

一時停止規制のある交差点における 高齢運転者を対象とした運転支援の効果と受容性の検討

The Effect of the Assistance System Including Brake Intervention on Elderly Drivers
When Approaching Stop Intersections

細川 崇^{*1} 橋本 博^{*2}
Takashi HOSOKAWA Hiroshi HASHIMOTO

平松 真知子^{*3} 寸田 剛司^{*3} 吉田 傑^{*3}
Machiko HIRAMATSU Takashi SUNDA Suguru YOSHIDA

Abstract

The study focused assistance systems on stop intersections for elderly drivers. The three-step assistance system, giving 'advisory', 'warning' information and brake intervention, was evaluated in the JARI proving ground. The control logic of the system was renewed depending on the results of the past study. The results indicated the new logic improved drivers' acceptance of the 'warning' phase as well as ensuring the effectiveness of the system. The deceleration timing became earlier and approaching speed became slower when the system applied. The results also clarified the timing of the brake intervention should be determined depending on the visibility of intersections.

1. はじめに

高齢運転者による交通事故は社会的問題となっており、その対策が求められている。高齢運転者では、特に小規模な交差点における出会い頭事故が特徴的な事故形態であることが報告されている¹⁾。そこで本研究では、一時停止規制のある無信号交差点に非優先側から進入する場面を、一時停止交差点通過場面と定義し、この場面に注目した検討を実施した。

著者らは、テストコース上で、減速行動や確認タイミングといった運転特性を把握し、高齢者は、道路反射鏡を適切に活用できていないことと、減速・停止のタイミングが遅いことが不安全行動に至る要因であることを示した²⁾。そこで、不安全行動を抑止するためには、適切な安全確認をさせることとともに、早期に減速・停止させることが重要であると考え、前報³⁾では、不安全行動抑止のための支援方策に注目した。

支援方策のうち、情報提供や警報呈示によるものは、多く先行研究例がある。木村ら⁴⁾は、非高齢者を対象に公道上で、情報提供を行う手法について検討を行い、アドバイザリ、コーションという2段階での支援の有効性を示した。小竹ら⁵⁾も木村ら⁴⁾と同様の手法により、高齢者を対象とした支援の有効性を確認した。また、高原ら⁶⁾は、教習所のコース内において、高齢者を対象に、木村ら⁴⁾と同様の情報提供、及び、確認行動の注意喚起を行うことで、支援の有効性を確認した。このように、情報提供や警報呈示による支援は、具体的な支援方法が明らかとなりつつある。一方で、どれほど情報提供や警報呈示を行っても、運転者がそれに対応できなかつたり無視した場合は無効であり、その場合、直接的に停止させる制動介入が必要となる。しかし、高齢運転者に対し制動介入した際の効果や運転行動への影響、受容性に対する検討例は少ないため、著者らは前報³⁾で検討を行った。

*1 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部 博士(工学)

*2 一般財団法人日本自動車研究所 安全研究部

*3 一般社団法人日本自動車工業会

*本速報は JSAE 著作権規則に基づく JSAE20166119 の転載である。

前報³⁾では、高齢運転者を対象とし、従来研究で効果が示されている段階的な情報提供による運転支援に、制動介入を加えた場合の効果と受容性について検討した。その結果、全体の速度分布としては、減速傾向が見られたものの、実験参加者個別に見ると、停止線位置でのみ減速し、その後すぐに加速するという運転行動をとった者が、日常運転行動調査において不安全であった高齢者の約半数を占めていた。このことから、停止線通過後から確認可能位置の間も継続して支援を行うことが課題として抽出された。また、ワーニングの受容性が低い結果となっており、呈示手法にも課題があることが分かった。さらには、前報³⁾で、実験で制動介入に至った事例は数件であった。制動介入についてより詳細な検討を行うためには、事例数を増やす必要があり、実験参加者数を増やすとともに、交差点進入時の周辺車両の設定といった実験シナリオについても再検討する必要がある。

そこで、本研究は、前報³⁾の検討結果をもとに、支援ロジックや実験シナリオの見直しを行い、高齢運転者を対象に、一時停止交差点通過場面における制動介入を含めた運転支援の効果と受容性の向上を目的とした検討を行った。

なお、本研究は、(一財)日本自動車研究所・倫理委員会の承認を得た上で実施した。実験参加者には、実験前に実施内容の説明をし、内容を理解させ同意(インフォームドコンセント)を得た上で、後述する実験に参加させた。

