

Random Cycle Generator を用いたシャシダイナモメータ上での実路排出ガス評価手法の研究

Study of a real driving emission test using a random cycle generator on a chassis dynamometer

松岡 正紘 *1
Masahiro MATSUOKA

伊藤 貴之 *1
Takayuki ITO

相馬 誠一 *2
Seiichi SOMA

羽二生 隆宏 *2
Takahiro HANIU

Abstract

Real driving emission regulations using portable emission measurement systems (PEMS) will be applied from October 2022 for light and medium-duty diesel vehicles in Japan. This means that during vehicle development it is more important to consider various situations. However, since an actual driving test depends on the surrounding traffic conditions and the weather, there is a high possibility that a test cannot be completed. For efficient vehicle development, it is necessary to develop an evaluation method that can simulate real driving emission in the laboratory. In this research, a random cycle generator (RCG) that can generate a real driving cycle that simulates various traffic situations was developed. Furthermore, the random cycle was run on an environmental chassis dynamometer. As a result, an alternative evaluation method for real driving emission (RDE) tests was proposed, which is not affected by actual traffic conditions or weather.

1. 背景と目的

大気環境保全の観点から、自動車の排出ガス規制は年々厳しいものとなってきた^{1),2)}。我が国においては、ディーゼル軽・中量車について、2022年10月より Portable Emission Measurement Systems (以下、PEMS) の車両搭載を前提とした、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 (以下、実路排出ガス試験法)³⁾ が適用される予定であり、実使用環境における排出ガスが評価の対象となる。車両開発においては、様々な実路の交通状況や環境を考慮した設計とすることが、これまで以上に重要となる。

しかしながら、実路での試験は周囲の交通状況や環境に依存するため、開発に必要な評価が常に実施できるとは限らない。また、実路走行試験を行うための車両への PEMS 搭載にも工夫が必要であり、工数増加の一因となっている。これらの課題を解決する効率的な車両開発手段として、実路ではなく利便性の高い実験室にて、様々な交通状況を模擬した実路排出ガス評価手法が求められている。

本研究では、この評価手法の一つとして、様々な交通状況を模擬した実路走行サイクルを生成可能な Random Cycle Generator (以下、RCG) を開発し、RCG により生成されたサイクルをシャシダイナモメータ上で走行することで、車両開発にも有用な実路排出ガス評価手法を提案することを目的とした。

2. RCG の開発

RCG の開発に関する既往研究としては、Kooijman らによる研究例⁴⁾ があり、WLTC⁵⁾ モード作成時のデータベースを基に、代表的な車速パターンを生成する RCG が開発されている。この研究では、排出ガス試験などでの利用が想定されて行われており、RCG の有用性が示されている。他方、RCG を車両開発に活

*1 一般財団法人日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部 博士 (工学)

*2 一般財団法人日本自動車研究所 エネルギー・環境研究部

用することを想定した場合、RCGには、生成するサイクルの加速強度や走行距離・時間が調整できること、データベースに国内の実路走行データを用いることなどが求められる。

本研究では、車両開発におけるRCGの活用を念頭に、様々な交通状況の模擬を可能とするため、生成するサイクルの加速強度を調整できるようにRCGを設計した。また、本RCGのデータベースには、一般財団法人日本自動車研究所（以下、JARI）が保有する乗用車の実路走行データを用いた。

2.1 RCGでのサイクル生成方法

本研究で開発したRCGは、実路走行データのデータベースから抽出されたショートトリップ（1回の発進から停止までの区間のこと。以下、ST）を組み合わせることで、目標走行距離や時間に応じたサイクルを生成する。本RCGは、サイクルを生成する際に用いるSTやSTの組み合わせに任意性を有するロジックを用いることで、毎回異なるサイクルを生成することが可能となっている。

本研究で開発したRCGでのサイクル生成方法について、具体的な手順を以下の1～3に示す。

1. データベースから抽出したSTについて、最高速度が70 km/h未満のものとそれ以上のものに分類し、STの走行距離に対する累積頻度分布を取得する（Fig. 1 ①参照）。

