

# 火災シナリオに基づく煙制御システムの開発

岸上昌史 山口純一

## Development of Smoke Control System Based on Fire Scenario

Masashi Kishiue Jun-ichi Yamaguchi

### Abstract

This work considered three scenarios connected to fire phases that progress over time: “evacuation,” “fire-fighting,” and “smoke control.” An examination was made of two safety-related problems that may not show sufficient functions at the time of a fire based on existing laws or regulations: (1) the problem of a door failing to open during a mechanical smoke exhaust operation in the early phase of a fire, (2) and the problem of smoke leakage to a vestibule during the growth phase of a fire. Solution methods were also considered. The occurrence mechanism for (1) is shown. Multiple solution methods are proposed, and their features are described. A new smoke control method was developed for (2). The developed method is comparable to a pressurization smoke exhaust system, whose primary advantages are economy and planning ability. The method is also comparable to a pressurization smoke shield system, which has the best performance in terms of safety.

### 概要

時間を追って進展する火災フェーズに対して連動する「避難」、「消火活動」、「煙制御」の3つのシナリオを考えると、現行法では火災時に十分な機能を発揮できない可能性がある次の2つの安全性に係る問題—①小規模火災フェーズにおける機械排煙作動時の扉開放障害問題、②中規模火災フェーズにおける付室への漏煙問題—について検討を行い、その解決手法を示した。①については、その発生メカニズムを示した。また、複数の解決手法を示すとともにそれらの特徴を整理した。②については新たな煙制御手法を開発した。開発した手法は、経済的および計画性の点ではもっともメリットのある押出排煙と同等、安全性の点でもっとも性能が高い加圧排煙と同等である。

## 1. はじめに

建築防災に関する代表的な法規として、昭和25年に施行された建築基準法(以下、建基法という)および昭和23年に施行された消防法がある。

これらの法規は、建築技術の進歩による建築物の大規模化や用途の複合化等に伴って顕在化した問題に対応して、度重なる改正が行われてきた。そのため、取りうる排煙手法も、Table 1に示すとおり多岐にわたる。

これらの排煙手法はそれぞれ機能や必要設備が異なり、Table 2(詳細は後述)に示すとおり、出火、初期拡大、盛期火災というように時間を追って進展する火災フェーズに対応できるように、区画や開口部の仕様等を踏まえて適宜計画される。例えば、建基法では居室および特別避難階段の付室のそれぞれに排煙設備の設置が義務づけられている。なお、このように適宜排煙設備が計画された場合を、本研究では「煙制御システム」と定義する。

ところで、火災時には火災フェーズの進展に合わせて、「在館者の避難」や「消防隊の消火活動」が実施される。そのため、煙制御システムも火災シナリオに対応するだけでなく、避難シナリオや消防隊の消火活動シナリオとも対応する必要がある。しかし、現行の建基法や消防法(以下、現行法という)ではこれらとの連携が十分とは言

い難しく、火災時に十分な機能を発揮できない可能性が指摘されている<sup>1)</sup>。

以上のことから本研究では、各火災フェーズにおいて、「避難」、「消火活動」、「煙制御」の3つのシナリオを明確にしたのち、煙制御に関して現行法で火災時に十分な機能を発揮できない可能性があると考えられる問題を解決すべく、新たに開発した手法について示すとともにケーススタディを行う。

なお、本論文で対象とする排煙設備に関する規定は、建基法と消防法で設置基準等についていくつかの差異はあるものの、おおむね整合がとれている<sup>2)</sup>ことを踏まえて、以下では建基法を主、消防法を副として取扱い、消防法を取り扱うときはその旨明記する。

## 2. 煙制御システムの問題点の整理と対策手法

本章では、現行法での煙制御システムにおける未対応の問題点について整理し、その解決手法を示す。そのため、時間によって進展する火災フェーズにおける「避難」、「消火活動」、「煙制御」の3つのシナリオを明確にする必要がある。そこで、それぞれのシナリオおよびそれらの関係をまとめたのち、本研究で対象とする問題点および構築した対策手法について述べる。

Table 1 排煙手法の概要  
Technique of Smoke Exhaust

	自然排煙	機械排煙	押出排煙	加圧防排煙
施行年	昭和45年	昭和45年	平成12年	平成21年
原理	・煙の浮力を利用して煙を排出	・機械力で煙を排出	・浮力に加えて、給気による背圧をかけて煙を排出	・機械力により遮煙に必要な圧力差を形成し、漏煙を防止
機能	・当該室の煙降下を遅らせる ・他室への煙の拡散を抑制	・当該室の煙降下を遅らせる ・他室への煙の拡散を抑制	・当該室の煙降下を遅らせる	・当該室への煙の侵入を抑制
必要設備	・排煙開口	・排煙機	・排煙開口 ・給気機	・給気機 ・圧力調整開口 ・空気逃し口
建基法で当該排煙設備が設置可能な室	・居室等 ・特別避難階段の付室等	・居室等 ・特別避難階段の付室等	・居室等 ・特別避難階段の付室等	・特別避難階段の付室等

