

# 高層建築における避難ルートの多段加圧防煙システムの開発

村岡 宏 宮川 保之  
増 茂 貞  
(本社 設備設計第1部)

## Development of Smoke Control System by Multi-Stage Pressurization for Evacuation Route in High-Rise Building

Ko Muraoka Yasuyuki Miyagawa  
Takashi Masumo

### Abstract

Smoke control systems in which staircases, vestibules, and corridors are pressurized to prevent entrance of smoke instead of exhausting the smoke have increased in number in Japan. In general, a control system which divides the pressurized zone into two parts (vestibule zone and corridor zone) is much used. On the other hand, Obayashi Corporation has developed a new smoke control system with multi-stage pressurization, and adopted this system for two high-rise buildings. This system has many merits such as reduction of installed cost and reliable pressure control. The results of simulation of pressure distributions and smoke flows of the two buildings were examined in the study described in this report and it was found that this can be considered as a safe system.

### 概 要

火災時に建物内の階段室、附室、廊下などの避難ルートを排煙するかわりに加圧して防煙する方式が日本でも増加しつつある。加圧防煙システムには種々の方式が考えられ、建物ごとに方式が異なるが、一般的には加圧を階段室・附室ゾーンと廊下ゾーンとに別々に独立させる方式が多用される。これに対して当社では両者を一体化して附室のみを加圧し、附室→廊下→居室と段階を追って順次、圧力を下げる方式を提案し、これまで2例の高層建築に適用した。この方式によれば設備コストが下げられるとともに確実な圧力コントロールが可能となる。本報告においてはこの方式を採用した2例の建物についての圧力分布、煙流動のシミュレーション結果を示す。災害時において想定されるどのような避難パターンに対しても煙は避難ルートに逆流することがなく、この方式が安全な煙制御システムであることが明らかとなった。

## 1. はじめに

わが国における煙制御の方法としてはこれまで排煙（機械排煙あるいは自然排煙）と密閉防煙（所定の条件を満たした上での排煙免除）が法で許されたものとして一般的に用いられてきた。一方、欧米では以前から排煙よりもむしろ加圧防煙を多用してきている。加圧防煙とは階段室、附室、廊下、エレベーターシャフト等を火災時に加圧することで煙汚染から防止し、安全な避難ルートを確認する煙制御方式である。わが国においても近年、この加圧防煙方式の長所が評価されはじめ、実施例が増加しているが、現在のところ建築基準法38条特認によらなければならない。加圧防煙方式の長所としては次のようなことが挙げられる。

① 従来の排煙方式が避難ルート等に侵入してしまっ

た煙を除去する消極的な防護方式であるのに対して、加

圧防煙は新鮮空気による加圧給気によって避難ルートを積極的に防護するものであるため安全性が高い。

② 面積の小さいスペースであっても安全に防煙できる方式である。

③ 一般の排煙ファンが高温の煙を排煙する場合には短時間で停止してしまうのに対して加圧防煙では低温の外気を扱うため長時間の運転が可能となる。

④ 従来の法で定められた附室の給気排煙はダクトが給気ダクトと排煙ダクトの2本になるのに対し、附室の加圧防煙では給気ダクト1本となるため堅ダクトスペースの節約が図れる。

さて一般的に採用される加圧防煙システムは附室ゾーンと階段室ゾーンとを別々に加圧する方式が多い。しかしこの方式では本来、廊下よりも圧力が高くなっていない附室が状況によっては逆転することもあり安定した圧力コントロールがむずかしい。また設備コ

ストも決して安くはない。これに対して当社が開発した方式は両者を一体化して附室のみを加圧し、一定圧力差で開くリリーフダンパーを用いて附室→廊下→居室と順次、圧力を段階的に下げていくものである。

本報告においてはこの多段加圧システムを採用した二つの建物について各種のシミュレーションから予測した圧力分布、煙流動の特性を示す。つまり火災時において想定される避難の時間的パターン（各部分のドアの開閉状態の組合わせ）の各々についてこの加圧防煙システムの安全性を検討したものである。

