や、長時間を要する場合があるため、上空からの俯瞰情報を取得できる「ドローン」の消防活動における活用が期待されている。

近年では、平成 29 年 2 月埼玉県三芳町倉庫火災で出火建物の状況確認や、平成 28 年 12 月糸魚川市大規模火災で鎮火後の被害状況確認等で使用されているが、火災初期におけるドローンの使用実績は乏しく、活用には以下の課題が存在すると考えられる。

- (1) ドローンで情報収集する際の重要事項（指揮判断に必要な情報）について整理されておらず、ただ上空から状況を確認するのみの使用に留まっている。
- (2) 火災初期は消防力が劣勢であり、ドローンを飛行させる時間や人員に余裕がないため、最少人員・短時間で情報収集を行う効率的な飛行方法についての検討が必要である。
- (3) 迅速で確実な指揮判断を行うためには、ドローンで収集した膨大な空撮情報の中から指揮判断に必要な情報を抽出する等、利活用方法の構築が必要である。
そこで、本研究では、上記の課題を解決し、火災初期におけるドローンを用いた指揮判断支援方策の構築を目指す。

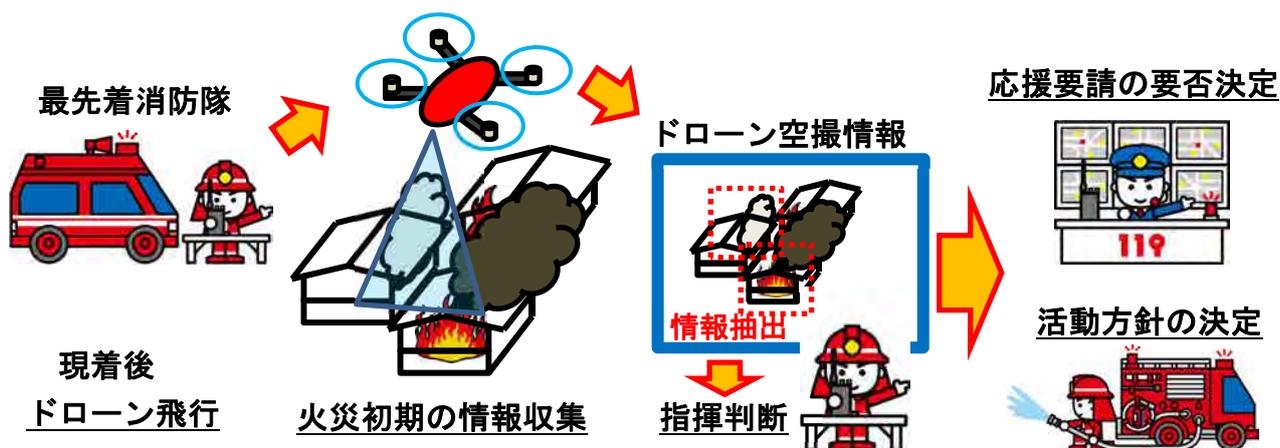


図 1 火災現場におけるドローン活用イメージ

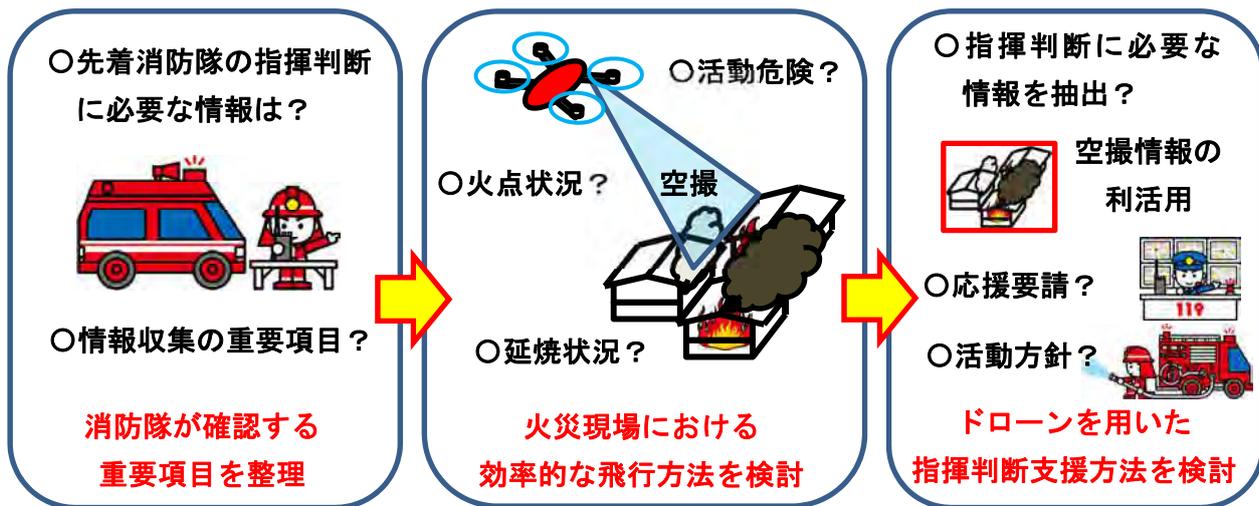


図2 本研究の概要

2. 平成30年度の研究計画及び成果

2.1 火災初期に消防隊が確認する重要事項について整理

先着消防隊としての活動経験を有する消防吏員に火災の実態把握についてヒアリングを実施し、過去の活動において応援要請の要否や活動方針を決定する決め手となった情報について整理する。
⇒ヒアリング調査で収集するデータの内容について整理し、ドローンを運用している（運用予定を含む）8つの消防本部に「火災現場における情報収集の重要項目」及び「ドローンの活用状況」等について聞き取りの調査を行った。

2.2 消防活動を考慮したドローンの飛行方法の検討

(1) 消防活動時における効率的な飛行方法の検討

2.1の調査結果から、消防活動を考慮した効率的なドローンの飛行方法（飛行高度、速度、カメラ向き、自動航行での飛行等）について検討する。
⇒消防本部で多く活用されているドローンを抽出し、諸元性能（機体性能、カメラ性能等）を整理した。また、抽出したドローンを実験機体として用いた飛行実験を実施し、指揮判断に必要な「情報収集の重要項目」を空撮するための飛行方法について調査を行った。

(2) 火災現場上空における安全な飛行方法の検討

火災現場上空をドローンが飛行する際の対策について知見が乏しいため、火災現場を模した条件での飛行実験を実施し、火炎・煙等の影響による墜落要因や必要な離隔距離等について検討する。

⇒火災現場の煙を想定した環境におけるドローンの飛行実験を屋内空間で実施した。飛行実験の状況を図3（飛行中のドローンを図中○印で示す）、ドローン映像伝送画面を図4に示す。

この実験では煙が機体センサ類に与える影響でドローンの飛行が不安定になる等の墜落危険性について知見を得ることができた。



図3 煙の中での飛行実験状況



図4 ドローン映像伝送画面

2.3 ドローン空撮情報の利活用方策（指揮判断支援）の構築

ドローンで迅速、確実（定量的）な指揮判断を行うために、空撮情報（延焼状況や消防車両の部署位置等）と、火災現場周囲の建物・地図情報を重ね合わせる GIS（地理情報システム）等について有効性を確認する。

⇒GIS 等の空撮情報の利活用技術に関する情報を収集し、消防活動における有効性と利活用に必要な時間、精度、取得方法について調査し、火災初期の消防活動現場で活用可能であるか検討した。

3. 令和元年度の研究計画及び成果

3.1 ドローン空撮情報の利活用方策（指揮判断支援）の構築

ドローンを用いた指揮判断支援方策を構築するために、火災初期の消防活動を想定した消防活動訓練において実証実験を実施し、その有効性や課題について確認する。

⇒実証実験（消防活動訓練）で撮影した隊長視点（隊長のヘルメットに取り付けたアクションカメラ映像）とドローン視点（上空からのドローン映像）を比較し、ドローン利活用方策の有効性や課題について検討した。

3.2 消防活動を考慮したドローンの飛行方法の検討

(1) 消防活動時における効率的な飛行方法の検討
消防活動の指揮判断に必要な「情報収集の重要項目」を空撮するための効率的な飛行方法について検討する。

⇒消防活動訓練を空撮した映像を用いて指揮判断に必要な「情報収集の重要項目」について調査を実施し、その情報を空撮するための効率的な飛行方法について検討した。

(2) 火災現場上空における安全な飛行方法の検討
火災現場を模した条件での飛行実験を実施し、火炎・煙等の影響による墜落要因や必要な離隔距離等について検討する。

⇒火災現場の炎・熱を想定した環境におけるドローンの飛行実験を屋内空間で実施し、火炎・熱の影響による墜落要因等について検討した。飛行実験の状況を図5（飛行中のドローンを図中○印で示す）。

この実験では火炎の接炎や熱気流の影響によりプロペラの推力が一時的に低下し、機体の姿勢や高度が急激に変化する等の墜落危険要因の一部について知見を得ることができた。今後も火災現場におけるドローン運用時の安全性向上のために墜落の危険性について調査し、知見を蓄積する必要がある。



図5 火炎近傍における飛行実験状況

(16) マルチロータ型ドローンの飛行制御技術の向上に関する研究

研究期間：平成31年4月～令和3年3月

技術研究部 地震等災害研究室 佐伯一夢

1. 目的

平成28年熊本地震では、ドローンによる行方不明者の捜索が行われ、平成29年7月九州北部豪雨では、緊急消防援助隊の活動にあたりドローンによる道路閉塞状況や流木の流出範囲の確認などが行われた。そのほか、平成28年12月糸魚川市大規模火災においてもドローンによる鎮火後の被害状況確認が行われるなど、災害時にドローンが活用されてきている。また、平成29年6月に消防本部に対して実施したアンケート調査の結果、70カ所の消防本部でドローン(4枚以上のロータによって飛行するマルチロータ型のもの)が導入されていることが確認されており、最近ではさらに多くの本部での導入が進んでいる。このような背景を踏まえ、消防分野におけるドローン技術の需要の増加が今後ますます見込まれることから、災害現場で安全かつ効率的な偵察活動を実現するための自律飛行制御技術の開発が重要である。

本研究では、マルチロータ型ドローンの飛行制御技術の向上を目的として、以下の2つの技術の研究開発を行う。

(1) トンネルや屋内などのGNSS(Global Navigation Satellite System)情報の取得が困難な状況での偵察運用を想定した機体の自律飛行制御技術の開発

消防本部での導入や活用が期待されているマルチロータ型ドローンにはGNSSや慣性航法装置などの情報を利用した自律飛行機能が実装されているがGNSSが利用できない場合には操縦者による運用が必要である。本研究では、機体に搭載したカメラと慣性航法装置の情報のみをもとに自律飛行できる飛行制御技術の開発を行う。

(2) 火災現場上空の任意の位置で機体が受ける風向風速を計測するための位置と姿勢の制御技術の開発

消防用マルチロータ型ドローンの新たな情報収集のアプリケーションとして、上空の風の情報を計測する技術の開発を進める。この開発の結果、延焼火災時の上空の風の情報の取得や、気流の影響に耐え、安全に飛行するための機体の制御技術の開発に役立てていく。

2. 令和元年度の研究計画

(1) 非GNSS環境下での機体の自律飛行制御技術の開発と実装

機体に固定したカメラで、地上の目標線を認識し、その線に沿って自動的に飛行する制御技術を開発する。目標線となるマーカを地面に設置し、実験用機体を用いた飛行制御実験を実施し、開発した技術の基本的な制御性能の評価を行う。

(2) 飛行中の風向風速を計測する技術の開発

超音波風速計を機体に搭載し、飛行中に機体受ける風向風速を計測する方法の開発を行う。

3. 令和元年度の研究成果

4ロータで構成される、市販のマルチロータを製作し、小型コンピュータと風速計およびIMUセンサ、カメラを搭載し、送信機からの切り替え信号により、手動操縦と自律飛行の機能をもつ機体の開発を行った。開発した機体に文献²⁾の制御技術を実装し、藤岡運動公園(栃木県)にて飛行実験を実施し、基本的な飛行性能と画像に基づく自律飛行制御技術の性能検証を行った。

また、飛行実験では、搭載した小型風速計で飛行

中の機体の対気速度を計測し、飛行中の機体の位置と姿勢の情報から、飛行位置の風向と風速を算出するデータ解析も実施した。

4. 令和2年度の研究計画

(1) 前年度に開発した制御技術を消防用マルチロ

ータ型ドローンに実装し、屋内外での飛行制御実験を行い、様々な条件下（平均風速 10m/s、構造物上空）での制御性能の評価を行う。

(2) 野焼き上空を飛行させ、飛行時の風向風速を計測する。

Ⅱ 研究発表等

1 所外研究発表状況

(1) 口頭発表

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
1	石油タンク底板内面コーティング用有機コーティングに対する各種劣化促進方法の効果に関する基礎的検討	徳武皓也、岡崎慎司、 佐々木翔平	材料と環境 2019	2019.5.21 ～5.23
2	FDSによる煤の壁面付着の再現（火災調査における火災シミュレーションの適用可能性）	阿部伸之	2019 年度日本 火災学会研究 発表会	2019.5.25 ～5.26
3	火源風下に発生する火災旋風に関する実験研究 風速が速度場と渦の強さに与える影響	篠原雅彦		
4	火災現場における無人航空機を用いた情報収集方策の検討	清水幸平		
5	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発生時の延焼被害推定ツールの試作	高梨健一、細川直史		
6	津波浸水想定区域における災害時要援護者の搬送避難実験	大津暢人、北後明彦 (神戸大学)		
7	高層事務所ビルの全館避難訓練での避難誘導調査 その 2 順次避難シナリオによる階段内避難流動	朴聖經、水野雅之、土 方佑一郎、鈴木駿太、 関澤 愛(東京理科大 学)、藤井皓介、門倉 博之(東北学院大学)、 佐野友紀(早稲田大 学)、奥山将行(日本 防災研究所)		
8	高層事務所ビルにおける全館避難訓練の実測調査 その 3 避難訓練参加者へのアンケート調査結果	水野雅之、朴聖經、土 方佑一郎 鈴木駿太、 関澤 愛(東京理科大 学)、藤井皓介、佐野 友紀(早稲田大学)		

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発 表 日
9	高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 19 階段室内に警備員を配置した避難誘導と順次避難シナリオの改善	朴聖經、水野雅之、土方佑一郎、鈴木駿太、関澤 愛(東京理科大学)、藤井皓介、門倉博之(東北学院大学)、佐野友紀(早稲田大学)、奥山将行(日本防災研究所)		
10	高層事務所ビルの全館避難訓練時における階段歩行に関する実測調査とその分析 その 20 階段踊り場での避難流動に関する画像解析	鈴木駿太、朴聖經、水野雅之、関澤 愛(東京理科大学)、藤井皓介、門倉博之(東北学院大学)、佐野友紀(早稲田大学)		
11	高齢者施設火災における避難方法の検討；ベッド上介助動作における最大引張力	宮坂智哉、田中美奈、川嶋恵子、鴨志田麻実子(北海道科学大学)、塚目孝裕、田村裕之、大津暢人、阿部伸之、藤井皓介		
12	導電性が劣化したゴムパッキンの帯電による静電気放電	田村裕之		
13	ねじの緩みと接触部過熱に関する基礎的研究(その2)	松崎崇史(東京消防庁)、田村裕之		
14	熱分解 GC を用いた焼損物の材質同定に関する実験的研究	佐藤康博、塚目孝裕		
15	熱量計を用いた化学物質の燃焼危険性評価方法	岩田雄策		
16	離島における火災安全対策の構築に関する研究-(1) 消防力の実態と火災特性の把握-	片田江宏美(早稲田大学)、鈴木恵子、土屋伸一、長谷見雄二(早稲田大学)		
17	離島における火災安全対策の構築に関する研究-(2) 火災リスク軽減のための視点と考察-	鈴木恵子、片田江宏美、土屋伸一、長谷見雄二(早稲田大学)		
18	Characteristics of firebrand penetrated under Japanese style tile roofing assemblies	Suzuki, S., Manzello, S. L. (NIST)		

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発 表 日
19	Use of laboratory scale experiments to investigate firebrand process	Manzello, S.L (NIST), Suzuki, S.		
20	災害の三角形－統合的・継続的な防災教育を理科の授業に実装するための概念装置の提案－	野村 祐子	日本地球惑星 科学連合 2019 年大会	2019.5.26
21	Large-scale shake table test and numerical analysis of seawall seismic countermeasures for coastal reclaimed areas and peripheral facilities	Hiroataka Itoh, Eiji Kohama, Takahiro Sugano, Ryuji Terada, Haruki Nishi, Yohsuke Kawamata, Kazuhiro Tsurugasaki, Junji Miyamoto, Hayato Kokusho	7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering	2019.6.19
22	DESCENDING EVACUATION ON STAIRCASES: HOW ACCURATE ARE MODELS IN REPRESENTING MOVEMENT WITHOUT MERGING?	Tomonori Sano (Waseda Univ.), Enrico Ronchi (Lund Univ.), Yalong Wu (Lund Univ.), Ai Sekizawa (Tokyo Univ. of Science), Masayuki Mizuno (Tokyo Univ. of Science), SeongKyung Park (Tokyo Univ.of Science), Kosuke Fujii (National Research Institute of Fire and Disaster),Hiroyuki Kadokura (Tohoku Gakuin Univ.)	15th International Conference on Fire Science and Engineering Interflam 2019	2019.7.1 ～7.3
23	INFLUENCES OF FIREFIGHTER'S MOVEMENT ON EVACUEE'S CROWD FLOW ON STAIRS	Kosuke Fujii (National Research Institute of Fire and Disaster), Keiichi Kawashima	15th International Conference on Fire Science and	2019.7.1 ～7.3

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発 表 日
		(Tokyo Univ. of Science), Jun-ichi Yamaguchi (Obayashi Corporation), Yoshifumi Ohmiya (Tokyo Univ. of Science)	Engineering Interflam 2019	
24	On the Use of Laboratory Scale Experiments to Better Understand Firebrand Generation from Large Outdoor Fires	Manzello, S.L (NIST), Suzuki, S.	2019 International Fire Science and Engineering (INTERFLAM) Conference	2019.7.1 ～7.3
25	熱分解 GC を用いた焼損したセルロースの解析	佐藤康博、塚目孝裕	マテリアルライフ学会第 30 回研究発表会	2019.7.4 ～7.5
26	石油タンク底板裏面腐食分布の超音波板厚計測による評価-超音波波形の腐食形状依存性に関する検討-	徳武皓也	2019 年度第一回保守検査ミニシンポジウム	2019.07.19
27	阿蘇地域における降雨・地震で発生した崩壊分布の特徴	土志田正二	第 58 回 (2019 年度) (公社) 日本地すべり学会研究発表会	2019.8.20 ～8.23
28	乱雑に積み上がった岩石の振動	新井場公德、土志田正二		2019.8.21 ～8.23
29	離島における火災安全対策の構築に関する研究 - (1) 消防力と火災リスク特性 -	長谷見雄二 (早稲田大学)、鈴木恵子、土屋伸一 (早稲田大学)	2019 年度日本建築学会大会 (北陸) 学術講演会	2019.9.3 ～9.6
30	離島における火災安全対策の構築に関する研究 (2) 火災の発見と消火の状況	鈴木恵子、長谷見雄二、土屋伸一 (早稲田大学)		

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
31	混雑状況における火災階への移動と対策に関する調査報告—高層建築物避難時の消防活動に関する実態把握その2—	藤井皓介		
32	全館避難訓練における階段での避難者の合流性状に関する分析	朴聖經、水野雅之(東京理科大学)、藤井皓介、門倉博之(東北学院大学)、佐野友紀(早稲田大学)、関澤 愛(東京理科大学)		
33	導電性の異なるゴムからの放電エネルギーの比較	田村裕之	第 43 回静電気学会全国大会	2019.9.12 ～9.13
34	(ポスター発表)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に向けた数値実験による予備的検討 (その3)	畑山 健	日本地震学会 2019 年度秋季大会	2019.9.16 ～9.18
35	Good Practices in Local Community Disaster Response-The Case of an Explosion and Floods in Okayama Prefecture, Japan, in 2018	Hyejeong PARK, Ana Maria CRUZ-NARANJO (Kyoto Univ.), Yuko ARAKI (Nagoya Univ.), Nobuhito OHTSU	The 10th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management	2019.10.16 ～10.18
36	Types of formation for supporting vulnerable people during tsunami evacuation	Nobuhito OHTSU, Akihiko HOKUGO, and Abel Táiti Konno PINHEIRO (Kobe Univ.)	The 10th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management	2019.10.16 ～10.18
37	浸水及び工場爆発事故に対する要支援者の対応行動	荒木裕子(名古屋大学)、大津暢人、北後明彦(神戸大学)、佐藤ゆかり(岡山県立大学)、Ana Maria CRUZ(京都大学)	日本災害情報学会第 21 回学会大会	2019.10.19 ～10.20
38	重防食コーティングインピーダンスに対する各種等価回路モデルの適用と劣化評価パラメータの検討	徳武皓也、岡崎慎司、佐々木翔平	第 66 回材料と環境討論会	2019.10.20 ～10.22

