

「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第2期 ／自動運転（システムとサービスの拡張）／自動運 転の高度化に則したHMI及び安全教育方法に関す る調査研究」

2020年度分 成果報告書

概要版

学校法人慶應義塾 慶應義塾大学
国立研究開発法人産業技術総合研究所
国立大学法人筑波大学
東京都ビジネスサービス株式会社

2021年3月

課題A

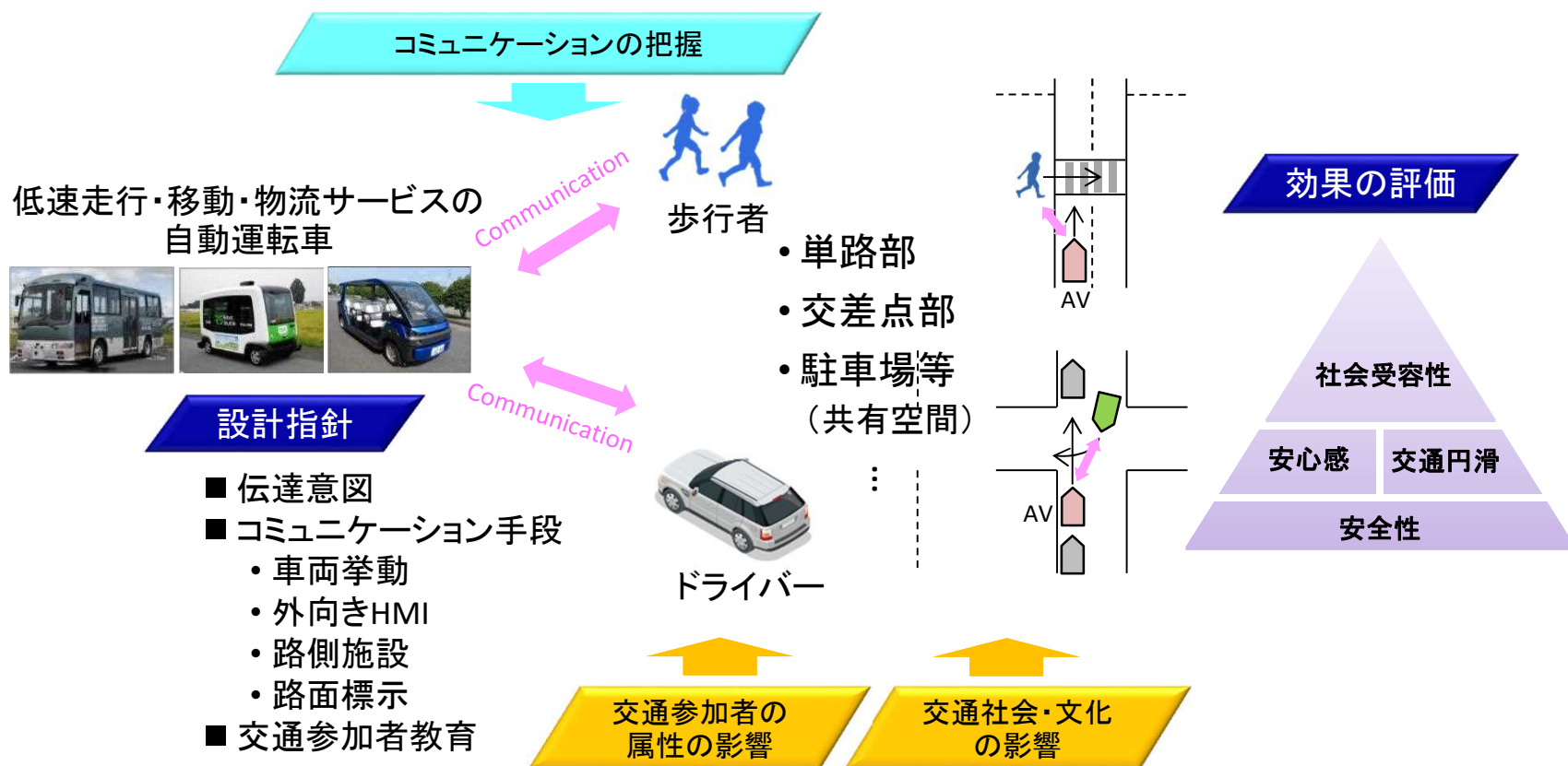
低速走行の移動・物流サービスにおける自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する研究開発

学校法人 慶應義塾 慶應義塾大学

課題A概要

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車 (Level 3 or 4) が備えるべき、
周囲交通参加者とのコミュニケーション手段・交通参加者が備えるべき知識
(一部, Level 2以上のオーナーカーのコミュニケーションを含む)

安全で安心・円滑な自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーション実現



課題Aにおける研究開発の流れ

目的: 低速走行の移動・物流サービス等を対象にした自動運転車と周囲交通参加者との安全・安心で円滑なコミュニケーション実現のための方法・手段, 知識を抽出

① 周囲交通参加者とのインタラクション・コミュニケーションの現状把握

低速走行, 移動・物流サービス, ドライバーレス, 道路環境, 交通状況等の影響 **ユースケース抽出**

2019年度実施

② 周囲交通参加者とのコミュニケーション方法による負の影響への対応

自動運転車1台 → 周囲交通参加者: 1名, 複数名
負の影響への配慮 (道路環境や交通状況の特徴考慮)
(オーナーカーを含む)

重要なユースケースをVR/DS等に設定

③ 周囲交通参加者とのコミュニケーション手段・方法の開発・必要な知識の抽出

車両挙動, 外向けHMI, 路側HMI, 路面標示等
自動運転者とのコミュニケーションに必要な知識

・VR/DS実験
・試験走路実験



・質問紙調査 (Web調査, 地域住民)

2020年度実施 (重要となるユースケース等を対象に実施)

④ 周囲交通参加者とのコミュニケーション手段・方法の開発・必要な知識の検証

車両挙動, 外向けHMI, 路側HMI, 路面標示, 交通参加者教育等の効果検証
(実証実験や実道観測による効果検証)

・コミュニケーションが必要となるユースケースとその特徴
・外向けHMI・路面標示等のデザインファクターのガイダンス

日本自動車工業会への成果提供
ISO(TC22/SC39/WG8) への成果提供
/国際標準化活動の支援
国土交通省への成果提供

社会受容性

安心感 交通円滑

安全性

・交通参加者のコミュニケーションの
エデュケーションファクターのガイダンス

警察庁等への成果発信
地方自治体等への成果発信
教育機関への成果発信

安全で安心・円滑な自動運転車と周囲交通参加者のコミュニケーション実現

2020年度の課題Aの実施概要

コミュニケーション形態等の現状把握 ユースケース抽出(道の駅 実証実験と連携)



・ドラレコ映像分析

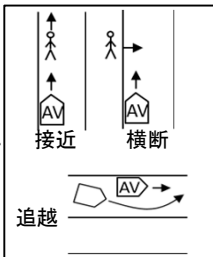
周囲交通参加者との
インタラクション/コミュ
ニケーションの形態・
場面(成立・齟齬...)

・ユースケース抽出

接近, 回避, 横断,
追越, ...



インタラクション場面



ユースケース

コミュニケーション方法による負の影響 の検討・対応(VR/DS実験)



・道路環境・交通状況

単路部, 交差点部, 駐車場等, ...

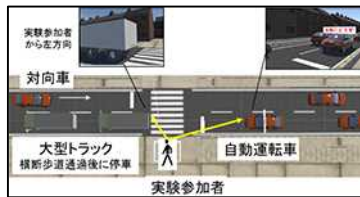
・自動運転車vs交通参加者

1台vs1名, 1台vs複数名

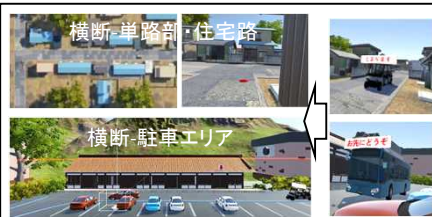
・コミュニケーション方法

車両挙動, 外向けHMI

・負の影響への対応案



低速走行, 移動・物流サービスの自動運転車 コミュニケーション方法の検討



「横断」のケースを対象に

・交通参加者

歩行者, 後続ドライバー, ...

・コミュニケーション方法

車両挙動, 外向けHMI,
路側HMI, 路面標示, ...

・備えるべき知識



「接近・回避」のケースを対象に

試験走路実験の準備

(実験車両製作, 外向けHMI, 走路環境の準備)

・ユースケースに対応

横断, 接近・回避などの
ユースケースを再現



・運行形態

監視員乗車
ドライバーレス運行

・車両挙動

減速タイミング, ...

・外向けHMI

意図・状態, 灯火, ...

・路側HMI, 路面標示

・備えるべき知識

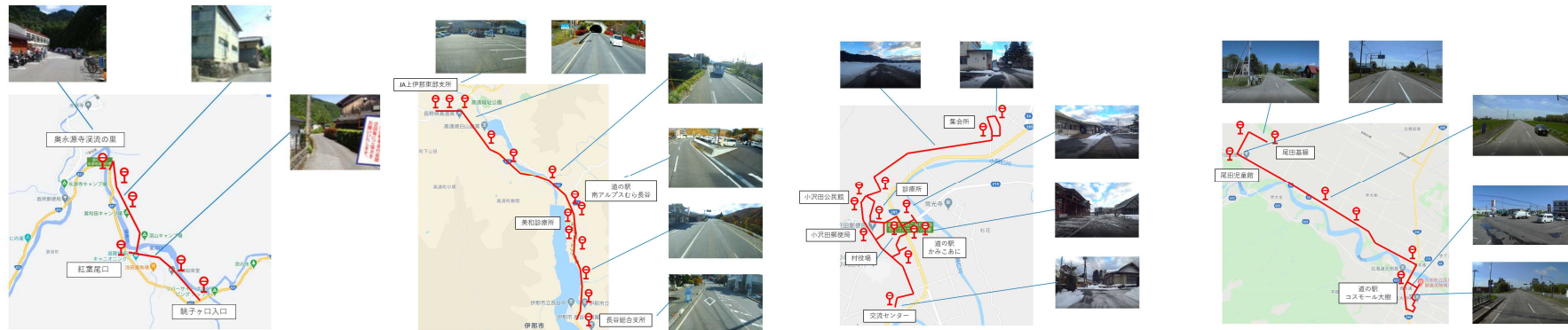
A-i 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションに関する現状把握

- 低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションにおける不安全や非効率の調査

目的と方法

- 自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション(ある交通参加者(例:自動車)が特定の交通参加者(例:自動運転車)を認識し、その認識が行動に反映されている場面(例:追い越し))において、低速自動運転車特有の不安全や非効率の場면을抽出し、その頻度や要因を明らかにする
- コミュニケーションの分類(すれちがい(接近, 回避等), 横断, 追い越し)ごとに、自動運転車と各交通参加者(歩行者, 自転車, 二輪車, 自動車)のコミュニケーションの頻度を算出する
- 自動運転車と各交通参加者のコミュニケーションのうち、コミュニケーションの失敗の頻度を算出する
- 自動運転車と各交通参加者のコミュニケーションの失敗のうち、自動運転車特有の場面の頻度を算出する。また、その場面が生じる要因を検討する

対象とした道の駅・自動運転実証実験，自動運転車

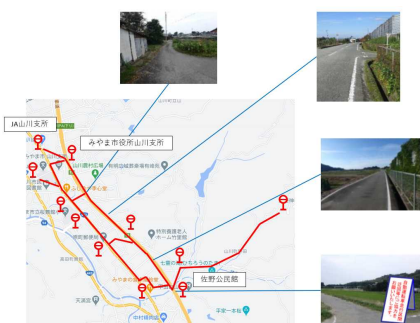


● 奥永源寺渓流の里・走行ルート

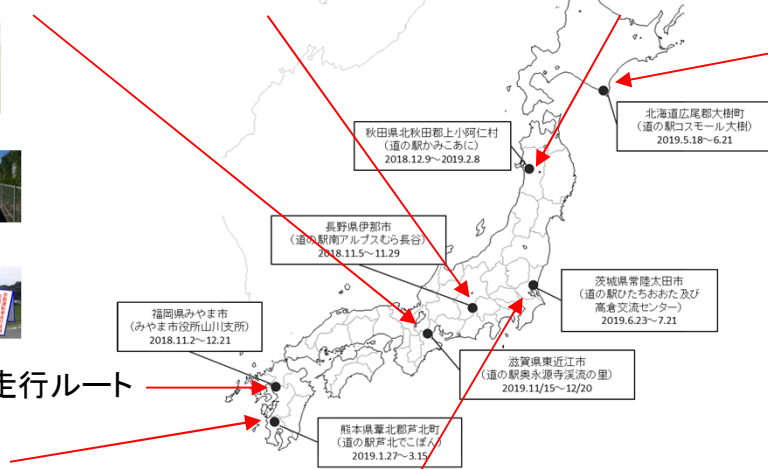
● 南アルプス・走行ルート

● かみこあに・走行ルート

● コスモール大樹・走行ルート



● みやま市役所山川支所・走行ルート



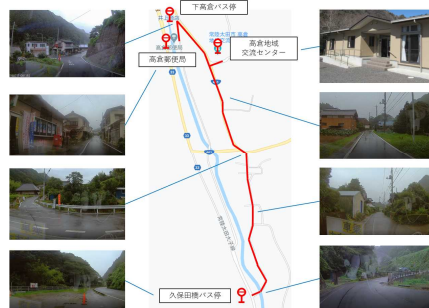
● 自動運転車(ゴルフカート型)



● 自動運転車(バス型)



● 芦北でこぼん・走行ルート



● ひたちおた・走行ルート

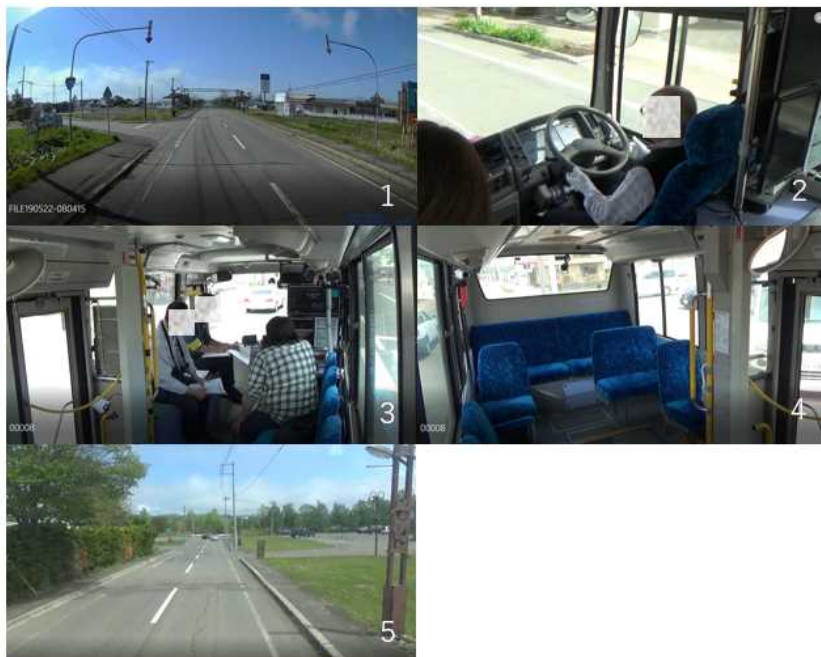
自動運転車に搭載のドライブレコーダの映像



● 自動運転車(バス型)



● 自動運転車(ゴルフカート型)



コスモール大樹のドライブレコーダ映像例

- 1: 車両前方カメラ
- 2: 運転手カメラ
- 3: 前方乗客カメラ
- 4: 後方乗客カメラ
- 5: 車両後方カメラ



かみこあにのドライブレコーダ映像例

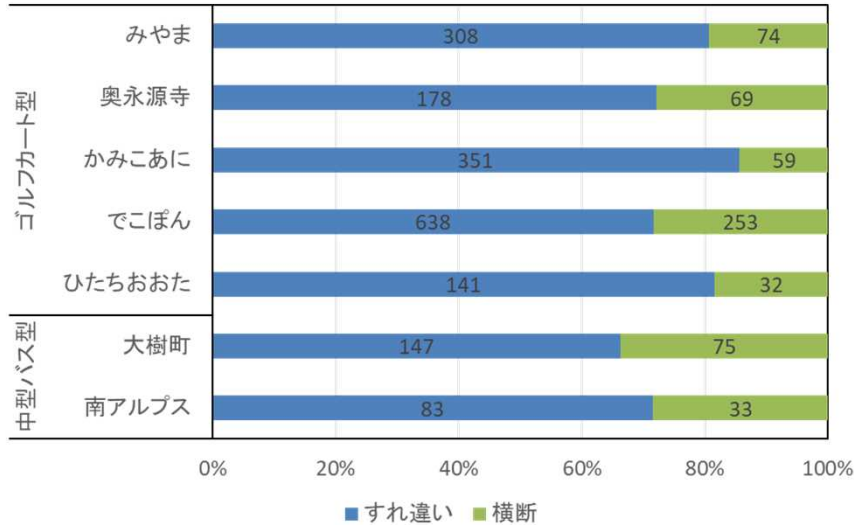
- 1: 車両前方カメラ
- 2: 運転手カメラ
- 3: 乗客カメラ
- 4: 車両後方カメラ

