

広域信号制御の現状

越 正 毅*

1. はじめに

二つの交通信号の間隔がある程度をこえて短くなると、それらの信号を単独に制御したのでは、信号待ちによる時間損失、停止発進による燃料損失、運転者の焦立ちによる混乱や事故などの好ましくない現象が生じてくる。信号間隔が極端に短い場合には、交通容量のいちじるしい低下をもたらす。信号間隔の密な幹線道路に沿って、信号を線的に系統制御する必要性はこのような理由から生じてきたものである。都市中心部などでは、さらに線的な系統制御をすべき路線同志が密に交わり合っているのです。それらの路線を個々に系統制御することが困難となり、路線網としての系統制御一面制御、または広域制御一を考慮せざるを得なくなってくる。交通信号の面制御という概念は、したがって特に目新しいものではなく、たとえばワシントン市では 1947 年にすでに都心部の 400 個の信号を一つの主制御機のもとで集中制御することを始めたし¹⁾、わが国においても、東京・銀座～京橋地区には 1960 年頃から、同時式を基調とした定周期式 3 プログラム手動選択方式の面制御システムが実施されていたのである。

近年になって、広域信号制御の問題がにわかに脚光を浴び、交通工学の分野の一つの大きなトピックとして登場したのは、つぎのような事情があるためである。

すなわち、第一に都市部における道路交通の急激な膨張に対して、既存街路網を最大限に効率的に利用するという要求が高まってきたこと、第二に最近のエレクトロニクスの分野におけるめざましい進歩、特に電子計算機の普及にともなって広域信号制御の前途が非常に希望的になってきたこと、第三に近年世界中の大都市、ときには中小都市までもが、高度に電子化された広域信号システムの採用に踏み切っており、ある推定¹⁴⁾によれば今後 10 年ほどの間に世界中の約 1 100 の都市がこのように電子化された広域制御システムを採用することになるといわれるほどに、広域信号制御というもの交通制御の一般的な手法となりつつあること、などである。

以上のようなわけで、少なくとも最近の話題としての

広域信号制御をいう場合には、暗に電子的情報処理装置を中央機器として有し、交通感知器からの刻々の交通情報を自動的に処理しながら地域内の信号を制御する、いわゆる自動交通感知制御を意味することが多い。

広域信号制御のための技術としては、機器を扱かう電子工学、通信工学と制御手法、制御原理を扱かう交通工学との二つの分野が関係するが、その中で特に交通工学的なソフトウェアの研究はまだ緒についたばかりであり、今後の研究開発にまたなければならない点が多い。

2. 広域信号制御の目的と効果

広域信号制御の目的は、まず第一に遅れの減少である。イギリス道路研究所の推定によれば、遅れを 10% 減少することができれば、一停止線当り 1 000 万円の投資をしても年率 10% の見返りがあると計算されている²⁾。第二の目的は交通容量の増加であるが、これは具体的には、飽和交差点における精巧な交通感知制御と、競合路線間への適切な交通量配分を行なって過飽和交差点を作らないように交通誘導を行なうこととの二つの手段のどちらか、または両方を意味するものであり、結局は広い意味での遅れの減少に含めて考えてもよい。

広域信号制御の効果としては、本来の目的である遅れの減少と交通容量の増加に加えて交通事故の減少を報告

表-1 広域信号制御の効果

都市名	トロント ¹⁾	サンホセ ^{2), 11)}	ロンドン ³⁾	シドニー ⁴⁾	バルチモア ⁵⁾	東京・銀座 ⁶⁾
遅れ	朝のラッシュで平均67%の平均速度増加および69%の停止回数減少平均約10%の遅れ減少	少制御手法によって実験では9~14%の遅れ減少	ある路線の実験では8%の旅行時間の減少	30%の旅行時間の減少	速度15%の増加	走行速度14%増、投資額5 000万円に対して年間時間便益1億2 000万円
交通容量	1日平均12%増、朝のラッシュで18%の交通量増加に対処				年9%の交通量増加に対処	交通量6.3%増加に対処
事故	制御地域外で5%増加したのに対し、制御地域内では8%の減少、本幹線道路では16%減			全市平均10%の増加に対し制御地域内は全事故52%、人身事故35%の減少	1日25人の死傷事故	