2. 設定された目標走行距離や時間に応じて、サイクル生成に必要な数となる数のSTをFig. 1 ①から概ね等頻度間隔となるように選択する。例えば、70 km/h未満のSTから5個を選択してサイクルを作成する場合は、Fig. 1 ②のように10、30、50、70、90%タイルにおけるST（ST-1～ST-5）が、サイクルの生成に用いるSTの基準となる。ただし、本RCGでは、サイクル生成する際に用いるSTにランダム性を持たせるため、基準となるSTから前後で5%（70 km/h未満の全ST数の5%の個数）の幅でランダムにSTを選択することとした。

3. Idleについても、STと同じ要領でIdle時間を基準とした頻度分布を取得し、その頻度分布から、サイクル作成に必要なST数より一つ多い数のIdleを選択する。このように選択したSTとIdleを、IdleとSTが交互となるようにランダムに配置することで、RCGサイクルを作成した（Fig. 1 ③参照）。

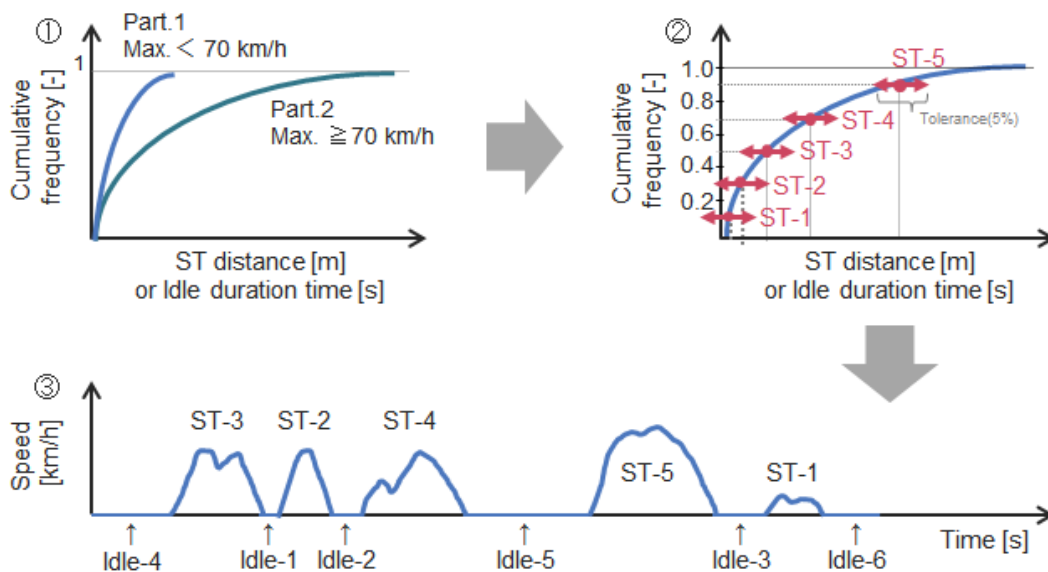


Fig. 1 Concept of designing the random cycle generator.

2.2 RCG サイクルの加速強度の調整

本 RCG では、サイクル生成に使用する ST の Relative Positive Acceleration (以下、RPA) とサイクルの Va95 を考慮することにより、生成するサイクルの加速強度を調整可能とした。

RPA は式 (1) で求められる加速度の指標であり、この値が大きいほど加速が厳しい条件のサイクルとなる。

$$RPA = \sum(v \times a) / \sum v \quad [m/s^2] \quad \text{--(1)}$$

ここで、 v は瞬時速度、 a は正の瞬時加速度である。

また、Va95 はサイクル中の「速度×加速度 (正)」の値を昇順にソートした際の 95% タイルの値である。

RPA, Va95 は、実路排出ガス試験法における実路走行試験の成立要件を判定する指標としても使用されている。RPA は加速度が低い走行をした場合に試験不成立とするための下限値、Va95 は加速度の高い走行をした場合に試験不成立とする上限値であり³⁾、実路走行試験ではこれらの要件を満足する必要がある。本 RCG では、サイクル生成に用いる ST に RPA と Va95 の閾値を設けることで、生成するサイクルの加速強度を調整可能とした。

