

防災・防犯管理映像ネットワークシステムの開発

佐藤 和 浩
(技術開発センター)

掛川 秀 史
(技術研究所)

佐藤 博 一
(技術研究所)

竹内 啓 五
(設備本部)

§1. はじめに

マルチメディア技術のコンピュータの世界では、文字やグラフィックに加えて映像や音声が日常的に使われるようになってきた。監視制御システムにおいても、「人と機械のインタラクションにおいて、従来扱ってきた情報に加えて音声や映像などを活用して、より高度で人に対して自然なインタフェースを提供する」という方向性が見え始めている。

従来の監視制御システムのインタフェースでは、状態値や計測値などのデジタル情報をリストやグラフに加工してオペレータに提供していた。しかし、非正常な状態情報、つまり警報や故障などの情報は、その状態の有無を知らせるだけのものが多く、人が現場に駆け付けて最終的な判断を行うことが常である。この場合、「百聞は一見にしかず」的にその場の映像を提供することで、駆け付けるまでもなく判断可能なことも多いはずである。このような利用は、「人類のもっとも発達した視覚に訴える」と言ったことになろう。例えば、ビルの防災システムにおいて、火災感知器の発報に対する確認動作にその場所のカメラ映像を利用するシステムなどが考えられる。

このような観点から、超高層ビルなどの大規模施設において、防災・防犯上必要な映像や音声をリアルタイムに効率良く収集できる「防災・防犯管理映像ネットワークシステム」の開発を行った。

本報告では、本システムの基本構成、基本機能について述べる。次に、防災システムとしての実現可能性について、実験により明らかにすると共に、事務所ビルを対象としたケーススタディを通して得られた実用上の課題についても触れる。

§2. 開発の背景

近年、都市部を中心として建築物が大規模化、複合化しており、不特定多数の様々な人々が建物を利用する傾向にある。自動火災報知設備が異常を感知した場合、現状では管理者が現場に駆け付け、出火確認を行うことを原則としている。しかし、こうした施設では、火災が発生した場合に管理者が現場へ駆け付けるのに時間がかかること、建物内の状況把握が困難なことが現状の問題点として挙げられる。こうした問題を解決するための一つの方法として、映像を利用した新たな防災システムへの要求が高まっている。火災が発生した場合、被害を最小限に食い止め、在館者の人命安全を確保するためには、初期消火や避難誘導などの初動対応が特に重要であり、映像情報を利用することで、以下のような効果が期待できる。

- ①出火室の様子が視覚情報としてリアルタイムで得られるため、火災発生の有無や火災の進展状況を映像にて早期に把握することができる。
- ②各階の在館者の人数、避難行動の状況を把握できるため、火災の進展状況に応じた適切な避難誘導を迅速に行うことができる。

このように、防災面での映像情報の利用可能性は、火災の早期発見や迅速な避難誘導など多岐にわたっている。アトリウムなどの大空間では、ITVカメラや赤外線カメラを利用した火災状況監視システムが、一部実用化されている¹⁾²⁾³⁾。防災面での映像情報の活用は、東京消防庁における「消防設備の集約化のあり方」に関する調査研究委員会でも、その有効性が指摘されている⁴⁾。今後は、防犯面での映像利用に加え、防災分野での映像利用が期待されている。

§ 3. システム概要

3.1 特徴

(1)優れた防災・防犯管理システム

多地点に設置した監視カメラの映像は、センター側のモード切替(自動・連動・手動)により様々な状況に応じリアルタイムに映像と音声で監視ができる。

また、異常発生時の状況把握が容易なため防災・

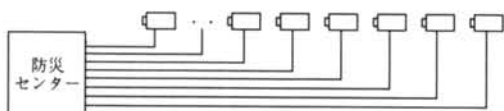


図-1 本システムの配線方式(バス型)

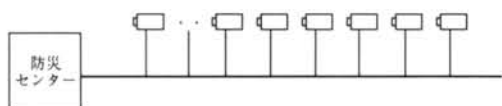


図-2 従来システムの配線方式(スター型)

