

ビル火災に対する避難誘導システム

Firesafety Systems for Buildings

最近のビル防災システムでの課題は、消火設備、自動火災報知設備、防排煙設備、避難誘導設備などの防災設備・機器の増加に対応した運用の合理化にある。

合理化の一つとして防災センタへ機能を集中し、いわゆる総合防災監視盤を採用する傾向がある。しかし、従来の防災監視盤の考え方では、避難誘導、防排煙操作などの複雑な判断業務を監視員の判断に任せているなど、ハードウェア機能の集中化に対してソフトウェア機能の充実が遅れている。

避難誘導、防排煙操作を自動化し、マンマシン化するため、まず火災時の煙伝搬、在館者の群集としての避難行動(群集流)の解析を行なう必要があり、各々に対するコンピュータシミュレータを開発した。

これらシミュレータを応用した避難誘導システムは、実際に地下街、ホテルなどで採用され始めており、池袋サンシャインシティ地下1階コンコースに設置されたシステムについて紹介する。

小栗正裕* Masahiro Oguri

吉原郁夫** Ikuo Yoshihara

山元有次*** Yûji Yamamoto

1 緒 言

昭和49年までに幾度か行なわれた「消防法」,「建築基準法」の改正は、新設ビルの防災設備計画に徐々に変化をもたらしてきていたが、昭和49年の「消防法」の改正は、既存ビルへの遡及を含む大幅なものであり、防災設備の重要性を強く認識させるとともに、数量的にも充実を要請するものであった。

防災設備は、大別して消火設備(屋内消火栓、スプリンクラ、連結送水管など)、自動火災報知設備、非常放送設備、非常用電源設備、避難誘導設備、防排煙設備などがあるが、これら設備・機器の増加は、それらの運用に対しシステム化、自動化などの合理化ニーズを生むこととなった。

ハードウェアのシステム化については、防災センタ(「建築基準法」施行令第20条)での総合防災監視盤で具体化され、一元的な管理を可能としている。

火災時の尊い人命の損失原因は、煙による窒息、有害ガス呼吸、避難方向の見失い及びパニック状態下での群集行動とされている。このような事故を防止するために設置される防排煙設備、避難誘導設備はビルが大形化、高層化するほど運用が複雑となる。しかも、監視員が火災覚知情報に基づき、迅速かつ的確に判断し、操作しなければならないものである。大形ビルでは構造的に避難に要する時間が長く、在館人員が多いので、避難経路の安全確保を行なうための防排煙設備制御、避難誘導指示は、火災の初期段階から火災の進展状況に合わせて的確に行なわねばならない。

このような判断、操作を行なうソフトウェアシステムの開発には、まず、火災時の煙伝搬、群集の動きを解析することが基本であろう。以下に記述する群集流モデル、煙伝搬モデルを用いて、コンピュータプログラム(シミュレータ)により事前に多くの火災仮想地点、在館人員分布、建物構造、防災設備の操作条件などにつきシミュレーティングし、その結果を机上検討し、避難誘導方法などの最適方法を知ることが可能である。

これらの事前検討結果は、仮想火災地点ごとにコンピュータにファイリングされ、有事の際、監視員は火災発生場所の

情報を基に、自動的に検索された最適な操作、誘導方法をCRT(Cathode Ray Tube)ディスプレイ上で知ることができる。この結果、監視員は迅速かつ的確な判断、操作を行なうことができ、火災に伴う人身事故を最小限に食い止めることかできる。

この論文では、避難誘導システムの基本となる避難安全評価の考え方及び避難群集流のモデル並びに煙伝搬のモデルについて詳述し、代表的適用例(池袋サンシャインシティ地下1階コンコース向け避難誘導システム)を紹介する。

2 避難安全評価法

ビル防災計画での安全性の定量的評価方法については、既に幾つかの提案や試みがなされている¹⁾。これらの評価法に共通の考え方は、在館者が煙(危険濃度以上の煙)にさらされることなく避難できれば安全であり、さらされれば危険であると判定することである。

人の動き(群集流)については、火災発生時にビル内の通路の交差部、階段部、最終避難口などに生ずる滞留時間、避難に要する時間がどう変わるかを知ることであり、煙については、開口条件や防排煙制御により煙による汚染領域がどう変わるかを知ることである。ビル建築計画時にこれらの状況を知る方法としては、シミュレーションが最も現実的に有効な方法といえる。

