

自動運転車が車線変更する際に備えるべき 危険回避能力に関する研究

自動車安全研究部 ※真鍋裕輝、児島亨、北田幸一

研究背景

2022年6月 WP29 UN-R157（国連協定規則）

自動運転車は高速道路等の自動車専用道において追い越しのための車線変更可能とする改正案が採択

車線変更中の具体的な危険回避能力の規定はなく「The activated system shall... automatically perform appropriate manoeuvres to minimize risks to safety of the vehicle occupants and other road users. 」という抽象的な記載のみ

具体的な数値規定がない項目は「Competent and Careful human driver（有能で注意深いドライバ）」と同等以上の能力を有する

目的

一般ドライバが車線変更実行中に危険事象に
遭遇した際の衝突回避能力を調査

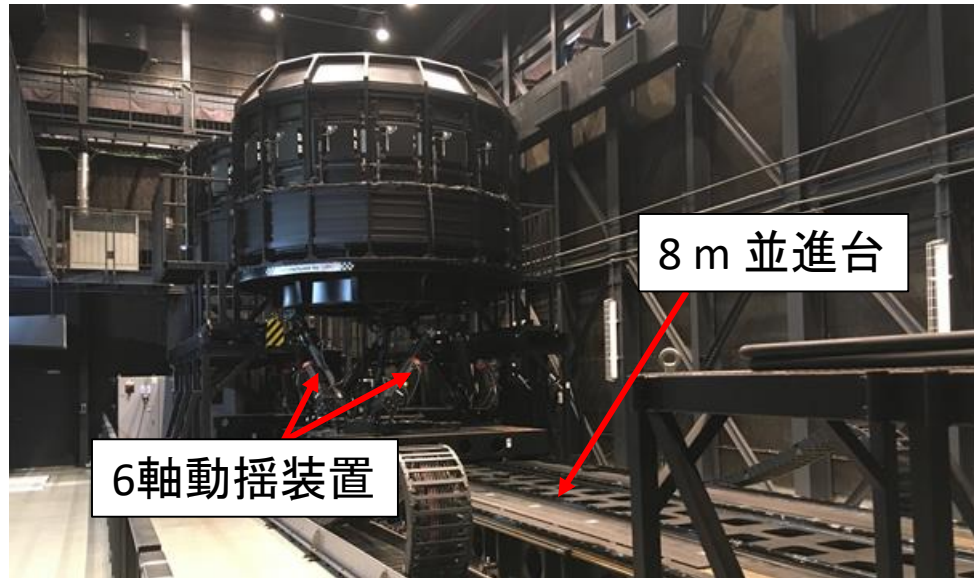


より安全な車線変更となった結果の特徴を抽出



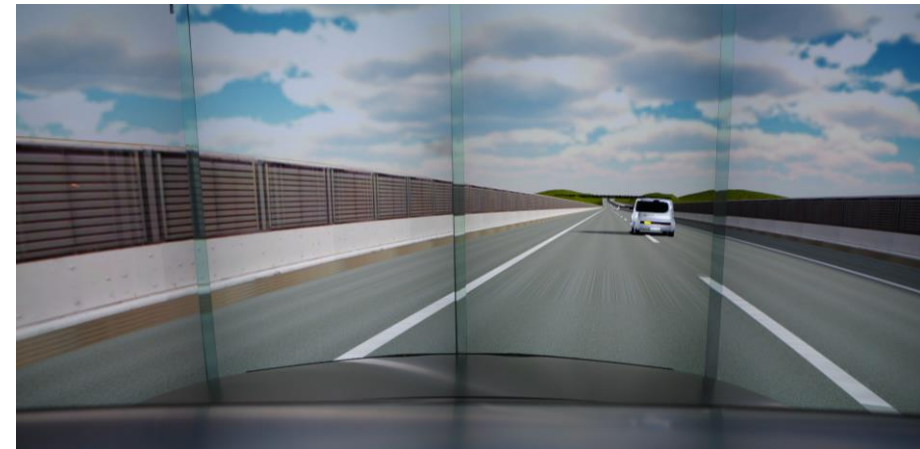
将来、より詳細な規定を策定する上で
議論となりえる、自動運転車の車線変更時の
危険回避能力の目安として提案

実験に用いたドライビングシミュレータ

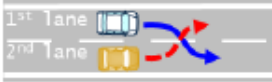
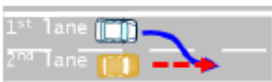
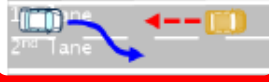
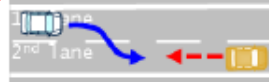


＜特長＞

- 小型乗用車の車体を使用
- 解像度の高い映像を描画可能
- 車両に発生する加速度等を
現実に近い形で体感可能



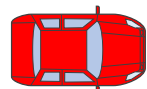
実験場面

	Main road 2 lanes			Main road 3 lanes		
	Forward	Parallel running	Rear	Forward	Parallel running	Rear
No.5 LC in the opposite direction 						
No.6 LC in the same direction 						
No.7 Acceleration 						
No.8 Deceleration 						
						

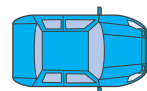
- VMAD/NATMのAnnex2で想定される車線変更（LC）時の事象に関してLC中に自車と他車両が接近するシナリオの内6種を選定し実験を実施

実験場面

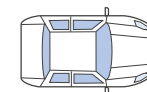
進行方向 



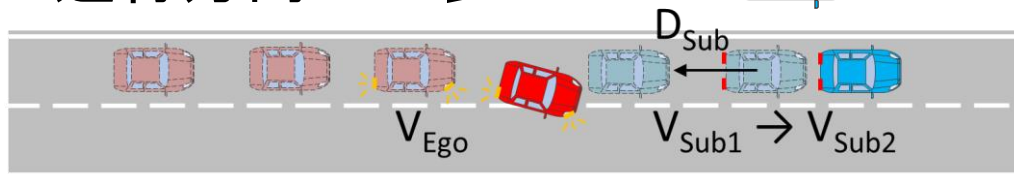
自車 (ドライバが運転、Ego)



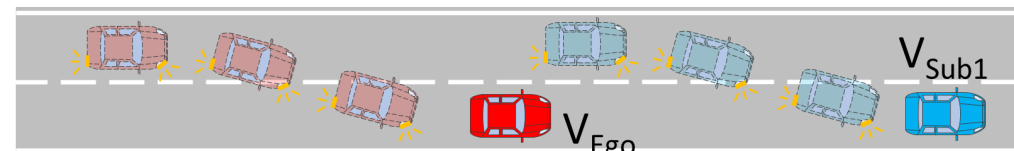
実験対象車 (Sub)



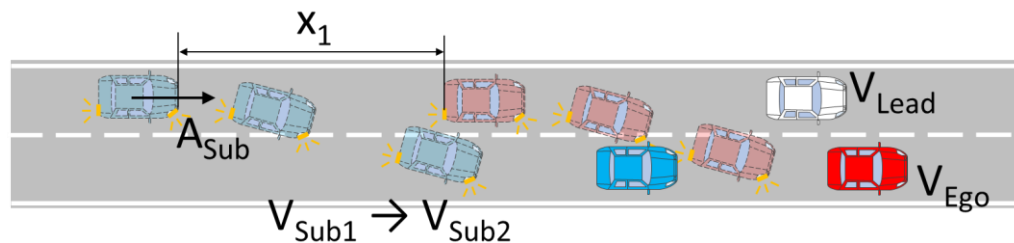
先行車 (Lead)



