

第73回全国消防技術者会議資料

令和 7 年 11 月

消防庁 消防研究センター

第 73 回 全国消防技術者会議

1. 日 時 令和 7 年 11 月 20 日（木） 10:00～17:15
 21 日（金） 10:00～16:25

2. 会 場 三鷹市公会堂 光のホール
 さんさん館 3 階多目的会議室（展示発表）
 東京都三鷹市野崎 1 - 1 - 1
 電話 0422-29-9868

3. 内 容

◆第 1 日◆

開会の辞

特別講演

令和 7 年度 消防防災科学技術賞 表彰式

展示発表

令和 7 年度 消防防災科学技術賞受賞作品：消防防災機器等の開発・改良

口頭発表・セッション 1

令和 7 年度 消防防災科学技術賞受賞作品：消防防災科学論文

口頭発表・セッション 2

令和 7 年度 消防防災科学技術賞受賞作品：原因調査事例

◆第 2 日◆

口頭発表・セッション 3

令和 7 年度 消防防災科学技術賞受賞作品：消防防災科学論文・原因調査事例

第 28 回 消防防災研究講演会

閉会の辞

－ プログラム －

◆第1日◆ 令和7年11月20日（木）10:00-17:15 受付開始 9:30/開場(ホール入場)9:50～

右欄の数字は資料掲載ページ

開会				
10:00-10:05	開会の辞	消防研究センター 所長	白石暢彦	
特別講演				
10:05-11:35	非常時のインフラ機能と緊急活動 ～事故・災害から学ぶ～	政策研究大学院大学 特別教授	家田 仁	13
表彰式				
11:45-12:30	令和7年度消防防災科学技術賞表彰式			
休憩 12:30-13:00				
昼休み・展示発表1 令和7年度消防防災科学技術賞受賞作品：消防防災機器等の開発・改良				
会場：さんさん館（光のホール隣）3階多目的会議室				
発表者				
【昼休み】 【展示発表1】 13:00-14:00 【展示発表2】 15:00-15:45	飲食店からの火災を減少させるための 一方策 ～離隔距離の重要性が分かる 「壁体施工模型」の活用～	京都市消防局	北川龍彦 伊東多寿子	17
	火災調査業務における 3D データ及び図 面作成 UI の活用	藤沢市消防局	大西正規 原慎三郎	46
	AR 消火栓アプリの開発	白山野々市広域消防本部 北陸先端科学技術大学院大学 島根大学	松林大司 - 荒木宏哉	51
	記入箇所と手順を可視化する「トリアー ジタグテンプレート」の考案	倉敷市消防局	石井 健	65
	SUZUKA 電動式消火シューター	鈴鹿市消防団	宮崎美憲 安達朱利	354
	仮想空間（メタバース）で防火防災を学 ぶ！「fire-X kuRe ～未来を守るバーチ ャル防火防災～」の制作	呉市消防局	小川武志 笠井 忍	358
	国宝姫路城「石垣用立てかけ梯子」の開 発	姫路市 万里防災設備 ナカ工業株式会社	塚原昌尚 - -	278
	立体地形模型の作成で学ぶ災害リスク の理解促進に向けた消防防災用教材の開 発	帝京大学	坪井壱太郎	294
	ドローンを用いた夜間捜索システム	一般社団法人 Japan Innovation Challenge	北岡 弘 伴藤悠子	309
	紫外線 LED×UV カメラによる次世代型 捜索救助支援ソリューション	株式会社キーサイエンス	吉澤 勁 召田春友 中西博仁 上村知代 山田 稔	321
	区画制圧特化型伸縮ノズルの開発	ヨネ株式会社 うるま市消防本部	高雄信行 宮内健次 喜屋武浩輝 儀保竜二	328

口頭発表・Session 1 令和7年度消防防災科学技術賞受賞作品：消防防災科学論文				
14:00-14:15	ホイスト活動における回転現象の原因 解明及び対策	兵庫県消防防災航空隊・神戸市 消防局警防部航空機動隊 防衛大学校 大阪大学	岩倉 徹 山田俊介 - -	75
14:15-14:30	可燃物の燃焼理論に基づく区画火災性 状の簡易予測—区画内平均温度を用い た質量減少速度の算定	東京消防庁	後藤大輔	104
14:30-14:45	震災時の火災調査効率化と DX の費用対 効果	東京消防庁	平山雅晴	121
14:45-15:00	大規模災害発災直後の災害対応活動に おける消防隊員のエネルギー摂取目安 とその摂取法の提案	筑波大学 広島大学大学院	麻見直美 小泉奈央 -	343
休憩・展示発表 2				
15:00-15:45	発表タイトル・発表者：展示発表 1 と同じ			
口頭発表・Session 2 令和7年度消防防災科学技術賞受賞作品：原因調査事例				
15:45-16:00	クラウドファンディングで購入した製 品からの出火について	大津市消防局	朝田秋平	158
16:00-16:15	電力線から車体への地絡により発生し た電車火災について	神戸市消防局	藤本泰生	175
16:15-16:30	無電柱化道路に面した建物において複 数箇所から発生した漏電火災	大阪市消防局	東出達彦 工藤佑介	219
16:30-16:45	コンプレッサ内でグライндаの火花が 無炎燃焼を来した火災事例	東近江行政組合消防本部	黄瀬 諒	228
16:45-17:00	11 万人に影響を及ぼした電車の火災事 例	枚方寝屋川消防組合消防本部	五十嵐龍次 杉山昌彦	241
17:00-17:15	太陽光パネルのリサイクル熱処理装置 から出火した事例について	北九州市消防局	高山京介	250

◆第2日◆ 令和7年11月21日(金) 10:00-16:25 受付開始 9:30/開場(ホール入場)9:30～

口頭発表・Session 3 令和7年度消防防災科学技術賞受賞作品：消防防災科学論文・原因調査事例発表者				
10:00-10:15	生理学的指標を用いた消防隊員の緊張度に関する研究	東京消防庁	山室直輝	136
10:15-10:30	大規模災害時における広範囲検索活動時の情報管理に関する研究	奈良県広域消防組合	町田吉隆 岡田法修	366
10:30-10:45	パワーステアリングホースが発熱して出火に至った事例	福岡市消防局	川越怜史	150
10:45-11:00	ポータブルバッテリーの基板から出火した火災の原因調査について	徳島市消防局	木村 誠	191
11:00-11:15	ラジコン草刈機から出火し製品の改善に至った事例について	備北地区消防組合消防本部	佃 昌弘	208
11:15-11:30	少量危険物貯蔵取扱所から出火した自然発火における発火源及び着火物の調査	さいたま市消防局	高垣克樹 平田聖和	261
昼休み 11:30-12:40				

第28回消防防災研究講演会 テーマ：「大船渡市における大規模林野火災」

開会				
12:40-12:50	開会の辞・趣旨説明	消防研究センター	新井場公德	
12:50-13:25	森林科学から見た林野火災	国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所	玉井幸治	
13:25-13:50	大船渡市大規模林野火災における消防研究センターの調査活動について	消防研究センター	押野 穰	
13:50-14:15	合足集落北部での草地からの飛び火	消防研究センター	篠原雅彦	
休憩 14:15-14:30				
14:30-14:55	大船渡市の都市計画・水道と綾里港地区火災に関する聞き取り調査	消防研究センター	鈴木恵子	
14:55-15:30	令和7年大船渡市大規模林野火災の消防活動について	大船渡地区消防組合消防本部	田中和友	
15:30-15:55	大船渡市林野火災を踏まえた消防防災対策について	消防庁特殊災害室	中越康友	
休憩 15:55-16:00				
16:00-16:20	総合討論			
閉会				
16:20-16:25	閉会の辞	消防研究センター 研究統括官	西 晴樹	

— 目 次 —

◆特別講演

非常時のインフラ機能と緊急活動 ～事故・災害から学ぶ～

政策研究大学院大学特別教授 家田 仁 ……13

◆令和7年度消防防災科学技術賞受賞作品 《優秀賞》

消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

(1) 飲食店からの火災を減少させるための一方策 ～離隔距離の重要性が分かる「壁体
施工模型」の活用～

京都市消防局 北川龍彦、伊東多寿子、南真心 ……17

(2) 指令台機能不全時の代替システム

堺市消防局 島尾賢、竹村郁明 ……29

(3) 火災調査業務における 3D データ及び図面作成 UI の活用

藤沢市消防局 ……46

(4) AR 消火栓アプリの開発

白山野々市広域消防本部 松林大司、今村健太
北陸先端科学技術大学院大学 大懸崇一郎
島根大学 荒木宏哉 ……51

(5) 記入箇所と手順を可視化する「トリアーჯタグテンプレート」の考案

倉敷市消防局 石井健 ……65

消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

(1) ホイスト活動における回転現象の原因解明及び対策

兵庫県消防防災航空隊・神戸市消防局警防部航空機動隊
岩倉徹、山田俊介、西田大地
防衛大学校システム工学群航空宇宙工学科 糸賀紀晶、有田俊作
大阪大学基礎工学研究科 後藤晋 ……75

(2) 位置情報共有アプリを使用した山林火災防御について

福岡市消防局 矢野淳志、梅津翔平、横川旭陽 ……92

(3) 可燃物の燃焼理論に基づく区画火災性状の簡易予測—区画内平均温度を用いた質
量減少速度の算定

東京消防庁 後藤大輔 ……104

(4) 震災時の火災調査効率化と DX の費用対効果

東京消防庁予防部調査課 平山雅晴、嶋崎裕二、川崎将人
東京消防庁豊島消防署予防課危険物係 山元伸夫 ……121

- (5) 生理学的指標を用いた消防隊員の緊張度に関する研究
東京消防庁安全推進部安全技術課 舘岡俊樹、宮尾賢、山室直輝 ……136

消防職員による原因調査事例

- (1) パワーステアリングホースが発熱して出火に至った事例
福岡市消防局 川越怜史 ……150
- (2) クラウドファンディングで購入した製品からの出火について
大津市消防局 朝田秋平、田中隆氏、音川健 ……158
- (3) 電力線から車体への地絡により発生した電車火災について
神戸市消防局水上消防署 藤本泰生 ……175
- (4) ポータブルバッテリーの基板から出火した火災の原因調査について
徳島市消防局 木村誠、近藤晋也、河崎裕、津田啓貴、山中徳治 ……191
- (5) ラジコン草刈機から出火し製品の改善に至った事例について
備北地区消防組合消防本部 佃昌弘、田岡敦司、深井理志 ……208
- (6) 無電柱化道路に面した建物において複数箇所から発生した漏電火災
大阪市消防局予防部予防課調査鑑識 東出達彦、宮原一也、大山登生
大阪市消防局中央消防署 工藤佑介、橋本聡、福元太成 ……219
- (7) コンプレッサ内でグラインダの火花が無炎燃焼を来した火災事例
東近江行政組合消防本部 黄瀬諒、市川知史、田井中力 ……228
- (8) 11万人に影響を及ぼした電車の火災事例
枚方寝屋川消防組合消防本部 五十嵐龍次、杉山昌彦、今井公基、
土生卓士、鈴木勝久、大矢杏香 ……241
- (9) 太陽光パネルのリサイクル熱処理装置から出火した事例について
北九州市消防局 高山京介、今浪徹、林智史、中野元晴 ……250
- (10) 少量危険物貯蔵取扱所から出火した自然発火における発火源及び着火物の調査
さいたま市消防局 高垣克樹、山本哲也、平田聖和、
佐井広章、島田呂舞、橘岳 ……261

一般の部 消防防災機器等の開発・改良

- (1) 国宝姫路城「石垣用立てかけ梯子」の開発
姫路市
万里防災設備
ナカ工業株式会社大阪支店 ……278
- (2) 立体地形模型の作成で学ぶ災害リスクの理解促進に向けた消防防災用教材の開発
帝京大学経済学部地域経済学科 坪井塑太郎 ……294
- (3) ドローンを用いた夜間捜索システム
一般社団法人 Japan Innovation Challenge ……309
- (4) 紫外線 LED×UV カメラによる次世代型捜索救助支援ソリューション
株式会社キーサイエンス ……321
- (5) 区画制圧特化型伸縮ノズルの開発
ヨネ株式会社 高雄信行、宮内健次
うるま市消防本部 喜屋武浩輝、儀保竜二 ……328

一般の部 消防防災科学論文

- (1) 大規模災害発災直後の災害対応活動における消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法の提案
筑波大学体育系 麻見直美
筑波大学人間総合科学研究科 小泉奈央、根岸祐太郎、永山悠、吉武理香子
広島大学大学院人間社会科学研究科 緒形ひとみ ……343

◆令和7年度消防防災科学技術賞受賞作品 《奨励賞》

- (1) SUZUKA 電動式消火シューター
鈴鹿市消防団 宮崎美憲 ……354
- (2) 仮想空間（メタバース）で防火防災を学ぶ！「fire-X kuRe ～未来を守るバーチャル防火防災～」の制作
呉市消防局予防課指導係 小川武志、笠井忍、藤田翔 ……358
- (3) 大規模災害時における広範囲検索活動時の情報管理に関する研究
奈良県広域消防組合 町田吉隆 ……366

特 別 講 演

非常時のインフラ機能と緊急活動

～事故・災害から学ぶ～

このたび、政策研究大学院大学 特別教授の家田 仁先生をお迎えし、標記のテーマにてご講演いただきます。

家田先生は、インフラ設備の設計・構造、老朽化施設の現状とメンテナンスの転換など、インフラに関する技術的課題に精通されており、近年では埼玉県八潮市における道路陥没事故を受けて設置された「下水道等に起因する大規模な道路陥没事故を踏まえた対策検討委員会」の委員長として、対策の検討に尽力されています。

本講演では、能登半島地震や八潮市の事例を通じて、非常時におけるインフラの機能維持と緊急対応の在り方について、最新の知見とともにご解説いただきます。

【プロフィール】

氏名	家田 仁（いえだ ひとし）
役 職	特別教授
学 位	工学博士
専門分野	交通・都市・国土学
現在の研究対象	国土やインフラの計画思想の国際比較 巨大災害対策の研究



<略歴>

1978 東京大学・工・土木工学科卒業、日本国有鉄道入社
1984 東京大学助手、1986 東京大学助教授
1995 東京大学教授（工・社会基盤学専攻、交通・都市・国土学研究室 主宰）
2014 政策研究大学院大学と兼任
2016 政策研究大学院大学 専任となる
途中、ドイツ宇宙航空研究所客員研究員（1988-1989）、フィリピン大学客員教授（1993-1994）、中国清華大学客員教授（2008）、中国北京大学客員教授（2016）に派遣

<主な資格・称号>

- ・技術士（総合技術監理、建設）
- ・土木学会特別上級技術者（交通）
- ・東京大学 名誉教授

※詳細なプロフィールは政策研究大学院大学公式サイトをご参照ください：

<https://www.grips.ac.jp/list/jp/facultyinfo/ieda-hitoshi/>

令和 7 年度消防防災科学技術賞
受賞作品

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞

消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

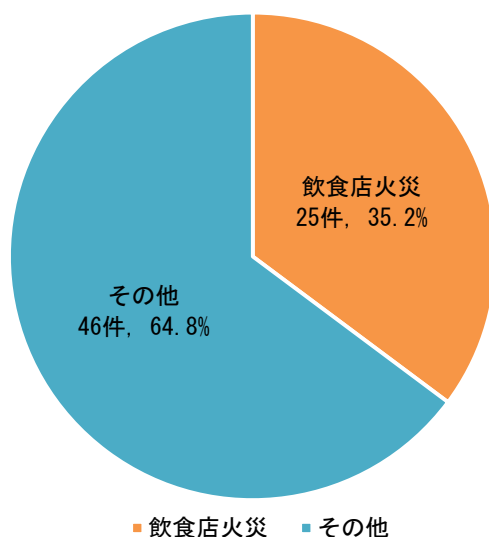
飲食店からの火災を減少させるための一方策
～離隔距離の重要性が分かる
「壁体施工模型」の活用～

京都市消防局
北川龍彦、伊東多寿子、南真心

1. はじめに

当署管轄区域では、この10年（平成26年～令和5年）、火災が87件発生しており、そのうち建物火災は71件である。飲食店からの火災は25件で、建物火災に占める割合は35.2%となっており、その割合は市内平均の約5倍である。また、市内においても令和5年、飲食店火災の件数が、自治体消防発足以後、最多となった。

これらを踏まえ、ここ数年、当局では、重点査察対象物として飲食店への査察を強化しているところではあるが、更に効果的な出火防止対策を指導していく必要がある。

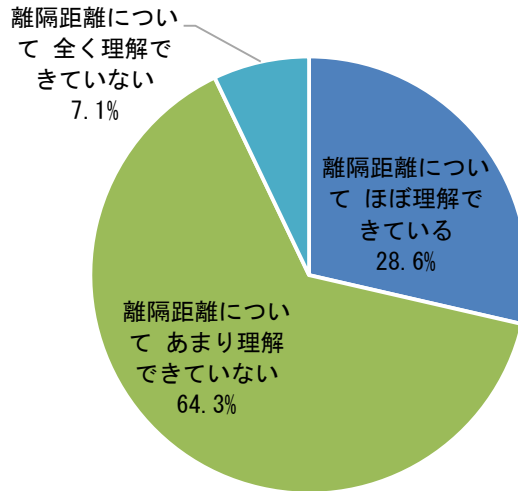


（図1）過去10年（平成26年～令和5年）建物火災における飲食店火災の割合

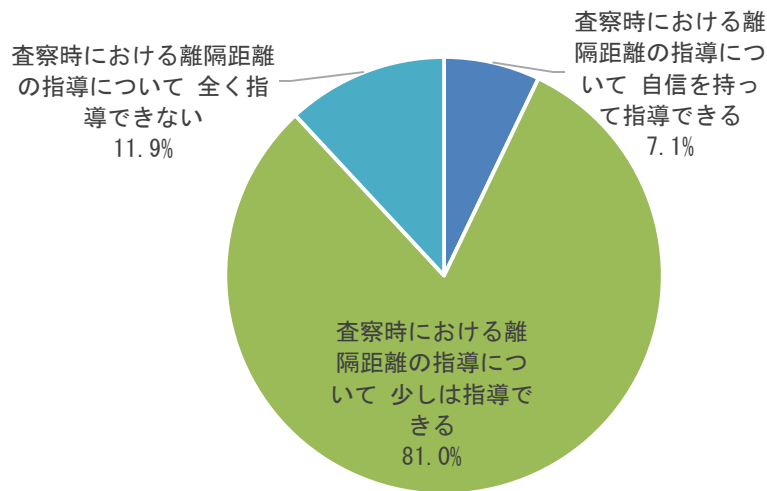
飲食店火災の主な要因は厨房からの出火で、火気設備の維持管理や取扱いの不備、そして壁体内部からの低温出火が挙げられる。調理中はその場を離れない、こんろ周りの整理整頓、フード・ダクトの清掃といった措置は具体的に飲食店関係者に指導しやすいが、低温出火は目に見えない壁体内で発生するため、出火防止措置についても、火気設備と壁体との間に十分な離隔を確保させるか、建築部材や施工方法などを指導しなければならず、専門的かつ抽象的なものになりがちで、事業所の理解が得にくくなるとともに、この部分の知識は、指導する我々職員も不足している傾向にある。当署の職員に対し、離隔距離に係るアンケート調査を実施したところ、離隔距離について約7割の職員が理解しておらず、査察時における離隔距離の指導についても、自信を持って指導できる職員は1割未満であり、9割の職員が指導時に適切な指導をできていない状況である。

そこで、査察時に持参でき、壁体内の施工状況が分かる小型の「壁体施工模型」（以下「模型」という。）を作製し、飲食店関係者に低温出火を防ぐ方法を視覚的に提示し

て、厨房回りの改善や離隔距離について、分かりやすく効果的に指導することで、飲食店からの火災を減少させることにつなげていきたいと考えた。また、模型を職員指導、飲食店関係者が、相談のため来署した際に説明するツールとして活用することを考えた。



（図 2）離隔距離についての理解度のアンケート調査結果



（図 3）査察時における離隔距離の指導についてのアンケート調査結果

2. 模型の作製

一般的な木造の壁体内部を再現した。すのこ（約 30cm×約 31cm）を間柱に見立て、単板、石こうボード（厚さ 12.5mm）、ステンレス板（厚さ 1mm）、ケイ酸カルシウム板（厚さ 6mm）を使用。L字型にすることで自立し、こんろ横に設置できるようにした。また、蝶番を取り付け、折りたためるようにし、査察時にかばんへ入れられるようにした。デジタル温度計を備え付け、壁体内部の温度変化が目視で確認できるようにした。



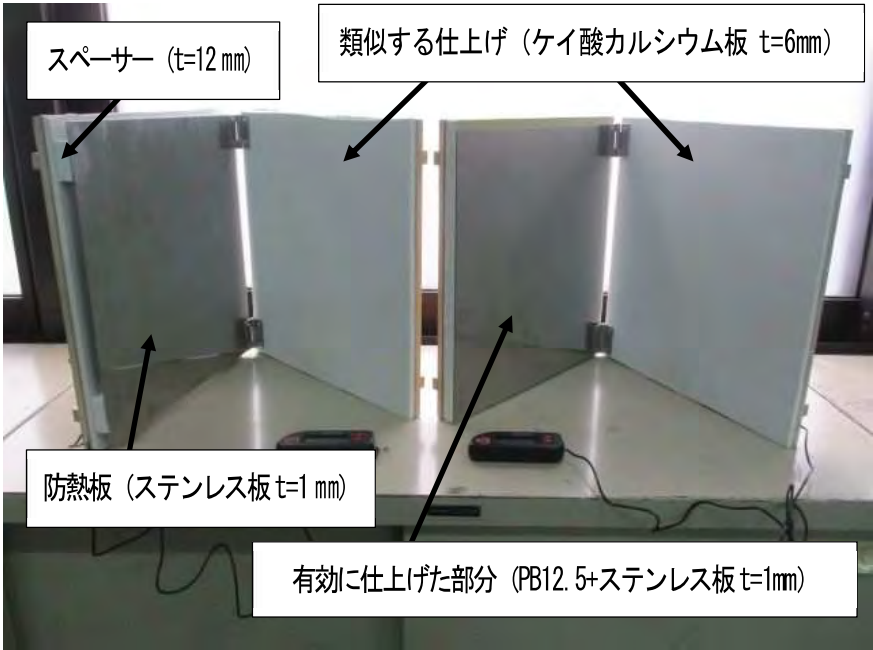
（写真 1） 模型を折りたたみ、査察かばんに収納した状況



（写真 2） 模型の裏側及びデジタル温度計

模型は 2 タイプ作製した。一つ目が、L 字型の 1 面を本市火災予防条例（以下「条例」という。）別表第 1 備考 2 に掲げるこれに類似する仕上げをした建築物の部分（以下「類似する仕上げ」という。）とし、もう 1 面は同備考 3 に掲げる不燃材料で有効に仕上げた建築物等の部分（以下「有効に仕上げた部分」という。）としたものである。類似する仕上げとした部分は、すのこの上に単板、ケイ酸カルシウム板（厚さ 6mm）の順で貼り付けた。有効に仕上げた部分は、すのこの上に単板、石こうボード（厚さ 12.5mm）、ステンレス板（厚さ 1mm）の順で貼り付けた。

二つ目が、L 字型の 2 面両方を上記の類似する仕上げとし、片方に防熱板を設置したものである。空気層のためのスペーサーとしてケイ酸カルシウム板（2 枚重ねとし厚さ 12mm）を用い、ステンレス板（厚さ 1mm）を防熱板として取り付けた。



（写真3）作製した2タイプの模型

別表第1（第3条の4関係）

区 分					離 隔 距 離				
					上 方	側 方	前 方	後 方	
厨 戸 設 備	気 体 燃 料	不 燃 以 外	開 放 式	組込み型こんろ又は キャビネット型こん ろ（いずれもグリ ル又はグリドルが 付属するものを含 む）	入力が14キロワ ット以下のもの	100	15 注4	15 注4	
				据置型レンジ	入力が21キロワ ット以下のもの	100	15 注4	15 注4	
		不 燃		組込み型こんろ又は キャビネット型こん ろ（いずれもグリ ル又はグリドルが 付属するものを含 む）	入力が14キロワ ット以下のもの	80	0	0	
				据置型レンジ	入力が21キロワ ット以下のもの	80	0	0	
	固 体 燃 料	不 燃 以 外	木炭を燃料とするもの	炭火焼き器		100	50	50	
		不 燃				80	30	30	
	上記に分類されないもの			使用温度が800度以上のもの		250	200	300	200
				使用温度が300度以上800度未満のもの		150	100	200	100
				使用温度が300度未満のもの		100	50	100	50

備考1 「気体燃料」、「液体燃料」及び「固体燃料」とは、それぞれ気体燃料を使用するもの、液体燃料を使用するもの及び固体燃料を使用するものをいう。

2 不燃以外の欄は、対象火気設備等又は対象火気器具等から不燃材料以外の材料による仕上げ若しくはこれに類似する仕上げをした建築物の部分又は可燃性の物品までの距離をいう。

3 不燃の欄は、対象火気設備等又は対象火気器具等から不燃材料で有効に仕上げをした建築物等の部分又は防熱板までの距離をいう。

4～6 （略）

7 注4の欄の離隔距離は、機器本体上方の側方又は後方の離隔距離を示す。

8 （以下略）

（図4）本市火災予防条例別表第1

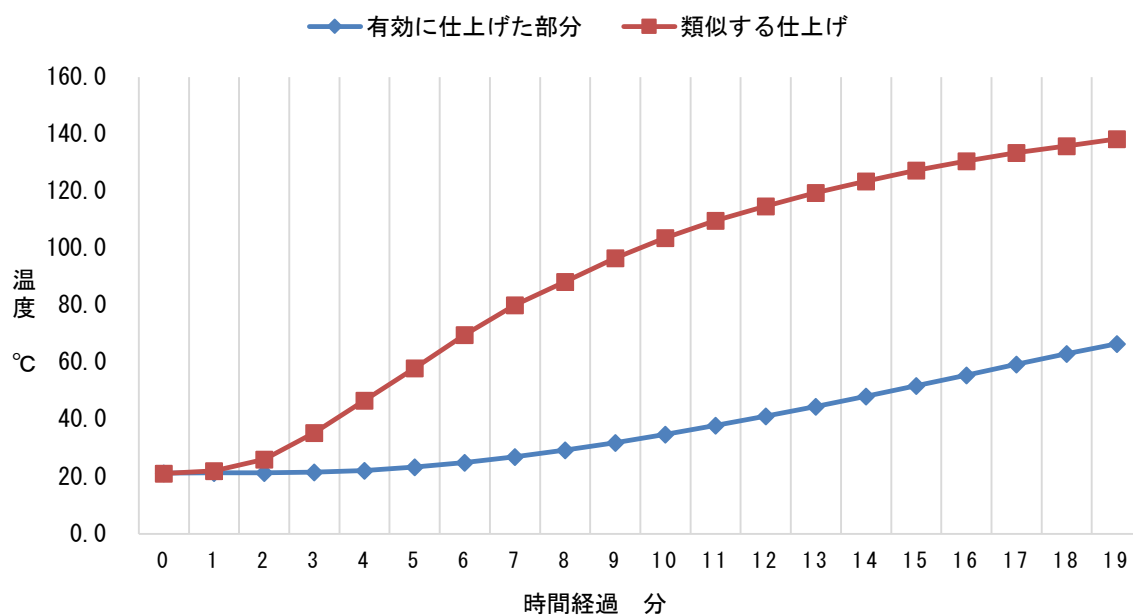
3. 指導方法の考察

作製した模型を当署の食堂において、ガスこんろ（都市ガス用入力 32.9kW）の横に離隔距離が全くない状態で模型を設置し、寸胴鍋（直径約 21cm、高さ約 15cm、容量約 5,000ml）に水を 4,000ml 入れ、換気扇を使用、最大火力で加熱し、有効に仕上げた部分と類似する仕上げの壁体内部の温度を比較した。



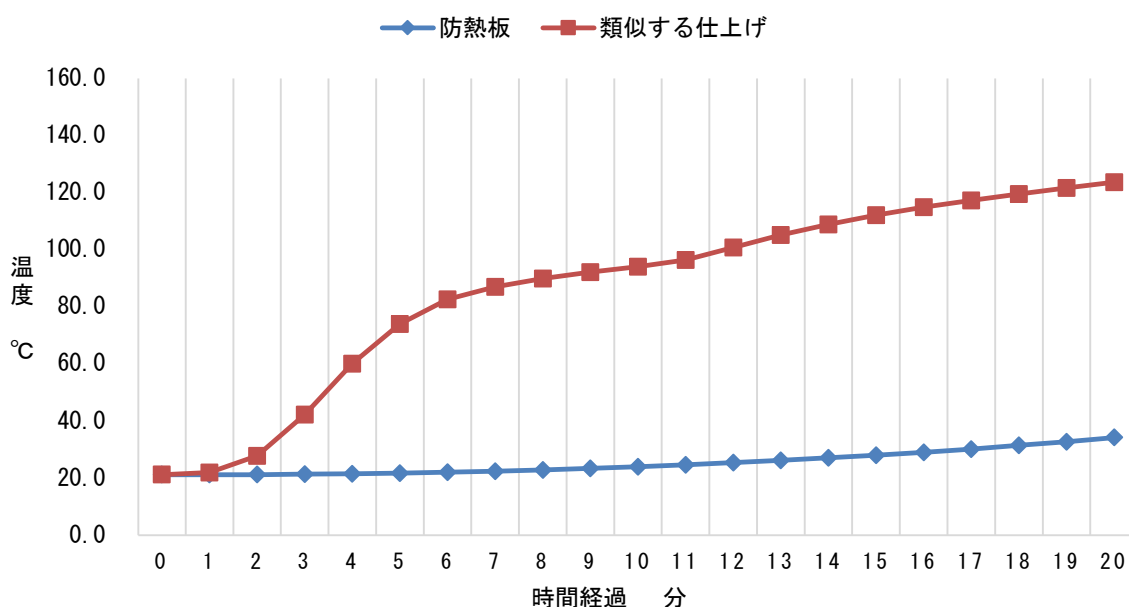
（写真 4）業務用ガスこんろを使用し、温度計測を実施している状況

加熱後 5 分で有効に仕上げた部分は 23.4℃、類似する仕上げは 58.1℃、加熱後 10 分で有効に仕上げた部分は 34.9℃、類似する仕上げは 103.7℃、加熱後 15 分で有効に仕上げた部分は 51.9℃、類似する仕上げは 127.4℃、加熱後 20 分で有効に仕上げた部分は 69.5℃、類似する仕上げは 140.7℃となり、類似する仕上げの壁体内部の温度が低温出火の目安となる 100℃を超えることが確認できた。また、有効に仕上げた部分は、離隔距離がない状態で、入力が 14kW を超える業務用こんろを使用した場合、壁体内部の温度が点火後 20 分に 69.5℃に達し、緩やかに温度が上昇することが確認できた。入力が 14kW 以下のこんろを使用した場合、条例に基づく有効に仕上げた部分は、上方を除き離隔距離を 0cm にすることが可能であるが、14kW を超える業務用こんろ等を使用した場合、離隔距離を 0cm にできない理由が温度上昇により理解できる。



（図 5）有効に仕上げた部分と類似する仕上の温度変化

同じく、防熱板を設置した面と類似する仕上の壁体内部の温度を比較した。加熱後 5 分で防熱板を設置した面は 21.7℃、類似する仕上は 73.9℃、加熱後 10 分で防熱板を設置した面は 23.9℃、類似する仕上は 94.0℃、加熱後 15 分で防熱板を設置した面は 28.0℃、類似する仕上は 112.0℃、加熱後 20 分で防熱板を設置した面は 34.2℃、類似する仕上は 123.6℃となり、類似する仕上の壁体内部の温度が低温出火の目安となる 100℃を超えることが確認できた。対して防熱板は温度変化が少なく、防熱板の防熱効果が高いことが確認できた。

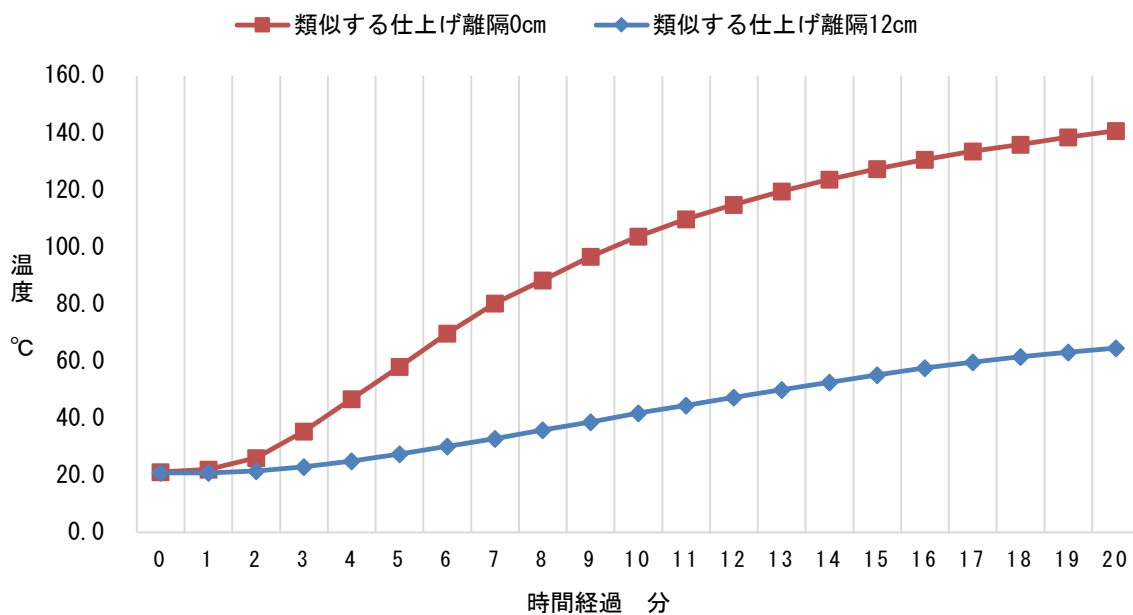


（図 6）防熱板と類似する仕上の温度変化

次に離隔距離がない状況から類似する仕上げの面のみ 12cm の離隔を取り、壁体内部で起こる温度変化を確認した。12cm の離隔を取るだけで温度上昇は緩やかになり、類似する仕上げは、加熱後 5 分後で 27.4℃、10 分後で 41.8℃、15 分後で 55.1℃、20 分後で 64.6℃となり離隔距離の重要性を認識することができた。



（写真 5）類似する仕上げの面に 12cm の離隔距離を確保した状況



（図 7）類似する仕上げ離隔 0cm と離隔 12cm との温度比較

上記の内容を飲食店関係者への防火指導や職員の指導ツールとして活用した。視覚的に理解するだけでなく、模型の裏面を実際に手で触れてもらい、仕上げの違いによる壁体内部の温度の違いを体感していただいた。

目で見ると、手で触れるという行動により、記憶に残る指導が可能となるとともに、職員にあっても、有効に仕上げた部分と類似する仕上げの違い等について、文字や図だけでは伝わりにくかった内容が、模型を活用することで理解を深めることができた。



（写真 6）模型裏面を手で触れて壁体内部の温度を確認している状況

4. 模型を活用した効果

模型を活用した効果について、飲食店関係者には三つの効果が期待される。一つ目は、理解の向上及び記憶である。模型を活用することで、壁体の内部構造、仕上げの違いによる温度変化、低温出火の要因を視覚的に理解しやすくなり、低温出火のリスクを、同関係者が直感的に把握することができる。また、裏面を手で触れて壁体内部の温度変化を触覚的に理解することができるだけでなく、日常から使用している飲食店の厨房を活用することで、視覚、触覚、想像力が広がり、体験が記憶に残る指導につながる。

二つ目は、危険認識の強化である。低温出火の危険性がどのように蓄積されるのか模型でメカニズムを具体的に説明されることで、同関係者が普段の店舗管理、壁体の改修、こんろ周辺の整理整頓、離隔距離の保持等、出火防止のポイントを具体的に理解できる。

三つ目は、防火意識の向上である。飲食店での火災リスクについて、低温出火の知識が少ない関係者に対しても、模型を通じた具体的な説明が防火意識を高める効果を持つ。これにより、飲食店の従業員教育や定期的な自主点検に対する意識が向上し、

直接的な防火対策の強化につながる。

飲食店関係者だけでなく、職員指導のツールとしても二つの効果が期待される。一つ目は教育効果の向上である。文字や図では理解しにくい壁体の仕上げ、仕上げの違いによる壁体内部の温度変化、離隔距離の重要性等について、模型を活用することで具体的かつ効果的に伝えることができる。これにより、口頭のための指導よりも内容がより分かりやすくなり、教育効果を高めることができる。

二つ目は、指導の効率化である。模型を活用することにより、短時間で多くの情報を効果的に伝えることができ、指導時間が短縮され、指導効率が上がる。特に、言葉だけでは伝わりにくい内容も模型を活用することで視覚的に補完し、理解度を高めることができる。



（写真7）飲食店関係者及び消防職員に対し模型を使用した指導状況

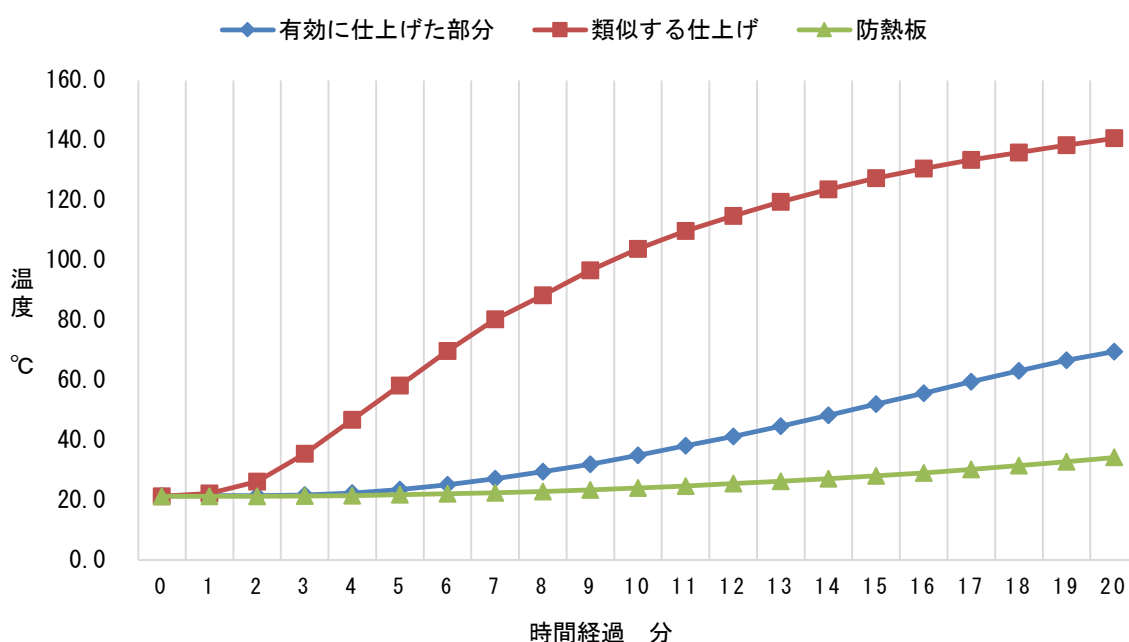
5. おわりに

当署管轄区には伝統的建造物群保存地区や歴史的な町並みを代表する地域がある。伝統的な木造建築物の町家も多く、レストラン、料理店等として保存活用されている。令和元年10月1日から原則として面積にかかわらず、消火器が義務設置となる飲食店は、既存であっても防火対象物使用届出書の提出が必要となった。いざ、届出され検査をしても、既存の小規模な飲食店の場合、厨房の壁体内部がどのように施工されているのか不明な場合や、曖昧な回答が少なくない。また、これまでの指導マニュアルの活用だけでは、壁体の内部構造や防熱板の有効性を関係者に説明することが困難であり、十分な理解を得ることは容易ではない。

業務用コンロは一般的に入力14kWを超えるため、木造建築物に設置する場合、後方や側方には50cmから200cmもの離隔距離が必要となる。間柱が木造の壁体に石こうボード（厚さ12.5mm）とステンレス板（厚さ1mm）で有効に仕上げをしても、通常は離隔距離を0cmにはできないが、設計者や施工業者でも間違った理解をしている場合がある。

施工前の事前相談の場合、既存の壁の状況や使用する厨房機器の入力や仕様が分かれば、必要な離隔距離や壁体の施工方法について指導は可能だが、査察員が直面する多くは、壁体内部の仕様が不明確な建築物に既に飲食店等が入居し、離隔距離の指導が困難な場合である。壁体を壊し、壁体内部を確認し、壁体そのものを離隔距離が 0 となるように改修させるのは現実的でない。

このような状況から、飲食店における低温出火について効果的な指導ができないかと模索した結果、持ち運べ、飲食店のこんろを活用し、低温出火の危険性を具体的に説明できる模型を活用した指導は、飲食店関係者にとって視覚的な理解と具体的な火災危険の認識を高める効果的な手段となった。



（図 8）有効に仕上げた部分、類似する仕上げ、防熱板の温度変化一覧

入力が 14kW を超える業務用こんろの場合、条例の別表第 1 の基準では、防熱板を設置しても離隔距離を 0 にすることは不可能である。しかしながら、本模型での防熱板の有効性から、間柱や下地が木造で石こうボード（厚さ 12.5mm）等により不燃材料で有効に仕上げられた壁に防熱板を設置することは、低温出火の発生リスクを下げるために非常に有効であると考ええる。また、設置方法及び費用の面でも、壁体の構造を耐火構造とするよりも、容易に改修が可能であることから早期の是正が見込まれる。

実際の建築物の壁を燃焼させることはできないが、模型なら、今回作成した 2 タイプ以外にも様々な仕様の壁体を作成し、色々な方法での温度変化の状況を試すことができる。

模型を活用した指導は、壁体の仕上げの違いによる内部の温度変化を目視で確認でき、壁体内部の温度を手で触れることができ、記憶に残る指導が可能となった。また、

設計段階の業者に対し、離隔距離について示されている条例の説明にも模型を活用すれば更に火災予防の効果は大きいと考える。

低温出火は飲食店における火災原因の一つにすぎないが、模型を通じた指導が、飲食店関係者の記憶に残り、低温出火だけでなく、飲食店における全般的な火災予防への意識変化、行動変容などの相乗効果が生まれ、飲食店における様々な火災を減らすことができる一方策となるものであると確信する。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

指令台機能不全時の代替システム

堺市消防局
島尾賢、竹村郁明

1. はじめに

消防指令センターは、消防組織の中で極めて重要な役割を果たしている。119番通報を受け付け、適切な消防隊や救急隊を現場に派遣することで、火災や救急事案への初動対応を迅速に行い、被害の拡大を防ぐ。また、通報者からの情報を正確に収集し、現場の状況を把握することで、適切な指令を出すことができる。さらに、同時多発する事案を統括管理し、限られた部隊を有効活用することで、効率的な対応が可能となる。地域住民の安心・安全を確保するためには、指令管制員の対応力も必要となるが、最新の通信技術や指令システムを活用しなければ精度の高い消防サービスは提供できない。

2. 指令システムの現状

2.1 指令システムの重要性

指令システムの安定稼働は、消防指令センターの機能を最大限に引き出し、地域住民の安全を守るために欠かせない要素となる。以下に指令システムの重要性を示す。

ア 緊急対応の迅速化

指令システムは、119番通報を受けた際に迅速に対応するための中枢である。通報内容を適切に処理し、最適な部隊を編成することで、現場到着までの時間を短縮する。

イ 情報の一元管理

指令システムは、通報内容や現場状況、車両動態などの情報を一元的に管理することができる。これにより、消防指令センター内での情報共有がスムーズに行われ、適切な指示を出すことが可能となる。

ウ 効率的な部隊運用

各車両のGPS情報などがリアルタイムで更新されることにより、最適な部隊運用が可能となり、災害対応の効果を最大化する。

エ データの蓄積と統計

指令システムは、過去の通報データや対応履歴を自動的に記録し、蓄積することができる。

2.2 指令システムの課題

通常、システム障害が発生しなければ指令システムは安定稼働することができるが、大規模災害発生時など不測の事態では機能不全に陥ることが想定される。高性能なシステムになるほど、連動する機器が多くなり機能不全に陥る可能性が高まる。機能不全に陥った場合は、システムの復旧には専門的な知識が必要となり、短時間で本来の機能を取り戻すことは困難である。

2024年1月1日に発生した「令和6年能登半島地震」では、マグニチュード7.6、最大震度7を観測し石川県能登地方を中心に大きな被害をもたらした。管轄する消防本部も

甚大な被害を受け、指令システムは機能不全に陥り指令台が使用できない状況であったとのことである。119番通報は入電するものの指令台が機能しないため、メモ用紙に手書きで聴取内容を記入し対応したとのこと。入電件数は平時の約30倍と消防指令センターのキャパシティを遥かに上回り、加えて指令システムが機能不全に陥ることで対応には大変苦慮したものと推測できる。

大規模災害発生に伴って、指令システムが機能不全に陥ることは、災害対応の中核である消防指令センターそのものの機能を脅かすことに繋がり、今後の課題であると考ええる。

3. 開発に至った経緯

当局の所在地は大阪府堺市に位置し、「南海トラフ巨大地震」や「上町断層帯地震」の予測震源域内に位置する。「南海トラフ巨大地震」の被害想定は深刻なもので、大阪府内では人的被害10万人以上、建物被害（全壊）15万棟を超える見込みとなっており、今後30年以内に発生する確率は約80%と高く、被災時に消防機能を維持するための取り組みは必要不可欠である。

当局の消防指令センターでは、被災時の初動対応マニュアルを整備し、不測の事態に備えていたところであるが、指令台の機能不全時には、様式化した受信用紙に手書きで通報内容等を記入する取り決めとなっていた。

当受信用紙を活用した訓練を適時実施しているが、手書きにはいくつかの課題があった。一番大きな課題は、数千枚に及ぶ受信用紙（現物）を管理することの困難さである。指令システム復旧までに数日を要した場合、日々増え続ける受信用紙を管理・追跡することは難しく、管理するだけで複数人の確保が必要となった。

次に、手書き記入した内容を理解することの難しさが上げられる。訓練実施時、いくら丁寧に記入するように指示しても個人差があるため、他人が記入した内容を読み解くことには苦慮することが多い。特に、消防指令センターの消防力が劣勢に陥った時ほど慌てて記入する傾向があり、根本的には是正することは難しいと考える。

また、費用面の課題もある。専用の受信用紙を発注するには一定の経費負担が発生するため、受信用紙の様式を一部だけ改正する場合であっても容易に変更することは難しく、古い受信用紙を継続して使用している現状もある。

「令和6年能登半島地震」でもそうであったように、指令台が使用不能になった場合は全国消防指令センターの多くが手書きで対応しているのが現状であり、同様の課題を抱えているものと推測できる。

当局では、平時300件/日程度の119番通報を入電するが「南海トラフ巨大地震」等では、9000件/日以上（平時の約30倍）の入電を想定している。夜間帯に初動対応可能な指令管制員は10名程度と少なく、多数入電する119番通報を処理するには、一定のルールと効率的に処理できるシステムが必要である。併せて、入電した内容を一元管理す

ることも重要で、手書き記入したものを別途取りまとめることは実現不可能と考える。

消防指令センターは119番通報を受け付けるだけでなく、受け付けた通報に対しての対応を検討し、以後の状況を追跡する必要がある。119番通報の受け付け、管内の災害発生状況、事案対応状況など最低限把握すべき事項を容易に管理し、共有できる備えが急務であると考え、本システムの開発に至った。

4. システムの概要

4.1 システム開発の条件

開発にあたり、次の条件を念頭にした。

ア 経費がかからないこと

イニシャルやランニングコスト等がかからないように、既存ツールを活用し所属職員のみで開発を行った。

イ 操作性能が単純なもの

指令台が機能不全に陥るという不測の事態が発生した場合のみ使用するため、複雑な操作とならないように設計し、誰でも容易に理解できるものとした。

ウ 通常の指令システムとは切り離して運用できるもの

不測の事態に備えて指令システムの二重化を行っているが、指令台の物理的な破損等にも備えるため、指令システムとは切り離して運用できるものとした。

エ 容易にカスタマイズ可能なもの

受信用紙の様式や取りまとめる一覧表を、誰でも容易にカスタマイズできるものとした。

4.2 システムを開発するツールの選定

4.1 システム開発の条件に記載している項目を満たすために、様々なツールを検討した結果、汎用性が高くプログラミングしやすいマイクロソフト社のExcelを活用することとした。

4.3 システムの仕様

本システムは、業務用パソコンに初期搭載されているExcelのマクロ機能を活用したもので、VBA(プログラミング言語)にて各プログラミングを行った。システム内のフォルダー及びファイルは「取り込みフォルダー」、「受信フォーム原本」、「災害事案管理表」、「受信フォーム」で構成され、それぞれの役割を以下に記載する（写真1参照）。

取り込みフォルダー	2025/01/07 14:03	ファイル フォルダー	
受信用紙フォーム原本	2025/01/07 14:04	ファイル フォルダー	
災害事案管理表.xlsm	2025/01/07 14:04	Microsoft Excel マ...	269 KB
受信フォーム（1号機）.xlsm	2024/12/31 12:53	Microsoft Excel マ...	31 KB
受信フォーム（2号機）.xlsm	2024/12/11 6:11	Microsoft Excel マ...	37 KB
受信フォーム（3号機）.xlsm	2024/12/11 6:11	Microsoft Excel マ...	37 KB
受信フォーム（4号機）.xlsm	2024/12/11 6:11	Microsoft Excel マ...	37 KB
受信フォーム（5号機）.xlsm	2024/12/29 9:41	Microsoft Excel マ...	35 KB

写真1 システムの構成フォルダー及びファイル

「受信フォーム」は、指令台が機能不全に陥った場合に使用する受信用紙（手書き用）をExcelで再現したもので、119番通報の聴取と並行して入力する様式である。119番通報を受信する指令管制員の人数分複製し、それぞれが聴取内容を入力する。入力する項目は出来る限りシンプルに設計し、誰もが容易に入力できるものとした（写真2参照）。

写真2 受信フォーム入力画面

受信フォームには、自由に記載できる各項目欄と「聴取完了」、「地図検索」、「目標物検索」のボタンを配置し、各ボタンにはそれぞれに派生する効果を持たせた。地図検索ボタンは、住所欄に入力された文字情報をGoogleMapsで自動検索し、別ウィンドウで周辺地図を表示する機能である。目標物検索も同様に、目標欄に入力された文字情報をGoogleMapsで自動検索する（写真3参照）。

地震・大規模災害・システム障害時 受信フォーム

管轄署所	入電時間	受信者	聴取完了
住所	堺市堺区市之町西1-1-27 ← ① 手入力		地図検索 ← ② 押下
マンション名 部屋番号等	階建て	階部	地図頁
目標			目標物検索

↓ GoogleMapsを自動展開

写真3 地図検索機能から地図の表示

聴取完了ボタンは、各項目に119番通報で聴取した内容を入力すれば押下するボタンで、派生する2つの効果がある。1つ目の効果は、聴取完了を押下することで「取り込みフォルダー」及び「受信フォーム原本」のフォルダーに、入力した受信フォームがそれぞれに自動保存される。両フォルダーは、受信フォームを保存するためのフォルダーで、保存される受信フォームのファイル名は、受信日時・災害種別・受信者が自動付与される。「取り込みフォルダー」内に保存された受信フォームは、のちに記載する「災害事案管理表」に転記するために使用するもので、転記後にフォルダー内が自動削除される仕組みである。「受信フォーム原本」内は、自動削除されことなく原本保管するようになっている（写真4,5参照）。

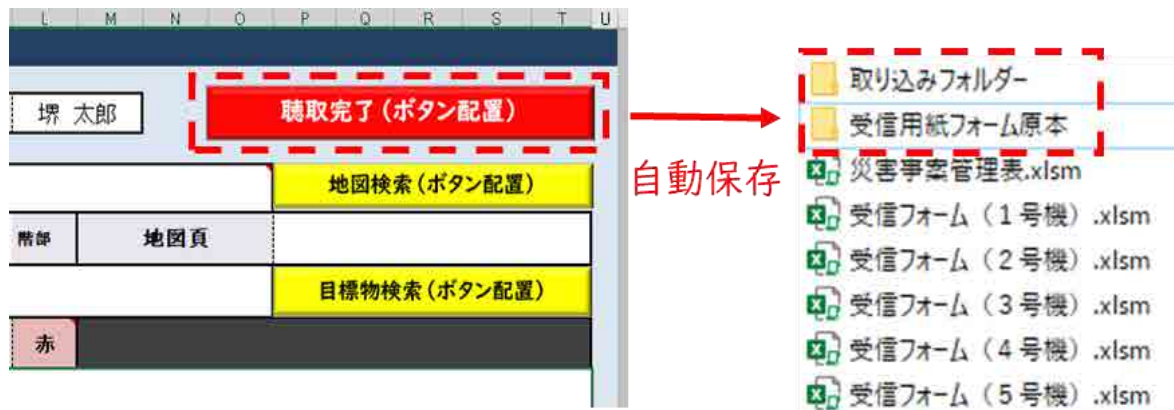


写真4 受信フォームの保存先



写真5 「取り込みフォルダー」及び「受信フォーム原本」内の保存状況

2つ目は、受信フォームに記入した内容をクリアする効果である。通報内容を受信フォームに入力すれば、次の通報を受信する必要があるため、「聴取完了」のボタンを押下すれば、受信者名以外のすべての項目がクリアされるようにプログラムしている（写真6参照）。

地震・大規模災害・システム障害時 受信用紙									
管轄署所	堺	入電時間	1334	受信者	堺 太郎	聴取完了 (ボタン配置)			
住所	堺市中区宮園町1-2					地図検索 (ボタン配置)			
マンション名 部屋番号等	宮園団地203	5 階建て	2 階部	地図頁		目標物検索 (ボタン配置)			
目標	宮園文庫								
災害種別	火災	分類	建物	トリアージ	赤				
事案概要	ビルから火災噴出中。上階に延焼の恐れあり。発災時は1世帯3名が居住しているが、避難状況は不明。付近住人も避難中であるが、要救助者情報。								
	要救助者	不明	負傷者	有	1名				
通報者	氏 名	大阪 次郎			性別	男			
	電話番号	090-0000-0000							

入力内容がクリアされ、初期状態になる。

地震・大規模災害・システム障害時 受信用紙									
管轄署所		入電時間		受信者	堺 太郎	聴取完了 (ボタン配置)			
住所						地図検索 (ボタン配置)			
マンション名 部屋番号等		階建て	階部	地図頁		目標物検索 (ボタン配置)			
目標									
災害種別		分類		トリアージ					
事案概要									
	要救助者		負傷者						
通報者	氏 名				性別				
	電話番号								

写真6 入力内容がクリアされた状況

次に「災害事案管理表」は、「119番通報受信一覧表」、「災害情報一覧表」、「統計」、「カスタム用シート」の各ワークシートで構成されている（写真7参

照）。

119番受信一覧表													
フォルダから取り込み													
案件番号	受信用紙表示	入電時間	指令時間	災害種別	初期トリアー	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	事案概要	要救助者	要救助者数
◇	Test入力例					※この列は編集しないでください							

写真7 災害事案管理表の構成シート

「119番通報受信一覧表」は、取り込みフォルダー内に保存された受信フォームの情報を全件自動反映し、事案管理する一覧表である。一覧表の項目は、受信フォームと同一内容になっており、「フォルダから取り込み」ボタンを押下することで、「取り込みフォルダー」内に存在する受信フォーム全件を自動反映したのち、「取り込みフォルダー」内から受信フォームを自動削除する（写真8,9参照）。

119番受信一覧表													
フォルダから取り込み													
受信用紙表示	入電時間	指令時間	災害種別	初期トリアー	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	事案概要	要救助者	負傷者	通報者氏名
Test入力例													

写真8 災害事案管理表の初期状態

119番受信一覧表													
フォルダから取り込み													
受信用紙表示	入電時間	指令時間	災害種別	初期トリアー	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	事案概要	要救助者	負傷者	通報者氏名
Test入力例													
20241206 093412 救助 x.htm	1220		救急	黄	南区協和町1-2-3 しまお	ときわマンション202 島尾	4	県16-J-5		男性29歳、意識不明、自己転倒、頭部打撲		有	木村
20241206 090725 救助 x.htm	1332		救助	赤	中区土塔町1-2-3 しまお		2	中	土塔公園	建物倒壊、801は5名以上、詳細不明	有		島尾
20241206 093850 火災 x.htm	1245		火災	赤	東区北野田1-2-2 あさひ	タワーマンション506	5			エレベーターから出火、近隣へ延焼拡大中	有		島尾
20241206 105159 救助 x.htm	1255		救急	緑	南区市之町1-2 きむら			県9-G-2	●公園	女性87、自己転倒、足負傷、意識不明		有	きむら 夫
20241206 105527 救助 x.htm	1456		救助	黄	中区深井旗山町266-2 202 むら	ふかいマンション202	8	中9-H-2	なし	車両2台の事故、負傷者1名、腰の痛みで脱出できず、扶かれなし、目撃者連絡	有		777
20241206 110019 救助 x.htm	1330		救急	黄	中区土塔町1-2-3 たむら				なし	男性76、胸痛、意識2分、要通報		有	妻
20241206 122703 救助 x.htm	1220		救急	緑	中区土塔町1-2-3 たけ					男性76、自己転倒、手負傷、本人連絡		有	たけ
20241206 173000 救助 x.htm	1730		救助	黄	南区市之町1-2 きむら					女性87、自己転倒、足負傷、意識不明		有	きむら 夫

写真9 フォルダから取り込みを押下し、受信内容を反映した状態

大規模災害で多発する119番通報のうち、迅速に対応すべき事案を判断するために、受信フォーム内に初期トリアージ欄を設けた。このことによって、災害事案管理表に反映した際に、事案の優先度がひと目で判断でき、効率的な部隊運用が可能とな

る（写真10参照）。

119番受信一覧表													
フォルダから取り込み													
受信用紙表示	入電時間	指令時間	災害種別	初期トリアージ	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	事案概要	要救助者	負傷者	通報
Test入力例													
20241205 093412 救急 25.xlsm	1220		救急	黄	堺区協和町1-2-3 しまお	ときわマンション202 島尾	4	堺16-J-5		男性29歳、意識清明、自己転倒、頭部打撲		有	木村
20241205 093725 救助 25.xlsm	1332		救助	赤	堺区土塔町1-2-3 しまお		2	中	土塔公園	建物倒壊、8011は5名以上、詳細不明	有		島尾
20241205 093850 火災 25.xlsm	1245		火災	赤	東区北野町1-2-2 あさひ	タワーマンション506	5			ゴミから出火、近隣へ延焼拡大中	有		島尾
20241205 105159 救急 25.xlsm	1255		救急	緑	堺区市之町1-2 きむら			堺8-G-2	●公園	女性87、自己転倒、足負傷、意識清明		有	きむら
20241205 105527 救助 25.xlsm	1456		救助	黄	中区深井橋山町256-2 202 むら	ふかいマンション202	8	中9-H-2	なし	車両2台の事故、負傷者1名。腰の痛みで脱出できず、扶かれなし、目撃者連絡	有		アガ
20241205													

写真10 トリアージ欄

また、受信用紙表示欄には、該当する受信フォームのリンクが自動的に設定されるようにプログラムしており、押下することで「受信フォーム原本」フォルダーから該当事案を参照することができるため、必要に応じて印刷するなど個別対応も可能である（写真11参照）。

119番受信一覧表													
フォルダから取り込み													
受信用紙表示	入電時間	指令時間	災害種別	初期トリアージ	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	事案概要	要救助者	負傷者	通報
Test入力例													
20241205 093412 救急 25.xlsm	1220		救急	黄	堺区協和町1-2-3 しまお	ときわマンション202 島尾	4	堺16-J-5		男性29歳、意識清明、自己転倒、頭部打撲		有	木村
20241205 093725 救助 25.xlsm	1332		救助	赤	堺区土塔町1-2-3 しまお		2	中	土塔公園	建物倒壊、8011は5名以上、詳細不明	有		島尾

↓ 該当する受信フォームを表示

地震・大規模災害・システム障害時 受信用紙													
管轄署所				入電時間				受信者	堺 太郎			聴取完了（ボタン配置）	
住所	堺区協和町1-2-3 しまお								地図検索（ボタン配置）				
マンション名 部屋番号等	ときわマンション202 島尾				階建て	階数		地図頁		堺16-J-5			
目標									目標物検索（ボタン配置）				
災害種別			分類			トリアージ							
事案概要	男性29歳 意識清明、自己転倒、頭部打撲												
要救助者			負傷者	有		1名							

写真11 受信用紙表示欄のリンクを押下することで該当事案を表示

「災害情報一覧表」は、受信した119番通報のうち、事案対応するものを別途管理するワークシートで、事案経過など入力することで災害情報を管理できる。「119番受信一覧表」には、反映した順番に統括番号が自動付与されるため、「災害情報一覧表」の統括番号欄に同一番号を入力すれば、事案が紐づき情報連動するようになっている（写真12参照）。

119番受信一覧表

フォルダから取り込み

統括番号	住所	受信用紙表示	入電時刻	着信時刻	災害種別	初期トリアー	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	被害概要	消防隊着	負傷者
0		Test入力例												
1		20241209-050412-22-3-000	1220		救急	黄	南区協和町1-2-3 しまお	ときわマンション202 3号	4	増16-J-5		男性29歳、意識不明、自己転倒、頭部打撲	有	
2		20241209-050725-17-000	1330		救助	赤	中区土橋町1-2-3 しまお		2	中	土橋公園	建物倒壊、8011は5名以上、詳細不明	有	
3		20241209-050820-25-000	1245		火災	赤	東区北野田1-2-2 あさひ	タワーマンション506	5			エレベーターから出火、近隣へ延焼拡大中	有	
4		20241209-100158-00-000	1255		救急	緑	南区市之町1-2-2 きむら			増8-0-2	公園	女性87、自己転倒、足負傷、意識不明	有	

↓ 統括番号を入力すれば、情報が連動

災害情報一覧表【通信指令班 第 報】（ 月 日 時 分現在																			
届出番号	事	事	災	災	災	災	災	災	災	災	災	災	災	災					
3	火災	1																	
															発生場所	被害概要	活動概要・その他	出場車両	事案管理
															発生時刻	発生時刻	発生時刻	発生時刻	発生時刻
															発生時刻	発生時刻	発生時刻	発生時刻	発生時刻

写真12 災害情報一覧表での事案管理状況

「統計」ワークシートは、119番受信一覧表のデータをグラフ化し、管内の被害状況などを統計化するためのシートである。Excelのグラフを使用しているため、目的に応じてデータ集約することで、例えば緊急消防援助隊受援時などに部隊投入場所の目安とすることができる（写真13参照）。

MENU

TOP

管轄ごと

管轄別グラフ

管轄比較

	火災	救助	警戒	救急	その他	要救【有】	要救助者数	負傷【有】	負傷者数
受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
対応件数	0	0	0	0	0			0	0
災害状況グラフ						要救・負傷者グラフ			

MENU

TOP

管轄ごと

管轄別グラフ

管轄比較

管轄ごと		火災	救助	警戒	救急	その他	要救【有】	要救助者数	負傷【有】	負傷者数
堺	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
中	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
東	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
西	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
南	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
北	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
美原	受信件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	対応件数	0	0	0	0	0	0	0	0	0

119番受信一覧表

災害情報一覧表

統計

カスタム用シート

+

写真13 統計の使用例

5. システムの運用方法

本システムの具体的な運用例を下記図に示す（図1参照）。まず、本システムは各

指令管制員が同一フォルダー内で作業を行う必要があるため、所属の共有フォルダー等に保存し、誰もがアクセス可能な状態にする。大規模災害等で指令台が使用不能に陥った場合は、各指令管制員が業務用パソコンで本システムを展開する。119番通報を受信する指令管制員は、それぞれに受信フォームを立ち上げて聴取と並行して入力する。入力が完了すれば「聴取完了」ボタンを押下後、次通報を受信し、これを繰り返す。

119番通報を受信する指令管制員とは別に、事案を統括管理する職員も配置し、「災害事案管理表」を展開する。定期的な間隔で「フォルダーから取り込み」ボタンを押下することで、119番通報を受信した指令管制員が入力した受信フォームの内容が自動で反映される。反映された受信内容やトリアージ結果をもとに、事案対応の優先順位を決定し、出場部隊へ伝達する。その後、事案化したものは「災害情報一覧表」に連携させ、以後の事案経過を入力する。

これは当局の運用方法であるため、それぞれの所属の人数や体制に応じた運用を検討することが望ましい。

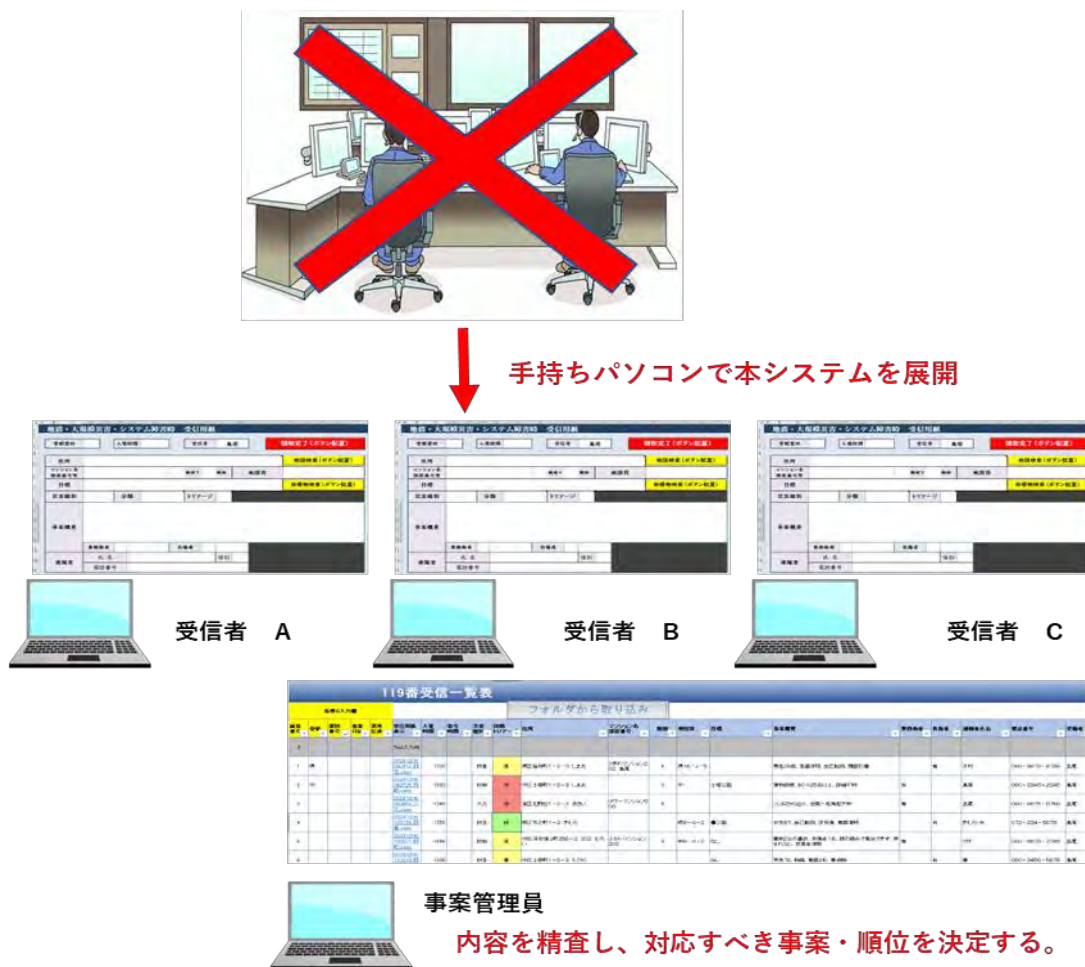


図1 システムの運用例

6. システムのカスタマイズ

本システムは、消防本部毎の仕様に容易にカスタマイズできるように設計してい

る。「受信フォーム」及び「災害事案管理表」には、カスタマイズ用ワークシートを配置しており、Excelの文字情報を入力するだけでカスタマイズ可能である。

6.1 受信フォームのカスタマイズ

「受信フォーム」のカスタム用ワークシートでは、大きく3つの項目をカスタマイズできる（写真14参照）。

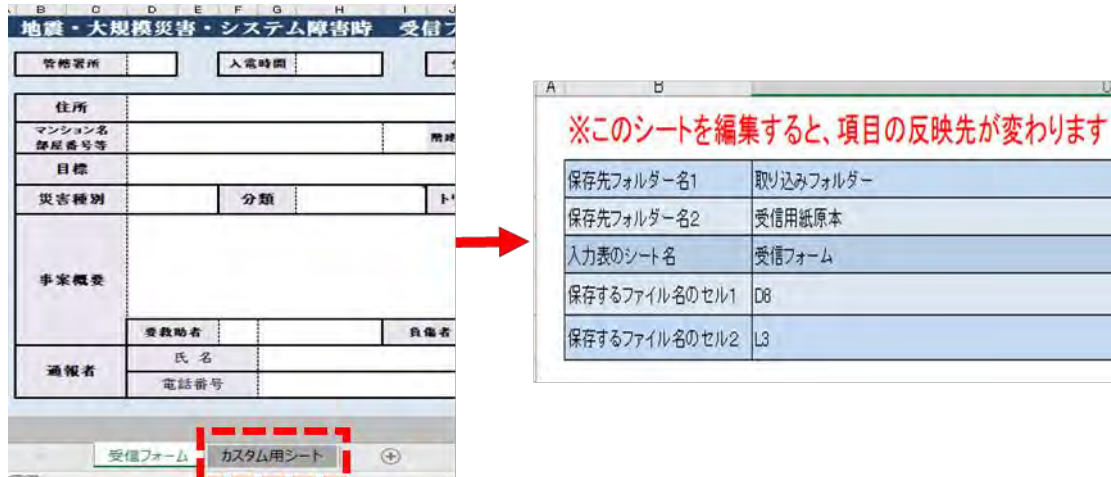


写真14 受信フォームのカスタマイズ用シート

まず、受信フォームの保存先フォルダーを変更する場合は、「保存先フォルダー名1及び2」欄の文字情報を変更する。本システム内に存在するフォルダーであれば、どのような名称でも可能である（写真15参照）。

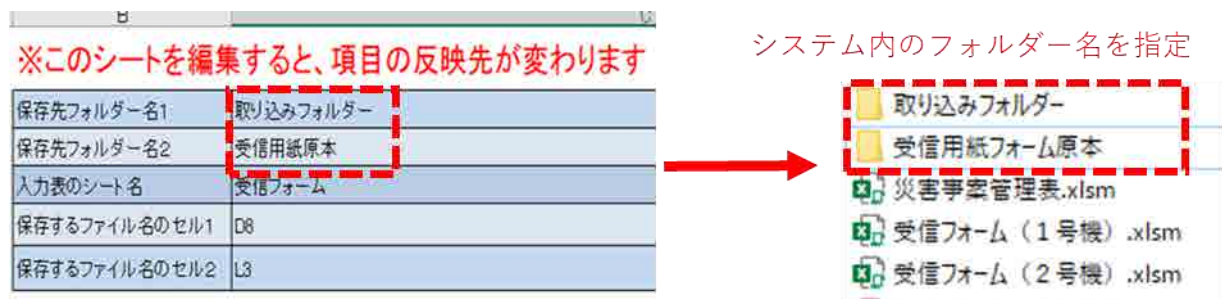


写真15 保存先フォルダーの指定

次に「入力表のシート名」は、受信フォームのワークシート名を変更する場合に入力する項目で、同一名称にする必要がある。

最後に「保存するファイル名のセル1及び2」欄は、受信フォームを自動保存する際のファイル名を指定するための項目である。受信フォーム内の指定されたセルに入力されている文字がファイル名の一部となるように設計しており、下記写真16のように「保存するファイル名のセル1」にD8、「保存するファイル名のセル2」にL3を入力した場合は、受信フォーム内のセルD8（災害種別）、L3（受信者）がファイル名の一部となる（写真16,17参照）。これによって保存される受信フォームのファイル名が重複することなく、統一された名称で管理することができる。

※このシートを編集すると、項目の

保存先フォルダー名1	取り込みフォルダー
保存先フォルダー名2	受信用紙原本
入力表のシート名	受信フォーム
保存するファイル名のセル1	D8
保存するファイル名のセル2	L3

写真16 カスタマイズ用シートでのセルの指定方法

20241212_174816_救助_堺 太郎.xlsx

保存日時（自動付与）+ D8（災害種別）+ L3（受信者）

写真17 保存時、受信フォームに付与されるファイル名

6.2 災害事案管理表のカスタマイズ

「災害事案管理表」のカスタム用ワークシートでは、情報を連携させるExcelを指定するとともに、反映するセル値を詳細に設定することができる。

「取り込むシート名」では、連携元のExcelのワークシート名を指定する。「反映先シート名」は、連携元の情報転記するワークシート名を記載する。写真18のように、「取り込むシート名」を受信フォーム、「反映先シート名」を119番受信一覧表とすると、受信フォームに記載されている情報を119番受信一覧表に転記する設定が完了である（写真18,19参照）。

	119番受信一覧表		受信フォーム
管轄	B	←	D3
入電時間	G	←	H3
災害種別	I	←	D8
初期トリアージ	J	←	L8
住所	K	←	D5
マンション名 部屋番号	L	←	D6
階数	M	←	I6
目標	O	←	D7
事業概要	P	←	D9
要救助者	Q	←	F13

取り込むシート名 受信フォーム
反映先シート名 119番受信一覧表
保存先フォルダー名 受信用紙原本

受信用紙の指定したセルの値を入力すると
左側の一覧表の列に入力されます

※半角の英数字で入力 セルの一番若い番号

写真18 情報を連携させるExcelの設定

地震・大規模災害・システム障害時 受信フォーム

管轄署所 入電時間 受信者 堺 太郎 聴取完了(ボタン配置)

住所				地図検索(ボタン配置)
マンション名 部屋番号等		階建て 階部	地図頁	
目標				目標物検索(ボタン配置)
災害種別		分類	トリアージ	
事案概要				
	要救助者	負傷者		
通報者	氏名	性別		
	電話番号			

受信フォーム カスタム用シート (+)

連携元（受信フォーム）から連携先（119番受信一覧表）へ転記

119番受信一覧表										
フォルダから取り込み										
受信用紙表示	入電時刻	指令時刻	災害種別	初期トリアージ	住所	マンション名 部屋番号	階数	地図頁	目標	事案概要
Test入力例					※この列は編集しないでください					

写真19 具体的な情報連携状況

連携するExcelの設定が完了すれば、さらに詳細にセル値の反映設定を行う。カスタム用シート内のセル値設定欄に、反映元セル値及び反映先セル値を入力する（写真20参照）。下記写真20のように、「受信フォーム」にセル値D3、「119番受信一覧表」にセル値Bを入力すれば、「受信フォーム」の管轄署所に入力された文字が、「119番受信一覧表」のセル値B欄に反映される。このことによって、各消防本部の運営方法に応じて受信フォームをカスタマイズすることも可能になり、Excelであれば内容や形式も自由に設計できる。

写真20 連携するセル値の設定方法

6.3 取扱説明書の作成

全国の消防本部で有効活用できるように、本システムの取扱説明書を作成した。システムの使用方法やカスタマイズ方法を記載し、誰もが容易に設定及び操作できる内容とした（写真21参照）。



写真21 本システムの取扱説明書の一部

7. 効果

本システムの最大の効果は、指令台が機能不全に陥った場合でも、災害対応の中核である消防指令センターの機能を維持することができる点であるが、具体的には以下に示す効果があると考えられる。

- ・記入する受信フォームを定めることで聴取すべき内容が統一され、情報に一貫性を持たせることができる。
- ・パソコンで記載するため、文字が解読できないなどの事態が発生しない。
- ・発生場所をGoogleMapsで展開できるため、場所特定が容易にできる。
- ・人為的に行う作業と、Excelで自動化する作業を仕分けすることで情報の漏れをなくし、効率よく運用できる。
- ・大規模災害発生時、多数の災害情報を一元管理することで、消防力の適正配置が行える。
- ・消防指令センターの緊急回線が受信不可に陥り、非常時用の回線に転送後、最寄りの消防署で119番通報を受信する場合にも各署で活用できる。普段指令業務に携わっていない職員でも容易に取り扱え、各署統一した手技を行える。また、各署で対応する場合、本システムを同一の共有フォルダー内で活用すれば、それぞれの場所で受信した全事案の情報が共有できるとともに、自動的に採番された統一番号で

管理することも可能となる。統一番号で処理することで、警防本部などとの情報共有もスムーズに行うことができる。

8. 本システムの懸念点

当局に本システムを導入するにあたり、所属職員から出た懸念点と解決策を以下に示す。

ア. 共有フォルダーの容量不足

被災時に想定される数千件の受信フォームを保存すると共有フォルダーの容量が不足するのではないかと意見が出たが、受信フォームは1件につき約40KBとなっているため、10万件保存しても約4GBと低容量で対応できる。また、適時CD等にデータ移管することで更に圧縮することも可能である。

イ. システムの属人化

本システムはExcelにプログラミングを行っているため、作成者が人事異動になると、以後の取り扱いが困難になるとの意見が出た。このことについては、まず本システムは複雑な設計ではなく、誰もが容易に理解できる程度の単純設計にしており、作成した取扱説明書を読めば初見でも数分で使用できる内容となっている。また、プログラミングせずともExcelの文字入力のみでカスタマイズできるように設計しているため、人事異動等でメンバーが変わり、運用方法に変更をかけたい場合にも対応できる。

ウ. 機器異常による使用不能

本システムは、手持ちPCのExcelを使用するため、機器異常や物的破損によって運用困難になることも当然に考えられる。これは指令台同様に電子機器を使用する以上、避けることはできない。使用不能になった場合は、これまで通りメモ用紙等に手書きで対応するなど、最悪の事態も想定すべきである。

9. 本システムの検証

本システムを導入するにあたり、所属職員で取り扱い訓練を企画し、実働検証を行った。実働検証では、大規模災害が発生すると同時に、システム障害による指令台使用不能が起こるという最悪の事態を想定し、多発する119通報に対応するものとした。

検証訓練実施後の振り返りでは、下記の意見が出た。

- ・本システムを活用することで、非常時に指令センターで行うべき活動が最小限に抑えられ効率的に運営できた。
- ・これまでは、メモ用紙に手書き記入していたので情報管理に課題を感じていたが、Excelで管理することで効率化され課題が解決された。
- ・メモ用紙は物理的に紛失などの危険性があったが、データ管理ではその心配がない。
- ・複雑そうに感じるシステムだが、実際に訓練を実施してみると単純作業だったた

め、新任職員や機器に不慣れな職員でも十分対応できる。

- ・自動的に情報が共有されるので、情報伝達の際に相手の状況を考えなくて良い。
- ・役割分担が明確になる。

上記以外にも多数前向きな意見が出され、本システムを導入することは大きなメリットがあると実感した。

10. おわりに

消防指令センターは災害対応の中枢であり、今後起こるとされている大規模災害など不測の事態に備えることは、消防活動の継続や組織体制の維持、その他市民の安全確保においても欠かすことのできない重要な任務である。

現代の消防指令センター内の指令システムは、指令台や指令に係る各機器のほか消防救急無線やOAシステム等と連携した高機能なシステムとなっており、指令業務における依存度は年々高まっている。

大規模災害時に高性能な指令機器が使用できなくなることの想定は必須であり、本システムはその一助となり、全国の消防本部においても高いニーズがあるものと確信している。

本システムが全国に広まることで、国民の安全で安心な暮らしや災害に強い街づくりに繋がることを期待している。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

火災調査業務における
3Dデータ及び図面作成UIの活用

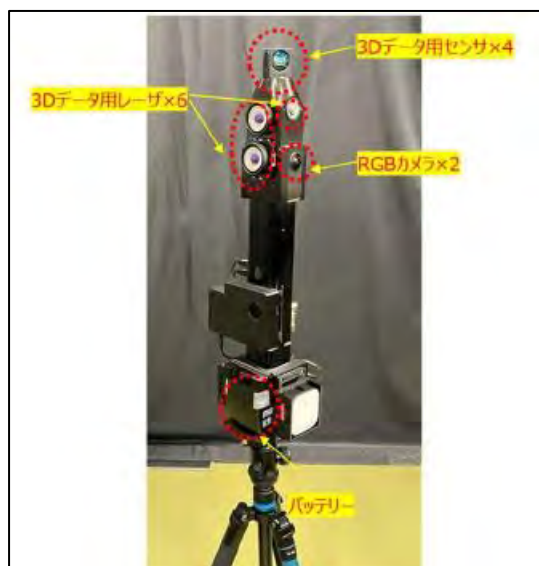
藤沢市消防局

1. はじめに

火災現場の調査は消防法第31条に基づき消防機関が実施する重要な任務であり、社会的責任を伴う業務でもある。火災の原因を究明し被害状況を正確に把握することは、再発防止対策や関係機関、関係者への説明、さらには社会全体の火災の減少につながる極めて重要な活動である。しかし、従来の調査手法には多くの課題がある。例えば、現場撮影では一眼レフカメラを用いて複数のアングルから撮影することから長い時間を要するほか、現場の採寸にも多くの時間を要している。撮影後は膨大な写真を整理するとともに、平面図や立面図を手作業で作成する必要があり、調査員の負担は大きい。また、撮影者の経験によって記録内容に精度差が生じることや、視覚的な再現性に限界が生じるなど、課題は山積していると言える。

一方で、近年、建設・土木分野を中心に3D点群カメラの技術が普及し始めている。この技術は、空間の形状や色彩を高精度かつ短時間で立体的に記録することができるものである。特に、現場の全方位を撮影し、あとからでも視点を自由に変えて確認できる360°画像や、正確な図面作成を可能とする点群データは、火災調査報告書の作成のあり方を大きく変える可能性を秘めている。

本研究では、3D点群カメラを実際の火災現場で使用し、従来の手法と比較しながら、その有効性や課題を検証した。本研究を通じて、現場記録の効率化、精度向上、そして火災調査業務全体の負担軽減を目指すものである。（写真1及び2参照）



【写真1 3D点群カメラ】



【写真2 3Dデータ】

2. 実証研究の方法

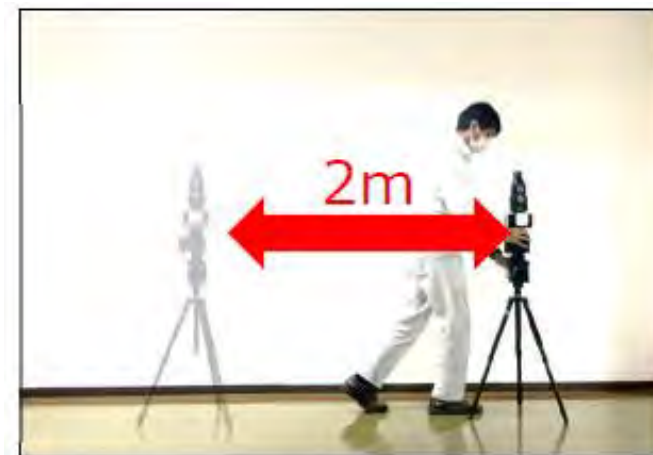
実証研究は、2024年5月から2025年1月にかけて、藤沢市内の消防訓練施設、

神奈川県消防学校及び実際の火災現場で実施した。使用した機器は株式会社リコー製の3D点群カメラであり、360°画像と点群データを同時に取得できる特徴をもつ。取得したデータは株式会社リコーがAIで処理し、3D立体生成画像が作成される。

研究手順は、まず、従来の手法として一眼レフカメラを使用し火災現場を複数のアングルから撮影する工程にかかる時間を記録した。次に、同一現場において3D点群カメラを用いてデータを取得した。カメラは任意の位置に設置し、必要とする範囲を確実にカバーするように2m間隔で撮影を実施。要した時間を記録した。それぞれの手法で得られた画像・データを比較し、視認性や記録の精度、活用のしやすさについて検証した。（写真3参照）

また、3D立体生成画像の作成と併せて、AIにより平面図、立面図を1クリックで作成する技術の検証を行い、図面作成の効率や精度についても従来の手法との比較を行った。

さらに、本研究に携わった消防隊にアンケート調査を実施し、機器の操作性、導入効果、課題などについて意見を収集した。



【写真3 3D点群カメラ撮影方法】

3. 結果と分析

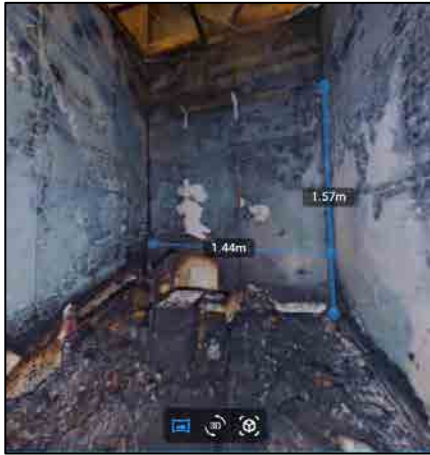
実証研究の結果、木造家屋一棟全焼火災での3D点群カメラによる撮影時間は、約30分、従来の一眼レフカメラによる撮影が約90分と時間短縮が実現した。誰でも簡単に撮影することができ、特に、広範囲となる現場では、記録漏れが減少する効果が見られた。

3D点群カメラで撮影し作成した3D立体生成画像は、現場の形状や構造を高精度に立体化したものであり、空間の広がりや奥行きまで正確に再現することができ、あとから視点変更や詳細な確認が可能となる。これにより、写真を平面的に見るのに比べ、視覚的な再現性が大幅に向上した。（写真4及び5参照）

また、3D立体生成画像を活用した平面図・立面図の自動生成では、従来の手描きでは

3 時間以上かかっていた作業が 30 分程度に短縮されるものもあった。（写真 6～8 参照）

職員に実施したアンケート結果では、90%以上の職員が「現場の再確認が可能になった」、「図面作成、計測の負担軽減になる」、「撮影忘れがなくなる」と回答した。一方で、「データ容量が大きく動作が重い」、「データの管理や保存方法に課題がある」、「平面図、立面図の精度の改善が必要」などの課題も明確となった。



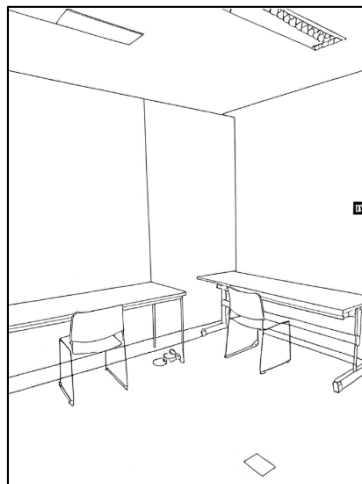
【写真 4 距離測定画像】



【写真 5 建物を俯瞰表示した画像】



【写真 6 立面図作成前のデータ】



【写真 7 AI による立面図作成例】



【写真 8 平面図作成例】

4. 考察

実証研究から得られた結果として、3D データ（3D 立体生成画像）が火災調査業務において有効であることが確認できた。撮影から図面作成までの時間短縮は、現場活動の負担軽減と調査業務の効率化に大きく寄与し、後日の再検証にも活用できると考えられる。

今回、3Dデータの位置づけは、現場の再確認や図面作成のための補助資料であったが、研究過程で判明したとおり、生成される3Dデータが高精度であることから、これ自体を火災調査書類の資料とすることの有用性についても見いだすことができた。

また、調査記録としてだけでなく、その高い再現性から、教育・訓練教材としての活用価値も潜在的に有していると考えられる。

一方で、データ容量の増大による保存・管理の課題や雨天時の機器の使用制限、専用ソフトの操作性に加え、撮影時に点群データが視覚的に確認できないことから補完的に距離を測定しなければならないなど、解決すべき課題も明確になった。

5. 結論

本実証研究を通じて、3Dデータは火災調査現場記録手法として極めて有効であり、業務効率化と記録精度の向上に貢献することが明らかとなった。撮影から図面作成、報告書作成までのフロー全体を改善し、調査活動の質的向上が期待できる。また、若手職員でもベテラン職員と同等の記録が可能となることで、組織全体のレベルアップに寄与すると考えられる。

6. 今後の展望

今後は、技術の進展により平面図、立面図の作成効率や精度の向上、そのほか、新たな撮影手法の導入により撮影工数の削減及び操作性の向上が期待される。

また、より精度の高い3Dデータが利用可能となることで、調査記録の枠を越え、消防全般で活用できる価値を創出し、加えて、デジタルツインによる公共施設の維持管理など、生きた教材としての活用も期待される。

さらに、データを蓄積することで、AIによる火災調査報告書を自動作成する未来を視野に入れている。

7. 謝辞

本実証実験の実施にあたり、多大なるご協力をいただいた株式会社リコー並びに神奈川県消防学校の関係者、そして実証実験に携わっていただいた皆様に深く感謝申し上げます。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞

消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

AR消火栓アプリの開発

白山野々市広域消防本部

松林大司、今村健太

北陸先端科学技術大学院大学

大懸崇一郎

島根大学

荒木宏哉

1. はじめに

1.1 指定消防水利の現状

突然起こる火災出動で、消火の目的のために、出動する消防隊は指定消防水利を確保し、消火水を活用し消火することを基本と考えている。消防法第20条第1項には指定消防水利の基準が明記されており、消火栓、私設消火栓、防火水槽などがあげられる。指定消防水利は消防活動を行う上で消防車両等とともに不可欠なものであり、阪神・淡路大震災以降、耐震性を備えた防火水槽などの整備が進められているほか、近年は消防水利の老朽化や木造密集地域における消防水利の需要を見込み、各市町村において段階的に数値目標を設け、図1.1左（平成27年度消防水利状況）と比べ、図1.1右（令和5年度消防水利状況）¹⁾は増加が認められ、消防水利の充実が全国的に図られている。

区 分	平成26年	平成27年	比較		区 分	令和4年	令和5年	比較	
			増減数	増減率(%)				増減数	増減率(%)
全 国 の 整 備 数	2,393,210 (100.0)	2,438,582 (100.0)	45,372	1.9	全 国 の 整 備 数	2,515,624 (100.0)	2,541,608 (100.0)	25,984	1.0
消 火 栓	1,844,586 (77.1)	1,885,707 (77.3)	41,121	2.2	消 火 栓	1,954,330 (77.7)	1,976,819 (77.8)	22,489	1.2
防 火 水 槽	527,766 (22.1)	532,043 (21.8)	4,277	0.8	防 火 水 槽	542,179 (21.6)	545,079 (21.4)	2,900	0.5
20m ³ ～40m ³ 未満	106,717	105,878	△ 839	△ 0.8	20m ³ ～40m ³ 未満	103,067	103,035	△ 32	△ 0.0
40m ³ ～60m ³ 未満	377,030	382,009	4,979	1.3	40m ³ ～60m ³ 未満	391,849	394,184	2,335	0.6
60m ³ 以上	44,019	44,156	137	0.3	60m ³ 以上	47,263	47,860	597	1.3
井 戸	20,858 (0.9)	20,832 (0.9)	△ 26	△ 0.1	井 戸	19,115 (0.8)	19,710 (0.8)	595	3.1

図 1.1 消防水利整備数の増加（出典：平成27年度、令和5年度消防白書）

公設消火栓は、地方自治体などの行政機関によって設置された消火用の水を水道管から取り出すための水道栓等であり、消火目的の公共インフラで消防活動に都合の良い地点に100mから200mおきに設置されている。図1.2のように指定消防水利の標示は、消火栓等の周辺には黄色のペイントが施されている事が多く、さらに、近くには標識による標示をすることにより、指定消防水利の大まかな位置を消防隊員や消防団が把握しやすいように消防法第20条第2項で明記されている。



図 1.2 指定消防水利のペイント及び標識

標識は、道路状況によって、図 1.3 のように、消火栓や防火水槽の黄色のペイントが剥げて標示が薄れている場合がある。各自治体は消火栓や防火水槽に対して塗り直す作業を点検として地水利把握に併せて定期的の実施している。このように指定消防水利に対し、消防職員や団員は、地水利の外観点検や作動点検を実施し、標識の設置状況や消火栓の作動状況などを定期的を確認しており、不備があれば管轄市町村に迅速に報告し、早急な対応を依頼している。



図 1.3 指定消防水利のペイントの剥がれ

1.2 指定消防水利の問題点

消火栓や防火水槽は設置数が多く、消防隊は定期的な点検を実施しているが、一日ですべてを点検できない地域もあり、分割して地水利点検を実施している消防本部は多い。最近では車両動態位置管理装置を消防車や救急車等に設置していることで、災害情報の表示や車両の活動状況、GPS を活用した位置情報の取得を容易に把握でき、車両動態位置管理装置の画面には指定消防水利の位置が表示されることから、指定消防水利を暗記する職員は昔と比べ少なくなった。しかし、車両動態位置管理装置に表示される指定消防水利は、正確な位置ではないこともあり、最終的には現地に行き目視で探し発見しなければならない。

さらに、指定消防水利は、黄色のペイントで標示や標識等で把握しやすいようにしているが、夜間帯になると視認性が悪く見落とす可能性が高くなる問題や、冬季期間中の降雪により消火栓が隠れてしまう問題がある。とくに降雪による水利確保の問題は大きい。図 1.4 によると、冬季や春季の出火件数は総出火件数の 57.0% を占めており²⁾、図 1.5 では 12 月から 3 月の降雪時期は火災件数が多い³⁾。また、気象庁、気象研究所の川瀬は、地球温暖化で若干降雪量は減ると予測⁴⁾しているが、短期間に振る大雪の変化（以下、「ドカ雪」という）は増加する。これは地球温暖化が進むと、日本海の海面水温が上昇し、大気へ供給される水蒸気の量が増加するため、強い冬型の時の降雪が増えドカ雪が強まると考えられる。

資料1-1-12 四季別出火状況

年別 季別	令和4年				令和5年			
	出火件数 (件)	構成比 (%)	損害額 (百万円)	構成比 (%)	出火件数 (件)	構成比 (%)	損害額 (百万円)	構成比 (%)
春季（3月～5月）	10,731	29.6	27,119	26.7	11,244	29.1	26,794	28.4
夏季（6月～8月）	7,368	20.3	27,636	27.2	8,119	21.0	23,713	25.2
秋季（9月～11月）	7,625	21.0	21,441	21.1	8,523	22.0	18,522	19.7
冬季（12月～2月）	10,590	29.2	25,547	25.1	10,786	27.9	25,179	26.7
合 計	36,314	100.0	101,743	100.0	38,672	100.0	94,208	100.0

図 1.4 四季別出火状況（出典：令和6年度消防白書）

資料1-1-12 建物火災の月別火災件数

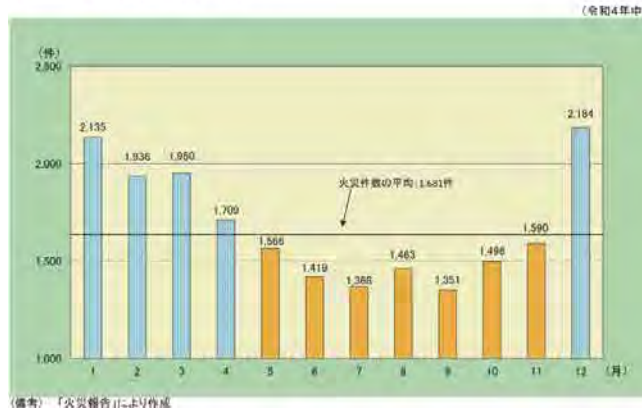


図 1.5 建物火災の月別火災件数（出典：令和5年度消防白書）

図 1.6 の豪雪地帯は国土の約 51% に及ぶ広大な面積を占めている。豪雪地帯は全国では北海道や東北、日本海側の都道府県が該当しているが、意外にも静岡県や広島県も該当している。この豪雪地域では消火栓が積雪により隠れてしまう問題に対して、消防職員は積雪があると指定消防水利の除雪を消火栓点検として実施しているが、引き続き降雪により除雪が追い付かない等の問題があり、消防団員に協力してもらう地域もある。さらに、各市町村は指定消防水利の近くに住んでいる住民に対し、除雪の協力を呼び掛けるなどの対応をしている地域もあるが、降雪時いつ発生するかわからない火災出動時に除雪されている消火栓が少ないのが現状である。



図 1.6 豪雪地帯（引用：国土交通省資料）

降雪等により隠れてしまった消火栓を把握するために、図 1.7 のように標識に矢印を設置し消火栓のある場所を示しているものもあるが、標識が高い位置にある事が多く、大体の場所は理解できるが正確性は高くない。



図 1.7 標識の矢印によって消火栓の位置を示している状況

図 1.8 のように、積雪時での消防隊による消火栓の検索を実施した。災害現場に到着した状況で、消火栓の位置を消防車に設置されている車両動態位置管理装置で、おおよその位置を確認し、隊員 3 人でスコップを活用して消火栓を探し、発見状況について検証する。

