

交通管制システムの現状と動向

定方希夫
九州東海大学 工学部

交通管制システムは1963年頃から世界の各都市で設置運用が始まり、日本では現在も（改良されているが）当時の基本システムで運用されている。わが国は現在、4,500万台の自動車（他に1,800万台の二輪車）を保有し、5,000万人のドライバーが存在している。この数字はアメリカの3分の1に達しており、アメリカに対し4パーセントの国土の広さからみると、渋滞の程度を容易に推定することができる。

一方、電子計算機、データ通信、情報収集処理技術などテクノロジーの進歩は目ざましいものがある。現在これらのテクノロジーを使って、1/4世紀にわたって活躍してきた交通管制システムを新しく構築するための研究プロジェクトが進行している。このレポートはシステム設計の過程を記述したものである。

DESIGN PROCESS OF THE NEW VEHICULAR TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Mareo SADAKATA

Faculty of Engineering , Kyushu Tokai University

223 Oemati , Toroku , Kumamoto , 862 Japan

The Computerlized Vehicular Traffic Control System has been developed since 1963 in the world and we have been applying the system fundametary. In Japan , there are 45 million vehicles (and other 18 million bikes) and 50 million drivers. This great number has reached one-third of the United States of America , so we can easily imagine that there is great congestion in the urban areas.

Now, high technology such as computer, data communication and information sensing engineering has made remarkable progress.

Restructuring Project of the traffic control system which has been practical use during the past one-fourth century is now progress in Japan.

This paper discribes the design process of the new Traffic Control System.

1. まえがき

わが国における最近の交通は、かつての、ランダムな混雑さより、むしろ定常的な渋滞が多くなってきた。これは産業構造の変革や生活様式の変化に社会開発が対応しきれない点に原因がある。わが国の国土面積に対する、裏道を含めた道路総延長の比率は、ヨーロッパ諸国に対して劣っていないが、その大部分は、いわゆる一般道路で、自動車専用道路はヨーロッパ諸国の半分、アメリカの20分の1と立遅れており、一層の投資が望まれる¹⁾。

一方で、自動車の保有台数は、四輪車4,500万台、二輪車1,800万台に達し、ヨーロッパ諸国の2倍、アメリカの3分の1程度であるから、その混雑さを推定することができる。

自動車に対する交通流理論は、1950年頃から研究が行なわれてきた。

これに対して、交通流の制御は、約10年遅れて1963年頃から活発な研究開発が行なわれてきたが、とりわけ交通管制システムは、電子計算機の登場によって大規模なシステム化が可能になってきた。そして世界各国の大都市では、都市全体をカバーするシステムが順調に設置されるようになった。

わが国は、現在全国12万基の信号機の25パーセントに当たる約3万基が72都市に設置された交通管制センターのコンピュータで直接制御されている²⁾。

しがしながら近年の急速な情報化社会の到来や、自動車による大量移動の需要によって、交通管制の高度化への見直しが強く要望されてきた。

2. 制御の基本となる交通流理論

交通制御は、個々の性格と技量をもったドライバーの運転する自動車の群を、安全に円滑に流すことが目的であるが、交通の流れは、基本的な交通の規則と常識以外は、すべて車の性能に対する

人間（ドライバー）の運転経験に依存している。そのため離散的な確率論的な取扱いが必要となる。

2. 1 理想状態での交通流

車が道路上を走行する場合、ただ1台だけの走行状態を自由走行（free flow）というが、実際の道路上では他車が存在するので追従走行（car following）となる。

追従走行理論では、連続走行する n 番目と $(n+1)$ 番目の車両夫々の直線上の座標を x_n, x_{n+1} として次の関係式が提案されている³⁾。

$$\frac{\partial x_{n+1}}{\partial t} = c(x_n - x_{n+1}) + K \quad (2.1)$$

この式は $(x_n - x_{n+1})$ が車両間隔であるから、 $(n+1)$ 番目の車両は、前車との間隔をみながら自車の速度を決定している。また、他の提案では次式のごとく加速度で呈示されている⁴⁾。

$$\frac{\partial^2 x_{n+1}}{\partial t^2} = \frac{c \left(\frac{\partial x_n}{\partial t} - \frac{\partial x_{n+1}}{\partial t} \right)}{(x_n - x_{n+1})} \quad (2.2)$$