## 2.1 各火災フェーズにおける煙制御避難および消火活動フェーズ

Table 2に、火災室(居室)ー廊下ー付室ー避難階段というつながりをもつモデルにおいて、初期消火失敗以降の各火災フェーズでの「避難」、「消火活動」、「煙制御」の3つのシナリオについて、既往文献<sup>3), 4), 5)</sup>を参考にまとめたものを示す。なお、煙制御システムとして火災室および廊下には機械排煙、付室には押出排煙が設置されている場合を想定する。

本研究では、出火以降の火災フェーズを、①初期消火に失敗し、火源周辺の可燃物が燃焼している小規模火災、②火災室の複数の可燃物が燃焼し始め火災が成長過程にある中規模火災、③燃焼状態が定常状態になり、火災室内が高温となる大規模火災の3つに分類した。なお、中規模火災については、煙制御、避難、消火活動のシナリオによってさらに中規模火災①、中規模火災②に分類している。

小規模火災では、火災による煙にまかれる前に在室者を火災室から避難させる必要がある。また、消防隊が到着していれば、火災室へ進入しての消火活動や要救助者の捜索・救助活動を行う。煙制御としては、避難時間を確保するための煙降下を遅らせることや消防活動援助を目的として、火災室での排煙が行われる。

中規模火災①では、煙が避難経路へと流出する。そのため、火災階の在館者や火災階以外の在館者を避難させる必要がある。また、消防隊は火災室での消火活動または火災室での消火活動が困難な場合には廊下での消火活動が行われる。煙制御としては、廊下への漏煙量低減を

目的とした火災室での排煙、避難経路での煙降下を遅らせることや消防活動支援を目的とした廊下での排煙が行われる。

中規模火災②では、火災室が高温になり、火災室の空間温度が280℃を超えると排煙ダクト内の防火ダンパーが起動するため、火災室の機械排煙が停止する。火災階の避難は終了しており、火災階以外の在館者が避難階段を利用した避難が行われる。そのため、火災階では消防隊の活動がメインとなる。当該状態では火災室が高温になり、火災室での消火活動が難しいため、廊下での消火活動となる。煙制御としては、消火活動援助を目的とした廊下での機械排煙、消防活動拠点(特別避難階段の付室や非常用EV乗降ロビーを指すが、以降は付室で統一する)の保護を目的とした付室での押出排煙が行われる。

大規模火災では、中規模火災②で終了していない場合には火災階以外の在館者の避難が行われる。火災室だけでなく廊下も高温になり、機械排煙も停止するため廊下での消火活動も困難になる。そのため、消防隊は付室の防護を目的として付室内での消火活動(廊下に面する壁への放水による侵入熱量低減等)を行う。煙制御としては、付室での押出排煙が行われる。

以上のように、各火災フェーズに対応した「避難」、「消防活動」のシナリオがあり、これらのシナリオと連携した「煙制御」が必要となる。以下では、各火災フェーズでの「避難」、「消防活動」、「煙制御」のシナリオをもとに現行法では未対応の問題点について述べるとともに、その対策手法を提案する。

Table 2 各火災フェーズでの避難と消防活動および煙制御のシナリオ  
Scenarios of Smoke Control, Refuge and a Fire-Fighting Activity by Phase of a Fire

出火以降の火災フェーズ (火災室と廊下：機械排煙、付室：押出排煙)		各火災フェーズでのシナリオと内容		現行法で未対応の問題 (下線部分が本論文の対象)
		シナリオ	内容	
(初期火災)	小規模火災 	避難	火災室および火災階からの避難	<ul style="list-style-type: none"> <li>機械排煙作動時での避難方向に向けて開く扉の開放障害(2.2節)</li> <li>機械排煙作動時での避難方向と反対側に向けて開く扉の閉鎖障害</li> </ul>
		消火活動	火災室内での消火	
		煙制御	火災室の排煙 不燃化、自火報、SP等	
(初期火災①)	中規模火災① 	避難	火災階および火災階以外からの避難	上記と同じ
		消火活動	火災室又は廊下での消火活動	
		煙制御	火災室および廊下の排煙 面積区画等の区画化	
(盛期火災②)	中規模火災② 	避難	火災階以外からの避難	<ul style="list-style-type: none"> <li>消火活動時における消火活動拠点(付室)への漏煙(2.3節)</li> </ul>
		消火活動	廊下での消火活動	
		煙制御	廊下および付室の排煙 面積区画等の区画化	
(盛期火災)	大規模火災 	避難	火災階以外からの避難	-
		消火活動	消火活動拠点(付室)の防護	
		煙制御	付室の排煙 面積区画等の区画化	

2.2 小規模火災時の廊下等の安全性に係る問題

本節では小規模火災を対象とし、なかでも火災室に機械排煙が設置されている状況を想定する。

2.2.1 問題点の抽出 小規模火災時には、火災室の排煙が起動するとともに、在室者が火災室(居室)から避難し、避難経路を經由し避難階段への避難を始める。このとき排煙風量が大きいと、Fig. 1に示すとおり避難方向に開くように取り付けられる避難階段に通ずる付室の扉等が開かないため、避難上支障がでるといふ扉の開放障害問題が生じる。また、避難方向と反対側に向けて開く扉が閉鎖しないため、区画が形成できないという閉鎖障害問題も生じるが、メカニズムはどちらも同じであるからここではおもに開放障害に焦点をあてる。

