

## 路上走行時の排出ガス（RDE）試験に対する JARI の取り組み\*

## Research Activities on Real Driving Emission (RDE) Tests in JARI

羽二生 隆宏\*<sup>1</sup>

Takahiro HANIU

伊藤 貴之\*<sup>2</sup>

Takayuki ITO

相馬 誠一\*<sup>1</sup>

Seiich SOMA

松岡 正紘\*<sup>2</sup>

Masahiro MATSUOKA

飯原 和喜\*<sup>1</sup>

Kazuki IHARA

2022年10月より、ディーゼル乗用車等を対象として、これまでの試験室内での台上試験に加え、実路走行中の排出ガスを評価する RDE 試験が導入された。本稿では、RDE 試験に向けた JARI の取り組みの一例として、JARI での評価環境（試験ルートや試験環境など）および JARI で保有する RDE 試験向けの計測装置を紹介する。

## 1. はじめに

我が国は、1966年にガソリン自動車に対する一酸化炭素（CO）排出濃度規制を導入して以来、自動車由来の大気汚染状況、技術開発動向および国際動向を踏まえて、排出ガス規制値を段階的に強化してきた<sup>1)</sup>。現在、自動車排出ガス規制は、自動車排出ガス中の窒素酸化物（NO<sub>x</sub>）、一酸化炭素（CO）、非メタン炭化水素（NMHC）および粒子状物質（PM）の排出量を対象に実施されている。また、近い将来では、粒子状物質の粒子数（PN）に対する規制が、ガソリン車については2024年10月に、ディーゼル車については2023年10月に導入される<sup>2), 3)</sup>。このように、たび重なる自動車の排出ガス規制強化実施の結果、大気環境は改善傾向にあるものの、大都市地域を中心に光化学オキシダントや微小粒子状物質（PM<sub>2.5</sub>）等について、環境基準を達成していない測定局が依然として残っており、自動車を含めた総合的な改善を図ることが必要である<sup>4)</sup>。

近年では、自動車の排出ガス性能の評価を行う室内シャシダイナモ試験（台上試験）により計測された排出ガス排出量と路上走行時の排出ガス排出量との間に乖離があるとの報告<sup>5), 6)</sup>があった。大気環境保全の観点から、実路走行においても台上試験と同様に排出ガスの低減が図られることが必要不可欠であるため、欧州では路上走行時の排出ガス（Real Driving Emission: RDE）規制を2017年より導入している。国内では、2022年10月より、小型ディーゼル車等（乗車定員9人以下の乗用車および車両総重量が3.5t以下の自動車）を対象として、これまでの試験室内での台上試験に加えてRDE試験が導入された<sup>7)</sup>。一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、これまでに様々な条件においてRDE試験を実施するとともに、車載式排出ガス測定システム（Portable Emission Measurement System: PEMS）の精度に関する検証等<sup>8), 9), 10)</sup>を行ってきた。

そこで、本稿では、RDE試験に向けたJARIの取り組みの一例として、JARIでの評価環境（試験ルートや試験環境）およびJARIで保有するRDE試験向けの計測装置を紹介する。

\*1 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部

\*2 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部 博士（工学）

\* 2022年11月9日受理

## 2. RDE試験概要

国内 RDE 試験法<sup>11)</sup>は、欧州 RDE 試験法を参考に日本国内の車両走行状況に合致するよう改良し制定された。表 1 に RDE 試験と室内台上試験である小型車国際調和排出ガス・燃費試験 (Worldwide Harmonized Light vehicles Test Procedure: WLTP)<sup>12)</sup>の主な試験条件を示す。台上試験では温度等の試験環境が一定なのに対し、RDE 試験では外気温は-2℃～38℃、標高は0m～1000mの範囲での試験が可能となり、幅広い環境で実施されることになる。さらに、RDE 試験では、エアコン、電気補機類および灯火器等は一般ユーザーの実路走行時の使われ方と同様の使用が認められている。

表1 RDE試験とWLTP試験の主な試験条件

Parameter		RDE (EURO6d)	RDE (Japan)	WLTP-3phase Class 3b (Japan)	
Test site		on the Road	on the Road or Test track	in the Lab.	
Boundary condition	Ambient temp.	Moderate	0℃ to 30℃	23 ± 3℃ at test start, 23 ± 5℃ in the test	
		Extended	-7℃ to 0℃, 30℃ to 35℃		-2℃ to 0℃, 35℃ to 38℃
	Altitude	Moderate	0 m to 700 m	0 m to 700 m	-
		Extended	700 m to 1300 m	700 m to 1000 m	-
	Altitude difference	no more than 100 m	no more than 100 m	-	
Cumulative altitude gain	1200 m / 100 km	1200 m / 100 km	-		
Driving condition	Vehicle condition		Cold start	Cold start	Cold start
	Payload		≤ 90%	≤ 90%	15% for PC, 28% for LDCV
	Trip composition	Urban (Low)	≤ 60 km/h	≤ 40 km/h	≤ 60 km/h
			34 ± 10%	20 to 35%	20.6%
		≥ 16 km	-	3.1 km	
	Speed Distance ratio	Rural (Medium)	60 to 90 km/h	40 to 60 km/h	60 to 80 km/h
			33 ± 10%	30 ± 10%	31.7%
	Distance	Motorway (High)	≥ 16 km	-	4.8 km
			> 90 km/h	> 60 km/h	80 to 110 km/h
			33 ± 10%	45 ± 10%	47.7%
		≥ 16 km	-	7.2 km	
Test duration		90 min. to 120 min.	90 min. to 120 min.	25 min.(1477 sec.)	
Stop percentage in urban part		7 to 36 %	7 to 36 %	26.5%	
Air conditioner		Permitted to use	Permitted to use	OFF	
Electric device				OFF	
Light				OFF	

