

実験と火災シミュレーションによる実火災体験型 訓練施設の熱環境可視化に関する検証

佐藤 歩*, 金子 公平*, 大滝 英一*, 町井 雄一郎*

概 要

東京消防庁には、消防活動訓練施設の一つに、改装したコンテナ内で木質パレットを燃焼させる実火災体験型訓練施設がある。実火災体験型訓練施設での訓練は、火災時の濃煙熱気の状態や火災性状を体験的に学べる一方、極めて過酷な熱環境下で実施されており、訓練中に隊員の個人装備品の損傷の恐れがある。また、訓練時、通常の個人装備品に加えて保護材を着装することにより、体感的に熱環境の推移を把握することが困難となっているため、安全に訓練を実施するためには、事前に施設内の熱気流の挙動等を正確に把握する必要があると考えられる。

本検証は、実火災体験型訓練施設の燃焼実験を火災シミュレーションで詳細に再現し、実験の測定温度と火災シミュレーションの計算温度を用いて、統計的検定にて火災シミュレーションの火源条件を最適化し、施設内の熱環境を可視化することにより、熱環境の特徴を把握するものである。その結果、施設内の熱環境の特徴の一つとして、垂直方向の温度分布が、高さ約1mを境にその上部で約150℃以上、下部で約40℃と大きく変化することがわかった。

1 はじめに

東京消防庁には、火災時の濃煙熱気の状態や火災性状を体験的に学ぶためにコンテナを改装した実火災体験型訓練施設（以下「当施設」という。）がある。当施設は、木質パレットを燃料として火災環境を再現しているため、熱気、濃煙や臭いが発生し、体験温度も給気と燃料量、放水により変えることができる。

しかし、当施設での訓練は、個人装備品や保護材の不完全な着装や熱環境を考慮しない行動をとった場合に、個人装備品の損傷の恐れがある。

2 目的

本検証は、当施設で安全かつ最適な訓練を実施するために、当施設の熱環境を測定し、その結果を基に火災シミュレーションで熱環境をアニメーションで可視化することにより、熱環境の特徴を把握する。

3 方法

(1) 熱環境測定

ア 当施設の概要

当施設は、40ftの移動式コンテナを改装したものであり、排煙処理装置や外部排煙排気室等が取り付けられている。出入りは外部排煙排気室を通過してからコンテナ内

部へ入る構造となっており、外部排煙排気室とコンテナ出入口付近の天井に排煙口が設けられている。また、それぞれの外部排煙口には垂れ壁と制御フラッパーが設けられている。コンテナ出入口から約10m奥へ進んだ位置に燃焼台が設けられており、ここで木質パレットを主とした可燃物を燃焼させることにより熱環境をつくっている。燃焼台の下には残渣を受けるための皿が敷けるようになっており、壁には残渣排出口が設けられている。

訓練実施時の熱環境は、当施設に常設されているデジタル表示温度計（以下「施設温度計」という。）により管理している。火源からの水平距離2.00mの位置の壁面の窪みに、床から0.23m（下段）、1.14m（中段）、2.00m（上段）の位置の計3か所にそれぞれ設置されており、センサー一部はパンチングメタルで保護されている。

当施設の構造を図1に示す。

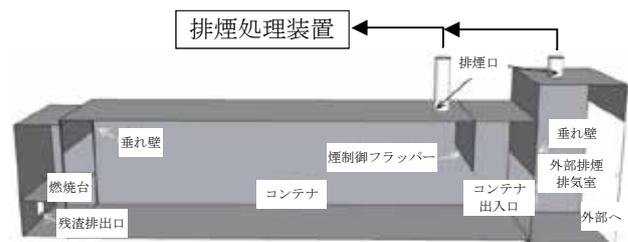


図1 当施設の構造

* 装備安全課

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

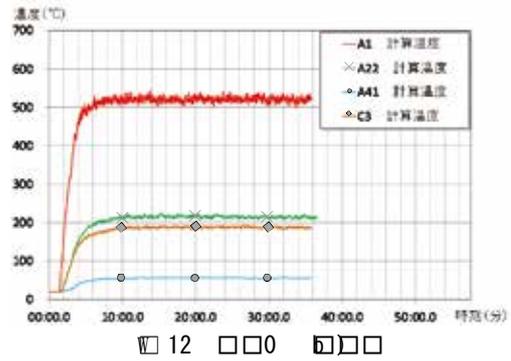


圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

圖 3 顯示 4 個測點溫度隨時間的變化情況。圖中顯示，在 5 分鐘後，4 個測點的溫度均開始上升，並在 10 分鐘後達到穩定狀態。其中，測點 A1 的溫度最高，達到約 500°C；測點 A2 和 A4 的溫度約為 200°C；測點 A3 的溫度約為 100°C。