2.2.2 開放障害発生メカニズム Fig. 1に示すとおり、開放障害は(1)式を満足できない場合に発生する。なお、(1)式中の $F_{crit}$ についてはいくつか報告されており、Readら<sup>6)</sup>は200N、阿部ら<sup>7)</sup>は150N、加圧防排煙告解説書<sup>8)</sup>では100Nと研究幅があるが、本検討では $F_{crit}=150N$ で統一する。

$$F_{crit} \geq F_p = \frac{1}{d} \left[ M + A \times \Delta P \times \frac{B}{2} \right] \quad (1)$$

$$\Delta P = \frac{\rho_{\infty}}{2} \left[ \frac{1}{\alpha A} \times \frac{Q}{60} \right]^2 \quad (2)$$

- $F_{crit}$  : 人間が開閉可能な最大開放力
- $F_p$  : 機械排煙作動により当該扉に作用する力
- $d$  : 当該扉のドアノブとヒンジの距離

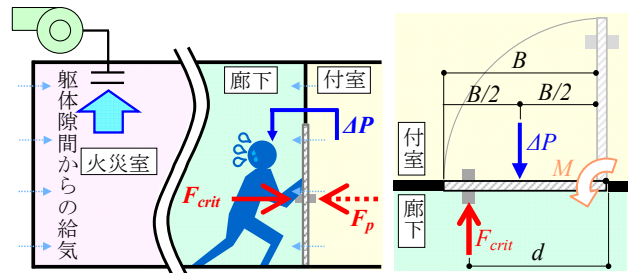


Fig. 1 機械排煙作動時の扉開放障害  
Opening Failure of the Door When Mechanical Smoke Exhaustion Operated

- $M$  : 当該扉のドアクローザーモーメント
- $A$  : 当該扉面積
- $B$  : 当該扉の幅
- $\Delta P$  : 排煙起動により扉の内外で発生する圧力差
- $\rho_{\infty}$  : 付室の空気密度
- $Q$  : 廊下-付室間通過体積流量
- $\alpha$  : 廊下-付室間隙間の流量係数

(1)式が示すとおり、開放障害は当該扉前後の差圧 $\Delta P$ の過度の上昇に起因する。 $\Delta P$ は火災室-外気間の有効開口面積に依存するが、現行法では給気口に関する規定はなく、躯体の隙間面積が給気口となる。近年では、省エネルギー化に伴う建物の気密性向上により、以前よりも隙間面積が小さくなる傾向にあり、扉の開放障害が起こりやすい。また、小規模火災時だけでなく、排煙設備の竣工検査時や定期検査時にも同様の開放障害事例が多

発しており<sup>9)</sup>、実際に消防検査等で指摘され是正を求められる場合もある。

Fig. 2は、各辺の長さがL mの簡易なモデルにおいて、現行法[防煙区画面積(ここでは床面積 $A_{floor}$   $m^2$ と読み替える)  $\leq 500m^2$ かつ排煙風量 $1 \times A_{floor}$   $m^3$ /分]の機械排煙によって形成される扉に作用する力 $F_p$ について試算した結果である。なお、試算においては壁面および扉の隙間(既往文献<sup>10)</sup>を参考に流量係数として壁面0.0008、閉鎖時の扉0.006)を見込んでいる。

Fig. 2より、床面積 $A_{floor}$ が増えるにつれて $F_p$ は増大する。前述のとおり $F_{crit}$ は150Nであるから、床面積 $A_{floor}$ が $144m^2$ より大きくなると(1)式を満足しなくなり、扉の開閉障害が発生する。本モデルでの最大の排煙量( $A_{floor}=500m^2$ )の場合には $F_p$ は474Nとなる。

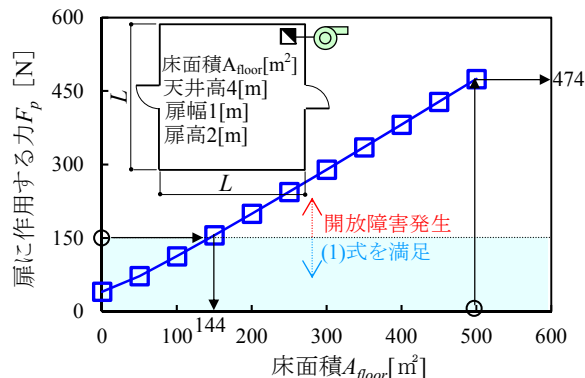


Fig. 2 開放障害の試算結果  
Test Result of Opening Failure

**2.2.3 開放障害解消のための対策手法** 開放障害解消のための対策手法は、Fig. 3に示すとおり①火災室で外部との空気流通経路の増設、②廊下で外部との流通経路の増設、③排煙主風道に避圧口設置または④圧力逃し口を備えた特殊な構造の扉に変更の4つが挙げられる。

