

避難誘導システム

Emergency Escape Guiding System

最近、ビル火災での死亡事故が増加している。この原因は、初期消火に失敗し、避難する時期を失ったためである。したがって、火災覚知と同時に、安全な場所へ誘導する避難誘導システムの開発が強く要望されている。

本稿は、地下街的フロアを主体にした避難誘導システムについて述べた。

本システムは、避難誘導の的確性、迅速性より、パターン制御方式を採用した。このパターンを作るに当たっては、本小特集に同時掲載の論文「ビル避難群集流のシミュレーション」で述べている「群集流動シミュレータ方法」を用いた。

また、火災覚知から避難までのシステムの自動化は理想的ではあるが、現在、火災現象が十分解明されていないため、避けたほうが望ましいと考える。

山元有次* Yamamoto Yûji

赤沢幸造** Akasawa Kôzô

畝田 透*** Uneta Tôru

小栗正裕**** Oguri Masahiro

1 緒 言

近年、都市の機能集中化は年ごとに発達しつつある。これに伴い、超高層ビル、大ターミナル駅及び地下街を含む大規模ビルが増加している。このビルの利用法も多種多様で、出入りする人の数も敷地面積に換算すると想像を絶する密度となる。

近代都市構造の安全のバランスは、無限に進展する各種技術の基に成り立っているといっても過言でない。しかし、これら卓越した技術のもとでできた構造物は、人間の使い方によっては、大きな災害の根源となる。特に、大規模ビルの場合には火災へと発展した際、その伝搬速度を速め、かつ多数の死傷者を出す大惨事につながる可能性を秘めている。その典型的な例が、国内外のデパートビル火災やホテル火災などに見られる。

最近の大規模ビルなどの火災の特徴は、酸素欠乏による難燃現象より生ずる一酸化炭素の中毒死や煙による窒息死が多い¹⁾。その一つの原因として、ビルの密閉構造及び煙突効果によって、煙の伝搬速度を予想以上に速め、避難開始の直前、直後に避難通路を煙でさえぎってしまい、人間に毒性ガスを大量に吸入させ、その行動判断を狂わせてしまうところにある。したがって、これらの惨事から人間を救うための避難対策が強く要望されるようになった。

しかし、従来の防災対策の中でも、特に避難対策については、非常放送、誘導灯、救助袋などに依存している。これらだけでは、現在のように大規模化したビルからの大量避難を成功させるには困難である。したがって、より安全に避難させるためには、防排煙設備、消火設備などの有効利用とビル構造を踏まえた事前の避難計画及び火災覚知より現場での誘導処理を、的確に行なえる避難誘導システムが必要である。

ビル火災時の避難誘導の解析を困難としている要因の一つとして、ビル内の煙の挙動を十分に把握できないことがある。この主な理由は、建物構造の複雑さによる自然気流の時間的変化、空調設備、発火点の燃焼物の種類などによって左右されるためである。

近年、煙の挙動^{2)~5)}については、国内外で発表されるようになったが、実用的データに至るまでは、今後とも検討を続けていく必要がある。

したがって、現段階での避難誘導システムは、要避難者に対して、煙の影響の及ばないうちに、混乱なく安全な出口より避難できる一つの指針を与えることに着目している。

次に、大規模ビルでの群集の動線は、ビルの高さ、位置により異なる。低層部では、一フロアが広く、かつその利用形態が様々であるため群集動線が平面的に複雑であり、中・高層部では、階段幅に制限があるため避難群集流が互いに干渉するなどの特徴がある。デパートや複合用途ビルでは、この両方の特徴を同時に含んでいる。

本稿は、複合用途ビルの一部である地下街的なフロア(50,000m²)を対象とした、パターン制御方式を用いた避難誘導システムについて述べる。その基本的な考え方は、多層階についても適用される。

2 システムの基本的考え方⁶⁾

2.1 避難誘導に対する基本

火災時、人間を安全に避難させるためには、避難器具や機械を利用することも考えられるが、原則は、あくまでも人間が自らの力で安全な場所へ迅速に到達できることが望ましい。

図1⁷⁾に火災の成長と防災活動との関係を示した。火災が発生した場合、最悪の場合でもフラッシュオーバー(温度上昇により室内が着火直前の状態)に達するまでに、避難を完了する必要がある。このためには、建築物の不燃化により火災成長速度の遅延を図り、排煙設備を有効に駆動制御し²⁾、煙の拡大を抑え、人間の避難しやすい環境をできる限り長く持続させる一方、避難の動線計画を適切に行ない、避難施設の有効利用のもとで避難時間の短縮化を最優先に考えることである。

次に、避難は非常時の際の人間の行動であるため、避難計画に当たっては、“Fool Proof”(機器の取扱いや使用法が単純かつ使いやすい)と“Fail Proof”(故障や失敗がしにくい)を基本とすることは言うまでもない。

