

自動運転の社会受容性評価

Evaluation of social acceptance for automated driving

東京大学生産技術研究所

須田研究室

1. 背景

「Energy ITS 自動運転・隊列走行」プロジェクト(2008~2013)

車車間通信を活用し、隊列走行の実証実験を成功させた!

スペック 全車有人運転 車間距離:4m 車速:80km/h 隊列台数:4台 CO2排出量を10~15%削減

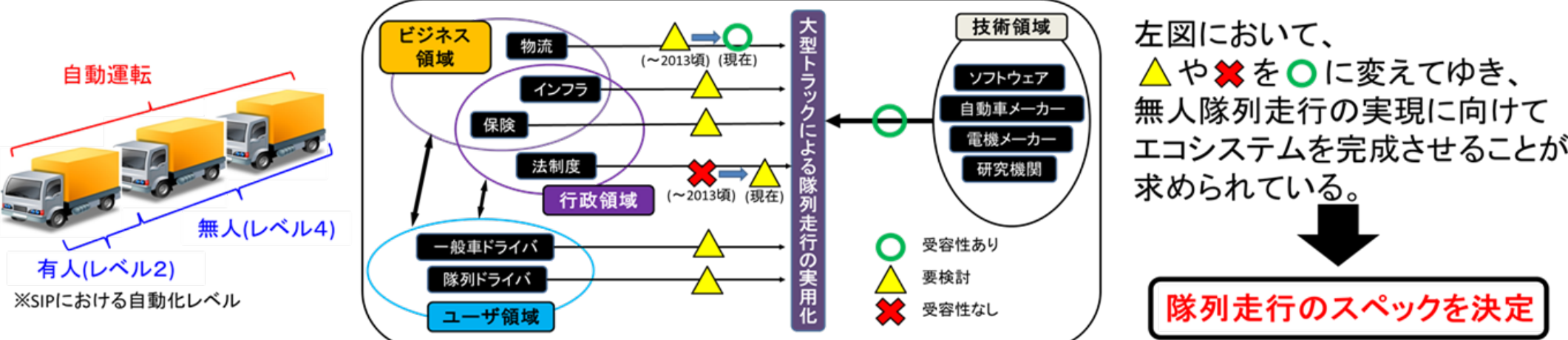


このプロジェクトは、自動運転の火付け役とはななかったが、**エコシステム**が成立していなかったため、実用化には至らなかった。

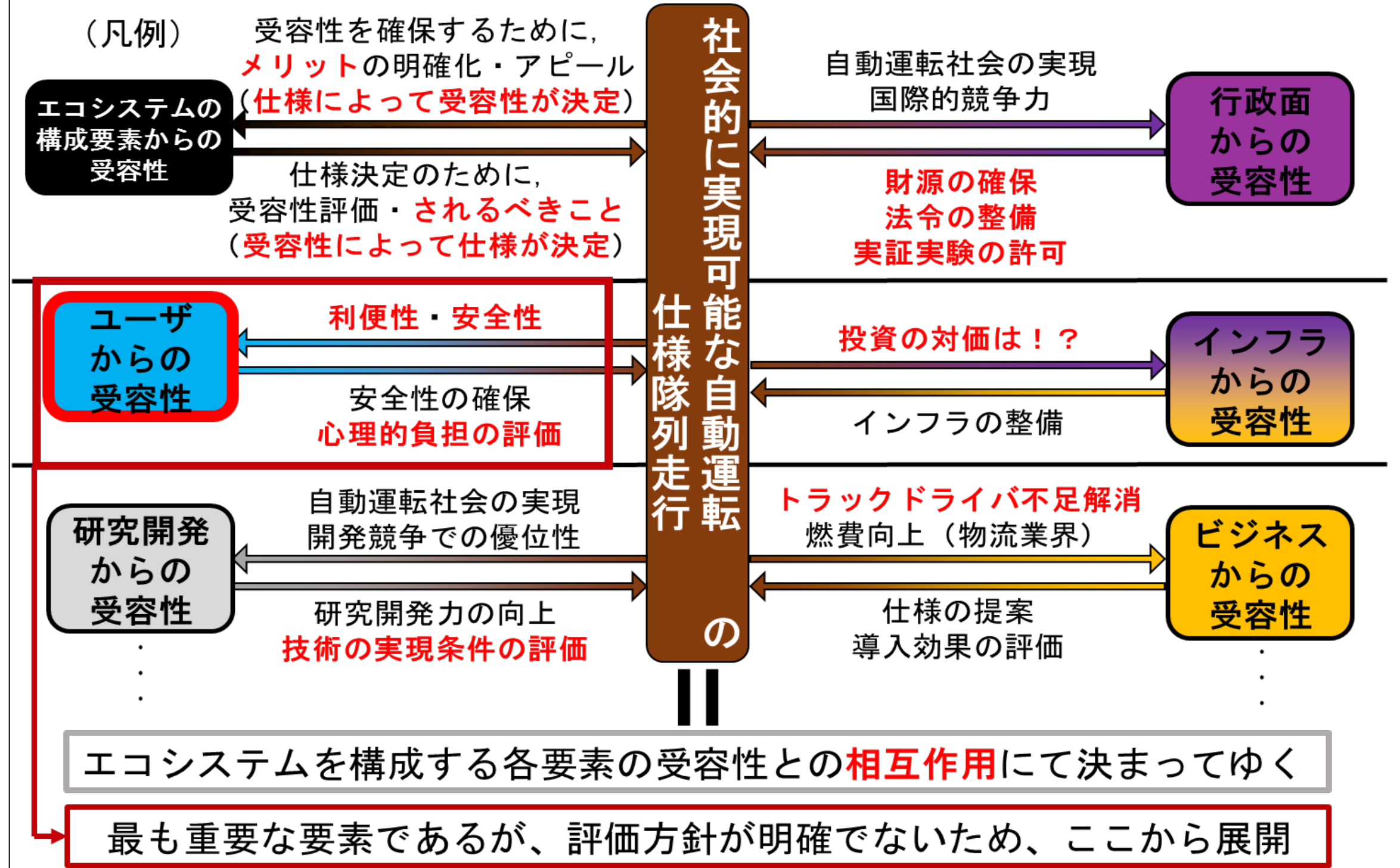
レベル	概要	責任
レベル1	加速・ハンドル操作・ブレーキのいずれかがシステムが行う状態	ドライバー
レベル2	加速・ハンドル操作・ブレーキのうち、複数を一環にシステムが行う状態	ドライバー
レベル3	加速・ハンドル操作・ブレーキをすべてシステムが行い、システムが運転した上で、のみドライバーが対応可能な状態	システム (自動走行のみ)
レベル4	完全自動走行。加速・ハンドル操作・ブレーキをすべてドライバー以外が行い、ドライバーがまったく関与しない状態	システム

エコシステム
経済やIT業界において、複数の企業や登場人物、モノが有機的に結びつき、循環しながら広く**共存共栄**していく仕組み

「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」



2. エコシステムにおける受容性と技術の仕様の検討



3. 研究目的と評価手法・設備

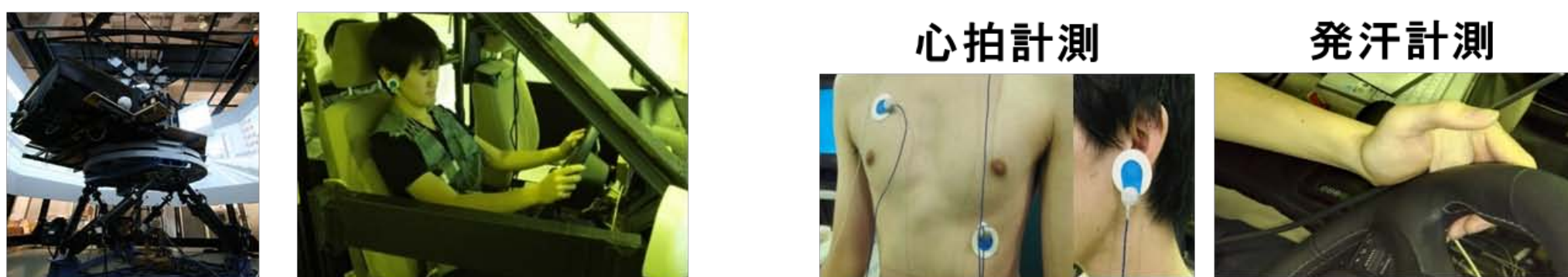
研究目的 社会的に実現可能な隊列走行の仕様を検討

評価方針 結果から総合的に判断し、被験者に対する受容性を評価

評価	客観的		主観的
	運転行動	生体反応	
客観的	<ul style="list-style-type: none"> 位置、速度、加速度 操舵角 割り込み行動の有無 危険事象の有無 	<ul style="list-style-type: none"> アクセル、ブレーキ 急な操作の有無 指定した運転行動ができたか 安定した運転ができたか 	<ul style="list-style-type: none"> 緊張度 (発汗量) 心拍数
	主観的	アンケート	
<ul style="list-style-type: none"> 緊張度、違和感 運転行動のしやすさ 		<ul style="list-style-type: none"> 隊列走行の仕様に関して 安全確保のしやすさ 	<ul style="list-style-type: none"> フリーコメント

ドライビングシミュレータ

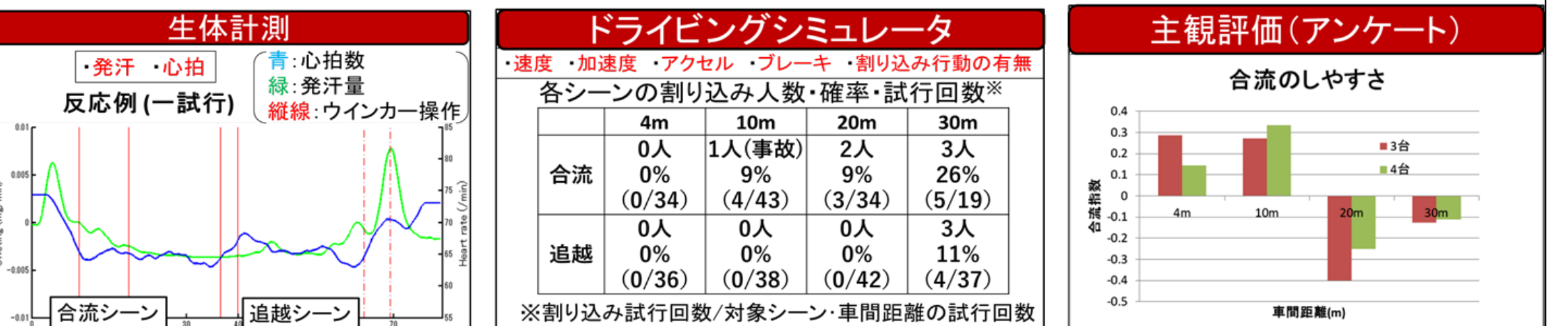
生体計測用機器類



4. 周辺一般ドライバーからの受容性評価

実験概要

高速道路にて、一般車両と大型トラックによる隊列走行を遭遇させた際の一般車両における**運転行動**や**生体反応**を記録し解析することによって、大型トラックの隊列走行に対する周辺一般車両のドライバーの受容性を評価



総合的に評価

	4m	10m	20m	30m
割り込み行動の可能性	無し	有り	有り	有り
違和感	大	小	中	小
車間距離の感じ方	短い・危険	短い	比較的短い	長い
緊張度	やや高い	やや低い	最も高い	高い
圧迫感	高い	低い	高い	普通
合流のしやすさ	易	易	難	難

車間距離10m未満が隊列走行システム成立の必要条件
一見、4mの受容性がないように見えるが、一方のフリーコメントより、隊列走行が自動運転であり安全であることの認識の欠如が判明
自動運転であることの明示により、ネガティブ要素改善の可能性あり

5-1. 隊列ドライバーからの受容性評価-概要

実験目的 隊列走行に対する**隊列ドライバーからの受容性を評価し**、社会的に実現可能な隊列走行の仕様を検討

実験条件 隊列ドライバーの受容性を左右する項目を整理し、本実験条件およびパラメータを選定した。

(エコシステムにおける相互作用を考慮)

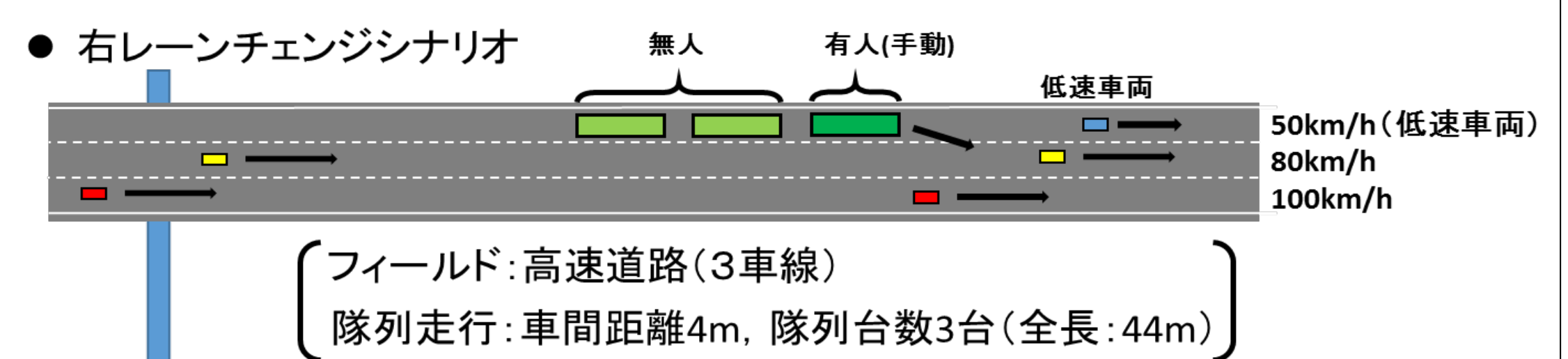
インフラデザインや法令に大きく依存しない 安全確認およびレーンチェンジのしやすさ
低速車両の追い越しのためのレーンチェンジ 車内HMIの仕様、時刻による周囲の明るさ、後続トラックの制御方式、交通密度

エコシステムを考慮

物流事業者に対するヒアリングを基に、受容性のあるHMIの仕様を策定

- ミラー映像** (右レーンチェンジ時)
 - 右レーンチェンジに対応する必要最低限のミラー箇所
- 鳥瞰図**
 - 他車両との距離感を直感的に把握
 - 前後120mの広範囲情報
 - レーンチェンジに対する注意喚起システム

5-2. 隊列ドライバーからの受容性評価-検討



判断: 安全確認をしつつ、レーンチェンジができるかどうか?

パラメータ

項目	パラメータ	
	昼間	夜間
時刻	昼間	夜間
交通密度	低	中
後続トラックの制御方式	同時操舵	同軌道追従
HMI方式	ミラー映像	ミラー映像+鳥瞰図

評価項目

- 提案したHMIを用いてレーンチェンジができるか
- 提案した鳥瞰図の有効性
- 緊張度、安全確認およびレーンチェンジのしやすさ
- レーンチェンジによる周辺交通への影響

5-3. 隊列ドライバーからの受容性評価-結果

レーンチェンジ時の評価結果	レーンチェンジ時の緊張度結果	周辺交通への影響の結果
安定した素早いレーンチェンジができおり、安全確認およびレーンチェンジのしやすさの評価が高かったのは、下のとおり。	同時操舵でのLC, 同軌道追従でのLC	隊列ドライバーの受容性がある
● 昼間 ● 鳥瞰図がある場合 ● 低い交通密度 ● 同時操舵方式	● 同軌道追従の方がリラックス トレーラーに似た自然な挙動で、受容しやすいと推測される ⇒ 慣れの問題か ● 鳥瞰図がある方がリラックス ● 交通密度と時刻に関しては、有意な比較ができなかった	● 鳥瞰図がある場合 ● 交通密度が低い場合 が、「短いL2ランキング」の上位にランクインしている ⇒ 心理的余裕に起因していると推測される

受容性があると思われるパラメータ

レーンチェンジ時の隊列ドライバーによる受容性	後続トラックの制御方式	交通密度	HMI方式	時刻
素早さ	同時	低	有	昼
安定感	同時	低	有	昼
緊張度	同軌道	-	有	-
口頭アンケート	どちらでも	低	有	昼

● 提案したHMIを用いることで安全確認をしつつレーンチェンジが可能鳥瞰図が非常に有効である
● 交通密度は低く、明るい時刻の方が受容性が高くなる夜間は鳥瞰図を用いることで受容性を得られる
● 後続トラックの制御方式は、同時操舵の方が適しているが、同軌道追従の方が緊張度は低い⇒慣れの問題もあり、さらなる検討が必要
● 条件によってはインフラや法令の整備に頼る必要性があることや、鳥瞰図を用いる際に緊張感を欠かさない仕組みの必要性・HMIの改善に関する知見が得られた

6. 結論

- 周辺一般車両ドライバーにとって、**車間距離10m未満・隊列台数3台**の形態の隊列走行が最も受容性を得られる。(車外に向けての情報提示が条件)
- 隊列ドライバーは、**車間距離4m・隊列台数3台**の形態の隊列走行の操縦において、本研究で**提案したHMI**を用いることで、周囲の安全を確保しつつレーンチェンジが可能で、その際に**鳥瞰図が有効**である。(緊張感を欠かさないことが条件)

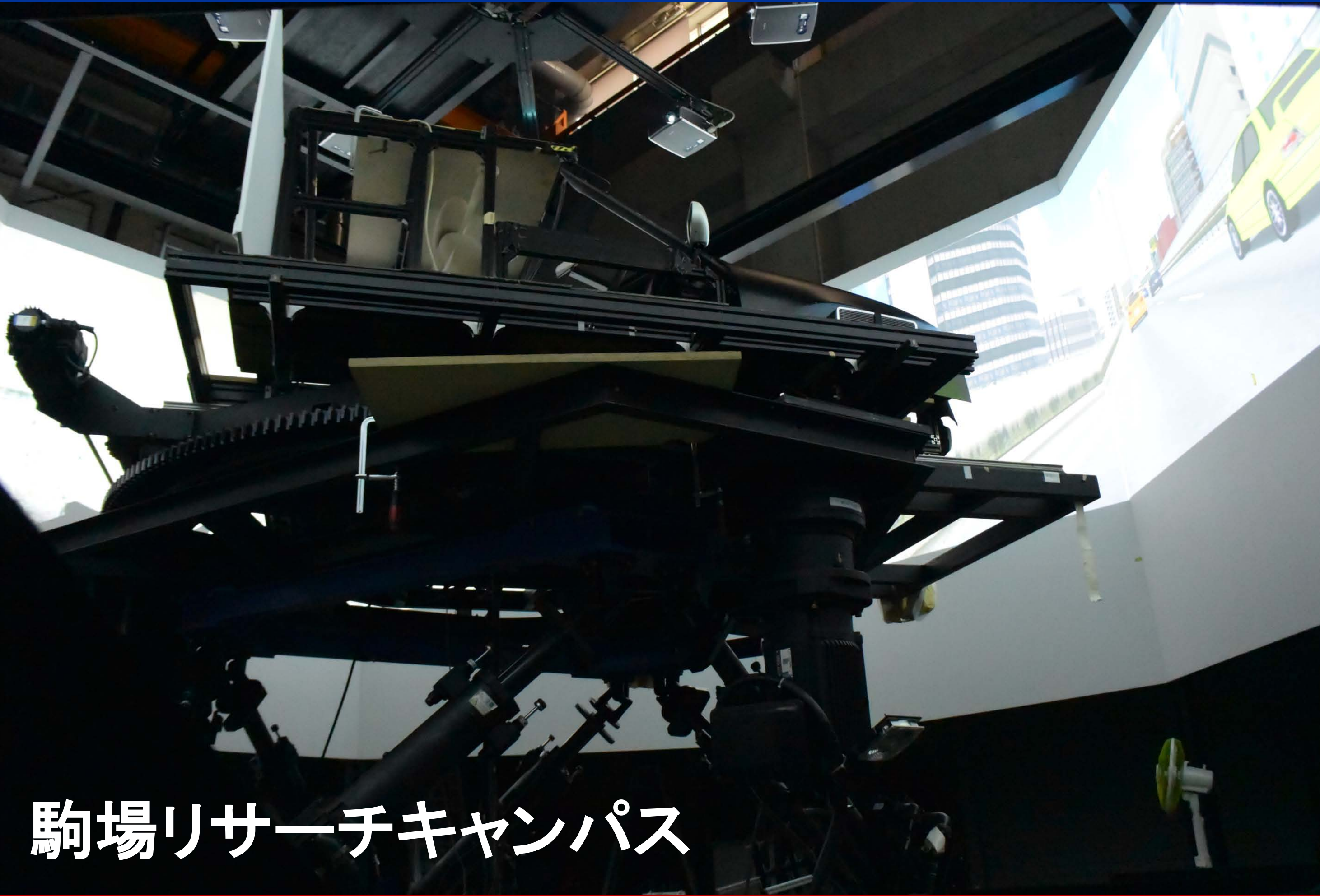
今回提案した隊列走行の仕様が、エコシステムの重要な構成要素である両ドライバーおよび物流事業者に対して受容性を持つことが確認できた。