当日の積雪状況は約 20 c m の積雪の状況で実験を実施した。



図 1.8 降雪時の消火栓発見状況写真

消火栓発見に至るまでに 2 分 13 秒を要した。発見方法は 3 人で車両動態位置管理装置に表示されている消火栓表示からおおよその場所を予測し、隊員 3 人で同場所の除雪を実施したが発見に至らず、隊員それぞれが周辺の除雪を行った。約 20 c m の積雪もあり、除雪が困難と判断し、スコップを地面に当たるように刺すことで、消火栓の金属音で位置を探ると、しばらくして発見に至った。

このように火災が発生する可能性の高い時期において、降雪地域の消防本部は水利確保の問題として特に苦慮している。さらに夜間帯であれば消火栓発見に遅延する可能性は高いと推測する。

2. アプリ開発について

1の問題を解決する手法として、AR機能によりスマートフォン画面に指定消防水利の表示を浮かび上がらせる（以下「AR消火栓アプリ」と呼ぶ）技術が有効であると考え。ARの技術は、現実情報を認識する技術で、現実世界の風景からの情報をもとに、コンピュータで作成したデジタルコンテンツを3D画像や動画などの情報を付加して表示する技術である。最近ではGoogleMapやポケモンGOなど、生活に浸透したサービスや事例があり、さらにファッションや家具などのお試し行為にもARは有効である。

消防分野では、災害体験型ARとして火災のイメージをAR技術による臨場感のある像を、今いる場所で体験できる訓練として販売している企業もあるが、防災意識や危機管理の向上に繋げる教材活用にはできていない。

本開発では、GPS機能を活用した位置情報を基に、夜間帯や積雪等の視認障害がある指定消防水利を、AR技術によりスマートフォン画面に消火栓の正確な位置を3D表示させることで、消防水利の早期発見が可能となり、1秒でも早く放水が整う状況にできるAR消火栓アプリを開発する。この新規提案手法を活用できれば、緊急性の高い火災出場時や、令和6年1月1日に発生した能登半島地震のような大災害時でも、土地勘のない他地域から応援に来てくれる緊急消防援助隊でも有効に活用できると考える。

3. AR消火栓アプリの開発

本章では、作成したAR消火栓アプリの開発について述べ、実験結果を述べる。

3.1 アプリの概要

このアプリは消防隊の早期指定消防水利の発見を目的とし、夜間帯や積雪時の消火栓が見えにくい環境でも、AR機能により指定消防水利が見える化にすることで、早期消火活動の一助とするために作成した。

指定消防水利の位置は、GPS機能の付いたスマートフォンを活用し、さらに、Googleのオープンデータにより緯度、経度を出し指定消防水利を表示している。図3.1のようにVisibleFireHydrant_AR_v2という名前を付け、AR消火栓アプリを作成する。

ARの消火栓表示は、UnityとGoogle ARCore Geospatial APIを活用し、Googleが提供するVPSで、GoogleストリートビューのデータとスマートフォンのGPS情報とを併用することで、精密な位置合わせができ、さらに地理空間アンカーを設定するとUnityのARCore APIで3Dオブジェクトを表示が可能となり、そこに消火栓表示が映し出せるようにプログラムした。



VisibleFireHydrant_AR_v2

図 3.1 AR 消火栓アプリの表示

3.2 機能概要

図 3.2 のように、ホーム画面では、以下の 3 つの機能を利用可能とした。



図 3.2 AR 消火栓アプリのホーム画面

1. 消火活動

火災現場および周辺の消火栓位置、使用状況をリアルタイムに把握し、最適な消火栓の割り当ておよびルート案内を提供する機能。

2. 消火栓登録 - AR -

AR を利用し、実空間上に新規消火栓の位置情報及び位置修正を登録するための機能。

3. 消火栓変更 - 2D MAP -

Google Maps を用いて、既に登録された消火栓の位置情報の編集および確認を行

うための機能である。

ユーザはホーム画面上に表示されている各機能の「開始」ボタンを選択することで、それぞれの機能を利用可能である。

3.3 使用手順

1. 消火活動

本機能は火災現場の位置特定、消火栓の割り当て、ルート案内、隊員間の情報共有、ARによる消火栓位置確認および活動報告までを支援するものである。

本機能を起動すると、スマートフォンのGPSを用いて現在地周辺の地図が表示される。この地図はピンチ操作による拡大・縮小およびドラッグ操作による移動が可能であり、隊員が火災現場を迅速に特定することを支援する。

火災現場を登録する際は図 3.3 左で左下の赤で囲われた炎アイコンを火災地点にドラッグすることで、緯度および経度情報が自動的に取得される。その後、取得した緯度経度を元に住所が表示され、図 3.3 右のように消防隊員は確認画面で火災現場を確定できる仕組みである。

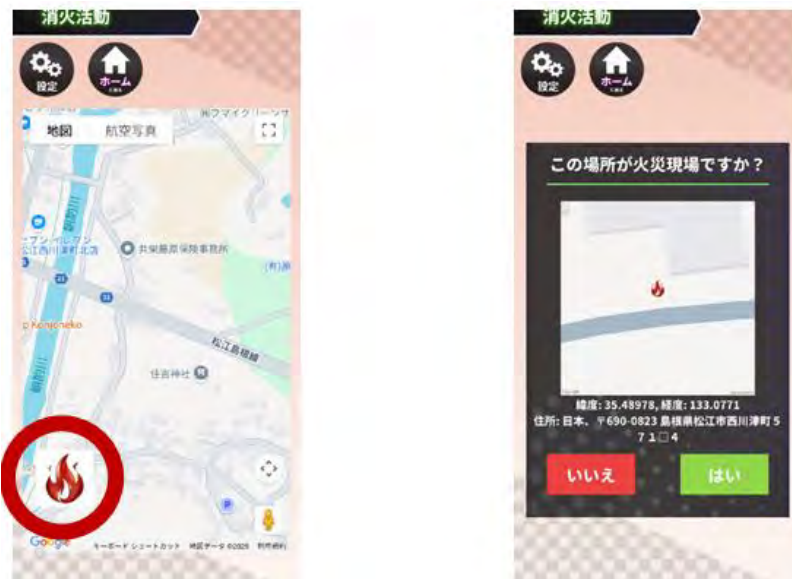


図 3.3 火災現場の登録方法

火災現場の確定後は、各スマートフォン上に火災位置が即座に共有され、図 3.4 左において赤で囲われている地図上で表示されている炎のアイコンを選択することで消火活動を開始できる。消火活動が開始されると、クライアント側システムは、緯度・経度・状態（使用可能、使用不可、割り当て中）および割り当て済みのユーザ情報を管理する消火栓管理 API を通じて、火災地点を中心とした一定半径内に存在する使用可能な消火栓情報を要求する。API サーバでは消火栓の予約状況をリアルタイムで管理しており、隊員の現在位置からの距離に基づいて最適な消火栓が即座に割り当てられる仕組みである。

割り当てられた消火栓は地図上にピンとして、図 3.4 に示すような状態と共に

表示されるため、隊員は迅速に目的の消火栓の位置と状態を把握できるようになっている。



図 3.4 消火栓の割り当て表示

消火栓が割り当てられた後は、図 3.5 左のように現在地から割り当てられた消火栓までの最短ルートが提供される。ルート案内は Google が提供するルート案内 API である Google Maps Directions API を用いてリアルタイムに計算され、画面には進行方向や残り距離、所要時間、および車両で移動可能な次に進むべき経路が具体的に表示される。また、隊員の位置情報は図 3.5 右のようにリアルタイムでサーバとリアルタイム通信技術の一つである WebSocket を用いてやり取りされ、他の隊員と位置情報を共有することにより、連携を強化し消火活動の効率性を向上させている。そして本機能では隊員間でメッセージを送受信することも可能であり、例えば消火栓が使用不可となる理由などをリアルタイムに共有可能である。



図 3.5 ルート案内機能と情報共有表示

消防隊員が割り当てられた消火栓から 20m 以内の範囲に接近すると、図 3.6 のように自動的に AR モードが起動され、AR 技術を用いて消火栓の真上に正確な位置を視覚的に確認できる。さらに消火栓の距離も上部に表示することで、迅速かつ確実に消火栓へアクセス可能となる。



図 3.6 消火栓位置の視覚的確認

2. 消火栓登録 - AR -

「消火栓登録 - AR -」機能は、スマートフォンのカメラを利用した AR 技術を用いて、新規の消火栓を実際の空間に配置・登録することが可能である。ユーザは画面に表示された指示に従い、図 3.7 左に示した画面において消火栓を設置したい場所で「登録」と書かれたボタンを選択すると、その地点に AR 表示された消火栓が設置され図 3.7 右に示したようなプレビューが表示される。本機能では AR を利用することで、位置情報を直感的に正確に登録することができ、位置ズレの軽減に寄与する。



図 3.7 消火栓位置の登録方法

しかし、Google Maps の消火栓は実際の位置とズレが多く、図 3.8 のように現地に行き消火栓の位置を修正することが可能であり、登録することで正確な AR 消火栓

の位置が表示できる。



図 3.8 現地に行き消火栓位置を設定

3. 消火栓変更 - 2D MAP -

「消火栓変更 - 2D MAP -」機能は、登録済みの消火栓の位置情報を Google Maps 上で管理するための機能である。図 3.9 左に示すように、マップ上に表示される消火栓のアイコンを選択することにより、図 3.9 右に示した画面で位置情報の変更や登録情報の削除を容易に行うことが可能となる。



図 3.9 消火栓位置の変更や削除方法

また、既存の消火栓や新たに追加した消火栓の位置についても、図 3.10 左に示す航空写真や図 3.10 右に示す Google ストリートマップを用いて随時確認可能であり、これにより消火栓の管理業務を効率化するとともに、位置情報の正確な管理に貢献している。

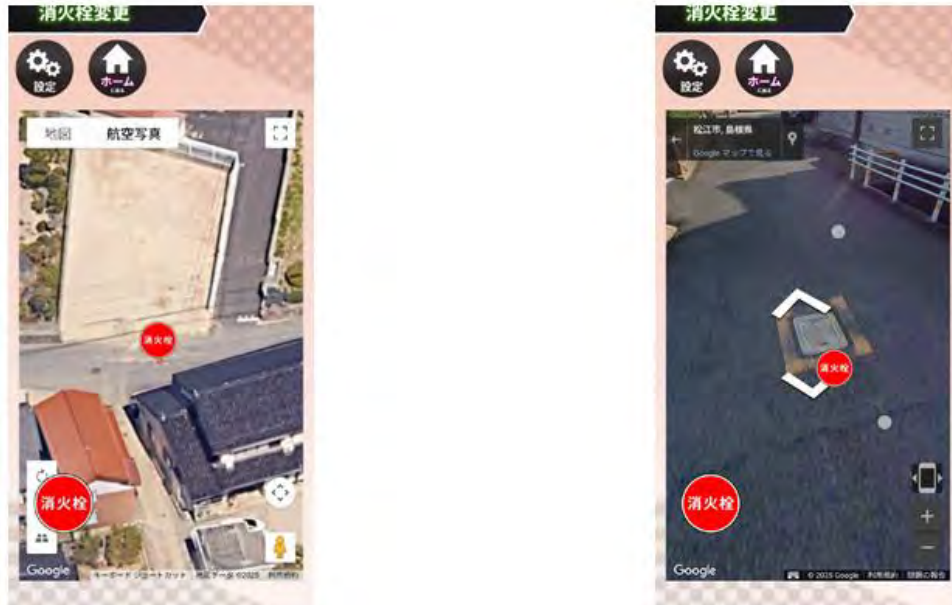


図 3.10 消火栓位置表示（航空写真・ストリートマップ）

4. 結論

積雪時に AR 表示をした実験はできなかったが、20 c m の積雪時に消火栓の発見を検証した結果、隊員 3 名で 2 分 13 秒要したが、AR 消火栓アプリの活用によって、消火栓の真上に正確な AR 表示された消火栓により、発見が容易となるため、積雪時の指定消防水利の早期発見は間違いない。

現在のオープンデータでは、消火栓の位置は多少のズレが生じている。しかし、ズレの修正は容易であり、地域の消防士が随時消火栓点検を実施していることから、点検時に消火栓表示位置をアプリ上で修正をすることで、すべての消火栓の位置ズレ問題は解消する。さらに各車両には携帯電話を配置している消防本部は多い。災害情報を自動的に各車両の携帯電話に送信し災害情報と AR 消火栓アプリを共有できれば、火災現場の登録は自動的にできる。

近年では、水槽付消防車が多く消防局や本部で主力車両となっており、その理由の一つが火災の早期制圧である。水槽付消防車両は火災現場にできるだけ接近し積載する水槽水で速やかに消火活動が可能となる。最近では約 1000 リットルの水槽を積載した小型消防車によって狭隘な道路でも走行可能となり、密集地域でも対応できるようになっている。この戦術は直近に部署する積載水を活用した早期消火活動と、後着する消防車が消火栓などに部署し、直近に部署した車両に対して中継送水を実施する協同活動により、早期対応を行う戦術である。しかし、後着隊の消火栓部署などで中継送水が遅れると、前線で放水している隊員は水不足となり消火作業困難、さらに隊員の危険が高まることとなる。この戦術で重要なポイントは後着隊の迅速な指定消防水利の確保である。夜間帯や積雪時の見えにくい状況、特に積雪時の状況では確実な

水利確保が困難となるため、直近に部署を避け、それぞれが水利部署を行う事が多く、積載水を活用した早期制圧の戦術は選択肢としてなくなるが、AR 消火栓アプリで消火栓の見える化が可能となることで、水利確保が遅れる心配は解消され、時期を問わず早期消火活動が可能となる。

5. 今後の展望

5.1 市役所等との連携

近畿大学工学部の難波は「平常時火災における消火栓の放水能力に関する研究」⁵⁾で消火栓の口径は75 から 150 mmで同時に放水台数4台の場合、1台でノズル2口が限界であると言っている。放水量は圧力と筒先の口径で決まるので放水方法によっては限界値の変化はあるが、同じ配管に消防車が部署してしまうと水不足になってしまう可能性があり、この現象はどの消防本部でも経験があると思われる。この問題を解消する方法として、消火栓を管理している各市町村の水道施設管理者が担当している事が多く、AR 消火栓アプリを水道施設管理者と共有ができれば、配管の太さを事前に把握することで、同一配管への指定水利に車両部署する車両に対し、AR 消火栓の表示を変化させることで、水利部署を回避することが可能となり、活動中の水不足は解消する。

火災時に大量の水を活用した場合、家庭内の水道水から赤水が発生するといった問題⁶⁾があり、市民から市役所等に通報してくる事がある。この赤水は多くの水道管は中心部の流れが速く、その周りの水道水はゆっくり滞留気味に流れているが、火災などによる消火活動により大量の水道水が一気に動くと、水道管の内側に付着した鉄分が剥離することで赤水が発生し家庭の蛇口から出ることが原因である。赤水が発生した場合、しばらく水を流してもらい、通常の綺麗な水に戻ったことで対応してもらっているが、給湯器などを通した蛇口で水を流すと機器の故障原因となる可能性がある。AR 消火栓アプリによって市役所が共有できれば、消火により活用した水道管を把握することで、活用した水道管の地域住民に対し赤水が発生するといった予測を事前に通知することが可能となる。

5.2 総務省との連携

近年、日本国内では災害が頻発化、激甚化し、さらに将来高い確率で大規模地震の発生が想定されるなど、これまでにない災害リスクの高まりが指摘されており、国の災害対策方針においては、災害時に迅速に回復可能な国土・地域・経済社会システムの構築が考えられている。通信機器においては、警察や消防など、最近では公共安全LTE（PS-LTE）の活用がある⁷⁾。別に用意する専用設備で提供するとともに災害時の優先電話に対応しており、一般ユーザによる設備混雑の影響を抑えて利用できるほか、マルチキャリア対応による冗長性を備え、災害発生時の公共安全機関における確実か

つ円滑な通信を実現し、2024年4月1日より提供開始している。

能登半島地震においても情報の共有化は難しく、活動隊の情報統一を図るためにもPS-LTEを活用できていれば有効だったと推測する。このPS-LTEにAR消火栓アプリを取り込めれば、大規模災害の緊急消防援助隊で、土地勘のない隊でも消防水利が把握でき、活動に支障がなくなると推測する。

参考文献

- 1) 総務省消防庁．消防白書 令和5年版 消防防災の組織と活動 消防水利 P66．総務省消防庁 刊行物，2024
- 2) 総務省消防庁．消防白書 令和6年版 災害の現況と課題 出火状況 P4．総務省消防庁 刊行物，2025
- 3) 総務省消防庁．消防白書 令和5年版 災害の現況と課題 火災種別ごとの状況 P13．総務省消防庁 刊行物，2024
- 4) 川瀬宏明．2019：地球温暖化で雪は減るのか増えるのか問題．ベレ出版．256pp
- 5) 難波義郎．2005：平常時火災における消火栓の放水能力に関する研究．Bulletin of Japan Association for Fire Science and Engineering Vol.55.No.2
- 6) 加賀市ホームページ．2024.6．加賀市役所ホームページ、消火栓の取り扱いと注意事項について．（2025年3月20日取得）．
https://www.city.kaga.ishikawa.jp/soshiki/jogesuido/keiei_kikaku/3/1072.html
- 7) BUSINESS NETWORK．2024.2.9．スマホで公共安全 DX「PS-LTE」が衣替えして2024年実用化へ．（2025年3月20日取得）．
<https://businessnetwork.jp/article/18379/>

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

記入箇所と手順を可視化する
「トリアーシタグテンプレート」の考案

倉敷市消防局
石井健

1. 背景

多数傷病者事案において、重症度や緊急度を判断し、治療の優先順位を決定するためにトリアージを行います。その際、傷病者情報を管理するためにトリアージタグ（以下「タグ」という。）を用いて情報を記入しています。

タグには、17項目にわたる情報を過不足なく、限られたスペースに正確かつ迅速に記入していく必要があります。しかし、これらの情報を記入する場面は、出動中の救急車内から始まり、一次トリアージ、二次トリアージ、三次トリアージ、そして搬送車内へと移り変わり、その都度、記入する隊員も異なります。また、タグを現地本部へ手渡すタイミングなどの確実性も求められることなど、一連の手順は単純とは言えません。【資料1】

所属の救急隊員 82 名を対象に、タグの記入や手順に関する認識度のアンケート調査を行なったところ、9 割以上の隊員が「タグの取扱いに関して少なからず不安を抱いている」ということが分かりました。【資料2】

このような背景から、隊員の習熟度に関わらず、簡単な操作で記入箇所と手順を把握することができる「トリアージタグテンプレート」（以下「タグテンプレート」という。）を考案しました。【資料3】

【資料1】 トリアージタグ（4枚綴り）に必要な記入箇所と手順（順不同）

① ② ③ ④
⑤ ⑥
⑦ ⑧
⑨ ⑩
⑪ ⑫
⑬ ⑭
⑮
⑯
⑰

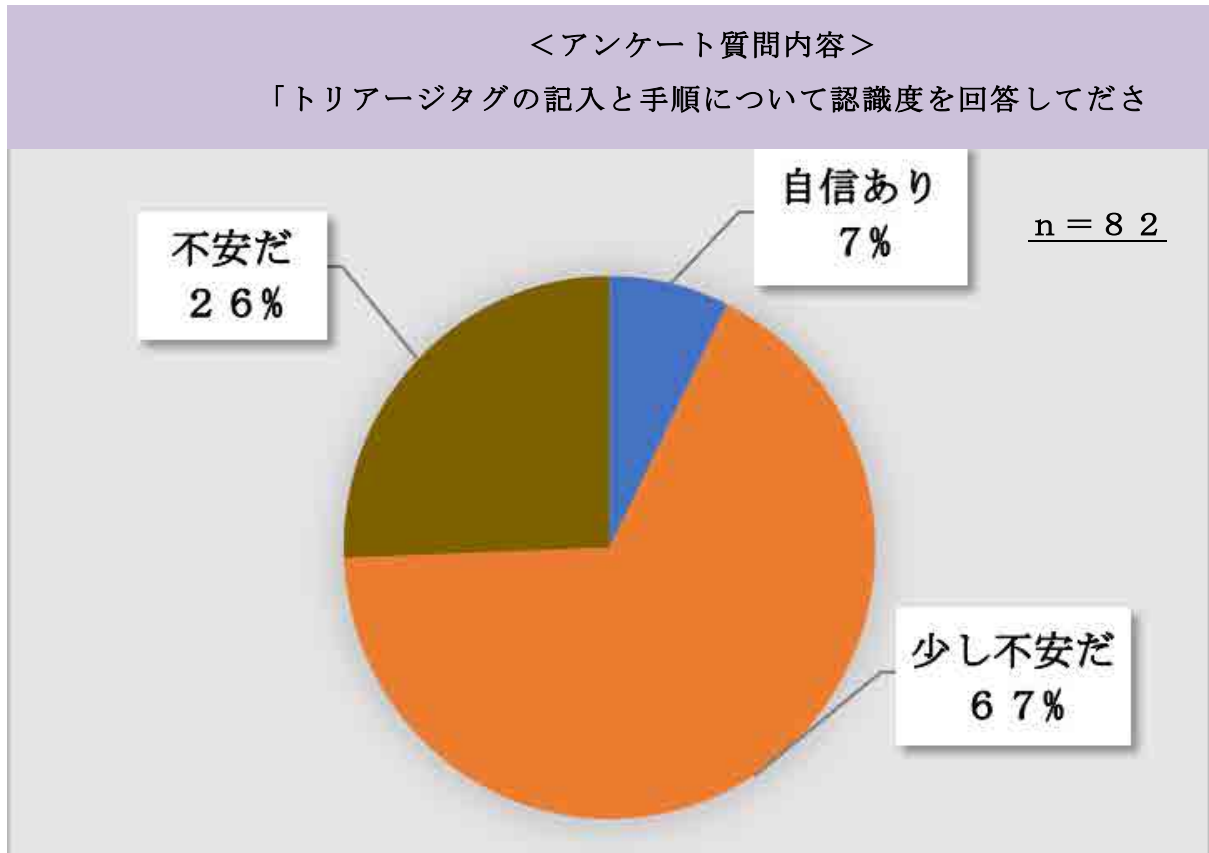
手順：一次トリアージ後に右手につける
（不可なら左手、右足、左足、首）

記入箇所は 17 項目あり
□ の項目はトリアージする度に記入

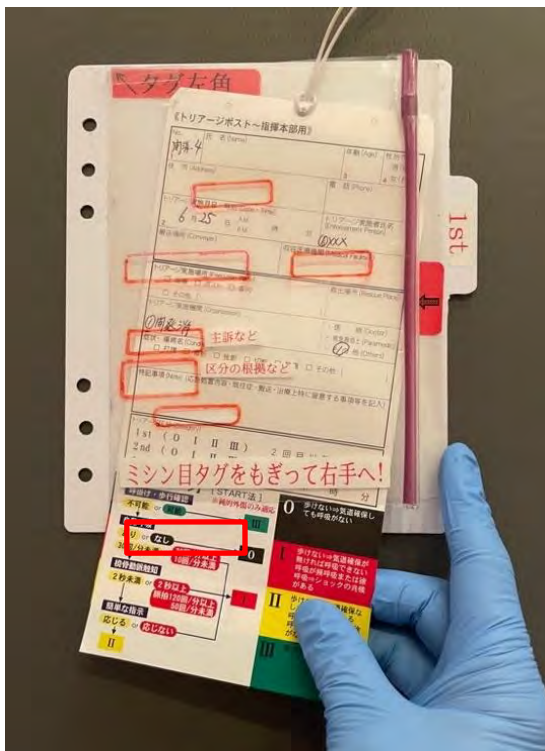
手順：1 枚目と 2 枚目は現地本部へ手渡す

手順：一次トリアージ後にもぎる

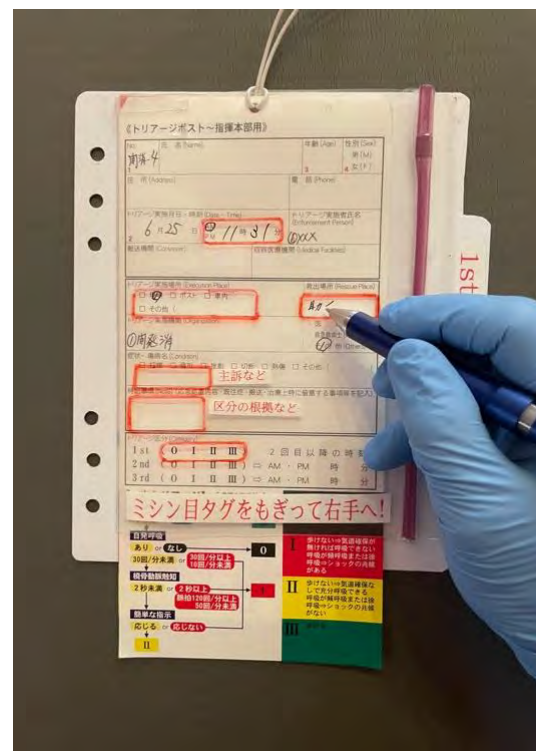
【資料2】所属の救急隊員を対象にしたアンケート調査の結果（匿名選択式）



【資料3】タグテンプレートの使用手順（1st用）



①タグを差し込み左上角部分に合わせる



②マーキング箇所に記入

2. タグテンプレート考案のコンセプト

- (1) トリアージする場面ごとの記入箇所と手順が「可視化」されること。
- (2) 習熟の必要がなく、簡単操作で使えること。
- (3) 筆圧が必要なため、タグの下敷きとしての役割も担うこと。
- (4) ツール自体がマニュアルや手順の教養資料になること。
- (5) 省スペースで積載でき、携行性に優れること。

3. 概要

コンセプトを満たすための主な材料として、加工性が良く、軽量のクリアファイルとプラスチック板を使用して作成しました。

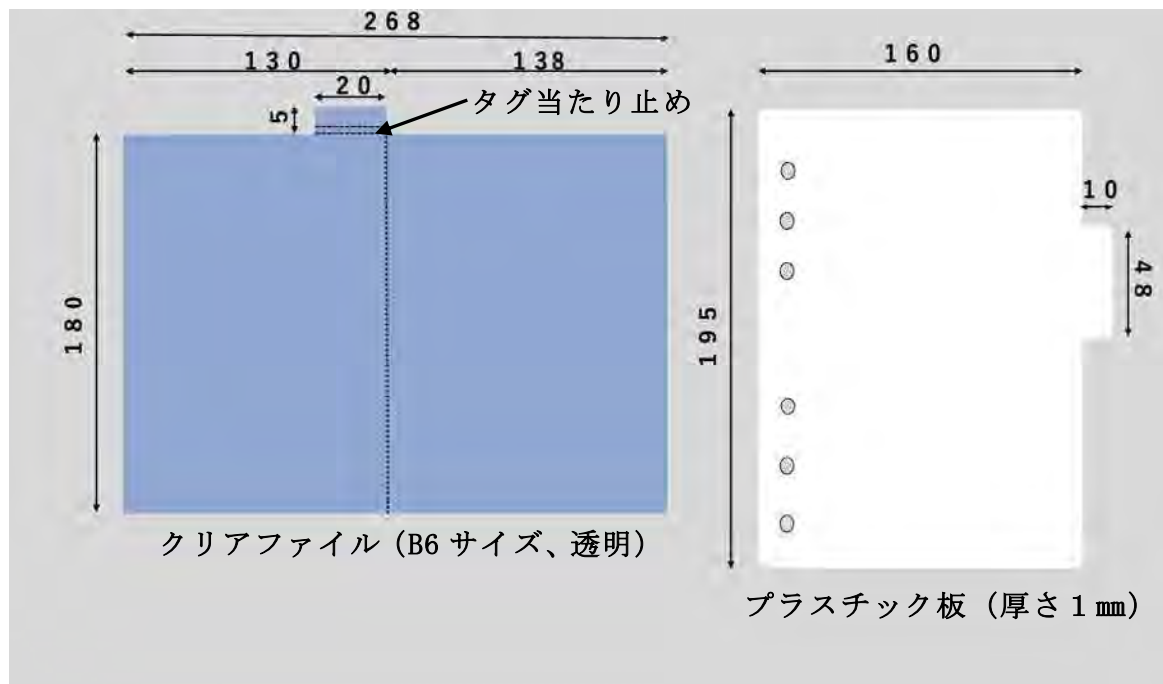
3.1 作成要領

はじめに、クリアファイルとプラスチック板を【資料6】のように加工します。次に、タグを設定位置に合わせ、記入項目の外枠をマーキングして、その内側を切り抜きます。そして、台座のプラスチック板に貼り付け、表面にはタグの取扱い手順を表示、裏面には補助的な資料などを貼り付けます。各場面、同じ要領で作成し、一式をリングバインダーなどにまとめて完成です。【資料6-1～6-4】

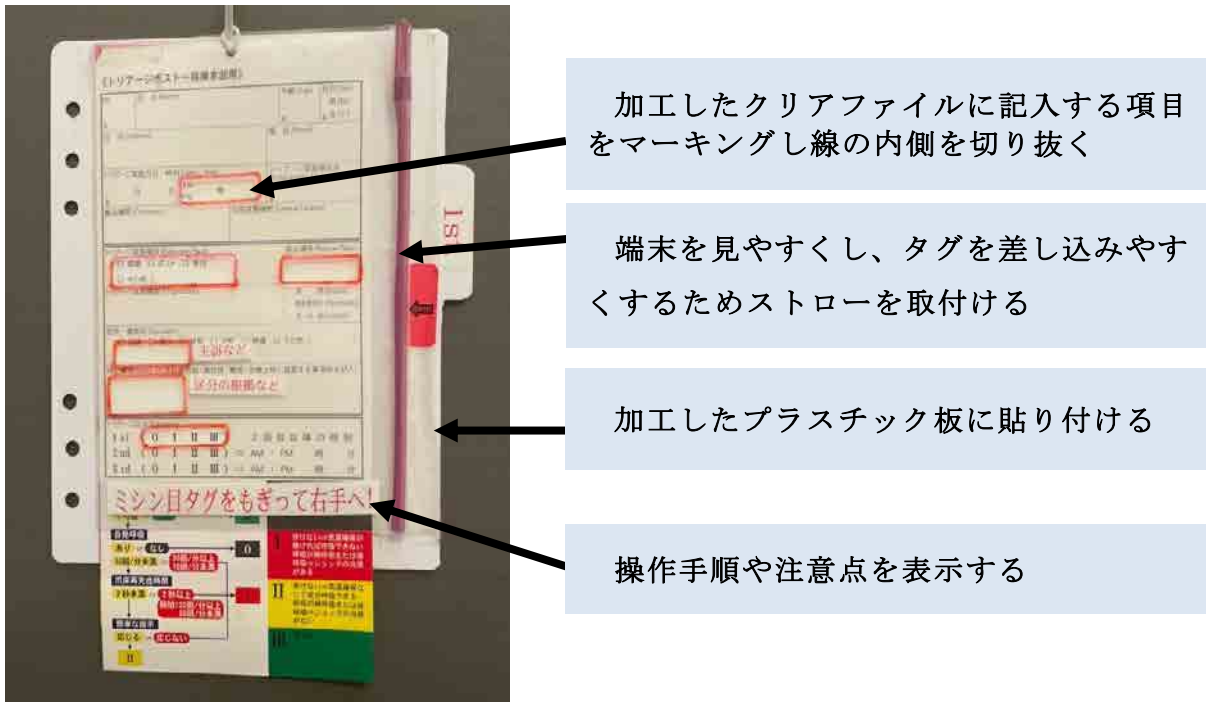
なお、当市では、4枚綴りのタグを使用しています。消防本部によって、タグの仕様やマニュアルの相違はあると考えますが「マーキングして切り抜く箇所」を調整することで対応することができます。

【資料6】 タグテンプレート作成要領

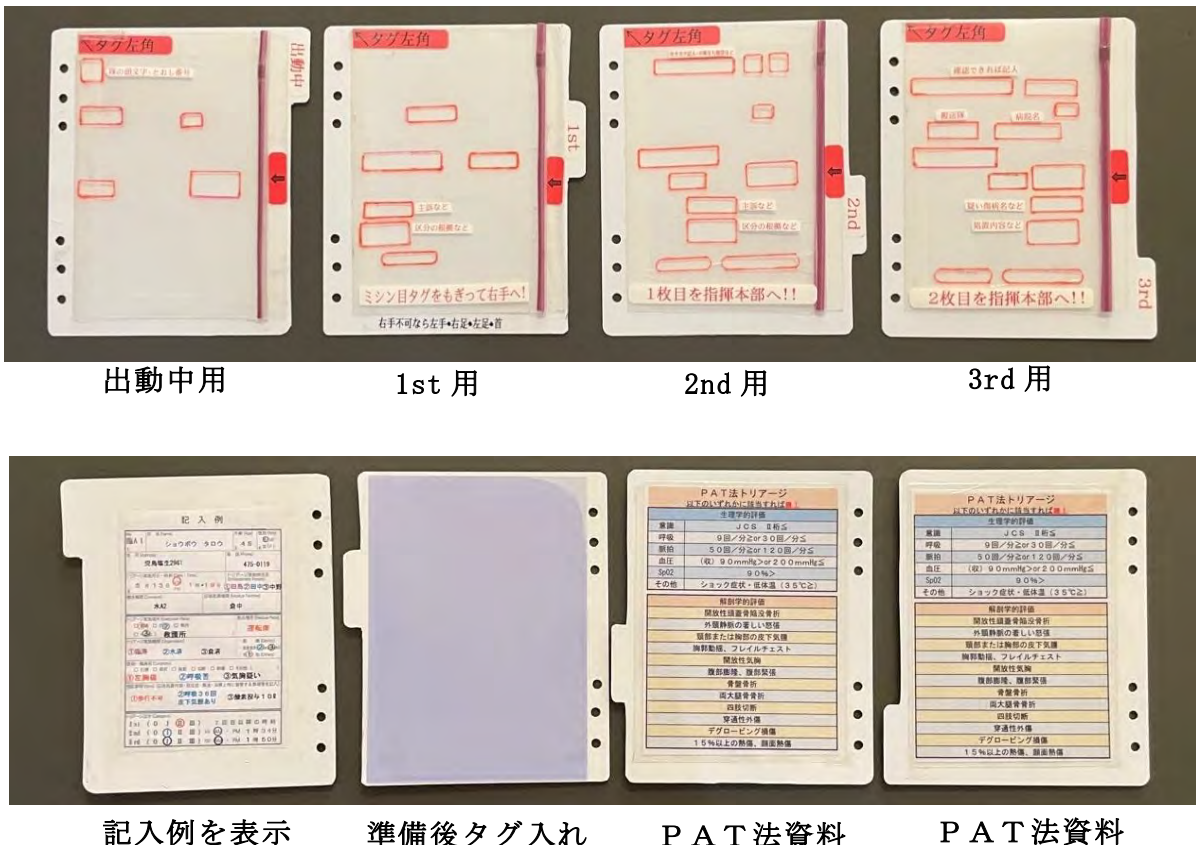
【資料6-1】 クリアファイルとプラスチック板の加工図（単位：mm）



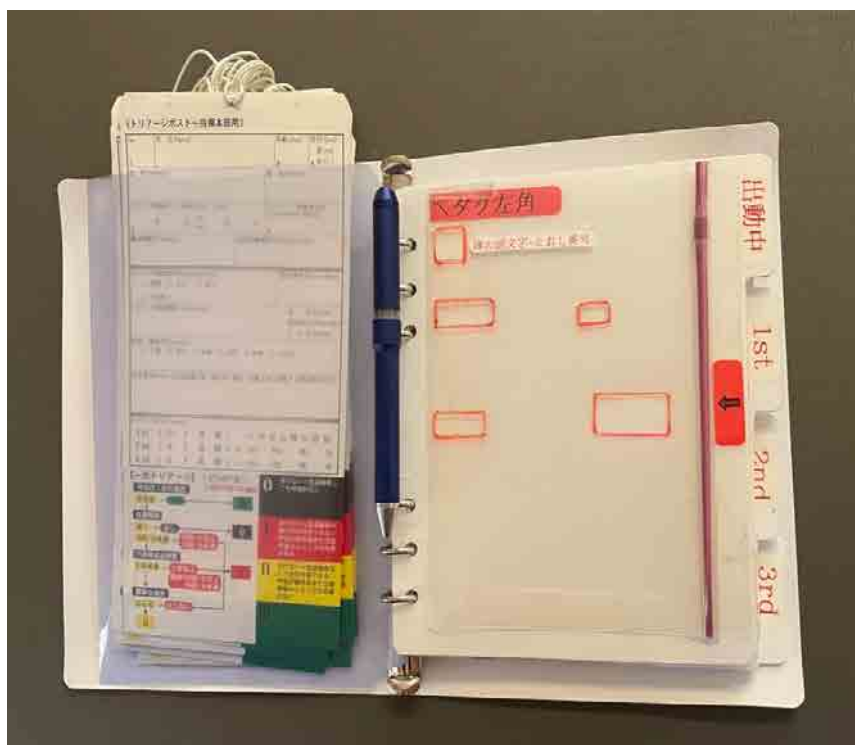
【資料 6-2】 タグテンプレート作成手順



【資料 6-3】 完成したタグテンプレート一式（上段：表面、下段：裏面）



【資料 6-4】 リングバインダーにまとめた一例



3.2 使用方法

場面に合わせたタグテンプレートにタグを右端から差し込み、左上角部分の当たり止めにタグを合わせます。そして、マーキング箇所に情報を記入していきます。【資料 3、7、8】

なお、タグテンプレートは、省スペースで積載することができ、携行性にも優れているので、突発的に対応が求められても、すぐに持ち出して使用することができます。【資料 9、10】

【資料 7】 1st 用タグテンプレートの使用イメージ



【資料8】場面別のタグテンプレートを使用した記入例

「出動中用」記入例

「1st 用」記入例

「2nd 用」記入例

「3rd 用」記入例

【資料 9】



省スペースで積載できる

【資料 10】



携行性も良い

3.3 作成費用

材料は、100 円均一ショップでも購入できるもので作成しました。内訳は、クリアファイル（B6 サイズ 10 枚入り）を 1 つ、プラスチック板（B5 サイズ 厚さ 1 mm、2 枚入り）を 2 つ、リングバイnderを 1 つ購入し、合計 440 円（税込）と低コストで作成することができました。

4. 検証

所属において、同じ想定内容の多数傷病者事案対応訓練（活動隊員 30 名、緊急度区分と傷病者数、赤：3 名、黄：4 名、緑：5 名）を 2 日連日で行いました。1 日目の隊員には、訓練直前にタグテンプレートの説明を簡単に行い、訓練でもタグテンプレートを使用してタグを記入しました。

そして、2 日目ではタグテンプレートを使用せず、通常の方法で記入しました。

4.1 対象と方法

2 日間の訓練終了後、両日のタグ 2 枚目（指揮本部用）を対象に、記入漏れや手順の誤りがないか正確性を検証しました。

4.2 結果

タグテンプレートを使用しなかった 2 日目では、必須項目の記入漏れが複数箇所ありましたが、タグテンプレートを使用した訓練日では、ほぼ記入漏れはありませんでした。また、初めてタグテンプレートを使用した隊員からは「簡単に使えて、記入箇所がすぐに分かって役立った。」との感想が多く、習熟の必要もなく、すぐに使用できたことで、実用性と有用性を確認することができました。【資料 11】

【資料 11】 タグテンプレートの有用性についての検証結果

＜検証方法＞

同じ想定内容の訓練を2日連日実施。必須記入項目を9項目（タグナンバー、名前、年齢、性別、トリアージ日時、搬送機関、収容医療機関、負傷状況、トリアージ区分）とし、両日のタグ2枚目（指揮本部用）の記入状況を確認した。

なお、緊急度が赤（Ⅰ）と黄（Ⅱ）のタグ7名分を対象とした。

訓練日	1日目:使用あり	2日目:使用なし
タグを記入した場面と 隊員の勤続年数	1st・隊員A 6年目 2nd・隊員B 2年目 3rd・隊員C 5年目	1st・隊員D 4年目 2nd・隊員E 3年目 3rd・隊員F 5年目
傷病者①赤（Ⅰ）	1st区分	搬送医療機関 3rd区分
傷病者②赤（Ⅰ）	記入漏れなし	記入漏れなし
傷病者③赤（Ⅰ）	記入漏れなし	氏名 年齢
傷病者④黄（Ⅱ）	記入漏れなし	1stトリ実施時刻 搬送機関 3rd区分
傷病者⑤黄（Ⅱ）	記入漏れなし	搬送医療機関 3rd区分
傷病者⑥黄（Ⅱ）	記入漏れなし	3rd区分
傷病者⑦黄（Ⅱ）	記入漏れなし	搬送医療機関

5. 期待される効果

タグテンプレートは習熟度に関わらず、誰もが簡単に使用することができ、記入漏れや手順の誤りを防ぐことができます。また、タグテンプレート自体が記入要領や手順の教育ツールとなるため、隊員のスキルアップを図る効果もあります。その結果、活動全体を円滑にする効果が期待できます。

6. まとめ

多数傷病者事案において、タグの記入は必要不可欠であるとともに、正確性と迅速性が求められます。しかし、騒然とする災害現場の状況下では、隊員は緊張感や焦燥感で冷静さを欠き、記入漏れや手順の誤りなどが生じやすくなります。その結果、傷病者情報が混乱し活動が遅延すると同時に、治療の遅れにつながりかねません。

今回考案したツールが、どのような現場状況においても、正確、迅速、冷静なトリアージ活動のサポートツールとなり「防ぎ得た災害死」を減らし、より多くの傷病者にとって有益な活動の一助となることを期待しています。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

ホイスト活動における
回転現象の原因解明及び対策

兵庫県消防防災航空隊・神戸市消防局警防部航空機動隊
岩倉徹、山田俊介、西田大地
防衛大学校システム工学群航空宇宙工学科
糸賀紀晶、有田俊作
大阪大学基礎工学研究科
後藤晋

1. 回転現象の現状と課題

回転現象とは、ホイスト活動中に回転翼から発生するダウンウォッシュの影響を受け、隊員がホイストフックのスイベルを中心に回転することや、円錐状に回転することを指し、航空救助活動の代表的な危険因子である。以下の内容は、当隊の事例収集を含め、全国航空消防防災協議会が発出するヒヤリハット事例を調査した報告書（事故が発生するおそれのある事案に関わる報告）等から抽出した、回転現象に起因する事象の一例である。

□回転現象に起因する事象

- ・遠心力による要救助者の容態悪化及びスキッド接触
- ・航空隊員の平衡感覚の喪失及び周囲の監視能力の低下
- ・誘導ロープ等の絡みに伴うホイストケーブルキンク
- ・横揺れや円錐状の揺れに伴うホイストケーブルのスキッド接触

本研究に伴って実施した日本全国の航空消防隊の救助隊員 477 名を対象に実施したアンケート結果（以下「航空隊員アンケート」とする。）によると、回答者 388 名中 350 名が回転現象を経験しており、さらに、その内 144 名が回転現象に伴うヒヤリハットを経験している。これは全体の 30% と高く、併せて航空消防隊への派遣任期が基本的に 3 年であることから、短いサイクルの中で、非常に多くの隊員が経験していると言える。当隊の調べによると、回転現象に伴うヒヤリハットは、航空消防隊のみならず、他機関の航空隊や、世界の航空隊でも発生しており、2019 年にアメリカ・アリゾナ州において、吊り上げ救出中の担架が高速回転した事案においては、救助機関に対して、損害賠償請求が発生している。

航空隊員アンケートによると、回転制御手技（以下「制御手技」とする。）については、多くの航空消防隊員が「個人の経験則で回転を制御している」との回答があり、制御する技量についても個人差が大きくなる。

また、制御手技は、その技術の継承にも課題があり、航空消防隊に配属前は地上で勤務を行う消防吏員のため、地上における経験を積んでいても、航空救助活動については全てが未経験の分野である。さらに、多くの航空消防隊員は、派遣任期が 3 年間となることから、制御手技の習熟が困難なうえ、個人の技量差もあるため、技量の継承を行うことは困難であると言える。

2. 研究の進め方

本研究を進めるためには、ダウンウォッシュによる「流体力学」の分野と、その力が回転現象に起因する「動力学」の分野について、高度な知識を正しく理解することと、各種実験を実施する専門的な設備が必要である。そこで、当隊では、防衛大学校及び大阪大学と協力して研究を進めた。

なお、本研究は、回転現象の根本原因を解明し、ヘリコプタを使用した実機訓練を経て、理論及び制御手技を確立している。当然のことながら、ヘリコプタを使用した回転現象の検証は、想定外の事象が発生した場合に、重大な事故に繋がる危険性が高い。そのため、実機検証の前段階として図1の風洞実験装置と回転模型を用いて、理論通りの現象を発生させることで、実機検証前の安全性を立証している。

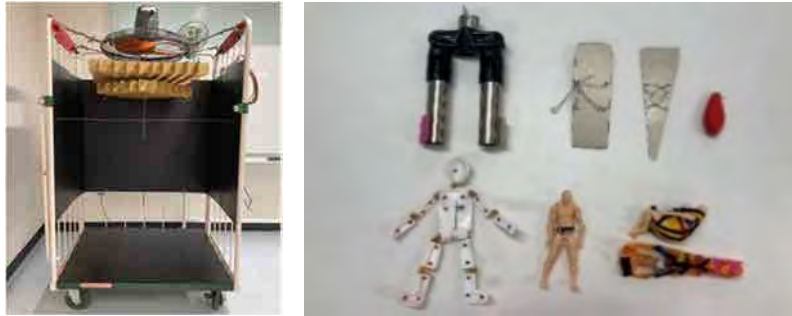


図1 風洞実験装置と回転模型

3. ダウンウォッシュに関する共通概念

3.1 BK117のダウンウォッシュの風速と他機との差異

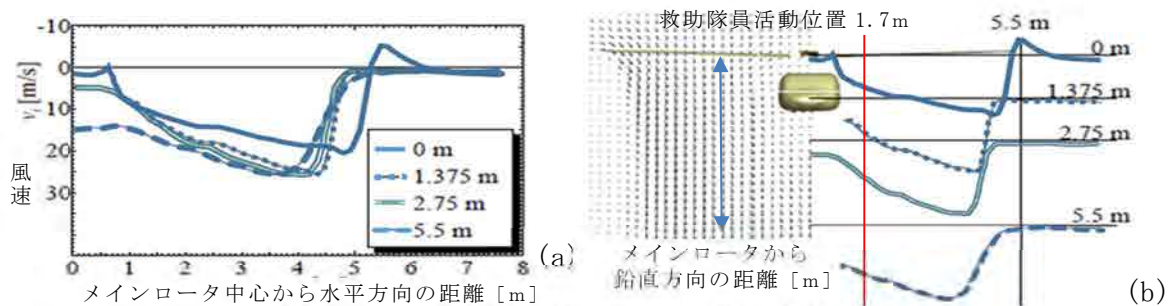


図2 BK117ダウンウォッシュ分布と速度

図2(a)(b)はヘリのダウンウォッシュについて、BK117に相当する条件でCFD(Computational Fluid Dynamics)解析した結果である。図2(a)がダウンウォッシュの大きさをロータ中心からの水平方向の距離に応じて示したものである。この結果を、ロータとの位置関係がわかりやすいように、ロータ及び胴体と同時に示したのが図2(b)である。図2(b)の距離表示は、ロータ面からの鉛直距離を表している。これらの図から、ダウンウォッシュの最大風速は回転中心から水平方向に約4m付近において約25m/sであることがわかる。

また、図2(b)の通り、救助隊員はメインロータの中心から1.7m離れた位置で活動するため、グラフを読み取ると、平均して約13m/sの風を受ける。

ダウンウォッシュの風速について、BK117とBK117の約2倍の最大離陸重量を持つAW139を比較し、運動量理論に基づき算出すると、ダウンウォッシュの風速は10%程度の差異であった。したがって、日本の官公庁救助機関が使用する中型ヘリコプタ(UH60、AW139、H225、ベル412、AS365等)においても差異は少なく、BK117を用

いた本研究の成果は他の機体においても適用可能である。

3.2 ダウンウォッシュの気流成分について

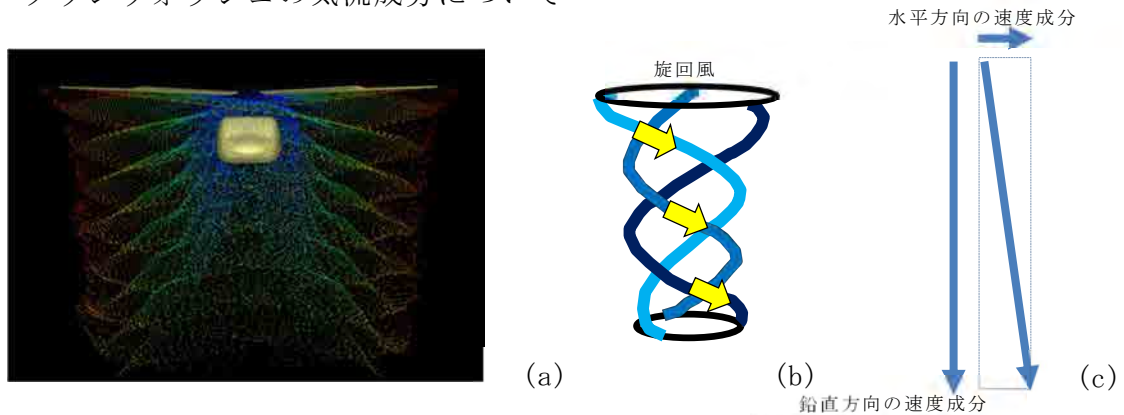


図3 ダウンウォッシュの気流と旋回風のイメージ

図3(a)に防衛大学のCFD（Computational Fluid Dynamics）解析によって可視化したダウンウォッシュの例を示す。旋回風とは、図3(b)の通り、螺旋状に吹き降ろす風であり、この旋回成分をCFD解析によって確認したところ、ダウンウォッシュの全域でその値は小さかった。なお、旋回速度成分とは、図3(c)の通り、ダウンウォッシュに含まれる水平（旋回）方向の速度成分である。したがって気流の向きはほぼ鉛直方向と考えてよく、本研究の成果はメインロータの回転方向によらず適用可能である。

実機検証においては、旋回速度成分が比較的大きくなるメインロータ直下かつロータ中心付近において、旋回速度成分の回転現象への影響が、わずかながら確認されたが、研究成果へ影響を及ぼすものでは無かった。

3.3 自然風によるダウンウォッシュの風域の変位

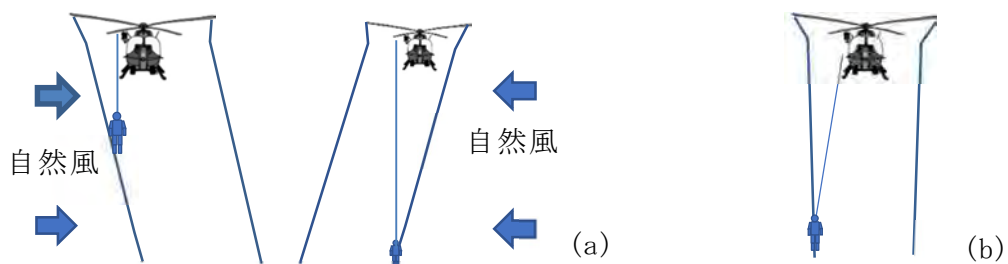


図4 自然風によるダウンウォッシュの風域変位とホイストケーブルの揺れによる影響

横風を受けた場合、図4(a)の通りダウンウォッシュの風域が変位し、活動中の救助隊員は、メインロータの回転中心から約4m離れた最も強いダウンウォッシュの影響を受ける。また、ホイストケーブルに揺れが発生した際も同様である。救助隊員は、回転中心から1.7m離れた位置で活動するため、片側に2.3mの揺れが発生すれば、図4(b)の通り、ダウンウォッシュの最大値の影響を受ける。

4. 回転現象の要因分析

4.1 回転力の発生要因と回転方向

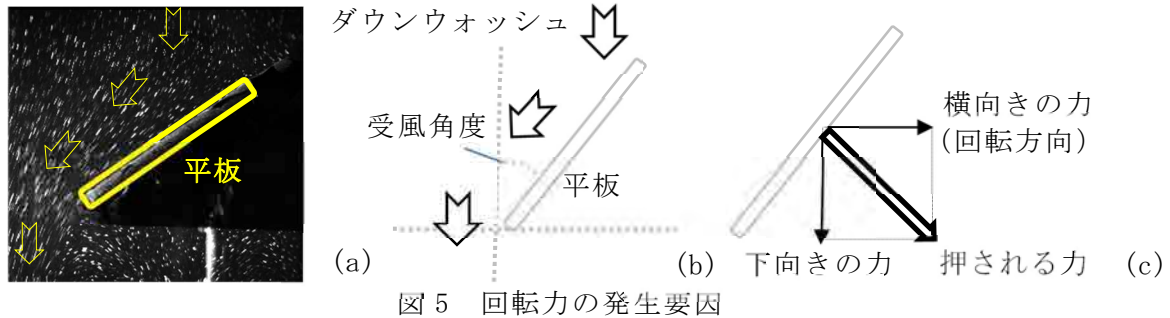


図5 回転力の発生要因

ダウンウォッシュが鉛直方向であるにも関わらず回転現象が発生するのは、ダウンウォッシュを斜めに受け止めることが要因となる。図5(a)は、大阪大学の回流水槽実験装置で、斜めに立てた平板にダウンウォッシュを模擬した水流を受け止めさせ、流れの変位を可視化したものである。図5(b)は、その様子を作図したものである。この時、平板がダウンウォッシュを受け止める角度を「受風角度」と言う。

図5(c)は、ダウンウォッシュの流れを変位させたことで、平板が受ける力を図示したものである。この時、平板に対して、おおむね垂直方向に「押される力」が発生する。さらに、この「押される力」は「横向きの力」と「下向きの力」に分解することができる。回転方向は、この時の「横向きの力」が指す方向であり、これが回転力となる。

4.2 回転力の大小に影響する「受風角度」

回転力の大小は、受風角度の変位に応じて変化する。これについては、図6の Sheldahl and Kilmas, 1981 の実験結果より明らかにされている。回転力は、受風角度が0度から45度付近に向けて徐々に大きくなり、受風角度90度に向けて再び小さくなっている。このことから、「受風角度」のみに焦点を当てると、45度付近が回転力の最大値となる。

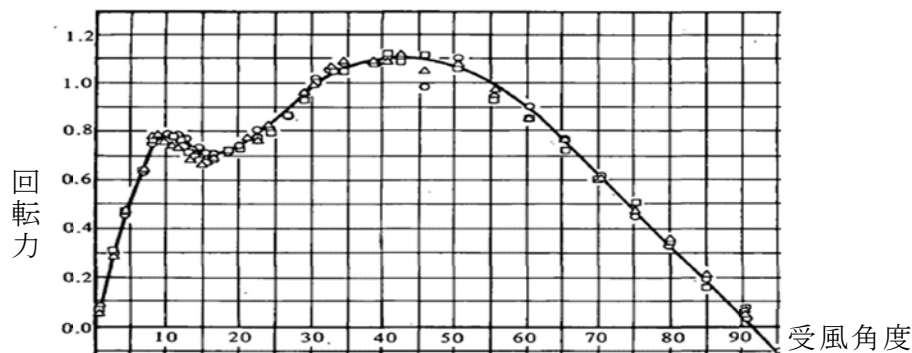


図6 Sheldahl and Kilmas, 1981 の実験結果

*実験結果引用元 著者：Sheldahl, Robert E., and Paul C. Klimas. タイトル：Aerodynamic characteristics of seven symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamic analysis of vertical axis wind turbines. 文献管理番号：No. SAND-80-2114. 発表年：1981.

4.3 ホイスト活動中の回転軸について

回転軸とは、回転する物体の中心を通る軸のことを言う。

ホイスト活動中に発生する回転現象の回転軸は、ホイストフックに繋がる命綱及びその延長のホイストケーブルとなる。

4.4 回転力の大小に影響する「受風面積」と「回転軸からの距離」



図7 「受風面積」と「回転軸からの距離」

「受風面積」とは、直接ダウンウォッシュの風圧を受ける物体の表面積である。図7(a)は、ロープ降下する救助隊員を真上から見た図である。この時、ダウンウォッシュの影響を受ける部分は、体の表部分であり、視認できない体の裏部分は「受風面積」ではない。「受風面積」のみに焦点を当てると、「受風面積」が大きいほど、回転力が大きくなり、「受風面積」が小さいほど、回転力は小さくなる。

次に、「回転軸からの距離」とは、受風面積が回転中心の回転軸からどの程度離れているかを指す距離のことであり、この距離が長いほど回転力が増す。図7(b)はロープ降下する救助隊員を横から見た図であり、図の左右を比べると、左側の隊員の下肢が回転軸から遠いため、より強い回転力を発生させる。

4.5 回転現象の発生要因のまとめ

ホイスト活動中の回転方向は、回転軸であるホイストケーブルを中心に「受風角度」による「回転力」の向きによって決定する。また、この時の回転力の大小は、「受風角度」、「受風面積」、「回転軸からの距離」による回転力の合成によって決定する。

例えば、ホイスト活動中の救助隊員が右上肢を横に伸ばし、手のひらでダウンウォッシュを受けると、救助隊員は真上から見て、「時計回り」に回転し、手のひらの「受風角度」、「受風面積」、「回転軸からの距離」に応じた回転力で回転速度が決定する。

なお、この時に左上肢を右上肢と対称に伸展させると、発生する回転力が逆方向となり、回転力を制御することができる。これを意図的に実施する手技が後述の制御手技となる。

5. 制御手技の確立

5.1 制御手技とは

制御手技とは、発生した回転力の向き（時計回り・反時計回り）に対して、救助隊員が、「頭部」、「上肢」、「下肢」等を使用し、逆向きの回転力を意図的に生みだし、回転力を相殺させ制御する手技を言う。

なお、ホイスト活動中の隊員が生み出す回転力は、「4. 回転現象の要因分析」に基づき実施している。本章は、基本的な個人の制御手技について考察する。

5.2 模型を使用した風洞実験

風洞実験装置内で、人型模型に「4. 回転現象の要因分析」に基づいた制御手技をとらせ、意図した方向に回転現象が発生するかを検証する。

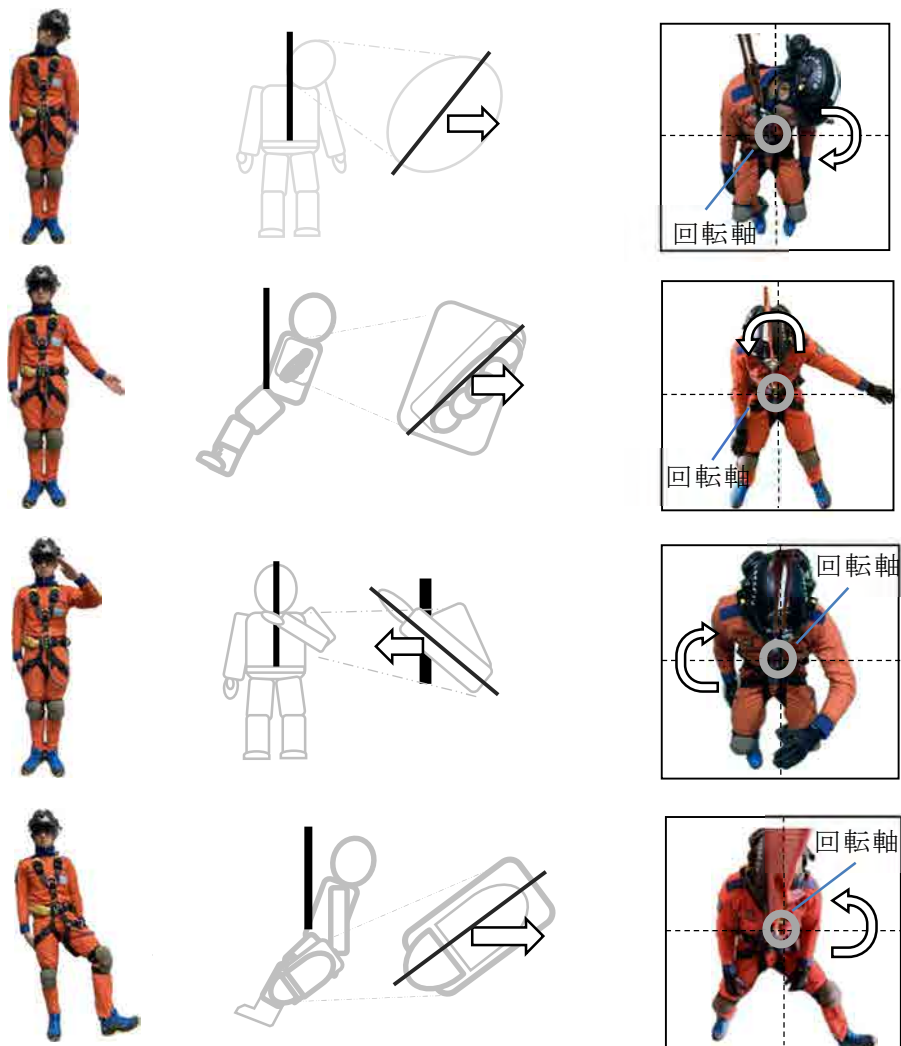


図8 制御手技の基本4手技

検証の結果、全ての制御手技において、理論通りの回転現象が発生した。効果面についての詳細は、5.4で述べる。

なお、図8の4手技は、多種多様な制御手技から、特に効果面を考慮して制御手技の基本手技としている。

5.3 制御手技の制御力（回転力）の測定

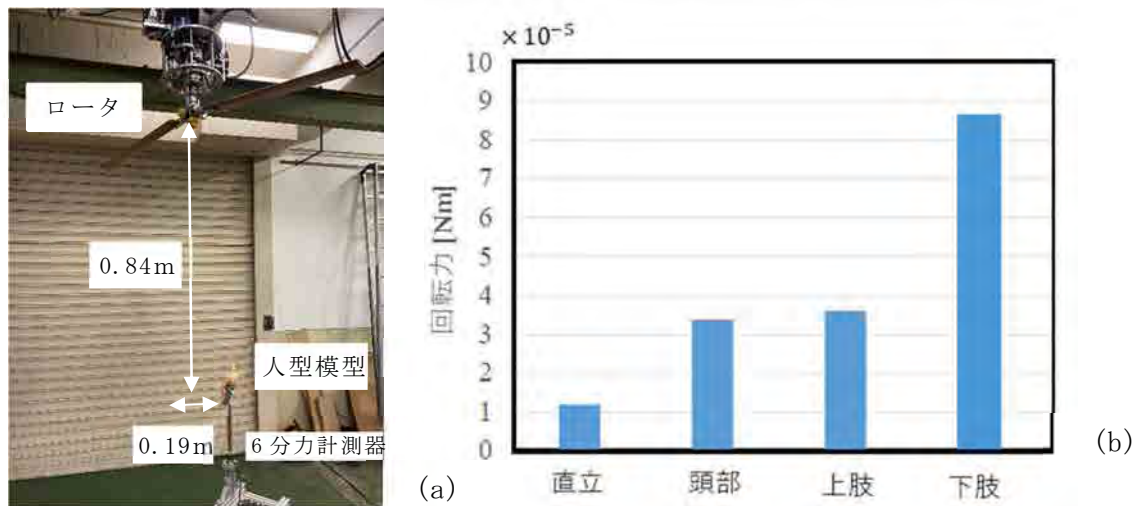


図9 回転力測定装置と測定結果

防衛大学校の協力により、実物の約10分の1を想定した実験を行った。装置の外観は図9(a)の通りである。なお、人型模型の位置は実機相当でロータ面から鉛直方向に約8m、ロータ中心から水平方向に約1.7m外側となる。

測定結果は、図-9(b)の通りである。この時、直立姿勢において、回転力が発生したのは、人型模型を完全に左右対称にできないことや、取付金具に働く空気の力が原因と推測される。

頭部と上肢に大きな差は無かったが、実際に上肢を使った制御手技を行う際は、調整の自由度が高く、胸部も影響し、回転力を増大できる。下肢については、単体の使用で各制御手技中、最大の回転力を記録している。また、各制御手技を組み合わせることで、回転力が上乘せされ、単体よりも大きな回転力を発揮することができる。

5.4 制御手技の実機検証

高度30mでホバリング中のヘリコプタのスキッド下10mの位置において、吊り上げを停止させ、5.2で考案した各制御手技で、ダウンウォッシュを受風し、意図的に回転現象を発生させる。なお、発生させた回転現象は、10秒間継続し、その間に発生した回転数に6倍することで、1分間の回転数 (rotations per minute: rpm) を算出し、回転力として検証する。

表1 1分間の回転数 (rpm)

頭部	上肢①	上肢②	下肢
3.5	4.0	3.7	5.5

検証の結果、各制御手技で理論通りの回転力を認めた。また、1分間の回転数を算出した数値は表1の通りであり、回転数が多い順に「下肢」「上肢」「頭部」の結

果であった。回転数が多くなることは、それに比例して、回転力が強いことを意味する。これは防衛大学で実施した図9の回転力の測定結果と合致する。

5.5 制御手技についての考察



制御手技	特徴
頭部	微調整する場合や要救助者保持の関係で手足を使えない場合
上肢①	可動域が広いことから、回転制御力の強弱が付けやすい
上肢②	上肢①と組み合わせると、片方の腕で、両方向の回転制御が可能
下肢	回転制御力が4手技の中で最大となる

図10 時計回りの回転力を生む制御手技

検証の結果、図10の通り、制御手技として確立した。

なお、図10の制御手技は、全て時計回りの回転力が発生するため、反時計回りの回転現象に対して使用する。反対に、時計回りの回転現象の際は、図10を対称的にすることで対応する。

6. 回転現象の解析手法と解析結果から導き出せる制御手技について

6.1 回転現象の解析手法

回転現象の根本原因は、「4. 回転現象の要因分析」から明らかになっている。これらの要因は、ホイスト活動中の救助隊員の「真上」の画像及び、「正面」、「横」の画像から解析することが可能である。

6.2 「真上」の画像から解析できる要因

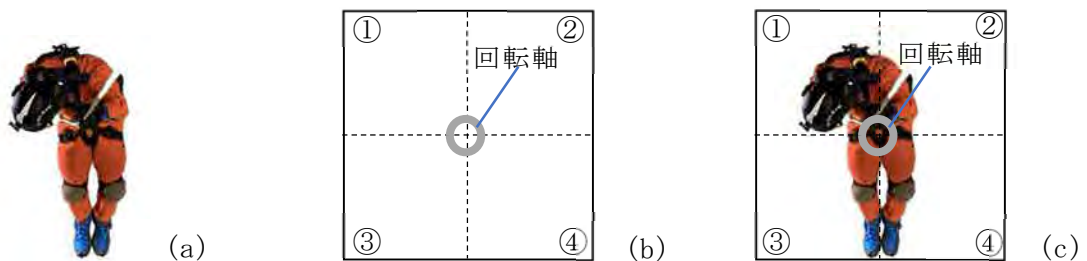


図11 ロープ降下する救助隊員と真上からの解析方法

図11(a)は一般的な姿勢でロープ降下する救助隊員の真上の画像である。次に図11(b)は、中心を回転軸とし、十字の点線で①から④に区切って解析に使用するため

の図である。図 11(c)は、図 11(a)と(b)を組み合わせたものであり、この図から、各区切り内の回転力を解析する。

「真上」の画像からは、「受風面積」と「回転軸からの距離」を解析できる。「受風面積」は、画像全体から視認できる範囲が対象となる。次に、「回転軸からの距離」は、回転軸から対象の各部位がどの程度離れているかで判断する。

6.3 「正面」、「横」の画像から解析できる要因



図 12 ロープ降下する救助隊員の正面及び横からの解析方法

「正面」及び「横」の図からは、「受風角度」が解析できる。図 12(a)は、降下中の救助隊員の「正面」からの画像である。降下姿勢は、降下地点を確認するため、右下を覗き込むことから、「頭部」に顕著な「受風角度」が確認できる。次に、図 12(b)は、降下中の救助隊員の「横」からの画像である。この画像では、下半身に顕著な「受風角度」が確認できる。

6.4 回転現象の解析結果

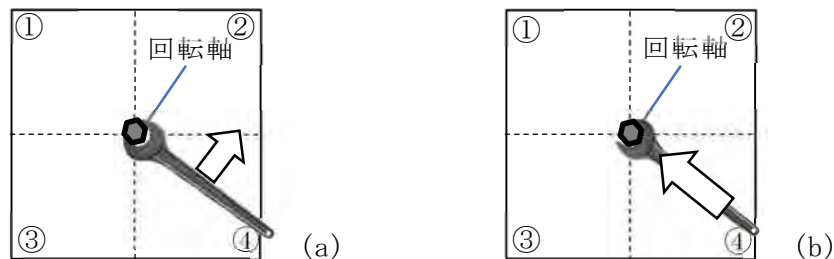


図 13 回転現象に発展する回転力について

回転現象の解析結果を説明する上で、各区切り内の「回転力」の作用について述べる。図 13(a)(b)は、「ボルト」を回す「スパナ」を真上から見た図であり、回転軸を「ボルト」、受風する救助隊員を「スパナ」に例える。図 13(a)の通り、「スパナ」に対して、矢印の向き（反時計回り）に回転力が作用する場合、「スパナ」及び「ボルト」は反時計回りに回転する。

しかしながら、図 13(b)の通り、回転軸に向かって矢印の向きに回転力が作用する場合、「スパナ」が「ボルト」を押す向きとなり、回転現象に至らない。この時、「ボルト」が、宙づりであれば矢印の方向に揺れ動くことになる。

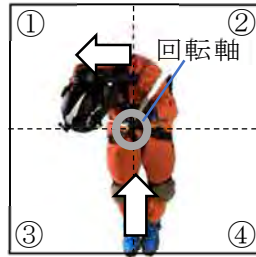


図 14 ロープ降下する救助隊員の解析結果

以上を踏まえた上で、図 14 は、6.2 の解析要因に 6.3 の「回転力」の矢印を挿入したものである。各区切り内の回転方向を解析すると、①は救助隊員に対して反時計回りに「回転力」の矢印があることから、真上から見て反時計回りに回転現象が発生する。次に②を解析すると、「回転力」の矢印が無いことから、回転現象は発生しない。③及び④に関しては、回転軸に向かって「回転力」の矢印があることから、回転軸を押し出す向きとなり、回転現象は発生せずに、横揺れが発生する。このことから、一般的な姿勢でロープ降下する救助隊員は、降下地点を確認する「頭部」がダウンウォッシュの影響を受けて、反時計回りの回転現象が発生させることが解析の結果明らかとなる。

6.5 解析結果から導き出せる制御手技

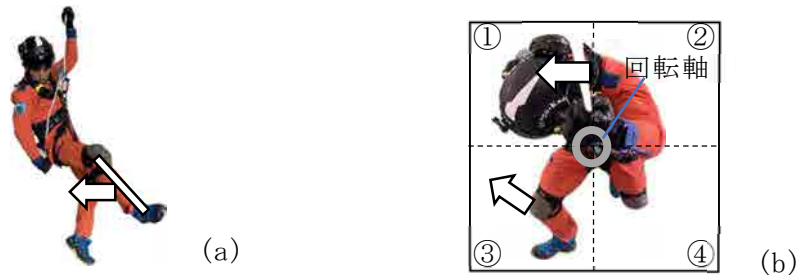


図 15 ロープ降下中の回転制御

解析結果から、ロープ降下する救助隊員には、反時計回りの回転現象が発生する。そのため、時計回りの回転力を意図的に発生させることで、回転を静止させることが可能である。ロープ降下中は、降下地点を確認する「頭部」及び制動手である「右手」、姿勢を維持する「左手」が拘束されるため、「右足」を使用し、図 15(a) (b) の通り、時計回りの回転力を発生させ、反時計回りの回転力を相殺する。

6.6 回転現象の解析結果のまとめ

回転現象は、区切りを使用することで、解析することが可能となる。自隊が保有する資機材の回転方向や、過去に発生した回転現象からその原因を解析することで、ヒヤリハットに成りうる回転現象を未然に防ぐことに繋がる。ここからは、各種吊り上げ用救助資機材の回転要因とそれらの制御手技について述べる。

7. 吊り上げ用救助資機材の回転要因と制御手技の実機検証について

航空消防隊が使用する吊り上げ用救助資機材は、縦吊り系救助資機材、横吊り系救助資機材、担架系救助資機材に分けることができる。本章では、比較的ヒヤリハット事案として取り上げられる頻度が多い、横吊り系救助資機材及び担架系救助資機材について、その回転要因と制御手技について検証する。

なお、救助隊員が受ける回転力については、吊り上げ用救助資機材に比べて「受風面積」が小さく無視できることから回転要因として考慮しない。また、実機を用いた検証では、共通事項として、各種吊り上げ用救助資機材に収容し、救助隊員と共に吊り上げを開始し、スキッド下10mの位置で、吊り上げを停止させ制御手技の有効性を検証している。

7.1.1 横吊り系救助資機材

横吊り系救助資機材は、要救助者を座位に近い状態で吊り上げ救出する資機材である。航空消防隊が使用する代表的な資機材は、デラックスエバックハーネス、ヘリタックホットシート、スクリーマスーツ、ピタゴール、エバキューエーションが挙げられる。検証では、当隊が保有するデラックスエバックハーネス（以下「DXEV」とする。）を使用する。

7.1.2 DXEV の回転要因

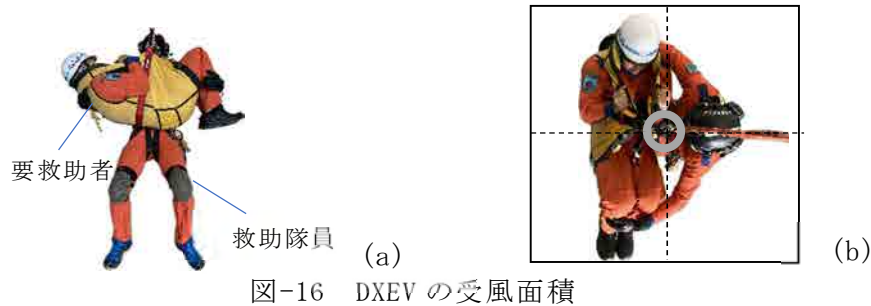


図-16 DXEV の受風面積

図 16(a) の図は、DXEV に縛着した要救助者と補助する救助隊員である。図 16(b) の図は、縛着状況を「真上」から見た図である。この時、要救助者の「受風面積」は、「身体の前面部」であることが分かる。続けて、回転軸からの距離は、救助隊員が両上肢を広げた範囲より小さいことが分かる。

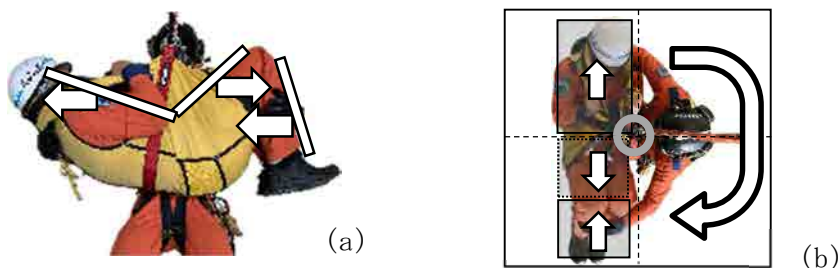


図 17 DXEV 正面の回転方向

図 17(a) の図は、DXEV に縛着した要救助者を「正面」から見た図である。この時、

「受風面積」から「受風角度」を解析すると、「上半身」及び「大腿部」、「下腿部」に顕著な「受風角度」が認められ、「回転力」が発生することが分かる。

ここで、図 17(b)の「真上」から見た図に回転力の向きの矢印を挿入し、「4. 回転現象の要因分析」に基づき解析すると、回転軸を中心に時計回りに回転することが推測できる。

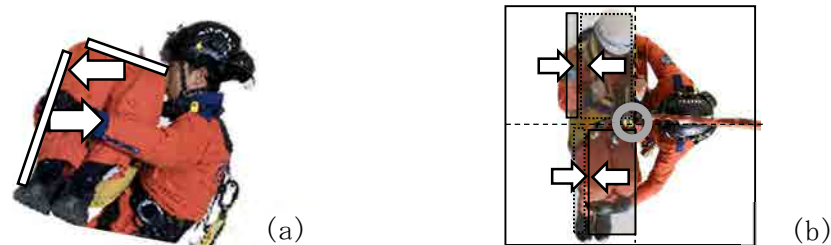


図 18 DXEV 横の回転方向

続けて、図 18(a)の図は、DXEV に縛着した要救助者を「横」から見た図である。「受風面積」から「受風角度」を解析すると、「身体の側部」に顕著な「受風角度」が認められ、「回転力」が発生することが分かる。

ここで、図 18(b)の「真上」から見た図に回転方向の矢印を挿入し、「4. 回転現象の要因分析」に基づき解析すると、それぞれの方向の回転力が打ち消しあい回転現象に至らないことが推測できる。

以上のことから、図 17(b)及び図 18(b)の「回転力」を足し引きすると DXEV には「時計回り」の回転現象が発生することが推測できる。

7.1.3 制御手技を使用した DXEV の回転制御

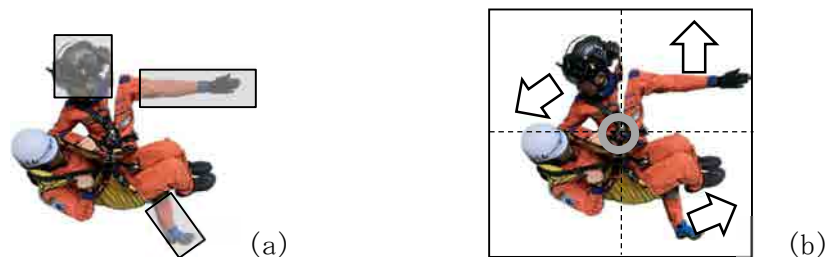


図 19 回転制御手技を使用した DXEV の回転制御

DXEV の「時計回り」の回転力に対して、図 19(a)の通り、救助隊員は、「頭部」及び、「上肢」、「下肢」を使用し、反時計回りの回転力を発生させて回転制御を行う。この時、救助隊員が発生させる回転力の矢印を挿入すると、図 19(b)の通りとなる。以上のことから、DXEV が持つ「時計回り」の回転力と足し引きし合った結果、制御手技が持つ「反時計回り」の回転力に優位性があり、時計回りの回転現象を静止することが推測できる。

7.1.4 DXEV の実機検証結果

吊り上げと同時に「時計回り」の回転現象が発生し、スキッド下 10m まで徐々に回転速度が上昇した。スキッド下 10m の位置で、救助隊員による、「頭部」、「上肢」

及び「下肢」を使用して回転制御を実施した結果、回転現象は、間もなく静止した。

また、要救助者の「右上肢」及び「両下肢」を伸展させ、回転能力を増加させても、同様に制御可能であったことから、横吊り系救助資機材では、制御手技が効果的であることが実証された。

7.2.1 担架系救助資機材

担架系救助資機材は、要救助者を仰臥位の状態で吊り上げる資機材であり、吊り上げた際に頭部高位の状態になる。

代表的な資機材として、レスキューストレッチャー、ラッピングストレッチャー、バーチカルストレッチャーが挙げられる。検証では当隊が保有するラッピングストレッチャー（以下「WS」とする。）を使用する。

7.2.2 WSの回転要因

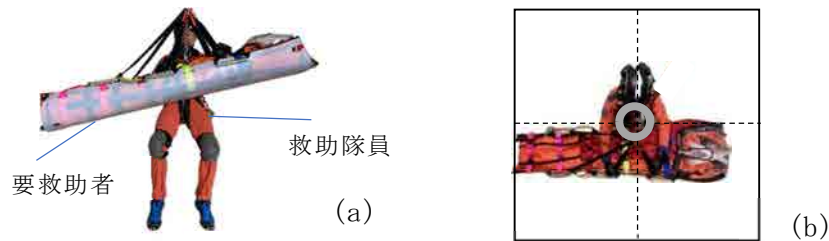


図 20 WSの受風面積

図 20(a)の図は、WS に収容した要救助者と補助する救助隊員である。図 20(b)の図は、収容状況を「真上」から見た図である。この時、要救助者の「受風面積」は、「担架の前面部」であることが分かる。続けて、回転軸からの距離は、救助隊員が両上肢を広げた範囲より大きいことが分かる。

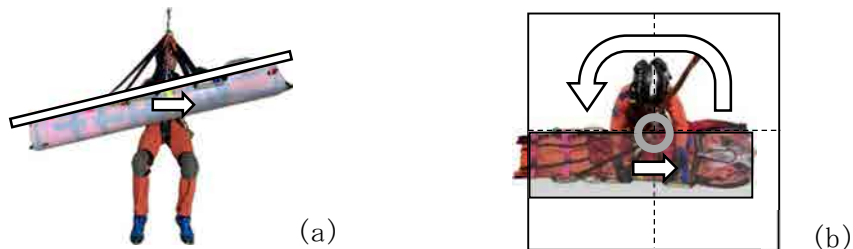


図 21 WS正面の回転方向

図 21(a)の図は、WS に収容した要救助者を「正面」から見た図である。この時、「受風面積」から「受風角度」を解析すると、担架の「前面」に顕著な「受風角度」が認められ、「回転力」が発生することが分かる。

ここで、図 21(b)の「真上」から見た図に回転方向の矢印を挿入し、「4. 回転現象の要因分析」に基づき解析すると、回転軸を中心に反時計回りに回転することが推測できる。

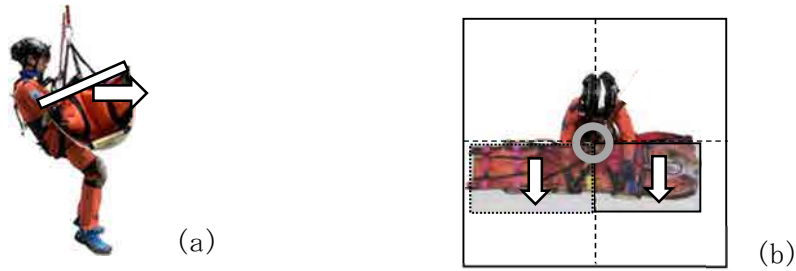


図 22 WS 横の回転方向

続けて、図 22(a)の図は、WS に収容した要救助者の「横」から見た図である。「受風面積」から「受風角度」を導き出すと、担架の「前面」に顕著な「受風角度」が認められ、「回転力」が発生することが分かる。

ここで、図 22(b)の「真上」から見た図に回転力の向きの矢印を挿入し、「4. 回転現象の要因分析」に基づき解析すると、回転軸からの延長線を境に、頭側は「時計回り」、足側は「反時計回り」の回転力を持つが、頭側及び足側双方の「受風面積」を比べると、足側が大きいため、足側の持つ回転力が優位となり、「反時計回り」に回転することが推測できる。

以上のことから、総合的に WS には反時計回りの回転現象が発生することが推測できる。

7.2.3 収容方法及び収容位置の差による回転方向の優位性



図 23 収容方法による受風面積の変位

図 23(a)は、WS に要救助者のみを収容した際の外観であり、図 23(b)は、要救助者を全脊柱固定器具に縛着し、収容した外観である。足部の受風面積に大きく違いがあることが分かる。



図 24 収容位置による受風角度の変位

次に、図 24(a) (b) (c)は要救助者収容位置による担架の受風角度の変位である。図 24(a)から(c)にかけて、要救助者収容位置が頭側から足側に移動しており、それに伴い、受風角度が変位していることが分かる。

図 23 及び図 24 の関係性を考慮して解析した結果、回転方向とその強弱は図 25 の通りとなる。



図 25 収容方法及び収容位置の変位に伴う回転方向と回転力強弱

7.2.4 制御手技を使用した WS の回転制御

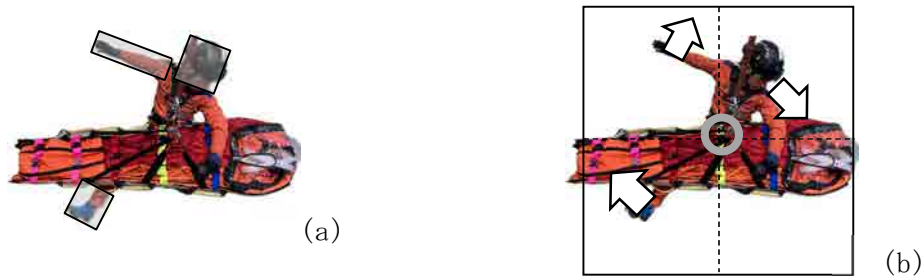


図 26 制御手技を使用した WS の回転制御

WS の「反時計回り」の回転力に対して、図 26(a)の通り、救助隊員は、「頭部」、「上肢」及び「下肢」を使用し、図 26(b)の「真上」から見た図に救助隊員が発生させる回転力の向きの矢印を挿入し、「4. 回転現象の要因分析」に基づき解析すると、担架の「受風面積」が非常に大きく、それに比例し回転力も大きくなるため、制御能力は低いことが推測される。

7.2.5 回転制御器具を使用した WS の回転制御

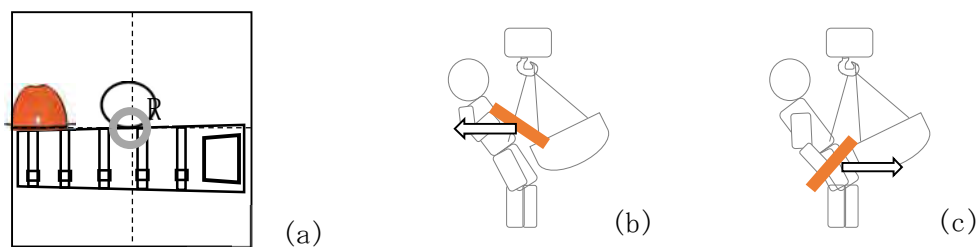


図 27 回転制御器具を使用した WS の回転制御

回転制御器具（以下「制御器具」とする。）の取り付け位置は、「4. 回転現象の要因分析」に基づき、図 27(a)の通り、担架の足側先端にとりつける。

なお、制御器具に関しては、操作性、収容性、制御能力を考慮し、WS の製造販売業者と協力し、複数回の改良を重ね、専用品を開発した。

担架は概ね「反時計回り」に回転現象が発生することから、基本的に、図 27(b)

の通り、制御器具を立てることにより、「時計回り」の回転力を発生させて制御する。反対に、「時計回り」の回転現象が発生すれば、図 27(c) の通り、制御器具を下げて、「反時計回り」の回転力を発生させて制御する。

7.2.6 WS の実機検証結果

実機検証では、制御手技を使用した制御と、制御器具を使用した制御を行った。制御手技においては、解析結果通り、「受風面積」の観点から回転を静止することはできなかった。次に、制御器具を使用した結果、回転現象は問題無く静止した。

制御器具を使用した回転制御は、ヒヤリハット事案を想定し、担架を高速回転させた上でも、問題無く静止したことから、その制御効果が高いことが実証できた。

8. おわりに

当隊では、防衛大学校や大阪大学の協力のもと、回転現象に関する根本原因を解明し、理論に基づいた回転制御の技量を確立している。

また、根本原因を正しく理解したことで、回転現象のヒヤリハット動画から、その原因を推測することが可能となった。更にヒヤリハット動画から、回転原因を予測する技術は、回転現象に対する最善の安全対策であり、最良の備えでもある。

技量の継承面に関しては、新規航空消防隊員の教育カリキュラムに本研究内容を反映し、配属されて間もない段階でも回転制御の技量習得を実現させる指導体制を構築した。また、現役隊員に対しては、定期的に訓練カリキュラムに制御手技を組み込み、更なる技量の定着及び向上を実現した。さらに、本研究を進める中で作成した動画等の資料を教材として整理したことで、人事異動や任期終了に伴う隊員の入れ替わりがあっても技量の継承が容易となった。

現在、全国の航空消防隊において、回転現象についての学術的理論に基づく公式の研究結果及び教材は存在せず、回転現象を制御するための理論及び手技は確立されていない。そのため、本研究の成果を広く普及することで、確立した理論及び手技が全国の航空隊の標準的な技量となり、航空消防隊はもとより、他機関の航空隊、ひいては世界の航空隊にも広く認知されることが期待される。そして、回転現象の高速化に伴うヒヤリハットを根絶し、安全な航空救助活動の一助になると確信している。

これからも日本全国の航空隊、消防組織が安全に活動し、国民のニーズに応えて頂くことを祈念して研究を終える。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

位置情報共有アプリを使用した
山林火災防御について

福岡市消防局
矢野淳志、梅津翔平、横川旭陽

1. はじめに

山林火災は、山林、原野が落雷等の自然現象や焚火、火入れ、たばこ等の人為的な不注意が原因で出火することで発生するが、その特性として、発見、通報が遅延し覚知した時には延焼が拡大している可能性が高く、僻遠地であるため消防隊の現場到着に時間を要する上に、水利が不便なことが一般的である。

そのため、多くの人員が活動する防御活動となり、的確な活動分担など指揮の適否が防御活動の成否の鍵となる最も難しい活動のひとつと言える。

2. 現状と課題

規模の大きな山林火災の発生は数十年に一度あるかないかであり、山林火災の経験者は随時、退職を迎える傾向にあり、ほとんどの隊員・指揮者が経験不足な状態で、山林火災に挑まなくてはならないのが現状である。

本市においては、各山岳に山林火災時の計画（補足1）を作成し、備えを行っているが、登山者が入山しない山林や私有地などは山林ルートが整備されておらず、草木や倒木等でルートを見失いやすく、雨水等で自然に出来た通りやすい道を進んでしまい、山林ルートから外れてしまう場面がある。

また、主たる山林ルートにはポイントなどで目印を作成しているものの、雨風で目印の消失や、成長した草木で発見できないことも多い。

そのため、入山した小隊は森林内の高い立木で火点の煙を発見することが出来ず、火点までのルートを見極めることすら困難な場合があり、消防ヘリから正確な火点を指示する際も、上空からは小隊の位置把握が困難なために的確な指示が出せず、火点上空でホバリングして小隊を誘導する活動が必須になり、貴重な消防ヘリによる初期消火活動が遅れる可能性も高い。

このような状況下で入山している隊員は、消火する使命感は旺盛であるにもかかわらず「確認できない火点」「延焼状況も不明」「山林ルートは間違っていないか」など、火点を確認するまで不安を抱えたまま活動を行うこととなる。

指揮者は、火点・山林ルートの活動指示を行った後、進入・入山した小隊から通過する山林ルート・ポイント等の状況報告を待つことになるが、ルートを外れ危険なルートに進んだ小隊を把握することはほぼ不可能な現状にある。

以上のように、山林火災における活動状況の適宜な把握は、効果的な活動を望む小隊と隊員の命を預かる指揮者にとって、恒久的課題といえよう。

そこで本論文では、上記の課題を解決するため、「位置情報共有アプリを使用した山林火災防御について」を提案する。

これは、各小隊が使用しているスマホにアプリのインストールを行い、アプリ

内で火点位置・小隊の位置を把握するものである。

これにより「火点の位置」「指示ルートを小隊が進行」「全小隊の管理と共有」が明確となり、安全かつ迅速に山林火災の活動が行えると考える。

3. 検証するアプリについて

位置情報共有アプリは様々に存在するが、今回は、世界的に有名な「グーグルマップ」、登山用の「ジオグラフィカ」、近年流行している「WH00」について検証を行った。

無料（ジオグラフィカのみ一部有料）で使用出来る上記のアプリで様々な検証（補足2）を行った結果、「ジオグラフィカ」が山林火災の位置情報等の共有に適しているものと判断した。

4. ジオグラフィカの機能と山林火災時の使用について

(1) ジオグラフィカの機能について

ジオグラフィカは、iPhone や Android 端末などのスマホでオフライン環境でも使える「キャッシュ型オフライン GPS アプリ」である。

一度表示した地図は自動でアプリ内に保存（無料版は 100M まで）され、携帯圏外の山奥や海でもスタンドアローンで動作し、地図表示と GPS ナビゲーションを実現するアプリである。

近年、クラウド機能が追加され、グループ（最大 16 端末）内で情報の共有が可能となり、チャットやグループ全員がお互いの位置を把握、作成したルートをアップロード・ダウンロードが出来る。（無料版は 5 分毎に現在地送信）

現在地の送信回数には限界があり、有料・無料ともに 600 回／1 日まで現在地を送信することが出来る。共有はスマホに電波が届いていることが条件ではあるが、山林ルート、火点であるマーカー、お互いの位置が表示されるものである。

(2) 山林ルートの共有方法について

ジオグラフィカでは山林ルートを作成する簡易的方法が 2 つある。

自分で歩いた足跡を山林ルートで作成する方法と任意の場所にマーカーを設定し、マーカーを繋げ山林ルートを作成する方法の 2 つである。

これを利用して指揮隊は各山林ルートを事前にジオグラフィカ内で作成して保存する。

山林ルートを保存後は、グループ（グループ名は任意で設定、グループ名は重複することはない仕様となっている）を立ち上げ、作成した全山林ルートをグループにアップロードを行う。

事前に準備することは以上である。（補足3 ルート作成方法：マーカーを繋げる方法を提示する。）

続いて小隊のグループへの参加方法は、作成したグループ名の検索を行うか、指揮隊がスマホで提示する参加用QRコードを読み取ることでグループへの参加が可能となる。（グループ作成者の許可制）

グループに参加した小隊は、アップロードされた山林ルートをダウンロードすることが可能となり、参加した小隊は、山林ルートの共有が可能となる。

各小隊の位置の共有は、アプリ内で共有開始（新規トラックを作成）し、入山することで位置情報の共有と足跡を地図上に表示する。（補足4）

(3) 山林火災発生時の対応について

通報者の情報や消防ヘリの情報で火点の特定が出来る場合（アプリは座標などで検索可能）、指揮者は作成したグループに参加し、アプリ上でマーカー（火点）を入力し、グループ内に共有する。

出動した各小隊は、指揮隊が作成したグループに参加し、指定された山林ルートをダウンロードする。（各小隊は入山時に共有開始し、入山）

これにより入山した小隊は、指揮者がアプリ上で指示した山林ルートと火点が表示されるので指定された山林ルートを通り、状況に応じた最短の通りやすい山道を見極めて火点まで到達することができる。

山林ルートが草木で覆われていても、立木で火点付近の煙が確認できなくても、目標とする場所が明確なので迷うことなく火点に到達できる。

指揮者は、各小隊の位置情報が把握できるので、誤った山林ルートに進む小隊がないか、指示した山林ルートを進んでいるか適宜に確認が行え、隊員の安全確保と迅速な消火活動が行えることになる。（補足5）

なお、山林ルートの配布はグループ共有する方法の他にメール等で容易に行える。グループは16端末と制限があるので16名（小隊）を超える場合は、現場本部で別のスマホでグループを立ち上げれば、より多くの隊の共有・管理を行えると考える。

電波が届かない場所では、入山する小隊は事前に入山ルート地図の表示（自動ダウンロード）を行えば地図情報・ルート・火点は表示されるので単隊としての最低限の情報は確保できているが、指揮者からは小隊の位置情報の表示は電波が途絶えた場所に留まり位置情報が追えなくなる。

これが本論文での唯一の欠点といえるが、小隊から電波が一時的にでも届けば位置情報は回復する仕様である。

(4) マーカーの活用について

その他の機能として、マーカーは様々なスタンプとして地図上に表示すること

が可能で、スタンプは消防車両、水利、火点の他に風向きや延焼方向を地図にわかりやすく表示することが可能である。

消防ヘリや隊員が現場で火点や延焼状況を確認し、入力を行えばグループ内で情報を共有することが可能となる。

これにより、延焼する危険箇所を無線で伝えるよりもわかりやすく表示・共有することができる。

また、調査中の小隊が飛び火で発生した新たな火点についても入力し、表示することで他の小隊へ注意喚起し、消防ヘリのバケット放水の標的として活用することができる。

電波が届かない場所で入力したマーカーの情報は、入力したスマホの電波が回復次第、共有が開始される。

現場本部にも現在の状況がわかりやすく地図上に表示されるため、指揮者の活動指示の変更等の目安になると考える。（補足 6）

また、火災発生初日で消火に至らず翌日まで活動が続いた場合、現火災の活動経過を作成し、アプリ上で新たな山林ルート指示の作成・共有することができる。現場活動を交代しても申し送り等で活用できると考える。

(5) 火点をはっきりしていない場合

遠くから煙を発見した山林火災では、強風により消防ヘリが飛行出来ない場合がある。そのような時は、事前に山岳に目視できる目標を2点定め、地図アプリで確認する。写真等で2点の距離、標高を等分することで、概ねの火点位置が表示可能となる。より火点の位置の精度を上げるために観測地点を2か所以上設置すればより正確な火点位置が割り出せる。（補足 7）

5. 終わりに

以上が、「位置情報共有アプリを使用した山林火災防御について」の提案である。

小隊は火点に向かい迅速にホース延長を行うことが可能となり、より早く火点に到達し防御活動が行える。これは山林火災防御活動の不安要素である「確認できていない火点」「山林ルートは間違っていないか」の2点が解消される。