項目	標準型	TV共聴兼用型
接続カメラ数	最大1020台 (VLC255台)	
制御方式	送信周波数可変・受信周波数固定方式	
伝送路	専用同軸ケーブル	TV共聴用同軸ケーブル
伝送チャンネル数	8ch	6ch
伝送周波数	映像	252~300MHz
	制御	47.25MHz(上り) 75.25MHz(下り)
VLC	カメラ接続数	4台
	接点入出力	入力4点、出力4点
伝送方式	通信制御手順	ポーリング・セレクティング方式
	伝送速度	9600bps
	変調方式	映像:AM、制御:FSK、音声:FM

表-1 システムの主な仕様

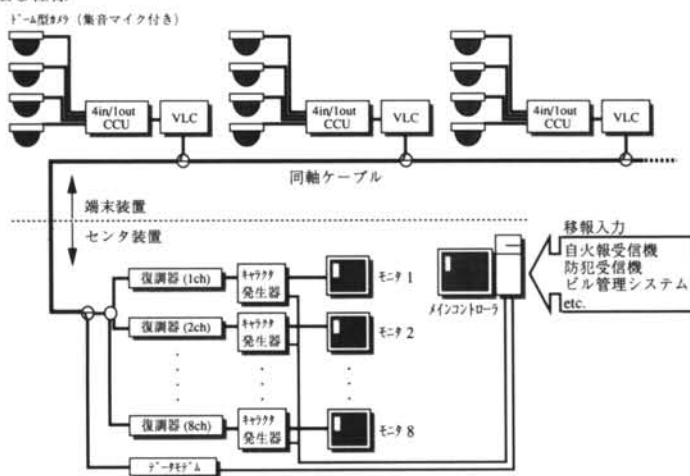


図-3 システムの基本構成

防犯監視はもとより、設備監視等にも幅広く活用できる。

(2)早期火災状況把握と優れた安全性

自火報受信機と連動させ、発報箇所付近の映像を自動的にモニタTVへ映し出すことにより、駆けつけ以前に現場の状況を確認でき、駆けつけ要員の安全確保ができる。

(3)省線化

周波数多重伝送方式により、幹線は同軸ケーブル一本に集約(図-1)され、従来のスター型配線(図-2)に比べ省配線となる。更に、TV共同聴視設備の幹線と兼用することができる。

(4)大規模システムに対応

カメラ1020台(VLC255台)まで接続可能で、容易に大規模なシステムの構築ができる。

3.2 基本構成

本システムは複数の端末装置と各センター装置で構成され、幹線に同軸伝送路を用いた監視システムである。図-3に本システムの基本構成および表-1に主な仕様を示す。

(1)センター装置

①メインコントローラ

システム全体の制御装置

②映像復調器

映像信号への復調

(2)端末装置

①VLC (Video Local Controller)

CCUの制御、映像の変調・送出

- ②CCU (Camera Control Unit)
カメラの選択, カメラへの電源供給
- ③キャラクター発生器
画面への文字の挿入
- ④モニタTV
カメラ映像の表示
- ⑤データモデム
制御信号の変調・送出

3.3 基本機能

(1)防災機能

自火報受信機との連動制御による効率的な映像提供が可能。

(火災状況把握, 避難状況確認等)

- ・早期の火災状況把握が可能
- ・駆けつけ確認要員の安全確保

(2)防犯機能

スケジュール監視や防犯センサーとの連動制御による効率的な映像提供が可能。

(防犯警備, 夜間警備, 駐車場警備等)

- ・容易なスケジュール設定
- ・画像処理を組み込むことで, より高度な監視が可能

(3)設備監視機能

映像だけでなく, 音による設備状態の把握が可能。
(設備故障監視, メンテナンスの効率化)

§4. システムの実験結果

ここでは, 本システムの諸性能を確認するために行った実験について述べる。はじめに, 防災機能での実用性を確認するために, ドーム型カメラの視野に関する性能確認と, 火災発生時における視認性評価の二つの実験を行った。最後に, システムを試作し, 応用動作機能の確認実験を行った。

