

消防科学研究所報

REPORT OF FIRE SCIENCE LABORATORY



2008 No.15

SAPPORO FIRE SCIENCE LABORATORY

札幌市消防科学研究所

消防科学研究所報 2008 No. 15

目 次

【業務実績】

○消防科学研究所の業務について・・・・・・・・・・・・	1
-----------------------------	---

【研究・実験】

○小規模区画内における木材クリップの燃焼実験について・・・・・・・・	7
○消防活動における無酸素能力について・・・・・・・・	17
○消防活動時の送風による冷却効果について・・・・・・・・	42
○硫化水素除害装置の開発について・・・・・・・・	61

【情報提供】

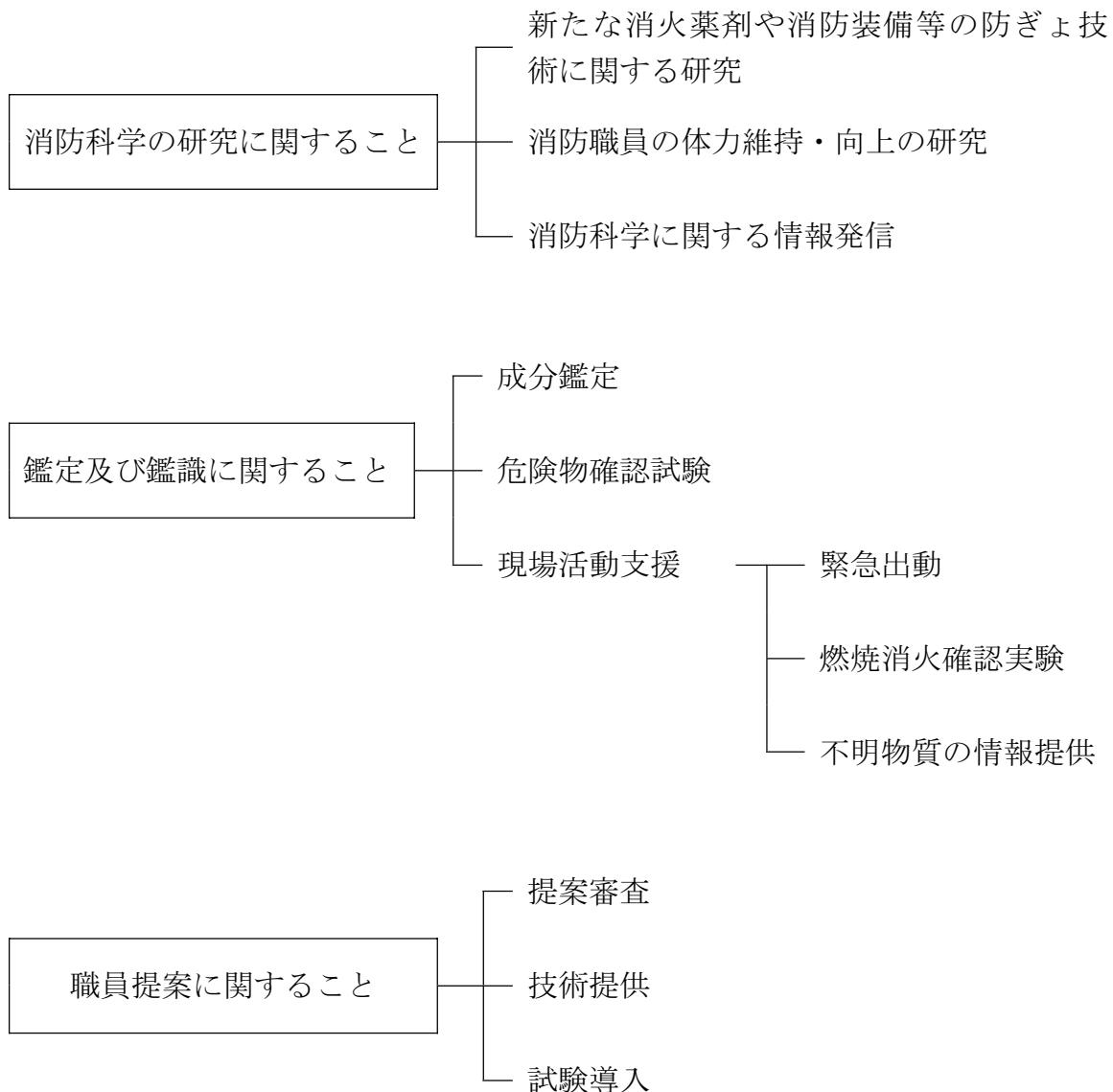
○硫化水素の発生除害について（その2）・・・・・・・・	68
○水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）による水素の発生について・・・・・・・・	70
○火災による天井裏設置の灯油用銅管からの灯油漏えいについて・・・・・・・・	73
○粉じん爆発について・・・・・・・・	78
○平成20年度職員提案制度における秀賞受賞作品について・・・・・・・・	107

【研究実績】

○研究実績表（平成5年度～平成20年度）・・・・・・・・	114
------------------------------	-----

業務実績

札幌市消防科学研究所の業務体系



消防科学研究所の業務について

業 務 実 績 表 (平成20年度)

(単位：件)

研究			燃 燒 ・ 消 火 實 驗 等	成 分 鑑 定	危 險 物 確 認 試 驗	現 場 活 動 支 援	職員提案		広報活動と情報発信					その他の
薬 剤 ・ 装 備	新 た な 消 火 装 置	・ 体 力 向 上 維 持					提 案 審 查	技 術 支 援	出 前 講 座 等	施 設 見 学 等	報 道 取 材	研 究 結 果 発 表 (學 會 等)	所 報 等 の 發 行	消 防 學 校 初 任 ・ 專 科 教 育 等
1 ※1	1 ※1	1 ※1	56 ※2	79	0	9 ※3	25 ※4	2 ※5	15 (957)	40 (1076)	9	0	7	10 (510)

() 内は、対象者の人数である。

※1から※5の概要・内訳については表1から表5のとおり

※研究・分析・鑑定等における測定機器を含めた主な研究装置・機器一覧は表6のとおり

1はじめに

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」(平成11年11月8日)に基づき、各種研究業務をはじめ、燃焼実験、成分鑑定、職員提案支援及び危険物確認試験等の業務のほか、災害現場への緊急出動体制を確保し、迅速な分析などによる現場活動支援を実施している。

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

市民が安全・安心に暮らせるために必要な燃焼実験を実施しているほか、「札幌市火災調査規程」(昭和43年消防長訓令第1号)による依頼等に基づく火災原因究明のための再現実験、或いは、特異な燃焼現象解明のための実験を行なっている。

4成分鑑定

「札幌市火災調査規程」(昭和43年消防長訓令第1号)による依頼等に基づき、或いは、災害現場や事業所等から収去した物品の化学分析を行い、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」(昭和34年政令第306号)及び「危険物の試験及び性状に関する省令」(平成元年自治省令第1号)で定められている試験方法にしたがって、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緊急出動体制

「消防科学研究所の緊急出動体制について」(平成18年4月24日付札消教第87号 消防局長通知)により、24時間体制での緊急車両の運用、出動時の業務内容等について整備した。また、「特殊災害救助体制の強化に伴う剤捕集容器(キャニスター)の配置について」(平成19年3月30日付札消教第956号 消防学校長通知)により、消防科学研究所に配置した自動濃縮装置付ガスクロマトグラフ質量分析装置の剤捕集容器を研究所の他、特別高度救助隊と高度救助隊2隊の計3隊に配置し、更なる支援体制及び現場との連携強化を図っている。

7職員提案支援

「札幌市消防職員の提案に関する要綱」(平成17年消防局長決裁/平成19年改正)に基づく

職員提案について、事前に技術的な支援や協力等を行っている。また、平成20年度消防職員提案審査会において、試験的導入が適当であると審査された2作品について、試作品を作製し、これらを各消防署に試験的に導入している。

8 日常生活に潜む危険性の広報

地域への出前講座、消防科学研究所の一般公開や施設見学等における実験展示、或いは

報道機関を通して、市民に対し、電気火災やスプレーガスの爆発等、日常生活に潜む火災等の危険性と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

研究結果の学会等への発表、消防科学研究所報やF S L情報の発行を通じ、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 研究一覧表

研究名	概要	期間
新たな消火薬剤や消防装備等の防ぎよ技術に関する研究	<p>クラスA泡消火剤やプロアによる陽圧換気（「P P V」Positive Pressure Ventilation）など、新たな消火薬剤や消防装備等の火災防ぎよに関する資器材が出回ってきたところであるが、現在のところ通常の建物火災において有効な戦術として確立されていない状況にある。</p> <p>については、これら資器材を活用した場合の室内温度等に着目して検証を行い、資器材等を活用した場合の消火効果や室内温度等に着目して検証を行い、安全な消防活動技術のための研究を行った。</p>	平成20年度
消防職員の体力維持・向上の研究（継続）	<p>積雪寒冷地という地域特性を加味し、消防活動に動員される体力を分析することによって、効果的に体力を維持・向上するためには、どのようなトレーニングが必要なのか科学的論拠を明らかにして、トレーニング・メニューを開発した。</p> <p>本研究では、平成18年度に研究会を設置し、消防活動時の呼気代謝量等の測定を行い有酸素能力の重要性について明らかにするとともに、平成19年度では、活動時の筋電図導出を行って筋活動の分析・検討を行った。</p> <p>平成20年度では、専門的知識を有する作業部会を設置し、研究から明らかになった科学的論拠に基づいてトレーニングについてのマニュアルを作成した。</p>	平成18・19・20年度

硫化水素除害に関する研究	<p>トイレ用洗剤とイオウ含有製品などの混合による硫化水素発生事案の多発を受けて、反応液体からの硫化水素発生を停止するための除害剤として、炭酸ナトリウム及び過炭酸ナトリウムによる実験を実施して、各救助隊へ除害剤を配置することに寄与した。</p> <p>また、建物内に滞留している硫化水素を屋外へ排出することなく、ガス濃度を安全基準まで、早期に低減するための除害装置の開発に着手し、硫化水素除害装置の試作機を製作し除害性能の確認実験を行った。</p>	平成20年度
--------------	--	--------

表2 燃焼実験等一覧表（平成20年度）

月	実験内容	回数
4～3	硫化水素関連実験	28
8	天ぷら油過熱発火実験	2
10	ストーブによる衣類着火実験	1
10	魚焼きグリルの燃焼実験	1
10	LPGコンロ不燃材接触温度測定実験	3
11～1	粉塵爆発実験	4
1	電気による灯油配管溶融実験	2
1、2	PPVプロアー検証実験	13
2	住宅用火災警報器実験	1
3	クラスA消火薬剤消火実験	1

表3 緊急出動現場活動支援一覧（平成20年度）

No	覚知日	発生区	指令種別	支援内容
1	4月7日	中央区	特殊建物ガス漏れ警戒出動	有毒ガス除害
2	5月8日	手稲区	ガス漏れ警戒出動	有毒ガス除害
3	5月21日	白石区	ガス漏れ警戒出動	有毒ガス除害
4	6月9日	豊平区	危険排除出動	化学物質中和
5	7月31日	西区	特殊建物ガス漏れ警戒出動	有毒ガス除害
6	8月18日	西区	危険排除出動	成分分析
7	1月30日	手稲区	ガス漏れ警戒出動	有毒ガス除害
8	2月2日	東区	救助出動	有毒ガス除害
9	3月11日	白石区	特殊建物ガス漏れ警戒出動	有毒ガス除害

表4－1 平成20年度 職員提案一覧表（秀賞）

提案番号	提 案 名	提 案 内 容	等級
425	バスケットストレッチャーの車載について	バスケットストレッチャー収納フレームを作成し、救助車に常時積載可能にした。	秀賞
427	リングスプレッダーの考案について	リングカッターによる指輪切断後における指輪の拡張作業を行う際に、安全かつ容易に指輪の拡張ができるリングスプレッダーを使用する方法を提案した。	秀賞
431	スケッドストレッチャー滑り止めシート	山岳救助活動において、要救助者を搬送するために活用している担架「スケッドストレッチャー」について、要救助者を縛着することなく、ずれ滑ることのない「滑り止めネットシート」の活用設定を提案した。	秀賞
432	バスケット担架用フェイスガードの考案について	山岳救助活動において、登山道からの滑落等により負傷した要救助者をバスケット担架に収容し、救出又は搬送する際に、要救助者の顔や頭部を、笹や木の枝、雪等から有効に保護するフェイスガードについて提案した。	秀賞
437	「ネット式簡易担架」の製作について	浴槽内で発生した傷病者を迅速かつ安全に搬出するためネット式の簡易担架を製作した。	秀賞
442	署隊本部運用時の情報管理について	署隊本部運用に際し、円滑な指揮、情報活動が行えるよう考察した結果、まず情報処理に関し重点をおき、汎用オフィスソフト（エクセル）を使用して、「災害管理表」「動態表示盤」を作成し、少ない人員での情報管理を可能としたもの。	秀賞
443	外国人（英語）向けの救急活動用問診票	英語圏外国人傷病者対応事案において、より円滑な救急活動を行うために、既存の英語用問診票を基に改善を加え、問診票等を作成した。	秀賞

表4－2 平成20年度 職員提案一覧表（努力賞）

提案番号	提 案 名
426	警防活動時における「指定対象物情報支援システム」の導入について
428	背負い式ホースキャリー
429	三角巾使用法図入り三角巾
430	LED電球を使用した電飾による火災予防広報の実施
433	山岳救助事象における担架搬送用当て布による搬送負担の軽減について
434	活動危険区域設定テープ
435	警戒テープ用支点補助リング
436	バッテリーターミナル端子絶縁キャップ
438	凍結消火栓解氷器具
439	ゾンデーレン検索ロープ
440	積雪時のホース（折りたたみ）延長用シートの作成について
441	複数傷病者発生交通事故における活動要領の作成
444	消防車両用業務名表示板
445	狭隘部進入梯子
446	メインストレッチャー用 輸液ポンプ固定台
447	札消型消防車両ステッカーの考案について
448	防火帽しころの改良について
449	手とびケースの改良

表5 職員提案支援試験導入概要

提 案 名	提 案 内 容	試験導入署
リングスプレッダーの考案について（平成20年度秀賞／豊平署）	リングカッターによる指輪切断後における指輪の拡張作業を行う際に、安全かつ容易に指輪の拡張ができるリングスプレッダーを使用する方法を提案した。	中央 東 厚別
「ネット式簡易担架」の製作について（平成20年度秀賞／南署）	浴槽内で発生した傷病者を迅速かつ安全に搬出するためネット式の簡易担架を製作した。	北 豊平 白石

表6 主な研究装置・機器一覧（平成20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	多点風速測定装置	1式
質量分析装置	1式	圧力測定器	1台
熱画像装置	1式	X線透過装置	1台
熱分析装置	1式	熱流束計	4台
ガスクロマトグラフ	1式	呼気代謝測定装置	1式
低温実験ユニット	1式	デジタルスコープ	1台
燃焼試験装置	1式	恒温恒湿ユニット	1式
落球式打撃感度試験装置	1式	脳波計	1式
クリーブランド開放式自動引火点測定器	1台	ホルター心電計	4台
タグ密閉式自動引火点測定器	1台	粉塵カウンター	2台
セタ密閉式自動引火点測定器	1台	温度計測器	6台
B型（ブルックフィールド）粘度計	1台	風向風速計	2台
オシロスコープ	1台	騒音計	2台
液体成分分析装置	1式	エンテック式自動濃縮装置	1式
蛍光X線分析装置	1式	放射線検出器	2台
発火点測定器	1台	データレコーダ	1台
カールフィッシャー水分測定器	1台	分光蛍光光度計	1台
圧力容器試験装置	1式	識別機能付ガス検知器	1台
多点式温度測定装置	1式		

研究・実験

小規模区画内における木材クリップの燃焼実験について

札幌市消防科学研究所 中住 齊
高橋 渉
菅原 法之
吉永 直樹
札幌市中央消防署 特別高度救助隊

1 概 要

小規模区画内において木材クリップを燃焼させた場合の区画内の温度変化を把握するため、既設の燃焼実験ユニット内に耐燃防護用の天井・側壁・床を設けて燃焼実験を行い、区画内の温度変化を測定した。実験は、区画の2か所に設けられた開口部を閉じて密閉した状態と、開口部を開放した状態のほか、可搬式ブロアーを使い開口部から送風して有風下を想定した燃焼実験を行った。

この結果、小規模区画内における木材クリップ燃焼時の温度変化を把握できたほか、応用的実験をおこなう際の課題が明らかになった。

2 実験日時等

日時：平成21年2月26、27日

場所：札幌市消防局 消防学校 消防科学研究所

3 実験設備・機器等

実験に使用した設備・測定機器等は以下のとおりである。

(1) 小規模区画（図1、写真1）

小規模区画として既設の燃焼実験ユニット（以下、「ユニット」という。）を使用した。

ユニットは鉄骨造鉄板張りで、幅2,700×奥行5,400×高さ2,890mm、面積14.58m²、容積42.1m³である。

ユニット内には、耐火断熱のため天井（セラミック・ファイバーボード、幅1,800×奥行1,800×厚さ20mm）、側壁（ケイ酸カルシウム板、高さ2,400×奥行1,800×厚さ12mm）、床（ケイ酸カルシウム板、幅1,800×高さ1,800×厚さ12mm）を設置した。

(2) 木材クリップ（写真2）

燃焼材としての木材クリップは、「消火器の技術上の基準を定める省令」（昭和39年9月17日自治省令第27号）第3条の規定による第2模型（1単位クリップ、以下「クリップ」という。）を用いた。

(3) 助燃材

クリップへの点火には助燃材としてヘプタン500ccを使用した。

燃焼皿は、鉄製トレイ（300×450×深さ40mm）を使用した。

(4) 温度測定と記録（図1、表1）

温度測定には熱電対（シース熱電対φ1mm×長さ1,000mm）を用い、ユニット内16点の温度

を測定した。

測定した温度データは、データ・レコーダーを用いてパーソナル・コンピュータへ収録した。本文中、熱電対のチャンネル番号は○付き数字で表記した。

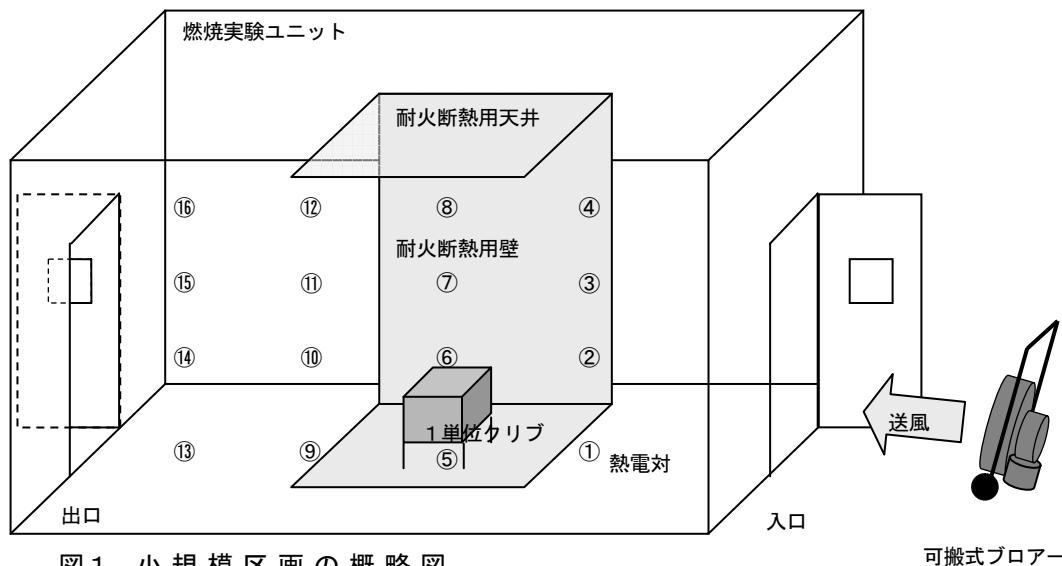


図1 小規模区画の概略図

可搬式プロアー

燃焼実験ユニット：鉄骨造鉄板張り、幅 2,700 × 奥行 5,400 × 高さ 2,890 mm

耐火断熱用天井：セラミック・ファイバー・ボード、幅 1,800 × 奥行 1,800 × 厚さ 20 mm

耐火断熱用壁：ケイ酸カルシウム板、高さ 2,400 × 奥行 1,800 × 厚さ 12 mm

表1 热电対の位置

热电対の番号 (ch)	測定点の床面からの高さ
①、⑤、⑨、⑬	200 mm (⑤は燃焼皿上)
②、⑥、⑩、⑭	1,000 mm (⑥はクリブ直上)
③、⑦、⑪、⑮	1,600 mm (⑦はクリブ上面から 600 mm)
④、⑧、⑫、⑯	2,200 mm (⑧はクリブ上面から 1200 mm)



写真1 燃焼実験ユニットと可搬式プロアー



写真2 ユニット内に設定したクリブ

4 実験方法

温度測定用の熱電対を配置した小規模区画内にクリップを設定し、以下の燃焼実験を行って、区画内の温度変化を記録するとともに燃焼状況を観察した。

(1) 実験 1 密閉状態での燃焼

- ① 入口側ドアを開放、出口側ドアを閉鎖した状態で助燃材に点火する。
- ② 点火後、入口側ドアを閉じる。
- ③ 密閉した区画内でクリップを燃焼させる。
- ④ 点火から 10 分後に両ドアを開放する。
- ⑤ 両側ドアを開放した状態でクリップの燃焼状況を観察する。

(2) 実験 2 開放状態での燃焼

- ① 入口・出口側の両ドアを開放状態で助燃材に点火する。
- ② 点火後も、両ドアを開放した状態でクリップの燃焼状況を観察する。

(3) 実験 3 有風下での燃焼

- ① 入口側ドアを開放、出口側ドアを閉鎖した状態で助燃材に点火する。
- ② 点火後、入口側ドアを閉じる。
- ③ 密閉した区画内でクリップを燃焼させる。
- ④ 点火から 2 分 30 秒後に両ドアを開放する。
- ⑤ 両側ドアを開放した状態で入口側から可搬式プロアーにより送風し、クリップの燃焼状況を観察する。

5 実験結果

実験結果は、以下のとおりである。

温度変化については、300 °C、600 °C、800 °Cになった時点に着目して結果をまとめた。

助燃材の燃焼状況については、熱電対⑤ ch (燃焼皿上) の温度測定結果から、実験 1、2 では点火後 2 分以内で燃焼を終了していることが分かる。実験 3 では、助燃材の燃焼にともなう温度上昇を測定できなかったが、目視で確認することができた。いずれの実験においても、助燃材の燃焼が完了する 2 分以後に、⑥ ch (クリップ直上) の温度が 800 °C 前後に達している。

気温、風向、風速については、実験実施日時の札幌管区気象台の観測値とした。

(1) 実験 1 密閉状態での燃焼 (写真 3 ~ 6、別図 実験 1)

日時：2009 年 2 月 26 日 15 時 23 分開始

気温：-1.4 °C、風向：西北西、風速：4.8 m

- ⑤ ch (燃焼皿上) の温度は、点火から 33 秒後に 624 °C に達し、同 1 分 53 秒後に最高温度 763 °C に達した後、同 2 分 08 秒後に 297 °C に下がった。
- ⑥ ch (クリップ直上) の温度は、点火から 22 秒後に 605 °C に達し、同 2 分 51 秒に 937 °C に達した。

その後、同 3 分 12 秒後に 588 °C に下がり、同 5 分 11 秒後に 300 °C まで下がった。

- ⑧ ch (クリップ上面から 1.2 m 上) の温度は、点火から 23 秒後に 303 °C に、同 31 秒後に 607 °C に達し、同 2 分 21 秒に 784 °C に達した。

その後、点火から 3 分 01 秒後に 595 °C、同 3 分 38 秒後に 301 °C に下がり、同 7 分 22 秒後の 175 °C まで下がり続けた後、両ドアを開放するまで緩やかに上昇した。

- ・ 両ドアを開放した時点で、有炎燃焼を目視で確認できなかった。この時、黒煙中にクリップの外観が原形を有していることが目視できた。
- ・ 両ドアの開放から 25 秒後（点火後 10 分 58 秒）で⑥ ch の温度は 301 °C に上昇し、同 32 秒後に有炎燃焼の再開が目視で確認できた。
- ・ 両ドアの開放から 29 秒後（点火から 11 分 02 秒後）で⑧ ch の温度は 311°C に達し、同 36 秒後（点火から 11 分 09 秒後）には 627 °C に達し燃焼の盛期となった。
- ・ 点火から 13 分後に観察を終了し、水により消火した。



写真3 点火から4秒後



写真4 点火から10分後
入口側ドアを開放



写真5 点火から11分20秒後

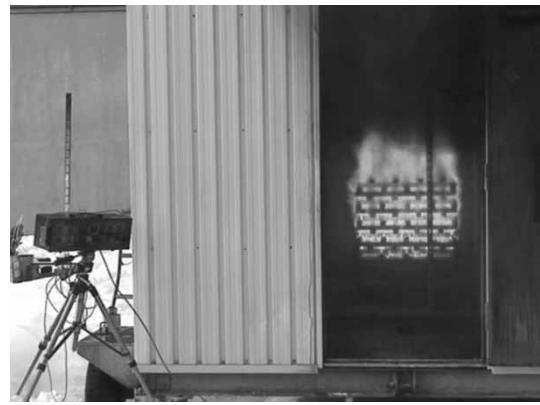


写真6 点火から12分後

(2) 実験 2 開放状態での燃焼（写真 7～10、別図 実験 2）

日時：2009 年 2 月 27 日 10 時 47 分開始

気温：−0.6 °C、風向：東南東、風速：1.9 m

- ・ ⑤ ch の温度は、点火から 24 秒後に 607 °C に達し、同 1 分 49 秒後に最高温度 842 °C に達した後、同 1 分 49 秒後に 299 °C に下がった。
- ・ ⑥ ch の温度は、点火から 24 秒後に 366 °C、同 27 秒後に 619 °C に達した後、同 6 分 41 秒

後に最高温度 1,162 °Cに達した。

- ・ ⑤ ch の温度は、点火から 6 分 54 秒後に 646 °Cに達し、クリップ中心部が燃焼皿上に落下し始めたことが目視で確認できた。
- ・ クリップ中心部の崩れ始めとともに⑥ ch の温度が下がり、点火から 7 分 46 秒後に 592 °C、同 10 分 10 秒後に 288 °Cとなつた。
- ・ ⑧ ch の温度は、点火から 27 秒後に 355 °Cに、同 43 秒後に 633 °Cに達した。その後、点火から 6 分 41 秒後に最高温度 1,162 °Cに達した後、クリップ中心部の崩れ始めとともに温度が下がり、同 7 分 46 秒後に 592 °C、同 7 分 09 秒後に 303 °Cまで下がつた。
- ・ 点火から 11 分 15 秒後にクリップ外周部まで崩落が進んだ。
- ・ ④ ch (入口側、床面からの高さ 2.2 m) の温度は、点火から 48 秒後に 315 °Cに達し、助燃材の燃焼が終了したと推定される同 2 分後に 458 °Cであった。点火から 6 分 54 秒後にクリップ中心部が崩れ始めた時点では 434°Cとなり、同 7 分 57 秒後に 299 °Cに下がつた。
- ・ ⑨ ~ ⑯ ch の最高温度は表2のとおりであつた。

表2 ⑨ ~ ⑯ ch の最高温度

	ch	最高温度	ch	最高温度
床面からの 高さ 2.2 m	⑫	415 °C	⑯	406 °C
高さ 1.6 m	⑪	341 °C	⑮	339 °C
高さ 1.0 m	⑩	116 °C	⑭	98 °C
高さ 0.2 m	⑨	70 °C	⑬	55 °C

※ 助燃材が燃焼していた間（点火から 2 分間）を除く。



写真7 点火から5秒後



写真8 点火から2分後



写真9 点火から5分後



写真10 点火から7分30秒後

(3) 実験3 有風下での燃焼（写真11～14、別図 実験3）

日時：2009年2月27日 14時31分開始

気温：1.9 °C、風向：北北西、風速：0.0 m

- ⑥ ch の温度は、点火から 11 秒後に 304 °C、同 22 秒後に 605 °C、同 2 分 02 秒後に 870 °C に達した。

その後、同 2 分 06 秒後には 642 °C に下がり、入口・出口側の両ドアを開放した同 2 分 31 秒後に 298 °C まで下がった。

- 両ドアを開放した時点（点火から 2 分 30 秒後）で、有炎燃焼は確認できなかった。この時、クリブの外観が原形を有していることを目視で確認できた。
- ドアの開放とほぼ同時に、入口側から可搬式プロアーにより送風すると、送風開始から 20 秒後に有炎燃焼が再開し、⑥ ch の温度は同 38 秒後に 310 °C、同 48 秒後に 617 °C に達した。
- 点火から 7 分 54 秒後、クリブ中央下部の一部が燃焼皿上に落下したことが目視できた。
- 点火から 8 分後、クリブは側壁側へ座屈を始めたことが目視できた。
- 点火から 8 分 29 秒後に、⑤ ch の温度は 300 °C に上がった。
- 点火から 9 分 50 秒後、クリブ中層部が焼失し、上層部が下層部の上に崩れ落ちたことが目視できた。
- ⑨～⑯ ch の最高温度は表3のとおりであった。

⑫ ch の温度は、送風開始から 63 秒後に 422 °C の最高温度を記録した後、緩やかに下がり、同 5 分 09 秒後（点火から 7 分 39 秒後）に 297 °C に下がった。

表3 ⑨～⑯ ch の最高温度

	ch	最高温度	ch	最高温度
床面からの 高さ 2.2 m	⑫	422 °C	⑯	340 °C
高さ 1.6 m	⑪	312 °C	⑮	252 °C
高さ 1.0 m	⑩	177 °C	⑭	108 °C
高さ 0.2 m	⑨	113 °C	⑬	83 °C

※ 入口・出口側の両ドアを閉鎖していた間（点火から 2 分 38 秒まで）を除く。



写真 11 点火から 2 分 38 秒後
入口・出口側の両ドアを開放



写真 12 点火から 3 分後



写真 13 点火から 4 分後



写真 14 点火から 8 分後

6 まとめ

小規模区画内における木材クリップの燃焼実験を行い、以下のことが明らかとなった。

- (1) 実験 1 の密閉状態での燃焼では、換気不足のため点火から 3 分 12 秒後にクリップ直上の温度は 600 °C以下に下がり燃焼が緩慢となつたが、同 10 分 28 秒後にドアを開放して 32 秒後に有炎燃焼が再開した。
- (2) 実験 2 の開放状態での燃焼では、点火から 27 秒後にはクリップ直上の温度が 600°Cを超える燃焼の盛期となり、同 6 分 41 秒後には 1,162 °Cに達した。
- (3) 実験 3 の有風下での燃焼では、点火から 2 分 30 秒後にドアを開放し送風を開始してから 20 秒後に有炎燃焼が再開した。
- (4) 開放状態での燃焼時に比べ、可搬式プロアーを用いた有風下での燃焼実験では、出口側上層部の温度が低く、下層部の温度が高かった。

7 応用的実験を行う際の課題

本実験により、鉄骨造鉄板張りのユニット内に耐火断熱用の天井と壁を設けることによって、小規模区画内における木材クリップを用いた燃焼実験を行い温度を測定することが可能であることが確

認できた。また、今後、応用的な実験をおこなう際の課題が明らかとなった。

(1) 燃焼速度と温度変化

火災現象を詳細に分析するためには、燃焼材の重量変化を測定し、燃焼速度と温度変化の関係について分析・検討する必要がある。

(2) 区画内への流入空気量の推定

小規模区画における木材クリップの燃焼実験では、開口部からの流入空気量がクリップの燃焼速度に影響するため、区画内への流入空気量を推定し実験を行う必要があるほか、屋外に設置された区画を利用する場合には外気温や風速等を考慮する必要がある。

(3) 内装材等の温度への影響

燃焼実験時の温度変化を分析・検討する際には、区画内の内装や耐火断熱用に設けた天井・側壁・床材の材質のほか、区画の容積と燃焼材の量についても考慮する必要がある。

(4) 耐火断熱用天井・側壁・床の材質

耐火断熱のために設ける天井・側壁・床の材質は、木材クリップの燃焼により発生する熱や、消火時の水圧等に耐えうる強度のものを選定する必要がある。

(5) 熱電対の保護

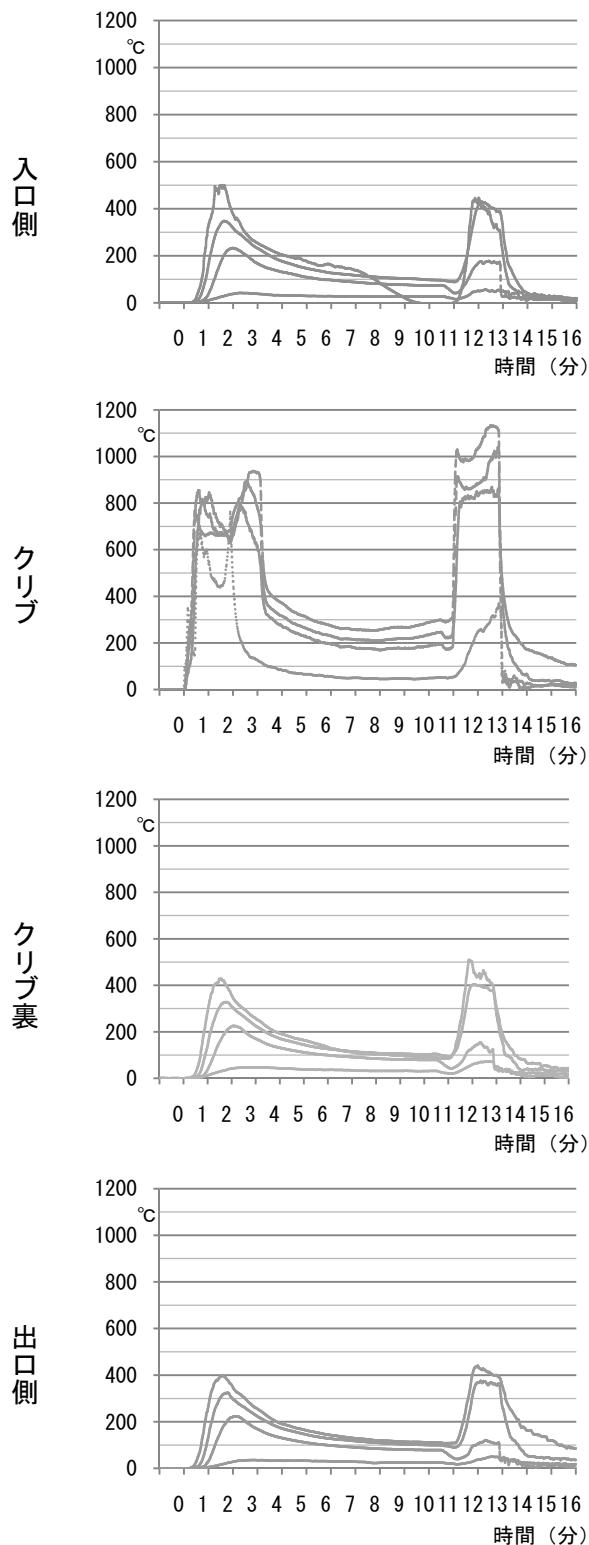
小規模区画内の温度が容易に 800 °C を超えることから、素線径の細い K 熱電対では繰り返しの実験に耐えることができないため、応答性を考慮しながら耐熱性の高いものを選定し、保護・支持する必要がある。

【参考文献】

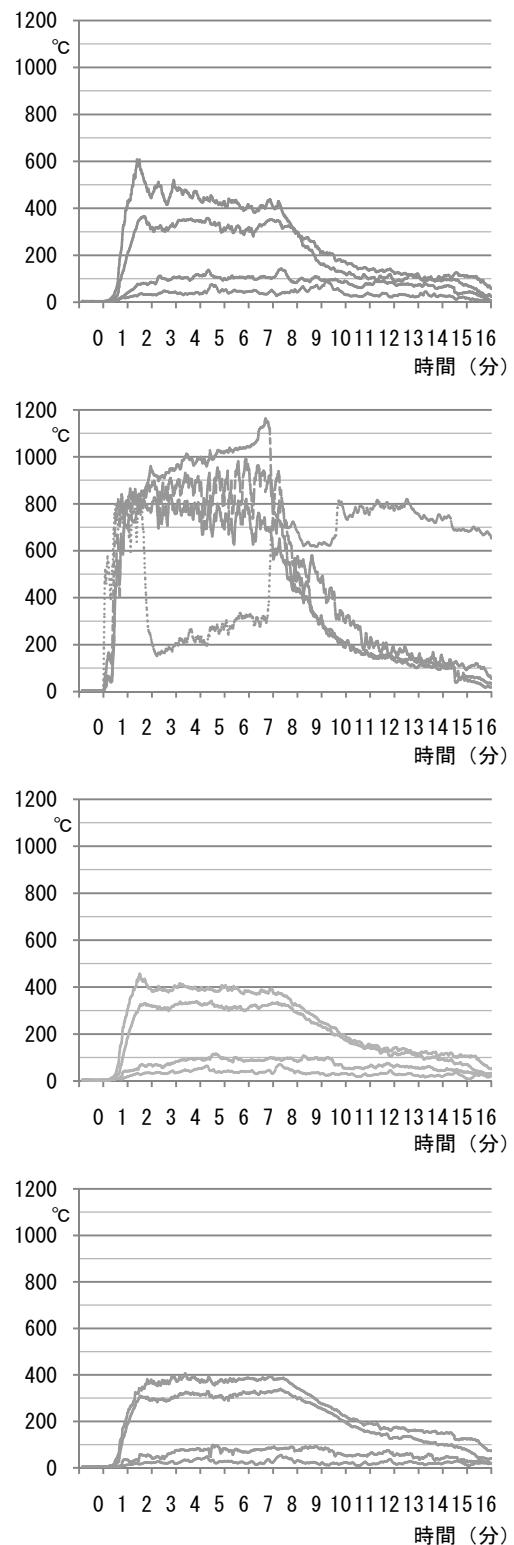
- 1) 日本火災学会監修：火災と建築，共立出版，2002.
- 2) 日本火災学会監修：火災と消火の理論と応用，東京法令出版，2005.
- 3) 日本火災学会編：火災便覧 第3版，共立出版，1997.

