

事務所の避難安全設計火源に関する研究

掛川 秀史 矢代 嘉郎 笠原 勲 池島 由華 佐藤 博臣 栗岡 均
(技術研究所) (技術研究所) (大成建設) (大成建設) (鹿島建設) (鹿島建設)

Design Fires for Means of Egress in Office Buildings Based on Full-scale Fire Experiments

by Shuji Kakegawa, Yoshiro Yashiro, Isao Kasahara, Yuka Ikehata, Hiroomi Satoh and Hitoshi Kurioka

Abstract

In order to establish design fires for means of egress in sprinklered office buildings, we have conducted: (1) fuel load surveys in contemporary office buildings, (2) fire tests of typical office fuel packages, (3) full-scale fire experiments for office arrangements. The results of the surveys and the experiments clarified that: 1) In contemporary office buildings, plastic materials have increased; 2) fire growth in office rooms largely depends on the combustion of plastic materials; 3) fire growth rate in the case of free burn condition was smaller than the standard that is commonly used in the design of means of egress; and 4) In the cases of sprinkler operation, a fire was suppressed within a desk unit that a fire was originated.

概 要

筆者らは、スプリンクラーの火災抑制効果を考慮した事務所の避難安全設計用火源を構築するため、①事務所の執務空間を対象とした可燃物実態調査、②代表的可燃物の燃焼実験、③執務空間の机レイアウトに対する実大燃焼実験を実施した。これらの研究の結果、(1) 現在の事務所ではプラスチック系可燃物が増加していること、(2) 事務所の初期燃焼性状には可燃物量よりもプラスチック系可燃物の配置が影響すること、(3) 自由燃焼時における事務所の火災成長率は、現状の避難安全設計で用いられている設定値よりもかなり小さいこと、(4) スプリンクラーが作動すると出火した机1ユニット内に火災が抑制され、十分な火災抑制効果が期待できることが明らかとなった。

§ 1. はじめに

2000年6月に建築基準法の防火関連規定が性能規定化されたことに伴い、建物内の避難安全性を性能的に評価することで、避難施設等の設計の自由度の向上や合理化を図ることが可能となった。一方で、スプリンクラー設備は、過去の火災事例からみて、火災初期の火災抑制効果が顕著で、かつ作動信頼性も高いにもかかわらず、その効果を評価する手法が確立していない。このため、現状の火災安全設計において、これらの効果はほとんど評価されていない。

工学的な火災性状予測に基づく建築物の避難安全設計では、設計火源が入力条件として用いられる。避難安全用の設計火源は、火災初期の可燃物の燃焼拡大に伴う発熱速度の時間変化をモデル化したものである。火災初期の燃焼性状は、収納可燃物の燃え拡がりに依存し、可燃物の質・量・配置と密接な関係がある。このため、現状の空間で使用されている可燃物の使われ方に即した設計

火源を構築することは、工学的な避難安全設計を行う上で非常に重要である。

これに対し、近年の事務所ビルでは、情報技術の発展によるコンピュータ機器の普及、環境負荷低減を目指した事務室什器への再生プラスチックの利用等により、旧来の事務所と比較して、オフィス家具の構造や机周辺の積載可燃物の仕様および量が変化している。しかし現状では、こうした可燃物の実態は十分に把握されていない。

こうした背景のもと、スプリンクラーの火災抑制効果を含めた事務所の火災初期段階における避難安全設計火源を構築することを目的として、①事務所の執務空間を主な対象とした可燃物実態調査、②代表的可燃物の燃焼実験、③執務空間の机レイアウトに対するスプリンクラー設備を用いた実大燃焼実験、の一連の研究を実施した。各研究の位置づけを図-1に示す。

本報では、これらの調査および実験結果の一部について報告し、設計火源の提案および設計火源の適用条件については、稿を改めて報告する。なお、本研究は、当社、

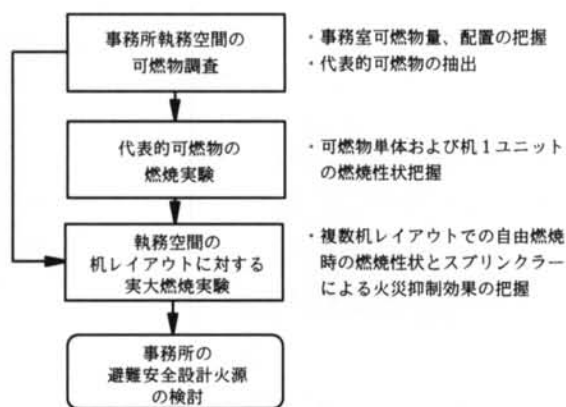


図-1 研究の枠組み

大成建設、鹿島建設との3社共同研究として実施した。

§ 2. 事務所可燃物の実態調査

2.1 調査目的

本調査は、事務所ビルの代表的な室用途における可燃物の種類、寸法、重量、材質等を記録し、火災初期の燃焼に寄与する可燃物の実態を把握することを目的とする。

さらに、可燃物の過去の類似した調査での測定結果との比較を行い、近年の事務所ビルにおける可燃物の構成の変化を把握する。

2.2 調査対象・方法

可燃物調査は、1999年7月～9月に首都圏にある6棟の建物で計36区画(延べ面積8753.4m²)について行った。調査対象建物の一覧を表-1に示す。

調査対象 建物名	調査対象面積 (m ²)	調査対象 区画数
A	899.9	7
B	1553.7	8
C	3339.0	9
D	378.0	4
E	2477.6	6
F	105.2	2
合計	8753.4	36