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
39	平成 30 年耶馬溪町斜面崩壊の詳細地形解析	土志田正二	令和元年度日本応用地質学会研究発表会	2019.10.24 ～10.25
40	地形情報を用いた北海道胆振東部地震における救助活動の安全管理について	土志田正二、新井場公德、佐伯一夢、清水幸平	日本地形学連合 2019 年秋季大会	2019.11.8 ～11.9
41	Influence of Angle Orientation on Firebrand Production from the Combustion of Materials Exposed to Applied Wind Fields	Manzello, S.L (NIST), Suzuki, S.	第 57 回燃焼シンポジウム	2019.11.20 ～11.22
42	Investigating coupled effect of radiation and firebrands on ignition	Suzuki, S., Manzello, S. L. (NIST)		
43	土砂災害現場の救助活動に関する研究—安全で迅速な救助活動のために	新井場公德、土志田正二	第 67 回消防防災講演会	2019.11.22
44	大規模火災の延焼阻止技術の提案	緒方龍輝、松原美之 (東京理科大学)、阿部伸之	第 52 回安全工学研究発表会	2019.11.28 ～11.29
45	熱量計を用いた自触媒反応の判別に関する研究	岩田雄策		
46	スプレー缶を使用したガス爆発実験について	鈴木 健		
47	Gemorphological features of the time lang landslide	Shoji Doshida, Kiminori Araiba	AGU FALL MEETING 2019 (米国地球物理学連合 2019 年秋季大会)	2019.12.9 ～12.13
48	Simplified Prediction of Short-Distance Difference in Long-Period Strong Ground Motion Amplitudes within Sedimentary Basins — Preliminary Numerical Experiments	Ken Hatayama	American Geophysical Union Fall Meeting 2019	2019.12.9 ～12.13
49	Image-Based Path Following Control of an Unmanned Quadrotor	Hitomu Saiki	1st Edition of the AEROSPACE EUROPE CONFERENCE	2020.2.25 ～2.28

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発 表 日
			-AEC2020 (欧州航空宇宙会議 2020)	
50	離島の沿岸部における木造密集集落の防災計画の構築に関する研究- 奄美市笠利町笠利のケーススタディ -	田添博久、藤本瑞穂、李敏(早稲田大学)、鈴木恵子、長谷見雄二(早稲田大学)	2019 年度日本建築学会関東支部研究発表会	2020.3.2 ~ 3.3 (研究報告集の発行)
51	延焼クラスタを用いた延焼被害予測機能の開発	高梨健一、細川直史	2020 年電子情報通信学会総合大会	2020.3.18 (集会は中止、概要集発行をもって発表とみなすこととなったため、日付は本来の発表予定日。)
52	燃焼を理解するための概念地図の作成	野村祐子	令和元年度日本科学教育学会第6回研究会	2020.3.21 (集会は中止、研究報告発行をもって発表とみなすこととなったため、日付は発行日。)

(2) 論文発表

	題 名	発 表 者 名	掲 載 誌 名 等	巻 号
1	高層事務所ビルにおける全巻避難訓練時の階段室内の滞留の発生要因と伝播条件に関する研究	門倉博之(東北学院大学)、関沢 愛(東京理科大学)、佐野友紀(早	日本火災学会論文集	第 69 巻 第 3 号, pp.7-16

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
		稲田大学)、水野雅之(東京理科大学)、藤井皓介		(2019.12)
2	石油タンク底板内面に施工される重防食コーティングの深さ方向分析に基づいた等価回路モデル適用とその有効性	徳武皓也、岡崎慎司、佐々木翔平	材料と環境	第 69 巻 3 号, pp.66-72 (2020.3)
3	Feedback Process of Evacuation Plan Using Quantitative Data of Drills: A Tsunami Evacuation Support System for Vulnerable People in a Community	Nobuhito Ohtsu, Akihiko Hokugo (Kobe Univ.)	IDRiM Journal	Vol. 9, No. 2, pp.1-20 (2019)
4	Velocity and transportation ability of vulnerable people during a community tsunami evacuation drill:Outdoor evacuation using a rollator, transport chair, wheelchair, and cart in Shinyo Bokomi, Kobe, Japan Translated Paper	Nobuhito Ohtsu, Akihiko Hokugo (Kobe Univ.)	JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	Vol.2, Issue4 (2019.8)
5	Feasibility of evacuating vulnerable people during a tsunami: Comparing assistant velocities with a wheelchair, transport chair, and rollator on three different inclines outdoors Translated Paper	Nobuhito Ohtsu, Akihiko Hokugo, Abel Táiti Konno Pinheiro, Jihyang Lee (Kobe Univ.)	JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW	Vol.3, Issue2 (2020.2)
6	Study of Evacuation Techniques in the Event of a Night Fire at a Dementia Group Home - Method of Transferring Evacuees from Their Beds to the Floor	Tomoya Miyasaka, Mai Matsumoto, Mamiko Kamoshida, Keiko Kawashima (Hokkaido Univ. of Science), Nobuhito Ohtsu, Takahiro Tsukame, Nobuyuki Abe, Hiroyuki Tamura	International Journal of New Technology and Research (IJNTR)	Vol.5, Issue8, pp.29-34 (2019)
7	Understanding structure ignition vulnerabilities using mock-up	Suzuki, S., Manzello, S. L. (NIST)	Fire and Materials	Vol. 43, Issue 6,

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
	sections of attached wood fencing assemblies			pp.675-684 (2019.10)
8	Influence of Base Sheathing Material on Wind-Driven Firebrand Production During Real-Scale Building Component Combustion	Manzello, S.L. (NIST), Suzuki, S., Naruse, T. (NILIM)	G.-Y. Wu et al. (eds.) The proceedings of 11 th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology	689-699 (2020.1)
9	Influence of board spacing on mitigating wood decking assembly ignition	Manzello, S.L (NIST), Suzuki, S.	Fire Safety Journal	Vol. 110, 102913 (2019.12)
10	Role of firebrand combustion in large outdoor fire spread	Manzello, S.L. (NIST), Suzuki, S., Gollner, M.J. (UMD), Fernandez-Pello, A.C. (UC Berkely)	Progress in Energy and Combustion Science	Vol 76, 100801 (2020.1)
11	Thermal decomposition of di-tert-butylperoxide measured with calorimeter	Y.Iwata	Journal of Sci. Tech. Energetic Materials	vol.80, No.3, pp.80-85 (2019)
12	Influence of Congestion in Upper Floor on Pedestrian Flow in Staircase Based on Observational Survey of Evacuation Drill in a High-Rise Building	Kosuke Fujii, Masayuki Mizuno (Tokyo Univ. of Science), Hiroyuki Kadokura (Tohoku Gakuin Univ.), Tomonori Sano (Waseda Univ.), Ai Sekizawa (Tokyo Univ. of Science)	The Proceedings of 11th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology	pp.269-282 (2019.9)

(3) 解説

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
1	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 一施設等災害研究室	Safety&Tomorrow	187号, pp.31-40 (2019)

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
2	2011年東北地方太平洋沖地震における津波と火災	細川直史	建築防災	Vol.500, pp.1, (2019.10)
3	消防ロボットシステムの研究開発と配備 ～Society 5.0～	天野久徳	MIC MONTHLY MAGAZINE	No.222, pp.12-13 (2019.6)
4	消防ロボットシステム：スクラムフォース	天野久徳	消防試験研究センターだより Voice.	Vol.374, pp.10-13 (2019.9)
5	消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発－実戦配備型の完成と実証配備－	天野久徳	月刊フェスク	No.456, pp.14-19 (2019.9)
6	消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発－実戦配備型と導入した先端技術の概要－	天野久徳	行政&情報システム 12月号	Vol.55, No.6, pp.42-47 (2019.12)
7	水害と太陽光発電設備火災	田村裕之	消防試験研究センターだより Voice.	Vol.375, pp.10-12 (2019.11)
8	火災旋風の可視化実験	篠原雅彦	消防試験研究センターだより Voice.	Vol.376, pp.10-12 (2020.1)
9	再生資源燃料等の自然発火による火災危険性評価法	岩田雄策	消防試験研究センターだより Voice.	vol.377, pp.10-12 (2020.3)
10	火災調査における熱分析	岩田雄策	火災	Vol.69, No.6, pp.2-7 (2019.12)
11	火災原因調査における静電気計測	田村裕之	火災	Vol.69, No.4, pp.40-45, (2019.8)
12	工事中のトンネル内で発生した爆発 - 八箇峠トンネル爆発事故	鈴木 健	火災	vol. 69, No. 2, pp. 15-20 (2019.4)
13	火災原因調査における焼損物の	佐藤康博	火災	Vol.69,

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
	材質同定			No.6, pp.14-18,x (2019.12)
14	市街地火災延焼シミュレーションの概要とその活用について(2)	細川直史、高梨健一	月刊フェスク	No.462, pp.50-57 (2020.3)
15	平成30年北海道胆振東部地震による土砂災害地における捜索救助活動の危険性評価	新井場公德、土志田正二、佐伯一夢、清水幸平	消防防災の科学	2019年 秋号, pp.46-51
16	近年の静電気火災の統計と事例	田村裕之	静電気学会誌	Vol.43, No.6, pp.238 -243, (2019.11)
17	水害により発生した太陽光発電設備火災	田村裕之	スマートグリッド	No.788, pp.36-40, (2020.1)
18	洪水・高潮等の水害時に発生した太陽光発電設備の火災	田村裕之、松崎崇史(東京消防庁)	太陽エネルギー	Vol.45, No.3, pp.53-58, (2019.5)
19	第19回レスキューロボットコンテストにおける特別共催と表彰	佐伯一夢	検定協会だより	第467号 (2019.11)

(4) 所外報告書

	題 名	担当箇所	執筆者名	発行元	発行年月
1	Large Outdoor Fires and the Built Environment (LOF&BE): Summary of Workshop at Interflam 2019		Manzello,S.L., McAllister,S., Suzuki, S., Blanchi, R., Pastor, E.,and Ronchi, E.,	NIST SP 1241	2019.8
2	令和元年度 大規模地震・津波に対する石油備蓄陸上タンクの健全性評価システムの構築に関する研究委託業務成	2. 微動測定等による地震動の設定 4.2 苫小牧東部の石油備蓄基地における2018年北海道胆振東部地震及びそ	畑山 健	一般社 団法人 日本高 圧力技 術協会	2020.3

	果報告書	の他の地震の地震記録の 収集・整理			
3	令和元年度 大規模地震・津波に対する石油備蓄陸上タンクの健全性評価システムの構築に関する研究	タンク底部内面コーティング損傷度評価プログラムの高度化に向けた試験及び検討	徳武皓也	一般社団法人 日本高圧力技術協会	2020.3

2 一般公開

東京都調布市の同じ敷地内に位置する消防研究センター、消防大学校、日本消防検定協会及び一般財団法人消防防災科学センターでは、平成31年4月19日（金）に一般公開を開催した。この一般公開は、例年、科学技術週間（「発明の日」（4月18日）を含む週）に実施しており、試験研究施設の公開や消防防災科学技術の研究開発の展示、実演等を行った。

本年度も、27項目にわたる展示、そのうち8項目については燃焼実験などの実演を行い、一般の方に加え、消防職員や防災関係企業など、580人を超える来訪者を迎えることができた。以下で、主な展示・実演の様子を紹介する。

石油コンビナートや化学プラントにおける火災爆発事故のような消防隊員が現場に近づけない特殊な災害において、ロボットが自ら判断し、複数のロボットが互いに連携しながら情報収集や放水などの活動をする消防ロボットシステムの紹介を行った。



写真1 消防ロボットシステムの展示

横浜市消防局と共同で、ヘプタンを燃料とした燃焼面積4㎡の可燃性液体火災の泡消火実験を行った。



写真2 可燃性液体火災の泡消火実験

再生可能エネルギーとして利用されている太陽光発電システムでの出火や消防隊員の感電を防ぐため、太陽光パネルに遮光剤を噴射して発電を抑制する技術を紹介した。



写真3 太陽電池モジュールの発電抑制技術の実演

日常生活で使用される身近なものの中には、扱い方を間違えると急激な燃焼現象を生じるものがある。そのような危険性のあるでんぷん粉末を用いた粉じん爆発実験（写真）とスプレー缶内の噴射剤を用いて、大きな爆発音を発生する燃焼実験を行った。



写真4 粉じん爆発実験

市街地同時多発火災、林野火災のような広域火災では、火災旋風が発生し、被害を大きくすることがある。火災旋風とはどのようなものか、危険性や災害例、研究結果についてパネルを使って紹介するとともに小型模型を使用して床面付近から白い煙を発生させて、旋風を可視化した実験を行った。



写真5 火災旋風の可視化実験

このほか、津波被害現場で消火・人命救助を行う水陸両用バギーの展示、津波避難の研究の紹介や、地震や土砂災害時における被害把握など消防活動能力を向上のための研究が紹介された。災害調査に関しては、原因調査室が行っている業務紹介がなされた。

一般公開は令和2年度も4月の科学技術週間に合わせて開催する予定であったが、新型コロナウイルスの感染拡大防止のためやむなく中止となった。令和3年は、これまでのように実施の予定である。

表 1 一般公開来場者数

区分	H27	H28	H29	H30	H31
一般	120	92	144	110	147
企業	257	262	254	294	254
報道関係	11	5	7	10	5
国立研究機関等	21	16	8	19	8
地方公共団体（消防本部等）	156	96	254	189	106
関係協会等	46	46	55	51	38
消防大学校学生等	14	0	76	11	1
総務省・消防庁・他	38	2	29	34	22
合計	611	517	722	673	581

表 2 一般公開プログラム（消防研究センター、消防大学校）

番号	公開項目	概要	公開方法
展示 1	消防研究センター 研究紹介コーナー	消防研究センターの研究の紹介や開発機器の展示を行います。	展示
展示 2	石油タンクの安全性	大型石油タンクの地震時の被害を速やかに推定することができるシステムを紹介します。また、石油タンク底板の腐食・劣化評価に関する研究について、簡単な測定実演を交えて紹介します。	展示
展示 3	災害時の避難行動	在館者の多い施設や市街地では災害時に多くの避難者が発生します。火災時の高層施設からの避難状況やこれに伴う消防活動、津波発生時の自主防災組織による避難支援に関する研究を紹介します。	展示
展示 4	火の粉と飛び火の研究	2016年の糸魚川市大規模火災では飛び火によって火災の被害が広がりました。 火の粉による飛び火の危険性に関して紹介します。	展示
展示 5	小規模延焼火災の発生とその背景	10棟程度の建物が被災する小規模な延焼火災の発生状況について、火災事例調査や統計分析の結果とともにその背景を紹介します。	展示
展示 6	光の性質を活用した小学校理科教材「お日さま火さい実けん」	小学校理科における体系的な防火教育の枠組み構築を目指して、開発中の第3学年「光の性質」を活用した防火教育教材について紹介します。	展示

展示 7	災害対応のための消防ロボットシステム	消防隊員が災害現場に近づけない特殊な災害において、ロボットが自ら判断し、複数のロボットが互いに連携しながら情報収集や放水などの活動をする消防ロボットシステムを紹介します。	展示
展示 8	地震や土砂災害時の消防活動能力の向上	地震や土砂災害が発生した際の被害の全容把握及び推移予測に関する研究開発を紹介します。 (市街地延焼シミュレーター、災害後の情報収集、救助活動の安全確保)	展示
展示 9	火災旋風の研究	火災旋風とはどのようなものか、その危険性や災害例、研究結果について紹介します。	展示
展示 10	流れの速度計測法	流体を可視化し、流れの速度場を計測する方法に関する研究を紹介します。	展示
展示 11	水陸両用バギー (消火機能付加)	消火用の機能を付加した水陸両用バギーについて、紹介します。	展示
展示 12	次世代救急ツール	①救急隊用の翻訳アプリ「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、 ③一般車両に電波を使って救急車の進行方向と距離を伝えるITS Connect技術を紹介します。	展示
展示 13	原因調査室の業務	原因調査室の調査業務、研修業務、支援業務を紹介します。	展示
展示 14	太陽電池モジュールの発電抑制技術	太陽光発電システムでの出火や消防隊員の感電を防ぐため、発電を抑制する技術を感電事例とともに紹介します。	展示
展示 15	消防大学校での教育訓練資機材	消防大学校の教育訓練で使用している消防車両等を展示します。	展示
実演 1	軽油の燃焼性状	液体燃料の火災危険性を示すため、軽油を燃料として、直径1mの容器で燃焼実験を行います。	実演 (時間指定)
実演 2	可燃性液体火災の消火実験	横浜市消防局と共同で、可燃性液体火災の泡消火実験を行います。	実演 (時間指定)
実演 3	身近にある製品の爆発実験	日常生活で使用される身近なものの中には、扱い方を間違えると急激な燃焼現象を生じるものがあります。そのような危険性のあるでんぷん粉末、スプレー用噴射剤を用いた燃焼実験を行います。	実演 (時間指定)

※消防研究センター、消防大学校の公開項目のみ抜粋

3 全国消防技術者会議

1. はじめに

11月21日(木)及び22日(金)の2日間にわたり、第67回全国消防技術者会議が、東京都港区虎ノ門のニッショーホールで開催された。この会議は、消防防災の科学技術に関する調査研究、技術開発の成果等を発表し、消防職員や消防団員をはじめとする消防関係者間での意見交換を行う場として、昭和28年より毎年開催されているものである。また、第62回より、「消防防災研究講演会」を同時開催している。

21日には、特別講演、2019年度消防防災科学技術賞の表彰式及び受賞作品の発表を行った。22日には、公募した研究成果の一般発表と、消防研究センターにおける研究成果を発表する第23回消防防災研究講演会を行った。内容は、21日は消防防災科学技術賞受賞作品から口頭発表14件、展示発表10件、22日は一般発表の中からの口頭発表7件と展示発表4件を行った。展示発表は昼休みに会場ロビーにて行った。2日間の参加者数は、延べ1,027人であった。

2. 特別講演

特別講演では、信州大学総合情報センター長不破泰教授に、「Society5.0による安全・安心な地域の実現」と題してご講演いただいた(写真1)。講演の前半では、不破泰教授がこれまでに行ってきた地域の安全のための研究が紹介された。災害時に停電となっても機能するセンサーネットワークシステム、地域見守りシステム、河川水位監視システムなどについてわかりやすく説明された。後半では、Society5.0の概要を説明し、その基幹技術である5G通信の山岳救助への応用が紹介された。信州大学のある長野県には高い山が多くあり、多数の登山者が集まることから、毎年、登山者の遭難事故が発生している。不

破泰教授が開発している登山者の位置把握、遭難者救助、遭難防止のための山岳登山見守りシステム、さらに、既存の通信技術と5G通信技術の長所を組み合わせることで開発した、遭難者を発見・救助するためのドローン技術が紹介された。消防機関による山岳救助活動での活用が期待される。



写真1 不破泰教授による特別講演の様子

3. 表彰式

1日目の午前、「平成30年度消防防災科学技術賞」の表彰式が執り行われた。表彰式では、黒田武一郎消防庁長官によって式辞が述べられ、受賞者に対して長官より表彰状が授与された。



写真2 受賞者一同の記念写真

4. 研究発表

会議 1 日目に、2019 年度消防防災科学技術賞受賞作品の発表が行われた。昼休みに、ニッショーホール 2 階ロビーにおいて、「消防機器等の開発・改良」に関する 10 件の展示発表が行われた。午後の口頭発表 1 は、「消防防災科学論文」、口頭発表 2 では、「消防職員における原因調査事例」が発表された。

展示発表では、ゴム製防火靴の活動効率を上げるための工夫、ドローンと AI 技術の検索システムなどが発表され、開発者と聴講者とで意見が交わされた。

口頭発表の科学論文では、電気ストーブの安全装置の考え方、原因調査事例では、接続不良による火災、ハロゲンバルブの出火事例などの発表が関心を引いていた。

2 日目は、消防関係者による一般発表が行われた。昼休みに行われた展示発表では、消防活動時の行動をまとめたスタディブックの活用により、消防活動をより合理的、安全に実施する工夫が示された。口頭発表では、実際に問題となっている消防ホースの摩耗損傷、カセットコンロのガス漏れの原因についてなど、興味深い発表が行われた（写真 3）。



写真 3 ロビーでの展示発表

5. 消防防災研究講演会

第 23 回消防防災研究講演会のテーマは、「消防を支援する科学技術の向上を目指して～消防研究センター研究成果報告～」を行った。消防研究センターでは、近年の大規模災害の発生や社会インフラの老朽化や少子高齢化など、我が国の消防を取り巻く環境の変化を踏まえ、消防科学技術の向上により消防力を更に充実強化することを目的とした研究を行っている。本講演会では、消防研究センターで取り組んでいる研究の中から「消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発」や「土砂災害現場の救助活動に関する研究」など 9 つの研究における最近の研究成果を紹介し、消防を支える消防科学技術研究の今後を議論した（写真 4）。



写真 4 消防防災研究講演会の様子

6. おわりに

全国消防技術者会議の資料はカラー版で消防研究センターホームページ（<http://nrifd.fdma.go.jp/>）にて公開しているので、参考にさせていただければ幸いです。

次回の第 68 回全国消防技術者会議の詳細に関しましては、決定次第、消防研究センターホームページ等によりご案内させていただきます。

4 消防防災研究講演会

消防防災研究講演会は、消防防災に関する消防研究センターにおける研究成果及び時宜にかなったトピックス等をまとめた形で発表し、参加者と議論をする場として、平成9年度より始められたもので、今回で23回目となる。

消防防災研究講演会の主たる目的は、特定の課題に関係する専門的な知識を有する技術者及び研究者との議論を通じて、消防防災に関する解決策を模索し、その糸口を見いだし将来に向けた研究の糧を得ることである。

第23回消防防災研究講演会は、令和元年11月22日に東京都港区虎ノ門にあるニッショーホール（日本消防会館）において、「消防を支援する科学技術の向上を目指して ～消防研究センター研究成果報告～」と題して、消防職員・団員、企業、団体、官公庁あわせて1,024人の参加を得て開催された。

平成23年東日本大震災以降においても、最近では、平成28年糸魚川市大規模火災や平成29年埼玉県三芳町大規模倉庫火災、平成30年北海道胆振東部地震など、大規模災害は毎年のように発生し、国民をまもる消防の役割はますます大きくなっている。さらに、今日、南海トラフ巨大地震や首都直下地震などの巨大地震の発生が危惧されており、さらに地球温暖化による気象災害の頻発・激化、さらに、社会インフラの老朽化や少子高齢化など我が国の社会構造の変化により、大規模災害発生時の被害リスクの増大が懸念される。これら高まる災害リスクに対応できるようにするためには、情報通信技術などの先進技術を取り込むなどにより消防科学技術を高度化することで、消防力を更に充実強化することが求められる。本講演会では、消防研究センターにおける最近の研究成果を紹介するとともに、消防を支える消防科学技術研究の今後を議論した。

【消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発】

東日本大震災では球形ガスタンクにおいて発生した火災・爆発などのような大規模災害に対応する消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発の状