別図

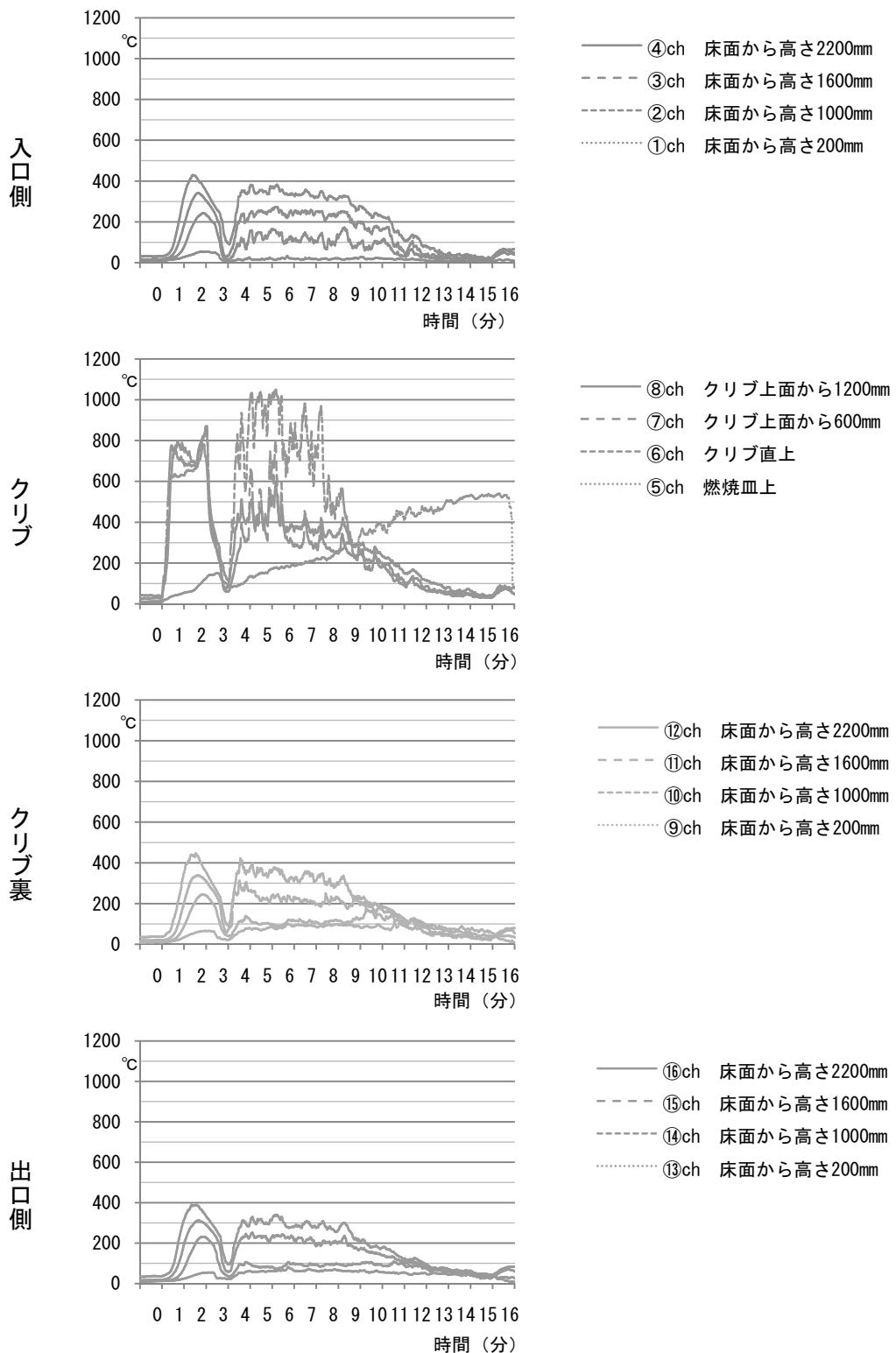
実験 1



実験 2



実験3



消防活動における無酸素能力について

札幌市消防科学研究所 中住 齊
高橋 渉
菅原 法之
吉永 直樹

1 はじめに

「消防職員の体力維持・向上に関する研究」は、札幌市の積雪寒冷地という地域性を加味し、消防活動に動員される体力を分析し、その結果を基に効果的に体力を維持・向上するためには、どのようなトレーニングが必要なのかを検討するための科学的根拠を提示することを目的として、平成18年度から研究を開始し平成20年度に報告書としてとりまとめるに至った。

この研究では、消防活動という特殊性の中で、どのような体力要素が、どの位要求され、その体力を維持・向上するためには、どのようなトレーニングが有効であるのかを明らかにするため、「最大酸素摂取量と階段上り・消防活動モデル等における有酸素能力・無酸素能力に関する実験」と「消防活動モデルと筋力トレーニングの筋電図導出実験」を行った。研究の結果として、消防活動において高い活動能力を発揮して職務を遂行するために求められる体力要素が、有酸素能力、無酸素能力および筋力・筋持久力であることが分かった。

消防活動では、比較的短時間で最大酸素摂取量のレベルを超える激しい活動場面が多いことから、有酸素能力とともに高い無酸素能力が要求される。しかしながら、無酸素能力に関しては国内外の研究例も少なく、「消防職員の体力維持・向上に関する研究」においても無酸素能力に特化した実験は実施しておらず、消防活動現場における行動分析や実験データなど、根拠に基づく評価指標の開発、基準値の提案が望まれることが、今後の課題として残された。

本報告ではこれらの課題を踏まえ、消防活動において無酸素能力がどのように発揮されるかを検討するため、「消防職員の体力維持・向上に関する研究」で行った実験に地下鉄出入口階段や訓練本塔の階段上りの実験を追加して、消防職員が日ごろから意識する機会の多い体力指標である心拍数と換気量に着目して分析・検討を行った。なお、「消防職員の体力維持・向上に関する研究」報告書にて報告済みである「有酸素能力・無酸素能力に関する実験」の分析結果を一部再掲載している。

2 実験概要

「有酸素能力・無酸素能力に関する実験」は、消防活動時に発揮される有酸素能力と無酸素能力について分析・検討することを目的として、最大酸素摂取量の測定と火災出動時の服装を着装しての歩行と階段上りおよび消防活動モデルを実施した時の呼吸循環機能と代謝機能の測定を行った。

本報告では、消防活動時の換気に関する指標に着目し、消防活動時に発揮される無酸素能力についての分析・検討を追加した。

(1) 実験の概要

実施期間

平成19年2月19日（月）～3月19日（月）

場 所

札幌市消防局 消防学校 訓練所（屋内訓練場、屋外訓練場、訓練本塔）

実験協力者

男性消防職員 14 名（22 ~ 49 歳、平均 32.8 歳）を実験協力者として行った。最大酸素摂取量と階段昇りについては全員、これに加えて無雪路面・積雪路面の歩行と階段上り（写真 1）および消防活動モデル（写真 2）の 4 種類の活動で呼吸循環機能と代謝機能を測定した者は 11 名であった。



写真 1 階段上りと積雪 10 cm 路面の歩行



写真 2 消防活動モデル（ホース搬送→資機材搬送→救助）

測定機器等

実験に使用した測定機器等は、表 1 に示すとおりである。

表 1 測 定 機 器 等

測 定 機 器	型 式 等	測 定 指 標
自転車エルゴメーター	エアロバイク 75XL II (CONBI) および エアロバイク 420 (CONBI)	運動負荷

呼気代謝計測装置	K4b2 (COSMED) および VO2000 (S&ME)	酸素摂取量等
デジタル自動血圧計	HEM-650 手首式 (オムロン)	血 壓
自覚的運動強度 判定表	Borg scale(1970)	自覚的運動強度
ストップウォッチ		所要時間

※ 呼気代謝計測装置による呼気代謝量の測定は、ブレスバイブレス方式（ひと呼吸毎）で計測されることから、この報告書で取り扱う測定値については、特に指定のない限り30秒間で平均化したものを使用している。

(2) 実験内容

最大酸素摂取量の測定は、表2の自転車エルゴメーターを用いた漸増負荷方法により呼気代謝計測装置で最大酸素摂取量を直接測定した。

歩行や階段上り等の基本的な行動時の呼気代謝量は、火災出動時の服装に300型空気呼吸器を着装（装備重量約20kg）し、表3の動作について測定を行った。なお、歩行については、積雪路面についても測定を行った。

消防活動モデル時の呼気代謝量の測定は、火災出動時の服装に300型空気呼吸器を着装し、表4の消防活動モデルによるテストを実施して測定を行った。

表2 自転車エルゴメーターによる負荷方法

ステージ	負荷 (W)	時間 (分)	備 考
1 安 静		1	
2 ステップ	50	1	回転数 50~60 rpm
3 ランプ	300	15	20 W/分で漸増
4 クールダウン		10	

表3 基 本 的 動 作

ステージ	時間 (分)	備 考
1 安 静	1	
2 装備無雪路面 歩行	6	屋外（アスファルト）または屋内
3 装備積雪路面 歩行	6	屋外（積雪5~10cm）
4 階段上り (10階)	2	訓練本塔

※ 歩行用コースは、一周60mの矩形コース（短辺10m、長辺20m）とした。

※ 各動作間には、回復期（5~10分）を設定した。

※ 歩行速度は各自の平常時の歩行速度、階段上りの速度については各自の最大努力下で上るよう被験者へ説明し実施した。

表4 消防活動モデル

活動順	活動項目	活動内容
1	安 静（1分）	スタート地点
2	折りたたみホース搬送	スタート地点（屋内訓練場前）から訓練本塔までの50 m 65 mmホース×2本（約20 kg）を折りたたんで固定（ホースの延長はしない）
3	資機材搬送（1回目）	訓練本塔1階入口にあるホースバック（11 kg）を3階の階段室（ドア前）まで搬送
4	検索救出	開放状態のドアから室内に進入 床を這う姿勢で室内を進み（U字経路で約10 m）、ダミー（40 kg）を検索 ダミーを3階の階段室（ドア前）まで低い姿勢で引きずり救出
5	移 動	1階入り口へ降りる
6	資機材搬送（2回目）	訓練本塔1階入り口の指定場所にある資機材（ポリタンク11 kg）を3階の階段室（ドア前）まで搬送
7	クールダウン（10分間）	回復時の呼気代謝を継続して計測

- ※ 各自の最大努力下で実施するよう被験者へ説明し実施した。
- ※ 訓練本塔（地上10階建）を使用し、通過するドアはすべて開放状態とした。
- ※ 火災出動時の服装に、300型空気呼吸器を着装した。装備重量約20 kgであった。
- ※ 呼気代謝計測装置を装着し呼気代謝を計測するため、空気呼吸器の面体は着装しなかった。

(3) 実験結果

最大酸素摂取量と酸素需要量

図1は、本実験で行った最大酸素摂取量の測定結果と階段上り時の酸素需要量の推定値を比較したものである。

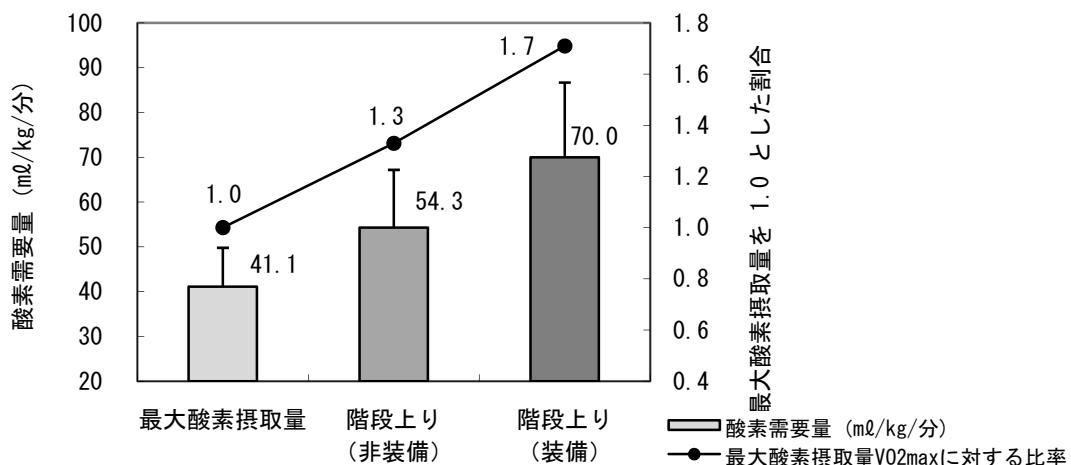


図1 最大酸素摂取量と階段上りの酸素需要量（14名の平均値と標準誤差）
装備：火災出動時の服装に、300型空気呼吸器を着装（装備重量約20 kg）
非装備：活動服、現場用長靴
(以下、図において同じ。)

14名の最大酸素摂取量の平均値は41.1 ml/kg/分であった。

階段上り（訓練塔10階建168階段、蹴込み高さ19cm）に要した時間からアメリカスポーツ医学会（ACSM）の回帰式により酸素需要量を推定すると、活動服と現場用長靴を着用した非装備での階段上りの酸素需要量（推定値）は54.3 ml/kg/分、火災出動時の服装に300型空気呼吸器を着装した時の階段上りで70.0 ml/kg/分であった。

最大酸素摂取量と階段上り時の酸素需要量（推定値）を比較すると、非装備時の階段上りでは最大酸素摂取量の1.32倍、装備時では最大酸素摂取量の1.71倍の超最大運動（supramaximal work）となり、装備の有無にかかわらず階段上り時のエネルギー代謝は、有酸素性エネルギーでまかないきれないため無酸素性エネルギーが動員される活動であることが明らかとなった。

心拍数、酸素摂取量と血中乳酸値

図2、3は、最大酸素摂取量を測定した実験協力者14名のうち、無雪路面・積雪路面における歩行と階段上りおよび消防活動モデルを行って心拍数と酸素摂取量の測定を実施した11名の平均値を比較したものである。

心拍数の平均値（図2）は、無雪路面歩行で116拍/分、積雪路面歩行で141拍/分で、それぞれ最大酸素摂取量測定時の65%および79%となっており、積雪路面において活動（運動）強度が増加していることがわかる。装備時の階段上りと消防活動モデルではいずれも177拍/分まで上升し、最大酸素摂取量測定時の心拍数179拍/分と比較しても3種類の活動の間で有意な差は認められない。

酸素摂取量の平均値（図3）は、無雪路面歩行で18.7 ml/kg/分、積雪路面歩行で25.7 ml/kg/分、装備時の階段上りで33.0 ml/kg/分、消防活動モデルで34.3 ml/kg/分となった。

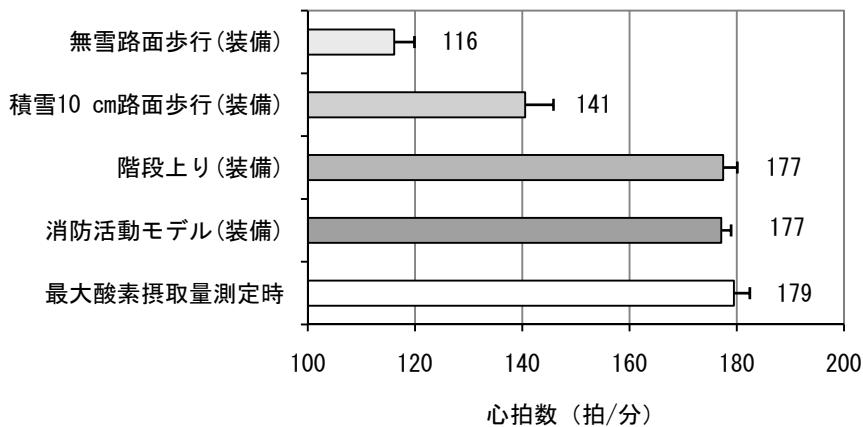


図2 活動時の心拍数（11名の平均値と標準誤差）

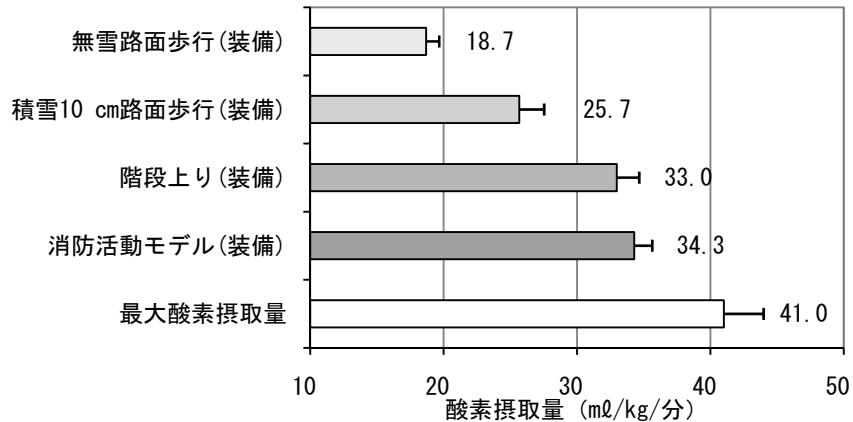


図3 活動時の酸素摂取量 (11名の平均値と標準誤差)

図4は、活動時の酸素摂取量から求められる活動強度と最大酸素摂取量に対する割合 (% $\dot{V}O_{2max}$) を示したものである。

最大酸素摂取量測定時に対する活動強度の割合は、無雪路面と積雪路面歩行でそれぞれ 45 % および 61 %、装備時の階段上りと消防活動モデルでそれぞれ 80 % および 83 % の強度となっている。

運動強度は安静時の酸素摂取量 (3.5 ml/kg/分) の倍数 (MET) で表わされ、一般的な階段上りの運動で 9 METs、階段駆け上がりで 15 METs といわれている。前述の通り、本実験における非装備時の階段上りの酸素需要量 (推定値) は最大酸素摂取量の平均値 41 ml/kg/分の 1.32 倍で 54 ml/kg/分 (15.5 METs) であり、装備時では 70 ml/kg/分 (20 METs) にも達する激しい運動であるにもかかわらず、実際に測定された酸素摂取量が推定値と比較してはるかに少なく、活動強度が見かけ上低くなっていることは、無酸素性エネルギーに依存していることを示している。

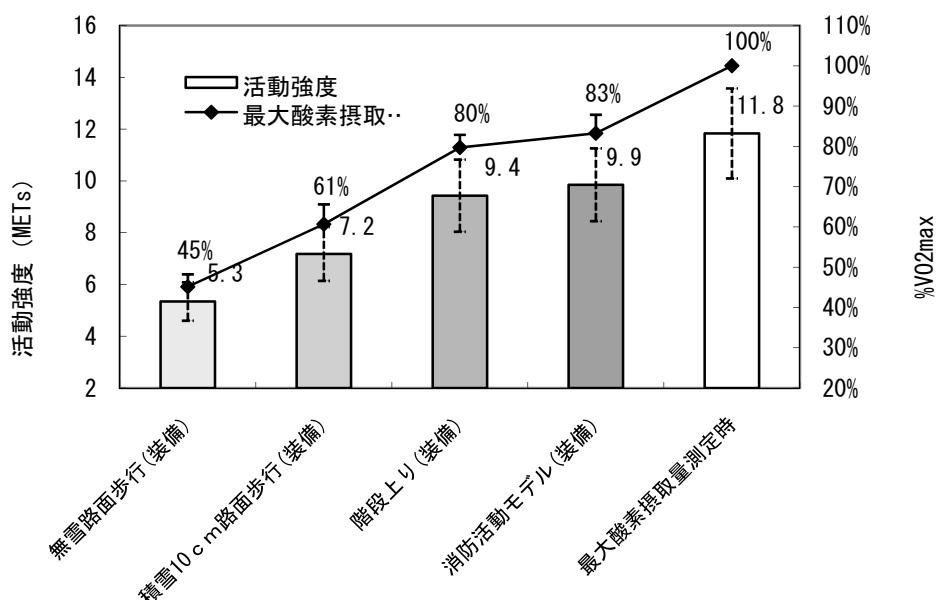


図4 活動強度と最大酸素摂取量に対する割合 (11名の平均値と標準誤差)

呼吸循環機能

図5は、装備時の階段上りと消防活動モデルおよび最大酸素摂取量測定時の換気当量と酸素脈について11名の平均値を比較したものである。

酸素摂取量と肺換気量の比で表わされる換気当量 V_E/V_O_2 は、1 l/分の酸素を取り入れるために必要な肺換気量を表す。最大酸素摂取量測定時の換気当量の平均値は35.2 l/分であったが、装備時の階段上りでは42.6 l/分、消防活動モデル時では44.1 l/分であった。

換気当量を比較することによって、装備時の階段上りと消防活動モデル時では1 l/分の酸素を取り入れるためにより多くの換気を要していることがわかる。

心臓が一回の拍動で送り出すことのできる血液の量（一回拍出量）を間接的に表わす指標である酸素脈（oxygen pulse、=酸素摂取量÷心拍数）は、最大酸素摂取量測定時の16.1と比較して、装備時の階段上りが13.3、消防活動モデル時が14.2で低い値となった。

これらの結果から、最大酸素摂取量測定時と比較して、装備時の階段上りや消防活動モデル時では呼吸循環機能の効率が低いことがわかる。このことは、階段上りにおける換気効率がトレッドミルによる酸素摂取量測定時の運動に対して有意に低かったという Ben-Ezra たち（1988）の先行研究や、消防活動時的心拍数が最大酸素摂取量レベルと同じでも酸素摂取量は低いという Sothmann たち（1991）の報告を支持するものである。

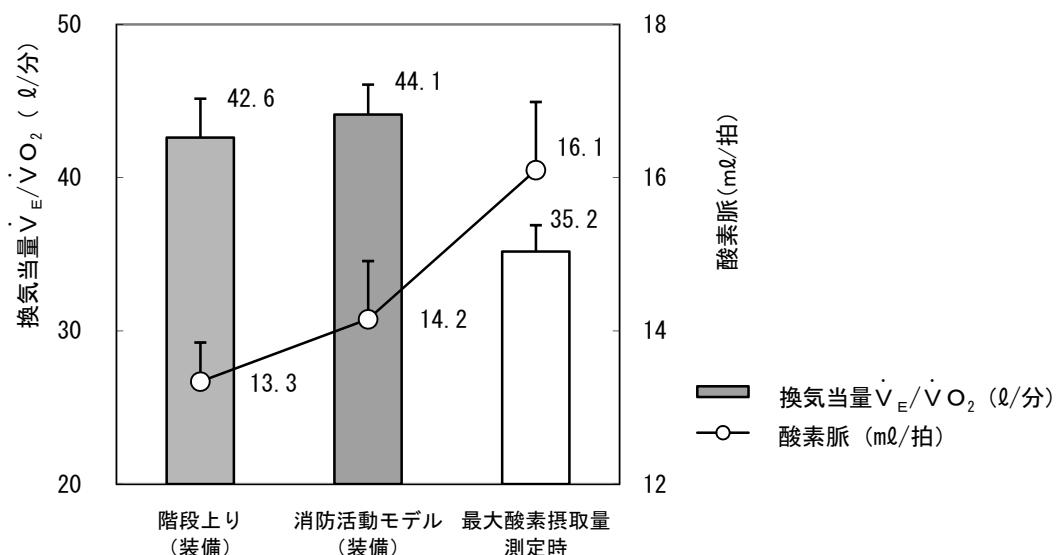


図5 階段上り、消防活動モデル、最大酸素摂取量測定時の換気当量と酸素脈
(11名の平均値と標準誤差)

- 階段上り : 火災出動時の服装に、300型空気呼吸器を着装（装備重量約20 kg）し、10階まで
- 消防活動モデル : 火災出動時の服装に、300型空気呼吸器を着装（装備重量約20 kg）し、ホース搬送（駆け足）、資材搬送（階段上り）、検索・救出、資材搬送（階段下り・上り）

- 最大酸素摂取量** : 自転車エルゴメーターによる漸増負荷法の最大値
- 換 気 当 量** : 酸素 1 lを摂取するために要した換気量
呼吸効率の指標であり、少ない方が呼吸の効率が良い。
- 酸 素 脈** : 酸素摂取量を心拍数で割った値
「一回拍出量」(心臓が一回の拍動で送り出す血液の量)を間接的に表わす。多いほど循環の効率が良い。

肺換気量

図 6 は活動時の肺換気量について 11 名の平均値を比較したものである。

肺換気量の平均値は、装備をしての無雪路面の歩行が 35.1 l/分、積雪路面歩行が 52.0 l/分で、最大酸素摂取量測定時の肺換気量 108.1 l/分の 50 %に達していない。階段上りの肺換気量は 103.9 l/分と最大酸素摂取量測定時に近く、消防活動モデルでは 117.8 l/分で最大酸素摂取量測定時を超えていている。

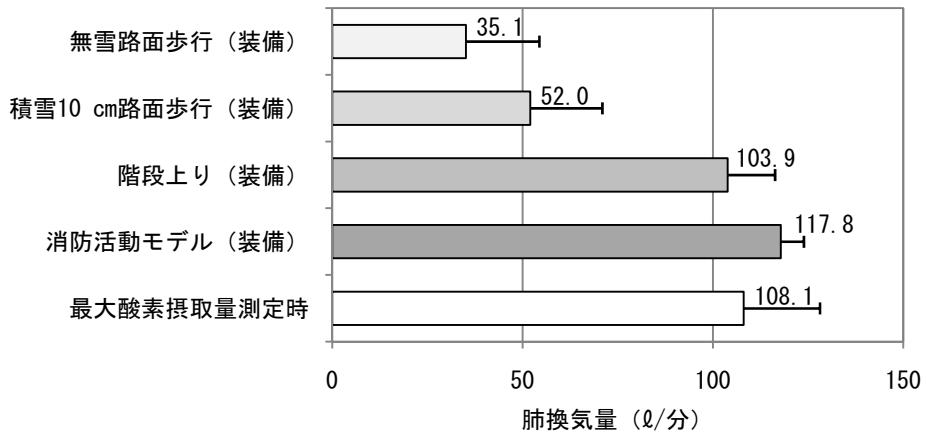


図 6 活動時の肺換気量 (11名の平均値と標準誤差)

二酸化炭素排出量と酸素摂取量

図 7 は、活動時の二酸化炭素排出量と酸素摂取量の平均値を比較したものである。

二酸化炭素排出量については、装備をしての階段上りが 3,558 ml/分、消防活動モデルが 3,916 ml/分で、最大酸素摂取量測定時の値 3,428 ml/分を上回っているが 3 種類の活動の間で有意な差は認められない。

酸素摂取量については、装備時の階段上りが 2,359 ml/分、消防活動モデルが 2,493 ml/分で、最大酸素摂取量測定時の値 2,898 ml/分には達してはおらず、階段上りと最大酸素摂取量測定時との間に危険率 5 %で有意差があるが、階段上りと消防活動モデルとの間、消防活動モデルと最大酸素摂取量測定時との間には有意な差は認められない。

酸素摂取量と二酸化炭素排出量の比で表わされる呼吸ガス交換比 $\dot{V}CO_2/\dot{VO}_2$ の平均値について比較してみると、無雪路面の歩行が 0.92、積雪路面の歩行が 1.01 で有酸素能力に依存した運動様式となっている。装備をしての階段上りで 1.51、消防活動モデルでは 1.57 となっており、

最大酸素摂取量測定時の 1.18 を上回っている。

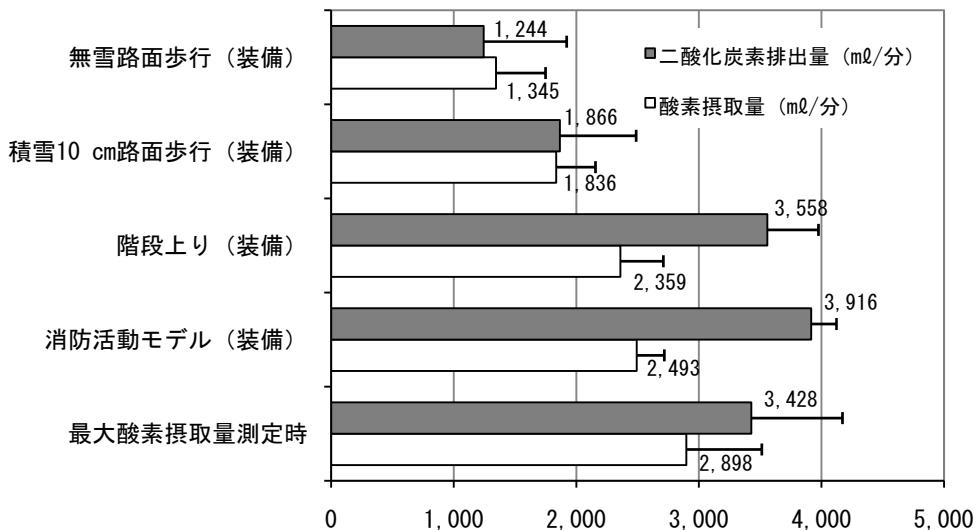


図7 活動時の二酸化炭素排出量と酸素摂取量 (11名の平均値と標準誤差)

装備：火災出動時の服装に、300型空気呼吸器を着装（装備重量約20kg）

(4) 消防活動時における有酸素・無酸素能力の特徴

最大酸素摂取量は有酸素エネルギー代謝を表す指標であるが、有酸素エネルギー代謝は活動開始と同時に高い水準になるわけではなく、最大値に達するまで最低3分以上を要する。

本実験における装備時の階段上りと消防活動モデルは、その所要時間が1分30秒～2分30秒程度であり、酸素摂取量が最大に達する前に活動が終了したことから、最大酸素摂取量を越える強度ではあるが、有酸素能力が十分に発揮される以前に無酸素能力が高いレベルで要求される活動であるといえる。実験において、肺換気量と二酸化炭素排出量が増加していることも、大きく無酸素能力に依存していることを示している。

装備時の階段上りと消防活動モデルにおいて、最大努力の活動を行っても酸素摂取量が最大酸素摂取量レベルに達しない原因として、装備等の重量負荷による胸郭の圧迫や前屈の活動姿勢により呼吸循環機能の効率が低いことがあげられる。

消防活動では重量20kg以上の装備による重量負荷によって活動強度が高くなるため、通常では有酸素性エネルギー代謝の割合が高い活動（運動）であっても無酸素性エネルギー代謝の割合が増加することとなる。また、装備等の重量負荷や空気呼吸器のハーネスによる締め付けによって換気効率が低下するため、スポーツ等の運動のように最大限に呼吸機能を活用することができず、換気効率が低下し酸素不足の状態で無酸素能力に依存した活動を継続しなければならない。

このように、装備時の消防活動では呼吸循環機能の効率が低下し、酸素供給が制限された状態で無酸素能力を発揮することが求められることから、その能力の重要性がクローズアップされる。

活動強度が高くなり無酸素性作業閾値AT (Anaerobic Threshold) 以上になると血液中の乳酸が増加しpHが低下し始めるため、二酸化炭素排出量が増加し呼吸が促進して肺換気量も急激に増加する。また、乳酸の再利用に酸素を必要とすることとあわせて、不足した酸素（酸素借）を償

還するため肺換気量が増加するため、活動後に激しい呼吸が持続することとなる。したがって、速やかに回復するためには有酸素能力が優れていることも望まれる。

これらのことから、消防活動は装備の重量や圧迫によって呼吸が抑制されていることとあわせて、強度の高い活動では酸素摂取量が定常状態に達する前に活動が終了するため、エネルギー代謝の相当な割合を無酸素能力に依存していると考えられる。軽装で十分な呼吸が確保できるランニングや球技スポーツなどとは酸素摂取条件が異なるため、消防活動では重量負荷による呼吸筋群の活動抑制や前屈による胸郭の圧迫などの呼吸抑制に抗して酸素を摂取し、活動に必要な心拍出量を維持することができる体力が要求されると考えられる。

3 地下鉄駅の出入口階段上り時の心拍数と酸素需要量

消防活動に要求される無酸素能力の日常的なトレーニングとしての効果を検証するため、地下鉄出入口階段を上った時の心拍数を計測し、心拍数と酸素需要量に着目して分析・検討を行った。

(1) 実験の概要

実施年月日

平成 20 年 6 月 25 日 (水)

実施場所

実験場所は、表 5 に示す札幌市営地下鉄 4 駅の地上出入口階段 6 カ所である。



写真 3 地下鉄新さっぽろ駅
1番出入り口（階段数 96 段）

表5 実験場所

路線	出入り口
東 豊 線	福住③番出入口
	栄町③番出入口
東 西 線	宮の沢①・③番出入口
	新さっぽろ① (写真 3) ・②番出入口

実験協力者

男性消防職員 3 名（年齢 30 ～ 50 歳、平均年齢 43 歳）を実験協力者として行った。協力者の 20 m シャトルラン折り返し回数（平均 74 回）から換算した最大酸素摂取量の平均値は、42.7 ml/kg/分であった。

測定機器等

実験に使用した測定機器等は、表 6 に示すとおりである。

表6 測定機器等

測定機器等	型式等	測定指標
腕時計型心拍計	RS400sd (POLAR)	心拍数
ストップウォッチ		所要時間

(2) 実験内容

地下鉄の出入口階段を次の3種類の歩行方法で上り、階段上り時の心拍数と所要時間を腕時計型心拍計で計測した。

- ・普通歩行
- ・速歩
- ・一段飛ばし

服装は、通勤時等を想定し、歩行に支障とならない私服とした。

地下鉄出入口階段のうち、今回の実験で利用した駅の出入口を表7にまとめた。地下鉄出入口の立地条件により長い踊り場や途中に通路が設けられているが、蹴上げの寸法は共通で蹴込みの高さが15cm、踏み面の奥行が34cmで勾配は1/2と緩やかであった。

表7 札幌市営地下鉄出入口階段の段数（太字番号は実験を行った出入口）

路線	駅名	出入口番号	段数	備考
東豊線	福住	③	106	豊) 福住 2-1 バスター・ミナル側 (通路有り)
		③	101	豊) 福住 2-1
	栄町	①	96	東) 北42 東15
		②	92	東) 北42 東16
		③	96	東) 北41 東15 (通路有り)
		④	92	東) 北41 東16
	東西線	①	94	西) 発寒6-11 (長い踊り場有り)
		②	96	西) 宮の沢1-1
		③	90	西) 発寒6-10
		⑦	96	西) 発寒6-9
新さっぽろ	新さっぽろ	①	91	厚) 厚別中央1-5 科学館公園側
		②	93	厚) 厚別中央2-5
		③	71	厚) 厚別中央2-5
		④	77	厚) 厚別中央1-5
		⑤	75	厚) 厚別中央2-5 JR新札幌駅側
		⑥	73	厚) 厚別中央2-5
		⑦	72	厚) 厚別中央1-6
		⑧	74	厚) 厚別中央2-5
		⑨	55	厚) 厚別中央2-6

(3) 所要時間と上り速さ（分時上り段数）

図8、9は、地下鉄地上出入口の上りに要する所要時間と上り分時段数について比較したもの

である。

栄町③番出入口、福住③番出入口では、途中に通路（約 30 m）があるため、地上に至るまでの所要時間が長く、分時上り段数は少なかった。宮の沢①番出入口は、新さっぽろ①・②番出入口、宮の沢③番出入口と比較し踊り場が長いため、所要時間が長く、分時上り段数は少なかった。

新さっぽろ①番出入口は地上まで直線の階段が続き、4か所の踊り場が短いため、所要時間が短く分時上り段数が多かった。

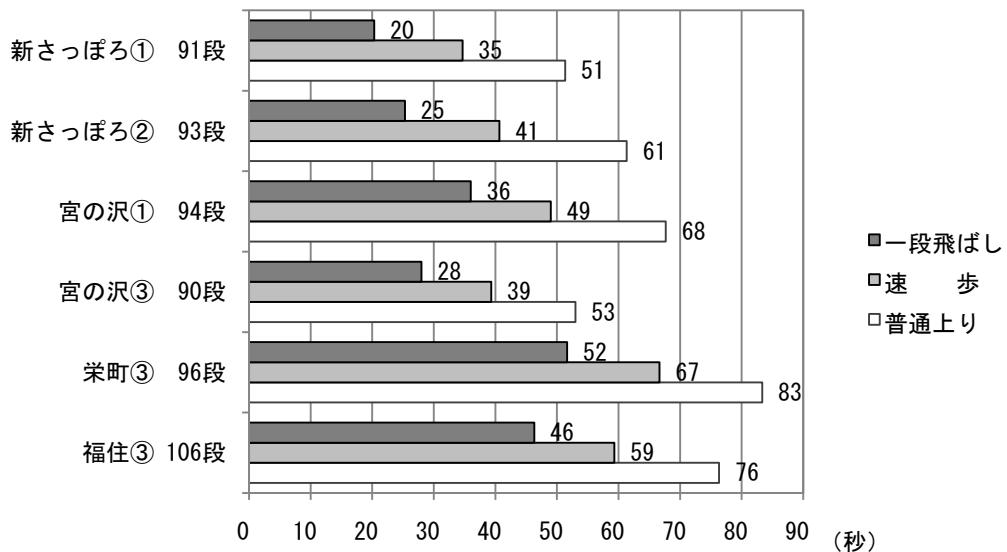


図8 地下鉄駅出入口階段の上り所要時間
実験協力者3名（30～50歳、平均43歳）の平均値
栄町、福住は約30mの通路部分の所要時間が含まれる

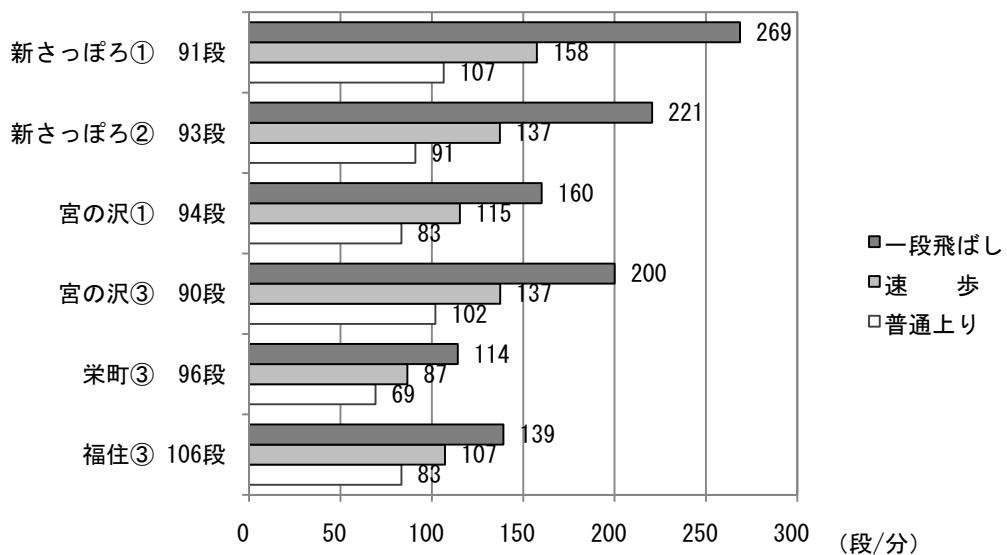


図9 地下鉄駅出入口階段の上り分時段数（段/分）
実験協力者3名（30～50歳、平均43歳）の平均値

(4) 地上到着時の心拍数

図 10 は、地上到着時の心拍数について比較したものである。

心拍数の平均値は、普通歩行の上りでは栄町③番出入口（96 段）が最小で 125 拍/分、宮の沢①番出入口（94 段）が最大で 135 拍/分となった。

速歩の上りでは、栄町③番出入口が最小で 133 拍/分が最少、新さっぽろ②番出入口（93 段）が最大で 143 拍/分となった。

一段飛ばしの上りでは、福住③番出入口（106 段）が最小で 138 拍/分、新さっぽろ②番出入口が最大で 144 拍/分となった。

新さっぽろ②番出入口と宮の沢①番出入口階段の心拍数が比較的高いが、それぞれを比較するには、踊り場と通路の有無や長短が速さ（分時上り段数）と所要時間に影響していることを考慮する必要がある。

地下鉄出入口の階段は蹴込み高さが 15 cm と低く抑えられているが、普通歩行で心拍数は 120 拍/分を超え、速歩では心拍数が 130 拍/分以上となり、一段飛ばしでは 140 拍/分を超えた階段もあった。

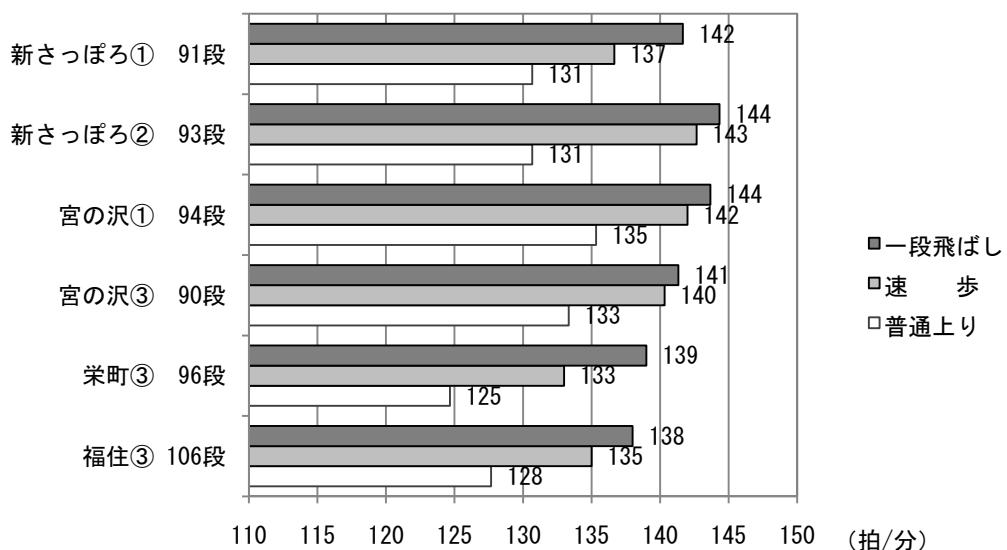


図 10 地下鉄駅出入口階段上りの地上到着時の心拍数
実験協力者 3 名 (30 ~ 50 歳、平均 43 歳) の平均値

図 11 は、30 歳の実験協力者の心拍数の変化である。

速歩や一段飛ばしで階段を駆け上ると、所要時間は短くなるが地上到着後に心拍数が亢進し、回復にも時間を要していることがわかる。

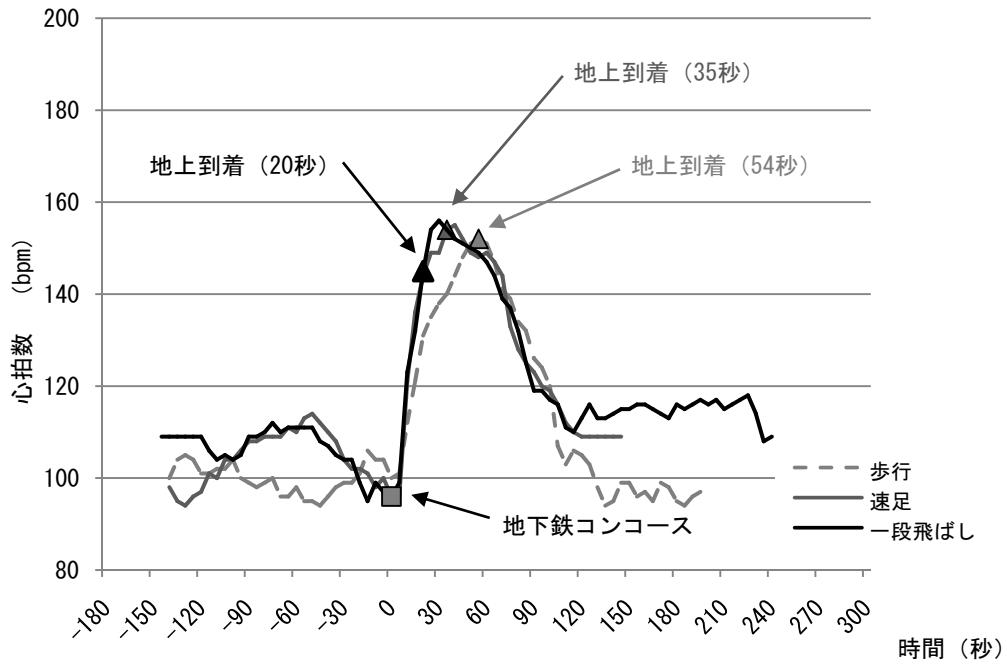


図11 地下鉄新さっぽろ駅1番出入口階段(96段)上り時の心拍数
(実験協力者:男 30歳)

(5) 酸素需要量と運動強度の推定値

アメリカスポーツ医学会の回帰式を用いて、地下鉄出入口階段上り時の酸素需要量を推定した。回帰式には、歩行、ランニング、昇降用の計算式があるが、ここでは昇降用計算式を応用して推定することとした。

アメリカスポーツ医学会の昇降用計算式は、

$$\dot{V}O_2 \text{ (ml/kg/分)} = \underbrace{0.2 \cdot \text{昇降回数}}_{\text{昇降の水平成分}} + \underbrace{1.33 \cdot 1.8 \cdot \text{昇降の高さ} \cdot \text{昇降回数}}_{\text{昇降の垂直成分}} + \underbrace{3.5 \text{ (ml/kg/分)}}_{\text{安静時酸素摂取量}}$$

昇降回数 (回数/分) : 12~30 ステップ/分

昇降の高さ (m) : 0.04~0.40 m

係数 1.33 は、重力を考慮して降りる場合に加える。

とされている。

階段上りの運動様式は、水平成分の上り (0.1) と垂直成分の上り (1.8) を加えることとし、階段上りの酸素摂取量を求める式を

$$\dot{V}O_2 \text{ (ml/kg/分)} = \underbrace{0.1 \cdot \text{分時上り段数}}_{\text{上りの水平成分}} + \underbrace{1.8 \cdot \text{蹴込み高さ} \cdot \text{分時上り段数}}_{\text{上りの垂直成分}}$$

$$\begin{array}{c}
 \text{安静時酸素摂取量} \\
 \overbrace{\quad\quad\quad}^{\text{+ 3.5 (ml/kg/分)}}
 \end{array}$$

として用いた。

図12、13は、実験協力者3名の地下鉄出入口階段上り時の酸素需要量と運動強度の平均値（推定値）を比較したものである。なお、一段飛ばしの分時上り段数は蹴上2段を一段として酸素需要量を算出している。

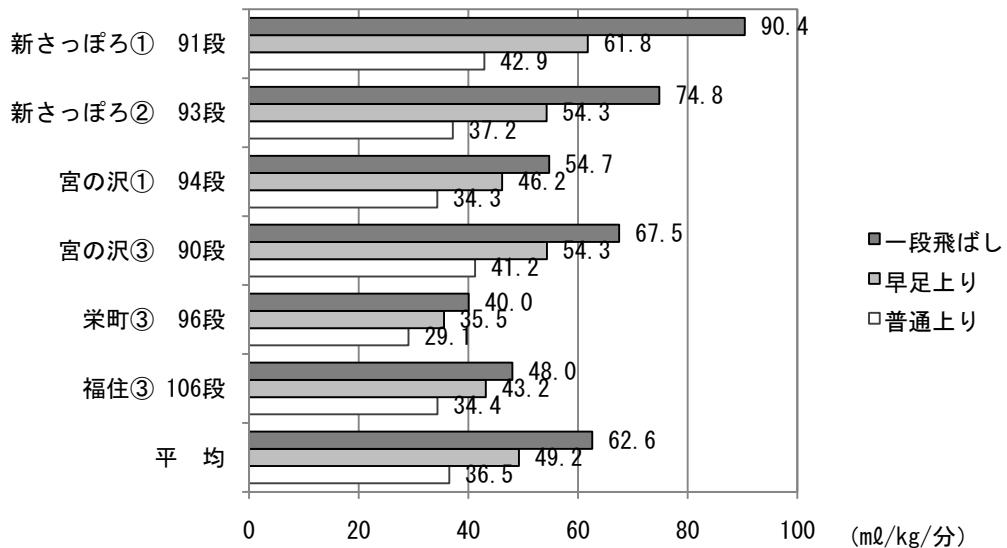


図12 地下鉄駅出入口階段上り時の酸素需要量（推定値）
実験協力者3名（30～50歳、平均43歳）の平均値
一段飛ばしは、蹴上2段を一段として算出した。

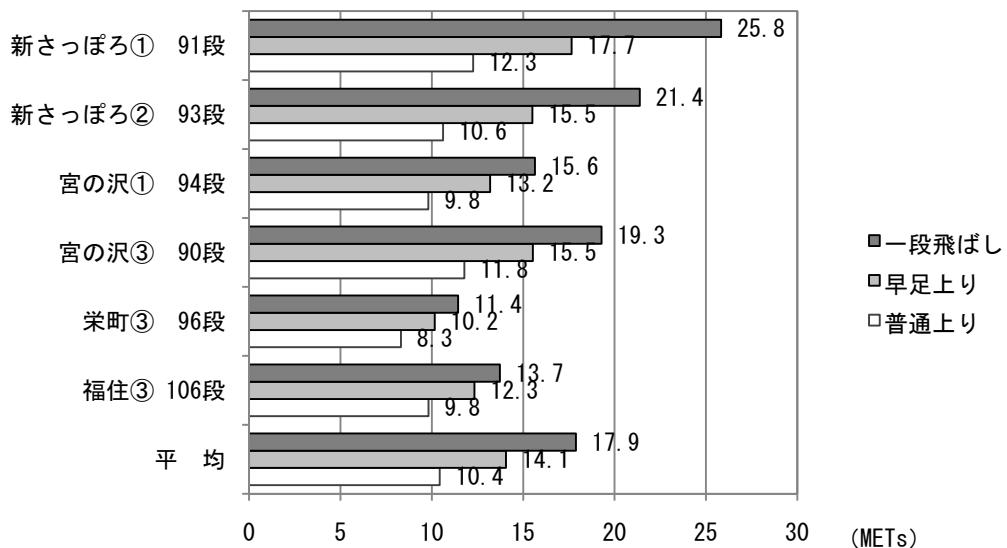


図13 地下鉄駅出入口階段上り時の運動強度（推定値）
実験協力者3名（30～50歳、平均43歳）の平均値

酸素需要量の平均値は、普通歩行の上りでは栄町③番出入口（96段）が最も少なく 29.1 mL/kg/分 、新さっぽろ①番出入口（91段）が最も多く 42.9 mL/kg/分 であった。