2.3 RCG サイクルの試作

開発した RCG を用いて、加速強度の低い方から順に、RCG1, RCG2, RCG3 と称す三つの RCG サイクルを生成した。各 RCG サイクルの加速強度は、実路走行データより取得した走行区間毎の平均車速に対する加速強度分布を参考に、平均的な値 (WLTC モードより弱めの加速強度)、やや高めの値 (WLTC モード相当)、高めの値 (WLTC モードより強めの加速強度) となるように設定した。なお、各 RCG サイクルの目標走行時間は、実路排出ガス試験法を参考に約 100 分間 (約 60 km) とした。

各 RCG サイクルの車速パターンを Fig. 2 に示す。また、各 RCG サイクルの RPA と Va95 を Fig. 3 に示す。なお、図中には、実路排出ガス試験法で定められている RPA の下限値と Va95 の上限値を併記した。Fig. 3 から、生成した三つの RCG サイクルはいずれも実路排出ガス試験法の成立要件として定められている RPA と Va95 の閾値を満足していることが確認できる。また、各 RCG サイクルの RPA と Va95 の大きさは、RCG3 > RCG2 > RCG1 となり、各サイクルの加速強度の調整も実現できている。参考として、Fig. 4 に各 RCG1 サイクルと WLTC モードの車速に対する加速度を示す。特に RCG3 では、WLTC モードに比べて加速度の絶対値や変化量が大きく、アグレッシブなサイクルとなっていることが確認できる。