2. 事前調査

2.1 調査方法

支援実験の実施前に、実験参加者の日常運転行動について把握するため、事前調査を実施した。Table 1に示す、日常的に運転を行う高齢者20名を対象とし、実験参加者の自家用車に設置した4ch映像の常時記録型ドライブレコーダ(GPS内蔵)により、日常の実車運転データを取得した。なお、P15からP18の4名は、前報³⁾の実験にも参加していた。ドライブレコーダの画面例をFig.1に示す。車両前方は、2台のカメラで約200度の範囲を撮影した。さらに、運転者の上半身と足元を撮影する

ことにより、確認行動や加減速のペダル操作を記録した。実施期間は4週間であった。映像データは、GPSによる車速、位置情報、及び、3軸加速度のデータと同期して解析した。

2.2 調査結果

収集したデータについて、GPSデータと映像データをもとに運転行動を解析した。自車両が非優先側で、優先側車両の通行を妨害し、回避行動をとらせた場合を干渉と定義した。また、逆走や信号無視など、事故に繋がりがうる重大な違反事象についても集計した。これらの合計を不安全行動とし、ドライブレコーダの動作時間をもとにした発生頻度[回/h]を導出した。結果をTable 1に示す。不安全行動発生頻度の中央値は0.09 回/hとなったため、この中央値を基準として、実験参加者を、不安全傾向小群(G1)と、不安全傾向大群(G2)の2群に分け、次章で述べる支援実験の実験参加者とした。

Table 1 The results of the drive recorder survey

	ID	Age	Male/ Female	Annual mileage [km/year]	Recorded hours [h]	Interferen- ce with other vehicles [times/h]	Serious traffic violations [times/h]	Unsafe behaviors [times/h]
[G1] Normal elderly drivers	P1	80	m	10000	31.6	0.03	0	0.03
	P2	73	m	4000	13.0	0.08	0	0.08
	P3	70	f	10000	15.4	0.06	0	0.06
	P4	70	m	7000	24.4	0	0	0.00
	P5	75	m	7000	33.4	0.06	0	0.06
	P6	80	m	10000	48.0	0.04	0	0.04
	P7	77	m	5000	24.1	0.04	0	0.04
	P8	73	f	3000	21.0	0.05	0	0.05
	P9	73	m	5000	19.9	0.05	0	0.05
	P10	71	m	12000	23.4	0.04	0.04	0.09
	P11	77	m	3000	10.7	0.09	0	0.09
[G2] Unsafe elderly drivers	P12	70	f	10000	26.3	0.30	0.04	0.34
	P13	80	m	2000	7.1	0.42	0	0.42
	P14	78	m	3000	18.5	0.16	0.11	0.27
	P15	77	m	10000	40.4	0.57	0.37	0.94
	P16	77	m	3000	15.0	0.33	0.53	0.87
	P17	75	f	10000	28.7	0.10	0.07	0.17
	P18	72	m	8000	25.4	0.35	0.35	0.71
	P19	69	m	2500	9.1	0.22	0	0.22
	P20	83	m	10000	18.2	0.22	0.11	0.33



Fig. 1 The screenshot of the drive recorder

3. 支援実験

3.1 支援方策の検討

支援方策について、前報³⁾では、従来研究例を参考に情報呈示タイミングを決定した。一時停止交差点を対象とした運転支援として、木村ら⁴⁾は、非高齢者7名を対象とし、公道上で実験を行った。1~2 m/s²の減速度を想定し、停止線の100 m手前で「ポーン、前方に一時停止があります」という音声によるアドバイザリを呈示し、さらに、3 m/s²の平均減速度を想定し、停止線到達の3~4 s前に「ピピッ、一時停止です」という音声によるコーション（警報に相当）を呈示した。高原ら⁶⁾は、高齢者5名と非高齢者5名を対象に、教習所のコース内で検討を行った。木村らの検討同様に、一時停止位置の100 m手前で、「ポーン、この先一時停止があります」という音声によるアドバイザリを呈示した。その後、停止線までの残り距離が、以下の式(1)で定義される、交差点まで3m/s²の平均減速度で停止できる距離Lを下回った場合、もしくは、到達4s前となった場合に、「ピピッ、一時停止です」と音声による警報を呈示した。

$$L = V \cdot T_{\text{delay}} + \frac{V^2}{2\alpha} \quad (1)$$

L : 交差点までの距離[m], V : 車速[m/s]