速歩の上りでは、栄町③番出入口が最も少なく 35.5 mL/kg/分 、新さっぽろ①番出入口が最も多く 61.8 mL/kg/分 であった。

一段飛ばしの上りでは、栄町③番出入口が最も少なく 40.0 mL/kg/分 、新さっぽろ①番出入口が最も多く 90.4 mL/kg/分 であった。

6箇所の地下鉄出入口階段における酸素需要量の平均値は、普通歩行の上りで 36.5 mL/kg/分 、速歩の上りで 49.2 mL/kg/分 、一段飛ばしの上りは 62.6 mL/kg/分 で、早足と一段飛ばしによる上り時の酸素需要量は実験協力者の最大酸素摂取量の平均値を超えており、無酸素性運動の割合が高いことがわかる。

なお、アメリカスポーツ医学会の回帰式は有酸素性運動内の酸素摂取量を推定するものであり、無酸素性運動では酸素摂取量を多く推定してしまう可能性があることから、個人の体格、足の長さ、歩幅、歩行ペースなどを十分考慮する必要があるといわれているが、階段駆け上がり時の運動強度は15 METs（田畠泉ら、新しい運動基準・運動指針「身体活動のメツ（METs）表」）といわれており、酸素摂取量に換算すると 52.5 mL/kg/分 となることから、この実験結果をもとに回帰式を応用して推定される酸素需要量を参考にすることができると考えられる。

このように、通勤時に限らず執務時等の日常生活における階段の利用は、無酸素能力のトレーニングとしての効果を期待することができる。また、速歩、一段飛ばし等によって上り速度を上げることで無酸素性運動の割合と強度を高めることができ、所要時間と体力レベルを知ることもできる。

（6）東豊線大通駅ホームから地上までの階段

図14は、東豊線大通駅ホーム南端から地上までの階段数を示したものである。

東豊線大通駅ホームから地下3、2階コンコースを経由して、地上33番出入口から出た場合の総階段数は合計165段で、蹴込み高さを 15 cm とすると階段165段の高さは約 25 m となる。

地下鉄駅等の公共的な施設は幅広い年齢層の者が利用することから、蹴込み高さを抑え踏み面を広くし勾配 $1/2$ と緩やかにするとともに、踊り場や通路を設けて運動強度は低く抑えられている。

しかしながら、このように緩やかな階段であっても、消防活動時の装備を着装し資機材を携行した場合には活動強度が高くなるため、地下4階まで下り、さらには種々の活動を行って要救助者が発生した場合には地上へ搬送するという任務を遂行するためには、相応の体力が求められる。

比較例として、当局消防学校の訓練本塔（地上10階建）の屋内階段の蹴上げの寸法は、蹴込みの高さが 19 cm 、踏み面の奥行が 20 cm で、階段部分の傾斜角は45度近く、比較的急な勾配といえ、地上10階部分の階段数が168段、地上高約 31.9 m である。

階段上りは十数秒から長くても数分の運動であるが、重力に抗して自己の体重を鉛直方向へ移動するために脚力を発揮することが求められ、酸素需要量は容易に最大酸素摂取量を越える運動強度となる。階段の上りでオールアウト（疲労困憊）してしまい活動の継続が困難な状況に追い込まれないためには、心拍数の上昇や換気量の増加に対応できる余裕のある体力とともに、活動状況に応じた体力配分について考慮することも望まれる。

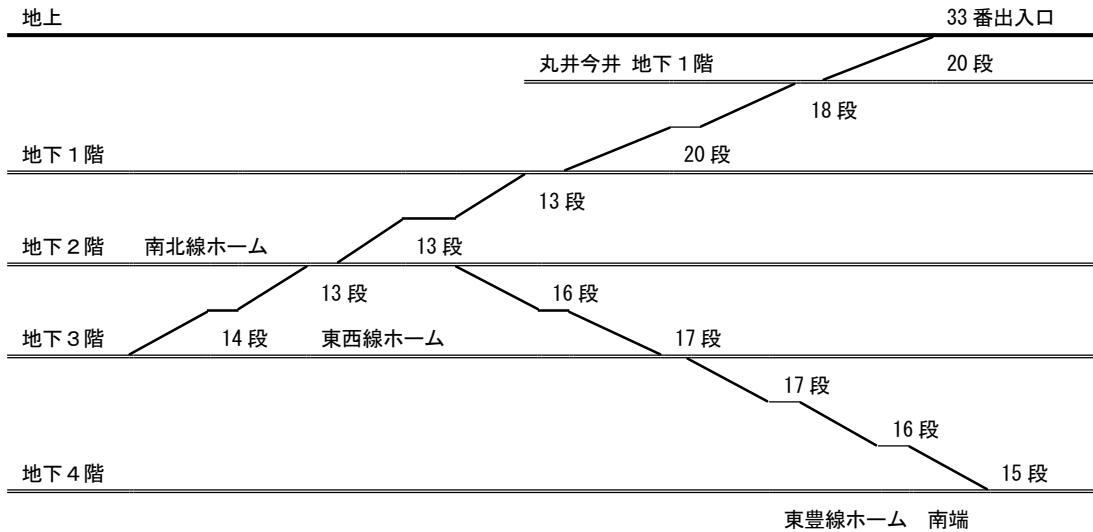


図 14 東豊線大通駅ホームから地上までの階段の段数

※ 東豊線ホーム南端から地上 33 番出入口までの総階段は 165 段で、蹴込み高さを 15 cm とすると、高低差約 25 m となる。

(7) 階段上り、上り坂歩行の留意点

心臓の負担度を表す指標で、心筋の酸素消費量との相関が高いとされているダブルプロダクト (rate-pressure product) は、収縮期血圧 × 1 分間の心拍数の計算式で表わされるが、階段上りは歩行などの運動と比較して心拍数が短時間で最大近くまで上昇するとともに、収縮期血圧も急上昇する。すなわち、心臓への負担を表す収縮期血圧と心拍数という 2 つの指標が増加するため、一気に長い階段や急な坂を上りきるなどの運動は、心肺機能の低下した人や高血圧症・高齢者の人の運動としては適当とはいえない。(Benn et al, 1996)

4 階段（訓練本塔）上り時の心拍数と換気量

階段上り時の活動（運動）強度は階段の勾配のほか装備重量や上りの速さによって変化し、換気量にも影響があることから、その関連性について検証するため、空気呼吸器を着装して階段上り下り時の空気消費量と心拍数を測定し、心拍数、酸素需要量、換気量等に着目して分析・検討を行った。

(1) 実験の概要

実施年月日

平成 20 年 7 月 6 日（日）

実施場所

札幌市消防局 消防学校 訓練所（訓練本塔 10 階建、屋内階段、写真 4）

訓練本塔の屋内階段の蹴上げの寸法は、蹴込みの高さが 19 cm、踏み面の奥行が 20 cm で傾斜角は 45 度に近く、地上 10 階までの階段数が 168 段で地上高約 31.9 m である。



写真 4 訓練本塔

実験協力者

初任教育課程研修生 77 名（年齢 18～25 歳、平均年齢 21 歳）を実験協力者として行った。協力者の 20 m シャトルラン折り返し回数（平均 113 回）から推定した最大酸素摂取量の平均値は 51.4 mL/kg/分であった。

測定機器等

実験に使用した測定機器等は、表 8 に示すとおりである。

表 8 測 定 機 器 等

測 定 機 器 等	型 式 等	測 定 指 標
空気呼吸器、空気ボンベ	L30、ALT-603J	空気消費量
腕時計型心拍計	RS400sd (POLAR)	心拍数、所要時間
ストップウォッチ		所要時間

※心拍数は、10 名について記録した。

(2) 実験内容

訓練本塔（10 階建）の屋内階段を次の 3 種類の歩行方法で上り、階段上り時の心拍数と空気消費量を計測した（写真 5）。

- ・普通歩行（心拍数を測定）
- ・空気呼吸器を着装して普通歩行（心拍数と空気消費量を測定）
- ・空気呼吸器を着装して一段飛ばしによる歩行（心拍数と空気消費量を測定）



写真 5 訓練本塔（10 階建、階段数 168 段）での実験状況

（上り→10 階到着→残圧の記録）

心拍数と所要時間の記録には腕時計型心拍計を使用した。

空気消費量は、地上入口出発時と訓練本塔 10 階到着時、地上到着時に空気呼吸器の圧力ゲージから各自が残圧を読み取り、記録員が聞き取り記録し算出した。

服装は、活動服、編上靴、保安帽に 300 型空気呼吸器（空気満充填時約 10 kg）を着装し、行動（階段上り）開始の直前に面体を着装した。

8 名毎に班を組み訓練本塔の地上出入口から出発し、屋内階段 168 段を上り 10 階へ到達、2 分間の回復期の後、地上まで下りる行程とした。10 階到着時の 2 分間の回復期は、先頭の者が到着

した時を基準とした。

(3) 所要時間と心拍数

階段上りの所要時間と訓練本塔 10 階到着時の心拍数、活動中の心拍数の最大値について、心拍計を装着した 10 名中 6 名（平均年齢 24 歳）の測定値から平均値を算出した（表 9）。

歩行の上り所要時間の平均値は、空気呼吸器の装着の有無に関わらず 1 分 44 秒、空気呼吸器を着装した一段飛ばしの上り所要時間は 1 分 20 秒であった。心拍数の平均値は、空気呼吸器を着装しない普通歩行による上りで、訓練本塔 10 階到着時に 160 拍/分に達し最大値となった。

空気呼吸器を着装した場合には、普通歩行の上りで 10 階到着時 168 拍/分、最大 169 拍/分、一段飛ばしでは 10 階到着時 175 拍/分、最大 176 拍/分で、いずれの場合も本塔 10 階到着後の 2 分間の回復期に心拍数が上昇し最大値を記録している。

歩行による上り時の心拍数の最大値の平均は、空気呼吸器を着装した場合より約 9 拍/分の上昇、一段飛ばしでは 16 拍/分の上昇がみられた。

これは、空気呼吸器の着装により重量負荷が増加することと、一段飛ばしの上りでは鉛直方向への移動速度が速くなるためと推測することができる。また、空気呼吸器のハーネスによる締め付けによって胸郭が圧迫され、換気効率が低下することも関与していると考えられる。

表 9 階段上りの所要時間と心拍数の平均値

	所要時間の平均	心拍数の平均値 (bpm)	
		到着時	最 大
普通歩行（呼吸器着装なし）	1 分 44 秒	160	160
普通歩行（呼吸器着装）	1 分 44 秒	168	169
一段飛ばし（呼吸器着装）	1 分 20 秒	175	176

心拍計を装着した 6 名（平均年齢 24 歳）の平均値

階段：訓練本塔 10 階建の屋内階段 168 段（蹴込みの高さ 19 cm）

服装：活動服、編上靴、保安帽に 300 型空気呼吸器（約 10 kg）を着装

図 15 は、24 歳の実験協力者的心拍数の変化である。

活動（階段上り）開始前の心拍数は、空気呼吸器を着装していない時で 100 拍/分であるが、呼吸器を着装すると 120 拍/分以上に上昇している。

空気呼吸器を着装していない普通歩行による階段上り時の 10 階到着時の心拍数は 152 拍/分、呼吸器を着装した普通歩行による上りでは 170 拍/分、呼吸器を着装し一段飛びによる上りでは 175 拍/分まで上昇している。また、いずれの場合も 10 階到着後に心拍数が上昇していることがわかる。

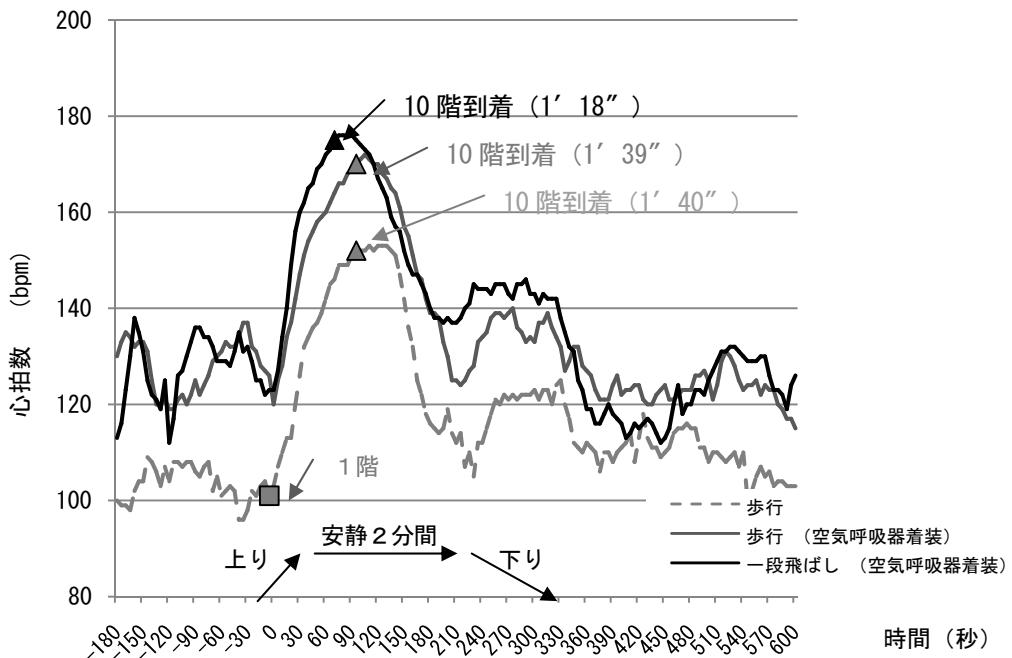


図 15 階段上り時の心拍数（被験者：男 24）

階段：訓練本塔 10 階建の屋内階段 168 段（蹴込みの高さ 19 cm）

服装：活動服、編上靴、保安帽に 300 型空気呼吸器（約 10 kg）を着装

(4) 酸素需要量と運動強度の推定値

表 10 は、訓練本塔 10 階までの階段上りの酸素需要量と運動強度について、6 名（平均年齢 24 歳）の所要時間の平均値からアメリカスポーツ医学会の昇降用計算式を応用して推定した値である。

歩行による上りの酸素需要量と運動強度の推定値は、それぞれ 46.3 mL/kg/分 と 13.2 METs となる。

空気呼吸器を着装した活動の酸素需要量と運動強度を推定する場合には、空気呼吸器の重量負荷増を考慮する必要がある。実験協力者 6 名の平均体重を 70 kg 、空気呼吸器の重量を 10 kg として補正すると、酸素需要量と運動強度は約 14% 程度増加することとなり、空気呼吸器を着装しての歩行による上りの酸素需要量と運動強度の推定値は、それぞれ 52.9 mL/kg/分 と 15.1 METs となる。

空気呼吸器を着装しての一段飛ばしによる上りの酸素需要量と運動強度の推定値は、それぞれ 60.6 mL/kg/分 と 17.3 METs となり、最大酸素摂取量をはるかに超え、無酸素性エネルギー代謝に依存する割合が高くなることがわかる。

なお、訓練本塔の屋内階段の各階には踊り場が設けられており、この踊り場における水平移動と 180 度の方向変換を考慮すると、運動強度はさらに高くなると考えられる。

この実験の活動（運動）時間は、1 分 20 秒から 1 分 40 秒程度と短時間のため、酸素摂取量は最大値には達してはおらず、やや高めに推定されていると考えられるが、一般的な階段上りの運動で 9 METs 、階段駆け上がりで 15 METs （田畠泉ら、新しい運動基準・運動指針「身体活動のメツツ（METs）表」）といわれていることから、この実験結果をもとに回帰式を応用して推定される

酸素需要量を参考にすることができると考えられる。

表 10 階段上りの酸素需要量と運動強度（推定値の平均値）

	所要時間の平均 段/分	毎分当段数	酸素需要量 mL/kg/分	運動強度 METs
		段/分		
普通歩行（空気呼吸器着装なし）	1分44秒	97	46.3	13.2
普通歩行（空気呼吸器着装）	1分44秒	97	52.9	15.1
一段飛ばし（空気呼吸器着装）	1分20秒	63	60.6	17.3

所要時間の平均値は、6名（平均年齢24歳）の測定値から算出した。

階段：訓練本塔10階建の屋内階段168段（蹴込みの高さ19cm）

一段飛ばしは、蹴上2段を一段として算出

服装：活動服、編上靴、保安帽に300型空気呼吸器（約10kg）を着装

(5) 空気呼吸器の空気消費量

表11と図16は、実験協力者77名中75名（平均年齢21歳）が、訓練本塔10階までの階段を上り2分間の回復期後に地上まで下りた全行程の分時当たり空気消費量（l/分）について、平均値を比較したものである。

歩行による階段上り下り全行程の平均値は58.7 l/分、消費量が最も多かった者は78.2 l/分、最も少なかった者は38.5 l/分であった。

一段飛ばしによる階段上り下り全行程の空気消費量の平均は68.5 l/分、消費量が最も多かった者は102.9 l/分、最も少なかった者は40.1 l/分であった。

歩行による階段上り時の空気消費量の平均は99.7 l/分、消費量が最も多かった者は148.8 l/分、最も少なかった者は57.7 l/分であった。

一段飛ばしによる階段上り時の空気消費量の平均は110.6 l/分、消費量が最も多かった者は171.0 l/分、最も少なかった者は45.8 l/分であった。

表11 階段上り下り時の分時当たり空気消費量（平均値）

		空気消費量（l/分）			
		平均	最大	最小	SD
歩行 (呼吸器着装)	全行程	58.7	78.2	38.5	9.0
	上り	99.7	148.8	57.7	20.7
	回復期+下り	38.7	58.3	15.3	10.3
一段飛ばし (呼吸器着装)	全行程	68.5	102.9	40.1	13.1
	上り	110.6	171.0	45.8	31.0
	回復期+下り	52.5	95.0	35.0	13.4

平均値は、実験協力者77名中75名（平均年齢21歳）の消費量から算出した。

階段：訓練本塔10階建の屋内階段168段（蹴込みの高さ19cm）

服装：活動服、編上靴、保安帽に300型空気呼吸器（約10kg）を着装

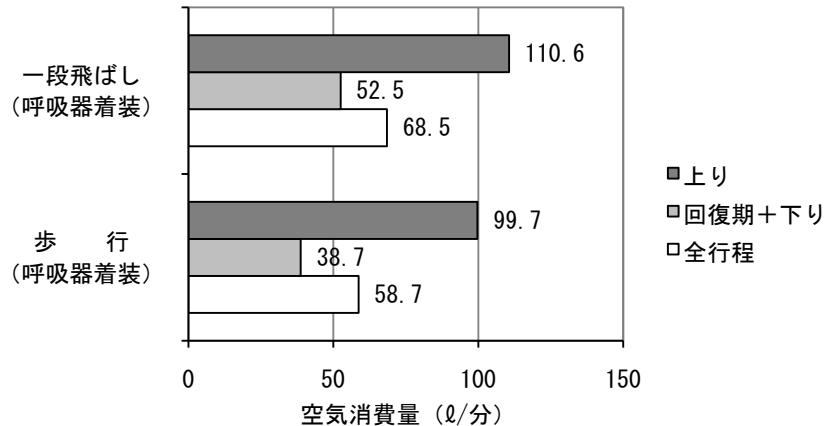


図 16 階段上り下り時の分時当たり空気消費量（平均値）

平均値は、実験協力者 77 名中 75 名（平均年齢 21 歳）の消費量から算出した。

階段：訓練本塔 10 階建の屋内階段 168 段（蹴込みの高さ 19 cm）

服装：活動服、編上靴、保安帽に 300 型空気呼吸器（約 10 kg）を着装

空気呼吸器を着装しての活動可能時間は、空気呼吸器の携行空気量と空気使用量によって決まる。分時あたりの空気使用量は肺換気量と等しく、活動強度によって増減するとともに呼吸方法の影響を強く受ける。

毎分の肺換気量が同じであっても、呼吸数が多く浅い呼吸では呼気量に占める死腔量（図 17）が多くなり換気効率が低下することから、空気呼吸器を着装した活動では、肺換気量を高めるため深い呼吸により換気効率を高めることが求められる。

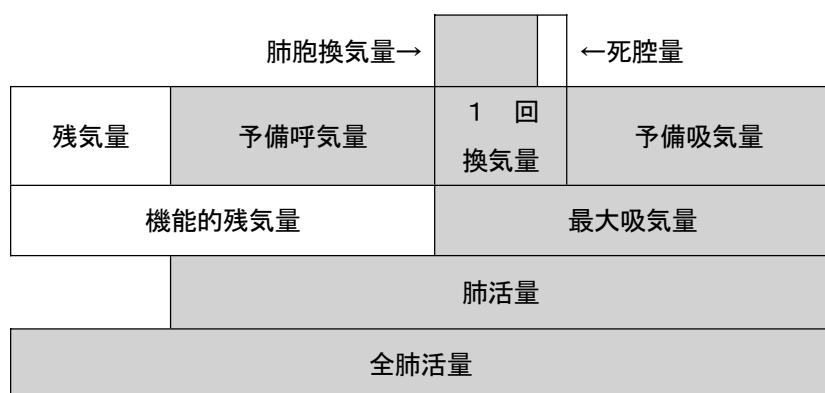


図 17 肺 容 量 の 区 分

(高橋徹三、山田哲雄著、新栄養士課程講座 運動生理学、建帛社 2000)

1回換気量 : 安静時の呼吸の際に肺に出入する空気の量

1回吸気量または1回呼気量

死腔量 : 肺胞の中まで到達せず、気道を満たす空気の量

肺胞換気量 : 1回換気量から死腔量を引いた分

予備吸気量 : 安静時の吸気後に（吸気終末位から）、さらに努力して吸入することができる最大の空気量

予備呼気量	: 安静時の呼気終末位からさらに努力して呼出することができる最大の空気量
残気量	: 最大現努力して空気を呼出してもなお肺内に残っている空気量
最大吸気量	: 安静時呼気終末位から吸氣することができる最大の空気量
機能的残気量	: 安静時呼気終末位において肺内に残存する空気量
肺活量	: 予備吸気量と1回換気量と予備呼気量の合計 通常、最大吸気終末位からゆっくり、できるだけ多く呼出させた際の空気量（空気肺活量）
全肺容量 (全肺気量)	: 最大吸気終末位において肺内に存在する空気量 肺全体の容積を示す

吸気量と呼気量はほぼ等しく、一般に呼気量を肺換気量と呼び、1分間あたりの肺換気量は次式で求められる。

$$\text{毎分換気量} = \text{1回換気量} \times \text{1分間あたりの呼吸数}$$

成人では、安静時で1回換気量が0.5 ℥前後、1分間あたりの呼吸数が16～18回程度であるので毎分換気量は8～90ℓで、最大換気量は1分間あたり100 ℥程度、運動選手では最高150 ℥前後に達する場合があるといわれる。

運動時には、安静時よりも1回換気量が増して予備吸気量と予備呼気量が少なくなり、また呼吸数が増す。1回換気量は、中等度の運動強度までは運動強度が高まるにつれて増加するが、それ以上の強度では増加せず、オールアウトの直前では急激に減少する。一方、呼吸数は運動強度が高まるにつれて増加し、オールアウト直前では急増する。

表12は各種労作時の呼吸量と酸素消費量を示しているが、前述した火災出動時の装備をしての階段上りや消防活動モデル実施時の肺換気量（図6）は、この表で示している最大活動時の呼吸量を超えていている。

表12 各種労作時の酸素消費量（68 kg 成人男子の例）

条件	エネルギー消費量 (kcal/min)	呼吸量 (ℓ/min)	酸素消費量 (ℓ/min)
臥位	1.15	6	0.24
座位	1.44	7	0.30
立位	1.72	8	0.36
歩行 (3 km/h)	3.13	14	0.65
歩行 (6 km/h)	5.76	26	1.20
走行	9.60	43	2.00

最大活動	14~20	85~90	3~4
------	-------	-------	-----

消費エネルギーに対する酸素消費量：約 0.21 ℓ/cal

(労働省労働衛生課編 新酸素欠乏危険作業主任者テキスト p. 120、中央労働災害防止協会 2008)

有酸素運動で運動強度が高くなると、活動に必要となる酸素摂取量の増加とともに換気量も増加する。さらに運動強度が高くなり、無酸素性運動の割合が増加して無酸素性エネルギー供給機構が働くと、二酸化炭素の排出量が増加し換気量が亢進することとなる。

また、暑熱や視界不良等による心理的ストレスによる心拍数の亢進と、換気量の増加についても考慮する必要がある。

「火災室内の検索救助活動における消防隊員の生理的变化に係る研究」(下畠行盛ら)では、熱環境室において5分間の検索救助活動を行った時の空気呼吸器の消費圧力を測定している。この研究では、湿度60%（火災室内の湿度は放水により70%以上であるが、隊員の安全に配意して60%に統一した。）で温度「20°C」と「50°C」の環境条件では、「50°C」の方が約1.5倍も多く消費することが分かっており、熱環境下においては、常温で行う消防活動訓練と同等の活動（運動）負荷であっても、空気呼吸器の使用時間が短くなることが確認されている。

5 まとめ

本報告では、消防活動において無酸素能力がどのように発揮されるかを検討するため、「消防職員の体力維持・向上に関する研究」で行った実験に地下鉄出入口階段や訓練本塔の階段上りの実験を追加し、心拍数と換気量に着目して分析・検討することによって以下のことが明らかとなった。

- (1) 装備時の積雪路面歩行は、無雪路面と比較して心拍数・酸素摂取量がともに高くなり活動強度が増加する。
- (2) 消防活動では装備による重量負荷によって活動強度が高くなるため、無酸素性エネルギー代謝の割合が高くなり、二酸化炭素排出のため肺換気量も増加する。
- (3) 消防活動では装備による重量負荷や締め付けにより換気効率が低下することから、酸素不足の状況下で高い活動能力を発揮するためには、有酸素能力そのものに余裕が必要である。
- (4) 強度の高い活動を終えた後に速やかに回復するためには、有酸素能力が優れていることが望まれる。
- (5) 活動所要時間を2～3分間程度に設定した本実験の消防活動モデルにおいて、高い活動能力を発揮するためには、有酸素能力とともに無酸素能力が重要な体力要素であることが明らかとなつた。
- (6) 消防活動では心拍数の上昇や換気量の増加に対応できる余裕のある体力が望まれるとともに、自己の体力を知り活動時の体力配分について考慮することが望まれる。
- (7) 階段上り時の酸素需要量は、容易に最大酸素摂取量を越える運動強度となり、日常生活における階段利用は、無酸素能力のトレーニングとして効果を期待することができる。

(謝 辞)

本研究は、北海道大学名誉教授 須田 力 氏に、多大なご助言・ご指導をいただいております。また、実験では多くの職員に、自ら被験者となっていたりとともに、安全管理や計測にあたってはただく等、ご理解とご協力をいただきました。

ここに記して、謹んでお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) アメリカスポーツ医学会編、日本体力医学会体力科学編集委員会監訳：運動処方の指針 原著第7版、南江堂、2006.
- 2) Ben-Ezra, V. & Verstraete, R. : Stair climbing : An alternative exercise modality for fire fighters. Journal of Occupational Medicine. 30, pp. 103-105, 1988.
- 3) Benn, S. J., et al. : Circulatory responses to weightlifting, walking, and stair climbing in older males. J. Am. Geriatr. Soc. 44, pp. 121-125, 1996.
- 4) Borg, G. : Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine, Vol. 2, 1970.
- 5) 労働省労働衛生課編：新酸素欠乏危険作業主任者テキスト、中央労働災害防止協会、2008.
- 6) 札幌市消防局：「消防職員の体力維持・向上に関する研究」報告書、2009.
- 7) 下畠行盛、三野正浩、日高一誠：火災室内の検索救助活動における消防隊員の生理的変化に関する研究、東京消防庁、2009.
- 8) Sothmann, M., K. Saupe, P. Raven, J. Pawelczyk, P. Davis, C. Dotson and F. Landy : Oxygen consumption during fire suppression: error of heart rate estimation. Ergonomics 34:pp. 1469-1474, 1991.
- 9) 高橋徹三、山田哲雄著：新栄養士課程講座 運動生理学、建帛社、2000.
- 10) 田畠泉、田中茂穂、引原有輝：新しい運動基準・運動指針「身体活動のメツツ (METs) 表」、(独・国立健康・栄養研究所 健康増進プログラム エネルギー代謝プロジェクト)、2007.

消防活動時の送風による冷却効果について

札幌市消防科学研究所 中住 齊
高橋 渉
菅原 法之
吉永 直樹
札幌市中央消防署 特別高度救助隊

1 概要

送風による冷却効果を検証することを目的として、消防活動を想定した負荷モデルによる実験を行い、送風条件を変えて防火衣内の温度・湿度、体温、心拍数等の変化を測定した。

その結果、防火衣を着装していても、送風を行うと体温と心拍数の上昇を抑制する効果があり、活動終了後の回復が早いことが確認された。

2 実験日時等

(1) 実験年月日

平成 21 年 1 月 14、16 日

(2) 実験場所

札幌市消防局 消防科学研究所 開発実験室、燃焼実験室

3 実験内容等

送風による冷却効果を検証するため、消防活動を想定した負荷モデルによる実験を行った。火災出動時の服装を着装し、送風条件を変えて負荷モデルを行い、防火衣内の温度・湿度、体温、心拍数等の変化を測定した。

なお、協力者の体格を考慮して実験結果を相対的に比較検討するため、予備実験として最大仕事量の測定も行った。

実験内容等は、以下のとおりである。

(1) 実験協力者

男性消防職員 3 名（年齢 25 歳、37 歳、50 歳、平均年齢 37 歳）を実験協力者（以下、「協力者」という。）として実施した。協力者の 20 m シャトルラン折り返し回数から換算した最大酸素摂取量（推定値）の平均は 46.3 ml/kg/分であった。

(2) 測定機器等

実験に使用した測定機器等は、表 1 のとおり。

表 1 測定機器等

測定機器等	測定項目等
恒温恒湿ユニット	
自転車エルゴメーター	負荷値

可搬式プロアー	
送排風機	
可変単巻変圧器（スライダック）	
熱中症指標計	WBGT値
温度・湿度データーロガー	温度、湿度
腕時計型心拍計	心拍数
耳式体温計	鼓膜温
携帯型風速計	風速
熱画像装置	表面温度
ストップウォッチ	経過時間
自覚的運動強度判定表	自覚的運動強度
電子天秤	体重

(3) 最大仕事量の測定

最大仕事量の測定には、自転車エルゴメーターによる漸増負荷法（写真1、表2）を用いた。

負荷は、自転車エルゴメーター上で座位姿勢1分間の安静を保った後、回転数50～60回転/分を維持し、負荷強度50Wで1分間こぎ続けた後、毎分20Wずつ負荷強度を増加させた。

最大仕事量は、自転車エルゴメーターをこぎ続けることができなくなった時点の負荷値（W）とした。



写真1　自転車エルゴメーターによる最大仕事量の測定

表2　自転車エルゴメーターによる漸増負荷法

ステージ	負荷 (W)	時間 (分)	備考
1 安静		1	
2 ステップ	50	1	回転数 50～60 rpm
3 ランプ	300	15	毎分 20 Wで漸増
4 クールダウン		10	

※ 最大仕事量は、自転車エルゴメーターをこぎ続けることができなくなった時点の負荷値（W）とした。

(4) 消防活動を想定した負荷モデルによる実験

消防活動を想定した負荷モデルによる実験(写真2)では、表3に示す負荷モデルを用い、送風による冷却効果を検証するため、表4に示す2通りの環境で実験を行い、防火衣内の温度と湿度、体温(鼓膜温)、心拍数、体重、自覚的運動強度を測定した。

実験は、活動服を着て座位で5分間の安静(ステージ①)後、3分間の立位で装備を着装し機器の設定(ステージ②)を行ってから、消防活動を想定した負荷モデル(ステージ③～⑦、24分間)を実施した。

消防活動を想定した負荷は、自転車エルゴメーターの回転数を50～60回転/分とし負荷量と時間により設定した。

出動準備として、出動指令から防火衣などの火災出動時の服装(装備重量約20kg)を着装し乗車まで(ステージ③)を、自転車エルゴメーターの負荷値30Wとして5分間の運動とした。次に、出動途中の車中での活動準備(ステージ④)として、負荷値140Wで2分間、現場到着までの車中(ステージ⑤)として負荷値40Wで2分間の運動とした。現場活動の想定としては、現場到着直後の最も激しい活動(ステージ⑥)として負荷値140Wで3分間、その後の継続的な活動(ステージ⑦)を負荷値110Wで12分間継続するモデルとした。

負荷モデル終了後は、回復期を10分間設定し、5分毎に体温、自覚的運動強度を測定した。

この実験では、簡便で安全な自転車エルゴメーターを負荷として用いたが、運動様式が座位のため、装備重量による負荷の増加割合は、立位での歩行より低くなることを考慮する必要がある。

表3 負荷モデル

ステージ	想定する活動	活動時間 (分)	自転車エルゴ メーター 負荷値(W)	備考
① 安静(座位)	待機	5	-	
② 安静(立位)	待機	3	-	装備着装 機器設定
③ 出動準備	乗車まで	5	30	
④ 出動途上	車中の活動準備	2	140	
⑤ 出動途上	現場到着までの車内	2	40	
⑥ 現場到着	現場活動(初期)	3	140	
a		4		
⑦ b 活動	現場活動(定期)	4	110	
c		4		
合計		32		

※ 待機中の服装は活動服

※ 負荷モデルは火災出動時の服装に300型空気呼吸器を着装(装備重量約20kg)して行った



写真2 負荷モデルによる実験

表4 消防活動を想定した負荷モデルの実験環境

	温度 (°C)	湿度 (%)	送風条件	
			負荷モデル実施中	負荷モデル終了後
実験1	23	32	送風無し	防火衣を着装、送風無し
実験2			送風有り	防火衣の前身ごろを開放、送風有り

送風には、ガソリンエンジンを動力に用いた可搬式ブロアーでは換気が必要となることから、室内での利用に適した交流 100 V 電動式の送排風機を使用した。送排風機の風量は、可変単巻変圧器（スライダック）を用いて入力電圧を調整し、携帯型風速計で風速が約 5 m/秒となるように距離・角度を設定した（写真3、4）。



写真3 送排風機（左）と可搬式ブロアー（右）



写真4 風量の体感的な確認

4 最大仕事量の測定結果

最大仕事量の測定は、恒温恒湿ユニット内で環境温度を 23 °C、湿度を 50 %に設定して実施した。この時の熱中症指標 W B G T (Wet-Bulb Globe Temperature、湿球黒球温度) 値は、W B G T 19.5 °C であった。

協力者の最大仕事量の測定結果と最大酸素摂取量（推定値）は表5のとおりである。図1は、最大仕事量測定時の協力者的心拍数の変化である。

協力者 3 名の最大仕事量の絶対値は、協力者 S (25 歳) が 288 W、協力者 Y (37 歳) が 328 W、協力者 M (50 歳) が 270 W で、平均値は 295 W であった。体重当たりの相対値は、それぞれ 3.95 W/kg、4.69 W/kg、4.15 W/kg で、平均値は 4.26 W/kg であった。

当局で実施した平成 20 年度消防職員体力テストにおける 20 m シャトルランの折り返し回数から推定される最大酸素摂取量は、協力者 S が 45.1 mL/kg/分（折返し回数 85 回）、協力者 Y が 49.0 mL/kg/分（同 102 回）、協力者 M が 44.7 mL/kg/分（同 83 回）で、平均値は 46.3 mL/kg/分であった。

表5 実験協力者の最大仕事量と最大酸素摂取量（推定値）

年齢	身長 cm	体重 kg	自転車エルゴメーター 最大仕事量		20mシャトルラン 最大酸素摂取量（推定値）	
			絶対値 (W)	相対値 (W/kg)	折返し (回)	(ml/kg/分)
S	25	180	288	3.95	85	45.1
Y	37	172	328	4.69	102	49.0
M	50	163	270	4.15	83	44.7
平均	37	172	295	4.26	90	46.3

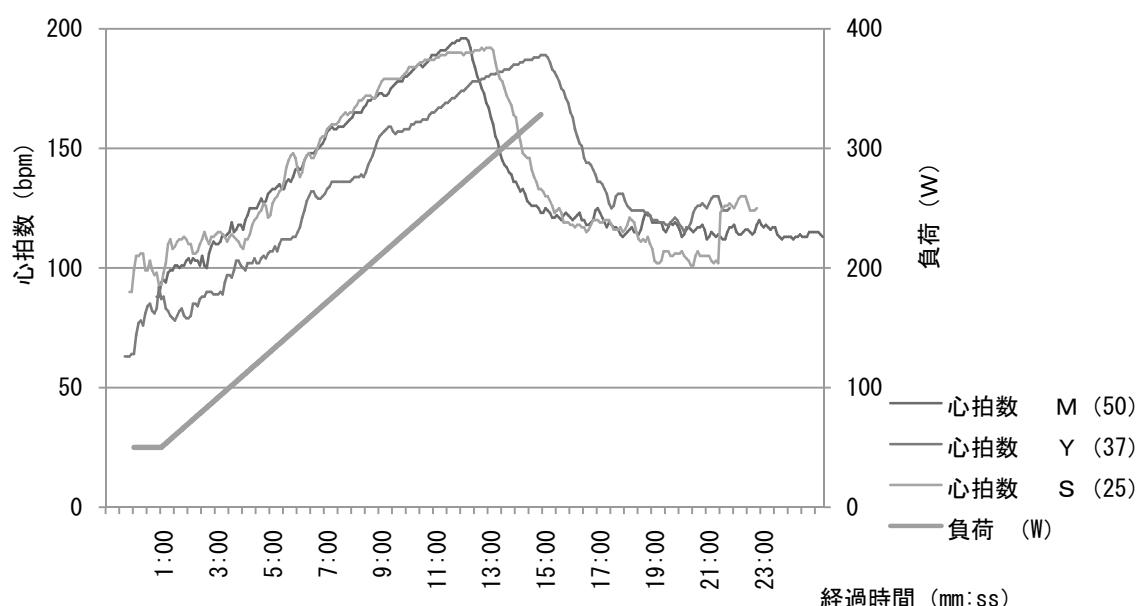


図1 最大仕事量測定時の心拍数（非装備、温度 22 °C、湿度 50 %）

5 負荷モデルの相対的仕事量

負荷モデルを行って測定した心拍数、体温などの指標を評価するには、協力者の年齢のほか、体力、体格（特に体重）や装備による重量増加の影響を考慮して、相対的仕事量により各指標を評価する必要がある。

表6～8は、各協力者の最大仕事量に対する負荷モデルの相対的仕事量を示したもので、非装備と、防火衣などの火災出動時の服装（装備重量約 20 kg）を着装した場合の相対的仕事量を比較している。なお、表中の酸素摂取量は、次のアメリカスポーツ医学会（A C S M）の回帰式を用いて負荷モデルの仕事量（W）から換算した。

$$\begin{aligned}
 \text{酸素摂取量 } & \dot{V}O_2 (\text{ml/kg/分}) \\
 &= 1.8 \times \text{仕事量/体重} + \text{安静時 } \dot{V}O_2 + \text{無負荷のサイクリング } \dot{V}O_2 \\
 &= (10.8 \times \text{仕事率 (W)} \div \text{体重 (kg)}) + 3.5 + 3.5
 \end{aligned}$$

重量約 20 kg の装備を着装した場合には、最大仕事量に対する相対的仕事量は非装備の状態と比較すると 30 %程度増加し、増加率の最も少ない協力者 S で 1.6 METs、協力者 Y は 1.7 METs、増加

率の最も多い協力者Mでは2.1 METs の負担増となる。

現場到着時の初期の活動（負荷モデル ステージ⑥）を想定した仕事量 140 Wの負荷は、協力者Mで最大仕事量の 67.8 %に達する。この時の運動強度は 10.7 METs となり、170 m/分のランニングの強度に相当する。出動準備（ステージ③）を想定した仕事量 30 Wでも、活動強度は 3.9 METs となり、100 m/分の急歩の強度に相当する。

表6 相対的仕事量（協力者S：25歳、体重73 kg、最大仕事量288 W）

負荷 モデル 仕事量 (W)	非装備 A			装備 B			差 B-A		
	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量
30	11.4	3.3	10.4%	12.7	13.3	13.3%	1.3	0.3	2.9%
40	12.9	3.7	13.9%	14.5	17.7	17.7%	1.6	0.5	3.8%
110	23.3	6.6	38.2%	27.7	48.7	48.7%	4.4	1.3	10.5%
140	27.7	7.9	48.6%	33.4	61.9	61.9%	5.7	1.6	13.3%

表7 相対的仕事量（協力者Y：37歳、体重70 kg、最大仕事量328 W）

負荷 モデル 仕事量 (W)	非装備 A			装備 B			差 B-A		
	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量
30	11.6	3.3	9.1%	13.0	3.7	11.8%	1.4	0.4	2.7%
40	13.2	3.8	12.2%	14.9	4.3	15.7%	1.7	0.5	3.5%
110	24.0	6.8	33.5%	28.8	8.2	43.1%	4.8	1.4	9.6%
140	28.6	8.2	42.7%	34.8	9.9	54.9%	6.2	1.7	12.2%

表8 相対的仕事量（協力者M：50歳、体重65 kg、最大仕事量270 W）

負荷 モデル 仕事量 (W)	非装備 A			装備 B			差 B-A		
	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量	酸素摄取量 mL/kg/分 METs		相対的 仕事量
30	12.0	3.4	11.1%	13.5	3.9	14.5%	1.5	0.5	3.4%
40	13.6	3.9	14.8%	15.7	4.5	19.4%	2.1	0.6	4.6%
110	25.3	7.2	40.7%	30.9	8.8	53.3%	5.6	1.6	12.6%
140	30.3	8.6	51.9%	37.4	10.7	67.8%	7.1	2.1	15.9%

6 消防活動を想定した負荷モデル実施時の測定結果

消防活動を想定した負荷モデルによる実験は、燃焼実験室内で環境温度を 23 °C、湿度を 32 %に設定して行った。この時の熱中症指標は、WBGT 17.7 °Cであった。

各指標の測定結果は、以下のとおりである。

(1) 防火衣内の温度と湿度

防火衣内の温度と湿度について、携帯型のデータロガーを用いて変化を記録した。ロガ一本体は空気呼吸器のポンベに固定し、温湿度センサーを活動服の胸ポケット内へ収納した（写真5）。

図2は防火衣内の温度の変化を、図3は湿度の変化を示したものである。

実験1では、負荷モデル実施後17分経過後に、協力者3名の防火衣内の温度と湿度が定常状態となった。負荷モデル終了時の協力者3名の平均値は、温度が36.0 °C、湿度が92.3 %であった。

