

外部加熱を受ける高分子材料の燃焼性状

その1 自由空間と区画内におけるウレタンブロック燃焼性状比較

防火・火災性状

準会員 ○ 小山 陽一朗^{*1} 準会員 伊東 俊介^{*1}
 正会員 松山 賢^{*2} 正会員 原田 和典^{*3}
 // 佃 めぐみ^{*4} // 抱 憲誓^{*5}
 // 大宮 喜文^{*6}

発熱速度 自由空間 ルームコーナー
 コーンカロリーメーター 燃焼熱

1 背景と目的

2000年の建築基準法改正により、設計者は性能規定による建築設計が可能となった。性能設計により建築物の耐火性能を評価する場合、火災外力を想定した設計火源が必要である。設計火源を設定する項目として可燃物燃焼性状が挙げられ、火災が発生した際の可燃物の燃焼性状を適切に予測することが必要である。今日まで、可燃物の燃焼を把握するため燃焼実験が行われ、可燃物情報として整理されてきた。

しかし、現状ではいまだ可燃物情報は十分であるとはいえず、適切な火源設定を行うには今後さらに可燃物情報を収集していく必要があるといえる。また、燃焼実験は主に写真1に示すような集煙フード下で行われるが、この実験方法は自由空間の実験であり外部加熱が考慮されていない。建築火災は、室内で発生するものがほとんどであり、自由空間での燃焼データをそのまま区画内火災に反映させることは適切ではない。

そこで本研究では、近年収納可燃物として建築内に多く持ち込まれるようになったウレタンフォームを対象とし燃焼実験を行い、火災形状や周辺への放射熱量といった可燃物燃焼性状データを収集する。また、区画内燃焼実験を行い、自由空間での燃焼実験と比較し燃焼性状の違いを確認すると共に、火災において外部加熱が燃焼に与える影響を定量的に把握する。写真2に実験にて使用した室内を想定した区画であるルームコーナー区画を示す。

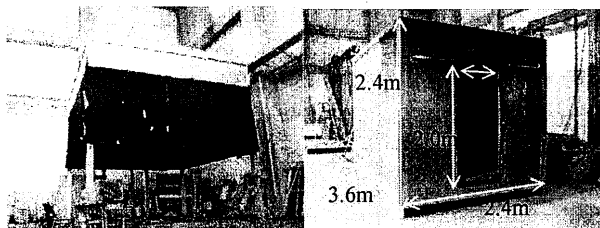


写真1 集煙フード

写真2 ルームコーナー

2 自由空間におけるウレタンブロック燃焼実験

2.1 実験概要

本実験は、東京理科大学火災科学研究センター実験棟内の集煙フード直下のロードセル台上にて行われた(写真1参照)。

ウレタンブロックは寸法を変え、可燃物規模の違いによる燃焼性状の変化を読み取った。また、複数体実験も行い、単体での燃焼性状と比較した。表1に自由空間で行った実験条件を示す。着火位置については、すべて試験体上面中央より着火させた。実験は、着火時を試験開始とし、試験体が燃え尽きるまで行った。

表1 実験条件(自由空間)

実験番号	幅×奥行×高さ [mm]	重量[kg]	密度[kg/m ³]	離隔距離[mm]
1	500×500×500	2.2	17.6	
1-2	500×500×500	2.16	17.3	
2	1000×1000×500	8.12	16.2	
3	1300×1300×500	14.64	17.3	
4A	500×500×500 2個	2.19, 2.18	17.5, 17.4	300
4B	500×500×500 2個	2.19, 2.18	17.5, 17.4	500
4C	500×500×500 2個	2.20, 2.21	17.6, 17.7	700
4D	500×500×500 2個	2.21, 2.22	17.7, 17.8	1400