T_{delay} : 反応遅れ時間2 [s],

α : 平均減速度3[m/s²]

上記の従来研究を参考にし、前報³⁾では、Fig. 2 (a)に示すような動作フローで支援を実施した結果、ワーニングの受容性が低いことと、停止線付近でのみ減速しすぐ加速するという運転行動には対応できないということが明らかとなった。そこで本研究では、以下の(1)~(3)に示す3段階で作動する支援システムを評価対象とした。

(1)アドバイザリ（前報³⁾と同様）

- ・ 初期の情報呈示を本研究では、アドバイザリと定義
- ・ 停止線の100 m手前より開始
- ・ 音声により「ポーン、この先一時停止があります」と呈示

(2)ワーニング

- ・ 停止線手前での警報（木村らはコーション

- と表記）を本研究では、ワーニングと定義
 - ・ 停止線までの残り距離が、(1)式の距離Lを下回る、もしくは、停止線までの到達余裕時間3sを下回った場合に呈示開始
 - ・ 音声により「ピピピッ、一時停止です」と呈示
 - ・ 運転者が制動をしている場合には、不作動
- (3)制動介入
- ・ 一時停止標識の設置位置(停止線1m手前)から確認可能位置(停止線通過後3m)の範囲で速度が10 km/h以上となった場合に介入実施
 - ・ 「ピー」という警報音を発報
 - ・ 助手席側に設置した非常ブレーキのマスタシリンダを、制御したエアシリンダにより作動させ実現

支援システムの動作フローをFig. 2 (b)に示す。本研究では、基礎的な検討であるため、制動介入は、Fig. 3に示すように、助手席の同乗実験員用に設置した非常ブレーキを、エアシリンダを介して作動させることで再現した。制動介入により発生する減速度は、加速時で2~3 m/s²、空走時で4~5 m/s²程度となるようエアシリンダのストロークを調整した。一時停止標識を設置した停止線の1 m手前を停止線位置と定義し、車両前端がこの地点を通過してから、交差道路に達するまで、車速が10 km/h以上であった場合に介入を実施し、車両が停止するまで制動介入を継続した。

3.2 実験設定

実験は、(一財)日本自動車研究所・模擬市街路東コースで行った。一時停止交差点における支援システムの評価を目的としているが、走行場面が一時停止交差点のみとなると、実験参加者が日常運転とは異なる運転行動をとる可能性がある。そこで本研究では、評価を行う一時停止交差点以外に、2箇所の課題場面を設定した。課題場面は、評価する支援システムとは直接の関係がない、狭路通過場面とクランク走行場面とし、カメラ映像と近接警報による支援の有無を体験させ、その効果について、実験参加者に口頭での回答を求めた。

評価場面である一時停止交差点は、見通しの悪い場合と良い場合、2通りを周回コース中に設定した。停止線の100 m手前でアドバイザリの支援が行われるため、これより長い距離をとるようコース中央部に交差点を設定した。

コースレイアウト、及び、評価場面である一時停止交差点の場面設定をFig. 4に示す。一時停止交差点は、見通しが悪い場合と良い場合、2通りを設定した。見通しが悪い場合、左右の見通しは、コンテナにより遮蔽した。停止線位置からでは、左右は見通せないため、停止線で停止後、交差道路側に出る直前で、もう一度左右確認をする必要がある場面設定とした。見通しが良い場合は、進入前から左右とも見通せる場面設定とした。

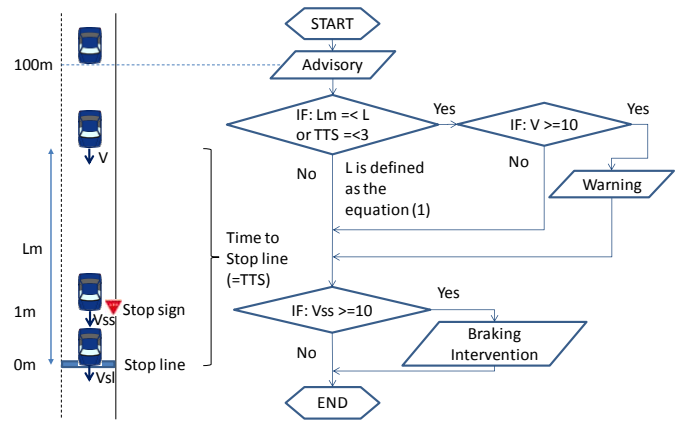
3.3 実験条件

前報³⁾では、評価場面で、他車両の存在を暗示するため、交差車両と対向車を設定したが、先行車は設定しなかった。しかし、実際の交通場面では、先行車が存在する場合は多く、先行車の動きに自車が影響を受ける場合も多い。そこで、本研究では、以下の3種のシナリオを設定した。

