

火災実験施設の確保に係る具体化方策の提案のための調査

戸田 博章*, 岩瀬 弘樹*, 水野 守*, 湯浅 弘章**

概要

東京消防庁が保有する第9消防方面本部中層訓練棟（平成29年5月（竣工））は、規模・用途ともに一般的な燃焼実験施設に近いが、たんばく泡消火訓練専用施設として石油系燃料を燃焼させる前提で設計されていることから、木材等の燃焼を伴う躯体の受熱対策及び燃焼による煙の排煙処理については設計に反映されておらず、木材の燃焼による影響は不明である。今後、中層訓練棟を木材の燃焼実験等で活用するため、木材火源における実大燃焼実験により、施設に及ぼす各種影響の許容範囲について調査した。

調査した結果、中層訓練等の電動ダンパー付近の温度がボトルネックであることが分かった。2単位クリブまでは継続燃焼が可能であり、3単位クリブ以上は電動ダンパー付近の温度上昇が限界に達する時間までに消火することに留意しながら燃焼を行う必要がある。

1 はじめに

これまでに東京消防庁（以下、「当庁」という）では、施策決定や職員の教養に資するため、火災性状、消火に係る研究・検証を行ってきた。過去には、屋外で実大規模の燃焼実験を行ったこともあったが、現在は近隣への環境等への影響に配慮するため行っていない。また、消防学校C敷地内燃焼実験棟についても、実大規模の燃焼実験は同理由で行っていない。現在、当庁では大規模な燃焼実験施設を保有していないため、実大規模の燃焼実験を行う際は、必要の都度、総務省消防庁消防大学校消防研究センターの施設を借用し実験を行っている。借用には、施設の使用状況、稼働可能状況等に応じて調整する必要があり、確実な検証計画が立てられない、早期対応が必要な事案に対処できないといった課題がある。

当庁で新たに大規模な燃焼実験施設を整備するためには、莫大な費用が必要であり、また、費用対効果の面で現実的ではない。当庁では、燃焼が可能な施設として、第9消防方面本部中層訓練棟（以下、「中層訓練棟」という）を保有している。中層訓練棟は、危険物火災を想定した、たんばく泡消火訓練専用施設として石油系燃料を燃焼させる前提で設計がなされているため、一般火災を想定し実験を行う場合等で、木材等を燃焼させた場合、施設の各種設備等に与える影響については不明である。

2 火源による違い

(1) 実験等への火源の影響

実験において、石油系燃料を活用し、一般火災を再現しようとする場合、一般住宅の燃焼物のほとんどが木材

であるため、木材の発熱量等を再現するのが困難である。また、石油系燃料を活用し、長時間の燃焼を必要とするような実験を行う場合、安定した発熱量を維持することが出来ない、燃焼を継続させるために燃料を追加する際に危険を伴うといった問題が生じる。

消火訓練においても、石油系燃料では水による消火訓練が行えないといった問題が生じる。

上記の理由から、石油燃料ではなく、木材を活用した実験及び消火訓練を行うことが望まれる。

(2) 施設の設定備への火源の影響

石油系燃料の主成分は主に脂肪族炭化水素及び芳香族炭化水素であり、燃焼により主に二酸化炭素 CO_2 、水 H_2O 及び一酸化炭素 CO を含んだガスが生成される。一方、木材の成分は主にセルロースであり、燃焼により主に二酸化炭素 CO_2 、水 H_2O 及び一酸化炭素 CO を含んだガスの他、タール、チャーが生成される¹⁾²⁾ことから、木材の燃焼ガスは、施設の電動ダンパー等、排煙設備に影響を及ぼす可能性がある。

石油燃料とは異なり木材を活用する場合、燃焼の継続が容易であるが、長時間の燃焼により施設の躯体に影響を及ぼす可能性がある。

中層訓練棟は、たんばく質泡消火薬剤による消火水の処理のため、バクテリア分解を行っているが、木材の消火水がバクテリアに影響を及ぼす可能性がある。

3 調査の目的

今後、中層訓練棟を消防職員の安全や都民サービスの向上に資する燃焼実験等で活用するためには、火災現場

により近い状況での知見が必要であることから、木材の実大規模の燃焼実験ができる施設が必要である。よって、木材の燃焼が中層訓練棟に及ぼす各種影響の許容範囲について調査し、具現化方策を提案する。

