スプリンクラー設備作動時の区画内煙性状

—実規模区画を使用した火災実験—

A STUDY ON SMOKE BEHAVIOR IN A COMPARTMENT WITH SPRINKLER SYSTEM ACTIVATION

— Experiment by full scale compartment —

太田 充 — * 1 大宮喜文 — * 2
松山 賢 — * 3 野秋政希 — * 4
山口純一 — * 5

Mitsuru OTA — * 1 Yoshifumi OHMIYA — * 2
Ken MATSUYAMA — * 3 Masaki NOAKI — * 4
Jun-ichi YAMAGUCHI — * 5

キーワード：
二層ゾーンモデル, 区画火災, 実規模区画, スプリンクラー設備

Keywords:
Two-layer zone model, Compartment fire, Full scale compartment, Sprinkler system

Sprinklers are the most popular and reliable system for controlling fires. But the studies on smoke behavior with sprinkler activation are hardly studied. In This paper, smoke behavior with sprinkler activation was studied. Experiments were conducted on a full scale and the following results were obtained; the temperature of the upper layer was decreased, and the lower layer was raised by effect of water spray. As amount of water increased, CO_2 density of the upper layer was decreased and lower layer was increased.

1. はじめに

わが国の建築物の中には初期消火を目的としたスプリンクラー設備（以下 SP 設備と言う）の設置が義務付けられている。わが国では、火災初期の区画内の煙性状予測を行う場合、二層ゾーンモデル¹⁾や上部層の予測に特化した簡易な予測方法²⁾を用いるのが一般的である。しかし、煙が二層に成層化された区画内で SP 設備が作動した場合、散水により火源の発熱速度は低減されるが、その水滴群により区画内の気流が乱れ、二層化された煙層を攪拌させる可能性がある。これまで、SP 設備が作動した場合の散水時の煙流動に関する研究は少なく、散水が区画内煙性状に与える影響は定量的に把握されていない。そこで、本研究では散水された水滴群が区画内の煙性状に与える影響を把握するため、SP 設備を設けた実規模区画を用いて火源に直接散水しない条件で SP 作動時の火災実験を実施した。ここでは、そこで得られた区画内温度及び CO_2 濃度の実験結果を報告する。

2. 実験概要

SP 設備が作動した場合、散水された水滴群により火災による生成ガスが区画上部から下部へ連行される。それに伴い、区画内の気流が乱れ、区画内温度、区画内ガス濃度に変化を与える。また散水された水滴群と煙層には温度差があるため、煙層から水滴への失熱も生じる。ここでは、散水が区画内煙性状へ与える影響を把握することを目的とするため、火源に直接散水しない状態での実験を試みた。

図1は、本研究で設定した実験概要図である。実験は、区画内で発生する熱量と SP 設備から散水される散水量の違いによる影響を把握するため、火源面積及び散水量を変化させた。さらに、実験では火災プルームの巻き込み高さを変化させることを目的として、火源設置高さを変化させた。また、実験では重量減少速度、温度及び CO_2 濃度を測定し、その実験値の変化を比較した。

図1 SP 設備作動時の実験概要図

(1) 実験区画と測定項目³⁾

図2及び図3に、実験に使用した火災区画の平面図と断面図を示す。火災区画の内法は、幅、奥行き 6.5m、高さ 2.7m である。区画の壁は、火災区画の内側から順に溶融亜鉛メッキ ($t=0.002\text{m}$)、セラミックファイバーブランケットボード ($t=0.05\text{m}$) および ALC 板 ($t=0.1\text{m}$) で構成される。また、天井は内側から順に溶融亜鉛メッキ鋼板 ($t=0.002\text{m}$)、セラミックファイバーボード ($t=0.05\text{m}$)、溶融

¹⁾ 東京理科大学大学院理工学研究科 (研究当時)
(〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

²⁾ 東京理科大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)

³⁾ 東京理科大学総合研究機構火災科学研究センター 准教授・博士 (工学)

⁴⁾ 東京理科大学総合研究機構火災科学研究センター COE 技術者

⁵⁾ 榊大林組技術研究所 博士 (工学)

¹⁾ Graduate School of Science and Technology, Tokyo Univ. of Science (Former times)

²⁾ Faculty of Sciences and Technology, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

³⁾ Center for Fire Science and Technology, Tokyo Univ. of Science, Dr. Eng.

