

交通信号制御の最適化について

The Optimum Control of Traffic Signal

越 正 毅*

交通信号は、だれでも毎日出会うものであって、だれでもが何らかのご意見やご批判をお持ちの対象である。しかし、このきわめて日常的で何の変哲もなさそうな交通信号も、その制御の最適化という面から眺めると、なかなか興味ある研究対象である。

ここでは、専門外の読者を特に意識して、交通信号制御の最適化の考え方と問題点とを述べてみたいと考える次第である。

Everybody comes across traffic signals in his daily life. Everybody has opinion or comment on it.

Traffic signal seems to be a common and ordinary thing, but it presents an interesting subject of study when viewed from the standpoint of its optimum control. I should like to elaborate on the optimum control of the traffic signal and its problems especially for the readers who are not specialized in this field.

1 信号の現示と制御パラメータ

交通信号の制御とは、(1)現示の決定、および(2)制御パラメータ（サイクル長、スプリットおよびオフセット）の決定の2つである。

〔現示〕

現示 (phase) とは、1組の交通流の通行権であるが平たくいえばひとつの青表示である。最も普通の4枝交差点ではFig. 1のような2現示 (two-phase) が用いられる。Fig. 2は右折用現示を加えた4現示の例、Fig. 3は対向右折量が不均衡な場合の右折用現示を持つ4現示の例である。Fig. 4はT形交差の現示の組み方の例であり、単純な2現示から4現示までいくつかの組み方がある。交差点の形や交通の流れ方が複雑になるに従って現示の組み方も複雑になり、現示の数も多くなるのが普通である。

