

2. 通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を提示した場合のドライバの運転行動に関する研究

自動車安全研究領域 ※児島 亨 山口 大助 波多野 忠

1. はじめに

年間約 80 万件という高い水準で発生し続けている交通事故を削減するための車両安全対策として、国による先進安全自動車 (ASV) 推進計画が実施されており、2006 年度～2010 年度にかけて実施された第 4 期 ASV 推進計画では自律検知型運転支援システムの本格普及及び通信利用型運転支援システムの実用化に向けた取り組みが行われた⁽¹⁾。これらの取り組みにより、車両単独事故及び車両対車両事故のより一層の削減が見込まれる。一方で、交通事故死者数の約 1/3 が歩行中の事故によるものであることから、歩行者事故の削減に向けた取り組みが必要とされており⁽²⁾、2011 年度より開始された第 5 期 ASV 推進計画において、歩行者と自動車の間で通信を行うことにより歩行者の存在をドライバーに提示する歩車間通信システムの技術的可能性について検討が行われている。

本研究では、一般のドライバーが運転する自動車 (以下、自車とする) と歩行者が接近または衝突する可能性のある場面をドライビングシミュレータ (以下、DS とする) 上で再現し、歩車間通信により歩行者の情報をドライバーに提示した場合に、運転行動の変化 (例えば歩行者との衝突を回避するための行動がより早く適切に行われる等) について評価するとともに、衝突する可能性の無い歩行者の情報が提示された場合のドライバーの受容性についても評価を行った。以下、実験内容及び実験結果について報告する。

2. 実験内容

2. 1. 本実験における歩行者の定義

本研究では、実験中に DS のスクリーン上に出現させる歩行者として、以下の 3 種類を定義した。

<実験対象歩行者>

自車に接近し、ドライバーが衝突を回避する必要のある歩行者。歩行者が通信機を持っている場合には

ドライバーへ情報が提示される。

<ダミー歩行者>

歩道上または自車から見て道路右端を歩行し、ドライバーが衝突を回避する必要の無い歩行者。通信機を持たず、ドライバーへの情報提示は行わない。

<通信対象歩行者>

ダミー歩行者と同一の軌跡上を歩行し、通信機を持つ歩行者。ドライバーは衝突を回避する必要は無いが、一定の範囲内に存在する場合に情報提示される。

2. 2. 実験を実施した交通場面

本研究では、走行中の自動車と歩行者が接近または衝突する可能性のある交通場面の中から、実事故とドライブレコーダのニアミスデータを比較した文献⁽³⁾、⁽⁴⁾を参考にし、件数が比較的多く、DS 上での再現が可能、図 1 に示す A～H を実験の対象場面とした。なお、A～H のうち、B～D については、歩行者が道路交通法に従って歩行するケースである。

場面 A は自車が信号のある交差点を直進中に、交差点出口の横断歩道において、向かって右側から歩行者が信号無視して横断するケースである。対向車の後方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

場面 B は自車が信号のある交差点を対向直進車と衝突しないようにして右折する際に、向かって右側から歩行者が青信号で横断するケースである。歩行者の出現は、自車が歩行者の前を通過するかまたは停止して横断するのを待つか、ドライバーが判断できるタイミングとした。

場面 C は自車が信号のある交差点を左折する際に、向かって左側から歩行者が青信号で横断するケースである。歩行者の出現は、自車が歩行者の前を通過するかまたは停止して横断するのを待つか、ドライバー

が判断できるタイミングとした。

場面Dは自車が信号及び横断歩道の無い、見通しの悪い交差点を直進する際に、向かって左側から歩行者が横断するケースである。歩行者の出現は、自車が歩行者の前を通過するかまたは停止して横断するのを待つか、ドライバーが判断できるタイミングとした。

場面Eは自車が歩道及びセンターラインの無い道路を直進中に、左前方を自車と同方向に歩行者が歩行し、ドライバーは歩行者の右横を通過するケースである。歩行者の出現は、自車が対向車とすれ違うために道路左側に寄っている最中に歩行者の後方に追いつくタイミングとした。

