

MATLABを用いた企画段階におけるRDE開発環境の構築とその活用

2021年6月7日
MATLAB EXPO 2021 Japan

大久保 泰宏

株式会社いすゞ中央研究所

Isuzu Advanced Engineering Center, LTD.

ISUZU

目次

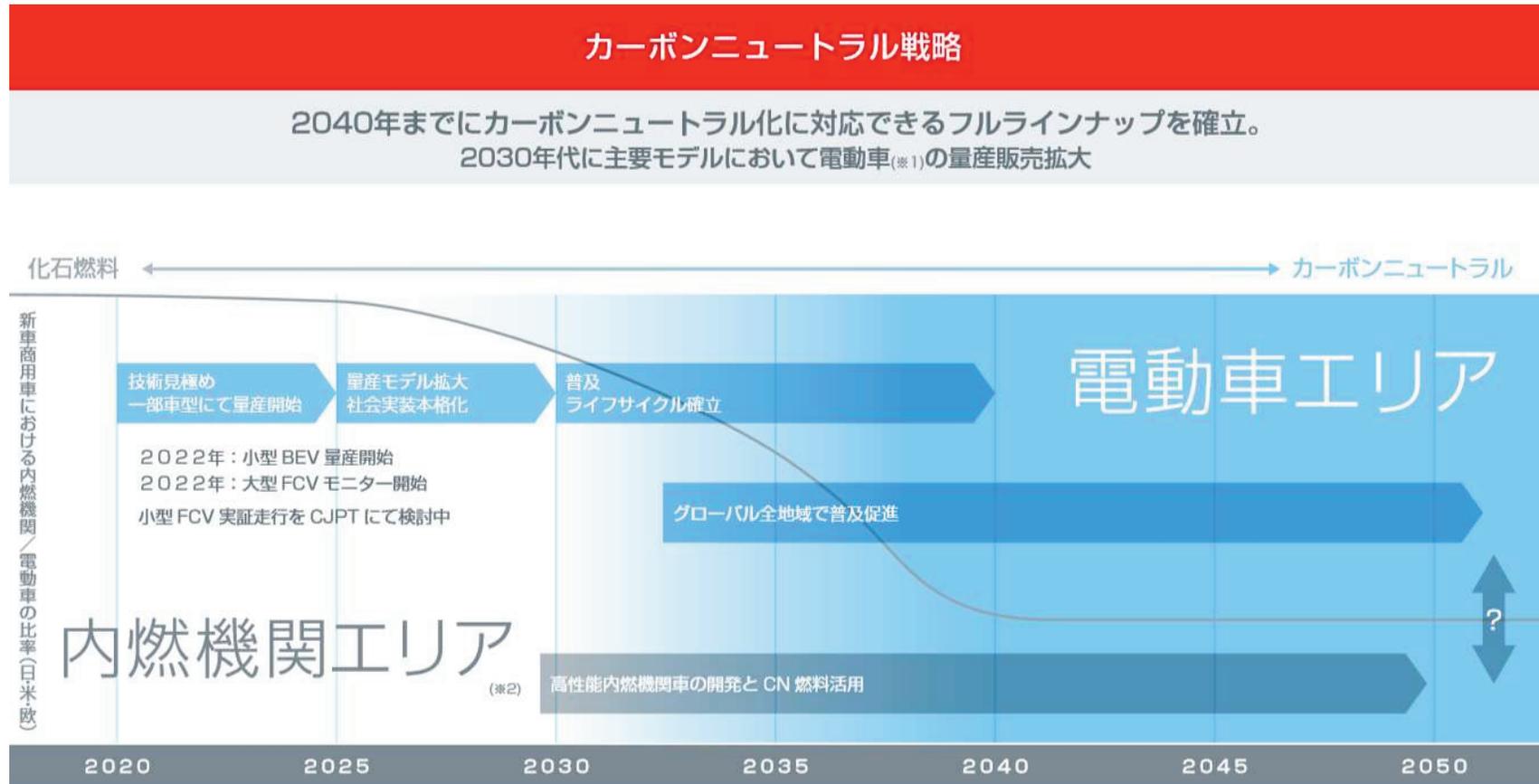
1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
4. 活用事例
5. まとめ

いすゞ中央研究所会社概要

社名	株式会社いすゞ中央研究所 (IAEC : Isuzu Advanced Engineering Center)
創業・創立	1990年2月1日
資本金	4億9千万円
代表者	代表取締役社長 川幡 進
従業員数	200名 (2016年)
■いすゞ自動車の100%子会社 ■いすゞ自動車の商品開発に必要な、将来技術の研究（基礎研究・先行開発）を担う会社	



いすゞ自動車のカーボンニュートラル戦略



※1 電動車：バッテリーEV(BEV)、燃料電池車(FCV)、ハイブリッド車(HEV)等。
※2 内燃機関：軽油、ガス、CN 燃料等の燃料を動力源とする車両。

出典：いすゞ中期経営計画('22年3月期～'24年3月期)

車両の電動化を推進するとともに内燃機関の高性能化にも引き続き取り組む

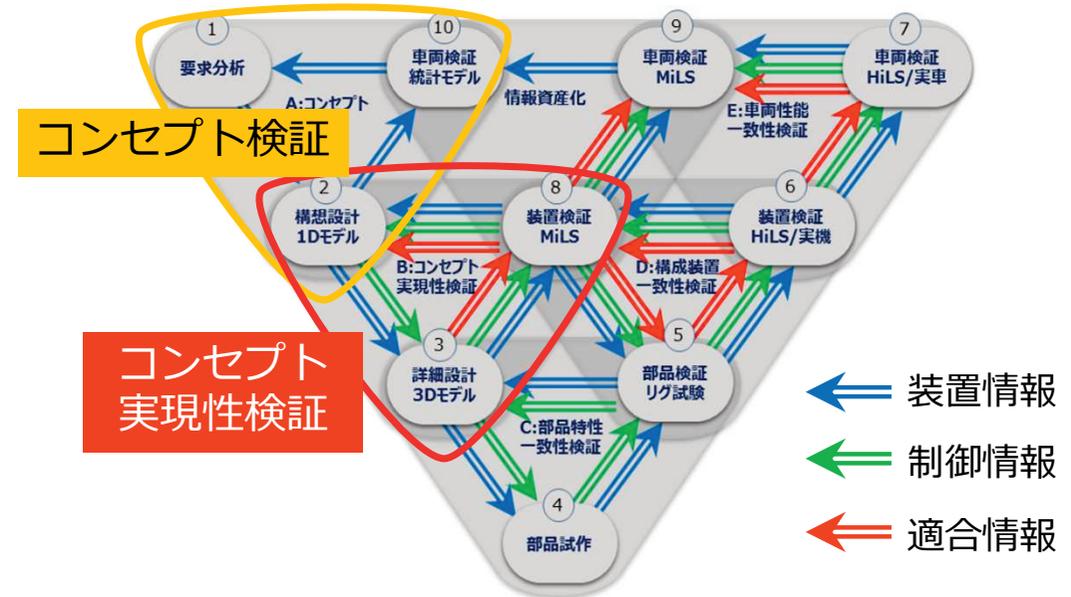
開発効率向上に向けた取り組み

エンジン × 出力 × 仕向け(排ガス規制/環境違い)		日本	欧州	米国	中国	インド	特殊環境
6W 12.1~15.7L		382					
		265					
6U 9.8L		294					
		243					
6H 7.8~8.2L		221					
		136					
4H 4.6~5.2L		177					
		85					
4J 2.5~3.0L		140					
		58					
RZ4E 1.9L		120					
		90					