本研究の結論
本実験により、**隊列走行のエコシステムを考慮した社会受容性が向上した**

ドライビングシミュレータ

須田・中野・小野，大石研究室

研究用ユニバーサル ドライビングシミュレータ



交通シミュレーションと連携し，実交通環境模擬やITS応用研究に活用

さらなる臨場感向上のための
新モーションシステム

ターンテーブル上にXYステージを搭載し，車両の回転中心をリアルタイムに変更，交差点やインターチェンジ走行時の臨場感向上

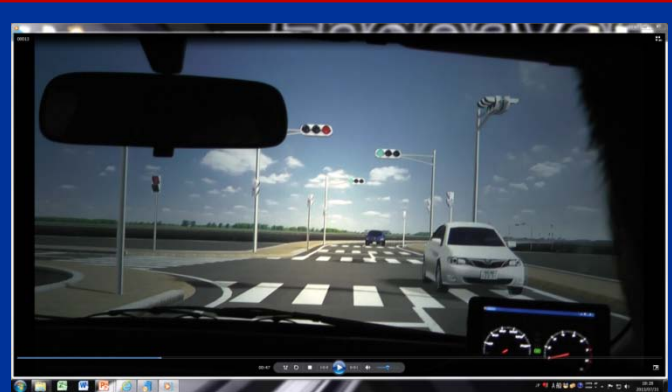
駒場リサーチキャンパス

運動性能向上を目的とした ドライビングシミュレータ

運動性能を高め高周波数領域も模擬し，乗り心地などを評価する研究に活用
脳活動の計測などの生体計測に基づく解析



駒場リサーチキャンパス



CG



Real image



Display screen

実画像合成

ドライビングシミュレータ

計測車両による実地撮影映像とCG映像の合成によるリアルな映像の生成し，実験可能な道路・地域が増加し，DSの用途を拡大

大型車用 ドライビングシミュレータ

実際の車両と同じキャビンやシートサス機構を搭載し，リアリティある状況下でHMIなどの評価が可能



柏キャンパス 千葉実験所

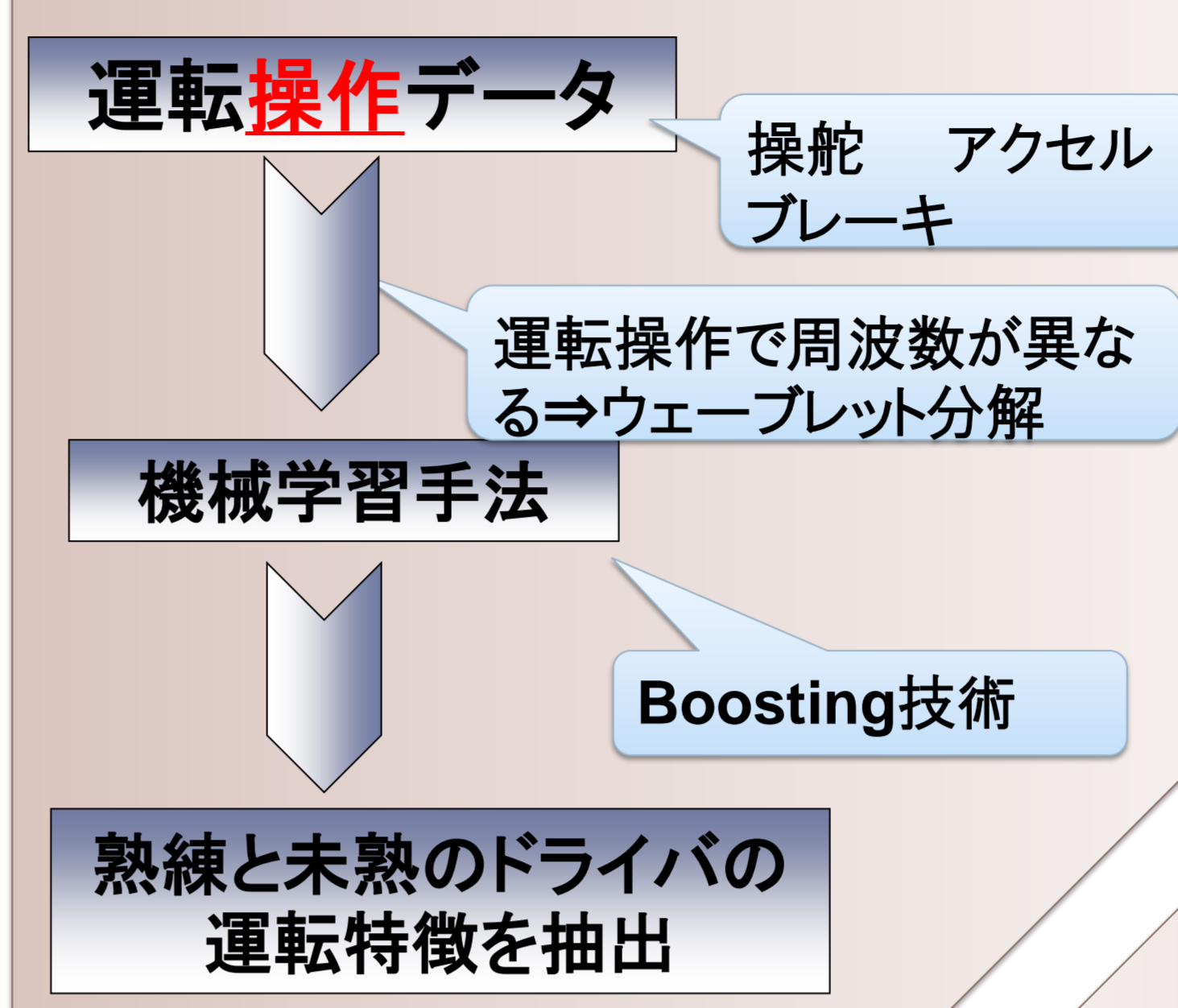
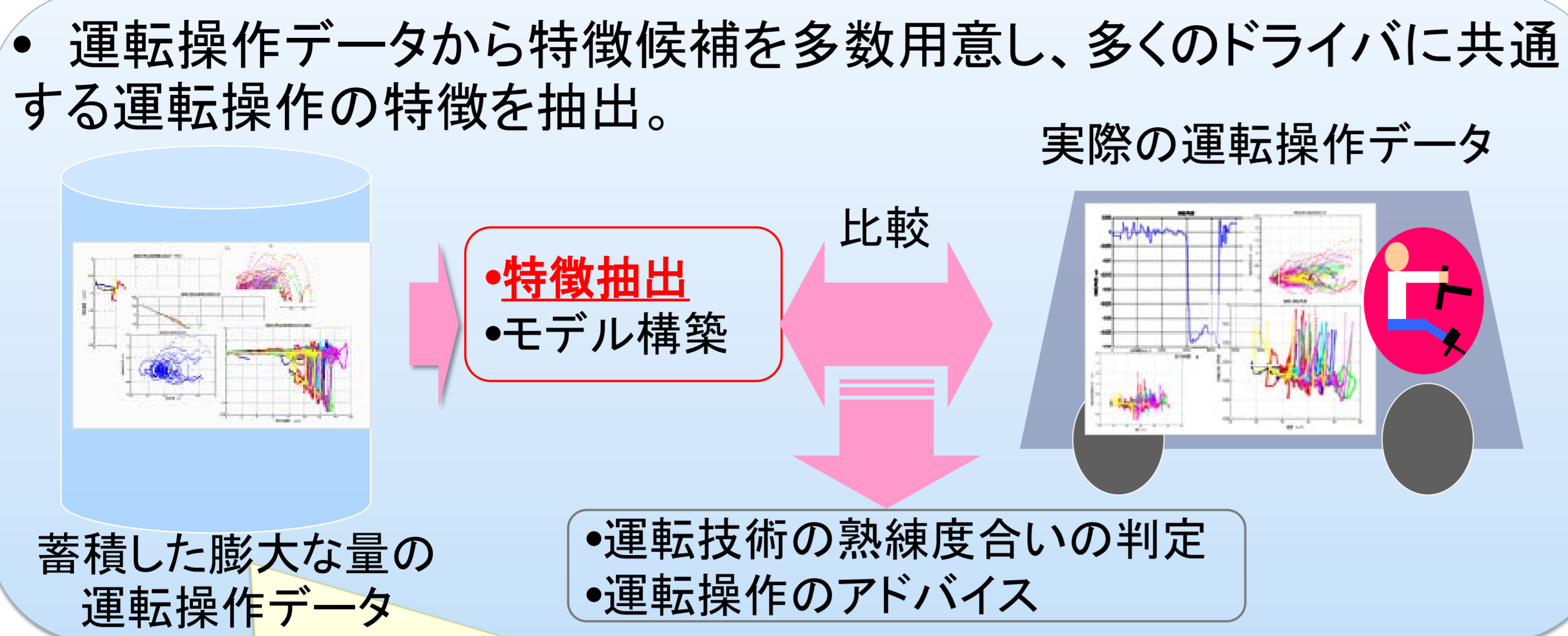
ドライバの運転特徴抽出に関する研究

東京大学 須田研究室・佐藤(洋)研究室
トヨタ自動車株式会社
トヨタIT開発センター株式会社
共同研究

運転技能の向上, 安全な自動車交通環境の実現に向けて, 運転熟練度の把握技術が必要である。本研究の目的は運転熟練の特徴がどこに, どのような特徴として現れるのか定量的に評価する。

運転支援システムのコンセプト

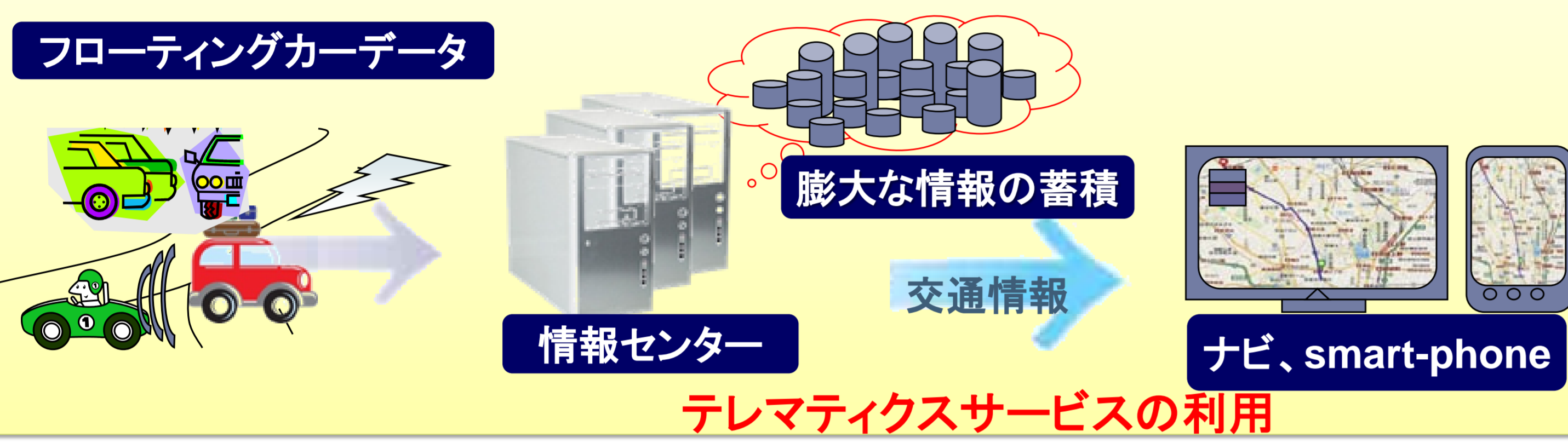
特徴抽出のコンセプト



機械学習手法

特徴集合のうち意味のある部分集合だけを選択して, 頑健な学習モデルの構築する。

例: 顔認識, 音声認識, 文字認識



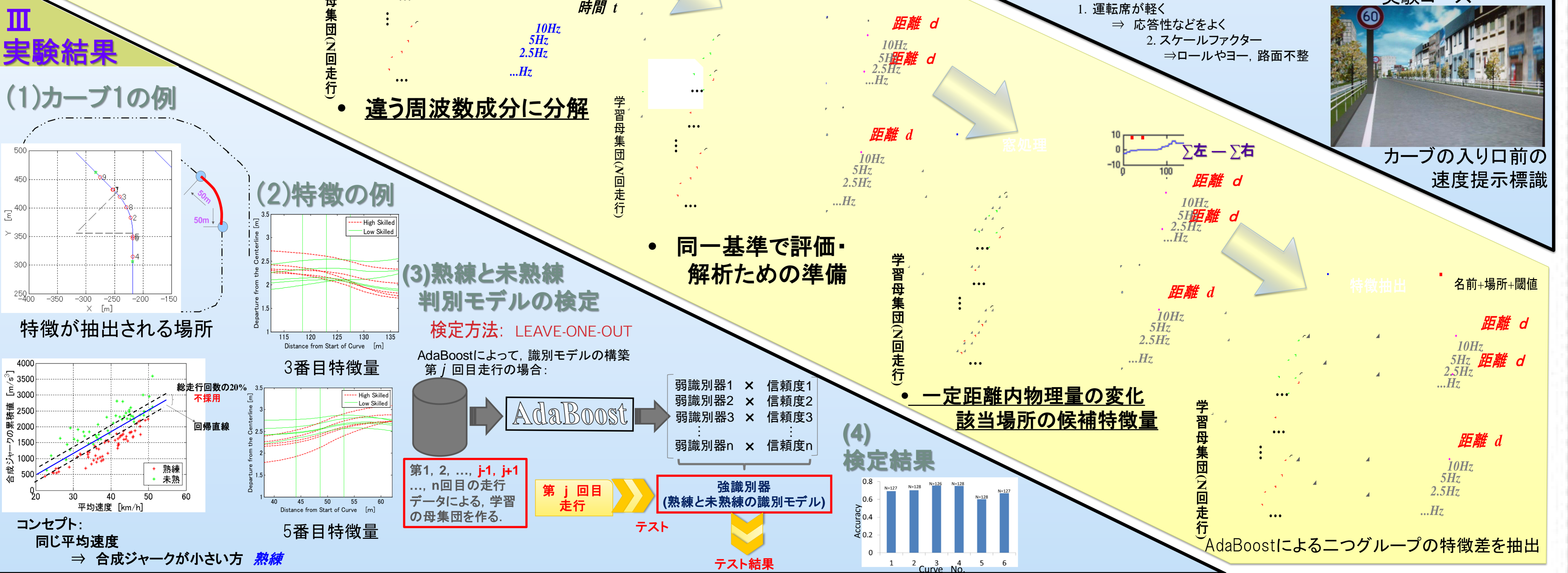
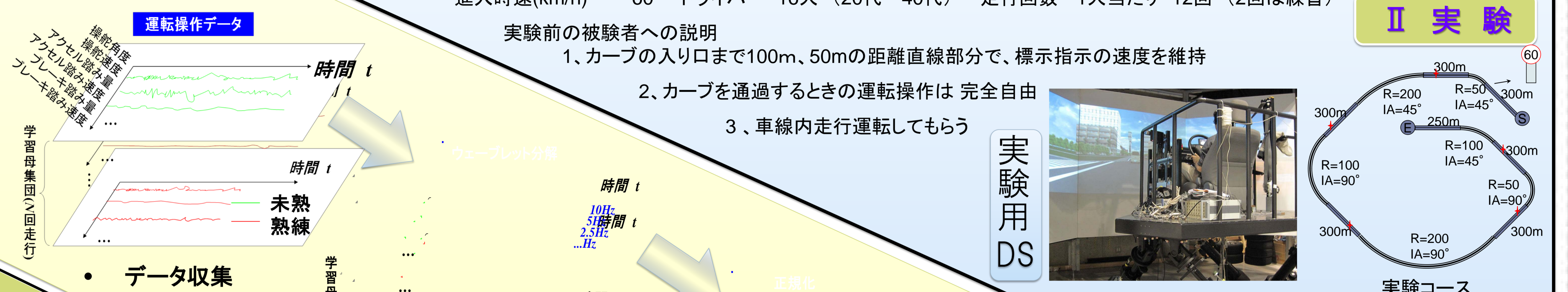
AdaBoost

1. 機械学習手法の一つ
2. 顔を識別するための特徴を抽出できる

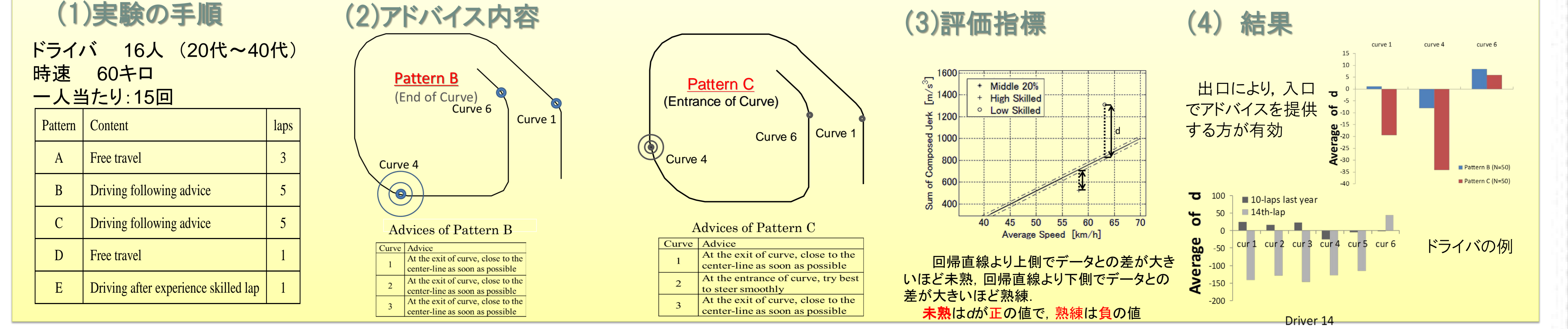
運転の熟練・未熟を顔有り・顔無し画像と同様に捉える ⇒ 運転特徴を抽出

I 提案特徴抽出手法

進入時速(km/h) 60 ドライバ 16人 (20代~40代) 走行回数 1人当たり 12回 (2回は練習)



IV アドバイス実験 抽出された特徴量に基づいて, 未熟練者の運転技能を向上させるために, ドライバへアドバイスを提供するために行った



V まとめ

- ドライバの運転熟練度の向上を目指し, 本研究は, ITSの技術発展に伴い実用化されているテレマティクスサービスで得られる膨大なデータベースの活用を念頭に置き, 得られた操作データから熟練者と未熟者の特徴差に基づいて新しい運転支援システムを提案した。
- 運転操作の特徴を定量的に抽出し評価する手法として, AdaBoostのアルゴリズムをベースとした手法を提案した。DS実験を行い, 特徴抽出された。
- 熟練と未熟の判別モデルを構築して, 交差検定方法によってモデルの識別率の検討を行い, 提案手法は両者の判別モデルを生成可能な見通しを得た。
- アドバイス手法の検討, ドライバモデルによる検討との融合などを実施

ドライビングシミュレータの実車実験再現性の向上

Study on driving simulator for the improvement of reproducibility of actual vehicle test

東京大学・須田研究室
日産自動車株式会社
共同研究

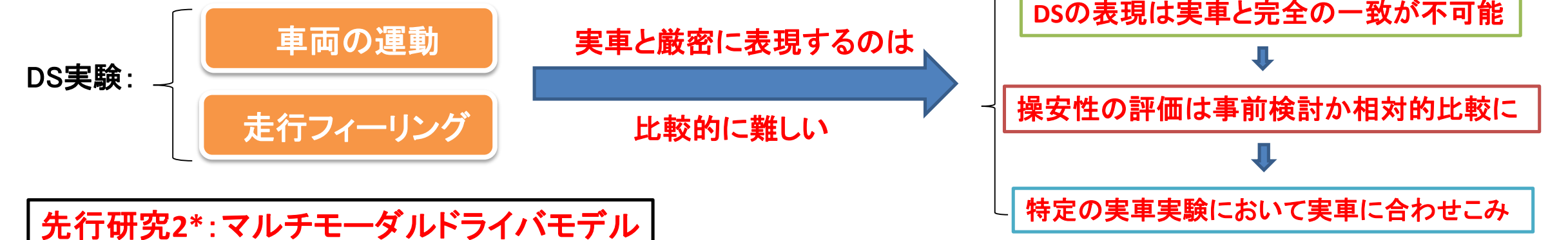
研究用DSの実車実験再現性課題



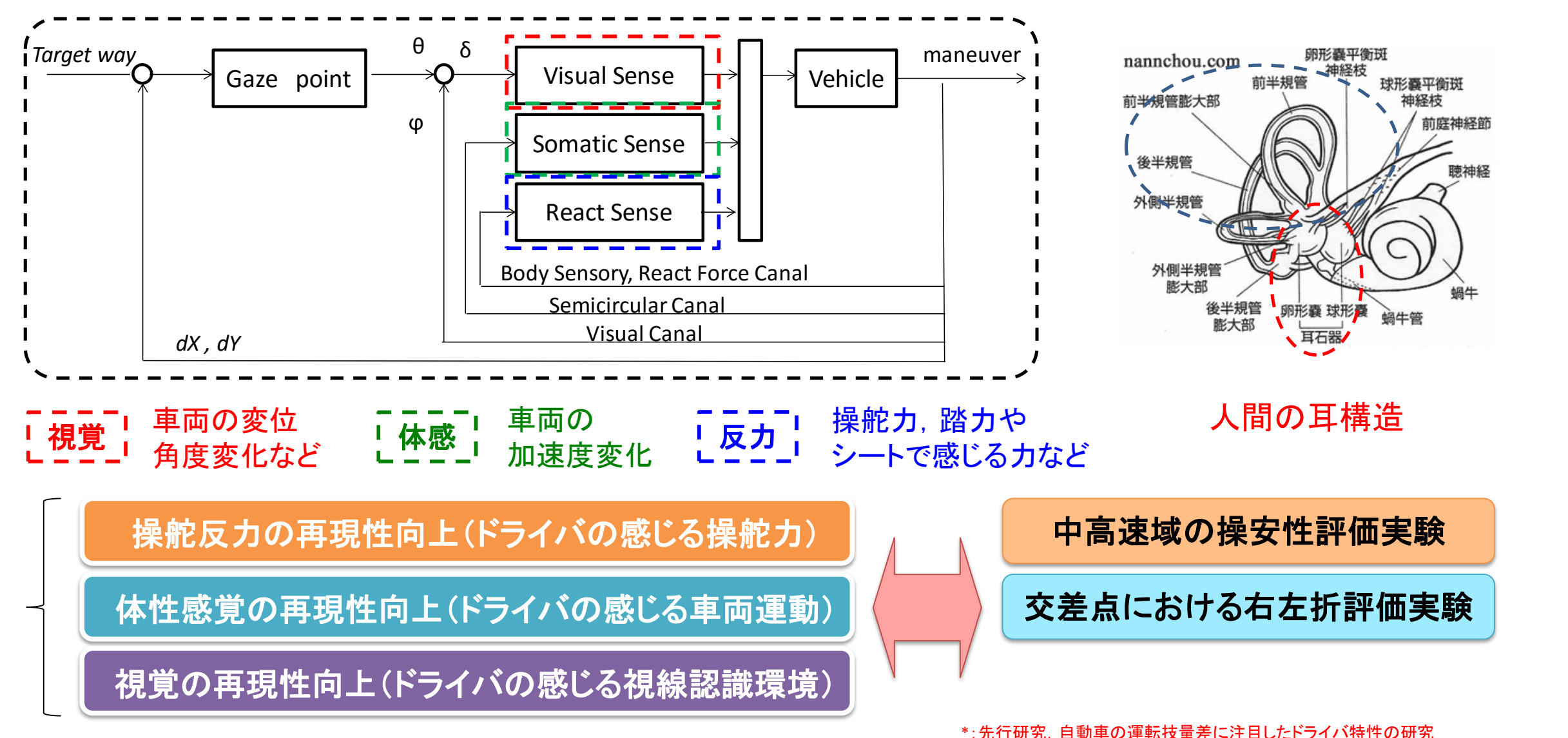
実車実験再現性向上の取り組み*: ユニバーサルドライビングシミュレータ / D3simドライビングシミュレータ



