

信号切替り損失時間の解析的評価に基づく 信号現示設計

白畑 健¹・伊藤 昌毅²・大口 敬³

¹学生会員 東京大学大学院 工学系研究科 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: ken-s@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学大学院 情報理工学系研究科 附属ソーシャル ICT 研究センター

(〒 113-8656 東京都文京区駒場 7-3-1)

E-mail: ito.masaki@sict.i.u-tokyo.ac.jp

³フェロー 東京大学生産技術研究所 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

交通信号制御の制御設計では、信号切替り時に生じる損失時間を適切に評価し、表示する現示組合せや表示順序、横断歩道配置などを定めることが必要である。本稿では、異なる交差点幾何構造や車線構成、横断歩道配置を有する信号交差点において、交差点の各交通流が互いに交錯することのない現示組合せを定義するとき、ある信号現示から別の信号現示への切替りに要する時間を解析的に得る方法を提案する。また、筆者らが提案する方法を用いて、各信号交差点において複数想定できる信号現示の組合せや表示順序のそれぞれに対して生じる切替り損失時間を評価し分析する。さらに、この結果に基づいて、信号現示設計において安全性を担保し円滑性を確保するために重要となり得る考え方を考察する。

Key Words: *Traffic Signal Control, Signal Change Intervals, Signal Phasing Plans*

1. はじめに

(1) 交通信号制御における切替り損失

交通信号制御とは、交差点における各方向の交通流に対して、停止線の通過可否を指示する「通行権」を時間的に配分することで、空間的に交錯しうる交通流を時間的に分離するしくみである。通行権に基づく交差点通行の指示は、「青・黄・赤」の3色の灯色による信号灯火を通じて伝達される。このとき、ある方向から別の方向へ通行権を移行する際には、「信号切替り」が生じ、通行権の付与が終了する前者の方向では青信号から赤信号へ、新たに通行権が付与される後者の方向では赤信号から青信号へと信号灯火の表示が変更される。ただし、前者の方向の信号灯火が直ちに赤信号表示へ切り替わるとは限らなかつたり、赤信号表示へ切り替わった途端に後者の方向のそれが青信号表示に切り替わるとは限らなかつたりするなど、信号の切替りが一定程度の「余裕時間」の確保のうえに行われる場合がある。

このような信号切替り時に要する「切替り処理」は、交通流を構成する車両や歩行者などが物理的な大きさや速度を有する物体であるために、これらを含めた利用者が安全に交差点を通過するために必要とされるものである。一方で、切替り処理が生じている時間帯は、交差点のいずれの方向にも通行権を付与することがで

きないため、交通処理上の「損失」とみなされる。

ここで、ある信号サイクル長 C と現示組合せによって規定される信号制御を考えると、単位サイクルにおいて「損失」が占める時間長の合計を「損失時間」 L と呼ぶ。この場合、サイクル長のうち損失時間に該当しない部分は有効青時間として利用されることとなる。したがって、サイクル長 C で損失時間 L とした際の「有効青時間率」 E を次のように定めることができる¹⁾。

$$E = \frac{C - L}{C} \quad (1)$$

(2) 切替り処理の効率化による交差点処理能力の向上

信号切替り処理を効率的に行い損失時間をできるだけ小さくすることで、有効青時間として利用できる時間が多く確保され、単位時間あたりにより多くの車両や歩行者などが交差点を通行できるようになるため、交差点の処理能力は向上する。例えば、十字路交差点における標準2現示制御について、サイクル長 $C = 100[s]$ とするとき、現示の切替りごとに $5[s]$ の損失が生じる場合を考える。このとき、単位サイクル中の損失時間 $L = 10[s]$ であることから、有効青時間率 $E = (100 - 10)/100 = 0.9$ と計算できる。一方で、同じ交差点において現示の切替りごとの損失を $1[s]$ 削減できたとき、損失時間 $L' = 8[s]$ となるが、この場合に有効青時間率 $E = 0.9$ を確保するために必要なサイクル長 $C' = L'/(1 - E) = 80[s]$ であり、当初のサイクル長よりも2割の短縮となる。信