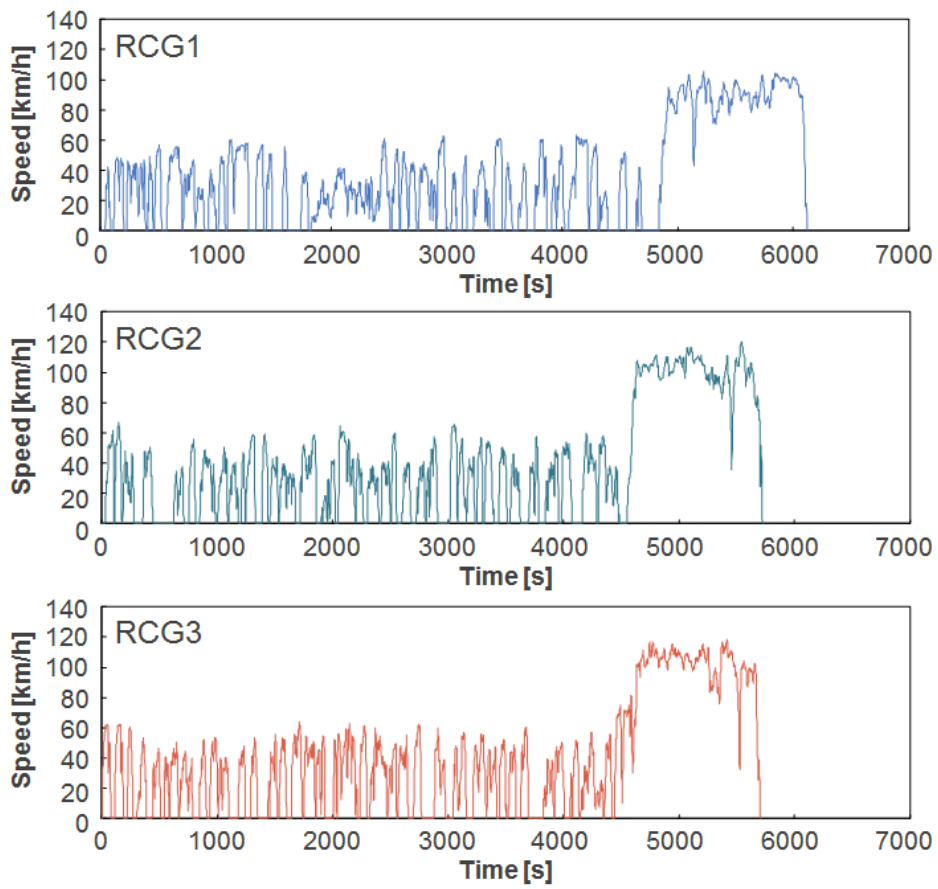


Fig. 2 RCG cycles 1, 2, 3 generated by the RCG.

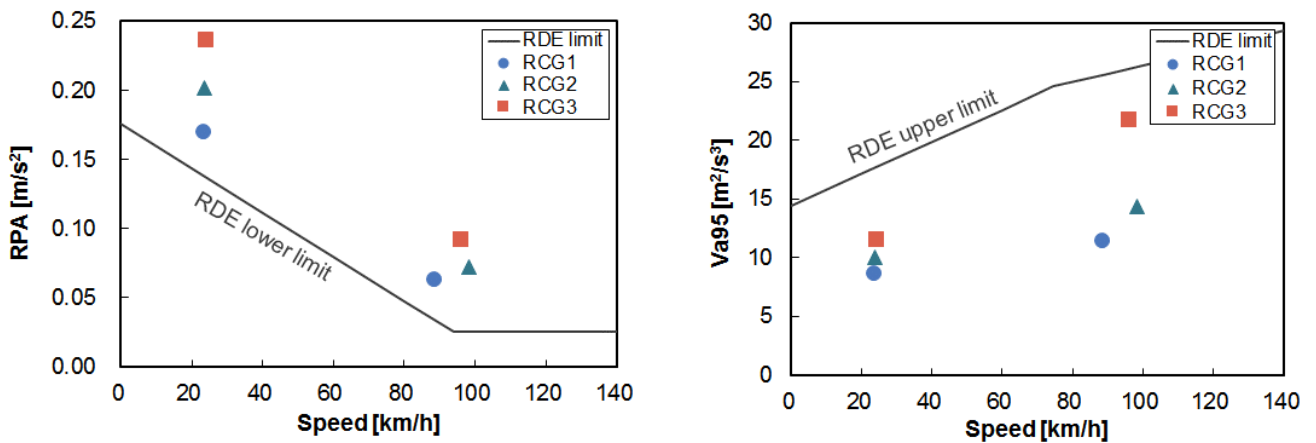


Fig. 3 Values of RPA and Va95 for each RCG cycle.