2.2 避難誘導のあり方

避難誘導のあり方は、次の三つに大別される。

- (1) 災害状況、群集分布を空間的、時間的にマクロにとらえる。
- (2) 事前に種々の災害状況、群集分布について、避難の仕方を十分に検討する。

* 日立製作所戸塚工場 ** 日立照明株式会社 *** 日立製作所システム技術本部 **** 日立製作所機電事業本部

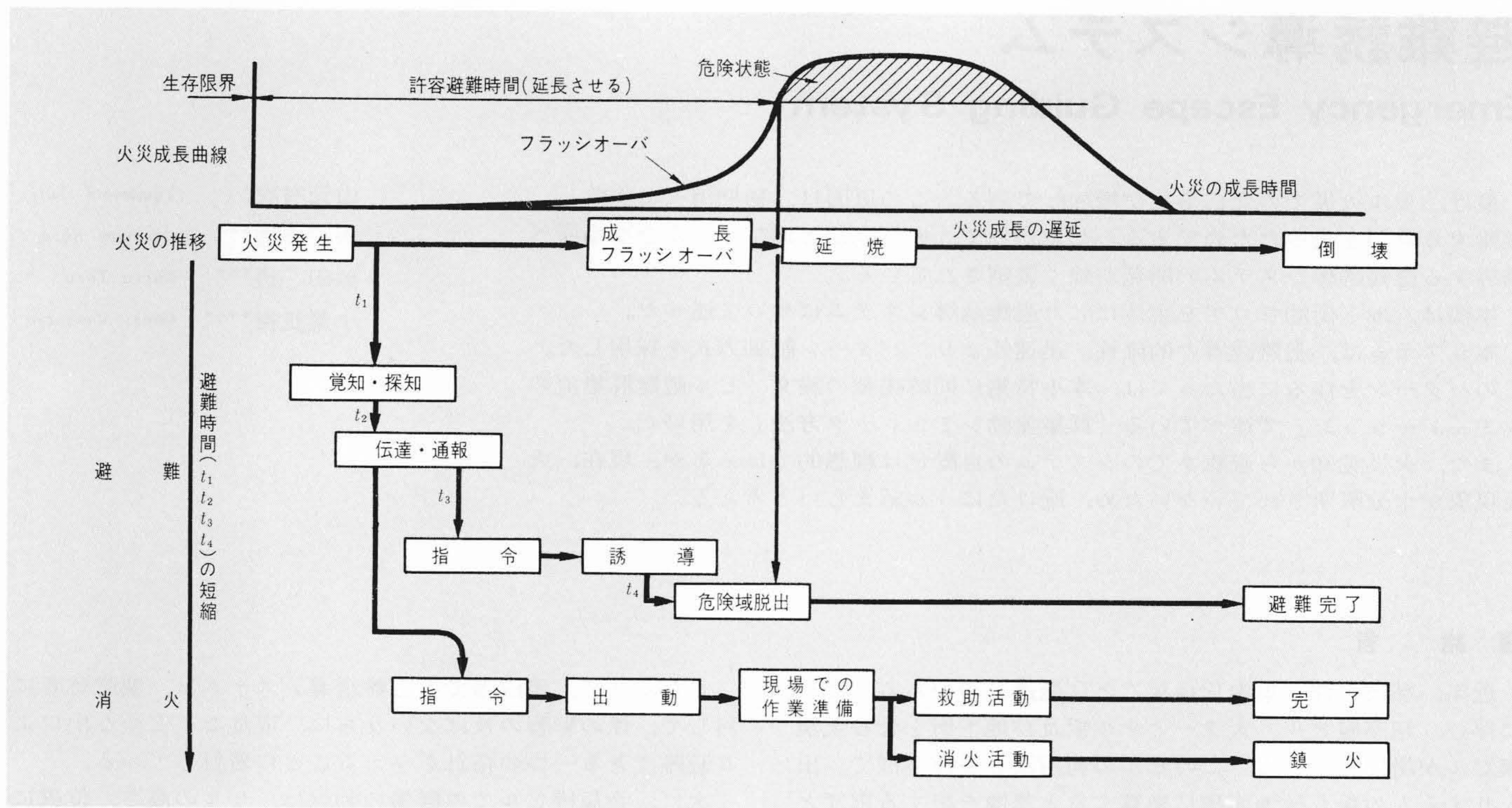


図1 火災の成長と防災活動との関係²⁾ 避難誘導は、フラッシュオーバー（温度上昇により室内が着火直前の状態）までに完了していないと危険状態期に入ってからでは非常に困難なことが分かる。

(3) オペレータの判断の高信頼化及び迅速化を図るため、オペレータに判断の基準となるものを提供する。

図2に上記結論に達するための避難誘導上の制約事項と、

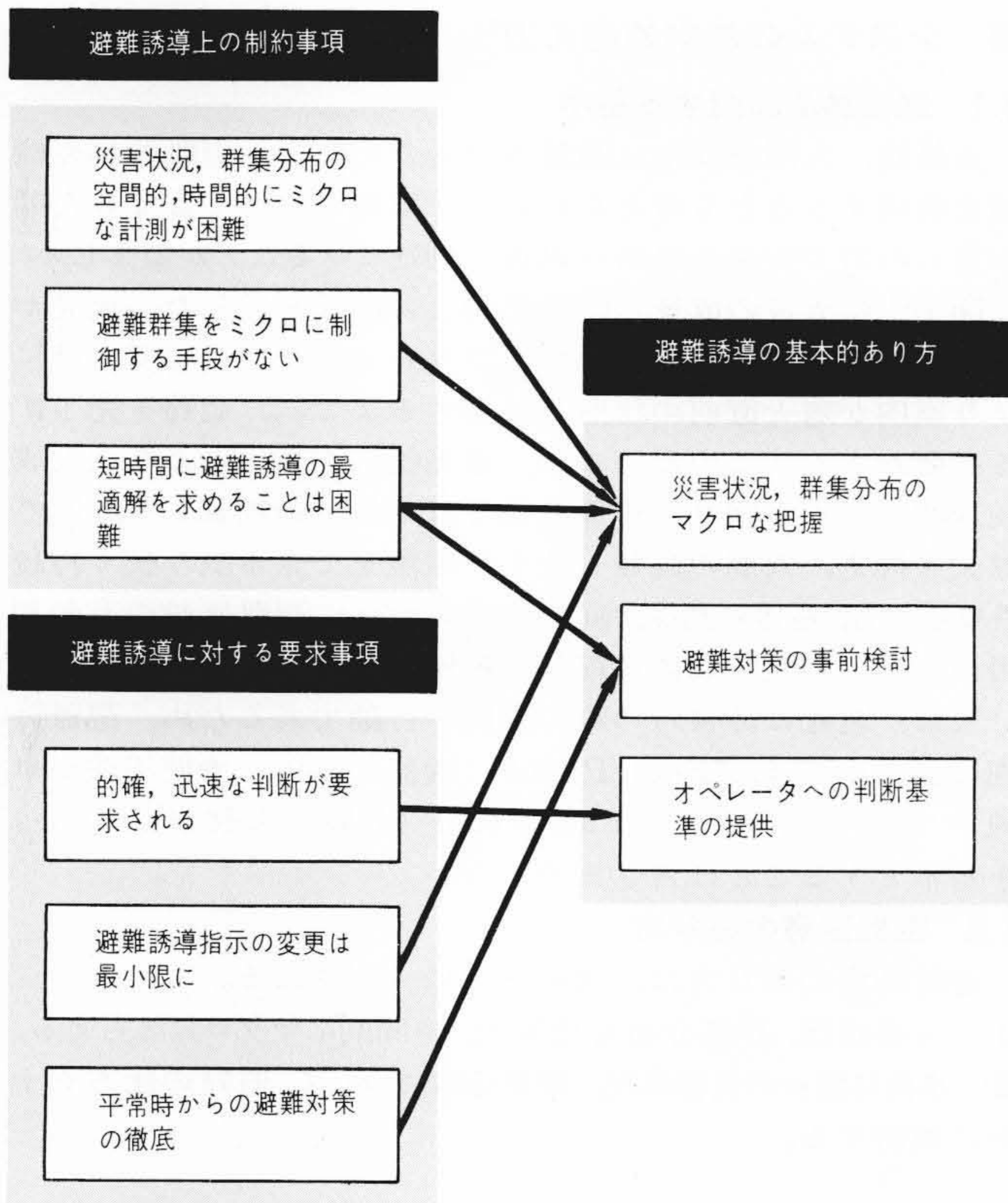


図2 避難誘導の基本的あり方 避難誘導の基本的あり方は、その制約事項及び要求事項より、3点に絞られることが分かる。

避難誘導に対する要求事項との関係について示した。

2.3 パターン制御による避難誘導方法

(1) パターン制御方式

図3に本パターン制御方式の概念を示す。パターン制御方式は、事前に種々の災害状況、群集分布について、群集の流れ方を本号同時掲載論文「ビル避難群集流のシミュレーション」で述べている「群集流動シミュレータ」により、評価・検討し、避難誘導のパターンをあらかじめ作成しておく。災害時には、そのときの災害状況・群集分布に応じて、パターンファイルの中から該当する避難誘導パターンを検索し、それをオペレータに示し、オペレータの避難誘導判断に対し判断基準を提供しようとするものである。

パターン制御方式の主な特徴は次に述べるとおりである。

- (a) 事前に種々の条件の基に、避難誘導の仕方を検討できる。
- (b) オペレータに対する負荷が少ない。
- (c) 予測しにくい事態が生じて、あらかじめ作成したパターンをオペレータの判断基準として利用できる。