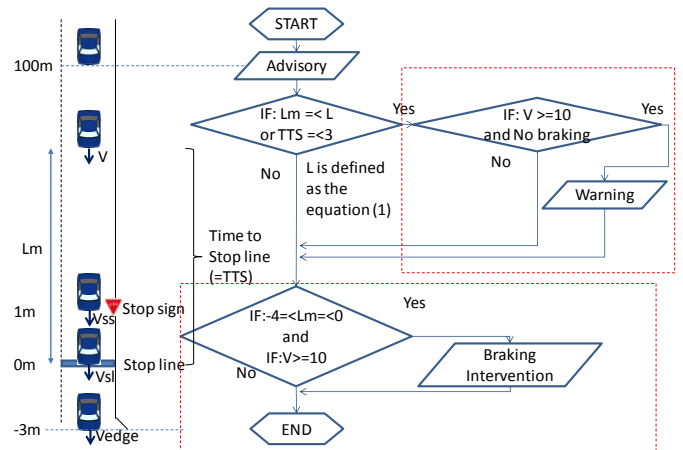
- ・シナリオA「遠方先行車」条件：実験車の約100 m前方で交差点から発進し直進、実験車にほとんど影響を与えない条件として設定
- ・シナリオB「一停先行車」条件：実験車が追従する先行車として設定、停止線で停止し、発進後再度交差点のエッジ付近で制動後発進、規範行動を取る先行車として設定
- ・シナリオC「緩減速先行車」条件：実験車が追従する先行車として設定、停止線付近で緩減速し、そのまま発進加速、実験車がつられて不停止となるような行動を取るよう設定

尚、上記A~Cのシナリオとも、Fig. 5に示すように、他車両の存在可能性を暗示するため、実験車の右手からの交差車両が左折し、実験車とすれ違うように走行した。

先行車の影響を統制するため、全ての実験参加者で、Table 2に示すように、練習走行の後、支援なしで、シナリオAからCを2周ずつ、その後、支援システムありで、シナリオAからCを2周ずつ、という順番で実験を実施した。シナリオAが先行



(a) The flow chart of our last report³⁾



(b) The renewed flow chart

Fig. 2 Comparison of the flow charts of the assistance systems

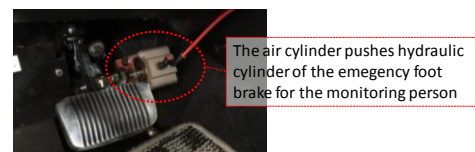


Fig. 3 The air cylinder for braking intervention

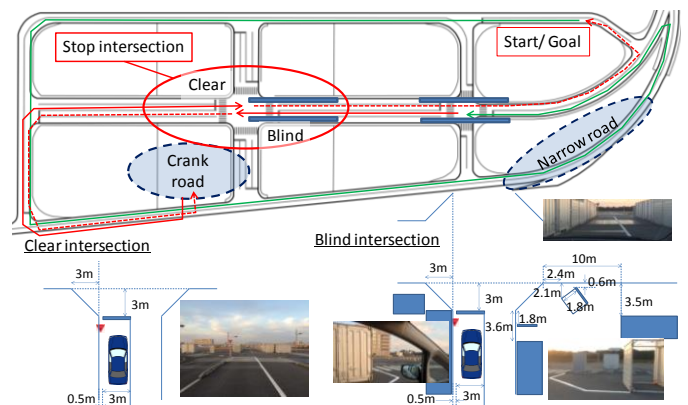


Fig. 4 The course layout of the study

車の影響が少ない条件，一方，次のシナリオBで規範行動する先行車に追従する条件とし，最後にシナリオCとすることにより，減速不十分なまま発進する先行車の影響を受けやすい順番となるよう工夫した。

実験参加者が高齢であることから，2名1組で実験を行った。1名が運転中，もう1名は休憩とし，7周目終了時に運転の交代を行った。1名あたり，45分程度の走行が2回となった。

