

神奈川工科大学 研究推進機構

先進自動車研究所
令和4年度 研究報告資料

ADAS/AD性能(公道高速走行)評価プロトコルの
開発に関する研究

先進自動車研究所 上原 健一, 折口 道明, 杉澤 雅紀, 井上 秀雄
オートマックス株式会社

目次

1. 2022年度評価車両
 2. 評価プロトコル
 3. 制御継続性評価指標の改善
 4. 走行位置評価指標の改善
 5. オーバーライド性能評価指標の改善
 6. 外乱安定性評価指標
 7. 速度適応制御系評価指標
 8. オートレーンチェンジ
 9. LKA障害物回避機能
 10. ACCの走行車線からの追い越し抑止機能
 11. コーナー解析
 12. まとめ
- APPENDIX A. 保舵アラートの計測結果

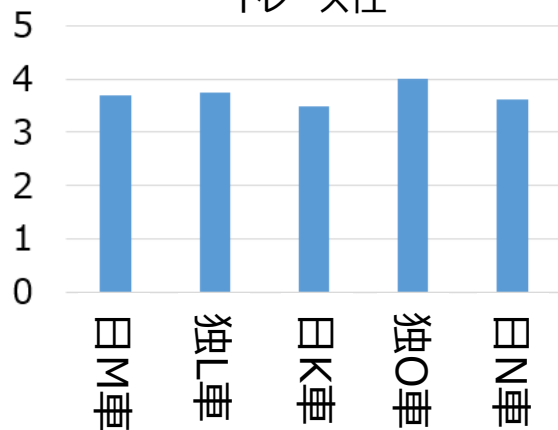
1. 2022年度評価車両

- 日M車 (2022年)
- 独L車 (2021年)
- 日K車 (2020年)
- 独O車 (2022年)
- 日N車 (2022年)

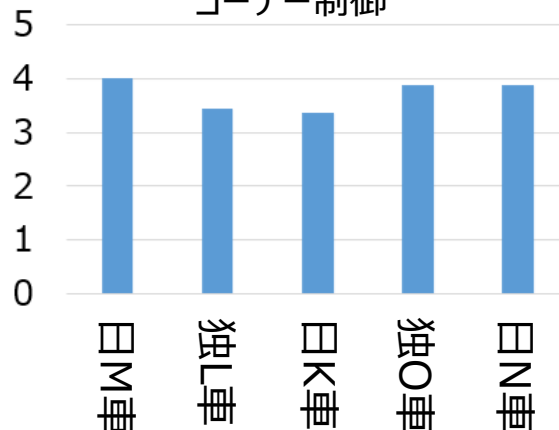
1. 2022年度評価車両 主観評価結果

概ね 独O車 > 日M車 > 日N車 > 独L車 > 日K車 の順

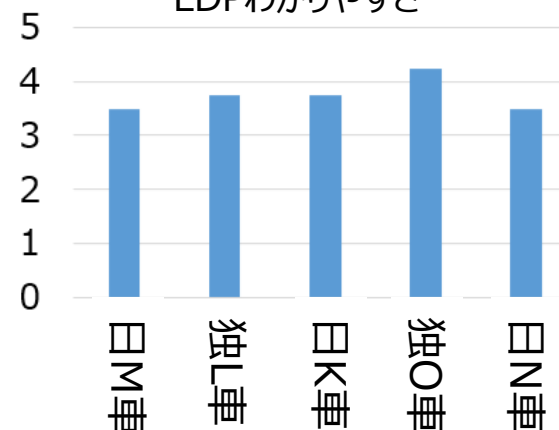
トレース性



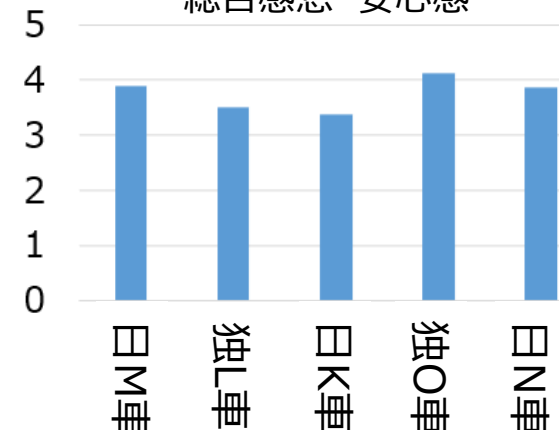
コーナー制御



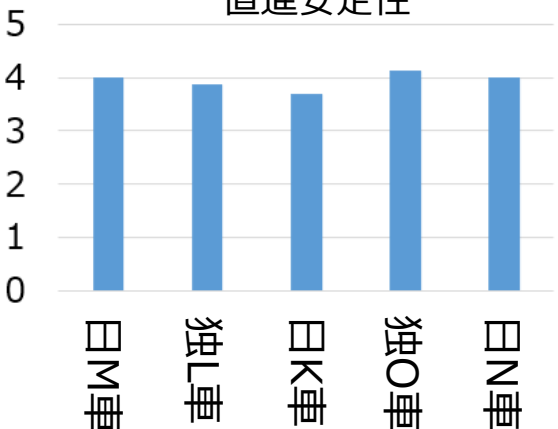
LDPわかりやすさ



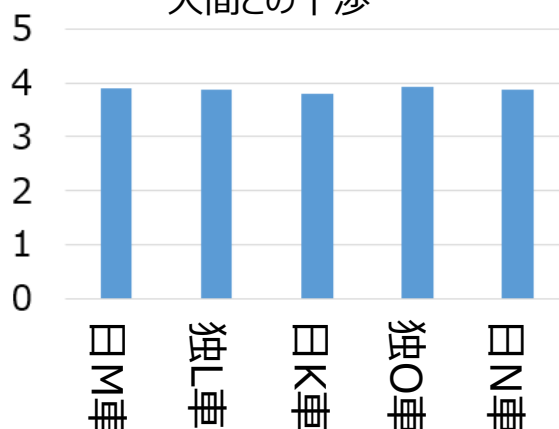
総合感想 安心感



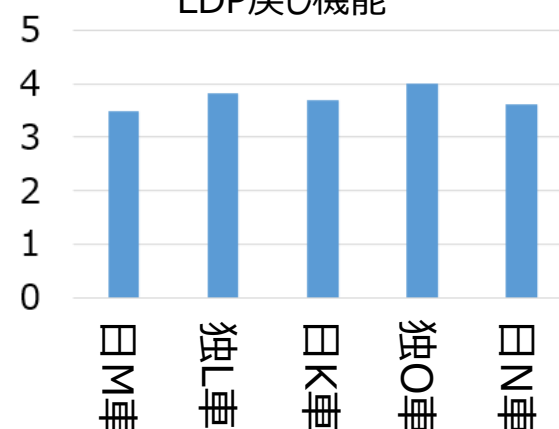
直進安定性



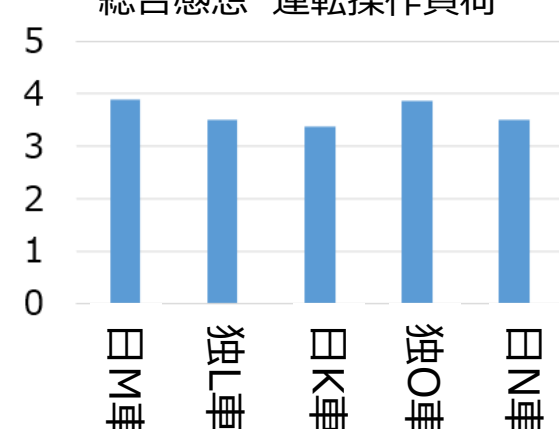
人間との干渉



LDP戻し機能



総合感想 運転操作負荷



2. 評価プロトコル KAIT_2021_Protocol

Grading		100点満点
グレード	基準点	(以上)
★★★★★		90.0
★★★★		80.0
★★★		70.0
★★		60.0
★		50.0

100点満点

公道高速道路及びテストコース対象 走行条件：降雨無し

カテゴリ	評価内容	配点	採点方法	説明
制御継続性 (30点)	制御ON走行距離率	20	100% 20点～ 0% 0点	<ul style="list-style-type: none"> 東名下り右ルートの大井松田IC～右ルート終了までのコーナーが連続する20kmを走行し、制御ON状態で走行した距離の割合を評価する
	制御ロスト有無	10	ロストなし 10点 ロストあり 0点	<ul style="list-style-type: none"> 高速道路本線はロストせず走行できることが当然の為10点加点とした 一度でもロストした車両は加点しない 制御ON走行距離率の100%と99%の違いを本項目で明確化する
走行位置 (30点)	車線中央からの 変位量の平均値	30	0mm 30点～ 300mm以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 東名上りの比較的直線が続く伊勢原JCT～海老名JCT間(約4km)で車線中央からの横変位を計測し、変位量の平均値の絶対値で評価する(車線右寄り、左寄りを問わない) 車線中央を走行する車両程得点が高くなる
オーバーライド性能 (30点)	オーバーライドトルク	30	1.5Nm以下 30点～ 5 Nm以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 制御ON時に車線中央走行中にドライバーがオーバーライドを行って車線中央を解除する操作を行った際の操舵トルクの最大値で評価する
LDP性能 (10点)	センター収束時間	10	4秒以下 10点～ 10秒以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 制御ON走行中に車線際まで車両を寄せた後、LDPによって車線中央へ収束する時間を評価する LDPは常時使用する機能ではないため配点を低くした 安全上の観点から、LDP発動後、自動的に車線中央に自動的に車両を戻す必要があると考え、中央に戻さない車両は0点とした 迅速に戻す程得点が高くなり、戻すまでに10秒以上かかる車両は戻さないものとみなして0点として扱う

Grading	100点満点
グレード 5段階	基準点 (以上)
★★★★★	90.0
★★★★	80.0
★★★	70.0
★★	60.0
★	50.0

2. 評価プロトコル KAIT_2021_Protocol (改)

本年度の研究成果による改善箇所を赤字で示した

100点満点

公道高速道路及びテストコース対象 走行条件：降雨無し

カテゴリ	評価内容	配点	採点方法	説明
制御継続性 (30点)	制御ON走行距離率	20	100% 20点～ 0% 0点	<ul style="list-style-type: none"> 東名下り右ルートの大井松田IC～右ルート終了までのコーナーが連続する20kmを走行し、制御ON状態で走行した距離の割合を評価する
	制御ロスト有無	10	ロストなし 10点 ロストあり 0点	<ul style="list-style-type: none"> 高速道路本線はロストせず走行できることが当然の為10点加点とした 一度でもロストした車両は加点しない 制御ON走行距離率の100%と99%の違いを本項目で明確化する
走行位置 (30点)	以下の式の値で評価する 評価値 = $0.5 \times \text{車線中央からの変位量の平均値絶対値} + 0.5 \times 1\sigma$	30	25mm 以下 30点 ~ 200mm 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 東名上りの比較的直線が続く伊勢原JCT～海老名JCT間(約4km)で車線中央からの横変位を計測し、変位量の平均値の絶対値(車線右寄り、左寄りを問わない)と1σの加算値(重みは両者0.5)で評価する 車線中央を走行し、バラつきの小さい車両程得点が高くなる
オーバーライド性能 (30点)	オーバーライドトルク	30	1.5Nm 以下 30点 ~ 5 Nm 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 制御ON時に車線中央走行中にドライバーがオーバーライドを行って車線中央を解除する操作を行った際に、100mm横変位するまでの操舵トルクの最大値で評価する
LDP性能 (10点)	センター収束時間	10	4秒 以下 10点 ~ 10秒 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 制御ON走行中に車線際まで車両を寄せた後、LDPによって車線中央へ収束する時間を評価する LDPは常時使用する機能ではないため配点を低くした 安全上の観点から、LDP発動後、自動的に車線中央に自動的に車両を戻す必要があると考え、中央に戻さない車両は0点とした 迅速に戻す程得点が高くなり、戻すまでに10秒以上かかる車両は戻さないものとみなして0点として取り扱う

2. 評価プロトコル KAIT_2021_Protocol (改) ★レーティング結果

Grading		100点満点
グレード 5段階	基準点 (以上)	
★★★★★	90.0	
★★★★	80.0	
★★★	70.0	
★★	60.0	
★	50.0	

2022年度車両

車両	独O車	独L車	日K車	日M車	日N車	独A車	独G車	日B車	日C車	日D車	日E車	独I車	独H車	米F車	日J車
評価	★★★★★	★★★★	★★★	★★★★	★★★★	★★★★★	★★★★	★★★	★★	★	★	★★★★	★★★	★★	★
評点計	97.7	83.0	76.7	88.6	85.5	91.8	82.9	78.7	64.6	55.8	55.6	82.0	74.2	65.0	51.7
評価年	2022					2021						2020			
モデル年次	2022	2021	2020	2022	2022	2019	2021	2021	2020	2021	2021	2019	2018	2019	2019
備考															

2. 評価プロトコル KAIT_2021_Protocol (改) ★レーティング結果詳細



2. 評価プロトコル KAIT_2023_Protocol

130点満点

公道高速道路及びテストコース対象 走行条件：降雨無し

カテゴリ	評価内容	配点	採点方法	説明
制御継続性 (30点)	制御ON走行距離率	20	100% 20点 ~ 0% 0点	<ul style="list-style-type: none"> 東名下り右ルートの大井松田IC～右ルート終了までのコーナーが連続する20kmを走行し、制御ON状態で走行した距離の割合を評価する
	制御ロスト有無	10	ロストなし 10点 ロストあり 0点	<ul style="list-style-type: none"> 高速道路本線はロストせず走行できることが当然の為10点加点とした 一度でもロストした車両は加点しない 制御ON走行距離率の100%と99%の違いを本項目で明確化する
走行位置 (30点)	以下の式の値で評価する 評価値 = $0.5 \times$ 車線中央からの 変位量の平均値絶対値 + $0.5 \times 1\sigma$	30	25mm 以下 30点 ~ 200mm 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 東名上りの比較的直線が続く伊勢原JCT～海老名JCT間(約4km)で車線中央からの横変位を計測し、変位量の平均値の絶対値(車線右寄り、左寄りを問わない)と1σの加算値(重みは両者0.5)で評価する 車線中央を走行し、バラつきの小さい車両程得点が高くなる
オーバーライド性能 (30点)	オーバーライドトルク	30	1.5Nm 以下 30点 ~ 5 Nm 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 制御ON時に車線中央走行中にドライバがオーバーライドを行って車線中央を解除する操作を行った際に、100mm横変位するまでの操舵トルクの最大値で評価する
LDP性能 (10点)	センター収束時間	10	4秒 以下 10点 ~ 10秒 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 制御ON走行中に車線際まで車両を寄せた後、LDPによって車線中央へ収束する時間を評価する LDPは常時使用する機能ではないため配点を低くした 安全上の観点から、LDP発動後、自動的に車線中央に自動的に車両を戻す必要があると考え、中央に戻さない車両は0点とした 迅速に戻す程得点が高くなり、戻すまでに10秒以上かかる車両は戻さないものとみなして0点として取り扱う
外乱安定性 (15点)	LKA操舵外乱後の収束軌跡	15	軌跡の固有周波数0.15Hz以上かつ、 軌跡の減衰比0.4以上の場合に 15点加点	<ul style="list-style-type: none"> LKA操舵外乱後の収束軌跡を1自由度減衰系モデルで近似し、固有周波数(収束時間に相当)と減衰比(収まりの良さを表す)で評価する 固有周波数と減衰比一方を満たすだけでは不十分であるため両方を満足する場合に加点する
速度適応制御系 (15点)	カットイン時のドライバ介入不要な最小TTC	15	2秒 以下 15点 ~ 5秒 以上 0点	<ul style="list-style-type: none"> 80km/h設定でACCを作動させ、他車をカットインさせる(自車と他車の速度差は10km/hおよび20km/h). 自車ドライバは恐怖を感じたらブレーキを踏む 他車が自車の進行スペースにかかった時点のTTCを基準とし、TTC 2秒～5秒の間でタイミングを変えてカットインを繰り返す ドライバが恐怖を感じずにACCで対応できた最小TTCを指標とする

KAIT_2021_Protocol (改)と同様

2023新規

2. 評価プロトコル KAIT_2023_Protocol Grading

130点満点

グレード（6段階）	基準点（以上）
★ ★ ★ ★ ★ ★	117 (90%)
★ ★ ★ ★ ★	104 (80%)
★ ★ ★ ★	91 (70%)
★ ★ ★	78 (60%)
★ ★	65 (50%)
★	52 (40%)

Grading		130点満点
グレード 6段階	基準点 (以上)	
★★★★★	117.0	
★★★★★	104.0	
★★★★★	91.0	
★★★★	78.0	
★★★	65.0	
★★	52.0	

2. 評価プロトコル KAIT_2023_Protocol ★レーティング結果 (2022年度車両)

車両	独O車	日M車	日N車
モデル年次	2022	2022	2022
レーティング	★★★★★	★★★★★	★★★★★
評点計	115.7	101.6	98.5
評価結果 詳細		<p>※カットイン未計測だが 日N車と同点と推測</p>	
備考			

※独I車, 日K車はカットイン未計測につき未レーティング

【参考】EURO NCAPのADAS/AD評価の現状


- ✓ Euro NCAPは、現在ADAS/ADシステムをメインのSAFETY RATINGSに含めていない
- ✓ メインとは別枠の安全キャンペーン「Assisted Driving Tests」として2020年より評価を実施している

■ 2020 Assisted Driving Tests
<https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/safety-campaigns/2020-assisted-driving-tests/>
 ■ Assisted Driving Tests 評価プロトコル
<https://cdn.euroncap.com/media/58813/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v10.pdf>

Grading		200点満点
Grading	点数	
VERY GOOD(非常に良い)	160 点 (80%) 以上	
GOOD(良い)	140 点 (70%) 以上	
MODERATE(適切)	120 点 (60%) 以上	
ENTRY(入門レベル)	100 点 (50%) 以上	

EURO NCAP Assisted Driving Tests 評価プロトコル

評価方法

		評価カテゴリ		配点	
Assistance Competence (支援能力)	Driver Engage ment (ドライバとのよい関係)	消費者情報	システム名	10	
			マーケティング資料	5	
			クイックスタートガイド	5	
			車両ハンドブック	5	
100点		システムステータス	継続的なステータスインジケータ	18	
			ステータス変更インジケータ	7	
Driver Engagement とVehicle Assistance の低い方を採用 (バランスの原則)	100点	ドライバモニタ	UNECER79準拠	10	
			ダイレクトドライバモニタリング	15	
			ドライバ協調	オーバーライドトルク	5
			オーバーライド後のシステムの反応	20	
	Vehicle Assistance (運転支援)	スピードアシスト	スピードアシストシステム	6	
			速度制限の変化への対応	12	
		※公道評価	道路特性	7	
			ACC性能	対車両	25
				走行車線での追越しの抑止	5
		100点	ステアリングアシスト	ACC自動再開	10
				S字バンド	30
		レーンチェンジアシスト	5		
Safety Backup (安全への備え)	システム障害対応		25		
	応答しないドライバ		25		
	衝突回避	ACC/AEB	対車両	25	
		レーンサポートシステム	S字バンド	15	
100点			追い越し車線からの車線変更	10	

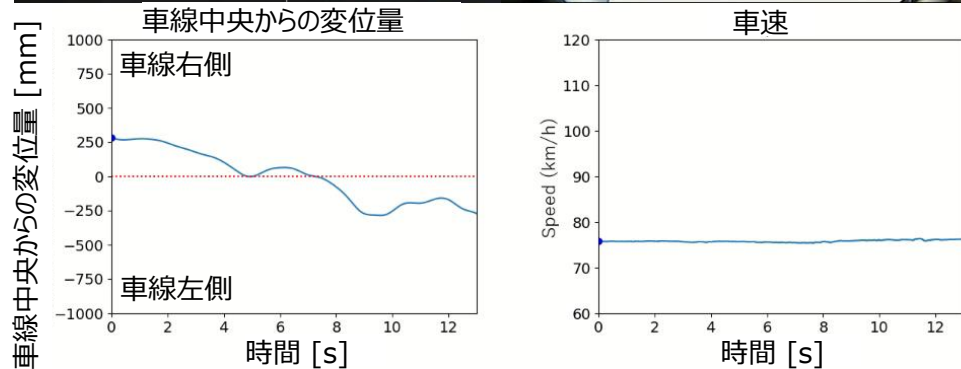
2. 評価プロトコル EURO NCAP ASSISTED DRIVING TESTS と KAIT_2023_Protocolの比較

EURO NCAP ASSISTED DRIVING TESTS				KAIT_2023_Protocol	
評価項目 (200点満点)		指標・評価方法		評価項目 (130点満点)	指標・評価方法
支援能力 (100点) ※aとbの点数の低い方を採用 (バランスの原則)	a. ドライバとの良い関係 (100点)	消費者情報 (25点)	✓ システム名やドキュメントの記載内容	-	-
		システムステータス (25点)	✓ ステータスインジケータの機能 ✓ ステータス変更通知	-	-
		ドライバモニタ (25点)	✓ UN ECE R79準拠 ✓ Euro NCAPの「Safety Assist」のドライバモニタプロトコルで評価	-	-
		ドライバ協調 (25点)	✓ 制御ON/OFFのオーバーライドトルクの差 (テストコース) ✓ オーバライド後のシステムの動作 (テストコース)	オーバーライド性能 (30点)	✓ オーバーライドトルクとトルク・変位量の積分値 (テストコース)
	b. 運転支援 (100点)	スピードアシスト (25点)	✓ Euro NCAPの「Safety Assist」のスピードアシストプロトコルで評価 (公道) ✓ 速度制限への対応 (公道) ✓ コーナー, ラウンドアバウト, ジャンクション対応 (公道)	-	-
		ACC性能 (40点)	✓ 停止車両への接近(直線・カーブ)/低速車・減速中の車両への接近/カットイン/カットアウト に対応できること (テストコース) ✓ 走行車線で追い越し車線の並走車を追い越さない (テストコース) ✓ 車両停止後のACCの自動再開 (テストコース)	速度適応制御系 (15点)	✓ カットイン時の最小TTC (テストコース)
ステアリングアシスト (35点)		✓ S字ベンドカーブを走行できること (テストコース) ✓ レーンチェンジアシスト(詳細不明)	-	-	
安全への備え (100点)	システム障害対応 (25点)		✓ センサーが不使用时の運転支援システムの挙動 (テストコース)	-	-
	応答しないドライバへの介入 (25点)		✓ ハンズオフ続けた場合の挙動を評価 (テストコース)	-	-
	衝突回避 (50点)	ACC/AEB (25点)	✓ 停止車両への接近(直線・カーブ)/低速車・減速中の車両への接近/カットイン/カットアウト で衝突回避できること (テストコース)	-	-
		レーンサポートシステム (25点)	✓ S字ベンドコースを走行できること (テストコース) ✓ S字ベンドコースを逸脱する場合はLDWが作動すること (テストコース) ✓ 追越し車線から走行車線に手動レーンチェンジする際, 走行車線に車両が存在するとレーンチェンジを抑制できること (テストコース)	-	-
-	-	-	-	制御継続性 (30点)	✓ 制御距離率 (公道) ※ロストなしは加点
-	-	-	-	走行位置 (30点)	✓ 車線中央からの横変位量の平均値と1σ (公道)
-	-	-	-	LDP (10点)	✓ 車線中央への収束時間 (テストコース)
-	-	-	-	外乱安定性 (15点)	✓ 操舵外乱時の収束軌跡の周波数と減衰比 (テストコース)

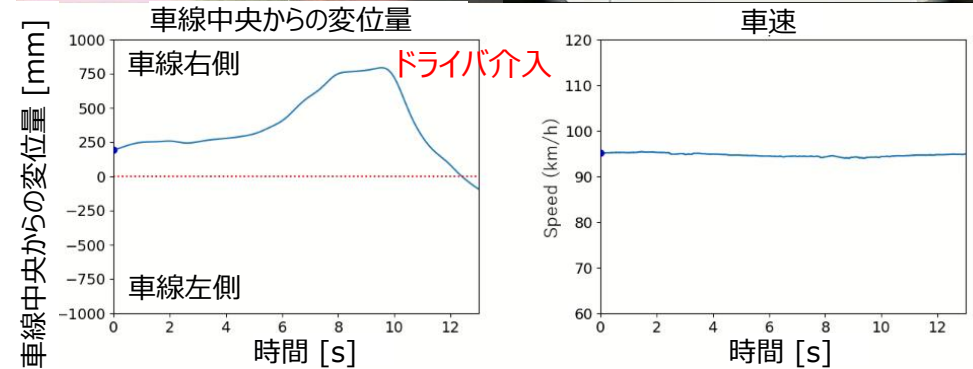
3. 制御継続性評価指標の改善 日K車の事例

これまでは、追い越し車線の流れに沿って走行することで制御継続性を評価してきたが、日K車の場合追い越し車線では制御継続できず、走行車線で80km/hであれば制御を継続して完走できた。速度の影響が大きそうなので、走行時の条件を考慮して適宜評価点を調整するものとした。

東名下り 右ルート300R 日K車 (80km/h設定)



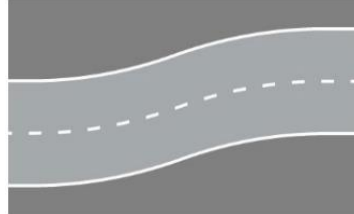
東名下り 右ルート300R 日K車 (100km/h設定, ドライバ介入シーン)



3. 制御継続性評価指標の改善 KAIT_2021_Protocolからの改善

■ 【参考】EuroNCAP

LKA性能としてはS字バンドを走行することで評価している



■ KAIT_2021_Protocol

• 制御継続性

- 東名下り右ルートの大井松田IC～右ルート終了までのコーナーが連続する20kmを走行し、制御ONで走行した距離の割合を評価する 100% 20点 ~ 0% 0点
- ロストなし加点. 上記区間走行中に一度でもロストした車両は加点しない. ロストなし+10点

■ KAIT_2021_Protocol (改)

- プロトコルとしては変更しないが、車速の影響等走行時の条件を考慮して適宜配点を調整する

<https://cdn.euroncap.com/media/75441/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v11.pdf>

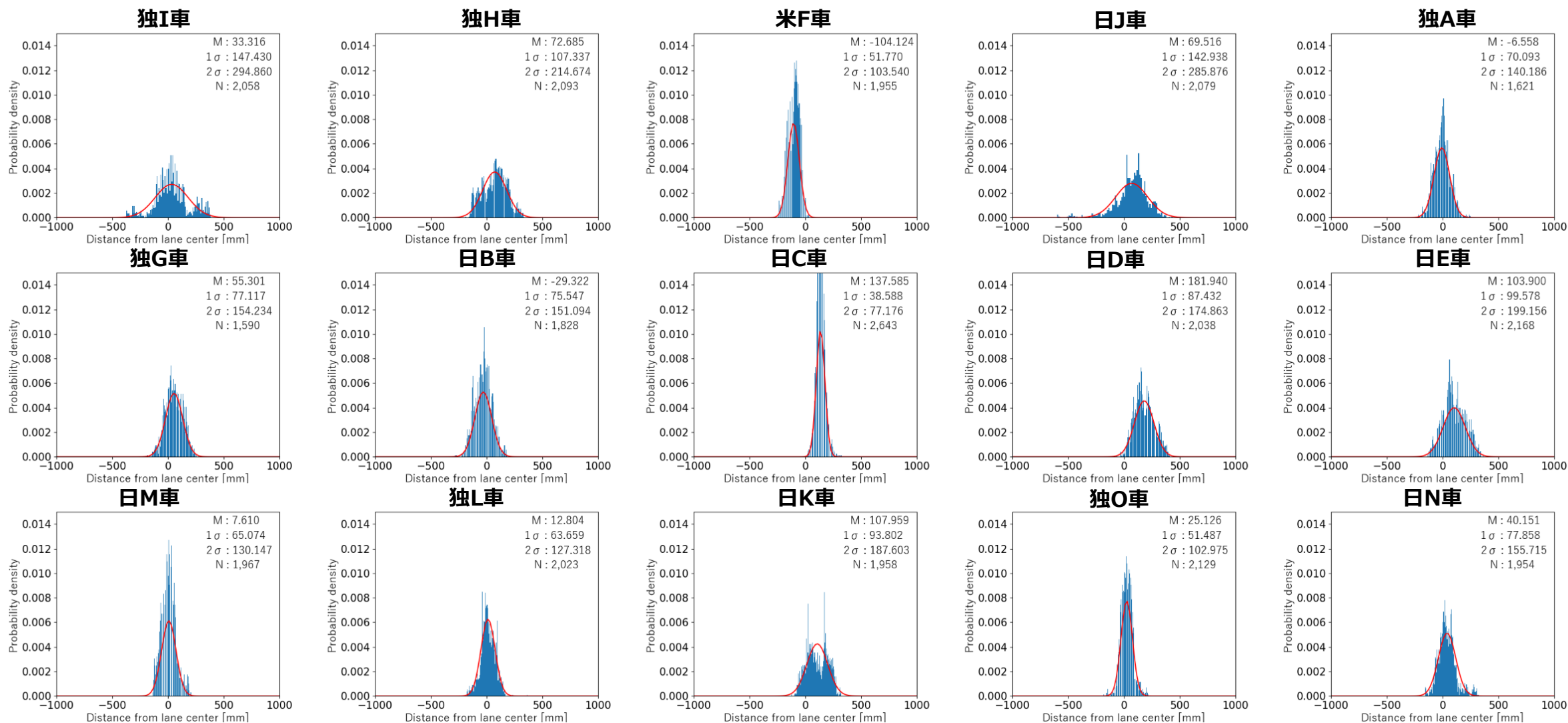
4. 走行位置評価指標の改善 東名上り直線評価区間(sct13)



