

# 押しボタン式信号機の制御パラメータ自動設定手法に関する研究

## A Study on a New Signal Control Method for Push Button Signals

指導教授 高田 邦道

M2016 高橋 匠史

### 1. 研究の背景と目的

押しボタン式信号の制御方式は、単独制御方式と系統制御方式の2種類に大別される。系統区間内に押しボタン式信号機を設置する場合、その系統効果を維持するため系統制御方式で運用する必要がある。その際の問題点として以下の項目が挙げられる。

主道路側の系統効果を維持する（共通サイクル長で運用する）必要があり、あらかじめ設定されたサイクル周期に従い歩行者側の青現示が表示されるため、単独制御方式と比較し歩行者待ち時間が増加してしまうことになる。

隣接信号機との連動が必要であるため、設置（建柱や有線による連動）・維持管理（経年変化に伴う設定値の見直し）コストがかかる。

主としてプログラム選択方式と呼ばれるあらかじめ準備していたパラメータパターンを交通状況に応じて選択する方式が用いられている。そのため、突発的な交通状況や、地域開発による交通需要の経年変化に伴い、その都度設定値の見直しを行う必要がある。

そこで本研究では、交通状況に対応し、車両到着の周期に適したパラメータの自動設定が可能な押しボタン信号アルゴリズムの提案を行う。そして、実運用されている系統制御方式・単独制御方式・提案する制御方式（以後、提案制御方式とする）を再現可能なシミュレーションモデルを作成し、各制御方式における車両遅れ時間を評価指標として、提案制御方式の検証・評価を行うことを目的とする。

### 2. 信号制御アルゴリズムの提案

#### (1) アルゴリズムの概要

提案するアルゴリズムでは、制御機間の連動に代わり、押しボタン式信号機設置地点に車両感知器を設置し、車両の通過パターンを計測する。これをもとに、制御パラメータ切り替え直前の車両通過パターンから、以後の車両通過パターンを仮定する。そして、車両遅れ時間が最小となるような信号制御パラメータを自動設定するものである。なお、本研究における制御パラメータとは、サイクル長と歩行者青開始時刻とする。

#### (2) 制御パラメータの設定方法

##### 1) サイクル長の決定方法

まず、車両感知器により集計された車両通過データを10秒間交通量に集計する。そして、10秒間交通量の推移を関数として自己相関関数を求め、その相関係数の推移から周期性を判断する。なお、自己相関関数を求める際に使用する10秒間交通量は、昨年<sup>1)</sup>の

りサイクル長算出が正確に行えるとされた、過去15分間のデータを使用することとした。この方法で算出した相関係数の推移は図-1に示すとおりである。

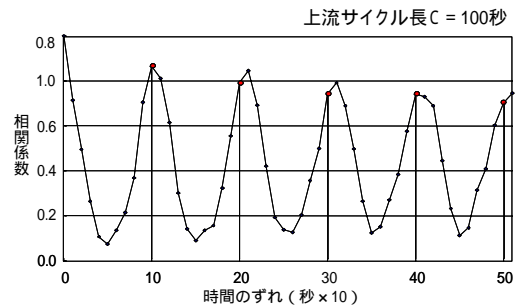


図-1 相関係数の推移

同図より、相関係数の推移に明確な周期性がみられるため、車両通過パターンに周期性があるといえる。しかし、相関の高くなる間隔が一定でなく、このグラフから1つのサイクル長を決定することは難しい。そこで、周期を明確にするため、相関係数の各値の比を取り、標準偏差を算出した。ここで、比を取る際は、実際のサイクル長を60秒~120秒と想定し、比の間隔も同様に6個~12個とし、標準偏差の最も小さくなる間隔をサイクル長に決定する。なお、比を取る際には、1:7と7:1では比の値に開きが出てしまうため、自然対数を取ることにより、分散を緩和する。この方法により求めた標準偏差の推移は図-2に示すとおりである。

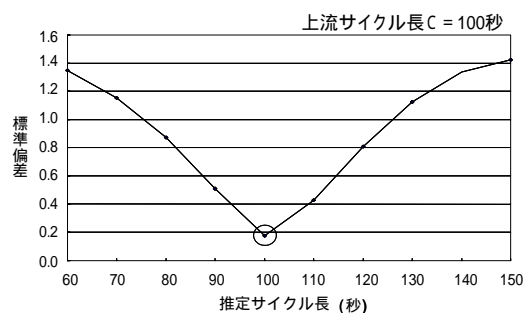


図-2 標準偏差の推移

その結果、上流交差点のサイクル長である100秒で標準偏差が最小値となり、正確なサイクル長の推定が可能であるといえる。なお、この場合制御パラメータ更新後のサイクル長は100秒に決定する。