実験2では、負荷モデル終了時の平均値は、温度が33.2 °C、湿度が71.0 %で、実験1と比較して低めの値となった。

なお、実験2における負荷試験終了後の回復期の温度・湿度は、送排風機による送風の影響を受けて値が乱れている。



写真5 溫湿度計の設定状況

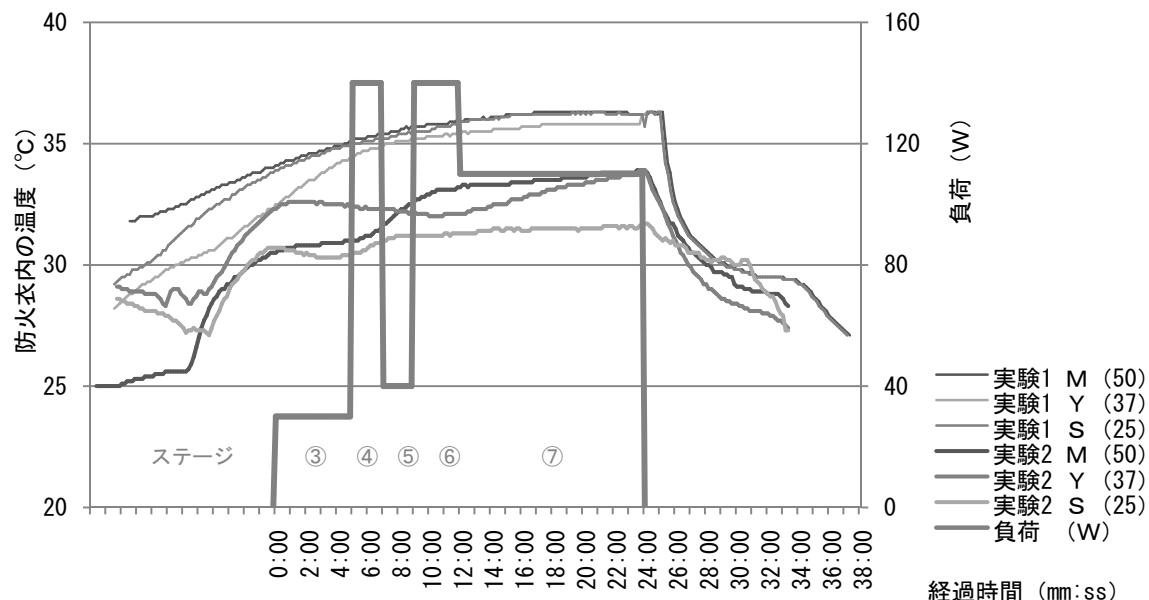


図2 防火衣内の温度の変化

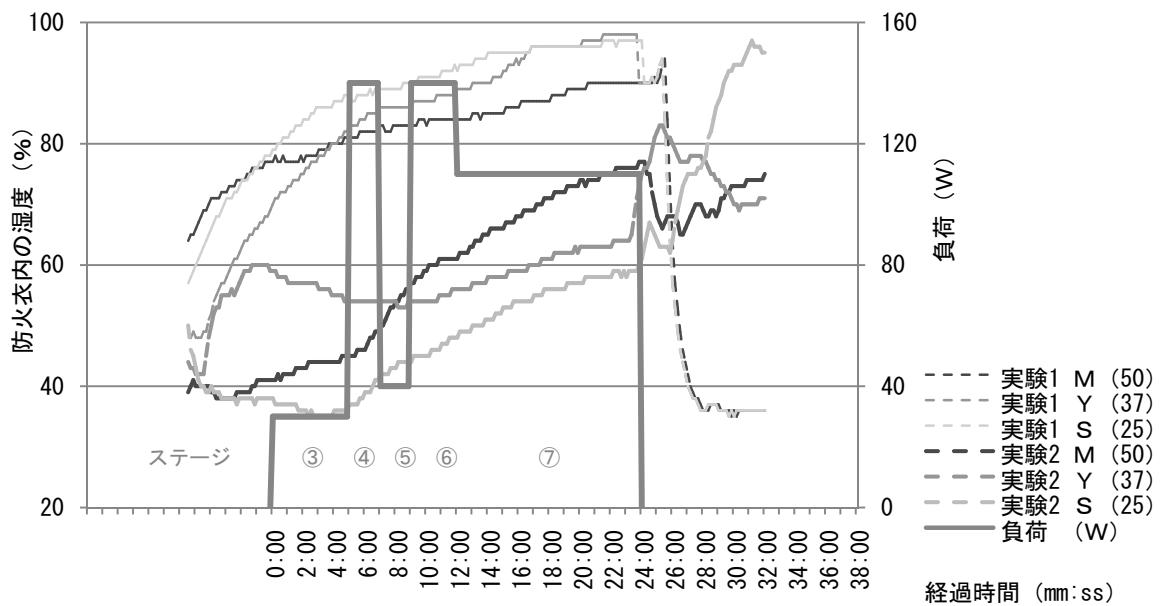


図3 防火衣内の湿度の変化

(2) 体 温（鼓膜温）

体温（鼓膜温）は、耳式体温計を用いて、負荷モデルの各ステージ終了 10 秒前と、負荷モデル終了後の回復期に 2 回（5 分毎）計測した（写真 6）。



写真6 体温（鼓膜温）の測定

図4と表9は、実験1の体温（鼓膜温）の変化と平均を示したものである。実験1では、負荷モデルを行っている間、協力者3名の体温は緩やかに上昇し、負荷モデル終了後10分を経ても下がる兆候は見られなかった。

図5と表10は、実験2の体温（鼓膜温）の変化と平均を示したものである。実験2では、負荷モデルを行っている間、協力者3名の体温に上昇は見られなかった。装備を着装した状態で負荷モデルを実施していても、顔面で送風を受け頭部が冷却されることから、鼓膜温が低かったものと推測される。負荷モデル終了10分後には、開始前の体温より下がっていた。

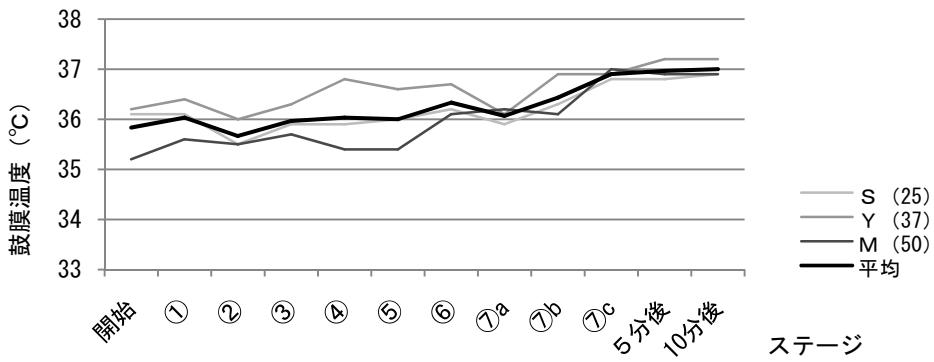


図4 体温（鼓膜温）の変化と平均値（実験1：送風無し）

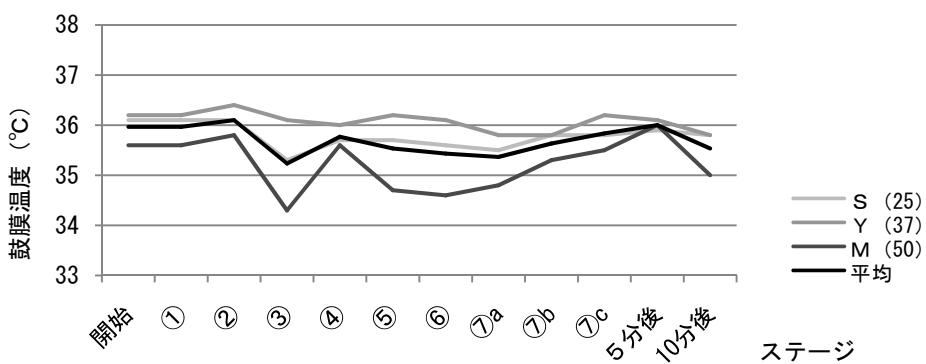


図5 体温（鼓膜温）の変化と平均値（実験2：送風有り）

表9 体温（鼓膜温）の変化と平均値（実験1：送風無し）

ステージ	実験開始前	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦a	⑦b	⑦c	回復期	
		安静	安静	出動準備	出動途上	出動途上	現場到着	活動（定期）			5分後	10分後
S (25)	36.1	36.1	35.5	35.9	35.9	36.0	36.2	35.9	36.3	36.8	36.8	36.9
Y (37)	36.2	36.4	36.0	36.3	36.8	36.6	36.7	36.1	36.9	36.9	37.2	37.2
M (50)	35.2	35.6	35.5	35.7	35.4	35.4	36.1	36.2	36.1	37.0	36.9	36.9
平均	35.8	36.0	35.7	36.0	36.0	36.0	36.3	36.1	36.4	36.9	37.0	37.0

表10 体温（鼓膜温）の変化と平均値（実験2：送風有り）

ステージ	実験開始前	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦a	⑦b	⑦c	回復期	
		安静	安静	出動準備	出動途上	出動途上	現場到着	活動（定期）			5分後	10分後
S (25)	36.1	36.1	36.1	35.3	35.7	35.7	35.6	35.5	35.8	35.8	35.9	35.8
Y (37)	36.2	36.2	36.4	36.1	36.0	36.2	36.1	35.8	35.8	36.2	36.1	35.8
M (50)	35.6	35.6	35.8	34.3	35.6	34.7	34.6	34.8	35.3	35.5	36.0	35.0
平均	36.0	36.0	36.1	35.2	35.8	35.5	35.4	35.4	35.6	35.8	36.0	35.5

(3) 表面温度

表面温度は、熱画像装置（サーモグラフィー）を用いて分布状況を観察した（写真7、別図）。

送風のない実験1と送風のある実験2の熱分布を比較すると、実験2で送風による冷却効果を確認できる。

実験1では、負荷モデルを実施している間、時間経過とともに顔面の温度が上昇しており、回復期も防火衣等を着装したままの状態であることから、胸部と上腕部に温度の高い箇所が見られる。また、実験終了後、防火衣を脱いだ時点でも全身が高い温度を保っていることがわかる。

実験2では、負荷試験開始時から送風していることから、負荷試験開始7分後のステージ④終了時から実験終了時まで顔面の温度は低く変化も比較的少ない。このことは鼓膜温の変化とも一致する。

(4) 心拍数

心拍数は、腕時計型心拍計を用いて負荷モデル実施時の変化を記録した。

表11は負荷モデルの各ステージ終了時の心拍数について、実験1と実験2を比較したものである。

図6は、実験1の心拍数の変化を示したものである。

負荷として自転車エルゴメーターを用いていることから、協力者の年齢、体格、特に体重の影響が強く、協力者により相対的な運動強度が異なるため、年齢が高く体重の軽いMは、負荷終了時に心拍数が182拍/分に達し、他の協力者と比較して30拍/分程度高い値となった。

図7は、実験2の心拍数の変化を示したものである。

3名とも心拍数の変化は、送風の無い実験1と同様の傾向で推移しているが、協力者MとYの心拍数は実験1よりも低い値となっており、負荷終了時の心拍数は協力者Mが18拍/分、協力者Yが14拍/分低い値となっている。

表11 負荷モデル各ステージ終了時の心拍数

実験協力者	S (25歳)			Y (37歳)			M (50歳)			
	実験1	実験2	差	実験1	実験2	差	実験1	実験2	差	
負荷モデルの ステージ	③	104	95	9	107	97	10	129	105	24
	④	144	139	5	136	126	10	163	149	14
	⑤	114	117	-3	117	97	20	139	126	13
	⑥	157	153	4	146	134	12	175	162	13
	⑦	154	152	2	149	135	14	183	165	18



写真7 負荷モデル終了後の送排風機による冷却

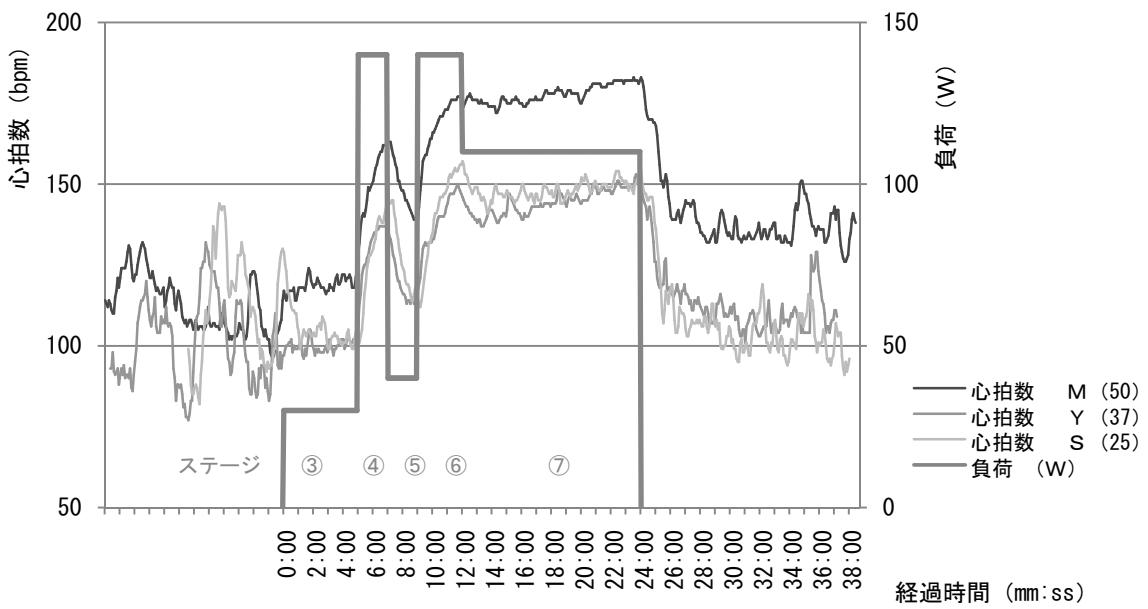


図6 負荷モデル実施時的心拍数（実験1：送風無し）

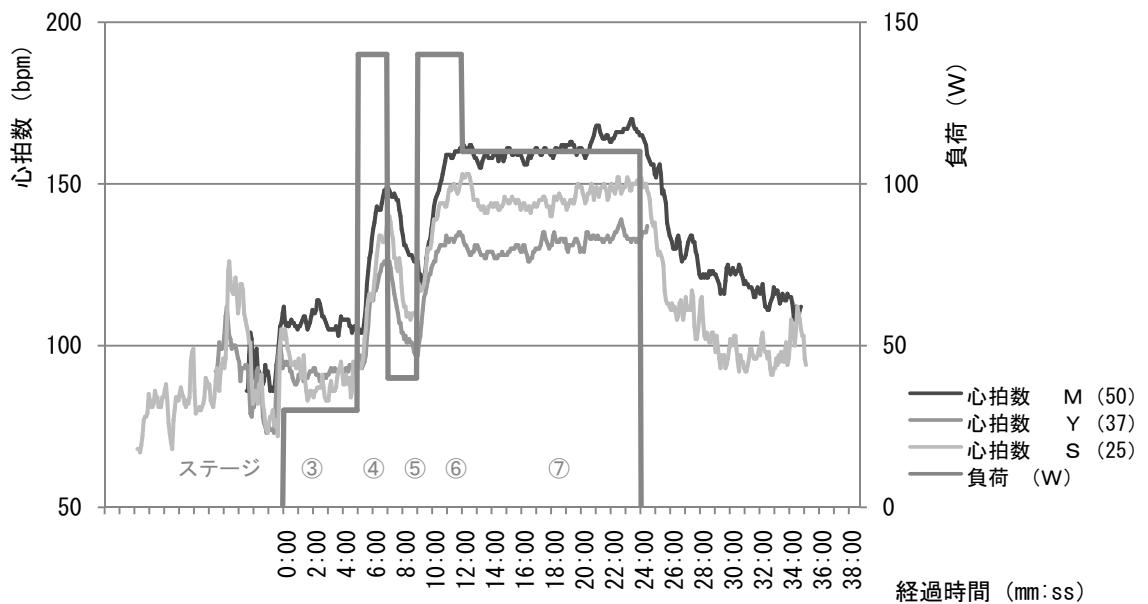


図7 負荷モデル実施時的心拍数（実験2：送風有り）

(5) 心拍数（個人別）

図8～10は、実験1、2の心拍数の変化をそれぞれの協力者別に示したものである。

協力者S（25歳）は、身長が180cm、体重が73kgであることから、他の2名と比較して自転車エルゴメーターによる負荷の相対的強度が低く、実験1と実験2で心拍数の変化に差異が見られなかつたと推測することができる。

協力者YとMの心拍数の値が、実験2と比較して実験1で高くなっているが、送風の有無の他に、実験1日目の午前に最大仕事量の測定を行って、同日の午後に実験1を実施した影響も考慮する必要があると思われる。

協力者Mは、負荷モデル終了後の回復期における心拍数の変化から、実験1に比較して実験2で早く回復していることが分かる。

協力者Yは、実験2で負荷モデル終了後の心拍数を記録することができなかつた。

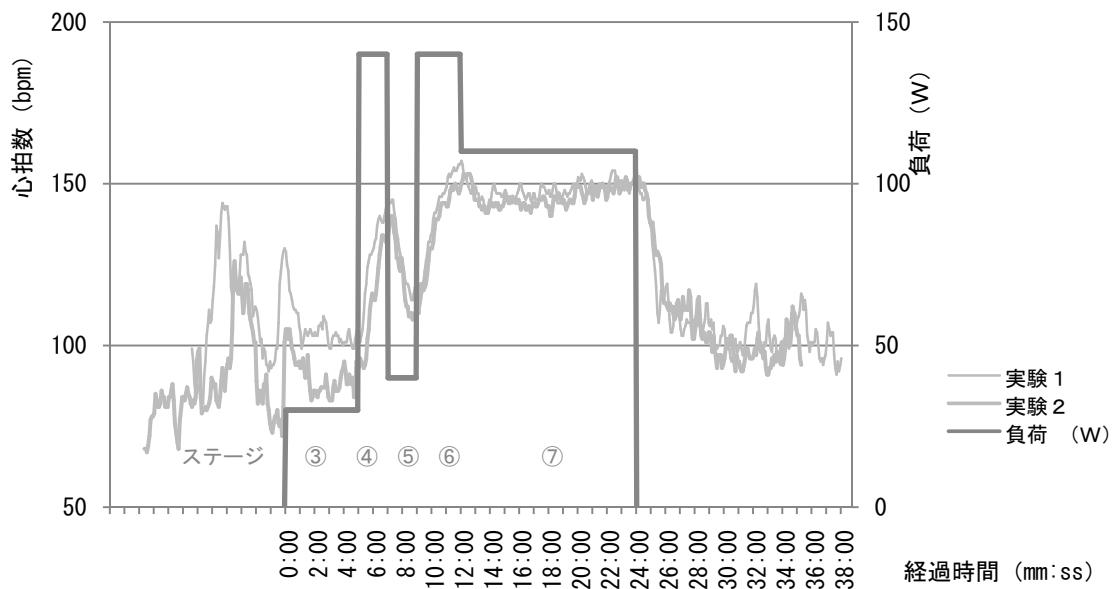


図8 負荷モデル実施時的心拍数（協力者S 25歳）

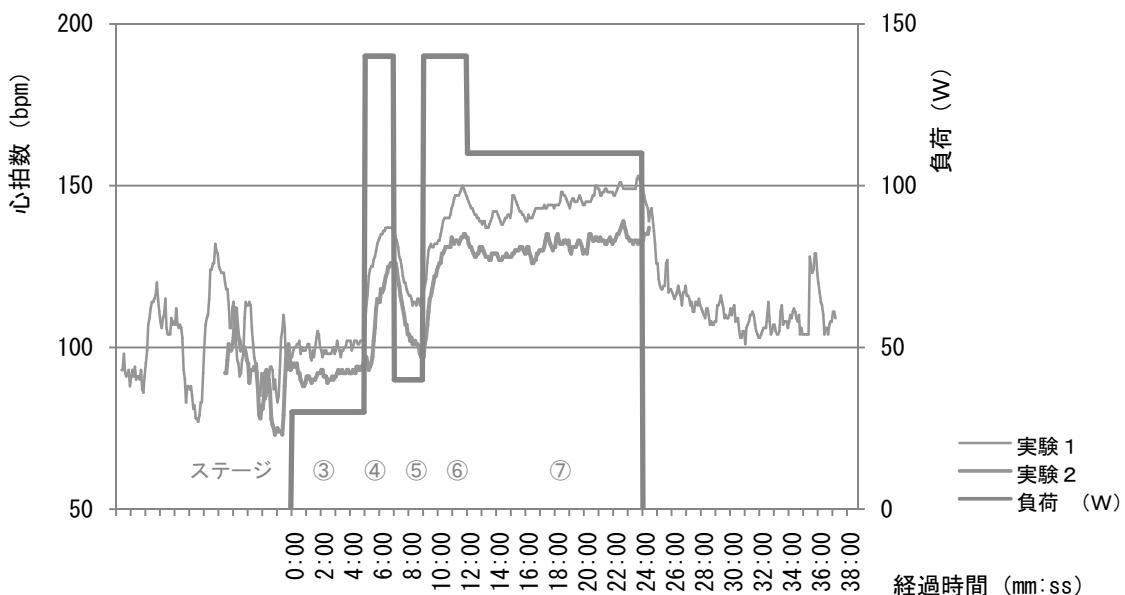


図9 負荷モデル実施時的心拍数（協力者Y 37歳）

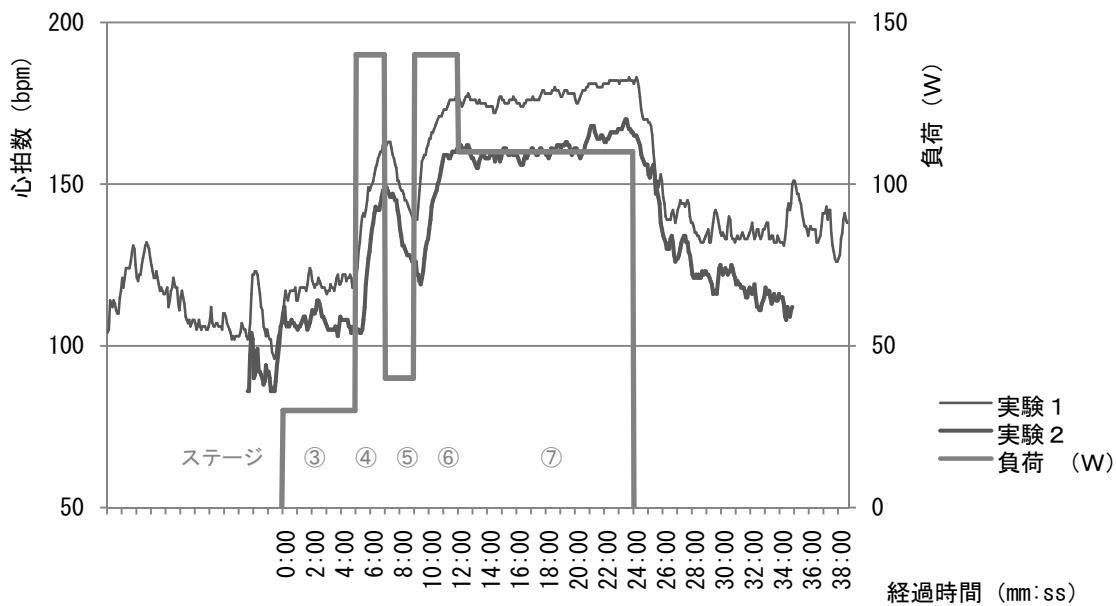


図10 負荷モデル実施時の心拍数（協力者M 50歳）

(6) 体 重

体重は、電子天秤を用いて、実験開始前と終了時に測定した。

表12、13は、測定結果と平均値等を示したもので、体重の減少量から発汗量を推定することができる。

実験1、2の体重の変化の平均値を比較すると、実験1に比べ送風を行った実験2で体重差が小さく、発汗量が少なかったと推測できる。

なお、協力者に体格差があるため負荷モデルの強度が同じでも相対的な運動強度の違いが、各協力者の発汗量に影響していることを考慮する必要がある。協力者S（25歳）は、年齢が若く負荷強度が相対的に低かったため、実験1、2で発汗量が変わらず体重差が同じであったと推測される。

表12 体重(kg)の変化（実験1：送風無し）

	実験開始前	実験終了時	差
S (25)	75.5	75.1	0.4
Y (37)	71.7	71.1	0.6
M (50)	66.9	65.7	1.2
平均	71.4	70.6	0.7

表13 体重(kg)の変化（実験2：送風有り）

	実験開始前	実験終了時	差
S (25)	73.8	73.4	0.4
Y (37)	71.6	71.1	0.5

M (50)	65.9	65.2	0.7
平 均	70.4	69.9	0.5

(7) 自覚的運動強度 (R P E)

負荷モデルの各ステージ終了 10 秒前と、負荷モデル終了後の回復期に 2 回（5 分毎）、協力者から自覚的運動強度 (R P E) を聞き取り記録した（写真 8）。自覚的運動強度は相対的強度を自覚（主観）的に把握するもので、個人の身体的な負担度を知ることができる。

図 11 と表 14 は実験 1 の、図 12 と表 15 は実験 2 の各ステージにおける自覚的運動強度の変化と平均を示したものである。いずれのステージにおいても、自覚的運動強度の平均は、実験 1 に比較して実験 2 が低い値であった。

協力者 S (25 歳) は、負荷強度が相対的に低かったため、自覚的運動強度が平均より低かったと推測される。



写真 8　自覚的運動強度の聞き取り

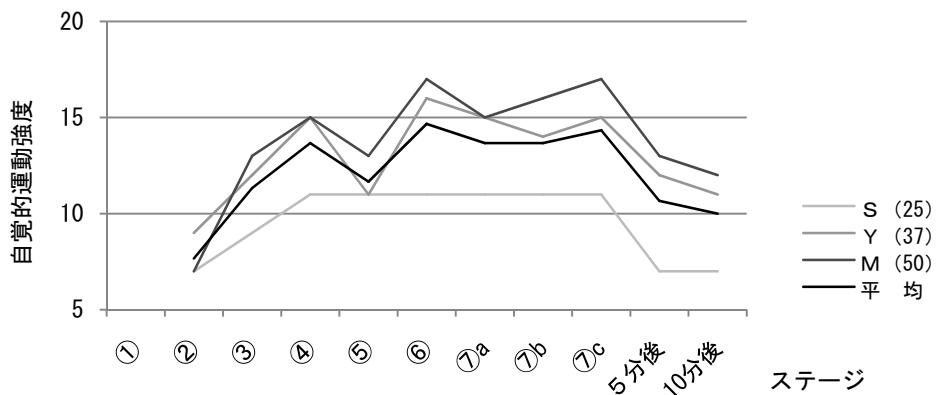


図11　自覚的運動強度の変化（実験 1：送風無し）

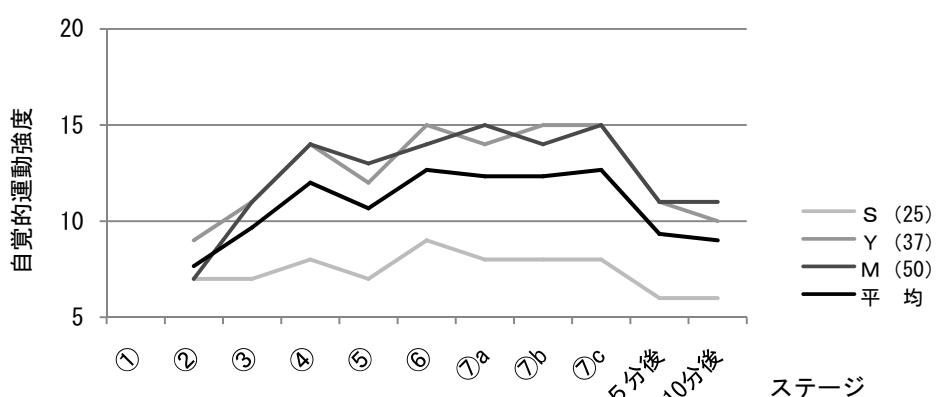


図12　自覚的運動強度の変化（実験 2：送風有り）

表14 自覚的運動強度の変化と平均値（実験1：送風無し）

ステージ 実験 開始 前		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦a	⑦b	⑦c	回復期	
		安静	安静	出動 準備	出動 途上	出動 途上	現場 到着	活動（定期）			5分 後	10分 後
S (25)	-	-	7	9	11	11	11	11	11	11	7	7
Y (37)	-	-	9	12	15	11	16	15	14	15	12	11
M (50)	-	-	7	13	15	13	17	15	16	17	13	12
平均	-	-	7.7	11.3	13.7	11.7	14.7	13.7	13.7	14.3	10.7	10.0

表15 自覚的運動強度の変化と平均（実験2：送風有り）

ステージ 実験 開始 前		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦a	⑦b	⑦c	回復期	
		安静	安静	出動 準備	出動 途上	出動 途上	現場 到着	活動（定期）			5分 後	10分 後
S (25)	-	-	7	7	8	7	9	8	8	8	6	6
Y (37)	-	-	9	11	14	12	15	14	15	15	11	10
M (50)	-	-	7	11	14	13	14	15	14	15	11	11
平均	-	-	7.7	9.7	12.0	10.7	12.7	12.3	12.3	12.7	9.3	9.0

7 考 察

(1) 送風を行わなかった実験1では、装備を着装した時点から防火衣内の温度が上昇をはじめ、協力者3名のうち2名(Y, M)は負荷モデルの開始時点で35 °Cに達した。負荷モデルを開始すると、心拍数が上昇し、防火衣内の温度上昇とともに、鼓膜温も上昇した。負荷終了5分後の3名の鼓膜温の平均値は37 °Cであった。

これは、負荷が高くなると筋肉の血液需要が大きくなり心拍数が上昇するとともに、筋肉への血流配分が優先されて体熱を放散する皮膚への血流が少なくなり、産熱量が放熱量を上まわり体内温が上昇するためである。また、送風を行わない実験1では、防火衣内の温度が上昇しへじめると、早い段階で防火衣内の温度が皮膚温以上となり、さらに上昇を続けるため、身体の熱放散が困難な状況になるとともに、防火衣内の熱を身体に吸収する作用も影響していると推測することができる。

(2) 送風を行った実験2では、負荷モデル開始後も顕著な鼓膜温の上昇は見られず、負荷終了5分後の鼓膜温の平均は36 °Cで、負荷モデル開始前と同じ値となっていることから、送風の効果があつたことが分かる。

(3) 実験1と実験2の測定結果を比較すると、負荷モデル開始から時間の経過とともに、温度差が開いていることから、早い段階での送風が効果的であることが示唆される。

また、防火衣を着装した状態でも、顔面に送風を受けることで冷却効果を期待できることが推察できる。

(4) 実験開始前と終了時の体重差から発汗量を推定すると、実験1と比較して実験2では発汗量が少なかったことが分かる。

これは、環境温度が皮膚温（33 °C）に近くなると、皮膚温輻射や伝導、対流による放熱ができなくなり、熱放散を水分蒸発に依存することから発汗量が増加したものであると推察できる。しかしながら、実験1では防火衣内の湿度が負荷モデルを開始した時点で、協力者の3名とも80 %を超えていていることから、水分蒸発による体熱の放散は十分に機能しなかったと考えられる。

8 まとめ

本実験では、実験協力者と実施回数が少ないとから、実際の活動に則した結論を導くことは困難であり、負荷として自転車エルゴメーターを用いていることから、装備重量による負担の増加も実際とは異なると考えられるが、送風による冷却効果について以下の知見を得ることができた。

- (1) 消防活動中の体温の上昇は、活動環境のほか、防火衣が活動により発生した体熱の放散を阻害するとともに、空気呼吸器の重量とハーネスによる締め付けによって、着衣が密着することも要因となっていると推察することができる。
- (2) 防火衣を着装した状態であっても、送風を直接顔面に受けることで頭部の温度上昇を抑制する効果がある。また、蓄熱した防火衣を外部から冷却することによって間接的に体温上昇を抑制する効果が期待できる。
- (3) 心拍数、体温の上昇を抑制するためには、早い時機からの送風が有効であり、体温上昇による活動（運動）能力、特に持久力の低下を予防することができる。

（謝 辞）

本研究は、北海道大学名誉教授 須田 力 氏に、多大なご助言・ご指導をいただきております。ここに記して、謹んでお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) アメリカスポーツ医学会編、日本体力医学会体力科学編集委員会監訳(2006)運動処方の指針 原著第7版、南江堂。
- 2) 町田広重ほか(2000) 消防活動における熱中症予防対策の研究、東京消防庁 消防科学研究所報、37号、110-119.
- 3) McLellan, T. & Selkirk, G. A. (2006) The Management of Heat Stress for the Firefighter. :A Review of Work Conducted on Behalf of the Toronto Fire Service. Industrial Health, Vo. 44:414-426
- 4) 小野寺孝一、宮下充正 (1976)、全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性. ~ Rating of perceived exertion の観点から~. 体育学研究、21：191-203.
- 5) 高橋徹三、山田哲雄著 (2000) 新栄養士課程講座 運動生理学、建帛社
- 6) 手柴英喜ほか (1992) 高温環境下での身体冷却効果と年代別生理的変化に関する研究. 東京消防庁 消防科学研究所報、29号、125-136.

【参考】

WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature Index、湿球黒球温度指標)

WBGTは、高温環境下での作業やスポーツ等を行う際に暑熱による障害を予防するために使われる。日本体育協会において「熱中症予防のための運動指針」が取りまとめられており、運動時においても活用されている。

人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の3つを取り入れた指標で、乾球温度、湿球温度、黒球温度の値を使って計算する。

屋外 : WBGT = 0.7 × 湿球温度 + 0.2 × 黒球温度 + 0.1 × 乾球温度

屋内 : WBGT = 0.7 × 湿球温度 + 0.3 × 黒球温度

日本産業衛生学会では、「許容濃度等の勧告（2005年度）」（産衛誌47巻 p.163 2005）で、高温の許容基準について以下のとおり勧告している。

高温の許容基準（抜粋）

高温熱環境に適応し作業に習熟した健康な成年男子作業者が、夏期の普通の作業服装をして適当の水分・塩分を補給しながら作業する時、継続1時間作業および断続2時間作業を基本として、健康で安全にかつ能率の低下をきたすことのない工場・鉱山などの作業場の条件を示したものである。

1. 許容基準

温熱ストレスによる好ましくない生理的反応はあってはならないことを前提として、高温の許容基準を次のように定める。

2. 用語の説明と適用

高温熱環境とは、環境の気温・湿度・熱輻射および気流の総合された温度条件によって起こる人の体温調節機構のうち、主として蒸発による体温調節機構が行われる環境をいう。

表 高温の許容基準

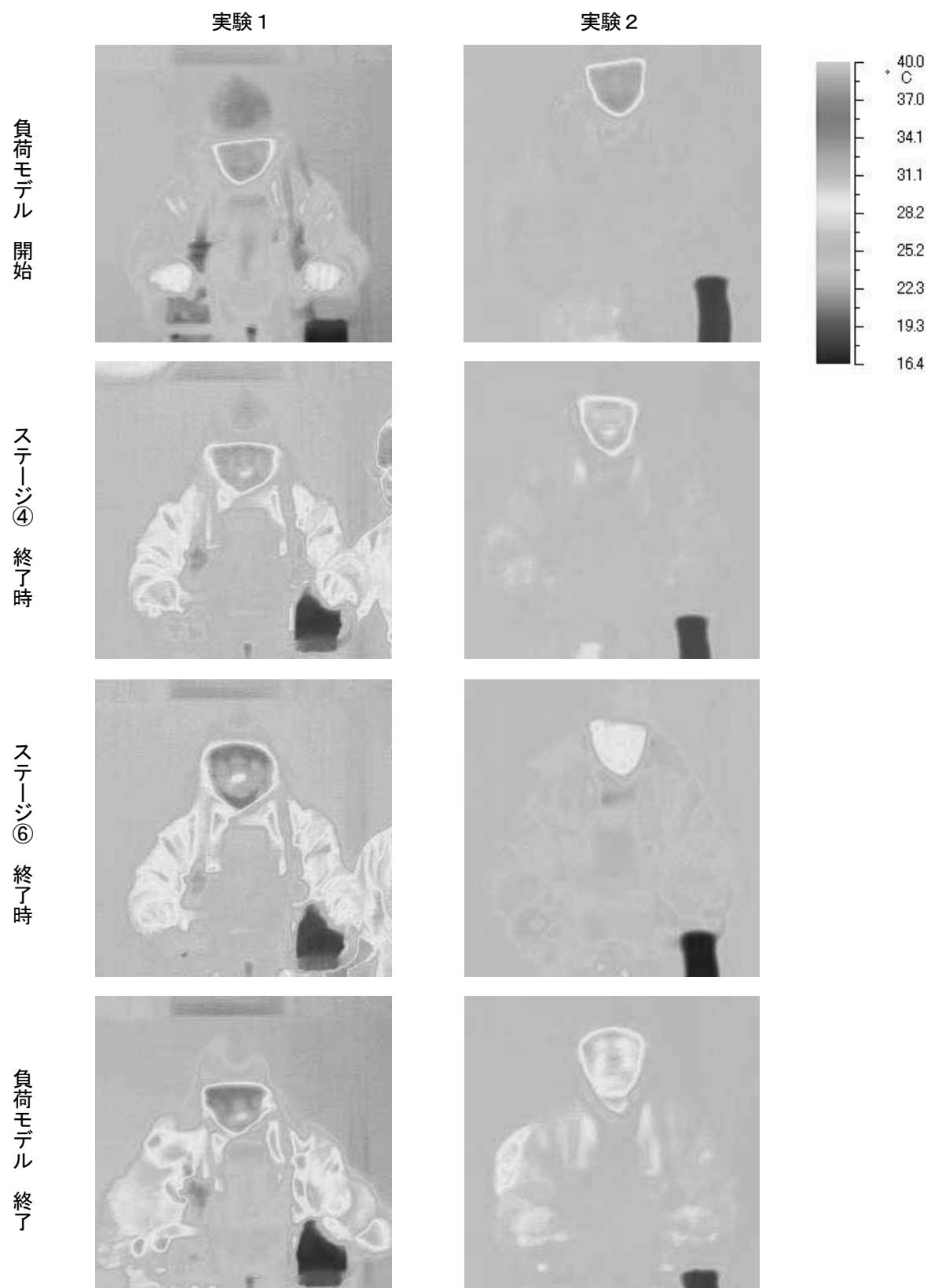
作業の強さ	許容温度条件	
	WBGT (°C)	CET (°C) 換算 値
RMR～1 (極軽作業)	32.5	31.6
RMR～2 (軽作業)	30.5	30.0
RMR～3 (中等度作業)	29.0	28.8
RMR～4 (中等度作業)	27.5	27.6
RMR～5 (重作業)	26.5	27.0

表 作業の強さと代謝エネルギー

作業の強さ	代謝エネルギー (kcal/h)
RMR～1 (極軽作業)	～ 130
RMR～2 (軽作業)	～ 190
RMR～3 (中等度作業)	～ 250
RMR～4 (中等度作業)	～ 310
RMR～5 (重作業)	～ 370

(http://joh.med.uoeh-u.ac.jp/pdf/J47/J47_4_05.pdf)

別図 熱画像装置による表面温度の観察（協力者M：50歳）





硫化水素除害装置の開発について

札幌市消防科学研究所 高橋 渉
中住 斎
菅原 法之
吉永 直樹

【概 要】

硫化水素が屋内に滞留している現場において、ガス濃度を安全基準まで、早期に低減することが求められ、近隣の安全を確認のうえ定点におけるガス濃度測定を併用しながら、ガス拡散作業を行っている状況である。しかし、硫化水素は低濃度においても臭いを感じ易い（悪臭防止法での境界基準が 0.02ppm）物質であることから、特に近隣が住宅地などの場合には広範囲の警戒区域などの設定など、悪臭に対する配慮も必要な状況であり、室内に滞留している硫化水素を屋外に排出拡散することなく安全かつ迅速に除害する装置の開発が求められていることから、このたび硫化水素除害装置を試作したものであり、実証実験を行った結果、住宅 10 層間に相当する空間容積において 200ppm の濃度を 60 分で 0ppm へ除害できることを確認したものである。

1 試作機の構造

試作機は、合成樹脂性容器に炭酸ナトリウム 2% 水溶液を約 100 溜めたものにアクリル樹脂製ダクトを水溶液中に挿入し、電動送風機により室内に滞留した硫化水素を含んだ空気を圧送し、水溶液の部分でガス洗浄（バブリング）を行う構造としたものである。

また、ガス洗浄の効果を高めるため、アクリル製ダクトの中間部分に二流体ノズル（空気ボンベからの送気によるベルヌーイの原理により液体を吸い上げ噴霧するノズル）を装着して、合成樹脂容器に溜めた炭酸ナトリウム水溶液を吸い上げて噴霧するという、二段階のガス洗浄を行う構造とした。（写真 1、図 1 参照）



写真 1 除害装置試作機の外観

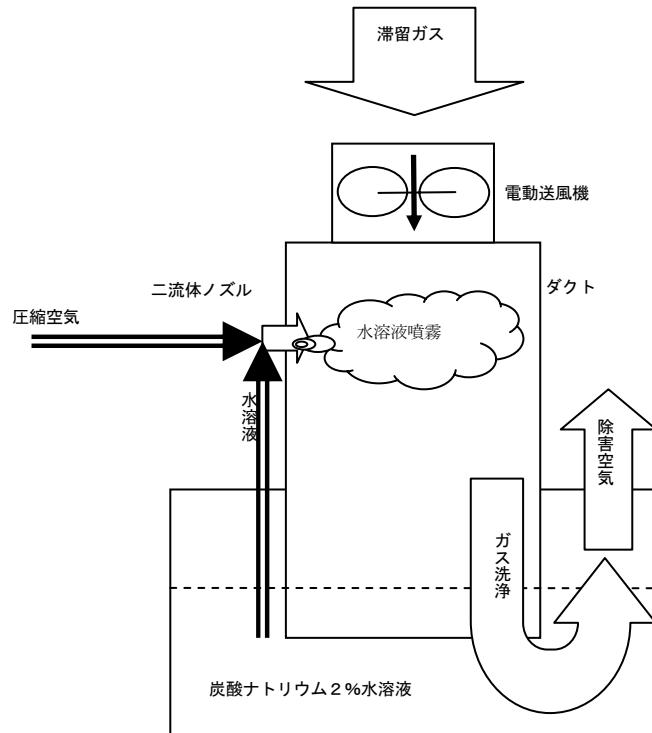


図 1 除害装置の概略

2 ガス洗浄効果の確認実験

除害装置内でガス洗浄を利用する水溶液として効果的な剤を特定するため、硫化水素を各種水溶液でガス洗浄した効果を確認した。

(1) 実験方法

ガス洗浄瓶に電動空気ポンプ(5ℓ/min)をポリエチレンチューブで接続し、ガス洗浄瓶の吸引側に硫化水素を封入したガス採取袋、空気ポンプの排気側に空のガス採取袋を接続、空気ポンプの圧力で空のガス採取袋へガス洗浄した硫化水素を封入する。ガス洗浄前後の硫化水素濃度を北川式ガス検知管で測定する。

(2) 実験結果

実験の結果からは、炭酸ナトリウム水溶液によるガス洗浄が最も硫化水素を捕集する効果が高かったことが確認できた。

表1 ガス洗浄効果の確認実験結果

洗浄液種類	洗浄前濃度	洗浄後濃度	減少度合
水	15%	5 %	1/3
炭酸ナトリウム 2%	15%	2000ppm	1/75
	6 %	202ppm	1/297
過炭酸ナトリウム 2%	6 %	642ppm	1/93



写真2 ガス洗浄状況

3 試作機製作の経過

(1) 試作機 1号

ア 試作機の概要

試作機 1号は、合成樹脂性の衣装ケースに炭酸ナトリウム2%水溶液を約10ℓ入れ、合成樹脂ケースの上蓋に電動送風機の径と合わせて穴を開けて、電動送風機を載せる。なお、風向きはケース内が負圧になる向きとする。また、ケースの水溶液の入っていない部分にビニールホースを貫通させ、一端を水溶液に浸かるよう固定することで、室内に滞留しているガスをケース内の負圧により

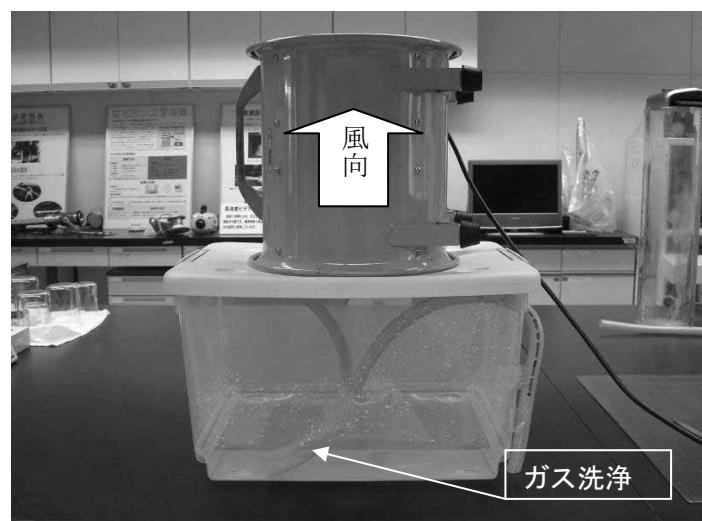


写真3 試作機 1号外観

ビニールホースを通じて引き込み、水溶液でガス洗浄する構造とした。(写真3参照)

イ 除害実験

浴室大 (W1800×D1800×H2200mm) のビニール張り空間において、イオウ系入浴剤 200mlと酸性トイレ洗剤 250mlを混合し硫化水素を発生させ、濃度が安定した時点で除害装置を作動させ時間経過に伴う硫化水素の濃度を北川式ガス検知管により測定する。

