

資料30

プレハブ建築実大規模火災実験及び仮設建築物等に係る基準の特例

1 背景

東京都では2021年に東京オリンピック・パラリンピック競技大会（以下「東京2020大会」という。）が開催されるなど、国際的なスポーツ大会をはじめとした大規模なイベントが数多く開催される。これらのイベントでは、開催期間中に限定してテントやプレハブ建築などの仮設建築物等が設置される。

これまで、仮設建築物等に対する明確な防火安全対策基準がなかったことから、東京2020大会においては、多くの仮設建築物等に対応するため、統一的な防火安全対策基準を策定し運用してきたところである。

一般的な仮設建築物等の防火安全対策基準策定のため、東京2020大会等で運用した防火安全対策基準を参考とし、また、プレハブ建築実大規模火災実験を実施して検討を進めてきた。

実施した実験の概要と、実験結果に基づき策定した仮設建築物等に関わる消防用設備等の基準の特例の一部を示す。

2 実験目的

仮設建築物等の設置に係る基準を明確化するにあたり、ユニットハウス等のプレハブ建築で火災が発生した場合に周囲に及ぼす影響について知見を得る必要がある。本実験では、人工地盤や競技施設等のデッキ上などに設置されるユニットハウスで火災が発生した場合を想定し、ユニットハウス周囲の温度や入射熱流束の測定等を行うことで、避難者や可燃物等に及ぼす影響について検討し、仮設建築物等を消防用設備等の設置単位上別棟とすることができる基準を策定することを目的とした。

3 実験概要

3. 1 実施場所

本実験は東京消防庁南多摩総合防災施設の中層訓練棟で行った。

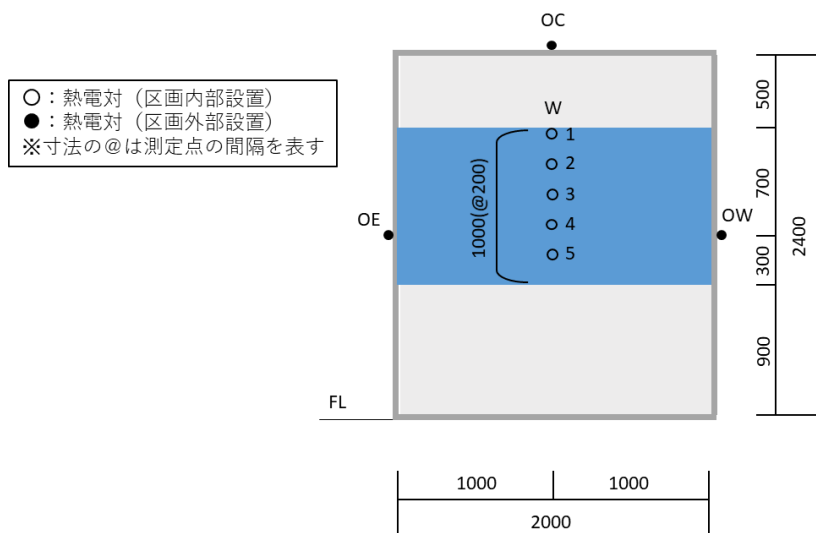
3. 2 実験装置

本実験はイベント等で設置されることの多いプレハブ建築で火災が発生した想定とし、図1に示す面積5[m²]のユニットハウスを用いた。床、壁及び天井は不燃材料で構成した。床面の中央に直径1.2[m]の円形の鋼製オイルパンを設置した。ユニットハウス及びオイルパンの外観を図3及び図4に示す。