##### 2) 歩行者青開始時刻の決定方法

制御パラメータ更新時には、サイクル長だけでなく、車群の通過周期に適した信号機の打ち切りタイミングを設定する必要がある。提案制御方式では、車両感知器により集計した過去の10秒間交通量から、以後の車両通過パターンを仮定し、車両遅れ時間が最小となる

ように歩行者青開始時刻の設定を行った。例として、過去の10秒間交通量のデータが図-3のような車両到着で、算出されたサイクル長が100秒、歩行者青時間が30秒であったとする。その場合、10秒間交通量を100秒毎に累計し、これを以後の車両通過パターンと仮定する。そして、歩行者青時間が30秒であるため、連続した3つの値の合計が最も低くなる30秒間を、歩行者青現示に設定するものとした。

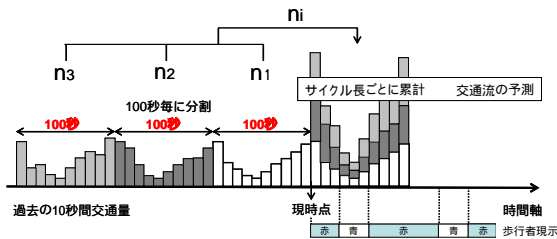


図-3 歩行者青開始時刻の設定方法

### 3. シミュレーションモデルを用いた評価

本研究では、提案制御方式の評価を行うため、現在実運用されている系統制御方式と単独制御方式、そして提案制御方式を再現可能なシミュレーションモデルを作成した。そして、両方向の車両遅れ時間の合計値を評価指標として、提案制御方式の評価を行った。

#### (1) シミュレーションのモデル構造

##### 道路構造モデル

道路構造は、押しボタン式信号機の設置条件を考え、往復2車線とし、押しボタン式信号機と上下流交差点の3交差点を再現できる構造とした。リンク長は自由設定可能とした。

##### 車両挙動モデル

車両発生は指定時刻に発生させる方法と、車頭時間を指数分布に従う方法の2種類を可能とした。しかし、指数分布に従う乱数をそのまま車頭時間に用いると、車長相当分より小さい車頭時間が発生してしまうため、最小車頭時間の0.7秒を発生間隔の最小値とした。

速度は一定範囲内で各車両ランダムに与えるものとした。さらに、速度に加減速はなく、追従車が前車に追いついた場合には設定した車頭間隔で追従するものとした。信号での停止車両については、停止線上に車両を積み上げるVertical Queueとし、信号待ちで待ち行列に参加した車両が発進する際には、待ち台数が解消されるまで飽和車頭時間で流出するものとした。

##### 歩行者挙動モデル

歩行者は乱数を用いてランダムに発生させ、歩行速度・横断時間は考慮せず、押しボタン式信号機到着・横断開始時刻のみをシミュレート対象とした。

##### 信号制御モデル

隣接交差点の制御方式は、押しボタン式信号機の制御方式に関わらず、系統制御方式で運用することとした。なお、信号現示は有効青現示と有効赤現示の2現示で表現するものとし、発進損失・クリアランス損失は有効赤現示とするものとした。

#### (2) 再現性確認のための調査・解析

シミュレーションの再現性を確認するため、実運用されている系統制御・単独制御方式を双方の押しボタン式信号機を対象として車両の旅行時間調査を行った。調査地点は、交通量・歩行者需要が適度にあり、上流交差点からの距離が200m程度であることを選定条件として、佐倉市臼井の王子台3丁目交差点～王子台1丁目交差点とした。調査地点の簡略図は図-4に示すとおりである。

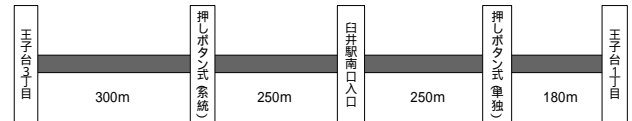


図-4 調査地点簡略図

調査解析から得られた、車両通過時刻を発生交通量としてシミュレーションに入力し、上流交差点通過～押しボタン式信号機を通過するまでの旅行時間を実測値と比較することで、シミュレーションの再現性の確認を行った。その結果を図-5に示す。なお、図中のプロットは車両1台ごとの旅行時間を示している。