## 3. RDE試験ルート

### 3.1 国内RDE試験ルート

国内 RDE 試験法における試験ルートの代表的要件として、以下が挙げられる。

- ・ 走行順序は一般道路、高速道路の順序とする。
- ・ 実走行時の瞬間速度で分類される各走行区分(低速/中速/高速)の走行距離比率は以下を満たすこと。
  - 低速 (40 km/h 以下) : 20%～35%,
  - 中速 (40 km/h 超～60 km/h 以下) : 30 ± 10%
  - 高速 (60 km/h 超) : 45 ± 10%
- ・ 試験時間は 90 分以上、120 分以下とする。
- ・ 停止 (速度が 1 km/h 未満) 時間の合計は低速での走行時間の 7%以上、36%未満であること。
- ・ 標高は 700 m 以下であること (拡張条件は 700 m 以上、1,000 m 以下)。
- ・ 始点と終点の標高差は 100 m 以内とする。
- ・ 登りの累積高度は移動距離 100 km あたり 1,200 m 未満とする。

### 3.2 JARI試験ルートの方策

上記の RDE 試験ルートに関する要件を満足できるように机上でルート検討を行う方法として、全国道路・街路交通情勢調査（道路交通センサス）一般交通量調査における交通調査基本区間を活用した事前検討方法と、より簡便な Web 上における地図データ（Google map 等）を活用した検討方法が考えられる。

道路交通センサスの交通調査基本区間にはルート選定にあたって重要なパラメータである区間延長、平均速度、制限速度、ならびに道路状況（交通量、車線数、沿道状況、歩道有無、交差点密度など）の情報が一覧になっている。この基本区間を組み合わせることで RDE 試験法に適合するルートを模索することができる（図 1）。ただし、一つひとつの基本区間を繋ぎ合わせてルートを組み合わせるため、ルートの変更や調整に融通が利かず時間がかかるというデメリットがある。

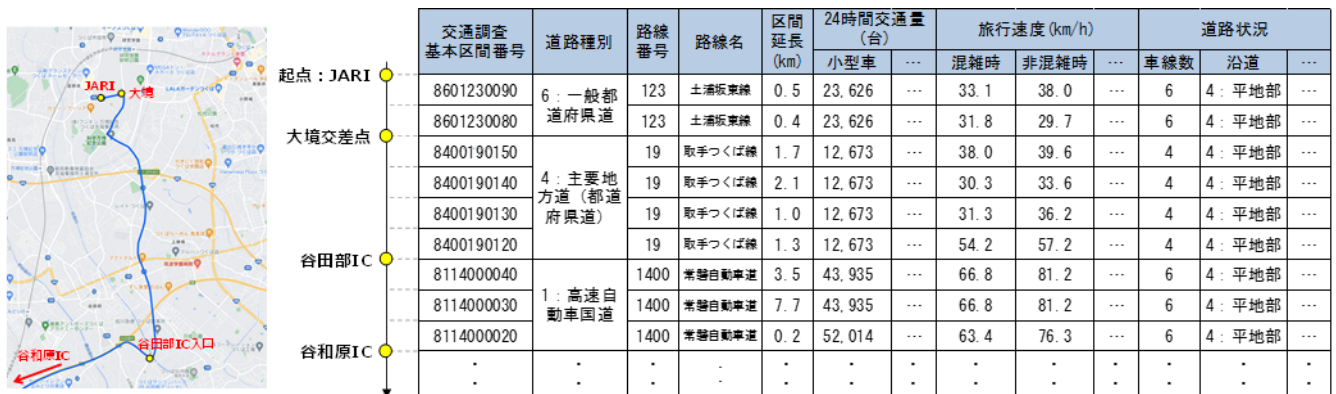


図 1 道路交通センサスを活用した試験ルートの検討方法の例

一方、Web 上における地図データを活用してルートを検討する際は、最初に高速走行時間および距離が試験法において適切となるように、高速道路における始点と終点（IC や SA）を設定する。一般道に関しては、走行距離と推定所要時間から対象路線の平均速度を求め、これらの組み合わせにより、ルート走行時の距離比率（低速／中速／高速）をある程度推定し、RDE 試験法に適合するルートを検討することができる。

いずれの方法においても検討したルートは実際に走行し、試験ルートとしての適性（歩行者状況、スクールゾーンの有無など）や取得した速度データを処理することで RDE 試験法への適合性を確認する必要がある。検討した複数ルートを 2~3 回検証を繰り返すことで、RDE 試験法として成立性が高いと考えられる JARI を起点とした 2 つのルートを策定した<sup>13)</sup>。図 2 に JARI における RDE 試験ルートと、その RDE 試験ルートを走行した際の速度と標高を示す。標高は、走行時の緯度・経度情報と電子地図情報を照らし合わせて取得した標高データと、加速度センサにより計測された車両前後方向加速度と車両速度を微分して得られる加速度の差分から求めた標高データの 2 種類を参考に示す。JARI-RD-01 ルートは、つくば市内と土浦市内の一般道および高速道路（常磐自動車道）を走行するルートである。国内 RDE 試験における各種要件（距離比率、時間比率、標高条件、動的境界条件等）を満足可能な走行ルートである。JARI-RD-02 ルートは、JARI-RD-01 ルートと比べ、細街路での走行を増やすことで RDE 試験の成立性を向上させた走行ルートになっている。図 3 に JARI-RD-01 ルートと JARI-RD-02 ルートを複数回走行した際の加速強度（相対的正加速度（RPA）および速度×加速度の 95 パーセンタイル値（V\*A\_pos[95]））を示す。検討したいずれのルートにおいても通常の交通流に合わせて運転すると、RPA が下限値未満になるなど試験が成立していないことがあり、策定した 2 つのルートにおいても、ある程度意図的な加減速を行うなど、成立性を高める工夫が必要となる。