況が報告された。これまでの開発経緯に加え、平成31年度から令和2年度の2年間で、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、令和2年度末に、実戦配備型の改良を完成させ、量産型の仕様をまとめる計画等が紹介された。

【次世代救急ツールの研究開発】

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、様々な災害や救急需要増加への対策を図ることができるよう、最新技術やビッグデータ、G空間等を利用した「次世代救急ツール」、世界最先端の救急サービスを目指す次世代の救急ツールに関する研究開発の進捗が報告された。救急用多言語音声翻訳アプリ、救急車運用最適化、救急車に搭乗する乗員の安全防護の開発状況が紹介された。

【土砂災害現場の救助活動に関する研究】

土砂災害地における捜索救助活動をより安全で迅速なものとするを旨とし、航空機からの画像などを活用して、消防活動に必要な情報を得る方法の研究、及び積み上がった岩石の山の中から岩石の振動の特性によって取り除くことが可能な岩石を調べる技術の研究開発が紹介された。

【大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究】

大規模地震後に発生すると予想されている市街地

における同時多発火災の事前対策を行うことを目的とした「地域の詳細な火災リスク評価が可能なシミュレーションモデルの構築」、「広域の延焼被害予測を高速で実行可能なシミュレーションモデルの構築」について、研究開発の進捗が報告された。また、平成 28 年 12 月 22 日に発生した糸魚川市大規模火災を踏まえ、消防本部への提供が行われている「市街地火災延焼シミュレーションソフトウェア」の今後の改良内容が紹介された。

【災害対応のための無人飛行制御技術に関する研究開発】

災害対応時の活動の支援、特に災害現場での情報収集を確実かつ安全に行うための無人航空機の活用を念頭に、無人航空機の種類と特徴、それぞれの機体の適性について紹介し、これまでに組み込んだ無人飛行制御技術に関する研究開発の状況と今後の研究開発の課題を報告した。

【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】

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を目標とする研究の進捗が報告された。共同研究先である札幌市消防局の管内にある福祉施設等の訓練状況を動画撮影し、その映像から各個人の避難行動に要する時間、介助者の動きについての解析結果と、各施設の入所者約 10 名について、その身

体運動能力、認知能力についてのアンケート調査結果、床との摩擦を小さくし、かつ持ちやすい工夫をした搬送用の布地（引きずり用布）の試作状況について報告された。

【火災原因調査の能力向上に資する研究】

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ことを目的とした、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、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、③煤の壁面付着状況の観察に基づく煙の動きの推定、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の研究開発についての進捗が報告された。

【大型石油タンクの地震・津波被害予測】

大地震発生時の石油コンビナート地域における被害軽減・災害拡大防止のために、石油タンク地震時被害予測の高精度化を目指して、①石油タンクのスロッシング被害の簡易予測、②石油タンクの津波による被害の簡易予測、③短周期地震動による石油タンクの被害の簡易予測、④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研究開発について、研究内容とその進捗が紹介された。

【化学物質等の火災危険性評価法に関する研究】

化学物質および化学反応について、現在把握できていない火災危険性を明らかにするとともに、適正な火災危険性評価方法を提言することを目的とした蓄熱による自然発火の危険性評価法、分解による危険性評価法および燃焼危険性評価法が紹介された。

表1 プログラム

テーマ：消防を支援する科学技術の向上を目指して ～消防研究センター研究成果報告～	
【研究発表1】	
(1) 消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発	－実戦配備型の概要と実証配備の開始－ 特別上席研究官 天野久徳
(2) 次世代救急ツールの研究開発	特殊災害研究室 久保田勝明
(3) 土砂災害現場の救助活動に関する研究	－安全で迅速な救助活動のために－ 地震等災害研究室 新井場公德
(4) 大規模地震災害時等の同時多発火災対応に関する研究	地震等災害研究室 高梨健一
(5) 災害対応のための無人飛行制御技術に関する研究開発	地震等災害研究室 佐伯一夢
【研究発表2】	
(6) 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	原因調査室 塚目孝裕
(7) 火災原因調査の能力向上に資する研究	大規模火災研究室 田村裕之
(8) 大型石油タンクの地震・津波被害予測	施設等災害研究室 畑山 健
(9) 化学物質等の火災危険性評価法に関する研究	危険性物質研究室 岩田雄策

5 消防防災科学技術賞受賞作品概要

本賞は、消防防災機器等の開発・改良、消防防災科学に関する論文及び原因調査に関する事例報告の分野において、優れた業績をあげた等の個人又は団体を消防庁長官が表彰する制度である。平成9年度（自治体消防50周年）にスタートし、本年度で23年目を迎えた。

作品は、消防職員・消防団員等の部における「A. 消防防災機器等の開発・改良」「B. 消防防災科学論文」「C. 消防職員における原因調査事例」、一般の部における「D. 消防防災機器等の開発・改良」「E. 消防防災科学論文」の5区分で募集をおこなっている。

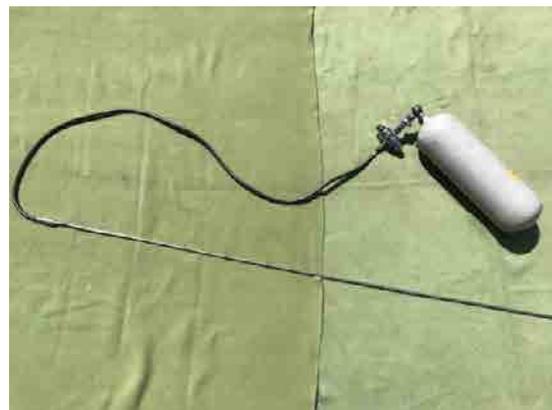
2019年度は、全国の消防職員や消防団員、消防機器メーカーの社員などから、計87編の応募があった。選考委員会（委員長 亀井浅道 元横浜国立大学特任教授）による厳正な審査の結果、優秀賞として、計22編が選ばれ、さらに、2編が奨励賞に決定した。

区 分		応募数	優秀賞受賞数	奨励賞受賞数
消防職員・ 消防団員等の部	A. 消防防災機器等の開発・改良	42	5	2
	B. 消防防災科学論文	13	5	
	C. 消防職員における原因調査事例	14	7	
一般の部	D. 消防防災機器等の開発・改良	13	4	
	E. 消防防災科学論文	5	1	

消防職員・消防団員等の受賞作品には、現場で苦勞した者ならではの発想で、安価に購入できる材料を工夫した開発・改良や、反射赤外光の強度に着目した電気ストーブの安全装置の論文などが選ばれた。

一般からは、ドローンとAI技術を活用した開発や、地震時における救助活動シミュレーションに関する論文などが選ばれた。

また、消防職員における原因調査事例は、応募作品のレベルが年々高くなっており、現場での調査から原因究明までにとどまらず、事業者によるリコールなど、再発防止に向けた取り組みが高く評価された。農薬原体製造プラントで発生した火災事例のように、難易度の高い事案を科学的な検証から考察し、原因の特定に至った事例報告もあった。



サイロ内海砂に埋没した要救助者に対する空気ポンベの圧力を利用した救出サポートシステムの開発

1 優秀賞(22編)**A. 消防職員・消防団員等の部／消防防災機器等の開発・改良(5編)****(1) 水面における要救助者救出資器材の考案**

(名古屋市消防局) 大野愛一朗、新井 泰、雨森孝志

水難救助現場の水面において、被災後に時間経過した要救助者を救出する際、接触するだけで身体の表面が剥がれる程の状態になっていることがある。

このような場合、現在の救出方法としては救命浮環を活用しているが、要救助者を抱える際、身体の表面に損傷を与えてしまう事がある。また、接触する潜水隊員は感染危険が懸念されている。

今回考案した担架は、スクープストレッチャーにフロートを取り付けたもので、要救助者を抱えることなく容易に担架収容ができる。そのため、要救助者の身体に損傷を与えることなく救出が可能となり、要救助者への接触を減らすことで感染危険も軽減できるようになった。

**(2) 熱中症傷病者の深部体温を効率的に下げる冷却マットの開発について**

(衣浦東部広域連合消防局) 小池裕介、中田雅之、小田切拓也

熱中症傷病者には現場到着時から積極的な冷却が必要である。救急隊の処置は救急車内の空調もしくは瞬間冷却材で大血管部分を中心に局所的に冷やしている。しかしながら、搬送時にストレッチャーと背部の接触部に熱及び汗が溜まり、深部体温低下を妨げている問題があった。そこで、熱伝導と気化熱を活用した冷却マットを開発した。検証を踏まえた結果、模擬被験者の背部体表面の熱及び湿気を効率よく排出し、深部体温を低下させることができた。また、本開発品は廃棄品や全国のホームセンター等で安価に購入でき、作成も消防職員により2時間ほどで完成できる簡易な構造である。

**(3) サイロ内海砂に埋没した要救助者に対する空気ポンベの圧力を利用した救出サポートシステムの開発**

大阪市消防局 東淀川消防署 警防担当1部救助隊

当署管内で発生したコンクリート生成サイロ内の海砂に要救助者が埋没した救助事案に際し、要救助者の救出完了まで11時間を要した。今回の事案では、同種事案に対する平素の訓練及び研修が功を奏し、また早期に医師による輸液を施す等した結果、要救助者の完全なる社会復帰を果たすことができた。しかしながら、長時間の救出活動による要救助者の容態や活動環境の悪化等、緊急を要する事態へと発展した場合を想定して、空気ポンベと簡易な資材を用い、埋没部の砂を拡散させ、土圧を軽減することにより要救助者に苦痛を与えることなく早期に救出するサポートシステムを開発した。

**(4) ゴム製防火靴の活動効率を上げるサポートギア**

(大垣市生活環境部危機管理室) 水谷佑典

ゴム製防火靴は、様々な災害で使用する個人保護装備であるが、足囲は3Eしかなく、また、人の両足に相違があるため、フィット感に悩んでいる隊員は多い。踵がフィットしていない隊員は、底屈動作時に踵とゴム製防火靴の踵部分が離れ、踵部分の引きずりを回避するために、足を高く上げて歩くことで筋肉の動きが大きくなり、疲労や負担がかかる。また、足場の悪い所では、転倒や足のひねりを防ごうと、常に足裏に力を注いでしまうが、足にサポートギアを装着してゴム製防火靴を履くことで、上記問題を克服できる。ゴム製防火靴にシリコンスプレーを散布することで、土砂災害でさらにその効果を発揮する。



(5) 陽圧式化学防護服内における環境改善機器の考案

(東近江行政組合消防本部) 三添章悟、田中寿明

NBC 災害対応時に必須となる陽圧式化学防護服の内部環境は、気候や体温による温度上昇に加え、呼吸や発汗によって湿度も上昇し、「高温多湿」な劣悪な環境となります。その中で、長時間の活動を強いられ、特に夏場においては隊員への身体的負担が大きく、ヒートストレスや熱中症を引き起こす危険性が高くなります。現状の対応策としては、水分補給と冷却ベストの着用が推奨されていますが、他の具体的な対応策はないため、陽圧式化学防護服内の温度及び湿度上昇を大幅に抑制し、熱中症予防として画期的な対応が図れる機器を考案しました。



A. 消防／消防防災機器等の開発・改良

B. 消防職員・消防団員等の部／消防防災科学論文(5編)

(1) 高齢者単身世帯が救急活動に与える影響と ICT を活用した取り組み

(総社市消防本部) 細川遼司、根本陽一、石井博喜

「背景」2040年には男性高齢者の約5人に1人、女性高齢者の約4人に1人が一人暮らしをすると予測されている。「目的」傷病者が独居の場合、独居特有の救急活動(緊急時連絡先等の検索)を強いられていることから、独居世帯と現場滞在時間の関連性について調査する。「結果」独居世帯でJCS1桁の場合、現場滞在時間の延伸傾向を認めた。(p<0.01)「結語」当市は救急現場、医療機関として福祉部局を結ぶ役割としてICT(見守りネット)を活用しており、傷病者が独居と推定できれば119入電と同時にICT端末で傷病者情報を検索し、救急活動に寄与している。ICTは認知症高齢者の徘徊や平成30年7月豪雨の避難所運営でも活用され、その取り組みを報告する。

高齢者等見守り支援システムの有効活用



(2) 電気ストーブにおける可燃物接触に対する安全装置の試案

(神戸市消防局市民防災総合センター) 山形直也

(有限会社 浪越エレクトロニクス) 浪越博道

過去30年間の建物火災のうち、電気火災の発火源、死者数ともに1位は電気ストーブである(東京消防庁調べ)。神戸市においても同様の傾向であり、その出火原因の89%は可燃物接触である。電気ストーブは安価で使用者が多いためハード面からのアプローチが必要である。安価で設置できることをコンセプトに、熱センサまたは光センサを使用し、可燃物接触時のみ機能する安全装置の検討を行った。熱センサは受熱から作動までのタイムラグが大きく、安全装置として機能させることは難しい。受光部発光部が一体となった光センサを用いることで、安全装置として有効に機能するものを見出した。



(3) 観測地震波を用いた身体防護体勢の検証

(東京消防庁) 千島清奈生、池内慶子、前川浩平、中山 崇

本検証は今後発生が予想される首都直下地震に対する人的被害軽減に寄与するため、観測地震波の揺れを用いて地震発生時における身体防護体勢を考案したものである。東北地方太平洋沖地震発生時の東京消防庁管内における救急搬送データから負傷機転を分析し、負傷リスクが低い身体防護体勢を検討するとともに、検討した異なる身体防護体勢について外側広筋等の筋活動量及び頭部における加速度を比較することで、負傷リスクが低く、身体への負荷が小さい安定した身体防護体勢を考案した。



(4) 災害写真パネル等を活用した「実動と座学同時進行型防災訓練」の開発 ～座学者にも実動効果が見込める訓練手法～

(京都市消防局) 森田浩樹、中嶋 治

従来の地域発災・実動型訓練は、住民の実動力を高めるものだが、昨今のリアルさ重視の風潮も相まって、訓練企画側と参加者の双方に大きな労力を要求する。また実動の「技」に注力するため、実際に何が自分に降りかかるのか、など具体的な被災イメージを植え付けることも難しい。そこで、「実動者数を絞る」、「実動者はエアークラウド演技を行う」、「訓練をあえて中断させ写真パネルを見せる」などの工夫や仕掛けを盛り込んだ訓練手法を考案した。省力化はもちろんのこと、見学者にも実動効果を見込むことができる。さらに、共助の力を最大にするため、「地域の初動措置」の概念も提案する。



(5) 災害現場指揮における効率的な図化・情報処理手法の開発 —指揮隊における手法の統一化の検証—

(京都市消防局) 松浦宏明、山下雄三、赤穴章秀、田中健郎

災害現場の指揮において「情報」はその全てを基礎付ける資料となるが、図化方法をはじめ、情報の収集・整理方式は、各指揮隊によって様々な「流儀」がある。しかし、この「流儀」は、強い時間的制約のある中、複数の指揮隊・指揮者が連携して活動する災害現場においては、錯誤等ミス的重要因素となり危険である。そこで本研究では、効率的でミスの生じ難い手法を確立させるため「書き込み自由なマグネットシートの貼付による災害状況や街区状況を表現する図化」「トリアーシタッグ式の複写式情報処理カード」及び「指揮命令とその実行状況を把握するためのチェックシート」を考案し実地検証等を行なった。



B. 消防／消防防災科学論文

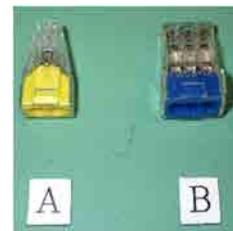
C. 消防職員における原因調査事例(7編)

(1) エアコンの接続不良による火災について

(川崎市消防局) 山口雄太、佐久間岳大

本火災は、壁紙の張替作業に伴い、エアコンの室外連絡電線を切断し再接続する工程を行ったことに起因し接続部から出火した火災であり、複数回にわたる詳細な実況見分、鑑定及び鑑識を実施した結果、火災原因究明に至ったものである。

原因の究明により、施工会社である大手総合建設業(ゼネコン)に再発防止の策定及び注意喚起を実施した事例であり、火災原因調査手法及び火災予防対策を紹介する。



(2) 車両前照灯ハロゲンバルブに起因する出火事例

名古屋市消防局緑消防署 警防地域第二課 情報担当

平成30年中、車両前照灯ハロゲンバルブに起因する火災が3件発生した。いずれも、運転席側前照灯付近から出火が認められた。

調査の結果、いずれもC社社外品バルブに交換後で、点灯中に脱出し出火に至ることが判明した。純正バルブと比較の結果、C社製バルブの運転席側前照灯交換は、人為的ミス誘発を否定できず熟練の技術を要する事が判明した。以上のことから、脱落の原因は素人の取付け不良、かつ、振動によるものと考えられる。調査結果に基づき、バルブの製造販売会社へ対策を求めた結果、車両火災の可能性のある車種を適合から外すことが示され、類似火災防止に大きく寄与することができた。



(3) 駐車車両のメーターパネル基板から出火した事例について

(静岡市消防局) 山内善康、林大二郎、川守良和、辻陽平、村松賢

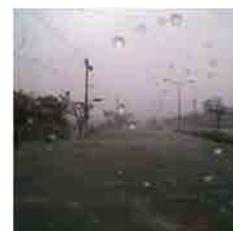
本火災は、駐車中の普通乗用自動車のメーターパネル基板から出火した車両火災であり、鑑識見分時の製造業者による情報提供では、同型車両においてメーターパネル基板が起因する類似火災は過去に9件発生している。これまでに火災の発生メカニズムは究明されておらず、サービスキャンペーンやリコール対応はとられていないことから、再発防止に向けて製造業者に対して要望書を送付し、その後も検証、助言及び指導を継続的に実施した結果、火災発生メカニズムを究明し、リコールに繋がった事案である。



(4) 高潮浸水による車両火災の出火原因と迅速な予防広報

(神戸市消防局) 村上大輔、松田圭太、武田光広、石丸大地

平成30年9月4日14時頃、台風21号は「非常に強い」勢力を保ったまま、兵庫県神戸市付近に再上陸した。神戸市内で高潮浸水による車両火災が、9月4日から1ヶ月以上経った10月17日まで続発し、迅速な予防広報の対応に迫られた。火災発生直後の予防広報だけでなく、より明確な出火メカニズムも伝えて対応策を訴えることが効果的と考えることから、再現実験で得た結果を基に約2ヶ月間、神戸市のホームページ、防火安全協会、新聞社、YouTube、テレビ局と多方面に情報発信を継続し、類似火災防止の徹底に努めた。



(5) 電気温床線からの出火事例

(神戸市消防局) 梅木裕史

本件は、電気温床線(ビニールハウスなどで地中の温度等を適切な状態に調整するための電熱線を使った農機具)を、本来の用途外で使用したことにより発生した火災である。

火災調査では、現場調査の結果や収去した電気温床線の鑑定結果、及び同型品を用いた再現実験結果から出火に至る過程を明らかにするとともに、農業団体への注意喚起や販売会社に取扱説明書の改善を要望するなど、調査結果を火災予防へとつなげた事例である。



(6) ジャンプスターターに起因する車両火災の調査報告

(徳島市消防局) 松本理史、生原正紀、藤田崇徳、齋藤秀司、津田啓貴

ジャンプスターター(バッテリー上がりを起こした車のバッテリーに接続して、エンジンを始動するためのリチウムポリマー電池を利用したモバイルバッテリー)を接続したまま走行し、過充電が生じて出火した車両火災である。

出火原因となったジャンプスターターはインターネットオークションで入手した海外生産品であり、製造元は不明、取扱説明書は英語表記のみという製品であった。ジャンプスターターは近年急速に普及が進んでいる製品であることから、同様の火災が発生する可能性が高いと考えられる。本稿により火災事例が周知され、類似火災防止の注意喚起がなされれば幸いである。



(7) 農薬原体製造プラント原料ホッパーの爆発火災事例

(横浜市消防局) 中田雅之、古郡重雄、山田俊哉、瀬戸 勇、大場賢二、浅古慎一

2018年2月、横浜市内の農薬原体製造プラントにおいて、フレキシブルコンテナバッグから可燃性粉粒体を原料貯槽へ投入中に爆発、炎上し、死者1名が発生した。出火原因は、貯槽に投入された原料中の微粉体が分散・浮遊して粉じん雲を形成し、静電気放電で着火したと推定している。

発災工場は、1969年に創業して以来大きな事故を起こさず安定生産してきたが、原料物性の危険性を過小評価し、適切なリスク低減対策を講じていなかった。本事例は、フレキシブルコンテナバッグで可燃性粉体を貯蔵、運搬および投入する際に潜在する危険性とその調査手法を報告するものである。



C. 消防/原因調査事例

D. 一般の部／消防防災機器の開発・改良(4編)

(1) 廃棄物処理用破碎設備の爆発抑制装置の研究開発

(株式会社モリタホールディングス) 廖 赤虹、山野光一、大室 健
 (株式会社モリタ環境テック) 西野達也
 (東京大学) 茂木俊夫、土橋 律

廃棄物や資源リサイクル施設の破碎設備に関わる爆発事故の頻度が高い。爆発起因の火災は危険で消火活動は時間を要する。爆発抑制装置は爆発初期の圧力上昇を検知して消火剤を放射する爆発被害軽減の有効な手段だが、消火剤再充填工程が煩雑で、保守に掛る期間と費用が普及の支障とされる。これら課題を背景に、考案した高速開放機構を用いた爆発抑制装置を開発し、破碎設備の設置場所で消火剤再充填を可能とした。これにより、復旧の期間と労力が大幅に短縮され費用も削減できる。現実的に導入できる装置を開発したことにより、実際の廃棄物処理施設における爆発・火災の防止が進むと期待できる。



(2) ドローンとAI技術による自動搜索システム

株式会社ロックガレッジ

山岳年報によると、年間の遭難者は3000名にのぼり、うち1割が死亡・行方不明となっている。近年はドローンによる搜索の試みが行われているものの、手動操縦による搜索ではパイロットを育成する必要がある。そこで、ワンタッチ操作でドローンを自動飛行させ、リアルタイム伝送された映像をモバイル回線を通じて自動解析し、検出された人影の位置を速やかにマッピングするシステムを開発した。当システムは既に消防等にも導入が進んでいるドローンを使用することができ、ドローン以外の専用機材が必要無いため導入が容易である。また操作が簡単であるため、高度なトレーニングも不要である。



