

自動運転ロボットを活用した RDE試験運用の可能性追求

環境研究部 主席研究員 奥井 伸宜

1. 背景 & 目的

2. 運転ロボット

3. 実験装置

4. テストコースを用いた走行試験

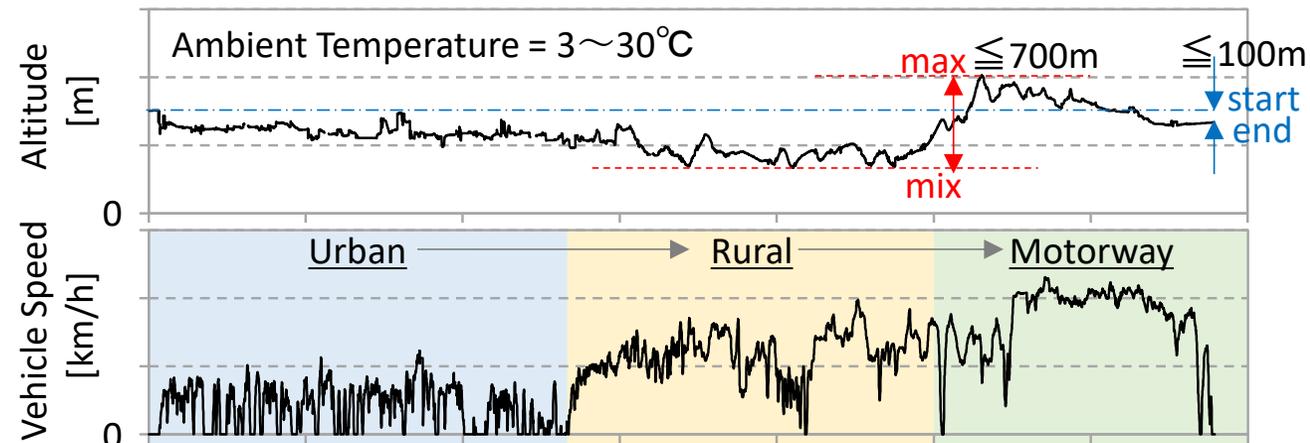
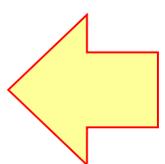
- WLTC mode
- RDE mode

5. まとめ

【背景】 RDE (Real Driving Emissions) 試験

➤ 小型の排出ガス分析装置 (PEMS) を車載し、実路走行時の排出ガスをリアルタイムに計測

- ・欧州 (2018年～) … ディーゼル乗用車 : NO_x、直噴ガソリン乗用車 : PNが規制対象
- ・日本 (2022年～) … ディーゼル乗用車 : NO_x



| | Time | ← 90~120min → | |
|----|----------|--------------------|----------------------------|
| EU | Speed | 0~60km/h | 60~90km/h 90~145km/h |
| | Distance | ≥16km | ≥16km ≥16km |
| | Ratio | 34% (+10%, min29%) | 33% (±10%) 33% (±10%) |
| JP | Speed | 0~60km/h | 60km/h ~ |
| | Ratio | 55% (±10%) | 45% (±10%) |

PEMS : Portable Emissions Measurement System

【背景】 RDE (Real Driving Emissions) 試験

- 日本におけるRDE試験 (TRIAS_31-J119-012)
 - …試験は道路又は試験路 (テストコース) において行う

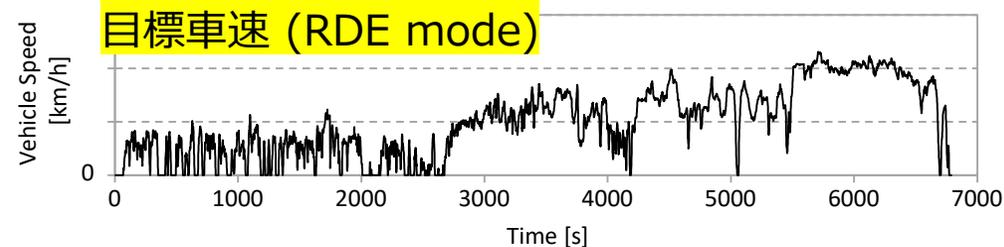
◆ 車両外へのPEMS搭載
⇒ 困難 (法律上)



◆ 型式認証取得前車両の公道走行
⇒ 困難 (法律上)



試験路 (テストコース)



目標車速に
追従した運転を
行う

(input)



【背景】 テストコースを用いたRDE試験

➤ 人間による運転

【1人対応】



- 運転 (試験) → 不安全
- 目標車速の追従性 → 不安定



【規定要件】 … TRIAS 31-J119-01
 ※ トランスの逸脱は避けるものとする
 ※ 長時間の逸脱で無効とする

【2人対応】

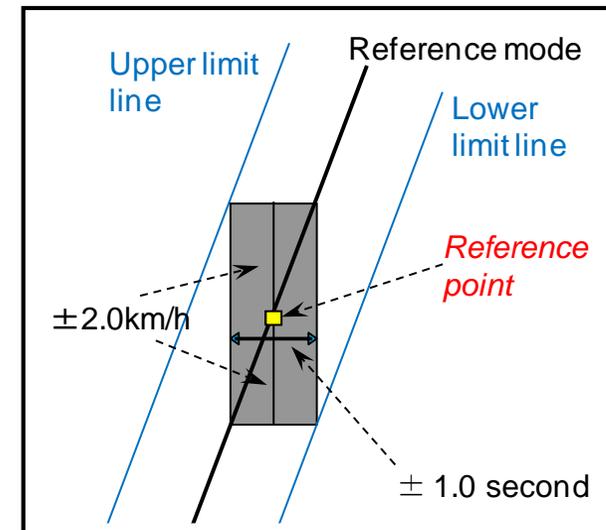


極度な緊張と集中力が求められる (min.1.5時間)

許容範囲：定性的

…シャシダイ試験に比べ、
 テストコース走行時の
 規定要件は緩い

➤ シャシダイ試験法

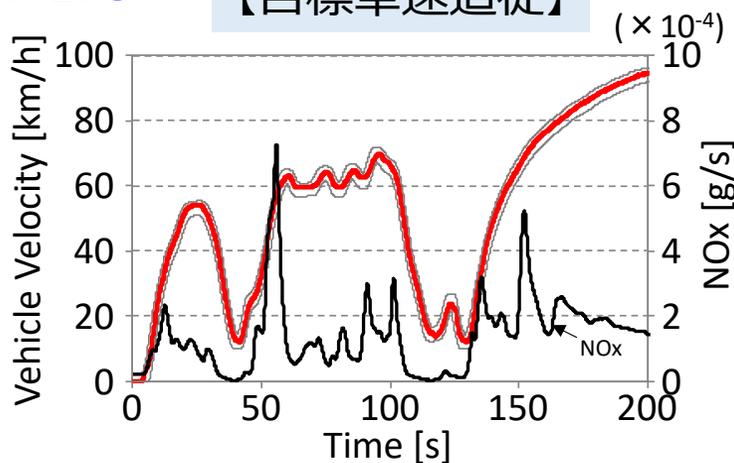


| 試験モード | 規定要件 (許容範囲からの逸脱) | |
|-----------------|---------------------|--------------|
| | JC08 (1204s) | 逸脱1回あたりの許容時間 |
| | 許容時間 (合計) | 2秒以内 |
| WLTP (1800s) | 逸脱1回あたりの許容時間 | 1秒以内 |
| | 許容回数 (合計) | 10回以内 |

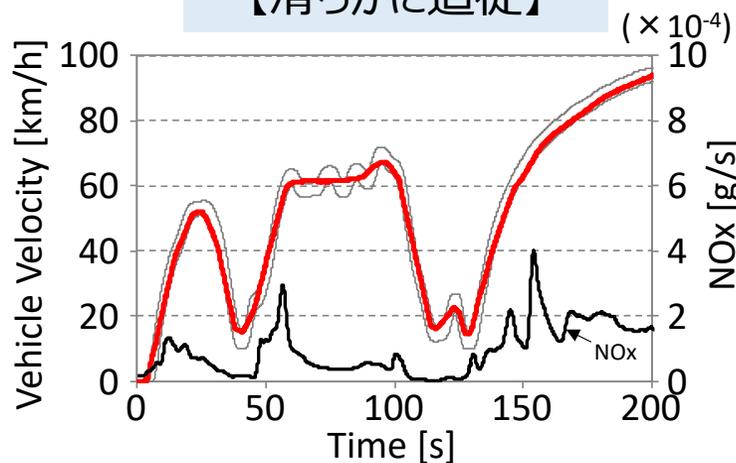
【背景 & 目的】 規定要件が緩いと...