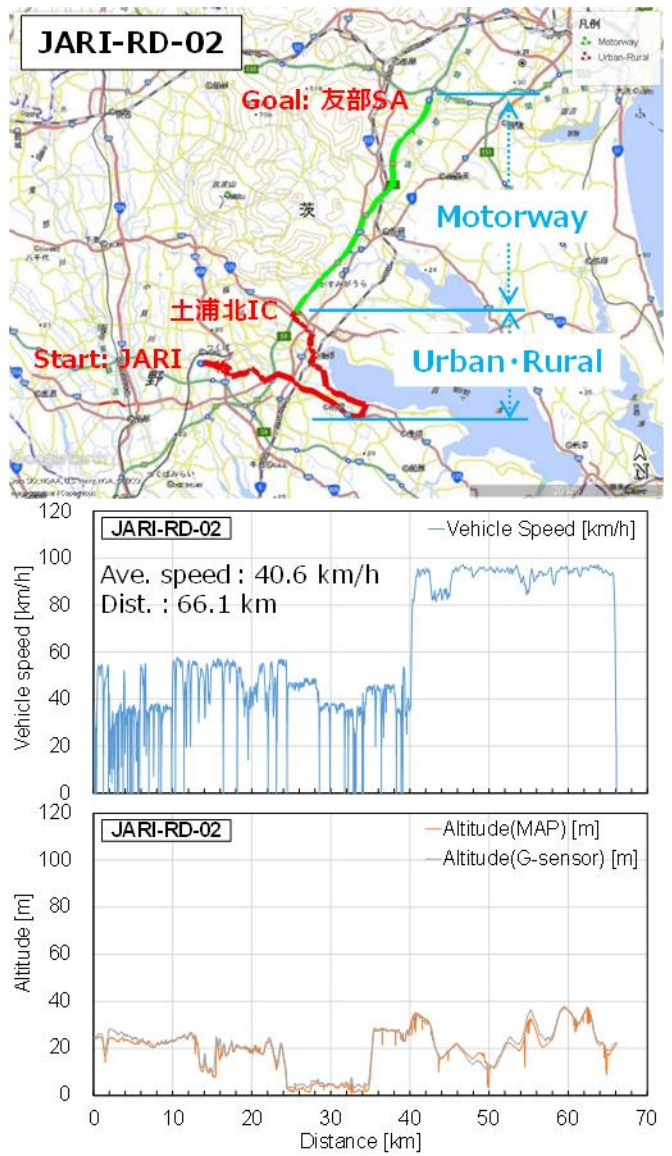
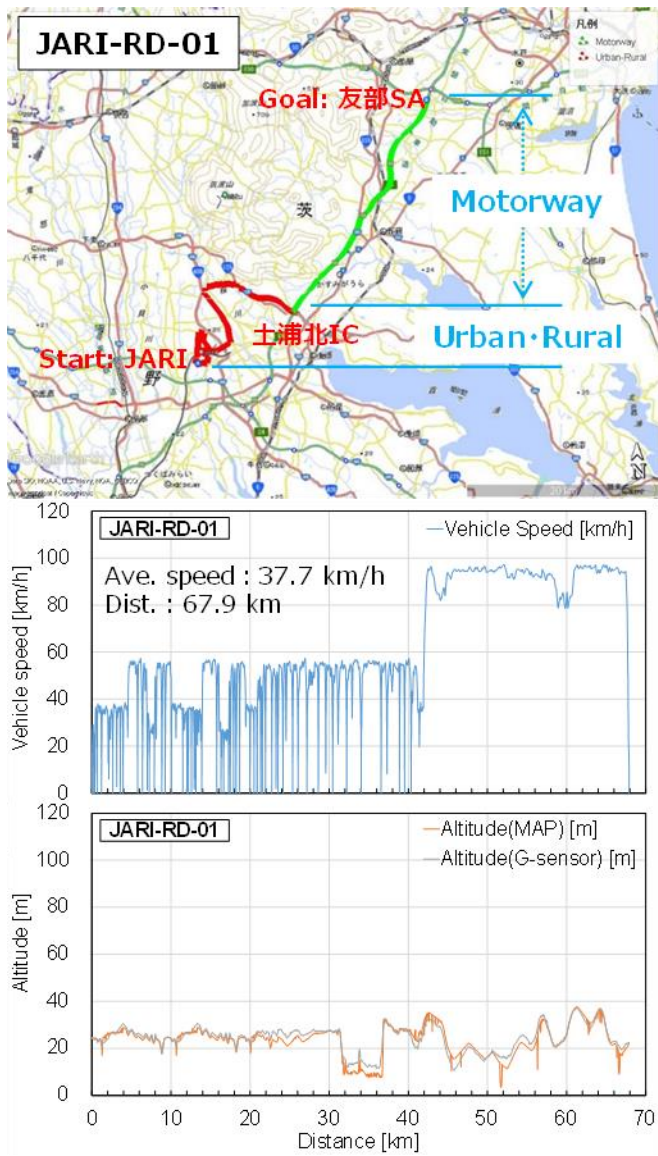


