

損失時間の適正な評価のための信号現示切り替わり時における車両挙動の分析*

An Analysis on Vehicle Behavior at the Signal Change Interval for Evaluation of Lost Time*

小野剛志**・片岡源宗***・田中伸治****・桑原雅夫*****

By Takeshi ONO**・Motomune KATAOKA***・Shinji TANAKA****・Masao KUWAHARA*****

1. はじめに

信号現示切り替わり時には、それまで通行していた交通を安全かつ円滑に停止させる必要があり、そのために黄時間と全赤時間が挿入される。このとき、いずれの方向から来る車両も交差点に進入することができなくなるため、有効に使われない時間（損失時間）が発生する。損失時間はサイクル長の計算に用いられるなど、交差点における信号制御を考える際に重要なパラメータとなる。しかし、わが国¹⁾では損失時間は右折専用現示の有無といった信号現示パターンの違いは考慮せずに黄時間と全赤時間から算出されるため、必ずしも交通の実態に即しているとは言えない。右折車に着目すると、信号現示パターンを右折可能な現示によって「青矢だけ」、「青丸だけ」、「青丸+青矢」の3パターンに分類でき、各信号現示パターンによって発進時停止位置が異なることなどにより、信号切り替わり時の車両挙動には異なる特性が見られると考えられる。そこで本研究では、右折車の信号切り替わり時の車両挙動を分析することによって損失時間の適正な評価を試みる。

また、全赤時間は損失時間の大部分を占めるため、損失時間の適正な評価に意義をもたせるためには全赤時間を適正に設定することが求められる。全赤時間は長く設定すると損失時間が増大し、信号による遅れを増幅させてしまうことになるため、交通の円滑性を考慮するためにはできるだけ短く設定することが望ましい。しかし、短く設定すると次現示が始まるまでに交差点内の車両を捌ききれず、交錯の危険性が高まってしまう。したがって、交差点交通を安全・円滑に管理するためにも全赤時間の適正な設定が必要不可欠であると言える。しかし、

わが国では全赤時間は直進車を対象に停止線間距離を接近速度で除することで決定されており、右折車の挙動が考慮されていないため、適正に設定されているとはいえない状況である。これに対し、ドイツ²⁾では右折車を含めて対象現示の最後尾車両と次現示の先頭車両との交錯点（コンフリクトポイント）を全て考え、その中で最も危険になるものを基準として全赤時間が設定されている。したがって、ドイツの全赤時間の設定方式を日本へ導入することで全赤時間を適正に設定することができる可能性がある。前述したように、右折車の信号切り替わり時の車両挙動は信号現示パターンによって異なると考えられる。そこで本研究では、前述した3種類の信号現示パターンにおけるドイツの全赤時間の設定方式の導入可能性を検討し、比較を行う。木村ら³⁾が既に、先に述べた3種類の信号現示パターンのうち「青丸だけ」、「青矢+青丸」の2種類の信号現示パターンの信号交差点においてドイツの方式の日本への導入の可能性を検討している。そこで本研究では、残りの「青矢だけ」の信号交差点において調査・解析を行い、ドイツの方式の日本への導入の可能性を検討し、その有効性を検証する。

2. 損失時間の信号現示パターンによる違い

わが国において、損失時間は式（1）によって算出されている。

$$L = \sum_j^n (Y_j + AR_j) - n \quad (1)$$

ここで、 L は損失時間（秒）、 Y は黄時間（秒）、 AR は全赤時間（秒）、 n は黄時間が4秒以上、または（黄時間+全赤時間）が5秒以上となる現示の切り替えの発生回数（1サイクル当たり）である。

しかし、右折車に着目すると表-1に示すように（青丸時には対向車が切れ目なく交差点を通過しているために交差点を通過することができないと仮定）、信号現示パターンの違いによって信号切り替わり時における車両の挙動が異なると考えられるため、損失時間は車両挙動を考慮して算出するべきである。

*キーワード：交通流，交通制御，交通安全，損失時間

**非会員，東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻
（東京都目黒区駒場4-6-1-Cw504，TEL 03-5452-6419，
E-mail t-ono@iis.u-tokyo.ac.jp）

***正会員，修（工），高知工科大学社会マネジメント研究所

****正会員，博（工），東京大学生産技術研究所

*****正会員，Ph. D.，東京大学生産技術研究所

表－1 各信号現示パターンでの右折車の挙動の特徴

	発進時の停止位置	発進のタイミング
青矢だけ	停止線	青矢開始時
青丸だけ	交差点内	現示切り替わり時
青丸+青矢	交差点内	青矢開始時

3. 全赤時間の設定方式の比較

先進国における全赤時間の設定状況を見ると³⁾、日本やアメリカのように停止線間距離から算出する方式と、ドイツやオーストラリアなどのように停止線とコンフリクトポイント間の距離から算出する方式に分けられることがわかる。本研究ではドイツの方式に着目し、日本の方式との比較を行う。

