

別紙-1

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Evaluation of Traffic Signal Phasing Schemes
by Using Crossing Pedestrian Flow Models
(横断歩行者流動モデルを用いた信号現示設定の評価)

氏 名 張 馨 (ZHANG Xin)

論 文 内 容 の 要 旨

Although pedestrians have high priorities on the crosswalk in Japan, according to the annual report of National Police Agency of Japan, approximately 20% of the total number of traffic accidents occurred during pedestrians walking on the crosswalk at signalized intersections. One of the reasons can be considered as the conflict risk between pedestrian and turning vehicle, which can be considered as one of the most common safety problems at signalized intersections in Japan.

The separated traffic signal controls of pedestrians can be* utilized for eliminating the pedestrian-vehicle conflicts. One of the separated traffic signal controls of pedestrians is to provide an exclusive signal phase (EPP) for pedestrian movements by stopping all the vehicular movements. However, a long EPP results in long waiting time for all the users and low capacity for vehicles. Thus, how to optimize pedestrian signal phasing and its length has been one of the important concerns of traffic engineers. Recently, the Leading Pedestrian Interval (LPI) which provides several seconds of pedestrian green time before adjacent turning vehicle's green time, has been experimentally introduced in Japan as a safety measure for pedestrians. Since LPI will decrease the capacity of turning vehicles, sometimes the early pedestrian red time (EPR) can be utilized when vehicle volume is high. From the viewpoints of safety and operational performance, in general LPI and EPR can be located between concurrent pedestrian phase (CPP) and EPP. However in Japan, it is still unclear where the LPI can be applied to and its appropriate length considering characteristics of intersections.

Therefore, this study aims to develop a methodology for investigating the rational traffic signal phasing schemes, by using crossing pedestrian flow models at the signalized crosswalks, considering the safety and operational performance. Finally, compared with several signal phasing schemes which are CPP, EPP, LPI and EPR by conducting a case study on typical situations at signalized intersections,

the suitable traffic signal phasing schemes is recommended based on the traffic conditions in Japan.

In Chapter 1, an overview of pedestrian safety problem on the crosswalk of signalized intersection was given, and it is found that there are few studies forcing on the separated traffic signal controls for pedestrians which is one of the safety measures. Then, the objective of this study was described.

In Chapter 2, the literature of existing methodology of signal setting, the analysis of road user behavior and the relationship between the signal control and intersection performance were introduced. There is a lack of evaluation method of signal phasing schemes considering pedestrian crossing maneuvers, and the index of safety evaluation is also unclear. After understanding the limitation of the existing methodology, the art of this research which was to develop a methodology for investigating the rational traffic signal phasing schemes, by using crossing pedestrian flow models at the signalized crosswalks, considering the safety and operational performance, was also clarified.

In this study, two methods which are pedestrian walking speed model and pedestrian presence probability model were proposed to represent the pedestrian maneuver, considering signal timing, crosswalk geometry and pedestrian volume. In Chapter 3, pedestrian walking speeds during PG and PFG which are utilized for estimating the necessary crossing time for designing the length of each phase are analyzed and modeled considering crosswalk length, pedestrian signal timing and pedestrian demand. In general, PG was much longer than necessary pedestrian crossing time. The speed models were utilized for pedestrian signal phase design in Chapter 6.

In Chapter 4, pedestrian presence probability model was developed as a new methodology which can dynamically represent the time and position during pedestrian crossing progress can be represented by only inputting some basic variables: elapsed time of PG, pedestrian red time, crosswalk length and pedestrian arrival rate. This methodology can represent the queuing pedestrian platoon discharge on the crosswalk as PG proceeds. It can be utilized for evaluating the pedestrian safety with conflict vehicles which was also influenced by pedestrian number in the conflict area, since the probability of pedestrian inside/outside of the conflict area can be estimated, especially for LPI. By utilizing the methodology proposed in this study, they can be easily represented without running a simulator. Especially, it is useful at the planning stage when only a few basic variables are known.