バリエーション多数

企画段階でMBDを有効活用し開発効率向上に取り組んでいる

MBD Vプロセス



目次

1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
4. 活用事例
5. まとめ

研究の背景

欧州における自動車の排出ガス規制動向

欧州では主要都市部における環境汚染の改善が一向にみられないことが問題として認識されてきた



実際の使用に近い条件でエミッションを測定する国際的に統一化された評価（WLTP）による認証が開始され、実路において排ガス（主にNOx）測定を実施するRDE（Real Driving Emission）規制が導入された

実路での排出ガス性能の確実な担保が自動車開発に求められている

研究の背景

欧州におけるCO₂とNO_x規制のロードマップ(小型商用車)

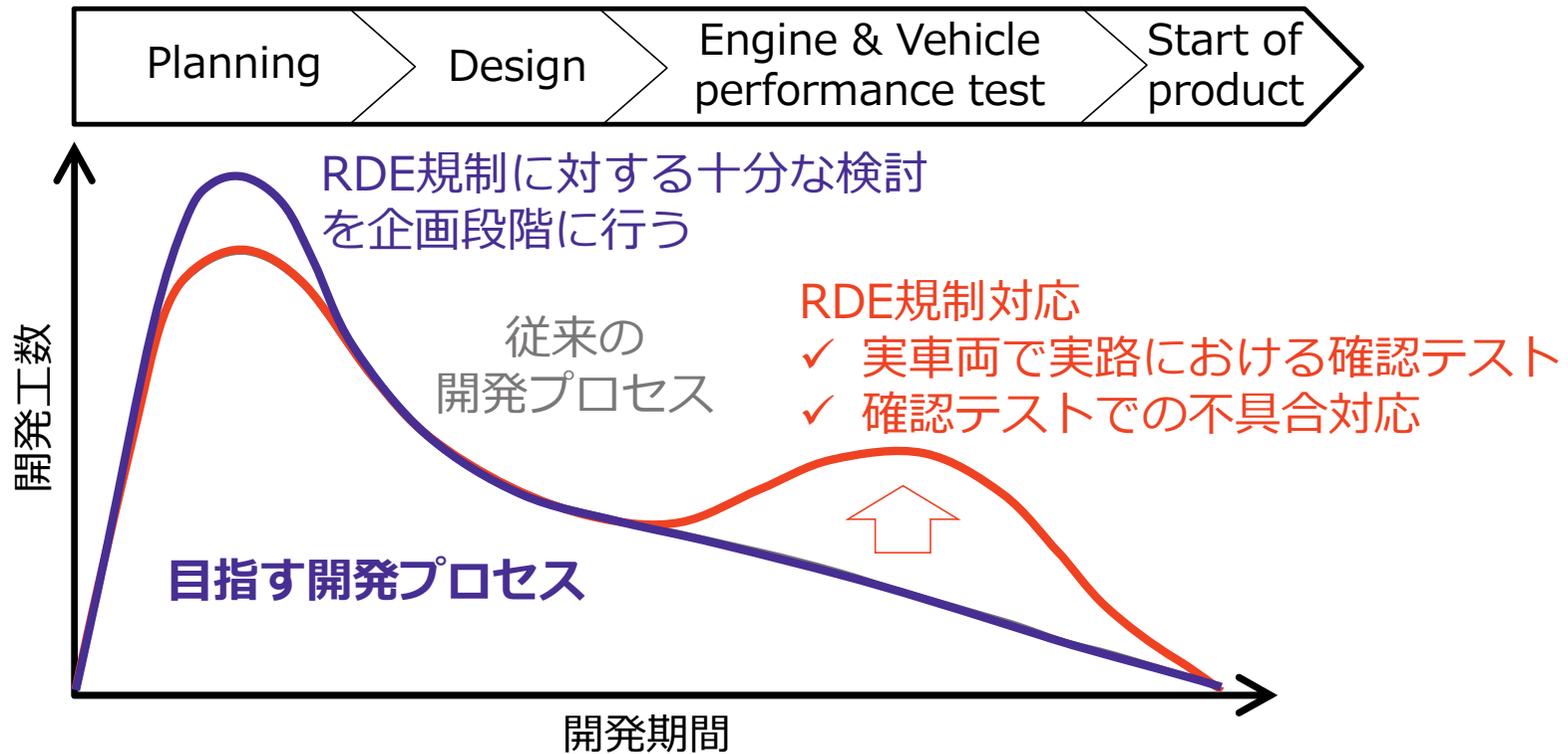
year	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
CO ₂ Emission limit target	175g/km		147g/km					15% reduction from 2021	
NO _x Emission limit	Euro6:0.125g/km						Euro7:T.B.D		
RDE (Total & Urban) *CF (NO _x)	2.1		1.43					1.0 (predict)	

*Conformity Factor 適合係数 (台上試験での規制値に対する倍数)