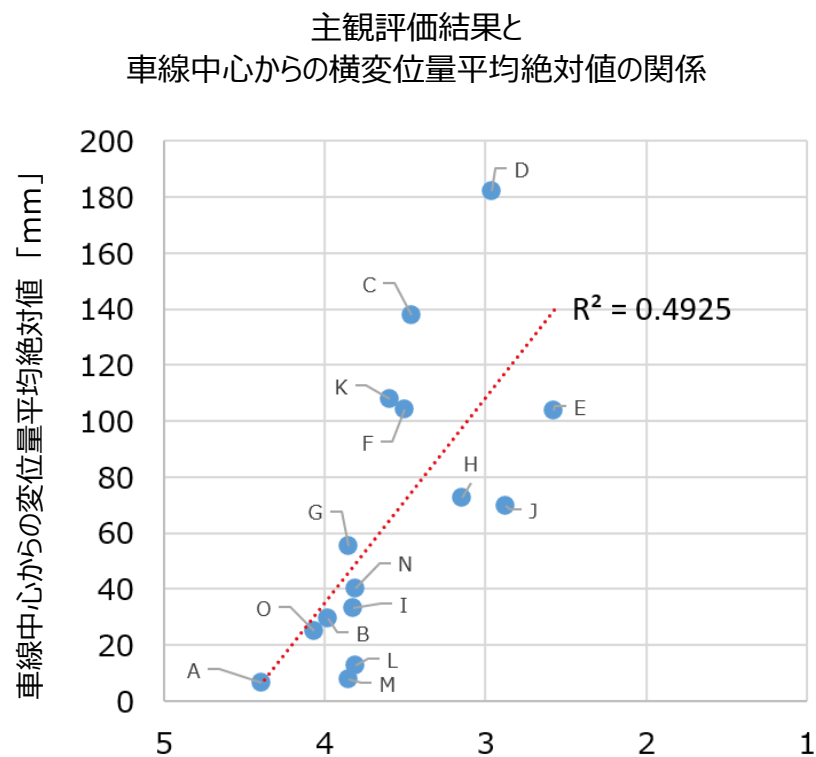
直線評価区間

東名上りの比較的直線が続く伊勢原JCT～海老名JCT間（約4km）

4. 走行位置評価指標の改善 東名上り直線評価区間(sct13) 車線中央からの横変位量のヒストグラム

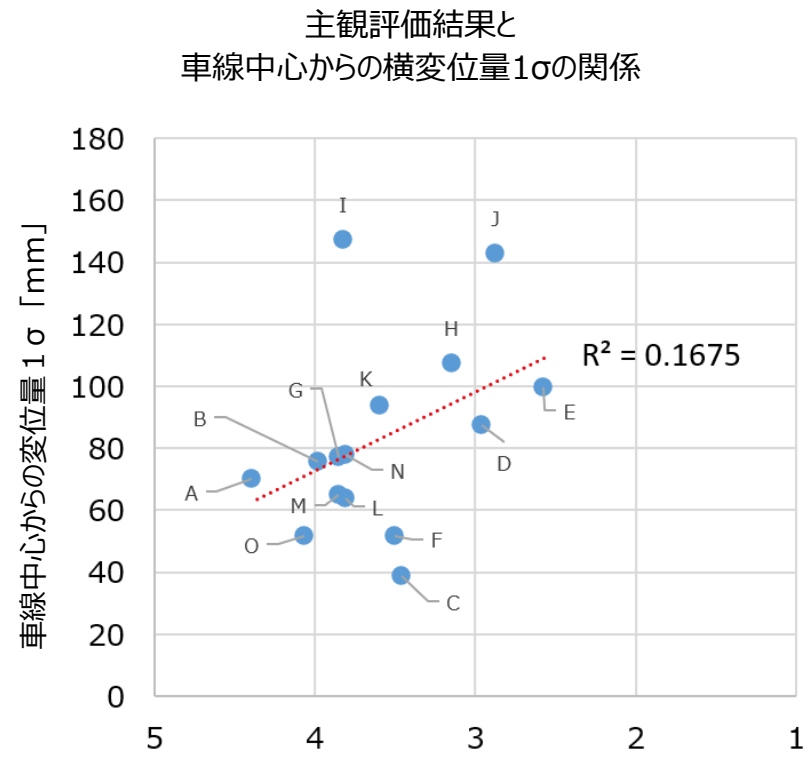


4. 走行位置評価指標の改善 東名上り直線評価区間(sct13) 主観評価結果と車線中央からの横変位量の関係



主観評価結果(トレース性と直進安定性の平均値)

これまでは相関性が高い平均値の絶対値のみを指標として採用してきた

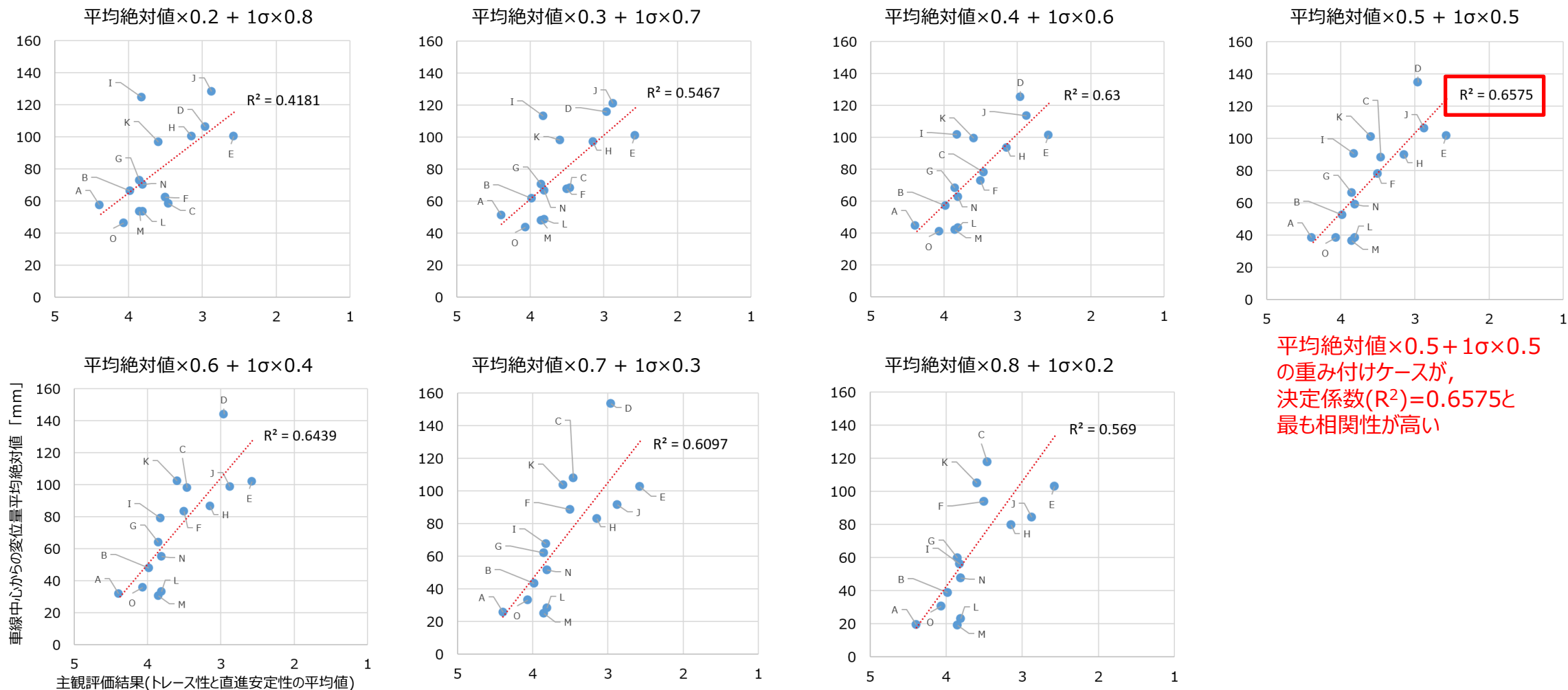


主観評価結果(トレース性と直進安定性の平均値)

車線中央からのばらつきを表す1σは相関がそれほど高くないので、これまでは指標化を見送ってきた

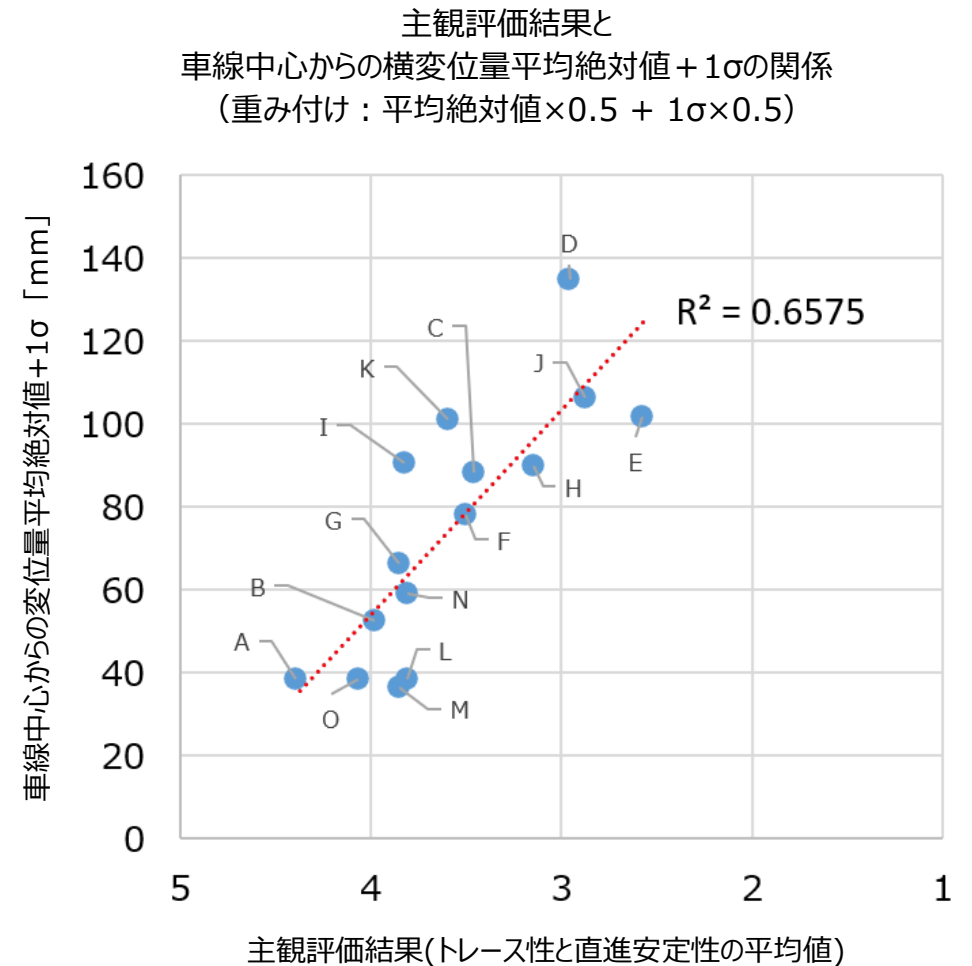
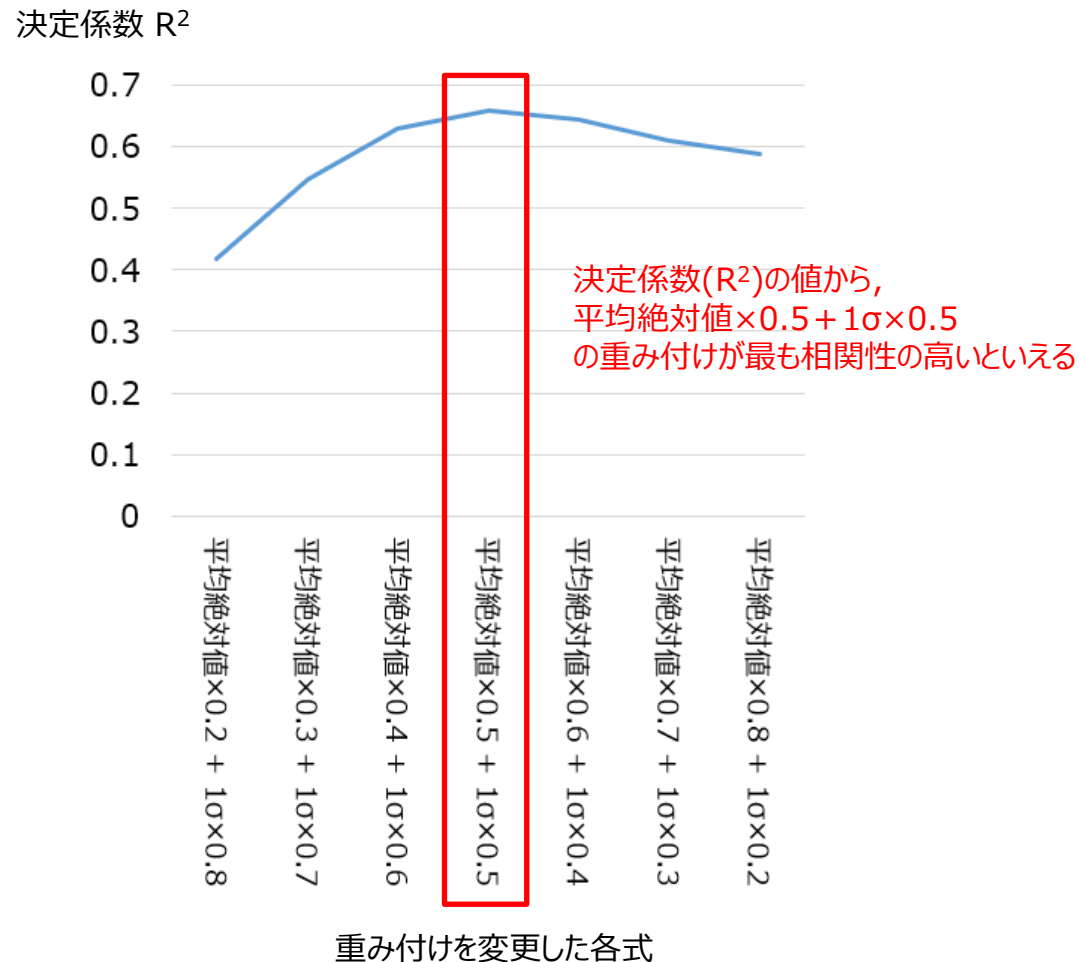
4. 走行位置評価指標の改善 東名上り直線評価区間(sct13) 主観評価結果と車線中央からの横変位量の関係

ばらつき(1σ)の評価指標に含めるために、「横変位量平均絶対値+1σ」で指標化することを検討した。両者の重みを変えて主観との相関を解析した。



4. 走行位置評価指標の改善 東名上り直線評価区間(sct13) 主観評価結果と車線中央からの横変位量の関係

「平均絶対値×0.5 + 1σ×0.5」が指標として適切であると結論。



4. 走行位置評価指標の改善 KAIT_2021_Protocolからの改善

- 【参考】EuroNCAP
該当項目なし
- KAIT_2021_Protocol
 - 車線中央からの変位量の平均値車線中央からの変位量の平均値（絶対値） 0mm 30点 ~ 300mm以上 0点
- KAIT_2021_Protocol（改）
 - 車線中央からの変位量の平均値絶対値と標準偏差(1σ)の重み付けされた合計値で評価する（下式）
 - 評価値 = $0.5 \times$ 車線中央からの変位量の平均値絶対値 + $0.5 \times 1\sigma$
 - 25mm 以下 30点 ~ 200mm 以上 0点

5. オーバーライド性能評価指標の改善 制御ON/OFFでのオーバーライドトルクの違い

独O車

日N車

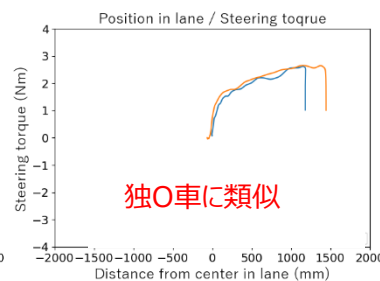
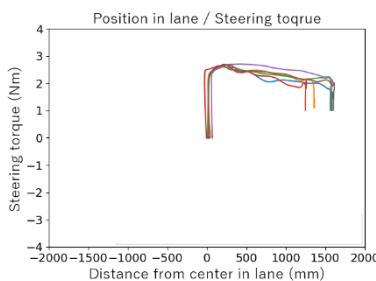
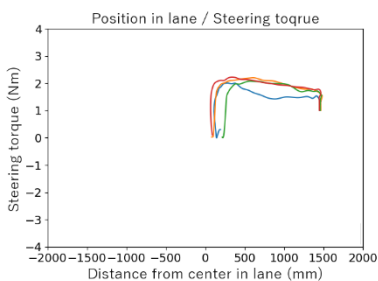
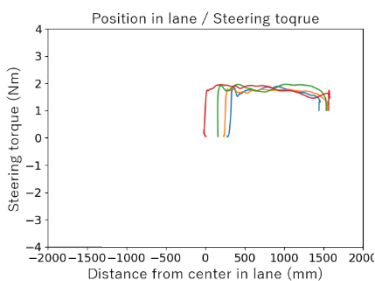
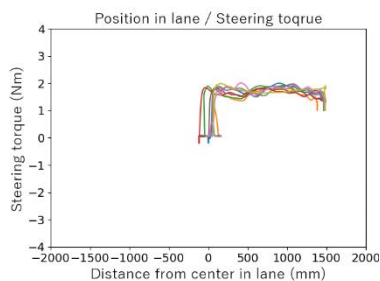
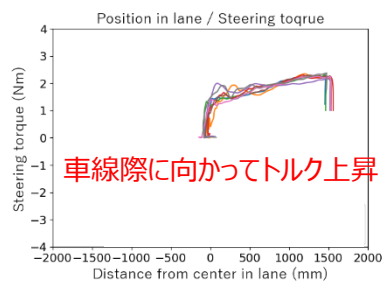
日M車

日K車

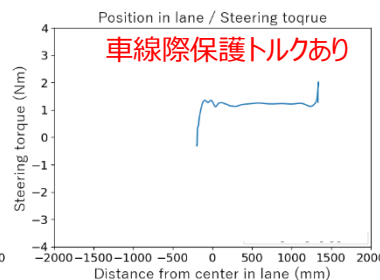
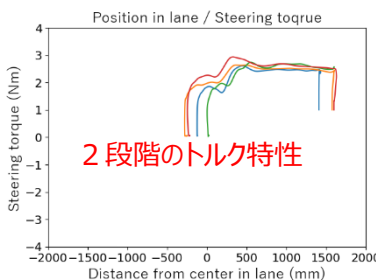
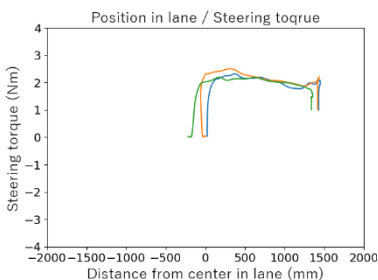
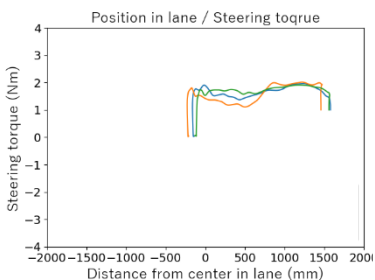
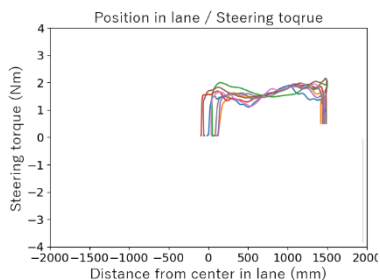
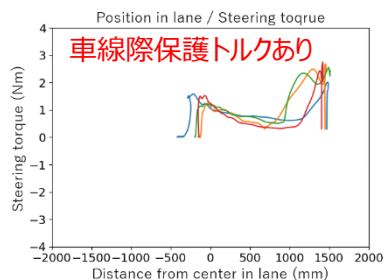
独L車

独G車

制御ON



制御OFF



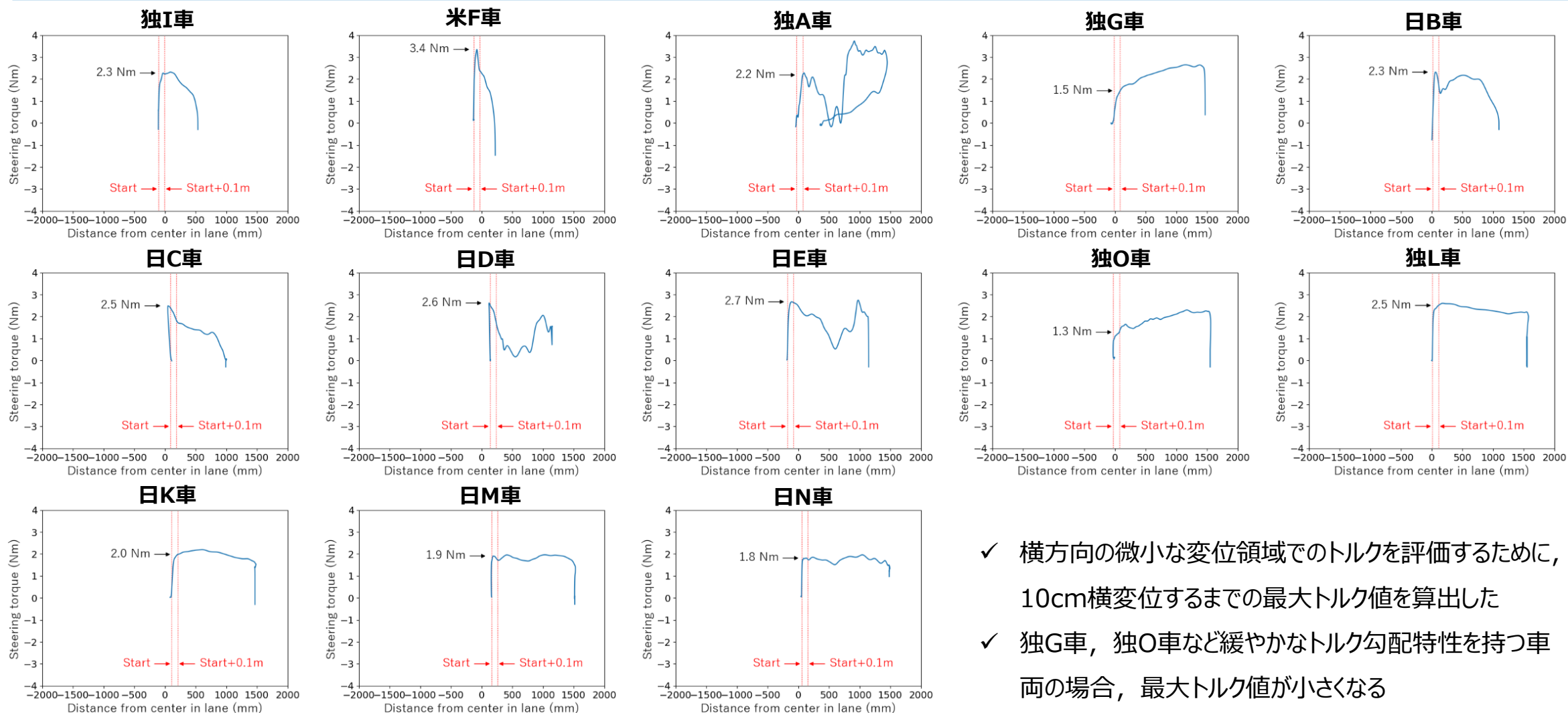
- ✓ EuroNCAPでは制御ON/OFFのオーバーライドトルクの差に着目して評価している
- ✓ 独O車は制御OFFの場合に車線際の保護トルクが明確であり、制御ONでは車線際に向かって徐々にトルクが増加する特性（独G車も同様）

5. オーバーライド性能評価指標の改善 制御ON/OFFでのオーバーライドトルクの違い 評価ドライバの主観評価結果

車両		独O車	日N車	日M車	日K車	独L車	独G車
採点結果		4.5	3.5	3.5	3.5	3	4
評価観点	オーバーライドしやすさ	切りはじめから常にセンターに戻すトルクを感じるが、オーバーライドを阻害するほどではない	切りはじめから無理なくオーバーライド可能でスムーズにオーバーライドできる	切りはじめから無理なくオーバーライド可能でスムーズにオーバーライドできる	切りはじめはやや重く感じたが、その後は特に重くは感じず無理なくオーバーライド可能	切りはじめはやや重く感じたが、その後は特に重くは感じず無理なくオーバーライド可能	切りはじめから常にセンターに戻すトルクを感じるが、オーバーライドを阻害するほどではない
	車線際での守られてる感	車線際に向けてトルクが高まるので守られている感じがある	車線際で守られている感じはしない	車線際で守られている感じはしない	車線際で守られている感じはしない	車線際で守られている感じはしない	車線際に向けてトルクが高まるので守られている感じがある
	制御ONであることのわかりやすさ	制御ONでは、常にセンター中央に戻そうとするトルクがかかっているため、 制御していることがわかりやすく安心できる	抵抗をあまり感じず自由に移動できる分、制御ON状態であることはわかりにくい	抵抗をあまり感じず自由に移動できる分、制御ON状態であることはわかりにくい	抵抗をあまり感じず自由に移動できる分、制御ON状態であることはわかりにくい	抵抗をあまり感じず自由に移動できる分、制御ON状態であることはわかりにくい	制御ONでは、常にセンター中央に戻そうとするトルクがかかっているため、制御していることがわかりやすいから安心できる ただし、車線中央までは戻してくれない

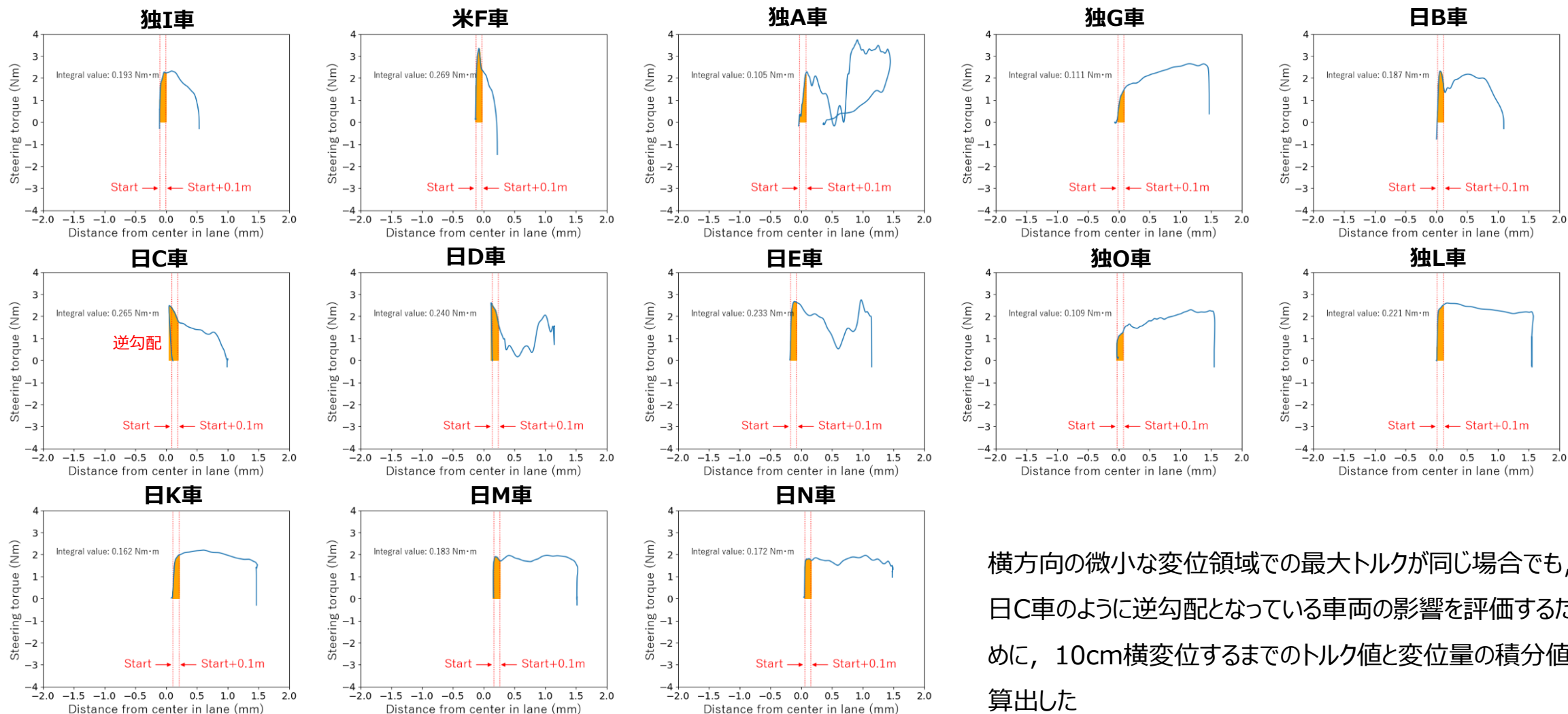
独O車や独G車のように、車線際に向けてトルクが高まる車両は守られている感があり高評価。制御ONで常にセンター中央に戻そうとするトルクがかかっており、制御していることのわかりやすさも高評価に繋がっている

5. オーバライド性能評価指標の改善 オーバライドトルク 10cm横変位するまでのピーク値



- ✓ 横方向の微小な変位領域でのトルクを評価するために、10cm横変位するまでの最大トルク値を算出した
- ✓ 独G車、独O車など緩やかなトルク勾配特性を持つ車両の場合、最大トルク値が小さくなる

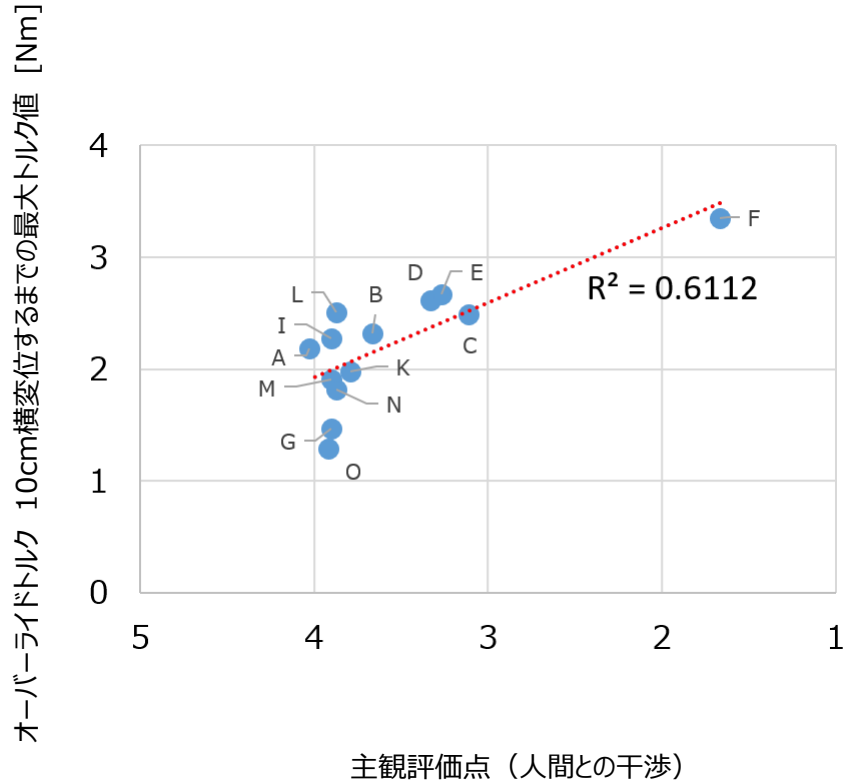
5. オーバーライド性能評価指標の改善 オーバーライドトルク 10cm横変位するまでの積分値



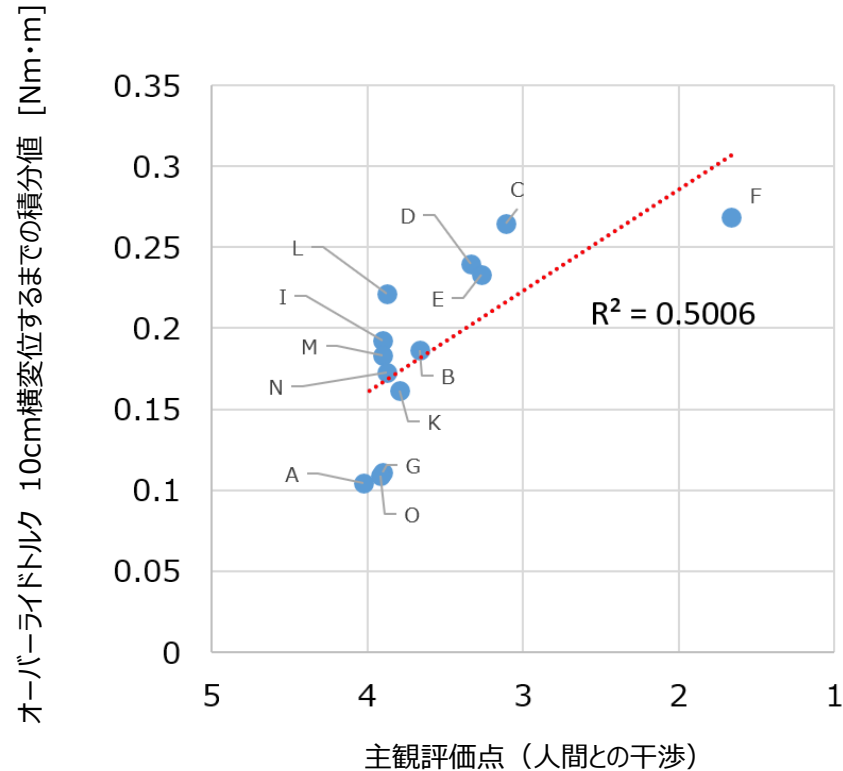
横方向の微小な変位領域での最大トルクが同じ場合でも、日C車のように逆勾配となっている車両の影響を評価するために、10cm横変位するまでのトルク値と変位量の積分値を算出した

