

消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



2017 No. 24

SAPPORO FIRE SCIENCE LABORATORY

札幌市消防局消防科学研究所

目 次

【業務実績】

- 札幌市消防局消防科学研究所の業務について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

【研究・開発】

- ウォーターカッター車を活用した効果的な消火戦術の検証について・・・・・・・・ 11
- 車椅子用避難器具の研究開発について・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21
- 炭火の使用に関する燃焼実験の実施結果について・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
- 分析用試料の採取方法等に関する検証について・・・・・・・・・・・・・・・・ 43

【情報提供】

- クラスA消火剤使用時のポンプ運用に係る検証について・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
- 一般住宅壁内を介した小屋裏への延焼に関する実験について・・・・・・・・ 64
- 平成 29 年度における札幌市消防職員提案の実施状況について・・・・・・・・ 71

業務実績

札幌市消防局消防科学研究所の業務について

1 はじめに

札幌市消防局消防科学研究所では、「札幌市消防局消防科学研究所事務処理要綱」に基づき、各種研究業務をはじめ、燃焼実験、成分鑑定、危険物確認試験、災害現場での科学的知識に基づく助言等の業務を実施している。

2 研究業務

数年に渡るテーマや年度ごとに策定したテーマについて、研究を行っている。

3 燃焼実験

火災原因究明のための再現実験や特異な燃焼現象についての実験を行っている。

4 成分鑑定

災害現場や事業所などから収去した不明物質などの成分鑑定を行い、火災原因や事故原因の究明などに役立てている。

5 危険物確認試験

「危険物の規制に関する政令」及び「危険物の試験及び性状に関する省令」で定められている試験方法に従って、物品が消防法に定められている危険物の性状を有しているか否かの確認試験を行っている。

6 現場活動支援

平成18年5月から、緊急車両を配置し、災害現場における危険物質の分析や科学的知識・知見に基づく助言などの支援を行っている。

7 職員提案

「札幌市消防職員の提案に関する要綱」に基づく職員提案について、技術的な支援などを行うとともに、事務局として審査会を開催している。

8 日常生活に潜む危険性の広報

札幌市公式ホームページへの火災再現実験映像等の掲載、報道機関への情報提供等を通じて、日常生活に潜む火災などの危険性や発生メカニズムについて広報している。

9 消防科学に関する情報発信

研究結果について、札幌市公式ホームページへの掲載や消防科学研究所報の発行等を通じ、科学的な知識や知見に関する情報を適宜発信している。

表1 業務実績表（平成29年度）

燃焼 実験等	成分鑑定 ・ 危険物 確認試験	現場 活動支援	職員提案 審査	外部講義 ・ 出前講座	施設 見学等	取材対応 ・ 広報等	消防学校 初任 ・ 専科教育等 講義実験
12	48	12	13	9 (783)	18 (365)	42	15 (492)

※ 単位：件

※ （ ）内は、対象者の人数

表2 主な研究装置・機器一覧表（平成30年3月31日現在）

装置・機器名	数量	装置・機器名	数量
フーリエ変換赤外分光分析装置	1式	発火点測定器	1台
質量分析装置	1式	カールフィッシャー水分測定器	1台
熱画像装置	1台	圧力容器試験装置	1式
熱分析装置	1式	多点式温度測定装置	1式
ガスクロマトグラフ	1式	高温多点風速測定装置	1式
低温実験ユニット	1式	圧力測定器	1式
燃焼試験装置	1式	X線透過装置	1式
落球式打撃感度試験装置	1式	デジタルマイクロスコープ	1式
クリーブランド開放式自動引火点測定器	1台	恒温恒湿ユニット	1式
タグ密閉式自動引火点測定器	1台	風向風速計	2台
セタ密閉式自動引火点測定器	1台	騒音計	2台
B型（ブルックフィールド）粘度計	1台	分光蛍光光度計	1式
燃焼実験ユニット	1式	熱画像計測装置	1式

表3 研究実績表

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 5 年度	No. 1	燃 焼	耐火煉瓦の遮熱効果と低温加熱着火について	小島 秀吉 工藤 潤二	3
		開 発	高規格救急車（トライハート）における防振ストレッチャー 架台の防振性能評価について	桜井 清明	
		鑑 定	燃焼による灯油成分の変化について	橋上 勉	
平成 6 年度	No. 2	燃 焼	バックドラフトに関する研究（その1）	小島 秀吉	6
			木炭の燃焼に伴う一酸化炭素の発生について	小島 秀吉	
		開 発	高規格救急車（トライハート）における防振ストレッチャー 架台のバネ選定について	桜井 清明 伊藤 潤	
		鑑 定	燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について（その1）	橋上 勉	
		情 報	サリン [(CH ₃) ₂ CHO ₂ PFCH ₃] の特性について	橋上 勉	
			火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について	桜井 清明	
平成 7 年度	No. 3	燃 焼	バックドラフトに関する研究（その2）	小島 秀吉	5
		開 発	防火衣の保温性能に関する実験結果について	伊藤 潤	
			赤外線カメラの使用時に発生した特異現象について	伊藤 潤	
			低温下における空気呼吸器の特性について	伊藤 潤	
		鑑 定	燃焼面積の違いによる灯油成分の変化について（その2）	橋上 勉	
平成 8 年度	No. 4	燃 焼	バックドラフトに関する研究（その3）	小島 秀吉	9
			タオル・ハンカチの除煙効果に関する実験研究	小島 秀吉	
			粉じん爆発について	小島 秀吉	
		開 発	高規格救急車（トライハート）内における電子サイレン音等 の騒音調査	伊藤 潤	
			アクリル樹脂について	伊藤 潤	
		鑑 定	車両火災における原因考察について	橋上 勉	
		情 報	酸素欠乏について	橋上 勉	
			都市ガス等の性質について	伊藤 潤	
			航空燃料と化学熱傷について	橋上 勉	
平成 9 年度	No. 5	燃 焼	硬質発砲ウレタンとABS樹脂について	上田 孝志	7
			放水音・空気呼吸器警報音・レスクトーン警報音調査	菅原 法之	
			バックドラフトに関する研究（その4）	小島 秀吉	
			噴霧ノズルの角度について	菅原 法之	
			噴霧注水による排煙効果について	小島 秀吉	
		開 発	自動放水停止器具の開発について	橋上 勉	
		鑑 定	過マンガン酸カリウムと酸及びアルコールについて	橋上 勉	

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 10 年度	No. 6	燃 焼	空中消火の延焼阻止効果に関する研究	上田 孝志	8
			バックドラフトに関する研究（その5）	橋本 好弘	
			市民等の消火体験訓練に使用する燃料の見直しについて	橋上 勉	
		開 発	無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器のあり方に関する研究について（その1）	橋本 好弘	
			無落雪型木造共同住宅における小屋裏感知器のあり方に関する研究について（その2）	橋本 好弘	
		鑑 定	灯油とガソリンの混合比の分析について	菅原 法之	
		安 全	静電気に関する調査・研究について	橋上 勉	
		情 報	放射性物質等に関する基礎知識	上田 孝志	
平成 11 年度	No. 7	燃 焼	バックドラフトに関する研究（その6）＜総括＞	橋本 好弘	8
			噴霧注水による排煙効果に関する研究	橋本 好弘	
		安 全	静電気に関する調査・研究（その2）－静電気帯電量－	溜 真紀子	
			静電気に関する調査・研究（その3）－静電気除去実験－	溜 真紀子	
			濃煙熱気下における消防隊員の安全管理に関する研究 －温度管理用示温材（サーモラベル）に着目して－	菅原 法之	
		鑑 定	電気配線の過負荷電流について	菅原 法之	
		情 報	有珠山噴火に伴う火山性ガスについて	花崗 一正	
			熊撃退スプレーについて －カプサイシンに着目して－	菅原 法之	
平成 12 年度	No. 8	燃 焼	バルコニー付近形状が噴出火炎性状に及ぼす影響	花崗 一正	10
			寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 －その1 和室の測定結果－	橋本 好弘	
			寒冷地型建物燃焼時の温度分布・ガス濃度の研究 －その2 洋室の温度、CO ₂ 、CO、O ₂ 結果	橋本 好弘	
			エアゾール缶・カセットボンベなどのについての調査・実験	橋本 好弘	
		開 発	高規格救急車のタイヤチェーン装着時などにおける振動・騒音の調査研究	橋本 好弘	
		鑑 定	災害現場における燃焼生成ガス等の危険性の把握とその対策に関する研究	溜 真紀子	
			空間容積の違いによる一酸化炭素とシアン化水素の致死燃焼量	橋本 好弘	
		安 全	居室内におけるLPG漏洩時の滞留状況及び有効な排出方法に関する研究	菅原 法之	
		情 報	火災原因の各種再現実験及びビデオ化	橋本 好弘	
			トリクロロシランについて	菅原 法之	

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 13 年度	No. 9	燃 焼	爆風から受ける消防被服内部の衝撃及び温度に関する実験的研究	橋本 好弘	10
		開 発	降雪時の消火栓除雪対策用機器(遠赤外線面状発熱体)に関する研究	菅原 法之	
			高規格救急車の振動実験	橋本 好弘	
			危険物施設内における返油システムに関する研究	菅原 法之	
		鑑 定	寒冷地型建物燃焼時における燃焼生成ガス等の測定及び危険性の把握に関する研究	溜 真紀子	
			灯油及び軽油に含有しているガソリンの混合比による比較実験	溜 真紀子	
		安 全	冬道自己転倒の救急出動分析 (その1 全体の傾向)	橋本 好弘	
			冬道自己転倒の救急出動分析 (その2 すすきの地区・気象との関係)	橋本 好弘	
		情 報	米国アラスカ州フェアバンクス周辺での森林火災現地報告	橋本 好弘	
			硫化水素について	菅原 法之	
平成 14 年度	No. 10	燃 焼	有風下における建物内部の燃焼状況変化について	橋本 好弘	8
			節水型消火薬剤(界面活性剤)の実験的研究結果	花崗 一正	
			雷による森林の着火機構に関する実験	橋本 好弘	
		開 発	降雪時の消火栓除雪対策用機器(遠赤外線面状発熱体)に関する研究	花崗 一正	
			高規格救急車の振動実験	橋本 好弘	
			危険物施設内における返油システムに関する研究	花崗 一正	
		鑑 定	鎮火後に残存している燃焼生成ガス	川瀬 信	
RDF(ごみ固形燃料)の性状について	川瀬 信				
平成 15 年度	No. 11	燃 焼	危険物貯蔵タンク内を洗浄する鉍物油洗浄剤及び危険物流出時に使用する油処理剤について	澤田 勝美	7
			誤給油による灯油ストーブの異常燃焼実験	澤田 勝美	
		鑑 定	一般住宅等の収容物資材が燃焼する時に発生する粉塵やガスについて	川瀬 信	
			建物火災鎮火後に残存する燃焼生成ガスと粉塵等の測定(中間報告)	川瀬 信	
		情 報	クレゾールの性質について	川瀬 信	
			塩素系洗剤の誤使用等による塩素ガス漏洩事故への対策について	川瀬 信	
			硫酸ピッチと不正軽油について	川瀬 信	

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 16 ・ 17 年 度	No. 12	安 全	消防隊員のC I V D反応と体力指標の関連	橋本 好弘	11
			メンタルヘルス対策に関する実態調査結果	橋本 好弘	
		開 発	スタティックロープ (R. R. R. 資機材) の強度等に関する実験的研究	五十嵐征爾	
		鑑 定	建物火災鎮圧後に残存する燃焼生成ガスと粉塵等の測定 (最終報告)	川瀬 信	
		情 報	ガソリンに対する鉱物油洗浄剤及び油処理剤使用時の危険性	五十嵐征爾	
			消防活動による石綿 (アスベスト) の危険性について	川瀬 信	
			消防職員のストレス傾向	橋本 好弘	
			クロルピクリンとは	橋本 好弘	
			酢酸タリウムの性質及び災害対策等について	五十嵐征爾	
			水酸化ナトリウムの危険性について	川瀬 信	
		喫煙と飲酒が高ストレス反応に及ぼす影響について	橋本 好弘		
平成 18 年 度	No. 13	燃 焼	携帯用カセットガスボンベの破裂実験	中住 斉	9
			予防実務研修会における住宅用スプリンクラー設備の実火災実験	中住 斉 大友 達哉	
		鑑 定	防塵・防毒マスクの一酸化炭素除去性能の確認実験 (中間報告)	伊藤 武	
		情 報	放射性物質ラジウム226について	橋上 勉	
			六価クロムの危険性	伊藤 武	
			アセチレンガスの性質及び災害対策等について	五十嵐征爾	
			ガス漏れ警戒現場における研究所の活動事例	伊藤 武	
			質量分析装置 (自動濃縮装置付ガスクロマトグラフ質量分析装置) の概要	伊藤 武	
		平成18年度職員提案制度における秀賞受賞作品について	五十嵐征爾		
平成 19 年 度	No. 14	燃 焼	クラスA泡消火剤の消火効果の確認実験について	高橋 涉	8
		安 全	有酸素運動・無酸素運動に関する実験	中住 斉	
			筋活動に関する実験	中住 斉	
		鑑 定	防塵・防毒マスクの一酸化炭素除去性能の確認実験 (最終報告)	菅原 法之	
		情 報	炎天下における駐車車両の温度測定について	高橋 涉	
			硫化水素の発生除害について	高橋 涉	
			高層建築物の排水溝等から硫化水素発生について	菅原 法之	
平成19年度職員提案制度における優秀及び秀賞受賞作品について	吉永 直樹				

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 20 年度	No. 15	燃 焼	小規模区画内における木材クリブの燃焼実験について	中住 齊	9
		安 全	消防活動における無酸素能力について	中住 齊	
			消防活動時の送風による冷却効果について	中住 齊	
		開 発	硫化水素除害装置の開発について	高橋 渉	
		情 報	硫化水素の発生除害について（その2）	高橋 渉	
			水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）による水素発生について	高橋 渉	
			火災による天井裏設置の灯油用配管からの灯油漏えいについて	菅原 法之	
粉じん爆発について	菅原 法之				
平成 20 年度職員提案制度における秀賞受賞作品について	吉永 直樹				
平成 21 年度	No. 16	燃 焼	新型消火剤（クラスA泡消火剤）の消火特性について	中住 齊	11
			新型消火剤（クラスA泡消火剤）の耐凍結性能について	中住 齊	
		開 発	汎用ガス除害装置における粉塵除害性能の確認実験について	高橋 渉	
			火災再現実験セットの開発について	吉永 直樹	
		安 全	マット型油吸着剤の吸着性能等に関する実験	中住 齊 浅野 悟朗	
			現場用手袋の検証実験について	高橋 渉	
			現場手袋素材耐油性確認実験	高橋 渉	
		情 報	一酸化炭素（CO）について	菅原 法之	
			塩素ガスの発生と除害について	高橋 渉	
			ワインセラーからのアンモニアガス漏れについて	高橋 渉	
平成 21 年度職員提案制度における秀賞受賞作品について	吉永 直樹				
平成 22 年度	No. 17	燃 焼	新型消火剤（クラスA泡消火剤）の消火特性について（その2）	小島 秀吉	9
			水槽用ヒーターから出火した火災の原因調査と再現実験について	妹尾 博信 吉永 直樹	
		安 全	ブローア送風がドアの開放に及ぼす影響について	永尾 俊英	
			流出油処理剤の性能に関する検証について	菅原 法之	
			火災再現実験セットによる短絡及びトラッキング時の電流測定実験について	吉永 直樹	
		情 報	現場活動支援におけるクレゾール成分の検出について	小島 秀吉	
			メタンガスが発生した現場における活動支援について	小島 秀吉	
			家庭に潜む火災危険、意外と多い電気火災	小島 秀吉 合田 仁	
平成 22 年度職員提案制度における秀賞受賞作品について	吉永 直樹				

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 23 年度	No. 18	燃 焼	新型消火剤（クラスA泡消火剤）の耐凍結性能について （その2）	菅原 法之	9
			新型消火剤（クラスA泡消火剤）の消火特性について （その3）	宮下 典之 小島 秀吉	
		開 発	既存訓練施設を活用した研究・訓練設備の開発について	宮下 典之 小島 秀吉	
			天ぷら油の過熱発火再現装置の試作検討について	河津 勝	
		安 全	小口径配管を用いた漏れの点検等に関する検証実験	野村 耕一 菅原 法之	
			火災現場における熱傷受傷に関する検証実験について	河津 勝	
		情 報	共同住宅等の灯油供給施設における小口径配管の漏れの点検 に関する評価	野村 耕一 菅原 法之	
			異臭が発生した現場における活動支援について	小島 秀吉	
			平成23年度職員提案制度における秀賞受賞作品について	河津 勝	
平成 24 年度	No. 19	開 発	既存訓練施設を活用した研究・訓練設備の開発について （その2）	宮下 典之 小島 秀吉	7
			熱傷危険早期感知装置の開発について	河津 勝	
		安 全	塩素系洗剤と食酢による塩素ガスの発生について	河津 勝	
			危険物漏えい防止用粘土の有効性の確認	橘田 宏一	
		鑑 定	火災焼残物中の灯油成分の鑑定手法について	河津 勝	
			クラスA消火剤が灯油の成分鑑定に及ぼす影響について	河津 勝	
		情 報	平成24年度職員提案制度における秀賞受賞作品について	橘田 宏一	
平成 25 年度	No. 20	開 発	既存訓練施設を活用した泡放射訓練施設の開発及び消泡手法 の検討	伊藤 潤 橋本 慎也	7
			空気呼吸器面体用濃煙疑似シートの開発について	伊藤 潤 後藤 泰宏	
		安 全	はしご車梯体横さんの強度確認について	橋本 慎也	
			クラスA泡消火剤使用時に発生する蒸気等の危険性に係る 検証	橋本 慎也	
		情 報	実火災型訓練施設を用いた実火災型訓練について	宮下 典之	
			研修におけるバックドラフト・フラッシュオーバー現象の 展示手法について	橘田 宏一	
			平成25年度における札幌市消防職員提案審査会の実施状況	橘田 宏一	

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 26 年度	No.21	燃 焼	半焼火災から5日後に出火した事案に係る再現実験について	伊藤 潤 宮下 典之 橋本 慎也 橋田 宏一	11
			グラスウールの熱伝導性に関する実験	橋田 宏一 源 徹	
		開 発	検証現場における灯油成分等の効果的な検出方法について	橋本 慎也	
		安 全	長期保管された除染液の次亜塩素酸ナトリウム濃度について	橋本 慎也	
			車両金属部の腐食に関する研究について	宮下 典之	
		鑑 定	火災原因調査時に使用する検知管の性能比較について	橋本 慎也	
		情 報	実火災型訓練施設の改良について	宮下 典之	
			消火器用自動点灯ライトの開発について	宮下 典之	
			GC及びGC-MSへの高速高分離キャピラリカラムの導入について	橋本 慎也	
			研修におけるバックドラフト・フラッシュオーバー現象の展示について	橋田 宏一	
		平成26年度における札幌市消防職員提案審査会の実施状況	橋田 宏一		
平成 27 年度	No.22	燃 焼	圧縮空気発泡装置（CAFS）に関する基礎実験について	橋田 宏一	8
			小屋裏への延焼防止効果に関する実験について	橋田 宏一	
			PPVに関する基礎実験について	橋本 慎也	
			壁体内部の延焼に関する実験について	伊藤 潤 橋田 宏一	
		開 発	静脈路確保用上肢固定器具の開発について	高塚 浩平	
		安 全	防火手袋の熱伝導性等に関する検証について	橋田 宏一 高塚 浩平	
		鑑 定	検証現場における灯油成分等の効果的な検出方法について（その2）	橋本 慎也	
		情 報	平成27年度における札幌市消防職員提案審査会の実施状況	高塚 浩平	
平成 28 年度	No.23	燃 焼	発泡樹脂系断熱材の燃焼特性に関する実験について	高塚 浩平 橋本 慎也	8
		開 発	ガス検知管用感度増幅器の新型試作器について	橋本 慎也	
		安 全	建物火災時における一酸化炭素発生状況の検証について	高塚 浩平 郡司 裕子	
		鑑 定	鑑定依頼物品の採取容器に関する検証について	橋本 慎也	
		情 報	消防科学研究所を活用した各署の燃焼実験について（概要）	高塚 浩平	
			白熱灯投光器及び家庭用白熱電球からの出火実験について	高塚 浩平	
			ガスクロマトグラフ質量分析装置（GC-MS）簡易マニュアルの作成について	的場 敦史	
		平成28年度札幌市消防職員提案の実施状況について	的場 敦史		

年 度	所報 No	分 野	研究テーマ	担当者	件 数
平成 29 年度	No. 24	燃 焼	ウォーターカッター車を活用した効果的な消火戦術の検証について	高塚 浩平 大沢 征二	7
		開 発	車椅子用避難器具の研究開発について	高塚 浩平 宮坂 智哉 枝澤 健二	
		安 全	炭火の使用に関する燃焼実験の実施結果について	菅原 法之 高玉 通廣	
		鑑 定	分析用試料の採取方法等に関する検証について	橋本 慎也	
		情 報	クラスA消火剤使用時のポンプ運用に係る検証について	的場 敦史	
			一般住宅壁内を介した小屋裏の延焼に関する実験について	高塚 浩平	
			平成29年度における札幌市消防職員提案の実施状況について	的場 敦史	

研究・開発

ウォーターカッター車を活用した効果的な消火戦術の検証について

札幌市消防局消防科学研究所 高塚 浩平
札幌市消防局中央消防署警防課 大沢 征二

1 はじめに

ウォーターカッター車は、高圧で噴射する水に研磨材を混合し、鉄板やコンクリートを切断することが出来るウォーターカッターユニット（スウェーデン製）を搭載した車両であり、平成17年のJR福知山線脱線事故を契機に、平成19年に札幌市消防局を含め5都市（東京消防庁、大阪市消防局、名古屋市消防局、札幌市消防局、福岡市消防局）の特別高度救助隊に配備され、運用を開始しているところである。

また、ウォーターカッターユニットは、消火活動を目的としてスウェーデン政府機関とColdCutSystem社（CCS社）が共同開発し、平成12年に製品化（製品名:Cobra）、世界25ヶ国で使用され、火災室内に対して水を高圧放射してミストの冷却・窒息効果による消火戦術としても活用されている。また、その消火戦術は「Cobra Attack」と呼ばれている。

今回は、ウォーターカッターユニットの特徴である、「ミストの飛距離が長く、粒子が非常に細かい」という点に着目し、建物火災時における小屋裏、壁体内又は室内の死角部分等、燃焼実態への有効注水が困難と想定される空間に、ウォーターカッターユニットによるミスト注水を行った場合の、火災に対する有効性（冷却効果、窒息効果）について検証を実施するとともに、新たな火勢の抑制手法の一つとしての可能性を模索することとした。

ウォーターカッター車の概要等を写真1～写真5及び表に示す。



写真1 ウォーターカッター車



写真2 ウォーターカッター車
(後面)