4つの対策手法の長所と短所について整理したものをTable 3に示す。対策①は、火災室で完結するため、他の開口条件に左右されず機械排煙の効果を十分に発揮できるが、火災室が複数ある場合には各室で給気口が必要となる。対策②は、給気口が単数で良いもの、給気経路としての効果は火災室-廊下間の開口状況に左右される。対策③は、開口新設の必要がないが、避圧口が開くと火災室からの排煙量が減少するため、当該状況では煙降下を抑制することができない。対策④も、対策③同様開口新設の必要がないが、特殊な扉はコスト面がネックといえる。

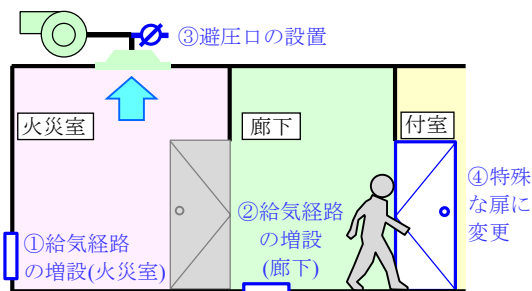


Fig. 3 扉開放障害の対策手法  
Measures Technique

Table 3 対策手法の特徴  
Feature of Measures Technique

対策手法	長所	短所
①給気経路の増設(火災室)	・他の開口条件等の影響をうけない	・開口新設必要 <sup>※1</sup> ・火災室毎に設置必要
②給気経路の増設(廊下)	・単数でよい	・開口新設必要 <sup>※1</sup> ・火災室-廊下間の開口条件に影響をうける
③避圧口の設置	・開口新設不要	・避圧口作動時に排煙量が低減する
④特殊扉に変更	・開口新設不要	・高価

※1: 空調負荷の観点から、日常利用時には閉鎖状態の仕様であるのが望ましい

このように4つの対策案は一長一短であるため、建物の特徴を理解して、適切な選択肢を採用する必要があると考えられる。なお、対策①および②では、給気経路の増設により建物の気密性が低下し、空調負荷の増大を招く恐れもある。そのため、日常利用時は閉鎖、機械排煙作動信号と連動して開放する仕組みであることが望ましい。

### 2.3 中規模火災時の付室の安全性に係る問題

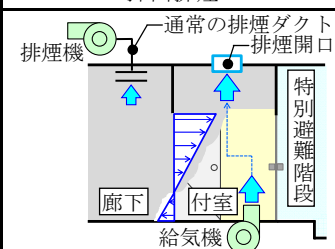
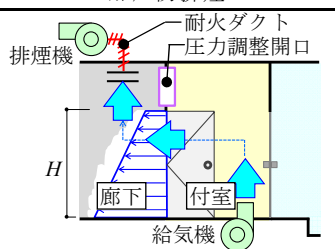
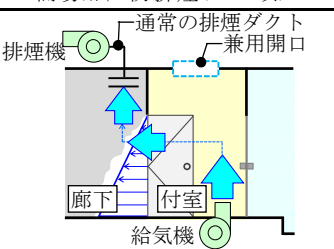
本節では中規模火災②を対象とし、付室の安全性に係る問題について取りあげる。なお、ここでは廊下に機械排煙が設置されている状況を想定する。

**2.3.1 問題点の抽出** 中規模火災②では、2.1節に示したとおり、廊下-付室間の扉を開けつつ、廊下での消火活動が行われる。そのため、廊下で排煙しきれない煙が付室へ侵入する。当然、付室にも排煙設備の設置が義務付けられており、Table 1に示した4つの排煙手法のいずれも選択可能であるが、付室の消防活動拠点としての機能を考えると、付室内に煙が侵入することは望ましいことではない。以上を鑑みて、消防は当該室への漏煙を防止する性能(以下、遮煙性能という)を有する加圧防排煙(Table 1参照)を付室の排煙設備として推奨している。

例えば東京消防庁では、消防同意を行う際の指針である予備事務審査・検査基準<sup>11)</sup>において「消防活動拠点の排煙方式は努めて加圧防排煙方式とすること(指導基準)」との記載がある。

しかし、現実には加圧防排煙の採用例は少ない。その原因として、現行法での加圧防排煙は他の排煙設備と比較して要求性能が高く、経済性および建物計画の観点から採用が困難なためである。付室の排煙設備として経済性、計画性の観点からもっとも利点がある押出排煙と加圧防排煙の必要設備の比較をTable 4に示す。なお、ここでは居室(一般室)-廊下(隣接室)-付室-特別避難階段のつながりをもつモデルとし、①居室、廊下には機械排

Table 4 押出排煙と加圧防排煙の必要設備の比較(建基法による)  
Comparison of Necessary Equipment of Pressurization Smoke Exhaust System  
and Pressurization Smoke Shield System

必要設備		押出排煙	加圧防排煙	簡易加圧防排煙(2.3.2項)
				