欧州ではCO₂や排気ガスを規制する政策が段階的に強化される

研究の背景

自動車開発のプロセス



RDE規制に対応するために開発工数が増大する

研究の目的

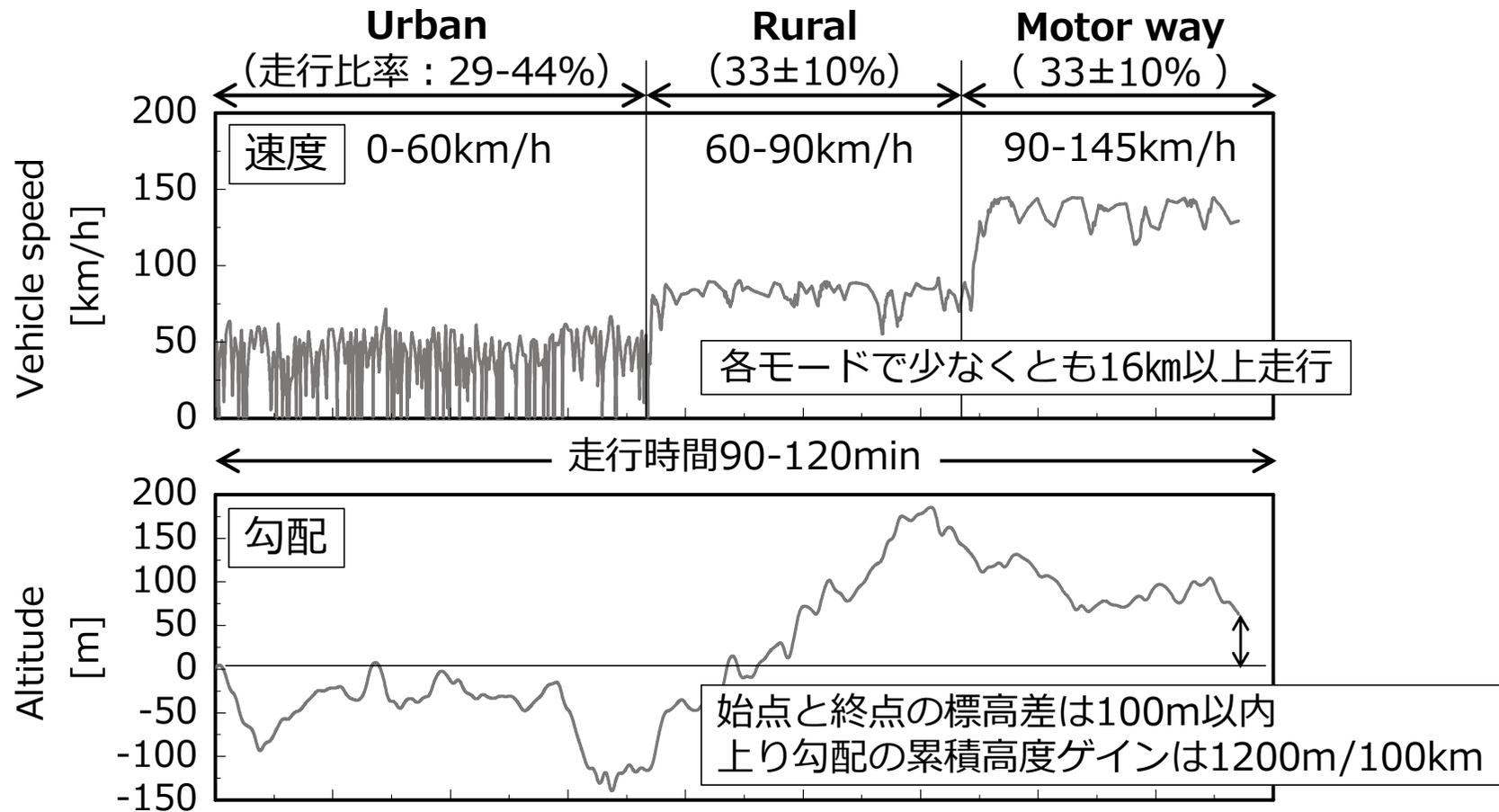
本研究は、

商品企画の段階で、RDEテスト時に排出ガス性能が悪化する走行パターン（ワーストケース）とその走行に対する対策の指針が検討できるMBD環境を開発し、**開発工数のフロントローディングを可能にすることを目的とする。**

目次

1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
 - 3-1 欧州RDEテストの要件
 - 3-2 RDE走行パターンのランダム生成
4. 活用事例
5. まとめ

欧州RDEテストの要件 (走行条件)



欧州RDEテストの要件（運転特性）

運転特性	Defensive	Aggressive
グラフ		
運転特性の指標	$RPA = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot a_i \cdot \Delta_t}{D} \text{ [m/s}^2\text{]}$	$V \cdot a \text{ pos [95]} = \text{95percentile of } V_i \cdot a_i \text{ [m}^2\text{/s}^3\text{]}$
試験が有効になる条件	$V \leq 94.05 : RPA > -0.0016 \cdot V + 0.1755$ $V > 94.05 : RPA > 0.025$	$V \leq 74.6 : V \cdot a \text{ pos [95]} < 0.136 \cdot V + 14.44$ $V > 74.6 : V \cdot a \text{ pos [95]} < 0.0742 \cdot V + 18.966$

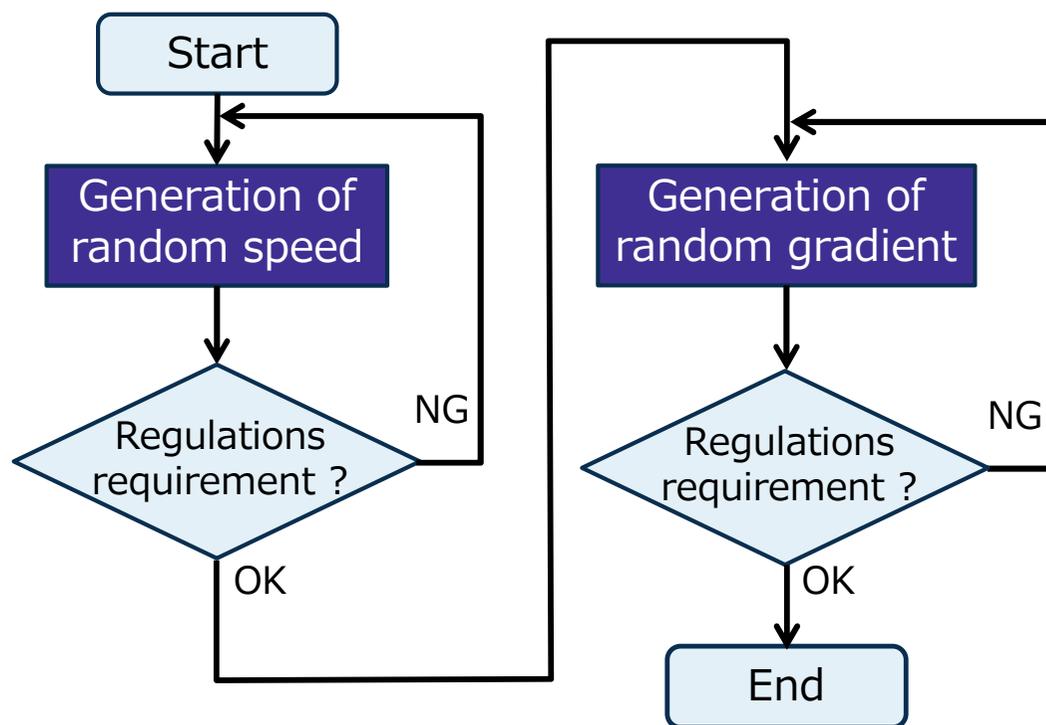
a_i : 加速度 [m/s²] , V_i : 速度 [m/s] , Δ_t : サンプル時間 [s], D : 走行距離 [m]

目次

1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
 - 3-1 欧州RDEテストの要件
 - 3-2 RDE走行パターンのランダム生成
4. 活用事例
5. まとめ

RDE走行パターンのランダム生成

MATLABを用いたランダム生成のフロー

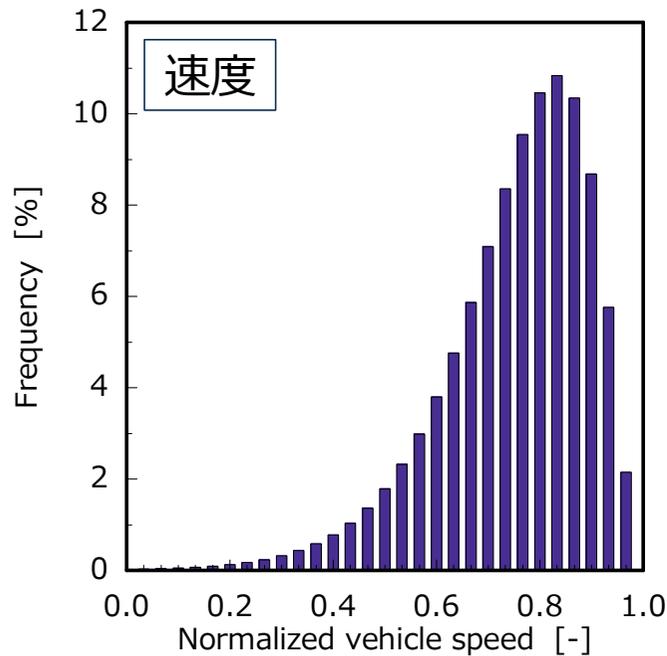


- ✓ 速度と勾配はMATLABに標準で用意されているコマンドのみを使用したスクリプトを実行することで計算される.