これは、前車との速度差と車両間隔をみながら加減速を行うモデルである。

経験式として交通量 Q （単位時間内の通過台数）、密度 K （一定区間内の車両数）及び速度 V の間には次の関係が成立することがわかっている⁵⁾。

$$\begin{aligned} V &= V_f(1 - k/k_j) \\ Q &= V_f(1 - k/k_j)K \end{aligned} \quad (2.3)$$

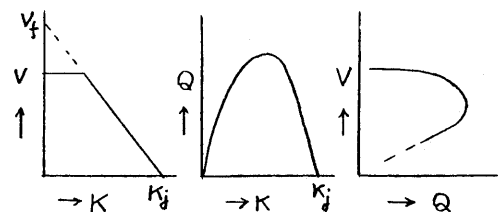


図 2.1 交通流パラメータの関係

(2.3)式で V_f は自由走行速度、 k_j は車が前後密着状態の密度(渋滞状態)を示している。

この式から、現在実用的に用いられているパラメータの相互関係は図2.1のようになっている。

2.2 街路における交通流

われわれが日常生活する都市内街路においては、交通流は至る所で止められ、交差、合分流が行われるので、一様な流れの交通流理論は成立しない。

そこで、従来から、交通量、速度以外に時間・空間オキュパンシーなどのパラメータを定義して、これを計測し利用している⁶⁾。時間オキュパンシーはある地点を通過してゆく車両のその地点での存在時間 t_i を観測時間(T)の間積分して、比をとったもので、

$$\Theta(t) = \sum t_i / T \quad (2.4)$$

空間オキュパンシーはある区間長(L)内の車両長(l_i)を加算し、

$$\Theta(s) = \sum l_i / L \quad (2.5)$$

で示される。いずれも混雑状況を表現しようとしたパラメータである。

筆者らは、これらのパラメータ以外に、混雑時の情報として、存在車両のエントロピーを計量する方法を提案している⁷⁾。

これは、区間(L)内に存在する車両相互の間隔(l_i)が確率現象であることに着目し、一瞬の区間画像から、

$$H = -\sum (l_i/L) \log_2 (l_i/L) \text{ ビット} \quad (2.6)$$

を計測しようとするものである。

この平均情報量(エントロピー)によれば、都市内交通を、瞬間値として計測しても実態を表現することができる。エントロピーと従来のパラメータとの関係を例示すれば、図2.2のごとくなる。

空間画像情報計測として、車両個々の速度の空間分布を空間平均速度の形で計算する方法も提案されている⁸⁾。

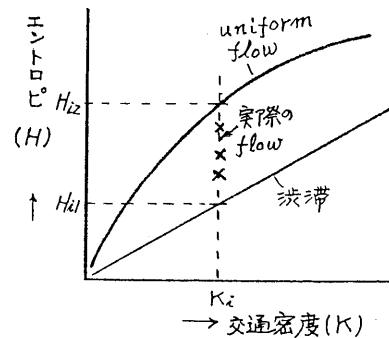


図 2.2 エントロピーと従来のパラメータ

3. 交通管制の現状

3.1 単独交差点の信号制御

単独交差点は、いわゆる待ち行列モデルの典型的な例である。

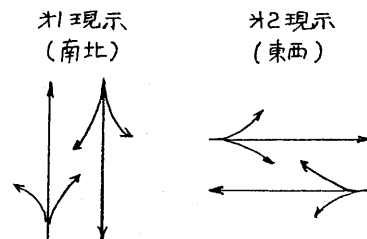


図 3.1 交差点の交通流時分割

図3.1に示すごとく、1 現示目を南北、2 現示目を東西交通とすれば、南北方向の交通容量(単位時間内の可能交通容量: P_{ns})と同方向の需要交通量(Q_{ns})の比をとって、飽和度 ρ_{ns} ($\rho_{ns} = Q_{ns}/P_{ns}$)を計算し、東西方向も同様に ρ_{ow} を算出し、