⁴⁾ Center for Fire Science and Technology, Tokyo Univ. of Science

⁵⁾ Obayashi Corporation Technical Research Institute, Dr. Eng.

亜鉛ステンレス鋼板 ($t=0.002\text{m}$) で構成されている。床面には、エキスパンドメタルを敷き、その上に排水用の開口を除いてベニヤ板で塞いだ。区画壁面には幅 2.9m 、高さ 2.1m の開口を 1 ヶ所設けた。

区画内温度は、区画内垂直温度分布、開口部垂直温度分布および外気温度を測定した。区画内垂直温度分布は、左右隅部に 2 ヶ所、中央に 1 ヶ所の位置で測定し、それぞれの位置において垂直方向にシー型熱電対 ($\phi=0.64\text{mm}$) を 0.3m 間隔で設置した。なお、左隅角部をツリー A、中央をツリー B および右隅角部をツリー C とした。

開口部垂直温度分布は、 0.2m 間隔で 6 点測定した。熱電対は、K 型熱電対 ($\phi=0.64\text{mm}$) を使用した。外気温度は、K 型熱電対 ($\phi=0.64\text{mm}$) を区画外に設置した。

重量減少速度は、ロードセル (東京測器研究所製 型番 TCLZ-200NA) を 3 台使用した。

区画内の CO_2 濃度は、区画内では左右隅部に床面から 0m 、 2.0m の高さに設置した。また、図 2、図 3 に示すように開口部の床面から 2.0m に設置した CO_2 濃度計を No.1、No.2 とし、隅角部の高さ 0m に設置した CO_2 濃度計を No.3、No.4 とした。また、開口部の床面から 2.0m の高さに設置した CO_2 濃度計を No.5 とした。なお、 CO_2 の測定には、扶桑理科製品製デジタル CO_2 ガスモニター (型番：CD-602B) を使用した。

図2 実験区画の平面図 (単位 : m)

図3 実験区画の断面図 (単位 : m)

(2) 実験条件

表 1 に実験条件を示す。実験は、火源設置高さ 0.244m (図 4 参照) を基本として、火源面積を 0.1 、 0.2 及び 0.4 m^2 、散水量を 0 、 60l/min に変化させた。さらに火源面積 0.2 m^2 の条件では、前述の実験に加えて火源設置高さを 0.3 、 0.408 、 0.5 及び 0.6m 、散水量を 20 、 40l/min に変化させた。実験は、合計 24 通りの組み合わせに対して行った。なお、本実験では火源の燃焼速度を一定の定常火源を想定しているため、既報³⁾ 同様、取水枡を SP ヘッドの火源側に設置して火源への散水を防止した。また、排水により区画内の気流が乱されることを防止するため、排水口にはゴム製のホースをつないで床下に排水した。

表 1 実験条件

火源面積(m^2)	火源設置高さ[m]	散水量[l/min]
0.1, 0.4	0.244	0, 60
0.2	0.244, 0.3, 0.408, 0.5, 0.6	0, 20, 40, 60

図 4 に火源概要を示す。火源の燃料はメタノールを使用した。火源設置高さは、火災プルームの巻き込み高さを変化させることを目的とし、火源上端を床面から 0.244 、 0.3 、 0.4 、 0.5 及び 0.6m に変化させた。なお、ロードセルの上部と方形パンの直下には、 $1.8\text{m} \times 1.8\text{m}$ の石膏ボードを設置し、方形パンをその中央に置くことで、下方から吹き上げ空気の影響を受けないようにした。また、火源高さは床面に木材を置くことで火源を上下させて調整した。

図 4 火源概要 (単位 : m)

(3) 実験手順

実験の計測は、着火 150 秒前から開始し着火から 1050 秒まで行った。燃料は、着火 30 秒前に 0.1 m^2 当たり 2l のメタノールを注入した。燃焼時間は、大凡 700 秒である。散水は燃料に着火後 10 秒経過してから開始し燃料が完全になくなるまで継続した。