5. オーバーライド性能評価指標の改善 オーバーライドトルク 主観評価との相関

10cm横変位するまでの最大トルク値



10cm横変位するまでのトルク積分値



- ✓ 決定係数 R^2 の値より、最大トルク値がより相関が高い
- ✓ 積分値は逆勾配の日C車が最大トルクがより大きい日D車、日E車より評価が劣ることを表現できている
- ✓ 両者を組み合わせて指標化することも検討したが、以下の理由により最大トルク値のみを指標として採用するものとした
 - 最大トルク値がより決定係数が大きく指標としても解りやすい
 - 指標の複雑化を回避
 - 最大トルク値も積分値もほぼ同一の傾向にあり、主観が高評価の領域では両者ともばらつきが大きく、両者を組み合わせても指標の精度向上がさほど期待できない

5. オーバーライド性能評価指標の改善 KAIT_2021_Protocolからの改善

■ 【参考】EuroNCAP

- 支援システム作動中のオーバーライドトルクの、手動運転中トルクからの増分で評価
- 0～33% : 5点 / 33～67% : 3点 / 67～100% : 1点 / 100%以上 : 0点
- 試験条件 : 車速72km/hでサイン操舵(振幅5度, 周波数0.25Hz)し, サイン前半のピークトルクを計測 (3回試行の平均値)

■ KAIT_2021_Protocol

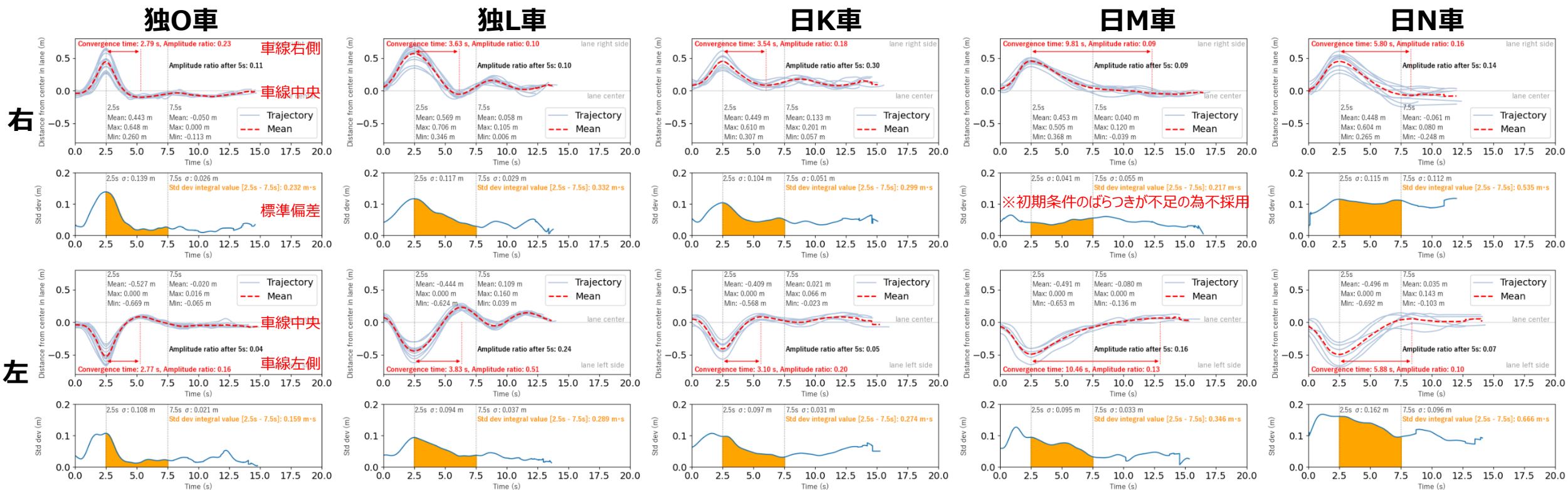
- オーバーライドトルク 1.5Nm以下 30点 ~ 5Nm以上 0点 (※条件等の詳細定義なし)

■ KAIT_2021_Protocol (改)

- LKA作動中に80km/hでステアリングを手動で小さく(2°～5°)きり, その操舵角を維持したまま車線をまたぐ
- 10cm変位することに必要なピークトルク値を評価する. 1.5Nm 以下 30点 ~ 5 Nm 以上 0点

<https://cdn.euroncap.com/media/75441/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v11.pdf>

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束軌跡の比較 (初期変位量:25cm~75cm)



独O車：初期条件がばらついても2s程度で迅速にセンターに収束する。軌跡も安定しており初期のばらつきも収束する。

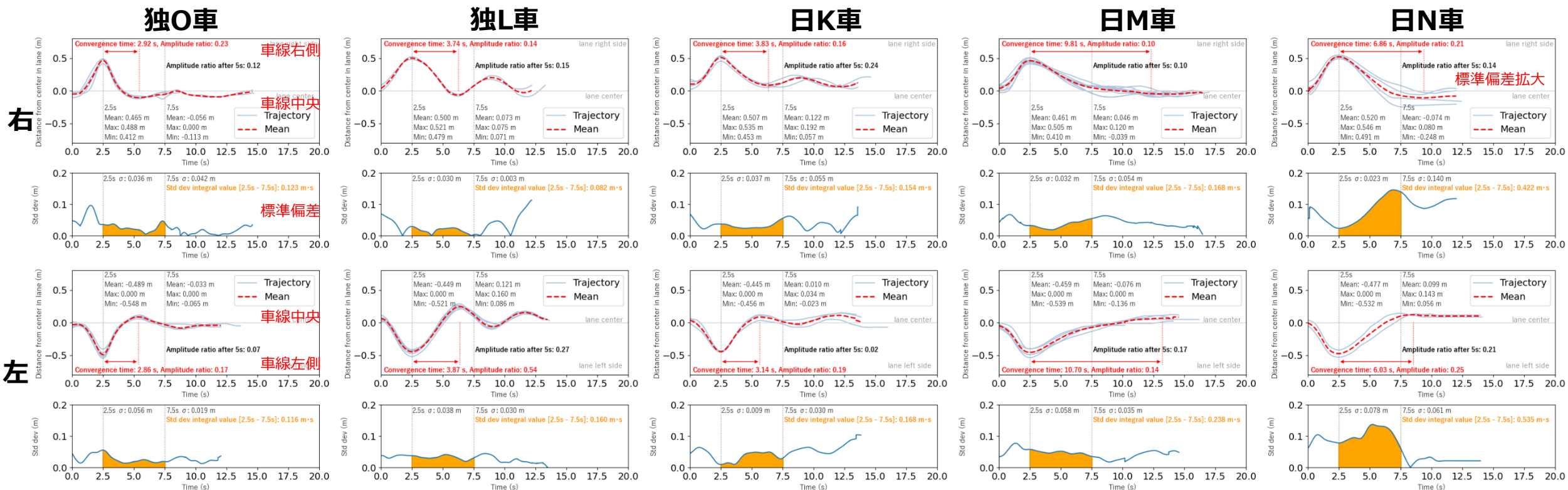
独L車：減衰振動傾向を呈する。初期条件のばらつきは収束している

日K車：減衰振動傾向を呈する。波長が揃っていない

日M車：収束が遅い。

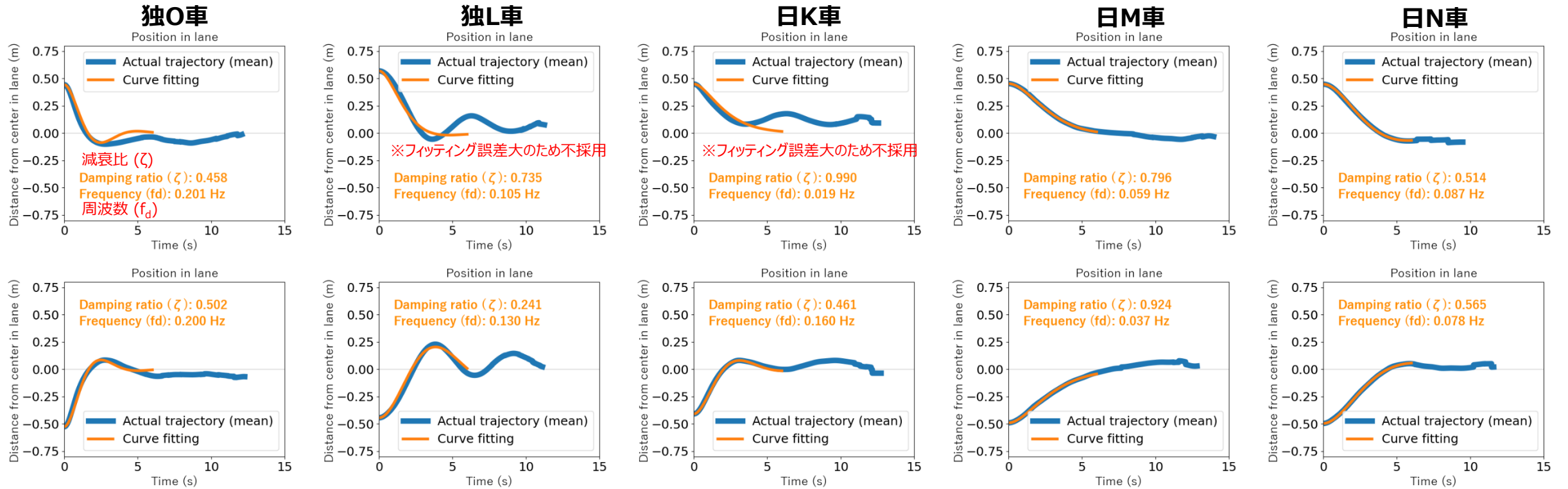
日N車：初期条件のばらつきが最後まで収まらない。軌跡が不安定

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束軌跡の比較 (初期変位量:40cm~55cm)



日K車, 日M車, 日N車 : ピーク時よりもバラつきが拡大しているケースが見受けられる

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束軌跡のモデル同定 (初期変位量:25cm~75cm)



LKA時ドライバ操舵入力後の6秒間の収束軌跡(平均値)を1自由度減衰系モデル(下記)でフィッティング(最小二乗法)し、収束軌跡の減衰比(ζ)と固有周波数(f_d)を求めた

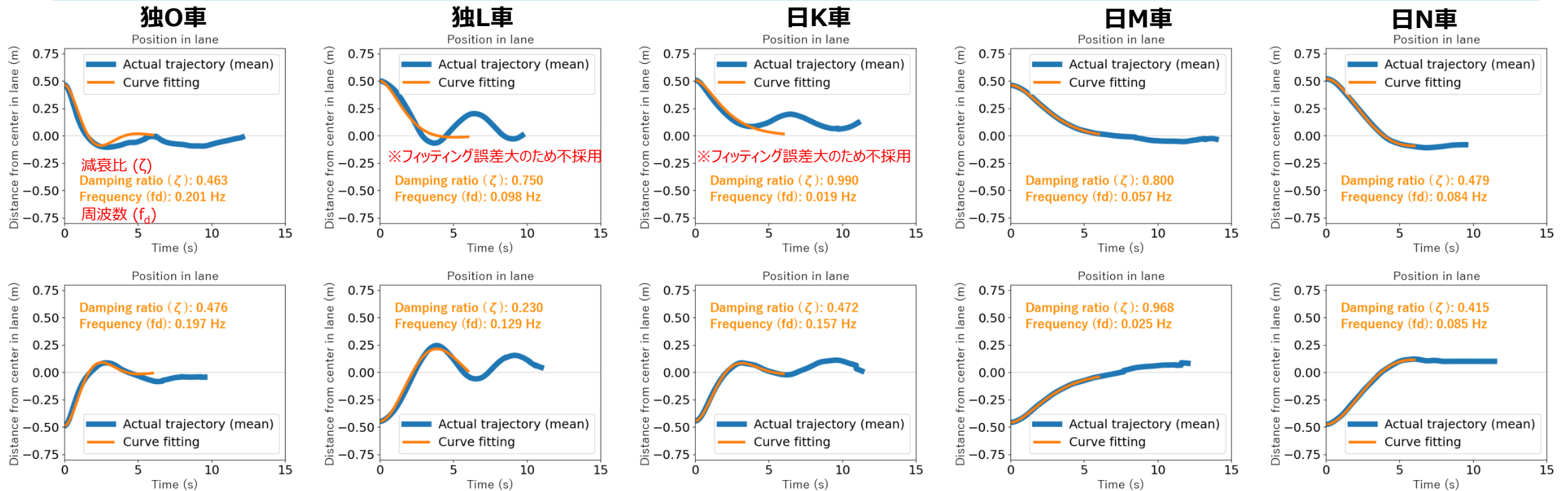
$$x = e^{-\zeta\omega_0 t} \left(x_0 \cos \omega_d t + \frac{\zeta\omega_0 x_0 + v_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right)$$

ここで ζ : 減衰比 $\zeta = \frac{c}{c_c}$ c : 減衰係数 c_c : 臨界減衰係数

※ ζ が1では振動せず、0に近づくほど振動傾向となる

f_d : 減衰系の固有周波数 [Hz] $f_d = \omega_d / 2\pi$
 ω_d : 減衰系の固有角振動数 [rad/s] $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_0$
 ω_0 : 固有角振動数 [rad/s]
 x : 振幅 [m] x_0 : 初期変位 [m] ※実測値を使用
 t : 時間 [s] v_0 : 初速 [m/s] ※0とした

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束軌跡のモデル同定 (初期変位量: 40cm~55cm)



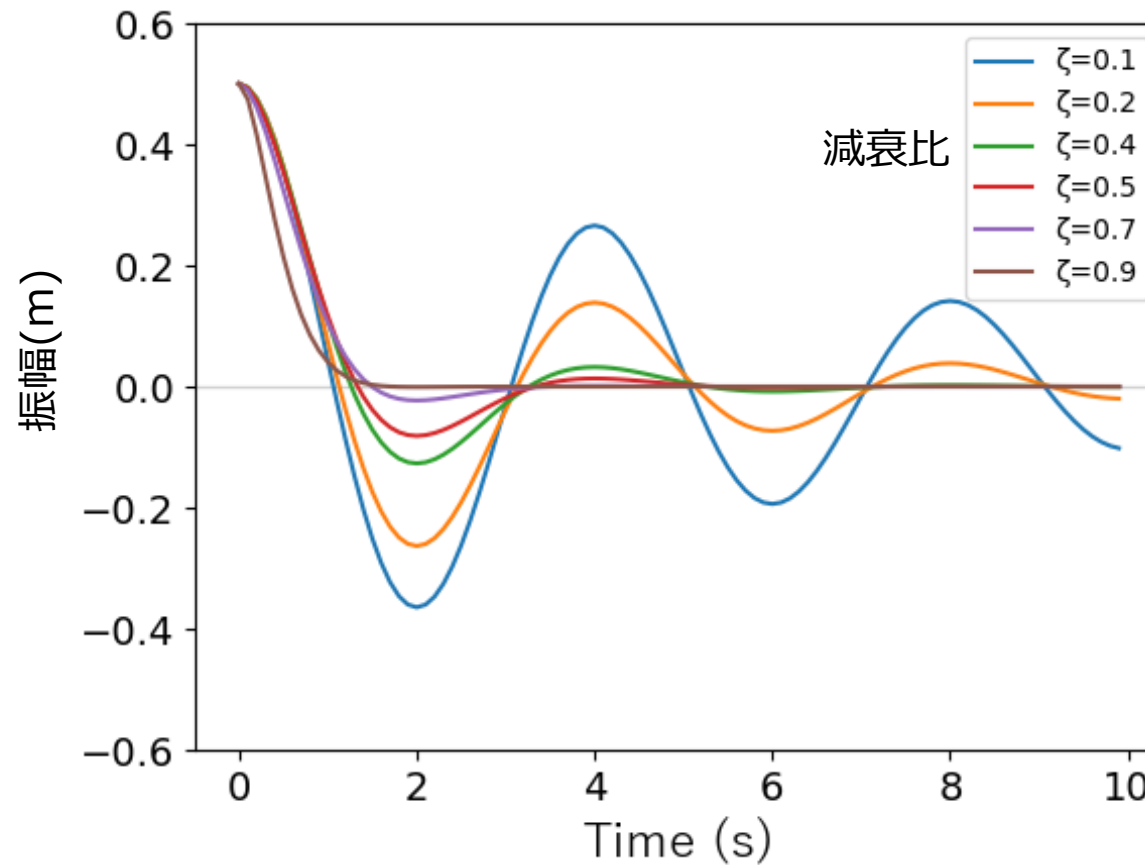
LKA時ドライバ操舵入力後の6秒間の収束軌跡(平均値)を1自由度減衰系モデル(下記)でフィッティング(最小二乗法)し、収束軌跡の減衰比(ζ)と固有周波数(f_d)を求めた

$$x = e^{-\zeta\omega_0 t} \left(x_0 \cos \omega_d t + \frac{\zeta\omega_0 x_0 + v_0}{\omega_d} \sin \omega_d t \right) \quad \text{ここで} \quad \zeta: \text{減衰比} \quad \zeta = \frac{c}{c_c} \quad \begin{array}{l} c: \text{減衰係数} \\ c_c: \text{臨界減衰係数} \end{array}$$

※ ζ が1では振動せず、0に近づくほど振動傾向となる

f_d : 減衰系の固有周波数 [Hz] $f_d = \omega_d / 2\pi$
 ω_d : 減衰系の固有角振動数 [rad/s] $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_0$
 ω_0 : 固有角振動数 [rad/s]
 x : 振幅 [m] x_0 : 初期変位 [m] ※実測値を使用
 t : 時間 [s] v_0 : 初速 [m/s] ※0とした

【参考】1 自由度減衰系モデルにおける減衰比別収束軌跡



【条件】

初期変位(x_0) : 0.5 m

初速(v_0) : 0 m/s

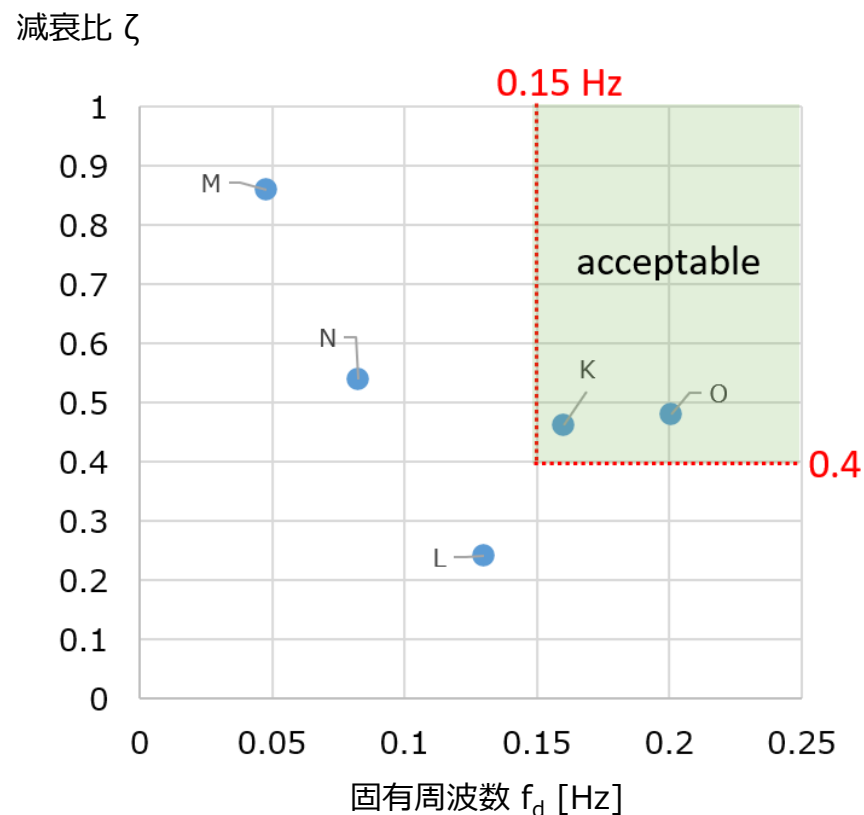
固有周波数(f_d) : 0.25 Hz

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束性能 評価ドライバーの主観評価結果

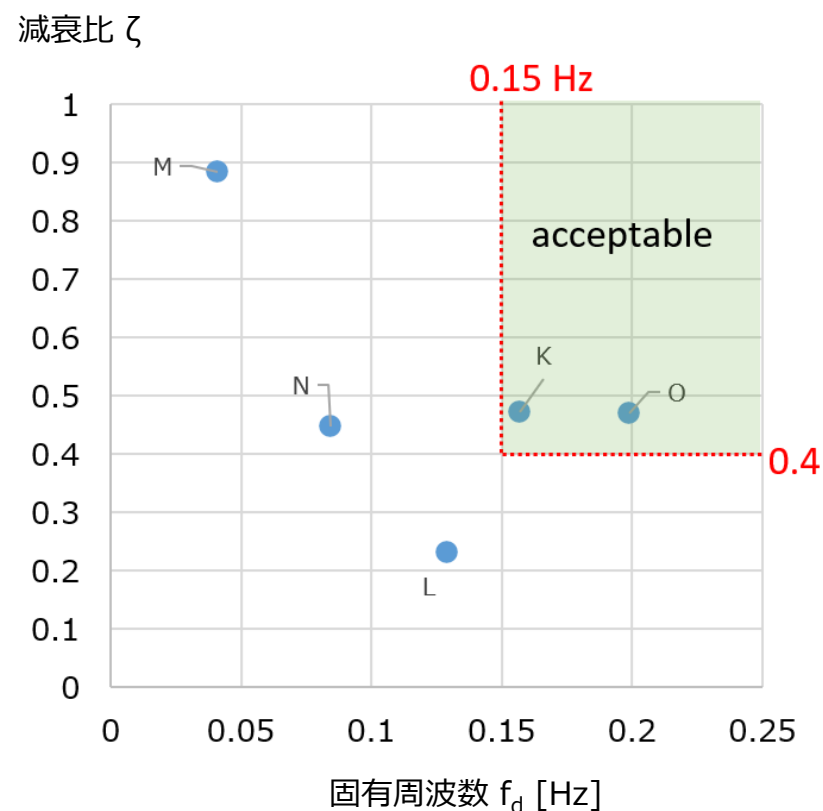
車両	独O車	独L車	日K車	日M車	日N車
採点結果	4	2	3	2	2
コメント	センターへの収束一度で完了し正確	戻りは早いセンターで収束せず反対側へオーバーしてからセンターへ戻るのに不安を感じる	センターへの戻りは早いとその後が多少ふらつく	センターに収束するが戻りが遅い為実用的では無い	センターに収束するが戻りが遅い為実用的では無い

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時収束軌跡の減衰比と固有周波数の関係

初期変位量: 25cm~75cm



初期変位量: 40cm~55cm



主観評価をもとに基準値を以下の通り決定

減衰比 (ζ): 0.4 以上, 固有周波数 (f_d): 0.15Hz 以上 (3/4波長で収束と考え, 5秒収束が目安となる \approx 0.15Hz)

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束軌跡 (KAIT_2023_Protocol 新規項目)

■ 【参考】EuroNCAP

該当項目なし

■ KAIT_2023_Protocol

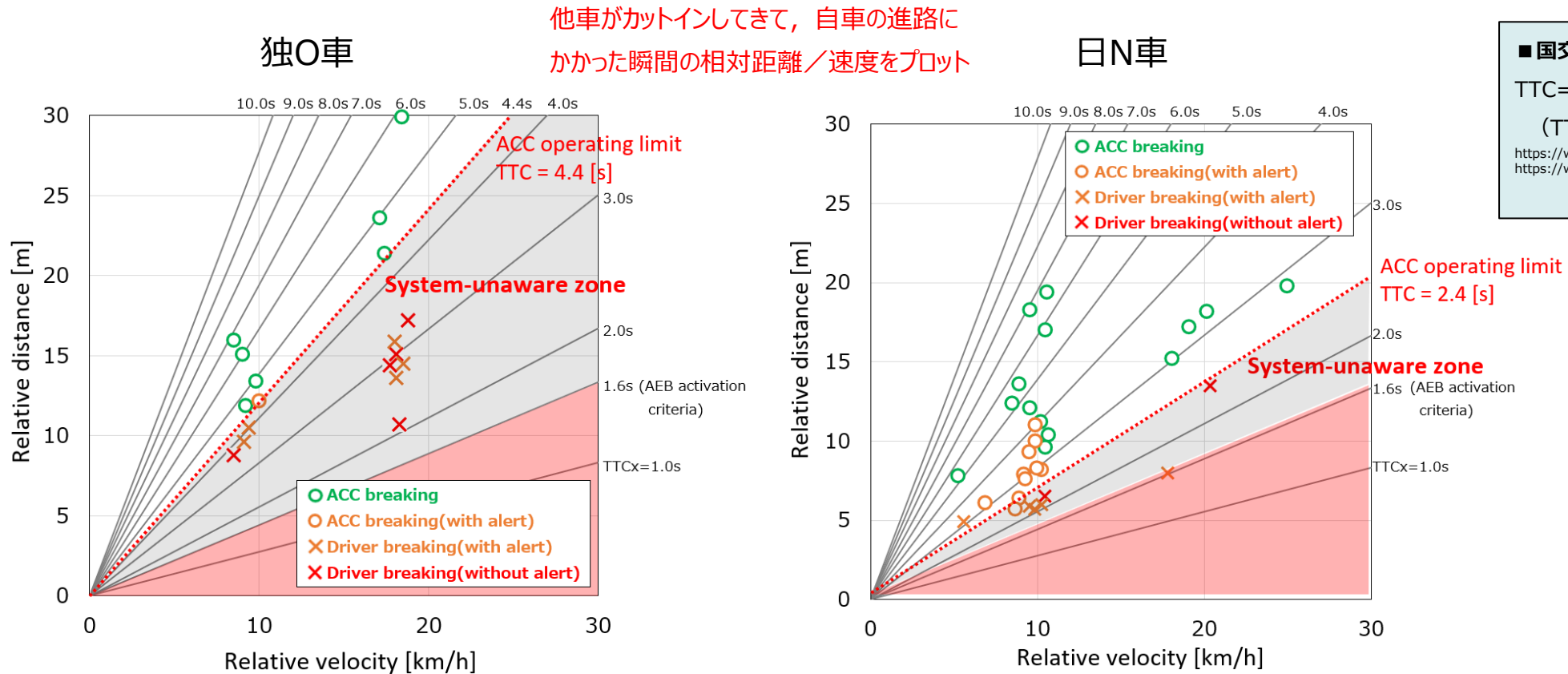
- LKA作動中にドライバにより操舵入力を行う
 - 車線内の横変位量は50cmを基準に繰り返し計測する
 - 平均軌跡を1自由度減衰系モデルで近似し, 固有周波数と減衰比で評価する
 - 固有周波数 : 0.15Hz以上, 減衰比 0.4以上の両方を満たす車両を一律15点加点

<https://cdn.euroncap.com/media/75441/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v11.pdf>

6. 外乱安定性評価指標 LKA操舵外乱時の収束性能 評価結果

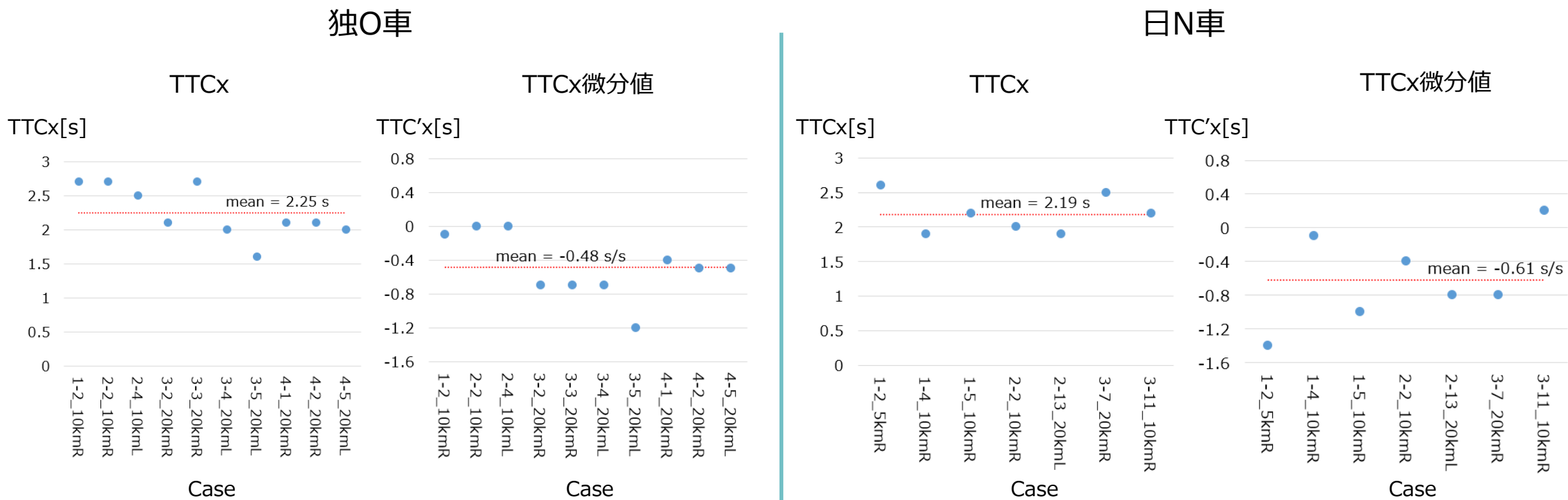
車両	独O車	独L車	日K車	日M車	日N車
採点結果	15	0	15	0	0
固有周波数 0.15以上合格	0.2005 Hz	0.13 Hz	0.16 Hz	0.048 Hz	0.0825 Hz
減衰比 0.4以上合格	0.48	0.241	0.461	0.86	0.5395

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン時のシステム/ドライバブレーキ相関図 (JARI城里テストセンター)



