

サイクル長可変型直進感応制御方式 信号機の導入可能性に関する分析

楊 揚¹, 高瀬 達夫², 高見 俊英³

¹学生会員 信州大学大学院 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

E-mail: 19hs603d@shinshu-u.ac.jp

²正会員 信州大学准教授 信州大学工学部 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)

E-mail: ttakase@shinshu-u.ac.jp

³非会員 本州四国連絡高速道路株式会社

IT 技術の進歩に伴い、交通管理技術も年々高度化されてきている。信号制御についても、交通量の変化にあわせた。様々な動的コントロールの手法が適用されるようになってきた。本研究では 2017 年末に長野県で導入されたサイクル長可変型の直進感応制御方式信号機に着目し、シミュレーションモデルを用いて適用可能性の検討を行った。まず、実際に観測された加速度等のパラメータを用いてシミュレーションを行い、シミュレーション結果と実データを比較することで、モデルの有効性を確認した。さらに、シミュレーションモデルを用いて、様々な交通状況において、分析を行い、直進感応制御方式の有用な範囲を明らかにするとともに、最適なギャップ時間等の設定について検討を行った。

Keywords: *inductive traffic light, straight-ahead, traffic volume, delay, simulation*

1. はじめに

近年、平面交差点においてさまざまな感応信号制御方式信号機が広く利用されており、通常の固定サイクル信号機と比較すると、交差点の交通状況をリアルタイムで感知し、信号の現示を調整することによって、プライオリティを合理的に配分することができる¹⁾。その結果、交通効率を改善し、混雑のリスクを減らすことが可能となる。

一方、近年では交通インフラの老朽化が全国的に問題となっており、信号機についても同様に、1990 年代に整備された信号機が更新時期を迎えている²⁾。しかしながら、この時期に設置された信号機の数量が多く、更新のための予算が大きな問題となっており、限られた予算のなかで、より効果の高い制御方式の信号機が必要となってきている。こうしたことから、長野県では直進車両の感知に基づくサイクル可変型の新型信号制御方式の試験導入を行った。本研究では、この直進感応制御方式の汎用性について、交通シミュレーションを用いて検討を行う。

2. サイクル長可変型直進感応制御方式信号機の特徴と試験導入箇所

(1) サイクル長可変型直進感応制御方式

サイクル長可変型直進感応制御方式の主な特徴は、主方向流出部に車両感知器を設置し、直進車両を感知すると、主方向の青時間を延長する。具体的には、無制限の延長を避けるために最大延長秒数に達するまたは車両感知後、数秒以内に流出部の感知器に新到着した車両が感知されないと、感知と青現示の延長を停止する(図-1)。

この信号制御方式のメリットは、主に2つの側面にある。まず、交通通行効率の側面を見ると、主方向の交通流をリアルタイムに感知することによって、通過時間の動的に調整する信号制御形式であるため、異なる交通条件の下で信号サイクルを合理的に割り当て、通行効率を向上させることができる^{3,4)}。また、交差点の主方向信号灯の裏側に車両感知器を設置することができ、信号灯との統合が可能のため、設置が容易であり、安価なものとなっている。

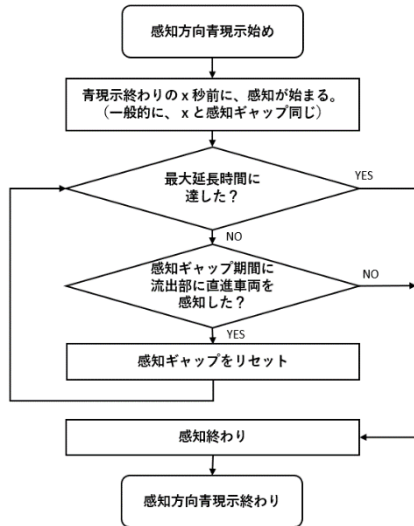


図-1 直進感知制御方式の流れ

(2) 試験導入箇所

2017 年末に、長野県警は直進感知制御方式を県道 77 号線長谷観音前交差点に導入した(図-2)。この交差点は東西方向が主方向、南北方向が従方向である、従方向と比べて主方向の交通量が多く、朝夕のラッシュ時に 6~8 倍の差が達することできる。車両の運転ルートを見ると、北と南からの車両は、直進車両が 8 割以上を占めて、1 日中の右左折率がほぼ変化しない。