3.4 実験車と評価パラメータ

実験車には，Fig. 6に示す助手席側に補助ブレーキが設置されているコンパクトカー（ホンダ，フィット）を使用した。支援システムは，Fig. 2に示したフローをLabviewで実装した。車両位置は，GPS式距離速度計と光電センサ，地上マーカ，車両速度は応答性の高い非接触式速度計により計測した。運転者の操作は，アクセルペダルストローク，ブレーキペダル踏力を計測し，確認行動は，Fig. 6に示した4chビデオ映像により解析した。車両データ，操作データ，映像データ，支援システム用データは，全て同期して計測した。

支援システムの受容性を評価するため，走行終了後に以下の調査を行った。各段階の支援について，記憶にあるか否か，記憶にある場合には，有益性と煩わしさについて，Fig. 7に示す3を許容限界とする5段階の数値で回答させた。なお，ワーニングと制動介入については，作動した実験参加者のみ回答を求めた。

3.5 実験結果と考察

3.5.1 実験参加者全体の支援効果

見通しの悪い交差点と良い交差点，それぞれの場面での支援効果の検討を行った結果をFig. 8，Fig. 9にそれぞれ示す。運転者の減速行動がどのように変化するか，停止線に至るまでの時間をTTS(Time to stopline)と定義し，アクセルを離れたTTS，ブレーキを初めて踏みこんだTTSに注目した。また変化した行動の違いによる減速効果を見るため，停止線位置での進入速度 V_{ss} と，停止線通過後，車両前端が交差道路に出る位置を確認可能位置と定義した場合の，停止線から確認可能位

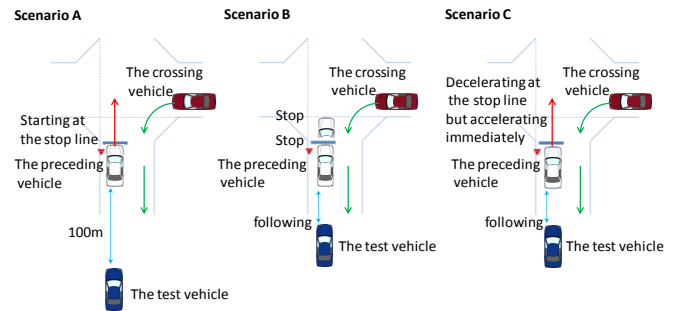


Fig. 5 The driving scenarios of the preceding and crossing vehicles

Table 2 The conditions of the experiment

Number of laps	Blind intersection	Clear intersection	Number of laps	Blind intersection	Clear intersection
Without assistance			Assistance		
1	Practice, no other vehicles		8	Scenario A	Scenario A
2	Scenario A	Scenario A	9	Scenario B	Scenario B
3			10		
4	Scenario B	Scenario B	11	Scenario C	Scenario C
5			12		
6	Scenario C	Scenario C	13		
7					

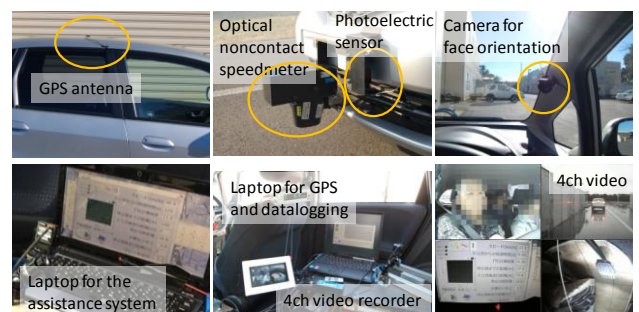


Fig. 6 The test vehicle

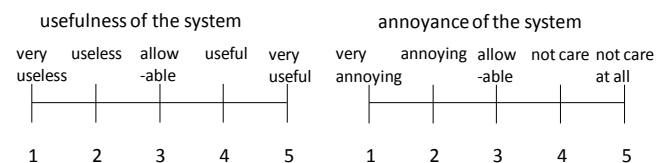


Fig. 7 5-point scales for subjective evaluation

置までの平均速度 $V_{sl-edge}$ に注目して解析を行った。さらに，運転者の確認行動についても，変化の有無を調べるため，確認可能位置まで左右の合計確認回数をビデオ解析から求めた。