2.1 避難群集流のモデル²⁾

群集の流れはフロアをメッシュに分割し、群集分布の初期値を求め、火災時に非常口などへ向かって群集がメッシュを横切って動くモデルを作成することによって解析される。

群集の流れの方向は、周囲の状況に依存するが、本モデルではこれを「各種状況要因が群集を特定の方向に移動させる力として作用する。」と考え、人を質点とし、各種状況要因の影響を力($F^1, F^2 \dots F^n$)とする力学モデルで人々の動きを表わす。すなわち、群集流を力場(F)の中の質点群の運動として記述する。

* 日立製作所機電事業本部 ** 日立製作所システム開発研究所 *** 日立製作所戸塚工場

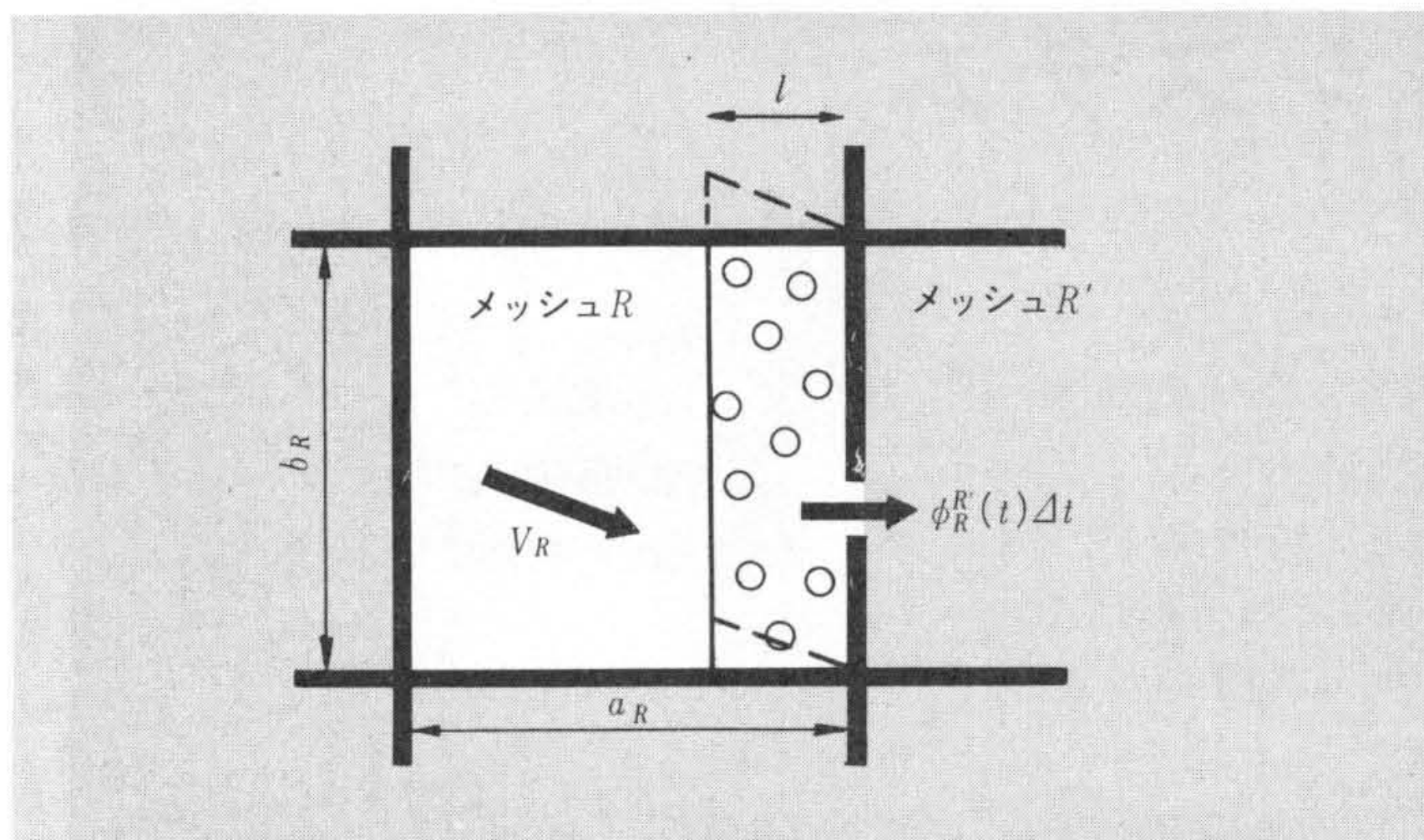


図1 隣接メッシュへの群集流出領域 メッシュRの丸印を施した領域にいる人々が、メッシュR'との境界に到達できる。

$$F = \sum_{k=1}^n F^k \dots\dots\dots (1)$$

具体的な状況要因としては、火、煙、避難誘導、混雑度などが考えられる。これらが避難群集に及ぼす影響は、火災、地震などの事例調査からうかがい知ることができる。

次に群集の移動量を求める。あるメッシュRから隣接メッシュR'に Δt 秒間に移動する人数 $\phi_R^{R'}(t) \Delta t$ は、メッシュRにいる人のうちRとR'の境界に到達できて、かつその境界の幅員を通過できる人数である。RとR'の境界に到達できるのは、図1の丸印を施した領域にいる人々である。この領域の長さ l は、 Δt 時間内の群集歩行距離のRR'方向への射影 $V_R \cos(RR', F_R) \Delta t$ で与えられる。ここで V_R は群集歩行速度であり、群集密度 ρ に依存する³⁾。

$$V_R(\rho) = \min[2.0, 1.1\rho^{-0.7954}] \dots\dots\dots (2)$$