(3) VR消火放水シミュレーターの開発

株式会社 横井製作所

自治体や企業で実施される消火訓練は、安全上の問題や地域住民への配慮から、実際の炎と大量の水を使用する事ができず、疑似的な炎に少量の水を当てて消火した事になっている訓練が多い。ところが実際の火災では、炎や迫りくる煙に包まれながら消火するという怖さがある。また、実際の放水は反動力がとて強く、不意に手を放すとホースが暴れて大事故に繋がる危険性が有った。そこで、VR技術によるリアルな火災と、放水反動力を再現できるVR消火放水シミュレーターを開発した。このVRシミュレーターを応用する事で、火災の怖さや危険性を体験して、効果的な消火訓練に繋げることができる。



(4) 高層階火災に対応した新型ラインプロポーションの開発

(ヨネ株式会社) 山本高裕、高雄信行
 (神戸市消防局) 中塚卓也、高内智美、津坂大輔、柏木裕行

耐火建築物内での消火活動は、迅速且つ水損を最小限に抑える事が求められており、水の浸透効果を高める一般火災用泡消火薬剤、その混合方式としてCAFSやラインプロポーション等が全国的に普及している。これらの資機材は、特に屋内進入が不可欠な高層階火災での活躍が期待される一方、送水に連結送水管が使用される事から、水放水から泡放水への切り替え時間のロスや配管内への泡消火薬剤残存による影響などの課題を有している。本開発ではこの課題に取り組み、連結送水管二次側でも簡単に混合でき、且つ急激な流量変化にも迅速に対応できる全く新しいラインプロポーションを開発したので報告する。

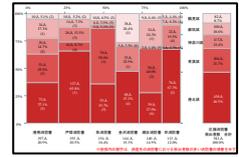


E. 一般の部／消防防災科学論文(1編)

(1) 地震時における救助活動シミュレーションの構築と応援・受援体制に関する考察

(横浜国立大学大学院) 喜納 啓、佐土原聡、稲垣景子
(防衛大学校) 矢代晴実

阪神淡路大震災、熊本地震では多数の自力脱出困難者が発生し、情報が錯綜する緊急対応期において迅速な救助活動が求められた。都心南部直下地震が発生した場合においても自力脱出困難者が最大約 72,000 人発生すると想定されており、被災現場では一刻も早い救助活動が必要となる。本研究は、都心南部直下地震が発生した場合の神奈川県横浜市の自力脱出困難者を対象に、震災後における交通網の機能支障および各地域の救助能力を考慮した救助活動シミュレーションを実施し、リアルタイム被害推定情報が適切な救助体制の整備に寄与できる可能性について考察した。



E. 一般／消防防災科学論文

2 奨励賞 (2 編)

(1) 原因追究困難事案から火災調査サポートアプリの開発へ

(大阪市消防局) 二川原博信、水口靖仁

管内で発生した火災で、出火原因が迷宮化しかけたときに、ベテラン職員の一言から出火原因が判明した経験を踏まえ、調査経験の少ない若年層消防職員でも原因調査の見分ポイントや過去の事例を確認できるなど火災調査業務の補助ツールとして活用できるアプリを独自開発したものを。

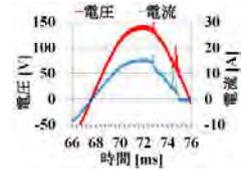


(2) 火災未然防止のための電源コードの導体素線断線判定法の検討

(あいち産業科学技術総合センター) 竹中清人
(名古屋工業大学) 水野幸男
(河村電器産業株式会社) 吉田敦至

本研究は、電気火災の一因である電源コードが半断線状態から断線へ至る現象を解析し、検出手法を検討したものである。

一般的に普及している VFF 電源コードの素線を人為的に半断線させ、負荷電流により断線へ至る際の電圧および電流波形を解析した。その結果、素線が溶断する際に、特徴的な歪みが観察された。そこで、この歪みを検出手法を提案し、様々な負荷を対象に検証した結果、本提案手法の有効性を評価することができた。今後は、電源周波数や電源コードの違いについて検証し、現場適用性の検討を進める予定である。



6 研究懇話会

研究懇話会は、消防研究センターにおける研究の活性化、研究の効率的推進、研究員の資質の向上等を図るため、研究成果や事故等の調査結果に関する報告、また海外事情の報告などの発表、講演または話題の提供により、意見の交換、討論、質疑応答を行う場として開催されている。例年、2月と8月を除いて、月に一度開催されており、加えて、海外からの招へい研究者による発表など、所長が必要と認めた場合は臨時に開催されている。

●平成31年4月9日

微動観測による大型円筒縦置き型鋼製タンクのバルジング固有振動数の測定

○畑山 健、座間信作（横浜国立大学）、吉田聖一（横浜国立大学）

硬質地盤上に立地する容量 125,000 kL の浮き屋根式円筒縦置き型鋼製工業用水タンクの側板の固液連成振動（バルジング振動）の固有振動数を実測するため、同タンクで微動観測を行った。タンク基部に対する側板上部の微動スペクトル比のピーク出現周波数と FEM 固有値解析結果を比較したところ、鉛直方向次数（ m ）が 1、円周方向波数（ n ）が 1 から 5 の 5 つのモードの固有振動数を同定することができた。基本モード（ $m=1, n=1$ ）の固有振動数は、消防法令上の算定式による算定値とよく一致した。微動スペクトル比において、基本モードに対応するピークは、かならずしも最も低い周波数に現れるものではないことに注意を要する。

●令和元年5月14日

導電性が劣化したゴムパッキンの帯電による静電気放電

○田村裕之

導電性を持ったゴムパッキンを使用したマンホールを9年振りに開放する際に、水素ガスに着火したと思われる事故が発生した。マンホールを開放時、ゴムパッキンに剥離帯電が発生し、金属製のマンホールの蓋が誘導帯電する事象が確認できた。時間の経過によりゴムパッキンの導電性が失われ、静電気が発生して

も電荷を緩和する能力を発揮しなかった。誘導帯電したマンホールの蓋からフランジのボルトへの放電には水素の最小着火エネルギーを超える放電エネルギーがあること、導電性の劣化したゴムパッキンからフランジボルトへの放電では着火しないことを明らかにした。使用年月が長くなるとゴムパッキンは、導電性の維持のため定期的に交換する必要があること、マンホール開放作業時にはゴムパッキンの剥離帯電による放電の可能性があるのでボンディングをしっかりとることなどが必要である。

●令和元年6月11日

離島における火災安全対策の構築に関する研究について

○鈴木恵子

近年、地方の密集市街地や離島、漁村、山間の集落で小規模な延焼火災が頻発しているが、このような地域は地理的に災害時の応援や建物の更新が困難で、古い木造建築が密集する傾向があり、人口減少や高齢化が進む一方で、観光開発やその施設の計画が進む場合もあるなど、共通する課題を抱えている。中でも離島は行政上の独立性が高く、災害に関する状況を統計・事例的に把握し易い利点があることから、離島を所轄する消防本部・市町村役場に対してアンケート調査を行い、離島の消防力と火災リスク特性の把握を試みた結果を紹介した。

調査の結果、常備消防管内の離島でも消防団のみの離島が6割を占めていること、人口あたりの建物火災

の出火率は全国値の約2倍であり、全焼火災や延焼火災に至る割合が大きいこと、消防団は常備消防隊に比べ自然水利を用いる傾向にあるが、消火栓に比べて放水までに時間がかかること、住民による消火栓を使用した初期消火が少なからず行われていることなどが明らかになった。

●令和元年7月9日

熱量計を用いた化学物質の燃焼危険性評価方法

○岩田 雄策

固体の化学物質について燃焼性の指標として燃焼速度が用いられるが、燃焼速度試験は火炎や煙の発生により、実施が困難な場合がある。そのため、簡便な方法で燃焼速度を評価可能な手法は火災予防上重要である。本報告で、試料として可燃性固体である硫黄および自己反応性物質である発泡剤等を用いて種々の実験を行った。測定装置として TG-DTA (熱重量-示差熱分析装置)、燃焼熱量計および pDSC (圧力同時測定示差走査熱量計) を用いて、熱流束および圧力等の測定を行った。これらの測定値と試作した燃焼速度測定装置の結果を基に、化学物質の燃焼危険評価方法について考察した。

●令和元年7月9日

石油タンク底板裏面腐食分布の超音波板厚計測による評価

○徳武 皓也

片面が腐食した鋼板について、超音波板厚計測で用いられる典型的探触子を用いて、非腐食面から超音波により腐食減肉量を計測するとともに、腐食面からデプスゲージ (DG) により実減肉量を得ることで、腐食部における超音波反射時間 (板厚) の読み取り精度を検証するとともに、タンク裏面腐食の有する基本分布について議論した。超音波反射時間の読み取り方式は、校正により調整した零点 (R) から、鋼の底面から反射する一回目の反射波 (B₁ エコー) と設定閾値であるゲートがクロスする位置を板厚値とする R-B₁ 方式とした。二振動子型探触子による R-B₁ 方式の読み取りについて、探触子接触方向と腐食形状に応じた反射波

が得られることに留意して計測を行えば、比較的精度よく板厚を得ることが可能であった。また、採取した64点のデータのヒストグラム整理を行ったところ、2つの基本分布が混在する複雑な分布性状と推定されたが、大きな腐食減肉量が関与する分布の裾野の形状は指数関数的な特徴を示した。このことは、一部から全体を推定する極値統計において、第一種漸近分布を適用できることを示唆する。今後もデータ蓄積を継続する。

●令和元年9月10日

火炎上空の気流計測を目的としたマルチロータの研究開発

○佐伯一夢

火炎上空の気流計測のためのマルチロータの開発において、野焼き等の火炎上空を飛行させ、機体に搭載したセンサ類で火炎上空の気流 (風向風速、温度) を計測する技術の開発を行っている。本開発では、機上のピトー管や超音波風速計で得られる飛行中の対気速度と、飛行中の機体の位置と姿勢、対地速度の情報をもとに風向風速を算出する。本発表では、機体とセンサの開発状況、昨年度3月からこれまでに実施した、渡瀬遊水池での飛行実験の様子とデータ計測の結果と今後の研究開発の課題について報告した。

●令和元年9月10日

平成30年耶馬溪町斜面崩壊の詳細地形解析

○土志田正二

平成30年4月11日、大分県中津市耶馬溪町で大規模な斜面崩壊 (耶馬溪地すべり) が発生した。耶馬溪地すべりは、降雨や地震などの特別な誘因が無く発生し、6名の死者を出す甚大な被害を及ぼした土砂災害であり、斜面崩壊の発生危険度評価、予測に関しても重要な事例である。

本発表では、災害発生2日後に測量された UAV レーザーデータ (中日本航空 (株) 提供) を用いて地形解析・地形分類を行うと共に、災害前の地形データ (国土地理院基盤地図情報 5m メッシュ) と比較することで、耶馬溪地すべりの土砂災害現象について紹介を行

った。また、中津市消防本部にヒアリングした救助活動内容を踏まえ、詳細地形解析結果の救助活動時の安全管理への活用、つまり警戒すべき現象・場所を明確にする方法についての考察も紹介した。

臨時懇話会

●令和元年 9 月 19 日

「災害対応用ドローンの性能評価法及び隊員の訓練法に係る米国の動向に関する講演会」

○アダム・ジェイコフ 米国技術標準研究所 ロボット評価施設主査、トム・ハウス ロサンゼルス消防 元消防署長

米国標準技術研究所が開発した、消防、警察及び軍事のドローンの運用にあたっての隊員の技能評価の及び機体の性能比較の方法について紹介があった。特に経済及び人的資源に余裕のない消防でも簡単に活用できるように工夫されたもので、考え方、具体的な例の説明の他、米国の消防機関における活用の動向や試験結果の概要なども話があった。この懇話会は近隣のドローンを運用している消防本部からも参加者を募り、多くの参加があり、意見交換が活発になされた。

●令和元年 10 月 8 日

火の粉に対する日本瓦屋根の脆弱性に関する検討

○鈴木佐夜香、Samuel L. Manzello (NIST)

2016 年糸魚川市大規模火災において、火の粉によって屋根に着火する様子が確認された。そこで、日本瓦を対象として火の粉による着火実験を行い、火の粉に対する脆弱性を確認した。風速 6m/s において瓦の下に潜り込んだ火の粉の個数は、これまで実験した他の瓦と比較して多かったが、風速 9m/s になると減少した。これは日本が瓦のような波型の瓦の特徴と一致した。また、火の粉の潜り込みやすさは瓦の高さによって異なることが分かった。瓦の下に乾燥した可燃物を置いて実験を行ったところ、着火し、野地板へ延焼した。

●令和元年 10 月 8 日

燃焼現象をネットワークとして認識する

—災害の仕組みを理解するための第 1 歩—

○野村祐子

「二酸化炭素には消火作用がない」、「密閉空間内でロウソクの火が消えた後の酸素濃度は 0% である」等の消火に関する誤概念をもっている教員や大学生が多いことが指摘されている。初等教育や初任研修で獲得された誤概念は簡単に修復するものではなく、消防大学校の専科教育（特に燃焼理論）の教授学習を困難にする要因になっていると考えられるため、教育課程上の問題に対処する必要がある。そこで本発表では、十分に体系化されていないが体系化でき得る領域において学習促進効果が大きいと考えられている教育実践の技法である「概念地図法」について紹介した。また、燃焼に関する教授学習の体系化を目的として、コップをかぶせたロウソクの消炎過程に概念地図法を適用し作成した、命題数 40 の命題群と主要な概念間の関係を示すブロック線図を紹介した。これらによって、燃焼の 3 要素だけでは表現できない物質間の熱のやりとりと発熱と放熱のバランスに着目することができるようになった。対流の発生に必要な温度差をつくりだす燃焼現象は、自己駆動する災害の仕組みを理解するための基礎となる。今後、個々の命題を習得するための単元計画と授業計画の提案が求められる。

●令和元年 11 月 12 日

消防本部が実施している消火器の使用方法的訓練

○尾川義雄

消火器の使用方法的について消防本部が一般の人に対してどのような訓練を行っているか知るために、消火器使用に関する訓練内容を 71 の消防本部職員に聞いた。回答があった 63 件のうち、実際の火炎を使う訓練は 14 件（約 2 割）で、残り 8 割は目標物としての使用していた。実際の消火器を使う訓練は 9 件（15%）で、他は水が放射される訓練用模擬消火器等を使用していた。消火訓練で教えている消火器による火の消し方は、「手前から掃くように」や「燃焼体を狙う」という説明が多かった。訓練で重視することは複数回答で、初期消火に関すること（27 件）、避難タイ

ミング (22 件) および消火器取扱方法 (22 件) が多く、消火器による火の消し方は 5 件であった。

●令和元年 11 月 12 日

相模原市牧野の土砂災害における技術支援

○新井場公德、土志田正二

2019 年台風 19 号により 10 月 12 日に相模原市牧野地区で発生した土砂災害の対応に対する技術支援 (10 月 14 日～16 日、20 日～21 日) の概要を報告した。現地の地質・地形調査を行い、二次災害の危険のある箇所の評価、それらへの対応方法及び捜索救助活動の進展に伴う活動地点の安定性の変化に対する評価を行った。その中で、消防防災科学技術推進制度で開発した監視センサーを用いた監視を行った。また、ドローンによる撮影を行い、画像として提供するとともに、SfM により標高を求め、土砂の堆積深さの分布を算出し、活動方針の判断に供した。

●令和元年 11 月 12 日

相模原市牧野の土砂災害におけるドローン空撮情報の活用

○土志田正二、新井場公德

令和元年台風 19 号豪雨災害において、神奈川県相模原市緑区牧野で発生した土砂災害現場において、消防研究センターでは災害派遣 (技術支援) を行った。その際に、携帯型ドローンによる空撮を実施したため、それを用いて行った技術支援の内容を紹介した。

現地の相模原市消防本部に提供した資料は 2 段階あり、現場指揮本部にすぐに提供した資料と、消防研究センターに戻り空撮画像を解析した結果を提供した資料である。空撮後すぐに提供した資料は、簡易的に空撮画像を結合した画像や、高高度 (150m) から鉛直方向に撮影した画像などであるが、現場における土砂災害の全体像の把握や、安全管理上で警戒すべき場所の記載などに用いることができた。研究センターに戻り解析した結果を示した資料は、過去の地図との重ね合わせや、土砂移動量の概算値である。これらは、救助活動の活動方針を補助するためのものであった。実際の救助活動現場でどのような情報が必要で、どのよ

うな使われ方が望ましいのか、今後も検討していく必要がある。

●令和元年 12 月 10 日

熱分解 GC を用いた焼損物の材質同定に関するセルロースおよびナイロン類の詳細な検討

○佐藤康博、塚目孝裕

熱分解 GC による焼損物の材質同定手法について、縮合型の高分子化合物の同定が困難であることがこれまでの研究からわかっている。そこで、セルロースおよびナイロン類について詳細な検討を行った結果を報告した。セルロースについては、TG-DTA を用いて空気雰囲気および窒素雰囲気で 300～380℃の範囲で 10℃ごとに加熱した試料を作成し、熱分解 GC による分析を行った。その結果、セルロースの加熱による熱分解 GC のピークパターンの変化についての知見が得られた。ナイロン類については、ナイロン 6/6、ナイロン 6/9、ナイロン 6/10、ナイロン 6/12、ナイロン 6、ナイロン 11、ナイロン 6 (3) /T について TG-DTA で加熱を行い、熱分解 GC による分析をおこなった。その結果、これらの試料の中ではナイロン 6/6、ナイロン 11 は加熱によって、熱分解 GC のピークパターンが大きく変化することがわかった。

●令和 2 年 1 月 14 日

誘導灯および照明の有無が煙中の歩行速度に与える影響

○藤井皓介、佐野友紀 (早稲田大学)、大宮喜文 (東京理科大学)

火災時には、逃げ遅れ等により煙中において避難が行われる場合もあるが、設計時に用いられる現行の建築基準法避難関係規定では設計時に用いられる逃げ遅れや火煙の影響がない想定で避難計画を作成する。煙中あるいは無灯状況下を想定した避難計算は行われておらず、このような状況下での避難者の安全性は担保されていない。避難誘導や救助等の消防活動において煙中の歩行状況とその際の避難者への対応は検討すべき課題である。避難時間を算定するためには、歩行速度の参考値が必要となる。本研究は、煙の濃度、

消防法により規定されている誘導灯の存在の有無、照明光の存在の有無といった、避難者周辺の異なる環境条件下における歩行速度について被験者実験を通して把握することを目的とする。減光係数 1.5[1/m]程度から 0[1/m]の無煙状態までの煙濃度の状態の空間について、誘導灯の有無及び照明の有無が異なる条件下における歩行速度の変化を把握するとともに、これらの環境条件が歩行速度に与える影響を把握した。

●令和2年1月14日

火災域風下に発生する火災旋風に関する実験研究

－ 風速が渦の強さと大きさに与える影響 －

○篠原雅彦

火炎を含まない火災旋風に主流風速 U が与える影響を、流れの可視化と粒子画像流速測定法 (PIV) によって調べた。風洞測定部の床面に、200 mm×20 mm のバーナーの長辺を主流に直交させて設置し、メタン火炎を形成させた。メタン流量は 1.5 L/min とし、 U は 0.06～0.54 m/s の範囲で変えた。その結果、以下のことが分かった。1) 風が弱い時は渦が対になって定在し微動する。風が強くなると複数の渦が複雑な動きをする。2) 最大風速領域は、風が弱い時は渦周辺に現れ、風が強くなると渦とは無関係になる。3) $0.28\text{m/s} \leq U \leq 0.54\text{ m/s}$ の範囲では風が弱くなるほど渦の循環の絶対値 $|\Gamma|$ 、半径 r 、速度 v が増加する。これは、風が比較的弱い時ほど火災旋風の目撃が多いという事と一致する。4) 風が弱くなるほど $|\Gamma|$ 、 v が増加する原因は、 r が増加するためであり、渦内の空間平均渦度の変化によるものではない。5) $U \leq 0.38\text{ m/s}$ で渦が大きいのは、渦がほぼ定在するために渦度の集積が多いためである可能性が、 $U \geq 0.48\text{ m/s}$ で渦が小さいのは、渦がすぐに流出するために渦度の集積が少ないためである可能性が、流れ場から示唆される。

●令和2年1月14日

平底円筒貯槽の地震時底板浮上り現象の数理モデルの構築

○吉田 祐一

石油タンク等に代表されるアンカーされていない平底円筒貯槽は、水平地震動による転倒モーメントに伴う側板の引張力により、底板の一部が浮上り、隅角部に損傷が生じて貯液が流出する危険性がある。我が国でも、過去に底板の浮上りが原因とされる重油漏洩が発生している (1978 年宮城県沖地震)。一方、底板浮上り現象に関する研究成果は国内外問わず多くの蓄積があるものの、完全には解明されておらず、その評価手法には改善の余地がある。本報告で、鳥取大学の谷口教授らにより提案されているロッキング動液圧 (谷口・瀬川 2008)、ロッキング-バルジング相互作用 (谷口 2005) により低減するバルジング動液圧 (Marta・谷口 2017) を考慮した液荷重が底板に作用する場合の底板浮上り量・幅を梁モデル (林・谷口 2012) により試算した。この結果、ロッキング動液圧及び低減バルジング動液圧を考慮した場合は、静液圧のみを考えた場合に比べ、浮上り量が 76%、浮上り幅が 37%程度小さくなった。以上の結果より、ロッキング動液圧及び低減バルジング動液圧が浮上り量・幅に与える影響は無視出来ない程大きい為、底板浮上りの評価には、これらの動液圧を考慮する必要があると考えられる。

