

東京理科大学「火災安全科学研究拠点」

■ 研究成果概要報告書

| | | | |
|--|-------------|----------------------------------|------------------|
| 研究課題 | | 吹抜空間の煙制御システムに関する基礎的研究 | 実施年度 平成 26 年度 |
| 研究代表者 | 所属 | 株式会社大林組 技術研究所 | |
| | 氏名 | 山口 純一 | |
| | 問合せ先メールアドレス | yamaguchi.junichi@obayashi.co.jp | |
| 受入担当責任者 | 氏名 | 松山 賢 | |
| 1. 研究の背景および目的 <p>開放性等の意匠上の要求を踏まえて、建物内に吹抜空間を設置する建物は数多くある。こうした建物において吹抜に面する室で出火した場合、火災室から吹抜を通して、上階へと煙が拡散され、出火階だけでなく、上階における避難者も煙汚染の恐れがある。そのため、吹抜を含む空間では出火室のみならず、吹抜や吹抜を通して接続される上階の室をも含めた煙制御を考える必要がある。</p> <p>吹抜空間の煙制御は各排煙口の風量バランス、排煙口設置位置により大きく異なると考えられるが、どのような煙制御が最も効果的であるかは明らかではない。また、上記検討を行うためには流量収支を考える必要があるため、周囲空気を巻き込みながら吹抜空間内を上昇する上昇気流のモデル化が必要と考えられる。</p> <p>以上を踏まえて、本研究では、吹抜空間内を上昇する上昇気流のモデル化および上階の居室への煙汚染を防ぐ煙制御システムの開発のための基礎的データの収集を目的とする。</p> | | | |
| 2. 利用施設及び利用日 ・ 大規模実験室 (2014年10月8日 ~ 10月22日) | | | |

3. 実験方法・研究成果、および考察（申請時の計画に対する達成度合いも含む）

※継続課題の場合は、前年度との関係性、進展度合いについても記載すること。

本実験では①吹抜空間内を上昇する上昇気流のモデル化のための基礎的データ収集を目的とした吹抜単室実験②上階の居室への煙汚染を防ぐ煙制御システム開発のための基礎的データ収集を目的とした複数室実験の2つを実施した。以下ではそれぞれの実験方法および考察を示す。

【実験①吹抜単室実験】

[実験模型概要]

本実験で使用した模型の平面図および断面図を図1および図2に示す。

実験模型は幅2.275m、奥行き6.3m、高さ3mであり、天井は15mmの強化石膏ボード、床はコンクリート、壁は厚さ12.5mmの石膏ボードとした。模型の長辺方向の一面には、床から0.91mの高さまで外部に開放されている。また、火源として室の中央に角型パンを設置した。なお、本実験では図3に示すとおり火源を中央、端部、隅角と移動させるため、端部、隅角部分では幅910mm、高さ1820mm、厚さ12.5mmのセラミックボードを設置した。排煙系として、模型の中央の天井には直径400φの排煙口を設置した。排煙口には直径400φのフレキシブルダクトおよび多孔式ピトー管を介して、流量調整が可能な排気ファンに接続した。

[測定項目]

