

単独信号制御の高度化に関する研究

A Study on the Advancement of Off-line Traffic Signal Control

指導教授 安井 一彦

M1019 藤井 智宏

1. はじめに

日本における信号制御は、集中制御と単独制御の2種類で運用されている。集中制御では、信号交差点上流（約150m）に設置される感知器の情報を管制センターに送信し、制御パラメータのパターン選択が行われている。また最近では、高度化として、最適パラメータの自動生成が行われ、交通量に基づいた青時間の表示が可能となり、安全で円滑な信号制御が実施されている。

一方、単独制御では、曜日・時間帯を基準にあらかじめ設定された制御パターンでしか制御されていない。そのため、定期的にパラメータの更新を行わないと需要に見合わない信号制御となってしまう、渋滞や無駄青時間の原因¹⁾となってしまう。パターンの見直しには莫大な時間と労力を要する。また、集中制御化への切り替えは建柱や管制センターとの接続などの費用が高価であり、すべての交差点を集中制御化するのには現実的ではない。そこで、単独制御を交通需要の変化にある程度対応できるように高度化する必要がある。既存研究²⁾ではこうした背景を踏まえて、単独制御を高度化した新たな制御方式を提案し、シミュレーションにより検証した結果、需要に応じた制御が行えることが明らかになっている。

そこで、本研究では既存研究で提案された単独制御を高度化した新制御方式の効果と課題を、現場での実証実験とシミュレーションを通して明らかにすることを目的とする。

2. 単独制御の高度化

既存研究で提案された新制御方式は、飽和・非飽和を判定し、青時間の延長・短縮を行う制御方式である。その際に、停止線の直近下流部に感知器を設置し、黄色と赤色表示中の停止線通過の有無によって判定を行う可能性が示されている。

また、シミュレーションにより延長・短縮秒数の最適な組み合わせは延長6秒、短縮4秒とされている。既存研究で提案された制御アルゴリズムについて図-1に示す。

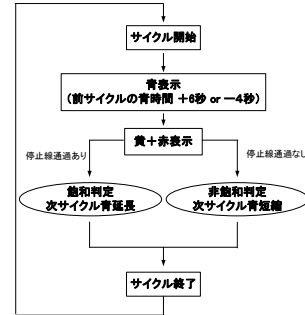


図-1 制御アルゴリズム

3. 調査概要

新制御方式の効果と課題を明らかにするため、実際の交差点に導入し、調査を行った。

(1) 調査対象地点

調査対象地点は、単独制御で運用されており且つ隣接交差点との距離が約500m離れた系統制御の不要な交差点を選定した。なお、導入前の主導路においてはギャップ感应制御によって運用されているが、朝と夜の時間帯を中心に渋滞が発生している。調査時間帯について表-1に、調査地点現況図を図-2に示す。

表-1 調査時間帯

	制御方式	調査時間帯
伊奈学園総合高校前交差点	導入前：主導路においてギャップ感应	朝 7時~9時
		昼 11時~13時
	導入後：新制御(単独制御の高度化)	朝 7時~9時
		昼 11時~13時

