

消 研 輯 報

76

令和4年度

[グラビア]

[I 研究業務]

- 消防力と消防水利を考慮した市街地火災延焼シミュレーションによる火災被害推定ソフトウェアの研究開発
- 消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発
- 超高齢化・人口減少社会の火災と消防力に関する研究
- 火災旋風の発生予測に関する研究
- 火災状況に応じた消防隊の放水方法の研究
- 飛び火・火の粉に対する防御に関する研究
- 高層建築物の順次避難における避難順序算定方法の研究
- 火災現場の燃焼性状の解析及び残さ物の物質同定に関する研究
- 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
- 化学物質等の製造・貯蔵工程における火災危険性に関する研究
- 石油タンクの地震被害予測の高精度化のための研究
- 自然災害時の現場対応型情報収集システムと分析手法の研究開発
- 消火活動の検証技術の研究開発（火災実験と火災シミュレーションによる新技術開発）
- 火災上空の気流計測のための無人飛行制御技術の研究開発
- 災害時における自力避難困難者および消防職団員の安全確保に関する研究
- 感染拡大期を含む救急出動要請件数増大期における救急搬送時間短縮手法の研究開発
- 鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する数理モデルの構築
- 消防ロボットシステム：
スクラムフォースの配備に関するフォローアップ調査と消防におけるロボット技術の活用の検討
- 土砂に埋まった人の挙動に関する研究

[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]

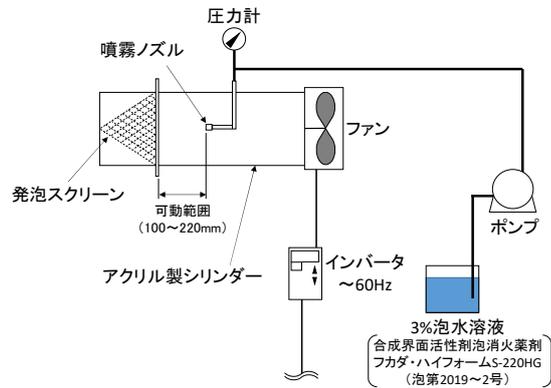
- 研究交流
- 所外講師派遣及び所外委員会等参加状況
- 災害調査等
- 受賞・学位
- 産業財産権
- 視察・見学

[付録]

- 研究体制
- 施設設備
- 年表
- 令和4年度刊行物

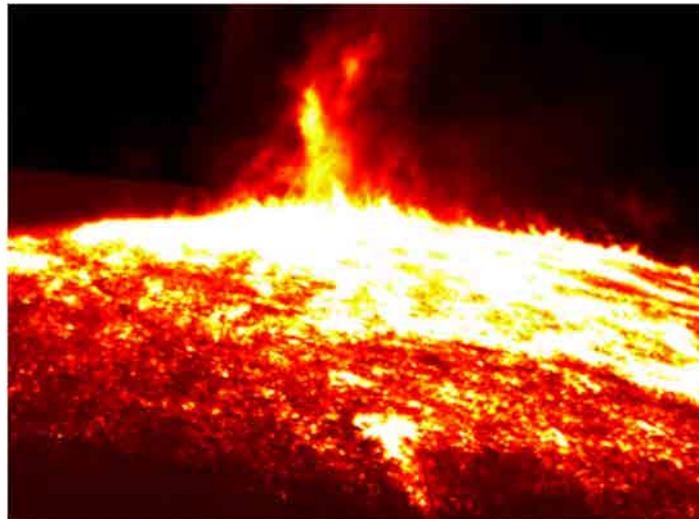
グラビア写真 I 消防研究センターの研究業務

●消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発



実験用低流量型高発泡装置 (P.26)

●火災旋風の発生予測に関する研究



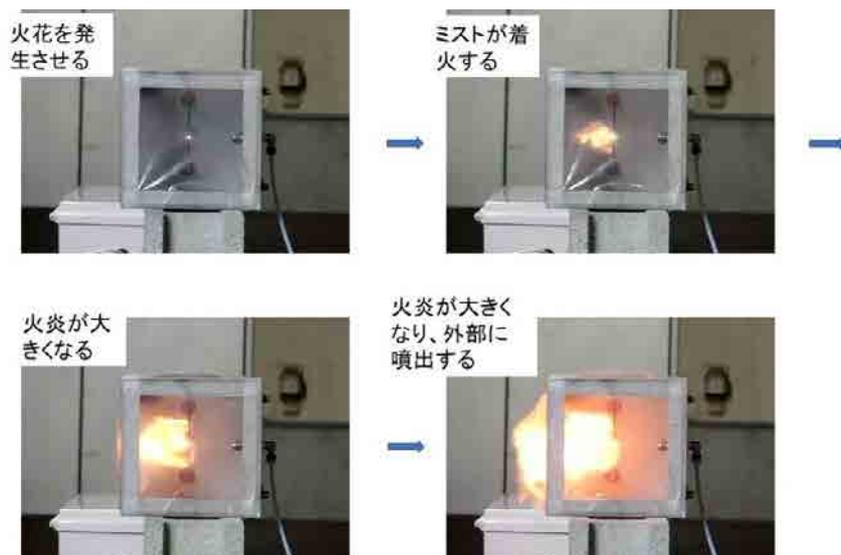
山焼き観測時に撮影した火災旋風の赤外画像 (P.36)

●火災現場の燃焼性状の解析及び残さ物の物質同定に関する研究



熔融痕を白色 X 線 CT 測定後に解析した結果の例 (切り取った状態で通電により作成した試料、左から立体表示、横方向の断面図、縦方向の断面図) (P.53)

● 火災現場の燃焼性状の解析及び残さ物の物質同定に関する研究



ミストの爆発実験の様子 (P.55)

● 消火活動の検証技術の研究開発 (火災実験と火災シミュレーションによる新技術開発)



噴霧放水時の放水シミュレーションと放水実験との比較 (両結果を重ね合わせて表示) (P.85)

● 感染拡大期を含む救急出動要請件数増大期における救急搬送時間短縮手法の研究開発



グラビア写真Ⅱ 消防研究センターの研究発表・啓発活動



第70回全国消防技術者会議（特別講演）
（令和4年11月）



第70回全国消防技術者会議
（消防防災科学技術賞受賞作品 口頭発表）
（令和4年11月）



令和4年度消防防災科学技術賞表彰式
（令和4年11月）



第70回全国消防技術者会議
（消防防災科学技術賞受賞作品 展示発表）
（令和4年11月）



令和4年度消防防災科学技術賞表彰式
（令和4年11月）



第25回消防防災研究講演会
（令和4年11月）

グラビア写真Ⅲ 消防研究センターの関連業務



茨城県水戸市 建物火災
(令和4年6月)



岡山県総社市 倉庫火災
(令和4年8月)



三重県桑名市 車両火災
(令和4年8月)



岐阜県中津川市 工場火災
(令和5年1月)



調査技術会議（東京会場）
(令和4年5月)



鑑識支援
(令和4年6月)

I 研究業務

(1) 消防力と消防水利を考慮した市街地火災延焼シミュレーションによる火災被害推定ソフトウェアの研究開発	3	(12) 自然災害時の現場対応型情報収集システムと分析手法の研究開発	78
(2) 消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発	12	(13) 消火活動の検証技術の研究開発 (火災実験と火災シミュレーションによる新技術開発)	83
(3) 超高齢化・人口減少社会の火災と消防力に関する研究	29	(14) 火炎上空の気流計測のための無人飛行制御技術の研究開発	87
(4) 火災旋風の発生予測に関する研究	33	(15) 災害時における自力避難困難者および消防職団員の安全確保に関する研究	89
(5) 火災状況に応じた消防隊の放水方法の研究	38	(16) 感染拡大期を含む救急出動要請件数増大期における救急搬送時間短縮手法の研究開発	92
(6) 飛び火・火の粉に対する防御に関する研究	43	(17) 鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する数理モデルの構築	108
(7) 高層建築物の順次避難における避難順序算定方法の研究	45	(18) 消防ロボットシステム： スクラムフォースの配備に関するフォローアップ調査と消防におけるロボット技術の活用 の検討	115
(8) 火災現場の燃焼性状の解析及び残さ物の物質同定に関する研究	49	(19) 土砂に埋まった人の挙動に関する研究	117
(9) 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	57		
(10) 化学物質等の製造・貯蔵工程における火災危険性に関する研究	65		
(11) 石油タンクの地震被害予測の高精度化のための研究	70		

II 研究発表等

1 所外研究発表状況	120	4 消防防災研究講演会	133
(1) 口頭発表	120	5 消防防災科学技術賞受賞作品	136
(2) 論文発表	124	概要	
(3) 解説	127	6 研究懇話会	147
(4) 著書	128	7 調査技術会議	152
2 一般公開	129		
3 全国消防技術者会議	131		

Ⅲ 関連業務

1 研究交流	156	4 受賞・学位	182
(1) 派遣	156	(1) 受賞	182
(2) 受け入れ	156	(2) 学位	182
(3) 共同研究	157		
(4) 競争的資金	159	5 産業財産権	183
		(1) 特許	183
2 所外講師派遣及び所外委員会等	160		
参加状況		6 視察・見学	184
(1) 所外講師派遣状況	160	(1) 国内	184
(2) 所外委員会、研究会への参加状況	165	(2) 国外	184
3 災害調査等	175		
(1) 災害調査	175		
(2) 鑑定・鑑識	176		
(3) その他の技術支援	180		

付 録

1 研究体制	185	3 年表	195
(1) 組織	185	(1) 昭和 22 年度～令和 4 年度略年表	195
(2) 予算	186		
(3) 定員	187	4 令和 4 年度刊行物	198
(4) 職員	187	(1) 消防研究所報告	198
(5) 人事異動	189		
(6) 委員会	189		
2 施設設備	191		
(1) 土地、建物の現況	191		
(2) 主な研究施設の概要	192		
(3) 主な研究設備・機器の整備状況	193		
(4) 図書	194		

I 研究業務

(1) 消防力と消防水利を考慮した市街地火災延焼シミュレーション による火災被害推定ソフトウェアの研究開発

研究期間 令和3年4月～令和8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

住民の生命、身体、財産を守る消防本部の使命を果たすためには、火災の早期覚知や初期消火の実施を推進することにより発生・拡大する火災の件数を抑制するとともに、地域の状況に合わせて十分な消防力と消防水利を確保して火災に対応する能力を備えておくことが重要である。

消防力と消防水利の確保にあたっては、住宅地や工業団地、大型商業施設等の新規開発や廃止などの施設面での変化のほか、昼間人口と夜間人口の移り変わりや少子高齢化に伴う人口減少といった人口分布の変化などの環境の変化が予想されることから、それらの変化に対応して十分な消防力と消防水利を整備していくことが必要であるが、環境の変化への対応において、消防力及び消防水利を組み合わせる将来の整備の効果を提示する有効な手法は知られていない。

この時、消防署所に配置された消防車両や人員、消防団の消防車両と団員数、自主防災組織等地域住民の防災力、更に建築物の防災レベルを含む総合的な消防力と、消火栓や防火水槽、自然水利などの消防水利の要素を取り入れて市街地火災延焼シミュレーション（消防力運用シミュレーション）を行い、一定の仮定の下で、前述のような変化が延焼被害に及ぼす影響を示すことができれば、消防本部による消防力及び水利の整備に資することができると考えられる。

そこで、本研究では、消防力運用シミュレーションによる火災被害推定ソフトウェアの開発を目指し、次のサブテーマの研究を行う。

(1) 市街地火災の延焼阻止に必要な消防水利の評価手法に関する研究

消火栓や防火水槽などの消防水利は、想定される火災の種別や規模などに応じて整備される必要があるが、建物構造やその分布状況など市街地の延焼リスク計算に基づいた有効性の評価は行われていない。本サブテーマでは、木造密集地区を含んだ市街地において火災の延焼を阻止するために必要とされる水量を、実火災における放水量調査に基づいた分析結果と市街地火災延焼シミュレーションによるリスク評価を用いて算定可能な手法を開発する。

(2) 消防力、消防水利の要素を考慮した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発

消防研究センターにおいて開発した大規模地震災害時の初動時消防力最適運用システムは、大規模地震災害時に消火栓が利用不能に陥ることを考慮して消防水利として防火水槽を対象とし、同時多発火災に対して消防車両を割り当て、市街地火災延焼シミュレーションを行って消火の可否や出火後の

延焼棟数の経時変化等を示すことができるシステムである。

本サブテーマでは、震災時の火災のみならず通常時の火災にも対応することができるよう、消火栓の管径に基づく消防力の配置制限など消防活動時における消防水利の選定ルールの調査と選定ルールを盛り込んだ消防力の消防水利への割当アルゴリズムの検討を行うほか、消火可否判断手法の再検討、消火栓の管路ネットワークと上流・下流の関係を表現するデータ形式の検討、建築物の防災設備レベルが延焼に与える影響に関する検討などを行い、初動時消防力最適運用システムよりも高機能なシステムの開発を行う。

さらに、本サブテーマでは、消防本部が大きな延焼被害が予想される地域に対し消防力の増強や消防水利の増設など適切な対策を実施して効果的に延焼被害低減を図ることが可能となるよう、シミュレーション結果に基づいて延焼被害等を予測する手法の開発を目指す。

(3) 市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの改良

消防研究センターでは従来から研究開発を行ってきた市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアを消防機関等に提供しており、延焼阻止線の機能向上や火の粉の飛散および延焼範囲に関する機能等の改良要望が寄せられている。そこで、研究の一環として、消防本部から寄せられている要望について導入可否や手段について検討を行い、当該ソフトウェアに盛り込む。

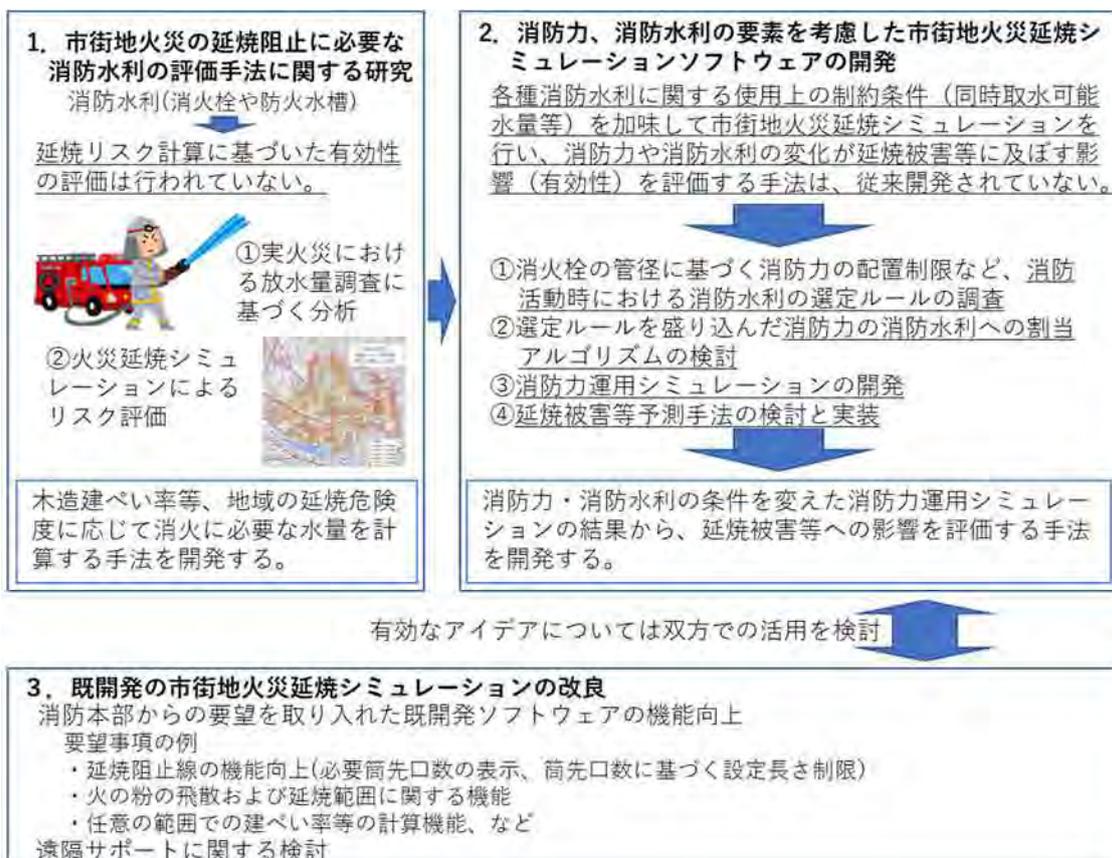


図 1 研究項目間の関係

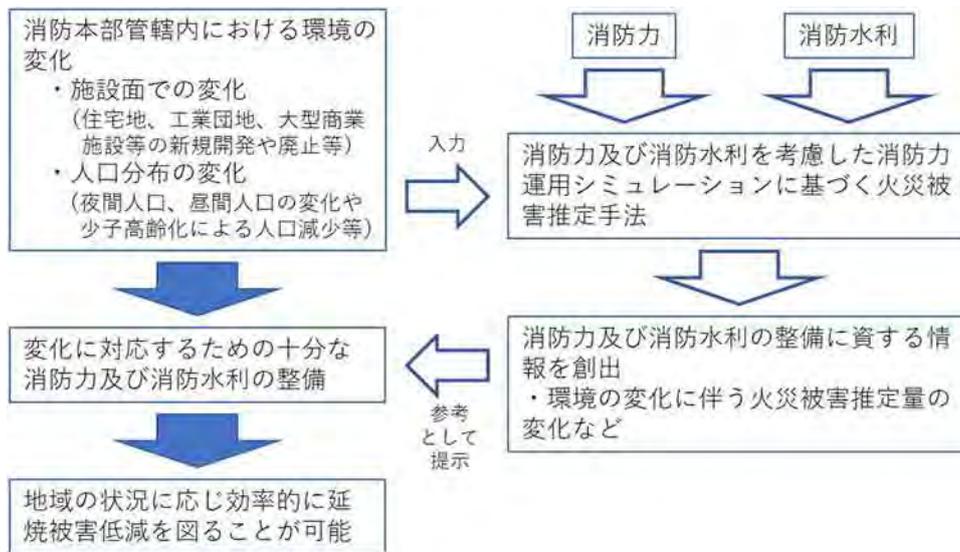


図 2 研究成果の活用のイメージ

2. 令和 3 年度の研究成果

2.1 市街地火災の延焼阻止に必要な消防水利の評価手法に関する研究

市街地火災の消火に必要な水量を算出する手法を検討する際の基礎的資料として、消防本部に依頼して放水量に関連するデータ（出動隊数、放水筒先数、放水量、延焼面積等）を収集するために調査票の検討を行った。

また、放水筒先数と出動隊数、延焼面積との関係について論文等で情報収集を行った。

2.2 消防力、消防水利の要素を考慮した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発

消防活動時において、実際に消防隊員が部署する消防水利を選定するルールについて調査を行うことを目的として調査票の検討を行った。

また、実火災での選定ルールとは別に、計算モデルとして最適に近い消防力の割り当てアルゴリズムの作成を目的として検討を行った。令和 3 年度終了時点において、少なくとも、

- (1) 消防車両が時間内に部署可能な消防水利の抽出
- (2) 消防力の割り当てと配管系統を考慮した部署可能な消防水利の利用可否判定
- (3) 遮断する延焼経路の選定

の 3 つのサブモデルが必要と考えられたことから、それぞれについて検討した。

「消防車両が時間内に部署可能な消防水利の抽出」については、道路ネットワークを利用した駆けつけ時間とホース延長に要する時間から、シミュレーションで計算される火災に対して利用可能か否かを判定して抽出する。

「消防力の割り当てと配管系統を考慮した部署可能な消防水利の利用可否判定」については、正確には管路計算を行って取水可能か否かを判断するべきであるが、多数の試行を可能とするよう、有向グラフを用いて簡易的に計算する手法の検討を行った。

また、既存の大規模地震災害時における初動時消防力最適運用支援システムでは、木構造として得られる延焼シミュレーションの結果から、切断可能な延焼経路のうち最も影響の大きな延焼経路を順次遮断していくこととしていたが、このような計算方法では延焼回り込みを考慮せずに選択されるた

め、延焼が終わるまでの時間は長くなるものの最終的な延焼棟数は変わらない場合がある。そこで、「遮断する延焼経路の選定」手法として、最短経路ではない延焼経路も保持し、延焼経路をネットワーク（有向グラフ）として把握するとともに、利用可能な消防力でネットワークを分割できるか否かを計算して遮断する延焼経路を選択する手法について検討を行った。

そのほか、今後の検討や消防力運用シミュレーションとの比較等に用いるため、下記の機能をシミュレーションソフトウェアに追加した。

- ・ 道路ネットワークデータの読込機能
- ・ 道路ネットワークデータの編集機能
（道路リンクの追加・削除、消防署所および消防水利の追加）
- ・ 既存の初動時消防力最適運用システムの一部機能
 - 消防署所、消防水利間の駆けつけ時間に関するデータベースの作成及び検索機能
 - 消防署所に配置された消防車両の火災への割当計算機能
 - 消防車両を火災へ割り当てた場合及び放任火災の場合の延焼被害を出力する機能

2.3 市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの改良

既開発の市街地火災延焼シミュレーションの機能向上を目的として、下記の機能を追加した。

- ・ 東消式 2001 への対応
従来は平成元年度に東京消防庁が開発した延焼速度式のみを利用可能だったが、東消式 2001 に対応させた。
- ・ 都市データの高精度化と再作成
緯度経度を用いる都市データは、単精度浮動小数として計算すると建物等にゆがみや変形が目立つことから、精度を向上させるために倍精度浮動小数として計算するとともに、全国データを再作成した。
- ・ 対象地域の一部建物群による全棟 1 回出火シミュレーション機能の実装
ポリゴンで指定した範囲内の建物すべてから、それぞれ 1 回出火する市街地火災延焼シミュレーションを行う機能を実装した。
- ・ 任意の指定範囲（ポリゴン）による集計機能の実装
任意に与えたポリゴン単位での集計機能を実装した。集計項目としては、あたえられたポリゴンに重なる範囲でのリンク数、焼損面積、火面長の時系列データとした。
- ・ 全棟 1 回出火シミュレーション機能の出力項目の追加
全棟 1 回出火シミュレーションを行った際の出力項目に、各建物が全焼に至った時間および焼損面積を追加した。

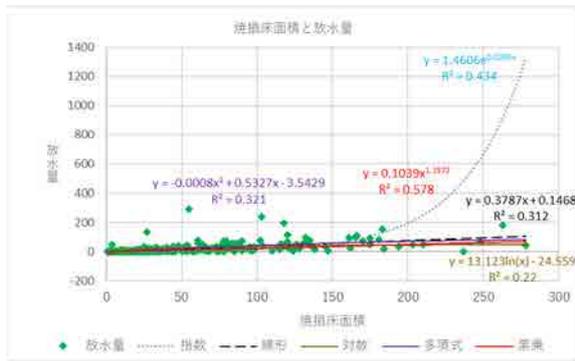
また、提供依頼のあった消防本部等に対して、シミュレーションソフトウェア、延焼経路データの提供（一部消防本部に対しては、消防事務の受託による管轄の拡大にあわせたデータの追加提供）を行った。

3. 令和 4 年度の成果

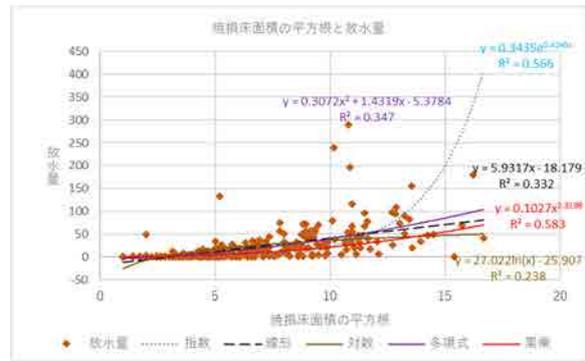
3.1 市街地火災の延焼阻止に必要な消防水利の評価手法に関する研究

横浜市消防局から提供いただいた 2017 年から 2021 年の放水量データの傾向を把握するため、放水量、放水筒先数、焼損床面積および火面周長に近い係数として想定した焼損床面積の平方根を対象と

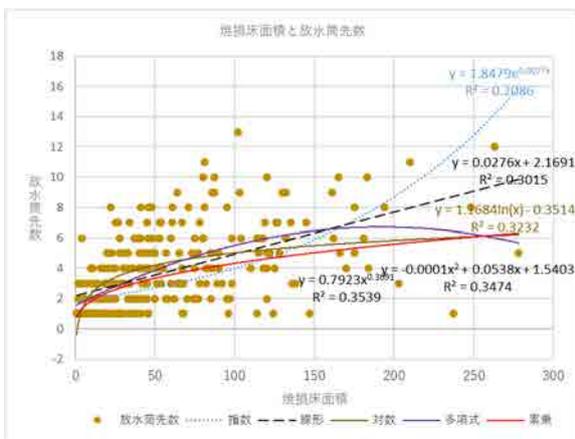
して、各種グラフを作成して検討した。図 3 にその一部の例を示す。



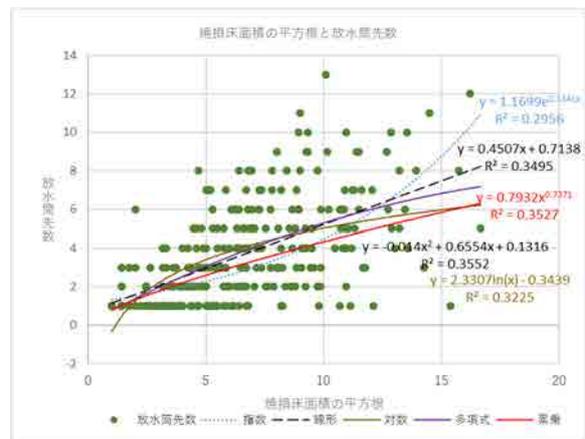
(1) 焼損床面積と放水量



(2) 焼損床面積の平方根と放水量



(3) 焼損床面積と放水筒先数



(4) 焼損床面積の平方根と放水筒先数

図 3 放水量に関するグラフ (2017 年～2021 年)

3.2 消防力、消防水利の要素を考慮した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発

上記図 2 に示したとおり、消防力、消防水利の要素に加えて、消防本部管轄内における環境の変化にも対応できるような手法を開発するため、建物の時間的な変化を延焼経路データの変化として記録管理する仕組みについて検討するとともに、ツールの開発を行った。

このツールは、基盤地図情報保存フォルダのデータセットを読み込んで、データセットの内容に更新や追加があった場合に、更新あるいは追加が行われた部分およびその周辺の基盤地図情報から延焼経路データを作成するとともに、延焼経路データを保存フォルダに上書き保存するものである。図 4 に示すように、このツールとストレージの履歴管理バックアップ機能を組み合わせることにより、地域の時間的な変化の影響に対応することが可能となった。

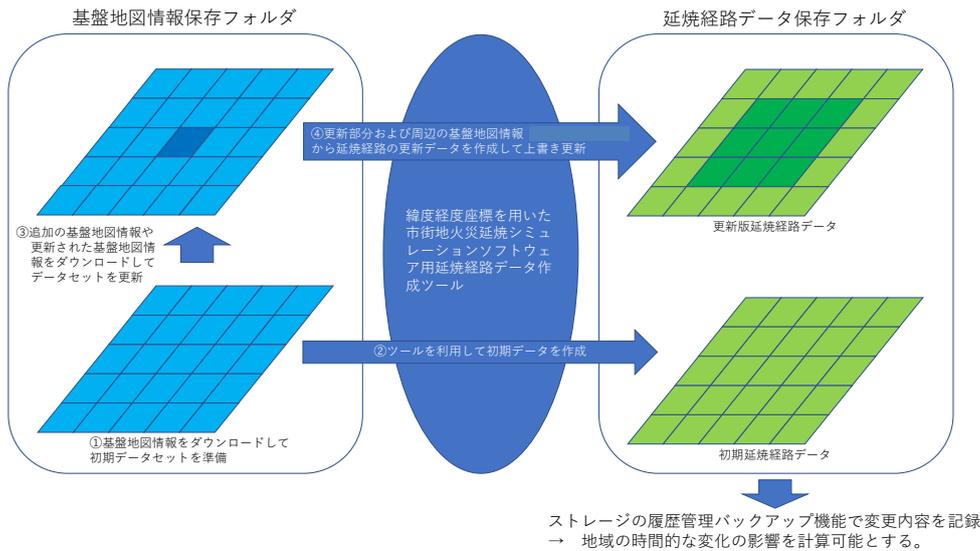


図 4 緯度経度座標を用いた市街地火災延焼シミュレーション用延焼経路データ作成ツール

3.3 市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの改良

既開発の市街地火災延焼シミュレーションの機能向上を目的として、全棟 1 回出火シミュレーションを行った際の出力項目に、各建物が全焼に至った時点での火面周長を追加した。これにより、計算時間は伸びたものの、対象地域全体や指定した建物群から出火した場合の火面周長の拡大傾向について検討することが可能となった。

また、ネットワーク対応型市街地火災延焼シミュレーションシステムの試験公開に備え、アクセス権限の管理機能及びインターフェイスの構築を行った (図 5)。

その他、令和 4 年度は提供依頼のあった 8 消防本部等に対して、シミュレーションソフトウェア、延焼経路データを提供した (令和 5 年 2 月 28 日時点)。この結果、提供機関数は 112 となった。

番号	名称	説明
(1)	ログアウト	ログアウトし、ログイン画面に戻る。
(2)	エラー表示	削除に失敗した際にメッセージが表示される。
(3)	番号	行番号を表示する。
(4)	ユーザーID	ユーザーIDを表示する。
(5)	更新権限	更新権限を「管理者」または「一般」で表示する。
(6)	所属名	所属名を表示する。
(7)	有効期限	有効期限を表示する。
(8)	削除ボタン	ユーザー情報を削除する。
(9)	編集ボタン	ユーザー情報を編集する。
(10)	追加ボタン	ユーザー情報を新規作成する。
(11)	表示色変更	有効期限によって表示色を変更する。 有効期限切れ - 赤色 有効期限切れまで 1 か月以内 - 黄色 それ以外 - 黒色

図 5 ネットワーク対応型市街地火災延焼シミュレーションシステム

3.4 その他の成果

従来から延焼クラスタの考え方をを用いた延焼棟数の期待値を計算する手法について検討を行ってきたが、平成 7 年 (1995 年) 兵庫県南部地震当時の神戸市の建物データに基づいて構築した延焼クラスタデータと既存研究で求められた震度情報を用いて、手法の妥当性について検証を行った (図 6、7、

8 参照)。

実際の地震被害は一つの事例であるのに対して延焼クラスタを用いた計算からは確率的に考えられる多数の事例の平均値が算出されているため単純に比較できるものではないが、検討してきた2つの手法で計算した結果、手法による延焼棟数の期待値の差は3%前後だったものの、双方とも実際の値の7.5倍程度と大きくなった。また、平成7年(1995年)兵庫県南部地震の出火点分布は震度6以上の地域に多く家屋被害とほぼ比例していると言われており、検討してきた手法でも震度に応じて高い出火率を与えているため、延焼被害の計算結果にも同様の傾向がみられた。さらに、大規模火災の発生状況と比較してみたところ、延焼棟数の期待値の大きなメッシュならば大規模な火災が発生するとは言えないものの、大規模な火災が発生したメッシュは比較的延焼棟数の期待値が大きい傾向があることが見て取れた。

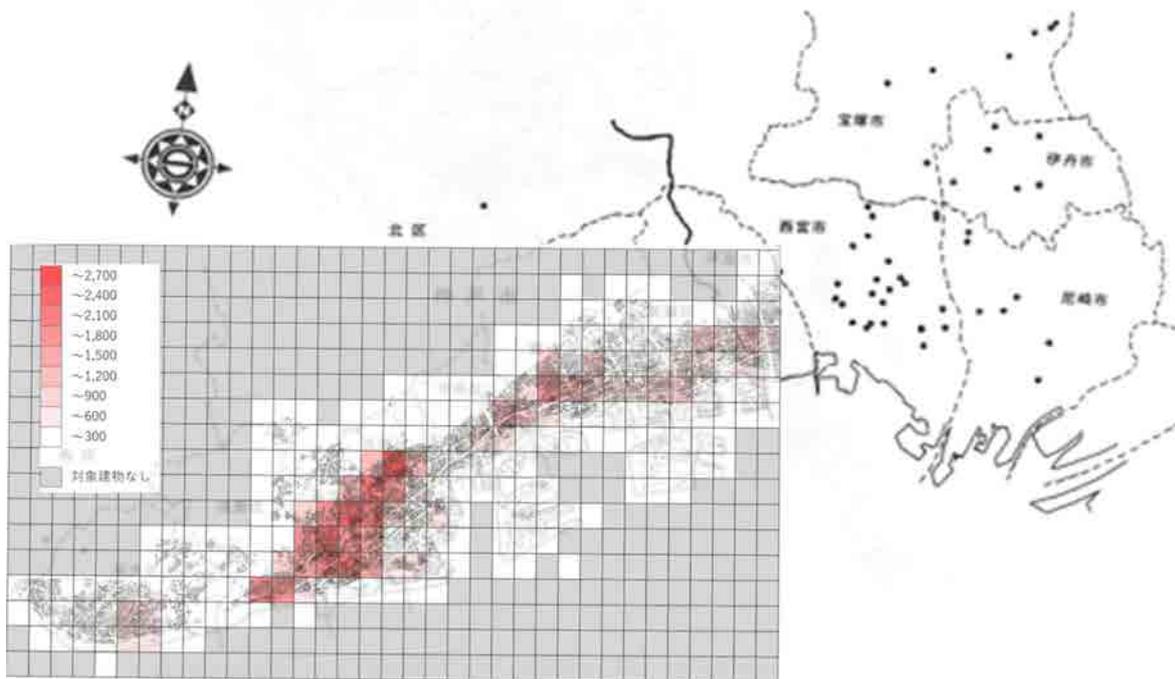


図6 延焼棟数の期待値計算結果(片方向延焼を考慮した手法)と
平成7年(1995年)兵庫県南部地震の出火点分布

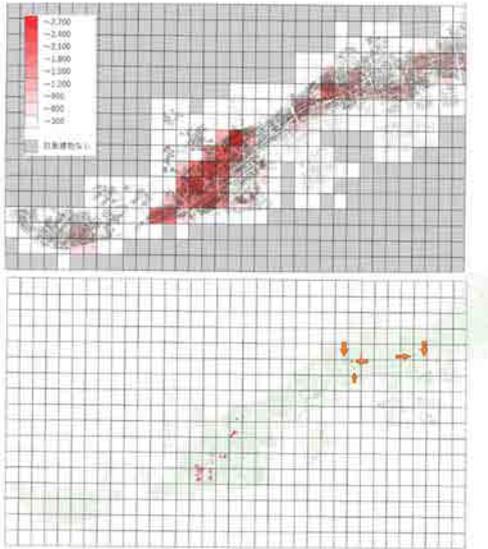


図7 延焼棟数の期待値と大規模火災の発生状況との比較 (1 km メッシュ)
上：推定結果 下：大規模火災発生状況

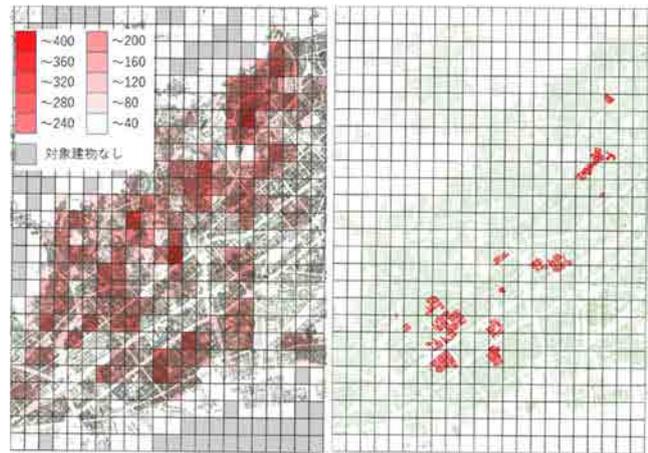


図8 延焼棟数の期待値と大規模火災の発生状況との比較 (250 m メッシュ)

左：推定結果 右：大規模火災発生状況

4. 令和5年度の研究計画

4.1 市街地火災の延焼阻止に必要な消防水利の評価手法に関する研究

引き続き入手した放水量データの分析を行うとともに、シミュレーションを用いて必要水量を計算する手法について検討を行う。

4.2 消防力、消防水利の要素を考慮した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発

令和3年度の検討内容や令和4年度のツール整備を踏まえて、消防力、消防水利の要素を考慮した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの試作を行う。

4.3 市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの改良

令和5年度も消防本部等から寄せられた要望事項を踏まえて検討を行い、有効と思われる機能を追加する。

また、ネットワーク対応型市街地火災延焼シミュレーションシステムを、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てきた消防本部を対象として試験公開するとともに、修正すべき課題等について意見を聴取する。

更に、提供依頼のあった消防本部等に対して、シミュレーションソフトウェア、延焼経路データの提供を行う。

表 1 5か年の研究計画概要

	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度
市街地火災の延焼阻止に必要な消防水利の評価手法に関する研究	市街地火災の延焼阻止に必要な消防水利の評価手法に関する研究				
消防力、消防水利の要素を考慮した市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアの開発	消防力、消防水利の要素を市街地火災延焼シミュレーションソフトウェアに適用する手法の検討		シミュレーションソフトウェアの開発	シミュレーションソフトウェアの検証	
既開発の市街地火災延焼シミュレーションの改良	既開発の市街地火災延焼シミュレーションの改良				
				シミュレーションソフトウェアの改良	シミュレーションソフトウェアの検証

5. 共同研究

- ・横浜市消防局

(2) 消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 危険性物質研究室 内藤浩由、高橋優太
特別上席研究官 天野久徳

1. 目的

物流市場拡大に伴い、近年大規模物流倉庫が増加しており、防火対象物実態等調査によると、延べ面積が 5 万 m² 以上の大規模物流倉庫は、この 10 年間で急増し、15 年前の約 6 倍となっている (図 1)。このような大規模倉庫等で火災が発生した場合は、現行の消防用設備等により、適切に消火、または延焼阻止できることが前提であるが、設備不良や集積物品量の超過、また各物品の可燃性の違い等が要因し、初期消火に失敗した場合、急速な延焼拡大 (フラッシュオーバー) や大量の濃煙熱気の発生、更に倉庫の構造上、外壁開口部が少ないため、外部からの消火活動および消防隊が内部進入できない等により、消火活動は極めて困難となる。そのため、平成 29 年 2 月に発生した埼玉県三芳町での大規模物流倉庫 (延べ床面積：約 72,000 m²) の火災では、鎮火までに約 12 日間を要し、また令和 2 年 4 月に発生した宮城県岩沼市での大規模物流倉庫 (延べ床面積：約 44,000 m²) でも約 7 日間を要した。更に、同年 7 月に発生した、静岡県吉田町での倉庫火災 (延べ床面積：約 7,000 m²) では、鎮火までに約 2 日間を要し、その際、4 名の殉職者が発生している。このように危険を伴う消火活動困難性の高い火災を踏まえ、類似の殉職事故や火災が再発することがないよう、人的被害 (消防隊を含む) を無くす対策 (無人での消火手法等) を取り入れ、安全で有効な消火手法開発や、新たな消防資機材の開発等、消防力の強化を図ることは、消防活動上において喫緊の課題である。

そこで本研究は、消火活動困難性が極めて高い火災形態 (建物構造、可燃物の種類、火災進展等) に対し、人的被害を無くす対策 (無人での消火手法等) を取り入れ、安全で有効な消火手法及び消火戦術の検討を行うことを目的とする。

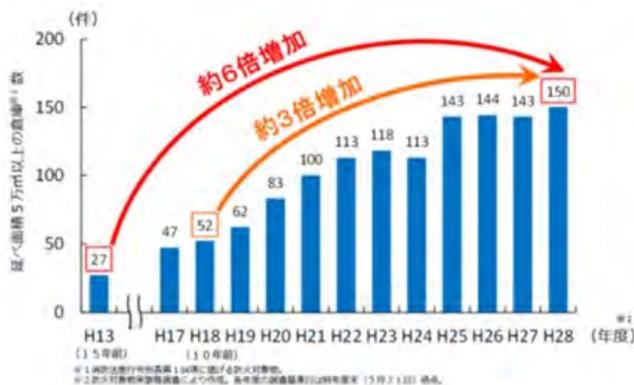


図 1 大規模倉庫 (延べ面積 5 万 m² 以上) 件数の推移



図 2 埼玉県三芳町倉庫火災時の様子

一方、国際的に環境影響への関心が高まるなか、平成 21 年に残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約 (POPs 条約) の第 4 回締約国会合 (COP4) において、泡消火薬剤の一部の製品に使用されている PFOS 又は

その塩（PFOS 等）が、規制対象物質として追加され、更に、令和元年の第 9 回締約国会合（COP9）では、PFOA とその塩、及び PFOA 関連物質（PFOA 等）が規制対象物質となった。今後、フッ素化合物の規制の拡大は確実であり、フッ素含有泡消火薬剤の製造が禁止される可能性が高い。フッ素化合物は、泡の消火性能を著しく向上させる性質があり、フッ素フリー化された泡消火薬剤を使った場合、火災形態によっては、既存の技術基準どおりでは消火できない火災が想定され、高性能なフッ素フリー泡消火薬剤の開発や性能評価手法の検討においても消防活動上の課題となっている。

そこで、消火活動困難性の高い大規模倉庫火災等でも適用可能性が高い、環境影響に考慮したフッ素フリー泡消火薬剤を用いた冠泡消火の消火性能も併せて検討することを目的とする。

2. 研究内容

大規模倉庫火災等の消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発、及び、環境影響に考慮したフッ素フリー泡消火剤を用いた冠泡消火の消火性能を検討するため、以下の項目を実施する。研究開発スケジュールは、表 1 に示す。

2.1 倉庫火災等の実態調査

倉庫火災の事故事例調査や、物流倉庫の構造、また消防用設備等の実態や、倉庫内の取扱い物品やレイアウト等の調査を行い、大規模倉庫火災時の課題を抽出し、その結果を基に、倉庫模型や火災模型の設計・製作を行い、消火手法、及び消火戦術等の検討を進める。

2.2 倉庫内にある集積可燃物の燃焼性状の検討

調査結果を基に、代表的な可燃物を抽出し、大規模物流倉庫等を模擬した区画条件（区画形状、区画壁の熱的特性、開口寸法（換気支配・燃料支配等））における、代表的な可燃物の燃焼性状の違いや、火源及び煙層からの対流熱伝達と放射熱を解析し、区画内の熱的影響評価を行う。その後、隣接した集積可燃物への着火条件（火源及び煙層からの放射熱、対流熱伝達、火源距離）を検証し、延焼拡大（フラッシュオーバー）に起因する支配パラメーターを整理し、有効な延焼阻止方法（支配パラメーターの除去方法）を検討する。



図 3 宮城県岩沼市大規模物流倉庫火災時のフラッシュオーバーの様子【あぶくま消防撮影】

2.3 倉庫火災等に対する消火手法の検討

倉庫等の集積可燃物の燃焼性状の検討を基に、有効な消火手法と実現可能性の検討を行う。具体的には、区画火災のフェーズ毎（火災初期、延焼拡大（フラッシュオーバー）、盛期火災）に、消火剤等に対する消火効果の高

い投入方法を検討し、区画火災のフェーズ毎の最適な消火手法と、それら効果的な組合せ、更に、実現可能性も併せて検討する。

2.4 冠泡消火の消火性能に関する検討

消火活動困難性の高い大規模倉庫火災等で適用可能性が高い、環境影響に考慮したフッ素フリー泡消火薬剤を用いた冠泡消火の消火性能を検討する。具体的には、区画模型、火災模型の設定、及び、投入方法、投入量、泡性状等（発泡倍率、還元時間、流動性）の検討を行い、大規模倉庫火災等の区画火災における冠泡消火に必要な諸性能を明らかにする。

2.5 倉庫火災等の消火戦術の検討

倉庫火災等で有効と考えられる、消火剤、消火手法、またその組合せを選定し、火災フェーズに応じた消火手法の最適化を進め、倉庫火災等の消火戦術の検討を行う。検証には、消火実験等を実施し、消火手法の検証と課題を抽出し、消火活動困難性が高い火災形態に対応できる有効な消火戦術の提案を行う。

表 1 5ヶ年の研究計画

研究項目	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度
消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発	①倉庫火災等の実態調査	②倉庫内にある集積可燃物の燃焼性状の検討			
		③倉庫火災等に対する消火手法の検討			
		④冠泡消火の消火性能に関する検討			
		⑤倉庫火災等の消火戦術の検討			

3. 令和3年度の研究成果

3.1 大規模倉庫火災等の実態調査

大規模倉庫火災等の消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発を行うため、大規模倉庫等への実態調査及び大規模倉庫火災を対応した消防本部に対するヒアリングを行った。

(1) 大規模倉庫等の調査概要

当該調査を行った大規模倉庫等は5件であり調査方法及び内容を表2に示す。本調査では、大規模倉庫等の実態把握及び消火活動における問題点や課題の抽出を目的とし、実際に倉庫業を運営している大規模倉庫等に対して視察を行うとともに当該視察する倉庫の関係者及び管轄消防本部に対してヒアリングを行った。その結果、共通の問題点として、ハード面としては①～⑤の課題、ソフト面では⑥～⑦の課題が抽出された。

表 2 大規模倉庫等の調査方法及び調査内容

調査方法	調査内容
① 大規模倉庫等への視察	<ul style="list-style-type: none"> ・ 倉庫の外部及び内部の構造について ・ 消防用設備等の維持状況について ・ 倉庫の使用状況について ・ 収容物（商品）の管理状況について
② 倉庫関係者へのヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・ 職員について（勤務人員、勤務状況等） ・ 倉庫の使用状況について ・ 収容物（商品）の管理状況について ・ 物流の流れについて
③ 管轄消防本部へのヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建物の基本情報について（構造、階層、面積等） ・ 消防用設備等の設置状況について ・ 平面図、警防計画の閲覧 ・ 訓練の実施状況について ・ 大規模倉庫等の火災に対する意見交換

① 外壁開口部が最低限

倉庫は、商品の保管を目的として設けた建物であり、物流において品質管理の観点からトラックを横付けして商品の積み下ろしを行う階以外は、開口部が必要最低限となっており、消防法上の「無窓階」になることが多い。実際、視察を行った5件中、4件がすべての階が無窓階であり、残り1件も3階以上の階は無窓階となっていた。そのため、外部からの放水等の消火活動及び建物内部へのアクセスが困難な倉庫が多い。

② 常に大量の収容物（商品）を保管・集積

倉庫は、商品の保管を目的として設けた建物であるため、限られた収納スペースに大量の商品を保管するため、ラックやパレットに商品を天井付近まで積み重ねているのが現状である。また、商品を置いていない建物内外の空いたスペースに使用していない大量のパレットや折り畳みコンテナが集積し、高く積み上げられており、これらコンテナ等の可燃物による急激な延焼拡大や大量の濃煙熱気の発生が消火活動への困難性をさらに加速させている。

③ 収容物（商品）の把握が困難

倉庫における商品の保管には、段ボールに梱包されているものが多く、更にバーコードや登録番号等によるデータ管理が多いため、段ボール内に何の商品が入っているか即座に判別することが困難である。消防隊による消火活動は、燃焼物の種類によって有効な放水方法が異なり、また禁水性物質等の危険物がある場合、消火活動時に注意しなければならない。このことから危険性を把握するうえでも収容物（商品）の種類や数量の詳細な把握ができないことが問題となる。

④ 内部構造が複雑

大量のラックやコンベアー等のマテハン機器の設置により、区画内部が極めて複雑化し、さらには区画免除により法令で定められている面積区画以上の大空間となることで、火災区画への内部進入が極めて危険であると言える。また、天井付近まで商品が積み上げられていることや大量の濃煙熱気の発生により、誘導灯や誘導標識を容易に視認することが不可能であり、従業員の避難や消防隊の緊急退避に支障となるため、最悪の場合、死者が

発生する恐れがある。

⑤ 外部からの消火活動の困難性が高い

3 階以上の階には、消火活動や救出活動の際に、外部からの進入を容易にするための非常用進入口（建築基準法施行令第 126 条の 6）または代替の開口部が設置されているが、上記 ① のとおり、今回視察した 5 件すべて 3 階以上の階が無窓階であったことや、④ の内部構造が複雑であることを考えると、火災が進行し、外部からの消火活動となった場合、限られた開口部、かつ、大量のラックやコンベアー等のマテハン機器による散水障害により、区画中央部等への有効な放水ができないことが容易に想像できる。

⑥ 使用形態の多様化

機械による自動化が近年進んでおり、自動倉庫や高密度収納システム等の大型のマテハン機器及びプレハブの大型冷蔵冷凍倉庫など、竣工時には想定していなかった機器が次々使用されていると聞いた。管轄消防本部へのヒアリングで、竣工してから数か月後に訪れた際、竣工検査との状況の違いに困惑したと語っていた。また、外観や名称は倉庫であるが、倉庫内をテナントが多用途（ライブ会場、物品販売店舗等）に使用していることがあるため、立入検査の際、聴取するだけでなく、ネット等の情報も確認しているとのことであった。

⑦ 現行法令が追い付いていない

倉庫内の自動化が進んでおり、大型の自動倉庫等の屋内消火栓設備の未警戒及び可動式のラックやローラーコンベア等による誘導灯の視認障害が増えていくことが考えられる。大型の自動倉庫等で火災があった場合、メンテナンスのための通路等が設けられているが、通常の通路に比べ、狭く入り組んでいるため、屋内消火栓設備のホースや消防隊のホースが機器等に引っ掛かり先に進めず、またホースの折れによる圧力損失でノズルから既定の圧力が出ない等が懸念される。また、機器等による作業が主になると、階ごとの勤務人員が少なくなり、避難器具や放送設備等のハード面、及び、防火管理者や消防計画等のソフト面で収容人員に依存するものは、非該当になることが多くなる。倉庫は、大空間、かつ段ボール等の吸音しやすいものが多いため、拡声器等での避難指示が聞こえづらいため、放送設備は必要だと考える管轄消防本部もあった。

(2) 大規模倉庫火災を対応した消防本部に対するヒアリング調査

本調査では、実際の大規模倉庫火災における問題点の抽出及び消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発を目的とし、消火活動に従事した消防本部に対し、ヒアリングを行った。当該調査を行った消防本部は、2017 年 2 月に埼玉県三芳町で対応した入間東部地区事務組合消防本部、2020 年 4 月に宮城県岩沼市で対応したあぶくま消防本部、そして 2022 年 11 月に大阪府大阪市で対応した大阪市消防局の 1 局 2 本部であり、調査方法及び調査内容を表 3 へ示す。

表 3 大規模倉庫火災を対応した消防本部への調査方法及び調査内容

調査方法	調査内容
管轄消防本部へのヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発災当時の建物の基本情報について（構造、階層、面積等） ・ 発災当時の消防用設備等の設置状況について ・ 発災当時の平面図、警防計画の閲覧 ・ 活動内容について ・ 対応した職員への当時状況の聴取について ・ 消防車両及び資器材についての意見交換

大規模倉庫火災を対応した消防本部へのヒアリング調査を行った結果、消防活動上の共通の課題として下記の通り、屋内では①～⑦、屋外では⑧～⑩の課題が抽出された。

① 大量のラックやコンベア等のマテハン機器による活動障害

大規模倉庫等の実態調査結果からもわかるとおり、大量の商品を保管・搬出するため、大量のラックやコンベア等のマテハン機器が設置されている。屋内での消火活動において、このような大量のマテハン機器があることで、区画内の複雑化が起こり、ホース延長や緊急待避等の障害となってしまうことが考えられる。

② 大量の収容物（商品、パレット等）による燃焼の促進

3件の大規模倉庫火災とも消防隊の到着時には、すでに出火場所の区画内全体に火勢が広がっており、対応した消防本部へのヒアリングからも想像以上の早さの延焼拡大が起こっており、内部進入が極めて困難であったと聞いている。このことから出火場所付近の大量の収容物（商品、パレット等）の可燃物により、延焼が促進され、急激な延焼拡大につながったことが想像でき、消火活動の困難性が高いことが言える。

③ 防火シャッター等の作動不良による区画未形成

埼玉県三芳町倉庫火災を踏まえた防火対策及び消防活動のあり方に関する検討会報告書にも記述されているが、多くの防火シャッター等の作動不良による区画未形成により、倉庫全体へ延焼が拡大し、他の2件の倉庫火災においても同様に防火シャッターの作動不良が確認されている。また、区画をまたいで延焼拡大した部分で、防火シャッター自体が崩落している区画も確認されており、大量の可燃物による急速な延焼拡大で天井付近の温度が急激に上昇し崩落したものと考えられる。このような状況下で屋内での消火活動は、非常に危険であり消火活動の困難性が高いことが言える。

④ 建物中心部の区画へのアクセスが困難

上記①で記述したとおり、倉庫内部は大量のラックやコンベア等のマテハン機器が設置され複雑化し、建物出入口もしくは外壁開口部から放水した場合、これらのマテハン機器等が障害となり有効な放水ができないことが想像できる。

⑤ 収容物（商品）の把握ができず危険性の把握が困難

倉庫における収容物（商品）は、時間とともに大量に搬出入が行われており、またこれらの収容物（商品）を決められた場所以外に一時的に置いている場合もあるため、すべての収容物（商品）の正確な把握は不可能と聞いている。収容物（商品）は段ボールで保管されていることが多く、またバーコードや登録番号等、商品管理がデジタル化されているため、容易に把握することは困難である。また燃焼物ごとに最適な消火方法が異なるため、収容物の早期把握は消火活動において重要であると言える。

⑥ 濃煙熱気による視界不良と危険性

大規模倉庫火災を対応した消防本部へのヒアリングを行った際、屋内の状況は、大量の黒煙や濃煙熱気により、視界は1m程度であり、退路の確保をしなければ、要救助者になってしまう恐れが十分にあったと聞いている。このことから、大量に発生している濃煙熱気の前で、フラッシュバー等の急激な延焼拡大が起こった場合、緊急退避に遅れ、最悪の場合、殉職者を出す可能性がある危険な環境であることが言える。

⑦ 建屋の座屈等による内部活動の危険性

3件の大規模倉庫火災とも、建物の屋根部分の崩落や、柱・梁の歪みが発生している。また、③で記述したとおり、防火シャッター自体が崩落するほど、区画内部はかなり高温になっており、このような状況での消火活動は、極めて危険であり困難性が高いことが言える。

⑧ 大量の水源確保が必要

建物内部に進入しての消火活動は極めて困難であり、また限られた開口部からの放水は、大量のラックやコン

ベアー等のマテハン機器、大量の収容物（商品、パレット等）に阻害され、有効な放水を行うことは困難となり、大量の水を確保する必要がある。

⑨ 開口部が少なく限られた場所からの放水活動

倉庫は消火活動に有効な開口部が少なく、限られた開口部、場所からの放水となるため、筒先等の地上からの放水や、はしご車等からの高所放水で建物内部へ放水する場合、場所、角度が限られてしまい、火源へ向け有効に放水することは困難となる。

⑩ 消火手法が限定的（既存資機材、安全距離等の都合）

3 件の大規模倉庫火災を対応した消防本部のヒアリングにより、外壁開口部等から噴出する大量の黒煙や火炎からの放射熱により、建物外壁に近づいての消火活動が困難であったと聞いている。本来、火災性状の変化にあわせて、ストレート放水、噴霧放水等、適した放水方法を適用すべきであるが、既存資機材、安全距離等の都合により、ほぼストレート放水のみで対応したと聞いている。

⑪ 建物内部の火点まで有効に放水できない

放水において、限られた開口部、かつ、建物内部には大量のマテハン機器や大量の収容物（商品、パレット等）等の障害となるものが多く存置されているため、建物中央部への放水は困難であると言える。そのため、3 件の大規模倉庫火災では、重機により新たな開口部を作り、そこから放水塔車等の大流量の放水が有効であったことが当該火災を対応した消防本部から聴取した。