(2) パターン作成手順

避難誘導パターンを作成する場合の手順を図4に示す。

(a) フロアをメッシュに分割する（ステップ1）。

分割の単位は、火災の位置情報が採れる最小単位、すなわち防煙区画（300～500m²）程度とする。

(b) 火点（火災が発生したメッシュ）及びフロアでの初期群集分布を設定する。これを基に避難誘導の経路を仮定する（ステップ2、3）。初期群集分布は、店舗単位程度の詳しさのもので、これは、曜日、時間帯、催物などに対して収集された統計的データを基に推定する。

(c) 上記火点、初期群集分布に対して、ある避難誘導パターンを仮定、群集流動シミュレータ⁹⁾により、群集の流れをシミュレートし、避難時間⁴⁾群集の滞留発生場所の推定を行なう（ステップ4、5）。

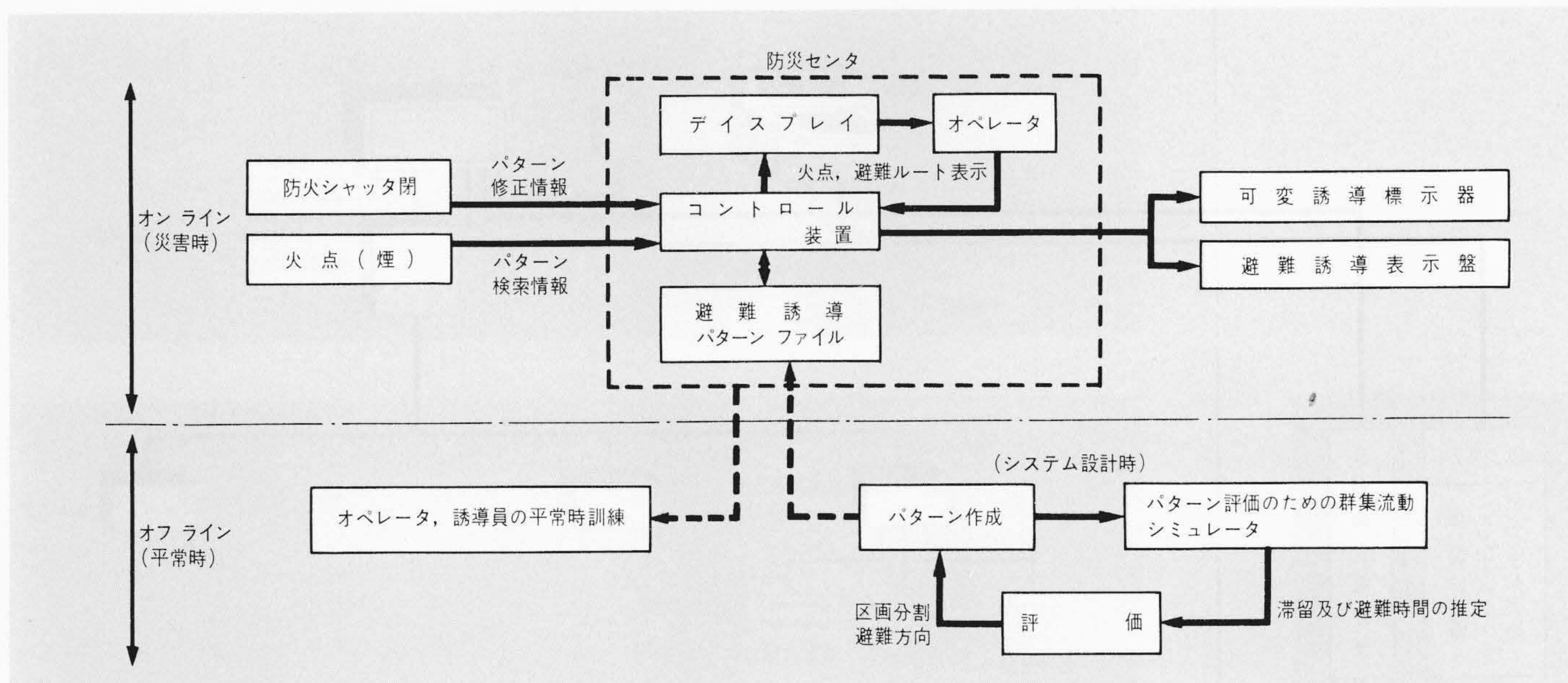


図3 パターン制御方式による避難誘導システムの概念
時に処理される範囲を示した。

オンライン（災害時）とオフライン（平常時）

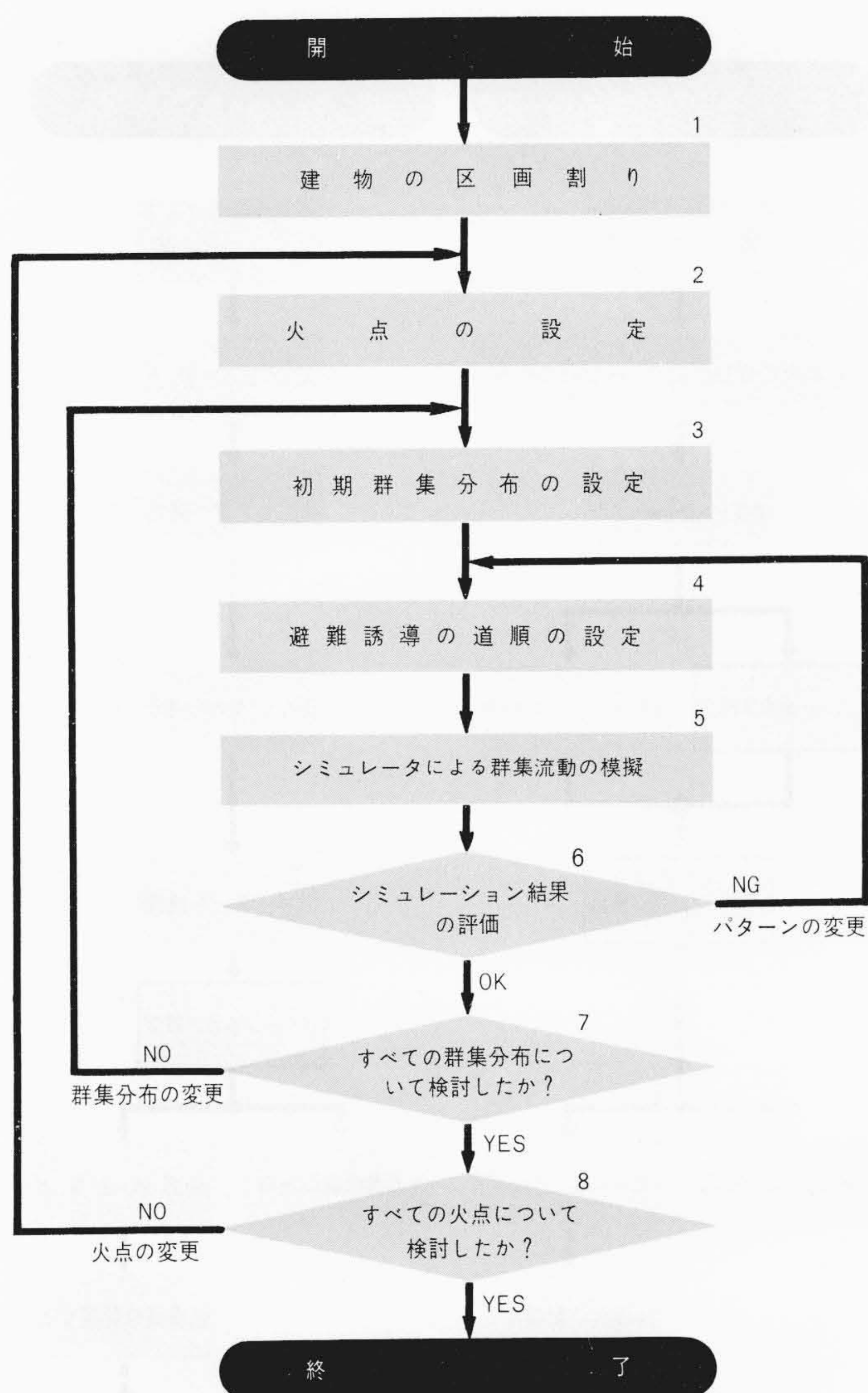


図4 避難誘導パターンの作成手順 避難誘導の経路のパターンを作成する場合、シミュレータにより、避難所要時間が妥当な時間となるまで、初期設定条件を変更しながら1～8の手順を繰り返す。

(d) 上記推定結果を基に、避難パターンの良否を評価する（ステップ6）。

なお、評価の基準としては、当該フロアでの煙の拡散速度を推定し、この値を基に算出した危険時間を用い、避難完了時間との比較を行ない、避難完了時間が危険時間に比べて短い避難パターンを採用する。もしこの条件が満足されない場合は、当初の避難誘導の経路を修正し、(a)から(d)までの手順で安全と判断されるまで検討を繰り返し、パターンの作成を行なう。

3 システムの概要

2.で述べた避難誘導の基本的考え方に従い、大規模ビルの地下街的フロアを対象とし、火災発生初期段階での避難誘導システムの一例について述べる。

本避難誘導システムは、災害時に避難誘導を行なう場合、オペレータをバックアップする役割を果たすものである。