《WLTC》

【目標車速追従】



【滑らかに追従】



| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Vehicle Weight [kg] (Unloaded) | 1,130 |
| Body Size [m] | L:4.06/W:1.70/H:1.53 |
| Power Unit | Diesel (1.5L/Turbo) |
| Transmission | 6 AT |
| Drive Line | FF |
| Emission Device | EGR, DOC, DPF |

滑らかに追従した場合 (vs. 目標車速追従)

- ・燃費 : 6.7% 改善
- ・排出ガス(NOx) : 29.3% 改善

規定要件が厳格でないと、公平な評価とは言えない

テストコースを用いたRDE試験に求めること

- ・安全な走行試験を行う
- ・公平な評価を行う → 目標車速の正確な追従

目的

これらの達成に...

運転ロボットを活用する

- ・ペダル操作 : ロボット
- ・ハンドル操作 : 人間

【実施①】ロボット製作

【実施②】評価/検証

1. 背景 & 目的

2. 運転ロボット

3. 実験装置

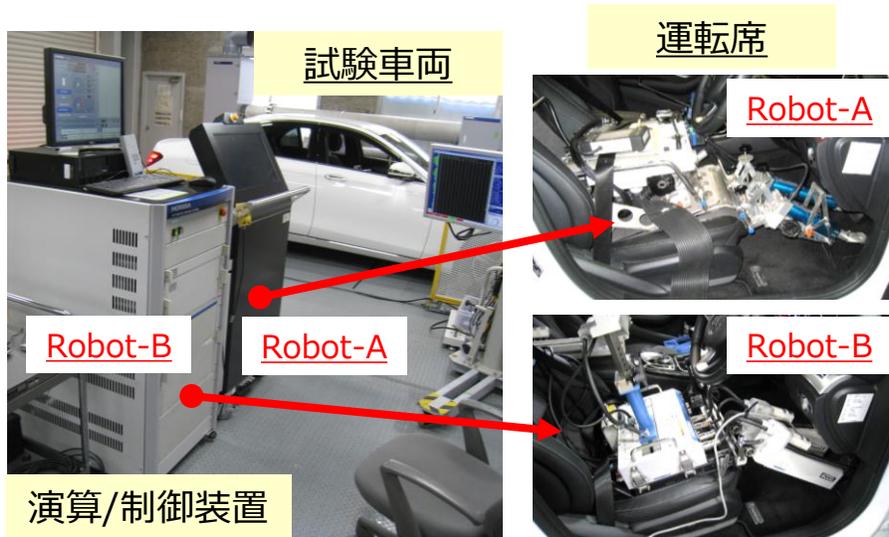
4. テストコースを用いた走行試験

- WLTC mode
- RDE mode

5. まとめ

【運転ロボット】 市販の運転ロボット：シャシダイ試験用途

【Hardware】 運転ロボット



【演算/制御装置】

- ・サイズ：大型
- ・供給電源：高電圧



【RDE対応】困難
車両へ搭載できない

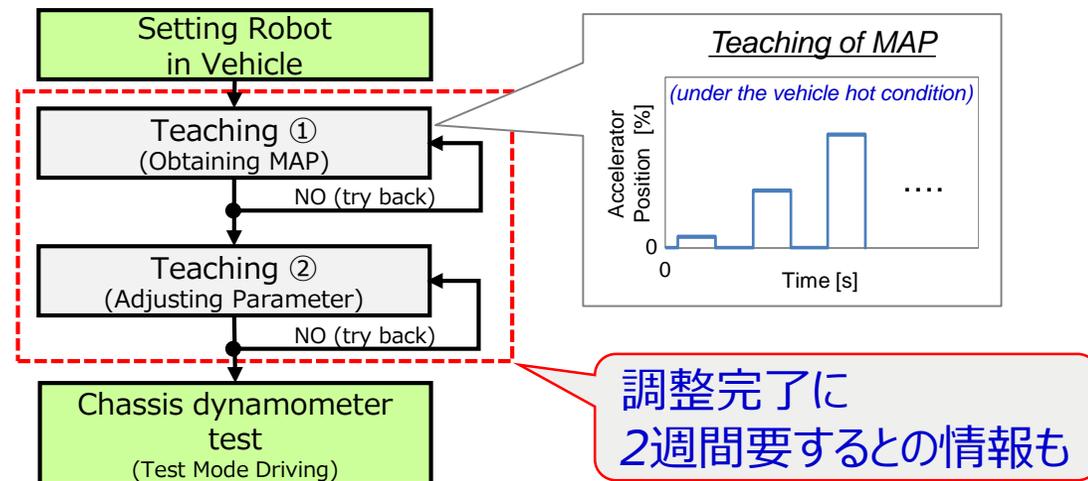
【ロボット】

- ・サイズ：大型
- ・搭載：運転席を占有



【RDE対応】困難
運転席に座れない

【Software】 学習（ティーチング）



【学習（ティーチング）】

- ・特性マップ：要取得（急加速も必要）
- ・モデル内の係数：要調整



【RDE対応】困難
テストコース走行時、ティーチングができない

【運転ロボット】 自作の運転ロボット：RDE対応

【Hardware】 運転ロボット



・サイズ：小型

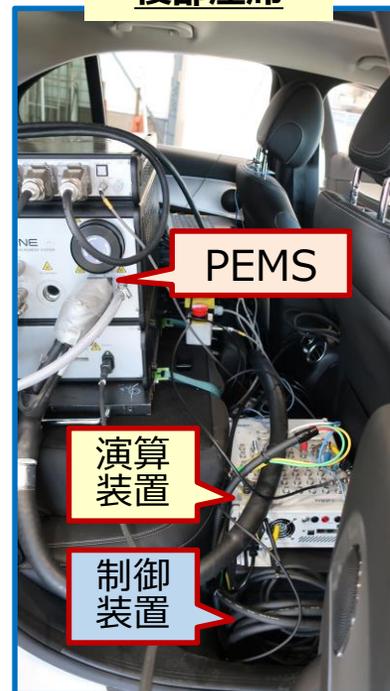
(例) 機器重量