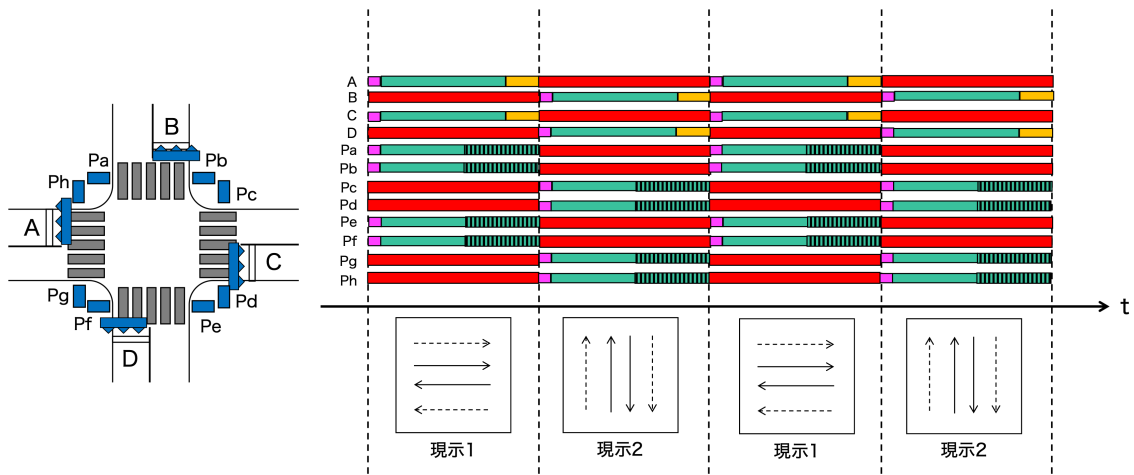


図-1 十字路交差点における標準 2 現示制御を想定した信号表示切替りの時系列変化

号制御によって被る「遅れ」はサイクル長に比例することが知られているため、今回の例のように 1 回あたりの切替り損失を 1 秒削減しサイクル長が 2 割短縮されれば、遅れについても 2 割削減できることになる。このように、たとえ比較的短い時間長であっても切り替わり処理の効率化を行うことで、サイクル長の短縮化が可能になり、その結果として利用者が被る遅れを一定程度削減できる可能性がある。

(3) 効率的な信号切替り処理に基づく信号制御設計

切替り損失時間は信号切替り時において安全上確保される「余裕時間」であるため、これを無条件に削減することは好ましいとはいえない。一方で、同時に青信号を表示する方向の組合せである現示やその表示順序などを規定する信号現示方式、交差点における横断歩道の配置といった交差点空間構造によって信号切替り時に必要な余裕時間は異なることから、これらは切替り損失に影響を与える要素といえる。したがって、効率のよい信号制御の実現には、可能な限り切替り損失が小さくなるように現示や表示順序などの現示方式や交差点の空間設計などの信号制御設計を行うことが重要である。しかしながら、現状では、切替り損失の効率化を実現する信号制御設計の考え方は十分に整理されているとは言い難い。したがって、信号切替り時に生じる損失時間を適切に評価する枠組みに基づきながら現示組合せや表示順序、横断歩道配置を検討できるようにすることが重要である。

そこで本稿では、信号切替り損失の解析的な評価のもとに信号制御設計を行うための検討に取り組む。第 2 章では、信号切替り時に必要となる切替り処理の定義と分類を行い、それぞれに対して生じる切替り損失を評価する枠組みを整理する。第 3 章では、今回の枠組みを信号交差点に適用して信号切替り損失を評価し、その結果に応じた信号制御設計の検討に取り組む。最後

に第 4 章において、本稿の内容をまとめる。

2. 信号切替り損失評価の枠組み

(1) 信号切替りの定義

本稿では、信号切替り時に必要な処理として、次の 2 つを定義する。

1. 信号切替り時に利用者が安全に停止線で停止できるようにするもの
2. 信号切替り前後で通行権を付与された交通流が互いに交錯しないようにするもの

1 つめの項目について、青信号が表示されている方向に対して赤信号へ切り替えを行う際に、赤信号表示に切り替わってから停止線等を越えてはならないため、信号の切替りに応じて車両の運転者などが停止線で安全に停止できるかどうかを判断できるようにするための「余裕時間」を確保する役割を持つ。