4.1 視野角確認実験

本システムで利用するドーム型カメラ(ドーム型デジタルプロセスカメラ)について, 実用上の性能を確認すること, カメラ配置計画に必要なデータを収集することを目的に, ドーム型カメラを用いた視野角確認実験を行った。実験は, 就業中のオフィスビル内で行い, 視認性を比較するため通常カメラ(標準型ITVカメラ)を用いた実験も実施した。

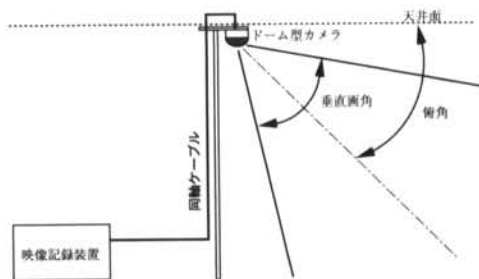


図-4 実験装置

写真NO.	設置場所	カメラ		天井高
		俯角(°)	撮影方向	
写真-1	居室中央見通し	35°	見通し方向	2700mm
写真-2	居室角	35°	居室中央向き	
写真-3		20°		

ドーム型カメラ: TK-S550 1/3"CCD f=2.8mm 画角 水平81° 垂直65°
通常カメラ: CN401 1/2"CCD f=6.0mm 画角 水平56° 垂直44°

表-2 撮影条件

4.1.1 実験方法

図-4に示す実験装置を用いて, カメラを天井面に固定し, 映像をVTRにて記録した。実験に使用したカメラは, ドーム型カメラおよび通常カメラで, これらのレンズ等の仕様は表-2に示す。撮影場所は, 防災上カメラの設置が有効となる9箇所とし, カメラおよびカメラの俯角を変えて各々撮影した。ここでは, その内2箇所について, サンプル画像を挙げる。

4.1.2 実験条件

実験場所: シーバンスS館基準階(清水建設本社ビル内)

撮影条件: 表-2に示す。

4.1.3 結果および考察

(1)ドーム型カメラの評価

今回使用したドーム型カメラは, 超広角レンズ仕様であるため, 水平方向の視野が広い反面, 画像がかなり歪み, 特に遠方の視認性が良くないことがわかった。(写真-1, 2参照のこと)

ドーム型カメラの視野は, 20~25m程度となり, ELVホールや附室等の狭い領域には適当であると思われる。今回実験した居室部は, 一辺が50mほどあり, この場合(3)に示すように, 2台のカメラを対向配置させることが望ましい。

(2)俯角の設定

火災確認の一つとして, 煙の発生を映像にて確認するためには, 煙性状を考慮して天井面を視野に入れる必要がある。火災が発生すると煙は天井面まで上昇し, 煙層として溜り始める。この煙層を映像で確認できるよう俯角を調整することが必要となる。



写真-1 ドーム型カメラの画像 (居室中央見通し)



写真-2 ドーム型カメラの画像 (居室角)



写真-3 通常カメラの画像 (居室角)

今回使用したドーム型カメラでは、俯角35°程度で天井面を視野に収めることができた。

(3)カメラの対向配置

2台のカメラを対向配置し、映像の信頼性を確保することが望ましい。写真-1と写真-2は、対向配置の例となる。同じエリアを異なる方向から映す

ことにより、什器等による死角をある程度カバーすることができる。また、一方のカメラが煙等により、十分な視界が確保できない場合に、対向するカメラ映像で状況確認ができる可能性は高いと考える。

4.2 模擬火災による視認性の確認実験

3.3節において、本システムの基本機能として、防災機能を挙げている。本実験は、この防災機能を実証することを目的として、自動火災報知設備の発報時におけるITVカメラによる視認性を確認した。具体的には、実火災を想定し、火点にエタノールを置き着火したものを熱源とし、上部に置かれた発煙片を約5分間発煙させ、廊下と居室でのアナログ式感知器による煙濃度測定とITVカメラによる煙と炎の視認性の相関データ収集を下記条件にて行った。

4.2.1 実験条件

実験場所：廊下 (図-5)、居室 (図-6)

使用カメラ：ドーム型デジタルプロセスカメラ TK-S551

(1)実験1 (廊下)