The left-turning vehicles maneuvers were also analyzed in Chapter 5 considering pedestrian influence under four categories: head leading, leading, following and overtaking vehicles. Regarding the head leading vehicles, speeds in LPI intersection are higher than those in CPP intersection, since they can easily start turning with few pedestrians (Chapter 4). Furthermore, the influence of LPI on the capacity of shared left-turning lane was quantitatively analyzed by using a traffic simulator. In addition, the specific behaviors which are overtaking behavior and early startup behavior were also analyzed. The overtaking ratio was modeled and it was indicated that overtaking ratio has a positive relationship with outflow lanes and pedestrian volume, and CPP will easier result in the overtaking behavior than EPP and LPI.

In Chapter 6, based on pedestrian presence probability distribution model which was developed in Chapter 4, a surrogate safety measure called pedestrian exposure time was proposed for quantitatively evaluating the pedestrian-vehicle conflict risk level. In conjunction with the existing operational performance measure which are road user delay, degree of saturation and flow ratio, a new methodology was proposed for evaluation of pedestrian phasing schemes. Furthermore, a case study was carried out to investigate several pedestrian signal schemes which were CPP, EPP, LPI and EPR, especially the effective application range of LPI. Moreover, a recommendation to signal setting planners of the traffic signal phasing schemes for the intersections where the conditions of geometry, signal length and traffic volume are similar with the intersection in the case study.

Finally, Chapter 7 summarizes research conclusions and major findings, as well as provides some recommendations for pedestrian signal setting. The limitations and future researches were discussed.

別紙 1

報告番 一	※ 一	第
----------	--------	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Evaluation of Traffic Signal Phasing Schemes
by Using Crossing Pedestrian Flow Models
(横断歩行者流動モデルを用いた信号現示設定の評価)

氏 名 張 馨(ZHANG Xin)

論 文 内 容 の 要 旨

日本における交通事故件数は年々減少傾向を示しているものの、人対車両の交通事故件数の約2割が信号交差点における横断歩道横断中の事故であり、この割合は近年変わっていない。横断歩行者対車両の事故が発生しやすいことの一つの理由として、多くの信号交差点において、横断歩行者と交錯のある右左折車両用青信号が歩行者用青と同時に表示されていることが挙げられ、特に左折車と横断歩行者との間には交錯が頻発していると考えられる。

右左折車と横断歩行者の交錯の危険性を排除するため、「歩車分離式信号制御」という歩行者と車両の通行を時間的に分離する対策があるが、完全歩車分離できる歩行者専用現示(Exclusive Pedestrian Phase: EPP)を設定する場合、各方向の車両の青時間が減少し車両の交通容量が低減するとともに、遅れ時間が増加するといった問題を有している。一方、近年海外では、交差点横断歩行者への安全対策として部分的に歩車分離できる歩行者先行現示(Leading Pedestrian Interval: LPI)が活用されている。LPIとは、歩行者青を車両青よりも数秒先に表示し、車両用青に先行する一部の時間のみ歩行者と車両を分離する現示である。また、右左折車の処理量の増大の観点から、歩行者青信号の早切り(Early Pedestrian Red Time: EPR)があるが、これには部分的に歩車分離する効果も考えられる。これらの信号現示方式は、安全性と円滑性の観点から、歩車分離しない標準的な方式(Concurrent Pedestrian Phase: CPP)と、歩行者を独立現示で処理する完全歩車分離式(EPP)との間に位置付けることができる。しかしながら、LPIを導入するための条件や、交通容量や遅れ時間等の交差点性能への影響は、これまでほとんど分析されていない。また、CPP、EPP、LPI、並びにEPRでの性能比較やそれぞれの適用範囲については、十分明らかになっていない。

そこで本研究では、横断歩行者と左折車との交錯機会の量的変化を歩行者青時間の進行に伴って定量的に評価する方法を開発した。これに基づく安全性と運用状態の評価を考慮し、信号交差点の構造や交通条件に応じた合理的な信号現示方式の評価手法を提案したものである。そして、この手法を用いたケーススタディを通じて、CPP、EPP、LPI 及び EPR といった各信号現示方式の効果的な適応範囲を明らかにした。