- ・市販品：200kg
 - ・自作品：20kg
- 低減：1/10倍

車両搭載 & 設置

・供給電源
：100V

後部座席



運転席



【RDE対応】OK
車両の搭載可能

【RDE対応】OK
運転席へ着席可能

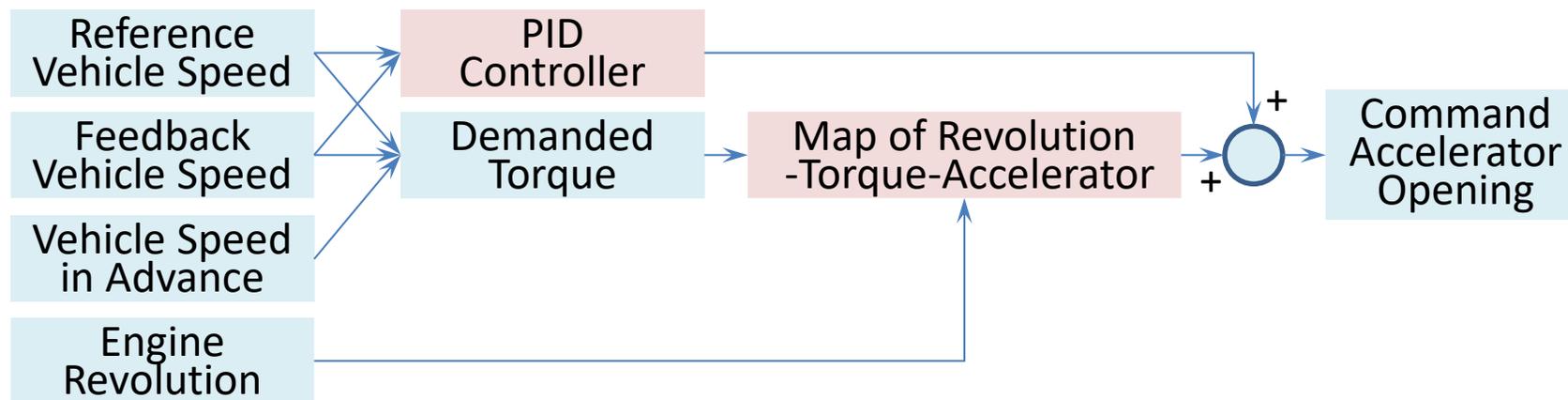
【運転ロボット】 自作の運転ロボット：RDE対応

【Software】 制御ロジック

◆ 市販品の制御ロジック

→ 【車両特性マップ】
& 【PID制御項】の設定

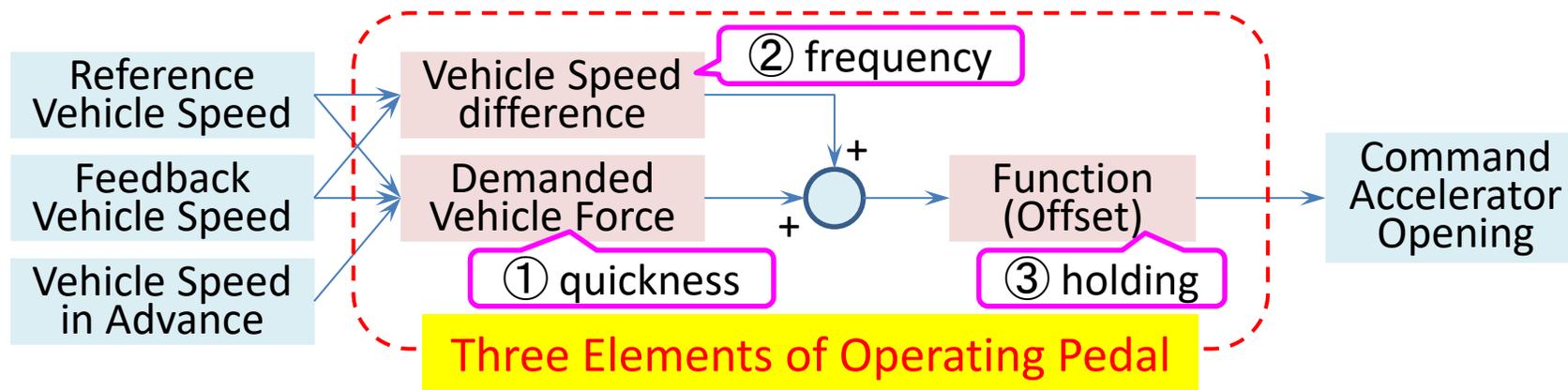
→ 学習(ティーチング)が必要



◆ 自作の制御ロジック

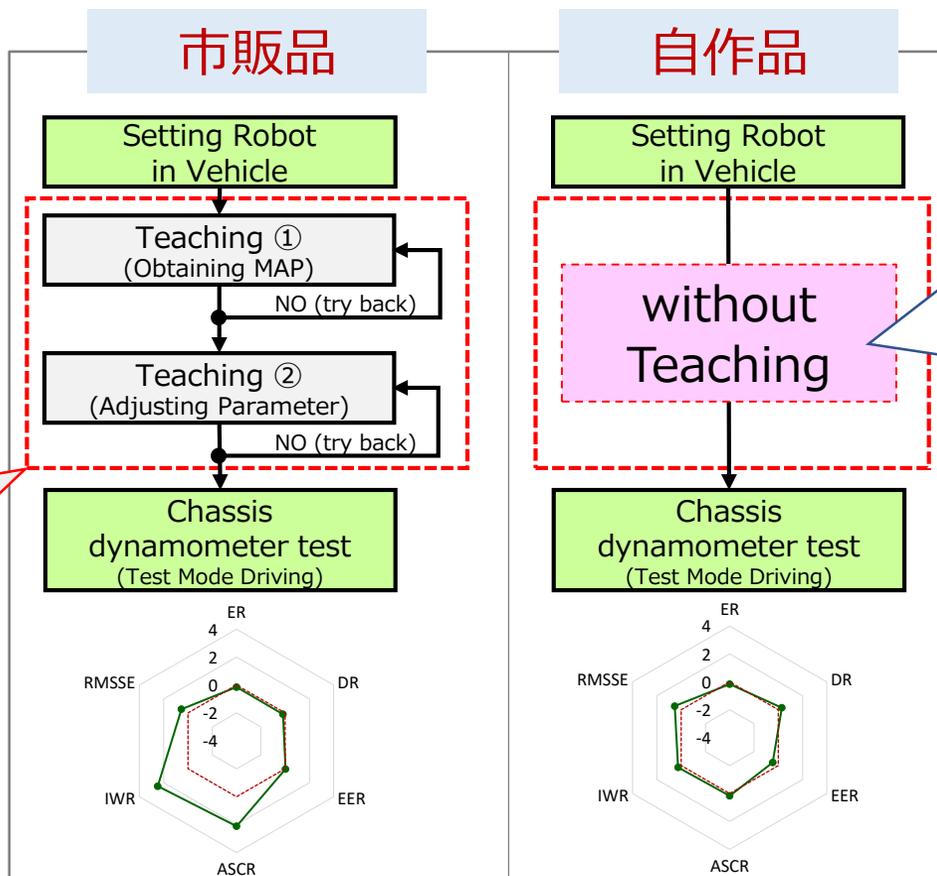
→ 【車両特性マップ】
& 【PID制御項】の廃止

→ 人間の運転挙動を再現



【運転ロボット】 自作の運転ロボット：RDE対応

【Software】 制御ロジック



調整時間
2週間?

Driving Index

WLTC_cold ER

RMSSE DR EER ASCR IWR

| | |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Vehicle Weight [kg] (Unloaded) | 1,440 |
| Body Size [m] (L/W/H) | 4.54/1.84/1.705 |
| Power Unit | 【Gasoline】 Gasoline (2.0L/DI-N.A.) |
| Transmission | 6AT |
| Drive Line | FF |

Factor "a" = Small Value

Factor "a" = Large Value

$$acc = \left[\frac{F + V_{fb} (1 - k_1 k_2)}{k_2 (k_1 - V_{ref})} + (V_{ref} - V_{fb}) \times a \times k_3 \right]$$

【RDE対応】 OK
ティーチングが不要

係数"a"を追加
…運転挙動を任意に変更可能

1. 背景 & 目的

2. 運転ロボット

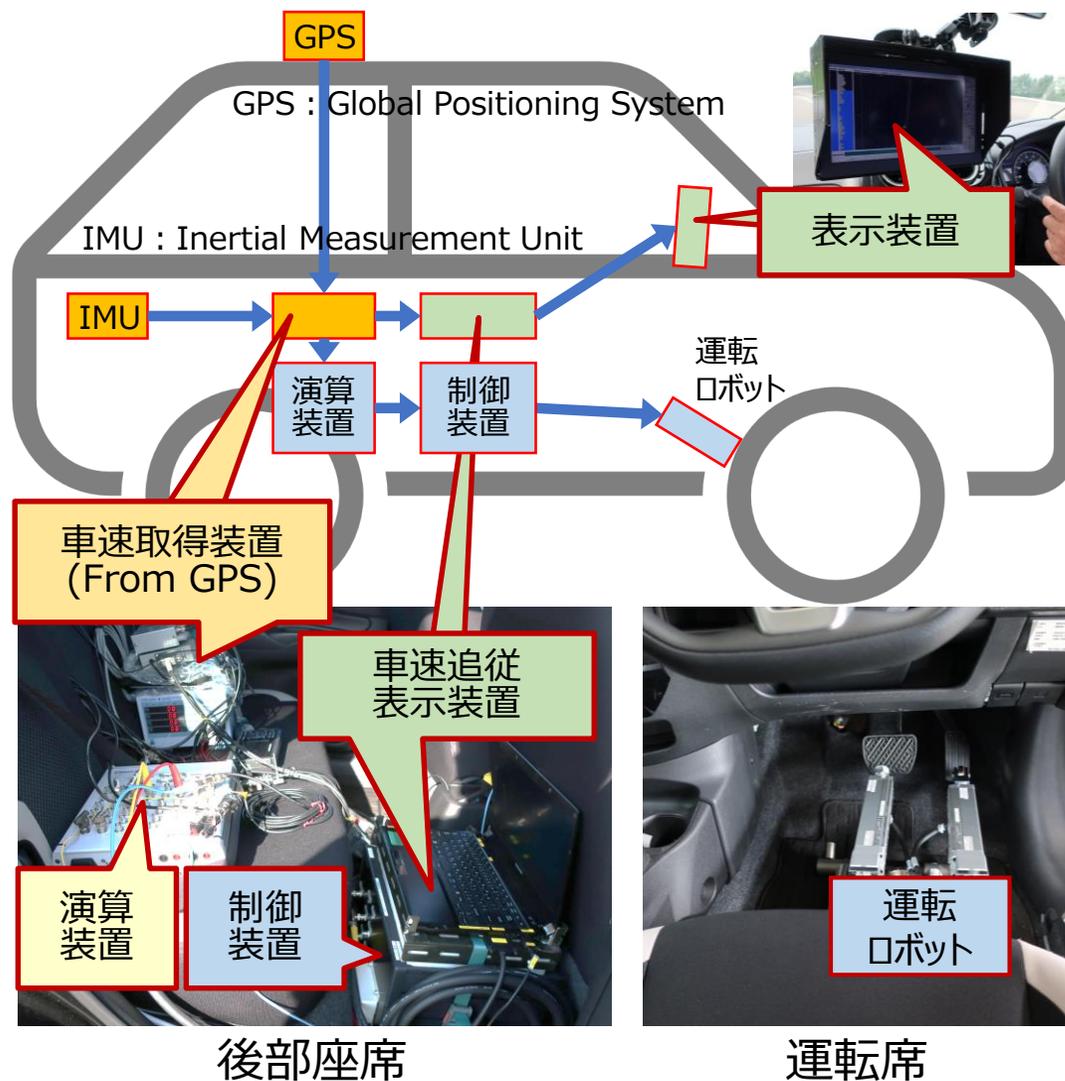
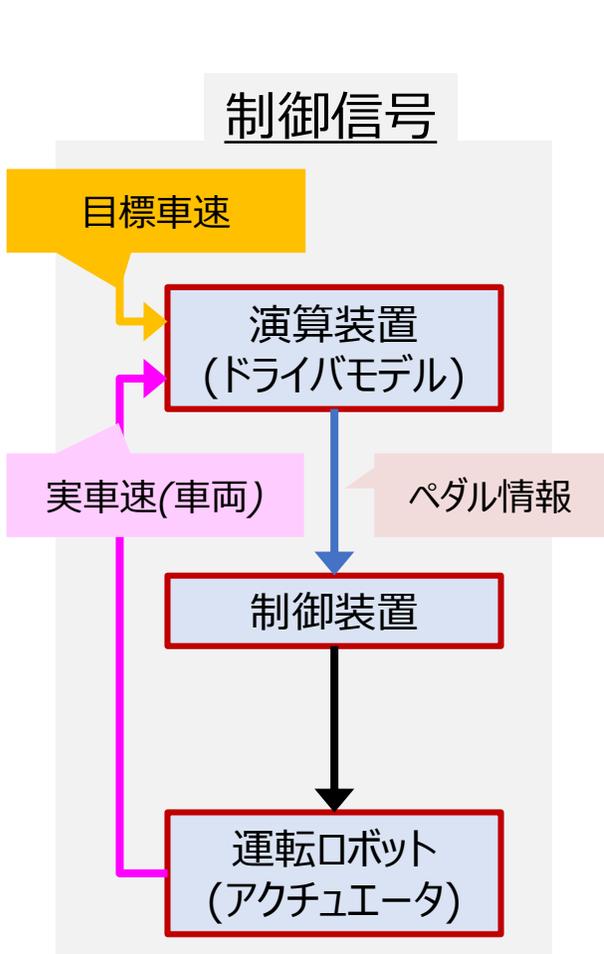
3. 実験装置