RとR'の境界幅員 $W_R^{R'}$ を通過できる人数は $\phi W_R^{R'} \Delta t$ である。ここで、 ϕ は単位時間当たりの単位幅員を通過できる人数（群集流出係数）であり、その値は1.5人/m・sである⁴⁾。

以上のことから隣接メッシュへの移動人数は次式で与えられる。

$$\phi_R^{R'}(t) \Delta t = \min \left[\frac{N_R(t)}{a_R} V_R \cos(RR', F_R) \Delta t, \phi W_R^{R'} \Delta t \right] \dots\dots\dots (3)$$

2.2 煙伝搬のモデル⁵⁾

火災の初期で、煙は居室、通路などの天井面に沿って流れる。煙の流れに伴い、逆向きの空気の流れが生ずる。このように煙の流れを、上層の熱気流（煙）と下層の空気流とに分けて扱うモデルを二層流モデルと呼ぶ。本モデルは、煙の伝搬を二層流的に扱うモデルで、建物のフロアを幾つかの「セル」に分割し、煙流動をセルからセルへの煙の移動量で表わす。セルとは通路を垂れ壁（又は梁）ごとに区切ったもの、あるいは居室である。煙の移動は煙が垂れ壁を越えた部分にだけ生

じ、天井と垂れ壁下端との間にある煙は死水のようになり、伝搬には関与しないと考える。図2を例にセル間の煙移動量の算出法を述べる。セル①からセル②へ Δt 秒間に流れる煙量 ΔV はベルヌイの式から、

$$\Delta V = \alpha B \int_{H_0-h}^{H_0-H_d} \sqrt{\frac{2g(P_1(h)-P_2(h))}{\rho_s}} dh \cdot \Delta t \dots\dots\dots (4)$$

$$P_i(h) = P_i^0 - \int_{H_0-h}^h \rho_s g \cdot dh \quad (i=1, 2) \dots\dots\dots (5)$$