また、隊員の命を預かる指揮者にとっても大きな課題である「火点の位置」「指示ルートを確実に小隊が進行する」「全活動小隊の管理と共有」が図れるものである。

本提案は、目の前にあるリスクを少しでも軽減し、各小隊が安全かつ迅速に動ける環境を整え、指揮者が山林火災現場を可視化して指揮が行える。火点の位置を把握し、正確なルートで進むことで、現場の不安や迷いを排除し、一致団結して山林火災に立ち向かうことができると確信する。

山林火災は、自然の猛威と人間の力がぶつかり合う厳しい現場である。その猛威たる山林火災に危険を顧みず挑む消防職員が危険な状況に陥らないように、家族の

元に無事帰宅できるように、そして、殉職者が一人でも減らせるように、この提案
が多くの消防本部で活用されることを心から願う

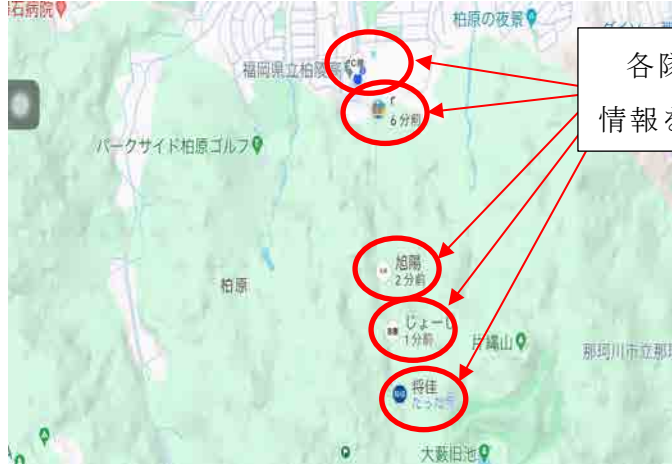
6. 補足説明

補足1 本市の山林火災計画図の一例



補足2 検証した3つのアプリについて

	グーグルマップ	ジオグラフィカ	WH00
山林地図の見やすさ（同一箇所での様子）	◎	◎	△
	地形表示が陰影などで見やすい	等高線や陰影もあるので見やすい	陰影・標高表示なし。

	(例：グーグルマップの様子) 		
位置情報の正確さ	△	○	○
	位置情報が消える（10分以上消える事案あり）場合があり、現在地とは違う場所に表示される場合もある。更新時間が安定しない。	5分置きに更新される。（有料：30秒～5分まで設定の変更可能）	ほぼリアルタイムで更新される。（確認は出来なかったがネット情報でバグの発生との情報あり）
共有人数制限	◎	○	◎
	無制限（共有人数が増えると更新が遅れ位置情報が不正確になる）	グループ人数16名	数人は可能（検証済み）、恐らく無制限（正確な情報なし）
各隊相互の位置情報の共有（リーダー以外）	○	○	○
	事前に登録が可能で容易に共有が行える。	グループ全員で共有が可能。またQRコード等やメールで招待し容易に共有が行える。	事前に登録が可能で容易に共有が行える。
任意の場所にマーカー（火点）を表示	○	◎	△
	長押しでマーカーの表示は可能。	長押しでマーカーの表示は可能。マーカーアイコンをわかりやすく表示変	マーカー表示不可。（※へりの位置をマーカーとすることは可能）

		更することも可能。	
	(例：ジオグラフィカの様子)		
山林ルート の表示	×	◎	×
	不可	グループ内に山林 ルートを共有する ことが可能。また各 隊の足跡を表示。	不可
電波届かない 場所(指揮者か ら見た場合)※ 機内モードで 検証	×	×	△
	途絶えた場所に留 まる。	途絶えた場所に留 まる。	途絶えた場所に 留まり「？」がア イコンに表示さ れる。
電波届かない 場所(隊員から 見た場合) ※機内モード で検証	□	◎	◎
	移動しても自身の 場所を地図上に表 示する。 地図は概ね表示さ れるが部分的に表 示されない場合が ある。	移動しても自身の 場所を地図上に表 示する。 地図は事前に表示 (自動記録)してお けば表示される。	移動しても自身 の場所を地図上 に表示する。 地図は概ね表示 される。

※◎非常に良い（5点）、○良い（4点）、□普通（3点）、
△やや悪い（2点）×悪い（1点）

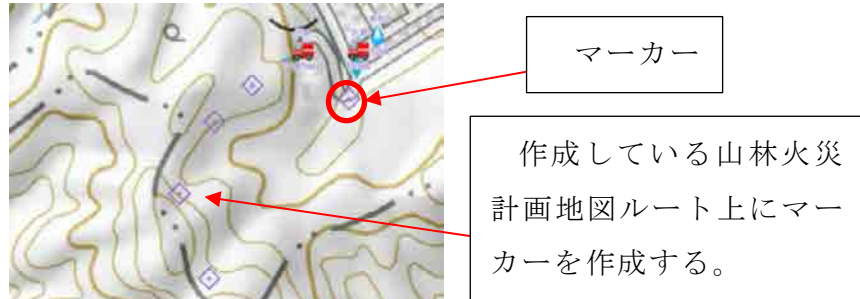
アプリの評価

グーグルマップ : ◎2、○2、□1、△1、×2 = 25 点
 ジオグラフィカ : ◎4、○3、□0、△0、×1 = 33 点
 WH00 : ◎2、○2、□0、△3、×1 = 25 点

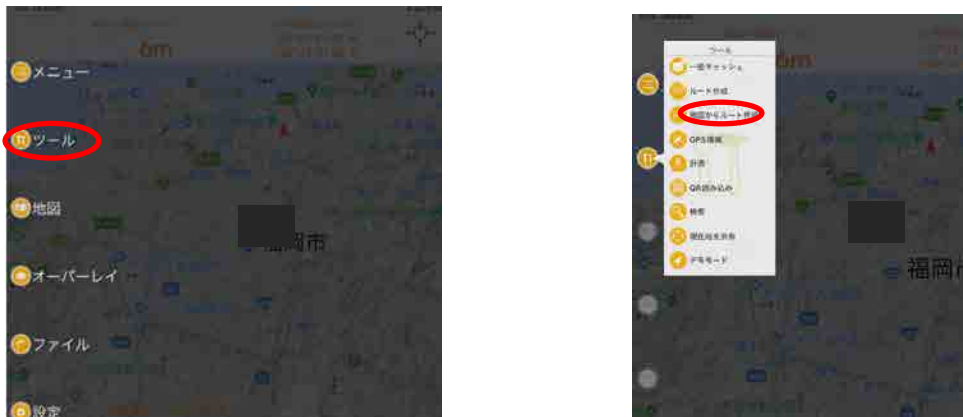
以上のことから、山林火災においてはジオグラフィカを推奨する。

補足 3 山林ルートを作成要領

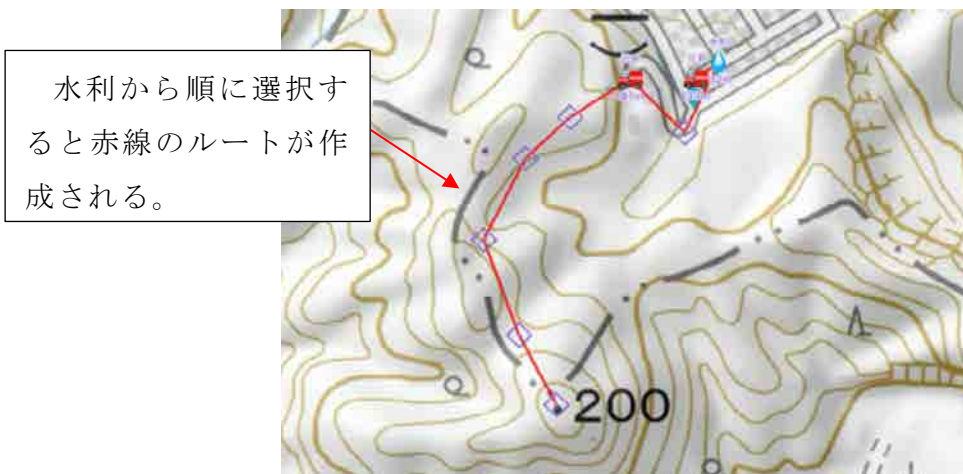
- (1) 使用するスマホの会員登録を行う。指揮者はグループを作成する。
- (2) 地図上に作成するルート上にマーカーを作成する。



- (3) 左列の「ツール」から「地図からルートを作成」を選択する。



- (4) 水利から順に選択を行い、最後に下段の「決定」を選択する。同様な方法で各ルートを作成する。



- (5) 左列の「クラウド」でグループを作成する。右列の「グループ」から作成したグループに参加し、各山林ルートの上アップロードのする。

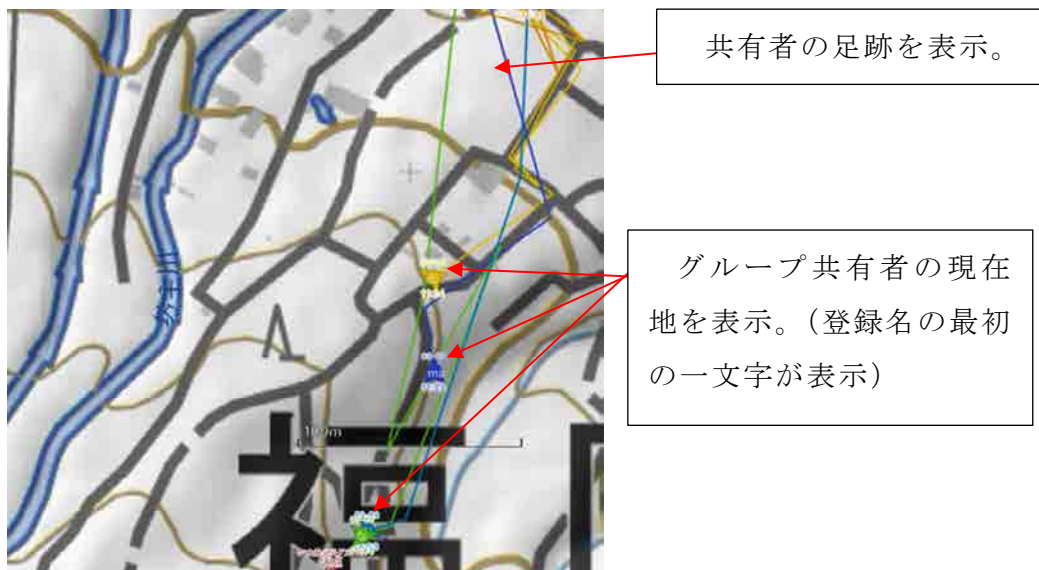


※ルート作成方法は、他にもあります。今回は簡単な方法を紹介しています。

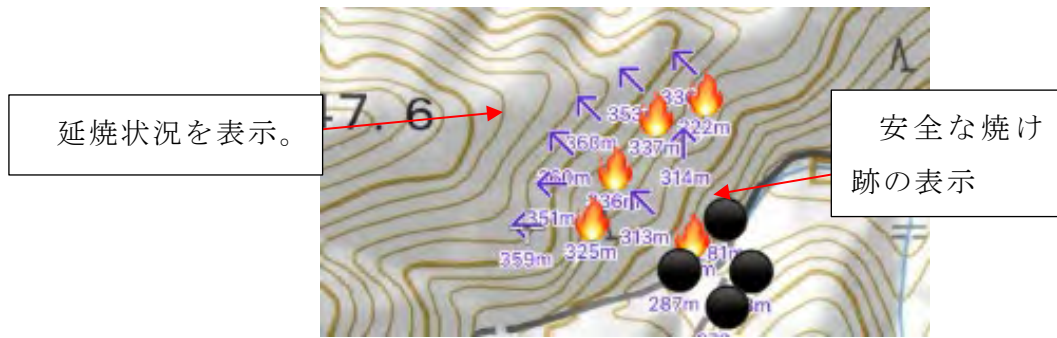
補足4 グループの検索の様子



補足5 入山した隊の様子

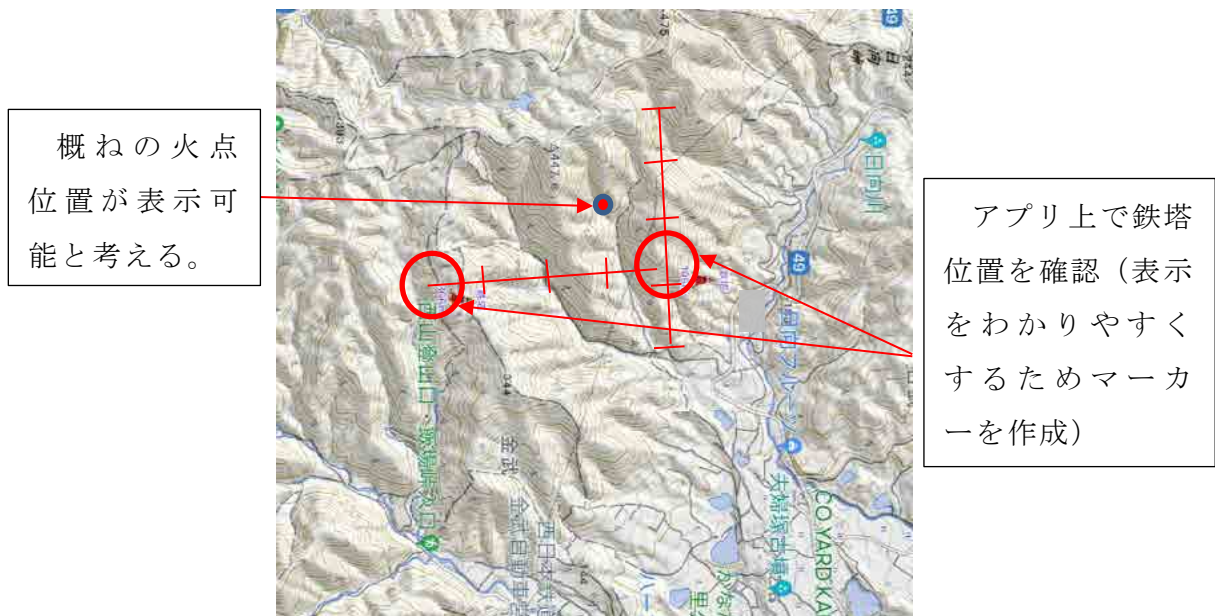
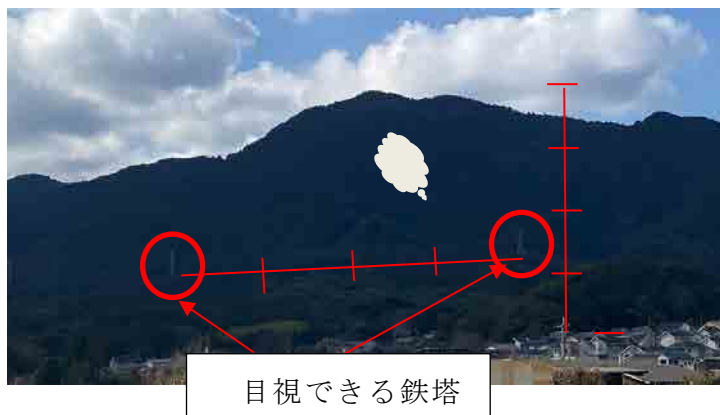


補足6 火点表示の他、延焼状況、延焼方向の表示の様子



※マーカーの大きさは変えられない。地図の倍率により見え方が違います。

補足7 遠方からの火点表示方法



※ジオグラフィカを使用した検証動画

検証 1



検証 2（不感地帯あり）



【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

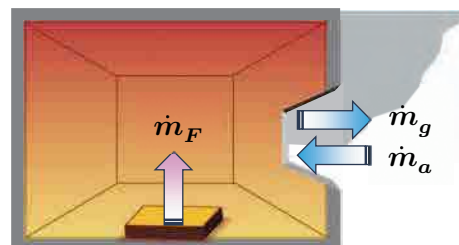
可燃物の燃焼理論に基づく
区画火災性状の簡易予測
—区画内平均温度を用いた質量減少速度の算定

東京消防庁
後藤大輔

1. はじめに

区画火災とは、可燃物の熱分解又は蒸発により生成される可燃性ガスが区画内に流入し、燃焼することで生じる災害である。そして、この燃焼による可燃性ガスの消費速度（以下「燃焼速度」という。）に応じて区画開口部の換気速度が変化し、層の温度及び化学種濃度、煙層高さのほか、開口部を通した隣接空間への伝熱速度¹⁾、開口部からの未燃焼の可燃性ガス（以下「未燃ガス」という。）の噴出速度²⁾等の火災性状が定まる。区画火災性状の把握においては、一般的に質量保存の関係をもとにエネルギー保存の関係を整理してモデル化することから、物質移動の把握が重要になる。区画火災という観点から、この物質移動を俯瞰的に捉えると、重要なものとして区画に流入する可燃物のガス化に伴う質量減少速度（可燃性ガスの発生量を決定するもの）（図1の $\dot{m}_F$ 、以下「質量減少速度」という。）と区画に流出入する換気速度（図1の $\dot{m}_a$ 及び $\dot{m}_g$ ）が挙げられる。

このため、空間、可燃物条件に応じたこれらの速度を得ることができれば、建築物個々の実態に応じた区画火災性状の把握が可能となり、建築物の火災安全設計（延焼拡大防止性能、避難安全性能、消防活動支援性能等の考慮）上有用になる。しかし、これら、特に質量減少速度の経時的な算定については未だ完成の域に達したモデルはなく、算定できてもコンピューターによる数値計算を要する



凡例 $\dot{m}_F$ ：可燃物の質量減少速度
 $\dot{m}_a$ ：換気速度（流入）
 $\dot{m}_g$ ：換気速度（流出）

図1 区画火災の主な物質移動

ほか、多数の形態係数と伝熱の算出を必要とするなど、計算コストも高い。数値計算による算出が難しい場合、これらの速度を把握するには実験による測定が必要となるが、実務上、複数の可燃物及び開口部において計測することは困難であり、より容易に測定できるものから何らかの形で算定できると便利である。

区画内の質量減少速度は、理論上、周囲からの伝熱速度 $\dot{q}_e$ に応じて増加し、火炎からの伝熱速度の減衰率 C_{ox} に応じて減少する³⁾。このうち、周囲からの伝熱速度 $\dot{q}_e$ は、層、周壁及び隣接空間からの放射伝熱により構成される火災の成長速度を決定する重要な因子であり、その算定上重要な要素として、区画内の気体温度が挙げられる^{注1)}。

また、換気速度については、主に開口両側の圧力差と開口を流れる気体の密度に応じて変化し、質量減少速度と同様、算定上重要な要素として気体温度が挙げられる。

一般的に、気体温度は熱電対を用いて測定され、伝導による熱的影響を無視すると、熱電対の測定点（球体を想定した接地点）における熱収支を次のように表せる⁴⁾。

$$\frac{\rho_{TC} c_{p,TC} V_{TC}}{A_{TC}} \frac{\partial T}{\partial t} = \varepsilon_{TC} \left(\sum \dot{q}_{rad}'' - \sigma T_{TC}^4 \right) + h_{TC} (T_{gas} - T_{TC}) \quad (1)$$

ただし、 ρ は密度、 c_p は定圧比熱、 V は体積、 A は面積、 ε は放射率、 $\sum \dot{q}_{rad}''$ は熱電対が周囲から受ける放射熱流速、 T は温度、 h は対流熱伝達率であり、添え字の TC は熱電対、 gas は真の気体を表す。

このうち、 $\sum \dot{q}_{rad}''$ は、区画内においては、主に周壁、層、開口部（隣接空間）、可燃物及び火炎からの伝熱により構成され、区画内の上部高温域では周囲の低温度の物体からの放射の影響を受けて $\sum \dot{q}_{rad}'' < \sigma T_{TC}^4$ （式(1)の右辺第1項は負）となり、その結果、 $T_{TC} < T_{gas}$ となる。区画内の下部低温域では周囲の高温度の物体からの放射の影響を受けて $\sum \dot{q}_{rad}'' > \sigma T_{TC}^4$ （式(1)の右辺第1項は正）となり、その結果、 $T_{TC} > T_{gas}$ となる。このような放射の影響から、熱電対による温度の測定値には誤差が生じることが知られており⁴⁾⁻⁹⁾、その補正には、複雑な計算を要する^{3), 4)}。

一方で、区画内の平均温度は、周囲の物体からの放射伝熱の影響が相殺され、測定誤差が非常に小さくなる^{3), 4)}ことから、測定温度の補正を必要とせず、扱いが容易である。このため、区画内平均温度から質量減少速度及び換気速度を算定することができれば、実験においてはもちろんのこと、数値計算においても複雑な計算を要せず便利である。

そこで、本報では、これらのうち、区画内平均温度を用いた非炭化可燃物の質量減少速度の算定について、実験を踏まえて検討した。はじめに、区画内平均温度を用いた質量減少速度の算定の基本理論を整理する。次いで、区画模型による実験結果を用いて本理論との関係性を整理し、区画内平均温度に基づく簡易算定の知見を得る。

2. 質量減少速度の基本理論

区画内で可燃物が燃焼する場合、質量減少速度 $\dot{m}_F$ は、可燃物における熱収支と可燃物のガス化熱 L_g を考慮して、次のように表せる¹⁰⁾。

$$\dot{m}_F = \frac{\dot{q}_{fl} + \dot{q}_e - \dot{q}_{loss}}{L_g} \quad (2)$$

ただし、 $\dot{q}_{fl}$ は火炎から可燃物への伝熱速度、 $\dot{q}_e$ は周囲から可燃物への伝熱速度、 $\dot{q}_{loss}$ は可燃物から周囲への失熱速度である。

火炎からの伝熱速度は、式(2)において、温度 T_0 の自由空間における燃焼を想定し、0(K)を基準にエネルギー収支を考える。可燃物の全表面が燃焼している場合を想定すると、 $\dot{m}_F = \dot{m}_{FA}'' A_F$ 、 $\dot{q}_e = \varepsilon_F (1 - \varepsilon_{fl}) \sigma T_0^4 A_F$ 、 $\dot{q}_{loss} = \varepsilon_F \sigma T_{pv}^4 A_F$ と表せ、これらを式(2)に代入する。さらに、火炎からの伝熱速度は周囲の酸素濃度に応じて減衰することから、自由空間での火炎からの伝熱速度に対する減衰率（以下「火炎からの伝熱速度の減衰率」という。）を $C_{ox}^{11)}$ とし、これらを用いて整理すると、区画内での火炎からの伝熱速度 $\dot{q}_{fl}$ は次のように表せる。

$$\dot{q}_{fl} = C_{ox} \{ \dot{m}_{FA}'' L_g + \varepsilon_F \sigma (T_{pv}^4 - (1 - \varepsilon_{fl}) T_0^4) \} A_F \quad (3)$$

ただし、 $\dot{m}_{FA}''$ は単位面積当たりの質量減少速度、 ε_F は可燃物の放射率、 σ は Stefan-Boltzmann 定数、 T_{pv} は可燃物の熱分解又は蒸発の温度、 ε_{fl} は火炎の放射率である。

なお、可燃物の燃焼面積は、火源周囲の酸素濃度に応じて減少することから、実際の可燃物表面には最大で3つの領域（①熱分解する燃焼面（上面に火炎のある面をいう。以下同じ。） F_b 、②熱分解する非燃焼面（上面に火炎のない面をいう。以下同じ。） F_p 、③非熱分解面 F_{np} ）が生じる。このうち、質量減少速度に影響を及ぼす面は、①熱分解する燃焼面 F_b と②熱分解する非燃焼面 F_p の2つの領域である。そこで、可燃物の全表面に燃え広がった状態（ $A_F = A_{F_b} + A_{F_p}$ 、 $A_{F_{np}} = 0$ ）を想定し、燃焼面積の減衰率＝火炎からの伝熱速度の減衰率とすると、 A_{F_b} 、 A_{F_p} はそれぞれ次のように表せる¹¹⁾。

$$A_{F_b} = C_{ox} A_F \quad (4)$$

$$A_{F_p} = (1 - C_{ox}) A_F \quad (5)$$

また、周囲からの伝熱速度 $\dot{q}_e$ は、層、周壁及び隣接空間からの伝熱が考えられる。本モデルでは、これらの伝熱については一層状態を想定し、区画内平均温度 T_f を用いて算出する。この場合、層からの入射熱として重要と考えられる区画上部の温度が低く見積もられることから一層想定時の層の放射率を1とすると、周壁及び隣接空間からの伝熱速度の算定が必要なくなり、次のように簡潔に表せる。

$$\dot{q}_e = \varepsilon_F \sigma T_f^4 \{ (1 - \varepsilon_{fl}) A_{F_b} + A_{F_p} \} \quad (6)$$

可燃物からの失熱速度 $\dot{q}_{loss}$ は、可燃物の全表面に熱分解又は蒸発面が広がった状態を想定すると、次のように表せる。

$$\dot{q}_{loss} = \varepsilon_F \sigma T_{pv}^4 A_F \quad (7)$$

よって、質量減少速度 $\dot{m}_F$ は、式(2)に式(3)から式(7)までを代入して整理することで、次のように表せる。

$$\dot{m}_F = \left\{ \dot{m}_{FA}'' + \frac{X \sigma (T_f^4 - T_0^4)}{L_g} \right\} A_{F_b} + \frac{\varepsilon_F \sigma (T_f^4 - T_{pv}^4)}{L_g} A_{F_p} \quad (8)$$

$$\text{ただし、} X = \varepsilon_F (1 - \varepsilon_{fl})$$

なお、右辺の第1項カッコ内は温度 T_0 の自由空間での質量減少速度と燃焼面における温度 T_0 からの上昇による質量減少速度の増加又は減少の効果の和を表す。右辺第2項は非燃焼面における温度 T_{pv} からの上昇による質量減少速度の増加効果を表す。

燃料支配下では、火炎からの伝熱速度の減衰率 $C_{ox} = 1$ となる。よって、式(8)において、 $A_{F_b} = A_F$ 及び $A_{F_p} = 0$ を代入し整理すると、燃料支配時の質量減少速度 $\dot{m}_{FC}$ は次のように表せる。

$$\dot{m}_{FC} = \left\{ \dot{m}_{FA}'' + \frac{X \sigma (T_f^4 - T_0^4)}{L_g} \right\} A_F \quad (9)$$

換気支配では、火炎からの伝熱速度の減衰率 $C_{ox} < 1$ となり、式(8)の右辺の2つの項のバランスとなる。燃料に対する酸素不足が進むほど、 A_{F_b} は小さく、 A_{F_p} は大きく

なり、最終的には、式(8)において、 $A_{Fb} = 0$ 及び $A_{Fp} = A_F$ となり、その際の質量減少速度 $\dot{m}_{FV\_lim}$ は次のように表せる。

$$\dot{m}_{FV\_lim} = \frac{\varepsilon_F \sigma (T_f^4 - T_{pv}^4)}{L_g} A_F \quad (10)$$

以上から、式(9)及び式(10)をもとに区画内平均温度 T_f との関係を整理する。

3. 実験概要

3.1 区画及び開口条件

実験は、区画模型（構成材料：セラミックボード、内寸：幅 1.0m×奥行 1.0m×高さ 1.0m、厚さ：0.1m）を用いて行った。区画模型の概要を図 2、開口条件を表 1 に示す。

3.2 可燃物条件

可燃物には、液体燃料である Methanol 及び Ethanol のほか、固体燃料である PMMA（黒色）を用いた。以下、実験ケース名において、それぞれ「M」、「E」、「P」と表記する。各可燃物の条件及び物性値^{12)~14)}を表 2 に示す。

なお、液体燃料については、燃焼に曝される表面積（液面）が一定に保たれるように、燃料パン（0.45m×0.45m）に注いだ。固体燃料の PMMA については、厚さ 0.005m のものを 4 枚重ねて、溶融による変形を無視するために、その周囲をアルミテープで被覆した。いずれも下面及び側面からの熱的影響を軽減するために、図 3 に示すように、セラミックブランケットを敷いた燃料台（ケイ酸カルシウム板）の上に置き、側面にはセラミックボードを設置した。

3.3 着火方法

液体燃料は、いずれも着火棒を用いて直接液面に着火し、燃焼させた。PMMA については、着火棒による着火が困難であるほか、着火後も全体に燃焼が拡大するまで時間を要する。そこで、図 3 に示すように、表面上に着火剤として直径約 2.2cm、厚さ 0.5cm の円形状の PMMA の破片 36 個をおおむね均等に配置し、破片の中心に開けた穴及び PMMA 板全体に n-Heptane を 30g 塗布し、これに着火棒を用いて着火し、燃焼させた。

3.4 測定的项目及び方法と解析上の扱い

主な測定の項目及び方法等の概要を以下に示す。

なお、以下の(2)の測定温度の補正、(3)から(5)までは、4 に示す燃焼の支配型（燃料支配、換気支配）を判断するために、測定、算定しているものである。

(1) 質量減少速度

質量減少速度については、図 2 に示すように、区画外の下部にビーム型ロードセル（定格容量 100kN、総合精度±3%）を 3 台設置し、各区画貫通部に漏気防止装置¹¹⁾を設置して 1 秒間隔で測定した。

なお、測定値については、区画下部に設置した微差圧計（二方向差圧±25Pa、精度

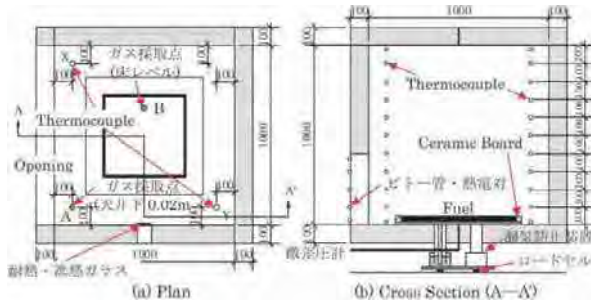


図2 区画模型及び測定点の概要

表1 開口条件

W (m)	H (m)	$0.09AH^{1/2}$ ($m^{5/2}$)	W (m)	H (m)	$0.09AH^{1/2}$ ($m^{5/2}$)
L0	0.1	0.003	0.4	0.8	0.026
	0.15	0.005			
	0.2	0.008			
	0.25	0.011			
	0.3	0.015			
	0.35	0.019			
	0.4	0.023	1.0		0.064

表2 可燃物の条件及び物性値

条件・物性値	単位	Methanol (M)	Ethanol (E)	PMMA (P)
A_F	m^2	0.2		
重量	kg	2.38 (3%)	2.37 (3%)	5
$\dot{m}_{FA}$	$kg/s/m^2$	0.015	0.018	0.02
Δh_c	kJ/kg	19,100	25,600	24,200
L_c	kJ/kg	1,195	891	1,611
T_{flm}	K	337.7	351.7	555
T_{ig}	K	737.15	696.15	653.15
s_{ign}	—	1.496	2.098	1.924
x_{fuel}	—	0	0.008	0.022
k_H	m^2	0.37		



図3 PMMAと着火剤の設置状況

±1%。以下同じ。)により区画内外の差圧を測定し、これを考慮して補正¹¹⁾した後、各時刻の前後30秒のデータを用いて移動平均した値とした。

(2) 区画内温度

区画内部の温度については、図2に示すように、隅角部のX点及びY点の垂直方向に、0.1m間隔に9点並びに天井及び床面から0.02mの点、計22点にK熱電対（径0.65mm。以下同じ。）を設置して1秒間隔で測定した。測定点は壁から0.1m離隔することから、熱電対の曲がりによる測定点のズレが生じないように、区画を貫通させた鋼管に熱電対を通して設置した。そして、鋼管による熱的影響を軽減するために、区画内部の鋼管部分をセラミックブランケットで被覆するとともに、区画の気密性を確保するために、区画貫通部及び区画外側の鋼管の穴に耐火パテを充填した。

なお、区画内平均温度については、測定点 m の上下の熱電対間の midpoint（層の境界面がある場合は境界面、最上端又は最下端側は周壁）までの範囲 ΔH_m が同一の温度 $T(m)$ として次式により算出した。

$$T_f = \frac{\int \Delta H_m T(m) dH}{H_r} \quad (11)$$

ただし、 H_r は室内高さである。

また、後述する中性帯の算出に当たっては、各熱電対の補正温度が必要になる。冒述のとおり、熱電対による測定温度は、周囲からの放射による影響を受けるため、本影響を考慮した補正を行う必要がある。測定温度の補正については、これまでも様々な方法が提案されている^{4), 8), 9)}が、本報では二層ゾーン概念を取り入れた以下の手法³⁾を用いて測定値の補正を行った。

式(1)において、伝導による熱的影響を無視し、瞬時に準熱平衡状態に達すると仮定^{注2)}すると、熱電対 k における真の気体温度を求める以下の式が得られる^{注3), 注4)}。

$$T_{gas,k} = \frac{\varepsilon_{TC}(\sigma T_{TC}^4 - \sum \dot{q}_{rad}'')}{h_{TC}} + T_{TC} \quad (12)$$

ここで、 $\sum \dot{q}_{rad}''$ は熱電対 k 点が周囲より受ける放射熱流束であり、以下の放射伝熱を考慮した式により求める^{注5)}。

$$\sum \dot{q}_{rad}'' = \dot{q}_{TC,wi}'' + \dot{q}_{TC,op}'' + \dot{q}_{TC,lay}'' + \dot{q}_{TC,F}'' \quad (13)$$

ただし、 $\dot{q}_{TC,wi}''$ 、 $\dot{q}_{TC,op}''$ 、 $\dot{q}_{TC,lay}''$ 、 $\dot{q}_{TC,F}''$ は、それぞれ上・下部周壁、開口部、熱電対 k が属する層 i 及び隣接層 j 、可燃物から熱電対 k への放射熱流束であり、ゾーンの概念を用いて得られる、表3に示す式により求める。

なお、式(13)においては、計算の簡易化上、火炎からの放射伝熱を無視しており、このため、下部層の補正温度が高めに算定されることになる。そこで、本影響を軽減するため、便宜的に下部層の開口側 X 軸（外気が直接流入する部分）の温度は、式(12)の算定によらず、外気と同等とする。

また、上・下部層の体積及び温度は、区画内の垂直温度分布を考慮した以下の式による境界高さ Z_{ini} ^{20), 21)}により区分し求める。

$$Z_{ini} = \frac{T_l(I_1 I_2 - H_r^2)}{I_1 + I_2 T_l^2 - 2T_l H_r} \quad (14)$$

ただし、 H_r は区画の天井高さ、 T_l は最下部の温度²²⁾、 I_1 、 I_2 はそれぞれ以下の式による積分値である。

$$I_1 = (H_r - Z_{ini})T_u + Z_{ini}T_l = \int_0^{H_r} T(z) dz \quad (15)$$

$$I_2 = (H_r - Z_{ini})\frac{1}{T_u} + Z_{ini}\frac{1}{T_l} = \int_0^{H_r} \frac{1}{T(z)} dz \quad (16)$$

以上による測定温度の補正計算フローの概要を図4に示す。

(3) 換気速度

換気速度については、開口部の内外差圧及び気体温度を測定して得た。各高さの差圧については、図2及び図5に示すように、微差圧計を接続したピトー管（二方向）を開口条件に応じて4本から9本（開口高さ 0.8m では 0.1m 間隔（最上部・最下部 0.05m）、その他の条件では 0.05m 間隔（最上部・最下部 0.01m～0.03m））を高さ方向におおむね均等配置して1秒間隔で測定した。

なお、高温の気流及び放射熱によるピトー管の変形を抑制するために、ピトー管による測定点は、開口中央部を避け、開口端部から開口幅の 1/6 の位置上とした。

また、気体温度については、K 熱電対をピトー管と同測定点に設置して1秒間隔で測定した。そして、中性帯より下方の領域を単位時間当たりの開口流入速度 $\dot{m}_a$ 、上方

表3 熱電対への各種放射伝熱量

伝熱源	算出式
周壁	$\dot{q}_{TC, w}^* = (1 - \varepsilon_i) \varepsilon_{wi} \sigma T_{TCk-w}^4 + (1 - \varepsilon_i) (1 - \varepsilon_j) \varepsilon_{wj} \sigma T_{TCk-w}^4$ なお、周壁温度は一次元熱伝導方程式と以下の境界条件（$x=0$：区画内側、$x=l$：区画外側）をCrank-Nikolson法とGauss-Seidel法により算出する。 $-k_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \bigg _{x=0} = \dot{q}_{wi, w}^* + \dot{q}_{wi, op}^* + \dot{q}_{wi, loy}^* + \dot{q}_{wi, f}^* - \varepsilon_{wi} \sigma T_{wi}^4$ $-k_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \bigg _{x=l} = \dot{q}_{wi, o}^* - \varepsilon_{wi} \sigma T_{wi}^4$
開口部	$\dot{q}_{TC, op}^* = (1 - \varepsilon_i) \varepsilon_{oi}^4 F_{TCk-opi} + (1 - \varepsilon_j) \varepsilon_{oj}^4 F_{TCk-obj}$
層	$\dot{q}_{TC, loy}^* = \varepsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \varepsilon_i) \varepsilon_j \sigma T_j^4 F_{TCk-l}$
可燃物	$\dot{q}_{TC, f}^* = (1 - \varepsilon_j) (1 - \varepsilon_i) \varepsilon_{fi} \sigma T_{TCk-f}^4$

表中の F_{1-2} は1に対する2の形係数 η 、 k_w は周壁の熱伝導率、 $\dot{q}_{12}$ は2から1への熱流束、 ε は放射率である。また、 $\dot{q}_{wi, j}$ は対象jから周壁wiへの伝熱量であり、本表中の「熱電対への伝熱量」と同様の考え算出する。なお、本報では、可燃物表面の放射率は0.9、周壁表面の放射率は0.95とし、また、各層のガス放射率 ε_i はModakによる放射計算プログラム¹⁹⁾を利用し求める。

なお、周壁境界条件、可燃物、開口部においては、層の境界高さとの関係により、適宜 $\dot{q}_{TC, w}^* = 0$ 、 $\varepsilon_i = 0$ 、 $\varepsilon_j = 0$ とする。

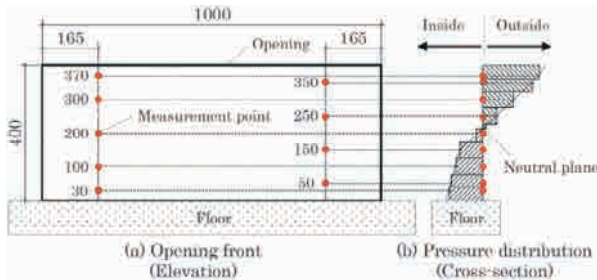


図5 換気速度の測定概要（ $H = 0.4$ ）

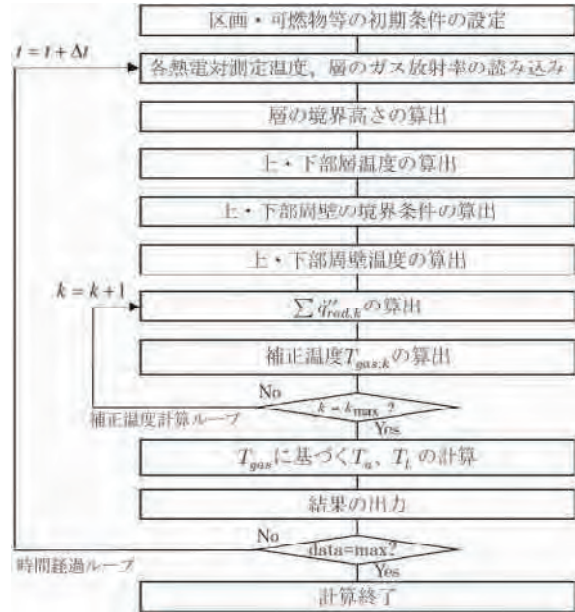


図4 測定温度の補正計算フロー

表4 中性帯高さの算出方法

条件	中性帯高さ
$N_{UL} < low$	$Z_n = low$
$N_{UL} > upper$	$Z_n = upper$
上記以外	$Z_n = N_{UL}$

この表において、 low 、 $upper$ はそれぞれピット管の差圧の符号が変わる直下、直上のピット管高さ。 N_{UL} は以下の式¹⁹⁾による中性帯高さである。

$$N_{UL} = \frac{\Delta P(0)}{(\rho_{i, o} - \rho_{i, u})g} = \frac{P_i - P_u - Z_{int}}{\rho_{i, o} - \rho_{i, u}}$$

ただし、 Z_{int} は層の境界高さ、 $\Delta P(0)$ は区画床レベルにおける区画内外の圧力差である。

の領域を単位時間当たりの開口流出速度 $\dot{m}_g$ として次式³⁾により得た。

$$\dot{m}_{ij} = \alpha W k_p \sum_m^n \sqrt{2\rho(m)\Delta p(m)} \Delta H_m \quad (17)$$

ただし、 $\dot{m}_{ij}$ は空間*i*から空間*j*への単位時間当たりの流量、 α は開口流量係数（=0.68²³⁾）、 W は開口幅、 k_p はピット管による測定上の補正係数（ ≈ 0.93 ²⁴⁾）、 $\rho(m)$ は区画床面からの高さ*m*の気体（空気）の密度であり、理想気体を想定した関係式： $\rho T = const.$ （ ≈ 352.8 ）²²⁾において中性帯高さより下方では外気温度、上方では各測定点の補正温度を代入して得た値、 ΔH_m は区画床面からの高さ*m*のピット管の上下に位置するピット管間の中点、中性帯又は開口端部との間の距離である。

なお、中性帯高さの算出に当たっては、上部・下部層の密度が必要であり、表4において、二層ゾーンの概念に基づき、(2)で得た放射の影響を考慮した補正温度を用いた。この際、各層の温度は区画内平均温度と同様、測定点*k*の上下の熱電対間の中点（層の境界面がある場合は境界面、最上端又は最下端側は周壁）までの範囲が同一の温度であるとして式(11)に準じて算出した。

また、開口流出速度 $\dot{m}_g$ については、火炎からの熱の影響により流出気体の測定温度

の補正が困難であるため、火災が進展し、準定常又は $\dot{m}_g \approx \dot{m}_a + \dot{m}_F$ となった以降は $\dot{m}_g = \dot{m}_a + \dot{m}_F$ とした。

(4) 上・下部層の酸素濃度（体積分率）

上・下部層の酸素濃度については、ガス分析計2台を用いて、上部層では層内が十分に混合し、かつ、火炎に直に接する恐れがないと考えられる区画上部手前側の隅角部（図2、A点）に、下部層は床面中央付近（図2、B点）に吸引点を設置して酸素の体積分率を1秒間隔で測定した。

なお、水蒸気及び煤については、ガス分析計への吸引前にフィルターを設置して除去した。PMMAの一部の開口条件（W1.0H0.15及びW1.0H0.1）では、途中、煤が詰まり計測が不可となったため、その場合は、直前までの値が以降も継続するものとした。

(5) 上部層の未燃ガス生成速度

上部層の未燃ガス生成速度については、質量減少速度、気体温度及び酸素の体積分率を測定し、次式³⁾による値を各時刻の前後10秒のデータを移動平均した値とした。

$$\dot{I}_{F,u} = \dot{m}_F Y_{F,p} - \dot{m}_b \quad (\dot{I}_{F,u} \geq 0) \quad (18)$$

ただし、 $Y_{F,p}$ は可燃物中の可燃性ガス成分の割合（ $= 1 - x_{soot}$ ）、 $\dot{m}_b$ は次式による可燃性ガスの燃焼速度である。

$$\dot{m}_b = \left\{ \rho_l^{ox} \frac{(\dot{m}_p - \dot{m}_F + \dot{m}_{lb})}{\rho_l} Y_{ox,l}^{vol} + \dot{L} U Y_{ox,o} + \rho_u^{ox} \left(V_u - \frac{\dot{m}_g}{\rho_u} \right) Y_{ox,u}^{vol} \right\} \frac{1}{s_{ox}} \quad (19)$$

ここで、 ρ^{ox} は補正温度を用いて得られる酸素の密度、 $\dot{m}_p$ は火災プルーム速度^{注7)}、 $\dot{m}_{lb}$ は層の境界面の燃焼に伴う下部層から上部層への流入速度（ > 0 ）^{注8)}、 Y_{ox}^{vol} は酸素の体積分率、 $\dot{L}U$ は区画外から上部層への流入速度^{注9)}、 $Y_{ox,o}$ は外気の酸素の質量分率（ $= 0.233$ ）、 V_u は上部層体積、 s_{ox} は可燃物の化学的酸素／燃料比であり、添え字の l は下部層、 o は外気、 u は上部層を表す。

4. 区画内平均温度と質量減少速度の関係

4.1 実験値と区画内平均温度に基づく計算値の関係

質量減少速度は、燃焼の支配型によって性状が異なるため、燃料支配と換気支配とで区別して検討した。いずれの支配型であるかは、上部層の未燃ガス生成速度 $\dot{I}_{F,u}$ にて判断し、 $\dot{I}_{F,u} = 0$ の場合は燃料支配、 $\dot{I}_{F,u} > 0$ となった以降^{注10)}は換気支配とした。

(1) 燃料支配下

燃料支配下において可燃物の全面が燃焼（ $\dot{m}_F \geq \dot{m}_{FA}'' A_F$ の状態をいう。以下同じ。）し、質量減少速度 $\dot{m}_F$ がピーク値に達するまでの間の実験値と式(9)による計算値の比較を図6に示す。図中の点線はプロットする全データから得られる線形近似（以降の図においても同じ。）である。

なお、式(9)の計算では、火炎放射率 ε_{fl} 及び可燃物表面の放射率 ε_F から X を定める必

要がある。このうち、可燃物表面の放射率 ε_F については、式(9)において考慮していない液体燃料の燃料パンの加熱の影響もあり、その値を定めることが難しい。このため、 X については、PMMAにおいて以下の式を用いて火炎放射率 ε_{fl} を算出し、これに一般的に固体の放射率のデフォルト値として採用される $0.9^{28)}$ を用いて得られる値： $X \approx 0.62$ を液体燃料においても一律に与えた^{注11)}。

$$\varepsilon_{fl} = 1 - e^{-k_{fl}L_{fl}} \quad (20)$$

ただし、 k_{fl} は火炎の放射吸収係数、 L_{fl} は火炎の平均光路長であり、 L_{fl} は火源径 D を考慮して次式²⁹⁾により求められる。

$$L_{fl} = D[0.65\{1 - e^{-2.2Z_{fl}/D}\}] \quad (21)$$

ここで、 Z_{fl} は平均火炎高さであり、火炎プルームの扱いと同様、隅角部に可燃物があるものとして長谷見等による次式³⁰⁾により求めた。

$$Z_{fl} = 4.3\dot{Q}_D^{*2/3}D \quad (22)$$

ただし、 $\dot{Q}_D^*$ は次式により得られる無次元発熱速度である。

$$\dot{Q}_D^* = \dot{Q}_C / \rho_{\infty} c_p T_{\infty} g^{1/2} D^{5/2} \quad (23)$$

ただし、 $\dot{Q}_C$ は発熱速度、 g は重力加速度である。

図6によると、いずれの可燃物も線形近似（点線）の傾き及び決定係数ともに ≈ 1 であり、実験値と計算値がおおむね一致する結果を得た。これは、燃料支配下では式(9)により良好な予測が行えることを示唆するものである。

なお、参考までに周囲からの伝熱効果（区画による熱のフィードバック効果）について、実験値と計算値の比較を図7に示す。実験値については実験値から自由空間での質量減少速度を減じた値 $(\dot{m}_F - \dot{m}_{FA}'')$ 、計算値については式(9)の右辺第2項の値となる。Methanolではほぼ実験値と計算値が一致した。その他の可燃物では実験値が幾分高めとなる傾向を示したが、これはEthanolについては可燃物のガス化熱 L_g が小さく、燃料パンの加熱の影響を受けやすいこと、PMMAについては燃焼面積が一定に保たれないことによる影響と考えられる。燃料支配下では、周囲からの伝熱効果はそれほど小さくなく、火炎からの伝熱速度の影響が大きいことから、図7の結果にかかわらず、図6のような良好な結果に至った。

(2) 換気支配下

換気支配下では、燃焼に必要な酸素の不足により、可燃物の全面が燃焼しない状況が生じるため、式(9)のほか、式(10)による計算値と比較した。可燃物の全面が燃焼又は換気支配に移行し、質量減少速度 $\dot{m}_F$ がピーク値に達するまでの間の実験値と式(9)、式(10)による計算値の比較をそれぞれ図8、図9に示す。

なお、式(10)において必要となる可燃物表面の放射率 ε_F については、固体燃料では前述の値（0.9）を、液体燃料では、 $X = \varepsilon_F(1 - \varepsilon_{fl})$ に式(16)で得た各可燃物の火炎放射率 ε_{fl} を代入して得られる値（0.69）を用いた。

図8、図9によると、式(9)と式(10)のいずれの計算値も実験値と線形性の関係が見られた。各図中の実線は、実験値と計算値の一致を示し、換気支配下では、原則として、実験値に対して、式(9)の値は大きく（点線は実線より上方に）、式(10)の値は小さく（点線は実線より下方に）算出されるが、おおむね本傾向を示している。実線を基準に見ると、 $\dot{m}_F \geq \dot{m}_{FA}'' A_F$ では式(9)の値が、 $\dot{m}_F < \dot{m}_{FA}'' A_F$ では式(10)の値が実線に近い値を示す傾向が見られた。

なお、PMMAの式(10)との比較において、式(9)の値よりも大きくなるものがあるが、これは、 $X < \varepsilon F$ 、かつ、区画内平均温度 T_f が非常に高温である場合に、式(9)の特性上こ

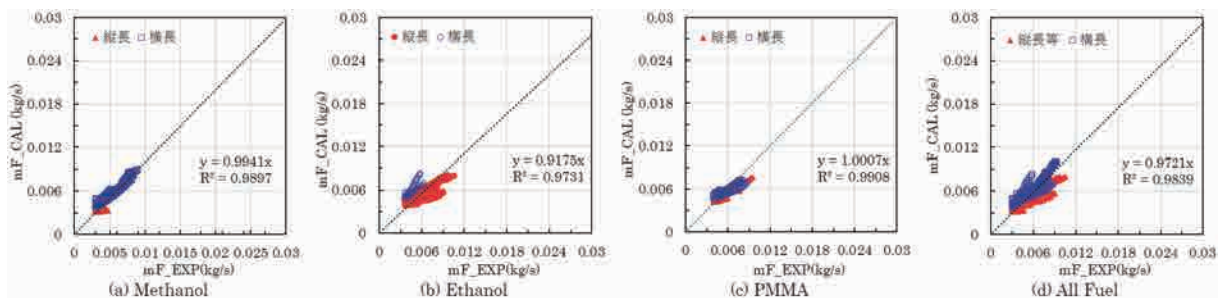


図6 燃料支配下における総合比較

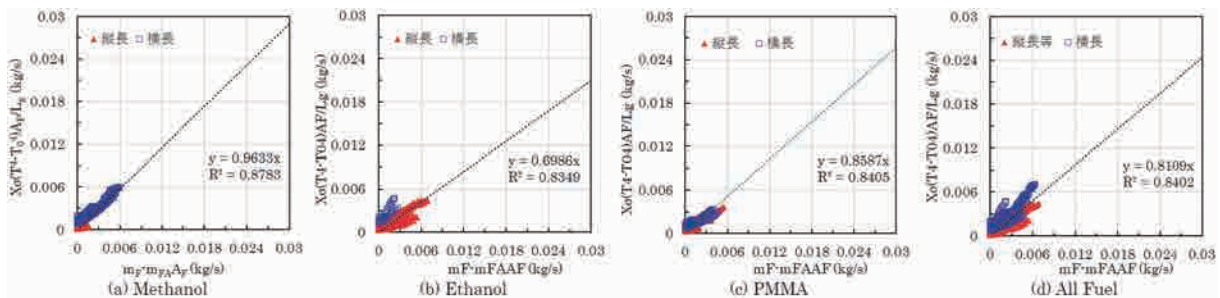


図7 燃料支配下における周囲からの伝熱効果

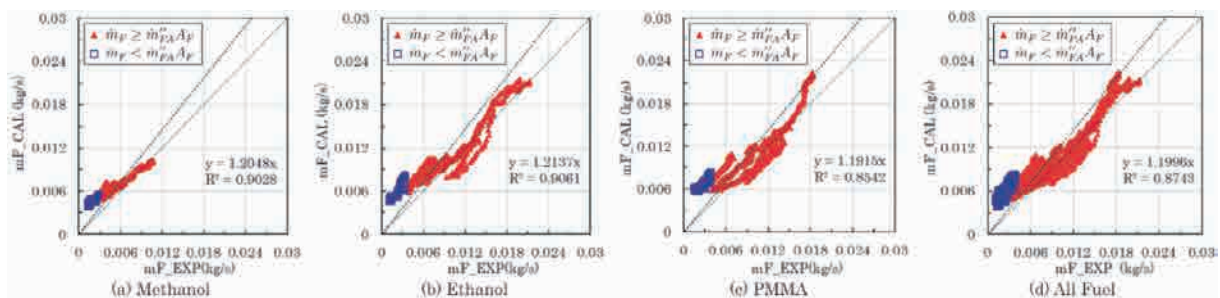


図8 換気支配下における実験値と式(9)による計算値の比較

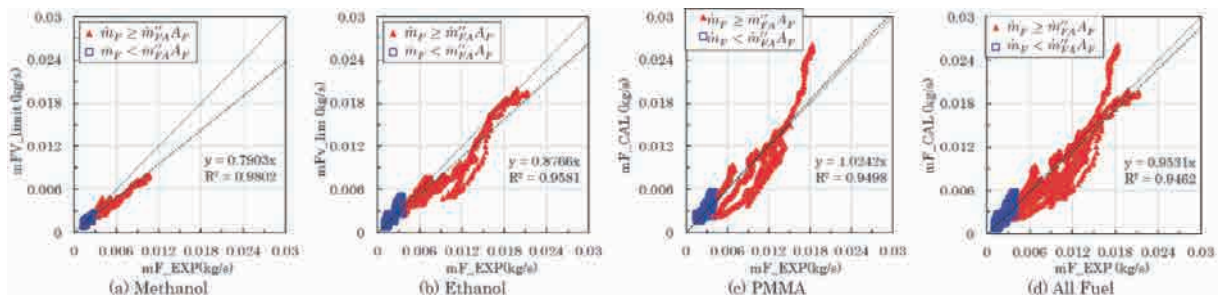


図9 換気支配下における実験値と式(10)による計算値の比較

のようになったものである。

4.2 質量減少速度の経時変化の算定

4.1 において、実験値と計算値との間に線形性の関係が見られたことから、区画内平均温度を用いて質量減少速度の経時変化を算定できると考えられる。4.1 の結果によると、換気支配下では式(9)による計算値は実験値よりも大きく、式(10)による計算値は実験値よりも小さく算出された。このことから、質量減少速度は、基本的に式(9)を用いて算出し、関根等による換気支配下の提案式： $0.09A_{op}\sqrt{H_{op}}$ ^{3),31)}で抑制されるものとする。

また、式(9)は可燃物の全表面が燃焼した以降の式であることから、着火から全表面が燃焼に至るまでを考慮した式とする必要がある。可燃物表面の燃え広がりを経済的に αt^2 火源により考慮すると、質量減少速度 $\dot{m}_F$ は次のように表すことができる。

$$\dot{m}_F = \min \left[\min \left(\frac{\alpha_F t^2}{\dot{m}_{FA}'' A_F \Delta h_C}, 1 \right) \dot{m}_{FC}, 0.09 A_{op} \sqrt{H_{op}} \right] \quad (24)$$

ただし、 α_F は火災成長率、 t は着火からの経過時間、 Δh_C は可燃物の燃焼熱である。

着火から質量減少速度のピーク値に達するまでの実験値と式(24)による計算値の経時変化について、代表的な5つの開口条件の比較を図10に示す。ここで、火災成長率 α_F については、自由空間での燃焼実験での立ち上がりに合わせて液体燃料では 0.19 (Ultra Fast¹⁰⁾)、PMMAでは 0.19×10^{-3} (W1.0H0.1 : 0.19×10^{-5} 注¹¹⁾)とした。

実験値については、燃料支配と換気支配で分けて示している。燃料支配では非常に良好な予測結果が得られた。換気因子が小さくなるにつれて換気支配型火災に移行するケースが現れるが、その中でも換気因子が比較的大きいケースでは C_{ox} の値が大きいため、式(20)でも良好な結果が得られた。一方で、換気因子が非常に小さいケース（開口条件：W1.0H0.25及びW1.0H0.1）では、いずれの可燃物においても C_{ox} の未考慮

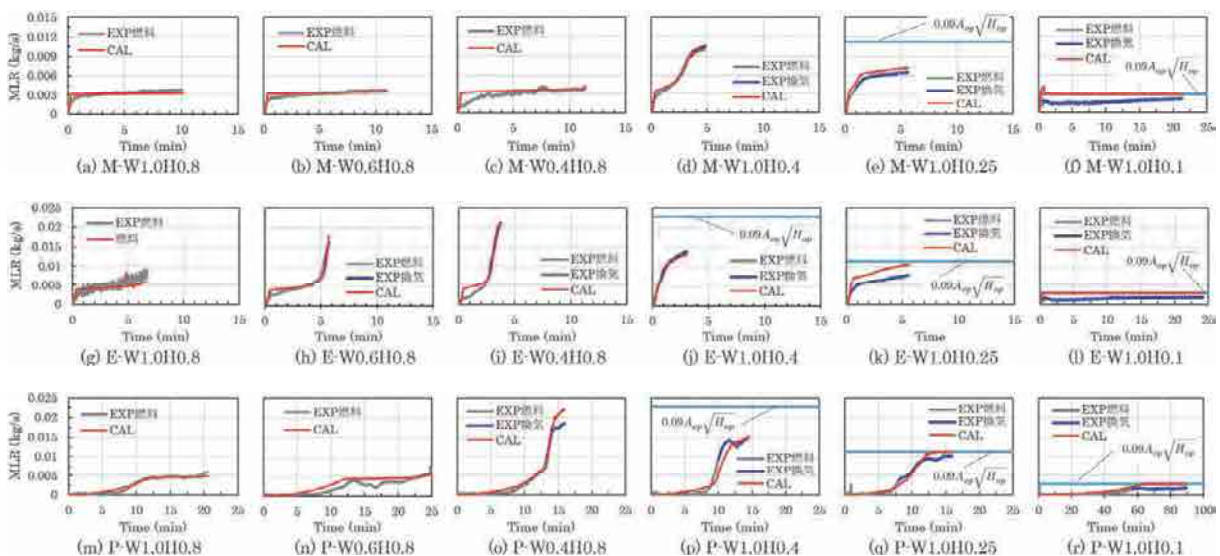


図10 質量減少速度に関する実験値と計算値の経時変化の比較

により測定値との誤差が生じたが、概算としては十分な精度である。

5. 結び

本研究では、区画火災性状の把握（予測）において重要となる可燃物の質量減少速度を対象に、区画内平均温度を用いた簡易算定について検討した。そして、本研究の範囲において以下の知見を得た。

- (1) 可燃物の質量減少速度は、区画内平均温度を用いて算定可能である。
 - (2) (1)の算定に当たっては、可燃物への伝熱上、区画内を一層とみなし、そのガス放射率を1とすることで、式の簡略化を行えるとともに良好な値が得られる。
- 今後は、引き続き、区画内平均温度を用いた換気速度の簡易算定を検討する。

謝辞

本研究では、東京理科大学大学院理工学研究科建築学専攻博士後期課程（指導教員：大宮喜文教授）在籍時に実施した実験のデータを使用しています。本実験にご支援、ご協力いただきました関係者各位に対し、ここに記して感謝の意を表します。

注

注 1) 他に周壁温度も重要であるが、周壁温度は区画内の気体温度と強い相関性があることから、代表要素として区画内の気体温度を挙げている。

注 2) 熱電対の測定点（接地点） k における熱収支 $\dot{q}_{net,TC,k}''$ は、一般的に以下のように表すことができる^{例えば 5)}。

$$\dot{q}_{net,TC,k}'' = \sum \dot{q}_{rad}'' + \dot{q}_{conv,TC,k}'' + \dot{q}_{cond,TC,k}'' - \dot{q}_{loss,TC,k}'' \quad (A1)$$

ただし、 $\sum \dot{q}_{rad}''$ 、 $\dot{q}_{conv,TC,k}''$ 、 $\dot{q}_{cond,TC,k}''$ 、 $\dot{q}_{loss,TC,k}''$ はそれぞれ熱電対測定点（ k 点）における単位面積当たりの周囲からの放射熱量、対流熱量、熱電対線からの伝導熱量、失熱量である。

ここで、熱電対線の長さが測定点の径よりも大きく、周囲を等温のガスにより囲まれている場合は、伝導による熱量 $\dot{q}_{cond}''$ は無視できる^{4)-6), 8)}。また、熱電対による計測上のタイムラグは非常に小さく、一般的に無視される^{4)-6), 8)}。本実験では、熱電対測定点と熱電対線はおおむね同一高さにあり、いずれも等温のガスに囲まれていると考えられることから、既往の研究と同様の仮定を用いている。

注 3) K 熱電対（chromel-alumel）の放射率は熱電対温度に応じて変化し、以下の式により得られる⁹⁾。

$$\varepsilon_{TC} = 0.19 + 6.0976 \times 10^{-5}(T_{TC} - 2309.69) \quad (A2)$$

なお、Ethanol は煤を生じるため、熱電対に付着して熱電対の放射率が上がる⁹⁾ことから、本報では上式に 0.05 を加えた値としている。

注 4) 対流熱伝達率 h_{TC} は以下により求めている。

$$h_{TC} = kN_u/d_{TC} \quad (A3)$$

ただし、 $k = \mu c_p / P_r$

このうち、 P_r は Prandtl 数(-) (≈ 0.7)、 μ は粘性係数(kg/m/s)、 c_p は境界層の空気の比熱(kJ/kg/K)であり、 μ は Sutherland の法則¹⁵⁾を、 c_p は一次の近似式²⁾を用いるとそれぞれ以下のように表せる。

$$\mu = C_1 T^{1.5} / (T + C_2) \quad (A4)$$

$$c_p = 2 \times 10^{-4} T + 0.9413 \quad (250 \leq T \leq 2000) \quad (A5)$$

ただし、 C_1 、 C_2 はそれぞれ $1.458e^{-6}$ (kg/m/s/K^{0.5})、110.4 (K)、 T は境界層の気体温度 ($= (T_{TC} + T_{\infty})/2$) (K) である。

また、Nusselt 数(-)は、球体を想定して以下の式¹⁶⁾により求める。

$$N_u = 2 + C_T(P_r)Ra_d^m \quad (A6)$$

ただし、 $m = 0.25 + 1/(4 + 8.2Ra_d^{0.095})$, $0 < Ra_d < 10^7$

ここで、 $C_T(P_r)$ 、 Ra_d はそれぞれ以下の式による Prandtl 数の関数、Rayleigh 数(-)である。

$$C_T(P_r) = 0.75 \{ P_r / (2.4 + 4.9\sqrt{P_r} + 5P_r) \}^{0.25} \quad (A7)$$

$$Ra_d = g\beta |T_{TC} - T_{\infty}| d_{TC}^3 P_r / \nu^2 \quad (A8)$$

ここで、 β は気体の体膨張係数 ($=1/T$) (1/K)、 d_{TC} は熱電対測定点 (球) の直径(m) である。また、 ν は気体の流速(m/s)であり、本報では各層の 1/2 の高さにおける速度を想定した以下の式により求めている。

$$\nu \approx \sqrt{2\Delta\rho gh \times 0.5/\rho_l} = \sqrt{\Delta\rho gh/\rho_l} \quad (A9)$$

ただし、 h は開口高さの 1/2 とする。

注 5) 他に火炎からの伝熱量が考えられる。しかし、本研究の主対象である換気支配下では、火炎の形状変化が著しく、火炎からの放射伝熱の算出が非常に困難であり、参考文献 4)でも無視されている。このため本報でも火炎からの放射伝熱を無視した。

注 6) 実際には、Modak の計算プログラムを組み込んだ二層ゾーンモデル¹⁹⁾に質量減少速度の測定値の経時変化及び可燃物条件において表 2 の他、表 A1 の条件¹³⁾を入力し求めている。

表 A1 可燃物の物性値

可燃物 組成	モル数	元素の重量比				炭素 残渣比	含水率	煤 発生率	CO 発生率	可燃物 組成	モル数	元素の重量比				炭素 残渣比	含水率	煤 発生率	CO 発生率
		C	H	O	N							C	H	O	N				
Methanol CH ₃ O	32	0.375	0.125	0.500	0.000	0.0	0.00	0.000	0.000	PMMA (C ₅ H ₈ O ₂) _n	100	0.600	0.080	0.320	0.000	0.0	0.00	0.022	0.010
Ethanol C ₂ H ₅ O	46	0.522	0.130	0.348	0.000	0.0	0.00	0.008	0.001										

注 7) 火災プルーム量は可燃物と周壁の位置関係に応じて変化する²⁵⁾ことから、参考文献 11)と同様、実験条件を考慮して可燃物は隅角部にあるものとして Heskestad

の式²⁶⁾において仮想火源法²⁷⁾を用い算出している。

注 8) 実験による観測結果から、換気支配下において図 2 の Y 軸の層の境界直上の温度が発火温度に達した時点で、層の境界面の燃焼に伴う下部層から上部層への流れが生じるものとしている。層の境界面の燃焼は、上部層が一定の高さまで降下し、換気支配に移行した際に生じる特有の現象であり、発生時は上部層高さがおおむね安定する。このことを踏まえ、質量収支の観点から本流量は開口流入量に依存すると考え、簡易的に以下の式により求めている。

$$\dot{m}_{lb} = \dot{m}_a - (\dot{m}_p + \dot{L}U) \quad (A10)$$

注 9) 燃料支配ではすべて下部層へ、換気支配では図 2 の X 軸における層の境界面の直上の温度が可燃物の発火温度より高い場合に上部層に流入した酸素が燃焼しその浮力によりすべて上部層に流入するものとしている。

注 10) Methanol と Ethanol の W1.0H0.15 及び W1.0H0.1 の両ケースでは $\dot{I}_{F,u} > 0$ となる前に角状に抑制された。これは急激な燃焼に対して必要な酸素が不足し、浮力も得られないことにより、可燃性ガスの一部が燃焼せずに可燃物付近にとどまり、一方で酸素濃度を測定する上部の酸素はその分消費が抑制され残ったためであると考えられる。よって、各可燃物において、この 2 ケースについては、燃焼の抑制 (mF の角状のピーク値) をもって換気支配としている。

注 11) 液体燃料は ε_F 、 ε_{fl} とともに値が低く、逆に固体燃料は ε_F 、 ε_{fl} とともに液体燃料により値が大きくなり、結果として、 $\varepsilon_F(1 - \varepsilon_{fl})$ としては、ある程度一定の値となると思われる。このことから、 X は可燃物問わず同一の値としている。

参考文献

- 1) 後藤大輔，大宮喜文：放射伝熱環境が区画火災性状予測に及ぼす影響，日本建築学会環境系論文集，第 80 巻，第 716 号，pp.839-847，2015.10
- 2) 後藤大輔，大宮喜文：圧力および比熱の変化を考慮した上・下部層物理量連成モデルによる区画火災性状予測，日本建築学会環境系論文集，第 77 巻，第 678 号，pp.623-632，2012.8
- 3) 後藤大輔，大宮喜文：区画火災における火炎から可燃物への伝熱量－換気支配下の重量減少速度に着目した模型実験，日本建築学会環境系論文集，第 78 巻，第 693 号，pp.809-818，2013.11
- 4) Welch, S., Jowsey, A., Deeny, S., Morgan, R. and Torero, J.L.: BRE large compartment fire tests — Characterising post-flashover fires for model validation, Fire Safety Journal, 42, pp.548-567, 2007
- 5) Luo, M.: Effects of radiation on temperature measurement in a fire environment, Journal of Fire Sciences, vol.15, pp.443-461, 1997

- 6) Francis, J. and Yau, T.M.: On radiant network models of thermocouple error in pre and post flashover compartment fires, *Fire Technology*, Vol.40, pp.277-294, 2004
- 7) Blevins, L.G. and Pitts, W.M.: Modeling of bare and aspirated thermocouples in compartment fires, *Fire Safety Journal*, 33, pp.239-259, 1999
- 8) Welch, S and Rubini, P.: Three-dimensional Simulation of a Fire-Resistance Furnace, *Fire Safety Science—Proceeding of the Fifth of International Symposium*, pp.1009-1020, 1997
- 9) Carvalho, J.A. and dos Santos, W.F.N.: Radiation errors in temperature measurements with thermocouples in a cylindrical combustor, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 17, pp.663-673, 1990
- 10) Drysdale, D.: An introduction to fire dynamics, 3rd ed., WILEY, 2011
- 11) 後藤大輔, 大宮喜文: 区画内の化学種濃度及び伝熱量の変化に着目した火災性状予測, *日本建築学会環境系論文集*, 第74巻, 第638号, pp.403-411, 2009.4
- 12) Babrauskas, V.: Heat release rates, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 4th ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp.3-1 to 3-59, 2008
- 13) Tewarson, A.: Generation of heat and gaseous, liquid, and solid products in fires, *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, 4th ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp.3-109 to 3-194, 2008
- 14) Chen, C-C, Liaw, H.-J., Shu, C.-M. and Hsieh, Y.-C: Autoignition temperature data for methanol, ethanol, propanol, 2-butanol and 2-methyl-2,4-pentanediol, *Journal of Chemical & Engineering Data*, 55, pp.5059-5064, 2010
- 15) Anderson, D.A., Tannehill, J.C. and Pletcher, R.H.: Computational fluid mechanics and heat transfer, New York: McGraw-Hill, p.189, 1984
- 16) Fujii, T., Honda, T., Fujii, M.: A numerical analysis of laminar free convection around an isothermal sphere: finite-difference solution of the full navier-stokes and energy equations between concentric spheres, *Numerical Heat Transfer*, 7, pp.103-111, 1984
- 17) Howell, J.R.: A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors -3rd ed., *Thermal Radiation Heat Transfer*, 5th ed., CRC, New York, 2010
- 18) Modak, A.T.: Radiation from Products of Combustion, *Fire Research*, 1, pp.339-361, 1978/79
- 19) Tanaka, T. and Yamada, S.: BRI2002: Two layer zone smoke transport model

- chapter 1 outline of the model, Fire Science and Technology, Vol.23, No.1 (Special Issue), pp.1-44, 2004
- 20) Janssens, M. L. and Tran, H. C.: Data reduction of room tests for zone model validation, Journal of Fire Science, 10, pp.528-555, 1992
- 21) McGrattan, K., McDermott, R., Hostikka, S. and Floyd, J.: Fire Dynamics Simulator (Version 5) User's Guide, NIST Special Publication 1019-5, p.155, 2010.4
- 22) Emmons, H. W. and Tanaka, T.: Vent flows, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp.2-37 to 2-53, 2008
- 23) Prah, J. and Emmons, H.W.: Fire induced flow through an opening, Combustion and Flame, vol.25, pp.369-385, 1975
- 24) McCaffrey, B. J. and Heskestad, G.: A robust bidirectional low-velocity probe for flame and fire application, Combustion and Flame, 26, pp.125-127, 1976
- 25) Takahashi, W., Ohtake, M.: Flame and plume behavior in and near a corner of walls, Fire Safety Science -Proceedings of The Fifth International Symposium, pp.261-271, 1997
- 26) Heskestad, G.: Fire plumes, flame height, and air entrainment, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, pp.2-1 to 2-20, 2008
- 27) Hasemi, Y. and Tokunaga, T.: Some experimental aspects of turbulent diffusion flame and buoyant plumes from fire sources against a wall and in a corner of wall, Combustion Science and Technology, 40, pp.1-18, 1984
- 28) Tanaka, T. and Yamada, S.: BRI2002: two layer zone smoke transport model -chapter 3 use of the program, Fire Science and Technology, Vol.23, No.1 (Special Issue), pp. 100-128, 2004
- 29) Quintiere, J.G.: A theoretical basis for flammability properties, Fire And Materials, 30, pp.175-214, 2006
- 30) Hasemi, Y. and Tokunaga, T.: Some experimental aspects of turbulent diffusion flame and buoyant plumes from fire sources against a wall and in a corner of wall, combustion science and technology, 40, pp.1-18, 1984
- 31) 関根孝:コンクリート造建物の室内火災温度の推定ーその1・熱収支式と温度上昇曲線, 日本建築学会論文報告集, 第85号, pp.38-43, 1963.5

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

震災時の火災調査効率化とDXの費用対効果

東京消防庁予防部調査課
平山雅晴、嶋崎裕二、川崎将人
東京消防庁豊島消防署予防課危険物係
山元伸夫

1. はじめに

1.1 震災時の火災調査と被害認定調査

1.1.1 震災時の火災調査義務と罹災証明書の発行主体

火災調査は消防法第31条に基づく消防署長の業務である。一方、災害対策基本法（以下「災対法」という。）第90条の2でも、市町村長は、当該市町村の地域に係る災害が発生した場合において、当該災害の被災者から申請があったときは、遅滞なく、市町村長が住家の被害の状況を調査（以下「被害認定調査」という。）し、当該災害による被害の程度を証明する書面（以下「罹災証明書」という。）を交付しなければならない旨規定されている。すなわち、震災などの大規模災害によって火災が発生した場合、消防署長及び市町村長の二者に火災損害の調査義務が生じる。

これを踏まえ、内閣府等の通知において消防を管理する立場にある市町村長は、災対法に基づく罹災証明書のうち火災に起因するものの交付に関する事務を消防長等に行わせることとして差し支えない旨示されている⁽¹⁾。市町村長が消防を管理していない東京消防庁や広域消防組合のような場合には、火災に起因する罹災証明書の交付について共同処理について別途規約や協定などにより業務範囲や調査の実施要領等を事前に決めておく必要がある。

1.1.2 火災調査結果と被害認定調査の被害区分

上述のとおり、被害認定調査には火災調査も含まれるので、火災調査結果がどのように被害認定調査に反映されるかの現状を以下に整理する。

被害認定調査の被害区分は、かつて平成13年の「災害の被害認定基準について」⁽²⁾（以下「平成13年通知」という。）において、「住家全壊」（全焼・全流出）、「住家半壊」（半焼）の2区分とされていたが、現在は令和3年に発出された「災害の被害認定基準について」⁽³⁾（以下「令和3年通知」という。）により、住家半壊が大規模半壊、中規模半壊、半壊に細分化され、さらに住家半壊の下に準半壊の区分ができています。

被害認定基準によると、被害区分は住家の延べ面積に対して損壊部分が占める割合か、又は住家の主要な構成要素の経済的被害が住家全体に占める損害割合によって分類することとなっているので、火災調査結果を被害区分に読み替える際は、損害のあった床面積又は損害額が、延べ面積又は住家の評価額に占める割合を準用すると考えられる。

特に、世帯のり災程度の迅速な決定は、大都市の災害で重要になると予想される。例えば能登半島地震後に輪島市役所へヒアリングしたところ、共同住宅の一室で発生した火災の火元者へ罹災証明書を発行する際、1棟単位で認定する被害認定調査では過小評価となるので、消防の火災調査結果により決定した世帯のり災程度に基づき罹災証明書を発行する事例があったとのことである。これは耐火造の共同住宅で発生す

る事例であり、大都市には耐火造の共同住宅が多数存在する。

他に、火災調査結果を被害区分に読み替えることについて、過去から積み残されている大きな問題がある。火災被害と揺れによる被害が複合した場合の扱いが決まっていないことである。例えば被害認定調査では準半壊、火災調査で半焼となった場合、どの被害区分とするかである。どちらか大きい方を採用する、という立場もあるだろうが、寝室が全面焼損し、他の部屋が揺れによる被害を受けたため、住戸内の全部屋に住めなくなった、という住戸の場合は、全壊認定がふさわしい、との判断もあり得る。この点、当庁の実務担当者間では20年近く共有されてきた問題だが、いまだに結論が出ていない。自治体に導入されているシステムも結果的に、両方の調査結果を窓口職員が持ち、窓口職員がどちらを採用するかを決めるという仕様に留まっている。

1.1.3 罹災証明書の交付

罹災証明書は、被災者生活再建支援法等に基づく支援金の支給や、住宅の応急修理、義援金の配分等の支援措置の適用の判断材料として幅広く活用され、被災者支援の適切かつ円滑な実施を図るうえで極めて重要な役割を果たしている。一方で、申請者が多数いる場合には発行可能な状態に至るまで時間を要するので、被災者が早期に生活再建に着手できるよう、火災を含む損害状況の調査を速やかに完了し、罹災証明書を迅速に発行するまでの体制作りが必要である。

調査体制だけでなく、調査結果を被災者が納得のいく形で説明することも欠かせない。内閣府の「災害に係る住家被害認定調査実施体制の手引き」⁽⁴⁾においては、2又は3段階での被害認定調査体制が示されている。すなわち、外観目視調査で被害区分を判定する第1次調査と、内部立入調査による第2次調査である。被災者から判定結果に関する再調査の依頼があり、必要と考えられる場合には、さらに再調査を実施する。いずれの調査後も罹災証明書の交付窓口で調査内容や判定結果を説明するが、市民が調査内容や判定基準について疑念を持たれると、再調査が連鎖して調査が終わらないことも懸念される。そこで、特に公平性の観点から調査内容や判定基準を整理しておくことも必要であり、これは結果的に迅速な罹災証明書発行にも繋がる。

1.2 調査体制及び調査手法

1.2.1 罹災証明書を迅速に発行できる火災調査体制

罹災証明書を迅速に発行できる火災調査体制を構築するための方策は、調査に早く着手すること、調査の実施時間を短縮すること、調査完了から罹災証明書交付までの時間を短縮すること、2次調査や再調査を最小限に留めることに分類できる。

調査に早く着手するには、事前の調査計画を策定しておき、発災後に人員及び資器材を集め、集めた人員に調査要領を短時間で伝えることが重要である。ボトルネックとなるのは、警防活動に割く人員との兼ね合いである。阪神・淡路大震災では当時神戸市消防局予防部予防課調査係の主任が、「この状況では火災調査を免除すべき」との

意見が一辺倒のなか、後世に地震火災を伝える義務と今後の地震火災の発生を防止する責任から火災調査を実施する決断を下したという。各消防署への説明時も、激しい非難と猛反発があったという⁽⁵⁾が、結果的にこれが現在の通電火災の予防広報に繋がっている。

都心南部直下地震の被害想定は焼失棟数 112,232 棟（冬・夕方・風速 8m）であるが、これを阪神・淡路大震災と同じ 1 日あたり 1 人 3 棟の速度で調査すると、1 か月間毎日 1,247 人を動員して調査が終了する。震災対応中にこれだけの人数を火災調査に動員することは非現実的である。また、仮に動員できたとしても、火災現場で活動できる立場に無い者すなわち火災調査経験がない職員や、他本部からの応援職員が主力になると考えられ、すると焼損等の損害判定にバラつきが出ることが予想される。そのため、調査の速度を上げる工夫と、火災調査経験のない職員でも一定の質で調査できる損害判定基準及び当該基準に対応している調査の補助ツールが必要である。このような補助ツールがあると、調査の実施時間を短縮する上でも効果的である。

調査完了から罹災証明書交付までの時間を短縮するには、例えば調査結果の集計時間や、自治体と消防署間での情報共有にかかる時間を短縮することが考えられる。

1.2.2 半焼以下のり災棟数を把握する必要性

システム導入による DX のほか、他にできることとして、調査に時間を要する建物にリソースを集中し、全体の調査時間を短縮することがある。

調査に時間を要する建物とは、タワーマンションのような共同住宅や、一見して焼損程度又は世帯のり災程度（以下「焼損程度等」という。）を判定できない建物である。全焼は一見してわかるので、残る半焼以下の建物は慎重に見分する必要がある。共同住宅も、火災のあった全世帯のり災程度を算出するとなると相当に時間を要する。

そこで、調査に行く前の計画段階で、半焼以下の建物の予測を立て、かつ共同住宅の数を把握できると、必要な人員算定の精度が上がり、調査の効率化に資する。

共同住宅は様々な手法で大雑把に把握できるので、本稿では、半焼以下の建物棟数の算定手法の開発を試みた。なお、全焼建物の多くは、航空写真等の入手により一括して全焼と判定できるものと想定し、本稿での検討からは除いた。

1.3 震災時の火災調査を DX する必要性

上記 1.2.1 で述べた課題は、消防だけでなく被害認定調査を実施するすべての自治体に共通しているので、各自治体では被害認定調査及び罹災証明書の発行を迅速に実施するための DX が進んでいる。具体的な取組として、都内の自治体では NTT 東日本の被災者生活再建支援システムを導入し、大分県日田市等では富士フイルムシステムサービス株式会社の被害調査統合システム及び家屋被害判定アプリを導入し、内閣府でもクラウド型被災者支援システムの導入に対して地方財政措置を行うなどがある。

政令市を含む各消防本部も危機感を持っており、度々上記システムの導入等について

て、東京消防庁の調査課にも問合せがある。

また、現在の火災調査体制は、被災者生活再建支援法の制定以前に策定されたものであるが、東京都の被害想定と同様の規模で発生した災害は過去に例を見ない。そのため、今後震災時の火災調査を DX せず手作業で集計する体制を維持するとした場合、現代ならではの問題が少なくとも 2 つ生じる。

1 つ目は、自治体と消防の調査速度の差が広がり続けることである。

自治体による被害認定調査は、既に DX が進み応援職員の活用についてノウハウが蓄積され、導入されているシステムも災害現場での実運用及びアップデートを重ね、日々効率化されている。一方、東京消防庁における現在の震災時の火災調査要領は阪神・淡路大震災後に策定されたものだが、この当時は自治体の実施する被害認定調査がここまで効率化されたことは想定されていない。したがって、いま消防が現状維持を選択すれば、さらに被害認定調査と火災調査の速度はさらに広がる。

2 つ目は、SNS の発達である。熊本自身の際は一次調査の 4 割にもものぼる二次調査依頼があったという⁽⁶⁾。仮に消防職員ごとに損害判定基準に違いがあった場合、SNS 上でその情報が共有され、本来必要のない事案についてまで二次調査・再調査依頼がなされる可能性がある。そのため、DX により調査員によらず均質な調査結果を出せる体制づくりが必要である。

以上のことから、消防が区市町村と同じ被害認定調査用システムを導入した場合の費用対効果を算定する。

1.4 震災時の損害額算定

共同住宅で各世帯のり災程度を決定する速度を上げるためには、損害額算定要領を迅速化することも必要である。そこで、以下で被害認定調査と火災報告取扱要領を比較しつつ問題点を抽出していく。

1.4.1 内閣府による被害認定基準

そもそも災害の被害認定基準は、災害時の被害状況の報告のため、関係各省庁の通達等で定めていたが、判断基準について各省庁で差異があるため、昭和 43 年 6 月に統一された⁽⁷⁾。その後、30 数年が経過し、実情に合わないのではないかと指摘を受け、平成 13 年通知が示され、さらにその後被災者生活再建支援法の改正や災害救助法等の改正を受けて改正された令和 3 年通知が示された⁽⁸⁾。現在の罹災証明書に記載される被害は、令和 3 年通知に基づき区分されている。

平成 13 年通知については、災害に係る住家の被害認定基準運用指針⁽⁹⁾によると、「元来、この基準は、『災害報告取扱要領』（昭和 45 年 4 月 10 日付け消防防第 246 号）に基づく災害報告など各省庁の災害報告の『住家全壊』『住家半壊』等の定義を統一するものとして通知されたものである（昭和 43 年 6 月 14 日内閣総理大臣官房審議室長通知）。」、「平成 7 年 1 月 17 日の阪神・淡路大震災当時、建物被害調査に関して、（中略）

被災市町では、『固定資産評価基準』（昭和38年自治省告示第158号）をベースとして部位別に被害状況を認定すること、『被災度区分判定基準』（（財）日本建築防災協会（当時））及び地震保険の損害調査の見方も参考にすること等を基本とし、被害調査の基準を建築の専門家の支援を受けつつ税務部局で作成した。（中略）被害調査は、税務部局・消防部局・区役所が、他の政令指定都市の税務職員の応援を得て実施した。

このように、住家の被害認定基準を忠実に適用し住戸ごとの被害の程度（「全壊」・「半壊」等）を判定するには著しい労力と膨大な時間を要し、また、固定資産（家屋）評価等の専門的知識を要するものであることから、平成13年に本運用指針を定めるに当たっては、これら被災市町が作成した被害調査の基準等を踏まえ、次のように工学的見地から簡素化を図っている。（後略）」とのことである。

つまり、現在の被害認定基準は、阪神・淡路大震災での反省から簡素化を図ったものである。これにより、固定資産評価における災害時の損耗減点補正の考え方と同様、部位別構成比を定め各部位の損傷率を乗じることで損害割合を算定し積み上げ、また、応急危険度判定等も参考とし、一定の要件に該当する場合にはその段階で個々の部位の損害割合の積み上げをせずに判定するものとなっている。

1.4.2 総務省消防庁による損害算定手法

火災について、各消防本部が火災報告取扱要領に基づく報告を求められているが、これは昭和43年の固定資産税評価基準に記載されている各部位ごとの評点を積み上げ、建築費指数比により物価変動を調整後、おそらくは制定時の耐用年数表（現在の財務省令⁽¹⁰⁾からは大きく乖離している。）に基づき減価償却している。

火災報告取扱要領自体は、阪神・淡路大震災以前の平成6年4月21日に全部改正されたが、阪神・淡路大震災や平成17年7月以降、首都直下地震対策専門調査会等による様々な首都直下地震の被害想定が出て火災損害調査に関する改正は行われなかった。平成25年6月21日に災対法が一部改正されるまでは、火災に関する罹災証明書発行の責務が消防長にあり、各自治体の行う被害認定調査と全く同じ問題を抱えていたものの、火災損害調査に関する改正は行われず、今に至る。

現状のままでは、震災時の損害額算定で大きく2つの不都合が生じる。

1 つ目は、り災建物の建築時価格又は元の構造が不明な場合の対応である。震災時はり災者に会うことが困難な場合もあるので、このとき主要構造部が焼失し構造も不明の全焼建物について、評点を積み上げ損害額を算出することができなくなる。

2 つ目は、水損の評価が被害認定調査における被害認定基準と、火災の損害調査での判定内容がダブルスタンダードになることである。

世帯のり災程度は、消火による水損等も含めて算定するものである。住戸の評価額に収容物の損害額を加えて、水損や汚損による損傷率を乗じる手法にしても、損傷率の評価は被害認定調査の手法と比較して極めて曖昧である。そのため、被害認定調査

と火災損害調査による2種類の調査結果を窓口で持っておき、窓口職員がどちらかを選ぶことに運用となる。さらに、実際には、応急危険度判定の調査と被害認定調査と火災調査の3回が行われるので、被災者は調査を3回受けることになるなど、窓口の混乱につながる。

そこで、東京消防庁では内閣府中央防災会議による首都直下地震の被害想定手法や国交省の治水経済マニュアルを参考にして、損害額の算定を一部迅速・効率化するための表の作成を試みた。

2. 導出

2.1 半焼以下棟数の算定

半焼以下棟数の算定においては、被害想定で既に得られた数字又は実際の消火活動の過程で得られた全焼棟数を用いる。そこでまずは簡易的に中心部が全て全焼すると仮定し、以下のモデルに沿って全焼建物の周囲にある何棟が焼損したか（焼け止まったか）を求める。そして、求めた式による半焼以下棟数の理論値が2015年から2024年までの10年間で発生した全焼火災の半焼以下棟数と比較する。

- ① 全焼した建物（右図、黒塗り）が1棟ある場合、東西南北に位置する建物が半焼以下の建物（右図、斜線）となる。
- ② 全焼した建物が複数棟ある場合、全焼建物が正方形に配置されているものとみなし、当該正方形の東西南北に位置する建物が半焼以下の建物となる。
- ③ 上記①及び②の東西南北に位置する建物棟数の合計は、全焼棟数が n 棟（ n は2以上の整数）のとき $4\sqrt{n}$ で表す（小数点以下は四捨五入する。）。

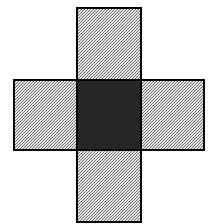


図 延焼モデル

すなわち、り災棟数を t とすると、 $t = n + 4\sqrt{n}$ であり、これを全焼棟数 n について解くと、全焼棟数 n はり災棟数 t から以下の式により求められる。

$$n = t - 4\sqrt{(t+4)} + 8$$

なお、半焼火災についても同じモデルが当てはまると予想されるので、同様に検証する。

2.2 DXによる費用対効果

自治体と同様のシステムを導入した場合に得られる費用対効果を算出するため、システム導入により省略可能な事務を挙げ、それぞれにつき省略できる時間を合計する。

省略できる事務1件あたりの時間は、当庁内での震災訓練で実際に要した時間及び通常の事務からの推定値を用いる。

件数は被害想定の出火件数又は上記2.1の式を被害想定112,232棟に当てはめ算定した半焼以下棟数（28,833棟）を用い、最小1回で済む事務は1としている。

なお、能登半島地震では珠洲市において360°カメラで撮影した市街地の様子を熊

本県職員が熊本にいながら調査した事例があるので、同じ手法で半焼以下建物の火災調査を実施した場合に省略できる時間も示す。

2.3 損害額の算定手法

損害額の算定は、住家、非住家、車両に分けて行う。住家及び非住家の建物の損害額については、内閣府中央防災会議、首都直下地震対策検討ワーキンググループの被害想定手法⁽¹²⁾にならい、（被害量）×（復旧単価）の考えのもと算出する。

2.3.1 住家及び家財の損害額

以下の式により算定する。

$$（住家の損害額）＝（建物の損害額）＋（家財の損害額）$$

$$（建物の損害額）＝（構造（木造／SRC造等）別の1㎡あたりの工事費用）
×（残存率）×（損害面積）$$

$$（家財の損害額）＝家財評価表による（損害額不明時）$$

1㎡あたりの工事費用は、東京都都市整備局の令和5年の建築統計年報の構造別・地域別着工建築物をもと、コンクリートブロック造をその他造にまとめたうえで、木造、SRC造、RC造、S造、その他造について区市別の表を作成する。

家財評価表は、損害保険ジャパン株式会社の家財評価表を準用する。

残存率は、経過年数を「東京の土地2023」⁽¹³⁾から区部平均の築後年数である28年とし、各構造別に所定の耐用年数を用いて算出することとした。残存率の算出方法は、当庁の要領と火災報告取扱要領とで異なり、当庁内の手法から特に改めた点もないので、省略する。

2.3.2 非住家の損害額

非住家の焼損床面積で計上した範囲の損害額は、以下の式により算出する。

$$（損害額）＝（建物損害額）＋（収容物の損害額）$$

建物損害額は、以下の式で算出した時価を用い、他は従来のとおり算出する。

$$（時価）＝（償却資産評価額）×（残存率）$$

償却資産評価額は、令和3年経済センサスから業種別従業員1人あたり資産価値評価額及び業種別1事業所あたり従業員数を算出し、以下により算出する。

$$（業種別従業員1人あたり償却資産評価額）×（業種別1事業所あたり従業員数平均）$$

収容物の損害額は、以下の式により算出する。

$$（収容物の損害額）＝（在庫資産評価額）×（延べ面積に占める焼損床面積の割合）$$

在庫資産評価額は、同じく令和3年経済センサス⁽¹⁴⁾から業種別従業員1人あたり在庫資産評価額及び業種別1事業所あたり従業員数を算出し、以下により算出する。

$$（業種別従業員1人あたり在庫資産評価額）×（業種別1事業所あたり従業員数平均）$$

2.3.3 車両の損害額

車両の損害額は、治水経済調査マニュアルで示されている水害による損害額想定手

法にならない、以下の式により算定する。

（1 台当たりの車両の平均価格）

$$= (\text{車種別の価格} \times \text{東京の車種別台数}) / (\text{東京の全体の台数})$$

なお、火災報告取扱要領の用途分類に沿い、参考数値が得られる範囲で車種別（普通乗用車、普通貨物、バス、小型四輪貨物、小型乗用車、小型二輪、軽自動車）の平均価格も算定した。これは初度登録年別自動車保有車両数⁽¹⁵⁾のほか、損害保険ジャパン株式会社から特別に受領した数表をもとにしたため、本稿では省略する。

3. 結果・検証

3.1 半焼以下棟数の算定

2015 年から 2024 年までの 10 年間で発生した全焼火災について、実際の全焼棟数と半焼以下棟数の期待値（以下「実測値」という。）と上記 2.1 で求めた半焼以下棟数（以下「理論値」という。）を比較すると、表 1 のとおりとなる。

表 1. 全焼火災における半焼以下棟数

り災棟数	実測値	理論値	事例数
2	1	2	117
3	2	3	146
4	3	3	129
5	4	4	96
6	4	5	55
7	5	5	37
8	6	6	24
9	7	6	16
10	7	7	11
11	8	7	7
12	8	8	5
13	7	8	3

（決定係数（ R^2 ）：0.903 平均絶対誤差（MAE）：0.5 平均二乗誤差（MSE）：0.5）

上記モデルは 4 棟に延焼することを仮定しているののでり災建物が 3 棟以下の場合使用に適さない。4 棟以上のみのデータで計算すると、決定係数は 0.862、MAE と MSE はいずれも 0.4 となる。

また、半焼火災における部分焼以下棟数について比較すると、表 2 のとおりとなる。

全焼火災における半焼以下棟数のモデルと同様、4 棟に延焼することを仮定しているののでり災建物が 3 棟以下の場合使用に適さない。4 棟以上のみのデータで計算すると、決定係数は 0.919、MAE と MSE はいずれも 0.8 となる。

表 2. 半焼火災における部分焼以下棟数

り災棟数	実測値	理論値	事例数
2	1	1	298
3	2	2	201
4	3	3	145
5	4	3	63
6	5	4	42
7	6	5	21
8	6	5	6

（決定係数（ R^2 ）：0.973 平均絶対誤差（MAE）：0.6 平均二乗誤差（MSE）：0.6）

3.2 DXによる費用対効果

火災件数 623 件との想定をもとに半焼以下棟数は 28,833 棟と算出し、自治体と同様の被害認定調査用システムを導入することで省略できる事務及び時間を表 3 のとおり求めた。これによると、遠隔調査を実施しなければ約 5.3 万時間、遠隔調査を実施すれば約 10.9 万時間の省略が見込まれる。

表 3. 被害認定調査用システムの導入により省略できる時間

時期	省略可能事務	1 件あたりの 時間（分）	件数 （件）	時間計 （時間）
調査計画時	火災地点を地図に転記	5	623	52
区市町村との データ共有	区市町村との連絡調整	480	1	8
	調査票の搬出入	480	1	8
	互いの不足データの整理、抽出、提供依頼	15	112,232	28,058
	消防用調査票（手書き）から区市町村用調査票への転記・読み込み	25	28,833	12,014
集計時	消防用調査票（手書き）を Excel へ転記	5	112,232	9,353
	区市町村と共有したデータとの異同確認	2	623	52
※遠隔調査時	出向の往復時間	40	83,399	55,599
合計				53,217 ※ 108,817

3.3 損害額

3.3.1 住家の損害額算定要領

住家の損害額を算定するにあたり必要となる、構造別 1 m²あたりの工事費用は、表 4 のとおりである。

表 4. 構造別 1 m²あたり工事費用

		木造	SRC 造	RC 造	S 造	その他
1 m ² あたり工事費用（万円）	区部	223,398	591,447	402,375	440,220	209,180
	市部	198,058	379,985	372,022	292,870	

3.3.2 非住家の損害額算定要領

非住家の損害額を算定するために必要となる資産価値評価額及び在庫資産評価額は、表 5 のとおりである。

表 5. 償却資産評価額及び在庫資産評価額表

	償却資産評価額 (千円)	在庫資産評価額 (千円)
農業	17,155	4,455
林業	17,335	4,502
漁業	15,238	3,957
鉱業	400,235	126,473
建設業	58,808	85,017
製造業	68,953	61,382
電気・ガス・熱供給・水道業	1,928,652	138,352
情報通信業	175,270	35,879
運輸業	265,239	51,966
卸売・小売業	82,383	74,988
金融・保険業	12,324	3,405
不動産業	841,512	381,157
飲食店、宿泊業	13,757	1,943
医療、福祉	31,753	1,819
教育、学習支援業	21,050	4,184
複合サービス事業	16,155	4,464
サービス業（他に分類されないもの）	50,379	7,997
公務（他に分類されないもの）	117,321	32,420

3.3.3 車両の損害額算定要領

車両 1 台当たりの平均価格を算定すると、278 万円となる。

4. 考察

4.1 棟数のモデルについて

本稿のモデルは実際の火災で発生するり災棟数を非常に良く近似しているので、実用に耐えると考えられる。半焼以下棟数が $4\sqrt{n}$ （全焼棟数）により近似できた理由の1つとしては、都内で多数のり災棟数が計上される火災は木密地域のようなブロック内火災が多いことが考えられる。また、半焼以下棟数からさらに延焼することを想定しなくてもモデルが実測値に合うものと考えられる。