図2 JARIにおけるRDE試験ルートと走行例

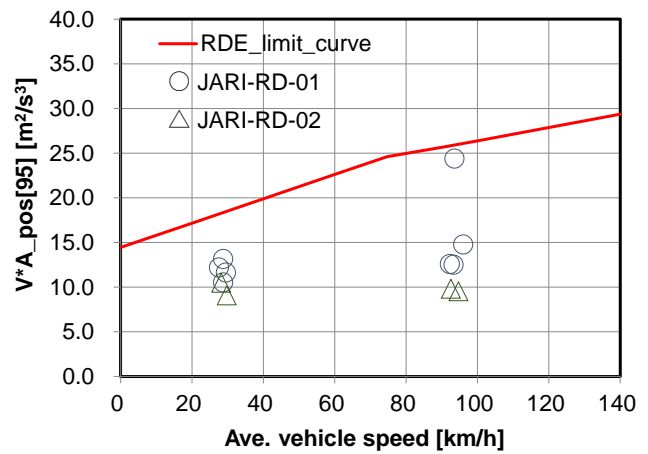
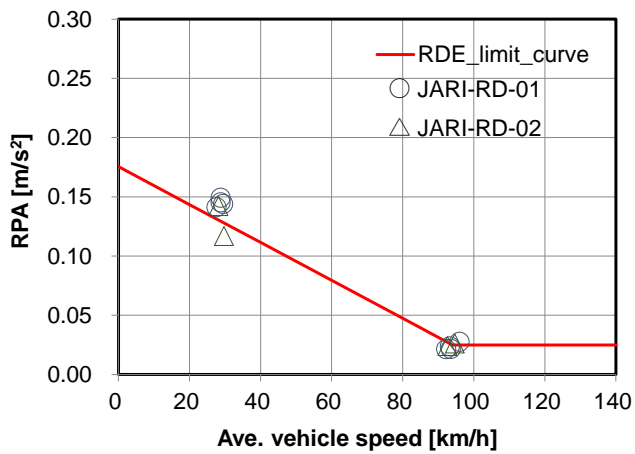


図3 JARIのRDE試験ルートを走行した際の加速強度の例

### 3.3 試験路（城里テストセンター）

JARI 城里テストセンター（STC）の高速周回路は、全周 5.5 km の長楕円型の高速走行試験路である。走行レーンは、低速（60 km/h）・中速（105 km/h）・高速（190 km/h）の 3 レーンが設定されている。車両の走行抵抗の測定に加え、日本国内にて認められている試験路における RDE 試験にも対応している。上述の試験ルートで取得した時間と速度の走行パターンを走行することで試験路における RDE 試験が実施できる。



周長	5,500 m×幅 12 m
直線長	1,112 m×2
曲線長	1638 m×2
円曲線部半径	400 m
曲線部高速車線設計速度	190 km/h
円曲線部最大角度	45.2°
直線部勾配	1%片勾配
設計輪荷重	8ton

図 4 城里テストセンター（STC）

#### 4. RDE試験の環境条件

つくば市 (JARI) および STC (高速周回路) の気温頻度分布を図 5 および図 6 に示す。つくば市は、1 年のうち国内 RDE 試験における温度範囲である $-2^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$ の範囲から外れるのは年間で 2.4%と少なく、年間を通して RDE 試験が実施できる気候にある。STC は、つくば市に比べてやや気温が低い傾向にあるが、つくば市と同様に年間を通して RDE 試験が実施できる気候である。また、図中には月別の温度分布についても参考として記載した。つくば市、STC ともに 11 月から 4 月においては $-2^{\circ}\text{C}$ を下回る場合があることに留意が必要である。