付室	給気風量 [m <sup>3</sup> /分]	(下記排煙開口面積Aeに対して) 100 <sup>※1</sup> 以上550Ae以下	130~180 <sup>※2</sup> (廊下-付室間の扉高さHに対して 46H√H~64H√H <sup>※3</sup> )	145 <sup>※2</sup> (廊下-付室間の扉高さHに対して 51H√H) 廊下の排煙停止後は約100
	圧力調整開口 [m <sup>2</sup> ]	なし	0.31~0.43 <sup>※2</sup> (0.11H√H~0.15H√H <sup>※3</sup> )	0.34 <sup>※2</sup> 〔0.12H√H〕
	排煙開口 [m <sup>2</sup> ]	(付室の床面積Aに対して) A/550以上かつA/60以下	なし	(付室の床面積Aに対して) A/550以上かつA/60以下
	区画の仕様	防火区画	防火区画+遮熱性	防火区画
(機械排煙) 廊下および居室	防煙区画面積	500m <sup>2</sup> 以下 <sup>※4</sup>	500m <sup>2</sup> 以下 <sup>※4</sup>	500m <sup>2</sup> 以下 <sup>※4</sup>
	排煙量 [m <sup>3</sup> /分]	防煙区画が1つの場合：1.0×最大防煙区画面積 <sup>※4</sup> 防煙区画が複数の場合：2.0×最大防煙区画面積 <sup>※4</sup>	(室に面する付室数nに対して) 460×n~645×n <sup>※2</sup> 〔162H√H×n~229H√H×n <sup>※3</sup> 〕 又は 左記(押出排煙の項)の大きい方	(室に面する付室数nに対して) 270×n <sup>※2</sup> 〔96H√H×n <sup>※3</sup> 〕 又は 左記(押出排煙の項)の大きい方
	排煙風道(横引き)の仕様	通常の排煙ダクト	耐火ダクト+モーターダンパー(区画貫通部)	通常の排煙ダクト
性能	廊下-付室の遮煙	×	○	○

※1：消防排煙に係る特例基準による  
※2：H=2mとした場合の数値  
※3：廊下の区画仕様による  
※4：避難検証で緩和可能

印は押出排煙より仕様がUPする項目  
印は押出排煙より仕様がDOWNする項目

煙設備が設置され、②建基法のみ適用が要求されている状況を想定している。

Table 4に示すとおり、加圧防排煙設備は押出排煙に比べて要求性能が高い項目が多いことがわかる。特に採用のネックとなるのが隣接室での必要排煙量の増大(廊下-付室間の開口部の扉高さH=2mとすると460~645m<sup>3</sup>/分)と、排煙ダクト仕様である。加圧防排煙では、廊下-付室間での遮煙を目的としているため、給気空気を時間の経過とともに高温となってゆく隣接室等で排出し続ける必要がある。よって、排煙ダクトが耐火仕様となるうえに、質量収支の観点から排煙風量が大きくなるため、排煙ダクト径も大きくなる。

このように、安全性という面から加圧防排煙の設置が推奨されるのに対して、経済性あるいは建物計画の観点から現行の加圧防排煙は仕様が高く、採用が控えられるという問題がある。

2.3.2 対策手法(煙制御システムの開発) 本研究では、加圧防排煙設備よりも仕様を緩和させつつ、消防隊活動時においても遮煙性能を満足することを目的として、Fig. 4に示す簡易な加圧防排煙設備(以下、簡易加圧防排煙設備という)を開発した。

簡易加圧防排煙は、Fig. 4に示すとおり付室の給気設備、圧力調整開口と排煙開口を兼ね備えた開口(以下、兼用開口という)、廊下の機械排煙設備から成る。以下では簡易加圧防排煙の概要を火災フェーズごとに述べる。

まず、消防隊が廊下-付室間の扉を開け、廊下での消火活動を行う中規模火災②以前は、廊下の排煙が停止する(廊下の空間温度が280℃となる)まで廊下-付室間において遮煙が達成できる風量を給気する。なお、このフェーズでの付室の兼用開口は、付室内圧力が過度に上昇したときだけ開放される圧力調整開口として働く。