イオウ系入浴剤と酸性トイレ洗剤を混合し硫化水素を発生させたところ、5分後に 500ppmに達し、10 分後においても 500ppm の状態であったことから、この時点（硫化水素発生 10 分後）で除害装置を作動させた。

除害装置を作動後 10 分で 280ppm、20 分で 100ppm まで濃度の低下が認められた。その後、徐々に濃度が低下し、50ppm まで低減できたが、除害装置作動後 50 分以降に一定のまま変化が認められないので、作動後 65 分で実験を打ち切った。

実験後、装置を確認した結果、除害装置から発生する水蒸気でビニール表面に蒸気の結露が認められ、除害装置内の水溶液の量が減っており、実験の後半において除害効率が悪くなっていることは、水溶液の減少に伴いガス洗浄が効率的に行われなかつたことが要因と考えられる。

以上、実験の結果、除害装置については一定の効果が確認できたが、より効果的に硫化水素を除害するためには、水溶液とガスの接触面積が大きくなるような構造に改良する必要性がある。また、水溶液の蒸気が外に漏れないような構造にすることも必要なことが確認できた。



写真4 洗室大実験状況



写真5 装置設定状況

表2 濃度測定結果

時間 (分)	0	5	10	15	20	25	30	35
濃度 ppm	0	500	500	300	280	180	100	90
時間 (分)	40	45	50	55	60	65	70	75
濃度 ppm	85	75	65	60	50	50	50	50

(2) 試作機 2 号

ア 試作機の概要

試作機 2 号は、電動送風機から蛇腹式ダクトを通じて室内の硫化水素をアクリル製ダクトに送風、ダクトの上段で炭酸ナトリウム水溶液 2%を二流体ノズルで噴霧したものと混合し、さらに下段で合成樹脂ケースに入った炭酸ナトリウム水溶液 2%においてガス洗浄という二段構造で硫化水素を除害する構造とし、さらに、水溶液の散出を防ぐためにガス洗浄後の経路にビニックロックフィルター40 mmを挿入した。(写真 6、7 参照)

※二流体ノズルの諸元 (エアー圧 0.25MPa、エアーフローミリリットル/分 250、噴霧量約 20/l/h)

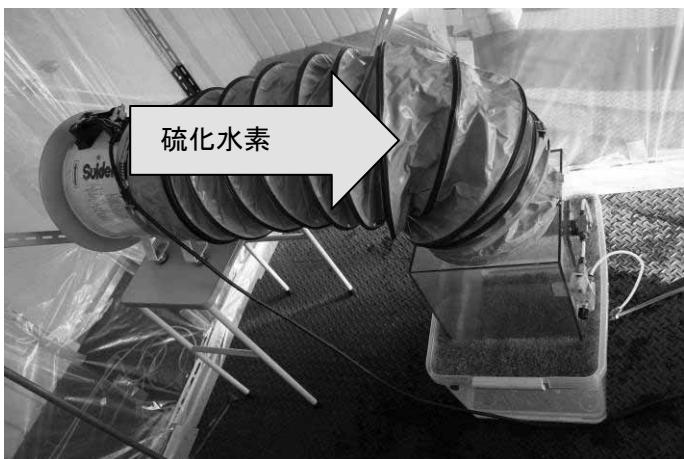


写真 6 試作機 2 号外観



写真 7 試作機 2 号外観正面

イ 除害実験

浴室大 (W1800×D1800×H2200mm) のビニール張り実験室において、イオウ系入浴剤 200ml と酸性トイレ洗剤 200ml を混合し硫化水素を発生させ、濃度が安定した時点で除害装置を作動させ時間経過に伴う硫化水素の濃度を北川式ガス検知管で測定した。

除害装置を作動後 342ppm の硫化水素が 6 分で濃度が 0ppm となり、良好な除害性能が認められた。しかし、実験後、装置を確認した結果、除害装置のスプレーによる噴霧が室内側へ漏れ出てビニール表面に結露が認められた。

このことから、スプレーを停止して再度、実験を行ったところ 438ppm の硫化水素が 8 分 24 秒で濃度 0ppm となったものであるが、若干の湿気によるビニール表面に結露が認められた。

試作機 1 号に比較して大幅な除害効果の向上が見られたものであるが、ガス洗浄後の排気に蒸気が漏れ出ることを改良する必要がある。

表 3 濃度測定結果

時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6
濃度 ppm	342	250	114	10.5	6.0	3.5	0

表 4 濃度測定結果 (噴霧ノズル停止)

時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8' 24
濃度 ppm	438	354	230	150	76	38.5	9.0	4.0	1.0	0

(3) 試作機 3 号

ア 試作機の概要

試作機 3 号は、送風機を直接 15ℓポリバケツに載せ、バケツの下部側面に穴を開け合成樹脂ケースに入れ、ケース内の炭酸ナトリウム水溶液 2%においてガス洗浄する。また、除害空気の湿気を取り除くためにビニロックフィルター40 mmを二層挿入した。

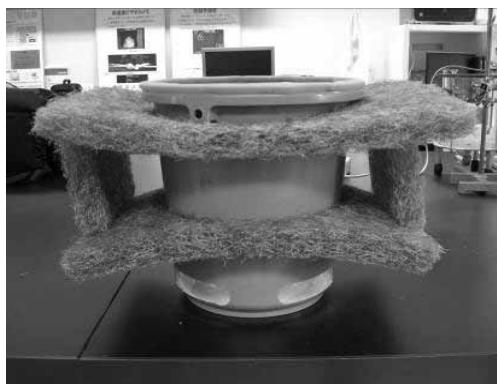


写真8 試作機3号内部構造



写真9 試作機3号外観

イ 除害実験

浴室大 (W1800×D1800×H2200mm) のビニール張り実験室において、イオウ系入浴剤 200ml と酸性トイレ洗剤 200mlを混合し硫化水素を発生させ、濃度が安定した時点で除害装置を作動させ時間経過に伴う硫化水素の濃度を北川式ガス検知管で測定した。

除害装置を作動後 395ppm から順じ減少し 17 分 10 秒で濃度が 0ppm となり、良好な除害性能が認められた。また、試作 1、2 号にみられた室内への湿気も認められなかった。

表5 濃度測定結果

時間 (分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
濃度 ppm	395	352	282	226	183	142	115	88	65
時間 (分)	9	10	11	12	13	14	15	16	17' 10
濃度 ppm	50	38	24	-	16.5	11.5	7.0	4.5	0

ウ 居室大での除害実験

上記イで浴室程度の大きさの居室での効果を検証した結果、除害効果があることを確認したので、さらに居室大での滞留を想定した容積での検証実験を行う。

実験は、燃焼実験ユニット (W5400×D2700×H2890mm 容積約 42 m³) において、イオウ系入浴剤 690mlと酸性トイレ洗剤 800mlを混合し硫化水素を発生させ、濃度が安定した時点で除害装置を作動させ時間経過に伴う硫化水素の濃度を測定（測定器：RIKEN RX-517（測定範囲 0 ~1000ppm））した。

室内の硫化水素濃度が一定になった 320ppm から除害装置を作動、10 分で 140ppm まで半減、20 分で 70ppm まで濃度の低下が認められた。その後も徐々に濃度が低下し、42 分で許容濃度の 10ppm、管理濃度の 5ppm まで 49 分、60 分で濃度 0ppm に除害することができた。

また、実験後に室内を確認するも湿気等による結露は認められず試作機 3 号において除害性能を有效地に発揮できることが確認できた。



写真 10 居室大実験外観の状況



写真 11 同. 除害装置設置状況

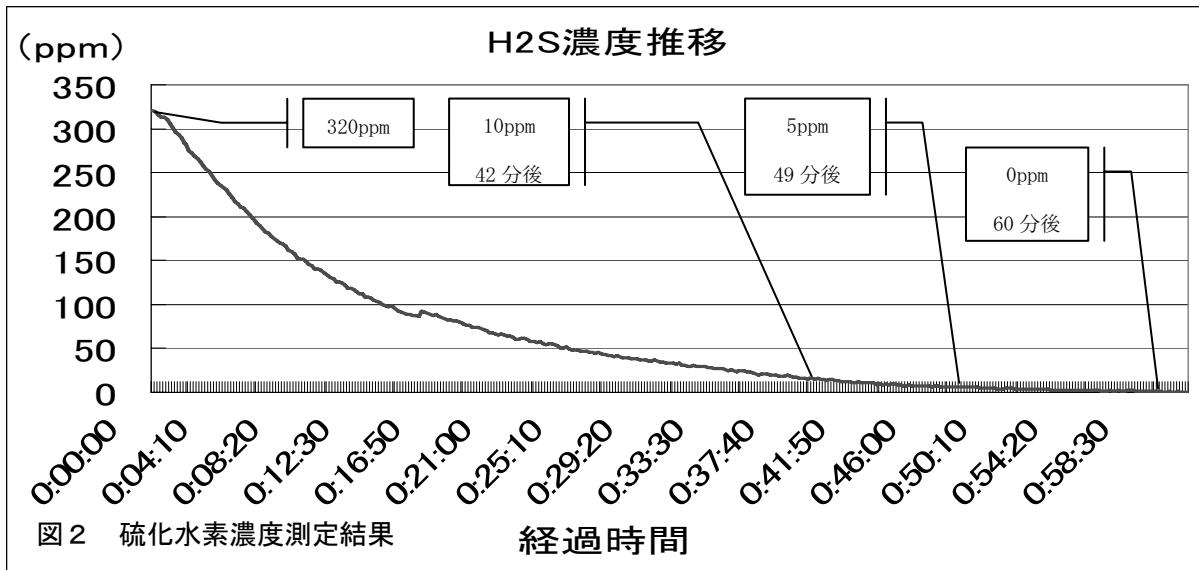


図2 硫化水素濃度測定結果

(4) 試作機 4 号

ア 試作機の概要

試作機 4 号は、試作機 3 号の除害スピードを高めるため、試作 2 号で使用したアクリル製ダクトの上に電動送風機を直接載せて送風圧で室内に滞留した硫化水素ガスを送り、ダクトの上段で炭酸ナトリウム水溶液 2%を二流体ノズル（エアー圧 0.25MPa、エアーフロー 25ℓ/min、噴霧量約 2ℓ/h）で噴霧したものと混合し、さらに下段で衣装ケースに入った炭酸ナトリウム水溶液 2%においてガス洗浄という二段構造で構成した。さらに、試作 2 号で噴霧スプレーが室内に漏れ出たことから、除害空気の湿気を取り除くためにビニロックフィルター40 mmを3層挿入する構造とした。

イ 居室大での除害実験

実験は、燃焼実験ユニット (W5400×D2700×H2890mm 容積約 42 m³)において、石灰硫黄合剤 750mlと酸性トイレ洗剤 750mlを混合し硫化水素を発生させ、濃度が安定した時点で除害装

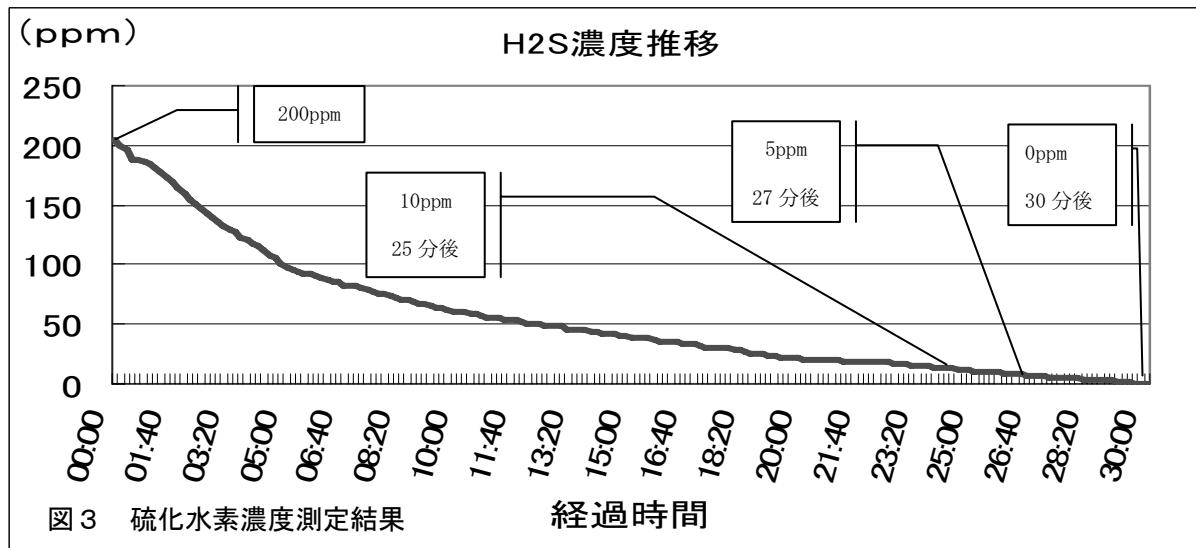


写真 12 試作機 4 号の外観

置を作動させ時間経過に伴う硫化水素の濃度を測定（測定器：RIKEN RX-517（測定範囲 0～1000ppm））した。

室内の硫化水素濃度が一定になった 200ppm から除害装置を作動、5 分で 100ppm まで半減、25 分で許容濃度の 10ppm、27 分で管理濃度の 5ppm、30 分で濃度 0ppm になった。

実験後、室内を確認すると室内に除害装置から漏出した湿気等による結露が認められたので、装置上段の二流体ノズルの作動・不作動を繰り返し空気排出部の観察をするとスプレー作動時にフィルターで噴霧が完全に遮断できずに、すり抜けることが判明した。



4 まとめ

硫化水素の除害装置の試作機を順次改良してきたところであるが、硫化水素の除害だけに限定すれば、試作機 4 号が最も効果が高かったものであるが、二流体ノズルからの噴霧が室内に漏れ出るという改良点がある状態である。しかし、現場が浴室など結露しても許容される現場では充分に活用が可能である。また、居室などでは試作機 4 号の二流体ノズルを作動させないことで、試作機 3 号と同様の動作で、約 10 回間を 60 分程度で除害できる性能が得られ、災害現場での使用にも十分耐え得るものと考えられる。

また、当該装置は硫化水素ガスの漏洩への対応のほか、塩素系漂白剤や殺菌剤の取扱い不注意で発生する塩素ガスの漏洩事故にも対応が可能と考えられる。塩素ガスは、水溶性で液に溶け込んだ場合に塩酸となる物質であり、炭酸ナトリウムが中和する側に働くことが見込まれる。さらに、除害装置に入れる液体が水のみでも火災時の残火処理活動時に浮遊している粉塵を水とフィルターで濾すことで、粉塵除去装置としての効果も得られるなど汎用性が高いものと考えられる。

しかし、当該装置については、硫化水素以外の検証を行っていないことから、今後、実用化へ向けた取組みとして汎用的なガス除害効果の検証と二流体ノズル作動時の噴霧漏出に対する改善を行い、汎用的な有毒ガス除害装置として改良していく予定である。

情報提供

硫化水素の発生除去について（その2）

札幌市消防科学研究所 高橋 渉
菅原 法之

【概要】

イオウ系入浴剤と酸性トイレ洗剤の反応液がアルカリ性の場合には、炭酸ナトリウムを使用しても硫化水素の発生が止まらないことについては、消防科学研究所報No.14で報告していたところである。また、イオウ系入浴剤に変えてアルカリの強い農薬の石灰硫黄合剤などが使用された場合にも、反応液がアルカリ性になり硫化水素の発生が止まらない状況であったことから、反応液がアルカリ性でも硫化水素の発生を止める手法について実験を重ね、その手法を見出した。

1 硫化水素除害剤の検証実験

過炭酸ナトリウム ($2\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}_2$) (以下、「PC」という。) は水溶性の白色粉末で、水溶液は炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) と過酸化水素 (H_2O_2) に分解される。この水溶液の過酸化水素水が酸化力を持つことから漂白剤や除菌剤として使用されている。いわゆる酸素系漂白剤の主成分である。このPCが硫化水素の発生反応を止めることができかの確認実験を行った。

(1) 実験方法

石灰硫黄合剤 20mℓと酸性トイレ洗剤 20mℓを混合し硫化水素を発生させてから、表1の各種条件により、PCを添加して、硫化水素の濃度を測定した。

表1 硫化水素の発生停止条件と実験結果

条件1		条件2	
0' 00"	混合開始 (40mℓ)	0' 00"	混合開始 (40mℓ)
5' 00"	水で10倍に希釀 (400mℓ)	5' 00"	水で10倍に希釀 (400mℓ)
5' 30"	PC 10g 添加		PC 20g 添加
14' 45"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow \text{MAX}$	10' 00"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow \text{MAX}$
20' 30"	PC 5g 添加	13' 50"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 240\text{ppm}$
22' 00"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 70\text{ppm}$	26' 00"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 220\text{ppm}$
29' 30"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 33\text{ppm}$	32' 10"	PC 5g 添加
31' 30"	PC 5g 添加	35' 17"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 0\text{ppm}$
32' 20"	<u>$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 0\text{ppm}$</u>		
条件3		条件4	
0' 00"	混合開始 (40mℓ)	0' 00"	混合開始 (40mℓ)
5' 00"	水で10倍に希釀 (400mℓ)	5' 00"	水で10倍に希釀 (400mℓ)
5' 20"	PC 10g 添加		PC 4g 添加
14' 00"	$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow \text{MAX}$	7' 30"	PC 4g 添加
15' 20"	PC 10g 添加	9' 45"	PC 4g 添加
20' 00"	<u>$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 0\text{ppm}$</u>	11' 00"	PC 4g 添加
		12' 35"	PC 4g 添加
		13' 00"	<u>$\text{H}_2\text{S} \Rightarrow 0\text{ppm}$</u>

測定機器：理研計器 RX-517 (硫化水素測定範囲 0~1,000ppm)

(2) 実験結果

実験の結果から混合液を 10 倍程度に希釈して、全液量の約 1% の P C を順次添加（計 5 回）していった条件 4 の場合、最短で硫化水素の発生を停止することが出来た。（写真 1）

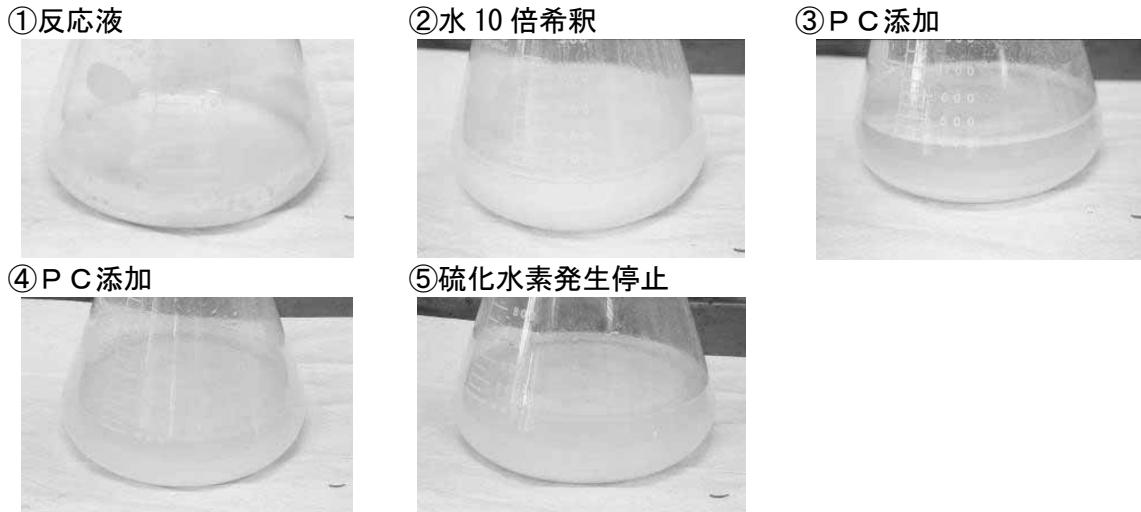


写真 1 条件 4 の硫化水素発生停止状況

2 まとめ

(1) 発生停止条件

硫化水素の発生を止めるためには 10 倍に希釈した混合液全量の 5% 重量の P C を少量に小分けして添加し攪拌して反応液の色を見ながら、液が淡い緑色になった段階で発生が停止することを見出した。

（例）酸性トイレ洗剤 500mℓ + 石灰硫黄合剤 500mℓ が混合された場合

水で希釈して 10 リットルにする。添加する P C の量は 500 g となり、これを小分けして添加する。

(2) 注意事項

P C 粉末は水分と反応して発熱する性質があるので、一度に大量に添加しないこと。また、反応液を希釈する前に P C を添加すると激しく反応し沸騰するので絶対に希釈する前に添加しないこと。

水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）による水素の発生について

札幌市消防科学研究所 高橋 渉

【概 要】

環境に関する問題意識が高まっているなか、市内のとあるマンション一室で、廃食油を使ってリサイクル石けんを作ろうとして水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）の取扱いの不注意から、煙を発生させ消防車の出動要請となった事例がありました。

手づくり石けん製造時にかかる注意点と併せて、消防活動上に必要な知識として情報を提供します。

1 はじめに

石けんは、食用油などに水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）を加え反応させて作ります。

今回、消防車が出動した事例は、ガラス容器に必要量の水酸化ナトリウムと水を入れ、溶かす作業中にガラス容器のフタとしてアルミ箔を被せたところ、煙が出てきたので怖くなり消防車の出動を要請したものです。

この現象は、水酸化ナトリウムとアルミニウムが触れたことにより、化学反応で水素ガスが発生したものです。水素ガスは小さな火源でも引火爆発しやすい性質のものです。また、煙については苛性ソーダ水溶液の蒸気で、これを吸引した場合には呼吸困難など負傷の可能性もあるものです。

2 再現実験

水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）とアルミニウムを反応させたところ。激しく反応し、アルミニウム表面から気泡（水素）が発生し、反応熱により蒸気（煙）が立ち上がった。静電気の火花などの小さな火源でも爆発の危険性があるので、取扱には充分な注意が必要です。

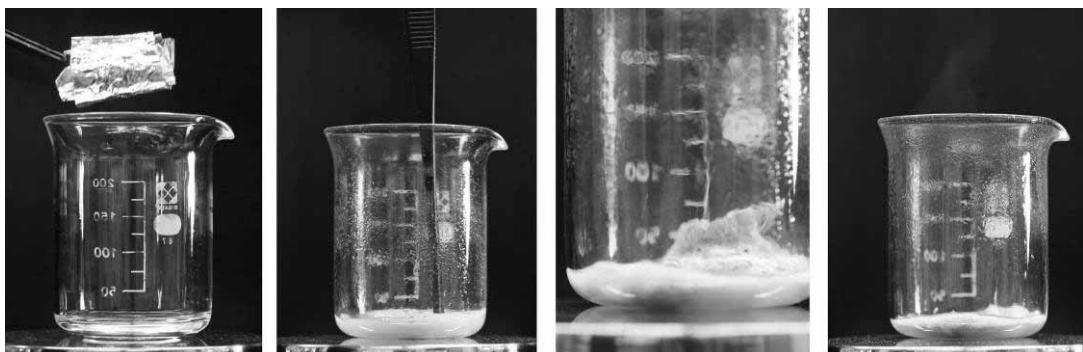
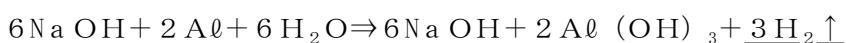


写真1から4 水酸化ナトリウムとアルミニウムの反応状況

○化学反応式

水酸化ナトリウムとアルミニウムが反応すると水素ガスが発生します。



※アルミニウムの他、亜鉛やスズ及び鉛などの金属に接触しても水素ガスが発生する。

3 水酸化ナトリウムの諸元等について

(1) 水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）とは

水酸化ナトリウムは、苛性ソーダと呼ばれる強いアルカリ性を持つ物質で、「毒物及び劇物取締法」で「劇物」に指定されています。外観は、5 mm程度の白い粒状のものが一般的で、吸湿性が高く、放置しておくと空気中の湿気を取り込み溶解します。（潮解という。）この時に発熱し周囲の可燃物を発火させるなど、火災に発展する危険性があります。

また、腐食性が高く皮膚などに触れると火傷となることもあるので注意が必要です。

(2) 保管方法

密封し、冷乾燥した場所で保管する。

(3) 身体への暴露

ア 吸入した場合

症状：灼熱感、咽頭痛、咳、息苦しさ、息切れ、症状は遅れて現われることがある。

対応：新鮮な空気、安静。半座位。人工呼吸が必要なことがある医療機関に連絡する。

イ 皮膚に触れた場合

症状：発赤、痛み、重度の皮膚熱傷、水疱

対応：汚染された衣服を脱がせる。多量の水かシャワーで皮膚を洗い流す。医療機関に連絡する。

ウ 眼に入った場合

症状：発赤、痛み、かすみ眼、重度の熱傷

対応：数分間多量の水で洗い流し(できればコンタクトレンズを外して)、医師に連れて行く。

エ 飲み込んだ場合

症状：灼熱感、腹痛、ショック/虚脱

対応：口をすぐ。吐かせない。多量の水を飲ませる。医療機関に連絡する。

(4) 火災時の措置

ア 服装

防護衣が望ましいが、無い場合には防火衣を着装し直接皮膚に触れる作業は行わない。

万一防火衣にかかった場合は、水洗いし酢酸などで希釈する。

イ 空気呼吸器

必ず着装する。

ウ 消火

水酸化ナトリウム自体は不燃性のものであるが、水と触れると熱を大量に発生するので、絶対に水と接触させないこと。

(5) 漏洩時の措置

ア 防水シートなどで覆い飛散を防ぐ。

イ 適切な容器に掃き入れる。

ウ 出来れば塩酸、硫酸、酢酸などの希釈液を用いて中和し、大量の水で洗い流す。

エ 服装及び空気呼吸器は、火災時の措置に同じ。

(6) その他

薬局で住所、氏名、使用目的の記入と押印で購入が可能であることから、一般家庭においても保管されている場合があります。

【参考文献等】

国際化学物質安全カード ICSC 番号 : 0360

火災による天井裏設置の灯油用銅管からの灯油漏えいについて

札幌市消防科学研究所 菅原 法之

高橋 渉

札幌市中央消防署予防課 設備検査係

札幌市消防局予防部指導課 危険物係

【概要】

平成20年12月に中央区で発生した地下1階、地上6階建ての複合用途建築物（燃料供給施設の危険物一般取扱所）の火災において、火災発生場所から少し離れた天井裏に設置されていた灯油用銅管から灯油が漏えいする危険物漏えい事故が発生した。

この漏えい事故は、この火災が原因であると予想されたことから、中央消防署予防課及び予防部指導課と消防科学研究所において、その現場の状況を再現し、再現実験を実施した。その結果、漏えい原因が判明した。

1 火災の概要

耐火構造、地下1階、地上6階建て（延面積1,781m²）の複合用途対象物（16項目イ）の1階飲食店の厨房から出火、1階天井裏の壁体及び排気ダクトの一部、電気配線等の物品が焼損したもの。

なお、出火原因是飲食店従業員がレンジフード内に付着した油かすを取り除こうとして、液化石油ガス・ハンドトーチでこの油かすを燃やしたところ、レンジフードダクト内に火が入り、延焼したものである。

2 危険物漏えい事故概要

上記の飲食店のレンジフードダクト内に火が入り、このダクト内を火が延焼したことにより、当該店舗厨房から接続してダクトが設置されている当該店舗外北側に隣接する1階トイレ部分の天井裏に延長されているダクト部分まで火が延焼、天井裏が加熱され、トイレ天井裏に施工されているウレタン等の断熱材が焼損、さらに、ダクト上方に配管施工された危険物一般取扱所（燃料供給施設）の戸別タンク（2階設置）からの二次側の灯油供給用配管（被覆銅管8φ、この部分は火災予防条例規制）4本（外面被覆は火災により炭化）と、この銅管上部に接して施工されていた電気配線（外面の絶縁被覆は火災により炭化）が炭化した両方の被覆を介し短絡、電気火花が発生し、電気配線と銅管の接触部分が溶融、銅管4本のうち2本が穿孔し、この部分から灯油が約200リットル漏えいしたもの。

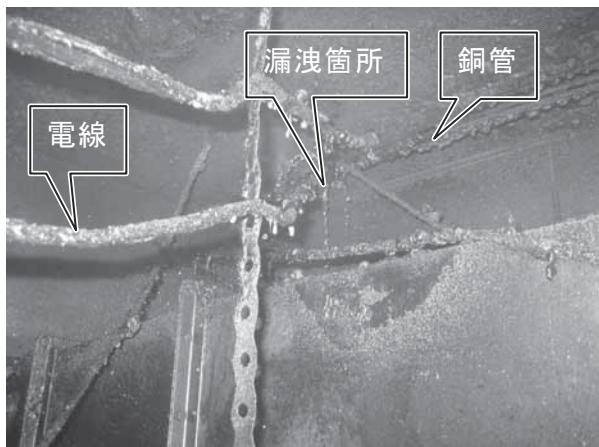


写真1 トイレ天井裏の灯油漏洩状況

3 燃料供給施設の危険物一般取扱所について

危険物の規制に関する政令第19条第1項で規制する、共同住宅等の燃料供給施設の危険物一般取扱所であり、今回漏えい事故が発生した施設は中継タンクを有する供給方式である。

なお、この施設は戸別タンクまでが危険物一般取扱所としての危険物施設の規制を受け、それ以降の燃焼機器までの配管は火災予防条例により規制している。

今回の事故は、この戸別タンク以降の火災予防条例規制部分の配管（銅管）が穿孔し、灯油が漏えいしたものであった。

このような燃料供給施設の危険物一般取扱所は中継タンクを有する施設と、有しない施設の2種類が存在し、平成20年12月末現在、札幌市内においては中継タンクを有する施設は1,962件、中継タンクを有しない施設は106件、両方併せて、2,068件設置されており、危険物施設総数（7,226件）の約28.6%を占める施設数が存在している。

4 再現実験概要

- (1) 日時 平成21年1月15日（木曜日）14時00分から
- (2) 場所 消防科学研究所 理化学実験室
- (3) 実験実施者 中央消防署予防課設備検査係員、予防部指導課危険物係員、消防科学研究所員
- (4) 実験内容

灯油用銅管（8φ、外面被覆なし）と電気配線（銅管と接触させる部分は配線の絶縁被覆を事前に炭状になるまで加熱、炭化させたものを使用）を接触させ固定、100ボルトの電圧を印加し、その接触部分に強制的に短絡を発生させて銅管の状況を観察した。

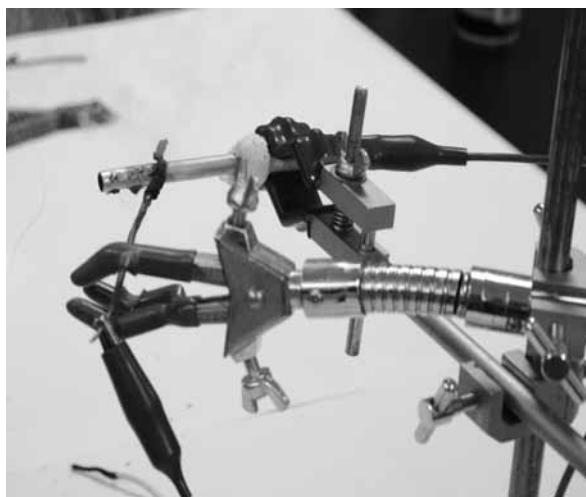


写真 2 実験前状況

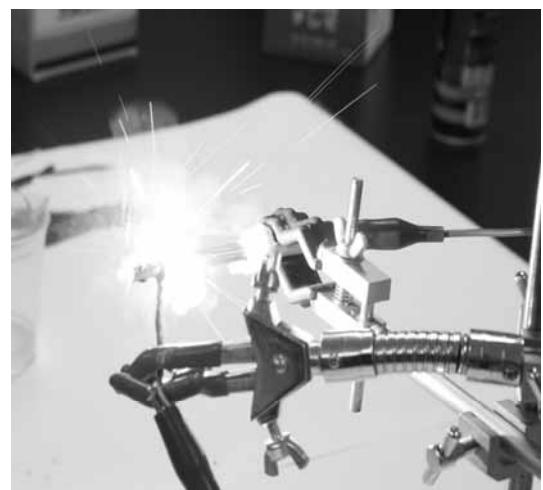


写真 3 短絡させた時の状況



写真 4 短絡直後の状況



写真 5 銅管穿孔状況



写真 6 銅管穿孔状況拡大



写真 7 銅管穿孔内部状況拡大



写真 8 火災現場の銅管



写真 9 火災現場の銅管

これらの写真を見ると、写真 6 の再現実験において銅管に生じさせた穿孔部分と写真 8 の火災現場の銅管穿孔部分の溶痕の表面状況が類似していることが分かる。

続いて火災の熱による溶痕との比較実験を実施した。



写真 10 ガスバーナーにて銅線加熱



写真 11 写真 10 の銅線溶痕拡大



写真 12 火災現場の銅管穿孔状況



写真 13 写真 12 の銅管溶痕拡大

銅線をガスバーナーで加熱し、強制的に溶痕（熱痕）を作成、顕微鏡で拡大したのが写真 11 で、これを見ると熱痕特有の表面がざらざらした状況が確認できる。

これに対して、写真 12 の火災現場の銅管穿孔部分と同じ顕微鏡で拡大したのが、写真 13 であり、これを見ると電気痕特有の表面が光沢で、つるつるした状況が確認できる。これらの方を比較すると痕の表面状況は明らかに異なる結果が得られた。

また、写真 6 の銅管穿孔状況（消防科学研究所で作成）と写真 12 の火災現場の銅管穿孔状況を比較してみると、何れも銅部分が溶け、溶痕の飛散状況が配管外面及び配管内部に同様の飛散した溶痕が見られた。

5 原因

銅の融点は、1,060°C以上であり、火災時の炎（約1,000°C前後と言われている）で直接炙られても銅管が溶融することは考えにくいことから、今回の火災現場の状況を精査してみると、焼損後の現場状況（写真 1 参照）を確認したところ、銅管と電気配線が近接しており、この部分から灯油が漏えいしているため、金属と電気配線による短絡の可能性が疑われたことから、再現実験を実施した。

その結果、今回の灯油漏えいについては銅管の上部に接触して設置されていたと推定される電気配線の絶縁被覆と被覆銅管の被覆が火災熱により焼損（炭化）して、銅管と電気配線が直接接触したことにより短絡、電気火花が発生し、銅管の電気配線と接觸している部分が穿孔して、ここから灯油が漏えいしたものと思慮される。

6 まとめ

「3 燃料供給施設の危険物一般取扱所について」で触れたように、共同住宅等の燃料供給施設の一般取扱所は札幌市内には2,000施設以上存在しており、これに同様の形態の少量危険物施設等を含めると、さらに、多くの施設が存在している。

これらの施設のうち、配管と電気配線が接触して敷設施工されている施設が存在している可能性がある。

今後は、このような危険物漏えい事故を未然に防ぐため、配管施工時には灯油用銅管（金属管）と電気配線が接触しないように指導すること、また、既存の建築物においても灯油用銅管（金属管）と電気配線が接触しているのを確認したときは、これを接触しないようにさせることが必要である。

粉じん爆発について

札幌市消防科学研究所 菅原 法之

高橋 渉

中住 斎

吉永 直樹

札幌市中央消防署 特別高度救助隊

【概 要】

平成 20 年 10 月、当市の熱供給事業所の熱発生施設（プラント）において、燃料として石炭を貯蔵している石炭庫に作業員が転落、これを救出するために石炭を送り出す運炭装置（石炭シャーテー）の金属製部分をエンジンカッターで開削する必要がある事案が発生した。

この場所は石炭の粉じん（炭じん）が浮遊しており、粉じん爆発が懸念された事案であったが、幸いにも二次災害は発生しなかった。

昭和 40 年代は北海道内には数多くの炭鉱があり、炭じん爆発などの災害が多く発生していたが、エネルギー革命や炭鉱事故等によってこれらの炭鉱は相次いで閉山し、坑内堀の炭鉱が我が国では唯一釧路市のみにしか存在しない現在では、炭じん爆発はほとんど聞かれなくなり、身近でないものと思われていた。ところが、今回のように当市においても、その恐れがあった事案が発生したことを踏まえて、粉じん爆発を起こす可能性のある身近な物質について、主なもの粉じん爆発実験を実施した。その結果を報告する。

1 はじめに

粉じんとは、粉のように細かく気体中に浮遊するちり状の固体の粒子であり、これらが一定の濃度で浮遊していると、ある条件下で火炎または火花などにより引火し、爆発する現象を粉じん爆発という。

2 粉じん爆発について

(1) 粉じん爆発は、粉体と酸素（空気）との接触面積が増大して酸化反応が促進されるために発生し、その条件として主に次の 3 つが必要である。

ア 粉じんの粒子が微粉の状態で、空気中に一定の濃度で浮遊

イ 火源の存在

ウ 空気中の酸素

つまり、固体の可燃性微粒子が空気中に浮遊している場合に、何らかの火源により爆発する現象である。

(2) 粉じん爆発をおこす粒子の大きさ

粉じんの粒子は細かいほど着火に必要なエネルギーが小さく、例えば粒子が細かくなると 1 g 当たりの粒子数が増え、表面積も増えることから、空気（酸素）との接触面積が増加す

る。このため酸化速度が大きくなり爆発の危険性が増加する。

粉じん爆発を起こす微粉の大きさの限界は $100\text{ }\mu$ ~ $1\text{ }\mu$ と言われている。

(3) 爆発限界

粉じん爆発も可燃性ガスと同じように、空気中の粉じん濃度がある範囲内にあるときに、火源があれば爆発する。この粉じん濃度の範囲の限界も爆発限界または燃焼限界といい、可燃性がスと同様に爆発限界には爆発下限界と爆発上限界がある。

例えば一個の粉じん粒子が、ある火炎により空気中の酸素と反応して燃焼した場合、これが熱源となり隣の粉じんに次々に熱を反応させ連鎖的に燃焼を起こす。この場合、粉じん粒子の相互間距離はある値以下である必要があり、この単位体積あたりの最低数、最低濃度が爆発下限界となる。また、粉じん数が増加すると、粉じん同士の冷却作用で熱が連鎖的に反応しなくなり、この濃度を爆発上限界、これら二つの限界の間を爆発範囲という。

3 粉じん爆発を起こす可能性のある物質について

表1 粉じん爆発を起こす可能性のある主な物質一覧表

分類	品名
炭素製品	石炭、木炭、コークス、活性炭
肥料	魚粉
食料品	片栗粉、砂糖、小麦粉、ココア、穀粉、粉ミルク、粉末コーヒー
金属類	アルミニウム、鉄、亜鉛、マグネシウム、マンガン、ケイ素、錫、バナジウム、フェロシリコン、チタン、ジルコニウム
木質類	木粉、コルク類、紙粉
合成薬品類	各種プラスチック、合成洗剤、ゴム類、染料中間体
農産加工品	コショウ、除虫菊、タバコ
その他	硫黄

表1のうち金属類のアルミニウム、鉄、亜鉛、マグネシウム及びその他の硫黄は消防法危険物第2類（可燃性固体）に該当し、硫黄は第一種可燃性固体（指定数量 100kg）、アルミニウム及びマグネシウムは第一種可燃性固体若しくは第二種可燃性固体（指定数量 500kg）のいずれかに該当、鉄（粉）は指定数量 500kg、亜鉛は第二種可燃性固体に該当する。

これらの他に、指定可燃物として規制を受ける物質で、ジルコニウム及びマンガンは可燃性固体類、炭素製品は石炭・木炭類、木質類は木毛及びかんなくず、ぼろ及び紙くず、木材加工品及び木くずのいずれかに該当する。

さらに、バナジウムは放射性同意元素等による放射線障害の防止に関する法律に規定する放射性物質に該当する。

これらのうち、金属類のアルミニウム、鉄、亜鉛、マグネシウム、ジルコニウム及び錫は禁水性物質であり、火災が発生した場合、放水による消火はできない。

これらは、禁水性物質であるため、粉じん爆発予防のための事前の噴霧注水も、避けなければならない。

これらの主な禁水性物質の性質と消火方法は

(1) アルミニウム

注水すると燃焼し、爆発する。初期火災や小規模火災の場合には、粉末消火や乾燥砂、乾燥珪藻土、乾燥消石灰（以下「乾燥砂等」という。）で被覆して消火する。

(2) 鉄（鉄粉）

可燃性であり、過熱したものに注水すると水蒸気爆発を起こす。乾燥砂等で被覆して消火する。

(3) 亜鉛

空气中では酸に溶けて水素を発生、湿気のあるところでは酸化されて発熱。粉じんを吸入すると有毒、初期消火には乾燥砂等で被覆、粉末消火剤も有効。

(4) マグネシウム

水に触れると水素を発生し、爆発的に飛散する。空气中に大量にある場合、酸化発熱し、自然発火する。炉の中で火災が発生した場合、密閉しても燃焼は継続し消火できない。これは、マグネシウムは窒素中（酸素がなくても）でも燃焼が継続できるからである。消火には粉末消火、乾燥砂等、石墨粉で被覆し消火。なお、火炎は直接裸眼では見ないこと。

(5) ジルコニウム

禁水性であるが、大量の水で完全に被覆するように注水すれば、効果がある。ただし、激しい反応を伴うので注意が必要。

(6) マンガン

粉状では酸化されやすく発火の危険性あり、水とは水素を発生する。粉じんを長時間吸入すると中枢神経異常となる恐れあり、初期消火は乾燥砂等又は粉末消火器で被覆消火。不活性ガス（ヘリウム、窒素、二酸化炭素等）を使用すると粉じん爆発防止には有効。

(7) フェロシリコン

別名ケイ素鉄とも呼ばれている。水と反応するとリン化水素（空気の1.2倍の重さ、ニラの臭い、有毒ガス、可燃性）を発生し、爆発危険がある。

(8) 硫黄

容易に自然発火する。可燃性。粉末や蒸気が空気と混合すると爆発する。燃焼した場合、亜硫酸ガス（二酸化硫黄）（有毒）が発生する。小規模火災の消火では乾燥砂等で被覆消火。噴霧注水でも消火可能、ただし直接注水は飛散危険があるので避けること。

なお、札幌市内には危険物施設でこれらの第2類の危険物を貯蔵している施設は、硫黄が白石区に2,000kg（屋内貯蔵所1施設、指定数量の20倍）、可燃性固体類（パテや塗料等）が中央区に3,000kg（屋内貯蔵所1施設、指定数量の6倍）、北区に23,000kg（屋内貯蔵所1施設、指定数量の26倍）、白石区に320kg（屋内貯蔵所1施設、指定数量の0.64倍）及び手稲区に580kg（屋内貯蔵所2施設、1倍と0.16倍）が貯蔵されている。

また、指定数量未満の少量危険物や、届出が不要の指定数量の1/5未満のものも含めると、学校や研究施設、試薬販売店舗など数多くの場所で貯蔵されていると思われる所以、災害等の

場合は十分な注意が必要である。

4 粉じん爆発実験概要

- (1) 日 時 平成 20 年 11 月 19 日 (水) 9:30~12:00
平成 20 年 11 月 27 日 (木) 9:00~14:30
- (2) 場 所 札幌消防学校消防科学研究所燃焼室
- (3) 実施者 中央消防署警防課特別高度救助隊（救助一）員、消防科学研究所員

5 実験装置及び実験方法

各種粉じん爆発を検証するために、安全性を考慮して同じ条件で爆発を起こすことのできる装置を作成した。

檜材で骨組（300mm×300mm×600mmH）を作り、高さ 150mmH の位置に板（ベニヤ板）を取り付け、この板から上部の実験装置の容積を 39.5ℓ（300mm×300mm×450mmH）とし、この装置に透明のポリエチレン製袋（45ℓ用ゴミ袋、800mm×600mm、0.03mm）を被せて実験を実施することとした。

さらに、この板の中心部に直径 60mm の円状の穴を開け、漏斗（円錐形最大部分直径 80mm）を差し込み、漏斗の円錐部が板上から約 10mm 突出するようにした。

そして、粉じんが浮遊しやすいように漏斗内部の円錐形の頂点の管状部分を中心として 30mm φ × 50mmH のプラスチック製の円筒（蓋を外し、底部を切り取ったフィルムケースの外側部分）を取り付け、足穴部分を脱脂綿で塞ぎ、粉体試料装入部とした。

