

# 自律型交通信号システムにおける制御手法の開発

白畑 健<sup>1,a)</sup> 伊藤 昌毅<sup>2,b)</sup> 新倉 聡<sup>3</sup> 大口 敬<sup>2,c)</sup>

**概要:** 中央からの制御に依らずに自律的に信号を制御する「自律型交通信号システム」の導入により、信号機の設置コスト低減などが期待できる。本稿は、このシステムにおける信号制御手法を提案し、信号動作プログラムを開発する。提案手法では、車両をセンシングして、時々刻々と変化する交通を予測、安全性や円滑性が確保された信号の灯火パターンを自律的に求める。また、形状や車線数の違い、矢印灯器の有無といった多様な交差点に適用可能な拡張性を有する。開発したプログラムをシミュレータ上で実装し、信号の挙動を確かめた結果、信号は十分な性能をもち、提案手法が自律型交通信号システムの制御手法として有効であると明らかになった。

## A Development of the Controlling Method for the Autonomous Signal System

**Abstract:** The autonomous signal system enables us to reduce the installation cost for traffic signals. We propose a controlling method for the system and develop the program for the method. In the method we propose, the traffic signals independently work based on the traffic situation from the sensor with the prediction. Moreover, we can apply the method to a variety of signalized intersections. The result of the simulation shows that the method we propose sufficiently work as the controlling method for the autonomous signal system.

### 1. はじめに

交通信号制御は、平面交差制御のひとつである。信号制御、「平面交差点で相互に交差する交通に対して、それぞれの通行権を青、黄、赤などの信号灯火で時間的に分離することで動線の交錯を防ぐ制御」であり、比較的交通の多い交差点において採用される [1]。空間的・経済的な制約から、今後も平面交差は存在すると考えられ [2]、同様に信号による制御も行われることになるだろう。一方で、現在、交通安全施設は大量更新期を迎えており、交通信号機も例外ではない。国や自治体の財政状況が厳しいなか、持

続可能な交通安全施設の維持のために交通信号機の設置や維持管理に必要なコストを低減することは急務である。

このような背景のもと、白畑ら [3] は「自律分散型交通信号システム」を提案している。「自律分散型の信号システム」を取り入れた交差点では、信号機を設置するだけで動作する。このとき、信号制御は、中央からの制御に依らず、センサで検知した交通状況に即して自律的に行われる。これにより、設置に要するコストや中央と各交差点を結ぶための通信コスト、信号パラメータ調整といった維持管理コストの低減が期待できるという。

「自律型交通信号システム」の実現のためには、独立した電源装置、信号機間の無線通信技術、センシングの技術、信号制御手法の確立など、様々な要素技術が必要であるのは言うまでもない。そこで、本稿では、信号制御手法の確立に着目し、制御手法の提案、開発、シミュレータを用いた検証を行う。これにより、提案手法の妥当性を評価し、自律型交通信号システムの実用に寄与することを本研究の目的とする。

本稿の構成を整理する。まず、第2章では、これまでに実用や提案がされた信号制御手法とそれに関する研究を

<sup>1</sup> 東京大学大学院 工学系研究科  
School of Engineering, the University of Tokyo,  
Bunkyo, Tokyo 113-0033, Japan

<sup>2</sup> 東京大学生産技術研究所  
Institute of Industrial Science, the University of Tokyo,  
Meguro, Tokyo 153-8505, Japan

<sup>3</sup> 公益財団法人 日本道路交通情報センター  
Japan Road Traffic Information Center,  
Chiyoda, Tokyo 102-0072, Japan

a) ken-s@iis.u-tokyo.ac.jp

b) mito@iis.u-tokyo.ac.jp

c) takog@iis.u-tokyo.ac.jp

整理する。次に、第3章において、自律型交通信号システムにおける制御手法を提案する。第4章では、提案手法の評価と実装を念頭に置いたプログラムの開発を行う。続く第5章では、シミュレータ上で提案システムを実装し、提案手法を複数の観点から評価する。最後の6章では、分析の結果を踏まえ、提案手法の妥当性を議論する。