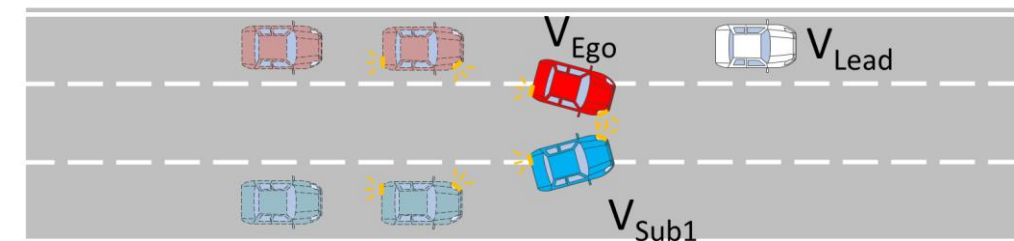
(a) 先行車 (Sub) が減速する



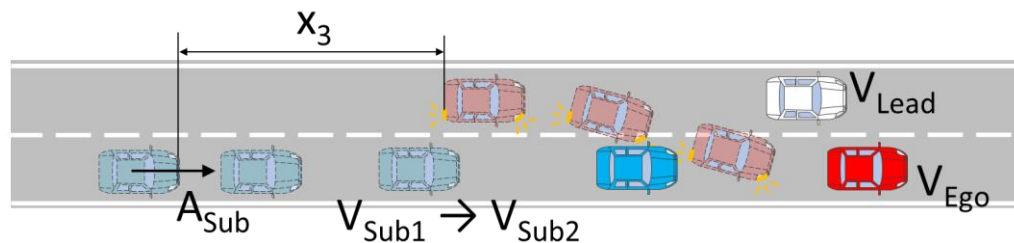
(b) 先行車 (Sub) も車線変更する



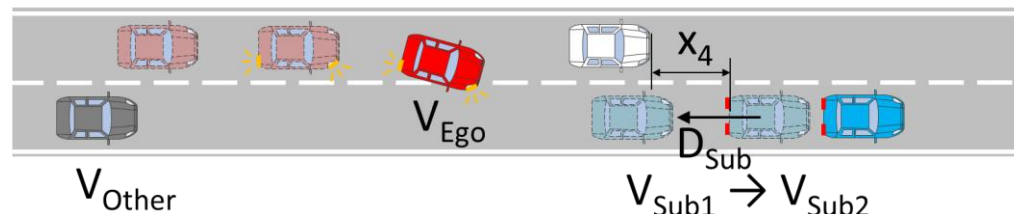
(c) 後続車 (Sub) も車線変更する



(d) 第3車線のSubも車線変更する



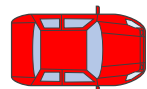
(e) 第2車線後方のSubが加速する



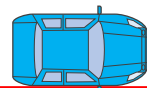
(f) 第2車線前方のSubが減速する

実験場面

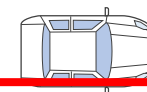
進行方向 $\Rightarrow$



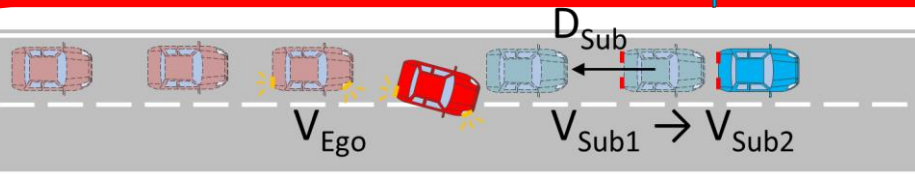
自車 (ドライバが運転、Ego)



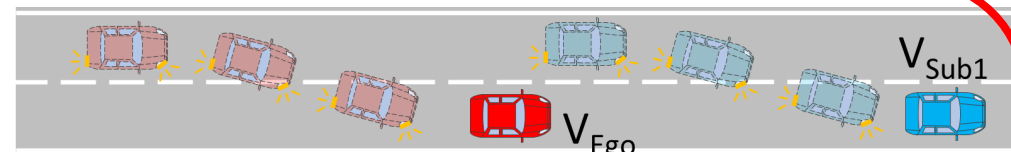
実験対象車 (Sub)



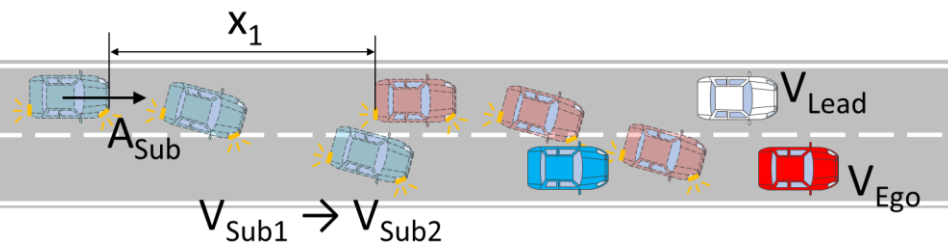
先行車 (Lead)



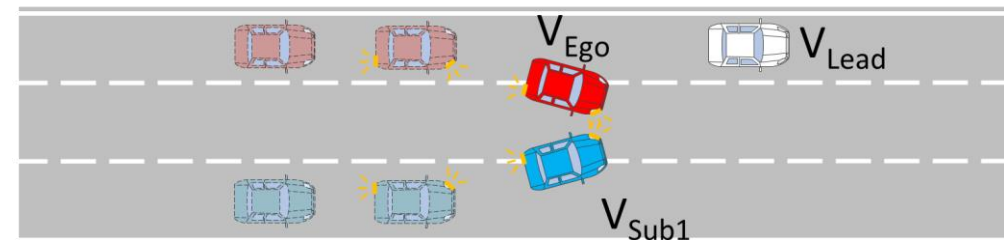
(a) 先行車 (Sub) が減速する



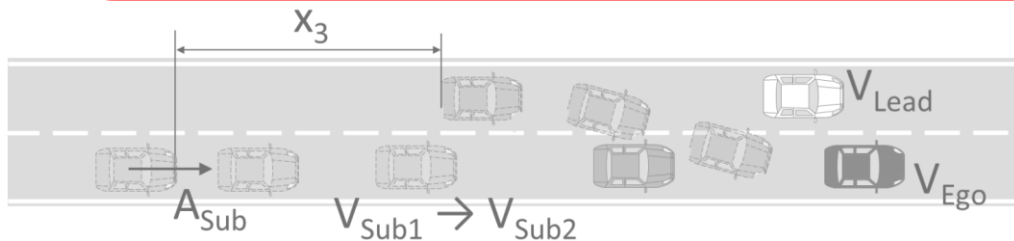
(b) 先行車 (Sub) も車線変更する



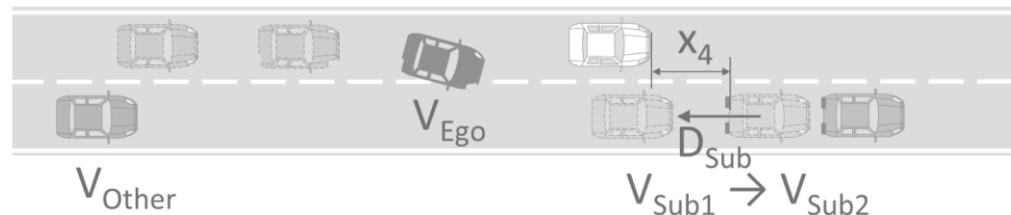
(c) 後続車 (Sub) も車線変更する



(d) 第3車線のSubも車線変更する



(e) 第2車線後方のSubが加速する



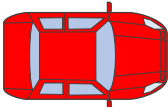
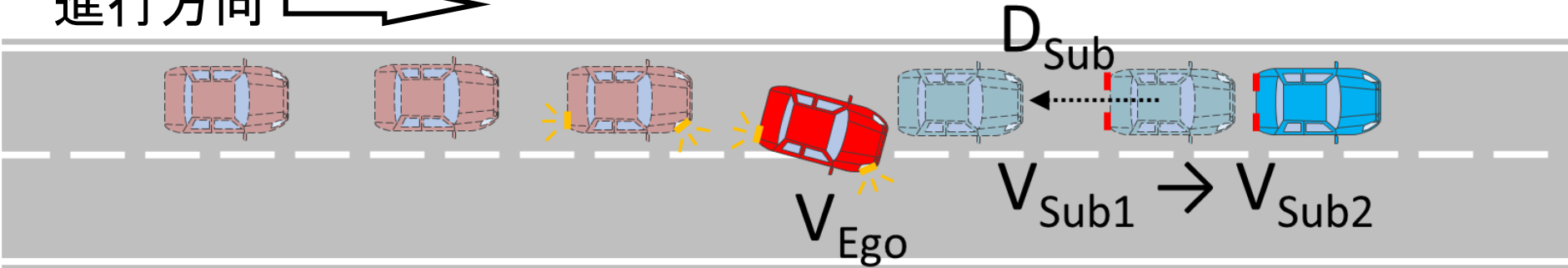
(f) 第2車線前方のSubが減速する

参加者への教示と共通の実験条件

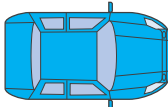
- 実験参加者の内訳
 - 運転歴5年以上で日常的に運転をおこない、少なくとも1年に1回は高速道路を走行する20～50代の一般ドライバ20名
 - 全員が全ての実験に参加（実験参加者内計画）
 - 当研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき実施
- 実験参加者への教示内容
 - 基本的に第1車線を走行すること
 - 先行車に追いついた場合には追越しのための車線変更を実行すること
 - 衝突回避の手段は問わないこと
- 速度の管理
 - 実験参加者は車間距離制御機能のない定速走行装置を用いて速度一定で走行
- 配慮事項
 - 開始地点を一定としない、危険事象のないダミーシナリオを設ける、危険事象に遭遇するまでに0～2回追いつきのための車線変更をする等、実験参加者に実験場面を予測されないよう十分配慮した

