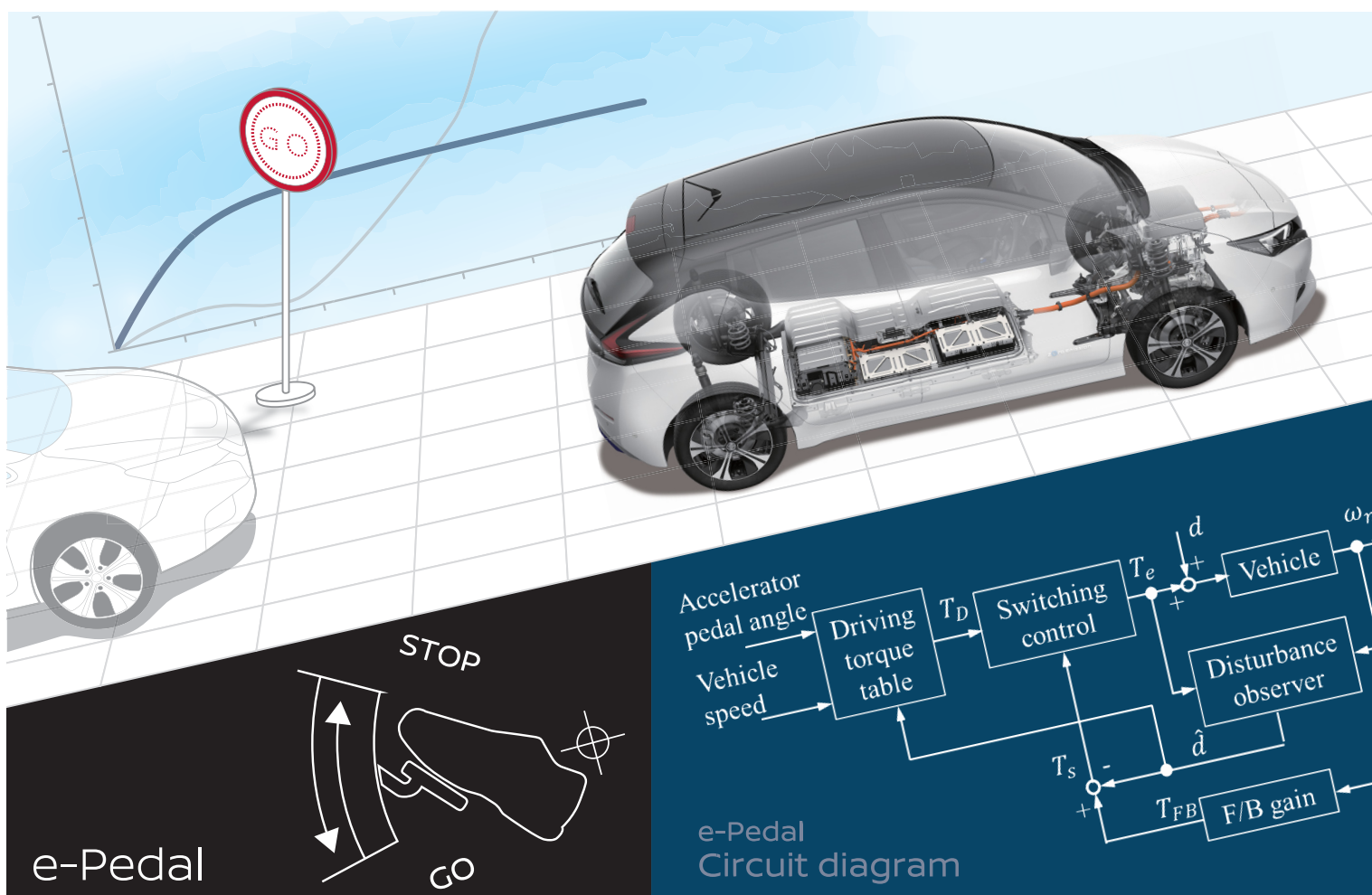


# NISSAN TECHNICAL REVIEW

日産  
技報

2018 No.82



新型日産リーフの電動パワートレイン

Electric Powertrain for the New Nissan LEAF

NISSAN MOTOR CORPORATION





2018



NISSAN TECHNICAL REVIEW

No. 82

# 日産技報第82号

## 目次

2018年3月 発行

### ◆ 巻頭言

自動車大転換期を迎えて—礎となる新型日産リーフのEV技術……………鳥海 真樹 …… 1

### ◆ 特集：新型日産リーフの電動パワートレイン

1. 日産電気自動車用パワートレインの進化……………小野山泰一・吉本貫太郎 …… 3

2. 新型日産リーフ用高性能モータ&インバータシステム ……並木 一茂・百瀬 友昭  
正治 満博・室田 浩平 …… 8

3. 新型日産リーフの電動パワートレイン制御システム……………關 義則・黒澤 崇央  
吉本貫太郎・島村 青之 …… 16

4. モータ制御によるバックラッシュ振動の抑制……………大野 翔・澤田 彰・小松 弘征  
藤原 健吾・中島 孝 …… 23

5. 新型日産リーフのe-Pedalシステム……………宮下 直樹・新藤 郁真・鈴木 達也  
網代 圭悟・中村 洋平 …… 30

6. 新型日産リーフ向け大容量リチウムイオンバッテリー……………田崎 信一・高松 俊文・萩山 康介  
坂本 涼・岩下 健児・東野 龍也・小比賀基治 …… 40

7. 急速充電の現状と今後の発展……………吉崎 和也・上島 宇貴 …… 48

◆ 技術紹介

8. 世界初可変圧縮比エンジン 新型KR20DDET “VCターボ” の開発

松岡 一哉・木賀 新一・小島 周二・茂木 克也・高橋 英二 …… 53

◆ 新車紹介

9. 新型日産リーフ商品概要 …… 福田 真人 …… 62

10. 新型INFINITI QX50 商品概要 …… 角 智彰 …… 67

◆ 社外技術賞受賞一覧表 …… 72

◆ 受賞技術概要

11. 可変磁力モータの高速領域における着磁時電圧上昇の抑制及び、着磁制御に伴うトルク脈動に関する考察

佐々木健介・ガガス ブレント・福重 孝志・加藤 崇・赤津 観・ローレンツ ロバート …… 76

———— CONTENTS ————

◆ **Preface**

EV Technologies of the New Nissan LEAF

—Providing the Foundations Ushering in a Major Turning Point for Vehicles ..... 1

By Masaki TORIUMI

---

◆ **Special Feature : Electric Powertrain for the New Nissan LEAF**

1. Evolution of Electric Powertrain for Nissan Electric Vehicle ..... 3

By Taiichi ONOYAMA, Kantaro YOSHIMOTO

2. High Performance Motor and Inverter System for the New Nissan LEAF ..... 8

By Kazushige NAMIKI, Tomoaki MOMOSE, Mitsuhiro SHOUJI, Kohei MUROTA

3. Electric Powertrain Control System for the New Nissan LEAF ..... 16

By Yoshinori SEKI, Takahisa KUROSAWA, Kantaro YOSHIMOTO, Seishi SHIMAMURA

4. Drive Motor Control Method for Suppressing Drive Shaft Torsional Vibration due to Gear Backlash  
..... 23

By Sho OHNO, Akira SAWADA, Hiroyuki KOMATSU,

Kengo FUJIWARA, Takashi NAKAJIMA

5. e-Pedal System of the New Nissan LEAF ..... 30

By Naoki MIYASHITA, Ikuma. SHINDO, Tatsuya SUZUKI,

Keigo AJIRO, Yohei NAKAMURA

6. High-capacity Lithium-ion Battery for the New Nissan LEAF ..... 40

By Shinichi TASAKI, Toshifumi TAKAMATSU, Kousuke HAGIYAMA, Ryo SAKAMOTO,

Kenji IWASHITA, Tatsuya HIGASHINO, Motoharu OBIKA

7. The Latest Status and the Outlook of Quick Charging ..... 48

By Kazuya YOSHIKAZI, Utaka KAMISHIMA

◆ **New Technology**

8. Development of the New KR20DDET VC-Turbo Engine with World's First Variable Compression Ratio Technology ..... 53  
By Kazuya MATSUOKA, Shinichi KIGA, Shuji KOJIMA,  
Katsuya MOTOKI, Eiji TAKAHASHI

◆ **New Models**

9. Product Overview of the New Nissan LEAF ..... 62  
By Makoto FUKUDA
10. Product Overview of the New INFINITI QX50 ..... 67  
By Chiaki SUMI

◆ **List of Technical Award Recipients** ..... 72

◆ **Technical Award News**

11. Magnetization State Manipulation Method with Low Vehicle Vibration for High Speed Operating Region of Variable Flux PMSMs ..... 76  
By Kensuke SASAKI, Brent S. GAGAS, Takashi FUKUSHIGE,  
Takashi KATO, Kan AKATSU, Robert D. LORENZ



## 自動車大転換期を迎えて— 礎となる 新型日産リーフのEV技術

アライアンス グローバル ディレクター  
鳥海 真樹

2017年は、自動車業界にとってターニングポイントの年と記憶されるだろう。英仏両政府が「2040年までにガソリン車やディーゼル車の販売を禁止する」と宣言し、中国では「NEV（新エネルギー車）規制を2019年から導入する」と発表するなど、世界中で電動化シフトが明確に打ち出だされ、自動車業界は100年に一度の大転換期を迎えていると言われている。各自動車会社が次々と電動化やEV（電気自動車）化の計画を発表しているだけでなく、新たに異業種からEVへの参入を表明するなど、まさに異次元の覇権争いに突入し、混沌を極めている。

我々ルノー・日産・三菱アライアンスも2022年までに12車種の新たなEVを販売することを発表した。EVの熾烈な競争に勝つために、ルノー・日産・三菱アライアンスは航続距離を600km以上に伸長、バッテリーのコスト30%低減、15分の充電で航続距離230km回復などの技術開発に取り取り組んでいる。またEVリーダーシップを堅持し、未来のEV社会の実現のための先進的な技術の創出に、スピード感を持って挑戦し続けている。

そんな中、日産自動車は、2017年10月に新型日産リーフを市場に送り出した。我々日産は2010年の日産リーフ発売以来、世界でEV累計販売30万台以上を達成し、お客様の様々な声や、市場の品質、EVの使われ方に関する膨大なデータを有している。これはEVのパイオニアである日産ならではの財産であり、それを開発にフィードバックしている。新型日産リーフは、最新のEV用パワートレイン、バッテリーと制御技術を搭載し、満を持して発売した。EV用パワートレインは、モータ・インバータの技術進化により高出力・高トルク化し、高い加速性能を実現している。またバッテリーは同じ大きさで、室内空間を犠牲にすることなく、大容量のものを搭載し、2010年当初の2倍に達する400km（JC08）の航続距離を実現している。これらEV用パワートレインの大幅な進化と、新たなEVの走りの魅力向上に貢献した制御技術について、本特集を通じて感じて頂ければと思う。

これら新型日産リーフの技術は、EVの異次元競争時代の礎となる技術である。今回の技術を足掛かりにし、更なる高みを目指し、EVの技術イノベーションに邁進したい。それが地球温暖化などの世界の環境問題やエネルギー政策へ寄与し、社会的責任を果たせれば幸いです。



# EV Technologies of the New Nissan LEAF—Providing the Foundations Ushering in a Major Turning Point for Vehicles

Masaki Toriumi  
Alliance Global Director

The year 2017 will likely be remembered as a significant turning point for the automotive industry. The governments of both the U.K. and France stated that sales of gasoline and diesel vehicles will be banned by 2040. China announced that its new energy vehicle (NEV) regulations will be implemented from 2019. These and other announcements have clearly indicated a global shift to electrification, and it is said that the automotive industry is on the verge of a major turning point that occurs once in a hundred years. Not only are vehicle manufacturers revealing one plan after another for electrification and electric vehicles (EVs), companies in other industries are also expressing their intention to enter the EV market. A struggle for leadership on a totally different dimension has suddenly occurred, giving rise to an extremely chaotic situation.

Our Renault-Nissan-Mitsubishi Alliance announced that twelve new EV models will be put on the market by 2020. In order to win the fierce EV competition, the Alliance is developing technologies for extending the driving range to 600 km, reducing the battery cost by 30%, and facilitating 15-minute charging to recover a driving range of 230 km, among other targets. Moreover, to firmly maintain our EV leadership, we are continuing the challenge to create advanced technologies quickly for building a future society centered on EVs.

Against this backdrop, the new Nissan LEAF was released in October 2017. Since rolling out the first-generation Nissan LEAF in 2010, we have achieved cumulative sales of over 300,000 EVs worldwide. We possess an enormous amount of data concerning customers' various opinions, real-world quality and how EVs are driven. This represents a valuable asset that only Nissan as an EV pioneer could amass, and the information is fed back for use in the development process. The much-awaited new Nissan LEAF is equipped with the latest electric powertrain, battery and control technologies. The electric powertrain delivers higher power and torque for enhanced acceleration performance, thanks to advances made in motor and inverter technologies. While the battery is the same size so as not to sacrifice interior roominess, its capacity has been improved to provide a driving range of 400 km under Japan's JC08 emission test mode, which is twice that of the initial model in 2010. It is hoped that the special feature in this issue will enable readers to understand the profound evolution of the EV powertrain and the control technologies that contribute to enhancing the novel fascination of driving an EV.

The technologies embodied in the new Nissan LEAF will serve as the technical foundations for the coming era of EV competition on a different dimension. Using the present technologies as a foothold, we intend to move ahead with further EV technological innovation, aiming to attain even greater heights. We will be very happy if we can discharge our social responsibility by contributing to the resolution of global environmental issues like global warming and to the advancement of energy policy.

# 日産電気自動車用パワートレインの進化

Evolution of Electric Powertrain for Nissan Electric Vehicle

E V ・ H E V システム開発部 小野山 泰 一  
EV and HEV System Engineering Department Taiichi Onoyama

E V ・ H E V システム開発部 吉 本 貫太郎  
EV and HEV System Engineering Department Kantaro Yoshimoto

## 1. はじめに

日産自動車は、持続可能な社会の構築を目指し、4つの重要な社会問題に対する技術開発を進めている。図1はこれら4つ問題として、エネルギーの枯渇、地球温暖化、渋滞、交通事故を示しており、今日では先進国と新興国の共通の課題となっている。これらの問題を解決するための技術ソリューションとして、日産は「電動化」「知能化」という2つの軸をおいている（図2）。知能化技術は、究極のゴールである完全自動運転に向けて段階的な技術開発と進化を示しており、一方、電動化技術は、内燃機関（ICE）に電動技術を加えたハイブリッドシステムから段階的に、電動化の究極の目標である電気自動車（EV）への進化を示している。2016年に日本市場で日産ノートに採用されたe-POWERは、電気自動車と駆動系を共用した100%モータ駆動の電動パワートレインである。日産はこのe-POWERとEVで100%電動駆動車の普及を進めている。さらに「電動化」「知能化」は高い親和性を持っており、主要な社会問題を解決するために、効果的に導入されることが期待されている。

## 1. Introduction

Nissan is focusing on the development of technologies for four key social issues with the aim of building a sustainable society. As shown in Fig. 1, these issues are energy depletion, global warming, congestion and traffic accidents. They are prevalent in both industrialized and emerging economy countries.

In order to solve these issues, Nissan has set two major directions, "electrification and intelligence", as its technology development strategy. Figure 2 shows Nissan's technology development approach in these two areas. Intelligent technologies are evolving in stages toward autonomous driving. Simultaneously, electrification technologies are evolving in stages from a level of adding electrified elements with internal combustion engines (ICEs) toward achieving the ultimate goal of electrification in the form of electric vehicles (EVs). e-POWER is a new electric powertrain concept introduced in 2016 for the



図-1 技術開発の背景にある社会問題  
Fig. 1 Social issues as background of technology development

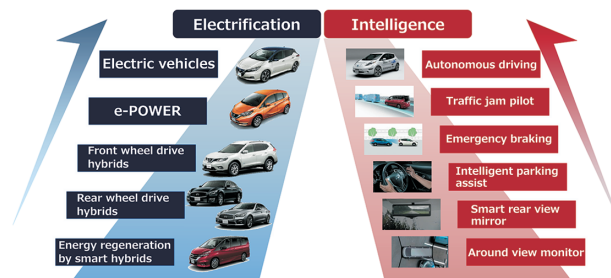


図-2 日産における技術開発の取り組み  
Fig. 2 Key concepts of Nissan technology development



図-3 初代日産リーフ（11MY）  
Fig. 3 First-generation 2011 MY Nissan LEAF

2. 日産リーフの電動パワートレインの進化

2010年に私たちは100%EVの日産リーフを、手ごろな価格で大人5人が快適に乗車できるミドルサイズのハッチバックとして投入した。初代リーフ（11MY）の航続距離は200km（JC08）で、日常的な使い方を十分に満足する航続距離を備えていた（図3）。

図4に示すように、2017年9月時点で日産リーフの累計販売台数は28万台を超え、グローバルマーケットでのEV累計販売台数で世界一の座を維持し続けている。2010年の日産リーフの登場以降、多くの自動車会社もEV市場に参入しているため、年々競争は激しくなっている。日産リーフの競争力を維持するため、第一世代の日産リーフは7年の間に2回のマイナーチェンジを行い、電動部品の進化を採り入れてきた。1回目のマイナーチェンジを行った2013年モデル（13MY）では、高電圧部品はインテグレーションによって小型・軽量化され、モータおよびインバータは効率向上とともにコスト低減が図られた。この効率向上は航続距離の拡大にも貢献できた。2回目のマイナーチェンジの2016年モデル（16MY）は、リチウムイオンバッテリーの容量と出力密度を向上させた。バッテリーパックサイズは同じまま、容量を30kWhに増大している。

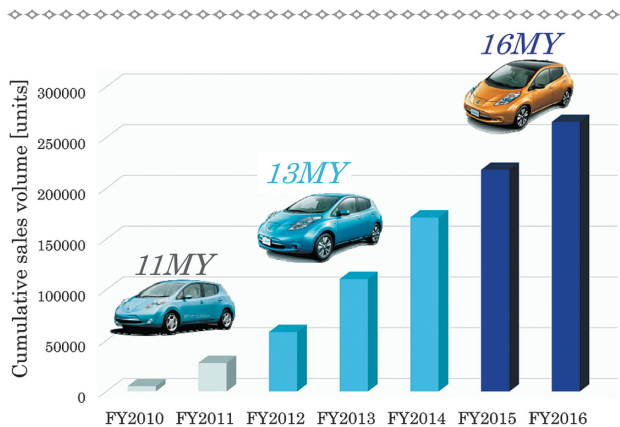


図-4 日産リーフの累計販売台数  
Fig. 4 Cumulative sales volume of Nissan LEAF



図-5 新型日産リーフ（18MY）  
Fig. 5 All-new 2018 MY Nissan LEAF

Japanese-market Nissan Note, utilizing an EV powertrain. Nissan is using e-POWER and EV technology to advance the penetration of all-electric-drive vehicles. As electrification and intelligence have exceptionally strong affinities, it is expected that they can be used effectively to resolve the key social issues mentioned above.

2. Evolution of the Electrical Powertrain for EVs

The Nissan LEAF was launched as the first mass-produced EV with a reasonable price in 2010. The Nissan LEAF is a medium-size hatchback that can seat five adults comfortably. This first-generation 2011 model year Nissan LEAF had a driving range of 200 km under Japan’s JC08 emission test mode, sufficient to satisfy real-world consumer requirements for daily use (Fig. 3).

As of September 2017, the cumulative sales volume of the Nissan LEAF surpassed 280,000 units. The Nissan LEAF has maintained its top position in cumulative sales volume in the global EV market as shown in Fig. 4. After Nissan launched the LEAF in 2010, many automotive manufacturers have also launched EVs, making competition in the EV market more intense with every passing year.

In order to keep the Nissan LEAF competitive, the first-generation vehicle underwent a minor model change twice to adopt electric components that evolved during its seven-year model life. In the 1st minor change for the 2013 MY vehicle, high-voltage components were integrated for compactness and weight reduction and the efficiency of the electric motor and inverter was improved while lowering the cost. Improved efficiency also contributed to extending the driving range. In the 2nd minor change for the 2016 MY vehicle, the energy capacity and power density of the Li-ion battery were increased. The battery capacity was increased to 30 kWh while keeping the battery pack the same size as before.

In October 2017, Nissan launched the new Nissan LEAF (Fig. 5). Maximum power and torque of the electric motor were improved to 110 kW and 320 Nm. Li-ion battery capacity was increased to 40 kWh, while keeping

表-1 日産リーフの仕様比較  
Table 1 Comparison of Nissan LEAF specifications

		11MY	13MY	16MY	18MY
Motor	Max. power [kW]	80	80	←	110
	Max. torque [Nm]	280	254	←	320
Inverter	Max. current [Arms]	340	282	←	456
	Weight [kg]	16.8	15.3	←	11.4
Battery	Capacity [kWh]	24	24	30	40
Driving range	JC08 (Japan) [km]	200	228	280	400

そして2017年10月、私たちはフルモデルチェンジした新型日産リーフ（18MY）を発売した（図5）。電動モータの性能は最大出力を110kW、最大トルクを320Nmに向上し、リチウムイオンバッテリーのパックサイズは前型16MYと同じでありながら、その容量は40kWhに増大させている。表1に新型日産リーフの仕様を、歴代リーフと比較して示す。

図6に、初代11MYからの電動パワートレインの進化を、部品ごとに示す。電子部品、電力用半導体の進化は早く、充電器やDC/DCコンバータ、インバータなどのパワーエレクトロニクス部品は、それらの進化とイノベーションをタイムリに取り込むことで、部品の小型化、インテグレーションを実現できる。また、バッテリーに用いられる材料技術も近年発展が著しく、それらを適宜採用することでバッテリーセルを改良してきている。一方で、バッテリーパックとプラットフォームとの構造的なインターフェイス、およびモータのステータやロータの外径寸法などは変えることなく、その材料や内部構造を変更することで改良を図っている。それら大型部品の寸法は生産設備投資に影響するため、これらを最大限活用できるように考えている。今後さらに、コンポーネントサイズを変えずに、航続距離と動力性能を大幅に向上させたモデルを投入する予定である。

### 3. 日産電動パワートレインの制御技術

新型日産リーフのイノベーションとしての“e-Pedal”は、アクセルペダルの操作のみで、様々な路面条件でも極めてスムーズに減速度をコントロールすることができる。走行抵抗を電動モータのトルクなどから推定することによって、電動モータを制御しブレーキと高度に協調することで、急な勾配の坂道であっても、極めてスムーズに車両を停止させ、さらに長時間の停止保持もできる（図7）。

日産の電動駆動車の特長の一つは、電動モータの応答

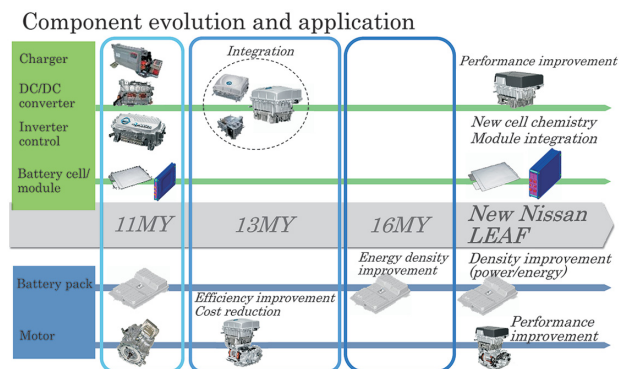


図-6 日産リーフ用電動パワートレインの進化  
Fig. 6 Evolution of the electric powertrain for the Nissan LEAF

the battery pack the same size. The major specifications of the new Nissan LEAF are shown in Table 1 in comparison with those of the previous models.

Figure 6 shows the evolution of each component used in the electric powertrain since the first-generation 2011 MY Nissan LEAF. Electronics and power semiconductor devices evolve quickly. That evolution and new innovations can be used in a timely manner to achieve more compact packaging and further integration for the power electronics components like the inverter, DC/DC converter and on-board charger (OBC). The battery chemistry has also been improved year by year, and this evolution has been applied to improve the battery cell technology. On the other hand, the mechanical interface of the battery and the dimensions of the electric motor stator/rotor have been kept the same, but the materials and inside structure have been changed to improve performance. Because changing the mechanical interface would require capital investment in production facilities, it is desirable to use these assets as long as possible. Nissan plans to introduce a new model with higher performance and a longer driving range, while keeping the components the same size.

### 3. Evolution of Electric Powertrain Control System

An innovative feature of the new Nissan LEAF is e-Pedal for controlling vehicle deceleration smoothly on various road surface conditions by just operating the accelerator pedal. Running resistance is estimated based on the drive motor torque, and advanced cooperative control of the mechanical brakes and the electric motor is

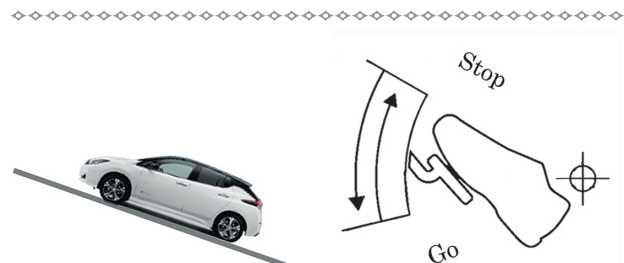


図-7 e-Pedalの操作イメージ  
Fig. 7 e-Pedal operation

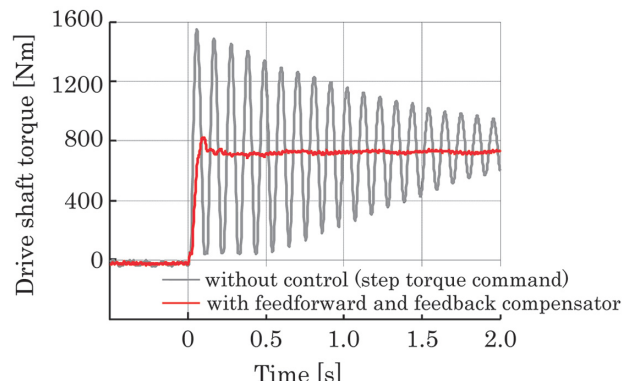


図-8 制振制御によるスムーズな加速  
Fig. 8 Smooth acceleration achieved with shaking vibration control

性と制御性の良さを最大限に活用したスムーズで素早い加速応答性であり、電動駆動車のコア技術として10年以上前から開発し磨きをかけている。図8に示すように、電動モータの応答性をただ早めるだけでは、ドライブシャフトはねじり共振によって大きな振動が発生する。日産では制御対象をモデル化し、フィードフォワード制御とフィードバック制御によって、電動モータの応答性の良さとスムーズな加速応答性を両立している<sup>1)6)</sup>。さらに、新型日産リーフでは、スムーズさと応答性を損なうことなく動力性能を大幅に向上させている。スムーズで素早い加速応答性は運転する楽しさだけではなく、不慣れなドライブにも日常での運転のしやすさを提供することができ、日産リーフが市場で支持されている理由の一つと言える。

#### 4. ま と め

日産リーフは2010年のデビュー以来、世界で支持され累計販売台数は世界一の座にあり、その競争力を維持するための技術改良を行ってきている。満を持して、2017年にフルモデルチェンジの新型日産リーフがデビューし、第一世代に続いて多くの支持を集めている。日産は100%モータ駆動の電動車の魅力を電動化のコアバリューとして推進していく。

#### 5. 参 考 文 献

- 1) S. Nakazawa et al.: The Nissan LEAF electric powertrain, 32nd International Vienna Motor Symposium (2011).
- 2) H. Shimizu et al.: Development of an integrated electrified powertrain for a newly developed electric vehicle, SAE Technical Paper No. 2013-01-1759 (2013).
- 3) T. Nakada et al.: The New Electric Powertrain on the 2013 MY Nissan LEAF, 34th International Vienna Motor Symposium (2013).
- 4) A. Shibuya et al.: Development of a Brand New Hybrid Powertrain for Compact Car Market, 25th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2016).
- 5) H. Kawamura et al.: Highly-Responsive Acceleration Control for the Nissan LEAF Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2011-01-0397 (2011).
- 6) T. Karikomi et al.: Development of the Shaking Vibration Control for Electric Vehicles, Pro. of SICE-ICASE International Joint Conference (2006).

used to stop vehicle extremely smoothly even on steep grades and to hold it in that condition (Fig. 7).

One of the distinctive features of Nissan EVs is smooth, responsive acceleration obtained by using the excellent response and controllability of the electric motor. The motor has been developed and refined for over 10 years as a core EV technology. As Fig. 8 shows, simply quickening motor responsiveness causes large vibration due to torsional resonance of the drive shaft. Nissan has developed a shaking vibration control system using feedforward and feedback controllers based on a control model, which achieves both smooth and quick response.<sup>1)6)</sup> The new Nissan LEAF delivers higher power performance without sacrificing this smooth and quick response. This controllability of the electric powertrain not only provides driving pleasure, but also driving ease in daily use even for inexperienced drivers. This is one reason why the Nissan LEAF has been so popular in the global market.

#### 4. Conclusion

The Nissan LEAF has kept the top position in cumulative sales in the global EV market since the first-generation model was launched in 2010. The electric powertrain has continuously been improved to maintain competitiveness. In 2017, the new Nissan LEAF debuted after a full model change. It has attracted a lot of customers just like the first-generation LEAF. Nissan is promoting the fascination of all-electric-drive vehicles as one of the core values of electrification.

#### 5. References

- 1) S. Nakazawa et al.: The Nissan LEAF electric powertrain, 32nd International Vienna Motor Symposium (2011).
- 2) H. Shimizu et al.: Development of an integrated electrified powertrain for a newly developed electric vehicle, SAE Technical Paper No. 2013-01-1759 (2013).
- 3) T. Nakada et al.: The New Electric Powertrain on the 2013 MY Nissan LEAF, 34th International Vienna Motor Symposium (2013).
- 4) A. Shibuya et al.: Development of a Brand New Hybrid Powertrain for Compact Car Market, 25th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2016).
- 5) H. Kawamura et al.: Highly-Responsive Acceleration Control for the Nissan LEAF Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2011-01-0397 (2011).
- 6) T. Karikomi et al.: Development of the Shaking Vibration Control for Electric Vehicles, Pro. of SICE-ICASE International Joint Conference (2006).