ここに α ：流量係数

g ：重力加速度

ρ_s ：煙の密度

B ：セル間境界幅員

$P_i(h)$ ：セル i の高さ h における圧力

となる⁴⁾。煙の空気巻き込み量は噴流の式から求め、その量と壁面への熱輻射から煙の温度変化を算出する。

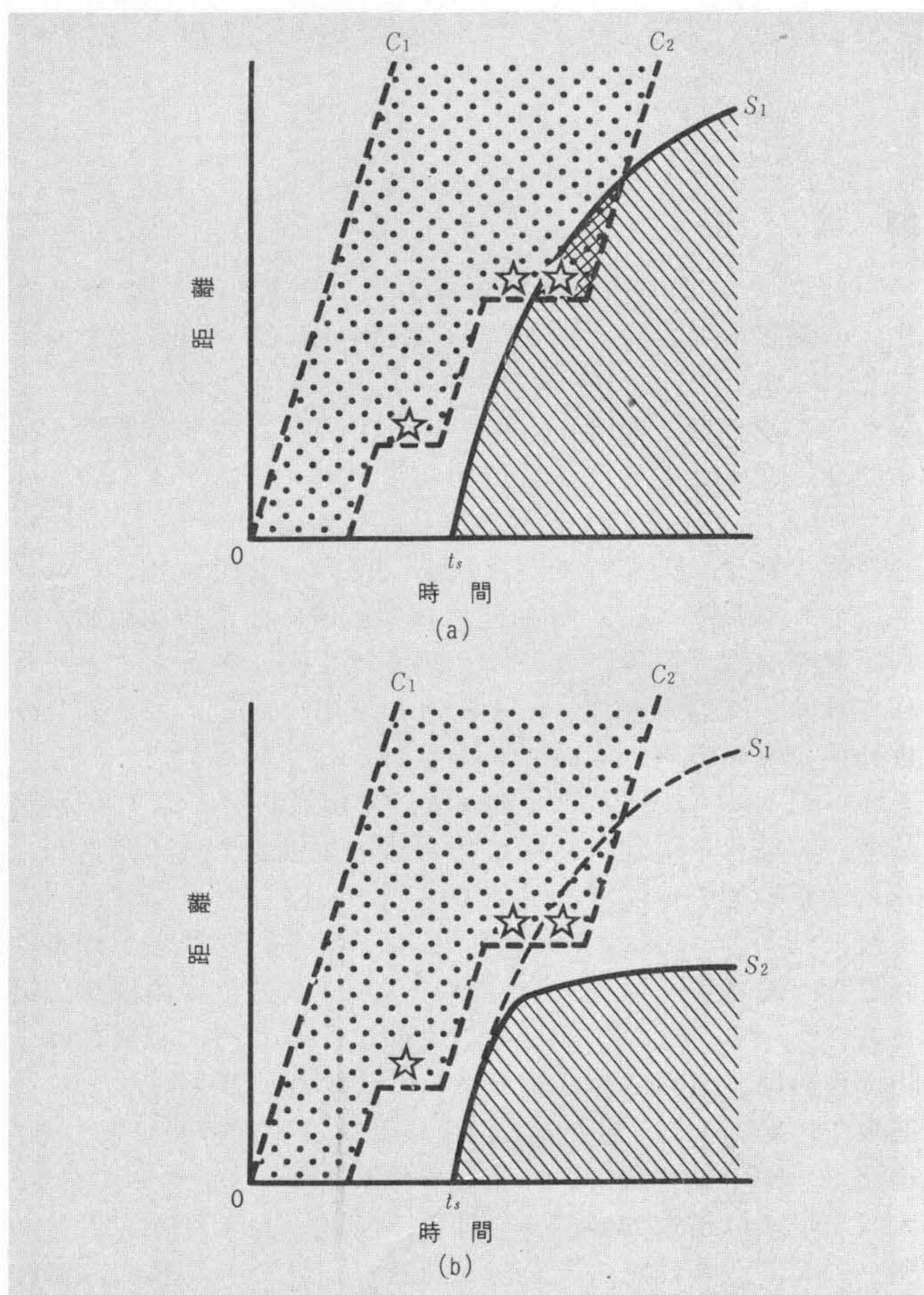


図3 人と煙の存在領域 (a)の例は、曲線 S_1 と C_2 が交わって危険と判定される。(b)の例は、防排煙によって煙の伝搬は限定され S_2 軌跡となり、 C_2 と交わらず安全と判定される。