$$\rho = \rho_{ns} + \rho_{ow} \quad (3.1)$$

(3.1)式を求め、信号の最小サイクル長 C_{min} を計算する⁹⁾。

$$C_{min} = A / (1 - \rho) \quad (3.2)$$

(3.2)式で、常数 A は信号切替えによる"むだ時間"で黄時間、全赤時間等の総和(秒)である。

東西、南北の青時間は($C_{min} - A$)を ρ_{ns} と ρ_{ow} で分割する。現実の交通

はランダム流であるから、青時間の利用効率が減少するので信号周期は

$$C = 2A / (1 - \rho) \quad (3.3)$$

$$\text{または、} C = (1.5A + 0.5) / (1 - \rho) \quad (3.4)$$

などが使われる^{10), 11)}。

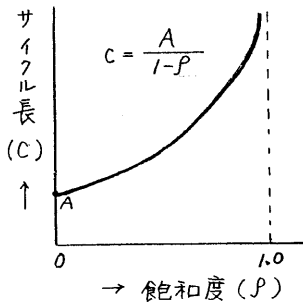


図 3.2 信号サイクル長

(3.2)、(3.3)式はいずれも $\rho < 1$ において成立するが、これを図示すると図 3.2 のようになる。実際の交通流では $\rho \geq 1$ の場合もあり、待ち行列が形成されて、いわゆる渋滞となる。

以上の制御は、交通情報処理としては比較的簡単で、交通量センサーからの入力情報を 10 数分ごとに計算して、リアルタイム制御するか、予め統計的に設定した時刻と交通量の関係式を入力して、いわゆるタイムプログラム制御するか、どちらかである。

3. 2 交通管制システム

交通管制システムは交通情報収集、信号制御、交通管理のサブシステムから構成されている。

わが国の交通情報サブシステムは、東京オリンピック対策の一環として、昭和 38 年に東京、大阪に設置された S A T I C (Semi Automatic Traffic Information & Control) がはじめてである¹²⁾。このシステムは、交通渋滞状況を 5 ランクに分けた押ボタン式情報設定器を市内に配置し、電話回線で中央に接続し、中央の大型表示盤に交通情報を表示した。

1960 年代には、世界各国で交通管制システムの研究設置がはじまり、わが国でも 1966 年に銀座広域実験が開始された。つづいて 1970 年には本格的な東京広域交通管制システムの実験が行われ、1971 年から警察庁の 5 ケ年計画による交通管制センタースタートプロジェクトがスタートした。

表 3.1 は世界各都市の交通管制システムを比較したもので、設置年とスタート時の管制規模および使用コンピュータを示した¹³⁾。

わが国の交通管制システムは図 3.3 のようになっている。

中央装置は、主要都市（主として県庁所在地）の交通管制センターの中に設置されており、電子計算機システム・通信制御装置・交通情報地図盤・信号監視盤・管制卓等からなっている。

電子計算機は、大規模システムでは階層構成になっており、上位系は現用と待機予備の 2 重系、下位系は信号制御と通信制御を受け持って複数台で地域を分担している。

端末の信号交差点と中央の間は、N T T の電話回線を専用線として使用しており、中央からの指令は 100bit/sec、端末からの情報は 600bit/sec で双方向 T D M 通信になっている。このような交通管制システムは、大規模・標準規模を合わせて、現時点で 74 システムがあり約 3 万基の信号機をコンピュータで直接制御している。

管制センターに準備されているソフトウェアは、50 ミリ秒ごとの交通情報処理、1 秒ごとの信号制御・確認などのリアルタイムジョブから、戦略的ジョブまで含めて約 40 のシステムをもっており、他にオフライン系として 10 数種類がある。