4. テストコースを用いた走行試験

- ・ WLTC mode
- ・ RDE mode

5. まとめ

【実験装置】 運転ロボット， 車速取得及び表示装置



- ⇒
- ・ペダル操作 : ロボット
 - ・ハンドル操作 : 人間

【実験装置】 供試車両

【供試車両-A】

ガソリンエンジン車



Product year : 2015

| | |
|----------------------------|---|
| Engine | In-line 4-cylinder / Direct injection / N.A. |
| Displacement, Max.Power | 2.0 L / 114 kW |
| Fuel | Gasoline |
| Powertrain | 6 AT (Idling Stop), 2WD |
| Aftertreatment System | Three-way catalyst, EGR |

【供試車両-B】

ハイブリッド車（シリーズ方式）



Product year : 2018

| | |
|----------------------------|---|
| Engine | In-line 3-cylinder / Port injection / N.A. |
| Displacement, Max.Power | 1.2 L / 58 kW |
| Fuel | Gasoline |
| Powertrain | Hybrid (Series Type), 2WD |
| Aftertreatment System | Three-way catalyst, EGR |

【供試車両-C】

ディーゼルエンジン車



Product year : 2017

| | |
|----------------------------|--|
| Engine | In-line 4-cylinder / Direct Injection / Turbo |
| Displacement, Max.Power | 2.0 L / 143 kW |
| Fuel | Diesel |
| Powertrain | 9AT / FR (2WD) |
| Aftertreatment System | EGR, DPF, SCR, DOC |

1. 背景 & 目的

2. 運転ロボット

3. 実験装置

4. テストコースを用いた走行試験

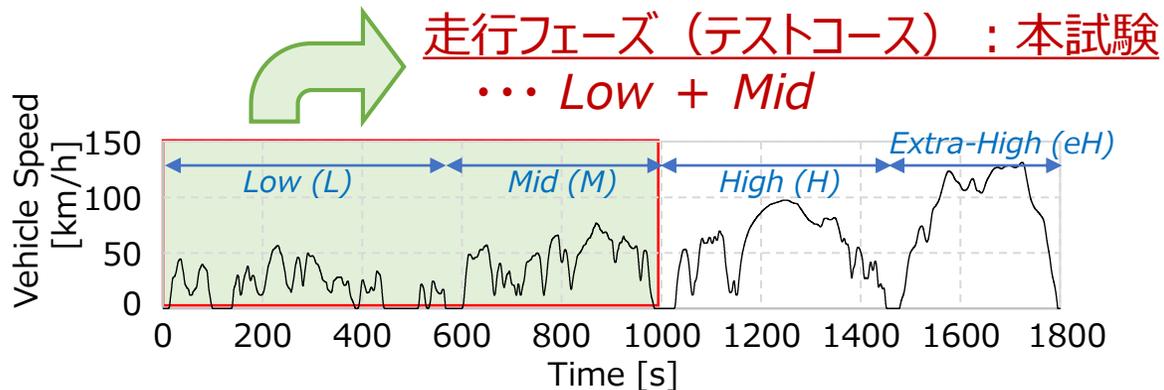
- WLTC mode
- RDE mode

5. まとめ

【テストコースを用いた走行試験】 WLTCモード

【試験モード】 WLTC mode

Average Speed=46.5km/h, Distance=23.3km



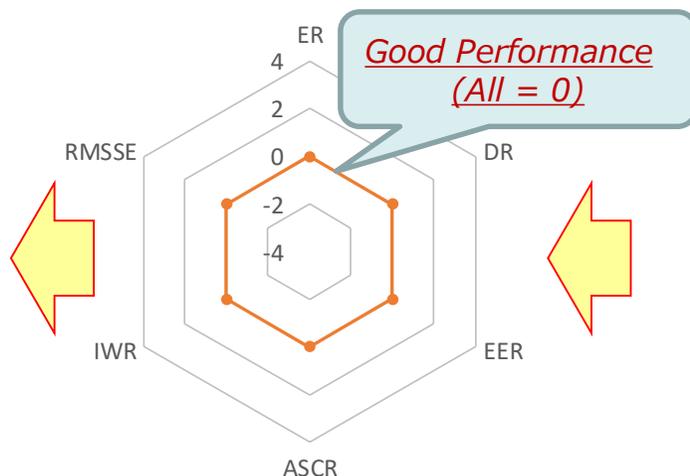
【WLTPの規定要件】

参考値として採用

Tentative proposed indexes and criteria

| INDEX | Proposed Criteria |
|--------------|-------------------|
| RMSSE (km/h) | < +0.8 |
| IWR (%) | -2.0 ~ +4.0 |

*) need further study on unique vehicle configurations (i.e. single clutch Automated Manual Transmission)



【評価指標】 Driving Index (SAE J2951)

✓ Energy Rating (ER)

: Change rate on cycle energy
目標走行と実走行との仕事量比率

✓ Distance Rating (DR)

: Change rate on the distance
目標走行距離と実走行距離との距離の比率

✓ Energy Economy Rating (EER)

: Change rate on the distance per energy
DR/ERによる単位仕事当たりの走行距離の比率

✓ Absolute Speed Change Rating (ASCR)

: Change rate on the integral
of the absolute magnitude of acceleration
目標走行中の加速度と実走行中の加速度の累乗比率

✓ Root Mean Squared Speed Error (RMSSE)

: Speed deviation
絶対速度差の二乗平均平方根

✓ Inertial Work Rating (IWR)