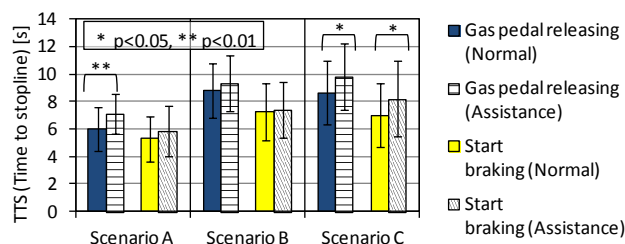
支援による実験参加者の減速行動について，Fig. 8 (a)，Fig. 9 (a)より，アクセルを離れたTTSは，見通しの悪い場合のシナリオA，C，見通しが良い場合のシナリオAで有意差があった。ブレー

キを開始したTTSは、見通しの悪い場合のシナリオCと良い場合のシナリオAのみで有意差が見られた。先行車の影響が少ないシナリオAで、支援有無の差が大きくなったものと考えられる。一方、Fig. 8 (b), Fig. 9 (b)より、進入速度 V_{ss} と、停止線から確認可能位置までの平均速度 $V_{sl-edge}$ は、見通しの悪いシナリオBの V_{ss} 以外、全てで有意に小さくなっており、支援実施による減速効果が認められた。減速開始のタイミングが早まったことと、制動介入を含めた支援を実施したことにより、前報³⁾で効果を確認していた進入速度 V_{ss} の低減に加え、課題点であった停止線から確認可能位置までの速度も低下し、フロー見直しの効果が示された。

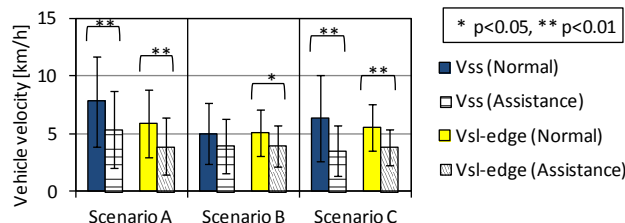
実験参加者の確認行動について、本研究で実施した支援では、確認行動を直接指示する情報呈示は行っていない。しかし、Fig. 8 (c), Fig. 9 (c)のヒストグラムより、どちらの見通しでも、支援を行った場合の方が、確認回数が増える分布となっており、Mann-Whitney検定の結果からも、見通しの良い場合のシナリオAを除き、全て有意差があることを確認した。支援実施により、確認回数が増加する場合が多くなる傾向は、前報³⁾と同様の結果であり、支援により速度が落ちた副次的効果として、確認行動が改善されていたものと推察される。

3.5.2 各段階の支援効果

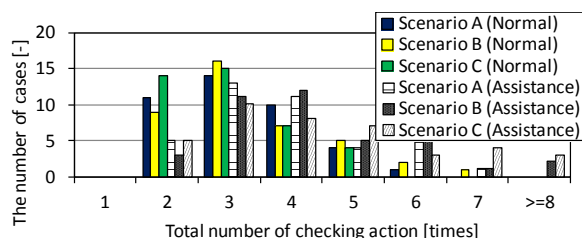
シナリオの違いによる、各段階の支援の発動状況について、Fig. 10に結果を示す。見通しの悪い場合、先行車の影響が少ないシナリオAでは、全件数の48%でワーニングが発動し、23%で停止線位置進入時に制動介入が発動した。また、全件数の13%は、停止線通過後から確認可能位置で制動介入が発動した。次のシナリオBでは、規範行動の先行車に追従するため、支援の発動率が低下した。先行車が緩減速後、すぐに発進するシナリオCでは、ワーニングの発動率は50%と、再び増加したものの、制動介入された割合は低いままであった。ワーニングの呈示により、制動介入に至る事例は少なくなったものと考えられる。見通しの良い場合、ワーニングの発動率は、見通しの悪い場合と同じように、シナリオAに比べ、シナリオB