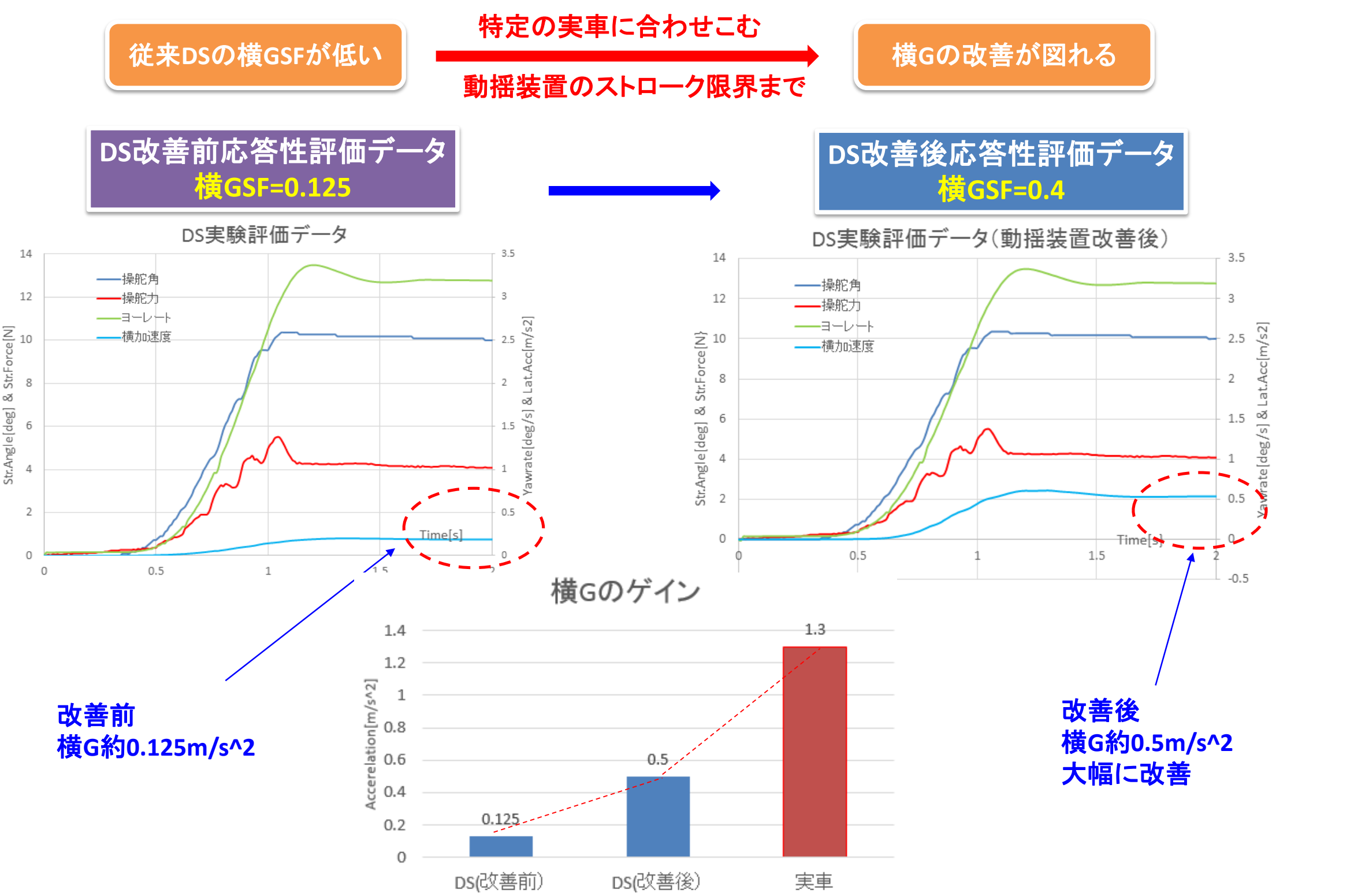
実車実験再現性向上の提案



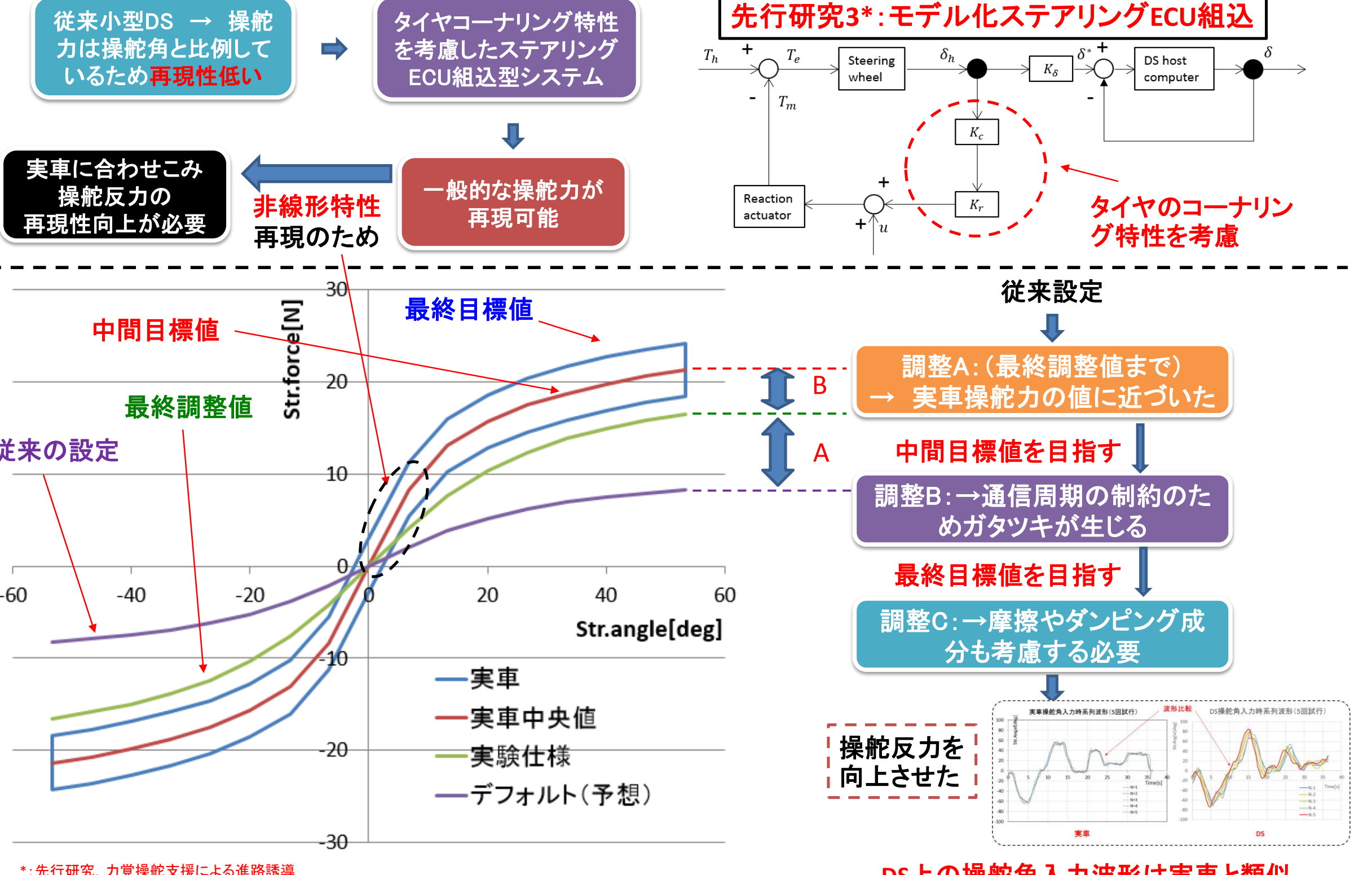
先行研究2*: マルチモーダルドライバモデル



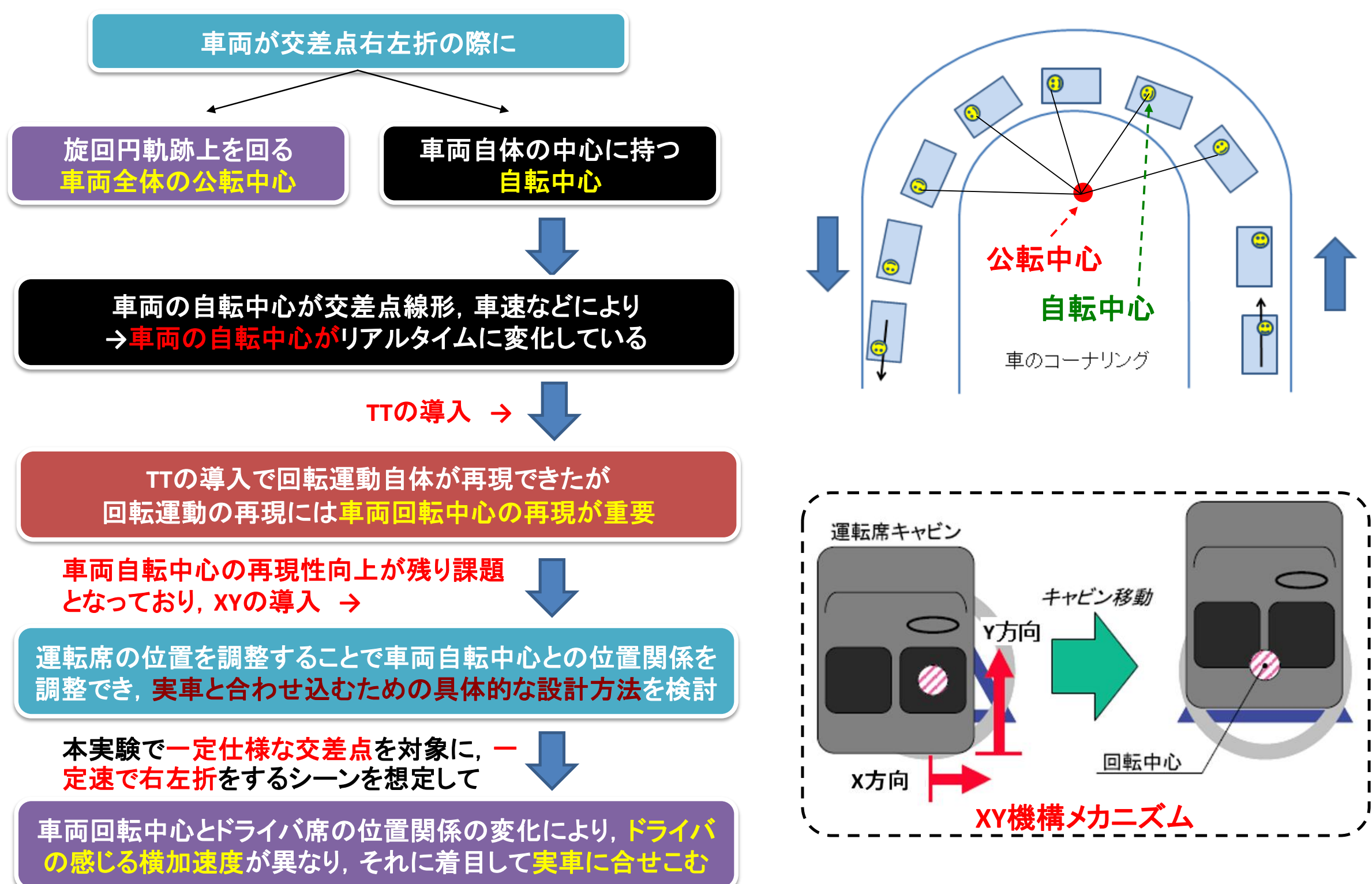
車両運動の再現性向上



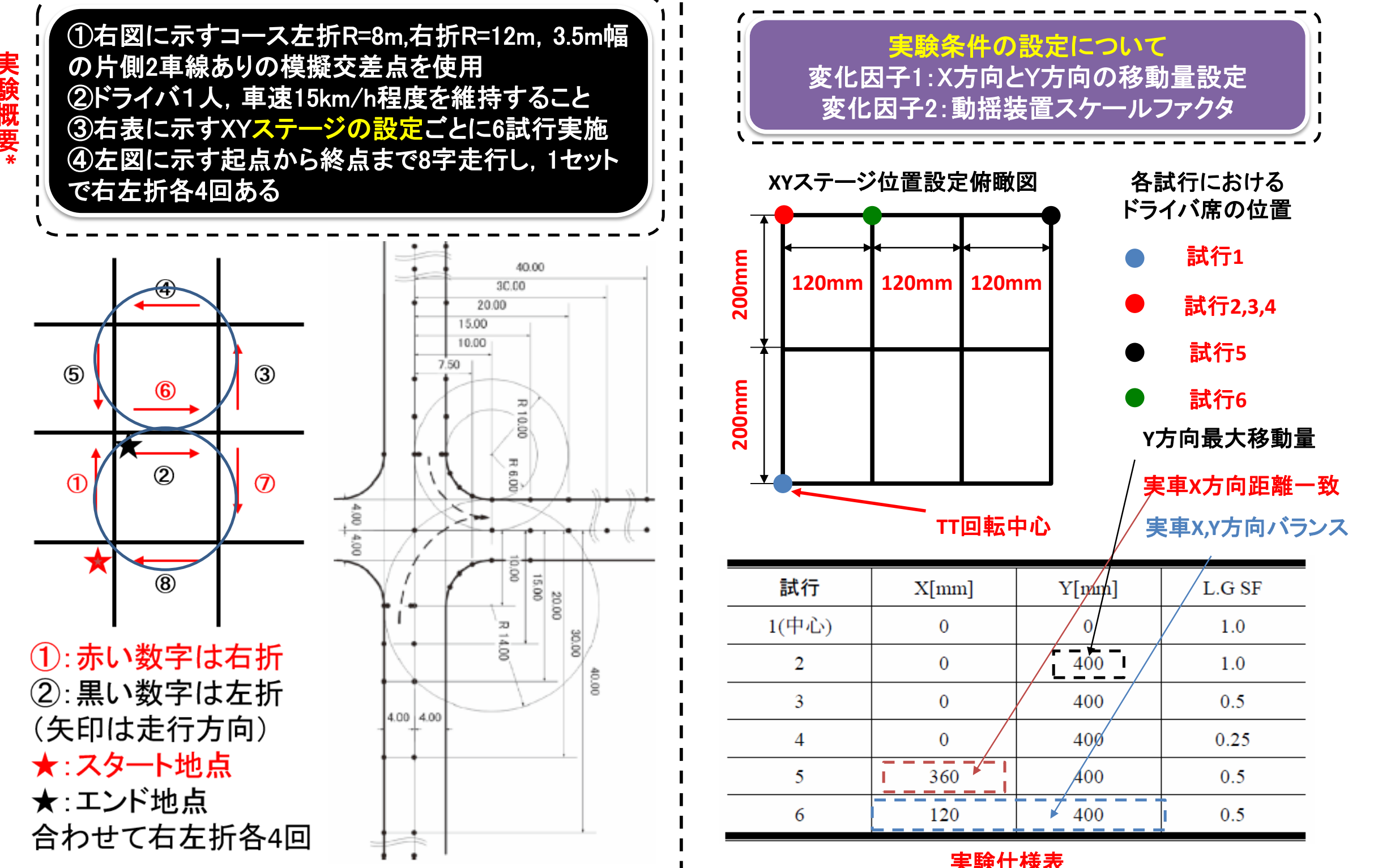
操舵反力の再現性向上



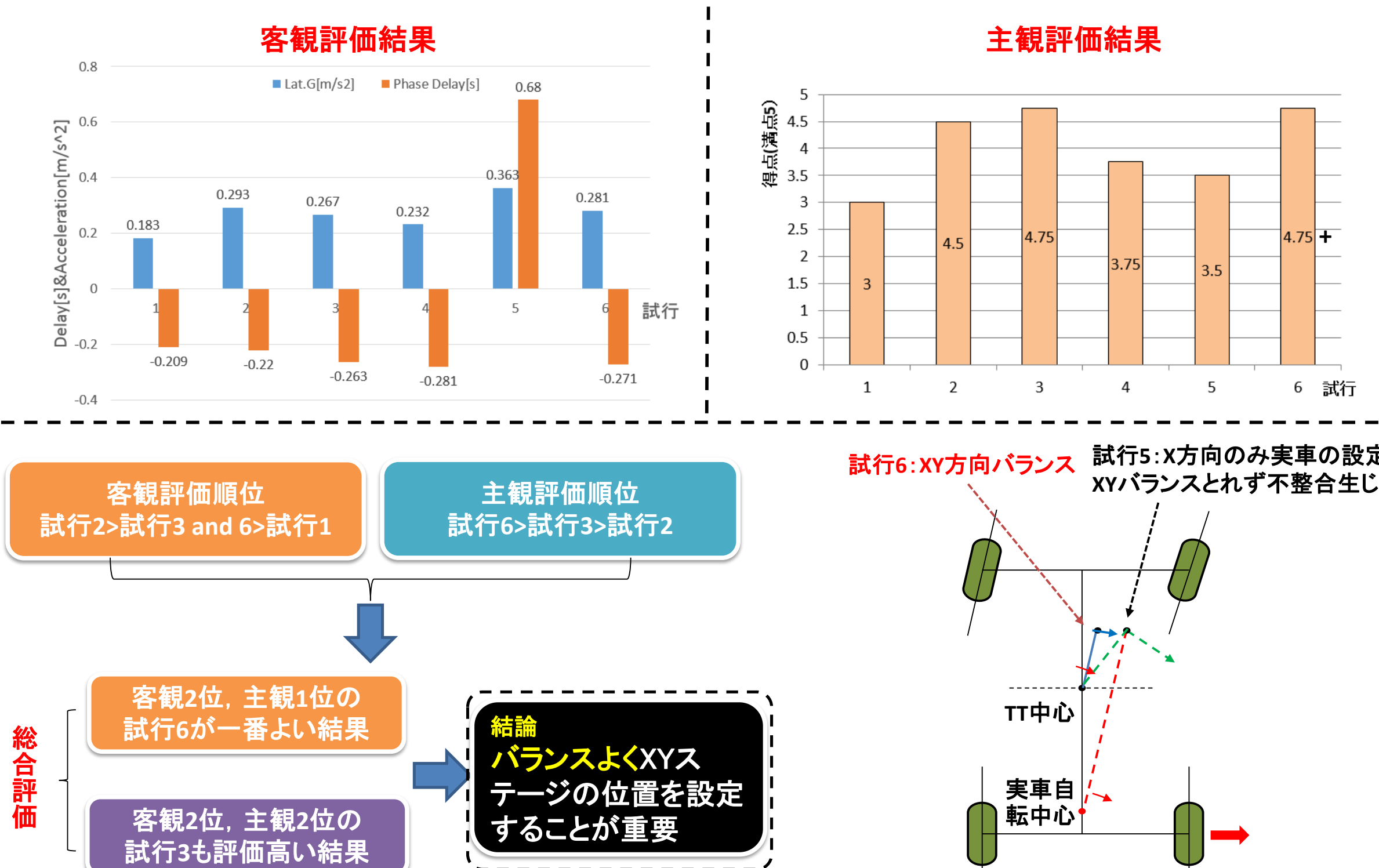
回転運動の再現性向上の課題と提案



DS実験概要と実験条件設定



総合評価—DS実験結果



結論

本研究では、操舵反力、体性感覚に着目し、DSの実車実験再現性向上のための手法を提案することで実車実験再現性の向上に取り組んだ。

「操舵反力の再現性向上(ドライバの感じる操舵力)」

- (1)DSの動揺装置のSFや操舵力特性の調整
- (2)DSの通信周期といった仕様の見直し
- (3)実車特性を考慮したチューニング

「体性感覚の再現性向上(ドライバの感じる車両運動)」

- (1)ユニバーサル・DSにおいてXYステージ機構により横加速度SFの調整
- (2)自転中心位置を理想的な位置に加速度の方向のバランスを合わせて近づけることで、ドライバの回転運動に対する体性感覚の再現性向上が図れることを確認

従来DSでは困難であった操安性評価も可能な実車実験環境を再現できることを示した。

ドライビングシミュレータ 研究事例

須田・中野・小野, 大石, 大口研究室

DSを活用した研究事例

複合現実感交通実験スペースの展開

実機実験だけでなく、**社会実験とシミュレーションをつなぐ、新しい実験環境を実現！！**

- 交通シミュレーションとのインタラクティブ環境の構築
- 新たな交通実験ツールの提供
- 実交通環境における社会実験
- 交通シミュレーション
- 安全支援・エコドライブ評価

インフラ

ドライバ

- 路面レーンマーキングの評価
- オプティカルドットの効果・受容性評価
- 路上駐車帯の提案
- サグ渋滞のメカニズム解明・円滑化
- パークアンドライドの受容性評価
- 動的インフラの検討
- 広島地区車車間通信型ASVの検討
- 脳活動の計測に基づくドライバ特性解析
- 道路標識, 交通信号の安全運転への効果の評価
- 車の特性に応じたドライバ特性の評価
- 運転状況を考慮した脇見推定手法
- エコドライブの意識推定
- 隊列走行時の安全性評価・社会受容性評価



・ツールの開発・展開

ハードウェア
ソフトウェア
人間モデル
車両モデル
交通モデル
シナリオ

・交通・車両研究の展開

ヒューマンインターフェイス
車両技術
要素技術開発
運行制御
実環境との比較

成果の相互フィードバックによる相乗効果を実現！

シミュレータを活用した実験

■ 渋滞解消のための路面レーンマーキング検討

● 検討内容

- ・レーンマーキングの違い
- ・舗装色の違い

→後に実道路で社会実験実施



■ オプティカルドット

● 速度調節

ドットの間隔, 表示パターンの違いなどによる効果



首都高速5号線美女木付近
photo by momoko japan



■ サグでの渋滞発生メカニズムの解明・円滑化検討

- 東名大和サグ部を模擬したシナリオ
- 縦断線形を様々に変えて追従挙動モデルの比較検討
- KAKUMOによる交通流の模擬
- サグ部渋滞解消のための情報提供 LED表示板の路肩への設置



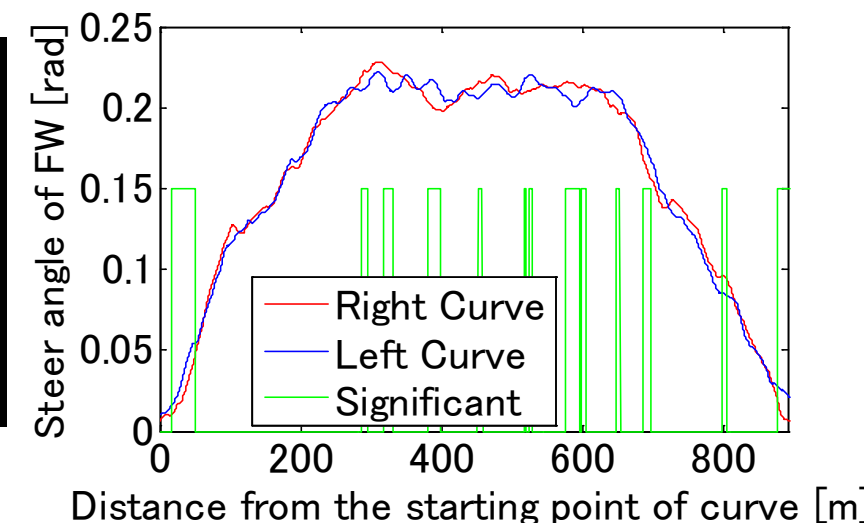
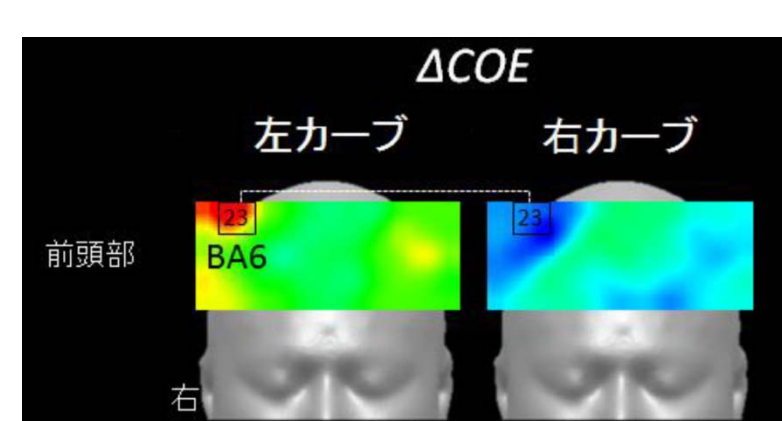
■ 広島地区の車車間通信型ASVの検討