* 正会員 東京大学助教授 生産技術研究所五部

注) * 多分は誇張された数字と考えるべきである。

している都市もある。それは、交通流が円滑になり、停止や待ちが減少し、運転者の焦立ちや疲労が軽減されることによる副次的な効果と考えることができる。

表一は、これまでに公表された広域信号制御の効果を示すものである。これらの数字は、効果の比較対象となる事前の状態がまちまちであるので、一率に論ずることはできない。また往々にして、防衛的なまたはPR的な意図のもとに、誇張した数字が公表されがちであるので注意を要する。わが国における東京・銀座地区での経験によれば、電子的な広域系統制御によって得られる遅れの減少効果は、せいぜい10~15%程度というのが現水準のソフトウェアでの限度であると推測される。

しかし、今後ソフトウェアの研究が進むにつれて、より大きな効果を得ることは十分期待できることである。

3. 広域信号制御の手法

現在世界の諸都市で採用されている広域信号制御の制御手法は、プログラム選択方式とプログラム形式方式との二つに大きく分類することができる。

(1) プログラム選択方式

プログラム選択方式とは、制御対象地域内に予想される交通状況をあらかじめ幾通りかのパターンに分類し、それぞれの交通状況パターンに対応した制御プログラムをあらかじめ作成して置き、これらの制御プログラムのうちの適当と判断されるものを選択して実際の制御に適用するという方式である。あらかじめ用意されているプログラムは、主制御機および単位制御機に設定されている。プログラムの選択を行なう方式としてさらに三通りの方法がある。

第一は、あらかじめ設定された時間表にしたがって制御プログラムの切換えを行なうもので、定時式と呼ばれる方式である。この方式の多くはウィークリースケジュール式であり、何曜日の何時から何時まではサイクル何秒、スプリットとオフセットのパターンはどうといった形で設定されるので、交通状況の時間変動、週間変動がかなり定常的であるという前提を必要とする。しかし、交通情報を時々刻々検出するための交通感知器、交通情報の処理装置および情報伝送網を必要としないので、機器としてはもっとも簡単であり、安価で故障が少ないという利点がある。

第二は、制御地域内の主要地点に設置したテレビカメラを通じて、中央の制御室で人間が地域内の交通状況を観察し、あらかじめ設定してある制御プログラムの中から最適と判断されるものを選択して指令ボタンを押す方式である。この方式の特徴は、制御系の中に人間がオン

ライン制御機として組み入れられていることであり、質的にはかなり複雑な判断が可能であるが、量的な限界のために制御地域の大きさとテレビカメラの数とに限界がある。シドニー¹⁸⁾では91個の信号の集中制御をこの方式によって実施しており15台のテレビカメラを用いている。ミュンヘンにおいてもこの方式が採用されていたが、あまりよい評価は得られなかった模様である。ミュンヘンの新しい計画¹⁹⁾では、デジタル計算機(Elliott MCS 920)を導入した自動交通感応制御方式が採用される。

第三は、制御地域内のサンプリング地点に設けられた交通感知器からの交通情報を、中央のデータ処理装置に送り、最適プログラムを自動的に選択させる方式で、自動交通感応系統制御の代表的方式である。この方式による場合には、サンプリング地点の選定と、交通情報の処理方法およびプログラム選択基準の決定とが人間側のむずかしい仕事となる。

第一から第三のいずれの方式による場合でも、プログラム選択方式においては、交通状況のパターン分類と、各パターンに応じた制御プログラムの作成とは交通技術者の行なうべき重要で困難な作業であり、そのために事前におけるかなり詳細な交通調査が必要である。また、運用開始後の交通状況の変化に対応するためにも、定期的な交通調査とプログラムの変更とが必要となる。

(2) プログラム形成方式

プログラム形成方式においては、交通状況を幾通りかの有限個のパターンにあらかじめ分類するということはせず、時々刻々の交通情報からその時点で最適の制御プログラムを作成して制御を行なう。したがって主制御機として用いられる計算機にはかなり大容量のものが必要であり、交通感知器の数も多く、伝送網も大規模となる。