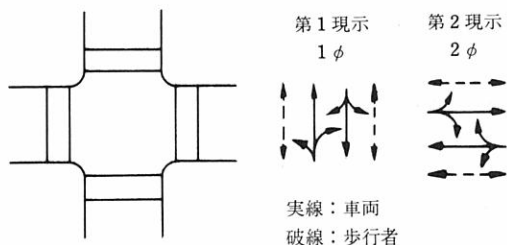


Fig. 1 Two-phase Operation
2 現示制御

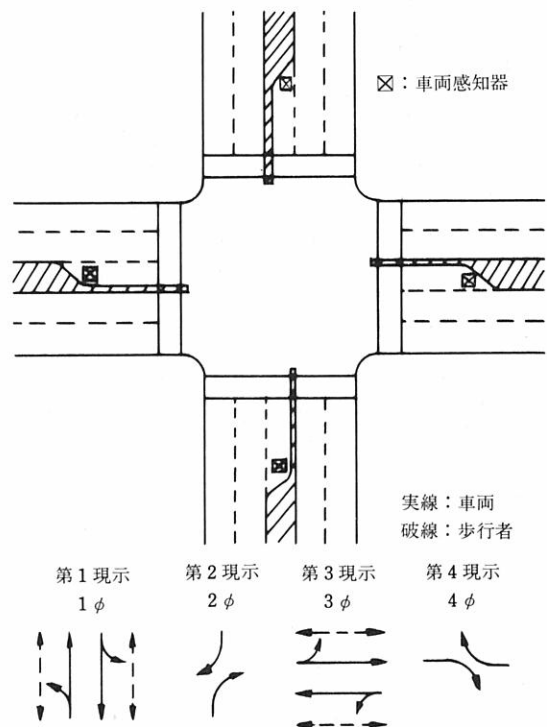


Fig. 2 Four-phase Operation
4 現示制御

*Masaki KOSHI 東京大学生産技術研究所助教授
原稿受付 昭和50年6月5日

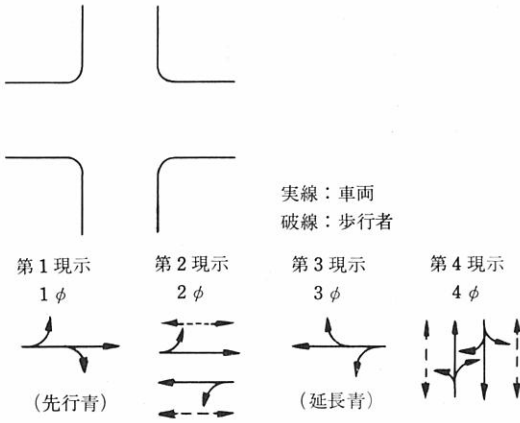


Fig. 3 Four-phase Operation with Advanced and Extended Green
先行青と延長を持った4現示制御

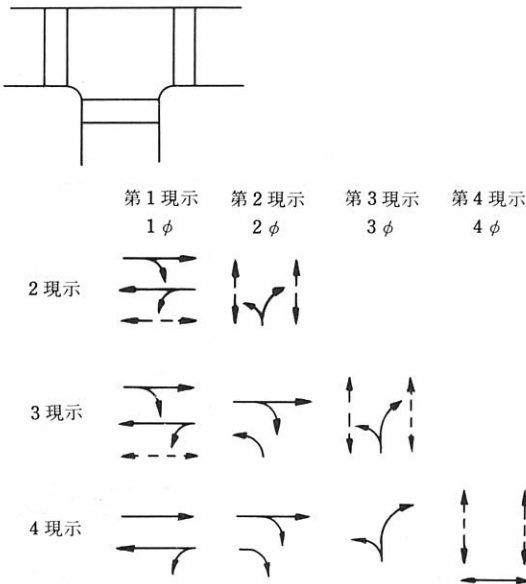


Fig. 4 Phase Designs of T-Intersections
T交差点の現示例

が増えて交通容量が低下し、渋滞をもたらす結果になりがちである。しかし、たとえば歩行者と左折車とがともに多いような場合には、別に歩行者専用現示（スクランブル現示）を設けた方が左折車のさばけがよくなって、かえって交通容量が増すこともある。

現示の決定は、道路条件と交通条件とから総合的に判断してなされ、現在のところ、定まった最適現示決定アルゴリズムといったものはない。

いったん定められた現示は、通行者の慣れを考慮して、あまり頻繁に変更することはしない。しかし、交

通感応制御（後述）では、たとえばFig. 2の第2および第4現示のような従現示（minor phase）に交通需要がない場合には、これらをスキップする（たとえば第1現示から第3現示になる）ことはある。

〔サイクル長、スプリット、オフセット〕

サイクル長とは、信号表示シーケンスの一巡に要する時間、あるいはある主現示（major phase）の青が始まってから次にその青が始まるまでの時間である。一般に秒で表わされる。

スプリットとは、各現示に割り当てられる時間の長さである。秒あるいはサイクルのパーセントの単位で表わされる。

オフセットとは、複数の信号を系統的に制御する場合のパラメータであって、普通は系統方向現示（あるいは基準現示）の青の始まりのある基準からのずれを秒あるいはサイクルのパーセントで表わす。ずれの基準として、系統の中のある基準信号を用いて表わす場合（絶対オフセット）と、隣接する信号との差である場合（相対オフセット）とがある。相対オフセットがゼロあるいはゼロに近い場合を同時オフセット（simultaneous）、50%あるいは50%に近い場合を交互式（alternative）とよんでいる。

2 信号交差点の交通容量と遅れ

〔飽和流率と飽和度〕

飽和流率（Saturation flow rate）とは、各停止線ごとに定義される量で、信号の青表示の間における最大流率であり、台/有効青1時間の単位で表わされる。直進のみの理想的な条件下で1車線当たり2,200~2,300 PCU/有効青1時間程度（PCUはPassenger Car Unitの略で、乗用車換算台数）である。右左折車、大型車、歩行者などが多くなれば飽和流率は減少し、車線数が増せばその停止線の飽和流率は増加する。

各停止線の設計交通量（台/時）をそれぞれの飽和流率で除した値を各停止線の正規化交通量とよぼう。正規化交通量は、その設計交通量をさばくのに必要な有効青の実時間に対する比を表わす。たとえば、飽和流率=2,000 PCU/青1時間、設計交通量=1,000 PCU/時とすれば正規化交通量は0.5であり、この停止線に対して、実1時間のうち最少限延べ30分の有効青が表示されなければこの設計交通量をさばくことができないことを意味する。

ひとつの現示では通常2以上の停止線に対して青が与えられるが、これらの停止線の正規化交通量の最大の値をもって、その現示の飽和度とよぶことにしよう。

ひとつの信号のすべての現示について、現示の飽和

度を合計した値を、その交差点の飽和度とよぶことにしよう。交差点の飽和度は、各現示に最少限必要な青の長さの和の実時間に対する比であるから、これが1.0を超えればこの交差点は交通容量的に過飽和であることを意味し、設計交通量をさばくことはできない。

〔信号制御の損失時間〕

簡単にするために、停止線の上流に十分に長い待ち行列がある場合を考えよう。この停止線を横切って流出する車両の台数（見やすさのために累加値）と時間との関係を図示するとFig. 5のようになる。各現示ごとに、青の始まりにおいては十分に速度が上昇していないことによる発進損失が生じ、また、青の終わりから次の現示の青の始まりにかけては、最後に交差点に入った車両が、次の現示での流れと衝突しない地点まで走り去るのに必要なクリアランスのための損失が出る。発進損失は通常の平坦な交差点では2秒前後であり、クリアランス損失は交差点の大きさに依存する。斜め交差などで対向停止線間距離が長いとクリアランス損失は大きくなる。通常の4車線道路の直角交差では、このクリアランス損失は約3秒前後である。

これら2種類の損失時間は、各現示ごとに生ずるので、すべての現示について合計した値は1サイクル当たりの損失時間となる。したがって、一般に現示数が多くなるほど1サイクル当たりの損失時間は増す。