表-1 調査対象建物の概要

調査対象とした室は、執務室、会議室、食堂、書庫等の事務所ビルに典型的にみられる用途である。調査にあたり、調査区画を執務空間(執務机を基準とし、机利用者が占有する領域)と共有空間(打合せ空間、キャビネット、コピー機等共同利用を前提とした領域)に分類した。さらに、執務形態により可燃物の特性が異なると考え、執務空間を事務系執務室(主として書類、資料を共通で使用し、共用の棚に収納する執務形態、例えば、経理、総務等)、技術系執務室(主として個人単位で書類、

資料を保管して執務する形態、例えば、設計、研究開発等)の2タイプに分類した。調査対象36区画のうち、事務系執務室は16区画、技術系執務室は13区画である。

調査は、可燃物の測定方法の標準化・簡易化の可能性を検討するため、以下の3通りの方法で実施した。

- (1) 詳細法: 調査区画内にある個々の可燃物の寸法、重量、配置を記録する方法。重量測定が困難なものについては、メーカー名、型番を記録し、後日カタログ等から重量を算出した。
- (2) 簡易法A: 机、椅子等の什器は詳細法と同様の方法を用い、書類、書籍は、原則としてA4版とみなしファイルメータを記録した上で、事前に測定した単位長さ当たりの標準的な重量を乗じて重量に換算する方法。
- (3) 簡易法B: 執務空間では、調査区画内の事務机を、同一測定者の目視により、書類やパソコン等の可燃物量の大小により3段階に分類し、机単位の可燃物量の分類と配置を記録する方法。3段階に分類した机は、各々典型的な1台について、簡易法Aと同様の手順で調査を実施した。

2.3 可燃物量の算定方法

火災の初期段階では、主に露出した可燃物に着火し、徐々に延焼拡大することから、火災初期では、可燃物の収納方法により、燃焼に寄与する程度が異なる。このため、本調査では、個々の可燃物の収納状況の違いを考慮して、初期火災と盛期火災の各々に寄与する可燃物量を算出した。なお、可燃物量の集計にあたって、パソコン、椅子等のプラスチック系可燃物は、主に不燃材料と複合した製品であることから、可燃部分の重量を全重量の1/2として取り扱った。

以下に、可燃物量の算定方法及び算出式を示す。

(1) 可燃物密度 (W_1 [kg/m²])

可燃物の材質は考慮せずに、可燃物重量に収納状況に応じた所定の定数を乗じた値の和を床面積で除した値。

$$W_1 = (\sum a_i w_w + \sum a_i w_p) / A \quad (1)$$

W は可燃物重量(kg)、 a_i は可燃物形状、収納状況、容器種類による係数、 A は区画床面積(m²)、添字 w は木質系可燃物、添字 p はプラスチック系可燃物を示す。

(2) 火災荷重 (W_2 [kg/m²])

プラスチック系可燃物の重量を、材質に応じた単位重量当たりの発熱量をもとに、木質系可燃物の重量に換算し、かつ可燃物重量に収納状況に応じた所定の定数を乗じた値の和を床面積で除した値。

$$W_2 = (\sum a_i w_w H_w + \sum a_i w_p H_p) / AH_w \quad (2)$$

H は単位重量あたりの発熱量(kJ/kg)を示す。なお、ここでは、木質系可燃物の設定値は18.9(kJ/kg)、プラスチック

系可燃物は木質系の2倍と仮定し、37.8(kJ/kg)とした。

2.4 調査結果

2.4.1 初期火災、盛期火災に寄与する可燃物量

初期火災および盛期火災に寄与する執務室の区画単位での可燃物密度および火災荷重を表-2に示す。

区画単位の可燃物密度および火災荷重は、執務形態の違いにより差があり、技術系執務室は、事務系執務室よりも約20.0kg/m²程度高い。初期火災と盛期火災の違いは、事務系、技術系ともに、約10.0kg/m²程度であった。これは、主にスチール製家具等に収納されている可燃物量の差が影響していると考えられる。机1ユニット当たりの火災荷重は、初期火災では、事務系14.2~47.9(kg/m²)、技術系20.5~85.1(kg/m²)、盛期火災では、事務系20.7~53.3(kg/m²)、技術系24.2~88.4(kg/m²)で、机一台当たりの平均専有面積は、事務系、技術系ともに約3.0m²であった。

昭和57年に建設省建築研究所が行った事務所の可燃物調査¹⁾(以降、S57調査)と本調査の区画単位での結果の比較を表-3に示す。ただし、S57調査では盛期火災を対象とし、かつ可燃物密度は収納状況を考慮していない。

執務形態分類		初期火災 (kg/m ²)	盛期火災 (kg/m ²)
事務系 執務室	W ₁	4.2~18.3(10.0)	4.4~24.7(20.0)
	W ₂	5.7~27.5(14.0)	6.0~31.3(24.1)
技術系 執務室	W ₁	13.8~49.0(30.0)	22.7~54.2(39.0)
	W ₂	20.2~54.1(36.0)	28.8~59.6(45.7)