4 実験期間及び場所

(1) 実験期間

令和4年9月26日から9月30日まで

(2) 場所

東京消防庁第9消防方面本部中層訓練棟

5 中層訓練棟

中層訓練棟の外観及び実火災訓練スペースを写真に示すとともに表1に基本的な中層訓練棟の概要を示す



写真 中層訓練棟の外観及び実火災訓練スペース

表1 中層訓練棟の概要

| 各種概要 | 概要及び寸法等 |
|-----------|---|
| 構造規模 | RC造,4階建 |
| 建物面積,延べ面積 | 幅 22m,奥行き 47.3m,高さ 21.5m |
| 実火災訓練スペース | 幅 13.6m,奥行き 29.325m 高さ 20.2m,面積 398.82m ² |
| 排煙処理能力 | 200Nm ³ /min × 2(二系統) |
| 燃焼炉 | 800℃以上 |

表2 燃焼実験における確認項目

| 項目番号 | 確認項目 | 調査方法(測定位置) |
|------|------------------------------------|--|
| 1 | シャッター部、ガラリ部からの煙の漏洩、臭気がないか | 目視及び嗅覚による確認(図1中①) |
| 2 | 排気塔から処理しきれない煙の排出、臭気がないか | 目視及び嗅覚による確認(図1中②) |
| 3 | 電動ダンパー、排煙フロアに接する排ガス温度が80℃以下を維持できるか | 熱電対による温度測定(図1中③5F) 熱電対による温度測定(図1中⑤) |
| 4 | 躯体コンクリートの温度が100℃以下を維持できるか | 熱電対による温度測定(図1中③') 熱画像装置による測定(図1中④) |
| 5 | 燃焼炉に流入する燃焼ガスの酸素濃度が16%を維持できるか | ガス分析装置による測定(図1中⑤) |
| 6 | 排煙フロアのフィルターに著しい汚れがないか | 目視による確認(図1中⑥) |
| 7 | 汚れにより電動ダンパーの動作に異常がないか | 業者の定期点検による結果(図1中⑦) |
| 8 | 排水が施設のバクテリアに影響を及ぼさないか | 木材の消火排水によりテストする |

