

噴流による遮煙効果に関する実験的研究

Experimental Study on Effect on Preventing Smoke Flow by Jet

中野 美奈*1 山名 俊男*2
Mina Nakano Toshio Yamana

要旨

排煙設備のひとつである加圧防排煙の現行の原理は、強制給気を行うことにより空間内の静圧を高め、隣接空間との圧力差により気流を生じさせて煙の侵入を防止するという「圧力制御」の考え方である。しかし実際には、遮煙開口部は動圧の影響を受けていることがこれまでの研究により明らかとなった。そこで従来の、空間内の静圧上昇による隣室との圧力差により遮煙を行う「圧力制御」の考え方に加え、直接開口部に噴流を与え、形成される空気流動を用いて煙侵入防止を図ると、「気流制御」方式による煙制御システムについての検討を行う必要性を把握した。本研究では、遮煙に必要な気流分布を与える効果的な手法を把握することを目的として実験を行った結果、給気風速がほぼ同じであっても、給気口の位置、給気の向き、給気面の抵抗によって遮煙効果の異なることが把握できた。

キーワード：加圧防排煙システム 圧力制御 気流制御 遮煙効果 噴流

1. はじめに

これまで給気室に設けられる給気口と遮煙開口部の配置関係や給気量が、遮煙位置における気流分布に与える影響を把握するため、系統的な区画実験を行うことにより基礎データの収集・整理を行ってきた¹⁾²⁾。

その結果、遮煙位置において、遮煙に効果的な気流分布は、給気口の位置や給気方法によって異なることが把握できた。また、給気室とすることが多い付室などの小規模空間に大量給気を行うと、給気室内は動圧の影響を受け、動圧が遮煙開口部での気流分布に影響を及ぼしていることが把握できた。

これらの研究成果から、空間内の静圧上昇による隣室との圧力差により遮煙を行う加圧防排煙システムに代わって、噴流を活用した煙制御システムを検討する必要性が判明し、本研究では、遮煙を期待する開口部において遮煙に必要な気流分布を与える効果的な手法を把握することを目的として実験を行った。

本実験では、遮煙に必要な給気量・給気方法の把握、給気面の誘因効果が遮煙に及ぼす影響、給気口と遮煙開口部の距離が遮煙に及ぼす影響などに着目し、実験を行った。

本報告では、これら実験結果の一部と、CFD解析(Computational Fluid Dynamics: 計算流体力学)により

気流分布を再現した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験装置と実験手順

実験は建築研究所実大火災実験棟内の室を利用した。実験施設は区画(W2, 700×D9, 780×H2, 550mm)の中を、開口部(W900×H2, 000mm)を有する可動の壁で区切っている。本実験では、この開口部を「遮煙開口部」と称す。遮煙開口部を境に、一方を給気室、他方を火災室とした(写真1)。給気ファンからフレキシブルダクトで給気口へ接続する途中で、チャンバーとみなす小区画(W900×D900×H1, 800mm)を経由している。給気口形状は、一辺300mmの角形であり、13分割した格子状のガラリ(写真2)が給気口前に取り付けられている。図1に実験施設平面図兼測定点配置図、図2に遮煙開口部の断面図と測定点配置図を示す。

実験は、既設の給気ファンから給気を行い、火災室に火源を設置した。火源は800mm角のアルコールパンにメタノールを入れて着火し、発煙筒により煙を発生させた。その後遮煙開口部での温度上昇値を見ながら給気量を増減させ、遮煙できる給気量の把握を試みた。

2.2 測定項目と測定点

測定点は、温度、動圧、静圧、風速で、それぞれ熱電対、ピトー管、ビニルチューブ、多点風速計(KANOMAX、MODEL1570他)により測定を行った。遮煙開口部の動圧は、T字型ピトー管(D1~D10)により微差圧計(Validyne社、310038他)にて測定し、さらに同じ位置に熱電対(C1~C10)を設置した。熱電対は他にも遮煙状況を把握するため、遮煙開口部上端の火災室側(C14~C16)と給気室側(C11~C13)に3点ずつ、さらに火災室内2ヶ所(A,B)、給気室内3ヶ所(C,D,E)にポールを立て、それぞれ5点ずつ(床上高さ1,250mm~2,450mmまで300mm等間隔で5点)配置した。図1、図2には、熱電対とピトー管の測定点のみ示している。写真1は火災室内状況である。