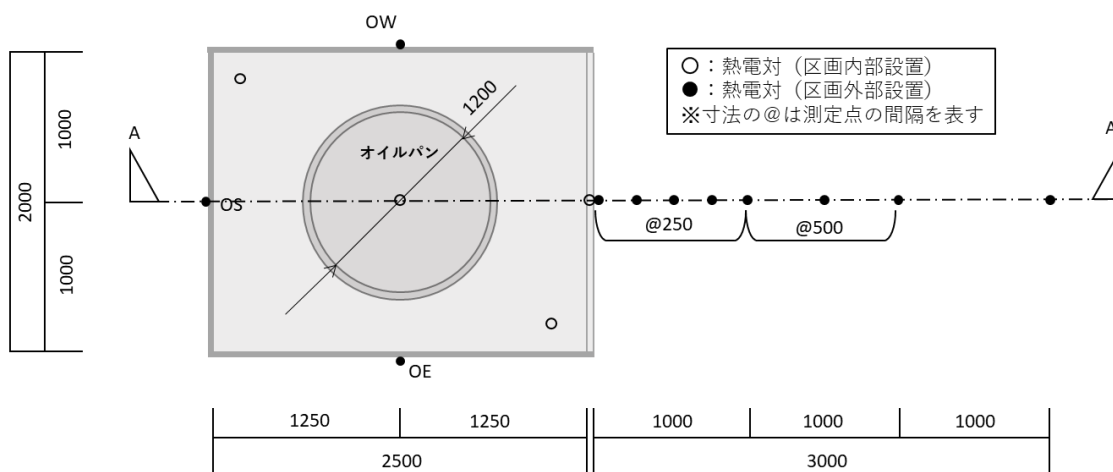
3. 3 測定項目

熱電対と熱流計の設置位置は図1及び図2に示す通りとし、以下にそれぞれの測定内容を示す。

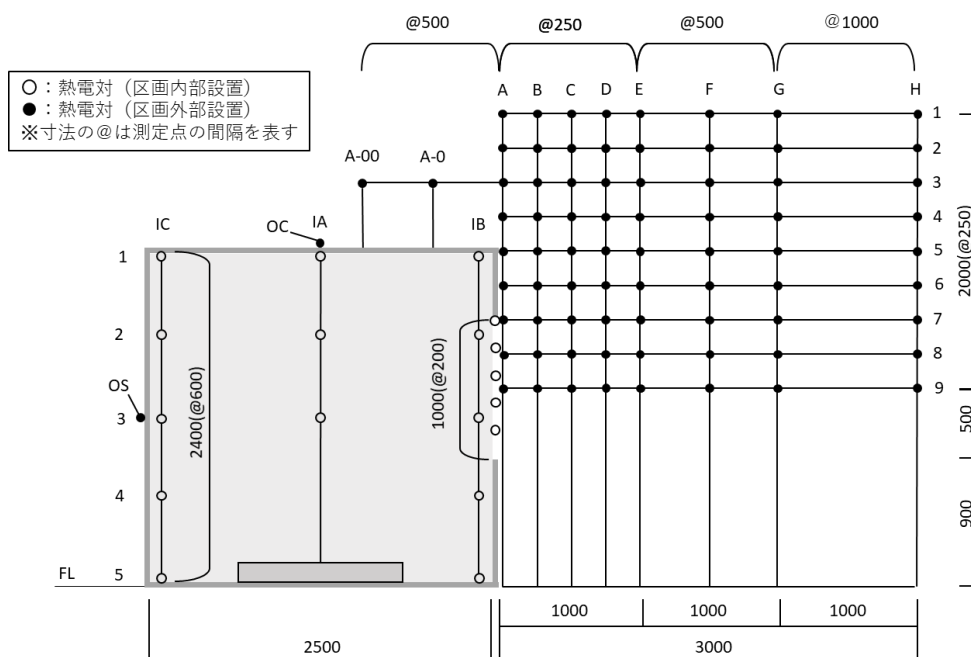
- (1) 開口部温度
開口部温度を測定するため、200[mm]間隔で1列5点の熱電対を設置した。
- (2) 区画内温度
区画内の温度を測定するため、区画内の2か所に床面から鉛直方向に600[mm]間隔で合計10点の熱電対を設置した。
- (3) 火源軸上温度
火源の軸上温度を測定するため、区画中央に床面から鉛直方向に1200[mm], 1800[mm], 2400[mm]の高さに合計3点の熱電対を設置した。
- (4) 開口部正面温度
開口部正面の温度を測定するため、1列9点とし、8列合計72点の熱電対を設置した。1列は床面からの高さ1400[mm]と3400[mm]の間に250[mm]間隔で設置し、開口部から離れるにつれ列の間隔を大きくした。
- (5) 区画周辺温度
区画の壁面及び天井面と区画上方の温度を測定するため、壁面と天井面の中央に合計3点の熱電対を設置し、また区画の上方に合計2点の熱電対を設置した。
- (6) 入射熱流束
ユニットハウスとその開口部からの入射熱流束を測定するため、開口部正面と区画背面に合計7点の熱流計を設置した。開口部正面側は、避難者への影響を想定した床面からの高さ1900[mm]と3400[mm]とし、区画からの距離2000[mm]間隔で3列、計6点設置した。また、区画背面は高さ1900[mm]とし、区画からの距離1000[mm]の位置に1点設置した。



(a) 立面図 [単位：mm]

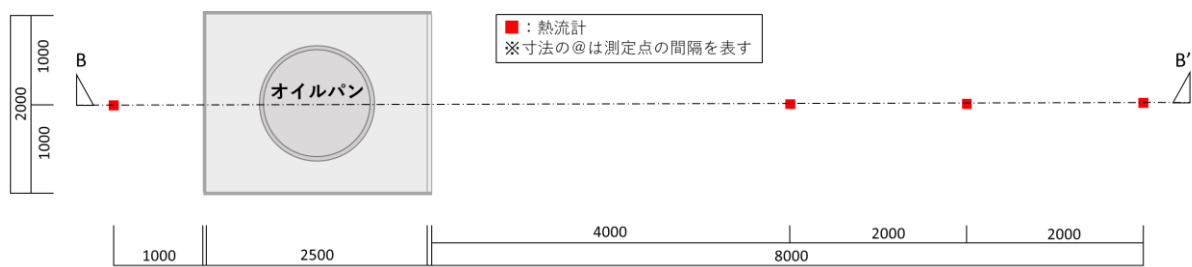


(b) 平面図 [単位：mm]

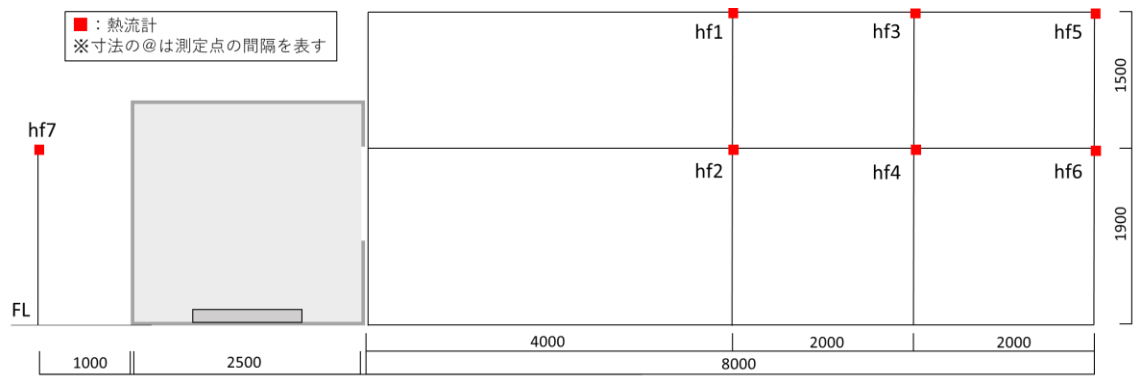


(c) A-A'断面図 [単位：mm]

