

神奈川工科大学
工学教育研究推進機構

先進自動車研究所

2020 年度
研究報告

運転支援機能に対する車両評価指標構築の研究
—消費者視点からの自動運転／運転支援の定量評価法に関する研究—

先進自動車研究所 井上秀雄
先進自動車研究所 上原健一
トヨタテクニカルディベロップメント株式会社

目次

1. 研究の目的	1
1.1. 背景と目的	1
1.2. 人間～機械運転の遷移状態	2
2. 評価車両	3
2.1. 独A車	4
2.1.1. 基本情報	4
2.1.2. AD 作動条件	4
2.2. 独B車	5
2.2.1. 基本情報	5
2.2.2. AD 作動条件	5
2.3. 米C車	6
2.3.1. 基本情報	6
2.3.2. AD 作動条件	6
2.4. 日D車	7
2.4.1. 基本情報	7
2.4.2. AD 作動条件	7
2.5. 日E車	8
2.5.1. 基本情報	8
2.5.2. AD 作動条件	8
3. 評価コース	9
3.1. 自動運転評価コース	9
3.2. 手動運転コース	12
4. 評価ドライバ	14
5. 計測方法	15
5.1. 計測項目	15
5.2. 計測構成	16
5.3. 計測機器	18
5.3.1. ロガー	18
5.3.1. 高精度 IMU	19
5.3.2. 操舵力計	20
5.3.3. 前方同期カメラ	21
5.3.4. WEB カメラ	21
5.3.5. アイマークレコーダー	22
5.3.6. スマートフォン	22

5.4.	計測～解析の流れ	23
5.5.	車線内の位置の計測方法	25
5.5.1.	白線認識アルゴリズム	26
5.6.	走行軌跡の計測方法	34
5.6.1.	高精度 IMU の構成	34
5.6.2.	GoogleEatrh 上へのプロット	35
6.	評価方法	37
6.1.	主観評価	37
6.2.	LKA 安定性評価	39
6.3.	オーバーライド時の車両挙動	40
6.3.1.	オーバーライド時の操舵トルクと横変位量	40
6.3.1.	操舵仕事率	41
6.4.	LDP 収束軌跡	42
6.5.	コーナートレース維持性能評価	43
6.6.	前方注視頻度と HMI の適切性	48
7.	評価結果	49
7.1.	主観評価	49
7.1.1.	S/W 操作系	49
7.1.2.	LKA/LDP	52
7.1.3.	車両基本性能	56
7.1.4.	総合感想	59
7.2.	LKA 安定性評価	62
7.2.1.	総評	62
7.2.2.	独A車	63
7.2.3.	独B車	68
7.2.4.	米C車	69
7.2.5.	日D車	70
7.2.6.	日E車	71
7.3.	オーバーライド時の車両挙動	72
7.3.1.	オーバーライド時の操舵トルクと横変位量	72
7.3.2.	オーバーライド時の操舵仕事率	75
7.4.	LDP 収束軌跡・収束時間	78
7.4.1.	総評	78
7.4.2.	独A車	79
7.4.3.	独B車	81
7.4.4.	米C車	83

7.4.5.	日D車	85
7.4.6.	日E車	86
7.5.	コーナートレース維持性能評価	91
7.6.	前方注視頻度とHMIの適切性（暫定評価）	97
7.6.1.	総評	97
7.6.2.	独A車	98
7.6.3.	独B車	103
7.6.4.	米C車	108
7.6.5.	日D車	113
7.6.6.	日E車	118
7.7.	主観評価からの定量目標値の提案	123
7.7.1.	LKA直進安定性	123
7.7.2.	LDP収束時間	124
7.7.3.	オーバーライド操舵トルク	125
7.7.4.	オーバーライド操舵仕事量	126
8.	まとめ	127
	参考文献	128

1. 研究の目的

1.1. 背景と目的

近年の運転支援システム(ADAS; Advanced Driver Assistance System)では, Lane Keeping Assist 等(以下 LKA)や Adaptive Cruise Control(以下 ACC)を組み合わせ一定の限られた条件で自動運転する機能を持つ車が実用化されており,これまでの研究では ADAS 搭載車両において Lane Departure Prevention(以下 LDP)を加えたシステムの性能限界, 本来性能, ヒューマンインターフェース等を評価し, ドライバ運転負荷改善の方向性を示した.

本研究では, 最新の AD/ADAS 搭載車(市販車)5 車種を用いて消費者視点からの主観的な安全性, 安心感に関する評価方法と定量評価指標を確立し, 画像認識と車両挙動を併せた計測技術により, 人間~機械運転の遷移領域における安心感を定量評価指標で示すことを目的とした.

1.2. 人間～機械運転の遷移状態

今回、高速道路での通常走行におけるコーストレース等の自動化性能評価を対象とした、自動運転の国際基準法規で議論されている運行設計領域 ODD(Operational Design Domain)にも示されている様に自動化システムには限界があり、正常に機能する走行条件を規定しようとする動きがある。

本研究では、この本来性能に加え、消費者視点を考慮し、性能限界でのドライバへの受渡し／スイッチ操作／オーバーライド時等の人間～機械運転の遷移状態の安心感にも評価対象を拡張した。

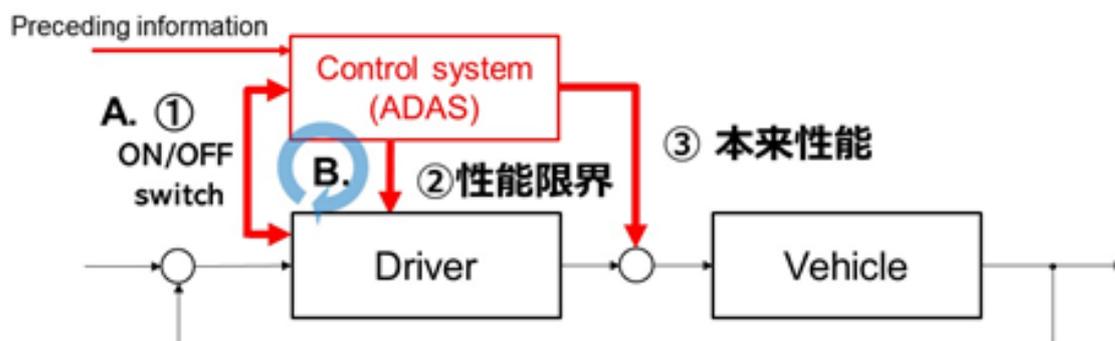


Fig. 1-1 人間～機械運転の遷移状態

2. 評価車両

本研究では、以下の市販5車両を評価対象とした。

- 独A車
- 独B車
- 米C車
- 日D車
- 日E車

2.1. 独A車

2.1.1. 基本情報

搭載機能は以下の通り.

- ・ アクティブディスタンスアシスト・ディストロニック (自動再発進機能付)
- ・ アクティブステアリングアシスト
- ・ アクティブブレーンチェンジングアシスト
- ・ アクティブブレーキアシスト (歩行者/飛び出し検知機能付)

主要諸元を以下に示す.

Table 2-1 独A車主要諸元

項目	諸元
総排気量	1,496 cc
全長	4,705 mm
全幅	1,810 mm
全高	1,430 mm
エンジン	DOHC 直列 4 気筒ターボチャージャー付
トランスミッション	電子制御 9 速 A/T
最高出力	135 kW (184 PS)
燃費	13.6 km/l
ステアリング	右

2.1.2. AD 作動条件

60km/h 以上で走行時.

2.2. 独B車

2.2.1. 基本情報

HUD 搭載車.

搭載機能は以下の通り.

- ・ アダプティブクルーズコントロール
- ・ フロントクロスストラフィックアシスト
- ・ トラフィックジャムアシスト
- ・ アダプティブドライブアシスト
- ・ サイドアシスト
- ・ パーキングシステム

主要諸元を以下に示す.

Table 2-2 独B車主要諸元

項目	諸元
総排気量	2,994 cc
全長	5,170 mm
全幅	1,945 mm
全高	1,470 mm
エンジン	V 型 6 気筒 DOHC インタークーラー付ターボ (1 気筒=4 バルブ)
トランスミッション	電子制御 8 速 AT トランスミッション (ティプトロニック)
最高出力	250 kW (340 PS)
燃費	10.5 km/l
ステアリング	右

2.2.2. AD 作動条件

30km/h 以上で走行時.

2.3. 米C車

2.3.1. 基本情報

搭載機能は以下の通り.

- トラフィックアウェア クルーズコントロール
- オートステアリング
- 自動車線変更
- オートパーキング
- サモン (車両外から車両を呼び寄せる)
- スマート サモン
- オートパイロット ナビ走行
- 赤信号と一時停止標識の警告
- 信号機と一時停止標識のコントロール

同じ車線内で操舵, 加速, そしてブレーキを自動的に行う. また, オートレーンチェンジ機能も有する.

主要諸元を以下に示す.

Table 2-3 米C車主要諸元

項目	諸元
総排気量	-
全長	4,694 mm
全幅	2,088 mm
全高	1,443 mm
モーター	フロントモーター: AC インダクションモーター, 水冷式, 可変周波数ドライブ. リアモーター: AC 永久磁石同期モーター, 水冷式, 可変周波数ドライブ.
トランスミッション	単速固定ギア
最高出力	324 kW
燃費	-
ステアリング	右

2.3.2. AD 作動条件

30km/h 以上で走行時.

2.4. 日D車

2.4.1. 基本情報

HUD 搭載車.

搭載機能は以下の通り.

- ・ インテリジェント FCW (前方衝突予測警報)
- ・ インテリジェント エマージェンシーブレーキ
- ・ インテリジェント ペダル (車間距離維持支援システム)
- ・ インテリジェント クルーズコントロール

主要諸元を以下に示す.

Table 2-4 日D車主要諸元

項目	諸元
総排気量	3,498 cc
全長	4,810 mm
全幅	1,820 mm
全高	1,440 mm
エンジン/モーター	HYBRID
トランスミッション	7M-ATx
最高出力	225 kW (306 PS)
燃費	14.4 km/l
ステアリング	右

2.4.2. AD 作動条件

30km/h 以上で走行且つ白線を認識したとき.

2.5. 日E車

2.5.1. 基本情報

搭載機能は以下の通り.

- ・ レーントレーニングアシスト
- ・ レーダークルーズコントロール
- ・ レーンディパーチャーアラート
- ・ 車線逸脱警報機能
- ・ ブラインドスポットモニター

主要諸元を以下に示す.

Table 2-5 日E車主要諸元

項目	諸元
総排気量	2,487 cc
全長	4,600 mm
全幅	1,855 mm
全高	1,685 mm
エンジン/モーター	直列4気筒 HYBRID
トランスミッション	電気式無段変速機
最高出力	131 kW (178 PS)
燃費	20.6 km/l
ステアリング	右

2.5.2. AD 作動条件

30km/h 以上で走行且つ白線を認識したとき.

3. 評価コース

3.1. 自動運転評価コース

自動運転評価コースとして、東名高速道路 大井松田料金所～圏央道 県央厚木料金所間（上り）を、評価着眼点毎に7区間に分割した。

Table 3-1 自動運転評価区間

#	名称	説明
①	コーナートレース性能評価区間	ランプウェイを利用して制御限界 R や速度を評価する。
②	高速コーナートレース性能評価区間	制御限界 R や速度を評価する。
③	LKA オーバーライド特性評価区間	LKA 作動時において、レーン内で位置を移動した場合の操舵力を計測する(CAN から操舵力信号が取得できる日E車の場合のみ)。 LDP の車線中央への収束軌跡を計測する。
④	LKA 安定性評価区間	直進時の LKA の安定性を評価する。 LKA を作動した状態で、あまり操作せずに制御を機会に任せて、90～100km 程度でできれば同一車線を走行する。
⑤	コーナートレース性能評価区間	ランプウェイを利用して制御限界 R や速度を評価する。
⑥	高速コーナートレース性能評価区間	制御限界 R や速度を評価する。
⑦	コーナートレース性能評価区間	ランプウェイを利用して制御限界 R や速度を評価する。

Table 3-2 自動運転評価区間座標

区間	始点			終点		
	地点	緯度	経度	地点	緯度	経度
①	大井松田料金所	35.3436856	139.1515666	東名本線合流	35.341993	139.158668
②	東名本線合流	35.341993	139.158668	秦野中井 IC	35.3512138	139.2315235
③	秦野中井 IC	35.3512138	139.2315235	伊勢原 JCT	35.4106262	139.3049207
④	伊勢原 JCT	35.4106262	139.3049207	海老名 JCT まで 1km の標示	35.4248519	139.3444437
⑤	海老名 JCT まで 1km の標示	35.4248519	139.3444437	圏央道本線合流	35.4290986	139.3768022
⑥	圏央道本線合流	35.4290986	139.3768022	圏央厚木出口分岐	35.4778905	139.3734357
⑦	圏央厚木出口分岐	35.4778905	139.3734357	圏央厚木料金所	35.4790568	139.3718478

上り自動運転評価区間



Fig. 3-1 自動運転評価コース

3.2. 手動運転コース

手動運転コースとして、圏央道 圏央厚木料金所～東名高速道路 大井松田料金所（下り）を、自動運転評価評価区間に対応させる形で7区間に分割した。

Table 3-3 手動運転区間

#	対応する自動運転評価区間
⑧	⑦コーナートレース性能評価区間
⑨	⑥高速コーナートレース性能評価区間
⑩	⑤コーナートレース性能評価区間
⑪	④LKA 安定性評価区間
⑫	③LKA オーバーライド特性評価区間
⑬	②高速コーナートレース性能評価区間
⑭	①コーナートレース性能評価区間

Table 3-4 手動運転区間座標

区間	始点			終点		
	地点	緯度	経度	地点	緯度	経度
⑧	圏央厚木料金所	35.4786415	139.3718276	圏央道本線合流	35.4751979	139.3748352
⑨	圏央道本線合流	35.4751979	139.3748352	海老名 JCT 分岐	35.4282676	139.3767994
⑩	海老名 JCT 分岐	35.4282676	139.3767994	東名本線合流後 1 km 地点	35.4247806	139.3448437
⑪	東名本線合流後 1 km 地点	35.4247806	139.3448437	伊勢原 JCT	35.4130879	139.3163794
⑫	伊勢原 JCT	35.4130879	139.3163794	秦野中井 IC	35.3533318	139.2372059
⑬	秦野中井 IC	35.3533318	139.2372059	大井松田出口分岐	35.3413676	139.1593266
⑭	大井松田出口分岐	35.3413676	139.1593266	大井松田料金所	35.3438842	139.1515514

下り手動運転区間



Fig. 3-2 手動運転コース

4. 評価ドライバー

評価ドライバーは以下の5名である。

Table 4-1 評価ドライバー

ドライバー	性別	年齢	運転歴	公道評価	テストコース
Driver①	男性	60代	30年以上	○	○
Driver②	男性	60代	30年以上	○	
Driver③	男性	30代	約20年	○	○
Driver④	男性	20代	10年未満	○	
Driver⑤	女性	20代	10年未満	○	

5. 計測方法

5.1. 計測項目

計測項目を以下に示す。

Table 5-1 計測項目

機器	計測項目	独A車	独B車	米C車	日D車	日E車
高精度 IMU	絶対座標 (緯度, 経度, 高度)	○	○	○	○	○
	姿勢 (Roll, Pitch, Yaw)	○	○	○	○	○
	速度(3軸)	○	○	○	○	○
	加速度(3軸)	○	○	○	○	○
操舵力計 (テストコースのみ)	操舵力	○		○		
前方同期カメラ	前方映像(センサーデータと同期)	○	○	○	○	○
WEBカメラ	車内映像	○	○	○	○	○
アイマークレコーダー	視野映像	○	○	○	○	○
	視線位置	○	○	○	○	○
スマートフォン	車内映像・音声	○	○	○	○	○

5.2. 計測構成

計測構成図を次ページに示す.

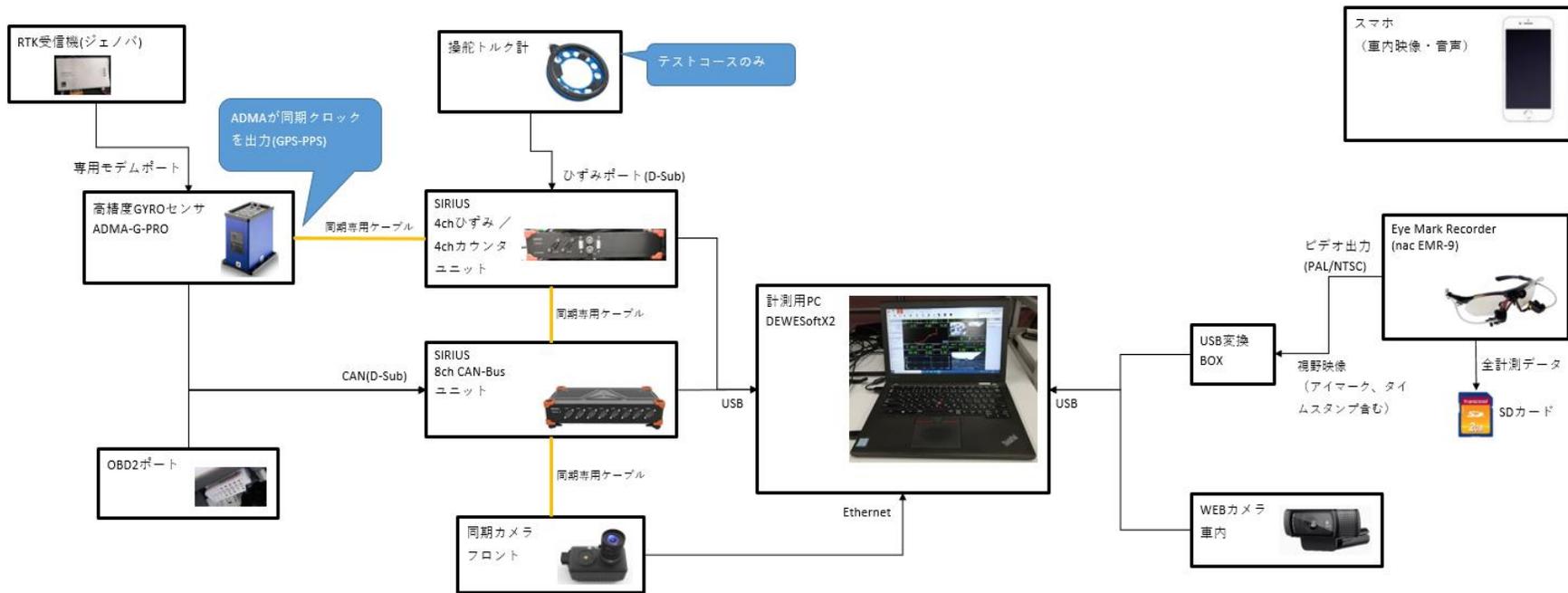


Fig. 5-1 計測構成図

5.3. 計測機器

5.3.1. ロガー

5.3.1.1. SIRIUS 8chCAN-BUS ユニット

CAN データの計測には、DEWESoft 社製「SIRIUS 8chCAN-BUS ユニット」を使用した。



Fig. 5-2 SIRIUS 8chCAN-BUS ユニット

5.3.1.2. SIRIUS 4ch ひずみ, 2ch カウンタユニット

アナログ信号の計測には、DEWESoft 社製「SIRIUS 4ch ひずみ, 2ch カウンタユニット」を使用した。ひずみポートに操舵力計を接続して使用した。また、高精度 IMU が払い出す GPS-PPS 信号を受けて当ユニットで計測の同期が行われる。



Fig. 5-3 SIRIUS 4ch ひずみ, 2ch カウンタユニット

5.3.1. 高精度 IMU

高精度 IMU として光ファイバジャイロの ADMA-G-PRO+RTK2 を使用した。GPS を内蔵しており，外部 RTK 受信機と接続することで 2cm の測位精度が実現可能である。

出力は CAN 経由で行われる。また，GPS-PPS 信号による同期クロックの払い出しも行う。



Fig. 5-4 ADMA-G-PRO+RTK2



Fig. 5-5 RTK 受信機

5.3.2. 操舵力計

東京測器研究所製操舵力計 HLA-50A をベースに TTDC 様が独自カスタマイズした操舵力計をテストコースのみで使用した。



Fig. 5-6 操舵力計

5.3.3. 前方同期カメラ

前方面像の計測には，DEWESoft 社製の同期カメラ「DS-CAM-600」（カラー版）を使用した。ロガーと専用同期ケーブルで接続することで，ロガーの他の計測項目と同期して画像を記録することができる。



Fig. 5-7 DS-CAM-600

5.3.4. WEB カメラ

車内映像の記録用に Logicool 社製「C922N PRO STREAM WEBCAM」を使用した。



Fig. 5-8 C922N PRO STREAM WEBCAM

5.3.5. アイマークレコーダー

ドライバの視線計測用に nac 社製アイマークレコーダー「EMR-9」を使用した。



Fig. 5-9 EMR-9

5.3.6. スマートフォン

車内映像ならびに音声の記録用に Apple 社製「iPod touch5」を使用した。



Fig. 5-10 iPod touch5

5.4. 計測～解析の流れ

下図に計測～解析の作業フローを示す.

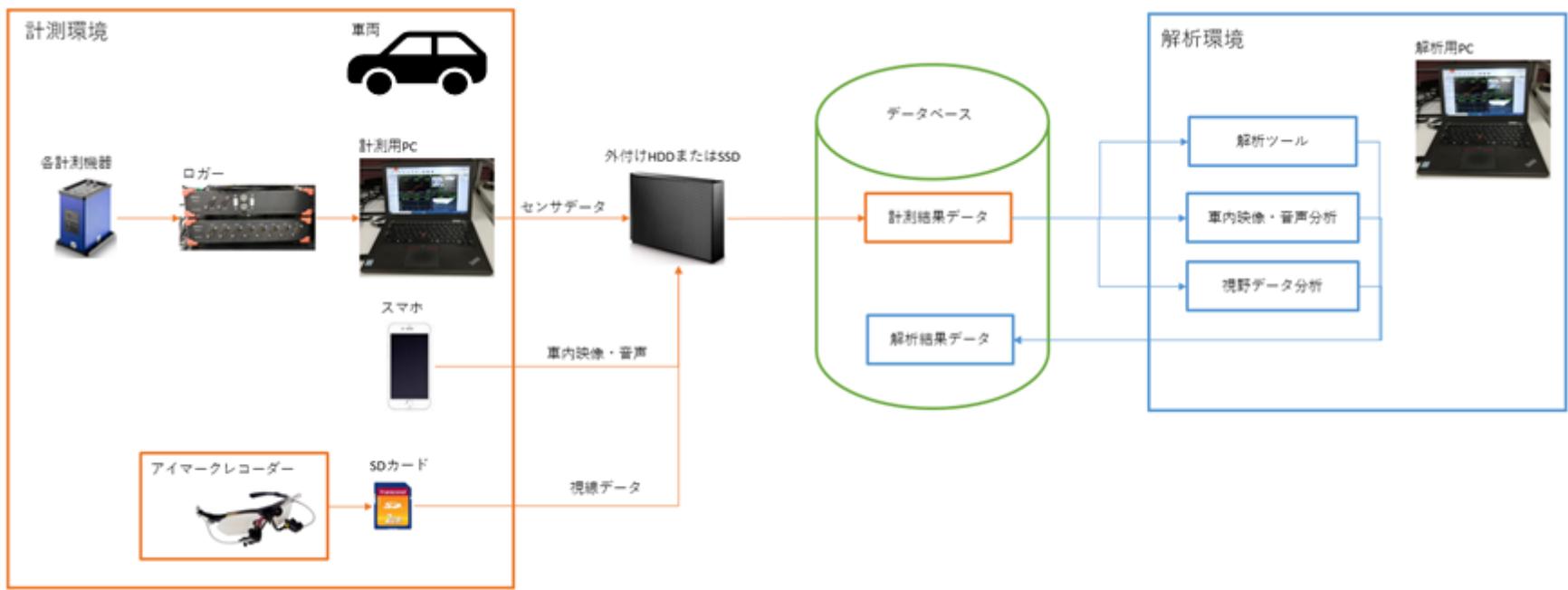


Fig. 5-11 計測～解析作業フロー

5.5. 車線内の位置の計測方法

前方同期カメラで計測した画像を白線認識することで、車線内の位置を算出した。



Fig. 5-12 車線内の位置

5.5.1. 白線認識アルゴリズム

白線認識アルゴリズムを処理フローチャートで以下に示す.