2 つめの項目については、交差点の通過を規定する「停止線」と、各方向の交通流が交錯する領域である「交錯点」が異なるために必要となる「余裕時間」である。停止線を通じた車両などが交錯点に達するまでに要する時間は方向ごとに異なり、たとえある方向の信号を赤信号表示に切り替えた直後に交錯方向の信号を青信号表示へ切り替えたとしても、必ずしも常に交錯点の通過タイミングの前後関係が担保されるわけではなく、交錯が発生する恐れがある。一方で、もしもある方向の信号を赤信号表示に切り替えるよりも前に交錯方向の信号を青信号表示へ切り替えたとしても、各方向の停止線から交錯点までに要する走行時間によっては、交錯が生じない場合もあり得る。したがって、信号切替り時には、切替り前後で通行権を与えられる方向の交通が交錯点で交錯しないように適切な「余裕時間」を設定し、赤信号表示の終了タイミングや青信号表示の開始タイミングを調整する必要がある。

そして、これらに対応する適当な信号表示（「切替り信号表示」）を一定時間表示することによって、車両や歩行者などの利用者に切替り処理を伝達することとする。また、信号切替り処理は、ある現示から別の現示へと変化する「信号切り替えタイミング」の前後で生じるものとし、それぞれの切替り信号表示の表示時間長については、切り替えタイミングの前に生じるものを負値として、切り替えタイミングの後に生じるものを正値として扱う。なお、切替り信号表示の表示時間長はすべて整数とし、計算の過程において小数が得られた場合には安全側に寄るように小数部分の切り捨てまたは切り上げを行うこととする。

(2) 切替りに対応する信号表示の分類

まず、**図 1 左**のような横断歩道を有する十字路交差点において、各流入路から直進方向のみに進行できる場合を想定する。このとき、各流入路と横断歩道に応じて信号灯器 A~D（車両用）および Pa~Ph（歩行者用）を配置し、**図**の左右方向と上下方向の交通流に対し現示 1, 2 として交互に通行権を付与する信号制御を考える。そして、**図 1 右**は各流入路および横断歩道の信号灯器が表示する灯火を時系列で示したものである。**図**中の縦点線は「信号切り替えタイミング」を示しており、その周辺に存在する青と赤以外の色で塗りつぶされた部分が信号切替り処理に対応する信号表示とその表示時間長を表す。この**図**に示すように、今回は信号切替り処理に関する信号表示を 3 種類定め、それぞれを「青信号表示から赤信号表示への遷移（時系列図中の黄色部分）」「青信号表示終了の繰上げ（時系列図中の青黒縞部分）」「青信号表示開始の繰下げ（時系列図中の桃色部分）」として分類する。

a) 青信号表示から赤信号表示への遷移 （時系列図中の黄色部分）

前節で定義した信号切替り処理のうち、ひとつめの項目である「信号切替り時に利用者が安全に停止線で停止できるようにするもの」に対応するものであり、一般的には青信号表示から赤信号表示へ切り替わる方向に対して「黄信号表示」を一定の時間長だけ挿入することで行われる。黄信号が表示されるのは常に信号切り替えタイミングよりも前になるため、表示時間長は負値として扱われる。また、表示時間長の端数処理については、小数部分の切り下げを行う（黄信号がより長く表示される）こととする。

b) 青信号表示終了の繰上げ （時系列図中の青黒縞部分）

前節で定義した信号切替り処理のうち、ふたつめの項目である「信号切替り前後で通行権を付与された交通流が互いに交錯しないようにするもの」に対応するものである。ここでは、青信号表示から赤信号表示へ

切り替わる方向に対して、信号切り替えタイミングまで青信号を表示し続けるのではなく、信号切り替えタイミングに先駆けて青信号の表示を終了させることで、交差点において信号の切替り前後で交錯が生じないようにする。一般的には、歩行者灯器が青信号表示から赤信号表示へ切り替わる際に用いられ、青信号表示の終了から信号切り替えタイミングまでの間は、歩行者灯器は青点滅を表示する。歩行者青点滅信号が表示されるのは常に信号切り替えタイミングよりも前になるため、表示時間長は負値として扱われる。また、表示時間長の端数処理については、小数部分の切り下げを行う（青信号表示の終了がより早くなる）こととする。