写真3 ウォーターカッターノズル



写真4 ガンタイプノズル 0.5MPa 240ℓ/min



写真5 ウォーターカッター 30MPa 30ℓ/min

表 ウォーターカッター車 諸元表

切断消火装置関係	
高圧ホース長	50m+50m
水タンク容量	300ℓ
研磨剤タンク容量	20ℓ
動力ポンプ圧	30MPa
放水量	30ℓ/min

2 検証内容

一つの開口部を有する耐火区画において、開口部から室内の死角となっている区画で木材を燃焼させ、火点に対して直接注水することなく当該室内空間への間接注水を実施し、ミストを充填させた場合の木材等の燃焼状況、室温環境の変化を比較・検証することとした。

なお、本検証ではウォーターカッターノズル、ガンタイプノズルの2種類で実施した。
検証イメージを図1に示す。

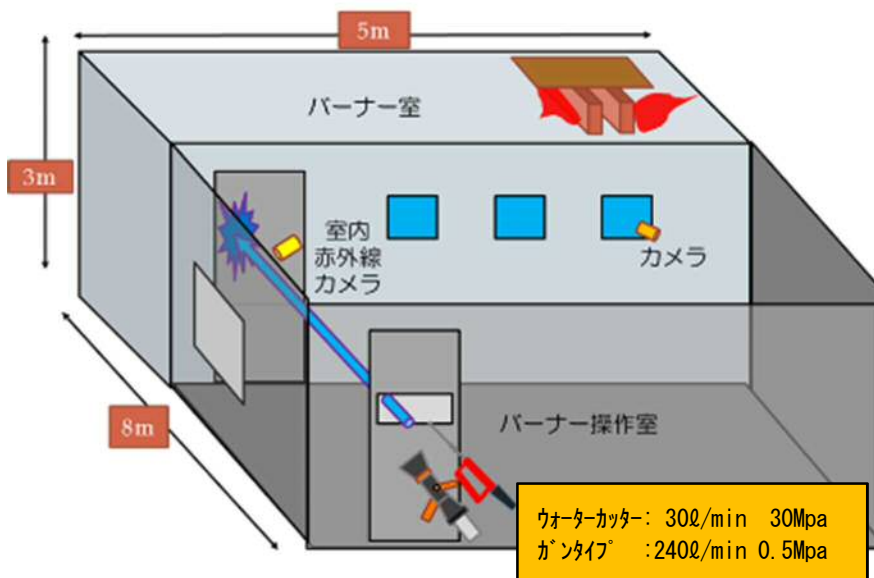


図1 検証イメージ（高温熱気訓練室）

3 検証日時等

(1) 日時

平成29年12月19日(火) 10時00分～15時30分

(2) 場所

札幌市消防学校 訓練本塔1階 高温熱気訓練室

(3) 気象状況

天候：晴れのち曇り、気温：-3.6℃、湿度：78%、気圧：1,010hPa

(4) 実施者

中央特別高度救助隊、消防科学研究所

4 検証設定

検証の実施場所を、写真6～写真8に示す。

また、検証の設定状況（訓練本塔1階）を図2及び写真9～写真12に示す。

設定手順については次の(1)～(4)のとおり。

- (1) 水槽車及びウォーターカッター車を訓練本塔入口前に部署した後、バーナー操作室入口前まで各ホースを延長し、ガンタイプノズル及びウォーターカッターノズルを配備した。
 - ※ ガンタイプノズル：ノズル圧力 0.5MPa、放水量 240L/min
 - ※ ウォーターカッターノズル：ポンプ送水圧力 30MPa、放水量 30L/min
- (2) バーナー室（高温熱気訓練室）に、木材（2×6材 長さ240cm）を組み合わせ作製した模型（以下「木製模型」という。）を設置し、さらに、助燃材として灯油を染み込ませたインシュレーションボードを木材に固定した（計6箇所）。木製模型の上方に鉄管で固定したコンパネ（横900mm×縦2,400mm 厚さ7mm）を設置した。なお、木製模型からコンパネまでの距離は約30cmとした。
- (3) 高さごとの環境温度を測定するため、模型側面の壁にK熱電対を計5箇所設置した（設置高さ：150cm、180cm、210cm、240cm、270cm）。温度の記録にはデータロガー（GRAPHTEC:GL800）を使用した。
- (4) バーナー室の入口前に熱画像直視装置（FLIR:K65）を設定した。



写真6 訓練本塔



写真7 バーナー操作室



写真8 バーナー室



灯油を染み込ませた
インシュレーションボード

写真9 木材等設置状況

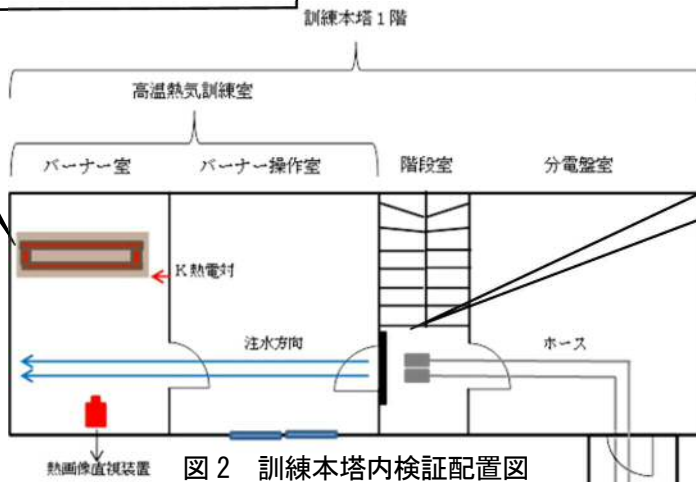


図2 訓練本塔内検証配置図

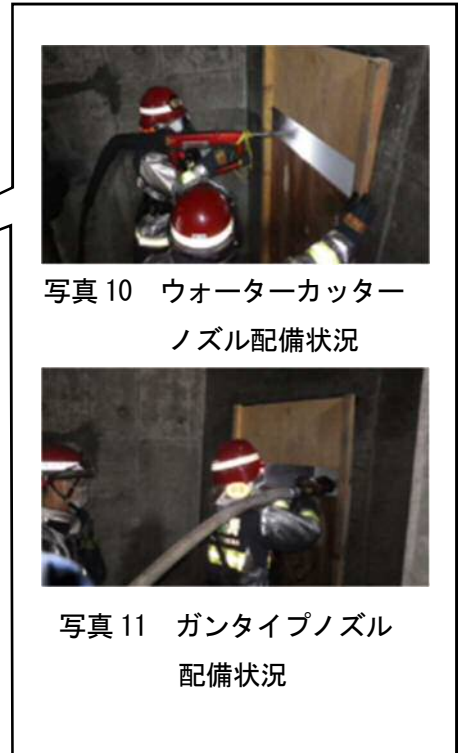


写真10 ウォーターカッター
ノズル配備状況



写真11 ガンタイプノズル
配備状況



写真12 車両配置状況

5 検証手順

ガンタイプノズル及びウォーターカッターノズルによる各検証を下記手順により実施した。

- (1) 簡易バーナーにより木製模型のインシュレーションボード部分へ着火した。
- (2) 着火後、K熱電対（270cm）の温度が350℃を超えた時点で放水を開始した（3分30秒間）。
- (3) 放水開始後の環境温度をK熱電対、コンパネ中心部の温度を熱画像直視装置により測定した。



写真13 簡易バーナーによる着火



写真14 着火直後

6 検証結果

検証時の燃焼状況を写真 15～写真 20、環境温度測定結果を図 3 及び図 4、熱画像直視装置によるコンパネ中心部の温度測定状況を写真 21～写真 40 に示す。



写真 15 ガンタイプノズル（放水直後）



写真 16 ウォーターカッターノズル（放水直後）



写真 17 ガンタイプノズル（放水 1 分後）



写真 18 ウォーターカッターノズル（放水 1 分後）



写真 19 ガンタイプノズル（放水 3 分 30 秒後）



写真 20 ウォーターカッターノズル（放水 3 分 30 秒後）

(1) K 熱電対による環境温度測定結果

ア ガンタイプノズル

注水後、高さ 270cm 付近の環境温度はウォーターカッターと比べ、比較的緩やかに低下していき、注水終了時（3 分 30 秒後）には 140℃前後まで低下した。また、注水終了後は室内環境温度の上昇が確認された。

イ ウォーターカッターノズル

注水後、高さ 270cm 付近の環境温度は急激に低下し、約 20 秒で 100℃を下回り、注水終了時（3 分 30 秒後）には 40℃前後まで低下した。また、注水終了後は室内環境温度の上昇が確認された。

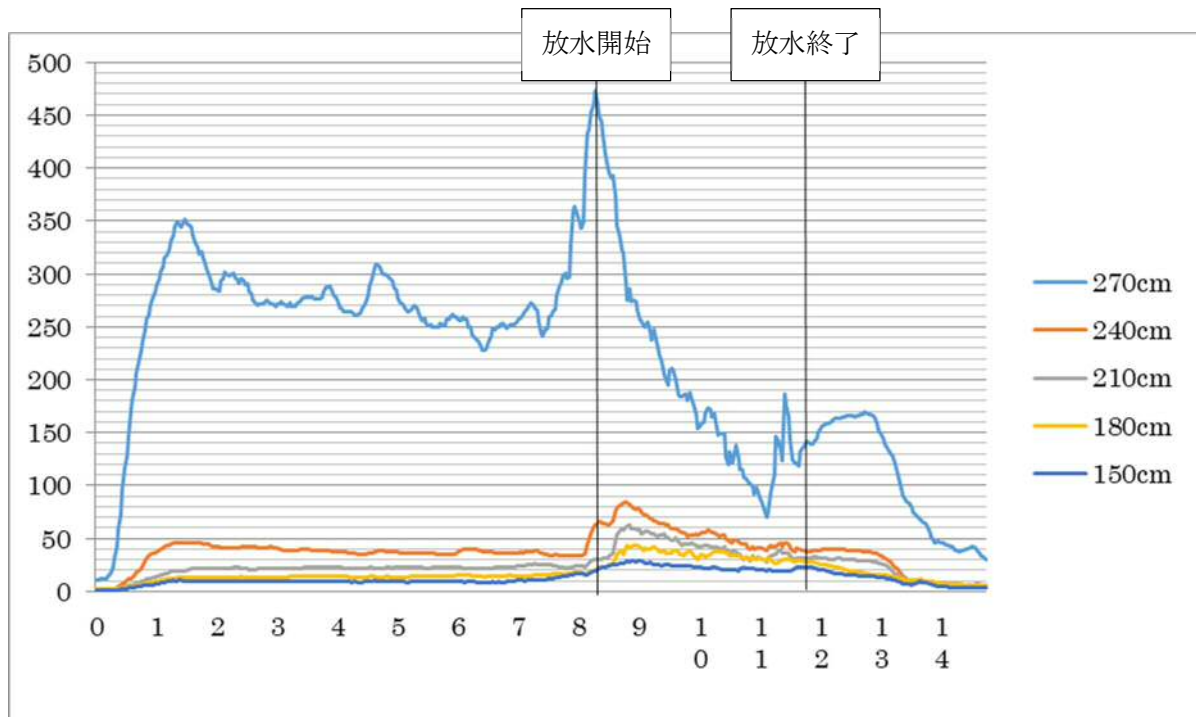


図3 環境温度測定結果（ガンタイプノズル）

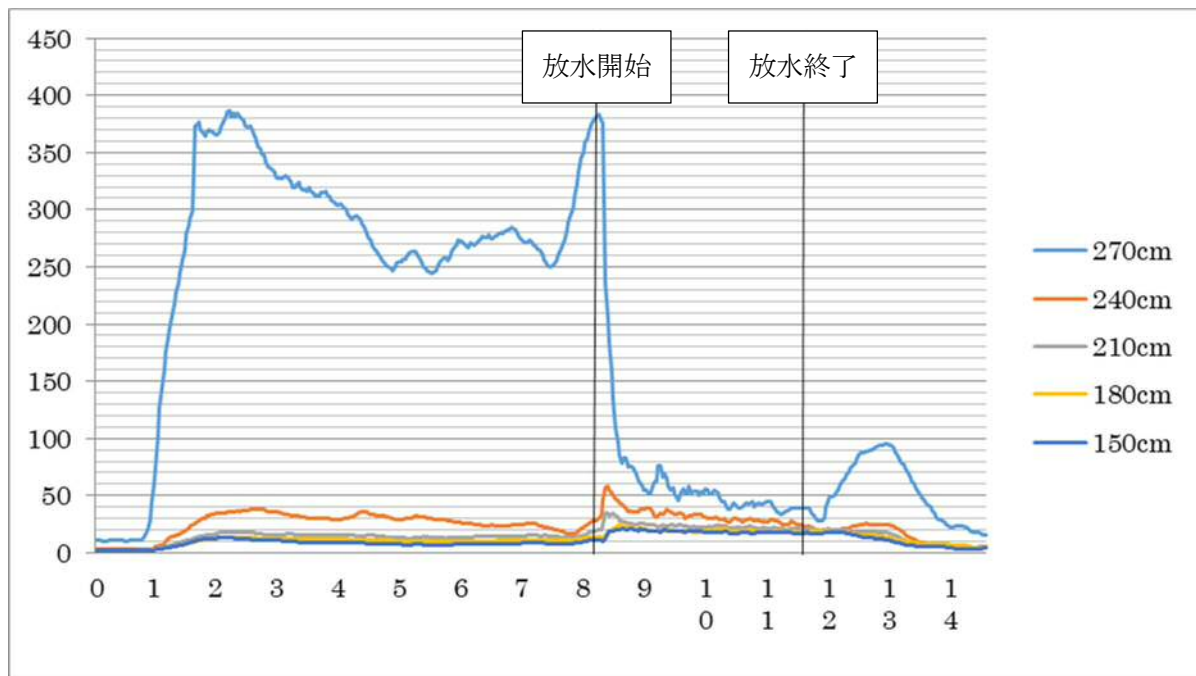


図4 環境温度測定結果（ウォーターカッターノズル）

(2) 熱画像直視装置による温度測定結果

ア ガンタイプノズル

注水後、赤色により表示される高温部分（以下「高温部分」という。）が占める面積はウォーターカッターと比べ、緩やかに減少したが、注水終了後も木製模型及びコンパネの高温部分が確認された。なお、注水終了後のコンパネ中心部の温度は 200℃付近を示した。

イ ウォーターカッターノズル

注水後、高温部分が占める面積は約 5 秒間で急激に減少し、1 分経過後には木製模型及びコンパネの高温部分は確認できなくなった。なお、注水終了後のコンパネ中心部の温度は 50℃付近を示した。

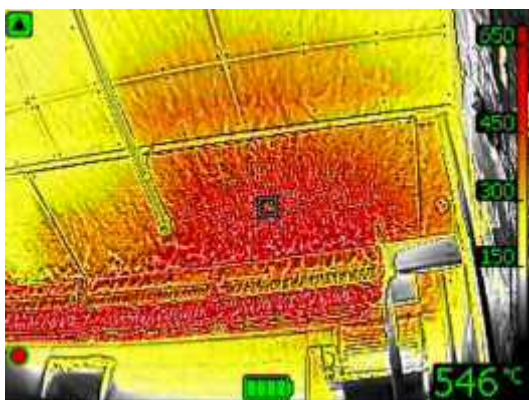


写真 21 ガンタイプノズル（放水直前）

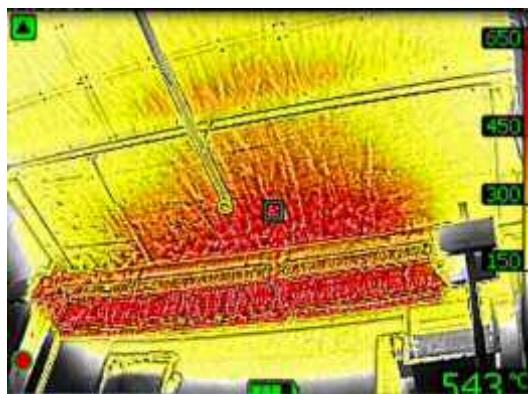


写真 22 ウォーターカッターノズル（放水直前）

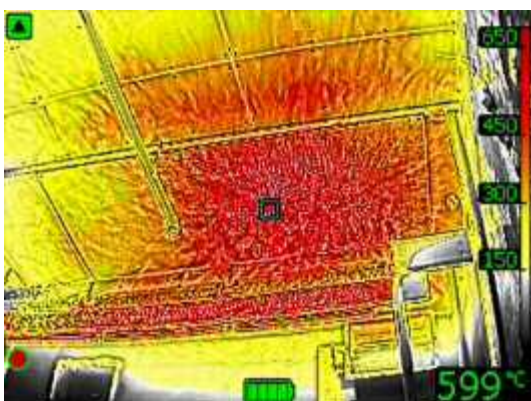


写真 23 ガンタイプノズル（5 秒後）

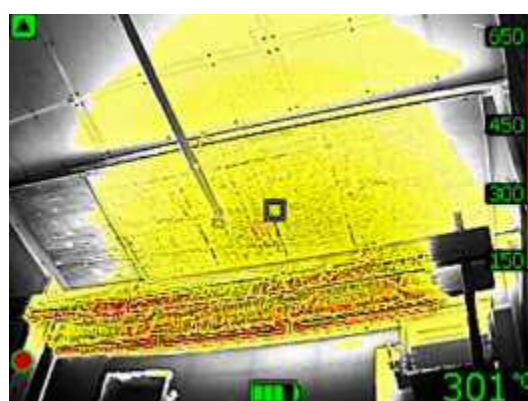


写真 24 ウォーターカッターノズル（5 秒後）

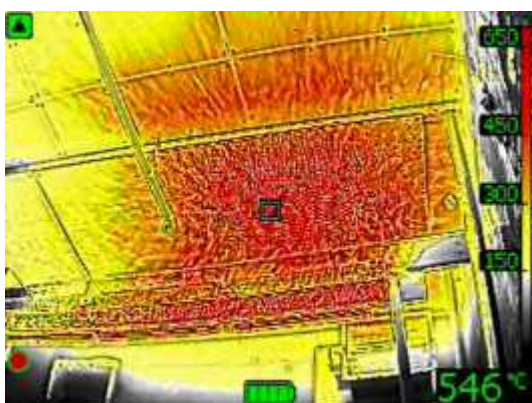


写真 25 ガンタイプノズル（10 秒後）

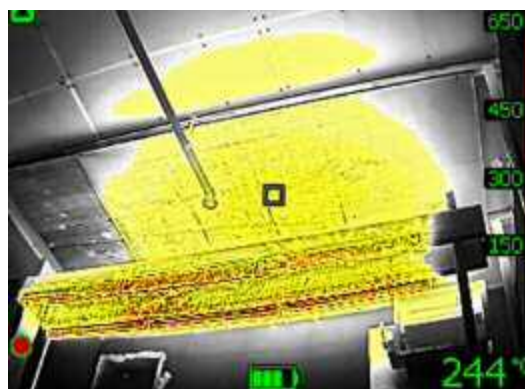


写真 26 ウォーターカッターノズル（10 秒後）

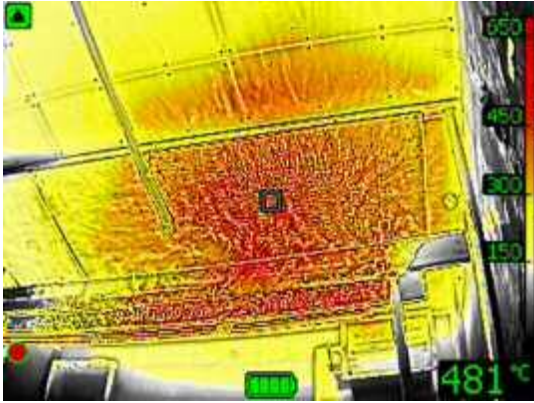


写真27 ガンタイプノズル (30秒後)

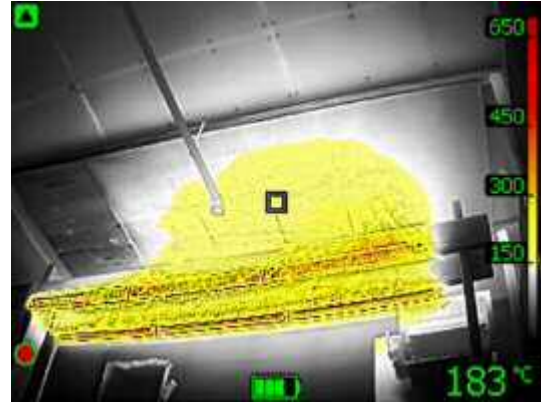


写真28 ウォーターカッターノズル (30秒後)

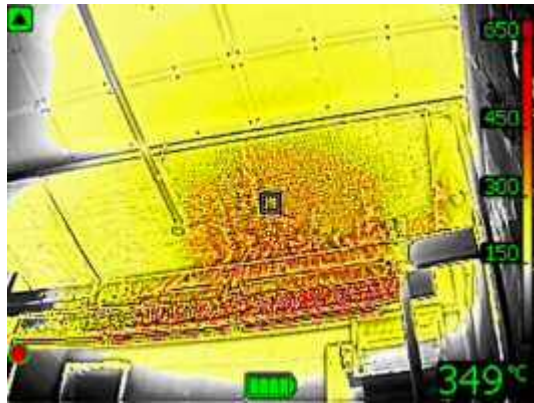


写真29 ガンタイプノズル (1分後)

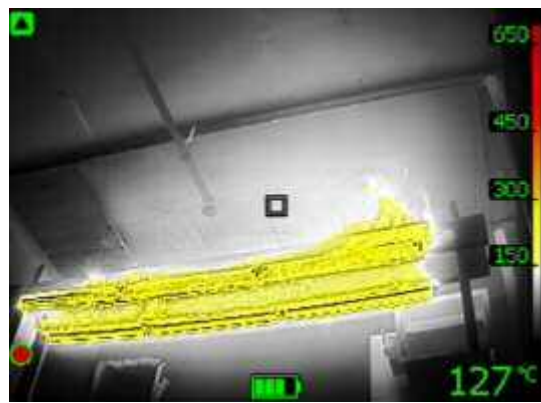


写真30 ウォーターカッターノズル (1分後)

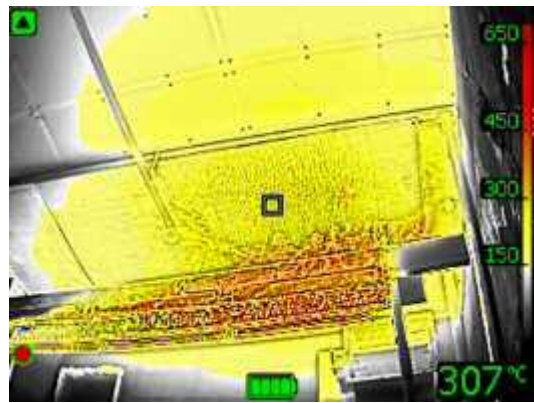


写真31 ガンタイプノズル (1分30秒後)