## 2. 既往の研究

### 2.1 一般的な信号制御 [1]

信号制御では、「現示」と「信号パラメータ（サイクル長・オフセット・スプリット）」が基本要素とされる。サイクル長およびスプリットに基づいて、現示で定められた通行権を順番に出し、平面交差を時間的に分離する。

信号制御方式の整理においては「制御対象の信号交差点間の関連性」と「信号制御パラメータの設定方式」の2つの視点がある。自律分散型信号システムにおいては、それぞれを個別の信号交差点とみなすので、今回は前者よりもむしろ後者の観点での分類が適当であろう。信号制御パラメータの設定方式の観点では、「定周期制御」「端末感応制御」「交通応答制御」の3つに大別される。定周期制御は、制御パラメータがひとつしかなく、常時同じ表示を繰り返すもの（狭義の定周期制御）のほか、複数のパラメータを用意し、時間帯や曜日などに応じてパラメータを選択するプログラム多段制御がある。端末感応制御では、感知器で短時間の交通需要の変化を検知し、青時間表示時間やサイクル長を変化させる。交通応答制御は、複数の交差点を対象に信号制御パラメータを変化させて制御する方式で、あらかじめ設定した複数の組み合わせのなかから、感知器の情報による交通状態にふさわしいものを選択するプログラム選択制御、および感知器の情報からパラメータや信号表示の切り替えタイミングを決定するプログラム形成制御のふたつがある。プログラム形成制御のひとつとして、日本では「MODERATO」、海外ではイギリスの「SCOOT」、オーストラリアの「SCAT」が実用化に至っている。

このように、一般的な信号制御方法では、信号パラメータの存在が前提とされてきた。

### 2.2 信号制御の高度化

我が国における信号制御の高度化を目指し「ムーブメント制御」と呼ばれる制御方式の実証実験が行われたことがある。ムーブメント制御とは、交差点流入部の左折・直進・右折といった個々の動線、すなわちムーブメントを独立に制御する方式である。平面交差制御の目的である「動線分離」に従った制御であり、個々のムーブメントの交通需要に応じて、例えば需要の多い方向に青信号を柔軟に割り当てることができるなど、円滑性の向上が期待できる [4]。

一方で、滋賀県内における実証実験では制御の効果を認められず、その結果、実運用が見送りとなった。また、信

号の表示が複雑になり、ドライバーの予想とは異なる制御がされうるといった安全性の懸念から普及が進んでいるとは言い難い状況にあるという [5]。

### 2.3 自律分散型信号制御ロジックの提案

白畑ら [3] では、自律分散型信号制御ロジックを提案している。信号制御手法における「ロジック」とは「どのようなルールに基づいて制御を行うか」を規定し、信号制御において中核を成す存在である。

まず、動線の交錯関係から交錯しない動線の組み合わせを求め、それぞれを現示の候補とする。次に、現在の交通をセンサによって検知し、その状況において最もふさわしい現示を選択する。最後に、選択した現示を次の現示として定める。これを繰り返すことで中央の制御に依らず、自律的に信号が動作するという。

動線に着目した制御という点では、前節の「ムーブメント制御」との共通点を見出すことができるが、「自律分散型信号制御ロジック」は現示の選択においてシミュレータを用いた予測を行い、それによって得られた遅れ時間の予想値などの指標に基づいた制御を行う点が異なる。予測をし、ある指標に基づいていることで、あらゆる交通状況で適切な制御が可能になる。

さらに、制御の結果、現示の順番や表示時間が多様になる。これはサイクルやスプリットといった信号制御パラメータに基づく一般的な信号制御とは大きく異なる。

一方、ロジックのみが存在していても、実際に信号を動作させることはできない。提案ロジックを制御手法として確立するには、ロジックに基づいた「しくみづくり」が求められる。