括弧内の数値は、平均値を示す。

表-2 可燃物密度(W₁)および火災荷重(W₂)

執務形態分類		S57調査 ¹⁾ (kg/m ²)	本調査 (kg/m ²)
事務系 執務室	W ₁ '	13.8~33.4(24.9)	18.3~48.4(34.7)
	W ₂	9.9~18.8(14.0)	6.0~31.3(24.1)
	W ₂ '	14.4~34.9(14.0)	22.4~52.0(38.4)
技術系 執務室	W ₁ '	30.0~41.0(34.6)	36.8~78.1(59.3)
	W ₂	17.0~30.1(22.3)	28.8~59.6(45.7)
	W ₂ '	30.8~42.4(35.6)	43.3~82.8(65.6)

括弧内の数値は、平均値を示す。

表-3 既往調査と本調査の区画単位での結果の比較

		事務系執務室		技術系執務室	
		R ₁ (%)	R ₂ (%)	R ₁ (%)	R ₂ (%)
初期火災	執務空間	44.8	50.6	32.6	57.6
	共有空間	39.9	27.4	28.2	45.5
	全体	42.0	41.0	29.1	57.1
盛期火災	執務空間	32.0	51.0	27.1	57.1
	共有空間	15.1	25.9	13.9	45.4
	全体	21.0	41.7	17.3	52.1

R₁: 全可燃物量に対するプラスチック系可燃物の割合

R₂: プラスチック系可燃物に占めるOA機器の割合

表-4 プラスチック系可燃物の割合

このため、盛期火災を対象とし、可燃物密度は収納状況を考慮しない条件として、(1)式においてa=1として算定した値(W₁)を用いて比較を行った。なお、火災荷重は、S57調査において収納状況を考慮した場合としない場合(W₂)の値があるため、両者について比較を行った。

表-3より、本調査結果は、S57調査と比較して可燃物物量が増大している。この理由は、S57調査実施時はパソコン等のOA機器が少数しか存在していなかったが、現在は個人で1台パソコンを所有する等、急激なOA機器の普及による影響が考えられる。

なお、調査方法の違いによる測定誤差は、区画単位では最大でも1割程度であった。一方、机単位では詳細法と簡易法Aでは誤差が少ないのに対し、簡易法Bと詳細法、簡易法Aでは結果に大きなばらつきがみられた。

2.4.2 木質系可燃物とプラスチック系可燃物の比率

表-4に調査区画全可燃物におけるプラスチック系可燃物の割合およびプラスチック系可燃物に占めるOA機器類(パソコン本体、モニタおよび周辺機器)の割合を示す。

初期火災時において、執務空間に存在するプラスチック系可燃物のうち、パソコン等の機器類の割合は50%以上を占める。執務空間のプラスチック系可燃物はOA機器が多いことがわかる。

S57調査では、全可燃物量に対するプラスチック系可燃物の割合は最も多いところで5%程度であった。また、S57調査のプラスチック系可燃物は、椅子やソファに限られていた。このことから、S57調査時と比較すると、現在の事務所空間においては、プラスチック系可燃物の量が増加し、OA機器類の影響が非常に大きいことが考えられる。

2.4.3 可燃物の露出表面積

技術系および事務系執務室における区画単位での露出表面積と床面積の関係を図-2に示す。床面積に対する露出表面積は、事務系に比べて技術系の方が多い。その理由としては、事務系執務室ではファイルの共有化が進み、書類の多くが鉄製家具に収納されているのに対し、

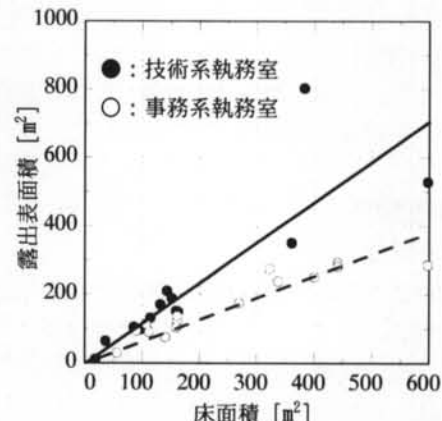


図-2 区画単位の総露出表面積と床面積との関係

技術系執務室では書類が個人単位で管理され、共有化が進んでいない上に、収納家具に入らない大型書類が補充されている場合が多いことが考えられる。

なお、机単位の露出表面積についても、区画単位と同様の傾向が見られ、技術系の方が事務系に比べて露出表面積が大きかった。机単位の露出表面積は、事務系執務室で約3.5m²、技術系執務室で約5.0m²であった。

可燃物の燃焼は、可燃物の表面積に支配されるため、可燃物密度と可燃物の露出表面積の関係を明らかにすることは、可燃物の燃焼性状を予測する上で重要である。調査結果より、区画単位での火災荷重W₂と露出表面積係数φ_{eff}の関係は、(3)式で回帰できることが明らかとなった。

$$\Phi_{\text{eff}} = 0.70 W_2^{-2.3} \quad (3)$$

今回実施した可燃物調査結果から、現在の事務所は、過去の可燃物調査と比較すると、OA機器の普及等により執務室内のプラスチック系可燃物の量が増大していることが明らかとなった。