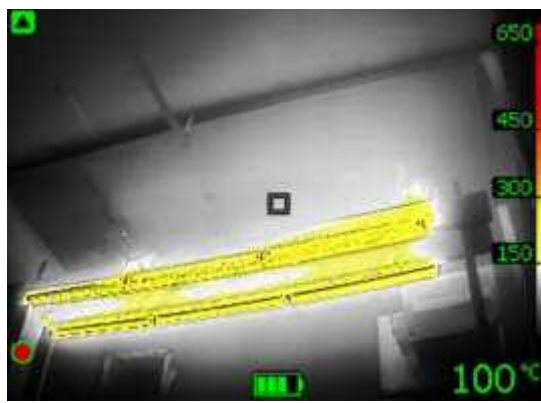


写真32 ウォーターカッターノズル (1分30秒後)

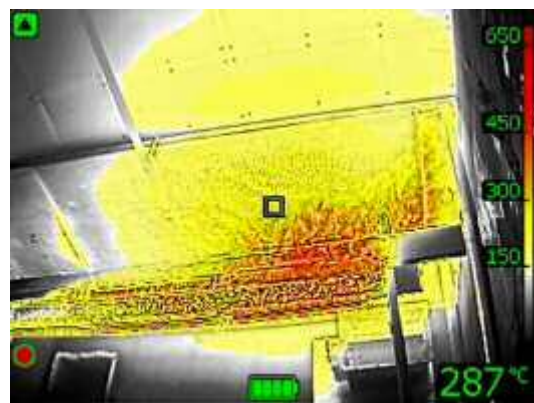


写真33 ガンタイプノズル (2分後)

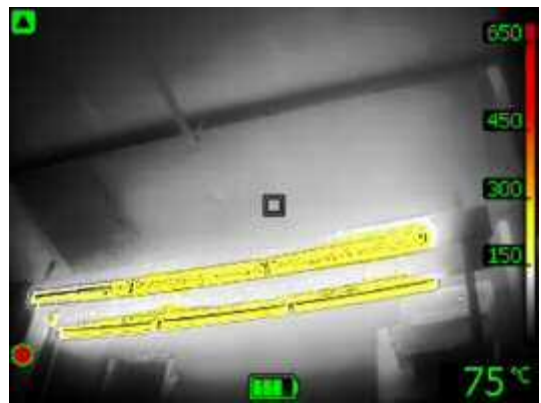


写真34 ウォーターカッターノズル (2分後)

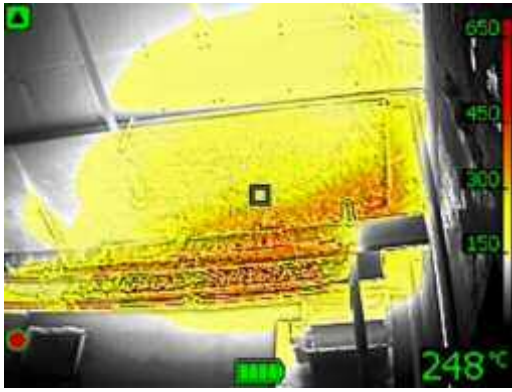


写真 35 ガンタイプノズル (2分30秒後)

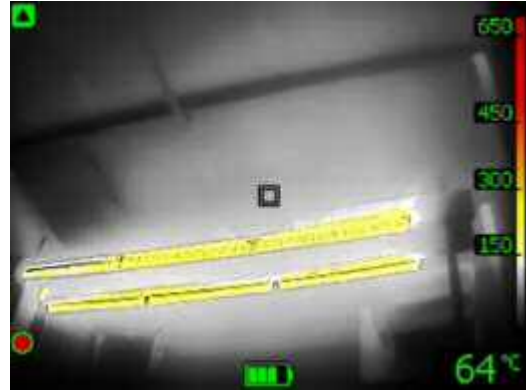


写真 36 ウォーターカッターノズル (2分30秒後)

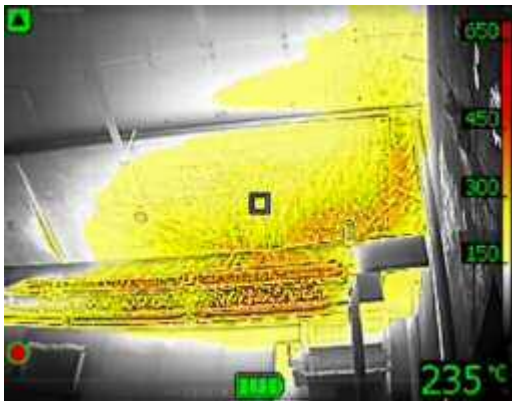


写真 37 ガンタイプノズル (3分後)



写真 38 ウォーターカッターノズル (3分後)

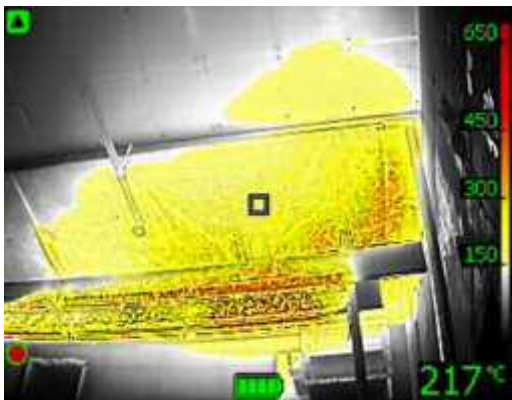


写真 39 ガンタイプノズル (3分30秒後)



写真 40 ウォーターカッターノズル (3分30秒後)

7 考察

K 熱電対による環境温度測定結果及び熱画像直視装置による温度測定結果から、以下の(1)~(3)について考察した。

(1) ウォーターカッターノズルによる冷却効果について

ア 注水直後から、急激な環境温度の低下が確認でき、注水終了時 (3分30秒) には高さ 270cm の位置で 40°C 前後となった。

イ 注水後、コンパネの高温部分は約 5 秒で急激に減少し、注水終了時には木製模型及びコンパ

ネの高温部分は確認できなくなった。コンパネ中心部の温度は50℃付近を示した。

以上の結果は、ウォーターカッターノズルの特徴である非常に細かな水粒子（約150μm）は、非常に気化しやすい性状であり、高圧力で噴射し室内全体に充満させたことで、高い冷却効果が得られたためであると考えられる。

(2) ガンタイプノズルによる冷却効果について

ア 注水直後から、環境温度の低下が確認できたが、ウォーターカッターノズルの場合と比較すると、温度低下は緩やかであった。注水終了時には高さ270cmの位置で140℃前後となった。

イ 注水直後は、コンパネの高温部分が占める面積はウォーターカッターノズルと比べ緩やかに減少したが、注水終了時（3分30秒後）も木製模型及びコンパネの高温部分が確認できた。コンパネ中心部の温度は200℃付近を示した。

以上の結果は、ウォーターカッターノズルと比較すると、ガンタイプノズルから放水される水粒子は径が大きく気化しづらい性状であり、水粒子が室内全体に十分に拡散されなかったため、十分な冷却効果が得られなかったためであると考えられる。

(3) 放水終了後の温度上昇について

ウォーターカッターノズル及びガンタイプノズル共に、

- ① 放水終了後の環境温度の上昇が確認された。
- ② 木製模型の2×6材内部に熱が残存していることが確認された。

以上の結果から、各ノズル注水による冷却効果に大きな差はあったものの、いずれも火点の完全な消火には至らず、注水終了後も2×6材の燃焼は継続していたと考えられる。

この原因は、細かな水粒子が燃焼実態の深部まで行き届かず、燃焼実態から発生した火災プルーム（上昇気流）により到達を阻害されたこともあり、完全に消火するまでの十分な冷却効果が得られなかったことが考えられる。また、開口部（ドア、吸排気口）から十分な酸素の流入があったため、表層部の温度低下後、再度燃焼が進行したことが考えられる。

8 まとめ

本検証結果から、一つの開口部を有する耐火区画の室内においては、ウォーターカッターノズルによる継続注水により、ガンタイプノズルと比較してより少ない水量で室内を急速に冷却できることが確認できた。

したがって、小屋裏や壁体内又は室内の死角部分等、有効注水が困難と想定され、かつ、比較的密閉された空間においては、ウォーターカッターノズルによる継続的な注水により、

- ① 火勢の拡大抑制効果
- ② フラッシュオーバーの発生回避
- ③ 内部進入時の熱環境改善

以上の3つの効果が期待できる。

以上のことから、新たな火勢の抑制手法の一つとして、ウォーターカッターによる間接注水の有効性が示唆されたところである。ただし、使用する際には、燃焼実体の完全な消火には至らない可能性があること、建物構造や区画の大きさ、密閉状況等により注水効果が異なる可能性があることから、活動に対する十分な周知と安全管理が必要である。

車椅子用避難器具の研究開発について

札幌市消防局消防科学研究所 高塚 浩平
北海道科学大学 宮坂 智哉
株式会社サンワ 枝澤 健二

1 はじめに

平成22年3月、札幌市内のグループホームで7名の居住者が犠牲となった火災が発生した。札幌市消防局消防科学研究所では、火災発生時に少数の介助者が体の不自由な高齢者を全員避難させる事は困難であると考え、この火災をきっかけに避難のあり方について検討を始めた。

この検討において、高齢者入所施設における避難困難性や避難時間等の調査研究を行っていた北海道科学大学と、高齢者入所施設における火災時の避難訓練の見学調査を共同で実施した。その結果、車椅子を利用し生活する自力避難困難者の、階下への有効な避難方法を確立することが重要であるとの考えに至り、当研究所において「車椅子用避難器具」の試作機を製作した（写真1）。

当該試作機を作製した結果、性能や強度等に多くの課題があり、実用化へ向けてはより専門的な技術と知識が必要であった。そこで、高齢者入所施設の避難困難性について深い知見を有する北海道科学大学と、移動・運搬機器についての専門的な技術・知識を持つ株式会社サンワと共に、総務省消防庁の「消防防災科学技術研究推進制度」を活用し、産学官共同での「車椅子用避難器具の研究開発」を開始することとなった。



写真1 試作機

2 開発目標の設定

本研究は、高齢者施設や福祉施設で2階以上の階に入所する車椅子利用者を対象とし、モーターなどの動力を用いずに、介助者1名により車椅子に乗車したまま階下に避難をする階段避難車を開発することを目標とした。2階以上の階に入所する車椅子利用者の避難手段の選択肢を増やし、対象者の安全・安心な生活に寄与することを目指した。

3 開発機の仕様、設計・製作

(1) 開発機の仕様

表1に開発機の仕様を示した。開発の最初のステップとして従来の階段避難車構成を活用し、動作確実性、安全性、堅牢性の機能、性能を担保するものとした。折りたたみ機構を設け、収納を容易にできるようにした。安全配慮として、階段降下中に操作者が手を離しても機器が自走しないようにブレーキ機構を設定した。装着する車椅子は、汎用的な利用を考え標準型車椅子とした。以上の仕様に基づき設計を実施した（図1）。

表1 開発機仕様

車体全高(収納時)(mm)	901	(300)
車体全長(収納時)(mm)	1451	(1276)
車体全幅(収納時)(mm)	606	(606)
自重(kg)	24	
最大積載量(kg)	135	
下降可能な傾斜角度(°)	(27)~35	
床上ブレーキの有無	有	
階段上ブレーキの有無	有	
収納時の折りたたみ機構	有	
装着する車椅子	標準型車椅子	

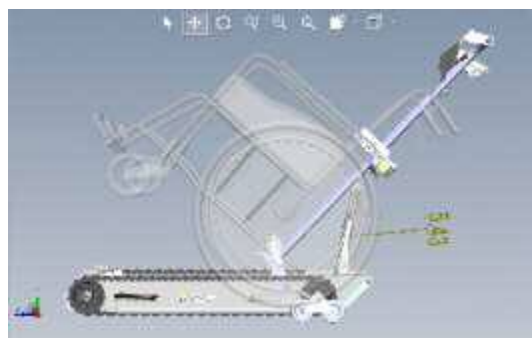


図1 開発機側面

(2) 開発機の外観

開発機の外観について、ハンドルロック収納時を写真2、ハンドルロックを起立した状態を写真3に示した。



写真2 開発機外観（ハンドルロック収納時）



写真3 開発機外観（ハンドルロック起立時）

(3) 開発機と車椅子の装着

開発機に標準型車椅子を装着した状態を写真4、装着した車椅子を後傾させた状態を写真5に示した。開発機と車椅子は、車椅子のティッピングレバー（車椅子フレーム下部）を開発機の台座部に載せ、車椅子の背もたれ上部と開発機のハンドルロックを固定して装着した（図2）。



写真4 車椅子装着



写真5 車椅子装着（車椅子後傾）



図2 車椅子の固定

4 開発機の操作

開発機の操作方法は、ハンドルロック起立（写真6）、車椅子装着（写真7）、上フロア移動（写真8）、階段降下（写真9）、下フロア移動（写真10）、車椅子取外し（写真11）とし、介助者1名で操作が可能なことを確認した。



写真6 ハンドルロック起立



写真7 車椅子装着



写真8 上フロア移動



写真9 階段降下



写真10 下フロア移動



写真11 車椅子取外し

甲種防火戸のくぐり戸の通過を想定したくぐり戸の乗り越え試験を実施し、積載重量 100kg において、1名の操作で幅700mm、敷居高さ150mmの乗り越えが可能だった。なお、該当条件で持ち上げるには68kgfの力を必要とし、操作者の体格、腕力によっては乗り越えができない場合があることに留意するものとした。

5 開発機の試験

(1) 1 階段降下試験

健常者を被験者として北海道科学大学内で階段降下実験を実施した（写真 12）。被験者は 20 歳以上の大学生 6 名（被験者グループ A）、消防職員 3 名（被験者グループ B）とした。開発機操作と車椅子乗車を交代しながら、被験者 1 名が 2 回操作を実施し、計 18 回実施した。階段は角度 27°、17 段とし、操作行程を「車椅子装着」、「上フロア移動」、「階段降下」、「下フロア移動」、「車椅子取外し」とした。操作行程を動画撮影し、各行程の時間を集計した。操作行程の目標時間を 1 分 30 秒以内とした。被験者の安全、倫理に十分配慮して実験を実施した。



写真 12 階段降下実験

操作行程の時間集計の結果を表 2 に示した。2 つのグループを集計した操作行程時間の合計は平均 92.18 秒だった。各行程のうち、「車椅子装着」行程の時間は 2 つのグループを集計した平均時間で 43.74 秒となり、操作行程全体の 47.5% を占めた。

表 2 操作行程の時間

行程数		1	2	3	4	5	
操作		車椅子装着	上フロア移動	階段降下	下フロア移動	車椅子取外し	合計
被験者グループ A	平均(秒)	50.20	9.88	20.49	3.09	17.91	101.56
	最小(秒)	33.63	5.33	14.40	2.47	14.03	76.57
	最大(秒)	100.93	14.53	28.10	4.90	28.30	151.10
	標準偏差(秒)	20.08	2.73	4.12	0.70	4.74	23.41
	変動係数	0.40	0.28	0.20	0.23	0.26	0.23
被験者グループ B	平均(秒)	30.84	6.68	15.75	3.35	16.77	73.40
	最小(秒)	22.70	3.80	12.00	2.03	11.87	65.37
	最大(秒)	35.93	12.47	20.17	4.63	20.13	87.77
	標準偏差(秒)	4.84	3.45	3.16	0.99	3.11	7.53
	変動係数	0.16	0.52	0.20	0.30	0.19	0.10
A, B 集計	平均(秒)	43.74	8.81	18.91	3.18	17.53	92.18
	最小(秒)	22.70	3.80	12.00	2.03	11.87	65.37
	最大(秒)	100.93	14.53	28.10	4.90	28.30	151.10
	標準偏差(秒)	18.87	3.28	4.38	0.79	4.21	23.62
	変動係数	0.43	0.37	0.23	0.25	0.24	0.26

操作及び乗車についての主観的評価を実施した。一人の被験者が 1 回の試技を終了するごとに、介助（操作）者は「操作にかかる力」、「操作のしやすさ」について、避難（乗車）者は「乗車時の快適度」、「乗車時の安心感」の各項目について、操作行程ごとに 7 段階（7 が最も良い、4 が中立、1 が最も悪い）のスコアを記載した。各スコアの中央値（メジアン）を表 3 に示した。2 つのグループを集計した各スコアの中央値を比較すると、「操作にかかる力」は、各行程のスコアは 4 から 6 で、そのうち「車椅子装着」と「下フロア移動」のスコアが 4 で、他行程のスコアよりも低値だ

った。「操作しやすさ」は、各行程のスコアは4から6で、そのうち「下フロア移動」のスコアが4で、他行程のスコアよりも低値だった。「乗車時の快適度」、「乗車時の安心感」は各行程のスコアは5から6だった。

表3 操作・乗車の主観評価

		行程数	1	2	3	4	5
7段階評価、7が最良 表中は中央値		車椅子 装着	上フロア 移動	階段 降下	下フロア 移動	車椅子 取外し	
被験者グループA	操作に かかる 力		5	6	6	4.5	6
被験者グループB			4	7	7	3	4
A,B集計			4	6	6	4	6
被験者グループA	操作しや すさ		5	6	6	4.5	6
被験者グループB			4	6	6	3.5	4
A,B集計			5	6	6	4	5.5
被験者グループA	乗車快 適度		6	5	6	5.5	6
被験者グループB			4	4	3.5	3.5	4
A,B集計			5.5	5	5	5	6
被験者グループA	乗車安 心感		6	5.5	5.5	5	6
被験者グループB			4	4	3.5	4	4
A,B集計			5.5	5	5	5	6

(2) フィールド評価

高齢者施設 2 施設（特別養護老人ホーム（写真 13）、認知症グループホーム（写真 14）各 1 施設）にて、施設職員（1 施設 3 名、計 6 名）を対象に開発機を試用してもらい、記入式のアンケートを実施した。



写真 13 特別養護老人ホームでの試用



写真 14 認知症グループホームでの試用

車椅子に乗車したままで階段を降ろすことができる避難用の器具について、必要を感じるかという問いに対して、「強く必要を感じる」が 2 名、「必要を感じる」が 3 名、「それほど必要を感じない」が 1 名という回答を得た。また、施設で導入してみたいかという問いに対して、「導入したい」が 5 名（取り扱いが容易になれば導入したい 1 名を含む）、「それほど導入したいと思わない」が 1 名という回答を得た。改善を求める意見として、器具の軽量化、取り扱いの手順をわかりやすくしてほしい、AED のように取り扱いの音声案内があると良いなどを挙げていた。

以上の結果から、車椅子に乗車したまま階段を降下して避難ができる器具は、施設職員 6 名のうち 5 名から導入の必要性があり、導入の希望がある意見を得た。導入に消極的な意見の 1 名は、取り扱いの困難さを挙げていた。

(3) 試験結果の考察・改善点の抽出

階段降下実験結果から、操作行程の「車椅子装着」が行程全体の47.5%を占めたことについて原因を検討した。実験の動画データから、車椅子装着行程で、開発機のハンドルロックを操作者の足背部で引き上げて開放する操作(写真15)に時間がかかっていた。これは主観的評価結果の「車椅子装着」行程のスコアが他よりも低値になること、フィールド評価で取り扱いを容易にしてほしいという意見に共通する要因の一つと考えた。ハンドルロックの操作方法の改善が、「車椅子装着」行程の時間短縮、及び取り扱いの容易さにつながると考えた。また、30回程度の使用で、ロック部のばね付き蝶番が外れる故障が発生した。

フィールド評価で得た器具の軽量化の要望については、研究期間中の改善は難しかった。器具の可搬性の向上を図ることなどを含め、引き続き検討することとした。



写真15 変更前ハンドルロック

6 開発機の改良

階段降下試験、フィールド評価の結果を受け、ハンドルロック部を改良した。ハンドルロック部開放の操作について、ばね付き蝶番を用いずに、足底部で押し下げる動作で可能になるように構成を変更した(写真16)。



写真16 変更後ハンドルロック

改良した開発機で階段降下試験を実施して、改良前の開発機と操作行程時間を比較した。実験条件は、5. 1階段降下試験と同じ条件とし、被験者は被験者グループB(消防職員)とした。結果より「車椅子装着」行程の時間は平均9.88秒短縮した(表4)。また被験者からは改良前よりも車椅子装着行程が容易になったとの意見を得た。並行して改良後の開発品に対して積載重量115kgで階段から階下フロアに降ろす耐衝撃試験を実施し、500回の繰り返し試験で異常のないことを確認した。以

上のことから、ハンドルロック部の変更は操作時間の短縮、取り扱いやすさの向上、器具の堅牢性の向上に寄与し、改良の効果を確認した。

表 4 操作行程時間の比較

被験者 グループB	行程数	1	2	3	4	5	合計
	操作	車椅子 装着	上フロア 移動	階段 降下	下フロア 移動	車椅子 取外し	
改良前	平均(秒)	30.84	6.68	15.75	3.35	16.77	73.40
	最小(秒)	22.70	3.80	12.00	2.03	11.87	65.37
	最大(秒)	35.93	12.47	20.17	4.63	20.13	87.77
	標準偏差(秒)	4.84	3.45	3.16	0.99	3.11	7.53
	変動係数	0.16	0.52	0.20	0.30	0.19	0.10
改良後	平均(秒)	20.96	4.88	13.19	1.36	9.03	49.42
	最小(秒)	16.80	2.73	12.37	1.03	6.97	45.83
	最大(秒)	27.30	6.87	13.83	1.50	10.90	56.03
	標準偏差(秒)	3.61	1.85	0.60	0.18	1.60	4.42
	変動係数	0.17	0.38	0.05	0.13	0.18	0.09
差	平均(秒)	-9.88	-1.80	-2.56	-1.99	-7.74	-23.98
	標準偏差(秒)	-1.23	-1.60	-2.56	-0.81	-1.51	-3.12

被験者グループBによる試技として、改良前後の操作行程時間を比較すると、改良前の平均73.40秒から改良後は平均49.42秒となった。操作行程時間は平均23.98秒短縮し、1分以内で車椅子装着から階段降下、車椅子取り外しの操作行程を実施した。被験者は2回の実験における試技の実施、他の被験者の試技を観察することで開発機の操作方法を習熟したと考えられる。実際の使用者は高齢者施設の職員が想定されるが、定期的な避難訓練を実施し、装置の取り扱いに習熟する機会があれば、操作行程の時間を短縮させる可能性があると思われる。

7 まとめ

介助者1名により車椅子に乗車したまま階下に避難をする車椅子用階段避難車を開発した。階段降下試験を実施し、操作行程時間の合計は平均92.18秒となり、目標時間である1分30秒を概ね達成した。高齢者施設でフィールド評価を実施し、車椅子に乗車したまま階段降下避難できる器具の必要性、導入希望の意見を得た。開発品のハンドルロック部を改良し、車椅子装着時間を平均9.88秒短縮した。さらに改良を重ね、実用化へとつなげる予定である。また、高齢者施設、施設職員などへ情報提供やデモンストレーションなどを実施し、階上の車椅子利用者の避難方法について検討してもらえるようにする。