自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーション場面の分類

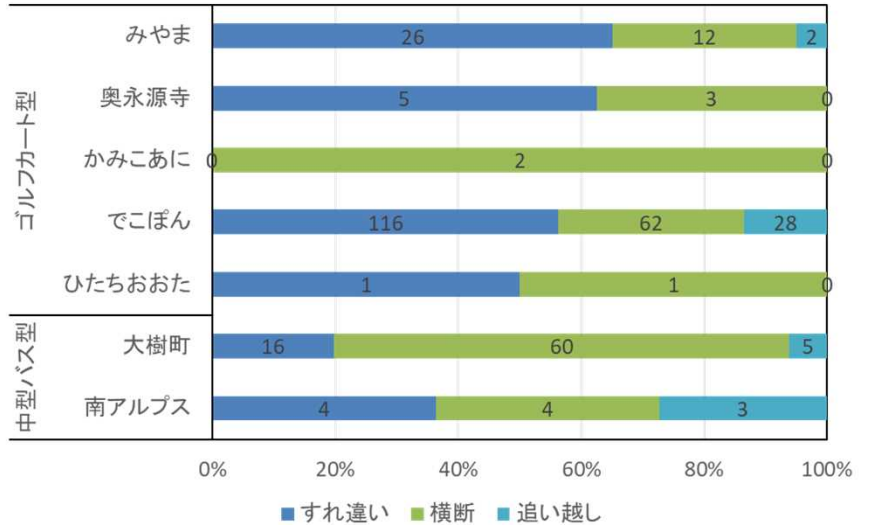
交通外乱の構成要素を踏まえたコミュニケーション場面の分類

		コミュニケーション(交通参加者の位置や行動)											
道路環境	自動運転車の行動	すれ違い				横断				追い越し			
		歩行者	自転車	自動二輪車	自動車	歩行者	自転車	自動二輪車	自動車	歩行者	自転車	自動二輪車	自動車
単路	能動的	自動運転車は軌道以外を走行できないため、対象としない								自動運転車は軌道以外を走行できないため、対象としない			
	受動的												
交差点	能動的	自動運転車は軌道以外を走行できないため、対象としない								自動運転車は軌道以外を走行できないため、対象としない			
	受動的												
駐車場	能動的	自動運転車は軌道以外を走行できないため、対象としない								自動運転車は軌道以外を走行できないため、対象としない			
	受動的												

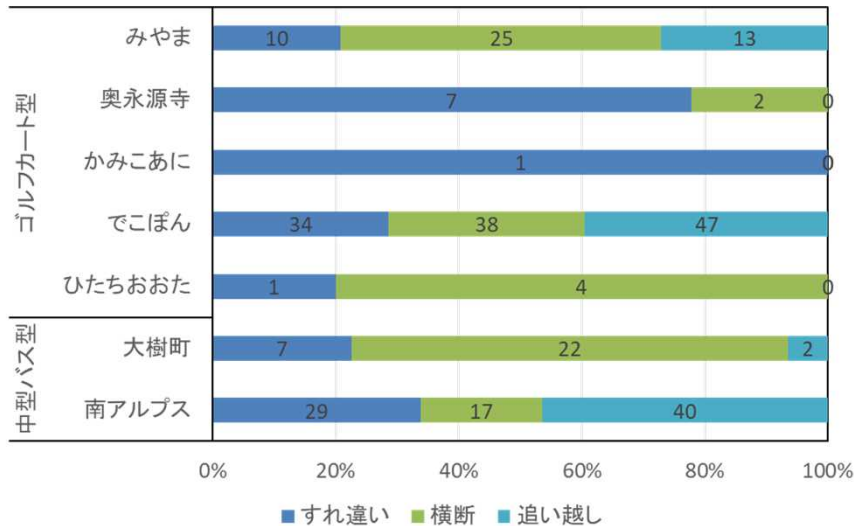
コミュニケーションの種類・頻度



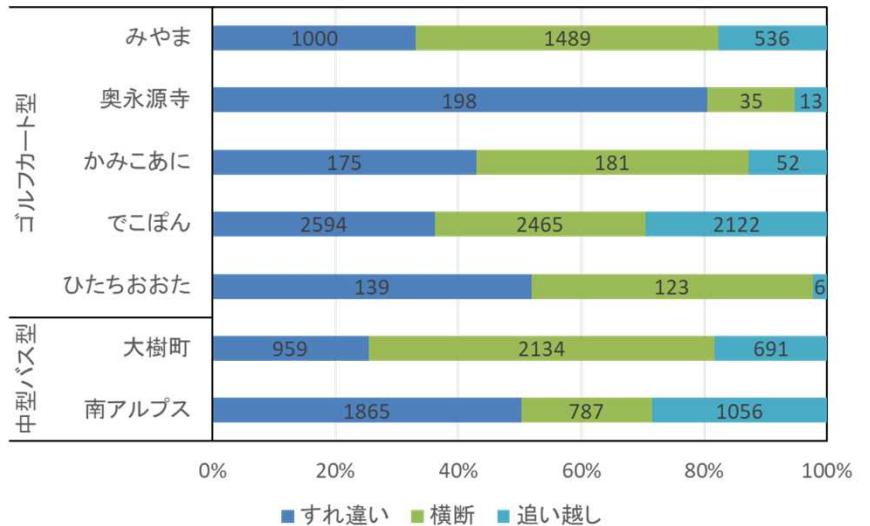
自動運転車と歩行者のコミュニケーションの頻度



自動運転車と自転車のコミュニケーションの頻度



自動運転車と自動二輪車のコミュニケーションの頻度



自動運転車と自動車のコミュニケーションの頻度

低速走行の自動運転車特有のコミュニケーションの失敗事例



交差点や道路上で歩行者が横断する場面(頻度5件)

- 歩行者集団は左側に移動したいが、右折しようとする自動運転車の挙動がよくわからず、立ち止まって、自動運転車の行動を待機し、非効率なコミュニケーションとなっている



自動運転車が後方から歩行者に追いつく場面(頻度3件)

- 歩行者が後方に走る自動運転車を認識し、自動運転車の通過を路肩で待機しているが、自動運転車の軌道に侵入しているため、自動運転車は通過できず、非効率なコミュニケーションとなっている



自動運転車が後方から自転車に追いつく場面(頻度3件)

- 走行している自転車が自動運転車の軌道に侵入しているため、自動運転車は追い越すことができず、非効率なコミュニケーションとなっている



自動車と狭路ですれ違う場面(頻度38件)

- 狭路で対面する自動運転車と自動車のどちらが先に進むべきかわからず、お見合いしており、非効率なコミュニケーションとなっている



交差点や駐車場で自動車が横断する場面(頻度62件)

- 駐車場で自動運転車と自動車のどちらが先に進むべきかわからず、お見合いしており、非効率なコミュニケーションとなっている



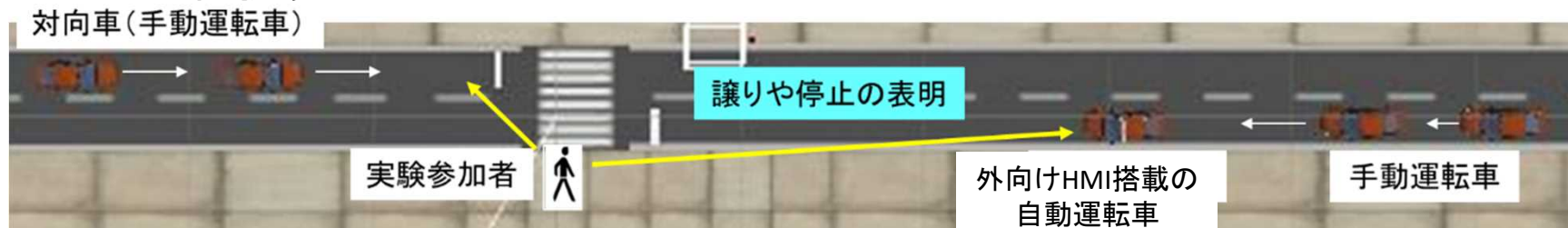
自動車が自動運転車を追い越す場面(頻度31件)

- 自動車が自動運転車を追い越し、対向車と衝突しそうになっており、不安なコミュニケーションとなっている

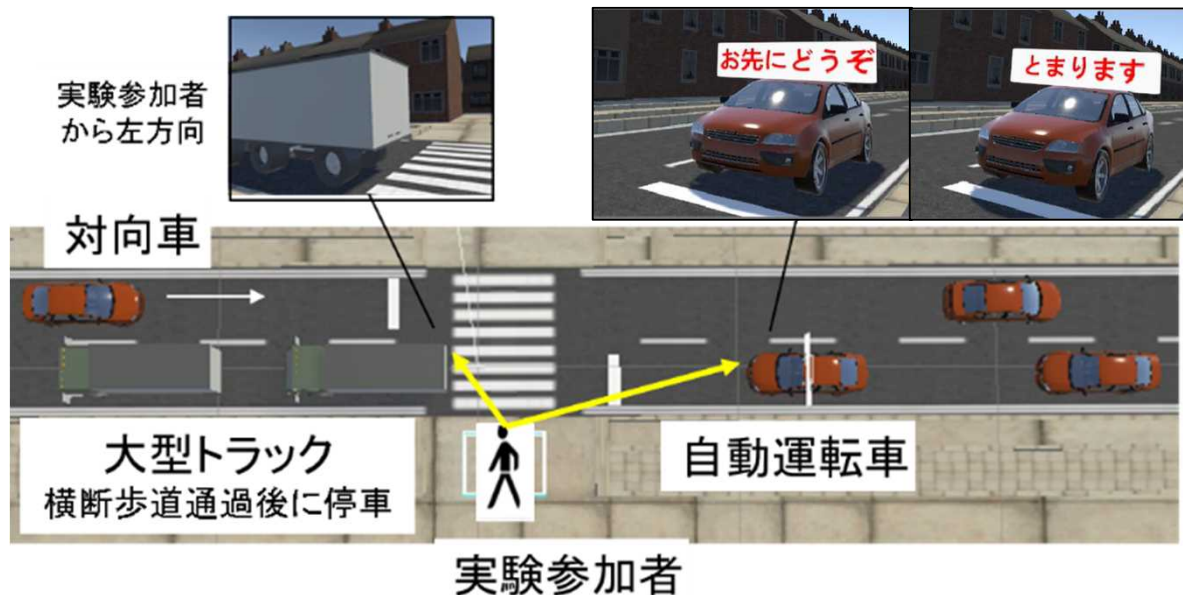
A-ii 単一交通参加者や複数交通参加者とのコミュニケーションの特徴 分析とコミュニケーションの成功・失敗に影響を及ぼす要因分析

- 低速走行の自動運転車から外向けHMIを利用したコミュニケーションに伴う歩行者の過度な依存・信頼等の負の影響を改善する方法を検討

外向けHMI経験場面(1~10回目)



負の影響検証場面(11回目)



メッセージの種類



改善方法



意図を
非表示

意図の
消去を
より強調

負の影響が生じやすい交通状況で
外向けHMIによる意図表明を消去

自動運転車からのコミュニケーションに対する歩行者の行動分析

(2020-2021年度にて実験実施)

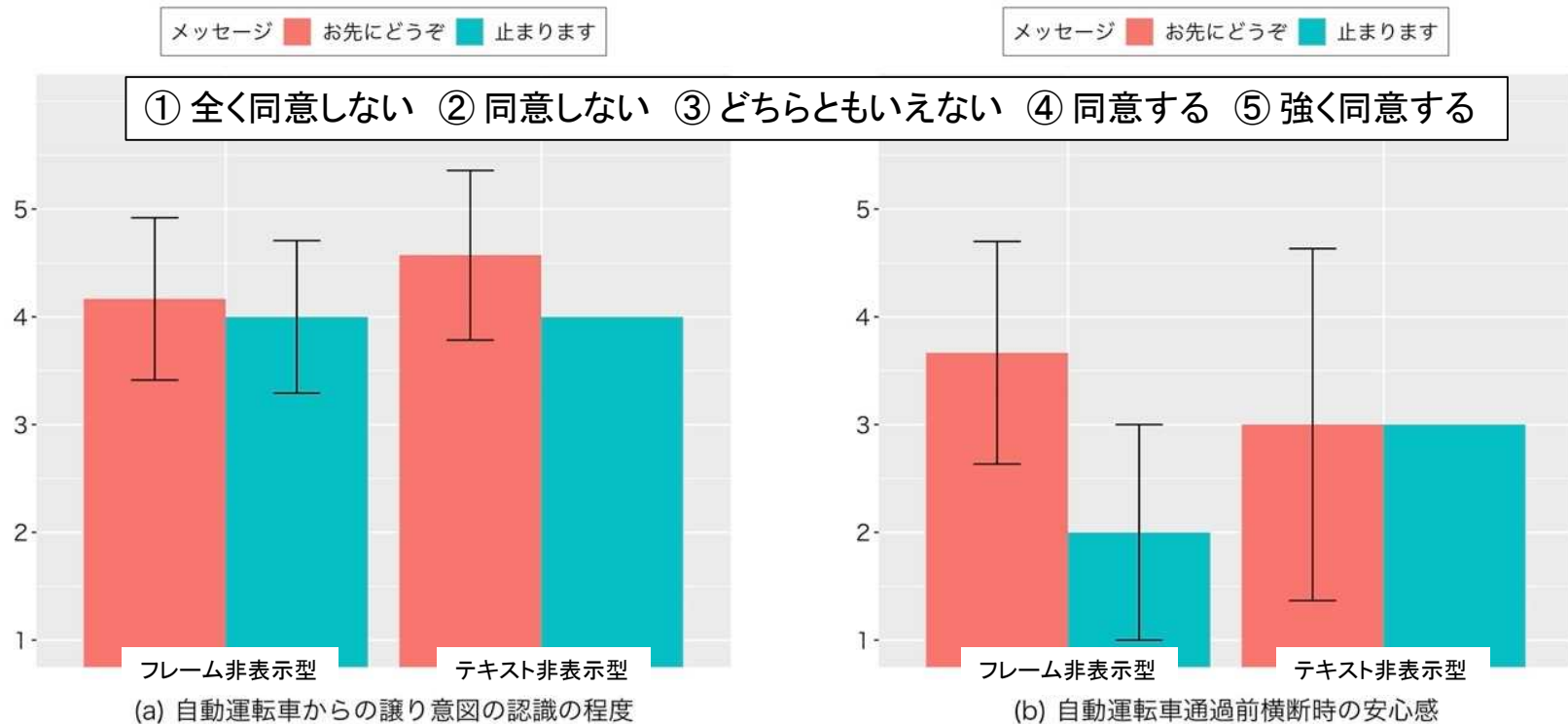
VR実験により観測された行動の結果 (該当人数 / 対象総人数)

改善方法	メッセージ	被験者数	横断時の 左右確認	横断途中での 一旦停止	対向車との 接触
テキスト非表示型	お先にどうぞ	6	6 / 6	4 / 6	1 / 6
	とまります	1	1 / 1	1 / 1	0 / 1
フレーム非表示型	お先にどうぞ	7 ¹⁾	4 / 6	7 / 7	2 / 7
	とまります	5 ²⁾	4 / 4	5 / 5	1 / 5

¹⁾²⁾ 機器不調のため、映像データが1名ずつ欠損、左右確認の観測総数はそれぞれ6名、4名

- 他の実験条件に比べて、外向けHMIフレーム非表示型・お先にどうぞの条件で左右を確認する視認行動を行ってない歩行者の数が多い
- 他の3条件での歩行者は横断中一旦停止したが、外向けHMIテキスト非表示型・お先にどうぞの条件のみでは停止をせず、そのまま横断した参加者が2名見られた
- “お先にどうぞ”のメッセージを発信する外向けHMIを経験した歩行者のみが手動運転車と接触した。外向けHMIフレーム非表示型・お先にどうぞの条件で2件、外向けHMIテキスト非表示型・お先にどうぞの条件で1件の接触が確認された
- 外向けHMIのフレーム・テキスト非表示型の二つの負の影響の改善方法が及ぼす影響は不明瞭である
- “お先にどうぞ”のメッセージが歩行者の周囲の交通環境に対する注意を怠る傾向を引き起こす可能性が示唆された