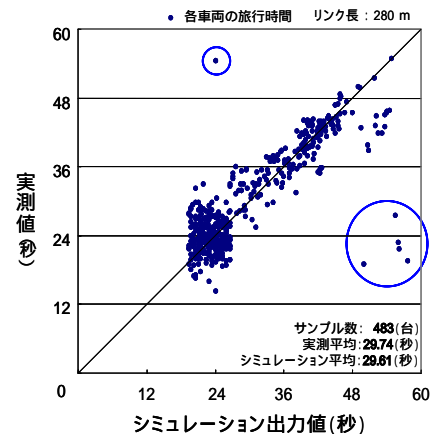


図-5 旅行時間の比較

同図より、シミュレーションの出力値はほぼ45度の線上に分布していることがわかる。また、図中の丸い囲み範囲内の車両は、実測値においてシミュレーションの速度分布より大幅に速い、または遅い車両でありシミュレーション、もしくは実測値のどちらか一方のみで信号停止をした車両である。このことから平均的な走行をしている車両に関しては、現況再現がなされているといえる。

#### (3) シミュレーションのケース設定

提案制御方式は、車両通過パターンの周期性から、車両遅れ時間を最小とする制御パラメータを自動設定するものである。そのため交通量閑散時など、車両通過パターンに周期性が存在しない場合には、制御効率が低下することが予想される。そこで、閑散時の交通量レベル別に車両遅れ時間を比較し、提案制御方式の適用が可能な最低交通量の検証を行った。歩行者数40人/時における各制御方式と交通量別の車両遅れ時間の推移は図-6に示すとおりである。

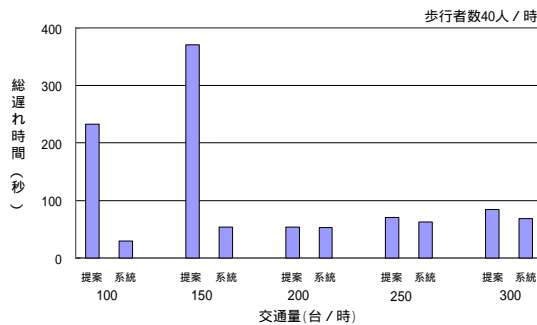


図-6 車両遅れ時間

同図より、交通量が 200 台/時を下回る場合には、提案制御方式の車両遅れ時間が、系統制御方式に比べ大幅に増加している。しかし、交通量が 200 台/時以上になると、系統制御方式の遅れ時間と同様の推移をしていることがわかる。なお、歩行者数に関わらず同様の傾向が見られた。このことから、交通量が 200 台/時以下の場合には、制御の効率が大幅に低下すると考えられる。

そこで提案制御方式では、過去 1 時間の交通量が 200 台を下回る場合には、あらかじめ設定した最小サイクル長を用いて、単独制御方式で運用することが望ましいといえる。このことを踏まえて、以後のシミュレーションにおいては、交通量は小、中、大の 3 パターンとし、おおむね 200・500・800 台/時とした。次に、押しボタン式信号機の設置位置、方向別交通量格差、オフセット方式を組み合わせ、シミュレーションのケース設定を行った。表-1 はケース設定の一覧を示したものである。

表-1 シミュレーションのケース設定

押しボタン信号設置位置	方向別交通量格差	オフセット設定	ケースNo
隣接交差点間中央 	なし	平等(効果大)	
		平等(効果小)	
	あり	優先	
上下流いずれかに近接 	なし	平等	
		あり	優先(→方向)
	優先(←方向)		

表-1 において、押しボタン式信号機が隣接交差点間の中央に設置されており、交通量格差がない場合には、両方向平等オフセットとしているが、リンク長による系統効果の大、小により 2 ケースに分類した。方向別交通量格差がある際は (小-中) (小-大) (中-大) の 3 つ組み合わせでシミュレーションを行った。また上下流いずれかに近接しており、交通量格差がある場合には、優先する方向別に 2 ケースとした。なお、押しボタン式信号機ではサイクル数が車両遅れ時間に大きく影響するため、歩行者数は交通量同様に小、中、大の 3 ケースとし、20、40、60 人/時とした。説明上、表の上から順にケース ~ とする。

