

空間型感知器を用いたジレンマ感応制御方式のフィールドへの適用*

Field Trials of A New Dilemma-Free Traffic Signal Control with Space Detectors based on Image-Processing *

高橋義典**・齋藤威***・板倉誠司**・北川朝靖**

By Yoshinori TAKAHASHI**・Takeshi SAITO***・Seiji ITAKURA**・Tomoyasu KITAGAWA**

1. はじめに

信号機による交通制御を行う上で信号現示の切り替えは、最も重要な安全上の要素である。切り替え時に運転者が停止しようか通過しようかと判断に迷うことがあるためである。これに関する議論は1950年代から様々^{1) - 3)}になされてきているが、総じて黄時間や全赤時間の算出手法^{4), 5)}の問題として議論され、既に、最適時間の算出方法が提案され定着している。一方、信号現示の切り替え時における追突事故等の抑止を目的とした信号制御方法も開発されており、米国の青時間延長システム(GES: Green-phase Extension System)⁶⁾は、その代表例である。接近速度の高い状況に限定しジレンマ・ゾーンの上下流端に配した感知器の情報によりゾーン内の車両の有無を推定し、青信号の延長もしくは黄信号の開始を決定するもので、ジレンマ・ゾーンは停止確率によって一義的に規定した区間として設定している。同様なシステムはスウェーデン⁷⁾やフィンランド⁸⁾でも開発され、既に効果的な手法であることが確認されている。

本報で対象とするジレンマ感応制御方式^{9) - 11)}は、米国のGESと基本的には同様な考え方であるが、対象交通の範囲を拡張し、対象ゾーンを理論的かつ実現象の検証に基づき設定するよう高度化したものである。既に、平成3年度以降、全国的に導入され、追突事故の防止等、一定の効果をあげてきている。

*キーワード：交通制御、交通管理、交通安全

**非正員、日本信号株式会社 交通情報システム技術部

(埼玉県久喜市大字江面字大谷 1836-1、
TEL0480-28-3354、FAX0480-28-3821)

***正員、工博、科学警察研究所

(千葉県柏市柏の葉 6-3-1、
TEL04-7135-8001、FAX04-7133-9187)

しかし、この方式では、車両の走行状態を仮定している部分があるため、適用できる場所が制約され、勾配部や曲線部といった追突事故等の対策上、本来、適用したい場所への適用が難しいという課題を抱えていた¹²⁾。

この課題を克服するために、空間型感知器を用いた制御システムを試験的に構築し、フィールドでの適用実験を試みた。本稿では、この制御方式の概要とともに、実験結果について報告する。

2. ジレンマ感応制御方式の概要と課題

信号現示の切り替え時に運転者が停止しようか通過しようかと判断に迷う状態がいわゆる「ジレンマ状態」であり、この状態の生起は、その時の走行速度と走行位置、黄信号の長さに依存している。普通に停止も通過もできない状態(ジレンマ・ゾーン)と、停止も通過もできる状態(オプション・ゾーン)の2つの状態(ここでは、総称してジレンマ状態という)があるが、いずれも追突事故等の危険性のある状態である。ジレンマ感応制御は、このようなジレンマ状態を回避することを目的として開発した制御方式である。

なお、このような制御方式の種類としては、黄信号の開始タイミングを調整する方式と、黄信号時間の長さを調整する方式の両者が考えられているが¹¹⁾、本方式は前者に該当するものである。