写真1 火災室内状況(火災室～給気室をみる)

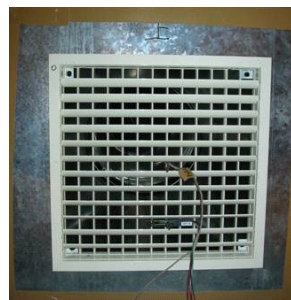


写真2 ガラリ詳細
(羽根角度上向き)

2.3 実験条件

実験は、給気口の位置、火源の有無、給気室面の開口率、遮煙開口部の位置などをパラメータとする13ケースについて行った(表1)。ガラリ(写真2)の羽根角度は、遮煙開口部における気流分布が上部で流出し、かつ下部での逆

表1 実験条件

	給気口位置	給気室面	火災室面	出口	遮煙開口部位置	火源	移動風速計
NO.1	正面中段	壁	壁	密閉	給気面から3m	×	×
NO.2	正面中段	壁	壁	開放	給気面から3m	○	×
NO.3	正面上段羽根角度下向き	壁	壁	開放	給気面から3m	○	×
NO.4	正面上段羽根角度下向き	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m	○	×
NO.5	正面上段羽根角度下向き	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m	×	○
NO.6	正面上段羽根角度下向き	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m、ただし遮煙開口部幅最大	×	○
NO.7	正面上段羽根角度下向き	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から2m	×	○
NO.8	正面上段羽根角度下向き	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から4m	×	○
NO.9	正面上段羽根角度下向き	壁	パンチングパネル(50%)	密閉	給気面から3m	×	×
NO.10	正面上段羽根角度下向き	パンチングパネル	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m	×	○
NO.11	正面下段:羽根角度平行	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m	×	○
NO.12	正面下段:羽根角度上向き45°C	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m	×	○
NO.13	正面下段:羽根角度上向き45°C	壁	パンチングパネル(50%)	開放	給気面から3m	○	×

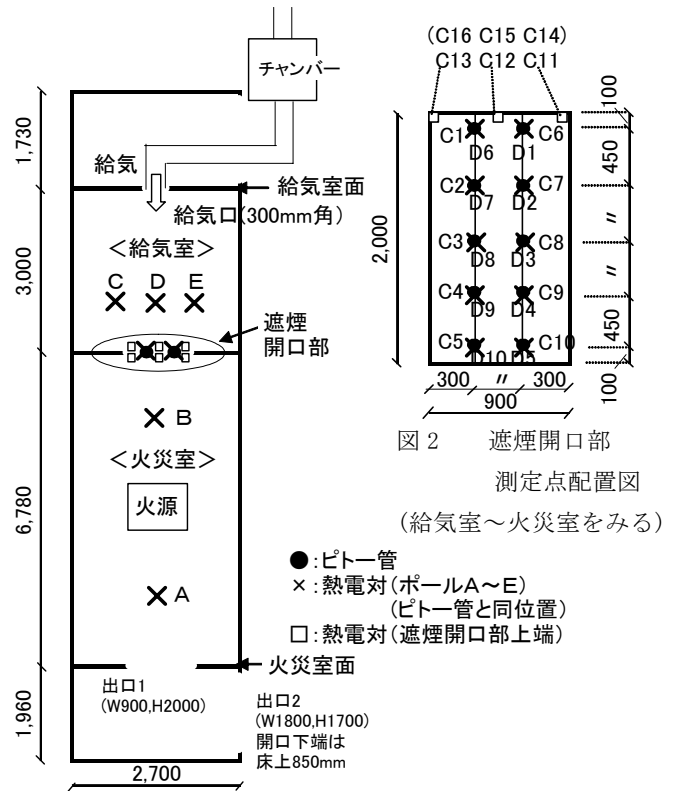


図1 実験施設平面図 兼 測定点配置図

流が極力少なくなるように調節したものである。

本報告ではこのうち、遮煙に効果的なパラメータとして、給気口の位置や給気の方法、上昇温度(NO.4, NO.13)、給気室面の開口率(NO.5, NO.10)などから考察した部分について報告する。