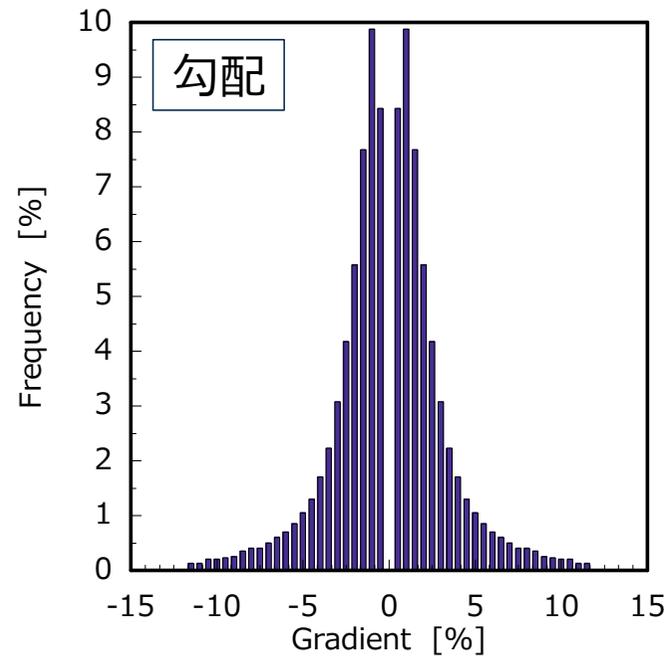
走行パターンは実路の走行状況を再現する確立分布に沿ってランダム生成される

RDE走行パターンのランダム生成

速度と勾配の確立分布



ガンマ分布



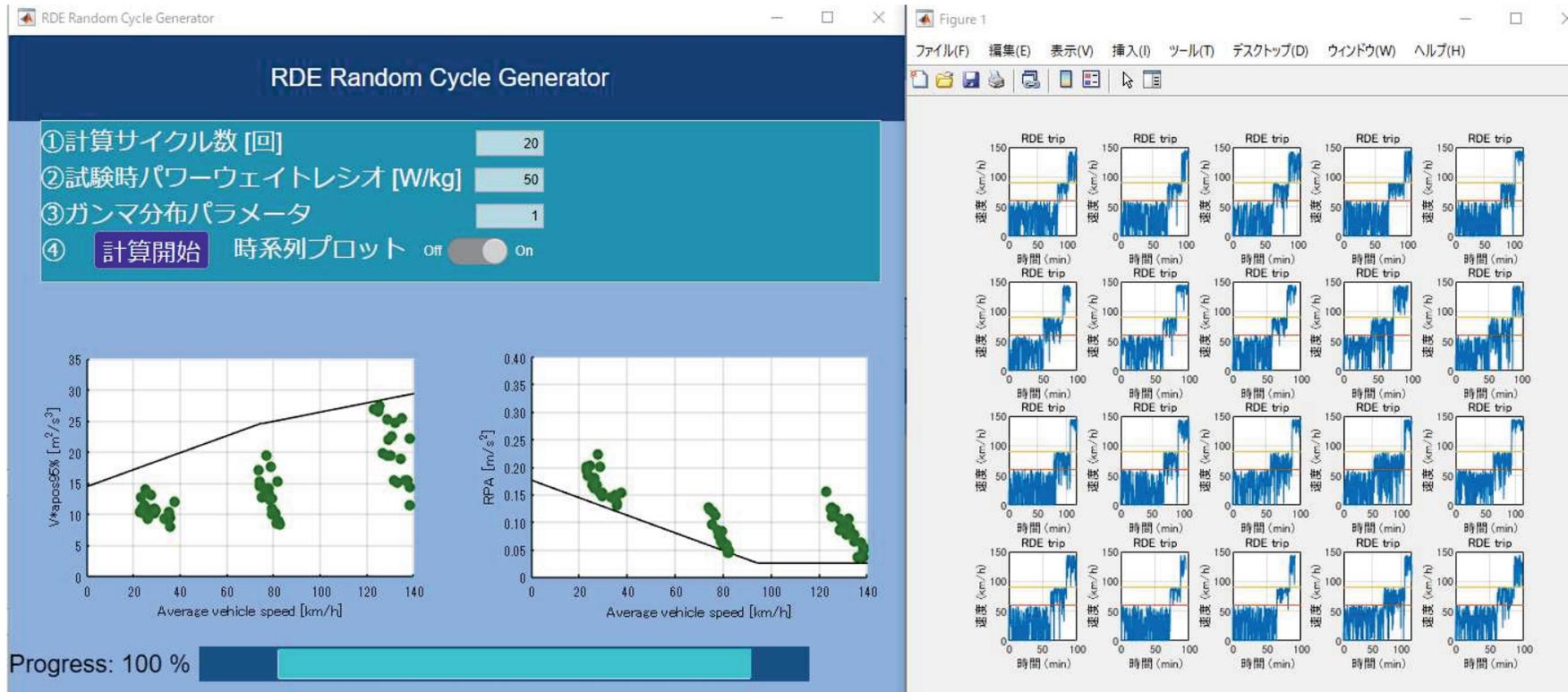
パレート分布

✓ 速度の分布は最大値側に偏っている。この分布を生成するためにガンマ分布を利用した。

欧州実路における頻度データを参考にして確立分布を作成した

RDE走行パターンのランダム生成

実際の動作画面



プログラムを操作しやすくするために、App Designerで
ユーザインターフェースを作成した

目次

1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
4. 活用事例
 - 4-1 エンジン・車両諸元
 - 4-2 バーチャル車両の環境
 - 4-3 シミュレーション結果
5. まとめ

エンジン・車両諸元



Engine	Model year	2016
	Emission level	Euro6b
	Engine type	DI-Diesel In-line 4 cylinder
	Displacement	1,898cc
	Bore × Stroke	80mm×94.4mm
	Maximum power/torque	120kW/360Nm
	Charge air system	Variable nozzle turbocharger with charge air cooler
	Fuel injection system	Common rail system
Vehicle	Test weight	2,400kg
	Transmission	6MT

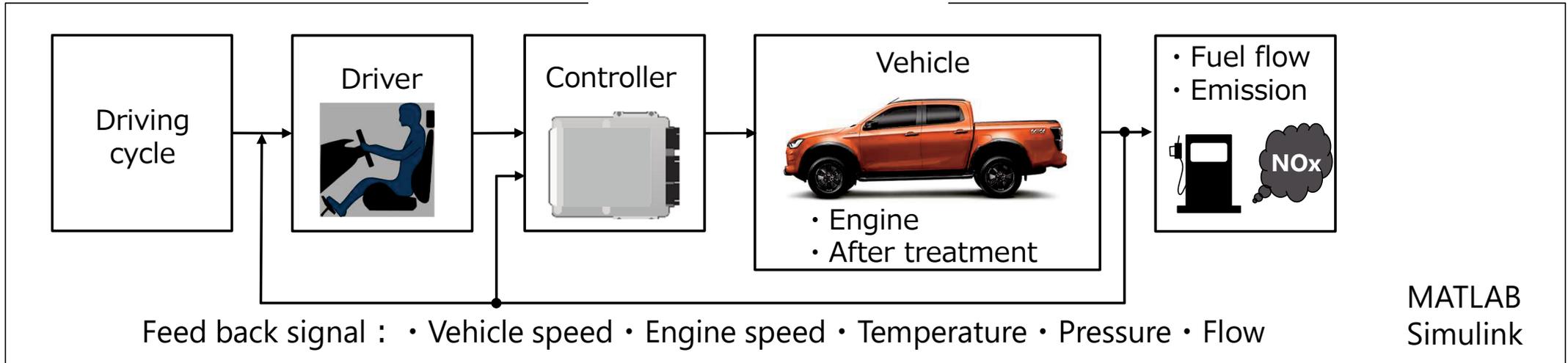


目次

1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
4. 活用事例
 - 4-1エンジン・車両諸元
 - 4-2バーチャル車両の環境
 - 4-3シミュレーション結果
5. まとめ