本研究では避難の対象施設を高齢者施設としているが、例えば病院やホールなどの公共施設、マンション、オフィスビルなど、階上に車椅子利用者がいる可能性のある施設において、階下への避難を余儀なくされる場合は、開発機のような車椅子に乗車したまま階段を降下できる器具による避難が適用となる可能性がある。例えば病院では入院病棟において、平時はベッドサイドで過ごし、検査など移動時には標準型車椅子で介助移動する患者が多い。このような患者には避難時に車椅子ごと避難できれば、少ない介助者で、かつ短い避難時間で階下に避難できる可能性がある。また、公共施設やマンション、オフィスビルなどでは、施設の規模から階段の段数が多く、さらに高層階の場合は階段の階数が多くなり、人力だけによる避難介助は介助者の身体的負担が相当大きくなると考えられる。それらの避難におけるニーズを収集し、有効な避難方法について重ねて検討していく。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人日本建築学会避難安全のバリアフリーデザイン特別調査委員会：避難安全のバリアフリーデザイン特別調査委員会 2013 年度版報告書、pp33-38、2014
- 2) 消防庁：特報 1 札幌市グループホーム火災の概要等、消防の動き 平成 22 年 5 月、470、5、2010
- 3) 宮坂智哉、田中勇治、川嶋恵子、棚橋嘉美、難波志帆、塚目孝裕、田村裕之、阿部伸之、高梨健一、松島早苗、河関大祐、齋藤貴幸、田澤了、伊藤潤、宮下典之：高齢者施設入所者の避難能力の検討、平成 27 年度日本火災学会研究発表会、OS-1-5、2015

炭火の使用に関する燃焼実験の実施結果について

札幌市消防局消防科学研究所 菅原 法之
中央消防署予防課設備検査係 高玉 通廣

1 目的

近年屋外イベントの仮設建築物等で、火力の強い火気器具を使用する店舗の増加がみられ、検査時に指導する機会が増加しているところである。現在、札幌市火災予防条例（以下、「条例」という。）においては、七輪やバーベキューコンロ等の炭火を火源とする器具（以下、「炭火こんろ等」という。）については、使用上容易に移動ができる火気器具として規制しており、条例別表3に掲げる「移動式こんろ（固体燃料）」に必要な離隔距離（以下、「条例離隔距離」という。）（上方100cm、側方、前方及び後方30cm）を確保するよう指導をしているところである。

炭火こんろ等の使用形態は様々である上、店舗における使用も増加しており、市内の焼肉店では火気設備である無煙ロースターのほか、七輪を卓上に置き提供する店舗が増えている。そのうえ、炭火こんろ等は形状や大きさなども様々であるため、使用する炭の量の違いや材質及び形状による熱伝導の違いにより、使用時の周囲の温度は異なることが考えられる。

炭火こんろ等に必要な離隔距離として、条例別表3のほか、平成14年消防庁告示第1号により、通常燃焼時において近接する可燃物の表面の温度が100℃を超えない距離という基準があるが、使用状況によっては、条例離隔距離を確保していても周囲の可燃物の表面温度が100℃を超え、危険な状況となることも危惧される。

これらのことから、炭火こんろ等使用時の周囲の表面温度を測定することで、改めてその危険性と離隔距離の必要性を確認することを目的とする。

2 実施内容

(1) 日時 平成29年11月7日（火）～平成29年11月8日（水）

(2) 場所 消防科学研究所燃焼実験室内

(3) 実施者 中央消防署予防課設備検査係、消防科学研究所

(4) 使用資器材

七輪、バーベキューコンロ（以下「コンロ」という。）、温度測定装置、熱電対、木材、釘、工具、9.5mm 準不燃石膏ボード、12.5mm 不燃石膏ボード、おが備長炭15kg、コンクリートブロック、扇風機、ビデオカメラ、カメラ、点火用バーナー

3 炭について

(1) 使用した炭の種類

おが備長炭

(2) 1回当たりの炭の使用量

七輪使用時：869.5g（七輪+炭で、3,883.5g、七輪 3,014.0g）

コンロ使用時：3,952.0g（バケツ+炭で、4,483.0g、バケツ 531.0g）

4 室内温度

七輪での測定開始時 19.2℃

コンロでの測定開始時 18.4℃

5 測定内容及び結果

(1) 七輪使用時の周囲の温度変化測定

ア 測定位置

(ア) 七輪側方に離隔距離を取らずに設置した 9.5mm 石膏ボードの両側（内側①②③、外側⑨④⑩）

(イ) 七輪後方に離隔距離を 30cm 取って設置した木材と、七輪側方に離隔距離を 30cm 取って設置した 9.5mm 石膏ボードの内側（⑤、⑥）

(ウ) 上方離隔距離 50 cmにおける天井部⑦及び七輪火床の温度⑧

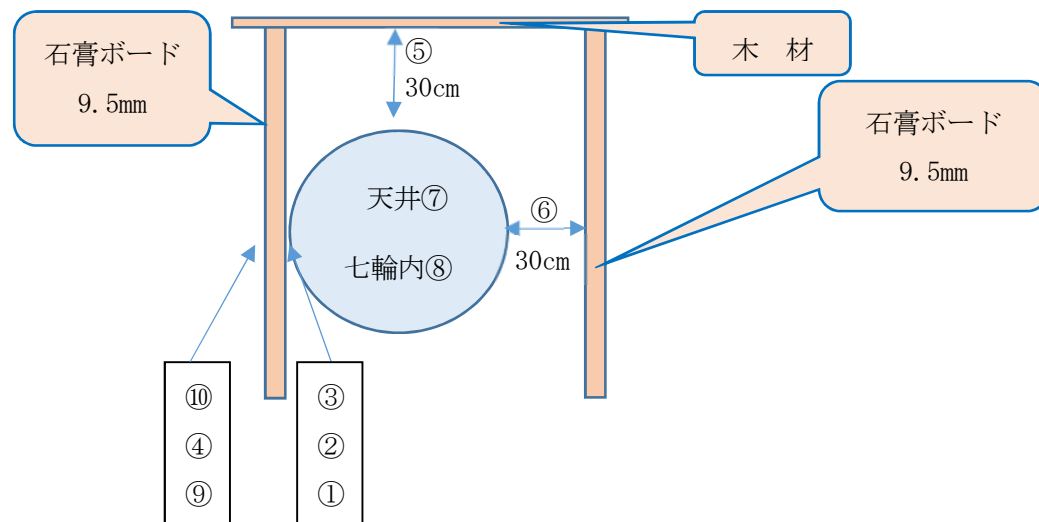


図1 設定状況（上方から）

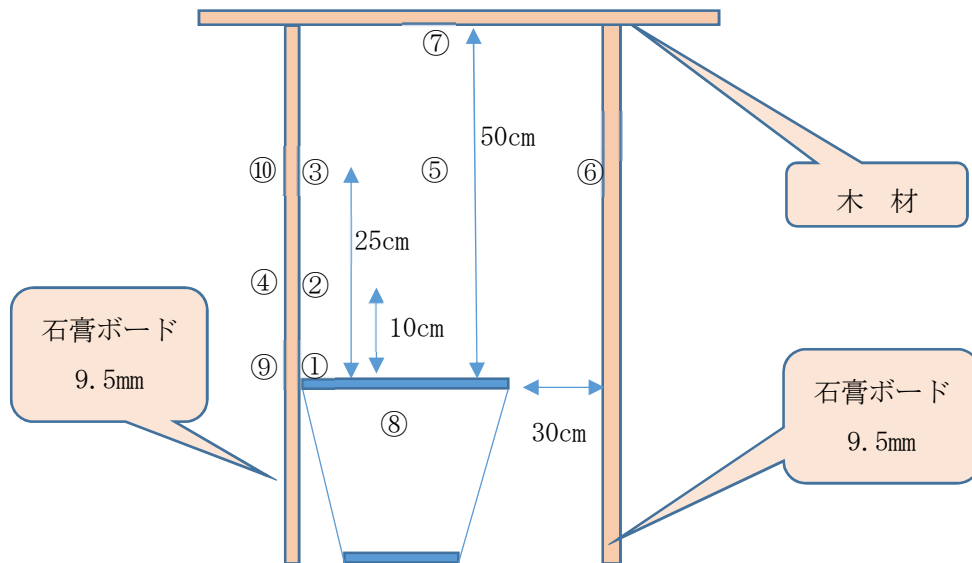


図2 設定状況（側方から）

- ① 七輪側方離隔距離 0cm、9.5mm 石膏ボード内側、七輪上方離隔距離 0cm
- ② 七輪側方離隔距離 0cm、9.5mm 石膏ボード内側、七輪上方離隔距離 10cm
- ③ 七輪側方離隔距離 0cm、9.5mm 石膏ボード内側、七輪上方離隔距離 25cm
- ④ 七輪側方離隔距離 0cm、9.5mm 石膏ボード外側、七輪上方離隔距離 10cm
- ⑤ 七輪後方離隔距離 30cm、木材内側、七輪上方離隔距離 25cm
- ⑥ 七輪側方離隔距離 30cm、9.5mm 石膏ボード内側、七輪上方離隔距離 25cm
- ⑦ 七輪上方離隔距離 50cm、木材内側
- ⑧ 七輪内燃烧炭温度
- ⑨ 七輪側方離隔距離 0cm、9.5mm 石膏ボード外側、七輪上方離隔距離 0cm
- ⑩ 七輪側方離隔距離 0cm、9.5mm 石膏ボード外側、七輪上方離隔距離 25cm



写真1 実験の状況

イ 測定時間内の最高温度

各温度測定場所の最高温度を表 1 に示す

表 1 各測定場所の最高温度

測定場所番号	①	②	③	④	⑤	⑥
温度 (°C)	77.0	159.1	86.8	85.3	53.2	58.5

測定場所番号	⑦	⑧	⑨	⑩
温度 (°C)	95.0	955.2	66.4	57.7

ウ 実施結果

測定温度場所①②③の測定温度を図 3 に、測定場所④⑨⑩の測定温度を図 4 に示す。

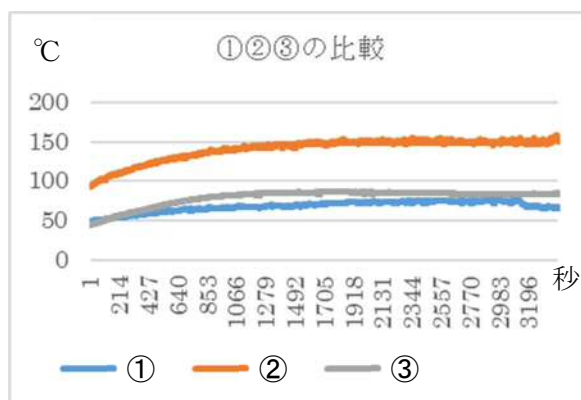


図 3 ①②③の測定温度

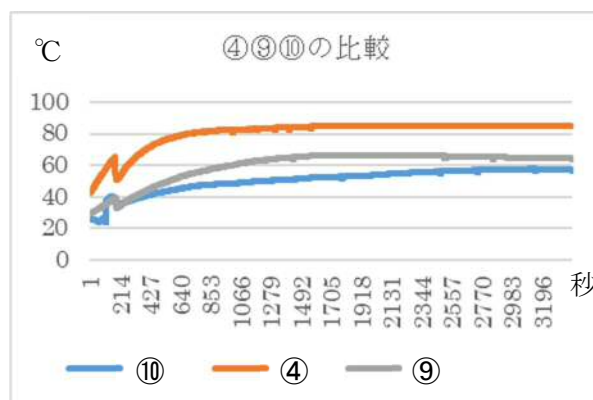


図 4 ④⑨⑩の測定温度

- (ア) 図 3 から、七輪側方 9.5mm 石膏ボード内側垂直温度①②③の比較では、②③①の順に温度が高い。
- (イ) 図 4 から、七輪側方 9.5mm 石膏ボード外側垂直温度④⑨⑩の比較では、④⑨⑩の順に温度が高い。
- (ウ) 表 1 から、七輪側方石膏ボード内側②の最高温度が 159°Cであり、石膏ボードを介して②の外側である④の最高温度は 85.3°Cであった。
- (エ) 同じ高さで、同じ離隔距離の⑤と⑥は、ほぼ同じ温度であった。
- (オ) 七輪内燃焼炭の温度⑧は、最高で 955.2°Cとなった。
- (カ) 七輪上方 50cm の温度⑦は最高で 95.0°Cまで上がった。

※ 燃焼状態の炭を七輪に設置して、約 53 分間 (3,196 秒) 温度測定を実施した。

エ 考察

今回の実験では、七輪の側方に条例離隔距離 30cm を確保した側面⑤⑥については、100°Cを超えることがなかった。

一方、条例離隔距離を取らなかった側面では、内側②で 100°Cを超え、9.5mm 石膏ボードの外側④でも 100°Cを超えなかったものの 85.3°Cとなったことから、今回使用した七輪の周囲には条

例離隔距離を確保する必要がある。

また、条例離隔距離 100cm を取らず 50cm の高さに設定した上方⑦については、100℃を超えることはなかったものの、95.0℃まで上昇した。上方の条例離隔距離に不足する今回の状況に加え、七輪前面に垂れ壁等があり熱がこもれば、さらに温度が上昇し 100℃を超える可能性も考えられる。

(2) コンロ使用時の周囲の温度変化測定（周囲との空間あり）

ア 測定位置

- (ア) コンロ側方に離隔距離を 3cm 取り防熱板として設置した 2 枚重ねの 12.5mm 石膏ボードの外側 (⑩⑪⑫)
- (イ) (ア)の石膏ボードから外側に離隔距離を 3cm 取って設置した木材の内側 (⑬⑭⑮)
- (ウ) コンロ後方に離隔距離を 30cm を取って設置した木材内側 (⑦⑧⑨)
- (エ) コンロ側方に離隔距離を 3cm 取って設置した 12.5mm 石膏ボードの両側 (内側①②③、外側④⑤⑥)
- (オ) 上方に離隔距離を 150cm 取った天井部分⑩及びコンロ火床⑩

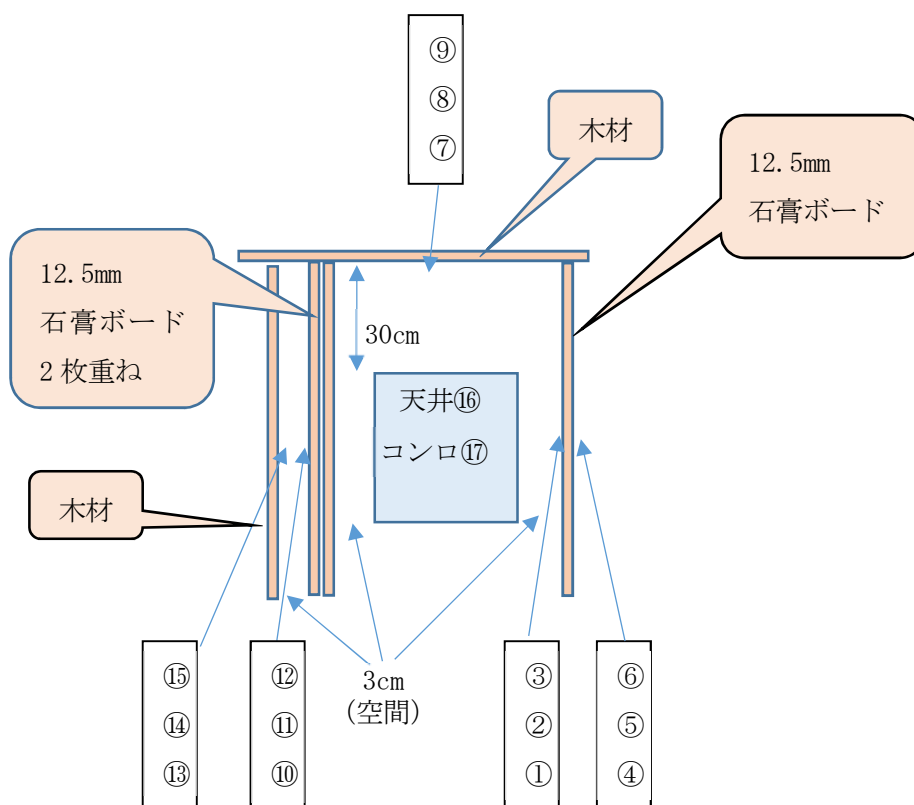


図5 設定状況（上方から）

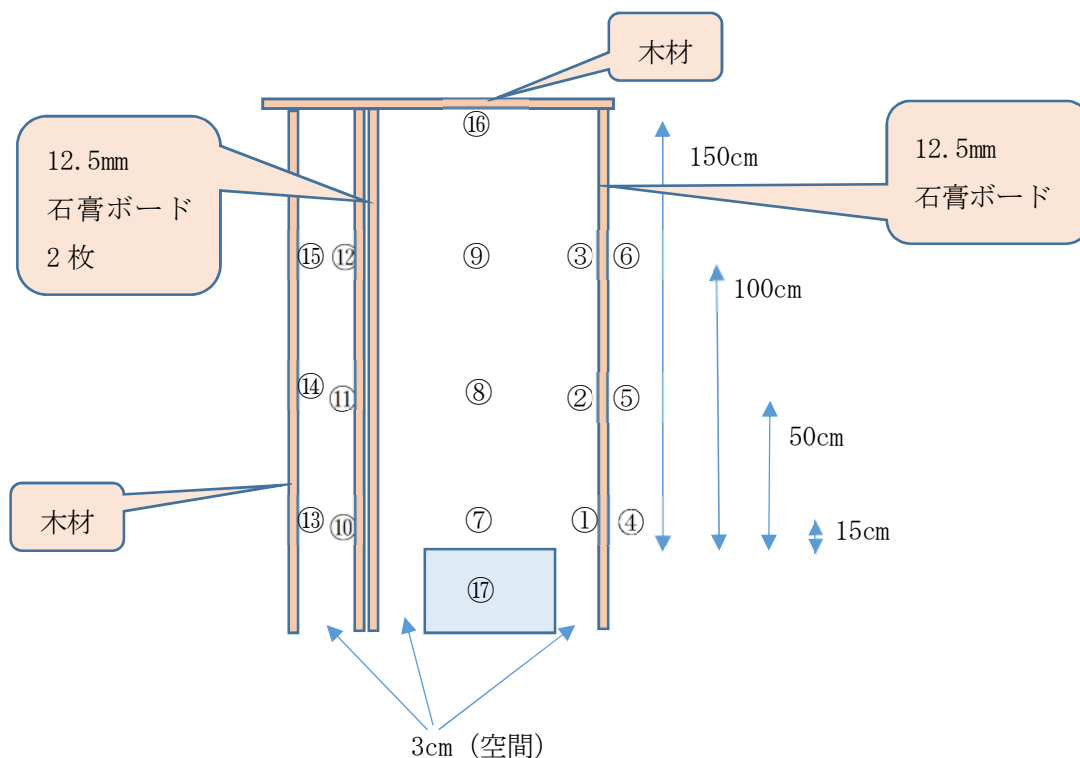


図6 設定状況 (側方から)

- ① コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード内側、コンロ上方離隔距離 15cm
- ② コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード内側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ③ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード内側、コンロ上方離隔距離 100cm
- ④ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード外側、コンロ上方離隔距離 15cm
- ⑤ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード外側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ⑥ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード外側、コンロ上方離隔距離 100cm
- ⑦ コンロ側方離隔距離 30cm、木材内側、コンロ上方離隔距離 15cm
- ⑧ コンロ側方離隔距離 30cm、木材内側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ⑨ コンロ側方離隔距離 30cm、木材内側、コンロ上方離隔距離 100cm
- ⑩ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード 2 枚外側、コンロ上方離隔距離 15cm
- ⑪ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード 2 枚外側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ⑫ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード 2 枚外側、コンロ上方離隔距離 100cm
- ⑬ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード 2 枚外側、空間 3cm 木材内側、コンロ上方離隔距離 15cm
- ⑭ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード 2 枚外側、空間 3cm 木材内側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ⑮ コンロ側方離隔距離 3cm、12.5mm 石膏ボード 2 枚外側、空間 3cm 木材内側、コンロ上方離隔距離 100cm
- ⑯ コンロ上方離隔距離 150cm、木材内側
- ⑰ コンロ内燃焼炭温度

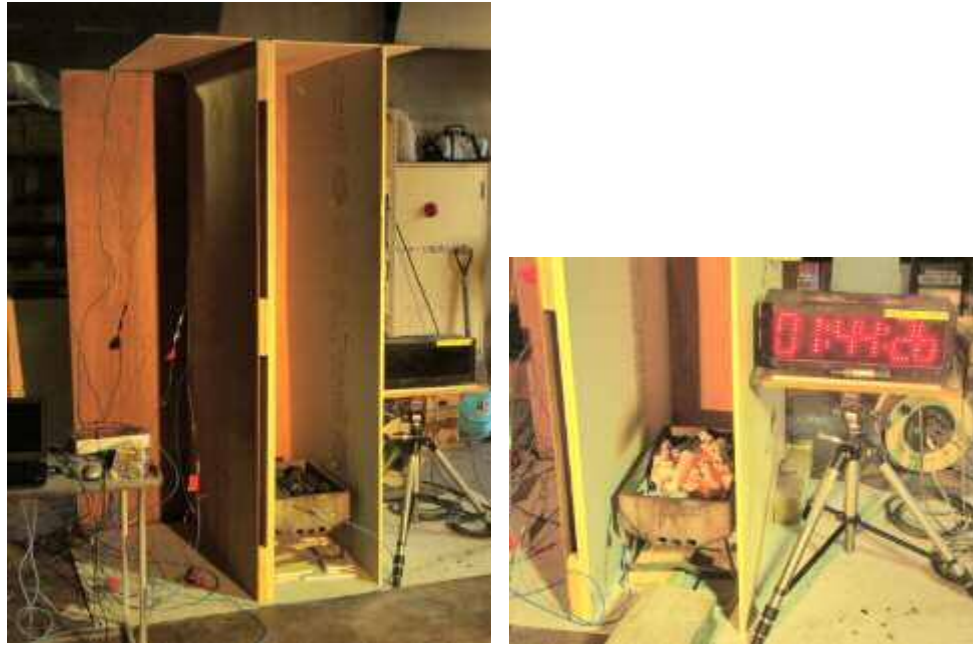


写真2 実験の状況

イ 測定時間内の最高温度

各温度測定場所の最高温度を表2に示す

表2 各測定場所の最高温度

測定場所番号	①	②	③	④	⑤	⑥
温度 (°C)	117.3	79.1	45.7	81.0	54.0	38.2

測定場所番号	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
温度 (°C)	52.9	68.9	50.2	42.3	47.3	41.6

測定場所番号	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰
温度 (°C)	37.2	31.8	30.6	56.9	849.3