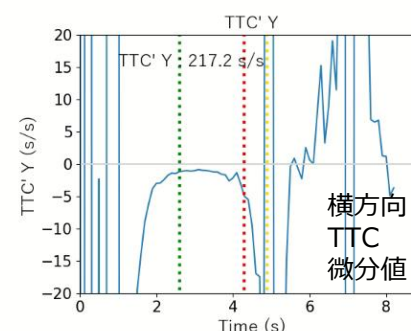
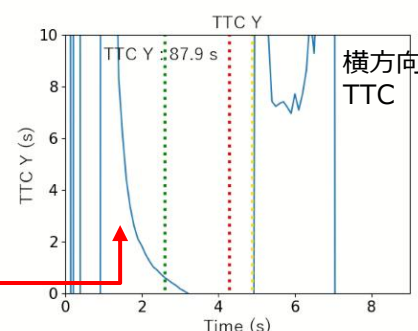
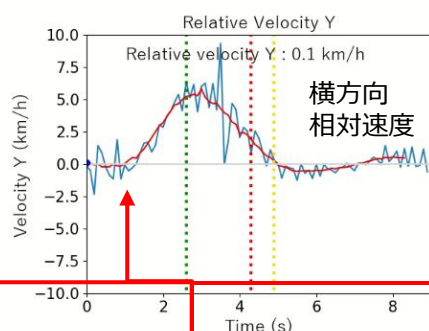
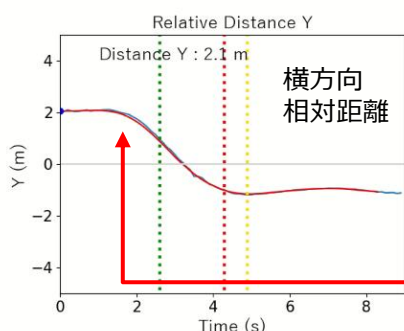
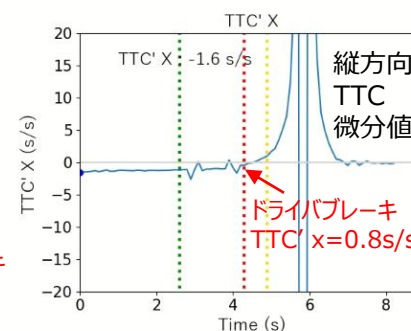
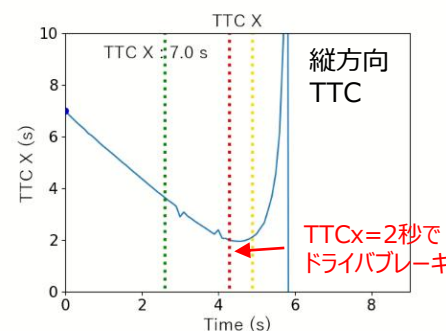
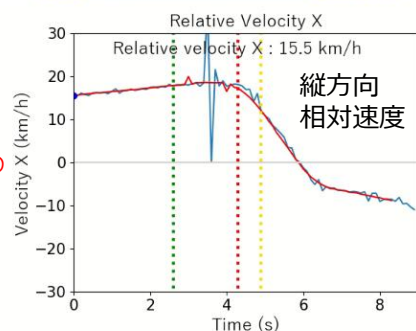
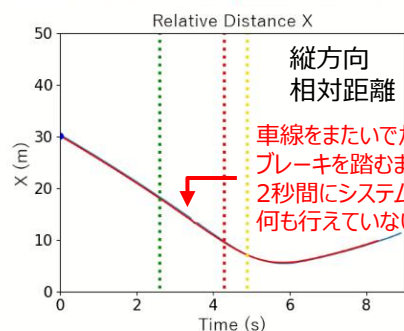
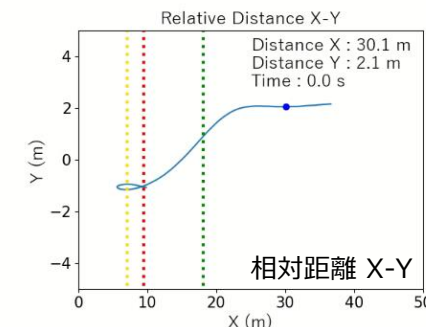
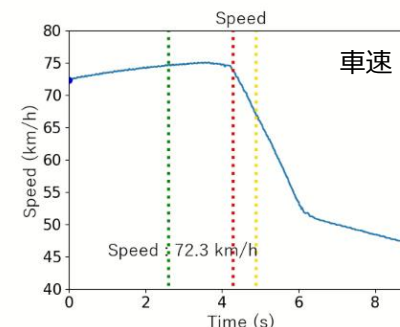
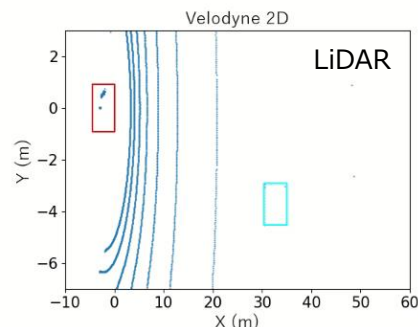
- ✓ ドライバはAEB作動を待てずにTTCx **1.6s~4.0s**で危険を感じブレーキ介入している
- ✓ ACCによる減速条件とAEB作動条件の両方に入らない空白期間がある様子. ACCの条件に課題があると思われる (認識orアルゴリズム)
- ✓ 独O車はTTCx 4.4s以下で減速対応できていないが、日N車はTTCx 2.4sまで対応できている
- ✓ 独O車は警報が発生しないケースも多い

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン時のドライバブレーキ介入タイミングとTTCおよびTTC微分値の関係



- ✓ ドライバはTTCx 平均2s前後で危険を感じブレーキ介入している
- ✓ ドライバブレーキ介入時のTTCxの微分値は平均-0.5 s/s程度であった

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン 独0車 ドライバブレーキ介入ケース

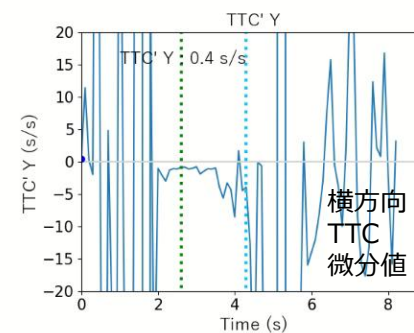
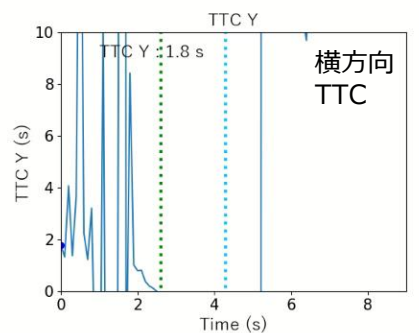
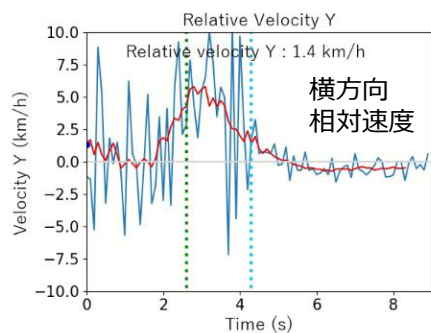
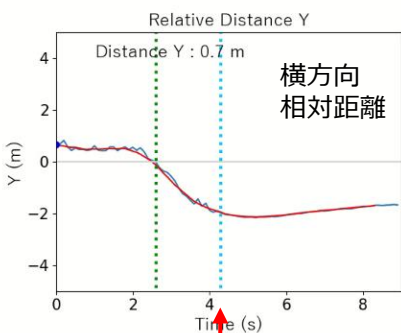
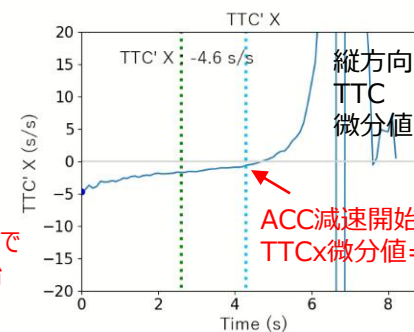
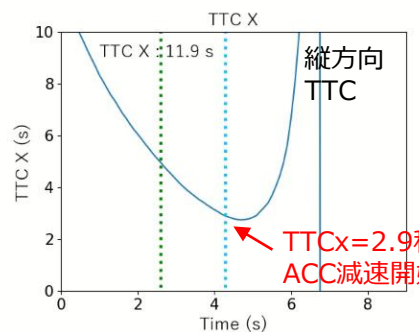
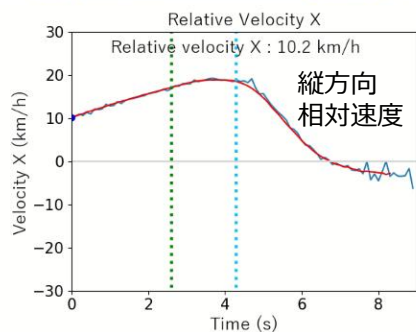
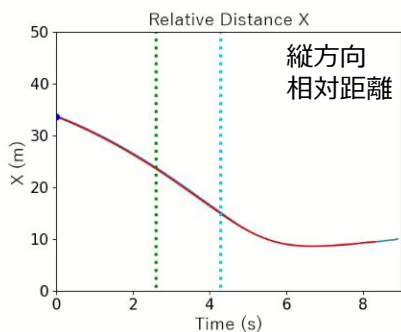
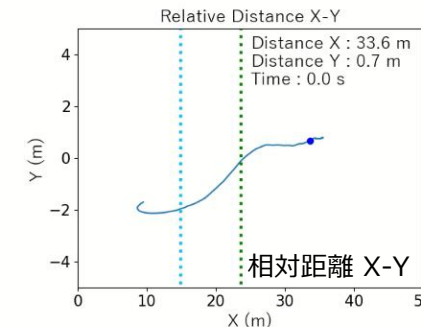
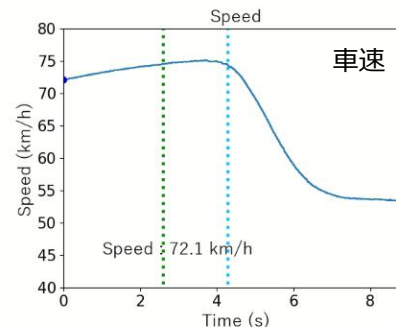
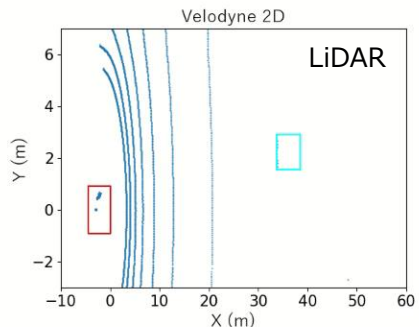


ドライバはTTCx=2秒で恐怖を感じブレーキを踏んでいる。車線をまたいでからブレーキを踏むまでに2秒程度あるので、この間にACCまたはAEBで対応可能と考えられるが、自車線に入るまで対象車両を認識できていない可能性がある。認識できているとすれば、横位置／横速度(横方向TTC)の変化と車線の関係に着目するアルゴリズムで対応可能と思われる

横方向の相対距離の減少や、相対速度の立ち上がり(横方向TTCの減少)に着目すると早期に警戒できる

- 自車線進入時刻
- 警報作動時刻
- ドライバブレーキ介入時刻

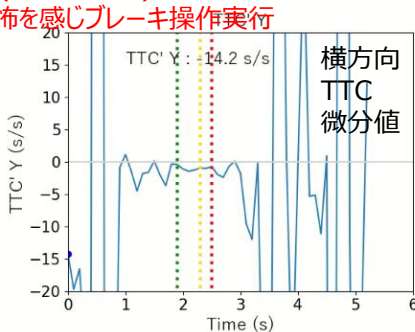
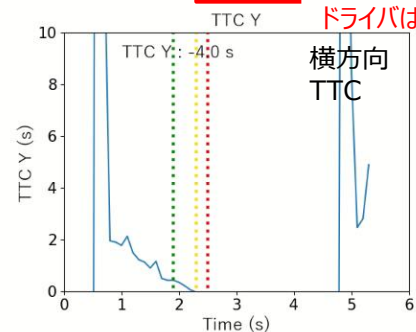
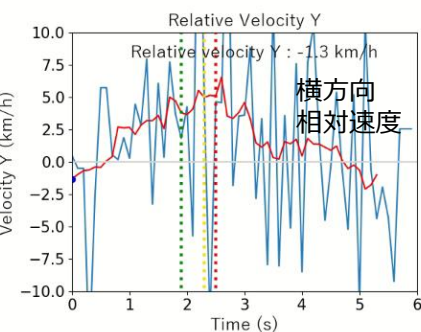
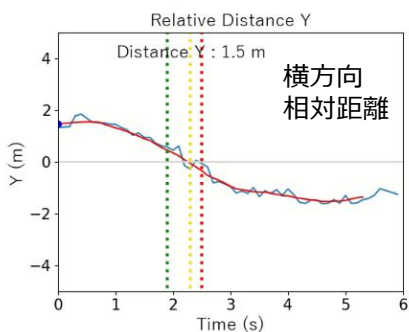
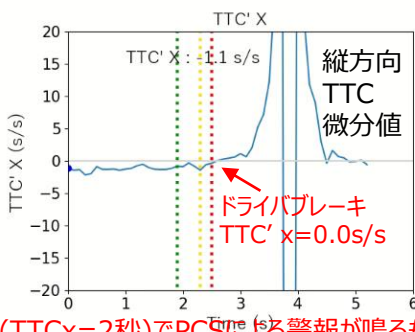
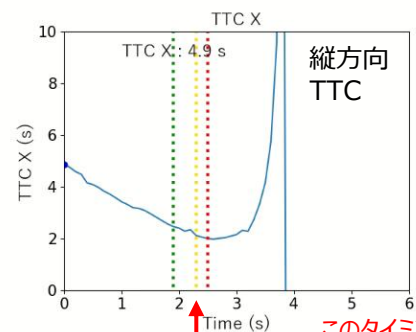
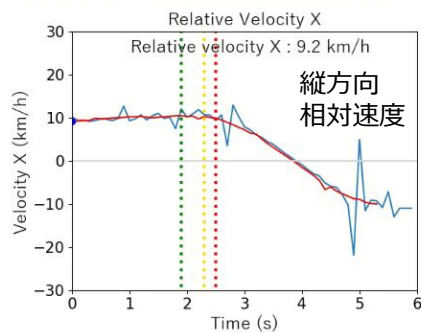
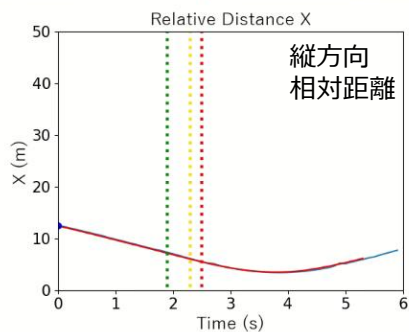
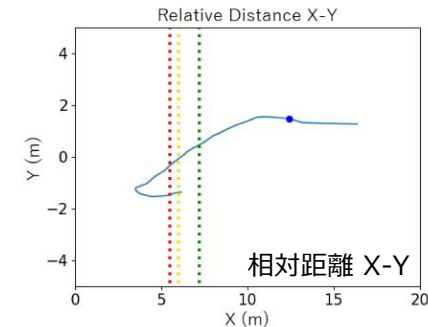
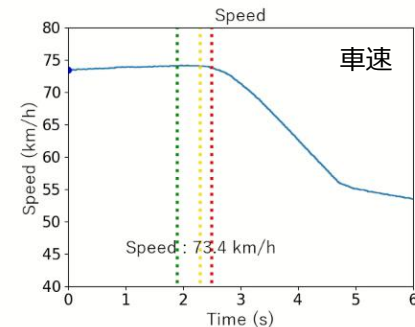
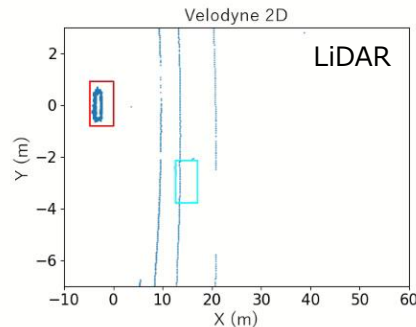
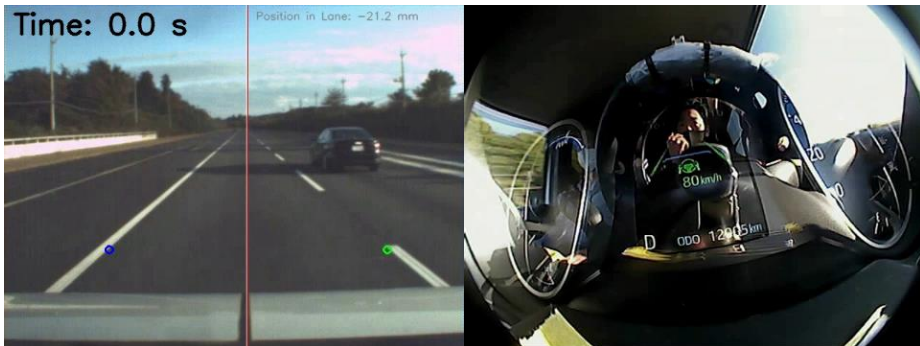
7. 速度適応制御系評価指標 カットイン 独O車 ACC減速対応ケース



他車が自車の前に完全に出てから減速開始している。

..... 自車線進入時刻
 ACC減速開始時刻

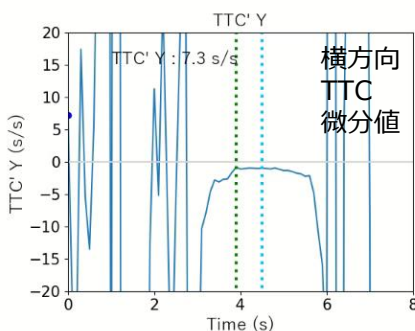
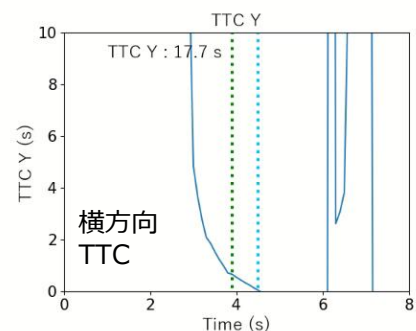
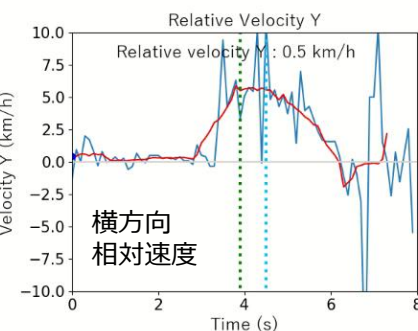
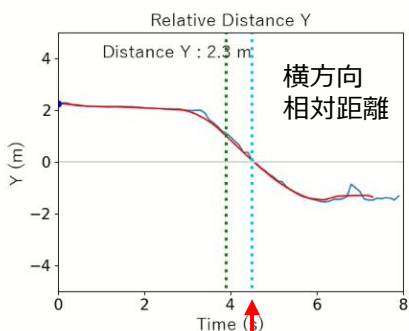
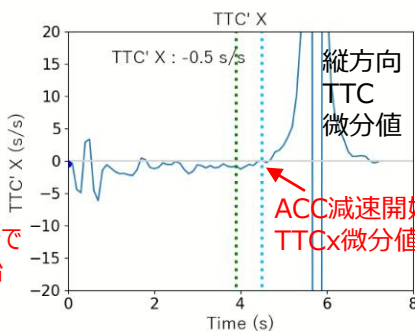
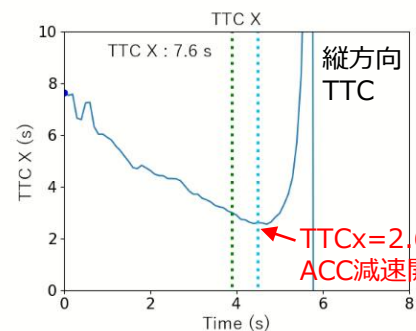
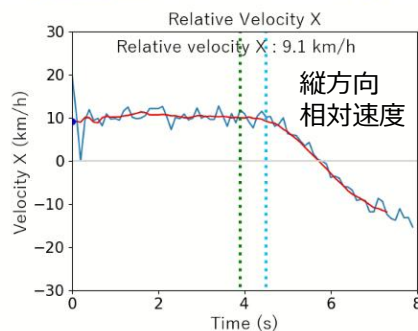
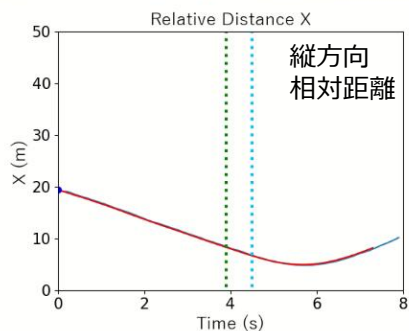
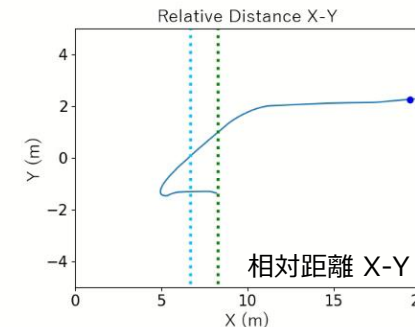
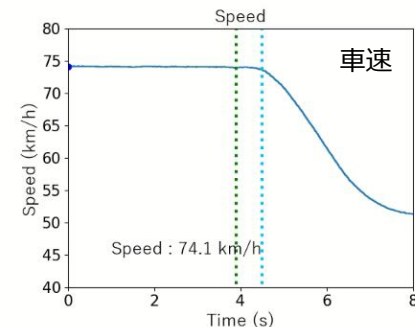
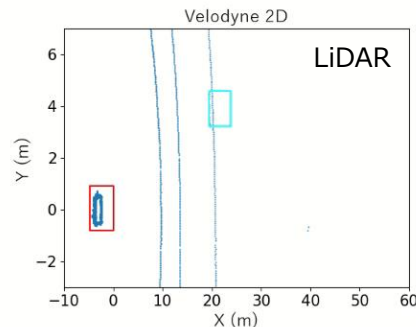
7. 速度適応制御系評価指標 カットイン 日N車 ドライブブレーキ介入ケース



このタイミング(TTCx=2秒)でPC5による警報が鳴るものの
 ドライバは恐怖を感じブレーキ操作実行

- 自車線進入時刻
- 警報作動時刻
- ドライブブレーキ介入時刻

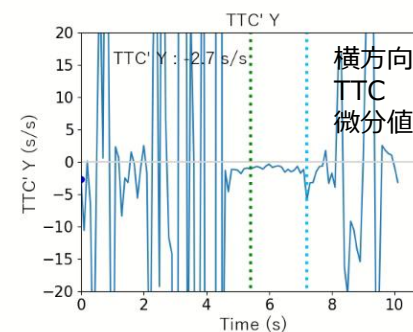
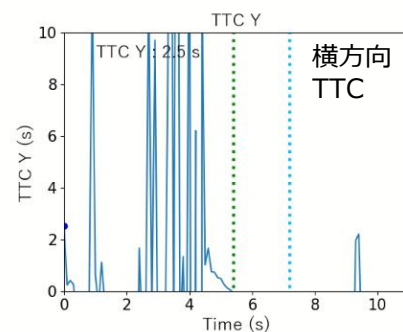
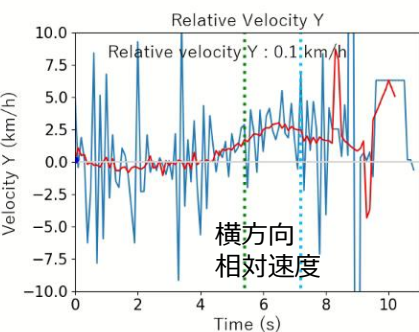
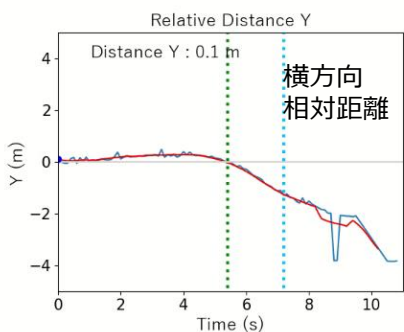
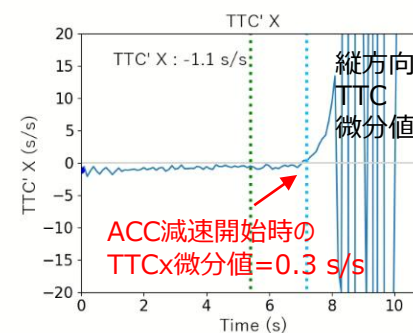
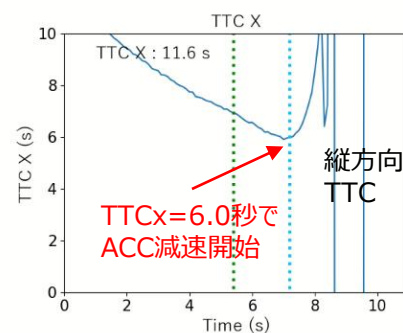
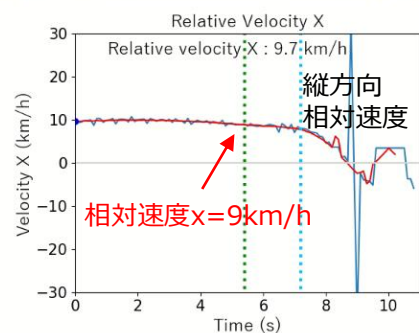
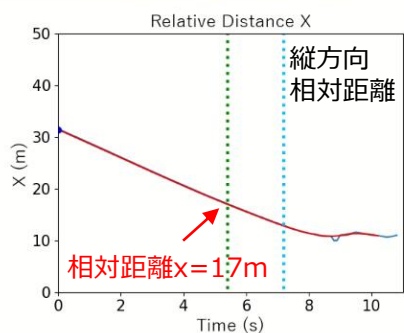
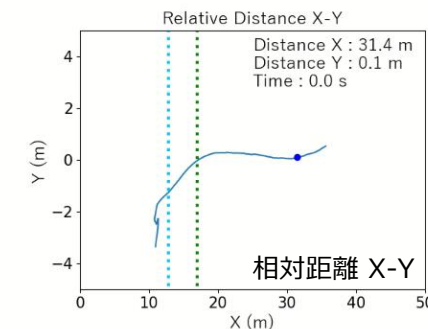
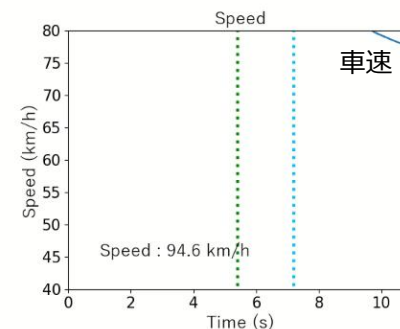
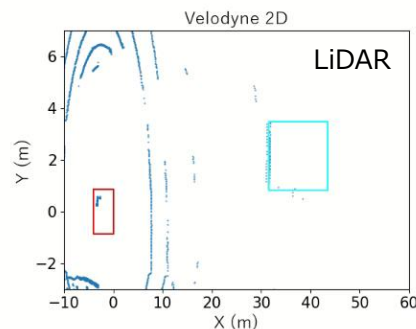
7. 速度適応制御系評価指標 カットイン 日N車 ACC減速対応ケース



他車が自車の前に完全に出来る前に減速開始している。
独り車より対応が早い

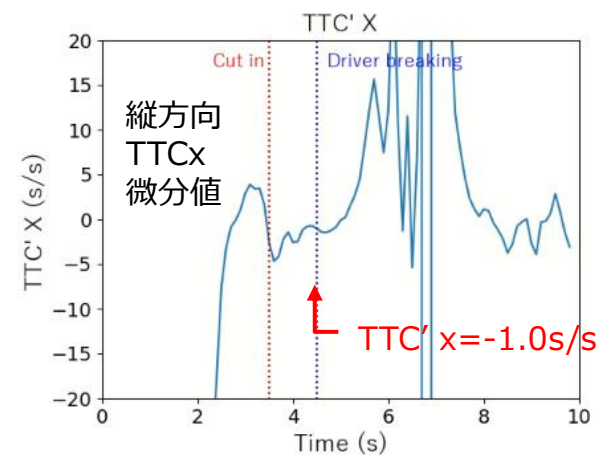
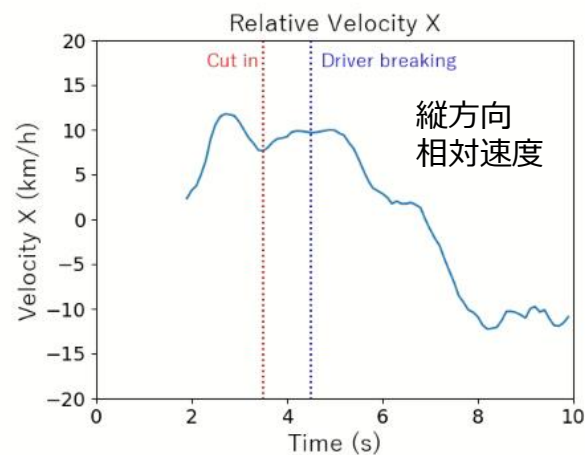
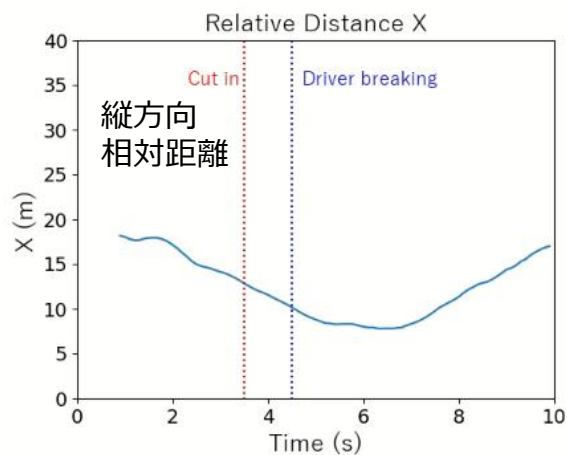
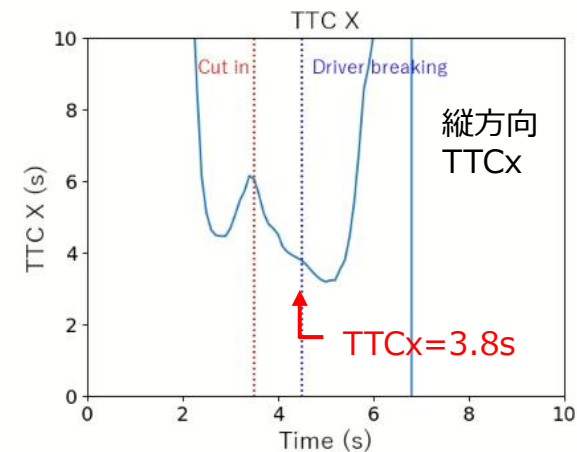
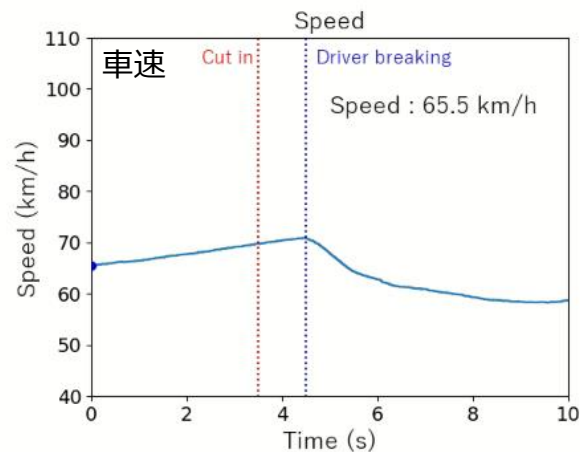
..... 自車線進入時刻
..... ACC減速開始時刻