図1 ユニットハウス寸法と熱電対の設置位置



(a) 平面図 [単位：mm]



(b) B-B'断面図 [単位：mm]

図 2 熱流計の設置位置



図 3 ユニットハウス



図 4 オイルパン

3. 4 実験条件

本実験では換気支配の火災を想定し、火源の燃料としてヘプタンを円形オイルパンに入れ燃焼させた。
燃料の単位面積当たりの燃焼速度 m'' を計算する場合には

$$m'' = \frac{\varepsilon_f \sigma T_f^4}{\Delta h_g} = \frac{(1 - e^{-(k_f \beta)^D} \sigma T_f^4)}{\Delta h_g} \quad (1)$$

m'' : 単位面積当たり燃焼速度[kg/m²s]

ε_f : 火炎の放射率[-]

σ : ステファン・ボルツマン定数(= 5.67×10^{-11})[kW/m²K⁴]

T_f : 火炎温度[K]

Δh_g : 気化熱[kJ/kg]

$k_f \beta$: 実効吸収係数[-m]

D : 火源の直径[m]

とする。これは $D \rightarrow \infty$ のときの m'' である m''_∞ を用いて

$$m'' = m''_\infty (1 - e^{-(k_f \beta)^D}) \quad (2)$$

とすることができる⁽¹⁾。式(1)、(2)において火源の直径 D を除いたその他の変数は、燃料の物質特性によって決まるものであることから、本実験において燃料にヘプタンを用いた場合の発熱速度は円形オイルパンの直径に依存することが分かる。これらをふまえた上で、物品販売店舗の発熱量密度をもとに設定した火源条件を表1に示す。

表 1 火源条件

燃料	ヘプタン 10[l]
オイルパン	円形 直径1.2[m]
想定発熱速度	3.73[MW]
燃焼時間	300[s]
総発熱量	1119[MJ]

また、区画内の火災において、換気支配型火災の限界の目安は式(3)で表されることが分かっている⁽¹⁾。

$$Q_{v,max} = 3000 \times 0.52A\sqrt{H} \approx 1500A\sqrt{H} \quad (3)$$

$Q_{v,max}$: 換気支配型火災の限界発熱速度[kW]

A : 開口面積[m²]

H : 開口高さ[m]

本実験の開口条件を代入すると、式(4)のとおりとなる。

$$Q_{v,max} \approx 1500A\sqrt{H} = 1500 \times 2\sqrt{1} = 3000[\text{kW}] = 3[\text{MW}] \quad (4)$$

表1に示す想定発熱速度と式(4)の値を比較すると想定発熱速度のほうが大きいことから、本条件を設定することにより、本実験は換気支配型火災となると考えられる。

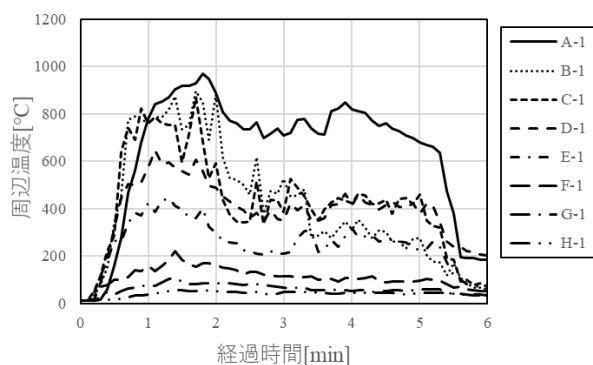
4 実験結果

4. 1 ユニットハウスの状況

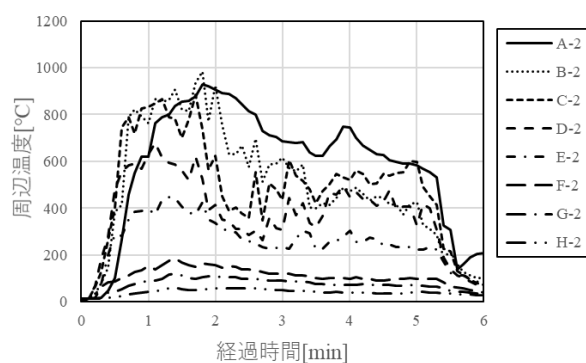
ユニットハウスの燃焼状況について、目視で観察したところ、不燃材料で作られた壁面及び天井が赤熱し、区画全体が発熱体となっている様子がみられた。また、さらに加熱を続けると壁面が崩れ、プレハブ建築が倒壊する様子がみられた。

4. 2 温度

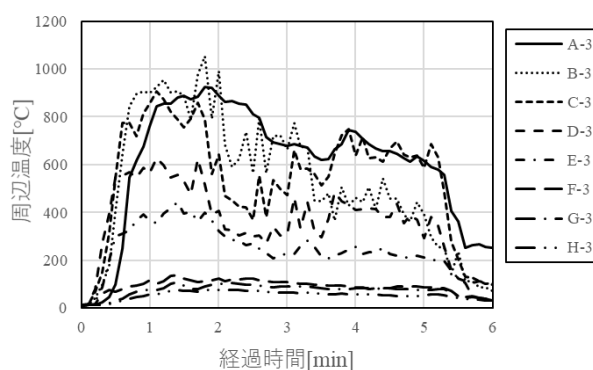
図5は縦軸に各測定点の温度、横軸に経過時間を取り、床面からの高さ H ごとに整理した結果である。なお、凡例に示すA-1、A-2等は図1に示す測定点とする。