3. シミュレーションに基づく直進感知制御方式の分析

(1) シミュレーションモデルに関する基本設定

本研究で、対象としている直進感知制御方式は、主方向の直進車両を感知し、リアルタイムでサイクルを

調整する信号制御方式の一種である。本研究では、渋滞リスクを軽減することに焦点を当て、主に主方向の交通量が多い場合についてシミュレーション実験を行う。

実験モデルはシミュレーションソフトとコントロールモジュールという 2 つの部分で構成されている。シミュレーションソフトは、ドイツ航空宇宙センターに開発された Simulation of Urban Mobility(SUMO)を使用した。SUMO は大規模なネットワークを処理するために設計され、微視的な交通シミュレーションソフトである。さらに、SUMO は Python との良好なコンパチブルがあるため、コントロールモジュールは Python スクリプトで複雑な信号制御ロジックや自動的に運行やパラメータの入力と評価結果の出力を実現できる(図-3)。

(2) シミュレーションの再現性の検証

本研究では IDM (Intelligent Driver Model)の運転行為モデルを採用している。このモデルは、基本的な調整したパラメータとして、発進・減速の加速度、停車間隔と最大運転速度という 3 つを用いている。長谷観音前交差点で観測されたデータより、時間帯毎の運転行為のパラメータを用いた。ラッシュ時に進入道路は交通密度が高くなるため、閑散時に比べて車両の発進加速度と停車加速度が低くなる。特に、夕方のラッシュ時は薄暗く、視界がわるくなるため、運転手はより慎重に運転する傾向があり、発進の加速度と停車の加速度はさらに低くなっている。表 1 にパラメータに関する具体的な設置値を示した。ここで、シミュレーション結果のバラツキを無くし、信頼性を確保するため、シミュレーションを行う回数を決定する必要がある。例として、交通量が主方向 1000veh/h、従方向