照度：カメラ付近…700Lux, 1回目火点…700Lux, 2回目火点…720Lux

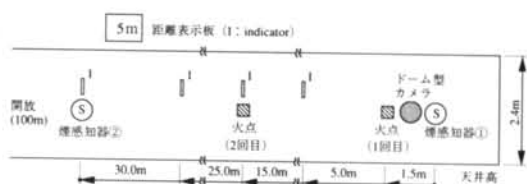


図-5 実験1(廊下)での機材配置図

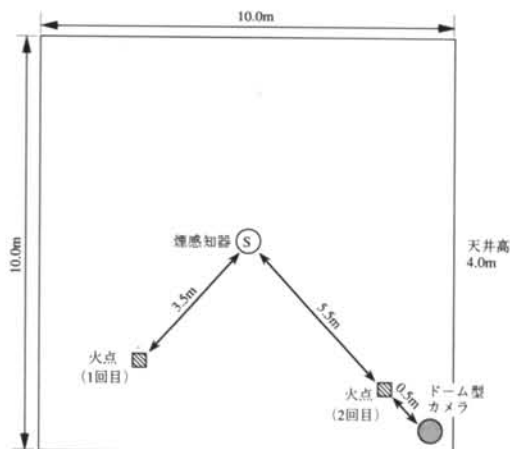


図-6 実験2(居室)での機材配置図

距離表示板：400×300mm(文字高250mm，
黒字，白地)を5m間隔で設置

(2)実験2 (居室)

照度：カメラ付近…550Lux，1回目火点
…170Lux，2回目火点…550Lux

4.2.2 結果および考察

視認性の実験は煙濃度5%，10%，15%のときに，ITVカメラで煙と炎が見えるか確認し，さらに視認距離(距離表示板の読みとれる最大距離)の測定を行った。(煙濃度5%は第一種，10%は第二種，15%は第三種の煙感知器動作濃度である。)

(1)実験1 (廊下)

火点とドーム型カメラの距離を下記のように変えて実験を行った。

(a)1回目実験結果(火点とドーム型カメラの距離は1.5m)

煙濃度15%まで煙・火点状況(炎・発煙装置)共に確認できた。(表-3)

(b)2回目実験結果(火点とドーム型カメラの距離は

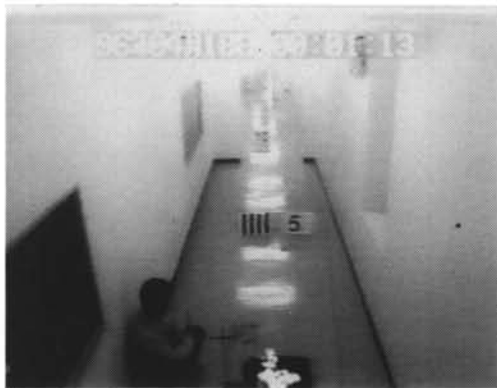


写真-4 実験1実施状況

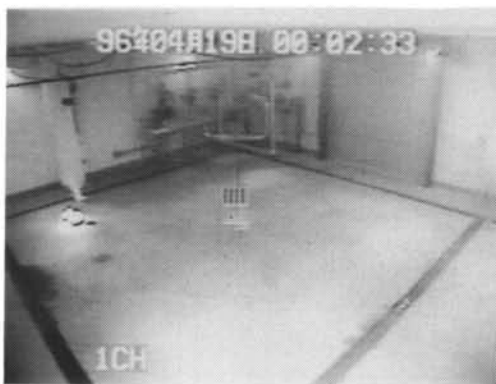


写真-5 実験2実施状況

15m)

煙濃度10%以上では視認距離10mとなり，カメラから15m離れた火点状況は確認ができなくなった。

(表-4)

(2)実験2 (居室)

火点とドーム型カメラの距離を下記のように変えて実験を行った。

(a)1回目実験結果(火点と煙感知器の距離3.5m)

煙濃度15%まで煙・火点状況(炎・発煙装置)共に確認できた。(表-5)

(b)2回目実験結果(火点と煙感知器の距離5.5m)

煙濃度15%まで煙を確認できた。(表-6)