5.5.1.1. 白線認識メイン処理

白線認識メイン処理のフローを以下に示す.

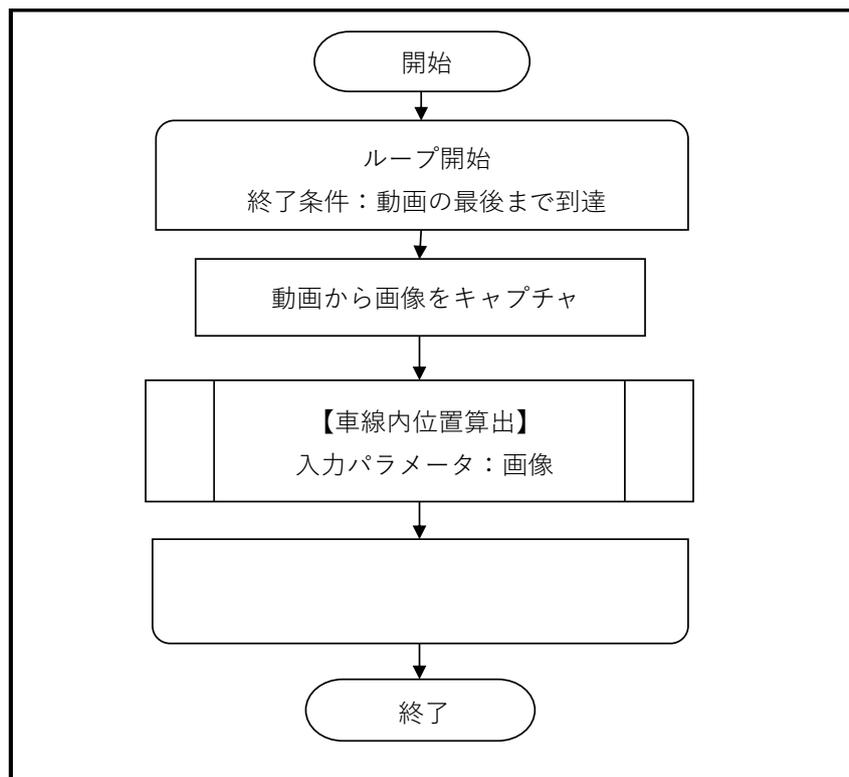


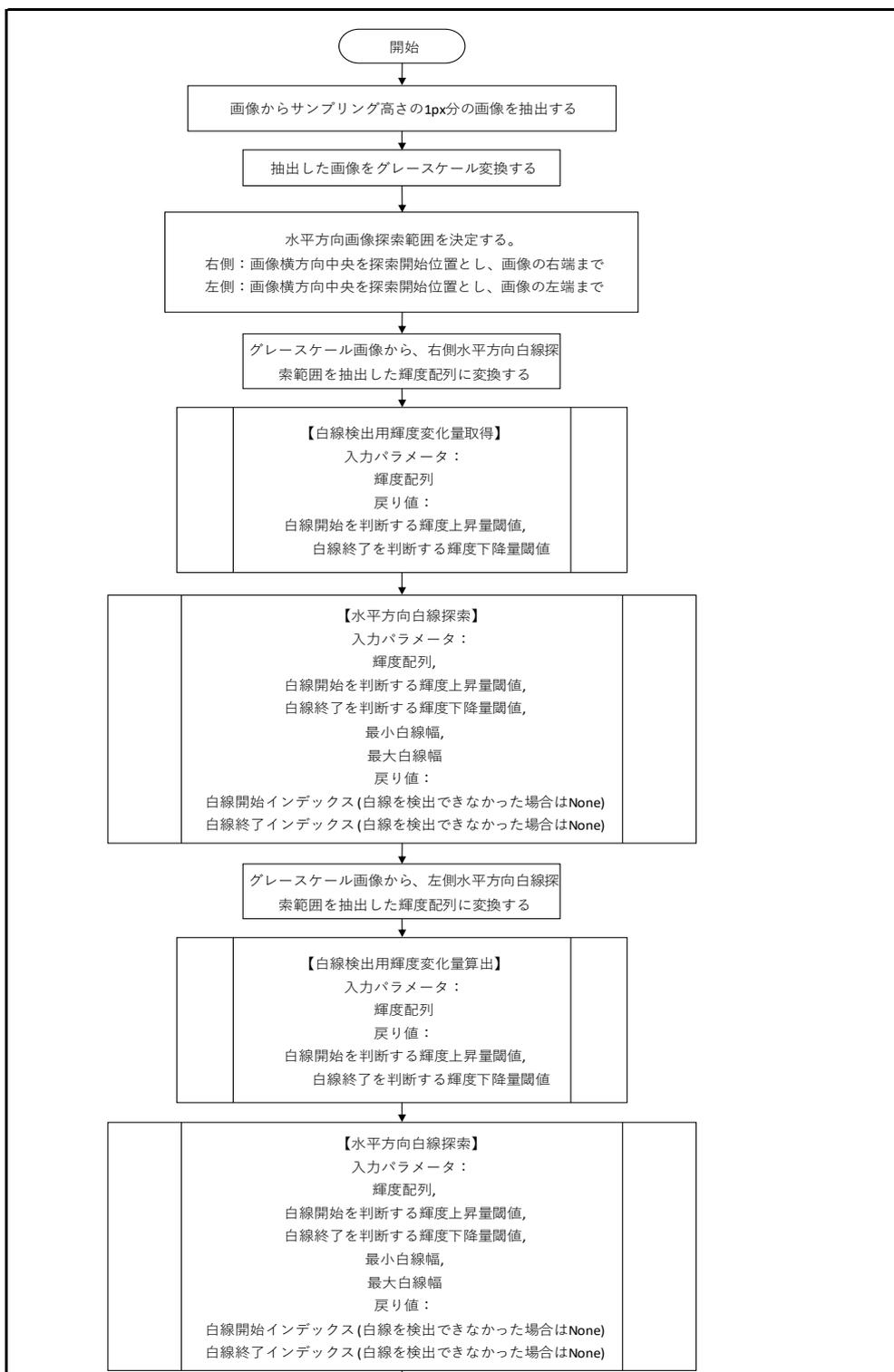
Fig. 5-13 白線認識メイン処理フロー



Fig. 5-14 キャプチャ画像例

5.5.1.2. 車線内位置算出処理

車線内位置算出処理フローを以下に示す。



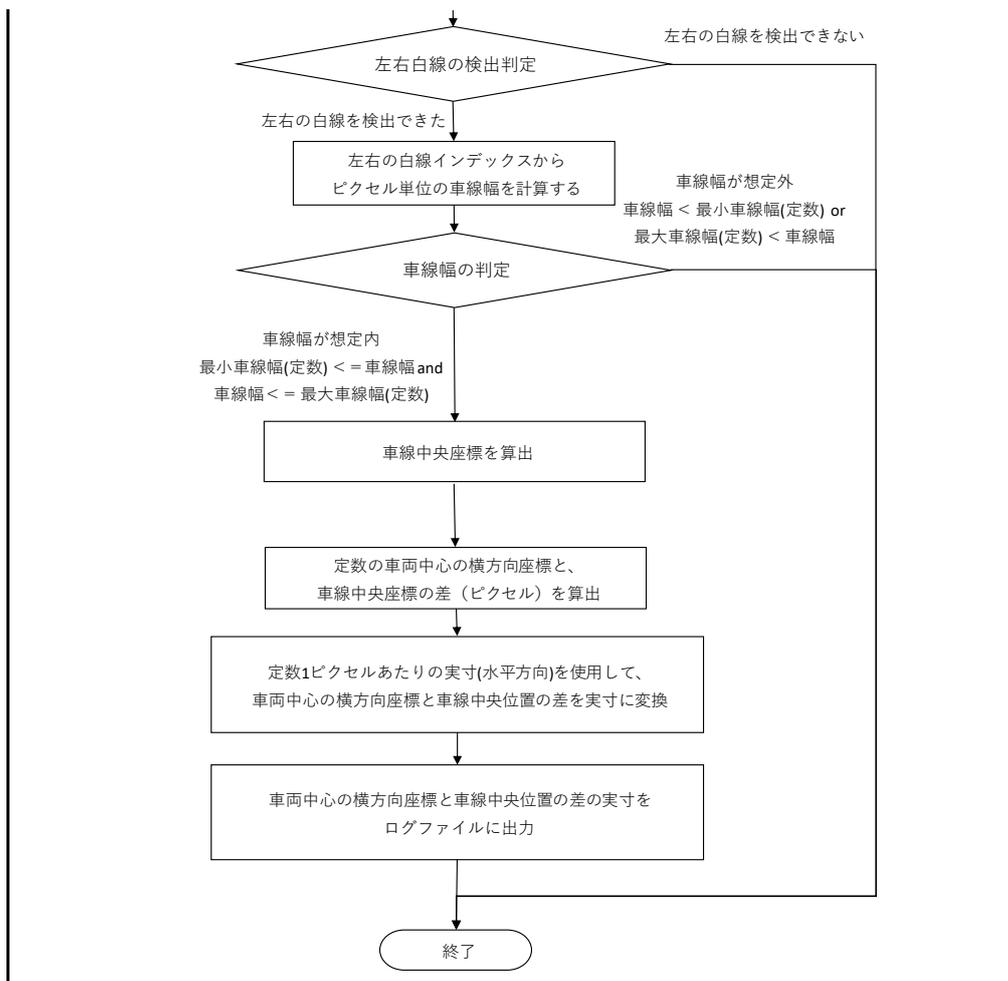


Fig. 5-15 車線内位置算出処理フロー



Fig. 5-16 サンプルポイント (白水平線)

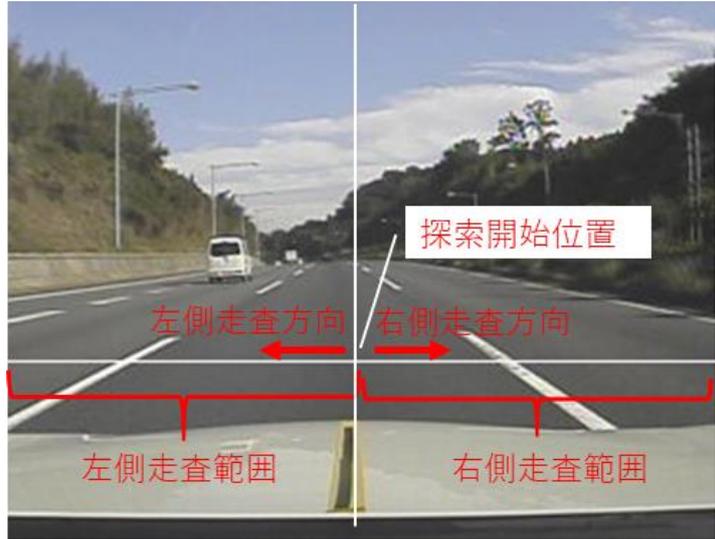


Fig. 5-17 水平方向探索範囲



Fig. 5-18 左右の白線位置検出成功例

5.5.1.3. 白線検出用輝度変化量算出処理

白線検出を行う上で輝度の配列から白線開始，終了を検出するための輝度変化量閾値の算出を行う。以下に処理フローを示す。

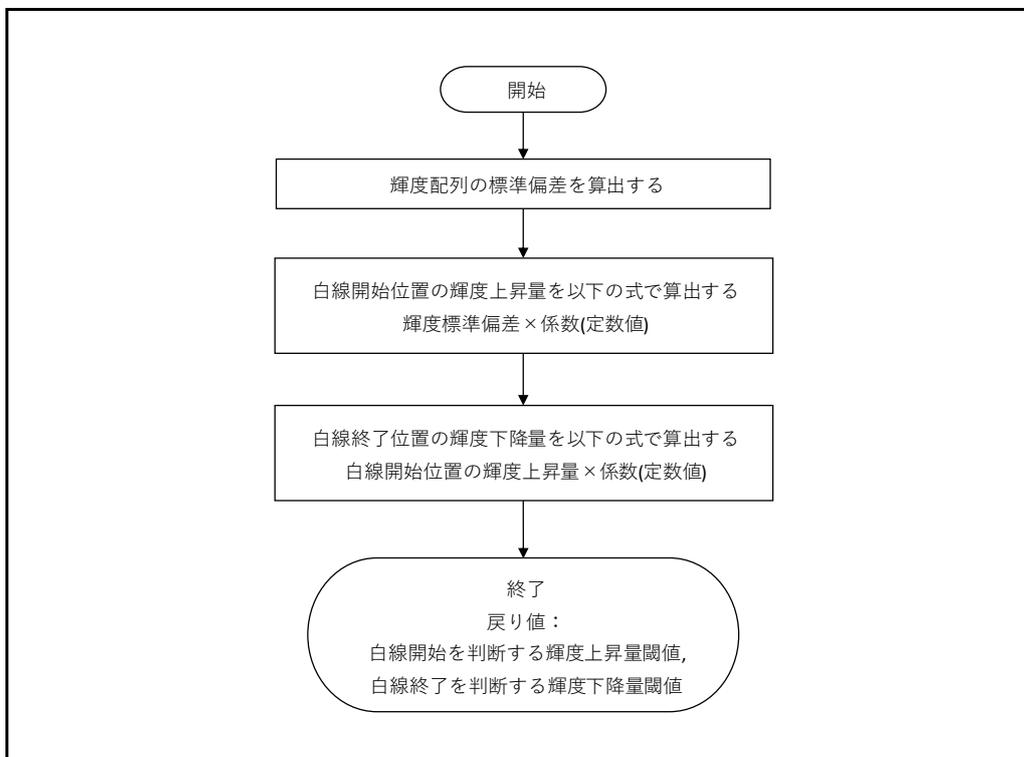


Fig. 5-19 白線検出用輝度変化量算出フロー

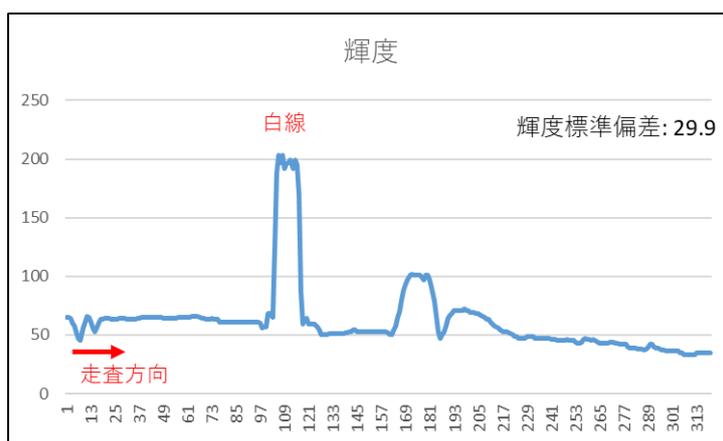


Fig. 5-20 輝度変化量の計算例

輝度変化量の計算例として，次式を挙げる。

- ・ 白線開始位置の輝度上昇量 = 輝度標準偏差 × 係数 = $29.9 \times 1.0 \doteq 29$
- ・ 白線終了位置の輝度下降量 = 白線開始位置の輝度上昇量 × 係数 = $29 \times 0.5 \doteq 14$

5.5.1.4. 水平方向白線探索処理

水平方向白線探索処理フローを次ページに示す.

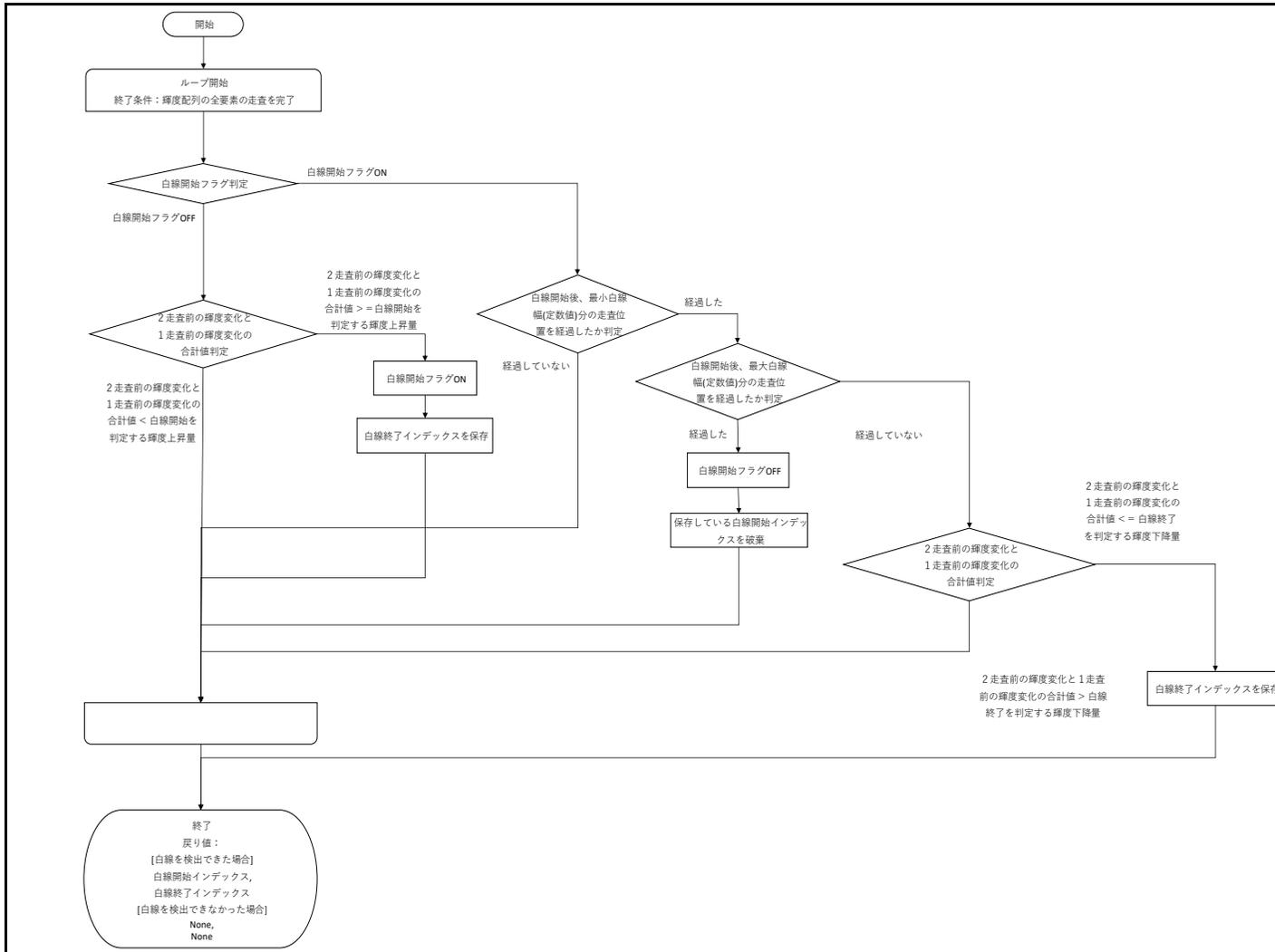


Fig. 5-21 水平方向白線探索処理フロー

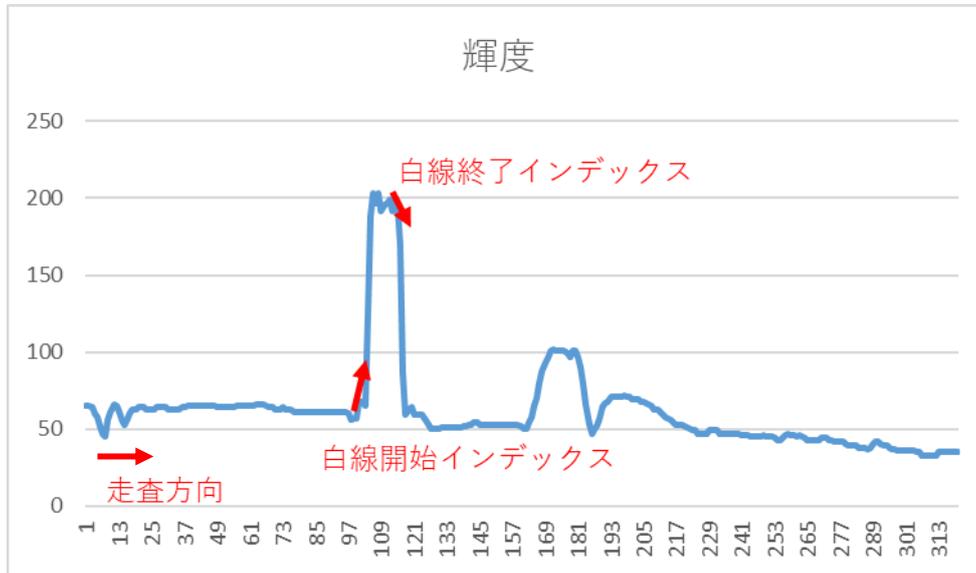


Fig. 5-22 走査イメージ

5.6. 走行軌跡の計測方法

高精度 IMU で計測した緯度，経度を GoogleEarth 上にプロットすることで走行軌跡を作図した。

5.6.1. 高精度 IMU の構成

高精度 IMU「ADMA-G-PRO+RTK2」は光ファイバジャイロとサーボ式加速度センサを内蔵した慣性計測装置に加え，GNSS と RTK を補正データとして使用することで 2cm 精度の絶対座標を計測可能な装置である。光ファイバジャイロとサーボ式加速度センサによる慣性計測データは，RTK で補正された GNSS データ受信時に拡張カルマンフィルタによって補正され，これによって高精度な計測が実現可能となっている。

高精度 IMU が計測したデータは CAN によって出力され，ロガー（SIRIUS）によって記録する。今回の計測では，ロガーのサンプリングレートは 1kHz とした。高精度 IMU の出力レートは 100Hz とした。