●令和2年3月10日

火災の仕組みと「自己組織化」について

○野村 祐子

令和元年7月に発生した爆発火災を受けて、京都市は火煙の特性に基づく消防計画の見直し等を促した。新技術や社会構造の変化等に関わる未経験の火災に対応するには、複雑な火災の仕組みを体系的に理解することによって、科学的根拠に基づき対策を講じる必要がある。しかし燃焼と消火のメカニズムを体系的に説明できる火災の理論は未だに構築されていない。そこで本発表では、科学的根拠に基づく火災予防対策と警防対策の推進に資することを目的として、エンジン等の制御された燃焼とは異なる「火災」の燃焼と消火のメカニズムを体系的に理解するために重要であると考えられる、「自己組織化 (または自発的秩序形成)」現象に関する主要な研究成果を紹介した。また、消防

教科書の理解に資する副教材として作成した実験映像を用いて、火災現象も自己組織化の一形態であることを説明した。さらに自己組織化研究から得られる示唆として、従来からの「燃焼の3要素(または4要素)」に基づく「燃焼と消火の理論」を修正し、燃焼現象を要素間の相互作用のネットワークとして表現する方法を提案した。これらによって、火災の仕組みを体系的に理解する教育実践の試行が可能になった。

●令和2年3月10日

火災現場における無人航空機を用いた情報収集方策の検討

—火災近傍における墜落危険要因の調査—

○清水幸平、新井場公德、土志田正二

火災現場上空を無人航空機(以下、ドローン)が飛行する際の危険性についての知見が乏しく利活用の課題になっている。

そこで、本研究では火災現場におけるドローン運用時の安全性向上を目的とし、火災近傍をドローンが飛行する際に受ける炎と熱の影響について確認した。

その結果、火炎の接炎や熱気流の影響によりプロペラの推力が一時的に低下し、機体の姿勢や高度が急激に変化する等の墜落危険要因の一部について知見を

得ることができた。今後も火災現場におけるドローン運用時の安全性向上のために、墜落の危険性について調査し、知見を蓄積する必要があると考えられる。

●令和2年3月10日

火災現場における無人航空機を用いた情報収集方策の検討

—消防活動に有効な空撮情報の調査—

○清水幸平、新井場公德、土志田正二、藤井皓介

火災現場において素早い情報収集と確実な実態把握は、消防活動の指揮判断を迅速に行う上で重要であり、上空からの俯瞰情報を取得できる無人航空機(以下、ドローン)の消防活動における活用が期待されている。しかし、火災現場におけるドローンの使用実績は乏しく、消防活動時の活用方策について十分な整理がなされていない。

本発表では、火災現場におけるドローンを用いた情報収集の有効性や課題について整理するために消防吏員を対象に実施した「火災現場における既存の情報収集」、「ドローン利活用の状況」、「ドローン利活用方策の有効性」に関するアンケート調査の結果について報告した。

7 調査技術会議

最近の火災調査や特異火災調査の事例、あるいは、危険物流出等の事故事例の紹介や原因調査に活かすことができる科学技術等について情報や意見の交換を行い、出火原因や事故発生原因のみならず、原因調査の進め方や行政繁栄方策などの火災・危険物流出等事故調査に関する情報を全国の消防本部等で共有することによって、各消防本部等における原因調査技術の向上を図ることを目的として令和元年度は「調査技術会議」を6回、全国各地で開催した。

第1回 令和元年5月17日開催 会場 三鷹市公会堂 参加者 421名

講演	消防研究センター 長尾一郎 消防研究センターと原因調査
事例発表1	消防研究センター 高橋伸幸 分析機器等を活用した火災調査について
事例発表2	横浜市消防局 内藤健太 酸化重合型塗料の塗料かすから出火した事例
事例発表3	松戸市消防局 前川 学 パソコン用バッテリーパックから出火しリコール社告に至った事例
事例発表4	静岡市消防局 村松 賢 駐車車両のメーターパネル基板から出火した事例について
事例発表5	甲府地区広域行政事務組合 内藤雄太 太陽電池モジュールから出火した事例
事例発表6	千葉市消防局 大槻 剛 セルフ屋外給油取扱所におけるコンタミ事案の違反処理について
事例発表7	川崎市消防局 設楽哲二 エアコンの接続不良による火災について

第2回 令和元年6月14日開催 会場 名古屋市中区役所ホール 参加者 258名

講演	消防研究センター 長尾一郎 消防研究センターと原因調査
事例発表1	消防研究センター 高橋伸幸 分析機器等を活用した火災調査について
事例発表2	磐田市消防本部 早川 淳 フォグランプが起因し出火した車両火災
事例発表3	岐阜市消防本部 大島恵子 充電式LRDヘッドライトから出火した事例
事例発表4	彦根市消防本部 室原健二 駐車車両から出火した火災について

事例発表 5	高山市消防本部 都竹憲昭 一般住宅の少量危険物からの流出事故
事例発表 6	駿東伊豆消防本部 佐野隆司 リサイクル固形燃料 RPF の自然発火事例
事例発表 7	名古屋市消防局 松本 学 実験、やりましょう！

第 3 回 令和元年 9 月 13 日開催 会場 フォレスト仙台 参加者 196 名

講演	消防研究センター 長尾一郎 消防研究センターと原因調査
事例発表 1	消防研究センター 高橋伸幸 分析機器等を活用した火災調査について
事例発表 2	盛岡地区広域消防組合 畠山和也 再現実験を行った火災事例
事例発表 3	仙台市消防局 佐藤英人 屋外タンク貯蔵所における危険物流出事故について
事例発表 4	秋田市消防本部 伊藤 善 LEDモジュールの火災事例について
事例発表 5	弘前地区消防事務組合 花田文人 電気ストーブの電流制御装置から出火した火災事例
事例発表 6	郡山地方広域消防組合 渡邊 裕 食器洗浄機から出火した事例
事例発表 7	新潟市消防局 市橋洋佑 鉄道会社の変電所から出火した火災事例

第 4 回 令和元年 10 月 31 日開催 会場 かでの 2.7 道立道民活動センター 参加者 234 名

講演	消防研究センター 長尾一郎 消防研究センターと原因調査
事例発表 1	消防研究センター 高橋伸幸 分析機器等を活用した火災調査について
事例発表 2	網走地区消防組合消防本部 里見圭祐 軽自動車のフォグランプから出火した火災事例について
事例発表 3	とちぎ広域消防局 貫田祐也 開放式石油ファンヒーターへガソリンを誤給油し、出火した事案について
事例発表 4	北見地区消防組合消防本部 臼杵駿吾 HIDフォグランプから出火した車両火災について
事例発表 5	登別市消防本部 田中 誠 限定的な燃焼条件下に発生する灯油漏洩が原因となったストーブからの出火について

事例発表 6	苫小牧市消本本部 三宅秀憲 過剰注入による屋外タンク貯蔵所からのガソリン流出事故について
事例発表 7	札幌市消防局 門田拓也 建物外での漏電に起因する建物火災について

第5回 令和2年1月24日開催 会場 大阪府立男女共同参画・青少年センター 参加者 274名

講演	消防研究センター 長尾一郎 消防研究センターと原因調査
事例発表 1	消防研究センター 高橋伸幸 分析機器等を活用した火災調査について
事例発表 2	神戸市消防局 村上大輔 高潮浸水による車両火災の出火原因と迅速な予防広報
事例発表 3	吹田市消防局 野田泰孝・白石将史 空気洗浄機から出火した火災について
事例発表 4	姫路市消防局 向原裕真 署活系無線機充電器融解事案について
事例発表 5	和歌山市消防局 橋本泰臣 移動タンク貯蔵所からの融解硫黄漏えい事故
事例発表 6	徳島市消防局 松本理史 ジャンプスターターに起因する車両火災
事例発表 7	大阪市消防局 西脇健人 サイロ施設で発生した粉塵爆発火災について

第6回 令和2年2月13日開催 会場 福岡市健康づくりサポートセンター 参加者 211名

講演	消防研究センター 長尾一郎 消防研究センターと原因調査
事例発表 1	消防研究センター 高橋伸幸 分析機器等を活用した火災調査について
事例発表 2	熊本市消防局 米須研二 土が着火物となった火災事例
事例発表 3	粕谷南部消防組合 井島守浩 廃油集中吸引装置を起因とした爆発火災
事例発表 4	北九州市消防局 木原健志 送風機能を失ったファンヒーターの火災について
事例発表 5	周南市消防本部 島村浩二 浮き屋根式屋外貯蔵タンクの危険物漏えい事故について
事例発表 6	宇部・山陽小野田消防局 榎原英樹 化学工場における廃液処理層からの火災

事例発表 7	福岡市消防局 川越怜史 アークマッピング法の活用について
--------	---------------------------------

Ⅲ 関連業務

1 研究交流

(1) 派遣

ア. 国際研究集会等

	派遣者名	期 間	派遣先	国際研究集会の名称等	経費負担方法
1	西 晴樹	2019.6.24 ～6.30	英国ベルファ スト	国際火災研究機関代表者会議 (FORUM)	
2	藤井皓介	2019.6.30 ～7.5	英国エガム市	15th International Conference on Fire Science and Engineering Interflam 2019	
3	大津暢人	2019.10.16 ～10.18	フランス共和 国ニース市	The 10th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management (第10 回国際総合防災学会大会)	
4	畑山 健	2019.12.7 ～12.15	米国カリフォ ルニア州サン フランシスコ 市	American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (2019年米国地球物 理学連合秋季大会)	
5	土志田正二	2019.12.8 ～12.14	米国カリフォ ルニア州サン フランシスコ 市	2019 AGU Fall Meeting (American Geophysical Union Fall Meeting)	

イ. 国内での調査

	派遣者名	期 間	派遣先	目 的 等
1	土志田正二	2019.7.19 ～7.21	長野県長野市・ 白馬市	長野県長野市および白馬市における地すべり地 形調査(依頼調査)
2	田村裕之	2019.9.10	千葉県市原市 消防局	水上メガソーラー火災の調査支援
3	新井場公德、 土志田正二	2019.10.14 ～10.16、 10.20 ～10.21	神奈川県相模 原市消防局	令和元年台風19号豪雨による土砂災害現場にお ける安全管理に係る技術的助言の実施

	派遣者名	期 間	派遣先	目 的 等
4	土志田正二	2019.12.26 ～12.27	広島県広島市	広島の花崗岩地域における崩壊地調査（科研費調査）
5	篠原雅彦、 佐伯一夢、 清水幸平、 藤井皓介、 土志田正二	2020.1.24, 2.8～2.9, 2.15, 2.22 ～2.24,3.3	静岡県伊東市	山焼き観測事前調査、観測機材設置、観測、撤収
6	畑山 健、 徳武皓也、 吉田祐一	2020.1.27 ～1.30	四国電力（株） 橘湾発電所	石油タンクバルジング振動固有周期実測実験
7	土志田正二、 清水幸平	2020.1.29 ～1.31	福島ロボット テストフィー ルド	災害対応無人航空機運用アドバイザー育成事業
8	田村裕之、 塚目孝裕、 高橋伸幸、 渡辺有為、 前田勝圭	2020.3.16	秋田県能代山 本広域消防本 部	消防本部庁舎における落雷火災及び事業所の落 際火災の原因調査

(2) 受け入れ

ア. 実務研修員

	研修員名（所属等）	期 間	研 修 部 局	研修担当官
1	林 雅彦（さいたま市消防局）	2018.4.1 ～2020.3.31	原因調査室	原因調査室長
2	田村孝一（横浜市消防局）	2018.4.1 ～2020.3.31	原因調査室	原因調査室長
3	渡辺有為（佐倉市八街市酒々井町消防本部）	2018.4.1 ～2020.3.31	原因調査室	原因調査室長
4	前田勝圭（西宮市消防局）	2018.4.1 ～2020.3.31	原因調査室	原因調査室長
5	田中 優（上越地域消防事務組合）	2019.4.1 ～2021.3.31	原因調査室	原因調査室長
6	上原邦夫（川崎市消防局）	2019.4.1 ～2021.3.31	原因調査室	原因調査室長

	研修員名(所属等)	期 間	研 修 部 局	研修担当官
7	竹中敦一(浦安市消防本部)	2019.4.1 ~2021.3.31	原因調査室	原因調査室長
8	繁田幸佑(静岡市消防局)	2019.4.1 ~2021.3.31	原因調査室	原因調査室長

イ. 連携研究員

	研究員名(所属等)	期 間	研 究 課 題	受入研究室
1	清水幸平(東京消防庁)	2018.4.1 ~2020.3.31	火災現場におけるドローンの利活用に関する研究	地震等災害研究室
2	原島裕貴(東京消防庁)	2019.4.1 ~2021.3.31	グレーチング床が及ぼす煙感知器の動作への影響	大規模火災研究室

(3) 共同研究

ア. 国際学術交流

	機 関 名	国 名	実施期間
1	National Institute of Standards and Technology / Engineering Laboratory (米 国国立標準技術研究所/工学研究所)	米国	2014.7.24 ~2024.6.16

イ. 調査・共同研究等

	共同研究課題名	共同研究相手先	担当研究室	実施期間
1	大規模地震災害時の同時多発火災対応に関する共同研究	横浜市消防局	地震等災害研究室、上席研究官	2016.3.31 ~2020.3.31
2	Experimental Study on the Structure Ignitions by Firebrand showers	National Institute of Standards and Technology, Engineering Laboratory	大規模火災研究室	2016.4.8 ~2021.3.31
3	泡消火技術の高度化に関する共同研究	深田工業株式会社、第一化成産業株式会社	危険性物質研究室	2016.4.28 ~2021.3.31
4	液体・固体可燃物に対する各消火剤の消火性能評価に関する共同研究	株式会社モリタホールディングス	危険性物質研究室	2017.1.16 ~2021.3.31
5	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	北海道科学大学、札幌市消防局	原因調査室、大規模火災研究室、特殊災害研究室	2017.3.10 ~2021.3.31

	共同研究課題名	共同研究相手先	担当研究室	実施期間
6	地震動による石油タンクの浮き上がり挙動の予測に関する研究	国立大学法人鳥取大学	施設等災害研究室	2017.4.1 ～2020.3.31
7	火災原因調査における爆発現象判断のための実験的研究	横浜市消防局	特殊災害研究室	2017.4.1 ～2022.3.31
8	石油タンクの内面コーティングの劣化評価技術にかかわる基盤研究	国立大学法人横浜国立大学	施設等災害研究室	2017.10.1 ～2020.3.31
9	救急自動車最適運用システムに関する共同研究	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ、日本電信電話株式会社	特殊災害研究室	2018.1.1 ～2021.3.31
10	拠点間連携共同研究「巨大地震による斜面災害発生個所の事前予測方法の検討」	国立大学法人京都大学防災研究所	地震等災害研究室	2019.4.1 ～2019.3.31
11	住宅火災による死亡率に関するコウホート分析	統計数理研究所	大規模火災研究室	2019.4.1 ～2020.3.31
12	消防ロボットシステム(スクラムフォース)の最適化等に関する研究	市原市消防局	特別上席研究官	2019.9.24 ～2021.3.31
13	火入れ時に発生する旋回気流の風速測定についての研究	日本気象株式会社	大規模火災研究室 地震等災害研究室	2020.2.1 ～2021.3.31
14	救急車用(小型トラック用)パンク対応タイヤの研究開発	株式会社ブリヂストン	特殊災害研究室	2020.3.19 ～2021.3.31
15	国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターとの連携・協力に関する協定	国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター	地震等災害研究室	2020.3.30 ～2023.3.31

(4) 競争的資金

ア. 科研費

	種 別	期間、相手先、参加者名	共同研究課題名	担当室名
1	科学研究費助成事業(基盤研究(B))	平成 29 年度～平成 31 年度、山梨大学・後藤聡	噴火史の視点から火山砕屑物の生成・移動過程を評価した斜面災害リスクマップの開発	土志田正二
2	科学研究費助成事業(基盤研究(B))	平成 29 年度～令和 2 年度 気象庁気象研究所	揺れの数値予報：広帯域時刻歴波形のリアルタイム予測	畑山 健

	種 別	期間、相手先、参加者名	共同研究課題名	担当室名
3	科学研究費助成事業 (基盤研究(C)(一般))	平成30年度～令和2年度	火災拡大における複合的要素の適切な評価手法の構築	鈴木佐夜香
4	科学研究費助成事業 (基盤研究(C)(一般))	平成30年度～令和2年度	小学校理科におけるエネルギー概念の理解を深める防火教育教材の開発	野村祐子
5	科学研究費助成事業 (基盤研究(C)(一般))	平成30年度～令和2年度 国立大学法人静岡大学	プローブカー情報とヘリコプター情報の統合による大規模災害時道路情報把握システム	田村裕之
6	科学研究費助成事業 (若手研究)	平成30年度～令和2年度	重防食コーティングの余寿命評価及び劣化機構解明に資する新劣化加速手法の確立	徳武皓也
7	科学研究費助成事業 (挑戦的研究(開拓))	平成30年度～令和2年度 長谷見雄二(早稲田大学)、 鍵屋浩司(建築研)、松山 賢 (東京理科大学)	火災の早期対応・鎮圧を目標とする火災拡大抑制対策枠組の構築	鈴木恵子
8	科学研究費助成事業 (若手研究)	平成30年度～令和3年度	津波避難タワーを含む市街地における津波避難時の災害時要援護者の支援に関する研究	大津暢人
9	科学研究費助成事業 (若手研究)	令和元年度～令和3年度	火災原因調査における熱分解GCを用いた焼損物の同定手法の確立	佐藤康博
10	科学研究費助成事業 (若手研究)	令和元年度～令和3年度	大規模施設在館者のフルプルーフを考慮した避難誘導方法の検討	藤井皓介
11	科学研究費助成事業 (基盤研究(B))	令和元年度～令和3年度、筑波大学・八反地剛	地形プロセス、地形発達、空間情報の融合による表層崩壊の時空間解析へ向けた新展開	土志田正二

2 所外講師派遣及び所外委員会等参加状況

(1) 所外講師派遣状況

ア. 大学教授等

	派遣先機関	講義題目	職名	氏名
1	名古屋大学減災連携研究センター	減災連携研究	客員教授	細川直史
2	国立大学法人神戸大学	救急避難システム論	客員准教授	久保田勝明
3	国立大学法人横浜国立大学 大学院環境情報研究院		客員准教授	畑山 健
4	東京理科大学大学院理工学研究科		客員准教授	阿部伸之
5	国立大学法人神戸大学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 減災空間設計法 ・ Issues of Disaster Prevention and Mitigation – Disaster prevention and mitigation for earthquake ・ Issues of Disaster Risk Reduction -Governance Issues of Disasters 	准教授 (客員部門)	大津暢人

イ. 消防大学校講義

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
1	2019.6.7	火災調査科 (第 37 期)	講話	長尾一郎
2	2019.6.10	火災調査科 (第 37 期)	機器分析 (原理と構造)	尾川義雄
3	2019.7.1	幹部科 (第 58 期)	自然災害のメカニズムと活動時の安全管理	新井場公德
4	2019.7.2	危険物科 (第 14 期)	火源管理 1	田村裕之
5	2019.7.10	危険物科 (第 14 期)	指定可燃物	岩田雄策
6	2019.7.16	危険物科 (第 14 期)	火災調査・漏洩調査	西 晴樹
7	2019.7.17	危険物科 (第 14 期)	燃焼理論	尾川義雄
8	2019.7.19	危険物科 (第 14 期)	刑事裁判で使用される報告書と証人出廷	塚目孝裕

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
9	2019.7.23	火災調査科(第37期)	長官調査	塚目孝裕
10	2019.9.12	幹部科(第58期)	防災科学	滝明
11	2019.9.24	予防科(第106期)	避難対策	鈴木恵子
12	2019.9.25	予防科(第106期)	予防実務3	塚目孝裕
13	2019.10.17	幹部科(第59期)	自然災害のメカニズムと活動時の安全管理	新井場公德
14	2019.10.21	火災調査科(第38期)	機器分析(原理と構造)	尾川義雄
15	2019.10.24	幹部科(第59期)	防災科学	滝明
16	2019.11.12	火災調査科(第38期)	講話	長尾一郎
17	2019.12.5	火災調査科(第38期)	長官調査	高橋伸幸
18	2020.1.27	幹部科(第60期)	防災科学	滝明
19	2020.1.30	上級幹部科(第83期)	研究調査	長尾一郎
20	2020.1.30	予防科(第107期)	避難対策	鈴木恵子
21	2020.2.3	予防科(第107期)	予防実務3	塚目孝裕
22	2020.2.5	NBC コース	検知と同定	塚目孝裕
23	2020.2.7	幹部科(第60期)	自然災害のメカニズムと活動時の安全管理	新井場公德

ウ. その他講義

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
1	2019.5.15	佐野市危険物保安協会	佐野市危険物保安協会創立60周年記念式典・化学物質による火災事例と予防策について	岩田雄策
2	2019.5.18	東京都退職公務員連盟調布市支部の総会	調布市生涯学習出前講座、火災と地震の科学-調布市における市街地火災燃焼と地震の危険性	細川直史
3	2019.5.23	公益財団法人全国市町村国際文化研修所	平成31年度「消防職員コース～非常時における外国人とのコミュニケーション」	久保田勝明
4	2019.5.25～12.7(全講義各4回)	獨協大学	2019年度オープンカレッジ	塚目孝裕
5	2019.6.3	千葉県消防局	千葉県危険物防災講習会・危険物の火災危険性、事故事例および予防対策について	岩田雄策
6	2019.6.21	東灘防火安全協会	東灘防火安全協会総会「地震発生から津波到達までの時間管理」	大津暢人