c) 青信号表示開始の繰下げ （時系列図中の桃色部分）

前節で定義した信号切替り処理のうち、ふたつめの項目である「信号切替り前後で通行権を付与された交通流が互いに交錯しないようにするもの」に対応するものである。「青信号表示終了の繰上げ」とは異なり、赤信号表示から青信号表示へ切り替わる方向に対して、信号切り替えタイミングに達して直ちに青信号を表示するのではなく、青信号の表示開始を遅らせることで、交差点において信号の切替り前後で交錯が生じないようにする。一般的には、車両灯器が赤信号表示から青信号表示へ切り替わる際に用いられ、信号切り替えタイミングから青信号表示の開始までの間は、車両灯器は引き続き赤信号を表示する。交差点での交錯を防ぐために青信号表示の開始を遅らせる場合には表示時間長は正値として扱われる一方で、信号切り替えタイミングと同時に、あるいはそれに先駆けて青信号表示を開始しても交差点での交錯が生じない場合には、表示時間長がゼロまたは負値として扱われることとする。また、表示時間長の端数処理については、小数部分の切り上げを行う（青信号表示の開始がより遅くなる）こととする。

(3) 流入路の信号灯器単位での信号切替り時間の計算

ここまでで定義した信号切替り処理とそれに対応する信号表示について、ある信号切り替えタイミングに対応する切替りの信号表示を表示を、流入路に対応する信号灯器ごとに独立して設定できるものとする。したがって、ある現示から別の現示に切り替わる際の信号切替り時間を、信号灯器の単位で計算する。

a) 青信号表示から赤信号表示への遷移 （時系列図中の黄色部分）

現示切り替わりに伴い、通行権の付与が終了する方向の信号灯器に対して黄信号表示時間として設定する。黄信号表示時間長の計算方法について、まず、車両については我が国の信号制御設計マニュアルである「平面交差の計画と設計 基礎編」²⁾に従い、車両の接近速度に

応じて接近速度が $60[km/h]$ 程度未満の場合には $3[s]$ 、それ以上の場合には $4[s]$ とする。一方で、歩行者については、歩行速度は車両の接近速度と比較しても十分に小さく、黄信号表示に相当する信号表示を用いなくても横断開始の可否を判断可能であると見なすこととする。

b) 青信号表示終了の繰上げ (時系列図中の青黒縞部分)

現示切り替わりに伴い、通行権の付与が終了する方向の歩行者信号灯器に対して青信号点滅表示時間として設定する。ここでは、信号切り替えタイミングにおいてすべての歩行者が横断を完了できるように表示時間長を計算することを考え、歩行者青信号表示終了の直前に横断を開始した歩行者が横断し終えた瞬間に信号切り替えタイミングに達するものとして、青信号点滅表示時間長を歩行者横断時間に等しくなるように与える。なお、歩行者横断時間については、横断歩道の長さを横断速度で除すことで求め、横断速度を $1.0[m/s]$ とする。

c) 青信号表示開始の繰下げ (時系列図中の桃色部分)

現示切り替わりに伴い、通行権が付与される方向の信号灯器に対して設定する。表示される信号灯火については、切り替りに当該方向の信号に表示されていた灯火が継続して表示されることになる。そのため、特に切り替り前の信号灯火が赤信号表示である場合には、信号切り替わりタイミングの直後から一定の時間にわたってすべての方向の信号が赤信号を表示する「全赤」の状態となることがある。そのため、今回の分類における信号表示の表示時間長を「全赤時間」と呼び、その設定方法が複数提案されている³⁾。ここでは、「平面交差の計画と設計 基礎編」²⁾ に従い計算を行う。

まず、対象とする方向と交差点内で交錯する方向を調べ、交錯する方向のうち、信号切り替りに通行権が付与されているものを見つける。次に、対象方向と各交錯方向が交錯する領域である「交錯点」を求める。ここで、対象方向に交錯する方向の数だけ交錯点が存在するが、そのそれぞれに対して、対象方向に対応する停止線と交錯点の間の距離（「エンタリング距離」）、および交錯方向に対応する停止線と交錯点の間の距離（「クリアランス距離」）を求める。このとき、信号切り替りに通行権が付与された方向の交通流が赤信号表示に切り替わる直前に停止線を通過した場合、交錯点を通過するのは「クリアランス距離」を走行速度で除することで得られる時間（「クリアランス時間」）だけ後となる。一方で、信号切り替りに通行権が付与される方向の交通流が、青信号表示に切り替わった直後に停止線を通過した場合、交錯点を通過するのは「エンタリング距離」を走行速度で除することで得られる時間（「エンタ