今回の計測に使用した高精度 IMU の機器接続図を以下に示す。

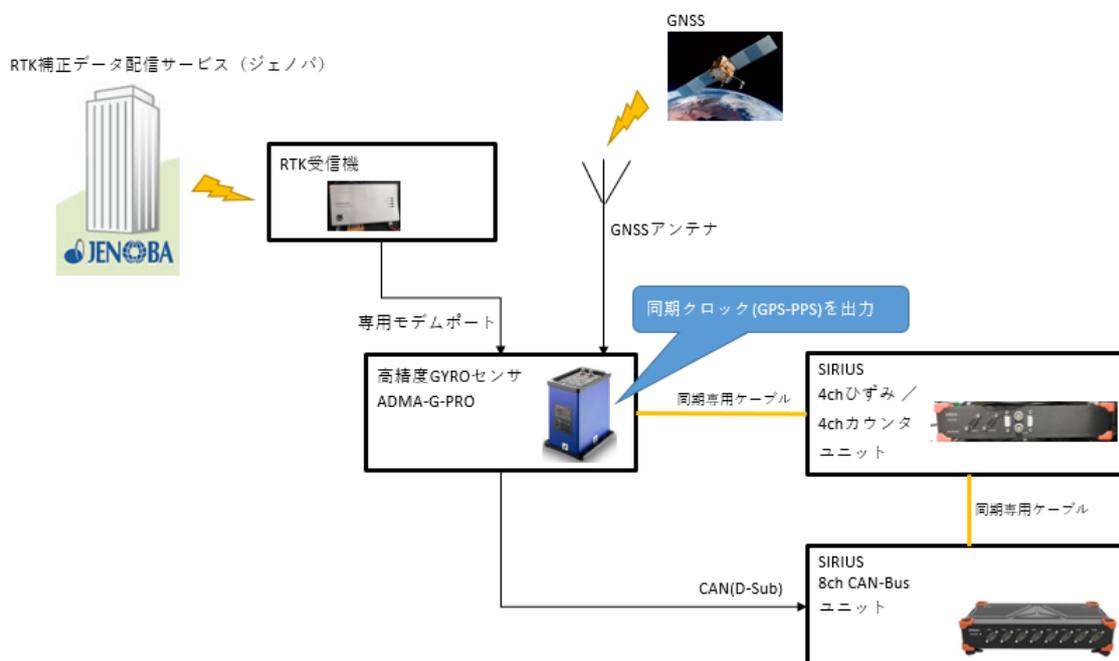


Fig. 5-23 高精度 IMU 機器接続図

5.6.2. GoogleEatrh 上へのプロット

高精度 IMU で計測した走行軌跡（緯度，経度）を KML ファイルに変換し，GoogleEatrh に読み込ませて軌跡をプロットした（TTDC 様作成プログラム）。

KML は，アプリケーション・プログラムにおける三次元地理空間情報の表示の管理などを目的とした情報を XML で記述するものである。2008 年 4 月に KML2.2 版は，そのまま Open Geospatial Consortium, Inc (OGC) という地理情報システムのオープンソース化を目指す団体の規格に OGC KML として取り入れられた。（Wikipedia より）

以下に GoogleEatrh に走行軌跡をプロットした例を示す（赤線）。



Fig. 5-24 高精度 IMU による走行軌跡プロット図

また、白線認識プログラムで認識した白線を高精度 IMU による走行軌跡と併せてプロットした（下図の黄色線. TTDC 様のプログラムの機能）。



Fig. 5-25 高精度 IMU による走行軌跡と白線認識結果プロット図

プロットした白線と、GoogleEatrh 上の白線の位置との差異を手掛かりに、手動で軌跡を補正した（TTDC 様のプログラムの機能：緯度／経度シフト）。



Fig. 5-26 高精度 IMU による走行軌跡と白線認識結果プロット図(補正後)

6. 評価方法

6.1. 主観評価

ドライバに対して、各車両の評価走行後に以下の5つの着目点に関するアンケートを実施し、主観評価とした。

- S/W 操作系
- 本来性能
- 性能限界
- HMI
- ドライバ総合感想
- 基本性能

アンケート項目数は全49項目あり、項目毎に5段階評価を実施するものとなっている。以下にアンケートシート（公道評価シート）を示す。

KAIT ADAS公道評価シート

車種						
評価コース		国東道 国東厚木IC～東名高速道路 大井松田IC 往復				
ドライバー						
日付						
No.	対象	評価項目	具体的内容	評価結果		備考 シツ・計測・定数値等
				5段階評価	評価コメント	
1 S/W操作系						
		1-0-1. 使いやすさ				
		1-0-2. 操作ミスはないか				
		1-0-3. すぐ慣れるか				
		1-0-4. ブラインドタッチできるか				
2 本来性能						
2-1.	LKA	2-1-1. トレース性	真ん中を走るか			
			どこまでのコーナーRまで制御可能か？			
			コーナー制御の連携性			
		2-1-2. 人間との干渉, コレクション	オーバーライドのしやすさ			
			修正にこたえてくれるか			
			修正はしやすいか			
		2-1-3. 直進安定性	アジレーションでのふらつき有無・程度			
			路面での動かし難さ			
		2-1-4. インフォメーション	作動状態がわかるか			
		2-1-5. 保険アラート	時間、表示			
2-2.	LDP <small>※縦向きは縦向き</small>	2-2-1. わかりやすさ	操舵トルク、車両挙動			
			2-2-2. 戻し機能	正確さ		
				センターへの収束性		

Fig. 6-1 公道評価シート 1

2-3.	BSM	2-3-1. 高速道路（後方追突車両等）	見やすさ、わかりやすさ		
			タイミング		
2-4.	Auto-L/C	2-4-1. 市街地	交差点右左折時の歩行者、自転車		
		2-4-1. 始動～終了までの受容性	何秒L/Cか？		
			車間		
			タイミング		
			動き		
2-4-2. 終了時のフィードバック					
		2-4-3. 他車に与える影響			
		2-4-4. 様々なシーンへの対応			
2-5.	ACC	2-5-1. スピードコントロール	高速のスムーズさ（Gの出し方収めの方）		
			止まり方・ショック		
			加速のスムーズさ（Gの出し方収めの方）		
		2-5-2. 車間制御	安心感		
			安定性、応答性、収束性		
			車取設定		
		2-5-3. 流れに沿った走り	クルーズ設定と車間制御設定のフィット感		
		2-5-4. コーナー減速	有無、スムーズさ		
		2-5-5. 追従一発折遷移時の予期せぬ加速	有無、有さ		
2-5-6. 人間との干渉・HMI	インフォメーションの解り易さ				
	SW操作のし易さ				

Fig. 6-2 公道評価シート 2

3 性能限界					
3-1.	機能ダウン程度				
		3-1-1. LKA			
		3-1-2. LDP			
		3-1-3. BSM			
		3-1-4. A-L/C			
		3-1-5. ACC&クルーズ			
3-2.	全般的な走行中機能への信頼性				
4 HMI					
	4-1.	解りやすさ			
	4-2.	HUD			
5 ドライバ総合感想					
5-1.	安心感（心拍、脳電、アンケート等）				
5-2.	前方視、周辺確認レベル（視点計測）				
5-3.	運転操作負荷				
5-4.	合流、渋滞などシーン遷移時の対応率				
6 基本性能					
6-1.	操縦性	操舵フィーリング、コーストレース性、修正のしやすさ 操舵・アクセル・ブレーキの全体的コントロール性能等			
6-2.	安定性	直進性、まっすぐ走るか、 路面取られ・流れ、横風安定			
6-3.	加速 ドライバ	加速性能、コントロール性、ハンドル&アクセルの運転のしやすさ 前後ショック、チェンイン加速など			
6-4.	ブレーキ	効き、応答性、コントロール性			
6-5.	乗り心地	上体・頭の動かしやすさ	ボデーコントロール性 ショック		
6-6.	NV				

Fig. 6-3 公道評価シート 3

6.2. LKA 安定性評価

コーストレース機能を使用して評価コース走行中の一部の区間に着目し、白線認識により得られた車線内位置の頻度分布をグラフ化して評価を行うものとする。

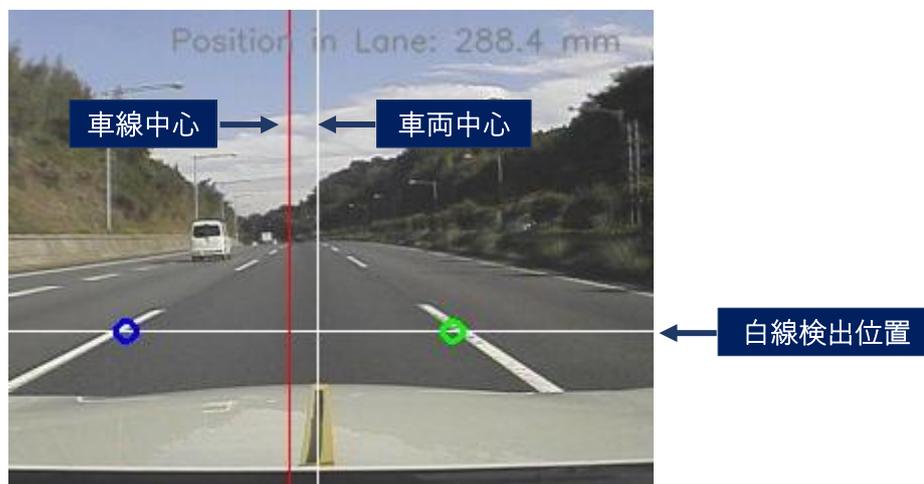


Fig. 6-4 車線内の位置

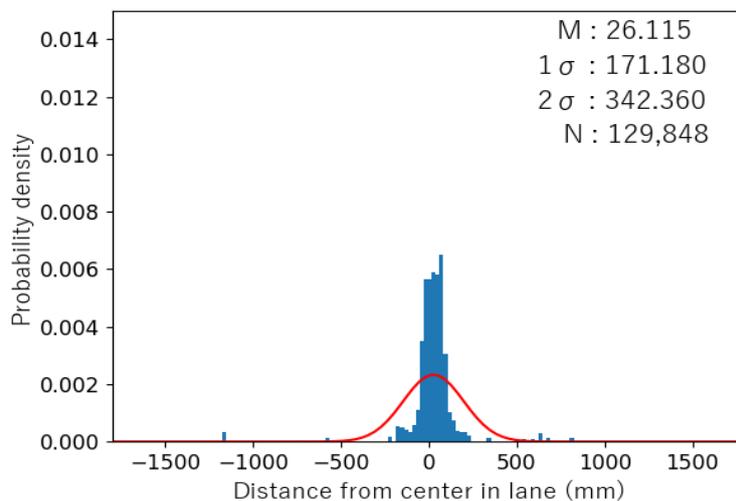


Fig. 6-5 車線内の位置の頻度分布の例

6.3. オーバーライド時の車両挙動

操舵力計を使用してテストコースで計測した操舵トルクをもとに以下の評価を行うものとする。

6.3.1. オーバーライド時の操舵トルクと横変位置量

コーストレース制御中に、ドライバーが操舵介入しようとした時の車両の動きを、操舵トルク（縦軸）と白線認識より得られた車線内の横変位置量（横軸）で表現したグラフを描画することで評価する。

以下に、操舵トルクと横変位置量グラフの例を示す。

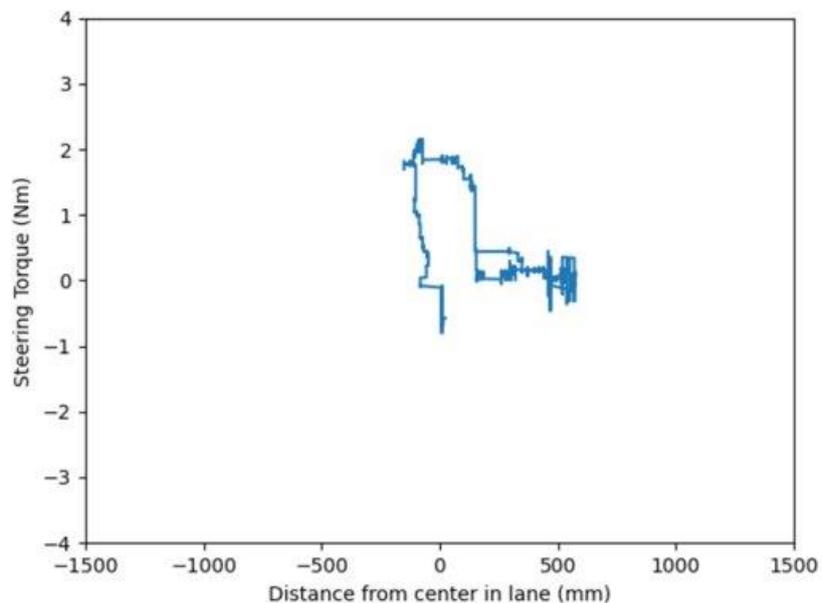


Fig. 6-6 操舵トルクと横変位置量の例

6.3.1. 操舵仕事率

コーストレース制御中に、ドライバーが操舵介入しようとした時の操舵仕事率のグラフを描画することで評価する。

以下に、操舵仕事率グラフの例を示す。グラフ総面積が操舵仕事量を表す。

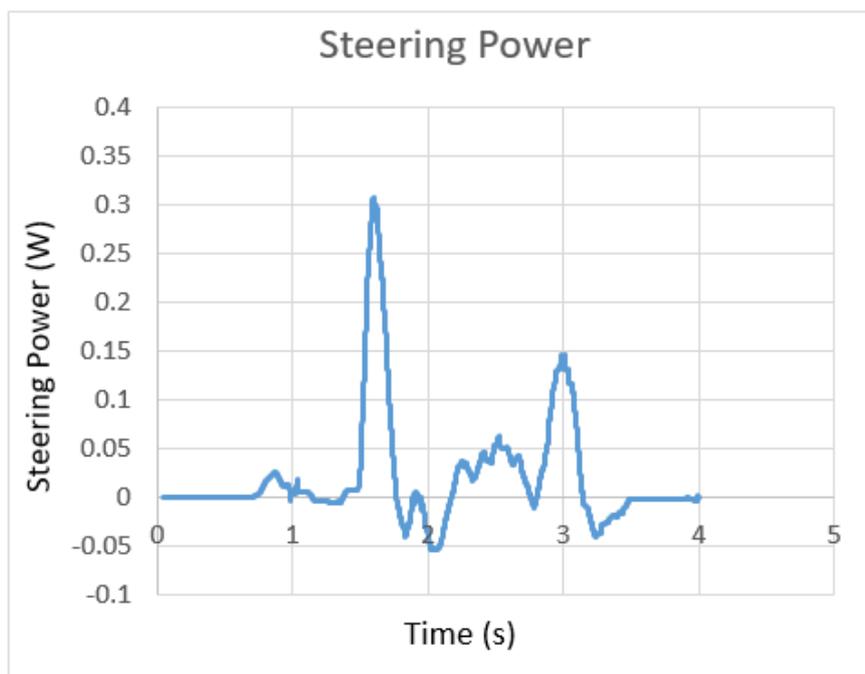


Fig. 6-7 操舵仕事率の例

6.4. LDP 収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線端部に車両を寄せて LDP を発動させてから，車線センターに戻るまでの収束軌跡のグラフを描画し評価するものとする．収束軌跡のグラフは白線認識によって得られた車線内の位置を時系列にプロットすることで作成する．

以下に，LDP 収束軌跡グラフの例を示す．縦軸は車線センターからの変位置（mm）であり，正方向が車線右側への変位置，負方向が車線左側への変位置を表す．

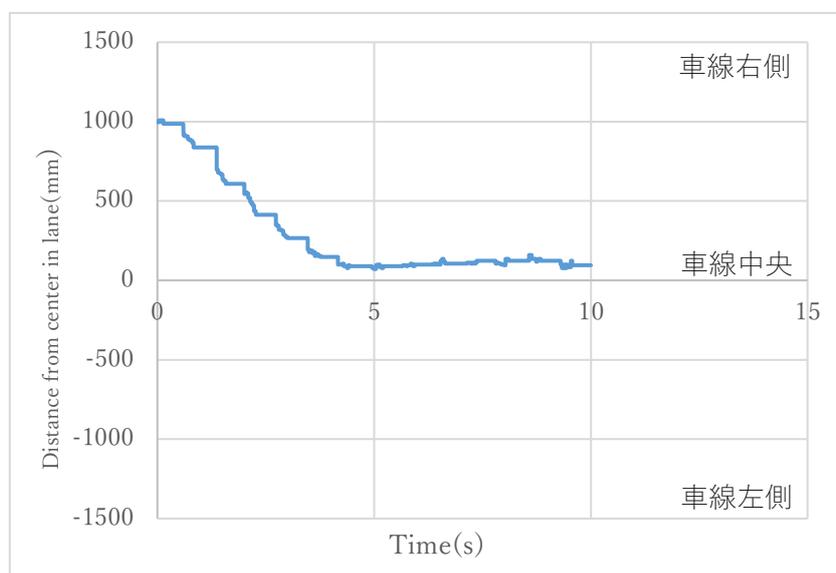


Fig. 6-8 LDP 収束軌跡の例

6.5. コーナートレース維持性能評価

本線の高速コーナーとインターチェンジやジャンクションの低速コーナーについて、コーストレース制御可否で評価する。



Fig. 6-9 高速コーナー①東名中井 PA 付近



Fig. 6-10 高速コーナー②圏央道相模川付近



Fig. 6-11 低速コーナー①東名大井松田 IC



Fig. 6-12 低速コーナー②海老名 JCT



Fig. 6-13 低速コーナー③圏央厚木 IC

6.6. 前方注視頻度と HMI の適切性

アイマークレコーダーの視野分布を分析し、前方注視頻度を車両別に比較することで評価する。また、HUD 等の HMI の適切性をドライバーのコメントから評価するものとする。



Fig. 6-14 アイマークレコーダー視野分布

7. 評価結果

7.1. 主観評価

7.1.1. S/W 操作系

7.1.1.1. 総評

S/W 操作系の主観評価アンケート結果を、車種別に各ドライバーの評価の平均値を算出した結果を下図に示す。

ステアリング内のボタンではなく、レバーで操作する米C車と独B車の評価が低い結果となった。このことから、ハンドルから手を離して操作をすることが不安感に繋がっていることが考えられる。

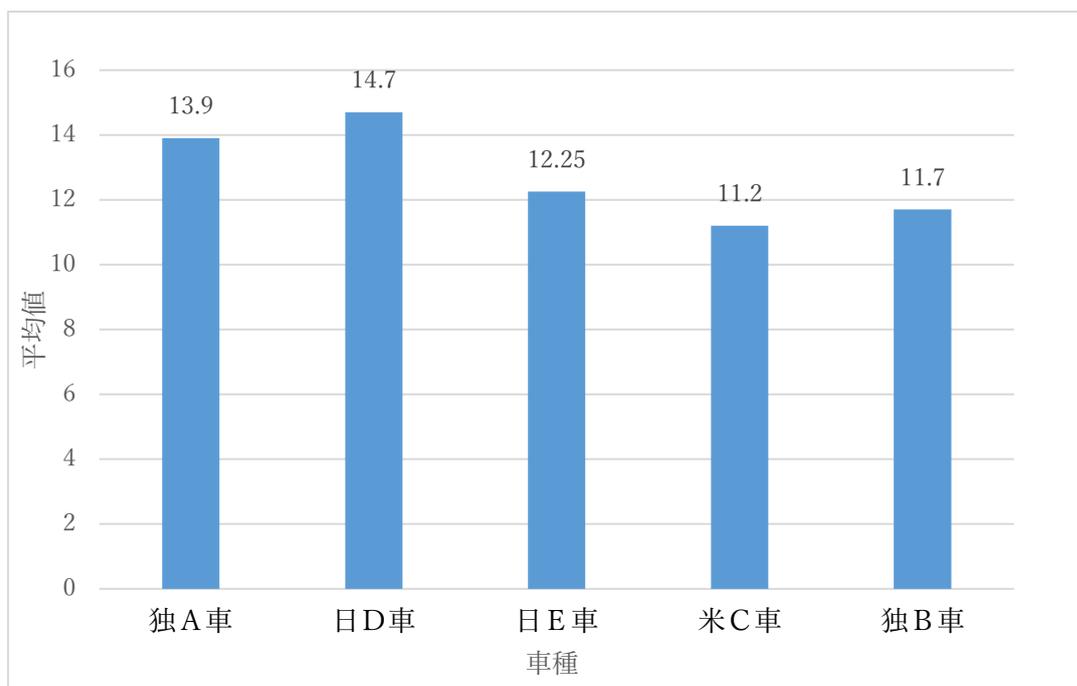


Fig. 7-1 S/W 操作系評価アンケート結果（車種毎のドライバー評価の平均値）

7.1.1.2. 独A車

独A車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-1 S/W 操作系評価アンケート結果(独A車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
使いやすさ	2	3	4	4	4	17	3.4
操作ミスはないか	2.5	3	3	4	5	17.5	3.5
すぐ慣れるか	2.5	3	4	4	4	17.5	3.5
ブラインドタッチできるか	3	3	3	3.5	5	17.5	3.5
合計	10	12	14	15.5	18	69.5	13.9

7.1.1.3. 独B車

独B車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-2 S/W 操作系評価アンケート結果(独B車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
使いやすさ	2	3	3	3.5	3	14.5	2.9
操作ミスはないか	2	3	2.5	3.5	3	14	2.8
すぐ慣れるか	2.5	3	3	3	3	14.5	2.9
ブラインドタッチできるか	2.5	3	3	3	4	15.5	3.1
合計	9	12	11.5	13	13	58.5	11.7

7.1.1.4. 米C車

米C車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-3 S/W 操作系評価アンケート結果(米C車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
使いやすさ	2	3	3.5	3.5	4	14	2.8
操作ミスはないか	2.5	3	3.5	4	3	13.5	2.7
すぐ慣れるか	3	3	4	4	4	15	3
ブラインドタッチできるか	3	3	2.5	4	4	13.5	2.7
合計	10.5	12	13.5	15.5	15	56	11.2

7.1.1.5. 日D車

日D車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-4 S/W 操作系評価アンケート結果(日D車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
使いやすさ	2.5	4	3	4	5	18.5	3.7
操作ミスはないか	3	4	4	3.5	4	18.5	3.7
すぐ慣れるか	3	4	4	3.5	4	18.5	3.7
ブラインドタッチできるか	2.5	4	3	3.5	5	18	3.6
合計	11	16	14	14.5	18	73.5	14.7

7.1.1.6. 日E車

日E車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-5 S/W 操作系評価アンケート結果(日E車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
使いやすさ	2.5	3.5	3	3		12	3
操作ミスはないか	2.5	3.5	3	3.5		12.5	3.125
すぐ慣れるか	3	3.5	3	3		12.5	3.125
ブラインドタッチできるか	2.5	3.5	3	3		12	3
合計	10.5	14	12	12.5		49	12.25