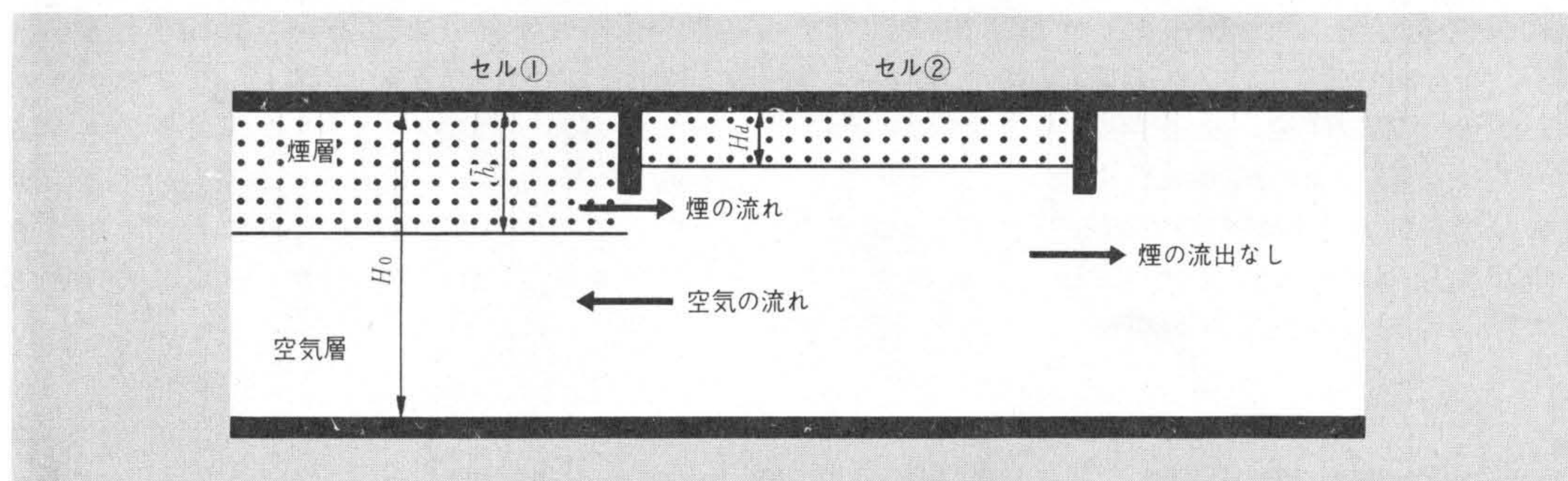


図2 二層流モデルによる煙伝搬モデル セル①の煙層のうち、垂れ壁を越えた部分がセル②への移動に関与する。

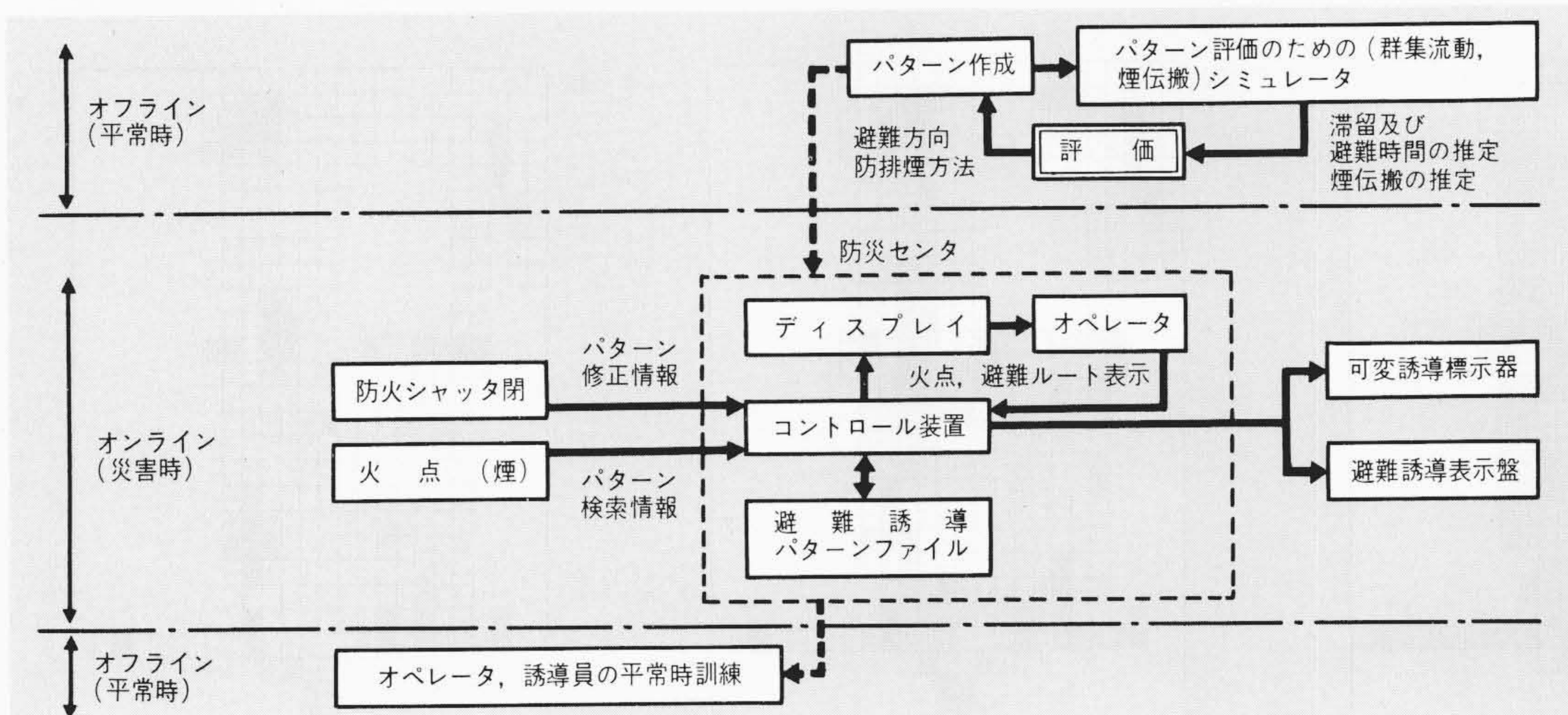


図4 避難誘導システムの概念
あらかじめ幾つかの火災発生点を仮想し、煙伝搬シミュレータ及び群集流動シミュレータにより安全な避難経路を選定する。結果は、避難誘導パターンファイルへ収録する。

2.3 避難安全性の評価法⁶⁾

前述したシミュレーションによって得られた人の動きと煙の動きを、横軸を時間、縦軸を避難経路に沿った壁間距離とする平面上に記述する。例えば、火元付近にいる人々の避難安全性を図3に示す出火時刻と出火場所を原点とするグラフ上で検討してみよう。原点から出ている曲線 C_1 は最も速い避難者の軌跡であり、 C_2 に最も遅い避難者の軌跡である。 C_2 の途中の☆、☆☆の印は避難群集の滞留を意味する。火元付近にいた一般の避難者の軌跡は、 C_1 と C_2 の中間領域に含まれる。一方、 S_1 は煙の先端の軌跡である。図3の(a)の例では、 $t=t_s$ まで煙は火災室に滞留しており、その後避難路に流出したことを表わしている。 S_1 と C_2 は交わっており、 S_1 と C_2 に囲まれた領域に含まれる人々は、煙にさらされ危険であると判定される。同図(b)の例は、防煙や排煙によって、ある箇所から先には煙が行かなくなり、同図(a)の例の S_1 が S_2 に移動した場合を示している。