自動運転車からのコミュニケーションに対する歩行者の心理面分析

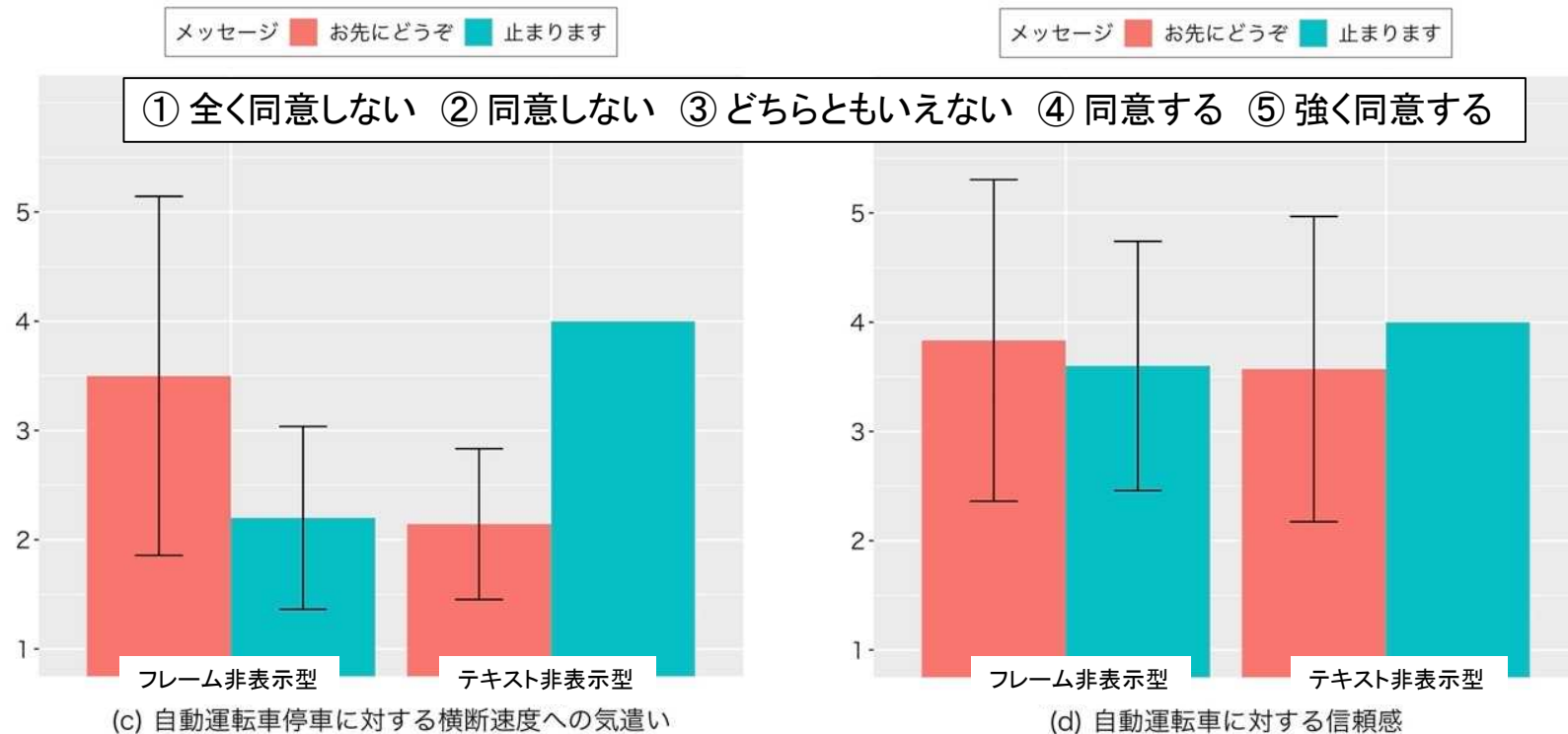


Q: 車はあなたに対して道を譲ってくれていた

Q: 右側から接近してきた先頭の車が通過する前に安心して渡ることができた

- 外向けHMIフレーム・テキスト非表示型両方の改善方法で“お先にどうぞ”のメッセージを利用した方が“とまります”より譲りの認識度を向上させる
- 外向けHMIのテキスト非表示による改善方法が、消灯より譲りの認識度に効果がある可能性
- 外向けHMIのフレームが除去される場合は、“お先にどうぞ”のメッセージが、“とまります”より安全感を与える可能性が高い

自動運転車からのコミュニケーションに対する歩行者の心理面分析



Q:とまってくれた車に気を遣って早く渡ろうとした Q:右から接近してくる自動運転車を信頼することができた

- 自動運転車停車に対する横断速度への気遣いに関しては、改善方法とメッセージによって異なる結果が得られた
- 二つの改善方法両方とも、信頼感がある程度保たせる効果があると考えられる
- 全体的な傾向として、自動運転車に対する歩行者の信頼感より、譲りの認識度と自動運転車を与える安心感の程度の方が負の影響を説明する心理的要因である可能性を示唆された

A-iii自動運転化レベル4を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向けHMIの実装

ユースケースに対応したコミュニケーション方法を検討するための実験車両の製作・試験走路の整備



自動運転実験車両(ゴルフカート)

外向けHMI

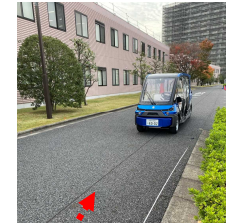


お先にどうぞ

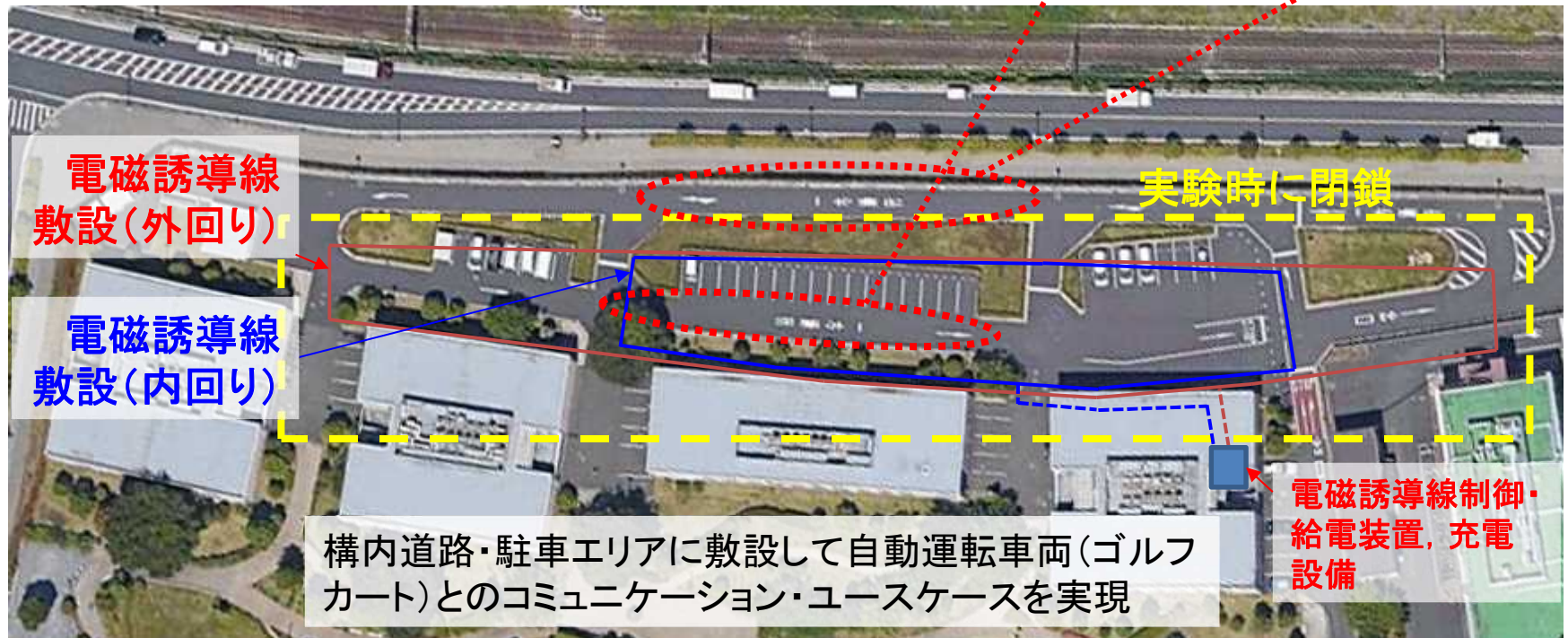
とまります

自動運転中

交通参加者とのコミュニケーション
分析・評価のための各種道路環境



横断ケース 接近・回避ケース



慶應義塾新川崎K²タウンキャンパス構内道路における電磁誘導線敷設

A-iv 単路部や交差部を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションのための外向けHMI等に関する検討と提案

- 単路部における不安全や非効率なユースケースのうち、「横断」と「接近・回避」のケースを対象にVR実験を実施し、コミュニケーション方法の種類とその効果を分析・検討

＜横断のユースケース＞

自動運転車からの譲りに対する歩行者の認識・判断を分析



横断-単路部・住宅路

＜接近・回避のユースケース＞

自動運転車の接近に対する歩行者の認識・回避判断を分析



接近・回避-単路部・道の駅(中山間地)周囲道路



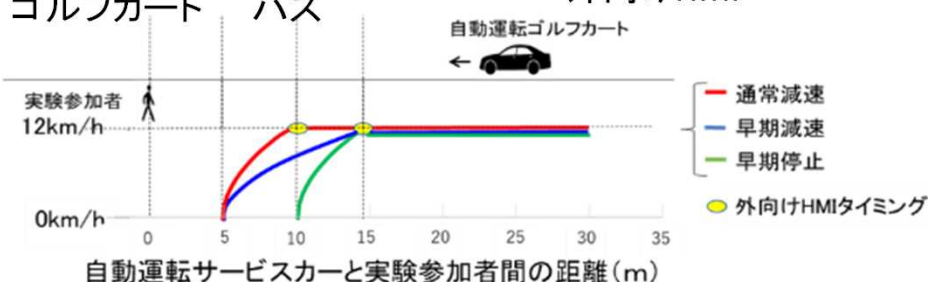
ゴルフカート



バス



外向けHMI



ゴルフカート



外向けHMI



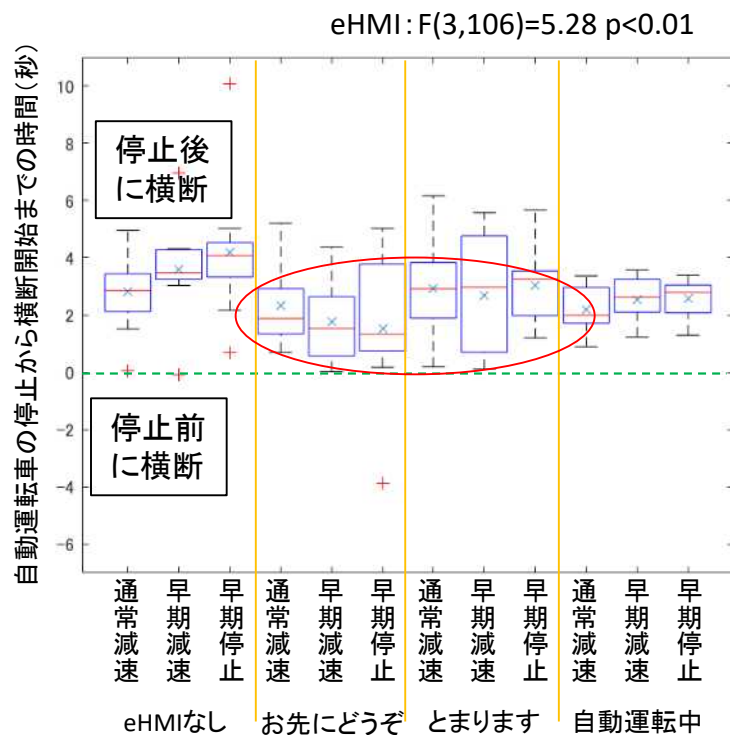
路面投影



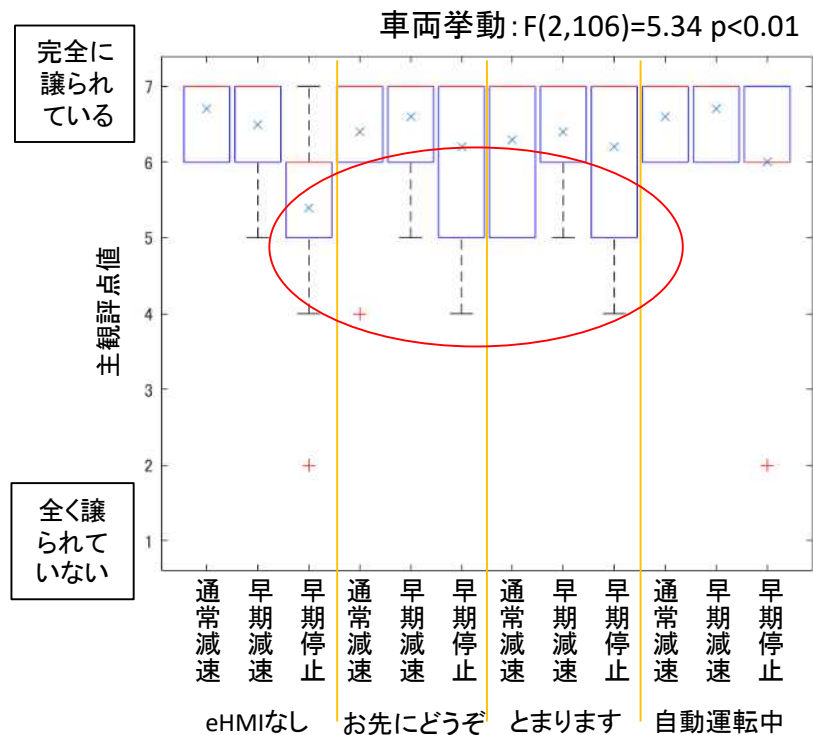
路面標示

単路部・横断ケースにおけるVR実験の結果例

- 低速走行の自動運転車(ゴルフカート)からの譲り表明のコミュニケーション
 - 通常減速の設定は, 基本, 早期減速や早期停止に比べて横断判断・横断開始を短縮
 - 外向けHMIの活用により, 減速挙動による違いを抑制し, 横断判断・横断開始をさらに短縮
(住宅路では他の歩行者に向けられた意図伝達である可能性を言及, 一般道とは異なる傾向)



自動運転車の停止から横断開始までの時間
(住宅路(単路部)・ゴルフカート)



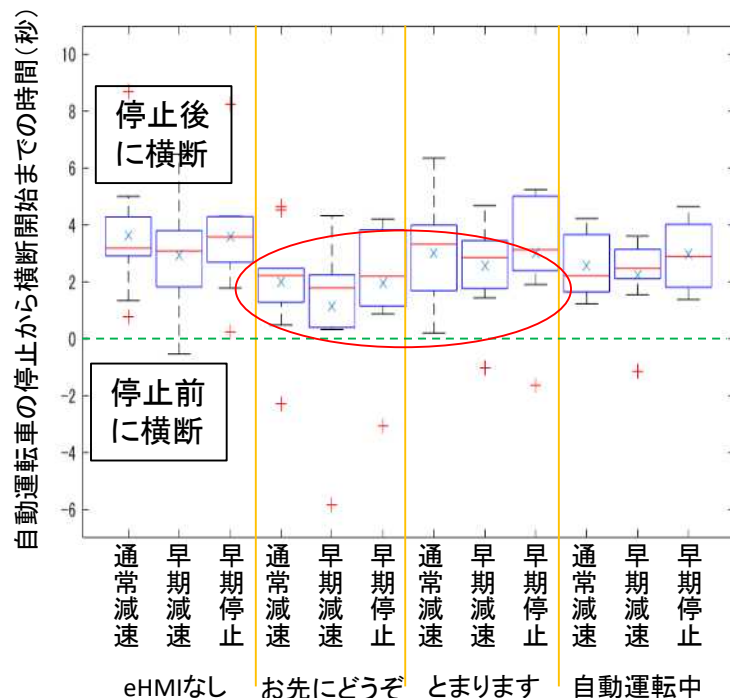
自動運転車からの譲りの意図の認識
(住宅路(単路部)・ゴルフカート)

単路部・横断ケースにおけるVR実験の結果例

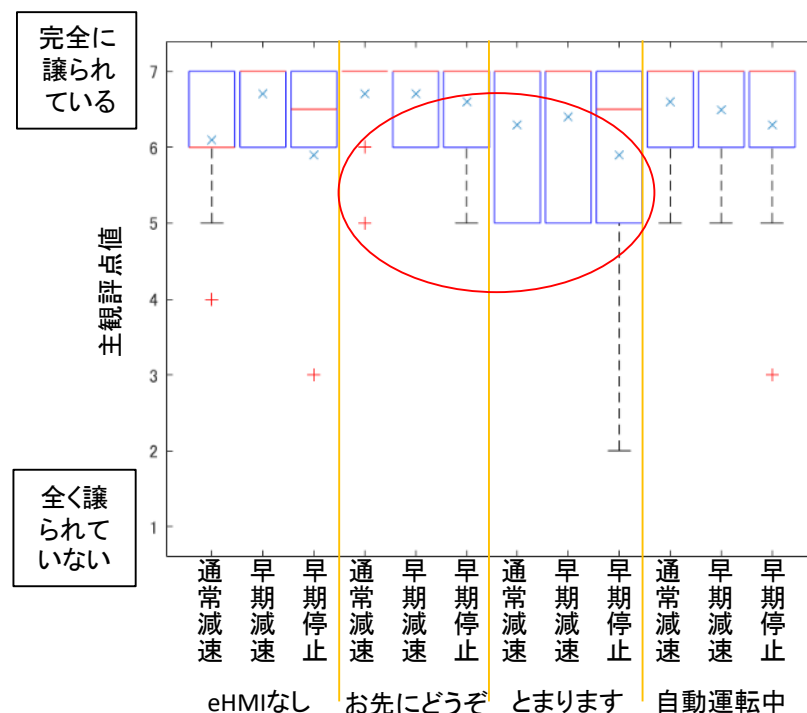
● 低速走行の自動運転車(バス)からの譲り表明のコミュニケーション

- ゴルフカートと異なり, 早期減速の設定が, 他の減速挙動よりも横断判断・横断開始を短縮
 - 外向けHMIの活用により, ゴルフカート同様, 減速挙動による違いを抑制, 横断判断・横断開始をさらに短縮
- ゴルフカートとバスに対する歩行者の認識・判断の違いは車両サイズの影響の可能性