リング時間」）だけ後となる。この場合、信号切り替りに通行権が付与された方向の交通流が交錯点を通過するよりも後に信号切り替りに通行権が付与される方向の交通流が交錯点を通過するようにするためには、信号切り替りに通行権が付与される方向の青信号表示の開始を「クリアランス時間」と「エンタリング時間」の差だけ遅らせればよいということになる。今回は、「クリアランス時間」と「エンタリング時間」の差を、対象方向に対して複数存在する交錯方向のそれぞれの間で計算し、最も差が大きくなったものと等しい時間だけ切り替り前の信号灯火を継続することになる。このとき、「エンタリング時間」が「クリアランス時間」よりも長い場合には両者の差は負値となり、マイナスの繰下げとして、信号切り替えタイミングよりも前に信号切り替りに通行権が付与される方向へ青信号を表示することとなる。

なお、対象方向と交錯する方向が歩行者交通流の場合には、すでに歩行者信号灯器側で歩行者青信号表示の終了繰上げがなされていることから「クリアランス距離」をゼロとして扱う。また、対象方向が歩行者交通流の場合には、「エンタリング距離」をゼロとして扱い、赤信号表示時間を十分に長く確保することとする。

(4) 信号切り替りにより生じる損失の計算

今回は、各現示の表示時間長 c に対して、通行権が付与されている時間帯であるにも関わらず青信号以外の信号が表示され交差点を通行することができない時間の和を「損失」 l とみなすこととする。この場合の「損失」について、信号表示自体は流入路ごとの信号灯器で独立して設定されるものである一方で、同じ信号表示であっても流入路の車線ごとに通行可否の指示自体は異なる場合がある。例えば、ある流入路に対して左折方向の矢印が表示されているとき、当該の流入路のうち左折方向の交通流で構成される左折専用車線に対しては通行できるもの（青信号）としての指示が出されているが、それ以外の車線の交通流に対しては通行できないもの（赤信号）としての指示が出されていることになる。これを踏まえたとき、交差点における通行可否は流入路の車線単位で規定されるものとなるため、今回の「損失」についても、現示ごとに車線単位で定義される。そこで今回は、車線ごとに「損失」を集約することで現示ごとの「損失」を、さらに現示ごとの「損失」を集約することでサイクル全体での「損失」を評価することとする。

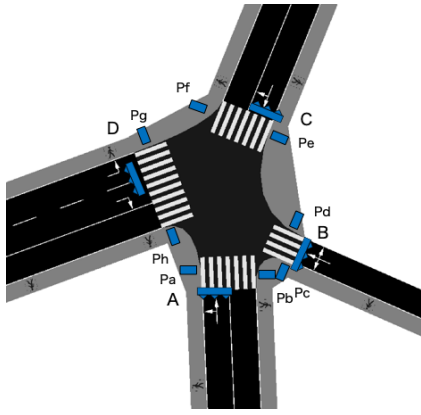


図-2 本節で想定する変形交差点

3. 切替り損失評価に基づく信号制御設計

(1) 変形交差点における信号現示方式の検討

典型的な十字路交差点の信号制御では、左右方向と上下方向に対して交互に通行権を付与する「標準 2 現示制御」を行うことが一般的である。「平面交差の計画と設計 基礎編」²⁾にもあるように、単位サイクル中に表示する現示の数を多くすることで、信号切替りの頻度が多くなり、切替りごとに生じる損失時間が交差点処理能力に与える影響が相対的に大きくなる。

一方で、流入車線別や方向別の単位で通行権の付与を行う「ムーブメント制御」⁴⁾を想定する場合や、歩車分離現示方式を適用する場合、また交差点幾何構造により 2 現示では交差点のすべての方向に通行権を付与できない場合など、単位サイクル中の現示数が 3 以上になる「多現示制御」を行わざるを得ないことがある。ここで、2 現示制御とは異なり、多現示制御の現示設計では現示の表示順序を設定する必要があるが、信号切替り前後に表示する現示ごとに生じる切替り損失は変化することから、切替り損失をできるだけ小さくするように現示の表示順序を設計することが効率的な信号制御の実現において重要である。