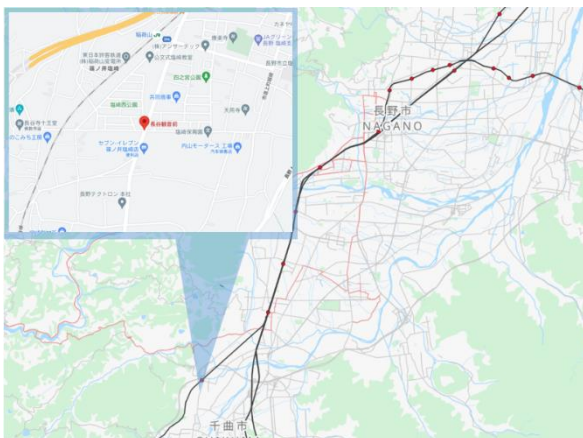


図-2 長谷観音前交差点の位置

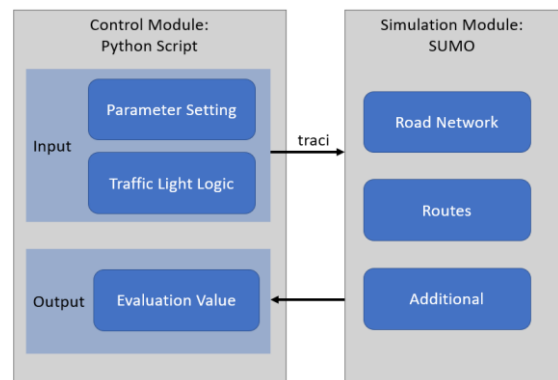


図-3 シミュレーションモデルの流れ

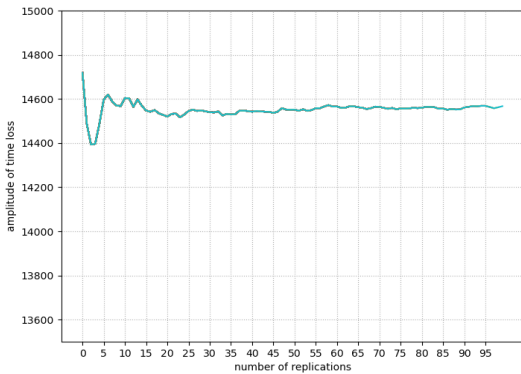


図-4 100回のシミュレーション出力による
累積平均総遅れ時間

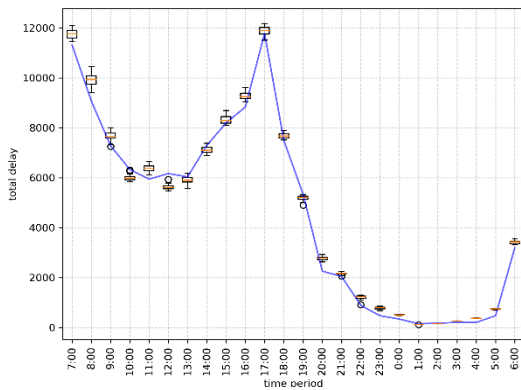


図-5 シミュレーション出力と実際の
観測の総遅れ時間

表-1 シミュレーションのパラメータの設定

時間帯	発進加速度 (m/s ²)	停車加速度 (m/s ²)	停車間隔 (m)
朝ラッシュ(7-8 時台)	1.5	-3.0	1.5
夕方ラッシュ(16-17 時台)	1.2	-2.0	1.5
閑散時(9-15, 18-19 時台)	2.0	-3.5	1.5
夜間(20-翌日 6 時台)	2.0	-3.5	1.5

200veh/h 一般的な水準の交差点で、100回の異なるランダムシードのシミュレーションを実行し、データの変動を記録した。図-4 にシミュレーション結果を示したが、それによると、シミュレーションは20回以下行う場合では、評価指標の累積平均値が大きくならつきをみられている。しかしながら、30回以上行くと、徐々に安定になっている。そこで、本研究ではシミュレーションを時間帯ごとに30回行うこととした。シミュレーションの有効性を検証するため、観測したパラメータと観測した交通量を導入してシミュレー

ションを行った結果は図-5 に示したように、出力した総遅れ時間と実際の観測の総遅れ時間に大きな差が見られなかったことから、再現性に問題がないことを確認した。

4. 直進感應制御方式の適用可能性の検討

直進感應制御方式とは、直進車両を感知することで、感知方向の交通量を判断し、青現示をリアルタイムで動的に調整することである。しかしながら、感知方向青現示が長くなると、感知方向の交通効率は向上できるが、非感知方向の平均待ち時間が必ず増加する。そのため、直進感應制御方式の延長程度のバランスを把握する必要がある。そこで、異なる交通量の下で、直進感應制御関連のパラメータを調整して適切な運用方法に関する検討を行う。さまざまな交通量状態をシミュレートするために、交通量は感知方向0~1000veh/h、非感知方向0~500veh/hを範囲として、50veh/hの間隔で別々に設定し、異なる交通量状態を設定する。

