

人間ドライバーによる高速道路上での 車線変更挙動の調査

自動車安全研究部
主席研究員 田中 信壽

講演内容

- 1 . 背景と目的
- 2 . 調査概要
- 3 . 計測結果と分析
- 4 . まとめ
- 5 . 今後の課題

1. 背景と目的

背景

協定規則第157号: ALKS(Automated Lane Keeping Systems)では、**自動運転車の衝突リスク**は「少なくとも**習熟した注意深いドライバ(C&Cドライバ)**と同程度」にすることが求められており、今後拡張される車線変更制御にも同様に求められてくると考えられる。



習熟した注意深いドライバ
The **C**ompetent and **C**areful human driver: 以下、**C&Cドライバ**という。

C&Cドライバが車線変更の際の挙動を定量的に計測・定義する必要がある。



目的

ドライバが車線変更を行う際の挙動を実際の道路において、定量的に計測する手法を開発し、高速道路における実際の走行状況を把握することで、C&Cドライバの特性を明確にするための基礎データを構築する。

2. 調査概要

- ①車線変更時の車両挙動を分析するための計測項目の検討
- ②計測の実現手法の検討
- ③計測の実施と計測データの分析
- ④今後の課題の検討

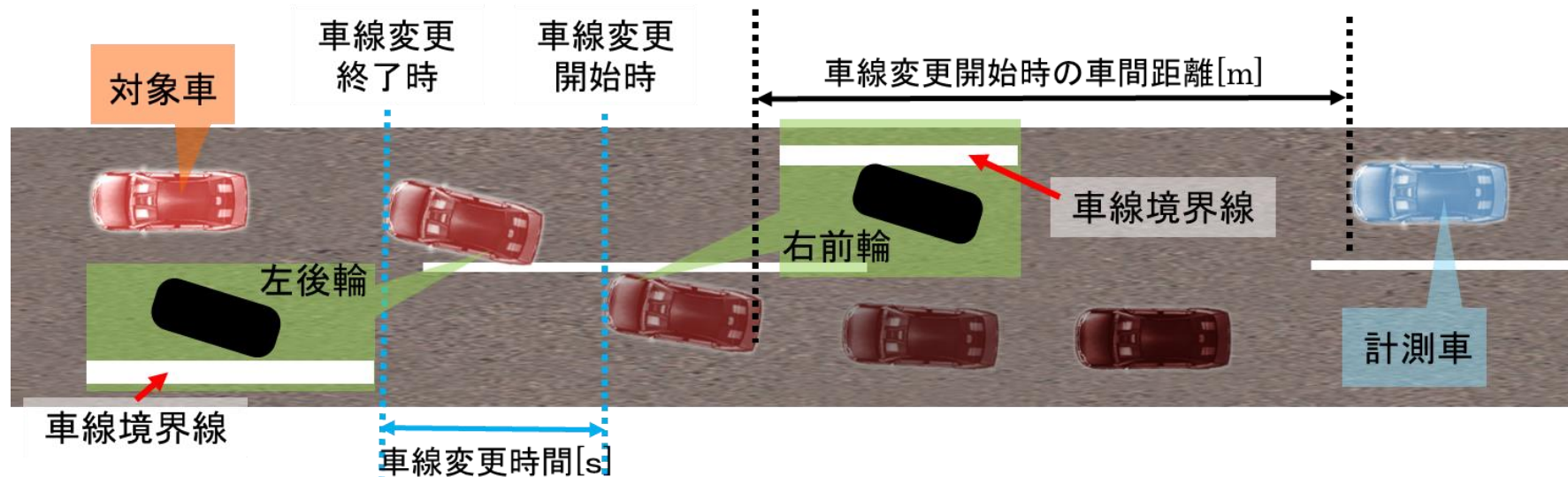
車線変更の起点と終点の定義

車線変更開始時

車線変更を行う計測対象の車両（以下、対象車）の前輪のうち車線変更先の車線に最も近いものが、車線変更先の車線との境界線に到達した時点。この車線変更開始時を時間軸の起点（0[s]）とする。

車線変更終了時

対象車の後輪のすべてが車線変更先の車線との境界線を越えた時点。



【計測車】

対象車が車線変更しようとしている車線上を対象車の直後の位置で走行する車両で、本調査では、対象車の車線変更時の挙動を計測する車両

計測項目

計測項目	計測内容
計測車速度 [km/h]	対象車の挙動を計測する車両（以下、計測車）の速度
相対速度 [km/h]	計測車に対する対象車の速度 （＋：対象車の方が高速、－：対象車の方が低速）
対象車速度 [km/h]	対象車速度 = 相対車速 + 計測車速度
車間距離 [m]	対象車の最後端から計測車の前端中央までの距離
車線変更時間 [s]	車線変更開始時から車線変更終了時までの時間

TTC: Time to collision (衝突余裕時間)

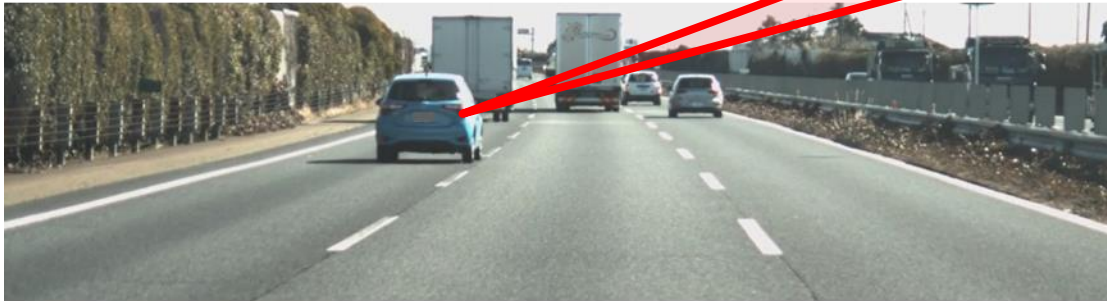
$$TTC[s] = \frac{\text{車間距離}_{[m]}}{\text{相対速度}_{[m/s]}}$$