ウ 実施結果

測定温度場所①②③の測定温度を図7に、測定場所④⑤⑥の測定温度を図8に、測定場所⑦⑧⑨の測定温度を図9に、測定場所⑬⑭⑮の測定温度を図10に示す。

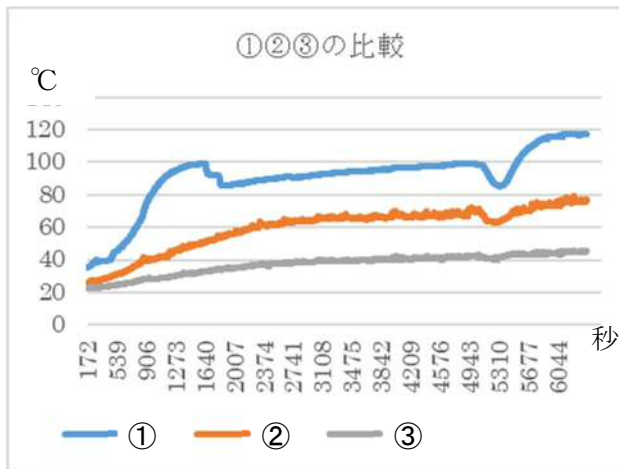


図7 ①②③の測定温度

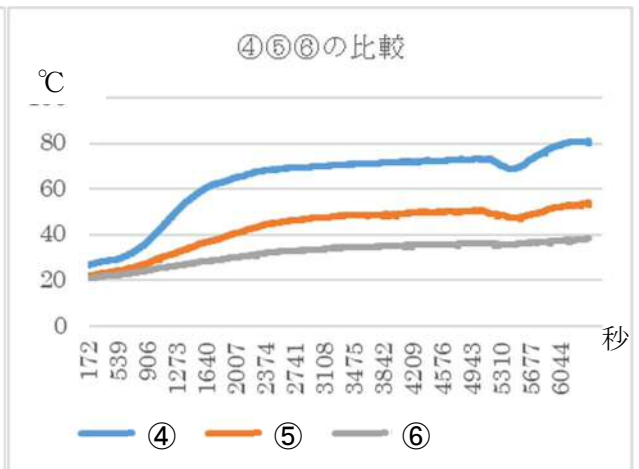


図8 ④⑤⑥の測定温度

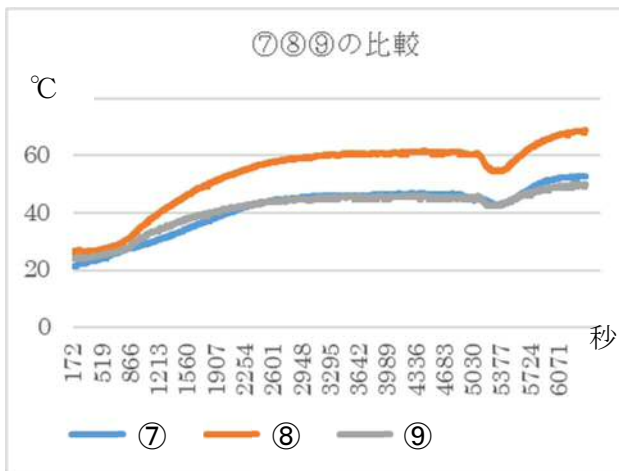


図9 ⑦⑧⑨の測定温度

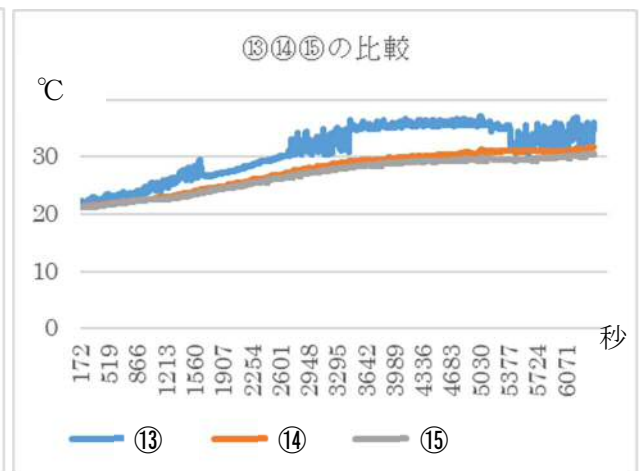


図10 ⑬⑭⑮の測定温度

- (ア) 図7から、コンロ側方に離隔距離を3cm取った12.5mm石膏ボードの内側①②③の比較では、①②③の順に温度が高い。
- (イ) 図8から、コンロ側方に離隔距離を3cm取った12.5mm石膏ボードの外側④⑤⑥の比較では、④⑤⑥の順に温度が高い。
- (ウ) 図9から、コンロ後方に離隔距離を30cm取った木材内側⑦⑧⑨の比較では、⑧の温度が一番高い。
- (エ) コンロ側方に離隔距離を3cm取った12.5mm石膏ボード2枚の外側⑩⑪⑫は、⑩が途中で測定位置がずれたため、比較できないが50°C程度までしか温度上昇はしていない。
- (オ) 図10から、コンロ側方に離隔距離を3cm取った12.5mm石膏ボード2枚の外側に離隔距離を3cm取って設置した木材の内側⑬⑭⑮の比較では、⑬⑭⑮の順に温度が高かったが、最高でも40°C未満であった。
- (カ) 表2から、コンロ内の炭火の温度⑰は849.5°Cまで上がった。

- (キ) 表2から、コンロ上方に離隔距離を150cm取った天井⑬は、56.9℃まで上がった。
- (ク) 100℃を超えたのは、コンロ側方に離隔距離を3cmとり、12.5mm石膏ボード内側でコンロ上方に離隔距離を15cm取った①のみであった。

※ 燃焼状態のおが備長炭をコンロに設置して、約101分間(6,094秒)温度測定を実施した。

エ 考察

コンロと壁の間に多少の空間があることで、壁面の温度上昇はかなり抑えられることが分かった。

防熱版として2枚重ねて設置した12.5mm石膏ボードも、合計25.0mmの厚さにより、熱伝導が抑えられ、防熱版の有効性が確認できた。

炭火こんろ上方の木材の温度があまり上昇しなかったのは、空気の対流により熱が前方に逃げたと考えられるため、前方上部に垂れ壁等の空気を遮断できる物を設置した場合、さらに温度が上昇する可能性がある。

(3) コンロ使用時の周囲の温度変化測定（周囲との空間なし）

ア 測定位置

- (ア) コンロ側方に離隔距離を取らずに9.5mm石膏ボード1枚設置し、外側に貼り付けた木材の内側（⑨⑩⑪）
- (イ) コンロ後方に離隔距離を取らずに設置した12.5mm石膏ボード両側（内側③④⑤、外側⑥⑦⑧）
- (ウ) コンロ側方に離隔距離を取らずにコンクリートブロックを設置し、さらにその外側に設置した木材の内側（コンクリートブロックと木材の間の温度①②）
- (エ) コンロ内燃焼温度変化の温度変化（⑫）

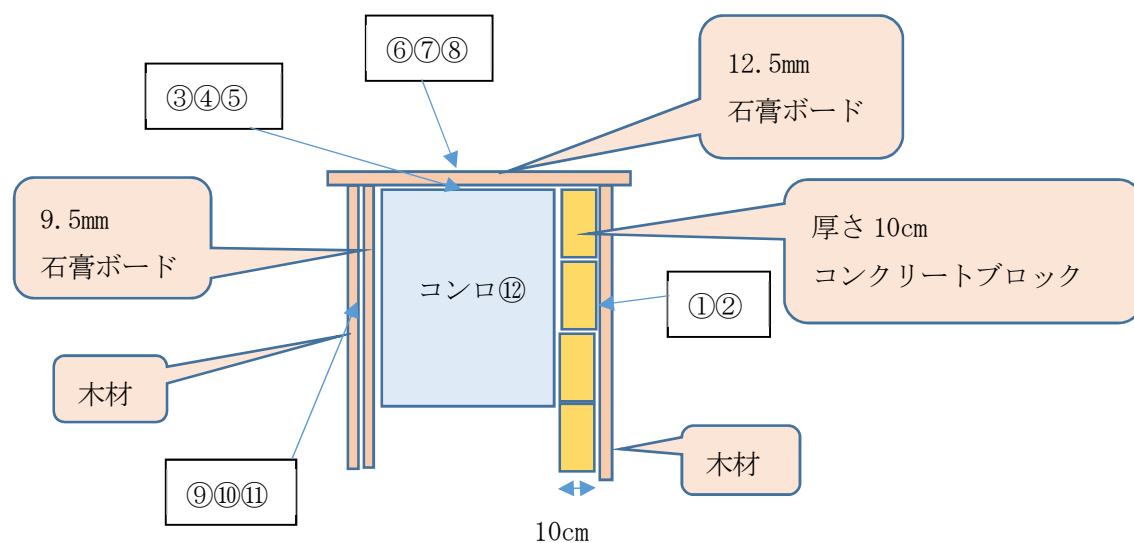


図11 設定状況（上方から）

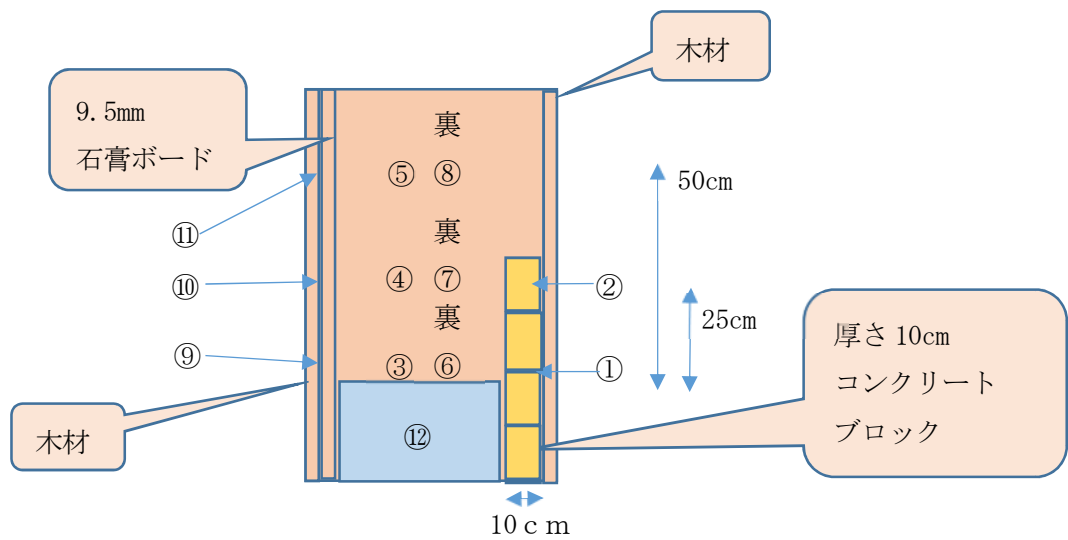


図 12 設定状況 (正面から)

- ① コンロ側方離隔距離 0cm、ブロック (厚さ 10cm) 外側 (板との間)、コンロ上方離隔距離 0cm
- ② コンロ側方離隔距離 0cm、ブロック (厚さ 10cm) 外側 (板との間)、コンロ上方離隔距離 25cm
- ③ コンロ後方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード内側、コンロ上方離隔距離 0cm
- ④ コンロ後方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード内側、コンロ上方離隔距離 25cm
- ⑤ コンロ後方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード内側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ⑥ コンロ後方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード外側、コンロ上方離隔距離 0cm
- ⑦ コンロ後方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード外側、コンロ上方離隔距離 25cm
- ⑧ コンロ後方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード外側、コンロ上方離隔距離 50cm
- ⑨ コンロ側方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード外側 (板との間) コンロ上方離隔距離 0cm
- ⑩ コンロ側方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード外側 (板との間) コンロ上方離隔距離 25cm
- ⑪ コンロ側方離隔距離 0cm、12.5mm 石膏ボード外側 (板との間) コンロ上端らの高さ 50cm
- ⑫ コンロ内燃焼炭温度



写真 3 実験の状況

イ 測定時間内の最高温度

各温度測定場所の最高温度を表 3 に示す

表 3 各測定場所の最高温度

測定場所番号	①	②	③	④	⑤	⑥
温度 (°C)	56.2	38.0	259.3	177.0	104.6	90.4

測定場所番号	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
温度 (°C)	70.7	63.8	194.7	154.3	136.9	938.3

ウ 実施結果

測定温度場所①②の測定温度を図 13 に、測定場所③④⑤の測定温度を図 14 に、測定場所⑥⑦⑧の測定温度を図 15 に、測定場所⑨⑩⑪の測定温度を図 16 に示す。

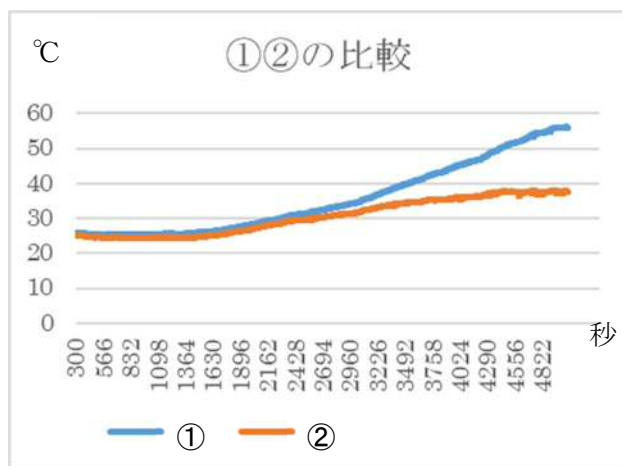


図 13 ①②の測定温度

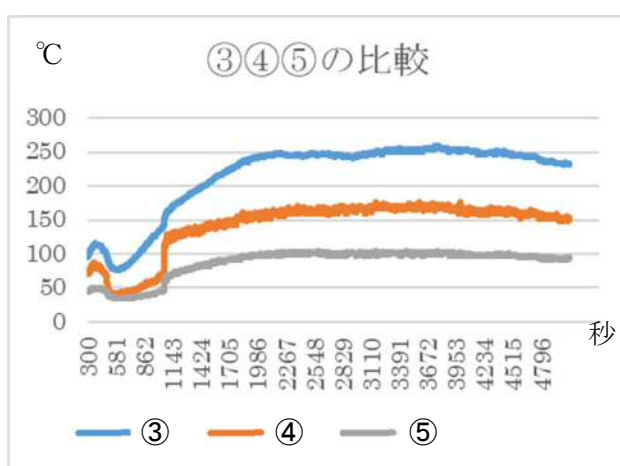


図 14 ③④⑤の測定温度

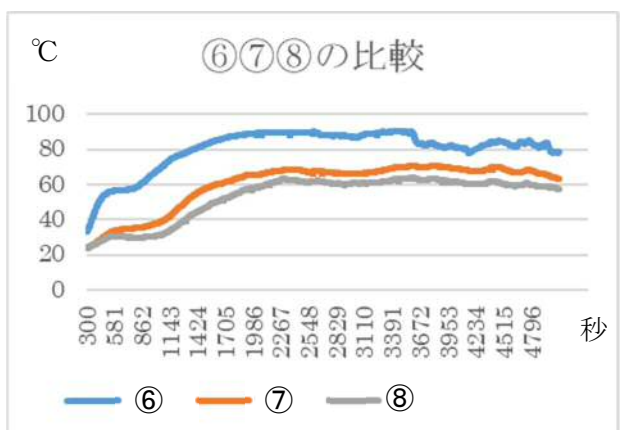


図 15 ⑥⑦⑧の測定温度

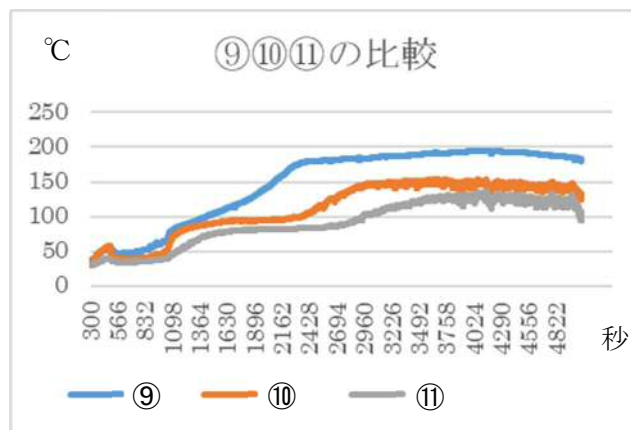


図 16 ⑨⑩⑪の測定温度

(ア) 図 13 から、コンロ側方ブロックの外側に設置した木材内側の垂直温度変化①②の比較では、①の方が温度が高い。

- (イ) 表 3 から、コンロ側方ブロックの内側の温度は離隔距離 0 cm の⑥と同じ 90.4℃と考えられるが、ブロックを挟むことにより①は 56.2℃までしか上昇しなかった。
 - (ウ) 図 14 から、コンロ後方離隔距離 0 cm で 12.5 mm 石膏ボード内側の垂直温度変化③④⑤の比較では、③④⑤の順に温度が高い。
 - (エ) 図 15 から、コンロ後方離隔距離 0 cm で 12.5 mm 石膏ボード外側の垂直温度変化⑥⑦⑧の比較では、⑥⑦⑧の順に温度が高い。
 - (オ) 図 16 から、コンロ側方離隔距離を取らずに設置した 9.5mm 石膏ボードに離隔距離を取らずに設置した木材の内側の温度変化⑨⑩⑪の比較では、⑨⑩⑪の順に温度が高く、100℃を超えた。
 - (カ) 高さが同じ①⑥⑨の比較では、①⑥⑨の順に温度が低い。
 - (キ) 高さが同じ②⑦⑩の比較では、②⑦⑩の順に温度が低い。
 - (ク) コンロ内の⑫の温度は、最高で 938℃まで上昇したが、向かって右の板の内側及び奥のボードの外側は 100℃まで上昇しなかった。
 - (ケ) 向かって左の 9.5 mm 石膏ボードは熱の影響で亀裂が生じた (写真 4 参照)。
- ※ 燃焼状態のおが備長炭を炭火こんろに入れて、約 80 分間 (4,822 秒) 温度測定を実施した。

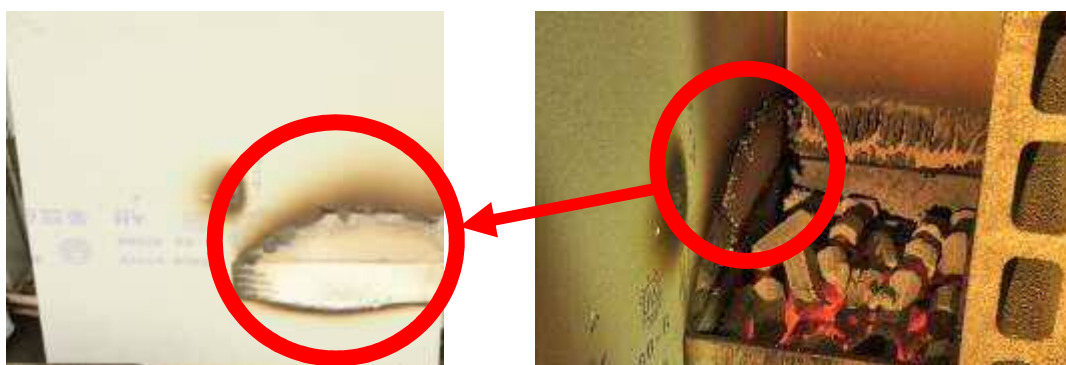


写真 4 石膏ボードの亀裂の状況

エ 考察

コンロと木材の間に離隔距離を取らずに設置した 9.5 mm の石膏ボード 1 枚では、木材の温度が 100℃を超えてしまい、遮熱ができなかった。その上、燃焼実験終了後確認したところ 9.5 mm の石膏ボードは、熱により亀裂が生じており、繰り返し使用はできないことが判明した。また、今回遮熱のために設けた材料の中では、コンクリートブロックによる遮熱が一番有効であることが判明した。

6 実験結果からの考察

同じ炭を使用しての比較実験であることから、七輪及びコンロの火床での燃焼時の最高温度は約 900℃であり、同じである。

しかし、炭の量の比較では今回は、七輪の炭の量 869.5 g に対して、コンロ 3,952.0 g であり、約 4.5 倍の量であったことから、発生する熱量はコンロの方が多く、広範囲にわたっている。今回の実験で使用した七輪及びコンロより大きな炭火こんろ等であれば、これ以上の多量の炭を使用できる

ことから、さらに、熱量は大きくなると考えられる。

また、5(2)から、コンロと壁との間に空気層を作ったことにより、温度上昇を抑えられる結果が得られたことから、温度上昇を抑えるためには、火気器具と可燃物の間には空気層を作る事が有効であることが分かった。

5(1)から、七輪に関しては、円形であることから、離隔距離を取らない場合、壁体との接する部分は「点」であること、また、材質が珪藻土であり、実験結果からも壁面に対する熱の伝わり方がコンロより弱いものと考えられる。

さらに、空気層を作ったことから、接している部分以外の壁面が高温になりにくい結果も得られた。

一方、今回用いたコンロは、四角い形状から壁体と接する部分が「面」であり、材質も鉄製であることから熱伝導率も大きく、熱の伝わり方も直接的であり、壁体に大きく熱が伝わり、大きく焼けたものと考えられる。

以上のことから、炭火を安全に使用するためには、可燃物との間に空気層を作ることと、材質により遮熱効果を高めること等を考えると、火気設備と可燃物との間に空気層の離隔を確保することと、不燃材料の防熱板の設置、若しくはコンクリートブロックによる遮熱が必要と考えられる。

また、今回は七輪とコンロを使用し周囲の温度を測定したが、条例別表3に掲げる「移動式こんろ（固体燃料）」に必要な離隔距離（上方100cm、側方、前方及び後方30cm）を確保した場合、当該測定場所で100℃を超えることはなかった。

このことから、炭火こんろ等の周囲には条例に規定される離隔距離を確保することが必要であり、今後も引き続き適切な離隔距離確保を指導することが重要であると考えられる。

分析用試料の採取方法等に関する検証について

札幌市消防局消防科学研究所 橋本 慎也

1 はじめに

ガスクロマトグラフ (GC) やガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) は、ppm～ppb レベルの微量な化合物を検出することが可能な機器であり、放火火災において助燃材として使用された燃料油の検出や危険物事故として河川に流出した燃料油の特定など、これらの機器を用いた成分分析の結果は、火災原因調査や危険物事故調査等において、科学的根拠を与える有効手段として必要不可欠となっている。

しかしながら、火災現場等ではガス検知管が有意に変色し、燃料油の存在を示しているにもかかわらず、採取された試料からは、GC や GC-MS 等で成分分析をしたものの、燃料油の成分が一切検出されないといった事例が散見される。その原因は色々と考えられるが、一つにはヒューマンエラーとして、そもそも燃料油が含有していない箇所から残焼物等を取去ってしまった可能性が考えられる。現状では、火災調査現場等における試料の採取に関しては、採取箇所や量など、すべて現場職員の判断に委ねているが、掘り所となるマニュアル等は存在せず、残焼物等のどの部分に燃料油が残存しているのかなど具体的に検証したこともない。

そこで、燃料油を用いた放火火災が疑われる火災現場から分析用の試料を有効に採取する方法について燃焼実験等により検証を行った。

2 実験日時等

(1) 実験期間

平成 29 年 12 月 6 日 (水)～平成 30 年 1 月 12 日 (金)