7.1.2. LKA/LDP

7.1.2.1. 総評

LKA/LDP 評価の主観評価アンケート結果を、車種別に各ドライバーの評価の平均値を算出した結果を下図に示す。

LKA/LDP では独A車が最も高評価であり、米C車が一番低評価な結果となった。

米C車は車線中央を走る性能に関しては優れているが、制御中は人間の操作を一切受け付けないためドライバーの不安感に繋がったことが考えられる。

一方、独A車は制御中でも人間の操作を受け入れるため、様々な道路状況にも対応できることが高評価の一因であると考えられる。

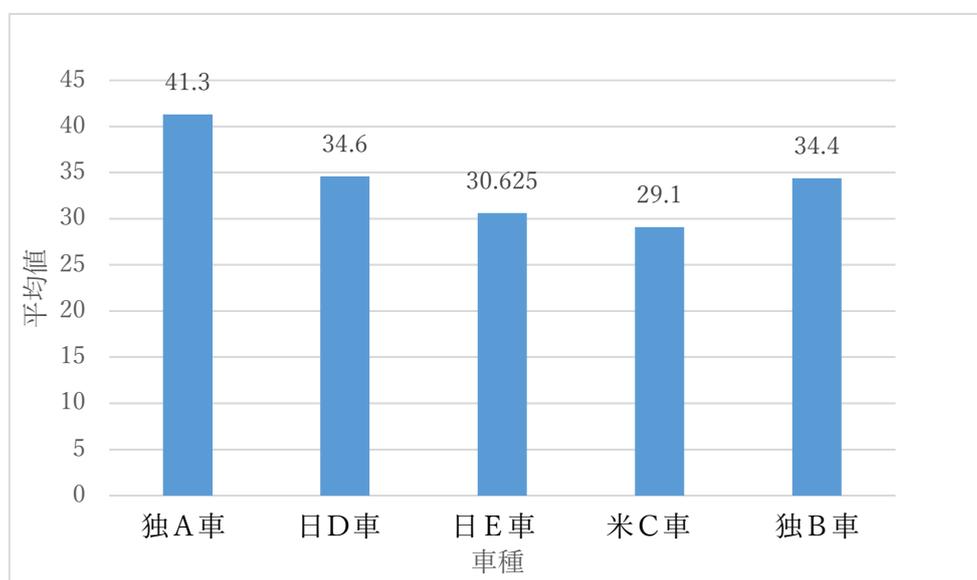


Fig. 7-2 LKA/LDP 評価アンケート結果 (車種毎のドライバー評価の平均値)

7.1.2.2. 独A車

独A車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-6 LKA/LDP 評価アンケート結果(独A車)

		ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
LKA	真ん中を走るか	3.5	4	3.5	3.5	5	19.5	3.9
	オーバーライドのしやすさ	3	3.5	4	4	5	19.5	3.9
	修正にこたえてくれるか	3	4	4	4	5	20	4
	修正はしやすいか	3	4	4	4	4	19	3.8
	アンジュレーションでのふらつき有無・程度	3	4	3.5	4	4	18.5	3.7
	路面での動かされ	3.5	4	3.5	4	4	19	3.8
	作動状態がわかるか	3	3.5	3	3.5	4	17	3.4
	保舵アラートの時間、表示	3	3	2	3.5	4	15.5	3.1
LDP	操舵トルク、車両挙動の分かりやすさ	3.5	4	3	3.5	4	18	3.6
	正確さ	4	4	3.5	4	5	20.5	4.1
	センターへの収束性	3.5	4	3.5	4	5	20	4
合計		36	42	37.5	42	49	206.5	41.3

7.1.2.3. 独B車

独B車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-7 LKA/LDP 評価アンケート結果(独B車)

		ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
LKA	真ん中を走るか	2	4	3	3.5	3	15.5	3.1
	オーバーライドのしやすさ	3.5	3	3	3.5	2	15	3
	修正にこたえてくれるか	2.5	3.5	3	3.5	3	15.5	3.1
	修正はしやすいか	2.5	4	3	3.5	3	16	3.2
	アンジュレーションでのふらつき有無・程度	2.5	4	3.5	4	2	16	3.2
	路面での動かされ	2.5	4	3.5	4	2	16	3.2
	作動状態がわかるか	2.5	3	3	4	2	14.5	2.9
	保舵アラートの時間、表示	2	3	3	4	3	15	3
LDP	操舵トルク、車両挙動の分かりやすさ	2.5	3	3	4	3	15.5	3.1
	正確さ	3	3	3.5	4	3	16.5	3.3
	センターへの収束性	3	4	3	3.5	3	16.5	3.3
合計		28.5	38.5	34.5	41.5	29	172	34.4

7.1.2.4. 米C車

米C車の各ドライバの評価結果を下表に示す。

Table 7-8 LKA/LDP 評価アンケート結果(米C車)

		ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
LKA	真ん中を走るか	2.5	4	4	4	4	18.5	3.7
	オーバーライドのしやすさ	1	2	1	2	4	10	2
	修正にこたえてくれるか	1	2	1	3	2	9	1.8
	修正はしやすいか	1	2	1	3	1	8	1.6
	アンジュレーションでのふらつき有無・程度	2.5	4	3	4	4	17.5	3.5
	路面での動かされ	2.5	4	2	4	3	15.5	3.1
	作動状態がわかるか	2	3	3.5	4	3	15.5	3.1
	保舵アラートの時間、表示	2.5	3	3.5	3.5	4	16.5	3.3
LDP	操舵トルク、車両挙動の分かりやすさ	1.5	3	2	4	3	13.5	2.7
	正確さ	1	3	2.5	2	3	11.5	2.3
	センターへの収束性	1	3	1	2	3	10	2
合計		18.5	33	24.5	35.5	34	145.5	29.1

7.1.2.5. 日D車

日D車の各ドライバの評価結果を下表に示す。

Table 7-9 LKA/LDP 評価アンケート結果(日D車)

		ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
LKA	真ん中を走るか	2.5	4	3	4	5	18.5	3.7
	オーバーライドのしやすさ	3	3	4	3.5	4	17.5	3.5
	修正にこたえてくれるか	2.5	3	4	3.5	3	16	3.2
	修正はしやすいか	3	3	4	3.5	3	16.5	3.3
	アンジュレーションでのふらつき有無・程度	2.5	4	3	3.5	4	17	3.4
	路面での動かされ	2.5	4	4	3.5	5	19	3.8
	作動状態がわかるか	3	3.5	4	4	4	18.5	3.7
	保舵アラートの時間、表示	2.5	3	3	4	4	16.5	3.3
LDP	操舵トルク、車両挙動の分かりやすさ	2.5	3	1	3	4	13.5	2.7
	正確さ	2.5	1	1	1	4	9.5	1.9
	センターへの収束性	2.5	1	1	1	5	10.5	2.1
合計		29	32.5	32	34.5	45	173	34.6

7.1.2.6. 日E車

日E車の各ドライバの評価結果を下表に示す。

Table 7-10 LKA/LDP 評価アンケート結果(日E車)

		ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
LKA	真ん中を走るか	2	3	2	3		10	2.5
	オーバーライドのしやすさ	2.5	3.5	4	4		14	3.5
	修正にこたえてくれるか	2.5	3.5	2	4		12	3
	修正はしやすいか	2.5	3	3	4		12.5	3.125
	アンジュレーションでのふらつき有無・程度	2.5	3	3	4		12.5	3.125
	路面での動かされ	2.5	3	4	4		13.5	3.375
	作動状態がわかるか	3	3.5	2	3.5		12	3
	保舵アラートの時間、表示	2.5	3	2	3.5		11	2.75
LDP	操舵トルク、車両挙動の分かりやすさ	1.5	3	2	3.5		10	2.5
	正確さ	1.5	1	2	3.5		8	2
	センターへの収束性	1	1	2	3		7	1.75
合計		24	30.5	28	40		122.5	30.625

7.1.3. 車両基本性能

7.1.3.1. 総評

車両基本性能の主観評価アンケート結果を、車種別に各ドライバーの評価の平均値を算出した結果を下図に示す。

日E車が一番低評価という結果になった。これは、他の車種がセダンタイプに対し SUV であるため、乗り心地や静粛性の面で劣っていることが原因と考えられる。

米C車においては『ショックが固く路面の荒れや段差の影響を受けやすい』、『路面からの入力やや大きく、突っ張った感じある』というコメントがあった。ややスポーツ志向設計なサスペンションであると想定される。

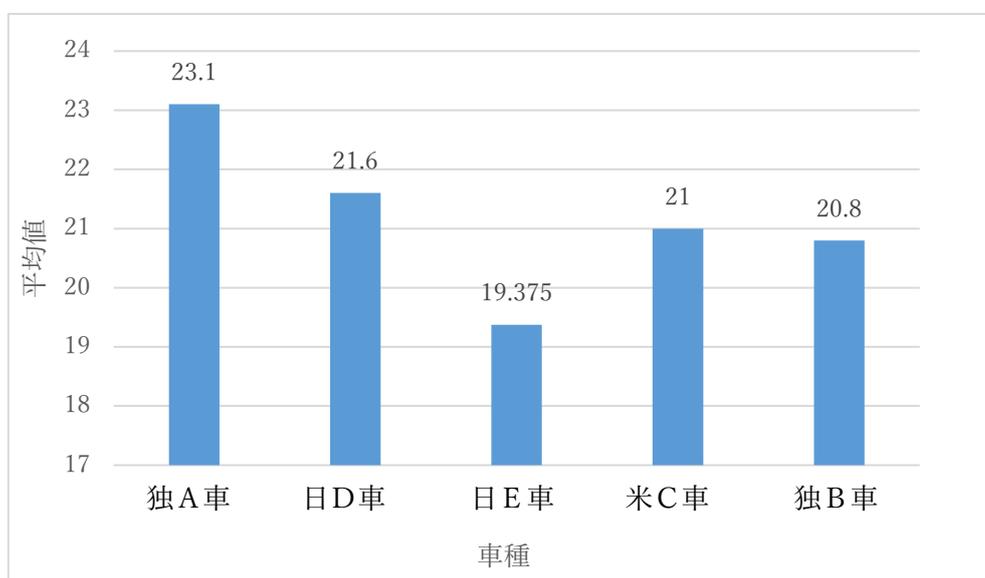


Fig. 7-3 車両基本性能アンケート結果（車種毎のドライバー評価の平均値）

7.1.3.2. 独A車

独A車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-11 総合感想評価アンケート結果(独A車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
操縦性	3	3.5	3.5	4	5	19	3.8
安定性	3	4	4	4	5	20	4
加速・ドライバビリティ	3.5	3	3.5	4	5	19	3.8
ブレーキ	3.5	4	4	4	4	19.5	3.9
乗り心地	3	3.5	3.5	4	5	19	3.8
NV	3.5	3	3.5	4	5	19	3.8
合計	19.5	21	22	24	29	115.5	23.1

7.1.3.3. 独B車

独B車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-12 総合感想評価アンケート結果(独B車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
操縦性	2.5	3.5	3	4	4	17	3.4
安定性	2.5	3.5	3.5	4.5	3	17	3.4
加速・ドライバビリティ	3	3	4	4	4	18	3.6
ブレーキ	3	3.5	3.5	4	4	18	3.6
乗り心地	3	3	3.5	4	4	17.5	3.5
NV	3	3	2.5	4	4	16.5	3.3
合計	17	19.5	20	24.5	23	104	20.8

7.1.3.4. 米C車

米C車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-13 総合感想評価アンケート結果(米C車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
操縦性	2.5	3.5	4	4	4	15.5	3.1
安定性	3	4	3.5	3.5	3	14	2.8
加速・ドライバビリティ	3.5	4	3.5	4	4	15.5	3.1
ブレーキ	3	4	3	4	4	15	3
乗り心地	3	3	2	3.5	4	12.5	2.5
NV	3	3	3.5	4	4	14.5	2.9
合計	18	21.5	19.5	23	23	105	21

7.1.3.5. 日D車

日D車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-14 総合感想評価アンケート結果(日D車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
操縦性	3	3.5	3	4	4	17.5	3.5
安定性	3	4	3	4	4	18	3.6
加速・ドライバビリティ	3	3	4	4	4	18	3.6
ブレーキ	3	4	4	4	4	19	3.8
乗り心地	2	3.5	4	4	5	18.5	3.7
NV	2.5	3	3	3.5	5	17	3.4
合計	16.5	21	21	23.5	26	108	21.6

7.1.3.6. 日E車

日E車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-15 総合感想評価アンケート結果(日E車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
操縦性	3	3.5	3	4	/	13.5	3.375
安定性	3	3.5	3	4		13.5	3.375
加速・ドライバビリティ	2.5	3.5	3	4		13	3.25
ブレーキ	3	4	3	3.5		13.5	3.375
乗り心地	2	3.5	3	4		12.5	3.125
NV	2	3	3	3.5		11.5	2.875
合計	15.5	21	18	23		77.5	19.375

7.1.4. 総合感想

7.1.4.1. 総評

総合感想の主観評価アンケート結果を、車種別に各ドライバの評価の平均値を算出した結果を下図に示す。

独A車が一番高評価であった。独A車はS/W操作系以外の各主観評価で首位を獲得しており、その結果が総合感想にも繋がっている。また、ドライバのコメントにおいても独A車が一番良いという結果だった。

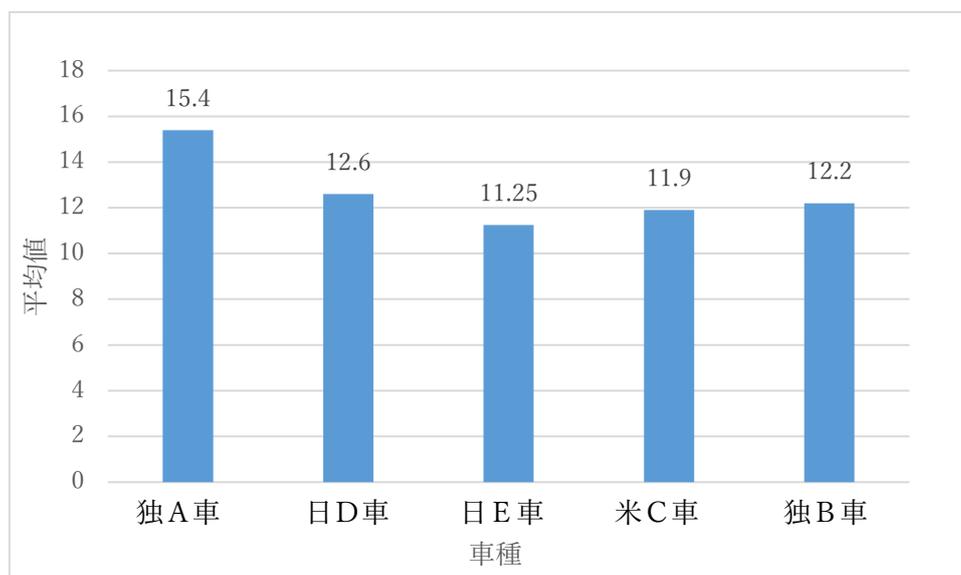


Fig. 7-4 総合感想アンケート結果（車種毎のドライバ評価の平均値）

7.1.4.2. 独A車

独A車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-16 総合感想評価アンケート結果(独A車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
安心感	3.5	4	4	4	5	20.5	4.1
前方視, 周辺確認レベル (視点計測)	3.5	4	3.5	3.5	5	19.5	3.9
運転操作負荷	3.5	4	3.5	3.5	5	19.5	3.9
合流, 渋滞などシーン遷移時の対応挙動	2.5	3	3.5	3.5	5	17.5	3.5
合計	13	15	14.5	14.5	20	77	15.4

7.1.4.3. 独B車

独B車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-17 総合感想評価アンケート結果(独B車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
安心感	2.5	3	3	3.5	3	15	3
前方視, 周辺確認レベル (視点計測)	3	4	3.5	3.5	3	17	3.4
運転操作負荷	2.5	4	3.5	3	3	16	3.2
合流, 渋滞などシーン遷移時の対応挙動	1	3	3	3	3	13	2.6
合計	9	14	13	13	12	61	12.2

7.1.4.4. 米C車

米C車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-18 総合感想評価アンケート結果(米C車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
安心感	1	3	3	4	4	15	3
前方視, 周辺確認レベル (視点計測)	2	3	3	4	4	16	3.2
運転操作負荷	2	3	3.5	4	3	15.5	3.1
合流, 渋滞などシーン遷移時の対応挙動	1	3	2	4	3	13	2.6
合計	6	12	11.5	16	14	59.5	11.9

7.1.4.5. 日D車

日D車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-19 総合感想評価アンケート結果(日D車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
安心感	2.5	3	3	3.5	4	16	3.2
前方視、周辺確認レベル(視点計測)	2.5	3.5	4	3.5	4	17.5	3.5
運転操作負荷	2.5	3	3	3.5	3	15	3
合流、渋滞などシーン遷移時の対応挙動	2	3	3	3.5	3	14.5	2.9
合計	9.5	12.5	13	14	14	63	12.6

7.1.4.6. 日E車

日E車の各ドライバの評価結果を下表に示す.

Table 7-20 総合感想評価アンケート結果(日E車)

	ドライバ①	ドライバ②	ドライバ③	ドライバ④	ドライバ⑤	合計	Average
安心感	2	3	2.5	3	/	10.5	2.625
前方視、周辺確認レベル(視点計測)	2.5	3.5	3	3.5		12.5	3.125
運転操作負荷	2.5	3	2	3		10.5	2.625
合流、渋滞などシーン遷移時の対応挙動	2	3	3	3.5		11.5	2.875
合計	9	12.5	10.5	13		45	11.25

7.2. LKA 安定性評価

7.2.1. 総評

自動運転評価コース ④LKA 安定性評価区間（東名上り 伊勢原 JCT～海老名 JCT まで 1km の標示）走行時の、車線内の位置の頻度分布をまとめたものを下表に示す。

Table 7-21 車線内の位置の頻度分布比較表

	独A車	独B車	米C車	日D車	日E車
平均(mm)	85.679	70.482	-114.592	26.115	80.491
1 σ (mm)	± 193.423	± 166.867	± 53.021	± 171.180	± 339.864
2 σ (mm)	± 386.847	± 333.734	± 106.043	± 342.360	± 679.729

日D車の標準偏差(1 σ)が約 ± 17 cmであるのに対し、日E車の標準偏差が倍の約 ± 34 cmもあり、主観評価の不安定な結果と良く合っている。又、日E車はコース維持性能でも主観評価は不満足であり、不満の挙がっていない独A車や日D車の標準偏差を指標とすると、定量的に標準偏差 ± 20 cm程度に収まる安定性を目指す必要がある。

又、米C車の標準偏差は約 ± 5 cm と他車両に比べて突出して小さいものの、やや中心より左に寄っている。主観評価コメントは「米C車は自動運転の制御性は高いがやや左に寄り怖い」とあった。米C車のみ平均値がマイナス（車線中央から左がマイナス）となっておりデータに裏付けられているが、ドライバの安心感は、自動走行の制御性だけでは決まらないとも言える。

7.2.2. 独A車

④LKA 安定性評価区間における独A車(Driver④)の車線内の位置の頻度分布を下図に示す。

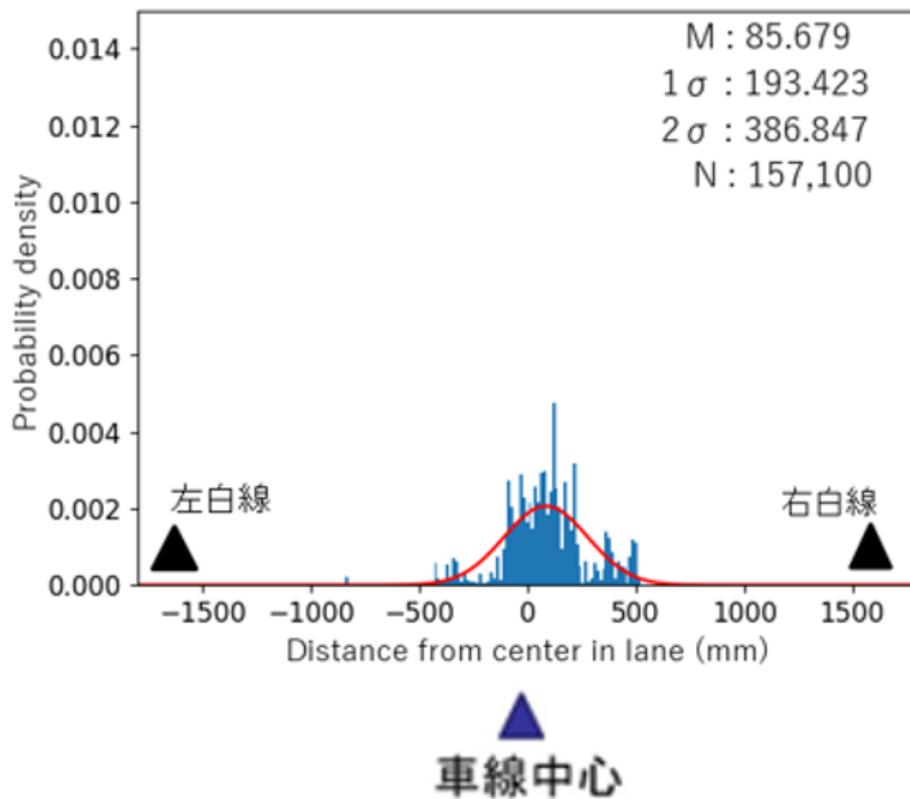


Fig. 7-5 車線内の位置の頻度分布 (独A車 Driver④)

なお独A車に関しては、 $\pm 40\text{cm}$ 付近に若干の小分布が見られる。

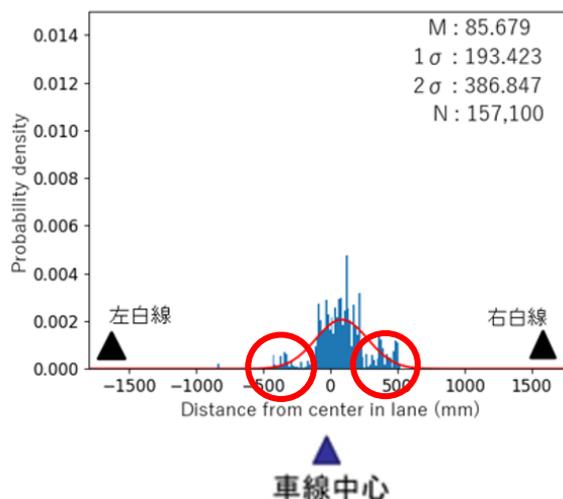


Fig. 7-6 車線内の位置の頻度分布の $\pm 40\text{cm}$ 付近に着目 (独A車 Driver4)

動画を解析したところ、下図に示すように独A車はコーナーでイン側に寄ったコース取りを行う傾向があり、それが分布に表れている。すなわち、評価区間からコーナー部分を除外することで独A車の 1σ 値はさらに小さくなると考えられる。

以下に、左コーナーでイン側に寄っているシーンの画像と走行軌跡を示す。



Fig. 7-7 左コーナーでイン側に寄っている画像 (独A車)

高精度 IMU による走行軌跡は以下の通り.