このことから、例えば海岸沿いで東西に細長く建物が分布している箇所で延焼した場合には、（延焼範囲両端の建物棟数） $\times 2$ を半焼以下棟数と想定するなど、モデルを応用できる可能性がある。

運用面では、当該モデルを用いることで、り災建物の多い地域に必要な人員を見積もり投入できるようになった点で画期的といえる。

4.2 震災時の火災調査をDXする必要性及び費用対効果

本稿では挙げた事務及び事務1件あたりの時間は確実な数字のみを計上した。実際には書類を検索する時間や、書き損じを修正する手間、処理済みの書類の仕分け、区市町村との連絡調整でさらに時間がかかるものと考えられる。半焼以下棟数が28,833棟と多いことから、事務1件あたり1分の省略が481時間（20日）の誤差につながる。このことから、システムの導入効果は非常に効果が高いといえる。

5. 結論

半焼以下棟数は全焼棟数を n としたとき、 $4\sqrt{n}$ で推定できる。これに基づき、自治体と同じ被害認定調査用のシステムを導入した場合、約5.3万時間の節約効果が得られる。

6. 今後の展望

6.1 震災時の火災調査用システムの導入推進

被害認定調査用のシステムは既に述べたとおり、非常に有用である。大規模に使用され、かつ有用だからこそ、初期費用や維持費が高額になる。それでも早期の罹災証明書発行は被災者支援の迅速化に直結することから、災害関連死の軽減の方向性からも非常に重要な事業である。今後とも火災調査用システムの導入を目指す。

6.2 通常時の損害額算定業務の廃止、損害割合の記録への転換

今後の震災対策を含む火災予防行政の展開を踏まえ、通常時も含めた損害額を算定することに係る私見を述べさせていただく。

通常火災では現手法で損害額を求めることよりも、建物の何割が焼損したか（以下「損害割合」という。）を記録すべきである。

現在の手法で損害額を求めることのデメリットは2点ある。

1つ目は消防活動や予防広報などの効果を評価しづらいことである。

現在の火災報告取扱要領は統計の連続性を優先し昭和43年の固定資産税評価基準及び過去の耐用年数表を使用していると考えられるが、その立場を採用する場合、参照元の基準が改訂を重ねるごとに火災調査で算定した火災損害額は絶対尺度としての性格を失い、相対尺度としての意味のみが残る。この場合の相対尺度とは、損害割合を指す。消防業務の効果について事業評価するうえで絶対尺度として使用できない火災損額というデータを用いると、それが絶対尺度として見えるので誤解を招くので使用できない。現に火災の規模を表すとき、火災損害額ではなく延べ面積に対する焼損床面積の大きさや、焼損程度といった大雑把な相対尺度で表すのが通常である。そして、それらが太雑把であるため、多くのデータを集めても消防活動や予防広報の効果を事案ごとに比較できないでいる。その結果、1から数件程度の火災に基づく至極短期的な視点か又はあらかじめ定まった「べき論」のもとに事業が決定され、知見の蓄積と裏腹に数十年間変化のない予防広報が続く事態を招いている。

2つ目は、損害額の算定時に減価償却を行うため、火災損害が他省庁の想定と比較して過小評価になることである。

被害想定は事業の目標を設定するうえで使用され、実際の算定は事業の結果を評価する際に使用されるものである。したがって、被害想定が金額が小さければ予算を削られ、被害想定額が実際に算定した損害額よりあまりに大きくなれば、その後火災対策用の予算が削られる。

震災の被害想定をみるに、内閣府や東京都による被害想定では、減価償却は行われていない。水害の被害調査用に国交省の作成した治水経済調査マニュアル（案）でも同様である。この状況下で消防のみが実際の火災被害額を減価償却したうえで算定すると、元の評価額から1割に減価償却されることもあるため、火災の被害が著しく過小評価されてしまう。これでは必要な予算まで削られかねない。したがって、減価償却をしていない損害額も算出できるよう、普段から損害割合を記録し、データを蓄積・分析した方がよい。参考まで、本稿では上記の理由から減価償却を行わなかったが、減価償却をすると損害額は1/10～1/2倍になる。

一方、建物の損害を損害額ではなく損害割合を記録することのメリットは3点ある。

1つ目はインフレ等物価変動の影響を受けないことである。将来にわたり消防活動や予防広報などの効果を同じ尺度で比較検討できるなど、事業を長期的に分析し、評価する指標となる。

2つ目は、損害割合が分かっているならば後から建物の損害額を算出可能なことである。被害想定手法と同じ方法で一律に建物の時価を求めたとしても、少なくとも火災損害の想定と実際の損害を比較でき、一定の根拠もあるので使途が生まれると期待できる。

なお、現行の方法により算出した火災損害額は実勢価格との整合性に不安があるなどの理由から、広報などには使用されていない。

3 つ目は、火災損害調査を簡略化できることである。特に震災時において重要なことだが、専門性が必要となる手法で損害額を算出しては応援職員を活用できないなど、致命的な問題に繋がる。したがって被害認定調査にならい、誰でも調査できるよう損害割合の算定要領を見直すべきである。例えば、固定資産税評価基準の策定時に使用される標準家屋の部位別構成割合をもとに、部位ごとの焼損の有無・程度に応じて点数を設定し、それらを合計する、という簡単なルールを作るべきである。そして、損害割合は積み上げた点数により決定する方がより公平な基準になる。

現在、火災調査時に調査員が苦勞して少なくない時間を費やして算出した火災損害額が活用されている資料・施策を見たことがない。損害額ではなく、損害割合を記録することにすれば、職員の負担軽減と並行してデータの利活用が進むはずである。

7. 謝辞

本研究にあたり、東京消防庁予防部調査課損害調査係の嶋崎氏及び川崎氏並びに現豊島消防署予防課危険物係の山元氏には損害額算定用の数表作成にあたり、多くの作業をしていただいた。深く感謝申し上げる。

8. 参考文献

- (1) 「災害対策基本法等の一部を改正する法律による改正後の災害対策基本法等の運用について」（平成 25 年 6 月 21 日府政防第 559 号、消防災第 246 号、社援総初 0621 第 1 号）
- (2) 「災害の被害認定基準について」（平成 13 年 6 月 28 日、府政防第 518 号）
- (3) 「災害の被害認定基準について」（令和 3 年 6 月 24 日、府政防第 670 号）
- (4) 「災害に係る住家被害認定調査実施体制の手引き」（令和 6 年 5 月、内閣府）
- (5) 平成 28 年熊本自身関西広域連合支援活動の記録（平成 29 年 1 月 26 日、関西広域連合）
- (6) 「第 62 回火災科学セミナーテキスト」（日本火災学会）
- (7) 「災害の被害認定基準の統一について」昭和 43 年 6 月 14 日内閣総理大臣官房審議室長通知
- (8) 「災害に係る住家被害認定業務実施体制の手引」（内閣府）
- (9) 「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」（内閣府）
- (10) 減価償却資産の耐用年数等に関する省令（令和 6 年財務省令第 63 号）
- (11) 「首都直下地震等による東京の被害想定報告書」（令和 4 年 5 月 25 日、東京都防災会議）
- (12) 「首都直下地震の被害想定項目及び手法の概要～経済的被害～」（平成 25 年 12 月、中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ）
- (13) 「東京の土地 2023（土地関係資料集）」（東京都都市整備局）
- (14) 「令和 3 年経済センサスー活動調査結果」（総務省・経済産業省）
- (15) 「初度登録年別自動車保有車両数」（令和 4 年 10 月、一般財団法人自動車検査登録情報協会）
- (16) 「東京の土地利用 令和 3 年東京都区部」用途別建物棟数（区部）（表-3） 東京都都市整備局
- (17) 「東京の土地利用 令和 4 年多摩・島しょ地域」用途別建物棟数（全域）（表 1-2）（東京都都市整備局）
- (18) 「令和 6 年度 住宅経済関連データ」<1>、2、(2)（国土交通省）
- (19) 「令和 6 年度 住宅経済関連データ」<1>、1、(1)（国土交通省）

- (20) 「首都直下地震等による東京の被害想定」第6章、6.8（令和4年5月25日、東京都防災会議）
- (21) 「News Release」（令和6年8月20日、一般財団法人自動車検査登録情報協会）

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

生理学的指標を用いた
消防隊員の緊張度に関する研究

東京消防庁安全推進部安全技術課
舘岡俊樹、宮尾賢、山室直輝

1. はじめに

消防隊員であっても火災に出場すると緊張したという経験は珍しくない。スポーツの世界では、緊張や興奮のレベルが高すぎても低すぎてもパフォーマンスが低下すると言われている¹⁾。消防の場面において、火災現場で発生する火煙による視界不良や熱気により、消防隊員は過度の精神的な緊張を感じる事が予想される。

火災性状、消防装備についての研究は多数行われているが、火炎を用いて火災現場を再現した消防隊員の緊張についての研究は、著者の知る限り報告例はない。当庁の先行研究では、災害を知らせる出場ベルが消防職員にどの程度生理的・心理的に緊張を与えるかを測定した研究²⁾や、火炎を用いずに室内温度を火災環境に近づけ、屋内で消防活動を模した活動を行い消防隊員の生理的・心理的变化を検証した事例³⁾がある。しかし、火災現場での消防隊員の緊張を知るためには、実際の火炎を用いて火災現場を再現した状況をつくり、各種測定機器を用いて消防隊員の緊張を定量化する必要がある。

緊張状態を評価する手法の一つとして脳波を測定する方法がある。脳波は脳の活動状態を簡易に計測する手法であり、その信号成分は音・光などの外的刺激や意思・状態などの内的要因によって変化し、人間の内部状態を強く反映している⁴⁾。火災現場では上記のような外的な要因が多く、人間の内部状態である緊張を評価するために脳波計を用いることは有効であると考えられる。

そこで本研究は、脳波計を始めとする緊張状態を評価する各種測定機器を用いて、火災現場を想定した火炎等が消防隊員の精神的緊張に与える影響を定量化することを目的とする。

2. 方法

2.1 概要

各測定機器を装着した被験者の脳波、自律神経、心拍数及び主観的緊張度を測定し、安静時及び火炎目視時の各測定項目を比較した。

なお、脳波計を装着したまま、消防活動（運動）を行うと、脳波の測定結果にノイズが発生したため、全測定について座位静止状態で測定を行った。消防活動時と座位安静時の脳波の測定結果のグラフを図1と図2に示す。

本研究は東京消防庁調査研究倫理審査会の承認を得て実施した。



図1 消防活動時に測定した脳波



図2 座位安静時に測定した脳波

2.2 測定期間

令和6年12月19日から令和7年1月20日

2.3 被験者

東京消防庁職員健康管理規程による就業区分が「W1」（通常勤務可）に属する消防職員のうち、本研究を実施するにあたり同意を得られた職員3名を被験者とした。

2.4 場所

本測定は以下の場所で行った。AFTとは、Advanced Fire-fighting Trainingといい、ガスを燃焼させることで擬似的な火炎を再現できる施設であり、燃焼させるガスの量を調節することで、火炎の大きさを制御できる。

ア 東京消防庁幡ヶ谷庁舎2階 運動学実験室(写真1)

イ 東京消防庁 AFT(写真2)

ウ 東京消防庁 燃焼実験棟(写真3)



写真1 運動学実験室



写真2 AFT



写真3 燃焼実験棟

2.5 環境

2.5.1 安静時（運動学実験室）

安静時の測定は、室温 20℃、湿度 31% で測定を行った。

2.5.2 AFT の火炎目視時

AFT の火炎目視時の測定では、図 3(a) の配置で測定を行った。測定時の環境は気温 9℃ から 10℃、湿度 32% から 37% であった。

2.5.3 燃焼実験棟の火炎目視時

燃焼実験棟の火炎目視時の測定では、図 3(b) の配置で測定を行った。測定時（複数の日で実施）の環境は、気温 4℃ から 11℃、湿度 51% から 78% であった。

2.5.4 火炎と被験者の距離

AFT の火炎目視時、燃焼実験棟の火炎目視時の火炎と被験者の距離は 4m とし、被験者が熱さを感じた時は、安全のため適宜火炎から離れてよいこととした。

2.6 服装

安静時の測定は、執務服のみとした。AFT 及び燃焼実験棟の火炎目視時は、完全着装（防火衣上下、防火帽、呼吸器、ケプラー、長靴）とした。

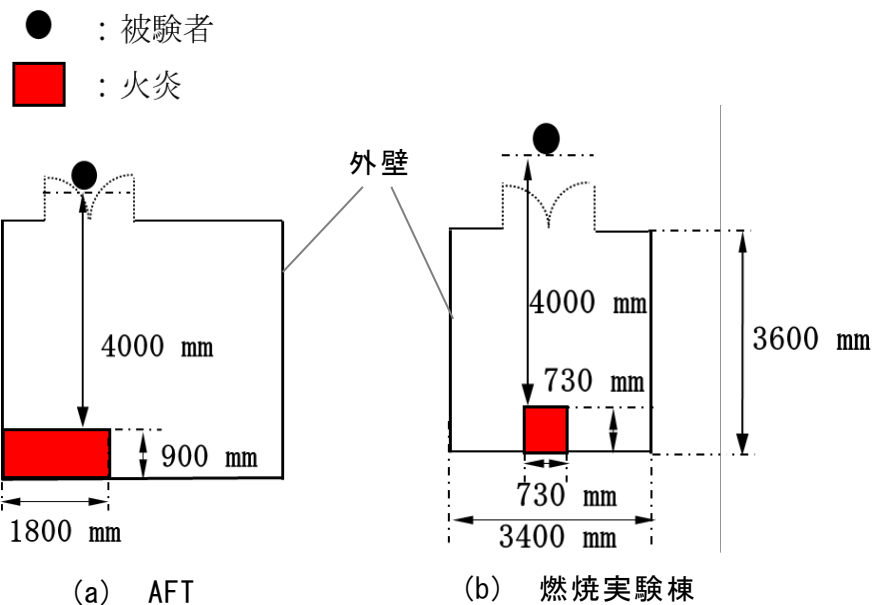


図3 AFTと燃焼実験棟の測定位置（平面図）

2.7 測定の流れ

2.7.1 安静時

安静時の測定は表1のとおりとし、各火炎目視時の測定の流れから、火炎の目視を除いたものとした。測定時間1分から5分までの間は、座位安静（リラックス）とし、その後、自律神経、脳波及び主観的な緊張度の測定を行った。

表1 安静時の各測定項目と測定時間

安静時															
測定時間[分]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
座位安静															
自律神経測定															
脳波測定															
主観的緊張度測定															
心拍数測定															

2.7.2 AFTの火炎目視時

AFTの火炎目視時の測定は表2のとおりとした。測定時に各測定項目の値を安定させるため、測定時間1分から5分までの間は、測定位置直近で座位安静（リラックス）させた。その後、自律神経の測定を行い、7分の段階で測定位置に移動し、再び座位の状態では火炎の目視を行った。その後13分から各測定を行った。

なお、火災現場の状況により近づけるため、被験者が火炎を目視している間、被験者の周囲に2名配置し、火災現場におけるポンプ隊長及びポンプ隊員の活動を模擬させた（写真4）。

表2 AFTの火炎目視時の各測定項目と測定時間

AFTの火炎目視時															
測定時間[分]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
座位安静															
火炎を目視															
活動内容指示															
自律神経測定															
脳波測定															
主観的緊張度測定															
心拍数測定															



写真4 測定の様子（AFT）

2.7.3 燃焼実験棟の火炎目視時

燃焼実験棟の火炎目視時の測定は、表3のとおりとした。本測定時の流れは、AFTと同様である（写真5）。燃焼実験棟の火炎の大きさは、燃焼実験棟の排気処理能力を勘案して、消火器の技術上の規格を定める省令（昭和三十九年自治省令第二七号）の能力単位測定で使用される第二模型（1単位クリブ）の0.5単位とした。また、着火剤として危険物第四類第一石油類のn-ヘプタン300mlを用いた。

表3 燃焼実験棟の火炎目視時の各測定項目と測定時間

燃焼実験棟の火炎目視時															
測定時間[分]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
座位安静															
火炎を目視															
活動内容指示															
自律神経測定															
脳波測定															
主観的緊張度測定															
心拍数測定															



写真 5 測定の様子（燃焼実験棟）

2.8 測定項目

2.8.1 脳波（ β 波）

脳波の測定は、脳波計アルファテック 7（脳力開発研究所製、写真 6）を用いた。本研究では、表 4 のように脳波の中でも緊張や焦燥感等の大脳の活動状態を反映する β 波について、全脳波に占める β 波の割合を算出した。

データ分析の際は、5 分間の右脳 β 波の割合を平均したものを用いた。



写真 6 脳波計

表 4 脳波の種類と特徴⁵⁾

β 波 (15～26Hz)	緊張感や焦燥感、不安やイライラなどの大脳の活動状態を反映する脳波
ファスト α 波 (12～14Hz)	一生懸命に集中した状態で、リラックスしておらず、あまりゆとりがない時の脳波
ミッド α 波 (9～11Hz)	リラックスした集中状態で頭が冴えている時の脳波。
スロー α 波 (7～8Hz)	無意識集中、急速集中など、意識が低下したまどろみの状態の脳波。
θ 波 (4～6Hz)	浅い睡眠状態で、意識がかなり低下している時の脳波。

2.8.2 自律神経

自律神経測定センサ（VM302、株式会社疲労科学研究所、写真 7）を用いて、交感神経と副交感神経のバランス（LF/HF）を測定した。2 分間の測定を行い、測定のタイミングは、一回目は 6 分から 7 分まで、二回目は 13 分から 14 分までとした。



写真7 自律神経測定センサ

2.8.3 主観的な緊張度

主観的な緊張度は、VAS 法（VAS： Visual Analogue Scale 法）を用いた。

VAS 法は記録用紙に図4のような水平100mmの直線が予め記されており、この直線の左端を「全く感じない」、右端を「耐えられない」とし、測定時に被験者が感じた緊張の程度を直線上に印を記させるものである。被験者が記した印の位置について、左端からの距離（mm）を求め、主観的な緊張度の値（0～100）として用いた。

記録するタイミングは、脳波測定開始直前、脳波測定終了直後の計2回とした。データ分析の際は、脳波測定後から脳波測定前を引いた値を用いた。

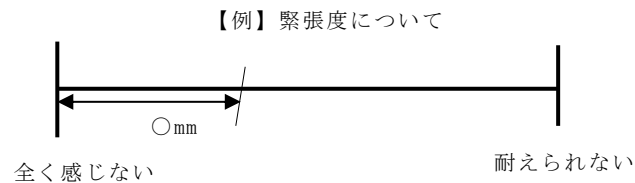


図4 Visual Analogue Scale 法

2.8.4 心拍数

心拍数は、心拍数計 RS800 及び測定器 H10（共にポラール社製、写真8）を使用した。測定器を取り付けたバンドを被験者の胸部に装着し、測定した。データ分析の際は、安静時は8分から12分の間の平均値、AFT 及び燃焼実験棟の火炎目視時は、各火炎を目視している期間の平均値を用いた。



写真8 心拍数

2.9 測定中止基準

以下のア～エのいずれかの条件を満たした場合は、安全のため測定を中止すること

とした。

- ア 被験者から実験継続が困難であると自己申告があった場合
- イ 測定者が被験者の実験継続が困難であると中止を判断した場合
- ウ 深部温度が 38.5℃に到達した場合
- エ 以下の3つの項目のうち2つ以上の項目が該当した場合
 - (a) 深部温度が 38.0℃に到達した場合
 - (b) 心拍数が以下の式で算出される値を超えた場合

$$206.9 - (0.67 \times \text{年齢})$$
 - (c) 主観的緊張度の値が 80mmを超えた場合

3. 結果

各条件（燃焼実験棟の火炎目視時、AFT の火炎目視時及び安静時）の測定結果（平均値±標準偏差）をグラフに示す。

3.1 脳波（β 波）

全脳波に占める β 波の割合の結果を各条件別に図 5 に示す。結果として、燃焼実験棟の火炎目視時の β 波の値が最も高い結果となり、安静時、AFT の火炎目視時は、ほぼ同じ値となった。

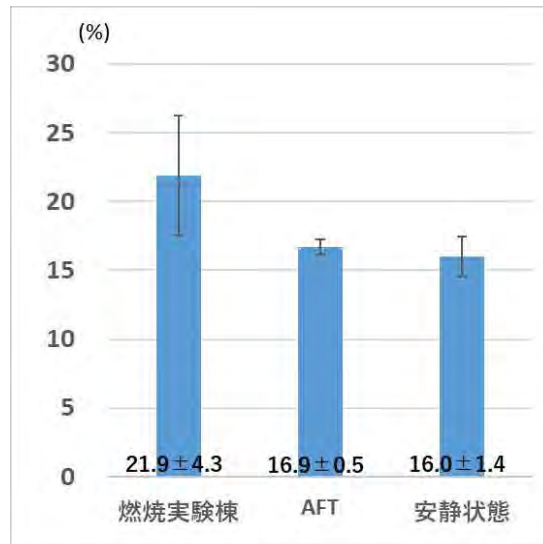


図 5 全脳波に占める β 波の割合

3.2 自律神経系

交感神経と副交感神経のバランス（LF/HF）の結果を各条件別に図 6 に示す。結果として、燃焼実験棟の火炎目視時が、最も高い結果となり、安静時、AFT の火炎目視時は、ほぼ同じ値となった。

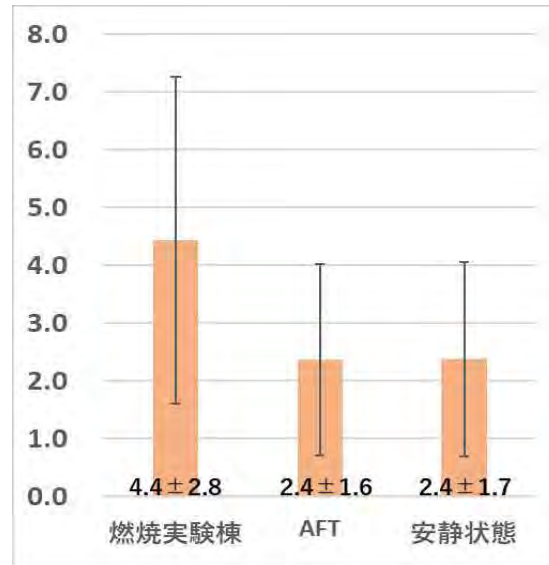


図6 自律神経

3.3 心拍数

心拍数の結果を各条件別に図7に示す。結果として、燃焼実験棟の火炎目視時、AFTの火炎目視時、安静時の順に心拍数が高い結果となった。

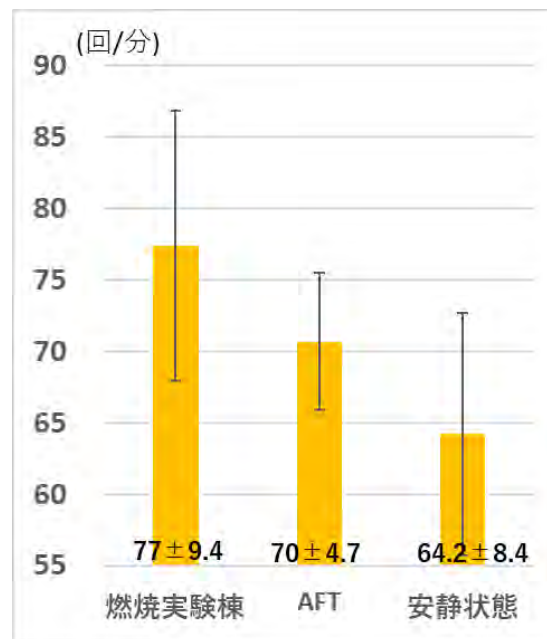


図7 心拍数

3.4 主観的緊張度

主観的緊張度の結果を各条件別に図8に示す。結果として、燃焼実験棟の火炎目視時、AFTの火炎目視時、安静時の順に値が高い結果となった。

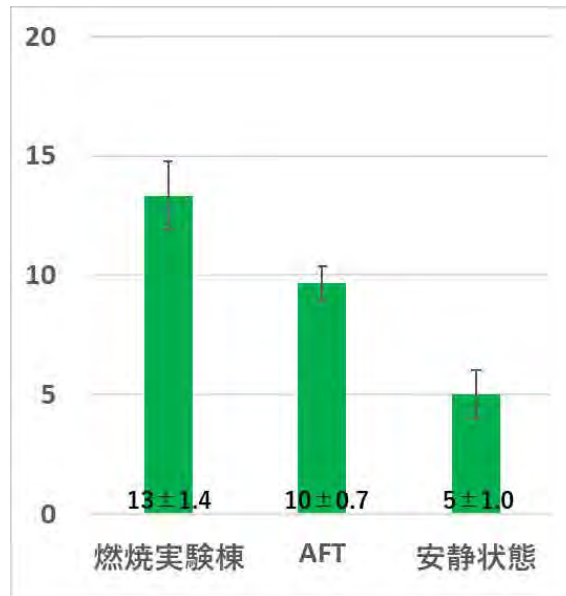


図8 主観的な緊張度

4. 考察

4.1 脳波について

本研究において、緊張を定量的に評価するために、脳波計を頭部に装着しβ波を測定した。また、より安定した（ノイズの少ない）脳波を取得するために座位静止状態での測定を行った。

本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時のβ波の値が最も高い結果となった。本結果となった理由として、①燃焼実験棟の火炎は制御不能であったこと、②燃焼実験棟の火炎から煙・臭気や木材の燃焼音が発生したためと考えられる。

AFTの火炎は、ガスを燃焼させているため、火炎が制御可能である。一方、燃焼実験棟の火炎は、木材を自然燃焼させているため、燃焼速度に緩急が発生し、急に燃焼速度が速くなる場合もあるため、被験者は恐怖心から緊張を感じた可能性がある。

また、燃焼実験棟の火炎とAFTの火炎を比較すると、燃焼実験棟の火炎は煙、煙の臭気及び木材の燃焼音（破裂音等）が多く発生する。一般的に、音や匂いは脳波の影響を与えるといわれている⁶⁾⁷⁾。本研究においては、木材を燃焼させた際に発生した煙、臭気、木材の燃焼音の影響で、視覚、嗅覚、聴覚が亢進され、被験者の感覚を亢進させた可能性があり、燃焼実験棟の火炎目視時のβ波の値が最も高い結果となったと考えられる。今後、煙（視覚）、煙の臭い（嗅覚）、燃焼音（聴覚）の各要因について実験を行い、緊張が高まるかどうか調べていく必要がある。

なお、本報告書をとおして、「火炎を目視」という用語を使用しているが、火炎により視覚以外にも脳が刺激を受けている可能性があるため、「火炎を確認」という用語が正しいと考えられる。

4.2 自律神経について

本研究では、自律神経の状態から緊張度を評価するために LF/HF を測定した。LF/HF は、交感神経（LF）と副交感神経（HF）の全体のバランスを表し、数値が高いほど緊張していることを表している⁸⁾。

本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時の LF/HF は、安静時及び AFT の火炎目視時より高くなった。この結果から、安静状態時、AFT の火炎を目視時と比較すると、燃焼実験棟の火炎目視時の方が緊張していると考えられる。このような結果になった理由として、脳波の考察と同様な理由が考えられる。

4.3 心拍数について

本研究では、緊張度を評価するために心拍数を測定した。一般的に、人間は緊張すると心拍数が上昇するといわれている⁹⁾。

本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時の心拍数は、AFT の火炎目視時より高くなり、さらには安静時より 10(回/分)以上高い結果となった。つまり、本研究においては、心拍数からみると、燃焼実験棟の火炎目視時の方がより緊張している可能性があるということが分かった。その理由として、脳波の考察であげた煙、臭気、燃焼音の存在が考えられる。

しかし、本研究において、AFT の火炎目視時及び燃焼実験棟の火炎目視時は、座位安静の位置から実験位置まで 3m 程移動する必要があった。一方、安静時は、座位安静から起立せずにそのまま心拍数の測定を行った。つまり、AFT 及び燃焼実験棟の火炎目視時の心拍数は、起立動作及び測定位置までの移動による運動負荷を反映した可能性も考えられ、今後実験を行う際には実験手法に注意していく必要がある。

4.4 主観的な緊張度について

本研究では、生理学的な指標である脳波、自律神経、心拍数とは別に、主観的な緊張度を測定した。本研究の結果、燃焼実験棟の火炎目視時の主観的な緊張度が AFT の火炎目視時及び安静時より高くなり、生理学的指標と同じ結果となった。このことから、本研究で採用した生理学的指標については、消防活動時の緊張度を評価する指標として誤っていないと考えられる。

5. 結論

本研究の結果、脳波、自律神経、心拍数、主観的な緊張度のいずれの測定項目も、安静時より AFT の火炎目視時及び燃焼実験棟の火炎目視時の値が高くなった。このことから、生理学的にみると、火炎を見慣れている消防隊員でも、火炎を確認することによって精神的に緊張することが分かった。

6. 今後の課題

6.1 燃焼実験の回数制限について

本研究で燃焼実験棟の火炎目視時の測定を行う場合、燃焼に使用するクリブの準備が必要であり、また再測定を行う場合には燃焼実験棟内の温度が低下するまでの時間が必要になり、実験回数を多くするのが困難であった。一回の実験で複数人同時測定が可能な脳波計を導入する等が望ましいと考えられる。

6.2 熱流束の測定について

本研究において、AFTの火炎目視時と燃焼実験棟の火炎目視時では、火炎と被験者の距離を同じにして実験を行った。しかし、距離が同じであっても、熱流束の違いにより被験者が感じる温度が異なる可能性がある。今後、同様の実験を行う際に、実験手法について再度検討する必要がある。

6.3 精神的緊張と消防活動能力の関係について

本研究では、火炎が消防隊員の精神的緊張に与える影響を調査することを目的とした。しかし、実際の消防活動では、火炎による精神的緊張が消防活動能力にどのように影響を与えるかが重要である。

本研究においては、身体的な動きによりノイズが発生したことで、消防活動中の脳波を測定することは困難であり、消防活動能力に精神的緊張が与える影響を評価することは出来なかった。先行研究では、歩行中でも脳活動を測定しているものもあり¹⁰⁾、またVR等を活用することにより、身体的な動きを伴わずに消防活動能力を評価できる手法も考えられる。今後、精神的緊張が消防活動能力に与える影響を評価する手法について検討を行い、消防活動能力を最も発揮できる精神的な緊張度を明らかにすることで、将来的に精神的な緊張度をコントロールできる訓練手法の開発に繋げていく必要があると考える。

7. 謝辞

本研究の実施にあたり、東京理科大学の柳田信也教授にはお忙しい中、多くの貴重な知見を賜り、深く感謝いたします。そして、本研究の趣旨に賛同し、調査にご協力いただいた職員の皆様に心より御礼申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 日本スポーツ心理学会：スポーツメンタルトレーニング教本 三訂版, pp.109-113, 大修館書店, 2016
- 2) 手柴英喜ほか 3 名：出場ベル等の音が消防職員に及ぼす心理的・生理的影響に関する研究について、消防科学セーフティレポート第 29 号、平成 4 年
- 3) 火災室内の検索救助活動時における消防隊員の生理的・心理的变化に係る検証、消防科学セーフティレポート第 45 号、平成 20 年
- 4) 福田修ほか 2 名：ニューラルネットワークによる時系列脳波パターンの識別、信

学論誌（D-II）, J80-D-II、7、pp.1896-1903(1997-7)

5) 脳波測定器 アルファテック (Alphatec) ニューロフィードバック装置, <http://www.nouhasokutei.jp>, (参照 20250320)

6) 田原靖彦ほか 1 名：快・不快音環境が脳波特性に及ぼす影響, 騒音制御, vol.37, No.2, pp.117-123, 2013

7) 古賀良彦：脳波の現場と今後の展望、臨床検査、Vol57, No.10, pp.1070-1076, 2013

8) 株式会社疲労科学研究所測定結果の見方, <https://www.fatigue.co.jp/mikata.htm>, (参照 20250320)

9) 山地啓司：こころとからだを知る心拍数, 第 1 版、pp.271-288、杏林書院, 2013 スポーツトレーニングの基礎理論、西東社、pp140、2012

10) 成瀬康ほか：ウェアラブル脳波計によるポータブルな脳波実験系の構築、日本神経回路学会誌、Vol.23, No.3, 2016

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

パワーステアリングホースが発熱して
出火に至った事例

福岡市消防局
川越怜史

1. はじめに

本火災は、福岡市内で発生した車両火災である。

積み荷の点検のために路上に駐車していたトラックのエンジンを始動しようとしたところセルモータの回転が悪くエンジンがかからず、エンジンルームを確認するとパワーステアリングホース付近に火炎が立ち上っていたものである。

製造業者との合同見分の結果、エンジンアースの端子が離脱していたことでスタータ始動時の電流がパワーステアリングホースに流れて当該ホースが発熱し出火に至ったものと判明した。

本事例は、エンジン右側に取り付けられたエンジンアース端子の離脱という原因によってエンジン左側に取り付けられたパワーステアリングホースが発熱したものであり、車両の不良箇所と出火箇所が離れた場所であるなど、車両の電気回路や構造に関する知識がなければ出火原因の解明が困難な事例であった。

本事例を広く周知することで、今後の火災調査に資することを期して紹介するものである。

2. 見出し

2.1 発生概要

平成31年3月の6時頃、福岡市内で発生した車両火災である。大型トラックのエンジンルームの一部（パワーステアリングホース、エアドライヤー供給ホース及びキャブエアサスペンションプロテクションバルブ）を焼損し、死傷者は発生していない。

（写真1、2）



写真1 焼損車両の状況



写真2 焼損車両の状況

2.2 関係者の供述

出火時に作業を行っていた運転者の供述を要約すると、以下のとおりである。

福岡市内まで建材を運んできた。昨日は山口県の防府で寝た。

3時20分頃に防府を出発し、下道を走って6時30分頃にここに到着した。到着後、荷物に荷崩れがないかを確認するためにエンジンを切りウィングを開けて確認した。

運転席に戻りエンジンをかけようとセルを回したが、セルは回りきっていないようにエンジンがかからなかった。何回かセルを回していると、焦げ臭いにおいがしてエンジン付近から煙が出てきた。エンジンルームを見るとグリルの奥、助手席側に火が見えた。近くにあったペットボトルの水を掛けたが火は消えなかったので、119番通報をした。

最近、セルの回りはあまり良くなく、エンジンの始動性が悪いことがあった。整備はディーラーにお願いしている。

3. 出火箇所の判定について

焼損しているのは大型トラックのエンジンルームのパワーステアリングホース、エアドライヤー供給ホース及びキャブエアサスペンションプロテクションバルブのみであることから、パワーステアリングホース付近を出火箇所として判定した。

4. 想定される原因について

4.1 出火箇所中の火源

出火箇所中の火源については、次のとおりである。

電気配線等の焼損はないことから、電気配線の短絡等によって出火した可能性はない。

パワーステアリングホースは、ハンドル操作を油圧で補助するパワーステアリングオイルが充填されている。パワーステアリングオイルは、ハンドル操作に伴う圧力や、エンジンの放熱を受けて熱をもつことはあり得るが、発火に至ることは考えにくい。本事例においては、焼損車両はエンジンを止めて停車している状態であったことから、パワーステアリングオイルの発熱によって発火した可能性はない。

出火箇所中に存在する火源は以上であり、いずれの火源も出火に至るとは考えられない。

放火の可能性についても考察するが、焼損箇所は通常、キャビンがかぶさる位置であり、外部からのアクセスが容易ではないことから、放火の可能性は否定するに至らないものの推定に足る根拠もない。（写真3）



写真3 焼損車両の状況

4.2 焼損物自体が火源となった可能性

焼損車両の見分中に、エンジンアースの締め付けナットが離脱している。（写真 4）
エンジンアースは、エンジンルームの運転席側に位置しており、出火箇所であるパワーステアリングホースはエンジンルームの助手席側である。（図 1）
アースボルトは、エンジンアース端子との接触箇所が一部溶融している。（写真 5）



写真4 エンジンアースの状況

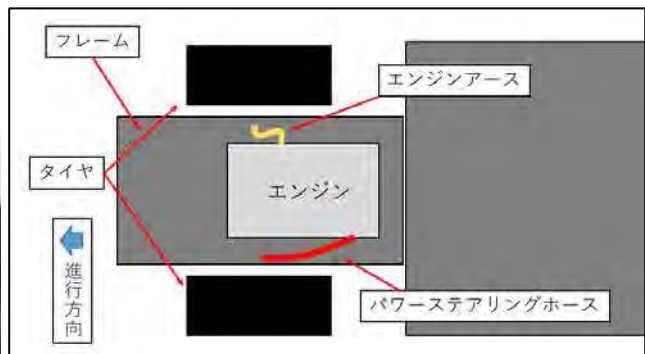


図1 焼損車両の状況



写真5 アースボルトの溶融状況

以上のとおり、エンジンアースには明らかな異常が生じている。

よって、エンジンアースの不良によってパワーステアリングホースが発熱した可能性について、以下のとおり考察した。

4.2.1 エンジンアースとは

自動車は、様々な電気装置が取り付けられている。これらはバッテリーと接続され、電流が流れることで機能している。

自動車は車体が金属であるため、フレームなどの車体自体をマイナス線として活用している。これをボディアースという。ボディアースとする理由は、車内の配線を少なくすることで軽量化やコストダウンを図ることにある。（図2）

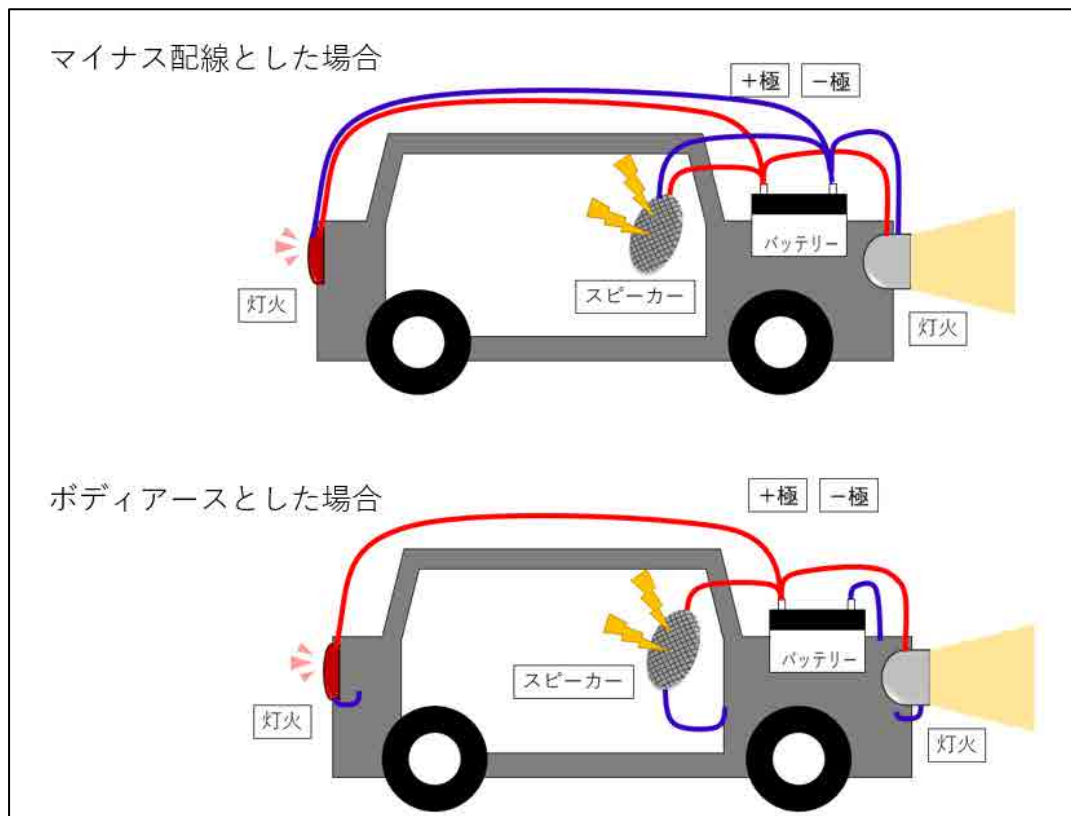


図2 ボディアースについて

エンジンには、スパークプラグやスタータモータなどの装置が取り付けられている。これらの装置もボディアースを介した電気回路を形成しているが、エンジンは振動が生じることからフレームに直接接合されておらず、緩衝材としてゴムを介してフレームにマウントされている。ゴムという絶縁体によってフレームとエンジンが隔てられているため、そのままでは電気回路の形成が不可能である。そこで、フレームとエンジンを導電体で結合することで、エンジン自体がマイナス線として機能するようにしている。この導電体が「エンジンアース」である。（図3）

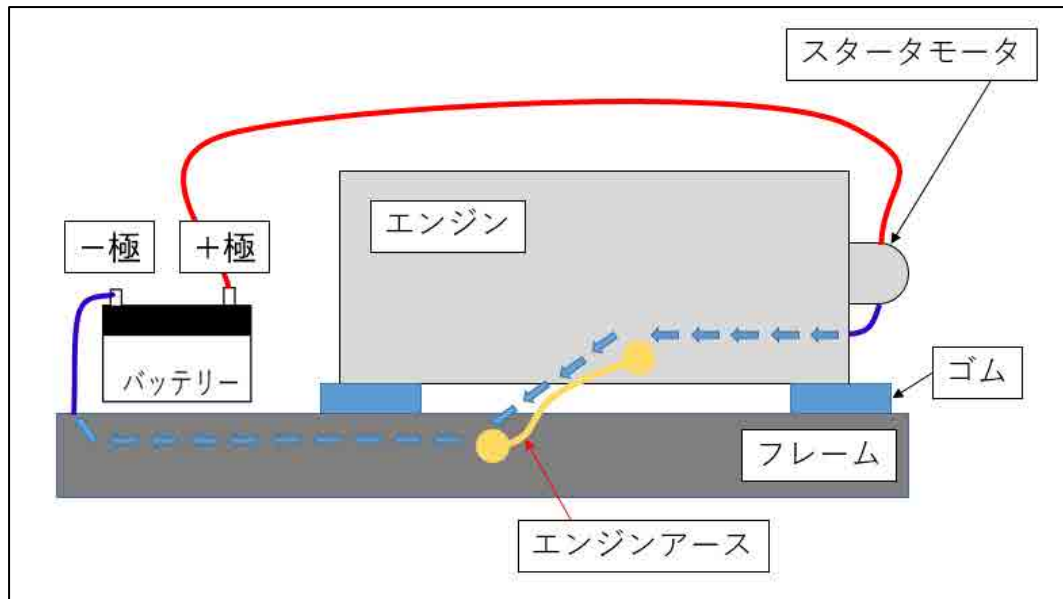


図3 エンジンアース

4.2.2 エンジンアースの不良によって生じる現象

焼損車両は、エンジンアースの締め付けナットが離脱している。

エンジンアースは太いメッシュ状の金属素材で、導電性と放熱性が高い構造である。エンジンアースの取り付け端子は、ナットで締め付けることでフレームと密着し、導通性が確保される。このようにエンジンアースが導電性を高めてある理由は、スタータモータの作動時に大電流を必要とするためである。

合同見分に参加していた車両製造事業者の従業員によると、焼損車両の始動時には約 1000A の大電流がエンジンアースに流れるとのことであった。

焼損車両は、エンジンアースの締め付けナットが離脱した状態でエンジンを始動しようとしたため、アースボルトとエンジンアース取り付け端子の接点部分が過熱し、アースボルトが溶融したものと考えられる。

ここで、パワーステアリングホースについて解説する。

パワーステアリングホースは、ハンドル操作を油圧で補助するパワーステアリングオイルが充填されている。ホースは、内部の油圧が高まった際に膨らんで圧力を逃がしてしまわないように、鉄製のメッシュによって覆われている。また、パワーステアリングホースは、エンジンプロックからフレームにまたがるように取り回されている。

このように、パワーステアリングホースは、鉄製のメッシュ素材によって導電性があり、エンジンプロックとフレームをつないでいることから、エンジンアースのように回路を形成していることがわかる。(図4)

焼損車両においては、エンジンアースの接触面積が極端に減少していたことで、スタータモータの作動に必要な電流が不足し、パワーステアリングホースの鉄製のメッシュを通じてフレーム（ボディアース）に大電流が流れた可能性が高い。そして、パ

ワーステアリングホースの鉄製メッシュは、大きな電流を流すことを想定した構造ではないことから発熱し、発火に至ったものと考えられる。

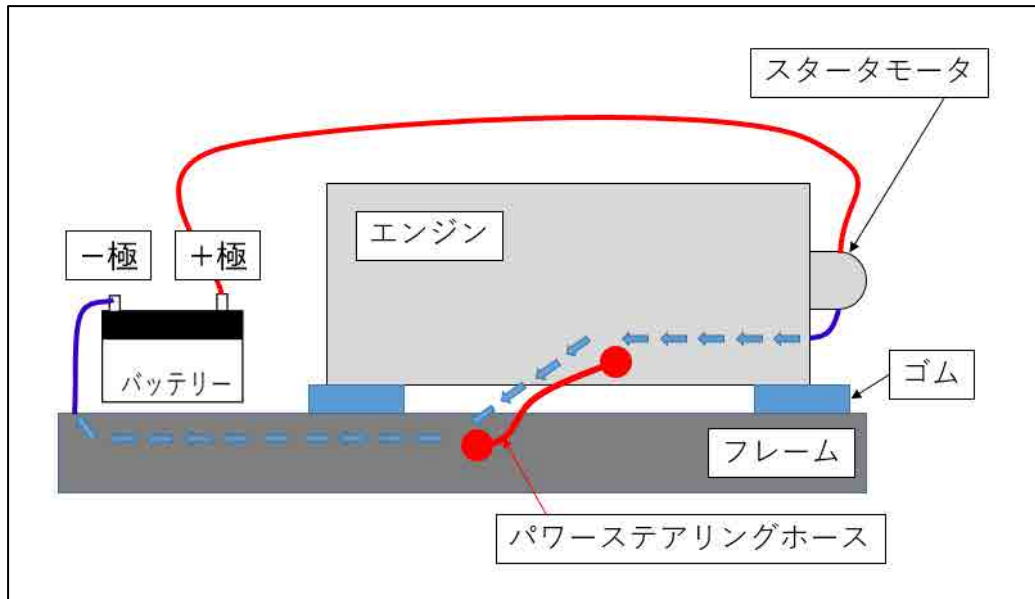


図4 パワーステアリングホースを介した回路

5. 結論

以上のように考察した結果、出火箇所中に存在する火源として見分されたもののうち、「パワーステアリングホースそのものが発熱した」とする以外に出火に至る状況は考えにくい。また、「運転席に戻りエンジンをかけようとセルを回したが、セルは回りきっていないようでエンジンがかからなかった。何回かセルを回していると、焦げ臭いにおいがしてエンジン付近から煙が出てきた。」という運転者の供述についても、スタータモータを作動させるための電流がパワーステアリングホースに流れたと考えると説明付けが可能である。

よって、本件火災の出火原因はエンジンアースのボルト止めが不十分であったことから導通が悪くなり、エンジン始動時の大電流がパワーステアリングホースに流れたことでパワーステアリングホースが発熱し、出火したものと判定する。

6. おわりに

本件火災は、エンジン始動時の大型トラックから出火した車両火災である。

出火の要因であるエンジンアースのナットが脱落した原因については不明であるが、出火場所までトラックが走行していることなどを考えると、エンジンの振動によって少しずつ緩んでいった可能性が高く、類似の火災が発生する可能性は否定できない。

本事例については焼損が非常に軽微で、調査上、想定される出火原因の可能性が限定されていたことから、詳細な調査を実施し、原因を究明することができた。

しかしながら、その出火メカニズムはエンジン右側に取り付けられたエンジンアース端子の離脱によってエンジン左側に取り付けられたパワーステアリングホースが発熱したものであり、車両の不良箇所と出火箇所が離れた場所であるなど、車両の電気回路や構造に関する知識がなければ出火原因の解明が困難な事例であった。

本事例を紹介することで、今後の調査業務の参考となれば幸いである。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

クラウドファンディングで購入した
製品からの出火について

大津市消防局
朝田秋平、田中隆氏、音川健

1. はじめに

本火災は、クラウドファンディング型ショッピングサイトで購入したサーキュレーター式ヒーターから出火した建物火災である。

当該製品は、一般販売開始前の製品であり、国内での販売は、調査開始時点において上記サイト内の1社のみが独占販売権を有していることが判明した。さらに、現場見分状況から当該製品内部からの出火が明らかであったため、購入者に対し速やかに注意喚起を行うよう販売会社へ依頼した。また、本火災の出火原因が製品不良によるものであった場合、約2か月後に予定されている一般販売が開始された際には、当該製品による類似火災が多発するリスクがあると考えられ、販売会社への適切な説明及び指導を行うための決定的な原因究明が必要であると判断した。

入念な鑑識見分を慎重かつ迅速に実施するとともに、同製品の類似火災が発生した他消防本部との連携調査の結果、原因を特定することができ、販売会社による当該製品の自主回収及び一般販売の中止決定に繋げることができた事例である。

2. 火災概要

- (1) 出火日時 令和6年1月19日（金） 21時33分頃
- (2) 覚知日時 令和6年1月22日（月） 9時31分
- (3) 火災種別 建物火災（事後聞知）
- (4) 出火場所 2階居室のリビング（19階建て共同住宅）
- (5) 損害状況 収容物のみ焼損（サーキュレーター式ヒーター、紙類、CD ケース、ポータブル DVD プレーヤー）

3. 出火時の状況

3.1 発見・通報状況について

- (1) 出火当日、寝室で家人が子を寝かしつけていると、自動火災報知設備が鳴動。
- (2) リビングに行くとサーキュレーター式ヒーターが燃えているのを確認。
- (3) お茶や水を複数回かけて消火。焼損物をベランダへ移動させた。
- (4) 3日後、り災証明書に関する問い合わせのために管轄消防署へ連絡し覚知。

3.2 購入及び使用状況について

- (1) クラウドファンディング型ショッピングサイトで購入、出火日の6日前である令和6年1月13日に家に届く。
- (2) 製品到着から出火するまでの間に、洗濯物を乾かすために5回程度使用。使用時は毎回、3D首振り（上下左右に可動）、中温（1,000W）、1.5時間タイマーに設定していた。

(3) 出火当日も同様の使用方法で、20 時 30 分頃に電源を入れて、約 1 時間後に
出火している。

3.3 クラウドファンディング型ショッピングサイトについて

クラウドファンディング型ショッピングサイトは、掲載されているプロジェクトの中から、閲覧者が応援したいものを自由に選び、資金を提供する代わりに製品を先駆けて、安く購入することができる仕組みとなっている。また、企業側としても製品のテストマーケティングの場として活用されており、一定数の利用者の声や反応を確認した上で一般販売することが可能とされている。

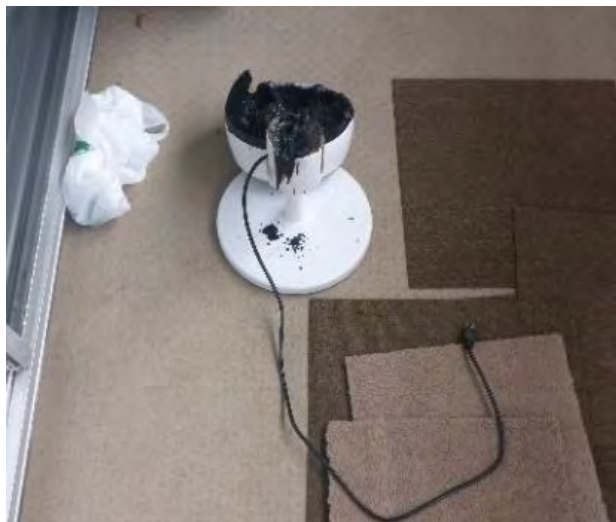
4. 現場見分（消防隊到着時の状況）

4.1 建物外周部及び共用部について

建物外周部及び共用部に焼損はない。

4.2 居室内について

建物占有部分に焼損はない。ベランダに存置された物品（サーキュレーター式ヒーター）に焼損を認める。（写真 1）



【写真 1 焼損物（サーキュレーター式ヒーター）】

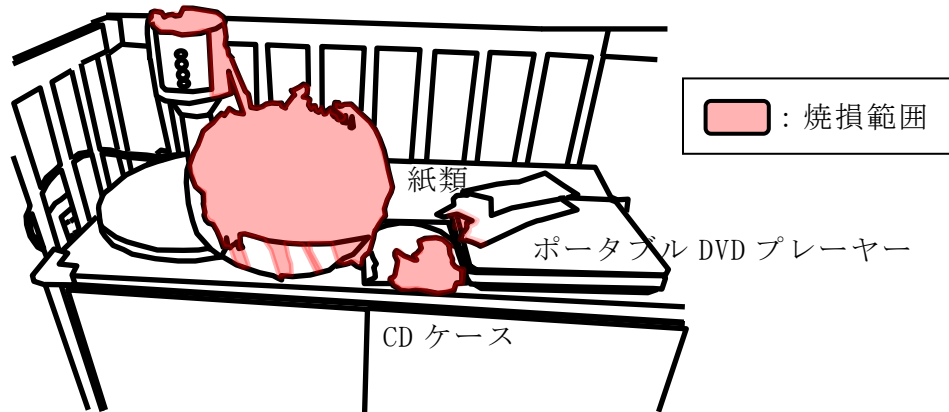
4.3 焼損状況について

焼損物を出火時の状況に復元し見分すると、サーキュレーター式ヒーターはテレビ台を正面に見て左端に位置し、サーキュレーター式ヒーターの右側には、一部に焼損を認める CD ケース、ポータブル DVD プレーヤー、紙類が並んでいる。

サーキュレーター式ヒーターは、可動部である球体部分が脱落した状態で焼損し、内部は熔融した外郭合成樹脂が固着している。

焼損状況から、サーキュレーター式ヒーター本体内部の詳しい鑑識見分が必要であると判断し、当該物品を収去し後日見分を進めることとした。（焼損状況図参照）

サーキュレーター式ヒーター



【焼損状況図】

4.4 現場見分を終えて

このサーキュレーター式ヒーターは、クラウドファンディング型ショッピングサイトにおいて先行販売されたものであり一般販売される前の製品であること、聞き慣れないメーカーで情報が不足していること、購入後すぐに出火したこと及び製品内部からの出火が明らかであることを踏まえると、一般販売されれば当該製品による類似火災が発生するリスクが極めて高いと判断した。販売会社について調べると、調査開始時点で当該製品は、上記サイト内の販売会社1社のみが独占販売権を有していることがわかり、即日、販売会社に対して火災が発生した事実を伝えるとともに調査の協力依頼を行った。併せて購入者に対して、注意喚起等の対策を講じるよう依頼したところ、同日中に上記サイト内の当該製品レビューページに「使用中止のお願い」を販売会社が投稿しているのを確認した。また、購入者全員に対しメールを送信し注意喚起を行ったとの報告を受けた。

なお、当該製品は中国から輸入しており、販売会社が輸入も担っているとの回答を得る。

5. 第1回鑑識見分（令和6年2月6日）

X線による非破壊見分及び製品の分解による出火原因究明のために、第1回鑑識見分を実施する。見分を進めるにあたり、販売会社、製造会社及び独立行政法人製品評価技術基盤機構（以下「NITE」という。）の立会いのもと実施する。

なお、鑑識見分時、販売会社の担当者は中国におり、製造会社も中国であったことから、Web会議システムで中国国内と通信し、ビデオ通話を用い実施した。

5.1 製品情報について

- (1) 製造会社 メーカーA（中国）
- (2) 中国国内販売実績 約12万台（2023年6月～）

- (3) 日本国内販売実績 2,850 台（令和6年1月上旬から消費者に順次発送）
※プロジェクト期間：令和5年10月～令和6年1月上旬
※輸入台数：3,000 台
- (4) 定格電力 低温：500W、中温：1,000W、高温：1,500W
- (5) 不具合報告 首振り機能の故障、ヒーター機能の故障、部品不足
- (6) その他 令和6年3月に日本国内向け一般販売を開始予定

5.1 非破壊見分について

外観については、操作部と可動部が配線を覆うガラス編組チューブによって繋がった状態で、チューブ内の各配線は断線している。可動部の背面にあたる吸気口側の合成樹脂は溶着し、前面にあたる排気口側に焼損は確認できない。（写真2、3）

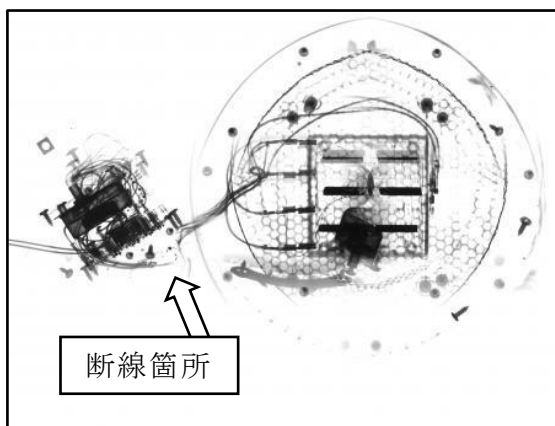
X線により写真撮影を行うと、断線箇所周囲に球状の金属粒が複数確認できる。断線箇所以外に異常は見られない。（写真4、5）



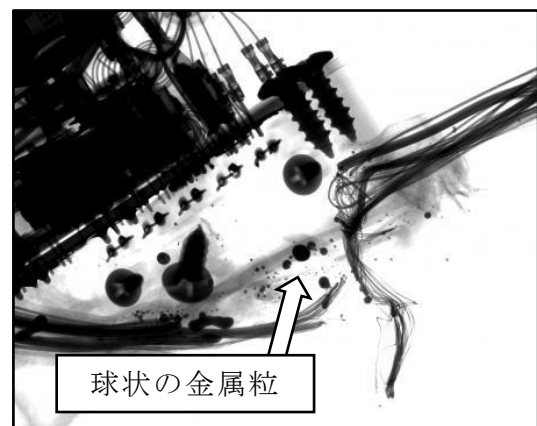
【写真2 可動部吸気口側】



【写真3 可動部排気口側】



【写真4 X線写真（全体）】



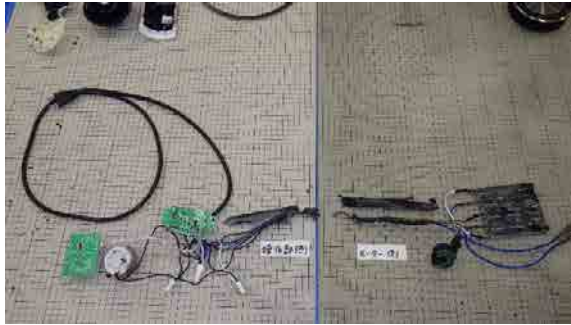
【写真5 X線写真（断線箇所）】

5.2 分解見分について

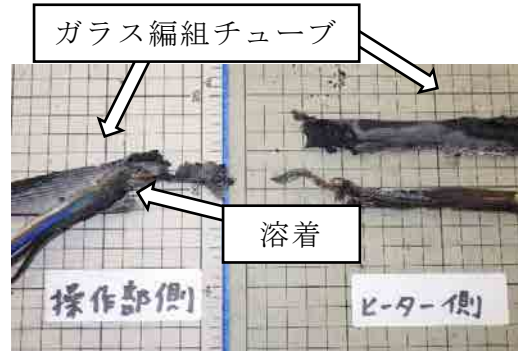
製品を分解し、内部のパーツを取り出し見分する。内部のパーツは、基板、モーター、PTC 発熱体（ヒーター部）によって構成されており、いずれも焼損は確認できない。配線については、断線箇所周辺に焼損を認める。なお、基板内の電

流ヒューズは切れていない。（写真6）

断線箇所を見分すると、断線箇所より操作部側は各配線被覆が溶着し、可動部であるヒーター側は被覆が焼失している。また、配線素線の両端末は目視により溶融痕が確認できる。配線を覆うガラス編組チューブについては、断線した部分のみが焼損している。（写真7）



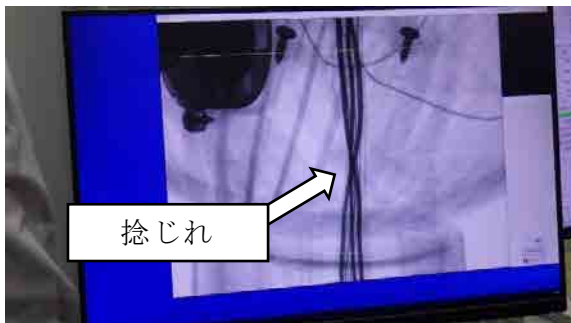
【写真6 内部パーツ】



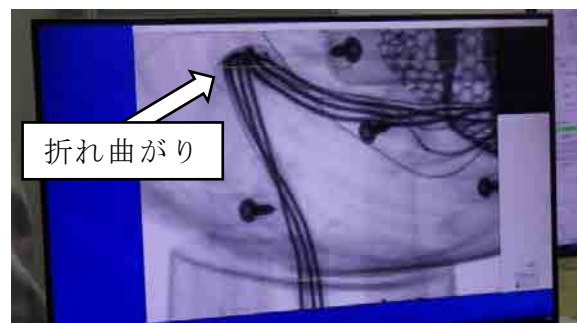
【写真7 断線箇所】

5.3 その他の見分について

販売会社から提供を受けた同型品を用いて、3D 首振り設定で稼働中の内部配線の動きを確認する。X 線透過装置により確認すると、首振りの動きによって一部の内部配線に捻じれまたは折れ曲がりが生じているのが確認できる。（写真8、9）



【写真8 内部配線（捻じれ）】



【写真9 内部配線（折れ曲がり）】

5.4 各部の難燃性について

断線箇所周辺のガラス編組チューブ、各配線のビニル被覆及び外郭合成樹脂にライターの炎を接炎させ、各部の難燃性について確認する。

結果については、下記表のとおりである。

部品名	難燃性/可燃性
ガラス編組チューブ	難燃性
青色配線（基板～PTC 発熱体）	難燃性（写真 10）
白色配線（基板～PTC 発熱体）	難燃性
茶色配線（基板～PTC 発熱体）	難燃性
灰色配線（基板～ファンモーター）	難燃性（写真 11）
黒色配線（基板～上下首振りモーター）	可燃性（写真 12）
外郭合成樹脂	可燃性（写真 13）



【写真 10 青色配線（難燃性）】



【写真 11 灰色配線（難燃性）】



【写真 12 黒色配線（可燃性）】



【写真 13 外郭合成樹脂（可燃性）】

5.5 第1回鑑識見分（まとめ）

第1回鑑識結果を以下、列記する。

- ・ 本体内部の焼損状況から、出火箇所は配線の断線箇所であると判断し、可能性がある出火原因として過電流、短絡、半断線について追加調査が必要である。
- ・ 過電流については、断線箇所以外の配線状態が良好であること及び電流ヒューズが正常であることから可能性は低いと考える。
- ・ ガラス編組チューブ内の配線に短絡または半断線が生じ出火した場合は、上下首振りモーターへ繋がる黒色配線のビニル被覆に延焼する可能性がある。
- ・ ガラス編組チューブ内の断線箇所が出火した場合、難燃性であるガラス編組チューブの外側にまで延焼拡大することは考えにくい。
- ・ 外郭合成樹脂の燃焼は、短絡の電気火花によるものか、半断線によるものか、発火した黒色配線の接炎によるものかの特定はできない。

6. 第2回鑑識見分（令和6年2月15日）

焼損品と同条件で稼働させた同型品の配線状況を確認するために、第2回鑑識見分を実施する。

6.1 稼働後の配線状況について

焼損品と同じく、3D 首振り、中温の設定で7時間半（1.5時間×5日間を再現）稼働させたところ、ガラス編組チューブが外郭合成樹脂と干渉する部分で破れているを確認する。なお、破れている箇所については、焼損品の配線断線箇所と同じ位置である。（写真14、15）



【写真14 同型品の配線状況】



【写真15 同型品の破損状況1】

6.2 破損後の経過観察について

ガラス編組チューブの破損後も継続して稼働させ、内部配線の経過確認を行うと、累計約18時間が経過した時点で、別の箇所で破れが発生、さらに4時間稼働させるとファンの断続的な稼働停止を確認する。ファンの稼働停止については、首振りにより吹出口が上を向くと停止し、正面を向くと再稼働する状態である。（写真16、17）



【写真16 同型品の破損状況2】



【写真17 同型品のファン稼働停止状態】

6.3 第2回鑑識見分（まとめ）

第2回鑑識結果を以下、列記する。

- ・当該製品は、首振りの動作によってガラス編組チューブが外郭合成樹脂と干渉する箇所において破れる可能性が高い。また、稼働時間が長くなると配線のビニル被覆にまで損傷が及ぶ可能性がある。
- ・焼損品の断線箇所と同型品のガラス編組チューブが破れた箇所が一致する。
- ・ガラス編組チューブが破れた箇所において、配線断線等が生じ出火した場合、外郭合成樹脂に延焼拡大する可能性が高い。
- ・ファンの稼働停止は、ファンの配線が半断線して生じている可能性がある。
- ・ファンの配線は首振りの動作によって負荷がかかっている可能性がある。

7. 類似火災の発生

調査期間中に金沢市内において、同製品による類似火災の情報を入手したため、金沢市消防局との情報共有を実施した。

7.1 類似火災（金沢市）の概要について

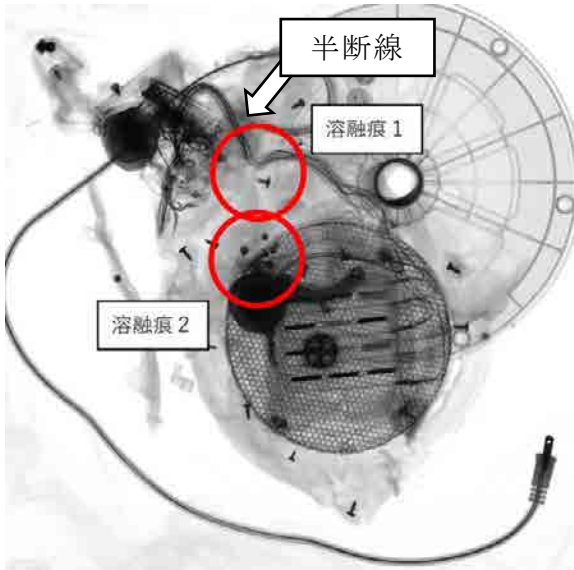
- (1) 覚知日時 令和6年2月12日（月） 20時42分
- (2) 火災種別 建物火災
- (3) 出火場所 木造住宅1階の洗濯物干場
- (4) 損害状況 サーキュレーター式ヒーター、タオル、建物床面

7.2 購入及び使用状況について

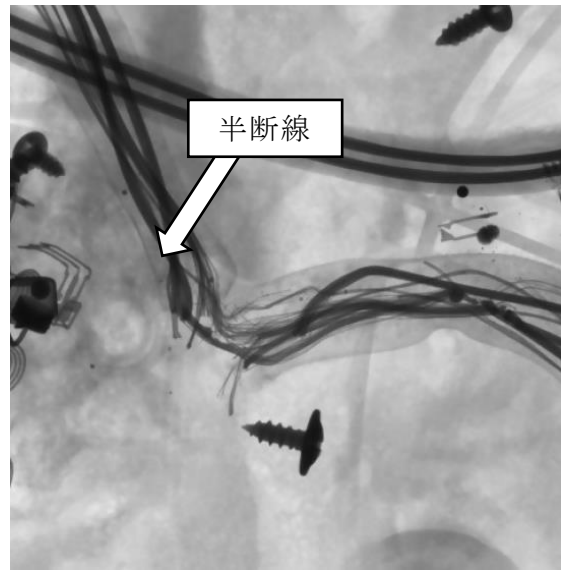
- (1) 1月中旬にクラウドファンディング型ショッピングサイトで2台購入。
- (2) 1台は洗濯物を乾かすために毎日使用、もう1台は別部屋で時々使用。
使用時は毎回、上向き左右首振り、高温（1,500W）、3～4時間のタイマーに設定していた。
- (3) 出火当日も同様の使用方法で、20時頃に電源を入れて、約30分後に出火。

7.3 内部配線について

使用状況、焼損状況ともに類似点の多い事案であるが、X線写真を比較すると大津市の事案では内部配線が完全に断線しているのに対し、金沢市の事案は半断線の状態であることが確認できる。（写真18、19）



【写真 18 X線写真（全体）】
（金沢市消防局提供）



【写真 19 X線写真（断線箇所）】
（金沢市消防局提供）

8. 第3回鑑識見分（令和6年3月1日）

過電流、短絡、半断線の観点で詳細に見分を行うために、第3回鑑識見分を実施する。見分を進めるにあたり、販売会社、金沢市消防局（情報共有のため相互の鑑識見分に参加）及び NITE の立会いのもと実施する。販売会社及び金沢市消防局は Web 会議システムを利用して、ビデオ通話にて立会いを実施した。

なお、この鑑識において金沢市消防局及び NITE との共有情報をもとに販売会社に再度確認したところ、輸入会社は別会社が担っていることが判明した。

8.1 過電流について

同型品を使用し、稼働時における各配線の電流値及び表面温度の測定を行うが、数値に異常は見受けられない。（写真 20、21）



【写真 20 電流値測定】



【写真 21 表面温度測定】

なお、各配線に流れる電流値については、下記表のとおりである。

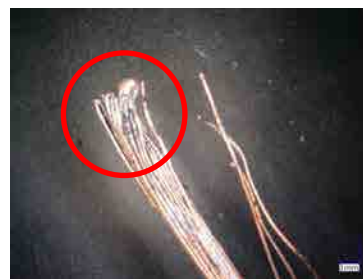
配線	電流値
青色配線（基板～PTC 発熱体）	中温：8.3A 高温：11.6A
白色配線（基板～PTC 発熱体）	中温：7.7A 高温：7.7A
茶色配線（基板～PTC 発熱体）	中温：0.0A 高温：3.9A
黒色配線（基板～上下首振りモーター）	中温：0.1A 高温：0.1A
灰色配線（基板～ファンモーター）	未測定

8.2 短絡について

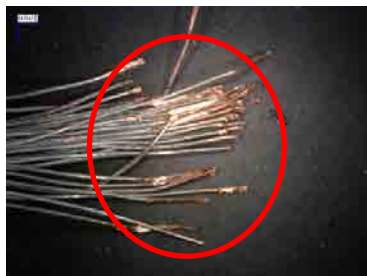
焼損品の固着した配線を解き、デジタルマイクロスコープで各配線の断線箇所を見分すると、全ての配線において銅線に溶融痕があるのを確認する。（写真 22、23、24、25、26、27、28、29、30、31）



【写真 22 青色配線（操作部側）】



【写真 23 青色配線（可動部側）】



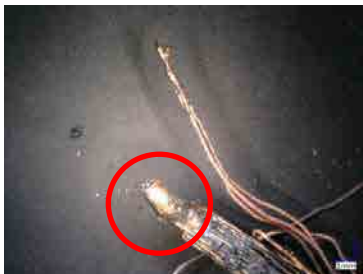
【写真 24 白色配線（操作部側）】



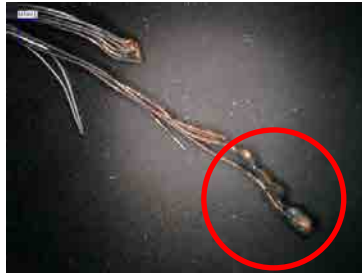
【写真 25 白色配線（可動部側）】



【写真 26 茶色配線（操作部側）】



【写真 27 茶色配線（可動部側）】



【写真 28 黒色配線（操作部側）】



【写真 29 黒色配線（可動部側）】



【写真 30 灰色配線（操作部側）】



【写真 31 灰色配線（可動部側）】

出火時にガラス編組チューブ内では、複数回の電気火花が発生していたと考えられることから、短絡を再現した燃焼実験を行うこととする。

(1) 実験方法

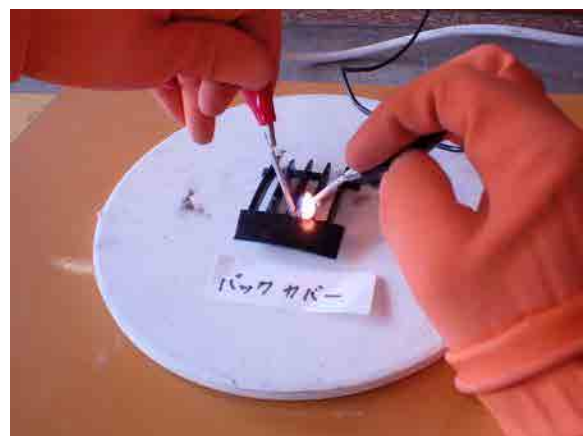
当該製品の可燃性部分である黒色配線のビニル被覆及び外郭合成樹脂の傍で短絡火花を発生させ、着火の有無を確認する。

(2) 実験結果

複数回短絡火花を発生させるもどちらも着火はしない。外郭合成樹脂は一瞬の着火を認めるが継続燃焼はしないもの。（写真 32、33）



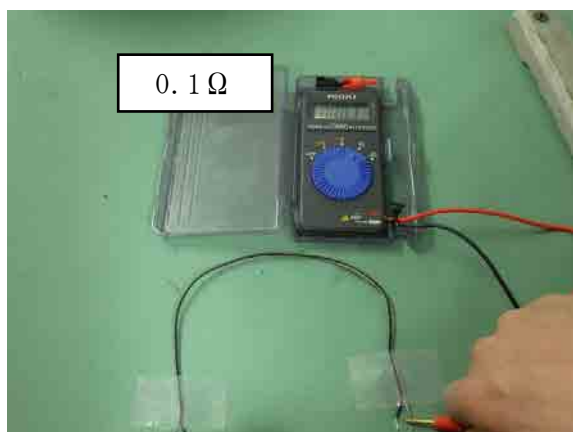
【写真 32 短絡の燃焼実験 1】



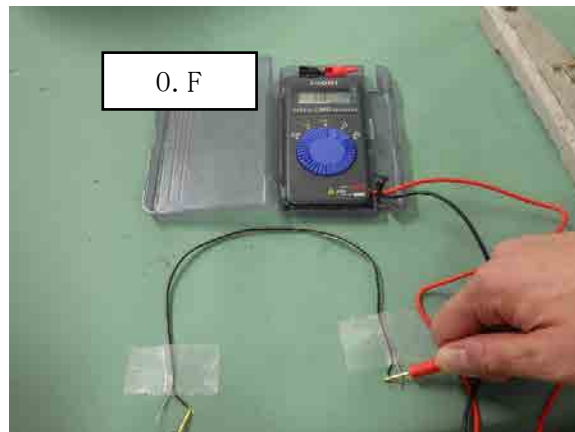
【写真 33 短絡の燃焼実験 2】

8.3 半断線について

同型品のファンの稼働停止について、ファンの配線を取り出し導通確認を行うと、一部導通不良が確認できる。（写真 34、35）



【写真 34 ファン配線の導通正常】



【写真 35 ファン配線の導通不良】

販売会社に当該製品における過去の不具合事例について聴取したところ、首振り機能またはヒーター機能に動作不良が発生した個体が複数存在することを認める。また、同型品についてもファンが動作不良を起こし、さらにサイト内のレビューページにも、複数の利用者が各部の動作不良に関する書き込みを残している。

よって当該製品は、ガラス編組チューブ内を通る配線においても半断線が生じやすい構造であると推測できるため、半断線を再現した燃焼実験を行うこととする。

(1) 実験方法

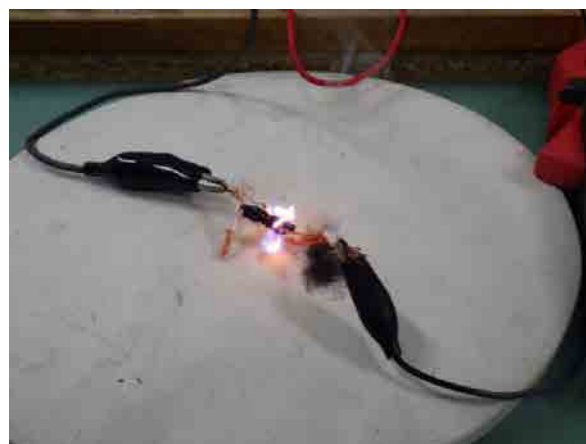
当該製品のガラス編組チューブ内を通る配線の中で、電流値が高い PTC 発熱体に繋がる配線を半断線にし、可燃性である黒色配線のビニル被覆に接触させて電流を流す。なお、出火当時の消費電力を再現するために、100V・10A で電流を流すものとする。

(2) 実験結果

開始から 28 秒後、素線が赤く発熱、黒色配線のビニル被覆から煙が発生する。さらに 6 秒後、ビニル被覆が発火し 8 秒間の燃焼継続（ビニル被覆が燃え尽きるまで）を認める。（写真 36、37）



【写真 36 半断線の燃焼実験（発煙）】



【写真 37 半断線の燃焼実験（発火）】

8.4 考察について

現場見分、鑑識見分結果から出火原因について以下のとおり考察する。

- (1) 通電時の電流値及び配線温度の測定値に異常はなく、配線の焼損も局所的であったことから、過電流による出火はないと考える。
- (2) 複数の溶融痕を認めるが、短絡による電気火花では、配線付近の可燃性部品には着火しなかったため、短絡は二次的に発生したものと考えられ、短絡が直接出火に起因した可能性は低いと考えられる。
- (3) 第1回及び第2回の鑑識見分によって、当該製品の配線は首振りの動きによって半断線が生じやすい構造であることが判明した。さらに、半断線による燃焼実験では、黒色配線のビニル被覆の発火を認めたことから、出火原因は半断線である可能性が高いと考えられる。

8.5 結論

以上のことから、サーキュレーター式ヒーターの首振り機能と温風機能を ON にして稼働していたところ、首振りの動きによって内部の配線が半断線し、そこから発生したジュール熱により黒色配線のビニル被覆が発火、周囲の配線と外郭合成樹脂に燃え広がったものと推定した。

9. 類似火災防止対策

9.1 火災覚知後の販売会社への迅速な連絡について

現場見分から帰署後、製品内部からの出火が明らかであり緊急性があると判断し、即日販売会社に連絡し、火災が発生した事実と出火状況を説明、調査の協力依頼と併せて注意喚起等による類似火災防止対策を依頼した。これにより、販売会社の判断で即日インターネットの製品購入サイト内のレビューページに「使用中止のお願い」が掲載され、当該製品の購入者に対し消防覚知当日に注意喚起がなされた。また、それ以降も販売会社との連絡を密にし、合同鑑識見分及び情報共有を行うことで、調査経過情報についても販売会社が同ページ内に投稿することで購入者に対し発信された。これら一連の対応により、既購入者に対する製品使用抑制等の迅速かつ効果的な類似火災防止を図ることができたと考えている。

なお、調査の時系列については10に記載のとおりである。

9.1 改善要望通知書の発送について

調査後の類似火災防止対策として、販売会社と輸入会社に対する改善要望通知書を作成した。改善要望通知書の内容については、今回の火災を踏まえて今後どういった対応、対策をとる予定なのか、その回答を求める文書とした。発送時期については、大津市と金沢市の出火原因が同様である点を理解していただき、より説得力を増すために、金沢市消防局が行う販売会社、輸入会社合同鑑識見分（令

和6年3月18日、オンラインにて参加）実施直後とし、令和6年3月21日に改善要望通知書を発出した。

9.2 改善要望通知書の回答について

改善要望通知書を発出した3か月後、販売会社から「日本で販売した製品2,850台全ての回収が完了し、一般販売の中止を決定した。」との回答を得た。

輸入会社からの回答は得られなかったため、確認のメールを複数回送信したが返答はなかった。

10. 時系列

本火災に関する時系列は下記のとおりである。

- R5.10 クラウドファンディングプロジェクト開始（R5.10～R6.1 上旬）
- R6.1.10 【販売会社】順次製品発送
- R6.1.13 り災者宅に製品到着
- R6.1.19 出火（1件目：大津市）
- R6.1.22 【大津消防】火災覚知（事後聞知）
 - 販売会社に連絡、火災調査の協力と対策を依頼
 - 【販売会社】サイト内に注意喚起を掲載
 - 「使用中止のお願い」
- R6.1.26 【販売会社】サイト内に経過を掲載
 - 「調査継続の意向、希望者に対する返品及び返金の案内」
- R6.2.6 【大津消防】第1回鑑識見分（NITE、販売会社、製造会社合同）
- R6.2.12 出火（2件目：金沢市）
 - 【金沢消防】火災覚知
- R6.2.13 【金沢消防】販売会社に連絡、火災調査の協力依頼
- R6.2.15 【大津消防】第2回鑑識見分（同型品の動作確認）
- R6.2.26 【販売会社】サイト内に第1回鑑識結果を掲載
 - 「原因判明に至らず、調査継続中」
- R6.2.27 【金沢消防】大津消防へ連絡（2/26 販売会社から大津市の事案について
情報提供を受けたため）
 - 以降、金沢市消防局と相互に連携
- R6.3.1 【大津消防】第3回鑑識見分（金沢消防、NITE、販売会社合同）
 - 【販売会社】一般販売を延期し、今後について検討
- R6.3.14 【販売会社】サイト内に第3回鑑識結果を掲載
 - 「首振りの連動で配線が切れ発火した可能性が高い」

- R6.3.18 【金沢消防】鑑識見分（大津消防、NITE、販売会社、輸入会社合同）
【販売会社】サイト内に注意喚起を掲載
→「2件目の発火事故が発生、1件目と同じ原因で発火した可能性が高い、継続して返品及び返金対応を行う」
- R6.3.21 【大津消防】改善要望通知書を発出（販売会社及び輸入会社に対して）
- R6.7.5 【大津消防】販売会社から回答
→「製品の全回収が完了、一般販売の中止が決定」
【輸入会社】返答なし

11. おわりに

本火災調査の初動対応について、購入者に対する注意喚起として、インターネットを活用されたことは迅速性があり効果的であった。サイト内のレビューページでは、注意喚起の投稿に対して250件を超えるコメントが寄せられ、使用を抑制するとともに製品の不具合情報等の収集にも繋がった。しかし、同製品による類似火災が1件発生してしまったことは非常に残念であり、他の有効な手段も考えるべきであったと反省している。

自主回収に繋がった点について、これは原因の特定に至るまでの入念な鑑識模様を直接関係者に見ていただくことが重要であり、納得させることができた結果であると考えられる。また、遠隔地で出向が困難とされる関係者には、インターネットを活用してオンラインで立会いを求める等、時代に即した対応も必要であり、本事案はインターネットを効果的に活用できた事例となった。

一般販売の中止については、原因の特定に加えてスピード感が求められた。令和6年1月22日に火災を覚知し、製品の不具合による出火を疑い、約2か月後には一般販売される状況であったことから、特に緊急性を感じた。同年3月1日に行った第3回鑑識見分の結果がきっかけとなり、一般販売予定日の延期が決定。さらに、金沢市消防局の鑑識見分を経て、より説得力のある説示を実施できたことにより、一般販売が中止される運びとなった。

他消防本部との連携については、令和6年2月27日の金沢市消防局からの類似火災の情報共有により、当該製品の不具合による出火が確信的となり、更なる類似火災発生の懸念と調査員の危機感が増大した。以降、金沢市消防局と相互に連携し調査を実施できたことが、一般販売中止を含む効果的な類似火災防止施策の実施に繋がったことは間違いないと言える。消防研究センターの製品火災データベースによる情報収集をはじめ、他消防本部との連携が類似火災防止施策に非常に有効であると再認識する事例となった。

最後に、インターネットを活用した火災予防の注意点について、本事例では、サ

イト内のレビューページでの注意喚起に加えて、販売会社独自の判断により鑑識見分の進捗についても報告がなされた。調査が進むにつれて、り災者以外の大勢の使用者が火災危険を認知することとなり、使用を中断する旨のコメントが多数見受けられ、結果的に火災予防に繋げることができた。しかしその一方で、販売会社への伝え方によっては、消防の見解とは違った情報が瞬く間に拡散される可能性があり、危険なものが安全と認知される等、類似火災の発生リスクを助長してしまう可能性がある。良くも悪くも、インターネット上の情報が与える影響は絶大であることを再認識する事例となった。

本事例の紹介が、今後の火災調査業務の参考になれば幸いである。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

電力線から車体への地絡により発生した
電車火災について

神戸市消防局水上消防署
藤本泰生

1. はじめに

この火災は、令和5年8月某日に神戸市内の鉄道地下トンネル部分で発生した電車火災で、車両屋根上に設置されたクーラーユニットの一部が焼損した事案である。

クーラーユニットのカバー部分に複数のアーク痕が認められたことから、電車に電力を供給する電力線（き電線若しくはトロリ線）からカバー部分に向かってアークが発生して地絡したことにより火災が発生したと考えられ、アークの発生原因の分析を行った。

2. 火災の概要

- (1) 出火日時 令和5年8月 19時35分頃
- (2) 覚知日時 令和5年8月 19時50分
- (3) 火災種別 車両火災
- (4) 気象状況 天候：晴 気温：27℃ 相対湿度：88% 風向：東
風速：3m／s 注意報・警報等：なし
- (5) 死傷者 なし
- (6) 焼損状況 車両の屋根に設置されたクーラーユニット一部焼損

3. 出火時の状況

(1) 出火前の状況

令和5年8月某日19時35分頃、A駅を出発して走行中の電車に衝撃が加わり、その直後に電車内で停電が発生した。その際、近接する変電所2か所で、き電線の短絡信号を受信した。

(2) 発見状況

停電後、6両編成のうち先頭から5両目（以下「5号車」という。）に乗っていた乗客（5号車乗客数は推定50名）が、天井のクーラー吹き出し口から白煙が出ていることを発見し、車内の確認に向かった車掌がその旨の報告を受けた。

(3) 通報及び避難状況

本社の指示で、鉄道会社職員が119番通報を実施した。また、乗客の一部は自主的に他の車両などへ避難し、最寄り駅に到着した後、車掌及び駅員の指示により避難誘導が実施された。

なお、消防管制室においても、乗客が撮影しSNS上にアップした、車内に白煙が充満している動画を確認しており、現場状況の参考情報として取り扱った。

(4) 初期消火状況

当初、発生場所が不明確で、更に自然鎮火に至ったため初期消火は行われなかった。

4. 消防隊の活動状況

現場到着時、煙が車内にうっすらと残存する程度であり、消防隊は乗客及び駅構内

利用者の避難確認と情報収集を実施した。放水は行っていない。

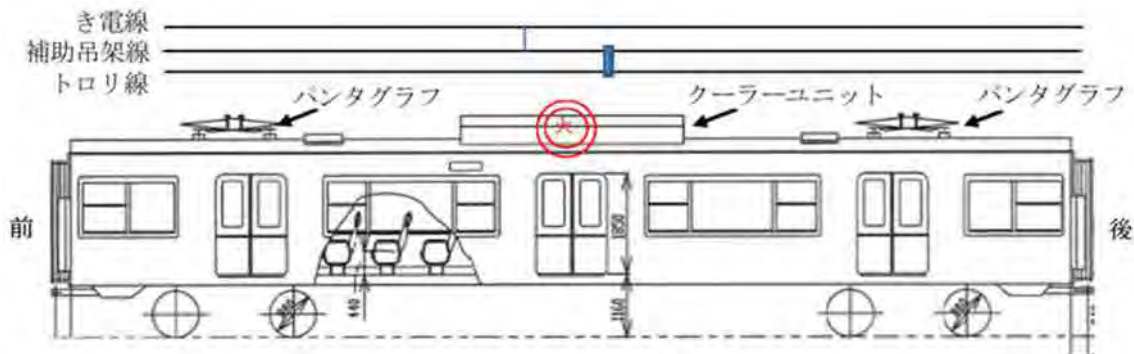
5. 現場見分状況

この事案では火災発生当日に車両が停車していたB駅で第1回現場見分を、翌日に車両基地で第2回現場見分を行った。

(1) 第1回現場見分

この電車は、電路設備（電車に電力を供給するための設備と、信号・踏切及び駅舎の照明等駅務機器に必要な電力を供給するための設備を併せたもの）により電力が供給されており、主な構造等は以下のとおり。

- ・電路設備は大まかに「き電線」、「（補助）吊架線」、「トロリ線」等により構成。
- ・直流1,500Vを「き電線」と呼ばれる太い電線に通し、そこから「き電分岐線」を介して「トロリ線」と呼ばれる電線に電力を供給。
- ・電車の電力は、屋根上に設置するパンタグラフがトロリ線に常に接することで供給。
- ・パンタグラフは、2両目と5両目の2基ずつ、計4基を使用（全体は6両編成）。
- ・クーラーユニットへは、パンタグラフで受電した直流1,500V電圧を440Vと100Vに変圧して供給。（図1参照）



【図1 5号車全体図】

電車の見分を進めるにあたり、方向については進行方向を前として「前後左右」で見分を行う。

ア トンネル天井について

ホームから車両上方のトンネル天井について見分するも焼損は認められない。
トンネル天井に設置された電路設備については、き電線、き電吊架線、補助吊架線、トロリ線があり、見分するも異状は認められない。（図2、写真1参照）

イ 車両外観について

5号車以外の車両に焼損は認められない。

ウ 車両内部の状況について

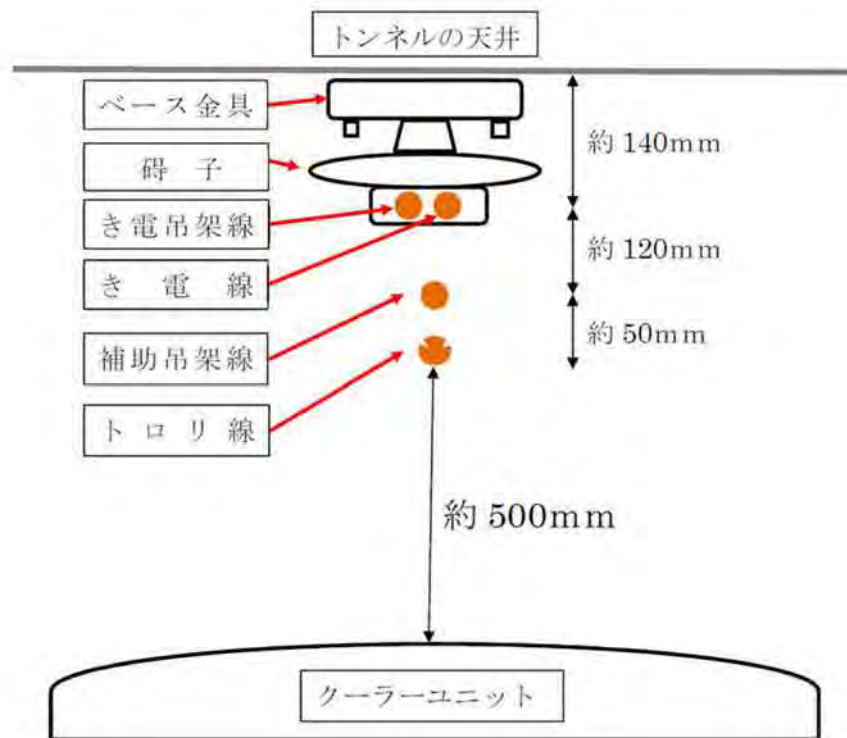
5号車車内を見分するも、焼損は認められない。

エ 5号車屋根上の状況について

5号車の屋根上には、中央にクーラーユニットがあり、その前後にパンタグラフが配置されている。前後のパンタグラフには破損、変形及び焼損は認められない。

クーラーユニット中央部分のカバーを見分すると、後方中央付近に複数の溶融痕が認められる。

クーラーユニット中央部分のカバーを開け、内部の室内送風機及び室内熱交換器を見分すると、室内熱交換器のアルミフレームに数箇所の溶融痕、室内熱交換器周辺のパッキン及び断熱材に若干の焼損が認められる。（写真2参照）



【図2 電路設備の断面模式図】



【写真1 5号車屋根の状況】



【写真2 クーラーユニット内部の状況】

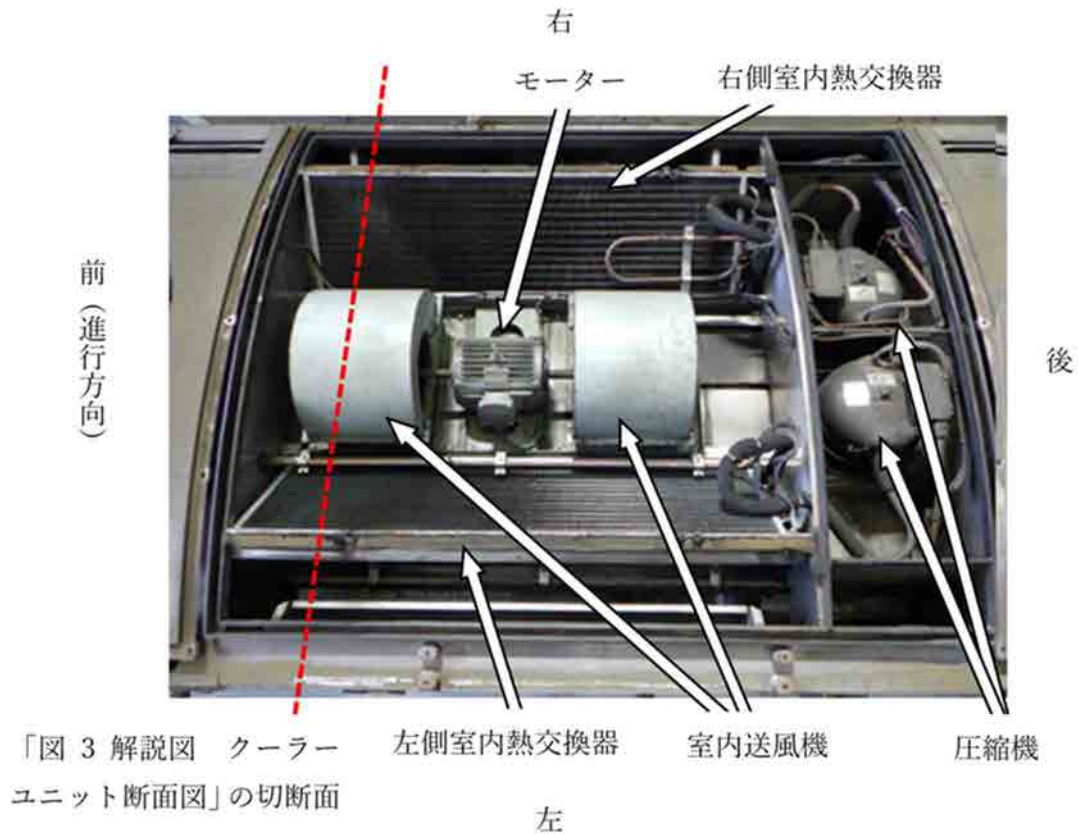
(2) 第2回現場見分

クーラーユニットは車両中央の屋根上に据え付けられており、平成2年製造（長さ4,100mm、幅1,780mm、高さ460mm）で、中央に室内送風機、前後に室外送風機を配し、1つのユニットで車両1台の冷房を担っている。

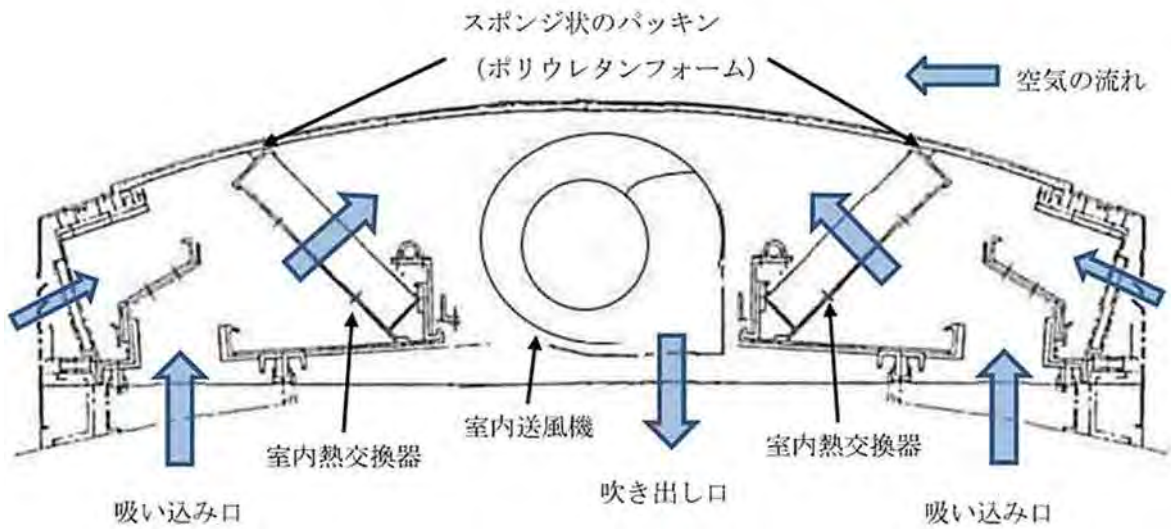
中央のクーラーカバーを取り外し内部を確認すると、逆ハの字に設置された左右の室内熱交換器はアルミフレームで縁が囲われており、アルミフレームとクーラーカバーが接している部分には、隙間が出来ないようにスポンジ状のパッキン（ポリウレタンフォーム）が貼り付けられている。

