

電子ディスプレイの人間工学シンポジウム 2022

自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーション

慶應義塾大学 理工学部

大門 樹

〔本発表の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「自動走行システム／大規模実証実験」
「自動運転(システムとサービスの拡張)」(管理人:NEDO)によって実施されました。〕

目次

- 背景
 - 交通参加者間のコミュニケーション
 - 自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーションの課題
 - eHMIとは(External HMI: 外向けHMI)
- 自動運転車から周囲交通参加者へのコミュニケーションの実験研究
 - 自動運転車の意図状態伝達と歩行者の認識
 - eHMIを伴うコミュニケーションの負の影響の検討
 - eHMIを伴うコミュニケーションの国際比較(日英)
- まとめ

背景

コミュニケーションとeHMI

eHMI: External Human Machine Interface

交通参加者間のコミュニケーション

- 様々な道路環境, 交通状況において, 自動車や歩行者, 自転車などの交通参加者の間で意思疎通を図るためのコミュニケーションが行われている

合流区間



無信号交差点

信号交差点



無信号
横断歩道

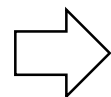
交通参加者間のコミュニケーション媒体・手段

コミュニケーション媒体	コミュニケーション手段
クルマ	付属装置 <ul style="list-style-type: none">・ウィンカ, ハザードランプ・ヘッドライト, パッシングライト・ブレーキランプ, バックランプ・クラクション, サイレン
	車両本体 <ul style="list-style-type: none">・車両挙動・ポジション
ドライバー	非言語的手段 <ul style="list-style-type: none">・身振り, アイコンタクト, 表情
	(言語的手段)

(蓮花一己:対人交通コミュニケーション, 記号と情報の行動科学(木下富雄, 吉田民人編), p. 149 — 166, 福村出版(1994)を参考に作成・一部変更)



様々な手段・手掛かりに基づいて, 進路の譲り等の意図を推定



安全安心の向上, 円滑な交通の支援, ...

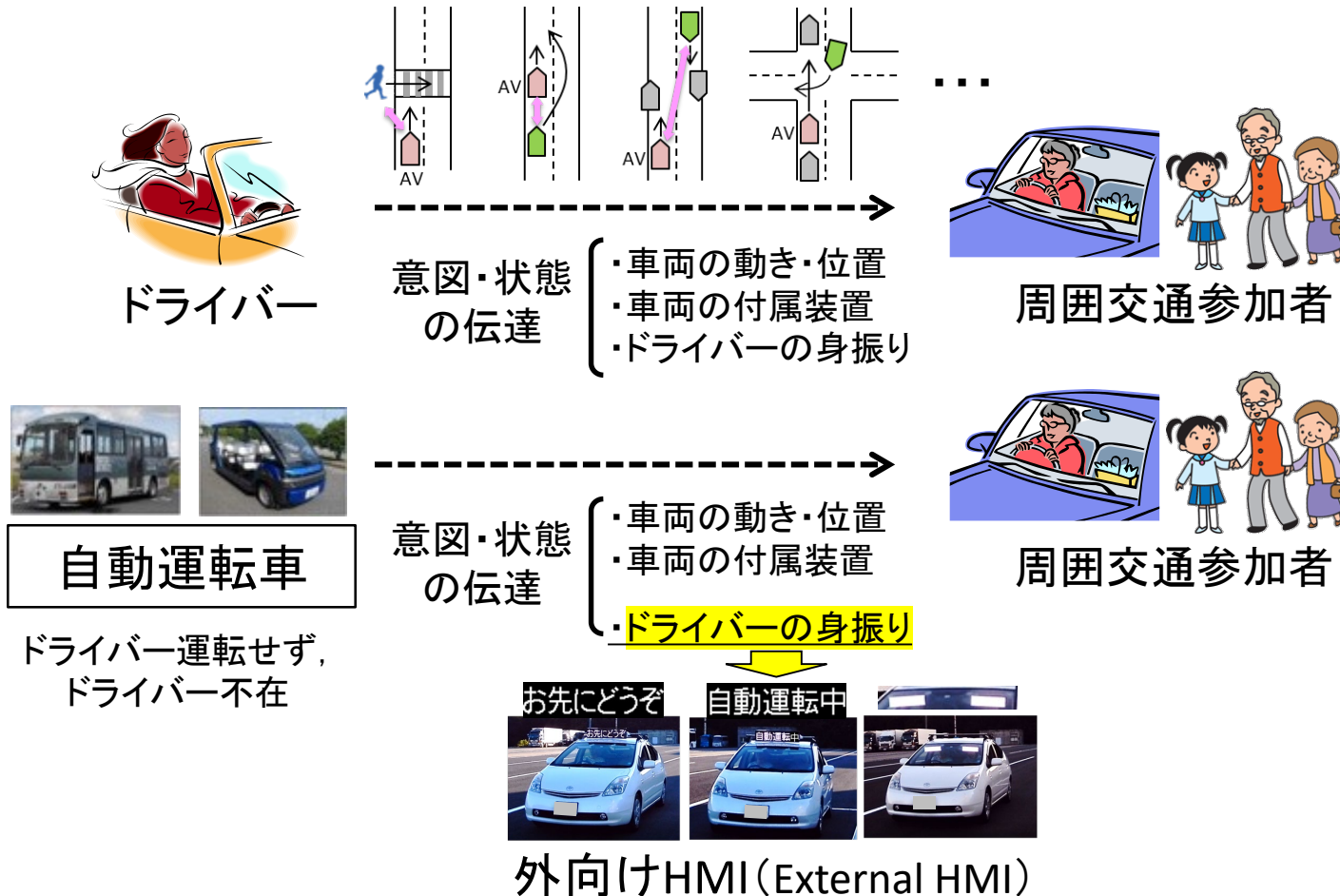
参考:ドライバー間で交わされるコミュニケーション

伝達する意思	交通場面の例	コミュニケーション手段	
お礼・感謝	・合流時に入れてもらう際の「ありがとう」 ・「追い越させてくれてありがとう」	1位	ハザードランプ 42%
		2位	手を挙げる 21%
		3位	頭を下げる 16%
謙譲・親切	・無信号交差点での「譲ります, お先にどうぞ」	1位	パッシングライト 40%
		2位	手を挙げる 17%
		3位	ヘッドライト・ (車両を)左寄に寄せる 6%
危険感・警告	・相手に対して「危ないなあ」と感じたとき	1位	クラクション 43%
		2位	パッシングライト 15%
		3位	怒りの表情 13%