次に、廊下の機械排煙が停止した以降の大規模火災時

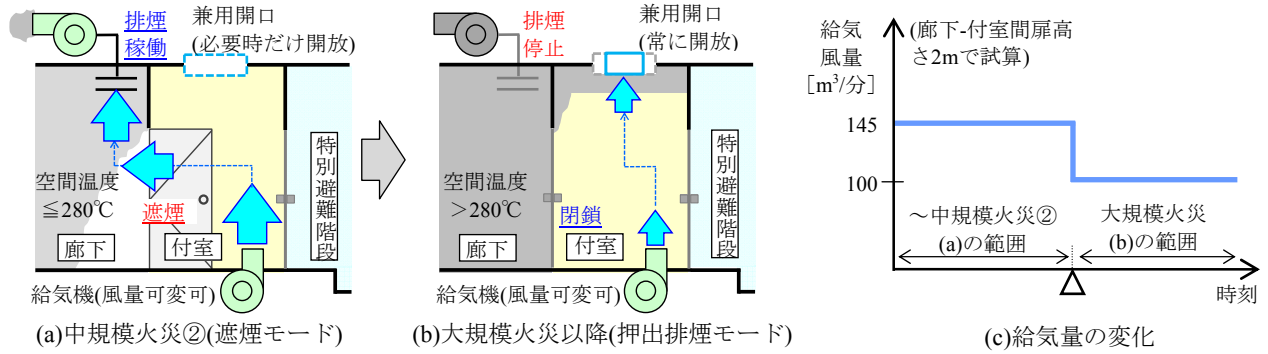


Fig. 4 開発した簡易加圧防排煙の概要  
Outline of Simplified Pressurization Smoke Shield System

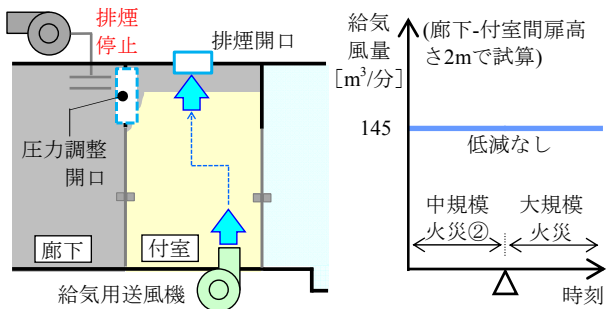


Fig. 5 簡易加圧防排煙の応用例(大規模火災以降を図示)  
Application of Simplified Pressurization Smoke Shield System

では、消防隊は廊下での消火活動を断念し、消防活動拠点の防護に専念すると考えられる。そのため、給気風量を低減させて押出排煙モードに移行する。兼用開口は押出排煙規定の排煙開口として機能するように、圧力調整開口としての開口よりも面積が幾分か小さくなるとともに、常に開放状態を維持する仕様となる。

上記に示すとおり、簡易加圧防排煙では火災フェーズに合わせて給気風量や兼用開口の開口面積を変化させる必要がある。その制御方法として、例えば廊下の機械排煙の停止信号を受けて、インバータ制御による給気ファンの回転数の低減や遮蔽版等による開口面積の低減が考えられる。

Table 4に簡易加圧防排煙設備の必要設備も併せて示すとともに、以下では他の排煙設備と比較する。

押出排煙と比較すると、簡易加圧防排煙設備は付室での給気風量(H=2mとすると145m<sup>3</sup>/分)や付室の圧力調整開口の点でやや高い仕様となる。また、廊下および居室での必要排煙量は、簡易加圧防排煙は押出排煙と同様の規定(1.0×最大防煙区画面積 m<sup>3</sup>/分)に加えて新たな条件(H=2mとすると270m<sup>3</sup>/分)が加わる。なお、実際の計画では両者のうち大きい方を選択することになるため、廊下面積が270m<sup>2</sup>より小さければ押出排煙より高い仕様となる。一方で、給気風量を増やしたために、押出排煙では達成できなかった廊下-付室間開口での遮煙を満足できる。

加圧防排煙と比較すると、簡易加圧防排煙は付室に排煙開口が必要となる点で高い仕様となる。給気風量や圧

力調整開口（加圧防排煙では廊下の仕様によって要求仕様に幅がある）については、おおむね同等か低い仕様となる。また、採用の最大ネックであった廊下の排煙量やダクト仕様は大幅に緩和（排煙量は1/3倍～1/2倍）されており、簡易加圧防排煙の方が実際の建物へ適用しやすいと考えられる。

なお、簡易加圧防排煙では必要設備の組み合わせとして様々なパターンが考えられる。例えば、Fig. 5に示すように大規模火災以降も給気風量を低減させないパターンもある。この場合、大規模火災時での付室の過度の圧力上昇を防止する必要があるため、兼用開口としてはなく圧力調整開口と排煙開口がそれぞれ必要となる。

### 3. ケーススタディ

本章では、前章で示した①機械排煙作動時の扉開閉障害、②簡易加圧防排煙についてのケーススタディを行う。ところで、①の検討のためには居室の排煙量を明らかにする必要がある。居室の排煙量は、建基法および消防法での「最大防煙区画×1 m<sup>3</sup>/分」の規定の他、避難検証による検討あるいはTable 4で示したように付室の排煙設備の選択によっても異なる。そこで、まず付室の排煙設備に関連する②簡易加圧防排煙を採用した場合のケーススタディを行ったのち、①について検討する。

#### 3.1 検討した建物計画プラン

検討したプランおよび室面積をFig. 6およびTable 5に示す。当該プランの居室の主用途は、事務室用途の貸室であり、フローア貸し(1つのテナントが入居)の場合や複数のテナントが入居する場合を想定している。

居室の床面積は2600 m<sup>2</sup>であり、同一階に複数のテナントが入居する場合は、上階スラブまで達する不燃間仕切り壁によって最大5つに分割される計画である。貸室間の間仕切り位置はFig. 6の点線の位置とし、各貸室はFig. 6に示す構成単位(以下、Unitという)または、複数のUnitを組み合わせる構成することとする。そのため、各Unitに機械排煙が設置される。廊下の床面積は240m<sup>2</sup>であり、不燃区画仕様である。また、廊下も機械排煙を設置する。付室は2つとも20 m<sup>2</sup>である。