## 2. 多段加圧防煙システムの概要

附室、廊下等の安全区画を加圧する加圧防煙システムの種類としては図-1のようなものがある。(a)～(c)の方式がわが国においてはこれまで多用されてきたが、設備スペース、設備コストの面からも不利な上、常に廊下よりも附室の圧力を高く保つための制御システムが複雑となる。(d)は当社提案のシステムである。このシステムは附室・廊下間に一定圧力差で開くリリーフダンパーを複数個、設置して附室圧力>廊下圧力の条件を常に満たしつつ附室、廊下を一体加圧するものである。このシステムにおいては複雑なダクティング、制御システムは不要となり、またコストの低減も図れる。

ただしこのシステムが採用できる前提としては廊下で出火の危険性がないことが必要である。廊下がリフレッシュゾーン等と一体化して使われるような場合には(c)に示すように廊下自体にも排煙をとる必要がでてくる。

## 3. 多段加圧防煙システムの防煙性能の予測シミュレーション手法

高層建築に加圧防煙システムを採用した場合において火災室の煙が廊下、附室等のドアの開放によってこれらの安全区画に流出しないように、またエレベーターシャフト等の堅穴を通して煙が上階に拡散しないことを保証しなければならない。このために加圧ゾーンの必要加圧風量、火災室の排煙風量等を設計段階で数値シミュレーションから正確に予測する必要がある。シミュレーションの方法には大きく分けて次の二つがある。

### (1) 2層ゾーンモデルによるシミュレーション

1室を上部煙層と下部新鮮空気層の2ゾーンに分け、このゾーンモデルを多数室に拡大するものである。火災室の煙層温度、煙層の降下状況等は正確に算出できるが、室数をあまり多く出来ないため全館の空気の流れ等を一元的に見られない欠点がある。

このモデルにおける基礎式は

- ・煙成分

$$\rho \cdot A \cdot Z \frac{dY}{dt} = \sum_j (Y_j - Y) \dot{m}_j + \gamma_1$$

- ・温度

$$C_p \cdot \rho \cdot A \cdot Z \frac{dT}{dt} = \dot{q} + \Delta H \cdot \dot{m}_b + C_p \sum_j (T_j - T) \dot{m}_j$$

以上の式は上、下両層について必要となる。さらに

- ・上部層（煙層）厚さ

$$C_p \cdot \rho \cdot T \cdot A \cdot \frac{dZ}{dt} = \dot{q} + \Delta H \cdot \dot{m}_b + C_p \sum_j T_j \dot{m}_j$$

- ・圧力（ダッシュは下層部を表す）

$$\dot{q} + \dot{q}' + \Delta H (\dot{m}_b + \dot{m}_b') + C_p (\sum_j T_j \cdot \dot{m}_j + \sum_j T_j' \cdot \dot{m}_j') = 0$$

ここで、

- $\rho$  : ゾーンのガス密度
- $A$  : ゾーンの面積
- $Z$  : ゾーンの厚さ
- $T$  : ゾーン温度
- $Y$  : 煙成分の質量分布
- $\gamma_1$  : 煙成分の生成速度
- $\dot{m}_j$  : ゾーン境界から出入りするガスの質量速度
- $\dot{q}$  : ゾーン取得熱量
- $t$  : 時間
- $\dot{m}_b$  : 燃焼速度
- $\Delta H$  : 燃焼熱

### (2) ネットワーク解析によるシミュレーション

高層建築を構成する室（階段室、エレベーターシャフト等も含む）ごとの圧力、室間の流量をネットワーク解析から算定するものである。一室中では煙の完全混合を仮定しているため、煙の拡散の点からは危険側となり防煙設計上は安全設計となる。この方法によれば多数室の計算が容易に行える。実際の計算方法は次のようになる。

まず室を節と考え、室間を枝と考える。寺井、松下<sup>2)</sup>による圧力仮定法によるならば計算の順序は次の通りである。

全室（全節）の圧力の仮定



枝間の圧力差の計算 ( $P_{i,j}$ )