## 3. 手法の提案

### 3.1 概要

本稿では、前章で挙げた白畑らによる「自律分散型信号制御ロジック」をもとに信号制御手法を提案する。この概要は図1により示される。具体的には、ロジックに基づき信号を動かすためのしくみづくりを行う。今回必要となるしくみは以下のようにまとめられる。

- (1) 現示の候補を得るしくみ
- (2) 交通を予測するしくみ
- (3) 候補を順位づけするしくみ
- (4) 結果を制御に反映するしくみ

これを実行することで、ロジックに基づいた信号制御が実現する。なお、現示の候補や交通の予測においては、計算機処理が伴う。今回は「Raspberry Pi」などの小型計算機を、各交差点に設置された制御器内に設置することを想定している。

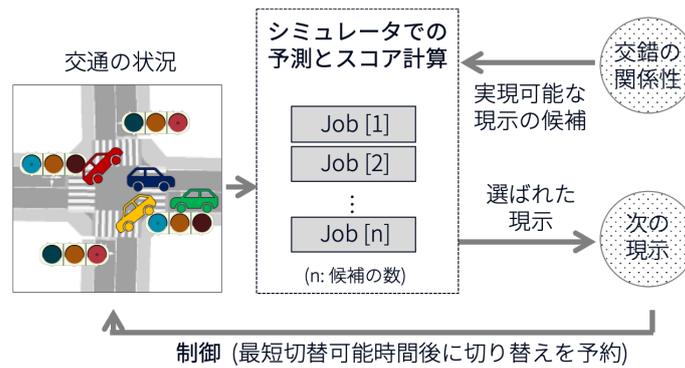


図 1 提案手法の概要

Fig. 1 The outline of the proposed method

	AB	AC	AD	BC	BD	BA	CD	CA	CB	DA	DB	DC
AB		○	○	×	×	×	○	○	○	×	×	×
AC	○		○	×	×	×	○	○	○	×	×	×
AD	○	○		×	×	×	○	○	○	×	×	×
BC	×	×	×		○	○	×	×	×	○	○	○
BD	×	×	×	○		○	×	×	×	○	○	○
BA	×	×	×	○	○		×	×	×	○	○	○
CD	○	○	○	×	×	×		○	○	×	×	×
CA	○	○	○	×	×	×	○		○	×	×	×
CB	○	○	○	×	×	×	○	○		×	×	×
DA	×	×	×	○	○	○	×	×	×		○	○
DB	×	×	×	○	○	○	×	×	×	○		○
DC	×	×	×	○	○	○	×	×	×	○	○	

図 2 動線交差の関係性

Fig. 2 The relations between movements

### 3.2 現示の候補を得るしくみ

まず、現示の候補を得るしくみが必要である。現示の設計においては、動線の交錯が生じないことが大前提であるので、動線の交錯に着目する。

ここで、動線の交錯は常に生じるものではない。いま、A という動線と B という、互いに交差する動線があって、両者は交錯が許されない関係であるとしよう。ここで、交錯は両方が同時に通行可能なときのみ生じる。たとえ A と B が交錯する関係にあっても、A のみが通行可能、B のみが通行可能、あるいは両方が通行不可能のときは、少なくとも A と B の間での動線の交錯はない。このように、動線の交錯の関係は、幾何的な交差の要素と動線単位での通行可能性による要素をともに考慮することで記述される。

#### 3.2.1 幾何的な動線の交差関係

幾何的な動線の交差関係は、図 2 のようにまとめると整理しやすい。

各行と列のアルファベットは、前が動線の起点となる流

入路、後ろが終点となる流入路を表している。各区画について、交差する行と列が動線の組み合わせに対応しており、交錯が許されるものを○、交錯が許されないものを×と分類する。今回は交差が垂直の関係ではないものについては、交錯を許すことにしており、○としている。もし、完全に交錯を許さないとする場合は、対応する部分を×とすればよい。さらに、交錯を部分的に許すなど、○や×では表せない関係性を規定したければ△などの新たな記号を導入することもできる。いずれにせよ、一定のルールに基づいて動線の交差関係を記述することが重要である。