まず、第1章では、日本の信号交差点の横断歩道部における歩行者安全性についての問題点を概説し、安全性対策となる歩車分離信号方式の設計手法が課題であることを整理したうえで、本研究の目的について述べた。

第2章では、信号交差点の歩行者信号現示に関する従来の設定方法、横断歩道利用者の挙動、および信号制御と安全性や運用性能との関係の3つの視点から、既往研究を整理した。歩行者の横断挙動を考慮した信号現示方式の評価手法や安全性の評価指標が欠如しており、特に部分的な歩車分離方式の評価が不十分である点を指摘した。これらを踏まえ、横断歩行者の流動状況に基づき、信号現示方式を安全面と交通運用面の両面を考慮して定量的に評価するという、本研究の位置づけを明らかにした。

本研究では、信号現示、横断歩道の幾何構造及び歩行者交通量を考慮した、歩行者横断速度と歩行者存在確率という2つの歩行者挙動を再現するモデルを構築した。第3章では、様々な横断歩道長や歩行者青時間長および歩行者交通量の横断歩道における歩行者青(PG)と青点滅(PFG)時の歩行者横断歩行速度を推定するモデルを構築した。その結果、横断歩道長が長くなるほど、また青時間開始から時間が経つほど、横断歩行速度が速くなることや、青点滅歩行者は青時間歩行者より速度が高くそのばらつきが大きいことなどが明らかとなった。これらのモデルは、第6章の歩行者信号現示の設計に応用されるものである。

第4章では、信号現示長、横断歩道長及び歩行者交通量を考慮した、信号表示の時間経過に伴う横断歩行者の存在位置を分析し、歩行者群の横断歩道上における一連の流動状況をマクロに表現可能な歩行者存在確率モデルを構築した。このモデルを適用することにより、歩行者対車両の交錯領域に存在する歩行者数を時間経過に応じて推定することが可能となった。これより、信号現示方式に応じた歩行者安全性を評価することができるようになった。さらに、このモデルを用いれば、計画段階において交差点の基本的な条件変数のみを用いて、交通流シミュレータを利用することなく、歩行者交通流を再現することが可能となった。

続く第5章では、左折車両を Head leading, Leading, Following と Overtaking の4種類の走行状態に分類し、車両の走行軌跡、速度及び交差点通過時間を比較分析し、傾向を明らかにした。Head leading 車両に関しては、LPI 交差点における車両速度が CPP 交差点での速度より速く、交差点通過時間も短いことが分かった。また、左直

混用車線の交通容量に対する LPI の影響を、交通流シミュレータを用いることで定量的に分析した。さらに、潜在的な危険性のある挙動として、左折時の追越挙動などについても分析したところ、追越発生率は流出側車線数、歩行者交通量と正の相関を持つことがわかり、EPP や LPI に比べて、CPP の交差点において発生し易いことが明らかになった。

第 6 章では、第 4 章で構築した歩行者存在確率モデルを用いて、歩行者対左折車の交錯機会の量的変化を歩行者青時間の進行に伴って評価可能な歩行者暴露時間という代替的な安全性評価指標を提案した。利用者遅れ、Degree of saturation と需要率など、既存の運用性能の評価指標も併せて考慮し、信号交差点の構造や交通条件に応じた合理的な信号現示方式の評価手法として構築することができた。さらに、CPP、EPP、LPI 及び EPR といった各歩行者信号現示方式に関して評価指標を試算し、各々の効果的な適応範囲をケーススタディを通じて明らかにした。これより、ケーススタディで取り扱った標準的な交差点における信号現示方式の設計を交通状況に応じて提示することが可能になった。

最後に第 7 章にて、本研究の成果および得られた知見をまとめ、本研究の適用範囲を整理するとともに、今後の課題と展望を述べて結論とした。