3. 実験結果

本研究で得られた実験結果を表 3 に示す。なお、表 3 に示す実験結果は、重量減少速度の実験結果から概ね定常状態となった着火後 540 秒～600 秒の平均値である。なお、発熱速度 Q_f はロードセルで測定した重量減少速度 m_f とメタノールの単位重量あたりの燃焼熱 ΔH ($19.8\text{kJ/kg}^{\text{4)}$) の積から算出し、上部層下端高さは He の方法⁵⁾ を用いて算出した。He の方法⁵⁾ は、二層化を前提とした算定方法であるため、散水により区画上部と区画下部の空気が混合して温度上昇した部分も上部層として扱っている。ここで、表 3 に示す実験から重量減少速度、区画内温度及び CO_2 濃度について考察する。

表 3 各実験結果一覧表（着火 540 秒～600 秒の平均値）

火源面積 [m ²]	火源設置 高さ [m]	散水量 [l/min]	重量減少 速度 [g/s]	発熱速度 [kW]	CO ₂ 濃度 [%]					上部層下端 高さ[m]	温度 (ツリーC) [°C]		
					区画上部		区画下部		開口上部		上部層	下部層	外気
					No.1	No.2	No.3	No.4	No.5				
0.1	0.244	0	2.5	48.7	0.401	0.364	0.032	0.033	0.373	1.315	51.4	25.6	25.2
		60	2.5	48.7	0.416	0.343	0.140	0.148	0.330	0.443	33.5	27.4	25.4
		0	5.3	105.6	0.578	0.569	0.031	0.033	0.542	1.473	57.2	9.6	8.2
		20	5.0	98.9	0.572	0.514	0.034	0.032	0.502	1.101	43.7	11.7	11.7
		40	5.3	104.1	0.572	0.519	0.035	0.035	0.478	1.112	43.4	12.4	12.3
0.2	0.244	60	5.1	101.4	0.544	0.471	0.036	0.038	0.471	1.115	39.3	10.1	8.2
		0	4.9	97.3	0.632	0.569	0.033	0.033	0.574	1.394	66.8	21.0	20.2
		20	4.8	94.7	0.648	0.359	0.037	0.059	0.396	0.639	38.1	21.6	20.1
		40	5.3	104.3	0.619	0.342	0.043	0.055	0.462	0.803	40.0	23.2	20.5
		60	5.0	98.0	0.585	0.390	0.064	0.052	0.381	0.795	40.2	23.1	20.5
	0.3	0	5.0	98.3	0.703	0.630	0.035	0.035	0.633	1.461	72.5	26.4	24.7
		20	4.6	90.6	0.623	0.326	0.041	0.064	0.419	0.886	44.4	27.0	25.1
		40	5.0	99.3	0.676	0.413	0.061	0.230	0.464	0.530	47.0	33.3	29.2
		60	5.1	100.0	0.642	0.446	0.079	0.125	0.423	0.653	45.8	29.7	27.5
		0	5.2	103.4	0.748	0.656	0.031	0.031	0.668	1.428	75.7	27.3	25.4
	0.408	20	4.8	95.1	0.648	0.389	0.039	0.062	0.501	1.037	47.3	27.8	25.1
		40	5.2	102.1	0.690	0.451	0.084	0.280	0.465	0.442	46.3	33.4	29.1
		60	5.0	98.9	0.562	0.443	0.108	0.131	0.451	0.675	38.9	26.3	22.0
		0	5.1	101.6	0.791	0.732	0.032	0.030	0.749	1.502	77.8	26.1	23.8
		20	5.0	99.5	0.627	0.419	0.051	0.166	0.440	0.602	47.5	29.3	28.6
	0.5	40	4.9	96.6	0.633	0.425	0.086	0.304	0.491	0.491	45.5	32.8	28.5
		60	4.3	85.5	0.448	0.417	0.088	0.093	0.420	0.785	41.7	25.7	25.1
		0	9.8	194.5	0.884	0.778	0.028	0.026	0.793	1.238	97.7	29.5	26.8
		60	10.3	203.3	0.958	0.772	0.048	0.067	0.727	0.993	66.9	27.7	26.2
		0	9.8	194.5	0.884	0.778	0.028	0.026	0.793	1.238	97.7	29.5	26.8
	0.6	20	5.0	99.5	0.627	0.419	0.051	0.166	0.440	0.602	47.5	29.3	28.6
		40	4.9	96.6	0.633	0.425	0.086	0.304	0.491	0.491	45.5	32.8	28.5
		60	4.3	85.5	0.448	0.417	0.088	0.093	0.420	0.785	41.7	25.7	25.1
		0	9.8	194.5	0.884	0.778	0.028	0.026	0.793	1.238	97.7	29.5	26.8
		60	10.3	203.3	0.958	0.772	0.048	0.067	0.727	0.993	66.9	27.7	26.2
0.4	0.244	0	9.8	194.5	0.884	0.778	0.028	0.026	0.793	1.238	97.7	29.5	26.8
		60	10.3	203.3	0.958	0.772	0.048	0.067	0.727	0.993	66.9	27.7	26.2