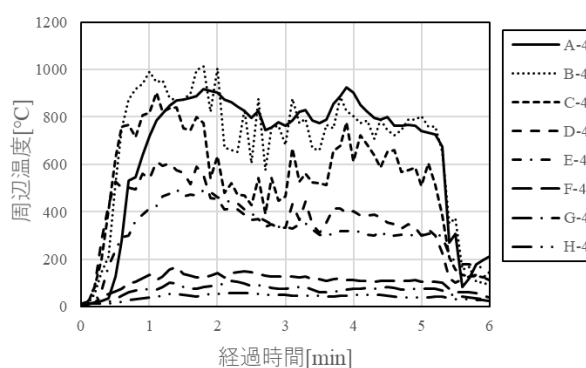
(a) $H=3400[\text{mm}]$



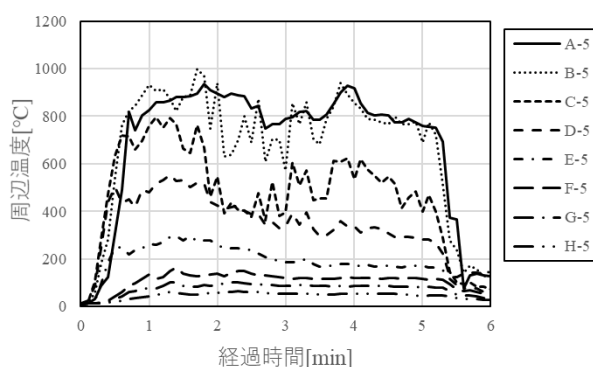
(b) $H=3150[\text{mm}]$



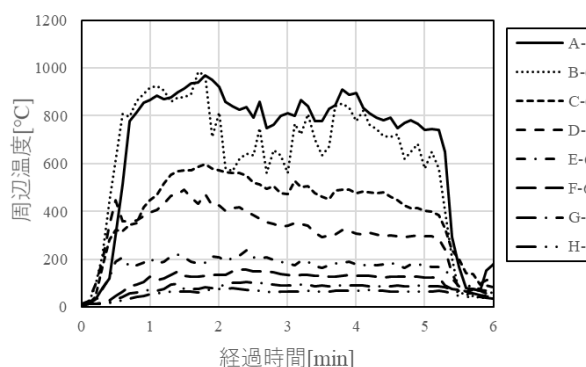
(c) $H=2900[\text{mm}]$



(d) $H=2650[\text{mm}]$



(e) $H=2400[\text{mm}]$



(f) $H=2150[\text{mm}]$

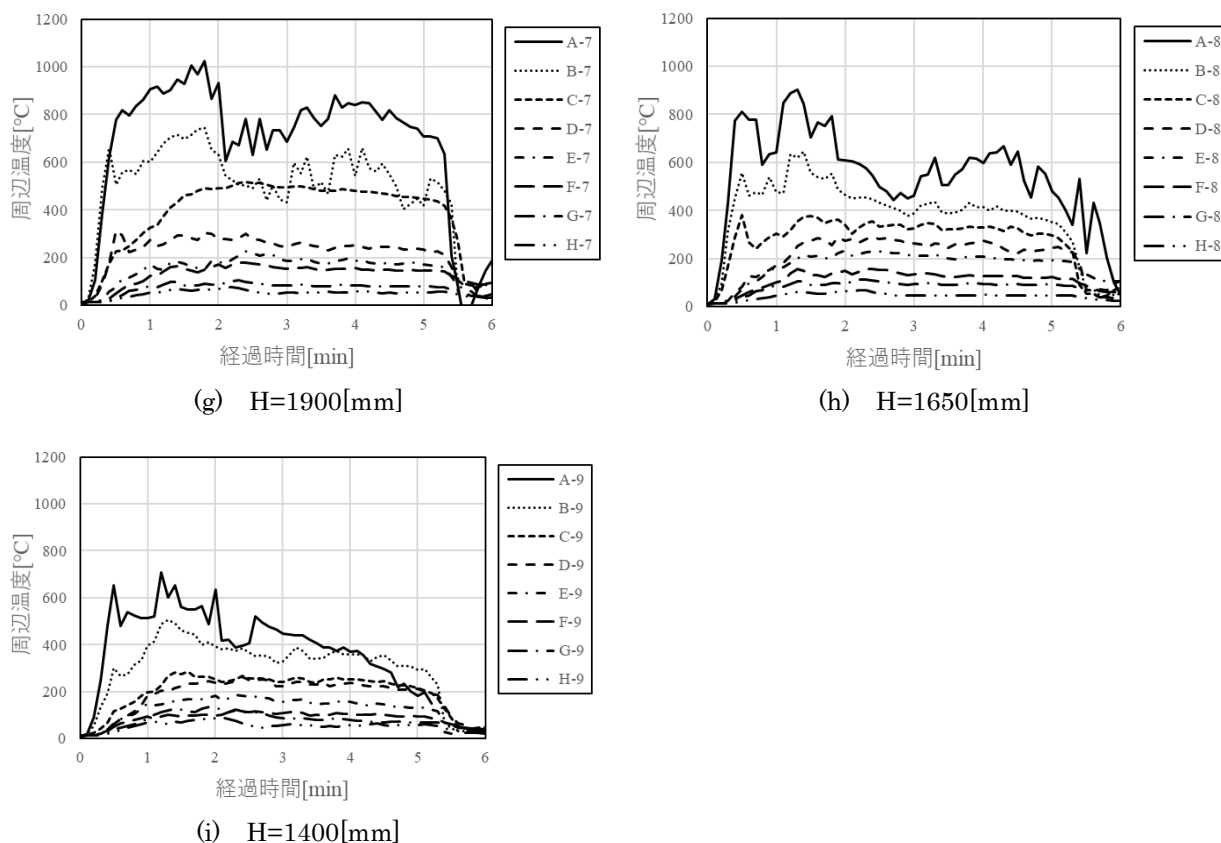


図5 床面からの高さごとの温度

図5をみると、それぞれの高さにおいて、最も開口部寄りであるA列が最も高い値を示していることが分かる。そこで、開口噴出熱気流の気流軸がA列に沿っているとし、開口噴出熱気流軸上温度を整理した。図6は縦軸に床面からの高さ、横軸に各測定点の温度をとり、整理した結果である。なお、各測定点の温度として、図5において高い温度を継続的に示した経過時間1分から2分までの平均値を用いた。