図5に本システムの全体構成を示す。本システムは、パターン制御方式を基本とし、火災発生の自動覚知に自動火災報知機、又は煙検出器、避難誘導に方向矢印付誘導標示器、非常用放送装置、非常用電話など、避難誘導の判断・制御に中央処理装置（以下、CPUと略す）、オペレータの判断・制御を援助するために表示盤、操作卓及び災害状況の記録解析を行なうために印字記録装置を備えた避難誘導システムである。

また一方、火災成長の拡大を阻止するために、ビル内の空調設備の機能停止後、防排煙設備、防火ドア、シャッター、スプリンクラ設備などを使用した消火システムなどは、別系統で設置される。避難誘導システムでは、要避難者の避難時間を短縮化し、他方、消火システムなどでは避難可能な時間幅を広げる。この両システムの連携動作により、避難誘導をより効果的に行なうことができる。

避難誘導システムの主な機能と災害時の基本的動作をそれぞれ表1及び図6に示す。

この動作図の中で、火災発生の確認と検索されたパターン内容の確認を人間に依存しているのは、システムの信頼性を高めるためである。

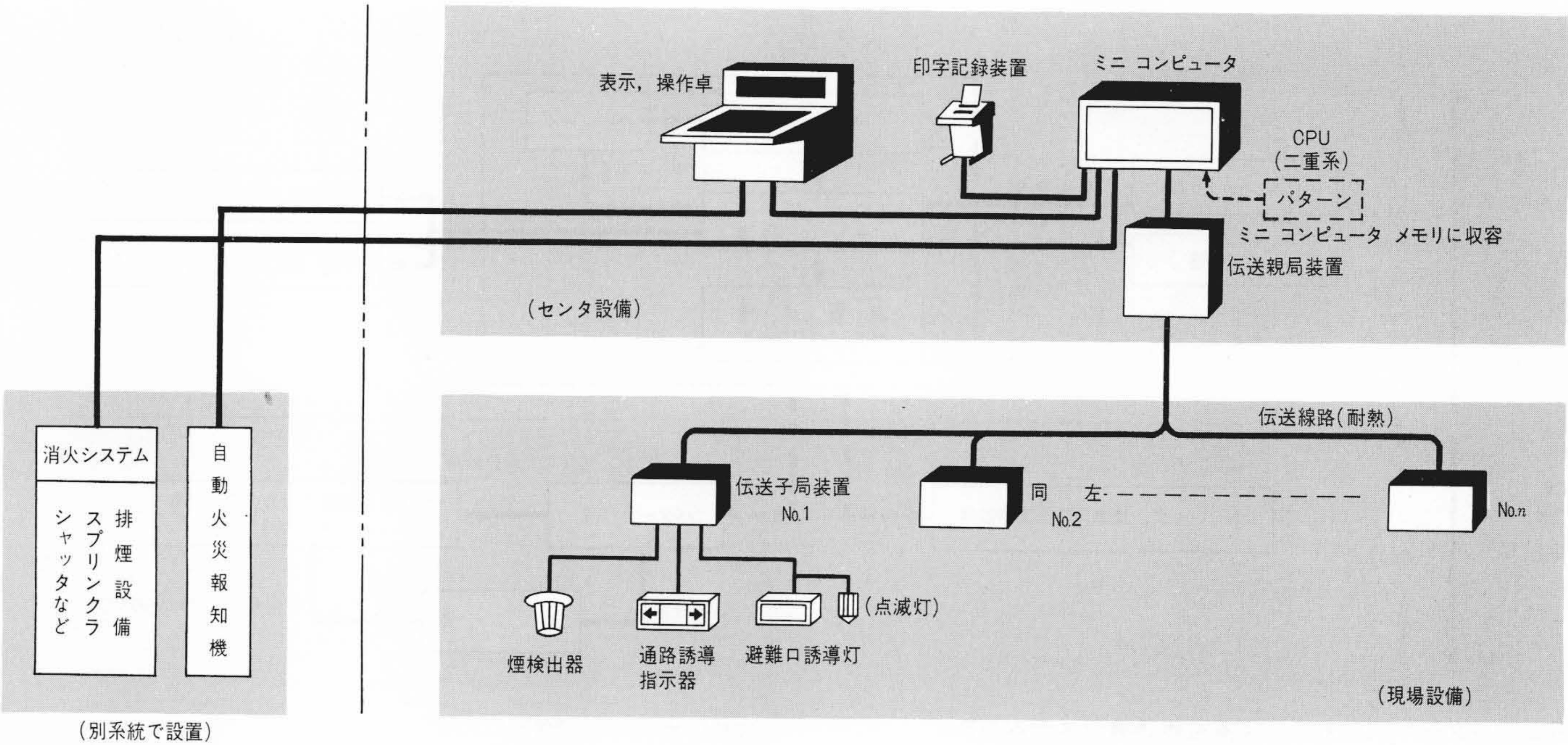


図5 避難誘導システムのハードウェア構成 50,000㎡の地下街的フロアを対象とした避難誘導システムの一例を示す。

表1 避難誘導システムの主な機能 50,000㎡の地下街的フロアを対象として、平常時と火災時とに分けてシステム機能を説明した。

項番	機能区分	平常時	火災時
1	火災覚知	———	自動火災報知機、又は煙検出器
2	避難誘導	避難口誘導標示器、通路誘導標示器（現行法規準による両方向指示）	避難口誘導標示器（併設点滅灯の点滅）通路誘導標示器（不必要矢印消灯）
3	誘導修正	パターン修正	オペレータのマニュアル修正
4	状況表示	———	発報、作動地点、誘導状況の地図式グラフィック表示
5	優先割込み	———	自動診断モードより火災モードへ優先切替え
6	自動診断	データ伝送回線、CPU、煙検出器の定期診断	自動診断中止
7	避難訓練	総合避難訓練及びオペレータ訓練	———
8	消火システムの監視	———	自動解錠、スプリンクラ、シャッタ、排煙設備などの動作監視
9	非常電源	———	商用電源からの切替え（AC 100 V）
10	その他	状態印字記録、放送サービス	