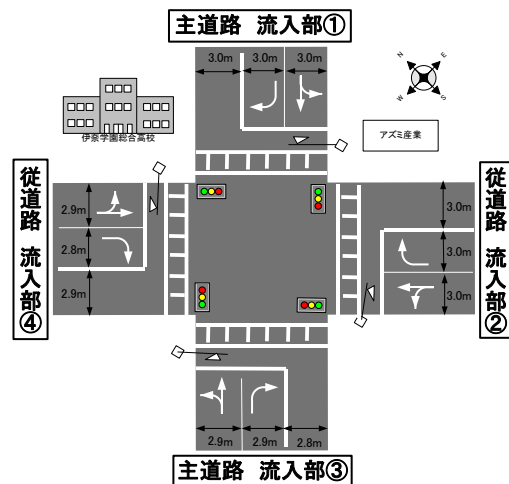


図-2 調査地点現況図

(2) 解析項目

解析項目は導入前後の①捌け台数、②渋滞長、③無駄青時間、④信号無視台数とした。

4. 解析結果

(1) 捌け台数

時間帯別の交差点全体での累積捌け台数を導入前後で比較したものを図-3に示す。

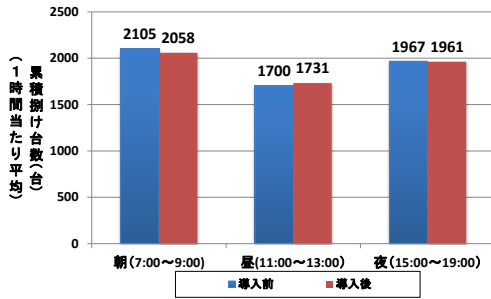


図-3 時間帯別の累積捌け台数

累積捌け台数については、全ての時間帯において、導入前後での変化はほとんどみられなかった。導入前後の交通状況は、ほぼ等しいといえる。

(2) 渋滞長

時間帯別の交差点全体での累積渋滞長を導入前後で比較したものを図-4に示す。

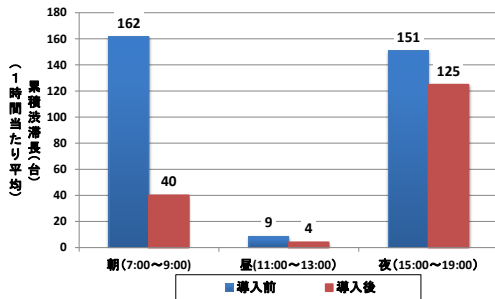


図-4 時間帯別の累積渋滞長

累積渋滞長については、導入前に比べて導入後に、朝は約75%、昼は約56%、夜は約17%の減少がみられた。これは、導入後においては需要に見合った青時間の配分が適切に行われたためと考えられる。

(3) 無駄青時間

時間帯別の交差点全体での累積無駄青時間を導入前後で比較したものを図-5に示す。

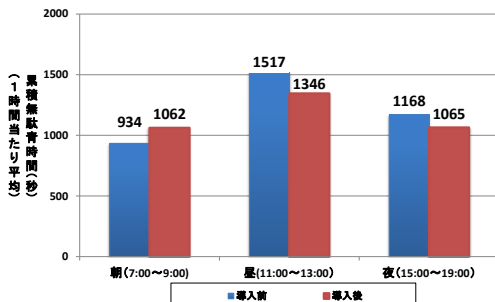


図-5 時間帯別の累積無駄青時間

累積無駄青時間については、導入前に比べて導入後

に、朝のみ約12%の増加となり、昼と夜ではそれぞれ約11%、約9%減少した。朝の時間帯に増加が見られた理由としては、主従のスプリット配分が影響と考えられる。

(4) 信号無視台数

時間帯別の信号無視台数を導入前後で比較したものを図-6に示す。

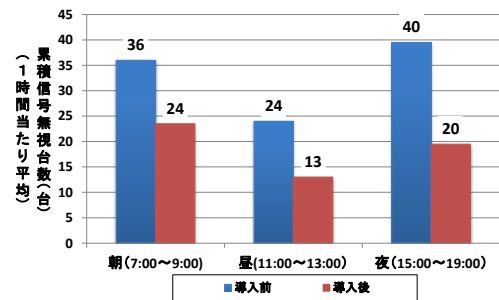


図-6 時間帯別の信号無視台数

信号無視台数については、導入前に比べて導入後に、朝は約33%、昼は約46%、夜は約50%と大幅に減少した。導入後は、需要に見合った青時間が適切に配分されたため、信号無視台数が減少したと考えられる。

(5) まとめ

交差点全体でみると、導入後において、渋滞長、信号無視台数は導入前より減少する結果となった。このことから、交差点全体では導入前のギャップ感応制御と同程度、もしくはそれ以上の効果がみられたといえる。

しかし、一部方向では渋滞長や無駄青時間の増加がみられた。また、調査中においても、交通量が減少傾向である場合に、誤判定によって青時間が短縮されず、結果的に無駄青時間が増加するという状況が発生した。そこで、延長・短縮秒数の組み合わせを変更することにより、どの程度改善できるのかについて、シミュレーションを通して検証を行った。