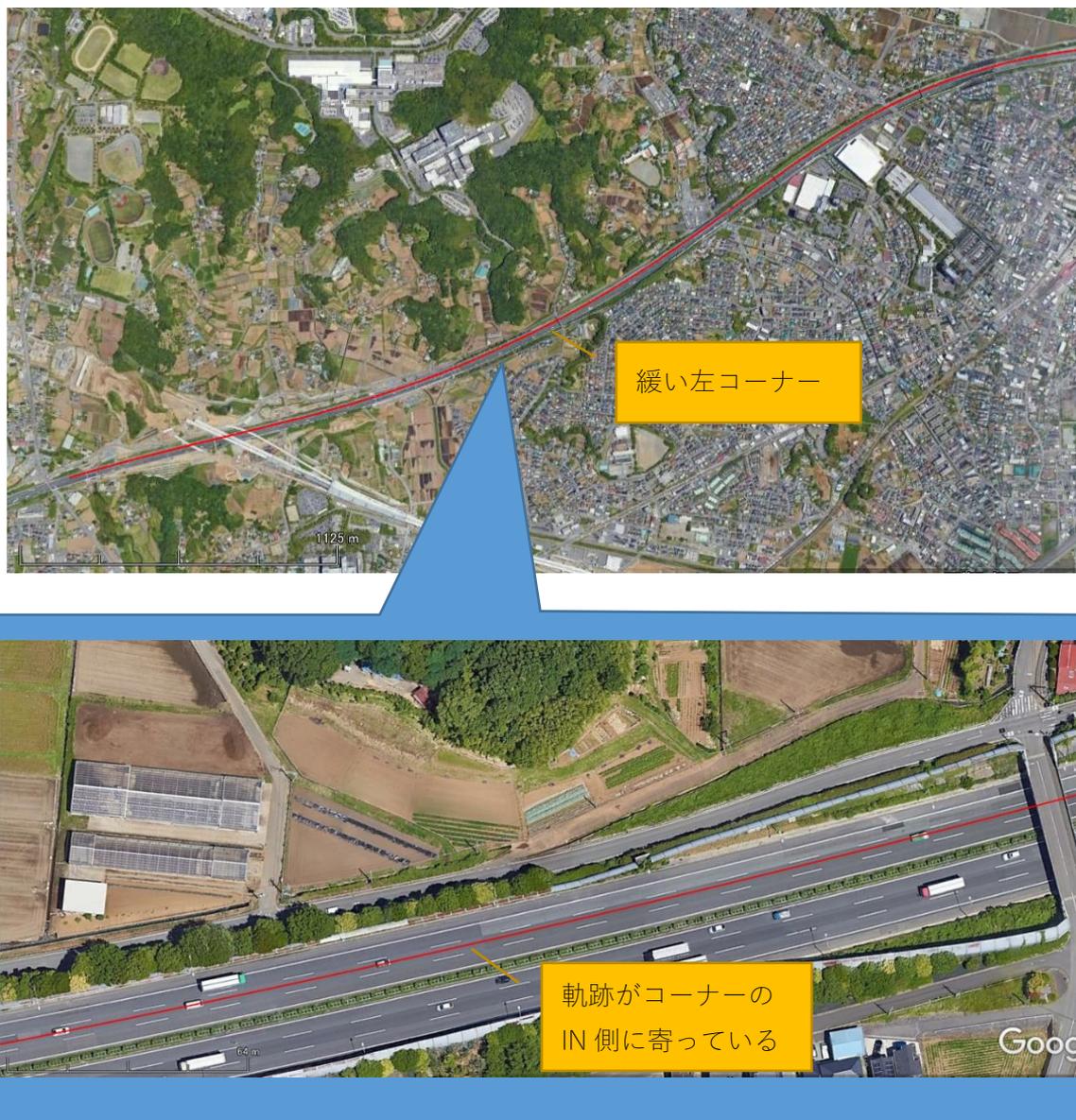


Fig. 7-8 左コーナーでイン側に寄っている走行軌跡 (独A車)

以下に、右コーナーでイン側に寄っているシーンの画像と走行軌跡を示す。

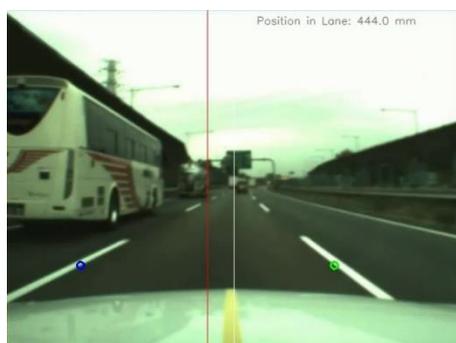


Fig. 7-9 右コーナーでイン側に寄っている画像 (独A車)

高精度 IMU による走行軌跡は以下の通り.



Fig. 7-10 右コーナーでイン側に寄っている走行軌跡 (独A車)

7.2.3. 独B車

④LKA 安定性評価区間における独B車(Driver④)の車線内の位置の頻度分布を下図に示す。

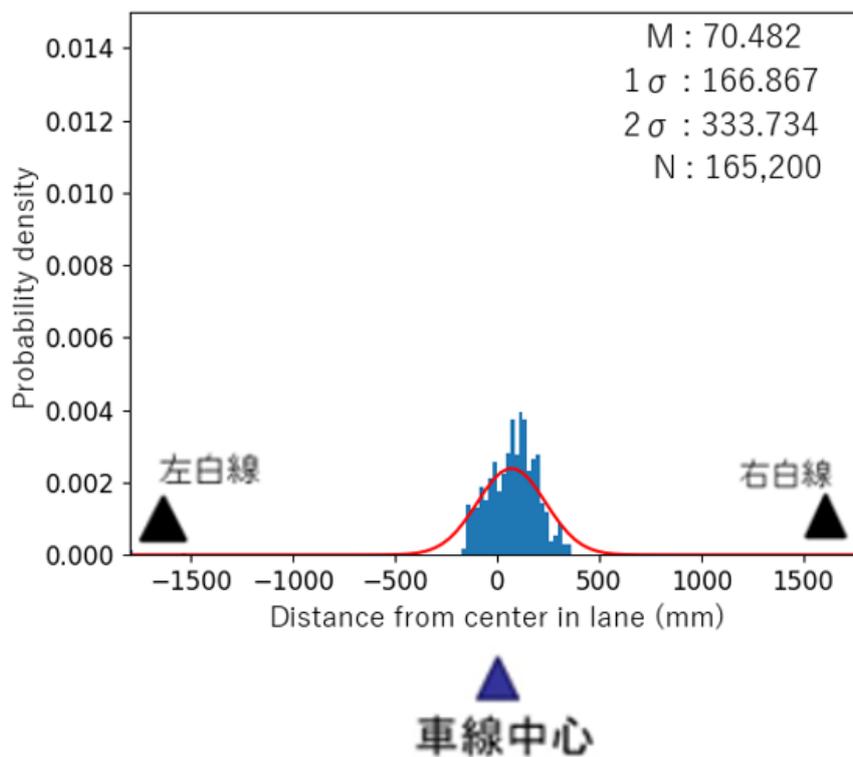


Fig. 7-11 車線内の位置の頻度分布 (独B車 Driver④)

7.2.4. 米C車

④LKA 安定性評価区間における米C車(Driver③)の車線内の位置の頻度分布を下図に示す。

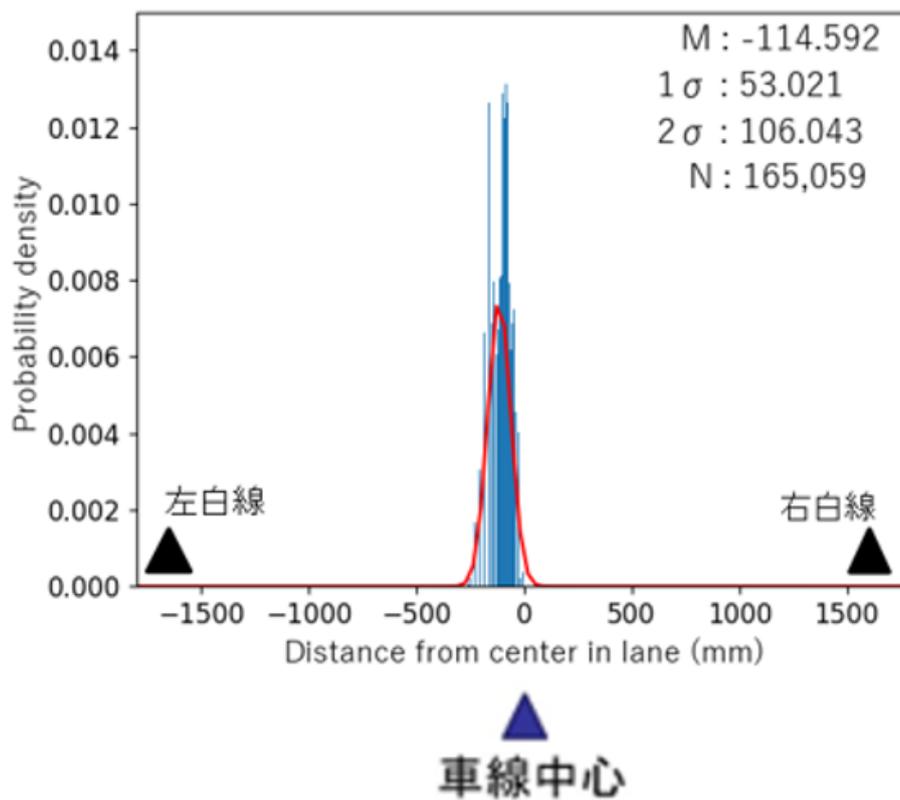


Fig. 7-12 車線内の位置の頻度分布 (米C車 Driver③)

7.2.5. 日D車

④LKA 安定性評価区間における日D車(Driver①)の車線内の位置の頻度分布を下図に示す。

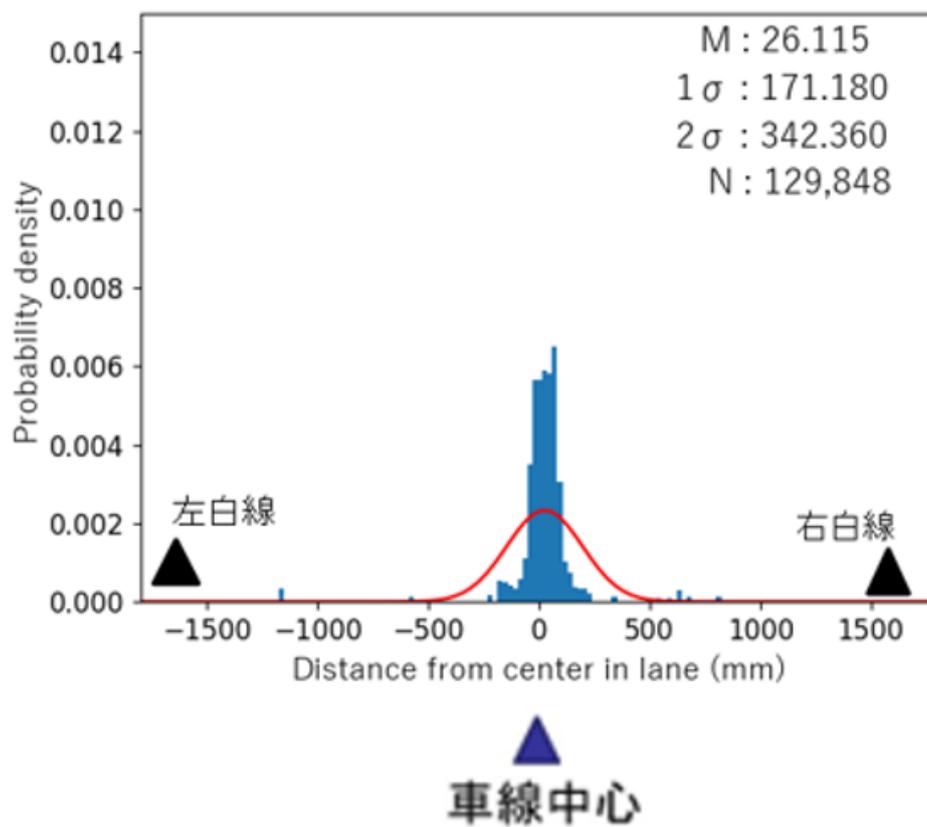


Fig. 7-13 車線内の位置の頻度分布 (日D車 Driver①)

7.2.6. 日E車

④LKA 安定性評価区間における日E車(Driver③)の車線内の位置の頻度分布を下図に示す。

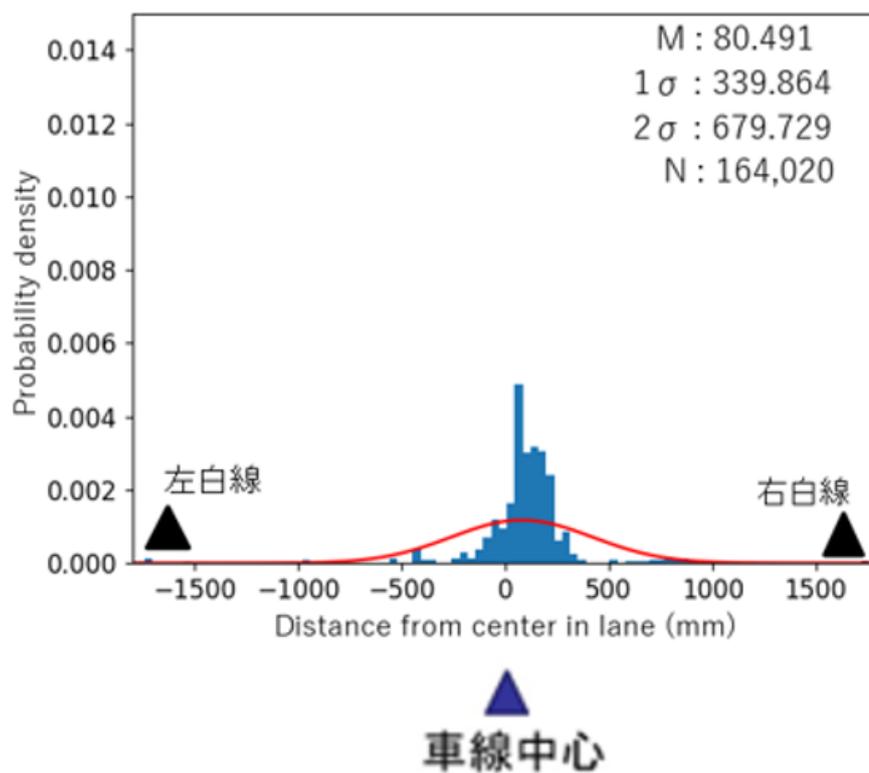


Fig. 7-14 車線内の位置の頻度分布 (日E車 Driver③)

7.3. オーバーライド時の車両挙動

7.3.1. オーバーライド時の操舵トルクと横変位量

7.3.1.1. 総評

コーストレース制御中に、ドライバーが操舵介入しようとした時の安心感を、操舵トルクと車線内の横変位量で表現した結果、米C車はオーバーライドトルクが約3Nmと大きく、その後即時制御解除後となり、変動トルク、横変位量共に大きく変動する。これに対し、独A車はオーバーライドトルクが約2Nmと適切でその後の操舵トルクも徐々に変化し横変位量共に小さい。これは主観評価で各パネラが共通で指摘した米C車の不安感、独A車のスムーズなオーバーライドの安心感の意見と一致している。

米C車と独A車は、非常に対照的な性能設計をしており、コース維持の安定性のコメントからも、独A車は、黒子的な自動運転技術として人間の操縦意志を連続的に受け入れているが、米C車は、人間～機械の関係をON/OFF的に捉えている。今回の評価からは「独A車が一番、安心感がある」結果であったこともこの様な設計思想を実現している点にあると想定される。

Table 7-22 オーバーライドトルクの比較

	独A車	米C車
オーバーライドトルク(Nm)	1.9	3.0

7.3.1.2. 独A車

独A車において、コーストレース制御中に、Driver①が操舵介入しようとした時の操舵トルクと横変位量のグラフを以下に示す。

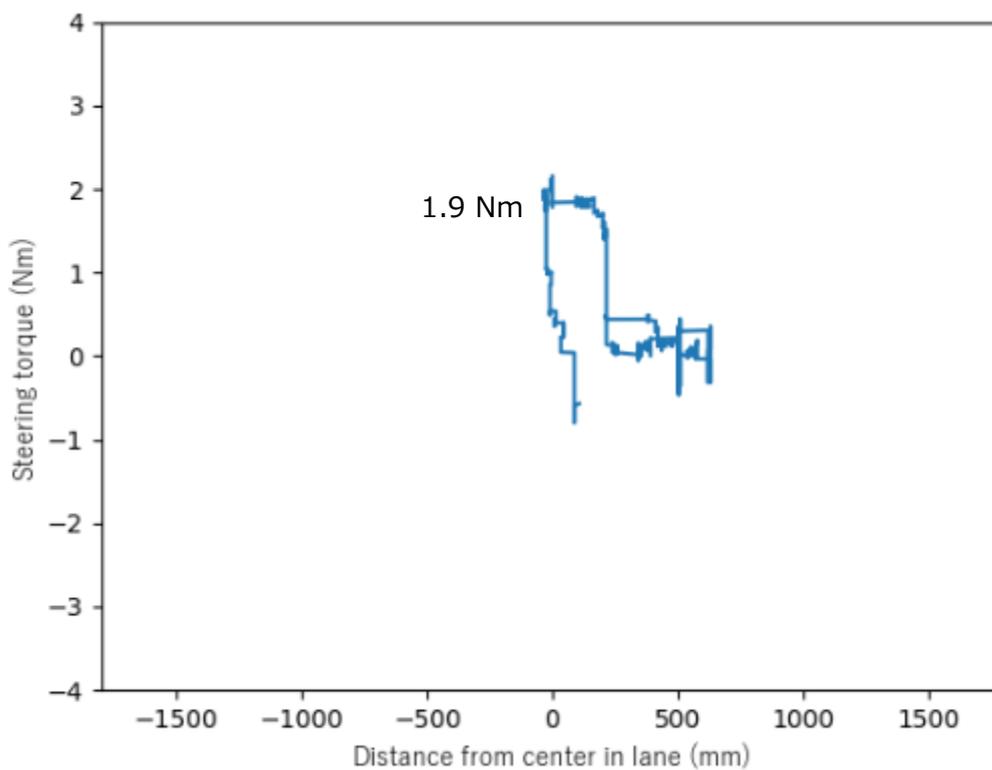


Fig. 7-15 操舵トルクと横変位量 (独A車 Driver①)

7.3.1.3. 米C車

米C車において、コーストレース制御中に、Driver①が操舵介入しようとした時の操舵トルクと横変位量のグラフを以下に示す。

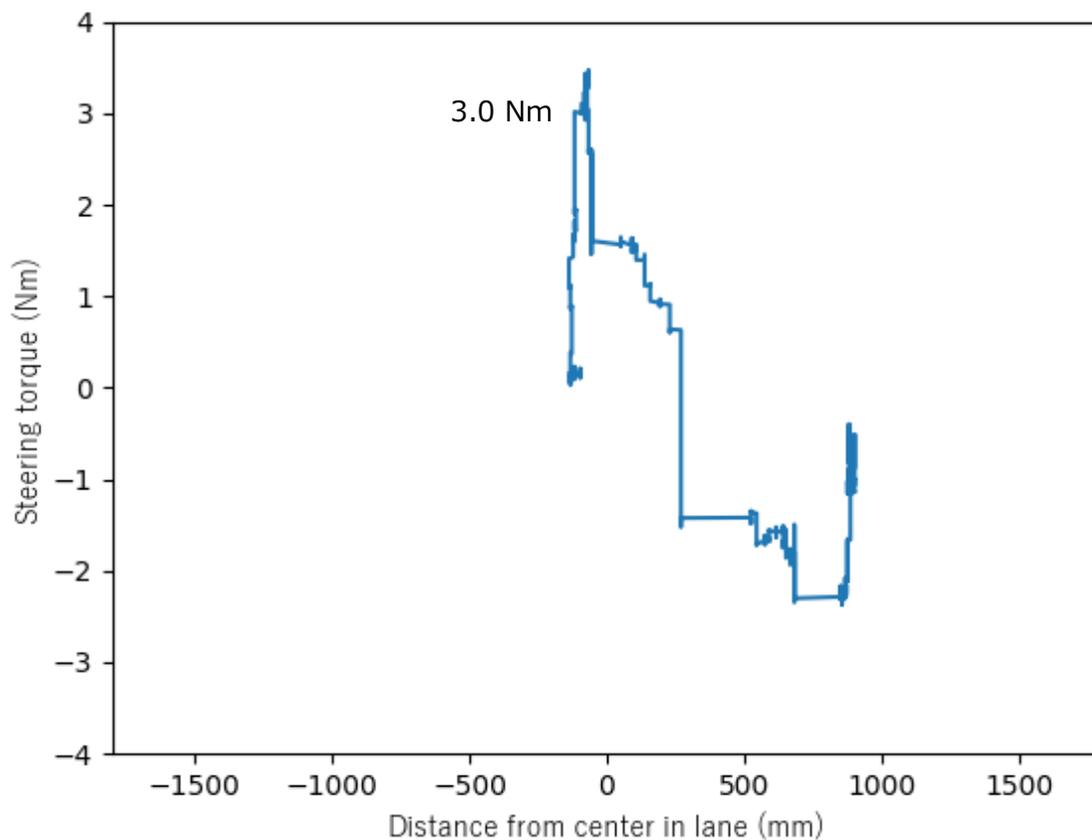


Fig. 7-16 操舵トルクと横変位量 (米C車 Driver①)

7.3.2. オーバーライド時の操舵仕事率

7.3.2.1. 総評

コーストレース制御中に、ドライバーが操舵介入しようとした時の操舵仕事率をみたところ、米C車は独A車に比べてドライバーの負担が大幅に大きいことが判った。

操舵仕事量（操舵仕事率グラフの総面積）で比較すると、米C車は独A車の約2.2倍となっている。

Table 7-23 操舵仕事量の比較

	独A車	米C車
操舵仕事量(Wh)	49	108

7.3.2.2. 独A車

独A車において、コーストレース制御中に、Driver①が操舵介入しようとした時の操舵仕事率のグラフを以下に示す。

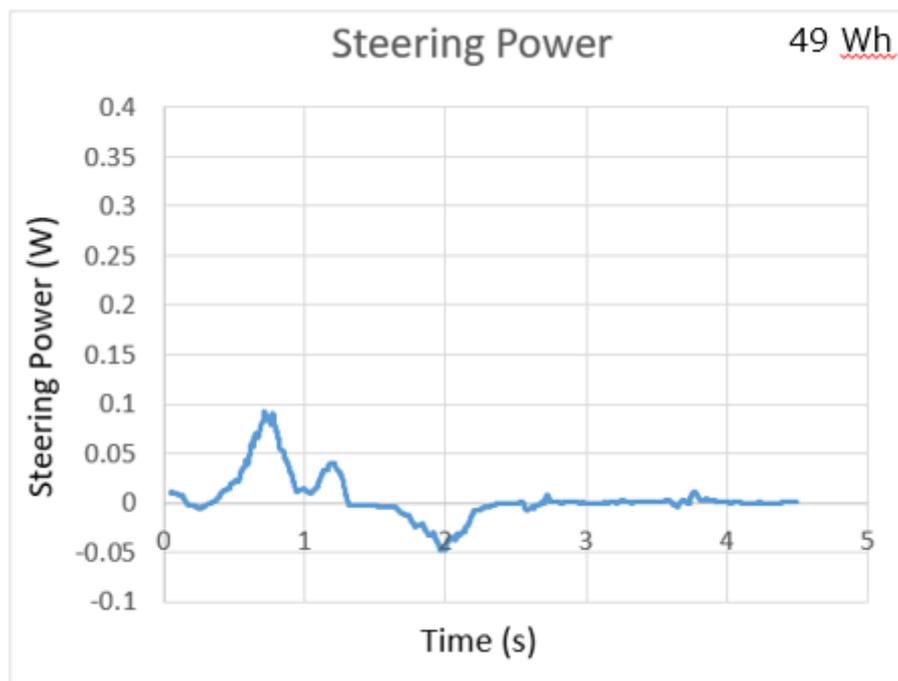


Fig. 7-17 操舵仕事率 (独A車 Driver①)