模型内温度：図1に示す①A～①Fの6地点に設置した、図4に示す熱電対ツリー(17点)で測定した。

排煙風量：多孔式ピトー管により測定した。

排煙ダクト内温度：排煙ダクト内中央に設置した熱電対によって測定した。なお、熱電対を挿入するためにダクトに直径5mmほどの穴をあけたが、完全

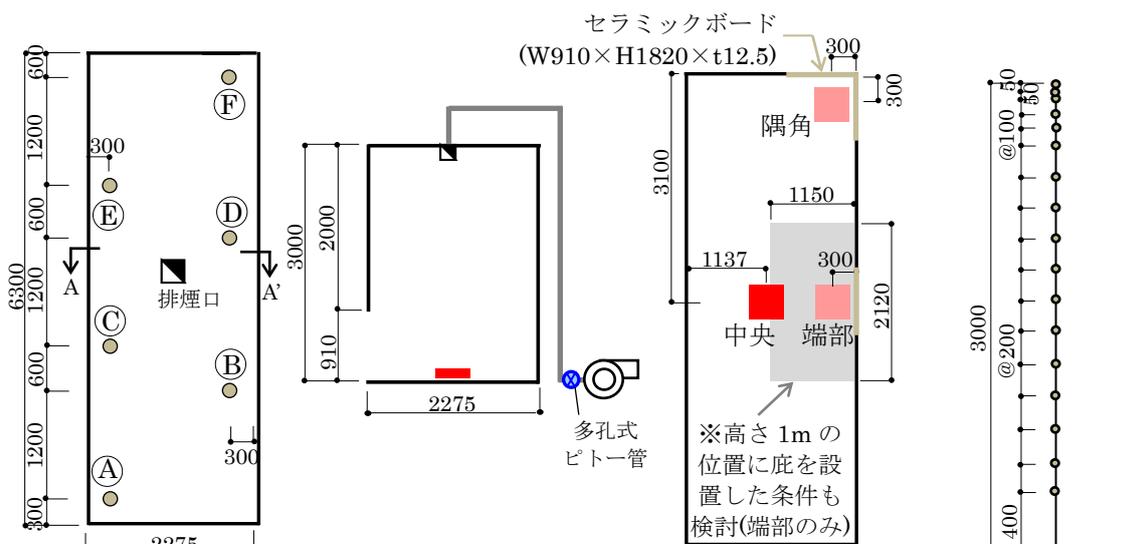


図1 平面図

図2 A-A'断面図

図3 火源位置

図4 吹抜ツリー

に塞いでいる。

燃料重量減少速度：火源(燃料メタノール)として用いた角型パンの下に設置したロードセルを用いて測定した。

[実験条件]

表 1 に示すとおり火源径、火源位置をパラメータとした。なお、火源が端部にある場合には図 3 に示すとおり床から高さ 1m の地点に幅 2.12m、奥行き 1.15m、厚さ 12.5mm の石膏ボード製の庇を設置した場合についても検討した。

[実験方法]

図 5 に示すとおり、排煙風量を 1kg/s として定常になるのを確認したのち、火源に着火する。着火後定常状態が確認されたのち、排煙風量を 0.8kg/s 程度まで減少させて、定常状態を再度形成する。それぞれの定常状態での煙層温度および排煙風量を測定した。

表 1 実験条件

| 条件 | 火源径 | 火源位置 | 庇 |
|------|-------|------|---|
| No.1 | 45cm角 | 中央 | 無 |
| No.2 | | 端部 | |
| No.3 | | 隅角部 | |
| No.4 | | 端部 | |
| No.6 | 32cm角 | 中央 | 有 |
| No.7 | | 端部 | |
| No.8 | | 隅角部 | |
| No.9 | | 端部 | |

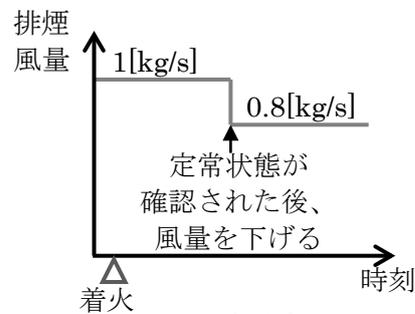


図 5 実験方法

[実験結果]

図 6 に吹抜の平均鉛直温度分布を実験 No.1~No.4 の一部について示す。図 6 より最高温度および煙層高さは、火源中央に比べて、火源端部、火源隅角部の順にとも高くなる傾向が分かる。一方、火源端部-庇ありの条件は火源端部(庇なし)条件に比べて、最高温度、煙層下端高さともに低くなる事が分かる。

次に実験で得られた全吹抜ツリーの高さ毎の平均を N%法(N=30)で算出した煙層下端高さ z と排煙流量 m_p と重量減少速度に理論発熱量(19.9KJ/kg)を乗じて得られた発熱速度 Q の関係を図 7 に示す。

図 7 は縦軸に測定されたプルーム質量流量、横軸に $Q^{1/3}z^{5/3}$ を示したものである。なお、ここでは火源が小さいことから仮想点熱源の取扱いは無視した。図 7 より、中央での巻き込み係数は 0.0981 であった。一般によく使われる 0.076 と比べてやや大きい、これは当該実験状況が必ずしも完全な静穏下ではなかったことが原因と考えられる。一方で、端部(0.0851)や隅角部(0.0752)では 0.0981 より小さい値となった。これは壁面の存在により中央ほどの巻き込み量が得られなかったためと考えられる。一方で、端部に庇がついた場合の巻き込み係数は 0.2211 であった。