この方式には、プログラム形成の基準、アルゴリズム、交通感知技術等、多くの未解決の問題が残されているが、今後の広域信号制御の発展は、恐らくこの方式に沿ってなされることになると推測される。

現在では、サンホゼにおけるシステムがこのプログラム形成方式を採用している唯一のものである。しかしサンホゼのシステムにおいても、もっとも問題となるプログラム形成の手法については現在まだ実験の段階であり、いくつかの手法が比較検討されている。

トロントのシステムでは、孤立した交差点または重交通交差点を単独制御する場合に一種のプログラム形成方式によっているが、これは単位制御機の交通感応機能を中央制御機に移したというだけのことであって、ニューヨークのシステムにおける重交通交差点用単位制御機の導入と本質的には同じものである。

4. 広域信号制御の機器

機器は大別して、主制御機、単位制御機、交通感知器、云送網の三つに分けられる。場合によっては経路誘導標識が加わることもある(表-2 参照)。

主制御機には、専用アナログ機器を用いるものと、汎用デジタル計算機を用いるものがある(表-3)。

単位制御機には通常、スプリット(青比率)^{a)}とオフセット^{b)}とが設定され、サイクルは主制御機からの信号によって定まるようになっているものが多い。しかしサンホゼおよびトロントのシステムでは、スプリットおよび

表-2 世界諸都市の広域信号制御例

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
都市名	ニューヘブンの ^{a)}	シドニー ^{b)}	ワシントン ^{c)}	バルチモアの ^{d)}	フィラデルフィアの ^{e)}	ニューヨークの ^{f)}	パースルの ^{g)}	テルアビブ ^{h)}	東京・銀座 ⁱ⁾	トロント ^{j)}	西ロンドン ^{k)}	サンホゼ ^{l)}
信号数	200	95 (容量)	1000 (1963年)	860	320	2700	50	100	35	500 (1966年) (容量1000)	68	59
感知器	—	テレビカメラ 15台(最終)	—	64? 踏板 レーダー	10 踏板 レーダー	3600 超音波 レーダー	? 踏板?	200	8 ループ コイル 4 レーダー 3 コイル 超音波1	1000 (容量2000) ループ コイル	400 ゴム チューブ ループ コイル	400 ループ コイル 370個 踏板式 80個
制御方式	6通りの週間プログラムの手動切換え	マニュアルプログラム選択	定時式プログラム選択	交通感应プログラム選択	交通感应プログラム選択	交通感应プログラム選択	交通感应プログラム選択	交通感应プログラム選択	交通感应プログラム選択	プログラム選択方式にプログラム形成方式を多少加えたもの	交通感应プログラム選択	プログラム形成制御
制御プログラム	C-S-3, O-3	50通りのプログラム C-7	C-S-3, O-3	C-6, S-3, O-4	C-6, S-3, O-5	主制御機が6通りのサイクル、副制御機が10通りのオフセットと3通りのスプリットを有する	9通りのプログラム	14通りのグリーンウェーブのプログラムおよび回路表示プログラム	C-8, S-4, O-8	定時式制御モード 交通感应I型モード 交通感应II型モード の3モード	—	マクロ制御およびマイクロ制御
制御機	—	—	—	PRシステム アナログ計算機	PRシステム アナログ計算機	中央制御機用デジタル計算機 1台 主制御機用アナログ計算機 19台	アナログ情報処理装置	デジタル計算機	デジタル計算機	デジタル計算機	デジタル計算機	デジタル計算機
伝送網	無線 (Motorola Radio Traffic Control System)	専用線	専用線および無線	専用線	専用線および無線	借上電話線	借上電話線	?	専用線	借上電話線	借上電話線	専用線
構成	—	—	—	8分割	7分割	19分割→ 60分割	—	20~30信号をマスターに連結, 全マスターを中央制御機に連結	—	—	—	—
費用(億円)	18	—	—	2.5	3.5	360	—	—	0.5	13.6	—	0.36
特徴	—	—	—	—	—	19地区に分割し各地区ごとに主制御機を置き各主制御器当り1~6台の割合で副制御機を置く	—	経路誘導標識を有する	—	—	単位制御機がすべて交通感应式である経路誘導標識を有する	経路誘導標識を有する
自動計測される制御情報	—	—	—	交通量	交通量	交通量 速度	交通量	交通量	交通量	交通量 行列長 待時間	交通量 速度 行列長	交通量, 速度, キオエバンシー, 待時間
完成年	—	1966	1963	1965	—	1970	—	—	1966	1966	1967	1965