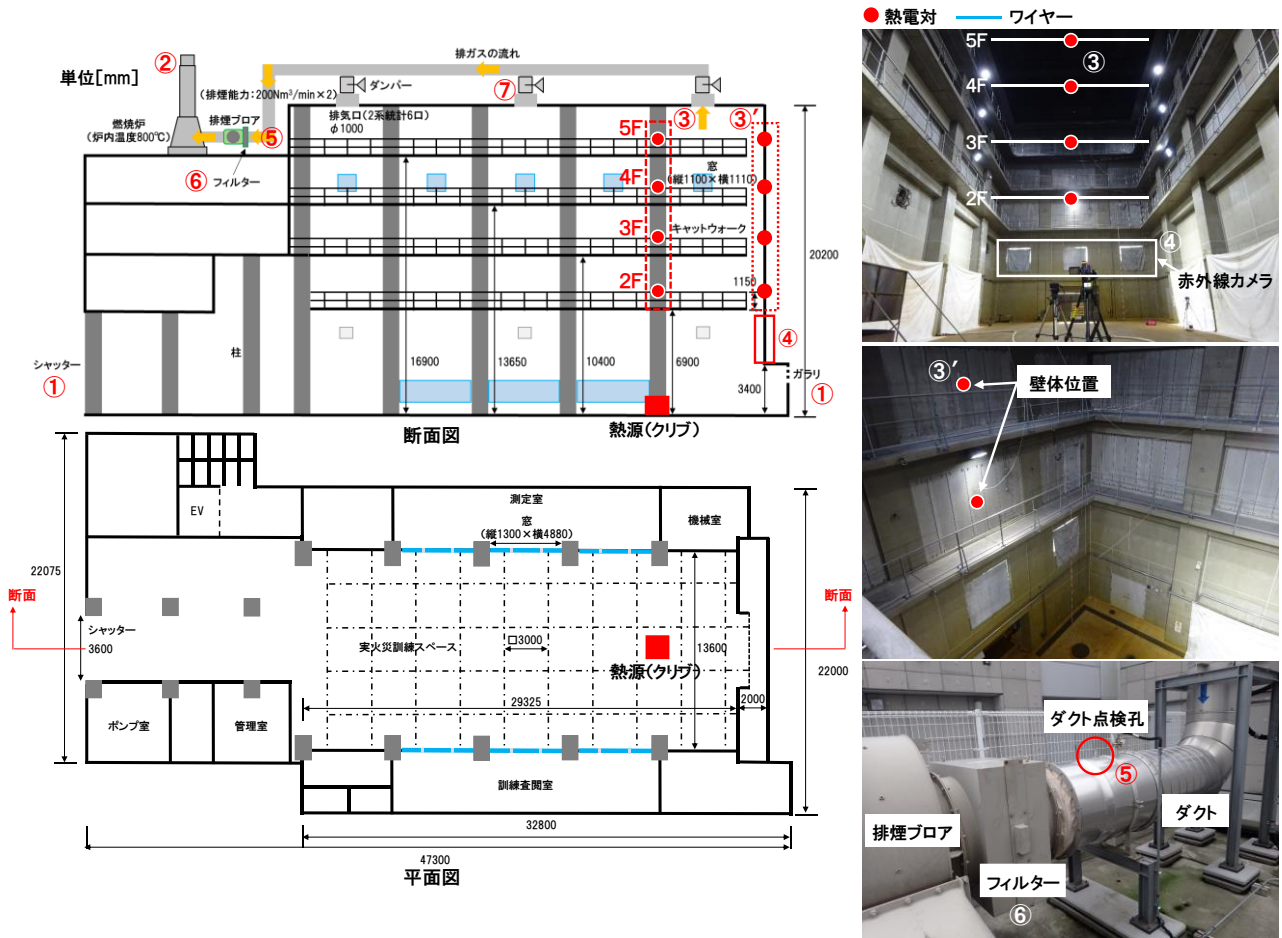


図1 確認項目の確認及び測定位置

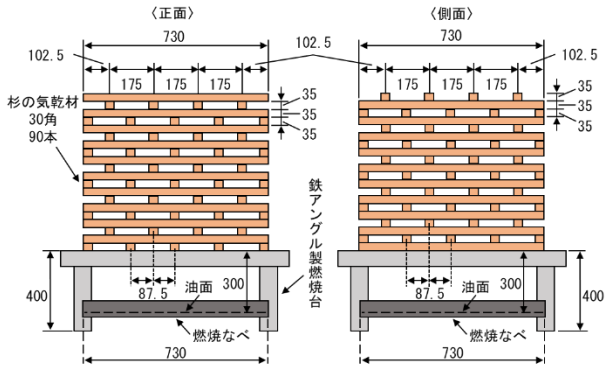
(2) 火源

燃焼実験の火源には、消火器の技術上の規格を定める省令（昭和三十九年自治省令第二十七号）の能力単位測定で活用される第一模型（以下「2単位クリブ」という）及び第二模型（以下「1単位クリブ」という）を使用した。

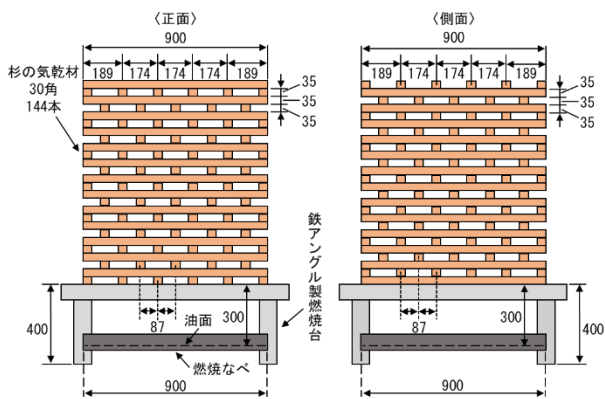
なお、3単位クリブ及び4単位クリブは、1単位及び2単位クリブを組合せ、作製した。各単位クリブの概要を表3及び図2に示す。

表3 各単位クリブの概要

| 単位(模型) | 表面積[m ²] | 発熱速度[MW] |
|-----------------------|----------------------|----------|
| 1単位クリブ (第二模型) | 8 | 1.25 |
| 2単位クリブ (第一模型) | 16 | 2.5 |
| 3単位クリブ (第二模型+第一模型) | 24 | 3.75 |
| 4単位クリブ (第一模型+第一模型) | 32 | 5.0 |



1 単位クリブ (第二模型)



2 単位クリブ (第一模型)