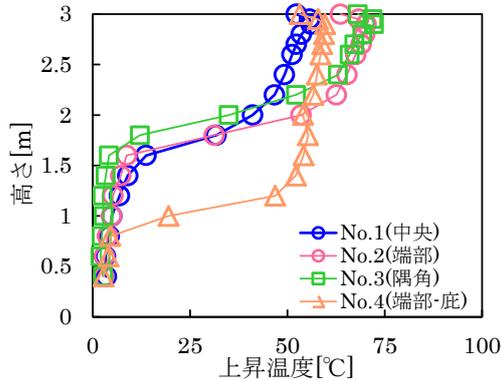


図6 吹抜内温度分布の一例

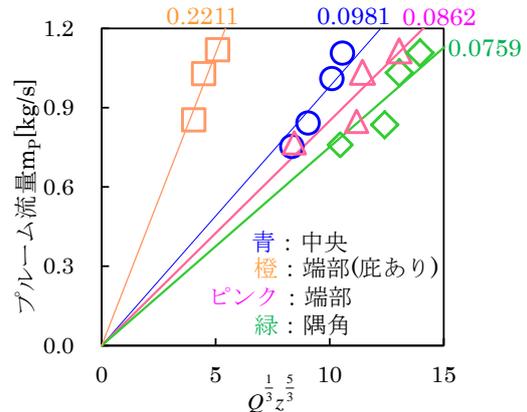


図7 m_p と $Q^{1/2}$ の関係

【実験②複数室実験】

[実験模型概要]

本実験で使用した模型の平面図および断面図を図8および図9に示す。

実験模型は幅 2.275m、奥行き 6.3m、高さ 3m の吹抜空間と幅 2.275m、奥行き 2.1m、高さ 1m の隣接室空間計 9 室(1 階ごとに 3 室)で構成されている。

吹抜の天井は 15mm の強化石膏ボード、床はコンクリート、壁は厚さ 12.5mm の石膏ボードである。吹抜の長手方向の一面には、床から 0.91m の高さまで外部に開放されている。吹抜の天井は図 8(b)に示すとおり実験条件に応じて高さ 30cm の垂壁(スタイロフォーム)を設置することができる。

隣接室においては、3 階の天井は 15mm の強化石膏ボード、1 階の床はコンクリート、それ以外は厚さ 12.5mm の石膏ボードである。なお、図 8(a)に示す 1 階の 2 つの隣接室には火源を設置した室(以下、火災室 1、火災室 2)と吹抜空間は幅 700mm、高さ 700mm の開口で接続されているが、火災室以外の室と吹抜空間には壁を設置していない。火災室では、火源は室の中央に設置することとし、当該室の天井および壁にはセラミックウールを貼付した。なお、火災室-吹抜開口部の直上(床から高さ 1m の地点)には幅 2.12m の石膏ボード製の庇が状況に応じて設置可能である。庇長さは 70cm と 35cm である。

排煙系として、図 8(b)に示すとおり吹抜の天井に直径 400φ の排煙口を 3 つ設置した。各排煙口は直径 400φ のフレキシブルダクトおよび多孔式ピトー管を介して、流量調整が可能な排気ファンに接続した。また、火災室 1 および火災室 2 にも直径 400φ の上端が天井となるように排煙口を設置した。火災室からの排煙口も直径 400φ のフレキシブルダクトを介して吹抜排煙と同一の排気ファンに接続している。両者の風量を調整できるように、各ダクトには風量調整ダンパーを設置した。なお、これらの排煙口はすべて状況に応じて開閉可能である。

[測定項目]

吹抜内鉛直温度：図 8 に示すⒶ～Ⓕの 6 点に設置した熱電対ツリー(図 10)で測定した。

火災室内鉛直温度：図8に示す地点に設置した熱電対ツリー(図11)で測定した。
 火災室-吹抜開口部鉛直温度：図8に示す地点に設置した熱電対ツリー(図12)で測定した。
 天井面下温度：図13に示す地点において天井下5cm下に設置した熱電対にて測定した。
 吹抜排煙風量：吹抜用排煙ダクトに設置した多孔式ピトー管により測定した。
 全排煙風量：吹抜用排煙ダクトと火災室用排煙ダクトの合流した後のダクトに設置した多孔式ピトー管により測定した。上記の吹抜排煙風量を活用することで、火災室排煙量を算出できる。
 排煙風量の温度：排煙ダクト内中央に設置した熱電対によって測定した。なお、熱電対を挿入するためにダクトに直径3mmほどの穴をあけたが、設置後シリコンチューブにて完全に塞いだ。
 燃料重量減少速度：火源(燃料メタノール)として用いた角型パンの下に設置したロードセルを用いて測定した。