⇒ 外向けHMIと減速挙動の組合せ運用を車両タイプや道路環境・交通状況に対応させる効果の検証



自動運転車の停止から横断開始までの時間
(住宅路(単路部)・バス)



自動運転車からの譲りの意図の認識
(住宅路(単路部)・バス)

A-v 駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者との基本的なコミュニケーションに関する負の効果等への対応・対策の提案

- ・ 駐車場における不安全や非効率なユースケースのうち、「横断」と「接近・回避」のケースを対象にVR実験を実施し、コミュニケーション方法の種類とその効果を分析・検討

＜横断のユースケース＞

自動運転車からの譲りに対する歩行者の認識・判断を分析



横断・駐車場・道の駅(中山間地)駐車場

＜接近・回避のユースケース＞

自動運転車の接近に対する歩行者の認識・回避判断を分析



接近・回避・駐車場・道の駅(中山間地)駐車場



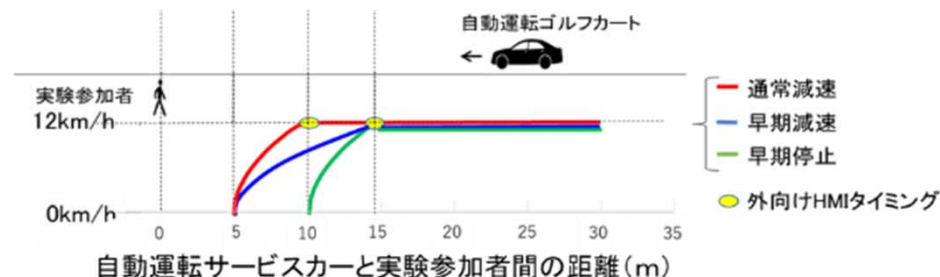
ゴルフカート



バス



外向けHMI



ゴルフカート



外向けHMI



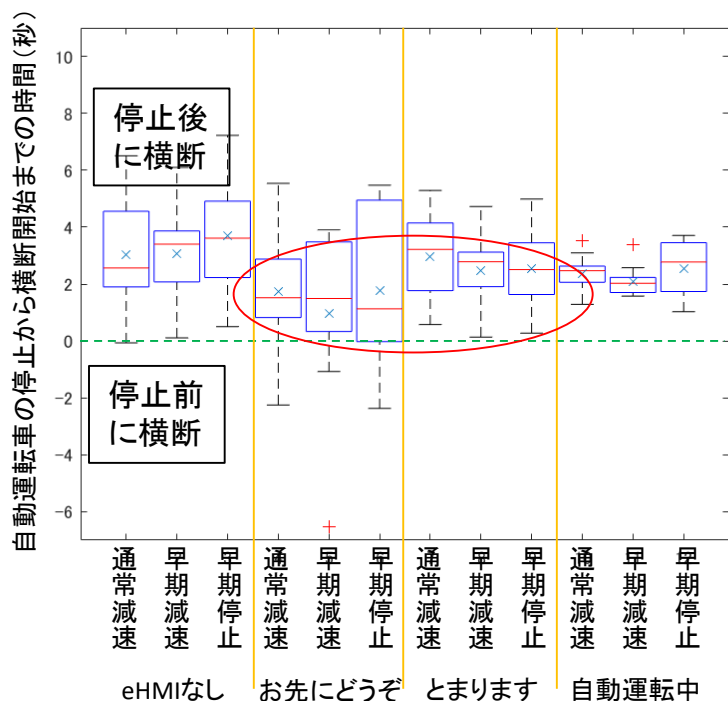
路面投影



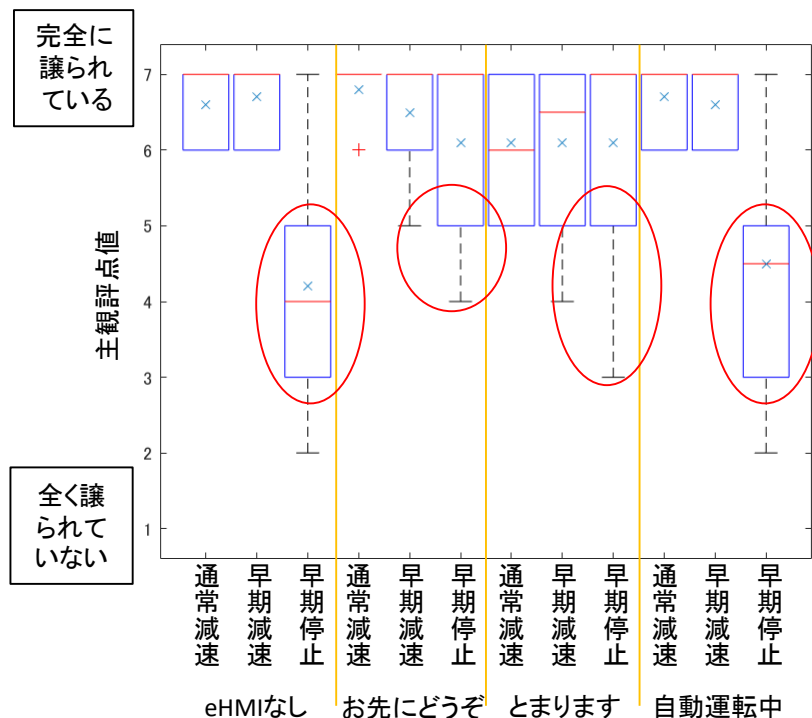
路面標示

駐車場・横断ケースにおけるVR実験の結果例

- 低速走行の自動運転車(ゴルフカート)からの譲り表明のコミュニケーション
 - “お先にどうぞ”の外向けHMIを除き, 車両挙動による横断判断・横断開始の違いはほぼなし
 - 外向けHMIの活用により, 横断判断・横断開始を短縮する傾向
 - 早期停止は, 他の車両挙動と比べて, 譲られているとの認識が低くなる傾向
- (駐車場では, 駐車車両の間に他の歩行者の存在を想像, その歩行者に意図伝達である可能性を言及, 一般道とは異なる傾向)



自動運転車の停止から横断開始までの時間
(道の駅(駐車場)・ゴルフカート)



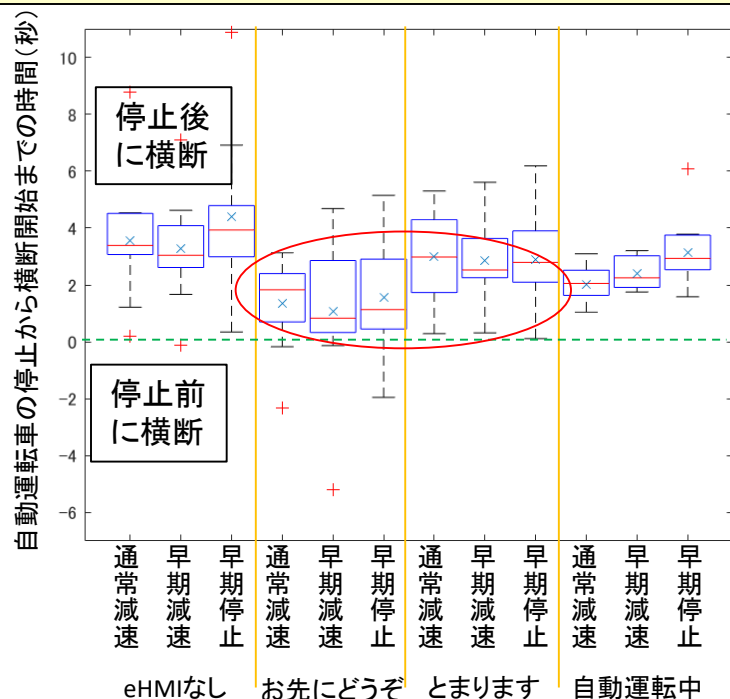
自動運転車からの譲りの意図の認識
(道の駅(駐車場)・ゴルフカート)

駐車場・横断ケースにおけるVR実験の結果例

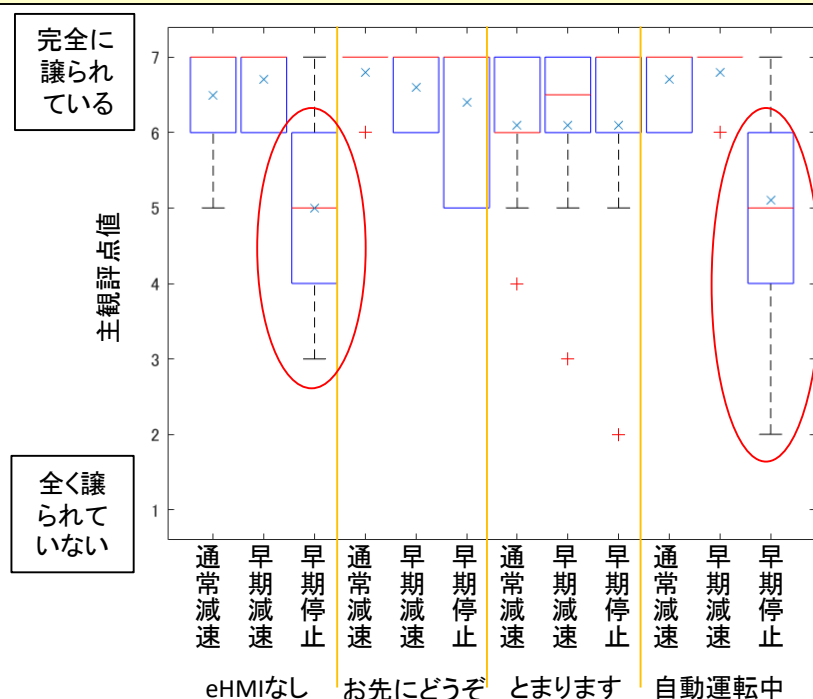
● 低速走行の自動運転車(バス)からの譲り表明のコミュニケーション

- ゴルフカートと同様, “お先にどうぞ”の外向けHMIを除き, 車両挙動による横断判断・横断開始の違いはほぼない
- 外向けHMIの活用により, 横断判断・横断開始を短縮
- eHMIなしと“自動運転中”の外向けHMIにおける早期停止は, 他の条件, 他の車両挙動と比べて, 譲られているとの認識が低くなる傾向

ゴルフカートとバスに対する歩行者の認識・判断の違いは車両サイズの影響の可能性



自動運転車の停止から横断開始までの時間
(道の駅(駐車場)・バス)



自動運転車からの譲りの意図の認識
(道の駅(駐車場)・バス)

課題Aのまとめ(1)

低速走行の移動・物流サービスの自動運転車と周囲交通参加者とのコミュニケーションにおける不安全や非効率

- 自動運転車は、アイコンタクトやジェスチャーがないことによって、交差点や道路上、駐車場で交通参加者とのお見合いする場面で、交通参加者が自動運転車の意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしている
- 自動運転車は、低速であることや加減速が柔軟でないことから、交差点や道路上、駐車場で交通参加者とのお見合いする場面で、交通参加者が自動運転車の車両挙動から意図や挙動を理解できず、交通の非効率を引き起こしている
- 自動運転車が軌道上のみしか走れないことを交通参加者が理解していないことによって、歩行者や自転車に自動運転車が後方から追いつく場面で、歩行者や自転車が十分に自動運転車の走行範囲から離れることができず、交通の不安全や非効率を引き起こしている
- 自動運転車が低速かつ道路左側に寄っていることから、後続の車両(自動車や自動二輪車)が追い越しを促されているように誤解したり、低速な走行によって焦ることで、後続の車両の追い越しを誘発し、見通しの悪い道路で対向車が接近している場合、追い越す車両と対向車が接触するような交通の不安全を引き起こしている

課題Aのまとめ(2)

低速走行の自動運転車からの外向けHMIを利用したコミュニケーションによって発生する負の影響を改善する方法の検討

- 周囲の交通状況から負の影響が生じる可能性がある場合に外向けHMIによる意図発信を非表示する手続きを実施したところ、左右確認や横断途中での停止などを促せる可能性が示唆されたが、ニアミスや衝突の低減に関しては飛躍的な改善までには至らなかった。自動運転車の特性や外向けHMIの仕様について知識提供・教育などを検討する必要がある

自動運転化レベル4を想定した低速走行のドライバーレスの自動運転車の実験車両の製作および外向けHMIの実装

- 自動運転の実験車両2台(公道走行可)については、導入した実験車両2台ともに、新川崎K2タウンキャンパスの構内道路・駐車エリアに敷設した電磁誘導線を用いて自動運転を実現した
- 試験走路環境において、横断のユースケース、接近・回避のユースケースを再現可能とし、2021年度早期に試験走路実験を実施する予定である

課題Aのまとめ(3)

単路部や交差部を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車の外向けHMI等に関する検討と提案

<横断のユースケース>

- ・歩行者と自動運転車間のコミュニケーションに最も大きく影響する要因は自動運転車の車両挙動であり、歩行者が車両挙動のみで判断できない場合に外向けHMIが実装されていることで早めの判断を可能にする
- ・“お先にどうぞ”を発信する外向けHMIは、歩行者の早い状況認識および横断判断を促す可能性が示唆されるが、外向けHMIの運用に関しては、負の影響などの影響も考慮して総合的に判断する必要がある
- ・バスなどの大きな車両外観を伴う自動運転車の場合、歩行者との距離が長い場合でも横断判断時の不安感などを誘発するが、外向けHMIの実装により、不安感の低減や安全感的向上が期待できる

<接近・回避のユースケース>

- ・歩行者の後方から接近する自動運転ゴルフカートとのコミュニケーションでは、車両挙動や“とまります”などの外向けHMIによる意図発信は、その状態における歩行者の適切な認識や判断を促すことが難しい。接近・回避のコミュニケーションに関しては、自動運転車が走行するルートを示すコミュニケーション方法が、その状態における認識や判断、心理面において効果をもたらす可能性がある

課題Aのまとめ(4)

駐車場等の共有空間を対象にした低速走行の移動・物流サービスの自動運転車の外向けHMI等に関する検討と提案

<横断のユースケース>

- 駐車場では、一般道と比較して通行の優先権が明確でないことから、歩行者と自動運転車間のコミュニケーションに最も大きく影響する要因は自動運転車の停車位置であり、歩行者が車両挙動のみで判断できない場合に外向けHMIが実装されていることで早めの判断を可能にする
- 自動運転車の停車位置と外向けHMIを組合せてコミュニケーションを行う際、歩行者との距離が長い場合に誰に向けられたコミュニケーションなのかが判断しづらく、横断判断時の不安感などを誘発する可能性がある
- 単路部と同様、“お先にどうぞ”を発信する外向けHMIは、歩行者の早い状況認識および横断判断を促す可能性が示唆されるが、外向けHMIの運用に関しては、負の影響などの影響も考慮して総合的に判断する必要がある

<接近・回避のユースケース>

- 歩行者の後方から接近する自動運転ゴルフカートとのコミュニケーションでは、車両挙動や“とまります”などの外向けHMIによる意図発信、自動運転車が走行するルートを示すコミュニケーション方法は、その状態における歩行者の適切な認識や判断を促すことに必ずしも寄与しない可能性があることが示唆される

課題 B

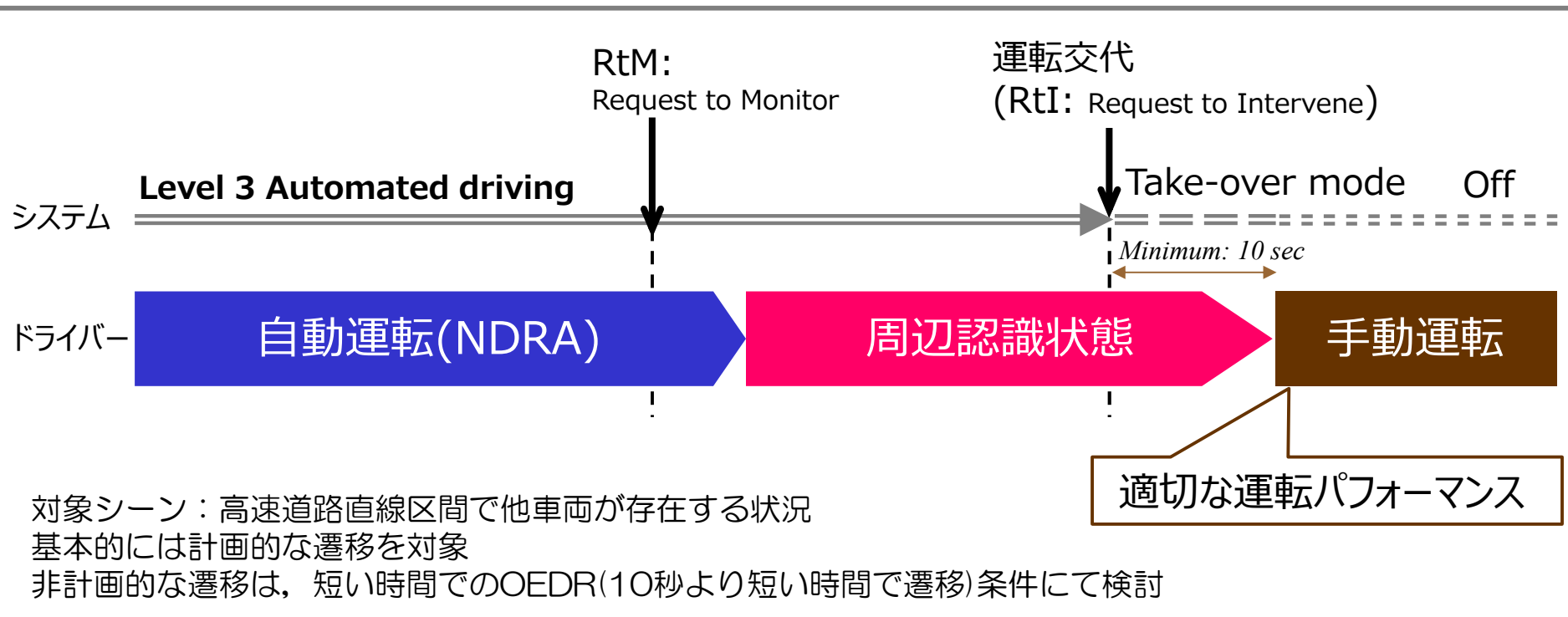
走行環境条件の逸脱や自動運転システムの機能低下における
適切な運転引継のためのHMI等に関する研究開発