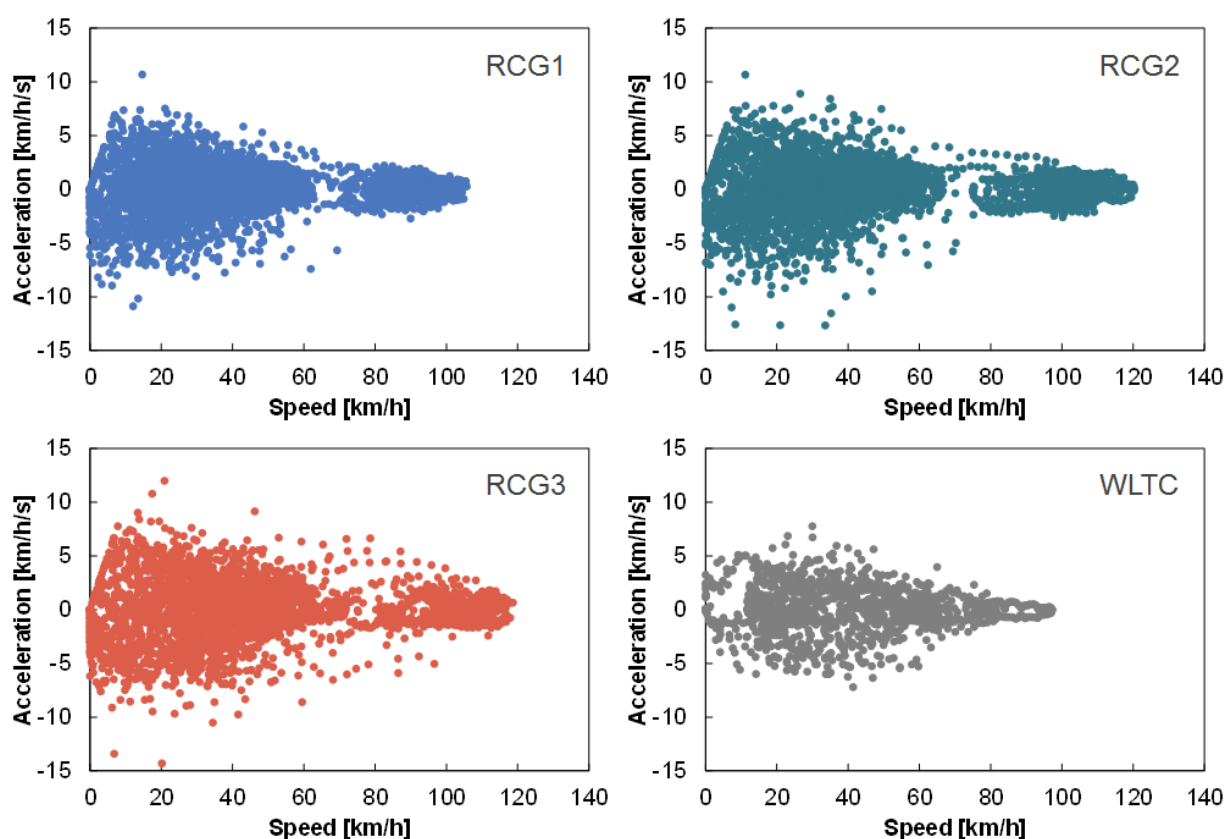


Fig. 4 Comparison of acceleration vs. speed for each RCG cycle and WLTC.

3. シャシダイナモメータ上での RCG サイクル走行試験

開発した RCG を用いて生成した RCG1~3 をシャシダイナモメータ上で走行し、排出ガス計測を実施することで、RCG を用いたシャシダイナモメータ上での実路排出ガス評価の検証を行った。

3.1 試験車両と試験設備

供試車両には、ポスト新長期規制適合の、排気量 1,498 cc のディーゼル小型乗用車を用いた。供試車両の主な諸元を Table 1 に示す。主な排出ガス低減対策は、排出ガス再循環装置 (Exhaust Gas Recirculation: 以下, EGR), ディーゼル酸化触媒 (Diesel Oxidation Catalyst: 以下, DOC), ディーゼル微粒子除去装置 (Diesel Particulate Filter: 以下, DPF) である。RCG サイクルの加速強度を大きくした際には、エンジン負荷の増大に伴い、排出ガス中の窒素酸化物 (以下, NOx) が増加すると考えられる。本試験では、主に各 RCG サイクル走行時の NOx 排出量の変化に注目した。

試験設備には、JARI の環境型シャシダイナモメータを用いた。環境型シャシダイナモメータの設備諸元を Table 2 に、また、その外観を Fig. 5 に示す。本環境型シャシダイナモメータは環境温度を $-40 \sim +50^{\circ}\text{C}$ 、日射条件などを設定することができ、幅広い環境条件における排出ガス試験への対応が可能である。各 RCG サイクルの排出ガス試験は、WLTC モードの通常試験温度である 23°C の環境温度で、車両暖機後に実施した。また、RCG3 については、より現実に近い使用条件を想定し、 15°C の環境温度で、冷間始動、日射あり、エアコン ON の条件でも試験を実施した (以下, RCG (15°C))。

