

令和元年6月16日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02270

研究課題名(和文) 平面交差点の信号制御システム設計最適化に関する実証研究

研究課題名(英文) An empirical study on optimization of signal control system design for at-grade intersections

研究代表者

大口 敬 (Oguchi, Takashi)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90281245

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 26,100,000円

研究成果の概要(和文)：交通安全上・円滑上極めて重要な交通の要衝である信号制御交差点を対象に、実証・シミュレーション・理論の3つのアプローチと、幾何構造構造、個別信号制御設計、複数交差点の連携の3つの視点から研究した。整流化予備信号による交差点交通容量の増加策の有効な条件導出、ドライビングシミュレータ実験による停止線と信号灯器位置の関係の違いの影響評価、左折車通行軌跡の推定モデル導出、横断歩道を2つの交差点間に設置することが有効な条件導出、変動する交通需要を街路ネットワーク上で信号制御設計パラメータを確率的最適問題の理論導出、および隣接する2つの交差点間の青時間タイミング(オフセット)の最適性の理論解明を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、近年改めて着目されている交差点部における車両と歩行者の安全性と効率的な交通処理のバランスを図りながら、交通流を安定的に運用し、交通社会に安心と快適を与える為に必要な基礎的な科学的知見を得る研究である。交差点に来て不合理な信号表示であれば、歩行者であればしばしば信号無視や横断歩道外横断をしてしまっているし、これに心理的にいらつくことなどが、間接的に車両のドライバの運転心理に影響を及ぼす。こうした不合理をなくし、効率的で安全なシステムを実現することに大きく貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：Signalized intersections are the mostly critical from the view point of traffic safety and efficiency. The study based on three approaches including empirical, simulation and theoretical ones, and from the view point of geometric design, isolated intersection control design and multiple intersection coordination. An effective condition of capacity increase at the intersections with pre-signal, an evaluation of different location of signal heads with a given stop line at a signalized intersection with driving simulator experiment, a trajectory model for left-turning vehicles, an effective condition of the installation of pedestrian crossings at mid-block of a link connecting successive intersections, a theory and stochastic extension of optimization modeling of coordinated traffic signal control based on the variational theory, and theoretical consideration of optimization condition of signal time difference between onsets of for successive two green signals are derived in this study.

研究分野：交通制御工学

キーワード：交通信号 整流化予備信号 信号灯器位置 ドライビング・シミュレータ 横断歩道設置位置 オフセット最適化 確率的最適化

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

道路の交差点は、異なる行き先の交通が交叉するいわば交通の要衝である。円形の環道を持つラウンドアバウト(Roundabout)制御は、安全性と無駄な停止を回避し、エネルギー消費も削減できることが知られているが、一定以上に多い交通需要の交差点では、信号灯器による信号制御を行うほうが安全面であるだけでなく、高い交通容量を確保して渋滞を回避できることが分かっており、信号制御が必要である。

信号制御とは、交通の流れに対して外部強制介入により停止・発進を指示するものである。したがって、適切に制御されなければ、待ち時間、停止発進によるエネルギー消費、渋滞発生とこれに伴うエネルギー消費、という大きな無駄が生じるとともに、必ずしも安全性も十分に向上するとは限らない。

平面交差点には、車線数確保や信号灯器を架設する信号柱の位置などの幾何構造、同時に通行権を与える方向の組合せやその順番の設計である制御パターン、およびその通行権を与える青信号表示時間長の割当、という異なる要素を考慮した計画・設計が必要であり、また、隣接する交差点同士、あるいは、街路ネットワーク全体の最適設計も求められる。

十分に交通需要が低い場合は、信号待ちが生じないように、生じて最小化するように制御することが求められるし、交通渋滞が生じそうな、あるいは生じた後では、交通容量を最大化して渋滞による累積的な遅れ時間の増大を抑制する制御が求められる。

こうした多様な課題の総合的な評価手法も確立されていないし、条件に応じて最適な交通信号制御、あるいは柔軟な対応をするための十分な理論的・実証的知見が圧倒的に不足している。またとくに欧米と比較して遙かに歩行者密度が高いアジアの日本に特有の交通事情も考慮して、欧米各国とは異なる考え方を確立する必要もあるものと考えられる。

2. 研究の目的

1. の背景に述べた多角的で総合的な信号交差点の計画・設計と交通制御の最適化を実現する体系の確立を目指す。本研究では、実証・シミュレーション・理論の3つのアプローチと、幾何構造構造、個別信号制御設計、複数交差点の連携の3つの視点から、複数の研究を実施する。