図2 各模型の概要

なお、図2の油面の高さとなるよう、1単位クリブに1.5L、2単位クリブに3.0Lの着火燃料（ヘプタン）を、水の張った燃烧なべにそれぞれ注いだ。各クリブの設定概要を図3に示す。



図3 各クリブの設定概要

(3) 測定機器等

ア 気温・湿度測定

実験を行う直前に気温及び湿度を測定した。環境測定器の概要を表4に示す。

表4 環境測定器の概要

| | |
|-------|------------------------|
| 測定レンジ | 温度 0~60°C 湿度 0~100% |
| 測定精度 | ±0.5°C ±3% |

イ 水分量測定

1単位クリブは最上段4本、2単位クリブは最上段6本の水分量の平均値を実験に使用するクリブの水分量とした。なお、クリブの水分量は実験を行う直前に測定した。水分量測定器の概要を表5に示す。

表5 水分量測定器の概要

| | |
|-------|-------|
| 測定対象 | 木材全般 |
| 設定レンジ | 4~35% |
| 測定精度 | ±0.5% |

ウ 温度測定

(ア) 熱電対

図1中③位置の温度、③'位置の壁体コンクリート付近の温度及び⑤位置のダクト点検孔よりダクト内の温度を熱電対により測定した。使用した熱電対の概要を表6に示す。

表6 熱電対の概要

| | |
|------|-----------|
| 素線 | K |
| 規格 | JIS クラス2級 |
| 線径 | 0.32mm |
| 最高限度 | 250°C |

(イ) 熱画像装置

図1中④位置におけるコンクリート躯体表面温度を熱画像装置により撮影し測定した。使用した熱画像装置の概要を表7に示す。

表7 熱画像装置の概要

| | |
|---------|--------------|
| 測定温度範囲 | -40°C~2000°C |
| 設定レンジ | 0°C~120°C |
| 測定精度 | ±0.5% |
| フレームレート | 120Hz |

エ 酸素濃度測定

図1中⑤位置のダクト点検孔より、ダクト内部の燃烧炉に流入する燃烧ガスの酸素濃度をガス分析装置により測定した。使用したガス分析装置の概要を表8に示す。

表8 ガス分析装置の概要

| | |
|------|---|
| 測定方式 | 非分散形赤外線吸収法及び磁気式 |
| 測定ガス | CO ₂ :CO:0~1/20% O ₂ :0~10/25% |
| 測定精度 | ±0.5% |

オ 燃焼ガスの成分分析

燃焼ガスの採取には、個体捕集方法を用いた。ガスを捕集管（個体捕集層）に通し、ガス状物質を個体粒子に捕集する方法であり、労働安全衛生法に定める作業環境測定の実験に用いられている³⁾。

捕集管を簡易吸引ポンプに接続し、図1中⑤位置のダクト点検孔からダクト内部の燃焼ガスを捕集管に採取した。捕集した燃焼ガスは加熱脱着装置付ガスクロマトグラフ質量分析装置（以下「TD-GC-MS」という）で成分分析を行った。

使用したガス採取機器の概要を図4に、使用した TD-GC-MS 及び分析条件を図5及び表9にそれぞれ示す。

| | |
|---|---|
|  簡易吸引ポンプ |  捕集管 |
| 吸引量(流量) 0.1L/min | 充填剤 2,6-diphenyl-p-phenylene oxide |

図4 ガス採取機器の概要

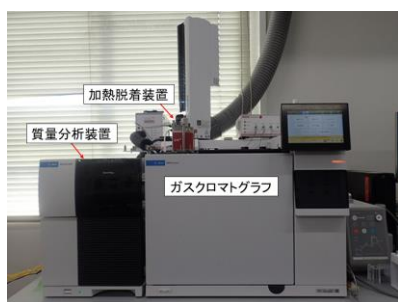


図5 TD-GC-MS

表9 分析条件

| GC-MS 条件 | |
|-------------|---------------------------------------|
| カラム | HP-5MS 長さ 30m、内径 0.25mm、膜厚 0.25 μm |
| オープン温度範囲 | 40°C(1min)~300°C(5min) |
| 昇温速度 | 5°C/min(40°C~300°C) |
| スプリット比 | 20:1 |
| 検出器温度(イオン源) | 230°C |
| 検出温度(四重極) | 150°C |

| | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 測定方法 | SCAN(全イオン検出) |
| キャリアガス | He |
| 加熱脱着部(TD ³⁵⁺)条件 | |
| サンプルモード | Retain Tube - no Cooling |
| 脱着モード | スプリット |
| 温度範囲 | 40°C~280°C(3min) |
| 昇温速度 | 400°C/min |
| トランスファー温度 | 320°C |
| クライフォーカス部(CIS4) | |
| 加熱モード | Stanadard |
| 温度範囲 | -50°C~300°C |
| 昇温速度 | 12°C/秒 |

