

JARI Research Journal

2025年
1月号



●一般記事

【技術資料】 運輸部門 CO2 排出量動向分析へのデータベース活用タイトル p. 1~
(7p)

沖山 清美, 鈴木 徹也 (環境研究部) JRJ20250101

【研究活動紹介】 電動車両のシミュレーション基盤構築事業におけるタイヤ特性
の計測とモデル化タイトル p. 8~
(8p)

羽二生 隆宏, 中條 智哉 (環境研究部) JRJ20250102
牧田 光弘, 高山 晋一 (自動走行研究部)

【研究活動紹介】 電動車両シミュレーション精度向上のための実路タイヤ特性
計測タイトル p. 16~
(8p)

羽二生 隆宏, 牧田 光弘 (自動走行研究部) JRJ20250103
中條 智哉 (環境研究部)
高山 晋一 (自動走行研究部)

運輸部門 CO₂ 排出量動向分析へのデータベース活用*

沖山 清美^{*1}
Kiyomi OKIYAMA

鈴木 徹也^{*2}
Tetsuya SUZUKI

世界全体で地球温暖化の対策が進められており、各国においても中長期（2030年～2050年）を対象に温室効果ガス削減目標が設定され、日本でも2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを表明している。カーボンニュートラル達成に向けた目標を設定するためには、各種施策を導入する必要があるが、これらを適切に評価するためにはいろいろな情報（CO₂排出量やエネルギー消費量など）が必要である。

温暖化対策の効果評価を行うために必要な統計データは膨大で多様であるため、効率的に活用するには、データベース化を進めることで、データの効率的な整理・保存ができ、その利用価値を大きく高めることができる。また、データベースを活用することで、必要な情報を迅速に抽出、多様な場面で効果的に利用することが可能となる。

そこで、自動車の販売台数やガソリンの販売量などの自動車に関する環境・エネルギー分野の基礎データ、燃費基準、排出ガス規制やクリーンエネルギー車補助金などの産業・政策動向を収集してきた。

本報では、これまで構築したデータベース¹⁾を活用し、日本のCO₂排出量の約2割を占める運輸部門において、乗用車部門のCO₂排出量動向を整理した結果を紹介する。

KEY WORDS: 次世代車, 燃費, エネルギー消費量, CO₂ 排出量

1. はじめに

世界全体で地球温暖化の対策が進められており、各国においても中長期（2030年～2050年）を対象に温室効果ガス削減目標が設定され、日本は2050年カーボンニュートラルを目指すことを表明している。カーボンニュートラル達成に向けた目標を設定するためには、各種施策を導入する必要があるが、これらを適切に評価するためにはいろいろな情報（CO₂排出量やエネルギー消費量など）が必要である。

温暖化対策の効果評価を行うために必要な統計データは膨大で多様であるため、効率的に活用するには、データベース化を進めることで、データの効率的な整理・保存ができ、その利用価値を大きく高めることができる。また、データベースを活用することで、必要な情報を迅速に抽出、多様な場面で効果的に利用することが可能となる。筆者らはこの認識のもとに、データベースを作成してきた。そこで、自動車の販売台数やガソリンの販売量などの自動車に関する環境・エネルギー分野の基礎データ、燃費基準、排出ガス規制やクリーンエネルギー車補助金などの産業・政策動向を収集してきた。

本報では、これまで構築したデータベース¹⁾を活用し、日本のCO₂排出量の約2割を占める運輸部門において、乗用車部門のCO₂排出量動向を整理した結果を紹介する（図1）。

* 2024年11月29日受理

*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）

運輸部門における二酸化炭素排出量

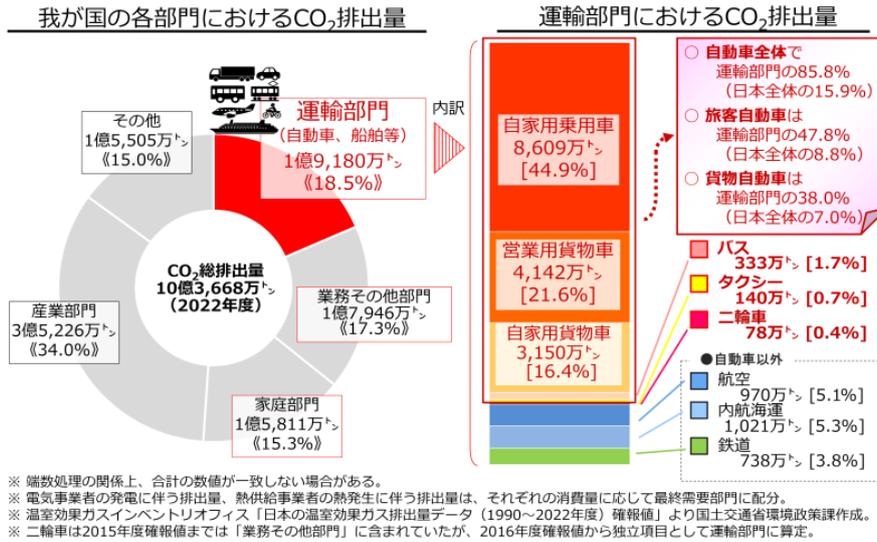


図1 運輸部門における二酸化炭素排出量（2022年度） 出典：国交省²⁾

2. 収集データ

自動車産業は、製造から販売、維持、物流、リサイクルに至るまで、さまざまな専門分野にわかれるが、これらは密接に関連しており、情報も広範で多くの分野を対象としている。例えば、自動車部門のCO₂排出量変化要因の解析など専門的な研究³⁾は行われているが、特定の期間におけるデータであり、過去の傾向や各種要因（燃費、走行量など）の関係性が見えにくい部分が多い。そこで、特定時点におけるデータに依存していた問題を解消するため、JARIで収集しているエネルギー、環境に関するデータを基本として、多角的な視点から以下の項目を主な対象としている。時系列データの分析において、データ収集期間は目的や分析内容によって異なるが、2000年以降を対象とし、必要に応じて、それ以前のデータを収集した。

表1 主な収集データ

エネルギー関連	生産	エネルギー源別生産量
	消費	部門別エネルギー消費量 エネルギー源別消費量 自動車エネルギー消費量（燃料別）
	電力	エネルギー源別電力消費量
	輸出入	エネルギー源別輸出入量
地球環境関連	CO ₂	総排出量 化石燃料別CO ₂ 排出量、部門別CO ₂ 排出量 自動車CO ₂ 排出量
輸送量	人	輸送量（人、人・km）
	物流	輸送量（トン、トン・km）
自動車関連	生産	車種別生産台数
	保有	車種別保有台数/燃料別保有台数 排気量・重量別保有台数
	販売	車種別販売台数（電動車）

3. データの利用

本研究は、収集したデータの一例として、乗用車に関する次世代車（ハイブリッド車（HEV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、電気自動車、クリーンディーゼル車（CDV）、燃料電池車（FCV））の販売台数、保有台数、燃費、走行量、燃料消費量の推移について整理したものを紹介する。

図2に国産乗用車の次世代車別販売台数推移を示す。運輸部門のCO₂削減目標達成にむけて、2009年以降、次世代車の普及促進に対して補助金や減税措置の導入により、次世代車の販売台数は毎年増加し、軽ハイブリッド車を含めると2022年度は、50%超となった。これに対して従来車は販売台数が減少しており、販売比率は低下している。さらに、2035年以降は政府目標として、従来車の販売禁止を表明しており、今後も次世代車の販売台数が増加すると考えられる。

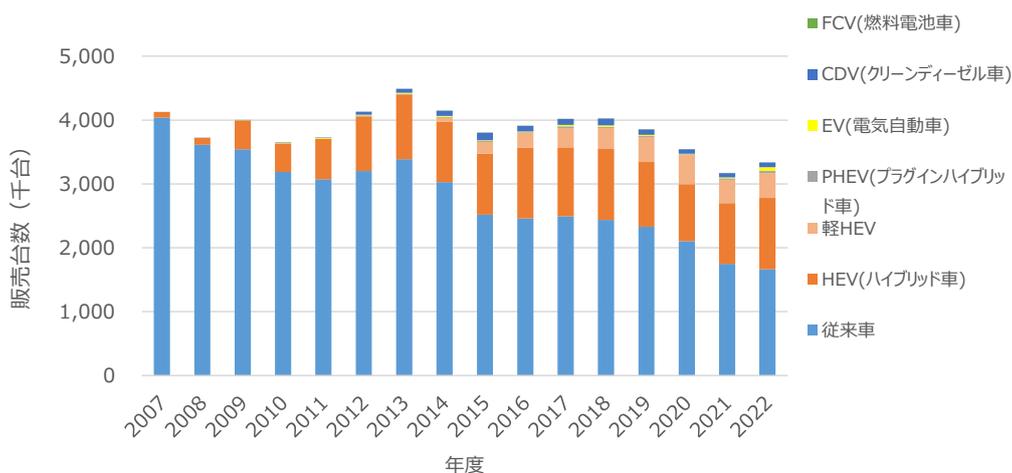


図2 国産乗用車の次世代車別販売台数 出典：マークライnz⁴⁾のデータより筆者が作成

図3に国産乗用車の次世代車別保有台数を示す。保有台数データにおいては、軽乗用車の次世代車の内訳について詳細な情報が把握できていないため、ここでは、対象外とし、次世代車の内訳は登録車（普通車、小型車）のみとした。

2022年度の保有台数に占める次世代車の割合は19%程度と新車台数と比較して少ない。これは、過去に販売された車両の影響が大きいためである。しかしながら、新車台数の傾向より、今後、さらに保有台数ベースにおいても次世代車の普及が進むことが予想されることから、CO₂削減やエネルギー効率の向上が促進されることが期待される。

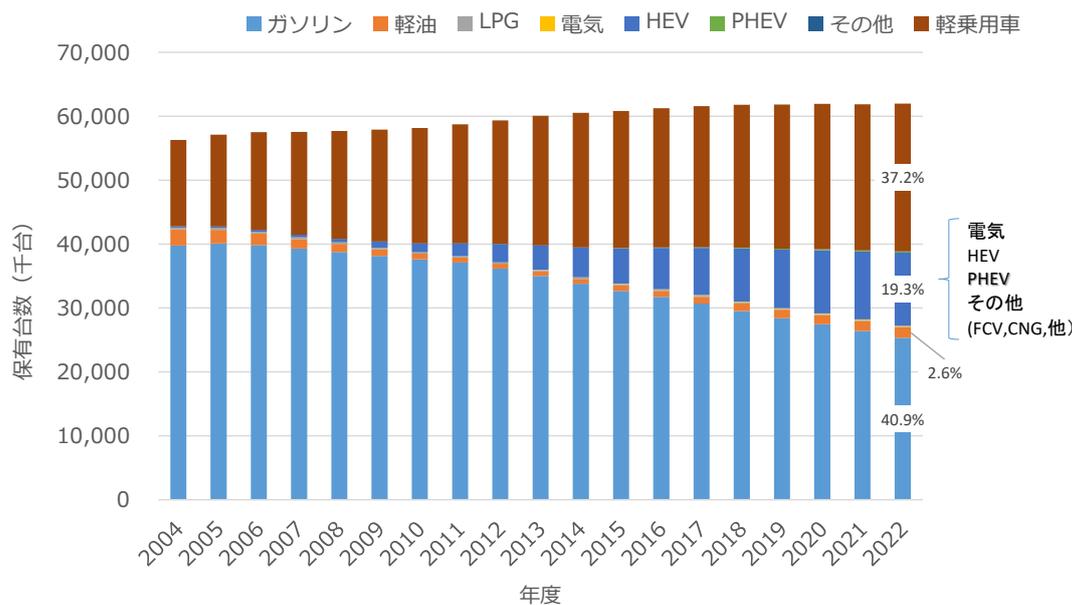


図3 国産乗用車の次世代車別保有台数 出典：自検協統計⁵⁾

図4に乗用車の実走行燃費推移の推移を示す。ここでは、WLTCモード等の公定モード燃費ではなく、実際のエネルギー消費量と保有台数走行量より算出した実走行モード相当の燃費とした。