目標にかかわる仕事量の変化率

【テストコースを用いた走行試験】 WLTC / 供試車両-A & B

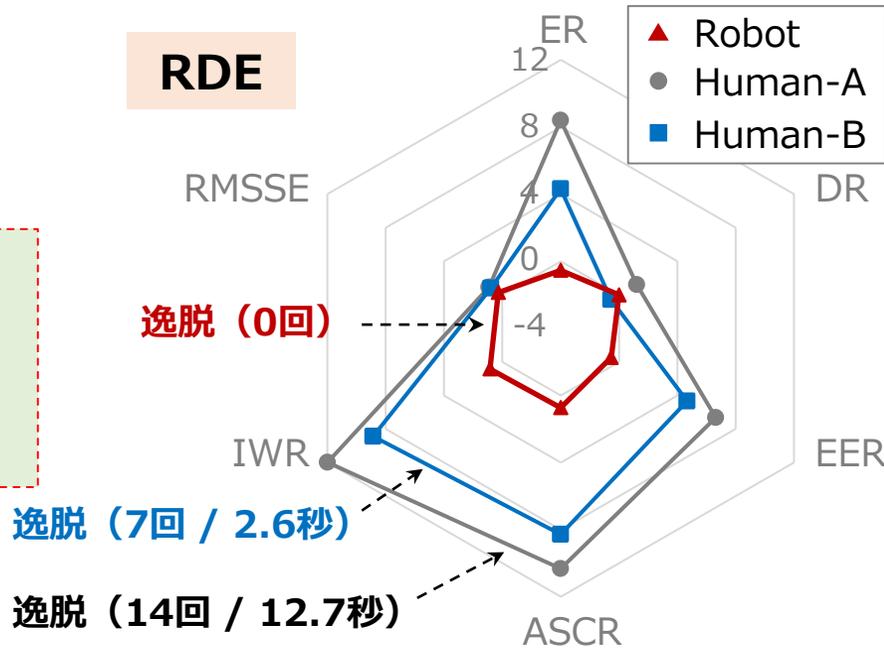
【Driving Index】

各評価指数がゼロ
↓
目標車速と実車速
の乖離がない状態

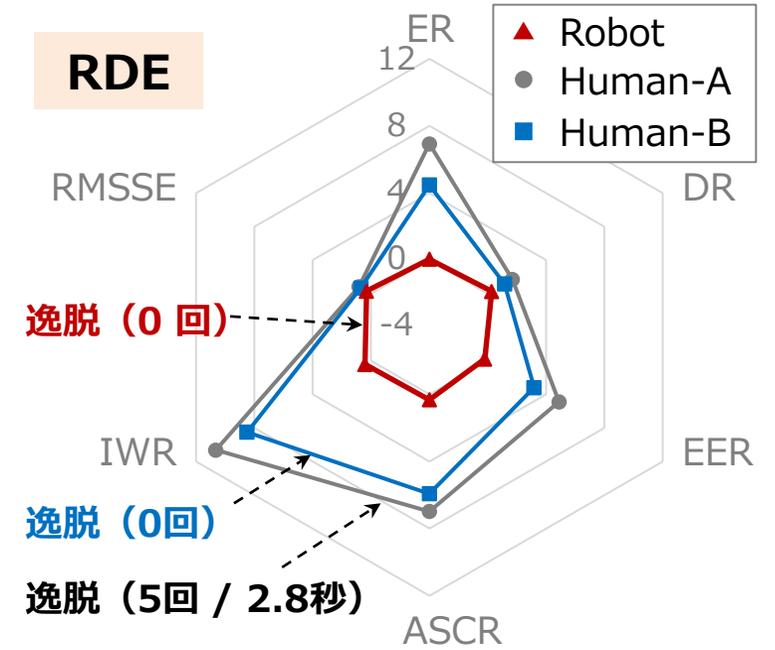
【人間】
車速追従性
: 乖離が大きい
: 目標車速から逸脱あり

【運転ロボット】
車速追従性
: 目標車速を
正確に追従
(RDE ≒ CHDY)