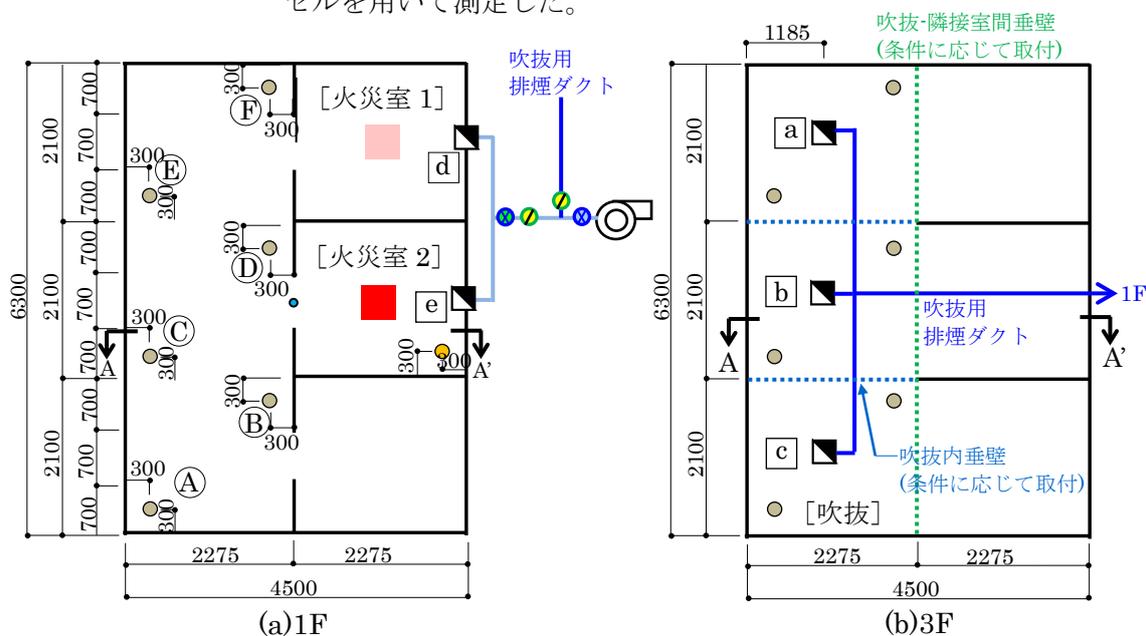


図8 平面図

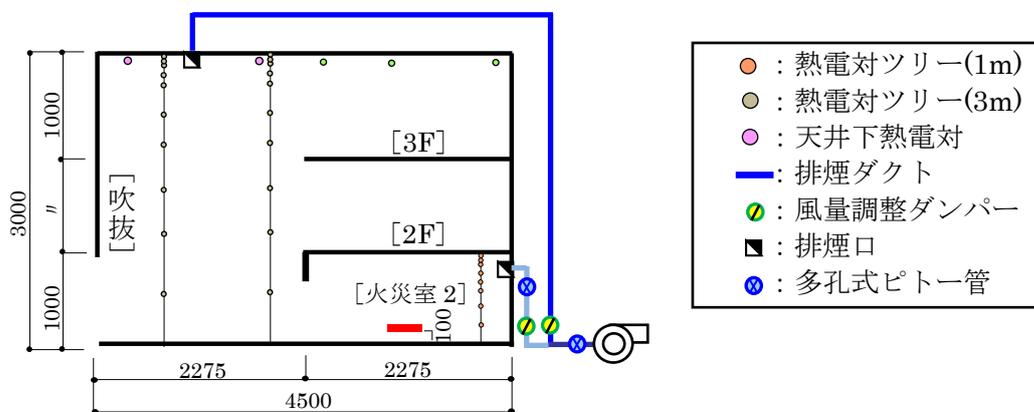


図9 A-A'断面図

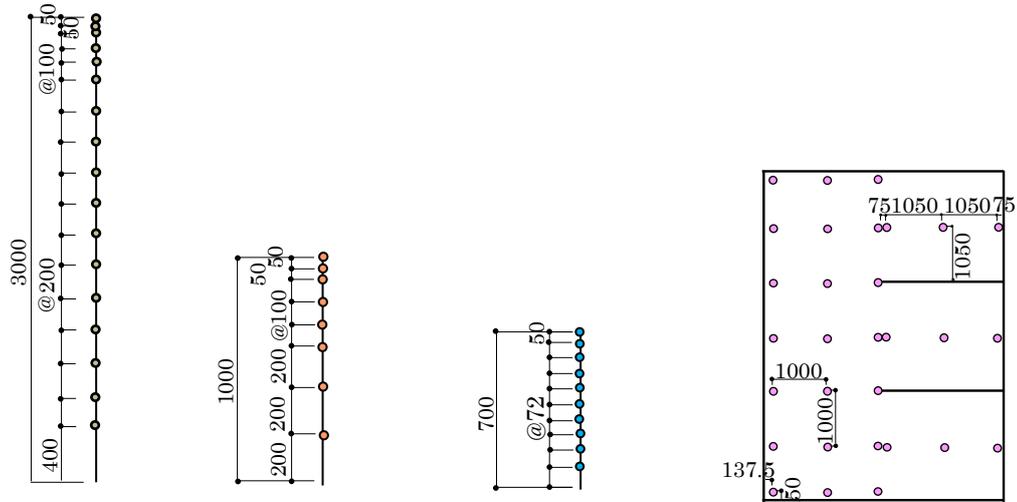


図 10 吹抜ツリー (17 点) 図 11 火災室ツリー (8 点) 図 12 開口部ツリー (10 点) 図 13 天井下熱電対 (30 点)

[実験条件]

表 2 に示すとおり、火源径、火源位置、排煙量等をパラメータとして計 34 条件検討した。なお、1F の開口幅や給気口の位置を変更した条件も実施したが、以降の結果概要では示さないで詳細は省略する。

表 2 実験条件

| 条件 | 火源径 | 火源位置 | 排煙口 | 排煙量 Ve[m ³ /s] | 1F 開口幅 | 給気口 | 吹抜 垂壁 | 3F 垂れ壁 | 1F 庇 | 備考 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|------|------------------------------|-----------|------|----------|-----------|---------|-------------------|--------------------|-------|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|------|----|---|---|---|
| No.1 | 45cm角 | 火災室2 | b | 1 | 70cm | 吹抜 | | | | 排煙口配置評価 (鉛直方向) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.2 | | | | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.3 | | | a | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.4 | | | | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.5 | | | 火災室1 | a | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.6 | | | | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.7 | | b | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.8 | | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.9 | | c | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.10 | | | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.11 | | 火災室2 | b+e | 0.5ずつ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.12 | | | | 0.25ずつ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.13 | | | b | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.14 | | | | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.15 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.16 | | 火災室1 | b | 1 | | 吹抜 | 有 | 有 | 有 | 有 | 吹抜あるいは 3F垂れ壁の考察 | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.17 | | | | | | | | | | | | 火災室2 | b | 1 | 隣接室 | 有 | 有 | 有 | 有 | | | | | | | |