実験結果より，防災応用面での映像利用は以下のように考えられる。

①第一種煙感知器が発報する煙濃度5%において，ITVカメラにより煙・炎共に確認ができた。特にアナログ式煙感知器を使用した自火報システムでは，注意警報時の煙濃度が自由に設定でき，煙濃度5%以下での発報でもITVカメラを動作させ現場状況を確認できる。これにより火災状況の早期確認ができ，

煙濃度	視認性			煙濃度測定位置	経過時間
	煙	火点状況(炎・発煙装置)	視認距離		
5%	○	○	15m	①	2分42秒
10%	○	○	10m		3分46秒
15%	○	○ ※1	10m		6分06秒
5%	○	○	5m	②	2分26秒
10%	○	○ ※1	10m ※2		6分08秒
15%	○	○ ※1	10m ※2		6分22秒

○…ITVカメラにて煙として見えた。火点状況が確認できた。
※1 エタノールは約5分間で燃え尽きたが、火点の発煙装置は十分に確認できた。
※2 エタノールが燃え尽き上昇気流がなくなり、煙が徐々に降下して行くため視認距離が伸びた。

表-3 実験1-1回目の結果

煙濃度	視認性			煙濃度測定位置	経過時間
	煙	火点状況(炎・発煙装置)	視認距離		
5%	○	○	10m	①	4分34秒
10%	○	×	10m		5分40秒
15%	○	×	10m		5分46秒
5%	○	○	15m	②	3分06秒
10%	○	×	10m		5分32秒
15%	○	×	10m		5分40秒

×…煙によりITVカメラにて火点状況が確認できなかった。

表-4 実験1-2回目の結果

煙濃度	視認性		経過時間
	煙	炎	
5%	○	○	3分32秒
10%	○	○	4分48秒
15%	○	○	5分02秒

表-5 実験2-1回目の結果

煙濃度	視認性		経過時間
	煙	炎	
5%	○	※	2分36秒
10%	○	※	3分50秒
15%	○	※	4分56秒

※本実験では火点がカメラの視野から外れているため炎の確認はできず。

表-6 実験2-2回目の結果

保守要員の安全確保等にも有効と考えられる。また、煙濃度10～15%では炎の確認はできなかったが、煙の確認ができたことにより、第二・三種煙感知器との連動についても、煙にて火災発生初期の状況を確認することが可能である。

②煙感知器が発報する煙濃度(5%, 10%, 15%)において、ITVカメラによる視認距離は10～15m程度となり、廊下等の長手方向監視のような場合においては、カメラの設置間隔に注意が必要となる。このため、ITVカメラを利用して火災状況を正確に把握するには、カメラを15m間隔で設置したり、壁面に設置するなどの取付け方法などが有効であると考えられる。

4.3 応用動作実験

応用動作実験は、VLCに対する制御を実証し監視モニタに任意のITVカメラ映像を映し出す基本動作機能と、防災および防犯システムとして適用する場合の応用動作機能を確認することを目的とする。

4.3.1 実験アプリケーション概要

この実験に伴い、以下の仕様でアプリケーションソフトウェアをメインコントローラに構築した。

(1)アプリケーション構成

アプリケーションの基本的なプログラムモジュールを図-7に示す。使用するOS(Windows3.1)は、マルチタスク用途のものではないが、Windows APIを使用し、イベント(タイマー、マウス、RS-

232Cなど)により指定されたプログラムモジュールを実行する擬似マルチタスク環境の仕組みとする。
(2)オペレーション

オペレーションは、Windows GUI(Graphic User Interface)を使用して、キー入力を極力行わないマウスだけの簡単な操作を前提に設計する。

(3)システムの状態遷移

図-8にシステムの状態遷移図を示す。

システムの状態を3つのモードに分け、通常の運転状態を通常監視モードとし、防災、防犯イベント発生時に、それぞれ防災、防犯監視モードに移行するものとした。優先順位は高い順に、防災監視モード、防犯監視モード、通常監視モードとした。