(3) 実態調査後の消火対象範囲（研究方向性）について

令和 3 年に大規模倉庫の実態調査や、また実際の大規模倉庫火災で消防活動を行った消防本部に対し、消火活動上の問題点や課題、また有効と考えられる資機材等についてヒアリングを実施した。大規模倉庫火災時の共通の課題としては、開口部が法令上定められている箇所以外に無く、外部からの消火活動が極めて困難であること。常に大量の収容物（可燃物）が集積されているため急激な延焼拡大や大量の濃煙熱気が発生すること。倉庫内の収容物（可燃物）の種類や数量の把握が困難であり危険性を把握出来ないこと。ラック、コンベアー等の設置により、区画内部が極めて複雑となり火災区画への内部進入が極めて危険であること。区画内にあるラック、コンベアー等が散水障害となり、区画中央部へ有効に放水できないこと等の課題が抽出された。また、実態調査結果より防火区画をまたいで延焼した場合、上記課題、問題点等により、外部からの消防活動を余儀なくされ、次第に消防力は劣勢となる。現状の限られた消防力、資機材、水利等を勘案すれば、他区画への延焼時の対応は、別途検討が必要と考える。

そこで本研究は、出火から 1 時間（防火区画で求められる耐久時間）以内に、一防火区画内の冷却や火炎抑制、消火手法の検討を行い、その消火戦術の提言を行うことを目標とする。

3.2 倉庫模型の設計・製作

建築基準法施行令第 112 条第 1～3 項に定められている、防火区画（面積区画）は、表 4 に示す通り、スプリンクラー設備（以下 SP）の有無により、区画すべき面積を定めている。令和 3 年に大規模物流倉庫の実態調査を行った結果、主要構造部は、耐火構造または準耐火構造で、SP 設置無しの区画が大半を占めており、1 区画当たりの最大床面積は 1,500 m² 未満が大半を占めていた。そのため 1,500 m² 未満の区画寸法を参考にし、図 4 に示す区画模型の設計・製作を行った。

大規模倉庫の調査結果から 1,500 m² 以下の実区画寸法は、一般的に、縦方向 36 m×横方向 40 m×天井高さ 8 m 寸法の区画が多く存在し、当該区画模型は、実験場の制約や実験時の安全性、経済性を考慮し、区画模型の縮尺を、縦方向、天井高さにおいては、実区画の 1/3 とし、実際の倉庫区画の一部を切り取った要素模型を製作した。

表 4 防火区画 (面積区画) について

主要構造部*1の構造	区画面積		区画方法	
	SPなし	SPあり	床・壁	開口部
耐火構造	1,500㎡ごと	3,000㎡ごと	準耐火構造 (60分)	特定防火設備 (60分)
準耐火構造*2(60分)	1,000㎡ごと	2,000㎡ごと		
準耐火構造*3(45分)	500㎡ごと	1,000㎡ごと		

断熱材により、壁面からの放熱を無視できる構造とし、そして模型内部の耐熱温度は 1,300℃で、また繰り返し行う消火実験にも耐え得る構造とした。更に、消火に寄与する有効水量の評価も行うため、消火実験時の流下水を採取できる構造とした。また、消火実験時の煙の流動や延焼状況等を可視化するため、耐熱用観測窓を 4カ所取り付け、模型内部にもカメラや計測機器等が設置できる構造とした。更に、延焼拡大に寄与する煙層高さを制御するため、天井高さを自在に変えられる垂れ壁も設置した。そして、法令上設置義務がある非常用進入口を模擬した実スケール比 1/3 の開口部を 4カ所設置し、この開口部から区画内を有効に冷却する手法や消火手法の検討を次年度以降行う予定である。

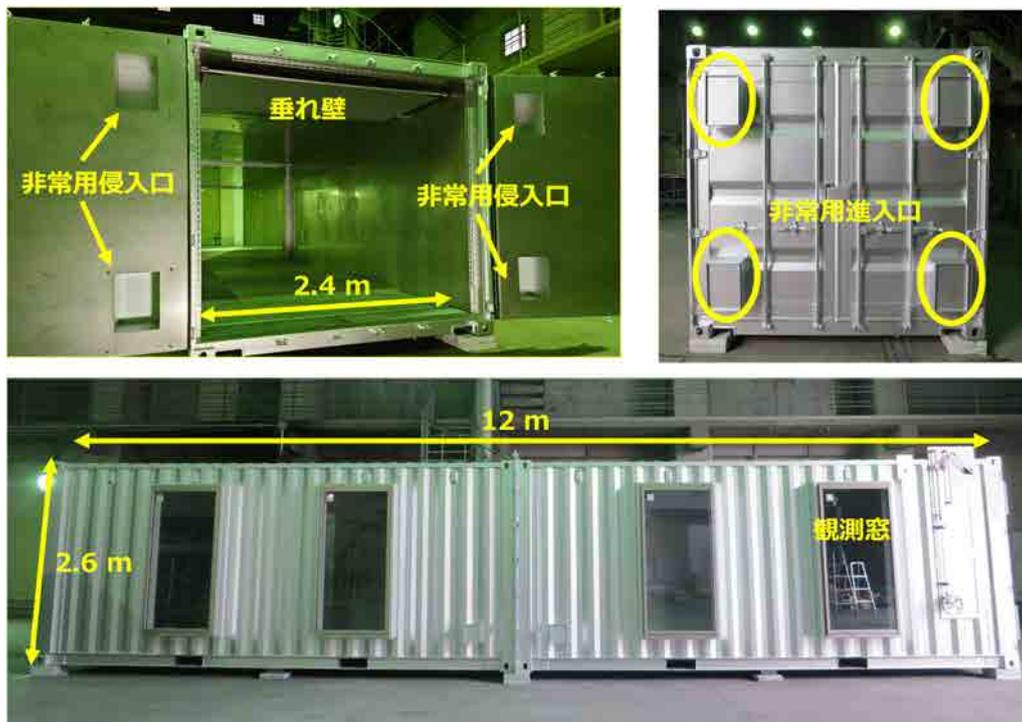


図 4 倉庫区画模型の外観

3.3 倉庫火災等の消火戦術の検討

大規模倉庫火災を対応した消防本部に対するヒアリング調査時に、実際の消火活動時の状況や消火手法について聴取した結果、活動中はストレート放水でほぼ対応しており、また倉庫内の収容物の種類により泡消火薬剤を

一部用い消火対応したと聞いている。区画内で消火のために放水を行う場合は、区画内の表面冷却を主として放水する手法と、区画内の空間温度を下げることを主とした空間冷却のための放水手法が必要であり、区画内の燃焼状況により、ストレート放水、スプレー放水、フォグ放水の使い分けが必要と考えられる。表面冷却を主とする放水は、火源及び火源周辺で熱せられた天井、壁面、周囲の集積可燃物へ直接水が届く必要があり、区画スケールに合わせた射程を有するノズル開発や、倉庫区画内の散水障害を避け火源へ水を届ける手法等を検討する必要がある。また、有効に空間冷却を行うための放水手法は、水を微粒化することにより、液体表面積を増加させ蒸発作用を促進させ、効率的な冷却効果を得ることが可能となる。水の蒸発潜熱は高く、そのため冷却効果に優れ、更に蒸発によって生じた水蒸気は火源近傍の酸素濃度を相対的に下げるため窒息効果も期待できる。また、微粒化した水滴は気体に比較して密度が大きいため、水滴の運動を制御することにより水滴を火炎の存在する領域に局在化させることができる。従って、燃焼領域で冷却効果と窒息効果が期待される。そこで、水滴の粒径、粒子速度、粒子密度をパラメーターにし、想定火源から発生する燃焼ガス層（煙層）の冷却や火炎冷却効果等の検討を進め区画内の冷却効果を検討し、火災フェーズごとの放水パターンの消火戦術を次年度以降から検討する予定である。また区画天井へ向けての放水により、水を微粒化し遠方まで散水する手法も、実際の消防戦術として存在するため、その際の散水密度、水滴粒径、到達範囲等も実験的に検討し、消火または延焼阻止するための有効な放水方法を導き、ノズル水量、噴霧圧力、噴霧角度等の最適化を行い消火戦術に資する検討も併せて行う予定である。

4. 令和4年度の研究成果

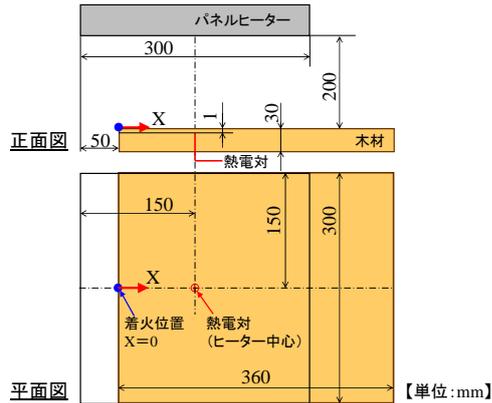
4.1 倉庫内にある集積可燃物の燃焼性状の検討

(1) 倉庫内にある木質パレット及び段ボールのフラッシュオーバー発生条件

令和3年度に実施した倉庫の実態調査より、ラック等に置かれている物品や集積状況は多種多様であるが、物品の多くは段ボールに梱包され、木または樹脂製のパレットに置かれている状況が多く見られた。また、これらは天井から1m程度にまで積み上げられており、火災が発生し初期消火に失敗した場合、フラッシュオーバー（以下、F.O.と言う）が発生し延焼が急拡大することがある。F.O.現象には様々な定義があるが、局所的な燃焼が全可燃物表面に拡大する現象と考えられており、区画火災では、F.O.の発生を境に、区画内温度が急激に上昇し、消防隊の内部進入等は極めて困難となり危険な状況となる。そのためF.O.の発生条件を明確にすることが出来れば、その発生予測や遅延処置が図れ、安全で効果的な消火活動に繋げることが可能となる。令和4年度は、F.O.の発生条件を調査することを目的に、図5と表5に示す実験装置及び実験条件にて、パネルヒーターにより熱流束を変化させて木材を加熱し、所定の表面温度で可燃物に着火させ、木材表面と内部温度を測定した。

また、図6に示す通り火炎の挙動を記録し延焼拡大速度の解析を行った。延焼拡大の変位と延焼拡大速度の結果から、木材表面温度上昇に伴い、延焼拡大速度が大きくなっている。さらに木材表面温度が200℃を超える(d)(e)は、(a)(b)(c)と比較して延焼拡大速度が飛躍的に大きくなっていることが分かる。(d)(e)の延焼拡大速度が(a)(b)(c)と比較して飛躍的に大きくなったことは、木材の引火点220～264℃に関係する。木材の引火温度以上となる(d)(e)は、有炎燃焼に十分な量の可燃性ガスが木材表面から発生しており、(a)(b)(c)のような「木材表面の燃え広がり」ではなく、可燃性混合ガス中を火炎が伝わる「火炎伝播」で延焼拡大する様子が観察された。F.O.の発生条件は、20kW/m²以上とされており、同条件を満たす(d)の21.6kW/m²では約630秒で、(e)の29.0kW/m²では約150秒で木材の引火点を超過して250℃に到達し、延焼拡大が急速に起こりやすい状態となったといえる。このことから、20kW/m²の熱流束があり且つ木材表面温度が250℃に達するとF.O.が発生することが推定される。

表 5 延焼拡大速度測定の実験条件



	木材表面		ヒーター 出力 (kW)
	着火温度 (°C)	熱流束 (kW/m ²)	
(a)	100	14.3	3.0
(b)	150		
(c)	200		
(d)	250	21.6	4.5
(e)		29.0	6.0

図 5 延焼拡大速度測定装置

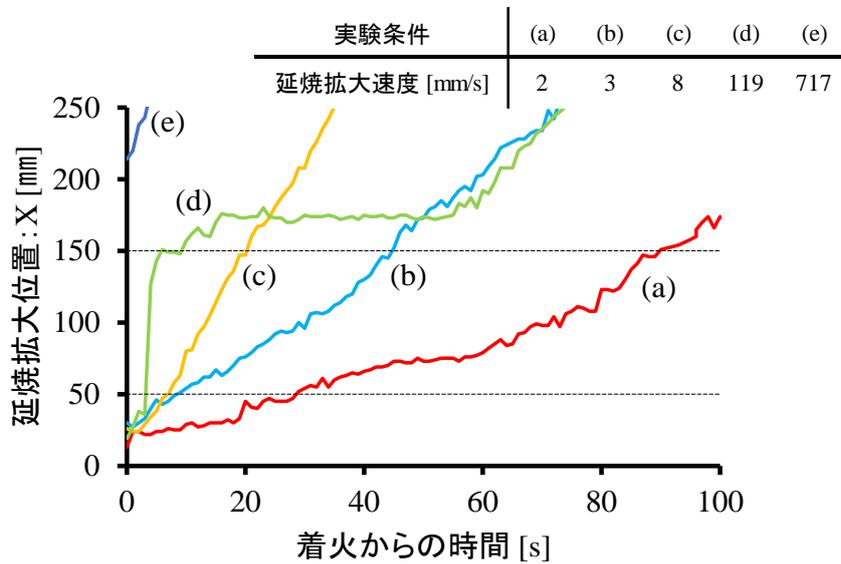


図 6 木材の延焼拡大の時間変位及び速度

(図中の破線は延焼拡大速度に用いた算出範囲を示す)

段ボールについても同様に、図 5 の装置を用い、パネルヒーターにより熱流束を変化させた場合の段ボール表面の変化及び着火条件の検討を行った。

段ボールには様々な種類があり、物流倉庫等で一般的に用いられている、代表的な 4 種類

- (a) E フルート (厚さ 1.5 mm、ライナー種 C5)
- (b) B フルート (厚さ 3.0 mm、ライナー種 C5)
- (c) A フルート (厚さ 5.0 mm、ライナー種 C5)
- (d) A フルート (厚さ 5.0 mm、ライナー種 K5)

を用い、段ボールの厚さ(フルート)や、段ボール表面の紙密度(ライナー)が異なる物を用い、熱流束に対する着火条件を調べた。図 7 に示す通り、パネルヒーターにより段ボール表面に放射熱を当て加熱し始めると煙の発生後、ライナーの割れが生じ、その後、着火し有炎燃焼へと移行した。



図7 段ボール発火時の様子

表6に、(a)～(d)の厚さ1.5mmから5mmの段ボールを用い、熱流束12.7～29.0kW/m²による発火条件を調べた結果を示す。熱流束14.3～17.9kW/m²の範囲で発火の可能性があり、また熱流束21.6kW/m²以上の条件では、全ての段ボールが発火した。更に、発火までの傾向としては、ライナーが割れた後に発火する傾向（発火した44試行中42回で確認）が見られた。

表6 熱流束に対する段ボールの発火条件

熱流束 [kW/m ²]	段ボール種			
	(a) 1.5mm-C5	(b) 3mm-C5	(c) 5mm-C5	(d) 5mm-K5
12.7	○	○	○	○
14.3	○	△	○	△
16.0	○	○	○	○
17.9	△	○	○	○
21.6	○	○	○	○
25.3	○	○	○	○
29.0	○	○	○	○

○ : 全試行で非発火
△ : 発火と非発火が混在
○ : 全試行で発火

注) 1. 枠内の数字は発火回数/試行回数
 2. 数字がない枠は5回試行し、全て同じ結果
 3. 薄い塗色は発火または非発火の推測

図8に、熱流束に対する放射開始から発火までの時間を示す。指数関数的に発火時間は短くなり、熱流束14.3kW/m²では、発火までに約90秒を要するが、熱流束21.6kW/m²では、放射開始30秒前後で発火し、更に高い熱流束となる29kW/m²では約20秒で発火している。また、今回の結果から、熱流束に対し、ライナー割れ、発火時間においても、段ボール厚さやライナーの種類による影響は小さいことがわかった。このことから、木材同様に、約20kW/m²以上の熱流束となった場合、急激に発火時間が短くなり、段ボールでもF.O.が発生することが推定される。

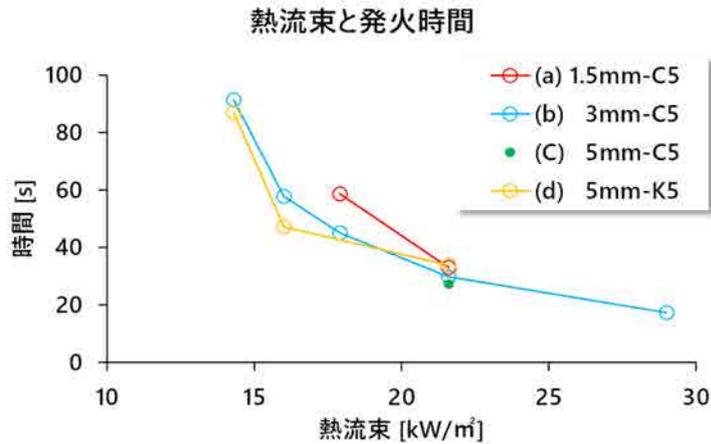


図 8 各種段ボールの熱流束に対する発火時間

(2) 倉庫火災を想定した倉庫模型内の燃焼性状の検討

令和 3 年度に製作した倉庫模型を用いて、液体燃料 (n-ヘプタン) の発熱速度、区画内の気流状況を変化させた時の模型内の温度分布、酸素濃度分布を調べ、消火手法を検討する上で必要となる、倉庫等の区画火災時の燃焼挙動の検討を行った。

実験装置は、図 9 に示す通り、幅 2.25 m、奥行 11.8 m、高さ 2.3 m で、床面積 26.7 m²、模型容積約 62 m³ の模型を用いた。観測窓及び模型の中心軸上に燃焼用火皿を設置し、燃焼挙動を可視化するため床面高さ 50 mm 位置に燃焼火皿を設置した。区画内の天井から床面までの温度分布を計測するため、K 型熱電対を天井から 100 mm 間隔で設置し、計 22 点の温度計測を行った。この熱電対ツリーを 4 ヶ所 (T1~T4) に設置し、各位置における温度計測を行った。また、区画内の平均酸素濃度を計測するため、区画中央箇所、ガスサンプリングプローブを 3 ヶ所設けた。更に、倉庫内は、一般的にラック等に積上げられた保管物が多く存在し、それらを模擬した衝立を模型内に 3 列設置し、火災時の空間温度分布や空間酸素濃度に与える影響を確認した。

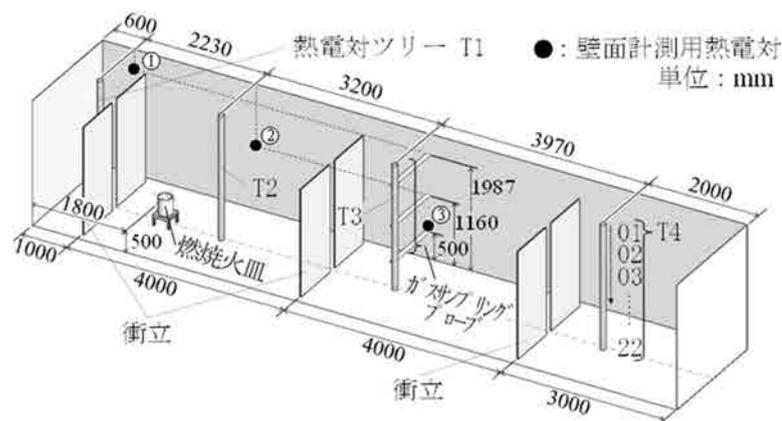


図 9 実験装置配置図

ラック等に置かれている物品や集積状況は多種多様であるが、先に行った倉庫の実態調査より、幅 1 m × 奥行 1 m × 高さ 1~1.25 m の段ボール、またはこのサイズにパッキングされた物品がラック 3 段にパレット積みされている状態が多かった。今回、ラック 3 段に積み上げられている段ボール (1 セット) が燃焼したと仮定すると、その表

面積は約 16 m²となる。これは、A2 クリブとほぼ同等の表面積を有する事になる。最大発熱速度は、可燃物表面積にほぼ比例することは知られており、更に A2 クリブの最大発熱速度は約 2 MW になることから、ラック 3 段の可燃物 (1 セット) が燃焼する場合、最大発熱速度が 2 MW になると仮定し、模型側の実験条件を設定した。そして発熱速度の違いによる模型内での消炎及び熱的挙動を検討するため、模型 (倉庫模型: 62 m³) と原型 (実倉庫の 1 区画: 10,000 m³) の容積比 (1/161) により火災模型の発熱速度を表 7 の通り設定し、その発熱速度に近づけ実験火災模型の発熱速度で検討を行った。

表 7 実倉庫区画と倉庫模型に対する発熱速度の対応関係

	発熱速度 [kW]		
	2,000*	4,000**	12,000***
実倉庫区画 (10,000m ³)			
倉庫模型 (容積比: 1/161)	12.4	24.8	74.4
実験火災模型	13	31	67.4

その結果、各発熱速度に対する消炎時の O₂ 及び CO₂ 濃度は、異なる発熱速度においても近い値を取り、各発熱速度に対する平均 O₂ 濃度は 14.5 %、平均 CO₂ 濃度は 4.4 %となった。更に、化学的に干渉しない不活性ガスを混合した場合、その混合ガスの消炎濃度は、式 (1) で算出され、

$$1/C = X_{IGi}/C_{IGi} + X_{IGj}/C_{IGj} \quad (1)$$

C は混合ガスの消炎濃度(%), X_{IGi} は組成 i のモル分率、C_{IGi} は組成 i の消炎濃度、X_{IGj} は組成 j のモル分率、C_{IGj} は組成 j の消炎濃度を示す。

実測した CO₂ 濃度の平均値 (4.4 %) と、カップバーナー法で測定された n-ヘプタンに対する N₂ と CO₂ 消炎濃度から、N₂/CO₂ 混合ガスの消炎濃度と、それに対応する酸素濃度を表 8 に示す。

その結果、実測した消炎時の酸素濃度 (6 回平均) は、14.5 %であり、N₂/CO₂ 混合ガスの消炎濃度は 14.5 %で一致する。この事実は、カップバーナー法で測定した消炎濃度が実規模倉庫等の火災にも適用できる事を示唆している。

表 8 各消火剤に対する n-ヘプタン消炎濃度

燃料	消火剤						消炎時の酸素濃度実測値 [%] (6点平均)
	CO ₂ [%]		N ₂ [%]		N ₂ /CO ₂ 混合ガス (N ₂ :CO ₂ =86:14)		
	消炎濃度	酸素濃度	消炎濃度	酸素濃度	消炎濃度	酸素濃度	
n-ヘプタン	22	16.3	33.6	13.9	30.8	14.5	14.5

表 9 に、倉庫模型内の発熱速度に対する熱的挙動を示す。今回は濃度計測と同位置となる T3 ツリーの各温度データをを用い解析を行った。

隣接 2 点間温度勾配平均値 [°C/100 mm] とは、最大温度と最低温度の差による単位長さ当たりの温度勾配を示し、また隣接 2 点間最大温度勾配 [°C/100 mm] とは、ツリー鉛直方向で最も温度変化が大きい隣接 2 点間の温度勾配を示す。更に、最大/平均勾配比率は、上述した隣接 2 点間の平均と最大温度勾配の比率 [倍] を示し、また最大平均温度 [°C] は、天井温度を除いた平均温度の最大値を示す。そして、上下位置最大酸素濃度差 [%] とは、床面

から高さ 500 mm、1,987 mm 位置で計測された、最大平均温度に対応する酸素濃度差を示す。

隣接 2 点間温度勾配平均値を見ると、各発熱速度 13kW、31kW、67.4kW に対し、各々 2.1、3.5 (Exp.2~5 の平均値)、9.2 °C/100mm となり、発熱速度の増大により平均温度勾配も増加し、模型内の温度層の形成が顕著に表れている。特に温度勾配が大きい箇所は、T3_05~07 付近にあり、倉庫模型天井から 400~600mm 範囲に形成している。実倉庫区画の縮尺 (3 倍) では天井から 1.2~1.8 m の高さに相当する。

表 9 倉庫模型内の発熱速度に対する熱的挙動

Exp.	容器寸法 [mm]	発熱速度 [kW]	衝立	最高温度 [°C]	最低温度 [°C]	隣接2点間温度勾配平均値 [°C/100mm]	隣接2点間最大温度勾配 [°C/100mm]	最大/平均勾配比率 [倍]	最大平均温度 [°C]	上下位置最大酸素濃度差 [%]
1	φ170	13	なし	87.5	47.9	2.1	5.5	2.6	67.58	0.27
2	φ240	31	なし	118.5	51.3	3.5	9.5	2.7	86	0.4
3		↑	なし	118.8	48.3	3.7	8.5	2.3	83.9	1.13
4		↑	あり	117.1	50.1	3.5	13.6	3.9	82.2	0.52
5		↑	なし	112.7	47.6	3.4	8.9	2.6	79.95	0.33
6		□355	67.4	なし	245	70.7	9.2	32.6	3.6	162.2

更に、実倉庫のラックを想定した衝立の有無による最大/平均勾配比率 (Exp. 2~5) は、衝立なしの条件で 2.3~2.7 倍となり、それに対し衝立あり (Exp. 4) の条件では 3.9 倍となり、顕著な温度層が形成される。これは天井と衝立上部の隙間を燃焼ガスが通過する際に気流が層化され、天井部に顕著な温度層が形成することが考えられる。これはラック等が多く存在する実際の倉庫区画で火災が発生した場合も同様、火災からの熱が上方に集中しやすく顕著な温度層の形成が考えられる。

また各発熱速度に対する上下位置の最大酸素濃度差を見ると、13kW、31kW の条件では、概ね 1%未満であり、67.4kW では、上下の酸素濃度が各々 14.3%、18.2% となり、その差は約 4% となる。また衝立あり (Exp. 4) の酸素濃度差は、1%未満となり、酸素濃度において衝立の有無 (ラック等の有無) による影響は少ない結果となった。

このことから、発熱速度の大きい条件では、温度勾配や上下の酸素濃度差は、他の条件に比べ大きくなるが、本条件では中性帯の形成は確認できなかった。また上下方向の酸素濃度差も小さく、区画内への放水等により、内部の気流が攪拌されてもバックドラフトは発生しないことが推定される。

4.2 冠泡消火の性能評価に関する検討

区画火災におけるフッ素フリー泡消火薬剤を用いた冠泡消火に必要な諸性能 (投入方法、投入量、泡性状 (発泡倍率、還元時間、流動性)) を明らかにすることを目的として、実験用の低流量型高発泡器の設計・製作及び泡性状の検討を行った。今回設計、製作したラボスケールの低流量型高発泡装置 (図10) は、NFPA 11で示されている低流量型高発泡器生成装置、及び、この装置を研究用途に合わせ仕様変更した Harding らの装置をベースに製作を行った。発泡スクリーンは、形状の異なる3種類のパンチングメタル (φ2 mm-P.3.5 mm-A.R. 30%、φ3 mm-P.5.0 mm-A.R. 33%、φ4 mm-P.5.5 mm-A.R. 48%) を用い、発泡スクリーンの形状は NFPA 11 と Harding らの装置で採用しているコーン型とした。

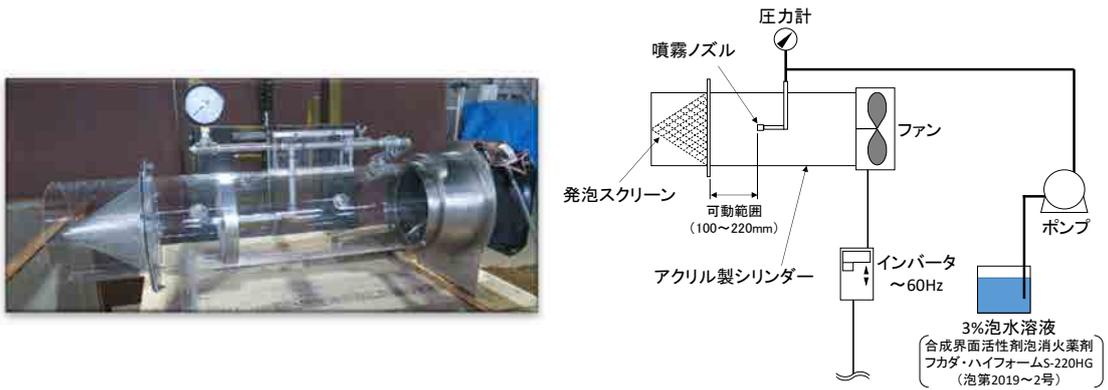


図 10 実験用低流量型高発泡装置

今回製作した実験用低流量型高発泡装置の空気流量に対する発泡性能を確認するため、噴霧量 6L/min、発泡スクリーン表面積を一定とし、各発泡スクリーン (3 種) に対して空気流量を変えて発泡倍率を測定した。図 11 に、各発泡スクリーン (3 種) における、空気流量と発泡倍率の関係を示す。

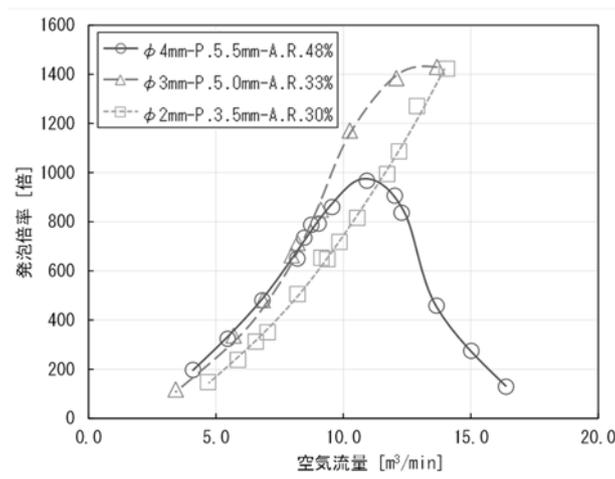


図 11 実験用低流量型高発泡装置の発泡性能

空気流量増加により発泡倍率が上がることが確認できたが、φ 4 mm-P.5.5 mm-A.R.48 %の発泡スクリーンにおいては 11 m³/min をピークに空気流量過剰となり発泡圧を大きく越え破泡するため発泡倍率が低下すると考えられる。

次に、今回製作した実験用低流量型高発泡器の各発泡スクリーン (3 種) における任意の発泡倍率に対する 25 %還元時間を確認するため、噴霧量 6L/min 一定とし、発泡倍率 300、500、700 倍における 25 %還元時間を測定した。図 12 に、各発泡スクリーン (3 種) の発泡倍率 300、500、700 倍における 25 %還元時間を示す。

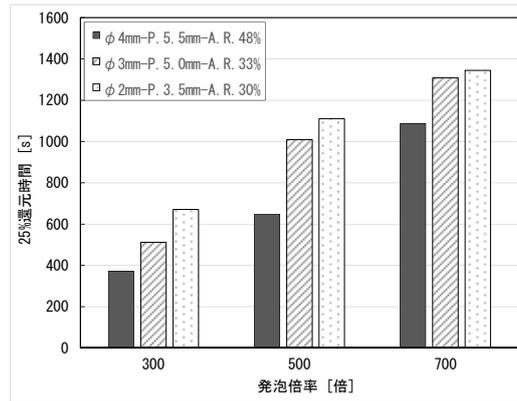


図 12 実験用低流量型高発泡装置の還元特性

各発泡スクリーンにおいても発泡倍率の上昇に伴い25%還元時間が長くなることが確認できた。また、同じ発泡倍率の場合、いずれの発泡倍率でも開孔径の小さい発泡スクリーンにより発泡した泡の25%還元時間が長くなる傾向が確認できた。このことから、発泡スクリーンの形状（孔径、ピッチ、開孔率）により、任意の発泡倍率に対し25%還元時間を制御できることが確認された。

5. 令和5年度の研究計画

(1) 倉庫火災等に対する消火手法の検討

大規模倉庫火災時の既存の消火手法（ガス系消火、冠泡消火、放水消火）における課題や、その実現可能性について整理し、最も実現可能性が高く、効果的な消火手法の検討を行う。

(2) 冠泡消火の性能評価に関する検討

泡性状（発泡倍率、還元時間）を可変できる実験用低流量型高発泡装置を用い、泡性状（発泡倍率、還元時間）のデータベースを作成し、各泡性状に対する高発泡泡の流動展開性について検討を行う。

6. 令和6年度以降の研究計画

(1) 倉庫内にある集積可燃物の燃焼性状の検討【継続】

(2) 倉庫火災等に対する消火手法の検討

(3) 冠泡消火の性能評価に関する検討【継続】

(4) 倉庫火災等の消火戦術の検討【継続】

7. 共同研究等外部との協力

(1) 株式会社モリタホールディングスグループ

(2) 深田工業株式会社

(3) 入間東部地区事務組合消防本部

(4) あぶくま消防本部

(5) 埼玉東部消防組合消防局

(6) 吹田市消防本部

(7) 東京消防庁

- (8) 大阪市消防局
- (9) 宇都宮市消防局

(3) 超高齢化・人口減少社会の火災と消防力に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 鈴木恵子

1. 目的

わが国の高齢化率は上昇を続けており、人口も 2008 年以降減少局面に入った。今後さらなる高齢化や人口減少が見込まれるが、この人口構造の変化に伴い空き家の増加、老朽木造密集市街地や集落の更新停滞、社会インフラのダウンサイジング、在宅の認知症者や火災時の要救助者の増加、昼間はほぼ高齢者のみとなる住宅地の出現、住民の多様化など、社会状況も変化してきており、火災の発生や初期対応、被害の状況に変化が生じることが懸念される。

これに対し、消防本部は地域の実情や将来像を踏まえて消防力を整備する必要があり、加えて消防団や自主防災組織のほか、火災のごく初期段階での対応が可能な隣近所のようなマイクロなコミュニティの中での共助の仕組みを促進することが期待されるが、これまで経験したことの無い状況を想像して備えることは容易ではない。

そこで本研究は、地域と火災の将来像を解りやすく示すとともに、超高齢社会に適した火災の発生予防、早期発見、初期消火などの技術開発を行い、消防本部や地域住民が火災対策を考えるのに必要な情報を発信することを目的とする。

本研究では高齢化や人口減少、老朽木造密集等の状況が他の地域に先行し、出火率も高い島嶼地域に着目し、事例研究と社会統計分析結果等を基に火災の将来予測手法の確立を目指す。また、高齢化等が先行する集落の協力を得て、火災の発生予防、早期発見や初期消火など、超高齢化したコミュニティの中で現実的に実施可能な火災への対応方策について実験的研究を行い、全国にも展開可能な知見を蓄積して発信する。

2. 研究内容

2.1 火災の将来予測

火災と被害の発生を将来予測する手法を研究し、消防本部単位での適用を目指す。特に島嶼部は他の地域に比べ全国に比べ 2 倍程度出火率が高い傾向にあることが判っており、社会統計分析結果を火災の将来予測手法の基礎データとして活用する。これを基に地域の将来像を可視化するツールを開発する。

- 1) 島嶼部の火災に関する分析 (R3)
- 2) 火災の将来推計手法の検討 (R3-5)
- 3) 可視化ツールの試作 (R6)
- 4) 可視化ツールの試用と改良 (R7)

2.2 超高齢化・人口減少コミュニティの火災対策

高齢化が進んだ集落では、昼間の在宅者のほとんどが高齢者である場合も少なくない。また、島嶼部や山間地域では消防署所からの駆け付け距離が長くなる傾向にあり、住宅も古い木造が多いため燃

え広がりやすい。このような集落における火災と対策事例を収集するとともに、火災発生初期の対応が重要であるとの観点から、火災の発生予防、火災の早期発見や、高齢者による初期消火について集落の協力を得て実験的研究を行い、超高齢化コミュニティの中で対策を実現するための知見を蓄積し、発信する。

- 1) 高齢化や人口減少等が先行し出火率が高い島嶼部等の事例調査 (R3-4)
- 2) 早期発見のための火災警報の共有実験 (R3-6)
- 3) 高齢者による初期消火活動に関する実験的検討 (R5-6)
- 4) 知見のとりまとめと情報発信 (R7)

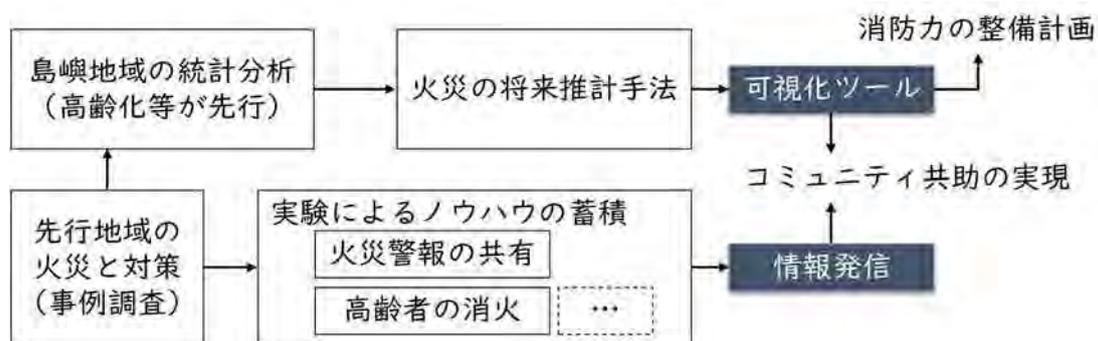


図 1 超高齢化・人口減少社会の火災と消防力に関する研究の研究概要

3. 令和 3 年度の研究成果

3.1 火災の将来予測

将来予測に向けた島嶼部および都道府県単位での火災分析に用いる社会統計データの加工を行った。また、住宅火災による死者数の推計手法として、コホート分析を行うための人口および死者数データの収集加工を行った。

3.2 超高齢化・人口減少コミュニティの火災対策

(1) 早期発見のための火災警報の共有

これまで、住宅用火災警報器（以下、「住警器」という）や火災感知器の発報信号を、有線又は無線で近隣の特定の世帯間で共有する取り組みは行われてきたが、空き家の増加や、昼間又は夜間不在世帯の増加、また良好な近隣関係を前提とすることなどが、信号共有を困難にさせている。このため、消防庁も住宅等の屋外にいる人に対して火災の発生を伝達するのに必要な屋外警報装置等の技術基準の検討を平成 30 年度に行い、ガイドラインを公表している。そこで、屋外警報音による周知可能範囲の予測を目的として、暗騒音下での警報音の可聴性の検証実験を行った。実験は、無響室内で暗騒音を発生させた中での聴取音圧測定と、屋外での可聴距離の測定実験を含む。

その結果、既往の研究と同様に、電子音は鳥の声などと聞き間違い易いことが被験者から指摘され、音声による警報が必要であることが示された。また既存の住警器は電子音が約 90 dB であるのに対して音声は 70 dB 程度と小さく設定されており、約 40 dB の暗騒音の屋外での音声の可聴距離は約 50～70 m までであったが、音声を 90 dB とすると 150 m 以上まで聴取可能であった。また、警報音と暗騒音の周波数と重なると、聴取に必要な警報音の音圧が上昇するため、環境によって警報音の周波数や

音圧を検討する必要があることが判った。このほか、無響室での聴取音圧測定実験に基づき、鉄道沿線や静かな夜間の公園など6種類の暗騒音下における警報音声の可聴距離の予測を行った。

(2) 高齢者による初期消火活動

高齢化率の高い地域で火災を発生初期に鎮圧させるためには、高齢者が自ら初期消火を行う必要がある。そのために必要な教育訓練方法の確立を目指していたが、今年度は高齢者を被験者とした実験が難しいことと、教育訓練方法が確立したとしても、今後実際に高齢者が集合して訓練を行うことが困難になることが懸念されるため、映像教材等によるリモートでの効果的な教育方法の検討を行った。

検討方法は、実際の火災を用いた消火器による消火訓練、消火映像の視聴、市販のバーチャルリアリティ訓練機材（以下、「VR」と略す）などの消火訓練のいずれかを体験した被験者が、実際の火災を用いた消火器による消火を行い、その際の発熱速度の変化を計測するものである。

その結果、消火訓練を経験していた被験者群は、火源を蹴って消火剤を効率的に散布するなど臨機応変な消火を行った。また、消火映像を視聴した被験者群は、映像にあったように徐々に火炎に近づきながら燃焼物全体に消火剤を放射し、効果的に発熱速度を低下させた。これに対して VR 訓練実施群は火炎から離れた場所から動くこと無く、手首を使ってノズルを動かすのみであり、発熱速度をあまり低下させることができなかった。これは VR 訓練ソフトが、火炎との距離の変化を反映せず、ノズルの動きのみで消火の成否を評価するものであったためと考えられる。教育に用いるコンテンツの内容が、実際に消火する際に大きく影響することが確認された。

4. 令和4年度の研究成果

4.1 火災の将来予測

火災の発生と被害に関係する要因を抽出するため、都道府県単位での社会統計データの追加収集・加工を行い分析環境へ導入するとともに、時系列データ等の補間方法の検討を行った。

コウホート分析については、推計のための時代効果のトレンド設定に関する検討を行った。

4.2 超高齢化したコミュニティの火災対策

1) 高齢化や人口減少等が先行する地域の火災事例調査

三重県いなべ市笠間保育園火災と北九州市小倉北区の旦過市場火災について火災事例調査を行った。また、過去に実施した高齢化等が進行する地域の延焼火災調査の記録を整理した。

その結果、高齢化や人口減少等が先行する地域で、大規模な火災被害が生じた地域では次のような課題があることがわかった。

- ・簡易水道や水源の貯水量が少ないなど水利が脆弱な場合が多い。
- ・消防職員が少なく、ポンプ車の乗車人数も少ない場合が多い。乗車人数が少ないと放水開始も遅れることになる。
- ・高度な機材の導入は消防隊の人員体制や消防活動戦術を変える必要が伴うことがあり、小規模な本部では対応困難な場合がある。
- ・高度な機材を扱う消防隊を創設する場合には、交代制に応じて複数隊が必要である。
- ・職員に専門知識や技術を習得させるための研修派遣には交代要員の確保も必要で、その負担も大きい。また人事異動の度に研修を受けさせる必要がある。
- ・消火剤などの消耗資材の維持更新や高度な資材のメンテナンス委託の費用負担に苦慮している。離島の場合、技術者の招聘コストや、装置の移送に要する時間も負担となる。

これらを踏まえると、高齢化や人口減少が先行する地域の消防活動を強化するための技術として、単位水量あたりの消火効率が高く、人員体制や消防戦術を変更する必要がなく、高度な技術の習得や消耗資材、メンテナンスを必要としないか軽微で済むことが望まれているといえる。

2) 超高齢・人口減少社会の消火に寄与する技術の検討

火災事例調査から得られた高齢化や人口減少等が先行する地域の消火技術に求められる要件を踏まえ、新しい消火技術の検討を行った。

5. 令和 5 年度の研究計画

5.1 火災の将来予測

都道府県単位での火災の発生と被害に影響を及ぼす要因抽出と将来予測を目的とした分析を行う。

5.2 超高齢化したコミュニティの火災対策

令和 4 年度に検討した消火技術について消火実験を行い、効果を評価する。

6. 令和 6 年度以降の研究計画

6.1 火災の将来予測

都道府県単位での火災の予測手法の確立と検証を行い、消防本部単位での適用を目指す。これを基に地域の将来像を可視化するツールを開発し、試用と改良を行う。

6.2 超高齢化したコミュニティの火災対策

超高齢化し、人口減少する社会に適した消火技術提案のための技術開発を行い、得られた知見の発信を行う。

表 1 5 か年の研究計画概要

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
火災の将来予測	島嶼部の火災に関する分析	火災の将来推計手法の検討		可視化ツールの試作	可視化ツールの試用と改良
超高齢化したコミュニティの火災対策	高齢化や人口減少等が先行する地域の火災と対策の事例調査	超高齢・人口減少社会に適した消火技術に関する実験的検討		知見のとりまとめ 情報発信	
	火災警報の共有実験				

7. 共同研究等外部との協力

情報・システム研究機構 統計数理研究所
早稲田大学
大島地区消防組合消防本部
北九州市消防局

(4) 火災旋風の発生予測に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 篠原雅彦

1. 目的

市街地火災や林野火災のような広域火災では、その内部や周辺で火災旋風と呼ばれる竜巻状の渦が発生して被害を極端に大きくすることがある。火災旋風は火の粉を近くにも遠くにも飛ばして急速な延焼拡大を引き起こすだけでなく、その竜巻級の猛烈な風によって人や物を吹き飛ばして死傷者を出す。地震後の市街地火災で大規模な火災旋風が発生すれば、住民も消防隊員も死傷する可能性が高い。

火災旋風による人的被害を減らすための根本的な対策は、過密人口の分散、燃えづらく安全な場所に逃げやすい街を作ることだと思うが、それには年月がかかる。今日起きてもおかしくない大都市の地震後の火災旋風対策としては、もっと早く実現できる対策を生み出す必要がある。とはいえ、死傷者を出すような猛烈な火災旋風は、いったん起きてしまえばその後の対策というのは非常に困難である。

だとすれば、猛烈な火災旋風が発生する前に、その発生を引き起こす可能性がある火災を特定し、その火災を消火することで火災旋風の発生を防ぐと同時に、住民はその火災からいち早く逃げればよい。しかし、すべての火災旋風の発生の有無とその性質を完全に予測する方法を開発することは極めて難しい。原理的にはできたとしても、自然界では風ひとつとっても時々刻々と変動し、その変動幅が大きいため、火災旋風発生予測モデルの入力条件に大きな幅を持たざるを得ず、その出力も大きな幅を持つ。そのため予測モデルを直ちに火災現場で被害を防ぐために利用することは難しい。そもそも現状では、このような完全予測モデルを構築するのは前途多難であり、また、被害をもたらさない勢力の弱い火災旋風までも予測する必要はない。

そこで本研究では、このような精緻な予測モデルの作成を目指すのではなく、同時多発火災時に消防戦術、避難指針として役立てられるような予測モデルを構築することを目的としている。本研究で構築を目指すモデルは、あらゆる風向・風速を仮定した時に、どれくらいの火災の規模になれば、死傷者を出すほどの強風を伴う火災旋風が火災に対してどのような位置に発生し、火災旋風が引き起こす強風域がどれくらいの範囲に及ぶか、ということを実測可能なモデルである。

この予測モデルができれば、既存の延焼予測手法も利用することで、同時多発火災が発生して全火災を消すには消防力が劣勢な場合に、大きな被害を引き起こすような強風を伴う火災旋風がどの火災で生じ得るかを予測し、その火災が小さいうちに優先して消火することで火災旋風の発生を防ぎ、早めの避難を促すことができるようになる。

2. 研究内容

本研究の対象にしている火災旋風は、これまで研究の多い「火炎が竜巻状に高く伸びる火災旋風」ではなく、多くの被害を引き起こしてきたが研究が進んでいない「発生時には火炎を含まない竜巻状の渦（黒煙状に見える渦）」(図 1) である。この「火炎を含まない火災旋風」は、火災現場から移動し

て数 km 先まで被害を及ぼすこともあることが過去の災害から分かっている。

本研究の目的は、前節に示した通り、あらゆる風向・風速を考えたときに、どれくらいの火災規模になれば死傷者を出すほどの強風を伴う火災旋風がどこに生じるかを知ることであるが、それを知るためには、あらゆる風向、風速に対する火災旋風の風速や振る舞いの変化傾向を知る必要がある。さらに、このモデル作成のためには火災旋風の発生機構を知る必要がある。後者の発生機構については、これまでの研究で、過去に発生事例の多い「火災域風下に発生する火災旋風」には渦の源がいくつかありそうなが分かってきた。特にそのうちの一つである、風で傾いた上昇気流中に形成される渦対は、実際の火災旋風の源の一つとして有力な候補であることを明らかにした。この渦対の発生機構については、すでに有力な説がある。前者の火災旋風の風速や振る舞いの変化傾向については、実験により、火災にあてる風の速さ、火源の発熱速度などを変えて、発生する火災旋風の渦の強さや振る舞いがどのように変わるかということ、またその原因などを明らかにしてきた。その変化傾向が実火災での記録と一致していることも確かめている。

しかし、火災旋風の風速や規模を左右するパラメーターは上記以外にも火災形状、火災規模など複数あり、多くのパラメーターを系統的に変えて、火災旋風の発生の有無、発生する火災旋風の性質を調べる必要がある。

そこで、各種パラメーターを変えた実験を継続し、その結果と発生機構に基づいて火災旋風の発生予測モデルを構築する。このモデルは、火災規模を与えることで、火災旋風の最大風速、強風域の規模を求めるものである。作成したモデルは、実火災、屋外実験、野焼きで発生した大規模な火災旋風のデータを用いて検証、改良を行う。野焼き時に発生する火災旋風の観測はすでに行っており、これも継続する。



図 1 野焼きで発生した火災旋風

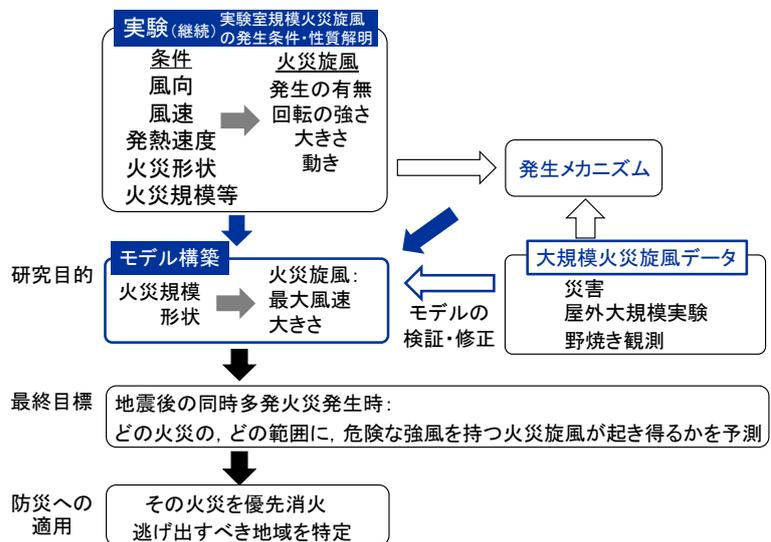


図 2 研究の概要と適用先

3. 令和 3 年度の研究成果

(1) 火災旋風発生予測モデルの構築

過去に発生事例の多い「火災域風下に発生する火炎を含まない火災旋風」について、その渦の発生機構の仮説に基づき、火災旋風発生予測モデルの作成を進めた。その結果、実験室規模の火災旋風の実験結果を説明できる可能性があるモデルの全体像が形になり始めた。

(2) (モデル構築のための) 実験室規模の火災旋風の発生条件・性質解明

火炎の周囲には数種類の渦が発生することが分かっている。実験で得た火災旋風の風速などのデータが、どの渦のものなのかを特定することは、火災旋風の発生機構と実験データに基づいてモデルを構築するうえで避けては通れない。

そのため、前年度までに行ってきた細長い火源周辺に発生する火災旋風の可視化実験を行い、2種類の性質の大きく異なる渦が異なる場所で発生していることを明らかにした。これにより、火災旋風の渦の強さの風速依存性が、これら2種類の性質の異なる渦の存在に起因していることが明らかになった。

(3) (モデル構築のための) 大規模火災旋風の発生条件・性質解明

2022年3月に行われた大規模な野焼き時に、ドップラーライダー、ドローン、赤外・可視ビデオカメラ・風速計を用いて大規模火災旋風の観測を試みた。同時に、火災旋風発生時の状況を明らかにするために、延焼状況の観測、気象観測、可燃物量調査を行った。

また、前年度までの実験で、細長い火源の長辺を風に平行に配置した場合には、直交配置の場合とは逆で、火炎にあてる風が強いほど火災旋風の渦が強くなるという結果を得ているが、文献調査の結果、事例としては珍しい強風下で旋風が複数発生した昭和9年の函館大火の状況は、この実験条件によく似ていることが分かった。

4. 令和4年度の研究成果

(1) 火災旋風発生予測モデルの構築

火災域風下に発生する火炎を含まない火災旋風の発生予測モデル第一弾が完成した。これまでに行ってきた実験から、細長い火源の長辺を風に直交する方向に配置した場合と平行に配置した場合では、直径が大きくかつ強い渦が発生するのは、直交配置下で火源にあてる風が弱く発熱速度が大きい場合であることが分かっている。この強い渦を持つ火災旋風を予測するモデルを作成した。この予測モデルは火源風下に発生する火災旋風の発生機構に基づいている。この発生機構は、地上の速度境界層内の渦度が火炎によって立ち上げられ引き伸ばされて火災旋風になるというもので、現在最も有力な仮説である。完成したモデル第一弾では、実験室規模の火災旋風について、火災旋風の風速、直径、発生時の環境風速を予測することができた。

(2) (モデル構築のための) 無風下での火炎の物理性状を調べる実験

火災旋風発生予測モデルの作成には、無風下での火炎内外の上昇気流速度および温度の垂直分布、火炎高さ、エントレインメント速度が必要になった。これらの値に初めから理論式や回帰式を用いると、式に含まれる誤差が混入してしまい、火災旋風のモデル自体の精度検証が難しくなる。そこでモデル第一弾では、これらの値を求めるのに理論式や回帰式を用いずに、火災旋風の実験で実際に使用しているバーナーを用いてこれらのデータを取得した。実験に用いた火源は200 mm×20 mmの噴出口を持つバーナーで、燃料はメタンガスである。上昇気流速度は二方向管で、温度は熱電対で測定した。結果を図3に示す。エントレインメント速度については別の目的で過去に取得していたデータから、その水平垂直分布を求めた。

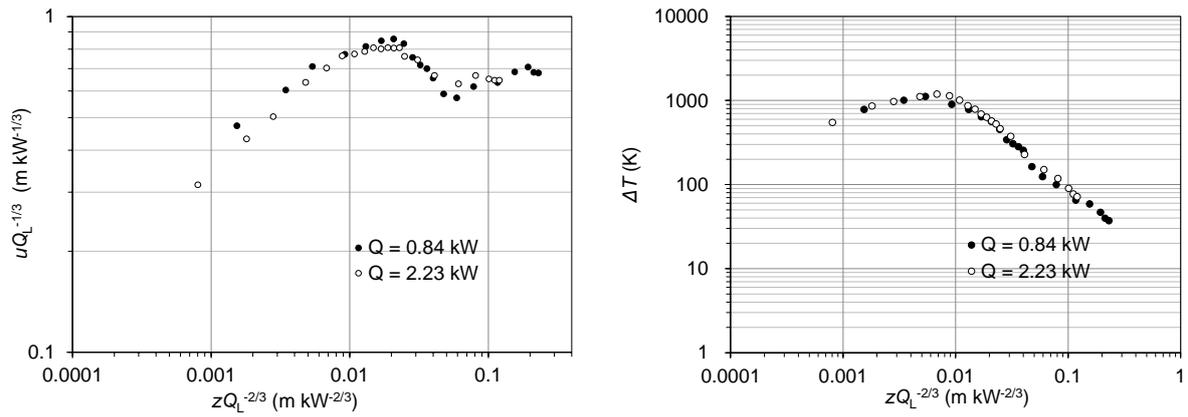


図3 無風下での火炎性状

a) 上昇気流速度 u の垂直分布、b) 周囲との温度差 ΔT の垂直分布、

z はバーナー吐出面からの高さ、 $Q_L = Q/L$ 、 Q は発熱速度、 L はバーナー長さ(200 mm)

(3) (モデル構築のための) 大規模火災旋風の発生条件・性質解明

火災旋風の性質と発生時の状況を定量的に知ることを目的として行った山焼き観測の解析を行った。その結果、線状の延焼領域(火線)の上に白煙状の大規模な旋回気流が発生し、その中に13個の火災旋風が発生していたことを可視・赤外画像から明らかにした。火災旋風の赤外画像の一例を図4に示す。1) 回転方向が分かった9個の火災旋風はすべて大規模旋回気流と同じ反時計回りであった。2) 火災旋風は旋回気流の存在している場所には現れたが、旋回気流が移動して存在しなくなった場所には現れなかった。3) 循環を求めることができた3つの火災旋風は同程度の循環を持っていた。これらの3つの結果は、13個の火災旋風が、これらを含み込む大規模旋回気流内の渦度を起源として発生した可能性があることを示している。さらに、火災旋風発生時の気象状況、火線の形・サイズ、火線強度、発熱速度、延焼速度、火炎滞在時間、火炎温度、可燃物の質量・含水率、火災旋風のサイズ・旋回速度・発生位置・移動速度・継続時間を明らかにした。火災旋風の移動とサイズの関係も明らかにした。