計測状況

対象車



対象車の前輪のうち車線変更先の車線に最も近いものが、車線変更先の車線との境界線に到達した時点

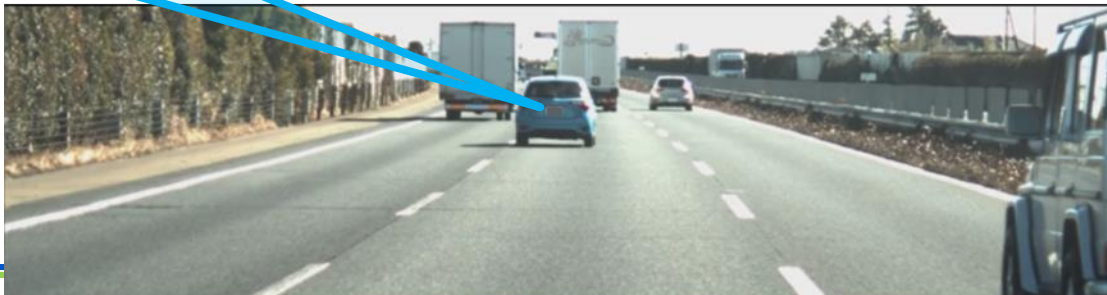


車線変更開始時

- ・車間距離
- ・相対速度
- ・TTC

車線変更時間

対象車の後輪のすべてが車線変更先の車線との境界線を越えた時点

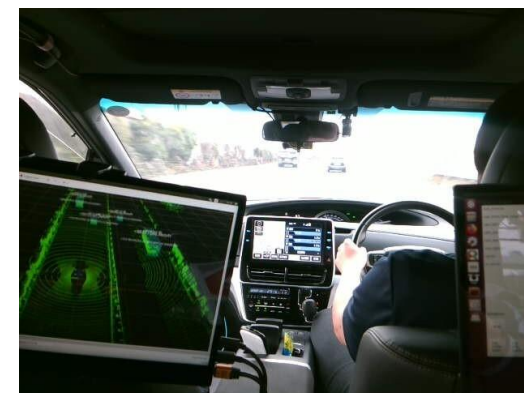


車線変更終了時

計測方法

【周辺車両挙動計測車両(計測車)の開発】

- 計測車速度
→ 計測車にDGPS受信機を搭載して計測
- 相対速度
→ 計測車にLiDARを搭載して計測
- 対象車速度
→ 上記で計測した計測車速度と相対速度の和
- 車間距離
→ 計測車にLiDARを搭載して計測
- 車線変更時間
→ 計測車にカメラを搭載して、対象車の車線変更開始時
及び車線変更終了時のタイミングを映像から抽出



計測車

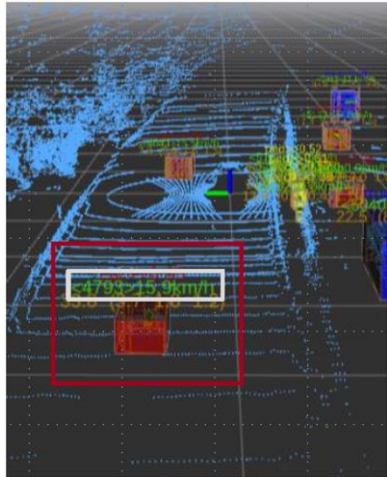
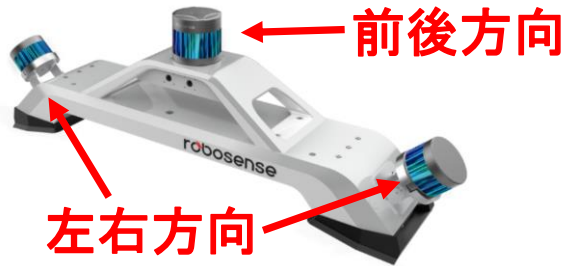
周辺車両挙動計測車両(計測車)

測距精度：
 $\pm 3\text{ cm}$

本研究で開発を実現

LiDAR (360°)

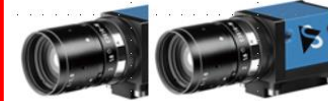
RoboSense P3ユニット
RS-RubyLite(中央), RS-LiDAR-16(左右)



ロガーPC(車内)
同期計測可能

カメラシステム(車内)

前後望遠



前後望遠カメラ TheImagingSource DFK33UX226
(望遠レンズVS Technology VS-2518VM)



周囲360° (4台)



前後広角カメラ SANWA CMS-V60BK



側方カメラ SANWA CMS-V43BK-3

前後方向

左右方向

D-GPS (車内)



Jenoba/
CPTTrans-SL2/A



GPSアンテナ



GPS/IMUユニット
OXTS RT2002 v2

測位精度：
 $\pm 1\text{ cm}$ 、
速度精度：
 $\pm 0.1\text{ km/h}$

4 . 計測結果と分析

高速道路での実測

- 計測場所
東北自動車道：蓮田SA一字都宮IC間
- 測定期間
15日間（1日4時間以上走行）

計測車は道路交通法を遵守し、意図的に交通流を乱すような走行は行わず自然な交通流の流れに沿って走行した。

【パターンI】

低速及び等速前方車両の車線変更パターン

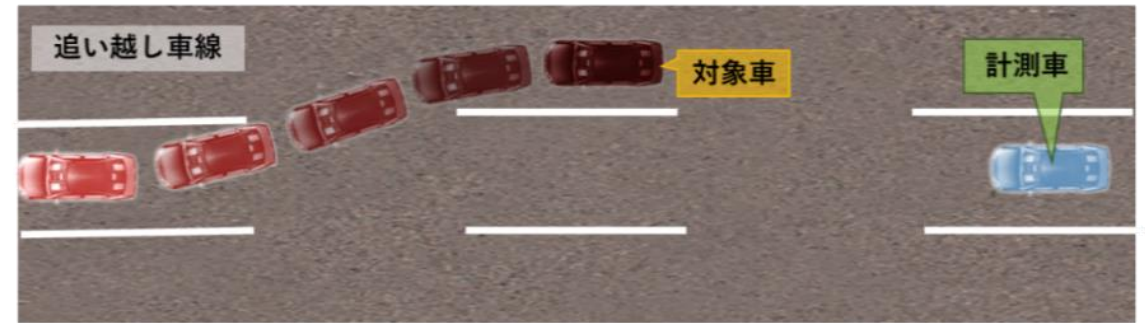
計測車が片側3車線のうちの中央の車線(右図中パターンI-a及びb)、もしくは右端の車線(以下、追い越し車線)(右図中パターンI-c)を走行中、計測車が走行する車線に隣接する車線の前方を走行している対象車が計測車の直前に車線変更してくるパターンのうち、車線変更開始時の対象車の速度が計測車の速度以下のもの

<特徴>

車線変更開始時の状態が保持されると追突される危険性が含まれる



パターンI-a



パターンI-b



パターンI-c

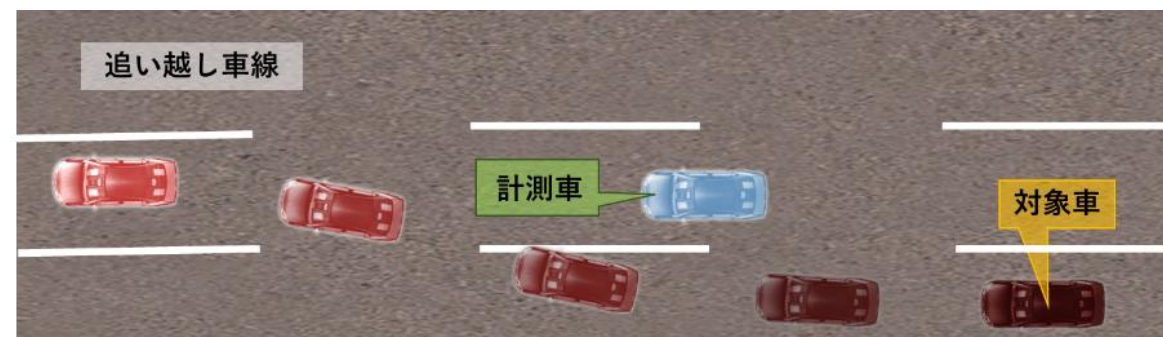
パターンIの車線変更に含まれる車線変更経路

【パターンII】 高速追越車両の車線変更パターン

計測車が中央の車線(右図中 パターンII-a及びb)を走行中、計測車が走行する車線に隣接する車線の後方を走行している対象車が計測車を追いついて計測車の直前に車線変更してくるパターンのうち、車線変更開始時の対象車の速度が計測車の速度よりも高いもの