7.3.2.3. 米C車

米C車において、コーストレース制御中に、Driver①が操舵介入しようとした時の操舵仕事率のグラフを以下に示す。

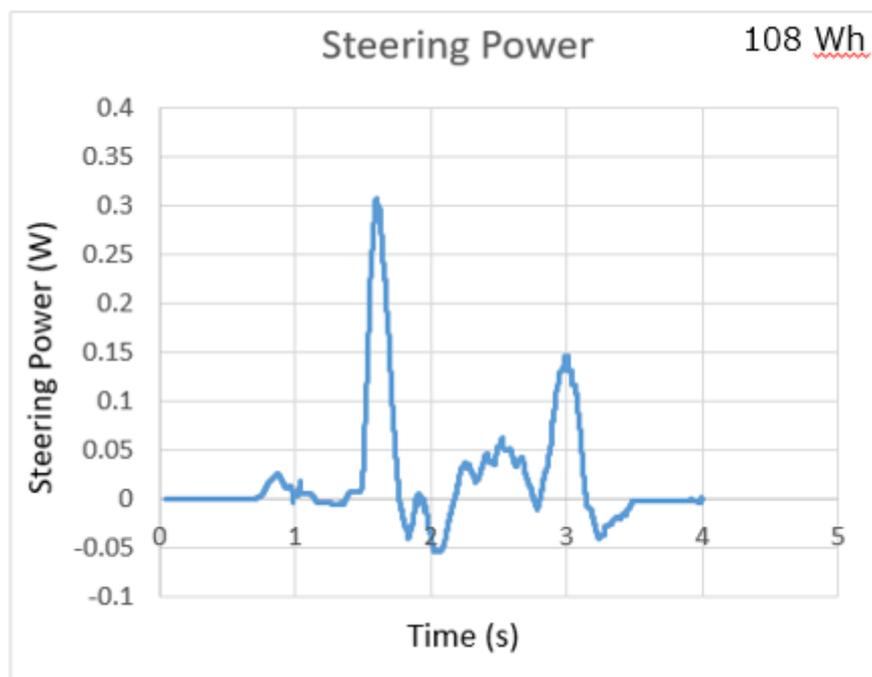


Fig. 7-18 操舵仕事率 (米C車 Driver①)

7.4. LDP 収束軌跡・収束時間

7.4.1. 総評

独A車、独B車は安定的に車線中央に収束するが、米C車は車線中央方向に戻すだけで、車線中央で収束せず、ドライバーが介入しなければ反対側の車線端まで到達する。つまり、あくまでも車線逸脱を防止するのみで、車線中央に収束する機能は持ち合わせてはいない。

日E車は、通常は車線中央に収束するが、車線中央で収束せず反対側白線まで到達しドライバーの介入が必要なケースがあった。この原因は、車載カメラ等の車線認識能力のロバスト性不足によることが考えられる。

また、センターへの収束時間について、下表にまとめる。日E車は収束しないケースがあったため、収束成功時の収束時間を参考値として記す。

Table 7-24 LDP 特性比較表

	独A車	独B車	米C車	日E車
収束軌跡	車線中央に収束	車線中央に収束	車線中央に収束せず	車線中央に収束（収束しないケースあり）
収束時間(s)	3.5	4.0	∞	3.0~∞

※日D車はデータを取得できなかったため未評価

7.4.2. 独A車

7.4.2.1. 左側白線付近からのLDP収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線左端に車両を寄せてLDPを発動させてから，車線センターに戻されて安定するまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

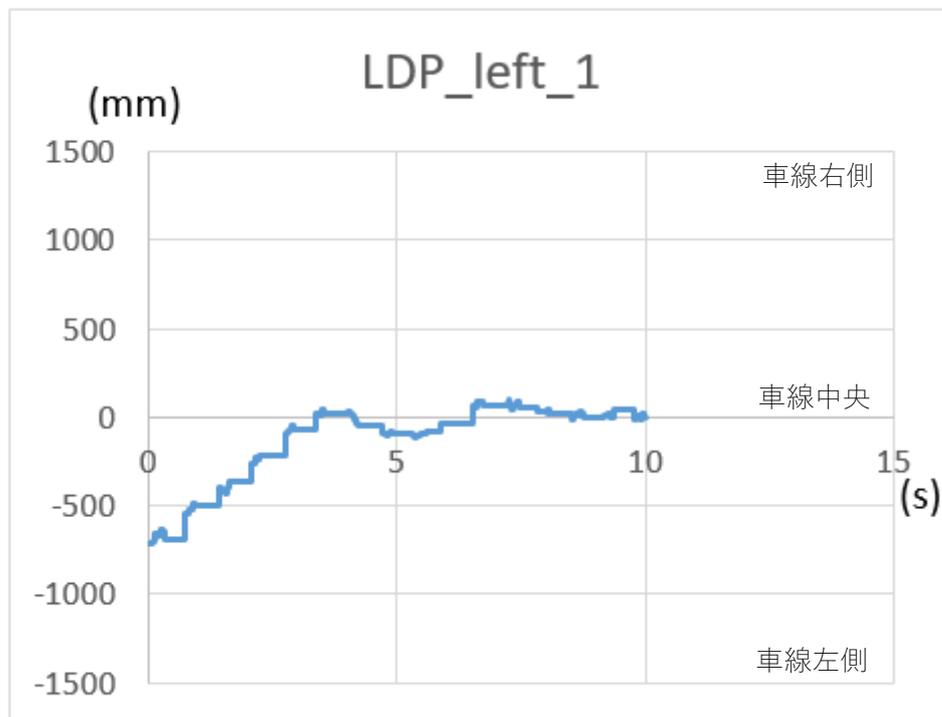


Fig. 7-19 LDP 収束軌跡 (独A車 Driver③ 左)

7.4.2.2. 右側白線付近からの LDP 収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線右端に車両を寄せて LDP を発動させてから，車線センターに戻されて安定するまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

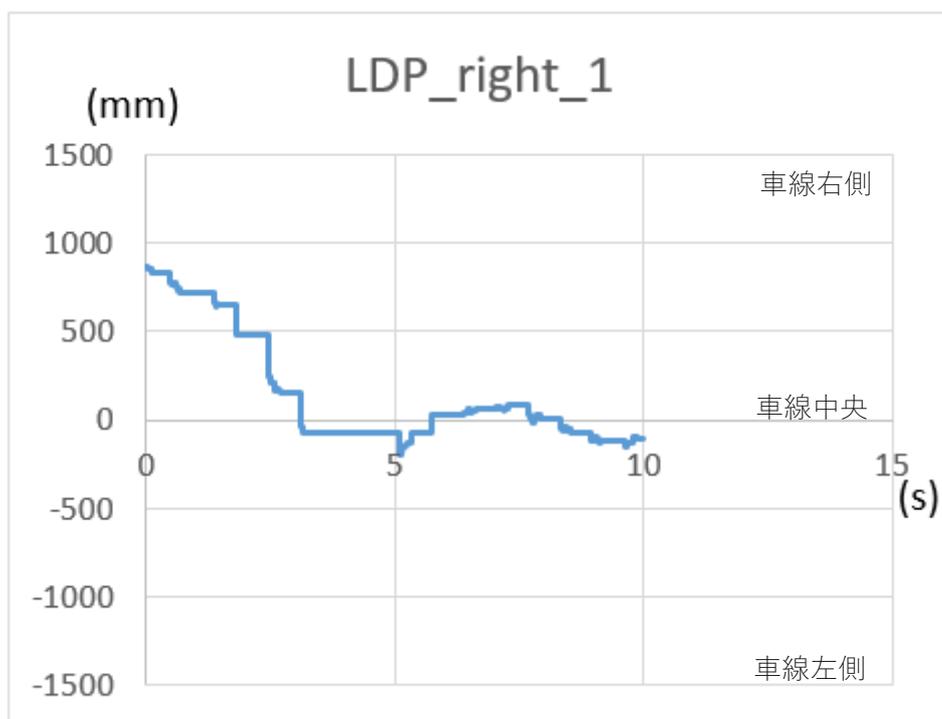


Fig. 7-20 LDP 収束軌跡（独A車 Driver③ 右）

7.4.3. 独B車

7.4.3.1. 左側白線付近からのLDP収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線左端に車両を寄せてLDPを発動させてから，車線センターに戻されて安定するまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

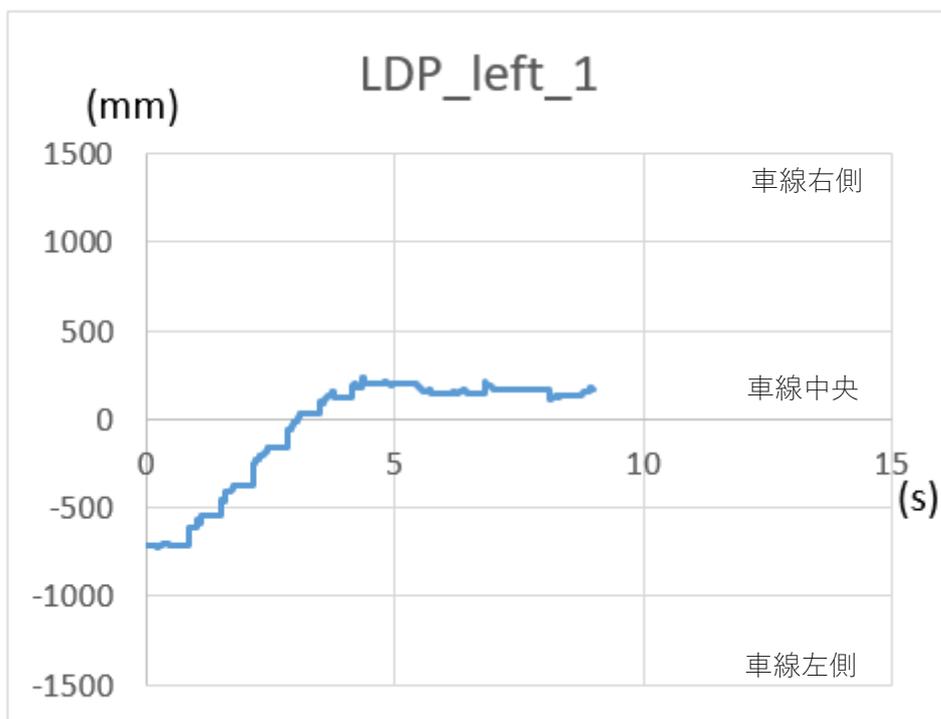


Fig. 7-21 LDP 収束軌跡（独B車 Driver③ 左）

7.4.3.2. 右側白線付近からの LDP 収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線右端に車両を寄せて LDP を発動させてから，車線センターに戻されて安定するまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

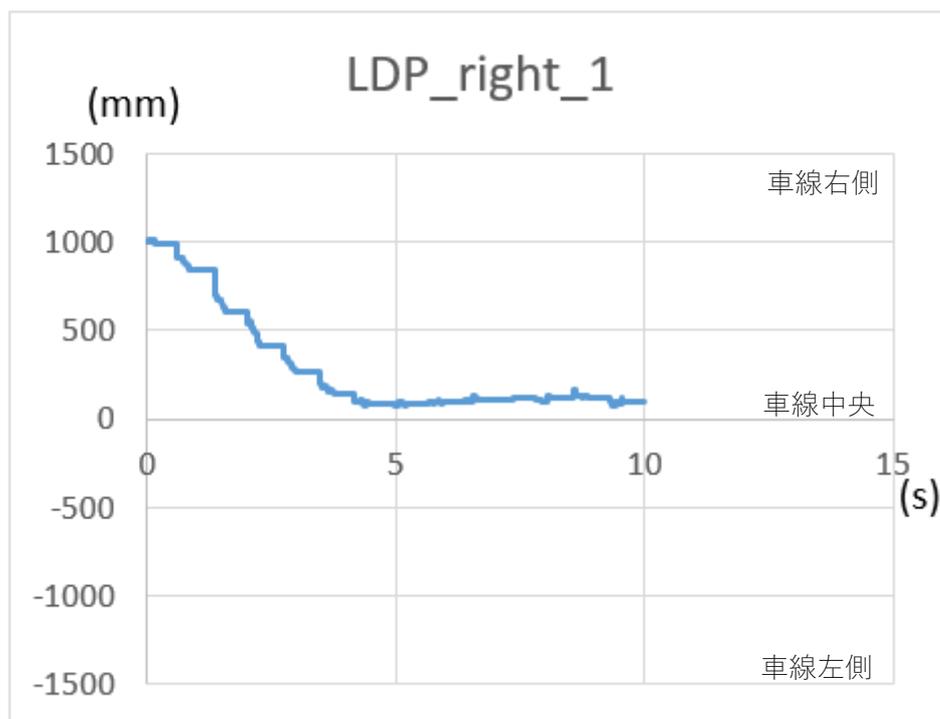


Fig. 7-22 LDP 収束軌跡（独B車 Driver③ 右）

7.4.4. 米C車

7.4.4.1. 左側白線付近からのLDP収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線左端に車両を寄せてLDPを発動させてから，車線センターに戻るまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

米C車ではセンターに収束せず，ドライバの介入が必要である.

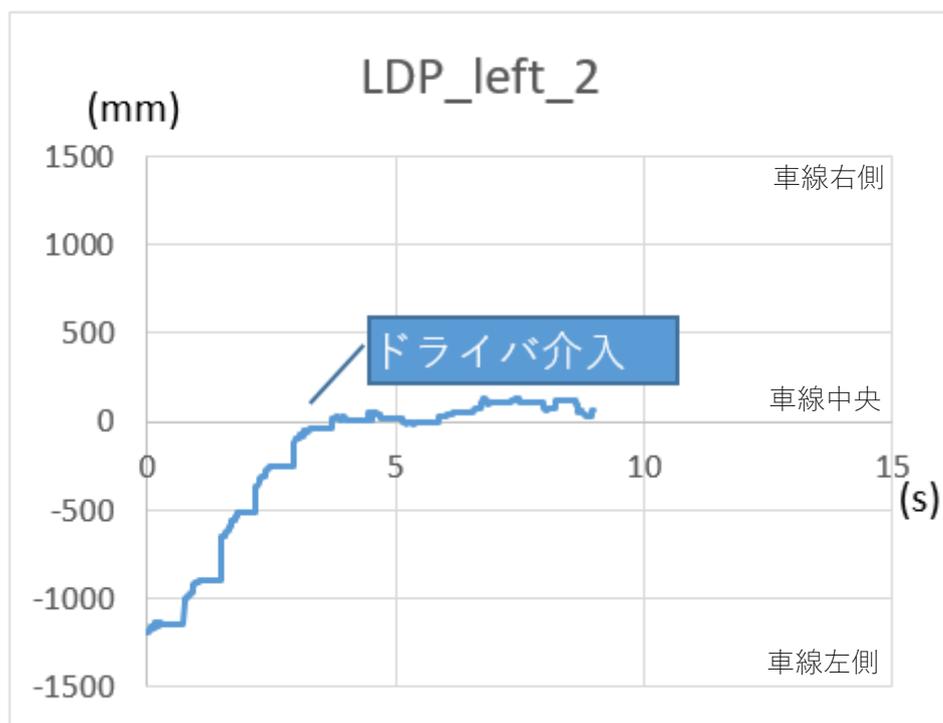


Fig. 7-23 LDP 収束軌跡 (米C車 Driver③ 左)

7.4.4.2. 右側白線付近からのLDP収束軌跡

公道（高速道路）において、意図的に車線右端に車両を寄せてLDPを発動させてから、車線センターに戻るまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

米C車ではセンターに収束せず、ドライバーが介入しないと反対側の車線端まで到達する。

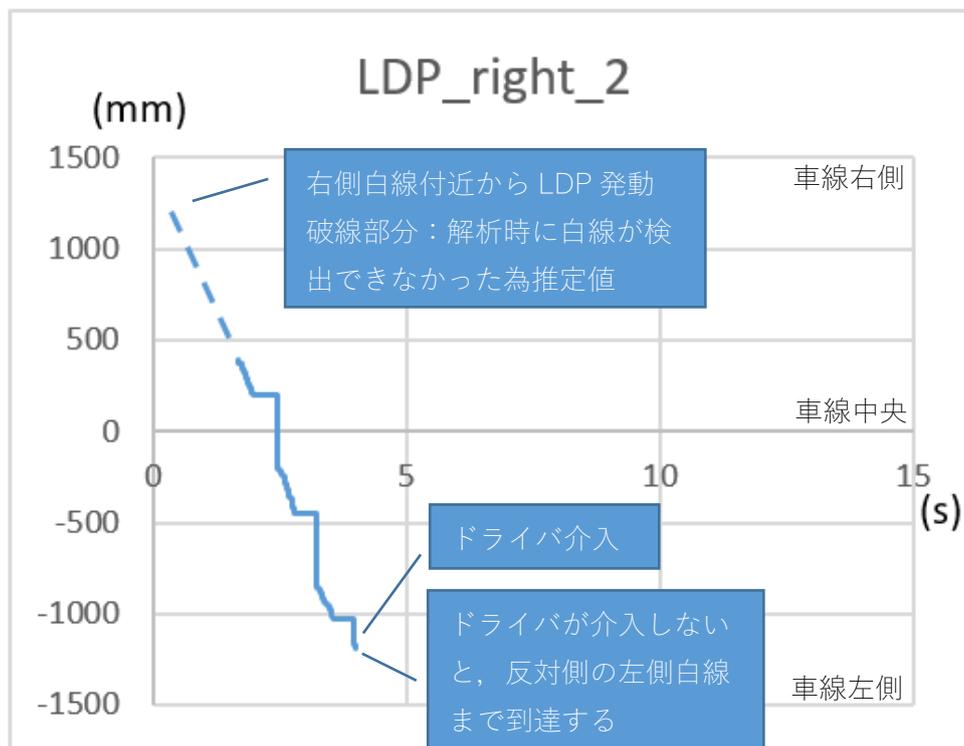


Fig. 7-24 LDP 収束軌跡 (米C車 Driver③ 右)

7.4.5. 日D車

日D車については、評価初期に実施したため、走行方法が未確立であったことから、LDP収束軌跡のデータ取得は行えていない。

7.4.6. 日E車

7.4.6.1. 左側白線付近からのLDP収束軌跡

公道（高速道路）において，意図的に車線左端に車両を寄せてLDPを発動させてから，車線センターに戻されて安定するまでの収束軌跡のグラフを以下に示す(Driver③).

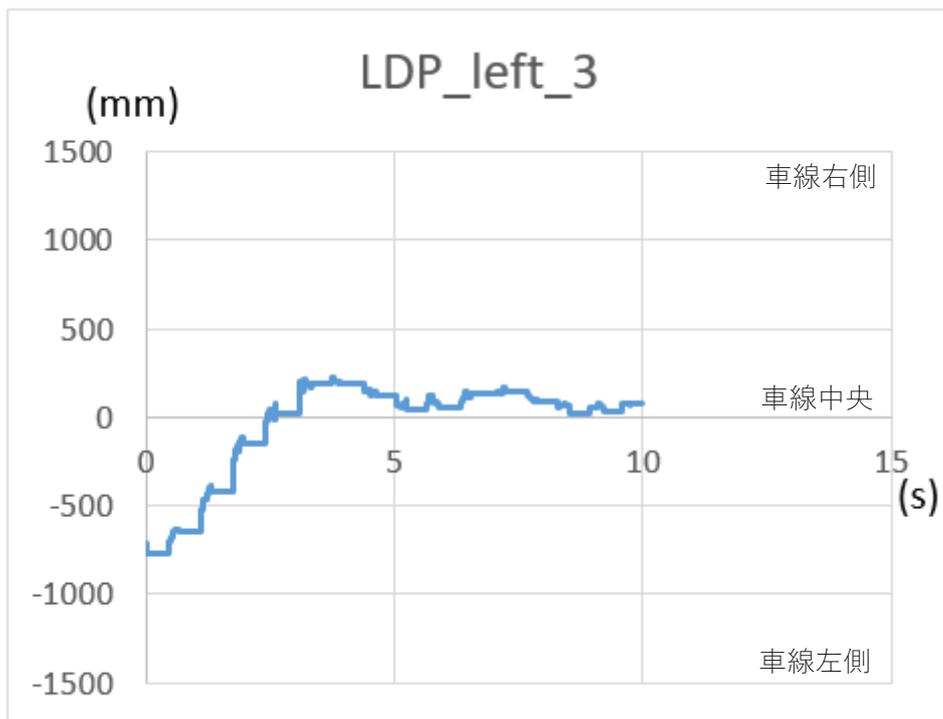


Fig. 7-25 LDP 収束軌跡（日E車 Driver③ 左-1）

以下は、センターに収束せずに、反対側車線端まで到達してしまい、ドライバーによる介入が行われたケースである。

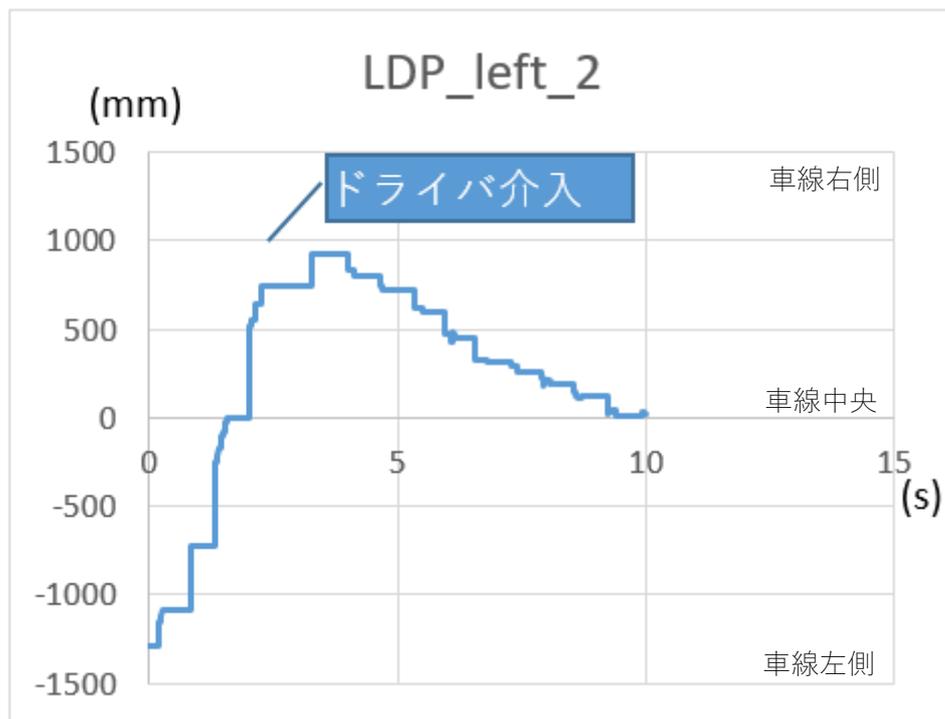


Fig. 7-26 LDP 収束軌跡 (日 E 車 Driver③ 左-2)

同シーンの動画を確認すると、以下の通りであった。



Fig. 7-27 日 E 車の LDP がセンターに収束しないケースの画像① LDP 開始



Fig. 7-28 日E車のLDPがセンターに収束しないケースの画像②



Fig. 7-29 日E車のLDPがセンターに収束しないケースの画像③



Fig. 7-30 日E車のLDPがセンターに収束しないケースの画像④ ドライバ介入

車線中央部に矢印の標示が描かれており、車線を示す白線のカスレと併せて白線認識に失敗し、センターに収束できなかったと思われる。

下図は、高精度IMUで記録した座標をGoogleEarth上にプロットした画像である（手動補正済み）。車線左端から右端まで到達する軌跡が見て取れる。



Fig. 7-31 日E車のLDPがセンターに収束しないケースの高精度IMUによる軌跡

7.4.6.2. 右側白線付近からの LDP 収束軌跡
実施なし.