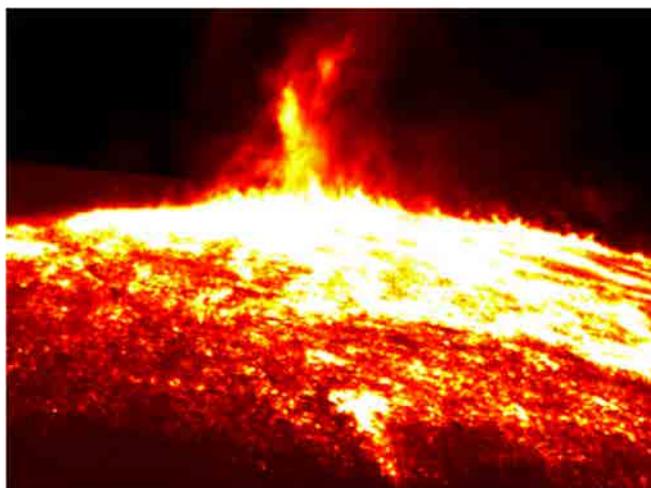


図4 山焼き観測時に撮影した火災旋風の赤外画像

5. 令和5年度の研究計画

(1) 火災旋風発生予測モデルの構築

令和4年度までに完成した予測モデル第一弾の中で実験値を用いている物理量を予測式に置き換えるための検討を行う。

(2) (モデル構築のための) 実験室規模火災旋風の発生条件・性質解明

火源形状が火災旋風の発生・性質に与える影響を調べる実験を行う。

(3) (モデル構築のための) 大規模火災旋風の発生条件・性質解明

取得済みの野焼き観測のデータ解析を行い、火災旋風の性質、発生時の気象・延焼状況を明らかにする。

6. 令和6年度以降の研究計画

(1) 火災旋風発生予測モデルの構築

火災旋風の発生機構と実験データに基づいて発生予測モデルの改良を続け、実験、実火災、屋外実験、野焼きで発生した大規模火災旋風のデータを用いて検証・改良を繰り返す。

(2) (モデル構築のための) 実験室規模火災旋風の発生条件・性質解明

火源形状・火源面積・発熱速度・風向・風速等を変えて火災旋風の速度場を測定し、これらのパラメーターが火災旋風の渦の強さ・規模に与える影響を解明する。

(3) (モデル構築のための) 大規模火災旋風の発生条件・性質解明

野焼き時に発生する火災旋風の観測、解析を継続する。また、過去の実火災・屋外実験・野焼きで発生した火災旋風の発生条件・性質のデータ収集を継続する。

表1 五カ年の研究計画

概要	詳細	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度
火災旋風発生予測モデルの構築 ←	モデル第一弾の構築		→			
	モデルの改良・検証					→
↑ 実験室規模火災旋風の発生条件・性質の解明(実験)	可視化実験による旋風の分類	→				
	火炎内外の流速・温度分布測定 火炎高さの時間変化測定		→			
	火源形状・面積等が火災旋風の性質に与える影響の解明				→	
大規模火災旋風の発生条件・性質の解明(既存データの分析/観測)	過去の実火災・野焼き・屋外実験の既存データ収集による大規模火災旋風の発生条件・性質解明				→	
	野焼き時の大規模火災旋風の観測による発生条件・性質解明				→	

(5) 火災状況に応じた消防隊の放水方法の研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 6 年 3 月

技術研究部 特殊災害研究室 尾川義雄

1. 目的

火災時の消防活動は放水が主体であるが、放水方法によって鎮圧までの経過は左右される。放水の技能には個人差があり、教育訓練の内容や消火活動経験の多少が影響すると考えられる。火災件数は全国的に減少傾向であり、建物火災の件数および総焼損床面積は 20 年間で約 4 割減少している。このことは活動経験の減少につながるため、それを補う教育訓練の内容は重要なものとなる。教育訓練ではいかに早くノズルから水を出せるようにするか教えているが、火災のどこに放水すべきかの説明は少ない。1 棟当たりの平均焼損面積（ぼやを除く）は 20 年間で約 2 割増加し、焼損面積が生じる火災では損失が増大する傾向にある。焼損面積が増大する要因は社会の変化によるものも含め様々考えられ、消火に取りかかる際の火災状況が以前と違っているかの見極めも必要である。その上で、消火活動経験が減少した現状において火災による損失増大を抑えるため、消防職員に適切な放水方法に関する情報を共有することは重要である。また、拡大する焼損状況において放水により火災室の環境がどう変化するかという情報も安全な活動のために必要である。

そこで、火災状況に応じた適切な放水方法を明らかにするため実験的な検証を行い整理する。これらが教育資料として活用されることで、火災による被害軽減に資する。

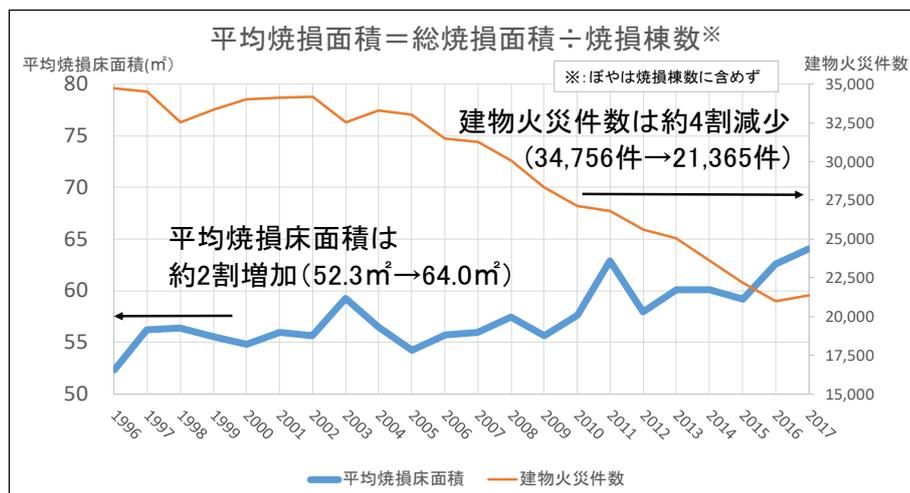


図 1 建物火災件数と 1 棟当たりの平均焼損床面積の推移

2. 研究内容

2.1 火災状況に応じた放水方法

火災時の活動は、教育訓練で習得したノズルから水を出すことを基本に行われるが、実際の放水方

法は火災の状況に応じて臨機応変に対応している。そこで、活動の基本となる教育訓練内容を調べ、放水方法に関する事項をまとめる。そして、火災状況に対して放水方法の違いによる効果を模型実験、実大実験により調べ整理する。これらの結果を適切な放水方法に関する情報共有に役立てる。

2.2 放水時の室内環境

火災室内環境は放水により変化し、火勢の抑制と同時に高温水蒸気が発生する可能性があるが、教育資料に詳しい説明は見当たらない。そこで、放水時の高温水蒸気の発生と室内の冷却状況を調べるため、高温の火災室内での放水を模擬した実験を行い、放水の前後で室内環境の変化や受熱状況を調べる。これらの結果を安全な活動のための資料として情報提供する。



図2 教育資料には個別の放水隊員への説明が不足している

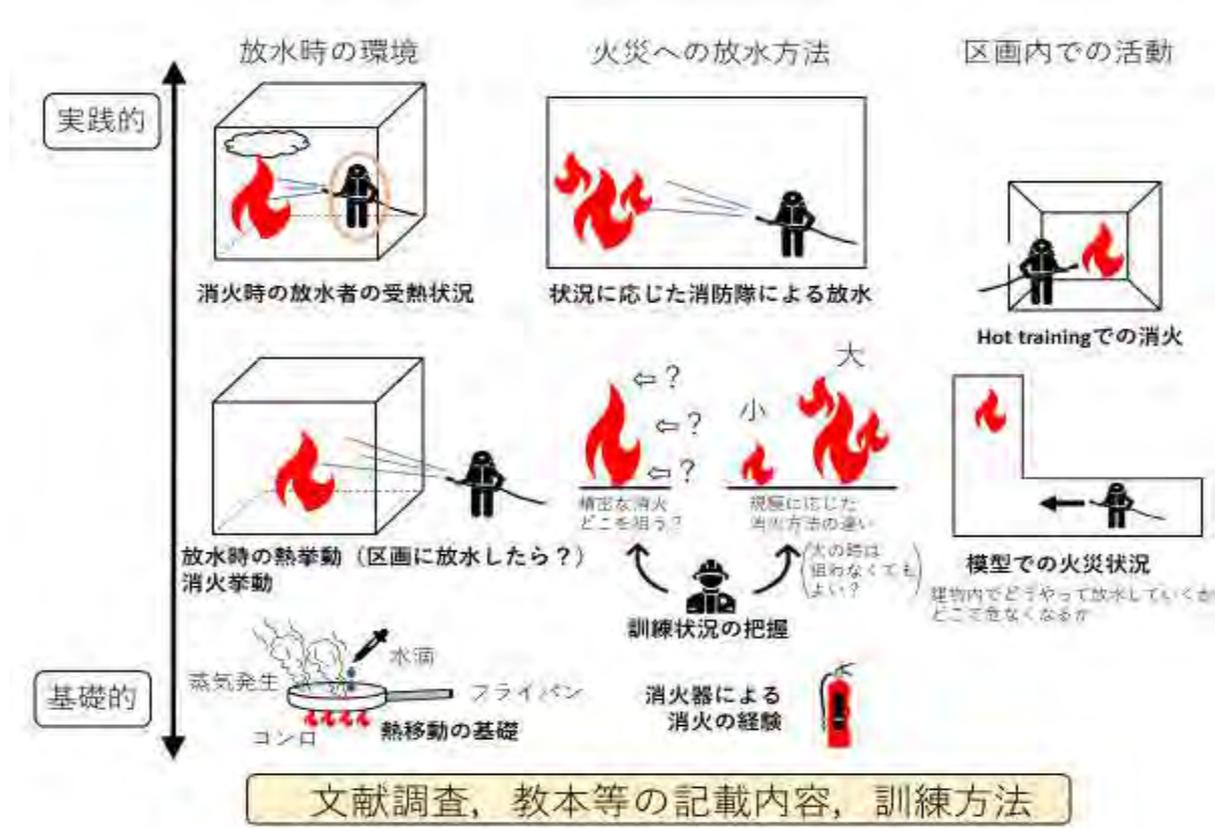


図3 研究概要

表 1 3 カ年研究計画

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度
火災状況に応じた放水方法	<ul style="list-style-type: none"> ・教育訓練方法の調査 ・火災状況と放水方法の調査（模型実験） ・実大模擬区画の製作 	<ul style="list-style-type: none"> ・火災状況と放水方法の調査（模型実験、消防隊員による実験） 	<ul style="list-style-type: none"> ・火災状況に応じた放水方法の整理 ・資料作成
放水時の室内環境	<ul style="list-style-type: none"> ・放水時の室内環境の調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・区画冷却に必要な水量の検証 ・放水中に受ける熱量に関する検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・放水時の室内環境の整理 ・資料作成

3. 令和 3 年度の研究成果

3.1 火災状況に応じた放水方法

- ・消防学校および消防職員に対して放水方法に関する教育訓練方法について聞き取りを行った。放水までの手順を確実に覚えることは基本であるが、その後どのように放水するかについて様々な説明を聞くことができた。
- ・容積 8 m³（高さ 2 m）の模型区画を用いて燃焼時の開口部条件と区画内温度の変化を調べた。開口部に垂れ壁を設けて熱気流の区画外流出を抑えることで区画内の上部に高温層が形成されることがわかった。また、牛乳パックを使った簡易燃焼区画を製作して、開口部の条件に応じて区画内部の気流が変化することを身近な材料で説明する試みを行った（写真 1）。
- ・消防隊放水実験用区画を製作した（写真 2）。区画内で木製パレットを燃焼させ、安定して高温状態が達成できる燃焼条件を検討した。

3.2 放水時の室内環境

- ・上部に高温層が形成された容積 8 m³の模型区画内に短時間（30 秒間）の少量放水を行い、区画上部の雰囲気温度が低下し、下部の温度が上昇する変化を観測した。



写真 1 牛乳パックを使った簡易燃焼区画
 （左：内部観察用にガラス板を使用、右：線香を使った気流観察）



写真 2 消防隊放水実験用区画

(左：実験区画の設置状況、右：燃焼実験中の状況)

4. 令和 4 年度の研究成果

4.1 火災状況に応じた放水方法

- ・令和 3 年度に引き続き教育訓練方法について聞き取り調査を行った。聞き取りを行った消防学校では区画火災の進展の状況を積極的に教えており、さらに学校ごとにホットトレーニングによる火災体験や区画内での放水方法などを組み合わせた教育内容となっていた。消防本部では各本部で継続的に行われている内容に消防学校や消防大学校での教育内容を適宜取り入れて教育訓練を構築しており、消防本部ごとに違いが見られた。また、隊長の方針により小隊ごとの訓練内容が異なることや、消防職員が個人で関係書籍やインターネット上の動画等で知識を身に着けることなど、現場レベルから提起される訓練や研鑽があることが分かった。
- ・消防隊放水実験用区画を用いた燃焼実験で木製パレットへの着火方法について検討を行い確実な方法を確立した。放水量が毎分 150～200 L の散水ノズルについて放水状態（ストレート、噴霧）による散水分布を把握し、木製パレット火災の消火実験を行った。ストレート状態では直接散水できる部分の火炎を消すことが出来たが、噴霧状態では飛距離が短く放水が火源に届かず消火に至らなかった。
- ・牛乳パックを使った簡易燃焼区画による実験を繰り返し実施できるようにするため、使用する燃料と燃料容器の検討と牛乳パック素材の分析を行った。火災性状を理解する一手法として消防本部等で実演を行った。また、簡易燃焼区画内で n-ヘプタンのプール燃焼がカーテン状火炎に変化する現象についてその発生条件について検討を行った（写真 3）。

4.2 放水時の室内環境

- ・消防隊放水実験用区画を用いた消火実験で、散水ノズル放水状態（ストレート、噴霧）を変えた場合の区画内温度変化を計測した。ストレート状態では散水された部分が消火されるため急激な温度低下が見られた。一方、噴霧状態で放水が火源に届かない場合は、ストレートに比べて温度の低下は緩やかであった。放水開始するとどちらも視界が悪くなった。特に噴霧状態では多量の黒煙が発生し区画入口側から噴き出すような様子が見られた（写真 4）。
- ・消防隊放水実験用区画を用いた実験で熱中症指標計による計測を行ったが、顕著な変化は見られなかった。

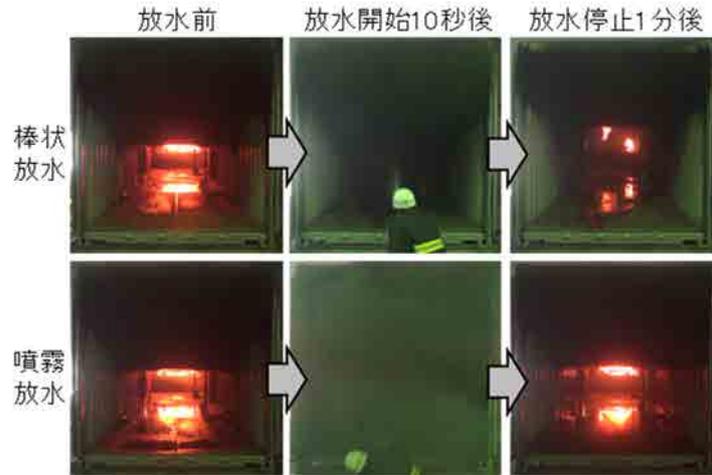


写真3 放水実験用実大燃焼区画での消火実験

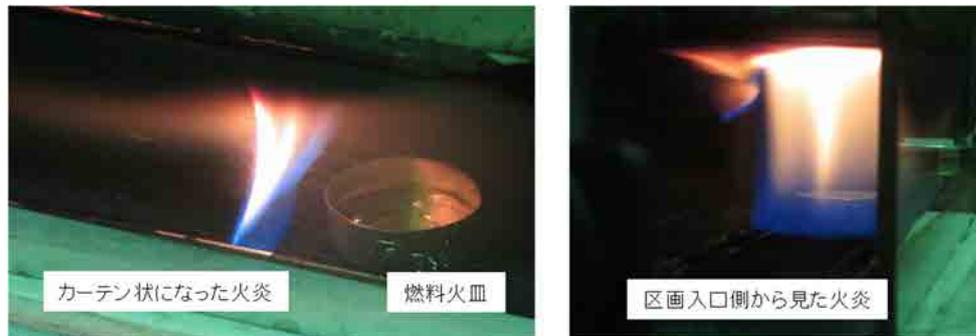


写真4 簡易燃焼区画内のカーテン状火炎

5. 令和5年度の研究計画

5.1 火災状況に応じた放水方法

- ・引き続き消防学校、消防本部における教育訓練方法の調査
- ・火災状況と放水方法の調査（模型実験、消防隊員による実験）
- ・火災状況に応じた放水方法の整理と資料作成

5.2 放水時の室内環境

- ・区画冷却に必要な水量の検証
- ・放水中に受ける熱量に関する検討
- ・放水時の室内環境の整理と資料作成

6. 共同研究等外部との協力

山梨県消防学校、新潟県消防学校、静岡県消防学校、甲府地区消防本部、新潟市消防局、相模原市消防局、静岡市消防局、駿東伊豆消防本部、北見地区消防本部、姫路市消防局、西宮市消防局、消防大学校（聞き取り調査、実験実演）

(6) 飛び火・火の粉に対する防御に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 5 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 鈴木佐夜香

1. 目的

地震後の市街地同時多発火災や、市街地火災、林野火災のような広域火災では、「飛び火」が発生して被害を極端に大きくすることがある。飛び火とは、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、特に有風下で問題となる。広域火災の研究において飛び火・火の粉に関する研究は行われてきたが、飛距離に着目したものが多く、着火及び火の粉からの防御手法に繋がるものとはなっていない。本研究課題では火の粉発生装置による実験を通じて既往の延焼防止手法に対する飛び火被害防止への効果確認に加え、新たな防御手法を開発する。開発した技術を用いることにより、消防活動における強風下での飛び火警戒の指針作成を目指す。

2. 研究内容

これまでの研究では着火性に着目し、家屋を対象として火の粉発生装置を用いた大規模・中規模実験を行ってきた。具体的には屋根・壁面等を対象としてどこに火の粉が堆積しやすく、どのように着火するのか、屋根の違いによる火の粉の潜り込みやすさ、すなわち着火への至りやすさ、といったことが分かるようになってきた。しかしながら、どのように着火を防ぐのか、ということは明らかになっていない。様々な防御手法を考慮しつつ、着火実験をした際に利用した火の粉発生装置を用いて同様の実験を行うことで、防御手法の効果を測定・評価する。

3. 令和 4 年度の研究成果

最終的には飛び火警戒マニュアルの作成を目指すので、消防本部における飛び火関連の文書に関して、どのような情報が具体的に必要とされているのかを確認するため、令和 3 年度にアンケート調査を行った。回答率は 81 % であり、589 消防本部より回答を頂いた。その結果の解析を行ったところ、全体として警防活動一般に関わる文書に飛び火警戒に関する内容が含まれている割合が一番多く、木造密集地域火災に関わる文書、強風下における火災に関わる文書、林野火災に関わる文書、大規模火災に関わる文書の順序で飛び火警戒に関する内容が含まれている割合が減少した。地域別に分け傾向を見たところ、特段の地域による違いはみられなかった。また、消防職員数による検討を行ったところ、全体的な傾向として消防職員数が多い消防本部では各文書の中に飛び火警戒に関する内容が含まれている割合が高いことがわかった。文書別では警防活動一般に関わる文書への飛び火警戒に関する内容が含まれている率が高く、大規模火災に関わる文書及び林野火災に関わる文書では飛び火警戒に関する内容が含まれている割合が少ないという傾向はここでも変わらないことが分かった。しかしながら強風下における火災に関わる文書と大規模火災に関わる文書に関しては消防本部の規模による違いが非常に大きく見られ (35 %→80 %及び 25 %→73 %)、消防本部の規模が大きくなるほど飛び火警戒に関する内容が含まれている割合が高くなった。

火の粉で燃えた後の解析を行った。火の粉によって焦げた跡の写真をグレースケールに変換し、全体のピクセルの分布を確認することで、焦げによる色の濃い部分と薄い部分を定性的に評価できるようになった。

(7) 高層建築物の順次避難における避難順序算定方法の研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 藤井皓介

1. 目的

消防法第 8 条の 2 において、高さ 31 m を超える建築物を高層建築物として規定している。高層建築物では、空間を積層させることで床面積が増え、多数の在館者の収容が可能となる。高層建築物においても他の用途の建築物同様、階段による避難が基本となる。多数の在館者が存在する高層建築物の避難時には、避難階段において多くの群集が利用することによる混雑や異なる階の避難者同士の合流による渋滞状況が発生する可能性が高い。

国内外において、高層建築物における火災や避難の事例もある。例として、東日本大震災では、地上 54 階建ての国内超高層ビルにおいて、地震発生後の火災発生放送による全館一斉避難により従業員や来館者が階段に殺到し、階段で混雑が生じている。この際、非常用エレベーターを含む全エレベーターが停止し、スタッフが火災状況の確認のために混雑した階段を上昇している。上階からの避難者との衝突による転倒など、2 次災害の発生が懸念される。このほか、2001 年に米国の世界貿易センタービル、2015 年ドバイの超高層住宅、2017 年にロンドンのタワーマンション、2019 年に札幌のオフィスビルなどで火災および避難が生じている。高層建築物における火災やそれに伴う避難は継続的に発生しており、高層建築物における一般火災および地震後の火災に伴う避難発生は、中低層の建築物同様に生じるものとして考える必要がある。

消防法第 8 条および消防法施行令第 3 条の 2 において、防火管理者は消防長または消防署長に対する消防計画の提出と避難訓練の実施が義務付けられており、これらの指導は消防が行う。設計時の避難計画では、各階ごとに避難時間が計算されるが、異なる階からの避難者同士による階段室内での合流による影響は考慮されていない。一方、実災害時および訓練時は、各階から避難者が階段室に流入することで、階段室内で避難者同士の合流が生じ、階段室内での混雑が生じる。避難時間の長期化、逃げ遅れ等を防ぐためには、階ごとに避難時間を変え、全館一斉避難で生じる階段室内の混雑を緩和・解消する「順次避難」の実施が必要となる。この際、階段室内の混雑緩和とリスクの高い階からの優先的避難を目的として階毎の順次避難を行う必要がある。これまでは、階段幅等の設計を目的として、階段降下状況の把握が行われてきた。本研究では、避難訓練・実避難ともに順次避難における具体的な避難方法を明らかにすることを目的とする。

2. 研究内容

本研究では、下記 3 つの検討を通して高層建築物の順次避難における避難順序の算定方法を求める。

- (1) 避難状況の実態把握：避難訓練調査に基づく階段における避難者同士の合流等、避難者の移動状況の解析、ならびに順次避難における避難順序決定要素の把握
- (2) 避難時間計算モデル作成：各階の避難者数および階段室到達時刻に基づく順次避難における避難時間計算モデルの試作、ならびに計算モデルの結果と階段避難実験の結果の比較に基づく計算モ

デルの検証

(3) 順次避難方法の検討：上記検討により得られた計算モデルにおける順序決定の定性的要素（アンカーポイント）の検討を通じた、避難順序決定方法の導出

本研究は、実際の在館者数に基づく避難時間の計算モデルを作成し、在館者数に応じた避難順序の算定方法を提案する。特に、階段室における避難者の流動に基づく計算方法を核とした避難順序の決定方法を作成することを目指す。階段室の流動に基づき流入する階の順序を決定することで、訓練および災害時において、順次避難の利点である階段室の混雑緩和とリスクの高い階からの優先的避難のための避難順序決定に活用可能な方法となる。また、今後発展することが予想されるシミュレーション等の高度な予測手法の検証基準とすることが可能であるとともに、計算モデルについては、高度なソフトウェアでなくとも適用可能なものを目指す。これにより、消防計画や避難訓練等の事前の対策のみならず実災害時の実態に即した応急的な避難方法の作成が可能となる。以上より、本成果は、実火災前の消防計画および避難訓練ならびに実火災時における合理的な避難方法の決定に寄与する。

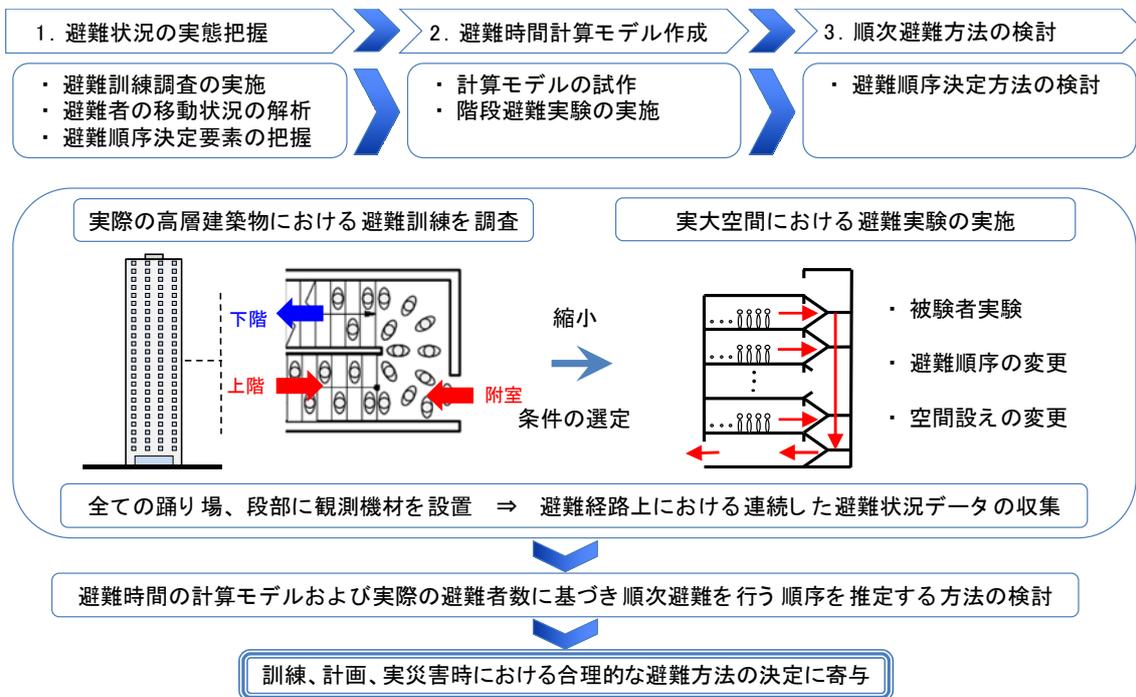


図 1 研究の概略

表 1 年度計画

	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度
(1)避難状況の実態把握	<ul style="list-style-type: none"> ・避難訓練調査に基づく避難者の移動状況の解析 ・避難順序決定要素の把握 	→			
(2)避難時間計算モデルの作成			<ul style="list-style-type: none"> ・各階の避難者数および階段室到達時刻に基づく、順次避難における避難時間計算モデルの作成 	→	
(3)順次避難方法の検討					<ul style="list-style-type: none"> ・避難順序決定の定性的要素の検討 ・計算モデルを活用した避難順序決定方法の検討

3. 令和3年度の研究成果

- (1) 高層建築物において避難経路となる階段における降下状況の観測方法を検討した。階段降下状況を観測するにあたり、観測機器の動作検証を行った。観測を行う施設の実地調査を行い、降下状況の映像を記録するための撮影箇所、これを満たす撮影機の設置方法を検討した。また、観測実施時における長時間撮影に伴う機材の温度上昇による撮影機材の停止を避けるため、事前に撮影機材を用いて長時間の映像記録試験を行い、観測時における撮影機材の動作が可能であることを確認した。
- (2) 上記観測機器を用いて高層建築物における階段降下状況の観測実験を行った。実験は被験者に実際に高層建築物の階段を降下させる形で実施し、この際の被験者の階段降下状況を記録した。この記録映像を元に、階段降下時の歩行データとして、歩行座標の抽出を行った。抽出した座標は実験実施前の実地調査時に実測した実地寸法等の空間情報に基づき較正し、当該座標を用いて単独と集団における階段降下時の歩行軌跡を得ることができた。

4. 令和4年度の研究成果

- (1) 高層建築物において避難経路となる階段降下状況の観測実験の結果について分析を進めた。実際の高層建築物における被験者の階段降下状況を記録した映像を用いて、階段降下時の歩行データとして歩行座標を抽出し、階段降下時の歩行状況を分析した。
- (2) 階段の合流状況を把握する実験における実験条件を検討した。実験では流入順序および進行の有無を条件とし、これらの組み合わせによる合流状況の変化を確認する。このため、状況毎に避難する階の順序を変化させることとした。

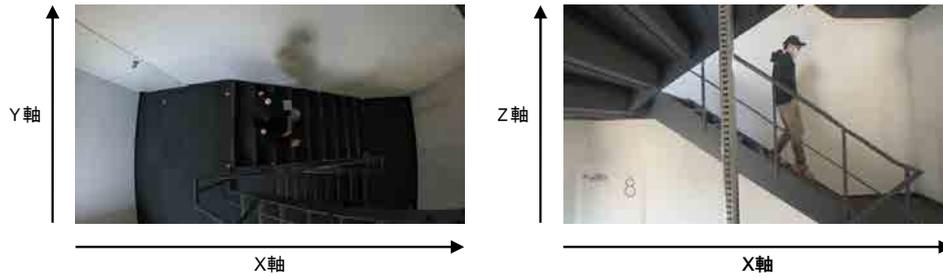


図 2 歩行軌跡の座標軸

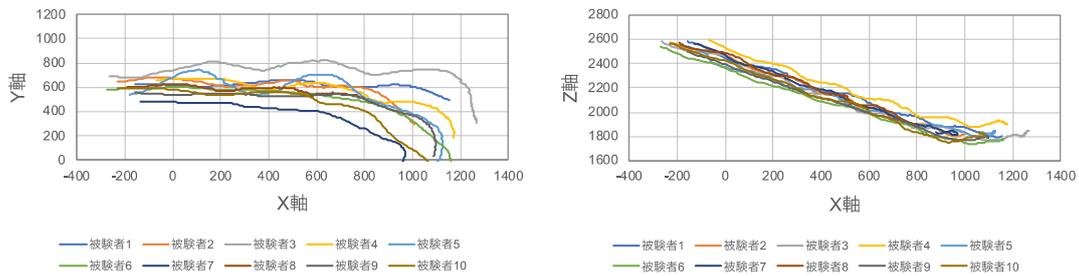


図 3 実験における歩行軌跡

5. 令和 5 年度の研究計画

- (1) 階段における避難者の流入順序および進行の有無を実験条件とし、これらの組み合わせによる合流状況の変化を確認する流動実験を実施し、順次避難算定方法の導出に必要な歩行データを収集する。

6. 令和 6 年度以降の研究計画

- (1) 各階の避難者数および階段室到達時刻に基づく順次避難における避難時間計算モデルを試作するとともに、計算モデルの結果と階段避難実験の結果の比較に基づき計算モデルの精度を検証する。
- (2) 上記検討により得られた計算モデルにおける順序決定の定性的要素（アンカーポイント）を検討し、避難順序決定方法を導出する。

(8) 火災現場の燃焼性状の解析及び残さ物の物質同定に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 大規模火災研究室 田村裕之
 危険性物質研究室 佐藤康博
 火災災害調査部 原因調査室 塚目孝裕、鈴木健

1. 目的

化学プラントでの火災がひとたび発生すると、大きな人的・物的被害が発生する。さらに、操業が滞ると、産業界へも影響が波及する。また、様々な火災現場では、火災原因を調査する中で、残さ物（火災現場で発見される燃焼後の残りかす）の分析、同定の作業が重要となる。火災原因調査を通じ、信頼性の高い判定を導くには、プラントでの着火の原因や、噴出した油類のミスト爆発の性状、残さ物がなんであるかの分析手法と同定法、などについて、現場で使える情報やデータを提示する必要がある。火災原因が明らかになることによってその対策をすることで、予防へとつながっていく。ここでは、現場に残存する残さ物の物質同定手法を開発すること、引火性液体に着目し着火から残存までの燃焼性状を明らかにすることを目的とし、これらによって原因調査における現場実務能力の向上に資する研究を行う。

2. 研究内容

ここでは、5 か年で実施する 2 つの研究項目の計画概要を示す。あわせて、各年度の計画スケジュールを表 1 に示す。

(1) 現場残さの物質同定に関する研究

ここでは、現場で採取した物質に対する分析方法の検討を行う。化学災害では、現場で採取できた物質の同定を現場で効率的に分析し、すぐに対応策へつなげなければならない。現場活動において、過誤の少ない結果を導くために、適した採取方法、前処理方法、分析装置の設定、出力データの読み取り方を提示していく。火災現場の焼損物が何であるかを明らかにすることは、火災原因に近づく作業の一つである。焼損物の同定のために、分析機器を用いた材質同定手法の確立を目指す。焼損物の中には電気配線が多く、放電などによりできた熔融痕が付着しているケーブルもみられる。熔融痕は、ケーブルの異極間で短絡した場合などで発生するが、放電や熔融の際に高温になることから出火場所（一次痕）の可能性を持っている。しかし、火災熱により絶縁被覆が焼失し短絡する（二次痕）場合もあり、これらの区別が難しい。各種条件で一次痕、二次痕を作製し、生成した化合物の同定、形状の特徴など、それぞれの特徴を抽出し、判断方法を提示する。

(2) 引火性液体の燃焼性状に関する研究

ここでは、引火性液体に関して、着火、爆発、残さ物同定に関して検討を行う。引火性液体を扱う危険物施設での火災では、静電気放電による着火の割合が 15～20 %を占めており、原因の上位にあがっているため、帯電事象の把握と対策が重要である。ここでは、液体が物に衝突した時に発生する帯電量を把握し、安全管理の基礎データとする。また、配管等の亀裂によりミスト状に噴出した油類

に着火した場合の燃焼性状を知ることにより、爆発と被害の関係を明らかにしていく。引火性液体が火災現場で助燃材として使用されることは多く、その使用は化学分析により証明されるが、火災後の引火性液体は燃焼の結果、濃度の低下や変性が生じており、明確に判断できない場合がある。燃え方により引火性液体がどの程度残るのか、分析装置にかけられる濃度はどのくらいなのかの検出限界を評価するための基礎データを得る。

表 1 5 か年の各項目の研究計画概要

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
①現場残さの物質同定に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・現場対応機器の調査 ・混紡した布等の複数の材料を含む物質の検証 ・分析機器による違いの検証 (熱分解 GC、FT-IR 等) ・電気溶融痕サンプル作成手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・検査機器の限界と対応化合物についての調査 ・混紡した布等の複数の材料を含む物質の検証 ・加熱方法による違いの検証 ・分析機器による違いの検証 (熱分解 GC、FT-IR 等) ・電気溶融痕の製作及び電気溶融痕の物理分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場対応における効果的活用法の検討 ・加熱方法による違いの検証 ・これまでのデータの確認により材質同定が困難な試料の抽出 ・電気溶融痕の製作及び電気溶融痕の物理分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場対応における効果的活用法の検討 ・混紡した布等の複数の材料を含む物質の検証 ・材質同定が困難な試料の同定手法確立のための試み ・一次痕、二次痕の特徴抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・同定手法の明確化 (マニュアル等の作成) ・データ集の作成
②引火性液体の燃焼性状に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突帯電を計測できる実験装置の製作 ・ミストを生成できる実験装置の製作 ・引火性液体の燃焼について実験データ、文献等の整理 	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突帯電用実験装置の改良 ・水の衝突帯電量の測定 ・小規模なミスト爆発の実験の実施 ・ミストを生成できる実験装置の改良 ・燃焼状況を変えて燃焼させた試料の作成と分析及び適切な前処理、装置設定等の手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・油類の衝突帯電量の測定 ・小規模なミスト爆発の実験の実施 ・ミスト爆発の性状の測定と影響の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・液体物性値による衝突帯電量の予測 ・小規模なミスト爆発の実験の実施 ・ミスト爆発の性状の測定と影響の把握 	<ul style="list-style-type: none"> ・小規模なミスト爆発の実験の実施 ・ミスト爆発の性状の測定と影響の把握

3. 各項目の 5 か年の研究計画概要

① 現場残さの物質同定に関する研究

ここでは、現場で採取した物質に対する分析方法の検討を行う。

化学災害では、現場で採取できた物質の同定を現場で効率的に分析し、すぐに対応策へつなげなければならない。検査環境が十分でない現場において、過誤の少ない結果を導くために、適した採取方法、前処理方法、分析装置の設定、出力データの読み取り方を示す必要がある。

火災現場の焼損物が何であることを明らかにすることは、火災原因に近づく作業の一つである。様々な方法で物質の燃焼を行い、焼損前の物質と焼損後の物質をそれぞれ同じ分析機器にかけ、分析結果

の比較を行い、焼損の程度による違い、物質による違いなどを明らかにする。どの分析装置を使えば適切か、焼損物をどのような前処理を行い分析装置にかければよいか、分析装置の出力結果をどのように読み取るか等を検証し、分析データ集を作成し、焼損物の材質同定手法の確立を目指す。

焼損物の中には電気配線が多く、放電などによりできた溶融痕が付着しているケーブルもみられる。溶融痕は、ケーブルの異極間で短絡した場合などで発生するが、放電や溶融の際に高温になることから出火場所（一次痕）の可能性を持っている。しかし、火災熱により絶縁被覆が焼失し短絡する（二次痕）場合や火災熱そのもので銅が溶ける（二次痕）場合もあり、これらの区別が難しいが、一次痕か二次痕かの違いを見出せれば、火災原因を特定する有力な手段となる。電気溶融痕（一次痕、二次痕の両方）のサンプルを、短絡時の周囲温度、火災の有無などをパラメータにして作製する。サンプルの溶融痕に対し、生成した化合物の同定、形状の特徴など、特徴となりうるものを抽出し、判別手法を提示する。

② 引火性液体の燃焼性状に関する研究

ここでは、引火性液体に関して、着火、爆発、残さ物同定に関して検討を行う。

危険物施設での火災では、消防白書によると静電気放電が出火原因の上位を占めている。大規模な工場で発災すれば人的物的被害のみならず、製品の流通が滞り産業界にも影響を与える。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、どのように帯電するのか、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。液体は物に衝突して飛散分裂すると静電気を発生し帯電をする。引火性液体の危険物をこのような状態で作業した際に火災になる事例が続き、死傷者が出ている。引火性液体の種類を変え、衝突時の帯電がどのように起こるかを明らかにし、衝突帯電量の予測を行う。

配管等の経年劣化や腐食により亀裂ができると、内容物である引火性液体が細かいミストとなり噴出する場合がある。ミスト状に噴出した引火性液体に何らかの原因で着火した場合、爆発になる可能性がある。この爆発の性状と影響を知ることにより、爆発と被害の関係を明らかにしていく。

引火性液体が火災現場で助燃材として使用されることは多く、その使用は化学分析により証明されるが、火災後の引火性液体は燃焼の結果、濃度の低下や変性が生じており、明確に判断できない場合がある。燃え方により引火性液体がどの程度残るのか、分析装置にかけられる濃度はどのくらいなのかの検出限界を評価するための基礎データを得る。

4. これまでの研究成果

① 現場残さの物質同定に関する研究

【令和3年度】

- ・現場対応分析装置の調査として、遠隔型の化学物質を識別できる装置について、原理等を調査し、どのような化学物質が反応するかを調べた。また、次年度以降に実験を行うために、試薬を準備した。
- ・綿とポリエステルを混紡した布について、TG-DTAにより試料を加熱し、疑似的に焼損したものを作成し、熱分解 GC、FT-IRにより分析した。加熱前後の試料の分析結果の比較から、綿とポリエステルを混紡した布では、綿が熱による影響を受けやすく、ポリエステルと誤判断が起きやすい可能性を見出した。また、綿とポリエステルは加熱による反応はそれぞれ単独で分解が進行し、相互に反応することがないことがわかった。

- ・電気溶融痕を通常環境下と加熱環境下で作製できる環境を構築した。通常環境下で安全に放電を行えるように、セラミックチューブ内で短絡等を起こさせる環境を整備した。加熱環境下での作製は、管状電気炉のセラミックチューブ内で高温にしながらか短絡等を起こさせる部材を準備した。溶融痕部分を電子顕微鏡において表面観察と元素分析を行い、表面観察では滑らかに溶けている部分と小さなくぼみのある部分が認められ、表面の元素分布では放電前の素線の表面よりも酸素の分布が増加していることを確認した (図 1 参照)。

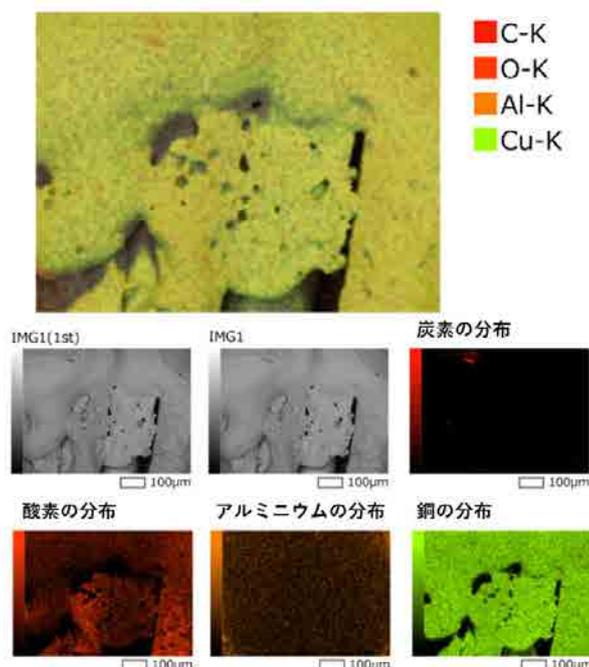


図 1 溶融痕表面を電子顕微鏡の元素分布で測定した結果の例

【令和 4 年度】

- ・遠隔型の化学物質を識別できる装置 (PORTHOS) で検知できる安全性の高い試薬について、携帯型検知器 (LCD 3.3、ChemPro100i) でも検知できるか実験した。その結果、酢酸、2-ジメチルアミノエタノール、ジプロピレングリコールモノメチルエーテル等がいずれの検知器でも反応し、運用訓練に使用できる擬剤として利用できることがわかった。
- ・綿とポリエステルを混紡した布について誤判断が起きる可能性について、どのような試料を採取・分析するのがよいか明確にするための実験をした。この実験は加熱した試料について分光色彩計を使用し、色を数値化し、熱分解 GC の分析結果と比較することで行った。

加熱した試料については、前年度までは TG-DTA による加熱で作成しており、10 mg 程度までのスケールでの作成であるが、今年度は電気炉を使用し、5 g 程度のスケールで作成した。5 g 程度のスケールであっても再現性よく試料を作成できることがわかった。

綿とポリエステルを混紡した布を加熱して、分光色彩計で色を数値化し、熱分解 GC の分析結果と比較したところ、ポリエステルのみと誤判断が生じる程度まで燃焼が進んだ状態と離れた状態で比較して判定できる程度の色の違い程度まで加熱が進んだ試料では、痕跡量程度しかセルロース由来のピークが確認できず、誤判断する可能性が高いことがわかった。

- ・コンセントに電圧をかけた状態でアルコールランプによる加熱、コードのより線の片側を数本残して 1 cm 程度切り取った状態で通電、スパークによる方法で溶融痕を作成した。これらの方法で作成した溶融痕について、SPring-8 で白色 X 線 CT による測定をして、VGSTUDIO による解析・可視化をした (図 2 参照)。その結果、アルコールランプによる加熱で作成した試料では、細長いボイドが確認でき、切り取った状態で通電により作成した試料については、中心部に大きなボイドが確認でき、スパークにより作成した試料では、比較的小さなボイドが確認でき、ボイドがない部分もあった。



図 2 溶融痕を白色 X 線 CT 測定後に解析した結果の例
(切り取った状態で通電により作成した試料、
左から立体表示、横方向の断面図、縦方向の断面図)

② 引火性液体の燃焼性状に関する研究

【令和 3 年度】

- ・液体の衝突帯電を計測するための実験装置の仕様検討と設計を行い、装置を試作した。水やアルコール、灯油などを扱える防爆仕様の液体噴射装置と衝突板を内部に設置可能なファラデーケージからなる (図 3 参照)。



図 3 衝突帯電を測定する実験装置の概念図

- ・ミストを生成する実験装置の仕様を決定し、図4のような装置を製作した。

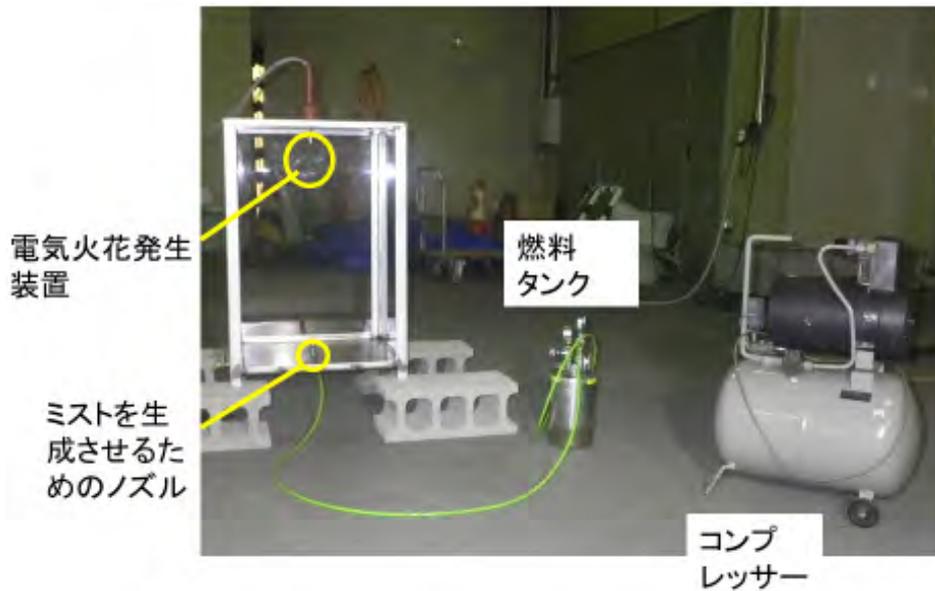


図4 実験装置

- ・引火性液体を燃焼させた実験データや文献を整理しまとめ、次年度以降の計画を作成した。

【令和4年度】

- ・液体の衝突帯電を計測するための実験装置に異種液体が混合することを防ぐ配管経路を追加するとともに、噴射圧力を高める改良を施した。水道水を用い衝突帯電の計測を開始し、測定結果の一例としては、ノズル径 1.5 mm、噴出速度約 5 m/s、衝突板の設置はなしの条件で、約 1.4×10^{-11} C/g の帯電が記録できた。
- ・ミスト爆発に関する研究では、実験装置を改良し (図5 参照)、この装置を使用して実験を行った (図6 参照)。



図5 実験装置

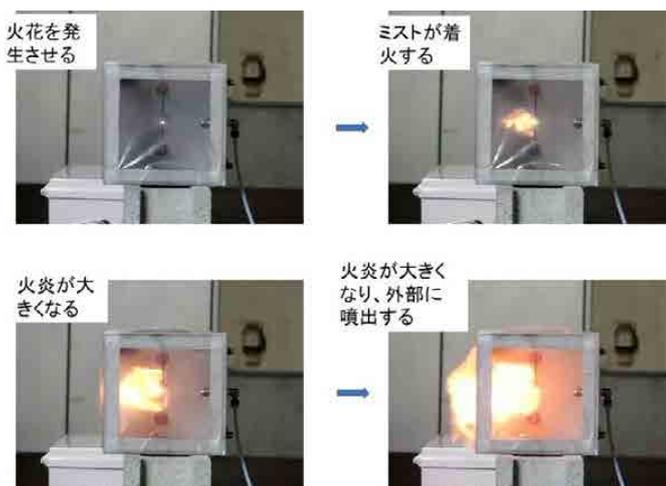


図 6 実験の様子

- ・ 燃焼した引火性液体残さの分析については、燃焼実験後の測定で取得したデータを油類検査法のマニュアルに反映させ終了とした。

5. 令和 5 年度の研究計画

① 現場残さの物質同定に関する研究

- ・ 遠隔型の化学物質を識別できる装置 (PORTHOS) と携帯型検知器 (LCD 3.3、ChemPro100i) を同時に使用した検知実験を行い、各装置の検知限界等の性能を調べる。
- ・ 綿とポリエステルを混紡した布について分光色彩計と FT-IR の分析結果の比較を行い、熱分解 GC の場合と傾向が異なるか確認する。また、綿のみの試料を加熱したものについて分光色彩計で測定し、混紡試料との色の比較をする。
劣化した試料の焼損物に関する研究をするために、試料の劣化方法の確立をする。
- ・ 電気溶融痕の X 線 CT 分析結果について、定量的な解析を行う。また、SPring-8 で分析した試料について消防研究センターで保有する X 線 CT でも測定し、得られる結果の違いについて比較する。

② 引火性液体の燃焼性状に関する研究

- ・ ノズル径、流量、導電率などの条件を変えて水の衝突帯電の計測を行う。水以外に灯油でも計測を行う。
- ・ ミストを生成する実験装置を使用し、小規模なミスト爆発の実験を行う。結果を基に実験装置の改良を行う。
- ・ プラスチック製品が共存する条件で、引火性液体を燃焼させた試料の作成を行い、GC、GC-MS で分析する。特に、プラスチック由来の成分が分析結果に影響を与える試料の作成方法の確立を試みる。

6. 令和 6 年度以降の研究計画

① 現場残さの物質同定に関する研究

- ・ 現場対応機器の検知能力の検討
- ・ あらゆるケースの事案における効果的な現場対応機器の活用法の検討

- ・劣化等による材質同定が困難な試料について検討
- ・焼損物の同定手法のマニュアル化や分析結果のデータ集の作成
- ・電気溶融痕の酸化状態の確認
- ・一次痕、二次痕の特徴抽出

② 引火性液体の燃焼性状に関する研究

- ・液体物性値による衝突帯電量の予測
- ・小規模なミスト爆発の実験を行い、ミスト爆発の性状を測定し、影響を把握する。実験装置の改良も行う。
- ・微量引火性液体、焼損後の引火性液体の成分分析と比較

7. 共同研究等外部との協力

- ・東京電力パワーグリッド株式会社 (共同研究)

(9) 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 7 年 3 月

技術研究部 施設等災害研究室 徳武皓也、畑山健

1. 背景

土壌中に直接埋設された、石油類等危険物を貯蔵する鋼製一重殻地下タンク（以降、地下タンク）は、長期間使用による腐食による危険物流出のリスクが高い。そこで、危険物流出防止対策として、既設の地下タンクにおいては、内面防食のためにガラス繊維強化プラスチックが施工される（ライニング）事例が年々増加している。一般に、このようなライニングが施工された鋼板の寿命は、未施工のものとは比べて著しく長くなる。しかし、多くの地下タンクは開放されず十年以上使用され続けるため、経年劣化による内面ライニングの防食性の低下が懸念されている。一方、タンク外面については、アスファルトの被覆などの防食措置が古くから行われているものの、その一部が経年劣化により剥離し、土壌中に含まれる水分と鋼との接触によって、局部腐食が進行する可能性がある。以上のことから、地下タンクの開放点検時に、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（現在の腐食・劣化状態）、あとどの程度の期間継続使用可能なのか（将来の供用適性、余寿命）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。その際のライニング自体の劣化判断方法は、目視によって現在の外観上の状態（歪み、ふくれ、亀裂、損傷、孔等の有無）を確認するというものであるため、現在の劣化状態や余寿命を定量的に評価することは困難である。このため、非破壊計測を用いてライニングの性能に係る数値を取得・良否判定をすることにより、健全性診断を実施することが必要不可欠と考えられる。非破壊計測手法として、電気化学インピーダンス測定（ライニング等の電気の“ながれにくさ”からその防食性を判定する手法）や、超音波厚さ測定（一般的には、ライニング鋼板上から超音波を入力し、その鋼板外面からの反射時間から「鋼板の厚さ」を推定する手法であるが、ライニング内を通過する超音波反射特性の解析によりライニングの劣化検知ができる可能性がある）が有望である。これらにより、経年劣化で変化するライニングの電気抵抗や音速といった数値を取得することができる。しかし、これらの手法で得た測定値とライニング等の物理化学変化との結びつき（劣化メカニズム）は十分に明らかにされておらず、数値を得たとしてもライニングの劣化状態の正確な診断が困難（劣化診断基準値・劣化速度が未知、未確立）である、という問題がある。さらに、寿命予測をするうえで必要不可欠な、ライニング劣化現象のモデル化は達成されていない。以上のような観点から、長年実機タンクで使用されたライニングの劣化状態の把握やタンク内環境を模擬した劣化加速試験の実施などにより、劣化診断基準値、劣化速度、ライニング劣化モデルを十分に検討する必要がある。

視認困難なタンク外面の鋼板の腐食は、開放点検時に超音波厚さ測定により把握可能と一般的には考えられる。しかし、経年劣化が進行したライニング上、あるいは、著しく外面が腐食した箇所では、

精度よい鋼板厚さ推定が困難となるおそれがあり、その原因（腐食・経年劣化に伴う超音波波形の変化挙動）について十分つきとめられていないという問題があった。

2. 研究内容

本研究開発では、ライニングが施工された鋼板の定量的な健全性診断方法の確立を目指し、各種非破壊計測で得られる「数値」とライニング鋼板の「劣化・腐食状態」の関係を明らかにする研究開発に、表1の年度計画に基づき、令和元年度からの3年間で取り組んできた。その結果、内面ライニングについては、超音波厚さ測定で得られるライニングの音速値から、その物性を簡易に推定する方法を提案した。また、外面の鋼板の腐食については、長期使用したライニング上、あるいは、外面が著しく腐食した鋼材における、超音波による精度良い鋼板厚さの推定条件を把握することができた。これらは総じて、定量的な地下タンクの健全性診断が実現できる可能性を示すものである。一方で、手法の社会実装を実現するためには、内面ライニングの診断基準に大きく関係する、(1)「ライニング劣化診断基準値の検討」、(2)「劣化加速試験に基づく劣化速度の推定」の、より高度な研究課題に、引き続き、取り組む必要がある。表2に令和4年度以降の年度計画を示す。

本研究の実施により健全性診断手法が実用化されれば、地下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、長期使用可能な地下タンクを精緻に判別できるようになることから、合理的に必要な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。

表 1 R3 年度までの年度計画

研究項目	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度
(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		
	・計測の予備実験	・劣化加速試験実施 ・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	
	・劣化状態分析方法の検討	・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	・定量的評価、観察、分析結果に基づく測定データと劣化・腐食状態の相関の整理
(2) 板厚計測精度向上のための必要条件の把握	・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		
	・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	・加速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
(3) 地上タンクで生じた危険物流出事故の原因推定		・電気化学測定による未劣化及び劣化試験体の計測	・分析による未劣化及び劣化試験体の膜の劣化状態の分析と観察
(4) 地下タンクの現状に関する各種調査	現地調査、聞き取り、各種文献収集による、地下タンクの劣化の実態把握		

表 2 R4 年度以降の年度計画

	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度
(1) ライニング劣化診断基準値の検討	長期使用サンプルの劣化状態の分析・評価		→ 数値と劣化状態の相関整理
(2) 劣化加速試験に基づく劣化速度の推定	劣化加速試験方法の検討	加速試験実施 試験片の分析	→

3. 令和 3 年度までの研究成果

表 1 の年度計画に基づいて取り組んだ研究の成果について本項で示す。最近では、製油所の地上タンクにおいて、底板内面にコーティングが施工されていたにもかかわらず、そのコーティングが防食機能を損なうとともに、内面の鋼の露出部において多数の腐食開口が生じて危険物流出に至った事故も発生したが、本事例において、コーティングの劣化から鋼の腐食に至った要因を明らかにすることは重要であると考え、事故事例の解析にも着手した。