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン ACC対応ケース 日K車 東名下り右ルート



..... 自車線進入時刻
..... ACC減速開始時刻

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン ドライバ介入ケース 日M車 東名上り

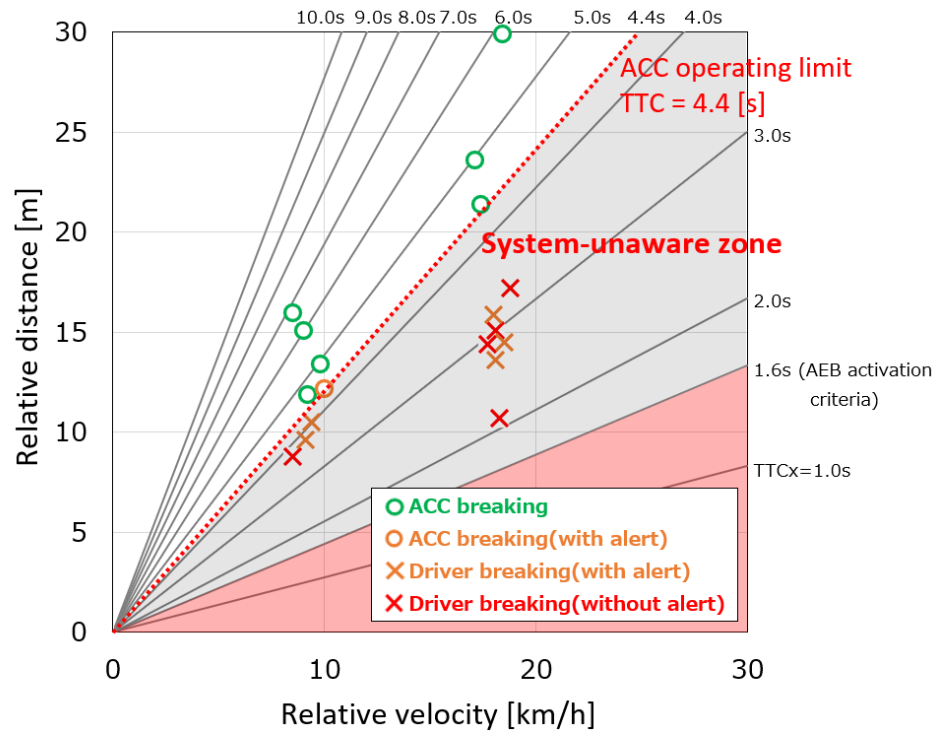


※LiDAR未搭載

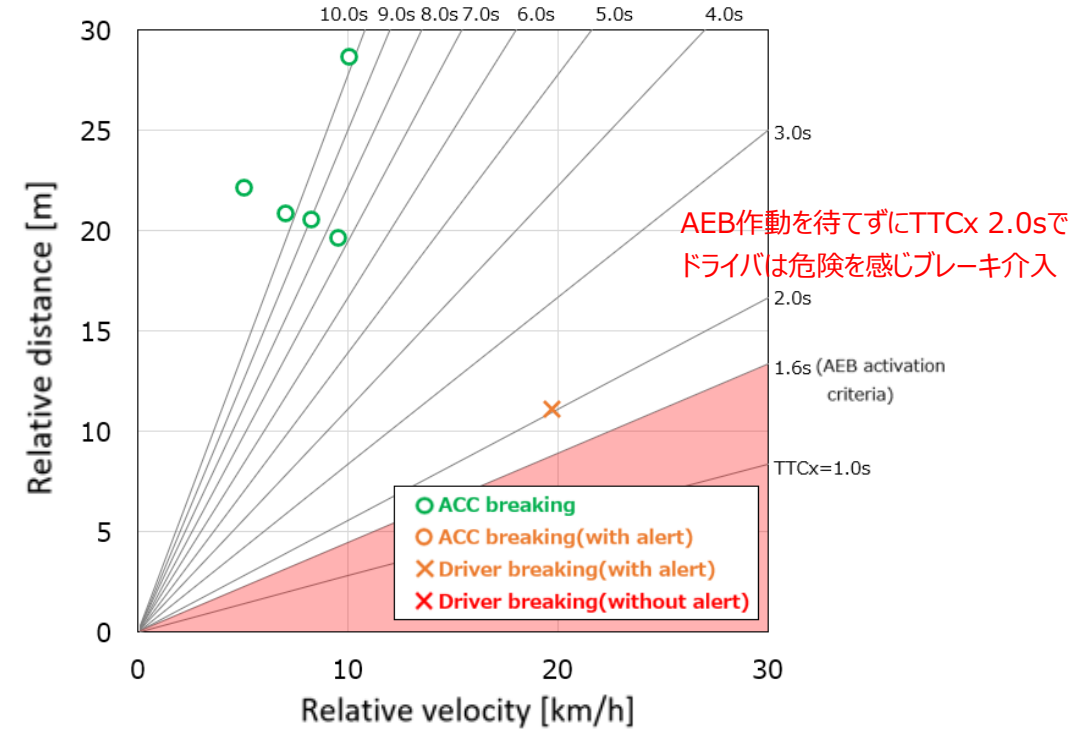
..... 自車線進入時刻
..... ドライブラブレーキ介入時刻

7. 速度適応制御系評価指標 システム/ドライバブレーキ相関図 カットインとACC通常時の比較 独O車

カットイン (テストコース;再掲)



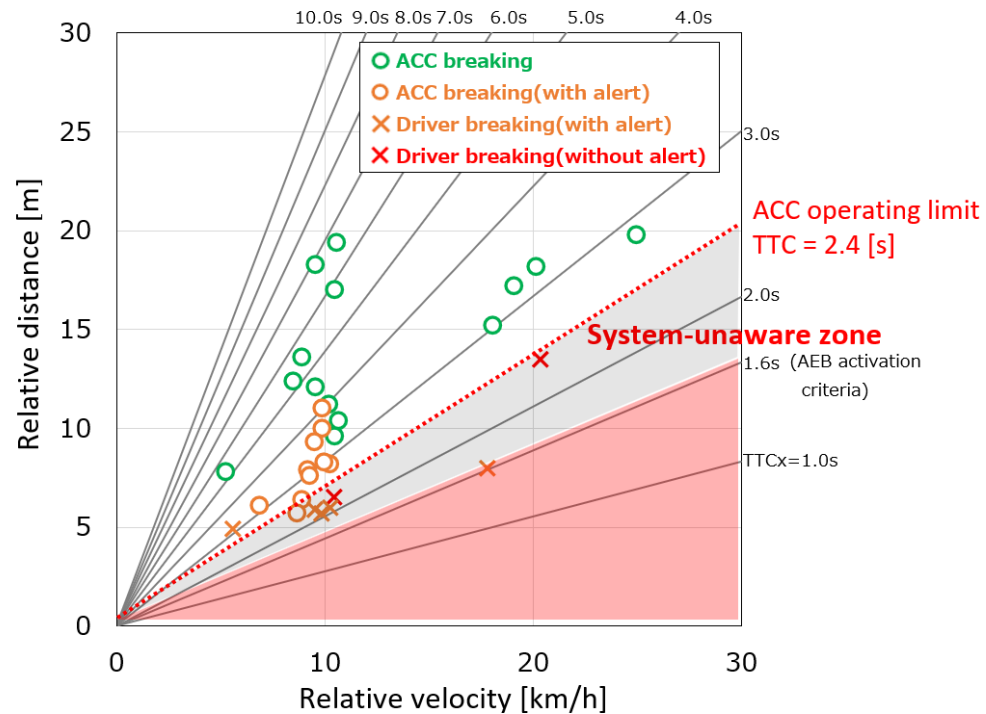
ACC通常時 (東名下り右ルート)



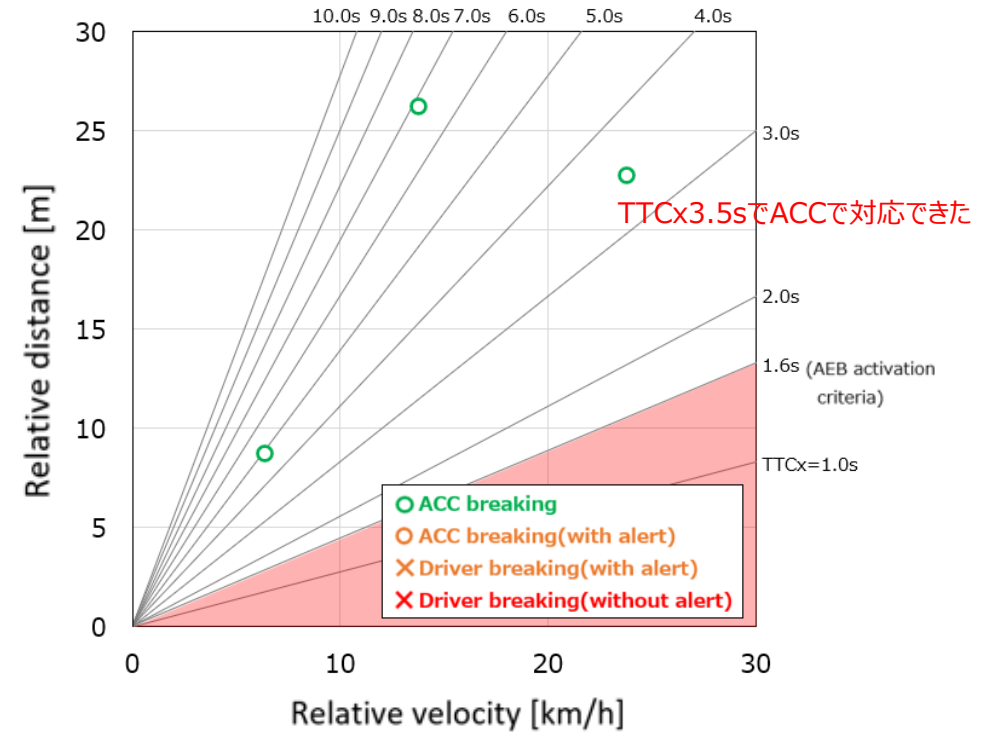
前車追従時に前車の速度が低下した際の最小TTCにおける
相対距離/速度をプロット

7. 速度適応制御系評価指標 システム/ドライバブレーキ相関図 カットインとACC通常時の比較 日N車

カットイン (テストコース;再掲)



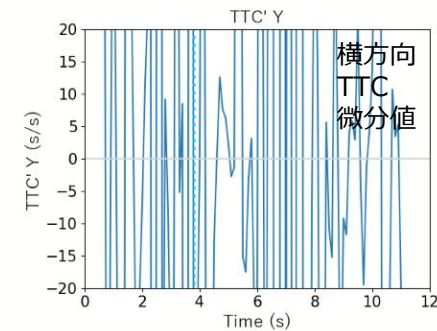
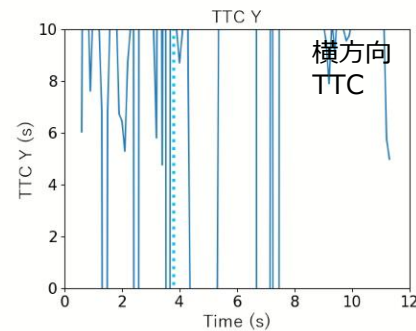
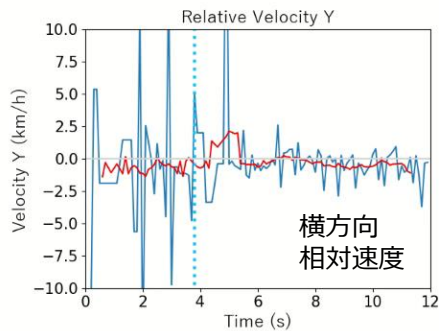
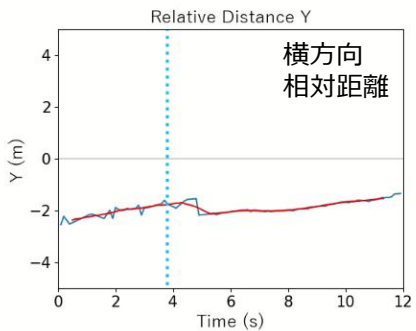
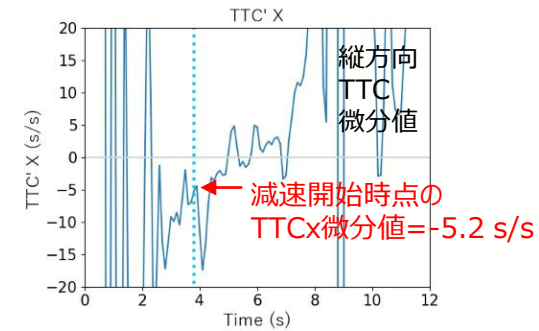
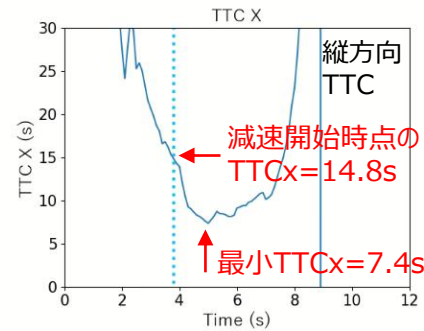
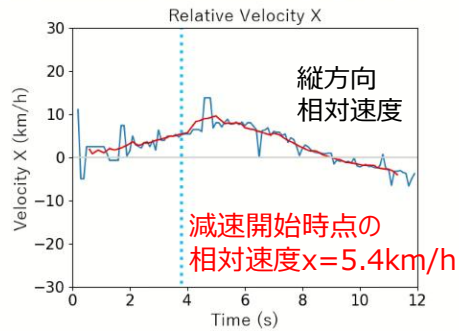
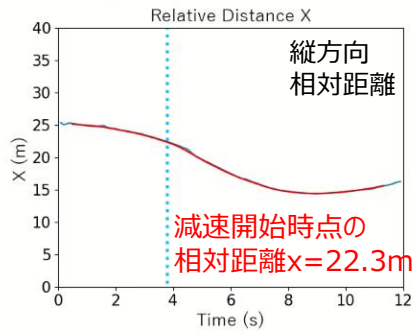
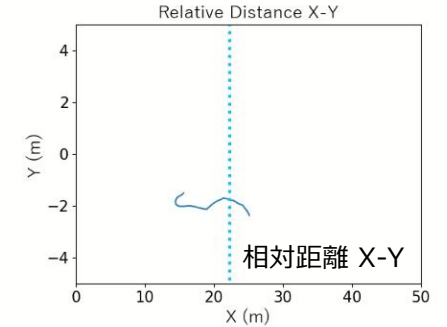
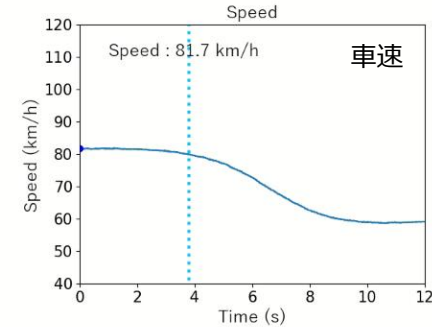
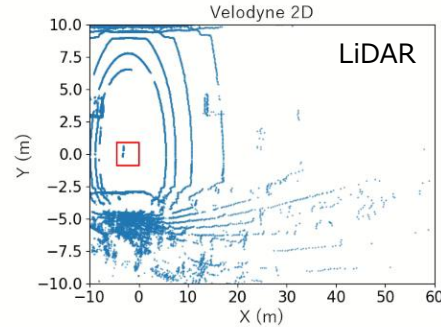
ACC通常時 (東名下り右ルート)



前車追従時に前車の速度が低下した際の最小TTCにおける
 相対距離/速度をプロット

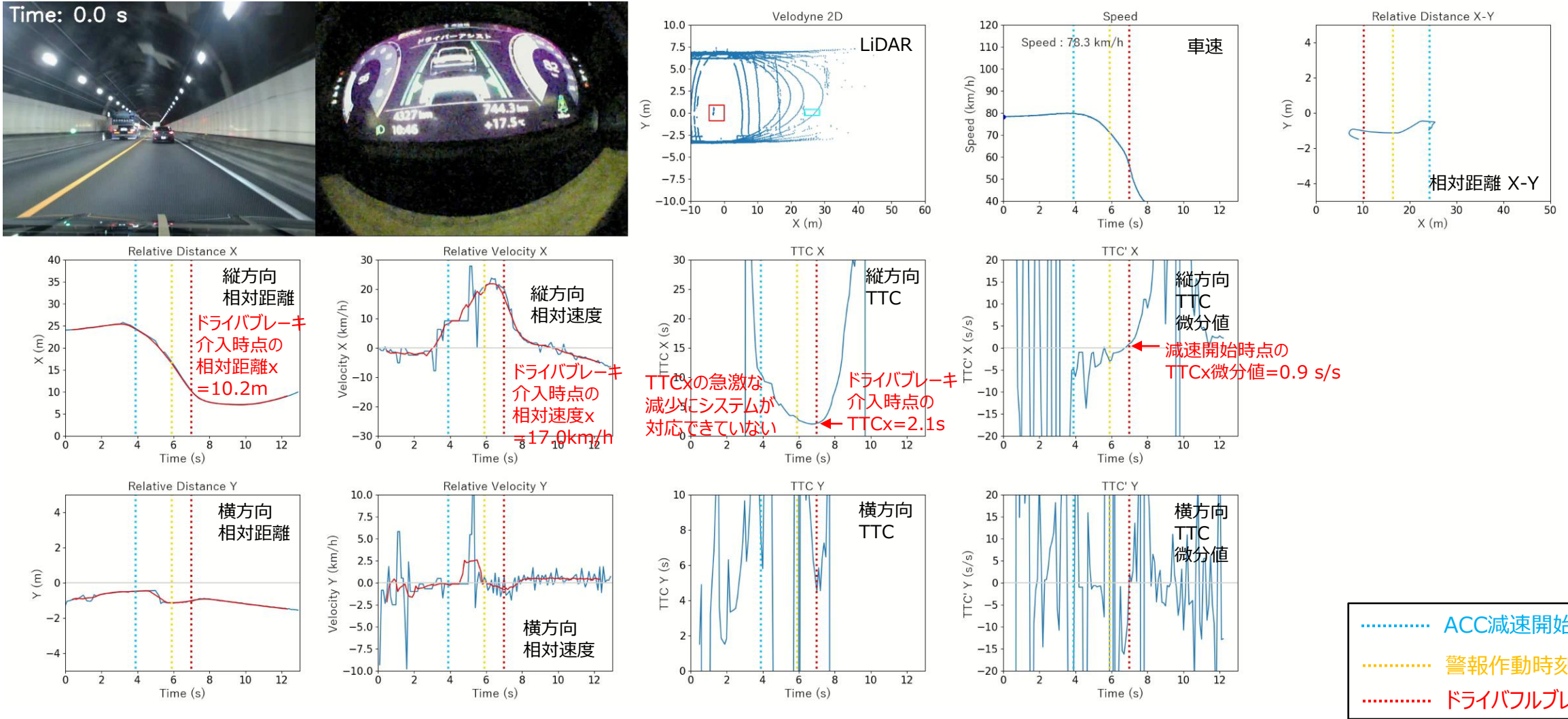
7. 速度適応制御系評価指標 ACC通常走行時 東名下り右ルート 独O車 ACC対応ケース

Time: 0.0 s



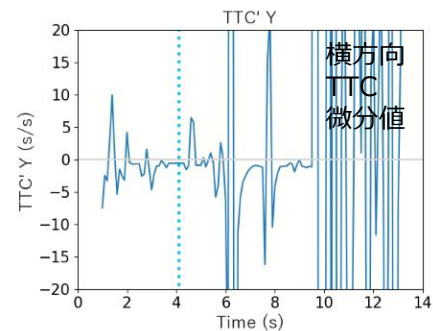
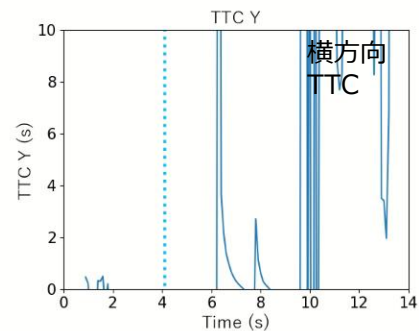
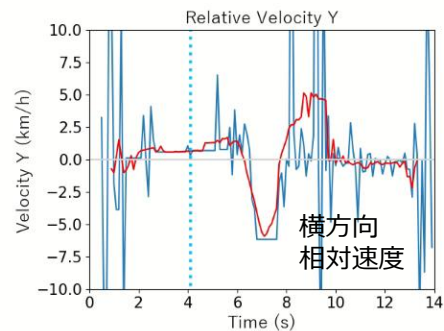
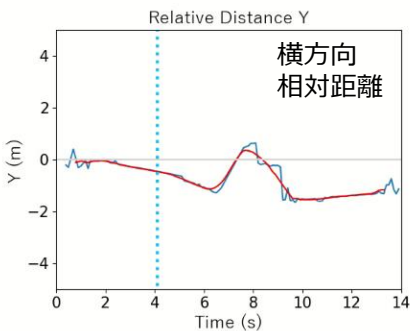
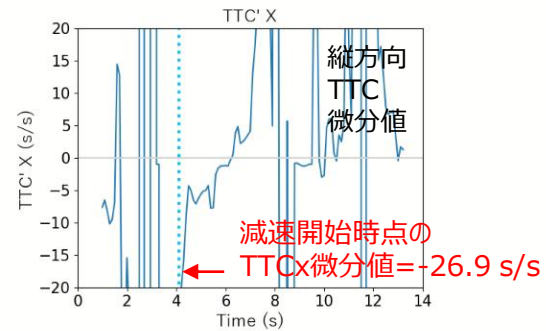
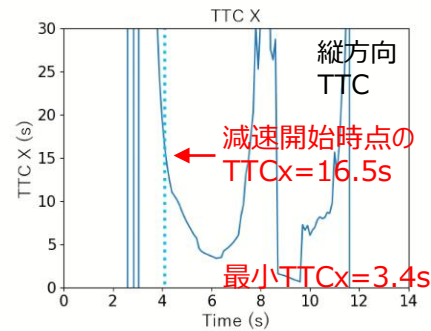
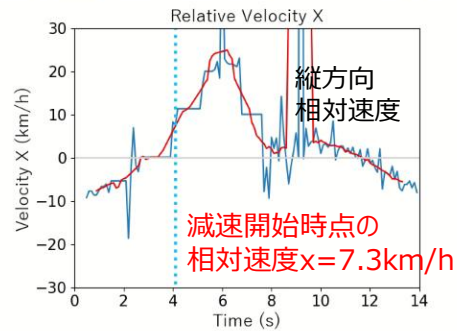
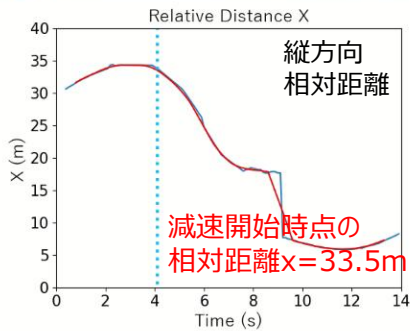
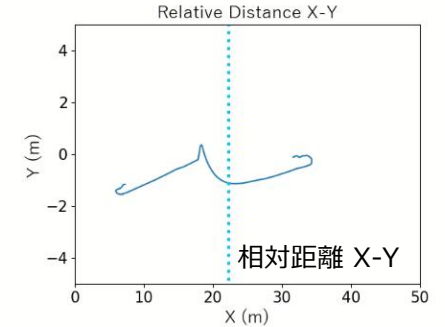
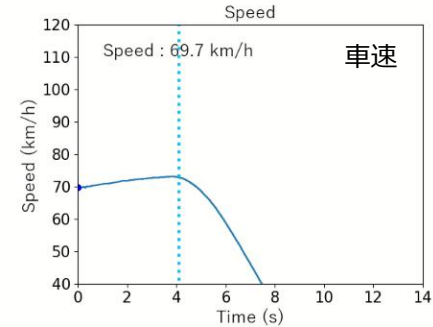
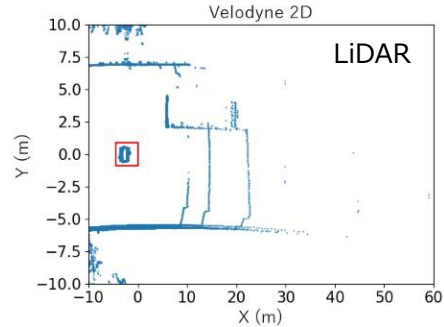
..... ACC減速開始時刻

7. 速度適応制御系評価指標 ACC通常走行時 東名下り右ルート 独0車 ドライブブレーキ介入ケース



7. 速度適応制御系評価指標 ACC通常走行時 東名下り右ルート 日N車 ACC対応ケース

Time: 0.0 s



..... ACC減速開始時刻

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン (KAIT_2023_Protocol 新規項目)

■ 【参考】EuroNCAP

- 以下のシナリオに対応できること
- 停止車両への接近 (直線/カーブ)
- 低速車への接近
- 減速中車両への接近
- カットイン/カットアウト

【カットイン条件】

ACCカットイン① TTC:0.0s, 自車:50km/h, 他車:10km/h (相対速度 40km/h)
 ACCカットイン② TTC:1.5s, 自車:120km/h, 他車:70km/h (相対速度 50km/h)
 AEBカットイン① TTC:-1.5s, 自車:50km/h, 他車:10km/h (相対速度 40km/h)
 AEBカットイン② TTC:0.5s, 自車:120km/h, 他車:70km/h (相対速度 50km/h)
 ※TTC: 他車が自車の前に完全に進入完了した時点のTTC (他車が自車線の中央に到達時)

ACC CUT-IN	VUT	GVT	Lane Change Manoeuvre GVT		
			Lateral Acceleration	Change Length	Radius of turning segments
Cut-in					
Cut-in @ TTC = 0.00	50 km/h	10 km/h	0.5 m/s ²	14.5 m	15 m
Cut-in @ TTC = 1.50	120 km/h	70 km/h	1.5 m/s ²	60.0 m	250 m

AEB CAR-TO-CAR	VUT	GVT
Cut-in		
Cut-in @ TTC = -1.50	50 km/h	10 km/h
Cut-in @ TTC = 0.50	120 km/h	70 km/h

■ KAIT_2023_Protocol

- カットイン時のドライバ介入不要な最小TTC
 - 80km/h設定でACCを作動させ, 他車をカットインさせる
 - 自車と他車の速度差は10km/hおよび20km/hとする
 - 自車ドライバは恐怖を感じたらブレーキを踏む
 - 他車が自車の進行スペースにかかった時点のTTCを基準とし, TTC 2秒~5秒の間でカットイン距離を変えてカットインを繰り返す
 - ドライバが恐怖を感じずにACCで対応できた最小TTCを指標とする (2秒以下15点 ~ 5秒以上0点)

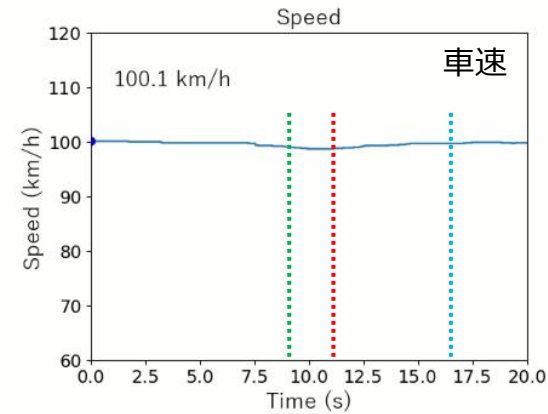
<https://cdn.euroncap.com/media/75441/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v11.pdf>

7. 速度適応制御系評価指標 カットイン 評価結果

車両	独O車	日N車	日M車
採点結果	3	13	13
ACC対応 最小TTC (2秒以下15点～ 5秒以上0点)	4.4秒	2.4秒	2.4秒

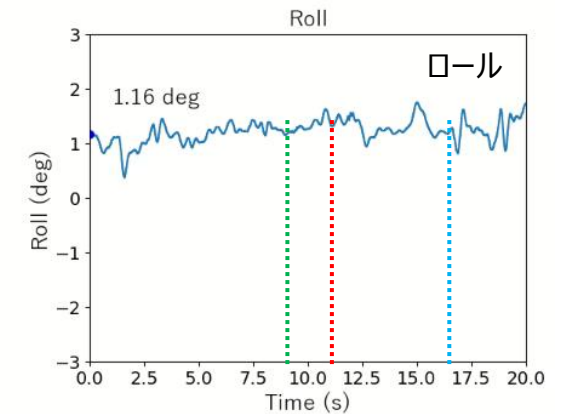
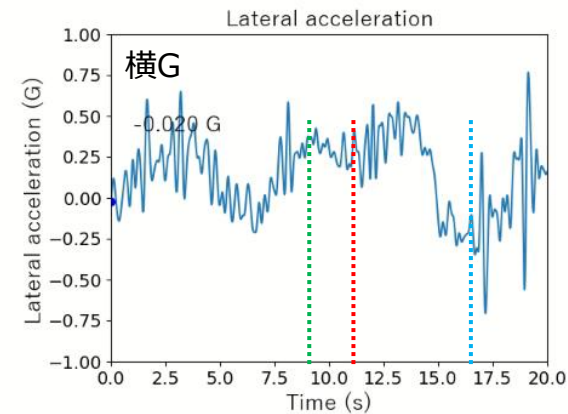
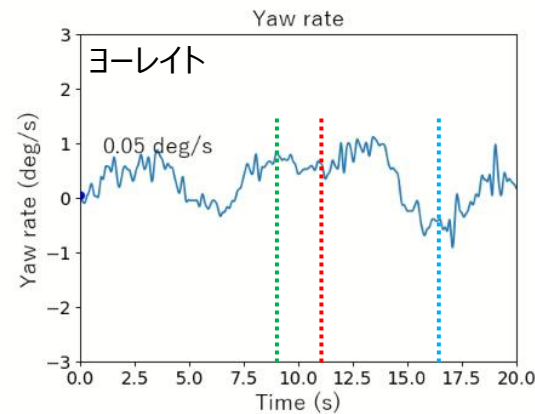
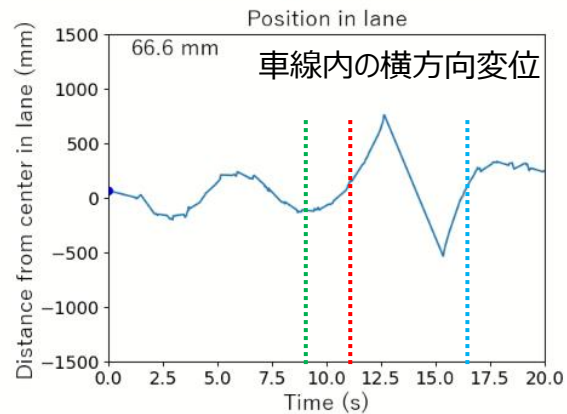
※独I車, 日K車は未計測
日M車は未計測だが, 日N車と同点と推測

8. オートレーンチェンジ 独L車



【ALC主観評価点】

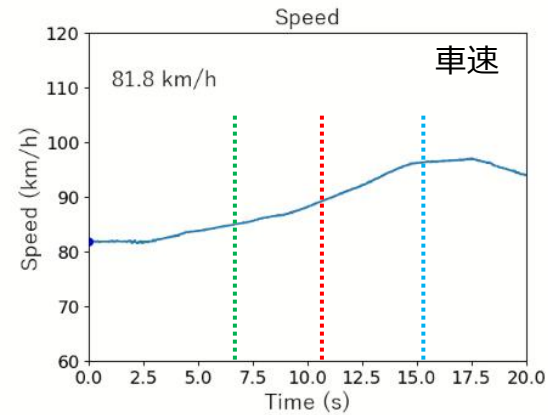
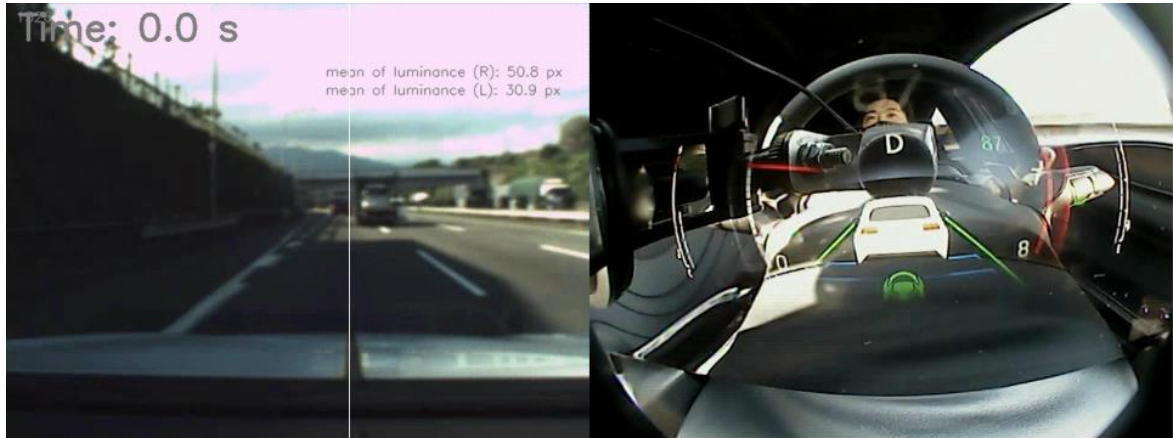
始動～終了までの受容性：3.6
 終了時のインフォメーション：3.5
 他車に与える影響：3.4
 様々なシーンへの対応：3.0