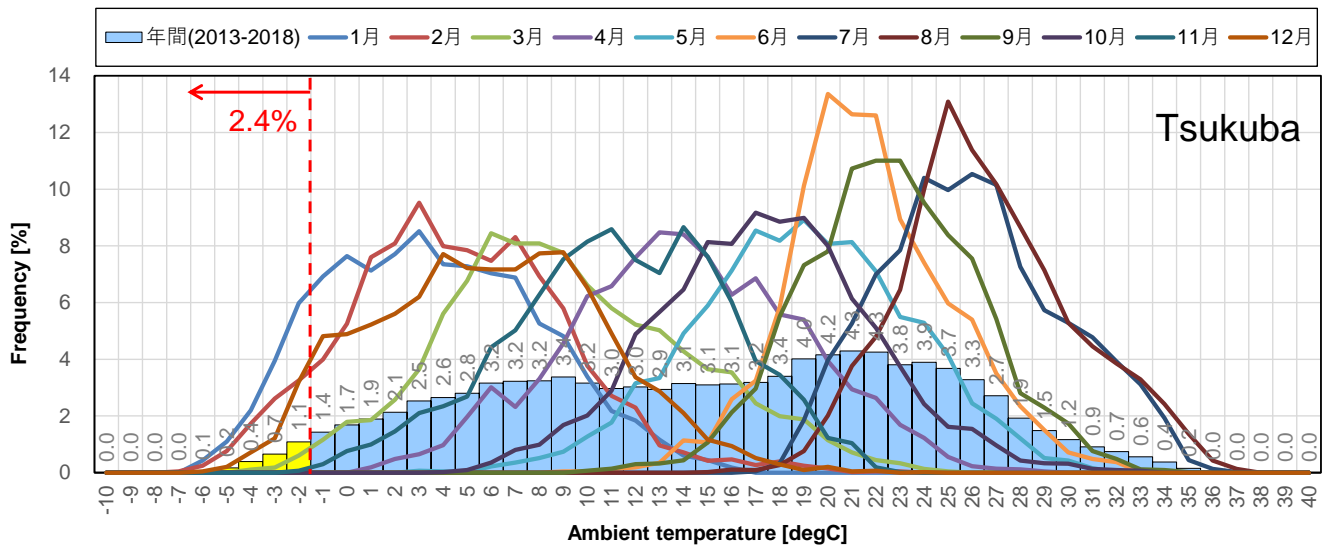


図 5 つくば市の気温頻度分布 (2013 年~2018 年)<sup>14)</sup>

※気象庁過去の気象データを JARI にて加工

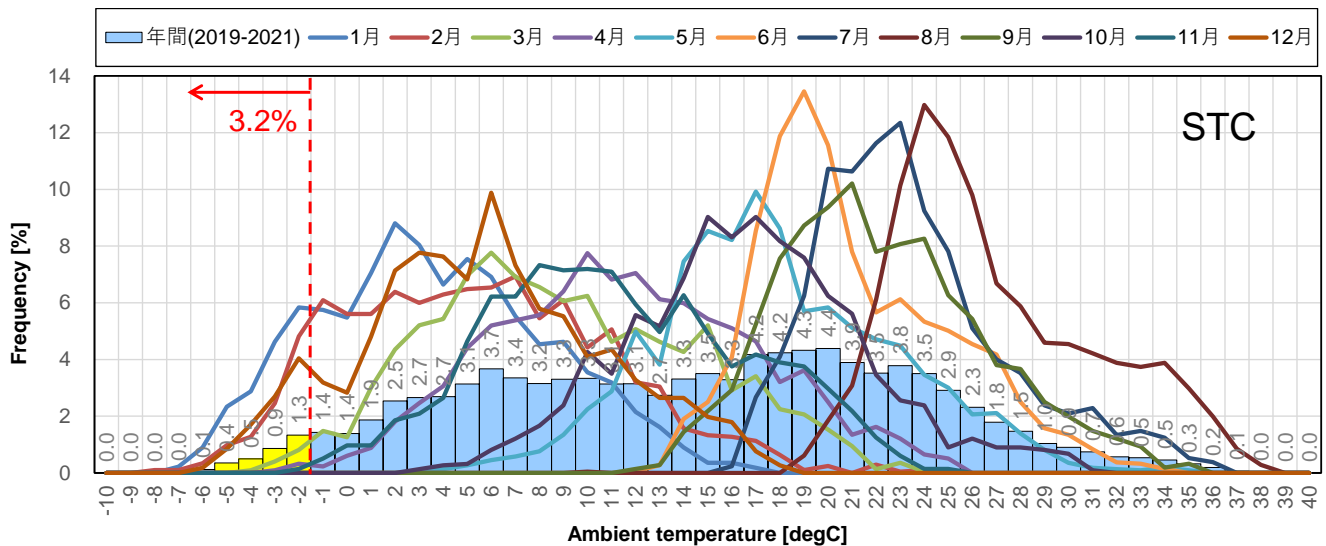


図 6 城里テストセンターの気温分布 (2019 年~2021 年)<sup>15)</sup>



## 5. 車載型排出ガスシステム（PEMS）

車載型排出ガス分析システム（PEMS）は、排出ガス計測装置を小型軽量化し車載可能にした装置である。PEMSには、測定する対象成分ごとに測定機器を準備する必要があり、排出ガス計測用、PN計測用、NH<sub>3</sub>やN<sub>2</sub>Oなどの現在規制の対象となっていない物質を測定するためのPEMSなどが販売されている。PEMSでは、排出ガス直接サンプル法を用いて排出ガスを計測しており、排出ガス質量は、瞬時排出ガス濃度とピトー管式排出ガス流量計で測定した瞬時排出ガス流量から求める。以下にJARIにおいて保有しているPEMSについて紹介する。

### 5.1 車載型排出ガス分析システム（Gas-PEMS）

表2にJARIで保有している2種類の車載型排出ガス分析計（Gas-PEMS）の主要諸元を示す。Gas-PEMS-1は除湿を行わずに直接濃度計測するwet計測であるのに対し、Gas-PEMS-2は定置型分析計と同様に除湿を行った後に濃度を計測（dry計測）し、燃料のH/C比から湿潤状態に補正する方式である点異なる。また、NO<sub>x</sub>濃度の計測方法も異なり、PEMS-1が定置型分析計と同様の化学発光法（CLD）であるのに対し、PEMS-2は紫外吸収法（NDUV）が採用されている。NDUV法の場合には、NO濃度とNO<sub>2</sub>濃度を独立に計測する。