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) ライニングの劣化メカニズムと非破壊計測による劣化検知に関する検討

灯油、軽油、レギュラーガソリン、ハイオクガソリンを貯油した 4 基の内面ライニング施工の地下タンク（ライニングは平均厚さ 2~3 mm 程度で約 17 年間供用、鋼の設計板厚：6 mm）の側面からライニング付きの鋼板を切り出し、未劣化及び 4 種類のサンプリング板（いずれも不飽和ポリエステル樹脂【JIS K 6919、UP-CM 相当】がベースの仕様）に対する非破壊検査手法による計測と物理化学分析を行い、長期劣化メカニズムと非破壊検査手法の劣化検知への適用可能性を調べた。

各種サンプルを 3 wt%NaCl 水溶液へ接液させて電気化学インピーダンス測定を行い、ライニングのインピーダンスを数十日程度モニタリングした。その結果、長期間のタンク内での使用により、ライニングの防食性に関連する電気抵抗が低下することがわかった。また、推定されたライニングの電気抵抗の値は、新品、灯油・軽油浸漬、レギュラー・ハイオク浸漬の順に小さくなった。

接油によるインピーダンスの低下及びサンプル間で現れた電気特性の違いの要因を調べるため、未劣化品・灯油・ハイオクガソリン浸漬品の 3 種類の試験片の切断断面における、イメージング赤外分光分析（イメージング IR）による化学構造の解析を実施した。その結果（図 1）、新品、灯油浸漬品、ハイオクガソリン浸漬品の順で、ライニング内部に存在する炭化水素濃度が高くなる傾向を得た。この序列は、低分子の炭化水素が存在する油種への接触ほど、膜深層部まで成分が入り込みやすく、かつ、長い時間経過しても蒸発しにくいということで説明可能かもしれない。つまり、ライニングが石油燃料と長期接触した場合の劣化メカニズムは、膜深層部まで入り込んだ炭化水素が十分な時間を経過しても蒸発せず膜内に残留するなどにより、不可逆的に樹脂の網目が押し広げられる現象（膨潤）で、これにより、インピーダンスの低下が引き起こされると考えられる。

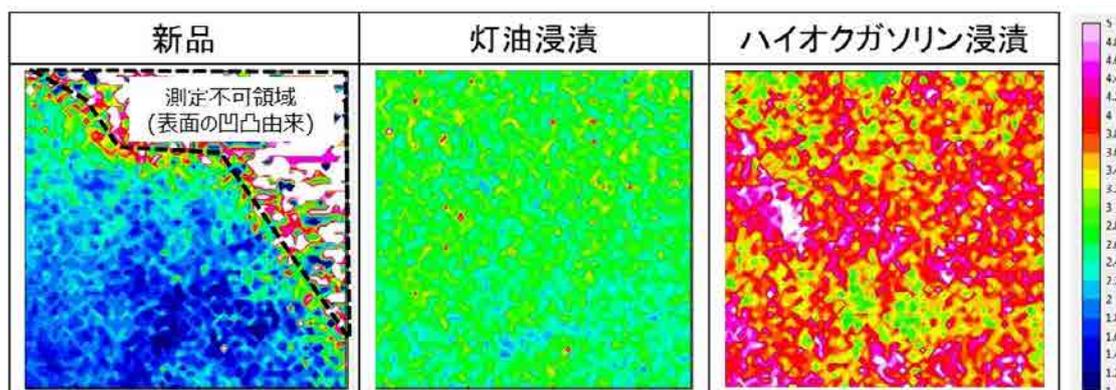


図 1 新品・灯油・ハイオクガソリンへ 17 年浸漬させた試験体の断面より得た、赤外吸収強度比のマッピング図 ($32\mu\text{m}^2$ の範囲) の比較。強度比は、炭化水素の伸縮振動に由来する 2930 cm^{-1} 付近のピークを芳香族の CC 伸縮由来の 1495 cm^{-1} 付近のピークで除したものである。赤 (ピンク) ほど強度が強、青ほど弱いことを示す。

電気特性の低下が、樹脂の網目構造の不可逆的な広がりのような物性変化によりもたらされているとすれば、その特徴は、機械特性変化にも現れる可能性がある。そこで、小片に切断した試験片に対して、微小硬度計測 (微小な針を精密に打ち込んだ際の荷重と変位から硬度を調べる手法) を行ったところ、ライニングは、油への長期浸漬により硬度が低下すること、さらに、レギュラー・ハイオク浸漬品においては、著しく低下することが分かった。先述の樹脂の網目構造の緩まりの程度差により、各サンプルの硬度の違いがもたらされていると考察される。

ライニングの物性変化を、比較的簡便な方法で検知できるかどうか検討するため、ライニング試験体に対する超音波厚さ測定を実施し、超音波反射特性を取得・解析した。波形表示機能付きの超音波探傷器に二振動子型垂直探触子 (周波数: 5 MHz 、センサ径 $\phi 10\text{ mm}$ 、交軸点距離 8 mm) を接続し、接触媒質を介して探触子をライニング上から接触させることで、ライニングと鋼の界面からの反射エコー (I エコー) の反射時間を計測した。取得データを解析した結果、ライニングの音速が、新品、灯油・軽油浸漬品、レギュラー・ハイオク浸漬品の順で小さくなる、という傾向が得られた。この序列は、インピーダンス測定で推定された電気特性や微小硬度計により計測された硬度の序列と整合する。

以上の結果から、電気抵抗・硬度・音速の序列が一致する傾向は、樹脂の網目構造が不可逆的に押し広げられる膨潤に起因して現れると解釈される。そこで、この解釈に基づき、各種非破壊計測値 (音速・電気特性) と硬度の関係を整理することで、音速から、硬度や電気抵抗といった物性を簡易に現場で推定するための方法を示した。いくつかの開放点検に伴う内面ライニング施工の地下タンクの現地調査において、この方法の実適用性を検証したところ、(i) 目視で健全であると判断されたライニングでは、新品とほぼ同等の物性値であった ; (ii) 同じ施工条件で灯油・レギュラーガソリン内で使用されていたライニングでは、レギュラーガソリンタンクの方が、灯油タンクよりも物性値が小さかった、といったように、定量的な診断結果が、定性診断・実験室評価と整合する結果を得た。

(2) コーティング・ライニングの劣化加速試験法の検討

いくつかのコーティング試験片に対する各種劣化加速手法の効果やその劣化のメカニズムを、電気化学インピーダンス測定などにより検証し、下記の知見を得た。

【ライニングに対する高温液体中での劣化加速試験】

ライニングに接触する液体の温度を高くすると迅速に劣化促進されるのではないかと考え、密閉圧力容器内で 90℃に温度保持した蒸留水及びガソリン中に、不飽和ポリエステル樹脂系のライニング試験片を最大 30 日間浸漬させる劣化促進試験を実施した。その結果、高温のガソリン浸漬試験では、蒸留水と同温度の促進試験と比べ、インピーダンスの低下はとて小さかった。従って、油よりも水を用いる方が、ライニングの防食性の低下を迅速に引き起こすことができると考察される。

【ガラスフレックコーティングに対する高濃度酢酸浸漬による劣化加速試験の検討】

地上タンク底板内面用のビニルエステル樹脂系のガラスフレックコーティング(厚さ 0.5 mm 程度)及びライニング鋼板試験片を、それぞれ 40℃程度の濃酢酸(酢酸のような有機酸は油の劣化により生成)へ浸漬させることにより、劣化加速試験を行った。その結果、ガラスフレックコーティングでは、樹脂の膨潤が発生し、短期間で大きくインピーダンスが低下するとともに、一般的に有機コーティングの寿命とされるふくれが発生することがわかった。しかし、ライニング鋼板試験片は、同じ期間での濃酢酸浸漬試験において、著しいインピーダンスの低下や目視での不具合の観察には至らなかった。酢酸水溶液浸漬試験において、より試験期間を長くすることで、高耐久性ライニングを劣化させられるかもしれない。

3.2 板厚計測精度向上のための必要条件の把握

(1) 長期使用したライニング上からの超音波反射波の読み取り方法の検討

長期間使用したライニング鋼板に対して、3.1(1)で示した超音波厚さ測定同様の構成で I エコー(ライニング/鋼板界面からの反射時間)及び B₁ エコー(鋼板底面からの反射時間)を取得し、B₁ エコーの反射時間から I エコーの反射時間を差し引くことによって鋼板の厚さを推定した。その結果、鋼板裏側からのライニング上からではない計測値とは若干異なるものの、ライニング上からでもある程度の精度で推定ができた。

(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

超音波厚さ計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。試験片は実機地上円筒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、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垂直探触子を用いて、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、二振動子型垂直探触子では、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。

3.3 地上タンク底板で生じた危険物流出事故要因の推定

危険物流出事故の原因とコーティングの劣化メカニズムを調査するため、未劣化及び劣化した塗装鋼板に対する分析・電気化学測定を実施した。未劣化試験片は、発災タンク底板内面に施工されているものと同仕様のコーティングを鋼板に新たに施工したもの、劣化試験片は、発災した実機タンク底板より切り出したものである。

電気化学インピーダンス測定の結果、当該コーティングは、導電性が支配的であるとともに、長期使用により抵抗が低下することが分かった。この電気特性とコーティングの状態の対応関係を調べる

ため、未使用及び長期使用された試験体の SEM/EDX による断面観察・分析による比較を行った。まず、いずれのコーティングも、鱗片上の導電性カーボンと少量の金属添加剤がシリコン系のバインダーで結合されているような構造であることがわかった。このことから、コーティングの有する導電性は、膜内部に均一に分布されたカーボンに起因する特性であると特定された。両サンプルでの違いについては、未使用サンプルでは、素地鋼板界面近傍に不連続にアルミナ層が形成されていた一方、長期使用サンプルでは SiO₂ (シリカ) が形成しているものであった。従って、膜内に浸透した水やイオンが鋼の界面に到達し、膜直下に存在する（電氣的には膜に直列に接続された）絶縁性の高いアルミナの孔食が引き起こされ、最終的にシリカが形成する劣化過程であるため、長期使用によりインピーダンスが低下すると推定された。

電位（測定系の金属のアノード・カソード反応に応じて変化する指標）を測定したところ、未劣化及び劣化塗装鋼板のいずれも、コーティング残存部は、鉄そのものよりも、カソードとして機能しやすい性質であることがわかった。これは、接液状態でコーティングが剥離して鋼露出部が現れた際、コーティング残存部がカソードになるのに対し、鋼露出部がアノードとなることで当該箇所の腐食が著しく進行してしまう、マクロセル腐食が進行しやすい状態となることを意味している。本系でのマクロセル腐食の起こりやすさを調べるため、新品の鉄鋼板を模擬アノード、コーティング部を模擬カソードとして、3 wt% NaCl 水溶液を介して短絡させることで強制的に腐食電流を流し、その電流値を無抵抗電流計で計測した。その結果、比較的短期間の試験において、最大で数百 $\mu\text{A} \cdot \text{cm}^2$ という腐食電流が流れることが分かった。この電流値は、年間数 mm という腐食減肉量を十分に説明できるものである。

以上の検証より、内面からの鋼の腐食は、食塩を多量に含む水溶液環境下において、塗膜下へ到達した水溶液が鋼板界面における腐食反応を引き起こし剥離、さらに、導電性を有するコーティング残存部がカソードとして、露出鋼板がアノードとして機能する、マクロセル腐食により促進されたものと推定された。

4. 令和 4 年度の研究成果

4.1 ライニング劣化診断基準値の検討

3.1(1)で示した灯油、軽油、レギュラーガソリン、ハイオクガソリンを貯油した 4 基の内面ライニング施工の地下タンクの側面から切り出したライニング鋼板に対する付着性試験を数か所実施し、それらの付着特性を調べた。この試験では、ライニングの表面に瞬間接着剤などを用いて強固に固定した専用の円筒治具（ドリリー、 $\phi 20 \text{ mm}$ ）を強制的に引っ張り剥がした際に、どの程度の応力で、どこから、どのように、ドリリーあるいは膜が引きはがされたか、といった特徴から防食性を精密に評価することができる。結果として、レギュラーガソリン・ハイオクガソリンの第一石油類を貯油したサンプルでは、全てのサンプリング箇所樹脂層の破壊あるいは下塗り／素地鋼板の剥離が小さな付着力で生じた一方、灯油・軽油の第二石油類を貯油したサンプルでは、必ずしもすべての箇所のライニングが剥離するような状態ではなく、付着力は第一石油類を貯蔵したサンプルと比べ高かった。つまり、前者は後者と比べ、界面付着性が劣化した傾向にあると評価された。この序列は、音速や硬さの序列とも整合する。ライニングの膨潤が進行した（高分子の網目が広がった）ものほど、広がった網目から素地鋼板へ水やイオンが通過することとなるため、ライニング内部での層間剥離、又は、ガラス繊維／樹脂界面の剥離、あるいは、ライニング／鋼板界面の腐食が進行しやすく、各種界面に対する付着

力が低下したものと考えられる。3.1(1)で取得した音速値と付着特性との関係を総合的に考慮したところ、音速が約 2,300 m/s 以下となると付着性が低下したと判断できる可能性が示唆された。

約 20 年間ハイオクガソリンを貯油したタンクから得た、ライニングの膜単独の試験体（不飽和ポリエステル樹脂【JIS K 6919, UP-CM 相当】がベースの仕様、同一タンクの天井面・側面・鏡板より取得）の音速を推定した。これらのライニングは、開放点検時に手で容易に鋼板面から剥離できたものであるため、本サンプルの音速値は防食性喪失時点の目安になると着想した。およそ 30 cm 角の各試験体から任意に数十点選定した箇所に対して、シックネスゲージにより計測したライニングの膜厚を、超音波探触子をライニング接触させることで取得した超音波の反射時間で除すことで得られた音速値は、およそ 2,000 m/s を下回る平均値を示した。従って、この数値付近以下の音速値が得られた場合は、防食性は相当に低下しており、継続使用は不可と判断できるかもしれない。

提案閾値（2,300m/s 以下で付着性劣化、2,000 m/s は使用不可など）は数少ないデータに基づくものであるため、これらを用いて、定量的な健全性診断が十分実施できるかどうかを明らかにするためには、実機タンクあるいは切り出したライニング付き鋼板サンプルを対象とした「付着性」や「音速」などの多くのデータ蓄積が必要不可欠である。

4.2 劣化加速試験に基づく劣化速度の推定

ライニング試験片に対する劣化加速試験方法を検討し、防食性と関連するインピーダンスの時間変化に対するアレニウス則（加速試験において温度上昇させると劣化のメカニズムは試験時間中変わらない一方、劣化速度は増大するという仮定のもとに成り立つ、温度と時間の関係から促進倍率を決定する手法）の適用により、ライニングの耐用年数を推定する方法の実施が可能な実験環境を構築し、試験を開始した。

5. 令和 5 年度以降の研究計画

5.1 ライニング劣化診断基準値の検討

長期使用サンプルに対する各種物理化学分析を実施して取得した物性値を用いて、一般的に知られる音速の理論式とライニングの劣化に伴う物理パラメータ変化との対応関係を調べる。

5.2 劣化加速試験に基づく劣化速度の推定

定期的に取り得たインピーダンスの時間変化に対するアレニウス則の適用を検討する。また、加速試験片の表面状態観察や物理化学分析により劣化状態を調べ、ライニング劣化モデルについて検討する。

(10) 化学物質等の製造・貯蔵工程における火災危険性に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 危険性物質研究室 岩田雄策、佐藤康博

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、膨大な種類の火災危険性を有する化学物質が製造・使用されている。さらに、化学物質の火災危険性は取扱方法によって異なる。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、経済的損失および環境破壊をもたらすことから、化学物質の火災予防が特に重要である。火災予防のためには、多岐に及ぶ化学物質およびそれらの使用形態に応じた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必要である。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、取り扱いの形態に応じた火災危険性評価が困難であることから不十分な場合がある。

本研究課題では、化学物質に加えて製造・貯蔵中における火災危険性に焦点を当て、取扱方法に即した火災危険性を評価するための方法を提言することを目的とする。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。また、火災原因調査においても火災原因を特定する手法として有効である。

2. 研究内容

化学物質の取り扱い時の火災危険性として、製造中における攪拌・混合の火災危険性への影響、長期貯蔵中に生じる自触媒反応等による火災危険性、移送時の火災危険性として^{ふんじん}粉塵爆発による火災危険性の評価手法および酸化性固体および引火性液体等の漏洩時の火災危険性に関する評価手法を検討する。

表 1 令和 3 年度から令和 7 年度までの研究計画

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
製造（攪拌・混合）中の火災危険性	・攪拌・混合が化学物質の火災危険性に及ぼす影響について基礎データを得る。			・攪拌・混合の影響を考慮した火災危険性評価法を提案する。	
長期貯蔵中の火災危険性	・長期貯蔵中に火災を起こす化学物質について、活性物質を解析する手法および自然発火危険性の評価法に関する基礎データを得る。			・長期貯蔵中の火災危険性評価法を提案する。	
移送時の火災危険性			・粉塵爆発による火災危険性について、熱量計等を用いた火災危険性評価法に関する基礎データを得る。	・粉塵爆発危険性について、熱量計等を用いた火災危険性評価法を提案する。	
漏洩時の火災危険性	・酸化性固体に対して熱量計を用いた漏洩時の火災危険性評価法に関する基礎データを得る。			・酸化性固体に対して熱量計を用いた漏洩時の火災危険性評価法を提案する。	
					・引火点が低い可燃性液体に対する引火点測定法を検討・提案する。

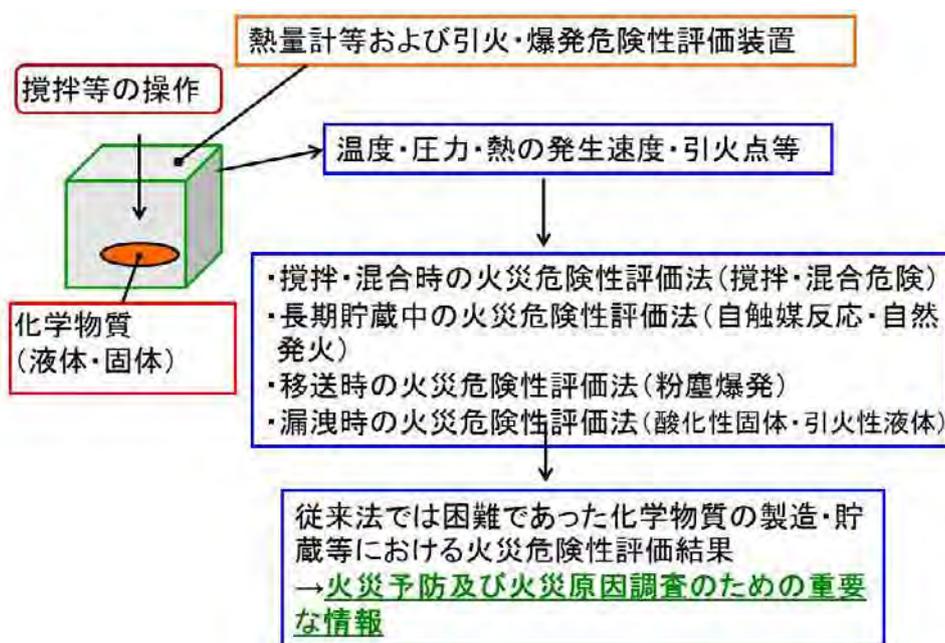


図 1 研究概要

3. 令和 4 年度の研究成果

(1) 長期貯蔵中に火災を起こす化学物質（自触媒反応を起こす化学物質）について、攪拌可能な熱量計によって等温下における過酸化クミルの熱流束の経時変化における攪拌の有無の影響を調べた。その結果、攪拌の有無で熱流束曲線に変化はないことから、本実験条件において自触反応に対して攪拌の影響は無いことがわかった。

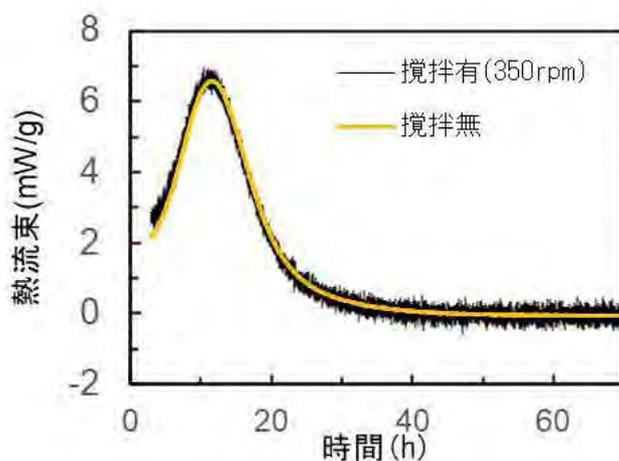


図 2 攪拌可能な熱量計によって測定された等温下（115 °C）における過酸化クミルの熱流束の経時変化

(2) 長期貯蔵中に酸化発熱によって火災を起こす化学物質について自然発火危険性の評価手法を検討した。火災原因物質となった植物油を含む有機物試料について双子型高感度熱量計を用いた昇温測定によって火災危険性を調べた。試料による酸化発熱は約 60 °C から開始し約 140 °C まで継続した後、本格的な燃焼に移行した。本評価法によってその温度範囲における発熱量は 26.0 J/g となり、酸化発熱による火災危険性が大きいことが示された。なお、既往の研究で発熱量が 10.0 J/g 以上で火災危険性が大きいことがわかっている。

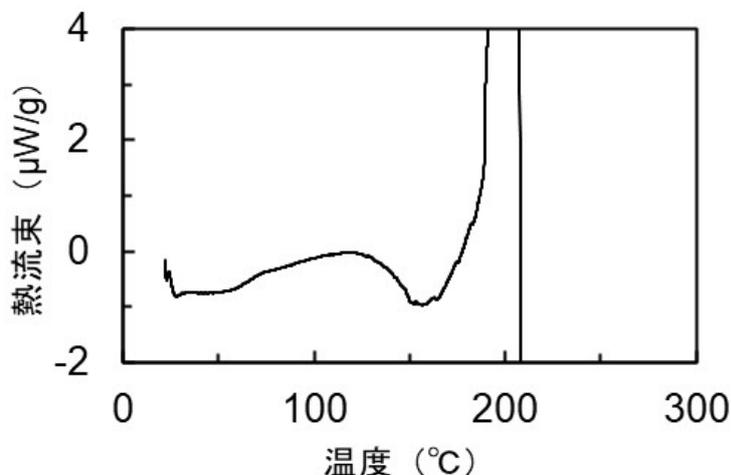


図 3 双子型高感度熱量計によって測定された植物油を含む有機物試料の発熱挙動
(昇温速度：0.1 K/min、試料量：1 g)

(3) 漏洩等により空気中の水分が酸化性固体に混入した場合を想定して、等温型高感度熱量計を用いた評価手法を検討した。過炭酸ナトリウムのみの試料の場合、発熱初期の温度 (50 °C) において熱流束は時間とともに変化しないことから、過炭酸ナトリウムの分解は過炭酸ナトリウムの量に依存しない零次反応であることがわかった (図 4)。一方、発熱初期の温度 (50 °C) において湿度 100 % の雰囲気における熱流束曲線を測定したところ、空気中の水分の影響により発熱が 100 倍以上に増大した (図 5)。本評価法によって空気中の水分によって発熱初期の発熱が大きく増加し、火災危険性が大きくなることが示された。

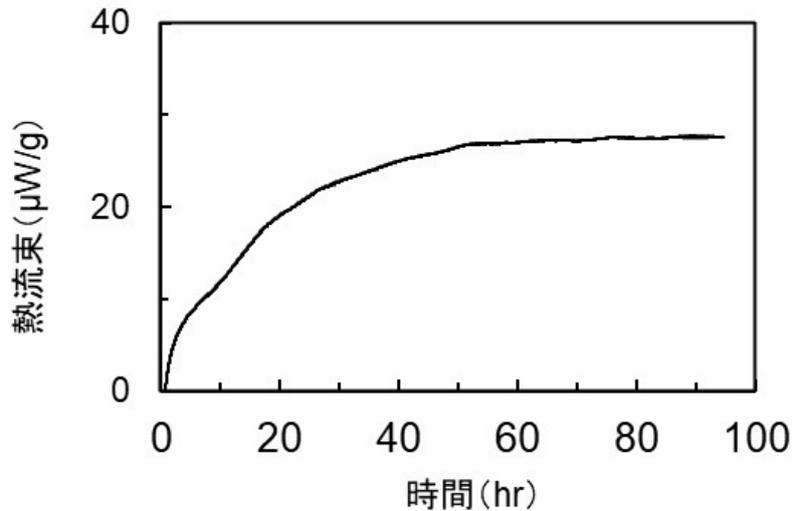


図 4 等温型高感度熱量計 (TAM) によって測定された過炭酸ナトリウムの熱流束の経時変化 (試料量 1.0 g、周囲温度 : 50 °C)

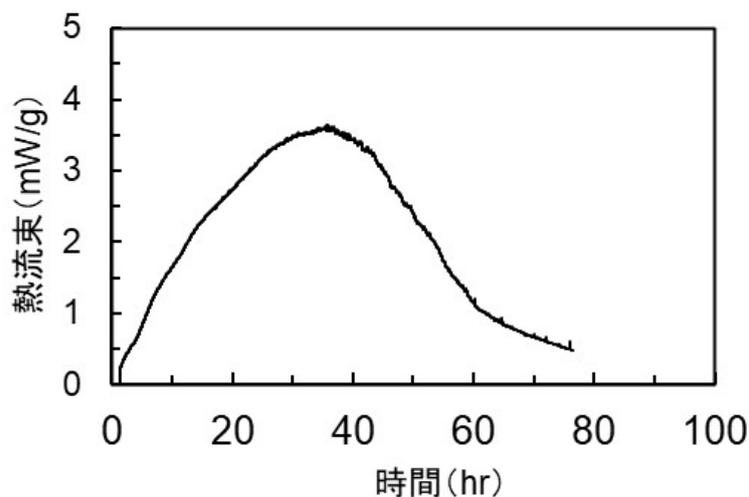


図 5 等温型高感度熱量計 (TAM) によって測定された湿度 100 % における過炭酸ナトリウムの熱流束の経時変化 (試料量 : 0.2 g、周囲温度 : 50 °C)

4. 令和 5 年度の研究計画

- (1) 攪拌可能な熱量計を用いて、混合操作における発熱挙動に対する攪拌の影響を調べる。また、濃度の異なる自触媒反応を起こす有機過酸化物について発熱挙動に対する攪拌の影響を調べる。
- (2) 長期貯蔵中に火災を起こす化学物質（自触媒反応を起こす有機過酸化物等）について、発熱挙動に対する濃度の影響を調べるとともに、活性物質を解析する手法に関する基礎データを得る。
- (3) 長期貯蔵中に火災を起こす化学物質（酸化によって発熱する化学物質等）について、自然発火温度測定装置と双子型高感度熱量計の測定結果の相関性について調べ、自然発火性に関する危険性評価法のための基礎データを得る。
- (4) 粉塵爆発による火災危険性について、断熱型暴走反応熱量計および自然発火温度測定装置等の各種熱量計等を用いて火災危険性を評価する方法に関して基礎データを得る。
- (5) 酸化性固体に対して漏洩時に可燃物と接触した場合の火災危険性評価法を検討し、基礎データを得る。

5. 令和 6 年度以降の研究計画

- (1) 攪拌・混合操作中における化学物質等の火災危険性評価法を提案する。
- (2) 長期貯蔵中の化学物質等の火災危険性評価法を提案する。
- (3) 移送時の火災危険性として、粉塵爆発による火災危険性について、熱量計等を用いた火災危険性評価法を開発する。
- (4) 漏洩時の火災危険性として、酸化性固体を含む化学物質の漏洩時の火災危険性について、熱量計等を用いた火災危険性評価手法を提案する。また、可燃性液体の漏洩時の火災危険性を検討するために、引火点が低い化学物質に対する引火点測定法を提案する。

(11) 石油タンクの地震被害予測の高精度化のための研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 施設等災害研究室 畑山健、吉田祐一

1. 目的

南海トラフ地震、首都直下地震等の大地震が切迫しているなか、地震防災・減災対策の立案・実施において、精確な地震被害予測・影響評価が必要不可欠であることは論を俟たない。石油コンビナート等特別防災区域（以下「特防区域」という）等の石油エネルギー施設の重要拠点における地震被害を防止し、災害の拡大を抑止する上でもまた同じであり、とくに石油類の貯蔵・取り扱い量が多く、危険性が他の施設よりも大きな大型石油タンクの被害予測の精度は重要である。石油タンクの地震被害予測精度を決定する要因には、入力地震動の予測の精度と、石油タンクの地震動応答評価の精度の 2 つがある。これら 2 つの精度は、現状においてかならずしも十分なものとはいえず、双方について精度向上の取り組みが必要である。本研究課題では、(A) 入力地震動、とりわけ石油タンクに液面揺動（スロッシング）を生じさせる周期数秒から十数秒の長周期地震動の予測の高精度化を目的とした研究（長周期地震動の予測の高精度化）と、(B) 地震動に対するタンク底板の浮き上がり応答評価の高精度化等を目的とした研究（地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良）を行う。

(B) の研究は、これまでの一般研究課題「鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する数理モデルの構築」において一定の成果があがったことから、これをさらに発展させるため、令和 5 年度から重点研究課題として取り組む。

(A) 長周期地震動の予測の高精度化

消防法令では、石油タンクのスロッシングに関する耐震基準として、「液面揺動に係る設計水平震度」（以下、消防法令上の記号に依拠して「Kh2」という）を特防区域ごとに定めており、石油タンクの最高液面高さ（最大貯蔵量）は、このレベルの長周期地震動に見舞われても内容液が溢流等しないものとされ、また、浮き屋根の強度はこのレベルの長周期地震動に対して耐えるものとされている。Kh2 は、基本的に座間（2000）による経験的（過去の地震記録に基づいた）長周期地震動予測式に基づいて定められている。すなわち、現行の石油タンクスロッシング耐震基準は、長周期地震動の経験的予測に基づいている。このようなことから、本研究課題では、長周期地震動の経験的予測の高精度化を目指す。

(B) 地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良

石油タンクに代表される鋼製平底円筒貯槽（タンク）は、地震動による転倒モーメントによりロッキング運動が生じ、これに伴い底板の一部が浮き上がり、側板と底板の接合部（隅角部）に亀裂が生じて貯液が流出する危険性がある。実際、我が国では、昭和 53 年（1978 年）宮城県沖地震（M 7.4）の際に、底板の浮き上がりが直接的原因とされる重油の大量（3 基のタンクから合計約 68,000 kL）流出が発生している。このように、タンク底板の浮き上がりに起因する被害がもたらす結果は重大であり、地震動に対するタンク底板の浮き上がり応答を精確に評価することは、石油タンクの地震被害予測上極めて重要である。

このようなことから、令和2年度から4年度において、一般研究課題「鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する数理モデルの構築」を実施し、これまでに提案されている地震時のタンク底板浮き上がりに関する物理モデルに基づいて、底板浮き上がり量の時刻歴を計算するプログラムを作成した。このプログラムによる計算結果を、3次元動的FEAによる浮き上がり量、平成30年北海道胆振東部地震(M6.7)で計器計測された大型タンクの浮き上がり量及び平成23年東北地方太平洋沖地震(M9.0)の際の小型タンクの浮き上がり事例と比較した結果、計算精度は十分ではないことがわかった。また、計算に要する時間が膨大であるという課題も残った。本研究課題では、上記の地震時底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良により、その高精度化および高速化を目指す。

2. 研究内容

(A) 長周期地震動の予測の高精度化

石油タンクにスロッシング被害をもたらすような高レベルの長周期地震動は、震源から射出された長周期成分を含む地震波が、堆積平野・盆地に入射し、その厚い堆積層によって増幅されることなどにより発生する(図1)。したがって、長周期地震動の予測を高精度化するには、(1)堆積平野・盆地に入射する長周期地震動の予測、すなわち、震源からどのような地震波が射出され、その後、堆積平野・盆地に伝播するまでにどのような減衰等の影響を受けるかについての予測と、(2)その地震波が堆積平野・盆地に入射した後に、どのような増幅等の影響を受けるかについての予測の両方を高精度化する必要がある。

座間(2000)の経験的長周期地震動予測式は、標準スペクトルにサイト増幅スペクトルを乗じることにより、地震動の予測フーリエ振幅スペクトルを得るという構造になっている。ここで、部分的に正確ではないものの、標準スペクトルの予測は(1)に対応し、サイト増幅スペクトルの予測は(2)に対応する。(1)は全体的な地震動レベルの予測に関係し、(2)は場所による地震動レベルの違いの予測に関係する。本研究課題では、(1)と(2)の双方について、その高精度化を目指す。

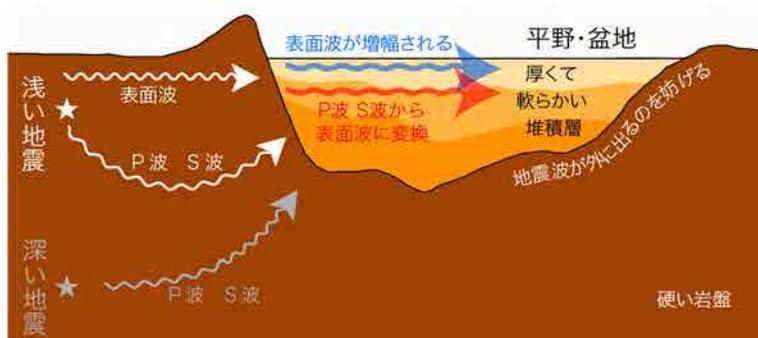


図1 長周期地震動の発達メカニズム

(1) 経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式改良版の作成

2016年熊本地震の際、大分の特防区域は、消防法令において耐震基準として同区域に対して定めているKh2を超える長周期地震動に見舞われ、同区域内の浮き屋根式石油タンクではスロッシングが発生し、浮き屋根の傾斜・沈没等の大事には到らなかったものの、浮き屋根の浮き室が損傷した。この地震の際には、大分よりも震源から遠方の特防区域でも、遠方のわりには高いレベルの長周期地震動

が観測され、ところによってはスロッシングも観測されたが、それらの特防区域で観測された長周期地震動のレベルは、座間(2000)の経験的長周期地震動予測式による予測値を数倍から10倍上回った。これは、長周期地震動の全体的なレベルを左右する標準スペクトルの予測の部分に改良の余地があることを示唆している。このようにことから、本研究課題では、石油タンクサイトに対する経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式の改良版を作成する。

(2) 石油タンクサイトにおける長周期地震動増幅特性の高精度評価

2005年の消防法令改正により各特防区域に対して定められた現行のKh2は、基本的には、次のようにして予測された各特防区域直近の気象官署等における長周期地震動に基づいて決められた。すなわち、基になった予測長周期地震動は、座間(2000)の経験的長周期地震動予測式における標準スペクトルに、各特防区域直近の気象官署等における過去の地震記録から推定されたサイト増幅スペクトルを乗じることにより得られた地震動予測フーリエ振幅スペクトルである。これは、各特防区域直近の気象官署等に対する予測結果であって、特防区域に対する予測結果ではない。地震記録に基づいて長周期地震動のサイト増幅特性を経験的に推定するには、多くの長周期地震動の地震記録が必要であるが、長周期地震動はマグニチュードが大きな地震でなければ発生しないため、長期間にわたって地震記録が蓄積されている場所ではかできない。当時、特防区域にはそのような地震記録の蓄積はなかったため、長期間にわたって地震記録が蓄積されていた気象官署等における長周期地震動のサイト増幅スペクトルをそこでの地震記録から推定し、そのサイト増幅スペクトルが直近の特防区域に対して代用的に適用された。しかしながら、直近の特防区域といえども、ところによっては気象官署等との距離が10km以上離れている場合もあり、気象官署等における長周期地震動のサイト増幅スペクトルと直近特防区域におけるそれが異なる可能性は否定できない。

一方、消防研究センターでは、2003年十勝沖地震の際も石油タンクに甚大なスロッシング被害が発生したことなどを受けて、2005年頃に長周期地震動が発達しやすいと考えられる特防区域に強震計を設置し、以来観測を継続してきた。本研究課題では、その観測により蓄積された独自の地震記録を用いて、特防区域における長周期地震動の経験的サイト増幅スペクトルを推定する。これにより、特防区域における長周期地震動の予測の高精度化が期待できる。

表 1-1 年度計画

研究項目	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度
(1) 経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式改良版の作成	○他研究機関地震記録の収集・整理	○標準スペクトル評価式改良版における減衰の考慮方法の検討	○標準スペクトル評価式改良版における震源深さ依存性及びコーナー周期の考慮方法の検討	○標準スペクトル評価式改良版の作成	○標準スペクトル評価式改良版の作成(さらなる改良)
(2) 石油タンクサイトにおける長周期地震動増幅特性の高精度評価	○石油コンビナート地域等における強震観測の継続実施		○気象官署等における地震記録の収集・整理 ○特防区域における長周期地震動経験的サイト増幅スペクトルの推定(首都直下地震影響地域)	○特防区域における長周期地震動サイト経験的増幅スペクトルの推定(南海トラフ地震影響地域)	○特防区域における長周期地震動経験的サイト増幅スペクトルの推定(東北・新潟地域, 北海道地域)

(B) 地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良

一般研究課題「鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する数理モデルの構築」では、これまでに提案されてきた計算法の多くでは考慮されていない「内容液の回転慣性力」や「ロッキング-バルジング相互作用によるバルジング応答の低減」などのタンクのロッキング運動の動的な性質を考慮したモデル (Taniguchi モデル) に基づいて、地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴を計算するためのプログラムを作成した。これまでに Taniguchi モデルによる時刻歴応答計算の実施例はなく、Taniguchi モデルにおける運動方程式の妥当性については十分検討されてこなかったが、①Taniguchi モデルによる計算結果、②Taniguchi モデルとは異なる物理モデルによる計算結果、③3次元動的 FEA による浮き上がり量計算結果、平成 30 年北海道胆振東部地震 (M 6.7) で計器計測された大型タンクの浮き上がり量のデータ及び平成 23 年東北地方太平洋沖地 (M 9.0) の際の小型タンクの浮き上がり事例との比較から、Taniguchi モデルの運動方程式の妥当性を示すとともに、計算精度を検証した。その結果、大型タンク (直径 82 m、容量 11.5 万 kL) の計算においては、①は②よりも計測データに近

い値となったものの、計測値よりも過小評価となるという問題が生じた（計測された最大浮き上がり高さ 44 mm に対して、① は 16 mm、② は 441 mm）。また、小型タンク（直径 9.67 m、容量 790 kL）においては、① はさらに計算精度が悪く、例えば、アンカーボルトが 50 mm 程度引き抜かれているケースについて計算すると、浮き上がり高さが 1 mm 未満の結果となった。また、作成したプログラムでは、大型タンクの計算では、40 秒間の時刻歴応答の計算に 2 時間以上の計算時間を要するなど、計算に要する時間が膨大であるという課題も残った。そこで、本研究課題では、Taniguchi モデルに基づく地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の高精度化及び高速化に向けて、次の検討を行う。

(1) 高精度化の検討

底板の「浮き上がり-接地-浮き上がり」間における計算手続きを見直し、小型タンクの振動台実験の結果や動的 FEA の結果と比較することで、見直し後の時刻歴応答計算法の精度を検証する。

(2) 高速化の検討

これまでに作成しているプログラムでは、時間積分を行う部分において、陽解法的な方法で数値解を求めており、収束計算は実施していないため、時間刻みを非常に小さくとらざるをえず、このために計算時間が膨大なものになっていると考えられる。そこで、時間刻みを粗くしても計算精度が落ちないような数値解法を検討する。

表 1-2 年度計画

研究項目	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
(1) 高精度化の検討			○時刻歴応答 計算法の計算 手続き等の見 直し		→
				○動的 FEA に よる小型タン クの底板浮き 上がりの応答 計算	→
(2) 高速化の検討				○時刻歴応答 計算法の数値 解法の見直し	→

3. 令和 4 年度の研究内容

(A) 長周期地震動の予測の高精度化

(A) 3-I 経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式改良版の作成

令和 3 年度までに、岩盤または硬質地盤上における長周期成分を含んでいることが期待される高品質の地震動観測記録として、国立研究開発法人防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net の強震計による地震波形記録を収集した。収集対象地震は、観測網整備開始当初の 1994 年以降に我が国周辺

で発生した Mw 6.0 以上の地震とし、記録が得られている観測点すべてから、サンプリング周波数 20 Hz の波形記録を収集した。

令和 4 年度は、長周期地震動の全国平均的な減衰特性を調べるため、2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震以降、2020 年 3 月までに日本周辺で発生した Mw 6.5 以上の地震の波形記録のうち震央距離 1,000 km 未満のもの対象として、岩田・入倉 (1986) 流のスペクトルインバージョン解析を行った。観測スペクトルに対するモデル式における距離減衰項は、Mamula et al. (1984) と同じく、 $\exp[-\alpha(T)*r]/r^{0.5}$ (r: 震央距離、T: 周期、 $\alpha(T)$: 単位距離あたりの減衰強度) とした。各記録につき、記録長が短く地震動の主要動部分が記録されていないもの、波形がおかしいもの、ノイズが大きいのもの、水平 2 成分合成振幅の最大値が 20 mkin 未満のものは除外した。さらに、解析対象地震は、5 個以上の観測点で解析対象記録が得られているもの、解析対象観測点は、5 個以上の地震で解析対象記録が得られているものとした。結果、46 個の地震、70 個の観測点、1,718 個の観測記録が解析対象となった (図 2)。図 2 からわかるように、伝播経路はおおむね我が国全体をカバーすることができるものとなっている。解析結果として、図 3 に水平距離 100 km に対する減衰率 $\exp[-\alpha(T)*(r=100\text{ km})]$ を示す。比較のため、Mamula et al. (1984) の提案値に対する減衰率も示す。今回の解析で得られた減衰率は、座間 (2000) の経験的長周期地震動予測式で用いられている Mamula et al. (1984) の提案値よりも大きく、2016 年熊本地震に対する座間 (2000) の経験的長周期地震動予測式の過小評価は、これによって改善できるものではないことがわかった。改善には、震源からの長周期の地震波の射出強度の面からの検討が必要と考えられる。

(A) 3-2 石油タンクサイトにおける長周期地震動増幅特性の高精度評価

特防地域における地震観測記録を蓄積するため、特防区域等における強震観測 (19 区域 25 地点) を継続実施した。加えて、検討に用いるデータセットを得るため、気象官署等における地震記録を収集しようとしたが、気象庁 95 型強震波形データの 2011 年以前分は、気象庁にてデータの確認中のため入手不可能となっており、データの収集は次年度以降に行うこととした。

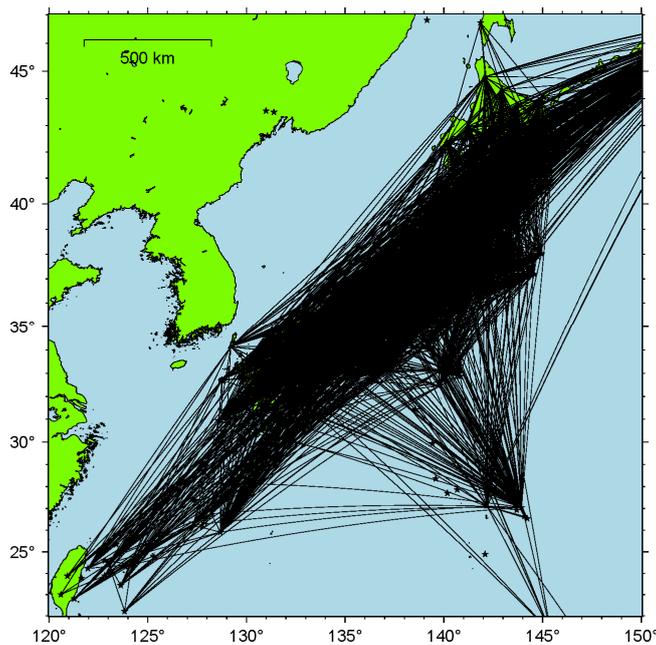


図 2 解析対象となったデータにつき、震央と観測点を線で結んだ図

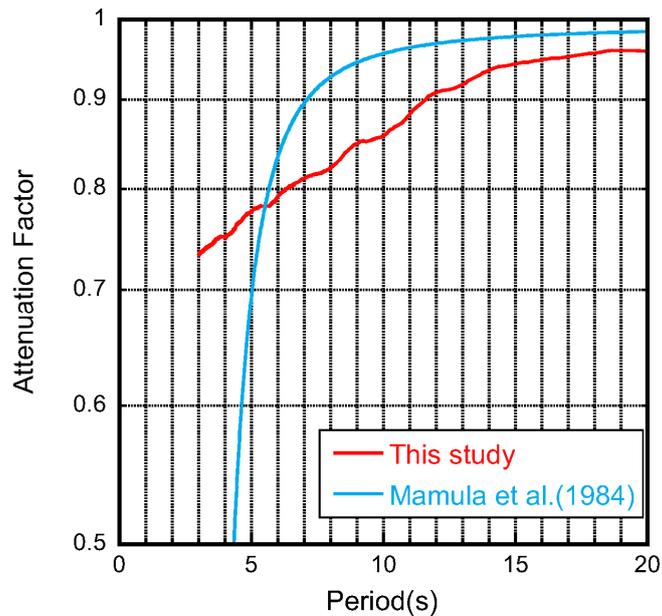


図3 水平距離 100 km に対する減衰率 $\exp[-\alpha(T)*(r=100\text{ km})]$

(B) 地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良

令和5年度から開始する研究課題のため、令和4年度の研究内容はない。

4. 令和5年度の研究計画

(A) 長周期地震動の予測の高精度化

(A) 4-1 経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式改良版の作成

これまでに収集・整理した F-net 地震波形記録に対して、スペクトルインバージョン解析を行い、その結果得られる震源スペクトルについて、震源深さ依存性及びコーナー周期に関する特性を調べる。

(A) 4-2 石油タンクサイトにおける長周期地震動増幅特性の高精度評価

(1) 特防区域内消防研強震観測点地震記録と気象官署等地震記録を用いた検討

検討に用いるデータセットを得るため、気象官署等における地震記録を収集・整理する。収集することのできた地震記録等を用いて、首都直下地震影響地域を対象として、特防区域における長周期地震動経験的サイト増幅スペクトルを推定する。

(2) 特防区域等における強震観測

特防区域等で行ってきた強震観測（19 区域 25 地点）を継続実施し、特防地域における地震観測記録を蓄積する。

(B) 地震時タンク底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良

(B) 4-1 高精度化の検討

本研究課題における時刻歴応答計算法が依拠している Taniguchi モデルでは、浮き上がり開始判定の直後にロッキングしていない状態（並進運動）の運動方程式からロッキングしている状態（回転運動 - 並進運動の相互作用系）の運動方程式に切り替える処理を施しているが、一度浮き上がりが生じた後は、ロッキングしている状態の運動方程式で浮き上がり量の計算を続けている。この計算手続きが計算精度悪化の原因の一つである可能性がある。そこで、時刻歴応答計算中に浮き上がりの判定を随時行い、ロッキングしていない状態の運動方程式とロッキングしている状態の運動方程式が適時適

切に切り替えられるような計算手続きに変更してみる。変更前後の計算結果と小型タンクの振動台実験の結果及び底板浮き上がりの観測事例と比較し、変更による効果を調べる。

5. 令和 6 年度以降の研究計画

(A) 長周期地震動の予測の高精度化

(A) 5-1 経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式改良版の作成

F-net 地震波形記録を用いて、経験的長周期地震動予測式における標準スペクトル評価式の改良方法を検討する。

(A) 5-2 石油タンクサイトにおける長周期地震動増幅特性の高精度評価

(1) 特防区域内消防研強震観測点地震記録と気象官署等地震記録を用いた検討

特防区域内消防研強震観測点地震記録と直近気象官署等における地震記録の比較分析により、2 地点間の長周期地震動増幅特性の相違、すなわち、直近気象官署等に対する特防区域の経験的相対的サイト増幅スペクトルを推定する。

(2) 特防区域等における強震観測

特防区域等で行ってきた強震観測 (19 区域 25 地点) を継続実施し、特防地域における地震観測記録を蓄積する。

(B) 地震時底板浮き上がり量の時刻歴応答計算法の改良

(B) 5-1 高精度化の検討

(1) 時刻歴応答計算法の計算手続き等の見直し

令和 5 年度に検討する予定の時刻歴応答計算法の計算手続きの見直しでは不十分な場合、別の改善案で時刻歴応答計算法の高精度化の検討を行う。

(2) 動的 FEA による小型タンクの底板浮き上がりの応答計算

時刻歴応答計算法の計算精度の検証材料を増やすために、動的 FEA による小型タンクの底板浮き上がりの応答計算を実施する。

(B) 5-2 高速化の検討

これまでに作成しているプログラムでは、時間積分を行う部分において、陽解法的な方法で数値解を求めており、時間刻みを 1/10,000 秒としている。高速化に向けて、時間刻みを粗くしても計算精度が落ちない方法を検討する。

6. 共同研究等

国立大学法人 鳥取大学大学院工学研究科

(12) 自然災害時の現場対応型情報収集システムと 分析手法の研究開発

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 地震等災害研究室 土志田正二、新井場公德
特別上席研究官 天野久徳

1. 目的

平成 26 年広島豪雨災害、平成 28 年熊本地震、平成 30 年西日本豪雨、平成 30 年北海道胆振東部地震、令和元年台風 19 号豪雨災害など、豪雨・地震などによる自然災害が多発している。自然災害における救助活動において、災害の全体像の把握、要救助者・行方不明者の位置の推定、活動の安全性の確保及び活動の効率性の維持のために様々な情報を収集し分析することは重要であるが、災害最初期においては時間的な制約が大きく、現場で適切な指揮判断を行うために、現場で完結できる効率的な情報収集技術が必要不可欠である。本研究では、土砂災害現場における詳細地形データを用いた二次崩壊危険地域の抽出及び評価方法を開発すると共に、現場対応型情報収集システムと現場にカスタマイズした情報分析・評価手法の開発を行う。開発する資機材・システムは、災害規模、災害の対応段階ごとに整理し、検討を行う。本研究の成果は、自然災害に対する対応手順や国による災害現場に対する技術支援に実装し、自然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。

2. 研究内容

(1) 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発

夜間時の情報収集のために導入したドローンレーザから作成した詳細地形データを用いて、二次崩壊の危険性が高い地域などを抽出する地形解析手法を開発する。レーザセンサは夜間などの不可視状況における地形測量のみならず、植生に覆われた地域における地形の変形（亀裂・段差など）の抽出も可能であるため、詳細地形解析による二次崩壊の危険性の把握などを行う。土砂災害で警戒すべき箇所（湧水発生地点など）の抽出などが行えるセンサーの導入を検討するほか、ドローンレーザを実災害現場での運用を考慮し、消防救助活動に必要な性能・機能のみに限定したダウンスケールした資機材の開発を行う。

(2) 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発

自然災害を対象とした救助活動において、様々な情報を収集し解析することは、迅速な要救助者の救出・隊員の安全確保に重要である。特に災害最初期では、現場で適切な指揮判断を行うため、現場での効率的な情報収集技術は必要不可欠である。本研究では、情報収集・分析に関して災害現場で実用可能な資機材の開発を行う。過去の現場対応における課題を、災害規模、災害の対応段階ごとに整理し、解決すべき技術を明確化する。これに対して、計測や情報処理に関する技術のうち実用に耐えうるものを適用して現場で情報収集を可能とする資機材を開発する。開発した資機材を用いることにより、自然災害対応の安全性向上に資するとともに、消防研究センターの技術支援に用いる。また、

解決が難しい課題には、新たな技術開発への目標仕様の設定に取り組む。

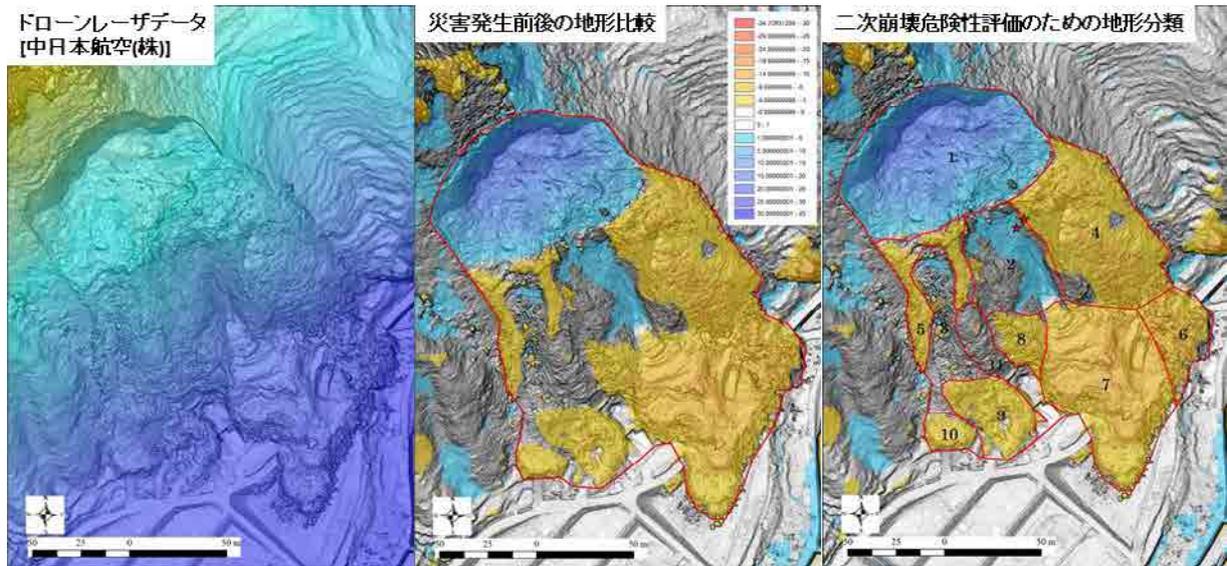


図 1-1 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発の研究イメージ (参考：2018 年耶馬溪地すべりの詳細地形データの解析)

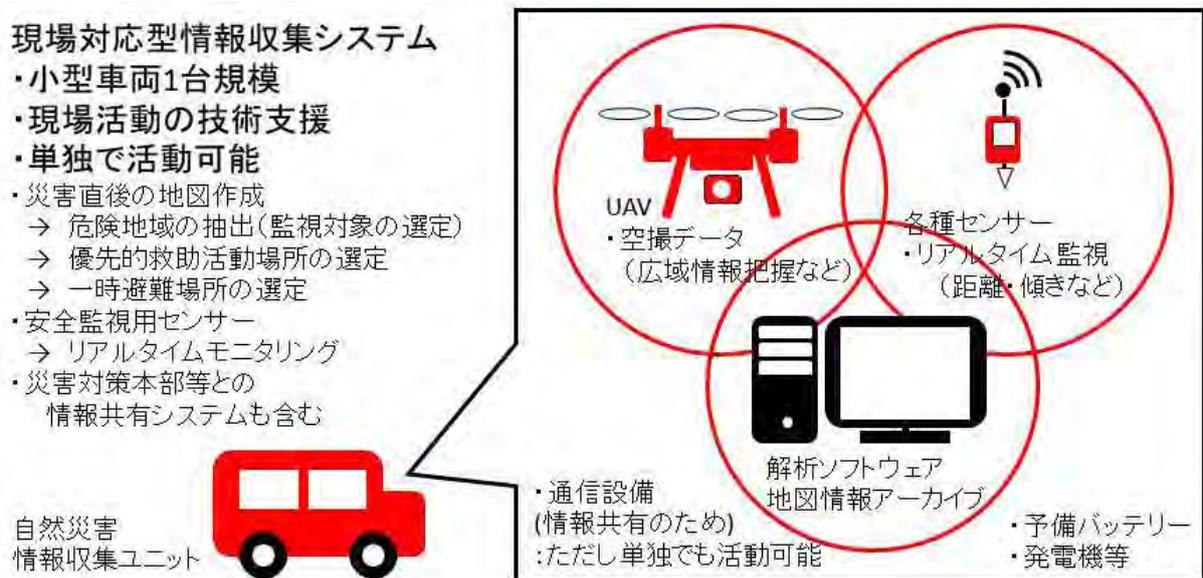


図 1-2 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発の研究イメージ

表 1-1 本研究の概略

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
(1) 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・夜間現場に必要な新しいセンサー（ドローンレーザ）の実証試験 ・データの分析方法の開発 	→	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンレーザの現場運用のための資機材・解析手法の開発 		→ <ul style="list-style-type: none"> ・ドローンレーザ運用マニュアルの作成
(2) 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・過去の自然災害時の現場活動事例の整理、課題の抽出 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場完結型情報収集資機材・システムの開発と解決すべき技術の明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・現場で得られた情報の解析手法の開発（現場での簡易解析） 	<ul style="list-style-type: none"> ・解決が難しい課題に対する目標仕様の検討 	→ <ul style="list-style-type: none"> ・現場対応型情報収集システムの運用マニュアルの作成