実験場面1（LC1シリーズ）

進行方向 ➡



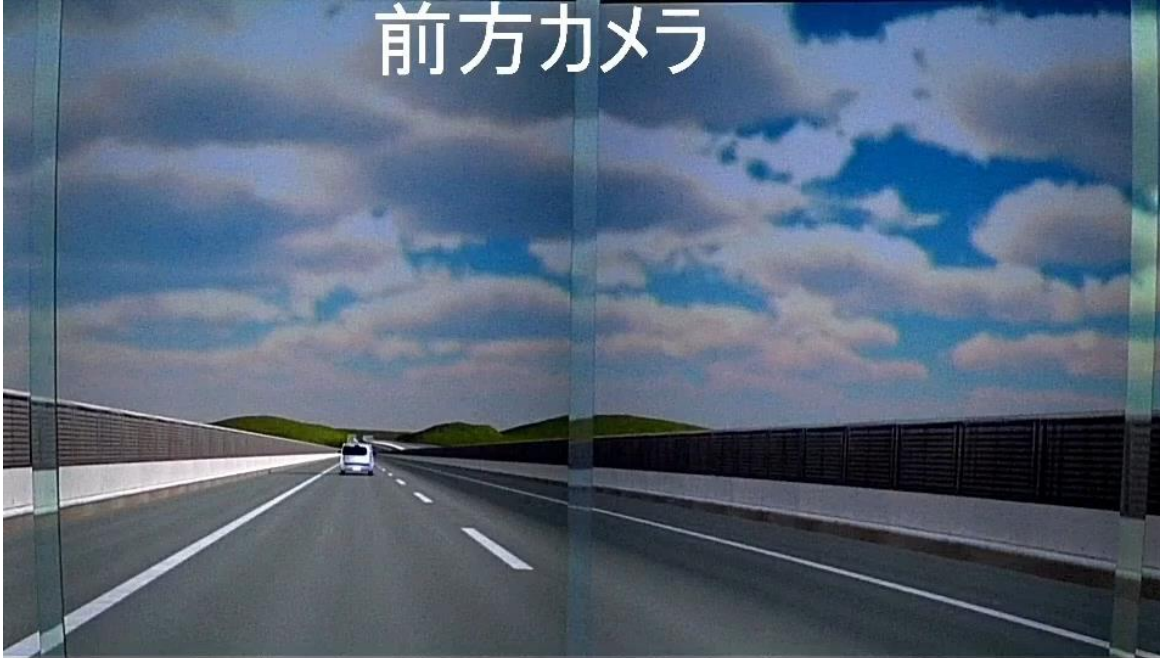
自車（ドライバが運転、Ego）



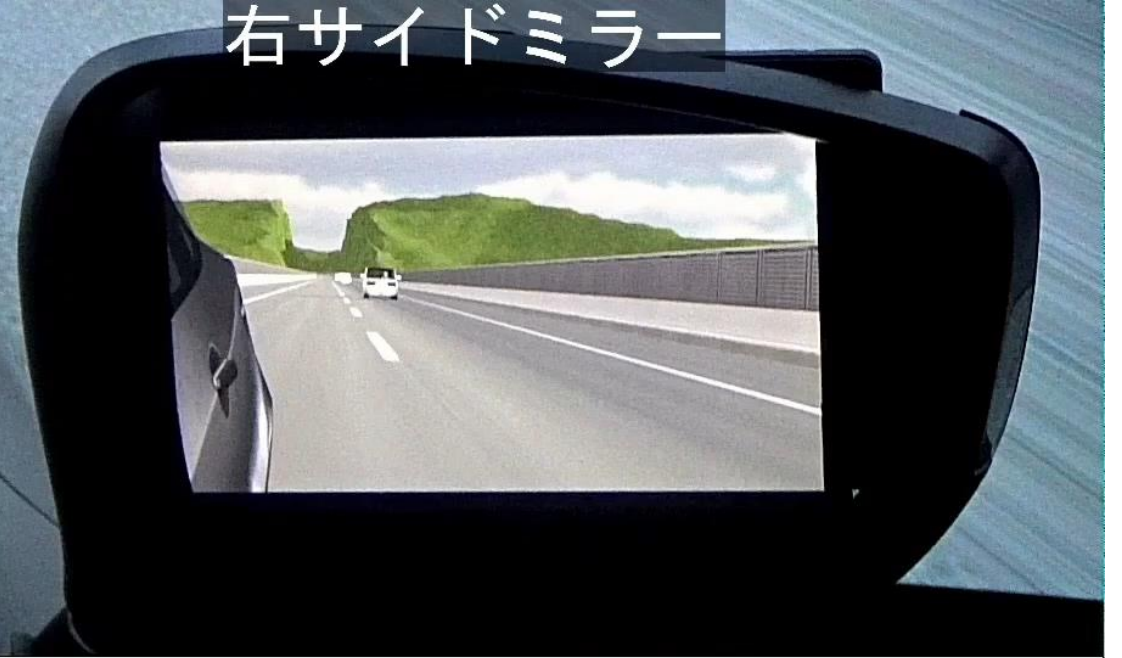
実験対象車（Sub）

	LC No.	
	1_1	1_2
減速度 D_{Sub} [m/s ²]	3	6
V_{Ego} [km/h]	100	100
V_{Sub1} [km/h]	80	80
V_{Sub2} [km/h]	0	0
イベント発生条件	自車の方向指示器開始	自車の方向指示器開始

前方カメラ



右サイドミラー



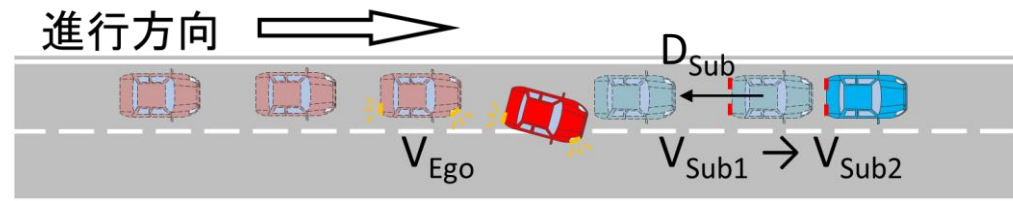
後方カメラ



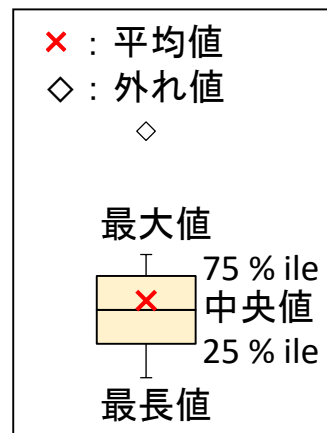
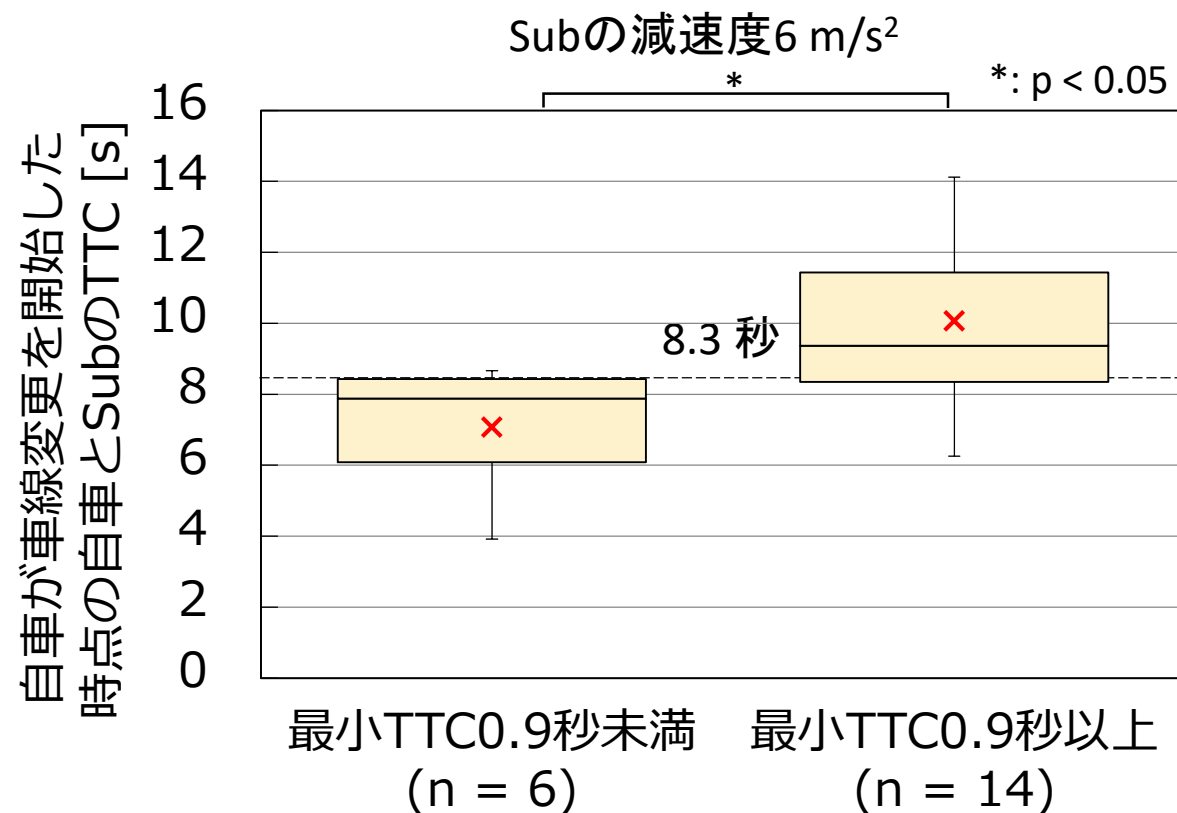
交通安全環境研究所