<特徴>

車線変更開始時の状態が保持されると追突される危険性がない



パターンII-a



パターンII-b

パターンIIの車線変更に含まれる車線変更経路

計測車の速度毎の各パターンの計測ケース数

<パターンI>

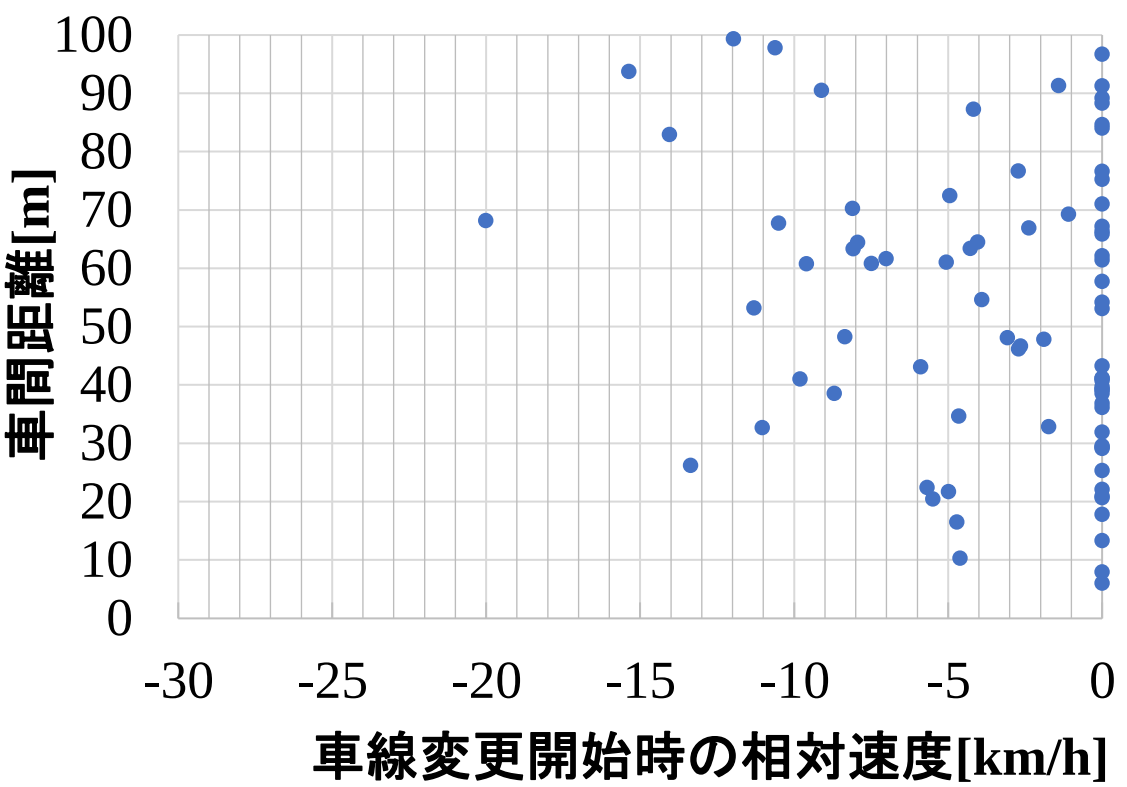
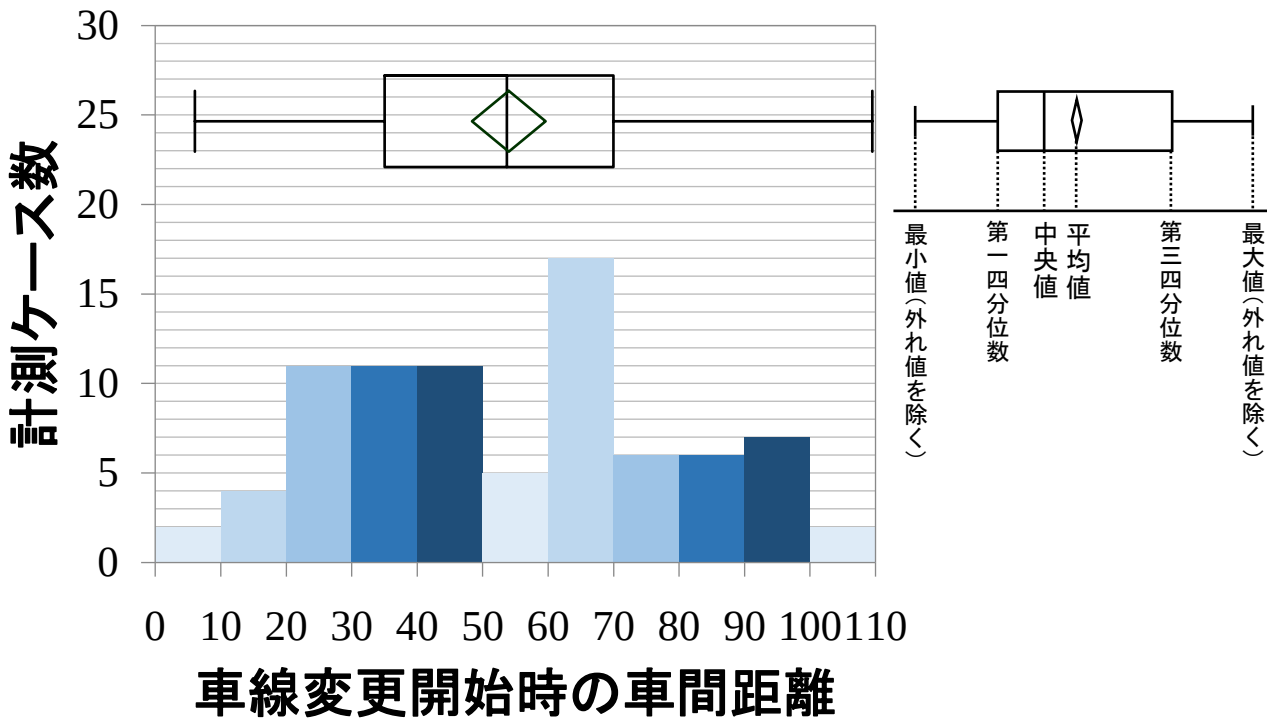
60[km/h]以上 70[km/h]未満	70[km/h]以上 80[km/h]未満	80[km/h]以上 90[km/h]未満	90[km/h]以上 100[km/h]未満	100[km/h]以上 110[km/h]未満	合計
4	34	28	13	3	82