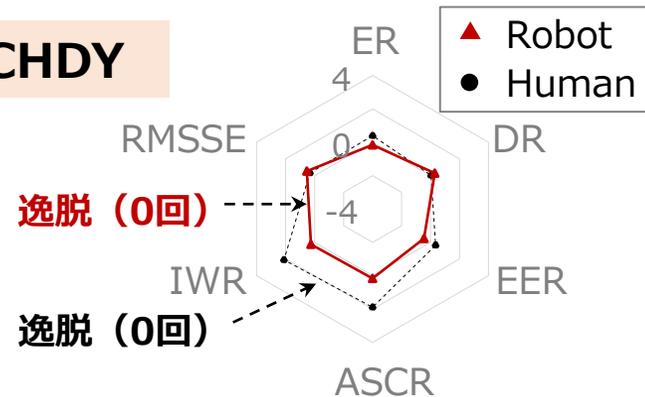
供試車両A



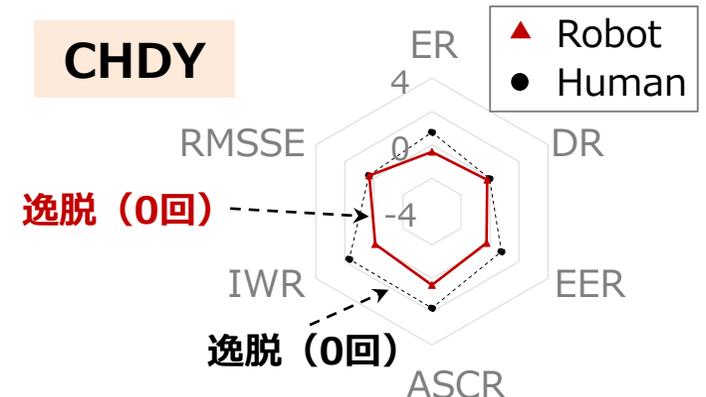
供試車両B



CHDY



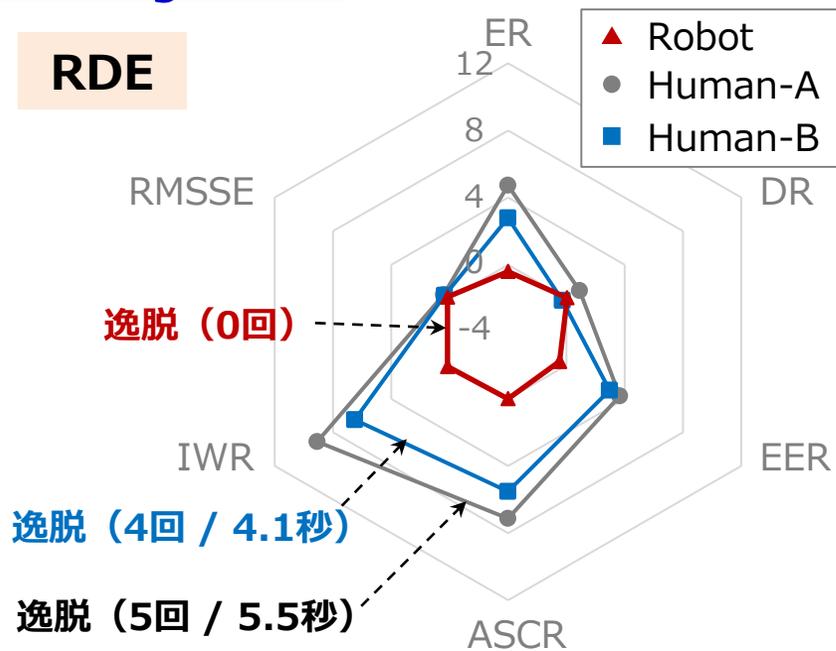
CHDY



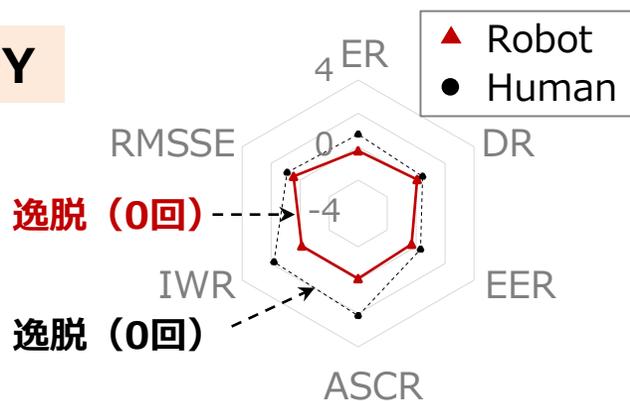
【テストコースを用いた走行試験】 WLTC / 供試車両-C

【Driving Index】

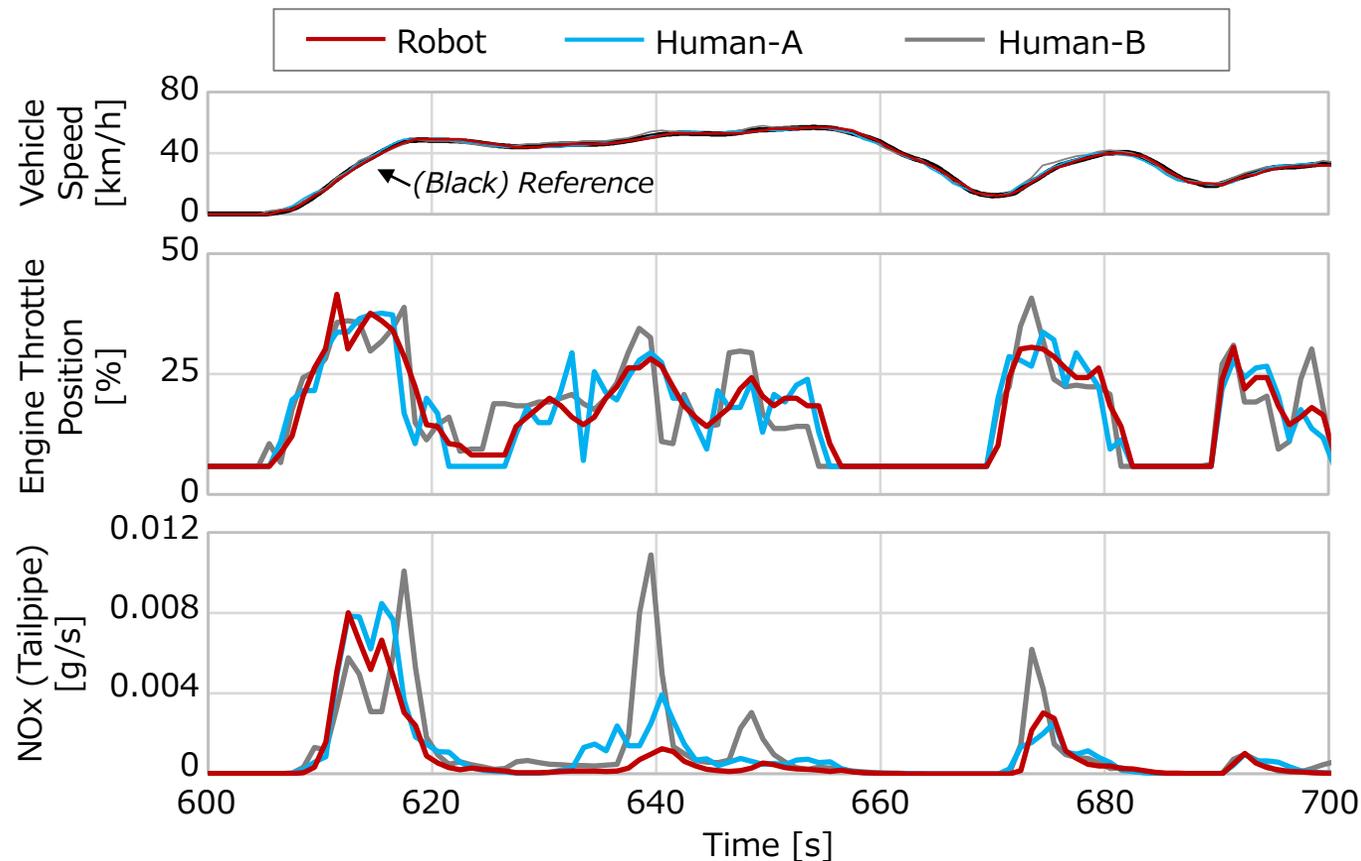
RDE



CHDY



【性能比較】



【運転ロボット】

アクセルペダル & ブレーキペダル

: 無駄のない (迷いのない) 運転挙動

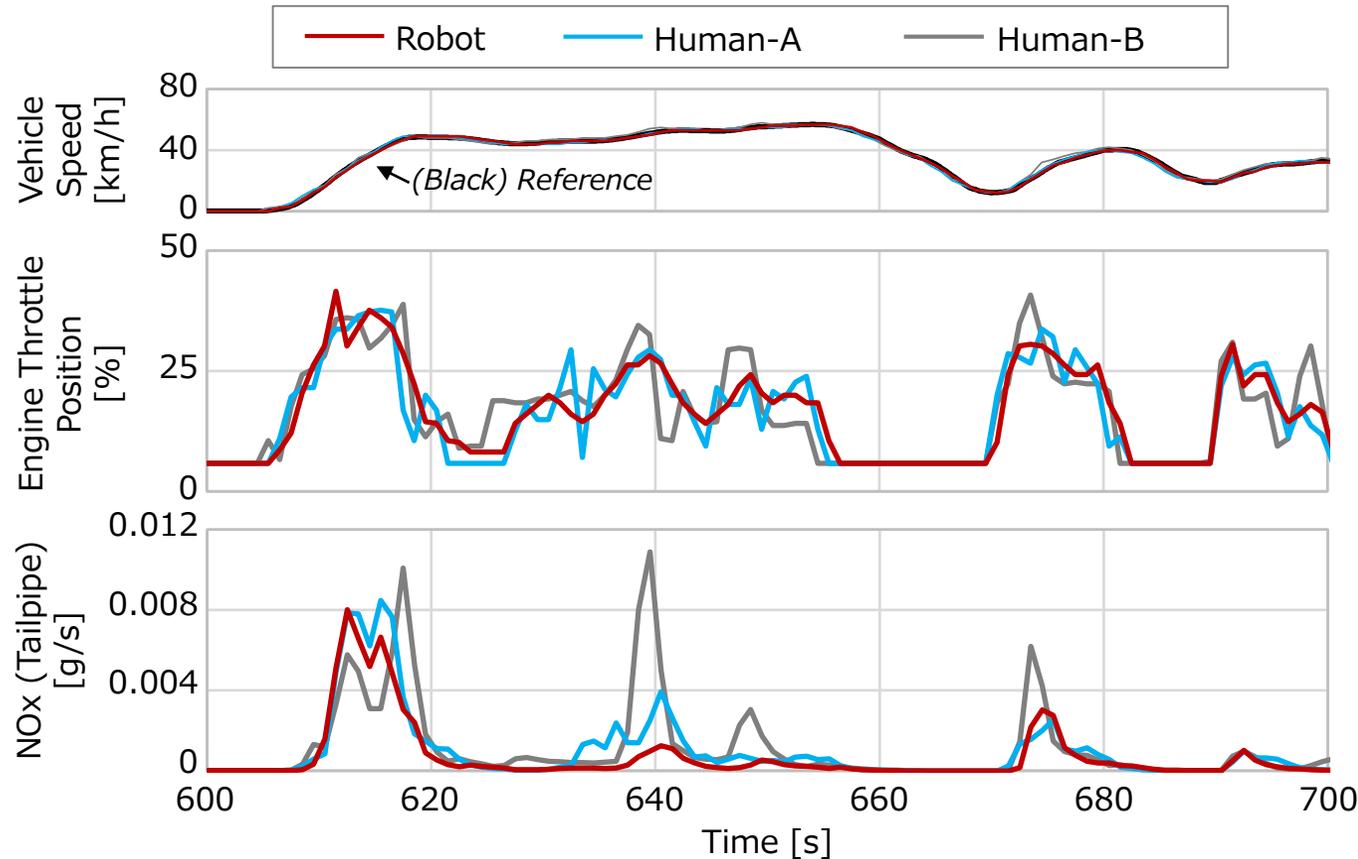
【人間】

アクセルペダル & ブレーキペダル

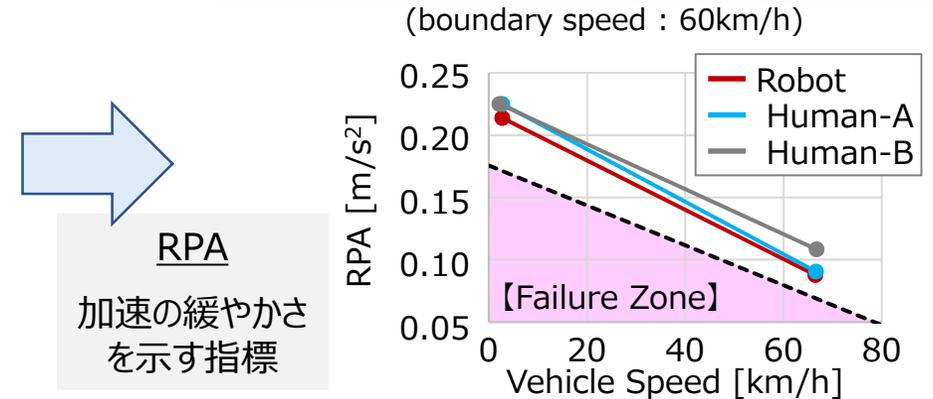
: 不安定な (不必要な) 運転挙動

【テストコースを用いた走行試験】 WLTC / 供試車両-C

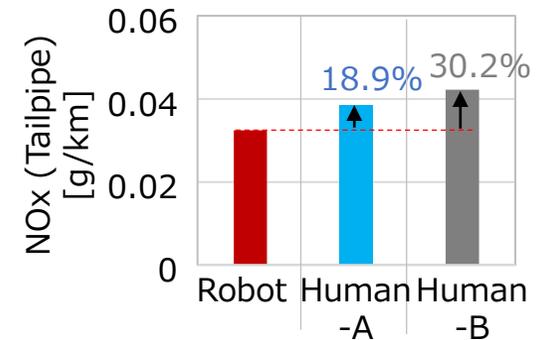
【性能比較】



【Relative Positive Acceleration】



【排出ガス (NOx)】



【運転ロボット】

アクセルペダル & ブレーキペダル

: 無駄のない (迷いのない) 運転挙動