産業技術総合研究所

東京大学

課題Bの取り組み概要(1/2)

システム主導(Rtlの提示あり)による自動から手動への遷移



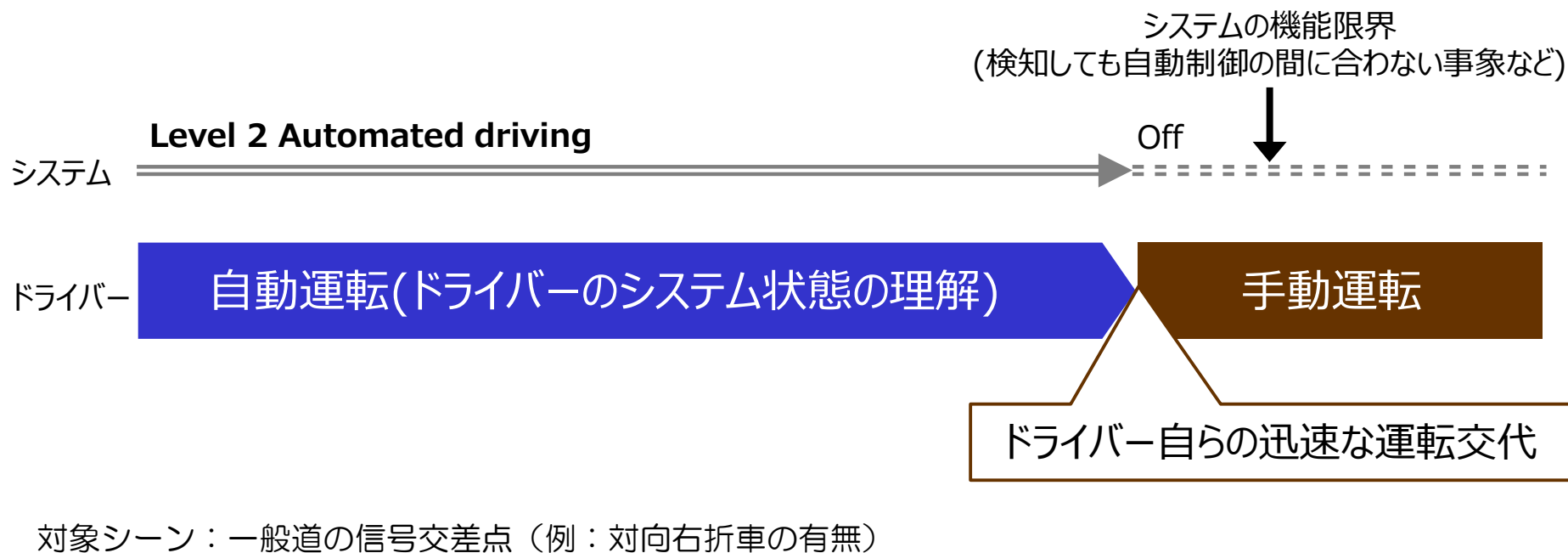
- 適切な運転パフォーマンスを得るための周辺認識状態
- 周辺認識状態の評価方法
- 周辺認識をするために必要な要件
(周辺認識の促し方, 周辺認識を誘うための時間)

NDRA: Non-Driving Related Activities

OEDR: Object and Event Detection and Response

課題Bの取り組み概要(2/2)

ドライバー主導による自動から手動への遷移



- ・ ドライバーがシステム状態を理解していることの評価方法
- ・ 適切なシステム理解の促し方, 事前知識
- ・ ドライバー主導による運転交代が可能なODD

課題Bからの3つのアウトプット

OED(R)評価法

ドライバーのOED(R)を評価できる
計測・分析手法を確立し、
プロトコルとエビデンスを提供する

計測すべき指標

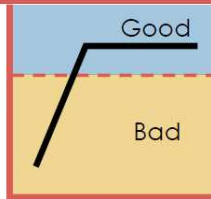
- 視線（高精度計測）
- 頭部向き（簡易計測）
- その他（検討中...）



分析方法・評価基準

- 視行動の
時系列変化から
よい状態と比べ
今どうかを評価

前方注視率



時間

利用方法

- 実際のHMI等の研究開発を模擬した状況で評価指標の実践テストを行う
- そのプロトコルを公開し、利用マニュアルとして利用可能とする

システムからドライバーへの 効果的な要請のための基盤的知見

システムからの要請にドライバーが
どう反応するか、反応が望ましくない場合
どうしたらよいかの基盤的知見を提供する

解決課題の抽出・問題提起

- システムの要請に対するドライバーの
自然な反応を観察
 - 望ましくない反応が
どんな状況でどれくらい起きるか？



要請の無視



ながら継続・復帰



馴化(慣れ)

...など

基盤的知見の提供

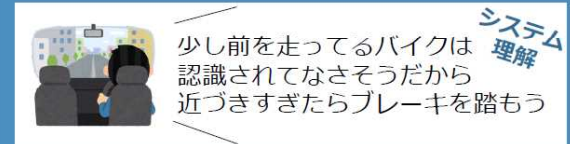
- 望ましくない反応が生じる要因を理解
する上で共有すべき基盤的知見を提供
- 望ましくない反応の改善を目指す上で
共有すべき基盤的知見を提供

システム理解評価（東大と連携）

ドライバーのシステム状態理解を評価できる
計測・分析手法を確立し、
プロトコルとエビデンスを提供する

解決課題の抽出・問題提起

- システムの状態を理解できていれば
危険を事前に察知し「ドライバ主導」で
の運転引継ぎができる



- 自動運転でしばらく走っていると
システムが「どう走るか」を
人はどう予測するようになるか？

基盤的知見の提供

- 何をどう測ればシステム理解状態を
評価できるか、探索的に検討
- システム理解改善の手がかりを探索

周辺認識状態の推定手法の検討 －方法－

手動切替後のタスク

「東京方面に向かって走行してください」

東京 千葉 埼玉

自動運転ここまで

車線変更

ODD遷移
運転引継

周辺監視
引継予告

NDRT(手動切替前)

「テトリスを行なってください」

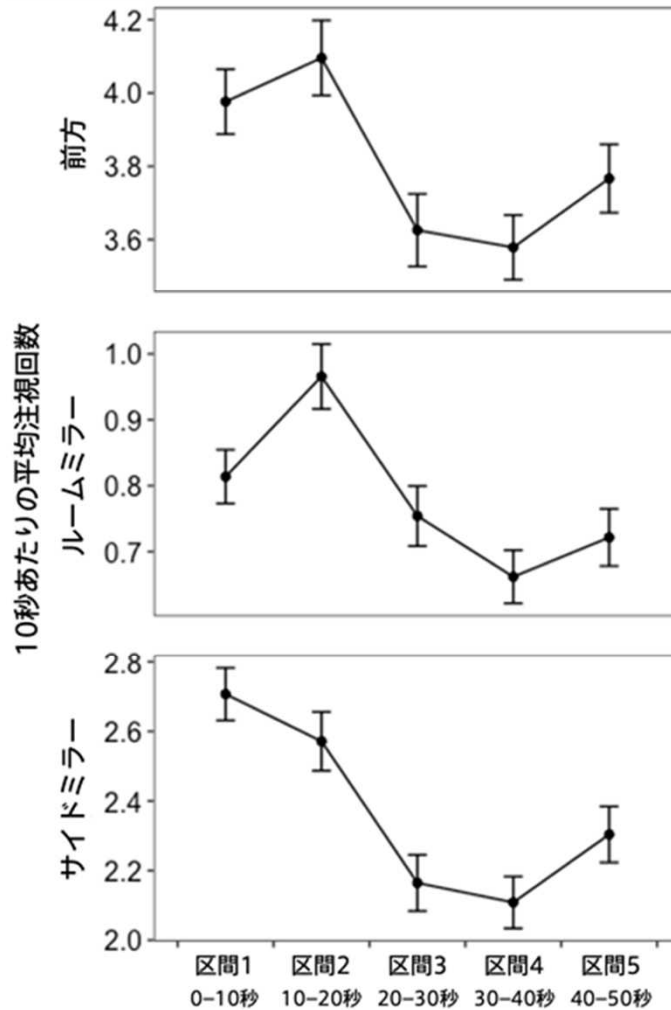
目的：ドライバーの視線計測データを詳細に解析し，周辺認識状態の推定に使える指標を検討

- 50秒間（周辺監視引継予告～引継直前）を10秒間毎に区分け
- 各視対象（前方，ルームミラー，サイドミラー）に対する注視行動をアイトラッカー映像から検出

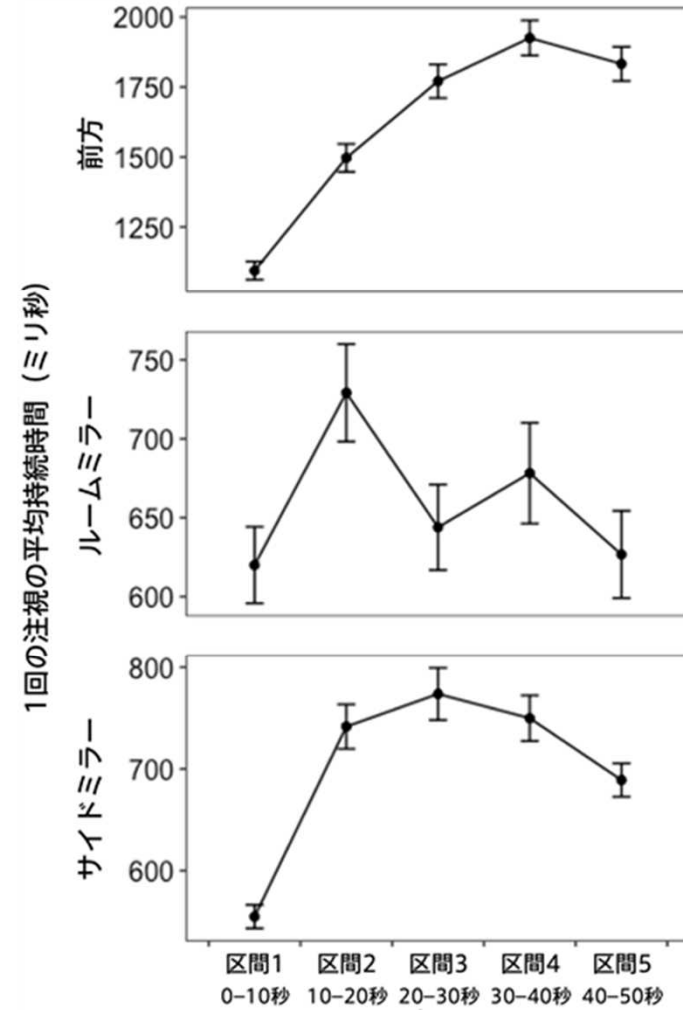
周辺認識状態の推定手法の検討

－結果：注視頻度と持続時間－

(A) 各視対象への注視頻度



(B) 1回の注視の平均持続時間



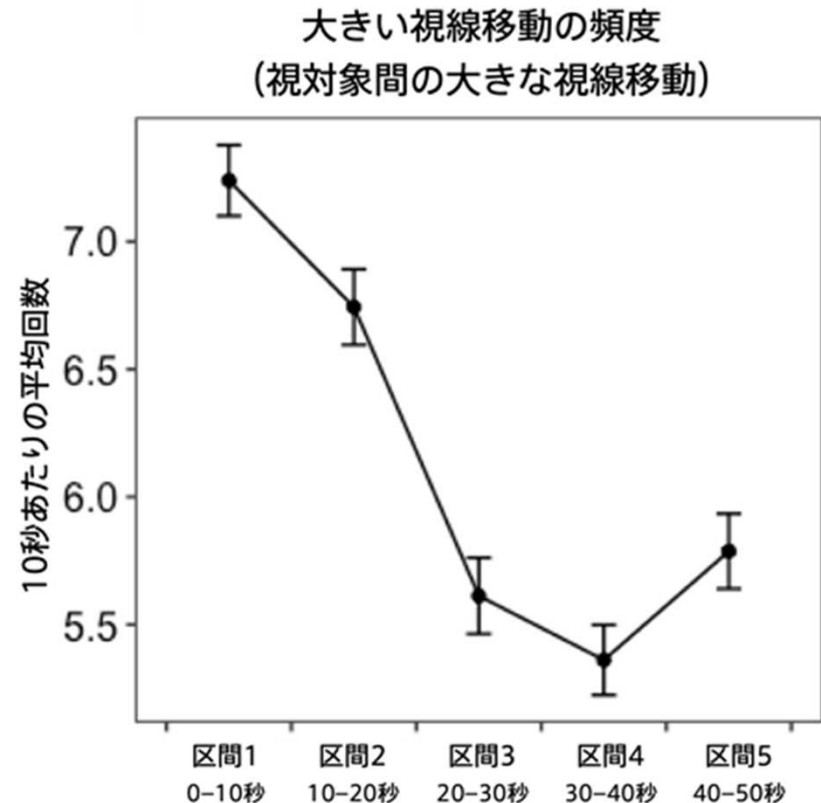
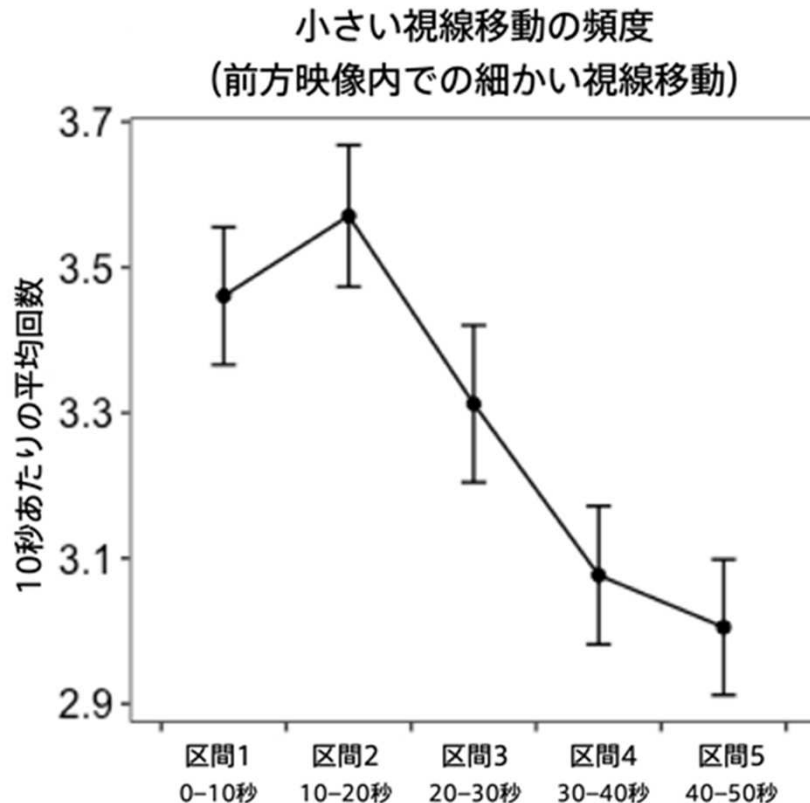
前方に対しては、周辺監視開始直後から20秒程度は短い注視が高頻度で行われ、その後は長い注視が低頻度で行われる

周辺認識状態の推定手法の検討

－結果：視線移動頻度－

小さい視線移動：走行環境の詳細を把握するための視行動（右車線の先行車から左車線の先行車への視線移動など）

大きい視線移動：より広く周辺環境を把握するための視行動（ミラーからミラーへの視線移動など）



視線移動は、その大小を問わず周辺監視開始から20秒程度までは多く行われ、その後、頻度が低くなる

周辺認識状態の推定手法の検討 －まとめ－

昨年度抽出した指標：注視率，頭部正対率

今年度抽出できた指標：注視頻度，注視持続時間，視線移動頻度



<周辺監視開始から20秒まで>
高頻度で長いミラー確認行動
＋高頻度で短い前方注視
→側方・後方の状況理解

<周辺監視20秒後～運転引継直前>
ミラー確認行動の減少
＋長く持続する前方注視
→周辺の状況を把握できた後の安定状態

ドライバー主導による自動から手動への遷移

ドライバー主導による自動から手動への遷移を行うためには、システムが適切な機能（ACC、LKA、自動ブレーキ、車線・信号・物体認識、障害物検知、等）を有することが前提で、それに加えて、ドライバがシステムの機能では対応できない物体と事象を検知し応答することが求められる。