場面Fは自車が信号のある交差点を左折した後の直進中に、信号待ちで停車中の対向車の車列後方を、向かって右側から歩行者が横断するケースである。車列の後方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

場面Gは自車が直線道路を走行中に、向かって右側から歩行者が横断するケースである。対向車の後方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

場面Hは自車が左前方に停車中のバスを追い越す際に、向かって左側から歩行者が横断するケースである。停車車両の前方に歩行者が隠れ、ドライバーからは横断開始を目視できない。歩行者の出現は、歩行者が自車の前方を横切るタイミングとした。

各場面において、歩行者の情報を提示された後にドライバーが衝突を回避する際の緊急性は、A～Fについては通常の運転行動で衝突を回避可能とし、GとHについては緊急時の対応（急制動）を行わなければ衝突を回避できないようにした。

2. 3. 実験場面と提示する情報の種類

表1に実験時にドライバーへ提示した歩行者情報の種類と実験場面との関係を示す。表中の情報提供1は歩行者の存在情報のみを提示し、情報提供2は歩行者の方向及び存在情報を提示するものである。いずれも情報を受けた後の判断はドライバーに任せる。これに対し、警報は直ちに歩行者との衝突を回避するための対応をシステムがドライバーへ促すものである。

2. 4. 提示する情報の種類と歩行者の関係

表2にドライバーへ提示する情報の種類と該当す

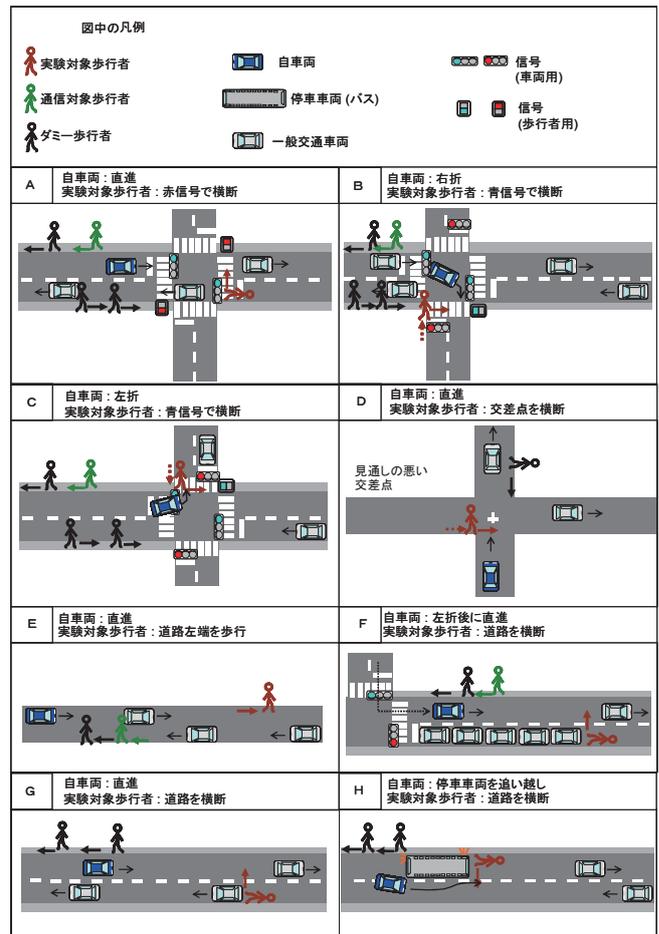


図1 実験を実施した交通場面

表1 実験場面と情報の種類の関係

実験場面	ドライバーへ提示する情報の種類		
	情報提供1 ^{*)}	情報提供2 ^{*)}	警報
A	○	○	×
B	○	○	×
C	○	○	×
D	○	○	×
E	○	○	×
F	○	○	×
G	×	×	○
H	×	×	○