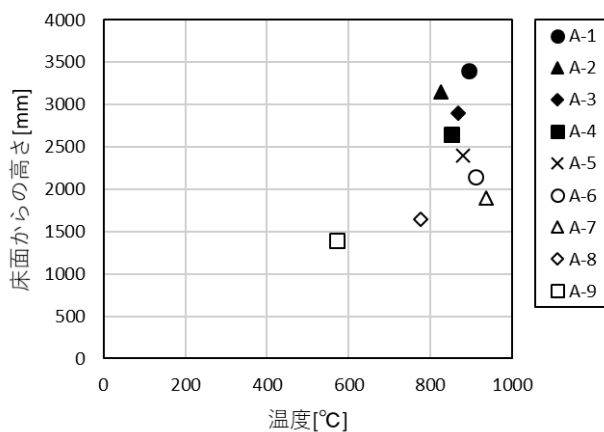


図6 開口噴出熱気流軸上温度

開口噴出熱気流軸上温度は、高さが高くなるにつれ値が小さくなること⁽¹⁾が知られているが、本実験ではほとんど変化していないことが分かる。これは、本実験の区画が耐火区画ではないことから、区画壁面及び天井からの放射熱を無視できないことが影響していると考えられる。

4. 3 熱流束

図 7 は縦軸に入射熱流束、横軸に経過時間を取り、整理した結果である。なお、凡例に示す hf1、hf2 等は図 2 に示す測定点とする。

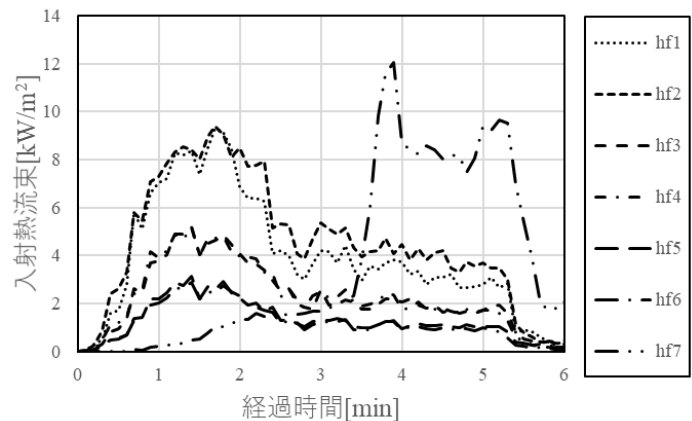


図 7 入射熱流束

図 7 をみると、高さによって入射熱流束の値はほとんど変わらないことが分かる。また、区画開口部からの距離が遠くなるにつれ、入射熱流束の値は小さくなることが分かる。

図 8 は縦軸に入射熱流束、横軸に区画開口部からの距離を取り、床面からの高さ 1.9[m] の点について整理した結果である。図中の曲線は累乗近似曲線である。入射熱流束の値は温度と同様に経過時間 1 分から 2 分までの平均値を用いた。

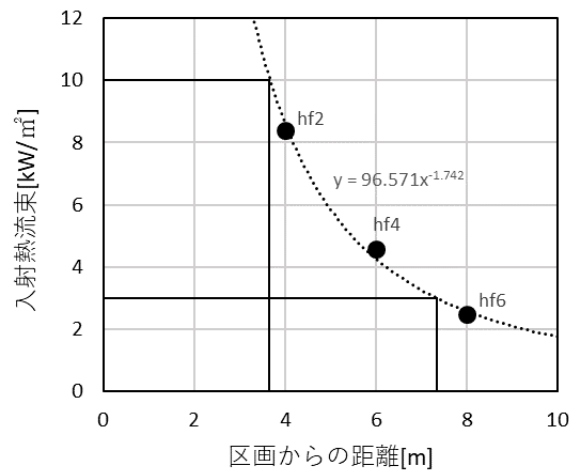


図 8 近似曲線

求めた近似曲線から入射熱流束が 3 [kW], 10[kW] となる距離を求めると表 2 のとおりとなった。ここで入射熱流束の 3 [kW] とは、人体が短時間耐えられる熱流束の値として知られており、平成 17 年総務省令第 40 号の位置構造告示⁽²⁾における特定光庭の基準等にも用いられている。また、入射熱流束の 10[kW] とは、木材の着火限界熱流束として知られており⁽²⁾、東京消防庁では、緩衝帯により消防用設備等の設置単位上別棟とする場合の評価等に用いられている。

表 2 入射熱流束が 3 [kW], 10[kW] となる距離

入射熱流束	距離
[kW/m²]	[m]
3	7.34
10	3.68

4. 4 火炎高さ

開口部から噴出する火炎高さについて撮影した動画をもとに目視で観察したところ、中性帯高さは開口高さの約3割であり、中性帯高さを基準とした連続火炎高さは約2m、間歇火炎高さは約4mであった。