3.1 重量減少速度

図 5 は、実験の一例として火源面積 0.2 m²、火源設置高さ 0.3m に
おける散水量ごとの重量減少速度の経時変化を示したものである。
本実験では火源に直接散水しないように工夫したため、火源面積が
同じ場合は、散水量に関わらず重量減少速度はほぼ同じ値を示し、
540 秒～600 秒で概ね定常状態となる傾向を示している。その他の実
験においても、定常状態に至るまでの時間は異なるが、着火から 540
秒～600 秒では定常状態に至り、概ね同様の傾向が見られた。

図 5 重量減少速度の経時変化(火源面積 0.2 m²、火源設置高さ 0.3m)

図 6 に、各実験の 540 秒から 600 秒間における発熱速度 Q_f の平均
値の測定結果を示す。各実験条件の発熱速度 Q_f は、火源設置高さ
0.408m、散水量 20l/min 及び火源設置高さ 0.6m、散水量 60l/min の
実験では 10～15kW 程度低い値を示したが、その他の実験では火源
面積 0.1 m²は約 50kW、0.2 m²は約 100kW、0.4 m²は約 200kW であっ
た。本研究の実験では、火源に直接散水していないため散水による
発熱速度の大きな変化は見られなかった。

図 6 各実験の重量減少速度(540 秒～600 秒の平均値)

3.2 火源面積の違いによる区画内性状

(1) 垂直温度分布

図 7 は、火源設置高さ 0.244m の条件におけるツリーC の区画内の
垂直温度分布（ツリーC における外気温からの上昇値。以降におい
て同じ）を火源面積ごとに示したものである。図 7(i) は散水なし、
図 7(ii) は散水量 60l/min の条件である。図 7 より、火源面積が増大
するにつれて区画内上部の温度は高くなり、区画上部に生じている
高温の領域も増大する傾向が見られる。また、散水時の区画内垂直
温度分布は散水なしの実験結果に比べて低い値を示した。さらに、
散水時の床面からの高さ 0.9～1.2m 付近の温度は散水なしの条件に
比べて高い値を示している。この結果は、散水を行うと区画内温度
は低下するが上部層下端高さも低くなることを示している。また、
火源面積 0.1 m²の実験では、垂直温度分布はなだらかな直線状の温
度分布となり、上部層下端高さの上部と下部の境界高さが明確では
ないことが分かる。これは、発熱速度が小さい状態では散水による
区画内気流の乱れにより上部層が浮力を保てず、下部層と混合した
ためと考えられる。

図7 区画内垂直温度分布 (ツリーC)

(2) 垂直温度分布の時間変化

ここでは、特徴的な傾向を示した火源面積 0.1 m² 及び 0.2 m² の垂直温度分布の時間変化を示す。図8は、火源面積 0.1 m²、火源設置高さ 0.244m における区画内の垂直温度分布の時間変化を示したものである。なお、図8(i)は散水なし、図8(ii)は散水量 60 l/min の条件である。図8(i)より、区画上部の温度は時間経過とともに上昇し着火 8 分～10 分の間はほぼ定常状態となっている。また、散水なしの条件では明かな 2 層が形成されているのに対して、散水を行った図8(ii)では、散水なしの区画上部の温度に比べて低い値を示し、区画上部と下部でほとんど温度差のない、なだらかな直線状の垂直温度分布となった。この結果から、発熱速度が小さい火源面積 0.1 m² の場合は、散水の影響を受けて一層化へ向かうと考えられる。