(1) 日本

わが国において、全赤時間は式(2)によって算出されている。

$$AR = \frac{W}{V} \quad (2)$$

ここで、 W は停止線間距離 (m)、 V は接近速度 (m/秒) である。

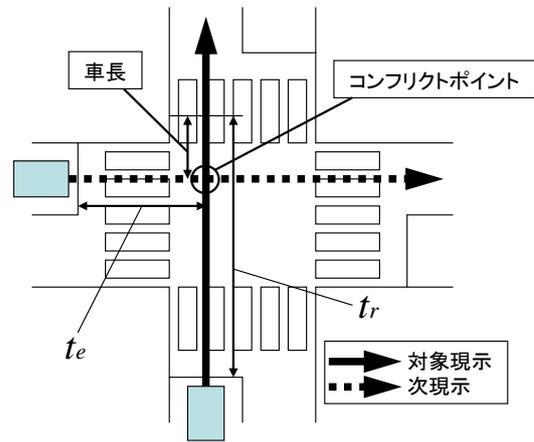
(2) ドイツ

ドイツでは、コンフリクトポイントという概念を用いて全赤時間を設定している。この方式では、全交錯パターンを考慮して、対象現示の最後尾車両と次現示の先頭車両および先頭歩行者のコンフリクトポイントの通過時間差より全赤時間を算出する。ドイツの方式の全赤時間の算出式を式(3)に示す。また、その概念図を図－1に示す。

$$AR = t_r - t_e \quad (3)$$

ここで、 t_r は対象現示車両の“停止線～コンフリクトポイント+車長”間の通過時間(秒)、 t_e は次現示車両の“停止線～コンフリクトポイント”間の通過時間(秒)である。

図－1では1つのコンフリクトポイントを示したが、実際には右左折車、歩行者も含めた全コンフリクトポイントにおける全赤時間を算出し、その中の最大値をもとに全赤時間が設定される。また、ドイツにおいては直進車であるか右左折車であるかといった条件によって車両の速度が一定の値に定められており、この速度を用いて t_r や t_e は計算される。しかし、本研究ではより実態に即した全赤時間の算出をするために、 t_r と t_e の実測値を用いることとする。以降、この方式をドイツの方式(実測値)と呼ぶこととする。



図－1 ドイツの方式の概念図

4. 調査概要

前述したように、木村らによって「青丸だけ」、「青丸+青矢」の2種類の信号現示パターンについてはそれぞれ習志野台3丁目交差点、村上団地入口交差点において調査・解析がなされている。そこで今回、「青矢だけ」の信号現示パターンの信号交差点として日比谷交差点(写真－1)を選定し、調査・解析を行った。それぞれの交差点の概要を以下に記す。

(1) 習志野台3丁目交差点(青丸だけ)

表－2に習志野台3丁目交差点の信号階梯を示す。主従道路とも片側1車線で、歩車分離式の信号制御が行われている交差点である。規制速度は全流入部で40km/時となっている。青丸時に右折可能である。

表－2 信号階梯図(習志野台3丁目交差点)

STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9
概略図		黄	全赤		黄	全赤		黄	全赤
設定秒数	23	3	2	30	3	2	21	3	3

サイクル長：90秒

(実線矢印は自動車、破線矢印は歩行者の通行権を示している。)

(2) 村上団地入口交差点(青丸+青矢)

表－3に村上団地入口交差点の信号階梯を示す。片側2～3車線の幹線道路が交差した交差点であり、主従道路ともに右折専用青矢現示が設けられている。規制速度は主道路で60km/時、従道路で40km/時となっている。青丸時と青矢時に右折可能である。

表－3 信号階梯図(村上団地入口交差点)

STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
概略図		黄		黄	全赤		黄		黄	全赤
設定秒数	87	3	10	3	3	35	3	10	3	3

サイクル長：180秒

(実線矢印は自動車、破線矢印は歩行者の通行権を示している。)

(3) 日比谷交差点(青矢だけ)

表－4に日比谷交差点の信号階梯、そして図－2に現況図を示す。片側3～5車線の幹線道路が交差した交差点

であり、主従道路ともに右折専用青矢現示が設けられている。規制速度は主道路で60km/時、従道路で40km/時となっている。青矢時に右折可能である。



写真-1 日比谷交差点
(桜田門・内幸町方面に向かって撮影)

表-4 信号階梯図 (日比谷交差点)

STEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
アプローチ1	直左矢	右折矢	右折矢	右折矢	右折矢							
アプローチ3	直左矢		右折矢									
アプローチ2							直左矢		右折矢			
アプローチ4							直進矢		右折矢			
概略図	↓	黄	↓	↓	↓	黄	全赤	↔	黄	↔	黄	全赤
設定秒数 (7時台/8時以降)	38/42	4	9/13	2	4/8	2	3	46/45	4	8/15	2	4

青 黄 赤 サイクル長 (7時台/8時以降) : 126秒/144秒
(実線矢印は自動車、破線矢印は歩行者の通行権を示している。)

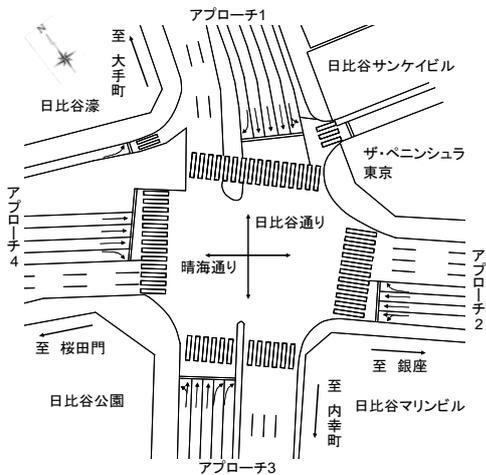


図-2 現況図 (日比谷交差点)

5. 全赤時間の算出

ドイツの方式 (実測値) の導入にあたり、安全性を確保するために式 (4) によって全赤時間を算出した。

$$AR = t_{r85} - t_{e15} \quad (4)$$

ここで、 t_{r85} は対象現示車両の“停止線～コンフリクトポイント+車長”間の通過時間の85パーセンタイル値 (秒)、 t_{e15} は次現示車両の“停止線～コンフリクトポイント”間の通過時間の15パーセンタイル値 (秒) である。ドイツの方式 (実測値) による全赤時間の算出結果を

表-5 に示す。

表-5 ドイツの方式 (実測値) による算出結果

	STEP	ドイツの方式 (実測値)	現在の全赤時間
習志野台3丁目	STEP3	3.03	2
	STEP6	7.64	2
村上団地入口	STEP5	3.29	3
	STEP10	2.16	3
日比谷	STEP7	2.85	3

単位: 秒

(1) 習志野台3丁目交差点 (青丸だけ)

現在よりも長い全赤時間が必要であるという結果が出た。交錯状況を見てみると、STEP3, 6いずれも対象現示の最後尾車両が右折車の場合である。STEP6では右折時の流入先の歩行者との交錯がクリティカルとなっており、特に長い全赤時間が必要であると算出された。ただし、右折する際に対向車の存在のために交差点進入後に交差点内で停止する車両が見られ、そのために t_e が長くなってしまっていることが大きく影響しており、そのようなデータを排除するなどさらに詳細な解析を行う必要がある。

(2) 村上団地入口交差点 (青丸+青矢)

現在とほぼ等しいか、短い全赤時間に設定できるという結果が出た。右折専用現示が存在するため、全赤時間の直前の現示の最後尾車両は必ず右折車であるが、ここで直進車や左折車が最後尾車両となる場合を仮定して解析を行うと、STEP5, 10いずれもクリティカルとなるのは直進車とその進入先の歩行者との交錯であり、それぞれ必要な全赤時間は5.07秒、4.05秒と算出された。したがって、右折専用現示があることで全赤時間は短く設定できる可能性があるといえる。よって、右左折車を考慮した全赤時間の設定が重要であると考えられる。

(3) 日比谷交差点 (青矢だけ)

STEP7の全赤時間を対象として解析を行った。STEP7では、図-3に示す①～⑦のコンフリクトポイントが存在する。しかし、コンフリクトポイント⑥については、アプローチ1およびアプローチ2からやってくる車両がほぼ皆無であるため、解析対象から外した。また、コンフリクトポイント⑦についても、車両がコンフリクトポイントを通過するのに要する時間が歩行者のそれと比較して小さいことは明らかで、クリティカルな交錯にはなりえないと判断し、解析の対象から外した。したがって、アプローチ1からの右折車と、次現示のアプローチ2, 4からの直進車との5つのコンフリクトポイント①～⑤に着目して解析を行うこととなった。その結果、現在より若干短い全赤時間に設定できると算出された。

また、日比谷交差点については t_r の平均値と t_e の平均値の差を取り全赤時間を試算したところ、1.21秒と算出された。これは式 (4) による算出結果と比較してかなり小さくなっている。したがって、安全面をどれだけ考