表 3.1 各都市の交通管制システム（開設時）

都市名	当初制御 交差奥数	収集 情報数	制御コンピュータ	広域 信号制御方式	設置年度	備考
トロント	500	600	UNIVAC 1107, 418	制御パターン選択	1963	階層
サンホセ	59	400	IBM 1710	制御パターン形成	1965	
バルタモア	860	1000	専用機	〃 選択	1965	
東京	(36) 109	(8) 196	(MADIC 600) NEAC-3100	(〃 選択) 〃 形成	(1966) 1970	()当初
ミュンヘン	136	157	SIEMENS 4004	〃 選択	1970	
西ロンドン	100	900	PLESSEY (XL-9) x 2	(〃 選択) 〃 形成	(1967) 1969	()当初
グラスゴー	80	240	MYRIAD-1	〃 選択	1967	
ニューヨーク	433	200	IBM 360-50 (IBM-1800) x 2	〃 選択	1969	階層

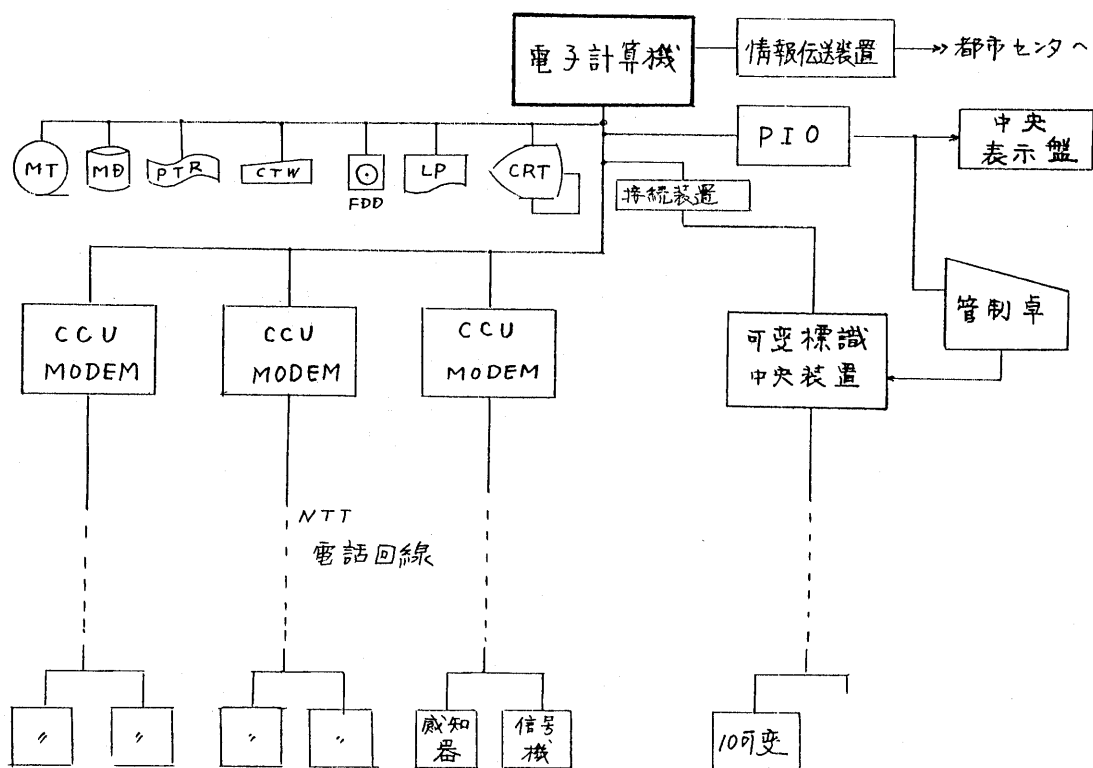


図 3.3 現用交通管制システム構成（標準規模）

4. 交通管制システムの動向

4. 1 現システムに対する評価

わが国は、いまや4,500万台の自動車と、これを動かす運転免許所有者が5,000万人であるといわれている。この数字はオリンピック前昭和35年の自動車350万台と比べると10倍以上の伸びになっている。

交通事故による死亡者は、表4.1のような統計が発表されているが、昭和45年以降信号機の増設や交通管制の高度化その他の努力で順次減少し、10年間で半減することができた。特に自動車1万台あたりの死者数は、昭和35年に35人であったものが、59年には2人と大幅な減少を示している¹⁴⁾。

交通制御システムに対する評価と社会環境の変化およびシステムへの具体的な提言を整理すると次のようになる。

[評価]