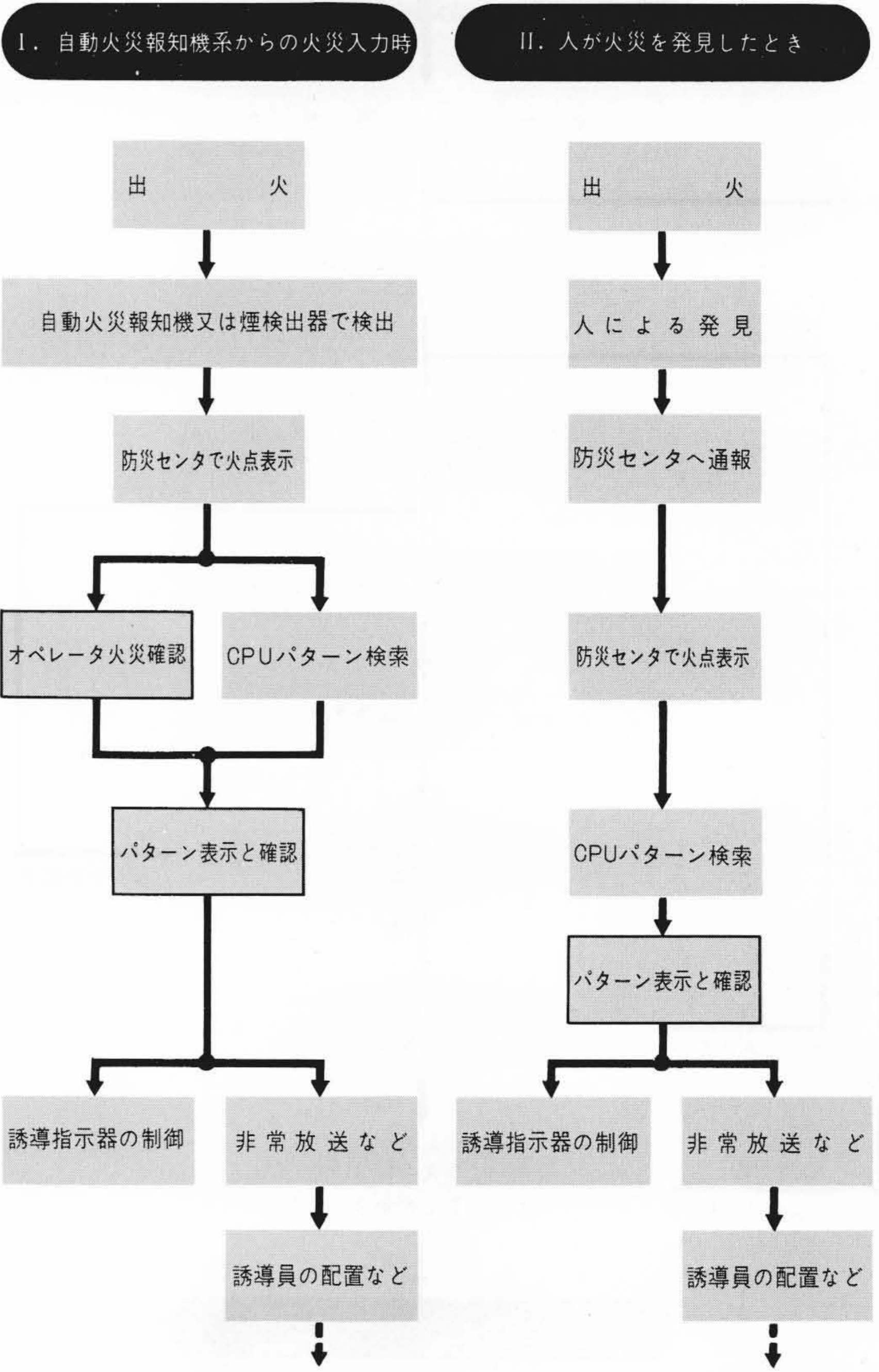


図6 避難誘導システムの基本的動作 システムの信頼性を高めるため、火災の覚知と火点对応に検索されたパターン内容とが一致しているかどうかをオペレータが確認するステップを設けた。

4 システムの各部装置

4.1 センタ設備

センタ設備は、災害時の状況をオペレータに的確に把握させ、現場に対し避難誘導の指示を誤りなく与えるためのシステムの中核となる設備である。

その構成と主な概要を次に述べる。

(1) CPU

CPUの役割は、大別して二つに分けられる。その一つは、現場に置かれた自動火災報知機、又は煙検出器の動作信号により、該当パターンを検索し、通路誘導指示器及び避難口誘導灯と併設の点滅灯の制御を行なう。他の一つは、仮想火点対応に作成されたパターンの内容を記憶させる。

後者の場合、マイクロフィルム検索機等専用ハードウェアで構成することもできる。

50,000m²のフロアに必要な記憶容量は、32K語程度である。したがって、ミニコンピュータ程度のCPUが適当である。またCPUは、システム制御の中核となるもので、二重化によってシステムの信頼性を高めている。

(2) 状況表示盤及び操作卓

1/300程度の地下街の平面図を展開し、全面に半導体発光素子によるポイント表示を行なう。主な表示部分は次に述べるとおりである。

- (a) 自動火災報知機、又は煙検出器の発報地点
- (b) 通路誘導指示器及び避難口誘導灯と併設の点滅灯の動作状況
- (c) 排煙設備、シャッター、防火ドア、スプリンクラなどの関連設備の動作状況

次に、操作卓の主な機能について述べる。

- (a) オペレータは、火災発生の確認と火点対応に検索されたパターン内容が適当なものであるかどうかの確認を行なった後、CPUに対し、GO指令を出す。
- (b) オペレータは、事前に予期できなかった火災が発生した場合、オペレータ自身の判断により、通路誘導指示器及び避難口誘導灯と併設の点滅灯のマニュアル制御を行なう。特に、(b)の操作ボタンは、状況表示盤の地図の誘導指示器の矢印上に置かれ、オペレータの判断を混乱させないように留意してある。

(3) データ伝送装置

センタ設備（親局）と現場端末（子局）との間の信号の送受を行なうもので、次の特徴を持っている。

- (a) 子局側の信号を親局側でソフト スキャンし、必要な信号だけを選択して返送することにより、伝送路の効率化を図った。
- (b) 子局端末の設備拡張による配管の追加工事を最少とし、経済化を図った。