直進感應制御方式では、信号サイクルに影響を及ぼすパラメータは感知ギャップと最大延長時間という2つがある。

直進感應制御方式では、信号サイクルに影響を及ぼすパラメータは感知ギャップと最大延長時間という2つがある。

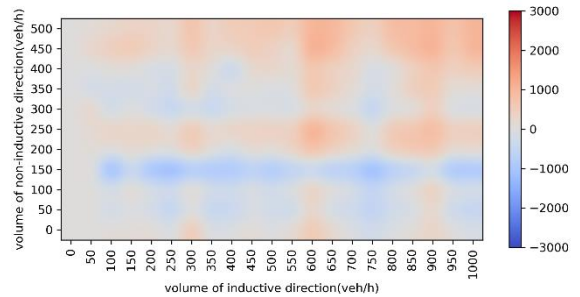


図-6 直進感應制御方式(ギャップ時間=3秒)と
固定サイクル制御方式の下で総遅れ時間の差

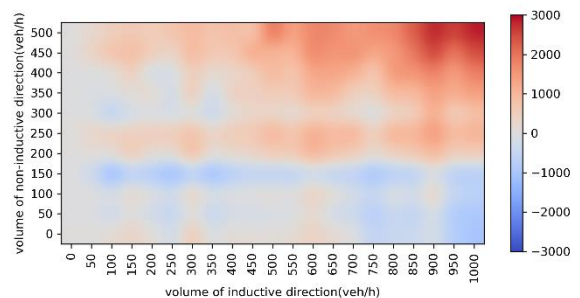


図-7 直進感應制御方式(ギャップ時間=5秒)と
固定サイクル制御方式の下で総遅れ時間の差

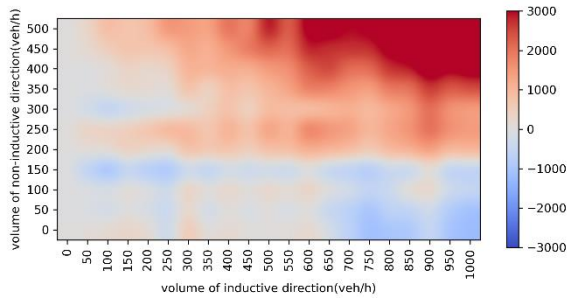


図-8 直進感应制御方式(ギャップ時間=7秒)と固定サイクル制御方式の下で総遅れ時間の差

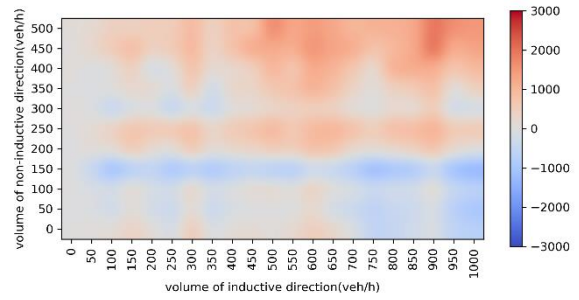


図-9 直進感应制御方式(最大延長時間=10秒)と固定サイクル制御方式の下で総遅れ時間の差

まず、ギャップ時間に着目してシミュレーションを行った。感知ギャップを3秒、5秒、7秒を設定してシミュレーションを行って毎セットの総遅れ時間を記録し、同じ交通状況の下で固定サイクル制御方式のシミュレーション出力結果と比較した。図-6、図-7、図-8に総遅れ時間の差を示した。まず、交通量の変化によって直進感应制御方式の総遅れ時間低減の効果は異なることがわかった。また、ギャップ時間の長さは効果が発現できる分布に影響を与えることがわかった。具体的には、非感知方向の交通量が非常に少ない場合は、長い感知ギャップは感知方向の青現示を延長しやすくすることができるため、固定サイクル制御方式と比べて全体的な通行効率を大幅に向上させることができる。しかし、非感知方向の交通量が増えるにしたがって、非感知方向の交通渋滞リスクが高くなり、交差点全体的な通行効率に悪い影響を与える可能性がある。この傾向は、ギャップ時間の増加によって顕著になっている。

さらに、最大延長時間に着目してシミュレーションを行った。感知ギャップが5秒である状況を例として、最大延長時間を10秒、20秒、30秒と変化した場合についてシミュレーションを行った。図-6、図-7、図-8に同じ交通状況の下で固定サイクル制御方式のシミュレーション出力と比較すると、総遅れ時間の差は図-9、図-10、図-11に示した。この結果により、最大延長時間は、感知方向の交通量と非感知方向の交通量とも少ない場合には、総遅れ時間の差の変動がほぼなく、通行効率に大きな影響を与えることはない。しかし、両方向の交通量とも大幅に増加すると、交差点の全体的な通行効率にとっては、延長時間が長くなるほど効果が悪くなる。