(田中恭子ほか:車同士のコミュニケーションに関する一研究, 実践女子大学 生活科学部紀要, No.43, pp.104-113 (2006))

External communication (外向けコミュニケーション)

自動運転車から周囲の歩行者やドライバーへのコミュニケーション



コミュニケーションの方法	
媒体	手段
クルマ	付属装置 ・ウィンカ, ハザードランプ ・ヘッドライト, パッシングライト ・ブレーキランプ, バックランプ ・クラクション, サイレン
	車両本体 ・車両挙動 ・ポジション
ドライバー	非言語的手段 ・身振り, アイコンタクト, 表情
	(言語的手段)

(蓮花一己: 対人交通コミュニケーション, 記号と情報の行動科学 (木下富雄, 吉田民人編), p. 149 — 166, 福村出版(1994)を参考に作成・一部変更)

自動運転車から周囲交通参加者へのコミュニケーションはeHMIだけに依存しない？

eHMI: External HMI (外向けHMI)とは？

- 自動運転車から周囲交通参加者（歩行者やドライバーなど）へのコミュニケーションを支援するためのヒューマン・マシン・インタフェース



'After You' on the windshield (Nissan, 2015)



Tracking eyes and red-green headlights (Jaguar Land Rover, 2018)



'Waiting for You to Cross' and pedestrian on zebra crossing on car side (drive.ai, 2018)



Door opening projection (Mitsubishi Electric, 2015)



Car moves on road; '11th street' on the bumper, the car stops in front of zebra crossing; 'go ahead' and '>' sign appears on the bumper, and headlights turn into animated eyes; the pedestrian crosses (Daimler, 2017)



A cyclist is seen from inside the car; the car stops at zebra crossing; the light bar moves outwards and inwards while the cyclist crosses the road, after which bar centralizes, flashes four times, and becomes static when the car starts moving again (Ford Media Center, 2017)



'Safe to Cross' and pedestrian on zebra crossing on car top (drive.ai, 2018; image taken from Golson, 2016)

External Communication (eHMI)に関する動向

- 自動運転車から周囲の歩行者やドライバーへのコミュニケーションを支援するためのExternal CommunicationとしてISOでも検討
 - 自動運転車から周囲交通参加者へのコミュニケーション(External Communication)は、車両挙動なども重要な要素であり、外向けHMI(eHMI)はExternal Communicationの一つの要素

参考: ISO/TC22/SC39 (Road Vehicle/Ergonomics:自動車の人間工学)

- ISO/TR23735(→ PAS23735)(外向けコミュニケーション(視覚)の設計ガイダンス, 策定中)
 - Road vehicles — Ergonomic design guidance for external visual communication from automated vehicles to other road users
- ISO/TR23720(外向けコミュニケーションの評価方法, 策定中)
 - Road Vehicles — Methods for evaluating other road user behavior in the presence of automated vehicle external communication

eHMIを利用したコミュニケーション研究

- eHMI仕様

- テキスト型, 非テキスト型
- 色
- 表現方法
- 擬人化, 非擬人化
- 自己中心, 他者中心



(f) 外向けHMIを利用したクルマの擬人化
(顔表情)

Semcon: Who sees you when the car drives itself?,
<https://semcon.com/smilingcar/> (参照2020.01.08)



(a) 道路面へのシンボル
投影



(b) ラジエータグリル部
でのテキスト表示



(c) ウィンドスクリーン部での
ストリップライト表示



(d) ウィンドスクリーン部
でのシンボル表示

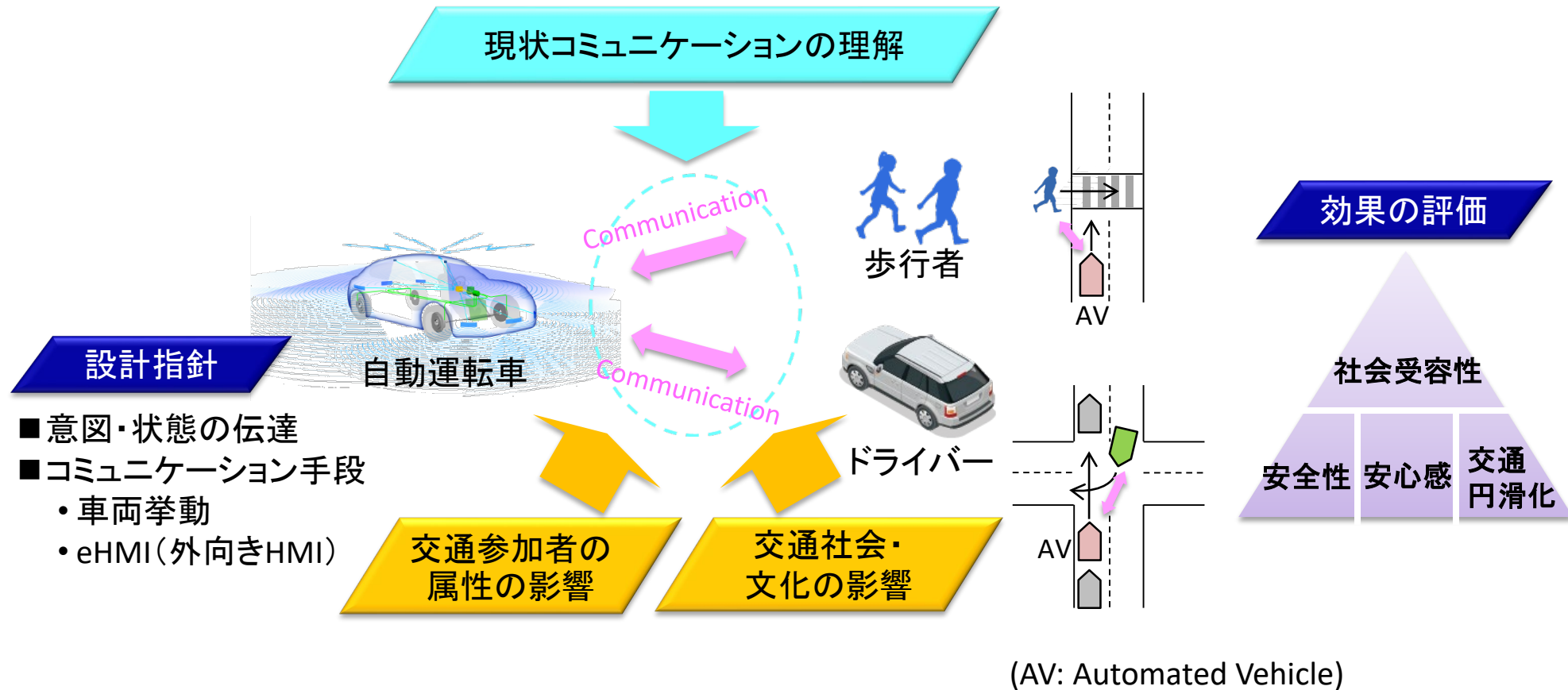


(e) ウィンドスクリーン部
でのテキスト表示

C. Ackermann, et al.: An experimental study to investigate design and assessment criteria: What is important for communication between pedestrians and automated vehicles?, Applied Ergonomics, Vol.75, pp.272-282 (2019)