表-3 汎用デジタル計算機を用いた広域信号システムの例

市名	信号数	感知器数	感知器数 信号数	主 制 御 装 置			
				名 称	コアメモリー (K)	磁気ドラム (K)	誘 長 (bits)
トロント	500	1000	2	UNIVAC 1107 UNIVAC 418 I	32 16	750	36 18
ニューヨーク	2700	3600	1.4	UNIVAC 418 II	4~65	—	18
ロンドン	68	400	5.9	PLESSY XL 9	16	83	24
サンホゼ	59	400	6.8	IBM 1620 II	60	—	8
東京・銀座	35	8	0.23	MADIC 600	1	—	18

びオフセットも主制御機の中に組み入れられている。中央制御の故障の場合に備えて、各単位制御機には定周期機能を持たせてあるのが普通である。

交通感知器には、1) ループ コイル、2) ゴム チューブ、3) マグネチック、4) レーダー、5) 超音波、6) 赤外線、など多くの種類がある。1)~3) は埋込式で、4)~6) は頭上式である。精度、耐久性等についての一般的な評価はまだ定まっていないものようであり²⁶⁾、条件によって使い分けされている。

伝送網としては、専用線を敷設する場合と電話線を借り上げる場合、および無線による場合とがある。これらの比較に関しても、情報の量、性質、地域の大きさ等の多くの条件によって適応性が異なり、現在いずれの方式も用いられている(表-2)。

5. 諸都市における実例

表-2 は、世界の諸都市における広域信号制御の例を示したものである。表-2 において費用の項は、在来施設をどの程度まで新システムに利用したかによってかなり異なるので、一率の比較はできない。

ニューヘブンのシステム³⁾は手動プログラム選択方式の一例であり、シドニーのもの¹⁸⁾はテレビによる交通観察を基本にした手動プログラム選択の例である。

ワシントンのシステム³⁾はタイマーを用いた定時式自動プログラム選択方式の好例である(ワシントンでは最近電子計算機による交通感応制御を計画中と聞かすが、詳細は明らかでない)。表-2 に掲げたその他の諸都市においては、交通感知器と情報処理装置とを備えた自動交通感応方式が採用されている。

情報処理装置としてアナログ機器を有するシステムとしては、バルチモア³⁾、フィラデルフィア⁷⁾、ニューヨーク⁶⁾、およびバースル¹¹⁾のものがある。このうち、バルチモアとフィラデルフィアのシステムは、PRシステム³⁾と呼ばれる格子状街路網の制御を目的として開発されたものである。PRシステムの制御原理は、かなり思い切って単純化した交通状況パターンに基づいており、交差する2方向のうち交通量の多い方向に従ってサイクル長を定め、交通量の多い方向を優先するようにオフセットとスプリットを選ぶというもので、その基本的な考え方は東京・銀座のシステムにも踏襲されている。

ニューヨークのシステムは制御原理については上述のPRシステムとほぼ同様であるが、このシステムのもっとも顕著な特徴はマスター・サブマスター方式⁹⁾と呼ばれる独特なシステム分割の方法である。合計2700個の信号に対して19基の主制御機(アナログ)があり、それぞれの下に1~6基の割合で副制御機(アナログ)が

置かれている。サイクル長は主制御機により、オフセットおよびスプリットは副制御機によって決定される。中央制御機(デジタル計算機)は、19基の主制御機および約60基の副制御機の制御状態を監視し、必要に応じて手動制御を割り込ませて、主および副制御機に指令を与えることができる。ニューヨークシステムのもう一つの特徴は、重交通交差点の制御用として、volume-densityタイプの地点感応制御機を有していることである。これらの一連の特徴的な構成によって、交通状況の地域的な特性に追従した制御ができるように考慮されている。このような配慮は、制御地域が広くなるにつれて重要となってくる。