| No.18 | | | 火災室1 | | | | | | | | | | | | | | | | | b | 1 | 吹抜 | 有 | 有 | 有 | 有 |
| No.19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.20 | | | 火災室2 | | | | | | | | | | | | | | | | | e | 1 | 70cm | 吹抜 | | | |
| No.21 | | | | | | | | | | | | 140cm | | | | | | | | | | | | | | |
| No.22 | | 35cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.23 | 0.5 | 70cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.24 | | 140cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.25 | | 35cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.26 | | 35cm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.27 | 30cm角 | 火災室2 | | b | 0.5 | 70cm | 吹抜 | | | 排煙口配置評価 (鉛直方向) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.28 | | | 火災室1 | | | | | | | | a | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.29 | | | | | | | | | | | | a | | | | | | | | | | | | | | |
| No.30 | | | 火災室1 | | | | | | | | b | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.31 | | c | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.32 | | | | c | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.33 | | | | | | | | | | | | c | | | | | | | | | | | | | | |
| No.34 | | | c | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

[実験方法]

火源等を実験条件に応じて設定したのち、排煙を起動する。排煙が所定の条件で定常状態になったのを確認したのち火源に着火し、測定項目を測定した。

[実験結果概要]

①吹抜内の排煙口の配置評価に関する考察 (No. 1~No. 11, No. 19~No. 34)

No.1(排煙風量無)と No.2,4,6,10(排煙風量 1m³/s で火源位置又は排煙位置変更)について、着火後定常状態における火災室-吹抜開口部の温度分布を図 14 に、吹抜ツリーの温度分布を図 15 に示す。また、各地点の煙到達時間を図 16 に示す。なお、発熱速度は各条件ともほぼ同一である。

吹抜内の排煙口位置によらず、温度分布はおおむね同一である。また、煙到達時間は、火源と各地点までの距離で変化するものの、排煙の有無や排煙位置では変化しない。これらの傾向は他の条件でも同様にみられた。