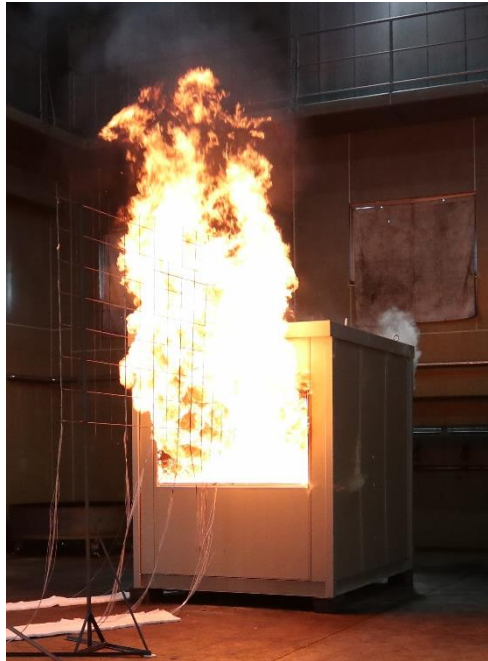


図9 開口噴出火炎

5 基準の特例

実験結果をもとに、仮設建築物等を独立した一の防火対象物とみなすことができる基準を別添えの通り策定した。基準の特例の策定に係る考え方は以下のとおりである。

- ・実験から、プレハブ建築は火災時に燃え抜けることが分かり、様々な大きさのプレハブ建築を対象に基準を一般化することは困難なことから、特例の対象とするプレハブ建築の大きさを限定した。
- ・基準の特例として離隔距離を設定するにあたり、壁面ごとに開口部がある場合とない場合に分け、実験の結果を参考として既往の算定式を用いることとした。
- ・入射熱流束が3[kW], 10[kW]となる距離を求めるにあたり、放射面（火炎含む）の形状を想定する必要がある。実験の結果から、壁面全体を放射面とすることとし、また、開口部からの噴出火炎については中性帯高さを開口高さの3割、火炎高さを4mと想定した。また、想定した放射面の温度を880[℃]として計算を行うこととした。参考文献⁽³⁾から、入射熱流束を求める計算式は、式(5)のとおりとなる。放射面と受熱面が正対する場合の形態係数 F_{d1-2} の算定方法を図10に示す。なお、安全側の評価を行うために、火炎の放射率 ε は、 $\varepsilon = 1$ を用いている。また、放射面の形状の考え方を図11に示す。

$$q'' = \Sigma F_i \sigma \varepsilon (T_i^4 - T_{surface}^4) \approx 100 F_{d1-2} \quad (5)$$

F : 形態係数[-]

T_i : 放射面温度[K]

$T_{surface}$: 受熱面温度[K]

q'' : 入射熱流束[kW/m²]

ε : 火炎の放射率[-]

σ : ステファン・ボルツマン定数(= 5.67×10^{-11})[kW/m²K⁴]

- ・計算により求めた値が図 8 から求められた距離より大きくなることから、より安全側の値として基準の特例に採用した。

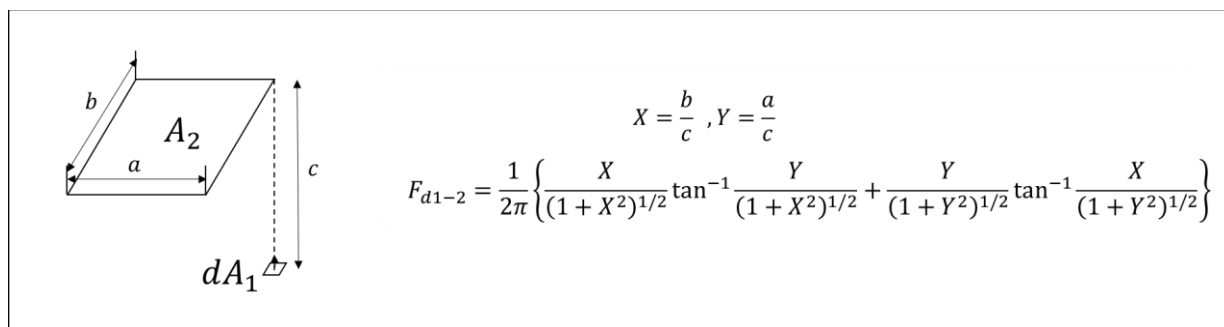
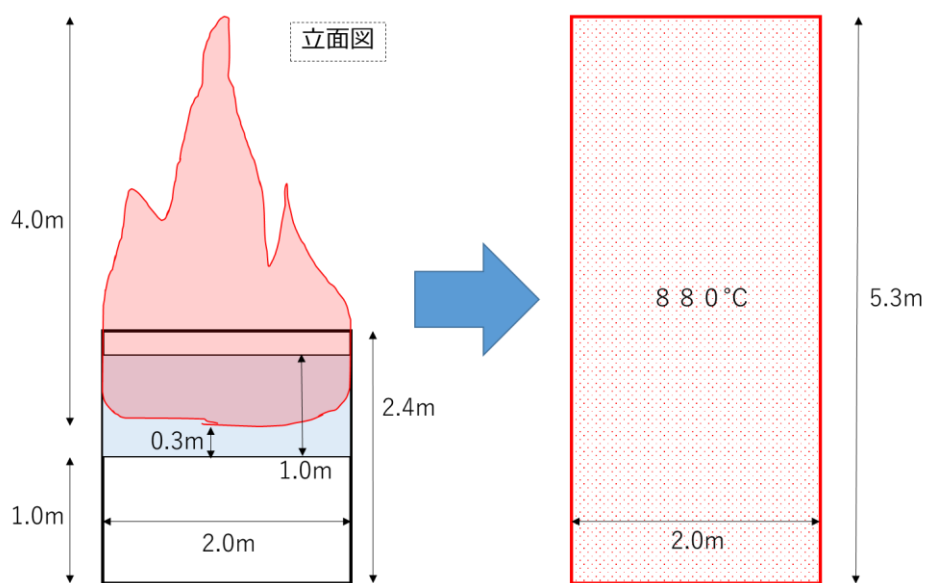
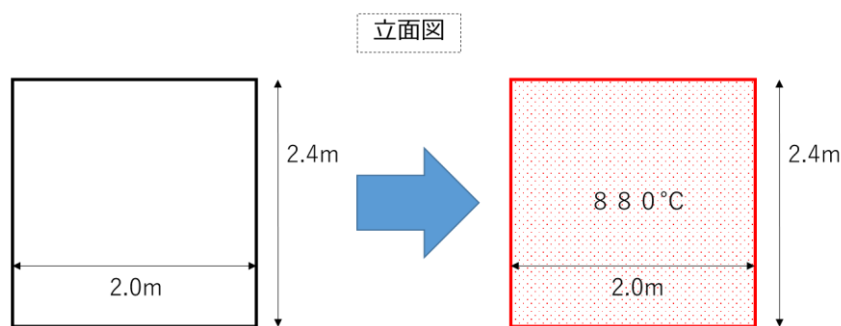