テルアビブ¹¹⁾と銀座のシステム⁹⁾は、デジタル計算機を用いたプログラム選択方式のもっとも簡単なものの例である。東京・銀座のシステムでは、東西南北各方向に対して2個ずつ設置された計8個の交通感知器からの10分間交通量を用い、毎10分ごとに過去30分間の交通量の移動平均値を求めて制御パラメーターを選択する。サイクル長は8個の交通量の最大値にしたがって定められ、スプリットは東西行交通量の最大値と南北行交通量の最大値との比によって定められる。オフセットは、各方向の二つずつの交通量のいずれか大きな方を取り出して、東行と西行との比、または南行と北行との比によって定められる。サイクル長は8通り、スプリットは4通り、オフセットパターンは8通りの中からいずれか一つが選択される。東京・銀座のシステムには、また重交通交差点の制御用として系統全感応単位制御機が用いられているが、その効はあまり大きくないようである。

トロントのシステムは¹⁾、大型汎用電子計算機を利用した初めての試みであり、世界の注目を集めたシステムである。1957年頃から着手され、現在でもまだ拡張段階にある。制御方式としては、系統制御に対しては定時式、または交通感応式のプログラム選択方式を、孤立した交差点または重交通交差点の地点制御にはプログラム形成方式を採用するという、二段がまえの手法をとっているが、本質的にはプログラム選択方式とみなされる。

西ロンドンのシステムは^{1),10)}、グラスゴーのシステム(約80信号の集中制御)⁸⁾とともに、イギリスにおいて実験的に採用されたシステムである。イギリスでは、その特殊事情として、すでに単位制御機が交通感応型となっており、その上隣接信号は系統化されているので、中央制御機による集中制御の導入の効果について否定的な意見が多かったが、近年の世界の諸都市における情勢に刺激されて実験システムを作ることになったものである²⁾。西ロンドンのシステムにおいては、集中制御の方が有利であると判断される場合のみ中央制御機の指令を実行し、その他の場合には従来通り的一部系統化され

た全感応単独制御を行なうようになっているのが特徴である²⁾。サンホゼのシステムは^{1),11),12)}、現在唯一のプログラム形成方式によるシステムである。系統制御のオフセットパターン¹⁾の形成と、各交差点のスプリット決定との二つのプログラム形成に分割して計算と指令とを行なうようになっている。前者をマクロな制御、後者をマイクロな制御と呼んでいる。このシステムにおいても、ソフトウェアはまだ完成されておらず、さまざまなモデルや理論によるプログラム形成手法の比較検討を行なっている段階である。

6. 最適制御解

プログラム選択方式における最適制御解とは、ある想定された交通状況に対応した最適制御パラメーター（サイクル、スプリット、オフセット）の組み合わせという形で与えられるが、プログラム形成方式における最適制御解は、刻々のプログラム形成のための方法論ないしはアルゴリズムという形をとる。後者については現在サンホゼにおける実験例があるのみで、その詳細な内容も報告されていないのでここでは省略する。

プログラム選択方式における制御パラメーターの最適な組合せを求める問題については、これまで多くの研究が行なわれている。最適化の評価基準としては、従来の通過帯幅の他に総遅れ（または総走行所要時間）、あるいは総停止回数が用いられている。サイクル、スプリット、オフセットの三つのパラメーターは通常互いに独立に定められる。

(1) サイクル

サイクル長は、地域内のもっとも飽和度の高い交差点の所要最小値に選ぶ方法が一般的である。

交差点の交通容量は、サイクル長の実用範囲内においては、サイクル長の増加とともに増し、遅れ量もサイクル長にほぼ比例して増すという関係がある²⁰⁾ことから、この方法は広く受け入れられている。信号間隔の分布状態によっては、上のようにして求められる値以外に最適サイクル長が存在する可能性があるが^{20),21)}、通過帯を評価基準として用いる場合以外には計算法が開発されていないために、ほとんど考慮されない。

(2) スプリット

各交差点のスプリット（青比率）は、もっぱら各交差点ごとに独立に定められるのが従来の一般的な方法である。最適スプリットとしては、各フェーズ⁴⁾の飽和度が等しくなるような値が用いられることが多い^{1),15)}。しかし、異常な混雑時には一連の信号のスプリットをすべて