National Traffic Safety and Environment Laboratory

実験結果 (LC1) 車線変更開始時のTTC



(a) 先行車急減速



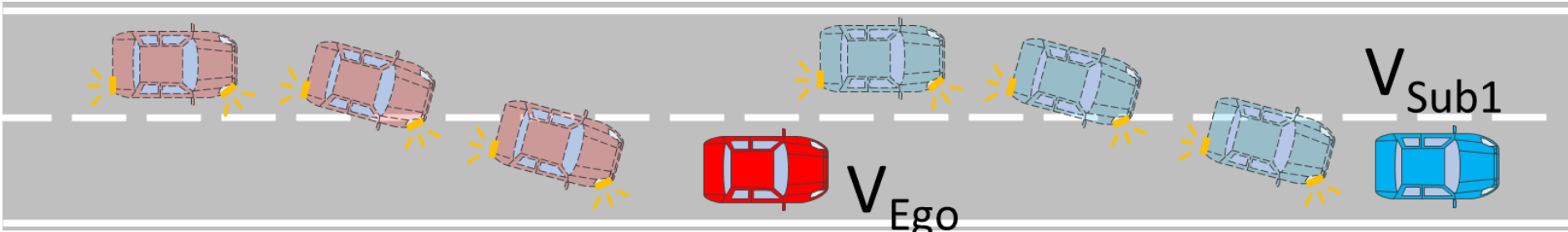
TTC: Time to Collision、
衝突予測時間
= 相対距離/相対速度

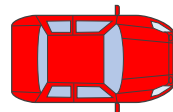
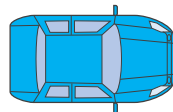
TTC = 0.9秒
R152において想定される
衝突被害軽減ブレーキの
緊急制動開始タイミング
の目安

LC1の知見：車線変更を開始する時点の先行車との距離を十分に確保

実験場面2（LC2シリーズ）

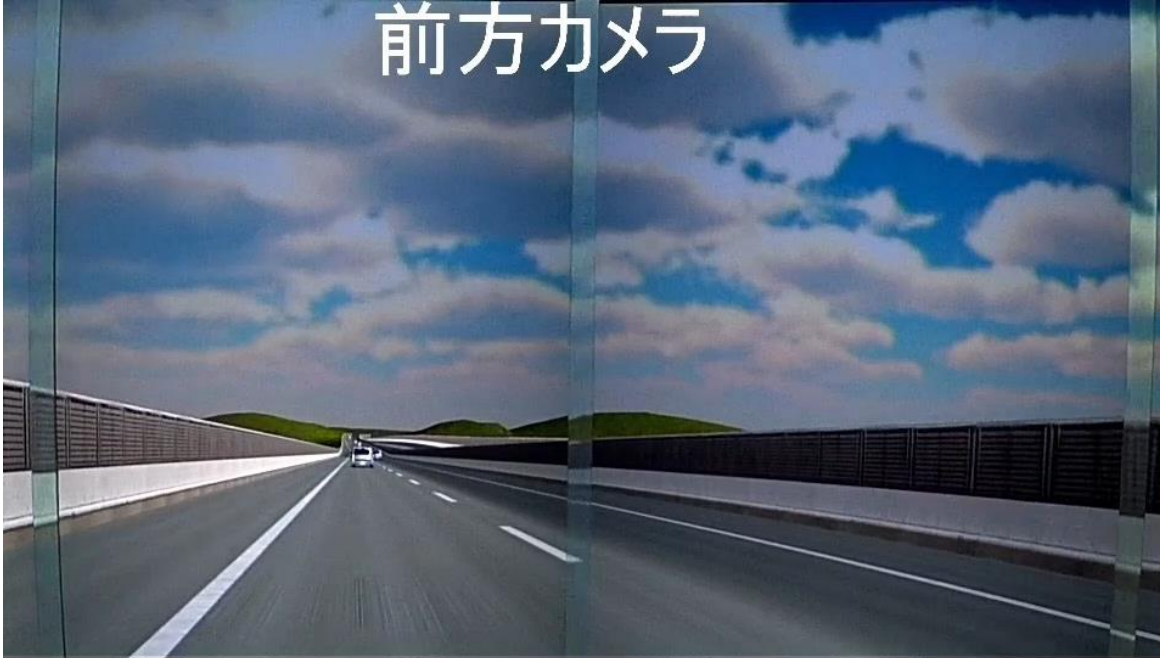
進行方向 ➡



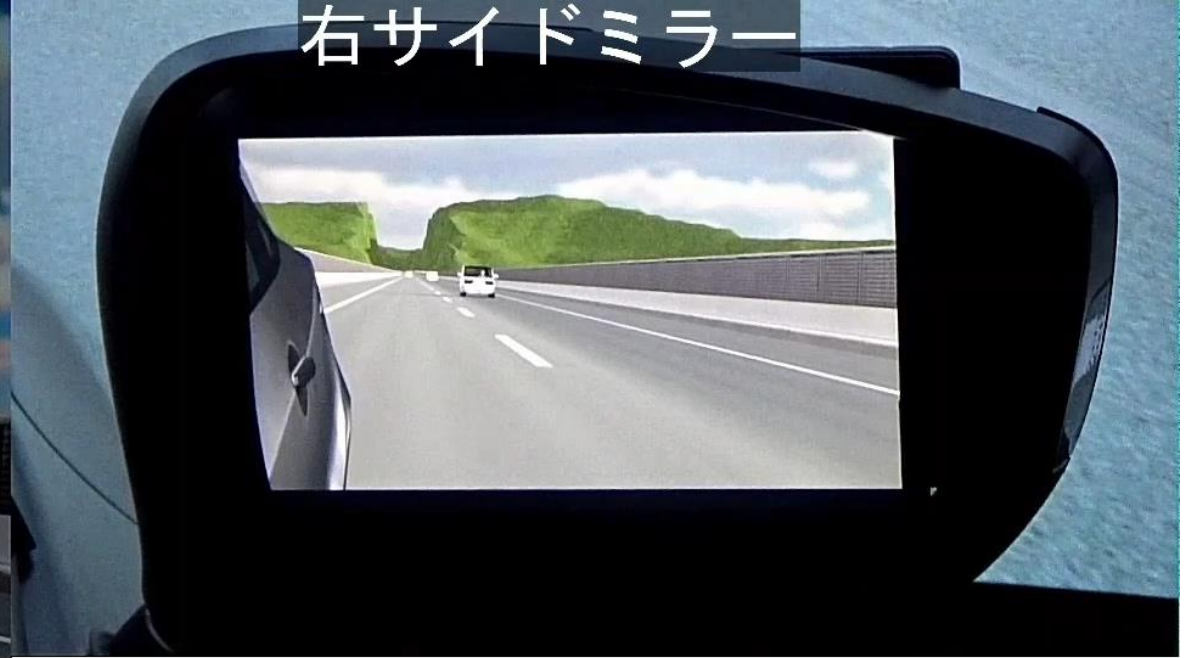
 自車 (ドライバが運転、Ego)  実験対象車 (Sub)

	LC No.				
	2_1	2_2	2_3	2_4	2_5
V _{Sub1} [km/h]	80	80	60	60	60
イベント発生条件 [-]	自車が車線境界線到達	自車方向指示器開始	自車が車線境界線到達	自車方向指示器開始	自車方向指示器開始
Sub方向指示器	○	○	○	○	×
V _{Ego} [km/h]	100	100	100	100	100