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
7	2019.6.21	丹羽危険物安全協会	太陽光発電システムの火災と火災時の危険性	田村裕之
8	2019.7.8	山武郡市広域行政組合消防本部	土砂災害にかかる研修会	新井場公德
9	2019.8.23	淡路広域消防事務組合消防本部	太陽光発電システムの火災・水害時における消防活動上の危険性	田村裕之
10	2019.8.27	一般社団法人太陽光発電協会	洪水・高潮等の水害時に発生した太陽光発電設備の火災	田村裕之
11	2019.9.5	2019年度日本建築学会大会(北陸)防火部門研究協議会	主題解説 消防の視点からみた新しい防火基準の課題と論点	鈴木恵子
12	2019.10.17	日本タンクターミナル協会	危険物施設・危険物の事故事例と安全対策	西 晴樹
13	2019.10.24	原子力規制庁	原子力施設における火災防護に関する研修「原子力施設における安全かつ的確な消防活動」	鈴木 健
14	2019.10.31	国連訓練調査研究所 (UNitar)	“ Efficiently Transporting Vulnerable People During Tsunami Evacuations in Urban Areas”、津波防災に関する女性のリーダーシップ研修 2019	大津暢人
15	2019.11.9	早稲田大学 人間科学部	専門ゼミⅡ (建築人間工学)	藤井皓介
16	2019.11.22	公益財団法人新潟県危険物安全協会	危険物施設における事故事例と安全対策	西 晴樹
17	2019.11.27	一般社団法人日本高圧力技術協会	日本高圧力技術協会技術セミナーにおける講演「2018年北海道胆振東部地震による石油タンクへの被害・影響と地震動の特徴」	畑山 健
18	2019.11.28 ～11.29	新潟県危険物事故防止連絡会	危険物実務研修会	塚目孝裕
19	2019.12.5	一般社団法人日本太陽光発電検査技術協会	住宅等に設置した太陽光発電システムの火災	田村裕之
20	2019.12.11	静岡県消防学校	専科教育 予防査察・危険物科(第4期)「避難対策」	鈴木恵子
21	2019.12.20	稲敷広域消防本部	令和元年度火災調査研究発表会	塚目孝裕
22	2020.1.15	磐田市消防本部	磐田市危険物安全協会保安管理研修会	

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
23	2020.1.22	一般社団法人日本高圧力技術協会	エネルギー貯槽等安全性専門研究委員会構造・設計専門委員会における講演「2018年北海道胆振東部地震による石油タンクへの被害・影響と地震動の特徴」	畑山 健
24	2020.1.23	下原・砂古自主防災組織	要援護者の避難誘導に関する調査中間報告会 「平成30年7月豪雨にともなう岡山県総社市下原地区における要援護者の避難行動調査報告」	大津暢人
25	2020.1.23	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所	調布市生涯学習出前講座、火災と地震の科学-調布市における市街地火災燃焼と地震の危険性-	細川直史
26	2020.1.29	特定非営利活動法人群馬県地すべり防止工事士会	土砂災害時の消防救助活動や安全管理	土志田正二
27	2020.1.31	株式会社 LSI メディエンス	分析室、実験室における火災安全	鈴木 健
28	2020.2.7	東京消防庁	土砂災害対応要領について	土志田正二
29	2020.2.14	横浜国立大学	自然災害に起因する危険物施設からの火災や漏洩事故	西 晴樹
30	2020.2.20	一般社団法人神奈川県高圧ガス保安協会	コンビナート部会保安技術講習会における講演「石油タンクの地震・津波被害簡易予測－何がどこまでできるか？」	畑山 健
31	2020.2.20 ～2.21	消防庁広域応援室	土砂・風水害機動支援部隊特殊車両習熟訓練	久保田勝明
32	2020.3.16	千葉県消防学校	豪雨・地震災害「土砂災害」	土志田正二

(2) 所外委員会、研究会への参加状況

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
1	東京理科大学	火災安全科学研究拠点運営委員会	委員	阿部伸之
2	公益社団法人日本火災学会	理事会	理事	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
3	公益社団法人日本火災学会	普及委員会	委員	阿部伸之
4	公益社団法人日本火災学会	企画委員会	委員	
5	一般財団法人日本消防設備安全センター	性能評価専門委員会	委員	
6	一般財団法人日本消防設備安全センター	消防防災活動用資機材等専門委員会	委員	天野久徳
7	一般社団法人日本ロボット学会	第 37 回日本ロボット学会 学術講演会 表彰委員会	委員	
8	危険物保安技術協会	大型化学消防車等評価委員会	委員長	
9	公益財団法人計測自動制御学会	システムインテグレーション(SI)部門 フィールドロボティクス部会	運営委員	
10	公益財団法人計測自動制御学会	システムインテグレーション(SI)部門 レスキュー工部学会	運営委員	
11	国立研究開発法人科学技術振興機構	国際科学技術共同研究推進事業(戦略的国際共同研究プログラム)	アドバイザー	
12	特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構	World Robot Summit インフラ・災害対応競技委員会	委員	
13	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporated	IEEE Robotics & Automation Society, TC on Safety, Security and Rescue Robots	メンバー	
14	公益社団法人日本地すべり学会	理事会	理事	新井場公徳
15	International Consortium on Landslide	World Landslide Forum 5 国内組織委員会	委員	
16	消防庁	火災危険性を有するおそれのある物質等に関する調査検討会	委員	岩田雄策
17	一般財団法人消防試験研究センター	危険物取扱者試験専門員	専門員	
18	公益社団法人日本化学会	日本化学会環境・安全推進委員会 防災小委員会	委員	
19	公益社団法人日本火災学会	化学火災専門委員会	委員	
20	公益社団法人日本火災学会	日本火災学会火災便覧(第4版) 編集委員会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
21	危険物保安技術協会	教育用視聴覚教材製作委員会	委員	岩田雄策
22	特定非営利活動法人安全工学会	安全工学普及委員会	委員	
23	公益社団法人日本火災学会	学術委員会	委員	大津暢人
24	公益社団法人日本火災学会	地震火災専門委員会	委員	
25	ISO/TC21 委員会	ISO/TC21/SC2 分科会	委員	尾川義雄
26	一般財団法人日本消防設備安全センター	ガス系消火設備等専門委員会	委員	
27	公益社団法人日本火災学会	日本火災学会学術委員会消火の科学に関する専門委員会	委員	
28	東京消防庁消防技術安全所	技術改良検証課題検討委員会	委員	
29	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所	災害時輸送計画支援システム開発委員会	委員	久保田勝明
30	一般社団法人日本消防服装・装備協会	防火服等の自主管理委員会	専門委員	佐藤康博
31	公益社団法人日本火災学会	総務委員会	委員	
32	公益社団法人日本火災学会	火災誌編集小委員会	委員	
33	国土交通省国土技術政策総合研究所	防火・避難規定等の合理化による既存建物活用に資する技術開発、主要構造部・避難WG	委員	篠原雅彦
34	一般社団法人建築・住宅国際機構	ISO/TC92・TC21/SC11	委員	
35	消防庁予防課	超大規模防災対象物等における自衛消防活動のあり方に関する検討部会	委員	
36	東京消防庁	第24期火災予防審議会	委員	
37	国土交通省国土技術政策総合研究所	建築防火基準委員会	委員	鈴木恵子
38	ASPACC	Scientific committee	委員	
39	Fire Technology	Editorial Board	委員	
40	IAFSS	Scientific committee (13th IAFSS)	委員	
41	IAFSS	Large Outdoor Fires and the Built Environment (LOF&BE)Working group	Leader	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
42	IAFSS	Nomination Committee	委員	鈴木佐夜香
43	SFPE	SFPE Handbook	Duputy Section Editor	
44	Springer Nature	Encyclopedia of wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) fires	Section Editor	
45	一般財団法人日本燃焼学会	第 57 回燃焼シンポジウム 実行委員会	委員	
46	一般財団法人日本燃焼学会	編集委員会	委員	
47	一般財団法人日本燃焼学会	理事会	理事	
48	一般財団法人日本燃焼学会	将来構想委員会	委員	
49	国土交通省国土技術政策総合研 究所	防火・避難規定等の合理化 による既存建物活用に資す る技術開発 市街地火災 WG	委員	
50	公益社団法人日本火災学会	理事会	理事	鈴木 健
51	公益社団法人日本火災学会	学術委員会	委員	
52	一般財団法人首都高速道路技術 センター	横浜環状北西線トンネル防 災安全検討委員会	委員	
53	一般社団法人日本電気協会	防火管理検討会	委員	
54	特定非営利活動法人安全工学会	学術委員会	委員	
55	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3 分科会	委員	
56	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG2	委員	
57	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG6	委員	
58	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG7	委員	
59	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG9	委員	
60	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG14 (警報 装置 G)	委員	
61	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG15	委員	
62	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG17	委員	
63	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG18	委員	
64	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG21	委員	
65	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG22	委員	
66	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG23	委員	
67	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG24	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
68	一般社団法人日本消防設備安全センター	警報設備等専門委員会	委員	高梨健一
69	一般社団法人日本消防設備安全センター	保守用機器等専門委員会	委員	
70	日本消防検定協会	特定警報避難機器評価委員会	委員	
71	独立行政法人製品評価技術基盤機構	事故動向等解析専門委員会	委員	高橋伸幸
72	一般社団法人全国消防機器協会	消防機器等製品情報センター運営会議	委員	滝 明
73	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG10	委員	田村裕之
74	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG20	委員	
75	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG8	委員	
76	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG27	委員	
77	一般社団法人静電気学会	理事会	監事	
78	一般社団法人静電気学会	静電気リスクアセスメント研究委員会	委員	
79	一般社団法人静電気学会	全国大会実行委員会	委員	
80	一般財団法人日本消防設備安全センター	避難設備等専門委員会	委員	
81	一般財団法人日本消防設備安全センター	防火安全機器等専門委員会	委員	
82	一般財団法人日本消防設備安全センター	消防設備システム評価委員会	委員	
83	一般財団法人日本消防設備安全センター	消防設備システム第1専門委員会	委員	
84	一般財団法人日本電子部品信頼性センター	61340 4-4 JIS 原案作成委員会	委員	
85	一般社団法人日本空調システムクリーニング協会	飲食店におけるダクト火災抑制方策に関する検討部会	委員	
86	独立行政法人日本学術振興会協力会	信頼性システム技術研究会(学振175委員会)	委員	
87	独立行政法人労働安全衛生総合研究所	労働安全衛生研究評価部会	委員	
88	日本消防検定協会	消防機器等評価委員会	委員	
89	日本消防検定協会	特定初期拡大抑制機器評価委員会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
90	日本消防検定協会	初期警報装置等技術基準検討部会	委員	田村裕之
91	東京消防庁	技術改良検証課題検討委員会	委員	
92	消防庁予防課	全出力 50kW を超える電気自動車用急速充電設備の安全対策に関する検討部会	委員	
93	消防庁予防課	小規模飲食店に設ける厨房用自動消火装置等のあり方に関する検討部会	委員	
94	一般社団法人日本消防設備安全センター	ガス系消火設備等評価専門委員会	委員	塚目孝裕
95	一般社団法人日本消防服装・装備協会	防火服等自主管理委員会	委員	
96	公益社団法人日本火災学会	編集小委員会	委員	
97	市原市	市原市石油コンビナート保安推進委員会	副委員長	
98	富山県消防課	富山県堺原因調査等研究委員会	委員	
99	消防庁予防課	特殊消火設備の設置基準等に係る検討部会	委員	徳武皓也
100	一般社団法人日本高圧力技術協会	エネルギー貯槽等の安全専門研究委員会 EST-3 (維持・管理)	中立委員	
101	一般社団法人日本高圧力技術協会	大規模地震・津波に対する石油備蓄陸上タンクの健全性評価システムの構築に関する調査研究委員会 第二分科会	委員	
102	公益社団法人日本地すべり学会	事業計画部会	幹事	土志田正二
103	東京大学	空間情報科学研究センター	客員研究員	
104	一般財団法人日本防火・防災協会	情報誌「地域防災」編集委員会	幹事	長尾一郎
105	一般財団法人消防防災科学センター	季刊誌「消防防災の科学」編集委員会	委員	
106	一般社団法人 日本電気協会	澁澤賞選考委員会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名	
107	一般財団法人日本消防設備安全センター	消防防災用設備機器性能評定委員会	委員	長尾一郎	
108	一般財団法人日本消防設備安全センター	小規模防火対象物用自動消火設備専門委員会	委員		
109	一般財団法人日本消防設備安全センター	消防防災研究助成審査委員会	委員		
110	一般財団法人日本消防設備安全センター	性能評価委員会	委員		
111	一般財団法人日本消防設備安全センター	消防設備システム評価委員会	委員		
112	一般財団法人日本消防設備安全センター	ガス系消化設備等評価委員会	委員		
113	公益社団法人ロングライフビル推進協会	総合技術開発プロジェクト「防火・避難規定等の合理化による既存建物活用に資する技術開発」技術開発 1,2 合同委員会	委員		
114	中日本高速道路株式会社	東名高速道路 中吉田高架橋 塗装塗替え工事による火災事故再発防止委員会	委員		
115	ISO/TC21 事務局	ISO/TC21 委員会	委員		
116	国土交通省国土技術政策総合研究所	建築防火基準委員会	委員		
117	消防庁予防課	優良消防用設備等審査会	委員		
118	特定非営利活動法人安全工学会	理事会	理事		西 晴樹
119	特定非営利活動法人安全工学会	総務委員会	委員長		
120	特定非営利活動法人安全工学会	編集委員会	委員		
121	特定非営利活動法人安全工学会	第 52 回安全工学研究発表会実行委員会	委員		
122	一般財団法人全国危険物安全協会	地下タンク等の点検方法等の性能評価委員会	委員		
123	国立研究開発法人防災科学技術研究所	大型耐震実験施設運用委員会	委員長		
124	危険物保安技術協会	危険物関連設備等性能評価委員会及び同専門委員会	委員		
125	危険物保安技術協会	機関誌編集委員会	委員		

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
126	危険物保安技術協会	コーティング上からの溶接線検査に係る検討委員会	委員	西 晴樹
127	横浜国立大学先端科学高等研究院	災害・事故に関する化学物質流出のシナリオ構築と防災減災戦略アドバイザーボード	委員	
128	川崎市	川崎市コンビナート安全対策委員会	委員	
129	消防庁危険物安全保安室	危険物施設の長期使用に係る調査検討会	委員	
130	消防庁危険物安全保安室	屋外貯蔵タンクの浮き屋根の安全対策に関するワーキンググループ	委員	
131	公益社団法人日本地震学会	強震動委員会	委員	
132	一般社団法人日本高圧力技術協会	令和年度大規模地震・津波に対する石油備蓄陸上タンクの健全性評価システムの構築に関する研究委員会第1分科会	委員	
133	一般社団法人日本高圧力技術協会	令和元年度 大規模地震・津波に対する石油備蓄陸上タンクの健全性評価システムの構築に関する研究委員会第1分科会	委員	
134	神奈川県	神奈川県石油コンビナート等防災対策検討会	委員	
135	一般社団法人日本照明工業会	登録認定機関 JEA 誘導灯認定委員会	委員	藤井皓介
136	一般社団法人日本建築ドローン協会	JADA 建築ドローン消防防災利活用検討委員会	委員	
137	Journal of Disaster Research	編集委員会	委員	
138	一般社団法人電子情報通信学会	安全・安心な生活と ICT 研究専門委員会	専門委員	
139	公益財団法人日本防災協会	防災ニュース編集委員会	委員	
140	消防庁特殊災害室	先進技術を活用した石油コンビナート災害対応に関する検討会	専門	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
141	東京消防庁	警防業務事故再発防止対策 検討部会	部会員	細川直史
142	東京消防庁	第24期火災予防審議会	委員	
143	一般財団法人全国危険物安全協 会	地下タンク等の点検方法等 の性能評価委員会	部会員	松島早苗
144	一般財団法人全国危険物安全協 会	鋼製地下タンク FRP 内面ラ イニング施行事業者認定員 会	委員	
145	一般財団法人日本消防設備安全 センター	水系消火設備等専門委員会	委員	
146	一般財団法人日本消防設備安全 センター	防火材等専門委員会	委員	
147	一般財団法人日本消防設備安全 センター	可撓管継手等専門委員会	委員	
148	一般社団法人日本高圧力技術協 会	令和元年度 大規模地震・津 波に対する石油備蓄陸上タ ンクの健全性評価システム の構築に関する研究委員会 第1分科会	委員	吉田祐一

(3) 所外実験・研究等への参加状況

	実験・研究名等	主催団体名	分担事項	参加者	期間
1	苫小牧東部国家石 油備蓄基地におけ る微動測定	一般社団法人日本 高圧力技術協会	大規模地震・津波に対す る石油備蓄陸上タンク の健全性評価システム の構築のためのタンク ヤード毎の地震動増幅 特性の評価	畑山 健 吉田祐一	2019.10.7 ～10.10
2	むつ小川原国家石 油備蓄基地におけ る微動測定	一般社団法人日本 高圧力技術協会	大規模地震・津波に対す る石油備蓄陸上タンク の健全性評価システム の構築のためのタンク ヤード毎の地震動増幅 特性の評価	畑山 健 吉田祐一	2019.11.11 ～11.14

	実験・研究名等	主催団体名	分担事項	参加者	期間
3	地震を受けたコーティングの割れ挙動の確認と長期使用されたコーティングのインピーダンスデータ採取	一般社団法人日本高圧力技術協会	タンク底部内面コーティング損傷度評価プログラムの高度化に向けた試験及び検討	徳武皓也 吉田祐一	2019.12.8 ～12.11
4	2018年台風21号に伴って発生した火災に関する調査	公益社団法人日本火災学会地震火災等専門委員会	2018年台風21号に伴い発生した大阪湾岸における火災について、大阪市消防局、泉州南消防組合および神戸市消防局を対象にした聞き取り調査	大津暢人	2020.1～3
5	リチウムイオン蓄電池燃焼実験	消防庁危険物保安室	NITE で実施した燃焼実験補助	塚目孝裕 田村博之	2020.2.17 ～2.20

3 災害調査等

(1) 災害調査

ア. 長官調査（主体調査）：消防法第 35 条の 3 の 2 の規定に基づき、消防庁長官が特に必要と認めた
令和元年度は該当なし

イ. 長官調査（要請調査）：消防法第 35 条の 3 の 2 の規定に基づき、消防長又は都道府県知事から消防庁長官に対しての求めによる火災の原因調査
令和元年度は該当なし

ウ. 長官調査（要請調査）：消防法第 16 条の 3 の 2 の規定に基づき、市町村長等から消防庁長官に対しての求めによる危険物流出等の事故原因調査
令和元年度は該当なし

エ. センター調査（依頼）：消防長等による依頼に基づく特異な火災に対する火災原因調査に関する技術支援

	発災日	場所	施設等名称	概要	現地出向者	現地調査日
1	2019.5.16	徳島県徳島市	屋外タンク貯蔵所火災	油槽所の屋外タンクが、タンカーからの荷卸ろし中に爆発し火災となったもの。	西 晴樹 田村裕之 高橋伸幸 上原邦夫 田村孝一 繁田幸佑	2019.5.16 ～2019.5.19 2019.6.16 ～2019.6.19
2	2019.6.20	福井県永平寺町	織物工場火災	繊維工場で出火し、工場棟 3 棟を含む計 4 棟約 3,500m ² を焼損し、死者 4 名、負傷者 4 名を生じたもの。	高橋伸幸 田中 優 前田勝圭 竹中敦一	2019.7.22 ～2019.7.26

	発災日	場所	施設等名称	概 要	現地出向者	現地調査日
3	2019.8.3	埼玉県伊奈町	危険物倉庫 火災	化学工場の危険物保管倉庫から出火し、保管されていた危険物、及び倉庫一棟m2を焼損したものの。	①塚目孝裕 田中 優 繁田幸佑 ②田村孝一 渡辺有為 ③高橋伸幸 土志田正二 佐伯一夢 清水幸平 ④高橋伸幸 繁田幸佑 ⑤高橋伸幸 林 雅彦 田中 優 上原邦夫 竹中敦一 繁田幸佑 ⑥高橋伸幸 林 雅彦 上原邦夫 繁田幸佑 ⑦塚目孝裕 高橋伸幸 林 雅彦 上原邦夫 竹中敦一 繁田幸佑 ⑧高橋伸幸 林 雅彦 田中 優 前田勝圭 渡辺有為 竹中敦一 繁田幸佑 ⑨塚目孝裕 高橋伸幸 繁田幸佑	①2019.8.6 ～2019.8.7 ②2019.8.6 ③2019.8.7 ④2019.8.28 ⑤2019.9.5 ～2019.9.6 ⑥2019.9.10 ⑦2019.9.20 ⑧2019.10.10 ～2019.10.11 ⑨2019.12.6 2020.3.9

	発災日	場所	施設等名称	概要	現地出向者	現地調査日
4	2019.10.31	沖縄県那覇市	首里城火災	首里城正殿から出火し、全焼6棟、焼損程度調査中2棟の計8棟を焼損したものの。	①塚目孝裕 ②林 雅彦 前田勝圭 田中 優 ③高橋伸幸 ④渡辺有為 ⑤西 晴樹 ⑥塚目孝裕 高橋伸幸 田村孝一 田中 優 上原邦夫	①2019.10.31 ～2019.11.1 ②2019.10.31 ～2019.11.7 ③2019.11.2 ～2019.11.7 ④2019.11.5 ～2019.11.7 ⑤2020.3.5 ～2020.3.6 ⑥2020.3.5 ～2020.3.7
5	2020.1.17	群馬県伊勢崎市	給油取扱所火災	給油取扱所で、計量器の給油ノズルからホームローリー搭載のタンクに天面マンホールから軽油を給油していたところ出火し、ホームローリー等527m ² を焼損する火災となったものの。	①田村裕之 鈴木 健 高橋伸幸 田中 優 上原邦夫 繁田幸佑 ②林 雅彦	①2020.1.21 ～2020.1.22 ②2020.1.22

オ. センター調査(自主): 消防研究センターの自主的な災害・事故・火災原因等調査

	発災日	場所	概要	現地出向者	現地調査日
1	2019.10.6 ～10.13	群馬県富岡市	令和元年東日本台風(台風第19号)豪雨による土砂災害調査	土志田正二 (地すべり学会関東支部メンバーと同行)	2019.11.4
2	2019.10.6 ～10.13	神奈川県相模原市	令和元年東日本台風(台風第19号)豪雨による土砂災害調査	土志田正二 (相模原市消防本部職員と同行)	2020.2.26