表2 JARI 所有の Gas-PEMS の主な諸元

測定成分 測定項目	Gas-PEMS-1		Gas-PEMS-2	
	OBS-ONE-GS		M.O.V.E. iX Gas	
	計測原理	測定レンジ	計測原理	測定レンジ
CO	Heated NDIR (wet)	0 ~ 0.5 / 10 (vol%)	NDIR (dry)	0 ~ 0.5 (vol%)
CO <sub>2</sub>	Heated NDIR (wet)	0 ~ 5 / 20 (vol%)	NDIR (dry)	0 ~ 20 (vol%)
THC	Heated FID (wet)	0 ~ 100 / 10000 (ppmC)	FID (dry)	0 ~ 30000 (ppmC)
CH <sub>4</sub>	-	-	-	-
NO <sub>x</sub>	Heated CLD (wet)	0 ~ 100 / 3000 (ppm)	演算にて算出	-
NO	Heated CLD (wet)	0 ~ 100 / 3000 (ppm)	NDUV (dry)	0 ~ 5000 (ppm)
NO <sub>2</sub>	演算にて算出	-	NDUV (dry)	0 ~ 2500 (ppm)
排出ガス流量	Pitot管式流量計	0 ~ 2.0 / 65 (m <sup>3</sup> /min)	Pitot管式流量計(2.5インチ)	0.17~12.46 (m <sup>3</sup> /min)
標準測定項目	排出ガス温度, 排出ガス圧力, 大気圧, 気温, 湿度, GPS位置情報, 車速, 車両情報 (CAN/OBD)		排出ガス温度, 排出ガス圧力, 大気圧, 気温, 湿度, GPS位置情報, 車速, 車両情報 (CAN/OBD)	
使用環境	周囲温度: -10℃ ~ 40℃ 相対湿度: 80%以下 高度: 0~2000 m		周囲温度: -10℃ ~ 45℃ 相対湿度: 80%以下 高度: 0~3000 m	
質量	GAS分析部・THC分析部・OBDユニット: 約 40 kg 制御/電源分配/外部信号入出力ユニット: 約 20 kg 排出ガス流量制御ユニット・ピトー管式流量計: 約 10 kg バッテリー・ガスポンペ類: 約 130 kg 配管・取り付け治具等: 約 50 kg ➡ 合計: 約 250 kg		GAS分析部・THC分析部・OBDユニット: 約50kg 制御/電源分配/外部信号入出力ユニット: 約15kg 排出ガス流量制御ユニット・ピトー管式流量計: 約5kg バッテリー・ガスポンペ類: 約 150 kg 配管・取り付け治具等: 約 50 kg ➡ 合計: 約 270 kg	
製造元	HORIBA		AVL	
計測器外観				

## 5.2 車載型PN計測システム (PN-PEMS)

表3にJARIで保有している2種類の車載型PN計測システム (PN-PEMS) の主要諸元を示す。PN-PEMSは、乗用車等の国際調和排出ガス・燃費試験法 (UN Regulation No.154) で定められている Particle Measurement Programme (PMP) による計測手法と同じ検出原理である凝縮粒子数カウンタ方式 (CPC方式) を用いる PN-PEMS-1 と, CPC方式に比べて動作温度範囲が広く, 振動や傾斜変化に強い拡散荷電センサ方式 (DCセンサ方式) を採用している PN-PEMS-2 の2種類を保有している。


表3 JARI 所有の PN-PEMS の主な諸元

測定成分 測定項目	PN-PEMS-1	PN-PEMS-2
	OBS-ONE-PN	M.O.V.E. PN PEMS IS SELECTABLE SN122
測定原理	レーザー散乱式凝縮粒子カウンティング (CPC)	拡散荷電センサ (DC)
検出粒子径レンジ	23~1,000 nm	10nm : 10~200 nm 23nm : 23~200 nm
測定レンジ	0~5×10 <sup>7</sup> 個/cm <sup>3</sup>	0~2.06×10 <sup>7</sup> 個/cm <sup>3</sup>
希釈方式	2段希釈	2段希釈
希釈率	100 : 1 (1段目 10 : 1, 2段目 10 : 1)	10 : 1 (1段目 2 : 1, 2段目 5 : 1)
加熱導入管温度	30℃	150℃
Catalytic Stripper 温度	300℃	350℃
凝縮液	イソプロピルアルコール : 試薬特級 (99.5%) 相当	不要
使用環境	周囲温度 : -10℃ ~ 40℃ 相対湿度 : 80%以下 高度 : 0~2000 m	周囲温度 : -10℃ ~ 45℃ 相対湿度 : 80%以下 高度 : 0~3000 m
質量	PN分析部 : 約 20 kg	PN分析部 : 約 16 kg
製造元	HORIBA	AVL
計測器外観		

### 5.3 車載可能なフーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR計)

表4にJARI保有の可搬式フーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR計) の主な諸元を示す。FT-IRは、自動車排出ガス中の亜酸化窒素 (N<sub>2</sub>O)、アンモニア (NH<sub>3</sub>)、ホルムアルデヒド (HCHO) といった現在規制の対象となっていない物質を測定することができる。可搬式FT-IR計は、制御部や電源部、制御解析用ノートPC等を車載計測用に交換することにより車載式FT-IR計としても使用することが可能となる。低温環境での使用は推奨されておらず、5℃以上の環境にて使用される。

表4 JARI 所有の車載可能な FT-IR の主な諸元

項目	FT-IR (車載可能)
	FAST-2200 (FAST-3000)
測定対象	ガソリン・ディーゼルエンジン、 触媒装置及び焼却炉から排出される燃焼ガス
燃料種類	ガソリン、軽油、重油、バイオエタノール、天然ガス及び焼却炉焼却物
測定成分数	25検量ファイル
測定赤外線波長域	400 cm <sup>-1</sup> ~7000 cm <sup>-1</sup>
分解能	0.5 cm <sup>-1</sup>
サンプリング周期	5Hz (5Hz以下の任意周期に設定機能あり)
ガスセル容量/温度	200ml / 113℃、150℃、191℃に加熱可能
測定光路長	5.11m
応答速度 (T0-T90)	1.5秒以内
再現性	フルスケールの±1%以内
推奨設置環境	周囲温度：5℃ ~ 35℃, 相対湿度：80%以下
質量	検出部・サンプリングユニット：約 135 kg 信号入出力ユニット：約 6 kg ガスポンペ・鉛バッテリー：約 90 kg 横置き用固定治具：約 25 kg 配管, PC等：約 10 kg ➡ 合計：約 260 kg
製造元	岩田電業
計測器外観	