そこで本節では、変形交差点における信号現示方式の検討として、多現示制御を前提とした場合に、切替り損失の観点から現示の表示順序の定量的な評価を行う。

a) 想定する交差点と表示する信号現示

今回は、図 2 に示すような 4 流入路と横断歩道から構成される変形交差点を想定する。これらに対応して信号灯器 A~D (車両用) および Pa~Ph (歩行者用) を配置する。流入路のうち信号灯器 D に対応する流入路 D のみ 2 車線、そのほかの流入路は 1 車線で構成される。各車線の幅は 3.0[m] とし、車両の走行速度を 40[km/h]、歩行者の歩行速度を 3.6[km/h] と与える。

信号現示については、歩行者を含めたすべての交通流が交差点内で交錯しないことを前提とし、図 3 で示

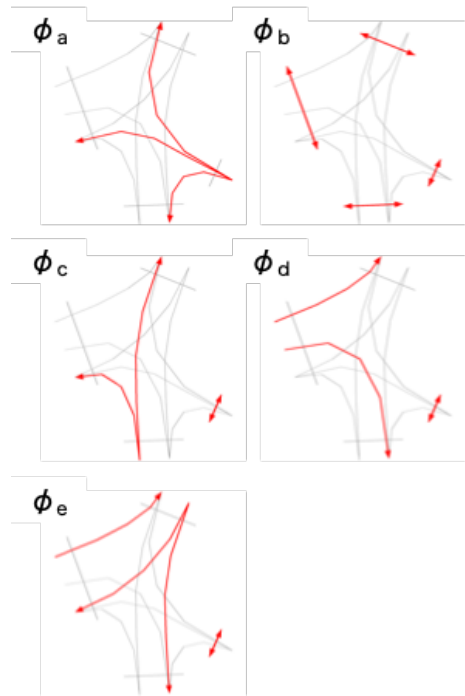


図-3 設定する信号現示 (赤実線の方向に通行権付与)

表-1 信号現示の表示順序別の切替り損失評価結果

組合せ	表示順序					サイクル全体の切替り損失 [s]
	I	II	III	IV	V	
S_1	ϕ_a	ϕ_b	ϕ_c	ϕ_d	ϕ_e	84
S_2	ϕ_a	ϕ_b	ϕ_c	ϕ_e	ϕ_d	86
S_3	ϕ_a	ϕ_b	ϕ_d	ϕ_e	ϕ_c	85
S_4	ϕ_a	ϕ_b	ϕ_e	ϕ_d	ϕ_c	85
S_5	ϕ_b	ϕ_a	ϕ_c	ϕ_d	ϕ_e	88
S_6	ϕ_b	ϕ_a	ϕ_c	ϕ_e	ϕ_d	86
S_7	ϕ_b	ϕ_a	ϕ_d	ϕ_e	ϕ_c	86
S_8	ϕ_b	ϕ_a	ϕ_e	ϕ_d	ϕ_c	85

す 5 の現示 $\phi_a \sim \phi_e$ をある順番で表示することとする。現示の表示順序について、円順列を考えると (表示する現示の数 - 1) の階乗だけの組合せが考えられることから、今回は 24 の異なる表示順序が存在することになる。ここでは、そのうちの 8 の異なる表示順序の組合せ $S_1 \sim S_8$ を表 1 左の通りに選び、それぞれの順番で信号切替えを行った際の切替り損失を評価することとする。