§ 3. 代表的な可燃物の燃焼特性把握実験

3.1 実験目的

事務室執務空間での火災初期における可燃物の燃焼特性を把握するため、前章の可燃物実態調査に基づき代表的な可燃物を抽出し、可燃物単体の燃焼実験（以降、単体燃焼実験）を実施した。

さらに、単体燃焼実験のデータから複数の可燃物を組み合わせた場合の燃焼性状の予測可能性を検討するために、机、椅子、パソコン、書類などの机1ユニット当たりの可燃物の構成をモデル化した燃焼実験（以降、複合燃焼実験）を実施した。

3.2 実験装置・測定項目

実験は、図-3に示す火災実験装置で行った。

主な測定項目は、ダクト内温度、同気流速度、同ガス濃度、可燃物重量減少である。燃焼により生じたガスを一辺約3.0mの正方形のフードで収集し、ガス濃度分析を行ない、酸素消費法により、可燃物の燃焼時の発熱速度を算出した。また、実験台の四隅に設置したロードセルにより可燃物の重量減少も同時に測定した。

3.3 燃焼用試験体

3.3.1 単体燃焼実験

前章の可燃物調査の結果に基づき、事務所執務空間内の代表的な可燃物として、椅子、机、デスクワゴン、パソコンを選定した。実験に用いた試験体と着火源の位置を表-5に示す。

3.3.2 複合燃焼実験

複合燃焼実験では、前章で示した可燃物実態調査に基づき机1ユニットの可燃物標準モデルを設定し、試験体とした。表-6に机1ユニットの構成、図-4に複合Aの可燃物配置状況を示す。ここで「複合A」とは、技術

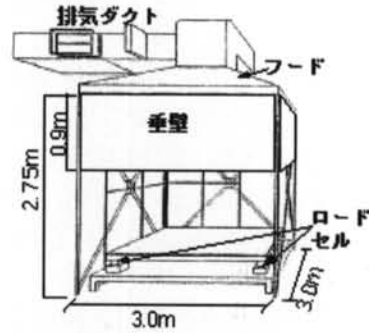


図-3 単体可燃物燃焼実験装置

試験体	重量 (kg)	主な材質	着火源位置
椅子 (ローバック肘無1)	11.1	樹脂フレーム	下
椅子 (ローバック肘無2)	7.0	樹脂フレーム	下
椅子 (ローバック肘有)	15.7	樹脂フレーム	下
机	34.4	スチール、メラミン樹脂加工	下
パソコン本体	9.9	外周部樹脂	脇
CRT モニタ	13.5	外周部樹脂	脇
デスクワゴン	22.8	スチール、メラミン樹脂加工	前面

表-5 単体可燃物燃焼実験の試験体と着火源位置

燃焼試験体種類	実重量 (kg)	
	複合 A	複合 B
a 机	34.4	34.4
b 椅子 ^{*1}	7.0	15.2
c パソコン、モニター ^{*2}	20.4	34.4
d デスクワゴン	22.9	22.9
e 電話	0.7	1.2
f 書類・書籍	140.0	55.0
g ゴミ箱	0.5	0.5
合計	225.9	163.6

*1 複合 A: 肘掛けなし、複合 B: 肘掛けあり

*2 複合 A: 15 インチモニタ、複合 B: 17 インチモニタ

表-6 複合可燃物燃焼実験試験体



(a) 立面図

(b) 平面図

図-4 複合 A 試験体配置状況

系机ユニットにおける可燃物量が多いタイプに、「複合B」は、事務系で可燃物量が多いタイプに該当する。なお、複合燃焼実験の試験体は、基本的に単体燃焼実験で使用した試験体と同じ仕様の製品を用いた。

3.4 実験手順

最近の事務室における火災統計²⁾の出火原因を参考に、本研究では、たばこによるゴミ箱火災を想定し、ポリプロピレン製ゴミ箱(容積7.4リットル)を着火源として用いた。着火源のゴミ箱はデスクワゴン前面に設置し、固形燃料(メタノール7.5g)を用いてゴミ箱へ着火した。

ゴミ箱内の収容物量は、可燃物調査を行った事務所のゴミ調査結果を参考に段ボール紙0.2kgとした。今回着火源としたゴミ箱の発熱速度の最大値は約50kW、総発熱量は約11.0MJであった。

3.5 実験結果および考察

3.5.1 単体燃焼実験

図-5に酸素消費法により算出した発熱速度の経時変化を示す。

椅子は着火後の火災成長が早く、肘掛のある椅子の最大発熱速度は約800kWであった。肘掛のある椅子は、肘無の椅子と比較し、プラスチック系材料が多く使用されており、最大発熱速度は約2.6倍となっている。デスクワゴンは可燃物調査時には、不燃物として取り扱っていたが、天板や引出し表面に用いられているプラスチック系材料が燃焼する結果となった。

一方、パソコン本体やCRTモニターはゴミ箱程度の火源では、燃焼拡大に至らなかった。プラスチック系材料が多く使用されている椅子やデスクワゴンに着火した場合、激しい燃焼を誘引し、火災を拡大させる危険性が高いと考えられる。