枝流量 ( $W_{i,j}$ ) の計算

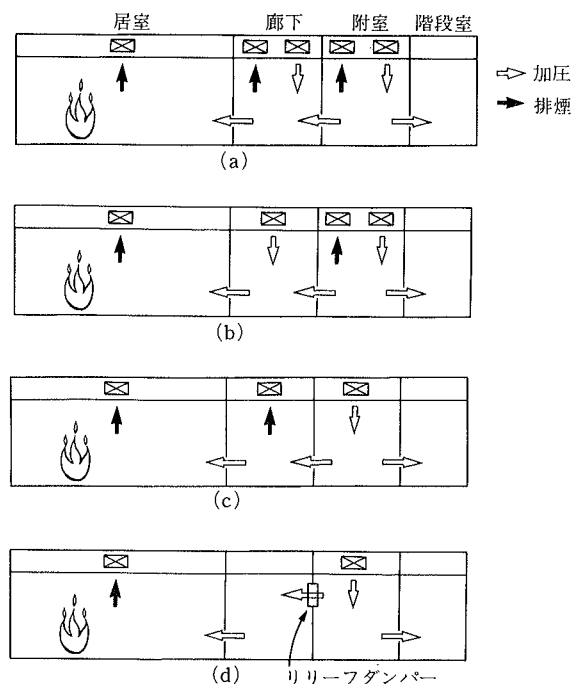


図-1 各種の加圧防煙システム  
(建研山名氏作成の図に手を加えたもの)

全節点での流量収支 ( $\Sigma W_{i,j} = 0$ )

↓  
 全節の圧力を修正してくり返し計算  
 流量収支が成立した時点で終了  
 枝流量  $W_{i,j}$  は空間の開口部の流量であり一般的に用いられている算定式を用いるものとする。

#### 4. 実際の建物における防煙性能のシミュレーション

写真-1, 写真-2 に示す二つの高層建築について多段加圧防煙システムを採用した場合の防煙性能のシミュレーションを行った。

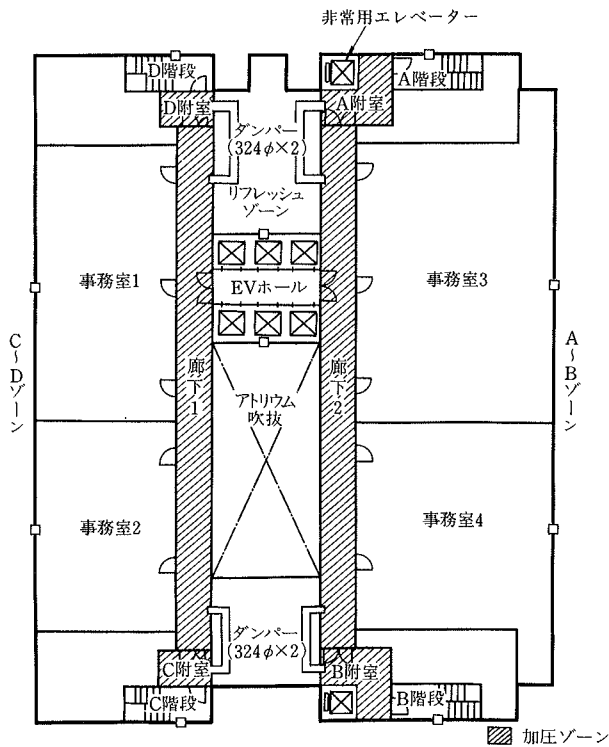


図-2 A 建物基準階平面 (斜線部分が加圧ゾーン)

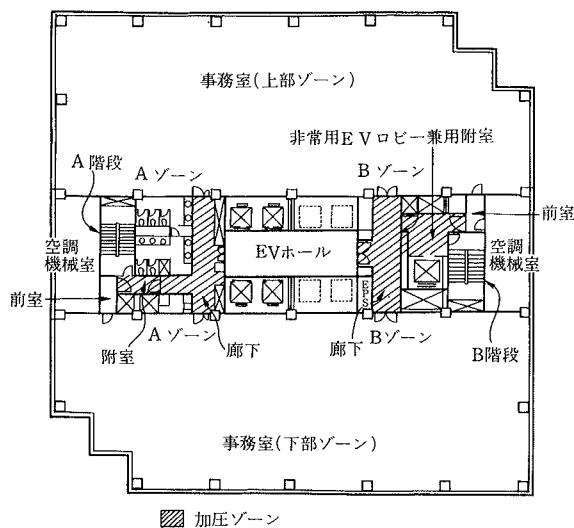


図-3 B 建物基準階平面 (斜線部分が加圧ゾーン)