バーチャル車両の環境

車両統合モデル



Vehicle	Driving force calculation model
Engine	MEVM (Mean Value Engine Model) +diesel combustion model (HIDECS:Hiroshima University Diesel Engine Combustion Simulation)
After treatment	NOx catalyst in-house model

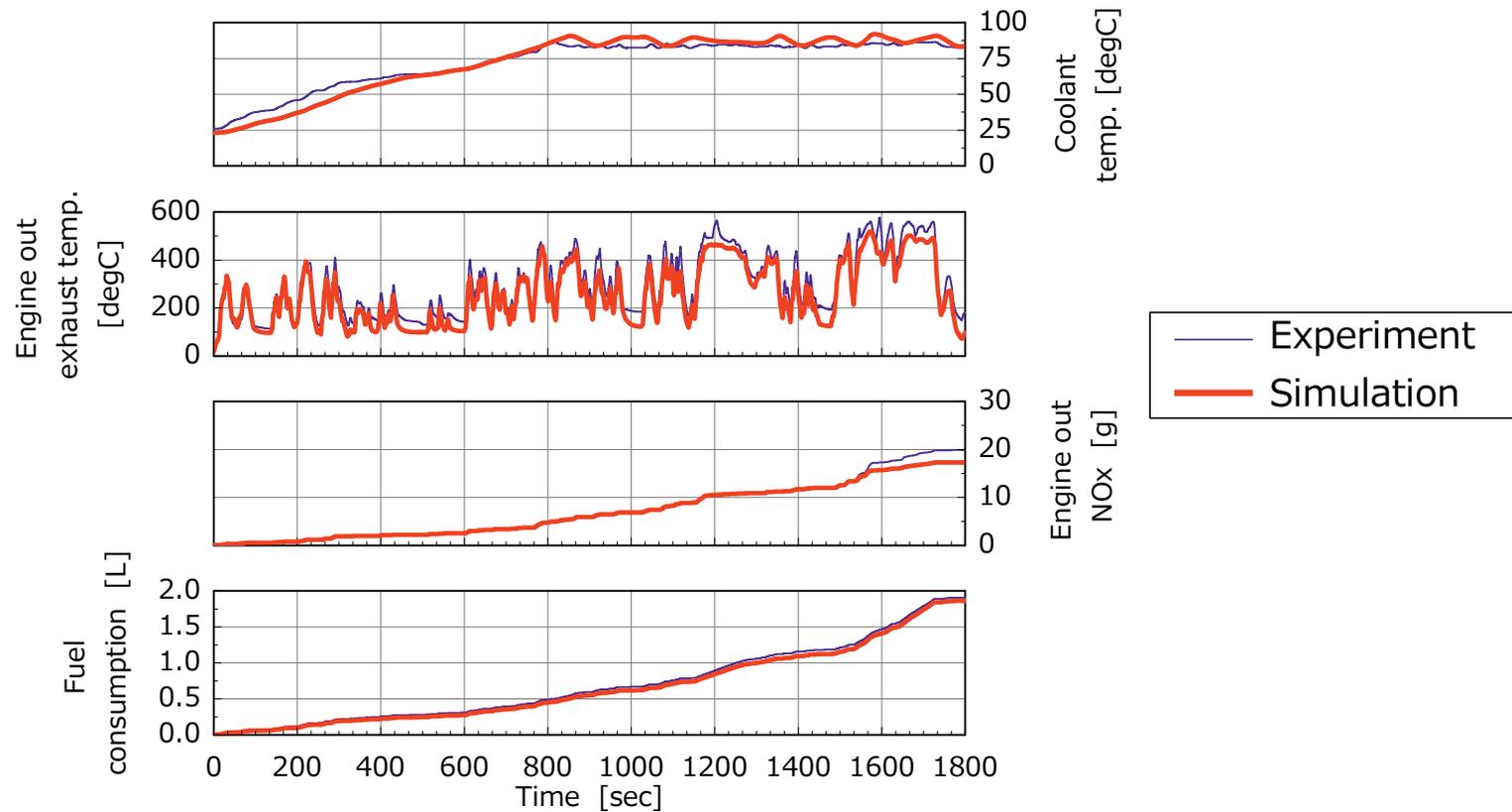
- ✓ 本検討ではエンジンの燃焼に物理モデルを使用した但予測精度向上のために燃焼統計モデルの適用も検討中である。

車両, エンジン性能の過渡的なふるまいの予測を可能にした

バーチャル車両の環境

燃焼モデルの精度検証

WLTCモード



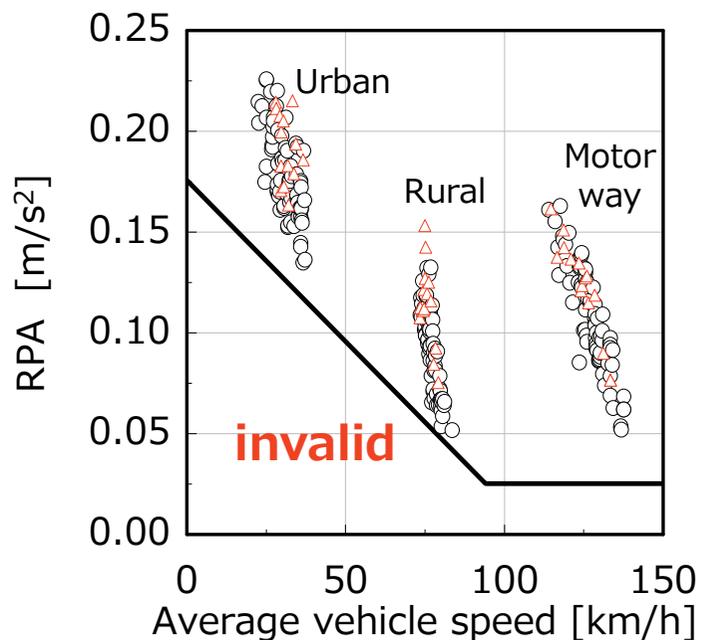
燃焼モデルは本検討に対し十分な精度が確保されている

目次

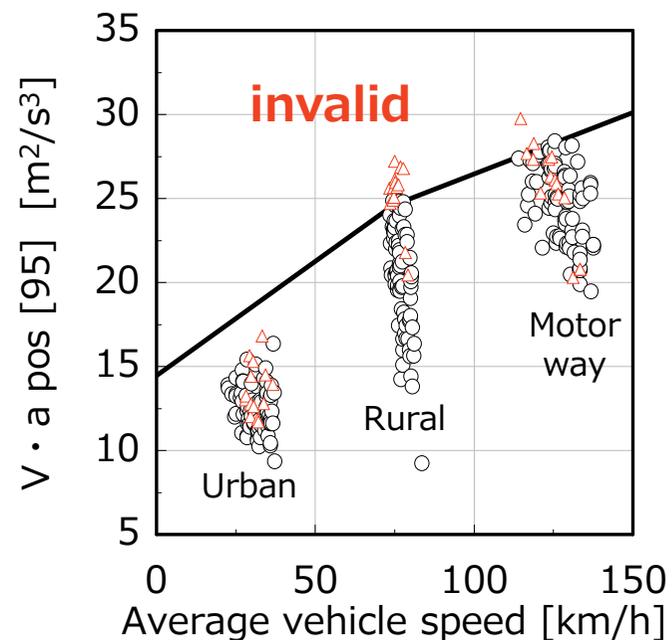
1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
4. 活用事例
 - 4-1エンジン・車両諸元
 - 4-2バーチャル車両の環境
 - 4-3シミュレーション結果
5. まとめ