7 実験結果及び考察

(1) クリブの燃焼

最高温度時の各単位クリブにおける燃焼状況、及び実験の基本条件(気温、湿度、クリブの水分量)を図6に示す。





| 1 単位クリブ | 2 単位クリブ |
|--|---|
|  |  |
| 気温: 23.5°C 湿度: 56.2% クリブの水分量: 8.8% | 気温: 25.2°C 湿度: 56.9% クリブの水分量: 9.2% |
| 3 単位クリブ | 4 単位クリブ |
|  |  |
| 気温: 23.9°C 湿度: 61.9% クリブの水分量: 8.6% | 気温: 25.1°C 湿度: 62.0% クリブの水分量: 8.7% |

図6 最高温度時の各単位クリブにおける燃焼状況

(2) シャッター部、ガラリー部からの漏洩、臭気の有無(項目番号1)

1~4 単位クリブを燃焼中の間、シャッター部及びガラリー部から煙の漏洩及び各外部での臭気は確認されなかった。

(3) 排気塔から処理しきれない煙の排出、臭気の有無(項目番号2)

1~4 単位クリブを燃焼中の間、排気塔からの煙の排

出及び臭気は確認されなかった。

(4) 電動ダンパー、排煙ブローアに接する燃焼ガスの温度測定 (項目番号3)

図1中③位置の各階及び⑤位置のダクト内における熱電対の測定結果 (最高温度時) を表10に示す。また、図1中③位置 5Fの燃焼時間に対する温度変化を図7に示す。

図1中③位置 5Fの温度測定結果より、クリブの燃焼は約60秒で最高温度に達し、2単位クリブまでの燃焼は、電動ダンパーの燃焼制限温度(80℃)以上の継続した温度が計測されなかったため、完全燃焼までクリブを燃やしることが出来た。3単位クリブ以上の燃焼は、燃焼制限温度(80℃)以上の継続した温度が計測されたため、実験を途中で中断した。これらの結果より、中層訓練棟内部では、2単位クリブまでは継続燃焼が可能である。また、3単位クリブ以上は電動ダンパー付近の温度上昇が限界に達する時間までに消火することに留意しながら燃焼を行う必要がある。

表10 図1中③及び⑤位置の温度測定結果(最高温度) 単位: [℃]

| 単位 | 1単位 | 2単位 | 3単位 | 4単位 |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2F | 146.8 | 192.6 | 361.1 | 405.4 |
| 3F | 83.6 | 121.5 | 146.5 | 188.0 |
| 4F | 66.7 | 95.7 | 111.3 | 125.8 |
| 5F | 56.6 完全燃焼 | 82.1 完全燃焼 | 94.3 実験中断 | 99.9 実験中断 |
| ⑤ (ダクト) | 33.4 | 45.9 | 53.4 | 47.9 |

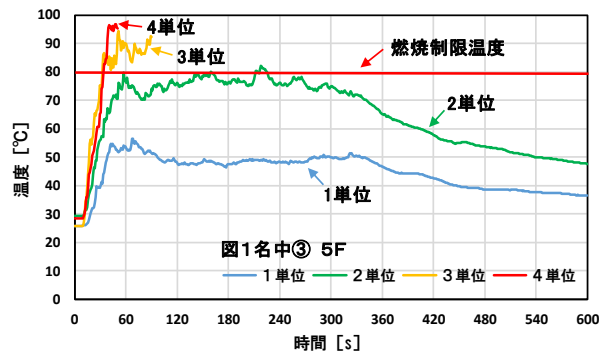


図7 燃焼時間に対する温度変化

(5) 躯体コンクリートの温度測定 (項目番号4)

図1中④位置の躯体コンクリート表面の熱画像装置による測定結果 (最高温度時) を図8に示す。また、図1中③'位置の躯体コンクリート付近の熱電対による測定結果 (最高温度時) を表11に示す。