動線の交差関係は交差点の車線数や形状から決まるものであるため、ルールに従えばどのような交差点であっても簡単に求めることができる。

#### 3.2.2 動線単位での通行可能性

次に、動線単位での通行可能性の組み合わせの列挙を行う。実際の信号の灯火(青・黄・赤)では複数の動線をまとめて制御する場合があります。今回のような動線単位での通行可能性を表現することができない。そこで、動線単位での制御ができる仮想的な信号機を想定する。青が通行可能(T)、赤が通行不可能(F)に相当する。ちなみに、黄はあくまでも青から赤への遷移を安全に行うための補助的な表示であり、通行可能性を直接示すものではない。したがって、通行可能性の議論においては考える必要はない。手順としては、まず、流入路ごとの動線の数合計し、重複順列から通行可能性の場合の数を求める。次に、実際の信号機において、それぞれの表示と動線の通行可能性の対応関係を明らかにする。これを考慮して、流入路単位ですべて独立として考えていた動線の組み合わせに制約を与え、これに当てはまらないものを除外する。これによって、実際の信号機を考慮した動線単位での通行可能性の組み合わせが列挙できる。

実際の信号機の表示ではなく、動線単位から考えることで、矢印信号の有無やその数、表示方法など、複雑な動線制御にも同じように計算することができる。

### 3.2.3 現示の候補の列挙

列挙した実際の信号機を考慮した動線単位での通行可能性の組み合わせのそれぞれについて、Tである動線に注目する。これらの動線と幾何的な交差関係を表す表の行と列を対応づけして、交差する部分の記号を調べる。このときにすべてが○であったら、その通行可能性と交差関係のもとで交錯しない動線の組み合わせであることになり、実現可能な現示ということができる。一方で、ひとつでも×があったら、その通行可能性と交差関係のもとでは交錯が生じることを意味するので、実現してはならない現示として取り除くことができる。

### 3.3 交通を予測するしくみ

次に、候補であるそれぞれの現示を適用させたとき、どのようになるかシミュレータを用いて予測するしくみが必要である。そのためには、センシングした交通、およびそれぞれの現示の候補をシミュレータに入力し、実行する。候補である現示は複数存在するが、これを同時に、リアルタイムで行う必要がある。今回は候補の数だけJobとしてシミュレータを複数起動し、それぞれにセンシングで得られた交通を入力、並列処理を実行することで実現する。センサによる交通の取得として、車の存在、位置（停止線からの距離）、方向（左折・直進・右折など）、速度などをカメラにより検出することを想定している。

### 3.4 候補を順位づけするしくみ

シミュレータにより予測した結果に基づいて、遅れ時間などの指標に基づき、候補の順位づけを行うしくみが必要である。シミュレータでのそれぞれの指標値を計算し、ルールにしたがって点数を求める。この部分が制御の根拠となる部分である。あくまでもシミュレータの結果から点数を計算するしくみであり、ここを入れ替えればどのようなルールも定めることもできる。これにより、多様な制御の考え方を実行することができる。

### 3.5 結果を制御に反映するしくみ

#### 3.5.1 候補の予約

基本的には、前節で計算した点数のうち最も順位のよい候補を次の現示として選択し、予約する。ここで、選択した候補が動線の交錯の生じない（実現が許容された）現示に含まれているかを問い合わせる。この段階で選択した候補が実現の許されない現示である場合は、予約を拒否し、次の現示として表示されないようにする。