#### 4.1 A 建物の場合

4.1.1 加圧システム 1~2階が店舗、ロビー, 3~16階が事務所, 17階以上が住宅の複合用途建築である。店舗階, 事務室階の4つの特別避難階段附室とこれに続く廊下とを多段に加圧することとし附室と廊下との間に32.6 cmφのリリーフダンパーを各附室ごとに2個ずつ設置することとした。多段の圧力コントロールはこのリリーフダンパーによるものとし, また圧力自体のコントロールは加圧ファンのインバーターコントロールによっている。加圧ファンのインバーターコントロールのための加圧ゾーンと排煙ゾーンとの間の設定差圧は50パスカ



写真-1 A 建物外観 (33階建, 延床69.397 m<sup>2</sup>)



写真-2 B 建物外観 (22階建, 延床33.846 m<sup>2</sup>)

ル、リリーフダンパーの設定差圧は5パスカルである。最大加圧量はC、D附室で各々3.75 m<sup>3</sup>/s、A、B附室で各々6.82 m<sup>3</sup>/sである。また排煙は天井チャンバー方式であり排煙量はC~Dゾーンで4.5 m<sup>3</sup>/s×2、A~Bゾーンで8.2 m<sup>3</sup>/s×2である。なおこの建物において廊下を設け

ず大部屋を使用する場合にはリリーフダンパーは附室から事務室に直接、つながることになる。(設定差は30パスカル) いずれの場合においても加圧防煙・排煙は両ゾーンのどちらかにまず限定される。煙が万一、他のゾーンに流出した時のみ両ゾーンの加圧防煙・排煙が行われる。

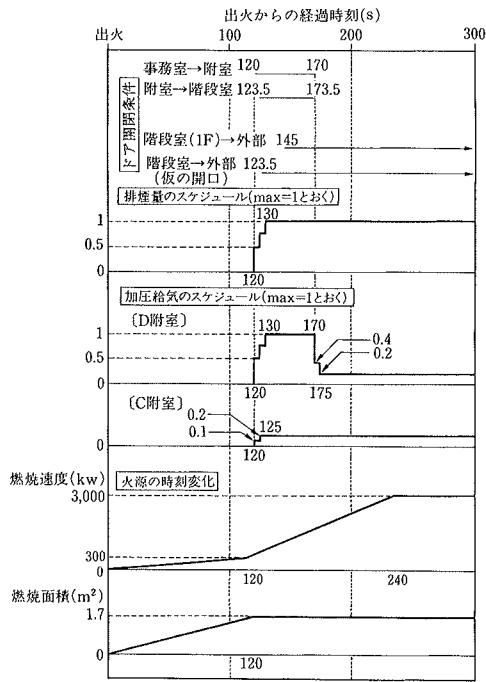


図-4 A建物ケース②におけるドアの開閉条件, 加圧ファン, 排煙ファンの運転条件, 設定火源

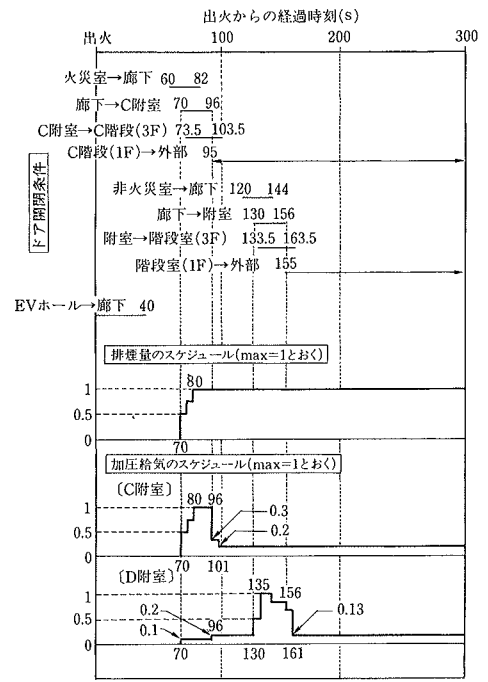


図-6 A建物ケース①におけるドアの開閉条件, 加圧ファン, 排煙ファンの運転条件 (設定火源はケース②に同じ)