図1中④位置の熱画像装置による測定結果より、3単

位クリブまでの燃焼は、躯体コンクリートの燃焼制限温度(100℃)以下であった。しかしながら4単位クリブの燃焼は躯体コンクリートの燃焼制限温度(100℃)以上に上昇することを確認した。

図1中③'位置の熱電対による温度測定結果より、1単位から4単位クリブまでの燃焼による2階以上の躯体コンクリート付近の空気温度は躯体コンクリートの燃焼制限温度(100℃)以下であった。これらの結果より、4単位クリブ以上の燃焼は、燃焼物直近(1階)の躯体コンクリートの温度上昇が限界に達する時間までに消火することに留意しながら燃焼を行う必要がある。

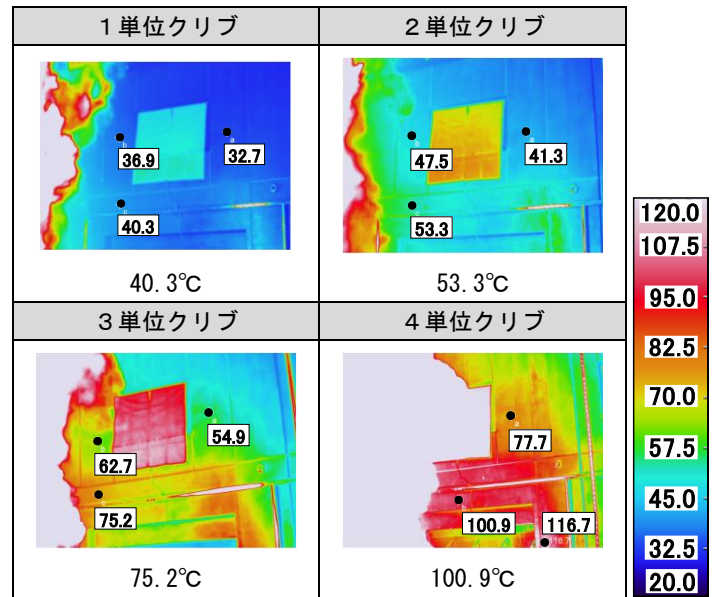


図8 図1中④位置の測定結果 (最高温度)

表11 図1中③'位置の温度測定結果(最高温度)

| 単位 | 1単位 | 2単位 | 3単位 | 4単位 |
|----|------|------|------|------|
| 2F | 29.4 | 38.6 | 41.6 | 41.4 |
| 3F | 31.2 | 44.6 | 48.0 | 55.5 |
| 4F | 34.3 | 49.7 | 53.0 | 60.9 |
| 5F | 40.3 | 56.9 | 66.9 | 70.9 |

(6) 燃焼炉に流入する燃焼ガスの酸素濃度測定 (項目番号5)

図1中⑤位置のダクト内部における、燃焼炉に流入する燃焼ガスの燃焼時間に対する酸素濃度変化を図9に示す。

図1中⑤位置の酸素濃度測定結果より、1単位から4単位クリブの燃焼の間、いずれも酸素濃度は、燃焼炉の燃焼に必要な酸素濃度以上(16%以上)であった。

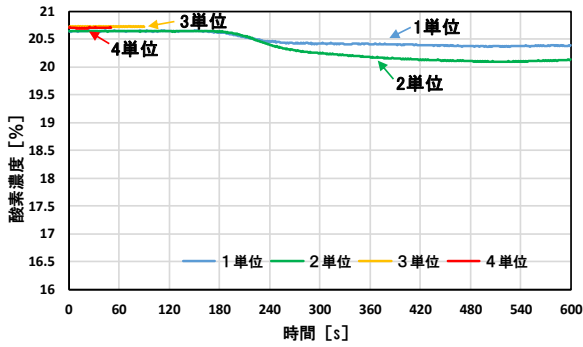
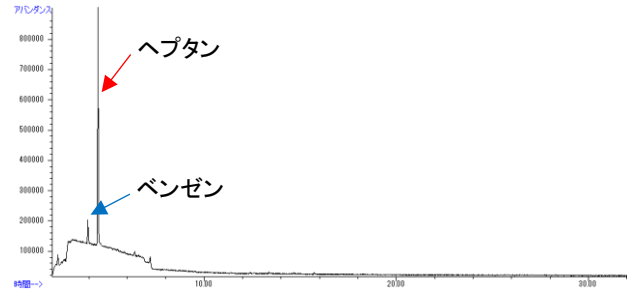