このクーラーユニットは、吸い込み口及びクーラーユニット側面から空気を取り込み、室内熱交換器で冷やされた後、室内送風機で吹き出し口から車内に冷風が送られる仕組みになっている。（写真3、図3参照）

なお、見分時には確認できなかったが、車両設計上はクーラーカバーとクーラーユニットとの間は、ゴムクッションによって絶縁されている。



【写真3 クーラー中央部分解説】



【図3 解説図 クーラーユニット断面図】

中央のクーラーカバーを見分すると、中ほどから後方にかけて左右で見た中央付近に大小6か所程度の溶融痕及び飛散した溶融物を認める。後方部分の2か所の溶融痕は、溶融によりクーラーカバーに穴が開いており、内面に貼り付けてある断熱材が露出している。この2か所については後方に向かって約5cmのカーボンの付

着が認められる。（写真4、5参照）



【写真4 クーラーカバー外面の溶融痕の状況】



【写真5 クーラーカバー外面の溶融痕】

中央のクーラーカバーを取り外し、内面を見分すると、全体に黒色の断熱材が貼り付けられており、2本ずつ並んだ補強材が4列、計8本配置されている。補強材には20mm程度の溶融痕が5か所認められる。（写真6、7参照）



【写真6 クーラーカバー内面の状況】



【写真7 クーラーカバー内面の溶融痕の状況】

クーラー中央部分を見分すると、クーラーカバーと接している左右の室内熱交換器に計8か所の溶融痕が認められ、その位置関係はクーラーカバー内面の補強材の溶融痕の位置と概ね一致する。

さらに下部の吸い込み口周辺にも部分的に焼損が認められ、その上部の室内熱交換器の溶融痕周囲のパッキンは焼き切れており、パッキンの連続性が絶たれている。また、溶融痕の下部のアルミフレームには、パッキンの焼損物が飛散した様な痕跡が認められる。（写真8、図4参照）

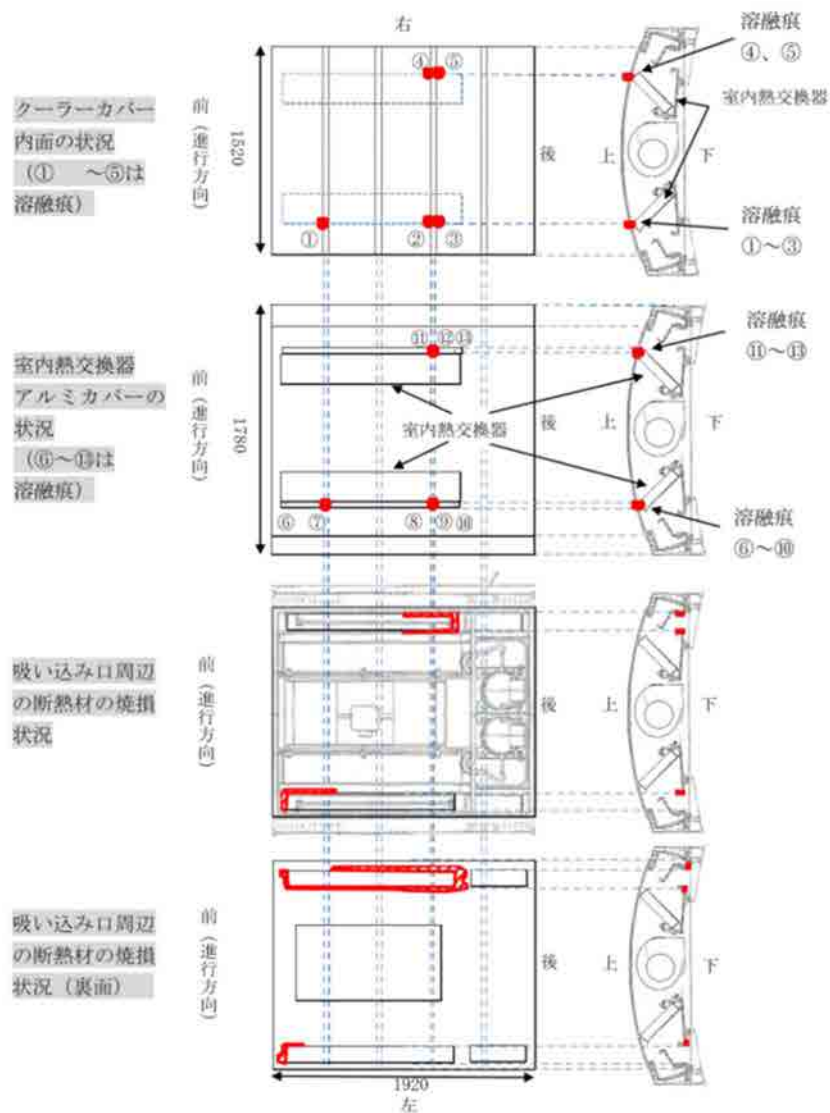
クーラーへの電力供給ケーブルが右後方（圧縮機の横付近）に設置されており、それらを見分するも被覆の溶融等の異状は認められない。（写真9参照）



【写真8 熱交換器アルミカバー溶融痕及びパッキンの焼損状況】



【写真9 クーラーユニット電力供給ケーブル及び断熱材の焼損状況】



【図4 焼損位置図】

アース線は右側後方側面（圧縮機の横付近）に1か所取り付けられている。アース線取付部周辺を見分すると、クーラーユニット側面下端付近に約40mmの溶融痕

が認められ、クーラーユニット側面ボディに穴が開いている。（写真10参照）



【写真 10 アース線取り付け部及びアース線付近の溶融痕の状況】

今回の見分で同基地内に同型機のクーラーユニットが用意されており、そのクーラーカバー内面を見分すると、露出している8本の補強材と、室内熱交換器の上部が接する部分計8か所にゴムクッションが貼り付けられている。（写真11参照）



【写真 11 同等品のクーラーカバー内面の状況】

後日クーラーメーカー及び鉄道会社職員に確認すると、元々クーラーカバー内面の補強材と室内熱交換器が接する部分にはゴムクッションが貼り付けてあったが、10年程前に断熱材劣化に伴う交換の際に、ゴムクッションを取り去っていた。

以上のことから、焼損箇所については、5号車の屋根上に設置されたクーラーユニット内のみであるため、本件火災の出火部位は5号車の屋根上に設置されたクーラーユニット部分と認定する。

6. 考察

(1) アークの発生場所について

出火翌日の夜間、鉄道会社による電路設備点検時に、A駅から東へ進んだ場所の碍子（以下「碍子X」という。）にアーク痕を認め、その周辺のき電線等の電路設備にアークにより溶融飛散したと思われる物質の付着が確認されている。（写真12、13参照）

出火当時、近接する2か所の変電所で、き電線の短絡信号を受信しており、さらには、車両の運転士が、A駅を出てから衝撃を感じたと述べた時間からも、碍子X付近で、走行中にアークが発生したことに矛盾はない状況である。



【写真 12 碍子 X 周辺の状況】



【写真 13 碍子の状況】

これらの状況から、碍子X周辺のき電線若しくはトロリ線からクレーカバーに向かって何らかの原因でアークが発生し、さらにその電流がクレーカバーを介して地絡する際に、クレー内部の数箇所でもアークが発生、クレーカバー及びクレー内部にアーク痕を残し、クレー内部の断熱材（ポリウレタンフォーム：難燃性）へと着火し延焼拡大したものと推定する。

き電線若しくはトロリ線からクレーカバーへの地絡の原因となった介在物として考えられるのはバリである。電車の走行によりトロリ線とパンタグラフが擦れ、バリと呼ばれる繊維状の金属が発生することがある。このバリは定期的に除去作業が行なわれているが、トロリ線から線路等に落下することがある。

火災後、鉄道会社が点検した他の区間（約8km）では、計6本の落下したバリがあり、最大で長さ80cm（トロリ線からクレーユニットまでは約50cm）幅5mm、厚さ0.2mm程度であったとのこと。（写真14参照）

なお、鉄道会社より、トロリ線からバリが垂れ下がっている状態の参考写真の提供を受けた。（写真15参照）



【写真 14 回収したバリの状況】



【写真 15 トロリ線から垂れ下がっているバリの状況】

この程度の大きさのバリを介在物として、今回変電所で検出された約10,020Aという電流がトロリ線などから電車車体（屋根上のクーラーユニット等）へと流れる可能性について、鉄道技術の研究・開発を行う公益財団法人鉄道総合技術研究所（以下「鉄道総研」という。）から、「バリを介在物と仮定した場合、バリが無くなった後もすぐにアークは消滅しません。バリがアーク発生のきっかけとなり、その後アークが時間に伴って風圧等により変形するときに異なる場所への飛びつきを起こして複数箇所にアーク痕を残したと考えられます。」との見解を鉄道会社が得ている。

なお、鉄道総研とは、鉄道会社や公共機関、技術開発機関と協力体制を築きながら研究開発を行っており、鉄道技術分野の「技術の橋渡し役」としての機能を担っている機関である。

また、過去の事例について、鉄道会社関係者によると、「バリにより同様の事案が発生した際には痕跡は残らないことがあり、アルミ風船や蛇等バリ以外の過去の事例では痕跡が残る。」との見解であり、今回碍子X周辺にも5号車にも介在物の明確な痕跡は残っておらず、これらのバリ以外の類似事案のような発生原因である可能性は低い。

(2) クーラーカバーの絶縁について

元々クーラーカバー内面の露出した補強材には、絶縁を目的としたゴムクッションが貼り付けられていたが出火時は取り外されていた。

このことにより、本来車体と絶縁されており、外部から電気が流れないはずのクーラーカバーに、バリ等何らかの介在物が原因となりトロリ線などから通電し、室内熱交換器のアルミカバー部分にアークが発生して今回の火災が発生した可能性が高い。

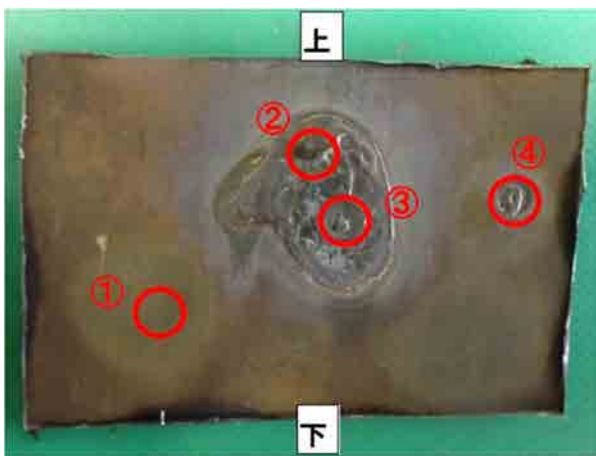
7. 成分分析

7.1 神戸市消防局による成分分析

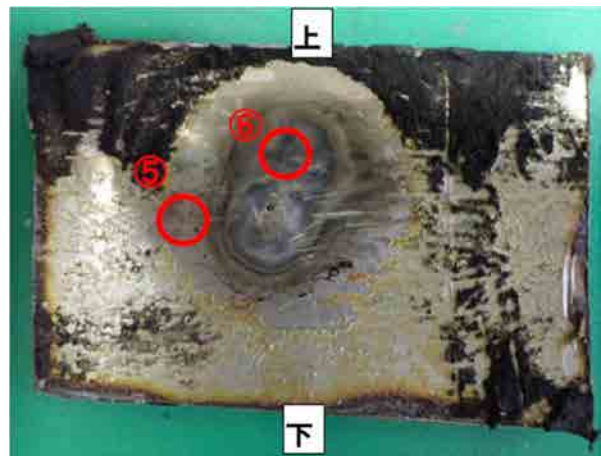
バリが地絡の介在物となった可能性を究明するため、兵庫県立工業技術センターにおいて、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置及びエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置付走査型電子顕微鏡により、クーラーユニットカバーのアーク痕部分とアーク痕の無い部分の試料を用いて成分分析を行った。バリが介在物であるならば、トロリ線の銅の成分がアーク痕部分から検出されるはずである。

(1) 鑑定物品

鑑定物品は、列車屋根上のステンレス製（SUS304）クーラーカバーを一部切除した 1 検体である。（写真 16、17 参照）



【写真 16 鑑定物品の状況（外面）】



【写真 17 鑑定物品の状況（内面）】

(2) 鑑定手法

鑑定物品両面に 6 か所の測定位置（外面 4 か所、内面 2 か所）を次のように設定し、それぞれの位置での元素分布を測定する。

測定位置は、外面のうち、「①溶痕を認めない箇所」、「②大きな溶痕内の広く盛り上がりをもつ箇所」、「③大きな溶痕内の突起を認める箇所」、「④小さな溶痕」。内側のうち、「⑤溶痕を認めない箇所」、「⑥②の裏側に位置する箇所」と設定する。以後、各測定箇所を①から⑥の表記で略す。（写真 16、17 参照）

ア エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置による分析

この装置は、試料に X 線を照射して発生する蛍光 X 線のエネルギー（波長）や強度を解析することにより試料を構成する元素の種類や含有量を非破壊で分析できるものである。

鑑定物品の分析は、兵庫県立工業技術センター所有の SHIMADZU 製 EDX-900（検出可能素 Na～U）を使用し、各測定位置の元素分析を実施した。

イ エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置付走査型電子顕微鏡による分析

この装置は、光の代わりに波長の短い電子線を利用して微細な表面構造を観

察できる電子顕微鏡である。また、先述したエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置を備えているため、より細かい範囲の元素分析が可能である。

鑑定物品の分析は、兵庫県立工業技術センター所有の日本電子株式会社製 JSM-7001F（検出可能元素 Be～U）を使用し、各測定位置での元素分析をさらに狭い範囲で実施した。

(3) 分析結果

ア エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置による分析結果

表 1 に、各測定位置での各元素の定量分析をまとめた結果を示す。

【表 1 各測定位置での各元素の成分割合】

測定位置	①	②	③	④
重量 百分率 (Wt%)	Fe:61.5 Cr:16.7 Cu:11.3 Ni:7.9 Mn:1.3 S:0.7	Fe:66.5 Cr:20.8 Ni:8.5 Mn:2.5 Cu:1.0	Fe:63.9 Cr:18.4 Ni:7.8 Cu:5.6 Si:2.4 Mn:1.6	Na:95.4 Fe:2.5 Cr:1.5 Cu:0.2 Ni:0.2 Mn:0.1
測定位置	⑤	⑥	参考 (SUS304)	
重量 百分率 (Wt%)	Fe:70.4 Cr:16.5 Ni:9.6 Mn:1.5 Zn:1.1 S:0.5	Fe:70.9 Cr:19.8 Ni:8.7 S:0.3	Fe:50～ Cr:18～ Ni: 8～ Mn:～2 Si:～1 C:～0.08 P:～0.045 S:～0.03	

外面の①～③では、鉄 (Fe)、クロム (Cr) の順で組成割合が高く、他には、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、マンガン (Mn)、ケイ素 (Si)、硫黄 (S) を認め、鑑定品の外面では、ステンレス鋼の SUS304 の組成に加え、銅が認められた。

また、各測定位置での銅の割合は、溶痕部位の②～③に比べ、溶痕を認めない①の方が高い。

次に内面の⑤、⑥では、鉄、クロム、ニッケルの順に割合が高く、他には、マンガン、亜鉛 (Zn)、硫黄が認められた。鑑定品の内面では、ステンレス鋼の SUS304 の組成に加え、溶痕を認めない部位で亜鉛が認められた。また、外面で検出された銅は認められない。

イ エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置付走査型電子顕微鏡による分析結果

表 2 に、各測定位置での各元素の定量分析をまとめた結果を示す。当該分析では新たに炭素 (C)、酸素 (O) も検出対象となる。

【表2 各測定位置での各元素の成分割合】

測定位置	①	②	③	④
重量 百分率 (Wt%)	Cu:46.2	Fe:49.7	Fe:48.9	Fe:46.0
	Fe:23.0	O:15.7	Cr:23.4	Cr:17.6
	O:11.4	Cr:14.2	C:16.1	O:12.6
	Cr:6.5	C:7.1	Ni:4.6	Cu:8.3
	C:4.3	Ni:5.0	O:4.2	Ni:5.1
	Ni:3.0	Cu:3.6	Si:0.9	Mn:4.7
	Cl:2.5	Mn:3.1	Cu:0.8	C:2.8
	S:1.5	Si:1.4	Mn:0.6	Si:2.7
測定位置	⑤	⑥	参考 (SUS304)	
重量 百分率 (Wt%)	Fe:67.9	Fe:64.8	Fe:50～	
	Cr:16.8	Cr:16.4	Cr:18～	
	Ni:8.3	Ni:7.1	Ni: 8～	
	C:3.5	O:4.9	Mn:～2	
	O:1.6	C:4.5	Si:～1	
	Mn:0.8	Mn:0.8	C:～0.08	
	Si:0.6	Si:0.5	P:～0.045	
			S:～0.03	

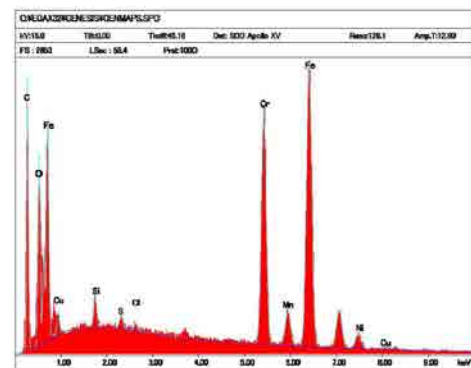
外面の①～④では、鉄、クロム、ニッケル、銅、マンガン、ケイ素、硫黄、塩素 (Cl)、炭素、酸素が認められる。検出される炭素は、鋼材に含まれるものもあるが、その他、表面に付着する炭素や炭化物由来のものがある。検出される酸素は、燃焼物や金属酸化物由来であり、表面が燃焼、酸化すると炭素や酸素の割合が増加する傾向がある。また、ケイ素は、ガラスや砂などに含まれている。(③での詳細な分析結果は写真 18、19 参照)

アでの分析結果と同様に、当該分析でも、鑑定品の外面ではステンレス鋼の SUS304 の組成に加え、銅、炭素、酸素が認められた。また、各測定位置での銅の割合も、溶痕部位の②～③に比べ、溶痕を認めない①の方が高い。

次に内面の⑤、⑥では、鉄、クロム、ニッケルの順に割合が高く、他には、炭素、酸素、マンガン、ケイ素が認められた。内面ではステンレス鋼の SUS304 の組成に加え、炭素、酸素が認められた。また、外面で検出された銅は認められない。



【写真 18 エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置付走査型電子顕微鏡による分析結果①】



【写真 19 エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置付走査型電子顕微鏡による分析結果②】

（4）鑑定結果

分析の結果、ステンレス鋼 SUS304 の組成以外の金属の付着については、外面の各部で銅が認められ、内面では一部に亜鉛が認められた。

鑑定物品の外面の各部で認められた銅の割合は、溶痕を認めない部位よりも、溶痕を認める部分の方が低い。

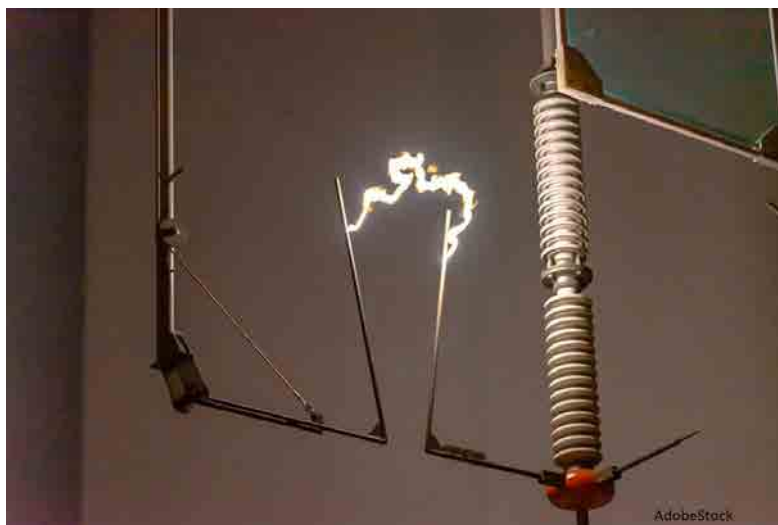
これらの成分分析から、火災原因の特定のために参考となる結果は得られなかった。

7.2 鉄道会社による成分分析

クーラーカバー及び軌道内に落下していたバリ A、軌道内に落下していたバリ B、アーク痕のあったトンネル天井の碍子をそれぞれ別業者に依頼して成分分析を実施し、鉄道総研に技術支援を依頼している。

介在物について、各種成分分析の結果からは推定できなかったものの、鉄道総研の見解では、アーク痕が残った要因については、定量的な根拠はなく推測の域を出ないが、状況から下記の経緯が推測された。

- ①トロリ線からクーラーカバー間に何らかの介在物が介入
- ②クーラーカバーと車体との間の絶縁が何らかの理由で低下、もしくはクーラーカバーと車体との間に何らかの介在物があった等により、クーラーカバー取り付け部と車体の間が導通（仮定。なお、車両設計上はクーラーカバーと車体との間は絶縁）
- ③トロリ線からクーラーカバーを経由して車体へ地絡・アーク放電発生（写真 20 参照）
- ④2カ所の変電所が故障電流を完全に遮断終了するまでの約 0.15 秒の間に、列車風および大電流による電磁力でアークが伸びて支持がいしにアークが到達したことで、支持がいしにも地絡痕が発生した



【写真 20 アーク放電のイメージ】

8. 結論

以上のことから、今回の火災は5号車屋根上に設置されたクーラーカバーに向かって何らかの原因でアークが発生し、さらにその電流がクーラーカバーを介して地絡する際に、クーラー内部の数箇所でもアークが発生、クーラーカバー及びクーラー内部にアーク痕を残し、クーラー内部の断熱材（ポリウレタンフォーム：難燃性）へと着火し延焼拡大したものと推定する。き電線若しくはトロリ線から5号車の屋根上のクーラーカバーに向かってアークが発生した原因については、トロリ線から発生するバリを介して地絡した可能性が高いが確たる物証が得られなかった。

9. 鉄道会社の対応

今回の火災を受けて、鉄道会社は以下の対策を行っている。

- (1) 全車両のクーラーカバー内面への、絶縁強化を目的としたゴムクッションの貼付
- (2) バリの確認強化
- (3) バリについて作業員への再教育
- (4) バリの発生抑制（バリが発生し難いトロリ線への張替えを順次検討）

10. おわりに

本調査では、関係機関の協力を得ながら詳細な現地調査を行い、さらに高度な成分分析にも取り組むことで、電車火災の原因解明に全力を尽くした。また、電車火災ということで、監督官庁である近畿運輸局にも連絡を行い、情報共有、車両の技術基準について助言を受ける等連携を取ることが出来た。

明確な出火原因の特定には至らなかったものの、出火の可能性を科学的に一つずつ検証していく過程を通じて、調査手法や分析技術に関する多くの知見を得ることができた。また、自身の調査経験が浅い中でも、上司や専門機関のサポートを受けながら最後まで取り組めたことは、今後の業務にも生かせる大きな糧となった。

今回の取り組みが、今後同様事案があった際の原因調査の一助になれば幸いと考える。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

ポータブルバッテリーの基板から出火した火災の
原因調査について

徳島市消防局
木村誠、近藤晋也、河崎裕、津田啓貴、山中徳治

1. はじめに

リチウムイオン電池を内蔵し、交流を出力することができるポータブルバッテリーは、近年のアウトドアブーム、防災意識の向上及び今日の生活に欠かせないスマートフォンの充電をはじめとした家電製品の電源などの手段として消費者に浸透し、販売台数は右肩上がりに年々増加傾向である。また、販売台数の増加に比例するように火災及び事故件数も増加傾向にあり、消防研究センターにポータブルバッテリーからの出火について情報照会をかけたところ、令和6年中に25件の火災が発生している。

現在市場に出回っているポータブルバッテリーは約9割が中国製となっており、グローバルモデルを日本国内仕様にカスタマイズした製品が販売されている。

ポータブルバッテリーは電気製品の安全性能を認定する電気用品安全法（PSE法）の規制対象外となっており、特定のJIS規格、IEC規格も存在しておらず、モバイルバッテリー等リチウムイオン電池を内蔵した機器からの出火が増加しているように、大容量のリチウムイオン電池を内蔵するポータブルバッテリーにおいても一定の事故リスクが存在している。このことから、近年は経済産業省を中心にポータブルバッテリーにも独自の安全基準を策定するよう検討は進められているところである。令和6年2月29日には、対応する他の規制を準用する「ポータブル電源に関する安全性要求事項(中間取りまとめ)」が経済産業省から公表されているほか、令和6年6月3日には、電気製品認証協議会(SCEA)が行うSマーク認証制度にて「ポータブル電源に関する安全性要求事項(中間取りまとめ)」を追加基準として採用することが公開され運用開始している。また、令和6年11月27日には、一般社団法人日本ポータブル電源協会(JPPSA)が設立されるなど、安全基準の策定に向けてさまざまな動きが見られるが、未だに特定の安全基準は設けられていないのが現状である。

これらのことから、既に国内で流通しているポータブルバッテリーは、安全性が認定されていない製品が多数出回っている状況であり、今後も販売台数に比例するように火災事例が増加するものと考えられる。

本稿で紹介する事例は、車両の荷室内に積載され未使用状態であったポータブルバッテリーから出火したものである。ポータブルバッテリーが焼け残っていたため、原因調査を進めていくことで内部基板からの出火であることを特定することができた、数少ない奏功事案であると言える。

2. 火災の概要

本火災は、令和5年5月、共同住宅の駐車場において、駐車中であった普通乗用車の荷室に積載されていたポータブルバッテリーを含む車両内収容物が焼損した車両火

災である。

また、車両使用者が火災を発見した際、火災はすでに鎮火状態で、その後、車両関係者が被災証明書の発行のため消防機関に訪れたことで覚知した事後聞知火災である。

3. 火災現場における見分

消防機関が火災を覚知した際、既に当該車両はディーラーへ移動されていたが、火災現場の調査を行うため、駐車場についての見分を進める。

3.1 駐車場周辺及び駐車場について

駐車場周辺の建物及び車両に焼損は認められない。（写真1）



写真1 現場の状況

3.2 現場見分まとめ

現場見分において、駐車場周辺及び駐車場に焼損が認められないことから、車両外部及び外周部からの出火の可能性は低いと判断される。

4. 焼損車両の見分状況

火災現場からディーラーへ移動された車両について、車両使用者及びディーラー整備士立会いのもと詳細に見分を進める。

4.1 焼損車両について

焼損車両は、車両使用者が勤める会社所有の社用車となっており、令和5年3月に初度登録されている。当該車両はハイブリット車であり、ハイブリット車用バッテリーは後部座席下部に積載されている。リコール情報はない。

車両使用者によると、焼損車両を最後に使用したのは火災発見の3日前であり、それ以降は使用していない。焼損車両は施錠と同時にサイドドアミラーが連動して開閉するようになっており、車両使用者が最後に使用し駐車した際にミラーが閉じるのを確認し、火災発見時に車両内部を確認する際にはミラーが開くのを確認している。

焼損車両がディーラーへ持ち込まれた経緯は、車両使用者が個人所有の車両と社用車のいずれも同一メーカーであったことから、火災発見後、日頃から自身の車両の整備等を依頼しているディーラーへ連絡。出火場所で簡易点検を行ったディーラー社員が自走可能と判断し、自らの運転で車両を持ち込んだものである。

焼損車両を見分するにあたり、進行方向に向かって前後左右とする。

4.2 車両外観及び底部

車両外観及び底部に焼損はない。（写真 2）

4.3 車両内部（乗員室内）

乗員室内は全体に薄く煤が付着しているのみで、焼損はない。

また、説明にあった後部座席下部のハイブリッド車用バッテリーに焼損等の異常はなく、リヤシートクッション底面側にも異常はない。（写真 3）



写真 2 車両外観



写真 3 車両内部

4.4 車両内部（荷室）

車両使用者によると、荷室にはポータブルバッテリー以外に、私物の工具類及び靴類のほか、仕事で使う資料や木材のサンプルを積載していたが、火災発見後にポータブルバッテリー以外の積載物については車両から降ろしたとのこと。また、火災発生時はトノカバーを展開していたが、火災発見後に収納したとのこと。

なお、ポータブルバッテリーは荷室左側デッキボード上に置いていたが、電気機器等は接続していなかったとのことである。（図 1）

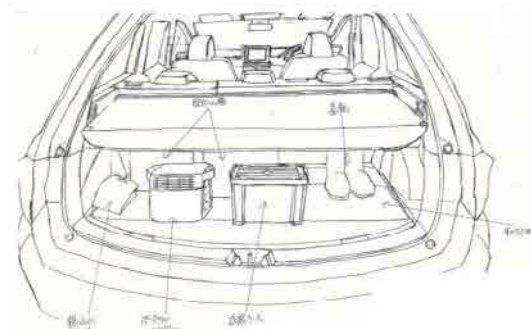


図 1 車両荷室復元図

荷室内は、全体に煤の付着が見られ、鑑識時、収納状態であったトノカバーを展開すると、上面は焼失箇所周辺が変色しているが、下面は広範囲が焼損し、黒く変色している。（写真 4）

荷室のデッキボードは中央より左側が焼失している。

荷室周辺の車両内配線については、バックドア下部にあるデッキトリムカバー内の配線のみで、カバーを取り外し確認するも焼損等異常はない。

なお、堆積する残渣を収集し、北川式ガス採取器を使用し検知したが、検知管（鑑識用石油 290P II）に油脂反応はない。（写真 5）



写真 4 荷室内焼損状況



写真 5 荷室内焼損状況及びガス採取結果

4.5 その他

ディーラー整備士により、ECU のダイアグレポートの確認を依頼したところ、ダイアグレポートにシステム異常は検出されていない。

また、焼損したパンク修理剤と同型品を確認すると、成分はプロピレングリコールとアンモニアが使用されており、使用温度範囲は-40℃から 60℃となっている。

4.6 焼損車両見分まとめ

焼損車両について見分をしたところ、車両外観に焼損はなく、内部の状況を考慮すると、車両内部の荷室左側付近に積載されていたポータブルバッテリー底面付近から出火したものと考えられる。

荷室左側付近からの出火の可能性として放火、たばこ、自然発火、交通機関内配線及びポータブルバッテリーが考えられる。

放火については、車両の施錠状況及び車両使用者が購入後間もないポータブルバッテリーに放火したとは考えにくいことから否定される。

たばこについては、車内にたばこの吸殻はなく、車両使用者等に喫煙者がいないことから否定される。

自然発火については、焼損箇所に置かれていたパンク修理材の自然発火によるものが考えられるが、出火当時の気温及びパンク修理材に含まれる成分の発火温度から否定される。

交通機関内配線については、出火箇所付近の車両内部配線に異常がなく、火災発生後も自走可能であったことから否定される。

これらのことを考慮すると、ポータブルバッテリーからの出火の可能性のみが残るため、後日、ポータブルバッテリー製造元、NITE 及び消防研究センター立会いのもと

合同鑑識を実施し、詳細に鑑識を進めることとした。

5. ポータブルバッテリーの鑑識

ポータブルバッテリーについて、製造元から同等品の提供を受け、比較しながら詳細に鑑識を進める。

なお、鑑識開始当初は「同型品」として提供を受けていたが、鑑識を進めたところ、製造番号から試作品であったことが判明したため、「同等品」として取り扱うものとする。

5.1 ポータブルバッテリーについて

本火災で焼損したポータブルバッテリーは中国製であり、世界に向けて販売されており、累計販売台数は10万台を越えている。内蔵するバッテリーセルには、安全性の高いリン酸鉄リチウムイオン電池が使用されている。製造元によると、リコール情報はなく、発煙及び発火事故も報告されていないとのこと。

ポータブルバッテリーは車両使用者が個人使用及び防災用として、令和4年11月にインターネットサイトの製造元直営店で購入している。火災発生の約1か月前に電動工具の電源として使用しており、その後バッテリー容量の80%程度まで充電し、車両荷室のデッキボード焼失箇所付近に積載していた。

購入後、当該ポータブルバッテリーが水に濡れることや強い衝撃を与えるようなことはしておらず、使用に際して動作不良等の不具合も確認されていない。また、充電時には冷却ファンも正常に作動している。

火災発見後、焼損していたため、車両とともにディーラーへ持ち込まれていたものである。

見分をするにあたり、液晶画面、各USBポートが取り付けられた面を前面とし、反対側を後面、前面に正対して左右、上部面を天面、下部面を底面とする。

5.2 外観

天面は全体的に薄く黄褐色の煤が付着しているのみである。

前面には液晶画面、USB-A出力ポート2口、USB-C出力ポート2口、USB電源ボタン及び主電源ボタンが配置されているが、これらに焼損は認められない。

後面にはAC/DC入力ポート、充電過負荷保護ユニット復旧ボタン、AC出力ポート、AC電源ボタン、シガーソケット出力ポート、DC5521出力ポート及びDC12V電源ボタンが配置されているが、これらに焼損は認められない。

右側面は上部カバーに冷却ファン吸気口があり、吸気口直下の筐体にエクストラバッテリー接続ポートがあるが、これらに焼損は認められない。

左側面は上部カバーに冷却ファンの排気口があるが焼損しておらず、筐体底面付近

が焼損し、部分焼失している。

同等品の底面を確認すると、製品銘板シールが貼付されている。焼損品の底面は中央付近から左面にかけて円形に焼失しており、内部基板が露出している。同等品にあった製品銘板シールは焼失している。（写真 6）



写真6 ポータブルバッテリー外観

5.3 充電コード

焼損品及び同等品の充電コードは、コード長はいずれも 140 cm であり、電源プラグ及びコネクタも同様のものである。コード等に焼損は認められない。

5.4 内部

見分するにあたり、内部の基板等の配置について製造元技術者に確認すると、天面側から順に PSDR 基板、BMS 基板、バッテリーセルがあり、バッテリーセルを上下に挟むように接続基板があるとのこと。(図 2)

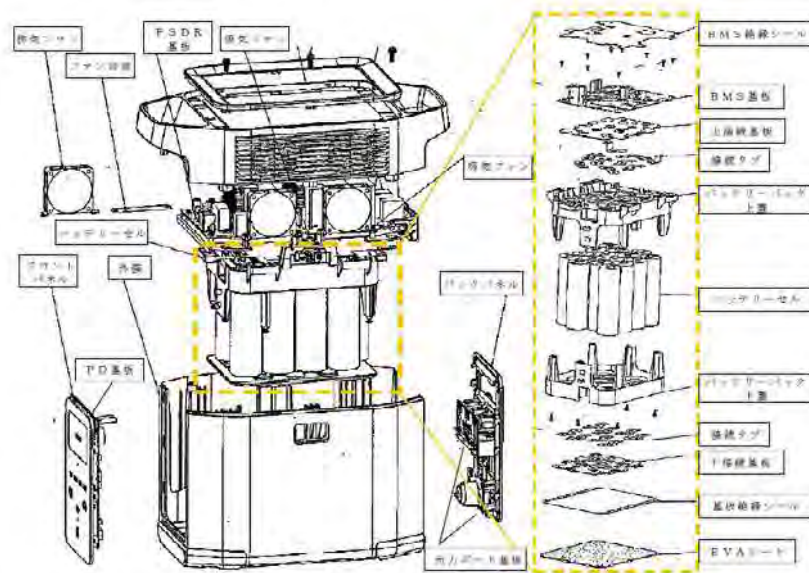


図 2 ポータブルバッテリー展開図

上部カバー底面側、PSDR 基板天面側、PD 基板、出力ポート基板、BMS 基板台座及び BMS 絶縁シートは黄褐色の煤が付着しているが、焼損は認められない。

PSDR 基板天面側の後端中央に 20A 電流ヒューズが配置されており、焼損品の抵抗値を測定すると、 0.0Ω を示しているため、導通が認められる。

PSDR 基板底面側は基板表面の絶縁コーティング剤が全体的に光沢を失い、中央左端

から半円状に焼損し、暗褐色に変色している。

焼損品のフロントパネル、PSDR 基板、各ファン及びバックパネルを同等品に組付けて主電源ボタンを押したところ、正常に起動し、入力及び出力についても異常はない。

（写真 7・8）

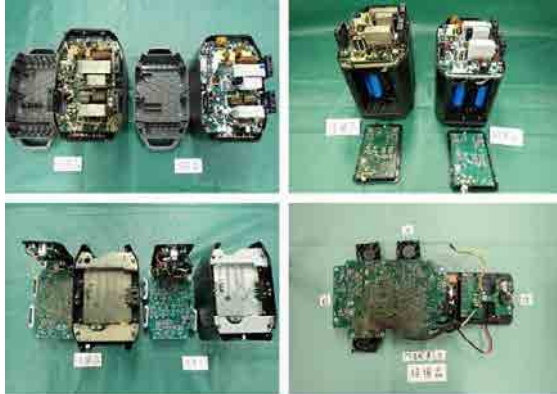


写真 7 ポータブルバッテリー内部基板



写真 8 各種確認状況

5.4.1 BMS 基板

BMS 基板天面側は全体に黄褐色の煤が付着し、前面寄り右端に配置された抵抗 R53 及び R64 が焼損し、周囲の絶縁コーティング剤は黒く変色している。

また、抵抗 R77、R99、R169、R176、R212 及び R213 の端子表面にはんだの浮きが認められ、周囲の絶縁コーティング剤は暗褐色に変色している。（写真 9）



写真 9 BMS 基板天面側

後面より左右両端に配置された B+端子及び B-端子間の電圧を測定すると、45.9V を示す。（写真 10）



写真 10 電圧測定状況

BMS 基板底面側は左側中央付近に煤の付着があり、前面側右端に配置された抵抗 R24、R35、及び R46 の絶縁コーティング剤が焼失し、R66、R68、R182 及び R209 は焼損し絶縁コーティング剤が黒く変色している。R24、R31、R66、R68、R117、R162、トランジスタ Q11、Q16、Q38、Q50 及びコンデンサ C11 の端子表面にはんだの浮きが認められ、周囲の絶縁コーティング剤は暗褐色に変色している。（写真 11）



写真 11 BMS 基板底面側

BMS 基板で焼損が認められる回路は各バッテリーセルの電圧を一定に保つためのバランス回路であり、充電時のみ起動するものである。（図 3）

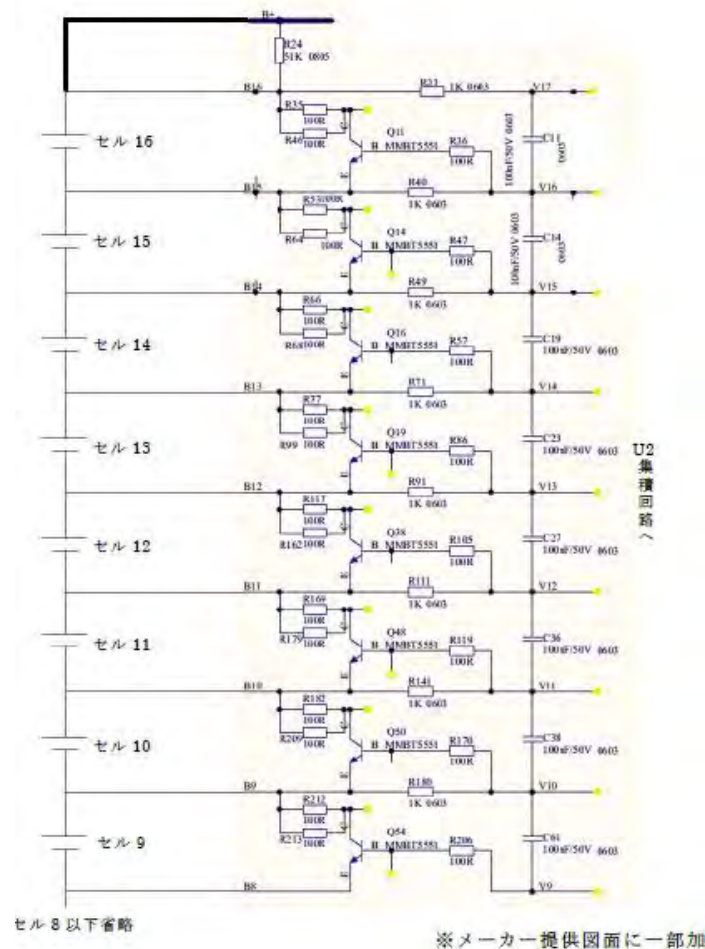


図 3 バランス回路図

BMS 基板について、X 線 CT 装置により透過画像を確認すると、パターンの溶融及び燃え込みはなく、バランス回路の抵抗に金属粒が認められる。また、集積回路 U2 及び U3 に焼損はなく、ピンの脱落及びボンディングワイヤーに断線はない。（写真 12）

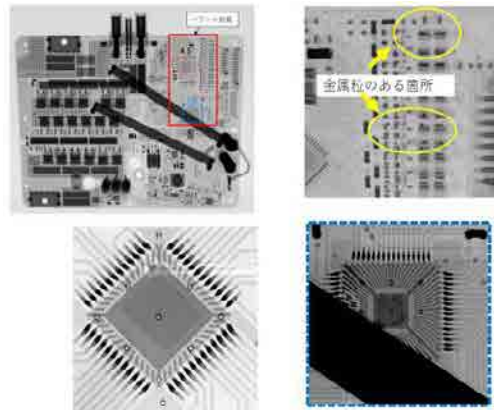


写真 12 BMS 基板透過画像

バランス回路に配置された各トランジスタについて、基板から離脱しエミッタ、コレクタ及びベース間において双方向のダイオードテストを行ったところ、Q50、Q14、及び Q11 のベース→エミッタ方向及びエミッター→ベース方向で 0V 又は 0V に近い電圧値を示し、エミッター→コレクタ方向で 0.5～0.7V 程度の電圧値を示している。（表 1）

表 1 ダイオードテスト測定結果

単位 (V)

端子番号	部品番号	B→E	B→C	C→B	C→E	E→B	E→C
B1	Q51	0.618	0.607	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B2	Q49	0.619	0.610	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B3	Q39	0.619	0.609	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B4	Q22	0.618	0.610	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B5	Q17	0.620	0.614	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B6	Q15	0.619	0.608	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B7	Q12	0.619	0.609	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B8	Q9	0.619	0.608	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B9	Q54	0.619	0.597	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B10	Q50	0.005	0.605	0.L.	0.L.	0.005	0.574
B11	Q48	0.618	0.609	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B12	Q38	0.619	0.610	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B13	Q19	0.619	0.608	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B14	Q16	0.618	0.597	0.L.	0.L.	0.L.	0.L.
B15	Q14	0.000	0.598	0.L.	0.L.	0.000	0.705
B16	Q11	0.000	0.595	0.L.	0.L.	0.000	0.553

※ 端子番号及び部品番号は、基板上の表示及び提供の回路図に記載された番号

5.4.2 バッテリーパック

バッテリーパックは前後及び左右に 4 本ずつ計 16 本のバッテリーセルを樹脂製のバッテリーパック上蓋及びバッテリーパック下蓋で固定したものである。バッテリーセルはプラス端子及びマイナス端子が交互に配置され、隣り合ったセル同士がタブを

介して直列に接続されており、末端のバッテリーセルのプラス端子及びマイナス端子は BMS 基板に接続されている。また、各バッテリーセルのプラス端子及びマイナス端子は、バッテリーパックの天面側及び底面側の基板内側にタブが接続されている。

バッテリーパックは右側面の各蓋が原形を留めているものの、水色の熱収縮チューブは一部が暗褐色に変色しているのに対し、左側面はバッテリーパック下蓋の中央付近が焼け切れ、前面方向に焼損しており、焼け切れ箇所を起点として熱収縮チューブが扇状に焼損している。（写真 13）

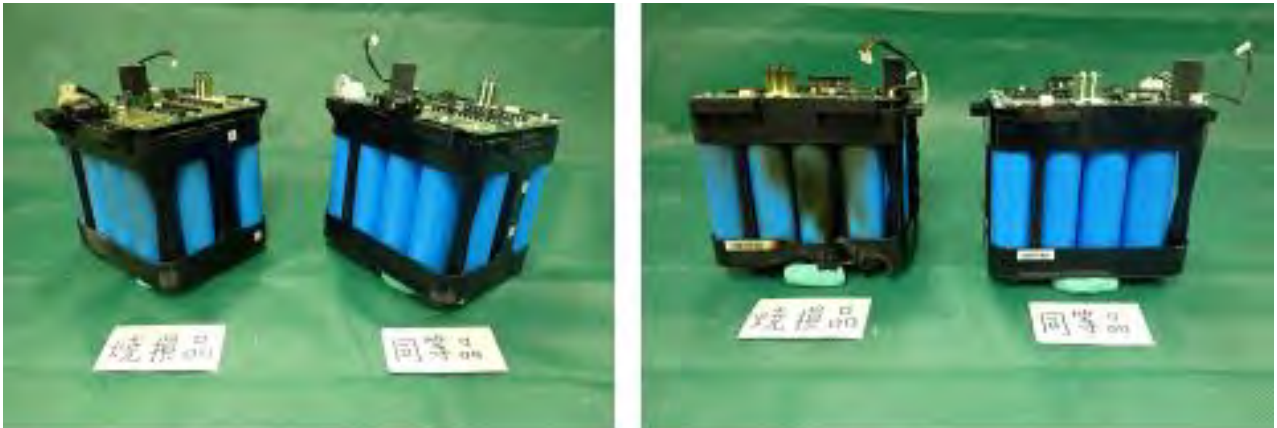


写真 13 バッテリーパック外観

バッテリーパック天面側の上接続基板の天面側及びタブに焼損は認められない。（写真 14）

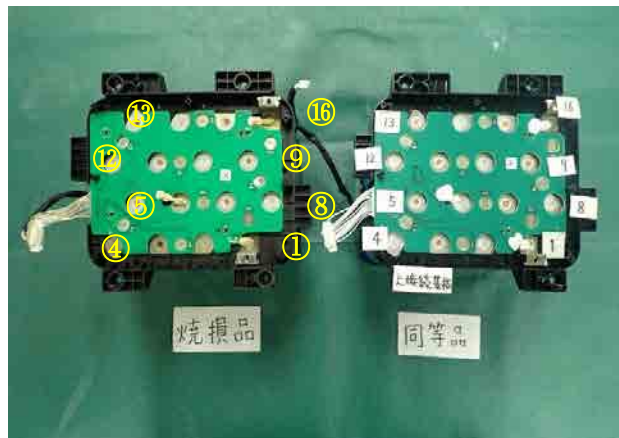


写真 14 上接続基板天面側

バッテリーパック底面側の下接続基板の底面側は基板中央左寄りが灰化し、その周囲は粘着性のある合成樹脂が付着している。（写真 15）



写真 15 下接続基板底面側

各バッテリーセルをバランス回路の各端子番号に合わせて1～16まで付番し、各バッテリーセルの電圧を測定すると、バッテリーセル11は11.6mV、バッテリーセル12は63.7mV、バッテリーセル13は2.725Vであるのに対し、他のバッテリーセルは3V以上の電圧を示している。（図4、表2）

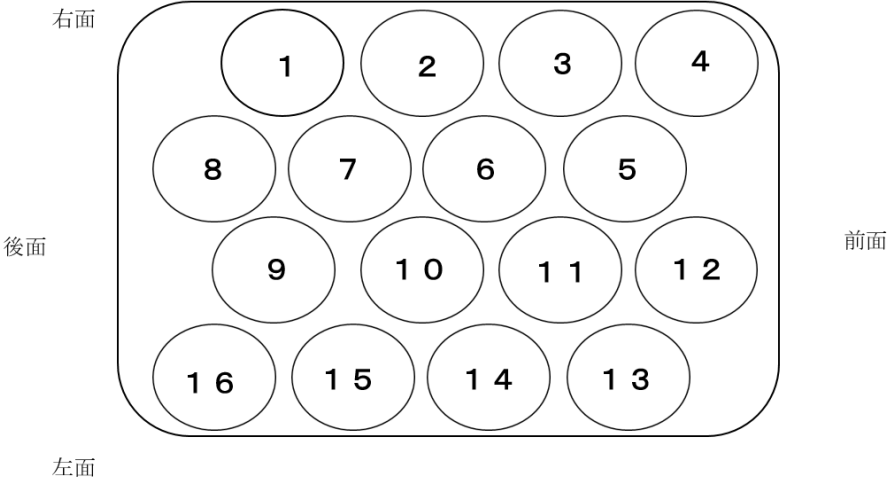


図4 バッテリーセル配置図(天面側)

表2 各バッテリーセル電圧測定結果

焼 損 品				同 等 品			
セル1	3.323V	セル9	3.322V	セル1	3.295V	セル9	3.294V
セル2	3.323V	セル10	3.182V	セル2	3.294V	セル10	3.294V
セル3	3.323V	セル11	11.6mV	セル3	3.294V	セル11	3.294V
セル4	3.323V	セル12	63.7mV	セル4	3.294V	セル12	3.294V
セル5	3.323V	セル13	2.752V	セル5	3.294V	セル13	3.294V
セル6	3.322V	セル14	3.268V	セル6	3.295V	セル14	3.294V
セル7	3.323V	セル15	3.281V	セル7	3.295V	セル15	3.294V
セル8	3.323V	セル16	3.324V	セル8	3.294V	セル16	3.294V

上接続基板は前面側の配線により BMS 基板に接続されており、配線を離脱して見分
すると、配線及び上接続基板底面側に焼損は認められない。

下接続基板を離脱すると、基板天面側中央寄りの基板母材が灰化しその周囲に粘着

性の合成樹脂が付着している。

バッテリーパック下蓋は、中央左寄りが楕円形に溶融している。

バッテリーパック下蓋のタブは前後2個、左右4列の合計8個あり、これらのタブは各バッテリーセル間及び下接続基板を接続しているが、各タブの接続箇所に変形及び溶融は認められない。

各タブのうち、バッテリーセル5-6間、9-10間、11-12間、13-14間及び15-16間の底面側に黄褐色の変色が認められる。

バッテリーパック下蓋について、タブを取り外して見分すると、各タブに変形及び溶融は認められない。

各タブの取り付け箇所のバッテリーパック下蓋は、バッテリーセル1-2間、3-4間、5-6間、7-8間及び15-16間は原形を留めているのに対し、バッテリーセル9-10間、11-12間及び13-14間は溶融し原形を留めていない。また、各タブに変形及び溶融は認められない。（写真16）

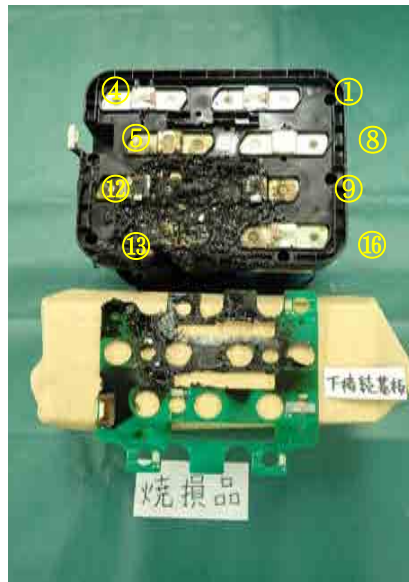


写真16 バッテリーパック下蓋

バッテリーパック下蓋を取り外して見分すると、バッテリーパック下蓋の天面側は、左側面の前寄りに焼け切れが認められ、バッテリーセル10、11、13及び14に接する箇所が溶融し、バッテリーパック下蓋の一部に熱収縮チューブが固着しており、バッテリーセル11及び13に接する箇所は円形に焼失している。

各バッテリーセルの底面側は、バッテリーセル1、3及び7を除くすべてのバッテリーセルの端子中央のくぼみに暗褐色の煤が付着しており、そのうちバッテリーセル10、11、13及び14の端子周囲に溶融したバッテリーパック下蓋の合成樹脂が固着し、熱収縮チューブが溶融している。（写真17）

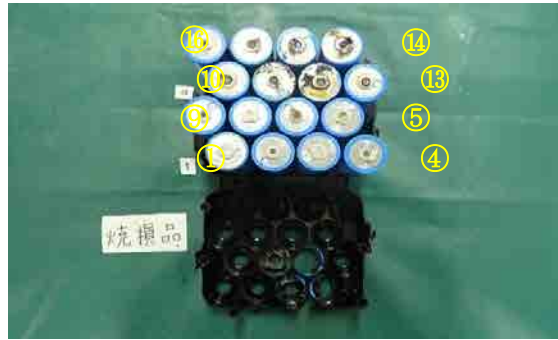


写真 17 バッテリーセル底面側

上接続基板からバッテリーセルを取り外して見分すると、バッテリーセルはすべて直径 40.53 mm、高さ 135 mmで、熱収縮チューブは一部のバッテリーセルの表面が焼損しているものの、膨張、破損及び穿孔はない。（写真 18）



写真 18 バッテリーセル測定

電圧低下が認められたバッテリーセル 11 について、X 線 CT 装置により撮影すると、内部の電極等に変形は認められない。（写真 19）

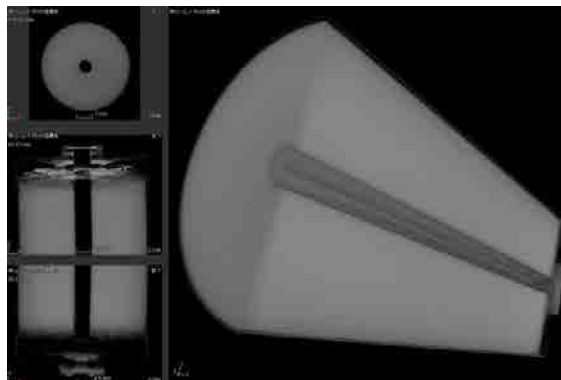


写真 19 バッテリーセル 11CT 断面画像

5.4.3 下接続基板

下接続基板は、両面とも中央左寄りのソルダーレジストが全体的に焼損しており、焼損箇所中央付近は焼失している。また、ソルダーレジストの焼失箇所は基板母材が灰化しており、灰化箇所の前よりで基板母材が破損している。

底面側の灰化箇所は、3 箇所に金属粒が認められる。（写真 20）

下接続基板の灰化箇所の抵抗値を測定すると、 1.5Ω を示す。（写真 21）

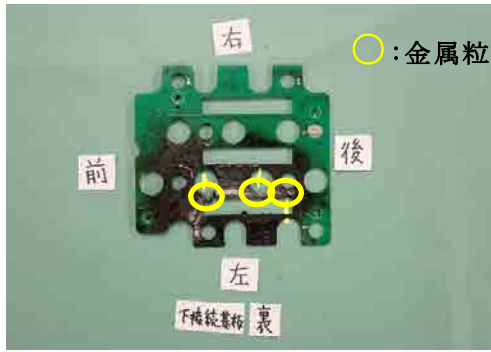


写真 20 下接続基板底面側



写真 21 下接続基板灰化箇所測定状況

下接続基板について、X線CT装置により透過撮影すると、基板母材が灰化している箇所のパターンは、全体的に熔融して直線状に金属粒が並んでおり、前寄りの基板母材が破損している箇所付近のパターンが焼失している。（写真 22）

焼損品と同等品の下接続基板は同じものを使用しているとのことで、同等品の配線パターンを確認すると、各パターンは前面側右寄りにある接続端子から各タブとの接続部へ向けて延びており、接続端子部は原形を留めているが、基板底面側の B9 の接続部及びパターン並びに基板天面側の B13 のパターンが熔融しており、双方が交差する箇所周囲のパターンが焼失している。（図 5）

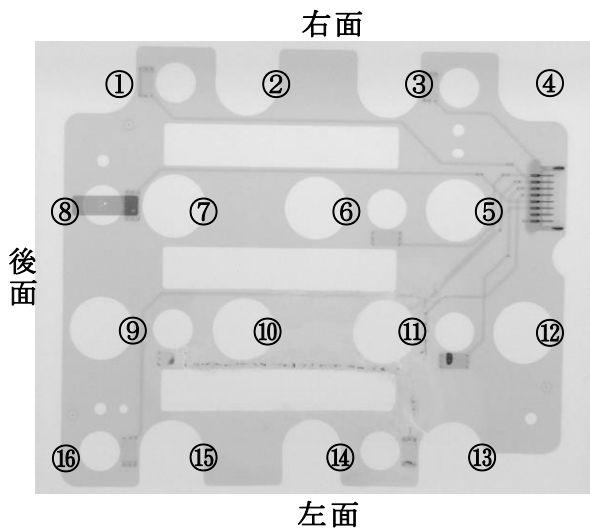


写真 22 下接続基板透過画像

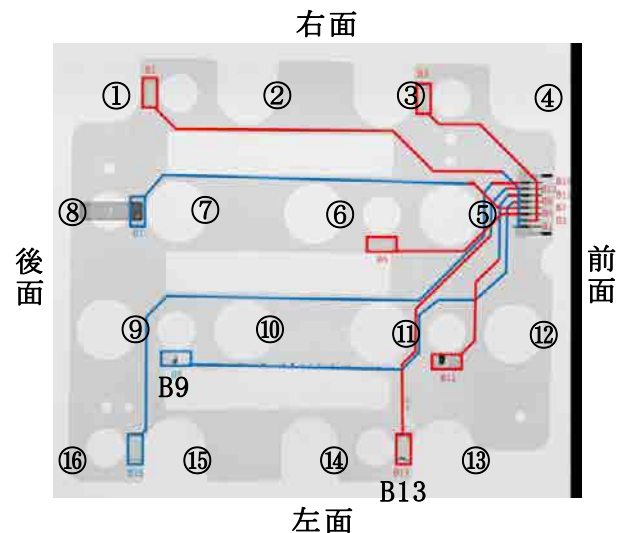


図 5 下接続基板配線パターン

6. 出火原因についての考察

ポータブルバッテリーからの出火について考察する。

6.1 外周部

バッテリーセル外観の焼損状況から、底面以外は煤が付着しているのみであることから、外部で出火した可能性は否定される。

6.2 BMS 基板

BMS 基板は抵抗の一部に焼損が認められ、トランジスタ Q11、Q14 及び Q50 はエミッターベース間でショートし、エミッタからコレクタへ向かう方向で導通が認められる。トランジスタの故障は一般的に過電圧による故障が考えられるが、これらの電子部品はバッテリーセル 10、15 及び 16 の放電用回路として配置されており、火災発生時は充電していないため、バランス回路は起動しておらず、これらのセル 3V 以上の電圧を保っていること。また、BMS 基板の集積回路に破損等の異常は認められないこと。さらに、BMS 基板の焼損箇所は限定的であり、当該箇所に隣接する箇所に焼損は認められないこと等から、BMS 基板から出火した可能性は考えられず、二次的に焼損した可能性が高い。

6.3 バッテリーセル

バッテリーセルは 16 本のうち、一部に電圧異常が認められるが電圧は測定できている。このことから、バッテリーとしての機能は損なわれていないものと考えられ、出火した際に何らかの原因で放電され、電圧が低下したものと考えられる。各バッテリーセルの外観については、熱収縮チューブが焼損しているものの、膨張等変形はなく、各バッテリーセルの形状は保たれていることから、各バッテリーセルから出火した可能性は低い。

6.4 下接続基板

下接続基板は一部の配線パターンが焼失しており、ソルダーレジストが全体的に焼損し、一部焼失している。また、ソルダーレジスト焼失箇所は基板母材が灰化しており、一部破損している。これらのことを考慮すると、下接続基板から出火した可能性は高い。また、バッテリーパック下蓋の焼損状況を天面側及び底面側で比較すると、下接続基板に面する底面側の焼損が広範囲に及んでおり、下接続基板からの出火の可能性の裏付けとなっている。

次に、下接続基板の基板母材灰化箇所からは抵抗値が測定されていることから、絶縁破壊が起こり、炭化導電路が形成されていたことが考えられる。また、同等品の下接続基板と比較すると、基板破損箇所付近は天面側及び底面側にはそれぞれ配線パターンがプリントされており、配線パターンが重なる箇所で焼失し、焼失箇所からセル側の配線パターンで金属粒が見分されていることから、配線パターン同士が何らかの原因で接触したことで短絡し、出火した可能性は考えられないが、何らかの原因により配線パターン間でトラッキングが発生し、出火したということは考えられ、下接続基板の配線パターン間で発生したトラッキングにより周囲の樹脂部品に着火し、ポータブルバッテリー底面が焼失したことで車両荷室内を焼損したものと考えられる。

しかし、トラッキングを起こした要因としては、基板母材やソルダーレジストに不

良箇所が認められておらず、ポータブルバッテリー内部の状況及び使用時の状況を考慮すると、内部に水分等の異物が侵入したということは考えにくく、痕跡等も認められない。これらのことから、基板の絶縁不良及び異物の侵入が原因でトラッキングが発生したとは考えにくい。また、基板母材を含めた絶縁物の熱劣化による可能性も考えられるが、特定には至らない。

最後に、BMS 基板のバランス回路に配置された抵抗、コンデンサ及びトランジスタの焼損については、下接続基板でトラッキングが発生した際に、何らかの電氣的要因により焼損したものと考えられるが、提供された回路図からはどのような電気回路が形成されたのかを読み解くことができず、有力な情報も得られていないため、特定に至らない。

6.5 結論

ポータブルバッテリーからの出火について、外周部、BMS 基板及びバッテリーセルからの出火の可能性は低く、下接続基板からの出火の可能性が高い。

よって、本件火災は、車両内部に積載されていたポータブルバッテリー底面の下接続基板において、何らかの原因で発生した配線パターン間のトラッキングにより出火したものと判定する。

なお、トラッキングの発生要因については特定に至らない。

7. おわりに

先述のように、ポータブルバッテリーは販売台数を伸ばしている製品であり、今後販売台数に比例するように火災件数も多くなることが見込まれる。ポータブルバッテリーの火災については多くがバッテリーセルに起因する火災であるが、本稿においては、内部基板におけるトラッキングの発生により出火した特異な事例である。

しかし、トラッキングの発生要因について特定できていないため、製品の改善等をするに至っておらず、今後も同様の火災が発生する可能性が考えられる。また、先般、同製造元の別機種において、バッテリーセルに何らかの不備があり火災に至るというリコールが発表されており、本製品についても同様の事故が生じる可能性がある。これらのことから、今後も消防研究センターと連携して追跡を行うとともに、この度の発表を通じて他消防本部と情報を共有し、今後、発生する可能性のある類似火災を一つでも多く防ぐことができるように努めていきたい。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

ラジコン草刈機から出火し
製品の改善に至った事例について

備北地区消防組合消防本部
佃昌弘、田岡敦司、深井理志

1 はじめに

本火災は、休耕田の法面を草刈作業中にラジコン草刈機から出火したものである。出火原因の究明にあたりラジコン草刈機本体の製造業者、機体に積載したエンジンの製造業者と連携し、ラジコン草刈機本体の構造に問題があると判断した。その結果、ラジコン草刈機本体の構造改善に至った事例である。

2 火災概要

- (1) 出火日時 令和6年8月13日 10時40分頃
- (2) 鎮火日時 同 日 11時30分頃
- (3) 覚知日時 令和6年8月20日 11時30分
- (4) 火災程度 ラジコン草刈機1台、休耕田の枯れ草等1a
- (5) 気象状況 天候：快晴 気温：31℃ 相対湿度：61% 風向：東
風速：1m/s

3 発見・通報・初期消火の状況

本火災におけるラジコン草刈機は、令和6年8月2日から新品のリースを開始し、8月13日に広島県庄原市内の休耕田にて、ラジコン草刈機1台、休耕田の枯れ草等1aが焼損した。8月19日に岡山県岡山市に本社工場がある製造業者が持ち帰り、8月20日に備北地区消防組合庄原消防署が事後聞知として覚知した。使用者は「ラジコン草刈機で法面の草を刈っていたところ、機体のマフラから噴き出した炎が機体の上に堆積していた刈草に着火し、機体が燃え始めて周囲の枯れ草に燃え広がったため、近くの民家からバケツを借用し水をかけて消火した。」と申述している。

4 調査の経過

(1) 第1回火災原因調査

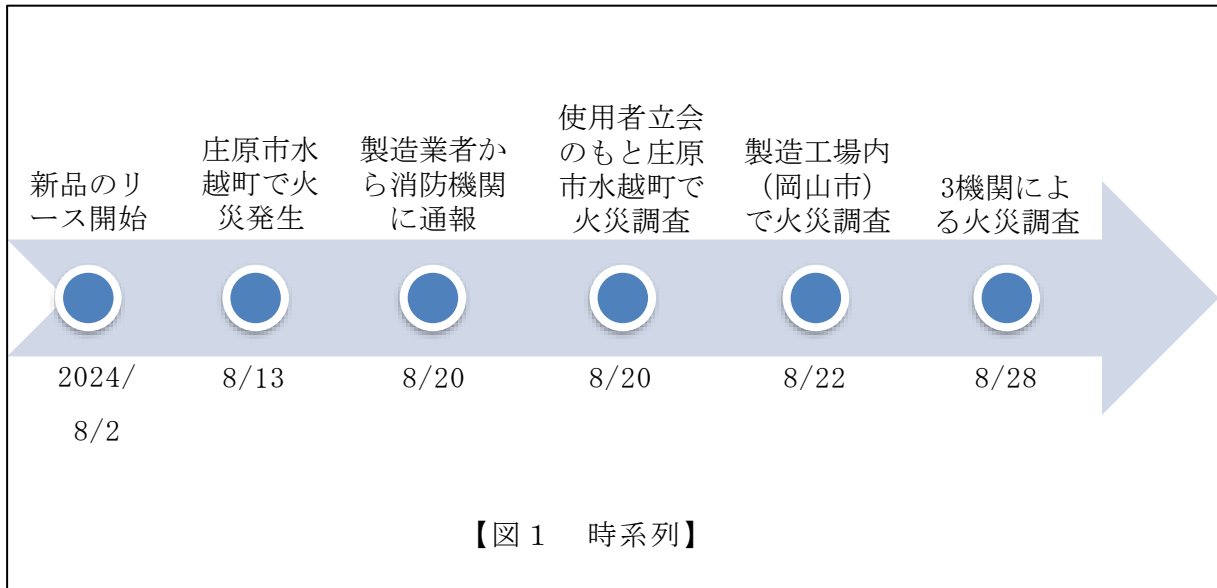
8月20日にラジコン草刈機の利用者立会のもと、火災発生現場である休耕田にて見分を進め、休耕田の焼損状況、ラジコン草刈機の当日の使用状況と火災発生までの使用頻度と異常について確認した。

(2) 第2回火災原因調査

8月22日にラジコン草刈機を製造する工場内にて焼損物件の外観及びエンジン以外の見分を実施した。

(3) 第3回火災原因調査

8月28日にラジコン草刈機を製造する工場内にて庄原消防署、ラジコン草刈機の製造業者、エンジンの製造業者の3機関合同でエンジン部分の詳細な見分、使用状況の申述による機体の異常、構造上の問題点などを確認した。



5 焼損状況

(1) 休耕田について

休耕田は、南北に最大 10.5m、東西に最大 5.5mの範囲で刈草等が焼損している。焼損範囲の南東端から東側へ 3mの位置の直径 50 cmの範囲内に緑色及び黒色のプラスチックの溶融物が残存している。

使用者は「草刈機の使用状況は、出火前日に休耕田の平地部分を刈り、当日 10 時頃から法面の草刈りを始め、機体を左に傾けた状態で北から南に向けて草刈りをしていると、刃の部分に草が詰まってエンジンが止まった。草を取り除きリコイルスタートを数回引っ張ると、マフラから 40 cm程度の炎が出て、草刈機の上に堆積していた刈草に火がついて、ボディーが燃え始めた。」と申述している。



【写真1 休耕田の焼損状況】



【写真2 溶融物】

(2) ラジコン草刈機について

ア 諸元性能

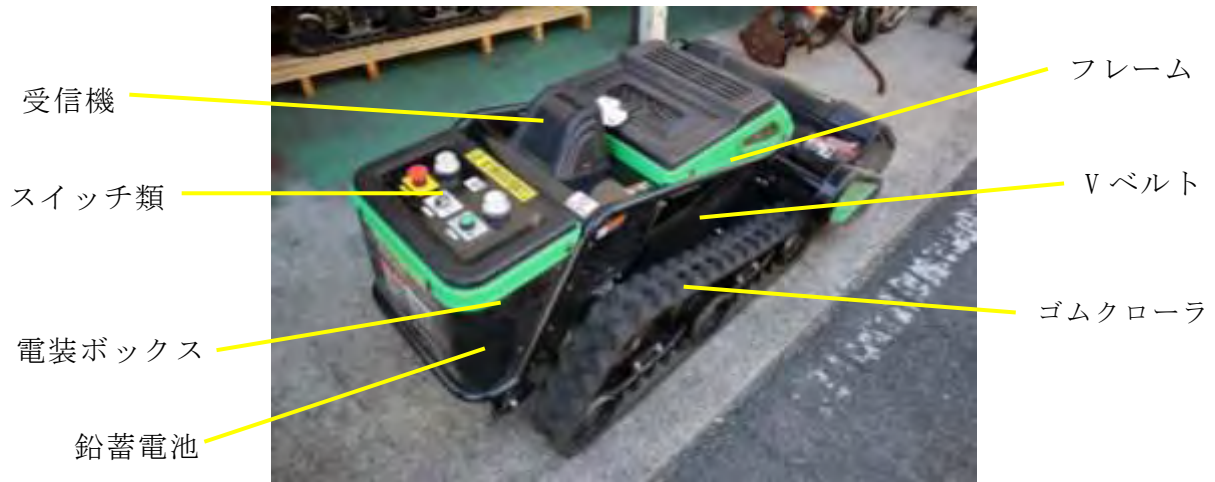
ラジコン草刈機は、全長 1695mm、幅 860mm、高さ 675mm の大きさで、12V-15Ah の鉛蓄電池及びエンジンを積載している。エンジンは、4 ストローク強制空冷単気筒、高傾斜対応（最大 30 度）、総排気量 270cc を搭載し、走行部はモータ駆動、刈取り部はエンジン駆動のハイブリット式ラジコン操作の草刈機である。前面に刈取り部が取り付けられ、中央部にエンジン関係の部品を搭載している。後面は電装ボックス及び鉛蓄電池を搭載し、中央部から後面の上部は外装カバーで覆われている。外装は金属製のフレームにプラスチック製のカバーが取り付けられており、後方に受信機及びスイッチ類が取り付けられている。右面は外側にゴムクローラ、内側に V ベルト、左面は外側にゴムクローラ、内側にリコイルスタータ及び冷却ファンが取り付けられている。



【写真 3 ラジコン草刈機（同型機）の前面】



【写真 4 ラジコン草刈機（同型機）の外装カバー及びフレームを取り外したものの】



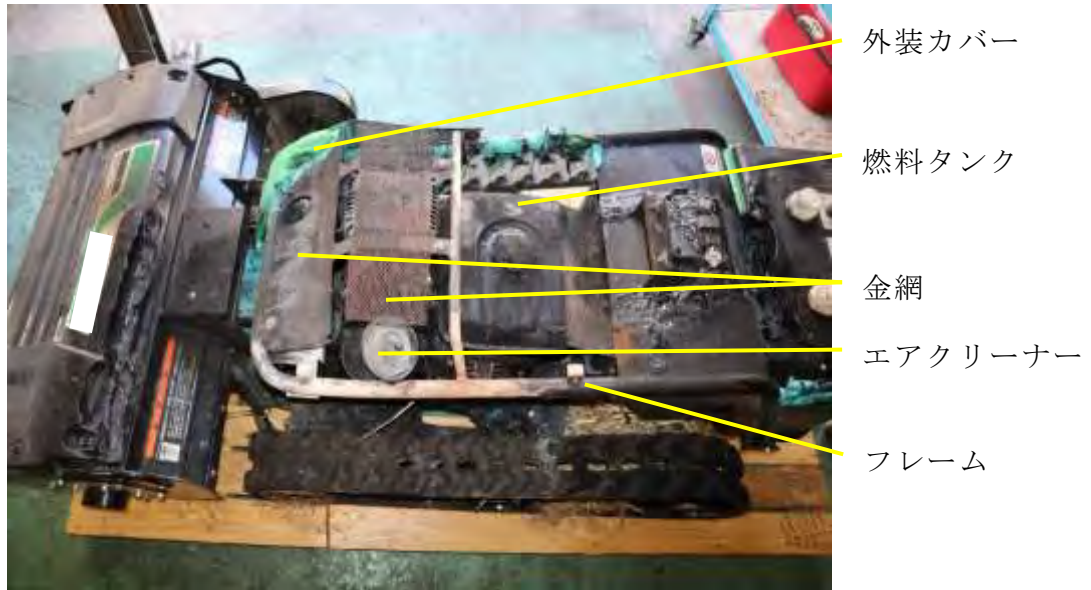
【写真5 ラジコン草刈機（同型機）の同型機の後面及び右面】



【写真6 ラジコン草刈機（同型機）の同型機の左面】

イ ラジコン草刈機の焼損状況

ラジコン草刈機の中央部分の外装カバーは、右前角及び右中央に溶融したプラスチックが残存しているのみで大半が焼失し、金網、マフラ、エアクリーナー、燃料タンク、フレームが露出している。フレームは右後側が原色をとどめており、左後側はすすの付着を認める。左前側は塗装が焼失し白色及び褐色を呈している。



【写真7 焼損したラジコン草刈機の外装カバー】

刈刃カバーはカバー後方の中央付近から左側にかけて44 cmの範囲でプラスチックが溶融しており，左側に向かうほど溶融変形が著しい。また，その後方25 cmの位置にマフラの吹き出し口が確認できる。



【写真8 刈刃カバー】



マフラ吹き出し口
【写真9 刈刃カバー】

焼損したラジコン草刈機の左面は，ゴムクローラが取り付けられており，後方部分に焼損を認めるものの原形をとどめている。ゴムクローラ内部前方のクローラフレーム等はすすけ，フレーム上部に炭化物が堆積している。クローラ内部後方には多量の刈草が詰まり，枯れた状態で残存している。クローラ部の内側にはリコイルスタータ及び冷却ファンがあり，リコイルカバーは全体がすすけ，スタータグリップは焼失し，炭化物が付着している。



【写真 10 焼損した草刈機の左面】

エアクリナーはプラスチック製のカバーが焼失し、エアクリナーの内枠が露出している。エアクリナーを取り外し詳細に見分すると、エアクリナー外側のウレタンフィルタは焼失し、金属製の内枠は全体がすすけ、内部のろ過紙は炭化している。



6 出火原因の検討

(1) バックファイヤ現象

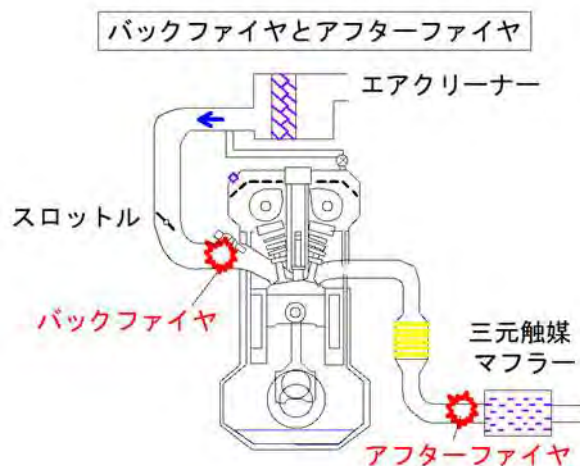
燃料がシリンダーからキャブレターへ逆流し燃焼するバックファイヤ現象により出火したのであれば、最初に着火するのはエアクリナー内部のろ過紙である。

しかし、エアクリーナーのプラスチック製のカバーは焼失しているものの、その内部のろ過紙が焼失することなく残存している。また、使用者もマフラから炎が出て火災に至ったと申述していることからバックファイヤ現象により火災に至った可能性は低い。

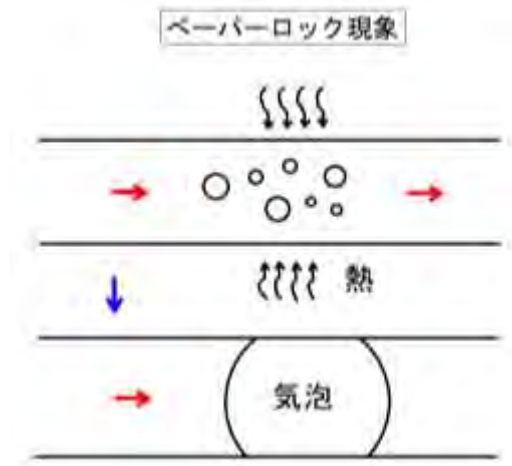
(2) ベーパーロック現象とアフターファイヤ現象

リコイルカバー全体がすすけ、スタータグリップは焼失し、炭化物が付着している状況を考えると、リコイルスタータ及び冷却ファン付近には刈草が堆積してエンジンが冷却されていなかったものと考察できる。また、このことはラジコン草刈機の使用者が燃料タンクを手で触れないくらい熱くなることも度々あったという申述内容からも考察できる。エンジンが冷却されなければ、リコイルスタータを引くことで送り込まれた燃料は、高温となったエンジンの燃料系統内で気化し、燃料が正常に流れなくなるベーパーロック現象が発生する。この現象により燃料の供給が阻害され、燃料と空気の混合比が燃焼範囲から外れたことによりシリンダー内で燃焼できず、未燃性ガスが発生、その未燃性ガスがリコイルスタータを引くたびにシリンダーから排気管へ流入し、排気管内の高温部で発火、アフターファイヤ現象が発生してマフラの吹き出し口から炎が噴出したものと考えられる。

よって、燃料と空気の混合比が燃焼範囲から外れたことにより、アフターファイヤ現象が発生し、出火した可能性が高い。



【図面2 バックファイヤとアフターファイヤ】



【図面3 ベーパーロック現象】

7 出火原因の判定

休耕田法面を草刈り作業中に、ラジコン草刈機の冷却ファンに刈草が堆積することでエンジンが冷却されず高温となり、ベーパーロック現象が発生して未燃性ガスが排気管へ流入、アフターファイヤ現象が発生してマフラから噴き出した炎が機体上に堆積していた刈草に着火し、外装カバー等に燃え広がり火災に至ったものである。

8 消防署の見解及び改善指導の内容

本火災に係る調査結果から、製品の構造にも問題があると判断したため、製造業者に対し見解を示して改善指導を次のとおり実施した。

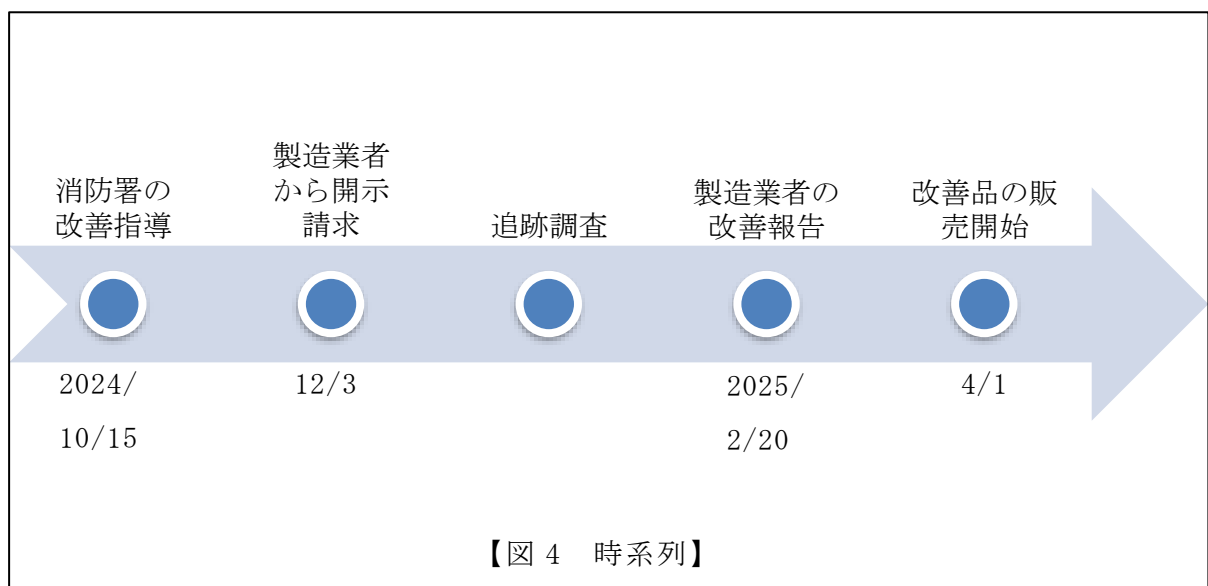
（見解内容）

- (1) 本火災は、エンジン周辺に堆積した草等を取り除いていない使用者のメンテナンス不足と判断
- (2) 冷却ファンに草が詰まり高温となり、アフターファイヤ現象が発生したこと
- (3) マフラから噴き出した炎が機体上の草に着火したこと

（指導内容）

- (4) アフターファイヤ現象が発生すれば火災に至る可能性がある構造のため、アフターファイヤ現象が起きにくい構造とすること
- (5) アフターファイヤが発生した際に火災に至らない構造とすること

その後、製造業者から火災調査書の開示請求があり、追跡調査を継続的に実施したことで製造業者の改善報告に至り、改善品の販売開始となった。



9 改善報告の内容

2025年2月20日に製造業者から次の5項目の改善報告を受けた。

(1) リコイルカバーの追加

冷却ファンが設置されている前面に、金属性のメッシュのカバーが取り付け。



【写真 13-1 改善前】



【写真 13-2 改善後】

(2) クローラ 転輪構造変更

クローラ部分の草詰まりの軽減効果



【写真 14-1 改善前】



【写真 14-2 改善後】

(3) エンジン上部の解放

解放することで放熱効果



【写真 15-1 改善前】



【写真 15-2 改善後】

- (4) マフラの排気方向の変更
火災発生の可能性が低下
- (5) 外装カバーを樹脂製から金属製に変更
難燃素材に変更



マフラの位置 樹脂製カバー

【写真 16-1 改善前】



金属製カバー マフラの位置

【写真 16-2 改善後】

10 おわりに

火災調査の目的は、火災予防の施策ないし措置の成果を検討し、その是正改善を図り、もって火災予防の徹底に資することが本来の目的となっている。主な目的は火災予防であり、製品の改善は火災予防と言えるだろう。

今回の事案では、火災調査の結果において、製品に火災を招く恐れがあること、類似火災を起こさせないという強い意志を持ち、毅然とした態度で改善指導にあたり、追跡調査を粘り強く続けたことで製造会社の意識改革、製品の改善に至り火災調査の目的を達成できた。

製品が火災となれば、専門的な知識や鑑識技術が必要となり、関係機関の利害関係が生じることもあり、火災の原因究明に苦慮することもあるが、調査技術を向上させて、調査の目的を達成すべく改善指導を行い、火災件数の減少につなげていきたい。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

無電柱化道路に面した建物において
複数箇所から発生した漏電火災

大阪市消防局予防部予防課調査鑑識
東出達彦、宮原一也、大山登生
大阪市消防局中央消防署
工藤佑介、橋本聡、福元太成

1. はじめに

本火災事例は、無電柱化道路に面した複合用途建物で発生した漏電に起因する火災である。（写真 1）

無電柱化事業とは、電線を地中に埋設し、電柱をなくすことにより都市景観の向上を図ると共に、地震や台風などの災害による電柱の倒壊や架空線の断線を予防することで、倒壊電柱による緊急車両の通行障害及び情報通信ネットワークの被害軽減を図るといった、「快適な通行空間の確保」と「都市防災機能の向上」の両立を目指すものである。大阪市では、昭和 61 年ごろから、主要な幹線道路について主に地中化方式による無電柱化が重点的に進められており、同事業は全国でも推進されていることから類似火災防止に寄与するために本火災事例を紹介する。

2. 火災の概況

- (1)出火日時 令和 6 年 6 月 19 日 16 時 20 分ごろ
- (2)覚知日時 令和 6 年 6 月 19 日 16 時 23 分
- (3)気象状況 天気：晴 風速：2m/s 湿度：60% 風向：東北東 気温：25℃ 実効湿度：69% 火災警報：無 乾燥注意報：無
- (4)火災種別 建物火災
- (5)焼損程度 ぼや
- (6)焼損状況 鉄筋コンクリート造陸屋根 8 階建複合用途建物の屋上において、低圧ケーブル用プルボックス及び電気配線類若干焼損並びに同建物の外壁に取付けられた高圧ケーブル及び外壁若干焼損。
- (7)人的被害 なし
- (8)発生時の状況（第一発見者）

火災当日 16 時 20 分ごろ、建物 1 階で勤務中に建物全体が停電。屋外に出ると焦げくさいにおいがしたため確認すると、建物南側の外壁に取付けられている電気配線から炎が 30 cm 程度噴出していたため、119 番通報した。

(9)消防隊到着時の状況

消防隊到着時（16 時 25 分）、発災建物 3 階南側外壁に取付けられている高圧ケーブル保護管から火炎を認める。

高圧ケーブル保護管の消火作業中、屋上において、焼損したプルボックスがあることを発見する。

3. 実況見分（合同鑑識）実施状況

- (1)第 1 回実況見分（令和 6 年 6 月 19 日、18 時 00 分～19 時 00 分）

実施場所：発災建物

本火災において焼損は、屋上の低圧用プルボックス等と 3 階南側外壁に取付け

られた高圧ケーブル及び同外壁に確認できる。低圧用プルボックスは、縦横 40 cm、奥行 20 cm のステンレス製で筐体の一部が溶融し、開口している。ボックスを開放すると、開口箇所には低圧線の圧着接続スリーブに巻き付けられた絶縁テープが焼損している。一方、高圧ケーブルについては建物側の金属製高圧ケーブル保護管と埋設側の金属製高圧ケーブル保護管の間の歪みを補正するために取付けられている合成樹脂製可とう電線管の一種（以下、「防水用プリカチューブ」という。）が焼きしている。（写真 2）

屋上の低圧用プルボックス内にて焼きを確認したものの、3 階南側外壁の防水用プリカチューブの火災との関連性が不明のため火災件数を 2 件として処理した。なお、防水用プリカチューブ、高圧ケーブル保護管及び内部の高圧ケーブルは電気事業者と後日、合同鑑識を実施することを調整した上で電気事業者が収去した。

(2) 第 2 回実況見分（令和 6 年 7 月 11 日、14 時 00 分～16 時 00 分）

実施場所：兵庫県尼崎市若王子 3 丁目 11 番 20 号（関西電力尼崎実験センター）
電気事業者：関西電力送配電株式会社

電気事業者より、ケーブルの基本構造、ケーブル起因の火災事例、現時点での収集した情報の共有及び現場のケーブル設置状況に関して説明を受けた。その中で、昭和 61 年ごろから、大阪市では無電柱化事業が進められており、幹線道路に面した発災建物は過去に無電柱化の整備工事がなされていることがわかった。

（図 1, 2）また、低圧用プルボックス内には、ボックスの蓋を閉じる際に低圧線の圧着接続スリーブで挟み込みがあった痕跡が確認され、当該部分に漏電によるものと推察される放電痕が発見（写真 3）されたが、3 階南側外壁の高圧ケーブルには放電痕があるものの、放電のきっかけとなった摩擦等外力が加わる要因が合理的に説明できないことから、別事案として取り扱っていた 2 件の火災について関連があるのではないかと考えた。

(3) 第 3 回実況見分（令和 6 年 7 月 19 日、15 時 30 分～16 時 30 分）

実施場所：発災建物

低圧用プルボックス内で圧着接続された電気配線が低圧用プルボックスに接触しており、ビニールテープで被覆された電気配線に焼きが確認できる。（写真 4）これらのことから、低圧用プルボックス内の電気配線の絶縁テープが挟み込みと経年劣化により絶縁破壊され、電気配線が接触している低圧用プルボックスに漏電が発生した可能性が考えられる。そこで、低圧用プルボックスで漏電が発生した場合、高圧ケーブル保護管に漏電電流が流れるのかを立証することとした。

（図 3）

低圧用プルボックスと高圧ケーブル保護管にテスト棒を当てテスターにより抵抗値を測定したところ、 0.4Ω を示したため導通していることが確認できた。（写真5）また、火災建物屋上陸屋根において高圧ケーブル保護管と低圧ケーブル保護管の両方を金具で固定している箇所（写真6）があり、保護管の塗装が剥けている部分で高圧ケーブル保護管と低圧ケーブル保護管との間の抵抗値を測定すると 1.1Ω を示し、電氣的に接続していることが判明した。測定結果により当初、2件として取り扱っていた火災には関連性があり、発生経過として「漏電」の可能性が高いと考えた。（写真7）

(4) 第4回実況見分（令和6年7月31日、14時00分～16時00分）

実施場所：兵庫県尼崎市若王子3丁目11番20号（関西電力尼崎実験センター）

関係機関：関西電力送配電株式会社

漏電経路についての考察を説明したうえで、防水用プリカチューブと高圧ケーブルの製品鑑識を実施した。防水用プリカチューブは、電線・ケーブルを保護するための可とう管であり、構造は外側から、ポリ塩化ビニル、冷間圧延鋼板、耐水紙の3層構造となっている。防水用プリカチューブの一次側鋼管と二次側鋼管はチューブ内部の冷間圧延鋼板により電氣的に接続している。焼損状況は、外側のポリ塩化ビニルの被覆が1次側（地上側）接続部と2次側（屋上側）接続部の2か所で焼失し、内側の冷間圧延鋼板に焼きが確認できる。内部の高圧ケーブルについては絶縁被覆が防水用プリカチューブの接続部付近で焼きし、高圧ケーブルに放電痕が確認できる。（写真8,9）また、電気事業者からの聞込みによると、「高圧ケーブルで短絡や地絡等の電氣的異常を監視できるシステムが配備されており、火災当日の記録には、16時21分に建物の高圧ケーブル部分で“地絡”を検知しています。」とある。なお、防水用プリカチューブ内の耐水紙の燃焼実験を行ったところ、燃焼を確認した。

また、電気事業者が新品の防水用プリカチューブ、高圧ケーブル保護管に通電試験（漏電で起こり得る程度の電気を流した。）を実施したが、結果、発熱は確認されなかった。この結果はおおよそ予測ができていた。なぜなら新品の防水用プリカチューブで放電や発熱をするようであれば、設備の資材として不適切であり、再検討する必要があるからである。そこで次に火災現場同様の経年劣化した防水用プリカチューブ、高圧ケーブル保護管を用いて再度通電試験を実施することを依頼した。

(5) 第5回実況見分（令和6年8月9日、14時00分～14時45分）

実施場所：兵庫県尼崎市若王子3丁目11番20号（関西電力尼崎実験センター）

関係機関：関西電力送配電株式会社

電気事業者協力の元、火災時に使用されていた建物外壁南側3階部分の屋上側高圧ケーブル保護管と防水用プリカチューブの一部を結合して通電試験を実施した。（写真10）低圧短絡試験装置により、1A～2Aの電流を流したところ、高圧ケーブル保護管と防水用プリカチューブの結合部に生じていた間隙に火花放電が確認できた。発災建物に設置されていた防水用プリカチューブは劣化が進んでおり、数か所金属同士が近接している部分があり電圧をかけたところ火花放電を確認した。（写真11）

（6）実況見分（合同鑑識）結果

実況見分（合同鑑識）の結果、本件火災の出火のメカニズムを、屋上の低圧用プルボックス内で圧着接続されていた電気配線が絶縁不良となり、低圧用プルボックスに接触したことで漏電が発生、漏電電流が高圧ケーブル保護管に流れ、電位が低い地上へ地絡する際に高圧ケーブル保護管と防水用プリカチューブの接続部において経年劣化及び幹線道路沿いという環境から、車両の通行による振動により生じた隙間で火花放電が発生し、防水用プリカチューブ内の耐水紙に着火し出火した可能性が高いと結論付けた。

また、電気事業者により説明を受けた停電については、高圧ケーブルの被覆（絶縁体）に焼損が確認できることから、火災熱により被覆の絶縁が劣化し、地絡したことが原因と推察した。（写真9）

4. 終わりに

当初は、2つの焼損箇所連続性がなく、およそ20mほど離れていること。また、プルボックスは低圧線、防水用プリカチューブは高圧線を収容しており、電気系統が異なることから、出火の経緯が異なる別件の火災と考えていた。しかし、低圧用プルボックスには、低圧線の圧着接続スリーブでの挟み込みに起因して、生じた火花放電の痕跡があるものの、防水用プリカチューブではそのきっかけとなった事象を合理的に説明することができなかった。そのため、これら2か所の火災は、1つの事象を起点とし、同時発生した可能性を加味して関係機関と複数回にわたり協議しつつ、実況見分（合同鑑識）を実施した。その結果、漏電回路（漏電点、出火点、接地点）を突き止め、発火源、経過、着火物を判定するに至った。

近年の外国人観光客の増加を推進する社会情勢や、激甚化する自然災害に対応するため、無電柱化は今後も推進され则认为。一方で、早期に無電柱化がされた道路については、施設の老朽化による影響が現れ始めている。

施工直後であれば、漏電が発生しても火災を予防できていたはずであるが、経年劣化や周辺の環境によりその機能が、本事例のように失われている場所が存在する。本事例を紹介することにより、更なる類似火災予防に繋げることができれば幸いである。



写真1 発災建物外観



写真2 焼損した高圧ケーブル

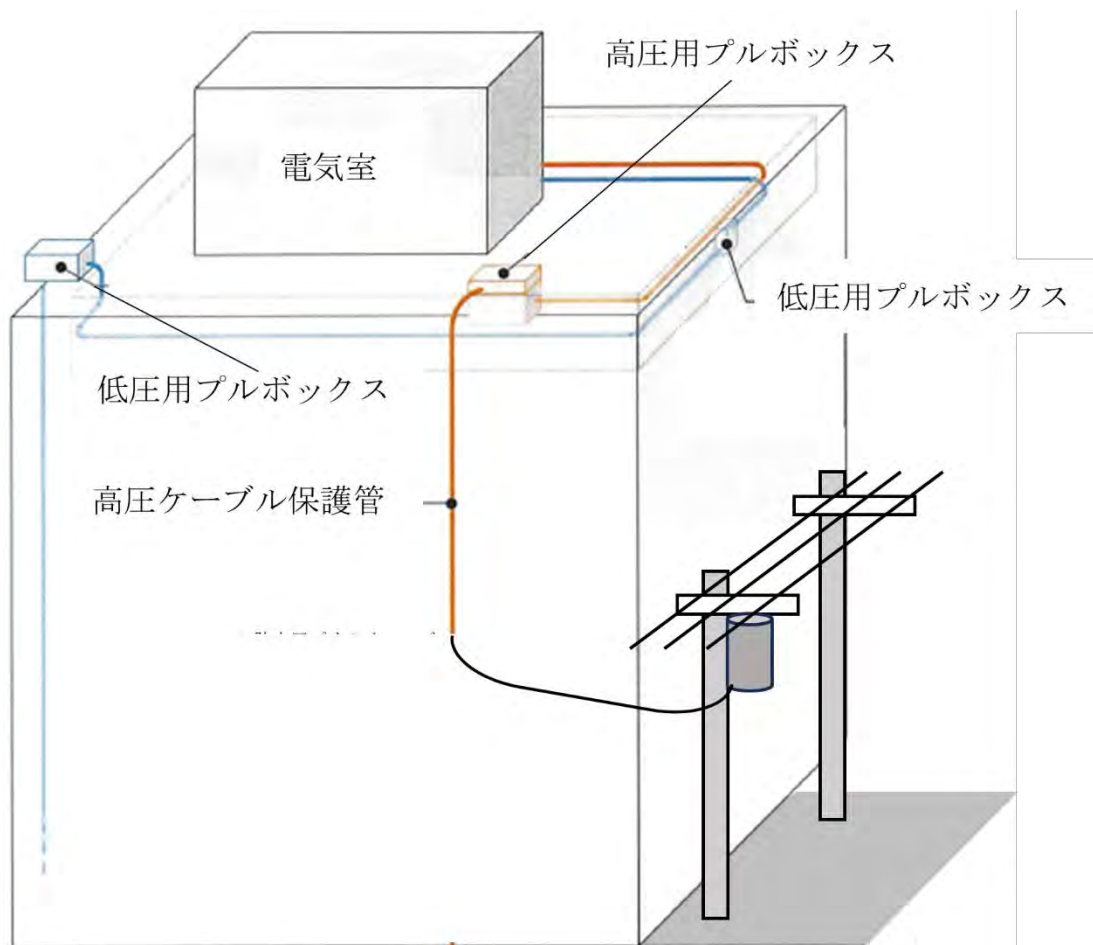


図1 現場状況見取図(無電柱化前)