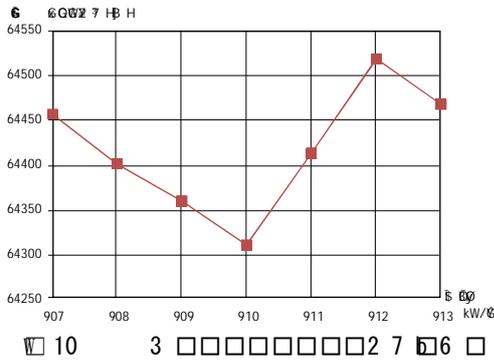


圖 10 顯示了 3 個測點的溫度隨熱流密度的變化情況。圖中顯示，溫度隨熱流密度的增加而先降低後升高。

圖 10 顯示了 3 個測點的溫度隨熱流密度的變化情況。圖中顯示，溫度隨熱流密度的增加而先降低後升高。

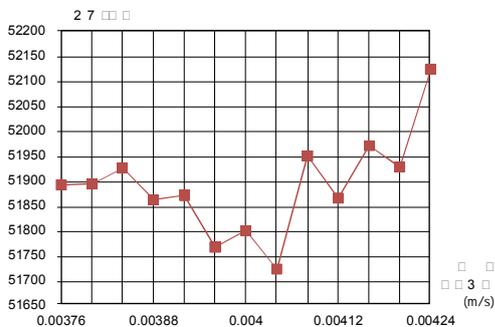


圖 11 顯示了 3 個測點的溫度隨速度的變化情況。圖中顯示，溫度隨速度的增加而波動。

圖 11 顯示了 3 個測點的溫度隨速度的變化情況。圖中顯示，溫度隨速度的增加而波動。

圖 11 顯示了 3 個測點的溫度隨速度的變化情況。圖中顯示，溫度隨速度的增加而波動。

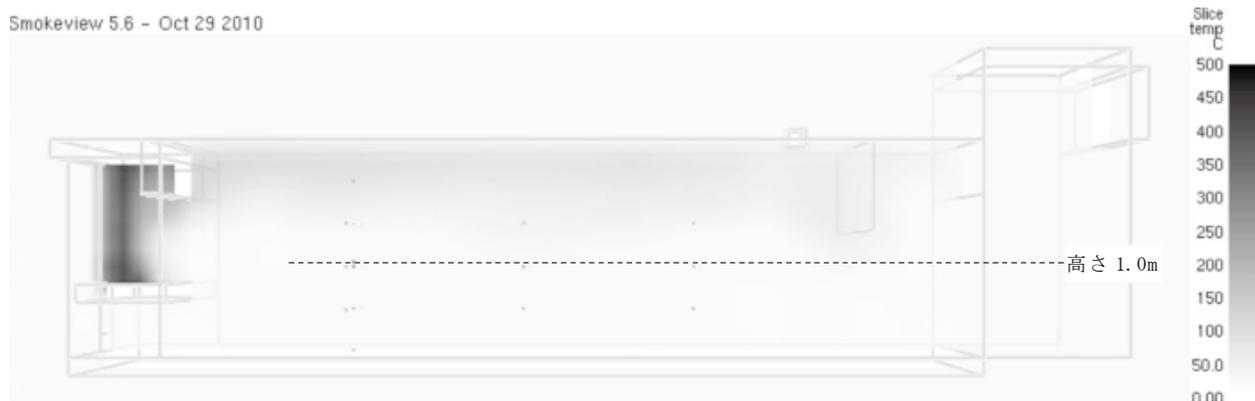


図 13 長辺断面の熱環境の可視化の状況（木質パレット5枚）（時刻約3分）



図 14 長辺断面の熱環境の可視化の状況（木質パレット5枚）（時刻約4分30秒）



図 15 長辺断面の熱環境の可視化の状況（木質パレット5枚）（時刻約8分）



図 16 長辺断面の熱環境の可視化の状況（木質パレット5枚）（時刻約13分30秒）

5 考察

温度分布の垂直方向の変化に着目し、受熱温度から個人装備品が損傷する可能性について考察を行う。

(1) 温度分布の垂直方向の変化

木質パレット5枚の条件について、時刻約13分30秒の火源から水平距離2mの短辺断面の熱環境の可視化及び主要な等温線の状況を図17から図19に示す。

250°Cの等温線は約1.25mの高さ(図17)、150°Cの等温線は約1mの高さ(図18)、100°Cの等温線は約0.9mから1mの高さだった(図19)。これらから、高さ約0.9mから1.5mにおいて、100°Cから250°Cの温度が分布しており、10cm単位で熱環境が大きく異なっている。