■ 著者 / Author(s) ■



小野山 泰一  
Taiichi Onoyama



吉本 貫太郎  
Kantaro Yoshimoto

# 新型日産リーフ用高性能モータ&インバータシステム

## High Performance Motor and Inverter System for the New Nissan LEAF

並木 一茂\*  
Kazushige Namiki

百瀬 友昭\*  
Tomoaki Momose

正治 満博\*  
Mitsuhiro Shouji

室田 浩平\*  
Kohei Murota

**抄 録** 本稿は100%電気自動車、新型日産リーフに向けて新たに開発した最大出力110kW、最大トルク320Nmを発揮するモータ&インバータシステムについて紹介する。本システムではこの性能を、前型モデルの最大出力80kW、最大トルク254Nmからサイズアップなく達成しており、それは直接冷却構造のインバータパワーモジュール、重希土を減らしたモータ磁石、パワーモジュールとモータの温度及びモータ電圧マネージメントの最適制御などの技術を採用することで実現している。

**Summary** This article describes a newly developed motor and inverter system with maximum torque of 320 Nm and maximum power of 110 kW for the new Nissan LEAF electric vehicle. The system achieves this performance with no increase in size over the previous system with maximum torque of 254 Nm and maximum power of 80 kW. This performance improvement has been achieved with a new inverter power module that adopts a direct cooling structure, motor magnets with reduced heavy rare earth elements, and controls that optimally manage the motor voltage and the temperatures of the power semiconductors and motor.

**Key words :** Power Unit, electric vehicle (EV), motor, interior permanent magnet synchronous motor, motor drive system, inverter, power module

### 1. はじめに

日産リーフは世界初の量産型電気自動車（EV）として2010年に発売され、その累積販売台数は28万台以上に達しており、世界で最も走っているEVである。その電動パワートレインは歴史ある米国ワーズ社の2011ワーズ「10ベストエンジン」賞に初めて電動パワートレインとして選出され、また日産リーフとしても各賞を受賞してきた。

電動パワートレインのモータ&インバータシステムは前型モデルより小型・軽量化が図られ、今回新型日産リーフにおいて更なる性能向上が達成され、「モータならではの力強く上質な走り」を進化させた。

本稿では、この新型日産リーフ向けモータ&インバータシステムの概要と採用した性能向上技術について、主に前型モデルからの変化点に着目し紹介する。

### 2. システム概要

図1に新型日産リーフ用電動パワートレインの外観及び車両プラットフォームを、図2に電動パワートレインのエネルギーの流れを示す。電動パワートレインは、前型モデルと同様、車両前方のモータールームに搭載されている。

### 1. Introduction

The Nissan LEAF was released in 2010 as the world's first mass-produced electric vehicle. Its cumulative sales volume has surpassed 280,000 units, making the Nissan LEAF the most driven EV worldwide. The Nissan LEAF has won numerous awards, including having its electrified powertrain selected by Ward's AutoWorld magazine in the U.S. for Ward's 10 Best Engines list in 2011, the first such powertrain ever to be given this distinguished honor.

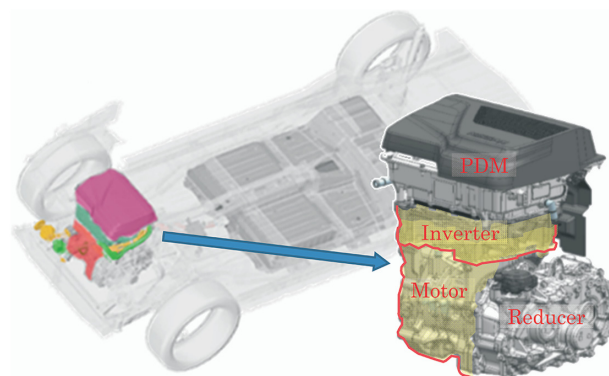


図-1 新型日産リーフの電動パワートレインの外観図及び車両プラットフォーム  
Fig. 1 Appearance of the electrified powertrain and platform of the new Nissan LEAF

\*EV・HEVコンポーネント開発部 / EV and HEV Component Engineering Department

(1) 車両の動力源である駆動モータ、(2) バッテリからの電気エネルギーをモータへ供給・制御するインバータ、(3) 充電器、DC/DCコンバータ、ジャンクションボックスから成るPDM (Power Delivery Module)、(4) モータの駆動力をドライブシャフト、タイヤへと伝達する減速機の4部品をモジュール化し、電動パワートレイン全体としてコンパクトな機電一体構造をとっている。

図3及び表1に新型日産リーフのモータ&インバータシステムの外観と仕様を、前型モデルと比較して示す。本システムの最大出力は80kWから110kWへ、最大トルクは254Nmから320Nmに向上している。新型日産リーフ用モータ&インバータシステムでは、既存の生産設備を活用し部品コストを下げるため、PDMと減速機との接続部を前型モデルと共通形状としている。

一方で、インバータ内部部品は小型・軽量化を図り、インバータの質量と容量を低減することで、電費改善に貢献している。モータ、インバータ、PDM間の電気エネルギーの授受は、直接接続されたバスバーによって行われており、これにより一体構造を成している。本システムで電気損失により発生した熱は、内部に配された流路を流れる冷却水によりシステム外部に排出される。モータは前型モデルと

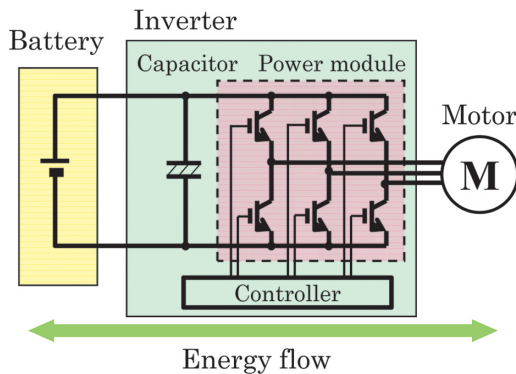


図-2 電動パワートレインのエネルギーの流れ  
Fig. 2 Energy flow in the electrified powertrain

表-1 モータ & インバータシステム仕様比較  
Table 1 Comparison of motor and inverter system specifications

		Previous model	New Nissan LEAF
Motor	Type	IPMSM	IPMSM
	Max. power	80 kW	110 kW
	Max. torque	254 Nm	320 Nm
	Max. speed	10390 rpm	10500 rpm
	Mass	54.1 kg	54.1 kg
	Volume	16 L	16 L
Inverter	Max. current	356 Arms	456 Arms
	Mass	15.3 kg	11.4 kg
	Volume	13 L	9 L

The motor and inverter system of the electrified powertrain used on the new Nissan LEAF has been downsized and reduced in weight compared with that of the previous model. This enables the new Nissan LEAF to achieve further performance improvements for enhancing its powerful, high-quality driving capabilities that typify a motor-drive system.

This article outlines the motor and inverter system used on the new Nissan LEAF and describes the technologies adopted for improving performance, focusing mainly on the changes made from the previous model.

## 2. System Overview

Figure 1 shows the appearance of the new Nissan LEAF's electrified powertrain along with the vehicle platform. The energy flow in the electrified powertrain is shown in Fig. 2. Like the previous model, the electrified powertrain is mounted in the motor compartment at the vehicle front. Consisting of four modularized parts, the overall electrified powertrain has a compact structure that is mechanically and electrically integrated. The drive motor serves as the vehicle's power source. The inverter supplies and controls the electric energy provided from the battery to the motor. The Power Delivery Module (PDM) consists of the charger, DC/DC converter and the junction box. The reducer transfers the driving force produced by the motor to the drive shaft and tires.

The appearance of the motor and inverter system for the new Nissan LEAF and the system specifications are shown in Fig. 3 and Table 1, respectively, in comparison with the system used on the previous model. The maximum power of the system has been improved from 80 kW to 110 kW and the maximum torque from 254 Nm to 320 Nm.

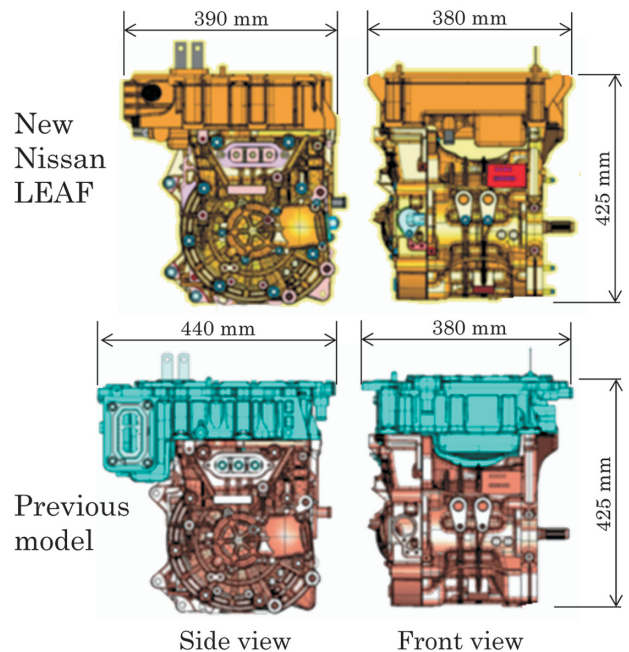


図-3 モータ & インバータシステム外観比較  
Fig. 3 Appearance of the motor and inverter systems for the new Nissan LEAF and previous model



同じくIPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) タイプを採用し、高い出力性能を有している。

図4に新型日産リーフのモータトルク及び出力特性を、前型モデルと比較して示す。インバータ内部のパワーモジュールの改良、及びパワーモジュールとモータの温度保護制御ロジックの最適化により、モータ回転数0rpmから最大トルク320Nmを発揮することができるモータ&インバータシステムとなっている。さらに、モータ電圧マネージメントを最適化したことで、最大出力110kWが可能となっている。

0rpmから最大トルクが発揮できること、及び前型モデルでも適用していた制振制御技術（駆動力伝達系のねじり振動を抑制しつつ迅速かつスムーズな応答を実現する制御）によって、図5の全開加速時の応答に示すように、他車両と比較し脈動のない高速な応答を可能にしている。

図6に各モータの回転数、及びトルクに対するモータ&インバータシステムの効率を、前型モデルと比較して示

The interfaces of the motor and inverter system on the new Nissan LEAF with the PDM and with the reducer have the same geometries as those of the previous model in order to facilitate the use of existing production facilities and reduce part costs.

The mass and volume of the inverter have been reduced by downsizing and lightening its internal components, which helps to improve electric power consumption. The motor, inverter and PDM are directly connected by busbars to facilitate exchanges of electric energy among them, thereby forming an integrated structure. Heat generated by electric losses occurring in the system is evacuated outside the system by coolant flowing through internal channels. Like that of the previous model, the motor is an interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM) that provides high power performance.

Figure 4 compares the motor torque and power characteristics of the new Nissan LEAF and the previous model. The motor and inverter system can deliver its maximum torque of 320 Nm from a motor speed of 0 rpm, as a result of improving the power module in the inverter and optimizing the thermal protection control logic for the power module and motor. In addition, optimization of motor voltage management enables the system to provide maximum power of 110 kW.

The ability to deliver maximum torque from 0 rpm and a shaking vibration control system enable the new Nissan LEAF to provide fast acceleration response without any hesitation compared with other vehicles, as indicated by the response characteristics under full-throttle acceleration

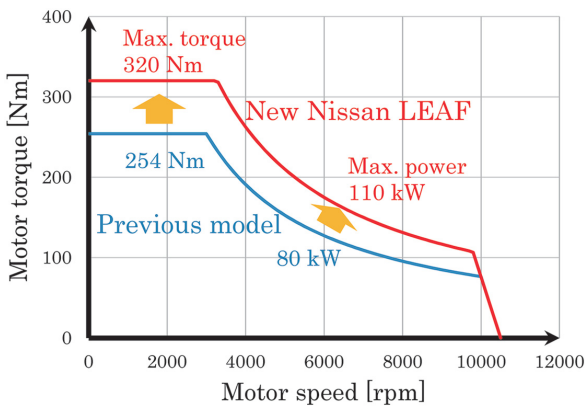
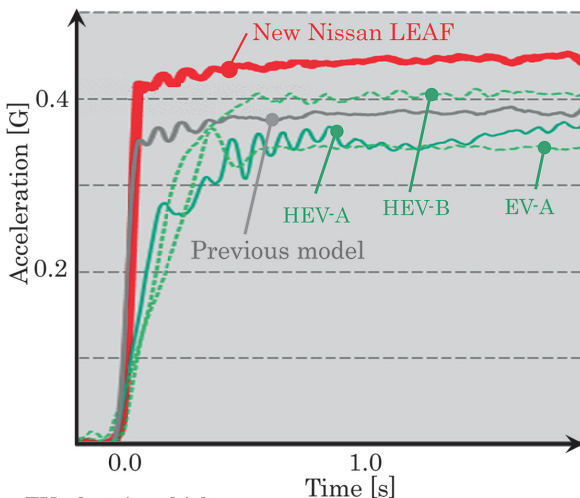


図-4 モータトルク・回転数特性比較  
Fig. 4 Comparison of motor performance



EV: electric vehicle  
HEV: hybrid electric vehicle

図-5 停車時からの加速特性比較

Fig. 5 Acceleration vs. time at full throttle acceleration of the new Nissan LEAF, previous model, and other EV/HEVs

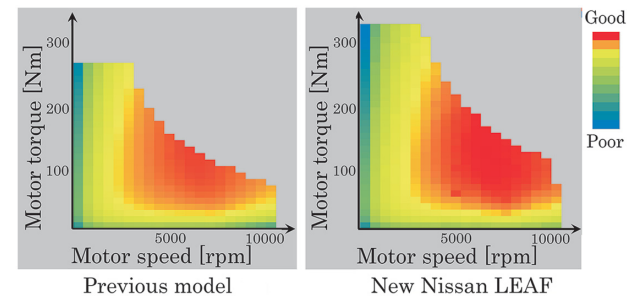


図-6 モータ & インバータシステムの総合効率マップ比較  
Fig. 6 Efficiency maps of motor and inverter systems

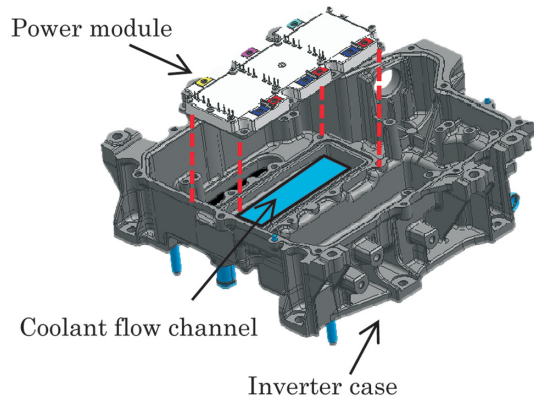


図-7 インバータへのパワーモジュール実装形態  
Fig. 7 Power module installed on inverter case



やグリースを必要とせず、図7に示すようにインバータケースに直接搭載できる。ただし、インバータ内部に水路とのシール面が存在するため、市場要件を整理し、耐久後もシール性能を満足する構造設計とした。これにより、前型モデル用に比べて約50%小型化しつつも、大電流通電を可能にしている。

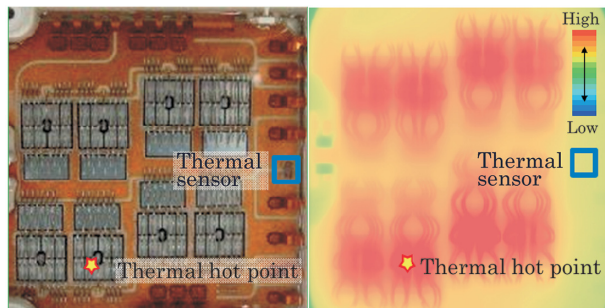
図8に平滑コンデンサの外観図を、前型モデルと比較して示す。平滑コンデンサでは、パワーモジュールの損失やサージ電圧に影響のある平滑コンデンサとパワーモジュール間のインダクタンスを、前型モデルに対し40%以上低減した。これはレイアウトの最適化検討によるPN相バスバーの積層エリア拡大、及びコンデンサフィルム薄膜化による約20%のサイズ縮小により達成した。

パワーモジュールの損失低減に対しては、ドライブ回路の最適化も寄与している。ターンオン/ターンオフスイッチング時に発生する損失と、その損失とトレードオフの関係にあるサージ電圧（電圧のオーバシュート）との相関を、パワーモジュールの電気特性を網羅的に変えて評価し、ドライブ回路を決定した。前型モデルから約14%損失を低減できた。

新型日産リーフでは、パワーモジュールの基板上のサーミスタにより測定されるパワーモジュール温度とインバータ流路入口に設置されたセンサにより測定される冷却水温を使ったパワー半導体チップの温度保護ロジックを採用した。温度制約の厳しいパワー半導体チップの温度は、モータを負荷としたインバータスイッチング動作実験において、図9に示すように、IR（赤外線）カメラを用いて測定した。これにより、各条件でのパワー半導体チップ温度とサーミスタセンサ値との相関を取得し、大電流通電時の温度保護仕様を決定した。

### 3.2 高出力化

高出力化のためには、高速回転時のモータの誘起電圧以上の電圧をモータへ印加する必要があり、高いモータ印加電圧が要求される。



Physical layout image      IR camera image

図-9 インバータスイッチング動作時の  
パワー半導体チップ温度

Fig. 9 Temperature of the semiconductor chips  
at the time of inverter switching

sealing performance even after aging in order to meet identified market requirements. This has made possible large current conduction while still reducing the size of the power module by approximately 50% compared with that of the previous model.

Figure 8 compares the appearance of the smoothing capacitors used on the new Nissan LEAF and the previous model. Inductance between the smoothing capacitor and the power module, which influences the losses and surge voltage of the latter device, has been reduced by 40% from that of the previous model. This was accomplished by expanding the laminated area of the P- and N-phase busbars, based on a layout optimization study, and by downsizing the capacitor by approximately 20% by applying thinner films.

Optimization of the gate drive circuit also contributed to reducing power module losses. The trade-off between losses that occur during turn-on/turn-off switching operations and surge voltage, i.e., voltage overshoot, was evaluated by comprehensively varying the electrical characteristics of the power module. The gate drive circuit design was determined on that basis. As a result, power module losses were reduced by approximately 14% compared with the previous model.

Thermal protection logic was adopted for the power semiconductor chips used on the new Nissan LEAF. This logic uses the power module temperature measured with a thermistor on the power module substrate and the coolant temperature measured with a sensor installed at the coolant channel inlet of the inverter. The temperature of the power semiconductor chips, which are subject to severe temperature restrictions, was measured using an infrared (IR) camera as shown in Fig. 9 during experimental inverter switching operations under an applied motor load. The correlation between the power semiconductor chip temperature and the thermistor sensor value under each operating condition was found and used to determine the thermal protection specification for a condition of high current conduction.

### 3.2 Higher motor output

In order to increase the motor output, it is necessary to apply voltage to the motor that is higher than

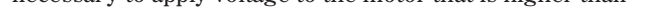


表-3 モータ電圧マネージメント比較  
Table 3 Comparison of motor voltage management

	Previous model	New Nissan LEAF
Line voltage		
Nominal peak modulation ratio	0.7 - 0.8	1.0

インバータのモータ制御ソフトウェアでは、表3に示すように、新型日産リーフはモータ電圧マネージメントを最適化し、変調率（インバータの入力電圧に対するモータへの出力電圧の利用率）1.0まで使うことができている。これは前型モデルの実績から、モータ磁石特性の温度依存性ばらつきを把握し、その磁石特性変化の影響を分析・検証することによって実現されており、この点が高出力化と高効率化に貢献している。

#### 4. モーター

図10に新型日産リーフのモータ部品の分解図を示す。既存の生産設備の活用を目的に、基本構成は前型モデルから変更なく、ロータコアにはネオジウム磁石、ステータコアは低鉄損化のために薄板化された積層電磁鋼板、回転位置センサはレゾルバを採用している。

##### 4.1 省資源化

ロータコアで使用しているネオジウム磁石には、高温下での保持力を確保するために希少元素である重希土（ジスプロシウム（Dy）など）を添加している。新型日産リーフでは図11に示すように、磁石粒子サイズを微細化するとともに重希土を磁石粒子界面のみに拡散させている。これにより耐熱性を向上させ、重希土使用量の削減、つまりは省資源化を実現している。

##### 4.2 高トルク化

新型日産リーフでは車両の新機能として、アクセルペダルのみによる発進、加減速、停止を可能とする車両制御e-Pedalが採用された。この新機能により低速でのモータの使用頻度の増加が想定され、また高トルク化のため大電流通電が必要なる。そのため、モータコイルの温度保護として新たな保護方式を採用した。通電時にコイル温度上

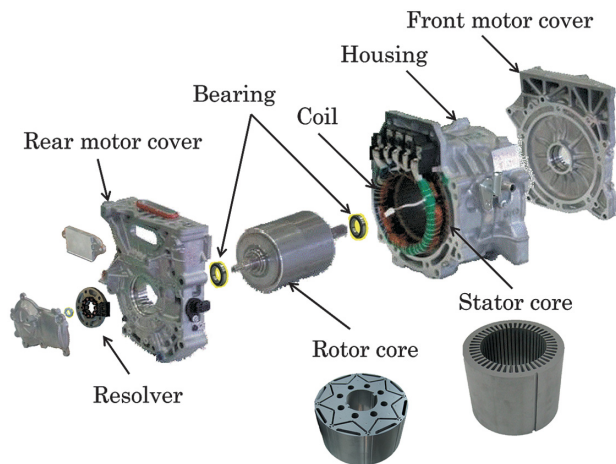


図-10 モーター構成図  
Fig. 10 Components of the motor

the induced voltage at high motor speeds. That requires the availability of high voltage for application to the motor.

The motor control software incorporated in the inverter optimizes motor voltage management on the new Nissan LEAF as shown in Table 3. This enables the use of a modulation ratio up to 1.0 as the usage ratio of the voltage output to the motor relative to the voltage input to the inverter. This was achieved by analyzing the data recorded for the previous model to ascertain the variation in motor magnet characteristics due to temperature dependence. The effects of changes in magnet characteristics were analyzed and verified to enable use of the higher modulation ratio that contributes to greater motor output and efficiency.

#### 4. Motor

The disassembled components of the motor used on the new Nissan LEAF are shown in Fig. 10. The motor continues unchanged the basic configuration of the motor employed on the previous model so as to facilitate use of the existing production facilities. Neodymium magnets are used in the rotor core. The stator core is made of thin laminated electromagnetic steel sheet in order to reduce iron losses. A resolver is used as the rotational position sensor.

##### 4.1 Resource savings

Heavy rare earth elements such as dysprosium (Dy) are added to the neodymium magnets used in the rotor core to maintain magnetic force under high temperatures. For the new Nissan LEAF, the magnet particle size was made finer and heavy rare earth elements are diffused only at the grain boundary interfaces as shown in Fig. 11. These measures improve heat resistance and reduce the quantity of heavy rare earth elements used, thereby achieving resource savings.

##### 4.2 Higher motor torque

The new Nissan LEAF adopts e-Pedal as a new vehicle control function that facilitates acceleration, deceleration and stopping by simply operating the accelerator pedal. It was envisioned that this new function would increase the frequency of motor use at low vehicle speeds and also that large current conduction would be needed to generate higher torque. Accordingly, a new thermal protection system was adopted to protect the motor coil.

As an example of a driving situation where the motor coil temperature rises when current is passed, it is assumed that current flow is concentrated temporarily in one phase under a condition of a low motor speed. To cope with this situation, this system adopts thermal protection logic as shown in Fig. 12 to facilitate higher motor torque. This logic estimates the motor coil temperature based on the value from a single motor temperature sensor and by using the coolant temperature and commanded current value.

昇が厳しくなるシーンとして、モータ回転数が低回転状態になり一つの相に電流が一定時間集中して流れることが考えられる。このシーンに対応するため、本システムでは図12に示すように、一つのモータ温度センサ値から、冷却水温及び指令電流値を用いて最大となるモータ温度を推定する温度保護ロジックを採用し、高トルク化を実現した。

### 5. ま と め

2018年モデル新型日産リーフに向けて新たに開発した最大出力110kW、最大トルク320Nmを發揮する駆動用モータ&インバータシステムは以下の特徴を有している。

- (1) 直接冷却構造の新パワーモジュール、及びパワー半導体とモータの温度を最適に制御する制御ロジックによる高トルク化
- (2) 薄板化された積層電磁鋼板を採用したモータコア、及びモータ電圧マネージメントの最適化による高出力化と高効率化
- (3) 重希土を減らしたモータ磁石による省資源化

上記により、パワーモジュールとモータの特性に合わせたモータ制御ロジックを開発することで、モータ&インバータシステムの性能を最大限に引き出すことができた。これにより、EVならではのドライブフィーリングとパワフルな性能をお客様に提供している。

今後も市場要求に対応するべく、さらなる高トルク・高出力化を目指しシステム開発を続けていく。

### 6. 謝 辞

本システムの高い性能・品質要求を実現するために、各構成部品サプライヤの皆様をはじめ、社内開発部門における関係部署はもちろんのこと、開発部門以外にも生産部門や購買部門の皆様など、広範にわたり多大なご協力を頂きましたことを深く感謝申し上げます。

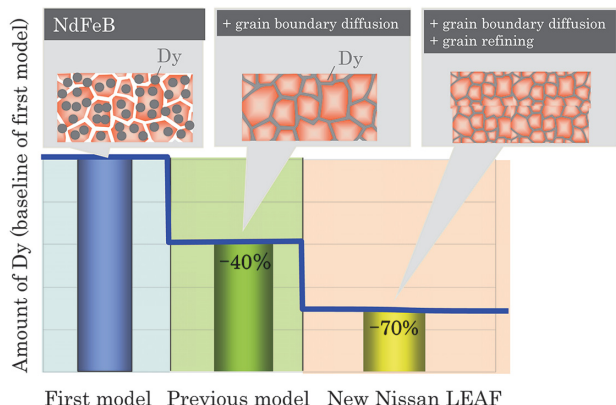


図-11 モータ磁石の重希土使用量削減  
Fig. 11 Reduction of rare earth elements for motor magnets

### 5. Conclusion

The motor and inverter system newly developed for powering the new 2018 model year Nissan LEAF produces maximum power of 110 kW and maximum torque of 320 Nm and incorporates the following major features.

- (1) A new power module with a directly cooled structure and control logic for optimally managing the temperatures of the power semiconductors and the motor contribute to the attainment of higher torque.
- (2) The motor core made of thin laminated electromagnetic steel sheet and optimized motor voltage management contribute to higher power performance and efficiency.
- (3) Reduction of the quantity of heavy rare earth elements added to the magnets contributes to resource savings.

These features and the development of motor control logic matching the power module and motor characteristics bring out the maximum performance of the motor and inverter system. This makes it possible to provide customers with powerful performance and a unique driving feel that only an EV can deliver.

We will continue to develop this system with the aim of achieving even higher torque and power performance so as to meet market requirements in the years ahead.

### 6. Acknowledgments

The authors express their deep appreciation for the invaluable cooperation received from wide-ranging quarters to achieve the high performance and quality required of the motor and inverter system. Thanks are especially due the suppliers of the system components and naturally the related departments in Nissan's Research and Development Division as well as others outside this division, including the Manufacturing Division and Procurement Division.

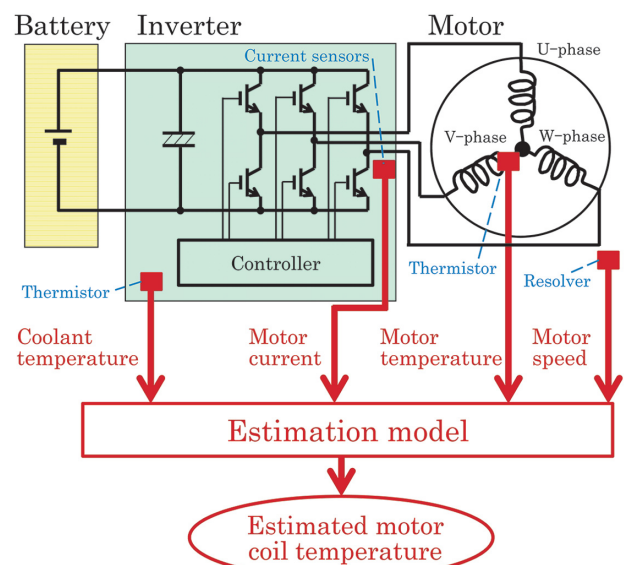


図-12 モータコイルの温度保護ロジック概略図  
Fig. 12 Schematic diagram of the thermal protection logic of the motor coil

## 7. 参 考 文 献

- 1) Y. Sato et al.: Development of High Response Motor and Inverter System for the Nissan LEAF Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2011-01-0350 (2011).
- 2) S. Oki et al.: Development of High-Power and High-Efficiency Motor for a Newly Developed Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2012-01-0342 (2012).
- 3) H. Shimizu et al.: Development of an Integrated Electrified Powertrain for a Newly Developed Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2013-01-1759 (2013).

## 7. References

- 1) Y. Sato et al.: Development of High Response Motor and Inverter System for the Nissan LEAF Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2011-01-0350 (2011).
- 2) S. Oki et al.: Development of High-Power and High-Efficiency Motor for a Newly Developed Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2012-01-0342 (2012).
- 3) H. Shimizu et al.: Development of an Integrated Electrified Powertrain for a Newly Developed Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2013-01-1759 (2013).