5. シミュレーションの概要

(1) シミュレーションの位置づけ

シミュレーションにおいては、新制御の効果をより詳細に分析するために、調査時の実交通量を用いて、最適パラメータとの遅れ時間の比較を行った。さらに、延長・短縮秒数についても検証を行った。

(2) 再現性の確認

シミュレーションモデルの再現性を確認するために、遅れ時間について、シミュレーションで出力された値と理論値を比較したものを図-7に、青時間と捌け台数の関係について図-8に示す。

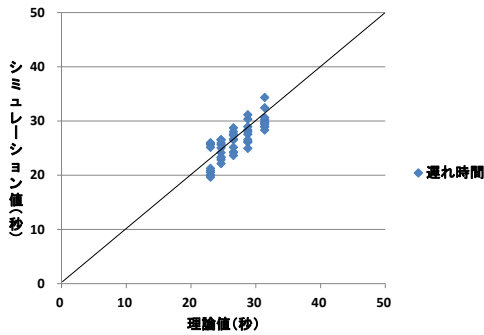


図-7 出力値と理論値との比較

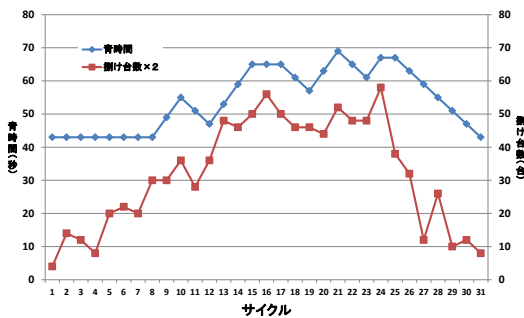


図-8 青時間と捌け台数の関係

両者の遅れ時間については、45度の直線上にプロットされることからシミュレーションの再現性が確認できた。青時間についても需要の変動にある程度追従していることが確認できた。誤判定の割合については、約30%と当初予想した制御性能を再現出来ていることが確認できた。

6. 最適パラメータとの比較

新制御方式の効果を詳細に分析するために、集中制御で最適パラメータを用いて運用した際の遅れ時間との比較を行った。シミュレーション条件について表-2に示す。

表-2 シミュレーション条件

条件	条件		
	20分ごとの実交通量		
交通量(台)	朝	昼	夜
シミュレート時間(分)	120分	120分	240分
シミュレーション実行回数(回)	5		
表示	4表示(右折矢付き)		
飽和交通流率(pcu/有効青1時間)	1650		
新制御方式のパラメータ	実調査と同様		

(1) 現状(延長6秒、短縮4秒)での比較

集中制御で最適パラメータを用いて運用した場合と、新制御で、現状の増減(延長6秒、短縮4秒)で制御させた場合とで、遅れ時間の比較を行った。交通量については実交通量から変動した際の遅れ時間の比較も行うために、実交通量の90%減少~20%増加の範囲とした。なお、表中の増減率とは最適パラメータで制御した場合の遅れ時間に対する新制御の遅れ時間の増減

率である。朝の時間帯の比較結果を表-3に示す。

表-3 最適パラメータとの遅れ時間の比較(朝)

需要率	制御状態	1台当たり平均遅れ時間(秒)		増減率(%)
		最適パラメータ	新制御(延長6秒 短縮4秒)	
-90%	最適パラメータ	25.82	22.18	-13.4
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	22.18	22.18	
-80%	最適パラメータ	28.50	22.29	-15.9
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	22.29	22.29	
-70%	最適パラメータ	27.95	23.50	-14.1
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	23.50	23.50	
-60%	最適パラメータ	27.99	24.05	-14.1
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	24.05	24.05	
-50%	最適パラメータ	29.01	25.50	-12.1
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	25.50	25.50	
-40%	最適パラメータ	30.34	27.67	-8.8
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	27.67	27.67	
-30%	最適パラメータ	32.13	30.63	-4.7
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	30.63	30.63	
-20%	最適パラメータ	33.84	33.14	-2.4
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	33.14	33.14	
-10%	最適パラメータ	35.79	35.93	+0.4
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	35.93	35.93	
実交通量	最適パラメータ	40.79	41.16	+0.9
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	41.16	41.16	
+10%	最適パラメータ	53.71	54.21	+0.9
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	54.21	54.21	
+20%	最適パラメータ	95.83	94.18	-1.7
	新制御(延長6秒 短縮4秒)	94.18	94.18	