この装置の 150mmH の板上に（漏斗円錐部外側の直近）火源としてアルコールランプ（燃料：エタノール、漏斗の円錐部外側からアルコールランプの炎まで約 60mm 離隔）を設置し、漏斗内円筒部分に入れた粉体を舞い上がらせるため、漏斗の管状部分の先端外側にホースを接続し、空気ボンベから圧力 1.3Mpa でエアーガンにより空気を送り込んだ。

なお、今回使用したアルコールランプの炎温度は約 700~900°C であり、一般的なガスバーナーの炎温度は約 1,100~1,200°C、及びエンジンカッターによる金属切断時における切削粉温度は約 1,200~1,700°C であることから、いずれもアルコールランプの炎温度より高温であり、この実験結果以上に粉じん爆発を誘発しやすい高温である。

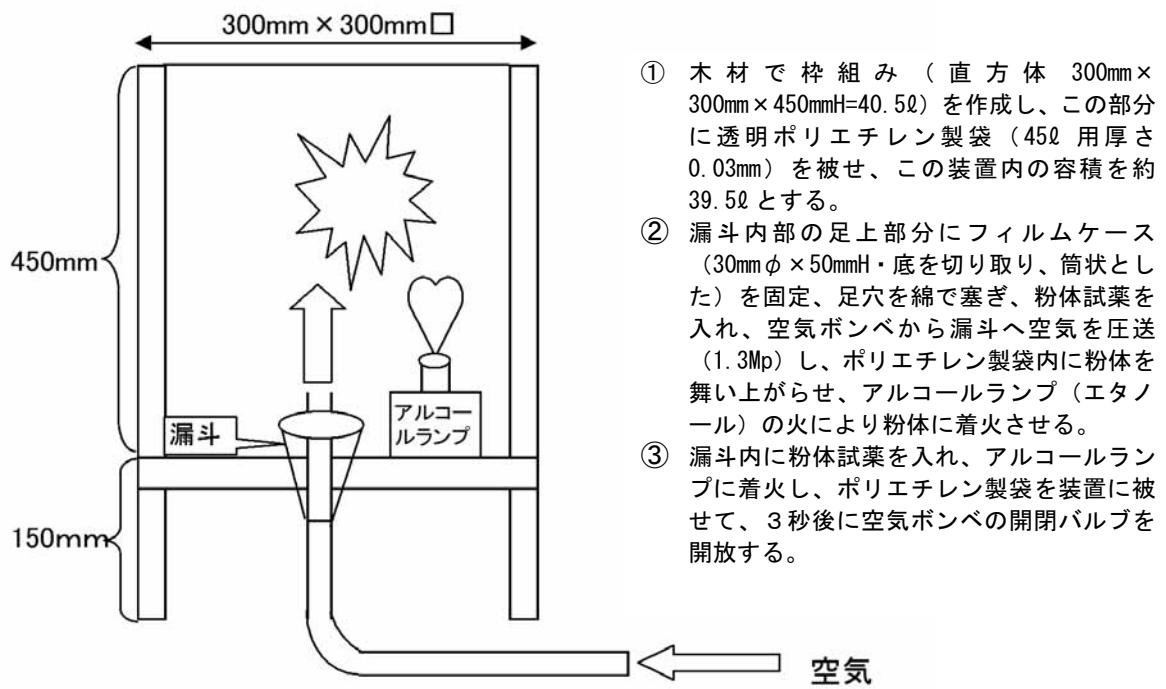


図1 粉じん爆発実験装置

6 実験に使用した試料の種類と重量

まず、初めに一般的に粉じん爆発が起こりやすい物質であるといわれている粉砂糖（粒子の大きさ $10\sim100\mu$ ）について $1\sim7\text{ g}$ まで 1 g 刻み、及び 10 g をアルコールランプを火源として実施、続いて、粉じん爆発の代表的なもので、一般的に流通している粉末状のもののうち、アルコールランプを火源でアルミニウム、小麦粉、片栗粉、鉄、加熱小麦粉（ 110°C で 3.5 分加熱）、銅、亜鉛、活性炭、セメント粉、石炭、竹炭、加熱石炭（ 110°C で 5 分加熱）、木粉、木炭、加熱木粉（ 110°C で 5 分加熱）、硫黄の各試料を主に 2 g 、 5 g 及び 8 g （各重量の一部未実施試料もあり）で実施、さらに、続いて、電気放電による電極のスパーク（ 100 V ）を火源として粉砂糖 5 g を実施。

さらに、実験装置にポリエチレン製袋を被せない大気開放状態で、粉砂糖（アルコールランプ及び電極によるスパークを火源） 5 g を実施した。

なお、各試料の粒の大きさ（ μ ）、密度（ g/cm^3 ）、融点（ $^\circ\text{C}$ ）、沸点（ $^\circ\text{C}$ ）及び燃焼熱（ Kcal/g ）については各種文献で判明した一覧は表2のとおり。ただし、粉砂糖については不明なため、ショ糖を掲載した。

- ① 木材で枠組み（直方体 $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 450\text{mm} = 40.5\ell$ ）を作成し、この部分に透明ポリエチレン製袋（ 45ℓ 用厚さ 0.03mm ）を被せ、この装置内の容積を約 39.5ℓ とする。
- ② 漏斗内部の足上部分にフィルムケース（ $30\text{mm} \phi \times 50\text{mmH}$ ・底を切り取り、筒状とした）を固定、足穴を綿で塞ぎ、粉体試薬を入れ、空気ボンベから漏斗へ空気を圧送（ 1.3 MPa ）し、ポリエチレン製袋内に粉体を舞い上げらせ、アルコールランプ（エタノール）の火により粉体に着火させる。
- ③ 漏斗内に粉体試薬を入れ、アルコールランプに着火し、ポリエチレン製袋を装置に被せて、3秒後に空気ボンベの開閉バルブを開放する。

表2 粉じん爆発実験試料一覧

	試料名	粒の大きさ (μ)	密度 (g/cm ²)	融点 (°C)	沸点 (°C)	燃焼熱 (Kcal/g)	備 考
1	粉砂糖	10~100	1.6	186		3.9	密度、融点、燃焼熱 はショ糖の測定値
2	アルミニウム	2~75	2.7	660	2,470	14.8	
3	小麦粉	50~200	1.5				
4	片栗粉	3~50	1.5			3.9	
5	鉄	2~80	7.9	1,535	2,750	4.8	
6	片栗粉(加熱)	3~50	1.5			3.9	
7	銅	~75	9	1,083	2,570	0.6	
8	亜鉛	3~60	7.1	420	907	1.3	
9	活性炭	3~50	3.5	3,550	4,800	7.8	
10	セメント		3.2				
11	石炭	2~50					
12	竹炭	10~50					
13	石炭(加熱)	2~50	3.5	3,550	4,800	7.8	
14	木粉	150~1,000	炭素成分で表示				
15	木炭	1~10					
16	木粉(加熱)	150~1,000					
21	石炭(微粉末)	2~25					
17	硫黄	10~300	2.1	113	445	2.2	
18	粉砂糖(電気)	10~100					
19	粉砂糖(アルコール)	10~100		1 粉砂糖参照			
20	粉砂糖(電気)	10~100					

7 粉じん爆発実験結果

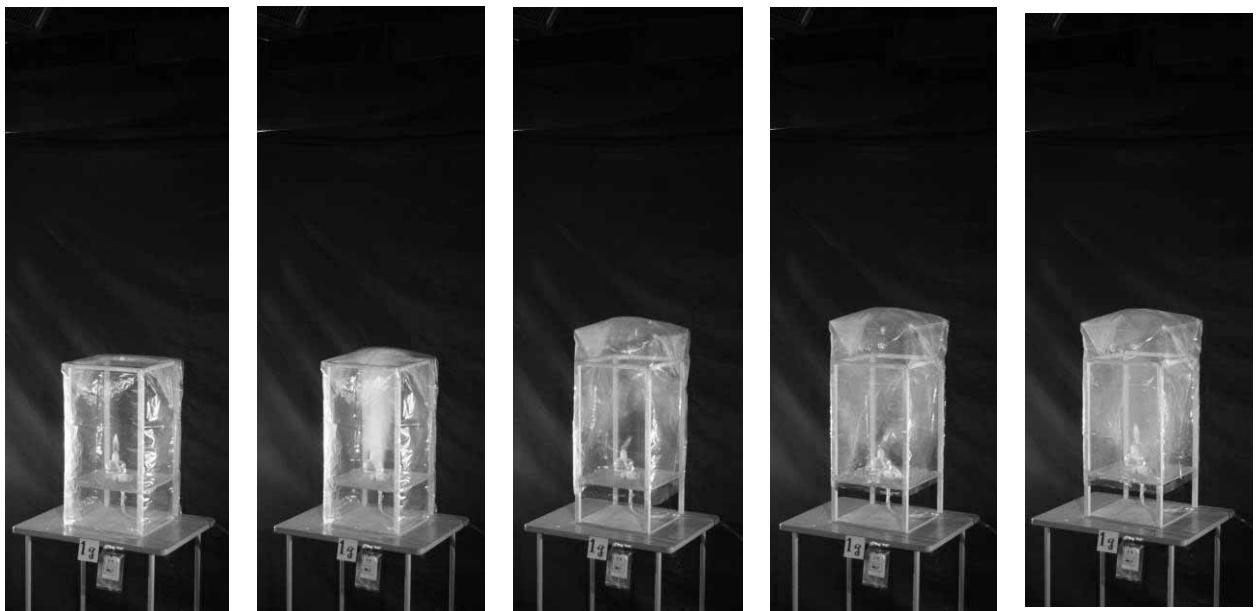


写真1 粉砂糖1g アルコールランプ

粉砂糖1g 実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、ポリエチレン製袋内を漂ったが、粉じん爆発は起こらなかった。

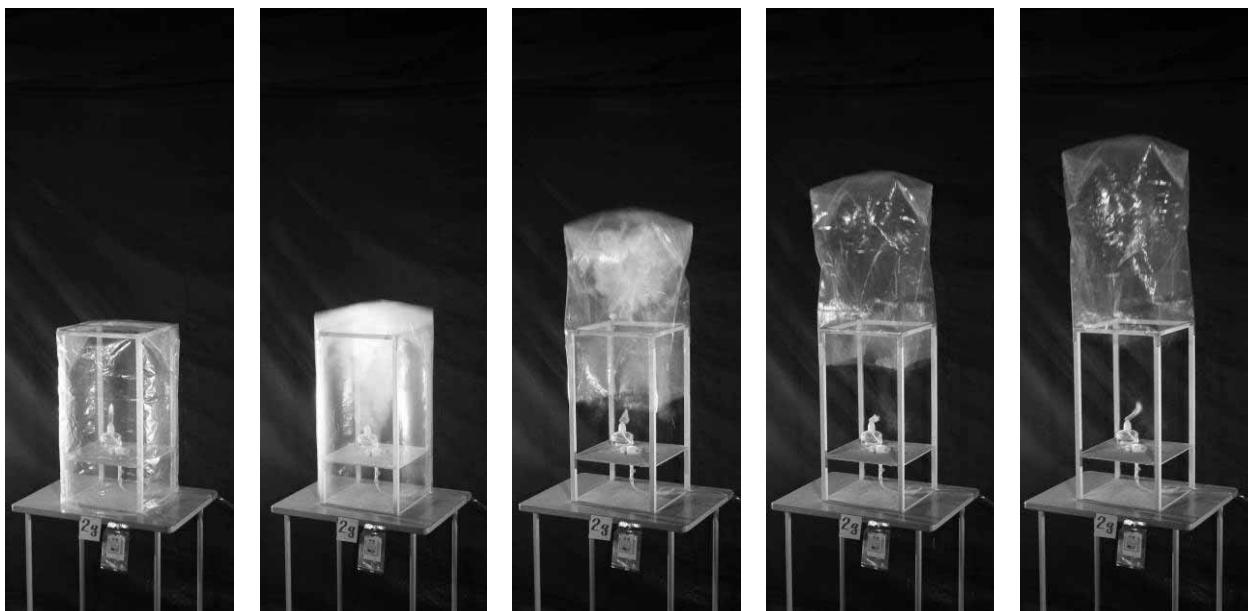


写真2 粉砂糖2g アルコールランプ

粉砂糖2g 実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が発生した。爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mmの装置の木枠上部付近まで押し上げて、炎は収まった。

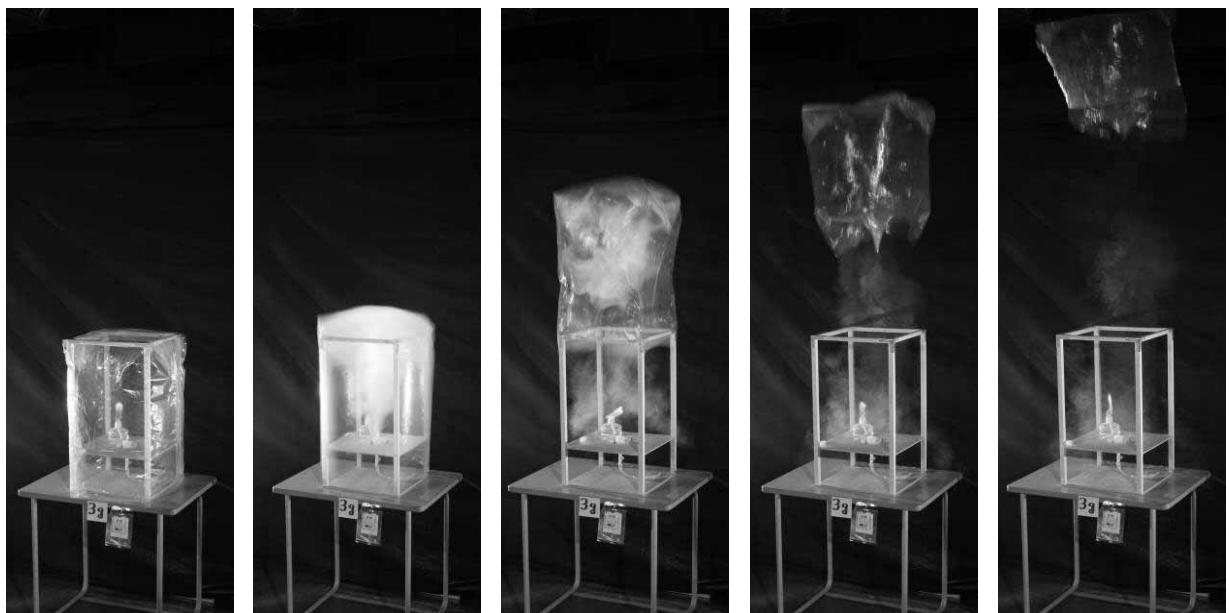


写真3 粉砂糖3g アルコールランプ

粉砂糖3g実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が発生した。
爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mmの装置の木枠以上に上昇させ、装置上方約300mmの高さで炎は収まったが、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

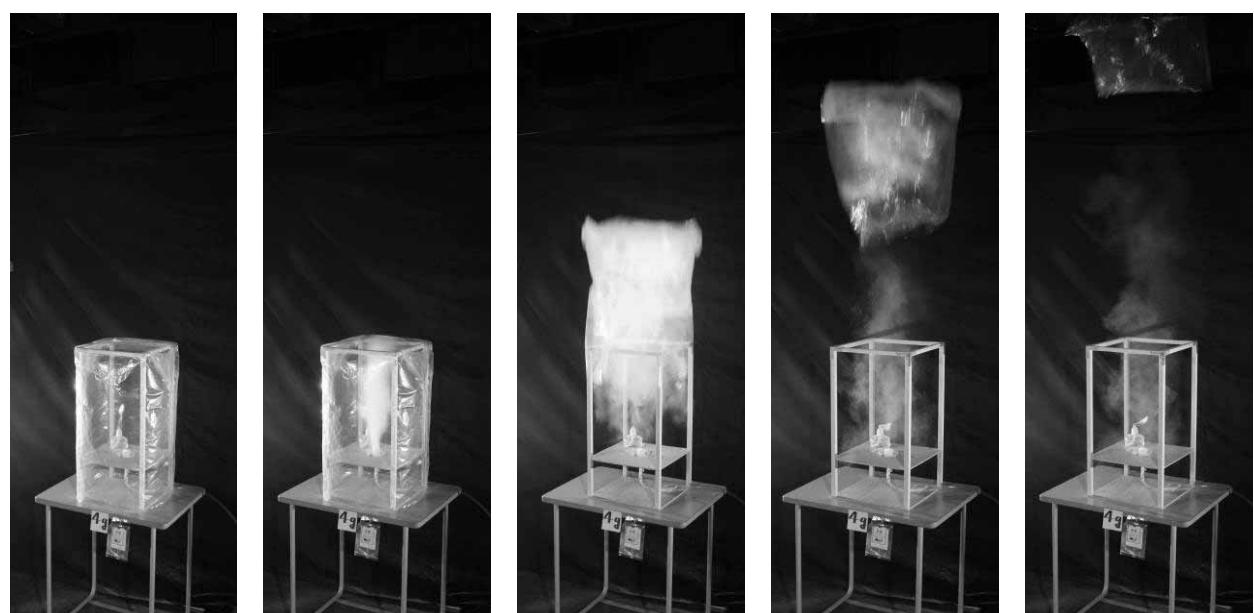


写真4 粉砂糖4g アルコールランプ

粉砂糖4g実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が激しく発生した。
爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mmの装置木枠以上に上昇させ、装置上方約900mmの高さで炎は収まったが、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

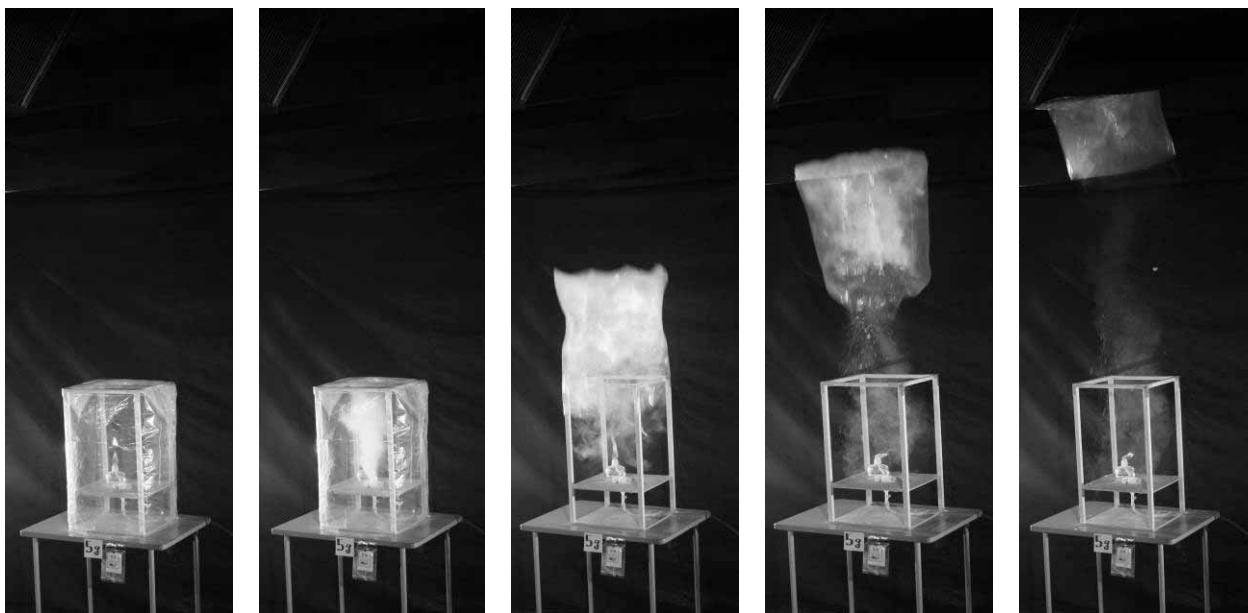


写真5 粉砂糖5g アルコールランプ

粉砂糖5g 実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が激しく発生した。爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mmの装置木枠以上に上昇させ、炎は装置上方約900mmの高さ以上でも少し残っており、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

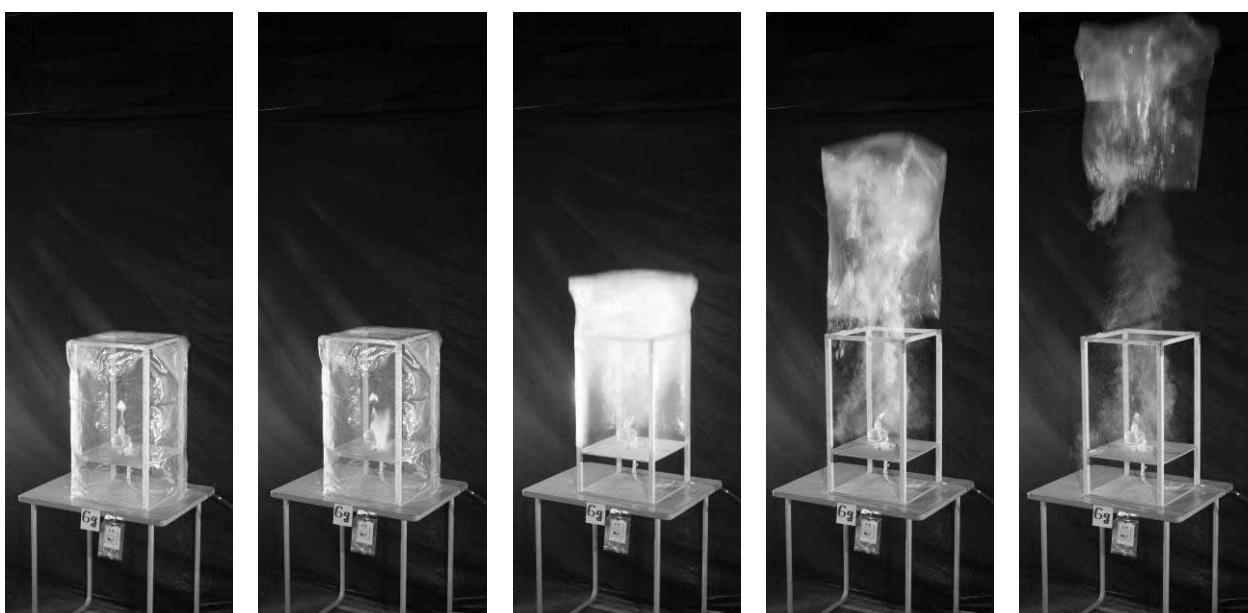


写真6 粉砂糖6g アルコールランプ

粉砂糖6g 実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が激しく発生した。爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mm装置木枠以上に上昇させ、炎は装置上方約900mmの高さ以上でも少し残っており、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

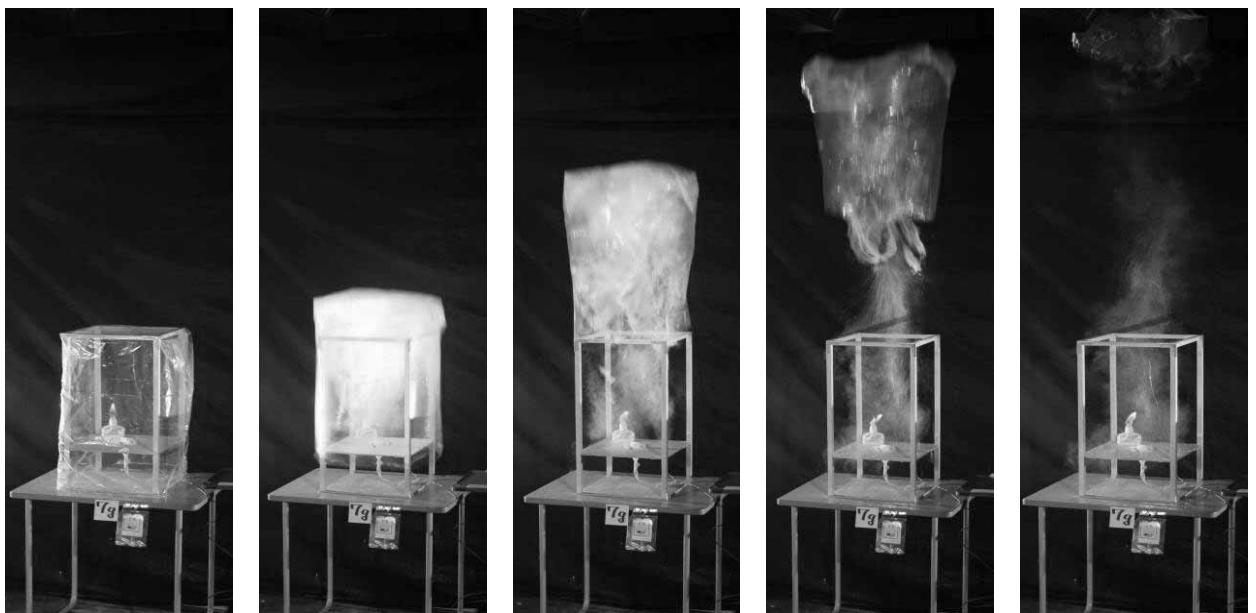


写真7 粉砂糖7g アルコールランプ

粉砂糖7g 実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が激しく発生した。爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mmの装置木枠以上に上昇させ、炎は装置上方約900mmの高さ以上でも少し残っており、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

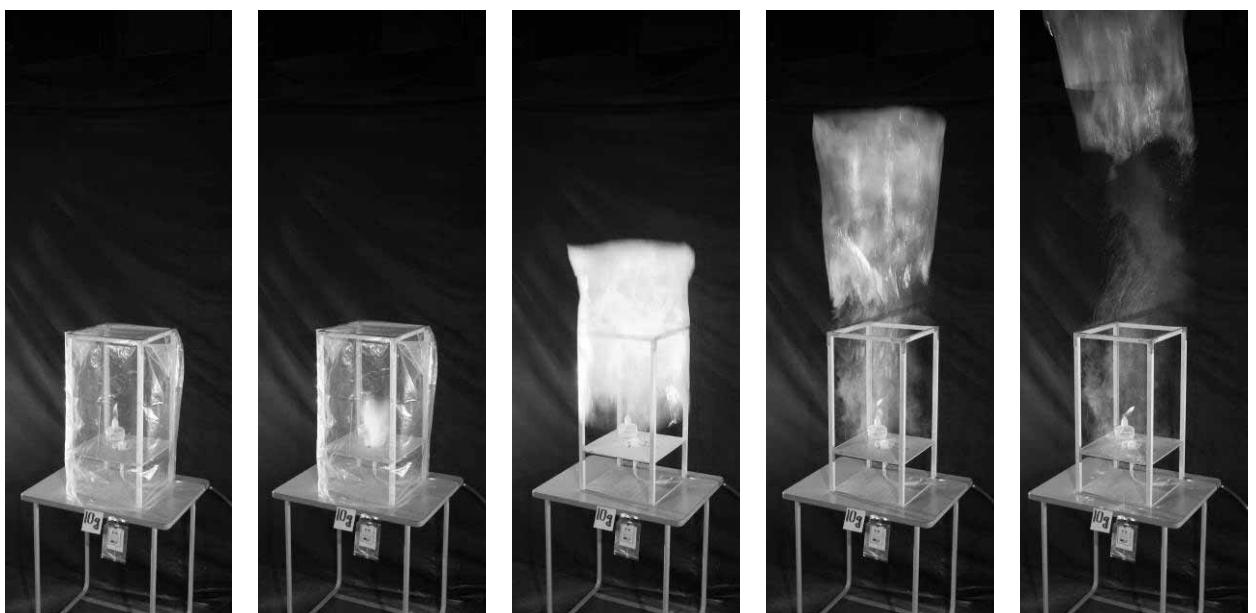


写真8 粉砂糖10g アルコールランプ

粉砂糖10g 実験では、粉砂糖の粉じんが勢いよく舞い上がり、粉じん爆発が激しく発生した。爆発炎はポリエチレン製袋を高さ450mmの装置木枠以上に上昇させ、炎は装置上方約900mmの高さ以上でも少し残っており、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

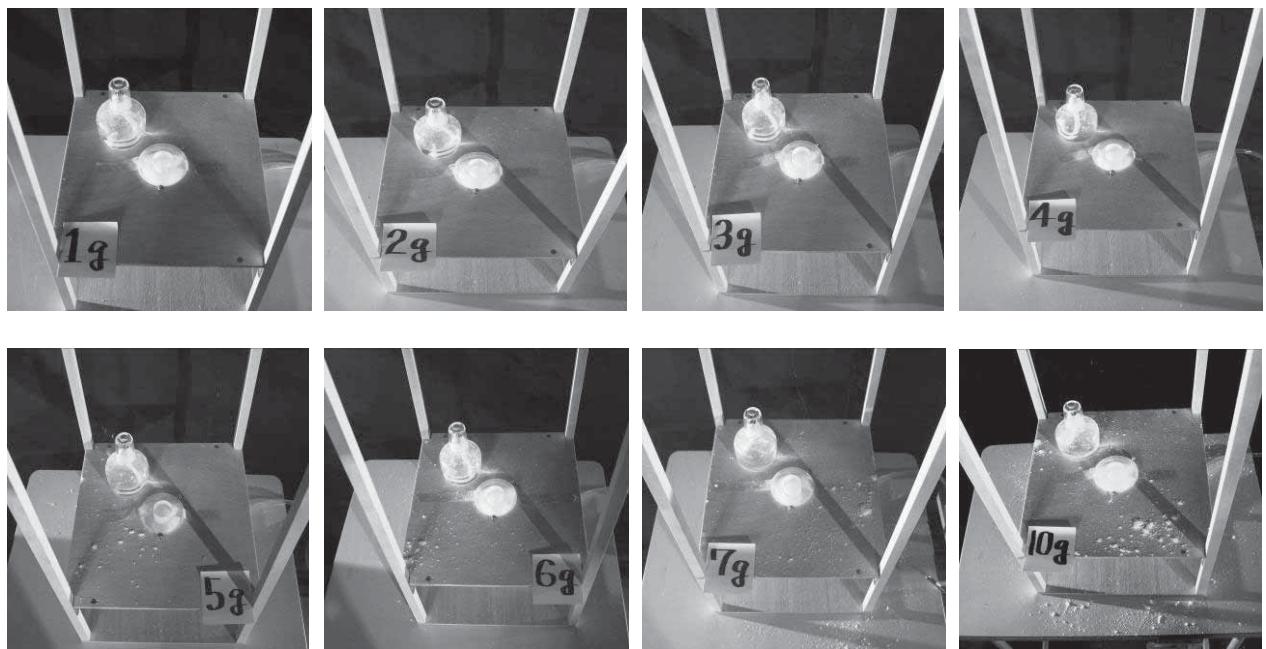


写真9 粉砂糖各重量実験終了後

粉砂糖各重量での実験終了後の台上と漏斗付近の写真であり、上段左から粉砂糖 1 g・2 g・3 g・4 g、下段左から 5 g・6 g・7 g・10 g である。これらを見比べると 1 g は粉じん爆発が発生しなかつたため、粉砂糖の粉末が少し残存しているが、2 g からは粉じん爆発が発生し、2 g～4 g までは粉砂糖がほとんどすべてを爆発（燃焼）したと思われるため、粉砂糖の粉末はあまり見られない。しかし、5 g 以上になると粉砂糖の粉末が見られるようになり、重量が重くなるにつれて増加し始め、特に 10 g ではその多さがはっきりと確認できる。

これは、ポリエチレン製袋（約 40ℓ）の容積分の空気中に含まれる酸素量が、粉砂糖の場合 4 g 程度までが爆発（燃焼）するのに適量と思われるため、ほぼ完全爆発（燃焼）し、5 g 以上になると、容積（酸素量）に対して粉砂糖量が多くなりすぎて、すべてが爆発（燃焼）しきれずには残ってしまうと推測できる。

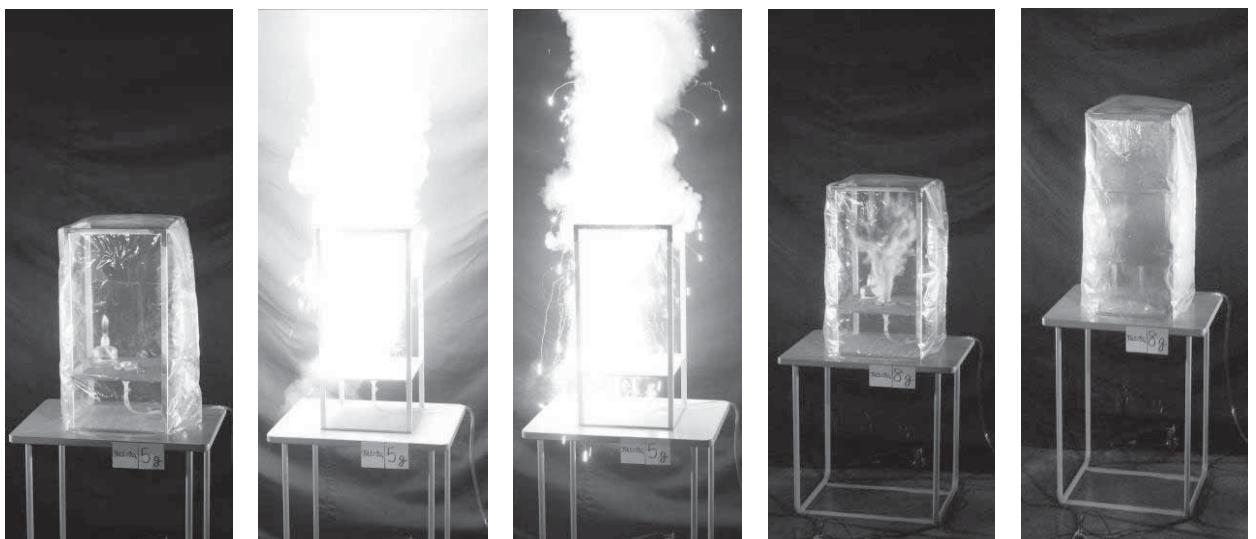


写真 10 アルミニウム アルコールランプ

アルミニウム実験では2・5・8 gを実施した。2 g(写真なし)及び8 g(写真10左から4・5枚目)では粉じん爆発は発生せず、変化が見られない。5 g(写真10左から1～3枚目まで)では、激しく明るい粉じん爆発が発生し、ポリエチレン製袋は爆風で吹き飛んだ。

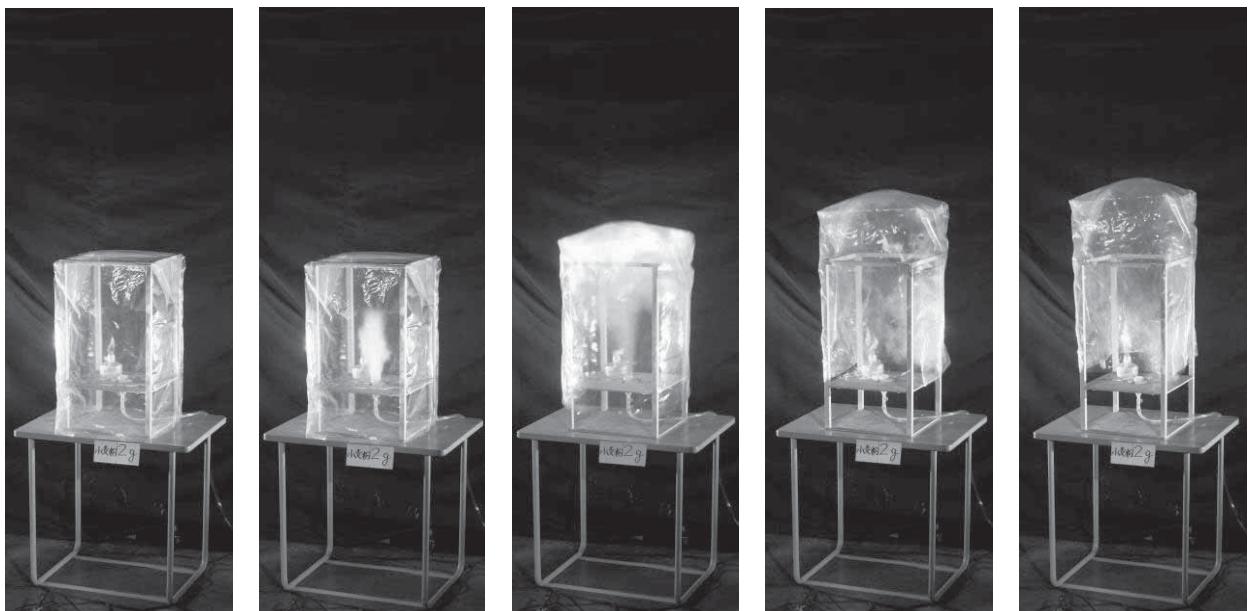


写真 11 小麦粉 2 g アルコールランプ

小麦粉 2 g 実験では、小規模な粉じん爆発(燃焼)が発生し、その後炎はすぐに収束し、ポリエチレン製袋もそのままの状態で残った。

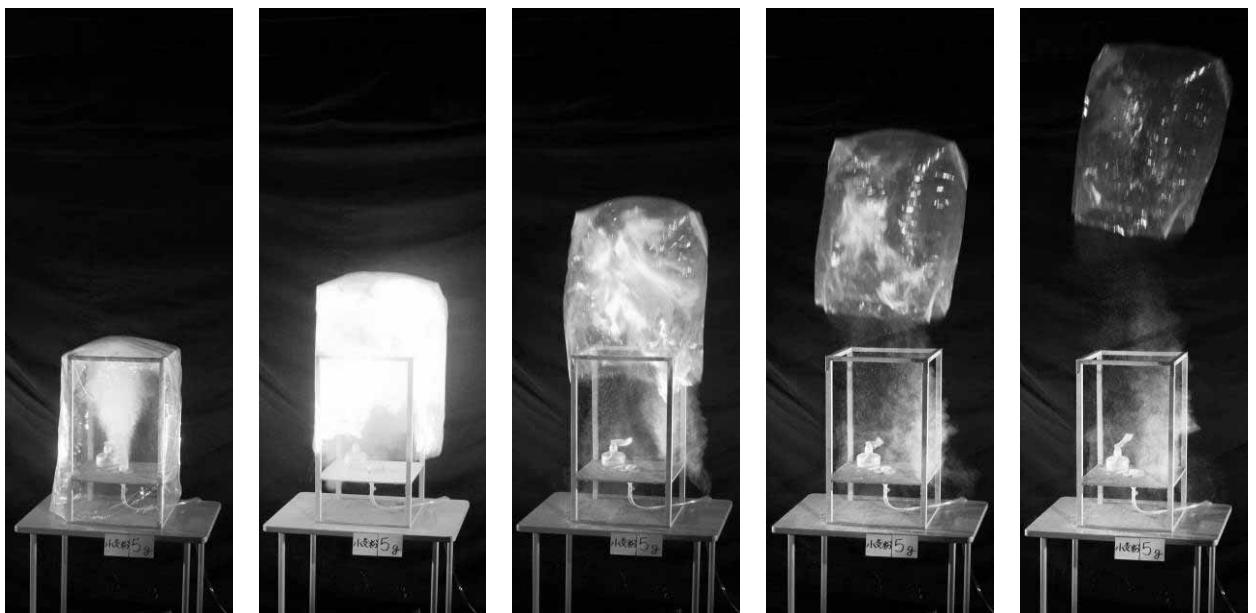


写真 12 小麦粉 5g アルコールランプ

小麦粉 5 g 実験では、明るい粉じん爆発（燃焼）が発生し、爆発炎はポリエチレン製袋を高さ 450mm の装置の木枠以上に上昇させ、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

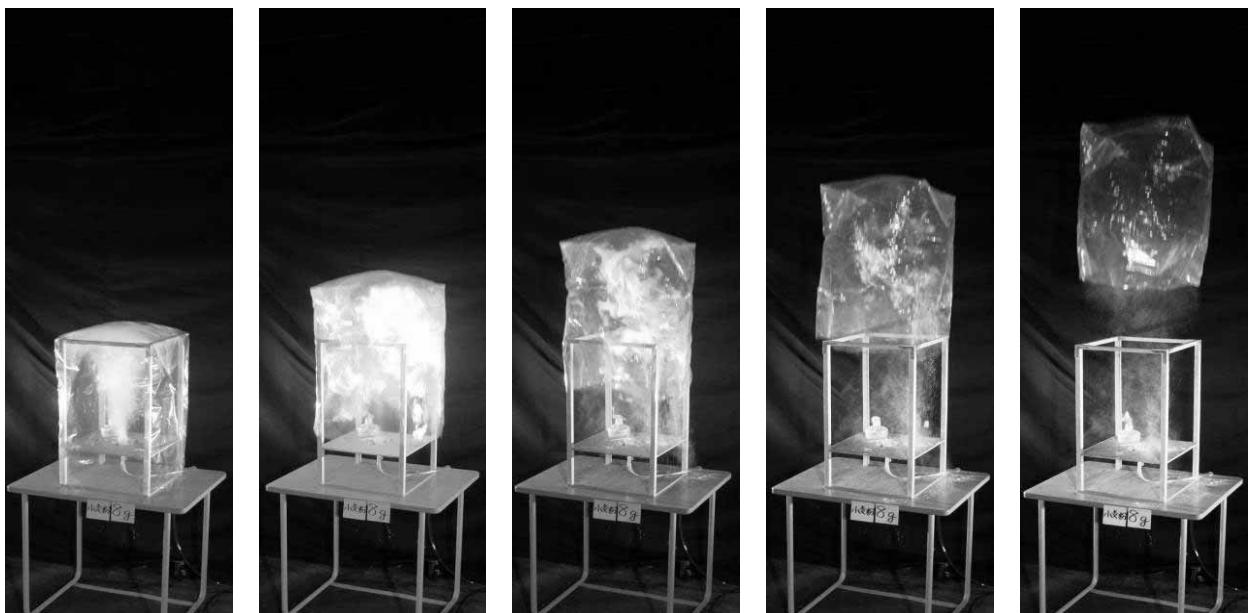


写真 13 小麦粉 8g アルコールランプ

小麦粉 8 g 実験では、5 g と同様に明るい粉じん爆発（燃焼）が発生し、爆発炎はポリエチレン製袋を高さ 450mm の装置の木枠以上に上昇させ、爆風によりポリエチレン製袋を吹き飛ばした。