適切な運転 = 適切なシステム機能 + **ドライバの適切な応答**

一般道自動運転（L2）を実現させるために、**ドライバーによる迅速な反応を達成することを目指す**。そのためには、システムの機能の安全性と信頼性を示したうえで、ドライバが、**適切なシステム理解状態に基づいて応答ができることを示す必要がある**。

以下の点を明らかにする原理原則を見出す。

- ・ **ドライバが適切な応答ができること**
- ・ **ドライバが適切にシステム理解していること**
- ・ **適切なシステム理解と応答を導くHMI要件**

2020年度東京大学の取り組み

2020年度の目的：

広範な潜在リスクを包括的に提示し、ドライバー主導の介入行動に適したシステム理解状態を醸成するHMIを提案、ドライビングシミュレータ実験により有効性評価を行う。

実験 1：

ドライビングシミュレータ実験により、レベル2自動走行時と手動運転時の運転行動の差異を特定する。

実験 2：

HMIの提示情報として、システムによる前方の交通状況に対する認識結果の即時的提示を提案し、ドライビングシミュレータ実験により有効性評価を行う。

実験 3：

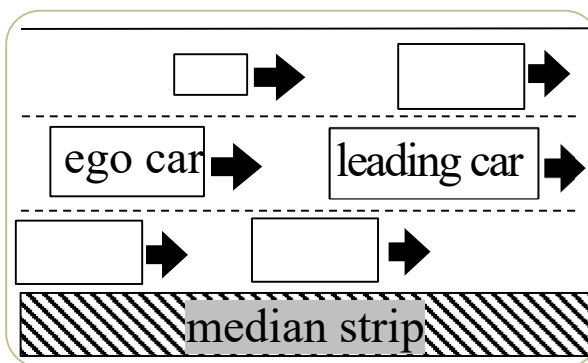
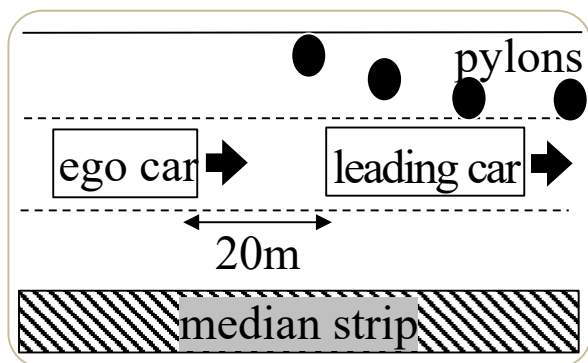
実験 2 で提案したHMIとフロントガラス投影型HMIの 2 種類のHMIについて、有効性評価と比較を行う。

実験 1：ドライビングシミュレータ実験により、レベル2自動走行時と手動運転時の運転行動の差異を特定する

目的：ドライバーのシステム理解状態を評価する人間計測手法の確立。

方法：レベル2自動走行時と手動運転（レベル0）時の運転行動を視線計測などを通じて比較。

実験シナリオにおいては、周囲に注意を払うべき潜在的なリスクシーン3種類がそれぞれ複数回発生した。



①車線規制用のパイロン ②複数台のバイク・乗用車、追い抜きが発生 ③霧が発生

非運転タスク
Surrogate Reference
Task (SuRT)



	運転	非運転タスク
1	手動	なし
2	L2自動走行	なし
3	手動	あり
4	L2自動走行	あり

実験は、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた上で実施した。
 実験協力者 21-25歳 男性 10人

注視時間の平均値とt検定のp値

(1) 非運転タスクなし

	手動運転(秒)	Level 2(秒)	p値
正面	659	528	0.0010
右方	15.3	23.8	0.21
左方	16.6	49.2	0.017
速度計	41.8	14.8	0.039
右ミラー	13.5	20.6	0.068
左ミラー	3.56	5.60	0.081

(2) 非運転タスクあり

	手動運転(秒)	Level 2(秒)	p値
正面	541	316	0.0035
右方	7.38	12.1	0.063
左方	10.7	18.4	0.10
速度計	29.9	11.7	0.046
右ミラー	15.1	28.7	0.0043
左ミラー	2.19	3.65	0.20
SuRT	92.8	224	0.0062

*有意水準：5%

* 赤色：Level 2の方が注視時間が有意に($p < 0.05$)増えた場合；青色：手動運転の方が注視時間が有意に増えた場合

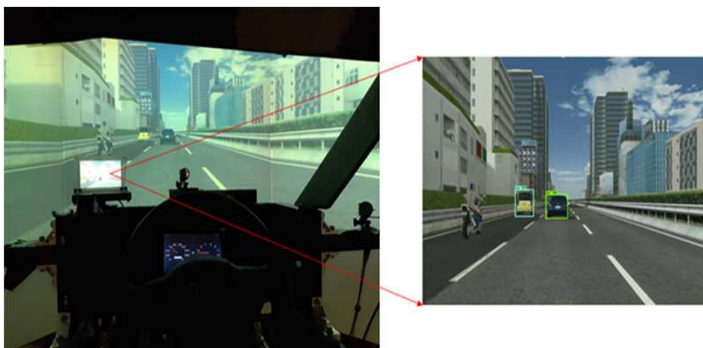
運転中の実験協力者の視線を解析した結果、複数の領域で注視時間に有意差が認められた。非運転タスクの有無に関わらず、レベル2自動走行時は手動運転時よりも正面および速度計への注視時間が有意に短くなった。そのほかの領域では、有意差が認められないものもあったが、いずれも平均値はレベル2使用時方が長くなる傾向がみられた。

実験 2：HMIの提示情報として、システムによる前方の交通状況に対する認識結果の即時的提示を提案し、ドライビングシミュレータ実験により有効性評価を行う

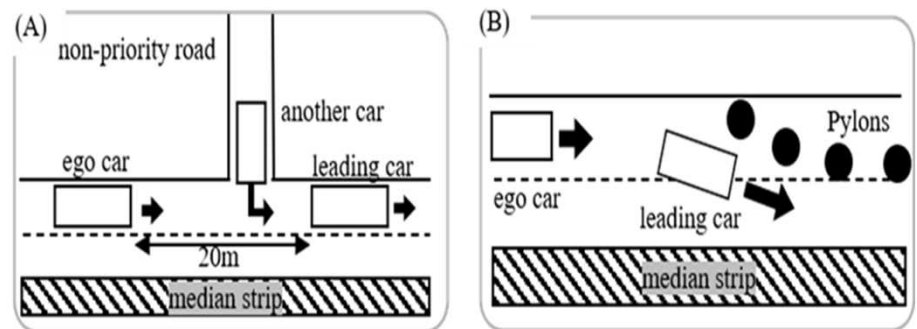
目的：レベル2自動走行システムに関する適切なシステム理解状態の醸成を促進し、複雑な交通環境においてもレベル2自動走行の安全な運用を可能とするための新しいHMIを提案する。

方法：システムによる前方の交通状況に対するリアルタイムの認識結果を、直接ドライバーに提示するHMIを提案し、ドライビングシミュレータ実験を行い、その有効性の評価を行う。

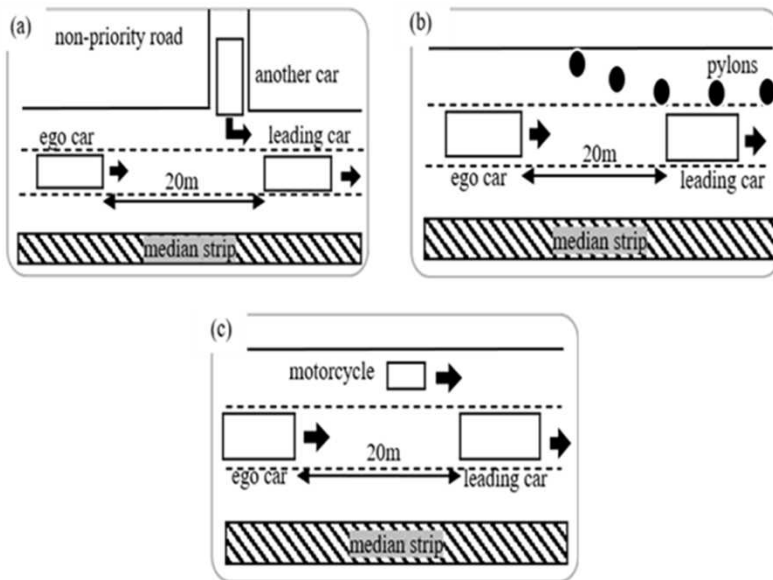
2種類の顕在リスクシーン（ドライバーの介入がなければ衝突）と3種類の潜在リスクシーン（事故が発生することはない）を用意し、それらを組み合わせた2種類のシナリオ、(i) および (ii) を用いた。



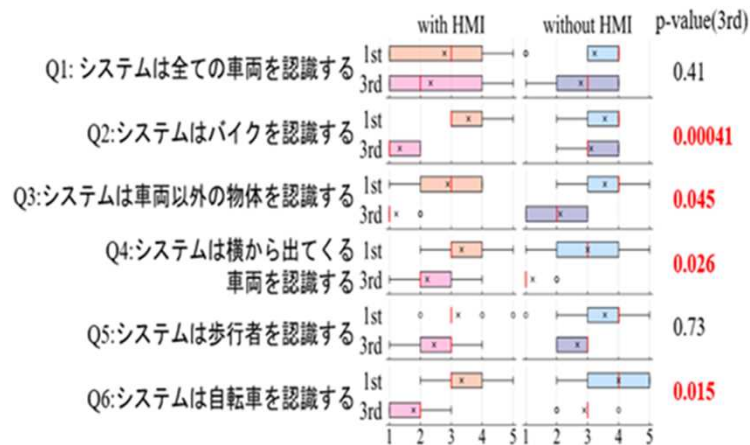
提案するHMI



顕在リスクシーン

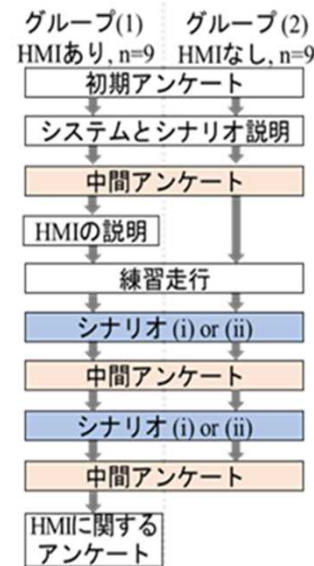


潜在リスク（3種類）

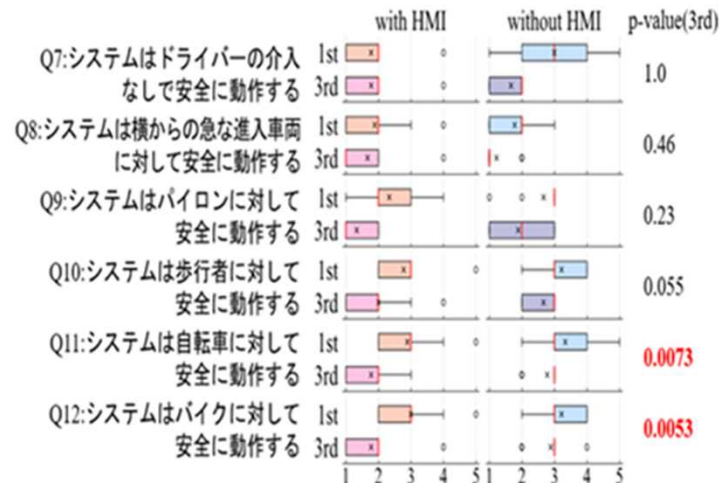


1が「全く同意しない」、5が「完全に同意する」を意味する。x、○はそれぞれ平均値、外れ値を示す。

HMIの情報提示によってシステム理解状態の改善を示唆するアンケート結果が得られた。



実験手順

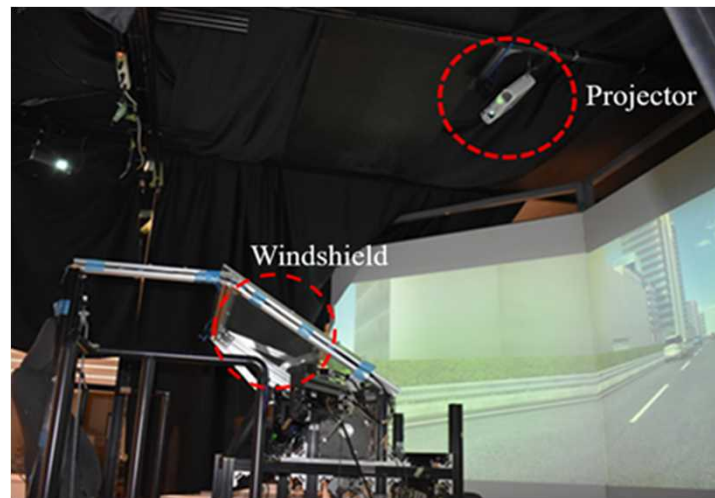


実験 3：実験 2 で提案したHMIとフロントガラス投影型HMIの2種類のHMIについて、有効性評価と比較を行う

目的：ドライバーの視野特性を考慮し、情報提示に適したHMIを提案する。

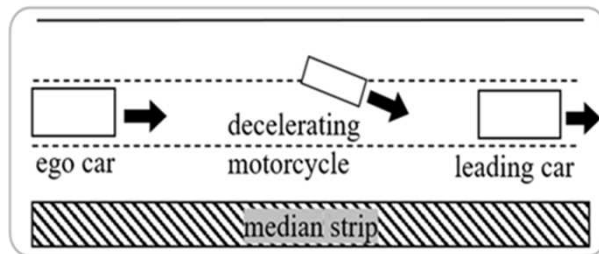
方法：実験 2 で提案したHMIとフロントガラス投影型HMIの2種類のHMIについて、有効性評価と比較を行う。

car、van、truck、motorcycle、pylonが認識可能なシステム(i)と、car、van、truckのみが認識可能なシステム(ii)を用いて、HMIの3条件（HMI非使用、実験 2 で提案したHMI、フロントガラス投影型HMI）と組み合わせた合計6条件で実験を行った。

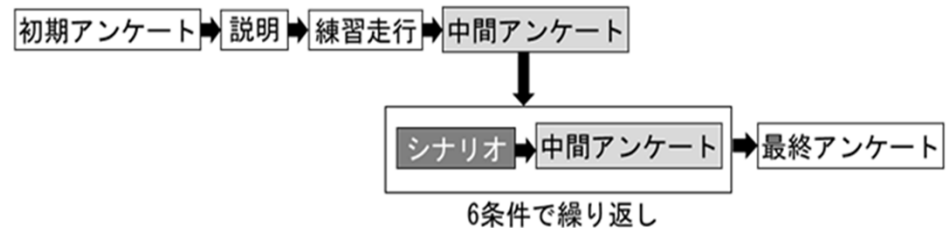


フロントガラス投影型HMI

実験シナリオでは、実験1と同じ潜在リスクが複数回発生した後、最後にバイクが減速しながら自車の前方に車線変更してくる顕在リスクシーンが発生した。実験は、東京大学倫理審査委員会の承認を受けた上で実施した（実験協力者18人）。



顕在リスクシーン



実験手順

最終の顕在リスクシーンにおける介入行動とアンケートを解析した結果、フロントガラス投影型HMIに、知識伝達、注意レベル向上、介入行動迅速化の効果が認められ、適切なシステム理解状態醸成に有効であることが示された。実験2で提案したHMIには、介入の迅速化効果は認められないものの、知識伝達に関しては、フロントガラス投影型HMIよりも有用性が高いことが示された。

課題C

運転者や歩行者等が習得すべき知識とその効果的な教育
方法に関する研究開発

国立大学法人筑波大学

2020年度の取り組み

Civ-1 評価検証(一般市民向け)

目的:

第1期SIPにおける研究成果並びに関係プロジェクトなどでの検討結果を踏まえ、2019年度開発、2020年度ウェブ調査による検証された一般知識の教育コンテンツを、ドライビングシミュレータ実験を用いて、自動運転に対する理解と運転パフォーマンスへの効果を評価することを目的とする。

具体的な実験計画

- 独立変数:
 - 教育コンテンツ(被験者間):
クイズ式動画/動機付け動画/スライド読み上げ動画

- 実験参加者

条件	人数		平均年齢		
	男性	女性	男性	女性	全体
クイズ動画	8	8	31.9	50.1	41.0
動機付け動画	8	9	38.9	48.4	43.9
スライド読み上げ動画	8	9	44.1	43.1	43.6

- 従属変数
 - 学習効果: 自動運転に関するクイズ
 - 安全運転: 引継ぎ時の事故率
 - 自動運転に対する態度: 自動運転に対する理解、期待及び信頼に関する主観評価

