

歩行者優先信号制御の高度化と効果の分析

The Analysis of Advancement and the Effect of Pedestrian Priority Traffic Signal Control

指導教授 安井 一彦 M7003 瓜生 昌彦

1. 研究の背景と目的

平成 19 年の交通事故死者数は 7 年連続で減少している。しかし、死亡事故の約 34%¹⁾ が人对車両の事故である。また、歩行者の違反別死亡事故をみると、歩行者の信号無視によるものが約半数を占めている。

今後、高齢化が進む中で歩行者の安全性を最優先する信号制御が必要である。現在、歩行者の横断を支援する信号制御として、押しボタン式信号制御、歩行者感应信号制御等が挙げられる。しかし、両制御方式とも信号無視や待ち時間が長いといった問題がある。

本研究では、押しボタン式信号制御、歩行者感应信号制御の問題点を踏まえ、交通の円滑性に影響を与えずに歩行者の交通事故数の低減を図る歩行者優先信号制御アルゴリズムの提案を行い、その有効性を検証することを目的とする。

2. 押しボタン・歩行者感应制御の問題点

(1) 歩行者の信号無視

歩行者の信号無視は、ボタンを押してもすぐに青にならないことや、車両がないのに待っていることから発生している。

歩行者の信号無視について、千葉日本大学第一高等学校前の押しボタン式制御の横断歩道で調査を行った。調査結果を表 - 1 に示す。オフピークでは、車両がないのに歩行者が待つという状況が多く、信号無視率が高くなる結果となった。

表 - 1 信号無視率

	オフピーク	ピーク
信号無視	24.8	3.2
点滅時横断開始	4.3	8.7
フライング	3.4	3.1
信号無視率(合計)	32.5	14.9

(%)

(2) 歩行者が青点滅後、横断歩道に取り残される

高齢者や青点滅時横断開始歩行者は、歩行者青や青点滅中に横断を終えることができず、青点滅終了後に横断歩道に取り残されることがある。表 - 1 より、ピークの青点滅時横断開始歩行者の割合はオフピークと比較すると 2 倍の値を示している。同時間帯では、青点滅開始後に横断、青点滅終了後に横断歩行者がいる等が 60 サイクル中、27 サイクルで発生している。

(3) 車両・歩行者の需要量を無視した現示の決定

押しボタン式制御では、歩行者がボタンを押した場合、車両が何台いても歩行者青とするため、1 人の歩行者のために何台もの車両が待つという不合理的状況が発生する。逆のことが歩行者感应制御でもいえる。

(4) 無駄青時間

無駄青時間は、車両青の際、車両が存在しないのに歩行者が待っている状態とする。車両・歩行者ともに需要に見合った青時間が表示されていないため無駄青時間が生じている。

3. 歩行者優先信号制御アルゴリズムの提案

歩行者優先信号制御は、歩行者感应信号制御を高度化した信号制御である。歩行者感应信号制御は、歩行者側を常時青表示とし、車両を検出した際、車両へ通行権を与える制御方式である。車両を検出しない限り、歩行者青が表示されるため、歩行者の信号無視削減、無駄青時間の減少が期待できる。

歩行者優先信号制御アルゴリズムは、歩行者優先信号制御 A 案、B 案の 2 つを提案する。

(1) 歩行者優先信号制御 A 案

歩行者優先信号制御 A 案は、歩行者の需要に応じて歩行者青の延長を行う。歩行者優先信号制御の流れを図 - 1、～ に示す。

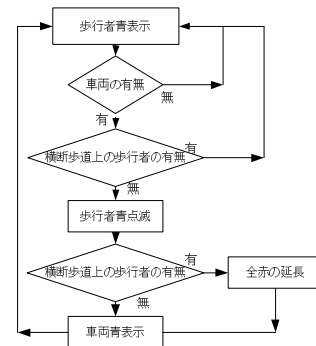


図 - 1 歩行者優先制御 A 案フロー図

歩行者青を基本現示とし、車両を感知しなければ、歩行者青を表示する。接近車両を検出したら、車両現示に切替える。接近車両を検出しても、横断歩行者及び横断開始歩行者が存在する場合は、歩行者青現示を継続する。