3. 実験結果

図3~図8に、火災室～給気室の上昇温度と、遮煙開口部でのピトー管による風速を示す。縦軸に高さ[mm]、横軸に上昇温度[°C]または風速[m/s]を示す。風速分布グラフは左側が給気室、右側が火災室を示しており、給気室から火災室へ向かう流れを流出、逆の流れを流入とした。

3.1 実験 NO.4

給気風速は10.2(m/s)である。図3より、このときの火災室内の上昇温度(A,B)は、天井付近で82°C~98°Cである。遮煙開口部上端での上昇温度は火災室側の最も高い点(C14)で48.6°C、給気室側では31.3°C(C11)、給気室内部では遮煙開口部上端と同じ高さ位置(H2,000)で約19°C上昇している(C)ことから、火災室から給気室へいくぶん煙が流入し、遮煙効果が期待できない状況である。風速分布(図5)は、遮煙開口部の下部で少し流入するものの上部では流出し、遮煙には効果的な結果である。

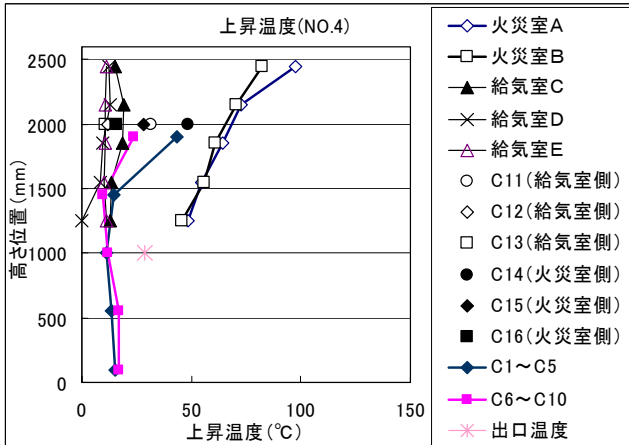


図3 上昇温度 (NO. 4)

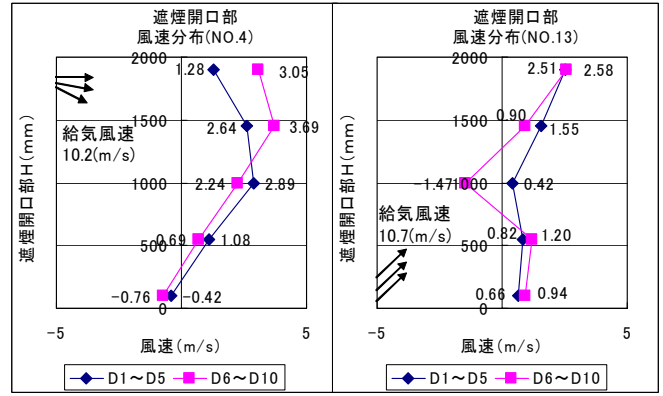


図5 風速分布 (NO. 4)

図6 風速分布 (NO. 13)

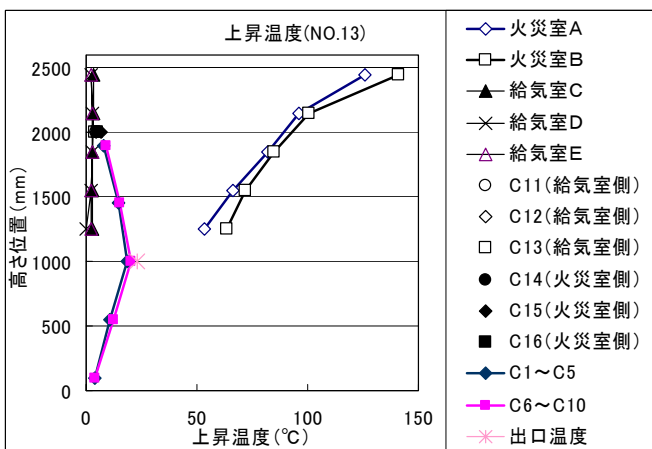


図4 上昇温度 (NO. 13)