^{*)} 自車の近くに存在する歩行者の存在情報のみドライバーへ提示
^{**)} 自車の近くに存在する歩行者の存在情報及び方向をへ提示

る歩行者との関係を示す。実験対象歩行者については3種類の情報全てを実験対象としたが、通信対象歩行者については情報提供1のみを実験対象とした。

表2 情報の種類と歩行者の種類の関係

ドライバーへ提示する情報の種類	対象とする歩行者		
	実験対象歩行者	通信対象歩行者	ダミー歩行者
情報提供1	○	○	×
情報提供2	○	×	×
警報	○	×	×

2. 5. 情報提示のタイミング

表3に歩行者の情報を提示するタイミングを決めるための判定方法と閾値の関係を示す。実験対象歩行者に対する判定方法は、歩行者との相対速度が比較的

大きい場面 A 及び D~H については、自車と歩行者間の距離を自車速度で除した衝突予測時間 (Time To Collision, 以下, TTC とする) を用いた。これに対し、交差点手前での減速により歩行者との相対速度が小さくなりやすい場面 B 及び C については自車と歩行者間の距離を用いた。また、通信対象歩行者に対する判定方法は、全て TTC による判定を用いた。なお、TTC による判定を用いる場合の閾値は、情報提供を対象とした場面 A 及び D~F については 7 秒とし、警報を対象とした場面 G 及び H については 4 秒とした。

表 3 情報提示タイミングの判定方法と閾値

実験場面	実験対象歩行者		通信対象歩行者	
	判定方法	閾値	判定方法	閾値
A	TTC	7s	TTC	7s
B	距離	min. 20m, max. 30m *	TTC	7s
C	距離	min. 20m, max. 30m *	TTC	7s
D	TTC	7s	TTC	7s
E	TTC	7s	TTC	7s
F	TTC	7s	TTC	7s
G	TTC	4s	-	-
H	TTC	4s	-	-

* 実験場面における自車両の速度による

2. 6. 実験に用いた Human Machine Interface

図 2 に実験に使用した Human Machine Interface (以下, HMI とする) を示す。ドライバーへの伝達手段は運転席から視認可能なカーナビ用モニタ画面への表示及びスピーカーからの音とした。また、情報の種類 (情報提供または警報) によって色や音を使い分けた。

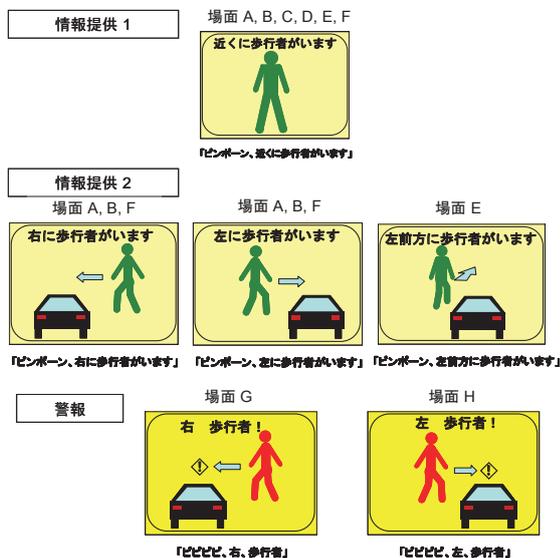


図 2 実験に用いた HMI

2. 7. 実験装置

図 3 に実験に使用した DS の外観図を示す。ドライバーは実際の車両の運転席に着座して運転操作を行う。水平方向の視野角が 216 度確保される為、実際の運転時と近似した視界環境を再現可能である。また、複数の動揺装置により車両運動を模擬している。図 4 に実験に用いたスクリーン画像の例を示す。



図 3 ドライビングシミュレータ



図 4 スクリーン画像の例

2. 8. 実験による確認項目

本実験では下記の二つを実験項目とした。

- ① 支援情報の効果及び受容性について確認する実験
- ② 支援情報への依存の影響について確認する実験

上記①は支援情報による効果及び不要な情報提供が行われた場合の受容性を確認するための実験として実施した。また、上記②は支援情報への依存による影響について確認するための実験として実施した。