ここで、各現示の表示時間長を、現示の添え字と対応させるように $c_a[s] \sim c_e[s]$ と定める。このとき、各現示の表示時間長の和がそれぞれのサイクル長 C になる。

b) 切替り損失の計算

前章で整理した枠組みを用いて切替り損失の計算を行う。3 種類あるうちの切替り信号表示のうち、黄信号表示に対応する「青信号表示から赤信号表示への遷移

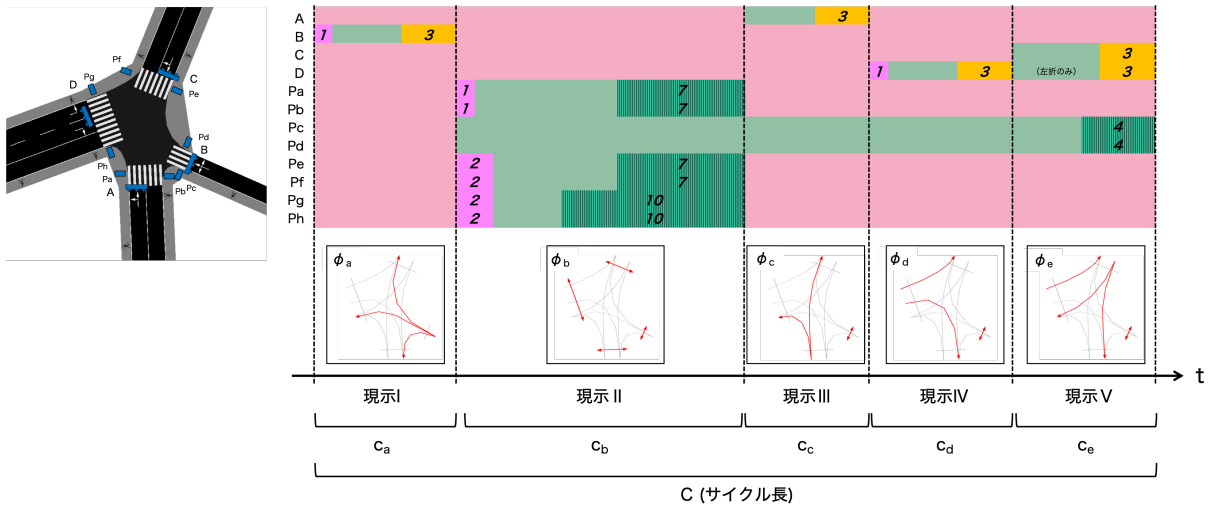


図-4 変形交差点における多現示制御を想定した信号表示切替りの時系列変化の一例

(時系列図中の黄色部分)」については、すべての方向において、車両交通流では $3[s]$ 、歩行者交通流では $0[s]$ と定める。歩行者青点減表示に対応する「青信号表示終了の繰上げ(時系列図中の青黒縞部分)」については、すべての方向において、車両交通流では $0[s]$ 、歩行者交通流では前章で記述した方法を用いて計算する。赤信号表示に対応する「青信号表示開始の繰下げ(時系列図中の桃色部分)」については、すべての方向において、車両交通流と歩行者交通流のともに前章で記述した方法を用いて計算する。

c) 切替り損失の評価結果

図 4 は、現示の表示順序 S_1 において、切替りに関連する信号表示を含めた各流入路の信号灯火の時系列変化を表示順序別に示したものである。図のように、縦線で表された信号切り替えタイミングのまわりに切替り処理が発生していることを確認できる。また、切替り前後の現示に応じて切替り処理の様子が異なり、損失も変化することがわかる。

図中に記された数字は、各切替り信号表示の表示時間長である。サイクル全体での切替り損失は、これらの数字を足し合わせることで求められる。ただし、信号灯器 D に対応する流入路 D については車線数が 2 となるため、それぞれの車線に応じた損失を計算する必要がある。特に 4 番目に表示される現示 ϕ_d において、信号灯器 D が表示する黄信号表示は右折専用車線のみに対するものであるため、この現示における流入路 D の切替り損失は、右折専用車線では桃色部分と黄色部分の両方を合算する一方で、左折専用車線では桃色部分のみを合算することとなる。また、5 番目に表示される現示 ϕ_e において、信号灯器 D が表示する黄信号表示は左折専用車線のみに対するものであるため、この現示における流入路 D の切替り損失は、左折専用車線では黄色部分を算入する一方で、右折専用車線では何も

算入しないこととなる。これらを踏まえると、現示の表示順序 S_1 におけるサイクル全体の損失は $84[s]$ と計算できる。

表 1 右は、表示順序ごとに切替り損失を集計し、サイクル単位での損失を求めたものである。このように、表示順序ごとに生じる切替り損失には差が生じることがわかる。第 1 章において言及したように、ある交通処理能力を確保するうえでは切替り損失が大きいほどサイクル長を長くする必要があり、利用者が被る遅れが大きくなる傾向となる。したがって、より切替り損失が小さくなる表示順序の現示方式を用いることが望ましいと評価できる。