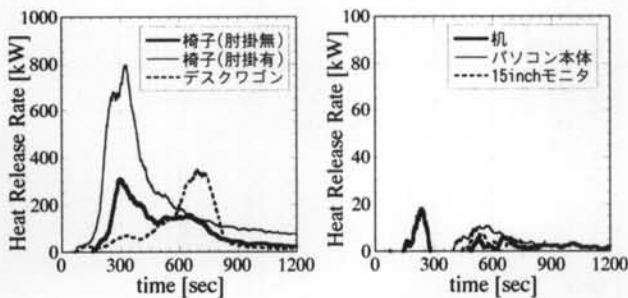
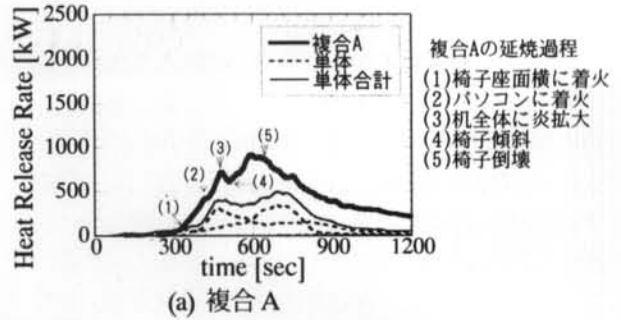


図-5 発熱速度の時間変化

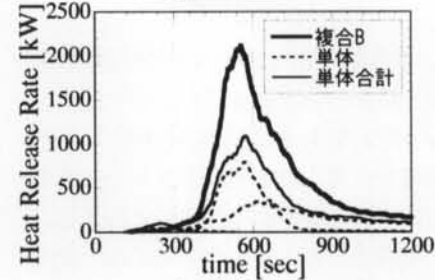
3.5.2 複合燃焼実験

(1) 机1ユニットの燃焼特性

図-6に、複合A、複合Bの発熱速度の経時変化を示す。複合Aにおいては、デスクワゴン前面が火災で覆わ



(a) 複合A



(b) 複合B

図-6 机1ユニットの発熱速度と単体発熱速度の合計

れ、椅子座面横に約330秒に延焼した。その後パソコンに着火し発熱速度は上昇を続けたが、椅子の脚が融解・傾斜し、一旦発熱速度は減少した。椅子は燃焼を続け発熱速度はピークに達した。その後、椅子は倒壊し、1ユニットの燃焼も減衰に向かった。

複合Aと複合Bでは、最大発熱速度は可燃物総重量が少ない複合Bが大きい結果となった。複合Aと複合Bでは椅子肘掛の有無が異なっている。単体可燃物燃焼実験の結果より、肘掛有りの椅子の最大発熱速度は、肘掛無しと比較し約2.6倍大きいと推定されることから、複合Aと複合Bの最大発熱速度の差は、可燃物の量よりも、椅子の種類の違い、すなわちプラスチック系材料の違いが大きいと思われる。

(2) 単体燃焼実験に基づく複合実験の燃焼性状の予測

次に、単体燃焼実験の発熱速度を利用し、複合A、Bの燃焼性状の予測可能性について検討を行った。本研究では、単体燃焼実験の発熱速度を、各試験体へ着火する時間遅れを考慮して積算することとし、(4)式により算出した(以下、単体合計)。

$$Q(t) = \sum Q_i(t - t_{oi}) \quad (4)$$

$Q(t)$ は、着火 t 秒後の発熱速度(kW)、 t_{oi} は可燃物への着火の時間遅れ(秒)、添字 i は試験体 i を示す。

単体合計の発熱速度は、単体可燃物燃焼実験で燃焼に至らなかった試験体(机、パソコン、書類、電話)は含まれていない。なお、各単体データの着火時間は、複合可燃物燃焼実験で各試験体に着火した時間を写真から読み取った値とした。そのため、実際の着火時間と比較し誤差が含まれる可能性がある。図-6に単体合計の発熱速度の算出結果を示す。

図-6にみられるように、単体合計の発熱速度の火災成長段階での経時変化の傾向は複合の結果と類似した結果となった。しかし、発熱速度のピーク値、総発熱量は、複合燃焼実験の結果の方が高い発熱速度を示している。これは、単体燃焼実験は、ゴミ箱を着火源とした可燃物が単体で燃焼した結果であり、外部放射の影響を受けていないのに対し、複合実験においては、複数の可燃物が同時に燃焼することで、可燃物の熱分解が促進し、複数の可燃物に着火したことが影響していると考えられる。

以上の結果から、事務所の執務空間における初期火災段階では、書類等の木質系の可燃物よりも、プラスチック系可燃物の燃焼が支配的であることが明らかとなった。また、単体の燃焼実験から得られる発熱速度データを単純に重ね合わせるだけでは、定性的な傾向をとらえることは出来るものの、複数の可燃物が複合した場合の発熱速度を予測することは困難であることが明らかとなった。