<パターンII>

60[km/h]以上 70[km/h]未満	70[km/h]以上 80[km/h]未満	80[km/h]以上 90[km/h]未満	90[km/h]以上 100[km/h]未満	100[km/h]以上 110[km/h]未満	合計
6	1114	196	32	0	1348

事故や急ブレーキを踏むようなヒヤリハット事象は起きず、不安全なケースは含まれていない

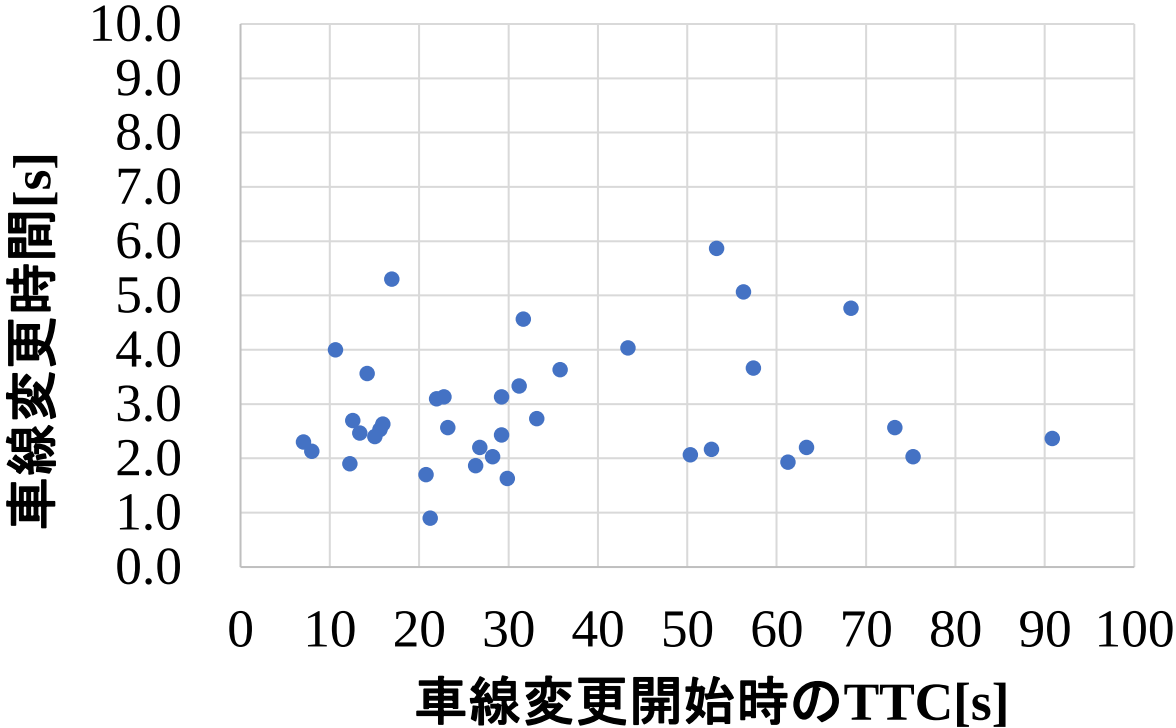
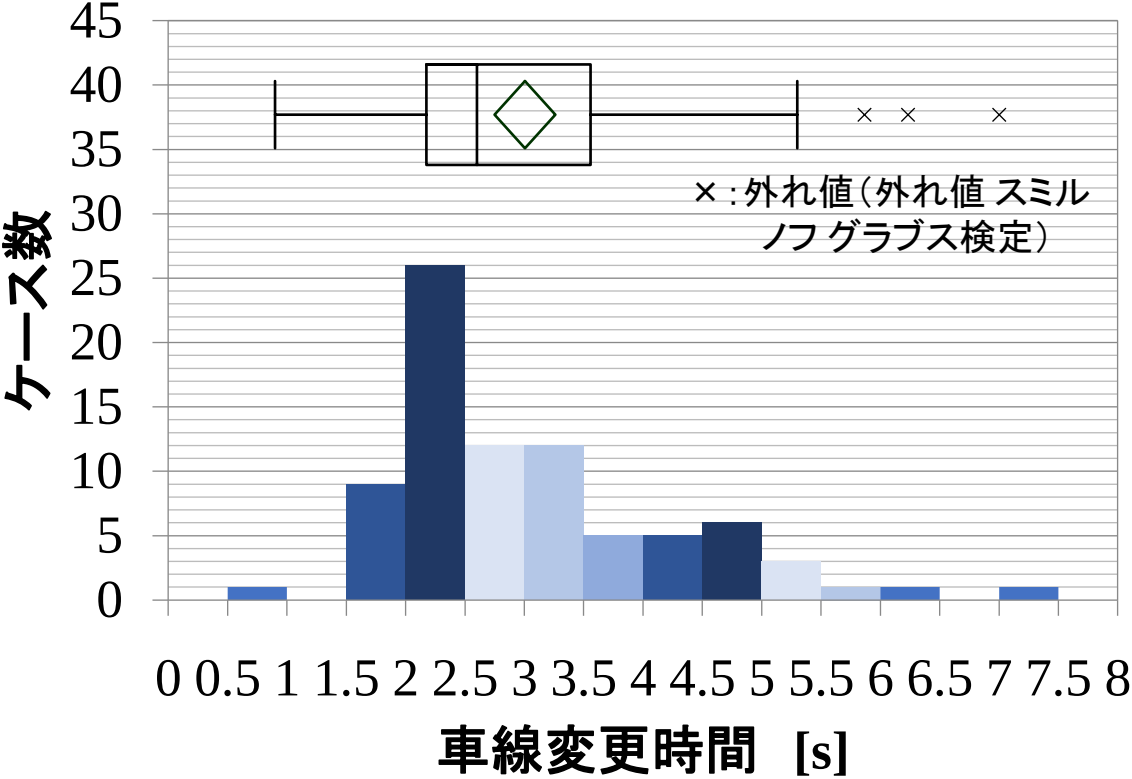
パターンI 車線変更開始時の車間距離



- ・車線変更開始時の車間距離の変動係数は0.47で、標準偏差が平均値の約5割と、ばらつきが大きかった。
- ・車線変更開始時の車間距離と同時点の相対速度との関係にはばらつきが大きく、有意な相関は見られなかった

n	平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	第1四分位数	中央値	第3四分位数
82	53.99	25.51	6.04	109.50	0.47	35.01	53.68	70.00