(1) 制御メカニズム

既に全国的に導入されているジレンマ感応制御方式(以下、現行方式という)のメカニズムは、図1のとおりである。

まず、停止線の上流、約150mの地点に設置した速度感知器により、通過車の速度を計測した上で、当

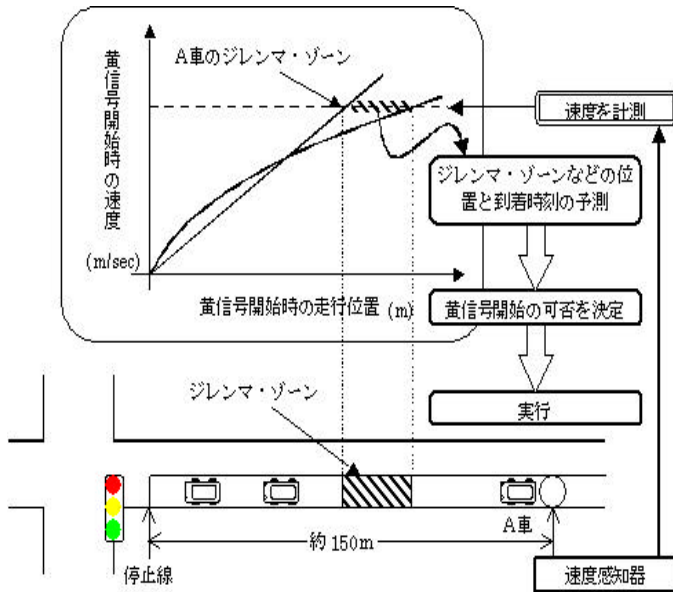


図 - 1 現行方式のメカニズム

該車両がそのままの速度で下流側に走行すると仮定して、黄信号開始時の走行位置の予測を行う。次に、その予測結果から当該車両がジレンマ・ゾーンおよびオプション・ゾーンに存在することになる場合には、黄信号を開始せずに青信号を継続し、存在しない場合にのみ黄信号を開始する。ただし、予め設定する最大青時間に達した場合には、無条件で黄信号を開始する。

(2) 制御効果

本制御方式を平成3年度～平成11年度までに導入した全国の79交差点における事前事後1年間の交通事故件数を分析した結果、事後には人身事故件数が約41%の減少であった¹³⁾。また、事故類型別では、「追突」や「出会い頭」の減少傾向（出会い頭事故は半減以上）が明らかにされている。

(3) 現行方式の課題

現行方式の制御効果をさらに高めるためには、次のような課題が残されている。

まず、ジレンマ・ゾーンおよびオプション・ゾーンにおける車両の存否判定を速度感知器（停止線の上流約150mに設置）による計測速度と通過時刻から求めた予測結果に基づいて行っている点である。ここでの予測は、「計測速度は下流側への走行に伴ってほとんど変化しない」という仮定に基づいているが、実際には変化していることが想定される。特に下り勾配部やカーブ区間などでは、そもそも追突事

故等が多いと考えられるので、本方式を適用したいのであるが、仮定そのものが成立しないことが考えられ、適用したとしても効果的な運用ができないであろうという問題である。

第二に、速度計測誤差および上記仮定を成立させるための速度変化分を見越して、理論的なジレンマ領域（ここではオプション・ゾーンも含む）に対して、幅を持たせたゾーンの設定を行っている点である。そのため、ジレンマ領域に車両が存在すると判定する機会が実態以上に多くなるために、感應機会が減少し、結果として制御効果を低下させているものと想定される。

これらをまとめると、黄信号を開始できる（感應動作すべき）ときに青信号を継続していたり、青信号を継続すべき（ジレンマ状態が発生している）ときに黄信号を開始してしまうといった、いわゆる誤動作が生じている可能性も考えられる。

なお、導入、管理上の課題として、速度感知器は車線単位に必要となるため、導入費だけでなく保守管理費の負担も考慮すべき点である。

3. 空間型感知器の適用とその効果

(1) 空間型感知器の適用

現行方式では「上流地点における計測速度は下流においてもほとんど変化しない」という仮定に基づき、上流の速度感知器の地点速度を用いて、ジレンマ状態の有無を推定しているが、制御効果をさらに向上させるためには、上記の仮定に依存しない制御方式の考案が必要である。すなわち、ジレンマ状態を的確に回避するためには、時々刻々と変化する車両の走行位置と速度をリアルタイムに計測し、ジレンマ状態の有無を判定する必要がある。換言すれば、現行方式における地点速度に基づく予測（間接的な計測）に相対して、走行位置と速度を「空間的に」捕らえ、予測せず直接計測すればよいと考えられる。

このように、空間的にある範囲内に存在する車両の走行位置と速度を直接計測するためには、ある範囲内の車両を一括して把握できる空間的視点の感知器が必要となる。そこで新方式では、このような空間型感知器の適用を試みることにした。