主な機能は、次に述べるとおりである。

- (a) 通信方式：ディジタル多重通信方式
- (b) 伝送速度：最大4,800ビット/秒
- (c) 符号方式：NRZ (Non-Return-to-Zero) 符号
- (d) 同期及び伝送誤り検出：調歩同期、パリティ チェック

(4) 印字記録装置

- (a) 状態変化を検出したとき、動作状態を自動印字記録する。
- (b) 事前に、パターン内容の変更が生じたとき、その修正を行なう(コアメモリの内容修正)。

(5) ソフトウェア プログラム

(6) 非常用電源装置

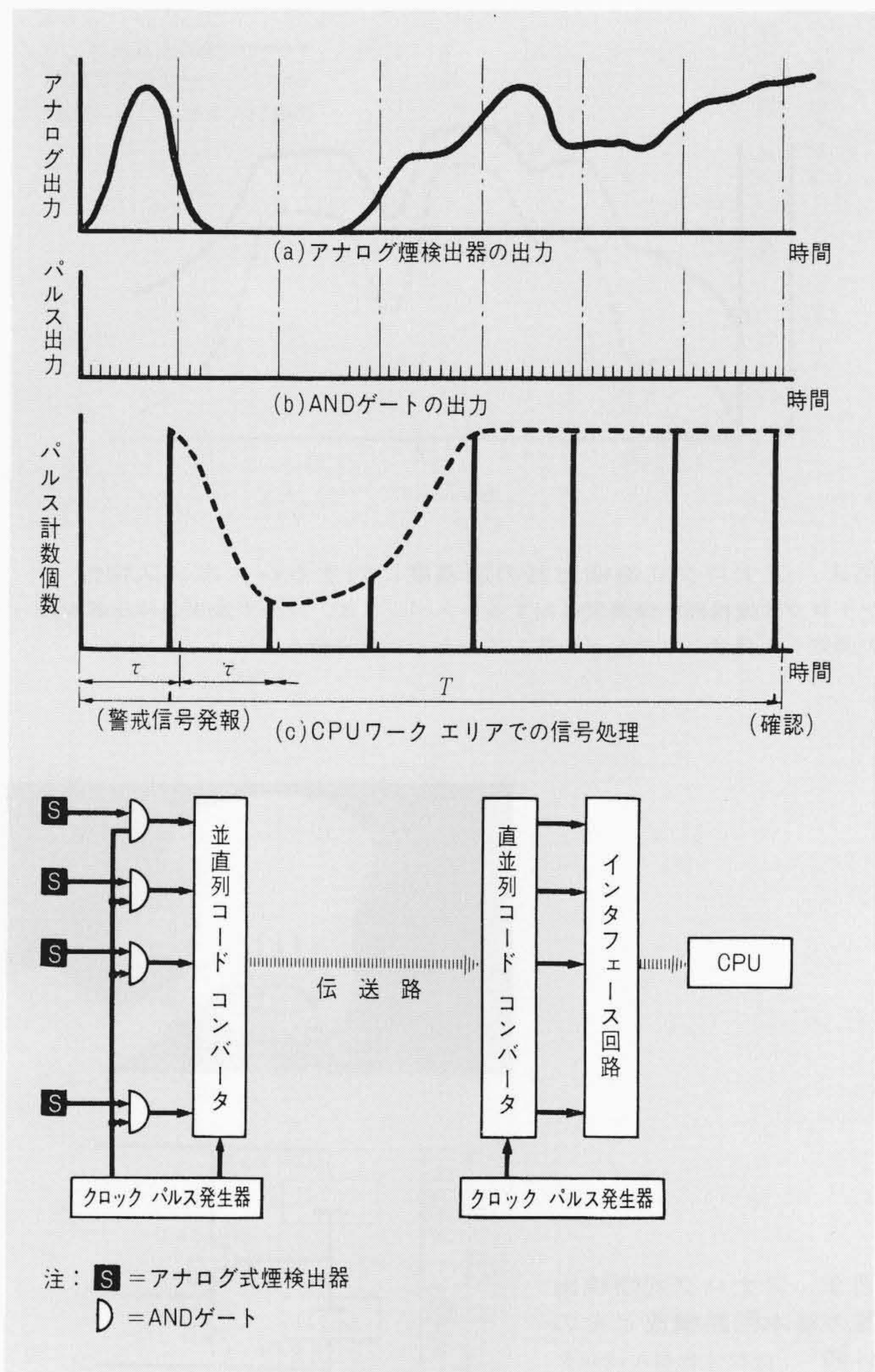


図7 アナログ式煙検出器を用いた火災覚知自動確認法 アナログ式煙検出器を用いた火災覚知の自動確認の信号処理過程をハードウェアと対象させて説明してある。

4.2 アナログ式煙検出器を用いた火災覚知の自動確認³⁾

新しく用意した火災覚知の自動確認（非火災報対策用）の方式について述べる。

火災発生時の自動確認の基本的なハード構成と、その信号処理の経過状態を図7に示す。

空気中に煙が発生した場合、アナログ式煙検出器で検出されたアナログ信号は、ゲート回路に供給されたCLOCK信号とのANDでパルス化される。パルス化された信号は、伝送路を経て、CPUの指定されたワークエリアに送られる。

次に指定された同一ワークエリアに τ 時間の間に送られて来るパルスの数を計数する。 τ 時間ごとのパルスの計数値を T 時間監視し、その計数値の頂点を結んで得られるエンベロープ曲線をCPUが自動的に解読する。その結果、エンベロープ曲線がある域値レベルを一定期間超えている場合、実際の火災状態と見なし、非火災報との区別を自動的に判断し確認しようとするものである。