3. 令和 3 年度の研究内容

3.1 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発

(1) 夜間現場に必要な新しいセンサー（ドローンレーザ）の実証試験

ドローンレーザを用いて、試験場にて夜間観測を行い、詳細地形データを作成する。また日中でも同様の観測を行い、夜間観測時との違いも明らかにする。

→愛知県豊田市藤岡ヘリポートにて、日中・夜間におけるドローンレーザの実証試験を行った。その結果、夜間においても日中での観測と同様の詳細地形データの取得が可能であることが示された。ただし、夜間観測においては周囲の電線などの架線状況の把握が困難であり、日中での観測に比べて運用時の安全管理が難しいことが課題である。

(2) データの分析方法の開発

実証試験で得られた詳細地形データを用いて、二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発を行う。

→詳細地形データの解析を行い、その特徴を明らかにした。植生を含んだデータである DSM (Digital Surface Model) の場合は、実証試験の精度検証用に設置した対象物（数 10 cm 規模）は形状を検出できたが、植生の影響を除去した DTM (Digital Terrain Model) では、対象物による地形変化の一部をノイズとして除去してしまうことがわかった。ただし、1 m を超える対象物に関しては、DTM でも問題無く観測することができた。

3.2 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発

(1) 過去の自然災害時の現場活動事例の整理、課題の抽出

近年発生した災害現場における救助活動事例における情報機器の活用状況を調査し、必要とされる情報の内容及び共有範囲を検討する。

→災害対応についての聞き取り調査は実施できなかったが、訓練における現場ニーズの把握を行った。過去の技術支援における経験と合わせて考察し、必要な情報の種類及びその取得のための方法について検討した。

(2) 画像の統合処理に関する技術開発

リアルタイムでドローンからの画像をオルソ化するシステムを試作する。

→動画 (1080 p) を伝送できるドローン及び伝送装置について技術情報を収集し、リアルタイムでオルソ化するために必要な試作機を開発している。また、動画 (760 p) を切り出し、別途伝送されるテレメトリデータを用いてオルソ化するシステムを制作した。さらに、これらを現場運用するために必要な車両の仕様を整理し、整備した。

4. 令和 4 年度の研究内容

4.1 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発

(1) 実際の自然斜面 (近年発生した土砂災害現場もしくはその周辺地域) において、ドローンレーザ計測の実証試験を行い、ドローンレーザの運用方法を整理する。

→徳島県三好市内の地すべり地形において、日中・夜間のドローンレーザ計測を行った。その結果、自然斜面での観測においても夜間に日中での計測と同様の詳細地形データが取得可能であることが示された。ただし、斜面であるため対地高度を管理する必要があり、手動での運行は事前の準備がないと難しいこと及び機体が十分に認識可能な離発着場所を確保することの重要性などが明らかになった。

(2) 自然斜面での実証試験でドローンレーザから得られた詳細地形データを用いて、斜面崩壊の安全管理を目標としたデータの分析方法の開発を行う。

→上述の試験においてドローンレーザから得られた詳細地形を基に地形解析を行った。対象とした斜面はほぼ全域で植生があるため DSM を用いての議論は難しいが、DTM では小規模な崩壊が発生した痕跡など地すべり移動体内の変形を明瞭に把握することができた。また、近年発生した十数 cm 程度の段差も認識することができた。植生下に隠された地形の凹凸の把握は、崩壊・土石流などの二次被害の安全管理を行ううえで重要なデータであり、本手法により地形を把握することの有効性を示すと言える。ただし、植生下に置いた段ボールの 10 cm の移動は、自動処理の過程でノイズとして除去されてしまい、その把握はできていない。

4.2 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発

(1) リアルタイム・オルソ化システムの精度及び精細度を検証する。

→リアルタイムでドローンの画像をモザイク化するシステムを試作し、その精度を向上する方策について検討・実装した。機首方向を固定すること及び対地高度を一定に保つことなど飛行に一定の制約のもとでは、災害の全体概要を得ることができた。飛行の自由度の向上のための手法の検討及びオルソ化を準リアルタイムで実現するための手法について検討をしている。なお、精細度については画像伝送装置の精細度を検証をしているところである。

(2) 過去の災害事例を基に、現場で必要とされる情報を整理し、それを得るための方法及び技術的課題を検討する。

→消防研究センターが実施した技術支援の事例及び過去の二次的な災害事例について整理し、ドローンによる撮影の範囲の考え方やその品質について検討した。その結果を踏まえ、ドローンの画像から被災家屋や河道閉塞による湛水面を検出する技術について初期的検討に着手した。

5. 令和 5 年度の研究計画

5.1 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発

- (1) ドローンレーザの現場運用を目指し、資機材・運用方法の更なる簡易化・小型化を行うとともに、斜面崩壊の安全管理を目標としたデータの解析手法の開発を行う。

5.2 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発

- (1) ドローンの画像をモザイク化するシステムについて精度及び精細度の改良方法を検討するとともにオルソ化のための処理方法を試作する。
- (2) 土砂災害地におけるドローンの画像を収集し、被害家屋及び湛水面を検出する技術について精度検証を行う。

6. 令和 6 年度以降の研究計画

6.1 詳細地形データを用いた土砂災害現場での二次崩壊危険地域の抽出ならびに評価方法の開発

実証試験の結果を踏まえて、ドローンレーザを実際の土砂災害現場で運用するための資機材の開発や、解析手法の提案を行うとともに、ドローンレーザ運用マニュアルを作成する。

6.2 自然災害時の現場対応型情報収集システムと情報分析・評価手法の開発

開発したリアルタイム・オルソ化システムを災害現場等において運用試験を行い、課題の抽出と性能の向上を目指す。

7. 共同研究等外部との協力（予定）

- ・ 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
- ・ 東京大学空間情報科学研究センター
- ・ 京都大学防災研究所
- ・ 中日本航空
- ・ パスコ
- ・ 東京消防庁
- ・ 横浜市消防局
- ・ 相模原市消防局
- ・ 神戸市消防局
- ・ 福島ロボットテストフィールド

(13) 消火活動の検証技術の研究開発

(火災実験と火災シミュレーションによる新技術開発)

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

火災災害調査部 原因調査室 鈴木健、阿部伸之
技術研究部 地震等災害研究室 大津暢人

1. 目的

団塊の世代のベテラン消防隊員が大量に退職してしばらく経過した後に、現場経験の少ない消防隊員が現場に増加する一方で、出火件数は平成 19 年以降おおむね減少傾向となっていることから、火災現場において実際に消火活動を経験する場面が必然的に少なくなっている。その上で、建物の構造や用途の多様化による火災現象の複雑化にも対応するための現場経験が、消防隊員には必要になってくる。

このような現状から、消防隊員の火災現場における状況認識能力の不足、変化への対応が困難となっていることであり、少ない現場経験だけではそれらを解消するための技術習得は十分とはいえない。

そこで、現場経験を補い消防隊員の消火活動時における状況認識能力と予測能力の向上を目的として、消火実験および火災シミュレーションを通して消火活動を検証する技術の研究開発する。この検証技術を用いることにより消火活動後にどのような消火活動が最適であったかを消火条件を変えることにより確認することができる。本研究開発は、「受傷・殉職事故の実態調査と分析」、「火災シミュレーションを用いた消火活動検証技術の研究開発」、「消火実験による消火活動時の危険回避に資する技術」の 3 つの研究項目から構成され、項目間で成果を共有しながら研究開発を進める。

2. 研究内容

ここでは、5 か年で実施する 3 つの研究項目の計画概要を示す。あわせて、各年度の計画スケジュールを表 1 に示す。

① 受傷・殉職事故の実態調査と分析

火災出動に伴う消防隊員の受傷・殉職事故について、時間的要素、空間的要素、人的要素、局面変化、傷病原因と傷病名、複数名が殉職した出動から発生傾向を把握することによって、全国の消防本部において今後の対策立案のための基礎資料とすることを目的とする。なお、本研究における火災出動とは出動指令から帰署までの消防活動を対象としている。どのような受傷事故が発生しているのかを把握するために、受傷事件事例における消防活動や火災性状の実態調査と分析を実施する。

② 火災シミュレーションを用いた消火活動検証技術の研究開発

受傷事件事例を踏まえ、建物の開口部開閉状況や火源条件等の計算条件を変更して、消火活動を検証可能とする火災シミュレーション技術の研究開発を実施する。消防研究センターでは、これまで火災シミュレーション技術を主に火災原因調査の火災再現のために活用しており、出火から 10 分程度の火災初期（消火活動前）の状況を再現することが多い。しかしながら、現実には消防隊による消火

活動があるものの、火災シミュレーションに消火活動による放水モデルは実装されていないため、消火活動の効果は火災シミュレーション結果には反映されない。そこで、放水モデルを火災シミュレーションに実装することにより、火災シミュレーションの対象範囲をさらに消火活動にまで広げ、消火条件を変えることにより消火活動が最適であったかを検証可能にする技術の開発を目指す。

③ 消火実験による消火活動時の危険回避に資する技術

受傷事事故例を踏まえ、火災実験を通して受傷事故につながる火災拡大などの急激な火災の変化を捉えられるような計測技術の研究開発を実施する。あわせて、火災シミュレーションに実装する放水モデルを構築するための放水特性データ、ならびに火災シミュレーション結果の妥当性を確認するための火災データを取得するための消火実験を実施する。

表 1 各年度の研究計画スケジュール

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
① 受傷・殉職事故の実態調査と分析	受傷・殉職事事故例における消防活動、事故発生傾向の把握、火災性状の実態調査と分析				
② 火災シミュレーションを用いた消火活動検証技術の研究開発	スプリンクラー設備と消火の仕組みに関する調査	スプリンクラー放水モデルとして活用可能か検証	受傷事事故例火災シミュレーションで再現可能か妥当性を確認	受傷事事故例火災の消火活動の効果を実験で再現可能か妥当性を確認	
③ 消火実験による消火活動時の危険回避に資する技術	実大実験の準備	予備実験の実施	実大実験の実施		

3. 令和 4 年度の研究成果

① 受傷・殉職事故の実態調査と分析

- (1) 受傷・殉職事故に関する統計調査を全国の消防本部を対象として行い発生傾向を把握、分析した。
- (2) 本研究では、都道府県庁所在地を管轄する 47 消防本部を対象に、1990 年 1 月 1 日から 2019 年 12 月 31 日までの 30 年間に発生した火災出動に伴う消防隊員の受傷に関する調査を行い、情報が得られた 1,170 名について発生傾向を把握した。

その結果、次のことが明らかになった。受傷者の発生が最も多い時間帯は 14 時台および 15 時台であるが、重症者の割合が高いのは 0 時台および 1 時台である。受傷者に占める重症者の割合は年齢が上がると増加する傾向にある。受傷原因は多い順に、物体落下、熱中症関連、転倒であり、最多の傷病名は多い順に打撲、骨折、熱傷であった。年齢が若いほど熱中症関連の割合が高く、また破壊活動中の受傷者数も多い。高齢であるほど転倒、床抜け以外の墜落、過負荷、踏み外しが増加している。加齢に伴う筋力や運動能力、柔軟性の衰えや注意力の低下を考慮することが必要であると考えられる。

② 火災シミュレーションを用いた消火活動検証技術の研究開発

- (1) ガンタイプノズルの放水時の水流について、実験を通して観察した。
- (2) ガンタイプノズルのストレート放水について、放水シミュレーションを実施し、放水角度の違いによる床面への水の累積質量や水平及び垂直方向の射程距離について評価した。

- (3) ガンタイプノズルの噴霧放水について、放水シミュレーションを実施し、実験時の噴霧放水の様子を放水シミュレーションで定性的に再現できることを確認した(図1)。



図1 噴霧放水時の放水シミュレーションと放水実験との比較(両結果を重ね合わせて表示)

③ 消火実験による消火活動時の危険回避に資する技術

- (1) 公設消防機関で使用されている消防用ガンタイプノズルを用意し、その特性を調べた。

4. 令和5年度の研究計画

① 受傷・殉職事故の実態調査と分析

- (1) 消防隊員の受傷および殉職事故に関するこれまでに得られたデータをもとに、傷病原因とその他の因子の関係について分析を進める。

② 火災シミュレーションを用いた消火活動検証技術の研究開発

- (1) 受傷事故事例火災を参考にした火災実験と、同条件の火災シミュレーションの結果を比較し、その相違について検討する。
- (2) 火災シミュレーションに実装されているスプリンクラー設備モデルを消火活動の放水モデルとして活用可能かさらに検証する。

③ 消火実験による消火活動時の危険回避に資する技術

- (1) 公設消防機関で使用されている消防用ガンタイプノズル(令和4年度に用いた会社とは異なる)を用意し、その特性を調べ、比較する。
- (2) 火災実験を行う。消防用ガンタイプノズルで放水を行った際に、火災の様子がどのように変化するかを測定する。

5. 令和6年度以降の研究計画

① 受傷・殉職事故の実態調査と分析

- (1) 各消防本部に対して、殉職および受傷事故に関する調査を行う。
- (2) 典型的事例や特異事例、または調査が可能な事案に関して、事例調査を行う。

② 火災シミュレーションを用いた消火活動検証技術の研究開発

(1) 受傷事故事例火災を参考にした消火活動を火災シミュレーションで再現可能か妥当性確認を実施する。

③ 消火実験による消火活動時の危険回避に資する技術

(1) 実大実験を実施する。

(2) 放水による燃焼状況の変化について計測を実施する。

(3) 放水による熱流束の変化について計測を実施する。

(4) 放水による冷却効果について調べる。

6. 共同研究等外部との協力

・横浜市消防局

(14) 火炎上空の気流計測のための無人飛行制御技術の研究開発

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 6 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¹⁾。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¹⁾、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。特に火災現場でのドローンを用いた偵察活動や消火支援活動なども検討されはじめており、火炎上空での飛行に関する知見の蓄積が必要である。

本研究では、火災現場上空を自律的に飛行し、現場上空の気流計測を行うための機体システムと、その飛行制御技術の研究開発を行う。図 1 のように、火炎上空の風向・風速を観測する手段の開発と、火災現場でのドローンを用いた偵察活動や消火支援活動に対する運用の安全性向上に役立つ。

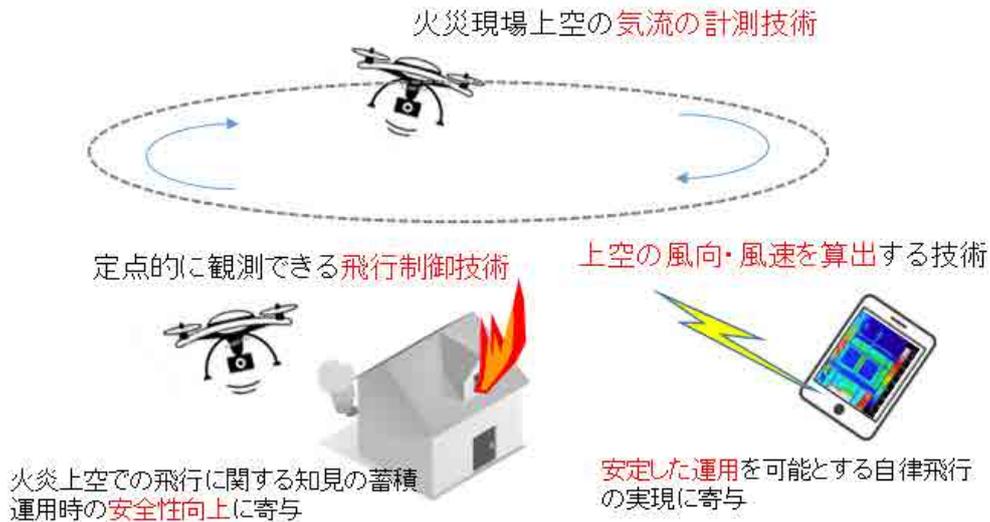


図 1 開発する機体システムと制御技術のイメージと研究の目的

2. 研究内容

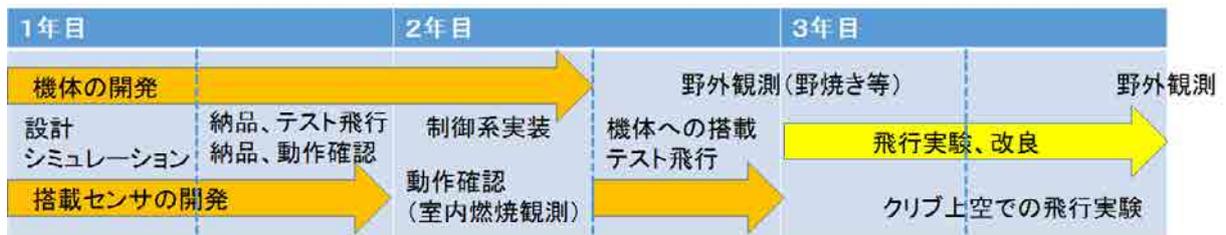
本研究では、マルチロータ型ドローンの飛行制御技術の向上を目的として、以下の 2 つの要素技術

の研究開発を行う。

- (1) 超音波風速計を搭載した状態で、目標位置に自律的に 5～15 分間程度滞空できる飛行制御技術と機体システムを開発する。
- (2) 機体に搭載した GNSS (Global Navigation Satellite System : 全球測位衛星システム)、IMU (Inertial Measurement Unit) などの計測値と超音波風速計の計測値から、飛行位置における風向・風速を算出する手法を開発する。

本研究の目的のための機体を設計、開発し、機体に搭載したセンサの情報から、火炎上空の気流を計測するための、機体の位置と姿勢の制御技術ならびに無人機システムを開発する。技術開発に係る火炎上空での飛行に関する知見の蓄積と、開発した技術を用いることで、火災現場でのドローンを用いた偵察活動や消火支援活動に対する運用の安全性向上に役立てる。3 年間の研究計画を表 1 に、それぞれの年次の研究計画を次章に示す。

表 1 研究計画



3. 令和 3 年度の研究成果

研究に用いる実験用機体の設計と、機体に搭載する超音波風速計などのセンサの選定、計測技術ならびにシステムの開発を進めた。実験機体の仕様を決定し、機体搭載用超音波風向風速計測システムと機体表面温度センサを開発し、地上での予備計測実験を実施した。また、野焼き観測における飛行実験の実施に向けた実験計画の検討と、地上からの予備観測を実施した。

4. 令和 4 年度の研究成果

目標位置に留まって、風向風速を定点計測するための機体の位置と姿勢の制御技術の開発を進めた。飛行試験において、試作機体の自動離着陸機能と、任意の高度(対地高度 10 m 毎)に目標時間自動で滞空する制御機能の性能検証を実施した。併せて、2 次元超音波風向風速計を試作機体の上部と下部に一つずつ搭載し、飛行中の対気速度を計測するためのシステム開発を行った。

5. 令和 5 年度の研究計画

開発した機体を用いて、クリブ上空および野焼き上空における気流計測を実施し、飛行制御機能およびデータ計測についての性能評価を行う。

6. 参考文献

- 1) 総務省消防庁(消防・救急課)：消防防災分野における無人航空機の活用の手引き、2018

(15) 災害時における自力避難困難者および消防職団員の安全確保に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 年 3 月

技術研究部 地震等災害研究室 大津暢人

1. 目的

人口減少・高齢化により特に地方においては職団員の減少の可能性がある局面においても、火災・水害や津波等から自力避難困難者の避難安全を確保する必要がある。また、東日本大震災では 281 名の職団員が犠牲となったが、今後の災害に向けてこれら救助者の津波殉職を最小化する必要がある。

2. 研究内容開発の概要

ここでは、5 か年で実施する研究項目の計画概要を示す。あわせて、各年度の計画スケジュールを表 1 に示す。

(1) 避難行動時間予測の高精度化

先行研究では分けて捉えられることが多かった屋内および屋外の避難行動を一連として捉え直すことによる避難行動時間予測の高精度化をおこなう。

また、開発した避難器具の活用による、避難時間の短縮化および、救助者の高齢化を見据えた省力化の検討をおこなう。

(2) 出動困難区域の検討

過去の津波災害等における消防職団員の事故事例やヒヤリハットについて調査をおこなうとともに、消防署所や団詰所を起点に、津波到達時間までに出勤および退避が困難な区域を割り出す手法について検討し提案する。



図 1 津波避難訓練の様子



図 2 津波避難計画の概念図

上記(1) および(2) の成果・方法を公開することによって、各消防署所・団詰所における出勤・退

避困難区域図の作成に結びつける。それにより、想定される十勝沖、首都直下、相模トラフ、南海トラフ等の地震における、自力避難困難者および職団員の人的被害の軽減につなげる。

表 1 各年度の研究計画スケジュール

	令和 3 年度	令和 4 年度	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
(1) 避難行動時間予測の高精度化	<ul style="list-style-type: none"> 開発した避難器具の活用による、避難時間の短縮化および、救助者の高齢化を見据えた省力化の検討 自力避難困難者による屋内および市街地の避難訓練の計測 			<ul style="list-style-type: none"> 過年度の計測によって得たデータの分析をおこなう。 	
(2) 出動困難区域の検討		<ul style="list-style-type: none"> 過去の津波災害における消防職団員の事故事例やヒヤリハットについて調査 	<ul style="list-style-type: none"> 消防署所や団詰所を起点に、津波到達時間までに出勤および退避が困難な区域を割り出す手法について検討する。 		

3. 令和 3 年度の研究成果

- (1) 自主防災組織が支援する要援護者の避難行動に関して、平成 30 年西日本豪雨を例に研究を行い、避難開始時間の延伸に影響を与える因子について明らかにした。論文投稿（日本火災学会）等をおこなった。
- (2) 要援護者の避難困難区域について、自主防災組織等が地区防災計画に反映する方法について、支援者による支援行動の平面移動軌跡を類型化した。論文発表（地区防災計画学会）等を行った。

4. 令和 4 年度の研究成果

平成 30 年西日本豪雨について岡山県総社市下原地区居住の全要援護者 22 世帯 26 名に依頼を行い、調査に応じた 16 事例（世帯）18 名に聞き取りを実施し、以下の通り結果をまとめた。

下原・砂古自主防災組織は、要援護者台帳、防災マップ、防災計画等の計画整備に加え、本部組織のみならず 7 名の班長が避難の呼びかけを担当する重層的な体制で、要援護者宅を含む地区内 110 戸の全戸訪問などの対応を行った。

対象とした要援護者全 16 事例 18 名は浸水に対して切迫避難することなく水平避難を行った。避難決断要因は多い順に「アルミ工場の爆発」、「親族の呼びかけ」、「自主防災組織の呼びかけ」であった。

爆発後に生じた避難上の支障は、①爆風や飛散物による自宅の被害、②自宅の被害に伴う要援護者の心身状態、③自宅に飛来した燃焼物に対する初期消火、の大きく 3 つに起因したことが確認された。

避難計画を立案する上での課題として、自主防災組織による全戸訪問は危険波及時間が十分長い場合は可能であるが、そうでない場合は人的被害が増加する可能性がある。平成 30 年西日本豪雨時の下原地区の条件では上記の通りであったが、異なる条件下では地域特性や災害特性等に対応した検討を要する。

5. 令和 5 年度の研究計画

- (1) 地域住民および高齢者施設における訓練を計測および分析することによって、屋内および屋外の

避難行動を一連として捉え直すことによる避難行動時間予測の高精度化をおこなう。

(対象候補地：沖縄県石垣市、和歌山県海南市、神奈川県藤沢市、など)

- (2) 避難支援器具の試作および訓練における試用によって、避難時間の短縮化および、救助者の高齢化を見据えた省力化の検討をおこなう。

(搬送支援器具の機構の試作準備をおこなう。)

- (3) 研究期間中に避難行動を伴う災害が発生した場合には、適宜必要な調査および分析をおこなう。

6. 令和 6 年度以降の研究計画

- (1) 過去の津波災害における消防職団員の殉職事例について、文献および聞き取り等、必要な手法を用いて調査をおこなう。

- (2) 消防署所や団詰所を起点に、津波到達時間までに出動および退避が困難な区域を割り出す手法について検討することによって、モデル地区における出動・退避困難区域図を試作する。また、沿岸部に位置する全国の消防本部に研究成果を周知する。

(16) 感染拡大期を含む救急出動要請件数増大期における 救急搬送時間短縮手法の研究開発

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 8 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. 背景及び目的

救急自動車による全国平均の救急搬送時間は延伸傾向のところ、さらに新型コロナウイルス感染症の感染拡大防止を図りながら、迅速な救急搬送と救命率の向上が求められている。

救急隊員は、基本的に無症状者を含むすべての傷病者に対して感染拡大防止策を講じているが、救急搬送後に傷病者の新型コロナウイルスへの感染が判明する事例も散見されており、通常の救急業務においても救急隊員は常に感染リスクにさらされている。

さらにインフルエンザや熱中症などの発症時期と新型コロナウイルスの感染症拡大期と重なると、急激に救急要請が増加するため、救急搬送時間を短縮する手法を開発し救急搬送能力を向上させることが必要不可欠である。

そこで、感染拡大防止対策として、救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去（傷病者の頭をカバーで覆い強制排気、紫外線照射によるウイルス殺菌等）する研究（図 1）を進める他、新型コロナの影響を含めた救急需要の将来推計とさらにこれに応じた救急隊の移動配置手法の開発等を通じて傷病者の迅速な搬送と救命率の向上を図る。



図 1 救急隊が浴びるウイルスを大幅に除去する研究のイメージ

2. 研究内容

2.1 救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する研究

既存救急車の換気装置は換気扇（5 分程度で車内の空気を入れ替え）のみである。また、応急処置時は救急隊と傷病者との顔の距離が数十 cm と距離が近くなり、現状の換気方法では救急隊員が浴び

るウイルスを大幅に除去するのは困難である。

この課題を解決する方法の一つとして、救急車の換気量を増やす方法に関して、救急車は外気温が-30度程度となる寒冷地から、40℃を超える暑い地域を走行することを考慮すると、これらの気象条件では冷暖房が効かなくなり生死にかかわる問題となる。そこで、換気量を可能な限り少なくする方法として、飛沫防止機能付き局所換気(図2)の研究を行う。



図2 飛沫防止機能付き局所換気装置(案)

また、救急車内に付着するウイルスの場所の特定やウイルス除去の必要性を検討する。

上記換気方法と合わせて、除菌装置の必要性も含めてシミュレーションや救急活動を模した実証実験により効果検証を行う。

2.2 救急需要の将来推計手法

現在の救急需要の将来推計手法(年代別の搬送率に将来人口を掛けた手法)は平成30年までの4年間で5.5%の差(図3)となっているのと、特に平成30年は前年までの差よりさらに大きな差となっているため、推計手法の見直しが必要である。また、現状の手法では消防本部単位の総件数推計のみであるが、今後の社会変化を踏まえた救急体制を検討するには、管内の出場件数の地域差を踏まえた対策が必要となる。これには、管内の地域差を把握可能な地域ごとに区切ったメッシュ予測が必要であるが、現在その手法はない。

また、昨今の新型コロナ禍においては、救急出場件数が減少しており、感染症による救急出場件数減少と言う過去に例がない状況となっており、この影響も分析することを予定している。

そこで、全国の救急データ及び関連データ(患者調査、独居率など)を用いて分析し救急需要の変動要因を明らかにするとともに、この変動要因を踏まえた将来推計手法(総件数(年間)、メッシュ予測(年間))(図4)を研究開発する。さらにこれを各消防機関で使用可能なシステム開発を行う。

このシステムは、各消防機関において長期的な救急体制検討材料として使用されることを想定する。

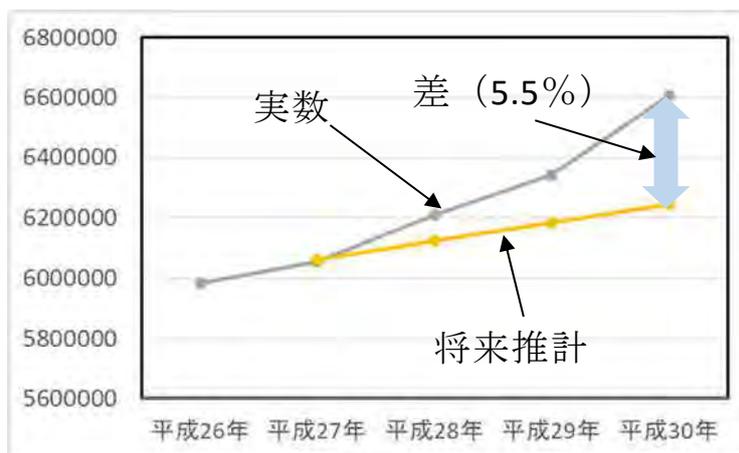


図3 過去の将来推計と実数との差（将来推計：平成26年に平成27～平成30年を予測）

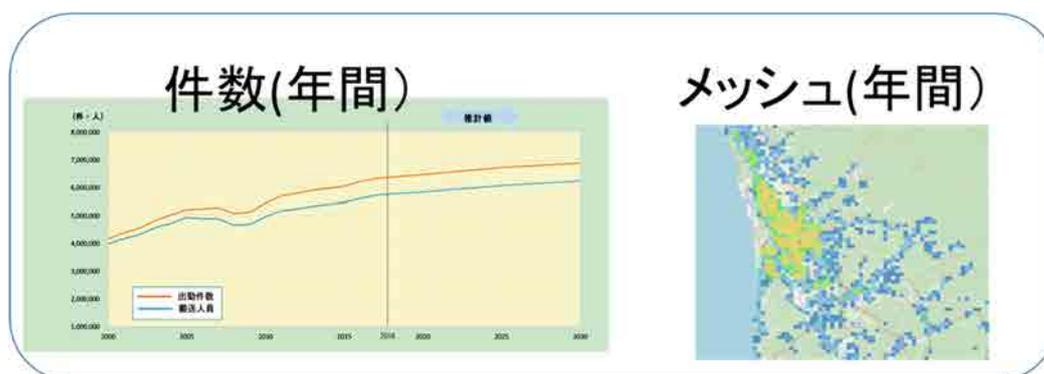


図4 将来推計手法のイメージ（件数(年間)、メッシュ(年間)）

2.3 搬送時間短縮手法

搬送時間短縮の手法として「救急隊運用最適化」「救急車の走行ルート上の信号を青に変えるシステム開発」「救急隊用多言語翻訳アプリの改良」の研究開発を行う。

1) 救急隊運用最適化

現在研究計画で行っている令和2年度完成予定の救急隊運用最適化では名古屋市全体で数%の現場到着時間短縮を見込んでいる。しかしこれは名古屋市における救急体制（市域全体の地形が平面的で部隊間の出場件数に極端な差が無い、24時間隊のみ等）に限定したモデルである。これは、山間地を有し部隊間の出場件数に極端な差がある消防本部や、既に一部で始まっている24時間隊に限定しない弾力的な運用方法、さらに今後の大きな行政的課題である広域化などには対応できていないため、これに対応した運用最適化の汎用モデルの検討が必要である。

そこで、これらに対応した救急隊運用最適化手法の汎用モデルの研究開発を行う。

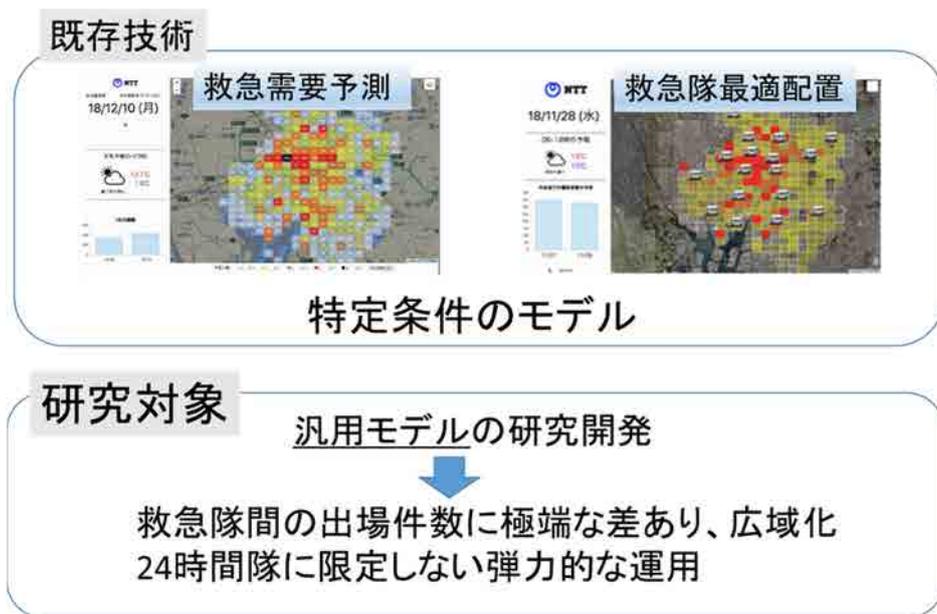


図 5 救急隊運用最適化の研究対象

2) 救急車の走行ルート上の信号を青に変えるシステム開発

これまで ITS Connect 技術^{注1)} の一つである「緊急車両存在通知」について、名古屋市及び豊田市で実証実験を行ったところ、搬送時間が短縮することが判明しており、現在その短縮要因について分析を行っている。この ITS Connect 技術を使い、搬送時間短縮により効果が高いと考えられる、緊急車両の進行方向の信号を青に変えるシステムの研究開発を行う。具体的には、救急車の走行ルートを分析し時間短縮効果が高い信号の抽出方法、青信号に変更するタイミングの検討等を行う。緊急車両向けに青信号に変えるシステムは既存技術として道路上に設置されたセンサー（ビーコン）を使った技術があるが、これはビーコンが設置された道路のみが対象となるのと、緊急車両へ専用の端末搭載が必要となる。本提案ではビーコン設置路線以外へ設置が可能となるのと、搭載する端末が現在研究を行っている ITS Connect 技術の端末をそのまま使えるのがメリットとなる。



図 6 ITS Connect を利用した緊急走行システムのイメージ

¹ ITS Connect 技術：見通しが悪い交差点等において、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）

3) 救急隊用多言語翻訳アプリの改良

外国人傷病者に対する迅速適切な対応を行うため、救急隊用の多言語翻訳アプリ「救急ボイストラ」を既に平成 29 年に実用化済みである。このアプリは令和 2 年 6 月現在で 78.1 % (導入 567 消防本部 / 全 726 消防本部) が導入し、使用実績は既に 2,861 件 (令和元年中) ある。

この救急ボイストラについて、定型文の追加要望 (自分で定型文を作れないか、妊娠の確認、住所をこの紙に書いてください等)、うまく活用できなかった (誤訳がある、周りの音を拾ってしまう等) 等の改善意見が寄せられている。また、新型コロナウイルスなどの感染症への対応も行っていない。さらにベースの多言語翻訳技術において話した言語を自動で認識する機能が追加されている。この機能の活用を含めた改良版救急ボイストラの研究開発を行う。この改良には、運用サーバーの能力やアプリの更新対応 (導入済み約 5,000 台) 等を踏まえ更新が滞りなく行える内容とする予定。



図 7 救急ボイストラの改良内容

表 1 5 カ年研究計画

	令和 3 年	令和 4 年	令和 5 年	令和 6 年	令和 7 年
1. 救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する研究	・試作機開発 ・ウイルス除去効果のシミュレーション	試作機を用いた消防本部での救急活動への影響に関する実証実験	実証実験を踏まえた改良		
2. 救急搬送件数の将来予測手法の改良	新型コロナウイルス患者数、死者数と救急搬送データ相関分析	予測モデルの開発	将来推計システム開発	実証実験を数本部で予測してその精度を検証	実証実験を踏まえた改良及び完成
搬送時間短縮手法	1) 救急隊運用最適化の汎用モデル	新型コロナウイルスの影響分析	移動配置手法開発、移動配置実験機製作	実証実験、改良	実証実験を踏まえた改良及び完成
	2) 救急車交差点通過時の優先通行手法	救急車走行ルート分析	短縮効果が高い交差点の抽出		
	3) 救急隊用多言語音声翻訳アプリの改良	改良ニーズ調査、定型文の改良	定型文作成	実装化の検討	

3. 令和 3 年度の研究計画と成果

3.1 救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する研究

救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する方法として、1) 強制換気バージョン、2) 気流制御バージョンの 2 種類の検討を行っている。1) 強制換気バージョンは、傷病者の頭部を覆ってウイルスの拡散を防ぐ感染防止カバー及び傷病者から排出されるウイルスをフィルターにより除去する換気装置で構成され、ウイルス除去効果は高いが装置導入にある程度の予算が必要になる構成で、予算に余裕がある消防本部向けとなる。また、2) 気流制御バージョンは、ウイルスを救急隊員に届きにくくするために救急車内のエアコン吹き出し口のルーバーの向きや換気量の調整等で救急車内の気流を前方から後方にゆっくり流す気流制御を行うことを目的とし、1) 強制換気バージョンよりウイルス除去効果は低い、導入費を比較的安くし導入を行いやすいバージョンを目指している。

令和 3 年度は、1) 強制換気バージョンでは試作機開発を行い、ウイルス除去効果に関して検証及び試作機の改良 (図 8) を行い、これを令和 4 年度も継続して行っていく。2) 気流制御バージョンは、気流制御シミュレーションに必要な救急車内の気流測定を、外気温が高い夏季の冷房使用の場合と、外気温が低い冬季の暖房使用の場合の 2 パターンを行った (図 9)。また、極端に外気温が低い寒冷地

(北海道)での気流測定も予定していたが、新型コロナウイルスの感染拡大による出張抑制のため行うことができなかった。

この測定結果を用いて、救急車内の気流シミュレーション(図10)を実施するためのシミュレーションの前処理を実施中である。



図8 感染防止カバーの試作機

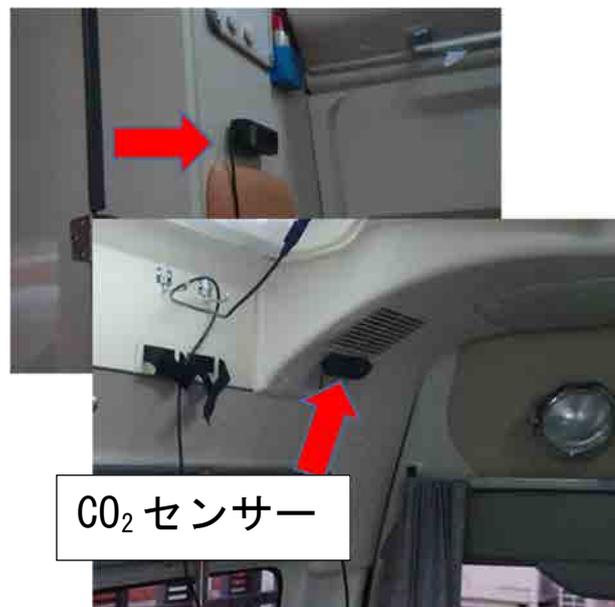


図9 救急車内の気流測定状況
(CO₂濃度の変化を気流の変化として測定する方法)

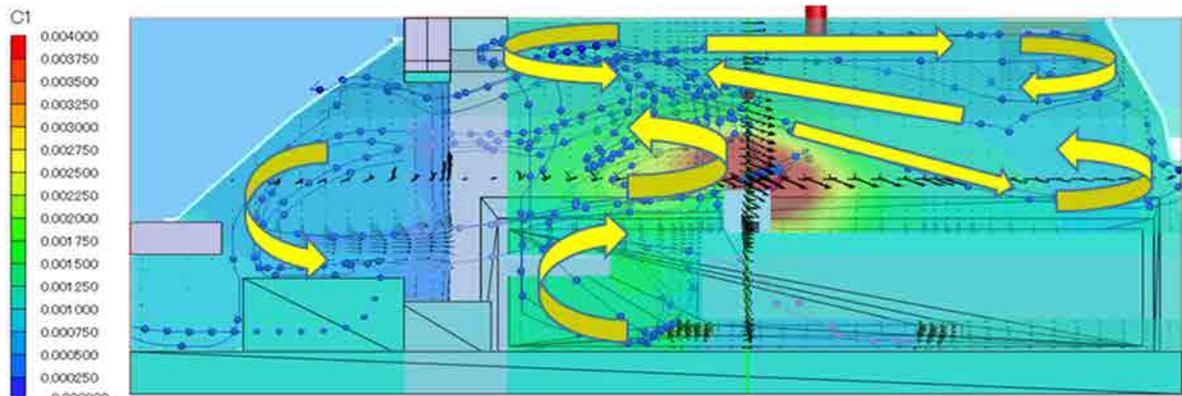


図 10 救急車内の気流シミュレーションイメージ

3.2 救急需要の将来推計手法

救急搬送人員の全国データを新型コロナ流行前である令和元年と新型コロナ流行中の令和 2 年のデータ比較（令和元年 598 万件、令和 2 年 529 万件（11.4 %減））と、救急車利用者への救急車を呼んだ理由に関するアンケート調査（WEB アンケート サンプル数 3 万件（令和元年～3 年に救急車を呼んだ人））を実施した。

その結果、全国データの比較では、月別に見ると「接触機会の 8 割削減や飲食店や百貨店などの休業、テレワークの徹底、多くのイベントの中止」と言った強い制限を要請した最初の緊急事態宣言（令和 2 年 4 月～5 月）においては、前年同月比約 2 割の減少がみられ、その後の 7 月～12 月は約 1 割の減少となっていたことが判明した。また年代別に見ると若年層の減少率が大きいことが明らかになった。救急車利用者へのアンケート調査は、データの収集を終了し今後分析を進める予定である。

3.3 搬送時間短縮手法

1) 救急隊運用最適化

最適配置システムは、最適配置場所提示の「時間間隔」と「最適配置場所」の組み合わせにより救急隊の運用手法が異なる。「時間間隔」は、15 分毎等のリアルタイムに最適配置場所指示を行う方法（以下 リアルタイム）と、1 日毎等の事前に最適配置場所指示を行う方法（以下 事前）の 2 つがある。また、「最適配置場所」は、消防署所に限定した場合（以下 署所間）と、自由な場所（以下 自由）の 2 つがある。これらの組み合わせは「リアルタイム・署所間」「リアルタイム・自由」「事前・署所間」の計 3 パターンとなる。（「事前・自由」は救急隊の待機場所を路上などで長時間確保する必要があり実施が困難なため対象外とした）

令和 2 年度までの名古屋市消防局を対象とした研究では、「リアルタイム・自由」「事前・署所間」の研究は行ったが、「リアルタイム、署所間」に関しては、検討を行っていなかった。また、地形や人口分布の特徴として名古屋市は平坦で人口分布の極端な差が無いところであったが、今後の汎用モデルを検討する上では、他の特徴を持った地域での検証が必要である。そこで、山間地を含み管轄内で大きな人口分布の差がある札幌市消防局を対象として、これまで行ってこなかった「リアルタイム、署所間」の机上シミュレーションを実施した。ここまで説明した検討パターンを図 11 に、札幌市消防局の机上シミュレーション結果を表 2 に示す。

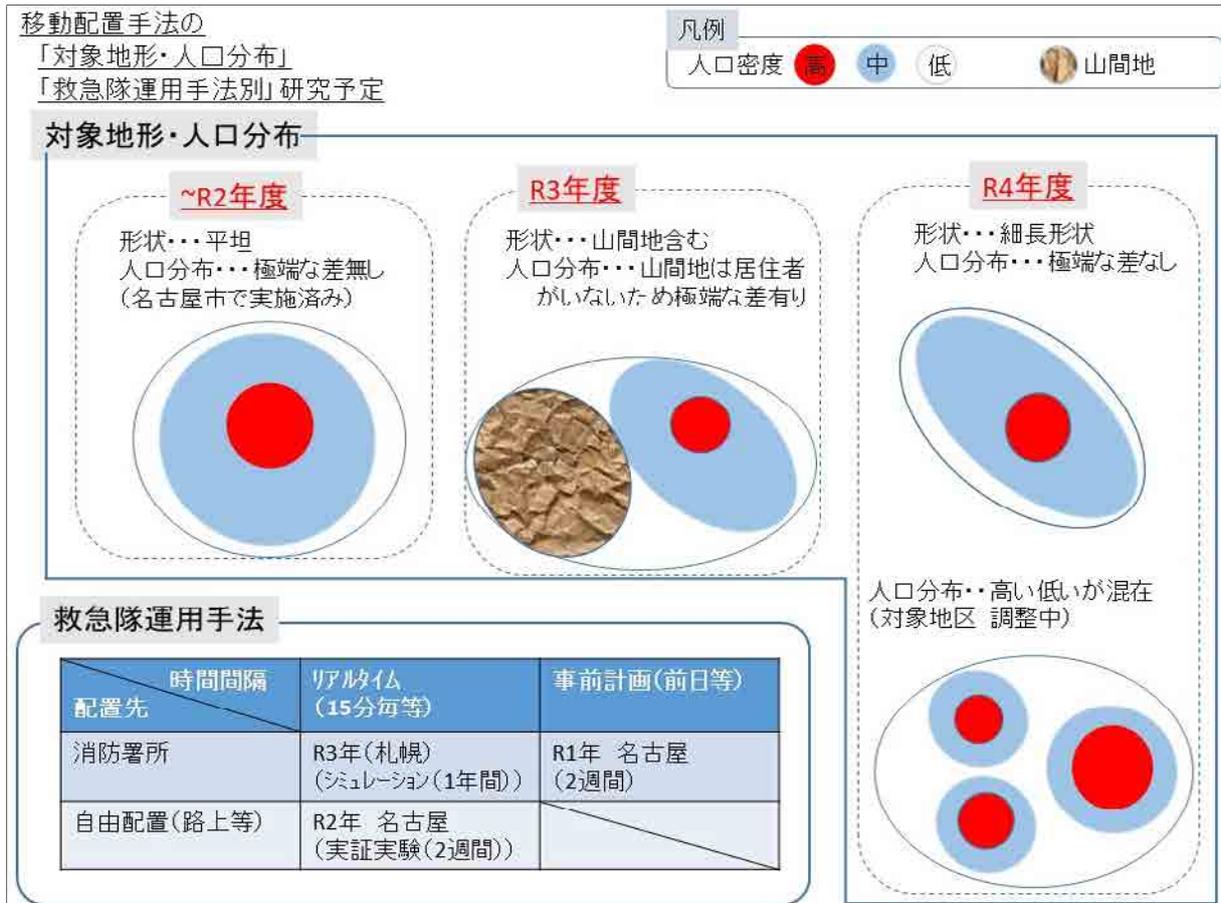


図 11 最適配置手法の対象地形・人口分布と救急隊運用手法の検討パターン

表 2 机上シミュレーション結果 (対象消防本部：札幌市消防局)

平均現着距離短縮効果	1.6% (暫定値 [※])
対象期間	2021年1月～10月 (全日)
時間帯 (短縮効果が高い時間帯を選定)	9～11時、17～18時
計算対象事案全数 (最適配置していない事案も含む全ての事案)	12,651件
備考	※暫定値とは、効果が低く最適配置を行わない日を含んだ値。最適配置の実施日のみを対象とすると数値が上昇する可能性有り。今後対象日を札幌市と検討予定。

今後救急隊員や指令員への負担感、導入やランニングコストも踏まえた社会実装を実現するための方向性に関して、消防機関等とのディスカッションを行った。その結果、「事前・署所間」が最初の社会実装パターンとして、最も実用化の可能性が高いと見込まれるため、今後このパターンを主体に社会実装に必要な検討を行うこととした。また、昨年度までの名古屋市消防局を対象とした実証実験では2週間行ったが、社会実装化には長期での検証が必要との意見があったため、1年間程度の実証実験を令和5年度に実施することを検討することとした。

2) 救急車の走行ルート上の信号を青に変えるシステム開発

救急車走行ルート分析を行う予定であったが、新型コロナウイルス感染拡大による出張抑制により調査を実施できず、分析データを入手することができなかった。

3) 救急隊用多言語翻訳アプリの改良

令和2年度末に実施した救急ボイストラの定型文追加要望調査の結果を踏まえ、継続して定型文の追加項目を検討している。

4. 令和4年度の研究計画と成果

4.1 救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する研究

1) 強制換気バージョン、2) 気流制御バージョンの両方とも令和3年度に引き続き試作機を製作し、計5回(4月、7月、9月、11月、2月)の救急現場を想定した検証実験を行うとともに、気流制御に必要な基礎データとなる寒冷地での気流測定実験を実施した。以下にその概要を示す。

1) 強制換気バージョン

感染防止カバー及び強制換気装置の改良版を製作しその使用感などの課題を明らかにするため救急現場(外傷や内因性)を再現した検証実験を実施した。

その結果、感染防止カバー及び強制換気ファン(図12)に関しては、救急活動における以下の動作手順すべてを適用対象としていたが、

救急隊の動作手順

傷病者接触→ストレッチャーに傷病者を乗せる→救急車内への収容→搬送→病院到着→病院内への搬送

この中で

「傷病者接触→ストレッチャーに傷病者を乗せる→救急車内への収納」(図13)

「病院到着→病院内への搬送」(図14)

に関しては、試作機の感染防止カバーと強制換気ファンがストレッチャーの移動等に対して不安定で途中でカバーや配管が外れたこと、また配管、カバー及び強制換気装置の形状が大きくストレッチャーの移動や病院内において傷病者をストレッチャーから病室のベッドに移動する場合において、かなり障害になることが判明した。



図 12 感染防止カバーと強制換気ファン（現場→救急車内収容時）



図 13 現場でストレッチャーに乗せる



図 14 院内でのベッドへの移し替え

さらに、救急車内での使用においても、座位（ストレッチャーの上に座った状態）（図 15）において、現状の感染防止カバーは傷病者の頭頂部に当たることが判明した。

そこで、これらの結果を踏まえ、感染防止カバー及び強制換気ファンを使用する場所を救急車内のみ（救急車への収容～病院到着まで）に限定することと、感染防止カバーに関してその構造材や形状を改良することとなった。



図 15 座位の状態でも頭頂部に感染防止カバーが当たっている状態

・感染防止カバーの改良及び効果検証

感染防止カバーに関して課題となった強度や取扱いを行いやすくするために、使用材料をポリエチレンからポリカーボネイトへ変更するとともに、ストレッチャーへの取り付け部分にはブランケット（3D プリンター製作）変更等の改良を行った。この試作機を使って強制換気実験（図 16）を行った結果、傷病者の呼気を想定したスモークマシンの煙が車両の空調気流の影響を受けることなく強制換気装置で吸引可能になったことが明らかになった。また、強度や使用感に関しては材料の変更などにより改善されてはいたが、まだ課題があるため引き続き改善を行っていくこととした。



図 16 感染防止カバーの改良品での気流制御実験

2) 気流制御バージョン

気流制御に用いるカーテン（図 17）に関して、このカーテンを救急車内に設置した場合の救急活動への影響について救急車への傷病者収容時、胸骨圧迫実施時について検証した。

その結果、特に救急活動への影響は大きくないが、救急車天井の手すりが持ちにくくなることから、手すりの下に仕切りカーテンを付ける。また、処置中に邪魔にならないように蛇腹で折りたたんで収納できる構造に改良することとした。

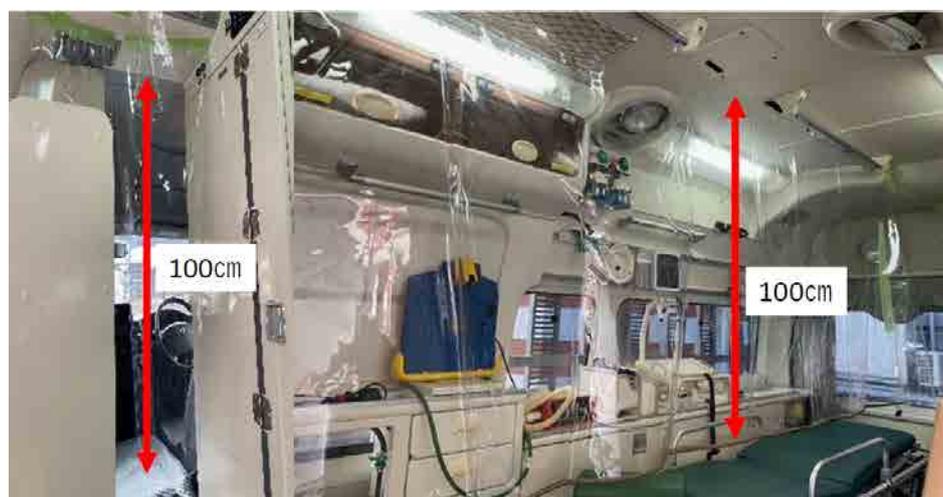


図 17 救急車天井に取り付ける仕切りカーテン

3) 寒冷地での気流測定実験

気流シミュレーションに必要で、令和 3 年度には新型コロナ感染拡大の影響により実施できなかった、寒冷地（-20℃前後）での救急車内の気流測定実験を北見地区消防事務組合で行った。実験結果に関しては現在分析中である。



図 18 寒冷地での救急車内気流測定（寒冷地の救急車）



図 19 寒冷地での救急車内気流測定（救急車内の測定状況）

4.2 救急搬送件数の将来予測手法の改良

令和 2 年に続き令和 3 年中の救急出場件数が新型コロナの影響と思われる要因で令和元年中までと比較して減少していたのが、令和 4 年中に関しては令和 2 年、3 年中と同じ新型コロナの影響下にもかかわらず状況が一転し、救急需要が逼迫した状態となり多くの消防本部で過去最高の救急出場件数となった。

この新型コロナの影響下において、救急出場件数の大幅な増減が発生していることに関しては、現段階では明確な根拠には至っていないが、令和 2 年と 3 年の減少要因は主に感染防止を目的とした行動抑制が大きな原因ではないかと想定している。また令和 4 年の大幅な増加に関しては、令和 2、3 年に実施された行動抑制が緩和されれば通常の生活形態に戻るにより新型コロナ以前の救急要請状

況に戻ったことと、さらに、救急車に限らず一般の診療においても発熱などの新型コロナ関連での医療機関への受診困難な事案が発生したことにより、受診可能な医療機関を見つけれない傷病者が救急車を利用したことによるものではないかと考えている。

今後、最新のデータを入手し分析を続け救急需要増減の要因についてさらに検討を進めていく予定である。

4.3 搬送時間短縮手法

1) 救急隊運用最適化の汎用モデル

「事前・署所間」に関して、令和5年から予定している実証実験準備として、さいたま市消防局を対象として机上シミュレーションを実施した。その結果、既存部隊の配置換え（条件1）、移動先を最も効率が高い署所に1隊増隊した場合（条件2）、増隊場所を1か所に固定した1隊増隊（条件3）とも、既存の配置より現場到着距離が短縮することが判明した。