- ✓ ドライバALC操作からALC開始まで：2秒
- ✓ ALC開始から終了まで：5.4秒
- ✓ 合計：7.4秒

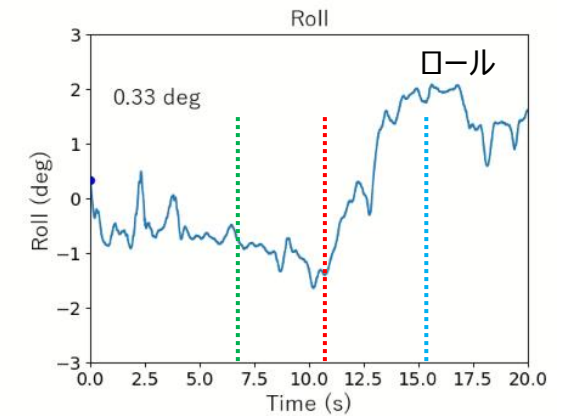
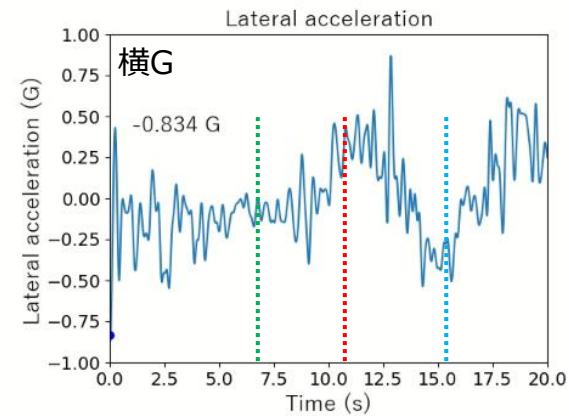
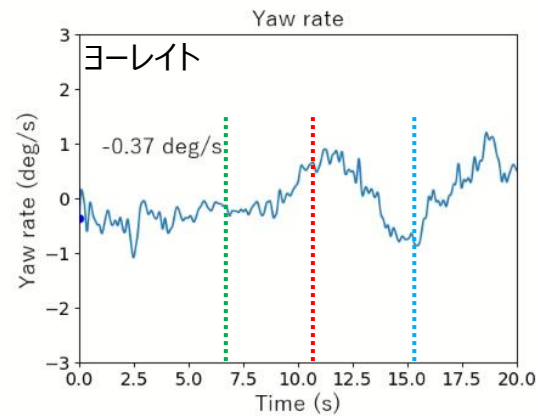
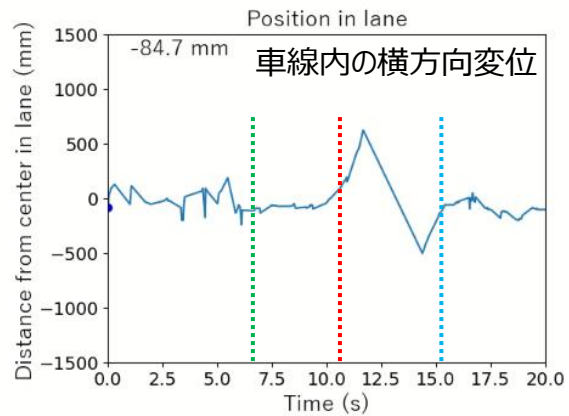
..... ドライバALC操作時刻
 ALC開始時刻
 ALC終了時刻

8. オートレーンチェンジ 日M車



【ALC主観評価点】

始動～終了までの受容性：3.2
 終了時のインフォメーション：3.1
 他車に与える影響：2.7
 様々なシーンへの対応：3.0

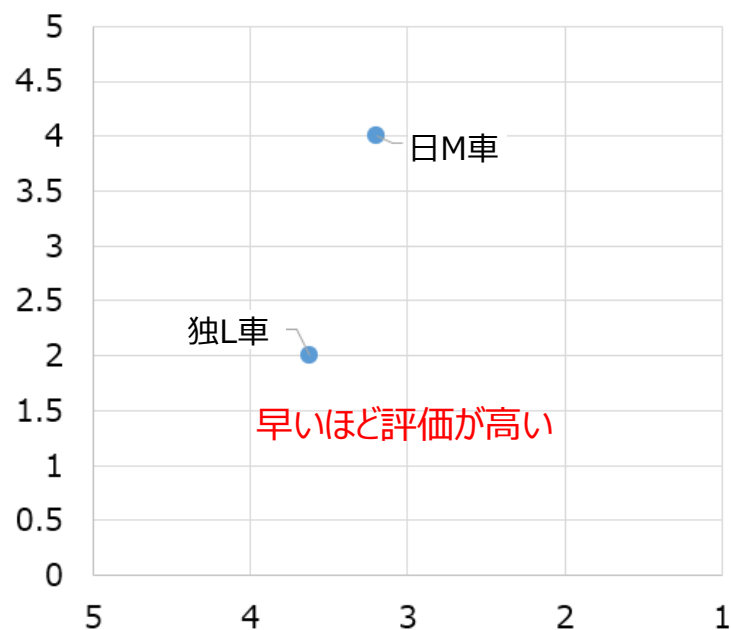


- ✓ ドライバALC操作からALC開始まで：4.0秒
- ✓ ALC開始から終了まで：4.6秒
- ✓ 合計：8.6秒

..... ドライバALC操作時刻
 ALC開始時刻
 ALC終了時刻

8. オートレーンチェンジ ALC時間に関する相関グラフ

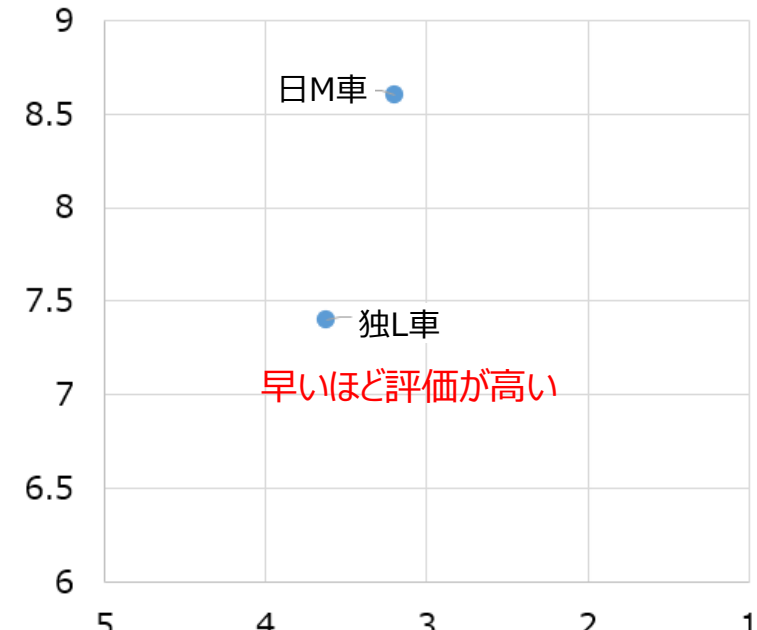
ドライバ操作からALC開始までの時間



ALC開始から終了までの時間



ALC全体時間



- ✓ 「ドライバ操作からALC開始までの時間」と「ALC全体時間」が主観評価に影響を与えている様子
- ✓ 「ALC開始から終了までの時間」は主観評価にさほど影響していない様子

8. オートレーンチェンジ 主観評価結果

評価項目	評価結果	コメント 日M車	コメント 独L車						
何秒L/Cか？	<table border="1"> <caption>L/C Time Comparison</caption> <thead> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果 (秒)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>日M車</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>3.8</td> </tr> </tbody> </table>	車種	評価結果 (秒)	日M車	3.5	独L車	3.8	4~5秒	3~4秒
車種	評価結果 (秒)								
日M車	3.5								
独L車	3.8								
車間	<table border="1"> <caption>Car Spacing Comparison</caption> <thead> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>日M車</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>3.8</td> </tr> </tbody> </table>	車種	評価結果	日M車	3.5	独L車	3.8	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 不安ない。短めでもできる ✓ 変更後の車線にスペースが必要と感じた ✓ 問題なし 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 不安ない ✓ 違和感はなかった ✓ 問題なし
車種	評価結果								
日M車	3.5								
独L車	3.8								
タイミング	<table border="1"> <caption>Timing Comparison</caption> <thead> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>日M車</td> <td>3.0</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>3.2</td> </tr> </tbody> </table>	車種	評価結果	日M車	3.0	独L車	3.2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ レバー長押しで制御開始，4秒程度でLC終了。操作しづらい ✓ 操作に対し開始が遅い ✓ 制御可になってから動き出しまでがややゆっくりに感じる ✓ 人の操作入ると制御やめ。途中で簡単にやめてしまうのは反って危ない ✓ 動き出しまで遅いと感じた ✓ 作動しないことが多く，人の認識との乖離を感じた ✓ 開始するまでが遅いのもっと早く開始してほしい 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 制御開始のスイッチ操作わかりにくい ✓ 制御開始のインフォがわかりにくい（無いのかも）ため前車に追付き後，突然加速する感じがある ✓ L/Cできるまで待ってから動作してくれるのが便利だと感じた ✓ 開始するまでが遅いのもっと早く開始してほしい
車種	評価結果								
日M車	3.0								
独L車	3.2								
動き	<table border="1"> <caption>Movement Comparison</caption> <thead> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>日M車</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>3.8</td> </tr> </tbody> </table>	車種	評価結果	日M車	3.5	独L車	3.8	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ゆっくりのLCで不安なし ✓ 全体的に遅い ✓ もっときびきびしてほしい 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ゆっくりのLCで不安なし ✓ スムーズだった
車種	評価結果								
日M車	3.5								
独L車	3.8								

8. オートレーンチェンジ 主観評価結果

評価項目	評価結果	コメント 日M車	コメント 独L車						
終了時の インフォメーション	<table border="1"> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果</th> </tr> <tr> <td>日M車</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>4</td> </tr> </table>	車種	評価結果	日M車	3	独L車	4	<ul style="list-style-type: none"> ✓ わかり難い ✓ ウィンカー停止で終了, わかりやすい ✓ 違和感は無かった ✓ 完了したことがわかりづらい. 作動から終了までの経過をわかりやすく示すことができないか 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ウィンカー停止で終了 ✓ 完了したことがわかりづらい. 作動から終了までの経過をわかりやすく示すことができないか
車種	評価結果								
日M車	3								
独L車	4								
他車に与える 影響	<table border="1"> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果</th> </tr> <tr> <td>日M車</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>4</td> </tr> </table>	車種	評価結果	日M車	3	独L車	4	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 長めのウィンカーでONその後7回程度のウィンカー. やや冗長 ✓ 動きが遅く, 影響を与えやすい ✓ 他車から見て優柔不断な運転に見えるのでは 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 特に問題なし ✓ 人が操作するのと大差ないと感じた ✓ 他車から見て優柔不断な運転に見えるのでは ✓ ウィンカーを出してから中断等, 他車に違和感を与える. 中断後, 加速だけ残り, 挙動不審
車種	評価結果								
日M車	3								
独L車	4								
様々なシーン への対応	<table border="1"> <tr> <th>車種</th> <th>評価結果</th> </tr> <tr> <td>日M車</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>独L車</td> <td>3</td> </tr> </table>	車種	評価結果	日M車	3	独L車	3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 操作し難く, 機能の安定感がない. ✓ コーナー途中でもきちんと車線内でLC, オーバーシュートも無い ✓ 周囲に広いスペースが必要 ✓ 条件を満たさず発動しない場合がある. 使いたいときに使えない 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 操作レディ条件少なく, やや使いにくい ✓ 条件が整うまで待てるので, 様々なシーンへ対応可能と感じた ✓ 条件を満たさず発動しない場合がある. 使いたいときに使えない
車種	評価結果								
日M車	3								
独L車	3								

8. オートレーンチェンジ ウィンカータイミングの法規

■ 道路交通法

第三章 車両及び路面電車の交通方法

第十節 灯火及び合図

(合図)

第五十三条 車両（自転車以外の軽車両を除く。次項及び第四項において同じ。）の運転者は、左折し、右折し、転回し、徐行し、停止し、後退し、又は同一方向に進行しながら進路を変えるときは、手、方向指示器又は灯火により合図をし、かつ、これらの行為が終わるまで当該合図を継続しなければならない。

2 車両の運転者は、環状交差点においては、前項の規定にかかわらず、当該環状交差点を出るとき、又は当該環状交差点において徐行し、停止し、若しくは後退するときは、手、方向指示器又は灯火により合図をし、かつ、これらの行為が終わるまで当該合図を継続しなければならない。

3 前二項の合図を行う時期及び合図の方法については、政令で定める。

4 車両の運転者は、第一項又は第二項に規定する行為が終わつたときは、当該合図をやめなければならないものとし、また、これらの規定に規定する合図に係る行為をしないのにかかわらず、当該合図をしてはならない。

(罰則 第一項、第二項及び第四項については第二百二十条第一項第六号、同条第三項)

■ 道路交通法施行令第21条 抜粋

第二十一条 法第五十三条第一項に規定する合図を行なう時期及び合図の方法は、次の表に掲げるとおりとする。

合図を行う場合	合図を行う時期	合図の方法
左折するとき。	その行為をしようとする地点（交差点においてその行為をする場合にあつては、当該交差点の手前の側端）から三十メートル手前の地点に達したとき。	左腕を車体の左側の外に出して水平に伸ばし、若しくは右腕を車体の右側の外に出して肘を垂直に上に曲げること、又は左側の方向指示器を操作すること。
同一方向に進行しながら進路を左方に変えるとき。	その行為をしようとする時の三秒前のとき。	
右折し、又は転回するとき。	その行為をしようとする地点（交差点において右折する場合にあつては、当該交差点の手前の側端）から三十メートル手前の地点に達したとき。	右腕を車体の右側の外に出して水平に伸ばし、若しくは左腕を車体の左側の外に出して肘を垂直に上に曲げること、又は右側の方向指示器を操作すること。
同一方向に進行しながら進路を右方に変えるとき。	その行為をしようとする時の三秒前のとき。	
徐行し、又は停止するとき。	その行為をしようとするとき。	腕を車体の外に出して斜め下に伸ばすこと、又は車両の保安基準に関する規定若しくはトロリーバスの保安基準に関する規定により設けられる制動灯をつけること。
後退するとき。	その行為をしようとするとき。	腕を車体の外に出して斜め下に伸ばし、かつ、手のひらを後ろに向けてその腕を前後に動かすこと、又は車両の保安基準に関する規定に定める後退灯を備える自動車にあつてはその後退灯を、トロリーバスにあつてはトロリーバスの保安基準に関する規定により設けられる後退灯を、それぞれつけること。

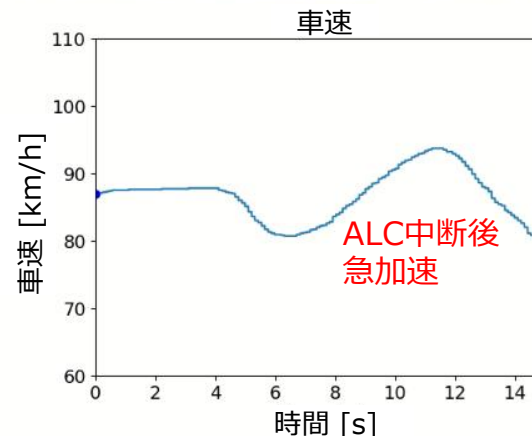
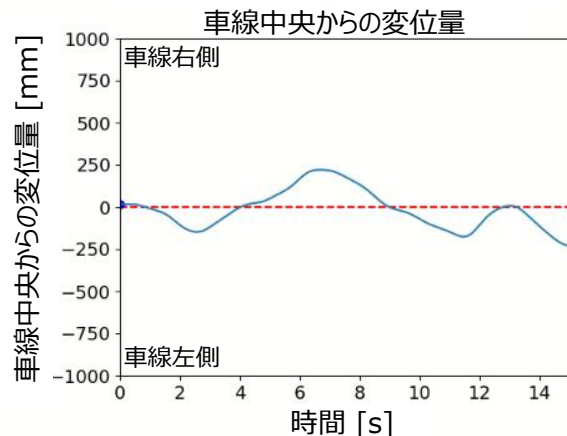
車線変更時にウィンカーを出すタイミングは、その行為をしようとする時の3秒前

<https://elaws.e-gov.go.jp/>

8. オートレーンチェンジ 独L車 事象 ALC機能停止と不明な急加速

独L車において、ALCが使用できなくなり、急加速だけが行われる現象を確認

東名上り 独L車



以下の不具合様事象が発生.

- ① ALC開始
- ② システムによりALC中断
※中断原因不明瞭.
- ③ その後、急加速が発生

独L車の通常時のオートレーンチェンジは、加速しながら実行されるが、オートレーンチェンジ中断後も加速だけが残ってしまっている様子。一度この状態に陥ると同様の事象が繰り返し発生し、ALCが利用できなくなる。

8. オートレーンチェンジ まとめ

本研究の評価によって、ALCの以下のような課題が明確になった。

- UI（操作性／インフォメーション）
 - 【独L車】ウインカーレバーを軽く押す → 操作しづらい
 - 【日M車】ウインカーレバーを途中まで押したまま保持する → 操作しづらい
 - 完了したことがわかりづらい。作動から終了までの経過をわかりやすく示すことができないか
- タイミング
 - 迅速なL/Cが求められるが、日M車は法規をより保守的に解釈してタイミングが遅くなっている可能性がある
- 他車に与える影響
 - L/Cの遅さや途中中断時の挙動が他車に影響を与える
- 様々なシーンへの対応
 - 使いたいときに使えるような操作可能条件
- 信頼性
 - 独L車において、ALCが作動しなくなり、加速だけが行われる現象が発生

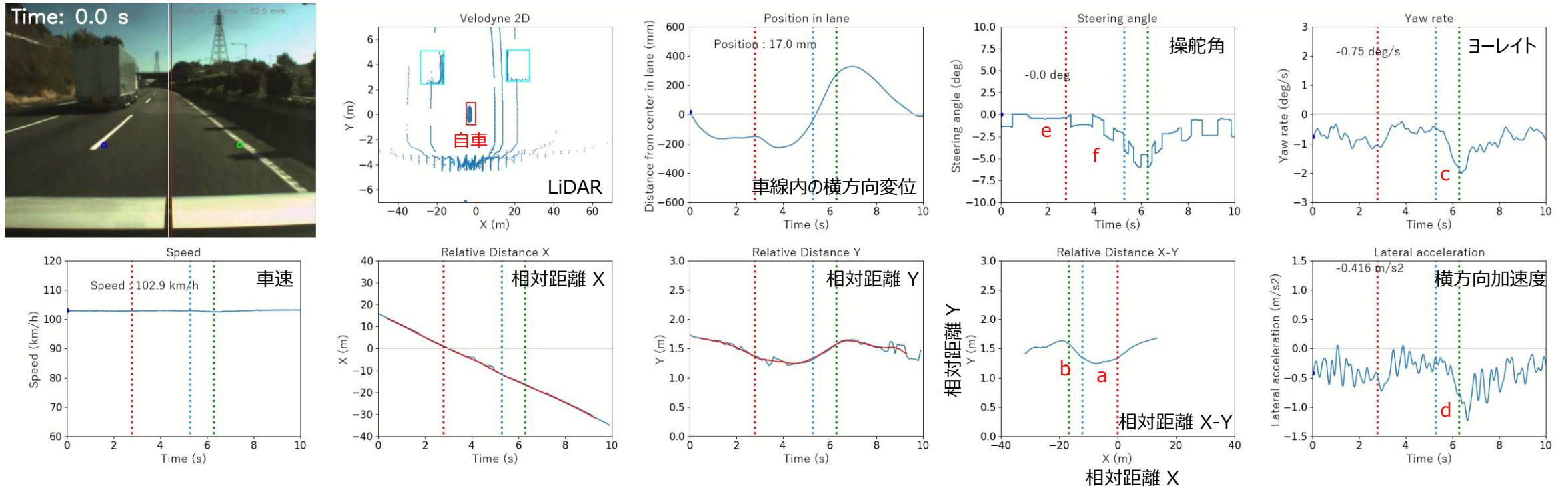
このように、現段階におけるALC機能は、操作性に難があったり、各車で設計がまちまちであったり、不具合のような事象が発生したりという、未成熟なまま世にでていたような状況にある感がある。

現段階では評価が行える段階ではなく、これらが課題が解決し、かつ、ある程度標準的な設計が確立してからでないと評価することは難しい。EuroNCAPにおいても、ALC機能が搭載されていれば+5点という付録機能のような扱いとなっている。

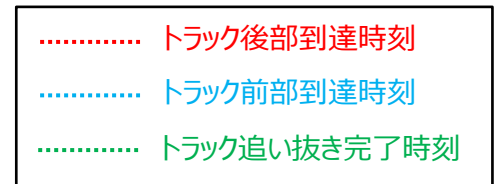
しかしながら、ある程度機能が確立したとしても、ドライバーが自分でレーンチェンジした方が速いと考え、機能が付いていても使われないという可能性もある。ALC機能をどのようなシーンで利便性を出していくか、熟慮が必要である。

<https://cdn.euroncap.com/media/75441/euro-ncap-ad-test-and-assessment-protocol-v11.pdf>

9. LKA障害物回避機能 日N車 東名上りトラックパッシングシーン



- ✓ 自車の前部がトラック後部に接近するにつれてトラックとの横距離が減少している。この傾向は自車の前部がトラックの前部に近づくまで続く (a)
- ✓ 自車の前部がトラックの前部に近づいてから、追抜くまでの間にトラックとの横距離は増大する (b)
- ✓ ヨーレイトを見ると、前項の期間にトラックの方向に回頭している (c)。また、同期間において、トラックの方向に横方向加速度が発生している (d)
- ✓ 自車の前部がトラック後部に到達するまで、操舵角では回避している様子はない (e)。トラック後部に到達後徐々に左に切れてゆく (f)

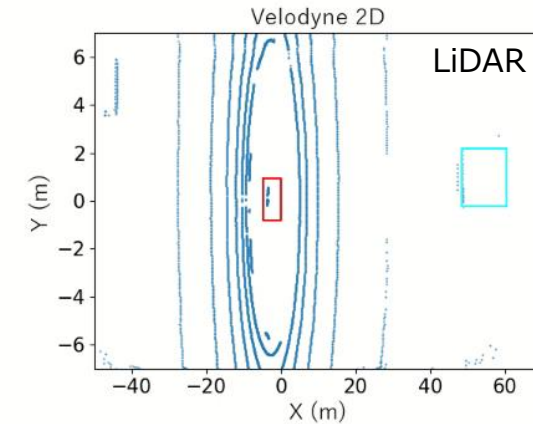


9. LKA障害物回避機能 まとめ

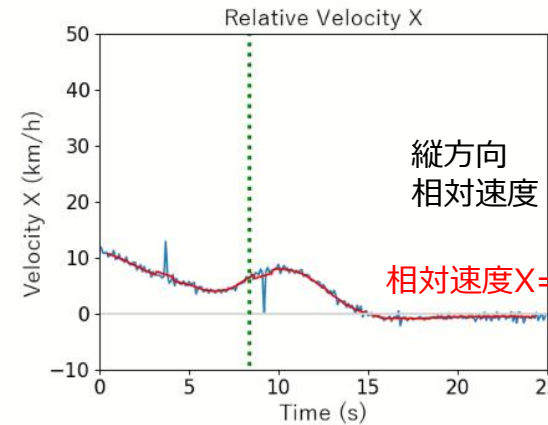
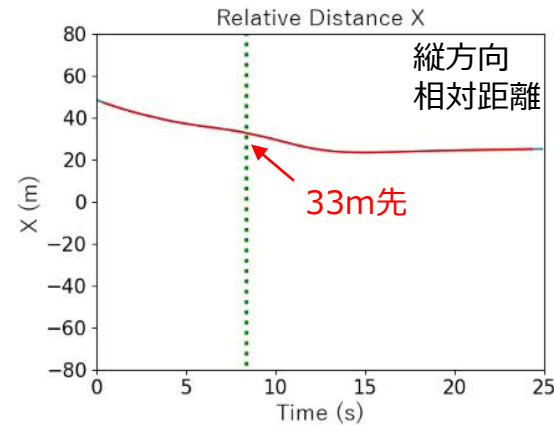
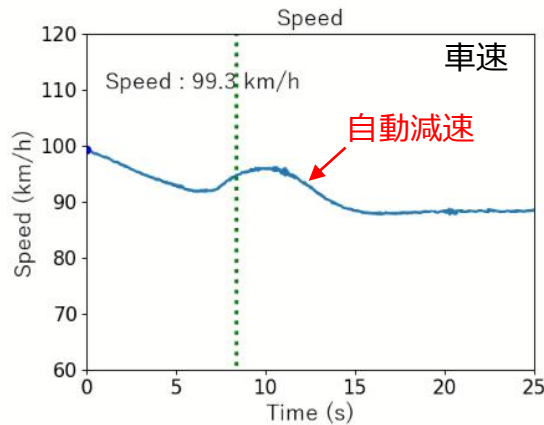
日N車に関しては、回避することを体感できず、データとしても明確に回避しているとは言えない結論となった。

今後明確に避ける車両が出てきた際は、走行位置の評価指標を見直す必要がある（単純に車線中央を走行するだけでなく、他車との位置関係も考慮して評価するなど）。

10. ACCの走行車線からの追い越し抑止機能 独O車 ①正常ケース

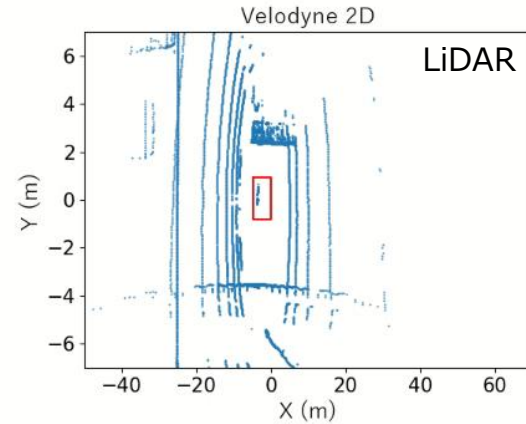


- ✓ 車線変更後、ACC設定速度まで一旦自動加速するが、自車右側車線前方30mに車両が存在するため、それを追いつかないようにACCによる自動減速が行われるケース
- ✓ 自動減速は相対速度が0になるまで行われ、減速後は相対速度0が維持される
- ✓ 本機能は、ACC使用時のみ作動する

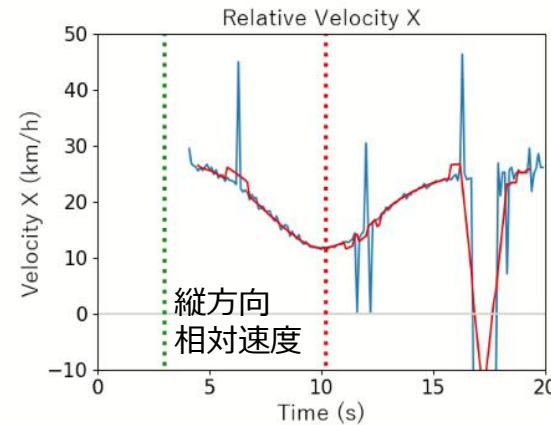
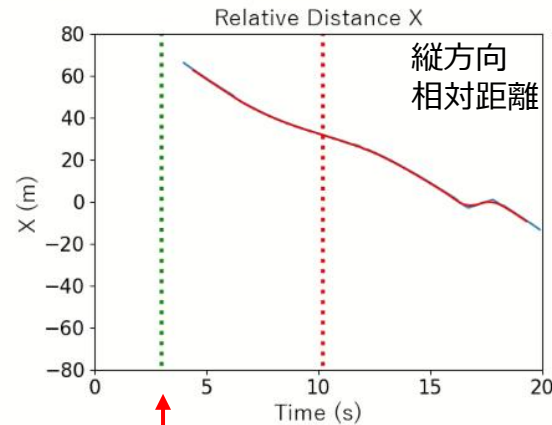
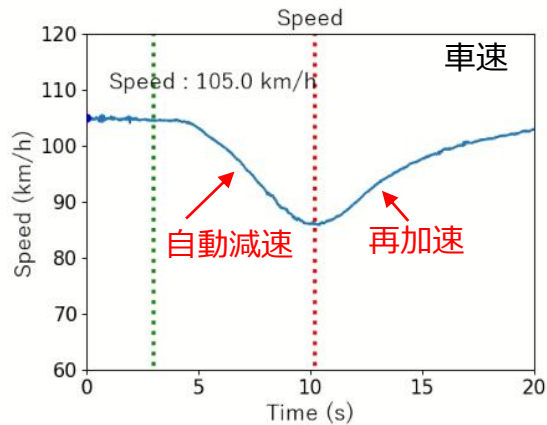


..... 追越し抑止機能作動時刻

10. ACCの走行車線からの追い越し抑止機能 独O車 ②異常ケース



- ✓ 追越し車線走行中にもかかわらず、走行車線の車両に対する追越し抑止機能が作動
- ✓ ドライバがアクセルを入力することで、抑止は解除され加速が開始される
- ✓ 発生頻度としては、時々発生する



..... 追越し抑止機能作動時刻
..... ドライバアクセル介入時刻

10. ACCの走行車線からの追い越し抑止機能 まとめ

独O車の走行車線からの追い越し抑止機能に関して評価を行ったところ、追い越し車線走行中にもかかわらず、走行車線の車両に対する追い越し抑止機能が作動するケースがあった。ローカライズが行われていない可能性がある。比較的新しい機能ということもあり、機能の未成熟さを感じた。EuroNCAPにおいても、現段階では本機能が搭載されていれば+5点という簡単な評価に留まっている。今後本機能が普及していく際は、当然のことながら正しくローカライズが行われることを望む。

【参考】追い越しと追抜きの違い

「追い越し」とは他車を追い抜いた後他車の前に車線変更すること。他車の前に出なければ「追抜き」

現在日本では、走行車線からの「追い越し」は違反だが、走行車線からの「追抜き」は違反ではないが、海外では「追抜き」も違反の場合がある

11. コーナー解析 下りコーナー連続区間検討 東名上り大井松田付近



11. コーナー解析 下りコーナー連続区間検討 走行結果

車両	①KAIT_2021_Protocol 制御継続性評価区間 東名下り線右ルート(約20km) (上り勾配コーナー)	②東名上り線 大井松田付近 コーナー連続区間(約3km) (下り勾配コーナー)	備考
独A車	ロストなし	ロストなし	
独G車	ロストなし	ロストなし	
日B車	ロストあり	ロストあり	
日C車	ロストあり	ロストなし	②はハンズオフ状態で80km/hの為ロストしていないと思われる
日D車	ロストあり	ロストあり	
日E車	ロストあり	ロストあり	
日M車	ロストなし	ロストなし	
独L車	ロストあり	ロストなし	
日K車	ロストなし	ロストなし	80km/hの場合
独O車	ロストなし	ロストなし	
日N車	ロストなし	ロストなし	

- ✓ ②のロスト車両は、①のロスト車両に包含されており、制御継続性の評価区間としては現状の①で十分カバーされているものとする
- ✓ 独L車は上り勾配コーナーの①のみでロストしている（詳細は後述）