図8 区画内垂直温度分布の時間変化(火源面積 0.1 m²)

図9に、図8と同様に火源面積 0.2 m² とした場合の区画内垂直温度分布の時間変化を示す。図9(i)は散水なしの条件を示し、図9(ii)は散水量 60 l/min の条件である。図9より、散水なしおよび散水ありの区画上部の温度は、着火後 6～10 分後にほぼ定常状態となっている。また、散水ありの上部層温度は散水なしに比べて低下しているが、区画内は床面からの高さが 0.9m 付近で高温域と低温域に二層化していることが分かる。これより、発熱速度が大きい場合には、散水ありの条件でも区画内は二層に成層化する場合があることが分かる。

図9 区画内垂直温度分布の時間変化(火源面積 0.2 m²)

(3) 散水量の違いによる区画内煙性状

図10は、火源面積 0.2 m²、火源設置高さ 0.244m の条件において、散水量を散水なし、20、60 l/min と変化させた場合の実験結果である。図10(i)は垂直温度分布、図10(ii)は式(1)で定義される散水時の上部層温度低下比 η 、図10(iii)は式(2)で定義される散水時の下部層温度上昇比 η' である。ここで、上部層温度低下比 η は、散水なしの条件での外気温度からの上部層上昇温度 $\Delta T_{S-NONSP}$ と散水時の上部層上昇温度 ΔT_{S-SP} の比率を示す。なお、 $\Delta T_{S-NONSP}$ 及び ΔT_{S-SP} は He の方法⁵⁾を用いて算出した上部層下端高さより上部の温度上昇の平均値である。

$$\eta = \frac{\Delta T_{S-SP}}{\Delta T_{S-NONSP}} \quad (1)$$

また、下部層温度上昇比 η' は各実験における下部層温度 T_a と外気温度 T_{∞} の比率を示す。なお、 ΔT_a は He の方法⁵⁾を用いて算出した上部層下端高さより下部の温度上昇の平均値である。

$$\eta' = \frac{T_a}{T_{\infty}} \quad (2)$$

図10(i)より、床面 0.9～1.2m 付近の温度は散水量が 20 l/min よりも 60 l/min の方が上昇している。これは、散水量が増加すると区画上部の高温層の厚さが増すことを示している。また、図11(ii)(iii)より、上部層温度は 20 l/min よりも 60 l/min の方が上部層温度低下比 η は小さく、下部層温度上昇比 η' は、60 l/min の方が大きい値が得られた。散水量増加に伴う上部層の温度低下は、火災ブルーム流量の増加や上部層から水滴への失熱の増加などの要因があるためここでは確定できないが、区画下部の温度上昇は散水量の増加に伴い、区画上部の煙が区画下部の空気と混合した結果と考えられる。

図10 区画内垂直温度分布と上部層と下部層温度の変化

(4) CO₂濃度

図 11 に、火源設置高さ 0.244m、散水量 0、20、60l/min の条件において火源面積を変化させた場合の区画内 CO₂ 濃度を示す。なお、区画上部及び区画下部 CO₂ 濃度はそれぞれ既報³⁾で選択した測定点 No.5^{注1)}及び No.3 の値を示した。図 11 より、区画上部の CO₂ 濃度は火源が増大するにつれ上昇する。散水ありの区画上部の CO₂ 濃度は、散水なしよりも低い値を示し、さらに、散水量 20l/min よりも 60l/min の条件の方が低下している。区画上部の CO₂ 濃度が低下する理由の一つとして、散水によって区画内の気流が乱れ、散水なしの状態よりも火災ブルームの巻き込み空気量が増加し、下部の空気と混合したことで CO₂ 濃度が低下したことが考えられる。一方、散水時の区画下部の CO₂ 濃度は、散水なしの場合と比べて高い値を示し、特に火源面積 0.1 m² の実験では顕著な増加が見られる。これは、火源面積 0.1 m² の場合、散水量が増加すると区画内が攪拌され区画上部の煙が区画下部まで降下し、区画下部の CO₂ 濃度が上昇したものと考えられる。

図 11 CO₂ 濃度 (区画上部 No.5、区画下部 No.3)