各モードでのシステム運用は以下に示す通りである。

①通常監視モード

日常のシステム運転として運用し、スケジュール監視が主となる。

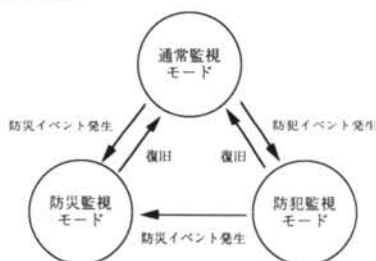


図-8 状態遷移図

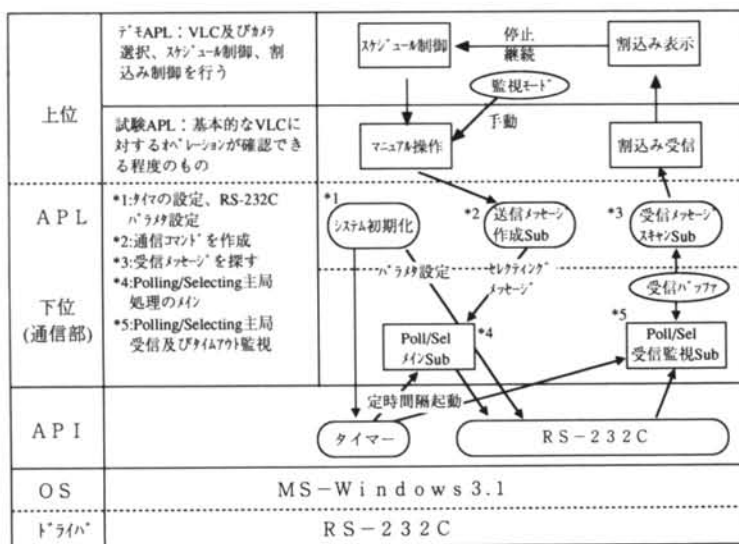


図-7 アプリケーション構成

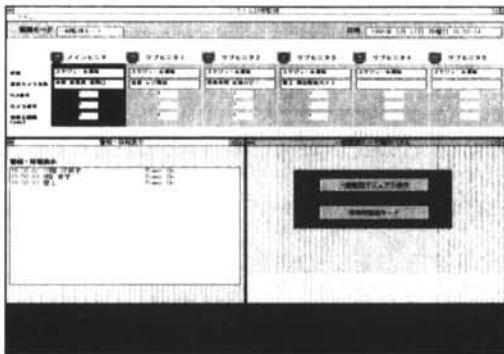


図-9 メインコントローラの通常監視モード画面



図-10 メインコントローラの防災監視モード画面

②防災監視モード

防災イベントを受けて、火災確認作業に必要な映像をモニタ表示する。

③防犯監視モード

イベント（防犯センサなど）と常に連動させて、自動で映像の切替え制御を行う。

4.3.2 アプリケーション動作

応用動作実験におけるアプリケーションの動作について説明する。

(1)通常監視

日常のシステム運用である、監視カメラを自動で切替えるスケジュール運転を行う。どのモニタにどのカメラが映し出されているかの情報が表示できる。図-9にメインコントローラの通常監視モード画面を示す。

(2)防災監視

防災システムとの連動で、火災発生場所近傍の初期状態映像がメインモニタに映し出される。火災発生時に割り込んで映し出すカメラは予め登録しておく。割り込み画面で確認した火災発生階を指定する簡単な操作により、メインモニタには火災発生階の映

像が、サブモニタには直上階および直下階の映像が映し出される。図-10に防災システムから火災情報を受取り、防災監視モードに移行したメインコントローラの画面を示す。

(3)防犯監視

防犯システムまたはVLCが持つ入力接点に接続された防犯センサとの連動で、異常発生箇所近傍の映像がメインモニタに映し出される。その後、オペレータによってカメラ選択が可能な状態に移る。

4.3.3 応用動作実験考察

今回実装したアプリケーションは、接続可能なVLCを64台、チャンネル数を6つとし構築した。本システムは、仕様にあるようにVLCは最大255台まで、チャンネル数は8つまでの拡張を想定している。その条件を満たすアプリケーションを構築するには、以下の検討が必要となる。

(1)データ変数構造

VLC台数、チャンネル数が増加するに伴い、メモリに展開する情報量も増え、実行困難になる。そこで、データ配列構造および内部変数、あるいはファイルアクセスする方法などの検討が必要となる。