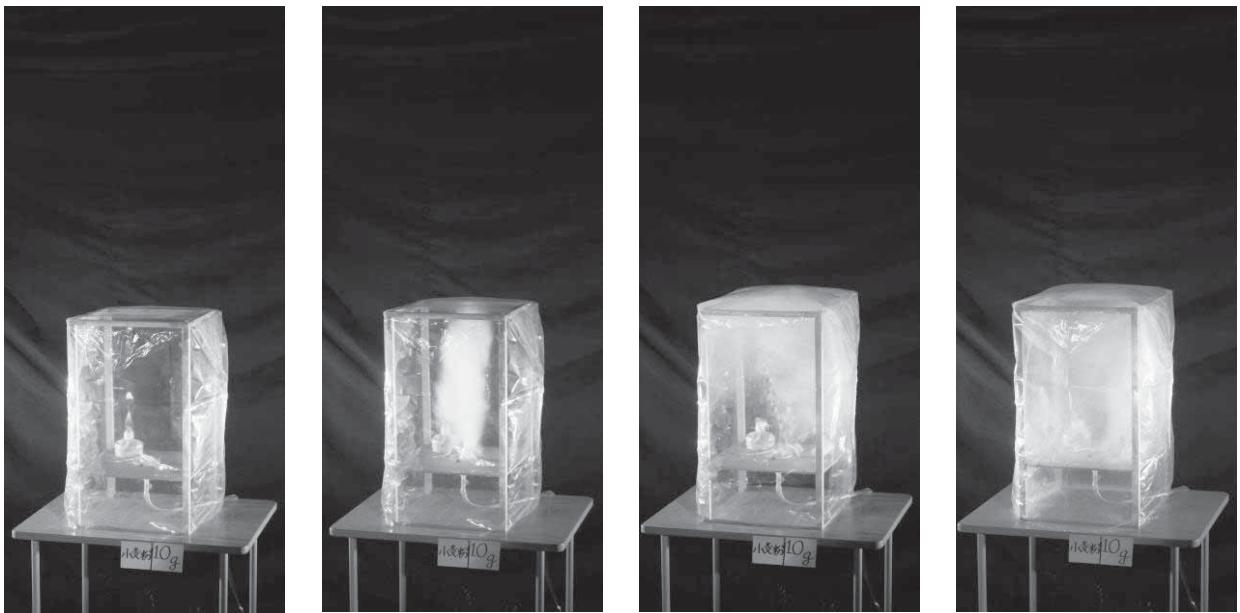


写真 14 小麦粉 10g アルコールランプ

小麦粉 10g 実験では、粉じんはポリエチレン製袋内に充満し、漂ったが、粉じん爆発は発生しなかった。

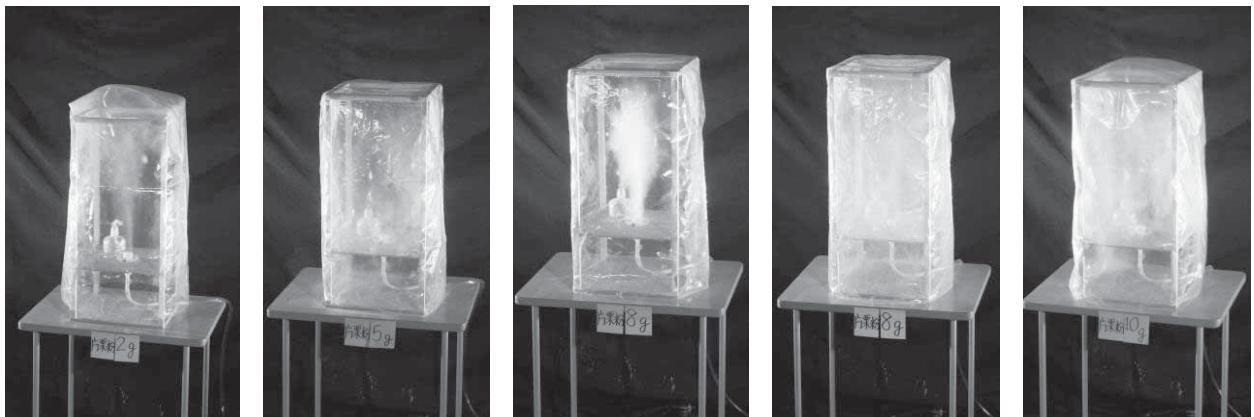


写真 15 片栗粉 アルコールランプ

片栗粉実験では、2・5・8・10g を実施した。2g（写真 15 左端）、5g（写真 15 左から 2 枚目）、8g（写真 15 左から 3・4 枚目）及び 10g（写真 15 右端）の各実験で粉じんはポリエチレン製袋内に充満し、漂ったが、いずれも粉じん爆発は発生しなかった。

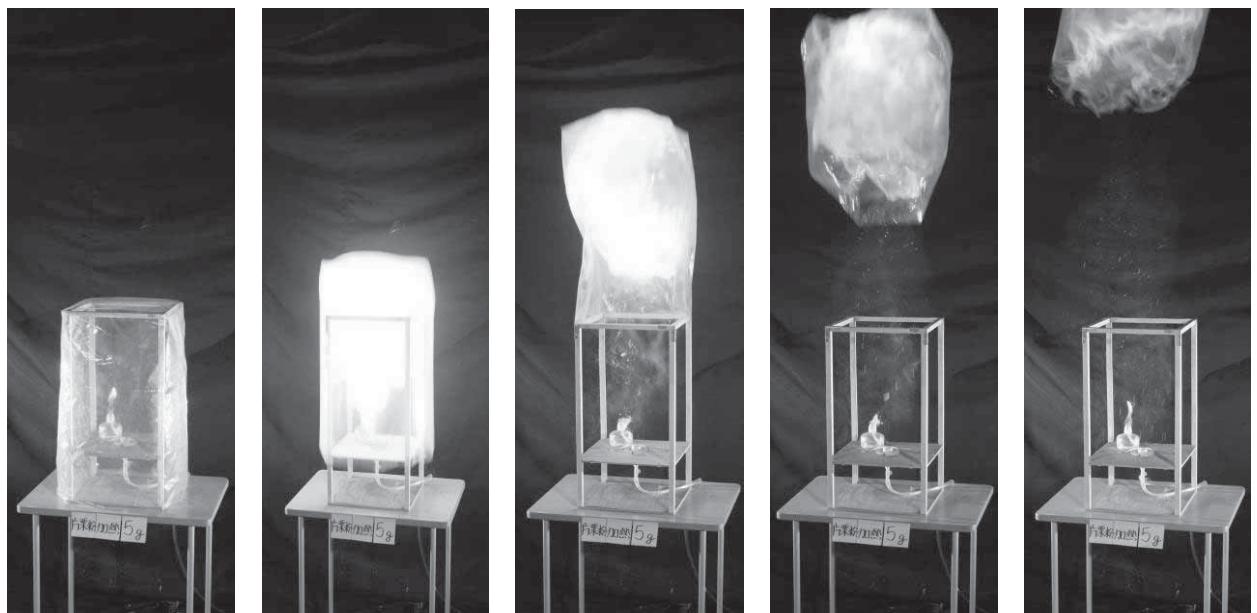


写真 16 加熱片栗粉 5 g アルコールランプ

加熱片栗粉 5 g を 110°C で 3.5 分加熱して実施した。

粉じん爆発が発生し、爆風によりポリエチレン製袋を装置上方 1,000mm 以上に上昇させ、吹き飛んだ。この間炎の燃焼は継続していた。

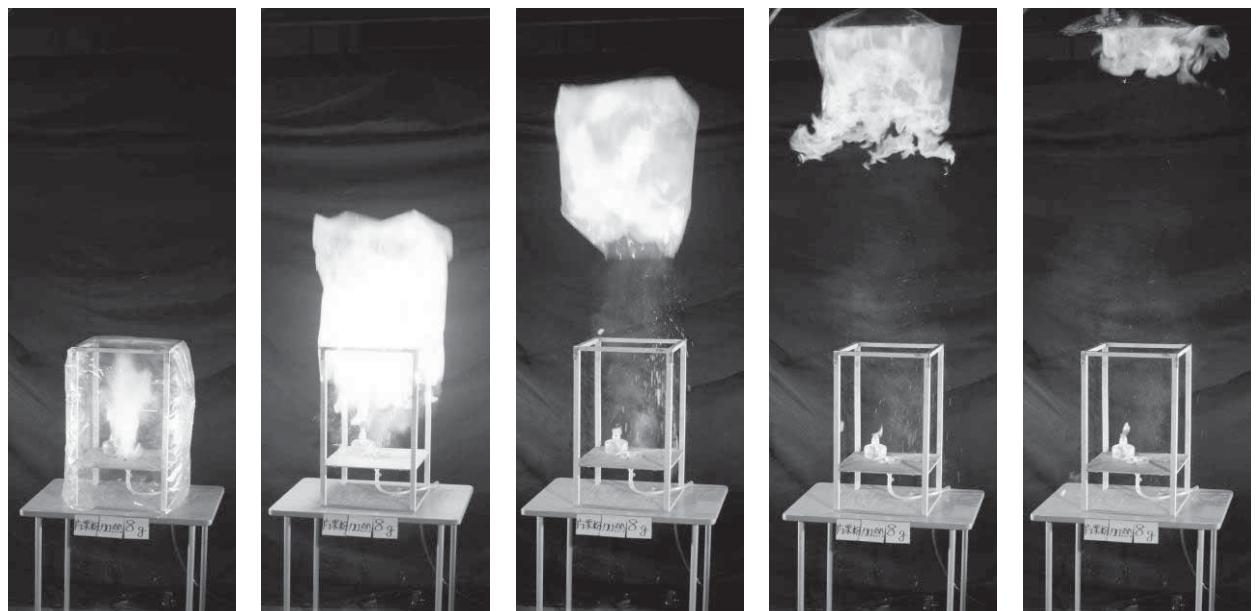


写真 17 加熱片栗粉 8 g アルコールランプ

加熱片栗粉 8 g を 110°C で 3.5 分加熱して実施した。

粉じん爆発が発生し、爆風によりポリエチレン製袋を装置上方 1,000mm 以上に上昇させ、吹き飛んだ。この間炎の燃焼は継続していた。

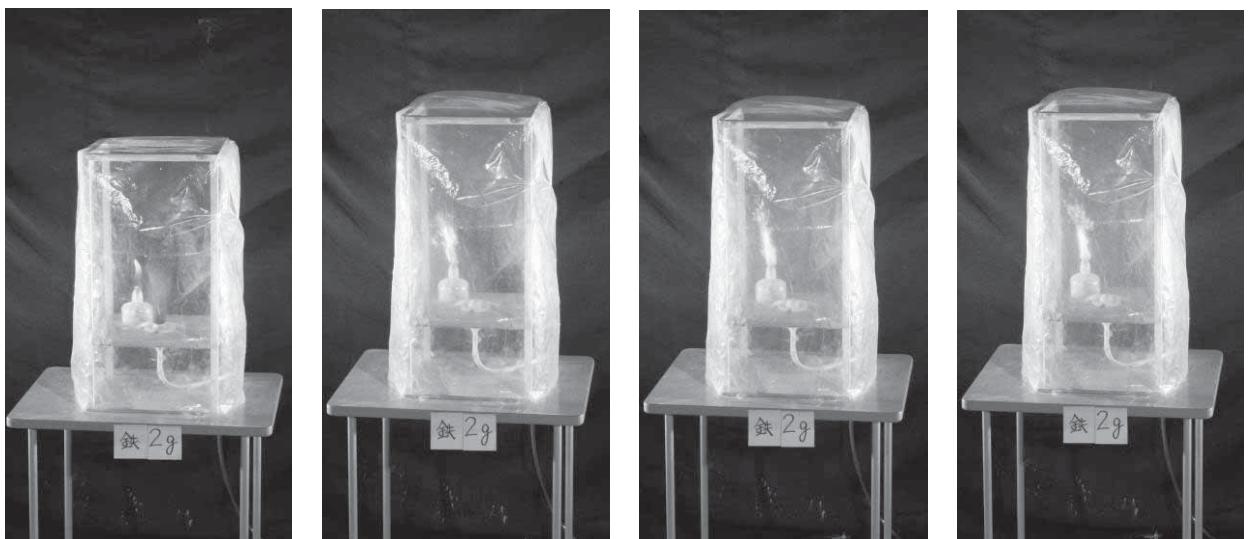


写真 18 鉄 2g アルコールランプ

鉄 2g 実験では、粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、鉄粉がパチパチとわずかに燃焼した。

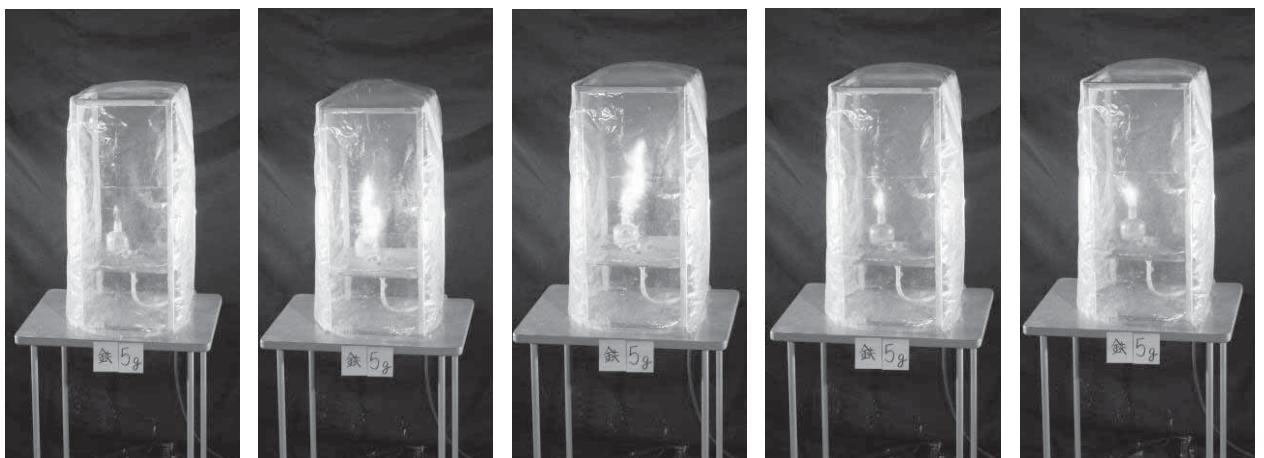


写真 19 鉄 5g アルコールランプ

鉄 5g 実験でも、粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、鉄粉が鉄 2g 実験より少し激しくパチパチと燃焼した。

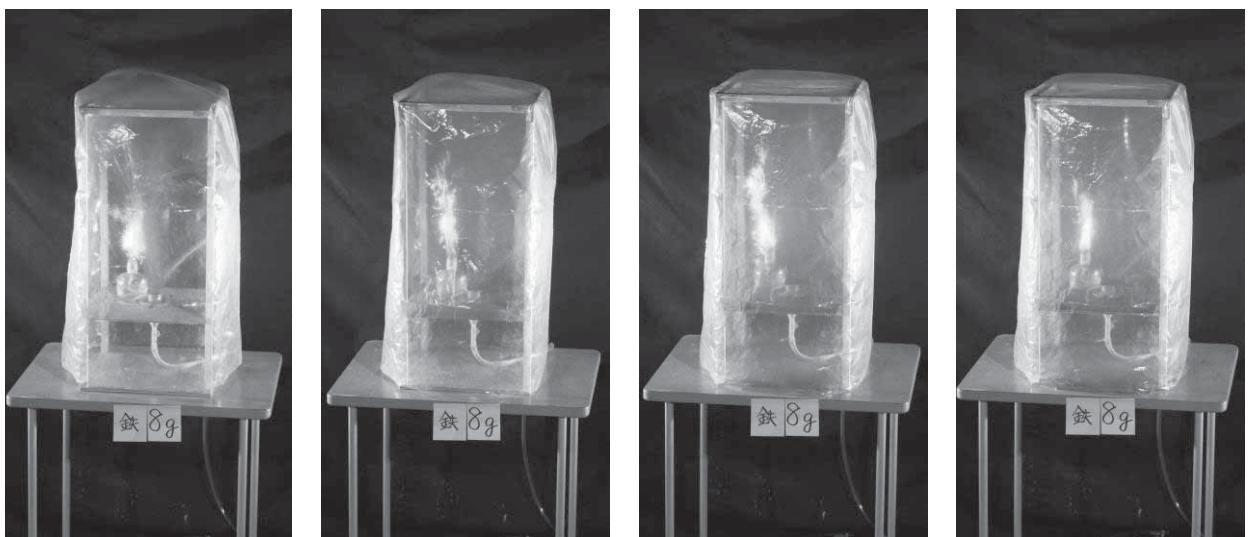


写真 20 鉄 8g アルコールランプ

鉄 8g 実験でも、鉄 5g 実験とほぼ同様に粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、鉄粉がパチパチと激しく燃焼した。

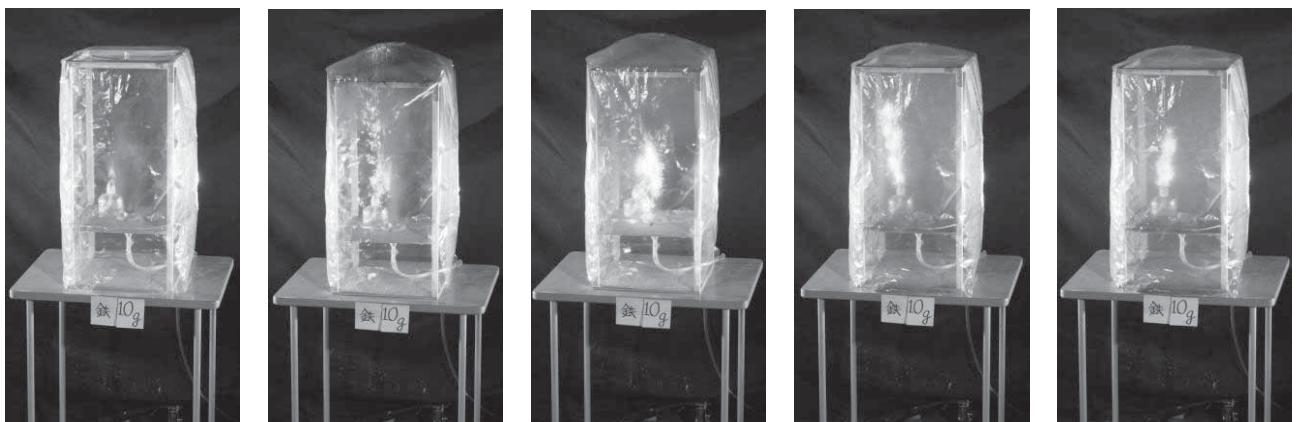


写真 21 鉄 10g アルコールランプ

鉄 10g 実験でも、鉄 5・8g 実験とほぼ同様に粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、鉄粉がパチパチと鉄の中では今まで以上に激しく燃焼した。

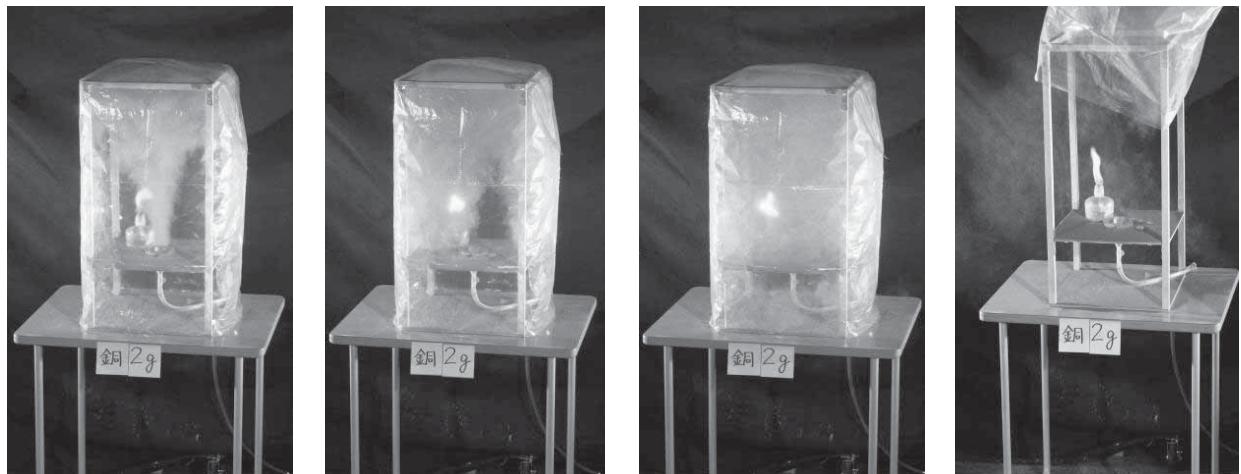


写真 22 銅 2 g アルコールランプ

銅 2 g 実験では、粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、アルコールランプの炎が炎色反応で緑色に燃焼した。

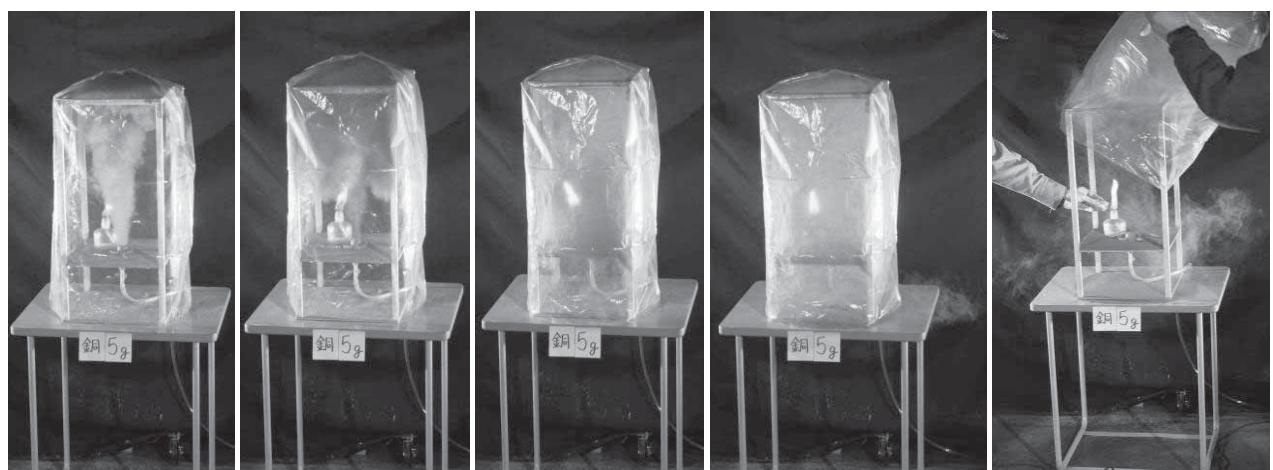


写真 23 銅 5 g アルコールランプ

銅 5 g 実験では、銅 2 g 実験と同様に粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、アルコールランプの炎が炎色反応で緑色に燃焼した。

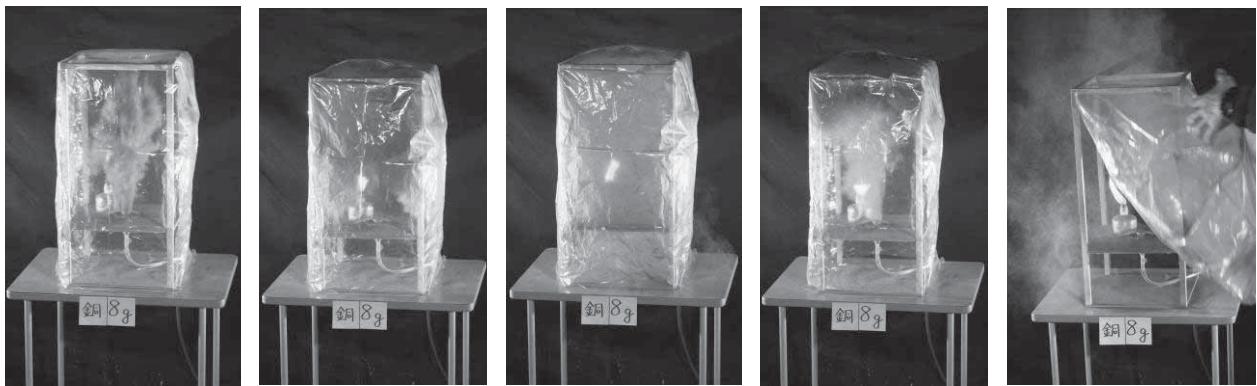


写真 24 銅 8g アルコールランプ

銅 8g 実験では、銅 2・5 g 実験と同様に粉じんは舞ったが、粉じん爆発は発生せず、アルコールランプの炎が炎色反応で緑色に燃焼した。

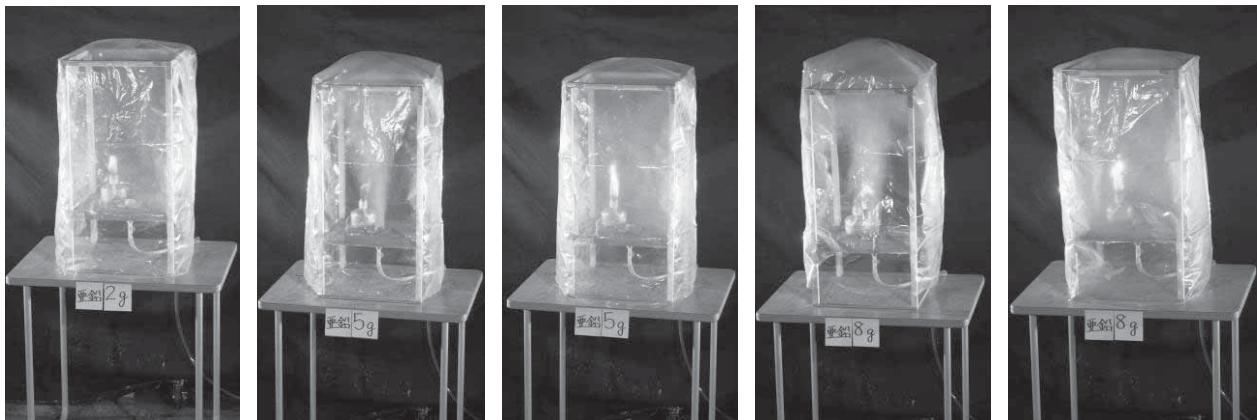


写真 25 亜鉛 2・5・8g アルコールランプ

亜鉛 2g 実験は、写真 25 の左側 1 枚目であり、粉じんの量も少なく粉じん爆発などの変化は見られなかった。

亜鉛 5g (写真 25 左から 2・3 枚目)・8g (写真 25 左から 4・5 枚目) の各実験についても粉じんが舞い上がり漂ったが、亜鉛 2g と同様に粉じん爆発などは発生しなかった。

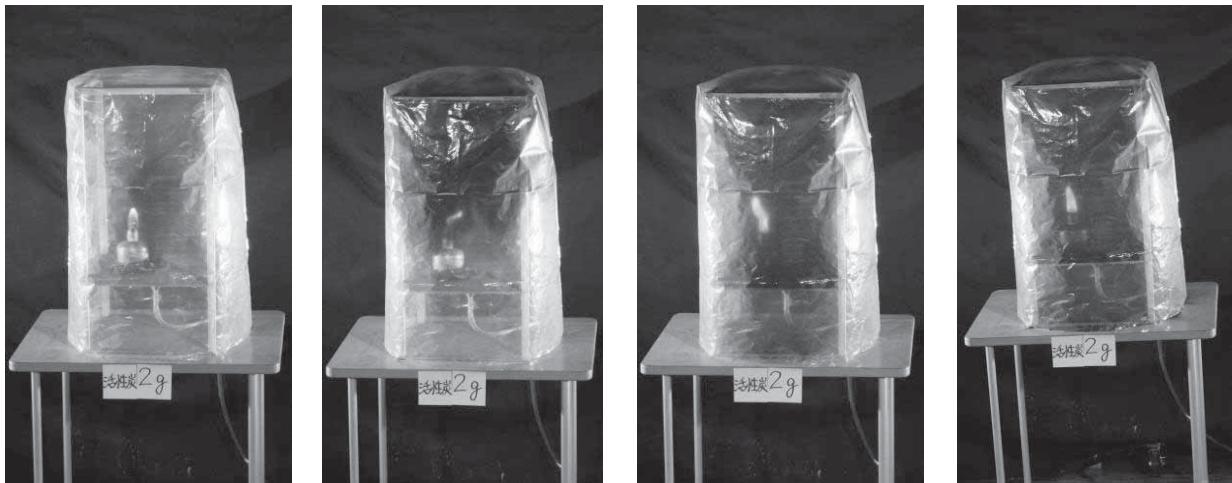


写真 26 活性炭 2g アルコールランプ

活性炭 2g 実験は、粉じんは舞い上がり、ポリエチレン製袋内に漂ったが、粉じん爆発は発生せず、変化は見られなかった。

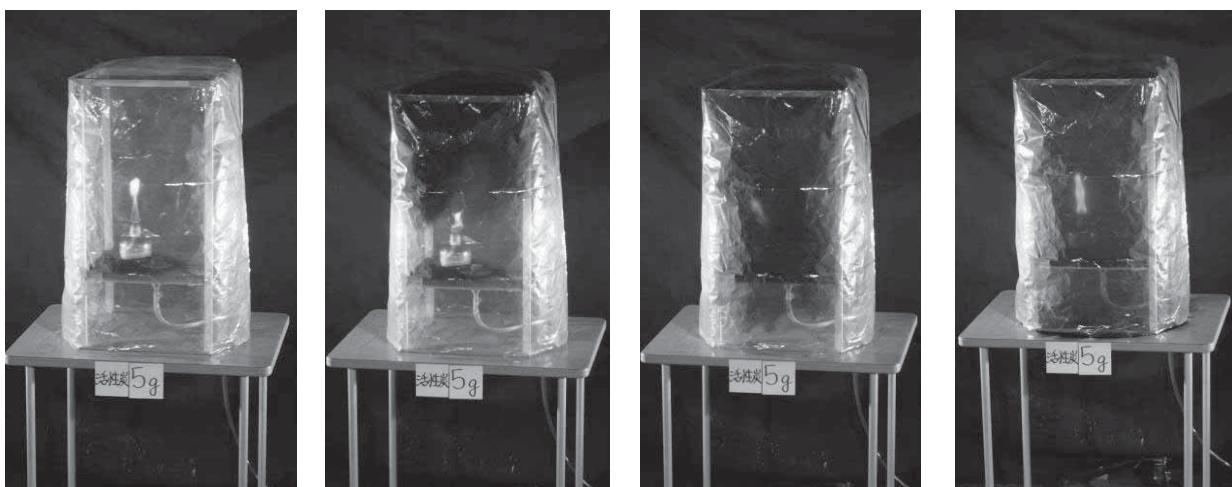


写真 27 活性炭 5g アルコールランプ

活性炭 5g 実験は、活性炭 2g 実験と同様に、粉じんは舞い上がり、ポリエチレン製袋内に漂ったが、粉じん爆発は発生せず、変化は見られなかった。

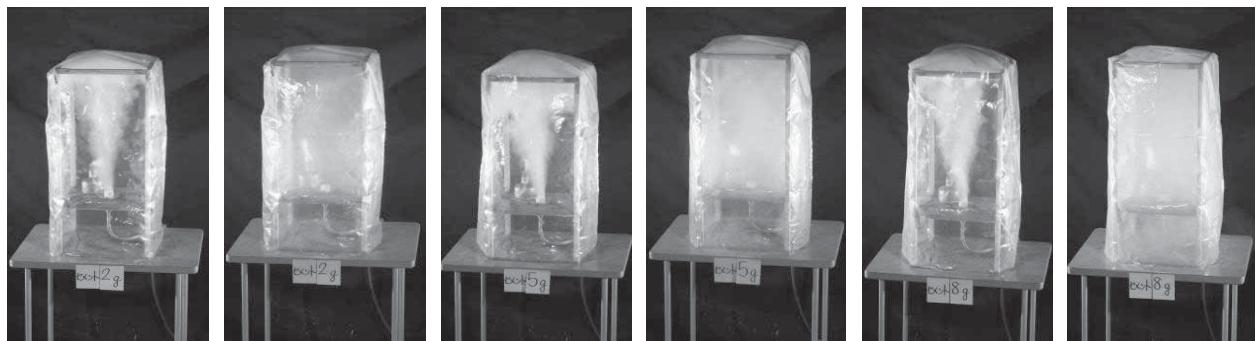


写真 28 セメント 2・5・8g アルコールランプ

セメント 2g (写真 28 の左側 1・2 枚目)・5g (写真 28 の左から 3・4 枚目)・8g (写真 28 の左から 5・6 枚目) 実験は、いずれの場合も粉じんは舞い上がり、漂ったが、粉じん爆発は発生せず、変化は見られなかった。

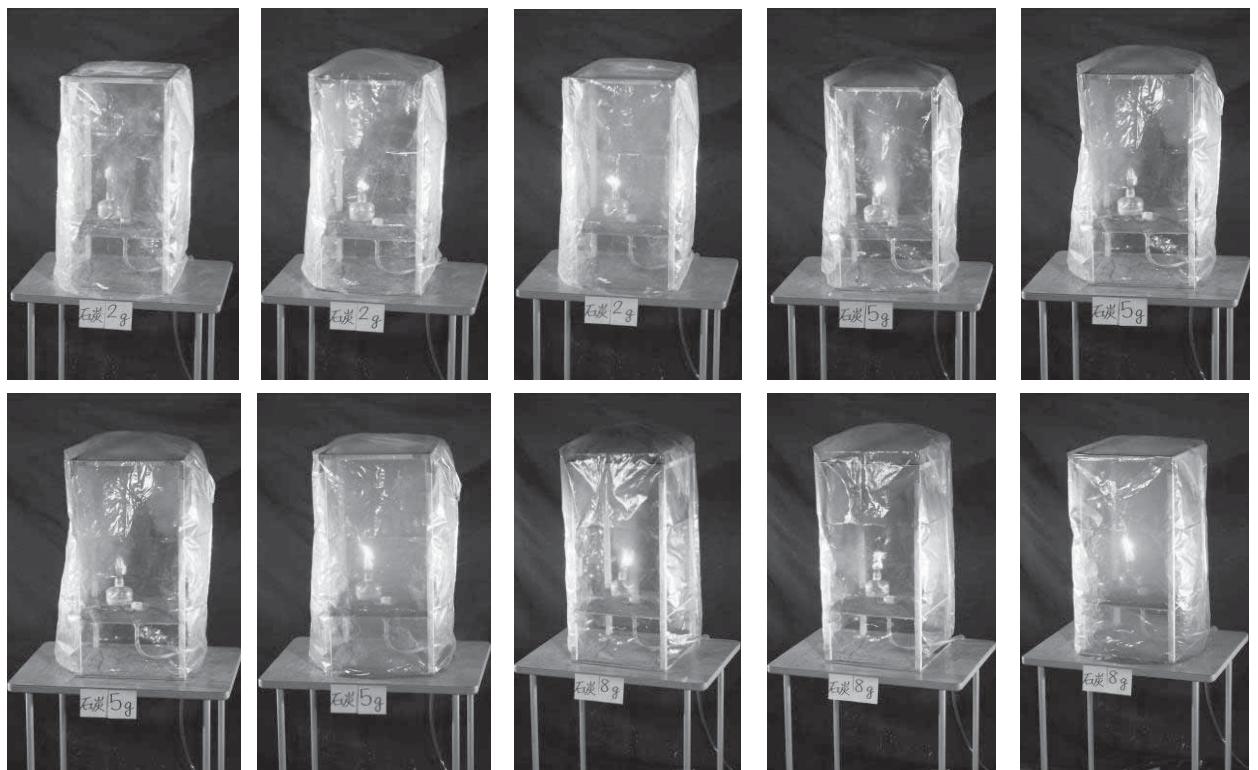


写真 29 石炭 2・5・8g アルコールランプ

石炭 2g (写真 29 上段の左から 1～3 枚目)・5g (写真 29 上段の左から 4・5 枚目、下段の左から 1・2 枚目)・8g (写真 29 下段の左から 3～5 枚目) 実験は、いずれの場合も粉じんは舞い上がり、漂ったが、粉じん爆発は発生せず、パチパチと小さな花火のような燃焼が発生した。

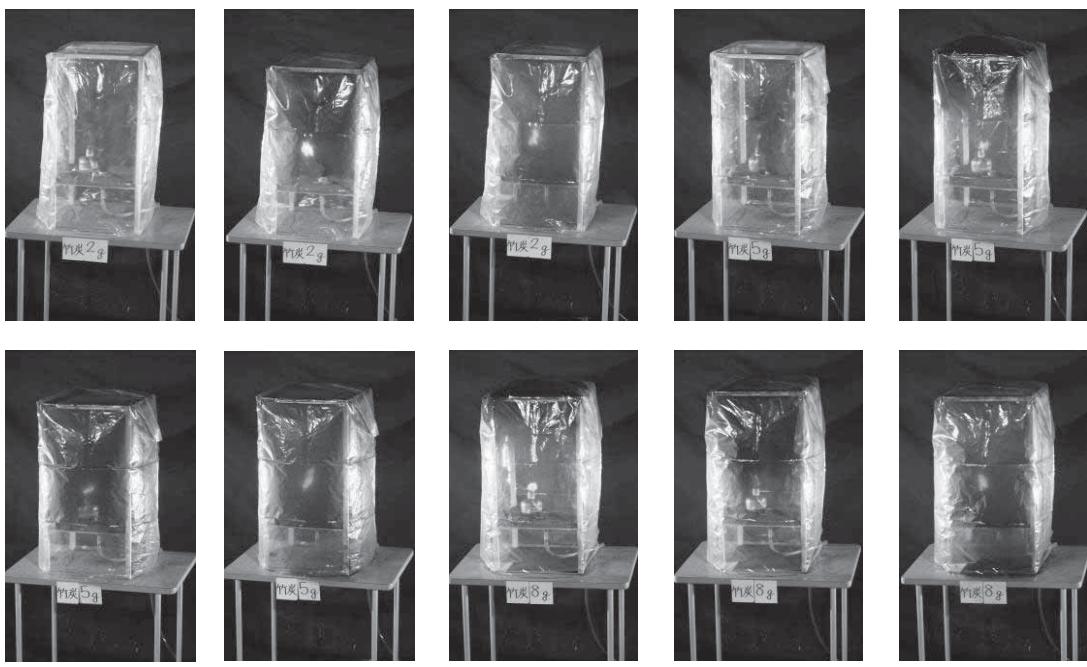


写真 30 竹炭 2・5・8g アルコールランプ

竹炭 2g (写真 30 上段の左から 1～3 枚目)・5g (写真 30 上段の左から 4・5 枚目、下段の左から 1・2 枚目)・8g (写真 30 下段の左から 3～5 枚目) 実験は、いずれの場合も粉じんは舞い上がり漂ったが、粉じん爆発は発生せず、アルコールランプの炎にもほとんど変化は見られなかつた。

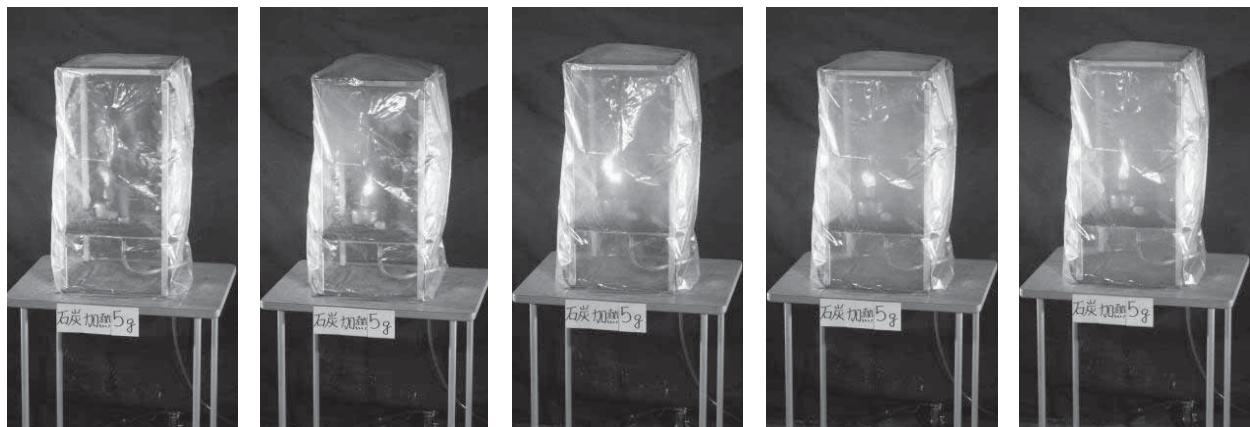


写真 31 加熱石炭 5g アルコールランプ

石炭 5g を 110°C で 5 分間加熱して実験を実施した。

加熱していない石炭と同様に粉じんは舞い上がり漂ったが、粉じん爆発は発生しなかつたが、パチパチと小さな花火のような燃焼が発生した。

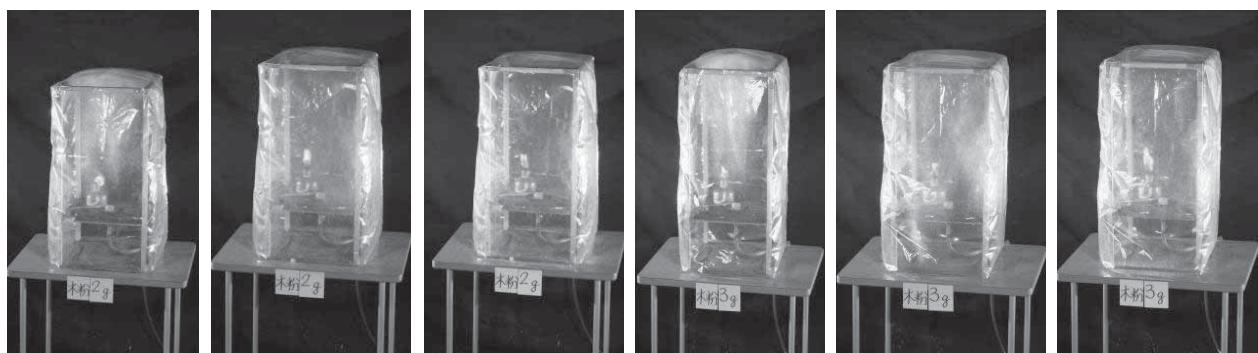


写真 32 木粉 2・3 g アルコールランプ

木粉 2 g (写真 32 の左から 1 ~ 3 枚目)・3 g (写真 32 の左から 4 ~ 6 枚目) 実験は、いずれの場合も粉じんは舞い上がり漂ったが、粉じん爆発は発生せず、アルコールランプの炎にもほとんど変化は見られなかった。

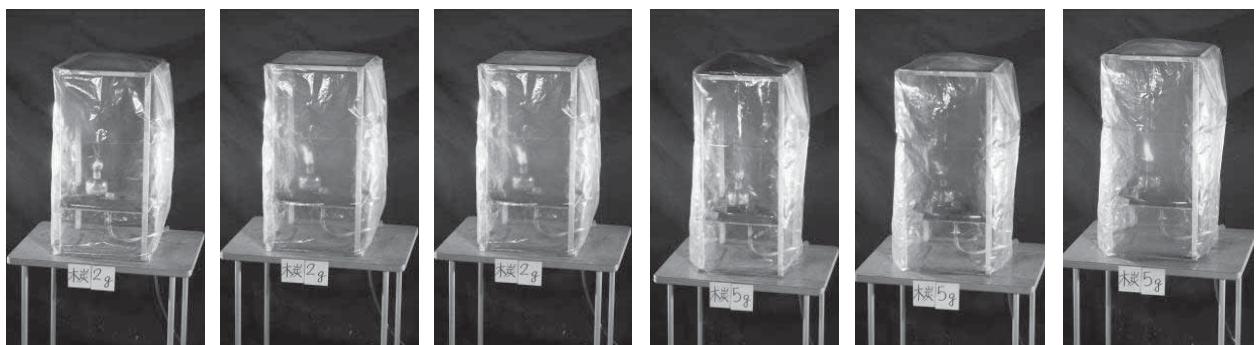


写真 33 木炭 2・5 g アルコールランプ

木炭 2 g (写真 33 の左から 1 ~ 3 枚目)・5 g (写真 33 の左から 4 ~ 6 枚目) 実験は、いずれの場合も粉じんは舞い上がり漂ったが、粉じん爆発は発生せず、パチパチと小さな花火のような燃焼が発生した。

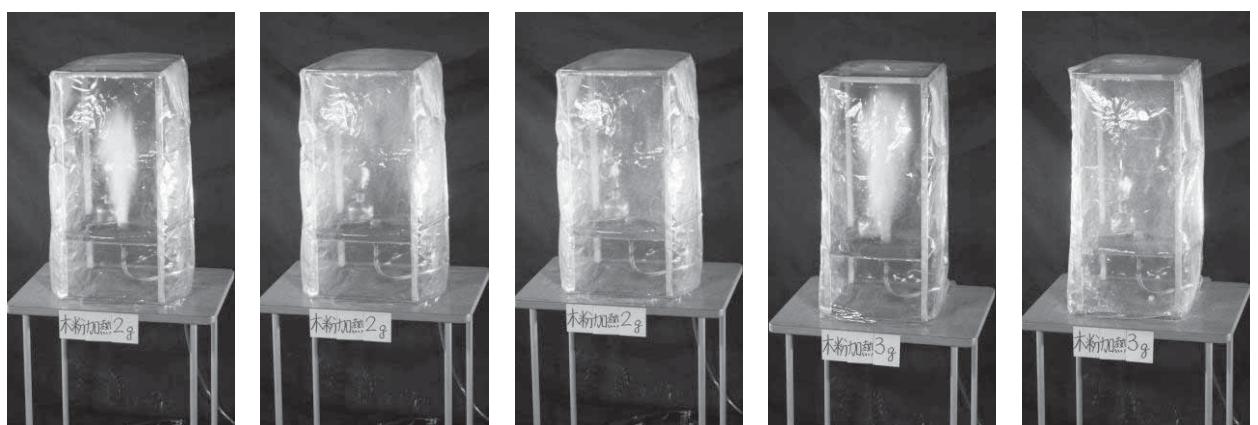


写真 34 加熱木粉 2・3 g アルコールランプ

加熱木粉 2 g (写真 34 の左から 1 ~ 3 枚目)・3 g (写真 34 の左から 4、5 枚目) 実験は、いずれの場合も粉じんは舞い上がり漂ったが、粉じん爆発は発生せず、パチパチと小さな花火のような燃焼が発生した。