青点滅後、横断歩行者がいる時は全赤を延長する。
以上の流れで歩行者優先信号制御 A 案を運用する。

(2) 歩行者優先信号制御 B 案

歩行者優先信号制御 B 案は、車両・歩行者の遅れ時間を計算し現示の決定を行う。歩行者優先信号制御 B 案の流れを図 - 2、 ~ に示す。

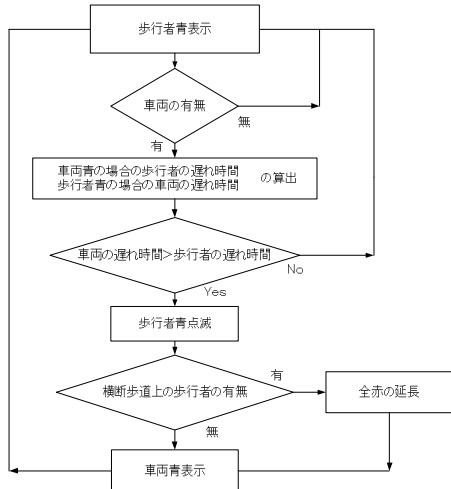


図 - 2 歩行者優先制御 B 案フロー図

歩行者青を基本現示とし、車両を感知しなければ、歩行者青を表示する。

接近車両を検出した際、歩行者が存在しなければ、車両青を表示する。

接近車両を検出した際、歩行者が存在する場合、

- ・ 車両青を表示した場合の歩行者の遅れ時間
- ・ 歩行者青を表示した場合の車両の遅れ時間

を計算し、遅れ時間が大きくなる側に青を表示する。現示の切替は、横断歩行者が存在しない時に行う。青点滅後、横断歩行者がいる時は全赤を延長する。以上の流れで歩行者優先信号制御 B 案を運用する。式 (1) (2) に車両・歩行者の遅れ時間の計算式を示す。

$$\text{歩行者遅れ時間} = a \times (b \times 2 + x) + A \tag{1}$$

$$\text{車両遅れ時間} = \text{roundup}\left(\frac{a}{y} - 1\right) + z \times b + \frac{(b_2 + b_n)(n-1)}{2} + B \tag{2}$$

A : 1 秒前の歩行者の遅れ時間 (秒) B : 1 秒前の車両の遅れ時間 (秒)

a : 歩行者の待ち人数 (人) b : 車両の待ち台数 (台)

x : 発進損失 (秒) y : 横断歩道幅 (m) z : 横断歩道長 (m)

n : 打ち切り判定後の車両の待ち台数 (台)

(3) 歩行者優先信号制御感知器配置

歩行者優先信号制御は、歩行者の有無を検出して制御を行うため、車両・歩行者感知器を設置する。歩行者感知器の感知イメージを図 - 3 に示す。

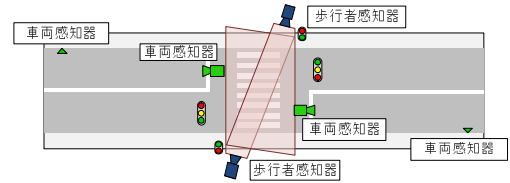


図 - 3 感知イメージ

4. シミュレーションを用いた評価

シミュレータを作成し定周期制御・押しボタン式制御・歩行者優先制御 A 案・B 案を導入した際の円滑性 (車両・歩行者の平均遅れ時間等) を評価する。

(1) シミュレーションモデルの構造

1) 道路構造

本研究で作成したシミュレーションモデルは、片側 1 車線、往復 2 車線の単路部で横断歩道長は 6 m、横断歩道幅は 4 m とした。歩行者・車両は、感知器で完全に検出可能である前提でシミュレーションを行った。

2) 車両・歩行者の発生

車両・歩行者の発生間隔はポアソン到着に従う乱数を用いて発生させた。車両は、車頭時間 0.7 秒を最小発生間隔とした。停止車両については、停止線上に車両を積み上げる Vertical Queue 方式を採用した。歩行者は、同じ時間軸にて重なって発生させるため、通常の指数分布の式を用いて発生させた。

3) 車両・歩行者挙動

車両は、飽和交通流率を 1,800PCU / 有効青 1 時間とし、交差点を 2 秒に 1 台通過することとした。また、最初の 1 台のみ発進損失として交差点を通過するのに 4 秒かかるとした。歩行者は、密度を 1 人 / m²、速度を 1.0m / s とし横断歩道に最大 4 人まで並ぶことができ、5 人以上が停止線で停留した場合、1 秒後に 5 人目以降を流出するものとした。