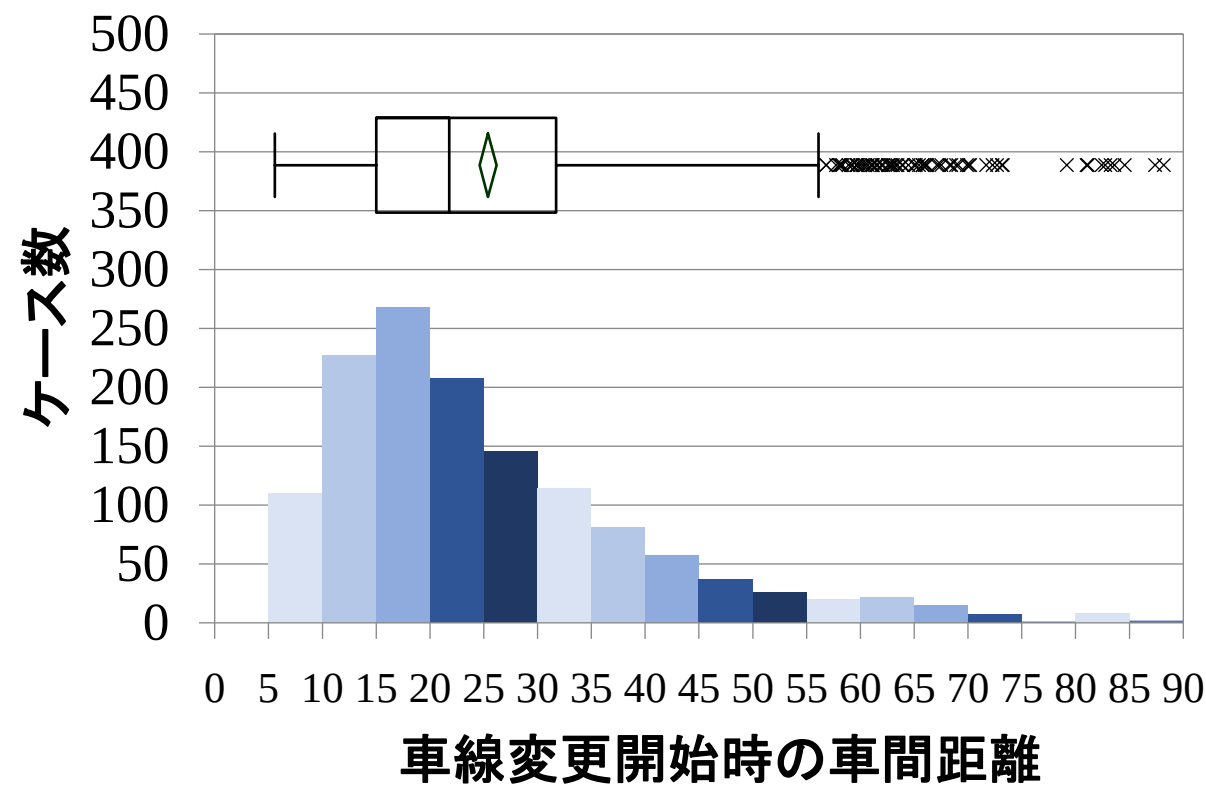
パターンI 車線変更時間



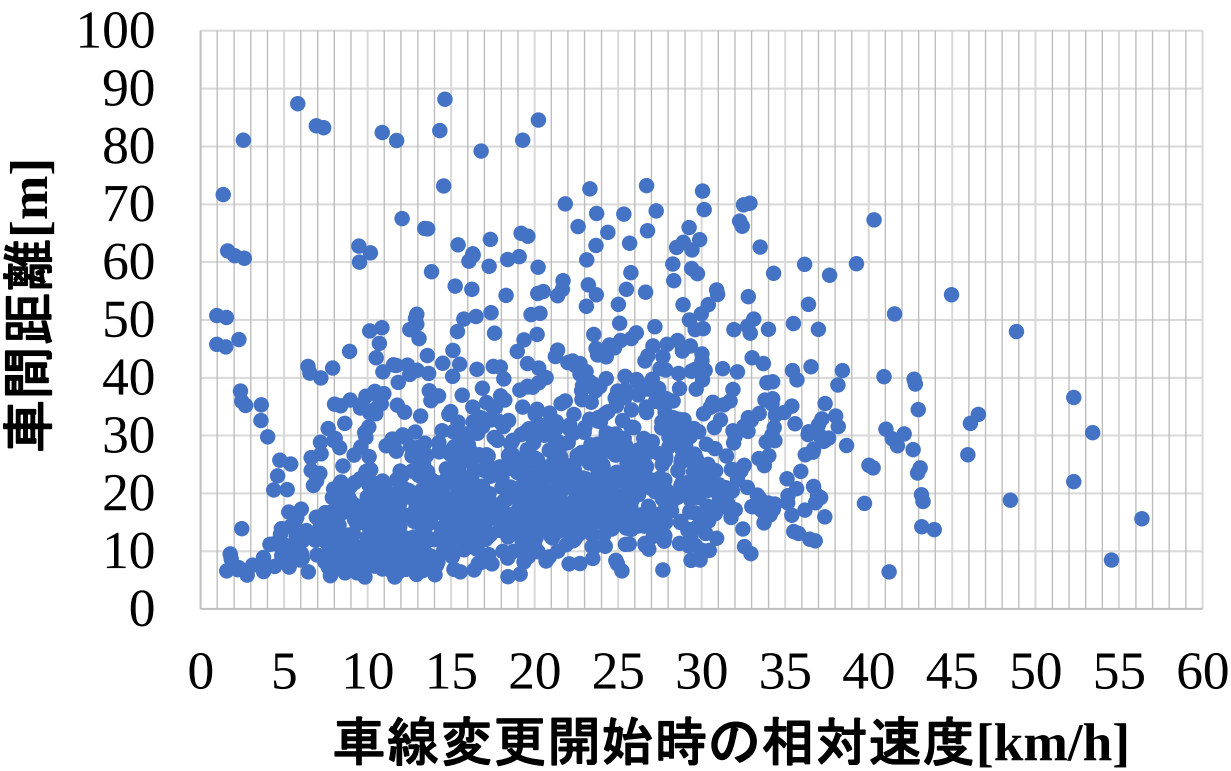
- ・車線変更時間の変動係数は0.39で、標準偏差が平均値の約4割と、ばらつきが大きかった。
- ・車線変更時間と車線変更開始時のTTCとの関係にはばらつきが大きく、有意な相関は見られなかった。

n	平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	第1四分位数	中央値	第3四分位数
82	3.01	1.17	0.90	7.00	0.39	2.18	2.60	3.56