2.2 測定項目

(1)発熱速度

本実験では、試験体の燃焼規模を把握するため、燃焼生成ガスを集煙フードにより収集し、酸素、二酸化炭素及び一酸化炭素濃度を分析、酸素消費法により発熱速度を算出した。

(2)試験体軸上温度

K熱電対により試験体上面中央より鉛直方向の温度分布を測定した。測定位置は、試験体上部から1mの高さまでは200mm間隔で5点、それ以降は500mm間隔で3点、計8点で測定した。

(3)入射熱流束

周辺への入射熱量を測定するため、熱流束計を水平方向に4点設置した。設置高さは試験体底部から500mmとし、離隔距離を300,500,700,1400mmとした。

(4) 燃焼速度

ロードセルにより試験体の重量変化を測定し、燃焼速度を算出した。

図1に単体燃焼実験、図2に複数体燃焼実験での測定位置をそれぞれ示す。

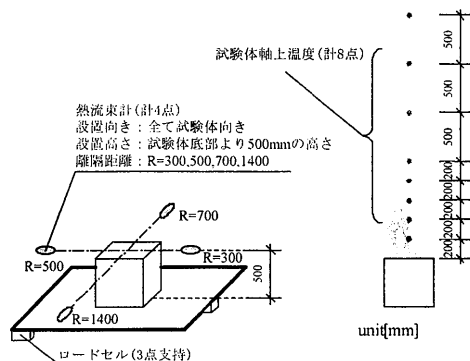


図1 実験概要図(単体燃焼)

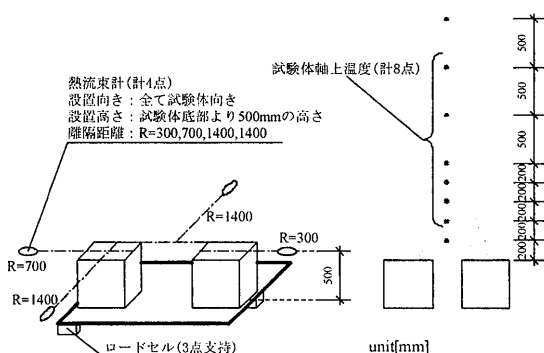


図2 実験概要図(複数体燃焼)

2.3 実験結果

図3に自由空間での単体燃焼、図4に複数体燃焼での発熱速度の時間変化を示す。

各ケースとも着火後、同心円状に火炎が拡がり、試験体角部に達した後均等に燃え下がり、底部に達し角部のみの燃焼となり鎮火した。また、ウレタンの液化によって生じた液滴が試験体底部に着火し燃え広がる様子が確認された。複数体燃焼実験において、離隔距離が300,500,700mmのケースでは、発熱速度の推移は概ね同様の傾向を示した。これらのケースでは、試験体が向き合っている面が他の面に比べ早く燃え下がり試験体底部に到達した。これは、一方の試験体の火炎による熱放射により他方の試験体の熱分解が早まったためと考えられる。また、実験4Dの発熱速度結果が他の複数体実験の結果に比べ緩やかとなったのは、火炎からの熱放射が無視できるほど十分に離れていたためであると考えられる。