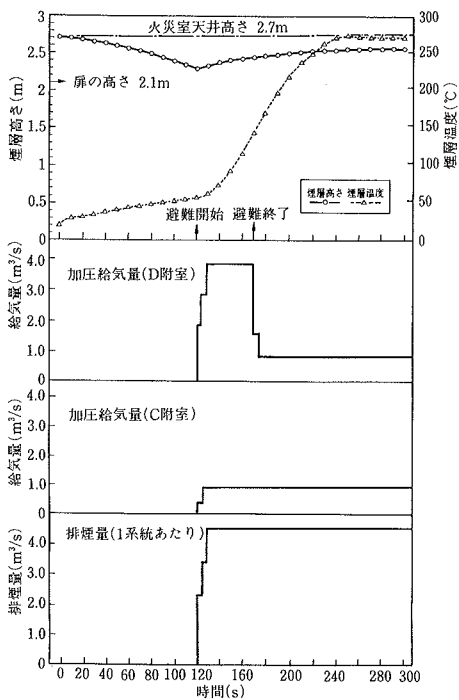


図-5 A建物ケース②のシミュレーション結果

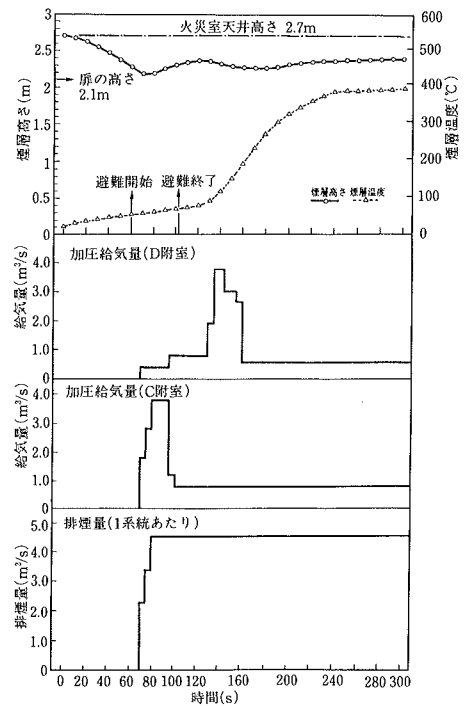


図-7 A建物ケース①のシミュレーション結果

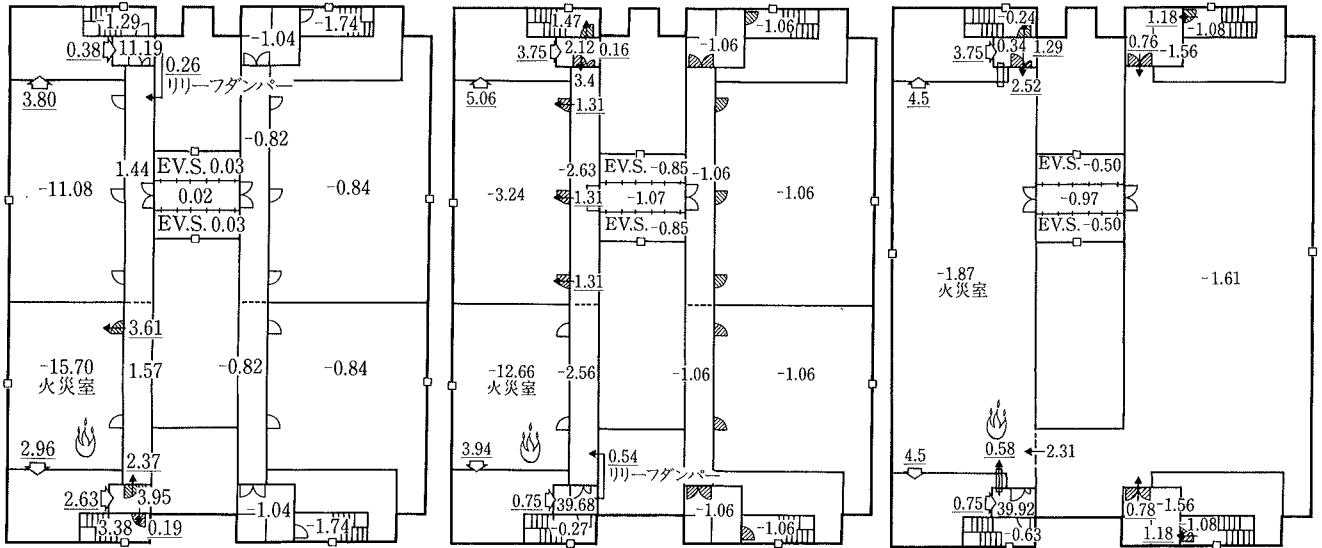


図-8 A建物ケース①, 出火80秒後の各室の圧力分布, 開口部流量 (単位はパスカル, 丸囲み数字は流量  $m^3/s$  を表わす)