### ■ 著者 / Author(s) ■



並木一茂  
Kazushige Namiki



百瀬友昭  
Tomoaki Momose



正治満博  
Mitsuhiro Shouji



室田浩平  
Kohei Murota

# 新型日産リーフの電動パワートレイン制御システム

## Electric Powertrain Control System for the New Nissan LEAF

關 義 則\*  
Yoshinori Seki

黒 澤 崇 央\*  
Takahisa Kurosawa

吉 本 貫 太 郎\*  
Kantarō Yoshimoto

島 村 青 之\*  
Seishi Shimamura

**抄 録** 初代日産リーフから日産の電気自動車（EV）の特長である静かでスムーズ、且つレスポンスの良い加速性能はそのままに、動力性能・航続距離を大幅に向上させた新型パワートレインを開発し新型日産リーフに搭載した。また、EV同様に100%電動モータ駆動のノートe-POWERで採用したアクセル操作のみで加減速をコントロールするe-POWER Driveをベースにe-Pedalを開発した。e-Pedalはブレーキ制御と協調することで、あらゆる路面での加減速および停止を可能としている。航続距離は大容量バッテリーに加え、モータとインバータの効率向上、システム制御の改良によりJC08モードで400kmを達成した。

**Summary** The new Nissan LEAF features a new powertrain that maintains the quiet, smooth, and responsive acceleration performance characteristic of Nissan EVs, while improving the vehicle's power performance and driving range. We have also newly developed e-Pedal that combines braking control with the e-POWER Drive mode incorporated in the fully motor driven e-POWER electric powertrain adopted on the 2017 Note e-POWER. e-Pedal enables the vehicle to be accelerated, decelerated and stopped on many roads by accelerator pedal inputs alone in cooperation with braking control. The new Nissan LEAF achieves a driving range of 400 km in the JC08 mode as a result of improving the efficiency of the motor/inverter, enhancing the system control and installing a large-capacity battery.

**Key words :** Power Unit, Performance, Electronics, power train, electric vehicle (EV)

### 1. はじめに

世界初の量産型電気自動車（EV）である日産リーフは2010年に発売した初代よりモータ駆動の魅力である静かでスムーズ、且つレスポンスの良い走行を提案してきた。また、マイナーチェンジで駆動力制御の改良や高電圧バッテリーの容量増加を行うことによって、航続距離を向上させてきた。

新型日産リーフは日産EVの魅力であるモータ駆動の魅力を継承し、更に動力性能と航続距離を大幅に向上した電動パワートレインを搭載している。

本稿では新型日産リーフに搭載した新型電動パワートレインシステムの概要、性能、および制御概要について説明する。

### 2. パワートレインシステム

#### 2.1 システム構成

新型パワートレインの構成を図1に示す。パワートレインシステムは、走行用の駆動モータ、インバータ、減速機とジャンクション機能、DC/DCコンバータと充電器を一体化したPDM（Power delivery module）、そしてエネルギー

### 1. Introduction

The Nissan LEAF has proposed smooth and highly responsive driving performance as attractive characteristics of motor drive, since the first-generation model was released in 2010 as the world's first mass-market electric vehicle (EV). The driving range of the Nissan LEAF was extended in two minor model changes by improving driving force control and increasing the capacity of the high-voltage battery.

The new Nissan LEAF is equipped with an electric powertrain that continues the attractiveness of motor drive, which is a compelling feature of Nissan EVs, and also

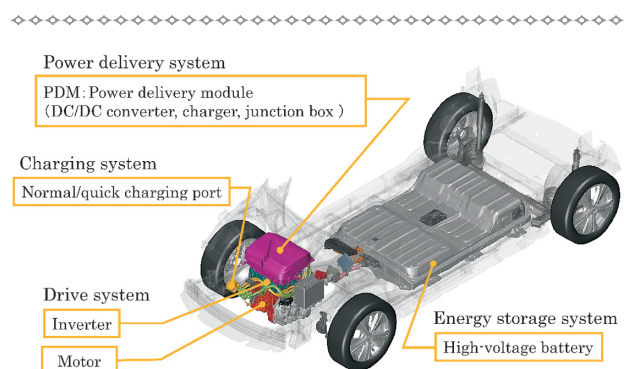


図-1 電動パワートレインの概要  
Fig. 1 Configuration of the electric powertrain

\*EV・HEVシステム開発部 / EV and HEV System Engineering Department

ギ源となるバッテリーで構成している。コンポーネントはサイズを従来以下としつつ、大幅に性能を向上させている。そのためプラットフォームの大きな変更を行わずに、車両への搭載を可能とした。

2.2 ユニット仕様

コンポーネントの仕様を表1に示す。駆動モータは従来型と同じサイズで、図2に示すように最大出力を35%、最大トルクを25%向上している。インバータは小型・軽量化を実現しながら、冷却性能強化による最大電流の増加、制御改良によりモータの出力とトルクを向上させている。

バッテリーは従来型と同様にリチウムイオンバッテリーを踏襲しているが、セルを新設計することでバッテリーの大きさをそのままに電池容量を約30%向上させ、モータ出力向上に伴い最大出力も約14%向上させた。

3. 車両性能

3.1 動力性能

発進加速性能と中間加速性能を図3に示す。発進時のGは従来型を大きく上回り、中間加速のシーンでも力強さは確保されている。

3.2 運転性

ノート e-POWERではモータの特性を生かして、多く

表-1 コンポーネントの仕様  
Table 1 Comparison of component specifications

Component		Previous model	New Nissan LEAF
Motor	Max. power	80 kW	110 kW
	Max. torque	254 Nm	320 Nm
Inverter	Mass	15.3 kg	11.4 kg
	Volume	13 L	9 L
Battery	Capacity	30 kWh	40 kWh

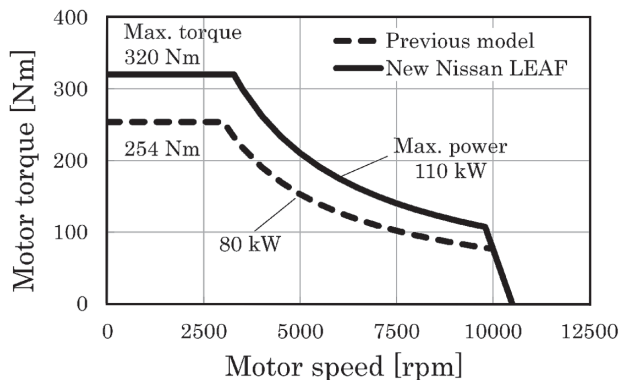


図-2 駆動用モータの回転数-トルク特性  
Fig. 2 Motor torque vs. speed

substantially improves the vehicle’s power performance and driving range.

This article outlines the new electric powertrain system used on the new Nissan LEAF, describing its performance and presenting an overview of its control system.

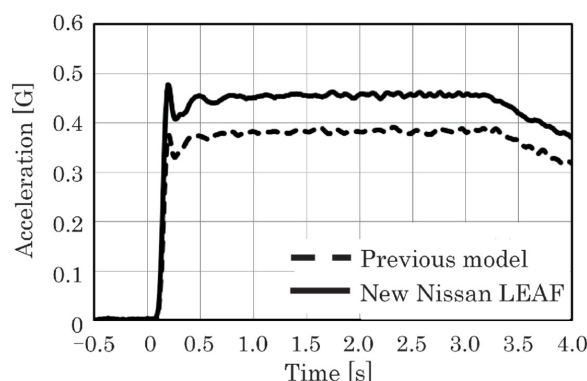
2. Powertrain System

2.1 System configuration

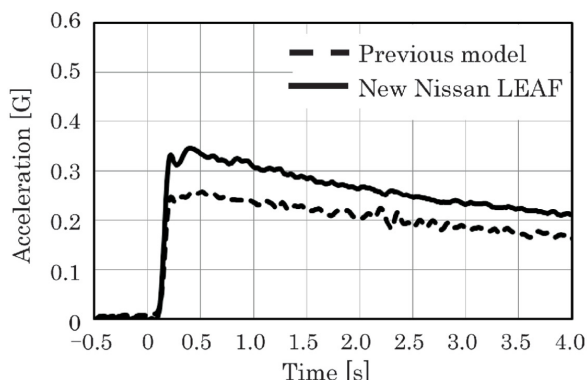
The configuration of the new electric powertrain system is shown schematically in Fig. 1. The system consists of a drive motor for propelling the vehicle, an inverter, a reducer, a power delivery module (PDM) that integrates a junction box, a DC/DC converter and a charger, and a battery as the energy source. While the components are smaller in size than their counterparts on the previous model, their performance has been greatly improved. Consequently, they have been installed on the vehicle without making any major changes to the platform.

2.2 Component specifications

The specifications of the main powertrain components are listed in Table 1 in comparison with those of the previous model. While the drive motor is the same size as that of the previous model, its maximum power has



(a) Acceleration G at standing start



(b) Acceleration G at 60 km/h

図-3 加速性能  
Fig. 3 Acceleration G performance





図5はバッテリー充電量が高くモータ回生トルクに制限がある条件において、e-Pedalモードでコースト減速した際のモータトルクとブレーキ制動力のデータである。e-Pedalモード選択時はドライバーの要求駆動力をモータトルクと摩擦ブレーキ制動力に配分している。そのため摩擦ブレーキ制動力によってコースト減速Gを維持することができ、常にアクセルペダルのみで車両をコントロールすることができる。

図6にe-Pedalモード・30%登坂の発進・停止のデータを示す。急登坂の発進はモータトルクと摩擦ブレーキを協調させ、勾配を推定しながら滑らかにコントロールしている。一方、停車時はモータトルクを用いてスムーズに車両を停止させ、停車後にモータトルクの仕事量を摩擦ブレーキへ移行させ車両停止を維持したまま、モータ&インバータシステムの温度上昇を防止し、安定した車両停止を可能にしている。

3.3 航続距離

新型日産リーフのバッテリーのセル配列は従来型の96直列・2並列を踏襲し、1セル当たりの容量を向上させることで容量を40kWhまで増加させて、400kmの航続距離を達成した(図7)。

さらに、モータ&インバータシステムは電磁鋼板材変更による鉄損の低減、ゲート駆動の高速化に伴うスイッチン

the available coasting deceleration G. Because of the cooperative control between e-Pedal and the braking system, coasting deceleration G is compensated, making longitudinal vehicle control possible in many situations through accelerator pedal inputs alone.

A function block diagram of e-Pedal is shown in Fig. 4. With e-POWER Drive, the driving force demanded by the driver is determined on the basis of the vehicle speed and the accelerator pedal angle, and a motor torque command is issued. However, when the e-Pedal mode is selected, the driver's requested driving force is constantly distributed between the motor torque and friction braking force so as to ensure smooth braking action. Moreover, similar to e-POWER Drive, motor torque is compensated according to the road load such as the road grade. In addition, by working in concert with the braking system, e-Pedal makes it possible to stop and launch the vehicle smoothly by accelerator pedal inputs alone on a steep 30% road grade, which is one of the severest conditions in real-world driving.

Figure 5 presents data for cooperative braking by motor torque and the mechanical braking system during coasting deceleration in the e-Pedal mode under a condition where regenerative motor torque is limited by the high state of charge of the battery. When the e-Pedal mode is selected, the driver's requested driving force is distributed between the motor torque and the braking

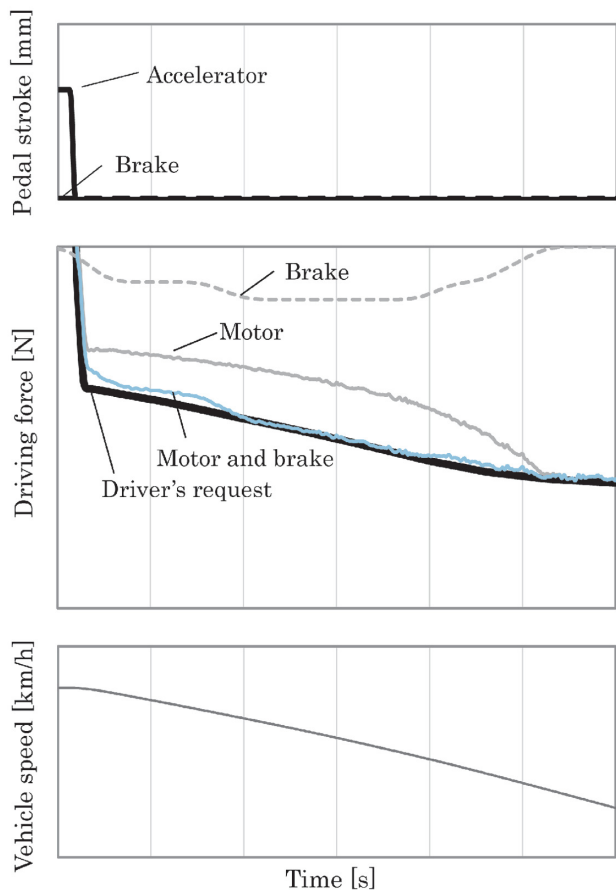


図-5 平坦路における e-Pedal 動作  
Fig. 5 e-Pedal operation on a flat road

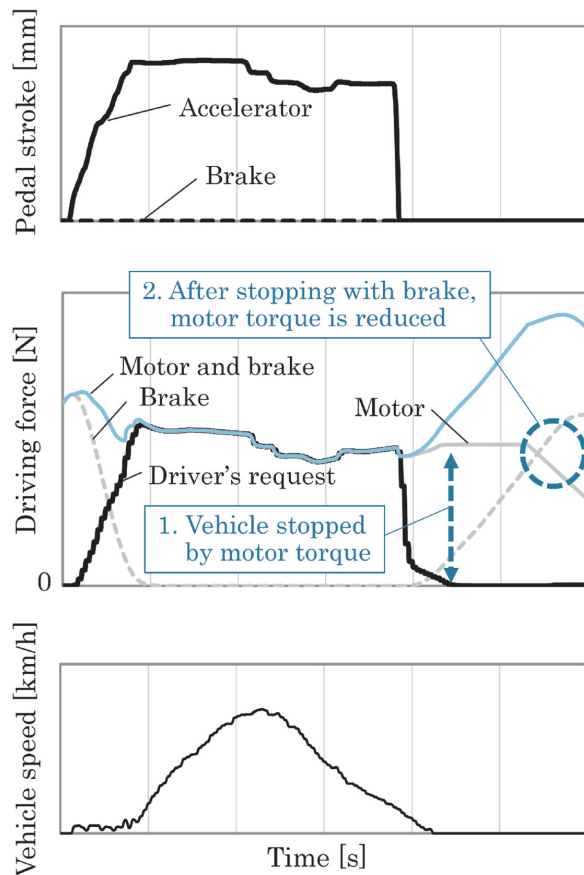


図-6 30%勾配路における e-Pedal 動作  
Fig. 6 e-Pedal operation on a 30% road grade

グ損失の低減によって効率を向上させ、システム制御は減速時の回生エネルギーを効率よく回収するコスト減速Gの設定を行った。

図8にエコモードのコスト減速G特性を示す。従来はエンジン搭載車のコスト減速Gを参考に設定していたが、低中速域ではブレーキ操作をする際、摩擦ブレーキとモータ回生減速の協調時に摩擦ブレーキによる損失が生じてしまう。この損失を低減するため、モータ回生による減速Gを拡大し、摩擦ブレーキの使用頻度を低減することで航続距離延長に貢献した。一方で高速域ではブレーキを踏む頻度が少ないため、コスト減速Gを弱め不要な加減速によるモータの損失を低減した。

また、中高速域で巡行するシーンではドライバーの微小なアクセル操作により不要な加減速が行われ、モータの損失が増加してしまう。この損失を低減させるためノート e-POWER 同様、新型日産リーフでもグライディング制御を採用した。

図9に巡行している際の駆動力分布を示す。ドライバーは巡行時、無意識に微小な加減速を行っている。微小な加減速の繰り返しはモータの効率が低い領域であるため、損失が無視できなくなる。これを改善するため、図10に示すよ

force of the friction braking system. Consequently, the friction braking force can sustain the coasting deceleration G, enabling longitudinal vehicle control at all times by accelerator pedal inputs alone.

Figure 6 presents data for stopping and launching the vehicle in the e-Pedal mode on a 30% uphill grade. The system assumes a steep uphill grade and smoothly controls the motor torque and friction braking force in concert to facilitate the vehicle launch on the steep slope. For stopping the vehicle, on the other hand, the motor torque is used to stop the vehicle smoothly. After the vehicle is stopped, the work done by the motor torque is transferred to the friction braking force to hold the stopped vehicle. This cooperative action prevents the temperature of the motor and inverter system from rising and facilitates stable stopping of the vehicle.

### 3.3 Driving range

The cell arrangement of the battery used on the new Nissan LEAF continues that of the previous model with 96 cells connected in series in two rows. The capacity per cell was improved to attain a battery capacity of 40 kWh, enabling the new Nissan LEAF to achieve a driving range of 400 km (Fig. 7).

Moreover, the efficiency of the motor and inverter system was improved by reducing iron losses through

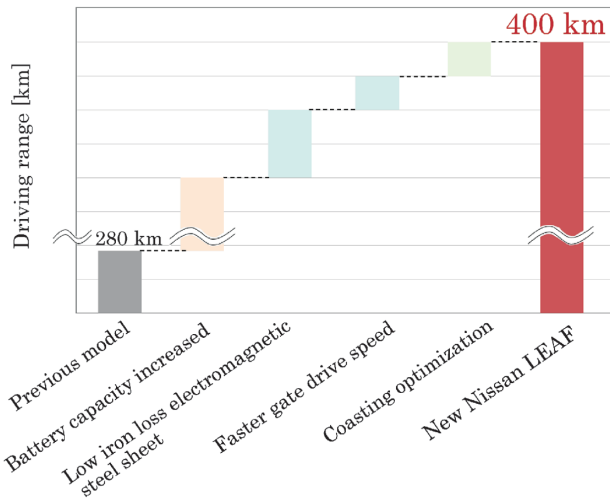


図-7 航続距離改善効果  
Fig. 7 Driving range improvement

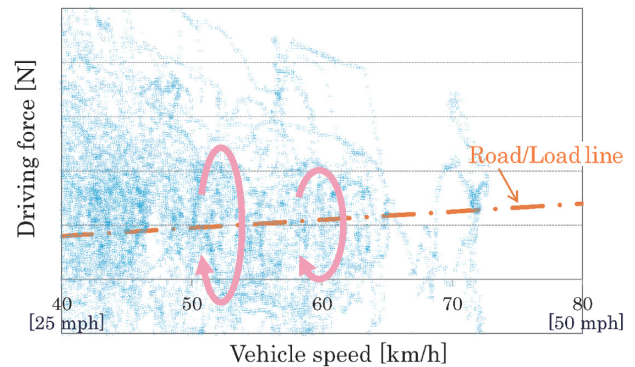


図-9 日本の郊外路における駆動力分布  
Fig. 9 Driving force distribution on a suburban road in Japan

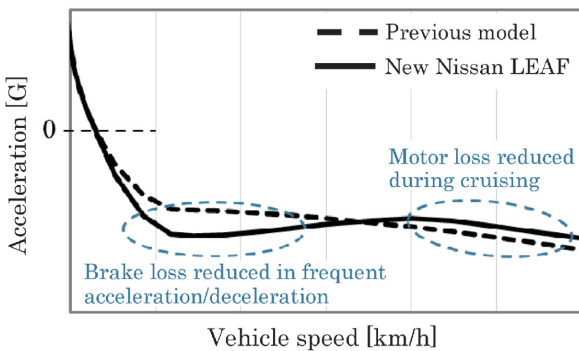


図-8 エコモードの车速 - 加速度特性  
Fig. 8 Comparison of vehicle speed and acceleration in the ECO mode without e-Pedal

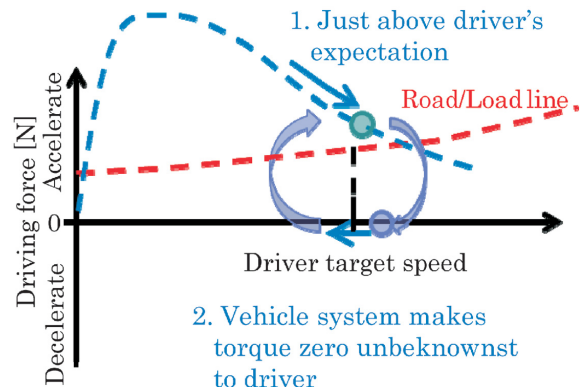


図-10 グライディング制御の概要  
Fig. 10 Configuration of gliding control

うなグライディング制御を採用した。ノート e-POWER と同様に車速に応じた巡航に必要な駆動力付近ではドライバの微少なアクセル操作をキャンセルし (図11)、モータの損失を低減している。新型日産リーフでは本制御により、実用航続距離を約6%向上させている。

#### 4. ま と め

新型日産リーフでは、日産EVの特長であるスムーズでレスポンスの良い加速を維持したまま、電動パワートレインのトルク、出力の向上により力強い加速を実現した。また、2016年に発売したノート e-POWERで採用した e-POWER Drive にブレーキ制御と協調させる改良を加えたことにより、アクセル操作のみであらゆるシーンでの運転を可能とする e-Pedal を開発した。

さらには、大容量バッテリー、電動パワートレインの高効率化、実用走行時のモータ出力損失の低減などにより JC08 モード 400km の航続距離を達成した。

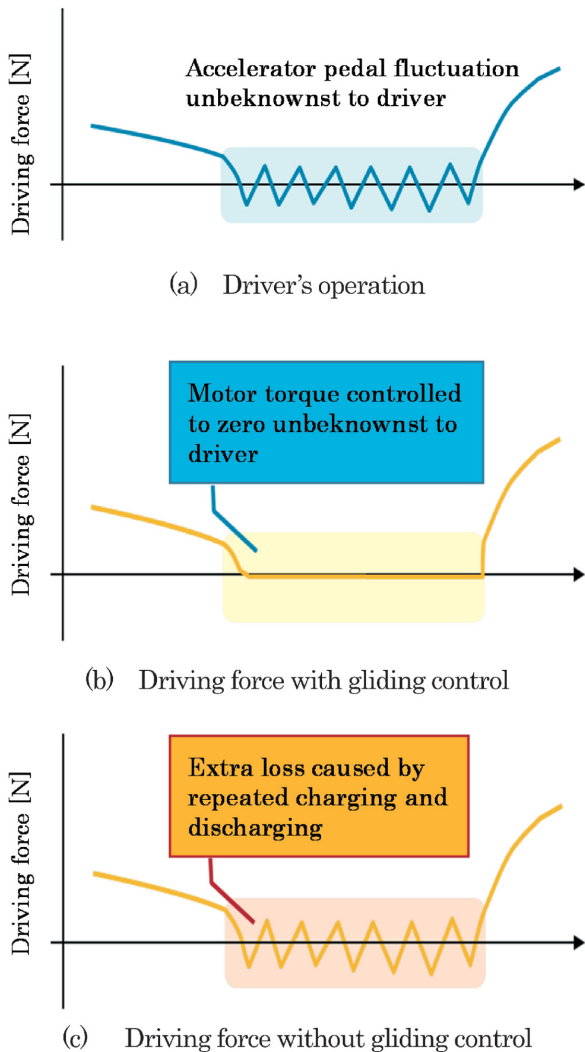


図-11 グライディング制御時の駆動カイメージ  
Fig. 11 Conceptual representation of driving force with gliding control

a material change to a low-loss electromagnetic steel sheet and by reducing power module switching losses as a result of increasing the gate drive speed. System control incorporates coasting deceleration  $G$  that efficiently recovers regenerative energy during vehicle deceleration.

Figure 8 compares the characteristics of coasting deceleration  $G$  in the Eco mode between the previous and new models. Previously, coasting deceleration  $G$  was designed in reference to that of an engine-mounted vehicle. However, the friction braking system produced losses in cooperative action with motor regenerative deceleration when the brake pedal was operated in the low and intermediate speed ranges. In order to reduce such losses, deceleration  $G$  due to regenerative motor torque was expanded to reduce the frequency of using the friction braking system, which contributed to extending the driving range. In the high-speed range, on the other hand, because the frequency of depressing the brake pedal is low, coasting deceleration  $G$  was weakened to reduce motor losses caused by unnecessary acceleration and deceleration.

In situations involving cruising at intermediate to high speeds, unnecessary acceleration/deceleration previously occurred due to the driver's slight operation of the accelerator pedal, which increased motor losses. To reduce such losses, the new Nissan LEAF also adopts a gliding control feature like that included in the e-POWER system on the Nissan Note.

Figure 9 shows the driving force distribution on a suburban road in Japan. It is seen that the driver is unconsciously accelerating/decelerating the vehicle slightly while cruising. Because this repetition of slight acceleration/deceleration occurs in the region of low motor efficiency, the increase in motor losses cannot be ignored. Figure 10 shows the configuration of the gliding control that was adopted to improve this situation. Like the Note's e-POWER system, the driver's slight accelerator pedal inputs are cancelled in the vicinity of the driving force needed for cruising according to the vehicle speed, thereby reducing motor losses (Fig. 11). This gliding control improves the practical driving range of the new Nissan LEAF by approximately 6%.

#### 4. Conclusion

The new Nissan LEAF provides powerful acceleration owing to the improved torque and power of the electric powertrain while continuing the smooth, responsive acceleration performance that is a distinctive feature of Nissan EVs. It also adopts e-Pedal that enables longitudinal vehicle control in various driving situations by means of accelerator pedal inputs alone. e-Pedal was developed by further improving cooperative control with the braking system in the e-POWER Drive mode incorporated in the e-POWER electric powertrain used on the Nissan Note released in 2016.

In addition, the driving range of the new Nissan LEAF was extended to 400 km under Japan's JC08 emission test mode. That was accomplished by adopting

5. 参 考 文 献

- 1) K. Yoshimoto et al.: Strategic Development Plan of Electrical Powertrain, Proc. of 26th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2017).
- 2) S. Nakazawa et al.: The Nissan LEAF Electric Powertrain, 32nd International Vienna Motor Symposium (2011).
- 3) H. Shimizu et al.: Development of an Integrated Electrified Powertrain for a Newly Developed Electric Vehicle, SAE Paper No. 2013-01-1759 (2013).
- 4) T. Nakada et al.: The New Electric Powertrain on the 2013 MY Nissan LEAF, Proc. of 34th International Vienna Motor Symposium (2013).

a high-capacity battery, improving the efficiency of the electric powertrain, and reducing motor power losses in the practical driving range, among other improvements.

5. References

- 1) K. Yoshimoto et al.: Strategic Development Plan of Electrical Powertrain, Proc. of 26th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2017).
- 2) S. Nakazawa et al.: The Nissan LEAF Electric Powertrain, 32nd International Vienna Motor Symposium (2011).
- 3) H. Shimizu et al.: Development of an Integrated Electrified Powertrain for a Newly Developed Electric Vehicle, SAE Paper No. 2013-01-1759 (2013).
- 4) T. Nakada et al.: The New Electric Powertrain on the 2013 MY Nissan LEAF, Proc. of 34th International Vienna Motor Symposium (2013).

■ 著者 / Author(s) ■



關 義 則  
Yoshinori Seki



黒 澤 崇 央  
Takahisa Kurosawa



吉 本 貫 太 郎  
Kantaro Yoshimoto



島 村 青 之  
Seishi Shimamura

# モータ制御によるバックラッシュ振動の抑制

## Drive Motor Control Method for Suppressing Drive Shaft Torsional Vibration due to Gear Backlash

大野 翔\*  
Sho Ohno

澤田 彰\*  
Akira Sawada

小松 弘征\*  
Hiroyuki Komatsu

藤原 健吾\*  
Kengo Fujiwara

中島 孝\*  
Takashi Nakajima

**抄 録** 「e-Pedal」による走行時は駆動モータで加速、減速、停止を行うため、大きな回生トルクが発生し、力行トルクと回生トルクが頻繁に切り替わる。そのため、ギヤのバックラッシュによって生じる振動の発生を抑制することが必要である。バックラッシュを考慮した新しい駆動軸ねじり振動制御を構築することで、駆動モータによるスムーズな加減速を実現した。

**Summary** When driving in the e-Pedal mode, the drive motor generates powerful regenerative torque and the direction of motor torque frequently changes. Drive shaft torsional vibration is induced by the impact of gear backlash that occurs when motor torque reverses direction. A new method has been developed for controlling drive shaft torsional vibration to secure smooth acceleration and deceleration.

**Key words :** Electronics, Vibration, electric vehicle (EV), electric motor, electronic control, gear backlash

### 1. はじめに

100%電気自動車（EV）の新型日産リーフに新たに採用した「e-Pedal」は、アクセルペダル操作のみで発進、加速、減速、停止ができる機能である。ブレーキペダルの踏み替え操作を減らすことにより、ドライバの運転操作負荷を低減することができる。特に市街地など、周囲の状況に応じて加減速と停止を繰り返すシーンにおいて有効である。

この機能は、駆動モータによって加減速を行うため、力行トルクと回生トルクが切り替わるシーンが頻繁に発生する。その際に生じるギヤ歯打ちの衝撃が、駆動軸ねじり振動を励起し、車両前後振動が発生する。前型モデルの駆動軸ねじり振動制御<sup>1)</sup>は、モータの高応答なレスポンスを損なうことなく駆動軸ねじり振動を抑制する技術であるが、上記のシーンにおいてわずかに振動が残るという課題があった。そこで私たちはe-Pedalの滑らかな加減速を実現するために、駆動軸ねじり振動制御の更なる性能向上に取り組んだ。

本稿では、ギヤバックラッシュによる振動を抑制し、滑らかな加減速を実現する新たな駆動軸ねじり振動制御技術を紹介する。

### 1. Introduction

The e-Pedal function newly adopted on the new Nissan LEAF all-electric vehicle (EV) enables the driver to accelerate, decelerate and stop the vehicle by operating just the accelerator pedal. It helps to lighten the driver's operational workload by reducing the frequency of switching the foot to depress the brake pedal. This function is especially effective in situations involving repeated acceleration, deceleration and stopping due to surrounding traffic conditions, actions that are typical of city driving.