#### 5.4 PEMS搭載例

RDE 試験時の PEMS の車載状況の例を図 7 に示す。本搭載例では Gas-PEMS および PN-PEMS を 1 台ずつ搭載している。PEMS および周辺機器は、試験車両の後部座席と荷室の空間に配置した。ピトー管式排出ガス流量計や排出ガスサンプリングポートは、排気管を延長してマフラーより下流に設置した。マフラーと延長した排気管との接続には、PN 排出源となる可能性のあるエラストマーコネクタやシリコンホースは使わず、純正マフラーをフランジ加工して接続している。その他、RDE 試験時には、GPS アンテナ、ECU データロガー、加速度センサ、温湿度計、日射計、風速計、気圧センサなどを取り付けている。

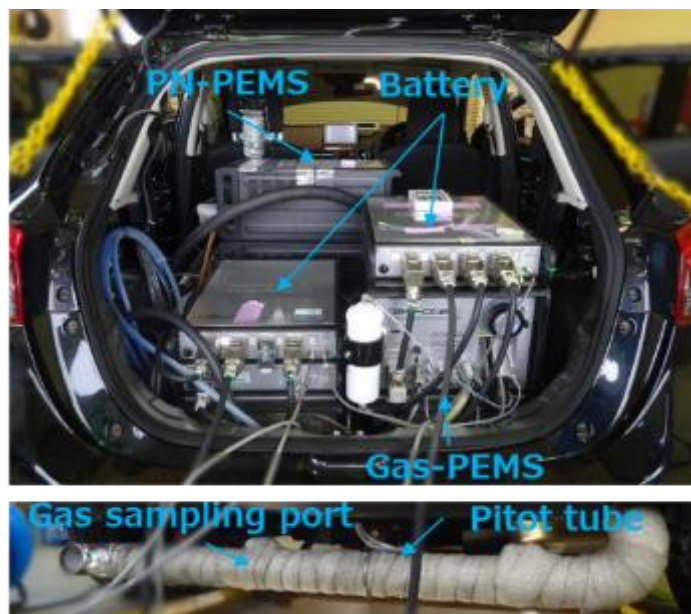


図7 RDE試験時のPEMSの車載状況の例

## 6. RDE試験結果の解析例

2009年ポスト新長期規制に適合したディーゼル乗用車（1.5 L, DPF 搭載）1台を用いて上述の JARI の RDE 試験ルート 2 種類において RDE 試験を実施した。図 8 に移動平均ウィンドウ法 (Moving Average Window (MAW) 法) による CO<sub>2</sub> 排出量の解析結果例を示す。CO<sub>2</sub> 排出量の軌跡の大部分は一次公差（基準に対して±25%の点線）の範囲内に収まった。JARI-RD-01 ルートでは、ほぼすべての速度域において CO<sub>2</sub> 排出量の軌跡は一次公差線内に収まっていた。JARI-RD-02 ルートでは、40 km/h 付近の速度域において、一次公差線の下限以下となる場合があるものの CO<sub>2</sub> 軌跡は概ね一次公差の範囲内になっており、2 ルートともに試験が有効となることを確認できた。また、排出ガス規制値に対する全走行時の単位距離あたりの NO<sub>x</sub> 排出量の比は、JARI-RD-01 ルートでは概ね 0.7, JARI-RD-02 ルートでは概ね 0.5 であった。