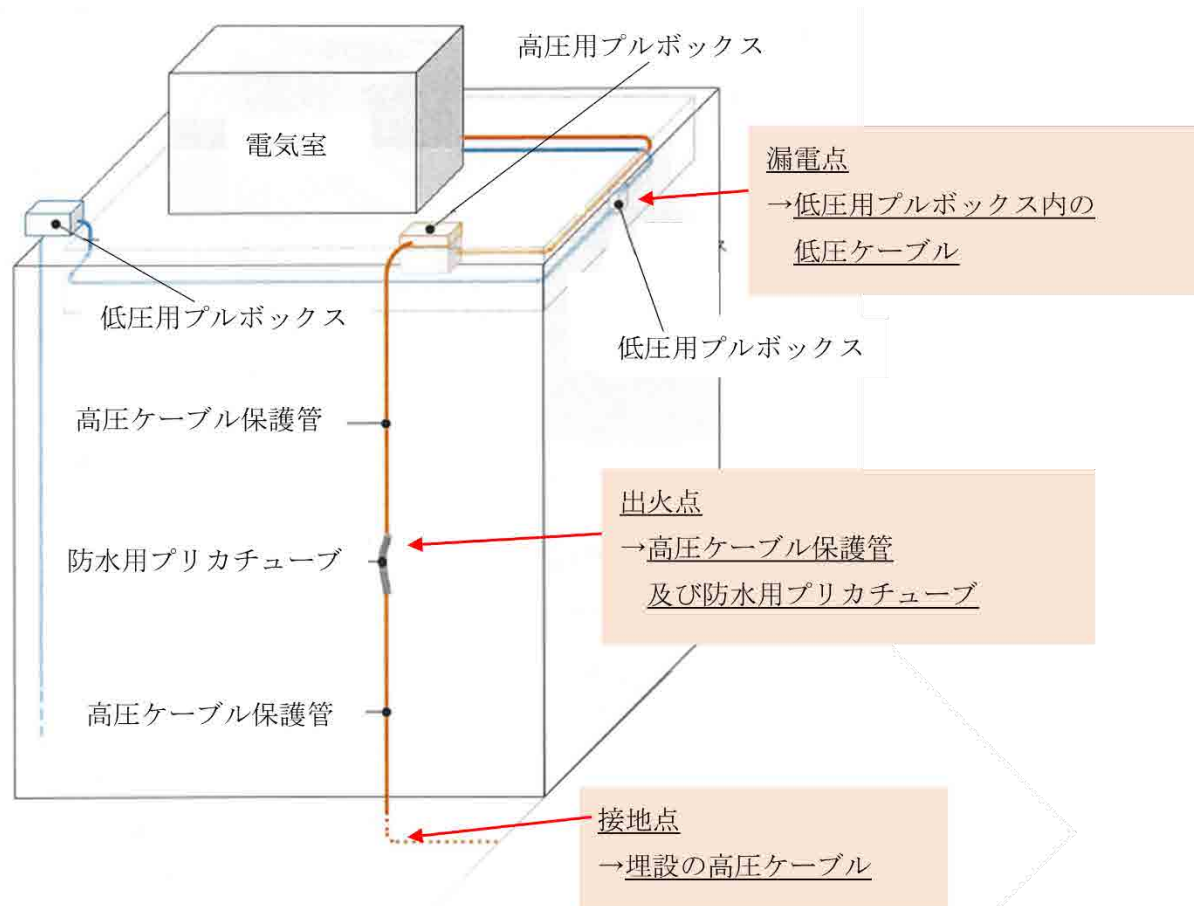


図2 現場状況見取図(無電柱化後)



写真3 低圧用プルボックス内の状況



写真4 低圧用プルボックス内の電気配線の状況

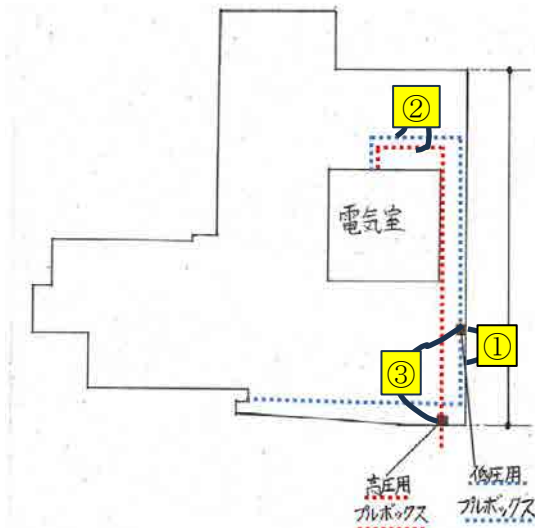


図3 発災建物屋上平面図



写真5 低圧用プルボックスと高圧ケーブル保護管の導通確認状況①



写真6 低圧ケーブル保護管と高圧ケーブル保護管の導通確認状況②



写真7 低圧用プルボックスと高圧ケーブル保護管の導通確認状況③



写真8 防水用プリカチューブと高圧ケーブルの状況

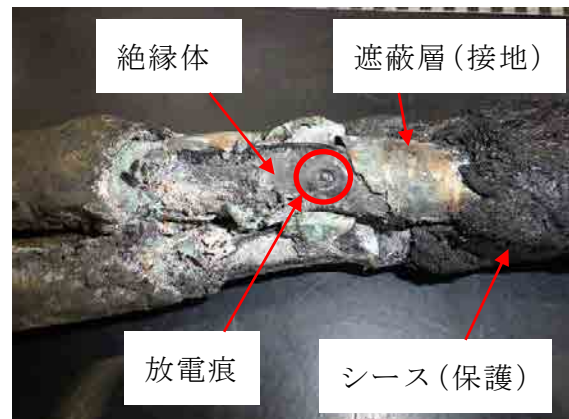


写真9 高圧ケーブルの放電痕



写真 10 低圧短絡試験装置による通電試験



写真 11 通電試験による火花放電の状況

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

コンプレッサ内でグラインダの火花が
無炎燃焼を来した火災事例

東近江行政組合消防本部
黄瀬諒、市川知史、田井中力

1. はじめに

本火災は、金属加工工場（以下「工場」という。）に設置されたレーザー加工機に付属するパッケージ型スクリュコンプレッサ（以下「コンプレッサ」という。）において機器内部から出火した火災事例であり、使用開始から18年間同じ使用環境にある機器が偶発的に火災に至ったものである。

出火原因は、6m離れたところで使用していたグラインダの火花が稼働中のコンプレッサの冷氣吸入口から流入し、コンプレッサオイル（以下「オイル」という。）を含んだ鉄粉に着火、コンプレッサ内の環境により無炎燃焼が継続。さらにコンプレッサ内部のウレタンに延焼拡大することで、約2時間15分後に有炎燃焼に移行したものと判定する。

工場の従業員を交えて、火災実験を繰り返したことで、火災発生のメカニズムの理解に繋がるとともに火災原因の究明に至る。この調査結果をもとに、レーザー加工機の配置変更をはじめとする再発防止策が図られ、類似火災防止の改善指導を効果的に実践できた事例である。

2. 火災の概要

- (1) 覚知日時 令和6年3月29日（金）17時29分
- (2) 鎮火日時 令和6年3月29日（金）17時25分
- (3) 出火日時 令和6年3月29日（金）15時00分頃
- (4) 覚知種別 事後聞知
- (5) 出火建物 鉄骨造折板葺き平屋建て 床面積 786.05 m²
- (6) 建物用途 金属加工工場
- (7) 焼損程度 ぼや（コンプレッサ1台を焼失）
- (8) 気象状況 晴、気温 18.0℃、相対湿度 58.0%、風向南東、風速 2m/s

3. 発見・通報・初期消火の状況

工場の従業員が片付け作業、夜間に無人で稼働するレーザー加工機の準備等を行っていたところ、工場内に設置されたコンプレッサの前面カバーの上部が開き、上部及び側面から数センチの炎が出ているのを発見する。レーザー加工機を停止するとともに、工場内にあった粉末消火器で消火する。さらに、コンプレッサの前面カバーを外し、内部を確認するとカバー内張のウレタンが燃えていたため、前面カバーを屋外に搬出して水道ホースで消火する。その後、コンプレッサのブレーカーを遮断している。

消火完了後、報告を受けた事務所の職員が119番通報を行っている。

4. 出火建物及び設備の概要

4.1 金属加工工場について

工場棟は、主に産業用機械の部品となる鉄板の抜き・曲げ・ねじ切り作業を行っている。工場内には、約10名が9時から17時30分まで勤務しており、レーザー加工機により抜き出された鉄板のバリ取り等の仕上げ作業をしている。夜間は無人となっているが、レーザー加工機のみ稼働している。（写真1、2）



写真1 工場の外観

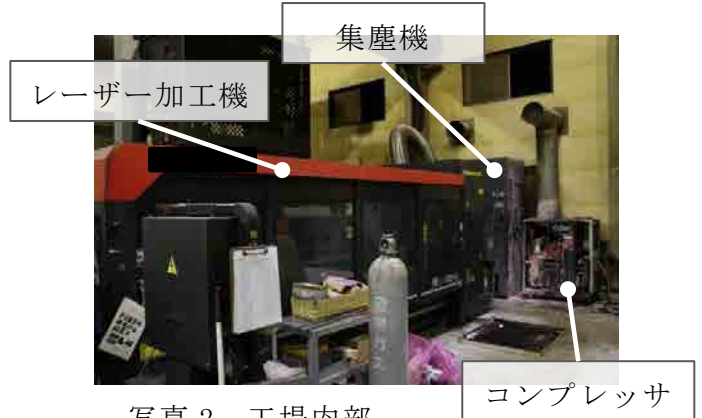


写真2 工場内部

4.2 レーザー加工機について

レーザー加工機は、設計プログラミングに基づき、加工室内でレーザーを用いて鉄板の切り抜き作業を行っている。レーザー加工機付属設備として、加工中の鉄粉付着を防止するため、吹付け空気を充填するコンプレッサが北東側に設置されている。また、加工中に発生する塵及び鉄粉を吸引する集塵機が北側に設置されている。（写真2）

コンプレッサの空気は、右側面の冷氣吸入口から流入し、圧縮機等を通してエアタンクに充填される。充填後は、上部ダクトから屋外へ放出されるため、コンプレッサは停止せず、空気の流入が継続される。コンプレッサのオイルは循環構造となっているが、機器製造業者によると「古いコンプレッサは停止時にオイルが内部ににじみ出ることがある。2005年11月製造。リコール情報はない。」とのことである。（図1）

集塵機の下部には、鉄粉が堆積したバケツがあるが、バケツ収納部分にカバー及び扉は設けられていない。（写真3）

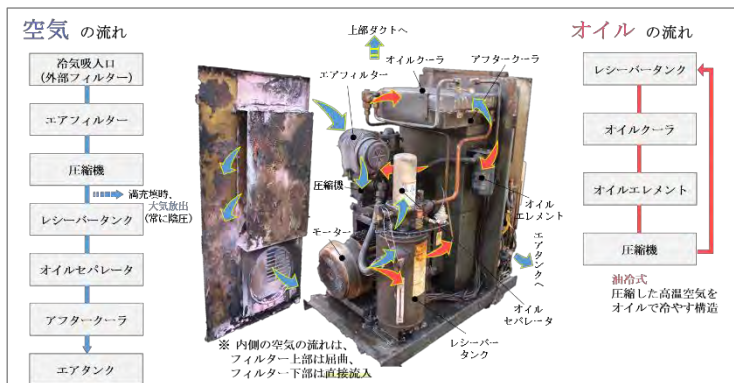


図1 コンプレッサの空気及びオイルの流れ



写真3 集塵機

5. 焼損状況

5.1 出火建物及び収容機器の現場見分状況

工場棟及び周囲の建物に焼損箇所はなく、工場棟の収容物であるコンプレッサ及び集塵機の付属設備である窒素ガスボンベ吐出用ゴムホースの一部のみが焼損している。

コンプレッサの外観は、正面カバー及び右側面カバーに設けられたフィルターのみが焼損しているのに対し、内部はウレタンが焼失する等、圧縮機にも焼損が認められる。また、フィルター縦枠にマジックテープが部分的に張り付けられており、工場作業員によると「清掃しやすいようフィルターは外側に張り付け、2、3週間に一度コンプレッサの空気を使い清掃をしている。」とのことから、フィルター下部はマジックテープの外れ又は隙間により、直接的に空気が流入する可能性がある。（写真4、5）



写真4 コンプレッサの外観



写真5 コンプレッサの内部

5.2 コンプレッサの鑑識見分状況

製品製造業者及び製品点検業者と合同で焼損したコンプレッサを鑑識見分する。

オイルセパレータ、モータ及び圧縮機は、外観に変色等の一部焼損が認められるが各内部に焼損は認められない。電気配線は、被覆に焼損はなく、接続部に緩みも認められない。（図2）

コンプレッサの背面土台部分に、タール状の物質を含んだ黒色の焼損残渣物（以下「残渣物」という。）が認められる。また、残渣物に油臭が認められる。（写真6）



図2 コンプレッサの鑑識見分



写真6 背面土台部の残渣物

6. 火災燃焼実験

6.1 実験1「着火物の低温着火について」

工場内に同型品コンプレッサが設置されていることから、稼働中である同型品コンプレッサ内部の温度を放射温度計を用いて測定した結果、最も高温な箇所はセパレータレシーバタンクの73℃であった。圧縮機、オイルセパレータその他配管の各機器は70℃以下であった。（写真7）

レーザー加工機から排出され、集塵機下部のバケツに堆積した鉄粉の温度を放射温度計を用いて測定した結果、19℃で全体に変色は認められない。（写真8）



写真7 コンプレッサ内の温度測定



写真8 集塵機鉄粉の温度測定

稼働中である同型品コンプレッサ内部の温度測定結果から、コンプレッサ西側の集塵機に堆積した鉄粉 100 g（以下「A」という。）及びオイル 5ml を含んだ A（以下「B」という。）を 80～120℃で熱したホットプレートに配置し、5 時間保温を行い温度変化及び状態変化を測定したところ、1 時間後 A は 126.5℃（図3 青線）、B は 123.3℃（図3 赤線）となった。5 時間保温を継続するが、A 及び B に温度変化及び状態変化は認められない。（図3、写真9）

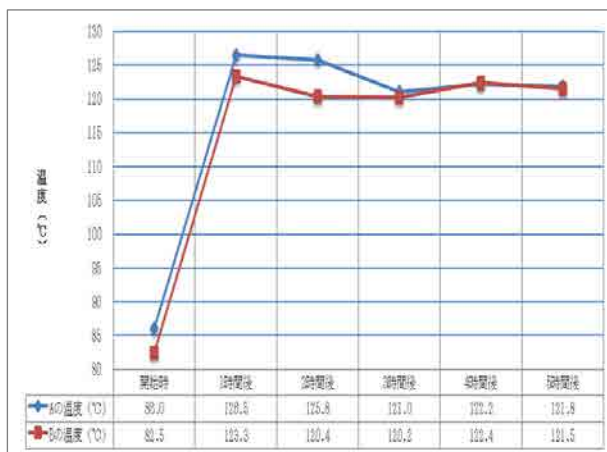


図3 実験2の時間経過による温度変化



写真9 5時間後のA及びB

6.2 実験2「着火物の発火温度について」

A及びBをフライパン上に配置し、フライパンをガスコンロで加熱、10分後に火を止め、時間経過による温度変化及び状態変化を測定したところ、A（図4青線）は、開始から10分後の加熱停止まで温度上昇し、最高温度は10分後の470.7℃であった。加熱中の白煙等の状態変化は認められない。加熱停止後は、急激に温度低下し、40分後は48.5℃であった。B（図4赤線）は、開始から10分後の加熱停止まで緩やかに温度上昇し、最高温度は10分後の431.1℃であった。開始3分後、白煙が上昇した。開始3分30秒後、250.3℃で発火し微小火源が認められた。加熱停止後は、温度は低下するものの、250℃で停滞し微小火源の燃焼が継続された。実験中、有炎燃焼は認められなかった。（図4、写真10、11）

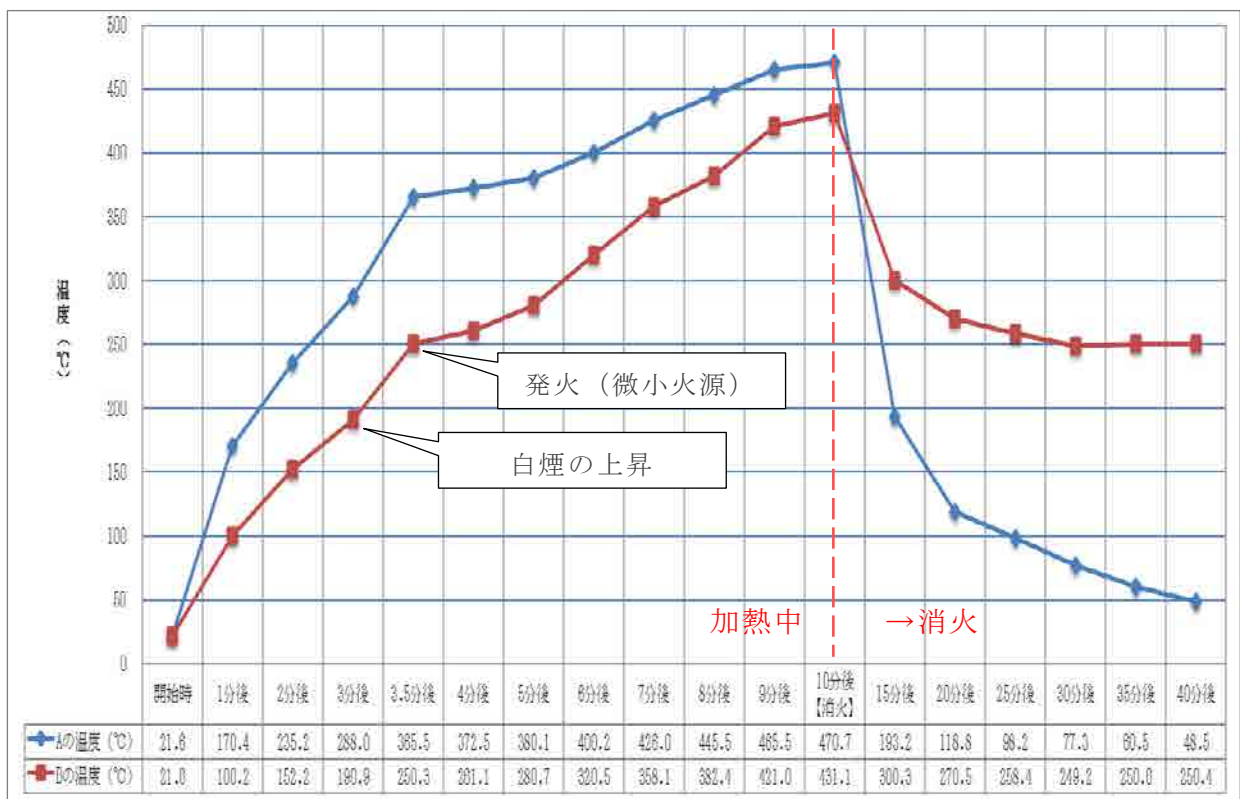


図4 実験3の時間経過による温度変化



写真10 加熱開始から3分30秒後



写真11 加熱後（左側A、右側B）

6.3 実験3「グラインダ火花の飛散距離について」

火災当日の15時頃、グラインダを使用しバリ取り作業を行っていたことから、工場作業員の協力を得て、作業工程を再現する。バリ取り作業をしていた場所は、コンプレッサ右側側面の冷氣吸入口まで距離6.0mで概ね直線上にある。作業終了後、鉄粉の飛散距離及び飛散形状を測定すると、作業台からコンプレッサ方向に3.5m離れた位置までは粉末状の鉄粉が複数個散在、3.6mから4.5mの間は大きさ1mm未満の鉄粉が7箇所、4.6mから5.5mの間は大きさ1mmの鉄粉が3箇所、作業台から最も離れたところで5.5mの位置に鉄粉が確認できた。（写真12、14、図5）

また、グラインダ使用箇所からコンプレッサの冷氣吸入口が概ね直線上にあることから、同型品コンプレッサから20cm離れた位置に点火した線香を配置し空気の流入状況を測定した結果、上部のフィルター有りは煙が部分的に流入しているのに対し、下部のフィルター無しは煙が直線的に流入している。（写真13）



写真12 火災当日の再現状況

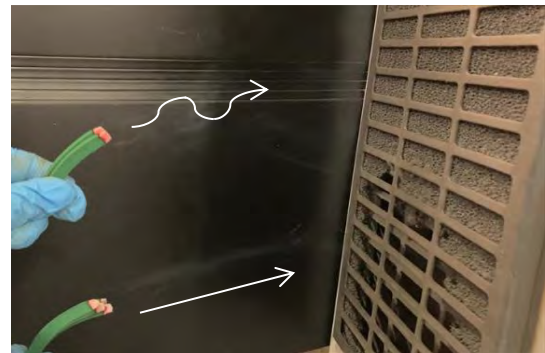


写真13 冷氣吸入口の空気流入状況

（上側フィルター有り、下側フィルター無し）

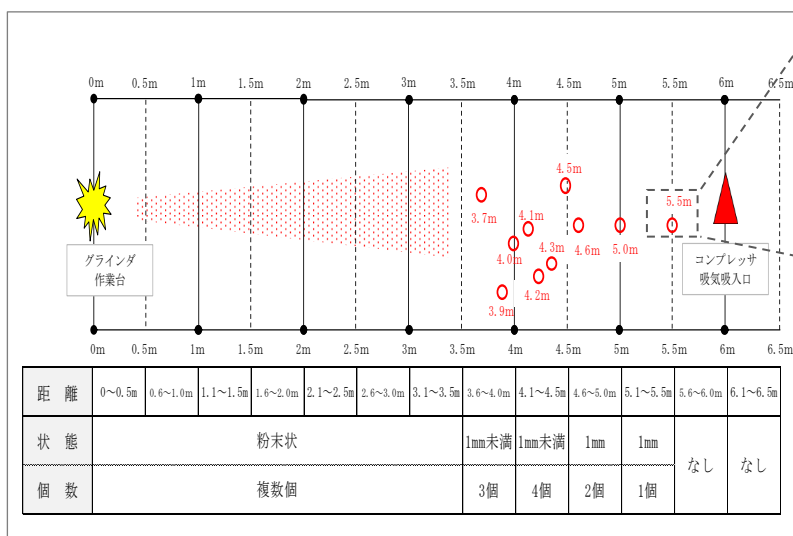


図5 グラインダ使用時の火花飛散距離



写真14

5.5mの位置の鉄粉を赤丸で印す

6.4 実験4「グラインダ火花の着火及び火災進展について」

A 及び B にグラインダの火花をあて、着火の有無、温度変化及び状態変化を測定したところ、A はグラインダの火花で着火せず、温度変化及び状態変化は認められない。B はグラインダの火花で着火し、少量の白煙が上昇する。微小火源による無炎燃焼が継続する。無炎燃焼の内部温度を測定したところ、30 分後に内部温度 378.0℃に上昇、以後は緩やかに低下し、1 時間 30 分後に 43.0℃となった。実験中、有炎燃焼は認められない。（写真 15、16）

次に、無炎燃焼する B 周囲にウレタンを配置し、扇風機で送気を行い、コンプレッサ内を再現した状態で温度変化及び状態変化を測定する。開始時のウレタンの温度は 25.0℃で、開始から 5 分後 222.0℃となり、B に接するウレタン部分の溶融が認められる。開始から 10 分後 321.0℃となりウレタンから大量の白煙上昇を確認する。開始から 15 分後 575.0℃となり、有炎燃焼へ移行しウレタンが焼失した。（写真 17、18）



写真 15 グラインダの接炎状況



写真 16 接炎から 30 分後



写真 17 再現実験開始時



写真 18 再現実験開始から 15 分後

7. 出火箇所及び出火原因の検討

出火箇所は、現場見分状況及び発見状況からコンプレッサ内部から出火したことに矛盾はない。

出火原因は、鑑識見分状況からコンプレッサ内部のオイルセパレータ、モータ、圧縮機及び電気配線から出火した可能性は否定できる。

低温着火については、オイルセパレータの出口に 110℃でコンプレッサが非常停止するセンサが取付けられていること、また火災燃焼実験 1～3 の結果から否定できる。

微小火源については、火災当日 15 時頃にグラインダでバリ取り作業を行っていたこと、火災燃焼実験 4 からバリ取り作業をしていた場所とコンプレッサ右側側面の冷氣吸入口は概ね直線上にあり、距離は 6.0m で吸入効果も相まっていた可能性があること、現場見分状況から冷氣吸入口のフィルターは外側の淵にマジックテープで取り付けられ、部分的にマジックテープがないこと、コンプレッサ背面台座部分に油臭のある残渣物が見分できたこと、古いコンプレッサは停止時にオイルが内部ににじみ出ることがあること、火災燃焼実験 5 からオイルを含む鉄粉にグラインダの火花が着火すること、コンプレッサ内の環境は無炎燃焼を継続し、埃及びウレタンで有炎燃焼に移行することからコンプレッサ内でグラインダの火花が無炎燃焼を来し出火した可能性は高い。

8. 総務省消防庁消防研究センターの技術支援 ～着火物の考察～

集塵機に堆積する鉄粉及びコンプレッサ内の残渣物を収去し、着火物の検討のため、総務省消防庁消防研究センターに鑑定見分を依頼した。

8.1 エネルギー分散方式蛍光分析装置（EDX）による測定結果

集塵機に堆積する鉄粉は、褐色の粉体で無臭である。鉄（Fe）約 94%、銅（Cu）約 4%、マンガン（Mn）約 1.4% が主な構成元素として検出される。（写真 19）

コンプレッサ内の残渣物は、褐色の粘土状で油臭がある。鉄（Fe）約 89%、カルシウム（Ca）約 1.7%、ケイ素（Si）約 1.7%、銅（Cu）約 1.6% が主な構成元素として検出される。（写真 20）



写真 19 集塵機に堆積する鉄粉



写真 20 コンプレッサ内の残渣物

8.2 熱分量-示差熱同時測定装置（TG-DTA）による測定結果

コンプレッサ内の残渣物は、測定開始直後から減量を伴った吸熱が 140℃付近まで継続し、その後は熱的变化及び減量が一度落ち着く。温度が 250℃に達する辺りから減量を伴った発熱が確認でき、300℃で減量及び発熱が最も顕著になる。（図 6）

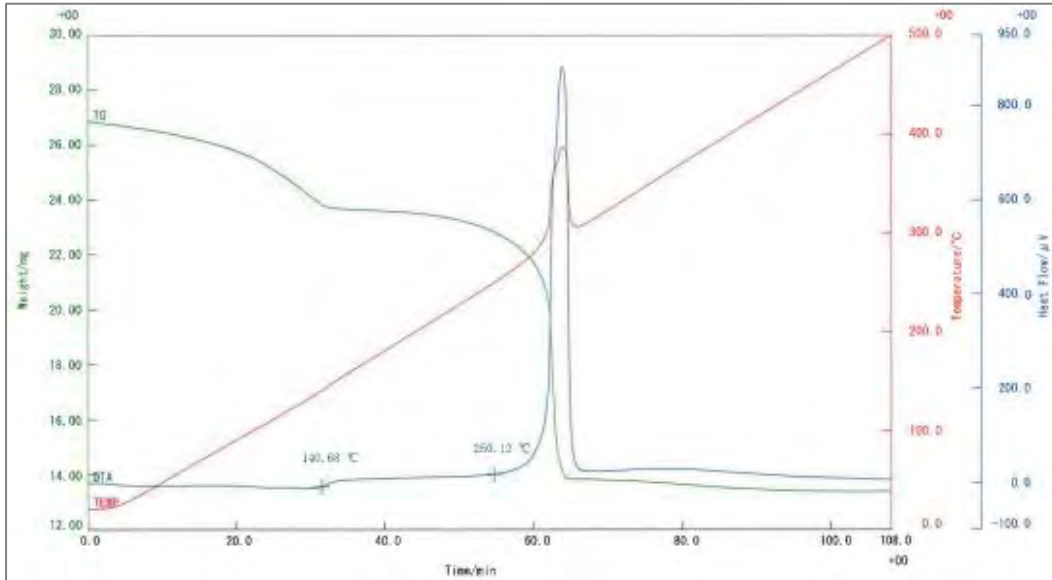


図 6 熱分量-示差熱同時測定装置（TG-DTA）測定結果
（赤線：温度、青線：転移温度、緑線：分子量）

9. 着火物「着火しない鉄粉×着火しないコンプレッサオイル」の考察

着火物のオイルを含む鉄粉について、上記 6.4 実験 4「グラインダ火花の着火及び火災進展について」のとおり、鉄粉はグラインダの火花で着火は認められなかった。

よって、着火物はオイルを含む鉄粉に至ったが、オイルについてもグラインダの火花で着火するか検証した結果、着火は認められなかった。（写真 21、22）

このことから、オイルが助燃材として機能し、鉄粉の表面燃焼を促したことがいえる。さらに、総務省消防庁消防研究センターの鑑定結果から、熱的变化に伴い減量が認められたことから触媒としての作用はなく、助燃材であることを証明している。



写真 21 オイルにグラインダの火花を接炎した状況

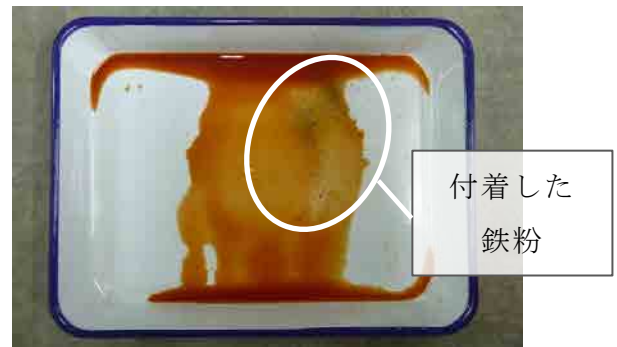


写真 22 グラインダ接炎後のオイルの状況

10. 結論

コンプレッサの残渣物は、総務省消防庁消防研究センターの鑑定結果から集塵機の鉄粉と成分が一致していることから集塵機の鉄粉がコンプレッサ内に混入した可能性は高い。さらに、集塵機とコンプレッサは隣り合っており、コンプレッサ右側面の冷氣吸入口から集塵機下部のバケツに堆積していた鉄粉が流入、清掃時にはコンプレッサの圧縮空気を用いて吹付け清掃をしていたことからコンプレッサ背面台座部分に鉄粉が堆積していた可能性は高い。（図7）

また、コンプレッサ内の残渣物は温度が 250℃に達する辺りから減量を伴った発熱が確認できたことから、オイルが助燃材として機能し、火災燃焼実験3のオイルを含む鉄粉の発火温度測定において、250.3℃で発火し微小火源が認められたことと一致することから総務省消防庁消防研究センターの鑑定結果が火災燃焼実験を科学的に裏付けるものとなった。

よって、7. 出火箇所及び出火原因の検討のとおり、コンプレッサ内でグラインダの火花が無炎燃焼を来し、約2時間15分後に有炎燃焼に移行し延焼拡大したものと判定する。



図7 事故発生機序及び要因のフローチャート

11. 類似火災防止に向けて

当該製品製造業者に対し、コンプレッサオイルが助燃材となることでグラインダ等の微小火源により、出火に至ることを認知しているか問うと「近年は企業内の研修等で取り上げられ認識しているが、製品点検業者は協会等がないことから認知は低いと思われる。」との回答を受ける。当該製品点検業者においては、グラインダ等の使用による火災が多発していることは認識していたが、コンプレッサオイルが助燃材となることは認識しておらず、コンプレッサ内部の清掃は実施されていなかった。製品点検業者に類似火災防止を呼びかけるとともに、協会等の共有する機関が存在しないことを踏まえ、当消防本部内のハイブリッド形式による火災調査事例勉強会を通じて、県内消防本部の予防職員及び警防職員へ本件火災の説明及び類似火災防止について情報共有を図った。（写真 23）

火災調査結果から工場において、消火器の増設と消火訓練の強化、製品点検業者をコンプレッサ内部の清掃を実施する業者へ変更、レーザー加工機付属設備のコンプレッサを始めとする設備の位置を見直し、工場全体のレイアウト変更が行われた。レイアウトの変更は、大規模改修となることから容易なものではないが、工場作業員を交えて火災実験を行ったことで、グラインダの火花飛散距離に驚かれ、火災調査後の説示行為以上の改善指導に繋がるものとなった。（写真 24、図 8）



写真 23 当消防本部内の研修会



写真 24 大規模改修後の配置図

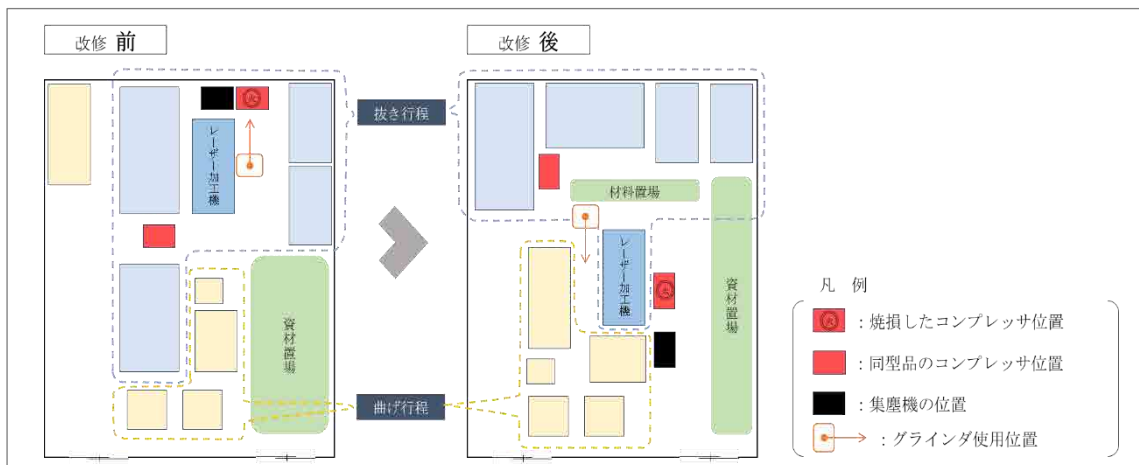


図 8 大規模改修前後の工場レイアウト状況

12. 終わりに

本火災は、リコール情報及び類似火災情報のない18年間同じ使用環境にある機器が偶発的に火災に至った極めて出火の可能性が低い火災といえる。しかし、工場内には他に多数のコンプレッサが設置されていることから、従業員の方から「出火原因を明らかにし、再発防止策を図りたい」という強い意志を感じた。

その中で、出火箇所がコンプレッサ内部と限局していたものの、機械本体の不具合による出火の可能性はことごとく否定された。そこで、「着火物は何か？」という視点に切り替え考察することで、残渣物が「鉄粉」若しくは「オイルを含んだ鉄粉」であると仮定し、火災当日の作業工程やコンプレッサの構造上高温となる場所を検討し、火災燃焼実験の結果、グラインダの火花はオイルを含んだ鉄粉に容易に着火する事実を導き出すことに繋がり、総務省消防庁消防研究センターの鑑識結果は火災燃焼実験を裏付けるものとなった。

そして何より、火災現場で工場作業員とともに、グラインダ火花の飛散距離、コンプレッサの空気の流入状況等の検証を行うことで、消火訓練の強化等のソフト面の対策に留まることなく、設備やレイアウトの変更等のハード面の改善が実施されたことは、それぞれのバイアスを取り除き、火災とは偶然が重なり発生することへの理解と防護壁を高める効果を与えた。本火災を通じて、科学的に火災原因を証明することで、再発防止に向け真剣に取り組む事業所に対し、説明責任が果たせたと実感する。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

11万人に影響を及ぼした電車の火災事例

枚方寝屋川消防組合消防本部
五十嵐龍次、杉山昌彦、今井公基、
土生卓士、鈴木勝久、大矢杏香

1. はじめに

本件火災は、運行中の電車が駅で停車した際、車両の下部から白煙を上げて出火した事例である。駅及び線路に焼損はなく、電車の下部のみが焼損していることから、翌日、A電気鉄道（以下、「A社」という。）と合同で鑑識を実施した結果、A社のマニュアル改正に至るとともに、管内で運行している別会社へ類似火災の防止を目的に情報提供を行った事例である。

2. 火災の概要

2.1 出火日時

令和5年10月 15時55分頃

2.2 覚知日時

令和5年10月 16時35分

2.3 火災種別

車両火災

2.4 気象状況

天候：晴 気温：22℃ 相対湿度：48% 風向：西南西

風速：2m/s 注意報・警報等：乾燥注意報

3. 出火時の状況

3.1 出火前の状況

電車は朝6時頃から片道約52km間を2往復しており、3往復目に当該駅に到着後、火災が発生している。なお、車庫にて朝の運行前点検を行うも異常なしと確認している。

3.2 発見状況

ホーム内にいた乗客が、電車とホームの間から煙が出ているのを発見する。

3.3 通報状況

発見者から知らせを受けた運転手が、電車の積載無線で中央管制室へ知らせ、中央管制室の社員が119番通報をする。

4. 現場の活動状況

駅構内には多数の乗客がいたことから、集団災害の発生も視野に入れ現場活動を実施。上下線車両の運行停止及び感電事故防止措置が講じられた後、軌道敷内へ進入する。

現場到着時、電車とホームの間から白煙を認めるも、隙間からでは出火箇所を確認できないため、A社社員に進入できる箇所を聴取した後、救助隊員が進入。火点を発見後、放水を行い鎮火した。



写真1 現場到着時の状況

5. 車両情報及び現場見分状況

5.1 車両情報

製造年：昭和45年（製造から53年）

構体：鋼製

制御装置：添加励磁制御

主電動機：直流直巻電動機

電磁直流ブレーキ（回生ブレーキ付き）

【検査最終歴】

列車検査：令和5年10月

状態機能検査：令和5年10月

新重要部検査：令和3年7月

全般検査：平成29年7月

5.2 現場見分状況

車両は7両1編成で進行方向に向かって下り先頭車両を1号車とし、5号車の車両下部に焼損を認める。当該車両をA社車庫へ移動後、レールの変形及び枕木に焼損がないことを確認し、翌日、当該車両の現場検証を行う。

6. 現場検証

出火の翌日、A社社員及び所轄警察立ち合いのもと、A社車庫内にて見分を行う。A社運輸車両部の社員（以下、「技術者」という。）から出火箇所付近の構造を聞きながら見分を進める。



写真2 現場検証時の状況

6.1 出火箇所

外観及び車内に焼損はなく、焼損しているのが車両下部に付着する埃及びモーター配線に巻かれているビニールテープ等であることから、出火箇所を車両下部とする。見分を進めていく中で、技術者から焼損している車両下部の埃は、前方車両に積載されている「塗油器」が関係している可能性がある旨を聞き込む。



写真3 出火箇所付近の車輪



写真4 車両下部の埃

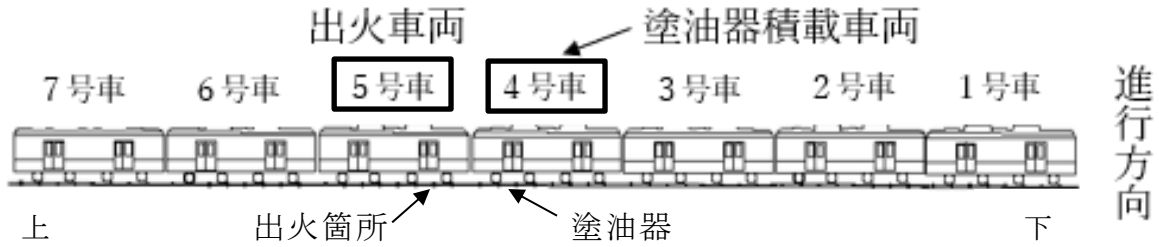


図1 車両編成図

6.2 モーター配線

車両下部のモーター配線に巻かれているビニールテープ等の焼損については、表面的であり、モーター配線に至る焼損は認めない。

6.3 塗油器

電車の塗油器は、車両が走行する際にレールや車輪の特定の部分に潤滑油を供給する装置であり、レールと車両の摩擦を低減させることにより、以下の効果があるとされている。なお、塗油器の潤滑油は4号車後方で吹き付けられている。

(1) 脱線リスクの減少

急ブレーキに対して、車輪とレールの摩擦によるせり上がり脱線を防いでいる。

(2) 騒音の低減

走行時の騒音を抑える効果がある。

(3) エネルギー効率の向上

必要な動力が少なくなり、エネルギー効率が向上している。

(4) 保守コストの削減

部品の寿命が延び、故障も減少するため、メンテナンスの頻度やコストが抑えられる。

上記を目的に、A社は潤滑油を吹き付けており、レールに付着した潤滑油が車輪によって跳ね上がり、車両下部に付着し長年放置することで埃が堆積したと考える。

また、潤滑油は左右のレールに吹き付けているため、出火箇所の反対側の車両下部にも、4号車後方の潤滑油噴射ノズルの付近だけ、他には見られない粘着質の埃の塊が付着している。



写真5 塗油器



写真6 吹き付け部

制輪子は車で言う「ブレーキ」の役割をしており、ブレーキシリンダーと連携して制輪子を車輪に押しつけることで減速させる摩擦材である。鋳鉄や合成樹脂など各種素材の配合比率を調整して製造されている。A社社員の説明によると、「制輪子は鉄粉が含まれていることから、停車の際に車輪と制輪子の間で1,000℃以上の火花が発生する。」とのことである。なお、出火箇所の下方には制輪子が設置されている。



写真7 制輪子の比較

表1 制輪子の交換時期

新品	約 6cm
交換の目安	約 3cm
必ず交換	約 1.5cm
※約 6 カ月で交換が必要	

7 鑑定及び燃焼実験

7.1 粘着質の埃の塊の鑑定

粘着質の埃の塊を消防研究センターに鑑定を依頼する。エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDX）、粒度分布測定装置及び示差熱・熱重量同時測定装置（TG-DTA）で鑑定した結果を下記に示す。

(1) エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（EDX）

鉄(Fe)約 87%、バリウム (Ba) 約 3.6%、であることから主成分は鉄であることが考えられる。また、分析機器で検出できない元素が数種類含まれていることが見込まれる。

(2) 粒度分布測定装置

最小粒径は0.862μm、累積50%：180.3μmであり、粒度分布測定のデータは累積50%の値が小さいほど、割合的に小さな粒子が多く含まれている事を意味している。

なお、出火箇所の車輪下部に堆積している粘着質の埃の塊をデジタルマイクロカメラ（ディノライト）で撮影すると、3.5mm×2.3mm の比較的大きい金属製の粒が含まれているのを確認する。

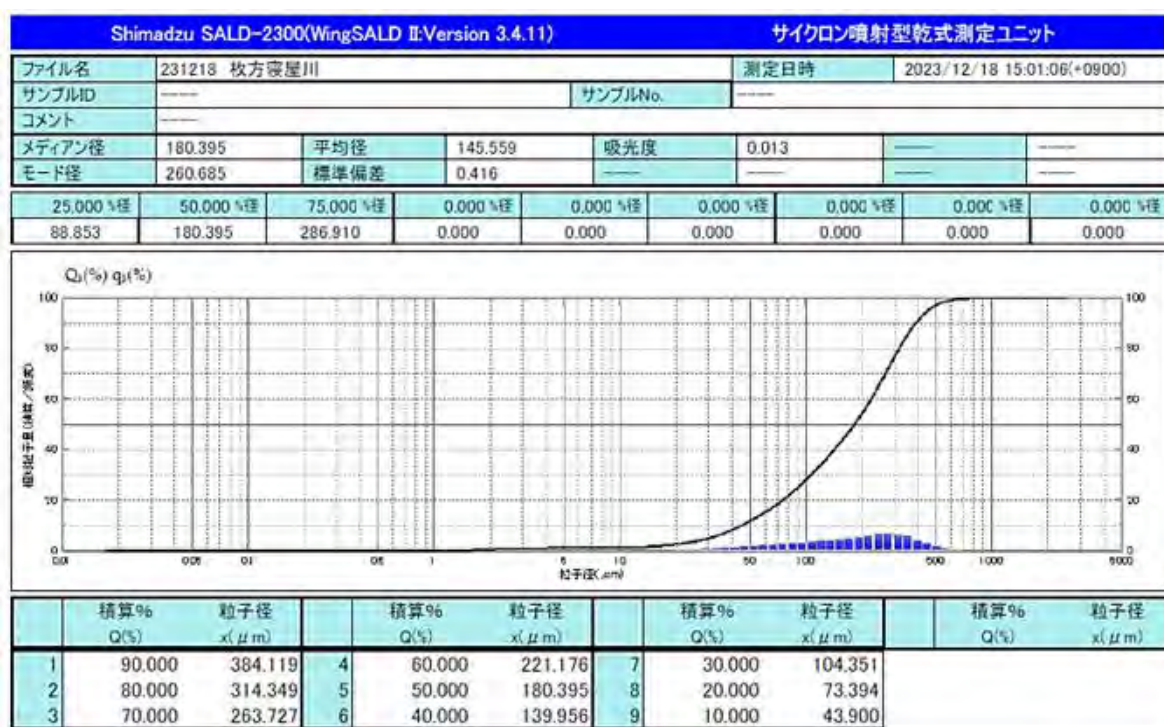


図2 粒度分布測定装置による測定結果

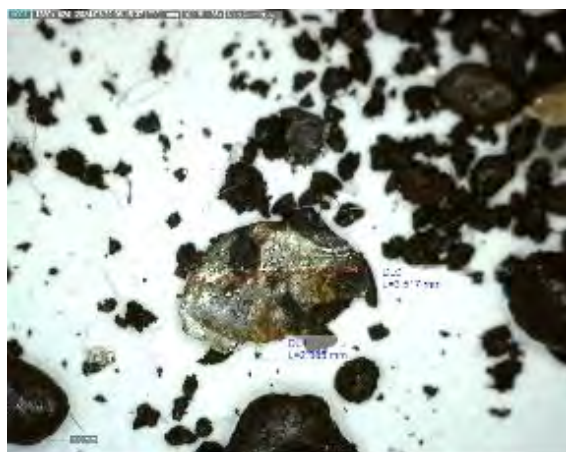


写真8 金属製の粒（ディノライト撮影）

(3) 示差熱・熱重量同時測定装置(TG-DTA)

昇温直後から、わずかな減量を伴う微小な発熱が 227℃付近まで継続し、300℃付近で減量を伴う発熱が認められた。そして、357℃付近から顕著な減量及び発熱が始まり、400℃付近で発熱が最大になる。

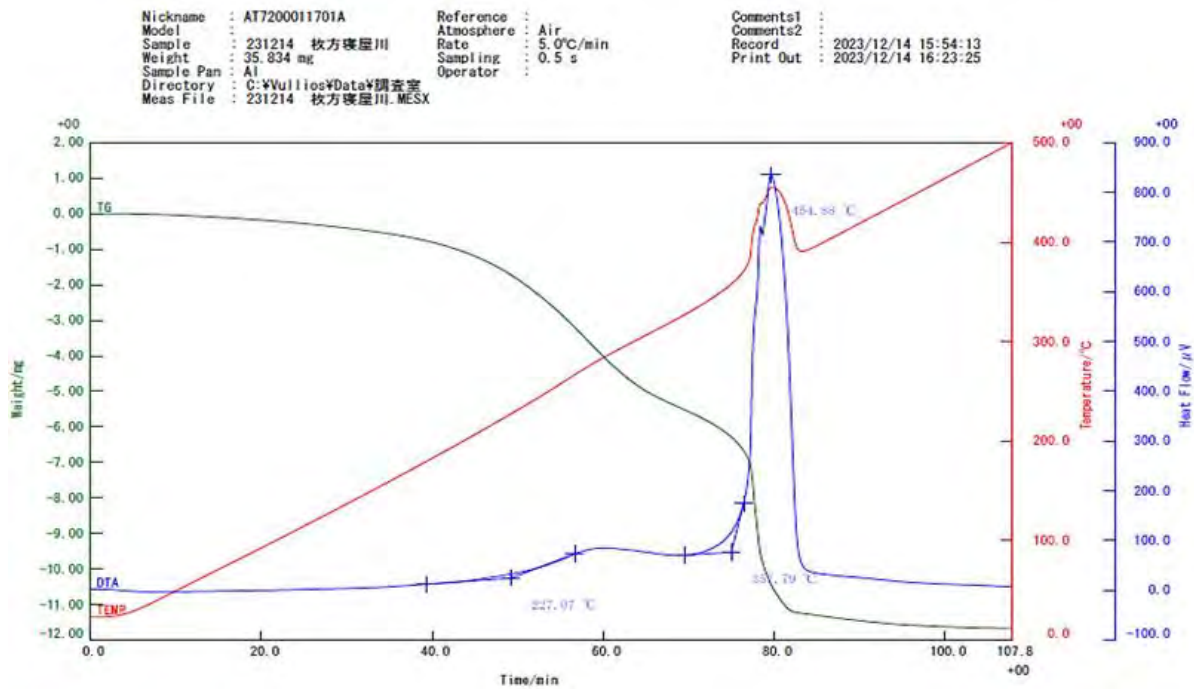


図3 示差熱・熱重量同時測定装置による測定結果

7.2 粘着質の埃の塊の燃焼実験

粘着質の埃が着火するのかを詳細に見分し、客観的事実として出火原因の判断資料とするために実施する。出火車両から収去した粘着質の埃の塊をホットエアガンの温風（450℃設定）で加熱したところ 116℃で埃から発煙を認める。



写真9 ホットエアガンで加熱する状況

8. 考察

出火箇所については見分状況から5号車の車両下部と判定、現場状況及び関係者の申述から出火原因について検討する。

- (1) 焼損しているのは車両下部の埃及びモーター配線に巻いているビニールテープ等のみでモーター配線は焼損していないこと。
- (2) 出火車両の前方車両に塗油器が装備されており、出火箇所付近に粘着質の埃の塊が付着していること。なお、見分状況から、跳ね上がった潤滑油が車体に付着し、

埃を吸着して生成された可能性が考えられる。

- (3) 出火箇所の下方には制輪子があり、制輪子は鉄粉及び合成樹脂で構成され、停車の際に車輪と制輪子の間で 1,000℃以上の火花が発生すること。
- (4) 出火当時は気温 22℃、湿度 48%、乾燥注意報が発令中で、制輪子周辺の温度は高温となり出火箇所付近の粘着質の埃の塊は着火しやすい状況といえること。
- (5) 消防研究センターの鑑定結果によると、埃の塊の中の金属粒は鉄であり、357℃付近から顕著な減量及び発熱が始まり、400℃付近で発熱が最大になることから可燃性ガスの放出が考えられ、着火物及び延焼媒体になり得ること。また、粘着質の埃の塊には 3.5mm×2.3mm の金属製の粒が含まれていること。
- (6) 燃焼実験から、粘着質の埃の塊を温風で加熱すると、約 116℃で発煙が認められること。

9. 結論

上記(1)～(6)の結果、本件火災は、車両の脱線防止、摩擦防止等のため、走行中にレールへ塗油器で吹き付けた油が、走行することで車輪上方の車両下部へ埃とともに付着し、長期にわたり放置することで油を含んだ埃が溜まり、停車の際に車輪と制輪子の間で発生する火花により着火したものと判定する。

10. 再発防止策

10.1 A 社

A 社は事案発生の翌日から塗油器搭載の編成車両（合計：15 編成 99 両）を対象に臨時点検を実施している。本消防組合からは列車検査、状態機能検査、新重要部検査及び全般検査の点検に油を含んだ埃を除去する項目がないことからマニュアル改正を指示し、改修に至っている。

10.2 他社

本消防組合管内には別の鉄道会社があるため、A 社承諾の下、類似火災防止のために情報提供を行うとともに、他社は油を含んだ埃については定期点検で除去していることを聴取、継続して実施するように要望する。

11. おわりに

今回は、A 社及び消防研究センター協力のもと原因究明に至った事例である。焼損しているのは油を含んだ埃のみであるが、帰宅の途につく利用者約 11 万人という多数の人々に影響した火災であることから、再発防止の必要性を痛感し、臨時点検、マニュアル改正及び他社への情報提供を実施するに至った。今回の火災で得た結果を踏まえ、類似火災防止の一助を担えれば幸いである。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

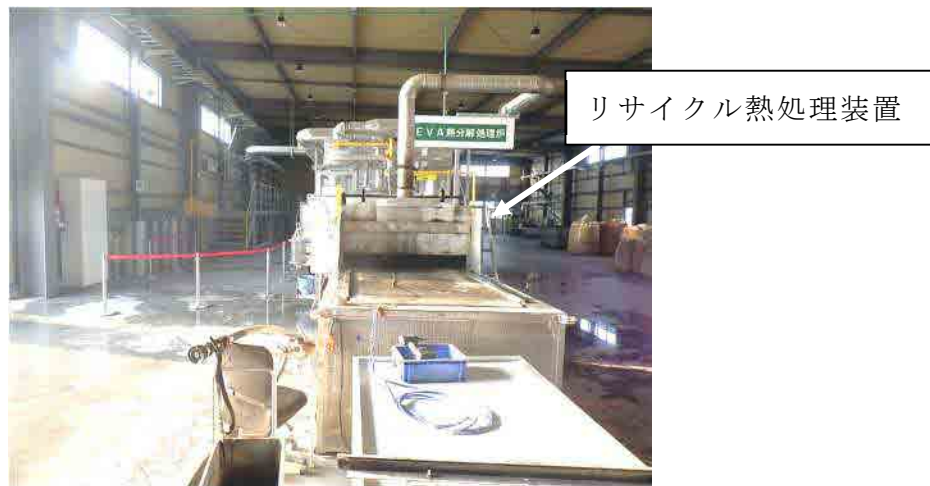
太陽光パネルのリサイクル熱処理装置から
出火した事例について

北九州市消防局
高山京介、今浪徹、林智史、中野元晴

1. はじめに

本火災は、北九州市内にある日本国内で唯一の廃棄太陽光パネルを熱処理によりリサイクルする工場で、リサイクル熱処理装置の一部を焼損した事例である。

このリサイクル熱処理装置は、事業所が製造業者に提示した仕様書に基づいて製造されたもので、日本初の装置である。太陽光パネルの普及から20年を超え、今後、リサイクル事業においては、廃棄太陽光パネルの増加に伴い、熱処理装置も増加することが予想されるため、本事例を紹介する。（写真1参照）



【写真1 リサイクル熱処理装置の状況】

2. 火災の概要

出火日時	令和6年6月	16時（分不明）頃
覚知日時	令和6年6月	17時36分
鎮火時刻	令和6年6月	19時04分
火災種別	建物火災	
気象状況	天候：晴 気温：23.0℃ 相対湿度：74% 風向：北 風速：6.0m/s 気象情報：強風注意報	
焼損状況	建物内のリサイクル熱処理装置の一部を焼損	
死傷者	なし	

3. 出火時の状況

3.1 出火前の状況

リサイクル熱処理装置は出火日の2日前から稼働しており、出火日前日の18時に稼働を終えて19時まで空運転を行い、翌2時30分まで冷却運転を行った後、電源を停止している。その後、8時30分には従業員の作業が終わり、以降は無人

の状態であった。

3.2 発見・通報状況

警備会社が設置する火災センサーで受信し、現場に到着した警備会社職員が、非常ベルの鳴動と、建物の煙突及び換気扇から焦げた臭いのする白煙が大量に出ていることを確認したため、119番通報した。

3.3 消防隊の活動状況

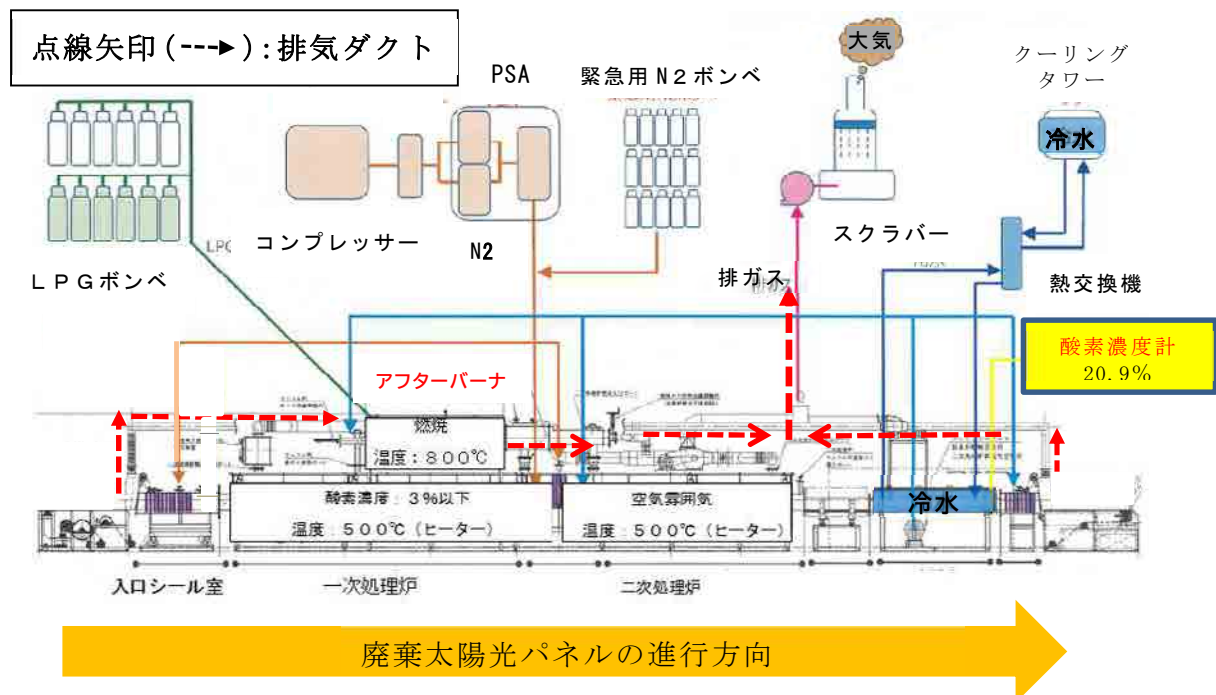
現場到着後、建物内を確認したところ、白煙が充満しており、中央部分に設置されていたリサイクル熱処理装置の入口シール室の開口部から炎が出ているのを確認したため、消火活動を行った。

4. リサイクル熱処理装置について

4.1 装置の概要

太陽光パネルは、アルミ、ガラス、シリコン、銅配線及びプラスチックの各素材で構成されており、エチレン酢酸ビニル共重合樹脂（以下、「EVA樹脂」という。）等で強固に接着されている。その太陽光パネルを、リサイクル熱処理装置によって加熱処理することにより、複数の資源へとリサイクルするための装置である。この装置は当該事業所に設置されてから1年経過しているが、実稼働期間は半年程度とのことである。（図参照）

なお、廃棄太陽光パネルの1日の平均処理量は約4tである。



【図 リサイクル熱処理装置全体図】

4.2 作業工程及び用語の説明

4.2.1 入口シール室

入口シール室内にある8列のメタルカーテンにより、入口側からの空気の流入及び一次処理炉で発生する可燃性ガスが入口側へ流出するのを防ぐ。

また、入口側へ流出したわずかな可燃性ガスは、入口シール室の排気ダクトから排出する。

4.2.2 一次処理炉

廃棄太陽光パネルのEVA樹脂部分を加熱し、熱分解することにより可燃性ガスへと変化させる。

なお、入口シール室及び一次処理炉内では、加熱処理時の炎の発生を防ぐため、窒素を流入させ、酸素濃度が3パーセント以下になるように保たれている。

4.2.3 アフターバーナー

一次処理炉で変化させた可燃性ガスを燃焼し、その際に発生した熱を処理炉の熱源として回収する。

4.2.4 二次処理炉

一次処理炉で燃焼しきれなかった残存炭化物をさらに加熱し、燃焼させる。

その後、加熱処理後に残った部分を細かくし、各資源へと選別する。

4.3 リサイクル熱処理装置の停止作業

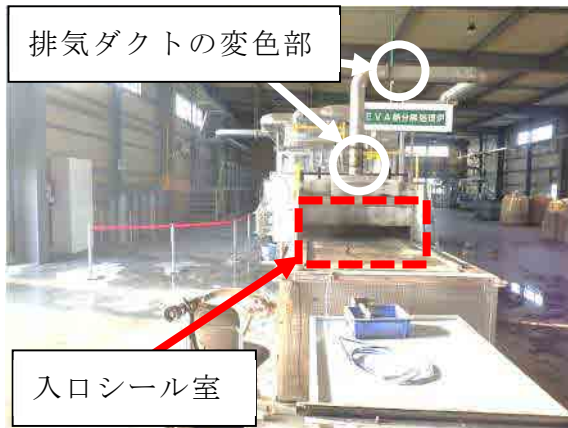
一次処理炉及び二次処理炉の作業中の温度は500℃、アフターバーナーは800℃まで上昇するが、作業終了後は300℃に下がるまで窒素による空気冷却を行った後、電源を停止し、その後は自然冷却させる。

また、電源停止後はスクラバー（排ガス装置）及び炎の発生を防ぐための窒素の流入も停止する。

5. 現場見分状況

5.1 リサイクル熱処理装置全体及び入口シール室付近の状況

リサイクル熱処理装置は、入口シール室及び排気ダクトのみ焼損している。入口シール室横に粘性のあるものが付着していたため従業員に確認すると、「一次処理炉で発生する可燃性ガスが固形化したものです。」との回答を得る。（写真2、3参照）



【写真2 入口シール室の状況】



【写真3 入口シール室付近の状況】

5.2 リサイクル熱処理装置の分解状況

事業所職員と合同でリサイクル熱処理装置の入口シール室を分解し、現場見分を行ったところ、メッシュベルト（廃棄太陽光パネルを搬送するためのベルト）に炭化した固形物が見分でき、入口シール室のメタルカーテンには、炭化した固形物が大量に付着しているのが見分できる。（写真4、5参照）

また、入口シール室を完全に取り外し見分したところ、入口シール室部分のメッシュベルトは黒く変色しているのが見分できる。（写真6参照）



【写真4 入口シール室と一次処理炉の接続部を外している状況】



【写真5 接続部を外した箇所を拡大して撮影した状況】



【写真6 メッシュベルトの状況】

5.3 入口シール室の状況

入口シール室のメタルカーテンを全て取り外し見分したところ、入口シール室内には、電気配線等はなく火源となるものは見分できない。入口シール室内は全体的に黒く変色しているのが見分できる。メタルカーテンは入口側よりも一次処理炉側に炭化した可燃性ガスの固形物が多く付着し、約 8cm の厚さになっている。(写真 7～9 参照)



【写真7 入口シール室の状況】



【写真8 メタルカーテンの状況】



【写真9 一次処理炉側メタルカーテンの拡大図】

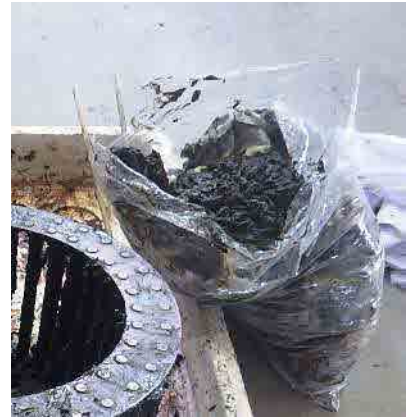
6. 鑑定

6.1 概要

現場見分の結果、入口シール室内には火源となるものがないため、付着していた可燃性ガスの固形物が蓄熱したことにより、出火したのではないかと疑い、入口シール室横にあった可燃性ガスの固形物（以下、「試料」という。）を採取し、試料の熱的变化を調べるため、TG-DTA（示差熱重量同時測定装置）による分析を行う。（写真10、11 参照）



【写真 10 入口シール室横の固形物】

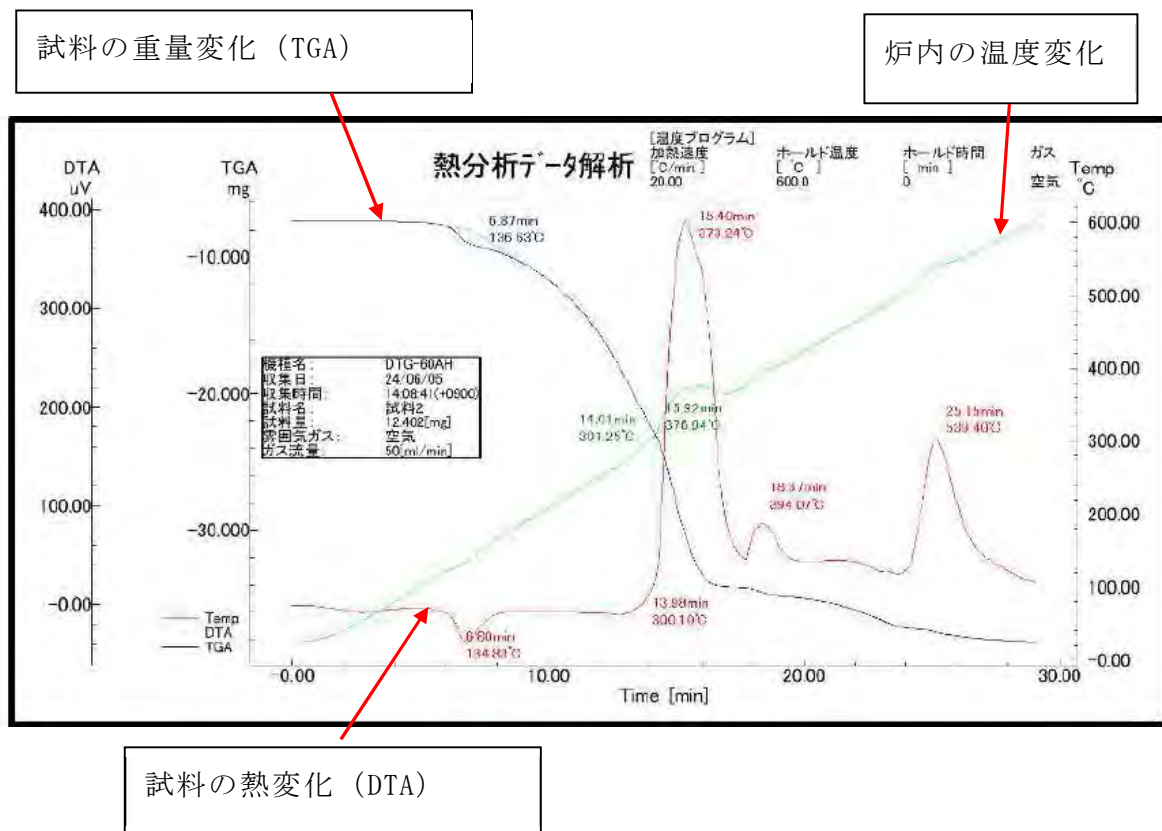


【写真 11 採取した試料】

6.2 分析結果

分析の結果は、表のとおりである。（表参照）

【表 採取試料の熱分析結果】



6.3 分析結果の考察

- (1) DTA 曲線は開始約 6～8 分に 134°C をピークとした吸熱があり、この時、136°C をピークとした TGA 曲線の下降が見られる。以降、熱的变化を伴わない重量の減少が見られることは、試料において蒸発による吸熱が開始約 6～8 分の間に生じ、重量が減少したためと考えられる。

(2) DTA 曲線は、300℃付近（14 分頃）から急激に上昇し、373℃付近（16 分頃）に達した後、一気に下降している。この時、TGA 曲線については、重量が減少していることが分かる。加えて、炉内温度を示す曲線は、DTA 曲線の熱挙動に合わせて上昇している。ここで見られる重量の減少を伴う発熱は、物質に酸化分解が生じていると考えられる。

(3) 上記(1)及び(2)の結果から、試料は 300℃から 373℃の温度状況において、急激な発熱を起こすことが分かる。当該現場に置き換えると、入口シール室が 300℃以上の温度環境下であり、そこに多量の試料が存在した場合、顕著な発熱が生じ、出火に至る可能性がある。

7. 結論

見分状況と鑑定結果等から、入口シール室は作業温度が500℃に設定された一次処理炉と接続しているため、稼働中のシール室内の温度は高温になると考えられる。

また、入口シール室には空気の流入及び可燃性ガスの流出を防ぐメタルカーテンが設けられ、さらに、電源停止後の自然冷却では、窒素の流入及びスクラバー（排ガス装置）も停止するため、入口シール室は放熱されにくい環境下となる。

加えて、可燃性ガスの固形物について分析したところ、300℃以上の温度環境下に存在した場合、物質に顕著な発熱を生じることが分かった。

以上のことから、一次処理炉に近接する入口シール室は高温であり、電源が停止する300℃の温度環境下で、多量に付着していた可燃性ガスの固形物の発熱に加え、放熱されにくい状況が重なり、発火温度に達した可能性が高い。

したがって、本事案は作業終了後に装置が冷却されるものの、スクラバー（排ガス装置）の停止及びメタルカーテンにより、リサイクル熱処理装置の入口シール室内の温度が下がりきらず、可燃性ガスの固形化したものが発熱して発火し、出火したものと推定する。

なお、装置の停止から出火までに時間を要している理由は明らかではないが、放熱と発熱のバランス、酸素濃度の変化、固形物の状況が影響を及ぼしていると考えられる。

8. 消防の要望及び事業所の改善対策

8.1 消防の要望

本火災で焼損したリサイクル熱処理装置は設置して1年経過しているが、実稼働期間としては半年程度とのことであった。

また、入口シール室に設置している排気ダクトは、入口シール室付近のみを作

業開始前に清掃するが、入口シール室内の清掃作業は、分解しなければならない構造である。この清掃できない部分に、設置してからわずか1年で大量の可燃性ガスが固形化したものが付着することは、構造的に問題がある可能性が高い。

事業所には、単に焼損した部分を交換して作業を再開するのではなく、今後、火災が起きないよう構造的にも見直しを図り、再発防止対策を講じるよう要望した。この要望に対して、非常に協力的であり、火災原因の解明を行い、再発防止措置を行うまでは、装置の稼働は行わないとのことであった。

8.2 事業所の改善対策

事業所として、リサイクル熱処理装置の構造を見直し、再発防止対策を行うとのことであった。具体的には下記のとおりである。

- (1) 排気ダクト及び入口シール室内の定期的な点検を実施する。試行運転を行い、運転後に可燃性ガスの付着状況を確認し、清掃頻度を決める。
- (2) メタルカーテンの構造を見直し、排気ダクト側への可燃性ガスの流出を防止する。
- (3) 窒素の吹込み口の長さを変更する。吹込み口を長くすることで、入口シール室内下部まで窒素が放出され、エアカーテンの役目を果たし、一次処理炉側からの可燃性ガスの流出を抑制する。
- (4) リサイクル熱処理装置を停止する際、入口シール室の入口部ゲートを全開状態ではなく、全閉し、窒素を封入状態で電源を停止するよう変更する。
- (5) リサイクル熱処理装置の停止条件を、炉内温度 300℃から 100℃に変更する。
- (6) 排気ダクト及び入口シール室に温度計を設置する。

9. おわりに

太陽光パネルの設置に関して、様々な制度の導入をはじめ、パネル自体の生産効率や性能も向上し、2000 年以降はコストも下がり、広く一般家庭に普及し始めた。太陽光パネルの寿命は、一般的に 20 年から 30 年とされており、今後、更に廃棄太陽光パネルの増加が見込まれる。

一方で、太陽光パネルの普及が進む反面、現在の破砕処理方法ではリサイクルできる部分が少なく、ほとんどが埋め立て処理とされるなど、多くの課題が残っているのが現状である。

このような中、今後は現在の処理方法から、CO₂ の削減効果やリサイクル率の高い熱処理方法へ移り替わることが予想される。

以上のことから、上記の改善対策を行うことにより、当該リサイクル熱処理装置における再発防止策となり、また今後、増えることが予想される同様のリサイクル熱処理装置の製造過程において、これらの改善対策を反映させることで、類似火災

をも防止できると考える。

今回の調査結果が、類似火災時に皆さんの活動の一助になれば幸いである。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
消防職員による原因調査事例

少量危険物貯蔵取扱所から出火した
自然発火における発火源及び着火物の調査

さいたま市消防局
高垣克樹、山本哲也、平田聖和、
佐井広章、島田呂舞、橘岳

1. はじめに

本火災は、作業場の敷地内にある少量危険物貯蔵取扱所内にある薬品から出火した建物火災である。

現場見分及び防犯カメラの映像見分、関係者の供述から、少量危険物貯蔵取扱所内にある薬品（危険物）から出火したことが推測できたため、出火時の現場の状況を再現し、想定し得る発火源及び着火物を組合せ、実験を重ね、出火原因を究明し、さらに危険物取扱い上の違反に伴う改善を行い、火災調査と並行し、危険物の調査を実施、火災の再発防止、また改善につなげた事例である。

2. 火災の概要

2.1 火災種別 建物火災

2.2 出火日時 令和6年7月日時分不明

2.3 覚知日時 令和6年8月1日16時50分

2.4 覚知種別 事後聞知

2.5 発生場所 さいたま市 作業場敷地内の少量危険物貯蔵取扱所

2.6 被災建物 コンクリートブロック造平屋建て少量危険物取扱貯蔵所

2.7 焼損程度 ぼや

2.8 死傷者 なし

3. 出火時の状況

3.1 発見及び通報の状況

従業員が少量危険物貯蔵取扱所（以下、「少危庫」と呼称。）に薬品を収納するため、扉の鍵を解錠し開放した際、少危庫内の金属製ラックに置かれた収容物が燃えた痕跡を発見、事務所にいた責任者に火災があった事実を報告し、責任者が119番通報を実施する。

3.2 初期消火の状況

初期消火の実施はなし。

火災発見時、少危庫内に火煙はなく、臭気も感じられなかった、と従業員から供述を得る。

3.3 消防隊現場到着時の状況

消防隊現着時、焼損した収容物は屋外に置かれ、少危庫内及び収容物に火煙、熱気及び臭気は感じられなかった。

なお、火災調査のため、従業員に説示し、収容物は少危庫内に戻し復元した。

3.4 火災前の最終使用状況

7月26日に使用した薬品を戻しに少危庫に行き、扉の鍵を施錠して以降は、火災を発見した8月1日までの7日間、少危庫を使用した従業員はいない。

4. 現場の状況

4.1 建物外観の状況

建物外観は、外観及び建物東側にある金網フェンスに焼損はない。



【写真 1 外観南面及び西面の状況】



【写真 2 外観北面及び西面の状況】

4.2 建物内の状況

4.2.1 天井面及び床面の状況

天井面は、天井面及びケーブルグラント（EX16BR）並びにフレキシブルフィッシング（M型 EXW116M）、防爆型蛍光灯（BFS41G-100）に焼損はない。

床面は、西側に焼損はなく、東側の一部が煤けている。



【写真 3 天井面の状況】



【写真 4 床面の状況】

4.2.2 内壁の状況

内壁は、各内壁に焼損はない。



【写真 5 内壁北面及び西面の状況】



【写真 6 内壁北面及び東面の状況】

4.3 収容物の状況

収容物は、北側及び西側の各金属製ラックの収容物に焼損はなく、東側の金属製ラックの収容物が若干焼損している。

東側の金属製ラックの焼損した収容物を屋外に搬出し、順次、見分を進める。



【写真7 収容物の状況】

4.3.1 金属製ラック最下段の収容物の状況

金属製ラック最下段の収容物は、簀子の一部が焼損し、速乾ボンドの容器及び段ボールが若干焼損しているが、その他に焼損はない。



【写真8 最下段の収容物の状況】



【写真9 最下段の簀子の状況】

4.3.2 金属製ラック中段及び最上段の収容物の状況

金属製ラック中段の収容物は、段ボールが若干焼損しているが、その他に焼損はない。金属製ラック最上段の収容物は、スチロールベールの容器が煤け、段ボールが若干焼損しているが、段ボール内の刷毛及び薬品に焼損はない。



【写真10 中段の収容物の状況】



【写真11 最上段の収容物の状況】

4.3.3 東側の金属製ラックの状況

収容物を除去した東側の金属製ラックは一部焼損し、最上段に溶融した合成樹脂及び繊維類が付着しているが、金属製ラックの裏面に焼損はない。



【写真 12 収容物を除去後の金属製ラックの状況】



【写真 13 金属製ラック裏面の状況】

焼損した収容物を確認すると、危険物第4類及び第5類の薬品があり、さらに少危庫内の危険物の容量及び倍数が、「少量危険物の貯蔵届出書」に記載事項されている数量を超えている可能性があるため、危険物係により立入査察を実施した。

なお、危険物第4類はコバルトN及びスチロールレジンF型、第5類はパーメックNであった。

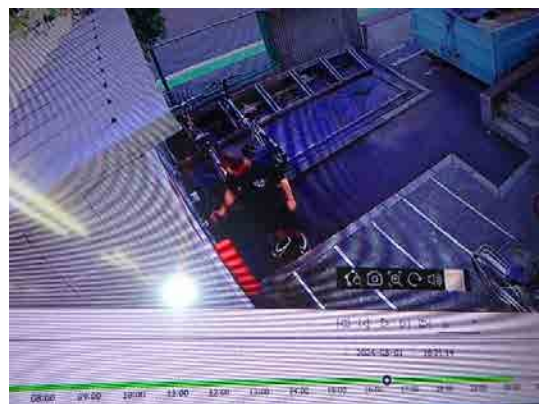
5. 防犯カメラの状況

外部及び内部放火の可能性を考慮し、少危庫入口前を撮影している防犯カメラの映像を見分する。

防犯カメラの映像は、火災を発見した令和6年8月1日16時頃、少危庫に人が出入りしており、それ以前に少危庫に人が出入りしたのは、令和6年7月26日17時頃分である。出入りしている人の手に段ボール及び鍵があり、ライター等を確認できない。



【写真 14 7月26日17時頃の防犯カメラ映像】



【写真 15 8月1日16時頃の防犯カメラ映像】

6. 危険物の状況

危険物の見分に際し、「少量危険物の貯蔵届出書」をもとに、見分を進める。



【写真 16 少危庫の状況】

6.1 少量危険物の概要

6.1.1 届出年度

平成 18 年度

6.1.2 貯蔵取扱開始年度

平成 19 年度

6.1.3 位置・構造・設備の概要

コンクリートブロック造

6.1.4 消防用設備等の概要

ABC 粉末 10 型消火器 1 本

6.1.5 危険物の類・品名及び最大数量

【表 1 少量危険物の貯蔵届出書の危険物一覧表】

	類別	物品名（品名）	最大貯蔵数量（L）	倍数（一日最大取扱数量）
1	第 4 類	シンナー（第一石油類非水溶性）	150	0.75
2	第 4 類	灯油（第二石油類非水溶性）	200	0.20

6.2 少危庫の状況

6.2.1 標識板及び掲示板の状況

掲示板は、「火気厳禁」と標記され、標識・掲示板は上下に 2 枚あり、上の標識・掲示板は「少量危険物貯蔵取扱所、第 4 類 第 1 石油類（非水溶性）、品名 シンナー、最大数量 150L」、下の標識・掲示板は「少量危険物貯蔵取扱所、第 4 類 第 2 石油類（非水溶性）、品名 石油、最大数量 200L」と標記され、下の標識・掲示板の品名に記載されている石油以外、「少量危険物の貯蔵届出書」と相違ない。



9

【写真 17 掲示板及び標識・掲示板の状況】

6.2.2 危険物の状況

危険物の見分に際し、危険物の在庫数、在庫容量及び在庫倍数は、現場見分時、確認できたもので算出した。

ラッカーシンナーは危険物第4類、第1石油類、危険等級Ⅱ級、内容量3.6L、在庫数4缶で小計14.4L、倍数は0.072倍である。

テレメンは危険物第4類、第2石油類、危険等級Ⅱ級、内容量3.6L、在庫数1缶で小計3.6L、倍数は0.0036倍である。



【写真 18 ラッカーシンナーの状況】



【写真 19 テレメンの状況】

インロット 205 は危険物第4類、第2石油類、危険等級Ⅲ級、内容量4L、在庫数3缶で小計12L、倍数は0.012倍である。

オイルステインは危険物第4類、第2石油類、危険等級Ⅲ級、内容量3.6L、在庫数1缶で小計3.6L、倍数は0.00036倍である。



【写真 20 インロット 205 の状況】



【写真 21 オイルステインの状況】

ガソリンは危険物第4類、第1石油類、危険等級Ⅱ級、内容量20L、在庫数1缶で小計20L、倍数は0.1倍である。

灯油は危険物第4類、第2石油類、危険等級Ⅲ級、内容量18L及び20Lの携行缶があり、18Lの在庫数17缶と20Lの在庫数1缶で小計344L、倍数は0.344倍である。



【写真 22 ガソリンの状況】



【写真 23 灯油の状況】

上記6点の危険物の他に18点を確認し、計24点の危険物の在庫数、在庫容量及び在庫倍数を調査した。

6.4 結果

少危庫の見分結果から、在庫倍数の合計は「1.064533倍」で、一日最大取扱数量350Lから算出される在庫倍数の「0.95倍」に対し、超えていたため、立入検査結果通知書に指摘事項として記載し、是正を促した。

7. 実験の状況

本火災の出火原因を究明するため、パーメックN、スチロールレジンF型及びコバルトNの3種類の薬品を使用し、実験を実施することとした。

なお、上記3種類の危険物を実験で用いた経緯は、現場見分で焼損した薬品であること、さらに従業員から舞台の大道具を作るため、パーメックN、スチロールレジンF型とコバルトNの3種類を目分量で混合し、ウレタン材を作るとの説明を受けたこと

から、発火源はパーメック N、スチロールレジン F 型及びコバルト N の混合液、または各溶液からの出火が推察され、着火物は、少危庫内にあるウェス、刷毛及び紙類等が考えられたためである。

7.1 実験（第1回）

7.1.1 実験の目的

本火災の出火原因を究明するうえで、定温乾燥機で昇温し、混合液及び内容物の挙動等を観察し、温度を測定する。

7.1.2 実験資機材等

ア 実験薬剤

実験で使用する薬剤は「表2 使用薬剤一覧」のとおりである。

【表2 使用薬剤一覧】

	薬剤名	製造業者等
1	パーメック N	N 株式会社
2	スチロールレジン F 型	T 株式会社

イ 実験資機材

実験で使用する資機材は、「表3 使用機材等一覧」のとおりである。

【表3 使用機材等一覧】

	品目	個数	メーカー	型式
1	定温乾燥機（自然滞留式）	1 台	アズワン株式会社	ONW-300SB
2	絶縁 10 チャンネルハンディロガー※ ¹	1 台	グラフテック株式会社	GL240
3	シャーレ（35mm×15mm）	3 個	Shantia	B0D36 X 354P
4	テルモシリンジ※ ²	6 本	テルモ株式会社	SS-02SZ
5	ステンレス角皿トレー（小）※ ³	1 枚	株式会社高儀	B00NEDKSXE

※1 絶縁 10 チャンネルハンディロガーは、以下、「データログ」と呼称する。

※2 テルモシリンジは、以下、「シリンジ」と呼称する。

※3 ステンレス角皿トレー（小）は、以下、「角皿トレー」と呼称する。

7.1.3 設定条件

ア 手順 1

パーメック N「1ml」、スチロールレジン F 型「1ml」を符号 1～符号 3 の各シャーレに入れ、計 2ml の混合液を作成する。

なお、薬液の混合液の比率は、従業員の目分量による比率である。

イ 手順 2

符号 1～符号 3 の各シャーレに、符号 1 は混合液のみ、符号 2 は混合液内に 1 c m²の段ボール片、符号 3 は混合液内に 1 c m²のアルミ片を入れる。

ウ 手順 3

符号 1～符号 3 の各シャーレを定温乾燥機内に入れ、定温乾燥機を 60℃まで昇温し、符号 1～符号 3 の各シャーレ内の状況を観察する。

なお、定温乾燥機の温度は、現場調査時、熱画像直視装置で少危庫内の室温を測定した際、約 55℃を示していたため、昇温温度を 60℃と設定した。



【写真 24 符号 1～符号 3 の状況】

7.1.4 測定箇所

測定箇所は、CH1 は符号 1、CH2 は符号 2、CH3 は符号 3 の計 3 点とする。

【表 4 測定箇所一覧】

	CH	符号	混合液	容量	内容物
1	CH1	符号 1	パーメック N+スチロールレジン F 型	2ml	無
2	CH2	符号 2			段ボール片
3	CH3	符号 3			アルミ片

7.1.5 実験状況

符号 1～符号 3 の各シャーレ内の混合液及び内容物に変化はない。

定温乾燥機内に符号 1～符号 3 の容器を入れ、昇温を開始する。

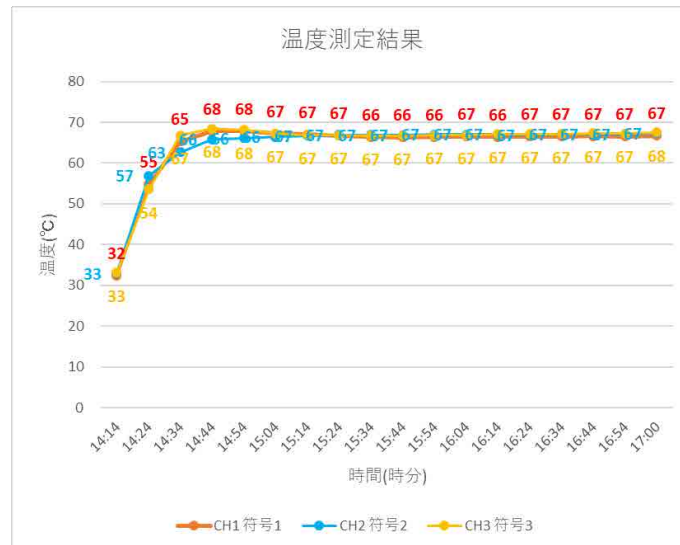


【写真 25 定温乾燥機内の配置状況】



【写真 26 熱電対の設定状況】

実験開始から 10 分後、符号 1～符号 3 は 55℃まで上昇し、30 分後に定温乾燥機の設定温度 60℃を超えるが、実験終了までの 2 時間 46 分、温度の上昇はなく、横ばい状態である。



【図 1 温度測定結果】

定温乾燥器から各シャーレを取出すと、符号 1 及び符号 2 のシャーレ内は混合液が粘質化し、白濁色に変色しているが、符号 3 のシャーレ内の混合液に粘質化はなく、茶色く変色している。

また、符号 2 のシャーレ内の段ボール片は湿っているが、焦げ等はない。

符号 3 のシャーレ内のアルミ片は腐食し、若干崩れている。



【写真 27 実験終了後の符号 1～符号 3 の状況】

7.1.6 実験結果

符号 1～符号 3 の各シャーレ内の混合液は発火せず、符号 2 及び符号 3 の内容物も発火は認められなかった。

7.2 実験（第2回）

7.2.1 実験の目的

本火災の出火原因を究明するうえで、混合液及び内容物の挙動等を観察し、温度を測定する。

なお、実験は計6回実施し、実験No.6は、定温乾燥機で溶液を昇温し、溶液の挙動等を観察し、温度を測定する。

7.2.2 実験資機材等

ア 実験薬剤

実験No.1～実験No.6で使用する実験薬剤は、「表5 使用薬剤一覧」のとおりである。

【表5 使用薬剤一覧】

	薬剤名	製造業者等
1	パーメック N	N 株式会社
2	コバルト N	T 株式会社

イ 実験資機材

実験No.1～No.5で使用する資機材は、「表6 使用資機材等一覧」の2～5、実験No.6で資機材は「表6 使用資機材等一覧」の1～5である。

【表6 使用機材等一覧】

	品目	個数	メーカー	型式
1	定温乾燥機（自然滞留式）	1台	アズワン株式会社	ONW-300SB
2	絶縁10チャンネルハンディロガー※1	1台	グラフテック株式会社	GL240
3	シャーレ（90mm×15mm）	6個	Shantia	B0D36 X 354P
4	テルモシリンジ※2	11本	テルモ株式会社	SS-02SZ
5	ステンレス角皿トレー（小）※3	1枚	株式会社高儀	B00NEDKSXE

※1 絶縁10チャンネルハンディロガーは、以下、「データロガ」と呼称する。

※2 テルモシリンジは、以下、「シリンジ」と呼称する。

※3 ステンレス角皿トレー（小）は、以下、「角皿トレー」と呼称する。

7.2.3 設定条件

7.2.3.1 実験No.1～No.5

ア 手順1

シャーレにパーメック N「10ml」とコバルト N「2ml」を入れる。

なお、薬液の混合液の比率は、従業員の目分量による比率である。

イ 手順2

実験No.1は混合液のみ、実験No.2は混合液内に折り畳んだ紙（キムワイプ）、

実験No.3 は混合液内に刷毛、実験No.4 はウェス、実験No.5 は金属片を入れる。

【表 7 実験No.1～実験No.5 の実験条件】

	実験	混合液	容量	内容物
1	実験No.1	パーメック N+コバルト N	12ml	無
2	実験No.2			紙（キムワイプ）
3	実験No.3			刷毛
4	実験No.4			ウェス
5	実験No.5			金属片

7.2.3.2 実験No.6

ア 手順 1

シャーレにパーメック N「10ml」を入れる。

イ 手順 2

シャーレを定温乾燥機内に入れ、定温乾燥機を 60℃まで昇温し、シャーレ内の状況を観察する。

【表 8 実験No.6 の実験条件】

	実験	溶液	容量	内容物
1	実験No.6	パーメック N	10ml	無

7.2.4 測定箇所

測定箇所は、各シャーレの溶液内とする。

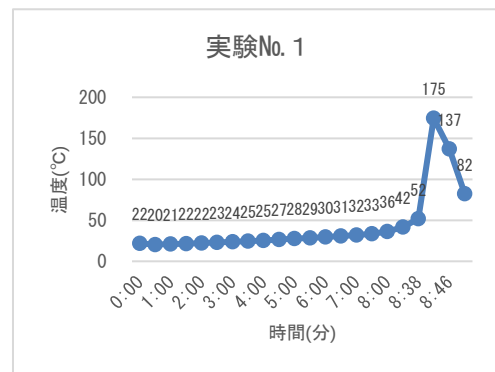
7.2.5 実験状況

ア 実験No.1 の状況

実験No.1 は、実験開始から 8 分 33 秒、シャーレ内の溶液から全体的に白煙が上昇しているが、火炎は認められない。



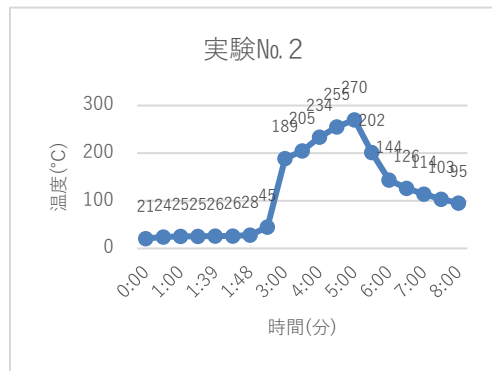
【写真 28 実験No.1 の状況】



白煙が薄く漂っているのが認められる。



【写真 29 実験No.2 の状況】



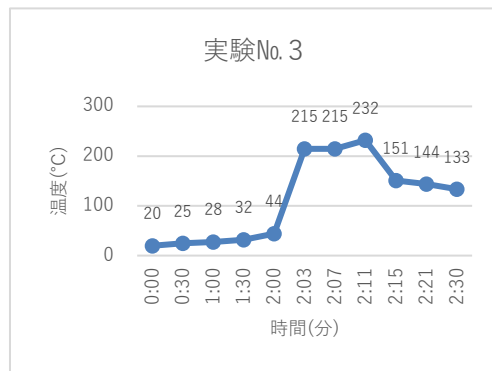
【図 3 実験No.2 の温度測定結果】

ウ 実験No.3 の状況

実験No.3 は実験開始から 1 分 48 秒、シャーレ内の溶液から全体的に白煙が上昇し、実験開始から 2 分 30 秒、シャーレ内の白煙は終息し、刷毛は穂先の一部が茶色く変色しているが、焼損等は認められない。



【写真 30 実験No.3 の状況】



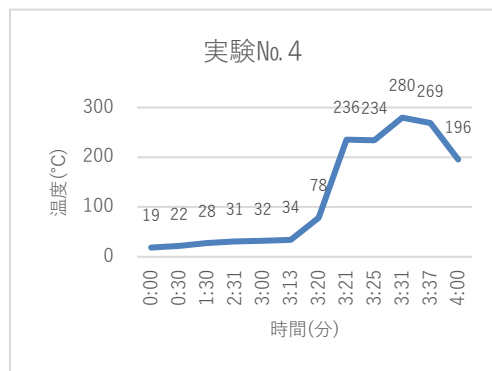
【図 4 実験No.3 の温度測定結果】

エ 実験No.4 の状況

実験No.4 は実験開始から 3 分 13 秒、シャーレ内の溶液及びウェスから濃い白煙が上昇し、周囲に酸味のある臭気を感じられる。実験開始から 3 分 20 秒、角皿全体から白煙が上昇し、シャーレ及びウェスは煙で確認することができない。実験開始から 4 分 00 秒、シャーレ内の白煙は終息し、ウェスの一部が炭化し、微小な火種がまばらに認められる。



【写真 31 実験No.4 の状況】



【図 5 実験No.4 の温度測定結果】



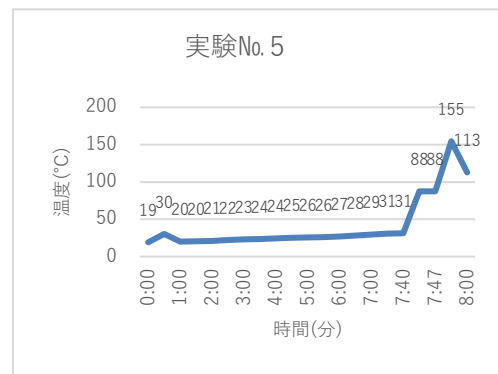
【写真 32 実験No.4 ウェスの炭化の進展状況】

オ 実験No.5 の状況

実験No.5 は実験開始から 7 分 40 秒、シャーレ内の溶液から白煙が上昇し、実験開始から 7 分 43 秒、シャーレ内の白煙は薄くなり、合成樹脂製シャーレが余裕変形しているが、金属片に変色等は認められない。



【写真 33 実験No.5 の状況】



【図 6 実験No.5 の温度測定結果】

カ 実験No.6 の状況

実験No.6 は実験開始から 22 分 00 秒、定温乾燥機内のシャーレ内の溶液に変化はなく、実験開始から 30 分 00 秒、シャーレ内の溶液の温度は、定温乾燥機の昇温と平行し、緩やかに上昇しているが、急激な温度上昇は認められない。



【写真 34 実験No.6 の状況】



【写真 35 シャーレ内の状況】

7.2.6 実験結果

7.2.6.1 考察

ア 実験No.1～実験No.5 は、シャーレ内の溶液が化学反応を起こし、発熱現象が認められることから、パーメック N とコバルト N を混合した溶液は発熱し、出火する可能性が高い。

イ 実験No.2 及び実験No.4 は、シャーレ内にある紙（キムワイプ）及びウェスが炭化、微小な火種が発生し、無炎燃焼を継続しているのが認められることから、パーメック N とコバルト N を混合した溶液は発熱するものの、紙（キムワイプ）及びウェスがあれば、無炎燃焼を継続し出火する可能性が高い。

ウ 実験No.3 は、刷毛の穂先が一部茶色く変色しているが、刷毛に焼損がないことから刷毛から出火する可能性は低い。

エ 実験No.5 は、金属片に変色等はなく、金属片は、パーメック N とコバルト N の混合液を蓄熱ができないことから、出火する可能性は低い。

オ 実験No.6 は、定温乾燥機でパーメック N を昇温させるも、パーメック N に発煙及び発火が認められないことから、パーメック N 単体で昇温により出火する可能性は低い。

7.2.6.2 結果

実験No.1～実験No.6 の結果から、パーメック N とコバルト N を混合した溶液は発煙及び発熱現象が発生し、さらに、溶液内の可燃物が紙（キムワイプ）及びウェスで蓄熱条件を満たすものがあれば、微小火源による無炎燃焼の継続が出火すると考えられる。

8. 出火原因

本火災で考察される出火原因は、電気、放火及び有機溶剤に起因するものが考えられるため、以下検討する。

8.1 電気について

少危庫は、防爆性の証明器具が設置され、照明器具及びスイッチの位置は焼損した収容物から離れ、さらに薬品の可燃性蒸気が滞留している環境下で、スイッチ等の接点火花に可燃性蒸気が引火し、少危庫内全体が焼損すると考えられるが、現場見分では、焼損箇所は局所的であるため、電気が起因する出火の可能性は否定する。

8.1 放火について

少危庫周囲は昼夜を問わず、人及び車の往来が多い地域であり、金網フェンスに囲まれ侵入しづらく、さらに、少危庫の扉は鍵が施錠されていることから何者かが敷地内に侵入し、放火する可能性は極めて低い。また、防犯カメラの見分から、最終使用日時から火災発生日時までの間、防犯カメラの映像に人の出入りの映像がないことから、放火が起因する出火の可能性は否定する。

8.3 有機溶剤

現場見分時、焼損した容器は、危険物第4類のコバルトNとスチロールレジンF型、第5類のパーマックNの有機溶剤（薬品）から出火したことが考えられる。

実験見分（第1回）で、パーマックNとスチロールレジンF型の混合液は変色や粘質化するものの、発煙や発火には至らず、内容物にも発煙や発火が認められないことから、パーマックNとスチロールレジンF型の混合液により発火した可能性は低い。

実験見分（第2回）で、実験No.1のパーマックNとコバルトNの混合液は、全体的に白煙が上昇し、測定による最高温度が約175℃まで急上昇したことから、パーマックNとコバルトNの混合液から出火する可能性は考えられる。