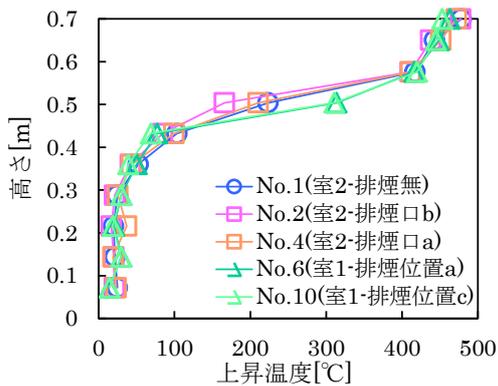


図 14 火災室-吹抜開口部温度分布

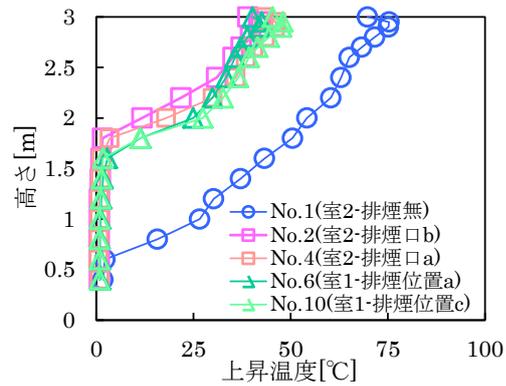
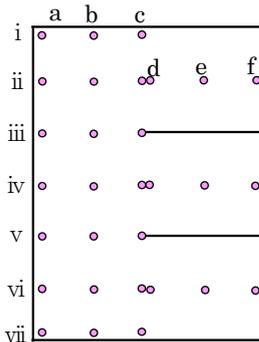


図 15 吹抜鉛直温度分布



| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 22 | 25 | 21 | - | - | - |
| ii | 18 | 15 | 15 | 17 | 28 | 34 |
| iii | 16 | 14 | 13 | - | - | - |
| iv | 17 | 12 | 10 | 11 | 15 | 20 |
| v | 17 | 13 | 14 | - | - | - |
| vi | 21 | 15 | 18 | 18 | 28 | 32 |
| vii | 22 | 25 | 22 | - | - | - |

(a) No.1(排煙無し)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 22 | 24 | 22 | - | - | - |
| ii | 19 | 15 | 16 | 17 | 29 | 34 |
| iii | 17 | 13 | 12 | - | - | - |
| iv | 23 | 12 | 11 | 11 | 16 | 21 |
| v | 18 | 13 | 13 | - | - | - |
| vi | 22 | 15 | 18 | 17 | 29 | 33 |
| vii | 25 | 21 | 21 | - | - | - |

(b) No.2

(火源 2-排煙位置 b-1m³/s)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 19 | 23 | 17 | - | - | - |
| ii | 16 | 14 | 14 | 14 | 24 | 29 |
| iii | 15 | 12 | 11 | - | - | - |
| iv | 13 | 11 | 9 | 9 | 13 | 19 |
| v | 14 | 12 | 12 | - | - | - |
| vi | 17 | 14 | 18 | 17 | 28 | 31 |
| vii | 19 | 20 | 21 | - | - | - |

(b) No.4

(火源 2-排煙位置 a-1m³/s)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 15 | 14 | 12 | - | - | - |
| ii | 18 | 11 | 11 | 11 | 14 | 19 |
| iii | 19 | 14 | 13 | - | - | - |
| iv | 21 | 20 | 17 | 17 | 28 | 36 |
| v | 23 | 22 | 23 | - | - | - |
| vi | 26 | 25 | 30 | 31 | 38 | 40 |
| vii | 31 | 28 | 31 | - | - | - |

(d) No.8

(火源 1-排煙位置 b-1m³/s)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 15 | 13 | 11 | - | - | - |
| ii | 13 | 10 | 9 | 10 | 13 | 19 |
| iii | 14 | 13 | 12 | - | - | - |
| iv | 17 | 18 | 15 | 16 | 24 | 29 |
| v | 18 | 19 | 20 | - | - | - |
| vi | 21 | 20 | 23 | 25 | 31 | 37 |
| vii | 25 | 23 | 25 | - | - | - |

(e) No.10

(火源 1-排煙位置 c-1m³/s)

図 16 煙到達時間(秒)

②排煙口を設置する室に関する考察 (No. 3, No. 12, No. 13, No. 23, No. 26)

No.1(排煙風量無)と No.3,12,13,23,26(排煙風量又は排煙を起動させる室を変更)について、着火後定常状態における火災室-吹抜開口部の温度分布を図 17 に、吹抜ツリーの温度分布を図 18 に示す。

図 17 および図 18 より、同一量を排煙する場合、火災室で排煙を実施した方が吹抜内の温度が上がらないことが分かる。また、No.13 や No.23 では吹抜内に煙が漏煙しているが、吹抜温度を上昇していないことが分かる。