アナログ式煙検出器は、放射性物質アメリシウム241の α 線による気体の電離作用を応用している。

上記方式を導入するためには、アナログ式煙検出器の煙入力に対する出力応答が追随しなければならない。

本煙検出器の煙に対する出力のレスポンス特性を、He-Ne

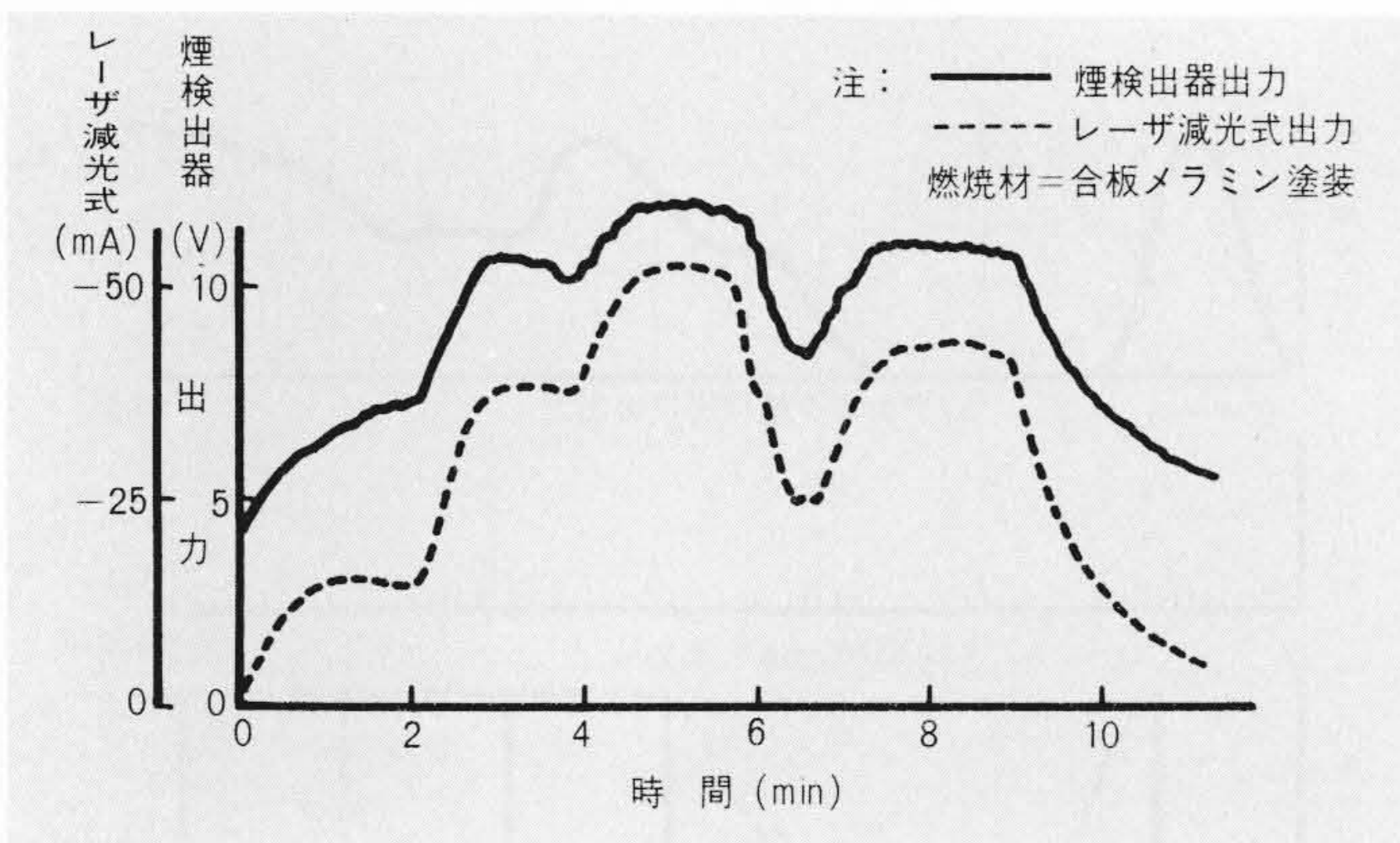


図8 アナログ式煙検出器の煙濃度に対するレスポンス特性
アナログ式煙検出器の煙濃度に対するレスポンスは、レーザ減光式検出器を使って測定した場合とほとんど一致していることが分かる。

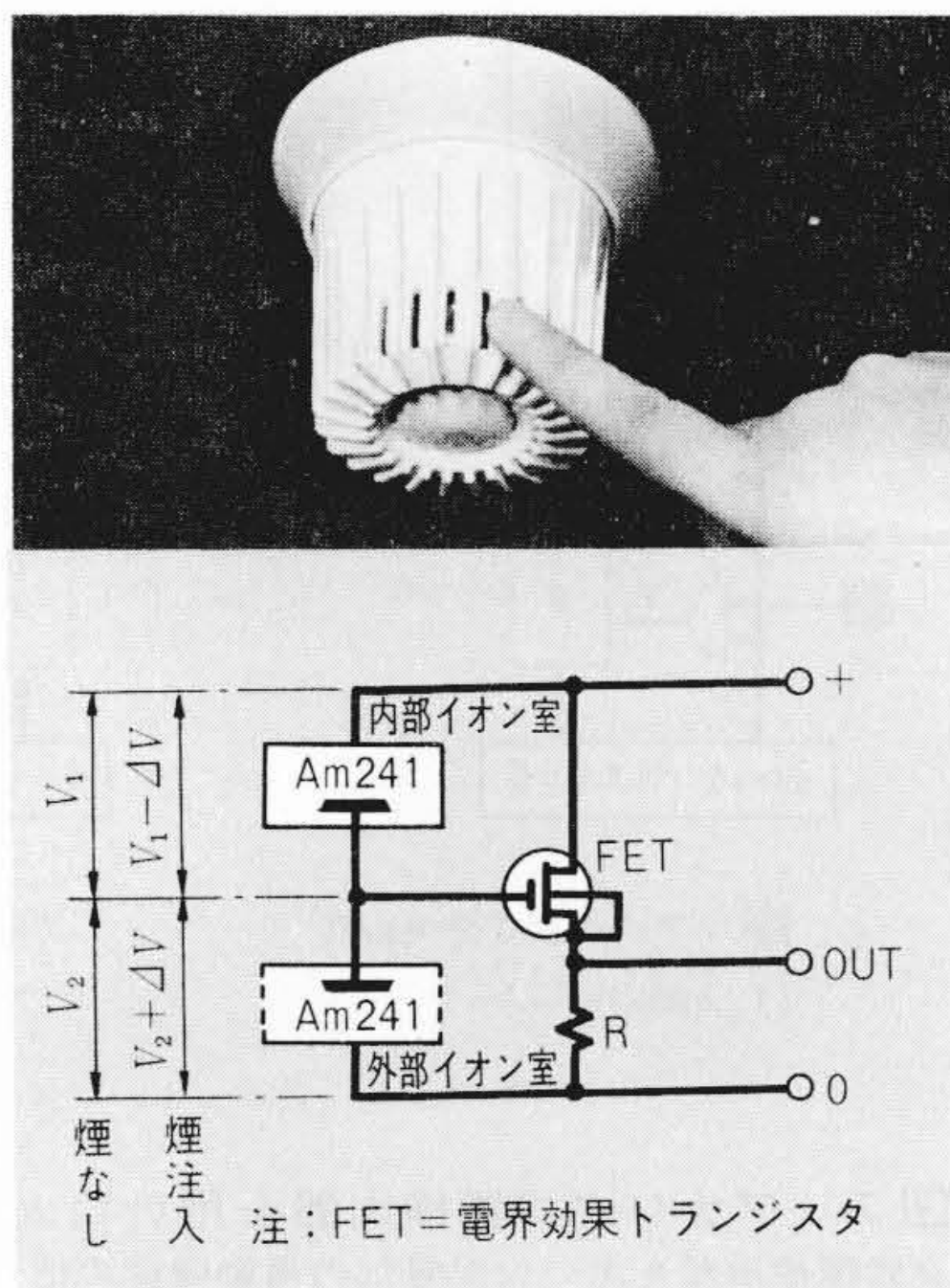


図9 アナログ式煙検出器の基本回路構成とその外観 放射性物質Am241を用い、そのα線による気体の電離作用を利用したものを示す(大きさ136φ×114mm)。

レーザを用いた減光式測定法で行なった実験結果と同時に図8に示す。

また、本煙検出器の外観及び基本的回路構成を図9に示す。

4.3 避難誘導指示器

避難誘導指示器は、非常通路で出口方向を示す通路誘導指示器と非常用出口を示す避難口誘導灯の2種類がある。

本稿では、図10に示すように矢印方向を可変できる通路誘導指示器と非常用出口を明確に知らせる点滅灯(避難口誘導灯と併用)について述べる。

(1) 通路誘導指示器

通路誘導指示器は、フロアの通路部分に設置され、人々に避難口への避難経路を指示する。

誘導の方法として、平常時は、左右の矢印方向を連続点灯し、火災発生時には、センタからの指令を受けて不的確方向の矢印を消灯する。

指令を受けた通路誘導指示器は、確実に受信したことを自動的にセンタへ知らせるアンサバックの機能を持っている。

また通常は、商用電源により点灯しているが、商用電源の供給が無くなると自動的に通路誘導指示器の中に内蔵されている電源へ切り替える。

(2) 点滅灯(避難口誘導灯と併設)