(2) 実験場所

札幌市消防局消防科学研究所

3 検証実験に使用した燃料油

積雪寒冷地の当市においては、家庭用燃料として灯油が広く普及しており、屋外に設置された灯油用ホームタンクの配管が経年劣化や落雪などの原因により破損し、灯油が漏えいする事故が頻発しているほか、入手が容易であることから、放火火災において助燃材として用いられることも多い。そのため、当研究所の GC や GC-MS 等を用いた分析依頼の大半が灯油に係わる事案となっており、本検証実験においても灯油を使用した。

4 検証実験内容

燃料油の「水に比べて表面張力が小さく、物体に染み込みやすい」という特性と、「染み込んだ物体の表面において気化する」という事実から、放火火災において燃料油が残存する箇所は、燃料油がまかれて染み込んだ物体が炭化せずに燃え残っている部分である可能性が高いと考えた。

そこで、下記(1)～(4)により、灯油を用いた放火の状況を簡易的に再現した燃焼実験を行い、そ

の残焼物を材質ごとにピンポイントで採取し、同所に含有する油成分について GC-MS により分析した。

- (1) 検証 1 床上のアクリル製マットに灯油を撒いて火をつけた
- (2) 検証 2 畳に灯油をまいて火をつけた
- (3) 検証 3 灯油を染み込ませたウエスを投げ込んで火をつけた
- (4) 検証 4 ポリエチレンのマットレスに灯油をまいて火をつけた

5 分析方法等

(1) 前処理

前 4(1)~(4)で得られた残焼物から部位ごとに試料を 1 cm³程度採取し、ポリプロピレン製のディスポシリンジの中に入れ、3mL 程度のジエチルエーテル（試薬特級：純正化学株式会社）に浸したのち、エコノフィルタ（アジレント・テクノロジー株式会社：PTFE 13m 0.45um 1000/pk）を用いてろ過した。

(2) 分析条件

- ア MSD アジレントテクノロジーズ社 5977B
- イ GC アジレントテクノロジーズ社 7890B
- ウ 試料注入量 0.001ml
- エ カラム VF-5ms キャピラリーカラム 15m× 0.15 mm
- オ キャリアーガス He
- カ 昇温速度 40℃：1 分間保持、40~320℃：40℃/min、320℃：2 分間保持
- キ カラム流量 1 mL/min
- ク 注入口温度 250℃
- ケ 検出器温度 230℃
- コ スプリット比 100：1
- サ スキャンパラメータ 質量範囲 33~500

6 灯油の分析結果

本実験で使用した灯油をジエチルエーテルで 10%に希釈し、GC-MS により分析した結果（トータルイオンクロマトグラム（以下「TIC」という。）及びライブラリ検索結果）を図 1 及び表 1 に示す。同灯油の希釈液からは、保持時間（以下「RT」という。）1.2min 付近~RT5.4min 付近の範囲に、炭素数 7 のヘプタン (Heptane) から炭素数 17 のヘプタデカン (Heptadecane) までの直鎖アルカンを特徴的とした炭化水素等のピーク群が検出された。

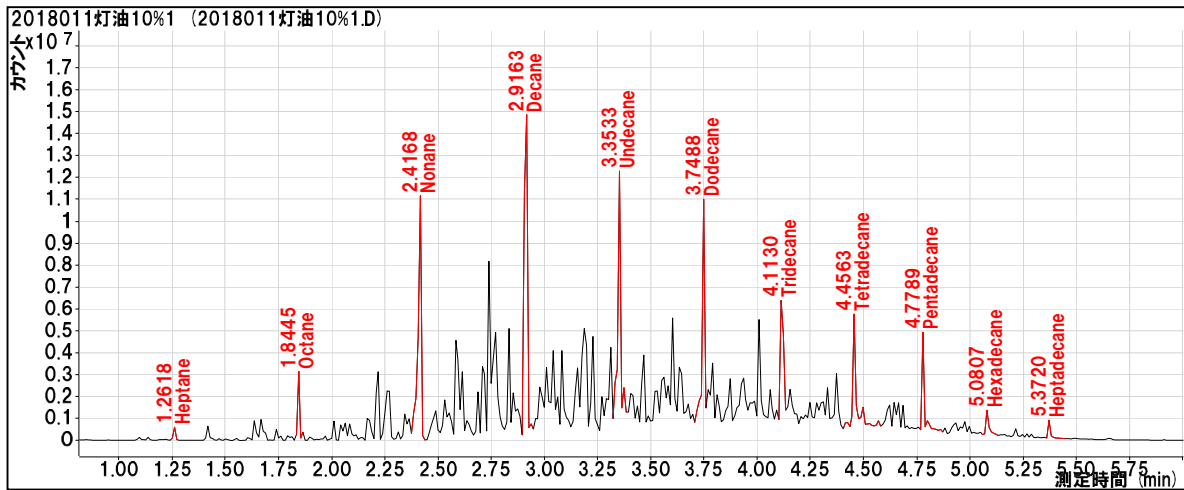


図1 灯油希釈液のTIC

表1 灯油希釈液のライブラリ検索結果

RT	化合物名	一致率	分子式	面積	高さ
1.262	Heptane	98.8	C7H16	420125	603198
1.845	Octane	98.1	C8H18	2221968	3135863
2.417	Nonane	98.1	C9H20	12115127	11160643
2.916	Decane	93.7	C10H22	17406809	14849589
3.353	Undecane	98.8	C11H24	14444955	12282744
3.749	Dodecane	86.2	C12H26	10842338	10999416
4.113	Tridecane	95.4	C13H28	7731466	6386440
4.456	Tetradecane	97.5	C14H30	12453214	5758937
4.779	Pentadecane	97.1	C15H32	6290588	4924990
5.081	Hexadecane	95.3	C16H34	2169400	1367716
5.372	Heptadecane	96.2	C17H36	1075027	915866

7 検証実験1 床上のアクリル製マットに灯油を撒いて火をつけた

(1) 実験方法

写真1～写真8に示すとおり、以下の手順で検証実験を行った。

- ア 200×200 mmの木製合板に樹脂製クッションフロアを貼りつけ、その上にアクリル製マットを敷く
- イ アクリル製マットの中央部分に100mLの灯油をまき火をつける
- ウ 10分間燃焼させ、下火になったところで十分な量の水で完全に消火
- エ 試料①（アクリルマット表面炭化部分）、試料②（アクリルマットの燃え残り部分）、試料③（クッションフロアの燃え残り部分）及び試料④（焼けのない木製合板部分）を採取し、GC-MSで成分分析

(2) 実験結果

図2～図5及び表2及び表3のとおり、試料①及び試料④から灯油成分は検出されず、試料②からは、RT3.3min付近～RT5.4min付近の範囲に炭素数11のウンデカン（Undecane）から炭素数17のヘプタデカン（Heptadecane）までの直鎖アルカンを特徴的とした炭化水素等のピーク群が検出された。試料③からは、試料②より低強度でRT4.1min付近～RT5.4min付近の範囲に、炭素数13のトリデカン（Undecane）から炭素数17のヘプタデカン（Heptadecane）までの直鎖アルカ

ンを特徴的とした炭化水素等のピーク群が検出された。



写真1 マットに灯油をまいた状況



写真2 燃焼状況



写真3 消火直前の状況



写真4 採取位置 (試料①)



写真5 採取位置 (試料②)



写真6 採取位置 (試料③)



写真7 採取位置 (試料④)



写真8 採取した各試料

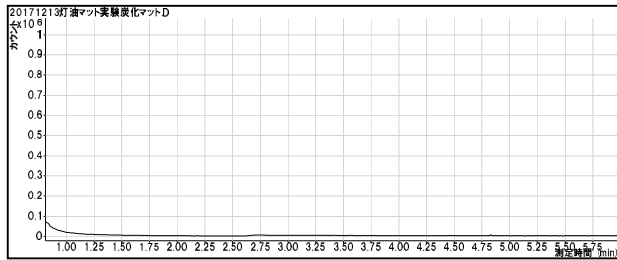


図 2 試料①の TIC

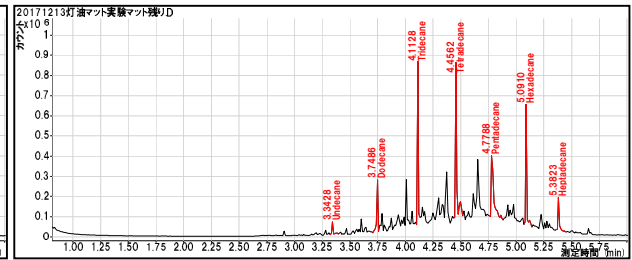


図 3 試料②の TIC

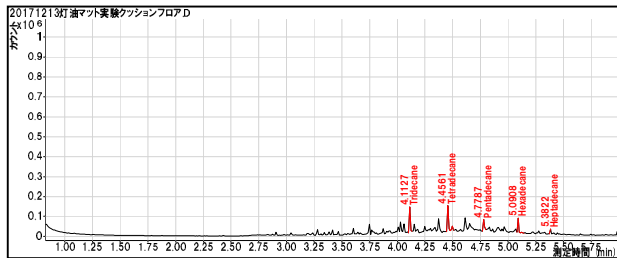


図 4 試料③の TIC

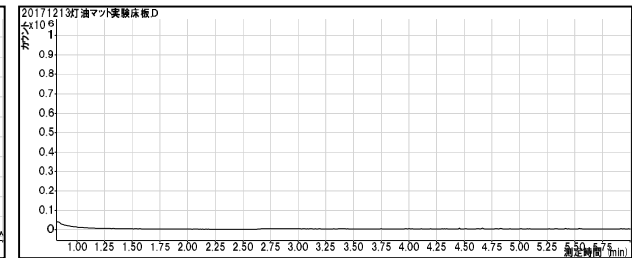


図 5 試料④の TIC

表 2 試料②のライブラリ検索結果

RT	化合物名	一致率	分子式	面積	高さ
3.343	Undecane	93.7	C11H24	66324	64772
3.749	Dodecane	86.7	C12H26	248254	273791
4.113	Tridecane	96.6	C13H28	645266	860754
4.456	Tetradecane	95.6	C14H30	1125110	855347
4.779	Pentadecane	87.2	C15H32	1058846	393892
5.091	Hexadecane	97.1	C16H34	639119	646848
5.382	Heptadecane	95.0	C17H36	258465	186185

表 3 試料③のライブラリ検索結果

RT	化合物名	一致率	分子式	面積	高さ
4.113	Tridecane	90.6	C13H28	100415	134909
4.456	Tetradecane	93.4	C14H30	158742	141042
4.779	Pentadecane	84.4	C15H32	73297	71198
5.091	Hexadecane	88.0	C16H34	58999	76863
5.382	Heptadecane	85.3	C17H36	14798	23695

8 検証実験 2 畳に灯油をまいて火をつけた

(1) 実験方法

写真 9～写真 16 に示すとおり、以下の手順で検証実験を行った。

ア 300×450 mmの大きさに切り抜いた畳の中央部分に 100mL の灯油をまき、火をつける

イ 自然鎮火するまで燃焼させたのち、十分な量の水で完全に消火

ウ 試料①（畳表面炭化部分）、試料②（炭化箇所下の焦げた部分）、試料③（焦げ箇所下の焼けのない部分）及び試料④（中央のポリスチレン部分）を採取し、GC-MS で成分分析

(2) 実験結果

図 6～図 9 及び表 4 及び表 5 のとおり、試料①及び試料④から灯油成分は検出されず、試料②からは、RT1.8min 付近～RT4.8min 付近の範囲に炭素数 8 のオクタン (octane) から炭素数 15 のペンタデカン (Pentadecane) までの直鎖アルカンを特徴的とした炭化水素等のピーク群が検出された。試料③からは、試料②より低強度ながら同様のピーク群が検出された。

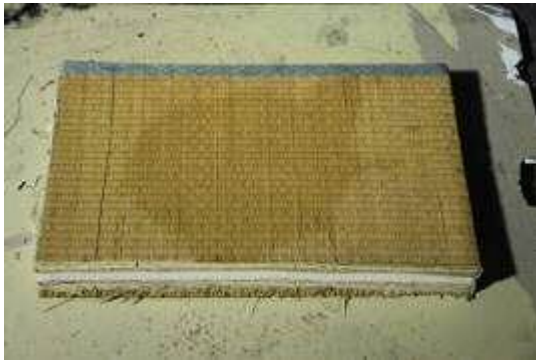


写真9 畳に灯油をまいた状況



写真10 燃烧状況



写真11 消火直前の状況



写真12 採取位置 (試料①)



写真13 採取位置 (試料②)



写真14 採取位置 (試料③)



写真15 採取位置 (試料④)



写真16 採取した各試料

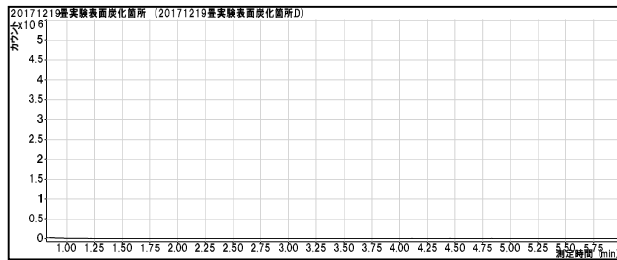


図6 試料①のTIC

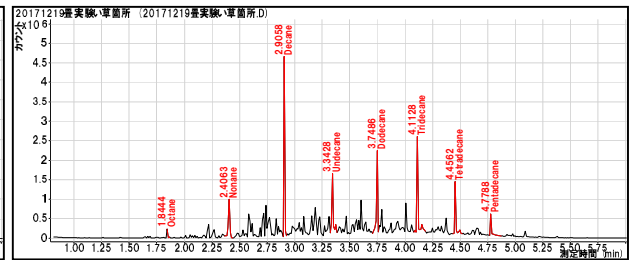


図7 試料②のTIC

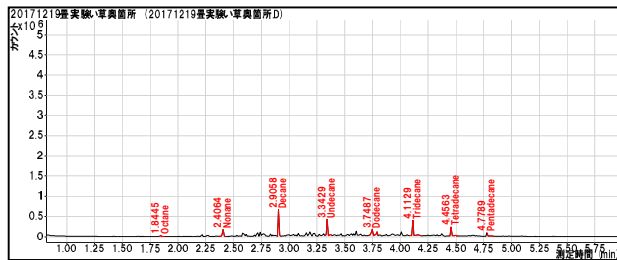


図8 試料③のTIC

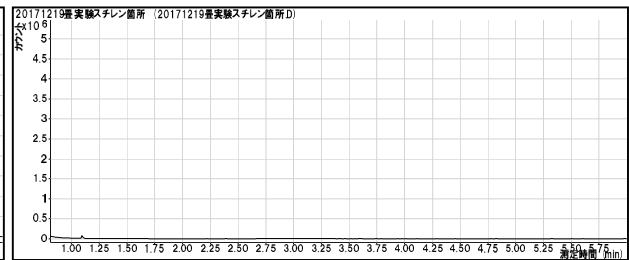


図9 試料④のTIC

表4 試料②のライブラリ検索結果

RT	化合物名	一致率	分子式	面積	高さ
1.844	Octane	98.2	C ₈ H ₁₈	87905	232357
2.406	Nonane	98.3	C ₉ H ₂₀	962266	992836
2.906	Decane	75.0	C ₁₀ H ₂₂	3050867	4658598
3.343	Undecane	97.9	C ₁₁ H ₂₄	1872891	1653692
3.749	Dodecane	89.3	C ₁₂ H ₂₆	2031028	2240530
4.113	Tridecane	98.4	C ₁₃ H ₂₈	2841737	2603593
4.456	Tetradecane	97.9	C ₁₄ H ₃₀	1549340	1449263
4.779	Pentadecane	95.1	C ₁₅ H ₃₂	802465	617164

表5 試料③のライブラリ検索結果

RT	化合物名	一致率	分子式	面積	高さ
1.844	Octane	96.9	C ₈ H ₁₈	21644	29590
2.406	Nonane	98.3	C ₉ H ₂₀	151350	174881
2.906	Decane	73.7	C ₁₀ H ₂₂	429423	660639
3.343	Undecane	98.0	C ₁₁ H ₂₄	342064	416202
3.749	Dodecane	79.7	C ₁₂ H ₂₆	260524	158409
4.113	Tridecane	96.8	C ₁₃ H ₂₈	333030	383732
4.456	Tetradecane	96.5	C ₁₄ H ₃₀	182713	225215
4.779	Pentadecane	94.2	C ₁₅ H ₃₂	41456	83280

9 検証実験3 灯油を染み込ませたウエスを投げ込んで火をつけた

(1) 実験方法

写真17~22に示すとおり、以下の手順で検証実験を行った。

ア 化繊のウエスに十分な量の灯油を染み込ませる

イ 200×200 mmの木製合板上に同ウエスを投げ置き、火をつける

ウ 10分間燃焼させ、下火になったところで十分な量の水で完全に消火

エ 試料①(ウエス表面の炭化部分)、試料②(ウエスの燃え残り部分)及び試料③(ウエス下の木製合板部分)を採取し、GC-MSで成分分析

(2) 実験結果

図10~11のとおり、試料①及び②から灯油成分は検出されず、図12及び表6のとおり、試料③からは、RT2.4min付近~RT5.1min付近の範囲に炭素数9のノナン(Nonane)から炭素数16のヘキサデカン(Hexadecane)までの直鎖アルカンを特徴的とした炭化水素等のピーク群が検出された。



写真 17 ウエスを投げ置いた状況



写真 18 燃烧状況



写真 19 消火直前の状況



写真 20 採取位置 (試料①)



写真 21 採取位置 (試料②)



写真 22 採取位置 (試料③)

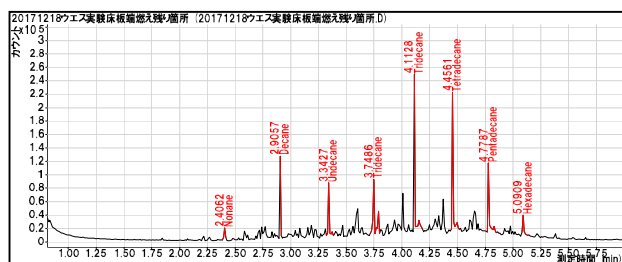


図 10 試料①の TIC



図 11 試料②の TIC

表 6 試料③のライブラリ検索結果



RT	化合物名	一致率	分子式	面積	高さ
2.406	Nonane	91.5	C9H20	15023	17923
2.906	Decane	73.2	C10H22	39063	121745
3.343	Undecane	95.4	C11H24	63874	79860
3.749	Tridecane	83.9	C13H28	106879	82625
4.113	Tridecane	96.1	C13H28	181338	233618
4.456	Tetradecane	96.4	C14H30	160394	206134
4.779	Pentadecane	92.6	C15H32	95487	104451
5.091	Hexadecane	84.8	C16H34	26522	29965

図 12 試料③の TIC

10 検証実験 4 ポリエチレン製のマットレスに灯油をまいて火をつけた

(1) 実験方法

写真 23～写真 30 に示すとおり、以下の手順で検証実験を行った。

ア 木製合板上に 600×700mm の大きさに切り取ったマットレスを敷く

イ マットレスの中央部分に 100mL の灯油をまき火をつける

ウ 7分間燃焼させ、下火になったところで十分な量の水で完全に消火

エ 試料① (マットレス表面の炭化部分)、試料② (マットレスの燃え残り部分) 及び試料③ (マットレス下の合板部分) を採取し、GC-MS で成分分析

(2) 実験結果

図 13～図 15 のとおり、試料①～③から灯油成分は一切検出されなかった。

マットレスに火をつけてから約 3 分後、マットレスの材質である熱可塑性樹脂のポリエチレン自体が液化化し、その後 2 分程度の間、激しく燃焼したが、その過程で少量の灯油が燃え尽きてしまったためと考えられた。



写真 23 畳に灯油をまいた状況



写真 24 燃焼状況 (1 分後)



写真 25 液化した PE の燃焼 (3 分後)



写真 26 消火直前の状況



写真 27 採取位置 (試料①)



写真 28 採取位置 (試料②)



写真 29 採取位置 (試料③)



写真 30 採取した各試料



図 13 試料①の TIC



図 14 試料②の TIC

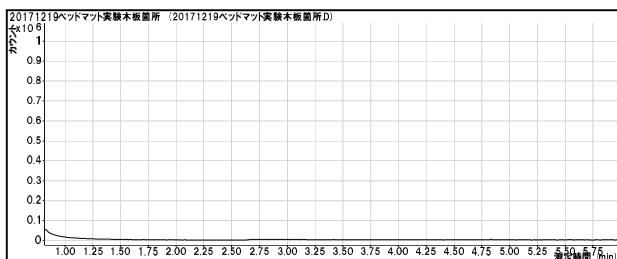


図 15 試料③の TIC

11 まとめ

灯油を用いた放火の状況を再現した燃焼実験を行い、残焼物に含有する油成分を GC-MS で分析した結果、灯油成分は、灯油を染み込ませた素材表面の炭化した部分からは一切検出されず、同素材深部の炭化せずに燃え残った部分や、同素材が接触している床板材などの焼けがない部分から検出された。

同検証実験結果から、燃料油は物体に染み込みやすく、染み込んだ物体の表面において気化しやすいため、燃料油を用いた放火火災においては、燃料油の成分は物体が炭化せずに燃え残っている箇所ほど多く残存している可能性が高いと考えられる。

以上のことから、試料を採取する際には、炭化した残焼物のみならず、床板等、残焼物周囲の焼けのない箇所からも採取する必要があると言える。

情報提供

クラスA消火剤使用時のポンプ運用に係る検証について

札幌市消防局消防科学研究所 的 場 敦 史

1 はじめに

クラスA消火剤は、消火活動に使用してきた水に0.1%から1%混合して使用することにより、水の表面張力を低下させ、燃焼物に対する浸透性及び付着性を向上させて、消火効果をより高めるものであり、当局では、平成21年度からクラスA消火剤の運用を開始しているところである。

また、当局では、クラスA消火剤の混合方式としてポンププロポーショナル方式を採用している。ポンププロポーショナル方式とは、水槽車の放水口（ポンプ吐出側）と中継口（ポンプ吸入側）を導水管で接続し、混合装置に設けてあるエジェクタの負圧でクラスA消火剤を吸引し、水に混合させるものである。「クラスA消火剤の運用要領」（平成21年11月30日警防部長決裁。以下「運用要領」という。）によると、クラスA消火剤を水に混合させるには、ポンプ吐出側（圧力計値）とポンプ吸入側（連成計値）の圧力差を常に0.3MPa以上となるよう維持する必要がある。このことから、運用要領では、クラスA消火剤を使用中に補給を受ける場合には、中継口や吸水口を使用せず、補水口を使用して水槽内に直接補水を行うこととしている（以下、この補水方法を「タンク運用」という。）。