	発災日	場所	概要	現地出向者	現地調査日
3	2019.10.6 ～10.13	宮城県丸森町	令和元年東日本台風（台風第19号）による土砂災害・水害調査	新井場公德 土志田正二	2020.3.25 ～3.27
4	2019.10.25	千葉県千葉市	令和元年10月25日豪雨による土砂災害調査	新井場公德 土志田正二	2019.11.13
5	2019.10.31	沖縄県那覇市	首里城火災の建物と延焼状況及び火の粉に関する調査	鈴木恵子 鈴木佐夜香	2019.11.4 ～11.5
6	2020.2.27	広島県尾道市因島	因島土生地区で発生した延焼火災に関する調査	鈴木恵子	2020.3.4

カ. センター調査（依頼）：市町村長等による依頼に基づく危険物流出等の事故原因調査に関する技術支援

令和元年度は該当なし

キ. センター調査（自主）：消防研究センターの自主的な危険物流出等の事故原因調査に関する技術支援

令和元年度は該当なし

(2) 鑑定・鑑識

ア. 鑑定

	支援年月	発災県	概要	鑑定者
1	2019.4	兵庫県	石油ストーブの残さの鑑定	原因調査室
2	2019.5	大分県	車両火災の残さ物の鑑定	原因調査室
3	2019.5	山形県	石油コンロの残さ物の鑑定	原因調査室
4	2019.5	兵庫県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
5	2019.5	秋田県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
6	2019.5	秋田県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
7	2019.6	群馬県	焼却炉スラッジの鑑定	原因調査室
8	2019.6	神奈川県	車両の残さ物の鑑定	原因調査室
9	2019.6	兵庫県	建物火災現場から収去した油の鑑定	原因調査室
10	2019.7	大阪府	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
11	2019.7	山形県	車両火災の残さ物の鑑定	原因調査室
12	2019.7	新潟県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
13	2019.7	鹿児島県	焼損物に付着した油性分の鑑定	原因調査室
14	2019.7	茨城県	車両から収去した残さ物等の鑑定	原因調査室
15	2019.8	青森県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室

	支援年月	発災県	概要	鑑定者
16	2019.8	岩手県	車両火災の残さの鑑定	原因調査室
17	2019.8	千葉県	建物火災の残さの鑑定	原因調査室
18	2019.8	新潟県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
19	2019.9	群馬県	車両火災の残さの鑑定	原因調査室
20	2019.9	愛知県	工場ダクト内スラッジの鑑定	原因調査室
21	2019.9	千葉県	建物火災の残さの鑑定	原因調査室
22	2019.9	茨城県	液晶テレビ電源 A C アダプターの鑑定	原因調査室
23	2019.9	大阪府	集塵機の塵の鑑定	原因調査室
24	2019.9	茨城県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
25	2019.9	秋田県	粉末消火器の粉末	原因調査室
26	2019.9	茨城県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
27	2019.9	大阪府	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
28	2019.9	埼玉県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
29	2019.9	秋田県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
30	2019.9	福島県	給油タンク内残渣の鑑定	原因調査室
31	2019.9	千葉県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
32	2019.10	大阪府	ダクト内の残さ物の鑑定	原因調査室
33	2019.10	埼玉県	工場ダクト内の残さ物の鑑定	原因調査室
34	2019.10	千葉県	給油タンク内残さの鑑定	原因調査室
35	2019.10	大阪府	車両火災の残さ物の鑑定	原因調査室
36	2019.11	徳島県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
37	2019.11	三重県	オイルの鑑定	原因調査室
38	2019.12	滋賀県	燃料タンク内の燃料の鑑定	原因調査室
39	2019.12	三重県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
40	2019.12	栃木県	ストーブタンク燃料の成分分析	原因調査室
41	2019.12	三重県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
42	2019.12	千葉県	石油ストーブの燃料の成分分析	原因調査室
43	2019.12	三重県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
44	2020.1	千葉県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
45	2020.1	千葉県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
46	2020.1	埼玉県	石油ストーブの燃料の成分分析	原因調査室
47	2020.1	兵庫県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
48	2020.1	千葉県	建物火災の残さ物の成分分析等	原因調査室
49	2020.1	千葉県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
50	2020.1	栃木県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
51	2020.1	愛知県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室

	支援年月	発災県	概要	鑑定者
52	2020.1	愛知県	石油ストーブの鑑定	原因調査室
53	2020.2	栃木県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
54	2020.2	福島県	繊維質の炭化物の鑑定	原因調査室
55	2020.2	愛知県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
56	2020.2	茨城県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
57	2020.3	神奈川県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
58	2020.3	大阪府	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
59	2020.3	岩手県	石油ストーブの燃料の成分分析	原因調査室
60	2020.3	埼玉県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
61	2020.3	滋賀県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室
62	2020.3	滋賀県	建物火災の残さ物の鑑定	原因調査室

イ. 鑑識

	支援年月	発災県	概要	鑑識場所
1	2019.4	栃木県	車両火災のリチウムイオンバッテリーの鑑識	消防研究センター
2	2019.4	大阪府	電子たばこの鑑識	消防研究センター
3	2019.4	岡山県	車両H I Dヘッドライトユニットの鑑識	消防研究センター
4	2019.4	埼玉県	車両ルームランプの鑑識	消防研究センター
5	2019.4	神奈川県	タブレット端末のリチウムポリマー電池の鑑識	消防研究センター
6	2019.4	奈良県	ジャンプスターターの鑑識	消防研究センター
7	2019.5	神奈川県	HDD用ACアダプターの鑑識	消防研究センター
8	2019.5	和歌山県	ロータリーエアポンプの鑑識	消防研究センター
9	2019.5	青森県	コイン式電動遊具のモニター基板の鑑識	消防研究センター
10	2019.5	埼玉県	リチウムポリマーバッテリーの鑑識	消防研究センター
11	2019.5	神奈川県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
12	2019.5	埼玉県	スマートフォンの鑑識	消防研究センター
13	2019.5	岡山県	タイムスイッチの鑑識	消防研究センター
14	2019.6	静岡県	ドライヤーの鑑識	消防研究センター
15	2019.7	青森県	リチウムイオンバッテリー（草刈り機）の鑑識	消防局・本部
16	2019.5	千葉県	蛍光灯器具の鑑識	消防研究センター
17	2019.5	埼玉県	差し込みプラグと埋め込みコンセントの鑑識	消防研究センター
18	2019.5	千葉県	スマートフォンの鑑識	消防研究センター
19	2019.7	千葉県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
20	2019.6	静岡県	ウォーターサーバーの鑑識	消防局・本部

	支援年月	発災県	概要	鑑識場所
21	2019.6	秋田県	インパクトドライバーの鑑識	消防研究センター
22	2019.7	兵庫県	コンセントプラグの鑑識	消防研究センター
23	2019.6	兵庫県	ガス遮断弁の鑑識	消防研究センター
24	2019.7	北海道	温水循環ポンプの鑑識	消防研究センター
25	2019.7	山梨県	リチウムバッテリー（草刈り機）の鑑識	消防局・本部
26	2019.7	岡山県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
27	2019.7	静岡県	エアコン室内機の鑑識	消防研究センター
28	2019.7	岡山県	L P ガス集中監視システムの鑑識	消防研究センター
29	2019.8	千葉県	ノート P C の鑑識	消防研究センター
30	2019.7	茨城県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
31	2019.8	静岡県	分電盤の鑑識	消防研究センター
32	2019.8	愛知県	車両火災の鑑識	消防局・本部
33	2019.8	青森県	LED クリップライトの鑑識	消防研究センター
34	2019.8	和歌山県	ジャンプスターターの鑑識	消防研究センター
35	2019.8	岡山県	冷蔵ショーケースの鑑識	消防研究センター
36	2019.8	埼玉県	携帯電話の鑑識	消防研究センター
37	2019.8	北海道	扇風機の鑑識	消防研究センター
38	2019.9	静岡県	車両の残渣の鑑識	消防研究センター
39	2019.9	島根県	リチウムイオンバッテリー（電動リール用）の鑑識	消防研究センター
40	2019.9	島根県	壁掛け扇風機の鑑識	消防局・本部
41	2019.9	千葉県	テーブルタップの鑑識	消防研究センター
42	2019.10	千葉県	リチウムポリマーバッテリーの鑑識	消防研究センター
43	2019.10	大分県	テーブルタップの鑑識	消防研究センター
44	2019.11	埼玉県	スマートメーターの鑑識	消防研究センター
45	2019.10	和歌山県	LED サークルランプの鑑識	消防局・本部
46	2019.12	岡山県	ハロゲンヒーターの鑑識	消防研究センター
47	2019.11	山口県	業務用カーペットクリーナーの鑑識	消防局・本部
48	2019.11	島根県	医療用洗浄機の鑑識	消防局・本部
49	2019.11	千葉県	電子たばこの鑑識	消防研究センター
50	2019.11	岩手県	エンジンルーム内の焼損物の鑑識	消防研究センター
51	2019.11	神奈川県	サーキュレーター及び掃除機の鑑識	消防研究センター
52	2019.11	栃木県	蛍光灯ソケットの鑑識	消防研究センター
53	2019.11	千葉県	スプリンクラー設備制御盤の鑑識	消防研究センター
54	2019.12	青森県	食器洗浄機の鑑識	消防研究センター
55	2019.12	岐阜県	セラミックファンヒーターの鑑識	消防局・本部

	支援年月	発災県	概要	鑑識場所
56	2019.12	埼玉県	ハロゲンセンサーライト	消防研究センター
57	2019.12	栃木県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
58	2019.12	群馬県	コードレスクリーナーの鑑識	消防研究センター
59	2019.12	熊本県	真空ポンプ、インパクトドライバーの鑑識	消防研究センター
60	2020.1	青森県	ハロゲンヒーターの鑑識	消防局・本部
61	2019.12	徳島県	ホームヒーターの鑑識	消防研究センター
62	2020.1	神奈川県	車両火災の残さ物の鑑識	消防研究センター
63	2019.12	埼玉県	低圧進相コンデンサーの鑑識	消防研究センター
64	2020.1	茨城県	温冷風扇の鑑識	消防局・本部
65	2020.1	神奈川県	卓上スタンドライト等の鑑識	消防研究センター
66	2020.1	千葉県	アイロンの鑑識	消防研究センター
67	2020.1	埼玉県	ブルー투스イヤホンの鑑識	消防研究センター
68	2020.1	埼玉県	24時間換気システムの鑑識	消防研究センター
69	2020.1	兵庫県	PCの電源ACアダプターの鑑識	消防研究センター
70	2020.1	埼玉県	車両火災の残さ物の鑑識	消防研究センター
71	2020.1	宮城県	オイルヒーター鑑識	消防局・本部
72	2020.2	広島県	車両電気配線の鑑識	整備工場等
73	2020.2	静岡県	酸素濃縮装置の鑑識	消防研究センター
74	2020.2	神奈川県	メーターパネルの鑑識	消防研究センター
75	2020.1	埼玉県	電気コンロの鑑識	消防研究センター
76	2020.2	埼玉県	太陽光発電システムインバーターの鑑識	消防研究センター
77	2020.3	千葉県	ピンパッドの鑑識	消防研究センター
78	2020.3	神奈川県	ヘアドライヤーの鑑識	消防研究センター
79	2020.3	福岡県	コンセント及びテーブルタップの鑑識	消防研究センター
80	2020.3	神奈川県	無人航空機(ドローン)の鑑識	消防研究センター
81	2020.3	高知県	建物火災の残さ物の鑑識	消防研究センター

(3) その他の技術支援

	対応日	技術支援先	技術支援の概要	対応者
1	2019.7.18	京都府	火災現場における燃焼状態のシミュレーション実施	阿部伸之、林 正彦、 繁田幸佑
2	2019.8.7	埼玉県伊奈町 消防本部	埼玉県伊奈町における工場火災の現場見分支援の空撮補助	土志田正二、佐伯一夢、 清水幸平

	対応日	技術支援先	技術支援の概要	対応者
3	2019.9.3	京都市消防局	京都府京都市伏見区で発生した建物火災の原因調査に係る火災シミュレーション作成	阿部伸之、繁田幸佑
4	2019.10.1	山口県	発災現場における検査試料採取と現場確認	塚目孝裕、高橋伸幸、竹中敦人
5	2020.1.28 ~1.29 2020.3.10	愛知県	発災現場における漏洩抵抗等の測定	田村裕之、高橋伸幸、林 雅彦 田村裕之、田中 優、上原邦夫、竹中敦人

4 受賞

(1) 受賞

受賞者名	受賞年月	賞の種別	受賞内容
大津暢人	2019.9.3	日本建築学会奨励賞	市街地の津波避難訓練における住民による災害時要援護者の搬送速度と輸送力－神戸市真陽地区におけるシルバーカー、介助車、車いすおよびリヤカーを用いた屋外の搬送避難－
土志田正二	2019.10.25	日本応用地質学会令和元年度研究発表会・優秀講演者賞	平成 30 年耶馬溪町斜面崩壊の詳細地形解析

5 産業財産権

(1) 特許

ア. 取得特許

種別	番号	発明の名称	発明者
特許	特許第 6671600 号	噴射ノズル	天野久徳、内藤浩由、大野正実、 花井祐一郎（深田工業株式会社）

イ. 特許出願

発明の名称	発明者	単独/共同出願	出願日	出願番号
輻射熱防護装置および方法並びに走行作業者	天野久徳、田村佳宏、 藤田 淳（三菱重工業株式会社）	共同出願	2019.11.22	特願 2019-211645

6 視察・見学

(1) 国内

	日付	訪 問 者	人 数
1	2019.5.9	警察大学校刑事部教養部	45
2	2019.5.10	警察大学校刑事部教養部	46
3	2019.5.13	消防大学校救助科第 79 期	63
4	2019.5.20	長野県上田市消防部	39
5	2019.5.22	地方自治基礎研修（自治大宿泊研修）	31
6	2019.5.27	長野県上田市消防部	38
7	2019.6.11	明治大学大学院（留学生）	11
8	2019.6.20	消防大学校警防科第 105 期	63
9	2019.7.1	宇都宮消防本部婦人防火クラブ	32
10	2019.7.1	消防大学校幹部科第 57 期	63
11	2019.7.10	大月市危険物安全協会・上野原市危険物安全協会	16
12	2019.7.11	消防大学校火災調査科第 37 期	50
13	2019.7.17	神戸大学大学院国際協力研究科	11
14	2019.7.18	森林総合研究所	8
15	2019.7.25	消防大学校危険物科第 14 期	36
16	2019.8.23	財務省主査視察	3
17	2019.8.28	宮城県消防学校初任学生関東視察研修	100
18	2019.8.29	芝浦工業大学附属高等学校	6
19	2019.9.11	埼玉県消防学校初任科	153
20	2019.9.11	埼玉県議会行政視察	18
21	2019.9.12	消防大学校幹部科第 58 期	62
22	2019.9.18	日本ロボット学会会誌編集委員会	17
23	2019.9.24	消防大学校救助科第 80 期	62
24	2019.9.25	長官視察	2
25	2019.9.27	JFE エンジニアリング(株)	12
26	2019.10.3	守口市門真市消防組合議会	12
27	2019.10.9	消防大学校予防科第 106 期	48
28	2019.10.21	消防大学校警防科第 106 期	62
29	2019.10.25	千葉市防火管理者協議会美浜支部	35
30	2019.11.18	消防大学校幹部科第 59 期	62
31	2019.12.5	消防大学校火災調査科第 38 期	50

	日付	訪 問 者	人 数
32	2020.1.16	能代山本広域市町村圏組合議会視察	23
33	2020.1.21	日本フルードパワーシステム学会特別研修	12
34	2020.1.31	近畿管区内科学捜査研究所物理鑑定グループ	6
35	2020.1.31	公益財団法人日本消防協会	14
36	2020.2.19	消防庁消大・消研視察研修	38
37	2020.2.20	吹田市消防本部	2
38	2020.2.26	消防大学校幹部科第 60 期	62
39	2020.2.27	消防大学校予防科第 107 期	50
	計		1463

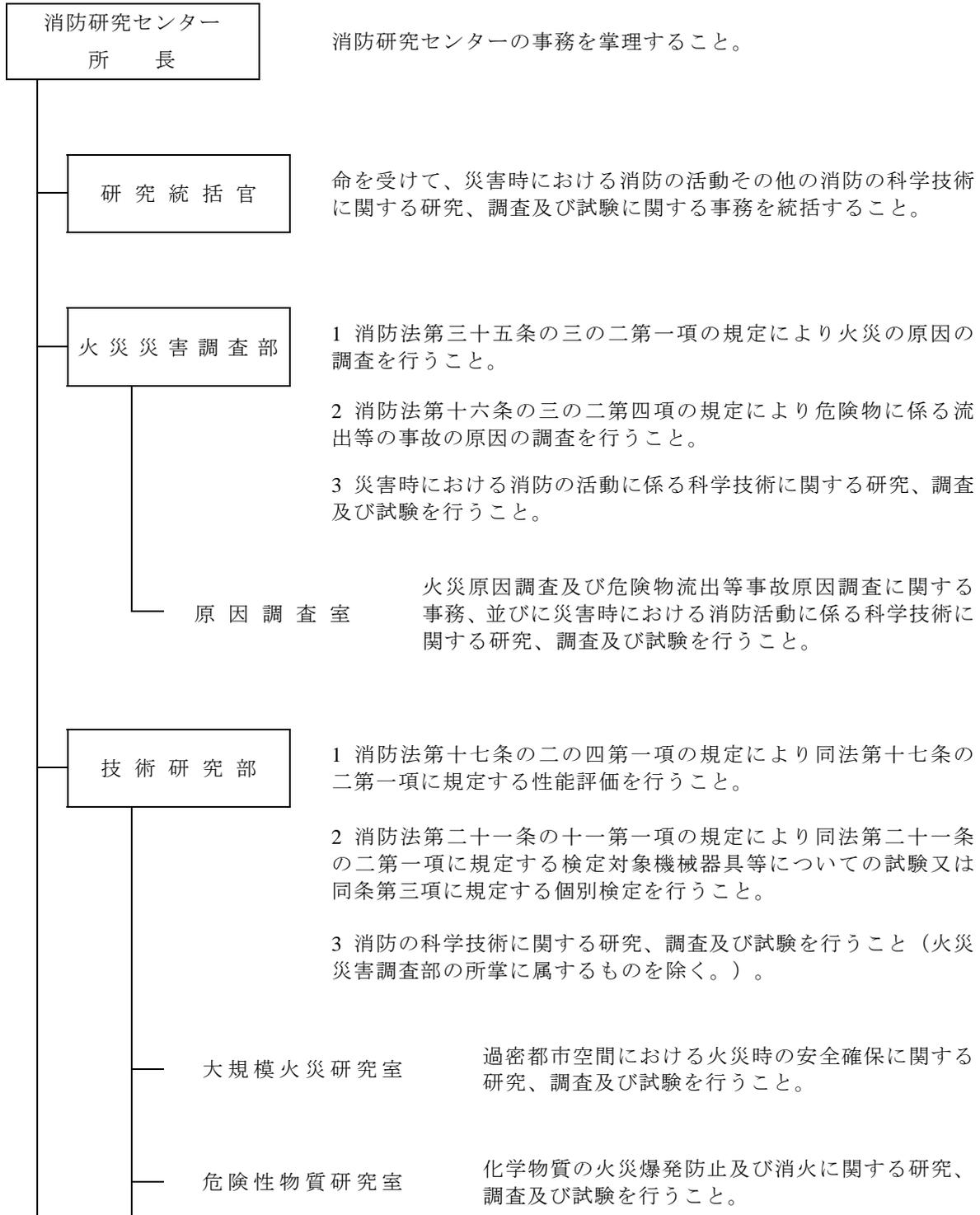
(2) 国外

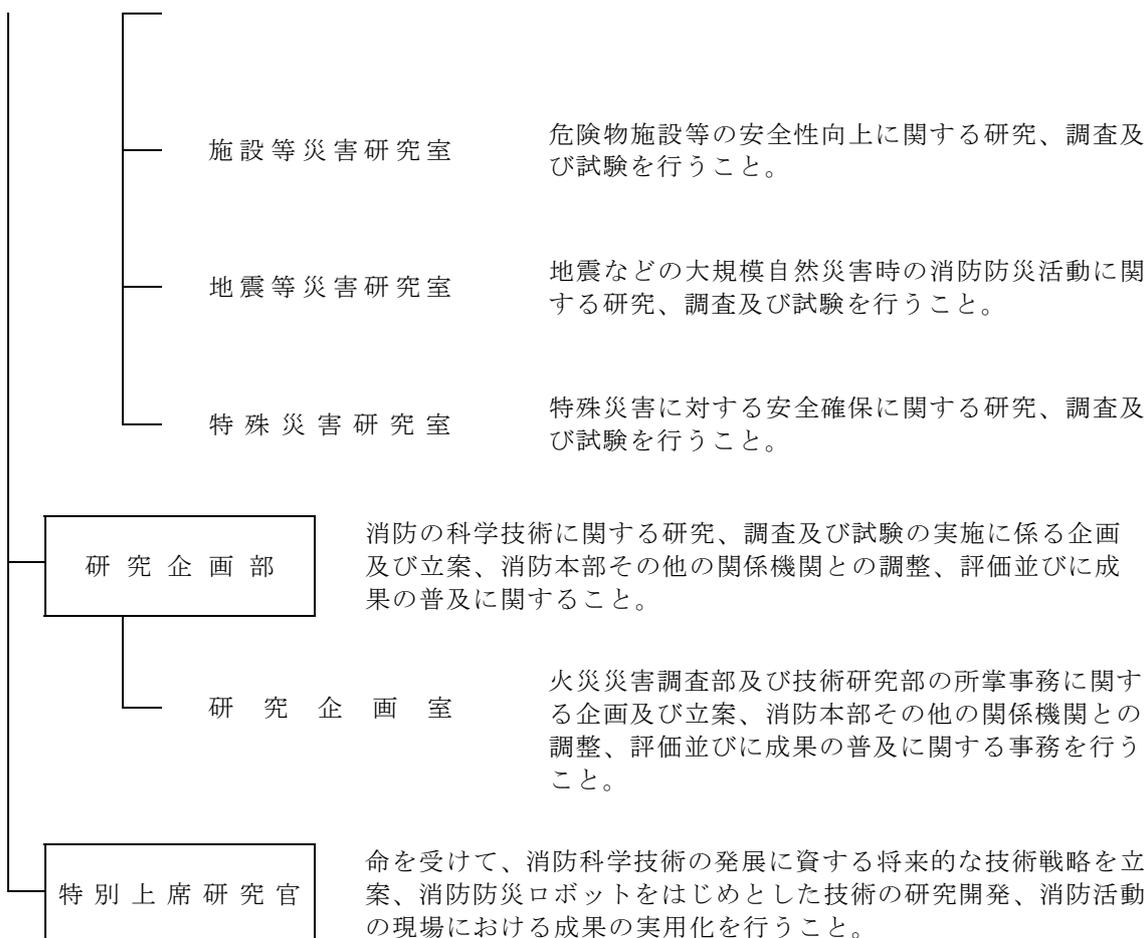
	日付	訪 問 者	人数
1	2019.6.17	韓国・防災試験研究院 (FILK)	2
2	2019.8.28	JICA 救急救助研修	14
3	2019.11.11	本庁参事官室 海外からの訪問者 (マンスフィールド研修)	2
	計		18