2. 9. 実験試行回数と情報提示の頻度

実験に参加したドライバーが普段の運転時以上に歩行者に警戒することを避けるため、各場面において実験対象歩行者が出現しないケースも設定した。

支援の効果及び受容性について確認する実験では、最初に歩車間通信システム無しのパートとして、各場面を 4 回ずつ試行し、このうちの 1 回を実験対象歩行者が出現するケースとした。次に歩車間通信システムありのパートとして、該当する場面に対し情報提供 1、情報提供 2 及び警報の実験を各 8 回ずつ実施し、8 回のうちの 2 回を実験対象歩行者が出現するケースとし、歩行者の情報が提示されるのは、この 2 回のうちの 1 回とした。なお、情報提供 1、情報提供 2 及び警報の実験は、実験パートを分けて実施した。

支援情報への依存の影響について確認する実験では、最初に歩車間通信システム無しのパートとして、各場面を 4 回ずつ試行し、このうちの 1 回を実験対象歩行者が出現するケースとした。次に歩車間通信システムありのパートとして、A~F の各場面を 17 回ずつ試行し、このうちの 5 回を実験対象歩行者が出現するケースとした。歩行者の情報が提示されるのはこの 5 回のうちの 3 回とした。なお、情報が提示されないケースは、全 17 回のうちの最後の 2 回とした。本実験については情報提供 2 のみを対象とした。

2. 10. 実験参加者の構成

表4に実験参加者、実験場面及び実験項目について示す。実験参加者は日常的に運転を行う30代~40代を中心とした男女とし、実験場面及び確認内容によって三つのグループを構成した。また、全ての参加者に対し、グループ内の全ての実験ケースを実施し、実験参加者内要因として結果を比較できるようにした。

なお、実験を開始する前に実験参加者よりインフォームドコンセントを受領した。

表4 実験参加者のグループ

グループ	実験場面								実験目的
	A	B	C	D	E	F	G	H	
グループ1 (11名)	○	○	○					○	効果及び受容性の評価
グループ2 (10名)				○	○	○		○	効果及び受容性の評価
グループ3 (10名)	○	○	○	○	○	○			情報提供に対する依存の影響確認

2. 11. 実験参加者への実験前の教示内容

実験参加者に対し、歩行者の情報が提示されるのは、歩行者が通信機を持っている場合のみであること及び衝突を回避する必要の無い歩行者からも情報が提示される場合があることを教示した。また、情報が提示された後の対応として、情報提供の実験ではドライバーの判断に任されること、警報の実験では直ちに歩行者との衝突回避が求められることを教示した。

2. 12. 評価方法

評価は計測データ及びアンケートにより行った。

計測データによる評価では、自車が停止して歩行者が横断するのを待った回数(場面B~D)、自車と歩行者が最接近した時の距離(以下、最小距離とする)(場面A~F)及び歩行者が横断を開始した時点からドライバーがブレーキ操作を開始するまでの時間(以下、ブレーキ反応時間とする)(場面A及びF)を評価指標とし、歩行者情報の有無による比較を行った。また、衝突の回避が不要な歩行者から情報提供が行われるケースでは、情報に反応してアクセルOFFまたはブレーキ操作を行った人の数を場面毎にカウントした。

アンケートでは、歩行者との衝突回避に役立つか、不要な情報提供を許容するか等について確認した。

3. 実験結果

3. 1. 支援の効果, 受容性等について確認する実験

3. 1. 1. 情報提供による運転行動の変化

図5は場面Aにおけるブレーキ反応時間について、グループ1の全実験参加者の平均及び標準偏差を示したものである。歩車間通信システム無しの場合に対し、情報提供1または情報提供2が行われた場合には

ブレーキ反応時間の平均値が0.8~0.9s程度短縮されており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。一方、情報提供1と情報提供2との比較では、有意な差は見られなかった。なお、場面Fにおいても、情報提供1または情報提供2が行われた場合には、平均値で0.7~1s程度短縮される傾向が見られた。