- 路面電車-自動車通信型安全運転支援サービスの検討
- シミュレーション実験による有効性評価
- サービスの普及に向けたシナリオの検討



■ 脳活動の計測に基づくドライバ特性解析

- 運転中のドライバの脳活動を計測
- 新しいコンセプトに基いた実験環境を構築し, 運転操作に関する特性の解析

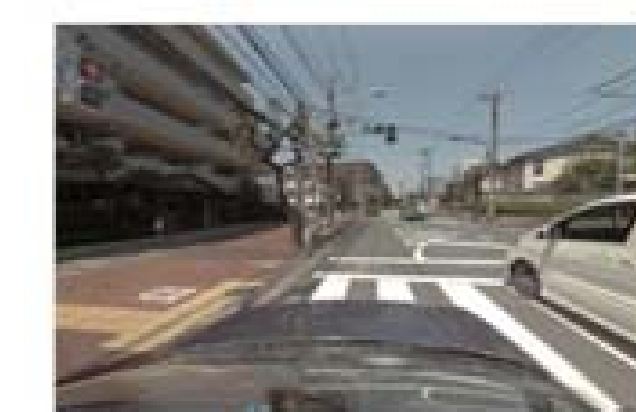


■ 道路標識, 交通信号の安全運転への効果の評価

- 一般道路を対象とし, 実画像を合成したDS実験環境を構築
- 交通環境の違いが与える影響を分析



CG



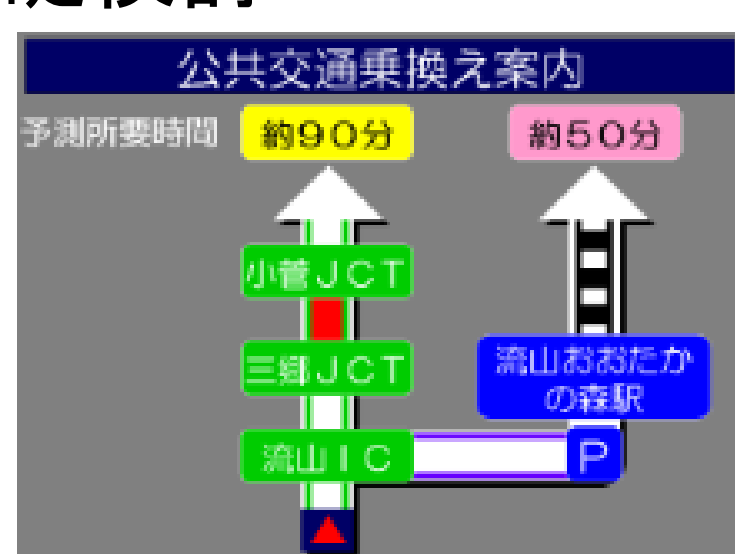
Real image



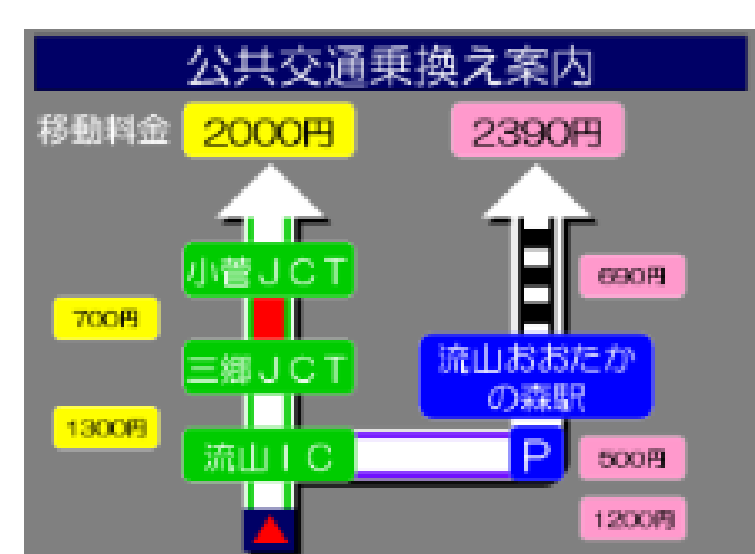
Display screen

■ パーク・アンド・ライド

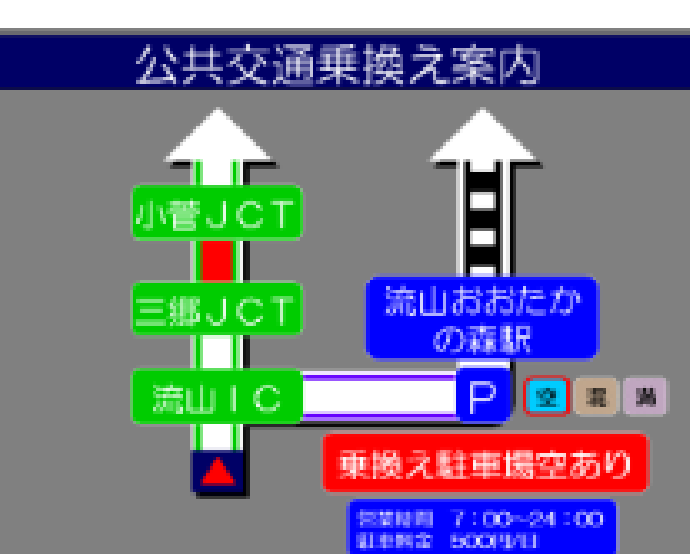
- 業務トリップ対象
- 車から鉄道に乗換えたいコンテンツの基礎検討



【所要時間比較情報】



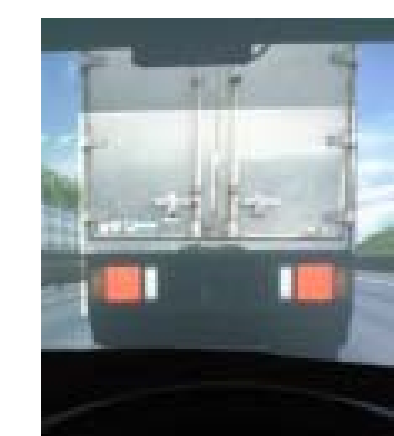
【料金比較情報】



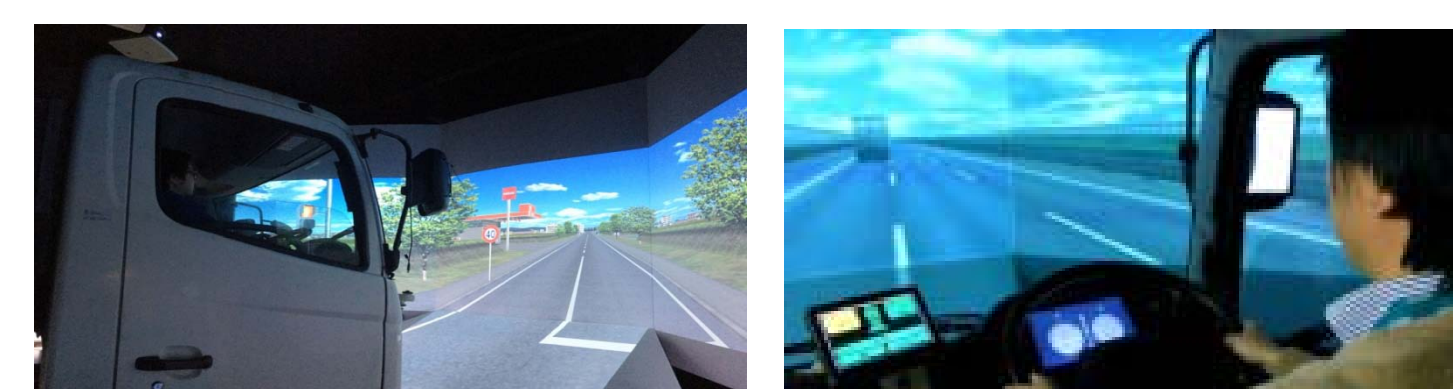
【駐車場満空情報】

■ 大型トラックの隊列走行

- 安全性評価・HMIの評価
前方車両急ブレーキ時の安全性評価
生理的・心理的負荷の解析
ドライバ責任・主権の在り方の検討
- 社会受容性の評価



運転席から見た先行車





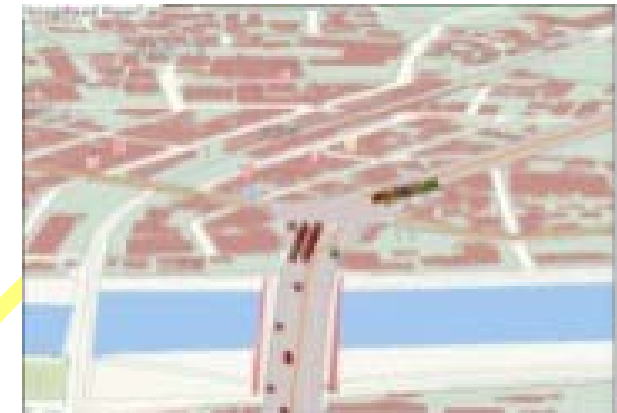
日本初！XYステージ機構+ターンテーブル機構付き9自由度モーション装置

複合現実感交通実験スペース(仮想実験システム+実観測実験システム)の形成

交通シミュレータとの連携

仮想実験システム

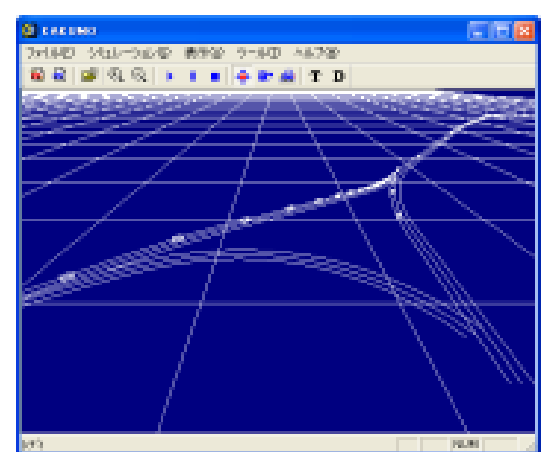
実観測実験システム



■交通シミュレータ(TS)
Traffic Simulator
交通量の発生・集中管理,
渋滞などの交通状況を再現



■ドライビングシミュレータ(DS)
Driving Simulator
ステアリングやブレーキ・アクセル
操作時などの運転挙動を再現



■KAKUMO:マイクロ交通シミュレータ
Micro Traffic Simulator (KAKUdai MOdel)
TSとDSの仕様の差異を解消する仲介役

シミュレーションと
実機実験とをつなぐ,
新しい実験環境を実現!

■実験計測車両
ドライバの運転挙動や周辺
他車両の挙動が計測可能



■生研千葉実験所
実験用交通信号機
実際の道路環境を模擬した
交差点



■タイヤ試験機等
タイヤの動特性や摩擦の影響
などを計測可能:HILS*の構築

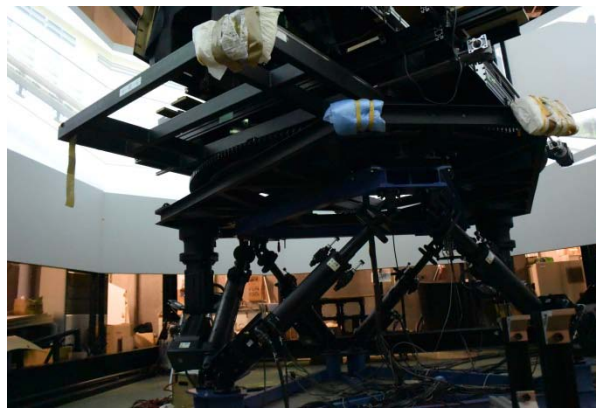


*HILS:
Hardware In the Loop Simulation

■車両旋回運動に対する高精度な臨場感の実現

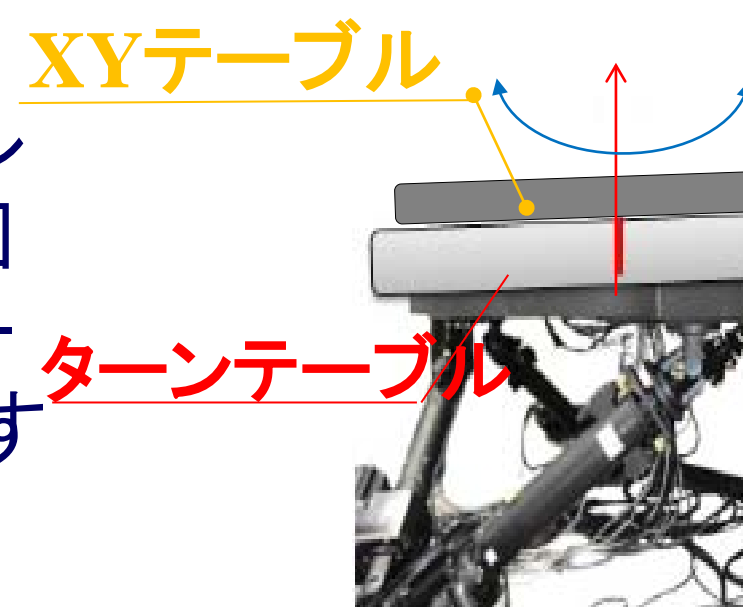
(1)空間6自由度の動きの創出

6軸モーションの動揺装置により車
両の前後(X), 左右(Y), 上下(Z)方
向の動きと左右方向の傾き(ロール),
前後方向の傾き(ピッチ), 左右方向
の回転(ヨー)を自在に創出して再現



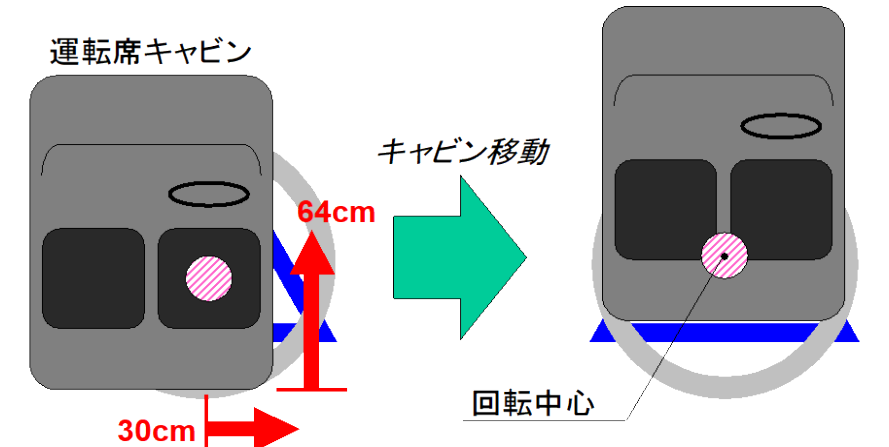
(2)運転操作性の向上

動揺装置にターンテーブル
機構を付加することで旋回
性能が向上し, 車両のヨー
運動を体感的に把握しやす
くなり, 運転操作性を向上



(3)回転中心の移動

XYテーブル機構を利用することで回
転中心を実車と同じ運転席後方の
位置に設定し, 旋回時の運転操作
感覚を向上



■ビジュアル・音響システム

- 360度全方位+ドアミラー対応の映像呈示装置
- 実写映像とCGの合成によるリアルな映像の生成
- 実車運転時の音環境を再現する音響システムの実装

■車両モデル・HMI

- マルチボディダイナミクス車両モデルの実装
- 音声案内・注意喚起の検討に対応したカーナビゲーションシステムの搭載

■社会実験のための新しい実験環境

実交通環境模擬

- 交通シミュレーションとの連携
- 交通渋滞, 交通安全, 環境対策

複合現実感交通実験スペース

- HILSによるシミュレーション環境による解析
- ドライバ特性解析, ドライバモデル構築

シミュレーションと社会実験を つなぐ新しい実験環境を実現!

•ITS応用研究

- 自動運転システムに関する受容性・HMI評価
- 運転支援システムの事前評価・安全性評価
- 交通施策に関する事前検討・評価

ドライバ脳活動計測による運転技量の評価

東京大学・須田研究室
株式会社中日本高速道路
株式会社脳の学校
共同研究

運転行為は、走行環境を認知して集められた情報を脳が処理・判断するとともに指令を出して運転操作を行うことである。本研究では、ドライビングシミュレータ(DS)と脳計測を組み合わせた新たなドライバの運転特性の分析手法を提案する。

背景と目的

交通安全対策の評価

- 速度低下と超過は事故の誘因
- ペクシオン：発光制御によって速度感を促進

脳の計測技術の進歩



ドライバの多様化

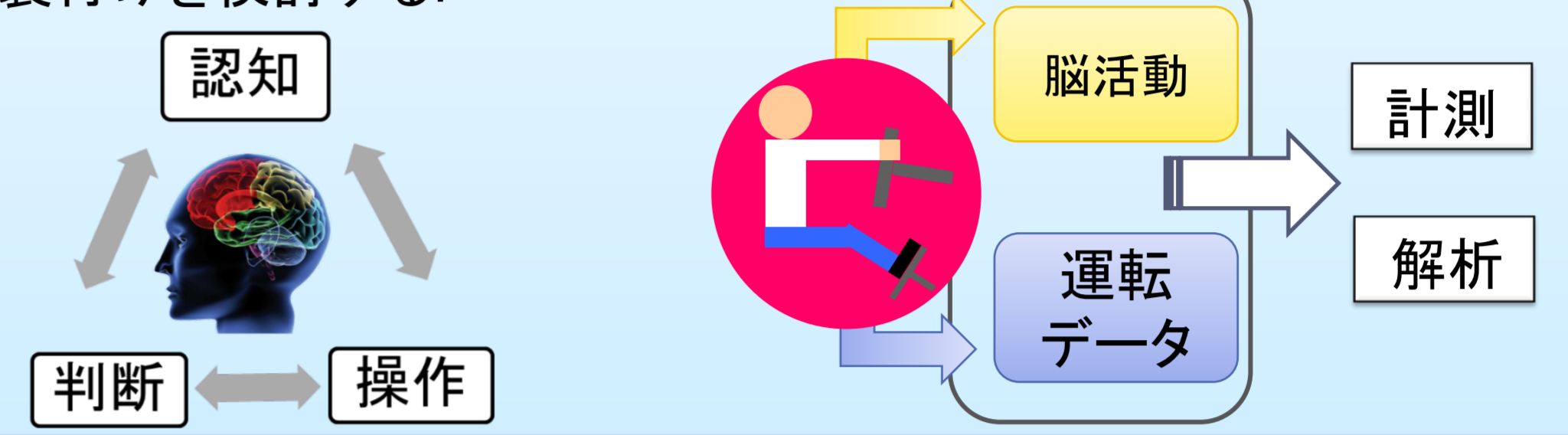
- 先進国：高齢者社会⇒高齢運転者
- 新興国：自動車の普及⇒初心者爆発的に増加

個人運転特性に対応した自動車や運転支援システムが必要

fNIRS functional near-infrared spectroscopy
研究例：実道路運転の脳活動の計測
通常の運転姿勢で運転しているドライバの脳活動を計測することが可能

- 先行研究：運転操作データに注目して、ドライバモデルが多く、生理学的な立場からの解釈にはまだ至っていない現状

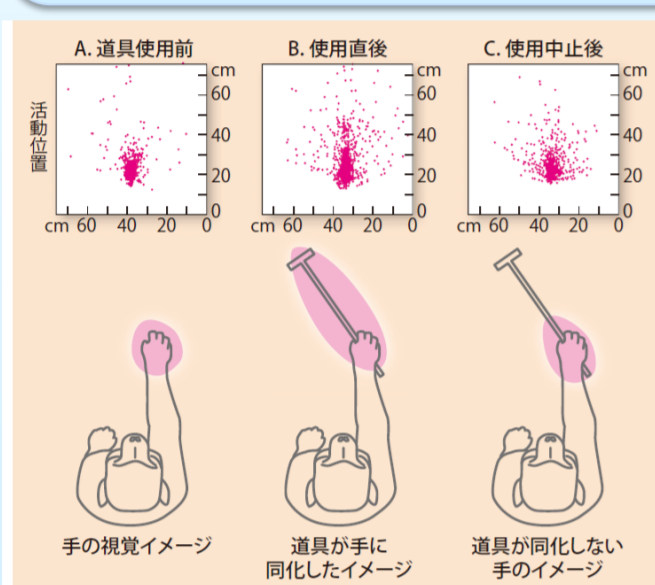
- 本研究：脳科学から運転技量を評価
ドライバの脳活動をダイナミックに観測し、脳科学の観点から運転技量差の生理学的な裏付けを検討する。



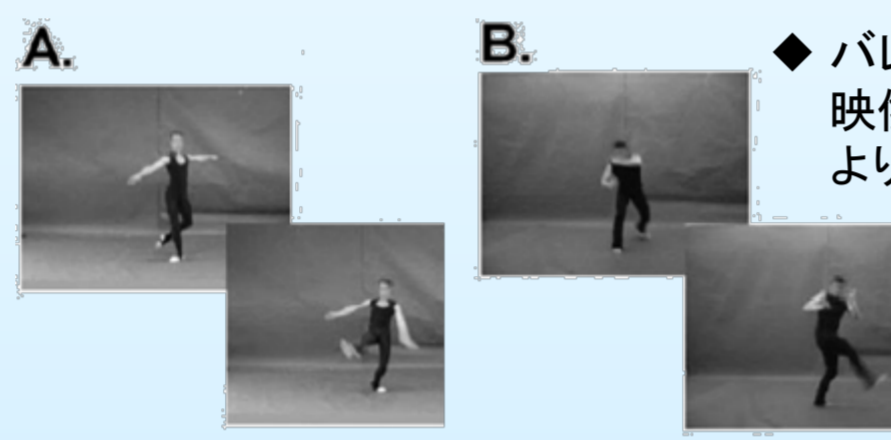
仮説

先行研究では、頭頂連合野は運動に対して重要な役割があると報告されている。

プロフェッショナルな動作を行う時(熟練した動作)、情報統合に関わる頭頂連合野には重要な役割がある



◆ソフトボール選手を対象とした実験では、頭頂連合野は熟練の方が活性化すること
出典：人間科学研究 2006, Vol. 19, pp. 6



◆パレエの熟練者は、パレエの映像を見るだけでも頭頂葉がより活性化すること
出典：Cereb. Cortex (August 2005) 15 (8): 1243-1249.