〔最小サイクル長〕

損失時間は、いずれの現示にも有効な青として利用することができない時間であることを考慮すれば、交通容量の条件から次のような関係が成り立つ。

$$\frac{C-L}{C} \geq \rho$$

ここに、C：サイクル長（秒）
L：1サイクル当たり損失時間（秒）
 ρ ：交差点の飽和度

上式を展開して

$$C \geq \frac{L}{1-\rho} = C \min \quad (1)$$

と書ける。通常の都市内4車線道路の直角交差で2現示の場合では、1現示当たり発進損失2秒、クリアランス損失3秒程度であるからL=10秒程度である。もしサイクル長を50秒にすると2割が損失時間となり、有効青として利用できるのは8割に過ぎないが、サイクル長を100秒とすれば損失時間は1割にすることができる。これが、交差点の飽和度が増すとサイクル長を長くしなければならない理由である。しかし一方ではサイクル長の実用的な最大値（約3分程度）があって、 ρ が0.9を超えると事実上うまくさばくことがで

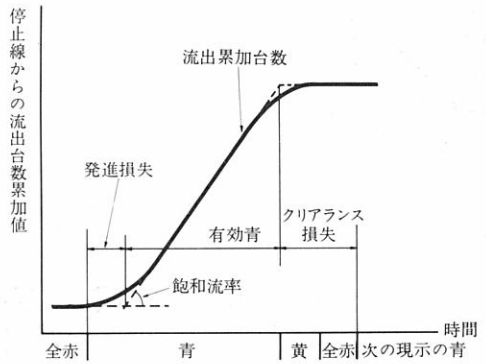
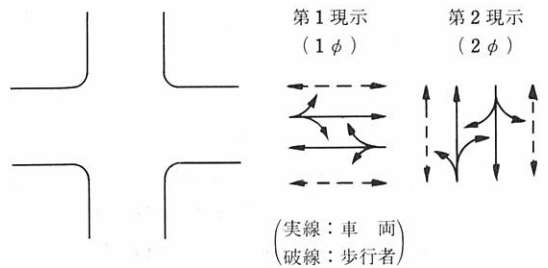


Fig. 5 Loss Time in a phase
ひとつの現示における損失時間



1φ 2φ
現示の飽和度 $\rho_1=0.4$ $\rho_2=0.25$
歩行者横断所要時間 $P_1=10\text{sec}$ $P_2=20\text{sec}$
1サイクル当たり損失時間=10sec
(C-L) $\rho_2 \geq P_2$

$$C \geq \frac{P_1}{\rho_1} + L = \frac{20}{0.25} + 10 = 90\text{sec}$$

ここに C：サイクル

Fig. 6 An Example of Minimum Cycle Length for Pedestrian Crossing
歩行者横断のための最小サイクル長の例

きなくなる。

サイクル長の最小値は、歩行者横断時間からも制約されることがある。Fig. 6は標準的な2現示の例、Fig. 7はスクランブル現示の例である。

〔遅れ〕

信号交差点における遅れとは、信号がなかったと仮定した場合の旅行時間と、実際の旅行時間との差である。いま、ひとつの停止線に着目して、到着交通、発進交通、待ち行列、遅れおよび停止の関係を考えてみる。Fig. 8において、i番目に到着した車両は平均的にはi番目に発進するので、その遅れ時間は di である。また、ある時刻tにおける待ち台数は、着と発との差 n_t である。これらから、この1サイクルにおけるこの

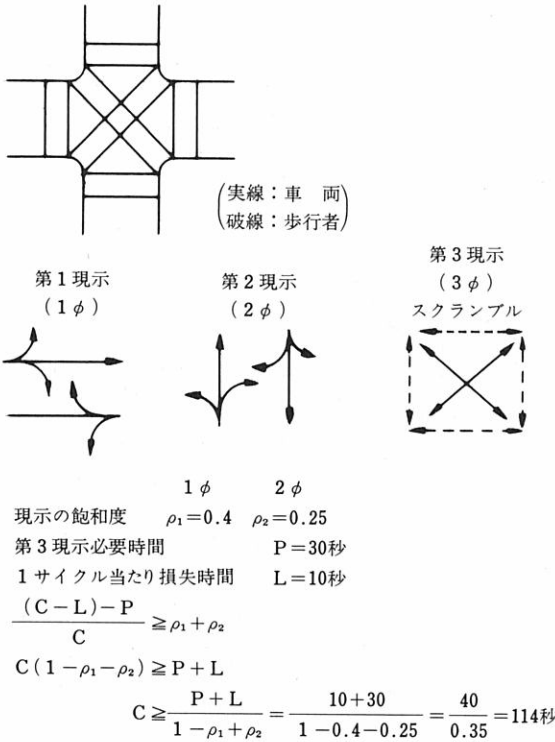


Fig. 7 An Example of Minimum Cycle Length of a Signal with a Scramble Phase
スクラムブル現示を持つ信号の最小サイクル長の例