2030年度燃費基準の策定により、ガソリン車の燃費は年々改善される傾向が見られる。一方で、HEVも燃費改善技術は進展しているが、車種のバリエーションが増加し、さらに車格が大きくなっているため、平均燃費の改善は抑制されているものと推測される。ディーゼル車においては、クリーンディーゼルの普及により燃費が改善される。LPG車においては、車種が限定されており、近年最新車両の販売が開始されたことにより燃費が改善される傾向が見られる。

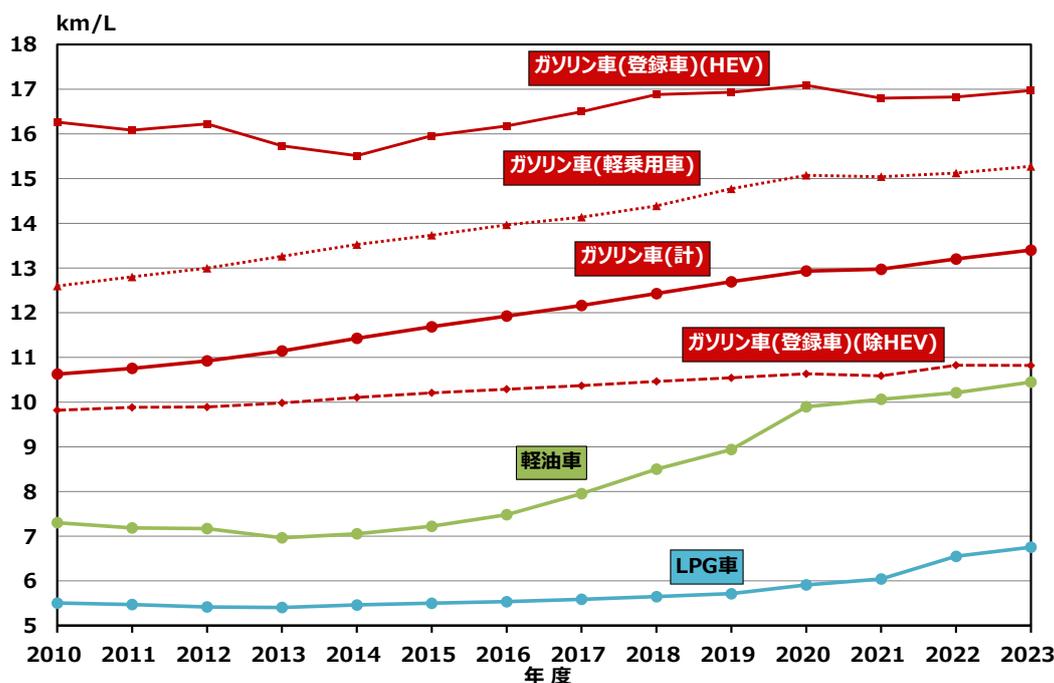


図4 乗用車の実走行燃費推移 出典：自動車燃料消費量調査⁶⁾

図5に乗用車の走行量推移を示す。走行量は自動車の保有台数（台）に年間総走行距離（キロ）を乗じたものと定義する。

乗用車の走行量は2008年以降増加傾向であったが、2019年以降、新型コロナウイルスの感染拡大による影響により急減に減少した。2020年以降は改善されてきているものの、コロナ禍以前の走行量には戻ってきていないが、今後、一定距離まで戻ると推測されるが、コロナ禍以前まで回復するかは今後動向を継続して注視していく必要がある。

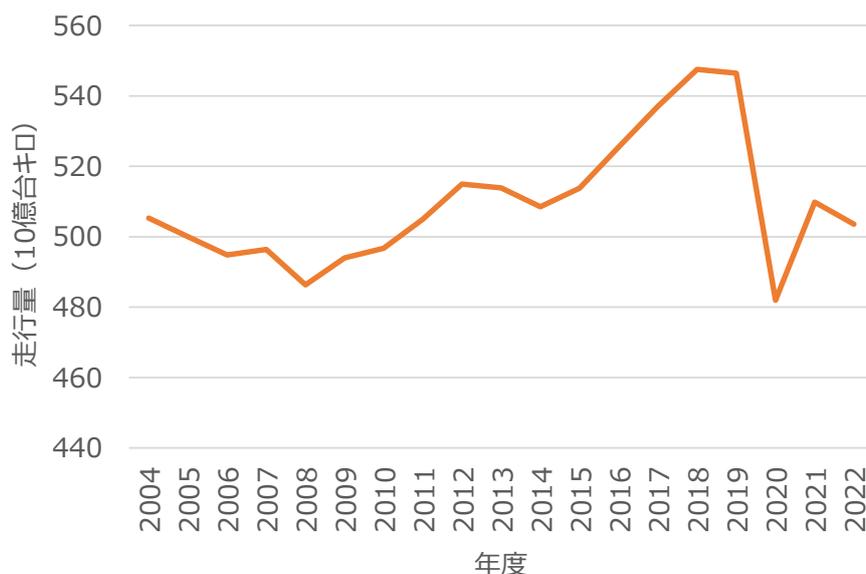


図5 乗用車の走行量推移 出典：自動車輸送統計⁷⁾

図6に乗用車の燃料消費量の推移を示す。

乗用車の燃料消費量のうち、ガソリンが90%超を占め、2022年は93%となった。2004年以降、横ばいから2020年から2021年はコロナ禍により減少していたが、2022年以降はコロナ影響の軽減により若干増加傾向となった。これは前述した走行量が回復した影響であると考えられる。一方で、軽油は、コロナ禍にあっても消費量がほぼ一定となった。これは業務用車両で多く使われており、こうした車両への次世代車への転換が緩やかにしか進まないためであると推測される。

一方で燃料消費量の総量が減少しているが、走行量が増加しているのは、燃費技術の進化による効率向上の影響と推測される。

今後は、自動車単体技術の向上だけでなく、エコドライブの普及、渋滞緩和、交通流対策や自動車の最適利用などの取り組みがさらに進むことで省エネ対策を促進させ、環境への影響が軽減することが期待される。

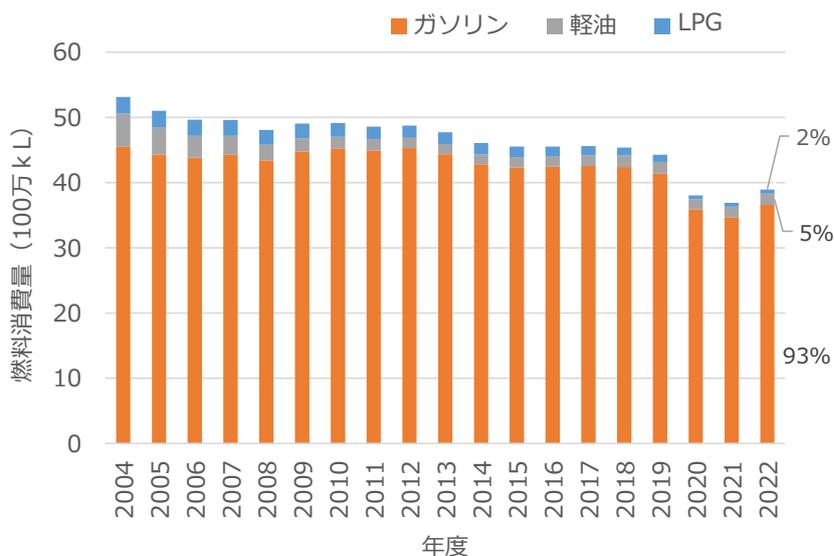


図6 乗用車の燃料消費量推移 出典：自動車輸送統7⁶⁾

図7に乗用車のCO₂排出量の推移を示す。ここでのCO₂排出量は走行時のみを対象とする Tank to Wheel とした。

2022年度の乗用車のCO₂排出量は、コロナ禍の行動制限緩和により、2021年度比5.2%増加となったが、2013年度比では、21.5%減少している。乗用車のCO₂排出量が減少しているのは、走行量の減少に加え、燃費技術の進化、次世代車普及などによるものと推測される。

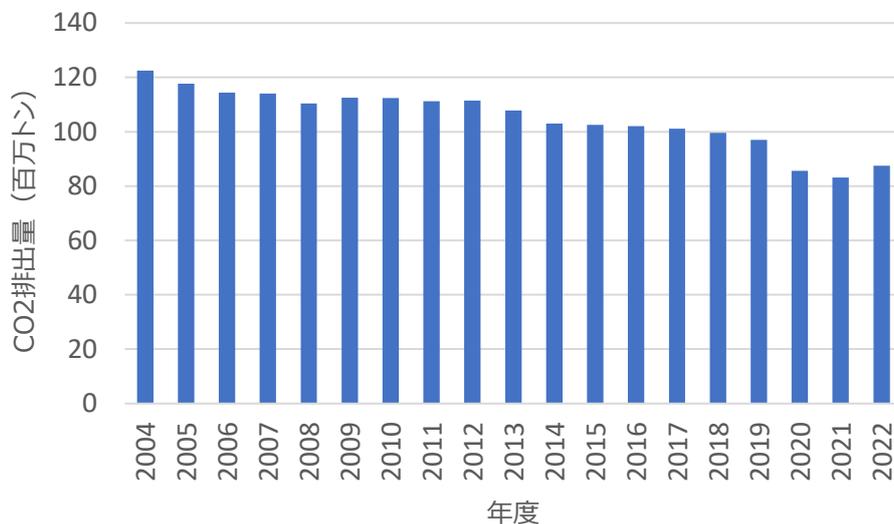


図7 乗用車のCO₂排出量推移 出典：総合エネルギー統計⁸⁾

4. まとめ

本報では、筆者らが収集を進めている自動車データベースより乗用車について分析した結果を紹介した。その結果、国産乗用ハイブリッド車の新車販売台数は年々増加している一方で、保有台数に占める割合は新車販売台数と比較して低い水準にとどまっている。乗用車の燃料消費量は燃費の改善効果や次

世代台車の普及により減少傾向にあり，それによって乗用車からの CO₂ 排出量は減少傾向にあることが確認でき，これにより，省エネ効果，CO₂ 排出量の傾向と変化要因について示すことができた．このように，現状の把握に加えて，変化要因の分析結果を活用し，先行した情報の提供が求められている．今後は単なる基礎データの提供だけでなく，基礎データを統合して分析し，ゼロエミッション車の影響を考慮した Well to Wheel での CO₂ 排出量など新たな形での基礎情報の提供を検討していきたい．

近年，統計調査の延期・中止，さらには公表データの有料化といった傾向にあり，データの入手がこれまで以上に困難になってきている．この傾向は，これまで進めてきた自動車の生産，販売，保有などの基礎データにおいても例外ではない．そのため，既存のデータが入手困難な場合には，出典の異なるデータや代替可能な情報源を活用するなど，新たな手法を模索していく必要がある．こうした取り組みにより，引き続き信頼性のあるデータ分析を進めていくことが求められる．