実証実験用の実験機を製作しその予備実験（シミュレーション担当のみの実験）を実施した（図20）。

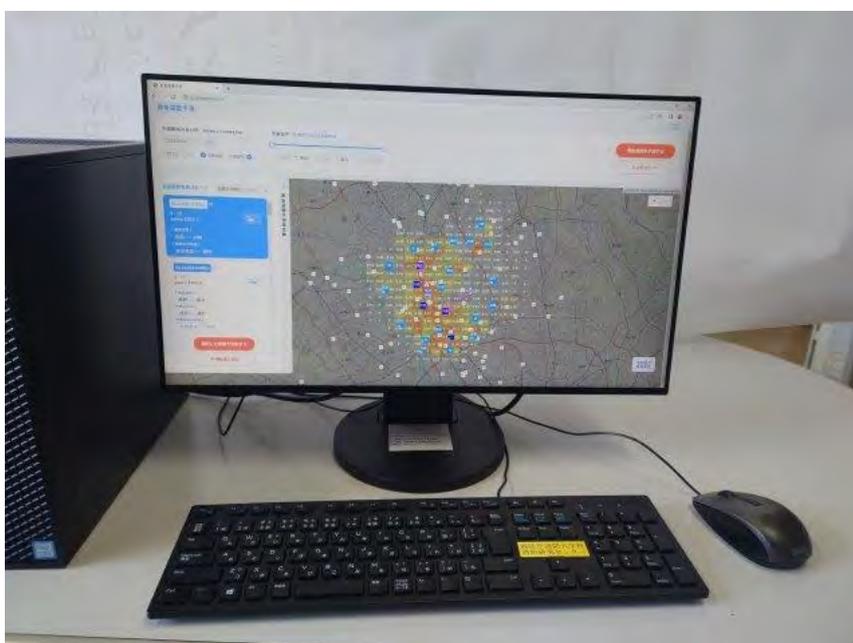


図20 実験用端末

2) 救急車交差点通過時の優先通行手法

研究に必要な救急車の走行ルート情報を調査した結果、既に救急車約5,000件の走行データ（走行ルートなど）を保有している消防本部があることが判明した。今後このデータを用いた研究を進めるため、連携体制に関して検討を行う。

3) 救急隊用多言語翻訳アプリの改良

定型文の改良に関して検討を行っているが、翻訳データのログの分析により定型文の使用頻度が下がっていることが判明した。この理由について一部の使用者へ確認したところ音声翻訳部分の予測精度が上がっていることなどから、定型文を使わなくても十分救急現場で使えるものになっているからではないかとの意見があった。そこで、定型文機能の必要性について使用している全消防本部に調査を行っており、この結果を踏まえ、今後の定型文機能の改修について検討を行う。

5. 令和 5 年度の研究計画

5.1 救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する研究

1) 強制換気バージョン、2) 気流制御バージョンの両方とも令和 4 年度に引き続き研究開発を継続し、感染防止カバー及び強制換気装置の改良及び感染防止効果について検討を行う。さらに、複数の消防本部において実証実験（1 週間程度～）を行う予定である。

5.2 救急搬送件数の将来予測手法の改良

新型コロナに伴う救急需要の増減の要因を明らかにするために、最新のデータを入手するとともに分析を継続する。

5.3 搬送時間短縮手法

1) 救急隊運用最適化の汎用モデル

さいたま市消防局を対象として、2 週間程度の短期実証実験を 5 月頃に行うのと、9 月頃をめどに長期実証実験を行い、最適配置システムを完成させる予定である。

2) 救急車交差点通過時の優先通行手法

救急車走行ルート分析に必要なデータ分析を行う。

3) 救急隊用多言語翻訳アプリの改良

現在行っている定型文の必要性調査の結果により新たな定型文が必要となった場合には、定型文の検討を行う。

6. 研究協力・共同研究（予定）

6.1 救急隊員が浴びるウイルスを大幅に除去する研究

共同研究 広島国際大学

6.2 救急搬送件数の将来予測手法の改良

消防機関

6.3 搬送時間短縮手法

1) 救急隊運用最適化の汎用モデル

連携協定：さいたま市消防局

2) 救急車交差点通過時の優先通行手法

民間企業、消防機関

3) 救急隊用多言語翻訳アプリの改良

翻訳アプリの研究機関、消防本部

(17) 鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する 数理モデルの構築

研究期間：令和 2 年 4 月～令和 5 年 3 月

技術研究部 施設等災害研究室 吉田祐一

1. 目的

石油タンク等に代表される鋼製平底円筒貯槽（タンク）は、水平地震動による転倒モーメントによりロッキング運動が生じ、これに伴う側板の引張力により、底板の一部が浮き上がり、側板と底板の接合部（隅角部）に亀裂が生じて貯液が流出する危険性がある。我が国では、1978 年宮城県沖地震（M 7.4）の際に底板の浮き上がりが原因とされる重油の大量（3 基のタンクから合計約 68,000 kL）流出が発生している。この事故以来、国内において底板の浮き上がりに起因する油の大量流出は発生していないが、南海トラフ地震、首都直下型地震などの大地震の発生が危惧されているところであり、隅角部亀裂による油流出などの事故に対する予防上及び警防上の対策・施策を講じるには、地震動に対する底板の浮き上がり量を正確に予測する必要がある。しかし、浮き上がり量計算のための慣用計算法には、平成 30 年北海道胆振東部地震（M 6.7）で計器計測された浮き上がり量の再現が困難であることや南海トラフ想定地震動に対する浮き上がり量予測結果が現実的とは考えられないほど過大なものになるといった問題がある。

本研究課題では、慣用的な計算法では考慮されてこなかったタンクのロッキング運動の動的な性質を考慮して、精度よく底板の浮き上がり量を求める数理モデルの構築を目的とした研究を行う。

2. 研究内容

慣用的な底板浮き上がり量の計算法は、底板の面外剛性と側板自重により構成される復元モーメントが転倒モーメントと等しいと考えて回転方向の釣り合い式が立てられており、内容液の回転慣性力が考慮されていないものがほとんどである。一方、D'Amico and Taniguchi (2017) は、運動学的なアプローチから内容液の回転慣性力項を含めた並進－回転系の運動方程式（Taniguchi モデル）を導出している（図 1）。また、Taniguchi (2005) は、バルジング応答（並進方向の応答）が回転方向の応答との相互作用（ロッキング－バルジング相互作用）により低減すると考え、底板の浮き上がり量を評価する上でロッキング－バルジング相互作用を考慮することの必要性を説いている。さらに、Taniguchi らは、タンクのロッキング挙動の説明のために、ロッキング動液圧（Taniguchi・Segawa, 2008）やロッキング有効液質量及びロッキング－バルジング有効液質量（Taniguchi・Katayama, 2016）の算定手法も提案している。

本研究では、既往の慣用計算法では考慮されていない「回転慣性力」や「ロッキング－バルジング相互作用によるバルジング応答の低減」など、タンクのロッキング運動の動的な性質を考慮することにより、浮き上がり量の計算精度が向上する可能性に着目する。しかし、これまでに Taniguchi モデルによる時刻歴応答解析の実施例はなく、Taniguchi モデルにおけるタンクのロッキング運動に関する運動方程式の妥当性については十分検討されていない。本研究課題では、Taniguchi モデルを基礎として、

底板浮き上がり量の時刻歴応答解析を実施し、慣用算定法や計測記録等との比較から、Taniguchi モデルの運動方程式の妥当性や解析精度を検証する。

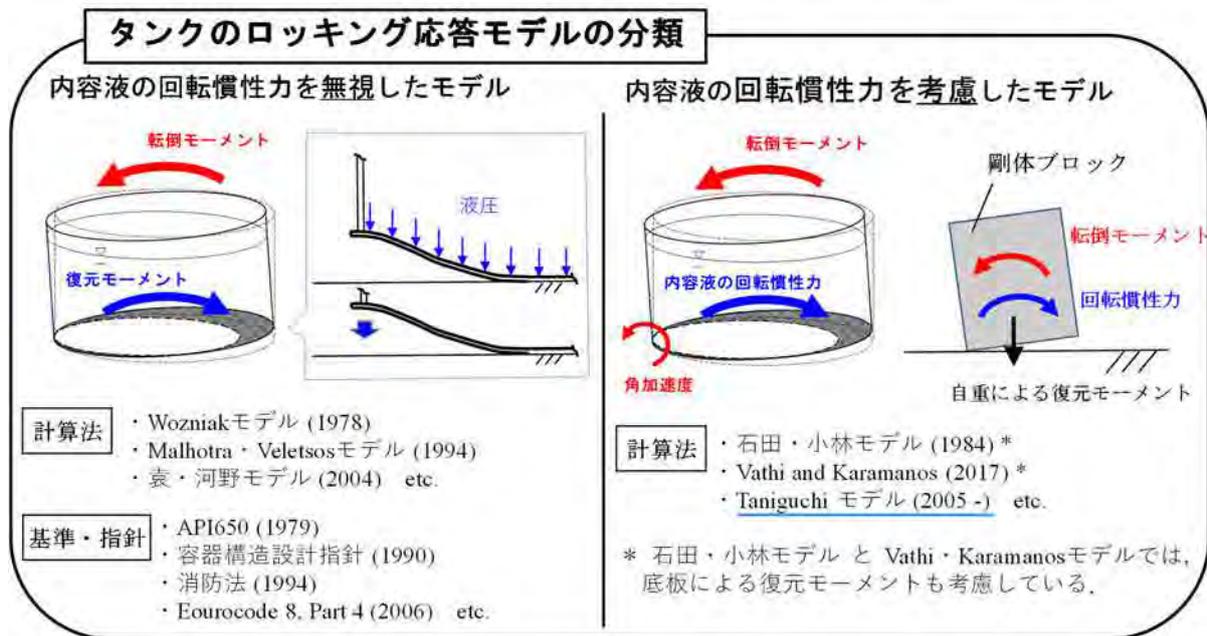


図 1 タンクのロッキング応答モデルの比較

表 1 年度計画

研究項目	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
底板変形量（浮き上がり量・浮き上がり幅）算定モデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ 底板の浮き上がり変形に関する解析的検証（FEM 動的解析・梁モデル） ・ ロッキング時の底板引き上げ力の観察（FEM 動的解析） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 内容液の回転慣性力に関する考察（FEM 動的解析） ・ 底板浮き上がり量の時刻歴応答解析の実施（Taniguchi モデル） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 提案手法（浮き上がり量の時刻歴応答解析法）の精度検証と改良（Taniguchi モデル）

() 内は、検証等に用いる結果の計算手法を示す。

3. 令和 4 年度までの研究成果

3.1 底板の浮き上がり変形に関する解析的検証

タンクのロッキング応答に伴う底板の浮き上がり変形のメカニズムを理解するために、3次元 FEM 動的解析 (0° 、 180° 方向に正弦波地動加速度を入力) の結果から、底板の浮き上がり変形量 (浮き上がり量・浮き上がり幅) の抽出・整理を行い、梁モデル (微小変形理論、静液圧载荷) から得られる浮き上がり量-浮き上がり幅の関係図と比較した。比較の結果 (図 2)、浮き上がり量が小さい範囲では、FEM 動的解析と梁モデルの結果が概ね合うが、浮き上がり量が大きくなるとこれらの結果が合わなくなることがわかった。さらに、幾何学的非線形性 (膜力の効果) を考慮した梁モデル (Malhotra et al.,1994) を用いて同様の検討を行った結果、浮き上がり量-浮き上がり幅の関係を正確に求めるには、膜力と動液圧の影響を考慮する必要があることがわかった。

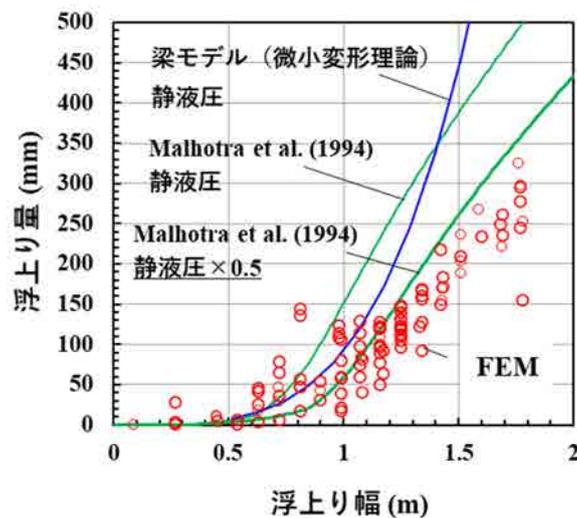


図 2 FEM 動的解析と梁モデルの比較
(浮上り量-浮上り幅の関係図)

3.2 ロッキング時の底板引き上げ力の観察

3次元 FEM 動的解析 (3.1 と同様) の結果について、底板引き上げ力と浮き上がり量の時刻歴を観察した (図 3)。その結果、1) 浮き上がり量がある程度大きくなると底板引き上げ力の増大が鈍くなること、2) 底板の板厚が大きいほど底板引き上げ力も大きくなること、がわかった。また、底板引き上げ力の円周方向の分布 (30° 間隔) の時刻歴についても検証したところ、同様の結果が得られた。

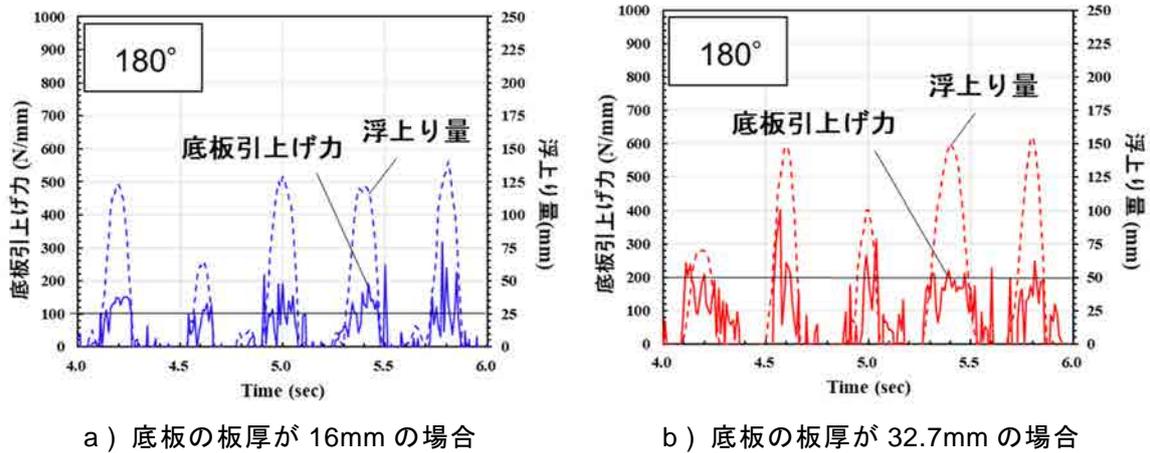
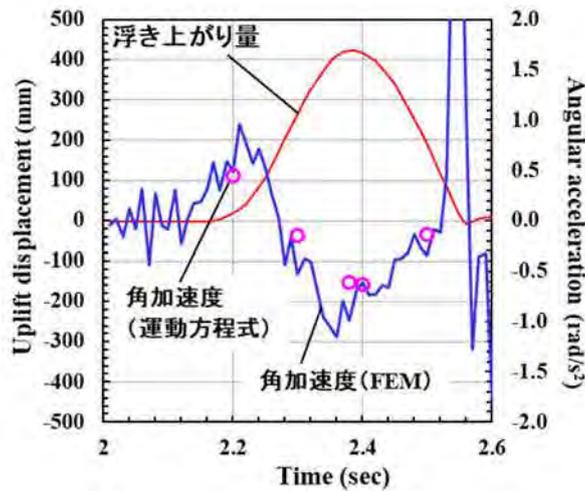


図3 底板引き上げ力の時刻歴 (180° 側隅角部)

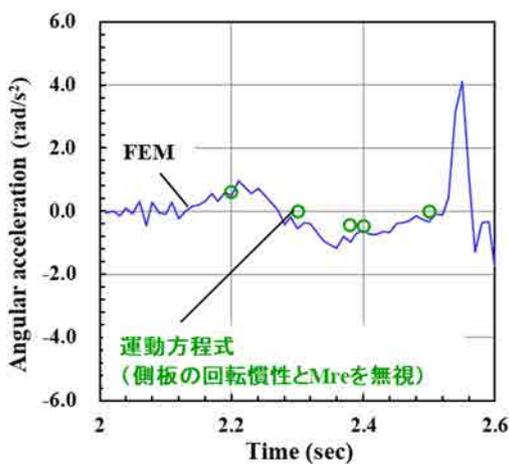
3.1 および 3.2 の結果は、浮き上がり量が多い場合の底板の変形量や断面力を精度よく解析するには、幾何学的非線形性（膜力の効果）を考慮する必要があることを示唆している。また、底板引き上げ力は浮き上がり幅や液圧分布等に関係して決まる量であり、浮き上がり変形（浮き上がり量・浮き上がり幅）と分けて定式化することができないことに気が付いたため、底板引き上げ力の定式化の検討は取りやめた。

3.3 内容液の回転慣性力に関する考察

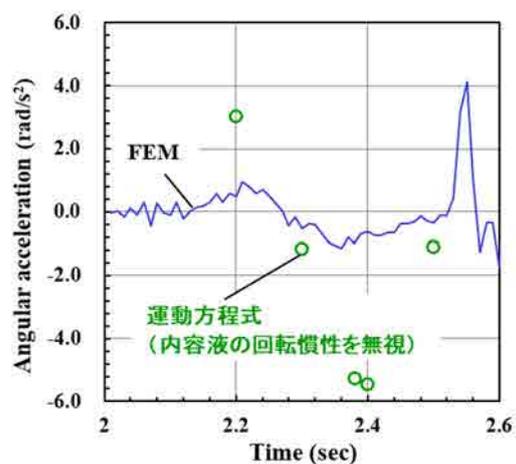
D'Amico et al. (2017) が導出した内容液の回転慣性力項を含めた並進一回転系の運動方程式 (Taniguchi モデル) について、内容液の回転慣性力項の必要性を FEM 動的解析結果を分析することにより検証した。検証は、3.1 および 3.2 の FEM 動的解析の結果と転倒モーメント、復元モーメントおよび内容液の回転慣性力の釣り合いを考えた運動方程式を用いて行った。なお、FEM 動的解析から内容液の回転慣性力を直接得ることができないので、両者の角加速度の計算結果を比較することで内容液の回転慣性力項の必要性を検証した。検証の結果、内容液の回転慣性力を考慮した運動方程式から得られる角加速度と FEM 動的解析から得られる角加速度がよく合うことから (図 4)、タンクのロッキングに関する運動方程式には内容液の回転慣性力を考慮する必要があることがわかった。



a) 運動方程式において3項すべて考慮した場合



b) 復元モーメント項を無視した場合



c) 内容液の回転慣性力項を無視した場合

図4 FEM動的解析と運動方程式から得られた角加速度の比較

3.4 底板浮き上がり量の時刻歴応答解析の実施

Taniguchi モデル (D'Amico et al., 2017) の運動方程式を用いた時刻歴応答解析の計算手続きを考え、テストランを実施した (提案されている運動方程式の再導出や修正も行った。図5)。なお、内容液の「ロッキング有効液質量」や「有効慣性モーメント」等は底板の浮き上がり幅の値によって決定されるため、幾何学的非線形性 (膜力の効果) を考慮した梁モデル (Malhotra et al., 1994) から得られる「浮き上がり量-浮き上がり幅」の関係を時々刻々計算し^{*}、これを用いて「ロッキング有効液質量」等を決定した (※ 底板に作用する液圧が時々刻々変化するため、「浮き上がり量-浮き上がり幅」の関係も時々刻々変化する)。テストランの1つとして、平成30年北海道胆振東部地震で浮き上がり量の時刻歴が計器計測されたタンク (直径82 m、容量11万5,000 kL) を対象に時刻歴応答解析を行った。テストランの結果、最大浮き上がり量は16 mmとなった。これは、Malhotra et al. (1994) が提案した計算法の結果 (最大441 mm) に比べて観測記録 (最大44 mm) に近い結果となっている (図6)。

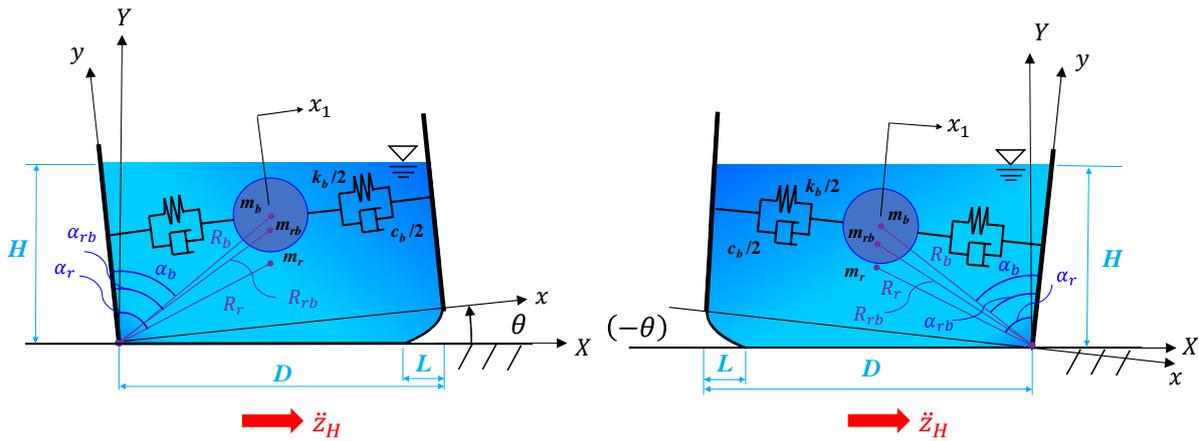


図5 Taniguchiモデル(修正版)

3.5 底板浮き上がり量の時刻歴応答解析の実施(検討事例の追加)

提案手法(Taniguchiモデルを基礎とした浮き上がり量の時刻歴応答解析手法)の精度を検証する為に、3次元FEM動的解析(直径51m、容量6万kLのLNGタンク)による結果との比較を行い、検討事例を追加した。さらに、袁・河野(2004)の方法やVathi・Karamanos(2017)の方法による時刻歴応答解析の実施やEurocode 8による最大浮き上がり量の計算も併せて行った。提案手法による計算は、内容液の回転慣性力を考慮している分、これら慣用的な計算方法よりも浮き上がり量が小さくなる傾向がある。図6や図7の時刻歴応答解析の例から、提案手法では比較的精度よく浮き上がり量が計算できると考えられる。一方、小型のタンクについては浮き上がり量がうまく計算できないケースがあった。例えば、アンカーボルトが50mm程度引き抜かれているケースについて計算したところ、浮き上がり量が1mm未満の結果となった。また、計算時間が膨大にかかるといった課題も残されている。例えば、40秒の時刻歴応答の計算に2時間以上の計算時間を要している。これらの課題については今後の研究で検討することとする。

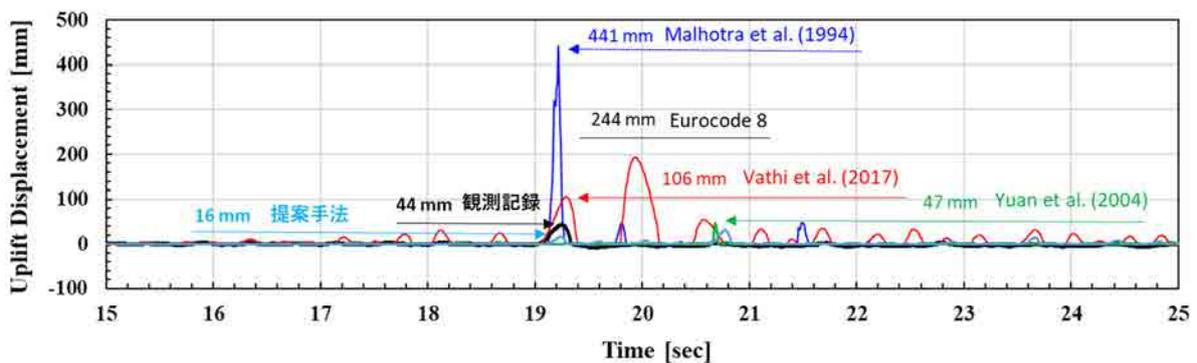


図6 浮き上がり量の計算例

(11万kLタンク、観測記録と各解析法の結果、減衰5%)

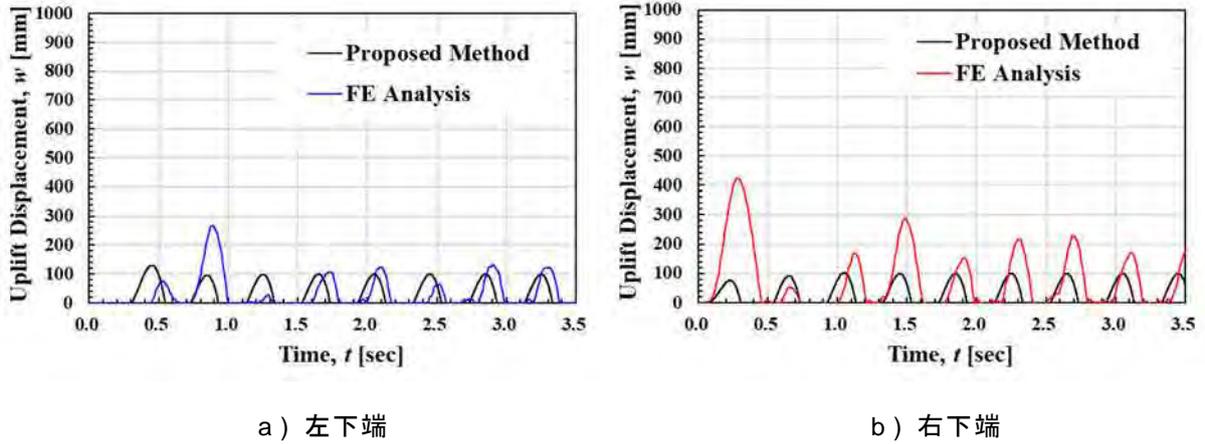


図7 浮き上がり量の計算例
(6万 kL タンク、提案手法と3次元 FEM 動的解析の結果、減衰 5%)

4. 共同研究等外部との協力

国立大学法人 鳥取大学大学院工学研究科

(18) 消防ロボットシステム：スクラムフォースの配備に関する フォローアップ調査と消防におけるロボット技術の活用の検討

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 5 年 3 月

特別上席研究官 天野久徳
技術研究部 危険性物質研究室 内藤浩由

1. 目的

消防研究センターでは、平成 26 年度からの 5 年間、石油コンビナート等における大規模火災や化学プラント等における爆発危険が伴う現場において、消防隊員が近接して活動することが難しい事案に対応するための消防ロボットシステム：スクラムフォースの研究開発を行った。完成したスクラムフォースを令和元年度に市原市消防局に実証配備し、緊急消防援助隊の特殊装備小隊としても登録された。令和 2 年度まで継続した実証配備中に得た評価を基に、消防本部で実戦使用するための機能の最適化を図る改良、また、研究開発の開始後に確立された新技術の有効性を検証し、有用なものについては導入を図る改良を行った。

スクラムフォースは令和 3 年度から市原市消防局に通常配備となっているが、引き続き操作性や機能の向上の検討、経年劣化や維持管理についての検証といったフォローアップ調査を行う。さらに、これらの調査結果を基に消防におけるロボット技術の活用についての検討を行う。



図 1 完成させた実戦配備型消防ロボットシステム

2. 令和 4 年度までの研究計画と成果

(1) 消防ロボットシステムの配備消防本部との意見交換会の開催

消防本部におけるスクラムフォースの運用を通し、

- ・運用を通してのさらなる操作性や機能の向上
- ・運用を通しての消防におけるロボット技術の活用

について、年 3 回程度の意見交換会を実施する計画であったが、コロナ禍の影響により、人数を絞っ

での訪問を2回実施し、適宜個別に意見交換を行った。運用上の不足機能や支援機能これまでの対応にて出尽くした感があり、また、隊員の習熟度の向上もあり、運用上大きな支障となる問題点はほぼ解決できた。

(2) 消防ロボットシステムの経年劣化や維持管理についての検証

配備されているスクラムフォースについて、配備に支障の無い範囲において動作の確認等を行い、維持管理が十分であるか、また、経年劣化の状態を確認した。

経年劣化は確認されたがいずれも想定内であり、定期点検において対応した。耐熱機能のための耐熱被覆布の表面は、擦れなどで機能の劣化が見られるため、金属板等での代替についての検討が、維持費の低コスト化につながると考えられる。逆に、ウォーター・キャノンやタフ・リーラーのケーブルリーラーなどについては、定期点検の間隔をより長くすることの検討も必要であることが明らかになった。バッテリーについては、リコール対象機器の対応を行った。基本設計から9年が経過しており、一部の交換部品について製造中止となっているものが確認され、新部品にて対応するためには、部品の性能検証や部分的な再設計などに費用の面で負担が増大することも確認された。

(3) フォローアップとりまとめ

消防ロボットシステムの研究開発期間である平成26年度～平成30年度の5年間、実証配備を行った令和元年度～令和2年度の2年間の報告書を再度整理しとりまとめた。その後の通常配備における、配備消防本部との意見交換会及び消防ロボットシステムの経年劣化や維持管理については、現在とりまとめを進めており、一部令和5年度に持ち越しとなるが、年度明け早々にとりまとめることとする。

4. 共同研究等外部との協力（一部予定）

(1) スクラムフォース配備

- ・市原市消防局

(2) 試験協力等

- ・東北大学
- ・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
- ・株式会社北川鉄工所

(19) 土砂に埋まった人の挙動に関する研究

研究期間：令和 3 年 4 月～令和 6 年 3 月

技術研究部 地震等災害研究室 新井場公德

1. 目的

令和元年度消防庁救助技術の高度化検討会において土砂災害への対応について共通的な活動のあり方が示されたところである。土砂災害対応において活動の安全性および効率性を上げるための訓練が各消防本部で実施されている。そのうち要救助者の掘削については、どのように掘削すれば要救助者への悪影響を与えないですすめることができるかについて検討が不足している。本研究では、土砂中の人体の主要部に作用する力について明らかにし、より効率的な活動の基礎資料となるデータを取得する。

2. 研究内容

埋没した要救助者を救助する訓練において、要救助者役が感じる障害（どの部位に力がかかったか等）及び救助者が感じる障害（どの行為のどこに問題があったか等）について、消防本部の協力を得て調査を行う。その障害を発生させる力について、直接計測を試みる。

Pascal ら（2011）は、雪崩により完全に埋没した人の死因を分析し、窒息がほとんどで、続いて外傷としている¹⁾。本間ら（2016）は、2013年伊豆大島の土石流災害において黄色及び赤色のタグをつけられた傷病者についてその内容を分析し、体幹の圧迫が多いこと（腹部に怪我が少ないが胸部又は骨盤に怪我が多いこと）、62.5%に重度の顔面浮腫と外傷性窒息症が見られたことを報告し、土砂が身体を巻き上げ、身体の最も広い部分（すなわち胸部や骨盤）を圧迫して、複数の肋骨骨折、血気胸、肺挫傷、骨盤骨折などの致命的な傷害を引き起こすという仮説を述べている²⁾。William Pollock and Joseph Wartman（2020）は、土砂災害の被害者の死因に関する文献調査を行い、溺死、外傷に分類している。また、土砂の深さが2～6mで死者が増えると分析している。さらに、考察として救助活動により20%は死者を軽減できるのではないかと述べている³⁾。土砂中の人体の挙動は医療的な面から一定の知見が集まりつつある。

玉手ら（2016）は、人間が浅い溝内で生き埋めとなった際に胸部圧迫を軽減するための保護構造について、実験的に検討を行い、保護具を試作している。崩壊土砂によって作用するダミーにかかる力が計測されている⁴⁾。

本研究では、これら研究を踏まえ、玉手（2016）の手法を参考に、埋没時の人体各部位にかかる力を明らかにし、いち早く土砂から救出するための方法を検討する。

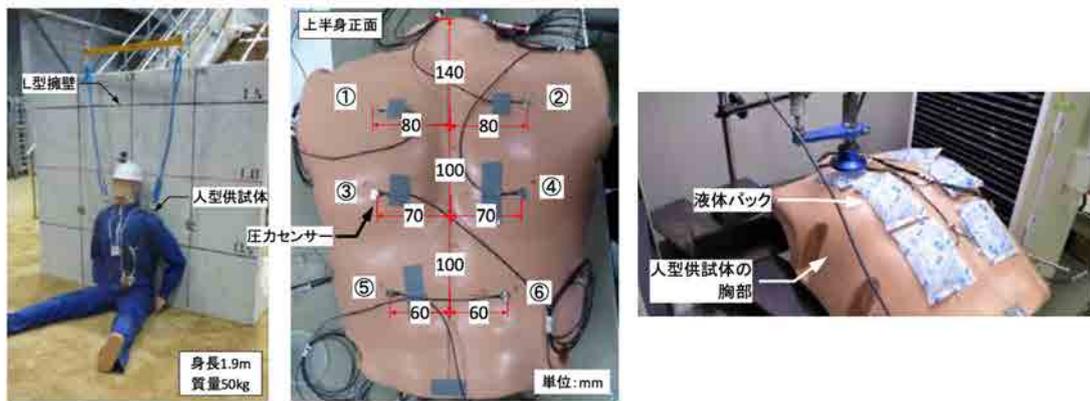


図 1-1 玉手ら (2016) による埋没実験のダミー人形⁴⁾

3. 令和 3 年度の研究成果

(1) 土砂中のダミーに掛かる力の測定

地盤の変形を計測する装置を試作し、精度確認を行った。

4. 令和 4 年度の研究計画

(1) 泥濘からの救助時の障害要因の調査

泥濘から人を救助する際の障害について、隊員へのアンケート及び聞き取り調査を行い、障害要因を明らかにする。

→岡山市消防局による泥濘に埋まった人の救助活動訓練を視察し、参加者にアンケート調査を行った。障害要因として、次の3つに整理した。引き上げに対する摩擦力及びサクション、泥の粘着力による要救助者への付着、救助者の足場のすべり。

(2) 障害要因を計測する方法の検討

障害要因の機構を明らかにし、測定方法を検討する。

→測定機構が複雑となり実現が難しいと判断し断念した。

5. 令和 5 年度の研究計画

(1) 障害要因のモデル化の検討

泥濘地訓練の観察事例を増やし、要救助者に作用する力のモデルを考案する。

6. 共同研究等外部との協力 (予定)

- ・産業安全衛生総合研究所
- ・岡山市消防局
- ・相模原市消防局
- ・神戸市消防局

7. 引用文献

- 1) Pascal Haegeli et al., "Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland", Canadian Medical Association Journal, Vol. 183, No. 7, pp. 789-795, 2011.

- 2) Yasuhiro Homma et. al.: Injury Patterns after the Landslide Disaster in Oshima, Tokyo, Japan on October 16, 2013, Disaster Medicine and Public Health Preparedness, Volume 10, Issue 2, April 2016, pp. 248 - 252
- 3) William Pollock and Joseph Wartman: Human Vulnerability to Landslides, GeoHealth, Vol. 4, Issue 10, 21 September 2020, <https://doi.org/10.1029/2020GH000287>
- 4) 玉手聡 : 「浅い土砂埋没時の圧迫圧力に関する実験的研究」 科学研究費助成事業研究成果報告書 16K01306

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	水害時の太陽光発電システム火災	田村裕之	太陽光発電部会 第 33 回セミナー (日本太陽エネルギー学会)	2022.4.19
2	Equilibrium of Moments During Rocking Motion of Flat-Bottom Cylindrical Storage Tanks	吉田祐一、谷口朋代 (鳥取大学)、中島照 浩(日本水工設計株式 会社)	ASME PVP Mini Conference in Japan	2022.5.13
3	火炎周辺気流の速度場計測性能の向上に 関する研究	佐伯一夢	第 66 回システム 制御情報学会研 究発表講演会	2022.5.18 ～5.20
4	Investigating Conifer Tree Flame Spread Under an Applied Wind Field	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	Fire and Climate conference	2022.5.23 ～5.27
5	A Comparison of Particulate Morphology of Wildland Fuels and Human Made Fuels at the Wildland Urban Interface	Manzello, S.L. (Reax Engineering) and Suzuki, S.		
6	EFFECT OF PRE-WETTING JAPANESE STYLE TILE ROOFING ASSEMBLIES	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	2022 年度日本火 災学会研究発表 会	2022.5.28 ～5.29
7	過炭酸ナトリウムの分解に関する研究	岩田雄策		
8	冠泡消火における性能評価について(第 1 報) -高発泡器の設計及び泡性状の検討 -	小澤悠太、小川耕司、 橋本晃伸、高嶋武士、 佐澤潔(深田工業株式 会社)、内藤浩由、高 橋優太、天野久徳		
9	風速と発熱速度が火源風下に発生する火 災旋風の循環・サイズに与える影響 ー	篠原雅彦		

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
	火源の長辺が風と平行な場合 その2ー			
10	自動車給油口パイプの導電性に起因した放電現象	田村裕之、長浜省吾、佐藤広佳、宇津野真人		
11	焼損した綿とポリエステル混紡試料の材質同定に関する予備的検討	佐藤康博、塚目孝裕		
12	高層事務所ビルの中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 22 — 階段室内への避難者の流入流動量に関する分析 —	門倉博之（東北学院大学）、水野雅之、朴聖經（東京理科大学）、佐野友紀（早稲田大学）、藤井皓介、関澤愛（東京理科大学）		
13	高層事務所ビルにおける火災時の順次避難シナリオの評価方法の提案	朴聖經（東京理科大学）、水野雅之（東京理科大学）、佐野友紀（早稲田大学）、藤井皓介（消防研究センター）、門倉博之（東北学院大学）、関澤愛（東京理科大学）		
14	実歩行 VR 実験に基づく建物内 T 字路の避難経路選択傾向 実験の概要および誘導、幅員、密度と経路選択方向の関係	藤井皓介（消防研究センター）、田中俊成、水野雅之（東京理科大学）、佐野友紀（早稲田大学）		
15	火災出動における消防隊員の受傷事故の発生傾向ー都道府県庁所在地を管轄する 47 消防本部における 1990 年から 2019 年の事例調査ー	大津暢人、北後明彦（神戸大学）、菊池悠（兵庫県災害医療センター）		2022.5.29
16	熱学的思考が支える災害の仕組みの理解	野村祐子、寺田光宏（岐阜聖徳学園大学）	エントロピー学会 2022 年度第一回研究セミナー	2022.6.19
17	アンモニアの危険性について	鈴木健	安全工学シンポジウム 2022	2022.6.29 ～7.1
18	平成 30 年西日本豪雨における災害時要援護者の避難意思の類型化と避難行動の実態	日笠優希実（岡山県庁）、佐藤ゆかり、齋藤美絵子（岡山県立大学）、大津暢人	日本老年社会科学会第 64 回大会	2022.7.9

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
19	避難シミュレーションを用いた高層事務所ビルにおける全館順次避難シナリオの評価方法の提案	朴聖經（東京理科大学）、水野雅之（東京理科大学）、佐野友紀（早稲田大学）、藤井皓介（消防研究センター）、門倉博之（東北学院大学）、関澤愛（東京理科大学）	2022 年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会	2022.9.5～9.8
20	単独と群集の違いが階段降下時の歩行動作に与える影響 段部における軌跡と歩行距離の分析	藤井皓介（消防研究センター）、田中俊成（東京理科大学）、水野雅之（東京理科大学）、佐野友紀（早稲田大学）		
21	消火器による初期消火能力向上のための訓練方法の検討	栗原麻衣花（早稲田大学）、鈴木恵子、長谷見雄二、伯耆原智世、西松慶、磯有希彩、藤好果穂（早稲田大学）		
22	住宅用火災警報器の屋外発報による出火認識早期化の可能性の検討 ー暗騒音下での警報音周知範囲の予測ー	濱田朋佳、西松慶、藤好果穂、磯有希彩（早稲田大学）、鈴木恵子、伯耆原智世、長谷見雄二（早稲田大学）		
23	文化財建造物の早期火災対応体制の構築に関する研究 その2:文化財建造物出火の地域的認識の早期化方策の検討	藤好果穂、磯有希彩、濱田朋佳、西松慶（早稲田大学）、鈴木恵子、伯耆原智世、長谷見雄二（早稲田大学）		
24	集塵用フィルタ部火災の原因調査	田村裕之、杉山昌彦、長浜将吾	2022 年静電気学会全国大会	2022.9.8～9.9
25	Pre-evacuation Times and Evacuation Behaviors of Vulnerable People during the Flood-triggered Factory Explosion as a Natech	N. Ohtsu, A. Hokugo (Kobe Univ.), A. M. Cruz (Kyoto Univ.), Y. Sato (Okayama Prefectural Univ.), Y. Araki (Kyoto prefectural Univ.)	The 12th Conference of the International Society for Integrated Disaster Risk Management	2022.9.23

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
26	熱放射と紙の熱分解の学習教材開発のための予備調査	野村 祐子、中島 才喜 (岐阜聖徳学園大学 附属小学校)、大豆生 田 顕 (東京消防庁)、 寺田 光宏 (岐阜聖徳学 園大学)	日本理科教育学 会第 72 回全国大 会	2022.9.24
27	火災旋風の観測研究	篠原雅彦、推名知明、 松島早苗、佐伯一夢	日本流体力学会 年会 2022	2022.9.27 ～9.29
28	2021 年熱海市土石流災害被災地域の土砂 層厚の推定	土志田正二、新井場公 徳	第 61 回 (公社) 日本地すべり学 会研究発表会	2022.9.27 ～9.30
29	粉体乾燥炉の集塵フィルタ部で発生した 火災について	田村裕之	電気災害の調査・ 研究に関する情 報交換会	2022.10.18
30	水害によりメガソーラー発電所で発生した 火災について	田村裕之		
31	F-net 広帯域強震記録で見た長周期地震動 の減衰特性	畑山 健	日本地震学会秋 季大会	2022.10.24 ～10.26
32	Development of Fire Safety Education Materials Enriching Students' Understanding of Energy Concept in Elementary and Secondary Science	Yuko Nomura	Japan Society for Science Education 2022 1st Research Conference	2022.11.5
33	日中・夜間におけるドローンレーザー計 測の結果比較と問題点	土志田正二、新井場公 徳、天野久徳、千田良 道 (中日本航空株式会 社)、原太一 (中日本 航空株式会社)	日本地形学連合 2022 年秋季大会	2022.11.5 ～11.6
34	救急車のリアルタイムな位置と出動可否 状況を考慮した救急車配置手法 ～消防署外待機による平均現場到着距離 の短縮～	福田健、前田篤彦(NTT スマートデータサイ エンスセンタ)、久保 田勝明、尾川義雄	情報処理学会研 究報告 巻：2022 号： HCI-200 ページ ：Vol.2022-HCI- 200, No.9, 1-6 (WEB ONLY)	2022.11.8
35	Effect of moisture content on the ignition behavior of the fuel beds exposed to combined firebrand showers and radiant heat flux	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	第 60 回燃焼シン ポジウム	2022.11.21 ～11.24

	題 名	発 表 者 名	発 表 会 名	発表日
36	Particulate Morphology Generated from Human Made Cellulosic Fuels to Natural Vegetative Fuels	Manzello, S.L. (Reax Engineering) and Suzuki, S.		
37	断面形状が一边 70mm の正方形の直方体空間内で n-ヘプタンのプール燃焼がカーテン状火炎に変化する現象	尾川義雄		2022.11.21
38	炎のカーテン (Flame curtain)	尾川義雄	第 60 回燃焼シンポジウム「美しい炎」の写真展	2022.11.21 ～11.24
39	過酸化クミルの反応挙動における濃度および攪拌の影響に関する研究	岩田雄策	第 55 回安全工学研究発表会	2022.12.1 ～12.2
40	小型模型を使用したガス爆発実験について -開口より外部に噴出した火炎の影響-	鈴木健		
41	過冷却水と過熱水の状態変化を対比して理解するための概念地図の作成	野村祐子	日本科学教育学会 2022 年度第 3 回研究会	2022.12.3
42	火災を文脈とした初等中等理科教材の作成	野村祐子	日本女性科学者の会第 14 回学術大会	2022.12.4
43	小学 4 年生「ものの温まり方」を基盤とした授業デザインの一考察	前田光哉 (福井大学大学院)、野村祐子、寺田光宏 (岐阜聖徳学園大学)	日本理科教育学会第 67 回東海支部大会	2022.12.10

(2) 論文発表

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
1	Effect of Three Lockdowns in London: Case Study for Residential Fires	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	Public Health in Practice	3, 100264
2	Investigating Conifer Tree Combustion in the Presence of an Applied Wind Field	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	Combustion Science and Technology	https://doi.org/10.1080/00102202.2022.2112034
3	The processes of firebrand deposition and accumulation from wind driven firebrand showers	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	Fire and Materials	https://doi.org/10.1002/fam.31

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
				25
4	Comparing Particulate Morphology Generated from Human-Made cellulosic Fuels to Natural Vegetative Fuels	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	International Journal of Wildland Fires	32(1), 78-85
5	The World is Burning: What Exactly are Firebrands and Why Should Anyone Care?	Manzello, S. L. (Reax Engineering) and Suzuki, S.	Frontiers in Mechanical Engineering	8, 1072214
6	Experimental and Theoretical Approaches to Elucidate Fuel Bed Ignition Exposed to Firebrand Showers and Radiant Heat	Suzuki, S. and Manzello, S. L. (Reax Engineering)	International Journal of Heat and Mass Transfer	202, 123740
7	Review of Research on Human Behavior in Large Outdoor Fires	Elhami Khorasani, N., (University of Kinateder), M., Lemiale, V. Manzello, S.L., Marom, I., Marquez, L., Suzuki, S., Theodori, M., Wang, Y., and Wong, S.	Fire Technology	https://doi.org/10.1007/s10694_023_01388_6
8	Information presentation method for teleoperated robots to support the multifaceted understanding of fire sites.	Tamura, Y. (Tokyo Univ.), Amano, H. & Ota, J. (Tokyo Univ.)	Robomech Journal	vol. 9, 10 (2022.5)
9	S. Novel exterior cover design for radiant heat resistance of firefighting robots in large-scale petrochemical complex fires.	Fujita, J. (MHI,Tohoku Univ.), Tamura, Y. (Tokyo Univ.), Amano, H., Ohno, K. & Tadokoro, S. (Tohoku Univ)	Robomech Journal	vol. 9, 13 (2022.5)
10	Vortex strength and size of fire whirls without flames around a long narrow fire source	Masahiko Shinohara	Fire Safety Journal	Vol. 129, 103561 (2022.5)
11	Rocking Response Analysis of Flat-Bottom Cylindrical Tanks Considering Rotational Inertia of Content Liquid	Yuichi Yoshida, Tomoyo Taniguchi (Tottori University), Teruhiro Nakashima (Nihon Suiko Sekkei co.,Ltd.)	Proceedings of the ASME 2022 Pressure Vessels & Piping Conference	PVP2022-84909 (2022.11)

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
12	救急車内における CO2 ガス濃度変化の多点モニタリング法による飛沫核拡散の検証と対策	坂口英児、安田康晴(広島国際大学)、久保田勝明、佐々木広一、山本弘二、吉川孝次、友安陽子、二宮伸治(広島国際大学)	日本臨床救急医学会雑誌	2022年 25巻4号 p. 658-671
13	火災出動における消防隊員の受傷事故の発生傾向－都道府県庁所在地を管轄する 47 消防本部における 1990 年から 2019 年の事例調査－	大津暢人、新井場公德、北後明彦(神戸大学)、阿部伸之	日本火災学会論文集	Vol.72, No.1, (2022), 25-32
14	Evacuating vulnerable people during a tsunami disaster in Japan: A simulation using wheelchairs	N. Ohtsu and A. Hokugo (Kobe Univ.)	Journal of Integrated Disaster Risk Management	(2022), 12 pages.
15	豪雨災害時の住民避難行動特性の世代間比較－平成 30 年 7 月豪雨時における倉敷市真備町岡田地区を対象として－	大村太秀、北後明彦(神戸大学)、大津暢人、廖解放(神戸大学)	日本建築学会計画系論文集	Vol.87, No.797, (2022), 1407-1418.
16	2018 年西日本豪雨における高齢者施設の搬送避難に関する判断要因と課題－岡山県・広島県・愛媛県の高齢者施設を対象として－	廖解放、北後明彦(神戸大学)、大津暢人、大西一嘉、大村太秀(神戸大学)		Vol.87, No.797, (2022), 1503-1514
17	津波避難訓練の観察による車いすへの支援行動発生状況の分析－高知県中土佐町における津波避難訓練を事例として－	劉永恩(人と防災未来センター)、大津暢人、北後明彦、廖解放(神戸大学)		Vol.87, No.798, (2022), 1612-1622.
18	浸水とそれに伴う水蒸気爆発による複合災害における自主防災組織等による災害時要援護者の避難支援	大津暢人、北後明彦(神戸大学)、荒木裕子(京都府立大学)、佐藤ゆかり(岡山県立大学)、アナ マリア クルーズ、朴ヘジョン(京都大学)	日本火災学会論文集	Vol.72, No.3
19	Consideration of the contribution of operating a firefighting robot system for large fires to prevent COVID-19 infection among firefighters.	Fujita, J. (MHI, Tohoku Univ.), Amano, H., Ohno, K & Tadokoro, S. (Tohoku Univ.)	Advanced Robotics	2022.12
20	石油燃料中で長期間使用された不飽和ポリエステル樹脂系ガラス繊維強化プラスチックの物性評価に基づく防食性の実用的推定方法	徳武皓也	材料と環境	Vol.72, pp.10-21 (2023.1)

(3) 解説

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
1	電気火災発生状況と火災事例から見た工場等での安全対策	田村裕之	電気学会誌	Vol.142, No.6, pp.337- 341 (2022.6)
2	原因別にみた火災出動における消防隊員の受傷事故の発生傾向	大津暢人	月刊フェスタ	2022年6月 号, 16-21 (2022)
3	太陽光発電設備の火災 ―水害時や水上太陽光発電所―	田村裕之	太陽エネルギー	Vol.48, No.5, pp.26-32 (2022.9)
4	火災避難の見える化と消防防災	藤井皓介	2022年度日本建築学会大会(北海道) 防火部門研究協議会資料 見える化により「火災に強く、安全な建築」を身近に	pp.16-24 (2022.9)
5	鋼製平底円筒貯槽の地震時底板浮き上がり現象を説明する数理モデルの構築	吉田祐一	消防試験研究センターだより Voice.	Vol.393, pp.10-13 (2022.9)
6	糸魚川市大規模火災の延焼と諸現象	篠原雅彦	建築防災	538 号, pp.13-18 (2022.11)
7	レスキューロボットコンテスト 2022 における特別共催と表彰	佐伯一夢	検定協会だより	pp.30-36, 第 503号 (2022.11)
8	小型模型を使用したガス爆発実験について	鈴木健	消防試験研究センターだより Voice.	vol.394, pp.12-14 (2022.11)
9	電気器具からの出火による事業所の火災について	田村裕之	火災	Vo.72, No.6, pp.14-19 (2022.12)
10	熱分解 GC による焼損物の材質同定 ―綿とポリエステル混紡試料	佐藤康博	火災	Vol.73, No.1, pp.30-33 (2023.2)
11	石油タンク火災時の泡消火効率改善に関する検討	内藤浩由	日本燃焼学会誌	第 65 巻 211 号, pp.29- 36 (2023.3)

	題 名	発 表 者 名	掲載誌名等	巻号
12	電気起因の出火と工場等の火災事例	田村裕之	クリーンテクノロジー	Vol.33, No.3, pp.17-21 (2023.3)
13	石油タンクのバルジング固有周期の実測	畑山健	消防試験研究センターだより Voice.	Vol.396, pp.10-12 (2023.3)

(4) 著書

	題 名	執 筆 者 名	発行元	発行年月
1	Current Advances in Geography, Environment and Earth Sciences Vol. 3, (分担執筆)(第4章執筆) Chapter 4, Pedestrian-based Tsunami Evacuation Tactics for Vulnerable People using Community Assistance	N. Ohtsu	BP International, (PP.26-38.)	2022.9
2	平成30年7月豪雨災害 災害時に手助けが必要な方々の避難の記録から得たこれからの備えに必要なこと—個別避難計画の作成に向けて—	佐藤ゆかり、齋藤美絵子、大津暢人	岡山県立大学 全20頁	2022.9
3	特定建築物調査員講習テキスト 1 第6編 1章4節 火災統計からみた建物火災の現状	鈴木恵子、北後明彦	一財)日本建築防災協会 (pp.6-5~6-13)	2022.9
4	ロボット工学ハンドブック (第3版) 第IV編 8.4 [事例] 大規模火災・爆発対応 消防ロボット	天野久徳	コロナ社 (p.784~785)	2023.2

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、4月15日(金)～4月25日(月)の間、オンラインにて一般公開を開催した。

この一般公開は、科学技術週間(「発明の日」(4月18日)を含む週)に実施しているもので、従前は施設を開放して行ってきたものである。しかし、新型コロナウイルスの感染拡大防止のため、令和4年度も令和3年度に引続き、ホームページ上で動画を用いて研究内容等を分かりやすく紹介するオンライン開催を行った。一般公開のページへのアクセス数は令和3年度の約2,000件を大幅に上回って3,800件を超え、多くの方にご視聴いただいた。

全部で33のコーナーを用意したが、ここではその一部を紹介する。

1. 石油タンク火災の泡消火実験

石油タンク火災時の泡消火のメカニズムを、ガラスタンクを用いた泡消火実験の動画を用いて紹介した。また、泡の性質を変化させた時の消火性能の違いについても解説した。



写真1 泡消火実験

2. 石油タンクの安全性研究開発の紹介

大型石油タンクの地震時の挙動について、短周期地震動によるものと長周期地震動によるものの特徴と

過去に発生した被害の解説を行った。

大型石油タンクについては消防法令によりこれらの被害を防止する耐震基準が規定されているが、耐震基準で考えられているようなレベルを超えるような揺れに見舞われると、被害が発生することも考えられる。そのような場合への備えとして、地震時の消防防災活動を迅速・的確に行えるようにするため、地震発生後に大型石油タンクの被害を速やかに推定することができるシステムの研究開発を実施しており、このコーナーではそのシステムの紹介を行った。

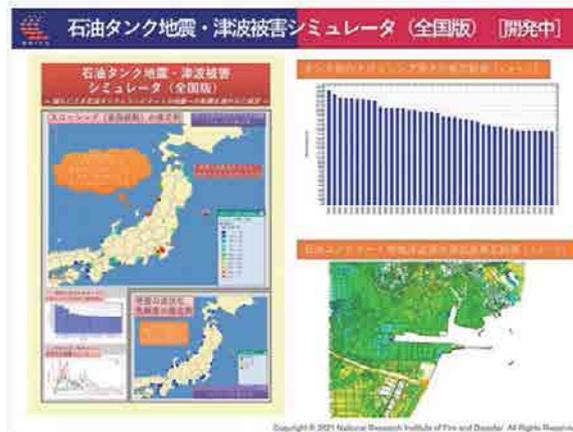


写真2 石油タンク地震・津波被害シミュレータ

3. 火災を再現するシミュレーション技術の紹介 (火災シミュレーションの実火災適用事例)

火災を再現するシミュレーションとは、火災で生じる燃焼や伝熱、煙の流れの現象について、これらを支配する方程式をコンピューターを用いて解くことによって、火災進展の予測や再現を行うことである。シミュレーションに用いている手法(数値流体力学に基づく手法)について説明し、基礎的な研究を紹介するとともに、実際の火災に適用し、火災調査に用いた事例及び実施上の注意について解説した。

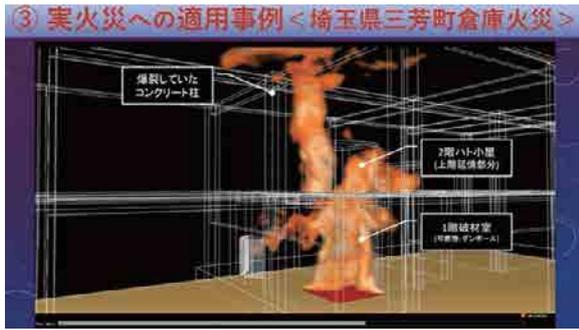


写真3 火災シミュレーションの実火災への適用事例



写真5 灯油やガソリン等が含まれる試料の前処理方法

4. 静電気火災の調査技術の紹介

火災原因調査において、出火原因として静電気放電を検討する場合があるが、静電気放電での着火については痕跡が残らないことから原因の特定に難しさが伴う。このコーナーでは、その一助となるよう、静電容量（電気をためられる能力）測定時の測定器の使い方や放電エネルギーの検討方法について説明した。