50～50%にするという方法は従来からとられており^{4),6)}、東京・銀座システムにおける経験によっても、異常ではなくてもある程度以上の混雑状態においてはスプリットの系統的な制御が必要であるとされている。このような場合の交通状況に応じたスプリットの系統制御の方法論はまだ確立されておらず、しかもこの問題を少し掘り下げて行くと、ただちにスプリットとオフセットとを含むプログラム形成制御の分野に踏み込まざるを得ないので、本質的にかなりむずかしい問題を含んでいる。

(3) オフセット

オフセットは、系統制御特有の制御パラメーターであり、広域信号制御プログラムの最適解に関する研究も、そのほとんどはこの最適オフセット解を探求したものである。系統制御オフセットパターンのもっとも古典的なものは、通過帯幅を評価基準にしたパターンである。通過帯とは、グリーンウェーブ⁶⁾とも呼ばれ、ある系統速度を想定したときの時間一距離平面上で青信号時間を通る帯として幾何学的に定義されるものである。この考え方は、路線系統を対象として古くから存在するもので、面制御の場合を含めて今日でも、まだかなり多く採用されている。

路線系統における通過帯幅を最大にするようなオフセットとサイクル長とは、数学的に比較的容易に求めることができるが²⁰⁾、閉ループを多く含む面の制御に適用することには数学的および実用上の困難があり、また、何よりも実際の交通現象（遅れ、停止など）を考慮していないという最大の欠点のために、新しい広域制御システムにはこの通過帯という考え方は用いられていない。

交通の遅れ、停止回数または両者の加重和^{23),4)}を評価基準とするオフセットパターンの採用は、現在の新しい大規模システムにおいて共通したものである。しかしながら、遅れまたは停止回数を最小にするようなオフセットパターンを求めることは、信号群による停止発進や右左折、合分流をくりかえす交通流の数学的表現がほとんど不可能であるために、非常に困難である。そのため、かなり単純化された交通流モデルを用いて、計算またはシミュレーションによって最適解を求める手法が一般に用いられている。

最適解探索に用いられる交通流モデルとしては、1) 各信号への到着交通波形を一定のある形に仮定する定形波モデルと^{23),24)}、2) そのような仮定を設けない不定形波モデル²³⁾とがある。定形波モデルの中には、さらに、飽和流矩形波モデル²³⁾、不飽和流矩形波モデル、三角波モデル²⁴⁾などがある。不定形波モデルは定形波モデルより実現象との相似は良好であるが、計算が複雑となり電子計算機によらざるを得ない。

面制御特有の問題である閉ループでのオフセット閉合条件の取り扱いかいについても、大きく分けて二つの方法がある。一つは、閉ループから重要でないアークを抜き取って樹枝状の道路網 (tree) に変換し、tree としての最適解を求めるという手法であり^{1), 24)}、もう一つは、D P または逐次近似計算によって閉ループを持つネットワークのまま最適解を得ようとするものである^{1), 23)}。前者は計算が簡単で、オンライン・リアルタイム制御を念頭に置いた場合には有利であるが、系統から除外されたアークが無視されるという点に問題が残される。後者の手法による場合には計算時間が長くなり、リアルタイム制御には応用できそうにない。

7. おわりに

高速デジタル計算機を駆使する広域信号制御の交通工学的技術は、いまやかけ出しの段階であり、ことに、おそらく最終目的地と思われるプログラム形成方式による制御技術はまったく未開の分野といってもよい。この面における今後の研究によっては、広域信号制御の未来に大きな期待をかけることができるものと考えられる。

しかし、広域信号制御に関しては、ここに詳述しなかった多くの問題も残されており、交通工学上の全般的な技術水準の向上や、行政上の体制改善など、広範な基礎固めをとまらうことが、その成功にとってぜひ必要である。このことは、銀座システムにおける経験に照らしてもっとも重要な問題点と思われるので、特に強調して置く必要があると考える。