(a) TTS of gas pedal releasing and start braking

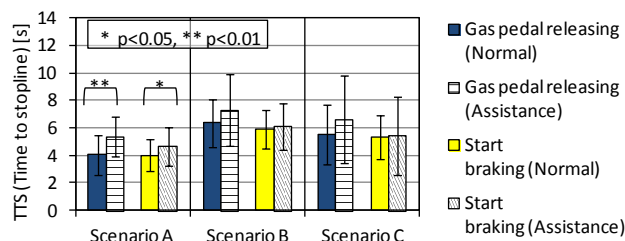


(b) V_{ss} and $V_{sl-edge}$

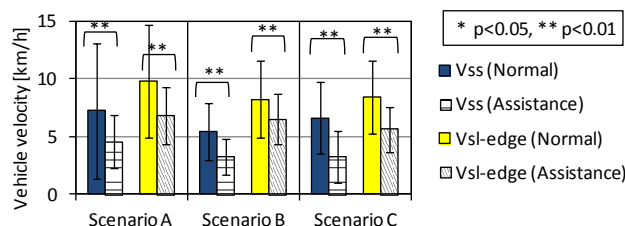


(c) Total number of checking action

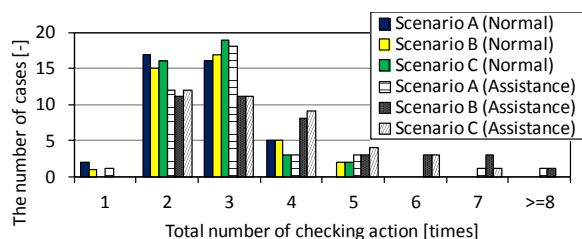
Fig. 8 Results of the blind intersection



(a) TTS of gas pedal releasing and start braking



(b) V_{ss} and $V_{sl-edge}$



(c) Total number of checking action

Fig. 9 Results of the clear intersection

では減少するが、CではAと同程度となった。一方、制動介入については、停止線位置進入時の制動介入は少ないものの、停止線通過後から確認可能位置までの制動介入事例が多かった。特にシナリオAでは50%以上であり、見通しが良いことから、停止線付近で減速後、発進した場合に、確認可能位置付近で、速度が10 km/hを超えてしまって発動する、という事例が大半を占めていた。このことから、停止線位置と速度だけでなく、交差点の見通しといった点までを考慮する必要性が確認された。

3.5.3 各段階の支援の受容性

各段階の支援について、有用性と煩わしさの主観評価を求めた結果をFig. 11に示す。アドバイザリは、前報³⁾と同様、許容限界以上とした結果が多かった。前報³⁾では、低評価であったワーニングは、Fig. 11より、アドバイザリと同等の評価が得られており、支援フロー改善による受容性の向上を確認した。制動介入については、見通しの良い交差点で発進時のみの介入となった者については、本研究で主眼とした意図とは異なるため、評価対象から除外した。有用性では大半が許容限界以上としたが、煩わしさは、許容限界を下回る回答をした実験参加者が多かった。この原因として、見通しのよい交差点での制動介入件数が相対的に多く、発進時の介入を含めて回答されてしまったことと、停止線通過以降からの一律の介入のため、発生減速度が大きかったことが考えられる。見通しの悪い交差点を対象とし、減速度についてもより細かな制御を行うことにより、煩わしさの低減は可能と推察される。

3.5.4 不安全傾向群別の比較

2章の実態行動調査の結果をもとに、不安全傾向小群 (G1)、大群 (G2) 別に実験結果について集計した。群別の特徴が顕著に表れていた見通しが悪い交差点進入時のワーニングと制動介入の発動状況について、Fig. 12に平均発動率を示す。G1とG2を比較すると、ワーニングの発動率は、G1の方がG2の倍程度となっていたが、進入時制動介入の発動率は、G2がG1の倍程度であった。不安