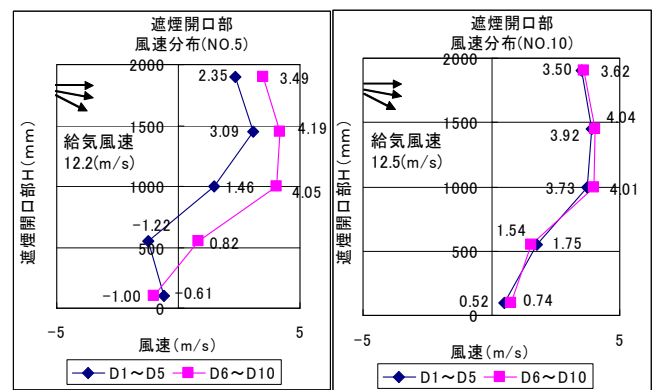


図7 風速分布 (NO. 5)

図8 風速分布 (NO. 10)

3.2 実験 NO. 13

給気風速は 10.7(m/s)である。このときの火災室内の上昇温度(図 4)は、天井付近で 125°C~141°Cと、正面上段給気 (NO. 1) と比較して高い値である。遮煙開口部上端での上昇温度は火災室側で 6.6°C、給気室側では 4.6°C程度、給気室内部での上昇温度は、遮煙開口部上端と同じ高さ位置 (H2, 000) で約 2°C~3°Cと、いずれも殆ど上昇しておらず遮煙していると判断できる。遮煙開口部における風速分布(図 6)は D8 を除き、上部で大きく、下部で少し流出しており、遮煙には効果的な結果である。

さらに給気風速を約 8~9(m/s)まで減少させても、遮煙開口部上端(C11~C16)や給気室内(C~E)の温度がわずかに上昇するものの、遮煙効果が得られた。

3.3 実験 NO. 10

NO. 5 (図 7) と同じ条件で、給気面を開口率 50% のパンチングパネルとした。NO. 5 とほぼ同じ給気風速であるが、NO. 4 の方が遮煙開口部での風速が全体的に増加しており(図 8)、給気面をパンチングパネルとしたことによる誘因効果が表れている。また、遮煙開口部における風速分布は、

すべて流出しており、遮煙には効果的である。

3.4 移動風速計測定結果

多点風速計を垂直に 250mm 間隔で 9 点固定(移動風速計と称す: 図 9)し、移動させながら給気室内で 9 点、火災室内で 3 点、順次移動させながら風速を測定した。計測ポイントは、図 10 に○数字で示す。

NO. 5 の移動風速計測定結果を図 11 に示す。多点風速計では風向を測定できないため、風向については、風速計位置にリボンを設置し、目視により判断した。図 11 中に示す値は、風速計により測定した遮煙開口部における風速絶対値である。

4. CFD 解析

実験 NO. 5 について実験と同じ空間を想定し、CFD 解析 (Computational Fluid Dynamics) を行った。CFD 解析は流れ場や温度場に関する 3 次元の詳細な空間データを適用するもので、今後、防火分野での実務への適用も期待されている。

4.1 解析モデル

13.47(X) * 3.4(Y) * 2.55(Z) を計算対象範囲とした。メッシュ分割数合計 72,013 メッシュ、最小メッシュ幅は、給気口を 3 等分割したときの 10cm である。

解析条件を表 2 に示す。

表 2 解析条件

乱流モデル	標準k-ε型2方程式
解析メッシュ	101(X)*31(Y)*23(Z)=72,013要素 最小格子幅 10cm
流入境界	給気口風速:12(m/s) $\kappa = U^2/2$ U: 乱れ成分を給気口風速の20%とする(既定流速) $\varepsilon = C_\mu k^{(3/2)}/L$ C _μ :0.09 L: 給気口辺長さ(30cm角)=30cm
流出境界	自由流出条件
壁面境界	対数則

4.2 解析結果

ポイント 1, 2, 6, 7, 8, 11 での風速値解析結果を図 12 に示す。給気の中心線を給気口位置から遮煙開口部に至るポイント 1, 2, 8, 11 については、解析値は給気口の位置から離れるにつれて、徐々に風速が減っているのに対し、実測値(図 11) はポイント 1, 2 がほぼ同じ風速値を示している。また、上下方向の風速の最大値は、給気位置から離れるにつれて下方に下がってきている。

これらの差異も含めて、噴流に関する CFD 解析結果による再現性については未だ不明な点が多く、今後さらに検討を要するところである。

5. おわりに

給気風速がほぼ同じであっても、給気口の位置、給気の向き、給気面の抵抗によって遮煙効果の異なることが、給気室や火災室の風速、温度測定結果により明らかとなった。また、特に遮煙開口部での気流分布性状から、実験 No. 4 の遮煙効果が高いと予想されたが、逆の結果となった。この結果から、遮煙性能の評価については、気流分布(水平成分)のみで評価できるものではなく、垂直成分も含めて評価する必要性を把握した。今後は、CFD 解析を用いた気流性状の再現性についての検討が必要である。これらは国土技術政策総合研究所との共同研究「下方噴流による遮煙効果に関する研究」による。