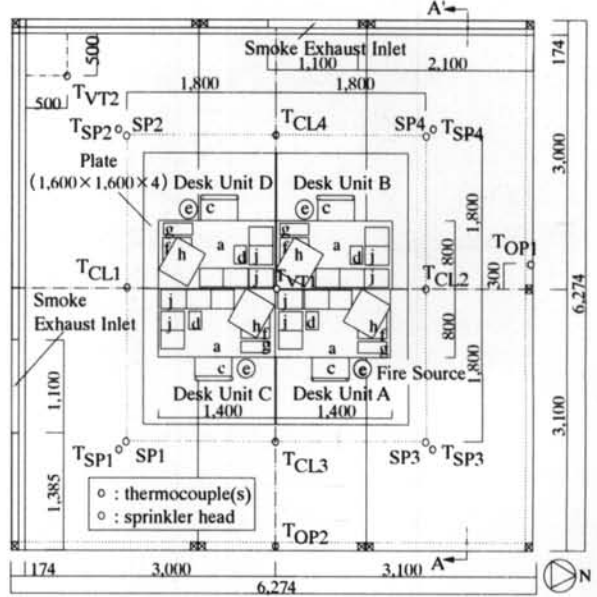


図-7 実験区画平面図

§ 4. スプリンクラーの火災抑制効果把握実験

4.1 実験目的

本実験は、自由燃焼時、スプリンクラー作動時における実際の事務室執務空間での初期火災性状、およびスプリンクラーの火災抑制効果を把握することを目的とする。事務室執務空間を再現するため、机4ユニットのレイアウトをモデル化し、スプリンクラーを設置した実験区画で、実大燃焼実験を実施した。

4.2 実験条件

4.2.1 実験区画

実験区画の構成を図-7、8に示す。南・西面は、鉄板、断熱材を積層した壁で構成されている。北・東面は、床面から高さ約1.4mの開口を設け、高さ0.9mの垂れ壁を設置した。酸素消費法により発熱速度を測定するため、南・西面に幅1.1m、高さ0.6mの排煙口を設置した。

スプリンクラー設備は、標準型高感度型スプリンクラーヘッド（標示温度72°C、RTI≒33m^{1/2}s^{1/2}）を使用し、実験区画内が有効散水半径（2.6m）内に収まるように、3.6m間隔で4箇所設置した。散水量は80L/minとし、1箇所当たりの放水圧力は0.1MPaとなるように調整した。

4.2.2 測定項目

試験体の発熱速度を酸素消費法により測定するため、ダクト内に排気ガスサンプリング管、熱電対、双方向式ピトー管を設置した。O₂、CO、CO₂濃度の測定は、ガスを除湿処理した上で、分析機器への吸引、分析機器出力の時間遅れ（70秒）の補正を行った。実験区画の中央および隅角部の軸上、およびスプリンクラーヘッド近傍の天井面に、シーズ型K熱電対を設置し、実験区画内の温度

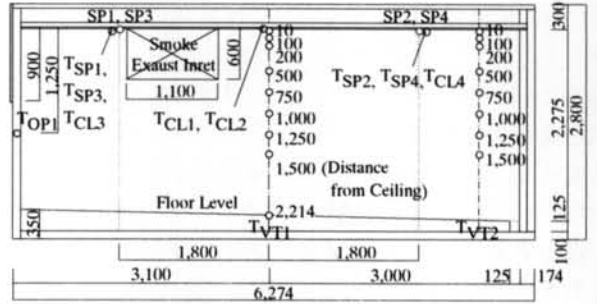


図-8 実験区画断面図

可燃物の種類		重量 (kg) *		
		技術系	事務系	
a	事務机 (机幅: 技術系1.4m, 事務系1.2m)	42.1	35.4	
b	デスクワゴン	23.9	23.9	
c	ローバック 事務用椅子	肘なし	11.1	—
		肘あり	—	13.9
d	電話機	0.7	0.7	
e	ゴミ箱 (ポリプロピレン製、0.2kg段 ボール紙含む)	0.6	0.6	
f	コンピュータ	デスクトップ型	11.0	—
		ラップトップ型	—	3.0
g	キーボード	1.2	—	
h	CRT (17インチ)	18.0	—	
i	デスクパーティション (高さ0.45m)	8.0	7.0	
j	書類 (A4紙)	机上	55	25
		机下	55	10
		ワゴン内	15	15
k	ダンボール箱 (書類含む)	30	15	
合計		271.6	149.3	

* 表中の重量は、不燃部材を含めた総重量を示す。
表-7 机1ユニット当たりの可燃物構成



写真-1 可燃物の配置状況 (事務系机4ユニット)

ケース番号	机ユニット型	机ユニット数	スプリンクラー放水の有無
2	事務系	4	放水なし
4	技術系	4	放水なし
6	事務系	4	放水あり
8	技術系	4	放水あり
12	技術系	1	放水なし

表-8 実験条件

を測定した。全ての測定データは、データロガーを介し、1秒間隔で記録を行った。

4.2.3 燃焼試験体

燃焼試験体は、可燃物調査の結果に基づき、技術系・事務系の2パターンに分類し、執務空間の机ユニット単位で可燃物量と配置をモデル化して設定した。可燃物の構成を表-7に、事務系机4ユニットの場合の可燃物配置状況を写真-1に示す。机、椅子等は、ABS等のプラスチック系材料を主とした製品を用いた。書類は、可燃物実態調査で得られた平均値+2σ程度の重量とした。