(2) 二段階横断方式を想定した交差点空間設計の検討

現示方式の設計だけでなく、横断歩道の配置などといった交差点の空間的な構造によっても信号切替りが変化し、信号交差点の処理能力に影響を及ぼす。これに関連して、信号交差点への二段階横断方式導入に関する検討の枠組みにおいて、交差点処理能力の向上に関する言及がなされている。ここで、信号交差点における二段階横断は、一般に 2 つの連続する横断歩道を渡る歩行者に対して横断歩道ごとに異なる信号を用いて通行を指示することを意味する⁵⁾。

家田ら⁶⁾は、二段階横断方式の導入によりサイクル長を短縮可能であることを指摘し、東京都内の信号交差点にて社会実験を実施、その効果を分析している。ここでは、信号切替り処理の効率化として直接的に扱われていないものの、二段階横断方式の導入によるサイクル長の短縮は歩行者が横断に要する時間が短くなることによってもたらされることから、前章で挙げた「青信号表示終了の繰上げ」に関連する信号切替り処理の効率化が実現している例であるといえよう。

このように、現状では特定の信号交差点における実

証的な検討に留まっているものの、本稿で整理した信号切替り損失を評価する枠組みを活用することで、二段階横断方式の導入が遅れなどの交差点の処理能力に与える影響などの定量的な検討が可能になる。

4. おわりに

本稿では、信号切替り時に生じる損失時間の適切な評価のもとに、現示組合せや表示順序といった信号現示設計や横断歩道配置などの交差点空間配置を検討することを目的として、信号切替り損失を解析的に評価する枠組みを整理するとともに、実際にこれを信号交差点に適用させて、切替り損失が信号交差点の制御設計に与える影響を調べた。その結果、信号現示の表示順序によって異なる信号切替り処理と切替り損失を定量的に評価することができ、特に現示数が3以上になる多現示制御では、切替り損失の影響を考慮したうえで信号現示設計を行うことの重要性が示されたといえる。

なお、交差点空間配置によっても信号切替り処理が異なり、今回の切替り損失評価の枠組みを用いることでこれを定量的に調べることが可能である。今後、交差点空間配置に関する検討の一例として、二段階横断方式の導入による切替り損失評価にも取り組む予定であり、適切な成果が出た際には研究発表会の場で報告したいと考えている。そして、現時点ではサイクル全体での「損失」の計算のみに留まっているが、今後は、今回の枠組みで得られた「損失」と、有効青時間率や遅れ、交通容量などといった交差点処理能力との関係性を整理していき、より多くの観点から信号切替り処理が信号制御設計に及ぼす影響を示していくことを目指している。

謝辞: 本研究は、国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) の支援による「行動変容と交通インフラの動的制御によるスマートな都市交通基盤技術の研究開発」の一部として実施した。

参考文献

- 1) 大口敬・山口智子・鹿田成則・小根山裕之: 信号交差点における損失時間の実証分析 - 青から右折矢への切替り時のケーススタディー-, *土木学会論文集 D3 (土木計画学)*, Vol.68, No.5, pp.I-1175-I-1183, 2012.
- 2) 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, 2018.
- 3) 太田代有紀子・唐克双・桑原雅夫: 信号切り替わり時の交錯車両間の危険度に関する国際比較分析, *生産研究*, Vol.63, No.2, pp.191-195, 2011.
- 4) Road, G. and Association, T. R.: *RiLSA (Guidelines for Traffic Signals)*, 2015.
- 5) 中村英樹: 二段階横断の意義と課題, *土木計画学研究・講演集*, Vol.53, No.25-01, pp.2026-2030, 2016.
- 6) 家田仁・鳩山紀一郎・野田素良・瀬木俊輔: 二段階横断方式による信号サイクル長短縮の社会実験とその効果分析, *交通工学*, Vol.45, No.6, pp.64-73, 2010.

(Received September 30, 2022)

Signal Phasing Plans Based on Analytical Evaluation of Signal Change Intervals

Ken SHIRAHATA, Masaki ITO and Takashi OGUCHI