参考文献

- 1) 沖山清美，湊 清之：運輸部門のエネルギー・CO₂排出量データベース，自動車研究，Vol. 27, No. 2 (2005)
- 2) 国土交通省：運輸部門における二酸化炭素排出量，https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000007.html，(参照 2024-11-29)
- 3) 佐野雅之：わが国の運輸部門におけるCO₂排出動向－最近の変化，エネルギー統計改定の影響など，第38回エネルギー・資源学会研究発表会講演論文集 (2019)
- 4) マークラインズ：情報プラットフォーム，<https://www.marklines.com/ja/>，(参照 2024-11-29)
- 5) 自動車検査登録情報協会：自動車検査登録情報提供サービス，<https://www.airia.or.jp/airis/index.html>，(参照 2024-11-29)
- 6) 国土交通省：自動車燃料消費量調査，<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/nenryousyohiryou.html>，(参照 2024-11-29)
- 7) 国土交通省：自動車輸送統計調査，<https://www.mlit.go.jp/k-toukei/jidousya.html>，(参照 2024-11-29)
- 8) 経済産業省 資源エネルギー庁：集計結果又は推計結果（総合エネルギー統計），https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline，(参照 2024-11-29)

電動車両のシミュレーション基盤構築事業における タイヤ特性の計測とモデル化*

Research Activities on Tire Testing and Modeling
in the Development of Electric Vehicle Simulation Infrastructure

[羽二生 隆宏](#)^{*1}
Takahiro HANIU

[中條 智哉](#)^{*2}
Tomoyo NAKAJO

[牧田 光弘](#)^{*3}
Mitsuhiro MAKITA

[高山 晋一](#)^{*3}
Shinichi TAKAYAMA

一般財団法人日本自動車研究所（JARI）は、電動・自動運転車の試験・評価に用いることができるシミュレーション基盤の構築を行っており、その一環としてタイヤ特性のモデル化に取り組んでいる。電気自動車1種の標準（純正）タイヤ1種および当該車両にて交換可能な市販タイヤ7種についてフラットベルト式タイヤ試験機を用いてタイヤ特性を計測し、実験近似モデルである Magic Formula に基づいてタイヤ特性をモデル化した。本稿では、本事業におけるタイヤ特性の計測ならびにタイヤ特性のモデル化に関する取り組みについて紹介する。

KEY WORDS: 車両運動（vehicle dynamics）、タイヤ／ホイール（tire / wheel）、力学モデル（dynamic model）

1. はじめに

2020年10月、日本政府は、脱炭素社会の実現に向けて「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする目標を掲げたり、その実現に向けて、2兆円規模のグリーンイノベーション基金が国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）に創設され、「グリーンイノベーション基金事業（GI事業）」の取り組みが推進されている。

このGI事業のプロジェクトの一つに「電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発」があり、自動車の利用段階のCO₂排出量削減に向けた包括的な取組として、交通渋滞や、その原因となる事故の防止へとつながる自動運転の社会実装を目指している。一般財団法人日本自動車研究所（JARI）では、その中の研究開発項目の一つである「電動車両シミュレーション基盤」の研究開発（以下、本事業という。）を担当しており、自動車の電動化・自動化の中で開発体制の転換が求められるサプライチェーン全体の競争力強化のため、自動運転の試験・評価に用いることができる標準的なシミュレーション・モデルの開発を行っている²⁾。

従来の自動車開発では、試作機を作ってテストし、それを評価して改良を重ねていくという開発手法が用いられてきたが、設計段階においてモデルを用いた検証を行うモデルベース開発（Model Based Development: MBD）が活用されはじめていく。

本事業では、MBDに利用できる車両のモデルの作り方を確立し、車両モデルを作成して、自動車メーカーやサプライヤーに提供することで、車両や部品の開発の効率化に貢献することが目的となる。開発中の車両モデルは、クルマ単位ではなく部品単位（タイヤやサスペンション、ステアリング、ブレーキ、自動運転に必要なセンサーなど）で構成されている（Fig. 1）。サプライヤーは自社が開発した部品をモデル化し標準モデルと入れ替えることでシミュレーション上での評価が可能になる。本稿では、部品モデルの一つであるタイヤ特性のモデル化に関する取り組みを紹介する。

* 2024年11月27日受理

*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）

*3 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（工学）

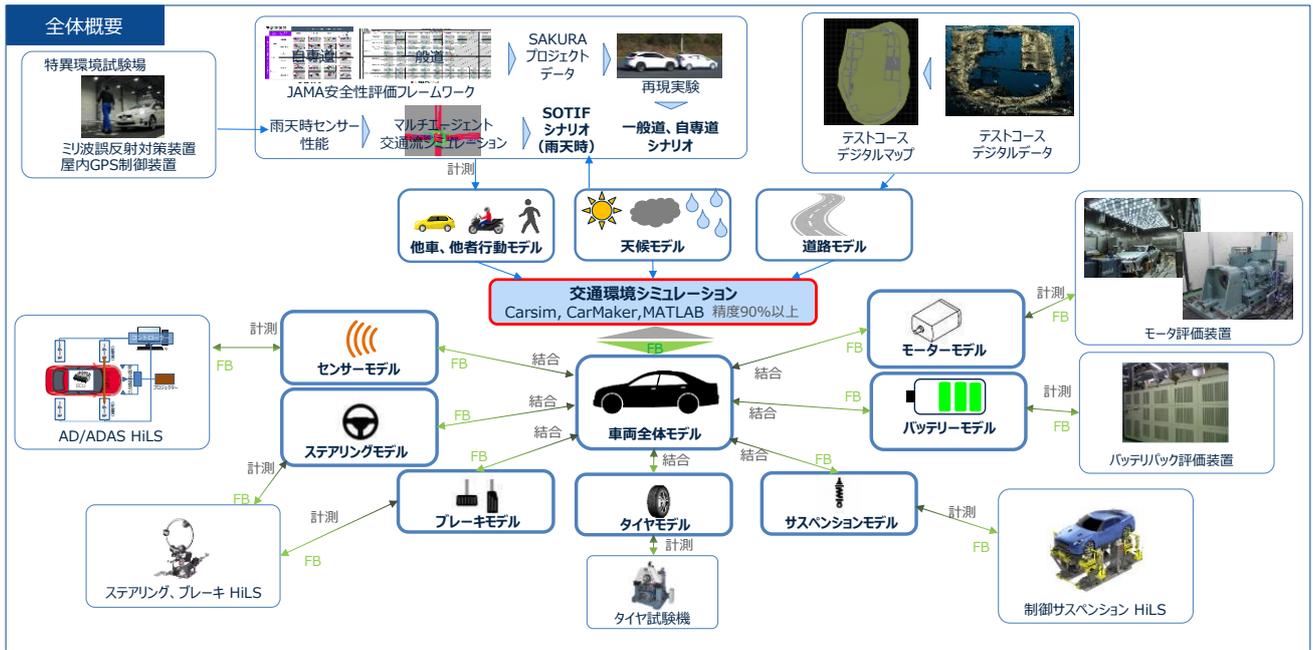


Fig. 1 Overview of the vehicle model

2. タイヤ特性モデル化研究

自動車の車両挙動をシミュレーション上で再現するためには、前後力や横力などが再現できるタイヤモデルが必要となるが、モデルを作成するにはタイヤ試験機を用いた莫大な実験が必要となっている。また、車両挙動のシミュレーションでは使用するタイヤモデルが重要な要素となるため、車両性能差を適切に比較可能な高精度なタイヤモデルが求められている。

タイヤ特性モデル化研究では、まず標準タイヤのタイヤ特性をフラットベルト式タイヤ試験機で計測することで標準モデルを作成する。そして、路上タイヤ試験車および車両挙動計測装置を用いて実路（ドライ/ウェット路面）でのタイヤ特性を計測することで、タイヤモデルの実路再現性を検証する。実路におけるタイヤ特性データに基づきドライ/ウェット路面を再現できるモデルへ修正することで実路再現性を向上させ、シミュレーションの精度向上を目指す（Fig. 2）。

本稿では、タイヤ特性計測およびモデル化に関する取り組みを紹介し、続報³⁾にて実路データ計測・実車検証および実路補正方法の取り組みについて紹介する。

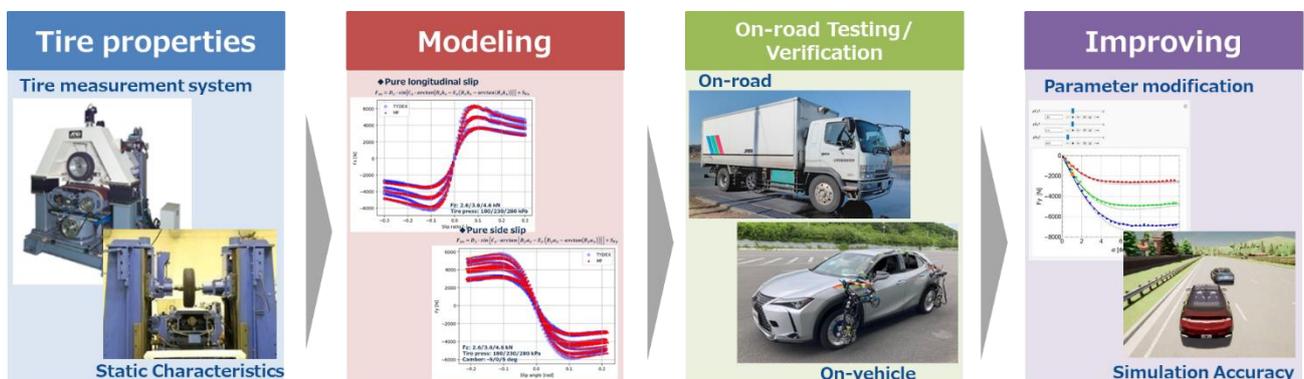


Fig. 2 Improving the reproducibility of actual roads in the tire model

3. タイヤ特性の計測

タイヤの代表的な特性としては、車両の制駆動時に発生する前後力 (F_x) , コーナリング中に発生する横力 (F_y) , スリップ角がゼロ付近の横力の勾配であるコーナリングステイフネス (コーナリングパワー (CP) ともいう) , 垂直軸周りのモーメントであるセルフライニングトルク (M_z) などがあるが、これらの特性はタイヤ温度で変化することが知られている^{4),5)}。また、タイヤ空気圧によっても接地面積や接地圧分布が変化するため CP や最大横力に影響があることが知られている。このため、タイヤ特性計測時にタイヤ温度や空気圧をできる限り管理してタイヤ特性を測定した。

3.1 供試タイヤ

本事業では駆動方式の異なる 4 車両において車両モデルを作成する計画である。1 台目の車両の標準 (純正) タイヤは Michelin Primacy 3 (225 / 50R18 95V) が装着されている。当該タイヤを基準として、タイヤの幅 (215 / 225 mm) , 扁平率 (50 / 60 %) , リム径 (16 / 17 / 18 inch) , および転がり抵抗性能 (A / AA) およびウェットグリップ性能 (a / b) が異なる市販タイヤ 7 種を選定し、標準タイヤを含めて 8 種のタイヤについてタイヤ特性を計測した (Table 1) 。

Table 1 Tested tires

#	Tire	Size			Load Index・Speed Rating	Rolling Resistance performance	Wet Grip performance
		Width mm	Ratio %	Rim inch			
Standard	MICHELIN PRIMACY 3	225	50	18	95V	-	-
Market-1	YOKOHAMA BluEarth-XT AE61	215	50	18	92V	A	a
Market-2	TOYO PROXES CL1 SUV	215	50	18	92V	A	b
Market-3	GOODYEAR EfficientGrip RVF02	215	60	17	100H	AA	b
Market-4	DUNLOP VEURO VE304	215	60	17	96H	A	a
Market-5	BRIDGESTONE NEWNO	225	50	18	95V	A	b
Market-6	FALKEN AZENIS FK520L	225	50	18	99W	A	a
Market-7	PIRELLI POWERGY	225	60	16	102V	AA	a