実交通量での比較において、新制御と最適パラメータでの制御の遅れ時間にほとんど差はみられず、新制御が最適制御に近い状態であることがわかった。交通量が増加した場合においても、遅れ時間にほとんど差はみられず、需要率が0.4程度を下回る場合においては、より遅れ時間が少なくなることがわかった。

(2) 延長・短縮秒数を変更した場合

(1)より、新制御方式は交通量が変動してもある程度最適に近い状態で制御が行われている事が明らかとなったが、4の(5)に記したことも踏まえ、他の延長・短縮秒数の組み合わせで制御した場合との遅れ時間の比較を行った。比較対象とする秒数の組み合わせは、既存研究と調査時に見受けられた状況を考慮し、延長6秒、短縮6秒の組み合わせとする。交通量条件は(1)と同様とし、表中の増減率は延長6秒、短縮4秒で制御した場合の遅れ時間に対する延長6秒、短縮6秒での遅れ時間の増減率を表す。朝の時間帯での比較結果について表-4に示す。

表-4 比較結果(朝)

需要率	制御状態	1台当たり平均遅れ時間(秒)		増減率(%)
		最適パラメータ	延長6秒 短縮6秒	
-90%	延長6秒 短縮4秒	22.18	20.30	-8.5
	延長6秒 短縮6秒	20.30	20.30	
-80%	延長6秒 短縮4秒	22.29	21.10	-5.3
	延長6秒 短縮6秒	21.10	21.10	
-70%	延長6秒 短縮4秒	23.50	22.27	-5.3
	延長6秒 短縮6秒	22.27	22.27	
-60%	延長6秒 短縮4秒	24.05	23.20	-3.6
	延長6秒 短縮6秒	23.20	23.20	
-50%	延長6秒 短縮4秒	25.50	24.92	-2.3
	延長6秒 短縮6秒	24.92	24.92	
-40%	延長6秒 短縮4秒	27.67	26.62	-3.8
	延長6秒 短縮6秒	26.62	26.62	
-30%	延長6秒 短縮4秒	30.63	28.83	-5.9
	延長6秒 短縮6秒	28.83	28.83	
-20%	延長6秒 短縮4秒	33.14	32.46	-2.0
	延長6秒 短縮6秒	32.46	32.46	
-10%	延長6秒 短縮4秒	35.93	36.24	+0.9
	延長6秒 短縮6秒	36.24	36.24	
実交通量	延長6秒 短縮4秒	41.16	42.12	+2.3
	延長6秒 短縮6秒	42.12	42.12	
+10%	延長6秒 短縮4秒	54.21	54.72	+0.9
	延長6秒 短縮6秒	54.72	54.72	
+20%	延長6秒 短縮4秒	94.18	95.58	+1.5
	延長6秒 短縮6秒	95.58	95.58	

交差点の需要率が 0.5 程度を下回る場合においては、延長 6 秒、短縮 6 秒の組み合わせで制御した方が遅れ時間が少ない結果となった。昼と夜もほぼ同様の結果となったため、交差点の需要率が 0.5 程度を下回る状況においては、延長 6 秒、短縮 6 秒で制御した場合の方が効果的であるといえる。

しかし、交差点の需要率が 0.5 程度以上になると、両者の遅れ時間に差はほとんどみられず、どちらの組み合わせでも良いという結果になった。

7. 延長・短縮秒数の使い分けの提案

前述の結果より、交差点の需要率が 0.5 程度を下回る状態においては、現状の延長 6 秒、短縮 4 秒の組み合わせよりも延長 6 秒、短縮 6 秒の組み合わせの方が遅れ時間を少なくできることが明らかとなった。