前方カメラ



右サイドミラー



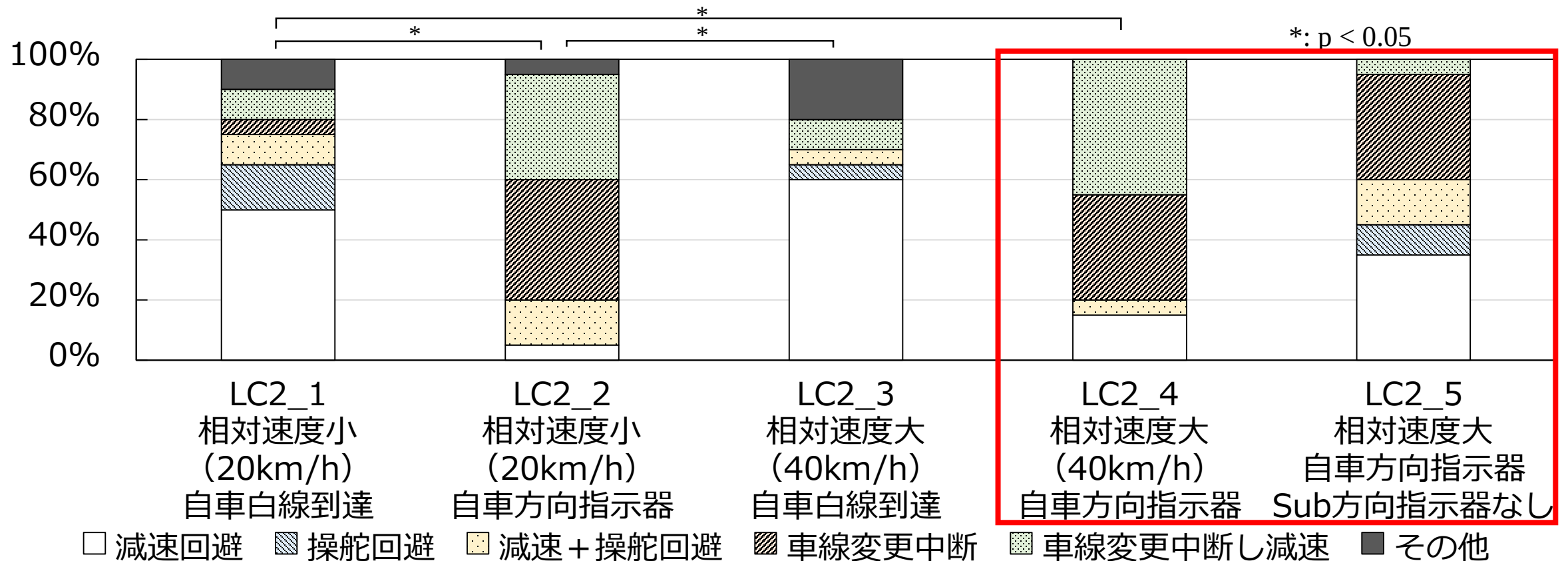
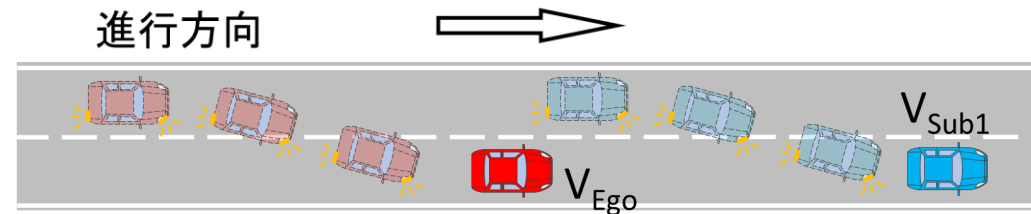
後方カメラ



交通安全環境研究所

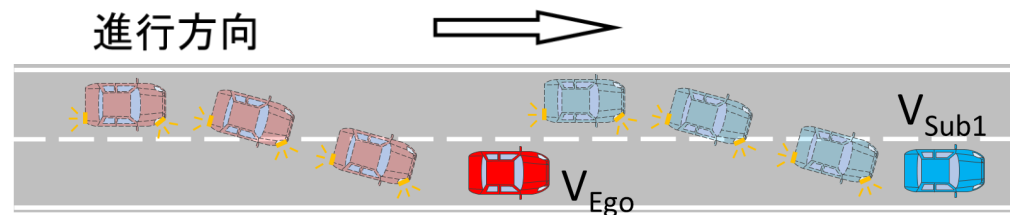
National Traffic Safety and Environment Laboratory

実験結果 (LC2) 行動割合

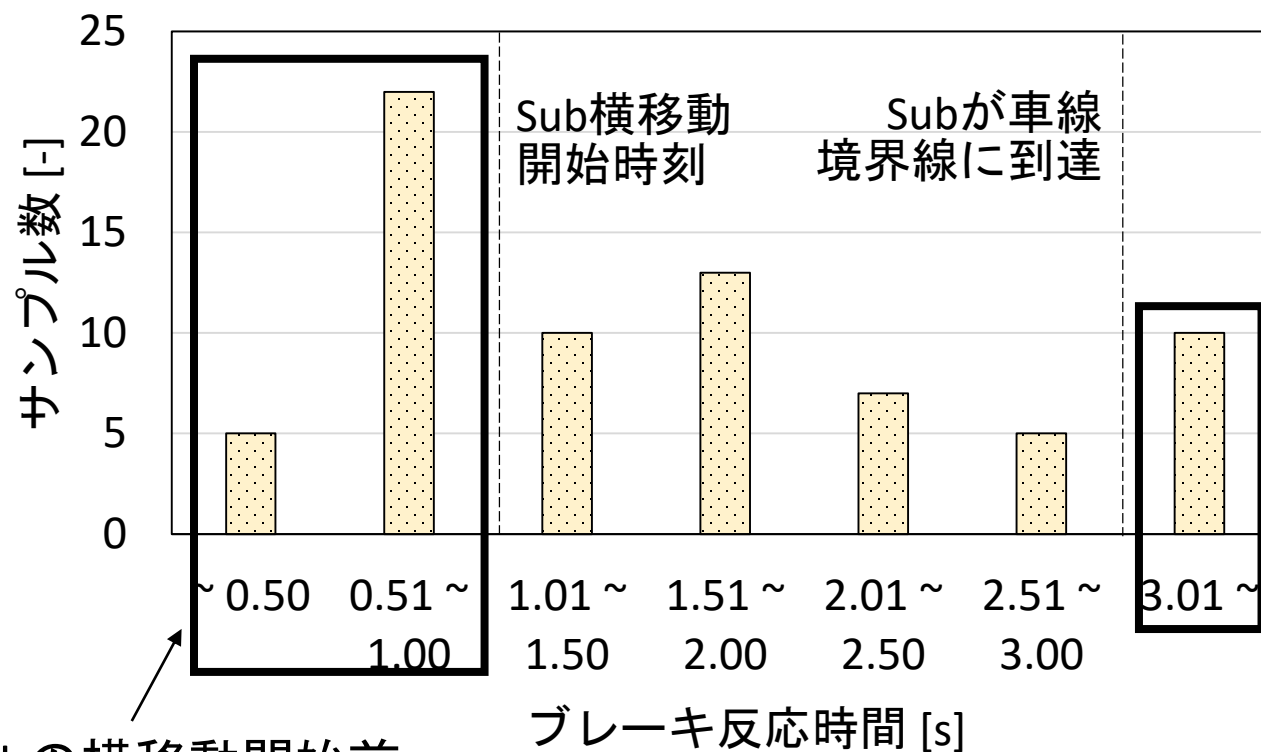


自車の衝突回避方法は様々であった

実験結果 (LC2) 反応時間



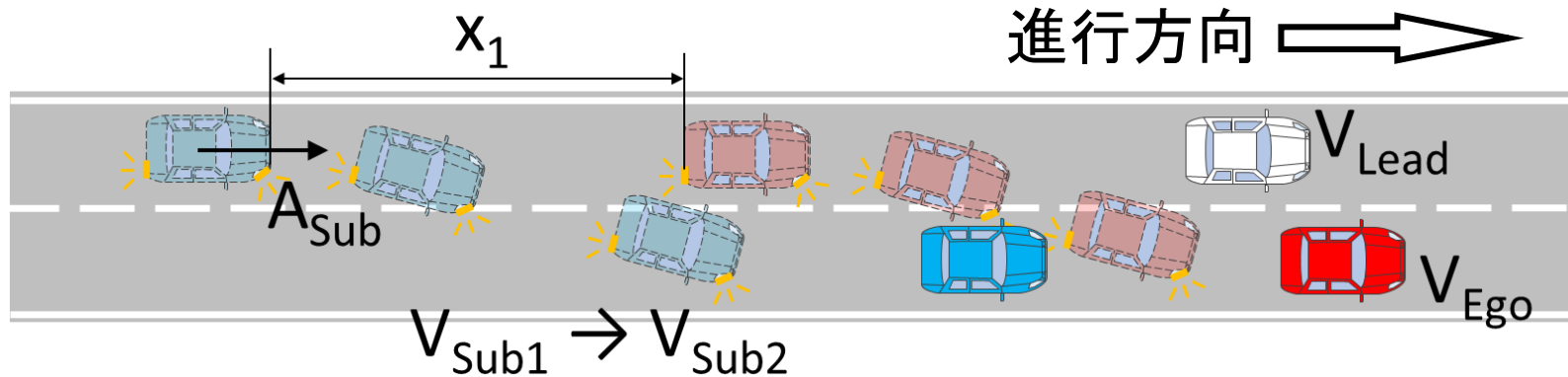
(b) 先行車も車線変更



- 減速した人のみの結果
- Subが方向指示器を点滅していることを確認して、Subの横移動開始前にブレーキ操作した例が多かった
- Subが車線境界線に到達するまで様子を見た例も一定数みられた