3.2 タイヤ特性計測方法

タイヤの静剛性は Fig. 3 a) に示す JARI の大和製衝製の静的タイヤ試験機を用いて測定した。動的特性は、Fig. 3 b) に示す株式会社エー・アンド・デイのフラットベルト式タイヤ試験機 (最大荷重 : 10 kN, 制駆動時 F_x 上限 : 6 kN) を用いて Table 2 に示す試験条件ならびに Fig. 4 に示す試験手順で測定した。垂直荷重 F_z はタイヤ試験機の上限負荷を超えない範囲で 3 条件を設定した。標準タイヤの空気圧 230 kPa における最大負荷能力の 40% (2600 N) , 55% (3600 N) , 70% (4600 N) を基本として、試験やタイヤによって微調整した。試験は、タイヤ 1 種類あたり 3 本のタイヤを用いて、タイヤの皮むき走行、暖機運転、および計測試験を実施した。計測前のコンディショニングは、最大負荷能力の 80% 条件にて 60 km/h の一定走行を行い、タイヤ表面温度が安定 (約 35°C) してから計測を開始した。タイヤ空気圧は常に一定になるように調整した。



a) Static Characteristic Testing Machine



出典：(株) エー・アンド・デイ

b) Flat Belt Tire Testing Machine⁶⁾

Fig. 3 Tire measurement systems

Table 2 Test conditions

Item	Vertical load (Fz)	Tire pressure	Camber angle (γ)	Slip angle (α)	Slip ratio (k)	Item	Vertical load (Fz)	Tire pressure	Camber angle (γ)	Slip angle (α)	Slip ratio (k)
-	N	kPa	deg	deg	%	-	N	kPa	deg	deg	%
Pure braking	4600*	230	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	-3	2	-30~30
Pure braking	4600*	180	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	-3	-2	-30~30
Pure braking	4600*	280	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	-3	-5	-30~30
Pure braking	3600*	230	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	-3	-8	-30~30
Pure braking	3600*	180	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	0	2	-30~30
Pure braking	3600*	280	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	0	-2	-30~30
Pure braking	2600*	230	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	0	-5	-30~30
Pure braking	2600*	180	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	0	-8	-30~30
Pure braking	2600*	280	0	0	-30~30	Combined slip	3600	230	3	2	-30~30
Pure cornering	4600	230	0	-12~12	0	Combined slip	3600	230	3	-2	-30~30
Pure cornering	4600	230	5	-12~12	0	Combined slip	3600	230	3	-5	-30~30
Pure cornering	4600	230	-5	-12~12	0	Combined slip	3600	230	3	-8	-30~30
Pure cornering	3600	230	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	-3	2	-30~30
Pure cornering	3600	230	5	-12~12	0	Combined slip	2600	230	-3	-2	-30~30
Pure cornering	3600	230	-5	-12~12	0	Combined slip	2600	230	-3	-5	-30~30
Pure cornering	2600	230	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	-3	-8	-30~30
Pure cornering	2600	230	5	-12~12	0	Combined slip	2600	230	0	2	-30~30
Pure cornering	2600	230	-5	-12~12	0	Combined slip	2600	230	0	-2	-30~30
Pure cornering	4600	180	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	0	-5	-30~30
Pure cornering	3600	180	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	0	-8	-30~30
Pure cornering	2600	180	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	3	2	-30~30
Pure cornering	4600	280	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	3	-2	-30~30
Pure cornering	3600	280	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	3	-5	-30~30
Pure cornering	2600	280	0	-12~12	0	Combined slip	2600	230	3	-8	-30~30
Combined slip	4600	230	-3	2	-30~30	Cornering stiffness	1300~9900	230	-3/0/3	-1/-0.5/0/0.5/1	0
Combined slip	4600	230	-3	-2	-30~30	Cornering stiffness	1300~9900	180	-3/0/3	-1/-0.5/0/0.5/1	0
Combined slip	4600	230	-3	-5	-30~30	Cornering stiffness	1300~9900	280	-3/0/3	-1/-0.5/0/0.5/1	0
Combined slip	4600	230	-3	-8	-30~30						
Combined slip	4600	230	0	2	-30~30						
Combined slip	4600	230	0	-2	-30~30						
Combined slip	4600	230	0	-5	-30~30						
Combined slip	4600	230	0	-8	-30~30						
Combined slip	4600	230	3	2	-30~30						
Combined slip	4600	230	3	-2	-30~30						
Combined slip	4600	230	3	-5	-30~30						
Combined slip	4600	230	3	-8	-30~30						

※制駆動試験では、負荷上限を超えないようにタイヤによって垂直荷重を調整
 ※その他、接触面寸法、荷重・有効回転半径、前後/左右方向の緩和長の挙動、
 静剛性、転がり抵抗係数に関する試験も実施

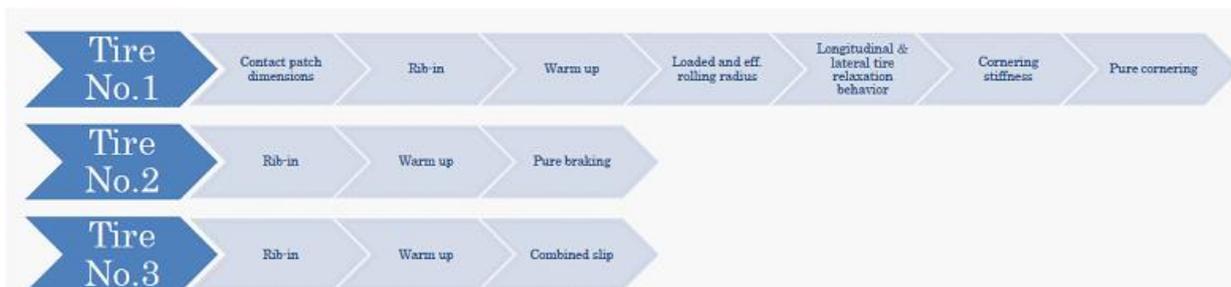


Fig. 4 Test sequence

3.3 タイヤ特性計測結果

計測したタイヤ特性の一例として、標準タイヤの結果を Fig. 5 に示す。前後力および横力に対する垂直荷重、空気圧、あるいはキャンバ角などの影響を確認した。また、複合条件における摩擦円やコーナリングスティフネスに対する空気圧の影響なども確認した。

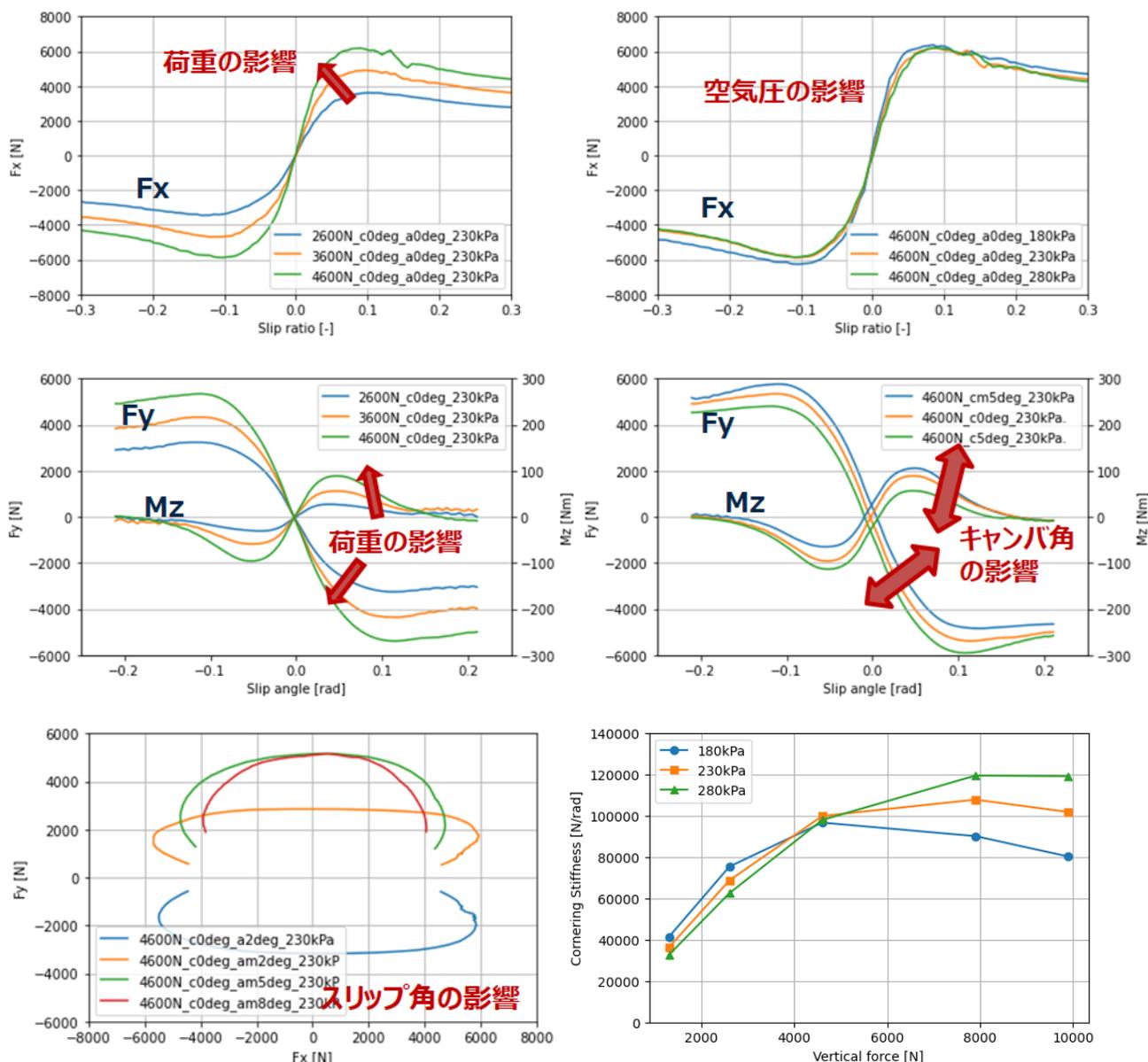


Fig. 5 Example of test results

4. タイヤ特性のモデル化

タイヤ特性を表現するモデルは、実験式モデルと物理モデルの2つに分けられる。実験式モデルは測定データがある数式にカーブフィットし、数式の係数を用いてタイヤの発生力とモーメントを計算する。物理モデルは、タイヤをばねと質量で表現するモデルや有限要素法 (FEM) を用いたさらに複雑なモデルまである。ここでは、操縦安定性評価として世界的に広く使われている実験式モデルである Magic Formula タイヤモデル⁷⁾に基づいてタイヤモデルを作成した。

4.1 Magic Formulaタイヤモデル

Magic Formula タイヤモデルは、タイヤ試験機によって得られた実験データに基づいてモデル中のパラメータを同定するもので、荷重やスリップ量に関する非線形性やキャンパ角の影響、コンバインド特性を細部まで表現できる (Fig. 6) . Magic Formula の基本式は式 (1) に示すように sin 関数と cos 関数から構成される. 本事業では、Siemens 社の Magic Formula モデルである MF-Tyre 6.2 (Magic Formula version 6.1.2.とほぼ同等) にてパラメータフィッティングを行った.