#### 3.5.2 切り替え時刻の設定と遷移

次に、現在の現示と青時間の継続時間、遷移時間の設定から、次の現示に切り替え可能である時刻を求める。予約はその時刻に切り替わるように行われる。ここで、予約する現示として規定しているのは、状態量であるT（通行可

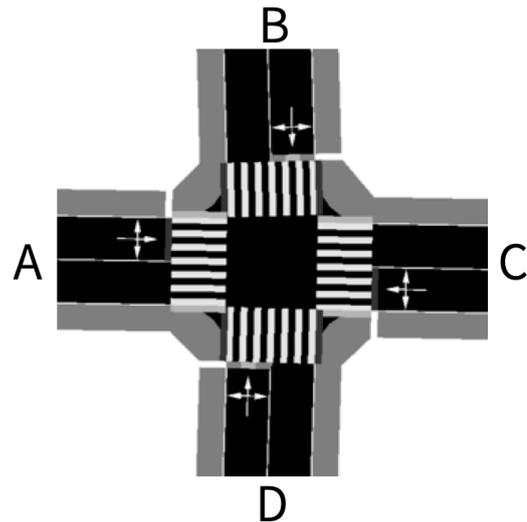


図3 4枝の1車線流入の交差点

Fig. 3 The intersection of four arms with one lane

能)かF（通行不可能）で示される。これは、あくまでも、制御すべきであるのは状態量である通行可能性であり、実際の表示はそれを実現するための手段にすぎないという原則に基づいている。

TからFへ遷移する流入路について、現在の現示とその継続時間から、最小青時間に達していない場合、切り替えは最小青時間に達する時刻に予約される。表示としては、切り替え時刻から遷移時間だけ遡った分だけ黄が挿入される。TからFへ遷移する流入路について、既に最小青時間の条件が満たされている場合、切り替えは遷移時間である黄時間を確保した後に予約される。つまり、表示としては予約が生じた直後に黄が示されることになる。FからTへ遷移する場合についても、Tに切り替わった瞬間にすぐに青を示すのではなく、はじめの3秒間は赤を示し、それから青に切り替える。このしくみによって、全赤時間を実現する。

制御すべき状態量であるTおよびFと、実際の表示である青・黄・赤を分離し、原則に基づいた階層づけを伴う制御を行うことで、遷移時間の操作の自由度も向上する。

## 4. 手法の開発と計算例

提案した制御手法を構成する、それぞれのしくみを具体化するためのプログラムの開発を行った。このプログラムを実行することにより、信号が動作し、提案手法の評価などを行うことができるようになる。本章では、これに基づいた計算例を示す。

### 4.1 交差点の条件

今回は、図3に示すような、4枝の1車線流入の交差点を考える。ここで信号灯器には矢印は設置されておらず、青・黄・赤の3つが表示できる。そのため、動線の通行可

性能は各流入部で一括して制御される。

## 4.2 現示の候補の計算例

### 4.2.1 幾何的な動線の計算例

計算条件に基づいて、幾何的な動線の交差関係を表に示すと、前節で示したものと同様になる。今回は、交差が垂直の関係のものを×、それ以外を○とした。

### 4.2.2 動線単位での通行可能性

今回の条件では、左折・直進・右折の3つの動線が4つの流入路にあるので、合計して12の動線となる。それぞれについて独立にTまたはFが決まるので、通行可能性の場合の数は $2^{12} = 4096$ 通りとなる。一方、今回の信号機では、各流入路の動線は一括して制御されるので、4096通りのうち、これに当てはまらないものを除外する。これによって、実際の信号機を考慮した動線単位での通行可能性の組み合わせを16通りと求められる。

### 4.2.3 現示の候補の列挙

16通りの通行可能性の組み合わせを交差関係の表と組み合わせる。今回、プログラムとしては、○を10、×を0、斜線部を1と置き換え、Tとなる動線を抽出し、直積を計算した。直積を計算することで、1つでも×が含まれる組み合わせがあればその結果は0となるので、0でないものを実現可能なもの、0であるものを実現不可能なものとして分類することが可能になる。その結果、7通りを実現可能な現示として求めることができる。