(1) 交通管制システムの設置による交通改善効果は数10パーセントにのぼり、数回のシステム改良ごとに同様の効果をおさめてきた。

(2) 信号制御のアルゴリズムに対するドライバーの信頼度は設置以前に比べて向上した。

(3) 信号機ハードウェアの信頼度が著しく向上した(M T B F 数万時間)。

(4) 交通流に対応した制御方式により、交通事故が減少した。

(5) 交通整理・交通信号操作の直接要員は極端に減少し、交通取締りや交通事故の処理に当たることができた。

[社会環境の変化]

(1) 交通需要が増加

し、車種構成も複雑になった。

(2) 交通管制に対する機能的要望が増した。例えば、バス等の公共車優先通行、二輪車への信号制御、駐停車施設の確保と案内、交通情報の詳細な案内など。

(3) 交通管制に対する社会的評価基準が多様化し、相反する評価基準も目立つようになってきた。

(4) 電子計算機の急速な進歩と情報メディアの発達。情報通信においては電話線利用の文字・図形情報伝達の普及、異種コンピュータ間を結ぶV A NをはじめI N S、L A Nなどが実用化の段階に到達した。情報収集においても、光センサー・光ケーブルによる画像情報収集・伝送が可能になってきた。

[システムへの具体的提言]

(1) 端末信号の改善……下位計算機の高速度・多情報処理は、インテリジェント端末信号機のマイコンで処理を行い、負荷を分散させる。このことにより信号制御の地域を更に細かく分割し、信号サイクルや隣接信号との結合を小地域ごとに実施する。また信号制御の基本に立ち返り、Poisson Flowでの信

表4.1 自動車事故の推移

昭和	件数 (万件)	死者 (千人)	傷者 (千人)	人口 (千万人)	自動車数(除 2輪) (万台)	車1万台当りの 死者数(人)
元	42	2	30	6	4	530
5	63	2.5	43	6.3	11	238
10	66	3.5	49	6.8	18	201
15	31	3.2	26	7.1	22	149
20	0.8	3.3	9	7.2	14	233
25	33	4.2	25	8.3	39	108
30	94	6.3	76	8.9	146	43
35	450	12.0	289	9.3	330	36
40	567	12.4	425	9.8	790	16
45	718	16.7	981	10.3	1859	9
50	473	10.7	622	11.1	2893	3.7
55	477	8.7	598	11.7	3894	2.2
(59)	(519)	(9.3)	(644)	(12.0)	(4642)	(2)
60	552	9.2	—	—	—	—

号サイクルではなく、系統制御、面制御下での最適サイクル長を実現したい。このため、画像処理手法を利用した渋滞の計測を実現する¹⁵⁾。

(2) 各交差点の交通容量を1%増加させる制御を行えば、旅行時間が40%も短縮する実験結果があるので、この具体的な方策を考える¹⁶⁾。

(3) システムに、自己評価による学習機能をもたせ制御プログラムの自動改善を行わせる¹⁷⁾。

(4) 異種混合交通の融合へ、即ち歩行者・自転車・二輪車等を無視することなくこれを融合して、システムの評価対象とする¹⁸⁾。

(5) 路側ラジオ放送を実施して、詳細な交通情報を提供する。更に進んで、路側通信によって双方向情報授受を行う。

4.2 分散処理システムの構築

4.2.1 システム計画

日本交通管理技術協会は、新しい交通管制システムの構築について、数年間の研究を行ってきた¹⁹⁾。この研究では、社会システムに必須の条件である「多様なニーズ」の整理から始まった。4.1項で述べた評価基準の変更や具体的提言を20年を経過した現システムの基本構成で実現することは不可能なことが判っている。

現システムは、当初予定した信号制御アルゴリズムで、約500交差点の制御容量をもっているが、現実には80%以上の負荷率で運用されている管制システムは全国の40%におよんでいる。したがって、新機能要望に沿うためには、現システムを根本的に見直す必要がある。