図-9 A建物ケース①, 出火140秒後の各室の圧力分布, 開口部流量 (単位はパスカル, 丸囲み数字は流量  $m^3/s$  を表わす)

図-10 A建物ケース②, 出火150秒後の各室の圧力分布, 開口部流量 (単位はパスカル, 丸囲み数字は流量  $m^3/s$  を表わす)

(共通凡例)

- ドア開
- △ ドア閉
- 排煙量
- ⇨ 加圧量
- 開口部流量

4.1.2 防煙性能のシミュレーション 計算手法としては2層ゾーンモデルによるシミュレーション方法を用いた。計算を行ったケースの中で次の二つのケースについての結果を図-4～7に示す。

- ・ケース① 事務所基準階の小部屋 (図-2の事務室2) で出火した場合 (3Fを想定)
- ・ケース② 事務所基準階が大部屋使用の時のC～Dゾーンで出火した場合 (3Fを想定。出火点はC附室前であるためC階段は使用不可能とする。)

出火から外部避難完了までの時間帯において煙が廊下、附室等の安全区画に流入する可能性は全くないことがわかる。また出火階の圧力分布図を図-8～図-10に示す。図-8, 図-10の時刻では出火室から階段に至るまでのすべてのドアが開いた最も危険な状態であるが附室圧力 > 廊下圧力 > 火災室圧力の条件が満たされており煙層自体もドアの上端より上にある。また当初, 多少の不安があったエレベーターホール (火災時には自動的にホールの防火戸が閉まる) の圧力も火災室圧力よりも高くなっておりホールへの煙の流入はないことがわかる。

## 4.2 B建物の場合

4.2.1 加圧システム 全階が事務所の建物である。火災発生と同時に火災階のA, B二つの附室が同時に加圧される。この建物では廊下部分が非常に小さいため附室、廊下間のドアを常時開放, 煙感連動閉鎖とし, 附室、廊下を一体空間として扱うこととした。このため附室、廊下間にはリリーフダンパーは特別に設けず加圧量のコントロールは加圧ファンのインバーターコントロールと加圧ファンのメインダクトに設けられたバイパスダンパーのコントロールによっている。加圧ファンの最大加圧量は1附室あたり  $4.2 m^3/s$ , 最大排煙量は1ゾーンあたり  $4.2 m^3/s$  である。また加圧ゾーンと火災ゾーンとの差圧

は40パスカルとした。

4.2.2 防煙性能のシミュレーション この建物は廊下が小さいため万一の場合にはエレベーターホール, エレベーターシャフトへの煙の流入が懸念されたため, シミュレーション手法としては全館多数室の解析が可能なネットワーク解析方法によることとした。火災階は2階の上部ゾーン (コアより上部の事務室ゾーン) とした。また室内温度は未知数にはできないためこのシミュレーションでは初期火災を想定して室内温度を  $50^\circ C$  に設定している。

図-11にシミュレーションにおけるドアの開閉条件, ファンの運転条件, 温度条件を示す。図-12, 図-13にB建物におけるシミュレーション結果を示す。各時刻ごとの必要加圧量がほぼ正確に予測されている。火災階の圧力分布については, 火災室, 廊下間のドアが開放された場合には3パスカル程度しかないがこのドア開口を通して火災室に流入する加圧空気量は  $3.7 m^3/s$  もあるため開口部での流入風速は  $2 m/s$  程度となり, 十分な防煙性能が保たれている。また図-11に示すケース①からケース⑧のいずれの時間帯においても, 廊下, エレベーターロビーへの煙の流入がないことも判明した。

## 5. おわりに

今回の一連のシミュレーションから多段加圧防煙システムは出火から避難完了までのどのようなドアの開閉条件に対しても廊下, 附室を煙から防護できることが明らかとなった。この防煙システムはシステムが単純化され