Because acceleration and deceleration are accomplished by the drive motor with this function, situations frequently occur in which there is a reversal of direction between drive torque and regenerative torque.

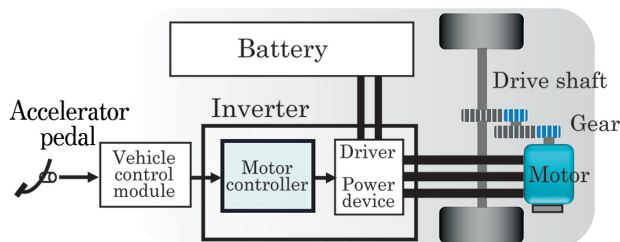


図-1 駆動系システム構成  
Fig. 1 Configuration of drivetrain system

\*EV・HEVコンポーネント開発部 / EV and HEV Component Engineering Department

2. 駆動系システム構成

新型日産リーフの駆動系システム構成を図1に示す。駆動モータは埋込磁石同期モータ (IPMSM) を採用しており、車両制御モジュールは、アクセル開度、車速、リチウムイオンバッテリーの状態など、車両の状態によってモータトルク指令値を決定する。モータコントローラは、車両制御モジュールからのモータトルク指令値に従ってパワーデバイスを介してモータトルクを制御しており、駆動軸ねじり振動制御はモータコントローラ内に実装されている。

3. 制御システム

3.1 車両モデル

駆動軸ねじり振動制御システムを導出するために、EVの駆動トルク伝達系を図2、車体の前後運動を図3のようにモデル化する。図2、図3に示される車両の運動方程式は、(1) 式のように表される。

$$\begin{aligned}
 J_m \frac{d}{dt} \omega_m &= T_m - \frac{T_d}{N} \\
 2J_w \frac{d}{dt} \omega_w &= T_d - rF \\
 M \frac{d}{dt} V &= F
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 T_d &= K_d \theta_d \\
 F &= K_t (r\omega_w - V) \\
 \theta_d &= \int \left( \frac{\omega_m}{N} - \omega_w \right) dt
 \end{aligned}$$

各パラメータは以下の通りである。

- $J_m$  : モータイナーシャ
- $J_w$  : 駆動輪イナーシャ (1輪分)
- $M$  : 従動輪イナーシャを含む車両等価質量
- $K_d$  : ドライブシャフトのねじり剛性
- $K_t$  : タイヤと路面摩擦に関する係数
- $N$  : オーバーオールギヤ比
- $r$  : タイヤ荷重半径
- $T_m$  : モータトルク
- $T_d$  : 駆動軸トルク
- $F$  : 駆動力
- $\omega_w$  : 駆動輪角速度
- $V$  : 車体速度
- $\theta_d$  : 駆動軸ねじり角度

(1) 式の運動方程式から、モータトルク  $T_m$  を入力、モータ角速度  $\omega_m$  を出力とする伝達特性  $G_p(s)$  は、(2) 式、(3) 式のように求められる。

The impact of gear tooth contact occurring at that time induces torsional vibration in the drive shaft, giving rising to vehicle longitudinal vibration. The drive shaft torsional vibration control<sup>1)</sup> technique used on the previous LEAF model suppressed such vibration without sacrificing the high responsiveness of the drive motor, but there was an issue that slight vibration remained in situations where torque reversed directions. Therefore, we endeavored to improve further the performance for controlling drive shaft torsional vibration in order to secure smooth acceleration/deceleration with e-Pedal.

This article describes a new method for controlling drive shaft torsional vibration in order to ensure smooth acceleration/deceleration by suppressing vibration due to gear backlash.

2. Configuration of Drivetrain System

Figure 1 shows the configuration of the drivetrain system used on the new Nissan LEAF. As the drive motor, the vehicle is equipped with an interior permanent magnet synchronous motor (IPMSM). The vehicle control module determines the motor torque command value according to the vehicle state, including the accelerator pedal angle, vehicle speed, state of charge of the lithium-ion battery and other conditions. The motor controller controls the motor torque via the power device according to the motor torque command value received from the vehicle control module. The drive shaft torsional vibration control system is incorporated in the motor controller.

3. Control System

3.1 Vehicle model

Figures 2 and 3 respectively show the models of the drive torque transmission system of an EV and the

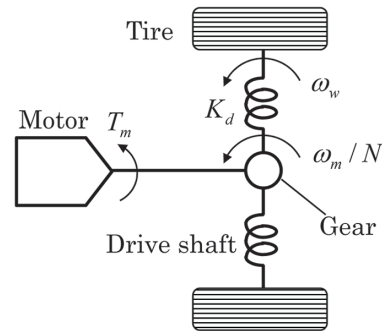


図-2 駆動トルク伝達系モデル  
Fig. 2 Driving torque transmission model

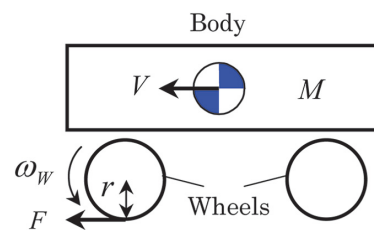


図-3 車体前後運動モデル  
Fig. 3 Model of forward/backward motion of the vehicle body





(1) 式の運動方程式から、モータトルク  $T_m$  を入力、駆動軸トルク  $T_d$  を出力とする伝達特性  $G_t(s)$  は、(5) 式、(6) 式のように求められる。

$$T_d = G_t(s)T_m \quad (5)$$

$$G_t(s) = \frac{\gamma_1 s + \gamma_0}{\alpha_3 s^3 + \alpha_2 s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0} \quad (6)$$

各定数は以下の通りである。

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 2K_d J_w M / N \\ \gamma_0 &= K_d K_t (2J_w + r^2 M) / N \end{aligned}$$

次に、(6) 式を整理して (7) 式のように表す。

$$G_t(s) = \frac{\gamma_1 s + \gamma_0}{\alpha_3 (s+a)(s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad (7)$$

(7) 式の極と零点を調べると、 $a \approx \gamma_0 / \gamma_1$  となるため、駆動軸トルクの伝達特性は近似的に (8) 式で表される。

$$G_t(s) \approx \frac{g_t}{s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2} \quad (8)$$

ここで、

$$g_t = \gamma_0 / (\alpha_3 a)$$

入力モータトルク  $T_m$  から駆動軸トルク  $T_d$  に微分ゲイン  $D$  を乗算した値を減算すると、(9) 式となる。

$$T_d = \frac{g_t}{s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2} (T_m - DsT_d) \quad (9)$$

(9) 式を整理して (10) 式のように表す。

$$T_d = \frac{g_t}{s^2 + (2\zeta_p \omega_p + g_t D)s + \omega_p^2} T_m \quad (10)$$

また、ゲイン  $D$  を (11) 式とすることにより、駆動軸トルクの伝達特性の減衰係数が 1 になるため、駆動軸ねじり振動を抑制することができる。

$$D = 2(1 - \zeta_p)\omega_p / g_t \quad (11)$$

また、駆動軸トルクのバックラッシュ特性を不感帯でモデル化すると、(12) 式、図 6 で表される。 $\theta_{dead}$  はモータから駆動軸までのバックラッシュ量の合計値である。フィードフォワード補償器内の車両モデルにバックラッシュ（不感帯）特性を考慮することにより、バックラッシュに起因する駆動軸ねじり振動を抑制するフィードフォワードトルク指令値を算出することができる。

$$T_d = \begin{cases} K_d \left( \theta_d - \frac{\theta_{dead}}{2} \right) & \left( \theta_d \geq \frac{\theta_{dead}}{2} \right) \\ 0 & \left( -\frac{\theta_{dead}}{2} < \theta_d < \frac{\theta_{dead}}{2} \right) \\ K_d \left( \theta_d + \frac{\theta_{dead}}{2} \right) & \left( \theta_d \leq -\frac{\theta_{dead}}{2} \right) \end{cases} \quad (12)$$

$$G_p(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{\beta_3 s^3 + \beta_2 s^2 + \beta_1 s + \beta_0}{\alpha_3 (s+a)(s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad (4)$$

The frequency characteristics of the motor angular velocity  $\omega_m$  were found in relation to the motor torque  $T_m$  using the specifications of the new Nissan LEAF. The results are presented in Fig. 4 as the vehicle response. The results indicate that the vehicle has a pronounced resonance characteristic around 9 Hz.

### 3.2 Configuration of drive shaft torsional vibration control system

As shown in the block diagram in Fig. 5, the system for controlling drive shaft torsional vibration consists of a feedforward compensator and a feedback compensator.

#### 3.2.1 Feedforward compensator

The feedforward compensator calculates the feedforward torque command value  $T_{ff}$  by subtracting from the torque command value  $T_e$  the value obtained by multiplying by gain  $D$  the derivative of the estimated drive shaft torque value  $\hat{T}_d$  calculated by the vehicle model. The vehicle model also calculates the reference response  $\omega_r$  of the motor angular velocity  $\omega_m$ .

Based on the equations of motion in Eq. (1), the transfer function  $G_t(s)$  consisting of the motor torque  $T_m$  as the input and the drive shaft torque  $T_d$  as the output are found with Eqs. (5) and (6), respectively.

$$T_d = G_t(s)T_m \quad (5)$$

$$G_t(s) = \frac{\gamma_1 s + \gamma_0}{\alpha_3 s^3 + \alpha_2 s^2 + \alpha_1 s + \alpha_0} \quad (6)$$

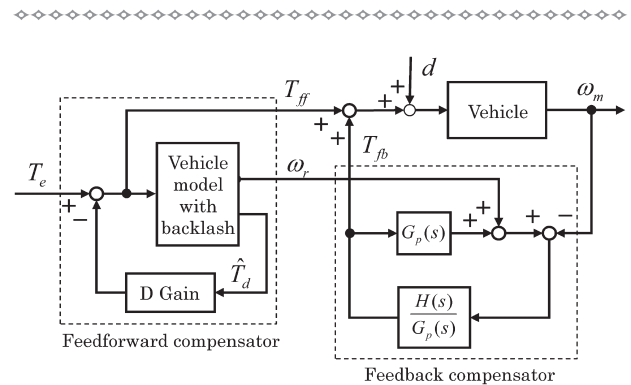


図-5 駆動軸ねじり振動制御システム  
Fig. 5 Drive shaft torsional vibration control system

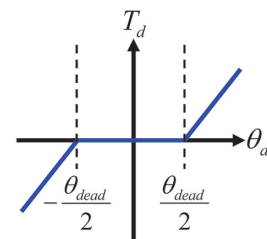


図-6 ドライブシャフトトルクのバックラッシュ特性  
Fig. 6 Backlash characteristic of drive shaft torque

3.2.2 フィードバック補償器

前述のフィードフォワード補償器を適用することにより、理論上は駆動軸ねじり振動を抑制することができるが、実際の車両においては、モデル化誤差、路面からの外力などの影響（以下、これらを総称して外乱と記す）によって十分な制御性能が得られない場合がある。そこで、外乱の影響を除去する目的でフィードバック補償器を併用する。

図5に示されるフィードバック補償器に用いられる $H(s)$ はバンドパスフィルタであり、(13)式のように中心周波数を制御対象の固有振動周波数 $\omega_p$ に一致させている。

$$H(s) = \frac{2(1-\zeta_p)\omega_p s}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2} \quad (13)$$

図5の制御系において、(2)式、(4)式から外乱 $d$ に対する $\omega_m$ の応答を導くと、(14)式のように共振特性を持たない応答となる<sup>1)</sup>。

$$\omega_m = \frac{1}{s} \cdot \frac{\beta_3 s^3 + \beta_2 s^2 + \beta_1 s + \beta_0}{\alpha_3(s+a)(s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2)} d \quad (14)$$

フィードバック補償器の有無による周波数特性の比較結果を図7に示す。

4. 車両実験結果

車速約10km/hで走行中に回生トルクにより減速し、アクセル操作により再加速した場合の車両応答を図8に示す。この走行条件は、渋滞している車線をe-Pedalモードで走行中にアクセルで加減速を行うシーンを想定している。

従来のフィードフォワード補償器にバックラッシュ特性を考慮しない制御の場合、駆動軸トルクがオーバーシュア

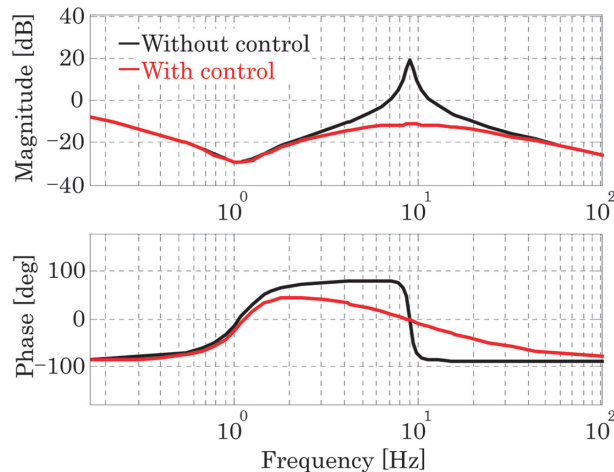


図-7 フィードバック補償を施した周波数応答特性  
Fig. 7 Frequency response of the new Nissan LEAF with/without feedback control

The constants are defined as follows:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 2K_d J_w M / N \\ \gamma_0 &= K_d K_t (2J_w + r^2 M) / N \end{aligned}$$

Next, Eq. (6) is rearranged to obtain Eq. (7) expressed as:

$$G_t(s) = \frac{\gamma_1 s + \gamma_0}{\alpha_3(s+a)(s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2)} \quad (7)$$

An investigation of the poles and zeros of Eq. (7) reveals that  $a \approx \gamma_0 / \gamma_1$ , so the transfer characteristic of the drive shaft torque can be approximately expressed as shown in Eq. (8).

$$G_t(s) \approx \frac{g_t}{s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2} \quad (8)$$

where

$$g_t = \gamma_0 / (\alpha_3 a)$$

By subtracting from the input motor torque  $T_m$  the value obtained by multiplying the drive shaft torque  $T_d$  by the differential gain  $D$ , Eq. (9) is obtained.

$$T_d = \frac{g_t}{s^2 + 2\zeta_p \omega_p s + \omega_p^2} (T_m - D s T_d) \quad (9)$$

Reorganizing Eq. (9) yields Eq. (10) expressed as:

$$T_d = \frac{g_t}{s^2 + (2\zeta_p \omega_p + g_t D)s + \omega_p^2} T_m \quad (10)$$

By letting Eq. (11) represent gain  $D$ , the attenuation coefficient of the drive shaft torque transfer characteristic becomes 1, making it possible to control drive shaft torsional vibration.

$$D = 2(1 - \zeta_p)\omega_p / g_t \quad (11)$$

In addition, by modeling the backlash characteristic of the drive shaft torque in the dead zone, it can be expressed as shown in Eq. (12) and Fig. 6. The notation  $\theta_{dead}$  is the total value of the backlash from the motor to the drive shaft. By taking into account the dead zone characteristic of backlash in the vehicle model in the feedforward compensator, the compensator can calculate the feedforward torque command value for controlling drive shaft torsional vibration induced by backlash.

$$T_d = \begin{cases} K_d \left( \theta_d - \frac{\theta_{dead}}{2} \right) & \left( \theta_d \geq \frac{\theta_{dead}}{2} \right) \\ 0 & \left( -\frac{\theta_{dead}}{2} < \theta_d < \frac{\theta_{dead}}{2} \right) \\ K_d \left( \theta_d + \frac{\theta_{dead}}{2} \right) & \left( \theta_d \leq -\frac{\theta_{dead}}{2} \right) \end{cases} \quad (12)$$

3.2.2 Feedback compensator

Drive shaft torsional vibration can theoretically be suppressed by applying the feedforward compensator described in the preceding section. However, there are times when sufficient control performance cannot be

トし、車両前後振動が発生している。今回開発したフィードフォワード補償器にバックラッシュ特性を考慮した制御の場合、駆動軸トルクのオーバーシュートが発生しておらず、車両前後加速度の変動幅が約0.5 [m/s<sup>2</sup>] から約0.2 [m/s<sup>2</sup>] に低減されている。この結果により、e-Pedalの滑らかな加減速を実現できていることが分かる。

5. ま と め

本稿では、ギヤバックラッシュに起因する駆動軸ねじり振動を抑制する制御手法について説明した。この制御手法は、フィードフォワード補償器の車両モデルにギヤバックラッシュ特性を考慮することにより、回生トルクと力行トルクが切り替わるシーンにおいて発生するギヤバックラッシュに起因する振動を抑制することが可能である。これにより、新型日産リーフは駆動モータによるスムーズな加減速を実現している。

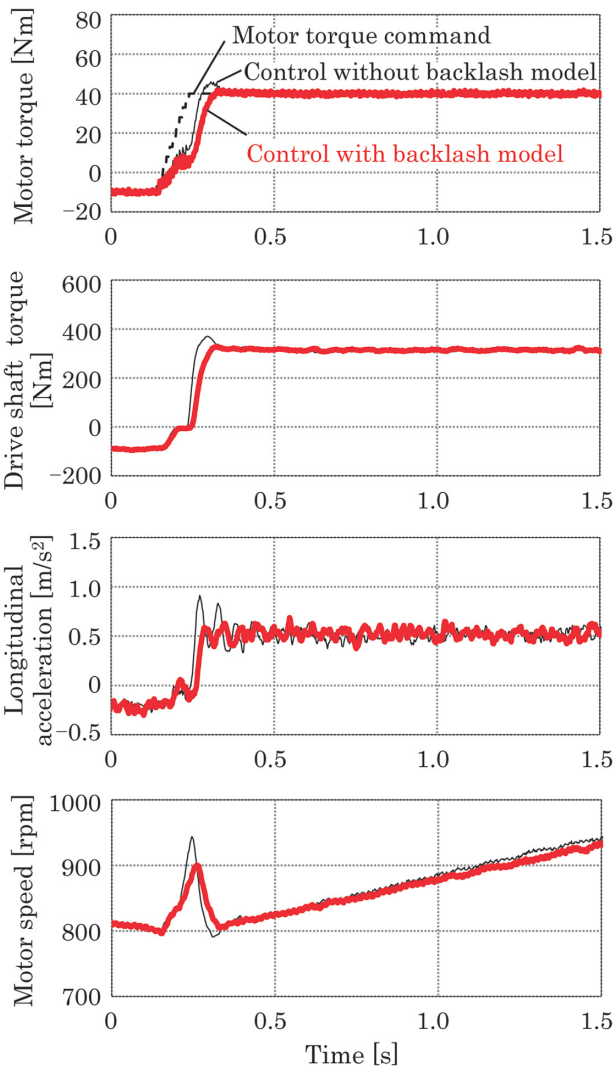


図-8 減速から加速時の駆動軸ねじり振動制御実験結果  
Fig. 8 Experimental results for drive shaft torsional vibration control for acceleration response from deceleration

obtained in an actual vehicle due to the effects of modelling error or external force input from the road surface, among other factors, all of which are referred to here generically as disturbances. Therefore, a feedback compensator is used in parallel for the purpose of removing the effects of such disturbances.

The notation  $H(s)$  used in the feedback compensator shown in Fig. 5 represents a band-pass filter. As indicated in Eq. (13) below, it serves to make the central frequency coincide with the natural vibration frequency  $\omega_p$  of the controlled object.

$$H(s) = \frac{2(1-\zeta_p)\omega_p s}{s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2} \tag{13}$$

In the control system shown in Fig. 5, by deriving the response of  $\omega_m$  from Eq. (2) and Eq. (4) in relation to disturbed, a response without any resonance characteristic is obtained as shown in Eq. (14) below.<sup>1)</sup>

$$\omega_m = \frac{1}{s} \cdot \frac{\beta_3 s^3 + \beta_2 s^2 + \beta_1 s + \beta_0}{\alpha_3 (s+a)(s^2 + 2\omega_p s + \omega_p^2)} d \tag{14}$$

Figure 7 compares the frequency characteristics obtained with and without the feedback compensator.

4. In-vehicle Test Results

Figure 8 shows the vehicle response obtained in an experiment where a vehicle traveling at a speed of approximately 10 km/h was decelerated by regenerative torque and then re-accelerated by an accelerator pedal input. These driving conditions were designed to represent a situation with acceleration/deceleration inputs via the accelerator pedal while driving in a congested traffic lane under the e-Pedal mode.

In the case of the conventional control system where the backlash characteristic was not taken into account in the feedforward compensator, drive shaft torque overshoot occurred, giving rise to vehicle longitudinal vibration. With the newly developed control system in which the backlash characteristic is taken into account in the feedforward compensator, drive shaft torque overshoot did not occur, and the fluctuation amplitude of vehicle longitudinal acceleration was reduced from approximately 0.5 m/s<sup>2</sup> to approximately 0.2 m/s<sup>2</sup>. These results indicate that the smooth acceleration/deceleration performance characteristic of e-Pedal was obtained.

5. Conclusion

This article has explained a newly developed method for controlling drive shaft torsional vibration induced by gear backlash. With this control method, the vehicle model in the feedforward compensator takes into account the gear backlash characteristic. This makes it possible to control the vibration due to gear backlash that occurs in situations involving a reversal of direction between regenerative torque and drive torque. As a result,

6. 参 考 文 献

- 1) H. Kawamura et al.: Highly-Responsive Acceleration Control for the Nissan LEAF Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2011-01-0397 (2011).

the new Nissan LEAF provides smooth acceleration/ deceleration by the drive motor.

6. References

- 1) H. Kawamura et al.: Highly-Responsive Acceleration Control for the Nissan LEAF Electric Vehicle, SAE Technical Paper No. 2011-01-0397 (2011).

■ 著者 / Author(s) ■



大野 翔  
Sho Ohno



澤田 彰  
Akira Sawada



小松 弘征  
Hiroyuki Komatsu



藤原 健吾  
Kengo Fujiwara



中島 孝  
Takashi Nakajima

# 新型日産リーフのe-Pedalシステム

## e-Pedal System of the New Nissan LEAF

宮下 直樹\*  
Naoki Miyashita

新藤 郁真\*  
Ikuma Shindo

鈴木 達也\*  
Tatsuya Suzuki

網代 圭悟\*\*  
Keigo Ajiro

中村 洋平\*\*\*  
Yohei Nakamura

**抄 録** 日産自動車は、アクセルペダル操作のみで発進、加速、減速、停止、さらに停止保持が可能なシステムe-Pedalを開発した。精確なモータ制御により、高レスポンスで滑らかな加減速の調整が可能で、アクセルペダルのみで車を操る新感覚の運転する楽しさを提供する。また、アクセルペダルを戻すだけで日常のブレーキペダル操作の代わりとなる、強い回生ブレーキやスムーズな停止、停止保持が可能となる。アクセルペダルの踏み替え頻度が大幅に減り、楽に運転することができる。今日、強い回生ブレーキは電動車らしさを表すトレンドの一つであるが、e-Pedalは完全停止と停止保持機能を持つことで、圧倒的な便利さを実現する。

**Summary** Nissan developed the e-Pedal system for true one-pedal vehicle operation, enabling drivers to accelerate, decelerate and stop by using just the accelerator pedal. Highly responsive and smooth vehicle control is enabled by precise motor control. This is the first time this type of technology can bring the vehicle to a full stop and hold it, even on a slope, making it a real comfort feature during stop-and-go driving, such as when commuting in major metropolitan areas. Today, strong coasting deceleration is one iconic feature of EVs, however, e-Pedal has more useful functionality thanks to its capability to fully stop and hold the stationary vehicle.

**Key words :** Electronics, regenerative-friction brake coordination, EV and HV systems, brake-by-wire, antilock braking system (ABS), ABS, accelerator pedal

### 1. はじめに

電動駆動車らしさを象徴する機能として、アクセルオフのコースト走行時にモータによる回生ブレーキを強く動作させること（以下、強コースト減速）がトレンドとなっており、日産自動車でもe-POWERによって市場に提供している。今回、強コースト制御に電子制御回生協調ブレーキ技術を融合することで、アクセルペダル操作による減速の幅をさらに広げ、車両停止も支援する「e-Pedal」を開発した。このシステムは、ドライバのペダル踏み替え操作負荷を大幅に低減するものであり、さらに坂道での自動の停止状態

### 1. Introduction

A current trend in functions symbolizing the inherent nature of electric vehicles (EVs) is strong regenerative braking action by the drive motor during coasting with the foot off the accelerator pedal. Nissan provides this function, referred to here as “strong coasting deceleration,” in the e-POWER electric powertrain. Electronically controlled regenerative-friction brake coordination technology has been integrated with strong coasting deceleration control to develop the e-Pedal system that further expands the range of deceleration possible by operating the accelerator pedal alone and also assists in stopping the vehicle. The system greatly reduces the driver’s operational workload involved in switching between pedals and provides peace of mind by automatically holding the stationary vehicle on slopes. Moreover, it also provides a new sensation of driving pleasure based on vehicle control by operating the accelerator pedal (Fig. 1).

This article outlines the functions, performance and benefits of e-Pedal. It also explains the results of an investigation into changes in drivers’ operational behavior when using this system.

Car	Max. deceleration	Stop	Hold
Nissan LEAF with e-Pedal	0.20 G	✓	✓
Note with e-POWER	0.15 G	(✓)	No brake hold function
EV G (US)	0.21 G	(✓)	
EV B (EUR)	0.19 G		
EV T (US)	0.18 G		

図-1 強コースト減速の市場動向  
Fig. 1 Market trends of vehicles with strong coasting deceleration control

\*シャシー開発部 / Chassis Engineering Department \*\*AD & ADAS開発部 / AD and ADAS Engineering Department \*\*\*EV・HEVシステム開発部 / EV and HEV System Engineering Department

の保持による安心感や、アクセルペダル操作で車を操る新感覚の運転する楽しさも提供する（図1）。

本稿では、e-Pedalの機能・性能の概要とその効果、および本システムを使用した場合のドライバーの運転行動の変化の検証結果について説明する。

## 2. システム構成

e-Pedalの構成を図2に示す。主な機能はVCM（Vehicle Control Module）、EDIB（Electric Driven Intelligent Brake）、シャシーコントローラ、モータ&インバータシステムの4システムに配置され、それらが協調動作することで「e-Pedal」を実現している。

すなわち、VCMがアクセルペダルの状態より目標制駆動トルクを算出し、制動トルク要求をEDIBに送り、EDIBが制動トルクを摩擦ブレーキトルクとモータ回生トルクに最適に分配する。摩擦ブレーキトルクはEDIBで、回生トルクはVCMを経由したのちモータ&インバータシステムにて発生する。

車両停止時は、シャシーコントローラが路面勾配に応じて停止保持トルクを算出し、EDIBが摩擦ブレーキにて停止状態を保持する。また、シャシーコントローラは、目標制駆動トルクの補正トルクの算出やブレーキランプの点灯を行う。

## 3. 制御機能の概要

e-Pedalは主に、減速機能と停止機能により構成される。前者については、強コースト減速のポイントとなる減速機能、回生協調機能、滑りやすい路面やカーブでの回生摩擦協調機能を、後者については日常使用を可能とする快適で確実な停止維持を実現するための主要素として完全停止とスムーズストップ機能、および停止保持機能について詳しく解説する。

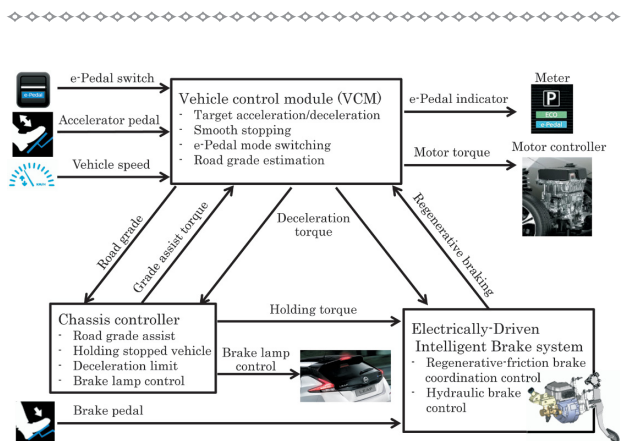


図-2 システム概要  
Fig. 2 System overview

## 2. System Configuration

The configuration of the e-Pedal system is shown in Fig. 2. Its principal functions are located in four systems: a vehicle control module (VCM), an electrically driven intelligent brake (EDIB) system, a chassis controller and a motor/inverter system. The coordinated operation of these systems facilitates the functions of e-Pedal.

In short, the VCM calculates the target drive/braking torque based on the position of the accelerator pedal. It then sends a request for braking torque to the EDIB system, which optimally distributes the braking torque between friction braking torque and motor-based regenerative braking torque. Friction braking torque is produced by the EDIB system and regenerative braking torque is produced by the motor and inverter system via the VCM.

When stopping the vehicle, the chassis controller calculates torque for stopping and holding the vehicle according to the road grade. The EDIB system functions to hold the stationary vehicle via the friction brakes. The chassis controller also calculates torque compensation for the target drive/braking torque and illuminates the brake lamps.

## 3. Overview of Control Functions

The e-Pedal system is mainly composed of deceleration and stopping functions. The former consists of a deceleration function that is a key element of strong coasting deceleration, a regeneration coordination function and a regenerative-friction brake coordination function for slippery road surfaces and curves. The latter consists of a function for fully and smoothly stopping and a function for holding the stationary vehicle. These are elements for achieving comfortable and reliable stopping and holding capabilities that facilitate everyday use. The following sections explain these functions in detail.

### 3.1 Strong coasting deceleration function

Similar to the strong coasting deceleration function of e-POWER, this function produces larger deceleration than that of a conventional vehicle according to the accelerator pedal angle. The e-Pedal system, however, is designed to generate maximum deceleration of 2 m/s<sup>2</sup> (0.2 G). It can also cover a larger range of deceleration than e-POWER and reduces the driver's operational workload of switching between pedals.