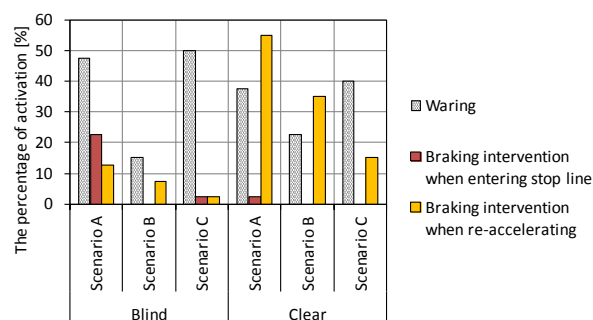


Fig. 10 The percentage of activation of each phase

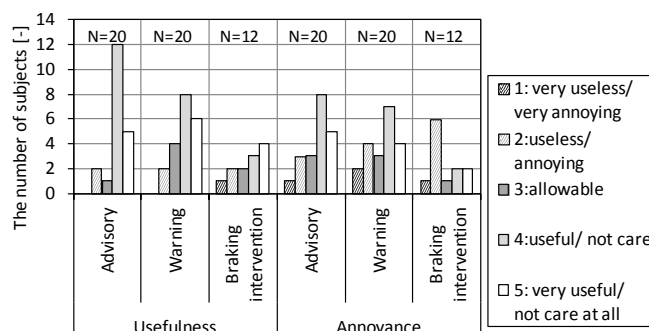


Fig. 11 The results of subjective ratings

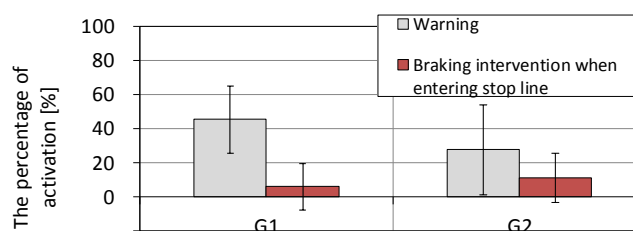


Fig. 12 The percentage of activation of G1 and G2

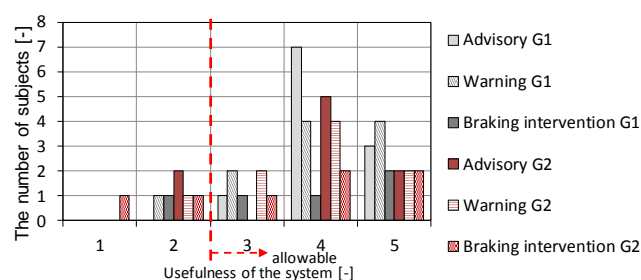


Fig. 13 The results of subjective ratings of G1 and G2

全傾向が小さいG1は、ワーニングまでである程度の効果が見込めるが、不安全傾向の大きいG2は、情報呈示では不十分で、制動介入に至ることが多いためと考えられる。個人ごとに見ても、制動介

入は、G1では、2名/11名中が発動したのに対し、G2では、4名/9名中であり、実運転とある程度の対応のとれた交通場面の再現ができたものと考えられる。次に、有用性の評価結果をFig. 13に示す。各段階の支援ともG1の方がやや許容側の回答が多かった。また、G2の2名は、アドバイザーですら許容しないと回答した。このような高齢者は、自身が不安全行動を頻繁に起こしている自覚がないものと推察され、教育的な対策も必要と考える。

4. おわりに

本研究では、一時停止場面を対象として、前報³⁾の検討により課題点を抽出した、アドバイザー、ワーニング、制動介入を行う支援システムについて検討した。

支援フローの改良により、既報³⁾と同等の支援効果を確保した上で、課題点だった、ワーニングの受容性を向上することと、停止線通過後から確認可能位置の支援について、特に見通しの悪い交差点で、支援効果を示すことができた。一方で、見通しの良い交差点では、停止線よりも手前で停止し、その時点で左右確認を行って発進した場合、本研究のフローでは、交差道路直前で制動介入してしまう場合があり、見通し等も考慮したフローの必要性が明らかとなった。

また、実交通を想定した3通りのシナリオ設定より、先行車がない場面に加え、一時不停止の先行車への追従場面でも、後続車の減速が遅れ、不停止となりやすいことが示された。

支援の受容性について、多くの高齢者は有用性を理解し、許容する結果が得られたものの、一部の不安全傾向の大きい高齢者では、支援自体に否定的であった。この原因として、自身の不安全行動に対する意識の欠如があると考えられる。即効性のある対策としては、制動介入を含めた支援が効果的だが、長期的な視点からは、自信の不安全行動に対し、自覚を高めるような教育的アプローチも必要と考えられる。

参考文献

- 1) イタルダ・インフォメーション, 高齢者の四輪運転中の事故~その推移と特徴~, No.68, p.1 - 12 (2007)
- 2) 細川崇ほか: 高齢運転者の実運転場面に基づく一時停止規制のある無信号交差点での不安全行動分析, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.3, p.553 - 558 (2014)
- 3) 細川崇ほか: 一時停止規制のある交差点における高齢運転者に対する運転支援の効果検討, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.2, p.531 - 536 (2016)
- 4) 木村賢治ほか: 一時停止交差点における情報提供検討, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.4, p.137 - 140 (2008)
- 5) 小竹元基ほか: 一時停止交差点進入時における高齢運転者のための情報提示による認知支援システム, 自動車技術会論文集, Vol.40, No.6, p.1605 - 1610 (2009)
- 6) 高原美和ほか: 高齢ドライバーにおける一時停止支援システムの研究, 国際交通安全学会誌, Vol.36, No.1, p.6 - 13 (2011)
- 7) 宇野宏ほか: 高齢ドライバの緊急回避特性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.32, No.1, p.113 - 118 (2001)