(2) 新しい制御方式のメカニズム

図 - 2 は、新方式のメカニズムを示したものであり、処理概要を以下に示す。

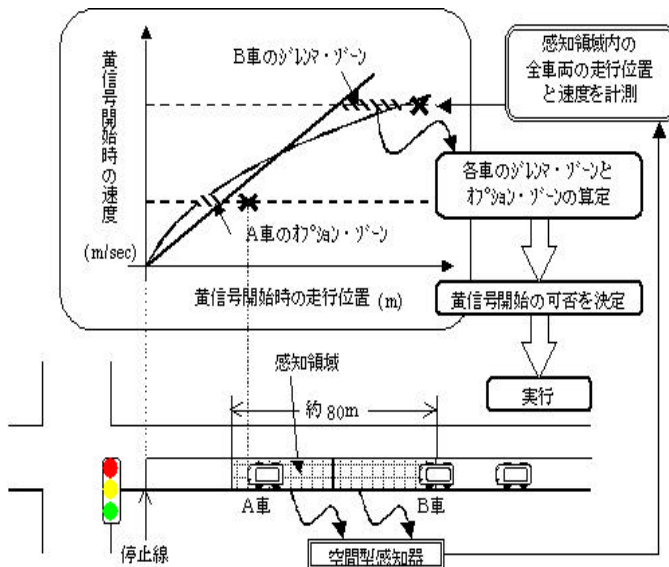


図 - 2 新方式のメカニズム

空間型感知器（ここでは空間的な計測が可能な画像感知器を使用）により感知領域内におけるすべての車両の走行位置と速度をリアルタイム（概ね0.1秒ごと）に計測する。感知領域は、感知器の数、性能、設置条件に支配されるが、少なくとも60～80m以上になるように設定する。

計測されたすべての車両に対するジレンマ・ゾーンとオプション・ゾーンを算定し、各車両がゾーンに入っているか否かについて判定する。

の結果、いずれかのゾーンに車両が1台でも存在している限り、青信号を継続し、すべての車両がいずれのゾーンにも入っていない時点で、ただちに、黄信号を開始する。

の結果、青信号の継続時間が継続限度時間に達した場合には、無条件に黄信号を開始する。

このような新方式のメカニズムにおいても、感知器による計測誤差は発生する（項処理時に加味）が、現行方式の「上流地点での計測速度は下流への走行に伴ってもほとんど変化しない」とする仮定がないので、その分に相当するジレンマ判定の精度の向上が期待できるものと考えられる。

(3) 制御効果

実フィールドにて新方式を適用し、新方式の制御効果を検討するために、感應制御の実施状況やジレ

ンマ状態の回避状況等のデータ収集を行った。なお、比較のために、現行方式下においても同様なデータ収集を行った。

a) 感應制御の実施状況

感應制御の実施回数を集計した。その結果、新方式では、140サイクル中、130回（92.9%）と高い頻度で感應が実施されていた。一方、現行方式では、67回（47.9%）であり、新方式は現行方式の約2倍に向上した。それぞれの方式を適用した時の交通状況にはほとんど違いがみられなかったため、実施回数の差は、制御方式による差と考えられる。よって、新方式では、感應機会を活かして、ジレンマ状態の回避を的確に実行しているものと言える。

b) ジレンマ状態の発生状況

黄信号開始時にジレンマ・ゾーンおよびオプション・ゾーンに存在した台数を計測して、ジレンマ状態の発生状況を調べた。両ゾーンへの車両の存否は、黄信号開始時の走行位置と速度から判定し、対象は、黄信号に直面して通過や停止の判断をする場合の判断負荷が最も高いと想定される通過最後尾車（黄信号開始後、最後に交差点に進入した車両；各車線ごとに特定）および停止先頭車（黄信号開始後、最初に停止した車両；各車線ごとに特定）とした。発生状況の集計結果は、表 - 1 のとおりである。

表 - 1 ジレンマ発生状況

項目	新方式	現行方式
サンプル数【n】	218 台	219 台
オプション・ゾーン内存在台数：A	22 台	35 台
ジレンマ・ゾーン内存在台数：B	0 台	0 台
A+B	22 台 (10.1%)	35 台 (16.0%)

台数は、通過最後尾車と停止先頭車の和である。また、()内の数値は、サンプル数に対する割合（ここではジレンマ率）を表す。

表 - 1 によると、新方式下では、ジレンマ状態に陥った対象車両の割合（以下、ジレンマ率という）が10.1%となり、約90%がジレンマ状態に直面しなかったことになる。現行方式下におけるジレンマ率は16.0%であったため、今回のフィールド実験では、新方式は、ジレンマ状態に直面する状況を、現行方式よりも6ポイント減少させていたという結果を得