パターンII 車線変更開始時の車間距離

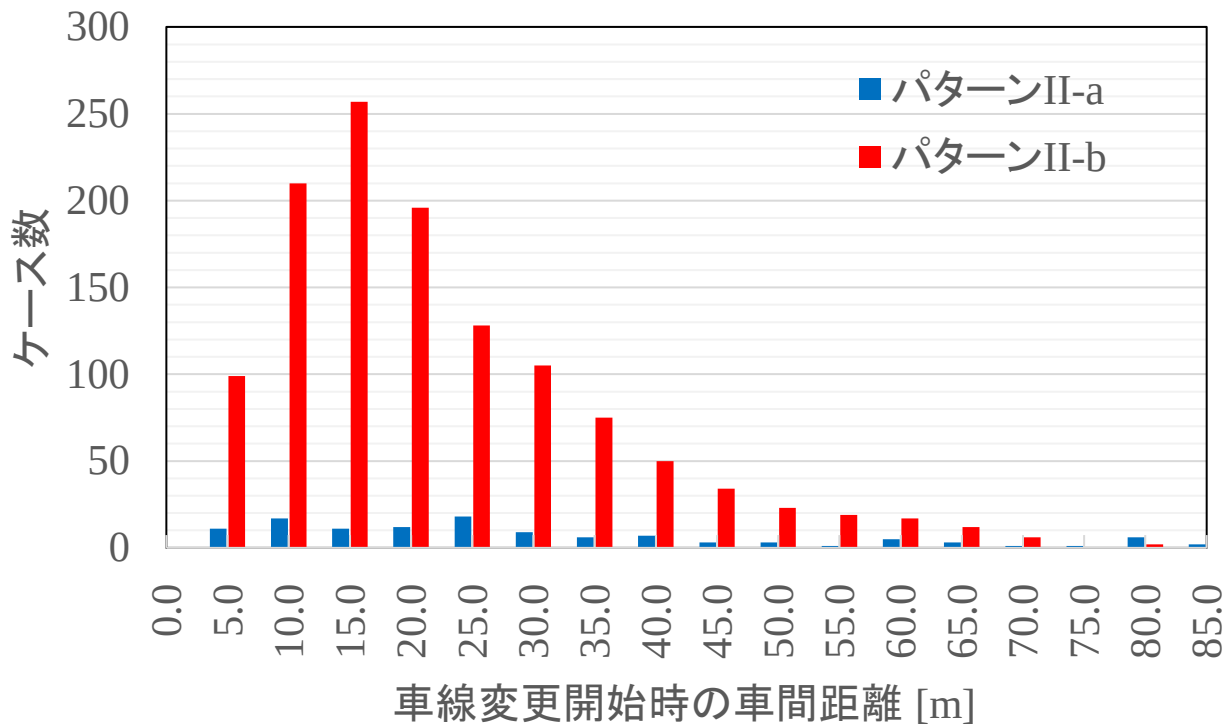


n	平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	第1四分位数	中央値	第3四分位数
1349	25.40	14.66	5.58	88.20	0.58	15.01	21.78	31.73

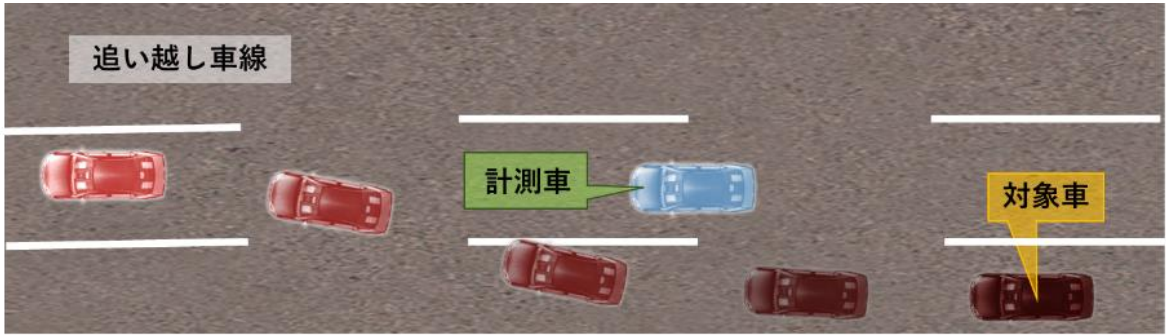


- ・車線変更開始時の車間距離の変動係数は0.58で、標準偏差が平均値の5割を超えており、ばらつきが大きかった。
- ・車線変更開始時の相対速度が高くなるにつれて車線変更開始時の車間距離が増加する傾向は見られるが、両者の関係にはばらつきが大きく、強い相関は見られなかった。

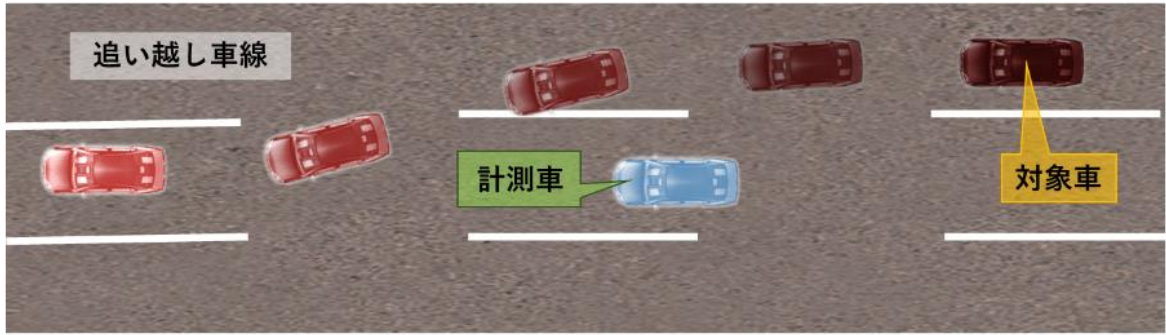
パターンII 車線変更開始時の車間距離(II-aとII-bの比較)