Table 1 Test vehicle specifications

Test vehicle	Vehicle type	Passenger car
	Emission regulation year	2009
	Length [mm]	4060
	Width [mm]	1695
	Height [mm]	1525
	Ride capacity [persons]	5
	Vehicle weight [kg]	1130
	Gross vehicle weight [kg]	1405
Engine	Fuel	Diesel
	Cylinders, Valves	L4, DOHC
	Compression ratio	14.8
	Displacement [cm ³]	1498
	Max. power [kW/rpm]	77/4000
	Max. torque [N · m/rpm]	250/1500-2500
	Engine features (NA/Tc)	Tc
Transmission	After Treatment System type	EGR + DOC + DPF
	Transmission type	6AT
	Forward	3.552~0.599
	Back	3.389

Table 2 Specifications of the environmental chassis dynamometer

4WD Light vehicle Environmental Chassis Dynamometer		
Environment	Temperature (°C)	-40 ~ 50
	Humidity (%RH)	30~90 (10 ~ 40°C)
	Solar radiation (W/m ²)	400 ~ 1200 (METAL HALIDE)
Chassis dynamometer	Roller diameter (mm)	1219.2 (48 inch)
	Roller width (mm)	800
	Maximum vehicle speed (km/h)	180
	Roller material	Aluminum alloy, surface(tungsten carbide)
	Inertia range (kg)	454~4000(2WD), 454~4000(4WD)
	Type	FC-DY
	Rated power (kW)	220(absorption), 200(drive)
	Engine cooling fan	Equivalent vehicle speed type, 160 km/h, 1867 m ³ /min
	Manufacturer	MEIDEN



Fig. 5 Appearance of the environmental chasis dynamometer.

3.2 各 RCG サイクル走行時の NOx 排出量

各 RCG1~3 をシャシダイナモメータ上で走行した際の NOx 排出量を Fig. 6 に示す。また、Fig. 7 に、各 RCG サイクル走行時の NOx の Conformity Factor (以下、NOx-CF) を示す。NOx-CF とは、NOx 排出量の規制値に対する比であり³⁾、実路排出ガス試験法での排出ガス評価に用いられる指標である。この値が 1.0 以下である場合には、規制値よりも低エミッションといえる。

Fig. 6, Fig. 7 から、各 RCG サイクルを走行した際の NOx 排出量は、加速強度が大きいほど増加する傾向がみられ、走り方や環境条件によって大きく変化することがわかる。特に、Fig. 7 で示される NOx-CF は、比較的加速強度の小さい RCG1, RCG2 では全体的に 1.0 を下回るものの、加速強度の大きい RCG3 では 1.0 を超過する状況が確認できる。また、RCG3 と RCG3 (15°C) を比較すると、環境温度や車両暖機状態、エアコン負荷などが NOx-CF に影響を及ぼしていることがわかる。

今回の評価では、実路走行試験で RCG2 程度の加速強度で走行が行われた場合には余裕を持って基準を満足するが、RCG3 程度の加速強度での走行を想定した場合には超過する結果が得られた。2.3 で示したように、RCG3 は WLTC モードに比べて極端に加速度の高いサイクルではあるものの、実路排出ガス試験法の要件の範囲内であるため、排出ガス低減の対策が必要といえる。以上のように、本研究では、新たに提案した「RCG を用いたシャシダイナモメータでの実路排出ガス評価手法」を用いて、様々な走行条件（車速パターン、環境温度、車両条件）における排出ガスを効率的に評価し、本手法が、実路排出ガス対応への開発ツールとして活用できる可能性を示すことができた。