実験No.2からNo.5までのパーマックNとコバルトNの混合液に内容物を入れると、紙（キムワイプ）は最高温度約270℃、刷毛は最高温度約232℃、ウェスは最高温度約280℃、金属片は最高温度約175℃まで温度急上昇し、さらに実験No.4ではウェスが一部炭化、炭化箇所から微小な火種が複数あり、炭化の範囲が徐々に広がっていることから、パーマックNとコバルトNの混合液が発熱し、蓄熱しやすいウェスであれば出火する可能性は極めて高い。

8.4 結論

現場見分、防犯カメラの映像見分及び実験、関係者の供述から、何らかの理由により少危庫内でパーマックNとコバルトNが混合し付近にあったウェスに着火、または、パーマックNとコバルトNの混合液が染みたウェスが発火し、周囲に延焼拡大したものと推定した。

9. 再発防止

本火災では、少危庫内に危険物第4類及び第5類の薬品が混在し、薬品の管理リストもなく、薬品、容量及び倍数が適正に管理されていなかったことから、火災発生後、火災調査と合わせ、立入査察を実施し、火災予防の注意喚起、さらに少危庫内の薬品の適正な管理を促すよう指導した。

10. おわりに

本火災は、初動の火災調査の段階で、発火源及び着火物と成り得るものを判断するのに難しい事案であったが、火災現場の焼損物件を観察し、発火源と成り得るものを検証し、想定した発火源で着火するのか、また着火物が自己燃焼を継続するのか、繰返し実験を行ったことで出火原因が推定でき、事業所に対し、薬品の取扱いを含めた具体的な再発防止を促し、さらに危険物の適正な管理を促す予防面の強化に取り組むことができた。

本事例の紹介が類似火災の防止や火災原因調査等の参考になれば幸いである。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
一般の部 消防防災機器等の開発・改良

国宝姫路城「石垣用立てかけ梯子」の開発

姫路市
万里防災設備
ナカ工業株式会社大阪支店

1. 背 景

国宝姫路城（以下「姫路城」という。）は平成5年12月、日本で初の世界遺産となった。シラサギが羽を広げたような優美な姿から「白鷺城」の愛称で親しまれる姫路城、白漆喰総塗籠造りの鮮やかな白の城壁や5重6階地下1階の大天守と東、西、乾の小天守が渡櫓で連結された連立式天守が特徴である。大天守は、慶長14年（1609年）に建築されたもので、400年以上が経過した現在でも、その美しい姿を残している。（写真1参照）

令和5年には世界遺産に登録されて30周年を迎え、国内外から多くの方にお越し頂いた。そして、令和7年には2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）が開催されるなど観光客の更なる増加が見込まれる。姫路城の建造物は複数の棟が連立した大規模な木造建築物である天守閣群を中心に横に長く繋がった西の丸、また、櫓、門が複雑に配置され、それらを土塀で結んでいる。西の丸には、百間廊下と呼ばれる南北に240mと長い廊下があり内部は見学コースとなっている。百間廊下内で観光客が避難する避難口は、廊下南端の見学コース入口と廊下北端の見学コース出口、そして中間部よりやや南寄りの「ヲの櫓」開口部の3つである。しかし、「ヲの櫓」の避難口から北端の避難口までの歩行距離は160メートルと距離が長く、その中間部で避難口を確保するため、「ヨの渡櫓」の開口部を避難口とした場合の避難状況について確認する。同開口部の両開き戸を外側へ開けると戸の前は幅が1.3mの石垣上で、石垣の高さが約4mあることから直接地上へは避難することができず、幅の狭い百間廊下沿いの石垣上を北端の石段まで避難することとなるが、石垣上には柵がないことから足を滑らせると石垣からの転落が危惧され、避難時の安全性が確保できない。そこで、観光客が「ヨの渡櫓」の避難口前の石垣上から直接地上へと安全に避難できるように官民連携で「石垣用立てかけ梯子」を開発した。



写真1 国宝姫路城全景

2. 課 題

姫路城の保護、保全にかかる根拠法規は、文化財保護法であり建築物及び防災の面では、文化財建築物はその姿をできるだけ現状のまま保全しようという観点から建築基準法では同法第3条第1項の適用除外の扱いとされ、消防法においても同法施行令第6条及び別表第1により、文化財保護法の規定での重要文化財として指定された建築物とされている。消防法に規定された重要文化財に必要な消防用設備は 消火器、自動火災報知設備で、規模や構造によっては屋外消火栓設備、消防用水、階数、収容人数や直通階段の数によっては避難器具等が必要となる。姫路城は、消防法に規定された消火器、自動火災報知設備、屋外消火栓設備、消防用水を設置するとともに屋内消火栓設備、スプリンクラー設備、非常警報設備（放送設備）、火災通報装置（画像伝送装置含む）や連結送水管、放水砲、炎感知器、監視カメラなどを設置、消防用設備等を強化整備して火災の発生に備えている。

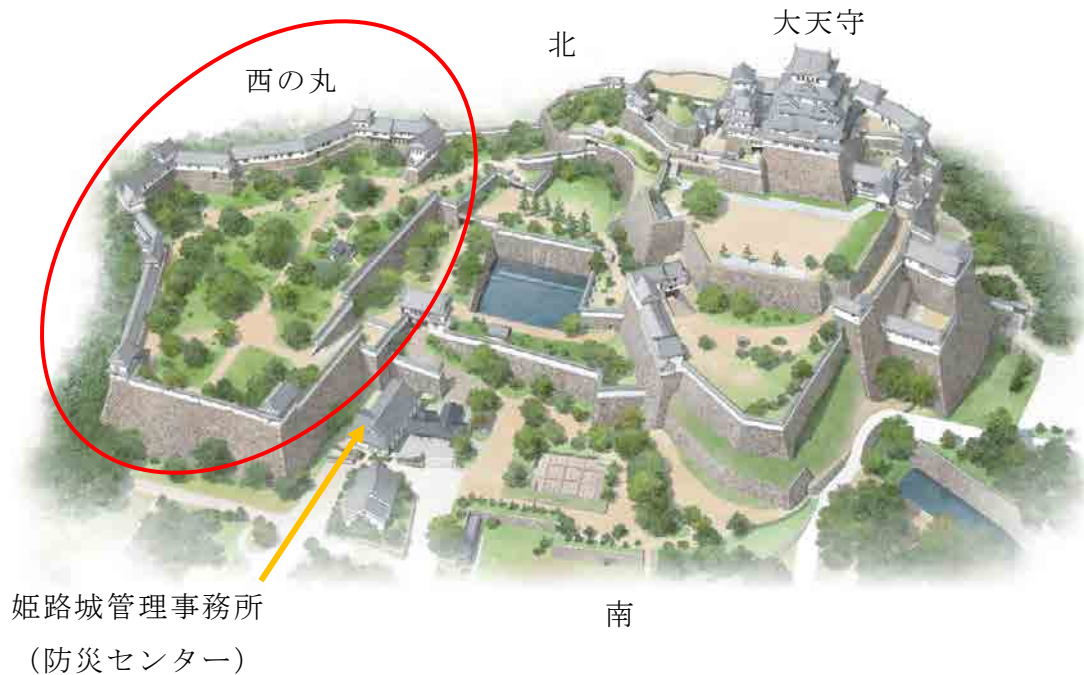


図1 城内図

西の丸の百間廊下は、西の丸の外周をめぐる櫓群と渡り櫓とで繋がり、南端に位置するワの櫓（見学コース入口）から北側へレの渡櫓、ヲの櫓、タの渡櫓、ルの櫓、ヨの渡櫓、ヌの櫓、カの渡櫓（見学コース出口）、化粧櫓へと続く南北方向へと横に長い建築物である。百間廊下の消防用設備等は、消火栓、屋内消火栓設備、屋外消火栓設備、スプリンクラー設備（化粧櫓部分）、自動火災報知設備、非常警報設備、消防用水、炎感知器、監視カメラなどを設置している。（写真2、図面1、2参照）



写真2 西の丸の百間廊下全景（大天守から西向き）

百間廊下の内部は多くの観光客が入られており、災害時における観光客の避難については、南端ワの櫓の見学コース入口（図2の①参照）とYの櫓の開口部（図2の②参照）、そして北端化粧櫓の見学コース出口（図2の④参照）の開口部3箇所が避難口となり二方向避難を確保している。しかし、Yの櫓の避難口（図2の②参照）から見学コース出口（図2の④参照）の避難口までの間は距離が長く、その間のヨの渡り櫓の開口部（図2の③参照）を活用することで避難口が4箇所確保できる。これら4箇所の開口部を①から④へ順次、避難口としての有効性について確認する。



図2 西の丸の百間廊下全景

① 「ワの櫓」避難口（図2 写真2、3、4参照）

見学コースの入口である「ワの櫓」東面の開口部は、両開き戸で公開時間中は常時開いた状態で建物内部からは10段の石段を下って地上へと容易に避難することができる。



写真3 「ワの櫓」



写真4 「ワの櫓」避難口

② 「ヲの櫓」避難口（図2、写真2、5、6参照）

「ヲの櫓」北面の開口部は、片引戸で常時閉めており、横に開いて屋外に出ると高さ約4mの石垣上で12段の石段を下って地上へと容易に避難することができる。



写真5 「ヲの櫓」



写真6 「ヲの櫓」避難口

③ 「ヨの渡櫓」避難口（図2、写真2、7、8、9、10、11参照）

「ヨの渡櫓」中央部よりやや北側に位置する東面の開口部は、両開き戸で常時閉めており、外側に開いて屋外に出ると、高さ約4mの石垣上で地上への石段はなく石垣上を百間廊下沿いに北端の石段へと歩行距離で41mを避難することとなる。

しかし、避難経路の石垣上は、幅が避難口前で1.3m、最大幅部が1.4m、最少幅部が1.0m、さらに石垣上部は凹凸状態で外側にやや傾斜し、一部岩盤が露出し石垣の切れ目もあることから、幼児や高齢者等では歩行困難となり、最少幅部では観光客の流れが停滞し、観光客同志の接触や足を滑らせると石垣下へ転落する危険性がある。



写真7 「ヨの渡櫓」避難口



写真8 避難口前避難経路



写真9 避難口前避難経路



写真 10 岩盤露出部



写真 11 石垣上北側

④ 「力の渡櫓」避難口（図2、写真2、12、13参照）

見学コースの出口となっている「力の渡櫓」南面の開口部は、両開き戸で公開時間中は常時開いた状態で建物内部からは12段の石段を下ると石垣上の踊り場に出て、さらに15段の石段を下って地上へと容易に避難することができる。

以上のように4個所の開口部を順次確認したところ、上記①②④の開口部からの避難は容易であるものの③の開口部からの避難は一次的に石垣上へ避難はできるが、地上へ避難するためには狭い石垣上を北端石段まで移動することとなり、その移動中において観光客が転落する危険があり、避難上の安全性に課題がある。



写真 12 「力の渡櫓」



写真 13 「力の渡櫓」避難口

3. 課題の解決

前述のとおり「ヨの渡櫓」東面の開口部については、避難時に観光客が石垣下へ転落する危険があるという課題を解決するためには、次の4つの対策のいずれかが必要となる。

対策1：石垣前に階段を設置する。

対策2：転落防止のための柵を設置する。

対策3：石垣上に避難器具（固定梯子、つり下げ梯子等）を設置する。

対策4：石垣上へ立てかける梯子を採用する。

上記対策について順次検討すると、対策1の「石垣前に階段を設置する。」、対策2

の「転落防止のための柵を設置する。」、対策3の「石垣上に避難器具（固定梯子、つり下げ梯子等）を設置する。」の3つの対策については、階段や柵の設置、避難器具の設置に伴い石垣部分または地面に基礎コンクリート工事やアンカー固定などの工事が必要となる。これらの工事は、特別史跡地内の石垣部分での工事となることから文化財保全の観点から容易に実施はできず早期の解決が見込めない。続いて、対策4「石垣上へ立てかける梯子を採用する。」の対策については、石垣部分に基礎コンクリート工事やアンカー固定などの工事が必要なく、早期の解決が見込まれることからこの対策について検討を進める。

4. 石垣上へ立てかける梯子について

石垣上へ立てかける梯子（以下「立てかけ梯子」という。）は、立てかける場所が高さ約4mの石垣上で、石垣の天端は凹凸状態の手前がやや低い傾斜で、積まれた石垣と石垣との接合部にはくぼみもあることや立てかける地面もやや傾斜があることなどから、立てかけ梯子の上部では石垣との接触部ではがたつきで不安定となり横滑りや、立てかけ梯子の下部では地面の接地個所での滑りも懸念される。従って、立てかけ梯子はスタッフは安全で容易に立てかけられて上部及下部で滑らない構造とする必要がある。

市販されている立てかけ梯子の採用を検討すると、単梯子や2連梯子等の直線形状のものが多く、直線形状の梯子を石垣に立てかけた場合、石垣上でスタッフが横滑り防止のため梯子上部を手で保持する必要があるが、スタッフが石垣上の外側（屋外側）寄りに立つこととなり、体の重心が石垣の外側（屋外側）へと傾いてバランスを崩したり、手元や足元が滑ると石垣から転落する危険性がある。また、観光客が石垣上で梯子へと乗り移る際、梯子を持ちながら外側から回り込んで梯子の栈の上に立つこととなり、回り込む際に手元や足元を滑らせると転落の危険性がある。このように市販の直線形状の梯子では、梯子の保持と乗り移りの際に転落の危険性があることから採

用はせずに石垣に特化した形状の立てかけ梯子の開発を目指すこととした。

そこで、避難器具を専門に取り扱う消防設備業者（兵庫県姫路市 万里防災設備 代表米田佳生）と梯子の製造メーカー（大阪府大阪市 ナカ工業株式会社大阪支店 支店長 木村 亮）との共同で下記の安全対策（5項目）に適合する石垣専用の立てかけ梯子の製作に着手した。

また、消防法の規定では姫路城には避難器具の設置は義務付けられてはいないものの独自に立てかけ梯子を製作することについて、所轄消防本部で問題がないことを確認してから下記の条件に適合する梯子の製作を進めた。

- ① 梯子には安全な強度があること。
- ② 石垣に立てかけた状態で梯子上部が横滑りしないこと。
- ③ 石垣に立てかけた状態で梯子下部が滑らないこと。
- ④ スタッフが石垣上で安全に梯子を保持できること。
- ⑤ 観光客が石垣上で安全に梯子に乗り移れること。

以上の5つの条件を適合させるために次の対応策を検討した。

- ① 立てかけ梯子には安全な強度があること。

対応策：素材はステンレス製として縦棒（直径 38 mm）、横棧（直径 25 mm）で構成し強度を確保する。

- ② 石垣に立てかけた状態で梯子上部が横滑りしないこと。

対応策：梯子を石垣に立てかけた際、梯子の横棧最上段に足載せステップを取付けることで、このステップが石垣上に被さった形となり、梯子上部の滑り止めとなり梯子の横滑り防止を図る。

- ③ 石垣に立てかけた状態で梯子下部が滑らないこと。

対応策：2本ある梯子の縦棒で基底部先端にすべり止め用の地面に刺さる丸棒のスパイクを取り付け、架梯時にはスパイクが地面（柔らかい土）に刺さることで梯子下部の滑り止めとなり梯子の滑り防止を図る。また、安全のためにスパイク用一体型カバーを製作し、保管時はカバーを付けておく。

- ④ スタッフが石垣上で安全に梯子を保持できること。

対応策：2本ある梯子の縦棒は、石垣に立てかけた状態で石垣接地部から上部を建物側へくの字に大きく曲げることで建物側へ接近させ、さらに先端部を下側へ半円形に湾曲させることで、梯子を保持する縦棒先端部分が握りやすいUの字の形状となった。これにより、スタッフが傾斜の石垣上外側（屋外側）で梯子を保持することとなく建物側で低い姿勢で保持することができるようになり、バランスを崩したとしても石垣下へ転落する危険性がなくなった。

- ⑤ 観光客が石垣上で安全に梯子に乗り移れること。

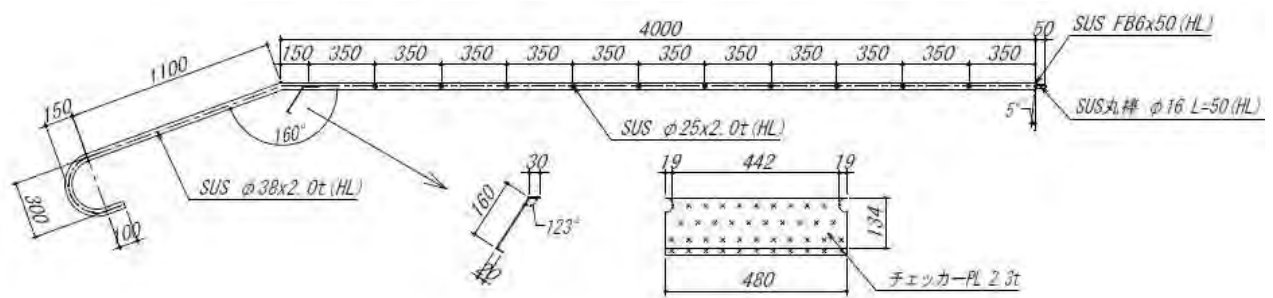
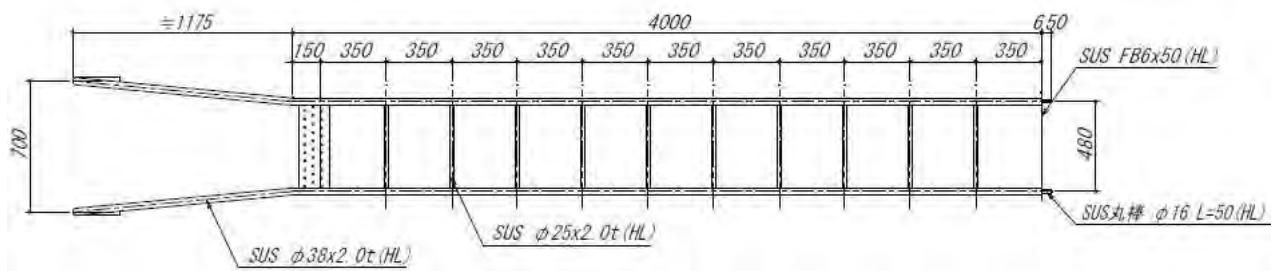
対応策：2本ある梯子の縦棒は、石垣に立てかけた状態で石垣接地部から上部

を

それぞれ外側に広げるとともに横桟最上段に足載せステップを取り付けることで、観光客が広がった縦棒の間から石垣に対面する向きで足載せステップに足を乗せて、両側の縦棒を保持しながら梯子を降れるようになり、梯子の外側から回り込むことなく安全に避難できるようになった。

これらの対応策に適合して完成した立てかけ梯子は、長さ 525 cm、幅 48 cm（縦棒先端の幅：70 cm）の大きさで、横棧は 35 cm の等間隔に 11 本設置した。また、横棧の最上段の上に足載せステップを取付けるとともに縦棒の基底部先端にはすべり止め用の地面に刺さる丸棒のスパイク（円柱形：直径 16 mm、長さ 50 mm）を左右に 1 つ、計 2 つ取り付けた。（写真 14、15、16、17、18 参照）

製作した立てかけ梯子の図面（平面図、立面図）は次のとおりである。（図面 3、4、5 参照）

足載せステップ^o

單位：mm

図3 立てかけ梯子平面図

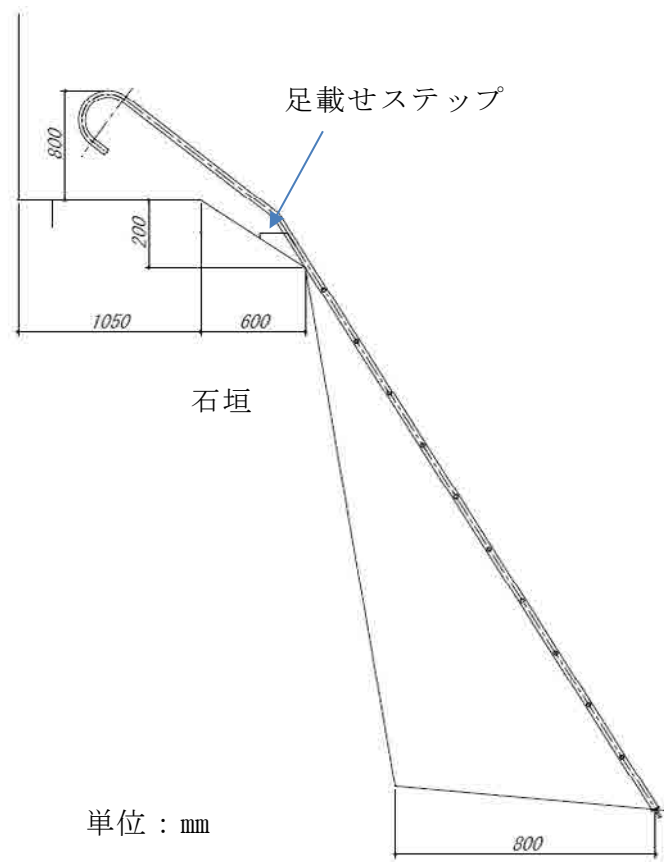


図4 立てかけ梯子立面図

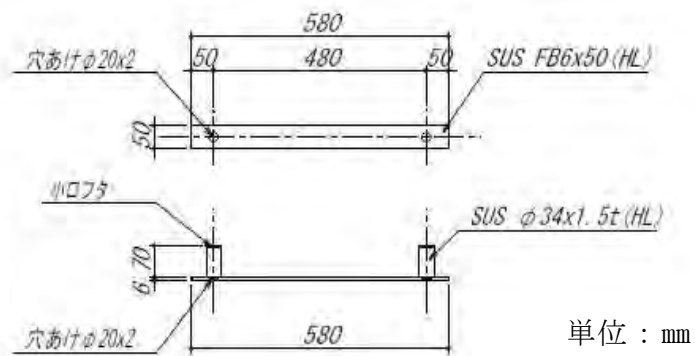


図5 基底部 スパイク用一体型カバー



写真14 梯子全体



写真15 先端部



写真16 足載せステップ



写真17 基底部（一体型カバー装着）



写真18 基底部（カバー外す）



写真19 安全帯及びロープ等

5. 作業手順について

スタッフが高さ4mの石垣上で、避難誘導を実施することから、転落防止のために次の安全対策を実施した。労働安全衛生規則によると、事業者は厚生労働大臣が定める規格や安全装置を備えた墜落制止用器具を使用する必要があり、高さが2m以上の箇所で作業を行う場合は、要求性能墜落制止用器具を使用させるとされ、墜落制止用器具にはフルハーネス型と胴ベルト型があり、フルハーネス型が原則であるが、高さが6.75m以下では胴ベルト型を使用できるとされている。これらのことから、同規則に準じて石垣上で作業をするスタッフ用に胴ベルト型墜落制止用器具（以下「安全帯」という。）や確保ロープを採用するとともに、万一の転落に備えて消防機関が採用している安全マット（縦180cm、横110cm、高さ50cm、軟質ウレタン製）を導入するなどの安全対策を図った。

立てかけ梯子は、石垣の立てかけ場所直下の地面に盤木を2本置いて、その上に石垣と並行に倒した状態で防災シートを被せて保管し、安全マット2つは、近くの百間廊下化粧櫓の倉庫内に保管する。また、安全帯3個、確保ロープ2本、ヘルメット5個を収納したケースを「ヨの渡櫓」東面の開口部内側で保管する。（写真19参照）

次に立てかけ梯子を石垣に立てかける作業の手順について説明する。

- ① 地上ではスタッフ複数人が、ヘルメットを被り安全マットを倉庫から石垣下へと搬送した後、石垣下に置かれた立てかけ梯子を石垣に立て掛ける。この際、梯子の横滑りを防止するために足載せステップが石垣上に確実に被さるようにするとともに基底部先端の滑り止め用のスパイクが確実に地面に刺さるようにする。そして、安全マット2つを梯子の両側に挟むようにして地面に置く。（写真20、21、22参照）
- ② スタッフ1人が梯子の下部を保持して転倒防止を図る。



写真 20 架梯した状態

写真 21 確保の状況

- ③ スタッフが「ヨの渡櫓」 開口部を開き、石垣上で作業するスタッフ 2 人が百間廊下内に置いてあるケースに入れたヘルメット、確保ロープと安全帯を取り出しヘルメットを被り自身に安全帯を装着して確保ロープを百間廊下内の柱に結着し、自身の安全帯からのびた命綱を確保ロープ先端の金属製フックに結合させて転落防止を図る。その後、石垣上で梯子の先端を保持して転倒防止を実施する。（写真 23、24、25 参照）



写真 22 足載せステップ



写真 23 確保ロープ設定



写真 24 安全帯の確保状況

写真 25 梯子上部の確保状況

- ④ 百間廊下内では、スタッフがケースからヘルメット、観光客用の安全帯を取り出

してヘルメットを被り、安全帯を観光客に装着、安全帯の命綱を観光客用の確保ロープ先端の金属製フックに結合、観光客用確保ロープを腰に回して確保する。（写真 26 参照）



写真 26 観光客確保状況



写真 27 観光客降下状況

- ⑤ 以上の準備が整い次第、百間廊下内では観光客を順次 1 人ずつ石垣上へ誘導し、梯子の縦棒の間から梯子に乗り移らせて、観光客用の確保ロープを保持したスタッフが徐々に確保ロープを緩めて地上まで梯子を降りて頂く。そして、地上のスタッフが観光客の安全帯を外して、安全帯が結合された確保ロープを石垣上のスタッフが引き上げ、次の観光客に安全帯を装着して降りて頂き、全員が避難するまでこの作業を繰り返し、最後にスタッフが避難する。（写真 26 参照）

6. 最後に

火災や地震などの災害が発生した場合、百間廊下内の観光客を安全な場所へと避難させるためには、スタッフがそれぞれの勤務場所で迅速に避難誘導を実施しなければならない。今回開発した「石垣用立てかけ梯子」は、百間廊下で容易に避難できる 3 か所の避難口から観光客を避難させることができない状況が生じた場合に「ヨの渡櫓」開口部を避難口とする際に活用することとする。万が一の災害発生に備えて日頃から

「石垣用立てかけ梯子」の取扱い訓練を繰り返し実施して、スタッフが適正な作業手順を習熟して迷いなく活動できる体制を構築し、姫路城にお越し頂く観光客の安全確保に努めたい。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
一般の部 消防防災機器等の開発・改良

立体地形模型の作成で学ぶ災害リスクの
理解促進に向けた消防防災用教材の開発

帝京大学経済学部地域経済学科
坪井壱太郎

1. 開発内容の概要

（1）開発の背景

1995年に発生した阪神・淡路大震災以降における「防災教育」では、個人の防災意識の向上を図ることの重要性が掲げられ、近年ではこれに加え、地域内での連携・協働による防災力強化も求められてきている。わが国では、2004年に発生した中越地震をはじめ、同年、観測史上最も多い10個の台風上陸に伴う各地での洪水災害の発生を契機に、翌年には中央防災会議の中に「災害を軽減する国民運動の推進に関する専門調査会」が設置され、これ以降「防災隣組育成促進モデル事業」（2009年）や「地域連携型防災活動育成促進モデル事業」（2010年）などが展開されてきている。また、2011年の東日本大震災の発生を受けて、翌2012年に改正された災害対策基本法の中において、はじめて「防災教育実施の必要性」が明記された。しかし、既往の防災教育の多くは、「学校」において実施されるものが主であり、今後に向けては、学校を含む、地域全体での防災力向上に資することを目的として「地域」で生活（居住・通勤・通学）する全ての人を対象とした方法論も求められている。

（2）目的

本取組みでは、上述の点を考慮し、「学校」と「地域」へ展開するための防災教育の素材として「地図」を主体的に用いた実践事例を示す。実施にあたっては、その主眼を「汎用性」、「簡便性」、「廉価性」、「安全性」を考慮した方法を試行し、災害やリスク、地域の伝え方の再考を試みる。具体的には、学校における「学校」における児童・生徒および、「地域」における居住者を対象とした受講者が、地図（平面地形図）を「みる」から、地形（立体地形図）を「つくる」という能動的な取組みを通して「気づき」「考える」ための消防防災教育用教材の開発と実践を目的とする。

（3）関連技術・既往取組みとの関係

地図を用いた防災教育はこれまでも様々な取組みがみられる。その主題は、地図上で居住地域のリスクを理解・確認・共有するものであり、ハザードマップを参照しながら、参加者自身が実際に現地を歩く「まちあるき」や、大判地図に危険個所等を書き込んで地図作成を行う取組みが挙げられる。これは、参加者間でのリスクコミュニケーションや情報共有の機会として効果が期待され、DIG（Disaster Imagination Game：災害図上訓練）として展開・普及してきている。近年では、さらに「避難」に特化した「逃げ地図」の作成による取組みも進んでいる。このほか、低学齢向けには、模式化したイラスト地図で地域を示すことでゲーム性を持たせ、避難や地域の危険性を伝える「防災すごろく」などの実践例もみられる。

一連の地図による防災教育の取り組みでは、地図を「みる」だけでなく「つくる」ことで発見、体感できる効果を有しているといえるが、対象地域の大判地図の作成・印刷等のコスト課題も有しており、近年では、スマートフォンやタブレットを用いた、Web-GISによる地図作成方法なども提案・導入されている。これに加え、従前では映像や造形のために開発・発展してきた技術が防災教育に援用される事例も見られ、地図だけでなく実際の街の中で災害を疑似体験するためのVR（仮想現実：Virtual Reality）や、AR（拡張現実：Augmented Reality）を用いたシミュレーションによる事例もみられる（写真1）。

また、地形を立体的に模型で表現し、地域を伝える方法も展開されてきており、段ボールやスチレンボード等を等高線に沿って切り抜いて積層させる方法により、建築設計や都市計画におけるプレゼンテーションの場で広く用いられている（写真2）。近年では、3Dプリンタの普及に伴い、国土地理院の公式サイトにおいて3D地形模型用地図データの公開が行われ、これによる地形模型作成も可能となっている（写真3）。これらの方法では、「立体」「カタチ」として地図・地形をつくることが可能であるが、前者においては曲線をカッターナイフ等で切り抜いていく技術が不可欠であり、低学年の児童・生徒においては、ケガや作業上の困難が推察されることや、後者においても、導入コストや高度な操作技術が要される。しかし地図を用いた防災学習には、使用する教材に違いはあっても地域を俯瞰的・巨視的にとらえ、地図を「みる」あるいは「つくる」ことで地域の特徴やリスク等を把握することができる共通点と波及効果を有することが考えられる。

現在、学校教育においては「防災学」としての単科での教科指定は行われていないものの、義務教育課程における各教科・分野の該当範囲と関連付けることでそれらを学ぶための方法が展開されてきている。2016年の小学校と中学校の学習指導要領の改訂において、「理科」科目では自然災害に関する記述が大幅に追加された。また、2017年の高等学校の学習指導要領の改訂では、従来、選択科目であった「社会科」科目のなかの「地理」が2022年度より「地理総合」として必修化されることが明記され、このなかでは、防災、GIS（地理情報システム）、ESD（持続可能教育）が支柱として掲げられ、現在、それらの教科教育が実施されている。

防災教育と関連の深い「理科」と「社会科」について、前者は、地域の自然環境から災害発生のおそれを知ることの重要性のほか、後者についても、自然環境に対する人間の働きかけ、自然の恵みと災いの対峙の歴史を学ぶことの重要性が示されている。異なる教科においても両者は「地図」「地形」をもとに「地域」を学ぶという共通点を有していることが挙げられる。改訂された学習指導要領においては、知識と経験を関連付けながらより深く思考していく学びや、生徒が多面的・多角的に学ぶための教科横断的なカリキュラムマネジメントのもと、総合的な地域の見方、考え方を修得させ

ることが目的として掲げられている。しかし、実際の学校現場における防災教育の多くでは、各教科での指導が想定されつつも、実際には教科外の学級活動や集会活動等で行われることも多く、その内容は避難訓練等の「災害発生後の対応」に重点が置かれていることも課題としてあげられている。今後、より実効性のある防災教育に向けては、各教科・単元での学習と同時に、災害発生の地域性や個別性を考慮し、当該地域に根差した内容のもと、受講者自身が地図を用いて「調べる・学ぶ・判断する」ことを通して知見を獲得することの重要性であると考えられる。そのため、地域素材を活かした「地図」を主体的に用いた防災教育には、「地域理解の契機」となることが期待される。



写真1 AR画面（水害）



写真2 スチレン模型



写真3 3D プリント模型

（4）開発期間

本取組みにおける地図を用いた防災教育教材では、「等高線」の地図をもとに、透明プラスチック容器蓋を用いて「立体的」に地形を「作る」ことに特徴をもつ。この契機となったのは、GIS（地理情報システム）を用いた自身の調査研究、防災教育の機会の中で、ハザードマップを用いる際に「地域の高低をどのように教え・伝えるのか」という命題に出発点を持つ。

そこで、「等高線から地形を再現するための方法」として、自身が公益財団法人ひょうご震災記念 21 世紀研究機構・人と防災未来センターの研究員として在職していた 2015 年頃から、簡便かつ立体的に地図表現が可能な方法を考案し、スーパーマーケット等での惣菜やお弁当等の容器として用いられる透明プラスチック容器蓋を用いて、その形状、大きさ等を勘案しながら試作を行い、約 3 か月間でこの基本的な骨格を作成した。併せて研究会や、研修会等において作成過程と演習の方法論、課題等について、自治体の危機管理部局職員から直接意見聴取を行い、適宜修正を行いながら防災教育に資する教材としての作成を行った。この技術開発と並行して、学校での防災講義展開を想定し、学習指導要領の内容に関する精査・検討を行い、1 時限（45 分）単位に、2 時限分（90 分）で展開するための授業計画の策定を行った。この時間枠組みは、大学における 1 時限（90 分）の講義や、地域防災講座等で設定される 90 分～120 分の講義でも援用を可能にするためのものであり、その内容においては、単に「地形

模型を作成する」ことだけにとどめず、作成した地形模型をもとに、受講者同士で「知見の共有を図る」ピアラーニング＝相互学習を含めた内容として講義設計を行った。

（5）特徴

地域理解のための基盤となる「地図」では、地盤の高低は等高線（Contour）で示されるが、その基礎的な学習は小学校5年生の社会科単元「国土の地形や気候」において行われる。一般に地形の高さの概念は、野外学習と併せて学ぶことでその理解が得られることが知られているが、本取組みでは、地図を三次元（立体）で作成することで教室内においても地域の特徴を把握することができることを目指し、具体的には身近な素材のひとつ「透明プラスチック容器蓋」を用いて立体地形模型の作成を行うための方法を考案した。本演習教材の開発と実践にあたっては、等高線の作成については、全国での展開を想定しオープンデータを用いて作成可能な「汎用性」を持つこと、地形模型の作成において、可能な限り単純な作業で実践可能な「簡便性」を持つこと、教材導入においてコストを障壁としない「廉価性」を持つこと、および地形模型作成時において、低学齢のこどもの受講者であっても「安全性」をもって実践できることに主眼に置いて教材を作成し、学校・地域において防災講義を設計・実践した。

（5-1）オープンデータとフリーGISソフトによる教材作成

等高線のデータは、国土地理院・基盤地図情報「数値標高モデル」10mメッシュより、当該地域を含むデータをダウンロード（無償）取得し、これを、フリーの地理情報分析支援ソフトGIS・MANDARA（Version 10）を用いて、以下の手順で等高線の取得を行った。等高線作成において使用したGIS・MANDARAは、故・谷謙二先生（埼玉大学）により開発・無償公開が行われ、簡便な操作性や、地図表現の多様性、高度な分析演算機能を搭載するソフトウェアである。本取組みでは、GISソフト導入に係るコストの点から本ソフトを利用した。はじめに、①基盤地図情報（10mメッシュ）から任意の地域のデータ範囲をダウンロードし取得する（図1）。次に、②GIS・MANDARAを起動し「マップエディタ」→「地図データ取得」→「標高データ等高線取得」→「等高線取得」で操作画面を開く。さらに、③ダウンロードデータの格納フォルダおよび取得範囲を指定した後、任意の間隔（1メートル単位で指定可能）で等高線の取得を行う（図2）。取得した等高線（図3）とあわせ、同一の図郭で陰影起伏図や国土数値情報より取得した土砂災害警戒区域を示した地図、標準地図、空中写真、地質図（図4）、旧版地形図（図5）などの異なる地図を作成し、受講者が地域を多角的に見るための取組みを行った。国土地理院による既定の地形図では縮尺に応じて主曲線と計曲線の間隔が定められているが、本取組みでは、GISを用いることで受講者の年齢・学齢等に応じた等高線間隔の設定を行った（図6～図8）。

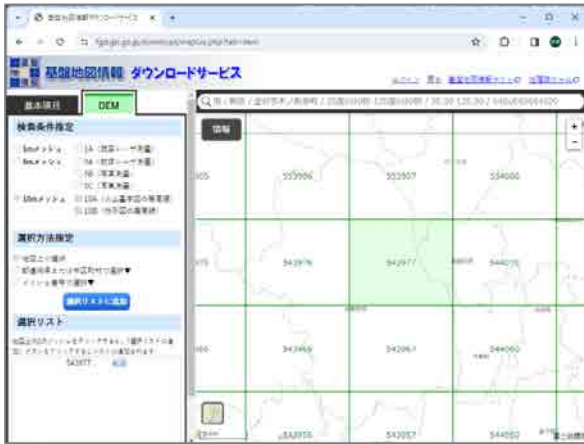


図1 基盤地図情報・数値標高取得画面

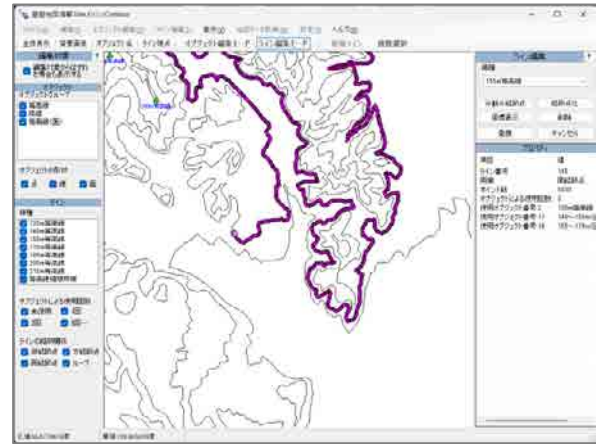


図2 GISによる等高線取得操作画面

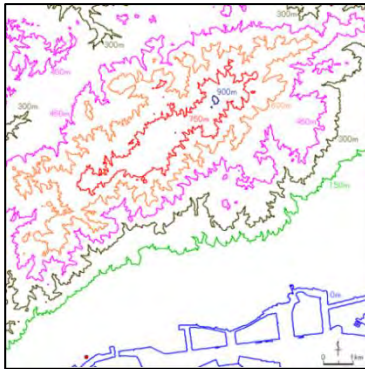


図3 等高線地図

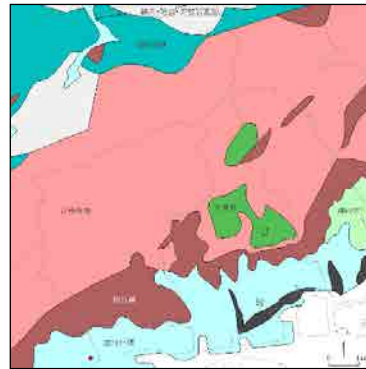


図4 地質図



図5 旧版地形図



図6 低学年用（30m）



図7 高学年用（20m）



図8 対象地域（沼島）

（5-2）油性マジックを用いた等高線トレースによる地形模型の作成過程

地形模型の作成は以下の手順で実施した。はじめに，①透明プラスチック容器蓋を積層させるときの方向を一定にするために，容器蓋の右端に印（マーク）をつける。次に，②透明プラスチック容器蓋の上に，作成した等高線地図を両面テープで仮止めし，さらにこの上に，無地の容器蓋を1枚重ねる。③等高線の低い方から順に「ひとつの等高線に対して1枚分の容器蓋に油性マジックを用いてトレース」する。以降，等高線分の容器蓋のトレースを行う。前作業でトレースした容器蓋を低い等高線から順に積み重ね，立体地形模型を完成させる（写真4）。本地形模型は，蓋と蓋が上下で圧着しない中空の隙間を利用した「疑似的」かつ「簡易的」なものである（図9）。そのため，現実空間における縮尺とは異なり，狭域で作成する場合等においては，高度差が強調される特性を持つため，地域の解釈に際しては注意を要する。

本教材では，容器蓋が「透明」とであるという特性を活かして，受講者に対しては，上記③で積層した地形模型を同一図郭の他の地図（前掲・図3～5）の上に重ねて透視しながら地形と土砂災害警戒区域，浸水想定域等との関連を検討する取組みを行った。これにより，等高線の形状と土砂災害や洪水災害リスクの関係について，理解促進を図ると同時に，自宅や，避難所などの位置に目印をつけることで，広域のなかでの自身の立ち位置の確認を行った。



写真4 立体地形模型（完成）

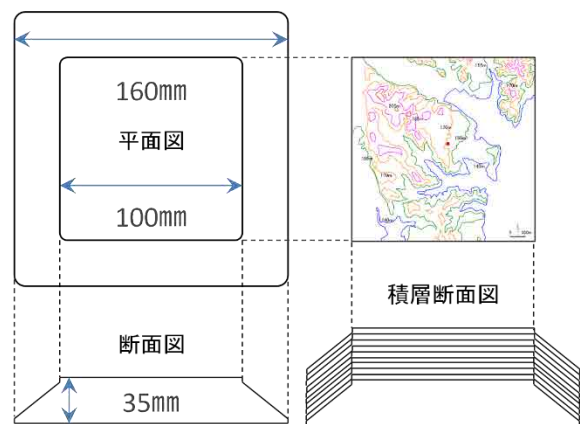
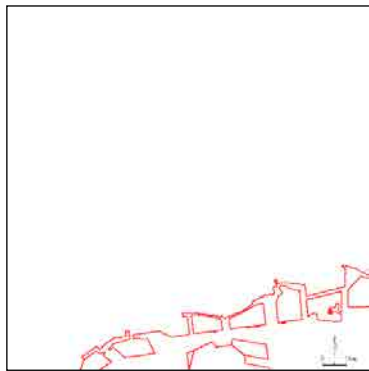


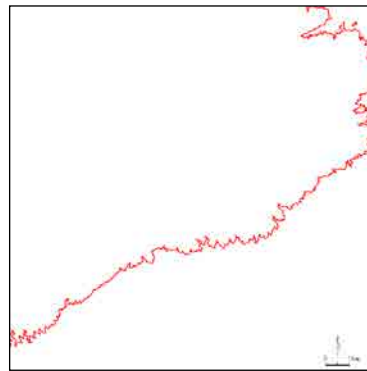
図9 平面図・積層断面図

（5-3）GISによる等高線取得の過程と立体地形模型の構造

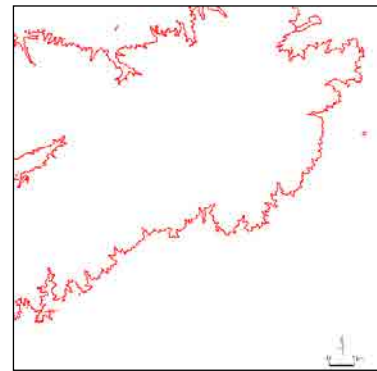
等高線は、地表上の同じ高さを線状に結んだ高さを示すための地図表現の基本である。本取組みでは、その特性を活かし、対象地域の最低標高と最高標高の差をもとに、透明プラスチック容器蓋の枚数（10枚程度）に収まるように、等高線間隔を等分し同データの取得を行った。以下に、兵庫県神戸市の六甲山を対象とした等高線を事例として示す（手順1～手順7）。本対象地域では、0mから900mまでを標高を持つことから、150m間隔の等高線を抽出し、容器蓋7枚で作成するための教材を作成した。



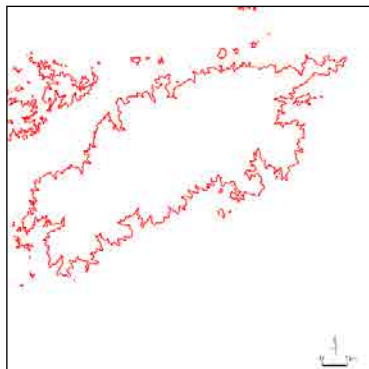
手順 1 0m 等高線描画



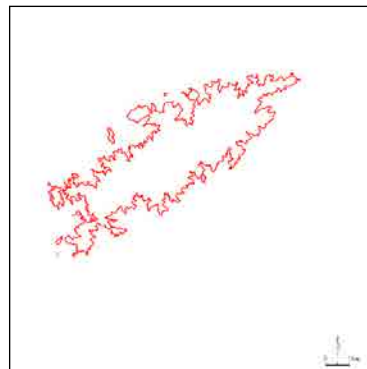
手順 2 150m 等高線描画



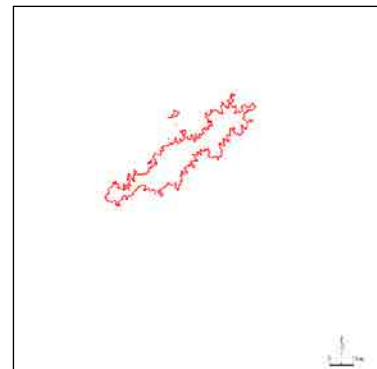
手順 3 300m 等高線描画



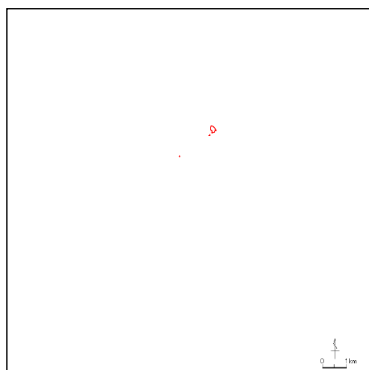
手順 4 450m 等高線描画



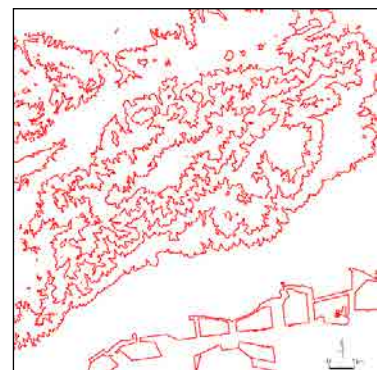
手順 5 500m 等高線描画



手順 6 750m 等高線描画



手順 7 900m 等高線描画



全等高線

（6）その他

感染症蔓延下における多人数を対象とした学校での実践事例

2022年11月に兵庫県南あわじ市・洲本市組合立「広田中学校」において実施した取組みでは、当時依然、新型コロナウイルス感染症に係る感染予防の対応が強く求められていたほか、全校生徒（150名）の一斉受講による実施方法の対応が要された。そこで、文部科学省により配備された GIGA スクールによる校内 Wi-Fi と、遠隔会議システム（Zoom）を用い、1 教室での対面講義を複数台のカメラで撮影しながら全教室への配信（映写）を行うことで、演習を計画・進行した。

その際、手元を拡大して示すカメラを併用し、教室同士が物理的に離れている状態であっても、受講者が詳細を映像で確認しながら演習を進められる配慮を行った。また、講師モニタにより、教室の映像を通して、各教室の進捗を確認したほか、質疑応答にも対応することで演習の双方向性の確保を行った（図 10）。さらに、感染症蔓延下の受講者同士の接近に留意が必要な中であっても、模型作成の作業のみに終始することなく、遠隔映像システムを活用しながら、完成模型の相互講評によるピアラーニング（相互学習）を組み合わせることで、理解の深化と知見の共有を図る取組みを行った。本取組みは、「新型コロナウイルス感染症」蔓延下での方法として考案・実践したものであるが、遠隔地であっても、防災教育展開の可能性を示唆するものであり、今後に向けてはこの方法論についても精査していくことが課題である。



図 10 対面＋遠隔（配信映写）による立体地形模型演習の実施システム（150 名受講）

2. 実践概要

（1）具体的な実践・活用事例

（1-1）学校での活用事例（対象：小学生・中学生・高校生・大学生）

小・中学校では「防災講座」の一環として、学校位置を中心に地形模型の作成を行った（写真 5）。また、高等学校では「総合的な探求の時間」において、当該地域の過去の被災地を現地巡検により実際に見た後に教室に戻り、同地の立体地形模型を作成することで災害史を学ぶと同時に、備えるべき対応方策の検討を行った（写真 6）。大学生を対象とした演習では、「地理学」や「地域デザイン学」、「都市計画学」などの講義のなかで地形模型の作成を行うことで、地域を広範にみる視点を養い、総合的な防災対応方策を検討する手段のひとつとしてこれを用いた（写真 7）。



写真 5 小学生対象



写真 6 高校生対象



写真 7 大学生対象

（1-2）地域での活用事例（自主防災組織・地域防災力養成講座・市民カレッジ受講生）

地域を対象とした防災講座では、講演会等による知見の伝達は重要な手段であるが、本取組みでは、地域・自主防災会（写真 8）、市民カレッジ（写真 9）のほか、自治体職員を対象に地域の自主防災リーダーを養成するための方法・技術論のための研修（写真 10）においても、これを実施した。これらの取組みは、学校における単位としての「防災教育」の範囲にとどまらず、「地域理解と地域防災力の向上」として位置づけられる。本取組みを通して、「住民」にとっては災害リスクの気付き・再確認の機会として、「行政」（自治体）にとっては、住民へ災害への備えを伝えるための手段として活用が期待される。

本取組みは、対象地域の地形やハザードを、それぞれ演習範囲（スケール）を変更しながら示すことで地域特性に応じた教材を作成しており、これまでに全国約 50 か所での取組みを展開している（図 11）。



写真8 自主防災会対象



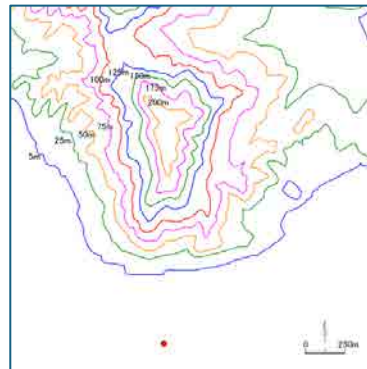
写真9 市民カレッジ対象



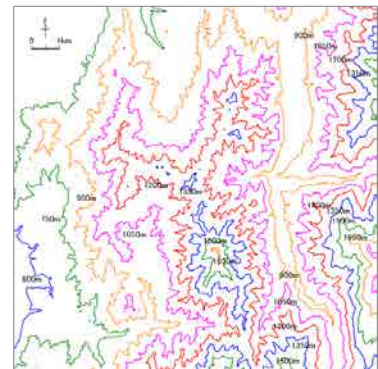
写真10 自治体職員対象



栃木県宇都宮市



佐賀県杵島郡江北町



長野県伊那市

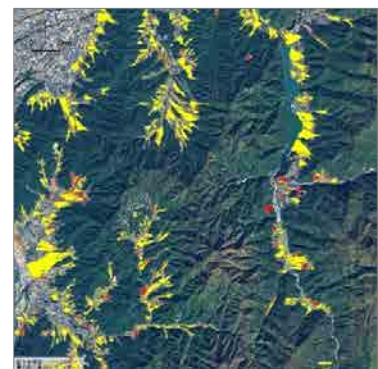
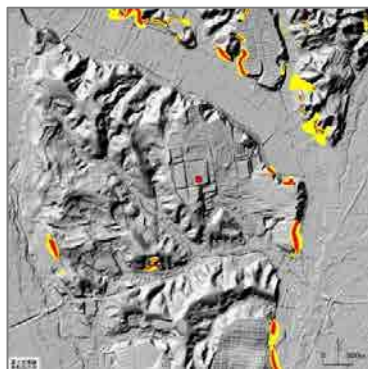


図11 各地での実施事例（等高線・陰影起伏図・土砂災害警戒区域地図）

（1-3）実施記録（2020年以降の主要事例）2015年以来、全国約50か所で実施

- 2025/03/17 江戸川総合人生大学（海拔ゼロメートルの地形と防災）：東京都江戸川区
- 2024/12/08 伊那市地域防災コーディネータ養成講座：長野県伊那市
- 2024/11/06 滋賀県庁（基礎自治体職員向け・自主防災リーダー育成研修）：滋賀県
- 2024/08/25 宇都宮市豊郷地区（小学生向け防災講座）：栃木県宇都宮市
- 2024/07/24 伊那北高等学校（総合的な探究の時間・防災）：長野県伊那市
- 2024/05/11 みんなの公園（防災フェス）：佐賀県江北町
- 2024/03/11 江戸川総合人生大学（みんなで創る「安全・安心」）：東京都江戸川区
- 2024/02/17 MORE WAN（防災フェス）：佐賀県大町町
- 2023/12/03 伊那市地域防災コーディネータ養成講座：長野県伊那市

2023/07/25 伊那北高等学校（総合的な探究の時間・防災）：長野県伊那市
 2023/06/17 伊那市上戸地区（自主防災会）：長野県伊那市
 2022/12/03 伊那市地域防災コーディネータ養成講座：長野県伊那市
 2022/12/10 地形で考える東京低地と水防対策（図書館講座）：東京都江戸川区
 2022/11/07 防災講座（南あわじ市・洲本組合立広田中学校）兵庫県南あわじ市
 2021/11/27 伊那市地域防災コーディネータ養成講座：長野県伊那市
 2021/08/21 六甲山の環境と防災（夏休み防災未来学校）：人と防災未来センター
 2020/09/24 沼島の地形と災害・防災（沼島小学校・中学校）：兵庫県南あわじ市（Zoom）

（2）活用・実践に至った経緯

本防災教育プログラムは、公益財団法人ひょうご震災記念 21 世紀研究機構・人と防災未来センターでの危機管理部局職員向け研修の中で試行し、同受講者からの意見や要請を踏まえる中で改良を重ね、実際に地域での出講を開始した。そのひとつとして、長野県伊那市における「地域防災コーディネータ」養成のための市民向け防災研修のプログラムでの導入経緯と実践事例を以下に示す。長野県においては、地域での防災を担う人材育成として、県事業での防災士資格の取得者を「自主防災アドバイザー」として認定しており、伊那市では、この人材を市内の小中学校等への出前講座講師として委託を行っている。同人材は、2023 年 10 月末時点で 25 名が登録されており、地域と行政との橋渡し役として、地域への指導、市と協働による防災人材育成や仲間づくりを担っている。伊那市では、この「自主防災アドバイザー」に加え、地域独自の防災人材の育成として「伊那市地域防災コーディネータ」の養成講座が、2019 年（令和元年）より開始され、2020 年（令和 2 年）時は、新型コロナウイルス感染症の蔓延に伴う中止はあったものの、これまでに 83 名の講座修了者の実績を持つ。これは、防災士等の専門資格の有無にかかわらず、長期的に住民目線での防災を担う人材の確保を目的としたものであり、概ね 3 か月の期間中に 3 日間（1 日あたり、2 時間講義 2 コマ受講）の研修受講を行うものとなっている（表 1）。地形模型の作成による演習講義は、このプログラムの中に位置づけられており（表中※印）、毎年、対象地域を変更しながら講師出講が行われている。

表 1 長野県伊那市「地域防災コーディネータ養成講座・プログラム」

	1 限目(10:00～12:00)	2 時限目(13:00～15:00)
1 日目	開講式・導入ワークショップ	住民支え合いマップ作成演習
2 日目	気象防災ワークショップ	地形模型作成演習（※）
3 日目	近年の災害課題と地域防災	全体ふりかえり・修了式

（3）実務・地域貢献

（3-1）海外を対象としたプログラム実践

本取組みは、「防災教育プログラム」として整理され、上述の国内における実践に加え、海外を対象とした展開に着手している。

図9は、外務省の「NGO 草の根文化協力事業」において、アフガニスタンの行政関係者向けに実施された来日防災研修の講義資料である。本講は、研修受講者が事前に兵庫県神戸市の「人と防災未来センター」の見学のほか、JICA 関西での研修受講中に設定されたプログラムであったことのほか、アフガニスタンにおける災害として、「土砂災害」への対応が要される点にあったことから、「六甲山」を対象として演習設計を行った。同国では、紛争等の関係から地図の入手が必ずしも容易ではなく、演習にあたっては等高線（Contour line）に関する説明を行ったうえで、模型作成の作業を実施した（写真11）。このほか、2008年5月12日に中国四川省での大地震から10年を迎えることを契機に、2017年3月22日から24日にかけて中国四川省成都市においておこなわれた「軽減災害風険管理と教育実践論壇」（災害リスク管理と教育実践フォーラム）において、登壇者（坪井塑太郎）として立体地形模型作成に係る実演を兼ねて演習手法の紹介を行い（写真12）、あわせて、四川大学においても学生対象に防災教育と日本の災害対応に関する講義を行った（写真13）。



Turn the plastic lid over and place the map (in Step 2) on the bottom. On top of this, pile up those plastic lids (in Step 3) from the lower altitudes to increase. The map to place on the lid is replaceable with other maps such as topographic map and geological map. Consider what kind of measures and actions are needed at the occurrence of earthquake and flooding by comparing the locations of whole area, schools and houses on the map and topographical model.

図9 外務省の「NGO 草の根文化協力事業」アフガニスタン本邦研修講義資料（一部）



写真11 外務省研修講義



写真12 中国四川省実演



写真13 四川大学実演

本取組みにおける「効果検証」の観点から、栃木県宇都宮市の丘陵地に立地する帝京大学の大学生（61名）を対象とした質問紙調査を実施した結果を以下に示す。図9に示す「地域説明力」とは、模型作成を通して、自ら当該地域の地形の特徴や災害リスクを他者に伝える「主観的力量」を指し、分析の結果、高「あり」群（4点と5点の回答者割合の合算値）は13.1%から72.1%へと上昇がみられた。また「防災関心度合」も、前者項目の傾向と同様、高「あり」群は、21.3%から72.1%と大幅な上昇がみられた。図10に示す「地域安全評価」と「地形理解認識」では、前者において「なし」群（1点と2点の回答者割合の合算値）の増加はあったものの有意差は見られなかったが、後者では高「あり」群において、19.7%から85.3%へと大幅な上昇がみられるなど、一連の過程を通して演習後において、地形の理解や、これに起因する災害発生リスクに関する認知の上昇が示された。

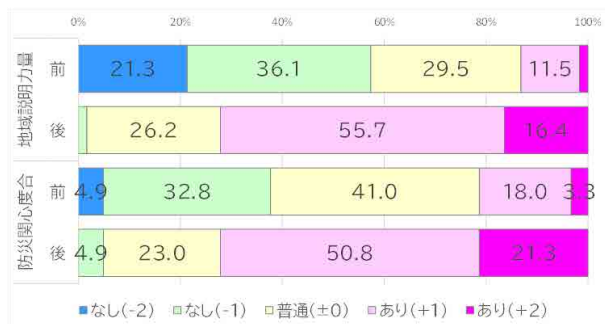


図9 地域説明力・防災関心度変化

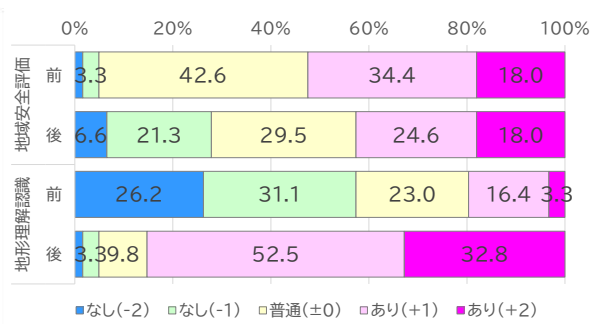


図10 地域安全・地域理解度変化

（3-2）マスコミ報道（主要事例）

- 2024/06/16 弁当箱の蓋で「立体地形模型」地理学視点でリスクを学ぶ：下野新聞
- 2024/05/14 いざという時に慌てないために（江北町防災）：佐賀ケーブルテレビ
- 2020/08/15 六甲山の立体地図で防災を学ぶ（夏休み防災未来学校）：神戸新聞
- 2019/12/08 立体地形模型で防災講座（高遠公民館河南分館）：長野日報
- 2018/10/03 児童ら地形模型作り（南あわじ市立沼島小学校）：朝日新聞
- 2018/08/20 地形模型で土砂災害の危険学ぶ（夏休み防災未来学校）：神戸新聞
- 2018/02/03 出前授業・危険箇所くつきり（南あわじ市立沼島小学校）：日本経済新聞
- 2017/04/17 六甲山の地形 模型で学ぶ（神戸大付中等教育学校）：毎日新聞

[illegible][illegible]

(4) 今後の展望

発災からの時間経過に伴い、知見や経験の風化が度々指摘されている。これに対し、防災教育においては、様々な教材、技術等により新たな方法論も提示されてきている。本取組みにおいて提示した内容は、その一端ではあるものの、地域を立体的に「つくる」作業を通して得られる地域特性の「気付き」は、防災教育において重要な要素であると考えられる。本教材は、地図における高さを表現するための等高線を用いることから、山地形を対象とした「土砂災害」や「山林火事災害」のリスク認知の向上や、谷地形、河川地形を対象とした「洪水災害」のリスク認知の向上にも貢献・寄与の可能性を有する。

今後に向けては、より多くの年齢層を対象として実践を蓄積していくことで課題の整理と修正を図ると同時に、本教材を活用した避難行動等の行動変容に向けたプログラムとしても内容の精緻化を図っていくことが課題である。

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
一般の部 消防防災機器等の開発・改良

ドローンを用いた夜間搜索システム

一般社団法人Japan Innovation Challenge

1. 背景

山での遭難の件数は、近年、低山レジャーの増加やインバウンドの増加により増加傾向である。また、日没後の夜間においては捜索隊の安全確保の観点から地上及び上空を含め実施されてこなかった。ただ、近年、自動飛行を行える無人航空機（ドローン）が普及し、夜間及び、降雨時においても安定して自動飛行を行える機体が産業機として普及しており、これらのドローンを上手く用いることで、今まで捜索隊の安全確保の観点上、難しいとされていた日没後の夜間においても捜索を安全に実施する事ができるのではないかと考えドローンを用いた夜間捜索システムの開発を行う事とした。

2. ドローンを用いた夜間捜索システム

ドローンを用いた夜間捜索システムは、以下の課題を解決するシステムとして開発を行っている。

【課題】

- ①夜間及び降雨などの条件下でも安全に捜索が行えるか
- ②ドローン操縦者の操縦技量に依存しないで、誰でも簡単に捜索が行えるか
- ③日没後の高低差のある山間部においても安全にドローンを飛行させられるか
- ④夜間においても遭難者を発見できる捜索手法
- ⑤広範囲の捜索範囲を効率よく捜索できる手法

【解決策】

- ①夜間及び降雨などの条件下でも安定して自動飛行が行える汎用的なドローンの使用
 - ②ドローンの自動飛行による上空からの捜索
 - ③山間部の高低差を考慮した安全な自動飛行ルートを簡単に作成できるソフトの使用
 - ④赤外線カメラによる熱源検知による捜索手法
 - ⑤赤外線カメラで撮影された映像を自動で解析するソフトの使用
- ③及び⑤のソフトは当法人で新規に開発を行った。

本システムでは、夜間及び降雨などの条件下でも安定して自動飛行が行える汎用的な産業用ドローン及び、山間部の高低差を考慮した安全な自動飛行ルートを簡単に作成できるソフト及び、夜間に赤外線カメラで撮影した映像から熱源を自動検出し、要救助者の有無及び位置を特定する赤外線動画解析ソフトで構成されている。

本システムの概念図を図1に、図2に自動飛行が行える汎用的な産業用ドローン、図3に山間部の高低差を考慮した安全な自動飛行ルートを簡単に作成できるソフト、図4に夜間において赤外線カメラで撮影した映像から熱源を自動検出し、要救助者の有無及び位置を特定する赤外線動画解析ソフトを示す。

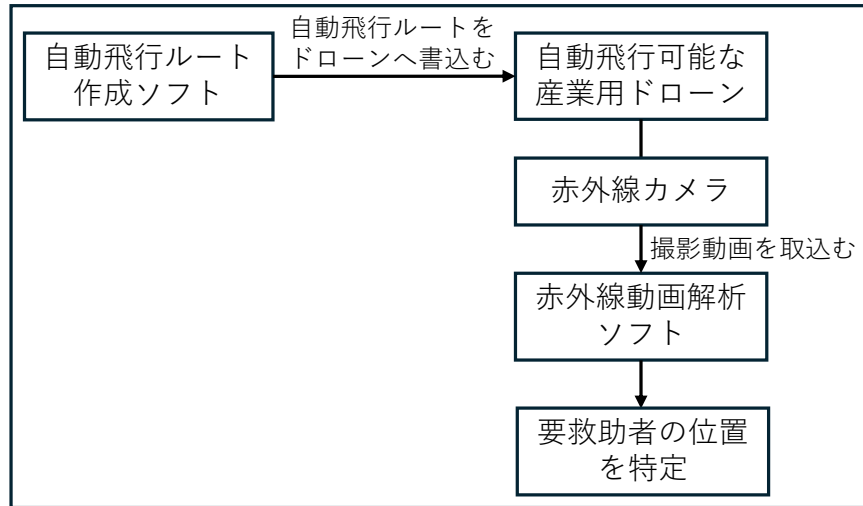


図1 本システムの概念図



図2 自動飛行が行える汎用的な産業用ドローン

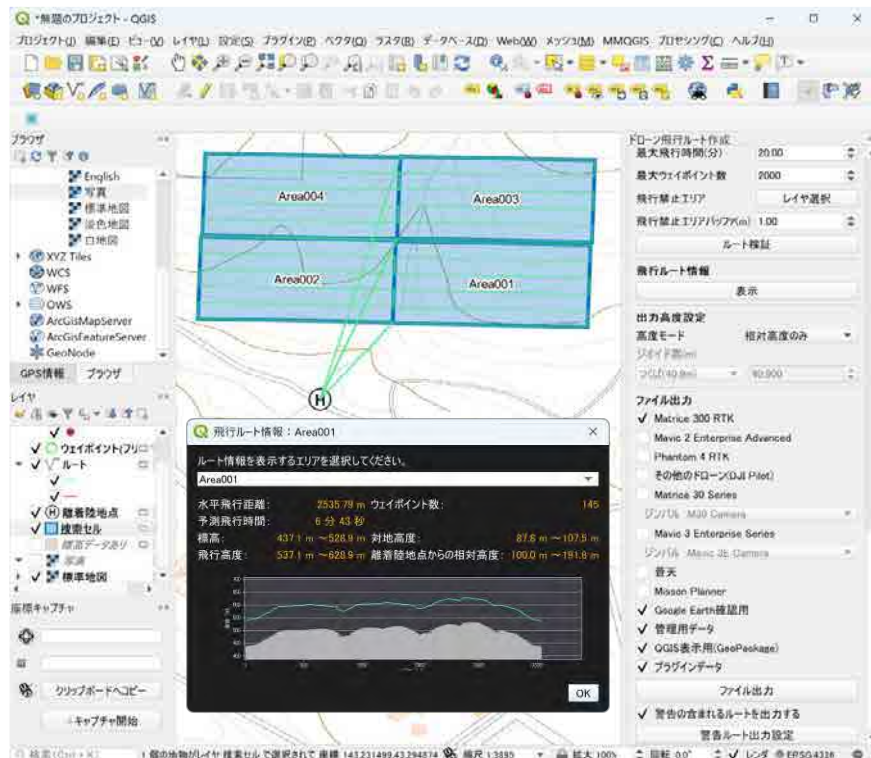


図3 山間部の高低差を考慮した安全な自動飛行ルートを簡単に作成できるソフト

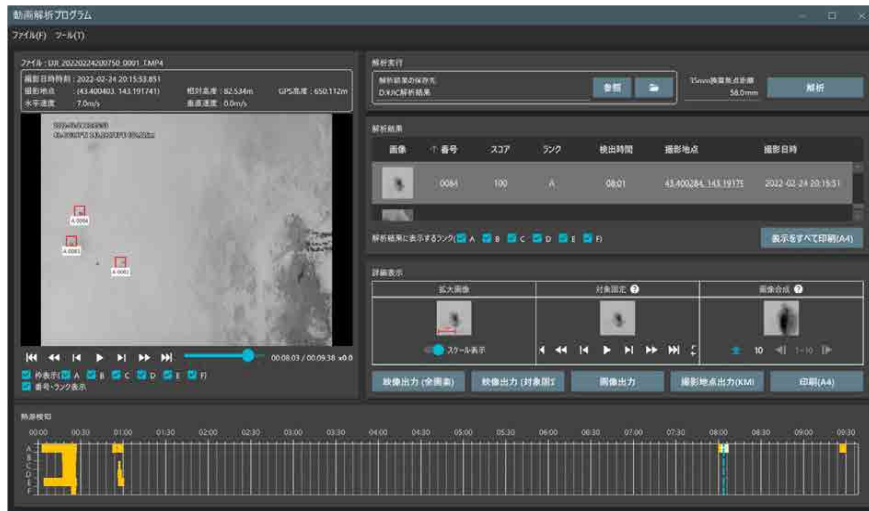


図4 要救助者の有無及び位置を特定する赤外線動画解析ソフト

本システムを用いる事で、山間部などにおける高低差がある場所においても、対地高度を一定に保った自動飛行を行う事ができる為、夜間においても簡単且つ安全にドローンによる捜索を行う事ができる。また、赤外線動画解析ソフトを用いることで、撮影された赤外線カメラの映像とドローンの飛行位置情報を用いて、要救助者の位置を迅速に特定することが出来る。また、本システムはオフライン環境下でも動作する為、災害発生時での捜索でも使用することができる。

3. 高低差を考慮した簡単自動飛行ルート作成ソフト

本ソフトは、国土地理院より提供されている全国の標高データを用いて、捜索場所の高低差を考慮した、対地高度を一定に保った飛行ルートを簡単に作成することができるソフトである。以下に本ソフトの主な機能を示す。

・ワンクリックで高低差を考慮した飛行ルートを作成できる機能

※作成時は、マウスでクリックした場所に、ピンポイントで捜索エリアを指定できる”スタンプ方式”と、捜索エリア全体をくまなく捜索する飛行ルートを作成できる”円指定方式”がある。

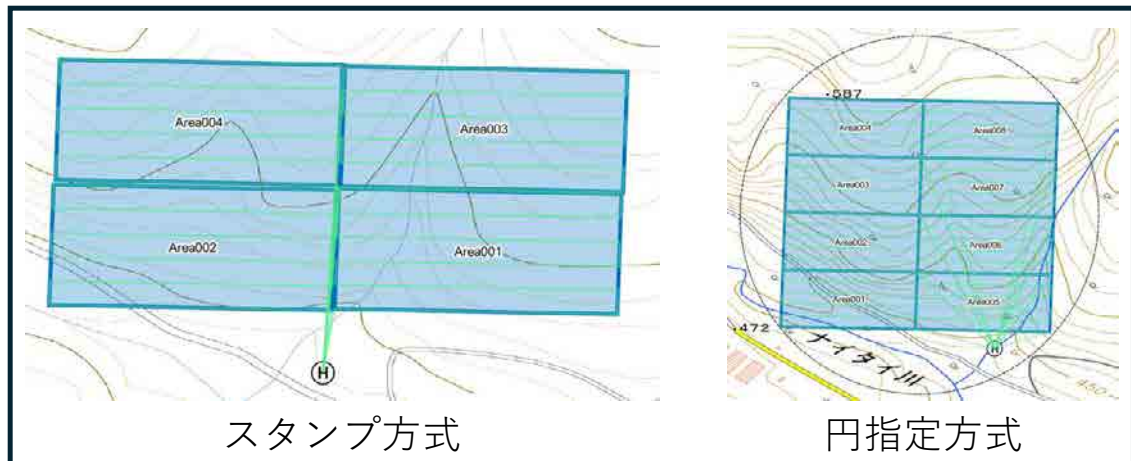


図5 ワンクリックで高低差を考慮した飛行ルートを作成できる機能

・飛行ルートの検証機能

※飛行ルート検証機能は、作成した各飛行ルートが高低差を考慮して正しく作成されているか、標高とドローンが飛行する予定のルートの高度の関係を断面図で示し、また、水平飛行距離、ウェイポイント数、予測飛行時間を確認することができる。



図6 飛行ルートの検証機能

・複数のメーカーの機体に対応した飛行計画の出力機能

※現在のバージョンでは、以下の8つのドローンに対して自動飛行ルートファイルを出力することができる。



図7 複数のメーカーの機体に対応した飛行計画の出力機能

・オフライン環境下でも使用できる機能

※検索予定エリアの標高データを事前にPCに取り込んでおくことで、インターネット環境がないオフライン環境下でも使用することが出来る。



図8 オフライン環境下でも使用できる機能

4. 夜間赤外線動画解析ソフト

本解析ソフトはドローンに搭載されている赤外線カメラで撮影し記録された赤外線動画ファイル（拡張子.mp4）とドローンの飛行情報を記録した字幕ファイル（拡張子.SRT）の2つを用いて解析を行い、自動で要救助者の位置を特定し解析結果を出力することができるソフトである。本解析ソフトの概要を図9に示す。

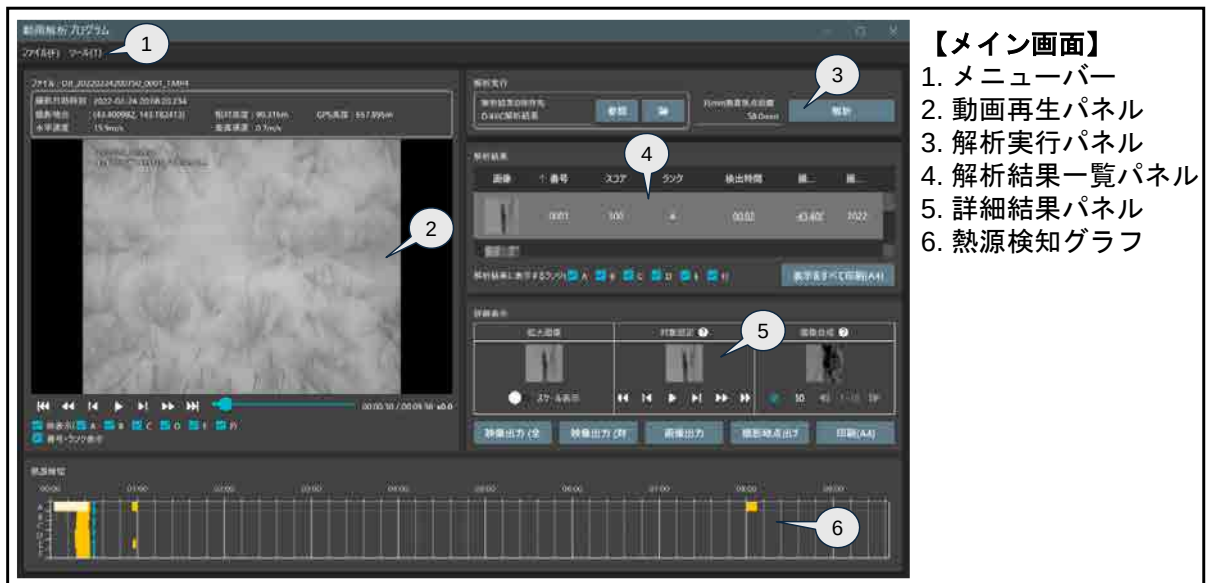


図9 夜間赤外線動画解析ソフトの概要

本解析ソフトの使用手順は、

- ①本解析ソフトを Windows PC で起動する。

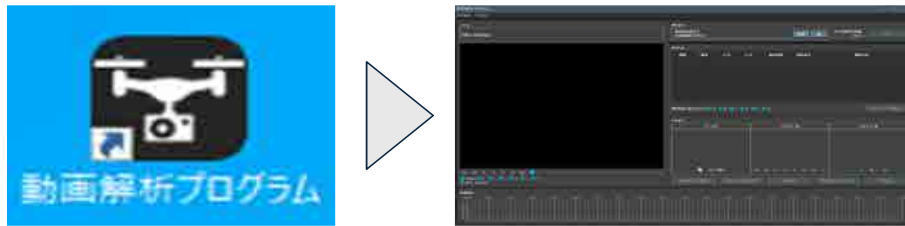


図 10 動画解析プログラムの起動

- ②赤外線カメラで記録された動画を解析ソフトが動作する PC に取り込む。



図 11 撮影した赤外線動画を PC に取り込む

- ③解析結果の保存先と撮影した赤外線カメラの 35mm 換算の焦点距離を入力する。

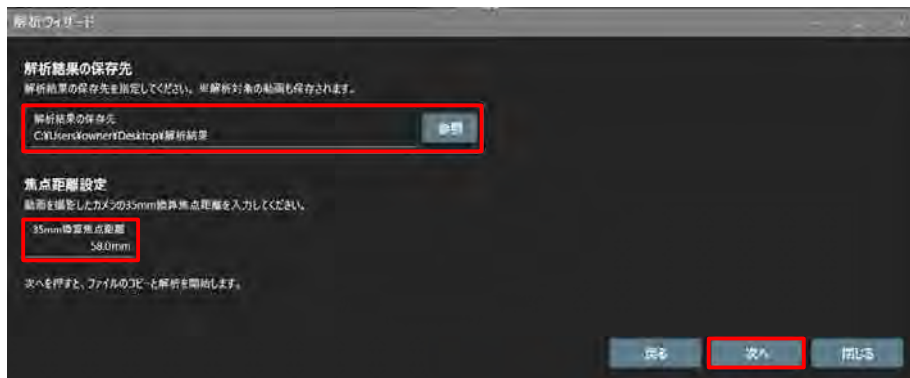


図 12 撮影した赤外線カメラの 35mm 換算の焦点距離と解析結果保存先を指定

- ④指定した動画ファイルをコピーした上で、解析が始まる。

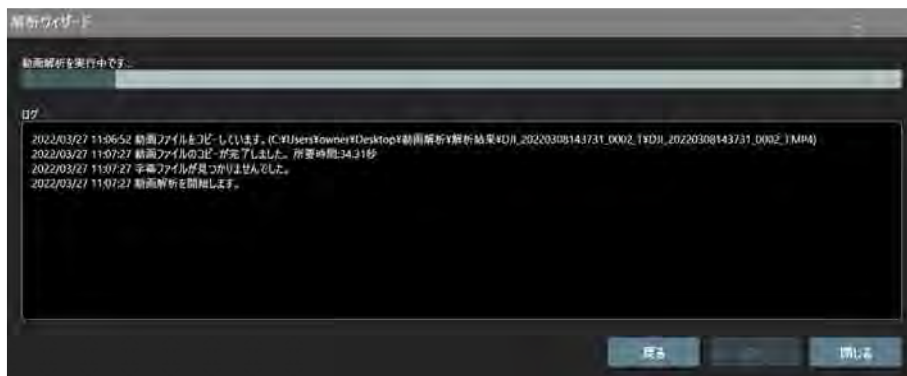


図 13 解析実行時の様子

⑤解析が完了すると自動で解析結果画面に遷移し、解析結果が確認できる。

※解析処理は、凡そ撮影動画の尺時間と同程度で完了する。

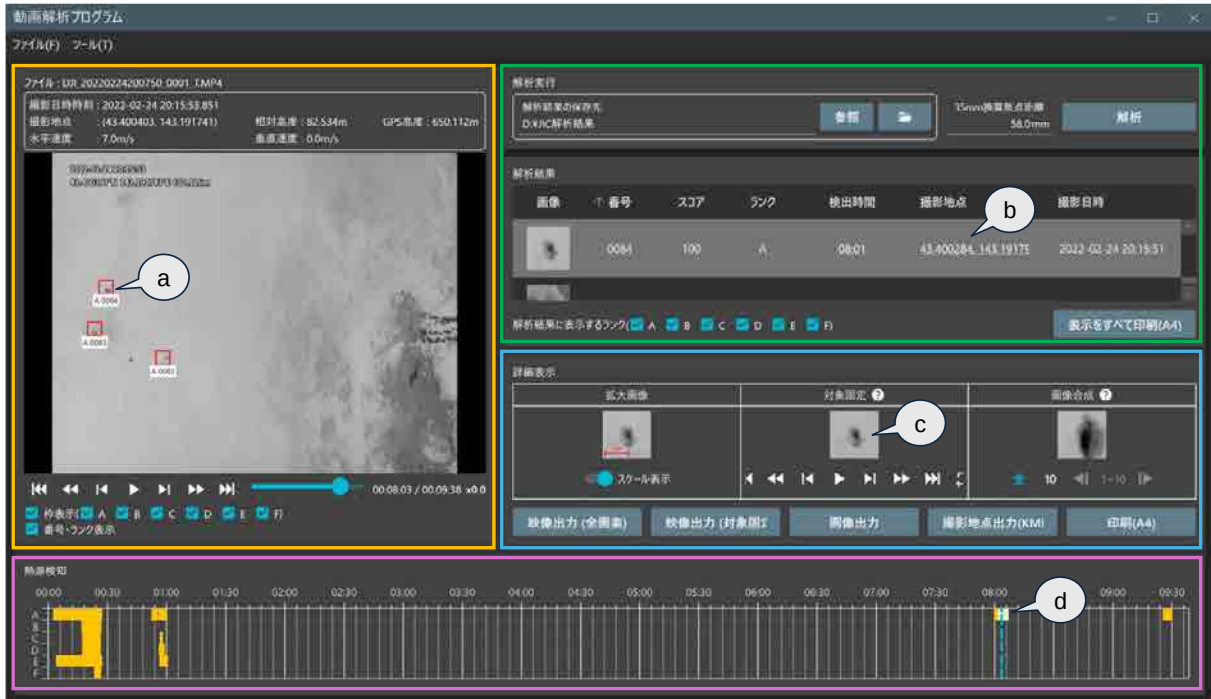


図 14 解析後の画面状況

(a) 解析した動画に、検出された熱源が赤枠で表示される。

(b) 検出された熱源が一覧表示され、撮影地点の緯度経度をクリックすると地図上に位置を表示する。

(c) 熱源を中央にフォーカスした状態で検出物を動画再生する。

※熱源が要救助か詳細に確認するために使用する機能

(d) 検出された熱源が時系列グラフ上に検出ランク毎に表示される。

⑥解析結果から要救助者と思われるものが見つかった場合は、結果を出力する。



図 15 要救助者を検出し位置及び状況を出力した様子

5. 夜間搜索システムの運用手順

- ①自動飛行ルート作成ソフトを使用してドローンで搜索を行うための飛行ルートを作成する。
- ②ドローンを起動後、ドローンに飛行ルートを書き込む。
- ③ドローンによる自動飛行及び、赤外線動画撮影を開始する。
- ④自動飛行完了後、ドローンで撮影された赤外線動画を赤外線動画解析ソフトがインストールされている PC に取り込む。
- ⑤赤外線動画解析ソフトを起動し、解析を実行する。
- ⑥解析結果から、要救助者の位置情報等の解析結果を出力する。
- ⑦出力結果を地上で搜索を行っている搜索隊へ伝える。

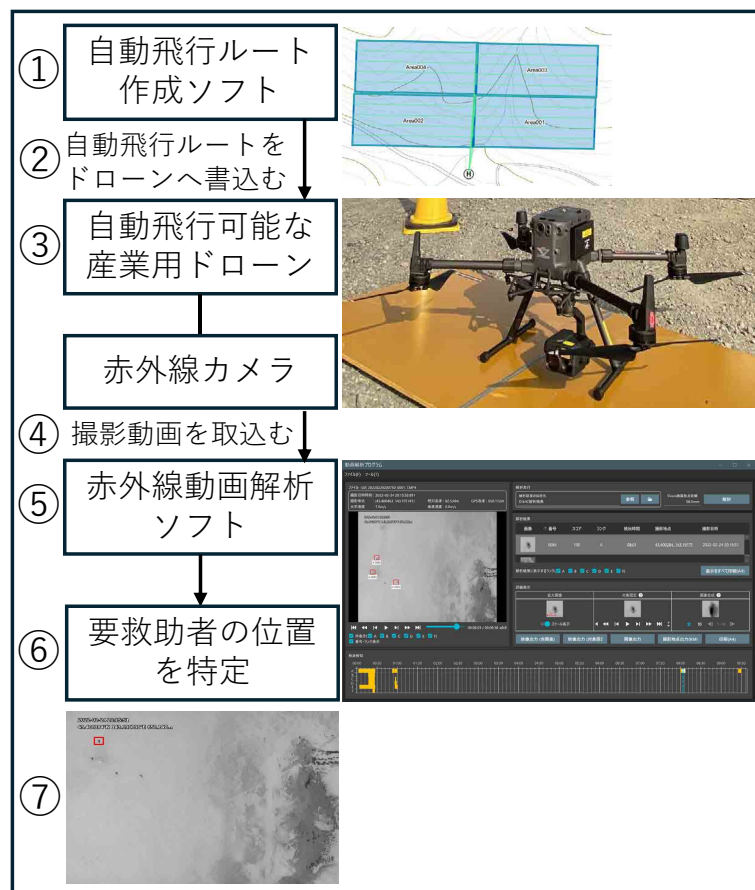


図 16 夜間搜索システムの運用手順の流れ図

6. 本システムの実証実験及び導入活動実績

当法人が開発した夜間搜索システムを実現場で積極的に使用頂けるように、本システム内の飛行ルート作成ソフト及び赤外線動画解析ソフト、運用マニュアル等を自治体、消防、警察、民間に対し 2023 年からホームページ上で無償提供を開始している。

また、消防機関向けにシステム運用に関わる定期的なオンライン勉強会、講習会及び実践的な訓練等を企画・実施し、本システムの社会実装を行っている。

【消防】

- とかち広域消防事務組合 上士幌消防署（北海道河東郡上士幌町）
 - 2020年11月 本システムの有効性検証及び本システムに基づく実証実験（夜間）を実施。実証実験の結果、現場での有効性を確認できた。



写真1 本システムの有効性検証及び本システムに基づく実証実験

- 北広島市消防本部（北海道北広島市北進町）
 - 2023年11月 夜間搜索システムの講習会及びデモ飛行を実施



写真2 北広島市消防本部

- 羊蹄山ろく消防組合（北海道虻田郡倶知安町）
 - 2024年9月 夜間搜索システムの講習会及びデモ飛行を実施



写真3 羊蹄山ろく消防組合

- 前橋市消防局（群馬県前橋市）

- 2024年9月 夜間捜索システムの講習会及びデモ飛行を実施



写真4 前橋市消防局

- 飛騨市消防本部（岐阜県飛騨市）

- 2024年11月 夜間捜索システムの講習会及びデモ飛行を実施



写真5 飛騨市消防本部

【スキー場】

- 富良野スキー場（北海道富良野市）

- 2024年2月 導入訓練（日中及び夜間）実施



写真6 富良野スキー場

- 野沢温泉スキー場（長野県下高井郡野沢温泉村）
 - 2024年9月 導入訓練（日中及び夜間）実施



写真7 野沢温泉スキー場

- ヘブンスそのはらスキー場（長野県下伊那郡阿智村）
 - 2024年10月 導入訓練（日中及び夜間）実施



写真8 ヘブンスそのはらスキー場

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
一般の部 消防防災機器等の開発・改良

紫外線LED×UVカメラによる
次世代型搜索救助支援ソリューション

株式会社キーサイエンス

1. はじめに

近年、山岳地帯や海上における遭難事故は増加傾向にあり、特に夜間や悪天候下においては視認性が著しく低下し、捜索・救助活動に多大な時間と人的資源を要する状況が続いている。従来の捜索手法では、可視光による目視捜索や赤外線カメラによる熱源検出が主に用いられてきたが、これらの手法は環境光の変化、霧、降雨、植生など自然環境の影響を受けやすく、発見精度や識別性において一定の限界が存在する。

2. ソリューションの概要

本ソリューションは、遭難者が着用する装備（救命胴衣やジャケット等）に紫外線 LED（UV-C 波長）を組み込むことで、救助信号の視覚化を実現するものである。LED は、遭難時に使用者が手動で点灯する方式に加え、水没や振動を契機として自動的に点灯する機構を備えることも可能である。

捜索側においては、紫外線カメラを搭載した無人航空機（ドローン）あるいは有人ヘリコプターを用いて上空から広範囲を探索し、LED の発光信号を高感度に検出することで、迅速かつ確実な位置特定を行う方式である。



図1 本捜索救助支援ソリューションの仕組み

3. 技術構成

本ソリューションは以下により構成される。

3.1 紫外線 LED

本研究では、捜索信号源として機能する紫外線 LED 装置を試作した。図2に示す試

作品は、250～270nm 波長帯の UV-C を放射可能な LED モジュールを中心に構成されており、紫外線 LED 電球、電池、制御回路、スイッチ、防水筐体などから成る。

(A) 紫外線 LED の設計：試作品では、波長 270nm、出力 1mW の低出力 UV-C LED を採用し、安全性を確保しつつ、捜索時に UV カメラによる高感度検出を可能とした。放射強度の測定には LS125 紫外線照度計を用い、LED 表面から 10cm 離れた位置での紫外線照度は $7\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 未満、20cm では $0.1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 未満であった。これは、IEC 62471 で定められる UV-C の暴露限界値を十分に下回っており、人体に対して安全な出力である。

※安全参考基準（ICNIRP／IEC 62471⁽²⁾）：

UV-C の暴露限界値は $3\text{mJ}/\text{cm}^2$ （8 時間） $\Rightarrow$ 約 $1\mu\text{W}/\text{cm}^2$ の連続暴露に相当

※UV-C 使用理由：太陽光からの UV-C はオゾン層による吸収され、地表には到達しないため、自然界には UV-C が存在しない。この特性により、背景ノイズのない状態で明瞭に識別可能であり、昼夜や悪天候の条件下でも高い視認性を維持できる。

※防水・耐衝撃筐体：登山・海難などの厳しい環境でも使用可能。

(B) スイッチおよび起動制御：本試作機では、登山・海難などの環境下において使用者が手動で ON/OFF できる防水型スイッチを実装している。今後は、振動、衝撃、降水や水没をトリガーとする水感知センサーによる自動起動方式の導入も検討しており、環境適応性のさらなる向上を目指す。

(C) 電源および省エネ設計：電源には CR2032 型ボタン電池を 2 個直列（6V）で使用し、消費電力を抑えた設計により、30 時間以上の連続点灯を実現した。省電力設計により、長時間の救助活動にも対応可能である。

(D) 回路設計：現行の試作回路では、スイッチ ON により LED が常時点灯する仕様であるが、今後は NE555 等の汎用タイマー IC を用いたアスタブル回路の導入を予定している。これにより、1Hz 周期の点滅動作を実現し、視認性の向上および電力消費のさらなる低減が見込まれる。

(E) 装着方式と設計展開：筐体には縫製や粘着による固定用構造が設けられており、救命胴衣や登山装備などへの装着が容易である。今後の商品化に向けては、筐体形状、耐候性、量産性等を含めた詳細設計を進める予定である。



図 2 紫外線 LED（試作品：φ 30mm×10mm）

3.2 UV カメラ

本ソリューションにおいては、搜索手段に応じて2種類のUVカメラを用いる。有人ヘリコプターによる搜索では、携帯型UVカメラ（型式：MetaUVI-100PHC）を用い、無人航空機（ドローン）による搜索では、小型軽量のドローン搭載用UVカメラ（型式：MetaUVI-100DRM）を使用する。図1に、携帯型UVカメラ（左上）およびドローン搭載用小型UVカメラ（右上）の外観を示す。

両カメラは、可視光および紫外線（UV）用の2つの独立した光路を有し、それぞれの撮影画像に対してノイズ除去などの画像前処理を行った後、GoogLeNetを用いた機械学習ベースの画像レジストレーションにより、両画像を位置的に整合させる。さらに、ウェーブレット逆変換による画像融合処理を通じて、紫外線発生源を視覚的に明確化することが可能である。

なお、本カメラでは、240~280nm帯域に対応したUVバンドパスフィルターを搭載しており、昼夜を問わず明確なUV信号の検出が可能である。また、UV光用イメージインテンシファイアを内蔵しているため、微弱なUV-C信号に対しても高感度で対応できる⁽¹⁾。これにより、本システムは長距離かつ広範囲での迅速な搜索を実現する。

なお、上記2機種的主要仕様を表1に示す。

表1. UVカメラの仕様

項目	ポータブル式	ドローン搭載型
サイズ	250×150×100mm	110×83×58 mm
重量	約 2kg	500g, ジンバル込み 850g
電源供給	内蔵バッテリー	ドローン電源供給
通信方式	内蔵モニター	無線データ転送
解像度	720×576 ピクセル	1920×1080 ピクセル
紫外線感度	$3 \times 10^{-18} \text{W/cm}^2$	$3 \times 10^{-18} \text{W/cm}^2$
防塵防止等級	IP54	IP54

4. 実証試験

4.1 模擬山岳搜索試験

本ソリューションの有効性を検証するため、山岳搜索を想定した模擬実験を実施した。実験は陸上における直線状の舗装路を用い、上空からの観測を想定して、紫外線LED試作機とUVカメラとの距離を変化させながら撮影を行った。図3に、取得した搜索ビデオからの静止画像を示す。

画像中央に観察される赤色のスポットが、紫外線 LED からの発光信号に対応する。動画映像では、この UV 信号が点滅する赤色スポットとして明瞭に表示されており、静止画よりも視認性が高い。さらに、画面内にはリアルタイムで検出された紫外線強度の相対値が数値として表示されており、距離に応じて強度が減衰する様子が確認できた。

本試験においては、最大観測距離として 2.0km においても、発光位置が明瞭に視認可能であり、本システムが長距離捜索においても高い検出性能を有することが示された。一方で、2.5km 以上の距離になると、紫外線信号の視認性が著しく低下し、判別が困難となった。



図3 模擬山岳捜索試験結果

4.2 模擬海上捜索試験

さらに、海上における捜索環境を想定した模擬実験を実施した。実験は東京都台場周辺の海域を用い、上空からの観測を想定して、紫外線 LED 試作機と UV カメラとの距離を変化させながら映像を取得した。図4に、取得した捜索ビデオからの静止画像を示す。

本試験においても、陸上での結果と同様に、最大観測距離として 2.0 km において発光位置が明瞭に視認可能であることが確認された。なお、2.5 km 以上では視認性の低下がみられた。



図 4 模擬海上搜索試験結果

5. 考察

5.1 他手法との比較と利点考察

紫外線（UV-C）波長は自然環境中には存在せず、太陽光や人工照明による干渉が極めて少ない。このため、UV-C を用いた人工的な信号は、選択的かつ高精度に検出可能であり、誤検出のリスクが極めて低い。特に日中や悪天候下においても、対象物の識別性が高く維持される点が特徴である。

本研究では、表 2 に従来手法との比較結果を示し、UV-C 信号を用いた方式が広範囲かつ長距離での搜索に有効であり、迅速な位置特定が可能であることを確認した。さらに、将来的に AI による自動認識機能を組み合わせることで、検出精度の向上と同時に、搜索作業の効率化および省力化が期待される。

表 2 従来方法との比較

項目	従来の搜索法	UV ソリューション
検出手段	サーチライト、熱感知、目視	紫外線 LED＋UV カメラ
夜間対応	熱感知/ライトに依存、限界あり	長距離・広範囲で搜索可能
昼間対応	目視限界があり、 赤外はあまり使えない	長距離・広範囲で搜索可能
消費電力	やや高め	超低消費、省エネで長寿命
救助効率	見落としリスクあり	広域、認性高く早期発見が可能 今後更に AI 自動検出可能
有効搜索 距離目安	目視：昼～100m サーチライト：～300m 赤外線カメラ：約 300～800m	実施例の場合： 陸上：2km 前後 海上：2km 前後

5.2 活用シーン

紫外線 LED と UV カメラを組み合わせた次世代型の捜索支援ソリューションは、視認性の高い人工信号を活用することにより、従来の目視や赤外線検知に比べて、誤検出の少ない迅速かつ確実な検出を可能とする。本技術は、以下のような多様な場面の応用が想定される。

まず、山岳登山者やトレイルランナーにおける山岳遭難対策として、携帯型の紫外線 LED 信号発信装置を装着することで、夜間や悪天候下でも上空からの視認性を確保できる。また、海上作業員、漁業従事者、あるいは漂流者に対しては、海難救助の手段として、波上でも点滅信号を確実に検出できることが期待される。

さらに、高齢者、特に認知症患者の徘徊時における位置特定支援や、地震・水害など大規模災害発生時の避難者・遭難者の早期発見にも有効であり、公共安全・防災インフラの一環としての実装可能性を有している。

このように、本ソリューションは多様な応用シーンにおいて、高効率かつ省力化された捜索支援を実現する新たな社会実装技術としての発展が期待される。

6. まとめ

本研究では、紫外線 LED と UV カメラを組み合わせた遠隔捜索技術に基づく、次世代型の救助支援手法について提案・検討を行った。本ソリューションは、自然界に存在しない UV-C 波長の信号を用いることで、日中や夜間、さらには悪天候下においても高い識別性を維持し、誤検出の少ない広範囲かつ迅速な捜索を可能とするものである。また、構成は極めてシンプルであり、小型・軽量かつ低コストであることから、安価な電池による長時間の連続運用が可能であり、携行性や実用性にも優れている。