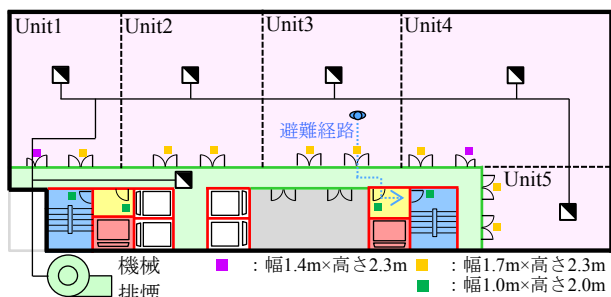


Fig. 6 検討したプラン  
Considered Plan

Table 5 設定条件  
Setting Condition

室名	床面積 [m <sup>2</sup> ]	外部との 隙間面積 [m <sup>2</sup> ]	外部-当該室-廊下までの 合成有効開口面積 [m <sup>2</sup> ]
Unit1	400	0.10	0.039
Unit2	500	0.05	0.034
Unit3	500	0.05	0.034
Unit4	700	0.10	0.042
Unit5	500	0.09	0.042
廊下	240	0.042	—
付室A	20	—	0.010
付室B	20	—	0.010
EV等	-	—	0.012

なお、本プランでは防煙区画面積の拡大および排煙風量の低減を目的として、避難検証(ルートC)を前もって実施している。検証の結果、居室での必要排煙量は780m<sup>3</sup>/分[=0.3m<sup>3</sup>/(分・m<sup>2</sup>)]、廊下での必要排煙量は120m<sup>3</sup>/分[=0.5m<sup>3</sup>/(分・m<sup>2</sup>)]である。

### 3.2 簡易加圧防排煙に関するケーススタディ

3.1節で示したプランにおいて、付室に簡易加圧防排煙を採用した場合の結果をTable 6に示す。Table 6には、押出排煙、加圧防排煙を採用した場合の結果も併せて示す。なお、ここでは便宜上、付室の漏気面積は無視している。

2.3節で示したとおり、必要設備の仕様は押出排煙がもっとも低いものの、簡易加圧防排煙では送風機の能力、圧力調整開口が必要となる点を除けば、押出排煙と同等である。居室での排煙量でみると、簡易加圧防排煙および押出排煙では避難検証で低減した排煙量でよいが、加圧防排煙では避難検証で低減した排煙量では不足するため、必要排煙量は加圧防排煙での排煙量となる。このように加圧防排煙では、避難検証を適用したメリットが薄れる場合がある。

一方で、付室の安全性という観点でみると、2.3節で示したとおり廊下の空間温度280℃に対して遮煙に必要な給気風量145m<sup>3</sup>/分より押出排煙の給気量(90m<sup>3</sup>/分)は小さいことから、簡易加圧防排煙、加圧防排煙は遮煙性能を有するが、押出排煙は当該性能を有さない。

以上の結果より、簡易加圧防排煙は、必要設備の仕様という観点では押出排煙と同等、安全性という点では加圧防排煙と同等の性能を有する。

Table 6 簡易加圧防排煙のケーススタディ結果  
Result of the Case Study

		簡易加圧防排煙	押出排煙	加圧防排煙
付室	給気風量 [m <sup>3</sup> /分]	290 (145×2)	180 (90×2)	320 (160×2)
	圧力調整 開口 [m <sup>2</sup> ]	0.34	なし	0.31
	排煙開口 [m <sup>2</sup> ]	付室A: 0.33 付室B: 0.33	付室A: 0.33 付室B: 0.33	なし
	区画の仕様	防火区画	防火区画	防火区画 +遮熱性
居室 又は 廊下	排煙量*1 [m <sup>3</sup> /分]	居室: 780 廊下: 120 〔簡易加圧での 必要排煙量 540(=270×2)〕	居室: 780 廊下: 120 〔押出排煙で の必要排煙量 無〕	居室: 1120 廊下: 120 〔加圧防排煙で の必要排煙量 1120=560×2)〕
	排煙風道 (横引き) の仕様	通常の 排煙ダクト	通常の 排煙ダクト	耐火ダクト+モ ーターダンパー
性能	廊下-付室 の遮煙	○	×	○

3つのうち要求仕様が低い順から  
※1: 建基法での必要排煙量(避難検証で低減)と各排煙設備で必要な量との大きい方を選択

### 3.3 機械排煙時の扉開閉障害のケーススタディ

3.1節で示したプラン(Fig. 6参照)において、機械排煙時の扉開放障害のケーススタディを行う。計算のフローをFig. 7に示す。

本研究では、もっとも扉開閉障害が発生しやすいと想定される間仕切り壁が全て設置された状態を想定する。各室での隙間面積は、既往文献<sup>8)</sup>を参考(流量係数にして全開時の扉:0.65, 閉鎖時の扉:0.006, EV扉:0.011, 外壁:0.0008)に設定した(Table 5参照)。また、3.2節を踏まえて、居室での排煙量は780m<sup>3</sup>/分とした。併せて、以下の仮定をおいた。