パターン	n	平均	標準偏差
II-a	116	32.2	21.7
II-b	1233	24.8	13.7



パターンII-a

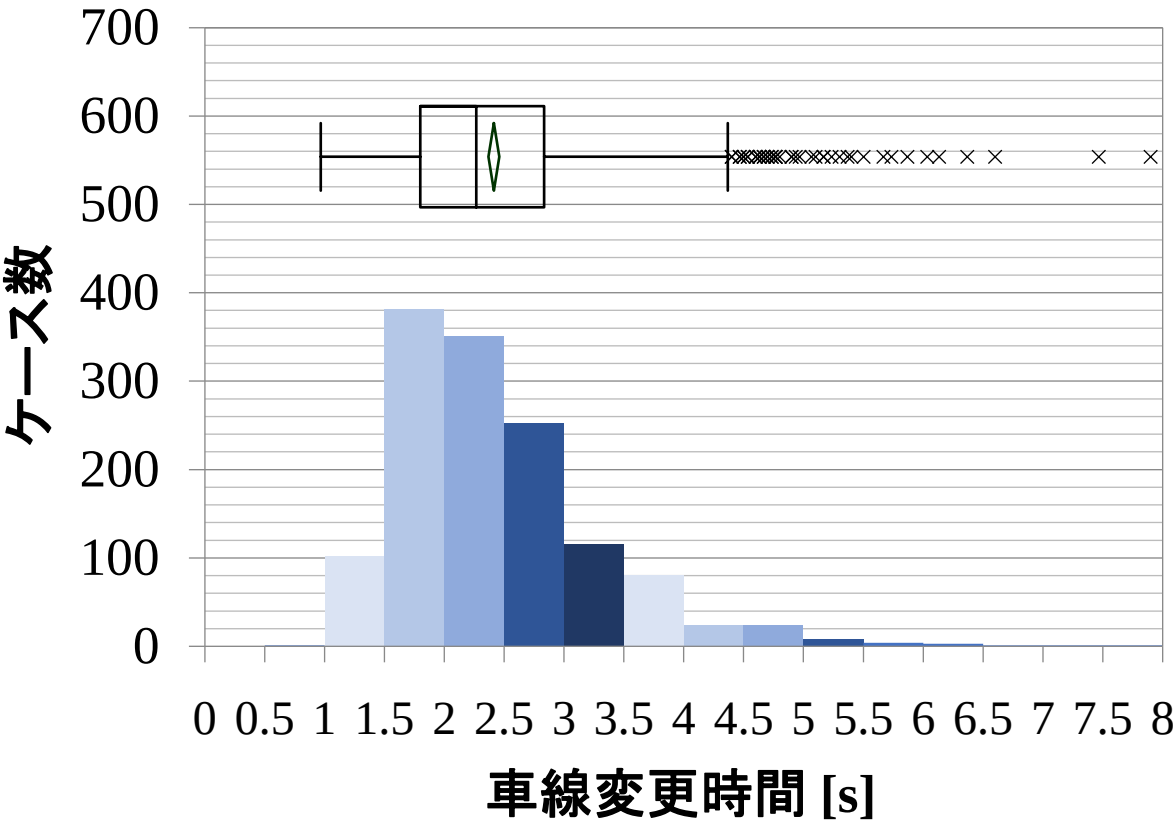


パターンII-b

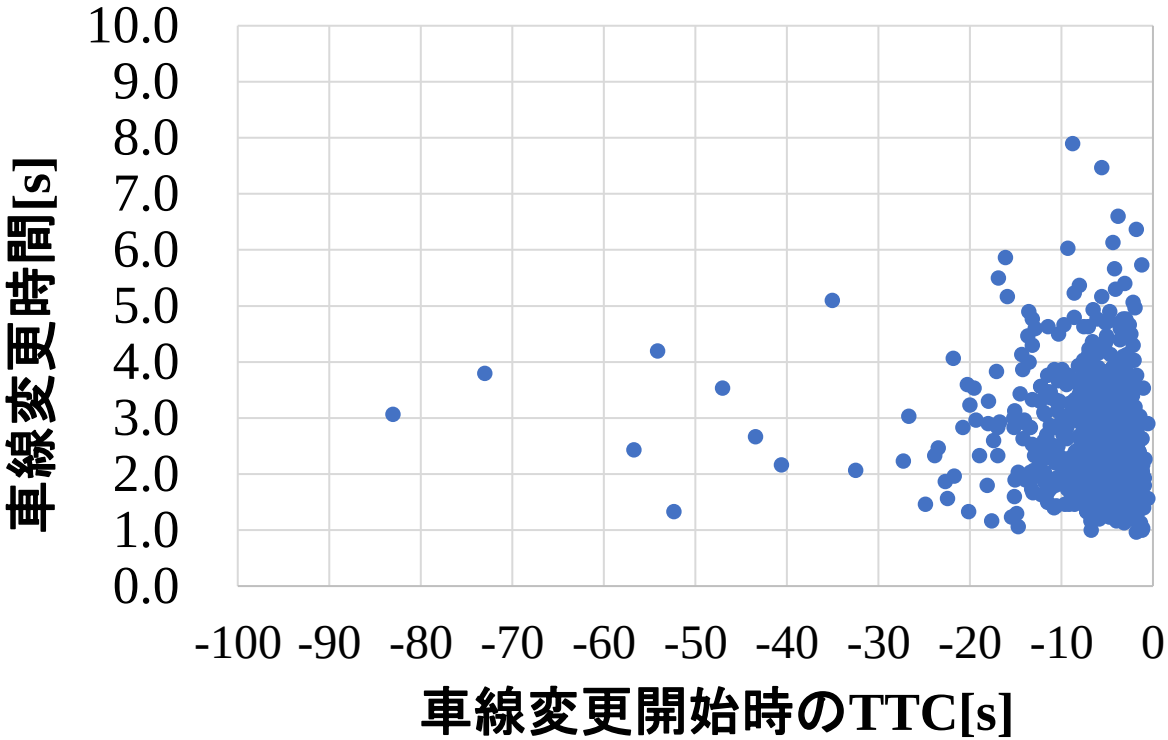
パターンIIの車線変更

パターンII-aとII-bの車線変更開始時の車間距離の母平均の差の検定(片側検定)を行ったところ、有意水準5%でパターンII-aの車線変更開始時の車間距離はパターンII-bの車線変更開始時の車間距離よりも有意に大きかった。