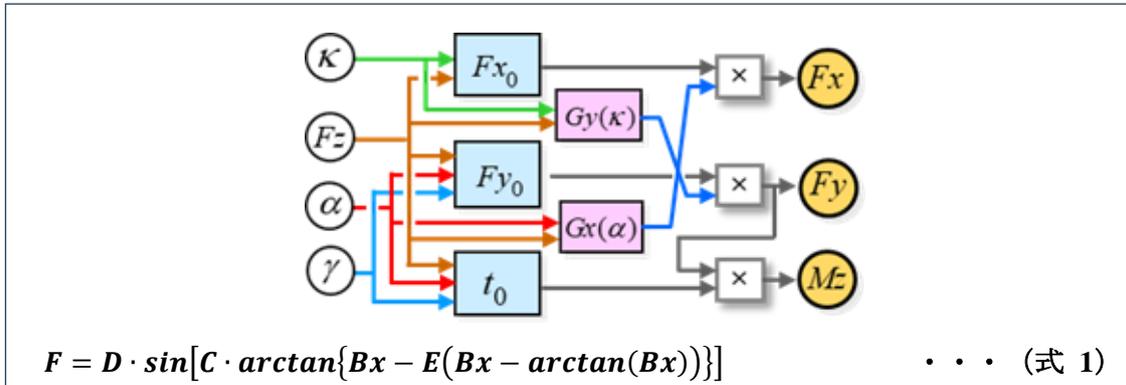


Fig. 6 Magic Formula tire model

4.2 タイヤモデルの同定精度

Fig. 7に前後力に関するタイヤ試験機の計測値 (図中の凡例: TYDEX) とタイヤモデルの出力値 (図中の凡例: MF) の比較を, Fig. 8に横力に関する計測値とタイヤモデル出力値の比較を示す. 計測値とタイヤモデル出力値の差は, 相対二乗誤差 (RSE) [%], 二乗平均平方根誤差 (RMSE) [N], および RMSEを絶対値の平均値で除した Normalized RMSE (N・RMSE) [%]を用いて評価した. RSE はいずれのタイヤにおいても 1%以内 (すなわち, 決定係数 R^2 が 0.99 以上) であり, 精度よくパラメータを同定できたことがわかる. ここで, y_i は i 番目の計測値, \hat{y}_i は i 番目のモデル出力値, \bar{y} は計測値の平均値, n はデータの総数である.

$$RSE = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad N \cdot RMSE = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

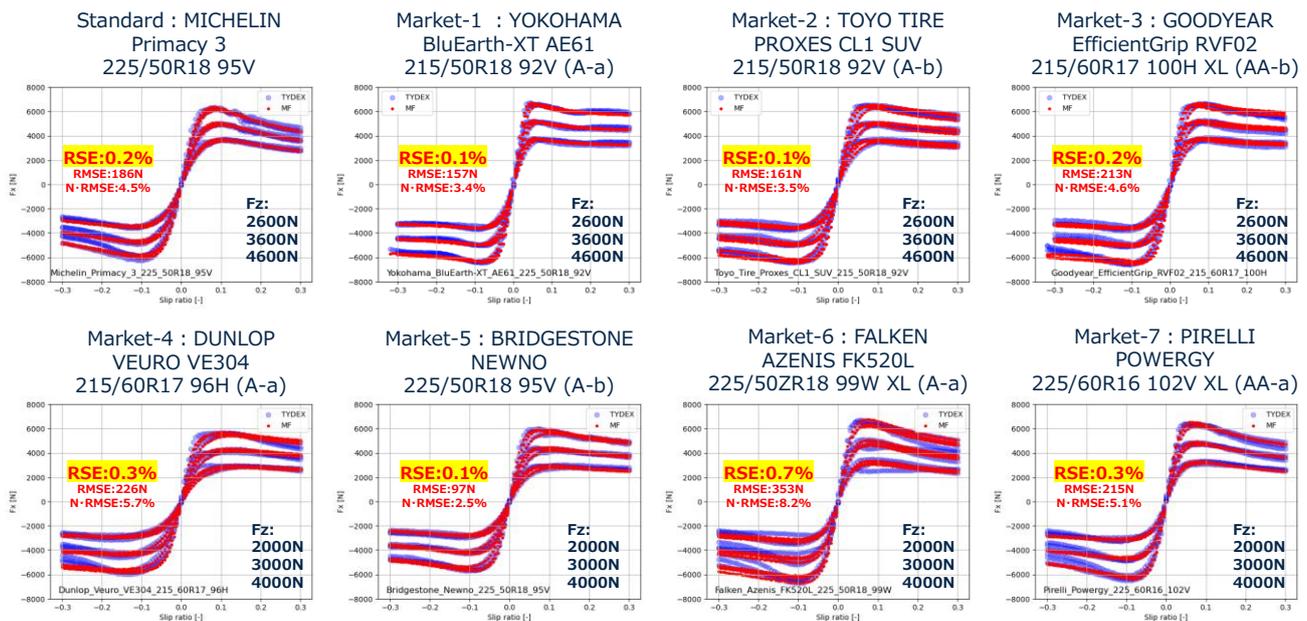


Fig. 7 Comparison of test results and outputs of tire model (longitudinal force)

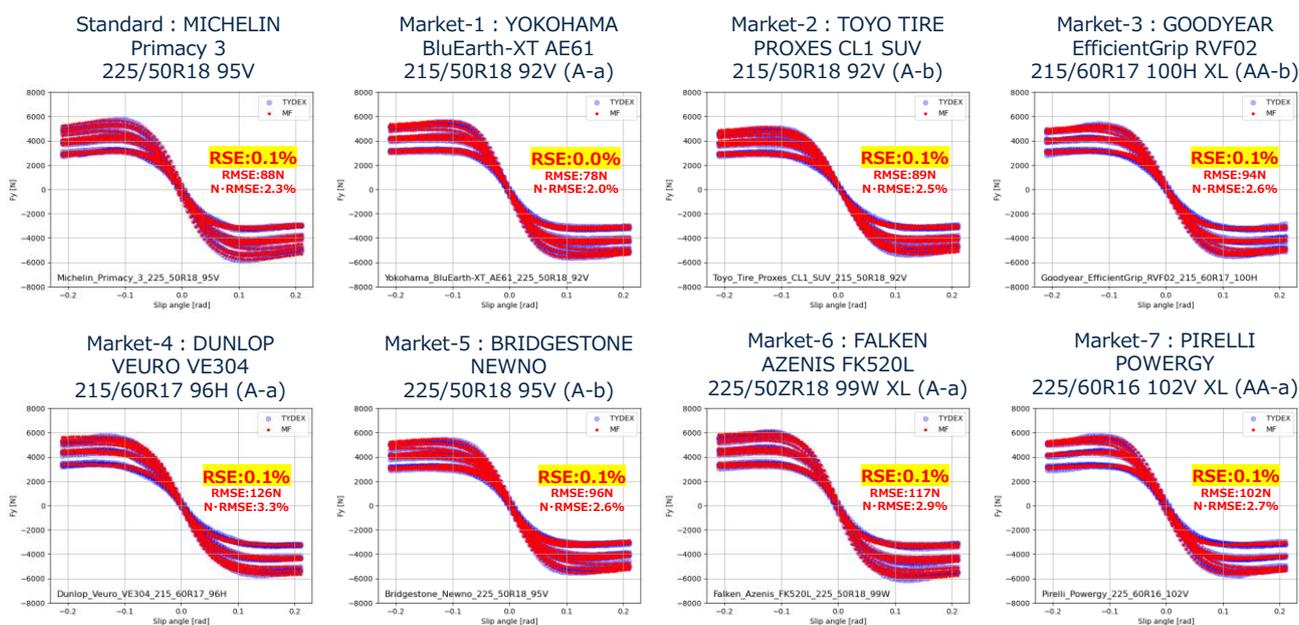


Fig. 8 Comparison of test results and outputs of tire model (lateral force)

5. まとめ

JARI では、電動・自動運転車の試験・評価に用いることができるシミュレーション基盤の構築を行っており、その一環としてタイヤ特性のモデル化に取り組んでいる。本稿では、本事業におけるタイヤ特性の計測ならびにタイヤ特性のモデル化に関する取り組みを紹介した。以下に主な取り組み結果をまとめる。

タイヤ特性の計測にあたっては、フラットベルト式タイヤ試験機を用いて 8 種類のタイヤについてタイヤ特性を計測した。温度ならびにタイヤ空気圧を管理することで安定した実験データの計測を心掛けた。次に、自動車の車両挙動をシミュレーション上で再現するためタイヤモデルを作成した。タイヤ特性のモデル化にあたっては、当該タイヤ試験機試験の計測データを基に実験式モデルのひとつである Magic Formula タイヤモデル式のパラメータを同定した。その結果、計測データと同定したタイヤモデルの出力値の差は、本調査の範囲では、RSE が 1% 以内となる結果であった。このことから、計測データとの誤差が小さいタイヤ特性のモデル化の手順が構築できたと言える。

6. 今後の課題・展望

本調査で作成したタイヤモデルは、フラットベルト式タイヤ試験機で計測したデータに基づいて作成されていることからドライ路面での走行に相当するタイヤ力を再現できる。一方、リアルワールド（実環境）では自動車はさまざまな環境で使われることから走行する路面の状態も多種多様である。特に、ウェット路面では路面/タイヤ間の摩擦抵抗が減少し制動距離が延びるなど、路面状態はタイヤや車両運動に与える影響が大きい。今後は、自動走行車のシミュレーション評価に向けて、路面状態や温度などの影響因子を反映できる実路再現性の高いモデルの開発に取り組んでいくとともに、膨大な実験が必要となるタイヤモデルの作成を効率的に実施できる方法（計測条件およびパラメータフィッティングの最適化、タイヤ特性予測手法の開発など）にも取り組んでいく計画である。

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務「グリーンイノベーション基金事業／電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発／電動車両シミュレーション基盤／電動・自動運転車開発を加速するデジタル技術基盤の構築（JPNP21027）」の結果得られたものです。ここに関係各位への感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説,
https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html, (参照 2024-11-27)
- 2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）：グリーンイノベーション基金事業／電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発,
<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/in-vehicle-computing-simulation-technology/>, (参照 2024-11-27)
- 3) 牧田 光弘ら：車両シミュレーション精度向上のための実路タイヤ特性計測, JARI Research Journal, JRJ20250103 (2025),
[doi:10.60458/jarirj.JRJ20250103](https://doi.org/10.60458/jarirj.JRJ20250103)
- 4) 水野 雅彦ら：温度依存性を考慮した車両運動解析用タイヤモデルの開発, 日本機械学会論文集 C編, 71巻, 711号, p. 3208-3215 (2005), [doi:10.1299/kikaic.71.3208](https://doi.org/10.1299/kikaic.71.3208)
- 5) 大久保 良輔, 大山 鋼造：タイヤ温度特性が車両運動特性に及ぼす影響, 自動車技術会論文集, 42巻, 2号, p. 297-300 (2011), [doi:10.11351/jsaeronbun.42.297](https://doi.org/10.11351/jsaeronbun.42.297)
- 6) 株式会社エー・アンド・デイ：フラットベルト式タイヤ試験機,
https://www.aandd.co.jp/products/dsp-tech/dsp-vdt/dsp-vdt-belt_type_tm/flat-belt/, (参照 2024-11-27)
- 7) Hans B. Pacejka: Tire and Vehicle Dynamics (Third edition), Butterworth-Heinemann (2012), [doi:10.1016/C2010-0-68548-8](https://doi.org/10.1016/C2010-0-68548-8)

電動車両シミュレーション精度向上のための 実路タイヤ特性計測*

On-load Tire Testing to Improve Vehicle Simulation Reproduction

牧田 光弘^{*1}

Mitsuhiro MAKITA

羽二生 隆宏^{*2}

Takahiro HANIU

中條 智哉^{*3}

Tomoya NAKAJO

高山 晋一^{*1}

Shinichi TAKAYAMA

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）グリーンイノベーション基金事業（GI 事業）「電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発／電動車両シミュレーション基盤の構築」プロジェクトの一環としてタイヤ特性のモデル化に取り組んでいる。タイヤ特性は室内タイヤ試験機を用いて計測を行い、そのデータをタイヤモデルにパラメータ化して車両シミュレーションに適用することになる。しかしながら、タイヤ特性は路面による影響があり、実路面での特性を再現できているかどうかの確認が望まれる。そこで、本稿では実路面におけるタイヤ特性の計測とモデリングの取り組みを紹介する。