※写真は全て、公開動画の画面をキャプチャーしたものである。



写真4 絶縁体（上段）と導体（下段）の放電前後の帯電電位の変化

5. 現場残さ物の化学分析の紹介

火災原因調査において、現場からの収去物中の灯油やガソリン等の同定には、ガスクロマトグラフ（気体及び試料気化室の熱で気化する液体の分析を行う装置）が用いられることがあるため、ガスクロマトグラフの測定のしくみについて紹介した。また、灯油やガソリン等が含まれる試料の保存方法及び前処理についても説明した。

3 全国消防技術者会議

1. はじめに

令和4年11月16日(水)～17日(木)に全国消防技術者会議を、三鷹市公会堂光のホールにて開催した。令和4年は、新型感染症対策により座席の工夫などを行ったうえで3年ぶりの対面開催で実施した。また、全発表を録画し(展示発表については事前に発表者にビデオを作成していただき)、後日消防研究センターのサイトで公開した。本会議は、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と消防研究センター職員が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り、今回で70回目となる。

この会議は「特別講演」、「令和4年度消防防災科学技術賞受賞作品」口頭発表・展示発表の3部構成であり、特に展示発表は実際の開発作品を展示して意見交換を行うという対面開催の利点を生かした開催となった。今年度は2日間で延べ610名の参加があり、過去に行われた会場開催の参加者並みとなった。

2. 特別講演

特別講演では、東北大学文学研究科災害科学トップレベル研究拠点プロジェクト特任助教の坂口奈央先生から「おらほの防災とは一地域に伝わる災害への備えを発掘」と題してご講演いただいた(写真1)。

ご講演では東日本大震災で被災した地域の復興に



写真1 坂口奈央先生による特別講演の様子

関して、罹災した人々のコミュニティ、人的つながりの復興、また震災遺構に対する地元の人々の想いについて、現地調査の成果を基にご講演いただいた。

3. 消防防災科学技術賞表彰式

一日目午前中に令和4年度消防防災科学技術賞の表彰式が執り行われた。前田一浩消防庁長官の式辞の後、各受賞者に対して長官より表彰状が授与された(写真2)。

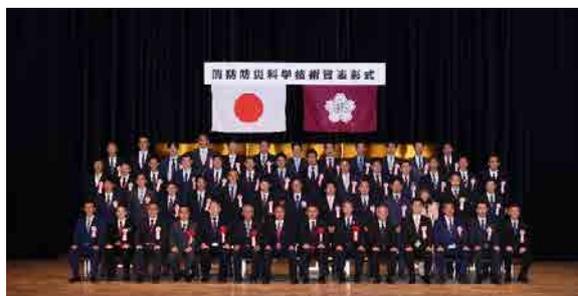


写真2 受賞者一同の記念写真

4. 受賞作品口頭発表

令和4年度の消防防災科学技術賞を受賞した27件の内、消防防災科学論文、及び原因調査事例の2部門18件(表1)の口頭発表が行なわれた。会場からも活発な質問があり、盛況のうちに行われた。

5. 受賞作品展示発表

令和4年度の消防防災科学技術賞の消防防災機器等の開発・改良部門の9件(表2)を、開発した作品を展示し発表が行われた。展示は発表とは別に部屋を設け、余裕をもって発表者と聴講者が議論できるような環境で行われた。

6. アンケート結果

会議の終了後にアンケート調査を行い139件の回答が得られた。オンライン配信を希望する意見もあったが、オンライン、対面の良い部分をそれぞれ取り入

れ、改善できるところは工夫して次回以降に活かしていこうと考えている。

7. おわりに

この会議は、消防関係者のご協力をいただき、第70回を迎えることができた。これまで70回の発表総数は千数百件に上っている。これら全てが、消防関係者の不断の努力によって築きあげられてきたものである。これらが国民の安全に活かすことができ、また消防防災の研究の一助となればと考えている。

なお、次回の会議については、決定次第、消防研究センターホームページにて掲載する予定である。

表1 口頭発表

宿泊施設における夜間想定訓練の指導方法についての一考察 京都市消防局 黒田龍介
無人航空機（ドローン）を活用した水難救助手法の検証 白山野々市広域消防本部 清水光治
ストレッチャーの振動特性に関する検証 東京消防庁 山口 隼
伝導性ノイズによるブレーカの導体接続部緩み検出手法の提案と現場適用の検討 あいち産業科学技術総合センター 竹中清人 産業技術センター
消防団員の属性と入退団の傾向に着目した消防団員の確保及び大規模災害時の参集可能性に関する研究 東京理科大学 松下港平
蚊取り線香が有炎燃焼となり出火した火災について 北九州市消防局 江崎一織
掃除道具からの取れん火災 浜松市消防局 柴田 俊
テレビモニター付きドアホンから出火した火災について 上越地域消防事務組合 沖川雄介
水上メガソーラー発電システムの火災調査について 岡山市消防局 下中勝之
トラクター・簾装束線の短絡で生じた漏電電流により出火した車両火災調査報告 堺市消防局 井上大地
洗剤が自然発火した事案の火災原因調査について 大阪市消防局 平井大敬
官民連携による交通安全教育の研究 姫路市消防局 塚原昌尚 神姫バス株式会社 大崎政慶
新たな暑熱順化トレーニングに関する検証 東京消防庁 朝日 翔

アイトラッキング技術を用いた消防技術の向上に関する検証 東京消防庁 田近義宏
大型ダンプ火災に対し再発防止対策を徹底した結果リコールにつながった事例 印西地区消防組合消防本部
石油ストーブの吹き返しにより出火した火災について 北九州市消防局 西村偉志 星野絵理
タイマーユニットの不具合により出火した電子レンジ火災について 川崎市消防局 明石 仁
スプレー缶の穴あけ処理による静電気火災について さいたま市消防局 柴崎裕章

表2 展示発表

サーモ機能付き防火装備の開発 東近江行政組合消防本部 大橋 真 辻 健人
フルハーネス型墜落制止用器具に対応した防火服の改良 東近江行政組合消防本部 井口健吾
検索済テープの開発 倉敷市消防局 井上明彦
NBC 災害用 簡易除染所の開発 筑紫野太宰府消防組合消防本部 細谷有祐 山本健治
倒壊建物訓練施設PBS（パネルビルドシステム）の開発 東京消防庁 八櫛徳二郎
救助訓練用ダミーへ装着可能な頸椎姿勢評価システムの開発 岡山市消防局 西岡裕助 柳迫浩之
点字問診カード～盲ろう者とのコミュニケーションツール～ 札幌市消防局 大賀拓也
ハンディタイプ接地確認装置 労働安全衛生総合研究所 春日電機株式会社 崔 光石 長田裕生 鈴木輝夫
救急搬送におけるポータブルエアロゾルシールドの研究 国立大学法人 岡山大学 株式会社ハイビックス 塚原紘平 小倉久治

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25回目となる。この会の主たる目的は、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25回消防防災研究講演会は、「自然災害に対する危険物施設の事故対策」をテーマに、令和4年11月17日に三鷹市公会堂光のホールで実施された。令和3年度はオンライン開催であったが、3年ぶりに対面での開催となった。

近年、地震、降雨、台風などの自然災害に起因して様々な被害が発生している。製油所、石油タンクなどの危険物施設についても、これらの自然災害で少なからず影響を受け、場合によっては火災や危険物の漏洩などの被害が発生している。ガソリンや原油などを貯蔵したり取り扱ったりする危険物施設を設置する際には、消防法令の技術基準に従って火災や危険物漏洩を防止するための構造にし、そのための設備を設置する必要がある。このため自然災害に対しても、危険物施設は一定程度の耐力はあるものと考えられる。しかしながら、過去の地震や台風などで被害が発生しているのも事実である。将来発生が懸念されている、首都直下地震や南海トラフ地震においても危険物施設が耐えることを確認しておくことが肝要であるため、危険物施設の耐震性などの保安に関する研究の最新動向を消防関係機関などと共有し、現状の課題を明らかにしておく必要がある。講演会のプログラムを表1に示す。講演会では、これまでの研究成果や事故事例及び安全対策に関する知見が共有された。

【小規模タンクの津波・水害対策工法について】

東日本大震災において、157基の屋外タンク貯蔵所が津波による被害を受け、また、近年では台風や集中豪雨等に伴う浸水により、タンクの浮上、移動などの同様の被害事例が散見されている。このことから、消

防防災科学技術研究推進制度にて小規模タンクの津波・水害対策工法を開発し、危険物保安室の検討会で、その効果が確認されガイドライン化された。500kL未満の小規模な円筒縦置き型タンクを対象に、安価で短期間な施工で、耐津波性能の向上が可能な2つの工法について述べられた。

対策工法1はCFRP（炭素繊維強化プラスチック）により“面”でタンク底板を基礎に固定する対策であり、対策工法2は、ワイヤーと防油堤内に設置されたアンカーにてタンクを拘束する対策である。コンピューターでの静的津波荷重解析や水理模型を用いて動的な津波荷重を載荷する実験を実施し、これらの対策工法の効果を確認した。想定通りにタンクは保持され、また、CFRPには対策工法を逸するような剥離は生じないことが確認できた。

【コンビナートにおける災害時のドローン活用】

近年の自然災害におけるENEOS（株）仙台製油所でのドローン活用事例が詳細に紹介された。当該製油所は昭和53年宮城県沖地震を始め、これまでに多くの地震、津波被害を受けてきた。近年では令和3年と令和4年に福島県沖地震が発生して、浮き屋根上への漏洩やローリングラダーの脱輪などの事故が発生している。ドローンは地震発生後の迅速な状況把握に極めて有効であり、東日本大震災当時もドローンがあれば火災の状況把握や設備の損傷状況把握が早期に行え、消火時間の短縮や早期の設備復旧ができたと思われる。

ドローンの運用体制として、製油所内に多数のパイロットを養成しており、防災訓練でドローン隊の飛行

訓練を実施している。赤外線画像を活用することで火災の広がりや鎮火確認などへ適用可能である。今後の自動航行ドローンの導入による防災力強化などの展望について述べられた。

【短周期地震動による平底円筒貯槽の浮上り現象の解明に向けて】

石油などを貯蔵している鋼製のタンクに地震動が作用すると、底板の一部が浮き上がることが知られており、その解明に向けて、模型タンクの加振実験、地震力を模擬した準静的な傾斜実験、解析的研究など、国内外で様々な研究が行われてきた。既往研究とは異なる視点からタンクの浮き上り現象の解明に数理的に取り組んだ結果について説明が行われた。

タンク底板の浮き上りと運動を同じくする内容液に着目するという新しい観点を導入し、それに基づいて一方向水平地動加速度を受けるタンクの底板浮上り現象を解析する力学モデルの導出過程を示した。提案した力学モデルは比較的良好な精度で、底板浮き上り高さの時刻歴応答を解析できることを示した。これにより、底板の浮き上り現象の解明には、内容液の回転方向の運動を考慮することが不可欠であることを示唆した。

【台風、大雨時の危険物施設等の事故と防止対策】

我が国の危険物施設を取り巻く状況として危険物施設数や火災、危険物流出等事故の件数の推移などが説明され、火災・事故の発生要因の分析結果が紹介された。火災については維持管理不十分などの人的要因が多くを占めるが、危険物流出等事故では腐食疲労等劣化などの物的要因によるものが多く、それらの要因はともに増加傾向にあることが示された。また、近年発生した風水害による被害事例が多数紹介された。危険物保安室が取りまとめた「危険物施設の風水害対策ガイドライン」についても述べられ、危険物施設のタイムラインに対応したフローチャートの活用例と風水害の種類ごとのチェックリストが提示された。

【石油タンクの地震動による被害とその簡易予測】

消防研究センターでこれまで取り組んできた、長周期地震動による石油タンクスロッシング被害とその簡易予測、短周期地震動による石油タンクの被害とその簡易予測並びに「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」と「石油タンク地震・津波被害シミュレータ(全国版)」の開発状況が報告された。

講演では、「スロッシング高さの簡易予測や内容液の溢流量の簡易予測は地震動が与えられれば高い精度で予測可能であること。浮き屋根損傷の簡易予測については、傾斜・沈没に至るような甚大なものはおおむね予測可能であること。短周期地震動による側板の座屈・変形の簡易予測は、小型タンクについてはおおむね可能であるが、大型タンクについては更なる研究が必要であること。現在は、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により石油コンビナート地域の揺れを速やかに把握することができているが、今後は大型の石油タンクの被害を推定、予測するための石油タンク地震・津波被害シミュレータ(全国版)の開発に取り組むこと。」などが述べられた。

【洪水時のアルミ工場爆発火災について】

平成 30 年に岡山県総社市でアルミ工場において爆発火災が発生した。火災原因調査の技術支援等のため、消防庁危険物保安室職員と消防研究センター職員を現地に派遣した。稼働させていた 40t 溶解炉中、20t の溶解したアルミを残置して 21 時頃従業員は大雨のため避難した。河川が氾濫し工場内に浸水、溶解アルミ 20t が入っている炉内に大量の水が流入したため、水蒸気爆発が発生したと推定される。

金属の熔融高熱物など、水と触れると危険な物品については、水密性のある区画で保管する、金属の熔融高熱物の加熱をあらかじめ停止して十分温度を下げる等の措置を講ずる必要があると考えられる。

表 1 プログラム

テーマ：自然災害に対する危険物施設の事故対策	
(1) 小規模タンクの津波・水害対策工法について	東電設計（株） 保延宏行
(2) コンビナートにおける災害時のドローン活用	ENEOS（株） 五内川 真
(3) 短周期地震動による平底円筒貯槽の浮上り現象の解明に向けて	鳥取大学 谷口朋代
(4) 台風、大雨時の危険物施設等の事故と防止対策	消防庁危険物保安室 岡田勇佑
(5) 石油タンクの地震動による被害とその簡易予測	消防研究センター 畑山 健
(6) 洪水時のアルミ工場爆発火災について	消防研究センター 西 晴樹

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26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区分で募集を行っている。

令和4年度は、全国の消防機関や大学、消防機器メーカーなどから、計67作品の応募があった。選考委員会（委員長 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）による厳正な審査の結果、優秀賞として、計24作品が選ばれ、さらに、3作品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	24	5	3
	B. 消防防災科学論文	16	5	
	C. 消防職員における原因調査事例	19	10	
一般の部	D. 消防防災機器等の開発・改良	5	2	
	E. 消防防災科学論文	3	2	
合 計		67	24	3
受賞数計			27	

消防職員・消防団員等の受賞作品には、現場のニーズに沿った提案が数多く見られ、A区分の開発・改良では「サーモ機能付き防火装備の開発」や、「フルハーネス型墜落制止用器具に対応した防火服の改良」などが、またB区分の科学論文では「官民連携による交通安全教育の研究」、「宿泊施設における夜間想定訓練の指導方法についての一考察」などが選ばれた。

一般からは、D区分の開発・改良として「ハンディタイプ接地確認装置」などが、E区分の科学論文では「伝導性ノイズによるブレーカの導体接続部緩み検出手法の提案と現場適用の検討」などが選ばれた。

また、C区分の消防職員における原因調査事例は、応募される作品レベルが年々向上し、検証が丁寧かつ科学的に行われていた。再発防止策も徹底してきていて、火災防止に真摯に取り組んでいることがうかがえた。

1 優秀賞 (24 作品)**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 作品)****(1) サーモ機能付き防火装備の開発**

(東近江行政組合消防本部) 大橋真、辻健人

建物火災において、進入口と進入の可否を決定するが、厚手の防火手袋を着装したまま扉の熱気確認を実施しているのが現状である。さらに熱気有無の判断が困難な場合には、防火手袋を離脱し素手による熱気確認を行う動作を必要としている。

また、防火衣の防火性能向上に伴い、空間温度を感じにくい危険性がある。

サーモ機能付き防火装備は、防火手袋と防火ヘルメットに示温材を貼り付けることで、自分たちの目でハッキリと温度を「見える化」したものである。

現状の個人装備と活動を大きく変えることなく、最小の開発で高い安全性と迅速性を備え、屋内進入活動が行えるようになった。

**(2) フルハーネス型墜落制止用器具に対応した防火服の改良**

(東近江行政組合消防本部) 井口健吾

労働安全衛生法施行令が改正され、高所で使用する墜落制止用器具は、身体を複数箇所保持することで墜落時の衝撃を緩和するフルハーネス型墜落制止用器具を原則使用することとなった。しかし、防火服の上からフルハーネスを使用した場合、正しく迅速に着用することは困難であった。また、防火服の空気層を阻害し機能低下や、フルハーネス自体の保護から見ても現実的ではなかった。今回、防火服の内部に一般的なフルハーネスを取り付けることが出来る防火服に改良することで、防火服着用と同時にフルハーネスの装着が可能となり、迅速な出動や防火服の性能にも配慮した着用が可能となった。

**(3) NBC 災害用 簡易除染所の開発**(筑紫野太宰府消防組合消防本部) 細谷有祐、山本健治、石川敬幸、佐々木貴輝
(キンパイ商事株式会社) 米本剛

平成 28 年度に総務省消防庁で取りまとめられた、「消防機関における NBC 等大規模テロ災害時における対応能力の高度化に関する検討会」を当消防本部にて検討した。そこで、NBC 災害発生時に多数傷病者が発生した場合や、住宅密集地などの狭所空間においては、現場活動の流れを左右する重要な場面となる「初動」の遅れが課題となった。多数傷病者発生事案であれば、限られた資器材での状況下であるため、歩行可能な要救助者の対応に苦慮し、更には、住宅密集地などの狭所空間では十分な空間が必要となる除染所の設営に苦慮している。以上の課題を解決する除染所を、企業との合同で開発に成功した。また活動効率化は向上し、全国の消防本部を悩ませるランニングコストを最小限にすることが可能になった。

**(4) 倒壊建物訓練施設 P B S (パネルビルドシステム) の開発**

(東京消防庁) 八楯徳二郎

大規模地震の発生が強く危惧される中、震災対策装備資機材の整備や職員に対する教養などが進められている。それらの対策整備を行う上で困難性のあるものが訓練施設の整備である。震災時に発生する倒壊建物内の狭隘空間における活動訓練を行うには、具体的な体験ができる施設が必須である。倒壊建物訓練施設は広い土地にカルバートや瓦礫などの設置が必要となり、訓練場の整備は非常に困難である。そこで短時間で容易に設定ができ、現実的かつ効率的な狭隘空間での訓練が実施でき、さらにはコンパクトに収納することができ、輸送も可能となる模擬倒壊建物 P B S (パネルビルドシステム) を開発した。



(5) 救助訓練用ダミーへ装着可能な頸椎姿勢評価システムの開発

(岡山市消防局) 西岡裕助、服部良介、柳迫浩之

災害救助においては、救命率の向上だけでなく、要救助者の早期社会復帰を目標とした救助活動が求められるため、頸椎の保護は大変重要である。しかし、各種災害対応訓練においては、この点を定量的に評価されていないのが現状であることから、救助訓練用ダミー（以下、ダミーという）の頸椎姿勢評価に特化したものが必要であると考え、ダミーにワンタッチで装着可能な頸椎姿勢評価システムを開発した。

当システムは、慣性センサを頭部及び胸部に設置し、マイクロコンピュータを介しデータをパソコンへ無線送信する。パソコンのモニタ上にはダミーのアニメーションが表示され、定量的な評価が可能となる。



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 作品)

(1) 官民連携による交通安全教育の研究

(姫路市消防局) 塚原昌尚、宗則悦夫
(神姫バス株式会社) 柴田重盛、船曳晃司、大崎政慶

出動中の消防車両が交通事故を起こせば、火災拡大や負傷者の搬送遅延となる恐れがあるため、交通事故の防止は重要である。そこで、民間バス事業者と共同で交通安全教育について研究し「指導員育成研修」を考案、民間バス事業者が行う同研修を受講した消防職員が指導員となり、消防本部内部で「伝達研修」を行うという2段階の教育を実施した。その結果、多くの職員が運転に関する知識、技術を習得、交通事故を防ごうという意識の高揚が図られ、交通事故が減少、研究の成果が確認できた。さらに本教育を継続的に実施して、確実に災害現場へ到着できる交通安全体制の確立を目指したい。



(2) 宿泊施設における夜間想定訓練の指導方法についての一考察

(京都市消防局) 黒田龍介、藤田浩明

近年、インバウンドの増加や東京オリンピックの開催等を背景に、ホテル等の宿泊施設が著しく増加した。

宿泊施設では夜間が最も従業員数が少なく、人名危険が最大となることから、夜間の火災を想定した訓練「マニュアル検証訓練」に、消防職員が立会い、指導を実施している。しかしその指導にかかる消防職員の負担が増加した。そこで、指導マニュアルに基づいた訓練の様子やポイントがわかる動画を作成し、訓練前に視聴させたうえで訓練を実施した。また訓練後にその効果を検証した。



(3) 新たな暑熱順化トレーニングに関する検証

(東京消防庁) 朝日翔、清水祐二

個人の運動能力や実施環境に応じて負荷や種目を柔軟に選択できる安全な暑熱順化トレーニングを考案し、その効果や運動時の着衣による暑熱負荷について検証し、暑熱順化トレーニングの効果的な実施方法や安全に実施するための注意点等を提言することを目的とした。運動能力別に3群に分けた被験者に、ラン、サーキット等3種類のいずれかの種目を実施させ、暑熱順化効果を評価した。また、温度環境別に防火衣等を着用して運動した時の暑熱負荷を評価した。その結果、運動能力が中程度以下の群に暑熱順化の効果が認められ、運動時の着衣による暑熱負荷は25度を超える環境で高くなることが分かった。



(4) アイトラッキング技術を用いた消防技術の向上に関する検証

(東京消防庁) 石崎大河、田近義宏、山口隼、杉本仁美、坂本佑介、佐藤烈士

アイトラッキング技術の消防分野への導入効果に関する検討資料とするため、緊急車両の操縦、消防活動、指令管制業務における熟練者等の視線動作について分析を行った。

その結果、緊急車両の操縦については、危険個所における熟練者と非熟練者の注視回数の差等が明らかになった。消防活動については、火災対応訓練における指揮者の局面ごとの注視傾向について、ポイントを絞って注視している者と、活動全体を注視している者の2種類の特徴について確認できた。指令管制業務については、熟練者は通報内容の書き取りと同時に様々なモニターから情報を得ていることが分かった。



(5) ストレッチャーの振動特性に関する検証

(東京消防庁) 山口隼、田近義宏、坂本佑介

従来の防振架台が付いている救急車及び防振架台が付いていない電動ストレッチャーを搭載した救急車において、緊急走行時に生じる車両床面の振動及び加速度を測定した。振動発生装置を用いて、そのデータから車両床面の振動を再現し、当庁で最も仕様の多い防振架台が付いている救急車のストレッチャー上と、床に直付けの電動ストレッチャー上の振動特性及び振動が人体に与える負担等を明らかにすることを目的として検証した。

その結果、各ストレッチャーの振動特性に違いはあるが、ストレッチャー上の被験者バイタルの変化量は、防振架台の有無にかかわらず、各ストレッチャーで差は見られなかった。



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 (10 作品)

(1) 大型ダンプ火災に対し再発防止対策を徹底した結果リコールにつながった事例

印西地区消防組合消防本部

本火災は、走行中の大型ダンプのターボチャージャーオイルが排気管へ漏れたことにより出火した車両火災である。

メーカーと合同で鑑識調査を実施し、出火箇所と出火原因を特定することができ、メーカーへ再発防止対策に向けた要望書を送付する。

メーカーも再発防止に向け継続調査を実施した結果、出火箇所近傍にあるターボチャージャーが故障したことにより、タービン軸の回転が不円滑化し、その振動からターボチャージャーオイルパイプが破断し出火したことが判明、リコール(3万8千台)を届け出て、再発防止対策を実施することができた事例である。



(2) 蚊取り線香が有炎燃焼となり出火した火災について

(北九州市消防局) 江崎一織、村橋清貴、濱傑、吉岡勇輝、吉村諒、早田啓介

本火災は、木造2階建て専用住宅のバルコニーから出火し、エアコン室外機から屋内へ引き込むエアコン配管の一部を焼損した建物火災である。

出火時の証言や現場見分の焼損状況等から、エアコン配線又は蚊取り線香を起因とした出火が疑われたが、エアコンメーカーとの合同鑑識及び検証実験等により、エアコン配線からの出火は否定されたため、蚊取り線香による出火の可能性について検証した。

検証の結果、微小火源である蚊取り線香が、使用状況によっては有炎燃焼となり、出火に至ることが判明した。



(3) 石油ストーブの吹き返しにより出火した火災について

(北九州市消防局) 西村偉志、星野絵理

本事例は、石油ストーブから出火した建物火災である。

当該火災現場の石油ストーブについて鑑識を実施した結果、石油ストーブの燃焼筒、吸気口付近に煤の付着が確認でき、置台に炭化したごみ等が発見された。これに、関係者の回答を含め考察した結果、石油ストーブの吸気口が目詰まりのため不完全燃焼を起こした後、何らかの原因で目詰まりが解消し空気が急激に流入したことにより、石油ストーブの吹き返し現象が発生し、出火に至った可能性があることが判明した。



(4) タイマーユニットの不具合により出火した電子レンジ火災について

(川崎市消防局) 秋田勇紀、拜原宜弥、山田大輔、小樽大、明石仁、小坂勇次

本火災は、店舗内に設置された電子レンジ庫内の食品から出火した火災である。一見、電子レンジの火災で扱うことが多い、食品の温め過ぎによる火災原因と考えられた。

しかしながら、火災現場での初期の実況見分時、これまで経験することが多かった単なる温め過ぎの火災とは何かが違う「違和感」を電子レンジの状況及び使用者の説明等から覚えた。その後の関係者への詳細な聴取及び製造業者との製品鑑識の結果から、タイマーユニットの不具合による継続加熱が原因であることを明らかにし、各関係業者に再発防止対策を図らせた事案である。



(5) 掃除道具からの収れん火災

(浜松市消防局) 柴田俊、藤井智之、村松保典

鉄骨造2階建て住宅の2階ベランダに置かれた掃除道具から出火し、外壁及び収容物を焼損した建物火災である。

ベランダに置かれたステンレス製ボウルが、太陽光を収束させ、収れん作用によって発火し、周囲の掃除道具に着火したものと推定した。

調査を行っていくうえで、日差しの強弱に関らず、ステンレス製ボウル内で集まった太陽光がたわしの細かな繊維に集まり、短時間のうちに発火に至ることが確認できた。

日常使いの掃除道具が火災に発展することを危惧し、火災予防対策として注意喚起を促していく事例であった。

**(6) テレビモニター付きドアホンから出火した火災について**

(上越地域消防事務組合) 沖川雄介、田中優、入村宗

本火災は、共同住宅の居室に設置されたテレビモニター付きドアホン親機から出火したもので、居住者である大学生の在宅中に発生し、本体から噴き出す炎を確認後、自然鎮火したものである。製造業者立会いのもと消防研究センターの技術支援を受け鑑識を実施した結果、基板上でのトラッキングにより出火したものと判定した。その後、製造業者にトラッキング発生要因に係る追跡調査を依頼したところ、トラッキング発生のメカニズムが判明し、リコール社告に至った事例である。

**(7) 水上メガソーラー発電システムの火災調査について**

(岡山市消防局) 下中勝之、森浩昭、小倉良太、吉田篤史、浮田恭平、金丸大地

本火災は、岡山市南区にある淡水の池に設置されているフロート式の水上メガソーラー発電所において、太陽電池モジュール、付属配線、合成樹脂製フロート及び接続箱が焼損した火災である。

消防庁消防研究センターによる調査支援のもと、鑑識及び各実験を行った結果、出火箇所付近にある太陽電池モジュールから接続箱へ繋がる延長ケーブルが断線したため、アーク放電が発生し、付近のフロートに着火し出火に至ったものと推定した事案である。

なお、同池には、ネズミ目のヌートリアと言われる小型哺乳類が生息し、ケーブルを損傷させた可能性があるが、特定には至っていない。

**(8) スプレー缶の穴あけ処理による静電気火災について**

(さいたま市消防局) 柴崎裕章、山中昭紀

本件は、住宅の台所において、スプレー缶を廃棄処分するため穴あけ処理を行っていたところ、噴射剤の可燃性ガスに引火し、負傷者が発生したものである。

当局では、現場の状況から静電気により火災が発生したのではないかと推察し、実験を重ねたところ、ある条件下において、人体に高い値の静電気が帯電することが判明した。

このことを踏まえ、本市環境局及び日本エアゾール協会に対し情報提供を行い、改めて穴あけ行為による火災危険に関する広報を展開した。

本研究結果が全国の消防本部の火災調査の一助となり、火災予防に寄与することができれば幸いである。



(9) トラクター・艀装配線の短絡で生じた漏電電流により出火した車両火災調査報告

(堺市消防局) 宮本圭造、遠藤寛道、井上良太郎、飯村篤司、横田純、井上大地

駐車後 12 時間近くを経過したトラクターの左前輪タイヤハウス内を通過しているキャブチルト用コントロールワイヤー付近から出火した車両火災である。

鑑識の結果、キャビン後部に設置されたトレーラーウイング装置へ電源供給する艀装配線が車体のボルトに接触し短絡後、艀装配線にヒューズがなかったため継続的に車体を伝い漏電した短絡電流がキャブチルト用コントロールワイヤーを発熱させ出火したものと究明した。

その後、消防の要望により、艀装業者がヒューズ未設置車両を運行するユーザーに対し、点検強化等を促す注意喚起の冊子の配布といった類似火災防止対策を講じたもの。



(10) 洗浄剤が自然発火した事案の火災原因調査について

(大阪市消防局) 永松拓也、平井大敬、辻田達矢、星直人、秋山和輝

本火災は、作業場内で保管していたトイレタンク用の洗浄剤が自然発火した事例である。当該洗浄剤の成分には過炭酸ナトリウム (消防危険物第 1 類)、炭酸ナトリウム 等が含まれており、現場の状況から当該洗浄剤の自然発火による出火の可能性が考えられた。各種分析や実験を行い、その出火メカニズムを解明するとともに、類似火災防止の観点から、当該洗浄剤の製造・販売会社に対し、危険物確認試験の実施や製造・流通に関わる関係先への情報伝達等、再発防止措置等について要望したところ、それらが誠実に実施されるとともに、商品に対する火災の危機意識を強く認識させることができた事例である。



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 (2 作品)

(1) ハンディタイプ接地確認装置

(労働安全衛生総合研究所) 崔光石
(春日電機株式会社) 長田裕生、鈴木輝夫

日本国内では静電気による災害が毎年約 100 件発生し、約 7 割は接地不良の金属によるものとされている。このような静電気災害を防ぎ接地可否を簡単に確認できるように小型で安全なハンディタイプ接地確認装置を開発した。主な特徴としては 1.5 V, 3.0 V の低電圧を使用し、産業現場における様々な大きさの金属の接地有無を容易に確認できた。



また、プロパンガス／空気混合ガス雰囲気（濃度 5.25vol%）での着火試験でも、着火性がない安全なものであることが確認された。実際の産業現場における静電気災害の防止および静電気リスクアセスメント時に役に立つと期待できる。

(2) 救急搬送におけるポータブルエアロゾルシールドの研究

(国立大学法人岡山大学) 塚原紘平
(岡山市消防局) 日下靖也
(泉州南広域消防本部) 月木良和
(株式会社ハイビックス) 高井順子

救命救急の最前線にいる救急隊は、常に新型コロナウイルス感染のリスクにさらされており、救急搬送時に患者からのエアロゾルや飛沫の暴露を軽減させることは重要である。

今回、新型コロナウイルス感染症患者の救急搬送に適したシールドを開発した。シールドは、柔らかく軽い素材で、畳んで救急車内に収納できる。また、シールドに吸引機構をつけることでエアロゾルの暴露軽減に効果があることが分かり、その結果は米国の集中治療雑誌「Critical care」に掲載された。



令和 3 年度、シールドの改良と社会実装評価を実施し、令和 4 年 2 月 14 日に発売開始し製品化を完了した。

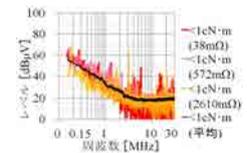
D. 一般／消防防災機器の開発・改良

E. 一般の部／消防防災科学論文 (2 作品)

(1) 伝導性ノイズによるブレーカの導体接続部緩み検出手法の提案と現場適用の検討

(あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター) 水野大貴、竹中清人、依田康宏
 (国立大学法人名古屋工業大学) 水野幸男
 (河村電器産業株式会社) 林文移

電気設備機器火災において金属の接触部過熱は主要な原因の1つであり、ブレーカや電磁開閉器等のねじの緩みや変形、破損により接触抵抗が増加し、ジュール熱等により出火する事例が報告されている。そこで、本研究では市販の分岐回路用ブレーカの金属端子(ねじ、負荷座)と電源ケーブルの接続部を対象とし、緩みによる間隙で微小放電が発生し、接触抵抗と伝導性ノイズが増加することを明らかにした。緩みに起因する伝導性ノイズの周波数スペクトルには規則性がなく、負荷である電気機器から発生するノイズと識別する必要もあるため、AIの一手法を適用し、高精度に検出ができる手法を提案し、現場への適用を検討した。



(2) 消防団員の属性と入退団の傾向に着目した消防団員の確保及び大規模災害時の参集可能性に関する研究

(東京理科大学) 松下港平、関澤愛、水野雅之

我が国の消防団は消防組織法で規定された非常備消防機関であり、消防団員はその地域に在住または在勤している有志によって構成される。消防団員の多くは別に本業を有しており、消防吏員とは性格が大きく異なる。近年では消防団員の減少と高齢化が進み、活動の持続が徐々に困難となっている状況が伺える。本研究では現役の消防団員へのアンケート調査と文献調査を実施し、入退団の傾向や入団経緯、退団理由等を調査した。これらを整理し、団員確保や退団の抑制、大規模災害時の消防団員の参集可能性等について分析を行った。



E. 一般／消防防災科学論文

2 奨励賞 (3 作品)

(1) 検索済テープの開発

(倉敷市消防局) 高橋陽亮、井上明彦、松本雄大

平成 30 年 7 月豪雨により、本市消防局が管轄する倉敷市真備町では大規模な浸水被害が発生した。当該災害では、他の関係機関と協力し検索活動を行ったが、検索の対象となった建物は、再利用可能なものがほとんどであった。現在、大規模災害時に使用する活動標示 (マーキング) は標準化されているが、再利用可能な建物へは使いづらいこと、迅速性に欠けることから、当該災害では採用できなかった。これらのことから、当該災害では関係機関とのマーキング方式の調整が難航し、また、検索活動の重複が多く発生した。

この経験から、建物等に損害を与えず、検索の重複をなくすために検索済テープを開発した。

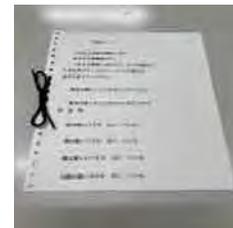


(2) 点字問診カード～盲ろう者とのコミュニケーションツール～

(札幌市消防局) 大賀拓也

盲ろう者又はその家族が救急搬送となった際、救急隊は迅速な活動のなかで盲ろう者とコミュニケーションを図る必要がある。しかし、現状ではコミュニケーションツールが確立されていないため救急現場での情報収集や説明、問診等で困難性が高い。しかし、公共施設では盲ろう者を対象とした「点字」が広く導入されている。

そこで、救急現場に点字を用いることで盲ろう者とのコミュニケーションが確立されると考えた。点字問診カードにあらかじめ救急現場でよく使う「フレーズ集」を点字しておくことで、焦らず情報収集やコミュニケーションを取ることができ迅速な救急搬送に繋がると考える。



(3) 無人航空機 (ドローン) を活用した水難救助手法の検証

(白山野々市広域消防本部) 松林大司、清水光治、水難救助隊
(北陸先端科学技術大学院大学) 郷右近英臣

水難事故事例で死亡・行方不明者数は約半数と、過去 5 年間変化がない。そこで本検証は、無人航空機 (以下「ドローン」) を活用した、水難事故の新規救助手法を検証し、死亡・行方不明者数減少の一助に繋げることを目的としている。

ドローンを活用する消防本部は、毎年増加しているが、政令指定都市が主であり、令和 3 年、総務省は全国の消防本部に対し、配備する方針を固めた。溺水患者の予後は、医学的に事故発生から蘇生開始までの時間が重要で、新規救助手法により、水難者救出までの時間短縮に繋げ、さらに救助者の安全性が高まる。そのことにより、救命率や社会復帰率の向上に繋がると考える。



奨励賞

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。

令和4年度は、新型コロナウイルス感染症の影響から本館の大会議室に参加者が集まることが困難な状況のため、オンライン会議室システムを使って開催された。

●令和4年4月12日

過熱状態の水が沸騰する仕組みを理解するための教材の作成

○野村祐子、大豆生田 顕 (消防大学校)
寺田光宏 (岐阜聖徳学園大学)

状態変化と熱の伝わり方の学習の中で沸騰現象を日常生活に関連付け、消防を文脈とした理科授業をデザインすることによって消火活動に伴う二次災害の危険性を理解し火災安全の向上を図るため、過熱状態の水が沸騰する仕組みを理解するための教材の作成を試みた。水より比重が大きい油に浮かべて加熱した水滴の挙動と、水より比重が大きい油と小さい油の界面で加熱した水滴の挙動を撮影し、突沸の起こりやすさと激しさを比較して現象の違いを捉える観察実験映像を作成した。

●令和4年5月10日

熱放射と紙の熱分解の学習教材評価のための予備調査

○野村祐子
中島才喜 (岐阜聖徳学園大学附属小学校)
寺田光宏 (岐阜聖徳学園大学)

「熱放射」は、電気ストーブや照明器具などの着火源の仕組みに加え、延焼、熱傷の原因としても重要であるが、理科ではほとんど扱われていない。本研究は、熱放射と熱分解の学習のための小学校理科用テキストを編集し、教材の予備調査を行い、抽出

された課題を解決することを目的とした。日光で紙を焦がす実験と蓄熱を模擬した「ししおどし」への注水実験および火災実験の写真と概念地図を含むテキスト「見えない光が運ぶ熱」を作成し、小学6年生に授業実践を行い、記述式のテストで内容の理解度を調査した。また、授業への満足感など7項目と自由記述式のアンケート調査を行った。

光から熱へのエネルギー変換に関する問題は、事前事後の正答率が各々16%と68%であった。他の問題はいずれも正答率が4%以下であった。但し誤答の中には部分的に正しい記述が相当数あり、語彙力の不足を補う出題が必要であることが分かった。学習効果を高めるため学習内容を概念地図で明確化した。アンケートは活用意欲が高く、満足感と興味関心がやや低かった。児童実験の設計が最大の課題であることが明らかとなり、白熱電球を用いた光照射実験を設計した。

●令和4年6月14日

自動車給油口パイプの導電性に起因した放電現象火災

○田村裕之、長浜将吾、佐藤広佳、宇津野真人
セルフのガソリンスタンドで自家用車に給油をし終えてしばらくした時に車両の下部から出火した事案があった。静電気放電による着火が疑われた。給油機の接地抵抗、車両各部の漏洩抵抗、部品の導電性、人体や部品の帯電について確認し、放電が起こ

りうる条件を検討した。車両の給油口から燃料タンクにつながるパイプの構造や導電性により、パイプが浮いた導体となる可能性を見いだせた。帯電したガソリンからの誘導でパイプの電位が上がり、放電が起きたとすると、ガソリン蒸気に着火させる放電エネルギーを持つことが分かった。導体を確実に接地することが安全につながることを示した。

●令和 4 年 7 月 26 日

アンモニアの危険性について

○鈴木 健

アンモニアは肥料、火薬の原料、冷凍空調設備の冷媒ガスなどとして広く利用されている。近年では、カーボンフリー燃料として注目されている。アンモニアは空気中では着火しにくい、過去に爆発事故が起きたことがある。また、毒性があり、漏洩により死傷者が発生したこともある。アンモニアの危険性について注意喚起するために、燃焼性、毒性、事故例などについて紹介した。この報告が、災害防止、災害調査等に役立つことを期待する。

●令和 4 年 9 月 13 日

内容液の回転慣性力を考慮した鋼製平底円筒貯槽のロッキング応答解析

○吉田祐一、谷口朋代（鳥取大学）

中島照浩（日本水工設計株式会社）

タンクの地震時ロッキング応答に係わる内容液の有効慣性モーメント等が Taniguchi らによって数理的に導出されており、さらに、運動学的なアプローチから内容液の回転慣性力項を含めた並進一回転系の連立運動方程式 (Taniguchi モデル) も既に提案されている。しかし、内容液のロッキングに係わる物理量が浮き上がり幅 (底板の径方向の浮き上がり長さ) に応じて時々刻々と変化することの評価方法が確立されていなかった理由から、Taniguchi モデルによる時刻歴応答解析の実施例はなく、その運動方程式の妥当性について十分検証されてこなかった。本研究では、幾何学的非線形性を考慮した Beam モデル (Malhotra の Beam モデル) から得られる「浮き上が

り量-浮き上がり幅関係」を用いて時々刻々変化する浮き上がり幅を浮き上がり量の応答値から評価することで、底板浮き上がり量の時刻歴応答解析が実施できるようにした。また、FEM 動的解析や慣用的な計算方法との比較から、Taniguchi モデルの運動方程式の妥当性や解析精度を検証した。検証の結果、改善の余地はあるものの、Taniguchi モデルの運動方程式の妥当性を説明できる結果が得られた。

●令和 4 年 9 月 13 日

エントロピー生成速度に基づく災害の統合的理解の可能性について (1) 研究のビジョン

○野村祐子

福島原発事故を契機として意思決定のあり方が問われている。主権者がレジリエントな社会を志向して協働するには災害の仕組みを俯瞰的に理解できることが望まれる。災害の仕組みを理解せずに防災対策を行うことの副作用について、消火剤の性能評価と二酸化炭素消火設備事故の関係を挙げ説明した。火災のように状況に適応する火炎は自由度が高いが、消火実験では再現性を高めるため火炎の自由度を低下させる結果、計算による予測とよく一致し、このことが社会に不適切な期待感を与え、防火対策から消火剤の性能評価における予測精度の向上へと「目的のすり替え」が起こる。

これを防ぐには、災害の本質的な共通性を見だし、実験を災害の仕組みと関連付けて捉え、災害を状況との多面的な関係性に注目して理解する必要がある。

災害理解のための概念装置として先に提案した物質・エネルギー・運動の「災害の三角形」は、「覆水盆に返らず」(不可逆性) を災害の特徴として捉えるには説明が不足している。エントロピー生成速度は不可逆性の度合いを表す物理量であり、これに着目すると災害を統合的に理解できると考えられる。

しかしエントロピー概念とエントロピー生成については学界と一般社会の間でも学界の中でも混乱や理解の不一致があることを指摘した。教材化の努力によって混乱や理解の不一致を辛抱強く解決していく

ことで、災害の仕組みの共通理解を促すことを提案した。

●令和 4 年 10 月 11 日

日中・夜間におけるドローンレーザー測定の結果比較と問題点

○土志田正二、新井場公德、天野久徳

土砂災害の救助活動では、再崩壊や土砂ダムの決壊による土石流などの二次被害の危険性を把握するため、災害後の地形情報が求められる。近年ドローンの活用もあり、広域で迅速な情報収集が可能となってきたが、基本的には可視カメラであり夜間時の運用は難しい。本研究では、夜間時でも計測可能な 3D スキャナを搭載したドローン（ドローンレーザー）を用いて、日中・夜間の地形計測を行い、計測結果の比較と夜間運用の問題点について整理した。

日中・夜間計測を比較した結果、ほぼ同様の地形データを取得することができた。これは広域の情報を得ることが困難であった夜間時において、ドローンレーザーを用いることで地形情報の取得が可能であることを示している。夜間計測時の運用の問題点としては、ドローン離着陸時や飛行中に周囲の目視情報量が著しく不足することである。特に電線などの架線はほぼ視認不可であった。土砂災害現場など高低差が大きい場所での運用には特に注意が必要になると考えられる。以上のことから、現時点では夜間時に初見の場所でのドローンレーザーの運用には課題も多いが、救助活動の長期化の際の夜間時の安全管理などには利用可能と考えられる。

●令和 4 年 10 月 11 日

三重県いなべ市立笠間保育園火災の現地調査報告

○田村裕之、鈴木恵子、藤井皓介、土志田正二

令和 4 年 5 月 11 日に発生した三重県いなべ市立笠間保育園火災の現地調査結果を報告した。

同火災は園児等が不在の翌日午前 0 時過ぎに消防覚知され、死傷者はなく、木造平屋建て約 1,700 平米を全焼した火災である。建物は、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律に基づく補助金

と合併特例債の起債により 2013 年に竣工している。準耐火構造を採用することで内装制限を適用除外し、保育室エリア内の防火区画をなくした設計で、この空間が燃えたため火災拡大が早く、注水困難と相まって鎮火まで長時間を要したが、好条件が重なり近隣への延焼は防がれた。

火災原因調査については消防本部に聞き取りを行った。確定には至っていないが焼損跡や目撃証言などからいくつかの原因候補があり、その痕跡を見分けることができた。また、得られた平面図と施設の職員数をもとに保育児童在園時を想定した避難計算を行った結果と、実避難と避難訓練実施時の留意点を示した。

また、現場状況の俯瞰把握と詳細把握を目的に、ドローン空撮およびハンディ 3D スキャナ計測を実施した結果を報告した。両測量機器を併用することで、今回のような火災現場においても俯瞰・詳細情報の把握が可能であることを示した。

●令和 4 年 11 月 8 日

断面形状が一辺 70 mm の正方形の直方体空間内で n-ヘプタンのプール燃焼がカーテン状火炎に変化する現象

○尾川義雄

開封した 1 リットルの牛乳パックと同じ大きさの直方体空間内を燃焼区画として n-ヘプタンを直径 37 mm の火皿で燃焼させたところ、プール燃焼の後に火炎が火皿を離れてカーテンのような形状の火炎に変化する現象が発生した。

そこでこの火炎を観察するとともにこの現象が起こる条件を探るため、火皿の直径および区画入口から火皿までの距離を変えて燃焼させた。火皿を区画入口から 1.5 mm の距離に置いた場合でもカーテン状火炎が観察された。

●令和 4 年 11 月 8 日

「電気の利用」と「有機化合物の性質」の学習を活用した火災文脈理科教材の作成

○野村祐子

火災を文脈とした理科教育を推進するため開発中の2種類のWeb用学習教材について紹介した。1つ目の教材は、電気ストーブや白熱電球など日常生活で使用する身の回りの電気の利用による火災の予防を目的として、高温物体からの熱放射と紙の熱分解についての基礎知識を学ぶ、小学6年生向けの教材である。2つ目の教材は、調理油や石油製品など日常生活で使用する身近な可燃物の火災を予防することを目的として、エステルと炭化水素の反応性の違いについての基礎知識を学ぶ、高校化学の履修生を対象とした教材である。これらの教材についての暫定的な内容案の一部を報告するとともに、小学6年生の理科単元「電気の利用」と高校化学の「有機化合物の性質」の単元において、児童生徒のエネルギー概念に対する理解を深めるための教材の活用方法を提案した。

●令和4年12月13日

山焼きの観測研究

○篠原雅彦、推名知明、松島早苗、佐伯一夢

火災旋風の性質と発生時の状況を定量的に知ることがを目的として山焼きの観測を行った。その結果、線状の延焼領域（火線）の上に大規模な旋回気流が発生し、その中に13個の火災旋風が発生していたことを可視・赤外面像から明らかにした。回転方向が分かった9個の火災旋風はすべて旋回気流と同じ反時計回りであった。火災旋風は、旋回気流の存在している場所には現れたが、旋回気流が移動して存在しなくなった場所には現れなかった。循環を求めることができた3個の火災旋風の循環は、ほぼ等しかった。以上の結果は、火災旋風が旋回気流によって引き起こされた可能性を示している。2つの火線上に発生した火災旋風のうち移動したものは、旋回気流と共に移動したものを除き、火線上を山頂方向に移動した。旋回気流定在時は、直径2m以上の火災旋風は移動せず、直径1.5m以下の火災旋風は一つを除き移動した。旋回気流移動時には、直径2m以上の火災旋風も旋回気流と共に移動した。火災旋風発生時の気象状況、火線の形・サイズ、火線強度、発熱

速度、延焼速度、火炎温度、可燃物の重量・含水率、火災旋風のサイズ・速度・発生位置・移動速度・継続時間を明らかにした。

●令和4年12月13日

過冷却水と過熱水の状態変化を対比して理解するための概念地図の作成

○野村祐子

理科で扱われている沸騰の原理は、過熱度が大きい状態を経て突然急激に気体に変化する爆発的沸騰現象を理解するには説明が不足している。本研究は、沸騰の原理に不足している沸騰開始過程の説明を補い、火災文脈の理科学習を提案することを目的とした。概念地図法は、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的効果が生じやすいと考えられている教育実践の技法である。そこで溶液の性質の学習内容を活用し、過冷却水の凝固と対比して過熱水の沸騰の概念地図を作成した。また、学習者の既有知識に沿って、蒸発、沸騰、身近な沸騰現象、爆発的沸騰の順に、現象の説明に必要な命題群を設定し、段階的に概念地図を詳細化した。さらに、過熱水の爆発的沸騰を火災と関連付け、理科と地域の安全を扱う社会科を接続する概念地図の作成を試みた。

●令和5年1月10日

石油燃料中で長期間使用されるガラス繊維強化プラスチックの音速による防食性診断基準の検討

○徳武皓也

ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)の性能は、経年劣化に伴い低下する。本研究では、鋼製一重殻地下タンクの内側に施工されるGFRPの防食性を、開放点検の際に定量的に評価する方法の確立を目指している。これまでの検討で、一般に鋼板の板厚を計測するための超音波板厚測定により推定ができるGFRPの音速により、その防食性を定量的に評価できる可能性が見出された。一方、防食性診断のために必要不可欠な、音速の診断基準値は明らかにされていなかった。そこで、長年石油燃料を貯油した地下

タンク内面に施工された不飽和ポリエステル樹脂系 GFRP の音速と腐食・劣化状態(界面付着力特性など)の関係を調べ、GFRP の防食性診断基準値について考察・議論した。

●令和 5 年 1 月 10 日

焼損した綿とポリエステル混紡試料の材質同定に関する研究(焼損後の色と化学分析結果の比較)

○佐藤康博、塚目孝裕

火災原因調査において、火災現場で採取した焼損物の材質を特定することが求められる場合があるため、熱分解 GC による材質同定の試みを行っている。複数の成分から構成される試料について、セルロースと PET の 2 成分の試料を検討した場合には、熱分解温度が低いセルロースの成分が検知されない可能性が高く、誤判断を考慮する必要があることわかっている。

そこで、本発表では、誤判断等を防ぐために、どのような試料を採取・分析するのがよいかを明確にするための研究を試みた。加熱した試料について分光色彩計を使用し、色の情報を数値化し、熱分解 GC の分析結果について比較することで研究を行った。その結果、PET のみと誤判断が生じる程度まで燃焼が進んだ状態と離れた状態で比較して判定できる程度の色の違い程度まで加熱が進んだ試料では、痕跡量程度しかセルロース由来のピークが確認できず、誤判断する可能性が高いことがわかった。

●令和 5 年 3 月 14 日

(オンライン会議室+本館 3F 大会議室開催)

消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発について ～大規模倉庫火災に関する実態調査～

○高橋優太、内藤浩由、天野久徳

近年の物流業界の需要拡大に伴い、倉庫件数の増加に加え、大規模化の傾向にある一方、殉職事案を含む大規模倉庫火災が多発している。本発表では、大規模倉庫の火災対応に関わる課題抽出と整理を目的に、稼働中の大規模倉庫の実態調査並びに当該火

災に対応した消防本部(局)へのヒアリング結果について報告した。

以下のことが明らかとなった。

- 1) 倉庫内の物品の多くは段ボールに梱包され、パレットに置かれる。また、これらは天井近くまで積み上げられ、大量の可燃物の集積場となっていた。
- 2) 大規模倉庫は 1,500 m² 以内の防火区画が多く、通路は用途区分によって通路幅員が異なる。また、大きな開口部は物品を搬出入する位置に限られ、搬出入のない壁側やその他の階は消火活動上有効な開口部が少ない。
- 3) 隣接区画に延焼が拡大すると火勢が著しく増し、消防隊の屋内進入が困難となり、次第に消防力は劣勢となる。
- 4) 隣接区画への延焼防止が図れば、焼損面積を少なく、かつ鎮火までの期間を大幅に短縮できる。消防隊の屋内進入が可能で直接放水できる場合を除き、防火区画の耐火時間内の抑制、もしくは隣接区画への延焼防止対策が望ましい。
- 5) 火災区画内の燃焼状況を屋外等で把握でき、非常用出入口等から屋内進入せず、遠隔で燃焼物に対して直接放水できる機構(装置、システム)が望まれる。

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反映方策などの火災・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「調査技術会議」を全国各地で開催している。令和4年度は、東京、名古屋、仙台、札幌、大阪、福岡の6会場で実施した。

第1回 令和4年5月26日開催 会場 三鷹市公会堂 参加者 334名

講演	消防研究センター 鈴木 康幸 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 杉山 昌彦 分析機器を活用するためのポイント
事例発表 2	相模原市消防局 中村 慶樹 車両の電圧安定化装置から出火した車両火災について
事例発表 3	水戸市消防局 鈴木 雄飛 動植物油脂の付着したタオルから出火した事例について
事例発表 4	千葉市消防局 竹内 祐輔 金属防食加工工場で発生した火災事案について
事例発表 5	前橋市消防局 石井 孝行 バーベキューガスコンロの出火事例
事例発表 6	松戸市消防局 矢口 成王 改造電動自動二輪者からの出火について
事例発表 7	川口市消防局 加藤 純一 使われていない電気配線から出火した事例

第2回 令和4年6月23日 会場 伏見ライフプラザ 鯉城ホール 参加者 230名

講演	消防研究センター 鈴木 康幸 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 青柳 和昭 分析機器を活用するためのポイント
事例発表 2	志太広域事務組合志太消防本部 増田 大透 事後聞知から着火着衣と判断した事例
事例発表 3	可茂消防事務組合消防本部 酒向 秀樹 フライヤーから出火した事例
事例発表 4	上越地域消防局 沖川 雄介 テレビドアホンから出火した火災

事例発表 5	東海市消防本部 大庭 悠揮 屋外タンク貯蔵所側板からの危険物流出事故について
事例発表 6	浜松市消防局 釣崎 友也 収れんによる出火について
事例発表 7	名古屋市消防局 松本 学 静電気による火災について

第3回 令和4年9月16日 会場 フォレスト仙台 参加者 131名

講演	消防研究センター 鈴木 康幸 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 森岡 伸嘉章 分析機器を活用するためのポイント
事例発表 2	あぶくま消防本部 佐藤 真一 大型物流倉庫火災
事例発表 3	郡山地方広域消防組合消防本部 國分 貴志 ガソリン誤給油による火災事例
事例発表 4	西置賜行政組合消防本部 小杉 亨 薪だき兼用ふろがま配管に起因する火災事例
事例発表 5	仙台市消防局 佐藤 英人 地震により座屈した準特定屋外貯蔵タンクからの重油流出事故について
事例発表 6	新潟市消防局 桑原 直輝 蛍光灯シーリングライトから出火した事例
事例発表 7	三沢市消防本部 武内 貞治 リサイクルショップで購入したハロゲンヒーターから出火した事例

第4回 令和4年10月27日開催 会場 かでる 2.7 道立道民活動センター 参加者 232名

講演	消防研究センター 鈴木 康幸 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 村松 賢 分析機器を活用するためのポイント
事例発表 2	札幌市消防局 佐藤 剛 業務用コーヒー焙煎機からの出火事例及び再発防止対策について
事例発表 3	岩内・寿都地方消防組合 池田 祐樹 走行中の大型ダンプトラックが国道トンネル内で出火した事例
事例発表 4	川崎市消防局 小山 賢二 屋外タンク貯蔵所付属配管理設部からの原油流出事故
事例発表 5	十勝広域消防事務組合 井上 久志 食器洗い乾燥機から出火した事例