- 1) 各室の温度はもっとも開閉障害が発生しやすい状況であること、避難初期は温度もさほど高くないことを踏まえて常温(20℃)とする。
- 2) 排煙が起動したUnit以外のUnit-廊下間の扉は『全開』とする。
- 3) 付室に接続する階段の扉および階段で接続されている各階の扉はすべて『全閉』とする。
- 4) 排煙機の能力は通気抵抗の大小にかかわらず所定の排煙量で一定とする。
- 5) 排煙起動室のUnit-廊下間の扉の開閉状況は避難行動を鑑みて、2つは全開、2つは全閉とした。

(1)式を参考に、もっとも外部との隙間面積が小さいUnit2において排煙風量780m<sup>3</sup>/分のときの $F_{CL}$ と $F_{crit}$ の計算結果をTable 7に示す。Table 7より、対策前では(1)式を満足しておらず、現状のままでは廊下-付室での扉の開放障害は発生する。そこで、開放障害解消のための対策を講じることとした。2.2.3項に示した4つの対策手法のうち、本建物では各Unit-廊下間の開口扉が各Unitからみて内開きであるため、廊下からUnitへの流れを阻害しにくいことを踏まえて、対策②廊下で外部との流通経路の増設を採用する。対策後の結果をTable 7に併せて示す。開閉障害解消のためには、廊下-外部間に、合成有

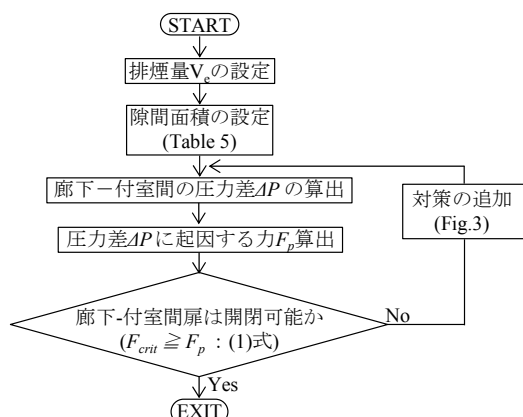


Fig. 7 開放障害の計算フロー  
Calculation Flow

Table 7 扉開放障害に関するケーススタディの  
計算結果(Unit2を対象)  
Result of the Case Study

対策の有無	計算条件	設定条件	対策手法②	計算結果	判定
		排煙量 $V_e$ [m <sup>3</sup> /分]	開放力 $F_{crit}$ [N]	廊下-外部間に新設する合成有効開口面積 [m <sup>2</sup> ]	廊下-付室間扉に作用する力 $F_p$ [N]
対策前	780	150	—	551	NG
対策後			0.33	150	OK

効開口面積が0.33m<sup>2</sup>となる開口を新たに設置する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、各火災フェーズにおいて、時間とともに進展する「避難」、「消火活動」、「煙制御」の3つのシナリオを明確にしたのち、①小規模火災フェーズでの廊下の安全性に係る機械排煙作動時の扉開放障害問題、②中規模火災フェーズでの付室の安全性に関わる付室への漏煙に関する問題について検討を行い、以下の知見を得た。

- ①については、その発生メカニズムを示すとともに、開放障害を解消する対応手法を示すとともにそれらの特徴を整理した。

- ②については、安全性は現行法上もっとも安全性能が高い加圧防排煙と同等、仕様については現行法上、経済的および建物計画の面でメリットのある押出排煙と同等の簡易加圧防排煙設備を開発した。
- ①および②それぞれについてケーススタディを示した。

なお、本研究で構築した手法のうち①については今回示した内容をもとにより詳細な検討を行い、実物件に適用している。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物の煙制御計画指針, pp.113-115, 2014.3
- 2) 大規模防火対象物の防火安全性のあり方検討部会「加圧防排煙設備に係る検討作業部会」：加圧防排煙の設計・審査に係る運用ガイドライン, pp.5-27, 2012.3
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課, 他：2001年版避難安全検証法の解説及び計算例とその解説, 井上書院, pp.3-10, 2001.3
- 4) 大規模防火対象物の防火安全性のあり方検討部会「加圧防排煙設備に係る検討作業部会」：加圧防排煙の設計・審査に係る運用ガイドライン, pp.45-49, 2012.3
- 5) 日本建築学会：建築物の煙制御計画指針, pp.7-19, 2014.3
- 6) Society of Fire Protection Engineers：Design of smoke Management Systems, ASHARE, 1992
- 7) 阿部伸行, 他：加圧排煙時の消防活動拠点における扉の流量係数及び開放力に関する実験研究, 平成16年度日本火災学会研究発表梗概集, pp.262-265, 2004.5
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所：加圧防排煙設計マニュアル, p.32, 2011.3
- 9) 森山修治：排煙機運転時の扉開放障害の改善策, 平成25年度日本火災学会研究発表梗概集, pp.286-287, 2013.6
- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所：加圧防排煙設計マニュアル, p.42, 2011.3
- 11) 東京防災救急協会：予防事務審査・検査基準改定第11版Ⅱ, p.550, 2014.7