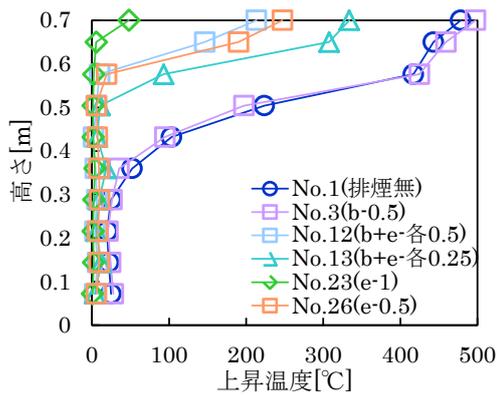


図 17 火災室-吹抜開口部温度分布

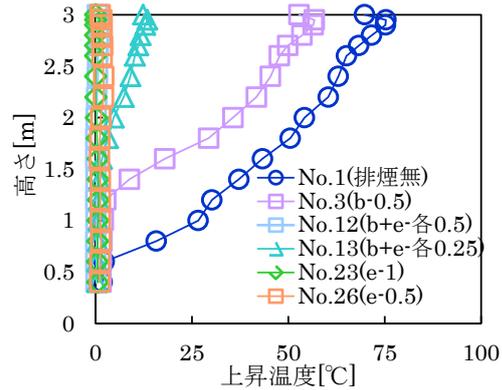


図 18 吹抜鉛直温度分布

③庇の配置に関する考察

排煙風量 $1\text{m}^3/\text{s}$ -排煙位置 b の条件について、No.2(庇なし)と No.19(火災室 1 庇 70cm),20(火災室 1-庇 35cm),21(火災室 2-庇 70cm),22(火災室 2-庇 35cm)について、着火後定常状態における火災室-吹抜開口部の温度分布を図 19 に、吹抜ツリーの温度分布を図 20 に示す。

図 20 より庇が長くなるほど、吹抜内の煙上昇温度は低くなるが、煙層下端高さも低くなる。なお、図 19 より庇の有無によらず、開口断面での温度分布は各条件ともおおむね同じである。

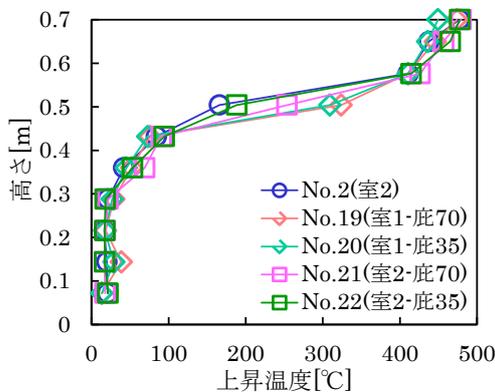


図 19 火災室-吹抜開口部温度分布

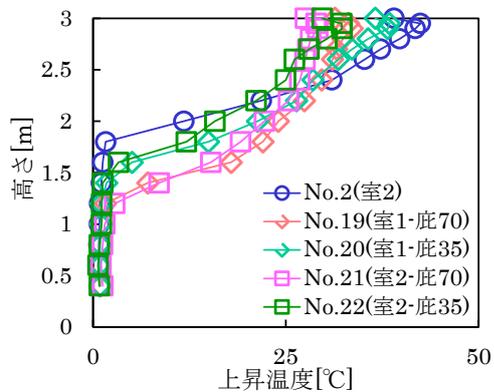


図 20 吹抜鉛直温度分布

④吹抜および吹抜-3F 隣接室間の垂壁の有無

排煙風量 $1\text{m}^3/\text{s}$ -排煙位置bの条件について、No.2(垂れ壁なし)とNo.16(吹抜内垂壁),17(隣接室間垂壁),18(吹抜内垂壁および隣接室間垂壁の双方設置)について着火後定常状態における火災室-吹抜開口部の温度分布を図21に、吹抜ツリーの温度分布を図22に示す。また、各地点の煙到達時間を図23に示す。