(4) シミュレーション結果

ケース (交通量格差なし・オフセット効果大) では、道路条件とサイクル長により理想的なオフセット

設定となっているため、系統制御方式で運用した場合、理論上車両遅れ時間が 0 秒となる設定となっている。歩行者数 40 人/時における、シミュレーション結果は図-7 に示すとおりである。

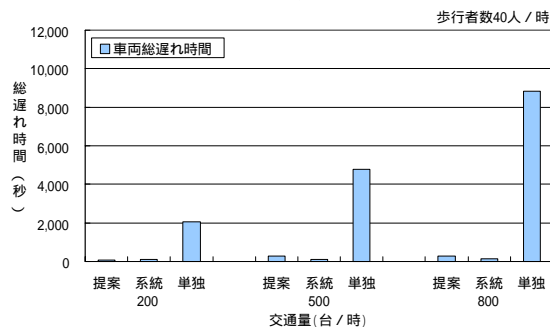


図-7 総遅れ時間 (ケース)

同図より、系統制御方式では、車両遅れ時間はほとんど存在していないことがわかる。しかし、単独制御方式で運用した場合には、車両の通過周期に見合った制御がされていないため、車両遅れ時間が大幅に増加する結果となっている。提案する制御方式における車両遅れ時間は、系統制御方式で運用した場合とほぼ同一の値となっている。このことから、制御パラメータの自動設定が適切に行われているといえる。

ここで、提案する制御方式の交通状況への対応性を見るため、制御パラメータの設定速度と、実際の車両走行速度が異なるケースについて、各制御方式での比較をした。歩行者数 40 人/時における、シミュレーション結果は図-8 に示すとおりである。

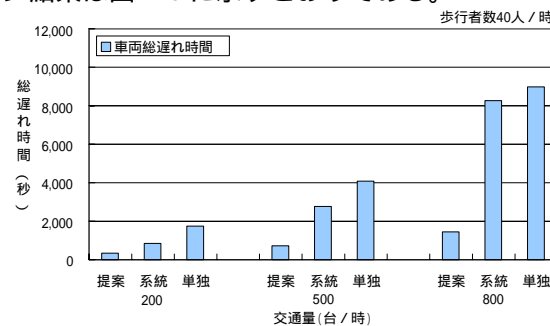


図-8 総遅れ時間 (設定速度と異なる)

同図から、車両走行速度が設定速度と大きく異なる場合には、系統制御方式ではこのような交通状況の変化に対応できないため、交通量の増加に伴い総遅れ時間が大幅に増加している。それに対し、提案制御方式では、系統速度の変化に対応可能であるため、系統制御方式に比べ車両遅れ時間が大幅に減少している。

ケース (交通量格差なし・オフセット効果小) については、各交通量とも提案制御方式の車両遅れ時間が、系統制御方式を下回る結果となった。これは、系統制御方式のオフセット設定が、両方向均等の損失時間となっているのに対し、提案制御方式では車両遅れ時間が最小となるように制御パラメータの自動設定がなされているためであると考えられる。

ケース (交通量格差あり・優先オフセット) については、提案制御方式と系統制御方式で、ほぼ同様の



遅れ時間となっている。このことから、適切な優先方向を選択し、制御パラメータの自動設定が行われているといえる。

ケース（交通量格差なし・平等オフセット）については、これまでのケースとは異なり、提案制御方式の車両遅れ時間が、系統制御方式に比べ増加する結果となった。この原因として、方向別に車両通過パターンの周期性にズレが生じ、両方向の交通量を合成した際に振幅が狭まったため、信号制御パラメータ更新時の調節時間が増加したためであると考えられる。

ケース（交通量格差あり・上流間距離が短い）については、提案制御方式の車両遅れ時間が交通量・歩行者数に関わらず、系統制御方式とほぼ同様の車両遅れ時間となったため、提案する制御方式において、適切な優先方向の選択がなされているといえる。