7.5. コーナートレース維持性能評価

高速コーナーに関しては，独A車，独B車，米C車の外車3台はS字コーナーの切り替えしも含めて安定して自動制御する。日D車，日E車の日本車2台は，S字の切り替えしや周囲のトラック等の影響で制御が途切れることがあり，やや安定感に欠けていた。

低速コーナーに関しては，独B車，日D車，日E車は全く制御しない。独B車に関しては，急カーブでは白線を認識できず，結果として制御をONにすることができなかった。独A車は比較的低速であれば制御したが，途中で制御を放棄することもあった。米C車に関しては，低速コーナーを安定的に制御しており，オーバースピード気味にコーナーに進入した場合でも自動で減速して，ある程度自動制御を継続したこともあった。

総合すると，コーナートレース性能の優秀度合は，以下の順位である。

米C車>独A車>独B車>日D車=日E車

Table 7-25 各車のコーナートレース維持性能の比較

	独A車	独B車	米C車	日D車	日E車
高速コーナー	制御する	制御する	制御する	制御するが途切れることがある	制御するが途切れることがある
低速コーナー	制御するが途切れることがある。また，オーバースピードでは制御しない	制御しない	制御する。オーバースピードでコーナーに進入した場合，自動で減速して制御を継続する。	制御しない	制御しない

以下に、米C車が自動制御した高速コーナー（東名中井 PA 付近）の軌跡と速度のグラフを示す。S字コーナーの切り返しも違和感なく制御を行っていた。



Fig. 7-32 高速コーナー（東名中井 PA 付近）軌跡（米C車 Driver③）

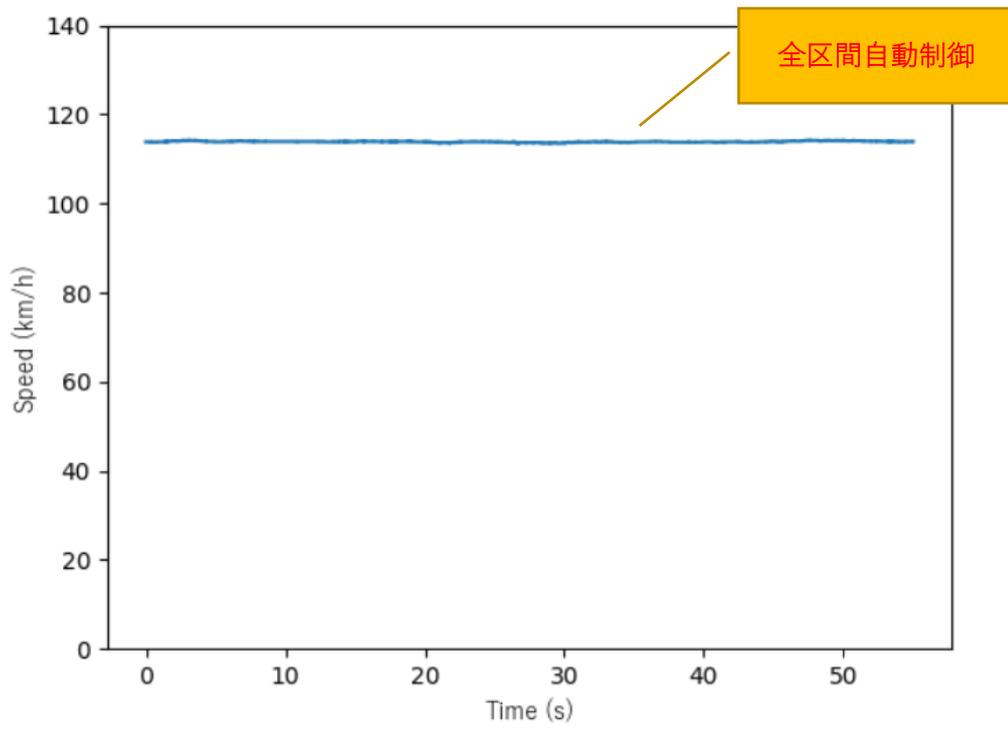


Fig. 7-33 高速コーナー（東名中井 PA 付近）速度（米C車 Driver③）

以下に、米C車が自動制御した低速コーナー（大井松田 IC）の軌跡と速度のグラフを示す。

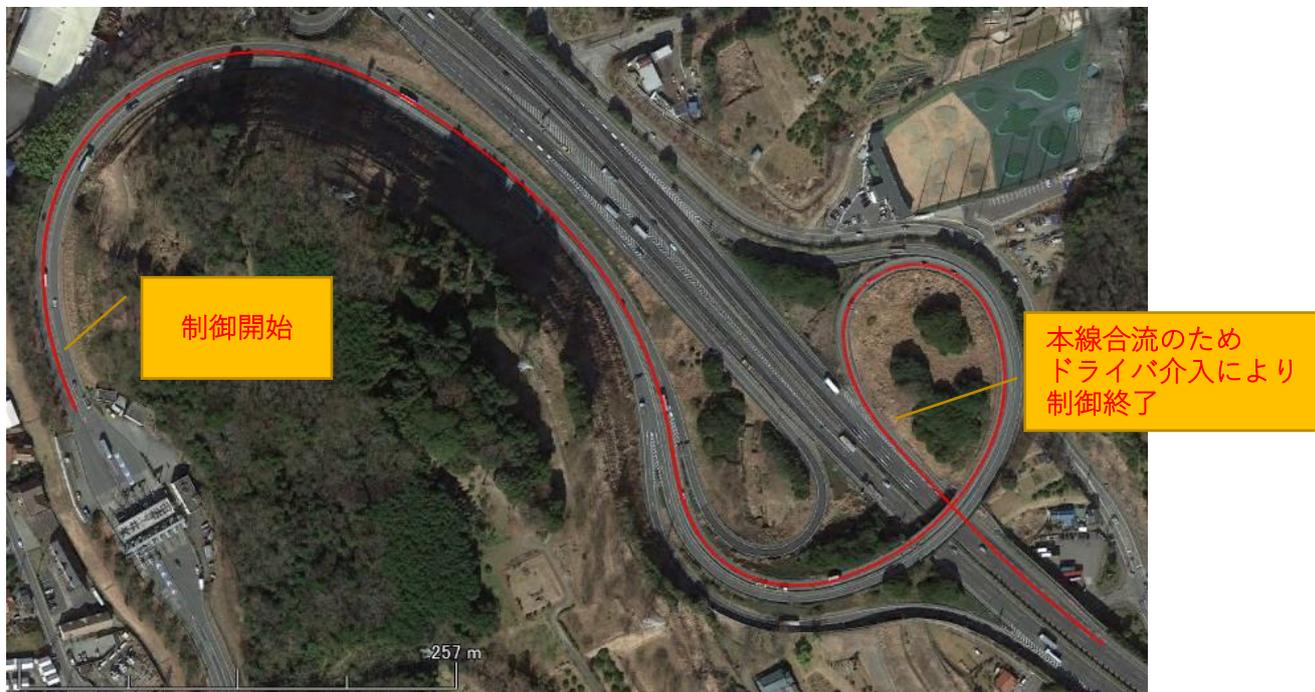


Fig. 7-34 低速コーナー（大井松田 IC）軌跡（米C車 Driver③）

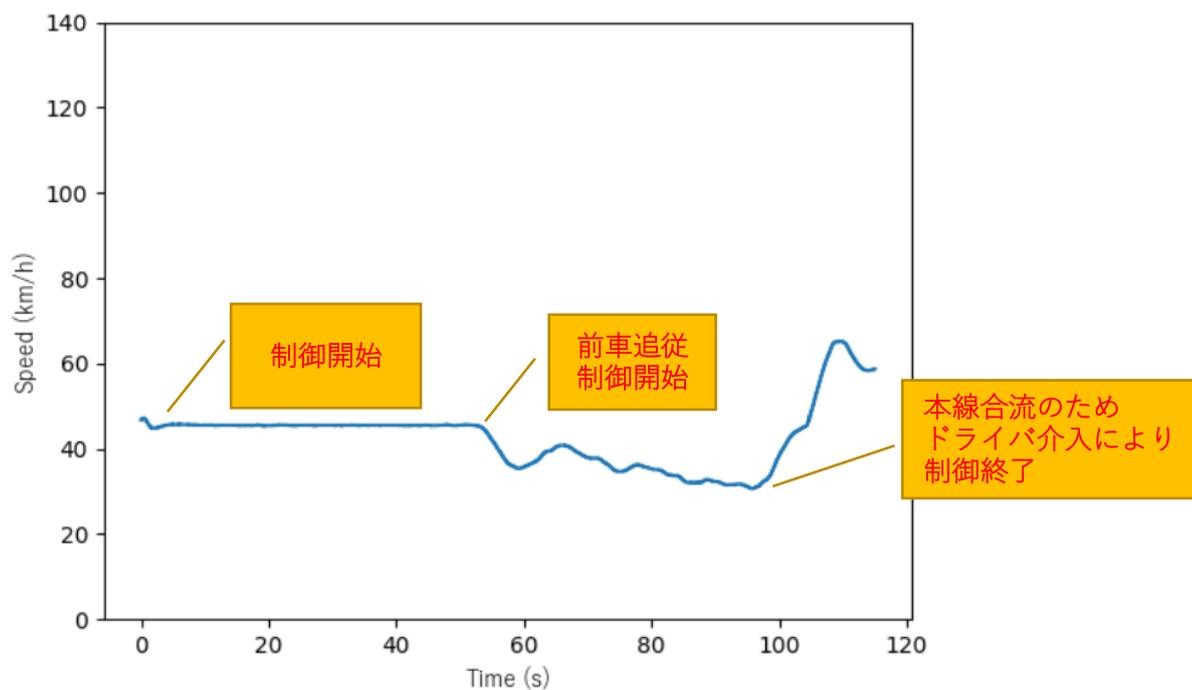


Fig. 7-35 低速コーナー（大井松田 IC）速度（米C車 Driver③）

以下に、米C車で低速コーナー（圏央厚木 IC）にオーバースピードで進入後、自動減速し、自動制御した軌跡と速度グラフを示す。

コーナーの出口付近で制御中止となっているが、車線認識失敗によるものか、別の原因によるものかは不明である。



Fig. 7-36 低速コーナー（圏央厚木 IC）軌跡（米C車 Driver③）

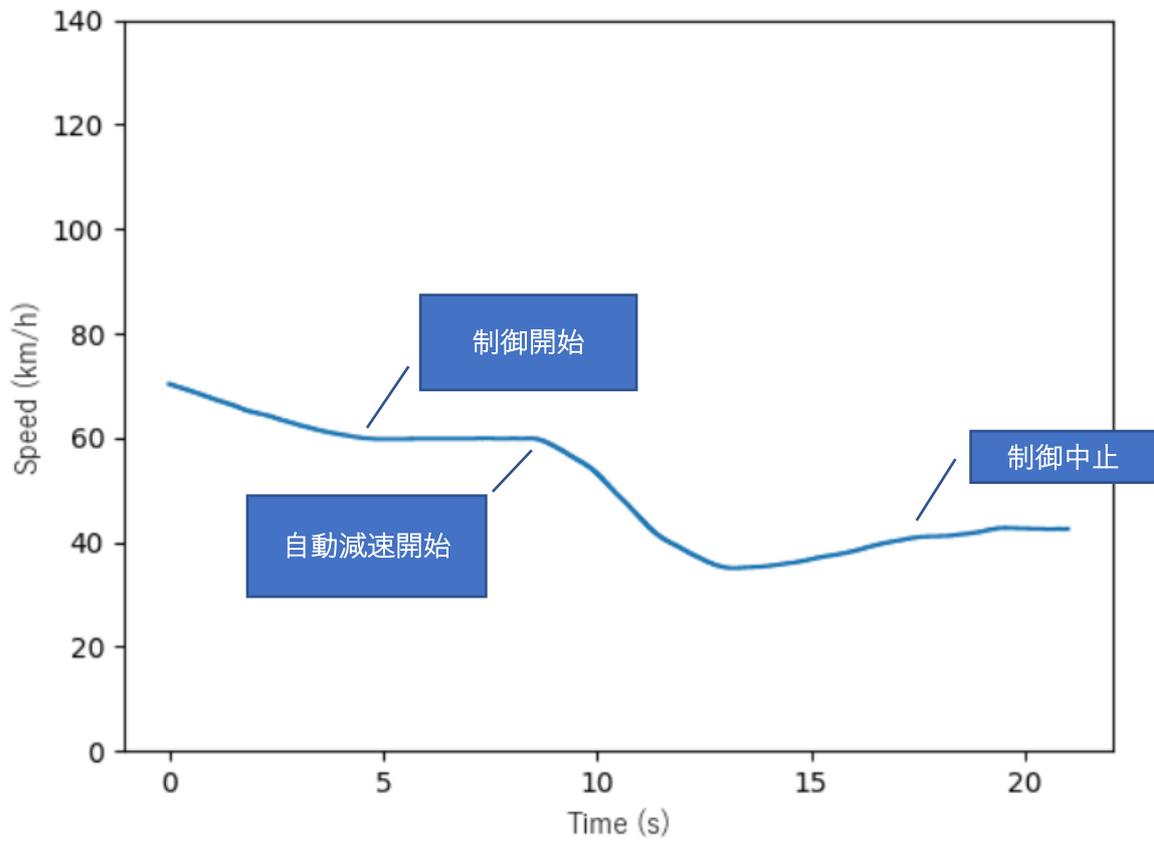


Fig. 7-37 低速コーナー（圏央厚木 IC）速度（米C車 Driver③）

7.6. 前方注視頻度と HMI の適切性（暫定評価）

7.6.1. 総評

アイマークレコーダーによる視線を分析し、ドライバが前方を注視しているか、またはメーター等前方以外を注視しているか分析を行った。視線分析結果と、ドライバ毎に得られた HMI に関するコメントと併せて、ドライバ毎に 3 段階評価を行った。なお、本評価は暫定的なものであり、HMI に関する主観評価結果とは直接関連していない。

評価基準としては以下の通りとした。

◎：前方注視頻度が高い。または、表示に関して良好なコメントがある(+1 点)

○：前方注視頻度が普通。または、表示に関してコメントがない(±0 点)

△：前方注視頻度が比較的低い。または、表示に関して不満なコメントがある(-1 点)

Table 7-26 ドライバ毎の前方注視頻度と操作性評価

車種	Driver①	Driver②	Driver③	Driver④	Driver⑤	点数
独A車	○	○	○	△	△	-2
独B車(HUDあり)	◎	△	◎	◎	◎	3
米C車	△	○	◎	△	△	-2
日D車(HUDあり)	○	○	◎	◎	△	1
日E車	◎	○	△	△	未評価	-1

HUD を装備している独B車が最も良く、やはり HUD を装備している日D車が次点となった。続けて、日E車>独A車=米C車の順であった。

HUD に制御状態等の情報が表示されることで前方注視率が向上し、視線移動量が削減できることから安全性に繋がっていくものと考えられる。

しかし、ドライバによっては HUD の表示がわかりづらいとのコメントもあり、より分かりやすく瞬時に判断できる表示内容でなければ、HUD の有効性が薄れることが示唆された。

米C車に関しては、インパネにメーターが配置されておらず、速度や制御状態などの表示はすべて車内中央のディスプレイに表示される。表示自体はわかりやすいとのコメントがあるものの、前方からの視点移動量が多く、やや安全性に欠けているといえる。

7.6.2. 独A車

HUD なし.

7.6.2.1. ドライバ①

システム機能に安心感があるため, ADAS インジケータ表示に捕らわれることがあまり無いとのコメントあり.



Fig. 7-38 独A車ドライバ① 注視位置分布

7.6.2.2. ドライバ②

メーター中央に情報が集約されており，慣れればわかりやすいとのコメントあり.



Fig. 7-39 独A車ドライバ② 注視位置分布

7.6.2.3. ドライバ③

特にコメントはなし.



Fig. 7-40 独A車ドライバ③ 注視位置分布

7.6.2.4. ドライバ④

表示が少し分かりにくいとのコメントあり.

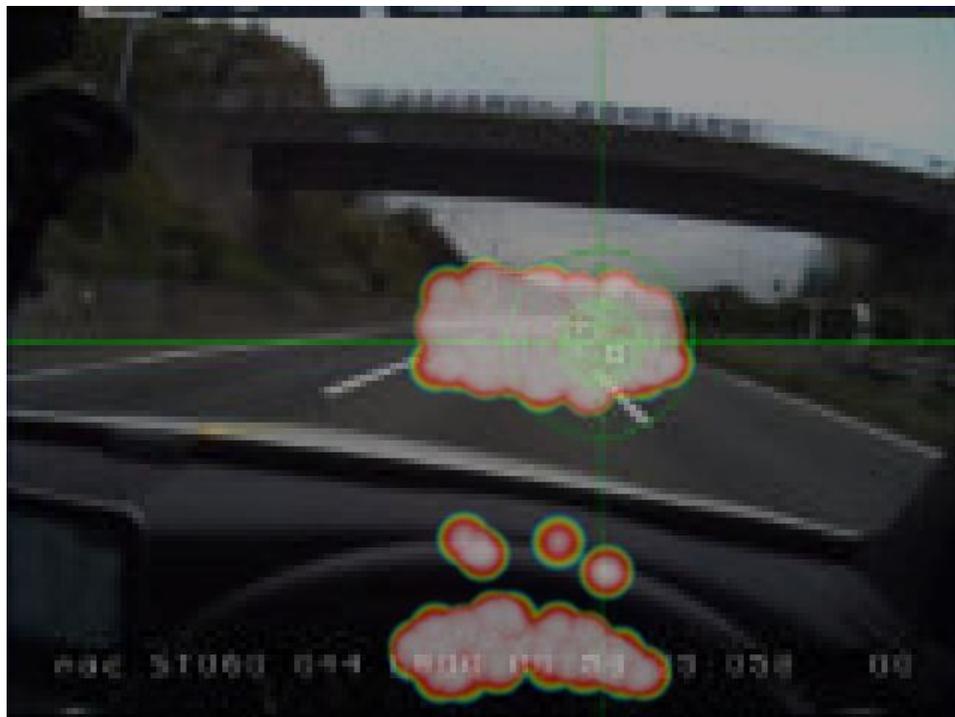


Fig. 7-41 ドライバ④ 注視位置分布

7.6.2.5. ドライバ⑤

コメントは特になし.

メーターを注視する頻度が高いのはドライバー⑤の共通的な傾向である.



Fig. 7-42 ドライバ⑤ 注視位置分布

7.6.3. 独B車

HUD あり.

7.6.3.1. ドライバ①

システム機能に安心感があるため, HUD が無くとも ADAS インジケータ表示に捕らわれることがあまりないとのコメントあり.

あまりメーター類を見ずにほぼ前方を注視している.



Fig. 7-43 独B車ドライバ① 注視位置分布

7.6.3.2. ドライバ②

インフォメーションとサポート機能の状態がわかりにくいとのコメントあり.

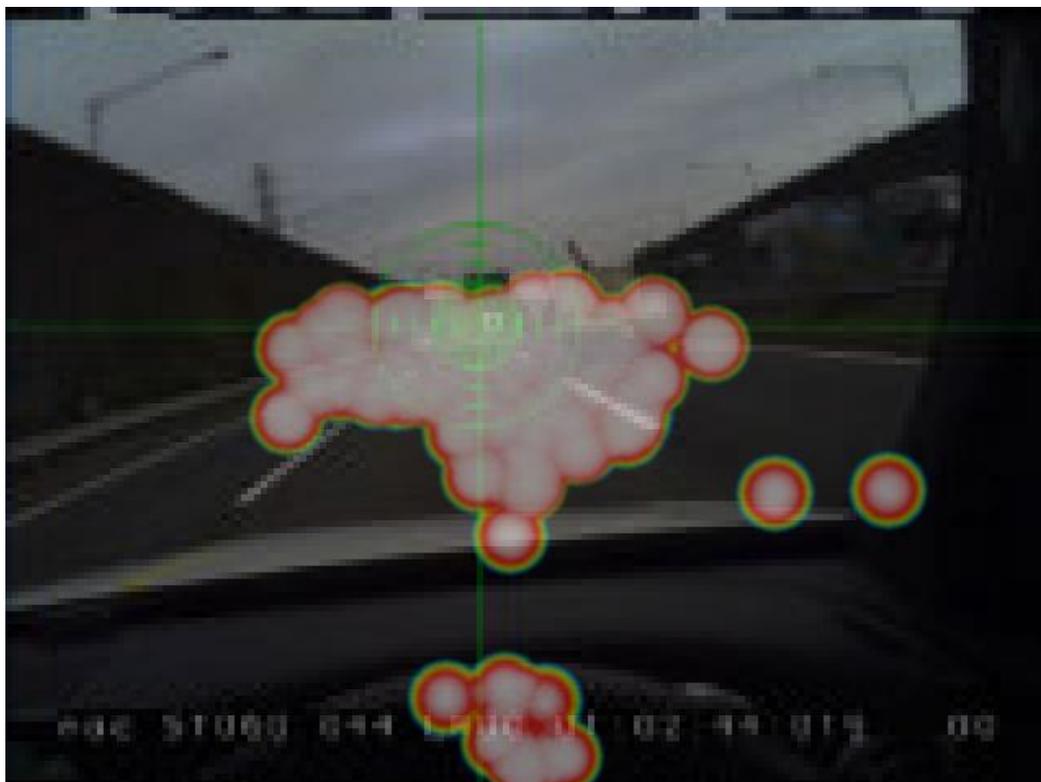


Fig. 7-44 独B車ドライバ② 注視位置分布

7.6.3.3. ドライバ③
特にコメント無し.



Fig. 7-45 独B車ドライバ③ 注視位置分布

7.6.3.4. ドライバ④

HUD について見やすいとのコメントあり.