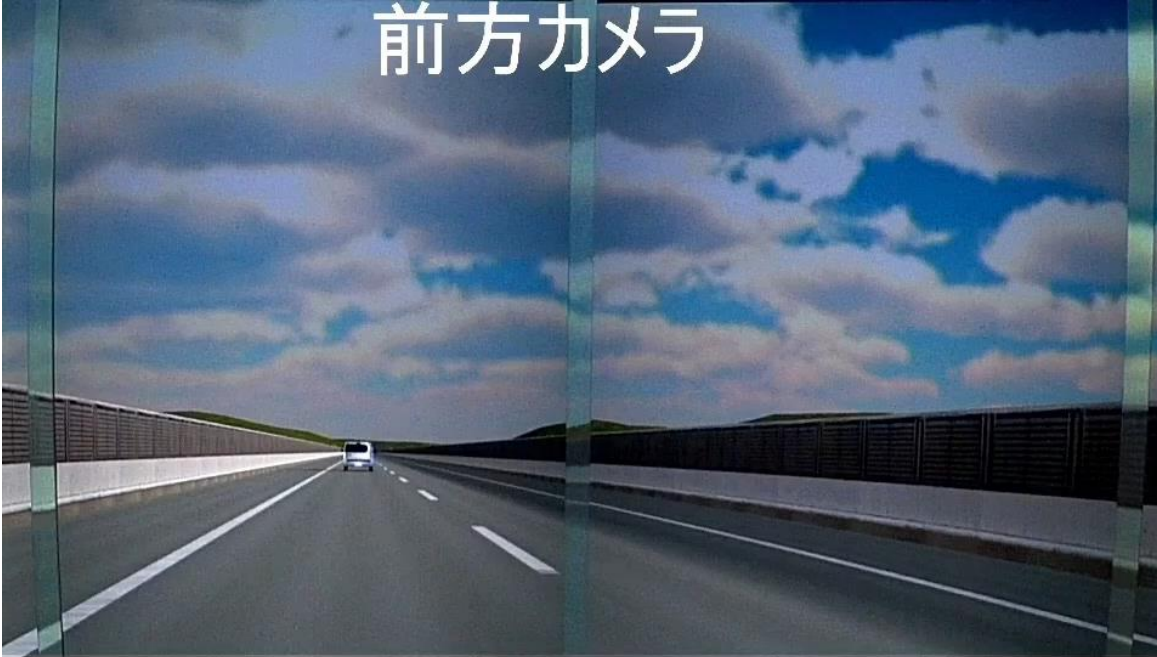
LC2の知見：先行車の方向指示器と横移動を認識

実験場面3（LC3シリーズ）



	LC No.				
	3_1	3_2	3_3	3_4	3_5
A_{Sub} [m/s ²]	1.5	1.5	3	3	3
x_1 [m]	56	28	56	28	28
Sub方向指示器	○	○	○	○	×
V_{Ego} [km/h]	100	100	100	100	100
V_{Sub1} [km/h]	100	100	100	100	100
V_{Sub2} [km/h]	130	130	130	130	130
V_{Lead} [km/h]	80	80	80	80	80
イベント発生条件 [-]	自車方向指示器開始	自車方向指示器開始	自車方向指示器開始	自車方向指示器開始	自車方向指示器開始