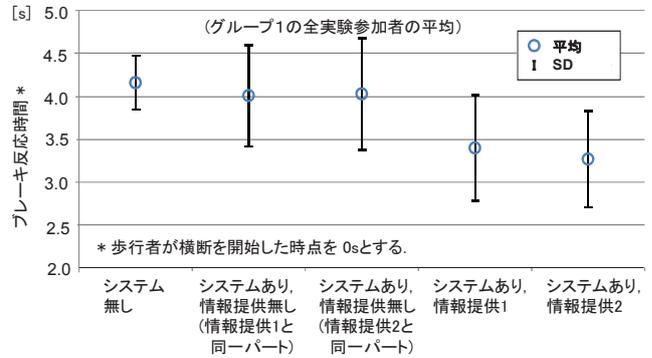


図5 場面Aにおけるブレーキ反応時間の比較

図6は場面Cにおいて、自車が停止して実験対象歩行者を先に横断させた人の数を示したものである。歩車間通信システム無しの場合には全ての実験参加者において自車が先に通過したが、情報提供1または情報提供2が行われた場合には大多数の実験参加者が先に歩行者を横断させており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。一方、情報提供1と情報提供2との比較では、有意な差は見られなかった。なお、場面Dにおいても、情報提供1または情報提供2が行われた場合には、歩行者を先に横断させる人の数が増える傾向が見られた。これに対し、場面Bについては有意な差は見られなかった。この理由として、場面Bでは交差点を右折時に対向直進車にも注意を払う必要があり、情報提供の有無によらず、より慎重な運転行動を取る人が多かった為であると考えられる。

場面Eについては、情報提供1及び情報提供2ともに明確な運転行動の違いが見られなかった。この理由は、前方車両との車間距離を長めにとって走行する人が多く、比較的早い時点で道路左端の実験対象歩行者を目視できた為であると考えられる。

図7は衝突の回避が不要な通信対象歩行者からの情報提供に反応してアクセルOFFまたはブレーキ操作を行った人の数を場面毎に表したものである。反応した人の数が比較的多いのは場面Dと場面Fであった。場面Dでは見通しの悪い交差点において情報提供の後に歩行者が横断する場面の後に再度情報提供が行われた為、駐車車両の陰等から別の歩行者が出てくるこ

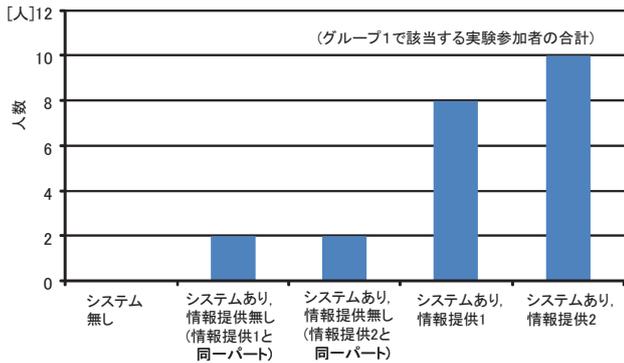


図6 場面Cにおいて自車が停止して歩行者を先に横断させた人の数

とを想定し、反応したものと考えられる。また、場面Fの場合は、停車中の対向車の車列の間から歩行者が横断してくることを想定し、反応したものと考えられる。これらの結果から、歩行者が車道に出てくることをドライバーが警戒しやすい場面では不要な情報提供に反応する人の数がより多くなることが分かった。

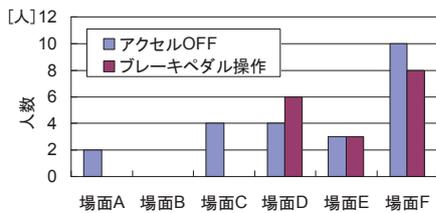


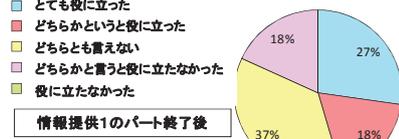
図7 衝突の回避が不要な歩行者からの情報提供に反応した人の数

図8～図10はグループ1の実験参加者に対し実施したアンケート結果の抜粋を示したものである。図8, 9より「情報提供が歩行者との衝突回避に役立ったか？」に対し、「とても役に立った」と「どちらかという役に立った」を合わせると、情報提供1の場合には45%であったが、情報提供2の場合には82%となっており、主観的な評価としては情報提供2の方が高いことが分かった。また、図10より「衝突の回避が不要な歩行者から情報提供される場合があることをどう思うか？」については、「全く気にならない」、「気にはなるが、やむを得ない」及び「気にはなるが、ごく稀にそのようなことがあるのはやむを得ない」までを許容と見なすと、6割程度の人が許容した。なお、許容する人の割合は、不要な情報提供が行われる頻度によって変わることも考えられる。