(2) 個人装備品の熱的变化

個人装備品と熱的变化の関係を表4に示す。過去の実験により明らかとなっているものについては、その値を引用する。これらより、個人装備品の熱的変形は、約100°Cから生じていると推定する。

(3) 個人装備品の損傷の推定

通常当施設で訓練する際には、防火帽を保護材で覆うため、表4のうち、帽体及びき章、受け台、防火帽隊名シールは露出しない。しかし、保護材の着がけが不十分でこれらの部位が露出した場合は、折り膝姿勢(頭部1.0~1.2m)をしていても、帽体に変色するとともに、き章及び受け台が変形する恐れがある。また、高圧導気管保護カバーが露出した際には変形の恐れがある。

本検証結果により、当施設のみならず火災現場においても消防活動の原則の一つとして挙げられる、できるだけ姿勢を低く保つことが、個人装備品の損傷防止に重要であることを可視化により示すことができた。

6 おわりに

当施設での訓練は、実火災環境を模擬した濃煙熱気下で実施されており、訓練中に隊員の個人装備品が損傷する恐れがある。訓練時、通常の個人装備品に加えて、保護材を着装することにより、熱環境の推移を感じ取ることが困難となっているため、当施設内の熱環境の特徴を正確に把握する必要がある。

本検証は、当施設の燃焼実験を、火災シミュレーションで詳細に再現し、当施設の熱環境を可視化したものである。その結果、当施設の特徴は次の通りである。

- (1) 垂直方向の温度分布について、高さ約1mを境にその上部で約150°C以上、下部で約40°Cと大きく変化する。
- (2) 水平方向の温度分布について、変化は少ないが、垂れ壁付近では約250°C以上の高温帯が高さ約0.7mまで下がっている。

以上から、訓練中は低い姿勢を保つことを怠ったり、個人装備品が不完全な着装状態であると個人装備品の損傷につながる可能性がある。

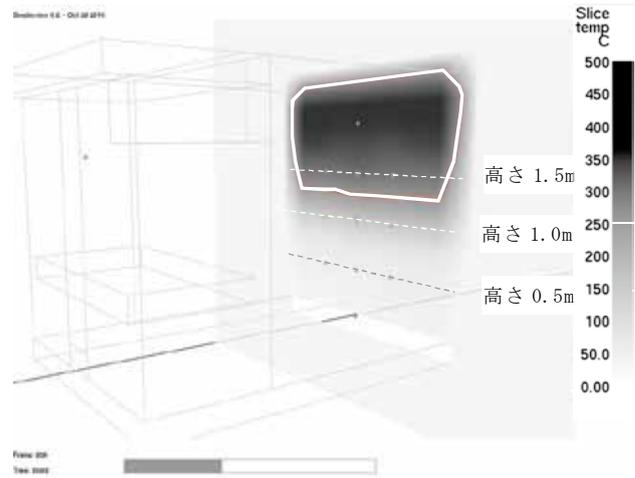


図17 短辺断面の熱環境の可視化及び等温線(250°C)の状況(時刻約13分30秒 施設温度計(中段)温度250°C)

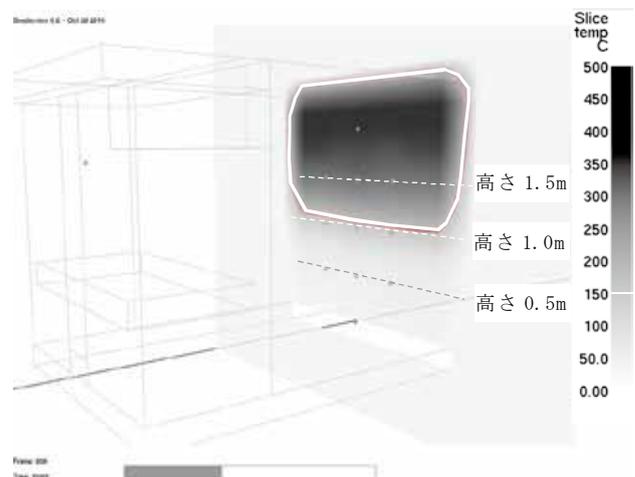


図18 短辺断面の熱環境の可視化及び等温線(150°C)の状況(時刻約13分30秒 施設温度計(中段)温度250°C)