シミュレーション条件を表 - 2、各信号制御の設定値を表 - 3 に示す。

表 - 2 シミュレーション条件

使用乱数	1 ~ 10
シミュレート時間	1時間
車両発生方法	指数分布
歩行者発生方法	指数分布
飽和交通流率	1,800PCU / 有効青1時間
発進損失	最初の1台目のみ2秒
歩行者密度	1人/m ²
歩行速度	1.0m/s
発生車両台数	100台 ~ 900台 (100台刻み)
発生歩行者数	50人・100人 ~ 700人 (100人刻み)

表 - 3 各信号制御の設定値

信号制御	定周期制御	押しボタン制御	歩行者優先制御 A	歩行者優先制御 B	
				現示切り替え直前の横断歩道上の歩行者の存在	存在しない
車両	車両青時間	28秒以上	6 ~ 28秒	可変	-
	車両黄時間	2秒	2秒	2秒	2秒
	最小青時間	-	28秒	6秒	4秒
歩行者	歩行者青時間	24秒	24秒	6秒以上	6秒以上
	歩行者青点滅	6秒	6秒	6秒	3 ~ 6秒
	最小青時間	-	-	6秒	6秒
その他	全赤時間	-	-	-	-
	サイクル長	60秒	-	-	-
	最小サイクル長	60秒	20秒	10秒	8秒
	重み係数	-	-	1.0	1.0

(2) シミュレーション結果

単独制御、系統制御での歩行者数 100 (人/時) 交通量 100 (台/時) から 900 (台/時) のシミュレーション結果 (無駄青時間、車両・歩行者の平均遅れ時間) を示す (図 - 4、図 - 5、図 - 6)。

無駄青時間

歩行者優先制御 A 案での無駄青時間は、非常に小さく最大でも 20 秒程度となった。歩行者優先制御 B 案での無駄青時間は、すべての交通量パターンで 0 秒となった。歩行者優先制御では、需要に応じて青表示を行うことから定周期制御や押しボタン式制御と比較し、無駄青時間が非常に小さくなったといえる。

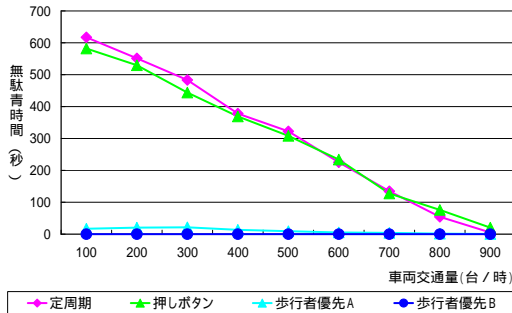


図 - 4 無駄青時間

車両 1 台当りの遅れ時間

歩行者優先制御 A 案での車両 1 台当りの遅れ時間は、3 ~ 9 秒となった。また、定周期制御、押しボタン式制御で過飽和となる交通量でも過飽和とならず、非常に小さい遅れ時間で交通が流れているといえる。

歩行者優先制御 B 案での車両 1 台当りの遅れ時間は、4 つの制御の中で最も小さくなる結果となった。車両 1 台当りの遅れ時間は最小時で 0.3 秒、最大時でも 4 秒程度と非常に小さい遅れ時間となった。

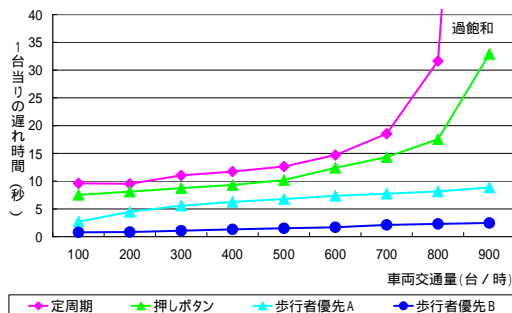


図 - 5 車両 1 台当りの遅れ時間比較図

歩行者 1 人当りの遅れ時間

歩行者優先制御 A 案での歩行者 1 人当りの遅れ時間は、交通量 100 (台/時) の時に約 0.4 秒で、多くの歩行者が待たずに横断できることがわかった。また、交通量 900 (台/時) の時、最大となるが約 6 秒であった。