11. コーナー解析 LKAに関する技術基準

国内のガイドラインは存在せず、UN ECE R79によって下記の通り示されている。

- ✓ 2.3.4.1.【要約】ACSF ; Automatically commanded steering function (自動命令型操舵機能)
- ✓ 2.4.12.「規定最大横加速度aysmax」とは、ACSF が作動するように設計された最大横加速度を指すものとする。
- ✓ 5.6.2.1.一般要件
 - 5.6.2.1.1.作動後のシステムは、車両メーカーが規定する最大横加速度 aysmax より低い横加速度について、いかなる時点においても車両が車線マークを踏み越えないことを確保するものとする。システムは、0.3 m/s² を最大差として規定値 aysmax を上回ってもよいが、本規則の5.6.2.1.3項の表に規定する最大値を超えないものとする。
 - 5.6.2.1.2.車両は、運転者がシステムを作動させるため、および不動作にするための手段を備えるものとする。任意の時点で不動作にすることが可能であるものとする。
 - 5.6.2.1.3.システムは、その動作中、運転者によるステアリング操作性を確保し、予期せぬ車両挙動を回避する目的で、ステアリングコントロールの過度の介入を抑制するように設計されるものとする。これを確保するため、以下の要件が充足されるものとする：
 - (a) システムによる方向制御を無効化するために必要なステアリングコントロール力は 50 N を超えないものとする。
 - (b) システムが発生した規定最大横加速度 aysmax は、下表に定める限界値の範囲内であるものとする：

カテゴリ-M1 , N1 車両の場合

速度レンジ	10-60 km/h	>60-100 km/h	>100-130 km/h	130 km/h>
規定最大横加速度の最大値	3 m/s ²	3 m/s ²	3 m/s ²	3 m/s ²
規定最大横加速度の最小値	0 m/s ²	0.5 m/s ²	0.8 m/s ²	0.3 m/s ²

カテゴリ-M2 , M3 , N2 , N3 車両の場合

速度レンジ	10-30 km/h	>30-60 km/h	>60 km/h
規定最大横加速度の最大値	2.5 m/s ²	2.5 m/s ²	2.5 m/s ²
規定最大横加速度の最小値	0 m/s ²	0.3 m/s ²	0.5 m/s ²

(c)システムが発生した横加加速度の 2 分の 1 秒間の移動平均は、5 m/s³ を超えないものとする。

【カテゴリの説明】 <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP.29-78r6e.pdf>

2.2. カテゴリ M - 少なくとも 4 つの車輪を持ち、乗客の輸送に使用される動力駆動車両

2.2.1. 「カテゴリ M1」: 乗客の輸送に使用される車両で、運転席のほかに 8 席以下の車両

2.2.2. 「カテゴリ M2」: 乗客の輸送に使用される車両で、運転席に加えて 8 席以上で構成され、最大重量が 5 トンを超えないもの

2.2.3. 「カテゴリ M3」: 運転席のほかに 8 席以上の座席を備え、最大重量が 5 トンを超える乗客の輸送に使用される車両

2.3. カテゴリ N - 少なくとも 4 つの車輪があり、商品の運搬に使用される動力駆動車両

2.3.1. 「カテゴリ N1」: 商品の輸送に使用される、最大重量が 3.5 トンを超えない車両

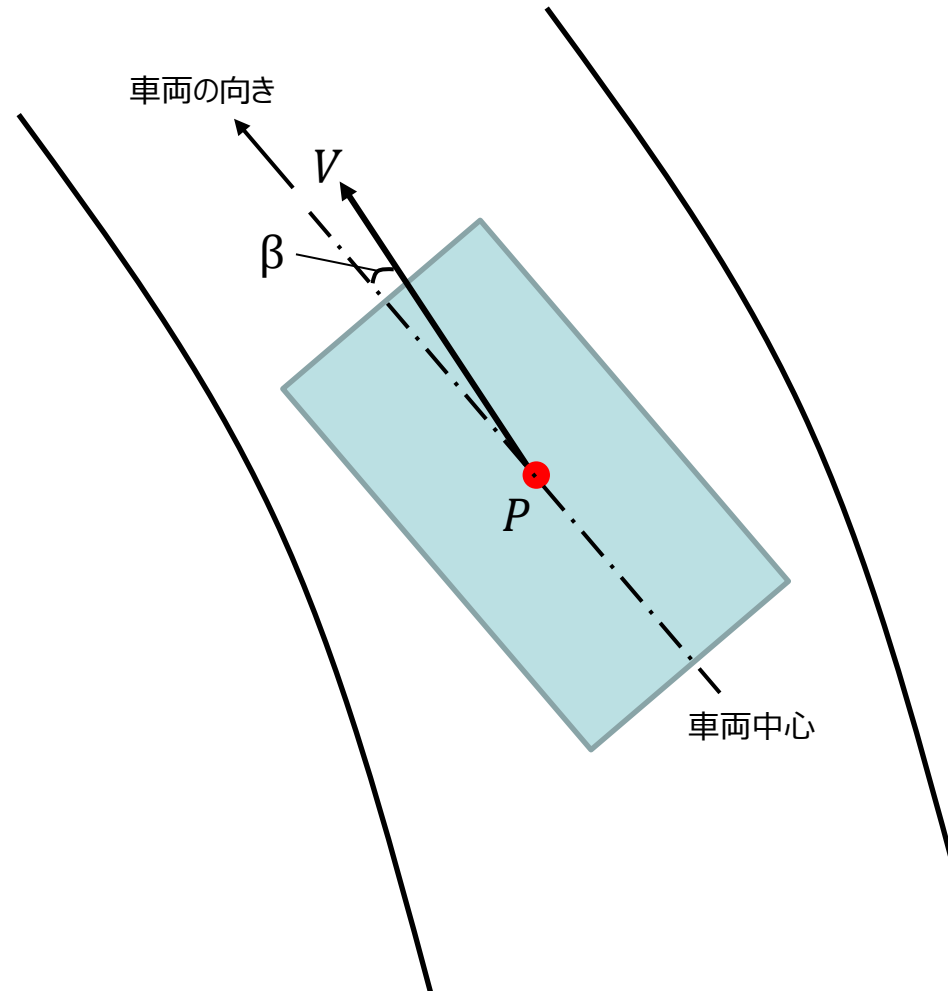
2.3.2. 「カテゴリ N2」: 商品の輸送に使用される車両で、最大重量が 3.5 トンを超え 12 トンを超えないもの

2.3.3. 「カテゴリ N3」: 商品の輸送に使用される、最大重量が 12 トンを超える車両

- ✓ <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2017/R079r3e.pdf>
- ✓ <https://www.mlit.go.jp/common/001175116.pdf>
- ✓ https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/iinkai/jidousoukou_26/siryosyo26-5.pdf

11. コーナー解析 車体の横すべり角の算出

コーナーにおける車両運動解析の一環として、車体の横滑り角の算出を行った。



β : 車体の横すべり角

V : 車両の進行方向

P : 車両の重心

車体の横すべり角算出方法

車体の横すべり角は、車両の進行方向と車両の向きのなす角であるので、両者を算出することで算出する

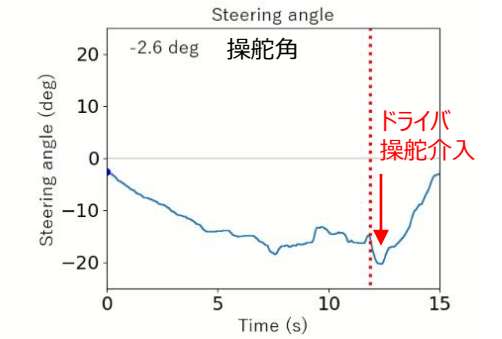
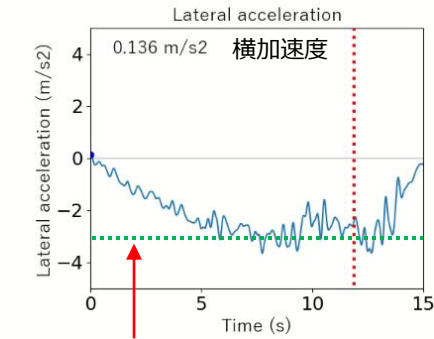
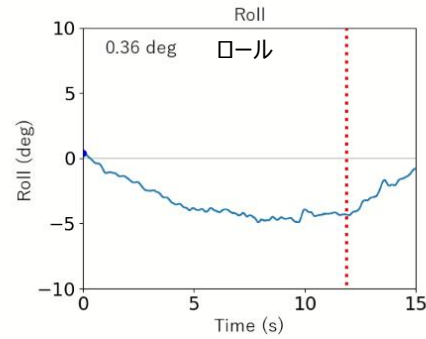
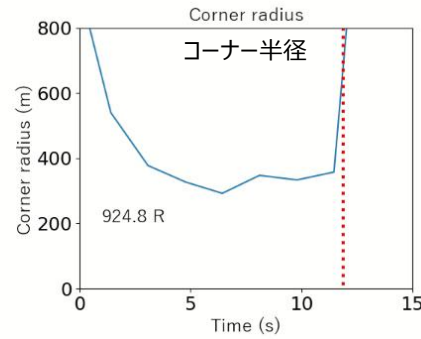
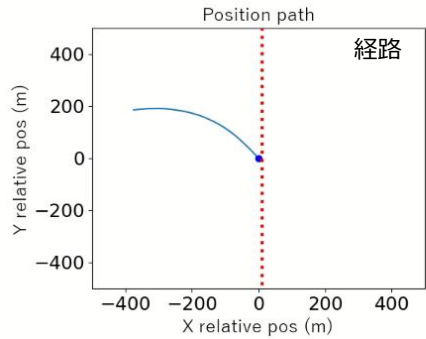
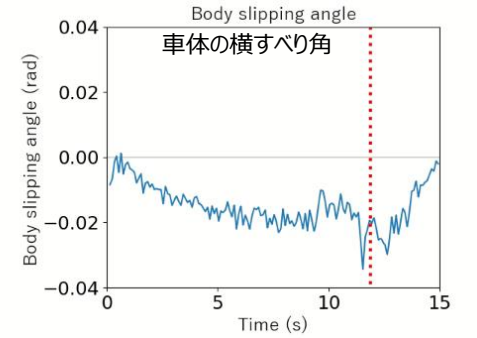
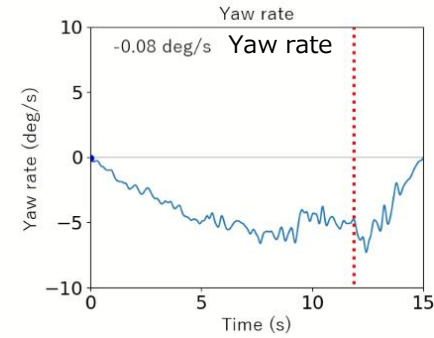
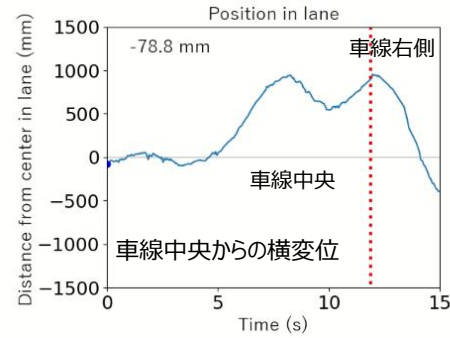
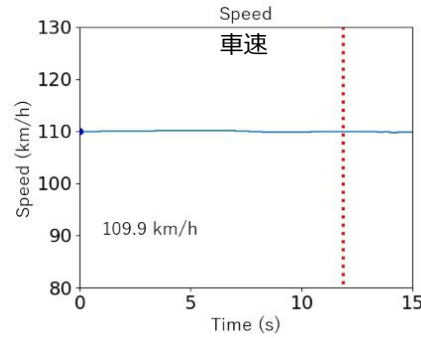
車両の進行方向：高精度IMUで計測した絶対座標(緯度・経度)を前回値と比較することで、車両の向きの真北に対する方位角を求めることができる

車両の向き：高精度IMUで真北に対する方位角(ヨー角)を直接計測できるので、その計測値を使用する

車両の進行方向と車両の向きの方位角の差を求め、車体の横すべり角を算出できる

11. コーナー解析 上り勾配／下り勾配コーナーの走行結果の比較 独L車 上り勾配の左コーナー

■ 上り勾配 左コーナー 310R 東名下り線 右ルート 制御ロス

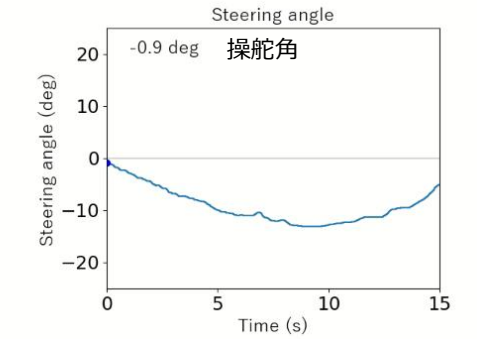
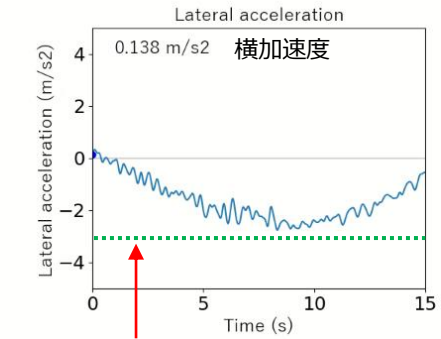
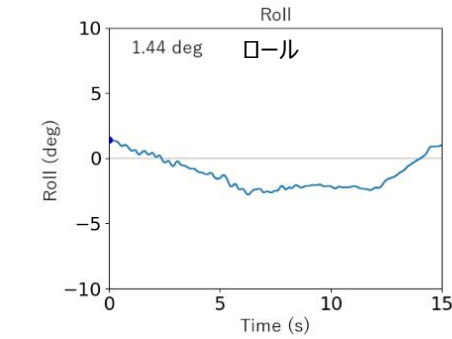
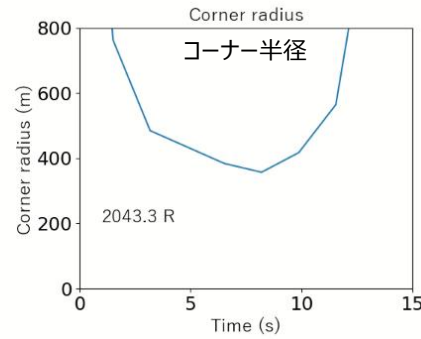
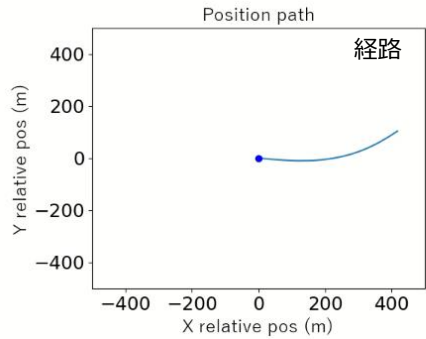
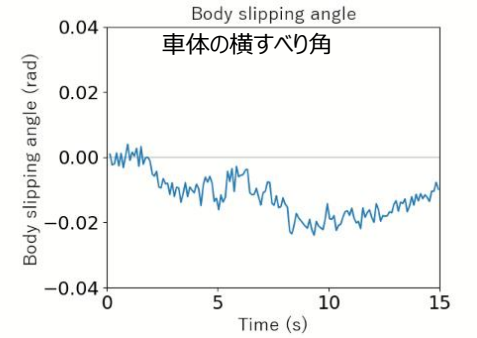
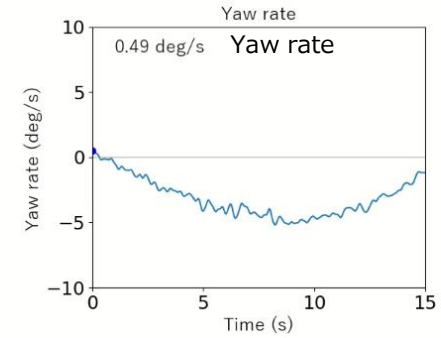
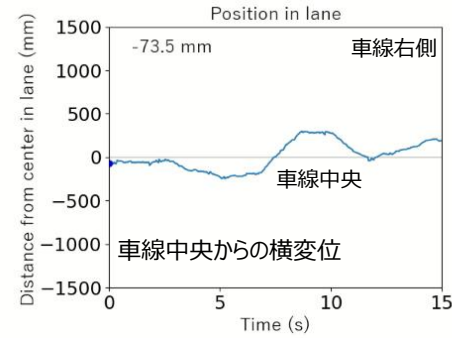
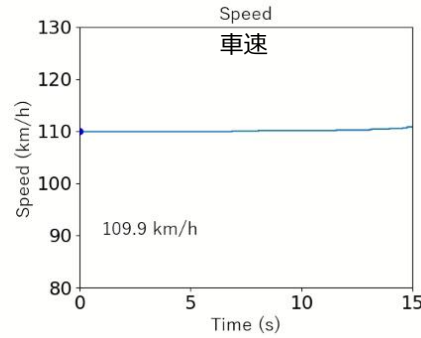


UN ECE R79規定
最大横加速度=3.0m/s²

..... 制御ロス時刻

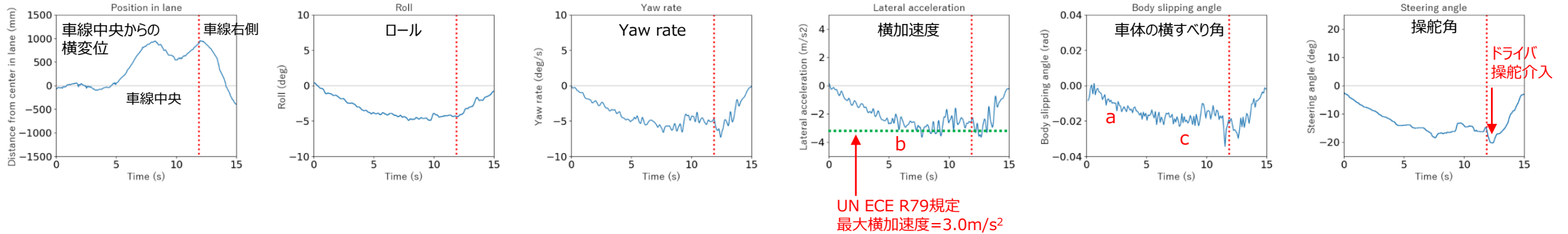
11. コーナー解析 上り勾配/下り勾配コーナーの走行結果の比較 独L車 下り勾配の左コーナー

■ 下り勾配 左コーナー 380R 東名上り線 制御ロストなし

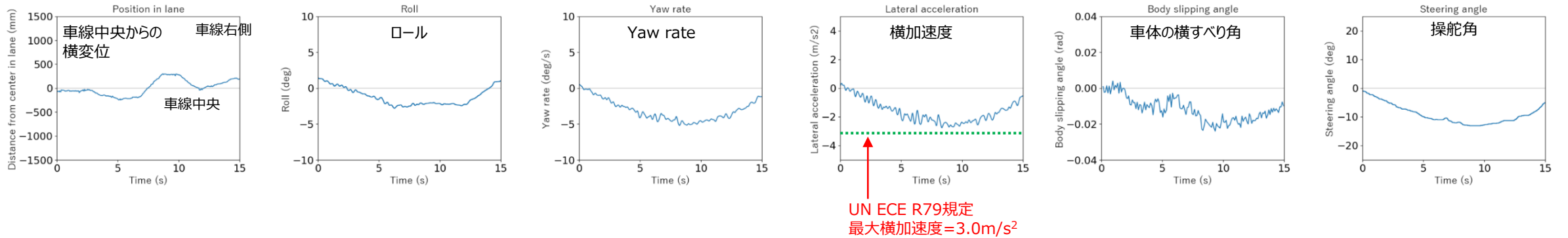


11. コーナー解析 上り勾配／下り勾配コーナーの走行結果の比較 独L車 左コーナー 上り勾配／下り勾配の比較

■ 上り勾配 左コーナー 310R 東名下り線 右ルート 制御ロスト



■ 下り勾配 左コーナー 380R 東名上り線 制御ロストなし

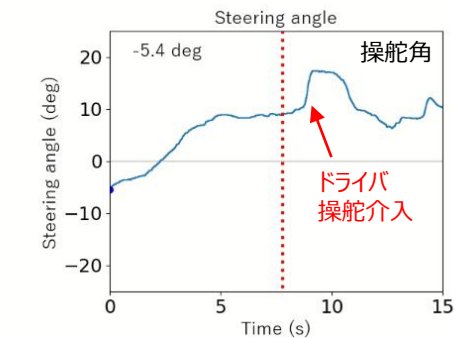
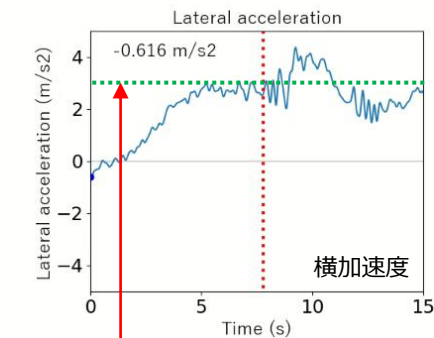
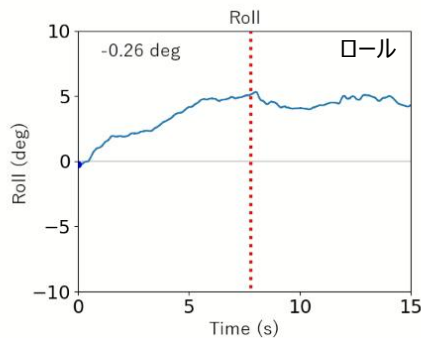
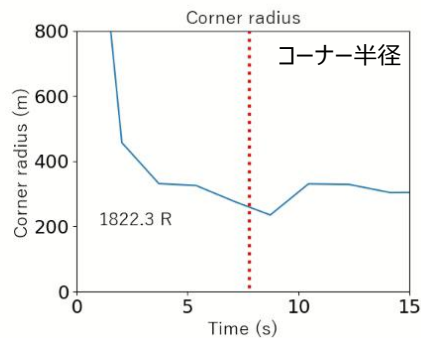
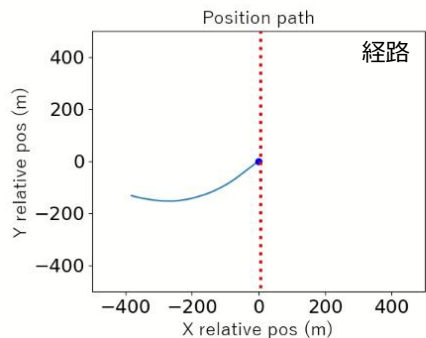
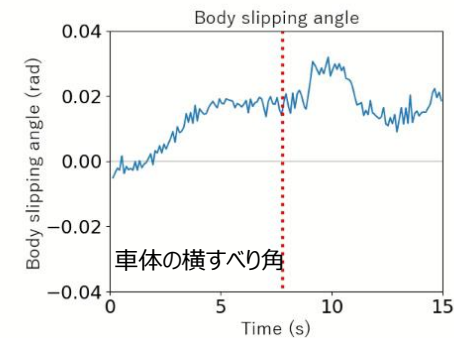
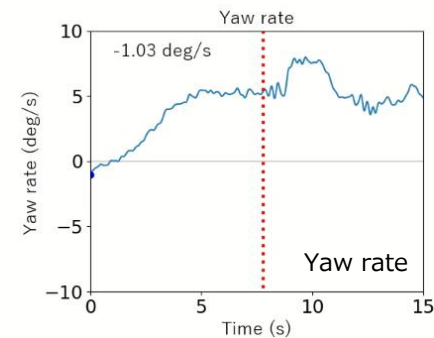
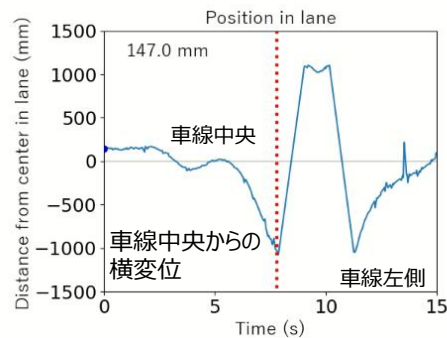
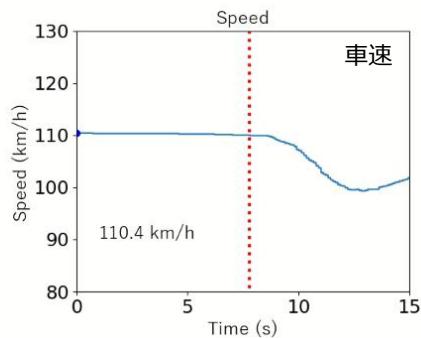
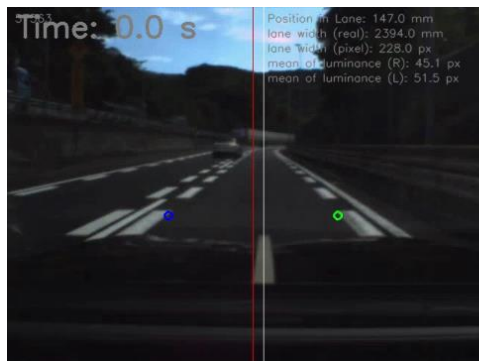


上り勾配の車体の横すべり角は、横加速度がUN ECE R79規定の3m/s²に到達する(b)まで増大傾向(a)にあり、その後平衡する(c)が、コーナーの曲率に対して十分でなく、アウト側に膨らんでロストしている

..... 制御ロスト時刻

11. コーナー解析 上り勾配／下り勾配コーナーの走行結果の比較 独L車 上り勾配の右コーナー

■ 上り勾配 右コーナー 300R 東名下り線 右ルート 車線逸脱

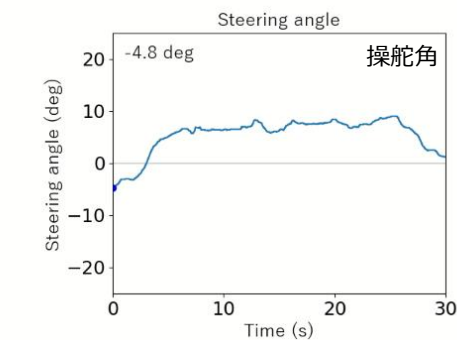
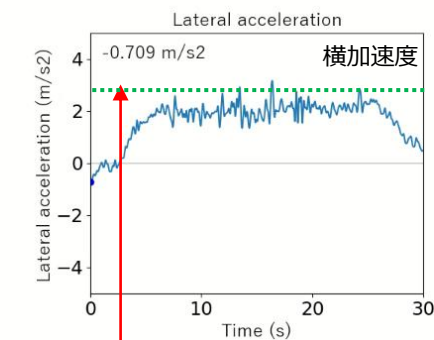
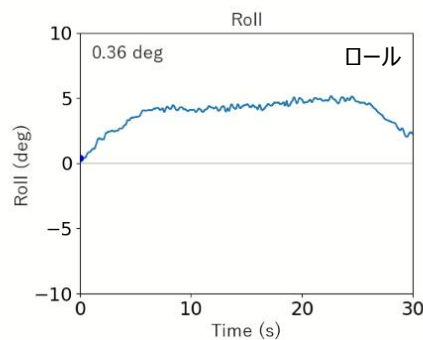
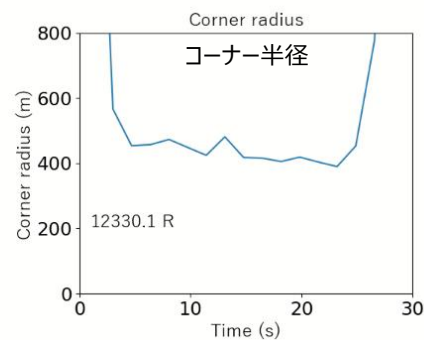
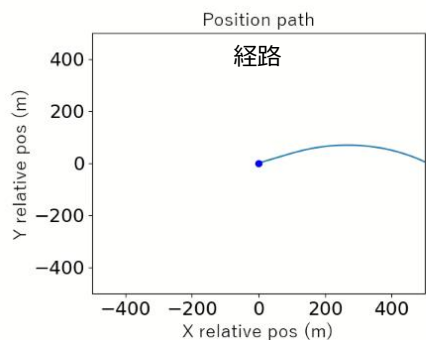
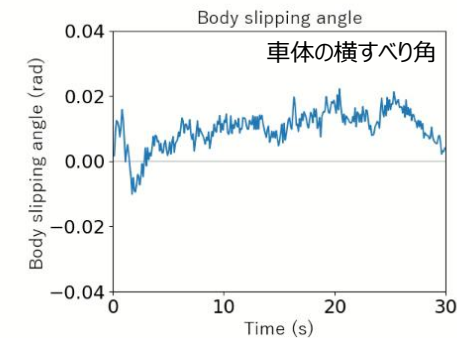
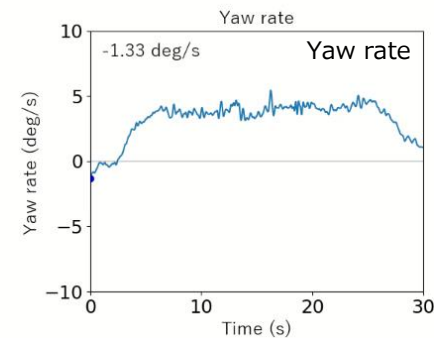
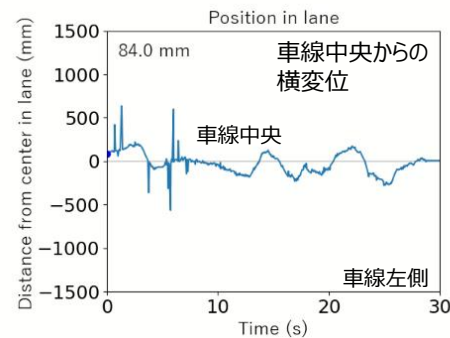
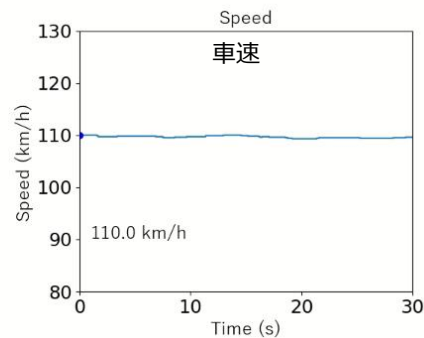


UN ECE R79規定
最大横加速度=3.0m/s²

..... 車線逸脱時刻

11. コーナー解析 上り勾配／下り勾配コーナーの走行結果の比較 独L車 下り勾配の右コーナー

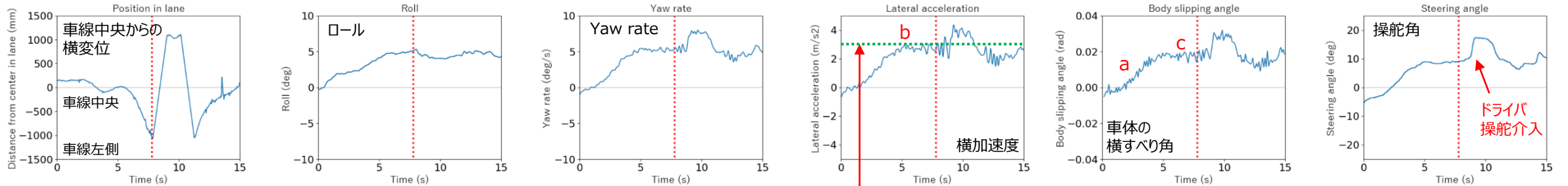
■ 下り勾配 右コーナー 400R 東名上り線 制御ロストなし



UN ECE R79規定
最大横加速度=3.0m/s²

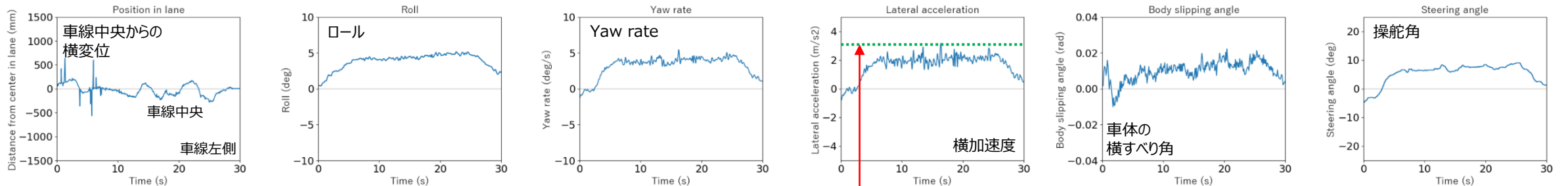
11. コーナー解析 上り勾配／下り勾配コーナーの走行結果の比較 独L車 右コーナー