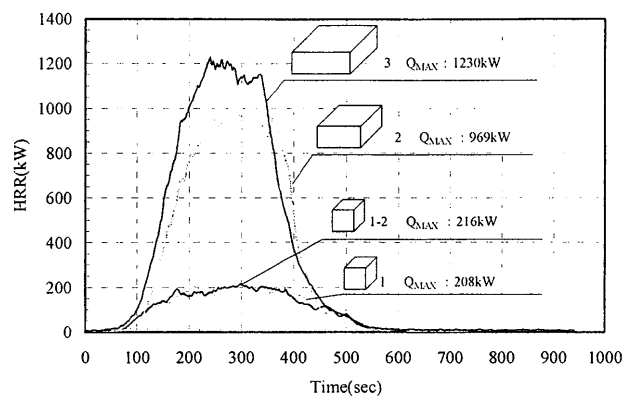


図3 単体での発熱速度の時間変化

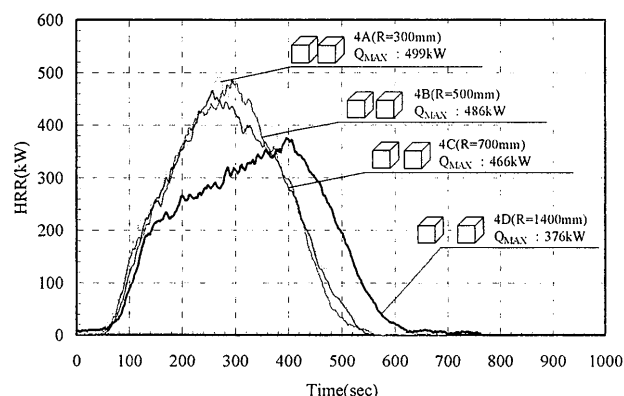


図4 複数体での発熱速度の時間変化

3 区画内におけるウレタンブロック燃焼実験

3.1 実験概要

室内を想定した区画としてISO9705に規定されているルームコーナー(内法: 2.4×3.6×2.4m、開口 0.8×2.0m)を使用した(写真2参照)。表2に区画内実験での実験条件を示す。着火位置は、すべて試験体上面中央とした。

3.2 測定項目

図4に単体燃焼実験、図5に複数体燃焼実験の測定位置を示す。発熱速度、燃焼速度については自由空間と同様である。

(1) 試験体軸上温度

熱電対を試験体上部から1mまでは200mm間隔で5点、さらに500mm上方に1点の計6点設置して測定した。

(2) 入射熱流束

試験体から300,500mmの位置にそれぞれ水平向きと鉛直上向きの2点ずつ、計4点で測定した。

(3) 区画内垂直温度分布

区画内温度を測定するため、対角線上の隅角部2箇所

にそれぞれ熱電対を設置した。設置位置は、それぞれ床面から 200mm 間隔で 11 点とした。図 6 に設置位置を示す。

表 2 実験条件(区画内)

実験番号	幅×奥行×高さ [mm]	重量[kg]	密度[kg/m ³]	開口高[mm]
5A	500×500×500	2.19	17.5	1850
5B	500×500×500	2.18	17.4	1000
5C	500×500×500	2.13	17.0	500
実験番号	幅×奥行×高さ [mm]	重量[kg]	密度[kg/m ³]	離隔距離[mm]
6A	500×500×500 2個	2.21, 2.17	17.7, 17.4	300
6A-2	500×500×500 2個	2.17, 2.19	17.4, 17.5	300
6B	500×500×500 2個	2.18, 2.20	17.4, 17.6	500
6C	500×500×500 2個	2.15, 2.16	17.2, 17.3	700

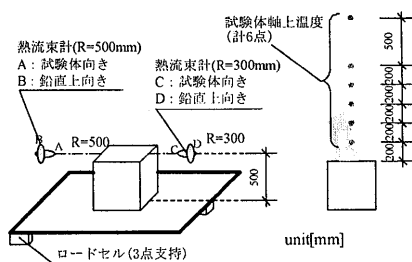


図 4 実験概要図(単体燃焼)

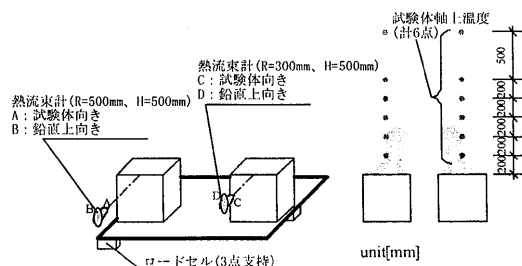


図 5 実験概要図(複数体燃焼)