この例では、 S_2 は C_2 と交わっておらず、曲線 S_2 と C_2 との距離が安全の余裕を表わすことになる。避難の仕方によって C_2 の軌跡が変化することから、避難誘導の仕方の良しあしの評価が可能となる。特に避難経路が幾つもある地下街のような平面的に大きい建物では、 C_2 の変動幅が大きいため、シミュレーションによる事前検討の効果は大きいと考えられる。

一般に、フロア上の様々な避難路での安全性を検討するに

は、フロア上の各点(X, Y)での最終避難者の軌跡、すなわち(t , X, Y)空間上のC曲面と、煙の先端の軌跡であるS曲面とが交わるか否かを調べればよい。

3 避難誘導システムへの適用例

上記した評価法によって、避難誘導の仕方や防排煙設備の動作状況の幾つかのパターンに対して、避難経路の安全が確保されるかどうかを判定することができる。こうした方法によって、ビル内の火災発生場所に応じて、あらかじめ最適な避難誘導方法をパターン化しておくことが可能となる。図4に避難誘導システムの概念を示す。

図5は、池袋サンシャインシティ地下1階コンコースに設置された避難誘導システムの例を示すものである。火災発生とともに、コンピュータによって選択された避難パターンが、防災センターの総合表示盤に表示されるとともに、地下1階の各所に設置された誘導表示盤にも表示される。これによって、誘導員が的確な情報を得る。図6は、このフロアで群集流動シミュレーションを行なった結果の一例を示すものである。