自動運転車のExternal Communicationの課題

自動運転車が備えるべき、周囲交通参加者へのコミュニケーション手段の設計・指針



自動運転車から周囲交通参加者への コミュニケーションの実験研究

自動運転車からのコミュニケーション実験研究

- 実験要素：eHMI(情報コンテンツ[意図・状態等])，車両挙動(減速・停止挙動)
- 実験環境：バーチャル環境，実道環境(試験走路等)，(参考：実証実験等による観測)

歩行者へのコミュニケーション



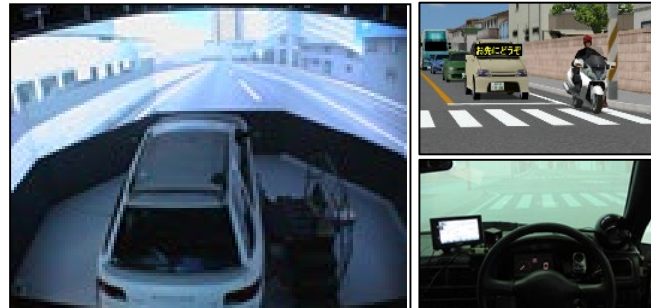
歩行者へのコミュニケーション



非優先ドライバーへのコミュニケーション



非優先ドライバーへのコミュニケーション



周囲交通参加者とのコミュニケーション



試験走路/構内道路等での実験
(模擬自動運転車を使用)

VR環境/DS環境等での実験
(バーチャル映像を使用)

参考：実道路・実交通での実験
(実証実験等による観測)

自動運転車の意図状態伝達と歩行者の認識

自動運転車を想定した実験車両

- 自動運転車の減速挙動とeHMIの組合せ

伝達の確実性を考慮して、テキストによるメッセージ表示で代用

減速挙動(減速大小) + eHMIの実験

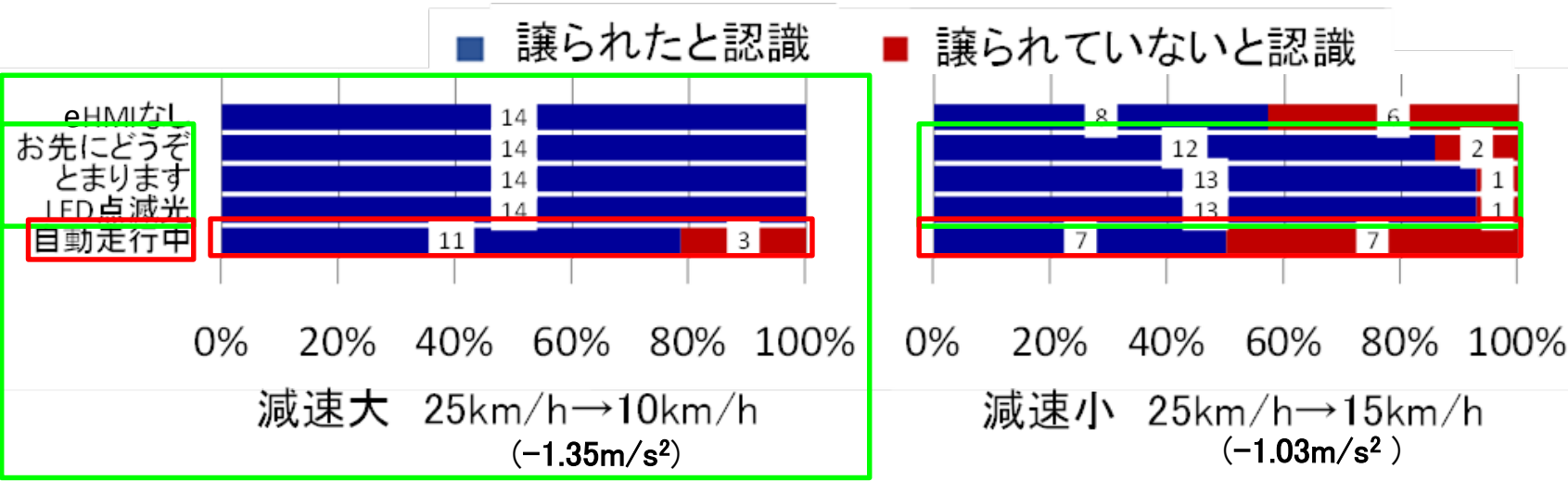
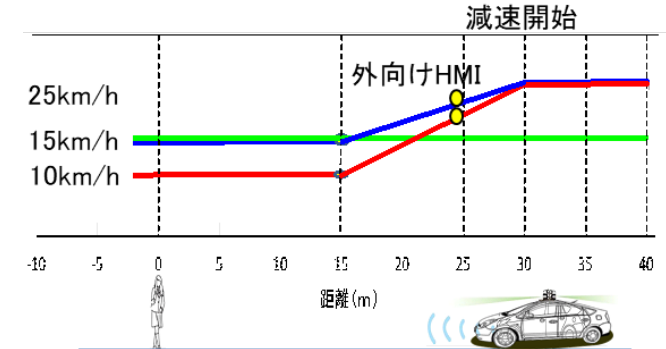