現システム更新に当たって、分散処理システムの導入が考えられるが、先ず

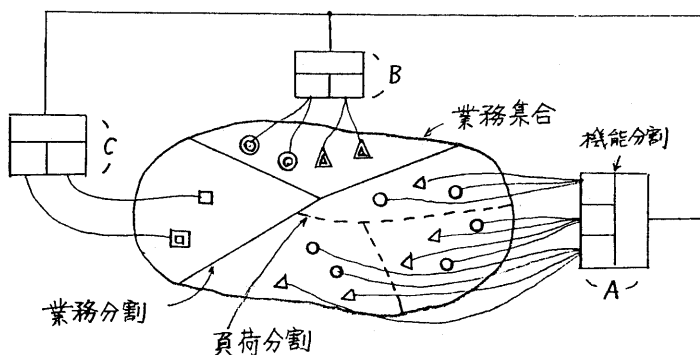


図4.1 分散処理の概念

その概念を整理しておく必要がある。

分散処理の概念は、次のように定義されている。即ち、「システム資源を論理的・物理的に分割し、それぞれ一つまたは複数のまとまった業務処理を分担させ、通信手段によって処理データを交信しながら相互に関連して業務を処理する」ことである。

図4.1は対象システムを業務別に分割して処理を受持ち、更に業務内の機能を2つに分割し、また分割した1つの機能を複数で負荷分散する概念を示している。

この図に業務内容として制御・管理・情報を当てはめ、負荷分散を地域分散で行うと表4.2のごとくなる。

表4.2 分散処理マトリクス

業務分散	機能分散		負荷分散
	低頻度	高頻度	
制御	A	a ₁	地域1 " 2 " 3
		a ₂	
		a ₃	
管理	オフライン	オンライン	全地域
	B	bm bd	
情報	データ交換	提供	全地域
	C	cf cb cp	

表 4.3 業務と機能の分類

業務	機能大分類
運用管理	データベース管理(路面、気象、事故、旅行時間、交通パラメータ) シミュレーション(TRANSYT etc) 中央表示(グラフィック・ディスプレイ) 入カターミナル(管制官・日本語対話 etc) 交通パトロール支援、他機通信 県間通信
交通管制	交通情報収集分析(Q.V. Occ. K. 渋滞度、走行時間、パーキング利用率) 信号端末制御(指令、確認、オフセット追従、ステータス変更) 広域信号制御(モード、エリア、トリ、サイクル、スプリット オフセット) 特別制御(バス優先、事故抑制、過飽和) 交通予測、行列計測
情報提供	自動電話応答 フリーパターン端末表示、10可変端末表示、3可変端末表示 路側通信、ラジオ放送(音声自動編集) パーキング案内表示板

このような分散処理が可能になった背景として、

- ① 小型コンピュータの使用がコストパフォーマンスの点で有利となった。
- ② データ通信技術の向上とプロトコルの統一。
- ③ マン・マシンインターフェース技術が向上し、運用者が使い易くなった。
- ④ コンピュータシステムの信頼性向上、保守の容易さなどが考えられる。

4.2.3 外部システム設計

前項で検討した分散処理の表4.2に交通管制の機能を当てはめると、表4.3のごとくなる。

さて、これらの業務を処理する電子計算機システムは、ネットワークの研究が進み、情報通信システムの開発とともに階層型、星型、完全結合型などのシステムが提案されている。

以上の結果から、交通管制を完全結合型分散処理システムにすることが検討された。このシステム構成の大枠を

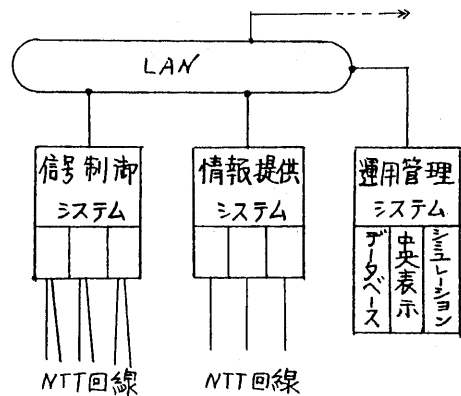


図4.2 交通管制の完全結合型システム

図4.2に示す。

大規模な交通管制システムについては、業務分散、機能分散の他に負荷分散もはかり、図4.3の標準システム構成が提案された。

このシステムでは、制御系の業務が時間的にも数量的にも負荷が大きいので、機能的に分散を計り、次に負荷の分散をはかっている。即ち、処理インターバルが数10ミリ秒から1秒程度