図9 燃焼時間に対する酸素濃度の変化

(7) 燃焼ガスの成分分析

図1中⑤位置のダクト内から捕集管によりガスを捕集し、TD-GC-MSにより分析した結果を図10に示す。なお、測定開始から35秒後までの結果を示す。

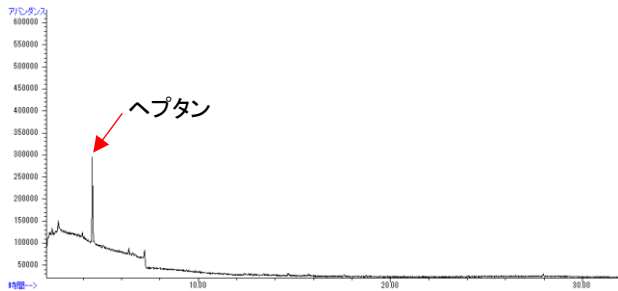


4単位クリブ
図10 TD-GC-MSによるガスの分析結果

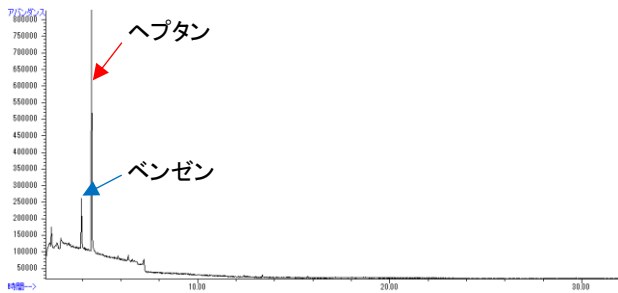
測定結果より、各クリブの燃焼生成ガスからは主に、ヘプタン及びベンゼンが検出された。その他検出されたピークの成分は特定不能であった。ヘプタンはクリブを燃焼させる際の助燃剤の燃料成分である。ベンゼンは大気汚染防止法中で指定されている有害大気汚染物質である。ヘプタン及びベンゼンの発火点はそれぞれ文献値で285℃、498℃である。二次燃焼炉の燃焼温度は800℃以上であり、検出物質の発火温度以上であるため、検出物質は大気にはほとんど放出されていないと考えられる。

(8) 排煙プロアのフィルター汚れの確認 (項目番号6)

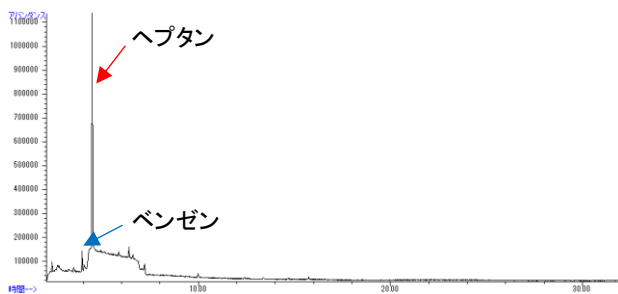
実験開始前と実験終了後(計11単位クリブ燃焼後)の図1中⑥位置の排煙プロアのフィルターの比較結果を図11に示す。



1単位クリブ



2単位クリブ



3単位クリブ

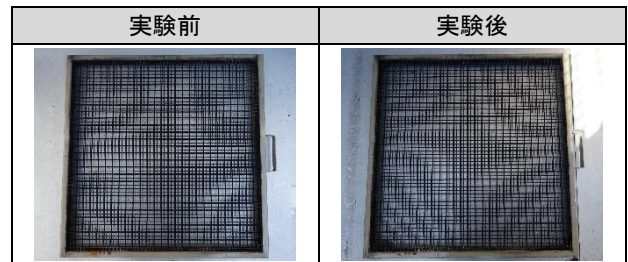


図11 実験前後のフィルターの比較結果

実験前後で排煙プロアのフィルターに煤等の汚れはほとんど見られなかった。このことから、煤等の汚れはフィルターにほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

(9) クリブの燃焼による電動ダンパーの動作に異常の有無 (項目番号7)