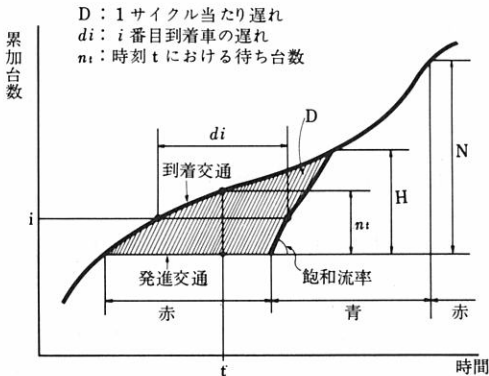


Fig. 8 Delay at a Stop Line
ひとつの停止線における遅れ

停止線での遅れの総和はFig. 8でハッチされた部分の面積Dである。平均遅れは、総遅れD(台・秒)を、このサイクルにおける通過台数N(台)で除した値である。Fig. 8において、Hは遅れをこうむった台数を表わす。ほんのわずしか遅れをこうむらない車両は、停止することなく減速のみで済むので、Hは正確には停止台数そのものではないが、かなりそれに近い値である。

さて、穏当な仮定として、いま到着交通波形とスプリットとがサイクル長の長短につれて相似形的に変化したとすると、1サイクル当たりDは面積であり、サイクル長(寸法)の2乗に比例する。一方、単位時間当たり(1時間当たり)サイクル数はサイクル長に逆比例するから、したがって単位時間当たり遅れはサイクル長に比例することになる。このことは、Fig. 8において平均遅れD/Nがサイクル長に比例するというように理解しても同じである*

同様な議論によって、単位時間当たり停止台数あるいは平均停止回数はサイクル長とは無関係である*。

[孤立した交差点の最適サイクル長]

前述の最小サイクル長は交通容量の条件から決まるものであり、設計交通量と交差点交通容量とが等しくなるようなサイクル長である。これは待ち行列理論における入出力比が1.0の場合に相当しており、もし車両の到着間隔が一定(一様な到着)であれば遅れが最小となるサイクル長と一致する。

実際の交差点では、交通流の到着は一様ではないので、前述の最小サイクル長のもとでは待ち行列長も遅れも非常に大きく(ランダムな到着の仮定のもとでは理論的には無限大に)なり、遅れが最小になるようなサイクル長は(1)式で与えられる最小サイクルより大きい。

Fig. 9は遅れとサイクル長との関係を示すもので、ランダムな到着を仮定した場合の最適サイクル長Copは、シミュレーションによって実験式として、

$$C_{op} = \frac{1.5L+5}{1-\rho} \quad (\text{秒}) \quad (2)$$

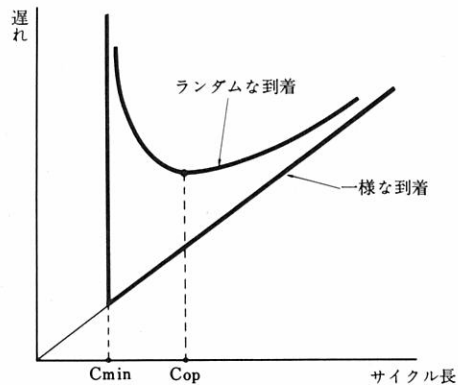


Fig. 9 Delay as Related with Cycle Length
サイクル長と遅れの関係

*厳密には、いずれも損失時間の影響が小さい場合、すなわち比較的長いサイクル長の場合に成り立つ。

あるいは

$$C_{op} = \frac{2L}{1-\rho} \quad (3)$$

ここに、

L : 1 サイクル当たり損失時間 (秒)

ρ : 交差点の飽和度

のように求められている。⁽¹⁾⁽²⁾ (2)式のC_{op}は(1)式のC_{min}のちょうど2倍であり、またL=10秒のとき、(2)式と(3)式とは一致する。

以上は、孤立した交差点についての議論であり、複数交差点を系統制御する場合の最適なサイクル長に関しては、また別な議論が成り立つ。これについては後に触れることにしよう。