付 録

1 研究体制

(1) 組織





(2) 予算

令和元年度の消防研究センターの予算は次表のとおりである。

単位：千円

	元年度予算額 A	30年度予算額 B	対前年度 増減額 A-B	増減率 (%) A/B × 100
一般会計				
研究費	344,617	481,283	-136,666	71.6
運営に関する経費等	124,658	124,134	524	100.4
施設・設備費等	81,233	27,397	53,836	296.5
合計	550,508	632,814	-82,306	87.0

また、研究費の内訳は次表のとおりである。

単位：千円

項目	元年度予算額	30年度予算額
災害時の消防力・消防活動能力向上に係る研究開発に要する経費	52,234	28,906
危険物の事故、災害の抑止に係る研究開発に要する経費	56,008	29,384
火災予防と火災による被害の軽減に係る研究開発に要する経費	25,017	24,093
火災・危険物流出等事故原因調査に必要な経費	17,320	15,948
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に要する経費	49,599	340,398
火災延焼シミュレーションの高度化に関する研究開発に要する経費	65,474	42,654
迅速な救急搬送を目指した救急隊運用最適化	29,570	0
地下タンクの健全性診断に係る研究開発に要する経費	49,395	0
合計	344,617	481,283

(3) 定員

令和元年度末の予算定員は26名である。

(4) 職員（R2.3.31 現在、本務のみ記載）

消防研究センター所長 長尾 一郎

研究統括官 秋葉 洋

火災災害調査部

部長 西 晴 樹

原因調査室長 塚 目 孝 裕

火災災害調査官 阿 部 伸 之

” 鈴 木 健

調整官 高 橋 伸 幸

技術研究部

部長 細 川 直 史

大規模火災研究室長	田 村 裕 之
危険性物質研究室長	岩 田 雄 策
施設等災害研究室長	畑 山 健
地震等災害研究室長	新井場 公 徳
特殊災害研究室長	久保田 勝 明
主幹研究官	篠 原 雅 彦
”	鈴 木 恵 子
主任研究官	土志田 正 二
”	野 村 祐 子
研究官	
”	佐 伯 一 夢
”	徳 武 皓 也
”	佐 藤 康 博
”	藤 井 皓 介
”	吉 田 祐 一

研究企画部

部長	滝 明
主任研究官	渡 邊 明 宏
”	大 津 暢 人

特別上席研究官

特別上席研究官	天 野 久 徳
研究官（任期待）	田 村 佳 宏

【消防庁】総務課

主任研究官	尾 川 義 雄
”	高 梨 健 一
研究官	鈴 木 佐夜香

(5) 人事異動

令和元年 4 月 1 日付け

氏 名	新	旧
畑 山 健	消防大学校消防研究センター技術研究部上席研究官	消防大学校消防研究センター技術研究部主幹研究官
新井場 公 徳	消防大学校消防研究センター技術研究部上席研究官	消防大学校消防研究センター技術研究部主幹研究官

氏名	新	旧
大津 暢人	消防大学校消防研究センター研究企画部主任研究官 併任 消防大学校消防研究センター技術研究部主任研究官	消防大学校消防研究センター技術研究部主任研究官
土志田 正二	消防大学校消防研究センター技術研究部主任研究官 併任解除	消防大学校消防研究センター研究企画部主任研究官 併任 消防大学校消防研究センター技術研究部主任研究官

令和元年 10 月 1 日付け

氏名	新	旧
鈴木 佐夜香	総務課研究官 併任 消防大学校消防研究センター技術研究部研究官	消防大学校消防研究センター技術研究部研究官
吉田 祐一	消防大学校消防研究センター技術研究部	新規採用

(6) 委員会

ア. 消防研究センター研究評価委員会

(目的)

消防研究センターが行う研究等を総合的観点から検討し、消防研究センターが社会的ニーズに沿った消防防災に係る基礎的又は応用的研究及び開発研究等を効率的に推進するため、消防研究センター及びその研究課題等について評価を行う。

(構成員)

委員長	吉村 秀實	元 NHK 解説委員 ジャーナリスト
委員	新井 充	東京大学環境安全研究センター 教授
〃	安藤 俊雄	全国消防長会 会長
〃	伊東 祐次	一般社団法人日本損害保険協会 常務理事
〃	犬伏 由利子	一般財団法人消費科学センター 理事
〃	大内 田鶴子	江戸川大学 名誉教授
〃	大須賀 公一	大阪大学大学院工学研究科 教授
〃	菅原 進一	東京理科大学・東京大学 名誉教授
〃	橋爪 毅	一般社団法人全国消防機器協会 会長
〃	長谷見 雄二	早稲田大学理工学術院 教授
〃	林 春男	国立研究開発法人防災科学技術研究所 理事長
〃	三宅 淳巳	横浜国立大学 先端科学高等研究院 教授

R2.3.31 現在

イ. 消防防災科学技術賞選考委員会

(目的)

消防科学・技術の高度化と消防防災活動の活性化に資するため、消防防災機器の開発・改良、消防防災科学論文及び原因調査事例について、応募作品から消防庁長官表彰作品を選考する。

(構成員)

委員長	亀井 浅道	元横浜国立大学 特任教授
委員	安藤 俊雄	全国消防長会 会長
〃	城戸 秀行	大阪市消防局長
〃	新藤 純治	さいたま市消防局長
〃	鈴木 康幸	総務省消防庁 審議官
〃	長尾 一郎	消防研究センター 所長
〃	橋本 臣	東海大学 特任教授
〃	本間 恭二	電気通信大学 名誉教授
〃	三輪 和夫	公益財団法人日本消防協会 理事長
〃	室崎 益輝	兵庫県立大学大学院 減災復興政策研究科 教授・科長
〃	八木橋 巖	一般財団法人救急振興財団 救急救命東京研修所 教授
〃	山田 實	元横浜国立大学 リスク共生社会創造センター 客員教授

R2.3.31 現在

ウ. 火災等原因調査高度支援専門員制度

(目的)

消防研究センターが行う火災等原因調査のより一層の充実を図るため、火災等原因調査に資する極めて高度な専門的知見を有する者に専門員を委嘱し、火災等原因調査における専門的事項の審議等を行う。

2 施設設備

(1) 土地、建物の現況

令和2年3月31日現在の土地及び建物の現況は、下記のとおりである。

ア. 土地

異動年月日	面積 (m ²)	異 動 事 由
昭 23 (当初)	77,530	国有財産一時使用：当時北多摩郡三鷹町新川 700
25.11. 3		三鷹市制施行により三鷹市新川 700 となる。
32. 7.11		関東財務局より所管換え
34. 1.31	△ 867	公務員宿舎へ用途変更
34. 6.17	△ 19,647	消防大学校へ整理替え
35. 1.16	△ 402	公務員宿舎へ用途変更
35. 8.31	△ 947	〃
38.12.14	1,607	公務員宿舎より用途変更
39. 2. 6	△ 8,780	日本消防検定協会へ出資のため大蔵省へ引継ぎ
40. 4. 1		住居表示変更により三鷹市中原三丁目 14 番 1 号となる。
40. 7. 9	△ 1,005	公務員宿舎へ用途変更
41. 8.18	△ 1,156	〃
48.11. 2	△ 453	消防大学校へ整理替え
61.10.29	△ 167	三鷹市道路拡張工事のため大蔵省へ引継ぎ
63. 1.14	△ 100	調布市道路拡張工事のため大蔵省へ引継ぎ
平 9. 2.21	△ 3,715	三鷹市・調布市道路拡張工事及び公務員宿舎への用途変更のため大蔵省へ引継ぎ
12. 4.21	184	土地登記のため構内測量 (42,082m ²)
12. 5. 1		三鷹市側土地登記 (15,225m ²)
13. 3.16		調布市側土地登記 (26,857m ²)
計	42,082	

イ. 建 物

建 物 等 名 称	構 造	面 積 (m ²)	床面積 (m ²)	備 考
本 館	RC-3	1,421.86	3,968.11	平成 13 年 1 月竣工
燃 焼 実 験 棟	RC-2	301.60	507.58	〃 〃
車 庫 棟	S-1	297.97	248.78	〃 〃

建物等名称	構造	面積 (m ²)	床面積 (m ²)	備考
非破壊検査棟	RC-1	77.65	77.65	平成13年3月竣工
自転車置場	S-1	18.51	18.51	平成13年3月竣工
廃棄物置場	RC-1	52.50	52.50	〃 〃
総合消火研究棟	RC-4-1 S-1	1,251.87	2,503.00	平成8年3月竣工
物質安全研究棟	RC-2-1	663.62	1,515.34	〃 〃
建築防火研究棟	RC-3	718.55	1,742.22	〃 〃
情報管理棟	RC-2	488.33	772.11	〃 〃
機械研究棟	RC-3 S-1	643.35	1,143.33	〃 〃
守衛棟	RC-1	101.63	83.07	〃 〃
危険物倉庫	CB-1	79.40	79.40	昭和29年3月竣工
防災実験棟	S-1	575.57	575.57	昭和56年3月竣工
ボンベ庫	CB-1	10.50	10.50	平成8年3月竣工
大規模火災実験棟	SRC-2	1,284.30	2,128.30	昭和59年11月竣工
材料研究棟	RC-3	759.18	2,087.61	平成3年8月竣工
ファンルーム(1)	RC-1	18.00	18.00	平成8年3月竣工
ファンルーム(2)	RC-1	42.00	42.00	〃 〃
ガスガバナールーム	RC-1	20.00	20.00	〃 〃
合計		8,826.39	17,593.58	

(2) 主な研究施設の概要

施設名	概要
本館	管理部門のほか、研究紹介コーナー、図書室等を有する研究開発業務の管理中枢機能を持っている施設
情報管理棟	地震等災害に関する研究を行う施設でLANサーバーなどが設置されている、消防研究センターの情報通信の中心となる施設
機械研究棟	消防用機械や消火技術等に関する研究のための施設
材料研究棟	危険物施設や消防用資機材の強度を研究するための施設（試作工場を有する。）
防災実験棟	防災に関する各種小規模実験を行うための施設
建築防火研究棟	火災の感知、初期消火、煙の流動、避難誘導、鑑識室など、建物火災に関する研究及び火災原因調査などを行う施設

施設名	概要
大規模火災実験棟	石油タンク等の火災実験を行うための施設（主実験場は面積 576m ² 、高さ 20m、排煙処理設備を備えている。）
物質安全研究棟	危険物、防災材料などの各種化学物質の安全性についての研究及び防火服の耐熱性能に関する研究を行うための施設
総合消火研究棟	火災・消火に関する基礎、応用研究及び各種規模の模型による火災や消火実験を行う施設（主実験場は面積 625m ² 、高さ 22m、排煙処理設備を備えている。）
燃焼実験棟	消防機器及び消防装備の耐熱性能、動作特性に関する研究及び小規模火災実験を行い、可燃物の燃焼特性について調べる施設

(3) 主な研究設備・機器の整備状況

ア. 令和元年度に整備された主な設備・機器

○準天頂衛星対応 GPS 受信機

位置の計測に、衛星からの電波による GPS が利用されているが、電波が建築物などによって遮蔽されると精度が著しく低下することがある。これを補うために運用されるようになった「常に日本の真上近くの空にいる衛星（準天頂衛星）」の電波を利用することで、より高精度な位置計測が可能になる。

○レーザースキャナ

レーザーを利用して物体との距離を計測することができる。レーザーを上下左右に動かしスキャンすることで、道路や部屋などの空間の形状を計測することが可能になる。数年ほど前までは非常に高価な計測器であったが、近年低価格化が進み、安価な機器によっても高性能な空間計測ができる。

○火災延焼シミュレーション用計算機

計算機は、管理ノード兼ファイルサーバー1台、計算ノード3台から構成され、計算ノード内では OpenMP、計算ノード間では MPI による高速な並列計算が可能である。プログラム開発環境として、Fortran・C/C++言語、火災シミュレータ Fire Dynamics Simulator (FDS) を実装している。

○ドローン搭載用レーザースキャナシステム

本システムはレーザースキャナセンサ、IMU/GNSS ユニット・GNSS アンテナで構成されている。レーザースキャナは指定した角度範囲で対象物までの距離を測定し、IMU/GNSS ユニット・GNSS アンテナは本システムの位置・方位を高精度で測定する。また、ドローン搭載が可能な重量ならびに大きさである。

○マルチチャンネル電気化学測定システム

本システムは、スロット式の筐体、筐体へ差し込む計測モジュール及び計測ケーブルなどで構成される。危険物を貯蔵する鋼製の石油タンクについて、腐食や経年劣化などに伴う材料の電気的特性の変化を、定量的、高精度かつ複数同時に計測することができる。

(4) 図書

ア. 蔵書数

単行本	14,922 冊
製本雑誌等	13,684 冊
視聴覚資料 (CD、DVD、ビデオテープ等)	951 点

イ. 令和元年度に購入した単行本冊数

74 冊

ウ. 定期購入刊行物

和 誌	44 誌
洋 誌	32 誌

エ. 定期購読の外国雑誌

1	Brandschutz
2	Bulletin of the Seismological Society of America
3	Chemical Engineering Progress
4	Combustion and Flame
5	Corrosion
6	Disasters
7	EMS World
8	Fire
9	Fire and Materials
10	Fire Engineering
11	Fire Risk Management
12	Fire Safety Journal
13	Fire Technology
14	Géotechnique
15	Hydrocarbon Processing
16	Journal of Applied Meteorology and Climatology
17	Journal of the Atmospheric Sciences
18	Journal of Electrostatics
19	Journal of Fluid Mechanics

20	Journal of Fire Sciences
21	Journal of Forensic Sciences
22	Journal of Loss Prevention in the Process Industries
23	Loss Prevention Bulletin
24	NFPA Journal
25	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society
26	Science and Justice
27	Seismological Research Letters
28	Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer
29	Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics
30	VFDB Zeitschrift
31	Journal of Structural Fire Engineering
32	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering

3 年 表

(1) 昭和 22 年度～令和元年度略年表

年月日	事 項
昭和 23. 3. 7	国家消防庁の内局として消防研究所設立、初代所長に小林辰男就任、定員 87 人、書記室、技術課、査察課の 1 室 2 課を置く。
25. 2	消防研究所報告創刊
26. 8. 1	書記室を庶務課に改める。
27. 8. 1	行政機構改革により、消防研究所は国家消防本部の附属機関となる。
27. 8.18	検定課（技術課検定係の昇格）を置き、4 課制となる。
28. 5	消研輯報創刊
28.11.11	第 1 回全国消防技術者会議開催、以後毎年秋期に開催
～12	
31. 5. 1	2 代所長に鈴木茂哉就任
34. 4.20	消防組織法改正、消防研究所組織規則制定により、所掌業務の明確化、機構改正により、業務の一部及び技官 7 人を国家消防本部に移す。
34. 5.11	技術課の各係を研究室に改め、7 研究室とする。
35. 7. 1	自治省設置、消防庁はその外局となり、消防研究所は消防庁の附属機関となる。（自治庁設置法、消防組織法の一部改正）
36. 3.27	R.I 実験棟竣工
36. 4. 1	技術課を研究部に改め、9 研究室とする。
37.10. 1	3 代所長に中田金市就任
38. 4.20	研究部を 2 研究部（10 研究室）とし、査察課を廃止（組織規則改正）
38.12.31	検定課を廃止し（検定業務を日本消防検定協会に移す。）2 部 1 課制となる。（組織規則改正）定員 17 人減
40. 5.20	総合消火実験棟竣工
42. 3.20	本館庁舎竣工
42. 8	消防研究所年報創刊
43. 3. 7	消防研究所創立 20 周年、「消防研究所 20 年史」刊行
43. 4.25	排煙救命実験棟及び爆発実験棟竣工
44. 3.20	水力及び機械実験棟竣工
44. 7.22	研究部を 3 研究部（12 研究室）とし、特別研究員を設ける。（組織規則、同規程の改正）
46. 4.16	消防研究所一般公開、以後毎年春期に公開
46.10. 1	4 代所長に熊野陽平就任
48. 4. 1	組織規則の一部改正により、各研究部の研究室について改廃、再編成を行う。

年月日	事項
51. 5.10	組織規則の一部改正により、1室新設し、13研究室となる。
53. 3. 7	消防研究所創立30周年、「消防研究所30年史」刊行
54.10. 1	各部に主任研究官を設置（消防庁訓令の改正）
55. 5.21	5代所長に矢筈野義郎就任
57. 4. 6	組織規則等の一部改正により研究企画官を設置し、第三研究部の研究室の一部について再編成を行う。（特別研究員を廃止、特殊機材研究室を地震防災研究室へ改編）
58. 5. 1	6代所長に渡辺彰夫就任
59. 7. 1	消防庁の施設等機関となる。
59.11. 7	排煙処理装置付消火実験棟竣工
61. 5.16	7代所長に山鹿修蔵就任
63. 3. 7	消防研究所創立40周年、「最近10年のあゆみ」刊行
平成 元.11. 6	8代所長に長谷川壽夫就任
3. 8.20	材料実験棟竣工
4. 7. 1	9代所長に佐々木弘明就任
7. 1. 1	10代所長に次郎丸誠男就任
8. 3.29	情報管理棟、機械研究棟、建築防火研究棟、物質安全研究棟及び総合消火研究棟竣工
10. 3. 7	消防研究所創立50周年、「消防研究所50年史」刊行
10. 4. 1	11代所長に亀井浅道就任
13. 1. 6	総務省設置により、総務省消防庁の施設等機関となる。
13. 1.31	本館、燃焼実験棟、車庫棟竣工
13. 3.30	非破壊検査棟竣工
13. 4. 1	独立行政法人消防研究所法施行により、独立行政法人消防研究所となる。1課3部
13. 4. 1	初代理事長に平野敏右就任
15. 2. 1	研究企画部に火災原因調査室を設置
15. 4. 1	上席研究官を設置（組織規程の一部改正）
15. 4. 1	1課3部1室となる。（組織規程の一部改正）
16. 4. 1	2代理事長に室崎益輝就任
18. 4. 1	独立行政法人消防研究所解散（平成十八年三月三十一日法律第二十二号）
18. 4. 1	総務省消防庁消防大学校に、消防研究センターを設置。3部6室 初代消防研究センター所長に室崎益輝就任
20. 3. 7	消防研究所創立60周年
20. 4. 1	2代消防研究センター所長に寺村映就任
20.10. 1	危険物の流出等事故原因調査事務の追加を受け、火災原因調査室を原因調査室に変更
21. 3.31	「最近10年のあゆみ－消防研究所60周年－」刊行
21. 4. 1	研究企画部を振替廃止し、火災災害調査部に地域連携企画担当部長及び研究企画室を設置
21. 7.14	3代消防研究センター所長に木原正則就任

年月日	事 項
23. 4. 1	4代消防研究センター所長に松原美之就任
25. 4. 1	5代消防研究センター所長に渡邊洋己就任
27. 3.31	6代消防研究センター所長に山田常圭就任
28. 4. 1	地域連携企画担当部長を振替廃止し、研究企画部及び研究企画室を設置
30.3.31	「最近10年のあゆみー消防研究所70周年ー」刊行
30. 4. 1	7代消防研究センター所長に長尾一郎就任

4 令和元年度刊行物

消防研究センターで行った研究成果の一部は、「消防研究所報告」あるいは「消防研究技術資料」として刊行し、国内・国外の学会、研究機関、都道府県、消防学校、全国の消防本部等に配布しております。研究の詳細についてのご希望やご意見等がございましたら、消防研究センターまでご連絡ください。

(1) 消防研究所報告

ア. 通巻 127 号 (2019 年 9 月)

【技術報告】

1. 熱分解ガスクロマトグラフィーによる焼損物の固定手法の確立に向けての実験的研究の試み
佐藤康博、塚目孝裕
2. スプレー缶を使用したガス爆発実験について
鈴木 健
3. 化学物質の燃焼速度に関する研究
岩田雄策

【解説】

4. 火の粉に対する茅葺屋根の脆弱性に関する実験
鈴木佐夜香、Samuel L. Manzello

イ. 通巻 128 号 (2020 年 3 月)

【技術報告】

1. 平成 30 年北海道胆振東部地震による土砂災害地における捜索救助活動に係る技術支援
新井場公德、土志田正二、佐伯一夢、清水幸平
2. 火災現場における無人航空機を用いた情報収集方策に関する調査
清水幸平、新井場公德、土志田正二、藤井皓介

【解説】

3. 階段における避難群集の流動と消防活動の相互影響に関する研究

藤井皓介

消 研 輯 報 第 73 号

令和 3 年 3 月 発行

編集者兼 消防庁
発 行 者 消防研究センター

東京都調布市深大寺東町 4-35-3

電話 0422-44-8331 (代表)

<http://nrifd.fdma.go.jp/>

禁無断転載