歩行者優先制御 B 案の歩行者 1 人当りの遅れ時間は、4 つの制御方法で最も小さく、交通量 100 (台/時) では約 0.3 秒、交通量 900 (台/時) では約 4 秒となった。歩行者優先信号制御 A 案・B 案は、歩行者 1 人当りの遅れ時間が定周期制御では 4 ~ 10 秒程度、押しボタン式制御では 3 ~ 10 秒程度小さくなる結果が出た。

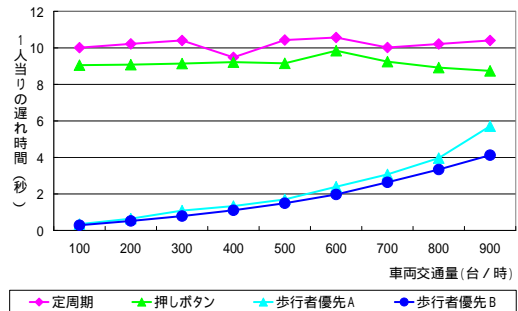


図 - 6 歩行者 1 人当りの遅れ時間比較図

5. 歩行者優先信号制御実証実験

(1) 調査概要

本研究では、今回提案した「歩行者優先信号制御」の安全性 (信号無視率、安全横断率等) を確認することを目的に栃木県壬生町の獨協医大病院前に歩行者優先制御 A 案を導入し調査 (事前: 押しボタン式制御、事後: 歩行者優先制御) を行った。表 - 4 に調査実施日時、図 - 7 に対象横断路を示す。

表 - 4 調査実施日時

調査実施日時		
事前	2008年12月4日(火)	午前 9:00 - 10:30
		午前 11:00 - 12:30
		午後 14:00 - 15:30
事後	2009年1月14日(水)	午前 9:00 - 10:30
		午前 11:00 - 12:30
		午後 14:00 - 15:30

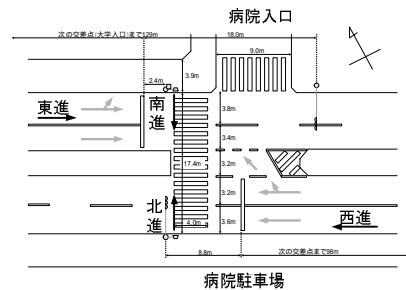


図 - 7 対象横断路

(2) 調査結果

1) 交通量・歩行者数

事前・事後調査の交通量・歩行者数を表 - 5 に示す。事後では、交通量・歩行者数ともに 20% 程度増加した。

表 - 5 交通量・歩行者数

	交通量 (台)				歩行者数 (人)			
	事前		事後		事前		事後	
	東進	西進	東進	西進	南進	北進	南進	北進
午前	254	430	324	551	428	700	475	896
午前	157	355	226	384	597	303	652	440
午後	181	305	195	349	410	426	591	443
合計	592	1,090	745	1,284	1,435	1,429	1,718	1,779

2) 青時間の变化

事前・事後調査の青時間の变化を図 - 8 に示す。歩行者優先制御導入後、車両青時間は約 15~25 秒、サイクル長は約 15 秒と大きく減少した。また、サイクル数は 10~20 サイクル増加した。

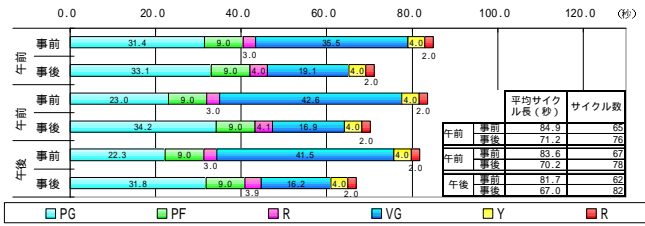


図 - 8 車両・歩行者の青時間

3) 信号無視・信号無視率

事前・事後調査の灯色別信号無視・信号無視率の変化を表 - 6、灯色別信号無視内訳を図 - 9 に示す。信号無視人数は、南進・北進ともに車両青中やフライングといった信号無視が大きく減少した。特に車両青中の横断は、事前では 21 件だった信号無視が事後では 1 件と大きく減少した。