KEY WORDS: 車両運動 (vehicle dynamics), タイヤ/ホイール (tire/wheel), 力学モデル (dynamic model)

1. はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）により「グリーンイノベーション基金事業（GI 事業）」の取り組みが推進されている¹⁾。この GI 事業のうちの一つ「電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発」において、一般財団法人日本自動車研究所（JARI）は、「電動車両シミュレーション基盤」の研究開発を担当している。この中で自動運転の試験・評価に用いることができる標準的な車両運動・制御用のシミュレーション・モデルの開発を行っている^{2),3)}。

タイヤ特性はシミュレーションでの再現精度に大きな影響を与えるために、タイヤのモデル化にあたっては、そのもととなるタイヤ特性の計測での計測精度を担保する必要がある。一般的なモデル化の流れとしては、室内タイヤ試験機を用いた計測を元にタイヤモデルをパラメータ化していくこととなる。

一方、タイヤ特性を支配するタイヤと路面間の摩擦特性については、計測時の路面と、シミュレーションで想定している実路面は同一にすることが難しく、室内試験機を元に作成されたタイヤモデルのパラメータがどこまで対応しているのかの確認が車両シミュレーションの再現の精度の確保には重要と考えている。

対路面での摩擦特性については工学的なモデル化が難しく、実測に基づく確認ステップが必要となるため、実際の路面を使用しての計測が望まれる。具体的には、シミュレーションで想定している車両を用いて、想定している実路面においてタイヤに発生する力を直接計測する方法や、タイヤ特性計測機能を持つ車両の計測用車輪部にタイヤを取り付けて実路面で計測する方法などがある。

近年では室内試験機でのタイヤ入力の制御能力と、実路計測での路面による影響の再現性の両方を満たそうという室内試験設備も出てきている。背景としては、Wet 性能のラベリングによる可視化もあり、制動特性では実路計測が求められる傾向がある。車両シミュレーションにおいては、さらにコーナリン

* 2024年11月27日受理

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部 博士（工学）

*2 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部

*3 一般財団法人日本自動車研究所 環境研究部 博士（工学）

グ特性も必要であることから、GI 事業でも実路でのタイヤの特性把握が必要とされている。そこで、本稿ではタイヤモデルの実路面での再現性向上に向けた取り組みを紹介する。

2. タイヤ特性の室内試験に伴う課題

車両運動性能シミュレーションに利用されるタイヤ特性としては、輪荷重・スリップ角・キャンバ角・スリップ比というような車両運動の結果として得られる複数の入力量に対して、横力・制駆動力・アライニングモーメントなどの、同じく複数の方向の力やモーメントを出力量として扱うことになる。それらの関係を計測するためには、Fig. 1 に示すような流れで、入力条件を正確にコントロールできる室内タイヤ特性試験機を用いての計測を行い、特性を把握するのが一般的である。

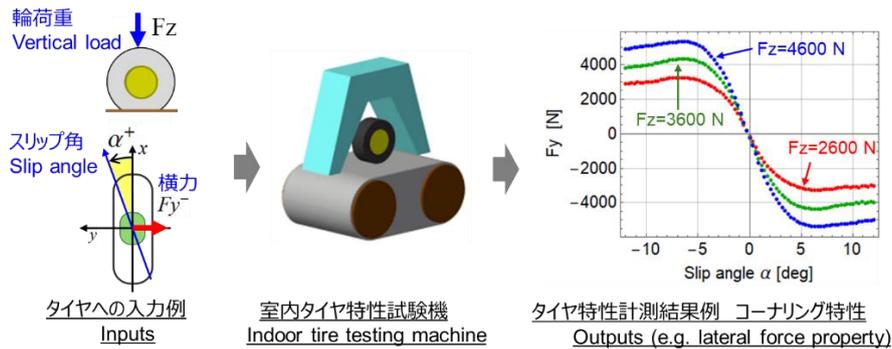


Fig. 1 Measurement flow of tire indoor testing

タイヤ発生力は、タイヤ接地面で路面と直接接触するトレッドゴムや、それを支える構造部分の変形がもたらす力である。そのため、接地面におけるタイヤの変形を近似するモデルを考えると理解がしやすい⁴⁾。Fig. 2 はタイヤ特性の中で横力の発生メカニズムを、タイヤの簡単な力学的モデルで示している。Fig. 2 左にはタイヤ接地面での前後方向圧力分布を2次関数状に表現している。この分布した圧力がトレッドゴムに働いて路面に押し付けられる。Fig. 2 中央のようにタイヤが進行方向に対してスリップ角 α を発生している場合を考える。その時タイヤは回転しつつ車両とともに移動していくが、Fig. 2 中央に示すようにタイヤ回転により接地面に入ったトレッドゴム部は路面と一体となってタイヤ本体の動きから乖離していく。路面と一体になったゴム部はやがて面圧で耐えられる限界に到達すると、路面との間で滑り始める。そこで、タイヤ接地面はゴムが路面と一体となっている粘着域と、路面と滑りを生じている滑り域という2つの領域に分けて把握することができる。

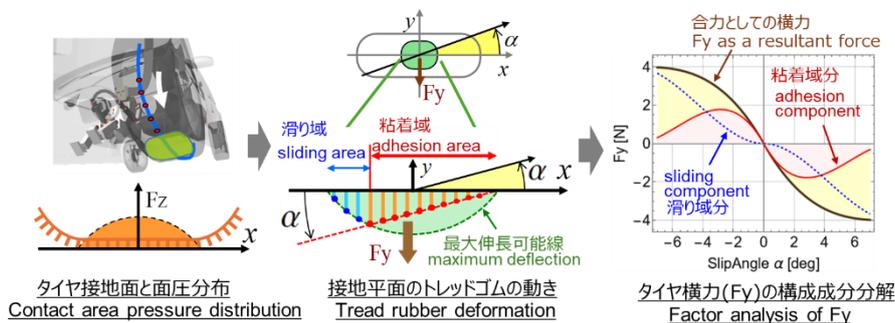


Fig. 2 Factor analysis of side force (F_y) by physical tire model

スリップ角が増加すれば接地面のゴム変形の総和は増加するのでタイヤ横力も増加するが、それに伴い粘着域が減少し、滑り域が増加していく。このバランスは路面との摩擦特性に依存し、Fig. 2 右に示

すように、スリップ角が小さい領域では粘着域が主となるので路面の摩擦特性の違いが表れにくいですが、スリップ角増加とともに横力に占める滑り域分のゴム変形の影響が増加していく。

タイヤ特性にはこの路面摩擦の影響が表れるため、室内タイヤ特性試験機による計測では車両シミュレーションを行なう際に想定する路面にタイヤ特性が対応しているかという課題が存在する。車両挙動が小さい領域ではスリップ角なども小さいので路面違いによる影響も小さいと考えられるが、車両運動限界に近い領域での車両運動の再現性を確保しなければいけない場合には、タイヤ特性の路面との対応性の確認が必要となるケースも想定される。

3. 車両に装着したタイヤの直接計測

シミュレーションで想定している実車両を用いて、同じく想定路面でタイヤの入出力を計測することができれば2章の課題である実路での対応性の確認は解決が可能ではある。車両の装着できるタイヤ入出力の実路特性計測システムを測定輪に装着して、必要な車両運動下での計測を行うための流れを Fig. 3 に示す。

車両に装着された実路特性計測システムとしては、タイヤ発生力を計測するタイヤ6分力計、対地速度センサを用いたタイヤスリップ角センサと対地距離センサを用いた対地キャンバ角センサから構成される（株式会社エー・アンド・デイ製センサ群を使用）。それを用いて走行を行い、その際のタイヤ入力であるスリップ角、対地キャンバ角、輪荷重およびタイヤ出力（ここでは例として横力 F_y を示す）の計測を実施した。

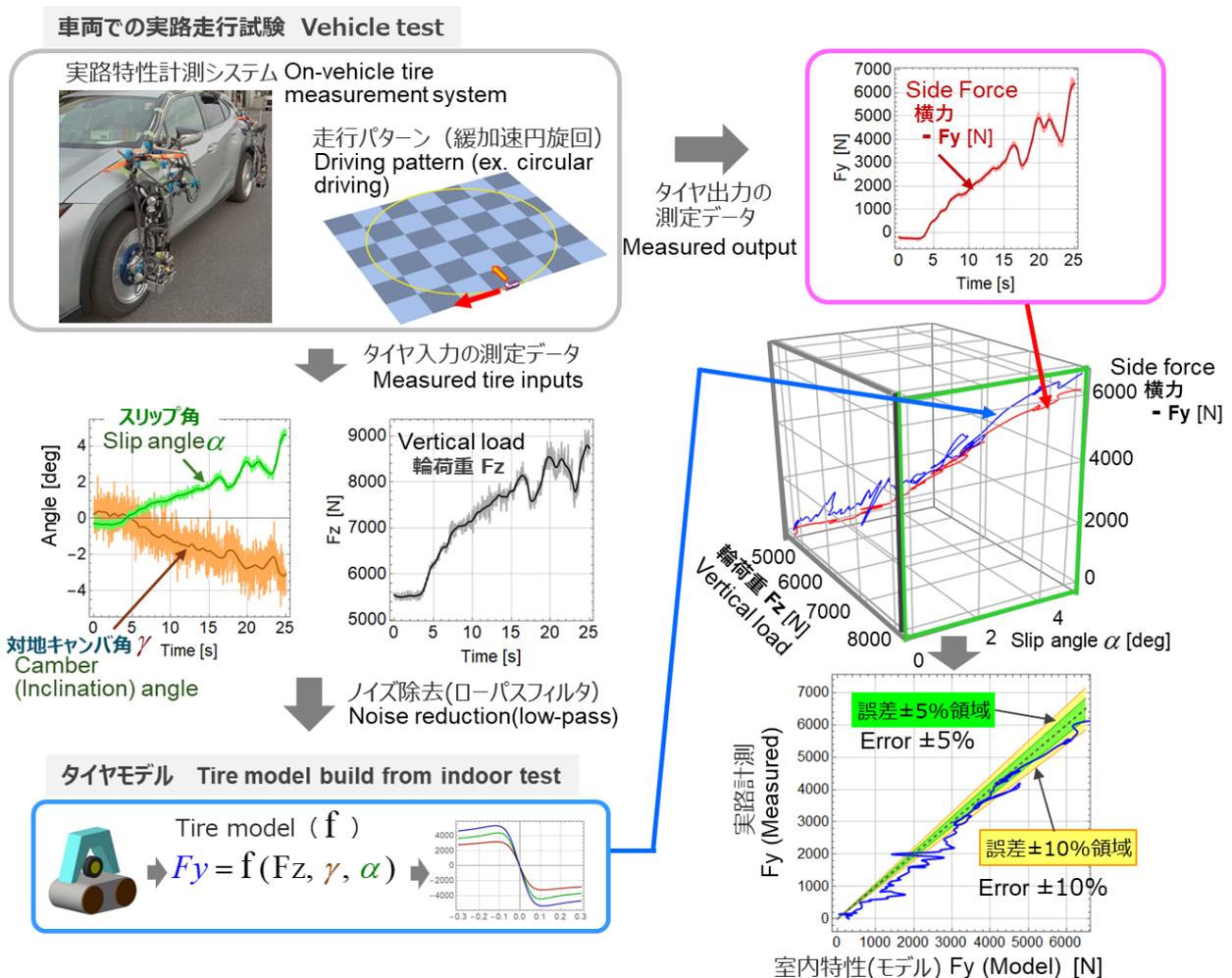


Fig. 3 Verification process of on-road tire property by tire model fixed from indoor test