シミュレーション結果

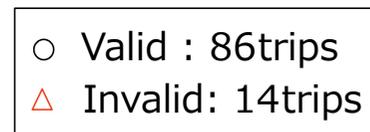
動的境界条件に対する運転特性



(i) Defensive



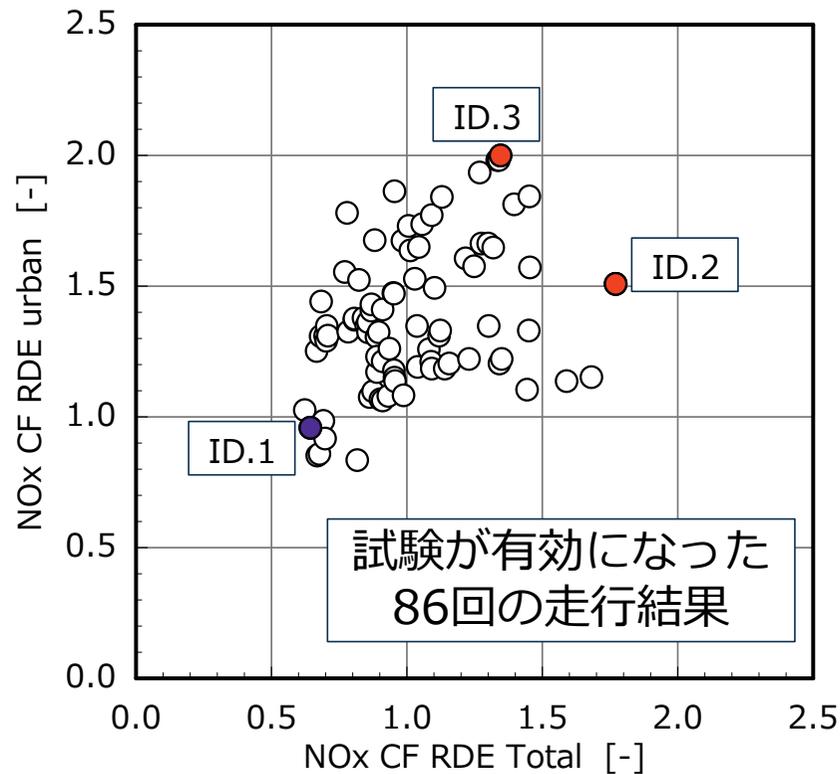
(ii) Aggressive



100回のバーチャル走行で86回が有効になった

シミュレーション結果

分析対象のテールパイプアウトNOx排出量（CF値）

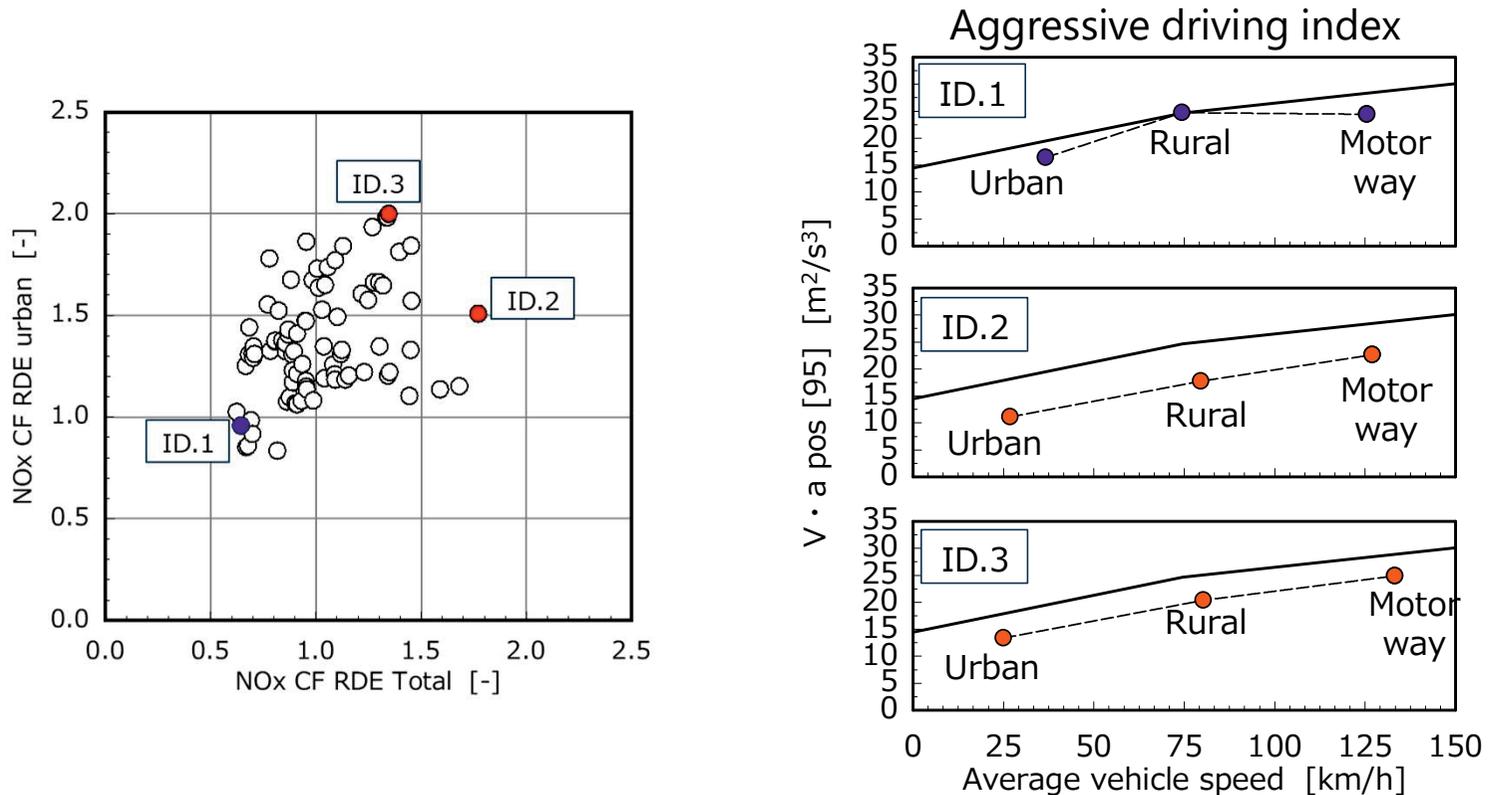


ID.1	NOx排出量が少ない
ID.2	TotalのNOx排出量が最も多い
ID.3	UrbanのNOx排出量が最も多い

NOx排出量（CF値）は走行条件によって大きく変化した

シミュレーション結果

急加速に対する指標とNOx排出量の関係

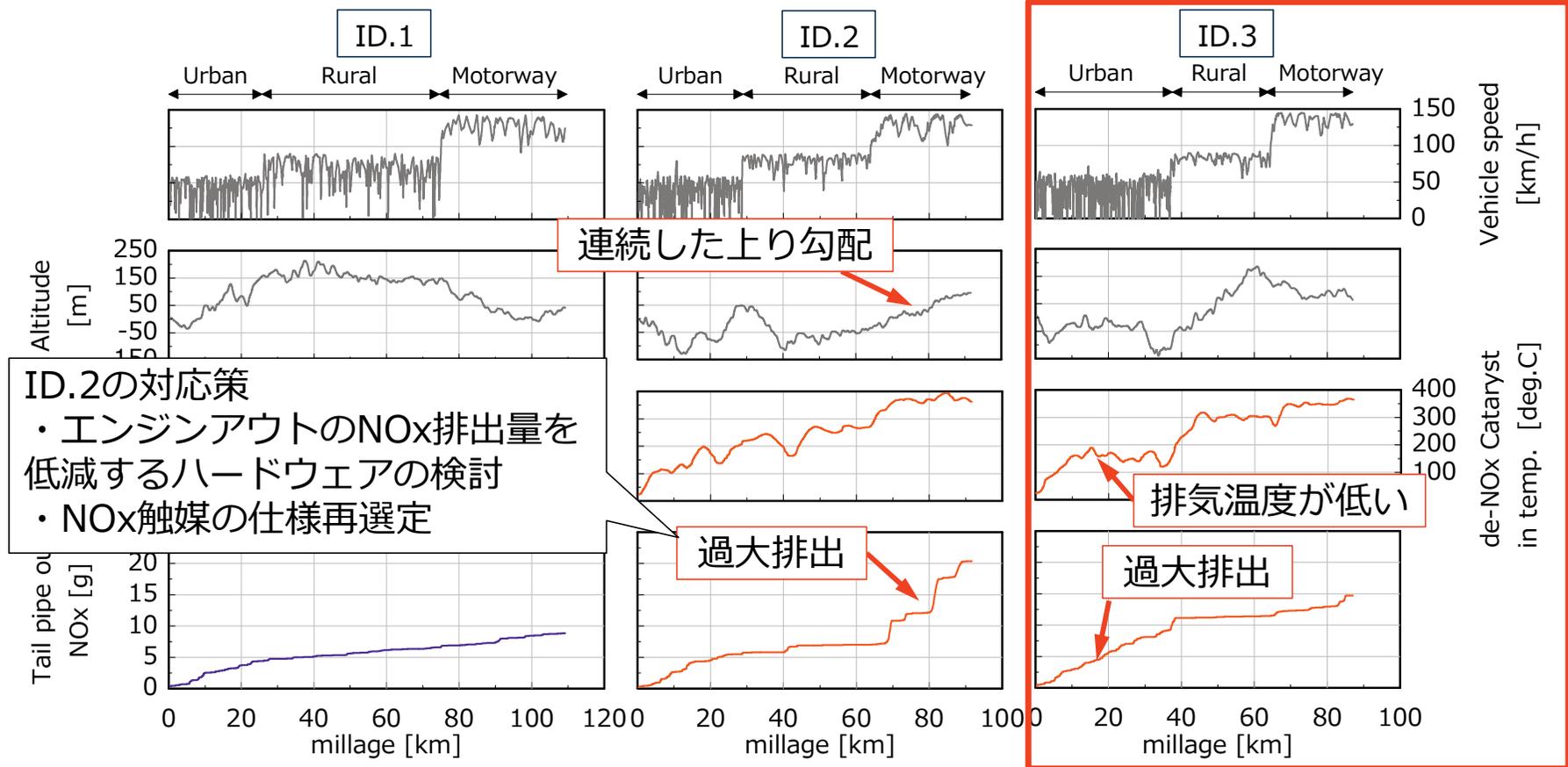


急加速に対する指標とNOx排出量が多くなる
走行パターンの間には関係性が見られない

シミュレーション結果

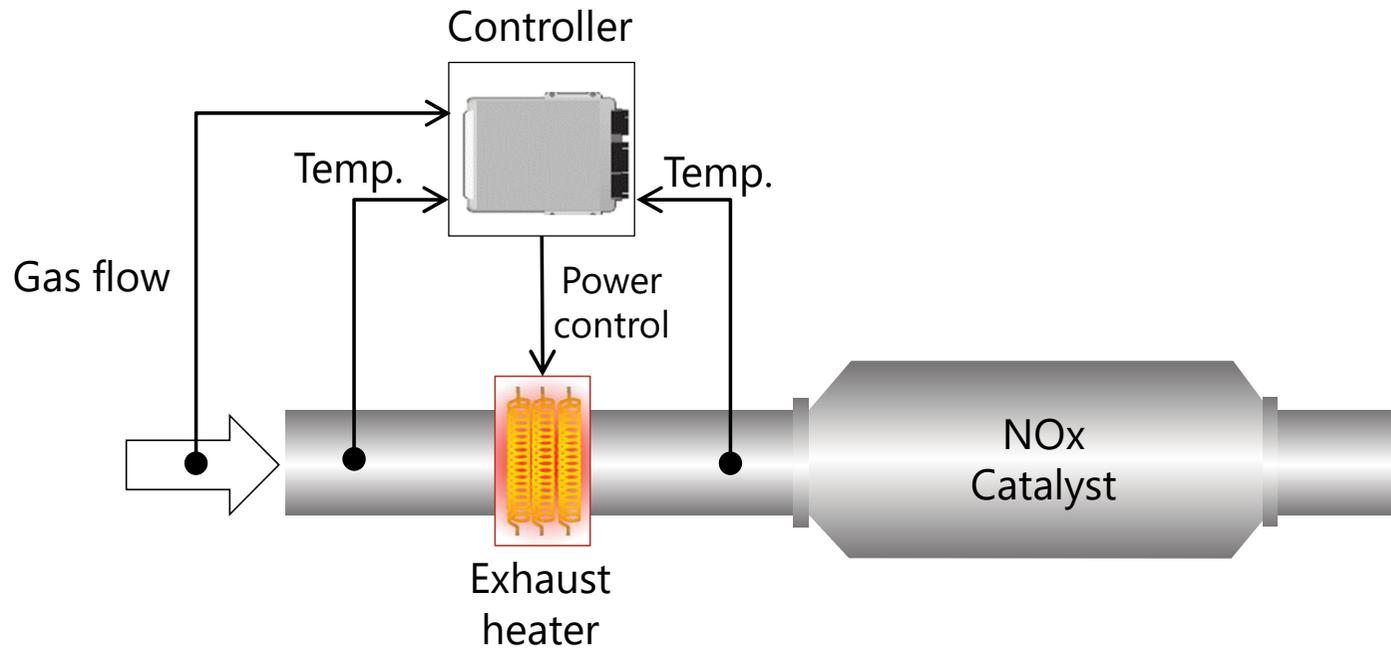
ワーストケースになりうる走り方の特徴

ワーストケースとして着目