前方カメラ



右サイドミラー



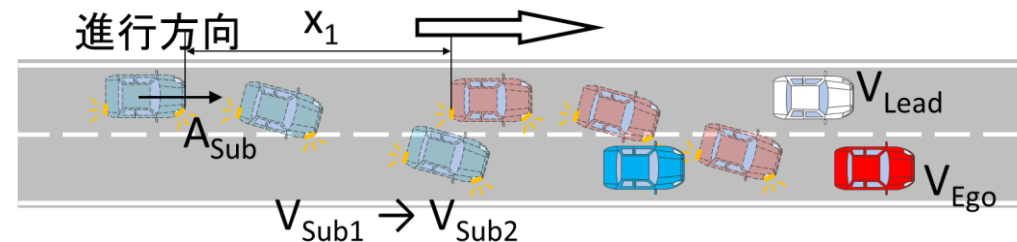
後方カメラ



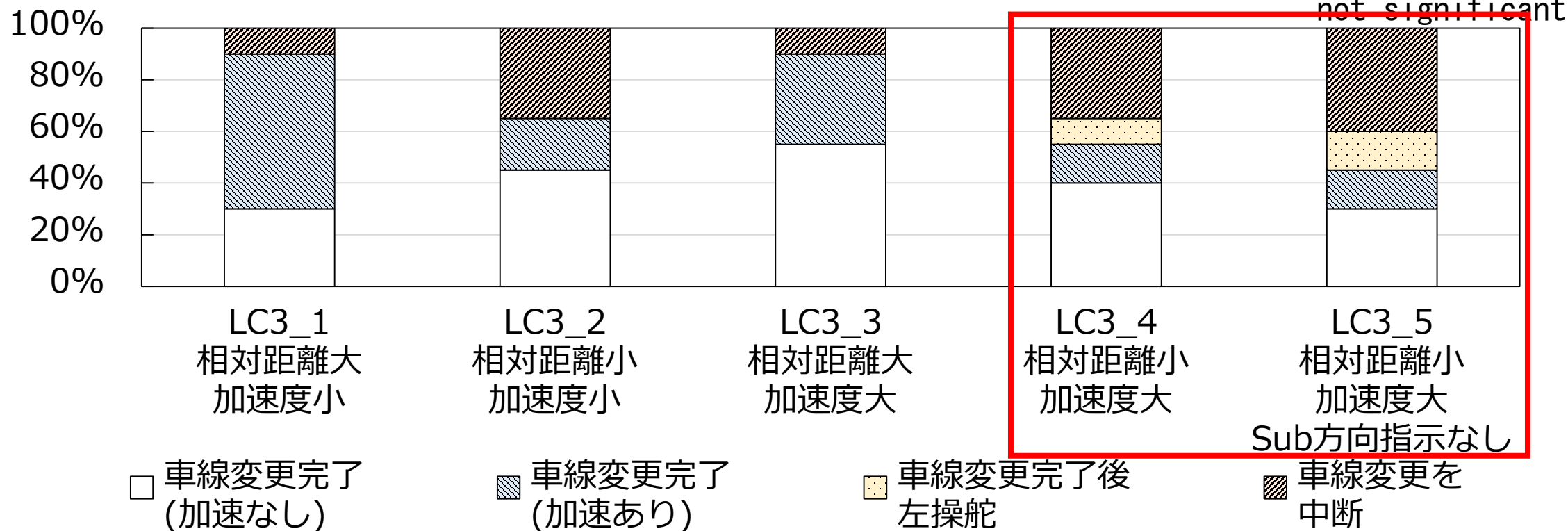
交通安全環境研究所

National Traffic Safety and Environment Laboratory

実験結果 (LC3) 行動割合

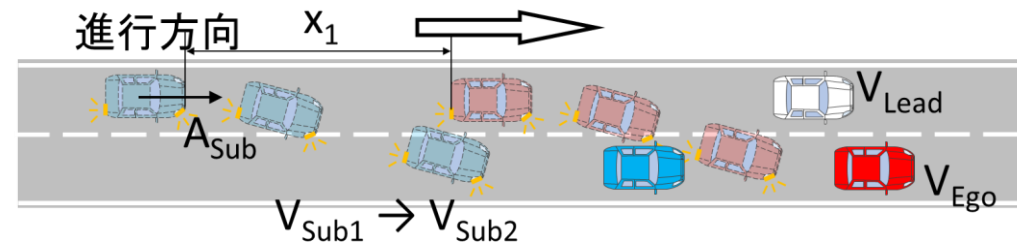


(c) 追従車も加速しながら車線変更

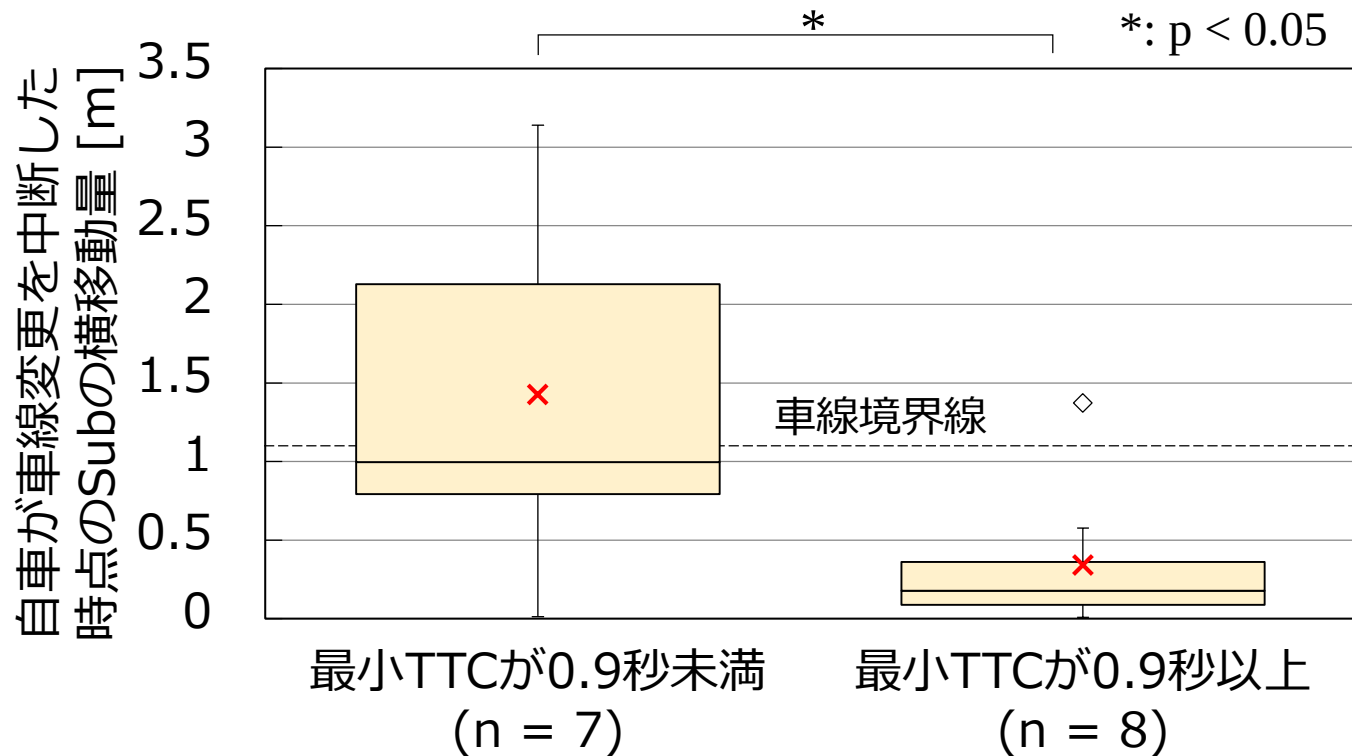


後続車 (Sub) の方向指示器の点滅の有無では
ほとんど行動に変化はない

実験結果 (LC3) 反応時のSubの横移動量



(c) 追従車も加速しながら車線変更



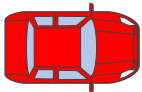
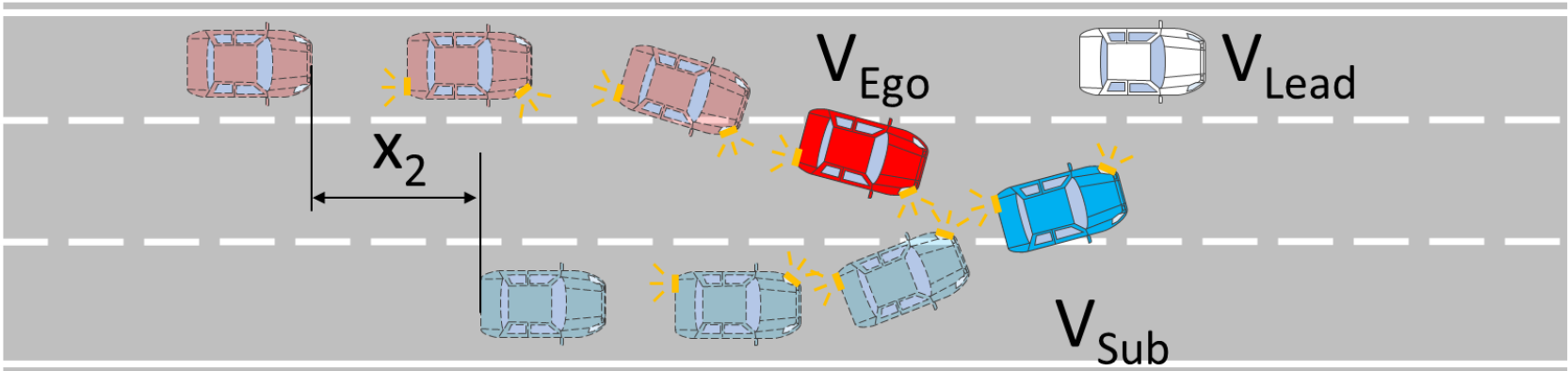
※TTCは後方車両と自車の間

- 急接近した場合は判断した時点のバラツキが大きい
- 急接近を回避するには早い判断が必要

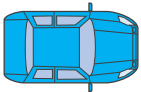
LC3の知見：後続車の横移動を認識、かつ回避行動の判断が早い

実験場面4（LC4シリーズ）

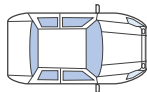
進行方向 ➡



自車 (Ego)



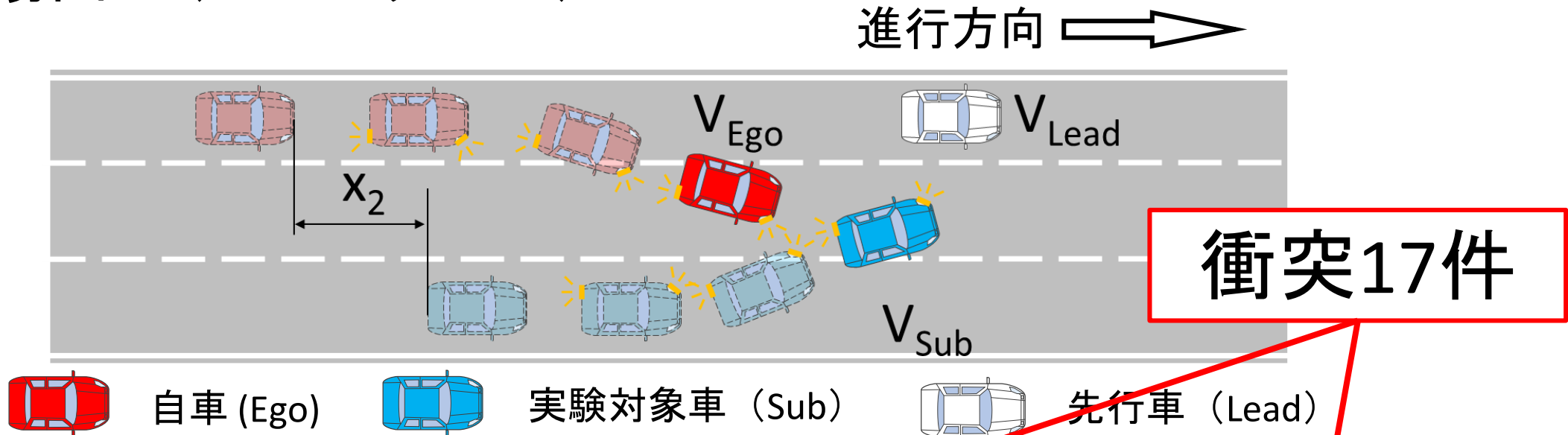
実験対象車 (Sub)



先行車 (Lead)

	LC No.						
	4_1	4_2	4_3	4_4	4_5	4_6	4_7
イベント発生 条件 [m]	自車白線 到達	自車方向 指示器	自車白線 到達	自車方向 指示器	自車白線 到達	自車方向 指示	自車方向 指示器
x_2 [m]	-20	-20	-4	-4	10	10	-4
Sub方向指示器	○	○	○	○	○	○	×
V_{Ego} [km/h]	100	100	100	100	100	100	100
V_{Sub1} [km/h]	100	100	100	100	100	100	100
V_{Lead} [km/h]	80	80	80	80	80	80	80