図10 形態係数の算定方法



(a) 開口部がある場合



(b) 開口部がない場合

図11 放射面の形状の考え方

6 まとめ

実験結果から以下の知見を得た。

- ・加熱されることによりプレハブ建築の壁面及び天井が赤熱し、区画全体が発熱体となった。
- ・開口噴出熱気流軸上温度は、ほとんど変化していないことが分かる。これは、本実験の区画が不燃材料で構成されており、区画からの放射熱が無視できないことが影響していると考えられる。
- ・熱流束の測定結果から近似曲線を求め、3[kW]、10[kW]となる距離を求めた。
- ・中性帯高さを基準とした連続火炎高さは約 2 m、間歇火炎高さは約 4 m であった。

また、実験結果をもとに、仮設建築物等を独立した一の防火対象物とみなすことができる基準を定めた。

参考文献

- (1) 田中哮義：第3版建築火災安全工学入門, 日本建築センター, p. 246-248, p. 294-295, p. 341-344, 2020年3月
- (2) 特定共同住宅等の位置、構造及び設備を定める件, 平成17年3月25日, 消防庁告示第2号
- (3) 原田和典：建築火災のメカニズムと火災安全設計, p. 13-16, 2007年12月
- (4) 建築学会編：建築物の火災荷重および設計火災性状指針, p. 135-138, 2022年3月

別添え 仮設建築物等を独立した一の建築物とみなすことができる基準

当該基準は、既存防火対象物の外部の気流が流通する場所等に仮設建築物等を設置した場合でも、仮設建築物等からの火災による輻射熱が既存防火対象物の屋内空間と既存防火対象物からの避難者に影響しない場合に、仮設建築物等を独立した一の防火対象物とみなす基準の特例である。

1 仮設建築物等の規模

- (1) 床面積は概ね 5 m^2 (概ね1.5坪) 以下で、高さは概ね3 m以下のもの
- (2) 床面積は概ね 10 m^2 (概ね 3坪) 以下で、高さは概ね3 m以下のもの

2 設置場所

- (1) 第2章第1節第9「消防用設備等の設置を要しない部分等」、2、(1)、第9-1表、特例1の特例を適用できる部分（以下「ピロティ・ポーチ等」という。）
- (2) 省令第13条第3項第6号及び省令第23条第4項第1号ロに規定する「外部の気流が流通する場所」（以下「外部の気流が流通する場所」という。）

3 仮設建築物等からの避難経路

既存防火対象物の屋内空間を経由せずに敷地外まで避難できる通路を確保すること。

4 防火避難の独立性

次の(ア)及び(イ)の理由から、既存防火対象物と仮設建築物等とが防火避難の独立性が確保されていると判断する距離として、別表に示す距離が確保されていること。

- (1) 仮設建築物等で発生した火災の輻射熱により、既存防火対象物の屋内空間及び屋内用途に供される部分が受ける熱量が 10 kW/m^2 未満であること。
- (2) 仮設建築物等で発生した火災の輻射熱により、既存防火対象物の避難経路や一時避難場所等となる部分に存する避難者が受ける熱量が 3 kW/m^2 未満であること。