4 結 言

防災システムの目標である人命の安全確保を求める方法には、災害の発生を未然に食い止める予知、予防の技術と、災害の発生後で避難の安全を確保する技術により求める方法と

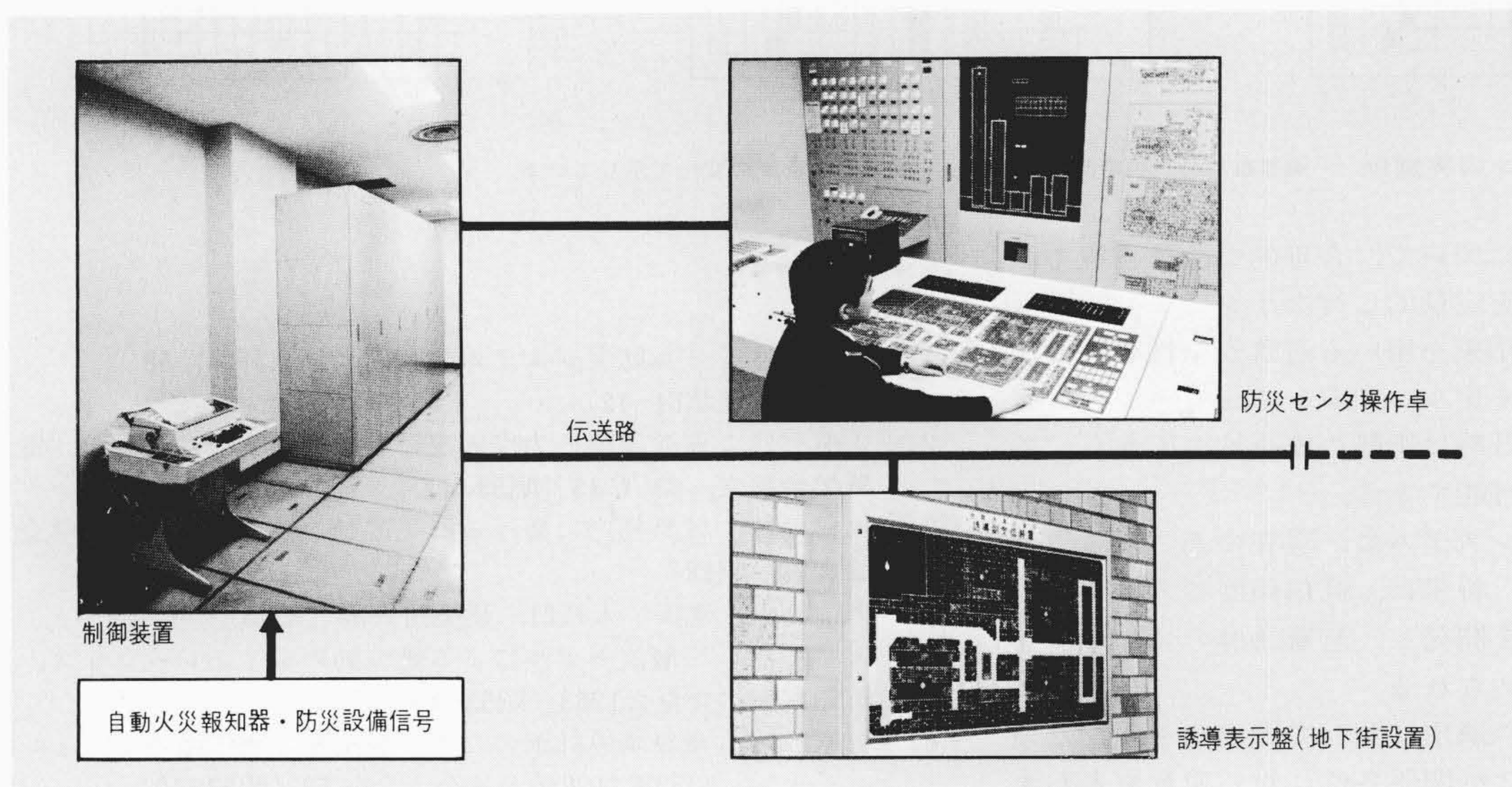


図5 避難誘導システムの例
誘導表示盤が誘導員へ火災発生時の避難誘導情報を伝える。

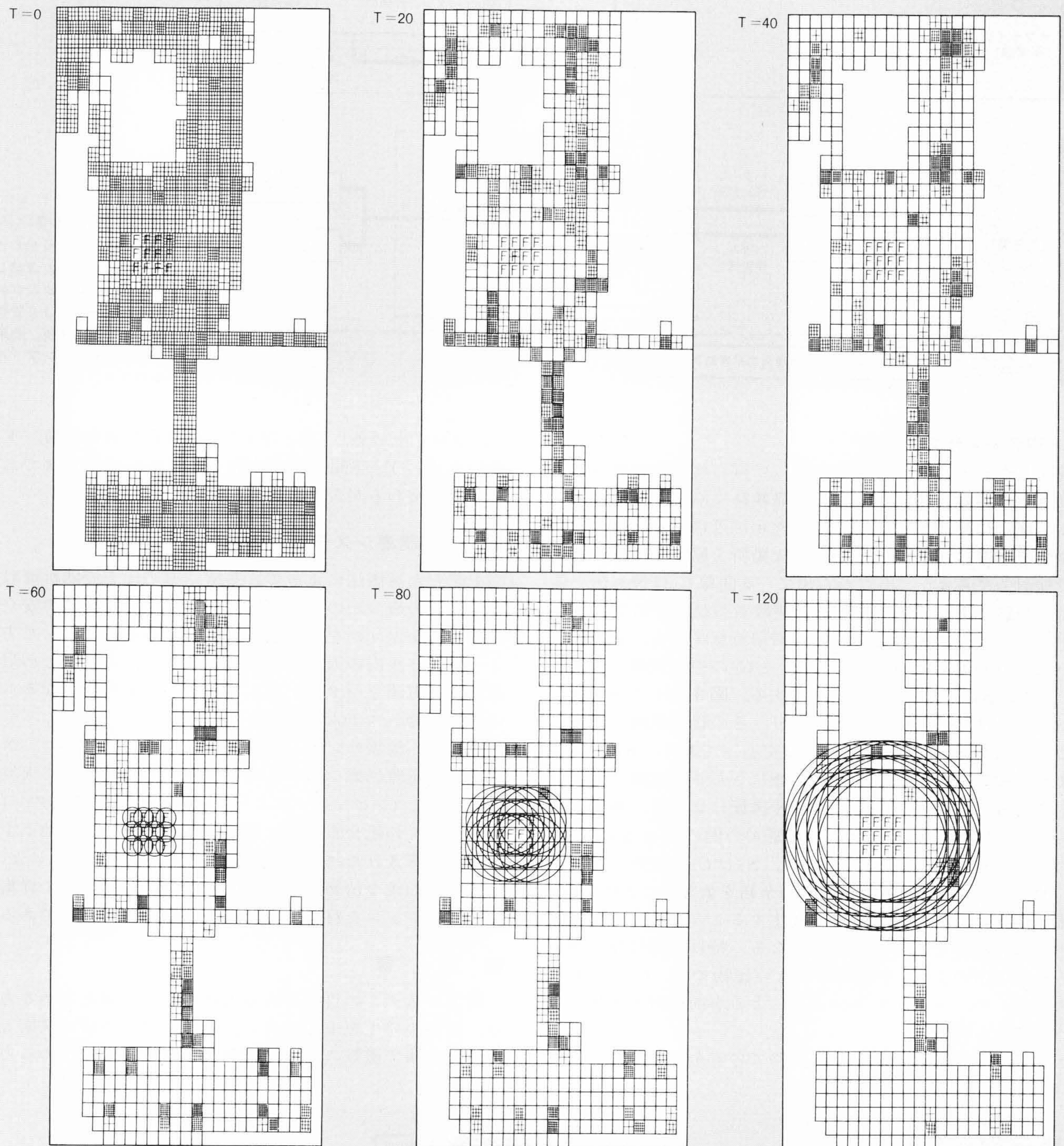


図6 群集流シミュレーションの実施例 避難群集分布の時間経過をメッシュごとの密度の変化で示している。

がある。この論文では後者について、合理的な避難誘導方法を計画するための事前検討を定量的に行なうシミュレーションの技法及びそれらの出力結果を用いる避難安全性の評価法を中心に述べた。煙流動のモデルによるシミュレーションについては、防排煙設備の設計時に避難の安全性の面から、妥当性をチェックすることも可能である。

3章で紹介した避難誘導システムは、現在のところ誘導員を介する方法をとっている。将来は、高信頼度で人の習性に適合する誘導表示端末機器を開発し、避難誘導のスピードアップを図る必要があると考えられる。

終わりに、実システムへの適用に関して御指導をいただいた、三菱地所株式会社殿、ほか関係各位に対し謝意を表わす

次第である。

参考文献

- 1) 橋爪, 外: ビル防災システムの動向, 日立評論, 58, 955~958 (昭51-12)
- 2) 吉原, 外: 避難環境の力場表現による群集流のモデル化, 電気学会論文, 53-C 15 (昭53-4)
- 3) 木村, 外: 建築物内に於ける群集流動の観察, 日本建築学会論文集 (昭12)
- 4) 彰国社編: 建築学大系21, 建築防火論 (昭48)
- 5) 吉原, 外: 二層流モデルによる煙流動のシミュレーション, 昭53電気学会全大1253 (昭53-4)
- 6) 吉原, 外: 避難誘導計画のための群集流と煙伝搬のシミュレーション, 昭53電気四学会連合大会6-59 (昭53-10)