以上のことから、まず、一般的な固定サイクル信号制御方式と比較すると、直進感应制御方式は遅れ時間

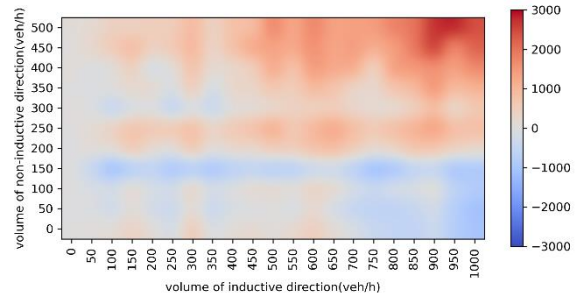


図-10 直進感应制御方式(最大延長時間=20秒)と固定サイクル制御方式の下で総遅れ時間の差

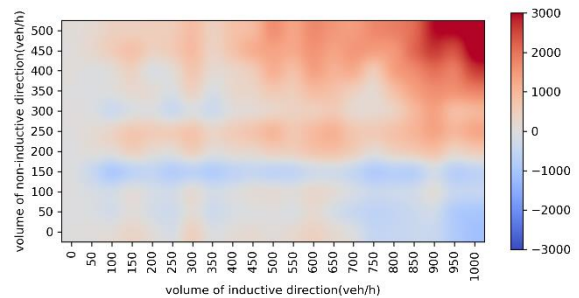


図-11 直進感应制御方式(最大延長時間=30秒)と固定サイクル制御方式の下で総遅れ時間の差

低減の効果が発揮するかどうかは感知方向と非感知方向の交通量の比率と大いに関係がある。非感知方向の交通量が少なく、感知方向の交通量が多い場合は、良好な効果が発揮することができる。

感知方向の青時間を動的に調整することは、交差点の通行効率にとってトレードオフの関係である。直進感应制御方式を交差点に導入する前に、調査した交通量によって感知ギャップおよび最大延長時間を設定することは重要である。具体的には、より長い感知ギャップは感知方向の青現示が継続に延長する可能性を高くさせて、感知方向の交通量が多く、非感知方向の交通量が非常に少ない交差点の通行効率を大幅に増加することができる。非感知交通量がより多くなる

場合には、より短い感知ギャップを設定すると、感知方向の青現示の延長をある程度抑え、長すぎる非感知方向の赤時間の状況を避けることができる。また、長すぎる最大延長時間を設定すると、交通量の少ない場合には良い影響を与えない上に、交通量が多い場合には悪い影響を与える可能性がある。

5. おわりに

本研究では、直進感応制御方式信号機の適用可能性について主眼をあてている。この方式の運用に関する主な点である感知ギャップと最大延長時間に着目し、シミュレーションを用いて異なる交通量状況の交差点に導入して分析をした。

さらに、今回のシミュレーションおよび分析は、流入部の交通量についてのみを着目して分析を行った。しかしながら、長谷観音前交差点の観測により、連続右左折車両が交差点に進入する時に、長い感知間隔は出現する頻度が急に高くなり、感知方向の交通量が多い状況においても、青現示の継続的な延長状態が早すぎて途切れるなどの場合も存在である。そこで、今後、

さらに詳細な交通状況を考慮して検討する必要がある。

REFERENCES

- 1) Ficklin Nathan C.: 半感応信号制御の特長について(文献抄録), 道路, 392, pp.102-103, 1973.
- 2) 織田 利彦: 交通信号制御の発展的経緯と今後の展望, システム/制御/情報 45(5), pp.240-247, 2001.
- 3) 宇佐美 勤, 榊原 肇: 道路網の信号制御システム, 計測と制御, 2002年 41 巻 3 号 pp.205-210, 2002.
- 4) 塚田 悟之, 新倉 聡, 車群信号制御の提案, 交通工学論文集, 第 2 巻第 5 号, pp.21-30, 2016.
- 5) 李明哲, 張玉超, 交差点における交通信号の最適サイクル長と切り替え時間へのアプローチ, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌 58(0), pp.148-165, 2015.
- 6) 鳩山 紀一郎, 佐原 孝紀: 信号サイクル長の短縮へ向けた系統効果の基礎的検討, 第 32 回交通工学研究発表会論文集, pp.39-42, 2012.

(Received ?)

(Accepted ?)

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF INTRODUCING A VARIABLE CYCLE LENGTH STRAIGHT-AHEAD INDUCTIVE CONTROL TRAFFIC LIGHT

Yang YANG, Tatsuo TAKASE and Toshihide TAKAMI

With the progress of IT technology, traffic management technology is becoming more sophisticated year by year. The signal control was also adjusted to the changes in traffic volume. Various dynamic control techniques have come to be applied. In this study, we focused on the straight-ahead inductive control signal with variable cycle length introduced in Nagano at the end of 2017 and examined its applicability using a simulation model. First, the effectiveness of the model was confirmed by performing a simulation using parameters such as the observed acceleration and comparing the simulation results with the actual data. Furthermore, using a simulation model, we analyzed clarified the useful range of the straight-ahead inductive control traffic lights under various traffic conditions, and examined the setting of the inductive gap time.