Figure 3 shows a distribution of deceleration occurring in the major markets of Japan, the U.S. and Europe. The results indicate that deceleration of 2 m/s<sup>2</sup> (0.2 G) covers over 90% of the frequency of driving situations requiring braking action in each market. The high-speed region is one where strong deceleration is not frequently needed because the changes in vehicle speed are small and there is also a large deceleration effect due to wind resistance. Accordingly, the e-Pedal system is designed to suppress any jerky feeling as it does not

### 3.1 強コースト減速機能

e-POWERの強コースト減速機能と同様に、アクセルペダル開度に応じて従来車より大きい減速度を発生させる機能であるが、e-Pedalでは最大で $2\text{m/s}^2$  (0.2G) の減速度を発生させることとした。e-Pedal はe-POWERよりもさらに大きい減速度をカバーし、ペダル踏み替え操作の負荷低減を図る。

図3は日本、北米、欧州の主要市場における発生減速度の分布を示している。これらの分布から $2\text{m/s}^2$  (0.2G) の減速度は、各地域でブレーキペダル操作が必要な走行シーンの90%以上の頻度を網羅していることがわかる。高速域については、車速変化が少なく強い減速を頻繁には行わないシーンであると同時に、空気抵抗による減速も大きくなるので、e-Pedalで発生させる減速度を必要以上に大きくせず、ギクシャク感を抑制する設定としている。

なお、いずれのシーンにおいても、危険回避のために強い減速が求められる場合は、ブレーキペダル操作を必要とする。

### 3.2 回生協調機能

回生ブレーキはバッテリーの充電状態や温度により、発生できるトルクの範囲が変化することが知られている。今回アクセルペダル全閉時の減速度を大きくするにあたり、アクセルペダル操作に対して常に安定した減速度を発生させることが求められるため、回生ブレーキの発生可能量が低下した場合に制動力による減速度の補填が必要である。

そこでe-Pedalでは電子制御回生協調ブレーキ技術を活

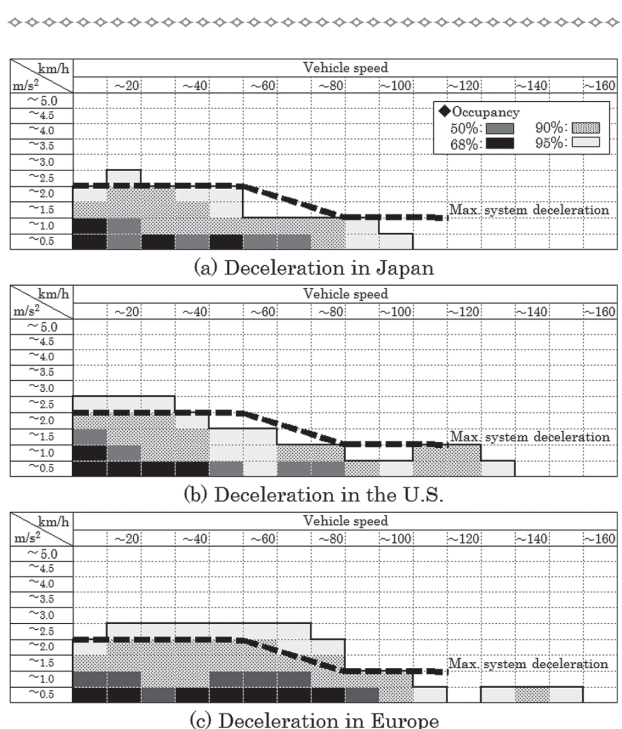


図-3 各市場のブレーキ減速度分布

Fig. 3 Distribution of braking deceleration in each market

generate deceleration much larger than what is generally necessary.

It will be noted that brake pedal operation is necessary in any driving situation where strong deceleration is needed for risk avoidance.

### 3.2 Regeneration coordination function

It is well known that the range of torque producible by regenerative braking varies according to the battery state of charge and temperature. In order to obtain larger deceleration when the accelerator pedal is fully released, it is necessary to always generate stable deceleration relative to the operation of the accelerator pedal. For that reason, braking force for compensating deceleration is necessary when the amount of torque producible by regenerative braking has declined.

Therefore, the e-Pedal system is designed such that deceleration is compensated by friction braking when regenerative braking cannot function fully. This is accomplished by using electronically controlled regenerative-friction brake coordination technology. This electronically controlled regenerative-friction brake coordination technology is the braking system equipped on the previous Nissan LEAF model. Because regenerative-friction brake coordination is also available when the brake pedal is depressed, energy can be recovered efficiently by regeneration regardless of whether e-Pedal is turned on or off. This technology facilitates both stable e-Pedal deceleration performance and extension of the driving range.

### 3.3 Regenerative-friction brake coordination function for slippery road surfaces and curves

In the case of two-wheel-drive vehicles, attempting to obtain strong coasting deceleration by regenerative braking on a slippery road surface generates strong braking force only at the two drive wheels. Consequently, tire lockup tends to occur at the drive wheels, making it difficult to steer the vehicle or the vehicle is apt to start spinning. However, if regenerative braking torque is weakened to avoid such states, vehicle deceleration is reduced.

In addition, if strong coasting deceleration is performed on a curve, other vehicle states must be envisioned in the event the braking force is unbalanced between the front and rear wheels. For example, front-wheel-drive vehicles may display oversteer behavior due to a tuck-in tendency or an understeer tendency due to the locking of the front wheels.

The e-Pedal system also uses electronically controlled regenerative-friction brake coordination technology to suppress such vehicle behavior. This is done by adjusting the distribution of regenerative braking torque and friction braking torque at the four wheels to match the slipping state of the drive wheels or the vehicle's spinning state. As a result, unstable vehicle behavior is precluded while stably obtaining strong coasting deceleration, thereby enabling maximum recovery of

用し、回生ブレーキが十分に機能できない時は摩擦ブレーキにより減速度を補填することとした。電子制御回生協調ブレーキシステムは、前型日産リーフより搭載しているブレーキシステムであり、ブレーキペダル踏み込み時の回生協調ブレーキ機能も可能であるため、e-Pedalのオン/オフによらず回生によるエネルギーの効率的な回収が可能である。この技術により、e-Pedalの減速特性の安定化と航続距離の延長の両立を達成している。

### 3.3 滑りやすい路面やカーブでの回生摩擦協調機能

滑りやすい路面において強コースト減速を回生ブレーキにより実現しようとする、2輪駆動車の場合は駆動輪の2輪のみに大きな制動力が発生するため、駆動輪が容易にタイヤロック傾向となり舵が効かない、あるいは車両がスピンに陥るといった状態になりやすい。しかしこれを避けるために回生ブレーキトルクを弱めると、車両に発生する減速度が小さくなってしまふ。

またカーブにおいて強コースト減速を行う場合、前後の制動バランスが偏っていれば、例えば前輪駆動車の場合はタックインによるオーバステア挙動や、前輪ロック傾向によるアンダステア傾向を想定しなければならない。

e-Pedalでは、そのような車両挙動の抑制のためにも電子制御回生協調ブレーキ技術を活用している。すなわち、駆動輪のスリップ状態や車両の旋回状態に応じて回生ブレーキと4輪への摩擦ブレーキの配分を調整し、強コースト減速を安定的に実現したままで不安定な車両挙動を未然に防ぎ、回生によるエネルギー回収も最大限に行うことができる。

一方、氷結路面などの極めて滑りやすい路面では、摩擦ブレーキにより4輪の制動力配分を最適化してもタイヤがロック傾向となることがある。これは実現しようとしているコースト減速度が、路面 $\mu$ に対して大きすぎることが原因である。アクセルペダルを少し踏み込みコースト減速度を弱めることで回避できるが、この操作には慣れが必要である。そこでe-Pedalでは、4輪への摩擦ブレーキのみでの制動に切り替えてもなおタイヤロック傾向が見られるときは、システムが要求するコースト減速度を自動的に小さく補正している。この際、タイヤロック傾向が確実に収まるコースト減速度まで補正を行うことで、タイヤの摩擦に余裕を持たせることができるため、ドライバのステアリング操作とブレーキペダル踏み増し操作について余地を残すことができ、滑りやすい路面においてもドライバ自身のコントロール性を維持できる。

### 3.4 坂道勾配補正機能

上り坂に合わせてアクセルペダルを踏み増すこと、下り坂で車速が上がり過ぎないようにブレーキペダルに踏み替えることなどのペダルの調整操作を少なくするため、道路

energy through regeneration.

On icy and other extremely slippery road surfaces, there are times when the tires may tend to lock up even though the braking force distribution to the four wheels is optimized by the friction braking system. This is caused by the fact that the desired coasting deceleration is too large for the road surface  $\mu$ . It can be avoided by depressing the accelerator pedal slightly to lessen coasting deceleration, but this operation requires experience on the driver's part. Accordingly, e-Pedal automatically corrects and reduces the coasting deceleration requested by the system if a tire lockup tendency is apparent even after switching solely to braking by the friction brakes at all four wheels. At this time, coasting deceleration is corrected until the tire locking tendency is reliably controlled. Because this gives the tires some friction force margin, it leaves leeway for the driver's steering action and further depression of the brake pedal. Therefore, it maintains drivers' capability to control the vehicle themselves on slippery road surfaces.

### 3.4 Road grade compensation function

The e-Pedal system incorporates a function for compensating drive torque so as to cancel the effect of the road grade. This reduces the driver's workload for adjusting pedal operations, such as depressing the accelerator pedal according to an uphill grade or depressing the brake pedal on a downhill grade so that the vehicle speed does not increase excessively.

The system estimates the road grade based on the relationship between drive motor torque and vehicle acceleration/deceleration as well as information mainly on the friction braking force. Based on the estimated road grade, it adds to the motor torque an amount of torque sufficient for overcoming the road grade. However, the amount of torque compensation must be at a level that does not cause the driver any unnatural feeling due to a large difference between the expected vehicle behavior and the actual behavior (Table 1). Toward that end, the support range of the road grade compensation function has been set at  $\pm 10\%$  of the road grade based on the road design standards in various countries (Table 2).

### 3.5 Stopping function

With the e-Pedal system, simply releasing the accelerator pedal decelerates the vehicle to a complete stop on slopes and then automatically holds the stationary vehicle. This function reduces the frequency of switching from the accelerator pedal to the brake pedal.

#### 3.5.1 Function for complete, smooth stopping

When the driver releases the accelerator pedal while driving, accurate control of the driving force of the drive motor functions to decelerate the vehicle to a speed of 0 km/h, bringing it to a complete stop. In order for the drive motor to completely stop the vehicle on a slope, precise motor control is required for generating drive torque matching the road grade at exactly the same time the vehicle reaches a speed of 0 km/h.





能としている。

さらに、より確実な停止状態保持のため、e-Pedalによる停止保持中に後ずさりなどの車両流動を検知した場合、摩擦ブレーキを増加させる機能を装備した。坂道などで万が一車両流動が発生しても、ドライバがブレーキペダルを踏むまでの挙動変化を緩和することができる。

#### 4. システムの効果と運転行動の変化の検証

##### 4.1 運転負荷の軽減効果

図4に、e-Pedal機能の有無におけるブレーキペダルの操作回数を記載した。シーンA～Dは北米、シーンE～Hは日本で市街地を走行した結果である。各シーンによってコースや走行距離、時間など計測条件は個々に異なるが、全ての試行回においてブレーキペダルの操作回数が大幅に減少しており、本システムがペダル踏み替え操作負荷の低減に貢献していることがわかる。また低減率が90%程度であることは、先の各国の減速度分布（図3）に基づく効果想定と概ね一致している。

図5は図4におけるブレーキペダル操作の要因を分析したものである。ブレーキペダル操作の大部分が減速操作のためのものであった。ただし、ブレーキペダル操作の低減量は市場環境や運転スタイル、システムへの慣れ具合など様々な要因により左右されると推察され、試行回ごとの低減効果のばらつきに対する考察は難しい。減速のための操作があったということは、e-Pedalの減速度設定を超える走行シーンがあったことを意味するが、そのような場面でもドライバがブレーキペダルを操作できているということである。

全ての試行回において、起動時に1度のブレーキペダル操作が計測されているのは、評価車両自体の仕様によるものであり、e-Pedalの効果検討から除外して考えるべきである。その一方、停止中のブレーキペダル操作が限られた回数しか見られないことは、摩擦ブレーキにて確実な停止

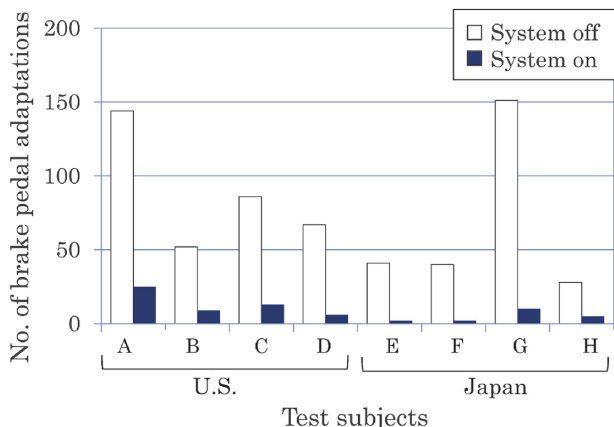


図-4 ブレーキペダル操作回数  
Fig. 4 Number of brake pedal applications

conditions differed in each case. However, it is seen that the number of brake pedal applications was substantially reduced with the e-Pedal system in all the driving tests. These results indicate that the e-Pedal system contributes to reducing the driver's workload of switching between pedals. In addition, the reduction rate of around 90% agrees reasonably well with the envisioned effect based on the deceleration distribution shown earlier in Fig. 3 for three selected markets.

Figure 5 shows the results of an analysis of the factors involved in the brake pedal applications in Fig. 4. The greater majority of the applications were for deceleration. However, it is inferred that the amount of reduction in brake pedal applications is influenced by various factors such as the driving environment, individual driving styles and the amount of experience with the system. Therefore, it is difficult to discuss the variation seen in the reduction effect in each driving test. Brake pedal application for the purpose of deceleration means that there were driving situations where deceleration exceeding that set for e-Pedal was necessary. Even in those situations, the driver was able to depress the brake pedal.

The single application of the brake pedal measured in all driving tests at start-off is attributed to the test vehicle specifications themselves. Such instances should be excluded from any examination of the effectiveness of the e-Pedal system. In contrast, brake pedal application while the vehicle was stopped is only seen in limited cases. This is attributed to the effect of the system in reliably holding the stationary vehicle by the friction brake system. Therefore, it contributed to reducing the driver's operational workload.

Figure 6 compares drivers' behavior with and without the system when driving on a winding downhill road. In this evaluation, the preceding vehicle was equipped with the e-Pedal system and the following vehicle was not. This method was used to avoid any large difference in the average driving speed. The vehicles were driven under the assumption of ordinary speed limits.

The results show a large difference in brake pedal

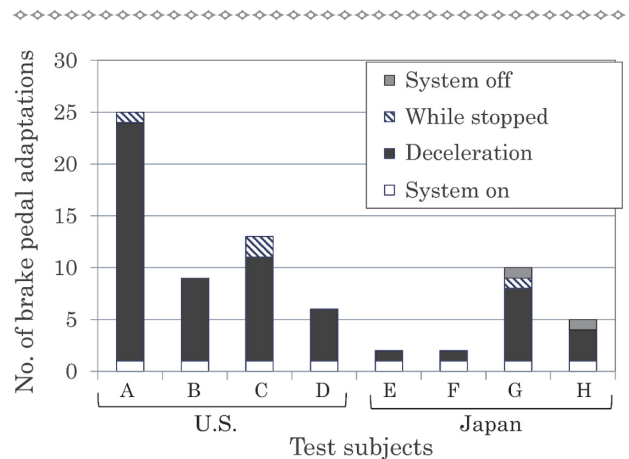


図-5 ブレーキペダル操作の要因分析  
Fig. 5 Breakdown of brake pedal applications

保持を行う本システムの効果を示しており、ドライバの運転負荷軽減に貢献するものである。

次に、下り坂ワインディング路において、e-Pedal機能の有無による走行比較を行った(図6)。平均速度に大きな差がでないように前走車がシステム有り車で、システム無し車がそれに追従する方法で、一般的な制限車速を想定して走行した。

その結果、まずブレーキペダルの操作に大きな違いが見られた。システム無し車が速度調整のためにたびたびブレーキペダルを操作している一方で、システム有り車ではブレーキペダルの操作は全くなく、アクセルペダルの操作のみで評価区間を下りきっている。意図せず車速が上がる、あるいはカーブ直前での車速調整が必要となる度に、アクセルペダルからブレーキペダルに踏み替えざるを得ない煩わしさや操作負荷が、e-Pedalによって大幅に低減したのである。

#### 4.2 車速変化や前後加速度の平滑化効果

下り坂ワインディング走行を行った図6をさらに確認する。システム有り車のアクセルペダル操作を見ると、全閉まで戻されることは数回程度であり、ドライバが常にアクセルペダルを操作し車速を調整している様子がわかる。その結果、システム有り車はシステム無し車に比べ車速の変動幅が小さく、前後加速度も滑らかに推移していることがわかる。

図7は図6の一部を拡大したものである。システム無し車において、ブレーキペダル操作と車速変化のオーバーシュートに関連性があることがわかる。点線矢印で示した

application. The driver of the vehicle without the system frequently applied the brakes to adjust the vehicle speed. In contrast, the driver of the vehicle with the e-Pedal system never depressed the brake pedal at all and drove down the evaluation course by operating only the accelerator pedal. Whenever the vehicle speed rose unintentionally or it was necessary to adjust the speed just before a curve, the e-Pedal system markedly reduced the troublesome operational workload of having to switch from the accelerator pedal to the brake pedal.

#### 4.2 Benefit of smoothing vehicle speed changes and longitudinal acceleration

Figure 6 shows the results of a further confirmation of the effectiveness of the system when driving on a winding downhill road. An examination of the operation of the accelerator pedal of the vehicle with the e-Pedal system shows that there were only a few instances when the pedal was returned to a fully released position. This indicates that the driver was constantly operating the accelerator pedal to adjust the vehicle speed. As a result, the range of change in the vehicle speed was smaller for the vehicle with the system than for the one without it. This indicates that lateral acceleration also changed smoothly for the vehicle with the system. Figure 7 presents an enlarged view of some of the data in Fig. 6.

For the vehicle without the system, a relationship is seen between brake pedal application and overshoot of the change in vehicle speed. As indicated by the dashed-line arrows, the brake pedal was depressed right after the vehicle speed rose to a higher level and the pedal was released after the vehicle speed became too low. This driving pattern is frequently seen.

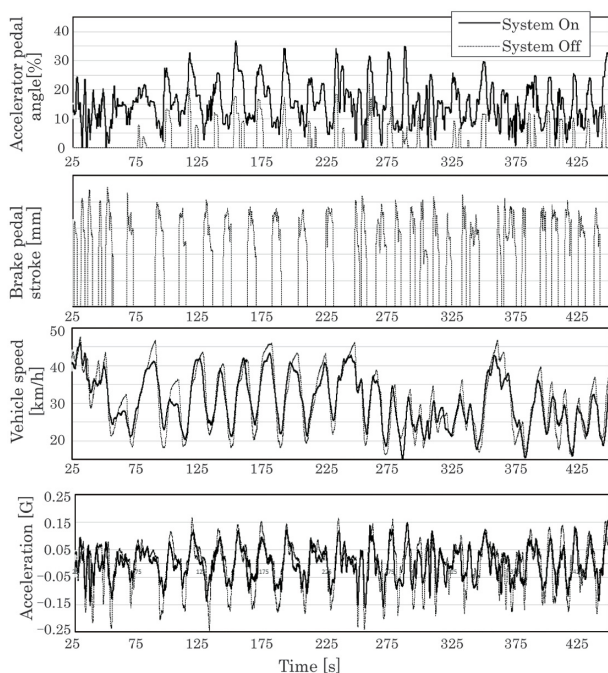


図-6 下り坂におけるドライバの振る舞い  
Fig. 6 Driver's behavior in downhill driving

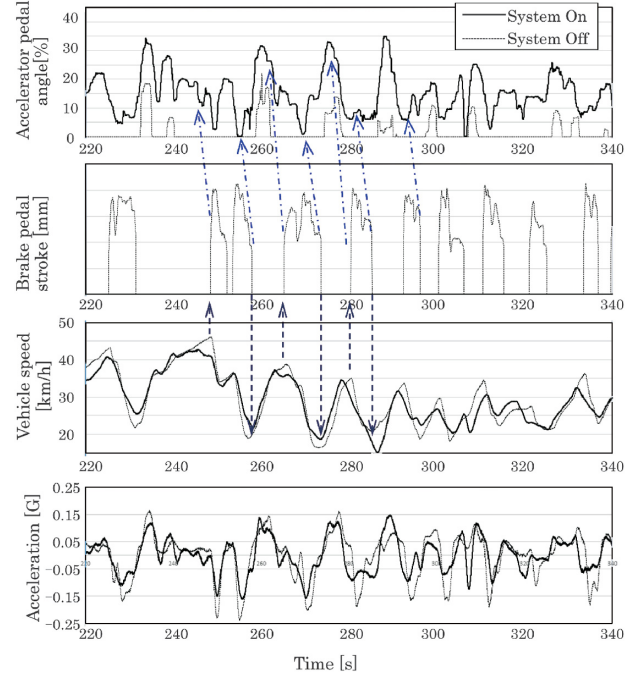


図-7 図6の拡大図  
Fig. 7 Enlarged detail of Fig. 6

通り、車速が高めになった直後にブレーキペダルが踏み込まれ、車速が低くなりすぎてからブレーキペダルが離される運転行動が多く見られる。

また、一点破線の矢印で示したように、システム有り車において、アクセルペダル戻しによる減速、踏み込みによる再加速が、システム無し車でのブレーキペダル操作より早いタイミングで行われていることがわかる。このような運転操作行動の変化が、不要な車速の変動を低減し、前後加速度の滑らかな推移として現れる。

図8はアクセルペダル操作と前後加減速度の関係を示しており、アクセルペダル操作に対して加減速が連続的につながっていることがわかる。この特性は滑らかな車速コントロールと、アクセルペダル操作による前後輪荷重バランスの微調整を容易にし、ハンドリング性能の向上にもつながる。

さらに、この特性は氷結路面などの繊細なタイヤの駆動制動力コントロールが必要な場面においても有用である。図9はシステム有り車で雪路において減速および微速前進を行った際の実験データである。アクセルペダルの調整によって滑らかに減速度を高め、車速15km/h近辺でアクセルペダルを完全に戻している。アクセルペダル操作で大きい減速度までカバーしていること、および前述の回生摩擦機能によりタイヤスリップ時も安定した減速度を維持できることから、雪路においてもアクセルペダル戻りで必要な減速度が得られやすく、アクセルペダルの調整により容易に車速のコントロールができています。

さらにその後、停止直前にアクセルペダルをわずかに踏み込んでいる。タイムチャート上の車速は車輪速度の演算ロジックの都合で0km/hを示しているが、実際は1km/h前後の車速で微速走行しているシーンである。アクセルペダル操作で減速から加速側に連続的に駆動力をコントロールできることや、アクセルペダル操作に対して駆動力が正確に連動することから、雪路においても思うままに駆動力と車速のコントロールが可能となり、タイヤスリップや前後加速度の急な変化もなく、滑らかな運転が可能と

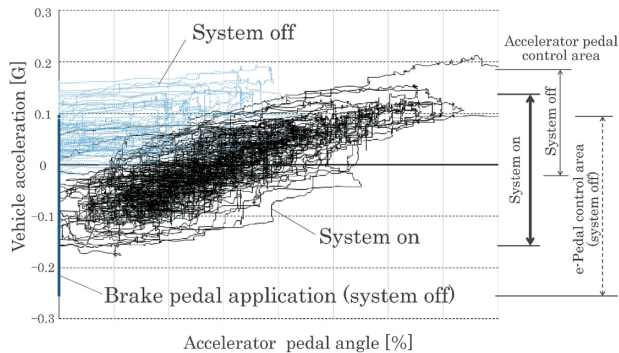


図-8 加速度とアクセル開度の関係

Fig. 8 Relationship between acceleration and accelerator pedal angle

In addition, as indicated by the dot-dashed-line arrows, deceleration by returning the accelerator pedal and re-acceleration by depressing it occurred at an earlier timing for the vehicle with the system than for the one without it. This difference in driving behavior appeared because unnecessary changes in vehicle speed were reduced by the e-Pedal system to support smooth longitudinal acceleration.

Figure 8 shows the relationship between accelerator pedal operation and longitudinal acceleration/deceleration with and without the system. The results reveal that acceleration/deceleration was continuously linked to the operation of the accelerator pedal. This characteristic facilitates smooth control of the vehicle speed and makes it easy to finely adjust the load balance between the front/rear wheels by operating the accelerator pedal, thereby leading to improved handling performance.

Moreover, this characteristic is effective in situations where fine control of the drive/braking force of the tires is necessary such as on icy road surfaces. Figure 9 presents test data for deceleration and crawling with a system-equipped vehicle. Adjustment of the accelerator pedal smoothly increased deceleration, and the accelerator pedal was fully returned at around a vehicle speed of 15 km/h. Operation of the accelerator pedal is effective even for large deceleration, and stable deceleration can be maintained by the regenerative-friction brake coordination function explained earlier even when the tires are slipping. These capabilities make it easy to obtain the necessary deceleration by returning the accelerator pedal even on snow-covered roads. This enables easy vehicle speed control by simply adjusting the position of the accelerator pedal.

Subsequently, the driver lightly depressed the accelerator pedal just before the vehicle stopped. Because of the nature of the calculation logic used for determining the wheel speed, the time graph shows a speed of 0 km/h,

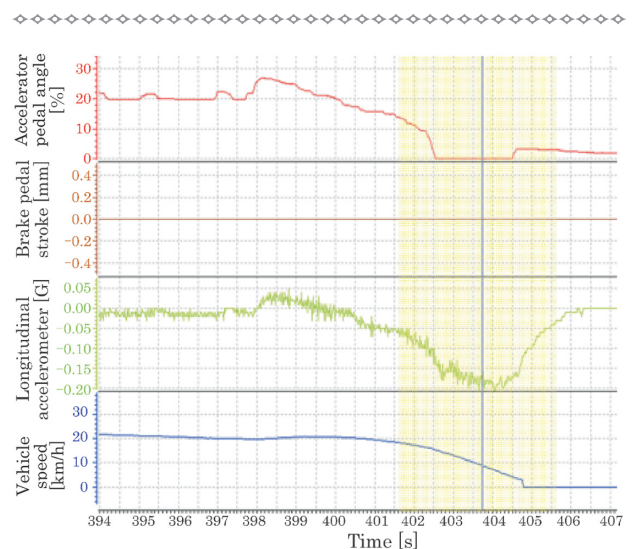


図-9 雪道における減速と極低速走行の実験結果

Fig. 9 Test results for decelerating and crawling on snow-covered road

なっている。

このような運転特性は、アクセルペダルやブレーキペダルの操作に細心の注意が必要な氷結路面において、ドライバの運転上のストレスを緩和し、落ち着いた運転を可能とする。

### 4.3 運転行動の変化について

e-Pedalでは従来の自動変速機(AT)車と異なり、アクセルペダルを完全に離さず、常に適度な開度で調整しながら走ることがスムーズな走行に適した運転方法である。従って、ドライバの本システムへの慣れの度合いは、アクセルペダル操作に現れると考えられる。

図10はアクセルペダル操作のみで停止目標に向かって減速、停止を行った際の停止目標までの距離とアクセルペダル操作量について、本システムの運転操作に慣れる前後で比較したものである。本システムに慣れていない場合、わずかな減速でもアクセルペダルを完全に離してしまい、その後再度踏み込むことを繰り返す。結果として、ペダル操作量も多く、減速度合いも一定でない。一方、1時間程度の走行体験後は、アクセルペダルを完全に戻さず適度な開度で調整しており、減速度合いも一定のまま停止に至っている。

## 5. ま と め

今回新型日産リーフに搭載したe-Pedalはe-POWERの強コスト減速機能に電子制御回生協調ブレーキ技術を融合することで、アクセルペダルでの減速域を広げ、さらに車両の停止保持まで支援することで、ほぼすべての日常の運転シーンでアクセルペダルでの车速コントロールが可能となり、ペダルの踏み替え頻度が大幅に減り、ドライバの運転負荷を軽減できた。

またe-Pedalを使用した運転では、アクセルペダルを常に適切な開度で調整する、従来のAT車と異なるペダル操

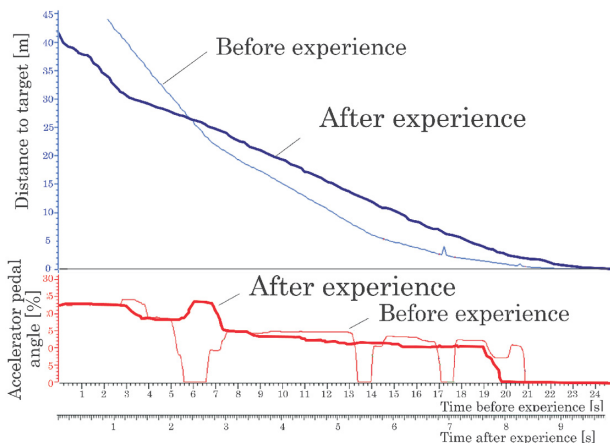


図-10 慣れによるアクセルペダル操作量の変化  
Fig. 10 Operation of accelerator pedal

but the vehicle was actually creeping at a speed of around 1 km/h in this situation. Operation of the accelerator pedal enables continuous driving force control from deceleration to acceleration, and driving force is accurately linked to the operation of the accelerator pedal. These capabilities make it possible to control both the driving force and vehicle speed as the driver wishes even on snow-covered roads. This facilitates smooth driving without any tire slipping or sudden changes in longitudinal acceleration.

These driving characteristics relieve the driver's stress and allow relaxed driving even on icy road surfaces where careful attention must be paid to the operation of the accelerator pedal and brake pedal.