例：1.5坪

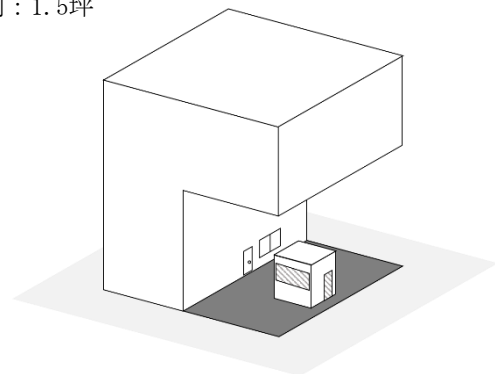


図1 外部の気流が流通する場所イメージ

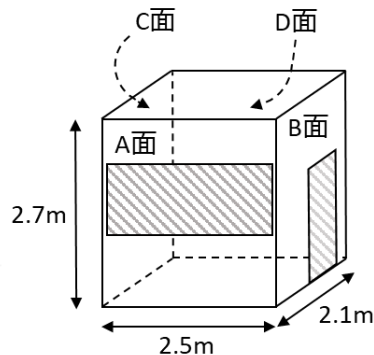


図2 仮設建築物等

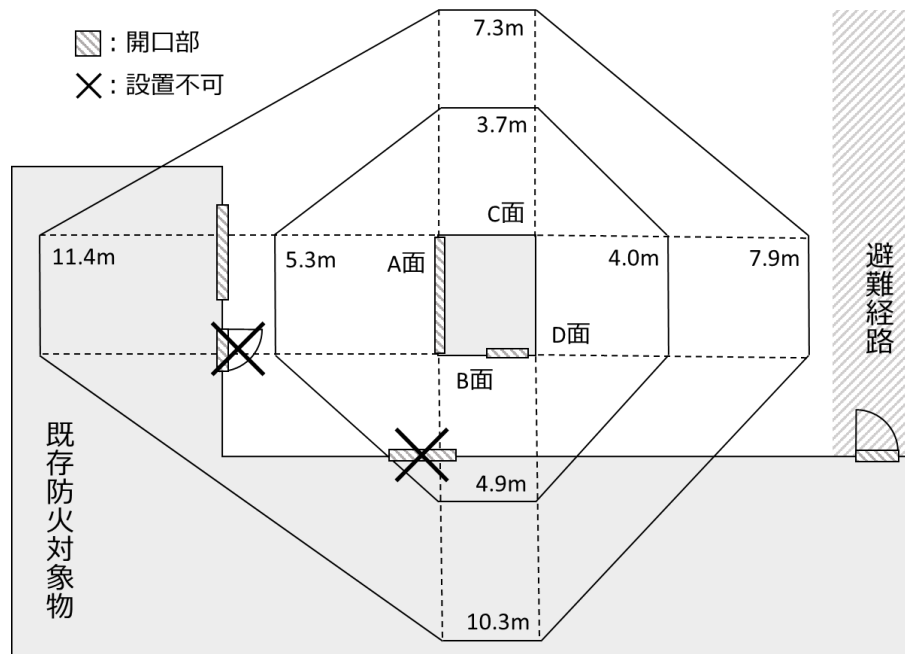


図3 離隔距離の考え方

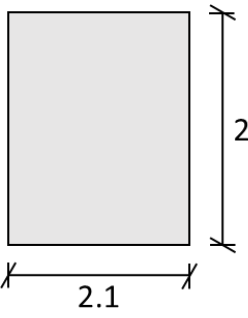
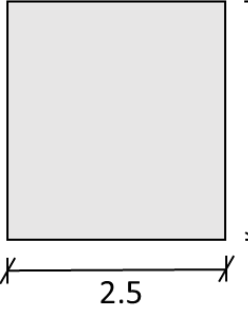
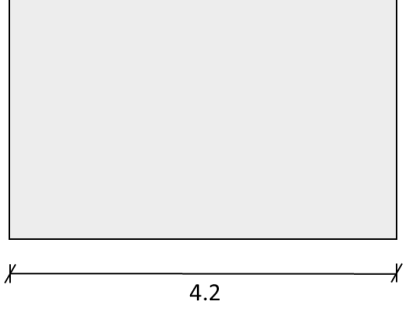
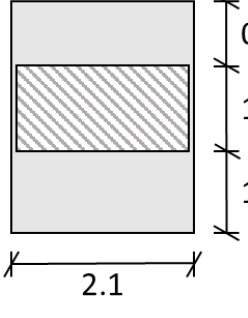
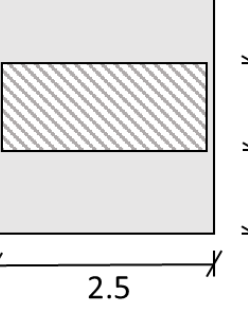
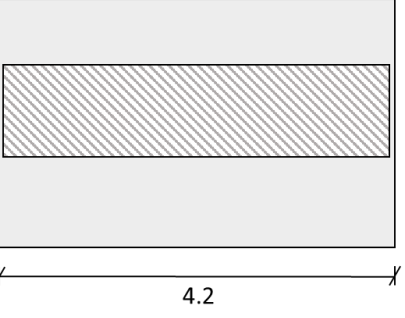
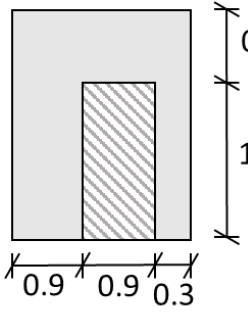
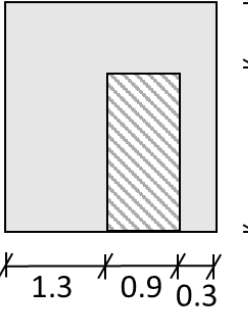
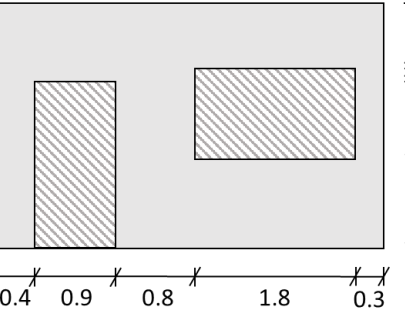
各面からの離隔距離は、別表から

A面：10 kW	5.3m	3 kW	11.4m
B面：10 kW	4.5m	3 kW	8.6m
C面：10 kW	3.7m	3 kW	7.3m
D面：10 kW	4.0m	3 kW	7.9m

避難経路は建築基準法に基づき、既存防火対象物に求められる幅員を確保すること。

別表

< 各面からの離隔距離[単位：m] >

1.5 坪短辺側面	10kW	3 kW	1.5坪長辺側面 3坪短辺側面	10kW	3 kW	3坪長辺側面	10kW	3 kW
	3.7m	7.3m		4.0m	7.9m		5.1m	10.6m
	4.9m	10.3m		5.3m	11.4m		8.1m	15.4m
	4.5m	8.6m		4.8m	9.3m		7.3m	13.9m