低速走行 + eHMIの実験



自動運転車のExternal Communicationへの認識

- 車両挙動(減速)とeHMIによる譲り意図に対する歩行者の認識実験

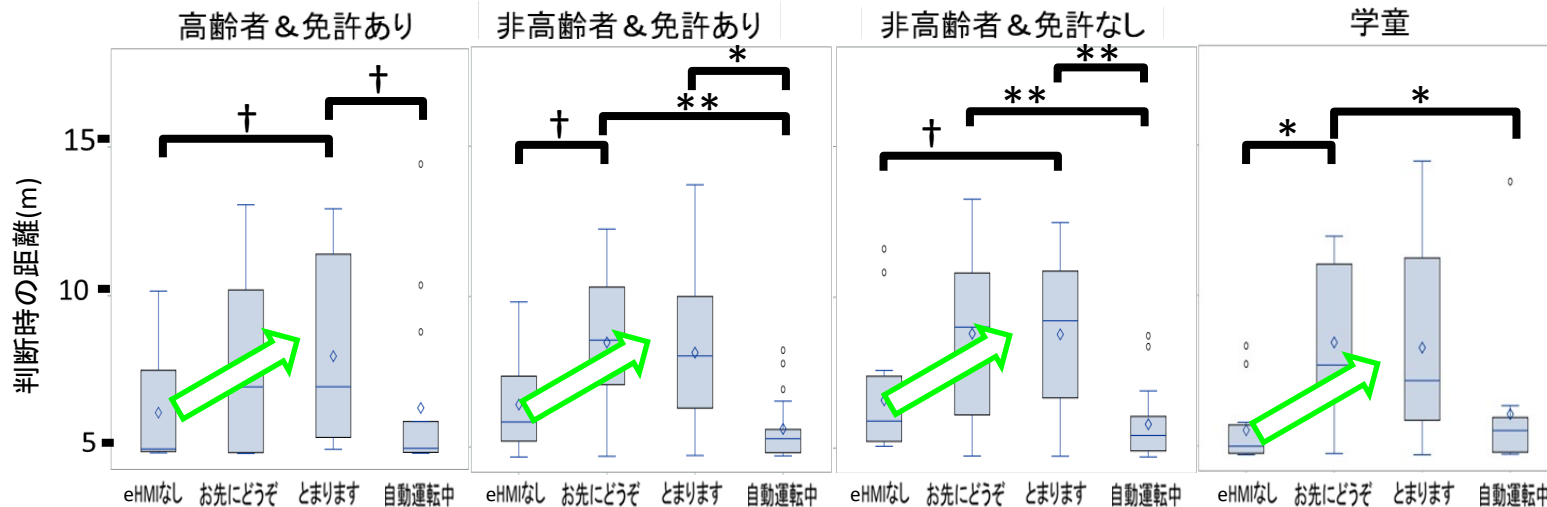
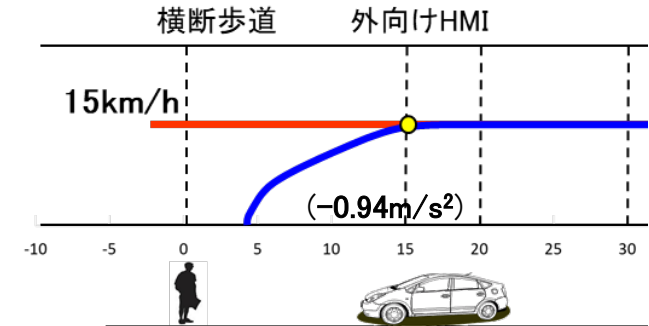


(非高齢者[運転免許所有者]を対象に実験)

- ① 大きな減速挙動だけで自動運転車からの譲り意図を歩行者に認識させることが可能
- ② 減速挙動が十分でない状況で歩行者に譲りを認識させるには外向けHMIが必要
- ③ eHMIで「自動走行中」と表示すると、減速挙動に対する歩行者の譲り認識が低下

自動運転車のExternal Communicationと横断判断

- 低速走行でのeHMIによる譲り意図に対する歩行者の横断判断



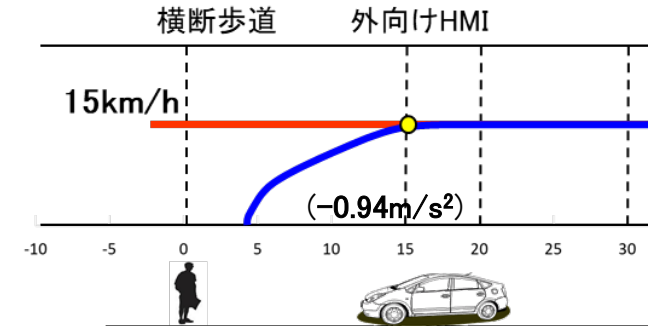
減速挙動が小さい状況であっても、eHMIによる意図伝達を行うことで、より早いタイミングで横断できるかどうかの判断が可能
(「自動運転中」を除く)

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$ † : $p < 0.10$

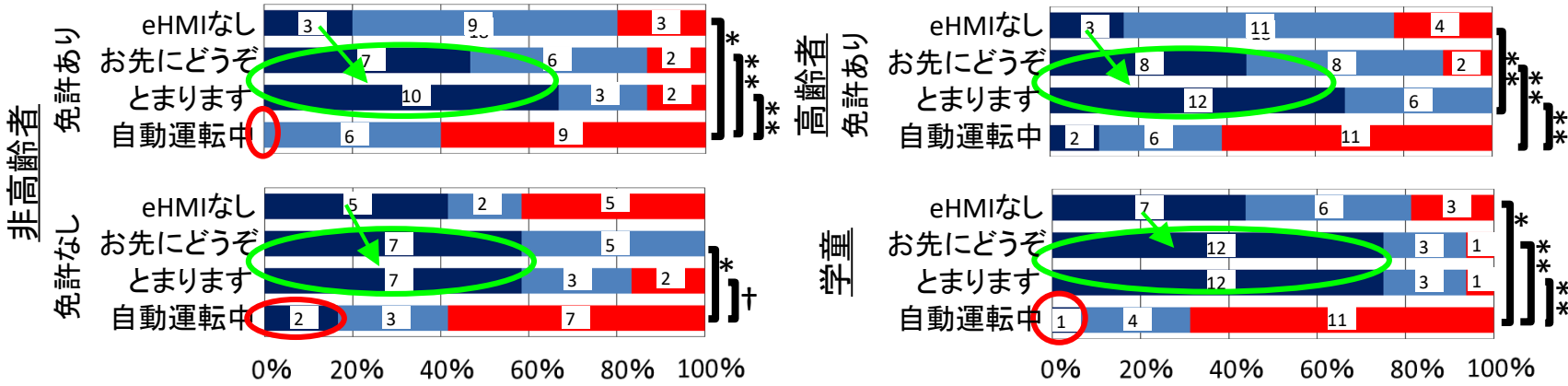
Dwass, Steel, Critchlow-Fligner (DSCF) 多重比較分析