### 4.3 Changes in driving behavior

Unlike a conventional automatic transmission (AT) vehicle, the operational style suitable for smooth driving with the e-Pedal system is for the driver to constantly adjust the accelerator pedal appropriately without completely releasing the pedal. Accordingly, it is assumed that drivers' degree of experience with this system will appear in their manner of operating the accelerator pedal.

Figure 10 shows the amount of accelerator pedal operation and distance to a stopping target when the vehicle was decelerated toward the target and stopped by just operating the accelerator pedal. A comparison is made between driving behavior before and after the subjects gained experience with the operation of the e-Pedal system. Subjects without any experience with the system completely released the accelerator pedal even for slight deceleration and then subsequently repeatedly depressed the pedal. As a result, operation of the accelerator pedal involved more work, and the rate of deceleration was not constant. In contrast, after experiencing the operation of the system during driving for about one hour, they suitably adjusted the accelerator pedal without completely releasing it and also brought the vehicle to a stop at a constant rate of deceleration.

## 5. Conclusion

The e-Pedal system adopted on the new Nissan LEAF combines electronically controlled regenerative-friction brake coordination technology with the strong coasting deceleration function of e-POWER. This expands the range of deceleration possible with the accelerator pedal and also supports the capability to stop and hold the vehicle. Consequently, vehicle speed control by means of the accelerator pedal alone is possible in nearly all everyday driving situations. As a result, the frequency of switching between pedals is markedly reduced to lighten the driver's operational workload.

Driving with the e-Pedal system requires suitable adjustment of the accelerator pedal at all times, which tends to differ from pedal operation in conventional AT-equipped vehicles. However, it is easy to become familiar with the method of driving with e-Pedal. Once drivers are familiar with the system, smooth vehicle

作傾向が必要であるが、その運転方法に慣れることは容易である。運転に慣れた場合、車両の動きが滑らかになるなどの効果もあることが確認できた。

## 6. 参 考 文 献

- 1) M. Kimura, et al.: Development of New-generation e-POWER Hybrid Powertrain, Nissan Technical Review, No. 80, pp. 6-14 (2017).

motions and other benefits are reliably obtained.

## 6. References

- 1) M. Kimura, et al.: Development of New-generation e-POWER Hybrid Powertrain, Nissan Technical Review, No. 80, pp. 6-14 (2017) .

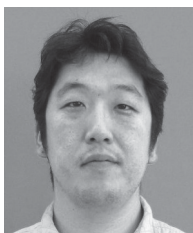
### ■ 著者 / Author(s) ■



宮下直樹  
Naoki Miyashita



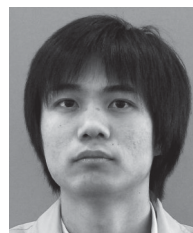
新藤郁真  
Ikuma Shindo



鈴木達也  
Tatsuya Suzuki



網代圭悟  
Keigo Ajiro



中村洋平  
Yohei Nakamura

# 新型日産リーフ向け大容量リチウムイオンバッテリー

## High-capacity Lithium-ion Battery for the New Nissan LEAF

田崎 信一\*  
Shinichi Tasaki

高松 俊文\*  
Toshifumi Takamatsu

萩山 康介\*  
Kousuke Hagiya

坂本 涼\*  
Ryo Sakamoto

岩下 健児\*  
Kenji Iwashita

東野 龍也\*  
Tatsuya Higashino

小比賀 基治\*  
Motoharu Obika

**抄 録** 日産自動車は自動車の電動化と知能化を戦略的な軸として技術開発に取り組んでいる。電動化の一環として、大容量リチウムイオンバッテリーを搭載した新型日産リーフを2017年に発売した。航続距離、動力性能などの電動車両性能はバッテリー性能に大きく依存する。本稿では、新型日産リーフに搭載した大容量リチウムイオンバッテリー開発に関して紹介する。

**Summary** Nissan is pursuing R&D activities along two strategic axes of electrification and intelligence. In 2017, Nissan launched the new Nissan LEAF electric vehicle powered by a high-capacity lithium-ion battery that was developed in an electrification program. Electric vehicle performance, such as driving range and power performance, is highly dependent on battery performance. This article describes the development of a high-capacity lithium-ion battery for the new Nissan LEAF.

**Key words :** Automotive General, electric vehicle (EV), new model, lithium-ion battery, battery pack design, lithium-ion cell, laminated cell

### 1. はじめに

日産自動車は1992年から競合他社に先駆け、リチウムイオンバッテリーの自動車用途への可能性に着目し、電気自動車 (EV)、ハイブリッド車 (HEV)、燃料電池車 (FCEV) に向けた研究開発、市場投入を重ねてきた。そこで得られたノウハウを活用しつつ、セルから車両まで一貫したトータルの電動車両の技術開発を行い、2010年にリチウムイオンバッテリーを使用した世界初の量産型電気自動車 (EV) の日産リーフを発売した<sup>1)2)3)</sup>。

初代日産リーフから得られた知見 (電動車両固有の使われ方など) を各コンポーネント、そしてバッテリーの各部品設計へ反映し、基盤技術、生産技術開発を地道に積み重ね、車両適合を継続して行った。この結果、2度のマイナーチェンジを実施し、航続距離などの車両性能も進化させてきた。そして、今回2017年10月に大容量リチウムイオンバッテリーを搭載し、フルモデルチェンジとなる新型日産リーフを発売した (図1)。

航続距離、動力性能 (入出力特性) などの電動車両性能は主にバッテリー性能が基盤にあり、性能に大きく依存する。特に、航続距離は所定バッテリーサイズでのエネルギー量の増加、すなわち、体積あたりのエネルギー密度の向上が重要となる。今回、新開発した大容量40kWhバッテリーは、初期型24kWhに対し、エネルギー密度を約67%も向上させ

### 1. Introduction

Nissan began focusing on the potential of lithium-ion batteries for automotive use in 1992 ahead of other competitors and has continuously pursued R&D efforts for electric vehicles (EVs), hybrid electric vehicles (HEVs) and fuel cell electric vehicles (FCEVs), including repeated market introductions of these vehicles. By making effective use of the know-how gained in this process, Nissan has developed a complete and coherent suite of electric vehicle technologies, ranging from the battery cell level to the vehicle level. In 2010, the Nissan LEAF mounted with a lithium-ion battery was launched as the world's first mass-produced EV.<sup>1-3)</sup>

The knowledge gained with the first-generation Nissan LEAF, including information on driving styles unique to EVs, has been reflected in all the components and in the design of every battery part. Consistent efforts

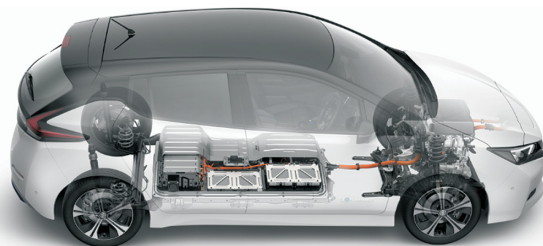


図-1 新型日産リーフとリチウムイオンバッテリー  
Fig. 1 New Nissan LEAF and lithium-ion battery

\*EV・HEVバッテリー開発部 / EV and HEV Battery Engineering Department

た。この結果、バッテリーサイズを変えずに、大容量に進化したバッテリーを車両へ搭載することを可能とし、400kmの航続距離を達成した（JC08モード）。これは、初期型24kWhバッテリーの2倍、マイナーチェンジの30kWhバッテリーと比較しても4割以上の航続距離増加となる（図2）。

本稿では、新型日産リーフに搭載した大容量リチウムイオンバッテリー開発について紹介する<sup>4)</sup>。

## 2. 大容量バッテリー開発概要

新開発の大容量40kWhバッテリーは、性能と信頼性のバランスをとりつつ、①高エネルギー密度電極材料のセル適用、②モジュール/パックの体積効率向上により、体積あたりのエネルギー密度を約67%も向上させた。一方、容量増加による重量増加は、バッテリー構造部材の最適化により、約10%程度にとどめた。また、セル性能の向上により、入出力性能や耐久性も向上した。

### 2.1 バッテリーレイアウト設計

広い車室内の空間確保、走行安定性のための低重心確保、そして外部からの入力に対する保護の観点から、バッテリーは車室フロア下に搭載され、フラットで限定された空間でのバッテリーレイアウト設計が必要となる（図1）。新型日産リーフへ搭載した新開発40kWhバッテリーの各部品レイアウトと回路図をそれぞれ図3、図4に示す。

新開発のバッテリーは従来と同様に、ラミネートタイプのセルを重ねてモジュール（以下MD）とし、それをフロア

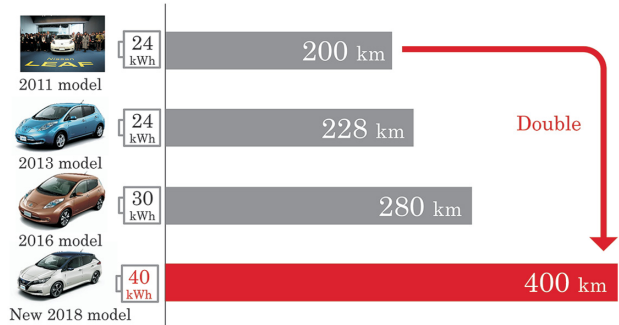


図-2 バッテリー容量と航続距離（JC08）  
Fig. 2 Battery energy and driving range (JC08)

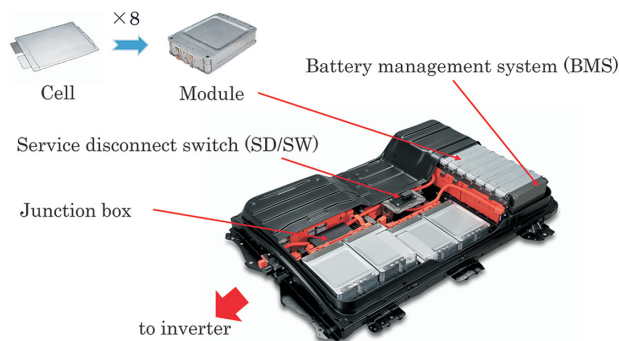


図-3 バッテリーの部品レイアウト  
Fig. 3 Battery layout

have been made to develop fundamental technologies and production engineering techniques and to adapt them continuously to vehicles over the years. As a result, the driving range and other performance attributes of the Nissan LEAF have continually evolved through the execution of two minor model changes. A full model change was then carried out and the new generation of the Nissan LEAF fitted with a high-capacity lithium-ion battery was put on the market in October 2017 (Fig. 1).

The performance of an EV, including its driving range, power performance (input/output characteristics) and other attributes, is largely dependent on the fundamental performance of the battery. For the driving range in particular, it is important to increase the amount of energy stored in a given battery size, i.e., to improve the energy density per unit volume. The newly developed high-capacity 40 kWh battery has approximately 67% more energy density than the 24 kWh battery used on the first-generation model. This improvement made it possible to equip the new Nissan LEAF with a higher capacity battery without changing the battery size, thereby achieving a driving range of 400 km under Japan's JC08 emission test mode. The driving range is double that of the first-generation model with a 24 kWh battery and more than 40% greater than that of the minor-change model with a 30 kWh battery (Fig. 2).

This article describes the development of this high-capacity lithium-ion battery used on the new Nissan LEAF.<sup>4)</sup>

## 2. Development Overview of High-capacity Battery

The energy density per unit volume of the newly developed high-capacity 40 kWh battery was improved by approximately 67% through two principal measures, while achieving a balance between performance and reliability. One measure was to adopt electrode materials with high energy density for the cells. The other was to improve the volumetric efficiency of the modules and pack. The increase in weight due to the higher capacity was held to around 10% by optimizing the battery structural members. In addition, input/output characteristics and durability were also improved by enhancing cell performance.

### 2.1 Battery layout design

The battery layout design must ensure roomy

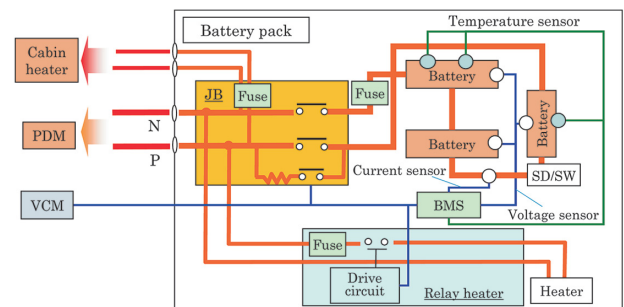


図-4 バッテリー回路図  
Fig. 4 Battery circuit diagram



形状に合わせたレイアウトとしている。バッテリー内にはモジュールの他、バッテリー内の状態を把握しコントロールするバッテリーマネージメントシステム（BMS）、強電のON/OFFを行うジャンクションボックス（JB）、そして整備時などの作業安全性を確保するサービススイッチ（SD/SW）から構成される。フューズ、電流センサといった補機類も、今回の高容量、高出力化に伴い、性能の見直しを実施し、搭載位置も適正化した。また、極寒冷地仕向けにおいては、保温を目的としたヒータも設定している。

このように新開発のバッテリーは、バッテリーに必要な各部品、機能をインテグレートした一体パッケージとして構成されている。

## 2.2 バッテリスペック

新型日産リーフへ搭載した新開発40kWhバッテリーの主要スペックを、初期型24kWhバッテリーと比較し表1に示す。

### 2.2.1 高エネルギー密度電極材料のセル適用

新開発40kWhバッテリー向けに、更なる高容量化、低抵抗化のセル開発を行った。正極材料として、結晶構造がスピネル構造である従来のマンガン系（ $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ）材料から、新たに層状構造を有するNMC系材料（三元系：ニッ

interior space, a low center of gravity for vehicle operational safety and protection of the battery against external force inputs. From these perspectives, the battery must be mounted under the cabin floor in a flat state within a limited space (Fig. 1). The component layout of the new 40 kWh battery fitted on the new Nissan LEAF is shown in Fig. 3, and a battery circuit diagram is shown in Fig. 4.

Like the previous batteries, the modules of the new battery consist of a stack of laminated cells and are laid out according to the floor geometry. In addition to the modules, the battery pack includes a battery management system (BMS) that monitors and controls the battery internal state, a junction box (JB) that turns On/Off the high voltage, and a service disconnect switch (SD/SW) to ensure safety when maintenance work is done. In connection with the higher capacity and higher output of this new battery, the performance of auxiliary parts such as the fuses and current sensor was reviewed and their installation positions were optimized. A heater was also adopted for keeping the battery warm on vehicles shipped to very cold regions.

The new battery comprises an integrated package of all the parts and functions needed by an EV battery.

## 2.2 Battery specifications

The major specifications of the new 40 kWh battery used on the new Nissan LEAF are listed in Table 1 in comparison with those of the first-generation 24 kWh battery.

### 2.2.1 Adoption of high-energy-density electrode materials for a new cell

A new cell was developed to obtain higher capacity and lower resistance for use in the new 40 kWh battery. The cathode material was changed from the previously used lithium manganese oxide ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) with a spinel crystal structure to a three-element mixed material consisting of nickel, manganese and cobalt (NMC) with a new layered structure. This NMC material stores a high density of lithium ions in its crystal structure, giving it a

	24 kWh battery	40 kWh battery
Cathode material composition	Mn Ni	N M C
Main material structure	Spinel structure (LMO)	Layered structure (NMC)
Capacity ratio	1.0	$\geq 1.6$

図-5 セルの正極材料

Fig. 5 Comparison of cell cathode materials

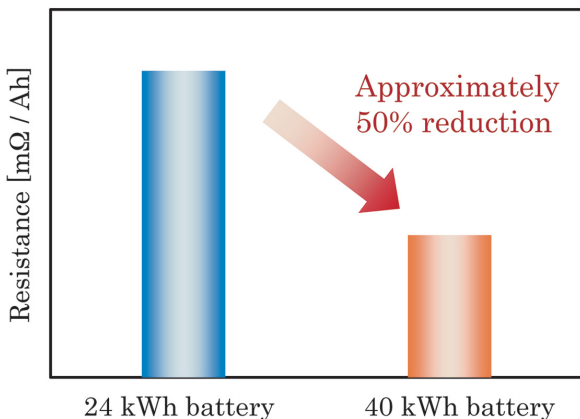


図-6 セル抵抗

Fig. 6 Comparison of direct current cell resistance

表-1 バッテリーの主要スペック  
Table 1 Main specifications of battery pack

		24 kWh battery	40 kWh battery	
Pack system	Energy [kWh]	24	40	
	Voltage [V]	360	350	
	Power [kW]	90	125	
	Weight [kg]	275	303	
	No. of modules	48 (in series)	24 (in series)	
	Energy density ratio	1	1.67	
Module	Energy density [Wh/kg]	87	132	
	No. of cells	4 (2 parallel, 2 series)	8 (2 parallel, 4 series)	
Cell	Structure	Laminated		
	Material	Cathode	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$ with $\text{LiNiO}_2$	$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$
		Anode	Graphite	

ケル／マンガン／コバルトの混成材料)を適用した。このNMC系材料は結晶構造内にリチウムイオンを高密度に蓄えられ、従来のマンガン系材料に対し、1.6倍以上の容量比となる(図5)。

一方、高エネルギー密度のNMC系材料は層状構造であるため、従来のマンガン系材料よりも過充電状態においては結晶構造が弱く、信頼性が低下する可能性がある。今回、信頼性のロバスト性向上のため、NMC材料の組成比、セパレータ層構造を代表とする構成材料および部品の最適化、そして性能と信頼性のトータルバランスをとったセル設計を実施した。これにより、セルの信頼性を損なうことなく、バッテリーの高エネルギー密度化を実現した。

また、セルの低抵抗化に対しては、正負極材料、電極物性、電解液の低抵抗化、さらにセル積層構造の最適化により、従来セルより50%減を実現している(図6)。

2.2.2 モジュール／パックの体積効率向上

新開発40kWhバッテリーは初期型24kWhに対し、モジュール構造を改良している。従来はラミネートタイプのセルを4枚重ねて1つのモジュールとしていたのに対し、今回の新開発モジュールはセルを8枚重ねて1つのモジュールとし、2つのモジュールを統合した。統合化に伴う重量増加とセルの高容量化に伴う厚み増加を考慮し、セルを適度な力で加圧するモジュール構造を最適化した。この結果、従来と同じパックの外形寸法で、パック内のセル充填率(体積あたりの容量増加)を向上させた(図7)。

また、充放電時のパック発熱シミュレーションの結果、従来バッテリーと同様に、冷却機構を付加することなく、大容量40kWh化を実現した。

新型日産リーフのモータの最大出力は初代の80kWに対し、110kWへ高出力化している。バッテリー内に流れる最大電流が大きくなるため、電流値を測定する電流センサ機能も改良した。従来型に対し、測定可能な電流範囲を広げる







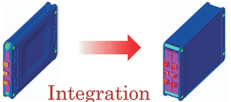
	24 kWh battery	40 kWh battery
Cell		 Increased thickness
Module	4 cells / module 	8 cells / module  Integration 
Pack	Same size	

図-7 モジュールの統合  
Fig. 7 Module integration

capacity ratio 0.6 times greater than that of the previous manganese system (Fig. 5).

However, because the high-energy-density NMC material has a layered structure, there was concern that its crystal structure might be weaker and its reliability lower in an overcharged condition compared with the previous manganese material. Accordingly, in order to improve robustness and reliability, the material composition ratio of NMC as well as the constituent materials and parts, as typified by the separator structure, were optimized, and the cell design was executed so as to achieve a total balance of performance and reliability. These measures improved the high energy density of the battery without sacrificing cell reliability.

In addition, cell internal resistance was reduced by 50% from that of the previous cells by lowering the resistances of the anode/cathode materials, electrode physical properties and electrolyte and also by optimizing the layered structure of the cells (Fig. 6).

2.2.2 Improvement of volumetric efficiency of modules and pack

The new 40 kWh battery has an improved module structure compared with that of the first-generation 24 kWh battery. With the previous laminated cell, four cells were stacked to form one module. In contrast, for the newly developed module, eight cells are stacked to form one module, and two modules are integrated. The module structure was optimized so that suitable pressure would be applied to the cells in consideration of the increased module weight resulting from integration and the increased thickness due to the higher cell capacity. As a result, the same external pack dimensions were achieved as those of the previous battery pack, and the cell packing density (capacity increase per unit volume) inside the pack was improved (Fig. 7).

The results of a simulation of pack heat generation during charging and discharging showed that a large capacity of 40 kWh was attainable without adding any cooling structure, the same as for the previous battery pack.

The maximum output of the motor used on the new Nissan LEAF was increased to 110 kW compared with 80

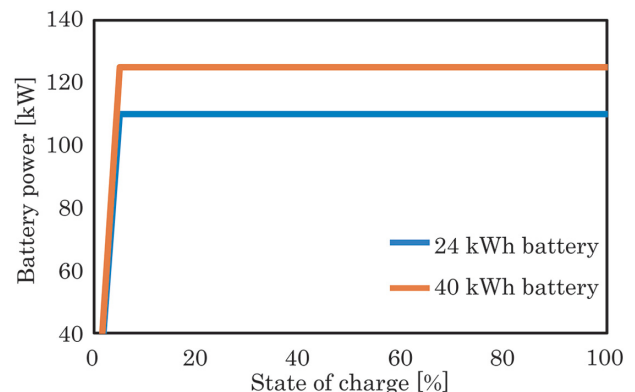


図-8 バッテリーの出力特性  
Fig. 8 Output characteristics of battery

だけでなく、測定精度の高い回路もセンサ内に追加し、車両として表示される航続可能距離の算出精度を向上させた。

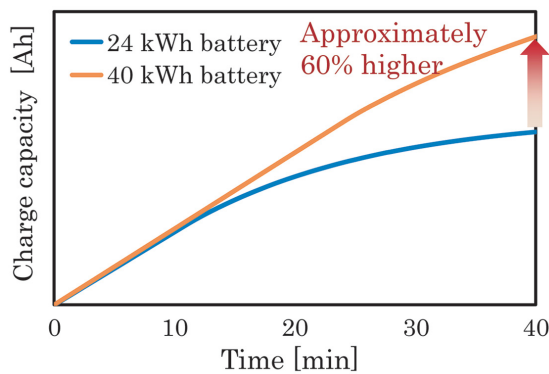
### 3. バッテリー特性

上記で説明したセル、モジュール、パック開発を行うことにより、新型日産リーフに搭載した新開発40kWhバッテリーは、初期型24kWhバッテリーからサイズを変更することなく、バッテリーのエネルギー密度を向上させ、航続可能距離400km (JC08) を達成している。また、セルの低抵抗化により、バッテリーの入出力特性も向上している。

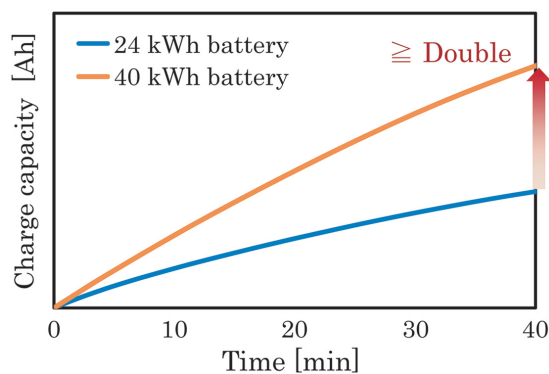
まず出力特性に関しては、新開発40kWhバッテリーはほぼ全SOC (State of charge) 領域で、新型日産リーフのモータ最大出力110kWを対応可能としている (図8)。同様に新開発40kWhバッテリーは、入力特性も向上している。急速充電 (50kW) において、40分後の充電容量を比較した場合、初期型24kWhに対し、常温では容量比で約60%、そして低温では約2倍も向上し、実用性を向上させた (図9)。

一方、耐久性に関しては、下記のセル開発を行うことにより、大幅な性能向上を実現した。

- ①正負極材料、電解液の構成部材の性能向上
- ②正負電極組成と電極物性の最適化
- ③トータルバランスをとったセル設計の最適化



(a) Normal temperature



(b) Low temperature

図-9 バッテリーの充電特性  
Fig. 9 Charge characteristics of battery

kW for the first-generation model. Because the maximum current flowing in the battery was increased, the functionality of the current sensor for measuring the current value was improved. Besides expanding the measurable current range over that of the previous sensor, a circuit for obtaining high measurement accuracy was also incorporated in the sensor. This has improved the calculation accuracy of the vehicle's allowable driving range.

### 3. Battery Characteristics

The development of the cell, module and pack as described above improved the energy density of the new 40 kWh battery used on the new Nissan LEAF without changing the battery size from that of the first-generation 24 kWh battery, thereby attaining a driving range of 400 km under the JC08 emission test mode. In addition, the reduction of cell internal resistance also improved the input/output characteristics of the battery.

First, with regard to output characteristics, the new 40 kWh battery enables the motor used on the new Nissan LEAF to generate its maximum power of 110 kW in nearly all state of charge (SOC) regions (Fig. 8). Likewise the new 40 kWh battery also features improved input characteristics. A comparison of the battery capacity after 40 minutes of rapid charging at 50 kW is shown in Fig. 9. The charge capacity of the new 40 kWh battery was approximately 60% higher than that of the first-generation 24 kWh battery at normal temperature and nearly double that of the latter at low temperature. This improvement has enhanced the practical performance of the new Nissan LEAF (Fig. 9).

Battery durability has also been greatly improved as a result of taking the following measures during the cell development process.

- (1) Improvement of the performance of anode/cathode materials and constituent materials of the electrolyte
- (2) Optimization of the anode/cathode composition and electrode properties
- (3) Optimization of the cell design for a total balance of performance and reliability
- (4) Optimization of cell production process requirements and quality control

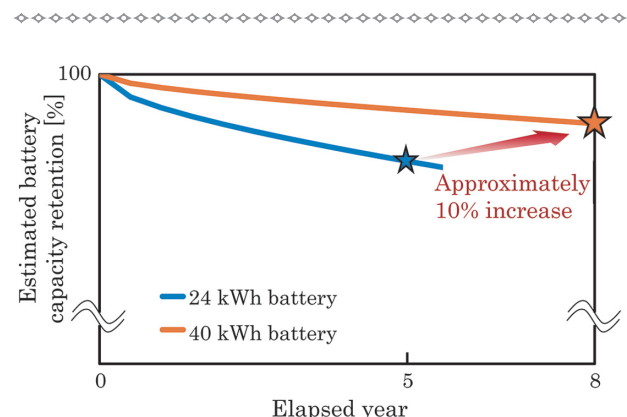


図-10 バッテリーの耐久性見積もり  
Fig. 10 Estimated of battery durability

④セル生産工程の要件最適化と品質管理

初期型24kWhの5年後に対して、新開発40kWhバッテリーは8年後の容量維持率見積もりで、約10%の増加見込みである(図10)。この結果、バッテリー容量保証(バッテリー容量計が9セグメントを割り込んだ場合の9セグメント以上への部品保障)が、初期型24kWhバッテリーは新車登録から5年または10万kmであるのに対し、新開発40kWhバッテリーは8年または16万kmへ保証期間を延長することを可能とした。

4. バッテリー信頼性設計

市場環境およびお客様の使われ方からバッテリーの信頼性目標を策定し、この信頼性目標を満足するバッテリーを車両に供給することによって「信頼性」を担保している(図11)。それは、バッテリーパックの耐性確保(①、②)およびパック保護(③)により実現している。

- ①システムを構成する各階層(上位より車両>パック>MD>セル)への信頼性目標の適正分配
- ②車両環境から要求されるストレスの信頼性目標への変換
- ③各種制御による適正範囲でのコントロールやフェールセーフによる安全側への傾倒

さらに、パックが制御外に投げ出された場合の安全性を担保すべく、各国法規、各種標準にて規定されている安全性要求も作りこんでいる。これらの信頼性要求を地道に作りこむことにより、重大不具合「0(ゼロ)」に貢献している。

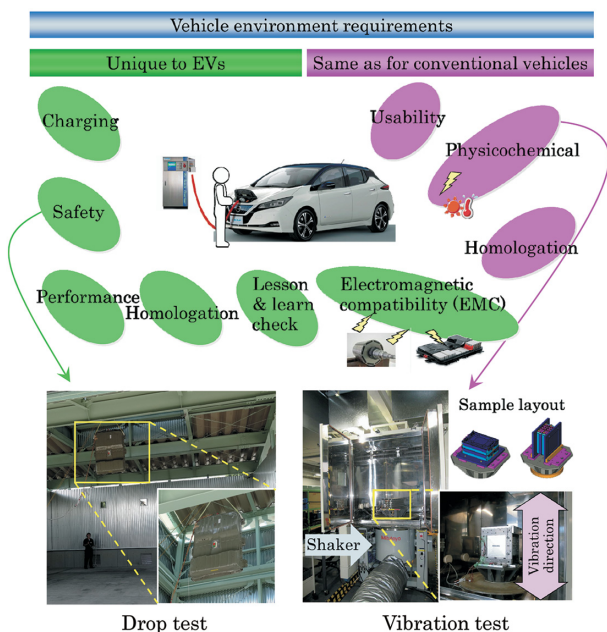


図-11 信頼性目標項目  
Fig. 11 Test items for reliability target

Capacity retention rates were estimated for the first-generation 24 kWh battery after five years and the new 40 kWh battery after eight years. The results in Fig. 10 show that an estimated increase of 10% in capacity retention can be expected for the new battery. As a result, the capacity warranty period of the new 40 kWh battery has been extended to eight years or 160,000 km from the date of new vehicle registration, compared with five years or 100,000 km for the first-generation 24 kWh battery. (The warranty covers parts for capacity up to nine bars on the battery capacity gauge in the event that the gauge falls below nine bars.)

4. Battery Reliability Design

Targets for battery reliability are set based on the market environment and the ways in which customers drive their vehicles. Battery reliability is assured by equipping vehicles with batteries showing test results that satisfy the reliability targets (Fig. 11). This is achieved by assuring the durability of the battery pack as noted in items (1) and (2) below and pack protection as noted in item (3).