4.2.4 実験条件および実験手順

実験条件を表-8に示す。机4ユニットは、国内で最も一般的である対向式レイアウトとし、スプリンクラーヘッドからの水平距離が最も遠くなるように、区画中央部に設置した。机1ユニットのケースは、机ユニットAの位置に机を配置した。着火源は前章の代表的可燃物の燃焼実験と同様、ゴミ箱とした。

燃焼ガスの測定を行うため、予め排煙機を起動し、30,000m³/hで区画内の排気を行った。試験開始と同時に、机ユニットAのゴミ箱に着火した固形燃料を投入した。

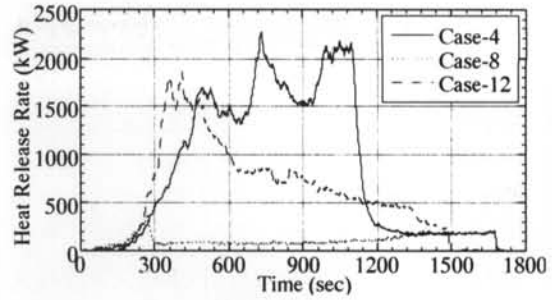
スプリンクラーを作動するケースでは、安全側の条件として、ヘッドの溶融によりヘッドSP3のみを作動させた。スプリンクラーの放水継続時間は20分間とした。

4.3 実験結果および考察

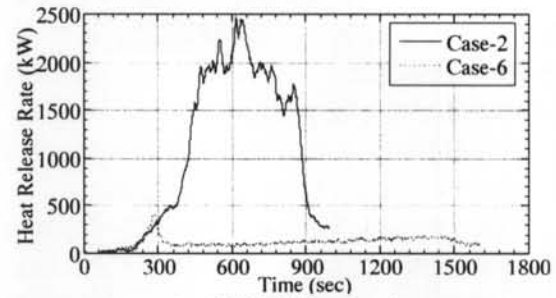
各ケースの発熱速度の時間変化を図-9に、区画中心軸上の天井面温度の時間変化を図-10に示す。

4.3.1 火災成長段階での燃焼性状

着火後、燃焼がピークに至る成長段階での発熱速度の

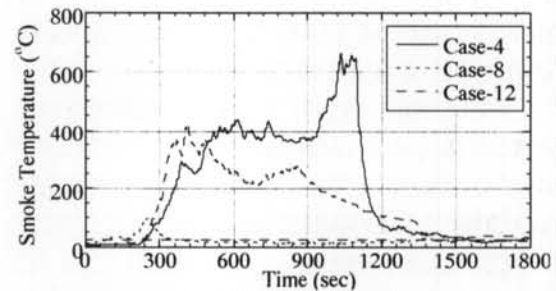


(a) 技術系机ユニット

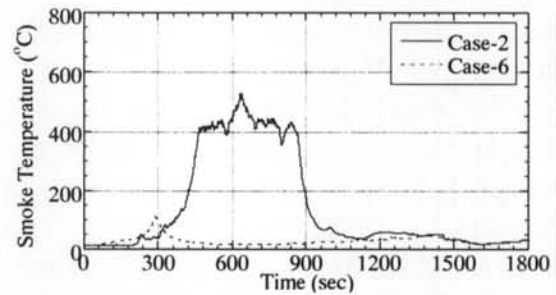


(b) 事務系机ユニット

図-9 発熱速度の時間変化



(a) 技術系机ユニット



(b) 事務系机ユニット

図-10 区画中心軸上天井面温度 T_{VT1} の時間変化

時間変化を、(5)式でモデル化し、最小二乗法により火災成長率 α を算出した。

$$Q(t) = \alpha(t - t_0)^2 \quad (5)$$

$Q(t)$ は着火 t 秒後における発熱速度(kW)、 α は火災成長率(kW/s²)、 t_0 は机・椅子への着火の時間遅れ(秒)を示す。

出火源から周辺可燃物に燃え移るまでの時間遅れは、可燃物の配置条件の影響を受けることから、ごみ箱から、

ケース番号	着炎時間遅れ t_0 (秒)	火災成長率 α (kW/s^2)	最大発熱速度 (kW)	スプリンクラー作動時の発熱速度 (kW)
2	120	0.011	2476	—
4	120	0.012	2271	—
6	120	0.012	408	390
8	120	0.017	378	290
12	90	0.015	1870	—

表-9 実験より得られた火災成長率と最大発熱速度

机・椅子に着炎するまでの時間遅れを考慮した。 t_0 は、目視観察の結果をもとにケースごとに設定した。また、火災成長率 α の算出に当たっては、ゴミ箱単体の最大発熱速度が約50kWであることから、ワゴン、椅子へ確実に着火したことを考慮し、発熱速度が100kWから第一次のピーク発熱速度となるまでの区間を対象とした。

火災成長率、最大発熱速度、スプリンクラー作動時の発熱速度の実験結果一覧を表-9に示す。火災成長率は、0.011~0.017kW/s²で、可燃物量や机ユニット数等の実験条件の違いによるばらつきは少ない。