〔最適スプリット〕

遅れを最小にするようなスプリットとは、経験的にも、シミュレーションからも、各現示の飽和度に比例的に有効青を配分することであるといわれている。⁽¹⁾

3 制御方式の種類 Pretimed ControlとTraffic-responsive Control

パラメータの制御方式として、大別してPretimed ControlとTraffic-responsive Controlとの2つがある (Fig.10)。

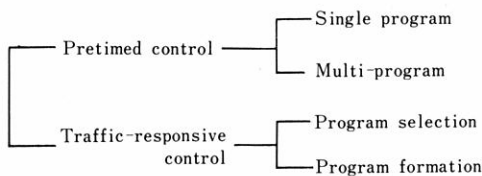


Fig. 10 Classification of Signal Parameter Control Methods
信号パラメータ制御法の分類

〔Pretimed Control〕

定時制御とでも訳すべきであろうか。最も単純なタイプでは四六時中まったく同じシーケンスを繰り返すもので、Single program Controlとよばれる。これに対してMulti-program Controlがあり、1日の時間帯によってパラメータを変えたり、さらに高級なものでは1週間の中で日によってもパラメータを変えたりできるものもある。最も多く用いられるのはThree-Programの制御機であって、3段切換式とよばれている。これらはいずれも、サイクル、スプリットおよびオフセット (系統制御の場合) の値を複数個設定し、それぞれのうちのいずれをいつ適用するのかを時計に設定するようになっているものである。この方式は、十分に適切な設定さえなされれば、予期可能な定形的な交

通の変動に対してはよい結果をもたらすが、予期できない突然の交通変動には無力である。

〔Traffic-responsive Control〕

交通状態に応じて自動的にパラメータを変更する方式であり、このために交通感知器(Traffic Detector)が設けられる。感知器については後で述べる。

Traffic-responsive Control に類似した用語としてTraffic-actuated ControlとTraffic-adjusted Controlとがあるが、わが国ではいずれも交通感応制御とよんで区別していないので、以下には英語のまま用いることにする。Traffic-actuated Control はスプリットのプログラム形成(Program formation)制御のひとつの方式の名前であり、Traffic-adjusted Controlは系統制御におけるプログラム選択(Program selection)制御のひとつの方式としてほぼ概念が固定されている。これに対して、Traffic-responsive Control はこれらを含む最も広い概念として用いられる。

Traffic-responsive Control は、プログラム選択制御とプログラム形成制御とに分類することができる。

プログラム選択制御とは、あらかじめ設定された複数のパラメータ値の中からひとつを選択する方式であり、感知器情報に基いてその時の交通状態に最も適すると思われるパラメータ値を選び出すアルゴリズムが制御機に組み入れてある。

これに対してプログラム形成制御においては、あらかじめ有限個のパラメータ値が設定されるということではなく、感知器情報に基いてオンラインでパラメータあるいは灯色ステップの歩進が決定される。したがって制御機あるいは情報処理装置に設定されるのはオンラインパラメータ決定あるいは灯色ステップ歩進時点決定のためのアルゴリズムである。

たとえば、車両感知器によって東西および南北交通量を計測し、その15分間交通量の連続関数としてスプリットを決定する場合にはプログラム形成制御となり、また、たとえば東西、南北交通量の比を大中小の3段階に分類し、それぞれに対して6:4、5:5、4:6のスプリットを対応させるという方式をとればプログラム選択制御となる。

〔交通感知器〕

歩行者感知器と車両感知器とが用いられる。歩行者感知器には押ボタンが用いられ、車両感知器にはループ式と超音波式の2種類のものを用いられる。ループ式は路面舗装に2~2.5m 角に溝を切り込み、これに電線を数巻き埋め込んだもので、このループ上の金属塊を感知するようになっている。超音波式は頭上に超音波スピーカーとレシーバーとが設けられ、その下に

ある路面より高い物体を検出するものである。

一般に車両感知器には通過型 (Passage type) と存在型 (Presence type) とがある。前者は車両の通過のみを検出するもので、後者はその感知域に車両の存在している間中オンパルスが発生する。現在、制御用に用いられる車両感知器はほとんどすべて存在型である。

存在型の車両感知器から得られる情報としては、交通量 (パルスの数) のほかに、占有率 (Occupancy、正確には時間占有率)、パルス長などがある。占有率とは、サンプリングタイム (たとえば5分) のうちオンであった時間の割合であり、ほぼ混雑の程度 (交通密度、台/km) に対応する。パルス長は、感知域の長さ a と車両の長さ b との和を車速 v で除した値であり、 a は既知、 b に平均車長を当てれば、平均パルス長から平均速度を推定することができる。

4 スプリットの制御

[スプリットと交通容量]

サイクル長が交通容量の条件を満たしても、スプリットが適切でなければ、交通がさばききれずに渋滞が生じる現示が出てくることになる。

Fig. 11は、単純化のために2現示制御の場合を示したものである。縦横軸にそれぞれ第1および第2現示の飽和度をとってある。直線Iはサイクル長を無限大にしたときの容量の極限であり、直線IIは現実の容量限界であって、IIより左下の領域が理論的には処理可能な交通量ということになる。線IIIはPretimed single program の場合で、 g_1 、 g_2 のスプリット ($g_1 + g_2 = \frac{C-L}{C}$) である。このときには交通容量は線IIIで囲まれた領域のみである。