(2)システムリソース問題

本システムは、Windows3.1 + Visual Basic2.0環境で動作する。Visual Basic 2.0では、ウィンドウの「開く/閉じる」という操作頻度の増加に伴い、システムリソースを解放できず、そのリソースを占有した状態のままハングアップする可能性がある。そこで、マルチタスク環境のシステムリソース管理を行えるWindows NT 及びVisual Basic 2.0の上記不具合が解決されているであろうVisual Basic 4.0を採用する方向を検討し、十分な動作確認が必要である。

(3)メインコントローラとVLCの通信

メインコントローラとVLC間の通信はポーリング/セレクトイングによるデータ伝送手順を採用している。接続台数とポーリング周期の関係（ポーリング間隔×接続台数=ポーリング周期）から、VLCの台数が増加するに伴い、ポーリング周期も長くなり、VLCからの情報収集に影響が出てくることになる。特にVLCの状態入力に割り込み型の緊急情報がある場合は、メインコントローラが即座に情報を得られない。

そこで、割り込み型の緊急情報は、別システム（例えば、自火報受信機など）から得るなどの情報取り込み方法の検討が必要である。

§ 5. ケーススタディ

本システムを一般的な事務所ビルに適用した場合を想定して、ケーススタディを行い、防災システムとしての実現可能性および拡張性について検討する。

5.1 防災システムとしての映像情報の利用可能性

火災発生時に、映像情報を利用する主な目的は、①出火・火災状況の確認、②在館者の有無の確認、③避難状況の把握、④消防隊活動状況の把握が挙げられる。

本システムの防災上の利用目的と代表的な各室での映像利用の有効性、適用時の留意点を表-7に示す。上記①の出火・火災進展状況の確認については、自動火災報知設備の感知器と連動することで、火災の覚知時間を短縮する効果があることが指摘されている⁴⁾。防災上、効率的に映像情報を活用するためには、建物用途等の空間構成や、利用形態を考慮する必要がある。特に、ホテル等のプライバシーが重視される施設では、カメラを設置できる場所が限定される。また、利用者に違和感を与えないように、外観上カメラが目立たなくする等の措置が必要となる。

5.2 ケーススタディによるカメラ必要台数の算定

前節での考え方に従って、事務所ビルの基準階に本システムを適用した場合のカメラ必要台数について、ケーススタディを行った。

対象とする事務所ビルは、基準階床面積約2,700㎡のセンターコア型（大部屋形式）とした（図-11参照）。4.1節のカメラの視野角実験の結果より、ドーム型カメラを天井部分に取り付けた場合、居室では、カメラの視野はほぼ20～25mであることが確認されている。ケーススタディの対象とした事務所ビルの基準階は、一辺約50mであるため、居室全体の火源や在館者の有無を把握するためには、対向形式で設置することが望ましい。

廊下・附室では、避難者の避難状況の確認が重要となる。廊下では、カメラの視認距離や防犯との関係から、特に附室周辺を重点的に監視することを前提とすると、附室扉前および附室内に各1台のカメラを設置することとなる。

この結果、対象とした施設の基準階では、居室で8台、廊下で2台、附室で2台の合計12台のカメラが必要となる。カメラの設置場所を図-11に示す。（但し、この配置は表-7に示す利用目的を全て満足させることを条件とした。）

今回開発したシステムは、4入力1出力のCCUを用いているため、接続するカメラのうち、1台の映像のみ選択可能であり、同時に2台以上のカメラ映像を表示することができない。このため、同時に表示するニーズのあるカメラは、別のVLCに接続できるように設計段階で配慮する必要がある。以上、事務所ビルを対象としてカメラ設置台数を算定したが、実際に設置する場合は、居室ではローパーティション等により視界が遮られる可能性があることに