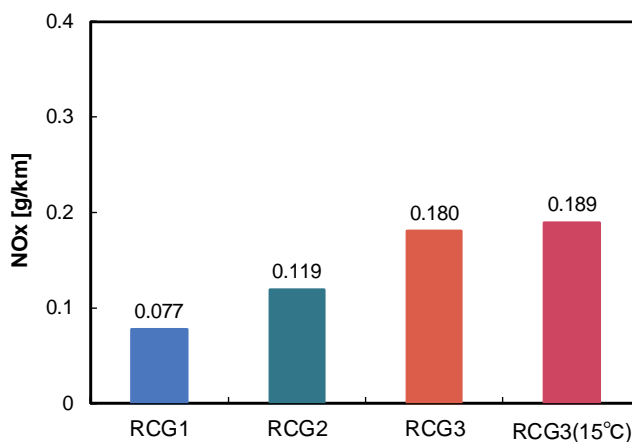


Fig. 6 Comparison of NOx emissions in each RCG cycle.

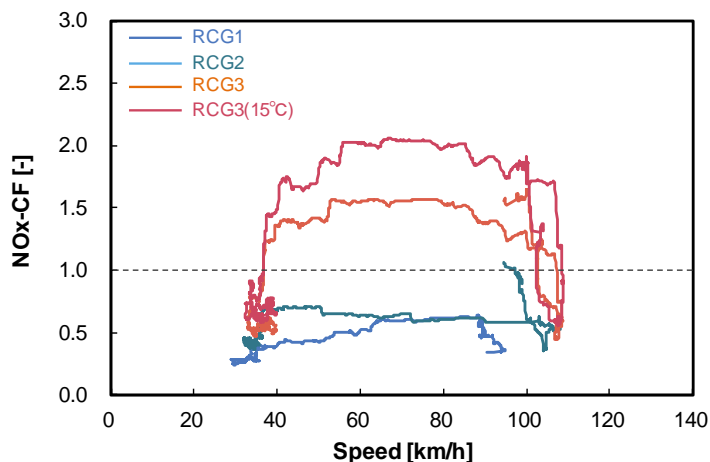


Fig. 7 Comparison of NOx-CF in each RCG cycle.

4. まとめ

本研究では、実路走行試験を行うことなく、シミュダイナモメータ上で実路排出ガス評価を実施可能な手法を構築することを目的とし、実路走行サイクルを生成可能な RCG を開発した。この RCG により生成したサイクルを実際にシミュダイナモメータ上で走行し、排出ガス評価を検証することで、実際の道路状況や環境温度などに左右されない、実路走行試験の評価手法を提案した。本手法は、様々な走行条件（車速パターン、環境温度、車両条件）における排出ガスを効率的に評価することを可能とし、実路排出ガス低減のための有用なツールとして活用できることが示された。

5. 今後の展望

開発した RCG は JARI のオリジナルプログラムであり、様々な閾値変更やパラメータの追加などを柔軟に変更できる。このため、実路走行試験の評価目的に応じた車両開発に適用することが可能である。また、RCG は環境型シミュダイナモメータと組み合わせることで、環境温度や日射条件をも考慮した、よりリアルワールドに近い環境での試験を実施することが可能と考えられる。今後は、RCG の機能向上や環境型シミュダイナモメータ活用方法の検討を進め、シミュダイナモメータでの実路排出ガス評価手法を発展させたい。

参考文献

- 1) Josh Miller, Li Du, Drew Kodjak. "IMPACTS OF WORLD-CLASS VEHICLE EFFICIENCY AND EMISSIONS REGULATIONS IN SELECT G20 COUNTRIES", (2017).
- 2) 国土交通省。「新車に対する排出ガス規制について、自動車排出ガス規制の経緯」,
https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_tk10_000002.html
- 3) 国土交通省。「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 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」, (2018.3)
- 4) Dennis G. Kooijman, Andreea E. Balau, Steven Wilkins, Norbert Ligterink, Rob Cuelenaere. "WLTP Random Cycle Generator", 2015 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, (2015).
- 5) 国土交通省。「道路運送車両の保安基準の細目を定める告示 別添42 軽・中量車排出ガスの測定方法」, (2018.3)