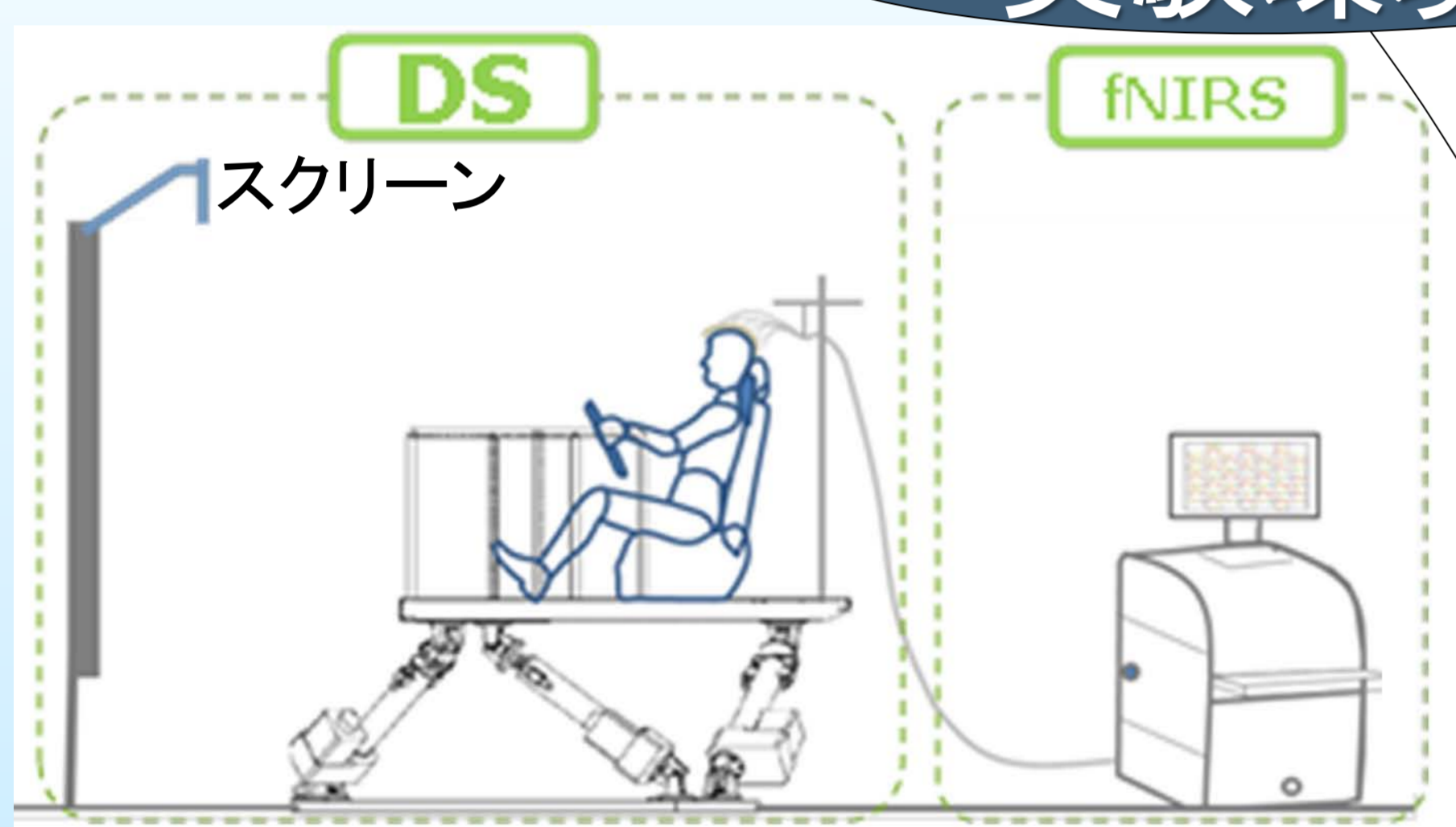
◆餌を取るために道具を使っているサルは頭頂連合野が重要な役割がある。
出典：RIKEN NEWS No.329, 2008

本研究は：

情報統合と運転技量に関するという仮説を提案し、二者の関係を検討する

具体的に、情報統合に関わる頭頂連合野(BA7)の活性化レベルと運転技量のレベルに関することを実験により検証する

実験環境



近赤外分光法 (fNIRS)

fNIRSの計測原理は、700~900nmの近赤外光を大脳皮質へ照射し、局所脳活動に伴う酸素化ヘモグロビン($\Delta\text{oxy-Hb}$)と脱酸素化ヘモグロビンの($\Delta\text{deoxy-Hb}$)の濃度変化を検出することである。

出典：T. Kato, etc. Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism, 1993

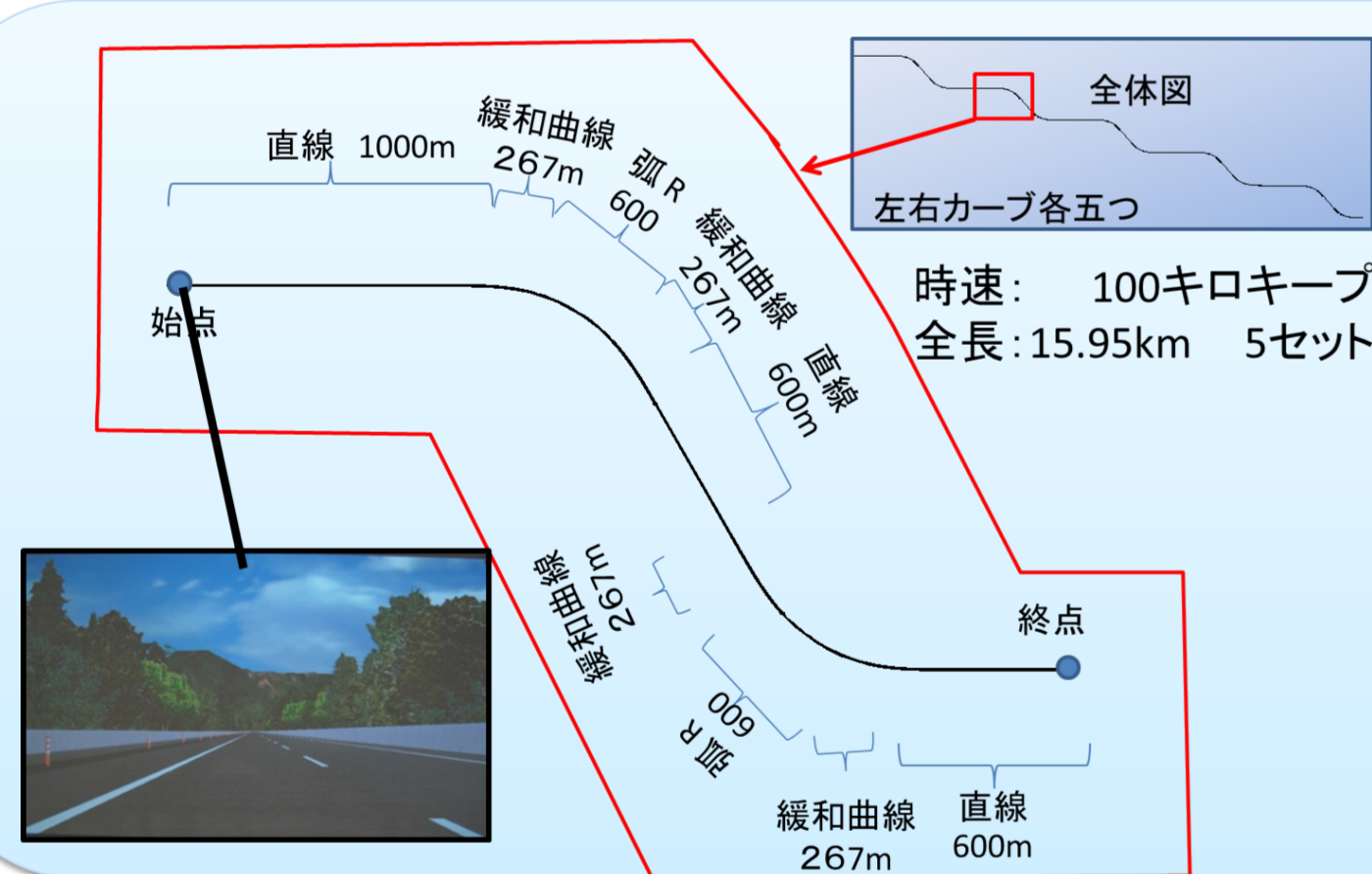
fNIRS
・自由な姿勢において脳の計測が可能

ドライビングシミュレータ



- 6軸の動きを再現するモーション装置
- 120°の視界をカバー
- ハンドルに操舵反力を発生
- 音響環境

実験環境の検証

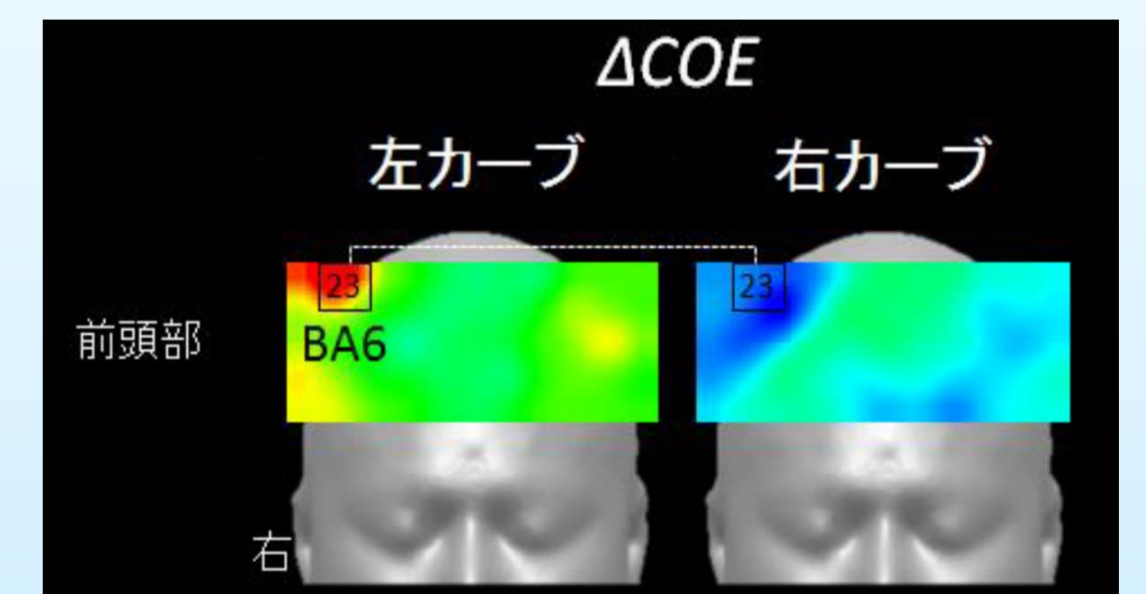


- 二車線の高速道路、車線幅3.5m
- 被験者：15名
- 走行速度：約100km/h

- 右脳の運動前野 ⇒有意差を認めた ($p < 0.05$)

- 下肢・上肢の運動計画に関わる運動前野は右カーブよりも左カーブで活動した。

- 構築された実験環境で、ドライバの脳活動が計測可能



運転技量と脳活動の関係

実験概要

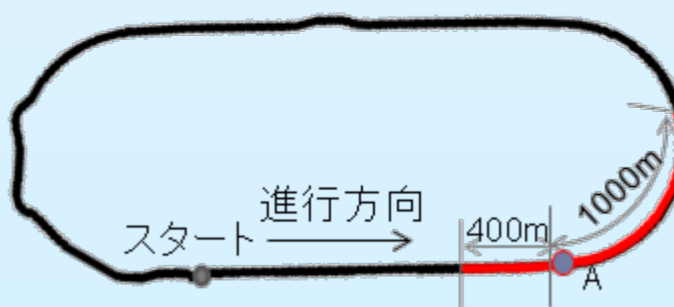
始点
ドライバー：8人
走行速度：約80km/h
練習走行：2回
走行回数(1人)：順方向：8回
逆方向：8回

実験風景

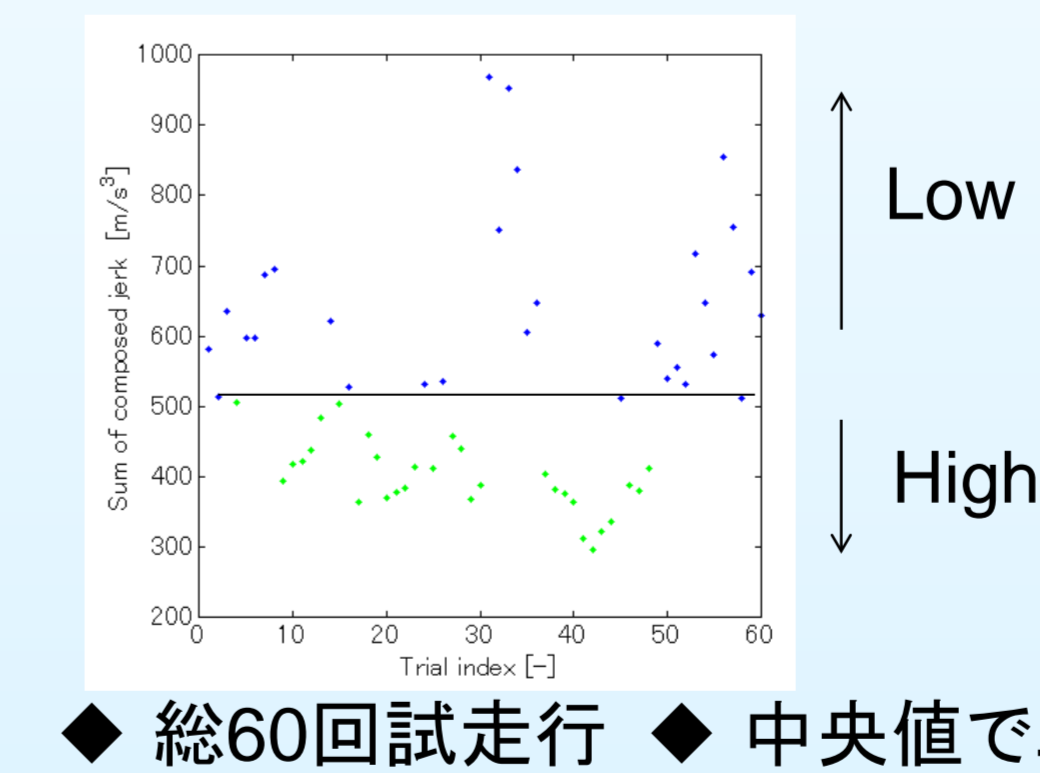


運転技量の定義

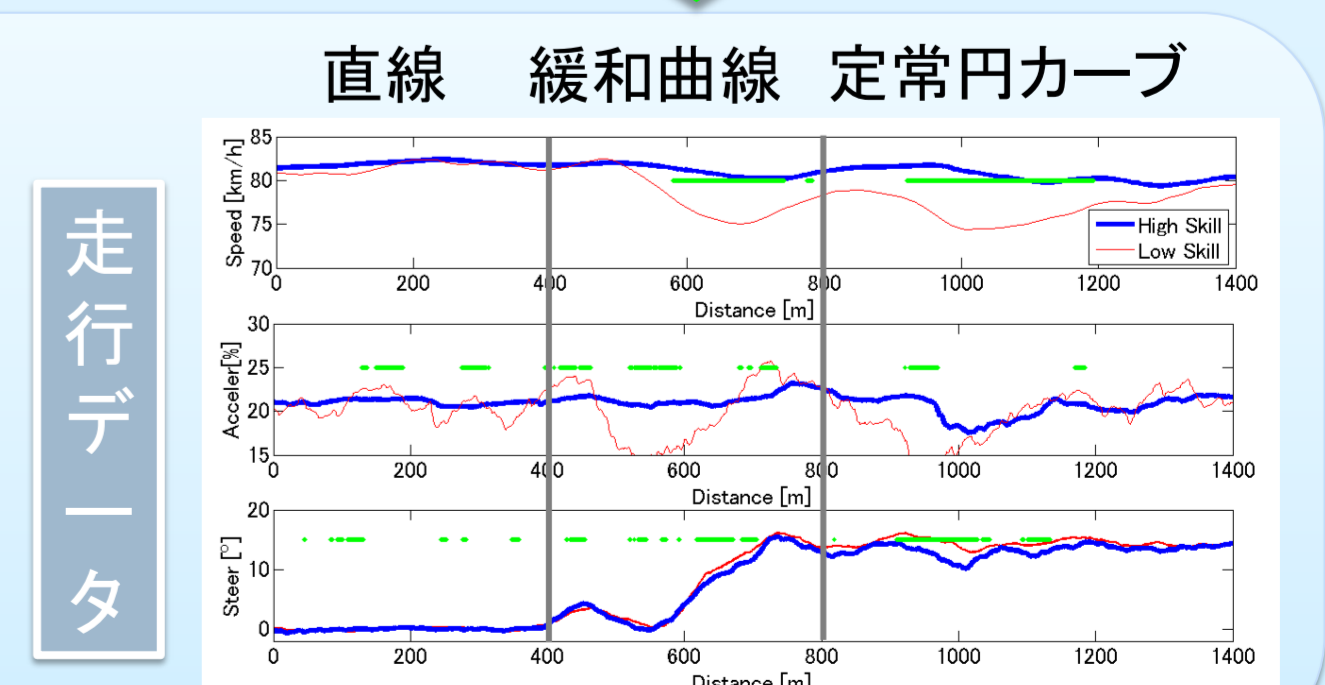
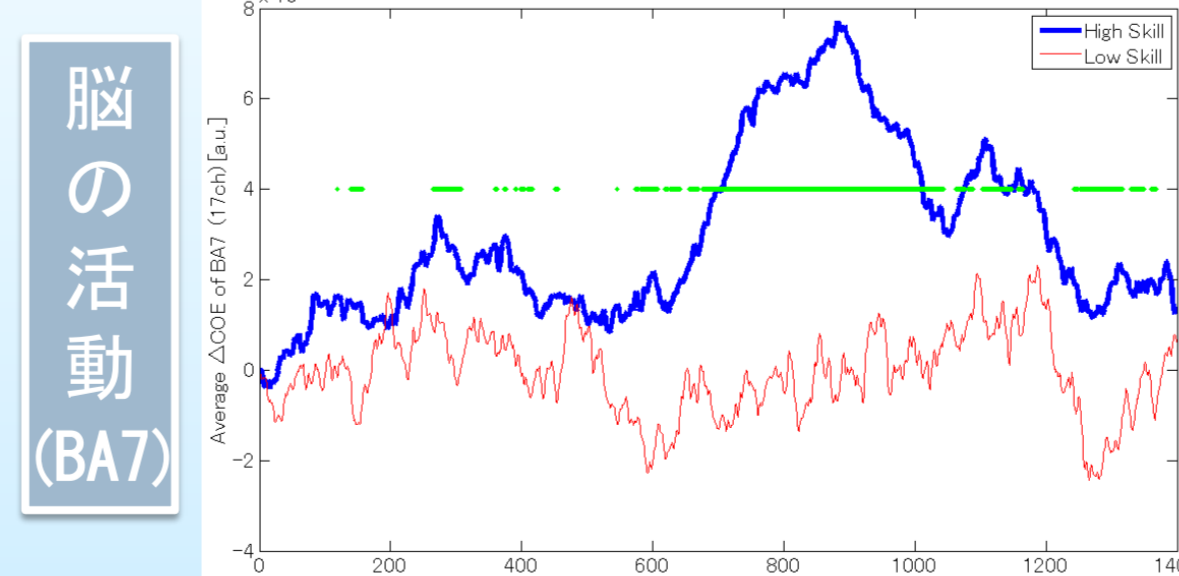
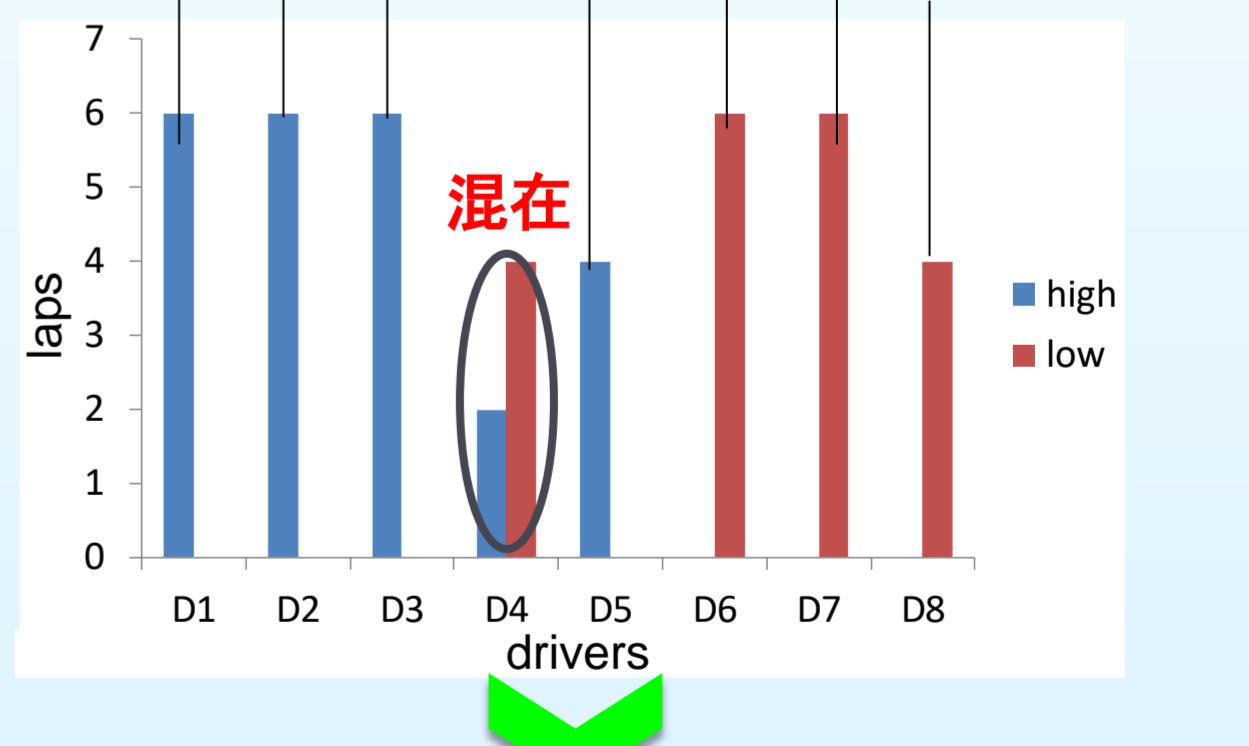
対象区間