本技術は、山岳遭難、海上での漂流、災害時の避難者支援、高齢者の見守りといった多様な救助・見守りシーンへの応用が見込まれており、将来的にはスマートレスキューを支える基盤技術として、社会実装が期待される。

※本ソリューションは特許出願中

参考文献

- (1) T. Yoshizawa et al., “紫外線イメージング技術を用いたコロナ放電可視化”, 2022 Annual Conference of Power and Energy Society, IEEJ.
- (2) IEC 62471-7:2023, “Photobiological safety of lamps and lamp systems”, 「ランプ及びランプシステムの光生物学的安全性」 <JIS C 7550>

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
一般の部 消防防災機器等の開発・改良

区画制圧特化型伸縮ノズルの開発

ヨネ株式会社
高雄信行、宮内健次
うるま市消防本部
喜屋武浩輝、儀保竜二

1 はじめに

近年、住宅におけるエネルギー効率向上の流れを受けて、高気密・高断熱構造の採用が急速に進んでいる。これにより居住環境の快適性や断熱性能が大きく向上した一方で、火災発生時の挙動には従来とは異なる複雑な課題が生じている。特に、閉鎖空間内で発生する区画内火災においては、可燃性ガスの滞留や酸素供給の制限により、フラッシュオーバーやバックドラフトといった爆発的燃焼現象が発生しやすく、消火活動における危険性と難易度が飛躍的に増している。

このような火災に対し、従来の消火戦術が必ずしも効果的に機能しない場面も多く見られる。たとえば、天井に向けて放水し、スプリンクラー効果によって火炎の抑制を図る手法は一般的であるが、火災の熱や建物構造の崩壊によって天井が失われている場合には、その効果が著しく低下する。また、山なりの放水により建物内部へ水を浸透させる手法も用いられるが、室内の間取りや家具、壁などの障害物により死角が生まれ、火点への十分な注水が困難となるケースが多い。その結果、効果的な消火に至らず、大量の水を投入せざるを得ない状況に陥ることも少なくない。

さらに、離れた位置からの放水は、周囲の空気を巻き込みながら火点に向かって押し込む「プッシュファイヤー」と呼ばれる現象を引き起こす恐れがある。この現象は、火点への新鮮な空気の供給を促し、火勢を一層強めるだけでなく、別ルートから屋内に進入している隊員や要救助者に対し、炎や濃煙、熱気を急激に押し寄せさせる危険を孕んでいる。

このように、最盛期に達した建物火災における消火活動は、技術的にも戦術的にも極めて困難であり、慎重な判断と安全対策が強く求められる。これらの課題を解決すべく、うるま市消防本部の発案のもと、ヨネ株式会社と連携し、区画内火災の消火に特化した新型ノズルを開発したので、その概要および効果について報告する。

2 効果的なノズル仕様に関する検討

2.1 離れた位置からの放水を可能にする長尺ノズル

火災の最盛期においては、高熱や爆風の影響により、消火隊員が火点に近づくことが困難となる。そのため、燃焼区画から一定の距離を取りつつ、直接的な放水を可能とするノズルの長さを検討した。

最終的に、有効長を約 4m とすることで、安全な位置から燃焼物への直接放水が可能と判断した【図 1 参照】。また、運搬や収納時の取り回しを考

慮し、収納時は約 2m、使用時は最大 4m まで伸長可能な構造とすることで、現場での機動性と実用性を両立させる。

2.2 必要最小限の水量での効果的な消火

過剰な放水は、建物の水損や火災環境悪化など、二次被害を引き起こす要因となる。本ノズルでは、放水量を 200L/min 程度に抑え、放水角度や方向を工夫することで、効率的かつ効果的な消火を狙った。

2.3 死角への対応を可能にする多方向放水

建物内部では構造や家具配置により死角が生じやすく、単一方向からの放水では火点を十分にカバーできない場合がある。そこで、ノズル先端に複数の放水口を設けることで、多方向への同時放水を目指した。

放水方向は、ノズル先端から前方 45 度、側方、後方 45 度の 3 方向に設定し、各方向に 5 つずつ、さらに正面に 1 つの放水口を設け、合計 16 個の放水口を配置する事とした【図 1 参照】。

放水量は全体で 160L/min とし、1 つの放水口あたり 10L/min の水量を確保する設計とした。これにより、死角となる火点に対しても有効な注水が可能となる。また、ノズル先端から同時に多方向へ放水する事により放水反力を相殺させる事が出来るため、隊員の負担軽減にも繋がる事が期待される。

2.4 粗粒・直進性を重視した放水形状

燃焼物を水で消火するには、その燃焼実体に直接水を注水し、燃焼実体を冷却する事が最も効果的である。ノズルからの水の粒子が細かくなると粒子の表面積が大きくなる事から、燃焼実体に水が到達する前に熱により蒸発してしまい、燃焼実体の冷却に時間がかかる。また粒子が拡散すると、同様に蒸発しやすくなる為、有効射程距離が短くなる。この事から、本開発では水の粒子を可能な限り粗く、且つ粒子を収束させて直進性を高め、有効射程距離を長くする放水形状を目指した。有効射程距離については、一般的な住宅の間取りを考慮して半径 8m を目標とした。

この放水形状により、熱による水の蒸発を抑制し、燃焼実体への到達効率を高めるとともに、不要な水蒸気の発生を抑えることで、隊員や要救助者の熱傷のリスクを低減させる狙いがある。

3 開発品の説明

開発品の外観を写真 1～5 に、仕様諸元を表 1 に示す。

3.1 ノズルの伸縮機構の開発

開発当初はノズルを 2m 程度に 2 分割し、使用時にネジで結合する分割式のノズルを考案した【写真 6 参照】。しかし、接続に時間がかかり、延長の際に放水を停止する必要がある事が判明した為、水圧によって自動伸長する方式に切り替えた【写真 7～10 参照】。また、放水中は水圧によりホースが硬直する事を利用し、状況によってはより高い位置までノズルを伸ばし放水する事ができる【写真 11 参照】。

3.2 粗粒性と直進性を両立した放水口の開発

本開発において最も重要な技術課題は、粗い水の粒子を収束させ、直進性を高めて安定的に放水する放水口の構造設計であった。特に後方 45 度方向への放水は、放水口内部で発生する乱流によって水のエネルギーが拡散しやすく、制御が非常に困難であった。

この課題に対し、放水口内部の流路形状や整流構造を変えることで乱流の発生を抑制し、水のエネルギーを効率的に全方位へ伝達できる構造を考案した。これにより、高い収束性と直進性を有した放水形状を実現した

【写真 12 参照】。この結果、放水口からの最大射程は半径 12m、有効射程は半径 10m を記録し、目標とした仕様を十分に満たすことを確認した。

4 模擬家屋による消火実験

4.1 模擬家屋の仕様

間仕切りのあるワンルームを想定した実物大の模擬家屋を制作した【図 2、写真 13 参照】。内部に簡易ベッド、2 人掛けソファ、机を設置し、壁面に簀子、3 段ボックスを設置した。また、採光用の窓を想定した 70 cm × 20 cm の開口部を壁面に設置した【写真 14 参照】。

4.2 実験方法

以下の手順で実験を行った。また、実験の様子をビデオカメラおよび熱画像カメラで撮影した【図 3 参照】。

- 部屋の 4 か所に灯油 200cc を染み込ませた布とクリブを置き、着火して 1 分 30 秒程度放置して火勢を強くする。
- 開口部より、(1)ガンタイプノズル、(2)ストレートボアノズル、(3)開発品の順で放水し、状況を確認する。

但し、各ノズルの放水条件は以下の通り。

- (1) ガンタイプノズル：クアドラフォグノズル、ノズル元圧 0.5MPa、
放水量 230L/min、30 秒放水
- (2) ストレートボアノズル：ボアテックスノズル、ノズル元圧 0.3MPa、
放水量 500L/min、30 秒放水
- (3) 開発品：ノズル元圧 0.3MPa、放水量 120L/min、60 秒放水

4.3 実験結果

着火 1 分 30 秒経過後の模擬家屋の様子を写真 15 に示す。各ノズルでの放水結果は以下の通り。

(1) ガンタイプノズル

放水時の様子を写真 16 に示す。開口部から近い区画は天井からの跳ね返りの水により消火したが、開口部から死角となる間仕切り奥の区画には水が到達しない為、消火不可であった。

(2) ストレートボアノズル

放水時の様子を写真 17 に示す。火勢を下げることはできたが、ガンタイプノズル同様、死角になる箇所の消火には至らず、消火不可であった。

(3) 開発品

放水開始時の様子を写真 18、放水中の様子を写真 19 に示す。死角となる間仕切り奥を含めた部屋全体に水が注水され、放水開始から 20 秒程度で概ね消火を確認した。また熱画像カメラ映像より、放水口から多方向且つ直線的に放水された水が壁面に到達し、急速に壁面を冷却している事が分かった。

4.4 考察

開発品は最大 4m の長尺仕様とした事により、火災区画から安全な距離を確保しながら燃焼実体への直接アプローチを可能にした。これは隊員の安全性向上に直結する。

また、他のノズルと比較して開発品は放水量を 120L/min と大幅に抑制しながら、多方向且つ直進的な放水により高い消火効果を実現している。そして、他のノズルが死角の火点への注水に失敗したのに対し、本ノズルは部屋全体に均等かつ効果的な放水を行い、20 秒で概ね消火に成功した。これは、多方向に設けた放水口と、粗粒・直進性を重視した放水設計の成果

であり、限られた水量で最大限の冷却効果を発揮できる点が明確に示された。

多方向への同時放水は、死角対策のみならず、放水反力の相殺効果により隊員の身体的負担を軽減する利点もある。さらに、直進性の高い粗粒放水は、水の蒸発を抑え、熱傷や蒸気被害のリスクを大幅に低減するため、消火活動に従事する隊員や要救助者の安全確保にもつながる。従来のノズルでは生じやすかったプッシュファイヤー現象の回避にも貢献すると考えられ、これは戦術的な観点からも意義深いと言える。

5 実火災での使用事例

うるま市消防本部管内で発生した2件の火災事案で本開発品が使用され、いずれも良好な効果が確認された。

5.1 事例1

木造2階建て一般住宅火災が発生。2階角の部屋から出火し、消防隊現着時は出火室の北側・東側の窓から火炎が噴出している状態であった【写真20参照】。屋内進入隊が玄関側から進入準備をしている間に、出火室北側の窓へ開発品を三連梯子は使用せず、隊員1名で直接挿入。約10秒後に火炎から白煙に移行するのを確認した【写真21参照】。その後に屋内進入隊が当該居室のドアを開けて内部確認をしたところ、充満した白煙の中、若干の熱気と、開発品の放水による冷気を交互に感じ、携帯している熱画像直視装置で部屋の中心に放水中の開発品を確認することができた。天井裏へ延焼している箇所に対しても、開発品を約2mの収納状態で室内へ持ち込み放水。屋内進入時の活用方法もあることが確認できた。

5.2 事例2

木造平屋、瓦屋根一般住宅火災が発生。崩落した屋根により屋内進入は困難な状態の中、窓や焼け抜けた壁の穴から開発品を挿入・放水し、瞬時に残火が消失することが確認できた。

6 まとめ

本開発では、高気密・高断熱住宅の普及に伴い複雑化する建物火災への対応として、うるま市消防本部とヨネ株式会社が共同開発した区画制圧特化型伸縮ノズルについて、その開発経緯、構造的特徴、および実証実験・実火災事例による効果検証を行った。

開発品は、最大約4mまで伸長可能な構造により、安全な距離を保ちながらの直接放水を実現するとともに、先端部に配置された16口の多方向放水口によっ

て、死角を含む室内全体への均等な注水が可能となった。また、粗粒かつ直進性の高い放水による冷却効率の向上と、水蒸気発生抑制が、隊員や要救助者の安全性向上にも大きく寄与している。

模擬家屋を用いた消火実験では、他のノズルが効果を発揮できなかった死角部分においても、本ノズルが少水量で短時間に効果的な消火を実現することが確認された。さらに、実火災での運用事例においても、迅速かつ効率的な鎮火に貢献し、屋外からの安全な消火や屋内進入時の補助装備としての有用性が示された。

今後は、さらなる実火災におけるデータの蓄積や、軽量化・耐久性向上に向けた改良を進めることで、開発品がより幅広い火災現場において、消防活動の安全性と効率性を支える新たな標準装備となるよう取り組む。

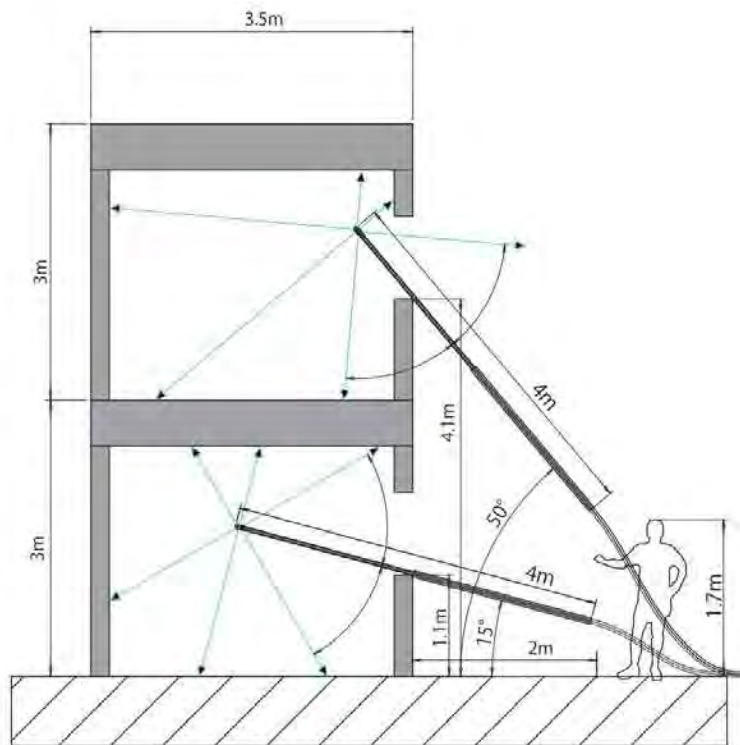


図1 区画制圧特化型伸縮ノズル 使用イメージ

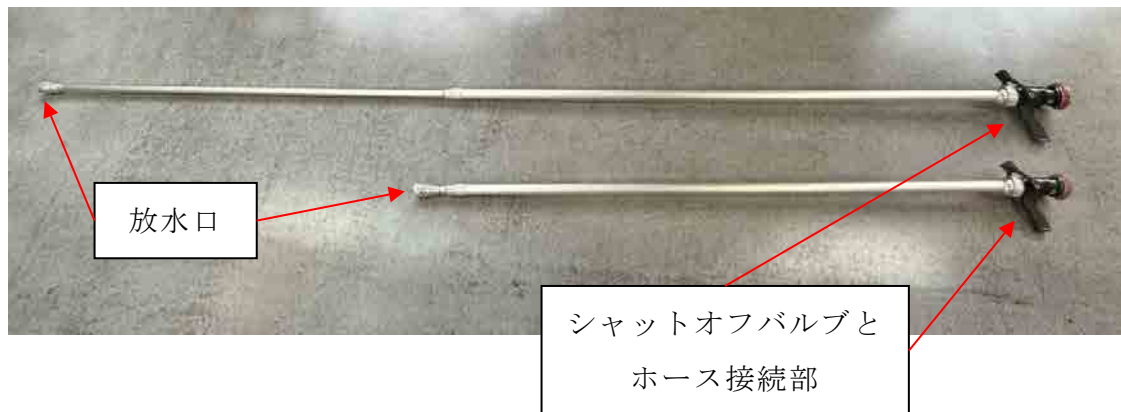


写真1 区画制圧特化型伸縮ノズル（上：伸長時、下：収納時）

表1 区画制圧特化型伸縮ノズル 仕様諸元

全長	4m（収納時 2m）
材質	本体：アルミ / 放水口：ステンレス
放水口	16 個（前方 45 度、側方、後方 45 度各 5 個ずつ＋前方 1 個）
流量	0.5MPa-160L/min（放水口 1 つあたり 10L/min）
有効射程	放水口から半径 10m
接続口	呼び 50 差込式結合金具
質量	5.8kg



写真2 収納時



写真3 伸長時（放水時）



写真4 放水口



写真5 放水時



写真6 試作ノズル（分割式）



写真7 保持時のノズル先端部の高さイメージ



写真8 2階への放水



写真9 梯子を用いての放水



写真10 内部放水状況



写真11 ホースを保持しての放水

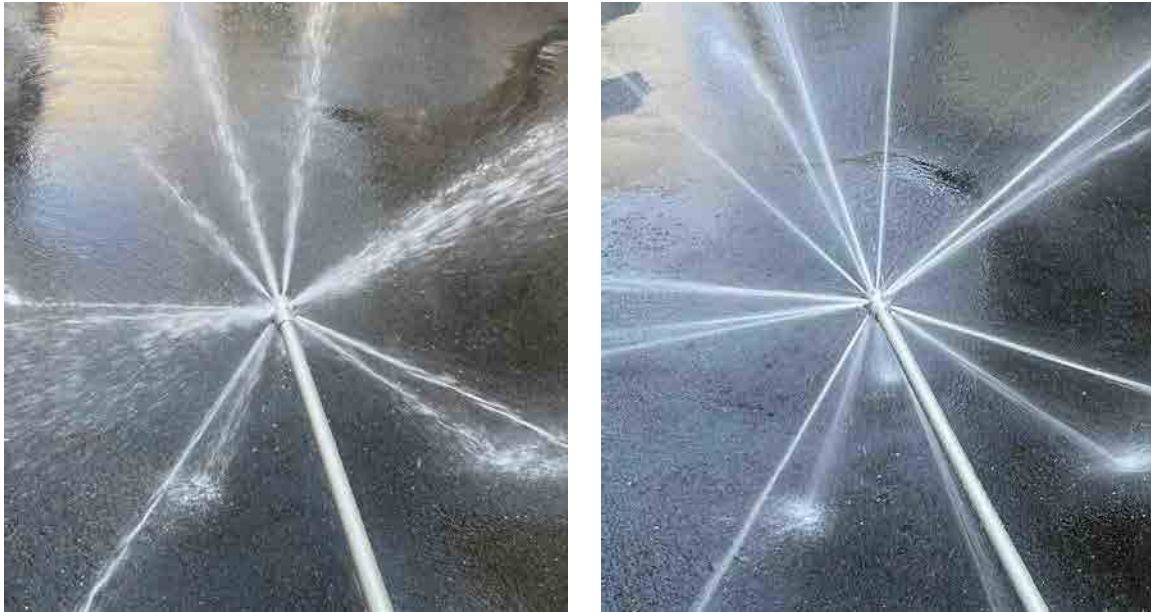


写真 12 放水形状（左：改良前、右：改良後）

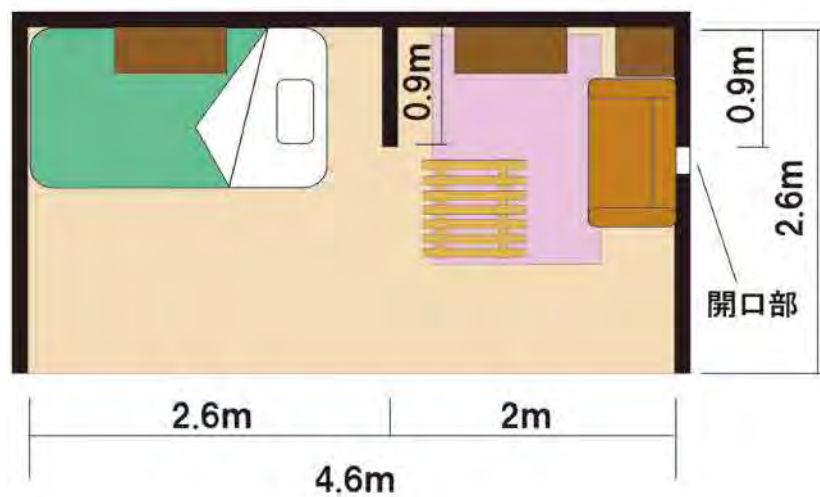


図 2 模擬家屋平面図



写真 13 模擬家屋正面



写真 14 開口部

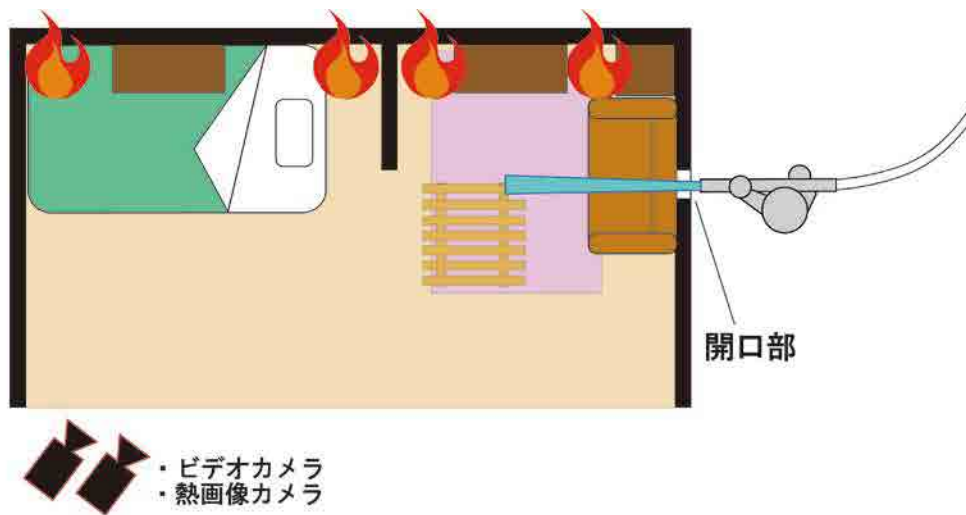


図 3 着火場所およびカメラ設置場所



写真 15 着火後 1 分 30 秒経過



写真 16 ガンタイプノズル放水

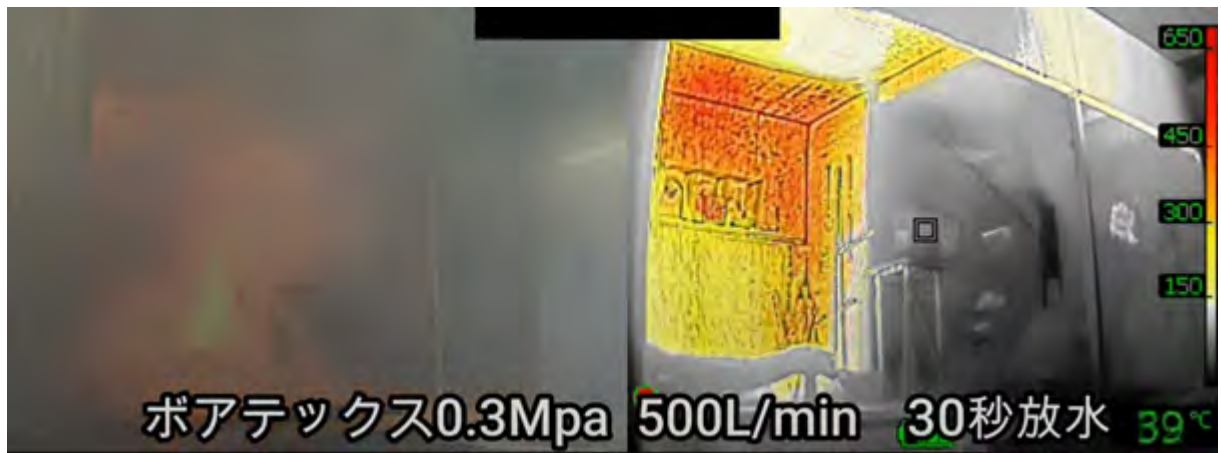


写真 17 ストレートボアノズル放水

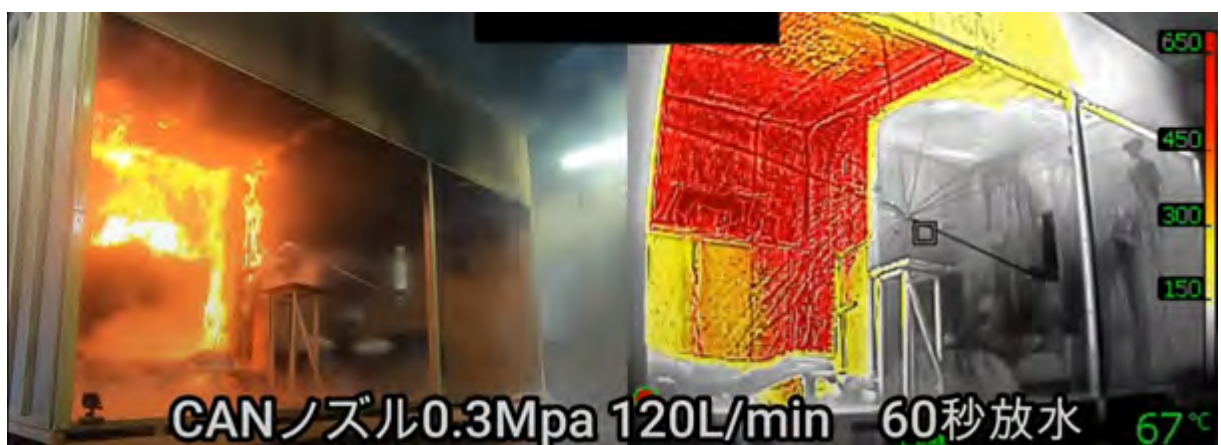


写真 18 開発品 放水開始時



写真 19 開発品 放水中



写真 20 実火災現場の状況



写真 21 実火災での使用状況

【令和7年度消防防災科学技術賞】優秀賞
一般の部 消防防災科学論文

大規模災害発災直後の災害対応活動における消防
隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法の提案

筑波大学体育系

麻見直美

筑波大学人間総合科学研究科

小泉奈央、根岸祐太朗、永山悠、吉武理香子

広島大学大学院人間社会科学研究科

緒形ひとみ

I. はじめに

我が国の国土は、地震、津波、暴風、竜巻、豪雨、地滑り、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、火山噴火、豪雪など極めて多種の自然災害が発生しやすい自然条件下に位置しており、社会・産業の高度化、複雑化、多様化に伴い、海上災害、航空災害、鉄道災害、道路災害、原子力災害、危険物等災害、大規模な火事災害、林野火災など大規模な事故による被害（事故災害）についても防災対策の一層の充実強化が求められている¹⁾。阪神淡路大震災による甚大な被害に迅速に対応することを目的として、広域な消防応援活動の必要性から発足した緊急消防援助隊は、大規模災害発災時、出場指令を受けた後、可及的速やかに被災地に向けて出動し、人命に関わる災害対応活動に従事する。大規模災害発災直後、消防隊員は人命を最優先として、適切な災害対応能力を発揮する必要がある。要救助者の生存率は、災害発生から72時間が経過すると、急激に低下するとされている²⁾。そのため、発災直後の災害急性期は昼夜を問わず人命救助活動が行われる。一方で、一時的に派遣される大規模災害対応活動から帰還後の通常勤務地においても、休みなく継続される通常勤務において引き続き災害対応活動能力を発揮するためには体調管理が必要となる。このような長時間活動が行われる大規模災害対応活動時に体調不良を引き起こす一要因としてエネルギー摂取不足が考えられる。エネルギー摂取量の不足は免疫機能を低下させ^{3,4)}、疲労回復や病気からの回復を遅らせる^{5,6)}ことが報告されている。また、3～5日間ほどの軍事訓練などの活動中であってもエネルギー摂取不足は疲労の原因となり身体への影響や活動対応能力の低下をもたらすことが報告されている^{8,9)}。東日本大震災に派遣された緊急消防援助隊員に対する調査では、発災直後には活動食（発災直後のライフラインや流通が途絶し、かつ後方支援が十分に期待できない期間に摂取する1日に3度の食事）が充実していなかったことや、派遣隊員の約半数に体調不良の症状が見られたことが報告されている⁷⁾。しかし、大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取量の過不足に関する報告はこれまで見られない。これらのことから、適切なエネルギー補給が必要となるが、大規模災害対応活動時のエネルギー必要量は明らかになっていない。

大規模災害発生時、災害対応活動に従事する機関である消防・警察・自衛隊の運営組織は、消防が市町村等、警察が都道府県、自衛隊が国となっている¹⁰⁾。消防本部は、規模や財政状況が大きく異なる各自治体によって運営されているため、装備品や備蓄品などもそれぞれ異なっている。その一方で総務省消防庁からは、各消防本部は72時間以上活動可能な食糧、飲料水等の事前準備に努めるものとする¹¹⁾と示されている。しかし、72時間以上活動可能な食糧・飲料水等とは何かは示されていない。我々はこれまでに消防本部の事前準備の現状として、各消防本部の判断・状況による、基本的には現地調達、各本部の備蓄が不十分などの現状を報告した¹²⁾。これらの結果から、食環境が整備されておらず、災害発生後食糧の調達ができない災害急性期に隊員に食糧が届かないなどの課題が明らかになった。以上から、大規模災害発災直後の災害対応活動における消防隊員のための食糧をどのくらい準備すべきか明らかにする必要性が考えられた。

これらのことから、本研究では、我々がこれまでにやってきた検討から得られた課題を整理し、得られた研究成果から今後災害活動現場において活用するための方策を示すために大規模災害発災直後の災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法を提案することを目的とした。なお我々がこれまでにやってきた研究は、筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て実施した（消防隊員の大規模災害時の消防活動における活動量および栄養に関する研究（承認番号第：体28-66号）、活動食・補給食の嗜好調査（承認番号第：体29-130号））。

II. 大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安の検討

II-1. 大規模災害対応活動に従事する消防隊員の総エネルギー消費量の推定

大規模災害発生時、消防隊員の適切な災害対応能力発揮に必要な食糧を準備するために、大規模災害対応活動時の消防隊員のエネルギー必要量を検討する必要があると考えられる。エネルギー必要量の検討には、総エネルギー消費量（Total energy expenditure：TEE）を知る必要があるが、大規模災害対応活動における消防関連活動のTEEの報告は見られない。これらのことから、大規模災害対応活動に従事する消防隊員のTEEを推定することとした。我々が既報において報告した研究結果、および消防隊員の林野火災における災害対応時のTEE推定結果を表1に示した。大規模災害想定訓練に参加した27名の消防隊員を対象に加速度計（Accelerometer：AC）法

と心拍数（Heart Rate：HR）法の組み合わせを用いて推定した結果、平均 TEE は $4,871 \pm 486 \text{ kcal/日}$ であった¹³⁾。また、我々は AC 法と HR 法を用いて TEE を推定した結果から 13 種類の代表的な消防関連活動種別毎の時間あたりのエネルギー消費量を示すための値を標準推定値（kcal/h）（以下、標準推定値と略す）とした¹⁴⁾。この標準推定値を用いて、5 回の大規模災害想定訓練に参加した 183 名の消防隊員を対象に活動記録（Activity Record：AR）法により推定した結果、TEE は $4,714 \pm 925 \text{ kcal/日}$ であった¹⁵⁾。さらに、実災害で大規模災害対応活動に従事した消防隊員を対象に AR 法を用いて推定した結果、TEE は $4,911 \pm 484 \text{ kcal/日}$ であった¹⁵⁾。また、TEE を推定する方法としてゴールドスタンダードとされる二重標識水（Doubly labeled water：DLW）法を用いて、林野火災対応に従事した米国人消防隊員（男性のみ）の推定 TEE は、 $4,878 \text{ kcal/日}$ であることが報告されている¹⁷⁾。さらに、同じく林野火災に対応したカナダ人消防隊員を HR 法で推定した結果、 $4,538 \text{ kcal/日}$ であったと報告されている¹⁸⁾。

表 1. 災害対応活動に従事した消防隊員の推定総エネルギー消費量

対象活動種別	対象者(n)	平均年齢（歳） BMI*（kg/m ² ）	推定方法 **	推定総エネルギー 消費量（kcal/日）	参考文献
大規模災害想定訓練	日本人消防隊員（27）	34.2 23.1	AC 法/HR 法	$4,871 \pm 486$	Ogata et al.,2023 ¹³⁾
大規模災害想定訓練	日本人消防隊員（183）	34.5 23.4	AR 法	$4,714 \pm 925$	小泉,2024 ¹⁵⁾
大規模災害	日本人消防隊員（1）	35 23.9	AR 法	$4,911 \pm 484$	小泉,2024 ¹⁵⁾
林野火災	アメリカ人消防隊員（17、男性 8 女性 9）	男性 24.5、女性 25.0 男性 23.8、女性 22.6	DLW 法	$4,878 \pm 716$ $3,541 \pm 718$	Rudy et al.,2002 ¹⁷⁾
林野火災（初期対応時）	カナダ人消防隊員（21）	29.8 26	HR 法	$4,538 \pm 106$	Robertson et al.,2017 ¹⁸⁾

*BMI：Body Mass Index **エネルギー消費量の推定方法：二重標識水（Double Labeled Water:DLW）法、加速度計（Accerelometer:AC）法、心拍数（Heart rate:HR）法、活動記録（Activity reord:AR）法

Ⅱ - 2. 大規模災害対応活動に従事する消防隊員の活動隊種別による総エネルギー消費量の違いの検討

災害対策基本法において、災害とは暴風、竜巻、豪雨、豪雪、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、地震、津波、噴火、地滑りその他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他と定義されている²⁴⁾。災害の種類によって被害も異なるため、大規模災害において消防隊員が従事する消防関連活動も災害の種類によって異なる。また、消防隊員は、役割や活動内容が異なる活動隊種別（救助隊、消防隊、救急隊、その他隊(指揮支援隊と後方支援隊)などで活動を行うため、活動隊種別によるエネルギー消費量についても検討する必要性が考えられた。これらのことから、既報において消防関連活動種別毎の時間あたりのエネルギー消費量の標準推定値を用いた TEE の推定および活動隊種別によるエネルギー消費量を報告した。大規模災害想定訓練に参加した消防隊員 183 名の内、救助隊、消火隊、救急隊、その他隊の平均 TEE（kcal/日）は、それぞれ $5,124 \pm 760$ 、 $4,793 \pm 370$ 、 $3,360 \pm 295$ 、 $3,652 \pm 218$ であった¹⁵⁾。活動隊種別では救助隊の TEE は、消火隊・救急隊・その他隊よりも有意に高く、消火隊の TEE は救急隊よりも有意に高かった（図1. 参考文献15の図1 - 3 - 1を転用）¹⁵⁾。

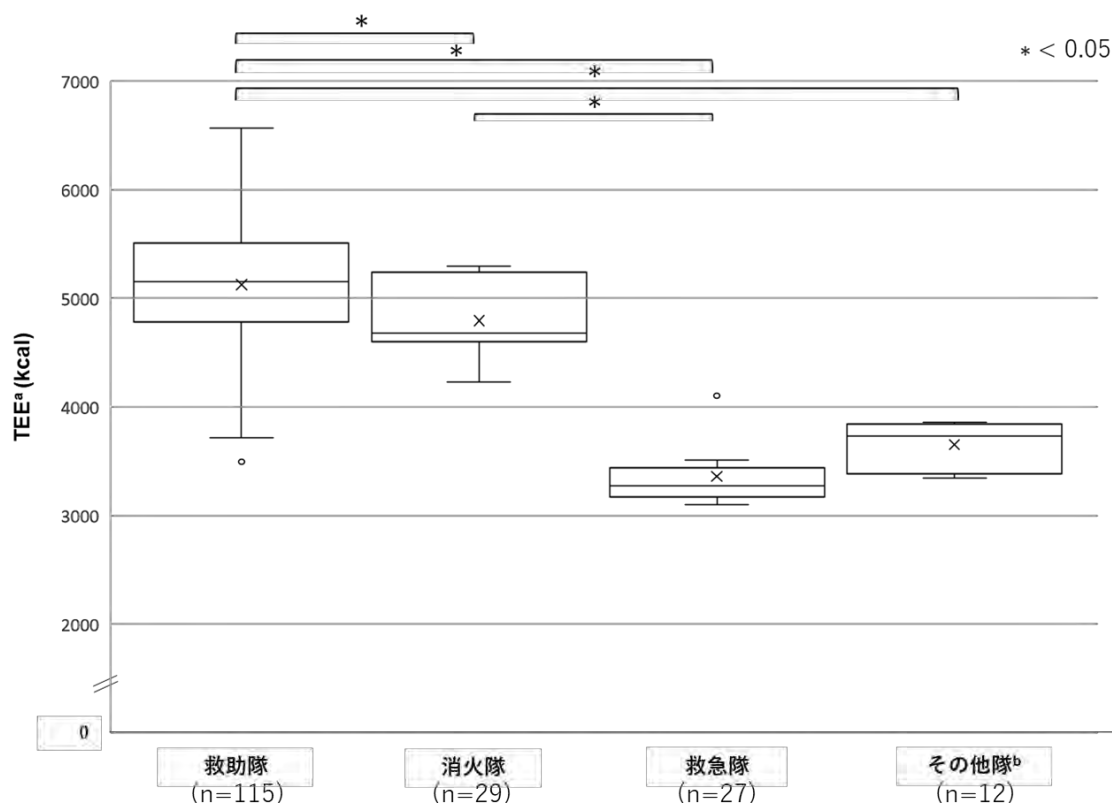


図 1. 活動隊別の 1 日あたりの総エネルギー消費量 (Total energy expenditure; TEE) (参考文献 15 の図 1 - 3 - 1 を転用) .One-way analysis of variance and Tukey's HSD method: * $p < 0.05$. × は各活動隊の平均値を表し, ○ は外れ値を示した. ^aTEE= Total energy expenditure, ^bその他隊=指揮支援隊, 後方支援隊.

II - 3. 大規模災害対応活動に従事する消防隊員の災害種別によるエネルギー消費量の検討

大規模災害への備えとして、総務省消防庁は、東海地震、南海トラフ地震、首都直下地震及び日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震などの被害想定から震災対策を進めている²⁵⁾ほか、各自治体においても各地域で考えられる災害発生に対する被害想定や対策の検討が行われている²⁶⁾。大規模災害は様々な種類があるため、災害種別による災害対応活動の違いから、災害種別毎の TEE を検討する必要がある。災害種別毎の TEE を算出する際には、標準推定値を活用することができると考えられる。なお、標準推定値は参考文献 14 表 3 を参照し、活用を考えて 5kcal 毎の数値で表 2 に示した。また、標準推定値の活用例として、災害活動の一例を示し、TEE を試算した (図 2)。試算にあたり、基礎代謝量 (Basal metabolic rate: BMR) は国立栄養研究所が作成した Ganpule 式²⁷⁾の推定式を用いた。身長・体重は、厚生労働省 2018 年国民健康栄養調査の男性 (30～39 歳) の平均身長・体重²⁸⁾を参照した。食事誘発性熱産生 (Diet-induced thermogenesis: DIT) は $TEE \times 0.1$ とした²⁹⁾。活動時代謝量 (Activity energy expenditure: AEE) は、災害対応活動に対しては標準推定値¹⁴⁾ (表 2) から狭所空間での救助活動と消火活動全般の項目を用いて、また、消防関連活動以外の身体活動には、それぞれが対応すると考えられる身体活動のメッツ (METs) 値を身体活動の METs 表³⁰⁾から抜粋してエネルギー消費量に換算した (表 3)。この標準推定値を活用し、災害活動のとある 1 日 (24 時間) 中に狭所空間での救助活動を 2 時間、消火活動を 3 時間行った場合の TEE を試算した結果、TEE は 5,200kcal/日であると算出された。

表 2. 消防関連活動種別毎の時間あたりのエネルギー消費量の標準推定値（参考文献 14 表 3 を参照）

活動種別	標準推定値 (kcal/h) *
指揮支援活動	50
救急活動	80
後方支援活動	115
狭所空間での救助活動	250
車両からの救助活動	265
要救助者搬送	270
検索活動	275
消火活動全般	290
ガス関連事故救助活動	325
土砂災害掘削救助活動	335
救助活動全般	355
トンネル事故救助活動	355
高所からの救助活動訓練 (昇り・下り)	420

厚生労働省の 2018 年国民健康栄養調査の男性（30～39）歳の平均体重²⁸⁾を用いて算出した。*1 時間あたりのエネルギー消費量(kcal)=AC/HRMETs-1METs×71(kg)×1(h)³⁰⁾。



図2. 消防関連活動種別毎の時間あたりのエネルギー消費量の標準推定値の活用例としての災害活動時 TEE の試算例
消防関連活動種別毎の時間あたりのエネルギー消費量の標準推定値を活用し、災害活動のとある1日（24時間）中に狭所空間での救助活動を2時間、消火活動を3時間行った場合のTEEを試算した結果、TEEは5,200kcal/日であると算出された。*基礎代謝量（Basal metabolic rate:BMR）は国立栄養研究所が作成した Ganpule 式²⁷⁾の推定式を用いた。身長と体重は、厚生労働省2018年国民健康栄養調査の男性（30～39歳）の平均身長・体重²⁸⁾を参照した。**食事誘発性熱産生（Diet-induced thermogenesis: DIT）はTEE×0.1とした²⁹⁾。活動時代謝量（Activity energy expenditure: AEE）は、災害対応を行った活動に対しては標準推定値¹⁴⁾（表2）から狭所空間での救助活動と消火活動全般の項目を用いて、消防関連活動以外の身体活動には、それぞれが対応すると考えられる身体活動のメッツ（METs）値を身体活動のMETs表³⁰⁾から抜粋してエネルギー消費量に換算した項目（表3）を用いた。

表3. 消防関連活動以外の時間あたりのエネルギー消費量

活動種別	身体活動内容 ³⁰⁾	エネルギー消費量 (kcal/h)*
偵察	歩行：11.3-22.2kgの物を運ぶ	284
移動（徒歩）	歩行：11.3-22.2kgの物を運ぶ	284
準備	歩行：職場で物を回収する、 出発の準備をする	142
ミーティング	立位作業：楽な労力	142
待機	立位：さまざまなことをする	107
食事	静養・家族で親睦会：座位、くつろぐ、 会話をする、食事をする	57
移動（車）	自動車やトラックに乗車	21
休憩	デスクに向かって座る： 手を頭の後ろに組む	21

消防関連活動以外の身体活動には、それぞれが対応すると考えられる身体活動のメッツ（METs）値を身体活動のMETs表³⁰⁾から抜粋してエネルギー消費量に換算した。*1時間あたりのエネルギー消費量(kcal)=AC/HRMETs-1METs×71(kg)×1(h)³⁰⁾。厚生労働省の2018年国民健康栄養調査の男性（30～39歳）の平均体重を用いて算出した²⁸⁾。

II-4.大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安の検討事項

本研究では、これまでに我々が報告した大規模災害対応活動に従事する消防隊員のTEEおよび、類似の災害活動を行った消防隊員のTEEに関する報告をまとめた(Ⅱ-1)。また、既報から活動隊種別によってTEEには差が見られることを示し(Ⅱ-2)、活動内容の違いから災害種別によるエネルギー必要量を試算する方策について検討を行った(Ⅱ-3)。これらの結果から、大規模災害対応活動に従事する消防隊員の推定TEEは約4,000～5,000kcal/日であると考えられた。この結果を基に、エネルギー摂取目安を検討する必要性が考えられた。

Ⅲ. 大規模災害発災直後の災害対応活動における消防隊員の食課題の検討

Ⅲ-1. 消防本部および類似機関における大規模災害対応活動時の食に関する調査

大規模災害対応活動に従事する消防本部と類似機関に対して食に関する調査を行い、現状を把握するとともに課題を検討することとした。まず、全国の消防本部の食糧の備蓄状況を調査した結果、消防本部によって備蓄量に差があり、備蓄食に対する基準や変更内容選定の明確な根拠の必要性が考えられた¹²⁾。また、消防本部の備蓄食の現状は、救助現場での活動等で必要と考えられるエネルギー量を満たしているとは言えないことが推察された¹⁹⁾。さらに、大規模災害発生時に災害対応活動に従事する類似機関の目標エネルギー摂取量として、災害派遣活動を行う陸上自衛隊は、目標エネルギー摂取量を3,200kcal/日としていることが明らかとなった¹⁹⁾。活動食にあたる戦闘糧食は1食約1,000kcalとし、災害派遣の際には間食に相当する増加食が準備されている¹⁹⁾。増加食のひとつである「バランス栄養固形食品、非常用糧食用(2個)」の栄養成分は陸上自衛隊で公表されている仕様書において、480kcal以上と規定されている²³⁾。また、在日米軍へのヒアリング調査からは、活動食にあたるMeal Ready to Eat (MRE)の目標エネルギー摂取量を約3,900kcal/日としていることが明らかとなった⁷⁾。

Ⅲ-2. 大規模災害対応活動時の消防隊員の食に関する調査

大規模災害対応活動時の消防隊員の食に関する現状を把握するとともに、必要であると考えられる食事を具現化する際の課題について検討した。4,000kcal/日を目標とした活動食・補給食の組み合わせの検討や災害活動中の食事に関する実態調査を行った結果^{16, 19, 20, 21, 22)}から、大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法を提案するための検討課題を表4に示した。検討課題は4つの項目に分類し、優先順位が高いと考えられるものから示した。また、それぞれの項目について考慮すべき理由を示した。

表 4. 大規模災害対応活動時の消防隊員の食に関する調査から考えられる大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法を提案するための検討課題

優先順位	検討課題	考慮すべき理由
1	分量 （食べきれる量であるのか）	活動食と補給食を合わせて 4,000kcal/日となるように試算した結果、現在の備蓄と比較して重量は約 2 倍となった ¹⁹⁾ 。既存の 52 種類 200 商品の食品成分および価格を調査した結果を基に、活動食と補給食を合わせて 1 日あたり 4,000kcal となるようにメニューを検討した結果、分量（摂取する食品のカサ、ボリューム）の面で量が多いため食べきれない可能性が考えられた ²⁰⁾ 。エネルギー不足が考えられる食事に対して適度以上の満腹度を示す隊員が多かった ²¹⁾ 。
2	摂取するための時間 （人命の関わる災害活動中に時間が確保できるのか）	緊急消防援助隊の実災害での食事内容の調査において、1 回の食事に充てられた時間は平均 21 分間であった ¹⁶⁾ 。
3	準備に活用できる食品 （求める要件を満たす食品が市場に在るのか）	活動食に求められる要件を満たす食品を導入するためには、既存商品を組み合わせることはもちろん、コンパクトで高エネルギーかつ低コストな商品を開発していく必要性も考えられた ²²⁾ 。
4	調達するための費用	活動食と補給食を合わせて 4,000kcal/日となるように試算したところ、現在の備蓄と比較して予算は約 3 倍となった ¹⁹⁾ 。既存の 52 種類 200 商品の食品成分および価格を調査した結果を基に、活動食と補給食を合わせて 4,000kcal/日となるようにメニューを検討した結果、一般に販売されている価格で試算すると、1 日あたり 4,000～4,500 円となり、コスト面で課題が考えられた ²⁰⁾ 。

大規模災害対応活動時の消防隊員の食に関する調査から考えられる大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法を提案するための検討課題を 4 つの項目に分類し、優先順位が高いと考えられるものから示した。また、それぞれの項目について考慮すべき理由を示した。

IV. 大規模災害発災直後の災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法の提案

大規模災害発災直後の災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法を、次のように提案する。まず、大規模災害対応活動に従事する消防隊員の推定エネルギー消費量をベースとして、次に大規模災害対応活動時の消防隊員の食に関する調査において明らかになった検討課題を考慮し、さらに類似の活動を行う集団の目標エネルギー摂取量等を踏まえた結果、3,500～5,000kcal/日をエネルギー摂取目安とすることが妥当であると考えられた。

また、その摂取法としては、エネルギー消費量調査において活動隊種別で有意差が確認されたことから、3,500kcal/日程度を基本として活動隊種別毎に 500～1,500kcal を追加することを提案する。1 日あたりの活動食・補給食メニュー構成の一例を図 3 に示した。

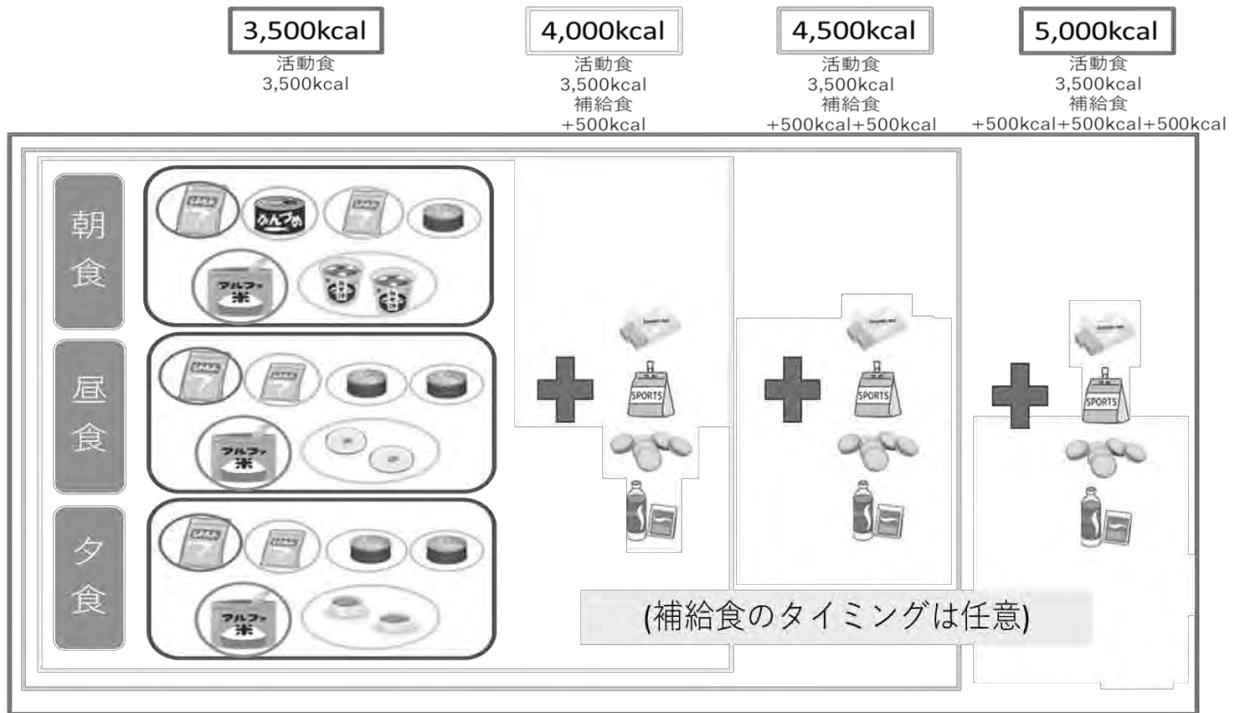


図3. 大規模災害発災直後の災害対応活動における消防隊員に摂取が望ましいと考えられる1日あたりの活動食・補給食メニュー構成の一例。大規模災害発災直後の災害対応活動における消防隊員のエネルギー摂取目安とした3,500kcal/日程度を活動食の基本準備として、活動隊種別毎に500～1,500kcalを補給食として追加する例を示した（補給食のタイミングは任意）

V. おわりに

本研究では、我々がこれまでに報告した結果から得られた課題を整理し、今後災害活動現場において活用するための方策を示すために大規模災害発災直後の災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー摂取目安とその摂取法を提案することを目的とした。その結果、大規模災害発災直後の災害対応活動における消防隊員のエネルギー摂取目安は、3,500～5,000kcal/日とすることが妥当であると考えられた。また、本研究結果を具現化するために、実際に食事を準備する際には、3,500kcal/日程度を活動食の基本として、活動隊種別毎に500～1,500kcalを補給食として追加することを提案した。さらに、災害種別毎のエネルギー消費量および必要であると考えられるエネルギー量を算出する際に、消防関連活動種別毎の時間あたりのエネルギー消費量の標準推定値を活用できることを示した。本研究では、我々のこれまでの研究成果の一つの結果としてエネルギー摂取目安を示した。将来的にはさらに多くの検討、検証により推定エネルギー必要量を明らかにすることが必要であると考えられる。また、今後は、エネルギー摂取目安を確保する食事の具現化のために、望ましいたんぱく質などを考慮した食品構成などについて、引き続き検討する予定である。また、検討課題として分量（摂取する食品のカサ、ボリューム）の面で量が多いため食べきれない可能性が挙げられたことから、必要エネルギー量を満たすコンパクトかつ高エネルギーの食品の開発が必要であると考えられる。

謝辞

本調査にご協力いただきました緊急消防援助隊関係消防職員の皆さまに感謝致します。また、本研究の費用の一部は、総務省消防庁競争的研究費（消防防災科学技術研究推進制度）（平成27～28年度）、筑波大学ARIHHPセンター研究助成2016(I)12、2017(I)3、2018(I)4、2019(I)6、2020(I)3、2021(I)7、2022(I)7、2023(I)9、2024(I)2、2017(O)8、2018(O)9、2019(O)3、2020(O)4、2021(O)7、2022(O)11、2023(O)15、2024(O)18の助成を受けて実施しました。

参考文献

- 1) 中央防災会議.“防災基本計画”.令和5年5月30日内閣府ホームページ.
https://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basicplan.pdf（参照 2024-5-26）
- 2) 総務省消防庁, 特報 2“～緊急消防援助隊の応援等の要請等に関する要綱等の改正について～”,
https://www.fdma.go.jp/publication/ugoki/items/rei_0408_11.pdf. 総務省消防庁ホームページ,（参照 2023-9-22）
- 3) Keusch, GT. The history of nutrition: malnutrition, infection and immunity. *The Journal of nutrition*, 2003, vol.133, no.1, p. 336-340.
- 4) Shippee R, Askew EW, Bernton, E, Martinez-Lopez L, Kramer M. Nutritional and immunological assessment of ranger students with increased caloric intake. *Army Research Inst Of Environmental Medicine*, 1994, Report No.T95-5.
- 5) Brown KH. Dietary management of acute diarrheal disease: contemporary scientific issues. *The Journal of Nutrition*, 1994, vol.124, p.1455-1460.
- 6) Hultman E, Bergstrom J. Muscle glycogen synthesis in relation to diet studied in normal subjects. *Acta Medica Scandinavica*, 1967, vol.182, p.109-117.
- 7) 赤野史典, 細谷昌右, 玄海嗣生, 山口至孝, 緒形ひとみ, 麻見直美. 大規模災害発生時の隊員の効果的な活動食の摂取方策に関する検証. *消防技術安全所報*, 2013. vol. 50, p.70-77.
- 8) Planer D, Leibowitz D, Hadid A, Erlich T, Sharon N, Paltiel O, Jacoby E, Lotan C, Moran DS. The Effect of Prolonged Physical Activity Performed during Extreme Caloric Deprivation on Cardiac Function. *PLoS ONE*, 2012. vol.7, no.2, p.2.
- 9) Margolis LM, Murphy NE, Martini S, Spitz MG, Thrane I, McGraw SM, Blatny JM, Castellani JW, Rood JC, Young AJ, Montain SJ, Gundersen Y, Pasiakos SM. Effects of winter military training on energy balance, whole-body protein balance, muscle damage, soreness, and physical performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*, 2014, vol.39 p.1395-1401.
- 10) 総務省消防庁. “第6回.資料2 警察と消防の比較” 消防職員の団結権のあり方に関する検討会, 2010. https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento242_26_220622_dai6_siryu2.pdf. (参照 2024-09-01)
- 11) 総務省消防庁. “第4回. 資料1 緊急消防援助隊都道府県隊後方支援活動要領作成例”. 緊急消防援助隊広域活動拠点に関する検討会, 2013.
https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/kento093_48_shiryu1.pdf. (参照 2024-03-21)
- 12) 小泉奈央, 赤野史典, 緒形ひとみ, 玄海嗣生, 麻見直美. 災害現場で活動する消防隊員のための備蓄食の現状. *日本災害食学会誌*, 2017. vol.4, no.2, p.55-59.
- 13) Ogata H, Negishi Y, Koizumi N, Nagayama H, Kaneko M, Kiyono K, Omi N. Individually optimized estimation of energy expenditure in rescue workers using a tri-axial accelerometer and heart rate monitor. *Frontiers in Physiology*, 2024 ; 15 : 1322881.
- 14) Koizumi N, Ogata H, Negishi Y, Nagayama H, Kaneko M, Kiyono K, Omi N. Energy Expenditure of Disaster Relief Operations Estimated Using a Tri-Axial Accelerometer and a Wearable Heart Rate Monitor. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, MDPI. 2023, vol.20, no.9, p.5742.
- 15) 小泉奈央. 消防隊員の大規模災害対応活動におけるエネルギー消費量の推定. 筑波大学, 2024, 博士論文.
- 16) 小泉奈央, 緒形ひとみ, 吉武理香子, 麻見直美. 活動記録法を用いた大規模災害対応活動に従事する消防隊員のエネルギー消費量およびエネルギー摂取量の推定. *日本災害食学会誌*. 2024, vol.11, no.1, p.47-55.
- 17) Ruby BC, Shriver TC, Zderic TW, Sharkey BJ, Burks C, Tysk S. Total energy expenditure during arduous wildfire suppression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002, vol.34, no.6, p.1048-1054.
- 18) Robertson AH, Larivière C, Leduc CR, McGillis Z, Eger T, Godwin A, Larivière M, Dorman SC. Novel Tools in Determining the Physiological Demands and Nutritional Practices of Ontario Fire Rangers during Fire Deployments. *PLoS One*, 2017. vol.12, 0169390.
- 19) 緒形ひとみ, 赤野史典, 小泉奈央, 玄海嗣生, 麻見直美. 警察・自衛隊と比較して考える災害現場で活動する消防官の備蓄食の現状. *日本災害食学会*, 2017. vol.4, no.2, p.61-67.
- 20) 根岸祐太郎, 小泉奈央, 雨宮美宇, 鶴田有彩, 宮澤理花子, 緒形ひとみ, 麻見直美. 大規模災害発生時における災害対応に従事する消防隊員のための市販食品を用いた活動食および補給食メニューの検討.

日本災害食学会誌. 2019, vol.6 no.2, p.35-41.

21) 雨宮美宇,小泉奈央,緒形ひとみ,麻見直美.大規模災害を想定した訓練における消防隊員の活動食・補給食の実態調査.日本災害食学会誌,2019. vol.6, no.2, p.43-49.

22) 小泉奈央, 雨宮美宇, 緒形ひとみ, 麻見直美. 大規模災害発生時を想定した災害活動隊員のための活動食となり得る既存食品の有用性の検討. 日本災害食学会誌,2019. vol.6 no.2, p.83-89.

23) 陸上自衛隊. “陸上自衛隊仕様書. バランス栄養固形食品, 非常用糧食用”

<https://www.mod.go.jp/gsdf/chotatsu/document/pdf/09/GQ-N170073.pdf>. (参照 2024-09-01)

24) 災害対策基本法. 第一章 総則, 第二条(定義), 昭和三十六年法律第二百二十三号

25) 内閣府. 中央防災会議. 東南海、南海地震等に関する専門調査会. “5. 被害想定の基本的考え方1”. https://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/tounankai_nankaijishin/2/5-1.htm .(参照 2024-9-

25)

26) 東京都. “首都直下地震等による東京の被害想定(令和4年5月25日公表)”

<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000902/1021571.html>. (参照 2024-9-25)

27) Ganpule AA, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, et al. Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. Eur J Clin Nutr. 2007, vol.61, p.1256-61.

28) 厚生労働省, 平成30年国民健康・栄養調査報告. 厚生労働省ホームページ,

<https://www.mhlw.go.jp/content/001066884.pdf>. (参照 2024-8-22)

29) Sasai H, Nakata Y, Murakami H, Kawakami R, Nakae N, Tanaka S, Ishikawa-Takata K, Yamada Y, Miyachi M. Simultaneous Validation of Seven Physical Activity Questionnaires Used in Japanese Cohorts for Estimating Energy Expenditure: A Doubly Labeled Water Study. J Epidemiol, 2018, vol.28, no.10, p.437-442.

30) Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. Med Sci Sports Exerc. 2011, vol.43, no.8, p1575-1581

【令和7年度消防防災科学技術賞】奨励賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

SUZUKA電動式消火シューター

鈴鹿市消防団
宮崎美憲

1. 手動式消火シューターの改良の経緯について

令和7年に入ると、岩手県大船渡市、奈良県川上村、岐阜県各務原市など、全国各地で相次ぎ林野火災が発生し、緊急消防援助隊が出動するなど、懸命な消火活動が実施された。

報道により大規模な林野火災は、全国的にも注目され、広範囲な消火活動の困難さ、急斜面などの危険な状況下での消火活動及び水利の乏しさなどが話題となった。

本市では、令和6年の夏頃に発生した林野火災で、副団長が現場指揮を執り、部下団員が急傾斜地で手動式消火シューターを背負い、懸命な消火活動を実施していた。

副団長は、両手を使いながら、急斜面で消火活動を行っている団員たちの姿を見て、事故が起きないように何度も注意喚起を行い、鎮火まで至った。

その後、副団長は、両手を使う手動式消火シューターの作業効率を改善できれば、急斜面の不安定な状況下でも、より安全に活動できると考え、手動式から電動式への改良を決意する。

改良するにあたり「資機材の軽量化を図り、団員の負担を軽減すること。」「電動式に改良し、作業効率を向上させること。」及び「既存の手動式消火シューターを大幅に加工せず、電動式が故障した場合に、すぐに手動式へ戻し、消火活動を行えること。」を念頭に改良に取り組む。（写真1、2参照）



写真1 手動式消火シューター



写真2 電動式消火シューター

2. 電動式消火シューターへの改良について

改良にあたり既存の消火シューターを活用し、ホースと水囊の連結部分、ホースの素材及びガンタイプの放水部などを検討した。

検討した結果、ホースと水囊の連結部分の金具は、錆を考慮して真鍮製とした。

また、ホースの素材は、仕組み上、圧が掛からないため、9mmの樹脂製ホースで軽量化を図り、体力的な活動負担を軽減した。

放水部は各地区の消防分団に配備しているマキタ式バッテリーが使用できるガンタイプとし、放水部に肩ベルトを設け、搬送時や放水時に肩へ掛けて、作業することが

可能となり、放水員の負担を軽減する。

バッテリーは、18Vを使用し、放水圧は最大 0.8Mpa を確保した。

ノズルの放水パターンは、6種類でストレートパターンの0度から15度、25度、40度と徐々に拡散パターンになり、シャワーパターンや噴霧パターンへも変換できる。

最長放水距離は、ストレートの0度で放水すると、約5mの放水距離があり、約3.6L/minの放水能力を有する。（バケツに水を入れ、1分間の連続放水を行った結果）

ガンタイプの放水部は、長さ26cm、高さ27cm、幅7.5cmで、重さは約1kgである。

試作品が完成した段階で、実災害での使用を消防分団や本市消防指揮隊へ依頼し、使用した消防職団員からの感想として、「片手での放水が可能であり、斜面での活動時において、空いている片手で木々を保持し、安全を確保しながら消火活動を実施できた。」、「肩掛けしながら、片手で連続放水ができるため、火点へ命中しやすい。」及び「手動式に比べ消火労力が大幅に軽減された。」などの意見が多く寄せられた。

急斜面などの不安定な状況下で活動する場合、手動式は、両手でハンドポンプを前後に動かし、消火活動を行うため、団員の身体は両足だけで保持することになるが、電動式に改良することで、消火シューターの肩バンドを肩に掛け、片手で消火活動を行えるようになるため、空いた片手を自由に使いながら、身体を支えることができる。

（写真3～6参照）

活動する消防職団員の労力は、格段に軽減されることになり、活動時の安全も大幅に確保された。



写真3 手動式消火シューターの活動



写真4 手動式消火シューターの活動



写真5 電動式消火シューターの活動



写真6 電動式消火シューターの活動

3. 電動式消火シューターの受賞履歴について

令和6年度、本市消防団員が電動式消火シューターの試作品を完成させ、この電動式消火シューターを全国の消防業界に広め、多くの消防職団員が効率的で安全に活動できる環境の一助になりたいとの申し出があり、他の消防機器改良などの受賞歴を調査した。

結果、令和5年度に他県消防職員が同様の改良を行い、受賞していたことが判明し、機器改良への提案は断念する。

本市消防団の消火活動の効率化を目指し、会議等で各分団長に機器改良の説明会を行うとともに、メーカーへの協力を要請し、既存商品との比較検証など実施した。

消防業界への波及を目指しているところで、令和7年度消防防災科学技術賞の募集があり、改めて機器改良として、提案することとした。

なお、他の消防機器改良開発で受賞した他県消防職員とも連絡し、本市消防団員が本表彰へ応募することの了承を得る。

4. まとめ

全国各地で多発する林野火災などニュース映像を見るたびに、そこには急斜面の不安定な状況でも懸命に消火活動を行う消防職団員がおり、危険と隣り合わせで災害対応をしている。

この改良が全国に波及し、少しでも多くの消防職団員が安全に活動することができ、住民の生命身体財産の軽減に繋がれば、消防団員としてこれに代わる喜びはない。

【令和7年度消防防災科学技術賞】奨励賞

消防職員・消防団員等の部 消防防災機器等の開発・改良

仮想空間（メタバース）で防火防災を学ぶ！
「fire-X kuRe ～未来を守るバーチャル
防火防災～」の制作

呉市消防局予防課指導係
小川武志、笠井忍、藤田翔

1. 最先端デジタル技術で、臨場感を堪能する防火防災学習の制作、公開

呉市消防局ホームページ上のアクセスポイントから、最新のデジタル技術である仮想空間（メタバース）に飛び込み、臨場感のある防火防災学習や、呉市防災センターの体験施設、消防車の運転等、手軽に楽しみながら体験することができる広報コンテンツを制作し公開しました。

2. 制作に至った背景・目的

呉市防災センターは、昭和60年12月に開館し、地震体験や豪雨・暴風疑似体験、煙中避難体験や消火器使用訓練などの体験型防災教育施設として、長年、市民の防火防災意識の普及啓発・高揚に寄与しています。ここ近年は、入館者の減少に伴う入館・利用促進が課題となっています。

また、市民全般を対象に実施した防火防災に関するWebアンケートでは、回答者全体に対する10代、20代の回答者の割合が約4パーセントと、若年層の関心が低い結果となりました。

そこで、全国に例を見ない最新のデジタル技術である仮想空間（メタバース）を活用し、呉市防災センターの体験型防災教育施設の再現やYouTube動画など、防火防災に関する情報を配信するインターネットコンテンツを制作し、ホームページ上から手軽にゲーム感覚で楽しめる形で公開しました。

これにより、防火防災の重要性について、従来の映像資料等では伝えきれないリアリティや臨場感を、3Dでデジタル体験する形で効果的に伝え、市民全般、特に若年層に対し興味や関心を引きつけ、学習効果の向上や意識の高揚に繋げることを目的としています。また、呉市防災センターの体験型施設をデジタルで再現・紹介し、入館者の増加及び利用促進を図ります。

【目標・ねらい】

- ・時間や場所に制約されず防火防災知識を情報発信し、意識の高揚を図ります。
- ・手軽に楽しめるよう、特定のアプリをインストールすることなく、ホームページ上からアクセスする形で公開します。
- ・広範なユーザー層、特に若年層に向け効果的で魅力的な広報を実施します。
- ・災害時の行動手順をデジタル体験で学び、学習効果の飛躍的な向上に繋がります。

3. タイトル

「fire-X kuRe（ファイレックスくれ） ～未来を守るバーチャル防火防災～」
～タイトルへの思い～

「呉市」と「消防」をアピール、イメージしてもらうため「Kure（くれ）」と、消防署の英単語「Fire Department（ファイア デパートメント）」から「Fire」を取り

入れ、様々な現実拡張技術（VR：仮想現実、AR：拡張現実他）の包括的な総称であるXR（クロスリアリティ：現実世界と仮想空間を融合させる技術の総称）を組み込み、単語として記憶に残る造語に変換し「fire-X kuRe（ファイレックスくれ）」とネーミングしました。

また、先進的な技術を活用した防火防災を連想させるサブタイトル「～未来を守るバーチャル防火防災～」を加え、利用者に認知されやすいタイトルとしました。



図1 タイトルロゴ

4. 公開日

令和7年3月7日（金）※消防記念日：消防組織法施行日

5. 公開場所・アクセス方法

呉市消防局ホームページ及び呉市公式LINEに掲載

URL：<https://www.city.kure.lg.jp/site/syoubou/fire-xkure.html>

※アプリのインストールや特殊な機器等は不要

※パソコン、Androidタブレット・スマートフォンでアクセス可能



図2 Androidタブレット・スマートフォン用QRコード

6. 想定する対象者

市民全般（特に小・中・高・大学生等の若年層）

7. 「fire-X kuRe」（ファイレックスくれ）各ブース

「fire-X kuRe」内では、次の4つのブースを設け、バーチャル体験や動画広報、ゲーム等を展開しています。

表 「fire-X kuRe」各ブース名及び内容

ブ ー ス 名	内 容
防災センターへGo!	呉市防災センターの地震体験装置、煙中避難施設をデジタル技術で再現し、体験学習ができる仮想空間を提供しています。
KURE消防シアター	呉市消防局PRや心肺蘇生法、火災予防等の各動画（YouTube）をアップし、自由に選択し視聴します。
防火ArtGallery	令和6年度呉市消防局で開催した防火デザインコンクール及びデジタル写生大会の入賞作品の展示会を開催しています。
消防車でDrive!	3Dマップ内で消防車の運転を体験するアトラクションです。



図3 ロビー画面

ロビーは各ブースの出入口に繋がっており、出入口に説明用マスコットを配置
中央に呉市消防局庁舎の3D模型を展示



図4 防災センターへGO!画面

呉市防災センター設置の地震体験装置を再現、切り替え視点での地震体験を提供
煙中避難体験を再現し、立位、座位による切り替え視点での避難体験を提供



図5 KURE 消防シアター画面

呉市消防局公式 YouTube チャンネルで配信中の各動画をサムネイル表示
キャラクターが再生ボタンに乗ることにより Window 表示で動画再生



図6 防火 ArtGallery 画面

令和6年度呉市消防局防火デザインコンクール及びデジタル写生大会
入賞作品展示



図7 消防車で Drive！画面

3D マップ内で、消防車を運転する感覚で操作
障害物を避け火災現場へ向かい、放水までをタイムトライアルするアトラクション

8. 期待される効果

- (1) 従来の広報手段では難しかったターゲット層へのアプローチが可能となり、特に若年層やテクノロジーに慣れた世代に対して、防火防災の啓発効果が飛躍的に向上することが見込まれます。
- (2) 市民全般を対象に、時間や場所に制約されないインターネットコンテンツとして公開するため、幼年期からの継続した防火防災学習のコンテンツとなることが期待されます。
- (3) 利用者に高いリアリティで没入感のある体験が提供できるため、従来の方法では限界があった利用者の興味をより強く引きつけることができます。
- (4) 特定のアプリ等をインストールすることなく、パソコンやタブレット、スマートフォンでアクセスすることが可能なため、手軽に楽しみながら 3D ならではのリアリティと臨場感のある学習を通じて、火災予防や備え等の重要性を深く理解します。
- (5) 呉市防災センターの体験型学習施設を仮想空間（メタバース）で再現し紹介することにより、リアルで効果的な広報に繋げ、防災センターの利用促進を図ります。

9. 今後の方針

たくさんの方に利用して頂くため、スマートフォン・タブレット向け iOS 版の公開に向け、調査、改良に取り組んでいます。

また、アクセスカウンターによる利用者数、利用者のフィードバック、反響等を統計化、情報収集し利用状況の把握に努め、それらの結果を反映する形で各ブースの内容更新や新ブースの増設等、容量による動作確認をしながら、定期的を実施することを検討しています。

10. おわりに

今回、「fire-X kuRe」（ファイレックスくれ）の制作に至った経緯ですが、一時期前に幅広い世代で爆発的に流行した無人島で自由に DIY するゲームや、若年層世代に人気の 3D ゲームからヒントを得て、こういった最新の映像技術を活用して、若年層をはじめとした幅広い世代に興味を引く火災予防広報ができないか、また、ゲーム感覚で手軽に楽しみながら防火防災を学べるインターネットコンテンツが提供できれば、新しい広報ツールとなるのではないかと考えたことが契機でした。

本コンテンツの公開、配信により、市民全般を対象としながらも特に若年層やインターネットテクノロジーに慣れた世代の興味と関心をより強く引きつけると同時に、啓発効果の飛躍的な向上を目指しています。また、この啓発効果の向上により、幼年

期から老年期まで、生涯にわたり切れ目なく継続した防火防災学習を実現できると期待しています。

今回制作したメタバースコンテンツは、消防職員が発案し、外部委託を行わずフリーソフトで制作したもので、費用は発生していません。制作に当たっては経常業務と併行しながら生成 AI を活用しプログラミングしました。また、ソフトの使用に関し、著作権等の調査を実施し、問題がないことを確認しています。

アクセスカウンターによる利用者数等の情報収集に関しては、利用状況等の把握のみで、個人情報の収集は行っておりません。

今後も、たくさんの方に利用していただくための工夫として、スマートフォン・タブレット向け iOS 版の公開、各ブースの定期的な更新や新しいブースの増設等を予定しています。また、VR 化や高い解像度での画像再現等、展開するアイデアはたくさんありますが、データ容量の関係で動作環境の悪化やパソコン等の仕様や機種によっては再生できなくなるなどの課題もあります。こういった課題の検討を進め、たくさんの方に気軽に楽しみながら学習していただくコンセプトで発展させていきたいと考えています。

【令和7年度消防防災科学技術賞】奨励賞
消防職員・消防団員等の部 消防防災科学論文

大規模災害時における
広範囲検索活動時の情報管理に関する研究

奈良県広域消防組合
町田吉隆

1. はじめに

1.1 検証実施の背景

近年、日本列島は、地震、津波、台風、豪雨など、大規模な自然災害に頻繁に見舞われている。これらの災害は、広範囲にわたる人的被害をもたらし、特に、倒壊家屋や土砂崩れによる生き埋めなど、多数の要救助者の発生が深刻な問題となっている。人命救助活動においては、発災後 72 時間が生存率を大きく左右する「72 時間の壁」が広く認識されており、迅速かつ効率的な検索活動が不可欠である。

私自身の災害活動経験からも、多数の倒壊建物が散在する被災現場において、要救助者の位置を特定し、救出することの困難さを痛感している。特に、正確な情報収集、情報共有、そして状況判断が救助活動の成否を分けると言っても過言ではないと考えている。現在の検索活動は、主に紙の地図を用いて、情報を収集・集約・共有している。しかし、この方法では、情報の更新にタイムラグがある、情報の伝達ミスが発生しやすい、情報の共有や報告に時間がかかる、複数の情報を地図上に同時に表示することが難しい、といった課題がある。

そこで、本研究では、スマートフォンやタブレットを使用し、クラウドベースの地図アプリケーションソフトウェア（以下「地図アプリ」）を活用した情報管理の可能性に着目した。地図アプリは、GPS 機能による現在位置の把握、リアルタイムでの情報共有、地形情報の確認など、紙地図にはない多くの利点を有している。

1.2 先行研究

本研究に関連のある研究として、WEB ブラウザと地理情報システムを使用し、消防団員の水利把握やアクセスの効率化を図った研究として、藤田信輔「スマートフォンを用いた消防活動用地理情報システム～消防団内での水利情報と車両位置の共有を目指して～」、GPS やハイブリッド通信を用いた指揮活動における活動隊員の位置情報把握について研究した、田中克佳・小川健太・金子正美・福田潤・目黒茂樹・梅津尚幸「ハイブリッド通信によるロバストな双方向 情報伝達システムの開発」などがある。

また、システム開発として、避難者情報の収集の効率化と通信遮断時の対策がなされたシステム、西出和広ほか「災害時における効率的な救助計画の立案や救援ニーズの把握に有用な避難所支援システムの開発」がある。

その他、大規模災害時の情報管理に関する研究は、上記以外にも数多く行われてきた。しかし、その多くは、通信インフラ、情報システムの構築、避難所運営、物資供給、現場指揮における活動隊の管理など、被災者支援や復旧・復興活動、緊急対応時の命令システムに焦点を当てたものが中心である。一方、人命検索活動における情報管理、特に広範囲にわたる検索情報の効率的な収集・集約・共有に特化した研究は、管見の限りでは見当たらない。

1.3 研究目的

本研究の目的は、大規模災害時における広範囲な人命検索活動において、従来の紙地図を用いた情報管理と、地図アプリを用いた情報管理を比較検討し、それぞれの利点と課題を明らかにすることである。具体的には、以下の点を検証する。

- ① **情報収集の効率性**：検索隊が、対象エリア内の建物の状況を収集するのに要する時間と労力を比較する。
- ② **情報集約の効率性**：指揮隊が、各検索隊から収集された情報を集約し、全体の状況を把握するのに要する時間を比較する。
- ③ **情報共有の効率性**：検索隊間及び検索隊と指揮隊の間で、情報を共有するのに要する時間と、情報伝達の正確性を比較する。
- ④ **情報の精度**：収集された情報の正確性（誤りや漏れがないか）を比較する。
- ⑤ **地図アプリに求められる機能の検討**：上記の検証で明らかとなった課題を解決するために、地図アプリに求められる機能と今後の発展性について考察する。

1.4 研究の意義

日本は、近い将来に南海トラフ地震や首都直下地震などの大規模地震の発生が予測されており、広範囲にわたる甚大な被害が懸念されている。これらの大規模災害では、多数の建物が倒壊し、多くの人々が取り残されることが予想される。本研究の成果は、以下のような点で、災害対策における人命検索活動の効率化に貢献することが期待される。

- **救命率の向上**：迅速かつ正確な情報収集・共有により、要救助者の早期発見と救出につながり、救命率の向上が期待できる。
- **検索活動の効率化**：検索隊の活動時間の短縮、指揮隊の情報集約時間の短縮により、限られた人員と時間を有効活用できる。
- **災害対策の改善**：地図アプリの活用における課題を明らかにすることで、今後の災害対策における情報管理システムの改善に貢献できる。

2. 方法

2.1 実験デザイン

本研究では、模擬的な災害現場を設定し、紙地図を使用するチームと地図アプリを使用するチームに分かれて、人命検索活動のシミュレーション実験を行った。



写真 1 地図アプリ使用指揮隊



写真 2 紙の地図使用指揮隊

2.2 実験の想定

- ・ 大規模地震により、特定の地域（木造建物密集地）が被災し、多数の建物が倒壊、多数の要救助者が発生している状況を想定。
- ・ 1つの指揮隊と2つの検索隊（各隊2名）が活動する状況を想定。
- ・ 各隊は、担当エリア内の建物の状況（損壊状況、要救助者の有無、安否確認状況など）を調査し、指揮隊に報告する。
- ・ 指揮隊は、検索隊からの報告を集約し、全体の状況を把握するとともに、内部検索が必要な建物を特定し、専門部隊を送り込む判断をする。

2.3 使用ツール

- ・ 紙の地図：住宅地図を使用。消防業務で広く利用されている詳細な住宅地図であり、建物の形状、名称、番地などが記載されている。
- ・ 地図アプリ：テクノホライゾン株式会社のELMOコミュニケーションマップを使用。本来は災害事案管理用のアプリケーションであるが、本実験では検索情報

の収集・共有に代用した。

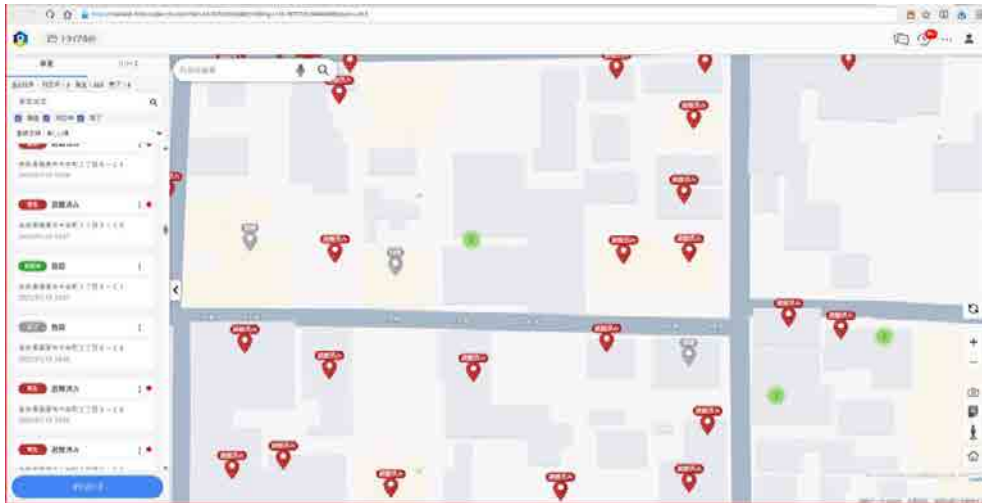


図1 地図アプリの表示画面

o 地図アプリの機能

- GPS 機能による現在位置表示
- 地図上にアイコンやメモを書き込み可能
- 写真や動画の添付可能
- 事案の対応状況を色分け表示する機能（本実験では、「事案発生」→「避難済み」、「対応中」→「施錠」、「完了」→「倒壊」と読み替えて使用）
- クラウド経由での情報共有
- 活動ログの収集

2.4 対象

実験対象地域には、木造建物密集地を選定した。対象エリアの建物数は約 270 件とした。選定理由は、以下の通りである。

- **木造建物密集地：**大規模地震発生時に、建物倒壊のリスクが高く、多数の要救助者が発生する可能性が高い。
- **一定時間での処理数：**建物が集中していることから、限られた時間内で情報収集できる量が多く、実験に適している。

2.5 実験手順

① 事前準備

- 実験で使用するシナリオ（要救助者の位置、建物の損壊状況など）を作成する。
- 対象エリアの住宅地図に被害情報を反映し、情報付与のコントローラーに説明を行う。
- 実験参加者（指揮隊員2名×2チーム、検索隊員2名×2チーム）に、実験の目的、手順、使用ツールの操作方法について説明を行う。

② 情報収集

- 各検索隊は、担当エリア内の建物を巡回し、以下の情報を収集する。
 - 建物の状況（倒壊、施錠）
 - 安否確認状況（避難済み、安否不明）
- 紙地図を使用するチームは、収集した情報を地図上に直接書き込む。
- 地図アプリを使用するチームは、収集した情報をアプリに入力する。
- 検索隊が建物正面に到着から5秒後にコントローラーから情報を付与する。

③ 情報集約

- 各検索隊は、必要に応じて指揮隊に収集した情報を報告する。
- 紙地図を使用するチームは、無線または指揮所に戻り口頭で報告する。
- 地図アプリを使用するチームは、アプリの共有機能を使用して報告する。無線及び指揮所へ戻っての報告も可能とする。
- 指揮隊は、各隊からの報告を集約し、全体の状況を把握する。
 - 紙地図を使用するチームは、各隊からの報告を1枚の地図上に転記する。
 - 地図アプリを使用するチームは、アプリの画面上で各隊からの情報を確認する。
- 指揮隊には、自治体から提供される「安否不明者情報」避難所で収集

- 各建物の情報（損壊状況、要救助者の有無、安否確認状況など）
 - 情報収集に要した時間
 - 情報集約に要した時間
 - 情報共有に要した時間
 - 情報伝達の正確性（誤りや漏れの有無）
- データ分析
 - 収集したデータを、紙地図チームと地図アプリチームで比較し、それぞれの利点と課題を分析する。

3. 結果

3.1 検証結果

実験の結果、以下の点が明らかになった。

- 活動時間：検索活動全体では、紙の地図を使用したチームが32分早く活動を完了した。（図3表参照）
- 情報集約時間：情報集約時間は、地図アプリを使用したチームが9分短かった。（図表4参照）
- 情報共有時間：紙地図では無線交信を多く使用し情報の共有を図る必要が生じたが、地図アプリについては、地図アプリで確認できたことから無線交信の頻度は少なく、リアルタイムでの情報共有ができた。
- 情報の正確性：収集された情報の正確性については、紙地図を使用したチームの方が高かった。具体的には、地図アプリを使用したチームでは、建物の位置情報の誤りや、入力漏れが数件発生した。
- 活動ログ：地図アプリを使用したチームでは、活動隊の情報入力時系列や座標情報などのログデータ（図表2参照）が自動的に記録された。

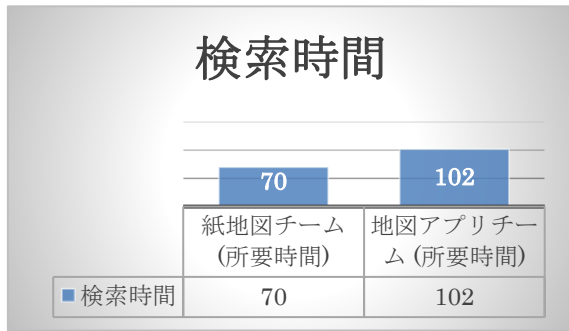


図3 検索活動時間

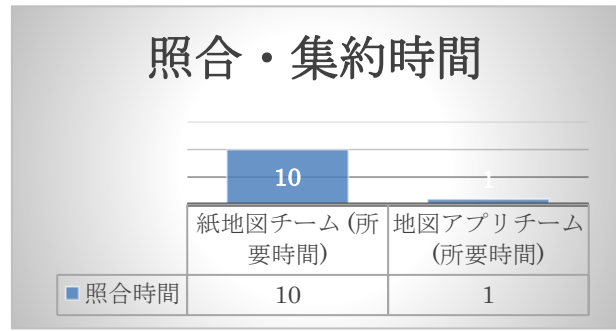


図4 情報照合・集約時間

4. 考察

4.1 結果の解釈

紙の地図を使用したチームの活動時間が短かった主な要因として、以下の点が考えられる。

- 地図の視認性：紙の地図は、広範囲の情報を一目で確認できるため、建物の位置関係や全体像を把握しやすい。一方、地図アプリは、画面サイズが限られているため、表示範囲が狭く、頻繁にスクロールや拡大・縮小操作が必要となる。
- 入力の容易さ：紙の地図は、ペンで直接書き込むことができるため、直感的かつ迅速に情報を記録できる。一方、地図アプリは、タッチパネルでの文字入力や、アイコンの選択など、操作に慣れが必要である。
- 地図情報の精度：紙の地図は、建物の形状や番地が正確に記載されており、信頼性が高い。一方、地図アプリのベース地図は、必ずしも最新の情報が反映されていない場合や、建物の形状が実際と異なる場合があり、確認作業に時間を要した。
- 実験条件：5秒という短い情報付与時間を設定したことで、入力作業に時間を要する地図アプリの不利な面がより強調される形となった。

情報集約時間については、地図アプリを使用したチームが短かった。これは、地図アプリの共有機能により、各隊からの情報がリアルタイムで指揮隊に送信され、自動的に集約されるためである。一方、紙地図の場合は、無線や口頭での報告、地図への転記作業など、人手を介した作業が必要となるため、時間がかかる。

情報の正確性については、紙地図を使用したチームの方が高かった。これは、紙の地図の情報が正確であったこと、また、手書きによる記録は、誤入力のリスクが低いことが要因として考えられる。一方、地図アプリは、入力ミスや、位置情報のずれ、

通信環境の影響による情報欠落などが発生する可能性がある。

4.2 研究の限界

本研究には、以下の限界がある。

- 実験環境の制約：模擬的な災害現場での実験であり、実際の災害現場の複雑さや不確実性を完全に再現できていない。
- 参加者の習熟度：実験参加者の地図アプリの操作習熟度に差があり、結果に影響を与えた可能性がある。
- 使用ツールの限定：特定の地図アプリ（ELMO コミュニケーションマップ）のみを使用しており、他の地図アプリでの検証は行っていない。
- 評価指標の限定：活動時間、情報集約時間、情報の正確性など、限られた指標での評価であり、その他の要素（例えば、隊員の心理的負担、疲労度、さらに広範な活動全般にわたってのデータ化のメリットなど）は考慮されていない。
- 長期的な影響の未評価：地図アプリの継続的な利用による習熟度の向上や、災害対策への定着など、長期的な影響については評価できていない。

4.3 今後の展望

① 地図アプリの必要性、機能改善及び高度化

今回の実験結果を踏まえ、災害時の人命検索活動に特化した地図アプリの必要性に加え、以下のような機能改善と高度化が求められる。

- 情報の取り込み：リスト化された住所情報を座標に変換し、地図上へ落とし込むことで自治体が収集する情報を救助活動に活用できるようにする必要がある。
- オフライン機能の強化：災害時は通信環境が不安定になることが想定されるため、オフライン環境下でも地図表示、情報入力、検索機能が利用できるようにする必要がある。特に、詳細な住宅地図レベルの情報をオフラインで利用できることが重要である。
- 入力インターフェースの最適化：災害現場の環境を考えると、音声入力やジェスチャー操作を導入するなど、入力インターフェースを最適化する必要がある。また、定型的な入力項目（例えば、「倒壊」「施錠」「避難済み」など）は、選択式にするなど、入力の手間を省く工夫も必要である。

- 情報共有機能：複数の機関が連携して検索活動を行う際に、円滑に情報共有を行う機能が必要となる。特に検索活動を展開する警察や自衛隊との連携において、情報を共有することにより、現地調整所での調整時間短縮や検索範囲の重複を避けることができる可能性があり、実現できれば大幅な時間削減と効率化が期待できる。
- AIによる情報分析：収集された情報をAIが分析し、他の情報との突合、要救助者の存在確率が高い場所の予測、最適な検索ルートの判断など、検索活動を支援する機能の導入が考えられる。

② 周辺技術との連携

地図アプリを活用するためには、以下のような周辺技術との連携が重要となる。

- 衛星通信技術：スターリンクなどの衛星通信技術の普及により、災害時でも常時インターネット接続が可能になりつつある。これにより、地図アプリのオンライン機能（リアルタイム情報共有、クラウドへのデータバックアップなど）が常時利用できるようになる。
- マイナンバーカード：マイナンバーカードを活用した避難者情報収集システムとの連携により、避難者の住所情報を地図上に表示し、検索対象の建物を絞り込むことができる。これにより、検索活動の効率化が期待できる。

③ 運用体制の構築

地図アプリを効果的に活用するためには、技術的な側面だけでなく、運用体制の構築も重要である。

- 標準化：地図アプリの操作方法、情報収集・共有の手順、情報管理のルールなどを定め関係機関で共有する必要がある。
- 情報セキュリティ対策：地図アプリで扱う情報は、個人情報や機密情報を含むため、適切な情報セキュリティ対策を講じる必要がある。
- データ管理体制の構築：収集されたデータを保存し、分析・活用できるようなデータ管理体制を構築する必要がある。

4.4 地図アプリの副産物

地図アプリを使用することにより、活動隊の情報入力時系列や座標情報などのログデータ（図表5参照）を自動的に取得・記録することが可能となる。これは、紙の地図では得られない、地図アプリならではの副産物である。これらのログデータは、以

下のような活用が考えられる。

シ	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
54	01JHPCQ78VQZ	2025-01-16T10:48:40+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50789882	135.7884995	発生		
55	01JHPCQ56ASDZQ	2025-01-16T10:48:09+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50787385	135.7883369	発生		
56	01JHPCQ1JOK8YT	2025-01-16T10:47:45+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50787776	135.7880789	発生		
57	01JHPCPPWHHBI	2025-01-16T10:47:34+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50788557	135.787967	発生		
58	01JHPCP1RFY7746	2025-01-16T10:47:17+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50775351	135.7880637	発生		
59	01JHPCN62FXMH	2025-01-16T10:45:52+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50779571	135.7879746	発生		
60	01JHPCN6RNC8MY	2025-01-16T10:45:44+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50773007	135.7879756	発生		
61	01JHPCMXMPT9SS	2025-01-16T10:45:36+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50720466	135.7872729	発生		
62	01JHPCMBSP1LDV	2025-01-16T10:45:17+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50760616	135.7879282	発生		
63	01JHPCKZD6S7RC	2025-01-16T10:45:05+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50749486	135.7879575	発生		
64	01JHPCKQ7ND34I	2025-01-16T10:45:33+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50720534	135.7879284	発生		
65	01JHPCHV742J26	2025-01-16T10:44:29+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50749718	135.7882131	発生		
66	01JHPCG11MGFSR	2025-01-16T10:44:21+09:00	本都001	警署追加	発生	奈良県奈良市	34.50722199	135.7871155	発生中		
67		2025-01-16T10:44:28+09:00	本都001	対応終了						対応終了	
68	01JHPCEN02K19	2025-01-16T10:41:58+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50708733	135.7871063	発生		
69	01JHPCCT72P20P13	2025-01-16T10:41:50+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50611187	135.7880685	発生		
70	01JHPCBKG7JDXJ7	2025-01-16T10:41:30+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50807728	135.7879898	発生		
71	01JHPCAWV1R1NJ5	2025-01-16T10:41:07+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50604328	135.7880658	発生		
72	01JHPCSAVZSN5F	2025-01-16T10:40:16+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50672312	135.7871137	発生		
73	01JHPC811FSGWV	2025-01-16T10:39:36+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.506867479	135.7870822	発生		
74	01JHPC7A5Y9CS65	2025-01-16T10:39:10+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.5061654	135.7870124	発生		
75	01JHPC738QZ126	2025-01-16T10:39:09+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50609784	135.7871693	発生		
76	01JHPC6MPY7M3V	2025-01-16T10:38:48+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50668694	135.7872204	発生		
77	01JHPC5Z57BM1C	2025-01-16T10:38:26+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50627315	135.787054	発生		
78	01JHPC546958FIC1	2025-01-16T10:38:11+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50635769	135.7870885	発生		
79	01JHPC463HWQ6	2025-01-16T10:37:45+09:00	本都001	警署追加	避難済み	奈良県奈良市	34.50626044	135.7871497	発生		
80	01JHPC4D3BP7972	2025-01-16T10:37:34+09:00	本都001	警署追加	発生	奈良県奈良市	34.50647635	135.787407	発生中		
81		2025-01-16T10:37:44+09:00	本都001	対応終了						対応終了	
82		2025-01-16T10:40:52+09:00	本都001	対応中/リソース不足						対応中	
83	01JHPC312ZNRH36	2025-01-16T10:36:50+09:00	本都001	警署追加	発生	奈良県奈良市	34.50637658	135.7871305	発生		

図5 ログデータ

- 事後検証：活動記録を詳細に分析することで、検索活動の改善点や課題を抽出することができる。例えば、特定の場所で情報収集に時間がかかっている場合は、その原因を分析し、対策を講じることができる。
- EBPM（エビデンスに基づく政策立案）：ログデータを分析することで、検索活動の効果を定量的に評価することができる。これにより、EBPMに基づいた、より効果的な災害対策の立案が可能になる。
- 技術開発：ログデータを分析することで、地図アプリの改善点や新たな機能のニーズを把握することができる。これにより、より使いやすく、効果的な地図アプリの開発につながる。

5. 結論

本研究では、大規模災害時における広範囲な人命検索活動において、従来の紙地図を用いた情報管理と、地図アプリを用いた情報管理を比較検証した。実験の結果、紙地図は情報の正確性と視認性において優位性を示したが、地図アプリは情報のリアルタイム性、集約時間の短縮、活動ログの自動記録において有効であることが明らかになった。

これらの結果から、地図アプリは、災害時の人命検索活動において、大きな可能性を秘めていると言える。しかし、その潜在能力を最大限に引き出すためには、検索活動に特化した機能改善と高度化、周辺技術との連携、運用体制の構築が不可欠である。

本研究の成果は、今後の災害対策における情報管理の効率化、ひいては救命率の向上に貢献することが期待される。また、本研究で得られた知見は、人命検索活動だけでなく、他の災害対応活動（例えば、避難誘導、物資供給、インフラ復旧など）における情報管理にも応用できる可能性がある。

今後、より実践的な地図アプリの開発と、その効果的な活用方法を確立していくことが重要である。

6. 謝辞

検証訓練実施にあたり、地図アプリ（ELMO コミュニケーションマップ）を提供いただきましたテクノホライズン株式会社に心より感謝いたします。また、地域における検証訓練の実施に際して快く承諾いただくとともに、地域住民の方々への事前周知をしていただきました奈良県橿原市今井町の自治会の皆様にも心より感謝いたします。最後に、検証に参加、協力、助言いただきました、奈良県広域消防組合の職員の方々にも厚くお礼申し上げます。

7. 参考文献

- (1) 藤田信輔“スマートフォンを用いた消防活動用地理情報システム～消防団内での水利情報と車両位置の共有を目指して～”(2018)
- (2) 田中克佳・小川健太・金子正美・福田潤・目黒茂樹・梅津尚幸“ハイブリッド通信によるロバストな双方向情報伝達システムの開発”(2012)
- (3) 西出和広ほか“災害時における効率的な救助計画の立案や救援ニーズの把握に有用な避難所支援システムの開発”(2018)
- (4) 総務省“令和6年版情報通信白書”

第 73 回全国消防技術者会議資料

令和 7 年 11 月 20 日 発行

禁無断転載

発行 消防庁 消防研究センター

〒182-8508

東京都調布市深大寺東町 4-35-3

TEL 0422-44-8331

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