3.3 火源設置高さの違いによる区画内性状

(1) 垂直温度分布

図 12 は、火源面積 0.2 m² の条件における区画内垂直温度分布を火源設置高さごとに示した結果である。図 12(i) は散水なし、図 12(ii) は 20l/min、図 12(iii) は 60l/min の実験結果である。なお、各条件における上部層下端高さは、表 3 に示した通りである。図 12(i) より、散水なしの場合は明確な 2 層化が形成されている。区画上部の温度は火源設置高さ 0.6m が最も高くなるが、上昇温度が大きく変化する床面からの高さには大きな変化は見られない。散水を行った場合の区画内垂直温度分布(図 12(ii)(iii))は、散水量 20l/min よりも 60l/min の条件の方が低下する傾向が見られるが、火源設置高さ 0.244m を除き、火源設置高さの違いによる顕著な差は見られなかった。また、火源設置高さ 0.244m の場合、他の条件よりも区画内上部層温度は高く、下部層温度は低い結果となっている。これは、火源設置高さ 0.244m の実験を行った季節が他の実験を行った季節と異なり、外気温度が約 10~20℃低かったため外気が流入する下部層の温度が上がらず、散水後においても上部層の浮力が保たれたためと考えられる。これより、火源面積 0.2 m²、散水量 20、60l/min の条件のように、区画上部と下部の温度差が大きい場合、散水により区画内の煙は攪拌されにくいと推測される。

(i) 散水なし (ii) 散水量 20l/min (iii) 散水量 60l/min
図 12 区画内垂直温度分布の時間変化

(2) 上部層温度及び下部層温度の変化

図 13(i) に、火源面積 0.2 m²、散水量 20、60l/min の条件における上部層温度低下比 η と火源設置高さとの関係を示す。図 13(i) より、火源設置高さが上昇するほど上部層温度低下比 η は小さい値を示す傾向が見られる。散水なしの条件では、火源設置高さが高くなるにつれて区画上部の温度は高くなる。そのため、散水された水滴との温度差は火源設置高さが上昇するほど大きくなり、水滴への失熱が活発に行われたためであると考えられる。また、一部例外もあるが、散水量 20l/min よりも 60l/min の条件の方が上部層温度低下比 η は下がる傾向が見られた。従って、上部層温度は散水量に依存する傾向があることがわかる。

図 13(ii) は、火源面積 0.2 m²、散水量 20、60l/min の条件における下部層温度上昇比 η' と火源設置高さとの関係を示したものである。図 13(ii) より、散水量 20l/min よりも 60l/min の方が下部層温度上昇比 η' の値が高い傾向を示す。また、火源設置高さの違いでは散水を行うと散水なしよりも下部層温度上昇比 η' は上昇するが、下部層温度上昇比 η' にばらつきが見られる。下部層の温度上昇は、上部層に比べて小さく、区画内に流入した外気と混合するため、外気温度に影響を受けやすいためであると考えられる。

(i) 上部層温度低下比 η (ii) 下部層温度上昇比 η'
図 13 上部層及び下部層の温度変化

(3) CO₂ 濃度

図 14(i) に、火源面積 0.2 m²、散水なし、20、60l/min の条件における区画上部の CO₂ 濃度を示す。図 14(i) より、区画上部の CO₂ 濃度は散水量が増加すると低下し、火源設置高さが上昇するにつれて散水なしとの CO₂ 濃度差は大きくなる傾向が見られる。また、散水後の区画上部の CO₂ 濃度は火源設置高さによらず 0.4% 付近の値を

示す。一般に、区画上部のCO₂濃度は発熱速度が一定の場合、火災プルーム流量に依存する。これより、散水後の火災プルーム流量は、火源設置高さが高い方が、散水なしの火災プルーム流量からの増加量が大きいと推測される。

図14(ii)は、火源面積0.2 m²、散水なし、20、60 l/minの条件における区画下部のCO₂濃度である。図14(ii)より、区画下部のCO₂濃度は火源設置高さ0.6 mの場合を除き、火源設置高さを上げた条件の方が上昇する傾向が見られ、火源が高い方が区画上部の煙が区画下部のまで降下しやすいことを示している。これは、火源が高い方が煙は区画内で攪拌し、一層化しやすいともいえる。なお、火源設置高さ0.6 m、散水量60 l/minの条件におけるCO₂濃度が低い原因の一つとして、メタノール火源の発熱速度が他の条件よりも小さかったことが考えられる。