パターンII 車線変更時間

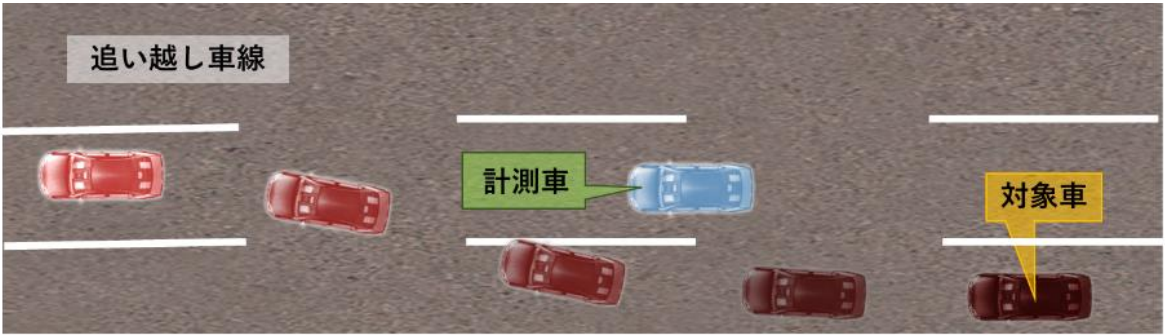
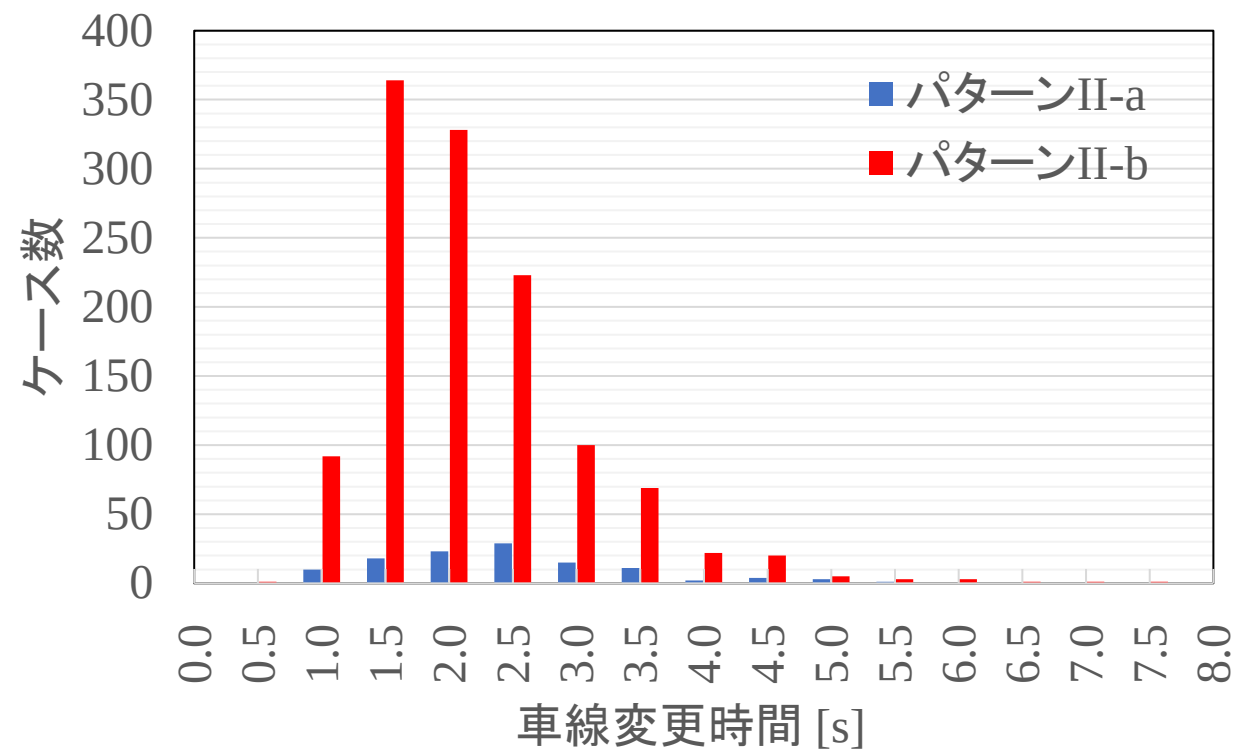


n	平均	標準偏差	最小値	最大値	変動係数	第1四分位数	中央値	第3四分位数
1349	2.41	0.85	0.97	7.90	0.35	1.80	2.27	2.83

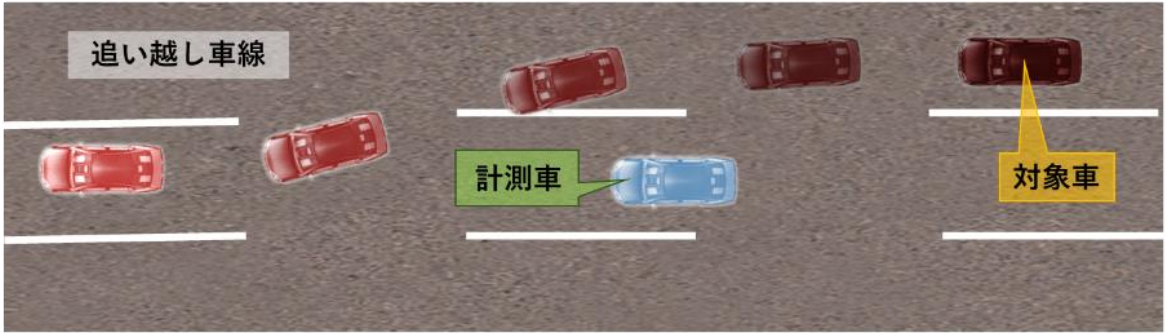


- ・車線変更時間の変動係数は0.35で、標準偏差が平均値の3割を超えており、ばらつきが大きかった。
- ・車線変更時間と車線変更開始時のTTCとの関係にはばらつきが大きく、強い相関は見られなかった。

パターンII 車線変更時間(II-aとII-bの比較)



パターンII-a



パターンII-b

パターンIIの車線変更

パターンII-aとII-bの車線変更時間の母平均の差の検定(片側検定)を行ったところ、有意水準5%でパターンII-aの車線変更時間はパターンII-bよりも有意に長かった。

パターン	n	平均	標準偏差
II-a	116	2.70	0.94
II-b	1233	2.39	0.84

4. まとめ(その1)

データ計測の結果について

1) 車線変更開始時の車間距離と後続車との相対速度との関係

- パターンIにおいては有意な相関は見られなかった。
- パターンIIにおいては相対速度が大きくなると車線変更開始時の車間距離が大きくなる傾向が若干見られるが、強い相関は見られなかった。

2) 車線変更時間と車線変更開始時のTTCとの関係

- パターンIにおいては有意な相関は見られなかった。
- パターンIIにおいては、TTCが短くなると車線変更時間も短くなる傾向が若干見られるが、強い相関は見られなかった。

4. まとめ(その2)

調査全体について

- ・車線変更時の車両挙動の計測項目

車線変更時の車両挙動は、車線変更開始時（前輪が車線の境界線を踏んだ時点）及び車線変更開始時（後輪のすべてが完全に境界線を通過した時点）を基準にすることにより、その特徴を統一的かつ定量的に計測できることが確認できた。

- ・周辺車両挙動計測車両

車線変更時の車両挙動を、当研究所で開発した周辺車両挙動計測車両を用いることで、今回設定した計測項目（計測車速度、相対速度、対象車速度、車間距離及び車線変更時間）を計測可能であることが確認できた。

5. 今後の課題

1) パターンI及びIIの計測結果のばらつきの原因について

- ① 後続車との追突の危険性に対するドライバの判断のばらつき。
- ② 後続車以外の車両との衝突回避も考慮している影響。
- ③ 後続車のドライバに追突回避の車両制御を期待している影響。



運転時の主観評価が可能なドライビングシミュレータによる実験等を行い、運転行動の理由を明らかにする。

- 2) 一般ドライバの計測データの中から統計的にC&Cドライバの運転行動を特定していく手法の開発。
- 3) 本調査で分析した相対速度及びTTCといった一般的な指標以外の指標 (iTTC (TTCの逆数) 等) と車線変更開始時の車間距離及び車線変更時間との相関性の検証。
- 4) 継続的なデータ収集。