参考文献

1) 中野他：給気位置が遮煙開口部の気流分布形成に与える影響に関する実験的考察，その 1，その 2，その 3，日本建築学会大会梗概集，pp. 35-38, pp. 67-70, 2003. 9

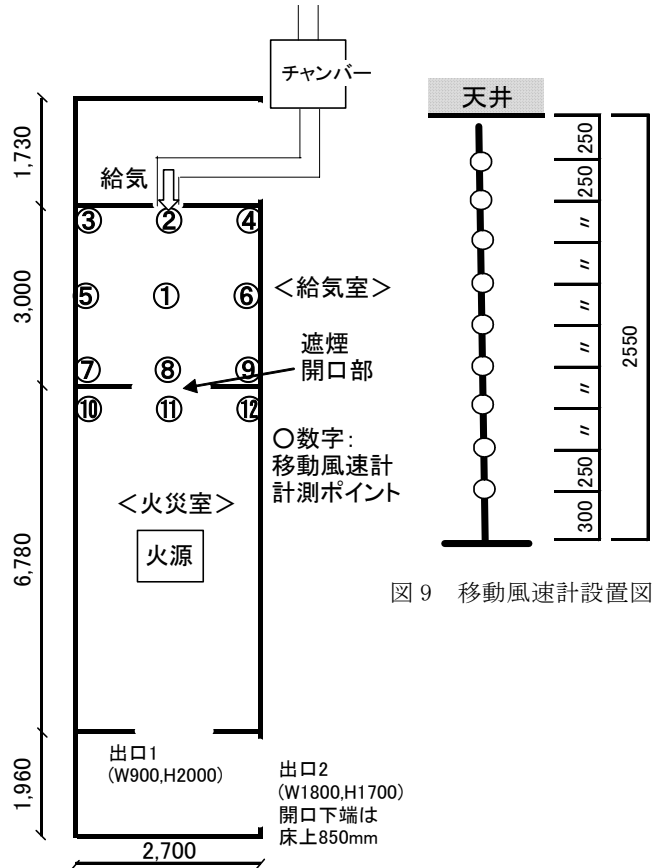


図 9 移動風速計設置図

図 10 移動風速計測定点

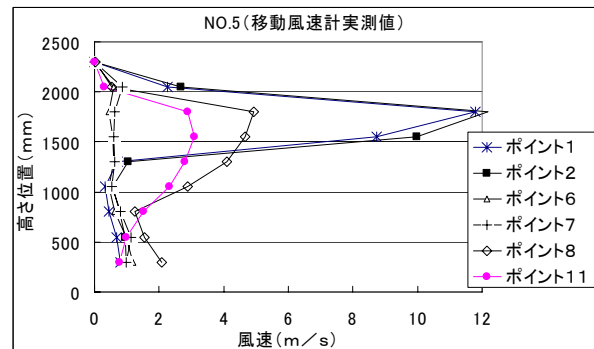


図 11 風速値 (移動風速計実測値)

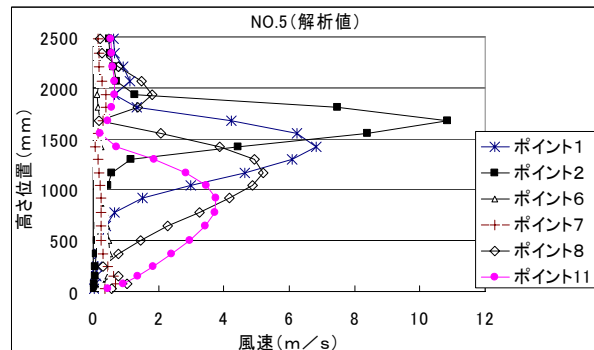


図 12 風速値 (CFD解析値)

2) 中野他：給気位置が遮煙開口部の気流分布形成に与える影響に関する実験的考察，その 4，その 5，日本建築学会大会梗概集，pp. 201-204, 2004. 8