自動運転車のExternal Communicationと心理面への効果

- 低速走行でのeHMIによる譲り意図と安全の心理への効果



■ 非常に安全に横断可能 ■ 安全に横断可能 ■ それ以外



- ① 減速挙動が小さい状況であっても、eHMIによる意図伝達を行うことで、横断判断時の安全の心理が向上
- ② eHMIで「自動運転中」と表示すると、横断判断時の安全の心理が低下

** : p<0.01 * : p<0.05 † : p<0.10 Dwass,Steel,Critchlow-Fligner (DSCF)多重比較分析

「安全に横断することが可能であった」への回答(5件法)

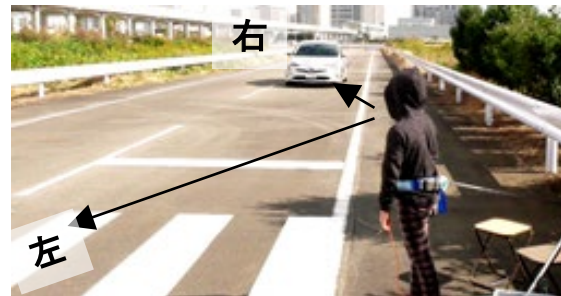
自動運転車のExternal Communicationの初期検討

- 自動運転車からの譲り意図の伝達にまず減速挙動を活用
 - 譲り意図を認識しやすい減速プロファイルの設計が必要
 - 減速挙動による自動運転車からの譲り意図は、約 1.35m/s^2 の減速でほぼ100%、
 - 約 1.03m/s^2 の減速で約50%の割合で認識（対歩行者）
- 低速走行状態などで減速挙動が十分でない場合にeHMIを活用
 - eHMIによる譲り意図の伝達が歩行者の認識・判断などを支援
 - 譲り意図を早いタイミングで認識，判断させる効果
 - 判断時に安全の心理を向上させる効果
- eHMIでの「自動走行中」(自動運転中)の状態の伝達に留意
 - 「自動走行中」(自動運転中)を提示した走行は交通参加者の認識を阻害
 - 自動運転車の行動意図が判断できないことに起因(普及初期に限定されるものか)
 - 「自動走行中」(自動運転中)を消去，他のメッセージに変更などが必要

eHMIを伴うコミュニケーションの負の影響の検討

eHMI活用時の歩行者の視認行動の特徴 (実験を通じて)

- 一部の歩行者で確認回数の減少, 左方向を確認しない行動を観測



左方向(反対方向)への視認が完全に欠落

番号	年齢	年齢・属性	性別	外向けHMI
Subj15	10	学童	男性	自動走行中
Subj16	10	学童	男性	自動走行中
Subj37	8	学童	女性	お先にどうぞ とまります
Subj35	73	高齢者・免許なし	女性	自動走行中
Subj25	46	非高齢者・免許あり	女性	自動走行中
Subj31	44	非高齢者・免許あり	女性	とまります
Subj46	29	非高齢者・免許あり	女性	お先にどうぞ

左右方向への視認が左右1回ずつに減少

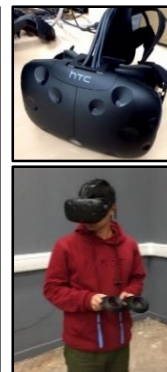
番号	年齢	年齢・属性	性別	外向けHMI
Subj09	10	学童	男性	お先にどうぞ とまります
Subj23	77	高齢者・免許なし	女性	お先にどうぞ
Subj24	68	高齢者・免許なし	女性	自動走行中
Subj52	77	高齢者・免許なし	女性	とまります
Subj45	21	非高齢者・免許なし	女性	お先にどうぞ とまります
Subj20	31	非高齢者・免許あり	男性	お先にどうぞ
Subj54	35	非高齢者・免許あり	男性	自動走行中

① eHMIによる意図や状態の伝達に, 横断判断を依存しまう可能性

負の影響が存在?

eHMI利用経験増加に伴う歩行者の認識・判断の変容

- VR環境にて様々な交通状況での無信号横断歩道の横断を体験
 1. 左右両方向から接近する車両がよく見える交通場面
 2. 渋滞状況で横断歩道の右方向から接近する車両が見えづらい交通場面



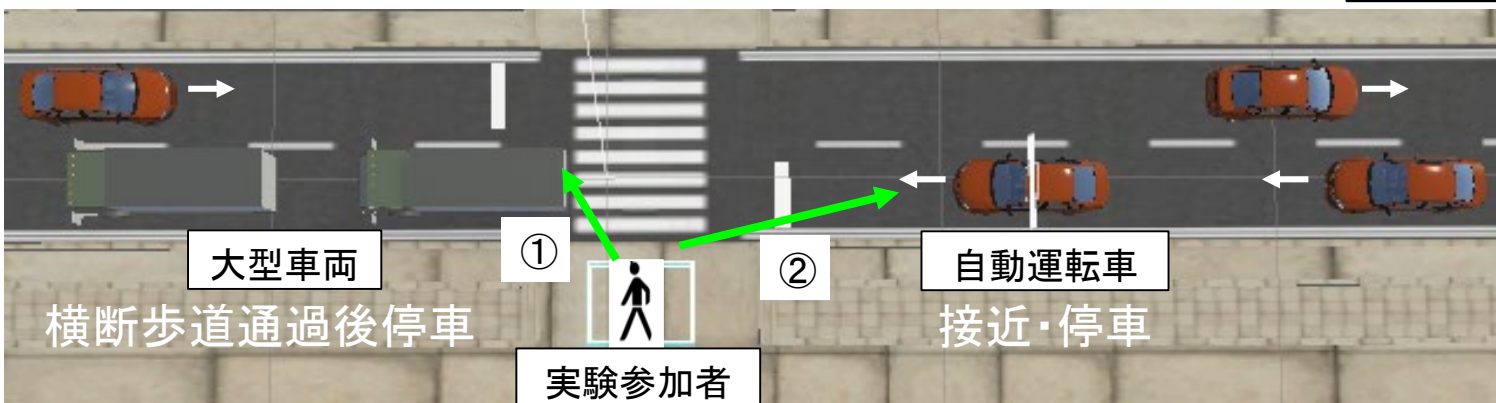
実験参加者: 50名, 非高齢者(運転免許所有)

実験方法:

自動運転車(手動運転車)が15km/hから減速して横断歩道に接近, 接近する車両状態(eHMIを含む)を観察して安全に横断可能と判断した際に手元のボタンを操作して実際に横断を実施(左右確認を含む)

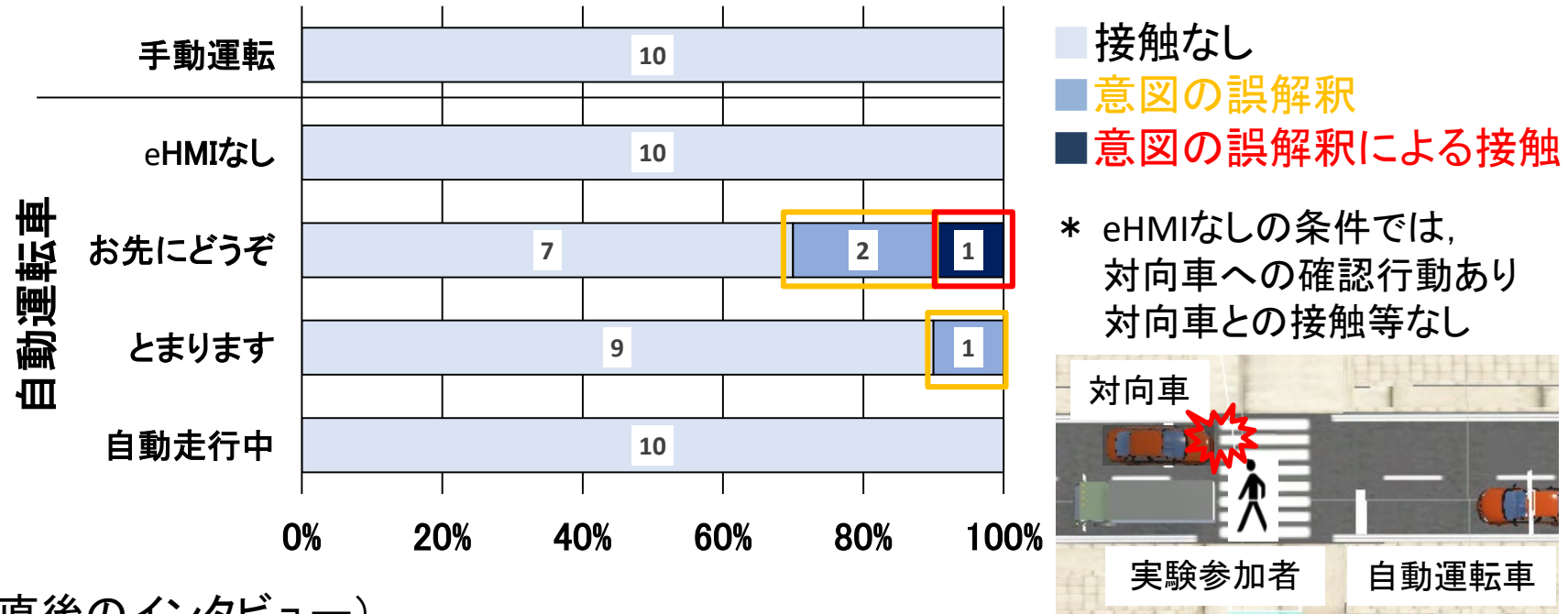
実験条件:

eHMIなし(自動運転車, 手動運転車),
eHMI活用(お先にどうぞ, とまります, 自動走行中)



2. 渋滞状況での横断場面の例

自動運転車 (eHMI実装) に対する誤認識と対向車との接触



(実験終了直後のインタビュー)

・「お先にどうぞ」のケース

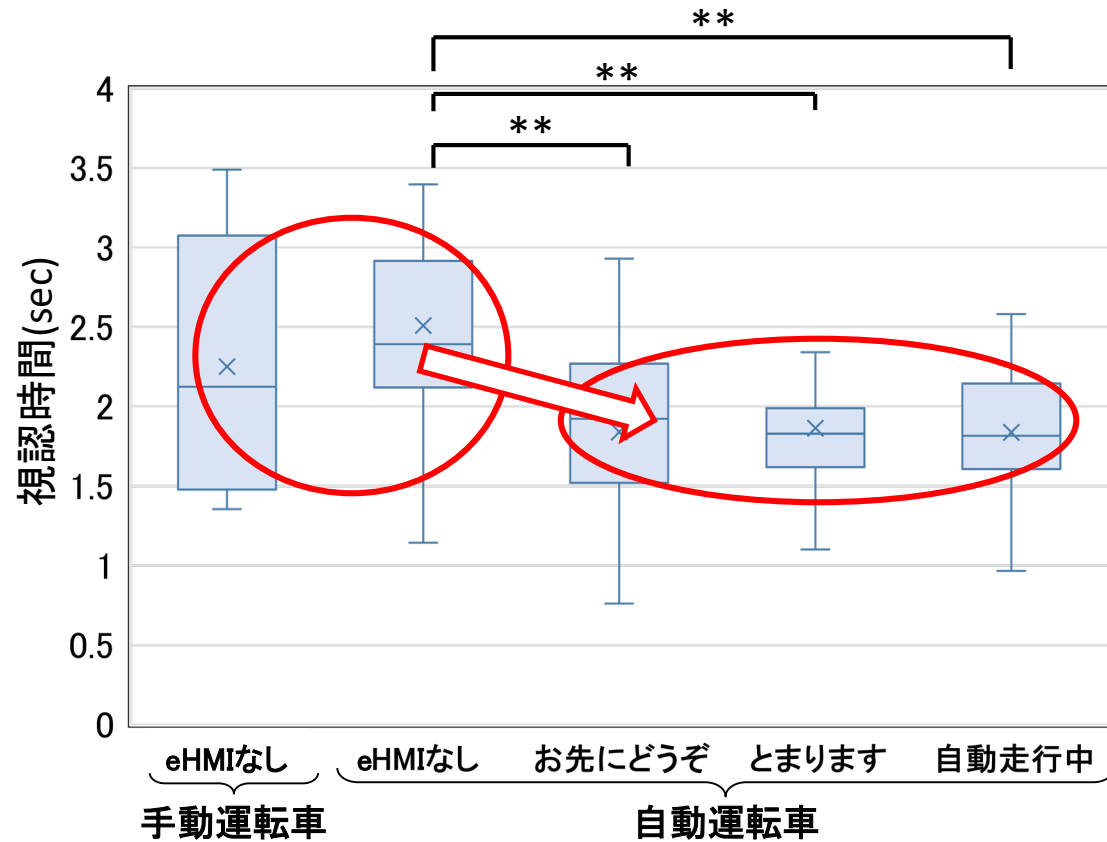
『対向車が「お先にどうぞ」を見て止まる』、『自動運転車が対向車状況を確認して表示している』など
→対向車との接触: 1件, 意図の誤解釈(対向車と接触せず): 2件