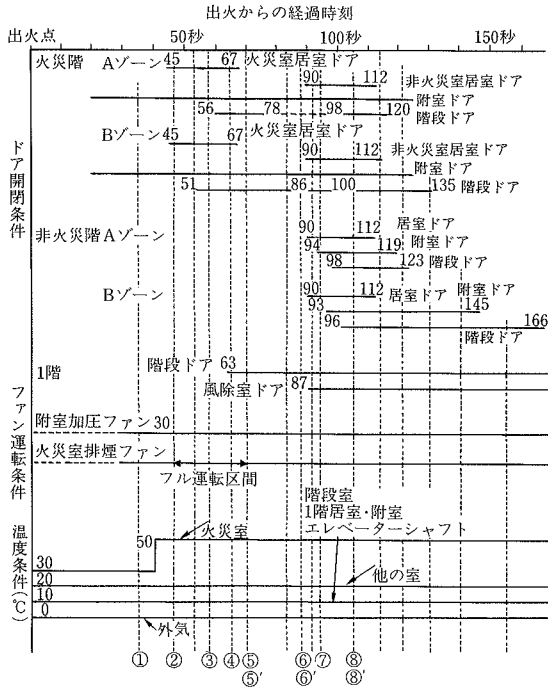


図-11 B建物におけるドア開閉条件、ファンの運転条件、温度条件

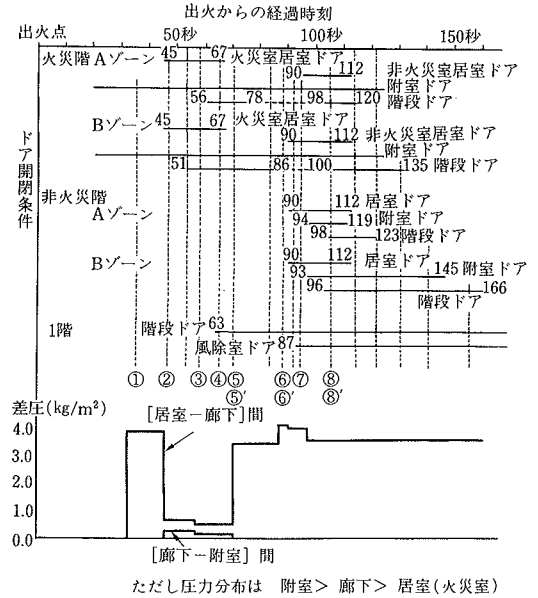
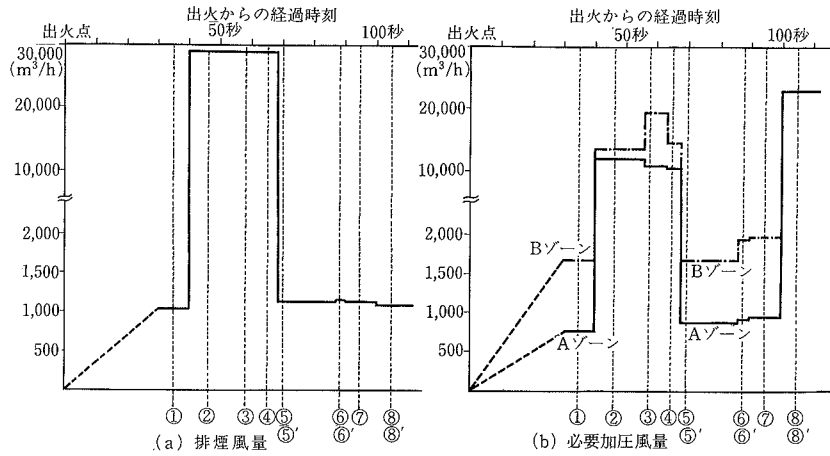


図-12 B建物における差圧のシミュレーション結果



計算ケース	①	②	③	④	⑤	⑤'	⑥	⑥'	⑦	⑧	⑧'
排煙風量(m³/h)	1,044	28,800	28,800	28,800	1,134	828	1,152	792	1,145	1,080	1,080
加圧風量(m³/h)											
Aゾーン	792	12,384	11,023	10,919	882	936	936	792	950	22,680	22,680
Bゾーン	1,692	13,410	19,267	14,900	1,692	1,044	1,944	864	1,973	22,680	22,680

図-13 B建物における排煙量、加圧量のシミュレーション結果

るためスペースの節約、コストの低減、安定した圧力コントロールが図れる優れたものといえる。

参考文献

1) 日本建築センター：新・建築防災計画指針，p.

191～192，(1985)

2) 寺井，松下：避難に伴う煙流動の計算について，災害の研究，Vol. 15，p. 153～173，(1977)

3) 山名：わが国の加圧防排煙システムについて，日本建築学会大会，p. 1233～1234，(1992)