Three-program (PretimedあるいはTraffic-responsive) とした場合、破線で囲まれた部分まで容量領域が広がるが、最も交通需要が高く、巧みなスプリット制御が要求されるハッ

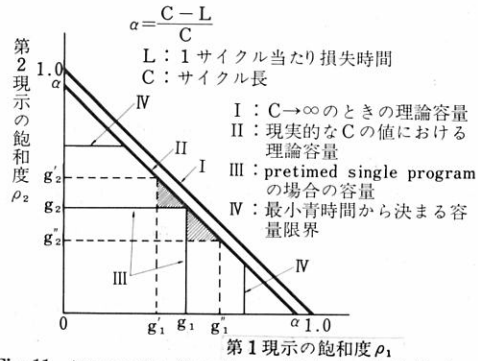


Fig. 11 Intersection Capacity as Related with Split Control
スプリット制御と交差点交通容量

チされた部分が、容量限界の外に出てしまう。

線IVは、最小青時間の制約から定まる容量限界であり、したがって理想的なスプリット制御を行なった場合の容量領域は線IIとIVとに囲まれる部分である。

これまでに多くのスプリット制御法が考案され、あるいは実用されたが、Fig. 11に示した理想的容量限界 (線IIとIV) を実現できると信じられる方法はまだ見当たらないようである。

[Traffic-actuated Control]

Full Traffic-actuated control (全感応) と Semi Traffic-actuated control (半感応) とがある。簡単にするため、Semi の方を説明しよう。

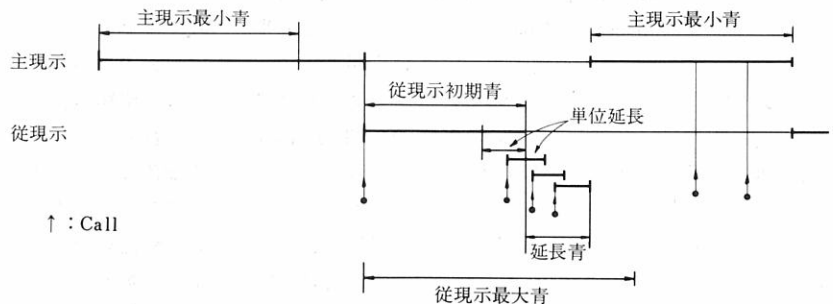
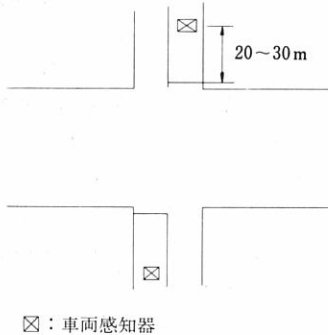


Fig. 12 Semi Traffic-actuated Control
(和文は英文と同じ)

Fig.12のように、主現示と従現示とがある場合の従現示をActuated phase (感応現示)にする。停止線上流(約30m程度)に車両感知器が設けられる。この感知器を車両が通過することをCallがあるという。従現示にCallがなければ主現示はいつまでも継続される。従現示にCallがあると、主現示の最小青がすでに経過していれば直ちに、まだ経過していなければ最小青が終るまで待つてから、従現示に切り換えられる。従現示は初期青と延長青とからなっており、いったん従現示になったら初期青だけは無条件で表示される。初期青が終了する直前(2~3秒、単位延長とよぶ)にCallがあれば、その時点から単位延長だけ青表示が延長される。この延長期間中にさらにCallがあれば、またその時点から単位延長だけ青が延長される。もしCallがなければ従現示は打ち切られる。このCallと延長とは従現示の最大青に達するまでは繰り返すことができるが、最大青に達したら無条件に主現示に切り換わる。

Fig. 2の第2・第4現示や、Fig. 3の第1・第3現示のような右折用現示も、上と同様に従現示として感応現示にすることが多い。このような場合は、従現示にCallがなければスキップされて次の現示に切り換わる。一般に多現示制御においては、このように従現示を感応現示としなければ無駄青が多くなり、損失時間の増加とあいまって交通容量を低下させるので、Pre-timed controlのままでは現示数をあまり増すことは避けなければならない。

Full traffic actuated controlは、すべての現示を感応現示としたものである。Semiの場合との相違は、各現示にrecall switch が設けられていることである。このswitchがONであれば感知器Callがなくても他の現示の延長需要あるいは延長権利の終了と同時にその現示に青が戻され、OFFであればCallがあるまで青はそのまま他の現示に(延長需要あるいは権利が終了しても)とどまって表示される。