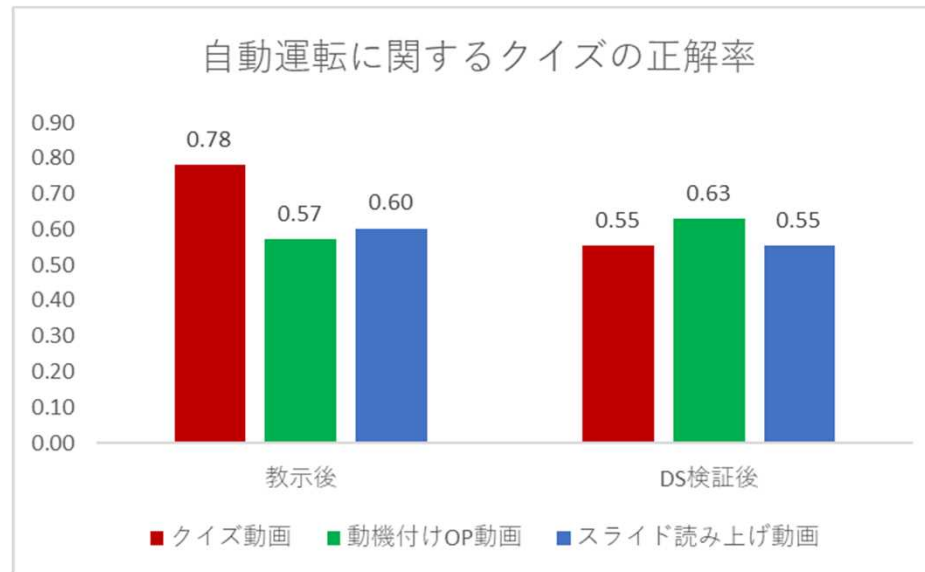
具体的な実験計画(つづき)

- 実験手順

実験日	実施内容		
初日	実験全体及び初日の説明		
	インフォームドコンセント		
	クイズ動画による教習	動機付け動画による教習 (持ち帰る資料)	スライド読み上げ動画による教習
	理解度検証用クイズと自動運転に関するアンケート		
	2日目使用自動運転システムの教示		
	自動運転に関するアンケート		
2日目	2日目の実験説明		
	自動運転に関するアンケート		
	DSにおける運転操作の説明と練習		
	実験中実施することの説明(安全運転と副次タスク)		
	DSによるデータ収集		
	理解度検証用クイズと自動運転に関するアンケート		

代表的な結果：自動運転に対する理解

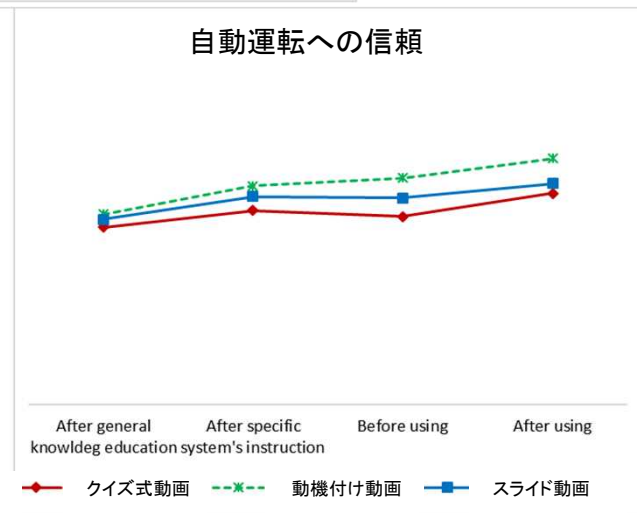
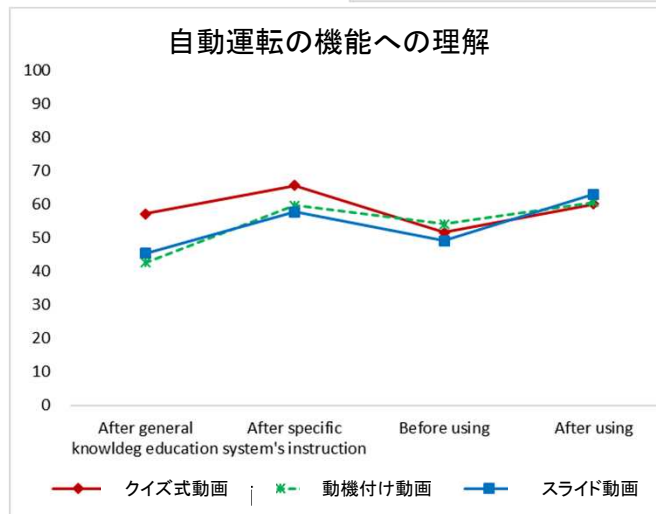
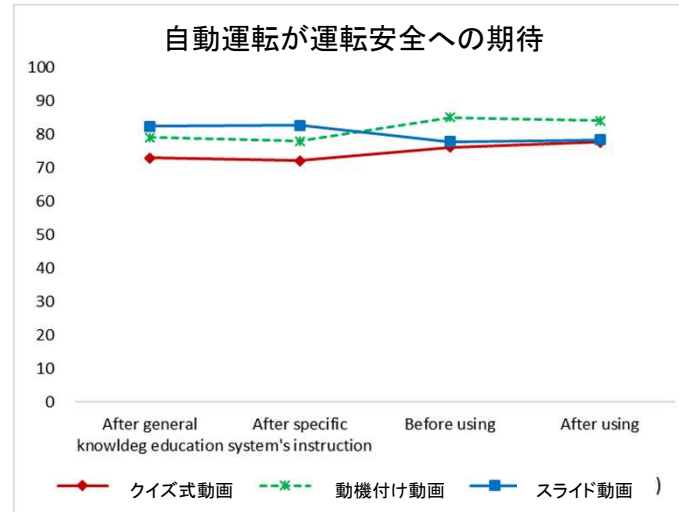
- 自動運転に関するクイズ



講習直後は教育コンテンツによる自動運転に関するクイズの正解率に大きな違いが見られた一方、時間につれて、小さくなった傾向も見られた。又、動機付け動画が一定な時間を経っても自動運転への理解に良い方向に働きを齎したことを示唆された。

代表的な結果：自動運転に対する態度

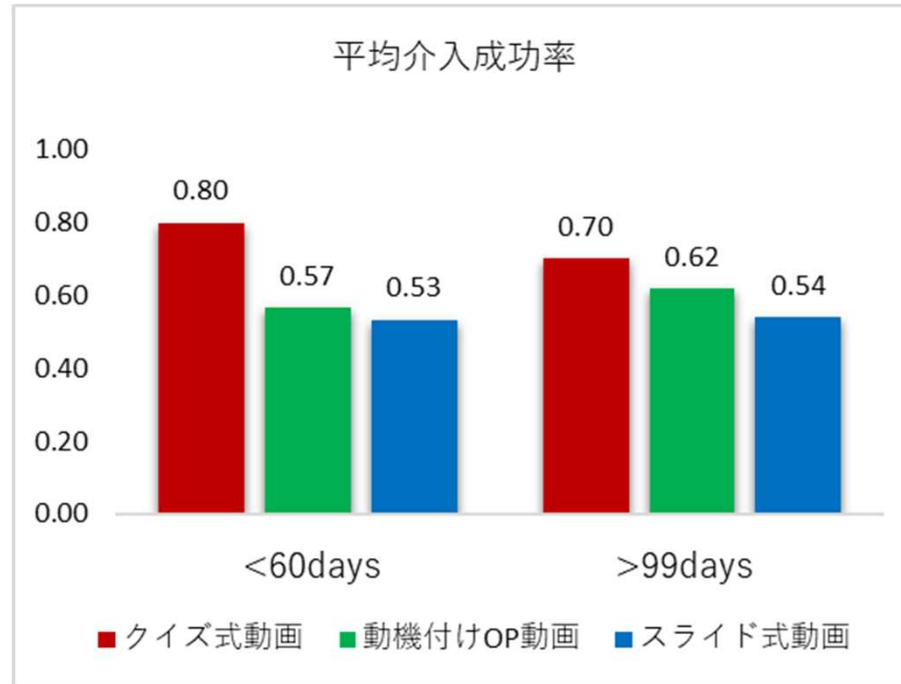
- 主観評価



教育コンテンツによる自動運転への態度への影響は時間又DS体験により変化し、更に動機付け動画がよりポジティブな態度に変化した傾向であったことが分かった。

代表的な結果：運転パフォーマンス

- 介入成功率



教育コンテンツによる自動運転への影響は統計的には有意ではなかった(※)が、ドライバーの引き継ぎ行動にはクイズ式動画のほうが比較的に効果的であった傾向が見られた。

※このでの「統計的に有意」(statistically significant)とは、統計学的にみて、各コンテンツ間の介入成功率の差が、誤差変動と比べて顕著に大きいと結論付けられることをいう。今回の結果は、偶然による誤差変動としてたまたま起こったのではなく、コンテンツの効果として起こるべくして起こったと結論付けるまでにはデータの数で十分ではない。

まとめ

本実験では、自動運転に関する一般論を事前に3種類のコンテンツを用いて知識の教習方法の効果を調べた。DS検証の結果により下記の知見が得られた:

- 教習直後、より詳細的な講習を行ったクイズ式動画は自動運転への理解により効果的であった。
- なお、その効果は時間につれて減少した。
- 又、比較的に簡潔な動機付け動画は、時間につれてより自動運転に対する理解及び態度にポジティブな方向へ導いた傾向を示唆した。

Cv 仮説検証(購入者向け)

研究目的と背景

車種を新たに購入する、あるいはレンタカー会社などから一時的に借り受けて使用する運転者は安全に使用できるように、安全かつ短時間内に伝えるべきシステムの機能の特徴とその内容を明確化が必要ある。

目的: 使用者がシステムを使用前に、そのモード変化の遷移方式を事前に知るべき内容であるかを検討する。

モデルによって、システムの機能の性能、限界、作動条件などスペックと関連する部分が異なると考えられる。SIP第1期A-3-2とA-7の実験(※)により、レベル3のシステムの作動条件外時、システムの対応として、モードの移り方を検討した。

遷移A: 状況に関係なく手動運転に移る

遷移B: システムの作動条件内の別モードに移る

評価方法: パターンBを利用する際にモード変化の場面のドライバー対応の確認とシステムに対して理解度の評価。

※ SIP第1期A-3-2とA-7の実験では、レベル3相当の自動走行(ドライバーが監視をしていなくてよい)を継続できなくなった場合に、完全な手動運転に戻すのではなく、その時に実行できるレベル(たとえば、レベル2相当で、システムが縦横制御を行いつつも、ドライバーが監視を行う)へ移行するシステムデザインを検討した。このCvでも、「レベル3」モードから、「レベル2」モードへの移行などが起こりうるシステムを考察の対象とする。

研究計画

実験参加者: 10名、21歳から67歳(M=43.7 SD=14.4)

2要因混合計画

要因1: システムのモード変化の方法(被験者内要因)

A: 直接変化: 環境変化により引継ぎが発生する場合、状況に関係なく手動運転に移る

B: 段階変化: 環境変化により引継ぎが発生する場合、システムの作動条件内のモードに移る。

要因2: 事前知識(被験者間要因)

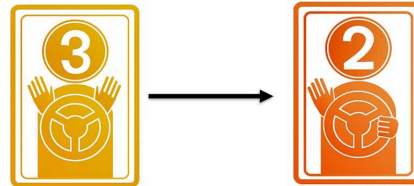
A: モード変化のパターンの説明無

B: モード変化のパターンの説明有

サブタスク: タブレット端末で行うゲーム

タスク: 安全の場合は継続的に自動運転を利用する

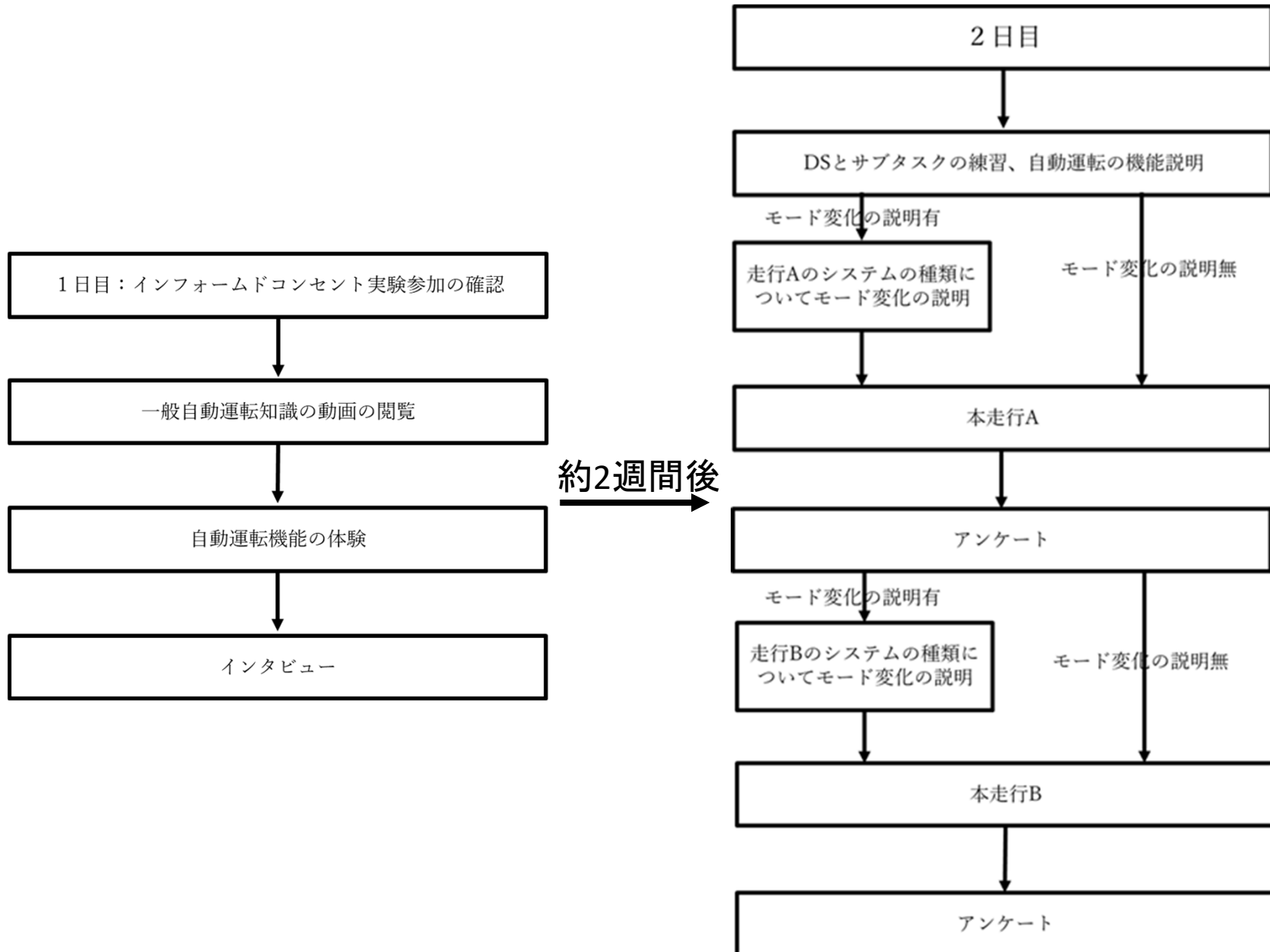
モード変化のある車種です。



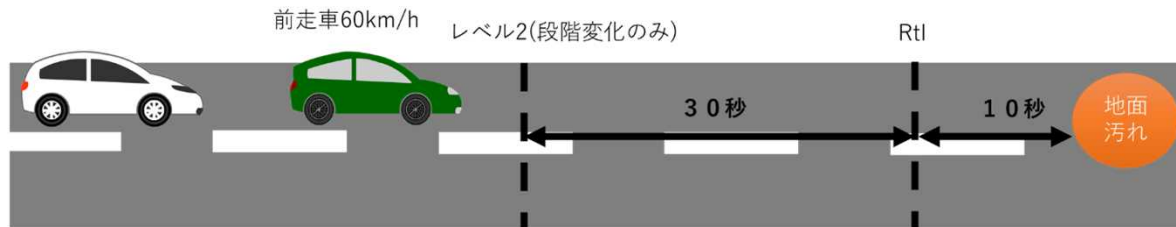
モード変化の可能性があります

モード変化のパターンの説明有: スライド内容(段階変化)