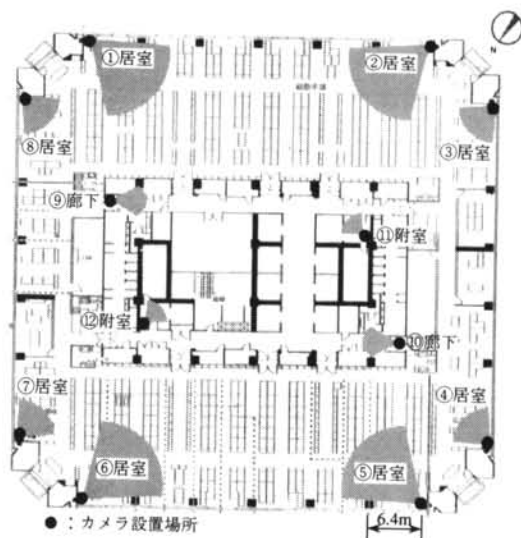


図-11 基準階におけるカメラの設置場所

	居室	廊下	附室
映像利用目的	・出火確認 ・在館者の有無 ・火災進展状況確認	・避難状況把握 ・火災進展状況把握 ・消防隊活動状況把握	・避難状況把握 ・火災進展状況把握 ・消防隊活動状況把握
映像利用による有効性	・火災確認の迅速化 ・在館者の有無、状況の把握 ・駆け付け者の安全性確保	・避難状況の把握に基づく 効率的な避難誘導	・避難状況の把握に基づく 効率的な避難誘導
システム適用時の留意点	・周辺の什器による視界の遮蔽 ・煙による視界の遮蔽 ・在館者のプライバシー保護	・煙による視界の遮蔽 ・カメラ設置場所の照度確保	・十分な視界の確保 ・カメラ設置場所の照度確保

表-7 本システムの防災上の利用目的と適用上の有効性・留意点

注意が必要である。また、火災時に確実に状況を把握するには、ITVカメラ本体の耐火性能がどの程度必要となるか検討しなければならない。

5.3 システムの拡張性

本システムは、撮影された映像を直接に与え、人間が判断することを主眼に開発したが、判断する対象が単純なものであれば画像認識システムを組み合わせることで自動監視することができる。

画像認識技術は、近年防犯などへの応用が進められている⁵⁾。当社でも同様の技術開発を進めてきたが⁶⁾、こうした技術を利用して、防犯面ではリアルタイムにカメラ映像内の移動物体を検知し、侵入者の有無を判定する。これにより、危険地域への侵入検知、出入口監視、車両侵入の有無の判定を行なうことができる。

また通常の運用では、施設内の混雑状況をカメラ映像から分析し、空調の運転やエレベータの運行などの建築設備の制御情報として利用することができる。こうしたことにより、施設の効率的な運営や施

設内の混雑緩和などの効果が期待できる。

§6. おわりに

本システムの防災システムとしての有効性を検証する目的で、視野角の確認実験、模擬火災におけるITVカメラでの視認性の評価実験を行った。これらの実験により、本システムが火災発生初期の状況把握に有効であることがわかる。

これらの実験を踏まえ「防災・防犯管理映像ネットワークシステム」の開発を行い、プロトタイプシステムによる応用動作実験を行った。

本開発は、映像を従来のTV共聴方式で使用されているアナログ信号にて伝送する方式を用いた。今後は、映像伝送のデジタル化に関して検討が必要であろう。

また、映像のデジタル化と共に、画像認識技術を利用した応用が広がれば、施設内の監視制御における映像利用が飛躍的に延びるものと思われる。

<参考文献>

- 1) 吉田克之, 平井秀治: “福岡ドームアリーナ火災覚知・消火システム”月刊フェスク, No.190, (1993.10) pp.24-30
- 2) 相馬吉克: “ファンタジードームの防災” 建築防災, No.175 (1992.7) pp.18-29
- 3) 瀬戸良昭: “アジア太平洋トレードセンターアトリウム火災覚知消火システム” 月刊フェスク, No.198 (1994.1) pp.44-50
- 4) “大規模建築物及び特異建築物等の消防対策に関する調査研究報告書 I (消防設備等の集約化と防火管理のあり方について)” 東京消防庁 (1995)
- 5) 小林伸江, 山口順一: “時空間情報を用いた屋外移体人物追跡”第2回画像センシングシンポジウム講演論文集 (1996.6) pp.173-175
- 6) 竹内啓五, 長田耕治: “画像を利用した群衆行動評価法に関する研究”清水建設研究報告第60号 (1994) pp.123-131