3. 1. 2. 警報による運転行動の変化

図11は場面Gにおけるブレーキ反応時間について、グループ1の全実験参加者の平均及び標準偏差を示したものである。歩車間通信システム無しの場合に、警報が行われた場合には

歩行者の情報提供は歩行者との衝突の回避に役立ちましたか？

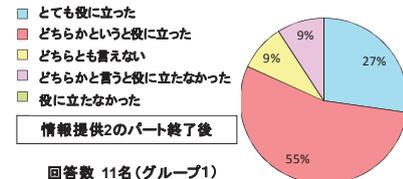


情報提供1のパート終了後

回答数 11名(グループ1)

図8 情報提供1に対するアンケート結果

歩行者の情報提供は歩行者との衝突の回避に役立ちましたか？

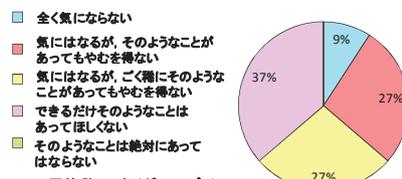


情報提供2のパート終了後

回答数 11名(グループ1)

図9 情報提供2に対するアンケート結果

衝突する可能性の無い歩行者から情報提供される場合があることに対してどのように思いますか？



回答数 11名(グループ1)

図10 不要な情報提供に対するアンケート結果

対し、警報が発せられた場合にはブレーキ反応時間の平均値が1.2s程度短縮されており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。

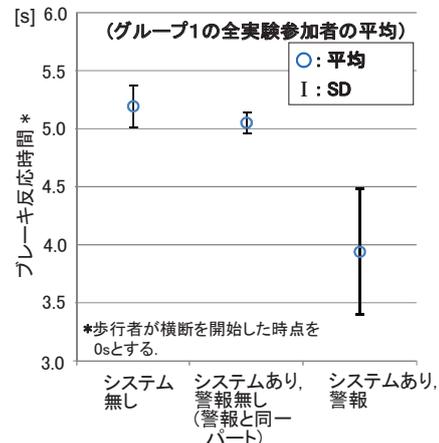


図11 場面Gにおけるブレーキ反応時間の比較

また、図12は場面Gにおける自車と実験対象歩行者との最小距離について、グループ1の全実験参加者の平均及び標準偏差を示したものである。歩車間通信システム無しの場合に、警報が行われた場合には最小距離の平均値が7m程度増加しており、有意水準5%のt検定においても有意な差が見られた。なお、場面Hにおいても、ブレーキ反応時間及び最小距離に

ついて、歩車間通信システム無しの場合と警報が行われた場合とで、いずれも有意な差が見られた。

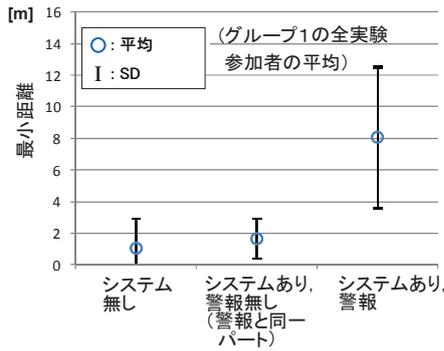


図 12 場面 G における最小距離の比較

3. 2. 支援情報への依存の影響

図 13 はグループ 3 で実験対象歩行者から情報提供 2 が提示されるケースを 3 回行った後に情報提示を行わないケースを続けて 2 回行った場合に、歩行者と衝突した人の数及び運転行動に変化が見られた人の数を示したものである。衝突は場面 C の 1 名のみである。また、運転行動の変化としては、衝突回避の方法がブレーキ操作主体からハンドル操作主体に変化 (場面 A)、右折時に交差点で停止せず対向直進車両の前を右折 (場面 B) 及び見通しの悪い交差点をブレーキ操作無しで通過 (場面 D) が観測された。いずれも情報提供を行わないケースで「横断歩行者はいないであろう」との思い込みがあったものと考えられる。