個別の交差点を対象としては、大きく3つのアプローチの研究を行う。1つは、交差点流入部に右左折直進の方向別車線を設ける代わりに、方向別の青信号表示の時間帯毎に、同じ車線を異なる方向に流出できるように、交差点手前に整流化予備信号を設置することで、交差点交通容量を大きく増加できる可能性がある。これをタンデムソーティング戦略(Tandem Sorting Strategy; TSS)と呼ぶ。本研究ではTSSの導入が適切な予備信号位置や利用可能な車線数などの適用条件を明らかにすることを目的とする(目的1)。

また、歩行者による交錯によって通過できる交通量が大きく阻害されて、交差点の効率性に大きく影響するとともに、その走行軌跡や速度が安全性にも影響する左折車の走行軌跡の特性を交差点構造に応じて評価できるモデルの開発を目的とする(目的2)。

交通信号は、交差点流入部において停止線を越えて交差点へ進入して良いかどうかを規定している。しかし停止線とこれに対応する信号灯器の物理的な位置関係が、ドライバの通過判断や発進挙動に影響することで、安全性や円滑性に影響が生じるはずである。ここでは、ドライビングシミュレータ実験環境を構築し、この実験によって停止線と信号灯器位置の関係の違いに影響評価することを目的とする(目的3)。

一方、複数交差点を対象に3つのテーマに取り組む。

1つは、大規模で、ただでさえ車両同士の交錯で安全上も効率上も厳しい中を制御設計の最適化を図らなければならない重要な交差点において、さらに歩行者までこうした交差点で交錯させることは、安全上も効率上もその性能を低下させることは明らかである。その場合に、横断歩道を2つの交差点の中間に移動することが効果を持つ可能性があるが、その条件は明確ではない。これを最適化問題として定式化して数値解析を行うとともに交通シミュレーションにより検証することを目的とする(目的4)。

また、街路ネットワーク上の信号制御において、ネットワーク全体の交通需要の変動を考慮して、青信号表示時間(青時間スプリット)や隣接交差点間の青信号表示開始タイミングの調整(オフセット)、およびサイクルという信号制御の設計パラメータを、多数の交差点について同時最適化する上で、確率的最適化問題として定式化し、その解法を理論的に導出することを目的とする(目的5)。

さらに、オフセットは隣接する2つの交差点間のタイミング設定のパラメータであり、これが複数交差点の調整のために単独の場合とは別に必要となる異質なパラメータであるが、そのパラメータの性質や、最適化問題については、性質の持つ複雑な特性から十分に解明されてきていない。本研究では、オフセット設計の最適性の理論解明に取り組むことも目的とする(目的6)。

3. 研究の方法

目的1, 目的4, 目的5については, 基本的に理論解析による最適化問題の定式化と, その解法の導出であり, またその妥当性, 有効性検証のために, 数値解析やシミュレーションを適用しながら実施する。

目的2のために, 交差点の車両軌跡を大量に収集できるビデオ画像から左折する車両の軌跡を大量に収集し, 速度変動と走行位置の実測データの持つ特徴を抽出する方法を検討するとともに, これらの車両軌跡を説明する車両挙動モデルを実証的に同定する。

目的3のために, 既存のドライビングシミュレータを活用しながら, 交差点のシナリオを解析できるように, シミュレータ・ソフトウェアの改良, 実験シナリオに使うデータ作成を行い, 実験計画と実験の遂行, 実証分析を中心として実施する。

目的6については, 問題構造の整理から十分に行われていない分野であることから, 簡単な設定から徐々に条件を一般化しながら, 理論的な考察を深め, 体系化を進めていく方針とする。

4. 研究成果

目的1については, 論文1), 学会発表1), 2), 4)として成果を公表している。まず, 交差点の安全性を高めながら効率性も向上させる画期的な革新的考え方として, 右折ができない構造と交通制御をして, 直進通過後にUターンして左折する, あるいは左折通過後にUターンして直進する, というUターン制御方式を取った場合の対象交差点の交通容量を評価するモデルを提案し, 通常制御方式と提案方式とを採用すべき閾値条件を明らかにした。

さらに, 図1に示すように, 交差点信号(Main Signal)の上流に整流化予備信号(Pre-signals)を設置するTSSを前提とした場合に, 車線長や車線数などの幾何構造制約を考慮した最適設計問題の定式化を行い, 通常の制御設計の場合との比較分析により, TSSが有効に機能する条件を明らかにした。