## 4.3 候補の順位づけルール

今回は、次の式によって点数 (*score*) を計算し、点数の最も低いものを最もよい候補としている。

$$score = 100d + n \quad (1)$$

*d*: 各候補の総遅れ時間, *n*: 現示のうちTの状態の数である。

これは、総遅れ時間が小さく、Tの状態、つまり青信号の数が少ない候補のほうがよりよい結果であるという考えに基づいている。総遅れ時間が小さいほうが円滑性が高いことは言うまでもない。そして、同じ総遅れ時間である、つまり同等の円滑性が確保できるのであれば、青信号の数が少ないほうがよいと考えられる。それは、円滑性の向上に貢献しない青信号は無駄な青信号であるうえ、切り替えに要する時間を増大させてしまう要因になりうるためである。

## 4.4 遷移の計算例

今回は、最小青時間を10秒、遷移時間として黄時間と全赤時間をそれぞれ3秒と設定する。

このときの切り替え時間計算例と実際の信号表示例を示す。例として、現在の現示について、流入路AとCがFの

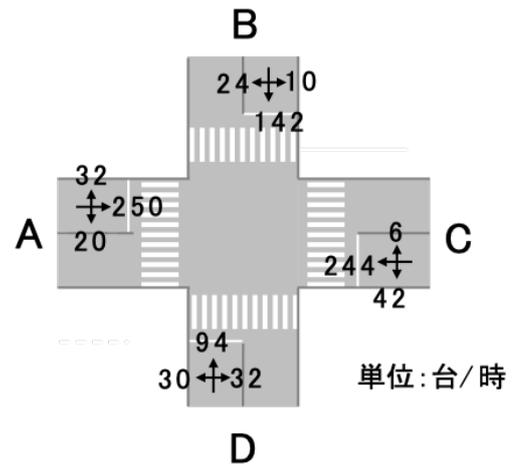


図4 設定した交通量

Fig. 4 The traffic volume of each movement

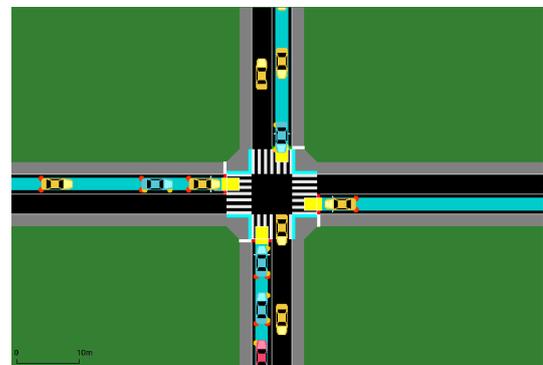


図5 制御結果 a

Fig. 5 The result of the control (a)

状態、BとDがTの状態、BとDの青時間継続時間がそれぞれ2秒と15秒であるとする。ここで、現示の表示の結果、流入路によっては切り替えをまたいで青が継続する場合もあるので、現在の現示に関わらず、流入路によって青時間が異なることもある。このとき、流入路CがT、流入路AとBとDがFである現示が次の現示として選ばれたとする。

TからFに遷移するBの流入路の青時間は2秒である。したがって、切り替えはBの流入路の青時間が最小青時間として設定した10秒に達するとき、つまり8秒後に予約される。ただし、実際に表示として青が示されるのは7秒間で、残りの3秒は黄が示される。FからTへ遷移するCの流入路についても、Tに切り替わった瞬間にすぐに青を示すのではなく、はじめの3秒間は赤を示し、それから青に切り替える。

## 5. シミュレータによる提案手法の評価

開発したプログラムをシミュレータ上に実装し、実際に提案手法をシミュレータ上で評価した。



図 6 制御結果 b

Fig. 6 The result of the control (b)