【人間】

アクセルペダル & ブレーキペダル

: 不安定な (不必要な) 運転挙動

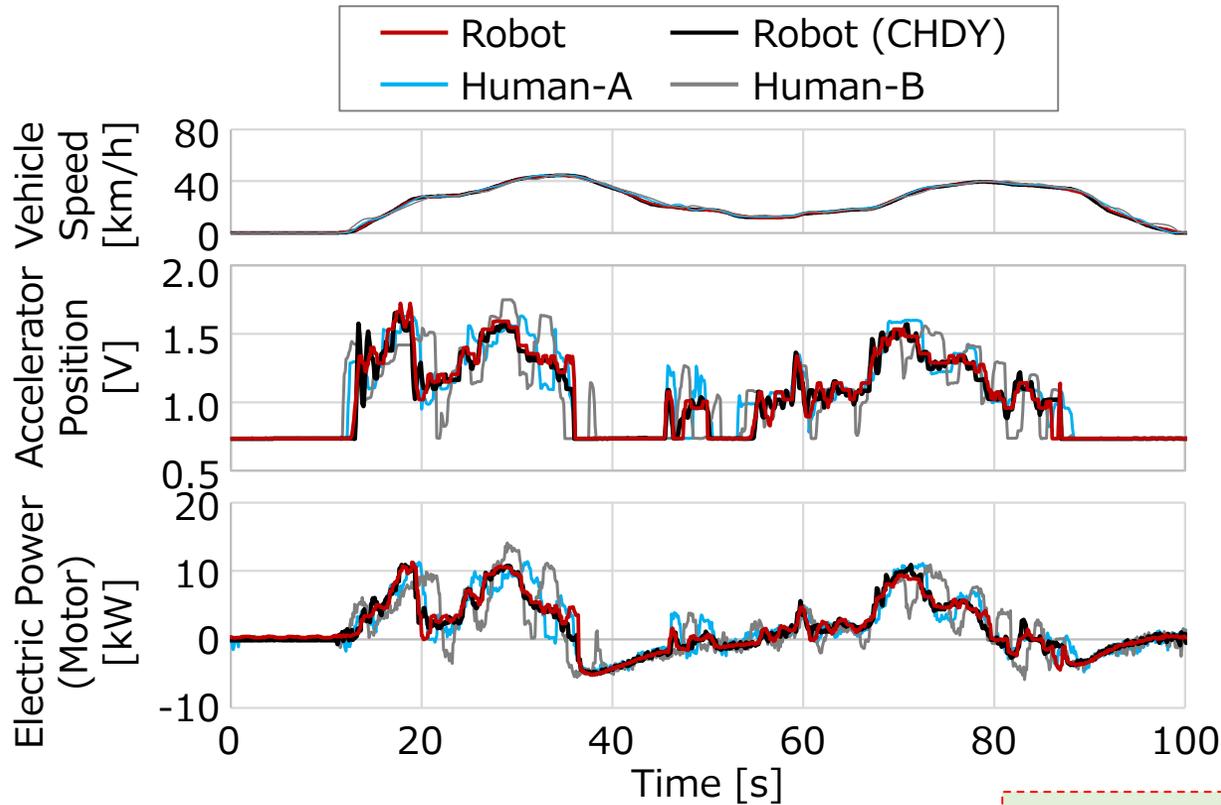
【人間】

排出ガス特性

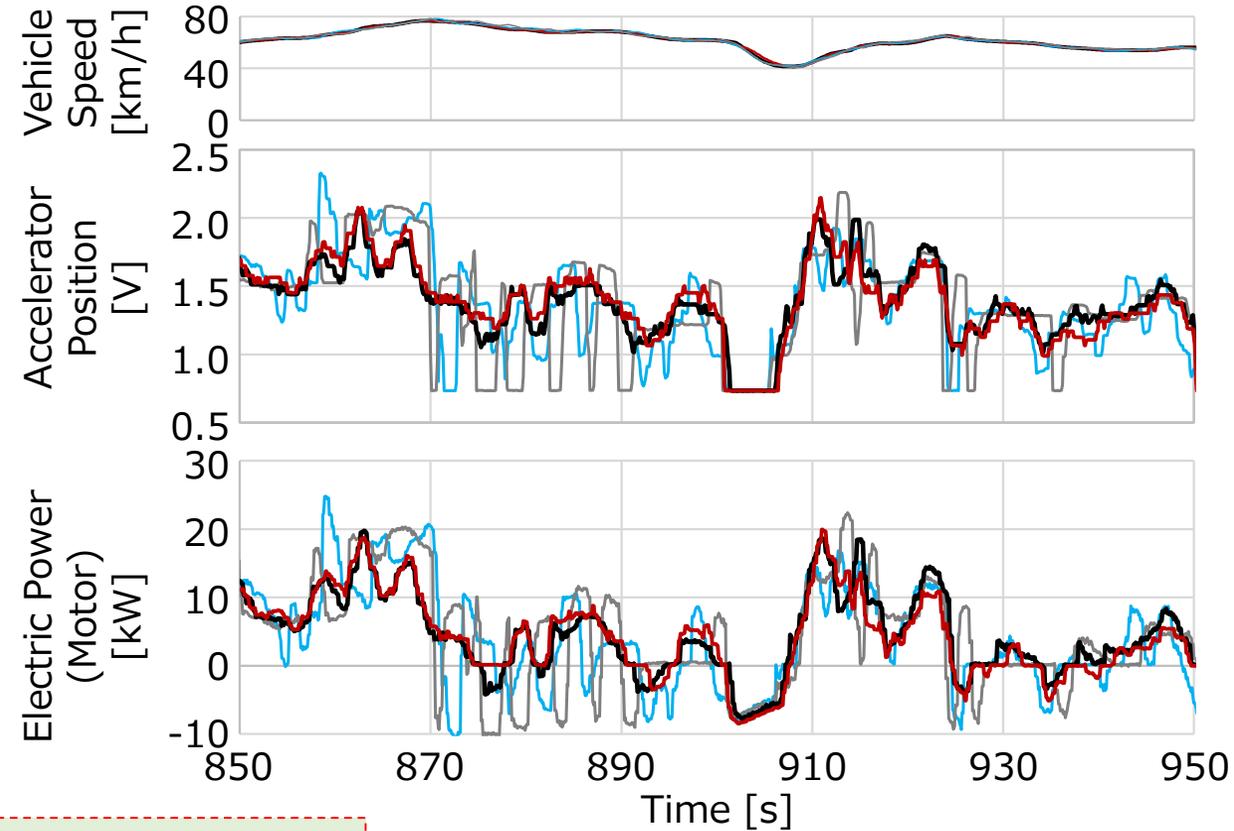
: バラつきあり

【テストコースを用いた走行試験】 WLTC / 供試車両-B

【アクセル開度 & モータ電力】



(低車速) 0 - 100 sec



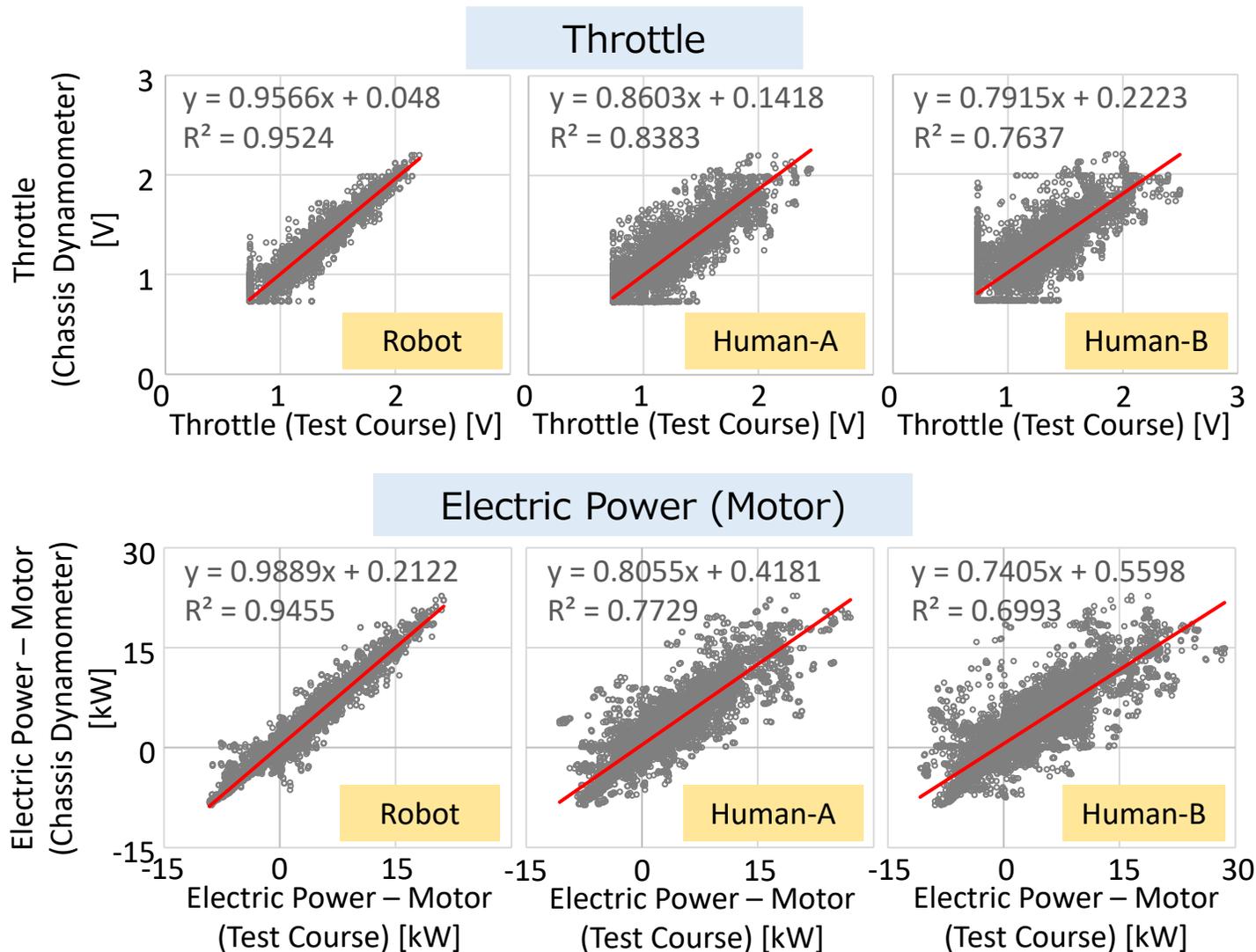
(高車速) 850 - 950 sec

【人間】ペダル操作のバタつき
・低車速→小, 高車速→大

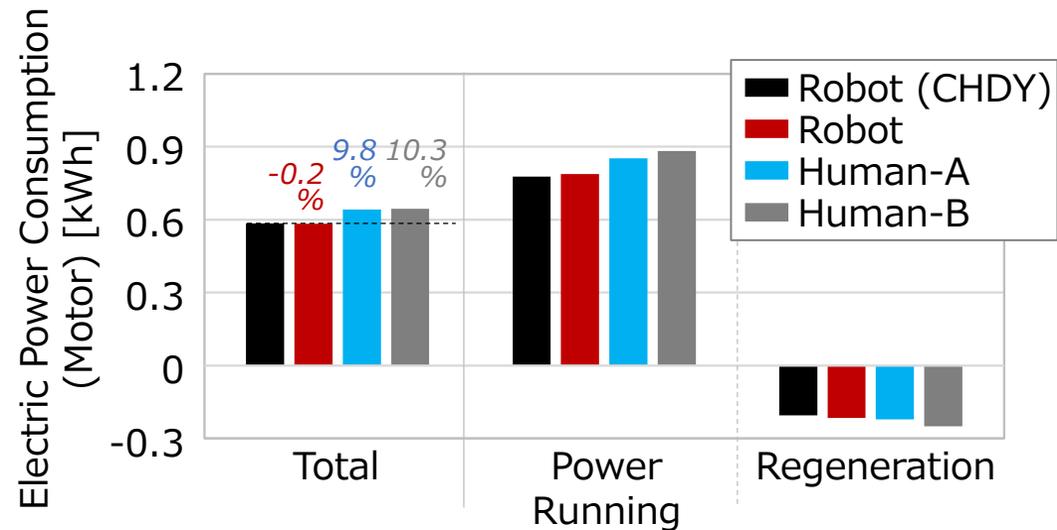
【運転ロボット】
・RDE(テストコース) ≒ CHDY

【テストコースを用いた走行試験】 WLTC / 供試車両-B

【相関図】 Test Course vs. CHDY



【電力消費率】



【運転ロボット】
RDE ≒ CHDY

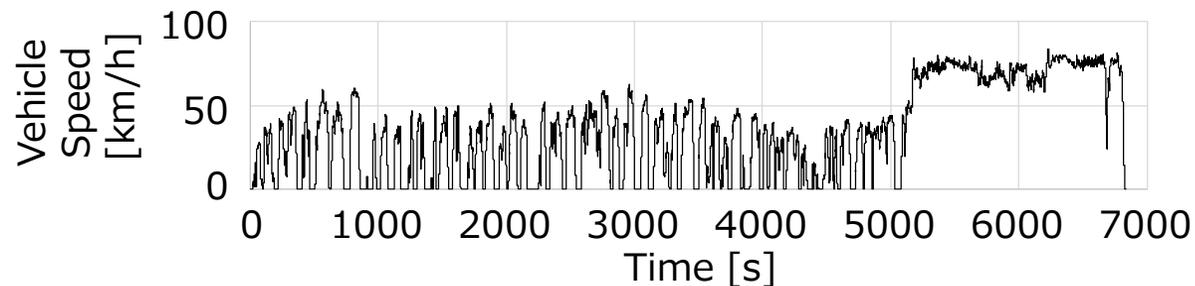
【人間】
バラつきあり

運転ロボットの適用により、
目標車速に沿った運転を可能とした

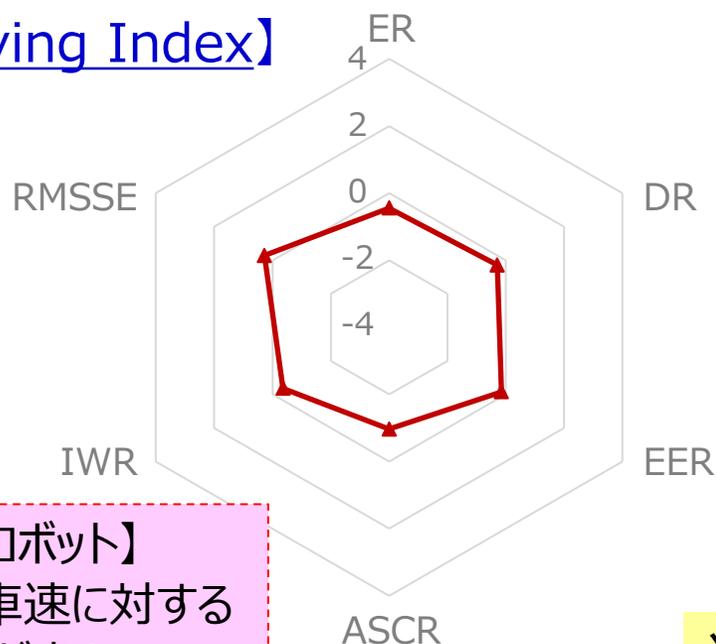
【テストコースを用いた走行試験】 RDE/供試車両-C

【試験モード】 RDE mode