合成ジャークの累積値

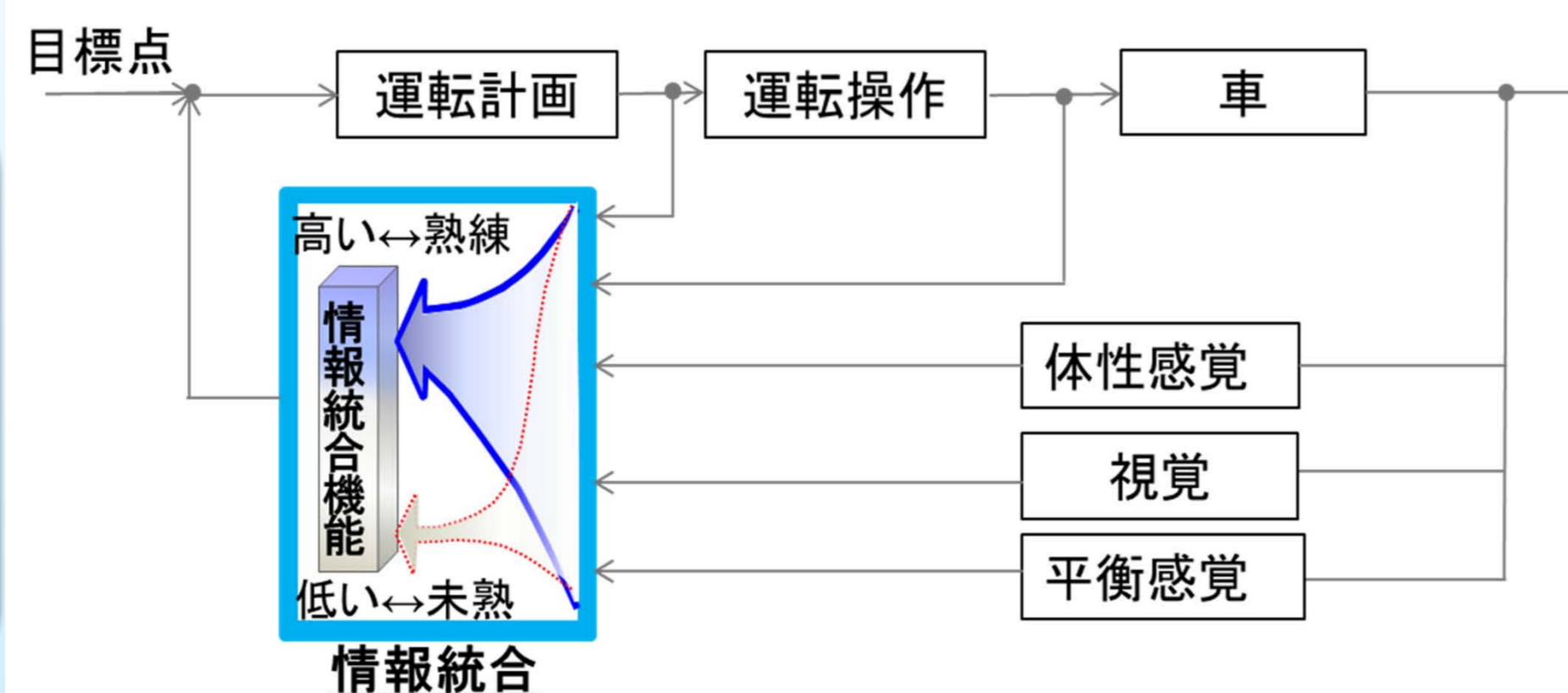


熟練ドライバーグループと定義 未熟ドライバーグループと定義



考察

頭頂連合野(BA7)は情報統合に関わっているため、情報統合状況が運転技量に影響があることが分かった。



まとめ

- ・ DSとfNIRSを用いた新しい実験環境を構築した。
- ・ DS下での運転操作データとfNIRSの同時計測の有用性が示唆された。
- ・ 情報統合に関わる頭頂連合野(BA7)の活性化レベルと運転技量のレベルに関するという仮説の妥当性が示された。
- ・ 脳科学に基づいて生理学的の見地から運転技量差の裏付けを明らかにした。

先進的運転支援システムに関する研究

須田研究室

高速道路の霧対策としての自動運転導入に関する検討

研究背景

- 大分自動車道では、標高の高さから全線にわたって頻りに霧が発生
- 特に濃霧が多発する区間では、30m先が見えないような視界が悪い状態
- 濃霧時の対策
 - 防霧ネットや交通規制
 - (今後)自動運転システム・高度運転支援システム

研究目的

濃霧の視程距離がドライバーにどの程度の影響を与えるか？
濃霧の程度によりシステムがどの程度の支援を行えば良いか？

濃霧時のドライバー運転支援を踏まえ、ドライビングシミュレータ(DS)を用いた濃霧時のドライバー運転特性評価を実施



DSを用いた実験環境

- 研究用ドライビングシミュレータ
 - 運転席から120°の視界をカバーするスクリーン
 - ハンドルは運転者によって操舵された角度を計測し、車両の運動に応じて操舵反力を発生
 - 6軸(前後、左右、上下、各軸周りの回転)の動きを再現するモーション装置
 - 風騒音やエンジン音などの現実に近い音響環境を構築

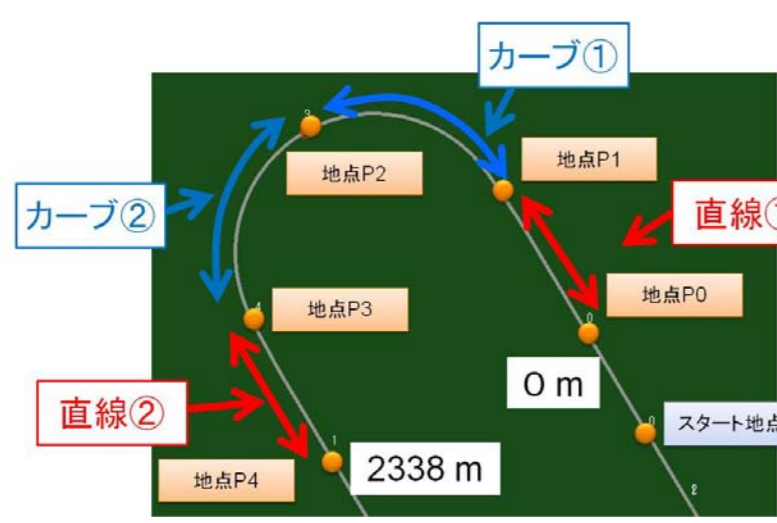
- 道路線形の作成ではGPS(RTK-GPS)の3次元位置情報、現地の輝度値の比率を利用
- きわめて再現性の高い走行環境を実現



DS実験

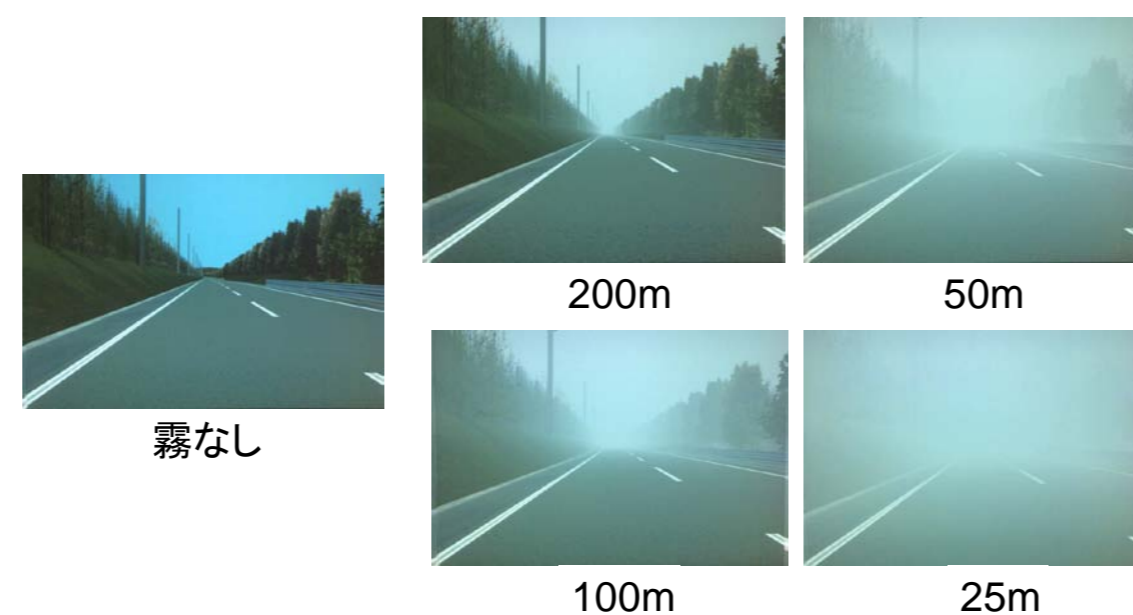
概要

- 被験者:3名
 - 30代 2名
 - 60代 1名
 - 健康な成人かつ自動車免許を保有
- 評価エリア
 - 直線路・カーブ
 - 各エリアは個別に評価
- 計測データは距離で正規化



霧の設定

- 視程距離:25m・50m・100m・200m・霧なし



停止車両の設定

- 停止車両のある・無し
- 霧のある(4基準)・ないとの組み合わせ



まとめ

- 直線路とカーブを走行するドライバーの霧による視程距離の変化に対する運転特性の影響について解析
- 視程距離変化時における直線路を走行するドライバーの停止車両に対する運転特性について解析

- DSを利用した被験者実験を実施
 - 50km/hでは通常走行に問題はない
 - 80km/hの走行はドライバーへの負荷が大きい
 - 速度域に限らず、視程距離が100m以下になったときに危険回避が困難

正着制御

研究目的

- エネルギーITSで実現したシステムの正着制御に対する機能検証を実施
 - 大型の実験車両を利用
 - 低速域のゲインを調整
 - 代表的なバス停の形状に対して操舵実験を実施
 - ±3cmを評価基準にして機能評価
- 現状の性能を確認し、今後の課題を整理



ART正着制御の研究開発

現状のバス停



バス停への正着により実現



実験結果

- 車速10km/hから停止(速度はマニュアル)
- バスベイの角度は20度、停止距離20mを想定
- マニュアル運転の操舵量から適切なフィードフォワード量(FF)を求め、制御に利用

停車時の横変差

No	Error [m]
1	0.015
2	0.035
3	-0.035
4	-0.005
5	-0.0055
FF	-0.025
Ave.	0.0009

- エネルギーITSプロジェクトの実験車を利用
- 仮想バス停形状に対する正着に関する制御実験を実施
- 現状の枠組みでも正着制御が実現可能が示される結果

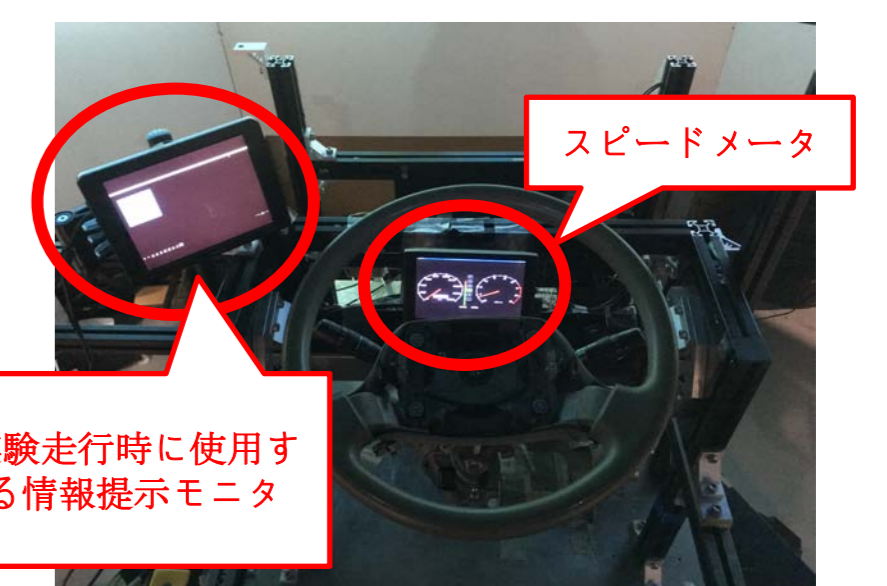
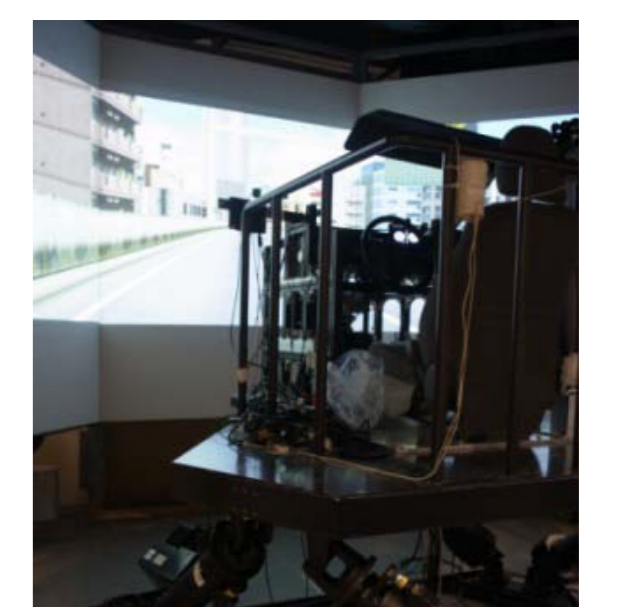
シェアードコントロールによる正着制御システムに関する検討

研究背景

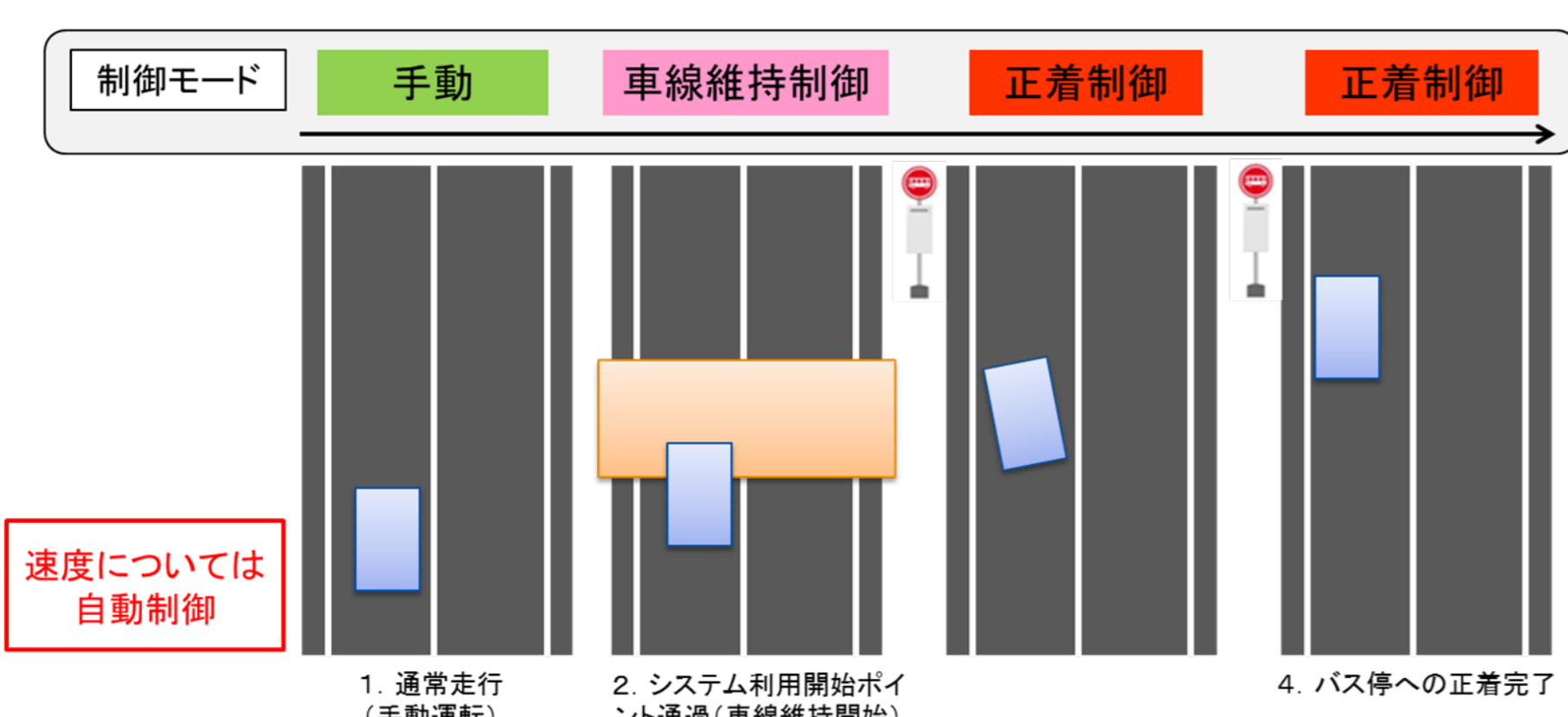
- 次世代交通システム(ART)の成果イメージ
 - 「すべての人に優しく、使いやすい移動手段を提供する」ことが基本理念
 - 段差や幅を最小限に抑えたバス停への正着制御機能により、車いすやベビーカーの方が介助なしで乗降できる使いやすさを実現する
 - 周辺の交通状況をふまえたスムーズな加減速機能により、車内転倒事故防止を図る

研究目的

- ドライバーに受容されるシェアードコントロール
 - 制御システムと運転者のシェアードコントロール時、運転者の意思確認について、運転者の操舵トルクによる判定が考えられる
 - 危険回避時の操舵のオーバーライドを対象とし、運転者が常にステアリングホイールを把持する(ハンドルオン)条件下で、操舵行動(操舵力)を運転者の意思として動作する正着制御システムを提案する
 - ドライビングシミュレータ(DS)を用いて、緊急回避のためのオーバーライド時における本システムの有効性を評価し、本システム利用時の運転者の操舵特性について解析する



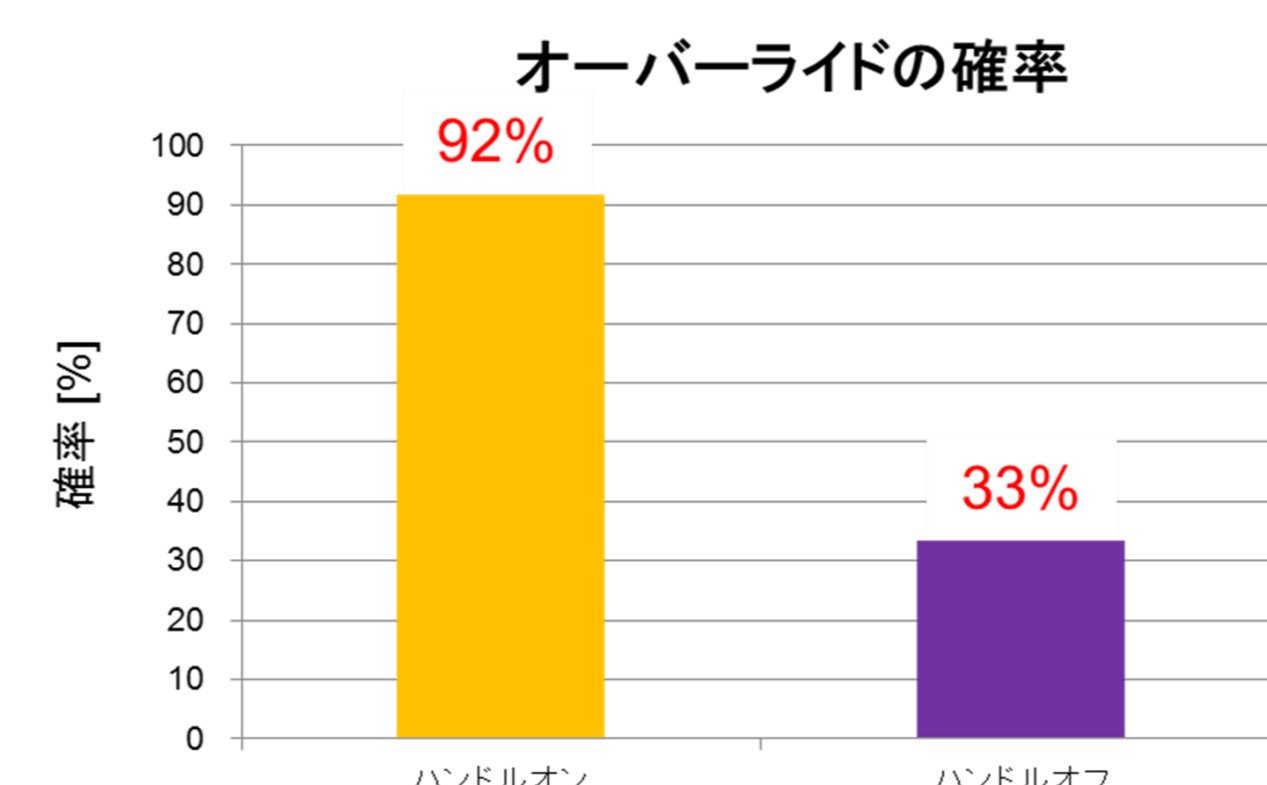
実験シナリオ



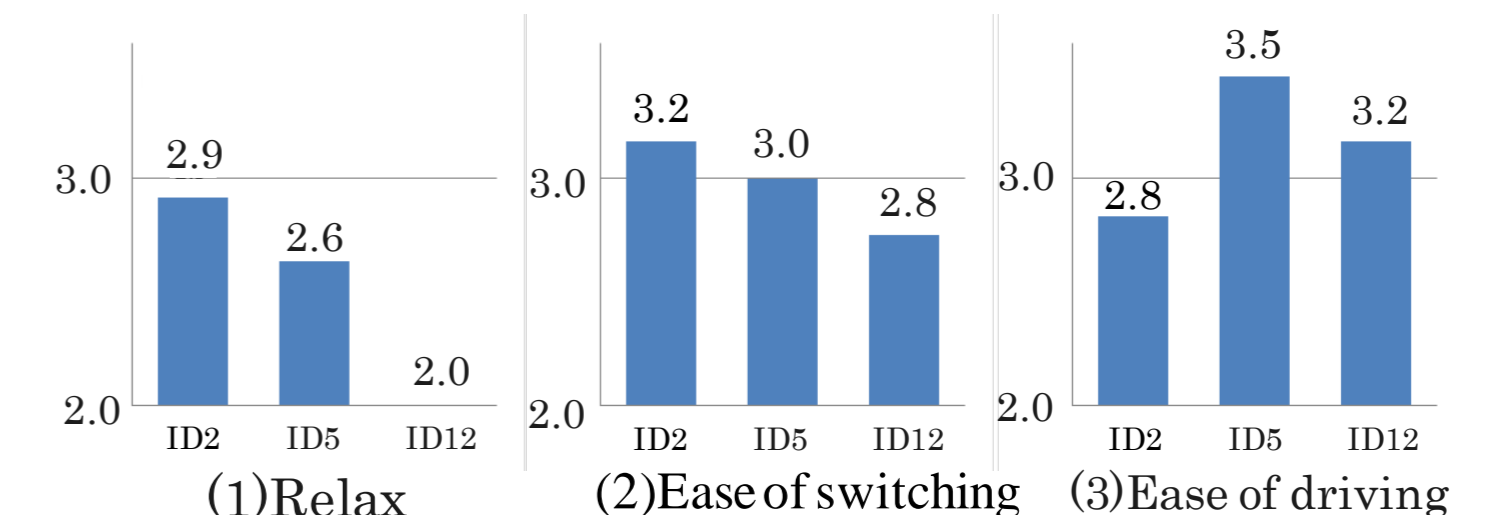
- ドライバーの操舵トルクを入力としたインターフェースの検討
- ハンドルオン・ハンドルオフのオーバーライドに対する評価

実験結果

- オーバーライド
 - TTC(Time-To-Collision)で約3.15secの位置から子供の飛び出しイベントを開始する設定とした
 - 緊急時の対応について
 - ハンドルオンが有効であることが示された
 - ハンドルオフは対応が難しい結果となった



- アンケート
 - ハンドルオン条件(ID2, ID5)、ハンドルオフ条件(ID12)
 - リラックス、切り替えやすさにおいて、ハンドルオンがオフより評価が高いことが分かる