図 14 は場面 C で実験対象歩行者との衝突が見られた実験参加者について、最小距離を実験のケースごとにプロットしたものである。情報提供が行われた 3 回についてはいずれも十分な距離が確保されていることから、情報提供が行われないケースの 1 回目 (図の赤丸) では、「横断歩行者はいないであろう」との思い込みがあったものと考えられる。但し、同ケースの 2 回目では問題無く対応できていることから、依存の影響は一時的なものと考えられる。

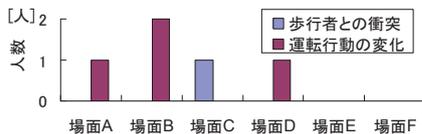


図 13 情報提供に対する依存の影響が現れたと推定される人の数 (場面毎)

4. まとめ

歩車間通信により歩行者の情報を一般ドライバーに提示した場合の効果や受容性等について確認するため、30代~40代を中心に日常的に運転を行う人を

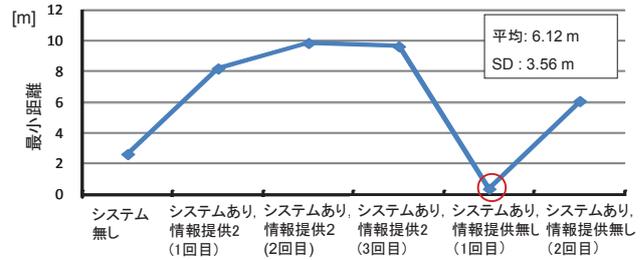


図 14 場面 C において依存の影響が現れたと推定される実験参加者の最小距離の推移

対象とした実験を DS で行い、以下の知見を得た。

- (1) ドライバーが歩行者の接近を目視することが困難な場面において、情報の提示により、衝突を回避するための対応がより早く適切に行われるようになった。
- (2) 歩行者の存在のみ提示する方法 (情報提供 1) と、存在と方向を提示する方法 (情報提供 2) では、運転行動に明確な違いは見られなかったが、アンケートでは情報提供 2 の方が役立つと評価する人が多かった。
- (3) ドライバーが歩行者の接近を警戒しやすい場面で不要な情報提供が行われるとアクセル OFF またはブレーキ操作する人の数が多くなった。なお、アンケートでは、6 割程度の人が必要ない情報提供を許容した。
- (4) 衝突の回避が必要な歩行者からの情報提供を繰り返し経験すると、情報への依存による影響と推定される歩行者との衝突及び運転行動の変化が一部で見られたが、大多数の人については影響が無かった。

今後の課題として、情報提供の頻度等の諸条件をより幅広く設定した確認が必要であると考えられる。

なお、本研究は国土交通省の受託調査「平成 23 年度通信利用型安全運転支援システムから歩行者情報を提示した場合のドライバーの運転行動に関する調査」として実施した。

参考文献

- (1) 先進安全自動車推進検討会: 先進安全自動車 (ASV) 推進計画 報告書—第 4 期 ASV 計画における活動成果について—国土交通省自動車交通局, (2011)
- (2) 中央交通安全対策会議: 第 9 次交通安全基本計画, p. 14, 内閣府, (2011)
- (3) 松井靖浩: ドライブレコーダデータにおける車両と歩行者のニアミス状況の特徴, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No. 10-10, p. 15-20 (2010)
- (4) Yasuhiro Matsui: CAR-TO-PEDESTRIAN CONTACT SITUATIONS IN NEAR-MISS INCIDENTS AND REAL-WORLD ACCIDENTS IN JAPAN, ESV 2011, paper number No. 11-0164