実車両で想定される走り方をカバーする計測を行う方法としては 1990 年代に欧州を中心に提案されている TIME⁵⁾ プロジェクトなどがあるが、本稿では既に室内試験機測定を再現できるタイヤモデルとの比較を行っているので単純な円旋回での検討を行った。比較方法としては、実路計測で得られたタイヤ入力の時系列データをタイヤモデルに与えることでタイヤ出力を計算し、同じく実路計測で得られたタイヤ出力との対応を見るというやり方である。車両挙動は常時変化させているので、タイヤ入出力も連続的に変化しており、それが室内試験機の測定データを元にパラメータを決めているタイヤモデル（ここでは実験近似式タイヤモデル Magic Formula⁴⁾ を利用）の出力変化の時系列データと比較を行い、誤差の大きさがどこで増加してくるのを見ることができる。

以上の比較方法は実際の車両と路面を用いてタイヤ特性の実路補正が必要な領域を見ることができ、タイヤ入力は複数であり、個々の入力量の計測精度が複雑に絡んでくる。実車で直接的にタイヤ特性を確認できるというメリットがある一方、タイヤ出力も連続的に変化するため、室内試験機から得られたタイヤモデルの修正を行う際の精度確保が難しい面がある。

4. タイヤ特性計測用の車両（路上タイヤ試験車）による計測

タイヤ特性を室内試験機に近い形で実路計測できる方法としては、タイヤ入力を安定的にコントロールできる機能を持たせた計測用車両を用いる方法がある。測定輪を持つトレーラをけん引する方式や、バス・トラックなどに計測輪を追加するなど様々な形式^{6)~8)}があるが、横力を含むタイヤ特性計測には測定輪が転舵機構を持つ必要がある。

4.1 路上タイヤ試験車について

JARI では路上タイヤ試験車と呼ばれる専用の車両を用いてタイヤ特性計測を行うことができる。Fig. 4 に車両の特徴を示す。中型サイズのトラックの側面に測定用のタイヤを装着できる機構があり、タイヤ発生力はその機構に内蔵された 6 分力計にて計測できる。さらに、車体に対してタイヤの角度（実舵とキャンバ）を変えることができる機構を持っている。必要に応じてウエット路面を再現するための散水装置と水タンクも搭載している。測定輪への輪荷重付加は、車体とタイヤ保持部の間にエアシリンダを設け、シリンダ内の空気圧設定により車体から路面への押し付け力を調整することで輪荷重としている。

試験車を用いる測定においては、試験車を基準と見なして、試験車は直進して路面との間での上下変動は小さいと想定している。しかしながら測定輪は試験車の一部であり、測定輪に働く力によって、試験車自体も路面に対する変動が無視できない場合も出てくる。輪荷重設定のためにエアシリンダ圧力調整は試験車の静止状態で設定されるため、走行時に路面の外乱や車体の上下振動により、測定輪に加わる荷重の変動は 0 ではない。このため、室内タイヤ試験機と同様な安定した輪荷重設定を実現するために、この変動の影響はできるだけ小さくしたい。

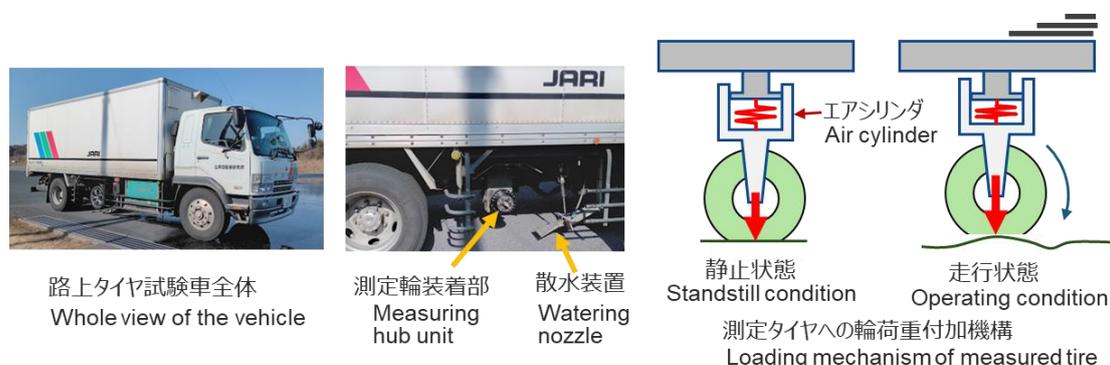


Fig. 4 JARI on-road tire property test vehicle and its loading mechanism

4.2 タイヤ輪荷重制御の課題への対応

輪荷重変動がどの程度発生するのは走行速度、車両の上限振動特性や路面の凹凸などによることと合わせて、設定荷重に対する変動幅も確認する必要がある。Fig. 5 左図には、3水準の設定荷重で計測したコーナリング特性を示す。設定荷重が大きくなるに従い相対的に荷重変動は小さくなるが、特に横力のピーク付近での変動が大きい。振動成分は周波数フィルターなどで滑らかにすることは可能であるが、この変動は輪荷重変動によって生成されているので、計測輪の輪荷重計測値で正規化することで Fig. 5 中央図のように変動を抑えることができる。そのうえで、輪荷重変動による横力変動は、これらの輪荷重変動範囲内では線形の関係にあると仮定して、設定荷重を掛けることで、Fig. 5 右図のように近似的に変動を抑えたコーナリング特性カーブが得られる。

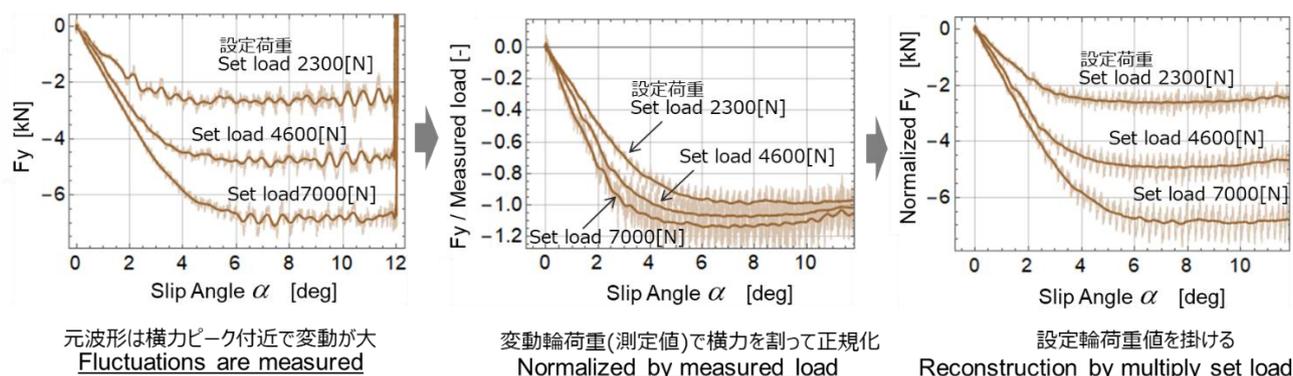


Fig. 5 Error reduction process of lateral force (Fy) by normalization with tire load (Fz)

4.3 タイヤスリップ角制御の課題

こうして 4.2 節に述べた信号処理により、室内タイヤ試験機に近い入力安定したタイヤ特性カーブが得られた。では得られた特性カーブを室内試験機の結果（前記しているように測定データからパラメトライズして求めたタイヤモデルを利用した再現）と直接比較すれば十分であることを確認する Fig. 6 には、試験車で計測して Fig. 5 に示す処理を加えた実路における測定結果と、室内試験機データからのタイヤモデルでの再現結果の比較を示す。2 章で述べたように、コーナリングの限界付近では路面摩擦の影響が大きいことから、実路と室内試験機の路面の違いが表れることは推定できる。ところが、路面摩擦の影響が小さいスリップ角微小域では実路と室内試験機の差が小さいはずであるが、Fig. 6 左の拡大図に示すように乖離が生じている。

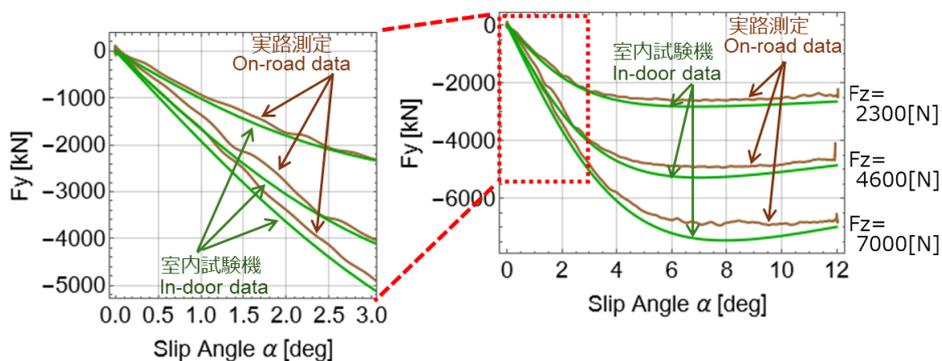


Fig. 6 Comparison of on-road and in-door (parametrized tire model) cornering property

微少域での乖離が起きている要因としては、車両側の影響がある。Fig. 7 には試験車を用いたコーナリング特性計測の流れを示す。評価する路面は通常はコントロールされた限定区間なので、その区間にまず設定速度で直進安定させた状態から測定輪のトー角変化を開始する。車両が直進を維持できていれば測定輪のトー角変化をスリップ角と見なすことができる。しかしながら、車両が直進しようとしても測定輪が横力を発生させれば横力は試験車に作用するため、試験車のドライバーは操舵操作により直進を維持するようにコントロールすることになる。

ドライバーの技量にもよるが、測定輪トー角が大きくなる領域では試験車が直進に近い状態を維持していれば、測定輪のトー角とスリップ角はほぼ同じと見なせる。一方、微少トー角の領域では試験車の直進からの変動が小さくても、今度は相対的に測定輪のトー角とスリップ角の間の差が拡大すると考えられる。

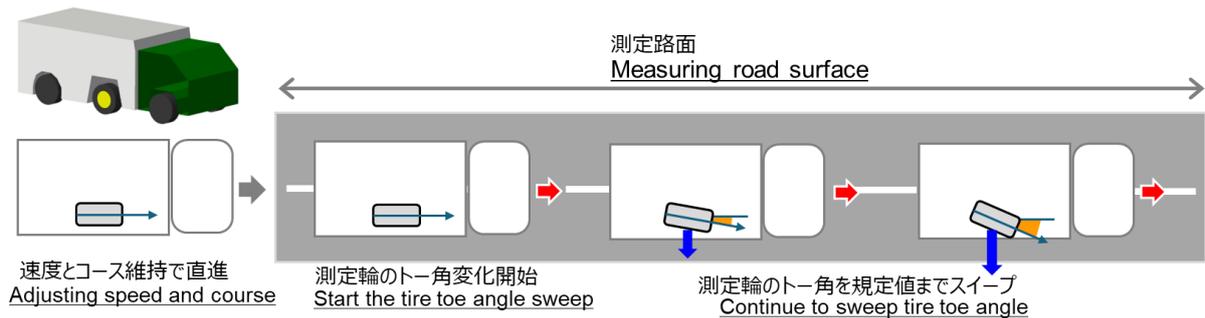


Fig. 7 The procedure of tire cornering property measurement at on-road tire testing