実験場面4（LC4シリーズ）

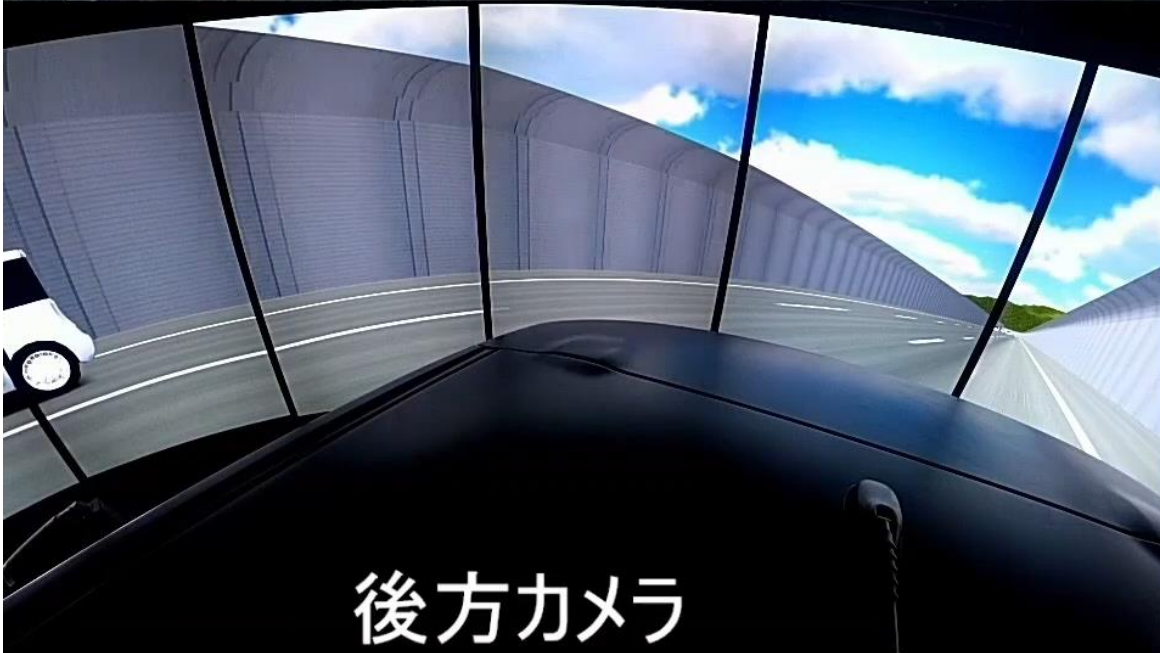
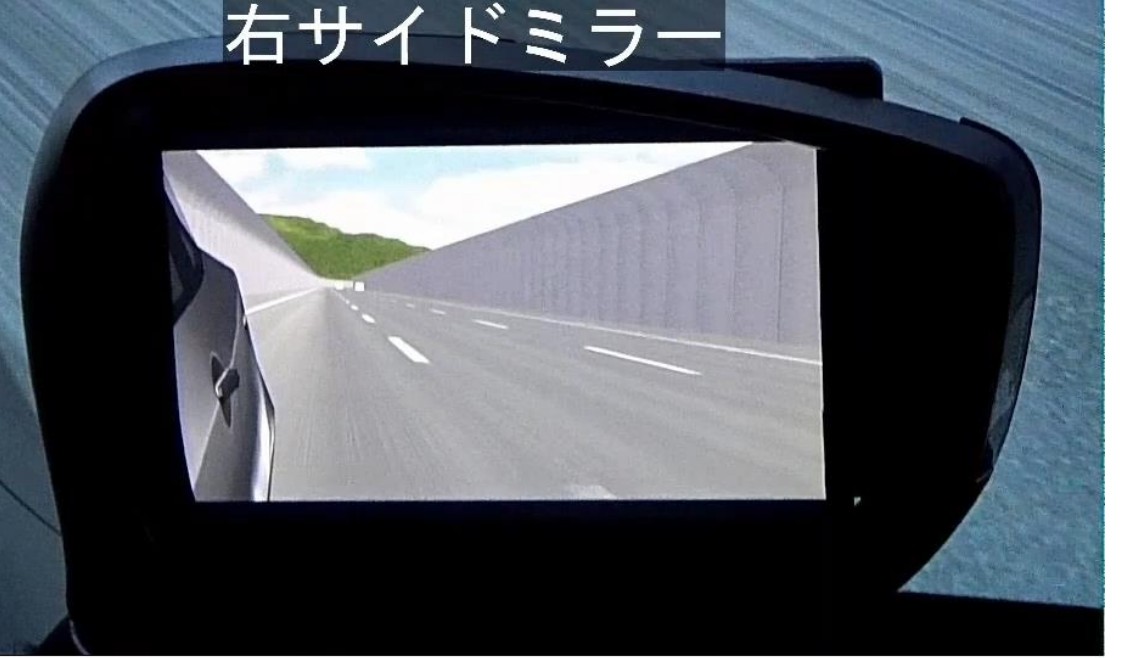


	LC No						
	4_1	4_2	4_3	4_4	4_5	4_6	4_7
イベント発生条件 [m]	自車白線到達	自車方向指示器	自車白線到達	自車方向指示器	自車白線到達	自車方向指示	自車方向指示器
x_2 [m]	-20	-20	-4	-4	10	10	-4
Sub方向指示器	○	○	○	○	○	○	×
V_{Ego} [km/h]	100	100	100	100	100	100	100
V_{Sub1} [km/h]	100	100	100	100	100	100	100
V_{Lead} [km/h]	80	80	80	80	80	80	80

前方カメラ



右サイドミラー



後方カメラ

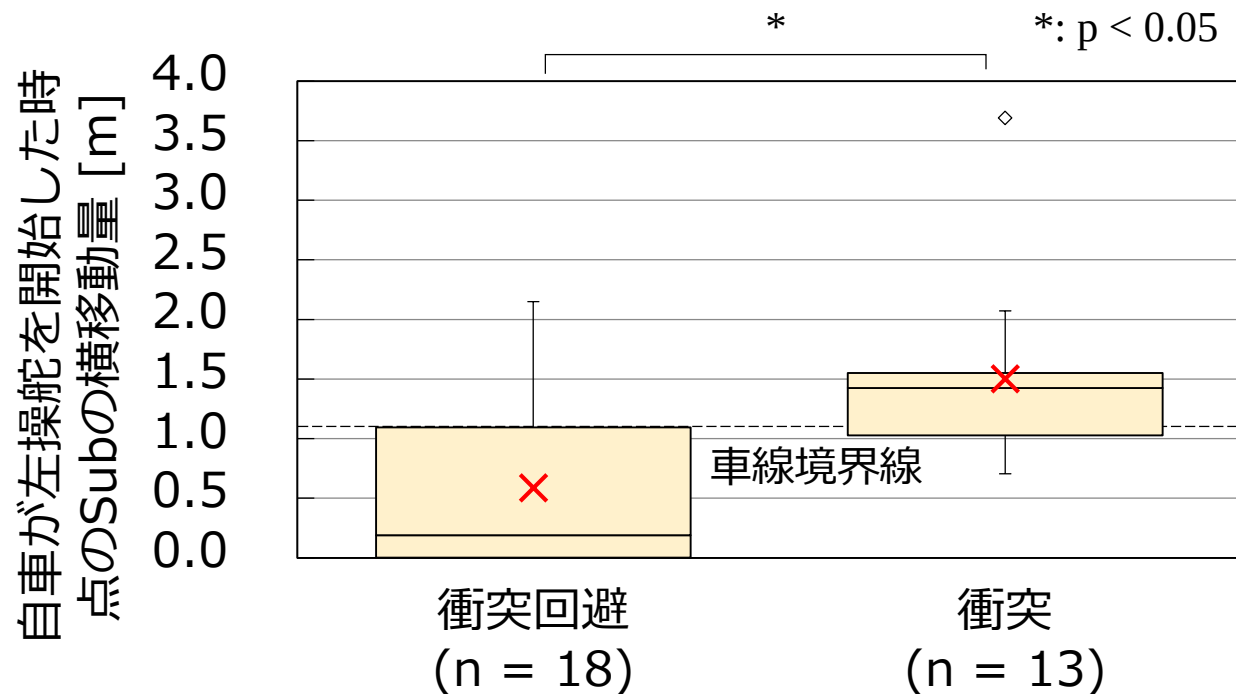


交通安全環境研究所

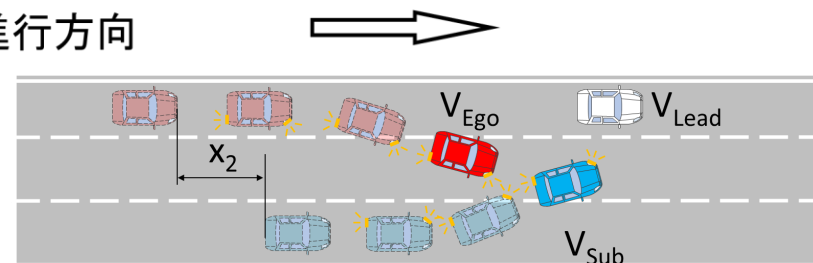
National Traffic Safety and Environment Laboratory

実験結果 (LC4)

反応時のSubの横移動量



進行方向



(d) 第3車線のSubも車線変更する

- 衝突回避した場合には、Subが車線境界線に到達するまでに回避行動を取れているが、衝突してしまった場合にはSubが車線境界線に到達して以降に反応
- 衝突を回避するには早い判断が必要

LC4の知見：2つ隣の車線のお車両の動きにも注意を払い
 その他車両の車線変更の意思を認識した場合には素早く
 もとの車線に戻る

まとめ

- 比較的安全な結果となった運転行動の特徴をまとめ将来自動運転車が車線変更をおこなう際に危険事象に遭遇した場合の目安となる、一般ドライバの衝突回避能力に関する知見をまとめた
- 先行車が減速：車線変更する際は先行車とのTTCが8秒以上
- 先行車も車線変更：先行車の方向指示器と横移動を認識
- 後続車も車線変更：後続車の方向指示器は認識しないが横移動は認識
- 2つ隣他車両も車線変更：2つ隣の車線の車両の動きにも注意を払う

ご清聴ありがとうございました