・「とまります」のケース

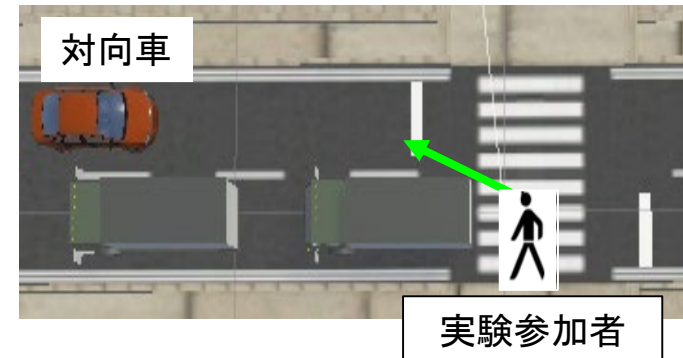
『「とまります」と表示していたため、対向車は(それを見て)減速して止まる』
→意図の誤解釈(対向車と接触せず): 1件

自動運転車のeHMIに歩行者の周囲確認が依存

自動運転車 (eHMI実装) 遭遇時の対向車への視認時間



* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$
(Mann-Whitney U検定)



⇒ eHMIの意図伝達により、歩行者の周囲確認がeHMIに依存
→ 対向車を確認する際の視認時間が減少(注意の減少)

歩行者の周囲確認をeHMIに依存させない設計, 知識・教育等が必要

eHMI利用経験増加に伴う歩行者の認識・判断の課題

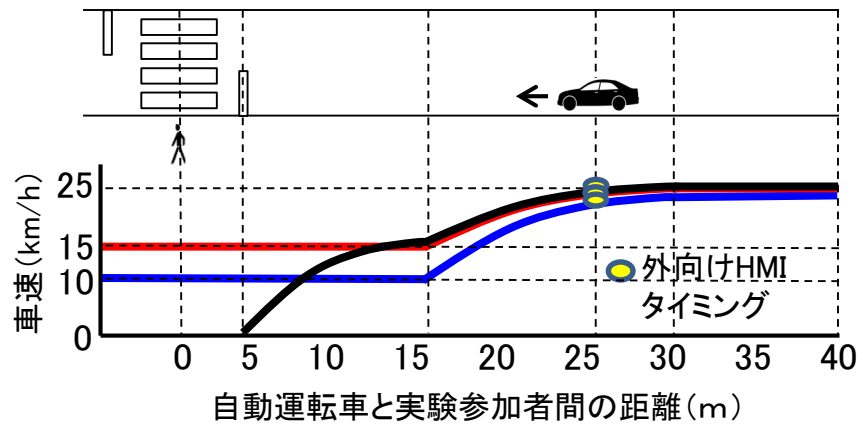
- eHMI利用経験に伴い交通参加者の認識・判断が変容
 - 交通参加者(歩行者)はeHMIの意図伝達に対して誤った認識に変容
 - 周囲確認の減少・交通状況への思い込みなどを誘発
 - 周囲の他車両との接触やニアミスに至る場合あり
- 自動運転車やeHMIに対する誤った知識・認識への移行抑制・対策
 - 交通参加者に誤った認識を定着させない自動運転車やeHMIの運用の検討
 - 自動運転車やeHMIに関して交通参加者が備えるべき知識の明確化・教育方法の検討なども必要

eHMIを伴うコミュニケーションの国際比較(日英)

自動運転車のExternal Communicationの日英比較

• 車両挙動とeHMIによるCommunication

- 車両挙動: **減速大** (-1.35m/sec^2) **減速小** (-1.03m/sec^2) / **減速→停止** (-0.94m/sec^2)
- eHMI: とまります (I'll stop), お先にどうぞ (After you), eHMIなし