## 5.1 実験の条件

### 5.1.1 交通流の条件

1時間交通量が図4で示される条件において、ポアソン到着を仮定した。ポアソン到着に基づき、2000秒間車を発生させた。

### 5.1.2 シミュレータの条件

今回は制御手法の一部としてのシミュレータ、そして現実の交通を再現し、制御手法を評価するためのシミュレータの2種類が存在するが、両方に「SUMO (Simulation of Urban MObility)」を採用した。センサにより検知された情報として、交通を再現する側のSUMOからの出力を用いている。今回は、5秒おきに交通を検知し、15秒先の結果を予測したうえで、前章に示した式に従ってスコアの計算を行う。

## 5.2 シミュレーションの結果

シミュレーションの結果、信号制御がどのように行われているのかを分析した。

### 5.2.1 現示階段図の分析

図7は、提案手法で信号を作動させた際の階段図である。実際にTとFの切り替えが行われており、提案手法によって信号が動作することが示されている。

その一方で、一般的な固定現示制御における階段図とは大きく異なることが見て取れる。今回の条件のような交差点で、固定現示制御を行った場合、通常は対向方向が同じタイミングで青と赤を切り替える、いわゆる「2現示制御」となる。この場合、階段図は、AとC、BとDで同じ様相を示し、その幅も一定である。しかし、提案手法に基づく階段図ではTとFがきめ細やかに変化し、そのときの交通を反映した柔軟な制御が実現していることがわかる。

### 5.2.2 特徴的な制御の分析

前節で挙げた階段図から、特徴的な制御結果を2点挙げる。時刻1688秒からの10秒間(制御結果a)、そして1748秒からの5秒間(制御結果b)である。それぞれ流入路Dと流入路Cに注目すると、両者ともこの前後はTである

のにも関わらず、この時間だけFとなっている。これは何が起きているのだろうか。

まず、図5に示す制御結果aについて分析する。このときの車の存在および方向を確認すると、流入路Bから複数の直進車が連続して交差点に近づいてきている一方で、流入路D方向から交差点に近づいてきた車は右折であった。このとき、流入路Bの青信号は維持しつつ、流入路Dの青信号は赤に切り替える制御が行われた、さらに、流入路B側の車群が終了したタイミングで、再び流入路D側の信号が青に切り替えられている。一般的な固定現示制御では、このような状態の場合でも、流入路B側と流入路D側の双方に青信号を出し続ける。しかし、対向の直進車が連続しているなかで、右折車を交差点内に進入させたところで、結局は右折することができない。また無理に右折しようとして対向の直進車と衝突事故を起こす危険性もある。したがって、対向車が存在しなくなるまで流入路D側を赤信号に切り替えた今回の制御結果は、安全性の面から、そのときの交通の状況を踏まえた理にかなった制御と考えることができる。

次に、図6に示す制御結果bについて分析する。このときの車の存在および方向を確認すると、流入路Aと流入路Cの双方から複数の車両が交差点へ接近していることがわかる。流入路C側の車はすべて直進車であるものの、流入路A側の車には右折車が混在していた。これは制御結果aと近い状況である。制御結果aに基づけば、流入路A側を赤に切り替え、流入路C側は青を継続することになると予想できる。ところが、今回の場合は、右折車のいる流入路A側の青を継続し、むしろ流入路C側の信号を赤に切り替えるという、制御結果aとは異なる制御が行われた。これは、実は、流入路C側よりも流入路A側の方が車が多く接近しており、流入路A側を赤に切り替えた場合と流入路C側を赤に切り替えた場合とでは、前者の方が総遅れ時間が小さくなる状況であった。したがって、今回の制御結果bが実現したと考えることができる。

## 6. おわりに

今回は、交通信号機の設置や維持管理に必要なコストを低減する観点から提案されている「自律型交通信号システム」において、その制御手法の提案、開発、シミュレータを用いた検証を行った。