シミュレーション結果

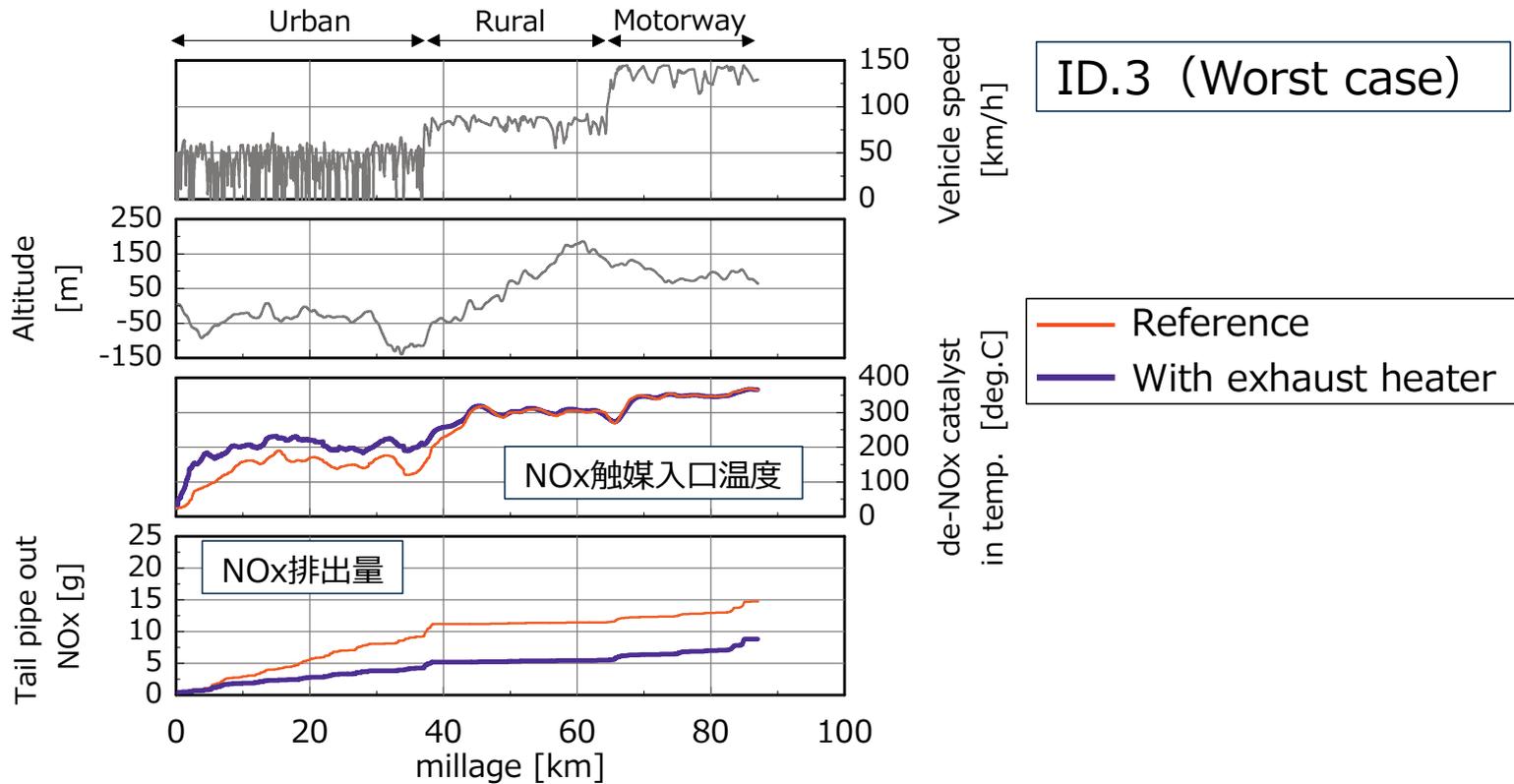
排気温度を昇温するエキゾーストヒータのシステム図



**エキゾーストヒータへの電力は
フィードフォワードとフィードバックでコントロールした**

シミュレーション結果

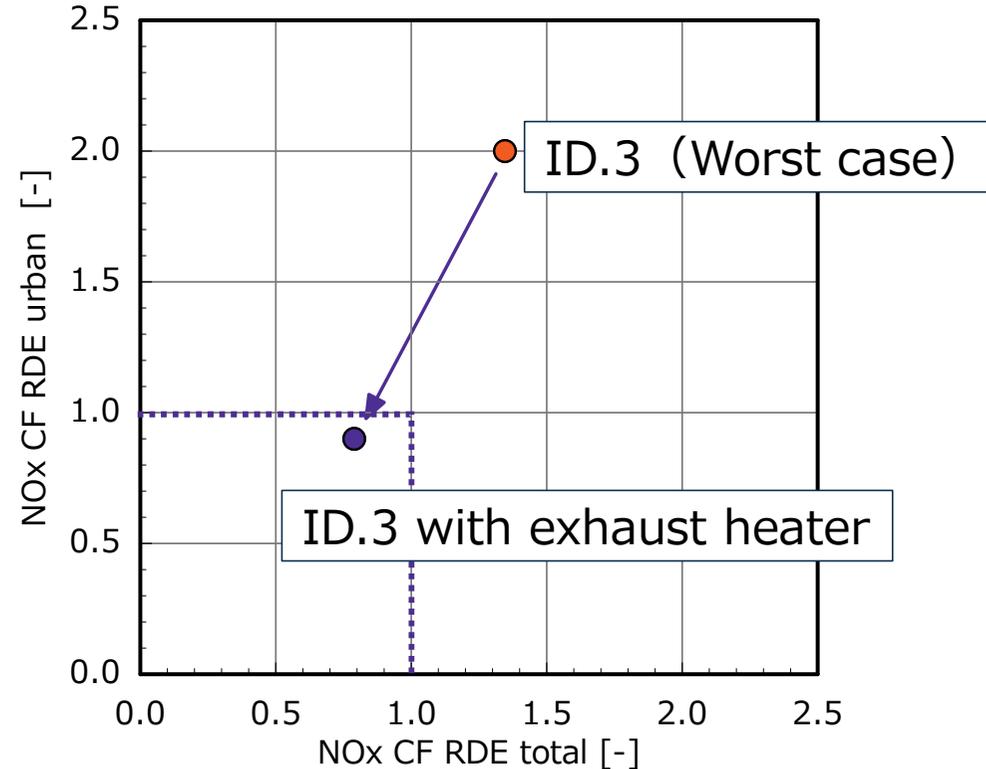
エキゾーストヒータによるNOx排出量の低減効果



エキゾーストヒータによってアーバンのNOx排出量が大幅に低減した

シミュレーション結果

NOx触媒の早期活性化によるCF値の変化



エキゾーストヒータによって
NOx触媒の活性が早期化し、CF値は1.0以下になった

目次

1. 会社紹介
2. 研究背景および目的
3. RDE走行パターン生成ツールの開発
4. 活用事例
 - 4-1エンジン・車両諸元
 - 4-2バーチャル車両の環境
 - 4-3シミュレーション結果
5. まとめ

まとめ1

RDE規制に対し開発工数のフロントローディングを可能にすることを目的として、商品企画の段階でRDEのワーストケースを想定したハード・ソフト開発を可能にするバーチャル車両の環境をMATLAB/Simulinkで構築し、その活用事例を示した。

- ✓ 欧州法規要件に準拠した排出ガス評価用の走行パターンをランダムに生成するツールを開発した。生成したツールと排気ガスシミュレーションを連成させた開発環境によりRDEに対する排気ガス性能が予測可能になった。
- ✓ RDEのワーストケースを導き出し、ワーストケースに対する要因の特定と対策の指針を導くことが可能となった。
- ✓ NOx触媒の温度が低下する走行パターンに対して、エキゾーストヒータによる昇温によりCFは1.0以下になった。

まとめ2

- ✓ 特別なツールボックスを使用することなくMATLABに標準で用意されているコマンドのみを使用したスクリプトを実行することで欧州法規要件に準拠したランダムな走行パターンを生成でき、RDEのワークケースを抽出できた。
- ✓ コンサルティングの利用により、プロジェクトの目的を達成するためのMATLABの使い方のコツ、テクニックおよび基本的な理論を効率的かつ実地的に習得ができた。
- ✓ 本プロジェクトで利用（利用中を含む）したツールボックスは以下のとおりである。
 - MATLAB
 - Simulink
 - Stateflow
 - Statistics and Machine Learning Toolbox
 - MATLAB Compiler

以上です