今回は、中継口や吸水口からポンプ内に直接補水を行った場合（以下、この補水方法を「ポンプ運用」という。）において、タンク運用時と同様にクラスA消火剤の使用が可能となるポンプ操作技術・手法について、検証を実施した。

2 検証内容

中継口や吸水口を使用したポンプ運用の場合、ポンプに流入する水は有圧であり、ポンプ吐出側とポンプ吸入側の圧力差が小さくなることから、クラスA消火剤を水に混合させるために必要となる負圧が十分に得られない可能性が高い。

そこで、今回の検証では、中継口や吸水口のcockを絞り、意図的に負圧を作り出した状態でクラスA消火剤が適正に混合されるかについて各検証を実施し、当該結果を比較することとした。

3 検証日時等

(1) 日時

平成29年9月25日(月) 13時00分～15時30分

(2) 場所

札幌市白石消防署 車庫前

(3) 気象状況

天候：晴れのち雨、気温：23℃、湿度：51%、気圧：1,008hPa

(4) 実施隊等

白石水槽隊（一部）、菊水水槽隊（一部）、白石指揮隊（一部）、消防科学研究所

4 検証項目

- (1) 検証1「現行の運用体制（タンク運用）による放水時のクラスA消火剤の吸引量について」
- (2) 検証2「中継口からの補水（ポンプ運用）による放水時のクラスA消火剤の吸引量について」
- (3) 検証3「中継口からの補水（ポンプ運用）による放水時に、中継口コックを絞り、意図的に負圧を作り出した際のクラスA消火剤の吸引量について」
- (4) 検証4「消火栓からの吸水（ポンプ運用）による放水時のクラスA消火剤の吸引量について」
- (5) 検証5「消火栓からの吸水（ポンプ運用）による放水時に、吸水口コックを絞り、意図的に負圧を作り出した際のクラスA消火剤の吸引量について」

5 検証方法

本検証におけるクラスA消火剤の吸引量については、一定のポンプ送水圧力、送水量での放水中に、1分間クラスA消火剤を吸引させ、その前後におけるクラスA消火剤の入った容器（以下「容器」という。）の重量[kg]を計測し、その重量差[kg/min]及びクラスA消火剤の密度[kg/L]から算出することとした。

$$\text{クラスA消火剤吸引量 [L/min]} = \frac{\{ (\text{検証前の容器の重量}) - (\text{検証後の容器の重量}) \} \text{ [kg/min]}}{\text{クラスA消火剤の密度 (※) [kg/L]}}$$

(※) クラスA消火剤の密度：1.035 kg/L（実測値）

6 検証1「現行の運用体制（タンク運用）による放水時のクラスA消火剤の吸引量について」

検証1については、検証2～検証5との比較のため実施した。

(1) 設定及び手順（概要）

検証1の設定を図1及び写真1に示す。

また、手順（概要）については、次のアからキまでのとおり（写真2～写真5参照）。

なお、本検証で使用した白石水槽車（以下「白石2」という。）については、外付け型ポンププロポーショナーを使用している。

ア 検証前における容器の重量を計測する。

イ NM-Vノズルの流量ダイヤルを240L/min（又は450L/min）に設定する。

ウ 水槽吸水コックを開放するとともに、放水口を開放し、放水を開始する。

エ ポンプ送水圧力を0.5MPaに設定する。

オ クラスA消火剤の混合ダイヤルを「I」に設定する。

カ 1分後、クラスA消火剤の混合ダイヤルを「閉」に設定する。

キ 検証後における容器の重量を計測する。

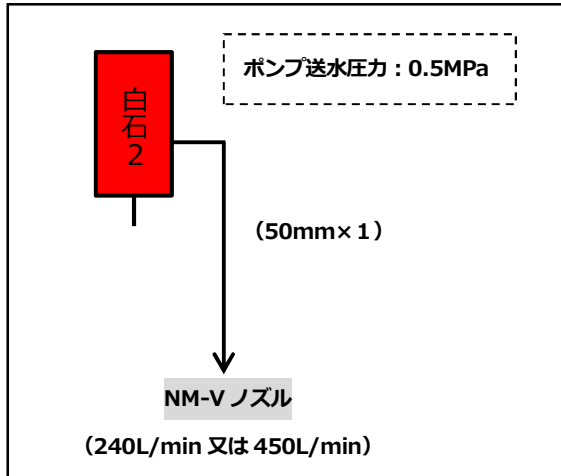


図 1 検証 1 の設定状況



写真 1 検証 1 の設定状況



写真 2 検証 1 のポンプ操作状況



写真 3 検証 1 のポンプ操作盤状況



写真 4 検証 1 の混合ダイヤル操作状況



写真 5 検証 1 の放水状況

(2) 検証結果

検証1の結果を表1に示す。

ポンプ送水圧力が0.5MPa、放水量が240L/minのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.386L/minであった。

また、ポンプ送水圧力が0.5MPa、放水量が450L/minのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.384L/minであった。

表1 検証1の結果一覧

放水量 [L/min]	240	450
ポンプ送水圧力 [MPa]	0.5	0.5
連成計値 [MPa]	0	0
検証前の容器の重量 [kg]	9.940	9.540
検証後の容器の重量 [kg]	9.540	9.143
クラスA消火剤 吸引量 [L/min]	0.386	0.384

7 検証2「中継口からの補水（ポンプ運用）による放水時のクラスA消火剤の吸引量について」

(1) 設定及び手順（概要）

検証2における設定を図2に示す。

また、手順（概要）については、次のアからキまでのとおり（写真6・写真7参照）。

なお、菊水水槽車（以下「菊水2」という。）から白石2への送水圧力は、実際の活動に即し、0.5MPaとした。

ア 検証前における容器の重量を計測する。

イ NM-Vノズルの流量ダイヤルを240L/minに設定する。

ウ 菊水2から白石2のポンプへ補水する（中継口接続）。

エ 放水口を開放し、放水を開始する。

オ クラスA消火剤の混合ダイヤルを「I」に設定する。

カ 1分後、クラスA消火剤の混合ダイヤルを「閉」に設定する。

キ 検証後における容器の重量を計測する。

(2) 検証結果

検証2の結果を表2に示す。

ポンプ送水圧力が0.6MPa、連成計値が0.5MPaとなり、クラスA消火剤は全く吸引されなかった（0.000L/min）。

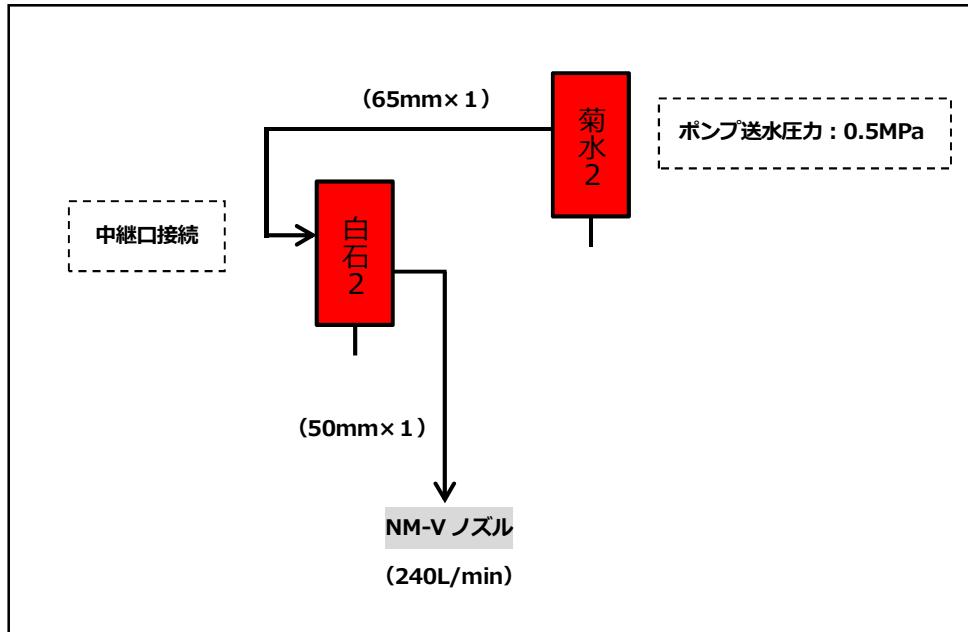


図 2 検証 2 及び検証 3 の設定状況



写真 6 検証 2 の設定状況



写真 7 検証 2 のポンプ操作盤状況

表 2 検証 2 の結果一覧

放水量 [L/min]	240
ポンプ送水圧力 [MPa]	0.6
連成計値 [MPa]	0.5
圧力計と連成計の差 [MPa]	0.1
検証前の容器の重量 [kg]	9.143
検証後の容器の重量 [kg]	9.143
クラス A 消火剤 吸引量 [L/min]	0.000

8 検証3「中継口からの補水（ポンプ運用）による放水時に、中継口コックを絞りと、意図的に負圧を作り出した際のクラスA消火剤の吸引量について」

(1) 設定及び手順（概要）

検証3における設定は、検証2と同様である（図2参照）。

また、手順（概要）については、次のアからクまでのとおり（写真8・写真9参照）。

なお、検証3では、圧力計と連成計の差が0.3MPa、0.4MPa又は0.5MPaとなるように、白石2の中継口コック及びポンプ送水圧力を調整し、クラスA消火剤の吸引量を比較することとした。

ア 検証前における容器の重量を計測する。

イ NM-Vノズルの流量ダイヤルを240L/minに設定する。

ウ 菊水2から白石2のポンプへ補水する（中継口接続。菊水2送水圧力0.5MPa）。

エ 放水口を開放し、放水を開始する。

オ 圧力計と連成計の差が0.3MPa、0.4MPa又は0.5MPaとなるように、白石2の中継口コック及びポンプ送水圧力をそれぞれ調整する。

カ クラスA消火剤の混合ダイヤルを「I」に設定する。

キ 1分後、クラスA消火剤の混合ダイヤルを「閉」に設定する。

ク 検証後における容器の重量を計測する。



写真8 検証3のポンプ操作盤状況



写真9 検証3のポンプ操作盤状況

(2) 検証結果

検証3の結果を表3に示す。

ポンプ送水圧力が0.6MPa、連成計値が0.3MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.361L/minであった。

ポンプ送水圧力が0.6MPa、連成計値が0.2MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.384L/minであった。

ポンプ送水圧力が0.6MPa、連成計値が0.1MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.383L/minであった。

表 3 検証 3 の結果一覧

放水量 [L/min]	240	240	240
ポンプ送水圧力 [MPa]	0.6	0.6	0.6
連成計値 [MPa]	0.3	0.2	0.1
圧力計と連成計の差 [MPa]	0.3	0.4	0.5
検証前の容器の重量 [kg]	9.143	8.542	8.145
検証後の容器の重量 [kg]	8.770	8.145	7.749
クラスA消火剤 吸引量 [L/min]	0.361	0.384	0.383

9 検証 4 「消火栓からの吸水（ポンプ運用）による放水時のクラスA消火剤の吸引量について」

(1) 設定及び手順（概要）

検証 4 における設定を図 3 及び写真 10 に示す。

また、手順（概要）については、次のアからキまでのとおり。

- ア 検証前における容器の重量を計測する。
- イ NM-V ノズルの流量ダイヤルを 240L/min に設定する。
- ウ 単口消火栓から白石 2 へ補水する（吸水口接続）。
- エ 放水口を開放し、放水を開始する。
- オ クラスA消火剤の混合ダイヤルを「I」に設定する。
- カ 1 分後、クラスA消火剤の混合ダイヤルを「閉」に設定する。
- キ 検証後における容器の重量を計測する。

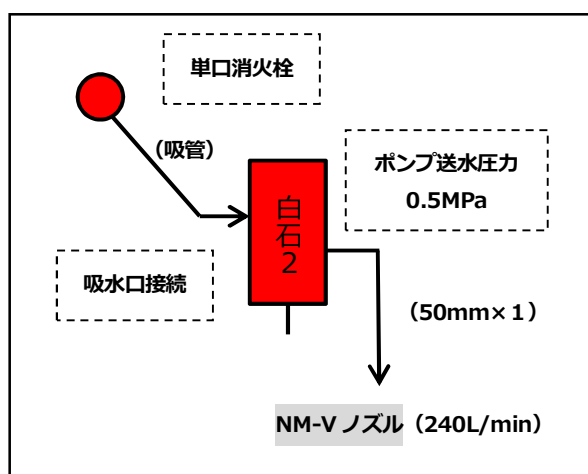


図 3 検証 4 及び検証 5 の設定状況



写真 10 検証 4 及び検証 5 の設定状況

(2) 検証結果

検証 4 の結果を表 4 に示す。

ポンプ送水圧力が 0.6MPa、連成計値が 0.5MPa となり、クラスA消火剤は全く吸引されなかった (0.000L/min)。

表 4 検証 4 の結果一覧

放水量 [L/min]	240
ポンプ送水圧力 [MPa]	0.6
連成計値 [MPa]	0.5
圧力計と連成計の差 [MPa]	0.1
検証前の容器の重量 [kg]	7.749
検証後の容器の重量 [kg]	7.749
クラスA消火剤 吸引量 [L/min]	0.000

10 検証 5「消火栓からの吸水（ポンプ運用）による放水時に、吸水口コックを絞り、意図的に負圧を作り出した際のクラスA消火剤の吸引量について」

(1) 設定及び手順（概要）

検証 5 における設定は、検証 4 と同様である（図 3 参照）。

また、手順（概要）については、次のアからクまでのとおり。

なお、検証 5 では、圧力計と連成計の差が 0.3MPa、0.4MPa 又は 0.5MPa となるように、白石 2 の吸水口コック及びポンプ送水圧力を調整し、クラスA消火剤の吸引量を比較することとした。

ア 検証前における容器の重量を計測する。

イ NM-V ノズルの流量ダイヤルを 240L/min に設定する。

ウ 単口消火栓から白石 2 へ補水する（吸水口接続）。

エ 放水口を開放し、放水を開始する。

オ 圧力計と連成計の差が 0.3MPa、0.4MPa 又は 0.5MPa となるように、白石 2 の吸水口コック及びポンプ送水圧力を調整する（写真 11 参照）。

カ クラスA消火剤の混合ダイヤルを「I」に設定する。

キ 1 分後、クラスA消火剤の混合ダイヤルを「閉」に設定する。

ク 検証後における容器の重量を計測する。



写真 11 検証 5 のポンプ操作状況

(2) 検証結果

検証 5 の結果を表 5 に示す。

ポンプ送水圧力が 0.6MPa、連成計値が 0.3MPa のときのクラスA消火剤の吸引量は、0.328L/min であった。

ポンプ送水圧力が0.6MPa、連成計値が0.2MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.381L/minであった。

ポンプ送水圧力が0.6MPa、連成計値が0.1MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、0.383L/minであった。

表5 検証5の結果一覧

放水量 [L/min]	240	240	240
ポンプ送水圧力 [MPa]	0.6	0.6	0.6
連成計値 [MPa]	0.3	0.2	0.1
圧力計と連成計の差 [MPa]	0.3	0.4	0.5
検証前の容器の重量 [kg]	7.749	7.410	7.016
検証後の容器の重量 [kg]	7.410	7.016	6.620
クラスA消火剤 吸引量 [L/min]	0.328	0.381	0.383

11 考察

(1) 検証1について

運用要領によると、当局で使用しているポンププロポーショナーのクラスA消火剤の吸引量(以下「理論値」という。)は、約0.48L/minとなっている(混合ダイヤルIの場合)。一方、検証1から得られたクラスA消火剤の吸引量は、約0.38L/minであり、理論値よりも約0.10L/min少なかった。

この原因については、ポンププロポーショナー配管内にクラスA消火剤の一部が残留し、それが次の検証に影響した可能性が高いが、特定には至らなかった。また、本検証におけるクラスA消火剤の吸引時間が短く吸引量も少ないため、少量の残留量であっても吸引量に与える影響は大きくなると考えられる。さらに、理論値の算出方法が不明であるため、本検証と数値が一致しない可能性もある。

以上のことから、今回の検証では、誤差を大きく見積もり、検証1から得られた結果は理論値の誤差の範囲内とみなすこととする。また、この値を基準値として、検証1(タンク運用時)と検証2から検証5まで(ポンプ運用時)を比較することとする。

(2) 検証2及び検証4について

中継口又は吸水口を活用したポンプ運用時におけるクラスA消火剤の吸引量を検証した検証2及び検証4では、クラスA消火剤は全く吸引されなかった。

これは、いずれの検証においても圧力計と連成計の差が0.1MPaであり、運用要領で定める吸引に必要な圧力差(0.3MPa以上)に達しなかったためであると考えられる。

(3) 検証3及び検証5について

検証3及び検証5では、中継口又は吸水口を活用したポンプ運用時に、中継口コック又は吸水口コックを絞り、意図的に負圧を作り出した状態でクラスA消火剤が適正に混合されるかについて

て検証した。

その結果、圧力計と連成計の差が0.4MPa及び0.5MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、いずれの検証においても約0.38L/minであった。検証1（タンク運用時）のときと同様の吸引量が得られていることから、クラスA消火剤の吸引に必要な圧力差（0.3MPa以上）が常に維持されていれば、補水方法にかかわらずクラスA消火剤が適正に混合されることが推察される。

また、圧力計と連成計の差が0.3MPaのときのクラスA消火剤の吸引量は、検証3では約0.36L/min、検証5では0.33L/minであった。検証1（タンク運用時）と比較すると、吸引量は減少しているが、これはポンプ送水圧力（圧力計値）及び補水圧力（連成計値）が一定ではなく、わずかに変動していることが影響し、圧力計と連成計の差が一時的に0.3MPaに達せず、吸引しなかったためであると考えられる。

12 まとめ

今回は、中継口や吸水口を使用したポンプ運用時に、中継口や吸水口のcockを絞りと、意図的に負圧を作り出した状態でのクラスA消火剤の吸引量について検証を実施した。その結果について、以下のとおりまとめる。

(1) ポンプ運用時におけるクラスA消火剤の吸引量について

ポンプ運用であっても、運用要領で定める吸引に必要なとなる0.3MPa以上の圧力差が常に維持されていれば、タンク運用と同様の吸引量を得ることができた。

(2) ポンプ運用時におけるクラスA消火剤使用に係る懸案事項について

ア 水槽内へのクラスA消火剤混合水の逆流について

運用要領によると、圧力計と連成計の差が0.3MPa未満となると、クラスA消火剤混合水が水槽内に逆流する可能性がある。しかし、今回の検証では、検証2及び検証4において、圧力計と連成計の差が0.3MPa以下の状態でクラスA消火剤を使用したのが、逆流現象は確認できなかった。

これについては、検証時間が短く、もし混合水が逆流していたとしてもクラスA消火剤の混入量はごく微量であったためであると推察される。逆流する理由については不明であるため、ポンプ運用でクラスA消火剤を使用する場合は、常に水槽内へのクラスA消火剤混合水の逆流に注意する必要がある。

イ ポンプ操作について

ポンプ運用の場合、筒先の開閉により連成計値が変動するため、圧力計と連成計の差を常に0.3MPa以上に維持するためには、中継口や吸水口のcockの絞りの調整が常に必要となると考えられる。これは、放水量や口数が変化した場合についても同様であり、ポンプ操作の更なる習熟が必要となると考えられる。

また、外付けポンププロポーショナルの場合、中継口を使用したポンプ運用では、中継口の位置とクラスA混合ダイヤルの位置が車両の左右に分かれており、ポンプ操作のため、左右の操作盤を行き来する必要があるため、機関員の負担が増加することが考えられる。

一般住宅壁内を介した小屋裏の延焼に関する実験について

札幌市消防局消防科学研究所 高塚 浩平

1 はじめに

壁体内部を延焼経路とした火災は、屋内空間を伝う延焼経路よりも早く上方へ延焼することがあり、途中階で燃焼現象が確認できない場合でも、屋根の軒先から発煙するなど、火煙の噴出状況から建物内部の延焼状況を推測することが困難となる可能性がある。そこで、壁体内部の延焼について特性を理解し、警防活動上の参考とするため、本実験を行った。

2 外壁通気工法について

(1) 外壁通気工法の仕組みについて

木造住宅の外壁の中は、室内からの湿気が入り込んだり、あるいは断熱材の欠損があると壁内結露（内部結露）を起こす可能性が高いとされている。実際に、今までの木造軸組工法（在来工法）や木造枠組壁工法（2×4工法）でも寒冷地を中心として、壁内の湿気による結露やカビが発生する事故が過去に多く報告されている。

このような状態を改善するために、壁体内の湿気を外部に放出する手段として「外壁通気工法」という方法が1980年代に北海道で発案され、2000年代に急速に拡大した。

この方法は、透湿防水シートと外装材の間に通気層を設ける方法で、外装材からの浸透水も透湿防水シートで壁内部への進入を防ぎ、室内の湿気が内装材を通して壁体内に進入しても透湿防水シートを通し通気層へ排出するしくみとなっている。

そして、湿気は壁の通気層から小屋裏、小屋裏から建物外へと換気されていく。小屋裏からの換気方法は、軒下換気、妻面換気、棟換気の3つがある（図1参照）。

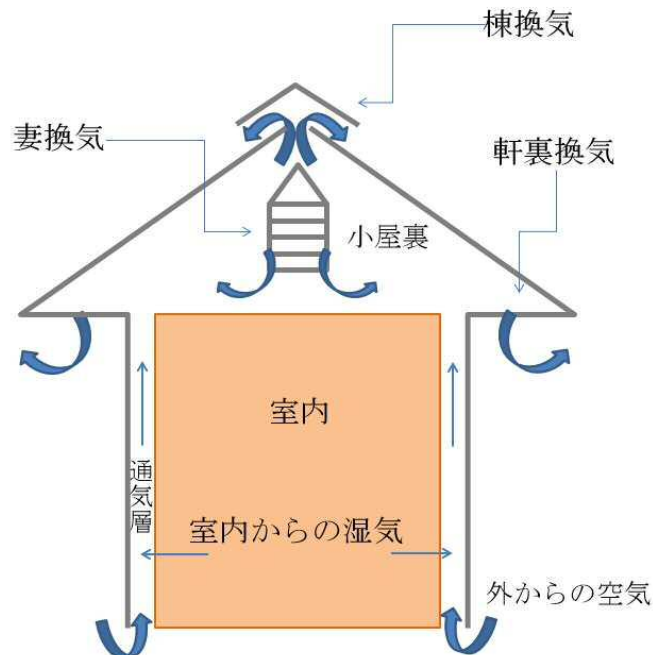


図1 小屋裏の換気方法

(2) 外壁通気工法の延焼危険性

前述したとおり、外壁通気工法は室内の結露やカビを防ぐために発案されたものであり、湿気に対し非常に有効な工法であるが、その反面、火災が発生した時に、通気層に火炎が入り込むと、煙突効果により換気の出口である小屋裏まで、一気に延焼していくリスクがある（図2）。