た。つまり、新方式は、ジレンマ状態が起因する追突事故などの潜在的な危険性を、現行方式よりも減少できると考えられる。

c)ジレンマ状態の発生要因

ジレンマ状態となった各車両について、その要因を調査した結果、新方式における要因のほとんどが、空間型感知器の速度計測誤差によるもので、制御メカニズムに起因したのではなく、計測精度の向上により解決できる要因であることがわかった。一方、現行方式における要因はすべて、上流地点の速度が下流で変化したため、現行方式の「仮定」が成立しない車両に対するジレンマ状態の誤判定に基づいてジレンマ状態が発生したものとみられる。これは現行方式の課題として指摘した点そのもので、その存在が確認できた。

以上をまとめると、新方式は、現行方式の課題を解決し、制御効果の向上を示したといえる。

4.まとめと今後の課題

(1)まとめ

現行のジレンマ感応制御方式は、既に全国的に整備され、一定の効果を上げているが、制御効果を高めるために克服すべき課題も残されていた。

課題の克服のために、本研究では、空間的に車両の走行位置と速度を把握できる空間型の感知器の適用により、新たな制御方式の開発を試みた。さらに、新方式の効果等について検討するために、実フィールドにおいて、制御の実行頻度、ジレンマ回避性能について調査分析を行った。その結果から、新方式の特徴をまとめると次のようになる。

新方式では、感応機会を活かして、ジレンマ状態の回避を的確に実行している。

現行方式と比較して、ジレンマ率が約6ポイント減少しており、ジレンマ状態に起因する追突事故等の潜在的な危険性を減少させている。

空間型感知器の計測精度向上により、更なる効果の向上が期待できる。

これらの結果から、新方式を適用することで現行方式の課題を解決し、さらに、これまで適用が困難であった勾配やカーブ区間など、本来、この制御を適用したい場所への適用が可能となった。従って、

本制御方式のさらなる普及とともに、事故抑止効果が大きい期待できるという結論を得た。

(2) 今後の課題

設置場所の条件や交通条件などは様々であるため、それらの条件別に分析を重ねることが必要である。それによって新方式のより詳細な特徴とともに設置要件など、実用高度化に向けた諸要件が固められるものと考えられる。

5.おわりに

新方式が実用化され、交差点での事故防止効果がさらに向上することができれば幸いである。

なお、本研究におけるフィールド実験にあたり、多大なるご協力を頂戴した関係者の皆様に対して深く感謝するとともに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) T.M.Matson, W.S.Smith, and F.W.Hurd: Traffic Engineering, McGraw-Hill Book Company Inc., pp.326, 1955.
- 2) H.K.Evans: Traffic Engineering Handbook, Institute of Traffic Engineers, New Haven, 1950.
- 3) D.Gazis, R.Herman, and A. Maradudin: The Problem of the Amber Signal Light in Traffic Flow, Traffic Engineering, pp.19-26, 53, July 1960.
- 4) J.A.Butler: Another View of Vehicle Change Intervals, ITE Journal, pp.44-48, March 1983.
- 5) 'Transportation and Traffic Engineering Handbook, 2nd Edition, pp.956, Institute of Transportation Engineers, 1982.
- 6) C.V.Zegeer and R.C.Deen: Green Extension Systems at High-Speed Intersections, ITE Journal, pp.19~24, November 1978.
- 7) A.Peterson and T.Bergh: LHOVRA - A New Traffic Signal Control Strategy for Isolated Junctions, Traffic Engineering + Control, pp.388-389, July/August 1986.
- 8) J.Tervala and K.Appel : New Signal Control Strategies on High-Speed Roads in Finland, Traffic Engineering + Control, pp.114-118, March 1987.
- 9) 齋藤 威：「ジレンマ回避制御方式の開発」, 科学警察研究所報告交通編, 33(2), pp.1-13, 1991
- 10) 齋藤 威：「ジレンマ・ゾーンの回避を意図した信号制御方式とその効果」, 交通工学, 29(6), pp.11-22, 1994
- 11) 齋藤 威：「信号交差点における交通錯綜とその軽減方策に関する基礎的研究」, 博士論文(日本大学), 1994
- 12) 齋藤 威：「空間型感知器を用いたジレンマ感応制御方式とその効果」, 月刊交通, 2002年5月号, pp.86-96, 2002
- 13) 社団法人 日本交通管理技術協会：「交通安全施設の効果に関する調査研究()」, 資料編pp. 84-89, 2001