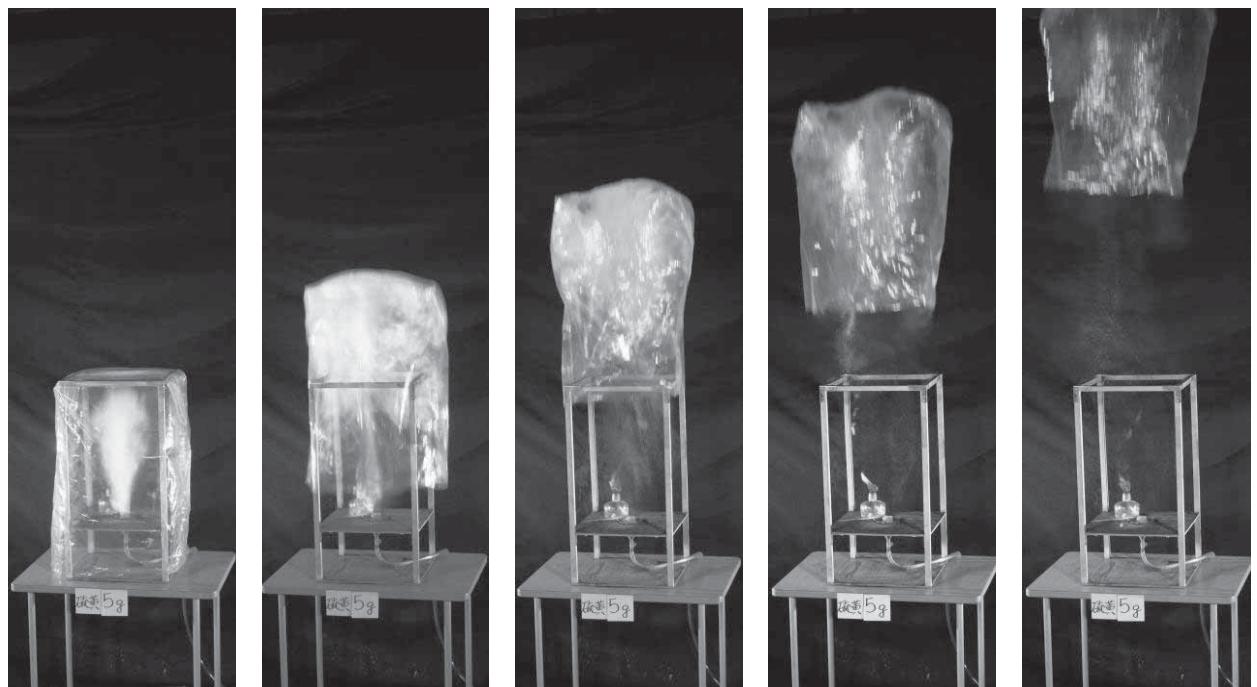


写真 35 硫黄 5 g アルコールランプ

硫黄 5 g 実験は、粉じん爆発が発生、炎は青色で、爆風によりポリエチレン製袋が装置の木枠以上の高さに上昇すると間もなく炎が終息した。

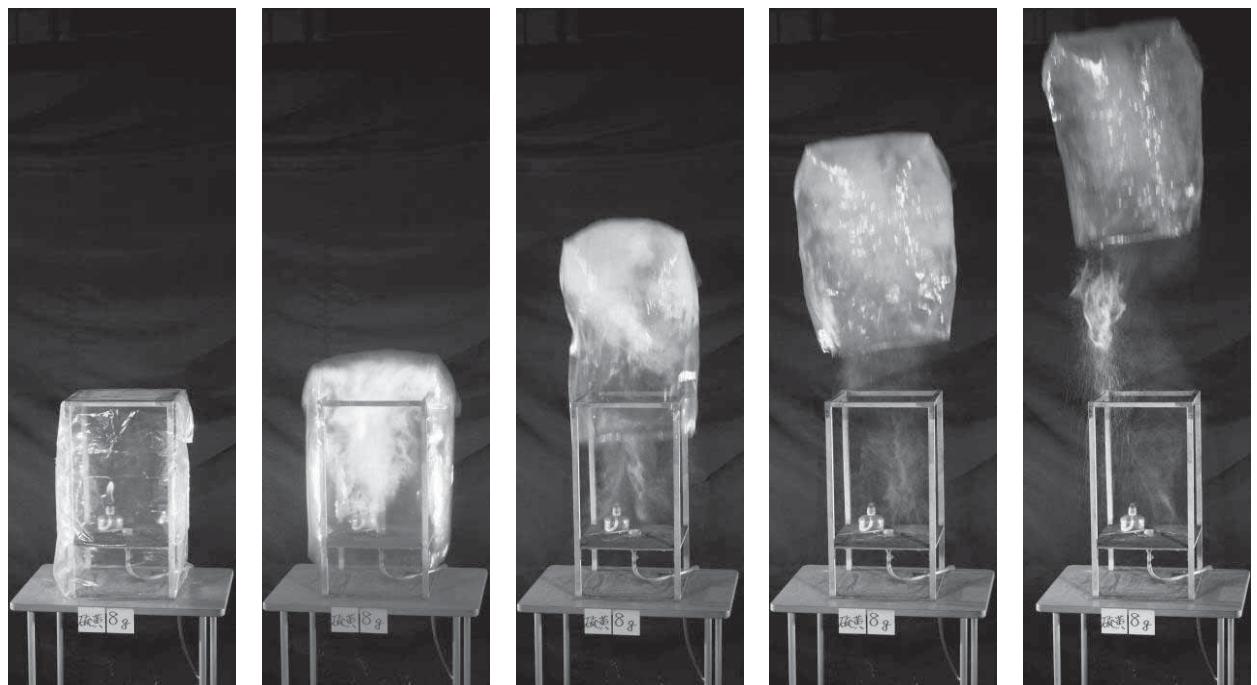


写真 36 硫黄 8 g アルコールランプ

硫黄 8 g 実験は、硫黄 5 g 実験と同様に粉じん爆発が発生、炎は青色で、爆風によりポリエチレン製袋が装置の木枠以上に上昇すると間もなく炎が終息した。

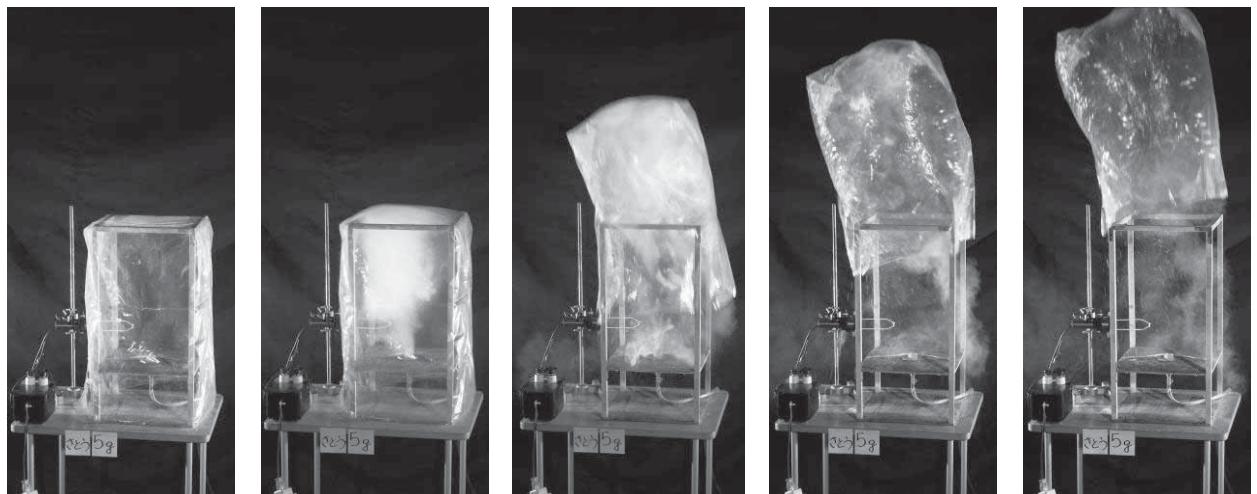


写真 37 粉砂糖 5 g 電極

粉砂糖 5 g 電極実験は、粉じんが上昇する場所に電極を設置し、スパークさせて実験を実施した。アルコールランプと同様に粉じん爆発が発生し、火源が電極とアルコールランプとの違いは見られなかった。爆風によりポリエチレン製袋が装置の上部付近まで吹き飛ばされた。

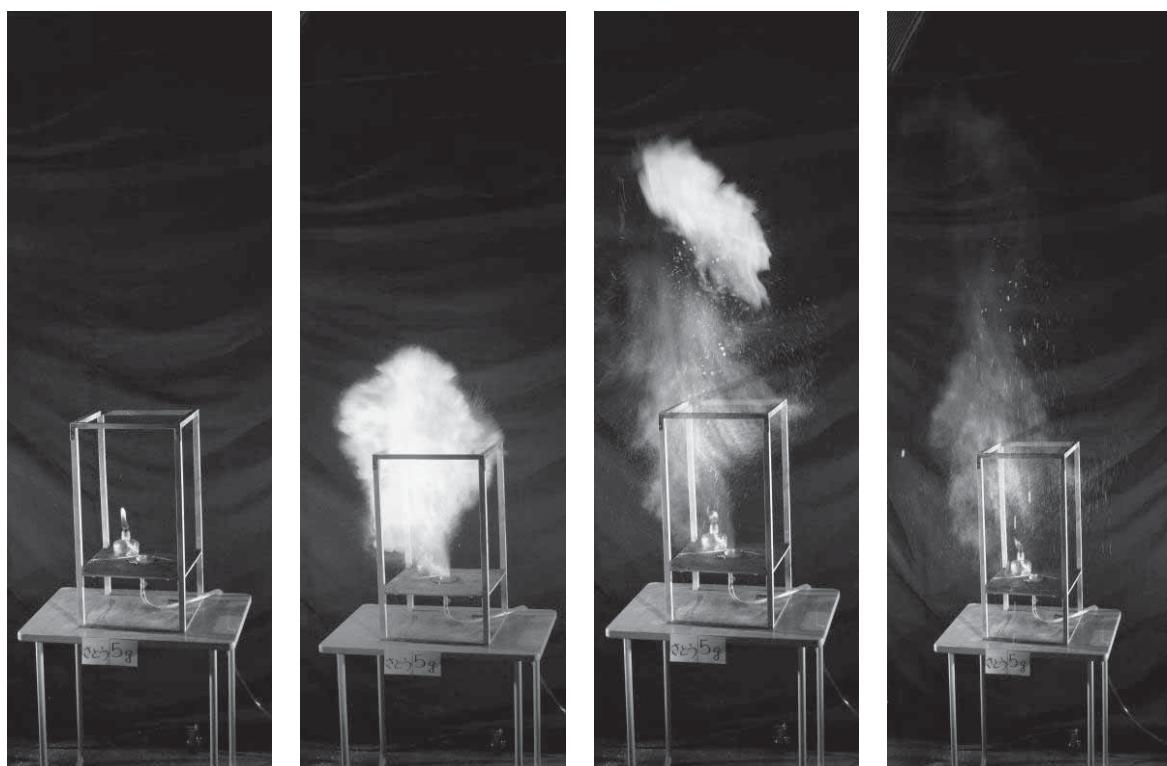


写真 38 粉砂糖 5 g 開放 アルコールランプ

粉砂糖 5 g でポリエチレン製袋を被せないで大気開放状態で火源をアルコールランプで実験を実施した。

最初に舞い上がった粉じんですぐに爆発し、爆発（燃焼）しきれなかった残りの粉じんはアルコールランプの炎付近にも舞い落ち漂ったが、最初の一回目の爆発以外、爆発等は発生しなかった。

粉じん爆発自体はポリエチレン製袋を被せた場合と比較しても、大きな変化は見られなかった。

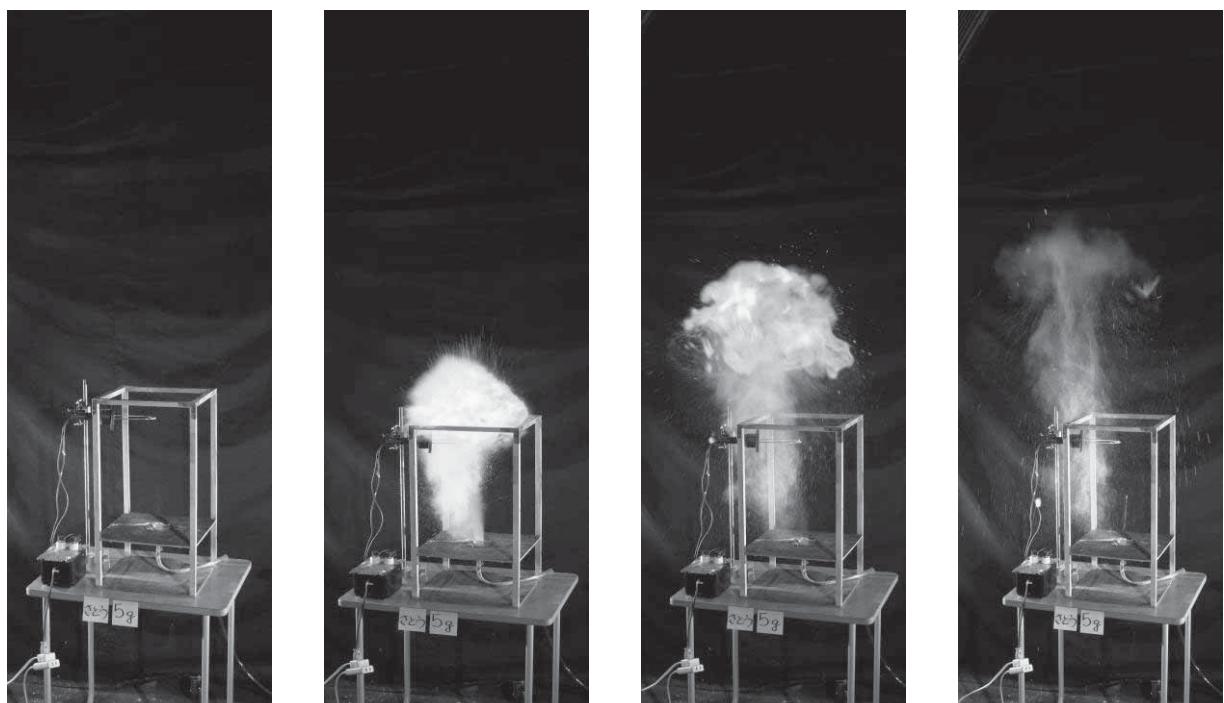


写真 39 粉砂糖 5 g 開放 電極

粉砂糖 5 g でポリエチレン製袋を被せないで大気開放状態で火源を電極で実験を実施した。

最初に舞い上がった粉じんですぐに爆発し、爆発（燃焼）しきれなかった残りの粉じんは電極付近を漂ったが、最初の一回目の爆発以外、爆発等は発生しなかった。

粉じん爆発自体はポリエチレン製袋を被せた場合と比較しても、大きな変化は見られなかった。

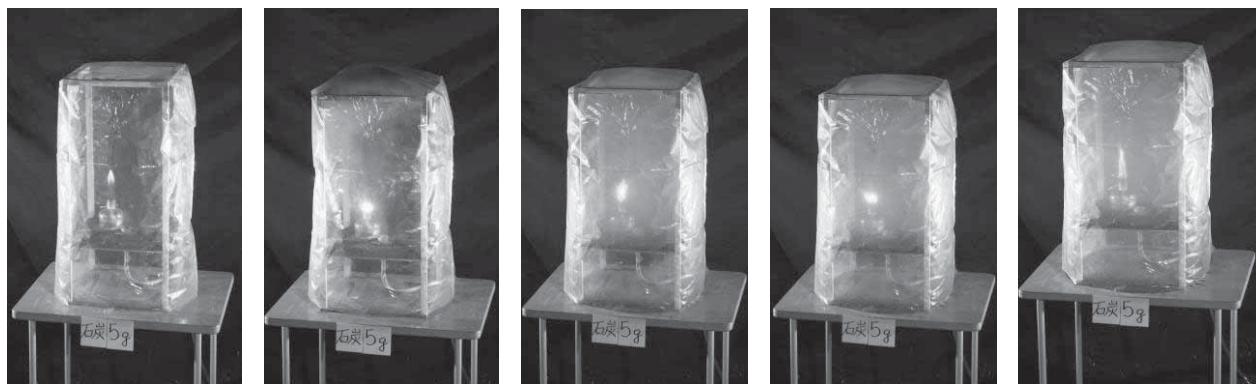


写真 40 石炭微粉末 5 g アルコールランプ

石炭粉末（写真 29 及び 31 参照）を、さらに細くするために金槌で碎き、それを、乳鉢に入れ、乳棒で細かく粉碎して作成した石炭微粉末 5 g を火源アルコールランプにて実験を実施した。

その結果、粉じん爆発は発生せず、パチパチと小さな花火のような燃焼が発生した。写真 29・31 の石炭粉末実験と比較しても変化は見られなかった。

表3 粉じん爆発実験結果

試料量	1 g	2 g	3 g	4 g	5 g	6 g	7 g	8 g	10 g	備 考	実験環境(屋外)		
											気温 °C	湿度 %	気圧 hPa
1 粉砂糖	×	○	○	○	○	○	○	○	○		1.8	43	1004.1
2 アルミニウム		×			○			×			6.4	61	1013.7
3 小麦粉		△			○			○	×		6.3	61	1013.6
4 片栗粉		×			×			×	×		6.5	62	1013.4
5 鉄		×			×			×	×	少しパチパチ	6.8	61	1013.3
6 片栗粉(加熱)					○			○		110°C 3.5 分	7.2	59	1013
7 銅		×			×			×		アルコールランプ炎 が緑	7.9	56	1012.6
8 垂鉛		×			×			×		5・8g アルコールラン プ炎が水色	7.8	57	1012.3
9 活性炭		×			×						7.4	58	1012
10 セメント		×			×			×			7.9	59	1011.3
11 石炭		×			×			×		少しパチパチ	7.9	59	1011.3
12 竹炭		×			×			×			8	59	1011.2
13 石炭(加熱)					×					110°C 5 分	8	60	1010.8
14 木粉		×	×								8.6	56	1010.6
15 木炭		×			×					少しパチパチ	8.6	56	1010.6
16 木粉(加熱)		×	×								9	54	1010.5
17 硫黄		○			○			○			9	54	1010.5
18 粉砂糖(電気)					○					火源電気放電のスパ ーク	8.4	62	1009.6
19 粉砂糖(アルコ ール)					○					ポリエチレン製袋なし	8.4	62	1009.6
20 粉砂糖(電気)					○					ポリエチレン製袋なし	8.1	64	1009.5
21 石炭(微粉末)					×					少しパチパチ	7.7	68	1009.4

※ 気温、温度、気圧については札幌管区気象台の観測値とした。

8 粉じん爆発実験結果のまとめ

表3が実験結果であり、爆発が発生した試料のうち、粉砂糖は1gでは爆発せず（小規模な燃焼のみが発生）、2gから爆発し始め、2～5gまでは重量の増加ごとに炎が大きくなつたが、5gを超すと炎の大きさは殆ど変化せず、逆に爆発（燃焼）しきれずに残ってしまう粉砂糖が増加した。これは、実験装置内（ポリエチレン製袋内部）にすべての粉砂糖を燃焼させるために必要な酸素量が不足したことと、粉砂糖の重量及び容積が増加したことにより、この空気圧では、これらの粉砂糖すべてを舞い上がらせることが出来なかつたことなどが原因と考えられる。

アルミニウム5gは激しく爆発して白煙（酸化アルミニウムの気体）を発生させたが、アルミニウム2g及び8gでは爆発しなかつた。また、鉄、銅及び亜鉛はアルコールランプの炎の周囲で、火の粉がちらつく程度で爆発しなかつた。なお、銅及び亜鉛の場合、アルコールランプの炎は炎色反応が見られた。

硫黄は爆発したが、粉砂糖ほどの威力は見られなかつた。これは、硫黄の粉末は微粒子であるが、すぐに塊になつてしまふためであり、硫黄粉末が装置の中で漂う様子は殆ど確認できなかつた。

小麦粉は常温で爆発したが、片栗粉は常温では爆発せず、片栗粉を乾燥させて水分を除去すると小麦粉以上に爆発した。これは、同じ澱粉質でありながら、片栗粉の方が小麦粉より粒子は細かいが、製造方法の違いにより片栗粉は小麦粉より水分を多く含んでいるため、加熱することで、爆発し易くなるためと考えられる。

セメントは着火せず、アルコールランプの炎の変化も確認できなかつた。

炭素系物質である活性炭、竹炭、石炭及び木炭は、いずれも爆発せず、石炭と木炭がアルコールランプの炎の周囲で火の粉がちらつくだけであった。

また、石炭を乳鉢で粉碎し、さらに細かい粉末状態にして60℃の恒温槽で約3時間乾燥させ、同様の実験を実施したが爆発しなかつた。

以上、これらの実験結果から常温では粉砂糖が最も爆発し易く、小麦粉がこれに続いた。

表2の各試料の性状を確認すると、今回の実験結果において、鉄、銅及び炭素製品が爆発しなかつたのは、融点が高いため着火しにくいことと、燃焼熱が小さいため、炎が燃え広がりにくいこと、また、亜鉛、鉄及び銅は密度が大きいので空気中に漂いにくいことなども原因のひとつとして考えられる。

また、アルミニウムは、他の試料と比較して融点が低く、燃焼熱が大きいことから爆発し易いと考えられる。

硫黄は密度も小さく、融点も低いため着火し易いが、燃焼熱が小さいため、燃焼現象が拡大しにくいので着火しなかつたと考えられる。

9 考察

粉じん爆発の発生原理は可燃性ガス爆発と同じであり、可燃性物質（粉じん）が空気（酸素）と混合した状態で滞留し、何らかの火源により着火することにより粉じん爆発が発生する。

平成8年に道内の某市で発生した木製家具製造工場火災では、燃焼した木くず集塵庫の消火作業中、この集塵庫内で爆発的燃焼が発生、開口部から火炎が急激に噴出し、消防職員数名が負傷する事案が発生している。

この火災は集塵庫内に木くずの粉じんが滞留したところに、開口部から空気（酸素）が流入し、何らかの火源により爆発したものと推定されたものであり、このような火災発生時には、粉じん等が室内に充満しているおそれがあるが、これを測定機器等で測定することは不可能であり、このため粉じん爆発等の前兆を事前に把握することは非常に困難なことから、開口部開放等の粉じん爆発を誘発する恐れのあることには注意を払うなどの安全対策が必要である。

粉じん爆発は乾燥状態の雰囲気中で発生しやすいことから、粉じん爆発を防ぎ、また、粉じんが浮遊しやすい環境にしないためには、適度な湿気が必要であり、このためには、十分な噴霧注水が有効であるが、粉じんを空気中に拡散させないことも大事であり、堆積した粉体に対しては必要以上の攪拌等（放水等）を行なわないことも考慮しなければならない。

さらに、粉じん爆発は、可燃性ガスの燃焼と比較すると、不完全燃焼を起こし易いため、一酸化炭素が多く発生する可能性があり、この一酸化炭素による危険性も考慮しなければならない。

また、防ぎよ活動においては防火帽しころやシールドによる肌露出部保護は徹底する必要がある。

なお、今回の実験で粉じん爆発が発生しなかった物質についても、その粒子の状態や雰囲気の状況、着火源など条件によっては、爆発する可能性は否定できないことから、現場では十分注意して活動することが求められ、粉じん爆発に関する知識・情報との確な現場把握を行なうことでの粉じん爆発の危険性を排除した現場活動が可能であると考えられる。

なお、本実験にあたり中央消防署特別高度救助隊の皆様から多大な協力を頂いたことに深謝し、この結果が安全な現場活動の一助になれば幸いである。

平成 20 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

札幌市消防科学研究所 吉永 直樹

平成 20 年度の札幌市消防職員提案は、斬新で様々に工夫を凝らした全 25 件の提案を受理いたしました。厳正な審査の結果、秀賞 7 件及び努力賞 18 件という結果となり、秀賞に輝いた提案者 7 名に対し、3 月 10 日、消防局長より表彰状が授与されております。

この度、秀賞を受賞した提案についてその概要を紹介いたします。

1 バスケットストレッチャーの車載について（秀賞）

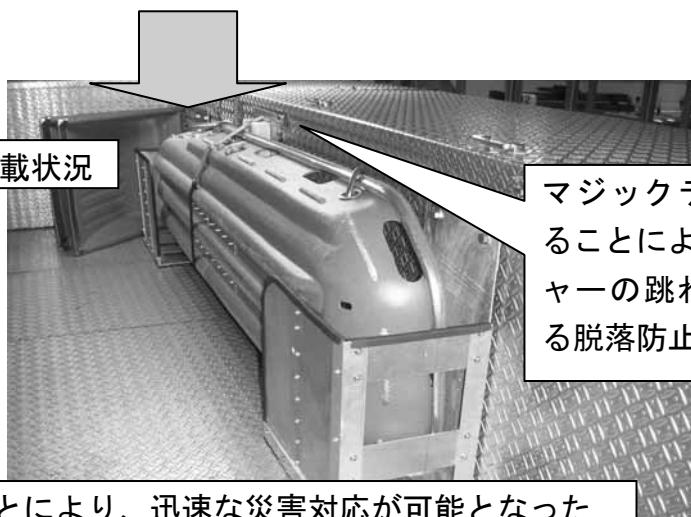
バスケットストレッチャー収納フレームを作成し、手稲特別救助車に常時積載可能にした。

フレーム作成前の積載状況



バスケットストレッチャーを車載する架装がなく、山岳救助出動事案等が発生した場合に、ロープで三連梯子に固定しなければならなかった。

フレーム作成後の積載状況



マジックテープで固定することにより、ストレッチャーの跳ね上がり等による脱落防止を図った

常に車載することにより、迅速な災害対応が可能となった

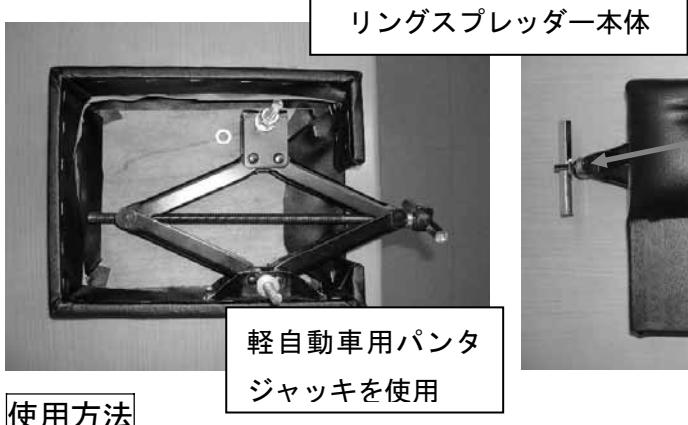
2 リングスプレッダーの考案について（秀賞）

リングカッターによる指輪切断後における指輪の拡張作業を行う際に、安全かつ容易に指輪の拡張ができるリングスプレッダーを使用する方法を提案した。

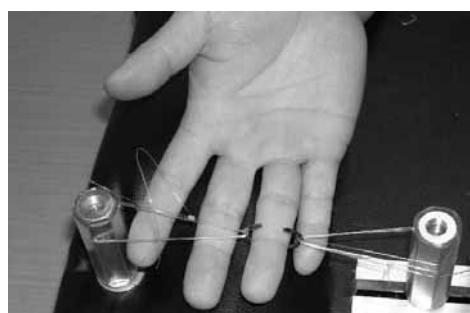
従来の方法



指輪切断後の拡張作業は、ワイヤー及びテグスを使用し、人力で指輪を拡張しているところであり、両手で引き拡げる為に強度の力を必要とし、非常に不安定であること。また、引く際にテグスが切れた場合、その反作用により怪我をする危険性があり、市民に苦痛・不安をあたえてしまう恐れがある。



使用方法



- ① リングカッターで切断後、リングにテグスを通して、ハンドルを回す。

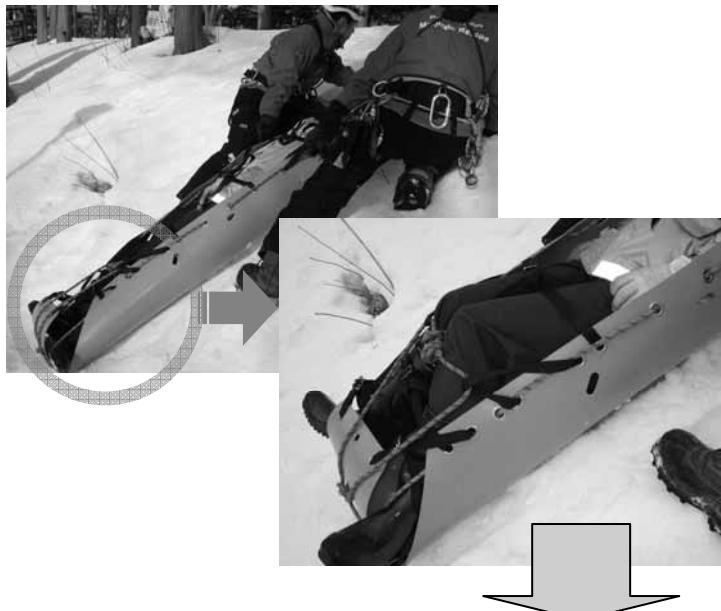
- ② ハンドルを回してリングを拡げる

ジャッキの原理を利用し、リングを均等に拡張することで、従来の方法と比較しても市民に苦痛・不安をあたえることなく、作業が可能となった。また、使用方法が簡単で、省力化により一人でも切断からの操作が容易である。

3 スケッドストレッチャー滑り止めシート（秀賞）

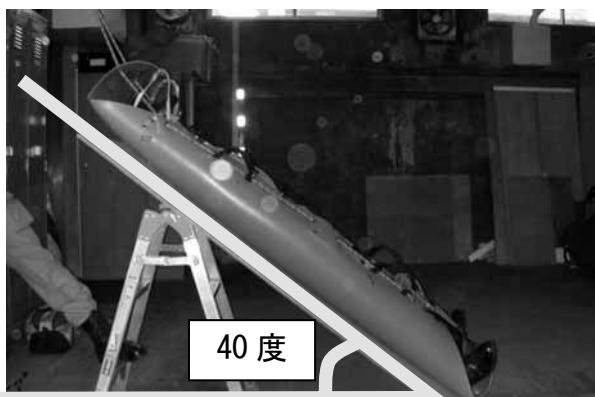
山岳救助活動において、要救助者を搬送するために活用している担架「スケッドストレッチャー」について、要救助者を縛着することなく、ずれ滑ることのない「滑り止めネットシート」の活用を提案した。

要救助者を収容し傾斜した場合



要救助者は湾曲されたスケッドストレッチャーに体が包まれているので、抜け落ちることは無いが、傾斜するとスケッドストレッチャーの中で負傷者の体が滑りズレ下がる。

滑り止めシートの効果



- ・ 担架が40度程度傾斜しても要救助者は全く滑ることなく安定
- ・ 体感的にも非常に安定し違和感もない
- ・ 毛布で保温したときも同様
- ・ 設定は容易である
- ・ 低価格でありながら効果大！

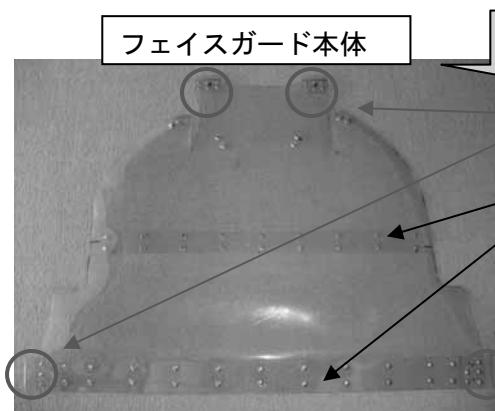
4 バスケット担架用フェイスガードの考案について（秀賞）

山岳救助活動において、登山道からの滑落等により負傷した要救助者をバスケット担架に収容し、救出又は搬送する際に、要救助者の顔や頭部を、笹や木の枝、雪等から有効に保護するフェイスガードについて提案した。

山岳救助出動時、バスケット担架を使用して救助活動する場合・・・



救出・搬送時は、要救助者の顔や頭部を効果的に保護する事で不安感や恐怖感を取り除く事が必要である



バスケット担架と一緒に携行することが可能



フェイスガードの効果



材質が透明なため視界が良く、要救助者に対して圧迫感が少なく、逆に救助者側からは、要救助者の状況を確認できる。

5 「ネット式簡易担架」の製作について（秀賞）

浴槽内で発生した傷病者を迅速かつ安全に搬出するためネット式の簡易担架を製作した。



浴室や浴槽で傷病者が発生した場合、広い場所への移動が必要



- ①安全・迅速に搬出できる。
- ②傷病者・救助者ともに負担がからない。
ということを大前提にして、さらに、
- ③軽量・コンパクトで持ち運びが容易、④水中でも使用が容易
- ⑤短時間で設定可能、⑥材料が簡単に入手でき、リーズナブル
- ⑦製作が簡単、というコンセプトで検討し、試作。

実際の使用例



- ・浴槽内に湯が残っていても使用可能で簡単に設定できる
- ・担架型式なので徒手搬出より安全で迅速に移動でき隊員の負担も軽減できる
- ・吐物、汚物等で身体が汚染されていてもネット担架に載せたまま全身の洗浄が可能で、隊員の汚染防止にも有効である
- ・心肺停止の場合その間に胸骨圧迫を開始できる

6 署隊本部運用時の情報管理について（秀賞）

署隊本部運用に際し、円滑な指揮、情報活動が行えるよう考察した結果、まず情報処理に関し重点をおき、汎用オフィスソフト（エクセル）を使用して、「災害管理表」「動態表示盤」を作成し、少ない人員での情報管理を可能としたもの。



非常警備体制等が発令され署隊本部を運用する場合に、災害情報を一覧表示しリアルタイムに状況を把握するには、時間と人員を必要とし、特に初動時（非常召集職員参集までの間）においては署隊本部要員も限られた人員で対応しなくてはならない。



少ない人員で運用が可能

画面を見るだけで、状況を把握できる

・短時間で情報を整理できる

・情報の共有化が用意

・リアルタイムで災害状況の把握が可能

・自動集計結果を常に確認出来る

出動隊名	出動時間	実況現場	署隊本部発令後 対応事案一覧
北野1	11:10	北野2-5	25 32 35 37
清田5	26	真空2-4	1 5 18 26
北野5	23	平岡2-3	4 12 23
清田50	28	北野7-4	8 22 28
清田2	39	岸野西2-2	1 7 14 25 32 39
清田6	31	平岡2-5	5 12 15 23 31
清田7	27	北野4-5	3 16 27
北野2	37	北野5-2	4 8 13 28 37
里塚2	35	北野7-3	2 10 18 35
北野22	38	北野7-2	17 28 38
里塚60	32	北野1-1	5-2
清田1B	33	美しが丘4-4	20 29
清田分団A	19	清田2-2	7 19
清田分団B	24	真空4-5	11 24
清田分団C	21	平岡2-5	10 21
平岡分団A	32		
平岡分団C	32		
北野分団A	28		
北野分団B	30	北野4-9	13 30
北野分団C	29	里塚2-2	2 12 29
里塚分団A	22	里塚5-5	6 22
里塚分団C	27	美しが丘4-5	27

災害管理表

・情報を一括管理するため

確実な情報集約が可能

・処理件数の限界は無く、

多事案を処理できる

消防部隊を適切に出動させることができる

出動	出向	転戦可	待機
清田1	11:10		
清田5			
北野5			
清田50			
清田2			
清田6			
清田7			
北野2			
里塚2			
北野22			
里塚60			
清田1B			
清田分団A			
清田分団B			
清田分団C			
平岡分団A			
平岡分団C			
北野分団A			
北野分団B			
北野分団C			
里塚分団A			
里塚分団B			
里塚分団C			

動態表示板

非常用車両、消防団を含めた動

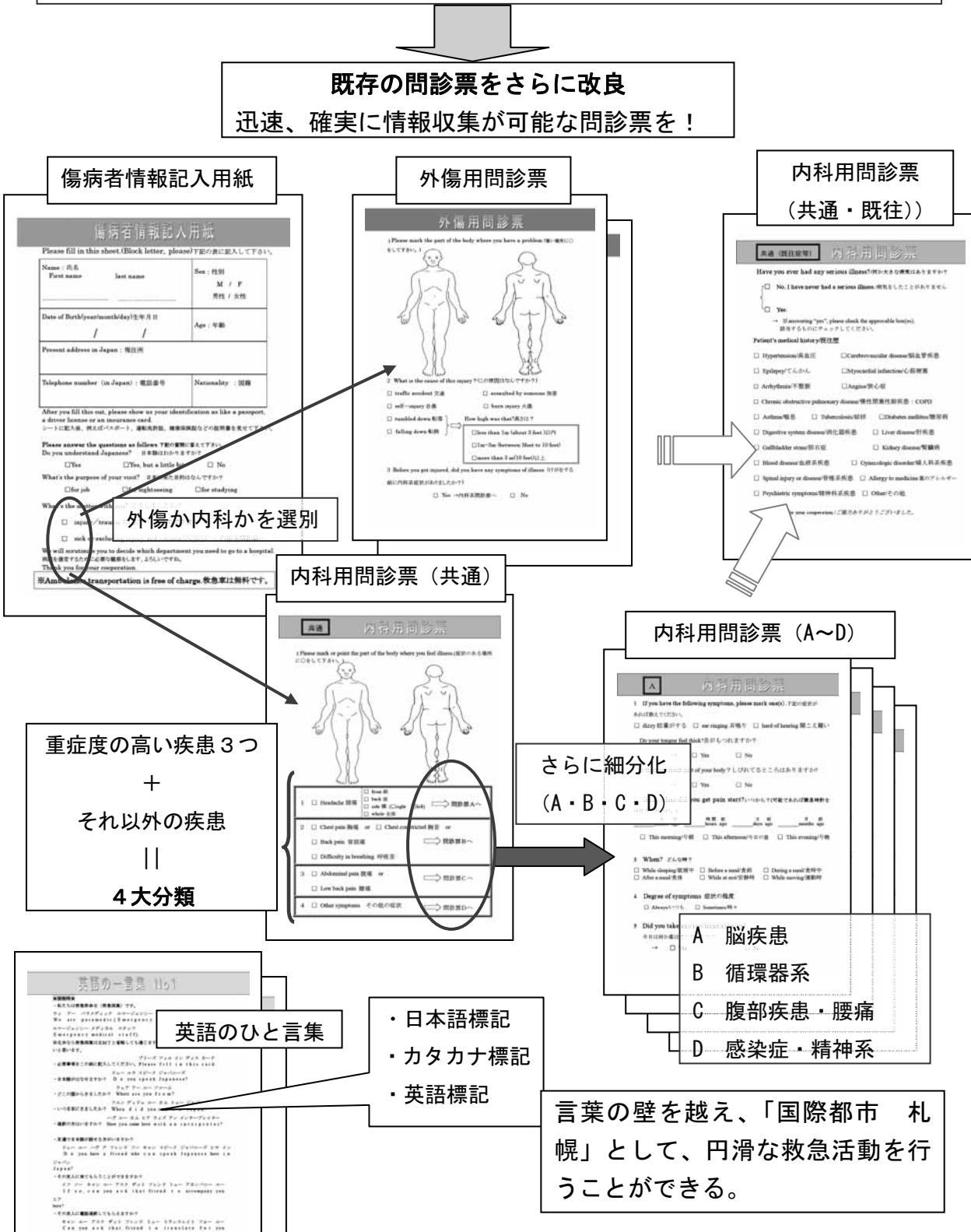
態を常に確認できる

署隊本部を少人数で運用が可能であり、情報の把握、集約、共有に優れる。また、経済性や利便性に優れ、環境にもやさしいなどの利点がある。

7 外国人（英語）向けの救急活動用問診票（秀賞）

英語圏外国人傷病者対応事案において、より円滑な救急活動を行うために、既存の英語用問診票を基に改善を加え、問診票等を作成した。

札幌市は、国際都市として年間約50万人の他国からの来訪者を迎えており、市内には外国人登録者及び留学者が約1万人で、ともに増加傾向である。外国人救急対応事案についても増加が予想される。



研究実績表

研究実績表

年 度	所報 N o	分 野	研 究 テ 一 マ	担当者	件数
平成 5 年 度	No. 1	燃 烧	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 烧	バックドロフトに関する研究（その1） 木炭の燃焼に伴う一酸化炭素の発生について	小島 秀吉	6
		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 P F CH ₃ 〕の特性について 火災現場における有毒ガスの発生とその毒性について	橋上 勉 桜井 清明	
		燃 烧	バックドロフトに関する研究（その2） 防火衣の保温性能に関する実験結果について	小島 秀吉 伊藤 潤	
平成 7 年 度	No. 3	開 発	赤外線カメラの使用時に発生した特異現象について 低温下における空気呼吸器の特性について	伊藤 潤	5
		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	
		燃 烧	バックドロフトに関する研究（その3） タオル・ハンカチの除煙効果に関する実験研究 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 アクリル樹脂について	伊藤 潤	
平成 8 年 度	No. 4	鑑 定	車両火災における原因考察について	橋上 勉	9
		情 報	酸素欠乏について 都市ガス等の性質について 航空燃料と化学熱傷について	橋上 勉 伊藤 潤 橋上 勉	
		燃 烧	硬質発砲ウレタンとABS樹脂について 放水音・空気呼吸器警報音・レスクトーン警報音調査	上田 孝志 菅原 法之	
		開 発	バックドロフトに関する研究（その4） 噴霧ノズルの角度について 噴霧注水による排煙効果について	小島 秀吉 菅原 法之 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	
平成 9 年 度	No. 5	燃 烧	空中消火の延焼阻止効果に関する研究 バックドロフトに関する研究（その5） 市民等の消防体験訓練に使用する燃料の見直しについて	上田 孝志 橋本 好弘 橋上 勉	7
		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） 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 10 年 度	No. 6				8

年 度	所報 N o	分 野	研 究 テ 一 マ	担当者	件数
平成 11 年度	No. 7	燃 烧	バックドロフトに関する研究(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) —静電気帶電量—	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	
			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	花園 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 烧	バルコニー付近形状が噴出火炎性状に及ぼす影響	花園 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	
			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	
		鑑 定	空間容積の違いによる一酸化炭素とシアノ化水素の致死燃焼量	橋本 好弘	
			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	
平成 13 年度	No. 9	燃 烧	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
			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	
		開 発	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	

年 度	所報 N o	分 野	研 究 テ 一 マ	担当者	件数
平成 14 年度	No. 10	燃 燃	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	花園 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	花園 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	花園 一正	
		鑑 定	鎮火後に残存している燃焼生成ガス	川瀬 信	
			R D F (ごみ固形燃料) の性状について	川瀬 信	
平成 15 年度	No. 11	燃 燃	危険物貯蔵タンク内を洗浄する鉱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	
			硫酸ピッヂと不正軽油について	川瀬 信	
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	

年 度	所報 N o	分 野	研 究 テ 一 マ	担当者	件数
平成 18 年度	No. 13	燃 燃	携帶用カセットガスボンベの破裂実験	中住 齊	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 齊 大友 達哉	
		情 報	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	
			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 燃	クラスA泡消火薬剤の消火効果の確認実験について	高橋 渉	8
			有酸素運動・無酸素運動に関する実験	中住 齊	
		情 報	筋活動に関する実験	中住 齊	
			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	
			炎天下における駐車車両の温度測定について	高橋 渉	
			硫化水素の発生除害について	高橋 渉	
			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	
平成 20 年度	No. 15	燃 燃	小規模区画内における木材クリップの燃焼実験について	中住 齊	9
			消防活動における無酸素能力について	中住 齊	
		情 報	消防活動時の送風による冷却効果について	中住 齊	
			硫化水素除害装置の開発について	高橋 渉	
			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）による水素の発生について	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	

消防科学研究所報

(2008 No. 15)

市政等資料番号	01-P04-09-1105
---------	----------------

平成 21 年 12 月発行

編集・発行 札幌市消防科学研究所

〒063-0850

札幌市西区八軒 10 条西 13 丁目 3 番 1 号

電話 (011) 616-2262

FAX (011) 271-0957

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

印 刷 ひまわり印刷株式会社