信号無視率は、事前の南進午前 では 11.2%と最も高くなったが、事後の同時間帯では 7.6%に減少した。南進では、事前・事後では全体では信号無視率に大きな変化は見られなかった。北進では、午前、午後の時間帯では事後の信号無視率が約 2 から 3 %高くなり、全体では歩行者優先制御導入後、信号無視率は 1.7%増加した。これは、サイクル数の増加により青点減時横断開始の信号無視が増加したためであると考えられる。

表 - 6 灯色別信号無視・信号無視率

	南進					北進							
	歩行者数(人)	灯色別信号無視人数(人)	無視率(%)	歩行者数(人)	灯色別信号無視人数(人)	無視率(%)							
事前	午前	428	6	2	36	4	11.2	700	1	0	44	3	6.9
	午前	597	1	3	28	5	6.2	303	3	1	20	3	8.9
	午後	410	8	0	17	1	6.3	426	3	2	28	3	8.5
	合計	1,435	15	5	81	10	7.7	1,429	7	3	92	9	7.8
	事後	午前	475	0	2	30	4	7.6	896	0	0	81	7
午後	652	0	1	44	4	7.5	440	0	0	31	2	7.5	
合計	1,127	0	3	74	8	7.1	1,336	0	0	112	9	9.5	

(無視率 = PF・R・VG・Y 現示横断開始者 / 全横断歩行者数) × 100
VG: 車両青, Y: 黄, PF: 青点減, R: 全赤

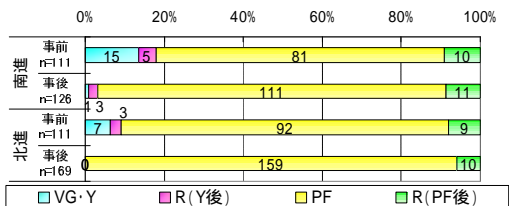


図 - 9 灯色別信号無視内訳

4) 安全横断率

事前・事後調査の安全横断率(全横断歩行者の内、横断を終了時の灯色が青、青点減、青点減後の全赤であった歩行者の割合)の変化を図 - 10 に示す。

南進において、安全横断率は歩行者優先制御導入後 89.8%から 98.0%と 8.2%増加、北進では 95.5%から 97.9%と 2.4%増加した。また、歩行者青中に横断を終了できた歩行者の割合が南進では 10%、北進では 5%程度増加した。さらに、車両青が表示されても横断歩道上に残っている歩行者が 50%~80%程度減少した。これは、歩行者が横断歩道上にいる場合の青延長、また、全赤の延長による効果だと考えられる。

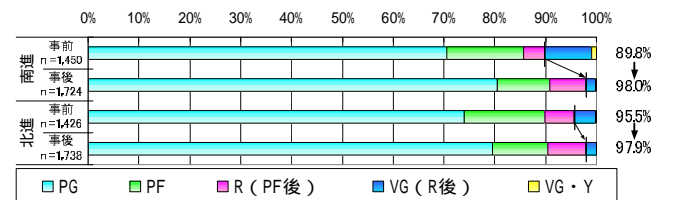


図 - 10 安全横断率

6. 結論と今後の課題

本研究で提案した歩行者優先制御についてシミュレータを作成し評価を行った。歩行者優先信号制御では、車両・歩行者の需要に応じた現示の切替えや需要に見合った青時間を表示するため、無駄な青時間が大幅に減少した。そのため、歩行者優先制御 A 案・B 案は、車両・歩行者の平均遅れ時間が非常に小さくなり、円滑性に効果があるといえる。また、歩行者優先信号制御 B 案では、現示の切替え判定の際、遅れ時間の計算結果に重みづけをすることにより、歩行者を優先的に通行させることができる。これにより、小学校前の交差点では通学時間帯だけ歩行者を優先するといったことが可能になる。

歩行者優先信号制御実証実験を行った結果、車両青中の信号無視、車両青表示の際に歩行者が横断歩道上に残っている状況が大幅に減少した。また、歩行者青表示中に横断を終了できる歩行者が増加するなど安全性が向上したといえる。しかし、青点減の意味の周知や青点減の表示タイミング、設定秒数等を考慮する必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力いただきました(社)新交通管理システム協会の「高齢者等歩行者の保護に関する検討作業部会」の皆様へ感謝いたします。

参考文献

- 1) (財)交通事故総合分析センター: 交通統計(平成 19 年版)