共同研究: 株式会社ジェイテクト

※上記の実験は東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の審査を受けた上で実施

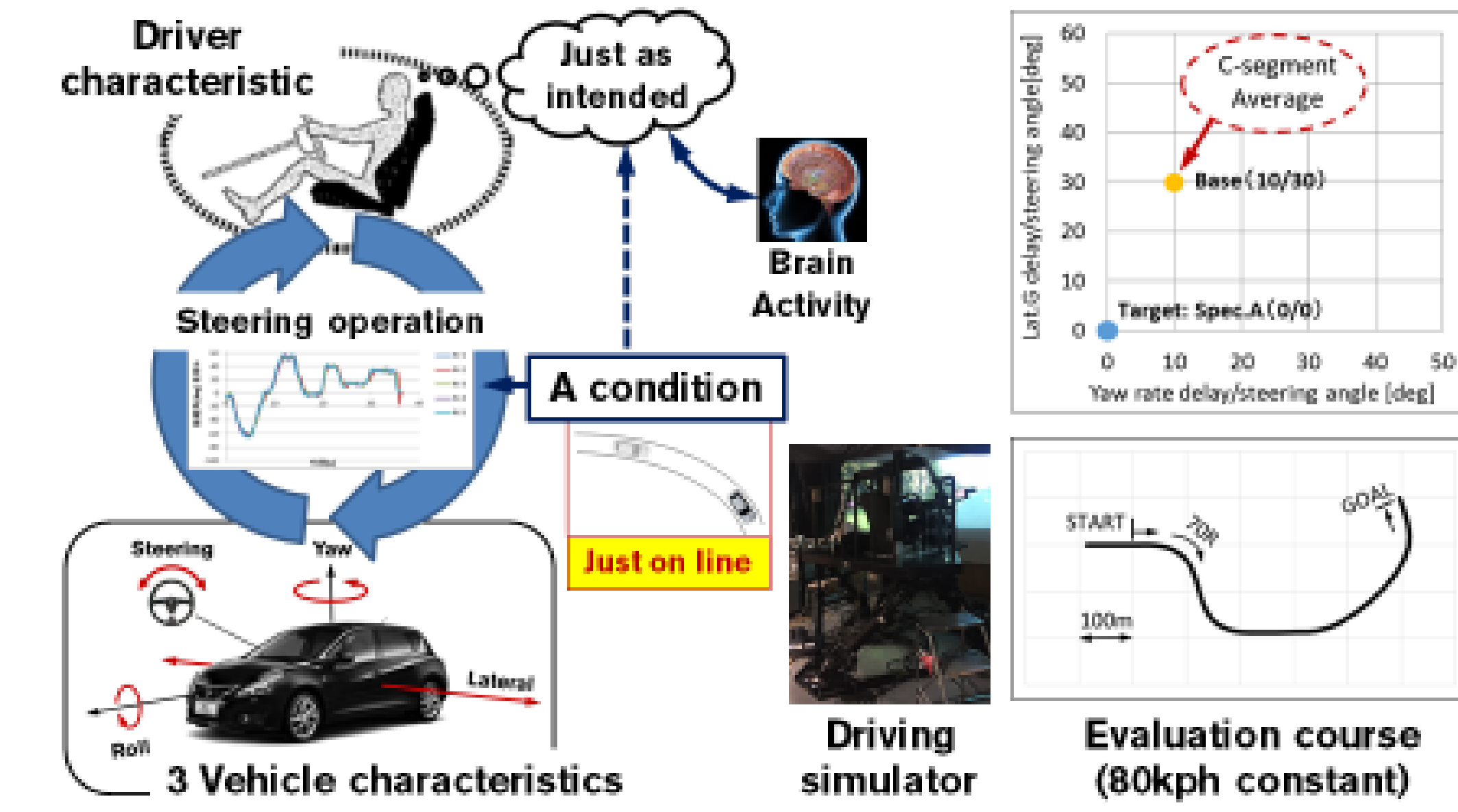
東京大学 生産技術研究所 次世代モビリティ研究センター

意のままの走りを実現する車両運動特性に関する研究

東京大学 須田研究室 / 日産自動車(株) 共同研究

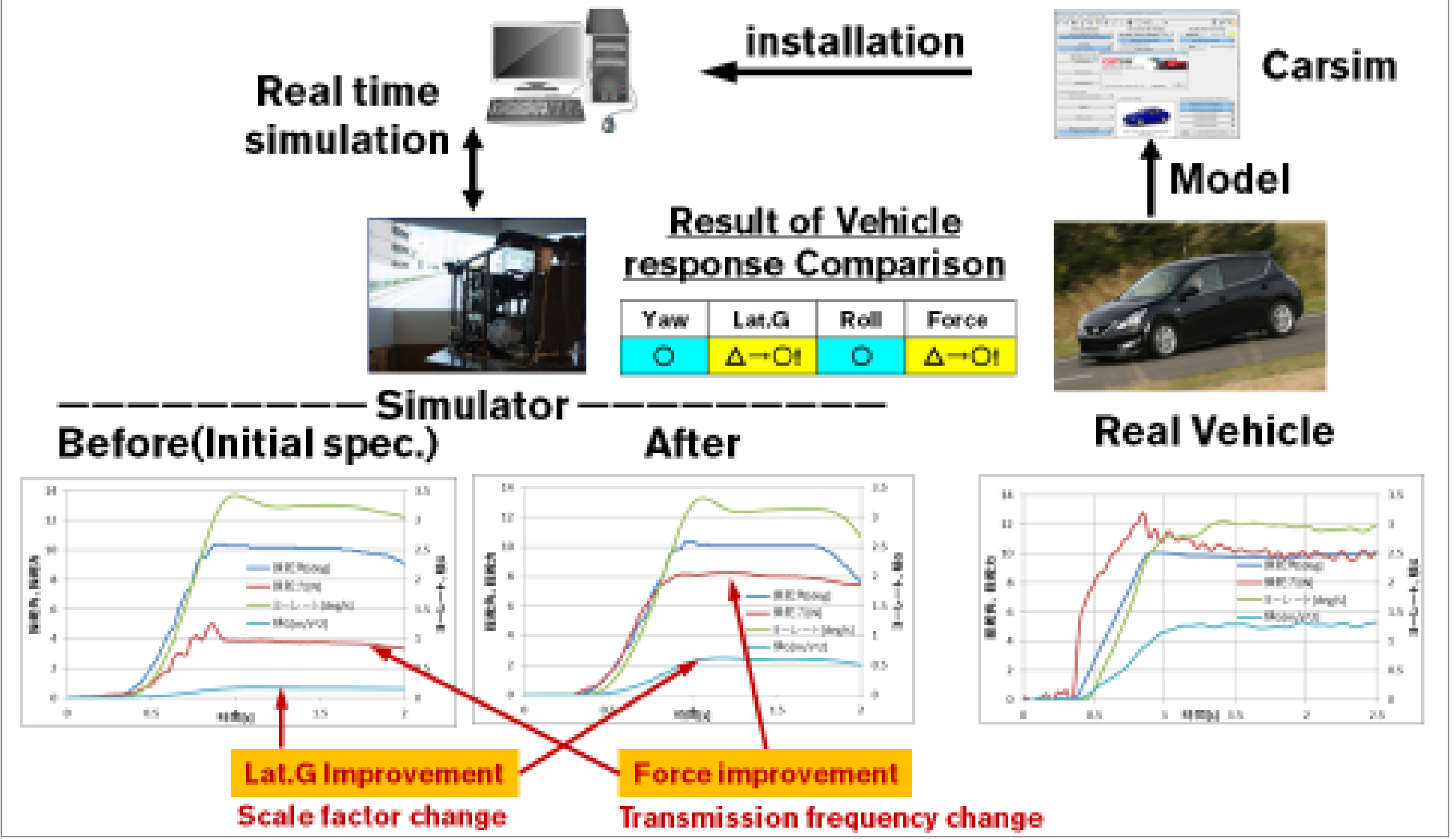
1. 研究の概要

ドライバの操舵特性を解明し、ドライバが「意のまま」と感じるであろう状態の一例「カーブで操舵が一発で決まる」ための車両特性を特定する。また、脳活動計測でその仮説を科学的に裏付ける。目標は操舵に対するヨーレイト/横加速の遅れ「ゼロ」のA仕様と同等レベル。



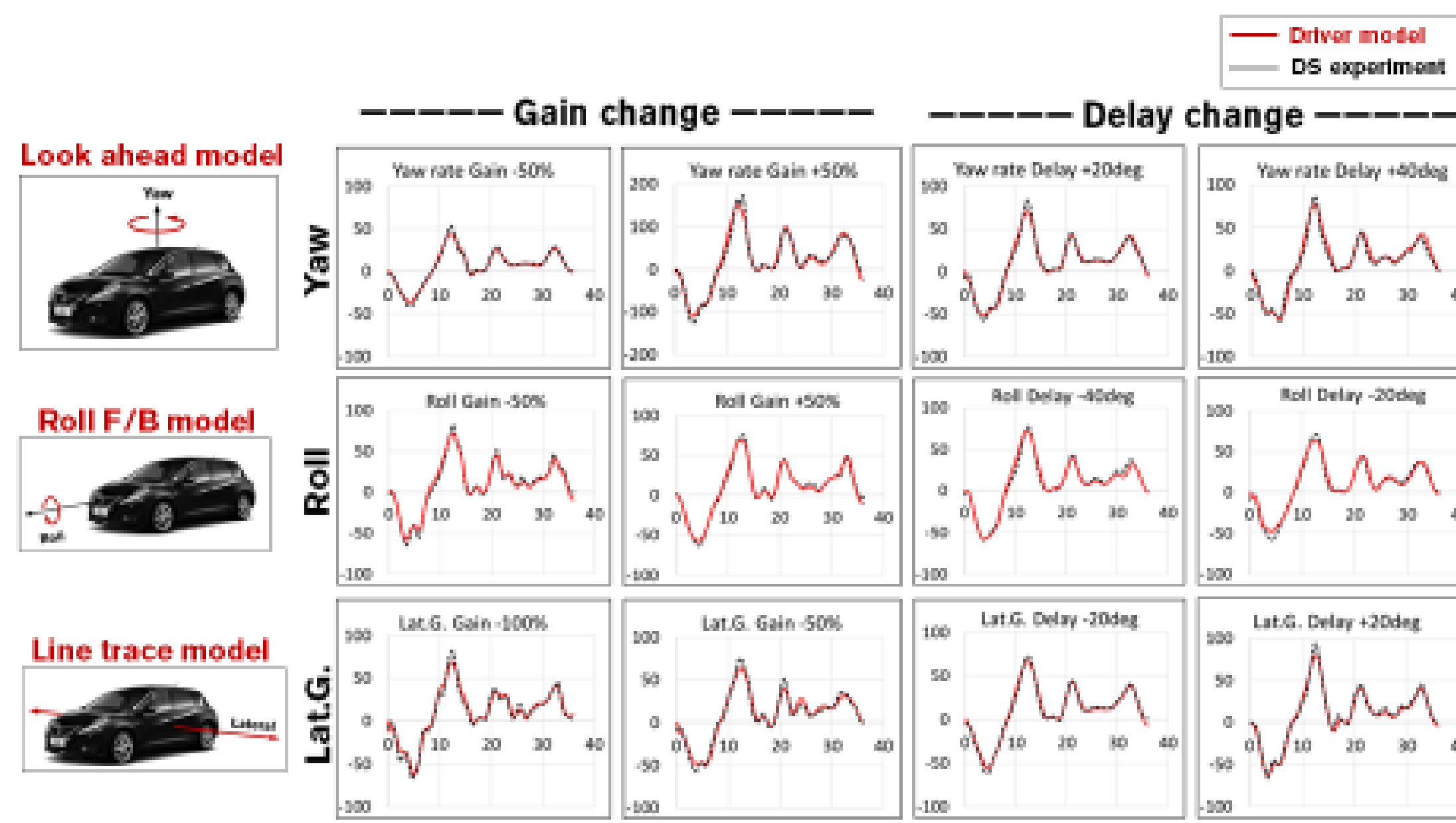
2. ドライビングシミュレータの精度向上

評価コースに合わせたスケールファクタの増加(横G 0.4, ロール 0.8), 操舵力指令データの通信周波数の向上(10→120Hz)によって、実車と非常に近いフィーリングで評価可能なレベルまで、DSの再現性を改善した。



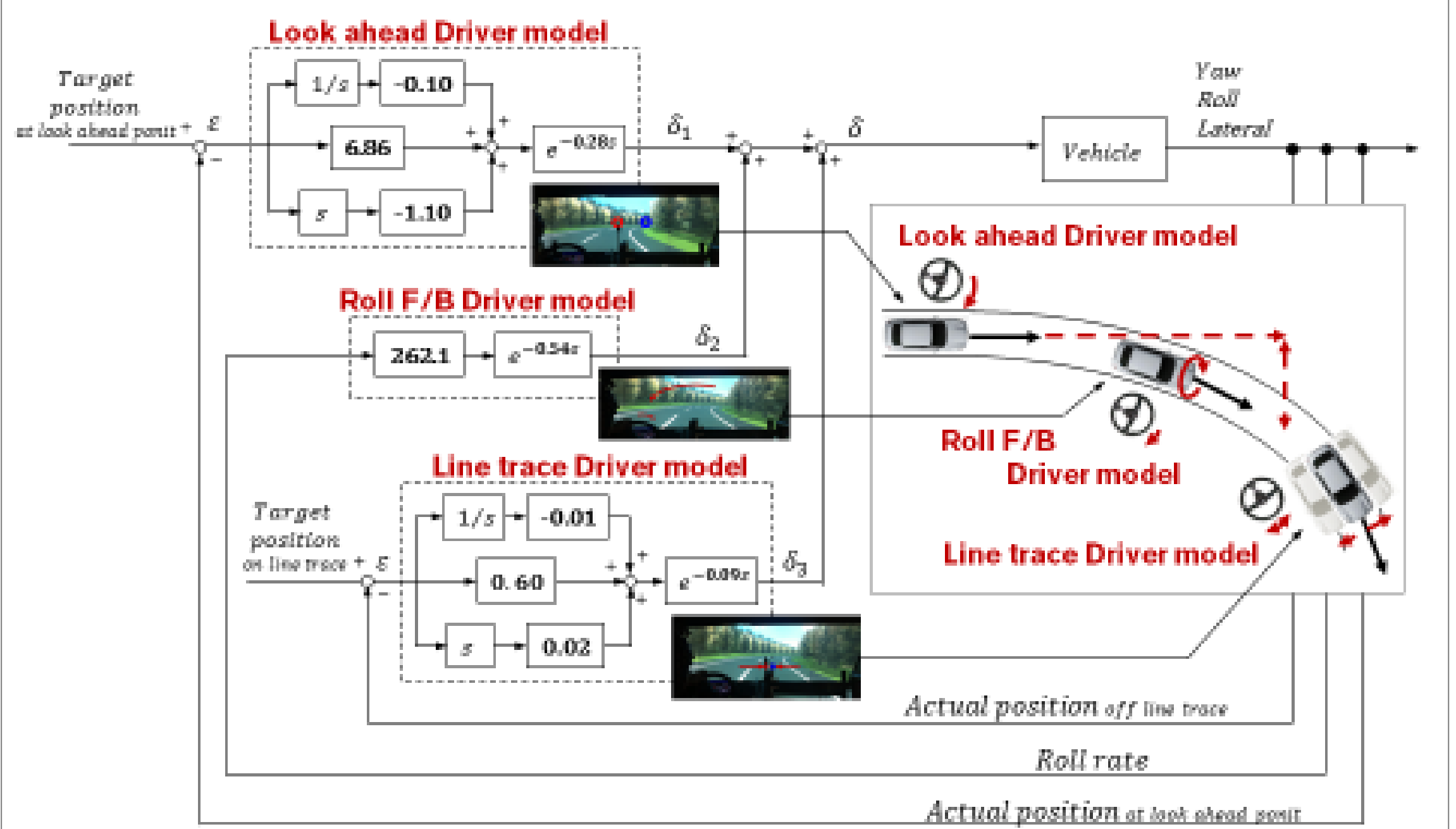
3. ドライバモデルの構築

前方注視点誤差モデル, ロールF/Bモデル, 走行軌跡誤差モデルの, 3つのドライバモデルを適用し, そのパラメータを同定することにより, ヨーレイト, ロール, 横Gの応答特性が異なる車両に対して, 精度良く, ドライバの操舵角を予測できるようにした。



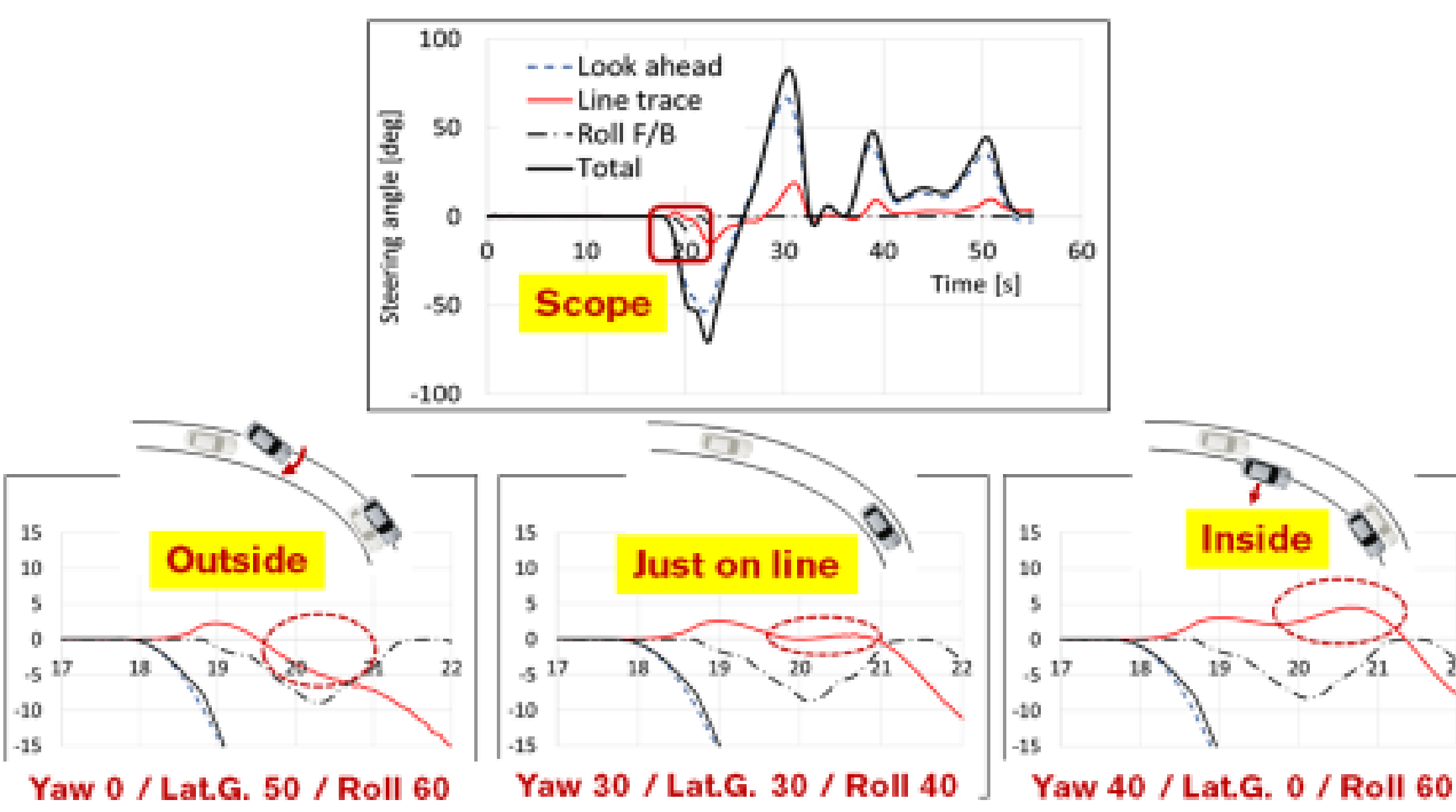
4. 「カーブで操舵が一発で決まる」のための仮説

目標の状態を実現するには, 前方注視点モデル, ロールF/Bモデルによる操舵で, カーブに入った時の車線のズレ, それに伴う走行軌跡モデルによる操舵を発生させないことが必要。



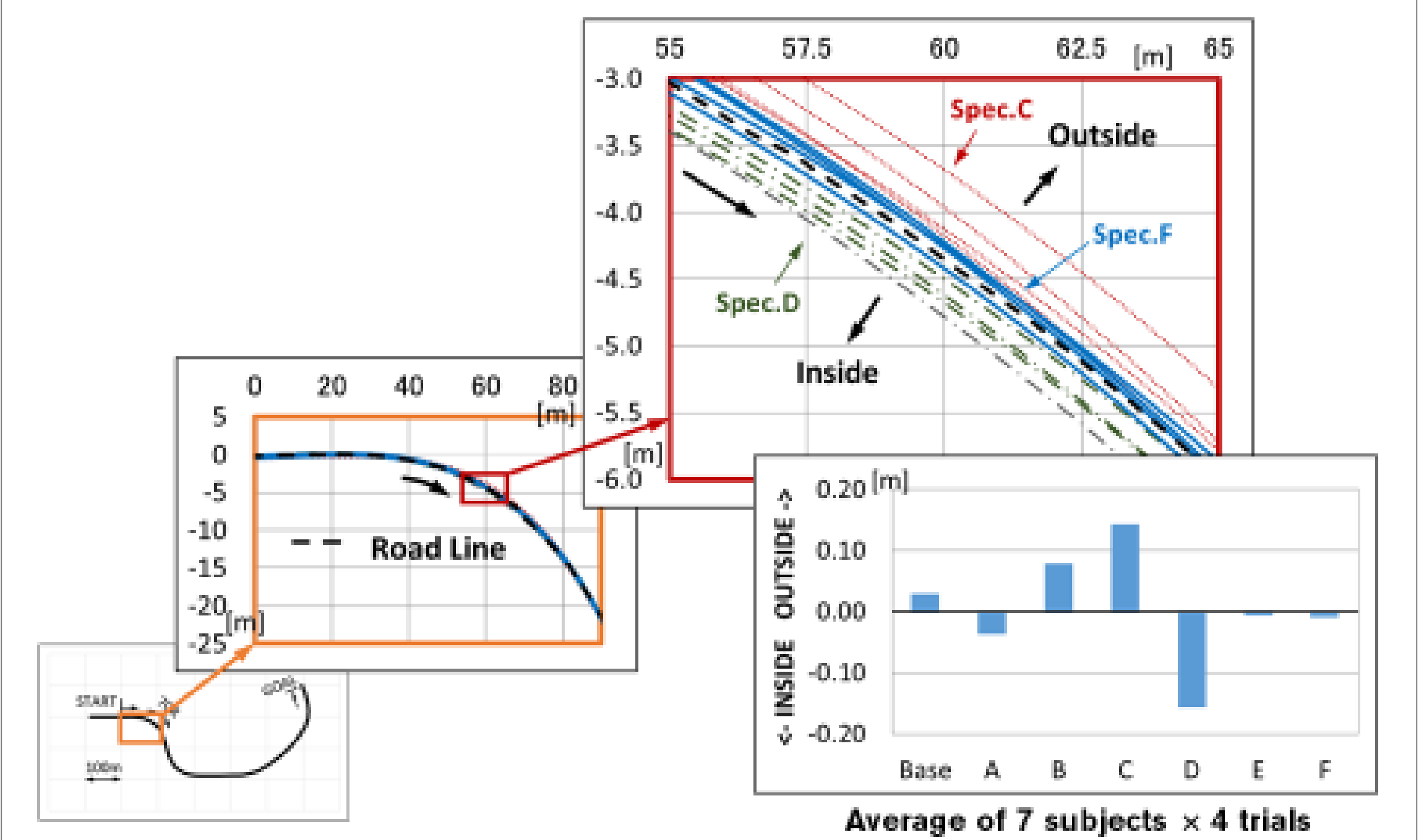
5. 「カーブで操舵が一発で決まる」のための検討

操舵に対するヨー/横G/ロールの遅れを適切に設定することにより, カーブに進入したときの車両の「ズレ」とそれに伴う走行軌跡モデルによる操舵指令を低減することが可能。