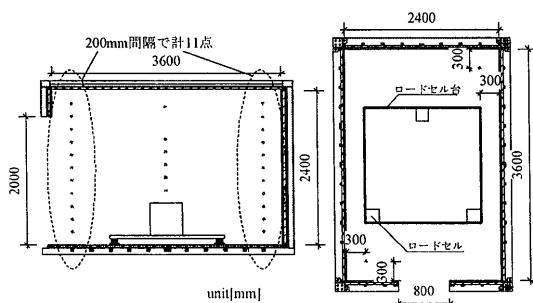


図 6 熱電対設置位置

3.3 実験結果

図 7 に、各ケースの発熱速度の時間経過について示す。6A については、フラッシュオーバーが発生したためここでは省略する。

各ケースとも自由空間と同様、上面で同心円状に火炎が広がった後、燃え下がっていった。また、複数体実験においても自由空間と同じく、向かい合っている面が早

く燃え下がる傾向が見られた。5A では 300 秒過ぎあたりから発熱速度が急激に上昇するが、このケースでは液垂れが顕著に起こり、その結果燃焼面積が増えたためだと考えられる。5A, 5B, 5C では、開口高さが低くなるに従い発熱速度も減少しているが、これは開口面積が小さくなったことにより換気量が制限され、酸素供給量が減少したためだと考えられる。

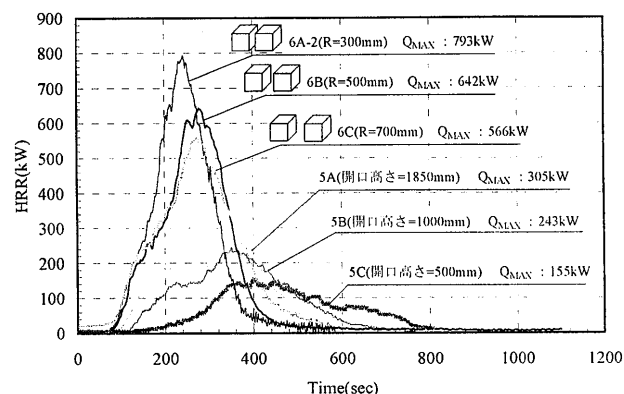


図 7 区画内燃焼実験における発熱速度の時間変化

4 コーンカロリメーター装置による発熱性実験

4.1 実験概要

本実験で用いたウレタンブロックの燃焼熱を把握するため、コーンカロリメーター装置を用いて実験を行った。本実験では、コーンヒーターによる放射強度を 0, 10, 20, 30, 40, 50 kW/m² と設定した。試験体であるウレタンブロックは幅 100mm、奥行き 100mm、厚さ 50mm とし、各放射強度についてそれぞれ 3 ケースずつ行った。放射強度が 0 kW/m² については、口火を用いて試験体中央にて着火させた。

4.2 実験結果

表 3 に実験結果、図 8 に放射強度と燃焼熱の関係を示す。また、燃焼熱は式(1)により算出した。

$$\Delta H = \frac{Q_{THR}}{M} \quad (1)$$

放射強度が増加しても燃焼熱は概ね一定の値を取ることが確認された。これは、どの試験体の密度も一様であり、放射強度が変化しても完全燃焼率はあまり変化しなかったためであると考えられる。

表3 コーンカロリーメーター試験による実験結果

放射強度 [kW/m ²]	最大発熱速度 [kW/m ²]	総発熱量 [MJ/m ²]	燃焼熱 [MJ/kg]
0	330.56	24.54	24.66
0	337.74	23.67	26.27
0	407.17	22.45	26.10
10	390.33	23.18	26.40
10	365.63	22.79	26.41
10	388.58	23.56	26.71
20	450.17	21.91	26.49
20	437.24	20.15	26.44
20	430.91	21.11	24.78
30	484.73	18.72	21.7169
30	454.02	19.69	22.6062
30	530.55	18.63	24.4488
40	572.55	18.61	23.9203
40	530.9	21.27	26.0662
40	572.72	21.74	26.1928
50	705.24	22.75	26.5152
50	679.31	21.90	26.2905
50	748.23	23.36	26.3955