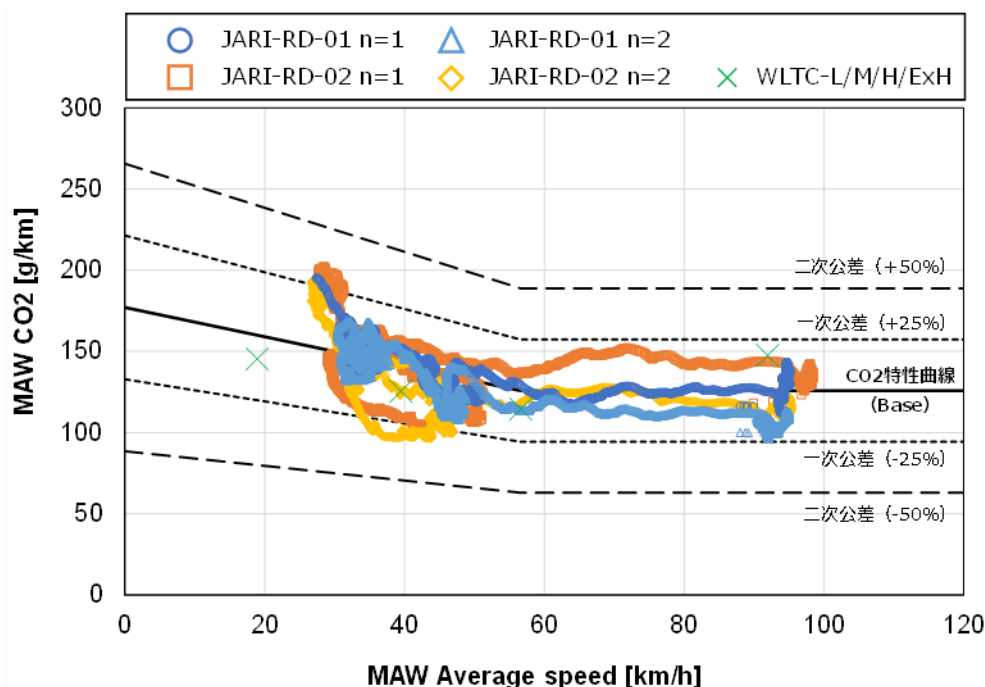


図8 MAW-CO<sub>2</sub>解析結果例

## 7. まとめ

本稿では、2022年10月よりディーゼル乗用車等を対象に導入される路上走行試験の実施方法の概要と RDE 試験に関する JARI の取り組み例を紹介した。

RDE 試験では、従来の台上試験とは異なる新たな対応が必要とされる。JARI では、この新たな試験法に対応すべく、2005年頃より PEMS を導入し実路上やテストコース上において様々な条件や車両で RDE 試験を実施してきた。これまでの研究で得られた RDE 試験に関する課題やノウハウを基に、車両や走行ルート設定等の事前準備から試験結果の解析まで含めた総合的な RDE 試験を実施する体制を整えている。

また、実路走行時における排出ガスや燃費等の評価は、PEMS 等の様々な計測装置を搭載する必要があり、ソーク場所や道路交通法による種々の制約などによるハードルが高い。そのため、JARI では、シャシダイナモメータ上において実路走行状態を模擬して評価する方法も検討している<sup>13),16),17)</sup>。

今後も、RDE 試験に関するさらなる検討を進め、公平性や再現性を持った精度の高い RDE 試験の提案に貢献していきたい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 新車に対する排出ガス規制について, [https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_tk10\\_000002.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000002.html) (参照 2022.10.11.09)
- 2) 環境省 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について (第十四次答申), <https://www.env.go.jp/air/car/taisaku/index.html> (参照 2022.11.09)
- 3) 国土交通省 報道発表資料, 排出粒子数 (PN : Particle Number) の基準を導入します ~道路運送車両の保安基準の細目を定める告示等の一部改正について~, 令和4年 (2022年) 10月7日, [https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10\\_hh\\_000271.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000271.html) (参照 2022.11.09)
- 4) 環境省 大気汚染状況, <https://www.env.go.jp/air/osen/index.html> (参照 2022.11.09)
- 5) Martin W. et al.: A complementary emissions test for light-duty vehicles: Assessing the technical feasibility of candidate procedures, EUR EUR 25572: Publications Office of the European Union; JRC75998 (2013) <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC75998> (参照 2022.11.09)
- 6) Gregory J. Thompson. et al.: In-Use Emissions Testing of Light-Duty Diesel Vehicles in the United States, ICCT Consultant report, (2014) <https://theicct.org/publication/in-use-emissions-testing-of-light-duty-diesel-vehicles-in-the-u-s/> (参照 2022.11.09)
- 7) 国土交通省 報道発表資料, 路上走行時の排出ガス試験を導入します -排出ガス不正が防止され、実際の道路上での排出ガスが抑制されます-, 平成30年 (2018年) 3月30日, [https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10\\_hh\\_000198.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000198.html) (参照 2022.11.09)
- 8) 相馬 誠一, 南 利貴: 重量車の車載型排ガス計測器に関する検討—計測法の検討—, 自動車技術会論文集, 42巻, 5号, p.1193-1198 (2011), [doi.org/10.11351/jsaeronbun.42.1193](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.42.1193)
- 9) 相馬 誠一, 南 利貴: 重量車の車載型排ガス計測器に関する検討 (第2報), 自動車技術会論文集, 43巻, 3号, p.795-800 (2012), [doi.org/10.11351/jsaeronbun.43.795](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.43.795)
- 10) 相馬 誠一: PEMS試験の実際と課題, 自動車技術会2017年春季大会フォーラム「Real Worldエミッション低減に向けた車載排ガス計測: PEMSの最新動向」, No.17 FORUM-Y9, p.14-21 (2017)
- 11) 国土交通省 道路運送車両の保安基準 別添119 路上走行時のディーゼル軽・中量車排出ガスに関する技術基準, <https://www.mlit.go.jp/common/001231909.pdf> (参照 2022.11.09)
- 12) 国土交通省 道路運送車両の保安基準 別添42 軽・中量車排出ガスの測定方法, <https://www.mlit.go.jp/common/001184850.pdf> (参照 2022.11.09)
- 13) 羽二生隆宏 ほか: シャンダイナモメータを用いた実路走行環境の再現方法, 自動車技術会論文集, 53巻, 3号, p.579-584 (2022), [doi.org/10.11351/jsaeronbun.53.579](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.53.579)
- 14) 気象庁 過去の気象データ, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (参照 2022.11.09)
- 15) JARI 気象データデータ, <https://www.jari.or.jp/test-courses/ancillary-equipment/weather-data/> (参照 2022.11.09)
- 16) 松岡正紘ほか: Random Cycle Generatorを用いたシャンダイナモメータ上での実路排出ガス評価手法の研究, JARI Research Journal, JRJ20201002 (2020), <https://www.jari.or.jp/research-database/detail/?slug=33284> (参照 2022.11.09)
- 17) 羽二生隆宏 ほか: WLTCモード作成方法およびランダムサイクルジェネレータへの適用, JARI Research Journal, JRJ20201010 (2022), <https://www.jari.or.jp/research-database/detail/?slug=46458> (参照 2022.11.09)