従って、コーナリングの特性計測の精度が維持できない微少スリップ角領域での計測では、測定輪トー角スイープではなく、測定輪トー角を固定して車両直進を制御しやすくする必要がある。Fig. 8 右図には、トー角を1度に設定して測定路面の区間に進入することで、車両直進を維持しやすくさせた走行方法を示す。トー角の符号を変えた設定で同様の計測を行い、2つの走行結果の差を見ることで、Fig. 6 で示したコーナリング特性の計測結果と比較した。Fig. 8 左図には、3水準の輪荷重にて固定トー角（±1度）で計測した結果を、点にて示す。3点の位置はそれぞれ室内試験機の特性能カーブに乗っているとみなせる。これにより、2章にて仮定した通り、タイヤスリップ角微少域においては室内試験機の測定結果で実路特性も近似できると考えられる。

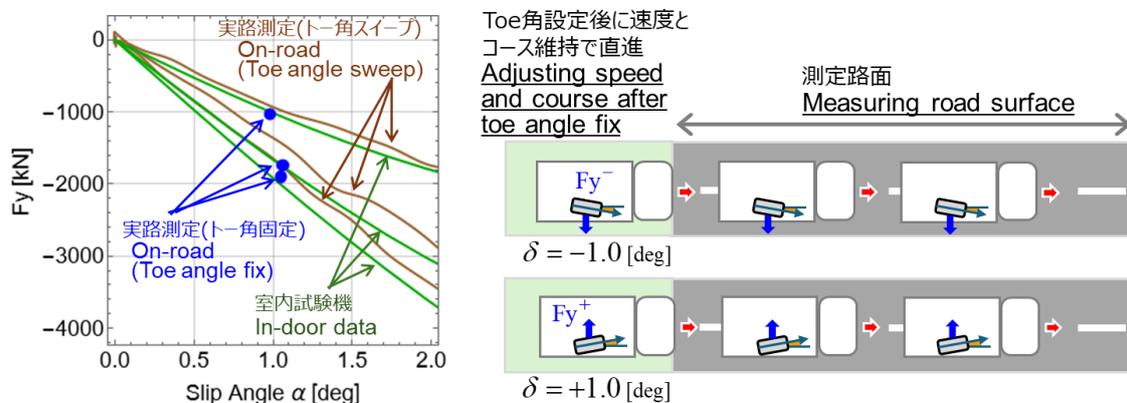


Fig. 8 The procedure of tire cornering stiffness by toe angle fixed operation

5. タイヤ特性パラメータの補正

こうして、室内タイヤ試験機の計測結果と路上タイヤ試験車での計測結果を比較して、特に路面摩擦の影響が顕著に表れるコーナリング特性ピーク付近での差を補正することにより、実路面への対応性を向上させることができる。車両運動シミュレーションにおいては、デファクトスタンダードとして広く利用されている実験近似式モデル Magic Formula がある。Magic Formula は計測されたタイヤ特性カーブを、複数のモデルパラメータを調整することで精度よくフィッティング（特性カーブを合わせる）させることができる（それゆえに Magic という名称で呼ばれる）。

Fig. 9 には、室内試験機から得られた Magic Formula での特性線に対して、モデルパラメータ群を調整して、微少域を除く領域においては実路測定データに合わせるように複数のモデルパラメータを同時に同定させている過程を示す。モデルパラメータは相互に影響を与え合うので、ピーク付近の修正と、微少スリップ角領域では逆に室内試験機からのモデルカーブを維持させるというような操作を同時に行うようにパラメータ化する必要がある。

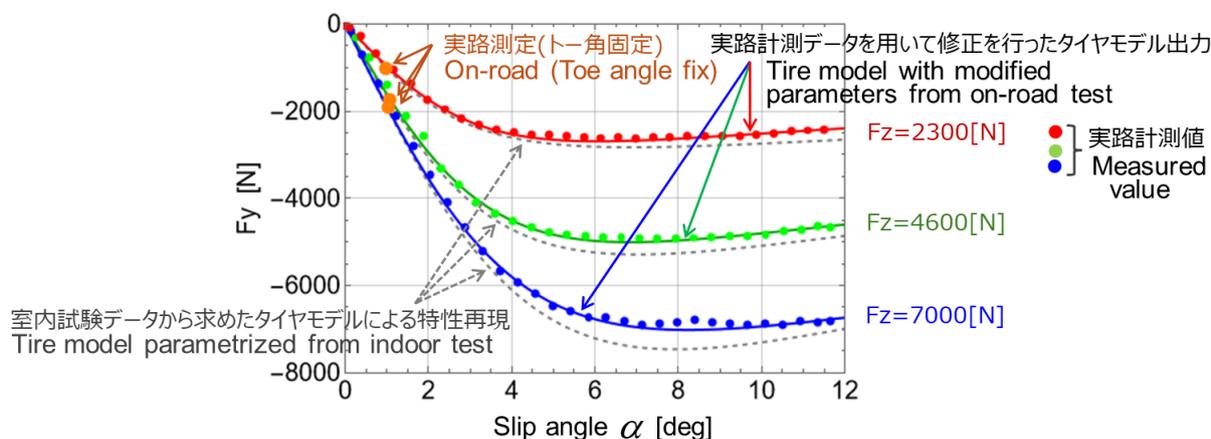


Fig. 9 Tire model parameter modification with on-road data

6. まとめ

NEDO の GI 事業「電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発／電動車両シミュレーション基盤の構築」プロジェクトの一環として、車両挙動再現性を高めるためのタイヤ特性実路対応性向上の取り組みを紹介した。このプロジェクトでは、車両運動シミュレーションの実車再現性を高めることが要求されており、それはタイヤ特性の実路再現性と直接結びつく。本稿では、タイヤの実路再現性を高めるために実施した、室内タイヤ試験機の測定結果を実路面に対応させるための実路計測までの一連の流れについて JARI での取り組み（タイヤ単体計測から実路対応の確認およびタイヤモデルパラメータの補正など）を示している。

そのために、路面の違いがコーナリング特性ではスリップ角の大きい領域において路面摩擦が支配的となっており、路面の差が明確になることを示した。そこで、実路での計測の方法として、まず実際の車両装着状態でのタイヤへの入力条件を再現できる、実車を用いたタイヤ特性の計測方法について示した。次に、タイヤへの入力条件を安定化させることのできる路上タイヤ試験車を用いての計測方法を示した。

さらに、室内試験機と実路面での測定の違いを把握することにより、室内試験機の測定結果をもとに作成されたタイヤモデルに必要な修正を加えて、実路面への対応性を向上させる流れも示した。ただし、室内試験機で計測したタイヤに実路面での特性確認を行うのは、実路面計測では室内計測よりも手間が

かかるので、すべてのタイヤで同様の流れを実施するのは難しい。タイヤ計測は使用目的や要求精度に応じて適切な方法を選択していく必要もある。

以上、本稿で検討してきた計測とモデリング方法も踏まえて、「電動車両シミュレーション基盤の構築」における車両運動シミュレーション精度向上に貢献していく。

7. 今後の課題・展望

本稿ではタイヤ特性のなかで、コーナリング特性に焦点を当てて取り組みを紹介したが、タイヤ特性としては制駆動特性や、さらに複合特性（いわゆる摩擦円特性）もあり、それぞれ実路対応についての取り組み方がある。ただし、タイヤが力を発生させるメカニズムは路面との摩擦による影響を受けるといふ点では同様であり、実車計測やタイヤ試験車での計測を効率的に組み合わせることでタイヤ特性の実路での再現性向上に貢献できると考えている。

実路との対応性を向上させるための方法としては、実路面を用いた室内試験機という、従来の室内タイヤ試験機と実路計測車のハイブリッドともいえる方式も提案されている^{9),10)}。特に、タイヤ製品に対する性能ラベリング制度の普及もあり、制動特性についてはタイヤの実路再現性を向上させることが市場からも要求されている。それを考慮に入れた制動試験用の大型室内試験機¹¹⁾も開発運用されており、同様の大型設備の導入も増加していく傾向にあると考えられる。JARIにおいても、MBD（モデルベース開発）領域での技術ニーズに合わせ、タイヤ計測やタイヤモデリング技術の向上を図っていく必要があり、将来に向けてのタイヤ計測・モデリングの在り方について検討を進めていく。

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務「グリーンイノベーション基金事業／電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発／電動車両シミュレーション基盤／電動・自動運転車開発を加速するデジタル技術基盤の構築（JPNP21027）」の結果得られたものです。ここに関係各位への感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説,
https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html, (参照 2024-11-27)
- 2) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）グリーンイノベーション基金事業 電動車等省エネ化のための車載コンピューティング・シミュレーション技術の開発,
<https://green-innovation.nedo.go.jp/project/in-vehicle-computing-simulation-technology/>, (参照 2024-11-27)
- 3) 羽二生隆宏ほか: 電動車両のシミュレーション基盤構築事業におけるタイヤ特性の計測とモデル化,
JARI Research Journal, JRJ20250102 (2025), [doi:10.60458/jarjirj.JRJ20250102](https://doi.org/10.60458/jarjirj.JRJ20250102)
- 4) Hans B. Pacejka: Tire and Vehicle Dynamics (Third edition), Butterworth-Heinemann (2012), [doi:10.1016/C2010-0-68548-8](https://doi.org/10.1016/C2010-0-68548-8)
- 5) J.J.M. van Oosten et al.: TIME Tire Measurement procedure Steady State Force and Moment testing, FISITA EAEC 7 (1999)
- 6) A. Lutz, et al.: Developments in vehicle dynamics and the tire model performance test, Vehicle System Dynamics, Vol. 45, Supplement 2007 p. 7-19 (2007), [doi:10.1080/00423110801925393](https://doi.org/10.1080/00423110801925393)
- 7) S. Shoop, B. Countermarsh: Tire Cornering Force Test Method for Winter Surfaces, SAE Technical Paper, 2006-01-1627 (2006), [doi:10.4271/2006-01-1627](https://doi.org/10.4271/2006-01-1627)
- 8) Miro-Tommi Tuutijärvi, et al.: Measuring Cornering Properties of Heavy Vehicle Tyres on Snow Using a Tyre Testing Trailer, IAVSD 2023, Advances in Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks III p. 243–253 (2024), [doi:10.1007/978-3-031-66968-2_24](https://doi.org/10.1007/978-3-031-66968-2_24)
- 9) Camber Ridge L.L.C.: Tire-technology:-Camber-Ridge-takes-new-approach-to-tire-testing, Rubber News,
<https://www.rubbernews.com/article/20160707/NEWS/306279981/tire-technology-camber-ridge-takes-new-approach-to-tire-testing>, (参照 2024-11-27)
- 10) 国際計測器（株）：動力循環式フラットロードタイヤ総合性能試験機,
<https://www.kokusaikk.co.jp/product/tester/tire/flat-road.html>, (参照 2024-11-27)
- 11) Continental社ホームページ: Tire Testing On the Road on Test Tracks Worldwide ; Automated Indoor Braking Analyzer (AIBA),
<https://www.continental-tires.com/about/our-company/research-and-development/tire-testing/>, (参照 2024-11-27)

JARI Research Journal 掲載区分

掲載区分	記載概要
研究速報 Research Report	背景, 目的, 方法, 結果, 考察といった一般的な研究論文の体裁を持った記事。
技術資料 Technical Report	一般的な研究論文の体裁ではないものの, 新たな知見または価値あるデータを報告する記事。
調査資料 Survey Report	他機関より得られた資料, データを元に, 新たな知見を報告する記事。
解説 Review	特定の分野やテーマに関して, 「現状の最新動向」や「研究・開発状況」などをまとめ, 要約・説明する記事。
研究活動紹介 Research Activity	JARI の研究活動を紹介・報告する記事。
トピックス* Topics	JARI の「研究活動」以外の「活動」等についての記事。また上記の分類外の記事。 *トピックス=「話題」「出来事」