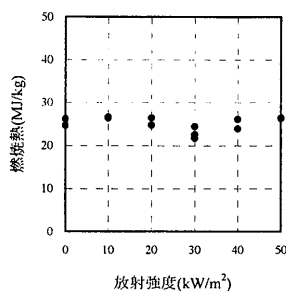


図8 放射強度と燃焼熱の関係

5 外部加熱の有無による燃焼性状の違い

5.1 発熱速度の比較

図9から図12に、自由空間と区画内での発熱速度の違いを示す。図9より、区画内での発熱速度が自由空間と比べて概ね平均で3割、最大で6割程度大きくなっていることがわかる。また、区画内燃焼のケースでは自由空間と比べ、燃焼時間が短く、ピークに達した後の勾配が急であることが分かる。これは、高温の煙層や壁体からの熱放射により未燃部分の熱分解が早まったためであると考えられる。

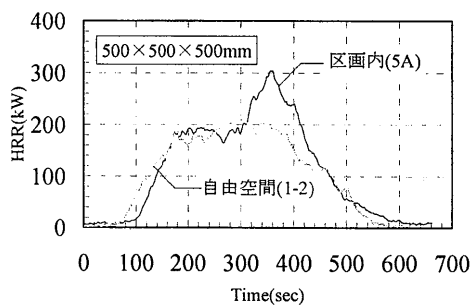


図9 500×500×500mm の比較

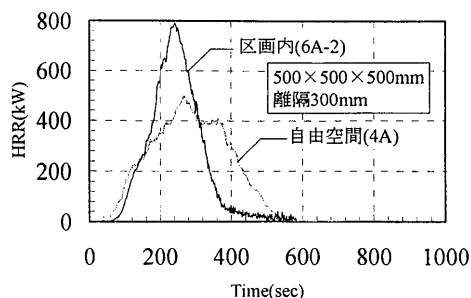


図10 500×500×500mm×2個、離隔300mmの比較

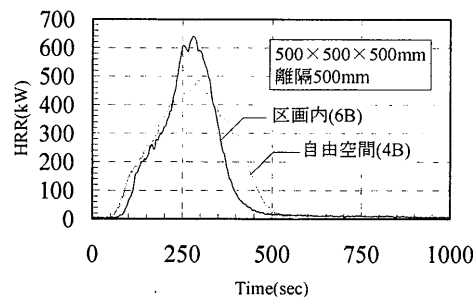


図11 500×500×500mm×2個、離隔500mmの比較

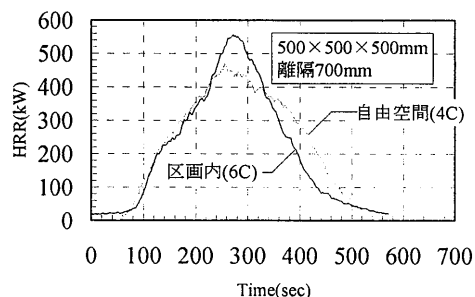


図12 500×500×500mm×2個、離隔700mmの比較

6 まとめ

本実験の結果、以下の知見を得た。

- ・ 本実験では、ウレタンの発熱速度は最大で 1230kW にまで達することが確認された。
- ・ ウレタンの燃焼熱は、放射強度によらずほぼ一定の値を取り、約 25MJ/kg であることを確認した。
- ・ 区画内で燃焼させた場合、自由空間に比べ発熱速度は3割程度大きくなることを確認した。また、高温の煙層や壁体からの熱放射を受けたために、未燃部分の熱分解が早まったために、自由空間実験に比べ燃焼時間が短くなることを確認できた。

<凡例>

R: 離隔距離[mm]、 Q_{MAX} : 最大発熱速度[kW]、 ΔH : 燃焼熱[MJ/kg]、 Q_{THR} : 総発熱量[MJ/m²]、M: 試験体重量[kg]

-
- *1 東京理科大学理工学部建築学科4年
 - *2 東京理科大学総合研究機構火災科学研究所 工博
 - *3 京都大学大学院工学研究科建築学専攻准教授 工博
 - *4 京都大学大学院工学研究科建築学専攻修士2年
 - *5 鹿島技術研究所 工博
 - *6 東京理科大学理工学部建築学科准教授 工博