図22より垂壁の有無、位置にかかわらず、吹抜内の煙温度はおおむね同一である。図23より、垂壁により多少の煙到達時間を遅らせることができるが、それほど変わらない。

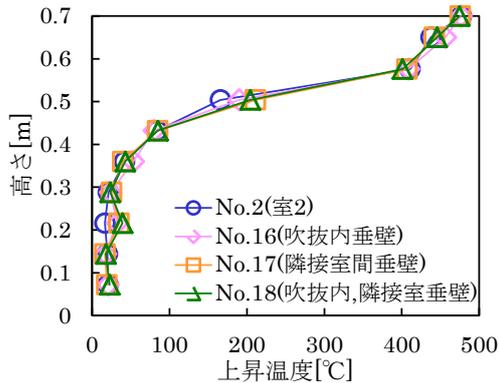


図21 火災室-吹抜開口部温度分布

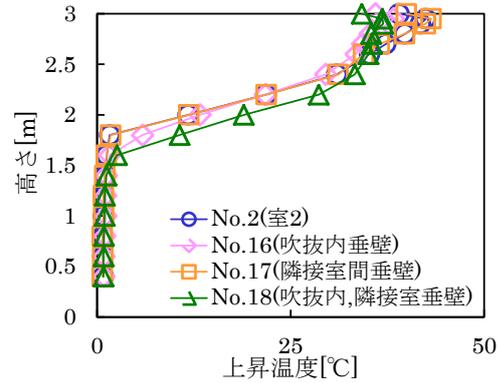


図22 吹抜鉛直温度分布

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 22 | 24 | 22 | - | - | - |
| ii | 19 | 15 | 16 | 17 | 29 | 34 |
| iii | 17 | 13 | 12 | - | - | - |
| iv | 23 | 12 | 11 | 11 | 16 | 21 |
| v | 18 | 13 | 13 | - | - | - |
| vi | 22 | 15 | 18 | 17 | 29 | 33 |
| vii | 25 | 21 | 21 | - | - | - |

(a) No.2
(垂壁無)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 25 | 30 | 31 | - | - | - |
| ii | 21 | 23 | 25 | 25 | 36 | 43 |
| iii | 14 | 12 | 10 | - | - | - |
| iv | 19 | 11 | 9 | 10 | 13 | 20 |
| v | 15 | 11 | 12 | - | - | - |
| vi | 22 | 24 | 28 | 30 | 39 | 41 |
| vii | 26 | 26 | 30 | - | - | - |

(b) No.16
(吹抜内垂壁)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 18 | 17 | 15 | - | - | - |
| ii | 16 | 13 | 12 | 21 | 28 | 32 |
| iii | 15 | 11 | 10 | - | - | - |
| iv | 21 | 13 | 9 | 13 | 15 | 20 |
| v | 17 | 12 | 11 | - | - | - |
| vi | 19 | 13 | 14 | 23 | 28 | 36 |
| vii | 23 | 18 | 15 | - | - | - |

(c) No.17
(隣接室間垂壁)

| | a | b | c | d | e | f |
|-----|----|----|----|----|----|----|
| i | 23 | 25 | 27 | - | - | - |
| ii | 20 | 21 | 22 | 36 | 38 | 45 |
| iii | 14 | 12 | 11 | - | - | - |
| iv | 18 | 13 | 10 | 15 | 16 | 22 |
| v | 14 | 12 | 13 | - | - | - |
| vi | 22 | 22 | 26 | 44 | 40 | 46 |
| vii | 24 | 26 | 29 | - | - | - |

(d) No.18
(吹抜内,隣接室間垂壁)

図23 煙到達時間(秒)

【総括】

様々な実験条件を行うことで、吹抜単室および隣接する室を含めた煙流動に関する詳細な基礎的データが得られた。特に排煙口の設置室に関する検討は、今後の吹抜空間での適切な排煙計画についての重要な知見になると考えられる。

4. 今後の展望（今後の発展性，見込み等についても記述）

吹抜内の煙流動性状について詳細な検討が得られた。今後はこれらの情報を組み合わせて吹抜空間内の煙流動のモデル化を行う方針である。

5. 成果の公表状況（学会への発表，学術誌への投稿等を記述。予定も含む）

現段階では、未投稿であるが来年度の建築学会や火災学会等に投稿する予定である。

6. 経費の使用状況

| 消耗品費・会議費・印刷費等 | | 旅費 | | 人件費 | |
|-------------------------|---------|-----|-------|-----|-------|
| 事 項 | 金額(円) | 事 項 | 金額(円) | 事 項 | 金額(円) |
| 材料費 | 498,960 | | | | |
| 小計 | | 小計 | | 小計 | |
| 東京理科大学 負担分 総計 498,960 円 | | | | | |
| 大林組 負担分 総計 855,000 円 | | | | | |

※スペースが足りない場合はページを増やしても構いません。

※上記5に記載された成果公表については、別刷1部をご提出願います。PDFファイル等の電子データでも構いません。

※本成果報告概要書に記載された内容は、本拠点の成果報告としてWeb等で公開されることをお含み置き下さい。

※本成果報告概要書と併せて、研究報告書を提出頂いても構いません。（フォーマットは問いません。）

※後日開催予定の成果講評会で使用されるプレゼンテーション用の電子ファイルについても提出願います。（学内での報告に使用）