- (1) Optimal allocation of reliability targets to each level making up the system (from the highest level: vehicle → pack → module → cell)
- (2) Conversion of stress required by the vehicle environment to reliability targets
- (3) Commitment on the safe side through control and failsafe measures in the optimal range of each type of control

Moreover, in order to assure safety in the event the pack is rendered out of control, safety requirements are also built in as prescribed by the laws, regulations and standards of the countries where the vehicle is used. The steadfast efforts made to build in these safety requirements contribute to achieving a record of zero serious problems.

5. Conclusion

This article has described the important cell design, module/pack design, reliability design and battery

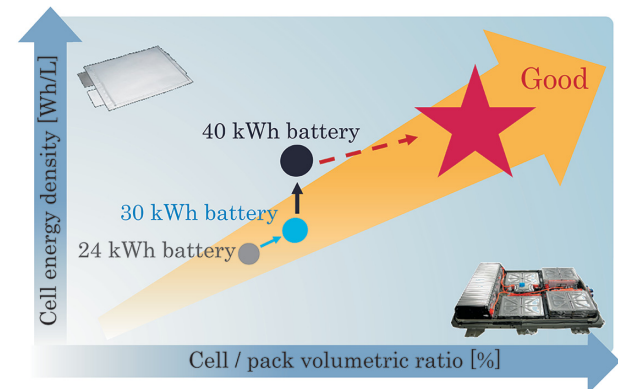


図-12 バッテリー高エネルギー密度化のロードマップ  
Fig. 12 Battery road map for high energy density

## 5. ま と め

今回、大容量40kWhのリチウムイオンバッテリー開発において重要なセル設計、モジュール/パック設計、信頼性設計、およびバッテリー特性の紹介を行った。航続距離の延長、入出力特性の向上、そして耐久性能の向上など、新型日産リーフの商品性向上に大きく貢献している。

今後はEVの本格普及、魅力的な車両性能の提供に向けて、下記を軸とするバッテリーの高エネルギー密度化を進め、低コストで、性能と信頼性のバランスがとれたバッテリー開発を継続していく(図12)。

- ① 更なる正極・負極高容量材料の適用、電極物性と構成部材の最適化によるセルのエネルギー密度向上
- ② モジュール/パック構造の抜本的な見直しによるパック内のセル充填率向上

## 6. 謝 辞

最後に、今回の大容量40kWhリチウムイオンバッテリーの開発、製品化にあたり、サプライヤを含む社内外関係各部署の方々に、多大なご尽力を頂きました。

本書面を借りて厚く御礼の意を表します。

## 7. 参 考 文 献

- 1) 小川和也ほか：日産リーフに搭載した大容量リチウムイオンバッテリーの開発、日産技報、No. 69・70、pp. 41-45 (2012).
- 2) 田崎信一ほか：EV/HEV用高性能リチウムイオンバッテリーセルの開発、日産技報、No. 69・70、pp. 51-55 (2012).
- 3) AESC社ホームページ：http://www.eco-aesc-lb.com/ (参照日：2017年11月6日).
- 4) 渋谷彰弘：xEV時代の電動車システム技術とバッテリー進化への期待、第4回関西二次電池展、専門技術セミナーテキストBJ-2、pp. 1-21 (2017).

characteristics that were developed for the new high-capacity 40 kWh lithium-ion battery. The resultant extended driving range, improved input/output characteristics and enhanced durability, among other attributes, have contributed significantly to improving the product appeal of the new Nissan LEAF.

We intend to continue our efforts to achieve higher energy density through the measures noted below and further develop low-cost batteries with a good balance of performance and reliability (Fig. 12). Such batteries will help to promote the full-fledged penetration of EVs in the coming years and to provide attractive vehicle performance.

- (1) To enhance cell energy density by applying anode/cathode materials with even higher capacity and by optimizing the properties and material composition of the electrodes.
- (2) To improve the cell packing density in the battery pack by thoroughly reviewing the module/pack structures.

## 6. Acknowledgments

The authors would like to take this opportunity to thank everyone inside and outside the company, including the suppliers, for their invaluable cooperation with the development and commercialization of the new large-capacity 40 kWh lithium-ion battery.

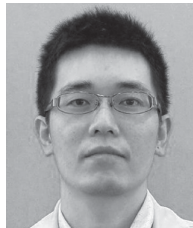
## 7. References

- 1) K.Ogawa et al.: Development of High Capacity Lithium-ion Battery for the Nissan LEAF, Nissan Technical Review 69/70, pp. 41-45 (2012).
- 2) S.Tasaki et al.: Development of High Performance Lithium-ion Battery Cells for EVs and HEVs, Nissan Technical Review 69/70, pp. 51-55 (2012).
- 3) AESC Corp.: http://www.eco-aesc-lb.com/ (as of November 6, 2017).
- 4) A. Shibuya: Electrified Vehicle System Technologies in the xEV Era and Expectations for Battery Evolution, Battery Osaka—4th International Rechargeable Battery Expo Osaka, Specialized Technology Seminar Text, BJ-2, pp. 1-21 (2017).

■ 著者 / Author(s) ■



田崎 信一  
Shinichi Tasaki



高松 俊文  
Toshifumi Takamatsu



萩山 康介  
Kousuke Hagiyama



坂本 涼  
Ryo Sakamoto



岩下 健児  
Kenji Iwashita



東野 龍也  
Tatsuya Higashino



小比賀 基治  
Motoharu Obika

## 急速充電の現状と今後の発展

## The Latest Status and the Outlook of Quick Charging

吉崎 和也\*  
Kazuya Yoshizaki上 島 宇 貴\*  
Utaka Kamishima

**抄 録** 電気自動車（EV）の普及には充電インフラの拡充が不可欠であり、日産自動車はEVの市場投入に合わせて充電インフラの拡充を推進してきた。急速充電設備はEVの主要課題の一つである充電時間の長さを解決する方策として大変重要であり、日産自動車はCHAdeMO協会を通じてその普及を進めている。本稿では代表的な充電器規格であるCHAdeMOをはじめ、欧州CCS や中国GB/Tなども交えた規格の国際標準化の動向や最新技術について述べる。

**Summary** In order to popularize electric vehicles that achieve zero-emissions during operation, Nissan is pushing the expansion of charging infrastructure. Quick charging equipment is very important as a means to solve the long charging time that is one of the key issues of electric vehicles. Nissan is promoting the expansion of quick charger installations through the CHAdeMO Association. This article describes the latest technologies and trends of international standards such as CHAdeMO, the Combined Charging System and GB/T.

**Key words** : Regulation, standard, electric vehicle (EV), quick charger

## 1. はじめに

電気自動車（EV）の普及には充電インフラの拡充が不可欠であり、日産自動車はEVの市場投入に合わせて充電インフラの拡充を推進してきた。EVは家庭用電源から充電することができるため、ICE（内燃機関）車のようなガソリンスタンドでの燃料補給が不要であり、ランニングコストの点でも有利である。ただし、長距離を移動するときや急いでバッテリーを充電したいシーンでは、短時間に走行距離を延長できる急速充電が必要である。こうした背景から、ショッピングモールやコンビニエンスストア、高速道路のサービスエリア、道の駅など、公共の場への急速充電器の普及が進んでいる。また、リチウムイオンバッテリーの技術革新に伴いEVの航続距離のさらなる伸長を目的とした大容量化が進んでおり、急速充電の充電時間を従来並みで実現するには大電力の充電が必要となる。そのため、昨今では急速充電器の大電流化・高電圧化の検討が各充電規格で進められている。

本稿ではCHAdeMO方式による急速充電器を中心に、CCS（Combined Charging System）やGB/Tなど他の方式も含めた技術動向および規格標準化動向について述べる。

## 1. Introduction

Expanding the charging infrastructure is absolutely necessary for supporting the penetration of electric vehicles (EVs). Nissan has been promoting the implementation of charging stations in conjunction with the market release of the company's EVs. Because EV batteries can be charged from the home power supply, fuel replenishment at service stations like that for internal combustion engine (ICE) vehicles is not necessary. EVs also have an advantage with respect to operating costs.

However, for traveling long distances or in situations where it is desired to charge the battery quickly, quick charging for extending the driving range in a short period of time is necessary. For that reason, quick chargers are being installed at public locations such as shopping malls, convenience stores, expressway service areas/parking areas and roadside stations along highways, among other places. In addition, accompanying technological innovations in lithium-ion batteries, the battery capacity is being increased for further extending the driving range of EVs. To make the charging time with quick chargers equal to that of the refueling time of conventional vehicles, high current charging is necessary. Toward that end, charging standards have been studied in recent years for increasing the current and voltage of quick chargers.

This article describes the technological and

\*EV・HEVシステム開発部 / EV and HEV System Engineering Department

## 2. 急速充電の方式と普及状況

急速充電の標準規格は、日本発のCHAdeMO規格、欧州発のCCS規格、中国発のGB/T規格の三つに分類される。CHAdeMO規格は、2010年に設立されたCHAdeMO協議会から発行されており、安全性・互換性の高い急速充電器仕様の規格標準化が行われている。現在、CHAdeMO規格に準拠した急速充電器は国内で7,000基以上、世界で16,000基以上が設置され、さらに増加している(図1参照)。充電器認証制度も構築されており、第三者機関による認証試験が可能となっている。

## 3. 急速充電器の技術動向

EVの新しい価値の提案として、EVの電力を家庭の屋内配線や備え付けのコンセントなどに供給することを可能とするVehicle to X (V2X)がある。日本のCHAdeMO協議会は2012年にこれを規格化した。また、CHAdeMO協議会から発行される標準仕様書は安全性・互換性・信頼性のさらなる向上を目的に順次改訂が行われており、近年ではダイナミックコントロールやハイカレントコントロール、マルチアウトレットといった新機能の追加が行われている。

### 3.1 V2X

V2XとはV2H (Vehicle to Home) やV2G (Vehicle to Grid) など、EVから他の電気システムへのエネルギーの供給を可能とする概念である。日本国内では2012年から一般家庭向けV2Hシステムが商品化され、数千台規模で導入されている。これは電力消費をピークシフトすることによるユーザへの経済的メリットを与え、停電時の非常用電源として利用することも可能とする。さらに各地に分散し

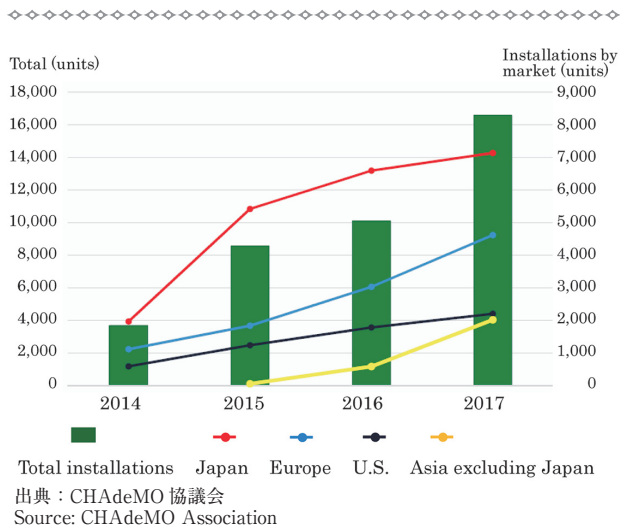


図-1 CHAdeMO 急速充電器の設置台数の推移  
Fig. 1 Increase in installations of CHAdeMO quick chargers

standardization trends mainly for quick chargers using the CHAdeMO system as well as for other systems such as the Combined Charging System (CCS) and the GB/T system.

## 2. Quick Charging Systems and Penetration Status

Quick charging standards can be classified into three main types: the CHAdeMO standard originated in Japan, the CCS standard originated in Europe and the GB/T standard originated in China. The CHAdeMO standard was issued by the CHAdeMO Association established in 2010. This association has been standardizing for quick charger specifications with high safety and compatibility. At present, over 7,000 quick chargers complying with the CHAdeMO standard have been installed in Japan and more than 16,000 have been installed worldwide. These numbers are continuing to increase (Fig. 1). A charger certification system has also been established, enabling third-party institutions to conduct certification tests.

## 3. Technological Trends for Quick Chargers

The Vehicle-to-X (V2X) standard was established in 2012, making it possible to supply electric power from EVs to home electric wiring or installed outlets, thus proposing new value for EVs. The standards documents issued by the CHAdeMO Association have been revised in turn for the purpose of further improving the safety, compatibility and reliability of quick chargers. New functions added in recent years include dynamic control, high current control and multi-outlets.

### 3.1 V2X protocol

V2X refers to a concept that allows the provision of electric energy from EVs to other electrical systems, such as Vehicle to Home (V2H) and Vehicle to Grid (V2G) applications. V2H systems for general home use began to be commercialized in Japan in 2012, and several thousand units have been installed for general home use. These units have economic benefits for users by shifting electric power consumption away from the peak period. They can also be utilized as an emergency power source during power outages. In addition, use as a virtual power plant (VPP) is also expected and verification trials have been started in various countries in addition to Japan. In this case, the Internet of Things (IoT) technology is used to link together energy sources dispersed geographically to form a single power plant that functions as a VPP.

### 3.2 Dynamic control

Dynamic control refers to a function for dynamically varying the maximum output of a quick charger during charging. On holidays and other occasions, waiting lines form for charging EV batteries with quick chargers that are used by many people at service areas/parking areas along expressways, among other places. This function enables the output of a quick charger equipped with multiple charging connectors to be suitably distributed according to the charge acceptance capacity of the EV



ているエネルギーリソースを、IoT (Internet of Things) を活用して統合し一つの発電所のように機能させる、いわゆる Virtual Power Plant (VPP) としても期待されており、日本のみならず各国で実証実験が始まっている。

### 3.2 ダイナミックコントロール

ダイナミックコントロールとは、充電中に急速充電器の最大出力を動的に変更できる機能である。高速道路のサービスエリアなど利用者が多い急速充電器では、充電待ちが発生することがある。そこで1台の急速充電器で複数の充電コネクタを備えることで、1台のEVを充電するときには最大出力で充電し、複数台のEVを充電するときにはEVの充電量に応じて適切な出力配分を行うことで、充電待ちを低減する(図2参照)。

### 3.3 ハイカレントコントロール

ハイカレントコントロールは、充電時間の短縮やEVに搭載されるバッテリーの容量増加に対応するため、充電電流を最大400Aにまで拡張することを可能とする。充電電流の増加によるコネクタ付ケーブルでの発熱増を抑えるためにはケーブルの導体径を太くする必要はあるが、ケーブルの重量の増加や、取り回しが悪くなるといった影響があり、ユーザの利便性を損なうことになる。それを回避するため、コネクタ付ケーブル内の導線を冷却することで、従来と導体径を変えずに大電流を流す仕様を規格化した。また、コネクタ付ケーブルに温度監視機能を設け、過度な温度上昇が起こらない範囲で充電することで、一時的に大電流を流す短時間定格電流を用いた運用も可能とした(図3参照)。一方、コネクタ付ケーブル内に冷却用ホースを搭載することについては、レイアウト上の制限や、冷却効率の改善、コネクタの落下やケーブルの踏みつけなどに対する耐久性をどのように確保するかという課題があり、今後の技術向上が求められる。

### 3.4 マルチアウトレット

複数のコネクタを持つマルチアウトレットは、前述のダイナミックコントロールと組み合わせた使い方や、異なる充電方式(例えば、CHAdeMOとCCSなど)のコネクタを持つことにより、充電できる対応車種を増やすことが可能となる。

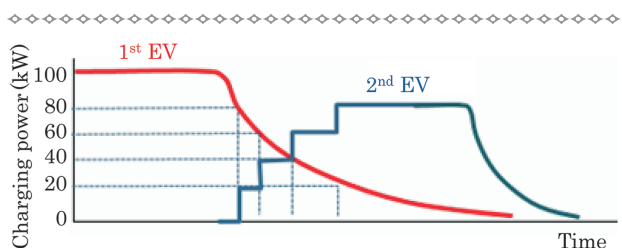


図-2 ダイナミックコントロールの適用事例  
Fig. 2 Example of the use of dynamic control

batteries to be charged. A single EV can be charged using the maximum output, and multiple EVs can be charged by distributing the output accordingly, thereby reducing the waiting time for charging (Fig. 2).

### 3.3 High current control

High current control makes it possible to raise the charging current to a maximum of 400 A so as to reduce the charging time or to cope with the increased capacity of batteries installed on EVs. Because raising the charging current causes the connectors and cables to generate more heat, it is necessary to increase the diameter of the cable conductor for suppressing heat generation. This has various undesirable effects such as increasing the cable weight and worsening handling ease, which impair user convenience. To avoid such effects, a specification has been standardized for cooling the conductor inside cables, thereby enabling the flow of high current without changing the diameter from the conventional conductor.

In addition, a temperature monitoring function has been applied to connectors and cables so that charging is performed within a range where the temperature does not rise excessively. This has also made it possible to operate quick chargers using a short-term rated current that passes a high current temporarily (Fig. 3). On the other hand, the provision of a cooling hose in connectors and cables is limited by the layout. There are also other issues such as how to improve cooling efficiency and how to ensure connector durability against dropping and cable durability if stepped on. Technologies must be improved to deal with such issues.

### 3.4 Multi-outlets

The use of a multi-outlet with multiple connectors can increase the types of vehicle models that can be charged by combining it with dynamic control described above or by using a charger equipped with connectors for different charging systems like CHAdeMO and CCS.

In addition, the use of higher charging voltage is being considered as a new specification to be included in the next standard revision. It is possible that the existing charging voltage limit of 500 V may be extended to 1000 V. Charging infrastructure is being prepared in connection with the increase in the onboard battery capacity. However, voltage above 750 V is classified as high voltage in Japan, so efforts are needed to address installation and operational

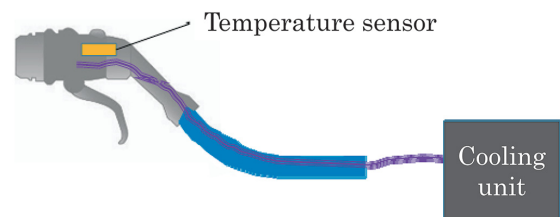


図-3 コネクタ付ケーブルの冷却と温度監視の基本構成  
Fig. 3 Basic configuration for cooling and monitoring the temperature of cables and connectors

その他、次期改訂に向けた新仕様として、高電圧化が検討されている。従来500Vに制限されていた充電電圧上限を1000Vまで拡張することで、車載バッテリー容量の増加に向けた充電インフラの準備を進めているが、日本においては750Vを超える電圧は高電圧として分類されるため、関連法規・規格への対応を含めた設置・運用面での課題に対する取り組みが求められる。

#### 4. 急速充電規格の国際標準化

日本だけでなく世界でも同一規格での充電が行えるようにするため、CHAdeMOの国際規格標準化を進めている(表1参照)。IEC(International Electrotechnical Commission)規格には既にCHAdeMO規格が採用されており、充電器の仕様はIEC61851-23に、コネクタの仕様はIEC62196-3に記載されている。また、ケーブルの仕様もIEC62893-4の規格化に向けて審議が行われている。

充電システム規格IEC61851-23では電動車両用DC充電器の共通要件が記載されている他、CHAdeMO方式が附属書AAに、GB/T方式が附属書BBに、CCS方式が附属書CCにそれぞれ規定されており、2014年に第1版が発行された。現在第2版に向けた改訂審議が行われているが、第1版からの追加要件として充電器の大電流化・高電圧化が議論されており、各システムで充電電力の拡大に向けた準備が進められている。その他にも、1台の充電器に複数の充電コネクタを持つマルチアウトレット仕様や、充電だけでなくEVの電力を家庭配線や備え付けのコンセントなどに供給することを可能とするV2X仕様についても、追加検討が行われている。

#### 5. 乗用車以外へのCHAdeMO技術の拡大

近年、電動化の波は乗用車だけでなく、バスやトラックといった大型車および二輪車にも押し寄せており、さらにパンタグラフや無線など充電方式も多様化してきている

表-1 急速充電器関連のIEC規格と発行状況  
Table 1 IEC standards for quick chargers and issue status

規格対象 Standard scope	IEC規格番号 IEC standard No.	発行状況 Issue status
充電システム Charging system	61851-23	第1版(第2版に向けた改訂審議中)
	61851-24	Ed.1 (revision discussions under way for Ed. 2)
充電コネクタ Charging connector	62196-3 (通常) (normal)	第1版 Ed.1
	62196-3-1 (冷却含む) (with cooling)	第1版審議中 Ed. 1 being discussed
充電ケーブル Charging cable	62893-4-1 (通常) (normal)	
	62893-4-2 (冷却含む) (with cooling)	審議開始待ち Start of discussions pending

issues, including revising the related laws, regulations and standards.

#### 4. Creation of International Quick Charging Standards

Work is under way globally to establish international standards to enable charging under the same standards worldwide, not only in Japan (Table 1). The CHAdeMO standard has also been adopted in the International Electrochemical Commission (IEC) standards. Charging system specifications are specified in IEC 61851-23 and connector specifications in IEC 62196-3. In addition, discussions are under way to incorporate a cable standard in the IEC 62893-4 standard.

The IEC 61851-23 charger standard document lists common requirements for the DC chargers used for EVs. In addition, the CHAdeMO system is specified in Annex AA, the GB/T system in Annex BB and the CCS system in Annex CC. Edition 1 was issued in 2014. Revision discussions are now under way for the creation of Ed. 2. Discussions on increasing the current and voltage of chargers are proceeding as requirements to be added to Ed. 1. Preparations are being made to expand the charging power of each system. Studies are also being carried out for adding a multi-outlet specification for chargers equipped with multiple connectors and a V2X specification for enabling EVs to provide electric power to home electric wiring and outlets, in addition to charging.

#### 5. Expansion of CHAdeMO Technology beyond Passenger Vehicles

The trend toward electrification in recent years has not been limited to passenger vehicles, but also includes large vehicles like buses and trucks as well as motorcycles. In addition, charging systems are also being diversified to include pantograph and wireless charging (Fig. 4). In order to expand the benefits of standardization to cover a wider range of electrified vehicles, the CHAdeMO Association



出典：株式会社ハセテック ホームページ  
Source: HASETEC Corporation

図-4 パンタグラフ式充電EVバス(CHAdeMO通信プロトコルを適用、NEDO事業の一環)  
Fig. 4 Electric bus with charging pantograph (adopts CHAdeMO communication protocol, part of NEDO demonstration project)

(図4参照)。これらの電動車両を幅広くカバーして標準規格のメリットを拡大するため、CHAdeMO協議会では従来のCHAdeMOのコア技術を継承しつつ、多彩な充電方式に対応した仕様書を新たに策定中である。

## 6. おわりに

日産自動車はEVを普及するにあたって、急速充電器の標準化と拡充を積極的に推進してきた。今後さらにEVの航続距離の大幅な拡大が予想されており、急速充電器の進化も不可欠である。一方で、これまでにない高出力化は大電流・高電圧を扱うことになるため、関連法規や規格の整備と、設置・運用の課題解決がますます重要になってきており、さらなる急速充電器の拡充の推進のためにも、EVリーダシップを目標に掲げる日産自動車への期待は、車両のみならずインフラや規格化活動などに対してより一層大きくなるであろう。

## 7. 参考文献

- 1) CHAdeMO協議会ホームページ：<http://www.chademo.com/wp2016/pdf/japan/infra29/CHAdeMO171006.pdf> (参照日：2018年1月15日)。

is currently preparing a specification for accommodating various types of charging systems, while inheriting the core technologies of CHAdeMO.

## 6. Conclusion

Nissan has vigorously promoted efforts to standardize quick chargers and to expand their use with the aim of supporting the penetration of EVs. Further evolution of quick chargers in the future is also necessary in view of the expected extension of the driving range of EVs. At the same time, increasing the charger output to unprecedented levels will involve the use of high current and high voltage. In this regard, it will be increasingly important to resolve various installation and operational issues and to establish the related laws, regulations and standards. As Nissan targets to be an EV leader, more will be expected of the company not only regarding vehicles, but also for infrastructure implementation and standardization activities in order to promote the further expansion of quick chargers.

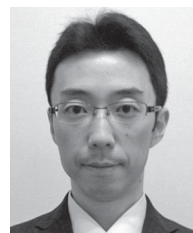
## 7. References

- 1) CHAdeMO Association homepage: <http://www.chademo.com/wp2016/pdf/japan/infra29/CHAdeMO171006.pdf> (as of January 15, 2018).

### ■著者 / Author(s) ■



吉崎和也  
Kazuya Yoshizaki



上島宇貴  
Utaka Kamishima

## 世界初可変圧縮比エンジン 新型KR20DDET “VCターボ” の開発

Development of the New KR20DDET VC-Turbo Engine with World's First Variable Compression Ratio Technology

松岡 一哉\*  
Kazuya Matsuoka木賀 新一\*  
Shinichi Kiga小島 周二\*  
Shuji Kojima茂木 克也\*\*  
Katsuya Moteki高橋 英二\*\*\*  
Eiji Takahashi

**抄 録** 世界初の量産型可変圧縮比機構を搭載した4気筒 2.0LのKR20DDETエンジン“VCターボ”を開発した。本エンジンは圧縮比を14:1から8:1まで連続的に制御することで、圧倒的な動力性能と高い環境性能を同時に達成している。本稿では、VCターボエンジンの可変圧縮比機構のメカニズム、および組み合わせる主要な技術について紹介をする。

**Summary** A new four-cylinder, 2.0-liter gasoline turbo engine was developed with the world's first mass-producible variable compression turbo (VC-Turbo) technology using a variable compression ratio (VCR) mechanism. This technology uses a multi-link mechanism to change the top and bottom dead center positions, thereby allowing the compression ratio to be continuously changed. The VC-Turbo engine can vary the compression ratio from 14:1 for obtaining high thermal efficiency to 8:1 for delivering high torque by taking advantage of the strong synergy with turbocharging. This article presents an overview of the VC-Turbo engine and describes in detail the working principle, purpose and characteristics of the VCR mechanism. It also explains key performance technologies which generate synergies with VCR for acceleration performance, fuel efficiency and NVH.

**Key words :** Power Unit, gasoline engine, variable compression ratio, turbocharger, downsizing, dynamic performance, thermal efficiency, Atkinson cycle

## 1. はじめに

自動車を持続可能な社会の一員として今後も存在し続けていくためには、環境負荷低減の取り組みは避けられない。そのため、各社ともパワートレインの電動化シフトが盛んに進んでいる中、日産自動車は日産リーフに始まる電動化のリーディングカンパニーであり、引き続き最重要戦略として電動化に取り組んでいる。しかしながら、電気自動車や燃料電池自動車などの内燃機関を持たない電動車両が世界で普及するには、インフラ面などの克服すべき課題が残されているのも事実であり、内燃機関を持つ車両はしばらくこの先も主流であり続けると考える。したがって、内燃機関の熱効率向上は不可欠である。

日産は直噴化や可変動弁技術、ダウンサイジング過給技術など、走ることの楽しさ・喜びを損なうことなく、内燃機関の効率改善、環境負荷低減に継続的に取り組んできた。今回紹介するKR20DDETエンジン“Variable Compression Turbo（以下、VCターボ）”は、可変圧縮

## 1. Introduction

Activities to reduce the environmental impact of vehicle are imperative if vehicles are to continue to exist as viable elements of the sustainable society. Toward that end, vehicle manufacturers are vigorously advancing a shift toward powertrain electrification. Nissan has been a leading company in promoting electrification beginning with the Nissan LEAF and is continuing to work hard on electrification as a top-priority strategy. However, at present there are various issues including infrastructure aspects that remain to be overcome in order to promote the global diffusion of electrified vehicles such as electric vehicles, fuel cell vehicles and other types without an internal combustion engine (ICE). Given this reality, it is presumed that ICE vehicles will continue to represent the mainstream for some time to come. Therefore, it is also necessary to improve the thermal efficiency of ICE vehicles.

Nissan has continued its vigorous efforts to improve the efficiency and reduce the environmental impact of ICEs without sacrificing the joy and pleasure of

\*パワートレインプロジェクト部 / Powertrain Project Department \*\*エンジン&トランスミッション技術開発部 / Engine and Transmission Engineering Department \*\*\*パワートレイン制御開発部 / Powertrain Control Engineering Department



VCターボエンジンの主要諸元を表1に示す。本エンジンはVCRによる効果を最大限に生かすために、電動VTC (Valve Timing Control)、電制ウェストゲートバルブ搭載ワイドレンジターボチャージャ、直噴+ポート噴射併用システム、可変容量オイルポンプなど、様々な技術を搭載している (図3)。

### 3. 日産VCR機構

#### 3.1 マルチリンク式クランクシャフト回転機構の構成

本エンジンでは、従来のピストンクランク機構 (以下、従来機構) を日産独自のマルチリンク式クランクシャフト回転機構へ置き換えている。従来機構と同様に、ピストンとクランクシャフトは存在するが、従来のコネクティングロッドに代わり、図4に示すように、Uリンク (Upper link) とLリンク (Lower link) の2本のリンクにより直列に連係されている。また、Lリンクの片端にはCリンク (Control link) とコントロールシャフトがつながる。コントロールシャフトは偏心シャフトとなっており、Aリンク (Actuator link) を介してその回転姿勢を電動アクチュエータが制御する構成となる。直列多気筒エンジンの場合、ピストン、Uリンク、Lリンク、Cリンクは各気筒にそれぞれ設定されるが、クランクシャフトとコントロールシャフトは各気筒で共有している (図4、図5)。

#### 3.2 圧縮比可変作動原理

コントロールシャフトの回転姿勢がエンジンブロックに対して時計回りに変化し、その偏心軸、すなわちCリンクの揺動点が下方へ移動すると、Lリンクがクランクピンを中心に時計回りに回転してUリンクとLリンクの上死点での挟角が大きくなり、Uリンクとピストンが上方へ移動し

表-1 VCターボエンジン主要諸元  
Table 1 VC-Turbo engine specifications

Engine type	Inline 4 DOHC 16V
Compression ratio	8:1・14:1
Bore [mm]	84.0
Stroke [mm]	90.1 (CR 8:1) 88.9 (CR 14:1)
Displacement [cc]	1,997 (CR 8:1) 1,970 (CR 14:1)
Intake	Turbocharged with air cooled
Fuel system	Direct and port fuel injection
Valve timing control	Int.: Electric valve timing control Exh.: Hydraulic valve timing control
Max. power [kW]	200
Max. torque [Nm]	390
Emission level	LEV III・ULEV70

CR: compression ratio

The combination of a turbocharged engine and VCR would be highly advantageous, resulting in the attainment of greater benefits. This thinking was the motivation for developing the VC-Turbo engine.