図14 火源設置高さ毎のCO₂濃度

4. まとめ

本研究では、実大の火災区画を用いて火源に直接散水しない環境下においてメタノール火源を用いた実験を行い、火源の重量減少速度、散水時の区画内温度分布や区画内CO₂濃度を測定した。その結果、本実験より以下の知見が得られた。

(1) 発熱速度 Q_f

- 各実験条件の発熱速度 Q_f は、火源に直接散水していないため、散水量によらず火源面積0.1 m²の場合約50kW、0.2 m²の場合約100kW、0.4 m²の場合約200kWであった。

(2) 区画内温度

- 区画上部の温度は、散水を行うと低下する。
- 火源面積0.1 m²の条件では、散水を行うと区画内上部と下部の温度差がほとんどなくなり、一層化の傾向が見られた。また、火源面積0.2 m²と0.4 m²の条件では散水後も二層化する傾向が見られた。
- 区画内床上0.9~1.2 m付近の温度は、散水なし、散水量20 l/min、60 l/minの順で上昇し、散水量が増加すると上部層下端高さが低くなる傾向が見られた。
- 区画上部の温度は、散水量20 l/minよりも60 l/minの方が低下し、

区画下部の温度は上昇する傾向が見られた。

- 散水なしの区画上部の温度は火源が高い方が高くなる傾向が見られたが、散水を行うと火源設置高さに依らず、ほぼ同じ温度となった。

(3) CO₂濃度

- 区画上部のCO₂濃度は、散水ありの条件では散水なしよりも低い値を示した。
- 散水時の区画下部のCO₂濃度は、散水なしの条件よりも高い値を示した。
- 区画上部のCO₂濃度は、散水量20 l/minよりも60 l/minの方が低下し、区画下部のCO₂濃度は上昇する傾向が見られた。
- 区画上部のCO₂濃度は、散水なしの場合、火源が高い方が高くなる傾向が見られたが、散水を行うと火源設置高さに依らず、0.4%前後の値を示した。

注1) 区画上部のCO₂濃度は、上部層のガスが十分に混合した状態の値を用いることが適切であると考えられる。従って、図1の概念図に示す通り天井ジェットや散水に伴う下降流の影響が少なく、上部層から外部への流出する部分が最も上部層のガスが混合している状態と考えられる。よって、ここでは区画内の開口部付近のNo.5のCO₂濃度を代表させた。

凡 例

- m_f : 重量減少速度[kg/s]
- Q_f : 発熱速度[kW]
- T : 温度[K]
- Z_s : 上部層下端高さ[m]
- X : ガス濃度[Vol.%]
- η : 上部層温度低減比 (-)
- η' : 下部層温度上昇比 (-)

添 字

- a : 空気層
- CO₂ : 二酸化炭素
- f : 火源
- S : 上部層
- SP : 散水
- NONSP : 散水なし
- ∞ : 外気

参考文献

- 田中孝義, 中村和人: <二層ゾーンの概念に基づく>建物内煙流動予測計算モデル 建築研究報告 No. 123, 1989(6) 日本建築学会編, 日本建築学会発行, 鋼構造耐火設計指針 1999.1
- 財団法人日本建築センター他:2001年版 避難安全検証法の解説及び計算例とその解説, 2001.3
- 桑名裕太, 織戸貴之, 高瀬文生, 太田充, 山口純一, 大宮喜文: ガス分析に基づく火災区画内の流量測定 スプリンクラー設備作動時の区画内煙性状その1, 日本建築学会環境系論文集 第73巻 第623号, 1-8, 2008.1
- 日本建築学会編, 日本建築学会発行, 鋼構造耐火設計指針 1999.1
- Y.He, A.Fernando, M.Luo: "Determinatin of interface height from measured parameter profile in enclosure fire experiment.", Fire Safety Journal, Vol.31, No.1, pp.19-38, 1998.7

[2012年6月20日原稿受理 2012年9月3日採用決定]