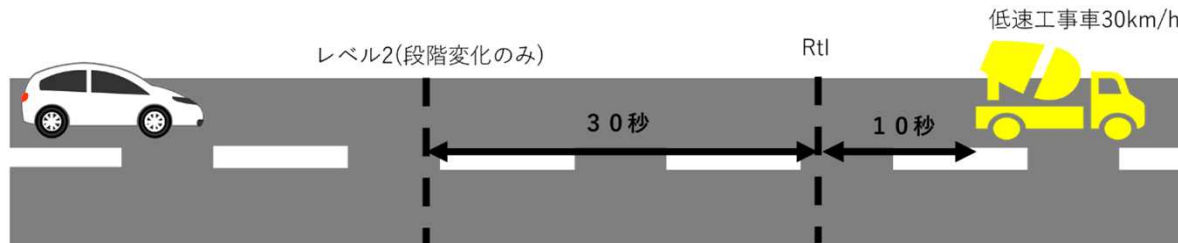
研究手順



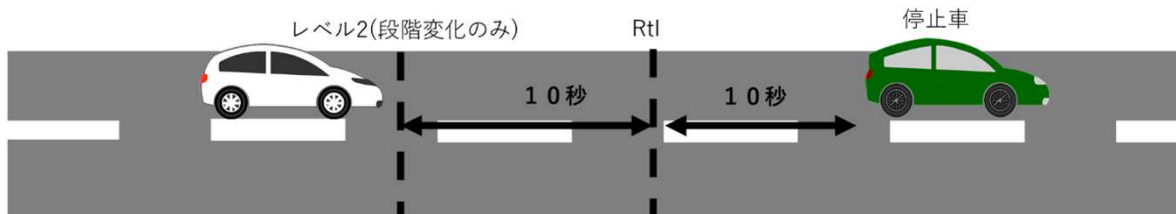
実験シナリオ



シナリオ: 地面の汚れによる車線消え



シナリオ: 低速工事車



シナリオ: 車線変更

研究結果

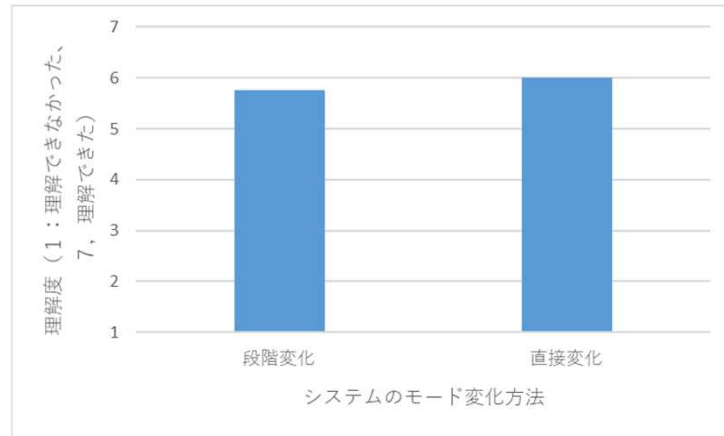
事前知識の影響:レベル3→レベル2モードに遷移時のドライバー行動

	モード変化のパターンの説明無	モード変化のパターンの説明有
地面の汚れによる車線消え	監視:3/5名 一時監視後ゲームに戻る:1/5 介入:1/5名	監視:5/5名
低速工事車	監視:4/5名 介入:1/5名	監視:5/5名
車線変更	監視:4/5名 介入:1/5名	監視:5/5名

モード変化のパターンの説明を事前に受けなかった一部の参加者も監視行動に移るが、そのほかに、介入または一時的監視後、ゲームに戻る行動を取ったドライバーもいた。

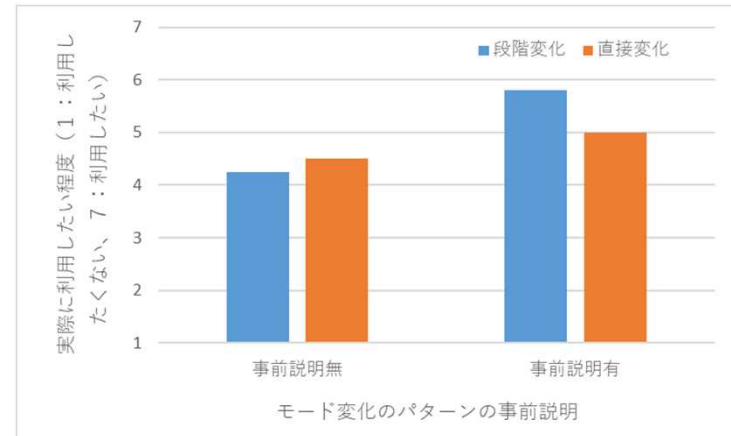
介入を選択した参加者は同一参加者であり、属性は60代の男性である。
一時監視後、ゲームに戻る参加者は30代女性である。

研究結果



モード変化の対応行動の理解度(1-7)
(モード変化の説明有群)

説明を受けることによって、モード変化時取るべき行動の心構えができ、システムの特徴をより理解できやすくなると示唆している。



利用したい程度(1-7)

モード変化のパターンの説明有無によって、利用したい程度の際は認められなかった。

まとめ

システムが搭載したモード変化のパターンを使用前に、使用者に理解させられるべき固有事項であるかどうかを、DS実験を通して確認した。

モード変化の反応と理解度の個人評価の結果から、使用者がシステムの特徴であるモード変化のパターンの説明を受けることによって、モード変化後、自動運転が引き続き利用できる際に、取るべき行動の心構えができることを示唆している。

Cvii ウェブ実験のフィージビリティスタディ

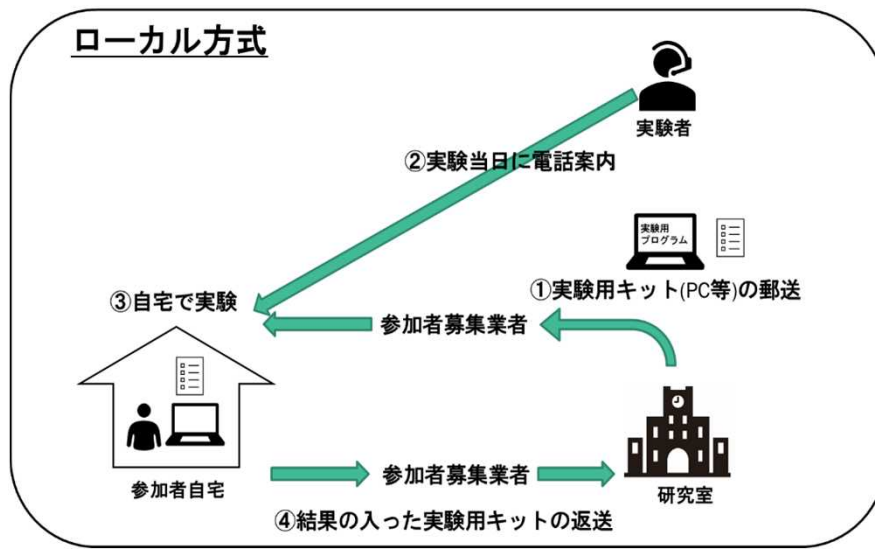
研究目的と背景

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の拡大対策として非対面の実験方式の可能性を検討する。

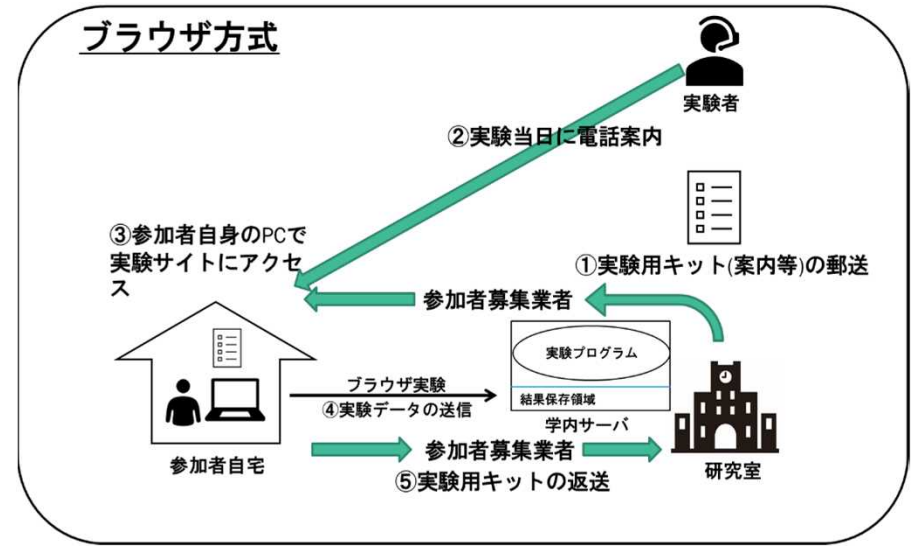
研究目的は主に2つあり、

1. 過去の実験の一部を再現し、実験結果を比較する。
2. 遠隔実験に対する受容度の確認。

実験手法は主にローカル方式とブラウザ方式で行う。



参加者数:20名

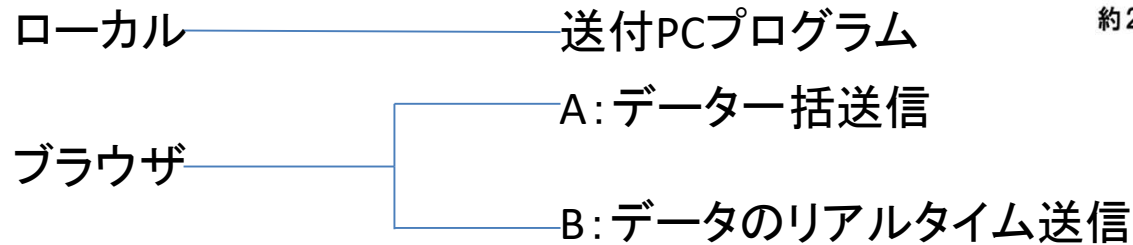


参加者数:40名

実験設計

2要因被験者間実験

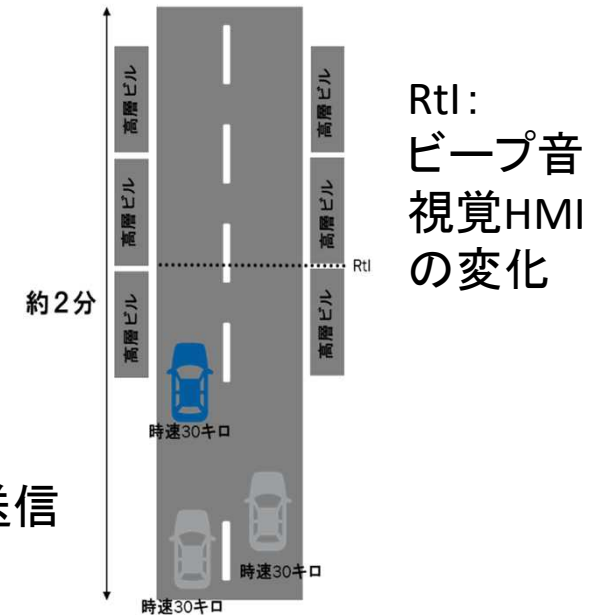
要因1:実験方式(3水準)



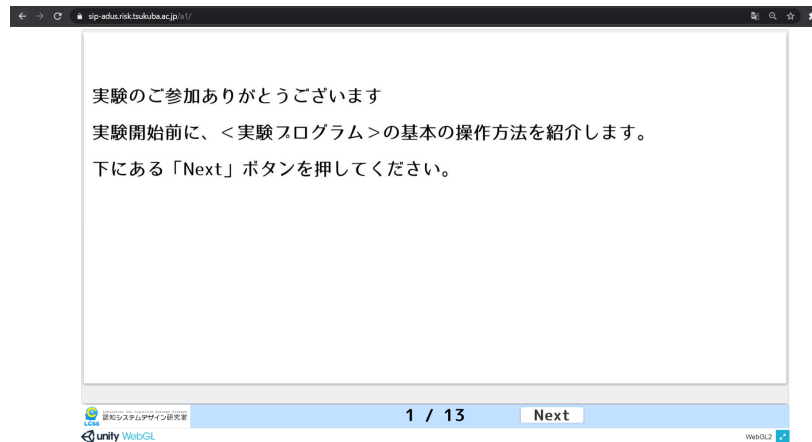
要因2: 事前知識(2水準)

水準A: 具体場面説明なし

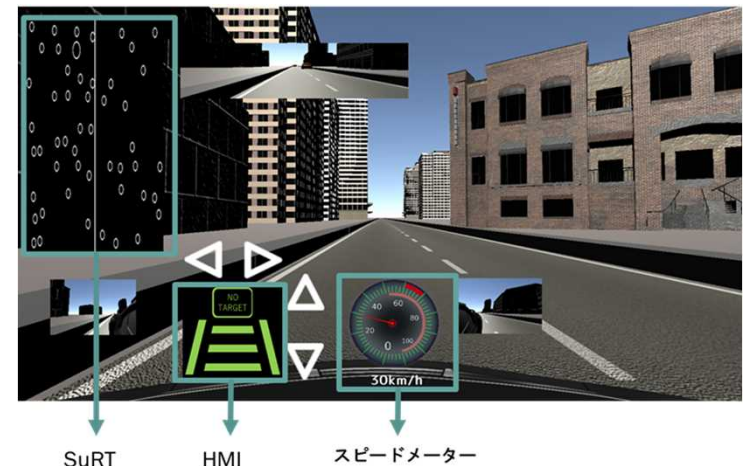
水準B: 具体場面説明あり



環境要因による介入要請



案内部分の画面



簡易ドライビングシミュレーション画面

実験結果

研究目的1: 実験結果の比較

最後の実験ページに進めて終了した人数: 54/60名 (9割)

本実験の運転を引き継いだ被験者数と内訳(割合)

イベント	事前知識: 具体場面説明なし	事前知識: 具体場面説明あり
環境要因	12/25(48%)	21/24(88%)
内訳	具体場面説明なし	具体場面説明あり
10秒後介入	2人	0人
除外数	除外数	除外数
事前介入	1人	2人
インターネット問題によるデータ送信の不成功	1人	1人

程度の違いがあるが、A-5の結果と相似な結果である、教示する自動運転知識の内容によってRtlに対する反応に影響が表れた。

相似な結果

ほぼ同様な結果

SIP第1期 A-5-1実験 Rtlイベントで運転を引き継いだ被験者数(割合)

イベント	具体場面説明なし	具体場面説明あり
環境要因1	2/16(13%)	15/16(94%)
環境要因2	4/16(25%)	15/16(94%)

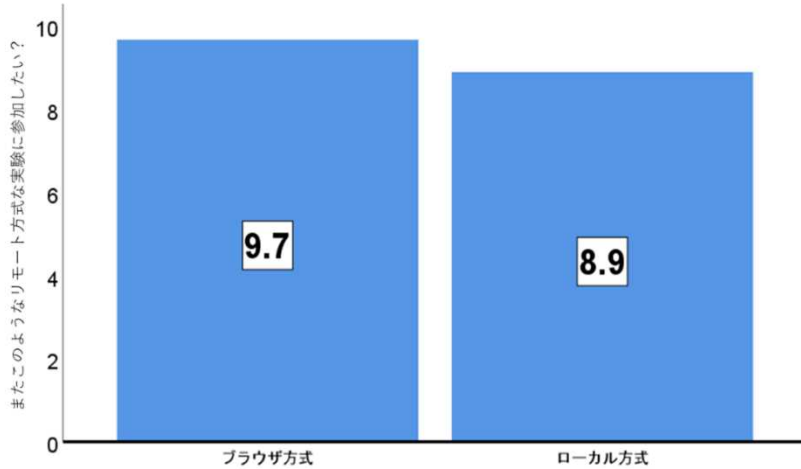
SIP第1期 A-5-2実験 Rtlイベントで運転を引き継いだ被験者数(割合)

環境要因1	3/12(25%)	10/12(83%)
環境要因2	5/12(42%)	11/12(92%)

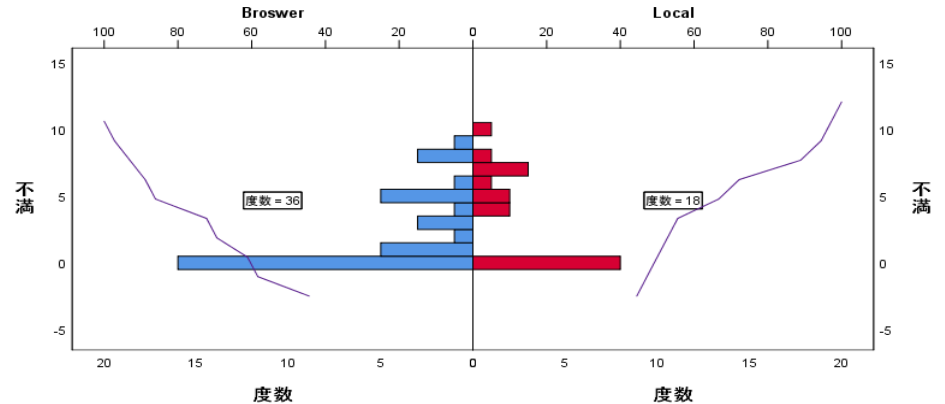
遠隔実験により、再現や実施することで実車実験と相似な現象や結果を確認することができる利点がある。さらに、感染症拡大の対策面から、対面しないことで実験データ収集の利点も高い。

実験結果

研究目的2:遠隔実験に対する受容度の確認



再度参加したい平均評価(0-10)



遠隔実験に対する不満度(0-10)

同じ形式の遠隔実験に再度参加したい参加者が多数

遠隔実験に対する不満度はあるが、実験案内の不足やサイトにアクセスまでスムーズにできなかったなど電話対応に対して不満を感じたという。

結論

遠隔実験は、対面しないことでも、9割の実験データ収集することができ、相似な実験を行うことができる。参加者が遠隔ドライビングシミュレーション実験の参加に受容が高く、実験手法を工夫すれば、参加者が実験に対して遠隔実験の煩雑さなど不満感を下げることが可能である。