用語解説

- a) スプリット：特定のフェーズまたは各フェーズ間の青時間配分比率サイクル長の百分率で表わす。
- b) オフセット：青の始まり（場合によっては中点）の、基準時刻からのずれ。秒またはサイクル長の百分率で表わす。基準時刻としては、ある特定の信号（基準信号）の主フェーズ青始点をとることが多い。
- c) マスター・サブマスター方式：一つのマスターコントローラー（主制御機）の下にいくつかのサブマスターコントローラー（副制御機）を置き、地域特性の大きな制御パラメーター（スプリットおよび場合によってはオフセットも）をサブマスターで制御する方式。サブマスターは、その支配地域のみ交通状況から制御パラメーターを決定できるので、一つのマスターのみで広い地域を画一的に制御する場合に比べて、地域特性に合致した制御が可能となる。
- d) フェーズ：一つまたはそれ以上の表示時間にわたって、同時に通行権が与えられる交通流の組み合わせ、または交通流の細み合わせに通行権を与える信号表示の一つの状態。
- e) グリーンウェーブ：一連の信号を、一群の車が赤で停止することなく通過できるような時間・距離図上における帯。速度指示（トラフィックファンネル）やプレシグナル

を用いる場合についていうことが多い。

- f) 加重和：加重係数を乗じた値の和。たとえば、遅れと停止とを損失金額に換算してその和を求めるというような場合を考えている。

参考文献

- 1) Eith International Study Week in Traffic Engineering Theme V, Area Traffic Control, Barcelona, 1966
- 2) National Report from Great Britain, PIARC 13th Congress, Question V, 1967, Tokyo
- 3) Research on Road Traffic, Road Research Laboratory, London, 1965
- 5) 広域交通信号制御の研究報告書, 交通工学研究会, 昭和41年3月
- 5) Traffic Automation Part. 1 & Part. 2, James J. Fleet, Data and Control Jan. & Feb. 1966
- 6) Wilbur S. Smith: New York City Pioneers an Unique Traffic Signal System, Traffic Engineering & Control, July. 1965
- 7) Richard Overmyer: "Philadelphias Electronic Controlled Signal System, Traffic Engineering & Control, Sept. 1960
- 8) John A. Hiller: Glasgow's Experiment in Area Traffic Control, Traffic Engineering & Control, Dec. 1965 & Jan. 1966
- 9) Computer to Control West London Traffic, Plessey Automation Group, Process Control and Automation, Jan. 1966
- 10) B.M. Cobbe: West London Traffic Scheme, Traffic Engineering & Control, Jan. 1966
- 11) Srn Jose: Traffic Control Project Process Report
- 12) San Jose: Traffic Control Project, Calif.
- 13) 岩本俊輔: 都市の広域交通制御, オートメーションニュース, No. 30
- 14) Ralph Dobriner: Automated Traffic Systems Picking Up Speed, Electronic Design, Jan. 18, 1965
- 15) Stephen B. Gray: More Computers Going into, electronics, Dec. 28, 1962
- 16) Alan J. Miller: A Computer Control System for Traffic Networks, 2nd International Symposium on Theory of Road Traffic Flow, Pais, 1965
- 17) H.A. Codd: "Road traffic control and the use of digital computers, Transactions of The Society of Instrument Technology, June, 1966
- 18) R. A. French: Coordinated Traffic Signalling System-Sydney, Australia", Traffic Quarterly, Jan. 1965
- 19) Alan J. Miller: Computers in the Analysis and Control of Traffic, Traffic Quarterly, Oct. 1965
- 20) 越 正毅: 交通信号の路線系統化について, 道路, 昭和40年5月
- 21) 高田 弘他: 系統信号方式による街路交通制御に関する一考察, 土木学会論文集, No. 124, 昭和40年12月
- 22) 尾崎章太郎他: "交通流の解析, 機械試験所報告第54号, 1965年3月
- 23) 越 正毅: 信号系の最適オフセットパターン近似解, 生産研究, 昭和41年3月, 研究速報
- 24) 猪瀬 博他: 一連の交差点における交通流の待合せおよび信号機制御, 東大工学部総合試験所年報第24巻第1号 (1965)
- 25) Delays at Traffic Signals: Fixed-Time Signals, Road Research Laboratory, Research Note 2374
- 26) 井上広胤: 車両感知器とその評価, 交通工学, 昭和42年5月 (1967.6.30・受付)