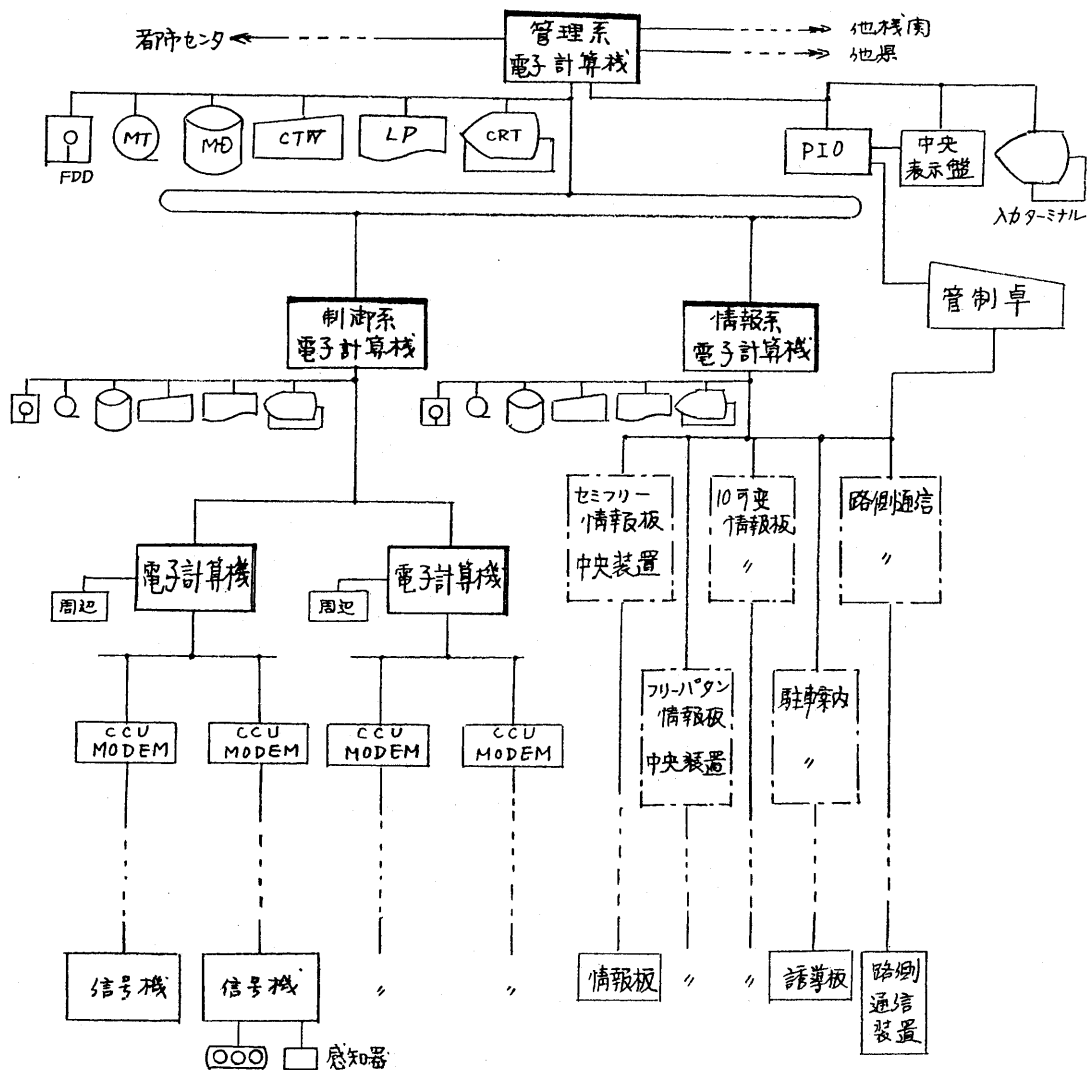


図 4.3 交通管制標準システム構成案(大規模)