慮するかによって全赤時間が大きく変動するといえる。

以上より、ドイツの方式（実測値）を導入することで右折専用現示の後の全赤時間を短く設定することができる可能性があるといえる。

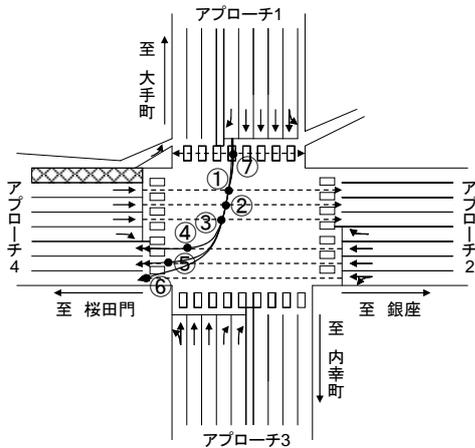


図-3 コンフリクトポイント（日比谷交差点）

6. 損失時間の算出

損失時間は信号が青に変わって車両が発進するとき生じる発進損失と交差点内にある車を一掃するのに要するクリアランス損失とを合計した値である（図-4）。本稿においては、日比谷交差点のSTEP3～5のアプローチ1からの右折車について発進損失、クリアランス損失をそれぞれ計算し、損失時間の算出を行った。その結果を表-6に示す。

（1）発進損失

表-7に車頭時間の平均値を示す。ただし、飽和状態で考えるため、車頭時間が4秒以上になるものを含むサイクル、そして1サイクルでの車両通過台数が6台未満のサイクルを除去して計算を行った。この表から、2台目以降で車頭時間の平均値はほぼ一定になっているので、累積図において2～6台目で線形回帰曲線を引き、x軸との交点におけるxの値を発進損失とする。今回、発進損失が負の値となったが、これは直前の黄表示が始まった時点でもうすぐ右折矢が出ることがわかっているために、スタートのタイミングが早まっていることによると考えられる。これは今回調査を行った54サイクル中24サイクルでフライングが発生していることから伺える。

（2）クリアランス損失

最後尾車両が黄表示開始以後に交差点に進入しているサイクルを対象にして、黄表示開始から最後尾車両の停止線通過までの時間を平均したものをSTEP6, 7における有効青時間とする。そして、黄時間と全赤時間の和（=2+3=5秒）と有効青時間との差をとったものがクリア

ランス損失となる。

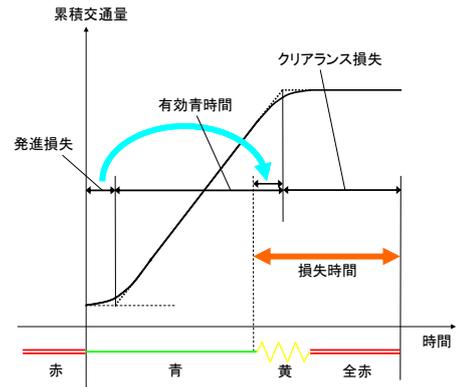


図-4 一般的な1つの現示における損失時間

表-6 損失時間

発進損失	クリアランス損失	損失時間
-0.40	3.27	2.87

単位：秒

表-7 車頭時間の平均値

先頭-2台目	2.84
2台目-3台目	2.07
3台目-4台目	2.05
4台目-5台目	2.09
5台目-6台目	1.96
6台目-7台目	1.81
7台目-8台目	2.13
8台目-9台目	1.89
9台目-10台目	2.11
10台目-11台目	2.24
11台目-12台目	1.49

単位：秒

以上の方法で算出された損失時間は2.87秒であり、式（1）によって算出される $2+3-1=4$ 秒と比較して小さい値となっている。現在のわが国における方式では損失時間を適正に算出できていない可能性があるといえる。

7. おわりに

本稿で、右折専用現示が存在する場合にはドイツの方式（実測値）を用いることで全赤時間を短くすることができる可能性があることを示した。また、日比谷交差点において車両挙動から損失時間を算出し、現在の方式よりも短い値となることを示した。以上より、損失時間の評価を行う際には車両挙動の実態を踏まえて検討を行う必要があるといえる。今後は他の信号現示パターン of 交差点においても同様の試算を行い、比較をしていく予定である。

参考文献

- 1) 社団法人 交通工学研究会：改訂 交通信号の手引、丸善株式会社、2006。
- 2) ROAD AND TRANSPORTATION RESEARCH ASSOCIATION：Guidelines for Traffic Signal RiLSA, 2003。
- 3) 木村純司・高田邦道：車両挙動からみたインターグリーンタイムの適正化に関する研究、日本大学大学院 平成18年度修士論文、2007。