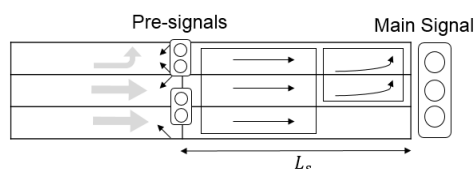


図1 TSSのコンセプト

目的2については, 学会発表3), 7)として成果を公表している。ここでは, ジャーク(加速度の時間変化率)最小化モデルを提案し, これによって左折車挙動を適切にモデル化できることを, 実測データを用いて実証し, またこれにより左折車挙動の変動成分を適切に記述できることを明らかにした。

目的3については, 論文7), 10)として成果を公表している。これは共同研究者の所属する首都大学東京保有のドライビング・シミュレータを活用し, 図2に示すように信号灯器を架設する信号柱を, 停止線からみて交差点を越えた先に設置する場合(farタイプ)と, 停止線の直近に設置する場合(nearタイプ)を仮想空間で設定し, 被験者に黄色信号表示開始時に交差点を通過するか停止するかを, 停止線までの距離と進入速度をいろいろ変化させながら評価したところ, nearタイプの場合の方が同じ位置・距離であってもより交差点を通行しようとする傾向があることを明らかにした。また停止線で停止している車両にとって, 赤信号表示から青信号表示に切り替わったとき, nearタイプの方が発進が遅れる傾向も見出した。

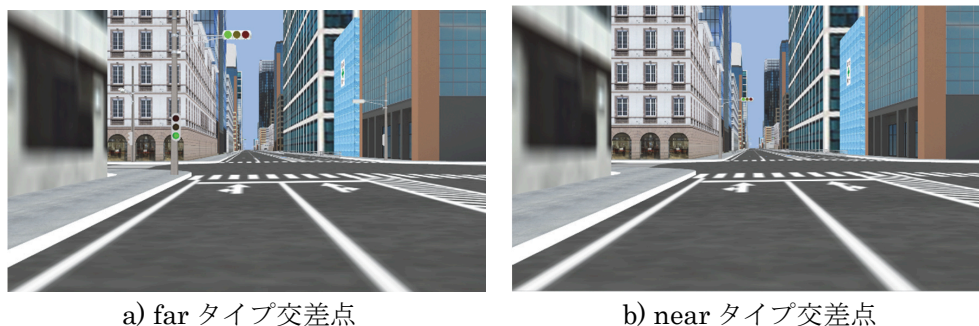


図2 ドライビング・シミュレータにおける信号灯器位置の違い

目的4については, 論文4), 8)および学会発表6)として成果を公表している。歩行者の横断場所選択モデルも入れた上で, ネットワークレベルの街路網と歩行者交通需要の発生点を路外に設定し, 自動車交通と歩行者交通における遅れ時間を同時最適する最適化問題を定式化して解くことで, 横断歩道を交差点部に設置する場合と, 交差点と交差点の間(単路部)に設定する場合とを比較し, 通常のように交差点部に横断歩道を設置するよりも, 単路部に横断歩道(単路部横断歩道)を設置する場合の方が, 自動車交通需要が高くても交差点を交通渋滞させずに

ネットワークの交通需要を処理できることを、数値計算と交通シミュレーションにより明らかにしている。なお、本研究の最終成果については、現在、学会論文としてとりまとめている最中である。

目的5については、論文2), 5), 9)および学会発表5)として成果を公表している。Variational Theory理論を用いてネットワーク交通流をモデル化し、交通需要の確率的変動を与件として与えた場合におけるネットワーク上の多数の信号制御パラメータに対して、確率的最適化の概念を提示し、その定式化を行っている。この最適化問題はそのままでは解くことができず、その数値解法についても独自の解法を提案し、その結果から最適解のもつ特性を解析している。

目的6については、論文3)と11)として成果を公表している。ここでは問題を単純化し、2つの隣接交差点の有効青時間が等しい場合について、これが50%の青時間スプリットの場合については、すでに日本の交通信号マニュアル(平面交差の計画と設計 基礎編 -計画・設計・信号制御の手引-, 2018年版)においても紹介されているが、まず、これの自然な一般化として、任意の値で2つの交差点で等しく交通需要が青時間スプリットに等しい場合について問題を整理している。遅れを最小化するスプリットが持つ特性を、交差点間距離、サイクル長との関係で定式化し、解析している。次に、2つの交差点の青時間スプリットが等しくない場合に拡張し、交通需要は青時間スプリットの小さい方の交差点で渋滞せずに通過できる最大交通量を交通需要と想定した場合における交差点間距離、サイクル長との関係を整理した。さらに、現在、交通需要が必ずしも青時間スプリットに一致せずに低い条件の場合に拡張した問題を整理しているところである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11件)