Average Speed=34.4km/h, Distance=65.3km



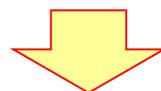
【Driving Index】



【運転ロボット】
目標車速に対する
乖離が少ない

【逸脱時間】

【人間】 (ex) 他のRDEモード走行時
90s ...1回目 (total:5,492s)
55s ...2回目



【運転ロボット】
0s

運転ロボットの適用により、安全に公平な試験を可能とした

1. 背景 & 目的

2. 運転ロボット

3. 実験装置

4. テストコースを用いた走行試験

- ・ WLTC mode
- ・ RDE mode

5. まとめ

【まとめ】

路上走行（RDE）試験が、欧州に続き日本においても開始された。

- 試験路における走行試験も可能とされ、従来のシャシダイナモ試験と同様、RDE用に作成された目標車速パターンを追従することとなる。
- 車両のアクセル及びブレーキ等のペダル操作に加え、車両が移動するためにハンドル操作も必要となり、試験の正確性や試験時の安全性が懸念される。

- **そこで本研究は、自動運転ロボットを活用したRDE試験の運用を検討した。**
 - 車載可能な運転ロボットを製作した。
 - 試験路にて試験車両を運転ロボットで操作し、目標車速を正確に追従させることを可能とした。

- ✓ **RDE試験への運転ロボットの適用性と有用性が高いことから、現在、RDE試験へ運転ロボットを導入することに対し、関係当局と協議を進めている。**