このように主現示をも感応現示にするFull actuated controlは、交通容量特性があまりよくないこと、歩行者青をかなり早めに切り上げなければならないこと、サイクル長が不定となって系統制御の中に組み入れられないことなどの理由から、わが国では最近あまり用いられない。この方式では、交通量がやや多くなると容易に最大青に達してしまい、中程度以上の交通量状態では各現示ともに最大青となるようなsingle program制御とほぼ同様になってしまう。また車両用初期青が経過した後はいつ青が終了するか予期できないので、初期青経過以前に歩行者に赤を表示しておかなければならず、それ以後の延長青の間は歩行者は赤で待たさ

れることになる。したがってこのFull actuated controlは、高価な装置であるにもかかわらず、閑散な地方部の孤立交差点のようなところに適する方式である。

歩行者押しボタン信号は、Semi actuated controlの一種であるが、従現示である歩行者現示は固定であって、Callによる延長を持たない。このようなSemi actuated controlでは、background cycle を適用して従現示の出現タイミングを規定することによって、容易に系統制御の中に組み入れることができる。

[他のTraffic-responsive control]

Traffic-actuated controlが、瞬時に、不意に青表示を打ち切るという方式であるためにいくつかの欠点を持っているので、歩行者への配慮や系統制御の必要のある都市部交差点では、少なくともひとつのサイクルが始まる前にスプリットが決まっていることが望まれる。

最も単純な方式は、たとえば15分間交通量に応じて(ほぼ比例的に)15分に1回青を配分しなおすという方法であるが、この方法では、交通需要の増大あるいは飽和流率の低下(事故車等によっても突発的な低下が生ずる)によって過飽和となったときに、より長い青を与えられた現示により多くの車両が通過し、次の15分間にさらに長い青が与えられるというPositive feedbackとなってしまうので、飽和度が高い場合には好ましくない。

この欠点を補正するために、占有率(Occupancy)が混雑の程度を表わすという性質を利用して、停止線上流の車両感知器の交通量と占有率との加重和をとり、この値に応じて青を配分するという方法も用いられている。

筆者らの最近の研究によると、停止線上流100~150mの車両感知器の占有率、あるいは占有率/交通量が、平均待ち行列長をよく表わすものと推測されるので、これらの値を用いたスプリット制御がよい結果をもたらすという可能性もある。

5 系統制御

系統制御される信号群は、共通のサイクル長(あるいは共通サイクル長の $\frac{1}{2}$ のサイクル長)で制御される。したがって、系統制御の問題はサイクル長とオフセットとの決定および制御の問題に帰する。

[通過帯(Through band)]

通過帯とは時間-距離線図上で定義されるもので、赤表示にかからずに系統速度で通過することのできる時間の帯である。通過帯の最大化は、主として路線系統を対象として古くから用いられた最適化基準である。

しかし、本来の評価基準である遅れや旅行時間などとの直接的な関連がないために、信号間隔が密で系統信号機数が多い場合には不合理が目立ち、現在はあまり用いられない。単一路線における通過帯最大化のためのサイクル長とオフセットとの同時最適化の問題はすでに解かれている⁽³⁾

〔系統リンクの遅れ〕

隣り合う2つの信号A、Bにはさまれるリンクで生ずる遅れを考えてみる。Fig. 13は信号間隔が異なる場合のリンクの遅れを示したものである。信号間隔は、系統速度での往復旅行時間で示した方が理解しやすい。往復旅行時間をT、サイクル長をCで表わすと、Fig. 13の(a)は $T < C < \frac{T}{2}$ の場合、(b)は $C = T$ の場合、(c)は $C = 2T$ の場合をそれぞれ示している。この図から、サイクル長がリンク往復旅行時間に等しいときには、よいオフセット（この場合は約50%、交互式）での遅れ（最小遅れ）を小さくする（系統効果を上げる）ことができ、サイクル長がリンク往復旅行時間の2倍に等しいときにはどのようなオフセットを選んでも遅れはあまり変わらずに大きい（系統効果が低い）ということがわかる。

この関係をさらに一般化すると

$$C = \frac{T}{n} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

のとき最も系統効果が高く、逆に

$$C = \frac{2T}{2n-1} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

つまり、

$$C = 2T, \frac{2T}{3}, \frac{2T}{5}, \dots$$

のとき最も系統効果が低いことが知られる。

また一方で、さきに孤立した交差点の場合について述べた、遅れはサイクル長にはほぼ比例的に増すという性質は、系統制御の場合にも当てはまる。結局、これ

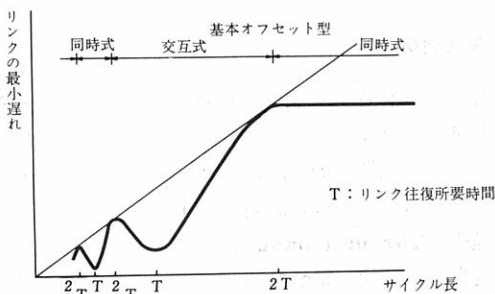


Fig. 14 Delay of a Coordinated Link as Related with Cycle Length
サイクル長と系統リンクの遅れとの関係