■ 上り勾配 右コーナー 300R 東名下り線 右ルート 車線逸脱



UN ECE R79規定
最大横加速度=3.0m/s²

■ 下り勾配 右コーナー 400R 東名上り線 制御ロストなし

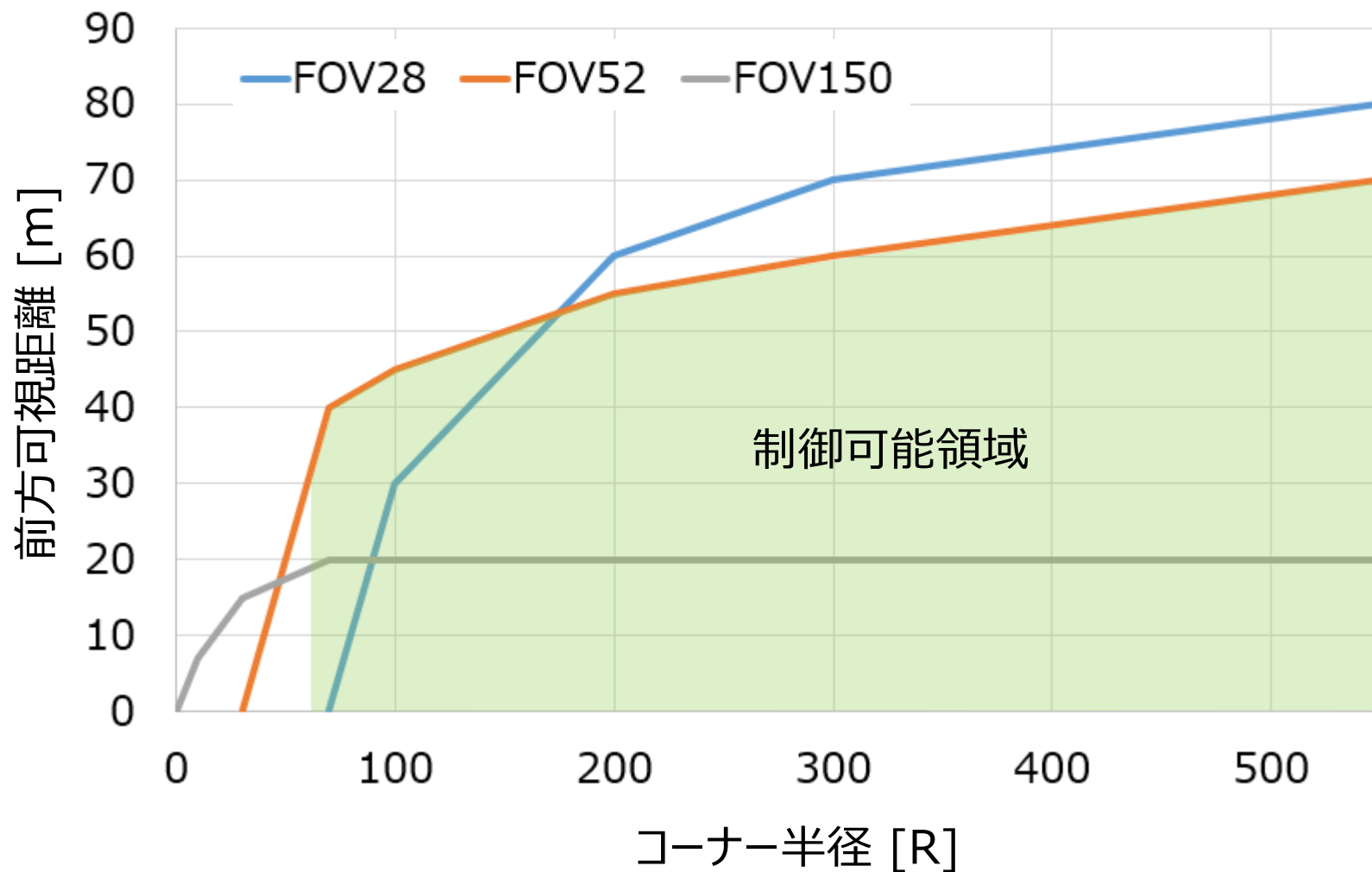


UN ECE R79規定
最大横加速度=3.0m/s²

上り勾配の車体の横すべり角は、横加速度がUN ECE R79規定の3m/s²に到達する(b)まで増大傾向(a)にあり、その後平衡する(c)が、コーナーの曲率に対して十分でなく、アウト側に膨らんで車線逸脱している

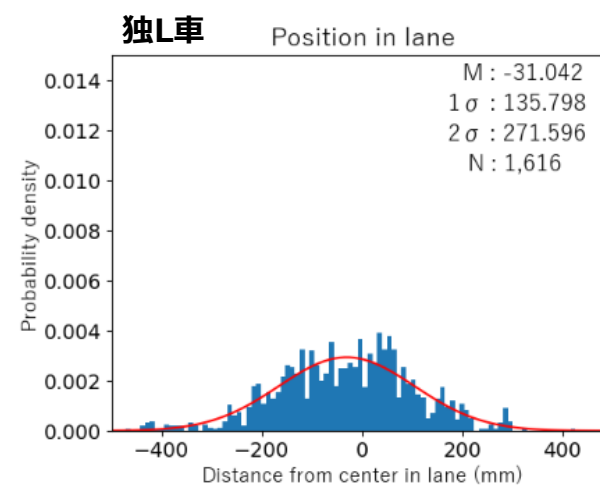
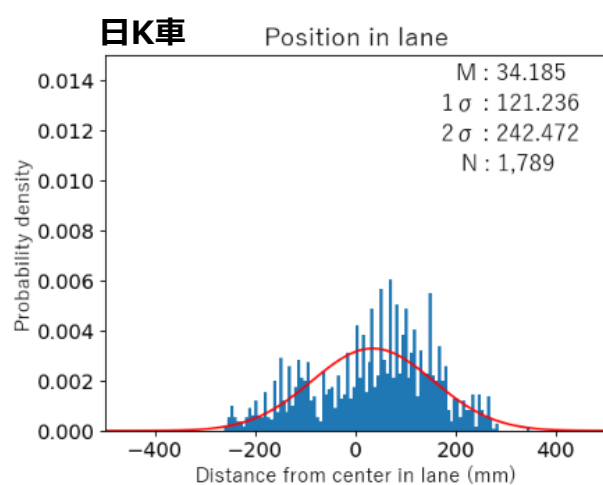
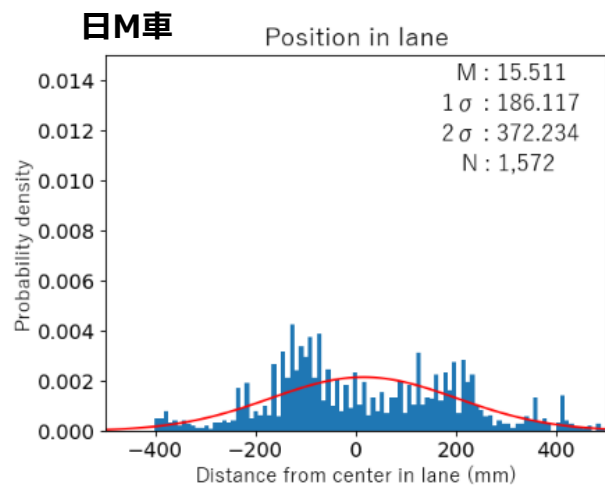
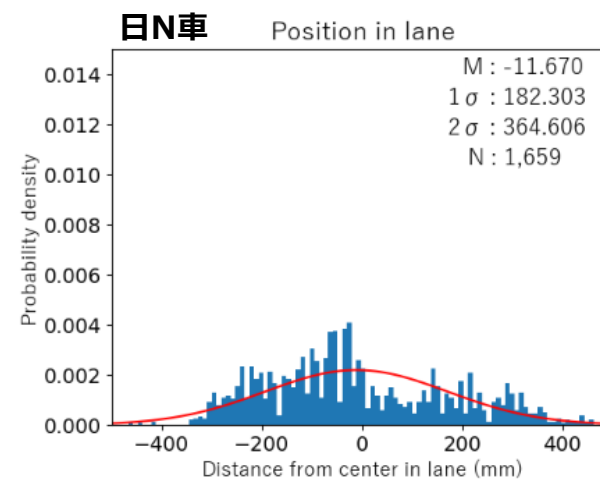
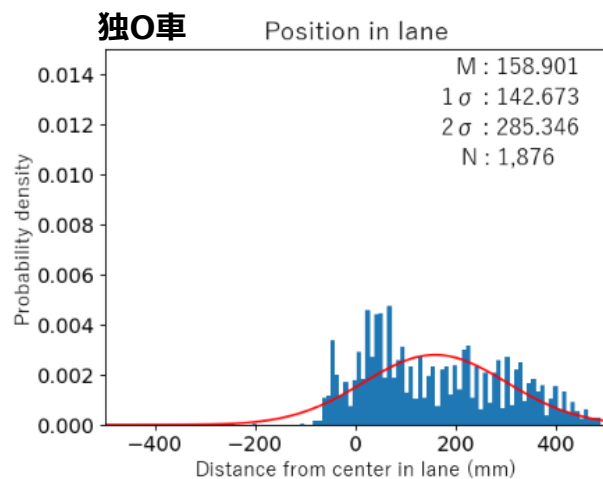
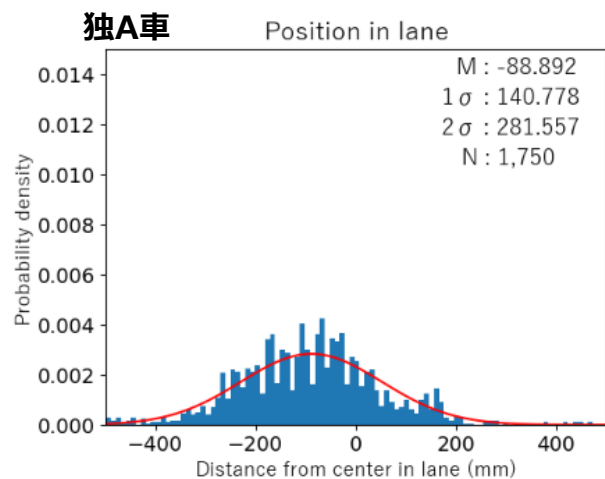
..... 車線逸脱時刻

11. コーナー解析 カメラFOV別 コーナーRと前方可視距離の関係



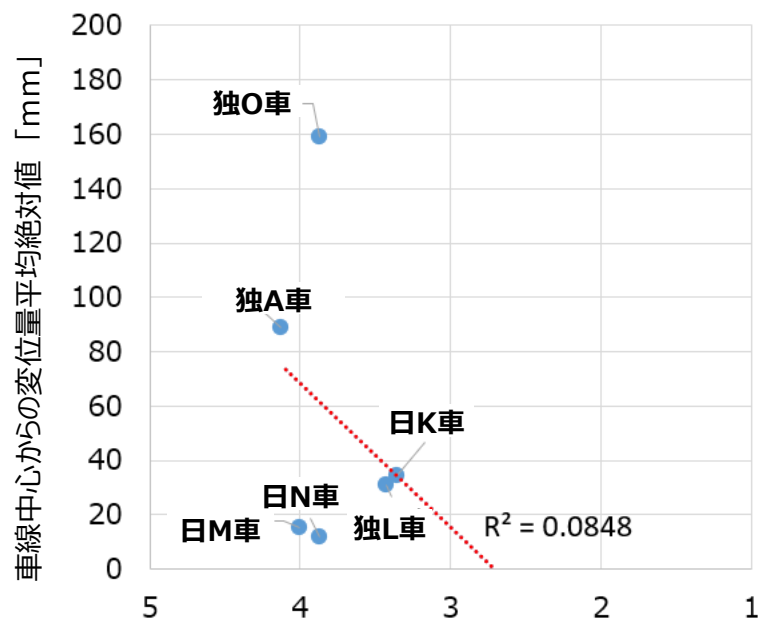
FOV52で前方可視距離30mを制御限界と想定すると、視野的には70R程度まで制御可能と想定できる。従って、300R程度で制御をロストしているのは別の原因によるものと思われる。

11. コーナー解析 下り勾配コーナー連続区間の車線内横方向変位量のヒストグラム



11. コーナー解析 下り勾配コーナー連続区間の車線内横方向変位量の主観評価との相関

主観評価結果と
車線中心からの変位量平均絶対値の関係

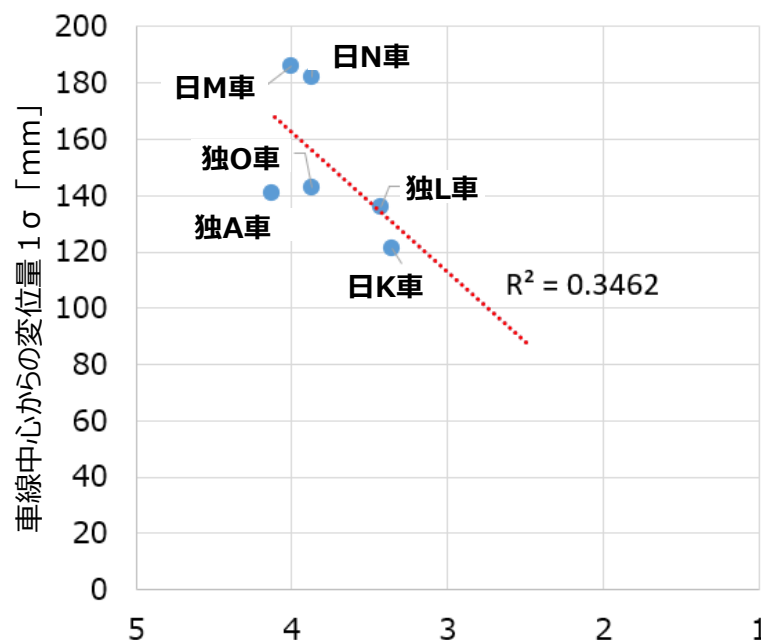


主観評価結果(コーナー制御)

無相関

コーナーでは車線中央を走行するほど評価が高いとは言えない結果となった

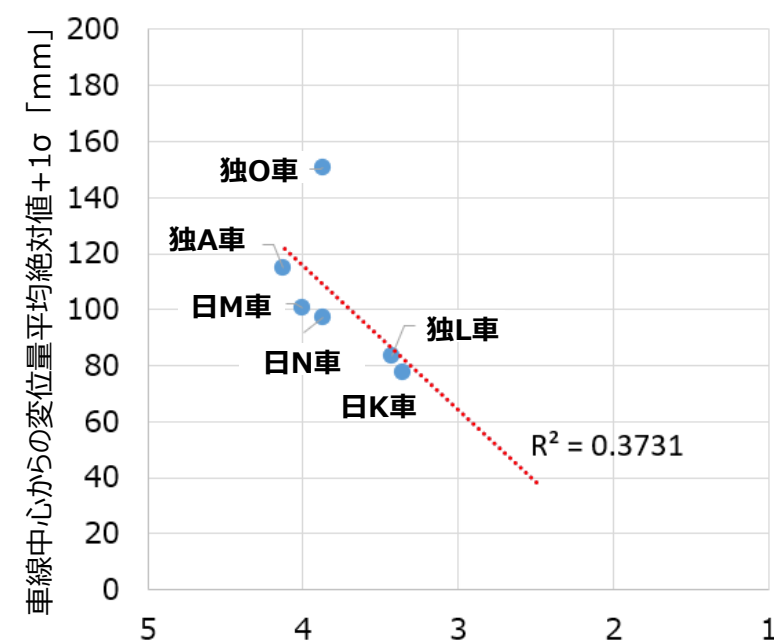
主観評価結果と
車線中心からの変位量1σの関係



主観評価結果(コーナー制御)

バラつき (1σ) が大きいほど評価が高くなっている。コーナーに関しては、コース取り等様々な要因が加わる為、単純にバラつきが小さいほどよいというように指標化することは困難と思われる

主観評価結果と
車線中心からの変位量平均絶対値 + 1σの関係
(重みは0.5ずつ配分)



主観評価結果(コーナー制御)

11. コーナー解析 まとめ

- ✓ 制御継続性の評価コースとしては、現状の東名下り右ルートの大井松田IC～右ルート終了で問題ない
- ✓ 下りコーナー連続区間における車線中央からの変位量のみでは、コーナー性能を評価することは困難

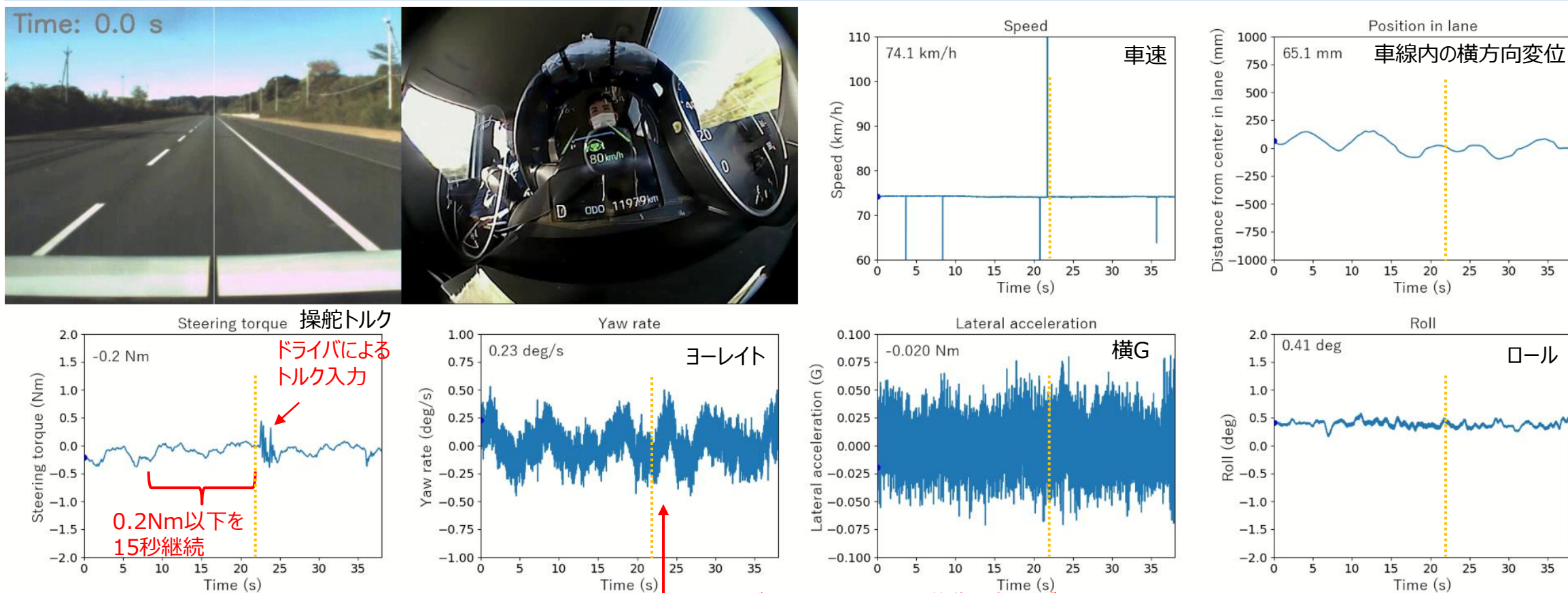
12. まとめ 本年度の研究成果

- KAIT_2021_Protocolの改善
 - 制御継続性指標の改善として、走行条件（右車線／左車線）を明確化し、配点に反映した
 - 走行位置指標の改善として、車線内の横方向の変位の平均値に加えて1 σ を加算することでより精度の高い指標とすることができた
 - オーバーライド指標の改善として、オーバーライドトルクの算出条件を規定（10cm変位するピークトルク）した
 - オーバーライド指標の改善として、オーバーライドトルクと横方向変位の積分値を指標に追加することで、オーバーライドトルク勾配（順方向／逆方向）を評価できるようになった
- KAIT_2023_Protocolの策定
 - 外乱安定性評価指標として、操舵外乱時の車線センター収束軌跡を1自由度減衰系モデルで近似し、固有周波数(収束時間に相当)と減衰比(収まりの良さを表す)を指標化することができた
 - 速度適応制御系評価指標として、カットイン時において、ドライバーが恐怖を感じずにACCで対応できた最小TTCを指標化できた
- 以下の機能に関する現状の課題を抽出した
 - オートレーンチェンジ
 - LKA障害物回避機能
 - ACCの走行車線からの追い越し抑止機能
- 計測・解析手法の向上
 - LiDARによる計測・解析方法の確立（カットイン）
 - 計測結果から車体の横すべり角の算出を行えるようになった

12. まとめ 今後の予定

- 評価車両の拡充とKAIT_2023_Protocolの運用
- オートパーキング評価

APPENDIX A. 保舵アラートの計測結果 日N車 (トルクセンサー)



0.2Nm以下を
15秒継続

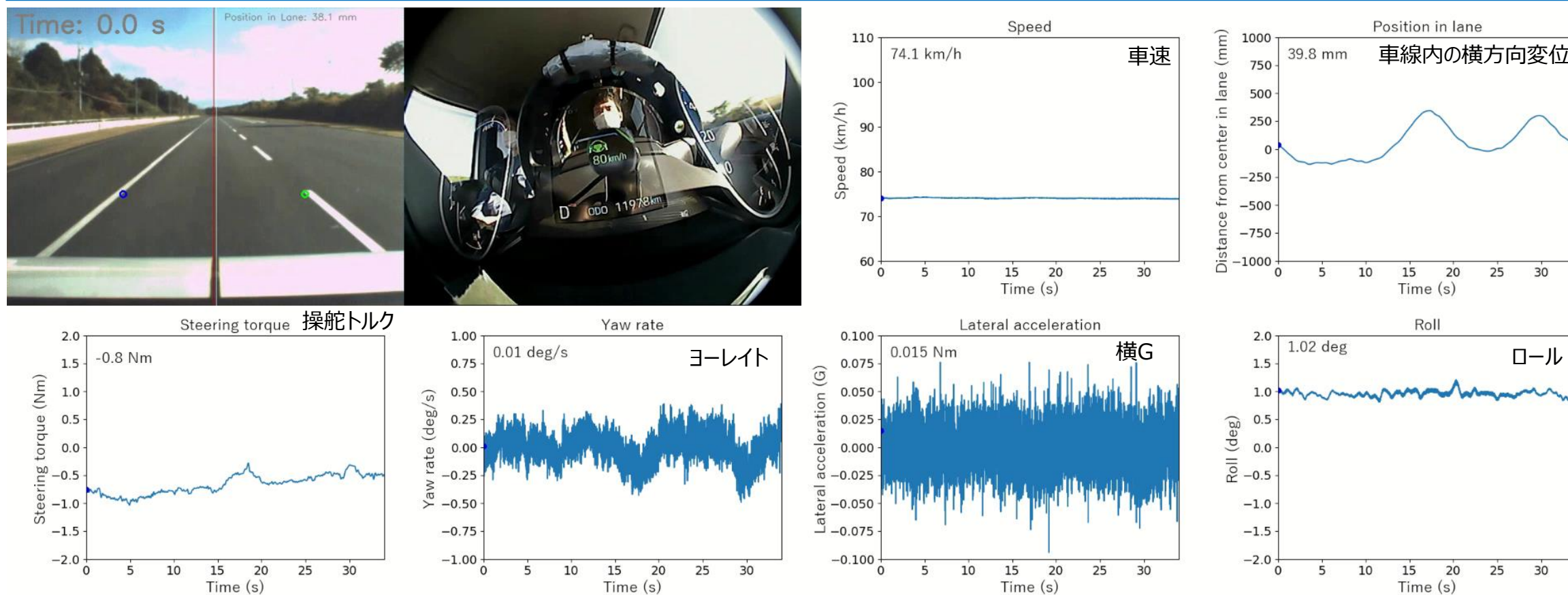
ドライバーによる
トルク入力

ドライバーによるトルク入力は挙動を乱すほどではない

..... 保舵アラート発生時刻

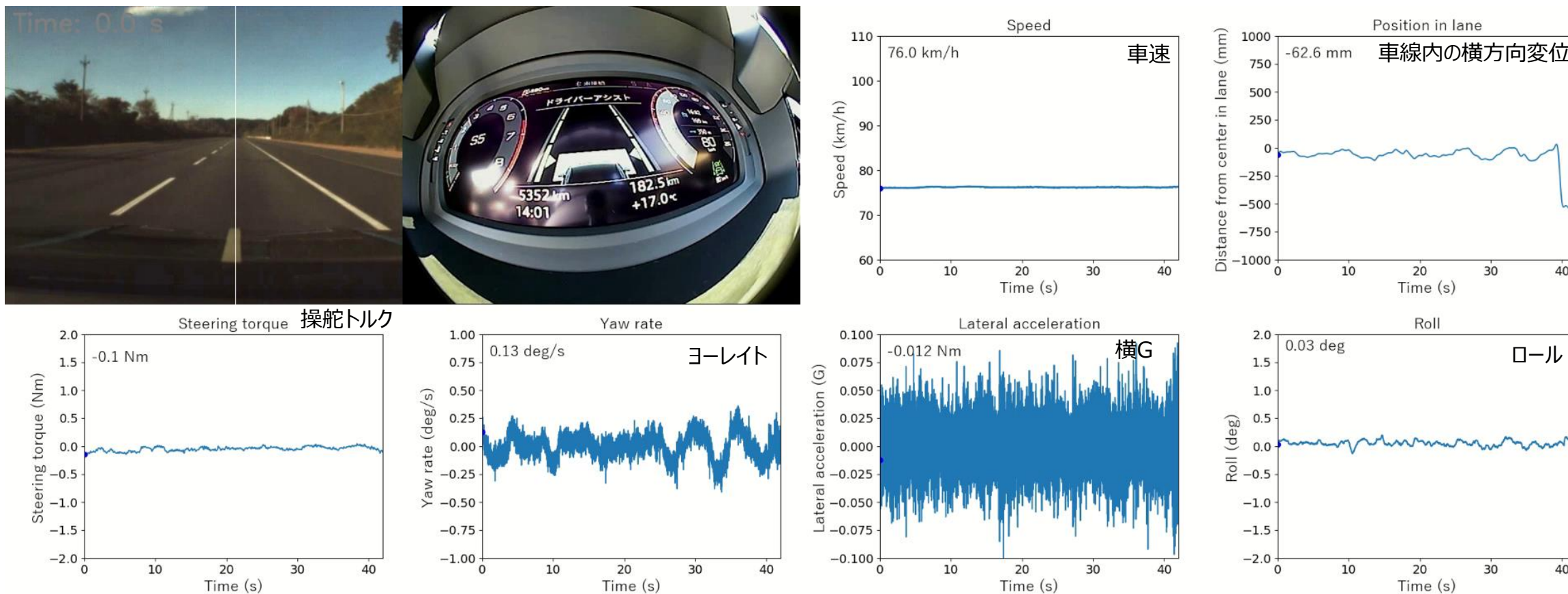
- ✓ 普段の運転時のように、ステアリングに軽く手を添えている状態(操舵トルク0.2Nm以下)が15秒継続すると保舵アラートが発生する
- ✓ そのままではLKAが解除されるため、ドライバーは意図的に操舵トルク(0.5Nm程度)を入力する必要
- ✓ 15秒毎に操舵入力を行う必要があるため非常に煩わしい

APPENDIX A. 保舵アラートの計測結果 日N車 (トルクセンサー)



✓ ステアリングをしっかりと保持していれば、保舵アラートは発生しないが、リラックスした手動運転時よりむしろ疲れると思われる

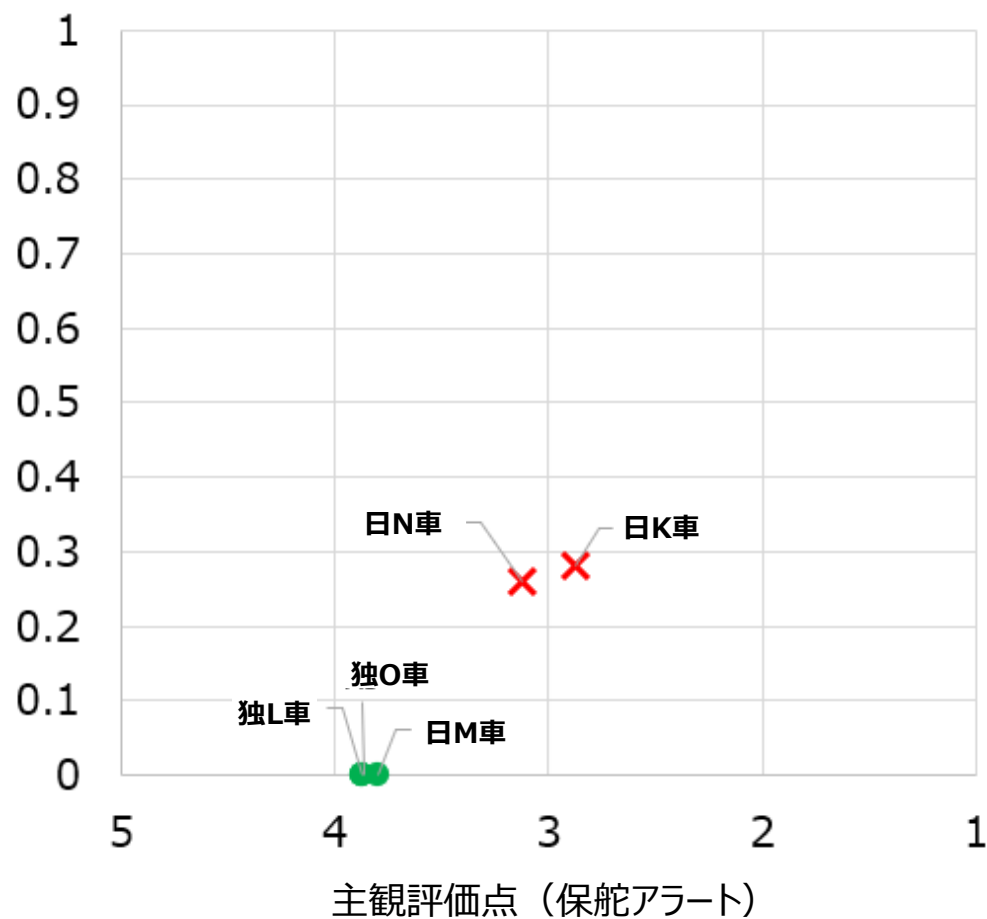
APPENDIX A. 保舵アラートの計測結果 独O車 (タッチセンサー)



✓ タッチセンサーが搭載されている独O車では、ステアリングに軽く手を添えているだけで保舵アラートは発生しない

APPENDIX A. 保舵アラートの計測結果 主観との相関グラフ

誤判定発生操舵トルク [Nm]



- ✓ 日N車は0.26Nmで保舵しているにもかかわらず、保舵アラート誤判定が発生した
- ✓ 日K車は0.28Nmで保舵しているにもかかわらず、保舵アラート誤判定が発生した
- ✓ タッチセンサーの車両(独L車, 独O車, 日M車)は操舵トルクによる誤判定なしとして、誤判定発生操舵トルクを0Nmとした
- ✓ 主観評価結果では、タッチセンサーの車両が高評価、トルクセンサーの車両が低評価傾向となっている