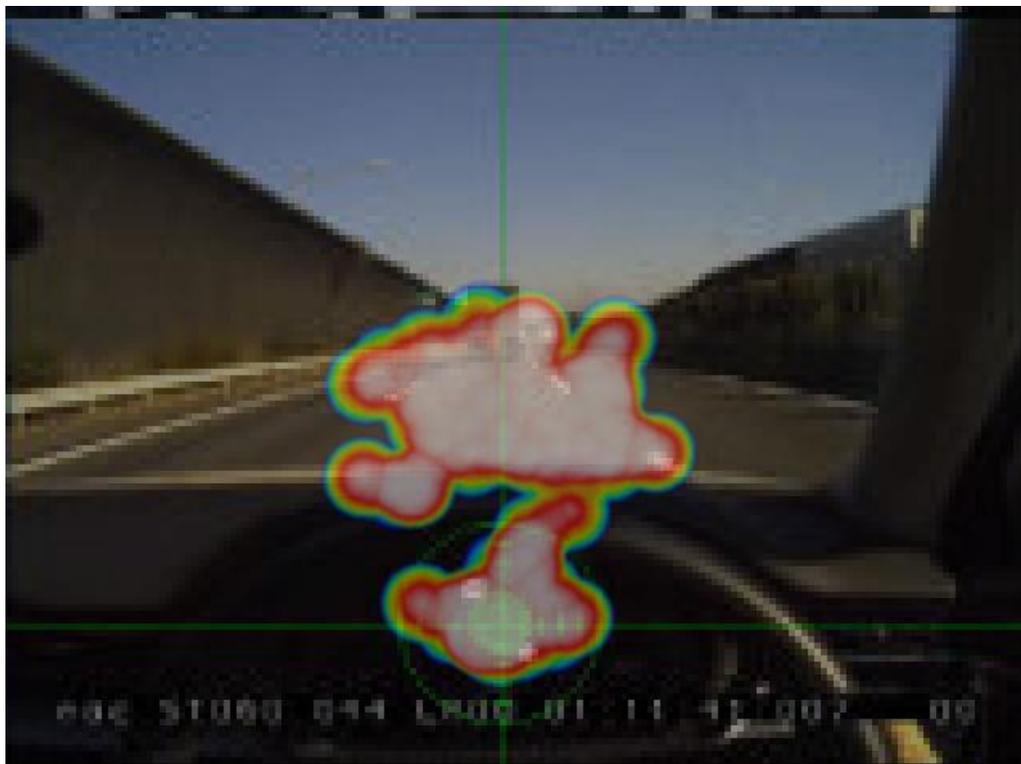


Fig. 7-46 独B車ドライバ④ 注視位置分布

7.6.3.5. ドライバ⑤

特にコメント無し.

ドライバ⑤の傾向としてメーターを注視する頻度が比較的高いが, HUD の効果か独B車では他車より前方注視時間が長くなっている.



Fig. 7-47 独B車ドライバ⑤ 注視位置分布

7.6.4. 米C車

HUDなし。インパネにメーターは配置されておらず、速度や自動制御状態等の情報は中央のディスプレイに集約されている。

7.6.4.1. ドライバ①

横を見なければならず、苦痛とのコメントあり。
視野情報は欠損。

7.6.4.2. ドライバ②

メーターが中央ディスプレイに集約していることは、慣れればわかりやすいとのコメントあり。

概ね前方を注視しているが、モニターや操作レバーを注視している事もある。



Fig. 7-48 米C車ドライバ② 注視位置分布

7.6.4.3. ドライバ③

表示がシンプルで分かりやすいとのコメントあり.

ドライバ③の共通的な傾向として前方を注視している頻度が高い.



Fig. 7-49 米C車ドライバ③ 注視位置分布

7.6.4.4. ドライバ④

特にコメントなし.

モニターと操作レバーを注視している時間が長い.



Fig. 7-50 米C車ドライバ④ 注視位置分布

7.6.4.5. ドライバ⑤

特にコメント無し.

ドライバ④同様にモニターと操作レバーを注視している時間が長い.



Fig. 7-51 米C車ドライバ⑤ 注視位置分布

7.6.5. 日D車

HUD あり.

7.6.5.1. ドライバ①

特にコメント無し.



Fig. 7-52 日D車ドライバ① 注視位置分布

7.6.5.2. ドライバ②

HUD の表示がシンプルであるとのコメントあり.



Fig. 7-53 日D車ドライバ② 注視位置分布

7.6.5.3. ドライバ③

HUD について良好とのコメントあり.



Fig. 7-54 日D車ドライバ③ 注視位置分布

7.6.5.4. ドライバ④
特にコメントなし.

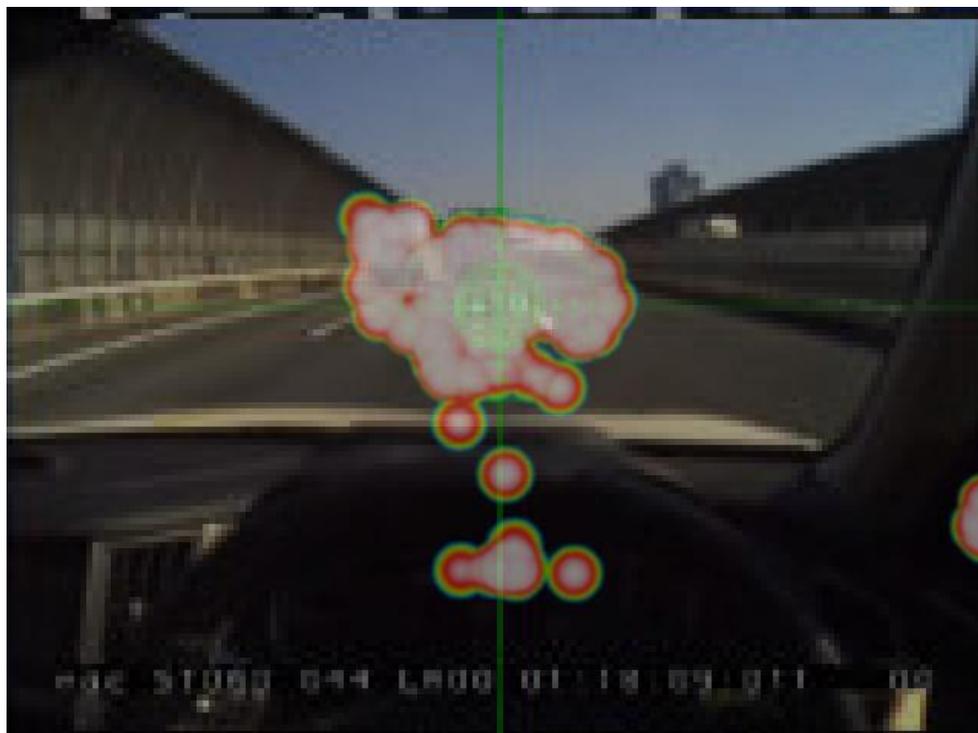


Fig. 7-55 日D車ドライバ④ 注視位置分布

7.6.5.5. ドライバ⑤

速度表示以外に自動運転をしているかどうかの情報があってもいいのではないかとのコメントあり.

メーターを注視する頻度が高いのはドライバー⑤の共通的な傾向である.



Fig. 7-56 日D車ドライバー⑤ 注視位置分布

7.6.6. 日E車

HUDなし.

7.6.6.1. ドライバ①

以前に比べ S/W 類が軽減されて分かり易くなってきたとのコメントあり.



Fig. 7-57 日E車ドライバ① 注視位置分布

7.6.6.2. ドライバ②

慣れれば解りやすいとのコメントあり.
視野情報は欠損.

7.6.6.3. ドライバ③

制御の状態表示が分かり難いとのコメントあり.



Fig. 7-58 日E車ドライバ③ 注視位置分布

7.6.6.4. ドライバ④

制御が作動しているか不安な時があるとのコメントあり.



Fig. 7-59 日E車ドライバ④ 注視位置分布

7.6.6.5. ドライバ⑤

日E車は未評価.

7.7. 主観評価からの定量目標値の提案

レーントレース系機能(LKA.LDP)に関し、主観評価の許容値を 33 (3点×11項目) に設定した上で各定量目標値を考察し、以下の客観的な指標を提案する。

7.7.1. LKA 直進安定性

主観評価で許容値を超えている独A車、独B車、日D車を基準とし、LKA 直進時の横変位変動量の許容値 (1 σ) を「±20 cm 以下」とする。

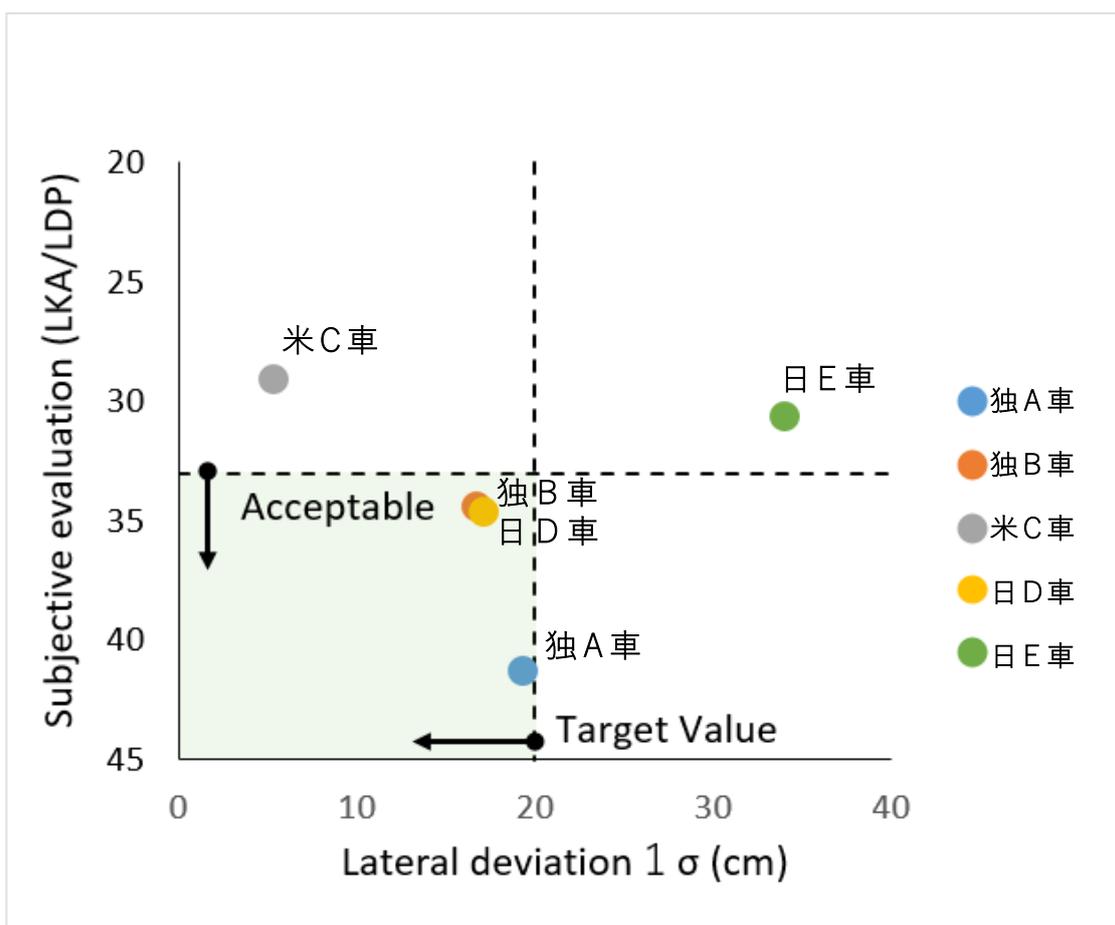


Fig. 7-60 LKA 直進安定性の主観評価と横変位量の関係

7.7.2. LDP 収束時間

主観評価で許容値を超えている独A車，独B車を基準とし，LDP 発動から車線センターへ収束するまでの時間の許容値を「4秒以下」とする。

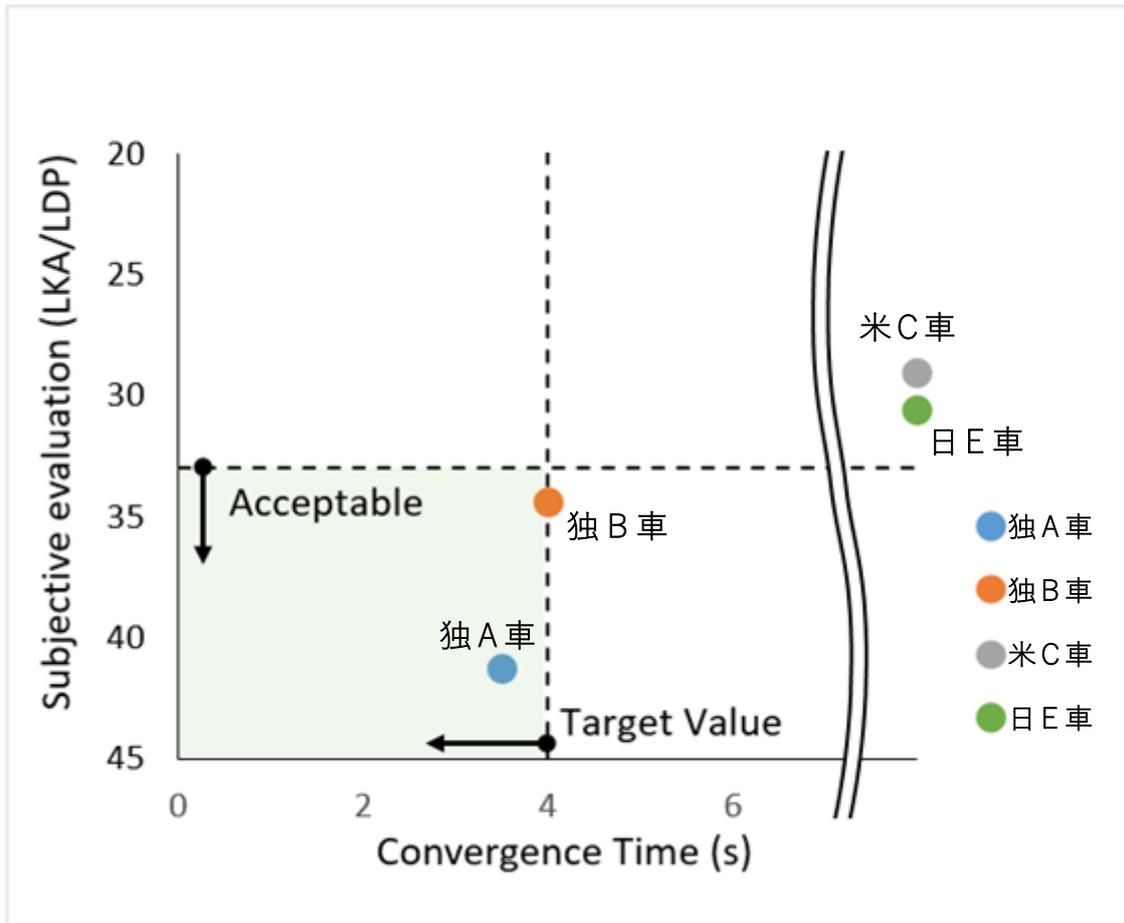


Fig. 7-61 LDP の主観評価と収束時間の関係

7.7.3. オーバーライド操舵トルク

主観評価で許容値を超えている独A車を基準とし、オーバーライド操舵トルクの許容値を「2.0 Nm 以下」とする。

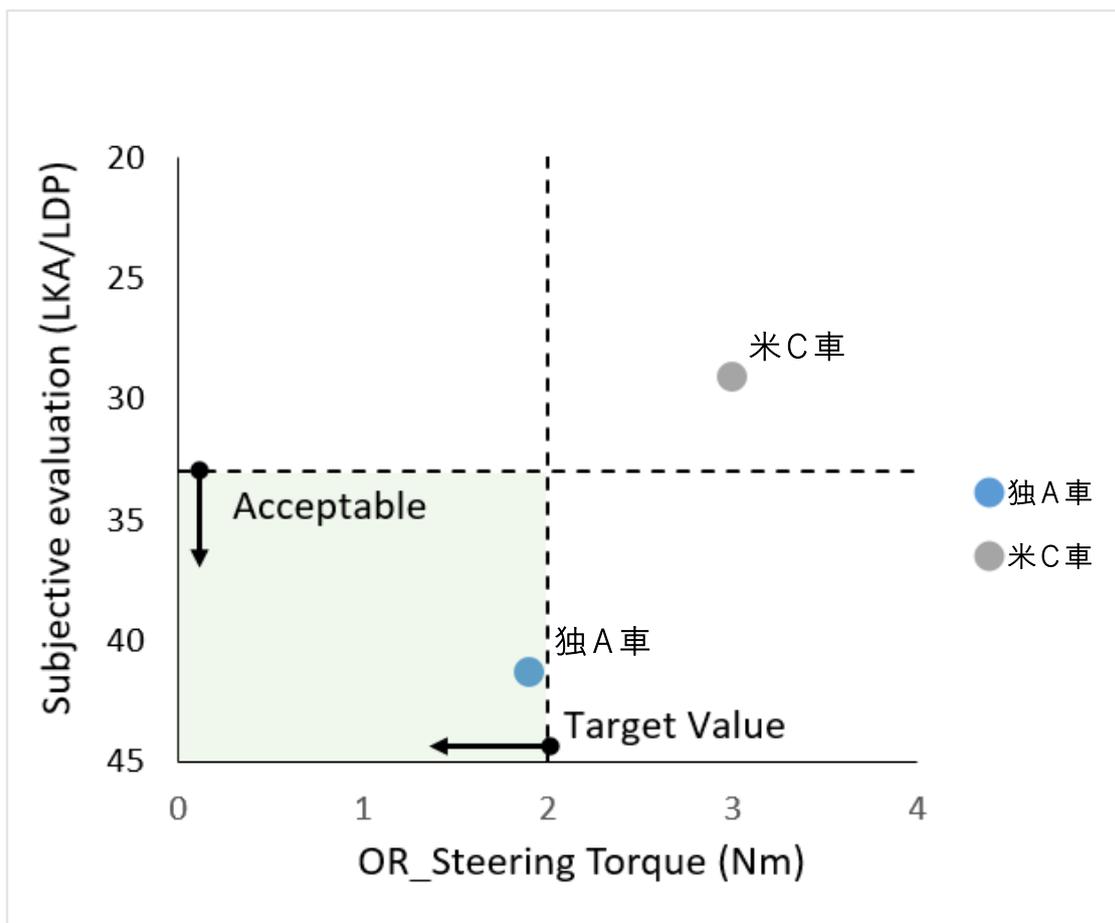


Fig. 7-62 オーバーライド操舵の主観評価と操舵トルクの関係

7.7.4. オーバーライド操舵仕事量

主観評価で許容値を超えている独A車を基準とし、オーバーライド操舵仕事量の許容値を「50 Wh 以下」とする。

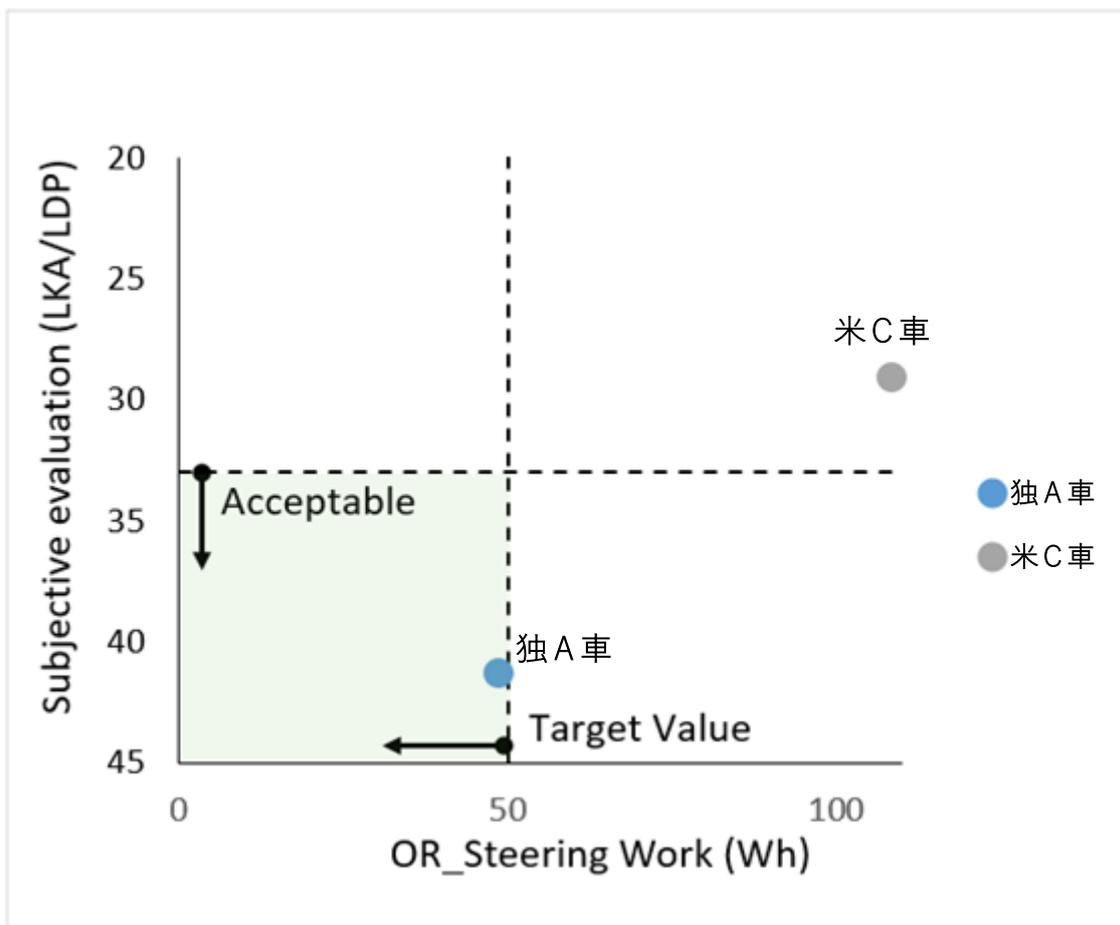


Fig. 7-63 オーバーライド操舵の主観評価と操舵仕事量の関係

8. まとめ

- (1) 本研究では、ADAS/AD の消費者視点からの安全性、安心感に関する主観評価を、49 の評価項目に纏め、客観的傾向を示すことができた。
- (2) カメラによる画像認識と車両挙動を併せた計測技術を構築し、ADAS/AD の本来性能だけでなく、人間～機械運転の遷移領域における安心感も定量評価指標で示すことが可能になった。
- (3) 以上の結果から、ADAS/AD でのドライバーの安心感は、レーントレースの様な自動運転性能だけでは達成できず、人間～機械運転の遷移領域の性能が大きく寄与することが分かった。

今後の課題としては以下の通りである。

- ・ 評価車両の拡張
- ・ 評価方法、評価指標の向上
 - アイマーク解析の定量化
 - コーナー評価方法の確立
 - IMU や LiDAR 等を活用した、自車位置と車線内位置の正確な計測
 - 公道における操舵力の計測

参考文献

- (1) 西海智也, 目片泰基: コーストレースシステムにおけるドライバ運転負荷評価に関する研究, 神奈川工科大学 卒業論文, (2019).
- (2) 畑中優佑: レーンキープアシストのドライバ運転負荷に関する一考察, 神奈川工科大学 卒業論文, (2018).