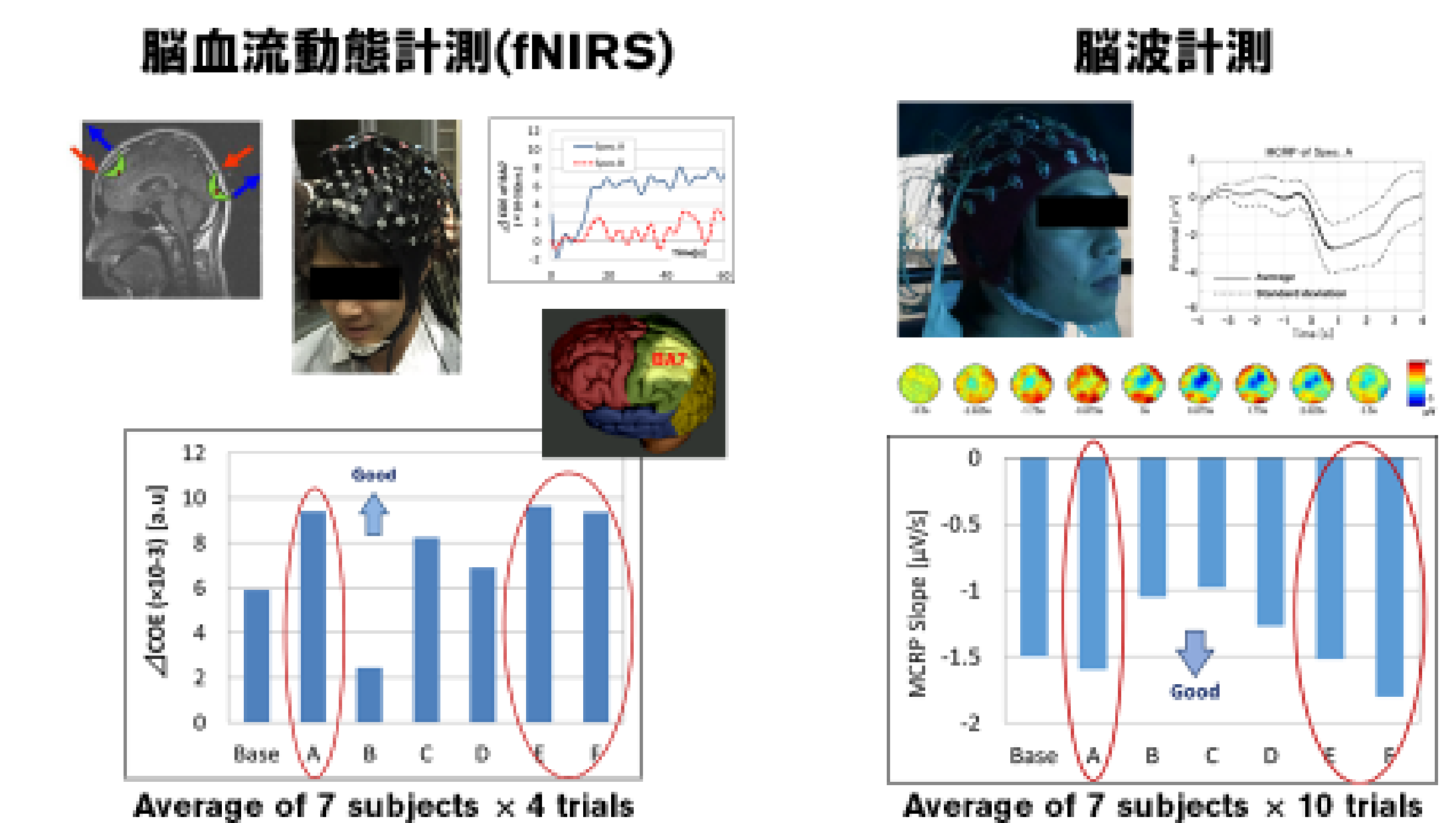
6. ドライビングシミュレータでの検証 (走行軌跡)

仮説通り, F仕様は, 車線中央(黒破線)を正確に走行できていることが確認された。



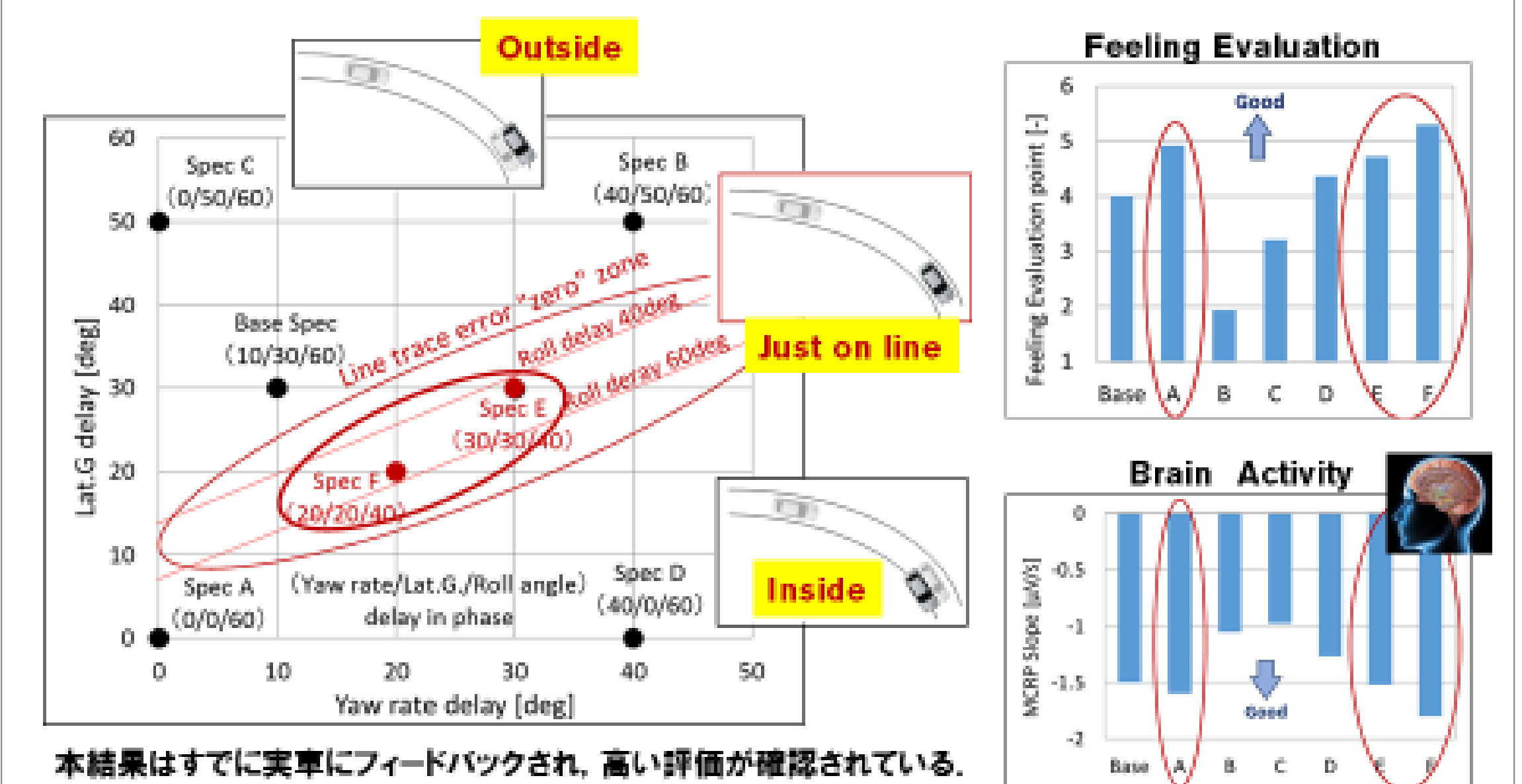
7. ドライビングシミュレータでの検証 (脳活動計測)

空間分解能に優れた脳血流動態計測(fNIRS), 時間分解能に優れた脳波計測, 2種類の計測を行い, それぞれの評価指標で, E,F仕様は, A仕様と同等の高い評価結果を示した。



8. 結論

操舵に対するヨーレイト/横加速度/ロールの遅れをバランス良く設定することで, ドライバが「意のまま」と感じるであろう状態の一例「カーブで操舵が一発で決まる」を実現した。目標とするA仕様と同等の官能評価レベル, またそれを裏付ける脳計測結果が得られた。



情報板を対象とした脳計測を用いた ドライビングシミュレータの臨場感向上の メカニズムに関する研究

東京大学・須田研究室
株式会社中日本高速道路
株式会社脳の学校
共同研究

Study on the Mechanism of Improvement of Realistic Sensation on Driving Simulator Based on Measurement of Cortical Brain Activity for the Information Board

1. 研究背景・先行研究

ドライビングシミュレータ (DS: Driving Simulator)

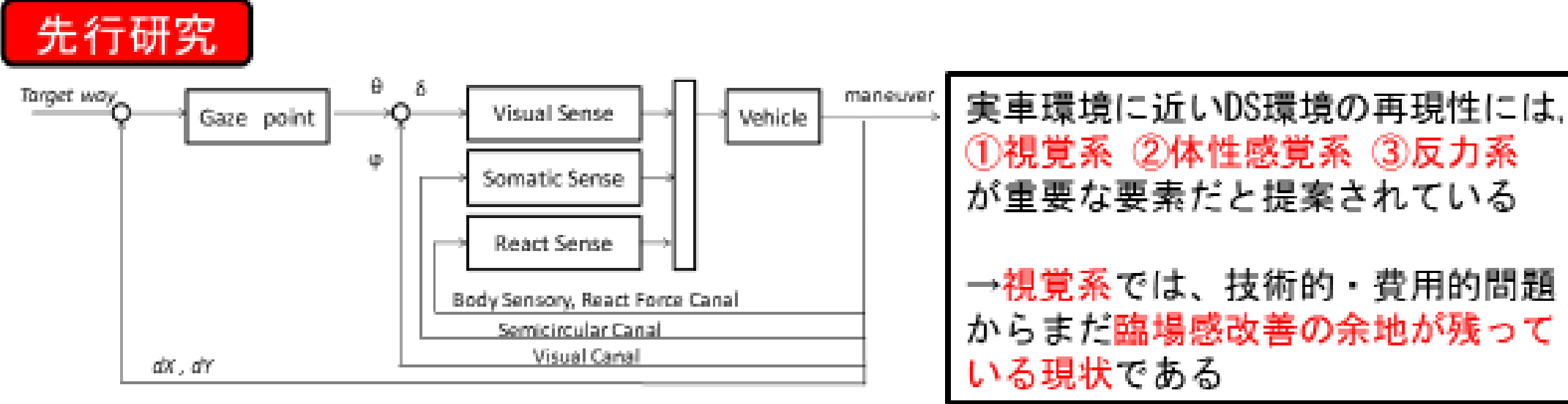
研究分野

- 自動車技術の開発・評価 (ACC・センサーなど)
- ドライバ特性研究 (行動・注意分散・心理分析など)
- 交通安全対策の開発・評価
- HMI (Human Machine Interface) 評価
- システム受容性評価

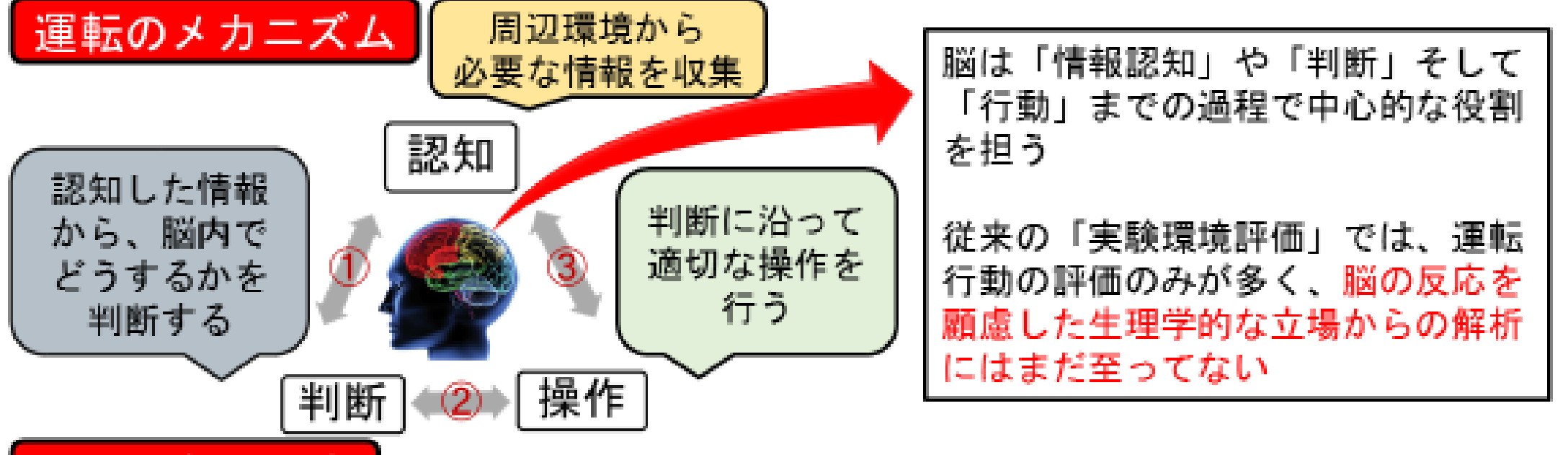
メリット

- 危険事象を安全に取り扱える (安全性)
- 実験条件の変更が容易 (容易性)
- 同じ条件下で繰り返し実験が可能 (再現性)
- 客観的なデータの取得が可能 (客観性)
- 実車実験より比較的安価 (経済性)

実車実験に比べてメリットから既に様々な研究分野で活用されているが、より高度な解析の必要性・幅広い研究分野からの要望などから、**異なる臨場感向上**が求められている



2. 評価手法・対象選定



評価対象の選定

「高速道路における事故原因」

- 前方不注意: 44.2%
- 動静不注意: 23%
- 安全不注意: 11.2%
- ...

→ **ドライバ不注意の事故が9割以上**

評価対象として「情報板」

運転に必要な情報提供だけでなく、ドライバへの注意喚起を起し、事故発生を抑制する目的を持っている。

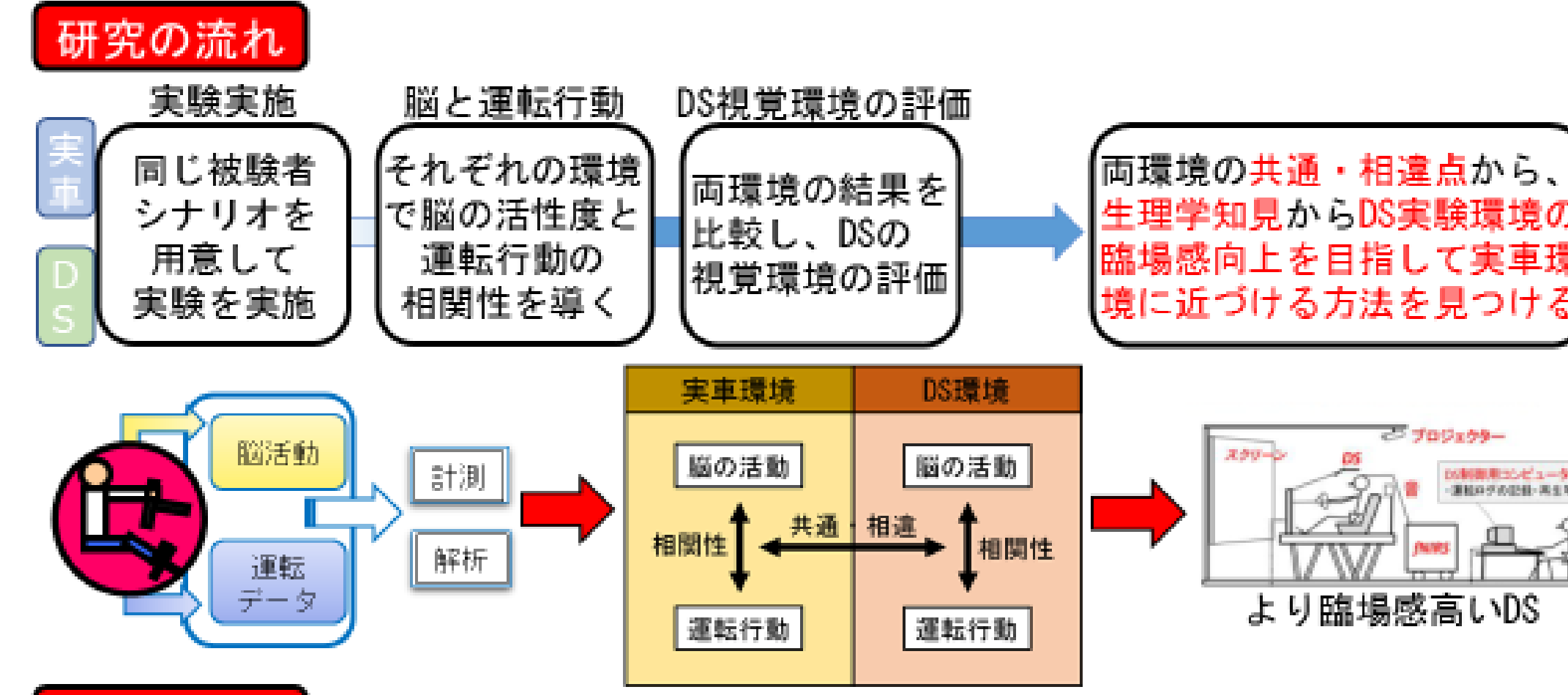
視覚環境の評価のために視覚情報に対して「認知→判断→行動」のパターンが現れる**情報板**を評価対象として選定した。

DS環境の視覚環境評価

情報板からの情報によるドライバの反応を評価するために、従来の**運転行動**に加えて、「**認知・判断**」に対しては**脳活動**から解析を行う。

具体的には、情報板からの情報有無や内容変更による**脳の反応**や**行動の再現性**を評価する。

3. 研究の流れ・目的



研究目的

実車・DS環境でそれぞれ生じる「**情報板の情報提示の有無・内容**」による反応の相違を検出して視覚環境の評価をするために、

- 脳反応・**反応部位の相違と運転操作の相違**を検出
- 実車環境とDS環境において「**運転操作と脳反応の共通・相違点**」を明らかにし、DS視覚環境を実車実験環境に近づける方法の模索

4. 評価設備

①ドライビングシミュレータ

- 6自由度の動揺装置
- 120度をカバーする大画面
- 車両速度やエンジン回転数に応じた音響環境
- 実験条件に合わせたハンドル操舵力をフィードバック
- キャビンの軽量化による車両応答性向上

③視線計測装置

- 軽量でワイヤレス ⇒ 計測負担少
- 実験動画の録画が可能
- 被験者の視線追跡が可能

②機能的近赤外光脳計

fNIRS (functional near-infrared spectroscopy)

- 計測原理: 近赤外光を大脳皮質に入射することで、脳血管内の酸素変化量を測定する装置。酸化ヘモグロビン (OxyHb) と脱酸化ヘモグロビン (DeoxyHb) を計測し、COEが算出できる。
- 評価指標: COE (Cerebral Oxygen Exchange)

$$\Delta COE = \frac{[\Delta DeoxyHb] - [\Delta OxyHb]}{\sqrt{2}}$$

- 計測チャンネル: 計46カ所
- サンプリング間隔: 70ms

FDIRE3000 (島津製作所)

BA番号

ブロードマン領域 (BA: Brodmann Area)

- 一脳の機能による部位を示す名称
- BA6 (運動計画)、BA7 (情報統合)、BA8 (前頭眼野)、BA9 (注意・認知)、BA40 (空間認知)、BA46 (作業記憶)

5. 実験・解析概要



シナリオ

Scenario I: 情報板に情報表示なし
Scenario II: 情報板に渋滞情報表示
Scenario III: 情報板に工事車線規制表示
→ Scenario I を、Scenario II・Scenario III との比較

シナリオ	情報有無	表示内容
Scenario 1	情報無	表示なし
Scenario 2	情報有	渋滞中
Scenario 3	情報有	工事車線規制

解析概要

各評価パラメータに対して、paired-Ttestを実施して有意差を検出する統計解析 (p<0.05)

パラメータ	脳計測	運転行動
COE 変化量	速度 (kph)	操舵角 (deg)
		アクセル (%)
		ブレーキ

6. 視覚環境の臨場感改善

現地の光環境に関わる要素である照度と輝度の測定を行い、DS環境でCG再現する際に反映することで、DS視覚環境の臨場感の向上を図った

	出発地点	情報板	終了地点
実車実験環境			
シミュレータ実験環境			

現地の空の値を基準として、計測した各地点の比率を同じくして再現した

	実車環境 (cd/m ²)	比率	DS環境 (cd/m ²)
白線	3260	0.70	74.6
道路	1170	0.31	32.6
情報板	370	0.25	26.4
騒音塀	1780	0.36	38.2
空	4220	1.00	106

実車環境と同じ比率で再現

7. 実験の解析 (脳計測・運転行動)

SCENE1 (情報無) vs SCENE2 (渋滞)

脳計測結果

Scene1 vs Scene2

- 脳解析では、ch38 (BA7) と ch18 (BA9) が有意差を認めた
- 運転行動の解析では、有意差が認められた地点はなかった

SCENE1 (情報無) vs SCENE3 (工事)

脳計測結果

Scene1 vs Scene3

- 脳解析では、ch44 (BA7) が有意差を認めた
- 運転行動の解析では、速度とアクセルで有意差を認めた

結論

- 有意差を見せた脳部位が「**情報認知 (BA7)**」「**注意・判断 (BA9)**」機能を担当していることを考えると、ドライバが**情報有無や内容変化の影響で脳が活性化される部位の違いの可能性**が示唆された

8. まとめ

- ✓ 高速道路走行環境において、**情報板からの情報提供がドライバに与える影響を検証**する実験を行った。
- ✓ 視覚環境における**臨場感改善**として、現地の光環境に関わる要素 (輝度・照度) の測定を行い、**DS実験コースのCG再現**を図った。
- ✓ 運転行動解析では、Scenario1とScenario2の間では大きな有意差は検出されなかった。Scenario1とScenario3の間では、**速度と加速度で有意差が検出**された。
- ✓ 脳計測の解析では、情報板の前で各シナリオ間の比較で**有意差が見られたこと**から、**情報有無や内容によって異なる脳部位が反応している可能性が高い**ことが示唆された。
- ✓ 異なる正確なデータの解析のために、**視線計測装置から取得した映像と計測データの分析**を行うことで、**目線と脳反応との関係**を調べると共に、**DS実験のデータも同様**に解析を行う予定である。

現段階での成果

実車実験環境の「**情報板への注意喚起情報の提示**」の各シナリオ間、

- 運転操作の相違を検出
- 脳の反応・反応部位の相違を検出