平面交差制御の基本である動線の交錯に着目し、それに基づいて、中央からの制御に依らず、自律的に信号を動作可能な制御手法を提案した。また、提案手法は交差点形状矢印灯器といった、様々な交差点形状および信号制御の方法に適用することができる。

手法の開発においては、シミュレータ上での実装を念頭に、安全性を担保しつつ、提案手法を実現できるしくみの構築を行った。

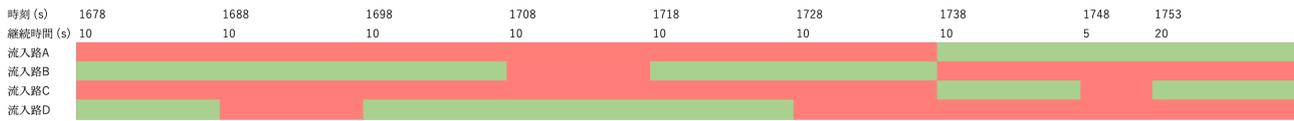


図 7 提案手法による信号現示階梯図

Fig. 7 The step drawing of the signal with the proposed method

そして、シミュレータによる検証の結果、提案手法による信号制御は、安全性を担保し、円滑性を追求する平面交差の制御の実現の観点で十分な性能を持つことが示された。これにより、提案手法が「自律型交通信号システム」における信号制御手法として機能することが明らかとなった。

手法の検証において言及した、「右折車の制御」は、長年安全性や円滑性の課題となってきた。この解消のためには、右折専用の車線の増設など、交差点構造の改良が有効と考えられているものの、特に我が国においては地価の問題から簡単に行うことができないという。

提案手法によって動作した信号では、この右折車の制御において、従来の固定現示制御では実現できないような制御結果を示しただけでなく、一見同じような場面においても、周辺の交通状況に応じた柔軟な制御を行うことができた。これは、「自律型交通信号システム」が、コストの面のみならず、安全性や円滑性の面からも新たな信号制御手法として確立するものであることを示唆しているのではないだろうか。今後は、待ち時間の分布など、複数の観点から、また交通量を変化させた場合やセンサの精度を低下させた場合など、様々な状況を想定し、この制御手法をよりよいものに改良することが望まれる。

一方、自律型の信号システムでは、運転者の経路選択を考慮せず近視眼的に状態依存の制御を行った結果、導入でむしろ交通状態が悪化することがあるという。実現交通ネットワーク流を安定化する制御を行うことで、システムの維持とこれの防止の両立が可能になりうる [6]。そして、柔軟すぎる信号制御は運転者の認知や予測が難しい挙動を示す恐れがあり、負担の増加、事故の誘発を招く可能性もある。社会受容性の観点からの検討も大切と考える。

謝辞 本研究の一部は、一般財団法人トヨタ・モビリティ基金の支援による「自律分散型信号システム研究開発」として実施された。

## 参考文献

- [1] 一般社団法人 交通工学研究会：平面交差の計画と設計 基礎編 -計画・設計・交通信号制御の手引-, 丸善出版株式会社 (2018).
- [2] 大口 敬：多車線交差点における信号制御技術, 交通工学, vol. 44, no. 3, pp. 4-9 (2009).
- [3] 白畑 健・伊藤昌毅・新倉 聡・大口 敬：車両到着センサを想定した自律型信号制御ロジックの提案, 第 17 回 ITS シンポジウム 2019 (2019).

- [4] 唐克双：ムーブメント制御, 交通工学, vol. 44, no. 3, p. 78 (2009).
- [5] 岩岡 浩一郎：成熟社会を背景とした 交通信号制御の高度化に関する研究, 南山大学大学院 (2017).
- [6] 和田健太郎：交通ネットワーク流の安定性と制御, 計測と制御, Vol. 55, No. 4 (2016).