- 1) タンデムソーティング戦略による信号交差点の容量増強のケーススタディ. ガスパイ・サンディ・メイ, 大口敬, 和田健太郎, 井料(浅野)美帆, 生産研究, 68(2), 145-150 2016年3月
- 2) 確率的な需要の到着を考慮した信号路線の遅れ時間評価法. 白井健人, 和田健太郎, 大口敬, 井料(浅野)美帆, 生産研究, 68(2), 151-156 2016年3月
- 3) 2交差点間の系統制御に関する考察. 榎原肇, 大口敬, 交通工学論文集, 2(6), 1-10, 2016年10月
- 4) 市街地における単路部横断歩道運用方式の効率性比較. アブドゥラ・ムハンマド, 井料美帆, 和田健太郎, 大口敬, 生産研究, 69(2), 57-61, 2017年3月
- 5) 交通流の変分原理にもとづく系統信号路線の期待遅れ評価法. 和田健太郎, 白井健人, 大口敬, 井料(浅野)美帆, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 73(1), 85-96, 2017年3月
- 6) Predicting optimal trajectories for left turning vehicles at signalized intersections. C. Dias, M. Iryo-Asano and T. Oguchi, Transportation Research Procedia, 21, 240-250, 2017年6月
- 7) 灯器位置に着目した信号切り替わり時の運転挙動に関する DS 実験, 松田啓輔, 柳原正実, 小根山裕之, 交通工学論文集, 4(1), A_120-A_128, 2018年1月
- 8) 効率と安全性を考慮した交差信号の多目的最適化, アブドゥラ・ムハンマド, 大口敬, 生産研究, 70(2), 107-111, 2018年3月
- 9) An optimization modeling of coordinated traffic signal control based on the variational theory and its stochastic extension. K. Wada, K. Usui, T. Takigawa and M. Kuwahara, Transportation Research Part B: Methodological, 117(B), 907-925, 2018年11月
- 10) 灯器位置が異なる交差点の混在に着目した信号切り替わり時の運転挙動に関する研究, 松田啓輔, 柳原正実, 小根山裕之, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 74(5), I_1315-I_1325, 2019年1月
- 11) 青時間が異なる 2 交差点間の系統制御に関する考察. 榎原肇, 大口敬, 交通工学論文集, 5(3), 1-10, 2019年4月

[学会発表] (計 7件)

- 1) The Potential of the pre-signals in improving traffic conditions. S. M. Gaspay, T. Oguchi, K. Wada and M. Iryo-Asano, 11th EASTS Conference, 2015年9月
- 2) Signal setting rules under the tandem sorting strategy considering storage and green split constraints. S. M. Gaspay, T. Oguchi, K. Wada and M. Iryo-Asano, 14th World Conference on Transport Research (WCTR2016), 2016年7月
- 3) Predicting optimal trajectories for left turning vehicles at signalized intersections. C. Dias, M. Iryo-Asano and T. Oguchi, International Symposium of Transport Simulation International Workshop on Traffic Data Collection and its Standardization (ISTS & IWTDCS2016), 2016年7月
- 4) Delays at median u-turns. S. M. Gaspay, T. Oguchi, K. Wada, M. Iryo-Asano and P.

Ranjitkar, 23rd World Congress on ITS 2016, 2016年10月

5) An Optimization Modeling of Coordinated Traffic Signal Control based on the Variational Theory and Its Stochastic Extension. K. Wada, K. Usui, T. Takigawa and M. Kuwahara, Transportation Research Procedia: Papers Selected for the 22nd International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Vol. 23, 624-644, 2017年6月

6) Self-reported pedestrian mid-block crossing behavior: effects of Gender, age and region. M. Abdullah, T. Oguchi and C. Dias Compendium of TRB annual meeting 2019, 2019年1月

7) Modeling the Trajectories and Trajectory Variation of Left-Turning Vehicles at Signalized Intersection. C. Dias, M. Iryo-Asano, M. Abdullah and T Oguchi, Compendium of TRB annual meeting 2019年1月

6. 研究組織

研究分担者氏名：小根山 裕之

ローマ字氏名：ONEYAMA, Hiroyuki

所属研究機関名：首都大学東京

部局名：大学院都市環境科学研究科

職名：教授

研究者番号（8桁）：90313105

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：和田 健太郎

ローマ字氏名：WADA, Kentaro

研究協力者氏名：井料 美帆

ローマ字氏名：IRYO, Miho

研究協力者氏名：田中 伸治

ローマ字氏名：TANAKA, Shinji

研究協力者氏名：塩見 康博

ローマ字氏名：SHIOMI, Yasuhiro

研究協力者氏名：西内 裕晶

ローマ字氏名：NISHIUCHI, Hiroaki

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。