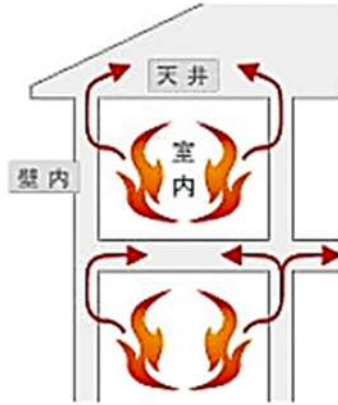


図2 延焼経路となりえる通気層

3 実験概要

- (1) 延焼リスクについて実際に確認するため、最近の住宅の代表的な構造である外壁通気工法を、一般住宅の約1/8サイズ（900×900×900mm）の簡易模型により再現（図3から図7及び写真1から写真4）し、壁体内に火炎が入り込んだ際にどのように延焼するのかを検証した。
- (2) 簡易模型の室内に可燃物（インシュレーションボード）を設置した（写真5参照）。
- (3) 着火源として、1階階段室にイソプロピルアルコール150mlを入れた金属容器（直径100mm深さ30mm）を設置した。
- (4) K型熱電対温度計を各室内、小屋裏及び壁内に設置し、着火後、温度を測定した。

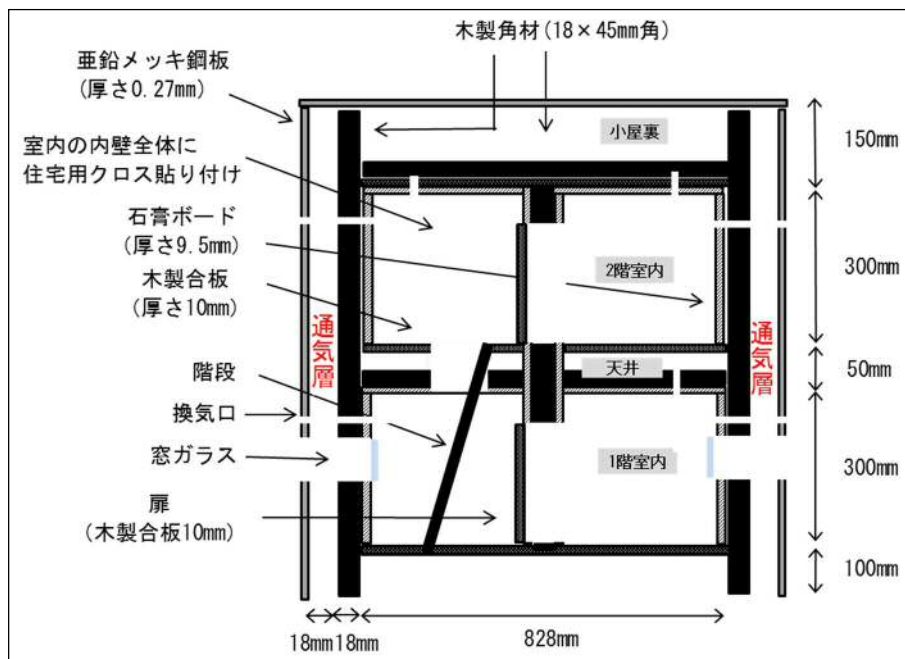


図3 模型概要図（前面）

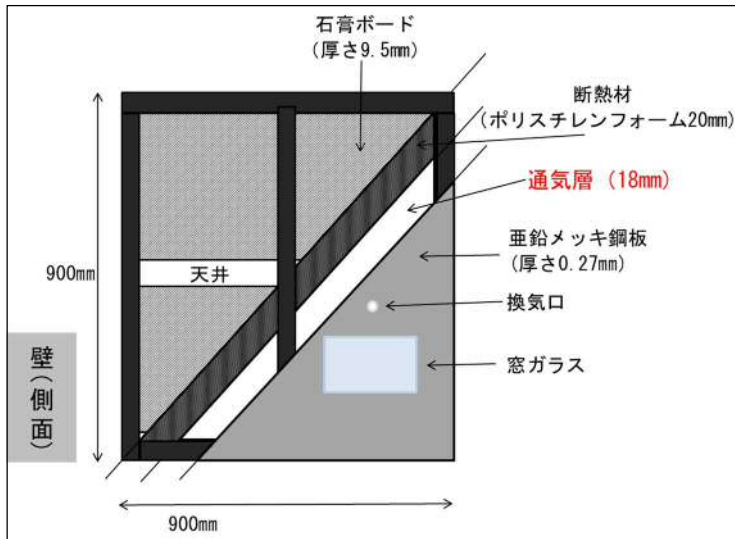


図4 壁体内部(外壁側から)

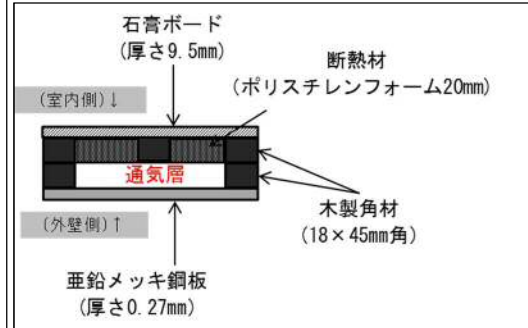


図5 壁体断面図

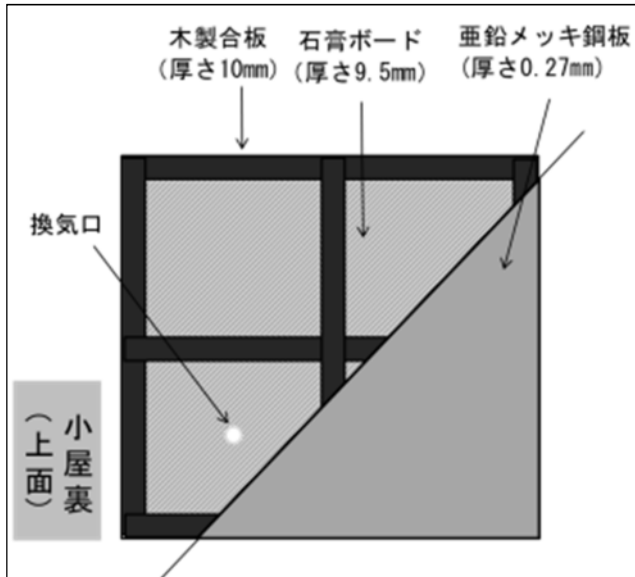


図6 小屋裏内部(上面から)

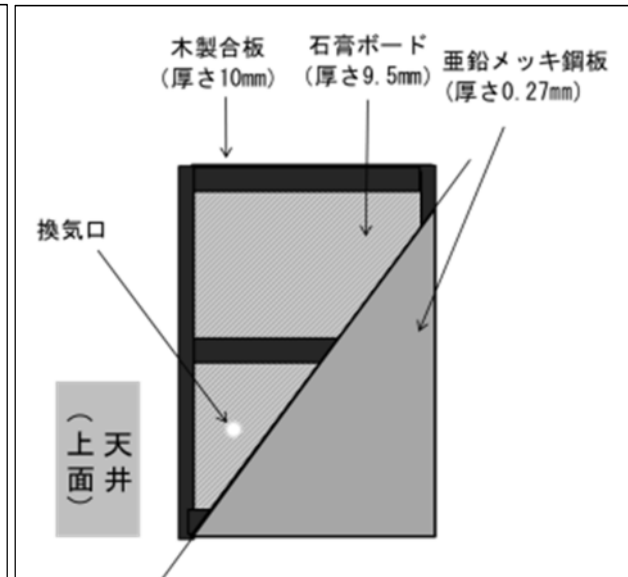


図7 1階天井内部(上面から)



写真1 簡易模型全体図



写真2 小屋裏と天井



写真3 室内ドアと階段

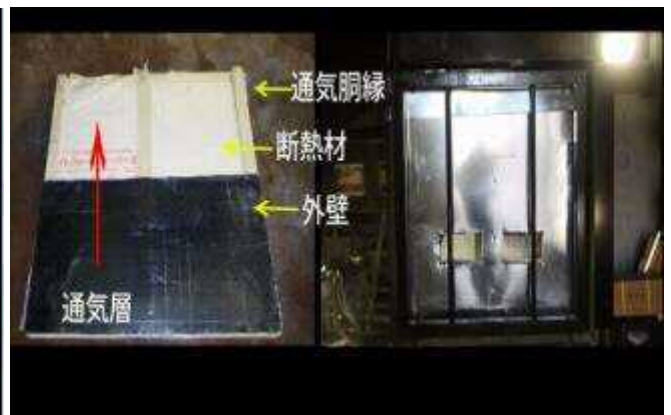


写真4 壁体構造

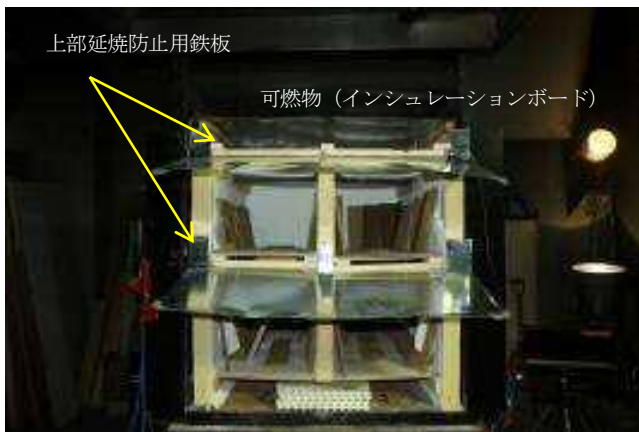


写真5 可燃物と上部延焼防止用鉄板

4 実験結果

着火源へ着火後の、各部分の温度測定結果を図8に、燃焼経過を表に示す。

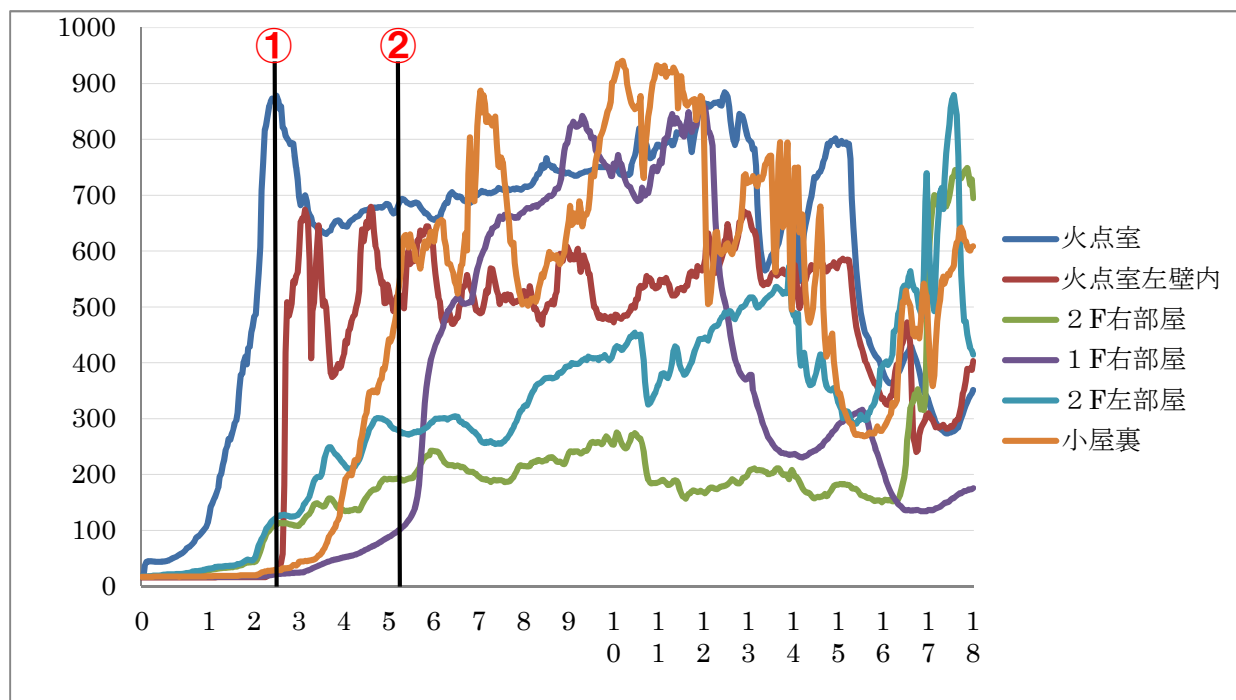


図8 各室内、壁内及び小屋裏の温度測定結果

表 簡易模型の燃焼経過

経過時間	燃焼経過
0:00	イソプロピルアルコールへ点火 (写真6)
2:26	天井に滞留した可燃性ガスに引火し(ロールオーバー)、急激に階段室まで延焼 (写真7)
2:40	左壁の左窓ガラスが割れる (①壁内に火炎が進入する)。
3:30	左壁の右窓ガラスが割れる。
3:50	壁内の断熱材 (ポリスチレンフォーム) が熔融し、模型外側へ滴下する。
4:53	2階の可燃物が燃焼し、延焼拡大する。(写真8)
5:19	②壁内から小屋裏へ延焼し始める。 1階居室ドアを經由し火点隣室に延焼し始める。(写真9)
8:10	火点室の天井へ延焼
10:29	小屋裏右側から火炎が噴出し始める。(写真10)
11:15	放水し消火活動を行った。
16:43	火点室以外は火勢は収まっている状態 (写真11)
16:54	2階左部屋で火種と可燃性ガスが残存していたため、フラッシュオーバーが発生 (写真12)
17:41	2階左部屋から右部屋へ一気に延焼拡大 (写真13)
18:00	消火



写真6 イソプロピルアルコールへ点火

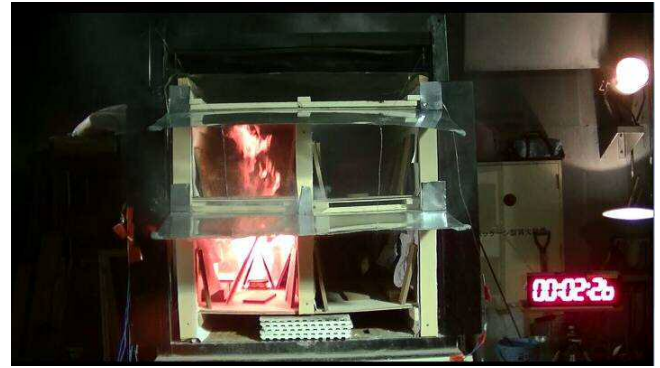


写真7 天井に滞留した可燃性ガスに引火（ロールオーバー）し、急激に階段室まで延焼



写真8 2階の可燃物が燃焼し延焼拡大



写真9 小屋裏及び火点室の隣室に延焼



写真10 小屋裏右側から火炎が噴出し始める。



写真11 火点室以外は火勢が収まっている状態



写真12 2階左部屋で火種と可燃性ガスが残存していたため、フラッシュオーバーが発生



写真13 2階左部屋から右部屋のへ一気に燃焼拡大

5 まとめ

- (1) 室内経路ではなく、壁体内の通気層が延焼経路となり、小屋裏等へ延焼することが確認された（写真9参照）。

今回の実験では隠蔽部（壁内や小屋裏等）の延焼状況は視認可能であったが、実際の建物外観からは隠蔽部の延焼状況を視認することが出来ないため、火災室の防ぎょ活動と並行し、早期に隠蔽部の確認を行う必要がある。

- (2) 火勢が収まっている室内であっても、火種、可燃性ガスの残存によりフラッシュオーバーが発生する可能性がある（写真12及び13参照）。

このことから、室内へ進入する際には、フラッシュオーバー等の危険性を考慮し、室内の温度状況や可燃性ガス、火種の発生状況等を確認すると共に、室内が高温の場合は、進入前に注水を行い室温を下げる、すぐに退避できる準備を整えてから内部進入する等の活動が必要となる。

平成 29 年度札幌市消防職員提案の実施状況について

札幌市消防局では、職員からの創意工夫による有益な提案を奨励し、勤労意欲を高めるとともに、公務能率と市民サービスの向上を図ることを目的として、昭和 40 年度から札幌市消防職員提案制度を開始し、昨年度までに計 595 件の提案を受け付けている。

この提案は、現場活動に限らず予防業務や事務処理の改善など様々な分野から受け付けており、平成 29 年度については、各部（署）から計 13 件の提案が提出されたところである。

申請された提案については、札幌市消防職員提案審査会により書類審査を実施した後、発表審査が実施される。

平成 29 年度の審査結果については、優秀賞 4 件、秀賞 4 件、努力賞 5 件となっており、優秀賞又は秀賞を受賞した提案に対し、消防局長から表彰状が授与された。

表 1 平成 29 年度札幌市消防職員提案 優秀賞・秀賞受賞作品一覧（計 8 件）

提案番号	提案件名	提案内容	表彰区分
第 596 号	ホース耐圧検査を安全確実に 行う方法について	高い圧力で加圧して行うホース耐圧検査を、加圧後放水口の開放を 4 分の 1 に制限することで、バースト時の漏水量と反動圧を抑制し、より安全に耐圧検査を行うもの。	秀賞
第 597 号	クラス A 消火剤使用時のポンプ運用について	クラス A 消火戦術は、補水方法をタンク運用に限定し運用しているが、ポンプ運用の追加について提案するもの。	秀賞
第 598 号	ホースを使用した消火水の排出用器具の考案について	中高層階の消火水を効率的に屋外に排出するため、消防用ホースと雨どい等を組み合わせた排出用器具を作成したもの。	秀賞
第 601 号	電子メールを活用したシミュレーション訓練の作成について	複数の消防隊が連携した初動対応能力を向上するため、電子メールを活用したシミュレーション訓練を発案したもの。	優秀賞
第 602 号	調査票を用いた双方向的指導による違反の未然防止	新築検査時に、設計者や建築会社を通じ、防火管理者の選任予定や消防用設備等点検の計画等について調査票形式で回答を求め、違反の未然防止を図るもの。	優秀賞
第 603 号	新築分譲マンションの売買契約時におけるデベロッパーによる防火管理の外部委託制度の導入	分譲共同住宅の新築計画時に、デベロッパーや管理会社に対し、引渡し後総会で防火管理者が選任されるまでの間、防火管理の外部委託をするよう指導することで、防火管理違反の未然防止を図るもの。	秀賞

第 605 号	二股分岐管肩掛けバンド・ハンドル保護カバー	二股分岐管に肩掛けバンド及びハンドル保護カバーを取り付け、落下防止及び損傷軽減を図るもの。	優秀賞
第 607 号	指定救急資器材管理簿の業務軽減(データによる管理と事務軽減)	救急隊で使用する医薬品及び消耗品について、統一したデータ管理方法を導入し、管理の視覚化、電子化により事務の軽減を図るもの。	優秀賞

表 2 平成 29 年度札幌市消防職員提案 努力賞受賞作品一覧 (計 5 件)

提案番号	提案件名
第 599 号	指揮車副隊長席用補助後写鏡 (バックミラー) の考案について
第 600 号	毛布を活用したホース担ぎ出し時の車両損傷防止策について
第 604 号	簡易ジオラマ模型キットの作成について
第 606 号	特殊災害救助事案シミュレーションキットの考案について
第 608 号	署活系携帯型無線機のダイヤル明示



写真 1 発表審査の状況



写真 2 表彰式の状況

実際にバーストホースで実験してみると
(ホースが跳らないようにバースト口は真上に向けています)

P圧力 1.5Mpa で放水し、バースト口からの漏水量を比較する

左は放水口全開(放水口内径55mm)
 $= 0.653 \times 55^2 \times \sqrt{1.5} = 2419 \text{ 分}$
(実際にはポンプ性能の限界水量となる)

右は放水口を1/4開いた時(仮に口径10mmとする)
 $= 0.653 \times 10^2 \times \sqrt{1.5} = 80 \text{ 分}$

写真 3 提案番号第 596 号
「ホース耐圧検査を安全確実にを行う方法について」

【検証 4】 吸管を使用した場合(ポンプ運用)

※ クラスA 混合ダイヤルは、「E」に設定

ポンプ送水圧力(A)	0.5Mpa
静水圧	0.5Mpa
進成計(B)	0.1Mpa
A・Bの圧力差	0.4Mpa
タンク重量(検証前)	8.985kg
タンク重量(検証後)	7.922kg
消費量(実測値)	1,027 ℓ / min

【結果】クラスA 消火剤使用をとることができる!

写真 4 提案番号第 597 号
「クラス A 消火剤使用時のポンプ運用について」



写真5 提案番号第598号
 「ホースを使用した消火水の排出用器具の考案について」

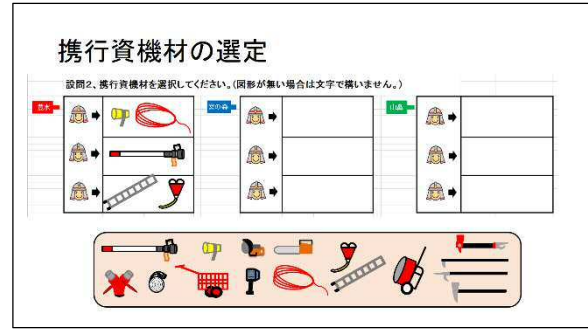


写真6 提案番号第601号
 「電子メールを活用したシミュレーション訓練の作成について」

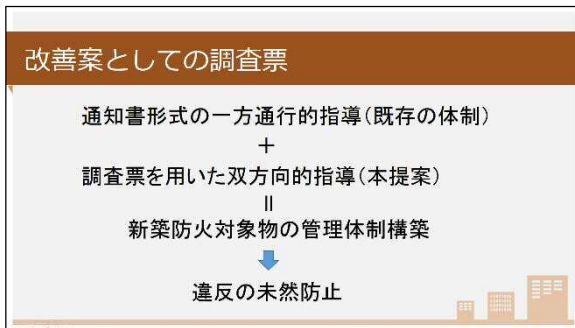


写真7 提案番号第602号
 「調査票を用いた双方向的指導による違反の未然防止」



写真8 提案番号第603号
 「新築分譲マンションの売買契約時におけるデベロッパーによる防火管理の外部委託制度の導入」



写真9 提案番号第605号
 「二股分岐管肩掛けバンド・ハンドル保護カバー」

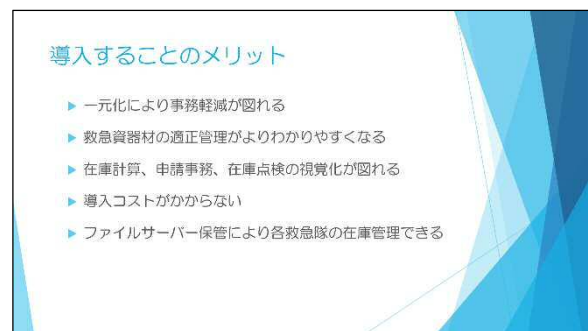


写真10 提案番号第607号
 「指定救急資器材管理簿の業務軽減(データによる管理と事務軽減)」

消防科学研究所報

(2017 No. 24)

平成 31 年 2 月発行

編集・発行 札幌市消防局消防科学研究所

〒063-0850

札幌市西区八軒 10 条西 13 丁目 3 番 1 号

電話 (011) 616-2262

F A X (011) 271-0957

E-mail fire.labo@city.sapporo.jp