電動ダンパーについては、年次点検として外観確認、手動及び電動による動作確認等を行っている。点検項目及び結果を表12に示す。

木材の燃焼によるタール及び煤等により電動ダンパーの作動状況等に異常が生じる可能性が考えられたが、業者による定期点検の結果、表12の点検項目に対し、異常は見られなかった。このことから、木材の燃焼が電動ダンパーに与える影響は少ないと考えられる。

表 1 2 ダンパーの点検項目及び結果

| 点検項目 | 結果 |
|-----------------|----|
| 手動レバーの操作は重くないか | ○ |
| 駆動機の異常音の発生はないか | ○ |
| グランド部からのリークはないか | ○ |
| ダンパー本体の変形はないか | ○ |
| 材料の腐食、損傷はないか | ○ |

○:異常なし

(10) 排水によるバクテリアへの影響について（項目番号 8）

中層訓練棟は、たんぱく質泡消火薬剤による消火排水を無害処理するため、バクテリア分解を行っている。しかしながら、木材の消火排水がバクテリアに与える影響については不明であることから調査の必要がある。

本調査期間において、施設の改修のために調整槽からバクテリア等が一時的に抜かれていたため、排水によるバクテリアの影響を評価することは出来なかった。

事前の業者への聴取では問題はないとの回答を経ているが、今後、実動前に木材の消火排水がバクテリアに与える影響についてテストを行う予定である。

8 まとめ

本調査では、中層訓練等内部で木材火源（クリブ）を実大規模で燃焼させ、熱及び煙等が躯体及び設備に与える影響の許容範囲を調査した。表 2 の確認項目について木材の燃焼による影響を調査した結果、温度がボトルネックであることが分かった。特に電動ダンパー付近に接する温度が最も早く中層訓練棟の設計温度に達する結果であった。2 単位クリブ（2.5MW）までは継続燃焼が可能であり、3 単位クリブ（3.75MW）以上は電動ダンパー付近の温度上昇が限界に達する時間までに消火することに留意しながら燃焼を行う必要がある。

なお、熱以外の項目に対する影響は見られなかった。

9 研究結果の活用

本調査より、第 9 方面本部中層訓練棟内で木材火源が 2 単位クリブまでは継続燃焼が可能であることが確認できたことから、中層訓練棟を火災実験施設として活用するとともに、中層訓練棟内に実火炎による訓練が可能な施設の整備を行う。

10 謝辞

本調査の実施にあたり、総務省消防庁消防大学校消防研究センターの田村裕之室長にはお忙しい中、多くの貴重な知見を賜り、深く感謝いたします。そして、本調査の趣旨に賛同し、調査にご協力いただいた第 9 消防方面報部及び第 9 消防方面本部消防救助機動部隊の皆様にご心より御礼申し上げます。

1 1 付録

代表的な可燃物の発熱速度^{4), 5), 6)}

| 可燃物 | 最大発熱速度[kW] | |
|-----|------------------------|-------------|
| クリブ | 1 単位 | 1250 |
| | 2 単位 | 2500 |
| | 3 単位 | 3750 |
| | 4 単位 | 5000 |
| 寝具 | 布団 | 15~120 |
| | マットレス | 91.7~298.4 |
| 家具 | 座椅子 | 242.3~427.9 |
| 車両 | 小型乗用車 | 2500 |
| | 大型乗用車 | 5000 |
| | バン | 15000 |
| | バス | 20000 |
| その他 | ゴミ箱 | 25~90 |
| | 段ボール箱 503mm×503×503 | 850 |
| | 段ボール箱 400mm×400×360 | 330 |

※製品により値の差を生じる

[参考文献]

- 1) 岡本勝弘、石油系液体燃料の火災危険性、安全工学、Vol. 47、No. 3、2008
- 2) 横山伸也、木材系バイオマスガス化、燃料協会誌、第 62 巻、第 674 号、1983
- 3) 公益社団法人日本作業環境測定協会：作業環境ガイドブック 0-総集編-、公益社団法人日本作業環境測定協会、2012
- 4) 吉田正志、収納可燃物の燃焼性状、日本建築学会大会学術講演概要集（防火）、2000.3
- 5) 佐藤博臣、住宅における初期火災時の着火物及びその燃焼性状に基づく初期火源モデル、日本建築学会環境系論文集、第 588 号、2005.2
- 6) 前川結宇理、鉄道車両火災の設計火源に関する考察、東京理科大学工学部第二部建築学科、学生論文、辻本研究室、平成 20 年