点滅灯は、「消防法」で設置を義務付けられている避難口誘

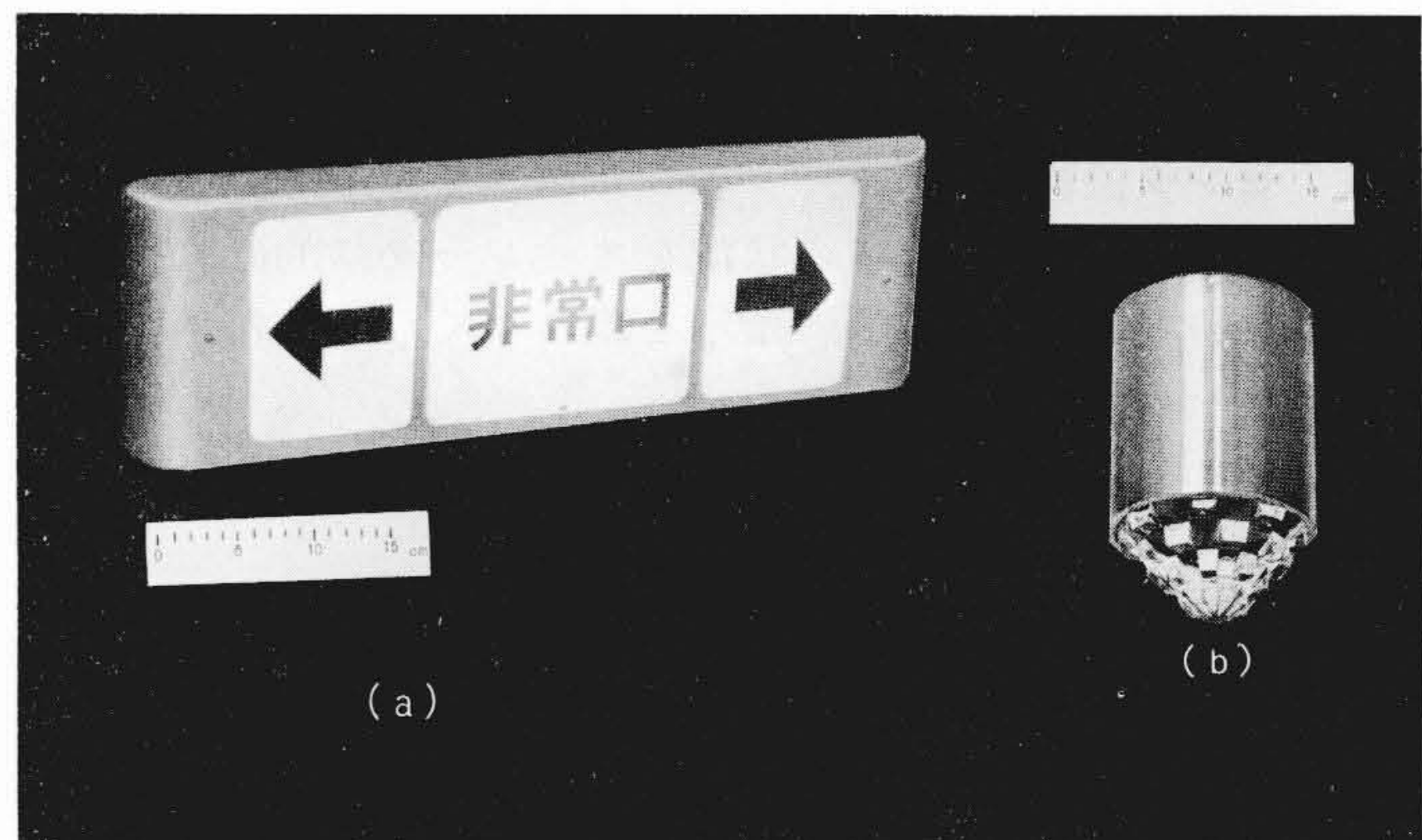


図10 通路誘導指示器と避難口誘導灯及び併設点滅灯 図(a): 通路誘導指示器, 図(b): 避難口誘導灯及び併設点滅灯を示す。平常時、通路誘導指示器は両矢印とも点灯しているが、誘導が必要となると不的確方向矢印は消される。

導灯と併設して使用するもので、避難口の直前の位置に設置される。

火災発生時、センタからの指令信号を受けて、避難口誘導灯の近くで、光度約6,000cdをもって点滅(約0.7s周期)を繰り返すことにより、避難口の位置を煙の中(減光係数で1.0)の遠方(10m)からでもフロア内の人々に、はっきりと知らせることができる。

5 結 言

地下街的フロアの初期火災時の避難誘導システムについて述べたが、大規模ビルについても同様、避難処理の迅速性より、パターン制御方式を適用した避難誘導システムが必要である。

本システムで、火災覚知より避難誘導までを自動制御することは理想的であるが、まだ火災現象が十分に解明されていない現在、困難である。

その中で特に、信頼性と経済性の高い火災覚知方法、煙の拡散速度と空調、防排煙設備などの関係の解明は、今後に残された課題である。

最後に、本システムを取りまとめるに当たり、種々御協力、御援助をいただいた関係各位に対し深謝する次第である。

参考文献

- 1) 塚本：「建築と火災」，建築防火教材(1975)
- 2) 藤井：「火災時の煙制御と空調設備」，空気調和，衛生工学会，Vol. 47, No. 10(1973)
- 3) 渡辺，竹元：「初期火災時における煙感知器の動作」，日本火災学会論文集，Vol. 21, No. 2(1972)
- 4) 神：「煙の中での歩行速度について」，日本火災学会誌，Vol. 25, No. 2(1975)
- 5) Richard W. et al: "Results of Full-Scale Fire Tests With Photoelectric Smoke Detector", U.S. Department of Commerce National Bureau of Standards. Sep. (1975)
- 6) 沼生：「建築基準法と防災思想」，空気調和，衛生工学会，Vol. 47, No. 10(1973)
- 7) 中沢：「防災計画と建築基準法」，建築設備，No. 263(1973)
- 8) 豊田，吉原：「ビルの受配電設備と避難誘導システム」，電気学会北海道支部講習会雑誌(1976)
- 9) 吉原，ほか：「メッシュポテンシャル型モデルによる群集流動のシミュレーション」，電気学会全国大会(1975)