着火源のゴミ箱周辺は、比較的延焼拡大しやすい可燃物配置としたにも関わらず、現在建築基準法で定められている事務所の収納可燃物に対する設定値(0.0989kW/s²)と比較して、緩やかな火災成長であった。また、火災成長率は可燃物量の条件(技術系、事務系)に依らずほぼ同等の値であり、今回の実験条件下では、可燃物量の多寡は火災成長にほとんど寄与していないと考えられる。

なお、実験終了後の目視観察より、書類は周辺部のみが燃焼して、大部分が燃え残っていたのに対し、家具を構成するプラスチック系材料は、残余物が少なかった。これより、書類等の木質系可燃物量の違いは、初期段階での燃焼拡大にあまり寄与せず、プラスチック系可燃物の配置の影響が大きいものと考えられる。

4.3.2 自由燃焼時の最大発熱速度

技術系の机1ユニットの最大発熱速度は1870kWで、前章の複合燃焼実験の結果(複合B)とほぼ同じ値となっている。机ユニットが1ユニットから4ユニットに増えた場合、最大発熱速度は約20~40%増加し(2200~2500kW)、最盛期の燃焼状態が約10分間継続する。発熱速度は、机1ユニットでは椅子の燃焼最盛期で最大となり、複数ユニットではユニット2つが燃焼した時点で最大となる。

事務系と技術系を比較すると、燃焼最盛期の継続時間は、事務系に比べて技術系机ユニットの方が長い。これは、机上のデスクトップ型パソコンを介して、順次延焼拡大していく影響であると考えられる。

なお、今回の実験では、机4ユニットを対向式で配置したが、現実の事務所空間を対象とした場合は、机ユニットがさらに連続して配置された場合の机間の延焼拡大

について検討する必要があると考えられる。

4.3.3 スプリンクラー作動による火災抑制効果

スプリンクラーの放水を行ったケース6,8では、ヘッド近傍の天井面温度が90~100°Cに至った段階でスプリンクラーヘッドSP3が作動した。またヘッド作動時点での発熱速度は、最大でも400kW以下に収まっている。

自由燃焼時の延焼拡大状況の目視結果より、隣接する机ユニットへの延焼拡大は、出火ユニットの横に配置された机ユニットCが最も早く、ゴミ箱着火後6~8分を要している。これに対し、スプリンクラーは、ヘッドが加減の机ユニットから離れて配置されていても、ゴミ箱着火後4~5分で作動している。この時点での燃焼範囲は、出火ユニットの椅子・デスクワゴン・キーボードであり、ヘッド1個の防護範囲内にとどまっている。

スプリンクラー放水がないケース(ケース2,4)では、机4ユニットの最大発熱速度は、2200~2500kWに達するが、スプリンクラー放水のあるケース(ケース6,8)では、スプリンクラーが作動すると、最大発熱速度は作動時の発熱速度をやや上回るものの、概ね400kW程度に留まり、出火したユニット内に火災を抑制することができる。

スプリンクラー作動後は、直接散水できない机下の書類やワゴン天板などで一部燃焼が継続するものの、発熱速度は急激に減衰し、作動後1~2分で100~200kWに抑制された状態となる。またこの時点での火源近傍天井面での煙層温度は、30~40°Cでありスプリンクラーが作動しないケース(400~600°C)と比較して、十分な温度低減効果があると考えられる。現状の事務所執務空間では、スプリンクラー設備の作動により、十分な火災抑制効果が得られることが明らかとなった。なお、今回の実験では、可燃物量の多寡と火災抑制効果に直接的な相関はみられなかった。

§5. おわりに

事務所ビルの可燃物実態調査、代表的可燃物燃焼実験、スプリンクラーを用いた執務室机レイアウトによる実大燃焼実験を実施し、以下のことが明らかとなった。

- ・現在の事務所は、OA機器の普及等により、過去の可燃物実態調査と比較すると、執務室内のプラスチック系可燃物の量が増大している。
- ・火災初期の燃焼性状には、書類等の木質系可燃物量よりも、プラスチック系可燃物の量・配置が影響する。
- ・可燃物を単体で燃焼させたデータから、複合化した可燃物の燃焼性状を予測するためには、外部放射のある実験や今回燃焼拡大しなかったパソコン等の可燃物のデータを得る必要がある。
- ・スプリンクラーが作動しない自由燃焼時における事務

所の火災成長率は、可燃物量の多寡による違いは少なく、現状の避難安全設計で用いられている設定値よりもかなり小さい。

・事務所の執務空間で、スプリンクラーが作動すると直接散水できない机下等で燃焼が継続するが、出火した机 1 ユニット内に火災が抑制され、十分な火災抑制効果が期待できる。

今後は、これらの成果をもとにスプリンクラーの火災抑制効果を考慮した避難安全設計火源を構築し、建築物

の防火設計への適用を図る予定である。

謝辞

本研究のうち、可燃物の実態調査、代表的可燃物の燃焼実験は、東京理科大学への委託研究として実施した。また、事務所可燃物の実大燃焼実験は、独立行政法人消防研究所、能美防災、ホーチキとの共同研究として実施した。関係者の方々に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 建設省大臣官房技術調査室監修，建築物の総合防火設計法 第4巻 耐火設計法，日本建築センター，pp.142，1989
- 2) 自治省消防庁防災技術情報室監修，平成10年火災年報，Vol.55，(財)日本防火研究普及協会，1999