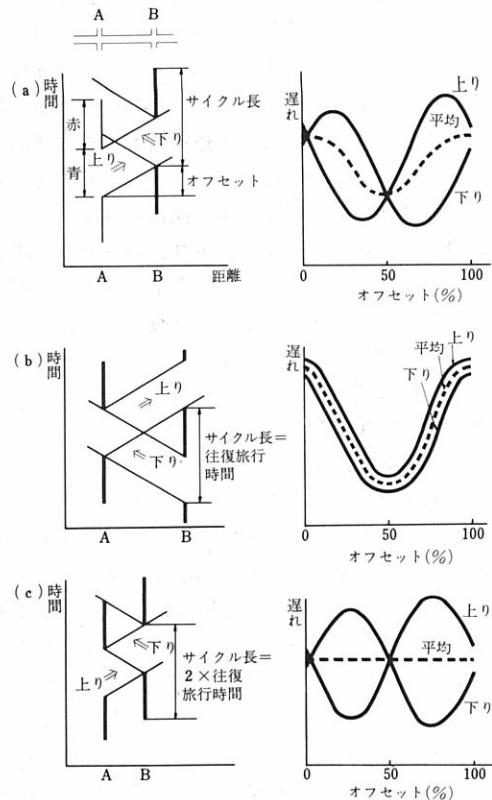


Fig. 13 Delay of a Coordinated Link as Related with Cycle Length, Offset and Travel Time of the Link
系統リンクの遅れとサイクル長、オフセットおよびリンク旅行時間の関係

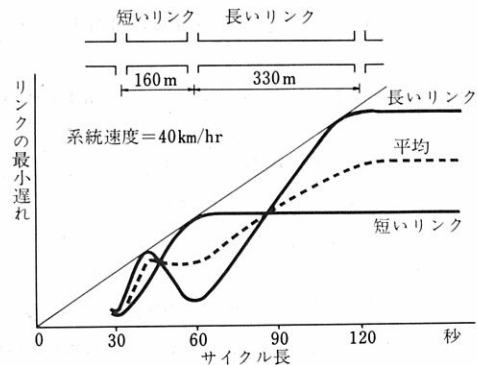


Fig. 15 Delay of Two Links of Different Length as related with Cycle Length
異なる長さの2つのリンクの遅れとサイクル長との関係

らの2つの効果が重なり合って、それぞれのサイクルに応じて最もよいオフセットを選んだときのリンクの遅れ（リンクの最小遅れ）は、Fig. 14のようになる。このとき、最もよいオフセットは、基本型としてはFig. 14に示したようになるが、交通量の方向別分布や右左折車などの状況によって、基本型から多少ずれる。

〔Treeの系統制御〕

路線系統の場合のように、系統道路が閉じたループを持たないTree状をなしている場合には、各リンクについてFig. 14に示したような傾向を知ることができれば、まずサイクルを最適化し、次にそのサイクルに応じた最適なオフセットを決めるという方法でパラメータを決めることができる。Fig. 15は、系統速度40km/hrで160mと330mの長さの2つのリンクを系統化する場合の例である。平均遅れは常用サイクル長の範囲では左下がりになるので、この場合であればこの3つの交差点の交通需要をさばくのに必要な最も短いサイクルを用いるのが得策である。

一般に、都市内の交差点間隔はあまり長くないのでほとんどの場合に平均遅れは常用サイクル長の範囲ではFig. 15と同様に左下がりとなるであろう。したがっ

てFig. 14のようなサイクルと遅れとの正確な関係を得ることができなくても、できるだけ短いサイクルを選べば、ほぼ妥当である。

〔閉じたループを持つ道路網の系統制御〕

広域信号制御のように、道路網が格子状その他の閉ループを持つ場合には、ループごとにオフセットの閉合条件を満たさなければならず、各リンクがそれぞれ他と独立に最適なオフセットをとるというわけにはいかない。したがって、このときには、サイクル長と各リンクのオフセットとの同時最適化をしなければならなくなる。しかしながら、この同時最適化問題は、今までのところ解かれてはおらず、これからの研究問題として残されている。

参考文献

1. F. V. Webster "Delays at Traffic Signals: Fixed-Time Signals, Road Research Laboratory, Research Note 2374.
2. "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
3. 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
4. 越 正毅 "広域信号制御の現状" 土木学会誌 52-9
5. 越 正毅 "広域信号制御の問題点" 第3回交通工学講習会テキスト 昭和42年6月
6. 越 正毅 "交通信号制御手法に関する実験的研究" 生産研究 26-11、昭和49年11月
7. 越 正毅 "広域交通制御における信号オフセットのプログラム形成のひとつの方法" 生産研究、20-3、昭和43年3月