事例発表 6	釧路東部消防組合 藤谷 直人 牧草から自然発火した事例
事例発表 7	函館市消防本部 山口 敦史 評価用試験乾燥機からの出火事例

第5回 令和5年1月27日 会場 大阪府男女共同参画・青少年センター 参加者 220名

講演	消防研究センター 西 晴樹 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 森崎 学 分析機器を活用するためのポイント
事例発表 2	和歌山市消防局 中西 勇人 ネット販売業者と連携した再発防止について
事例発表 3	姫路市消防局 政石 圭介 実験簿の薬品残渣物による火災事案について
事例発表 4	尼崎市消防局 西川 侑希 給油取扱所の通気管からの流出 ～10,000 Lの流出事故～
事例発表 5	岡山市消防局 下中 勝之 水上メガソーラー発電所における出火事例
事例発表 6	奈良県広域消防組合消防本部 宮谷 英樹 投げ込み式簡易湯沸かし器の仕様不良が重大事故に繋がった事例
事例発表 7	大阪市消防局 星 直人 LED テーブライトから出火した製品火災の調査報告

第6回 令和5年2月16日 会場 福岡市健康づくりサポートセンター 参加者 118名

講演	消防研究センター 秋葉 洋 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 浅古 慎一 分析機器を活用するためのポイント
事例発表 2	北九州市消防局 江崎 一織 蚊取り線香が有炎燃焼となり出火した火災について
事例発表 3	杵藤地区広域市町村圏組合消防本部 光富 康雄 豪雨により水没した電気自動車 (EV) からの出火について
事例発表 4	広島市消防局 金子 奨一朗 セラミックヒーターからの出火事例
事例発表 5	倉敷市消防局 小林 賢博 危険物屋外タンク貯蔵所廃油漏洩事故
事例発表 6	熊本市消防局 梶原 貴大 住宅用太陽光発電システムの配線接続部から出火した事例

事例発表 7	福岡市消防局 庄内 英親 燻製に起因する火災
--------	---------------------------

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	吉田祐一	2022.7.17 ～7.22	アメリカ合衆国 ラスベガス市	ASME 2022 Pressure Vessels & Piping Conference (米国機械学会 2022 年圧力容器・配管会議)	

イ. 国内での調査

	派遣者名	期 間	派遣先	目 的 等
1	西晴樹、畑山健、徳武皓也、吉田祐一	2022.4.20	ENEOS (株) 仙台製油所	福島県沖地震に際して発生した屋外タンク貯蔵所の漏洩等事故調査
2	田村裕之、鈴木恵子、土志田正二、藤井皓介	2022.6.1～ 6.2	桑名市消防本部、いなべ市役所	大規模木造保育園火災、感知通報の状況、出火原因、消火活動、避難誘導計画、消防水利の状況の調査
3	鈴木恵子	2022.10.29	北九州市消防局	大規模木造市場火災の消防活動と消防水利に関する情報収集

(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	杉山昌彦 (枚方寝屋川消防組合)	2021.4.1 ～2023.3.31	原因調査室	原因調査室長
2	浅古慎一 (横浜市消防局)	2021.4.1 ～2023.3.31	原因調査室	原因調査室長
3	森岡伸嘉章 (川崎市消防局)	2021.4.1 ～2023.3.31	原因調査室	原因調査室長
4	村松賢 (静岡市消防局)	2021.4.1 ～2023.3.31	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
5	森崎学 (富山市消防局)	2021.4.1 ～2023.3.31	原因調査室	原因調査室長
6	青柳和昭 (印西地区消防組合)	2021.4.1 ～2023.3.31	原因調査室	原因調査室長
7	市川直樹 (磐田市消防本部)	2022.4.1 ～2024.3.31	原因調査室	原因調査室長
8	家村優 (佐倉市八街市酒々井町消防組合)	2022.4.1 ～2024.3.31	原因調査室	原因調査室長
9	田村聡 (さいたま市消防局)	2022.4.1 ～2024.3.31	原因調査室	原因調査室長
10	川口健太郎 (広島市消防局)	2022.4.1 ～2024.3.31	原因調査室	原因調査室長
11	小林雄太 (駿東伊豆消防本部)	2022.4.1 ～2024.3.31	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	高橋優太 (東京消防庁)	2021.4.1 ～2023.3.31	消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発について	危険性物質研究室

(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～

イ. 国内の大学等との連携

	機 関 名	契約日
1	横浜国立大学	2006.4.1
2	神戸大学大学院工学研究科	2007.4.1
3	学校法人東京理科大学	2013.3.1

ウ. 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	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 ～2024.3.31
2	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 ～2022.9.30
3	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 ～2024.3.31
4	消防力と消防水利を考慮した市街地火災延焼シミュレーションによる火災被害推定ソフトウェアの研究開発	横浜市消防局	地震等災害研究室、上席研究官	2021.4.1 ～2026.3.31
5	崖崩れ監視装置の警報の基準	神戸市消防局	地震等災害研究室	2021.4.1 ～2026.3.31
6	消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発に関する共同研究	株式会社モリタホールディングス	危険性物質研究室	2021.8.2 ～2026.3.31
7	冠泡消火の性能評価に関する研究開発に関する共同研究	深田工業株式会社	危険性物質研究室	2021.8.17 ～2026.3.31
8	救急搬送における感染症対応に係る研究	広島国際大学	特殊災害研究室	2021.12.1 ～2024.3.31
9	火災の早期発見・鎮圧に向けた消火・情報共有技術に関する研究	早稲田大学理工学術院総合研究所	大規模火災研究室	2021.12.6 ～2024.3.31
10	住宅火災による死者数の将来予測と施策評価手法に関する研究	統計数理研究所	大規模火災研究室	2022.4.1 ～2023.3.31
11	消火活動の検証技術の研究開発	横浜市消防局	特殊災害研究室 大規模火災研究室	2022.10.17 ～2026.3.31

(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	担当者名
1	科学研究費助成事業 (基盤研究(B))	令和2年度～令和6年度 鳥取大学 谷口朋代	アンカーの無い平底円筒貯槽の底板浮上り量算定法及び隅角部の安全性照査法の構築	畑山健 吉田祐一
2	科学研究費助成事業 (基盤研究(C)(一般))	令和3年度～令和5年度 岐阜聖徳学園大学 寺田光宏	中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
3	科学研究費助成事業 (基盤研究(B))	令和4年度～令和6年度 筑波大学 八反地剛	表層崩壊のライフサイクル - 人為的インパクトの評価を含む時空間分析	土志田正二
4	科学研究費助成事業 (基盤研究(C))	令和4年度～令和6年度 東京理科大学 水野雅之、市村志朗	VR技術を活用した避難行動特性分析の妥当性評価	藤井皓介
5	科学研究費助成事業 (基盤研究(C))	令和4年度～令和7年度 早稲田大学 佐野友紀	デジタル技術を用いた大規模施設における空間的にフレキシブルな避難誘導計画手法	藤井皓介
6	科学研究費助成事業 (若手研究)	令和4年度～令和8年度	避難行動要支援者の避難速度の計測と避難困難区域の算出手法の確立	大津暢人

イ. その他

	種 別	期間、相手先、参加者名	共同研究課題名	担当者名
1	令和4年度日本火災学会内田博士記念研究助成金	令和3年度～令和4年度、日本火災学会地震火災専門委員会	風水害などの自然災害を起因とする火災に関する研究	大津暢人
2	地区防災計画学会22年度地区防災計画モデル事業 Yahoo!基金助成金	令和4年度、地区防災計画学会	地区内全域の浸水が想定される精華町中地区における広域分散避難の研究	大津暢人

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	東京理科大学大学院理工学研究科		客員准教授	阿部伸之
3	国立大学法人横浜国立大学大学院 環境情報研究院	○社会インフラにおけるリスクと安全:エネルギー貯蔵施設における地震リスク ○地震リスク評価学	客員准教授	畑山健
4	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
5	国立大学法人神戸大学	・減災空間設計法 ・Cross Sectional Perspectives of Disaster Management	客員准教授	大津暢人

イ. 大学非常勤講師

	派遣先機関	講義題目	氏名
1	東京都立大学都市環境学部地理環境学科	災害論	土志田正二
2	京都大学防災研究所	・ Cross Sectional Perspectives of Disaster Management ・ 社会防災工学「広域応援と地域防災による減災政策論－緊急消防援助隊と自主防災組織の制度化と課題－」 ・ 防災情報特論「減災空間設計法－人的被害軽減のための空間利用と避難－」	大津暢人

ウ. 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	2022.6.3	火災調査科 (第 42 期)	講話	鈴木康幸
2	2022.6.7	火災調査科 (第 42 期)	機器分析 (原理と構造)	尾川義雄

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
3	2022.6.9	調査科 (第 42 期)	鑑定と資料の採取	塚目孝裕
4	2022.6.29	危険物科 (第 17 期)	燃焼理論	尾川義雄
5	2022.7.4	危険物科 (第 17 期)	火源管理 1	田村裕之
6	2022.7.5	危険物科 (第 17 期)	指定可燃物	岩田雄策
7	2022.7.12	危険物科 (第 17 期)	刑事裁判で使用される報告書と証人出廷	塚目孝裕
8	2022.7.13	危険物科 (第 17 期)	火災調査・漏洩調査	西 晴樹
9	2022.7.20	火災調査科 (第 42 期)	長官調査	武石吉生
10	2022.9.26	予防科 (第 112 期)	避難対策と火災の理解	鈴木恵子
11	2022.10.3	予防科 (第 112 期)	予防実務 3	塚目孝裕
12	2022.10.21	火災調査科 (第 43 期)	講話	鈴木康幸
13	2022.10.25	火災調査科 (第 43 期)	機器分析 (原理と構造)	尾川義雄
14	2022.11.2	調査科 (第 43 期)	鑑定と資料の採取	塚目孝裕
15	2022.12.8	火災調査科 (第 43 期)	長官調査	武石吉生
16	2023.1.24	上級幹部科 (第 86 期)	研究調査	鈴木康幸
17	2023.2.2	NBC コース	検知と同定	塚目孝裕
18	2023.2.9	予防科 (第 113 期)	予防実務 3	塚目孝裕
19	2023.3.14	予防科 (第 113 期)	避難対策と火災の理解	鈴木恵子

エ. 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	2022.5.18	枚方寝屋川消防組合消防本部	長官調査について	杉山昌彦
2	2022.5.20	警察大学校・警部任用科第 64 期	消防における原因調査	塚目孝裕

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
3	2022.6.9	三重県危険物安全協会	三重県危険物安全大会・危険物施設における事故事例と安全対策	西晴樹
4	2022.6.10	神戸市危険物安全協会	令和 4 年度神戸市危険物安全大会記念講演「風水害等に起因する火災や鉄道火災等の意外性を伴う火災事例－安全工学と経営判断－」	大津暢人
5	2022.6.25	神戸大学都市安全研究センター	消防隊による対応に困難を伴うことがある火災事例に関する研究, 第 278 回 神戸大学 RCUSS オープンゼミナール	大津暢人
6	2022.6.29	富山県特設消防連絡協議会	総会記念講演会・自然災害に伴う危険物施設の事故事例や対策	西晴樹
7	2022.7.8	一般財団法人総合研究奨励会日本無人機運行管理コンソーシアム (JTUM)	土砂災害現場におけるドローンの活用について	土志田正二
8	2022.7.9	岡山県立大学	個別避難計画に盛り込む教訓としての要支援者の避難行動分析, 平成 30 年西日本豪雨 災害時に手助けが必要な方々とともに考えるシンポジウム	大津暢人
9	2022.7.15	鹿島地方事務組合	鑑識要領について	青柳和昭
10	2022.7.19	関東管区警察学校科学・過失犯捜査専科	火災調査に関わる消防の対応	塚目孝裕、 武石吉生
11	2022.8.24	特定非営利活動法人安全工学会	第 44 回安全工学セミナー・引火危険性物質	岩田雄策
12	2022.9.1	広島市消防局	消防研究センターの紹介について	川口健太郎
13	2022.9.7	警察大学校・警部任用科第 65 期	消防における原因調査	塚目孝裕、 武石吉生
14	2022.9.8	一般社団法人日本建築学会	2022 年度日本建築学会大会 (北海道) 防火部門研究協議会 見える化により「火災に強く、安全な建築」を身近に、消防防災と避難リスクの見える化	藤井皓介
15	2022.9.10	神戸大学都市安全センター	RCUSS オープンゼミナール 縮小していく社会に対応した火災対策	鈴木恵子
16	2022.9.20	大阪府下東ブロック消防長会	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
17	2022.9.28	消防庁 消防・救急課	第 6 期ドローン運用アドバイザー育成研修・土砂災害現場におけるドローンの活用について (Web)	土志田正二
18	2022.10.6	公益財団法人日本火災学会	火災科学セミナー・石油コンビナート施設の災害事例に学ぶ	西晴樹
19	2022.10.7	群馬県消防長会	鑑識要領について	家村優
20	2022.10.11	一般財団法人全国消防協会東海地区支部	火災調査に関することについて	浅古慎一
21	2022.10.20	兵庫県消防学校	消防研究センター・長官調査について	青柳和昭
22	2022.10.25	消防庁 消防・救急課	第 7 期ドローン運用アドバイザー育成研修・土砂災害現場におけるドローンの活用について	土志田正二
23	2022.11.8	富山県消防長会	模擬家屋燃焼後の現場見分要領	森崎学
24	2022.11.21	塩釜地区消防事務組合 消防本部	火災原因調査要領 (放火・たばこ・ストーブ)	浅古慎一
25	2022.11.22	警察大学校・警部任用科第 66 期	消防における原因調査	塚目孝裕、 武石吉生
26	2022.11.24	高槻市消防本部	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦
27	2022.11.29	鎌倉市消防本部	消防研究センターの紹介・鑑識要領・火災事例紹介	森崎学
28	2022.12.1	長野県消防学校	鑑識実習	家村優
29	2022.12.2	大東四條畷消防本部	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦
30	2022.12.9	新潟県危険物安全協会 新潟地区支会	危険物事故防止研修会・危険物施設における事故事例と安全対策	西晴樹
31	2022.12.15	茨城県立消防学校	消防研究センターの紹介・火災事例紹介	森崎学
32	2022.12.16	静岡県消防学校	消防研究センター紹介・製品鑑識要領	市川直樹
33	2022.12.16	美作地区消防本部連絡協議会合同研修	製品火災の鑑識手法・事例紹介 消防研究センターが実施している支援事例の紹介	田村聡
34	2023.1.10	伊藤忠エネクス(株)安全講習会	危険物施設での事故防止対策	塚目孝裕

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
35	2023.1.19	鳥取県消防学校	模擬家屋燃焼後の現場見分要領	森岡伸嘉章
36	2023.1.20	鹿行広域事務組合消防本部	火災調査事例発表会「電気火災の発生状況と火災事例」	田村裕之
37	2023.1.20	神奈川県消防学校	現場調査の進め方	川口健太郎
38	2023.1.24	福島県消防学校	特異火災事例 訴訟事例	田村聡
39	2023.1.26	茨木市消防本部	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦
40	2023.1.27	さいたま市	これからの火災調査	塚目孝裕
41	2023.1.27	山梨県消防学校	消防研究センター紹介・製品鑑識要領	小林雄太
42	2023.1.30	岐阜県消防学校	消防研究センター紹介・製品鑑識要領	村松賢
43	2023.2.1	尾張東部五市消防連絡協議会(事務局:犬山市消防本部)	尾張東部五市消防連絡協議会研修会 「太陽光発電システムの火災と消防活動の安全対策」	田村裕之
44	2023.2.1	群馬県消防学校	車両火災見分要領	浅古慎一
45	2023.2.1	神戸市消防学校	司令補昇任課程「都市・建築における消防活動環境と殉職・受傷事故の発生傾向」	大津暢人
46	2023.2.3	岡山県消防学校	消防研究センター紹介・製品鑑識要領	村松賢
47	2023.2.3	奈良県広域消防組合	製品火災に係る火災調査の進め方	杉山昌彦
48	2023.2.13	金沢市消防局	消防研究センター紹介・製品鑑識要領	小林雄太 市川直樹
49	2023.2.14	オホーツク地区消防長会	鑑識要領について	森岡伸嘉章
50	2023.2.17	吹田市消防本部	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦
51	2023.2.17	豊中市消防局	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦
52	2023.2.18	全国消防長会東近畿支部火災科学研修会	長官調査について	村松賢
53	2023.2.21	技術士会科学技術鑑定センター	火災調査手法と事例	塚目孝裕

	年月日	派遣先機関	講演会名・講義題目等	氏名
54	2023.2.24	徳島市消防局	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦
55	2023.3.1	警察大学校・警部任用 科第 67 期	消防における原因調査	塚目孝裕、 武石吉生
56	2023.3.2	安房郡市広域市町村圏 事務組合	火災調査現場におけるマネジメント	青柳和昭
57	2023.3.2	尾道市消防局	リチウムイオン電池の火災について (Web)	川口健太郎
58	2023.3.7	青森県消防学校	消防研究センター紹介・鑑定要領	杉山昌彦
59	2023.3.10	箕面市消防本部	消防研究センター・長官調査について	杉山昌彦

(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	
3	公益社団法人日本火災学会	普及委員会	委員	
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	消防防災活動用資機材等専門委員会	委員	天野久徳
6	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	
7	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	
8	公益社団法人計測自動制御学会	システムインテグレーション(SI)部門 レスキュー工部学会	運営委員	
9	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	
10	The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Incorporated	IEEE Robotics & Automation Society, TC on Safety, Security	メンバー	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
		and Rescue Robots		
11	危険物保安技術協会	大容量泡放水砲用防災資機材等に係る防災要員の減員の計画等の評価委員会	委員長	
12	危険物保安技術協会	新技術を活用した防災要員の減員に資する資機材の有効性に関する検討委員会	委員長	
13	一般財団法人製造科学技術センター	ロボットのミッション型性能評価プロセスの仕組み化に関する戦略策定に関する戦略策定委員会	委員	
14	一般社団法人火薬学会	理事会	理事	岩田雄策
15	一般社団法人火薬学会	運営委員会	委員	
16	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	
17	公益社団法人日本火災学会	化学火災専門委員会	委員	
18	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	
19	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	
20	一般財団法人海上災害防止センター	特別海上災害対応支援グループ	専門家	
21	公益社団法人日本火災学会	学術委員会	委員	大津暢人
22	公益社団法人日本火災学会	地震火災専門委員会	幹事	
23	International Society for Integrated Disaster Risk Management	Review charter and bylaws committee	委員	
24	International Society for Integrated Disaster Risk Management	Advisory committee member	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	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
27	公益社団法人日本火災学会	消火戦略に関する専門委員会	委員	
28	国際火災安全科学シンポジウム 現地実行委員会	第14回国際火災安全科学シン ポジウム現地実行委員会	委員	
29	消防庁救急企画室	マイナンバーカードを活用し た救急業務の迅速化・円滑化に 向けたWG	委員	久保田勝明
30	国立研究開発法人宇宙航空研究 開発機構	高速度回転翼の市場ニーズと 開発シナリオに関する外部有 識者委員会	委員	佐伯一夢
31	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	専門委員	佐藤康博
32	公益社団法人日本火災学会	総務委員会	委員	
33	公益社団法人日本火災学会	火災誌編集小委員会	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 合同分 科会, ISO/TC92/SC4WG, ISO/TC21/SC11WG	委員	鈴木恵子
35	一般財団法人日本建築センター	建築防災計画評定委員会	委員	
36	一般社団法人日本建築学会	防火本委員会	委員	
37	一般社団法人日本建築学会	防火委員会住宅の火災安全小 委員会	委員	
38	一般社団法人日本建築学会	防火委員会防火基準モデルコ ード小委員会	委員	
39	一般財団法人日本建築防災協会	特定建築物調査員講習運営委 員会テキスト1編集部会	委員	
40	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	
41	東京消防庁	第25期火災予防審議会	委員	
42	北九州市消防局	火災予防対策のあり方検討会	構成員(副 座長)	
43	一般財団法人日本燃焼学会	理事会	理事	鈴木佐夜香
44	一般財団法人日本燃焼学会	将来構想委員会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名	
45	Fire Technology	編集委員会	委員	鈴木 健	
46	日本機械学会	熱工学部門総務委員会	委員		
47	公益社団法人日本火災学会	理事会	理事		
48	公益社団法人日本火災学会	学術委員会	委員		
49	一般財団法人首都高速道路技術センター	首都高速道路のトンネルに関する防災安全検討委員会	委員		
50	一般財団法人首都高速道路技術センター	日本橋区間地下化事業等におけるトンネル防災安全検討委員会	委員		
51	一般社団法人日本電気協会	防火管理検討会	委員		
52	特定非営利活動法人安全工学会	学術委員会	委員		
53	国立大学法人東京大学	東京大学環境安全総括委員会	委員		鈴木康幸
54	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		
55	一般財団法人日本消防設備安全センター	ガス系消火設備等評価委員会	委員		
56	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		
57	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		
58	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		
59	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		
60	危険物保安技術協会	危険物事故防止対策論文審査委員会	委員		
61	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		
62	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		
63	ISO/TC21 事務局	ISO/TC21 委員会	委員		

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
64	消防庁	優良消防用設備等審査会	委員	
65	消防庁	第 6 回予防業務優良事例表彰 選考会議	選考委員	
66	日本消防検定協会	消防用機械器具等規格研究委 員会	委員	
67	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3 分科会	委員	高梨健一
68	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG2	委員	
69	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG6	委員	
70	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG7	委員	
71	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG9	委員	
72	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG14 (警報装置 G)	委員	
73	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG15	委員	
74	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG17	委員	
75	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG18	委員	
76	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG21	委員	
77	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG22	委員	
78	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG23	委員	
79	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG24	委員	
80	一般社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 警報設備等専門委員会	委員	
81	一般社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 保守用機器等専門委員会	委員	
82	一般社団法人日本消防設備安全 センター	消防用設備等認定委員会 警報設備等専門委員会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
83	一般社団法人日本消防設備安全センター	消防用設備等認定委員会 保守用機器等専門委員会	委員	
84	日本消防検定協会	特定警報避難機器評価委員会	委員	
85	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	武石吉生
86	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG10	委員	田村裕之
87	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG20	委員	
88	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG8	委員	
89	ISO/TC21/SC3 分科会	ISO/TC21/SC3/WG27	委員	
90	一般社団法人静電気学会	理事会	監事	
91	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	
92	一般社団法人静電気学会	選挙管理委員会	委員長	
93	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	
94	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	
95	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専門委員会	委員	
96	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	
97	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	
98	日本消防検定協会	消防機器等評価委員会	委員	
99	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	
100	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	
101	東京消防庁	技術改良検証課題検討委員会	委員	
102	労働安全衛生総合研究所	可燃性粉体塗料用静電ハンドスプレー装置の安全要求及び	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
		試験方法に関する指針作成委員会		
103	安全工学会	安全工学シンポジウム実行委員会	委員	
104	太陽光発電技術研究組合	高安全モジュール検討委員会	委員	
105	消防庁予防課	火を使用する設備等の評価方法及び防火安全対策に関する検討部会	委員	
106	危険物保安技術協会	危険物施設における可燃性蒸気の滞留するおそれのある場所に関する評価業務の準備委員会	委員	
107	労働安全衛生総合研究所	業績評価委員会労働安全衛生研究評価部会	専門委員	
108	消防庁予防課	蓄電池設備のリスクに応じた防火安全対策検討部会	委員	
109	東京都水道局	水道局工事事故防止対策委員会・専任幹事会	委員	
110	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
111	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	
112	公益社団法人日本火災学会	火災誌編集小委員会	委員	
113	公益社団法人日本火災学会	論文誌編集小委員会	委員	
114	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	
115	消防庁危険物保安室	給油取扱所における業務等のあり方に関する検討会	委員	
116	消防庁危険物保安室	リチウムイオン蓄電池に係る火災予防上の安全対策に関する検討会	委員	
117	ISO/TC94/SC14	ISO/TC94/SC14	委員	
118	一般財団法人全国危険物安全協会	鋼製地下タンク FRP 内面ライニング施工事業者認定委員会	委員	徳武皓也

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
119	一般財団法人全国危険物安全協会	タンク等の点検方法等の性能評価委員会専門部会	部会員	
120	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	
121	国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構	人工衛星画像データの土砂への活用検討ワーキンググループ	委員	土志田正二
122	公益社団法人日本地すべり学会	事業計画部	副部長	
123	一般社団法人日本地形学連合	総会	代議員	
124	特定非営利活動法人安全工学会	理事会	理事	内藤浩由
125	特定非営利活動法人安全工学会	編集委員会	副委員長	
126	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	
127	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	
128	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	
129	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	西 晴樹
130	危険物保安技術協会	機関誌編集委員会	委員	
131	危険物保安技術協会	地下貯蔵タンク及びタンク室等の構造・設備に係る評価委員会	委員	
132	特定非営利活動法人安全工学会	編集委員会	委員	
133	特定非営利活動法人安全工学会	第 55 回安全工学研究発表会実行委員会	委員	
134	特定非営利活動法人安全工学会	安全工学会論文賞選考委員会	委員	
135	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	
136	川崎市	川崎市コンビナート安全対策委員会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
137	消防庁危険物安全保安室	新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会	委員	
138	公益社団法人日本地震学会	強震動委員会	委員	畑山 健
139	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	幹事	
140	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	
141	東京都石油コンビナート等防災本部	東京都石油コンビナート等防災アセスメント検討会	石油コンビナート等防災本部専門員	
142	北海道	北海道石油コンビナート等防災アセスメント検討委員会	委員	
143	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	藤井皓介
144	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	
145	一般社団法人日本建築学会	建築人間工学小委員会	幹事	
146	一般社団法人日本建築学会	大会学術講演会プログラム編成会議(建築計画部門)	委員	
147	International Association for Fire Safety Science	第 14 回国際火災安全科学シンポジウム 現地実行委員会	委員	
148	Journal of Disaster Research	編集委員会	委員	細川直史
149	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	
150	一般社団法人日本電気協会	渋沢賞受賞者選考委員会	委員	
151	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	
152	東京消防庁	警防業務事故再発防止対策検討部会	部会員	
153	東京消防庁	第 25 期火災予防審議会	委員	

	団体等名	委員会等名	役職名	氏名
154	消防庁特殊災害室	石油コンビナート災害対応への先進技術活用検討会	委員	
155	国立研究開発法人情報通信研究機構	ETS-9 通信ミッション利用実験の企画準備に関する検討会	委員	
156	いわて消防通信指令事務協議会	いわて消防指令センター総合整備事業入札評価委員会	委員	
157	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 (EST-1 委員会)	中立委員	吉田祐一

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火災の原因調査

令和 4 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 4 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 4 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	2022.6.22	宮城県石巻市	建物火災	汚水処理場の汚泥焼却炉が爆発し、焼却炉、シャッター等を焼損したものを。	①塚目孝裕 杉山昌彦 浅古慎一 ②浅古慎一	①2022.6.29 ～2022.7.1 ②2022.9.12 ～2022.9.13
2	2022.8.4	岡山県総社市	倉庫火災	マグネシウム合金やアルミ製品を保管している倉庫から出火し、出火倉庫約 153 m ² を全焼し、隣接の建物 2 棟を焼損したものを。	武石吉生 青柳和昭 家村 優 森崎 学	2022.8.18 ～2022.8.20
3	2023.1.13	石川県輪島市	気象観測施設火災	気象観測所内の気球打ち上げ装置から出火し、打ち上げ装置他 3.14 m ² を焼損し	武石吉生 田村 聡 小林雄太	2023.2.20 ～2023.2.22

	発災日	場所	施設等名称	概要	現地出向者	現地調査日
				たもの。		
4	2023.3.13	福島県二本松市	工場火災	カセットガスボンベ製造工場で爆発・火災が発生し、重傷者3名を含む4名が負傷し、4,817 m ² を焼損したもの。	田村裕之 佐藤康博 武石吉生 田村 聡 市川直樹	2023.3.27 ～2023.3.29

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

令和4年度は該当なし

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

	発災日	発災県	概要	対応者	調査日
1	2022.8	千葉県	河川に流出した油の種別	塚目孝裕 青柳和昭	2022.9

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

	発災日	場所	施設等名称	概要	対応者	調査日
1	2022.12.31	山形県鶴岡市	土砂災害発生地	山形県鶴岡市西目で発生した崩壊の現地調査	新井場公德 土志田正二	2023.1.30 ～1.31

(2) 鑑定・鑑識

ア. 鑑定

	支援年月	発災県	概要	鑑定者
1	2022.4	千葉県	オイルヒーター端子部の鑑定	消防研究センター
2	2022.4	兵庫県	建物火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
3	2022.4	広島県	建物火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
4	2022.4	鹿児島県	車両火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
5	2022.4	岡山県	林野火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
6	2022.4	兵庫県	その他火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
7	2022.5	神奈川県	その他火災 残さ物の鑑定	消防研究センター

	支援年月	発災県	概要	鑑定者
8	2022.5	新潟県	建物火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
9	2022.5	千葉県	建物火災 燃料油の鑑定	消防研究センター
10	2022.5	広島県	その他火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
11	2022.5	群馬県	衣類乾燥機内の残さ物の鑑定	消防研究センター
12	2022.5	神奈川県	車両火災 残さ物の鑑定	消防研究センター
13	2022.5	神奈川県	建物火災の残さ物の鑑定 (生石灰)	消防研究センター
14	2022.5	愛知県	建物火災の残さ物の鑑定 (石灰窒素)	消防研究センター
15	2022.5	愛知県	建物火災の残さ物の鑑定及び発火温度 (水素吸蔵合金)	消防研究センター
16	2022.6	神奈川県	粉体の粒度分布測定	消防研究センター
17	2022.7	栃木県	建物火災における残さ物の成分分析	消防研究センター
18	2022.7	静岡県	試料 (粉末) のマグネシウム含有の有無	消防研究センター
19	2022.7	秋田県	火災現場から収去した物件の鑑定	消防研究センター
20	2022.8	滋賀県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
21	2022.8	栃木県	火災現場から収去した物件の鑑定	消防研究センター
22	2022.8	群馬県	火災現場から収去した物件の鑑定	消防研究センター
23	2022.8	兵庫県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
24	2022.8	茨城県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
25	2022.9	京都府	火災現場から収去した物件の鑑定 (熱分析)	消防研究センター
26	2022.9	千葉県	火災現場から収去した物件の鑑定	消防研究センター
27	2022.9	富山県	火災現場から収去した残さ物の鑑定	消防研究センター
28	2022.9	神奈川県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
29	2022.11	神奈川県	木質ペレットの熱分析	消防研究センター
30	2022.11	島根県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
31	2022.11	秋田県	火災現場から収去した物件の鑑定 (木粉)	消防研究センター
32	2022.11	神奈川県	充電器に付着している物質の成分分析	消防研究センター
33	2022.12	岡山県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
34	2022.12	千葉県	建物火災の石油ストーブの油分鑑定	消防研究センター
35	2023.1	岩手県	建物火災の残さ物の油分鑑定	消防研究センター
36	2023.1	岩手県	建物火災の液体の油分鑑定	消防研究センター
37	2023.1	大阪府	トランスファーライン断熱材の鑑定	消防研究センター
38	2023.2	千葉県	亜酸化銅の付着の有無	消防研究センター
39	2023.2	山梨県	油分鑑定	消防研究センター
40	2023.3	広島県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
41	2023.3	滋賀県	残さ物の鑑定	消防研究センター
42	2023.3	静岡県	建物火災の残さ物鑑定	消防研究センター
43	2023.3	京都府	残さ物の成分分析	消防研究センター

	支援年月	発災県	概要	鑑定者
44	2023.3	三重県	焼損物の成分分析	消防研究センター
45	2023.3	茨城県	車両火災の残さ物鑑定	消防研究センター
46	2023.3	大阪府	建物火災の残さ物鑑定	消防研究センター
47	2023.3	千葉県	建物火災の残さ物の油分鑑定	消防研究センター

イ. 鑑識

	支援年月	発災県	概要	鑑識場所
1	2022.4	北海道	ソーラーセンサーライト	消防局・本部
2	2022.4	京都府	電気ストーブの鑑識	消防局・本部
3	2022.4	長野県	リチウムイオン電池の鑑識	消防研究センター
4	2022.4	山形県	LED 照明の鑑識	消防局・本部
5	2022.5	岡山県	ゴルフカートの鑑識	災害現場
6	2022.5	沖縄県	浴室乾燥機の鑑識	消防局・本部
7	2022.5	山口県	業務用エアコンの鑑識	災害現場
8	2022.5	静岡県	衣類乾燥除湿器	消防局・本部
9	2022.5	茨城県	炊飯器の鑑識	消防研究センター
10	2022.6	青森県	バッグ用空気圧縮機	消防研究センター
11	2022.6	静岡県	自動火災報知設備	消防研究センター
12	2022.6	愛知県	屋内配線の鑑識 (デジタルマイクロスコープ)	消防研究センター
13	2022.6	宮城県	車両火災の配線及びスイッチ部	消防研究センター
14	2022.6	山梨県	蒸気排出ユニットの鑑識	消防研究センター
15	2022.6	茨城県	太陽光パネルの鑑識	消防局・本部
16	2022.6	和歌山県	充電式インパクトドライバー	消防局・本部
17	2022.6	長野県	モバイルバッテリー	消防局・本部
18	2022.6	茨城県	パワーコンディショナ	消防研究センター
19	2022.6	広島県	全自動電気洗濯機	消防局・本部
20	2022.6	島根県	車両のヒューズボックスの鑑識	消防研究センター
21	2022.6	福島県	エアコン電気配線の拡大撮影	消防研究センター
22	2022.7	静岡県	互換バッテリーの鑑識	消防研究センター
23	2022.7	静岡県	互換バッテリーの鑑識	消防研究センター
24	2022.7	沖縄県	コントロールユニット及び配線の鑑識	消防研究センター
25	2022.7	北海道	互換バッテリーの鑑識	消防局・本部
26	2022.7	茨城県	炊飯器の鑑識	消防研究センター
27	2022.7	北海道	オゾン発生装置の鑑識	消防局・本部
28	2022.7	岐阜県	昆虫飼育用恒温器の鑑識	消防局・本部
29	2022.7	熊本県	電動刈払機本体基板の鑑識	消防研究センター

	支援年月	発災県	概要	鑑識場所
30	2022.7	北海道	ニッケル水素電池の拡大観察	消防研究センター
31	2022.8	埼玉県	ポータブル DVD プレーヤーの鑑識	消防研究センター
32	2022.8	兵庫県	建物火災の残さ物の鑑識	消防研究センター
33	2022.8	宮崎県	リチウムイオン電池の鑑識	消防研究センター
34	2022.8	岐阜県	DCC 走行充電器の鑑識	消防研究センター
35	2022.8	埼玉県	互換バッテリーの鑑識	消防研究センター
36	2022.8	三重県	車両の鑑識	整備工場等
37	2022.8	埼玉県	モバイルバッテリー	消防研究センター
38	2022.8	埼玉県	エアコン (室内機)	消防研究センター
39	2022.8	愛知県	充電式バッテリーの鑑識	消防研究センター
40	2022.9	兵庫県	リチウムイオンバッテリー	消防研究センター
41	2022.9	山口県	パワーコンディショナ基板	消防研究センター
42	2022.9	鹿児島県	誘導灯	消防局・本部
43	2022.9	福島県	非接触赤外線温度計の鑑識	消防研究センター
44	2022.9	愛知県	炊飯器の鑑識	消防局・本部
45	2022.9	長野県	モバイルバッテリー	消防局・本部
46	2022.9	岐阜県	カラオケ機、マイクの鑑識	消防局・本部
47	2022.9	千葉県	工業用互換バッテリーの鑑識	消防研究センター
48	2022.9	福岡県	衣類乾燥除湿機	消防局・本部
49	2022.9	茨城県	足温湯器の鑑識	消防研究センター
50	2022.10	大阪府	延長コードの鑑識	消防研究センター
51	2022.10	千葉県	温水便座の鑑識	消防研究センター
52	2022.10	三重県	互換バッテリーの鑑識	消防局・本部
53	2022.10	埼玉県	タクシーの鑑識	整備工場等
54	2022.11	富山県	ホーンのコントロールユニットの鑑識	消防研究センター
55	2022.11	北海道	石油ふろがま	消防局・本部
56	2022.11	北海道	コンプレッサーの鑑識	消防局・本部
57	2022.11	北海道	オフセット印刷機の鑑識	災害現場
58	2022.11	広島県	車両配線の鑑識	消防研究センター
59	2022.11	静岡県	オルタネーター (ブラシ) の鑑識	消防研究センター
60	2022.11	埼玉県	LED 投光器の鑑識	消防研究センター
61	2022.11	埼玉県	Smart-UPSRT 用拡張バッテリーパックの鑑識	消防研究センター
62	2022.11	栃木県	LED 照明の鑑識	消防研究センター
63	2022.11	福島県	電気しき毛布の鑑識	消防研究センター
64	2022.11	石川県	シーリングライトの鑑識	消防研究センター
65	2022.11	鹿児島県	互換バッテリーの鑑識	消防局・本部
66	2022.11	青森県	テーブルタップの鑑識	消防研究センター

	支援年月	発災県	概要	鑑識場所
67	2022.11	静岡県	水中スクーターの鑑識	消防研究センター
68	2022.12	愛知県	互換バッテリーの鑑識	消防研究センター
69	2022.12	神奈川県	建物火災の残さ物の鑑定	消防研究センター
70	2022.12	神奈川県	電動工具バッテリーの鑑識	消防研究センター
71	2022.12	徳島県	高圧洗浄機バッテリーの鑑識	消防研究センター
72	2022.12	長野県	モバイルバッテリー	消防研究センター
73	2023.1	岡山県	マッチングボックスの鑑識	消防研究センター
74	2023.1	長野県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
75	2023.1	滋賀県	エアコン室外機の鑑識	消防局・本部
76	2023.1	新潟県	ノートパソコン及び AC アダプタの鑑識	消防研究センター
77	2023.1	沖縄県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
78	2023.2	宮崎県	タンニングマシンの配線の鑑識	消防研究センター
79	2023.2	広島県	太陽電池モジュールの拡大観察	消防研究センター
80	2023.2	千葉県	モバイルバッテリーの鑑識	消防研究センター
81	2023.2	青森県	ポータブル電源	消防研究センター
82	2023.2	栃木県	こたつ配線の拡大観察	消防研究センター
83	2023.3	千葉県	洗濯機の鑑識	消防局・本部
84	2023.3	山形県	炭化物の鑑識	消防研究センター
85	2023.3	大阪府	金属粉の粒度分布	消防研究センター
86	2023.3	山口県	洗濯機の鑑識	消防局・本部

(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	2021.12.8～ 2023.2.28	大阪市消防局	大阪市此花区倉庫火災の火災シミュレーション	阿部伸之、杉山昌彦
2	2022.7.8	大阪市消防局	大阪市此花区倉庫火災検証実験の支援	内藤浩由、高橋優太
3	2022.8.17	神奈川県	試料の電気的特性および着衣の電位測定	田村裕之、森岡伸嘉章
4	2022.8.19～ 2023.2.16	静岡市消防局	静岡市葵区ビル火災の火災シミュレーション	阿部伸之、村松 賢 浅古慎一
5	2022.8.22	静岡県	火災の原因の調査に係る技術支援	浅古慎一、村松 賢
6	2023.1.3 ～2023.1.5	三重県	建物火災現場見分に係る技術支援	塚目孝裕、佐藤康博 武石吉生、田村 聡 森崎 学、小林雄太

	対応日	技術支援先	技術支援の概要	対応者
7	2023.1.17	岐阜県	粉黛塗装室で発生した火災の出火原因について (静電気測定)	田村裕之、武石吉生 村松 賢、川口健太郎

4 受賞・学位

(1) 受賞

受賞者名	受賞年月	賞の種別	受賞内容
吉田祐一	2022.7.20	Outstanding Student Paper (Rudy Scavuzzo Student Paper Competition, Ph.D. category)	Rocking Response Analysis of Flat- Bottom Cylindrical Tanks Considering Rotational Inertia of Content Liquid 
天野久徳	2023.3.1	日本機械学会賞（技術）	石油コンビナート等 の大規模火災に対応 可能な消防ロボット システム 

(2) 学位

氏名	論文名	種別	授与年月	授与大学
吉田祐一	Rocking Response Analysis of Liquid Storage Tanks under Seismic Ground Excitation (液体貯蔵タンクの地震時ロッキ ング応答に関する研究)	博士（工学）	令和5年3月18日	鳥取大学

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 7157889 号	火災現場における危険を人工知能により推定する危険情報推定方法、装置、プログラムおよび消防指令システム	大津暢人
特許	特許第 7186320 号	津波災害時の避難行動に要する情報を人工知能により推定する方法、装置、プログラム	大津暢人

6 視察・見学

(1) 国内

	日付	訪 問 者	人 数
1	2022.6.8	総務副大臣視察	2
2	2022.6.29	消防大学校危険物科第 17 期	29
3	2022.6.29	消防大学校幹部科第 69 期	60
4	2022.7.20	消防大学校火災調査科第 42 期	30
5	2022.8.29	令和 4 年度地方自治基礎研修	23
6	2022.9.7	消防大学校幹部科第 70 期	48
7	2022.9.14	消防大学校予防科第 112 期	30
8	2022.9.29	総務副大臣視察	2
9	2022.11.25	消防大学校幹部科第 71 期	48
10	2022.12.8	消防大学校火災調査科第 43 期	30
11	2023.1.25	消防大学校予防科第 113 期	30
12	2023.2.20	消防大学校幹部科第 72 期	48
	計		380

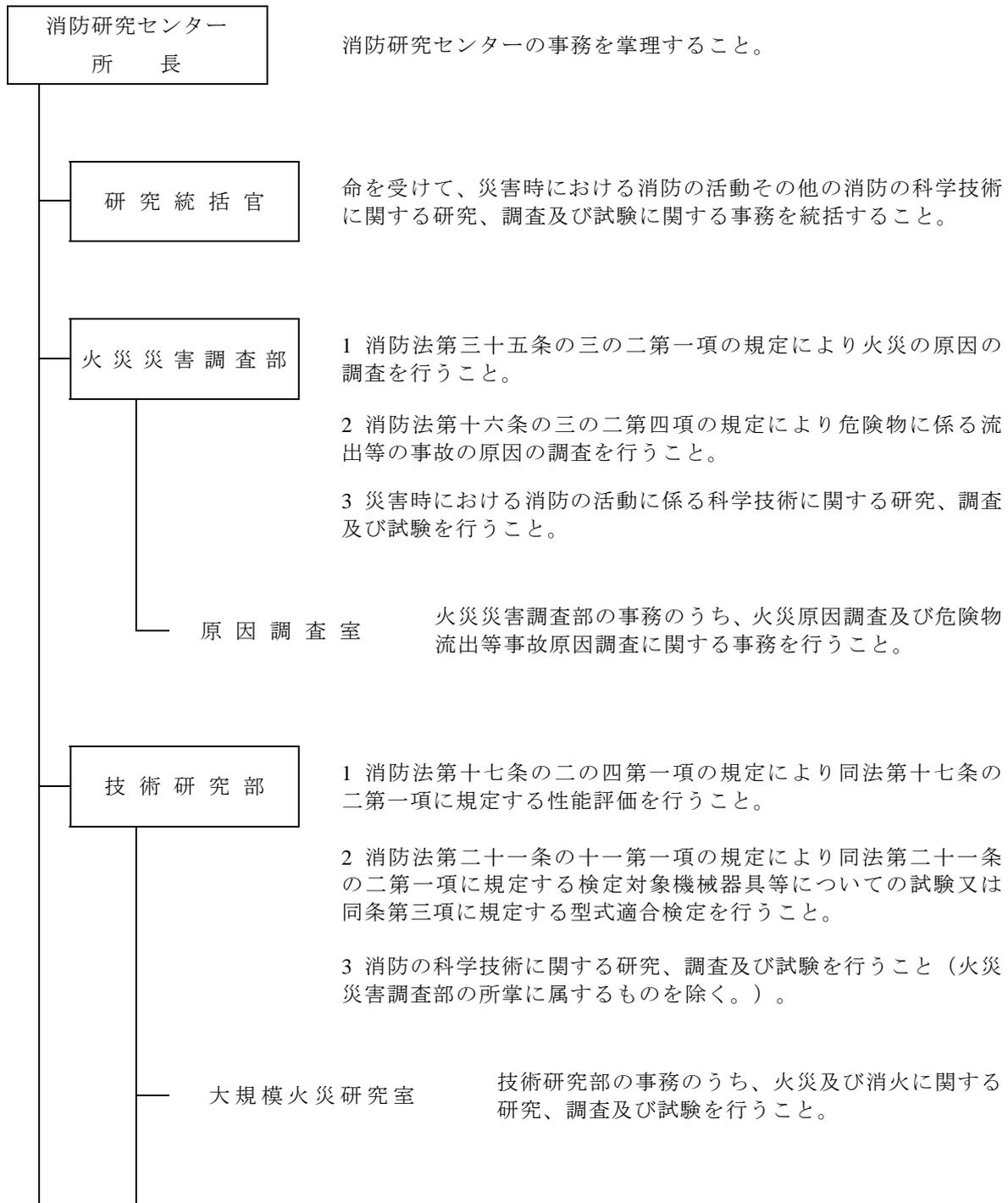
(2) 国外

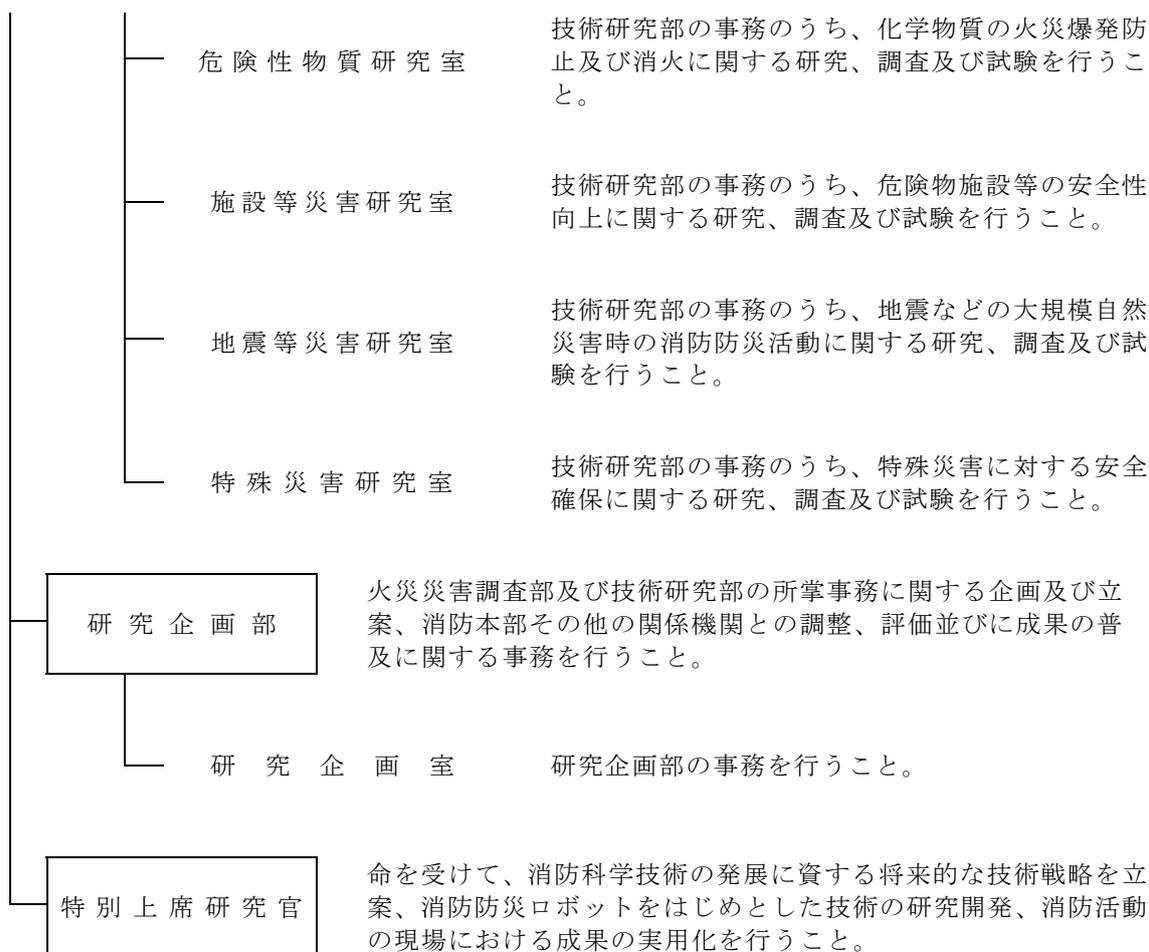
	日付	訪 問 者	人 数
1	2022.6.10	ベトナム社会主義共和国公安省視察	5
	計		5

付 録

1 研究体制

(1) 組織





(2) 予算

令和3・4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

		4年度予算額	3年度予算額
一般会計			
研究費	[消研] 消防防災体制等の整備に係る技術研究開発に必要な経費	359,423	378,956
	[デジタル庁] 研究費	23,958	0
[消研] 消防研究センター一般事務費	消防防災科学技術研究行政の運営に要する経費	114,465	116,327
	研究成果の普及等に要する経費	11,350	11,419
[消研] 大規模災害等の緊急事態への対応に要する経費		493	233
[デジタル庁]	消防防災科学技術研究行政の運営に要する経費	2,595	0

[消研] 施設等の整備に要する経費		23,723	81,523
[総務課]	消防研究センター各所修繕（一般修繕）	16,758	16,195
合 計		552,765	604,653

凡例：[消研] 消防研究センター歳出概算要求額査定表
 [デジタル庁] デジタル庁歳出概算要求額査定表
 [総務課] 消防庁総務課歳出概算要求額査定表

また、研究費の内訳は次表のとおりである。

単位：千円

項 目	4 年度予算額	3 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	59,687	59,897
市街地火災による被害を抑制するための研究開発	59,660	59,848
火災原因調査と火災避難の高度化に関する研究開発	39,519	39,820
危険物施設における火災等事故・地震災害を抑止するための研究に要する経費	51,215	41,560
消火活動困難な火災に対応するための消火手法の研究開発	37,615	37,910
感染拡大期を含む救急出動要請件数増大期における救急搬送時間短縮手法の研究開発	36,649	41,542
火災・危険物流出等事故原因調査に必要な経費	20,626	18,912
地下タンクの健全性診断に係る研究開発に要する経費	39,065	39,746
消防職員の消火活動時における殉職・受傷事故を防止するための研究開発	39,345	39,721
合 計	383,381	378,956

(3) 定員

令和 4 年度末の予算定員は 29 名である。

(4) 職員（R5.3.31 現在、本務のみ記載）

消防研究センター所長 鈴木 康 幸

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	武 石 吉 生

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
”	内 藤 浩 由
主任研究官	土志田 正 二
”	野 村 祐 子
”	大 津 暢 人
”	鈴 木 佐夜香
”	佐 伯 一 夢
研究官	吉 田 祐 一
”	佐 藤 康 博

研究企画部

部長	大 場 教 子
研究官	藤 井 皓 介

特別上席研究官

天 野 久 徳

【消防庁】総務課

主任研究官	尾 川 義 雄
”	高 梨 健 一
研究官	徳 武 皓 也

(5) 人事異動

令和4年4月1日付け

氏名	新	旧
佐伯 一夢	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	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
徳武 皓也	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
佐藤 康博	消防大学校消防研究センター技術研究部研究官 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
藤井 皓介	消防大学校消防研究センター研究企画部研究官 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

(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	ジャーナリスト
委員	天野 玲子	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 監事
〃	新井 充	公益財団法人総合安全工学研究所 理事
〃	大須賀 公一	大阪大学大学院工学研究科 教授
〃	金森 賢治	一般社団法人全国消防機器協会 会長
〃	清水 洋文	全国消防長会 会長
〃	高橋 裕子	一般財団法人消費科学センター 企画運営委員
〃	長谷見 雄二	早稲田大学理工学術院 名誉教授
〃	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 理事・副学長

(五十音順)

R5.3.31 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	山 田 實	危険物保安技術協会事故防止調査研修センター総括調査役 (元横浜国立大学 リスク共生社会創造センター 客員教授)
委員	小 西 一 功	大阪市消防局長
〃	清 水 洋 文	全国消防長会 会長
〃	鈴 木 建 一	総務省消防庁 審議官
〃	鈴 木 康 幸	消防研究センター 所長
〃	本 間 恭 二	電気通信大学 名誉教授
〃	松 本 穂 高	さいたま市消防局長
〃	三 輪 和 夫	公益財団法人日本消防協会 理事長
〃	室 崎 益 輝	神戸大学・兵庫県立大学大学院 名誉教授
〃	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

(五十音順)

R5.3.31 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 5 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	〃 〃
ガスガバナー室	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、防炎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 4 年度に整備された主な設備・機器

○分光色彩計

測定対象の試料に可視光線を照射し、反射、透過測定することで、粉体、固体、液体等の多彩な試料の色を数値化し、色差測定を行う装置で、火災現場の燃焼残さ物について燃焼の程度による色の違いを定量的に評価することができる。

○自然発火温度測定装置

断熱条件下における試料の自然発火温度や発熱挙動を測定するためのもの。化学物質の火災危険性を評価するために使用する。

○燃焼ガス分析計

実大規模の燃焼実験あるいは消火実験の時の空間ガス濃度の分布を計測するために使用するもの。一酸化炭素、二酸化炭素、酸素の濃度を高精度に測定することが可能である。

○1 回反射水平型 ATR

少ない試料量で、かつ、高感度に前処理を行うこと無く、合成樹脂や燃焼残さ物等の材質を検査することが可能であり、火災原因調査等に使用する。

○ガス分析装置付き熱分析装置

試料を加熱分解させ、加熱分解で発生したガスを赤外分光光度計により解析するものであり、火災原因調査等に使用する。

○X 線 CT 撮影装置

発災現場に遺留されている試料の検査を行うための機器であり、遺留試料の画像を総合的に判断して、非破壊的に内部状況を 3 次元で確認し発災原因を特定するもの。火災原因調査等に使用する。

る。

○情報収集分析車

土砂災害に関して、安全管理などに係る技術支援を効率的に行うための技術開発に使用する。ドローン、画像伝送装置、画像処理 PC など構成されており、詳細地図を作成することが可能。

(4) 図書

ア. 蔵書数

単行本	15,913 冊
製本雑誌等	14,174 冊
視聴覚資料 (CD、DVD、ビデオテープ等)	1,008 点

イ. 令和 4 年度に購入した単行本冊数

209 冊

ウ. 定期購入刊行物

和 誌	40 誌
洋 誌	28 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	Disasters
6	Fire
7	Fire and Materials
8	Fire Engineering
9	Fire Risk Management
10	Fire Safety Journal
11	Fire Technology
12	Géotechnique
13	Hydrocarbon Processing
14	Journal of Applied Meteorology and Climatology
15	Journal of the Atmospheric Sciences
16	Journal of Electrostatics
17	Journal of Fire Sciences

18	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering
19	Journal of Loss Prevention in the Process Industries
20	Journal of Structural Fire Engineering
21	Loss Prevention Bulletin
22	NFPA Journal
23	Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society
24	Science and Justice
25	Seismological Research Letters
26	Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics
27	Transactions of the ASME, Journal of Heat and Mass Transfer
28	VFDB Zeitschrift

3 年 表

(1) 昭和 22 年度～令和 4 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
令和 2.7.20	8 代消防研究センター所長に鈴木康幸就任

4 令和 4 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

通巻 131 号 (2022 年 11 月)

【技術報告】

1. 2021 年 7 月熱海市土石流災害における搜索救助活動の技術支援と課題
土志田正二、新井場公德
2. 各種分析機器を活用した硫化鉄の発熱危険性評価に関する研究
高原 翼、岩田雄策

消 研 輯 報 第 76 号

令和 6 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)

<https://nrifd.fdma.go.jp/>

禁無断転載