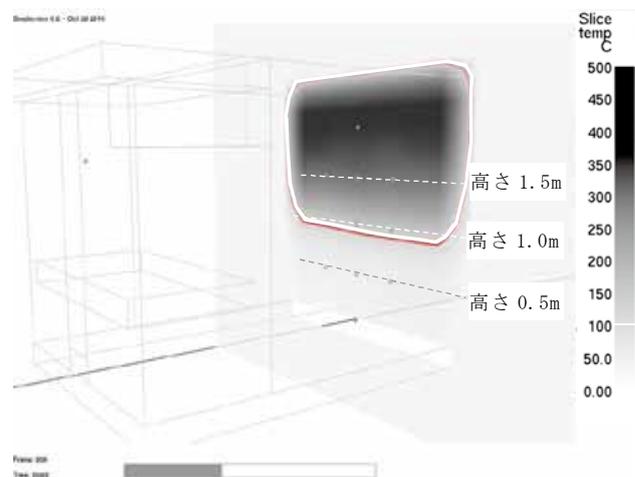


図19 短辺断面の熱環境の可視化及び等温線(100°C)の状況(時刻約13分30秒 施設温度計(中段)250°C)

表4 当施設の損傷が発生した個人装備品の名称、部位等

名称	部位名称 (材質)	部位写真、熱的变化とその温度
防火帽	帽体 (FRP 表面ウレタン塗装)	 溶融開始温度 375℃ 変色温度 48℃ ^{注1)}
	き章、受け台 (ABS 樹脂)	 変形温度 74~107℃ ^{注2)}
	防火帽 隊名シール (塩化ビニル)	 溶融開始温度 247℃ ^{注1)}
	衝撃吸収 ライナ (発泡スチロール)	 溶融開始温度 80~110℃ ^{注3)}
	顔面 保護版 (ポリカーボネイト、表面 アクリル加工)	 変形温度 130℃ (ポリカーボネイト部分) 成形温度 170℃ (アクリルコーティング部分) ^{注2)}

面体	アイ ピース (ポリカーボネイト、表面 ポリシロキサン加工)	 変形温度 130~150℃ (ポリカーボネイト部分) 変形温度 200℃ (ポリシロキサン部分) ^{注2)}
防火衣	反射 テープ (塩化ビニル)	 溶融開始温度 190℃ ^{注3)}
空気呼吸器	高圧 導気管 保護 カバー	 変形温度 100~150℃ ^{注3)}

注1) 作動型示差熱天秤 TG-DTA を用いて測定した結果

注2) メーカー公表値

注3) 恒温槽を用いて測定した結果

[参考文献]

- 1) 根本昌平ほか2名：実火災体験型訓練施設の熱環境の測定、消防技術安全所報 48号、pp. 45-50、2011年10月
- 2) 湯浅弘章ほか3名：定量的な再現性を有する火災シミュレーションの構築に関する検証(その2) (定量的な火災シミュレーション作成手法の検討)、消防技術安全所報 52号、pp. 26-39、2015年9月

Study on the Visualization of the Heat Environment in the Real Fire Training Facility by Means of Experiments and Fire Simulations

Ayumu SATOU*, Kouhei KANEKO*, Hidekazu OTAKI*, Yuuichirou MACHII*

Abstract

One of the Tokyo Fire Department's firefighting training facilities is the refurbished container in which wood pallets are burned to simulate actual fires. Drills with real fire make it possible to learn experientially about the conditions of thick smoke and hot air and the characteristics of fires.

These drills, however, are conducted in an extremely harsh thermal environment, and there are concerns about damage to fire personnel's personal gear. Moreover, the personnel wear protective materials along with standard individual gear during drills, making it difficult for them to sense changes in the thermal environment. To ensure that drills are conducted safely, we need an accurate understanding of the way thermal currents inside the facility behave.

This study reproduced the training facility's combustion experiments in detail using fire simulations. Utilizing the temperature measurements of those prior experiments and the temperature calculations from the fire simulations, the study optimized the fire source conditions through statistical tests and visualized the facility's interior thermal environment to provide an understanding of its characteristics. We discovered that one characteristic of the facility's interior thermal environments was the great changes in vertical temperature distribution—from 150°C or higher above a boundary line of about one meter in height to around 40°C below it.

*Equipment Safety Section