のものを下位系に、その他を上位系とした階層構成とし、更に下位系は対象地域の分割による負荷分散構成とした。また必要に応じてインテリジェント信号端末も付加することができる。情報系および管理系も、それぞれ機能分散構成とした。

図 4.3 で提案されたシステムを具体的に実現するためには、要素となる制御手法、情報収集・提供手法、マン・マシン機能、システムのシミュレーショ

ン、全国でのケーススタディなどが行われなければならない。

制御アルゴリズムの改良や情報収集・提供手法等については A T I C S (Automobile Traffic Information and Control System) プロジェクトで研究が行われ^{20) 21) 22)}、また交通情報提供のための音声自動編集システムの研究も別プロジェクトで実施された²³⁾。

新しい交通管制システムはシステム計画の方針と、これら要素技術の組合

せにより構築が可能となる。

5. おわりに

わが国の交通管制システムは研究開発当初から25年を経過した。この間に国力は高まり、そして電子計算機のハードウェアおよび情報処理技術の発展であらゆる分野に情報システムが構築運用されてきた。

そこで、我々の日常生活、社会活動、産業活動の重要な要素であるモビリティを確保するため、情報処理技術をこの分野にフルに活用することの必要性をあらためて痛感した次第である。

参考文献

- 1) 交通工学統計, 交通工学, Vol.21, No.4およびNo.5, 1986
- 2) 鈴木幹雄; 交通管制システムの技術開発の現状について, 交通工学, Vol.20, 増刊号, 1985
- 3) Pipes L. A; An Operational Analysis of Traffic Dynamics, J. Appl. Phys. 24, 274/281, 1953
- 4) Gazis D.C, Harman R., Potts R.B; Car-following Theory of Steady State Traffic Flows, O.R.7, No.4, 1959
- 5) 星埜和; 交通流に関する研究, 自動車技術, Vol.17, No.4, 1968
- 6) 定方希夫; 広域交通制御システム(第II報), 交通情報の検出と伝送, NTR, 13巻2号, (昭42)
- 7) 岩崎, 定方; エントロピーと交通密度による自動車交通流の評価について, OR学会春季研究発表アブストラクト集, 1987
- 8) 高羽禎雄委員長; 画像処理手法による交通流計測技術研究会報告, 昭58
- 9) Wardrop J.G; Some Theoretical Analysis of Road Traffic Research, Road Engi. Division Meeting 24, 1952
- 10) 定方希夫; 電子計算機による信号交差点の解析, 経営科学(OR学会), Vol.7, No.2, 1963
- 11) Webster F.V; Traffic Signal Setting, Road Research Technical Paper, No39, 1958
- 12) 岡本博之; 街路網における交通制御システムに関する研究, 交通管制施設協会, 昭47
- 13) 交通工学ハンドブック, P425, 交通工学研究会, 昭48
- 14) 交通工学統計, 交通工学, Vol.21, No.1, 1986
- 15) 越正毅; 交通信号の今後の方向, 交通工学, Vol.15, No.2, 1980および交通工学, Vol.18, 増刊号, 1983
- 16) 池之上慶一郎; 交通制御と交通工学, 交通工学, Vol.18, 増刊号, 1983
- 17) 伊藤呉太郎; 交通安全施設整備にかかわって, 同上
- 18) 星埜和; 交通工学の発展と研究会の寄与, 同上
- 19) 日本交通管理技術協会; 交通管制システムに分散処理技術を導入するための調査研究報告書, 昭61(警察庁委託, 未公開)
- 20) 津沢正巳; 自動車交通情報化システムについて, 自動車工業, Vol.17, 1983
- 21) 宮迫庸夫, 宮内勝; 車両センサーの研究開発状況, 交通工学, Vol.20, No.4, 5, 1985
- 22) 宮迫庸夫, 大塚俊夫; 旅行速度計測装置の開発状況, 交通工学, Vol.21, No.6, 1986
- 23) 日本交通管理技術協会; 交通情報自動編集システムを開発するための調査研究報告書(II), 昭60(警察庁委託, 未公開)