ケース（交通量格差あり・上流間距離が長い）の歩行者数 40 人 / 時におけるシミュレート結果は図 - 9 に示すとおりである。

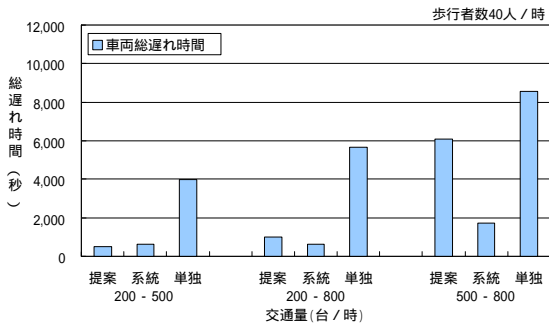


図 - 9 車両遅れ時間 (ケース)

同図より、方向別の交通量が (小 - 中) (小 - 大) の場合には、提案制御方式と系統制御方式とではほぼ同様の車両遅れ時間となっている。しかし、方向別交通量が (中 - 大) の場合では、提案制御方式で運用した際の車両遅れ時間が、系統制御方式に比べ大幅に増加していることがわかる。この原因として、制御パラメータ設定の際に、両方向の交通量を合成して算出している為、両方向共に一定以上の交通量がある場合には、上流交差点が近接している方向の周期性が強くなり、そちら側を優先方向とした制御になっていることがわかった。そこで、その対策として、交通量により優先方向を選択する方式を検討した。方向別交通量格差が (中 - 大) で歩行者数 40 人 / 時の制御方式別車両遅れ時間を図 - 10 に示してある。

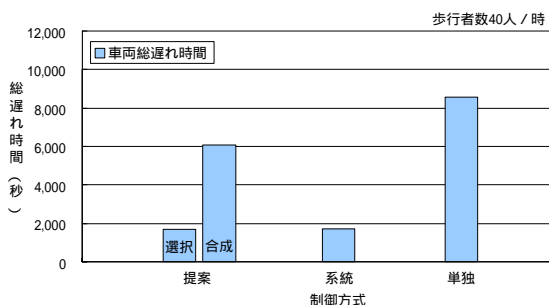


図 - 10 車両遅れ時間

同図より、両方向を合成し制御パラメータを設定した場合に比べ、交通量による選択を行った際の遅れ時間が大幅に減少している。このことから、両方向とも一定以上の交通量がある場合には、車両感知器による交通量計測により、優先方向を決定することが有効的であるといえる。

#### (5) まとめ

提案制御方式の評価は、次にまとめるとおりである。

方向別交通量格差がない場合には、押しボタン式信号機の設置位置によるオフセットの設定効果や歩行者数に関わらず、理想的な系統効果を維持することが可能である。また提案制御方式では、系統速度が変化した場合でも、パラメータの自動追従が可能であるため系統制御方式に比べ車両遅れ時間を最大約 82% 減少させることができる。

方向別交通量格差がある場合には、交通量計測から優先方向を決定し制御パラメータを設定することにより、効果的な優先オフセットを維持することが可能である。

交通量閑散時に提案制御方式で運用した場合には、隣接交差点の系統効果を維持した有効的な制御が行えないため、車両遅れ時間が増加する結果となった。この場合、制御方式の違いによる車両遅れ時間への影響は小さいため、歩行者待ち時間を最優先に考え、単独制御方式で運用することが望ましいといえる。

交通状況によってはパラメータ切り替えの際に 5 分 ~ 15 分程度の調節時間かかり、その時間帯は制御パラメータの設定が若干不適切になる結果となった。そのため、5 分 ~ 10 分程度の交通状況変化には対応が遅れ、適切なパラメータ設定が行えないといえる。

#### 4. 結論と今後の課題

提案制御方式により、信号機設置地点の車両通過パターンのみから、隣接交差点との系統効果を維持した制御パラメータの自動設定が可能となった。その結果、交通状況によっては、系統制御方式と比較し最大約 82% 車両遅れ時間の削減が可能となった。

また本方式では、隣接信号機間の有線による連動が不要となり、設置コストの削減が期待できる。また、信号機設置の事前調査や時間経過に伴う制御パターンの見直しが不要となり、より効率的運用が可能であるといえる。

本研究では車両遅れ時間を最小化するにとどまった。今後の課題として歩行者の待ち時間を最小化することへの配慮が必要である。

最後に本研究を進めるにあたり、細部にわたり直接ご指導いただいた日本大学総合科学研究所の森田緯之教授、安井一彦専任講師には深く感謝をいたします。

#### 参考文献

- 1) 杉山高洋・高橋匠史：押しボタン式信号機の系統化に関する研究，卒業論文，2002.