よって、本研究では延長・短縮秒数の組み合わせを交通状況に応じて使い分ける事を提案する。使用する秒数の組み合わせを切り替えるタイミングを把握するために、4つの到着パターンにおける2つの組み合わせの遅れ時間の比較を行う。使用する到着パターンを図-9に示す。

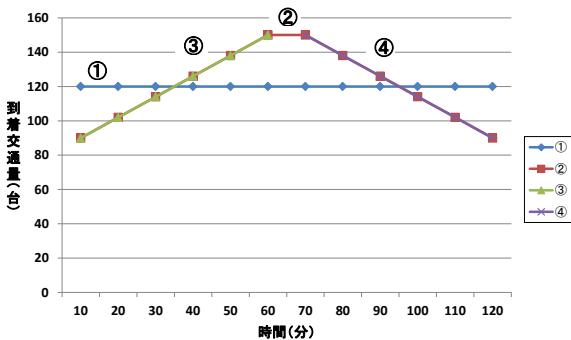


図-9 4つの到着パターン

到着が一樣となるパターンを①、変動するパターンを②とした。さらに、②については交通量が増加する時間帯と減少する時間帯に分け、それぞれ③、④とした。4つの到着パターンにおける遅れ時間の比較結果を表-5に示す。なお、表中の増減率は延長 6 秒、短縮 4 秒で制御した場合の遅れ時間に対する延長 6 秒、短縮 6 秒での遅れ時間の増減率を表す。

表-5 各到着パターンにおける遅れ時間の比較

	1台当たり平均総遅れ時間(秒)				増減率(%)
	延長6秒	短縮4秒	延長6秒	短縮6秒	
①	31.72		30.56		-3.7
②	45.24		40.16		-11.2
③	37.52		38.12		+1.6
④	48.94		43.16		-11.8

①と③のパターンでは遅れ時間にほとんど差はみら

れなかった。②と④のパターンでは、延長 6 秒、短縮 6 秒の組み合わせの方が約 11%遅れ時間が少なくなる結果となった。このことから、交通量が減少傾向である場合においては、延長 6 秒、短縮 6 秒の組み合わせの方が効果的であり、その影響から需要が大きく変動する場合においても延長 6 秒、短縮 6 秒で制御した方が遅れ時間が少ない結果になったと考えられる。

よって、本制御は延長 6 秒、短縮 6 秒の組み合わせで制御した方が効果的であると考えられたが、③のパターンでの両者の遅れ時間に差がほとんどみられないことから、交通量が増加している時間帯においては延長 6 秒、短縮 4 秒で制御した方が効果的である場合もあると考えられる。

8. 結論と今後の課題

(1) 結論

新制御を実際の交差点に導入した結果、交差点全体では、導入前のギャップ感応制御と比較して、渋滞長、信号無視台数が減少する結果となった。無駄青時間については、3つの時間帯のうち2つの時間帯において減少傾向がみられた。このことから、交差点全体ではギャップ感応制御と同程度もしくはそれ以上の効果がみられたといえる。しかし、一部流入部では渋滞長や無駄青時間の増加等の改善の余地も見受けられた。

シミュレーションを用いた分析では、新制御は集中制御で最適パラメータが与えられた場合に近い状態で制御が可能であり、特に需要率が 0.4 程度を下回る場合においては明らかに遅れ時間が減少することがわかった。延長・短縮秒数の組み合わせを延長 6 秒、短縮 6 秒に変更した場合は、交差点の需要率が 0.5 程度を下回る状況において、現状の延長 6 秒、短縮 4 秒に比べて遅れ時間を少なくできることがわかった。さらに、延長・短縮秒数の使い分けの検証では、交通量が減少傾向である場合においては、延長 6 秒、短縮 6 秒の組み合わせの方が効果的であることが明らかとなった。

(2) 今後の課題

実際の交差点で延長・短縮秒数を使い分けて制御を行い、効果を分析する必要がある。

参考文献

- (社)交通工学研究会：改訂 交通信号の手引
- 安井一彦，小沼良裕：停止線付近の車両挙動に着目した単独信号制御の高度化，第30回交通工学研究会発表論文集，pp.45-48，2010