車両挙動



eHMIなし

eHMI

eHMIの有無とeHMIコンテンツ

• 実験参加者

日本人被験者

性別: 男性11名, 女性9名
年齢: 平均22.5歳(19-33歳)
運転免許保有
歩行速度: 平均1.28m/sec

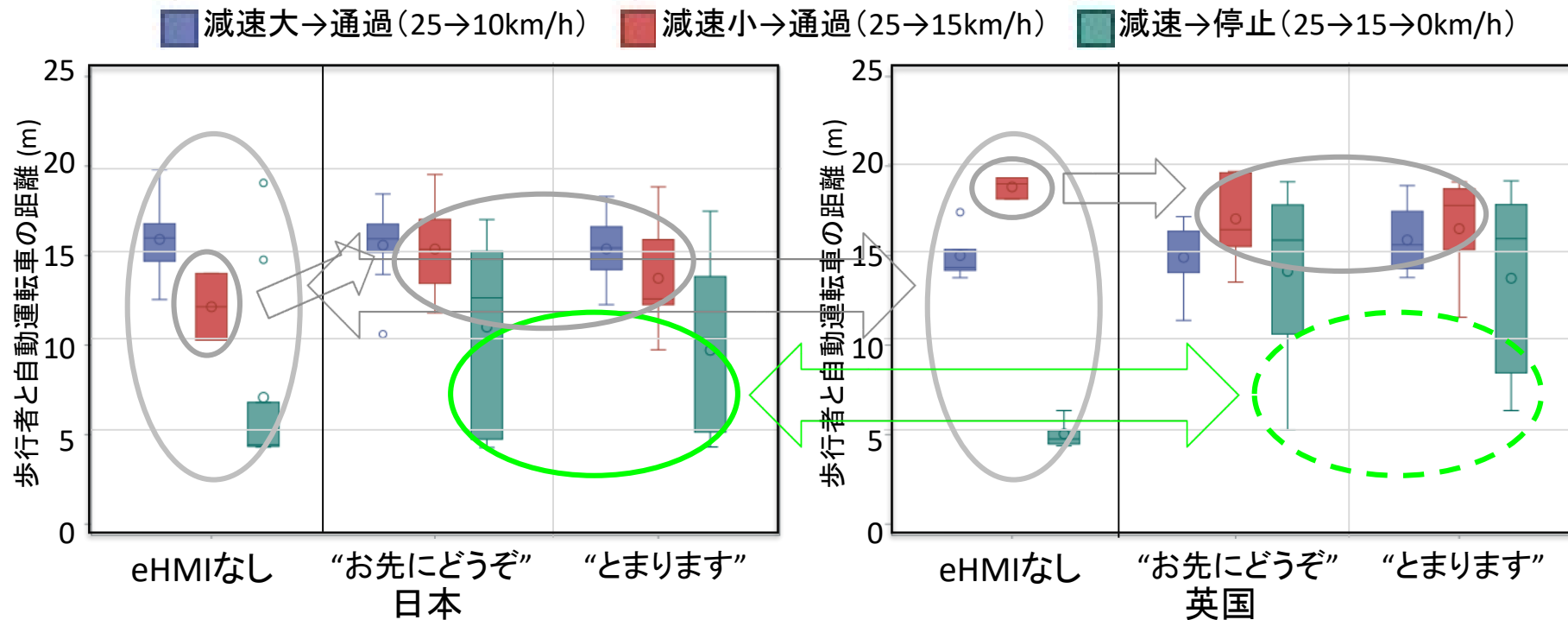
英国被験者

性別: 男性9名, 女性7名
年齢: 平均25.4歳(20-40歳)
運転免許保有
歩行速度: 平均1.35m/sec

自動運転車のExternal Communicationと横断判断比較

• 車両挙動とeHMIの伴うCommunicationと横断判断タイミング

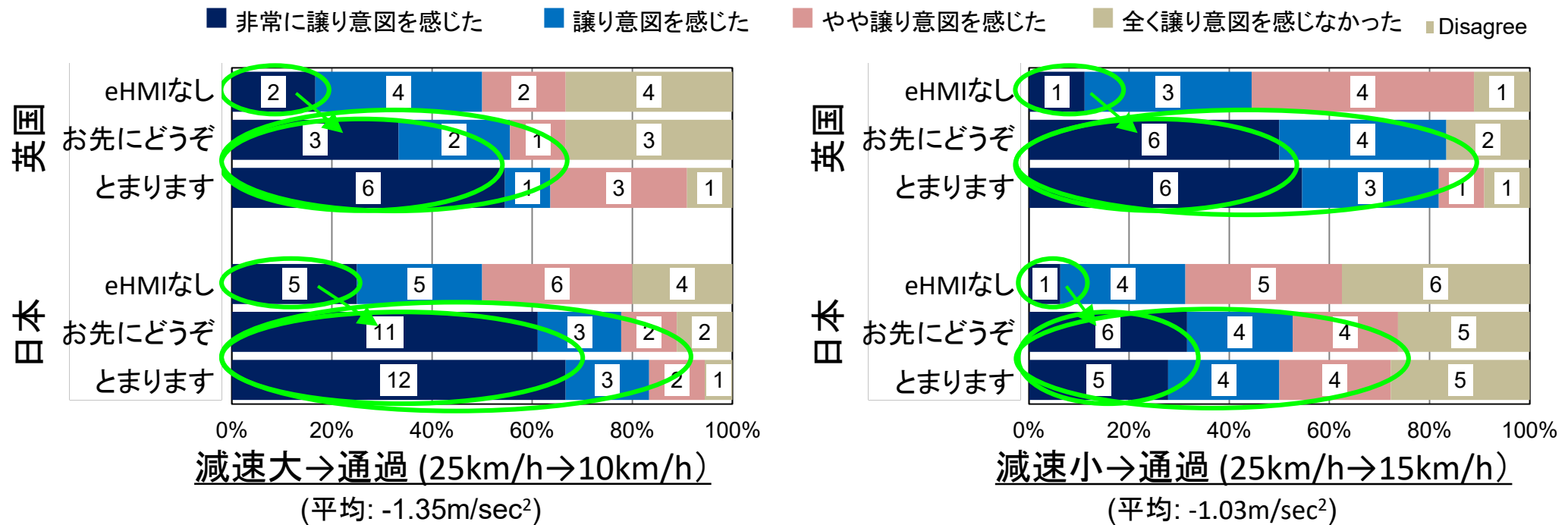
(25mより長い距離で横断開始した歩行者, 停止後に横断開始した歩行者, 横断可能と判断しなかった歩行者を除く)



- ⇒ eHMIなしでは日本と英国で横断開始の判断がばらつく傾向
- ⇒ eHMI実装では、減速→停止の条件において日本の横断開始の判断が英国と比較して遅い歩行者が存在
- ⇒ 減速小→通過の条件においてはeHMI実装の効果は英国の歩行者では日本ほど高くない可能性あり

自動運転車のExternal Communicationの認識比較

減速→通過の車両挙動の場合



- ⇒ eHMI実装の条件において、日本、英国ともに自動運転車からの譲り意図を認識する傾向
- ⇒ eHMI実装により自動運転車からの譲り意図を歩行者に伝達することで、日本・英国の歩行者ともに譲られていることへの認識を高められることを示唆

eHMIを伴うコミュニケーションの国際比較（日英）

- eHMIを伴うコミュニケーションでの横断開始判断タイミングは日英でやや異なる傾向
 - eHMI実装時は日本と比較して英国は横断判断のタイミングがやや早い傾向
 - 減速→停止において、日本の横断開始の判断が英国と比較して遅い歩行者が存在
 - 減速小→通過では、英国の歩行者はもともと横断判断のタイミングが早く、eHMI実装の効果としては日本ほど高くない可能性あり
- eHMIを伴うコミュニケーションから譲り意図を日英でほぼ同様に認識
 - eHMI実装により、日本、英国ともに譲り意図の認識を高められる効果あり

まとめ

まとめ

< 自動運転車の意図状態伝達(External Communication)と歩行者の認識 >

- 自動運転車からの譲り意図の伝達にまず減速挙動を活用
- 低速走行状態などで減速挙動が十分でない場合にeHMIを活用
- eHMIでの「自動走行中」(自動運転中)の状態の伝達に留意

< eHMIを伴うコミュニケーションの負の影響の検討 >

- eHMI利用経験に伴い交通参加者の認識・判断が変容
- 自動運転車やeHMIに対する誤った知識・認識への抑制・対策が必要

< eHMIを伴うコミュニケーションの国際比較 >

- 横断開始判断タイミングは日英でやや異なる傾向
- 譲り意図を日英でほぼ同様に認識, eHMIが譲り意図の認識に寄与