Table 1 lists the main specifications of the VC-Turbo engine. To maximize the benefits of VCR, the engine incorporates a host of advanced technologies, including electric valve timing control (VTC), a wide-range turbocharger with an electronically controlled wastegate, a direct and port fuel injection system, and a variable displacement oil pump, among others (Fig. 3).

### 3. Nissan VCR Mechanism

#### 3.1 Configuration of multi-link crankshaft rotation mechanism

In this VCR engine, Nissan's unique multi-link crankshaft rotation mechanism replaces the conventional piston-crank system (conventional system). Similar to the conventional system, this unique mechanism still has the piston and crankshaft, but they are connected in tandem by two links, namely, upper link (U-link) and lower link (L-link), instead of by a conventional connecting rod, as shown in Fig. 4. One end of the L-link is connected to control link (C-link) and control shaft. The rotational orientation of the eccentric control shaft is controlled by an electric actuator via actuator link (A-link). In the case of an inline multi-cylinder engine, each cylinder is provided with a piston, U-link, L-link and C-link, but the crankshaft and control shaft are shared in common by all the cylinders (Figs. 4 and 5).

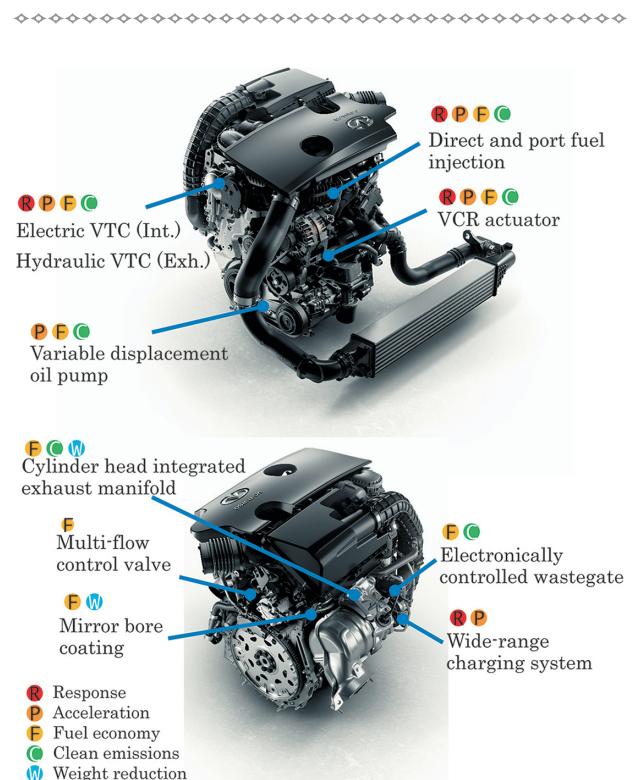


図-3 VCターボエンジンの主要搭載技術  
Fig. 3 Main technologies of VC-Turbo engine

て、エンジンの機械圧縮比を高めることができる。その逆に、コントロールシャフトの回転姿勢を反時計回りに変化させると、機械圧縮比を低下させることができる。直列多気筒エンジンの場合、コントロールシャフトは各気筒で共用されているため、1本のコントロールシャフトのシリンダブロックに対する回転姿勢の変更により、全気筒の機械圧縮比を同時に切り換えることができる（図5）。

### 3.3 圧縮比制御用アクチュエータ

図6に示すように、コントロールシャフトは、これまで述べてきたマルチリンク式クランクシャフト回転機構とは別に設定される圧縮比制御用アクチュエータにより、エンジンの運転条件に応じて、その回転姿勢を保持、変更される。圧縮比制御用アクチュエータは、電動モータに減速機を組み合わせた構成であり、オイルパンの側壁に外部から取り付けられる。圧縮比制御用アクチュエータはAリンクによりコントロールシャフトと関係され、ECU（Engine Control Unit）により制御された電動モータの動きを減速し、コントロールシャフトを制御する。減速機には、コンパクトなスペースに高減速比を収納でき、かつバックラッシュが極めて小さい、新設計のハーモニックドライブ®減速機を用いた。

### 3.4 特徴的なピストン行程

本マルチリンク式クランクシャフト回転機構には、従来機構にはない特徴がある。クランク回転に伴うピストンの

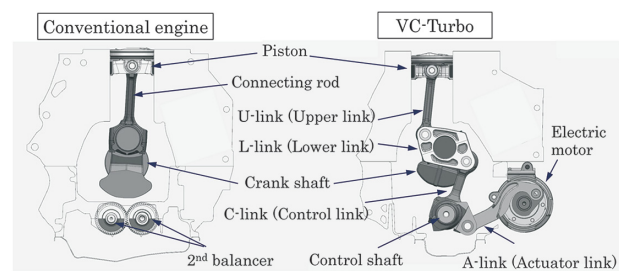


図-4 マルチリンク式クランクシャフト回転機構の構成  
Fig. 4 Multi-link crankshaft rotation mechanism

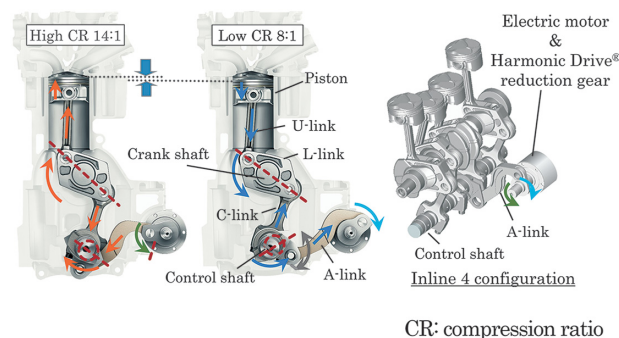


図-5 可変圧縮比の原理  
Fig. 5 Principle of varying compression ratio

### 3.2 Operating principle of VCR mechanism

The rotational orientation of the control shaft changes in the clockwise direction in relation to the engine block. When the eccentric control shaft, i.e., the swivel point of the C-link moves downward, the L-link turns in the clockwise direction around the crank pin. The included angle of the U-link and the L-link increases at top dead center and the U-link and the piston move upward, enabling the mechanical compression ratio of the engine to be raised. Conversely, when the rotational orientation of control shaft is changed in the counterclockwise direction, the mechanical compression ratio can be lowered. In the case of an inline multi-cylinder engine, one control shaft is shared by all the cylinders. Accordingly, the mechanical compression ratio in all the cylinders can be changed simultaneously by the change in the rotational orientation of the single control shaft relative to the engine block (Fig. 5).

### 3.3 Electric actuator for compression ratio control

The rotational orientation of the control shaft can be maintained or varied according to the engine operating conditions via an actuator for compression ratio control, as shown in Fig. 6. The actuator assembly combines an electric motor and a reduction gear and is provided separately from the multi-link crankshaft rotation mechanism described above. It is attached to the outer surface of the oil pan side wall. The compression ratio control actuator is connected to the control shaft via the A-link; it reduces the rotational motion of the electric motor, which is controlled by the engine control unit (ECU), and controls the rotation of the control shaft. A newly designed Harmonic Drive® reduction gear has been adopted that achieves a high reduction ratio in a compact space and also has very little backlash.

### 3.4 Distinctive piston stroke

The multi-link crankshaft rotation mechanism has features not found in a conventional piston-crank system. Compared with the conventional system, the piston stroke motion resembles simple sine wave, thereby enabling a substantial reduction of the second-order vertical excitation force that tends to be augmented in an inline 4-cylinder engine. In general, the piston motion in the conventional

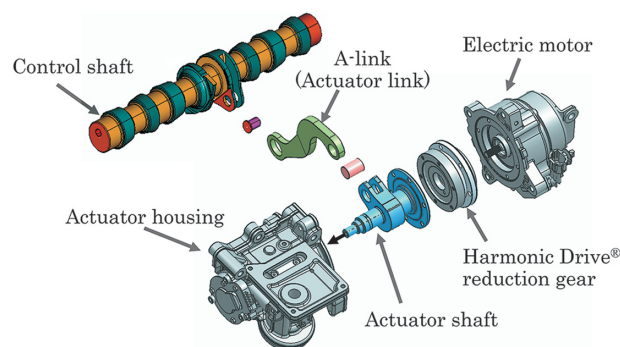


図-6 VCR 電動アクチュエータの構成  
Fig. 6 Configuration of VCR electric actuator

動きが従来機構に比べて単振動に近いいため、直列4気筒において強調されてしまう慣性2次の上下加振力が大幅に低減される。一般に、従来機構のピストンの動きは上死点付近で急峻である一方、下死点付近では緩慢であるため、その上死点と下死点でのピストン加速度の絶対値差によって慣性2次振動の原因となることが知られている。本マルチリンク式クランクシャフト回転機構では、その加速度の絶対値差が従来機構に比べて大幅に小さくできるため（当社同等ピストンストロークを有する従来機構比1/10程度）、従来機構の直列4気筒エンジンにおける車室内こもり音対策として用いられることが多い2次バランス機構が不要となる（図7）。

### 3.5 フリクション特性

本マルチリンク式クランクシャフト回転機構には、もう一つの特徴がある。従来機構のコネクティングロッドが傾斜していることにより発生するピストンへのサイドスラスト荷重が、本マルチリンク式クランク機構では大幅に軽減する。これによりピストンの側壁とシリンダボア間に発生するフリクションを大幅に低減している。軸受しゅう動部位が増えることによるフリクションの増大が、このサイドスラスト荷重低減効果で相殺されることになり、結果として、2次バランスがない従来機構と同等かそれ以下のフリクション特性を達成している（図8）。

## 4. VCターボエンジンの性能向上技術

### 4.1 燃費の改善

従来の固定圧縮比エンジンでは、熱効率のピークを求める高圧縮比化が進められているが、一方で高圧縮比ほど高負荷時にはノッキングによる点火時期の制限を受けやすくなるため、良燃費範囲が低負荷側に限られてしまう。このため、従来の固定圧縮比エンジンではエンジン設計時にこのトレードオフの妥協点を決めざるを得なかった。可変圧縮比エンジンはこのトレードオフを打破することが可

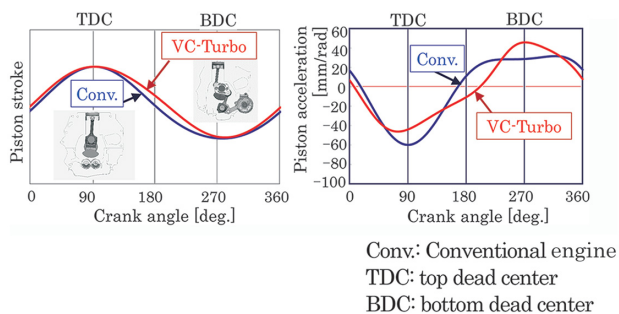


図-7 VCターボと前型エンジンのピストンモーション特性比較  
Fig. 7 Comparison of VC-Turbo and conventional piston motion

system is very fast near top dead center, whereas it is slow near bottom dead center. It is known that this absolute difference in piston acceleration between top and bottom dead center causes second-order inertial vibration. The multi-link crankshaft rotation mechanism markedly reduces this absolute difference in the piston's acceleration compared with that of the conventional system. (It is reduced to approximately one-tenth of that of a conventional Nissan system having an identical piston stroke length.) As a result, it eliminates the need for a second-order balancer system that is often used as a countermeasure against booming noise in the passenger compartment of vehicles equipped with an inline 4-cylinder engine having a conventional piston-crank system (Fig. 7).

### 3.5 Friction characteristic

The multi-link crankshaft rotation mechanism has still another unique feature. That is, the U-link positioned directly below the piston maintains nearly an upright orientation during the piston's downward stroke. This greatly reduces the side thrust force on the piston ordinarily induced by the tilting of a conventional connecting rod when combustion force pushes downward on the piston. As a result, friction between the piston side wall and the cylinder bore is significantly reduced. The effect of reducing friction caused by the side thrust force offsets the increase in friction due to the larger number of sliding surfaces of the bearings in the multi-link mechanism. As a result, it achieves a friction characteristic equal to or even lower than that of a conventional system without second-order balancer shafts.

## 4. Technologies for Improving VC-Turbo Engine Performance

### 4.1 Improvement of fuel economy

The compression ratio of conventional fixed compression ratio engines has been raised to attain peak thermal efficiency. However, as the compression ratio is increased, the ignition timing tends to be more limited by

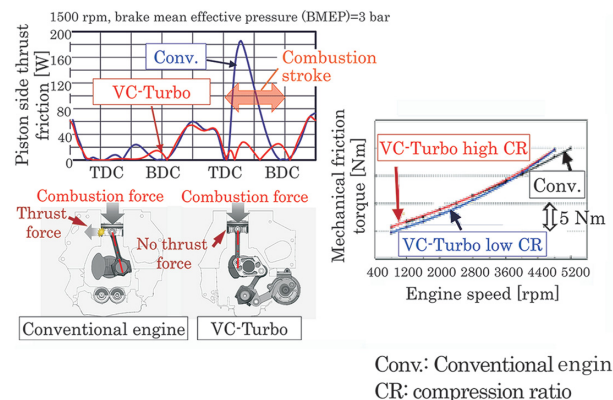


図-8 VCターボと前型エンジンのピストンサイドスラスト荷重比較  
Fig. 8 Comparison of VC-Turbo and conventional piston side thrust friction



能であり、非過給領域では高圧縮比設定として高圧縮比NAエンジン相当にピーク効率を高めつつ、高負荷の過給域にかけて徐々に圧縮比を下げていることでピーク効率を求め、かつ過給域まで含む広大な良燃費領域を得ることができた(図9)。

#### 4.1.1 圧縮比の設定

ここでは、実際の圧縮比マップの設定事例とその考え方を紹介する。圧縮比マップは、解析と実機検証を元に、主に以下領域に着目点を置いて設定した(図10)。

- 低速かつ低負荷となる、一般的な走行において使用頻度が高い領域は、最良熱効率を得られるように高圧縮比側を設定
- 非過給から過給への遷移領域は、非過給時トルクが最大限確保可能となる圧縮比を選定
- 高負荷領域は、過給下における最良熱効率を得られるように低圧縮比側を設定
- 高速かつ低中負荷領域は、ドライバがこの領域を使う意図を考慮し、ターボラグとトルクレスポンスに優れた中～低圧縮比に設定

#### 4.1.2 電動VTCの採用

本エンジンの低負荷領域では、VCRの採用で使えるようになった機械圧縮比14を最大限活用するべく、ハイブリッド車用エンジンに多く見られるアトキンソンサイクルを狙い、下死点後110度のクランク角度のIVC(Intake Valve Closing)遅角バルブタイミング設定とし、ポンピングロス低減と高膨張による熱効率改善を行っている。このために従来よりもバルブタイミングの変換範囲は大きくなる。また、車両を加速させる際には、このIVC遅角バルブタイミングから高負荷領域のバルブタイミングへの応答速度がトルクレスポンスに直結することになる。そこで、従来の油圧式に比べて応答速度の速い電動VTC(e-iVTC)を採用し、IVC最遅角状態からであっても十分なトルクレ

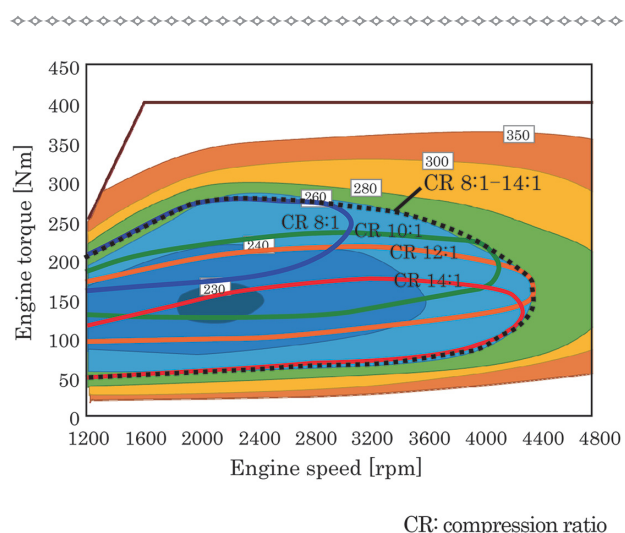


図-9 正味燃料消費率  
Fig. 9 Brake specific fuel consumption (BSFC)

the occurrence of knock during high load operation, thus restricting the region of good fuel economy to the low load side. For this reason, it has been necessary to determine an acceptable compromise point for this trade-off when designing conventional fixed compression ratio engines. With VCR engines, this trade-off can be overcome by setting a high compression ratio in the non-turbocharged region to obtain higher peak efficiency equivalent to that of a high compression ratio NA engine; the compression ratio is gradually lowered in the high load turbocharged region to obtain peak efficiency. This achieves good fuel economy over a wide operating range that includes the turbocharged region (Fig. 9).

#### 4.1.1 Setting of compression ratio

This section presents an example of an actual compression ratio map defined for the VC-Turbo engine and the thinking behind it. The compression ratio map shown in Fig. 10 was defined with primary emphasis on the following operating regions based on the results of a simulation and experimental validation.

- The compression ratio is set on the high side in the operating region frequently used in ordinary driving at low speed and low load so as to obtain the best thermal efficiency.
- In the region of a transition from non-turbocharging to turbocharging, the compression ratio is selected so as to maintain the maximum attainable torque of non-turbocharged operation.
- The compression ratio is set on the low side in the high load region so as to obtain the best thermal efficiency during turbocharging.
- In the region of high speed and medium to low load, a medium to low compression ratio is set that is optimal for turbo lag and torque response, considering the driver's intention to use this operating region.

#### 4.1.2 Adoption of electric VTC system

The adoption of VCR technology enables the use of a mechanical compression ratio of 14:1 in the low load regional of the VC-Turbo engine. To maximize the effect of this compression ratio, the intake valve closing (IVC) timing is retarded to a crank angle of 110° after bottom dead center with the aim of using the Atkinson cycle as is

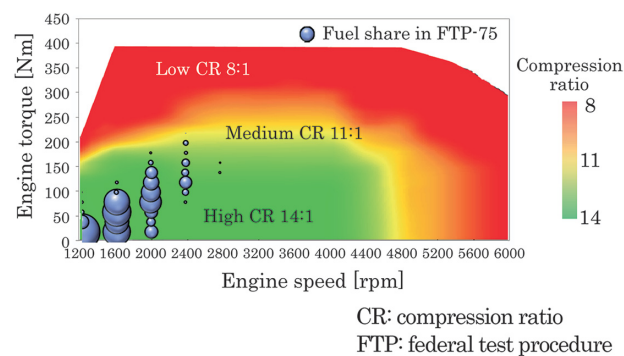


図-10 圧縮比設定マップと使用領域  
Fig. 10 Compression ratio map



レベルを達成し（図14）、最大出力と発進レスポンスを両立させ、高速道路の進入時や追い越しシーンでストレスなく1ランク上の余裕の走りを実現させることができた。

### 5. VCターボ達成性能

新型VCターボエンジンは、VCRと上記で述べた主要技術によって、図15に示す出力特性を達成する。また本エンジンを搭載する新型INFINITI QX50の車両燃費性能および動力性能の両方においてベンチマークレベルを達成することができた（図16）。

### 6. ま と め

以上のように、新型VCターボエンジンは世界初の量産型VCR機構と様々な技術との組み合わせにより、ダウンサイズターボエンジンの動力性能を向上させつつも、燃費性能を飛躍的に向上させることができた。本エンジンが自動車の持つ、走ることの楽しさ・喜びを損なうことなく、

i.e., the ratio of the impeller inlet diameter to its outlet diameter, which is the factor that determines the compressor efficiency characteristic. Additionally, the shape of the housing was aerodynamically optimized. As a result, a wide-range compressor was achieved that improves the corrected mass flow rate per unit width by approximately 20% from the surge line to 65% adiabatic efficiency at a compressor pressure ratio  $\pi_c = 2.0$  in comparison with the compressor efficiency map for an existing 2.0L class turbo engine model A (Fig. 13).

Design optimization of the turbine and compressor characteristics achieved the benchmark level defined for the output vs. intercept point (Fig. 14). The maximum engine output and acceleration response thus obtained provide a performance one level higher for stress-free driving in expressway entry and passing situations.

### 5. Performance Achieved by VC-Turbo Engine

The new VC-Turbo engine achieves the power and torque characteristics shown in Fig. 15, thanks to the VCR system and the principal technologies described above. In addition, the new INFINITI QX50 mounted with the

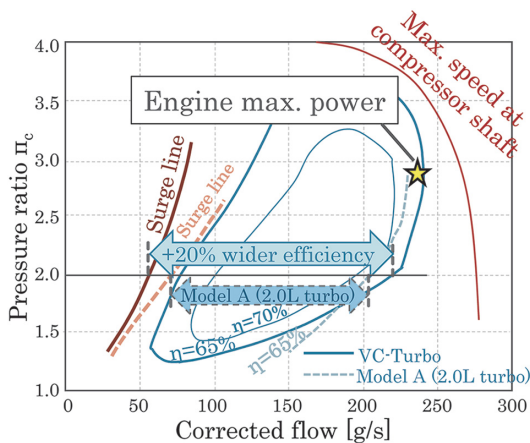


図-13 VCターボと前型エンジンのコンプレッサ効率比較  
Fig. 13 Comparison of VC-Turbo and conventional compressor efficiency

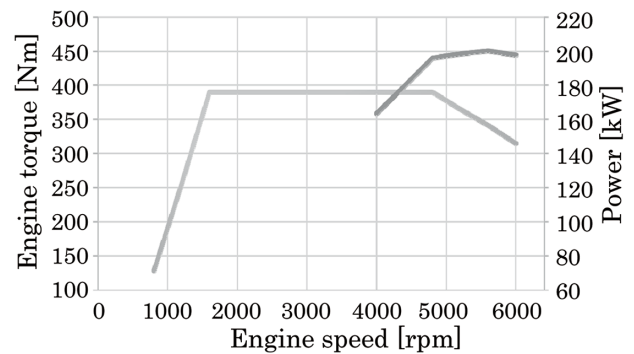


図-15 VCターボエンジン性能曲線  
Fig. 15 VC-Turbo engine torque curve

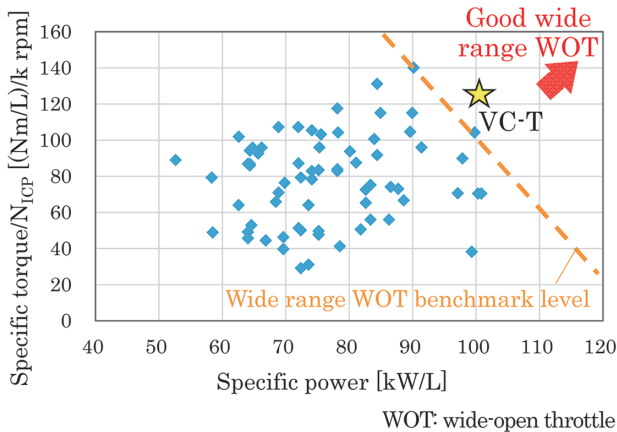


図-14 出力に対するインターセプト回転数の分布  
Fig. 14 Distribution of power and intercept point

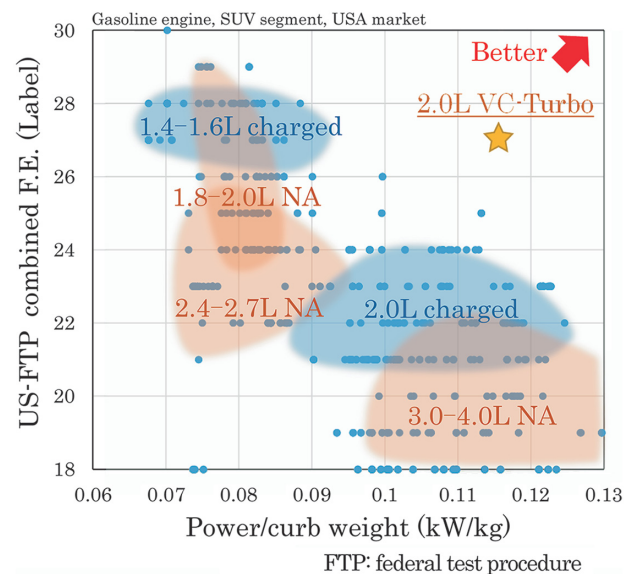


図-16 車両燃費性能と動力性能  
Fig. 16 Outstanding power and fuel economy

環境負荷低減の一翼を担い、持続可能な社会へ貢献することと確信している。

最後に、着想から20年以上に及ぶVCRの研究開発、および本エンジンの製品化に、多大なる御協力、貢献を頂いた社内外の関係者の皆様に、深く感謝を申し上げます。

## 7. 参考文献

- 1) S. Kiga et al.: The World's First Production Variable Compression Ratio Engine – The New VC-T (Variable Compression Turbo) Engine –, Proc. of 38th International Vienna Motor Symposium (2017).
- 2) S. Kiga et al.: Features of the World's First Multi-Link Variable Compression Ratio System and its Actuator in New Nissan VC-Turbo Engine, Proc. of 26th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2017).

VC-Turbo engine attains the benchmark levels set for both vehicle fuel economy and power performance (Fig. 16).

## 6. Conclusion

As described here, the new VC-Turbo engine combines the world's first mass-produced VCR mechanism and a host of advanced technologies to dramatically improve fuel economy while also enhancing the power performance of a downsized turbo engine. We are confident that this engine can contribute to the sustainable society by playing an important role in reducing the environmental impact, without sacrificing the pleasure and joy inherent in driving a vehicle.

Finally, the authors would like to thank everyone involved inside and outside the company for their invaluable cooperation with research and development of the VCR system extending over 20 years from its conceptualization and with the commercialization of the VC-Turbo engine.

## 7. References

- 1) S. Kiga et al.: The World's First Production Variable Compression Ratio Engine – The New VC-T (Variable Compression Turbo) Engine –, Proc. of 38th International Vienna Motor Symposium (2017).
- 2) S. Kiga et al.: Features of the World's First Multi-Link Variable Compression Ratio System and its Actuator in New Nissan VC-Turbo Engine, Proc. of 26th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology (2017).

### ■ 著者 / Author(s) ■



松岡 一哉  
Kazuya Matsuoka



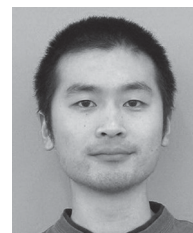
木賀 新一  
Shinichi Kiga



小島 周二  
Shuji Kojima



茂木 克也  
Katsuya Moteki



高橋 英二  
Eiji Takahashi

# 新型日産リーフ商品概要

## Product Overview of the New Nissan LEAF

福田 真人\*  
Makoto Fukuda

**抄 録** 新型日産リーフは、100%電気自動車（EV）をより主流のモビリティへと推し進め、日産のEVリーダーシップを確実なものとするためのクルマとして開発された。そして、自動車市場がEVシフトを加速する中、2017年9月にニッサンインテリジェントモビリティの象徴として、日本から全世界に向けて発表された。本稿では、その新型日産リーフの商品概要を紹介する。

**Summary** The new Nissan LEAF was developed as a model to bring electric vehicles (EVs) into mainstream mobility and to make Nissan's EV leadership well-founded. It was unveiled at its world premiere in Japan in September 2017 amid the rapid shift to EVs in the automotive market. This article presents a product overview of the New Nissan LEAF.

**Key words :** Automotive General, new car, LEAF, electric vehicle (EV)

### 1. はじめに

初代の日産リーフは、日産が他の自動車メーカーに先駆けて世界初の量産型100%電気自動車（以下EVという）として2010年に市場投入したクルマである。以来、48カ国で販売され、27万人以上のお客さまに愛用されている。そのお客さまの累積総走行距離は34億kmに達するが、バッテリーに起因する重大事故は1件も無く、日産のEV技術の信頼性の高さに対する実績を積み重ねてきた。また、初代日産リーフのお客さま満足度は非常に高く、特に加速性能と静粛性については、日産車の中でも最高値を誇っている。

2代目となる今回の新型日産リーフ（図1、表1）は、このような初代の実績を受け継ぎ、さらなる日産EVの普及およびEVリーダーシップを確実なものとするべく、ニッサンインテリジェントモビリティの象徴となるクルマとして開発された。

### 1. Introduction

Nissan led other automakers in introducing the world's first mass-market electric vehicle (EV) when it launched the first-generation Nissan LEAF in 2010. Since then, the Nissan LEAF has been marketed in 48 countries worldwide and has been favored by more than 270,000 customers. Their cumulative driving distance totals some 3.4 billion km, and there has not been even a single serious incident caused by the battery. This stellar record attests to the high reliability of Nissan's EV technologies. The first-generation Nissan LEAF has also enjoyed an exceptionally high degree of satisfaction among customers. It boasts the highest ratings among Nissan vehicles especially with regard to acceleration performance and quietness.

As the second-generation model, the new Nissan LEAF (Fig. 1 and Table 1) inherits the impressive achievements of the first generation and is intended to further penetrate Nissan EVs and to make the company's EV leadership well-established. It has been developed as a vehicle to symbolize Nissan Intelligent Mobility.



図-1 新型日産リーフ  
Fig. 1 New Nissan LEAF

表-1 車両諸元  
Table 1 Vehicle dimensions

Length (mm)	4,480
Width (mm)	1,790
Height (mm)	1,540
Wheelbase (mm)	2,700

\*商品企画部 / Product Planning Department

## 2. 商品コンセプト

新型日産リーフを開発するにあたり、様々な方向性のコンセプトが論議された。その中には、徹底的な廉価化による台数の拡大や、航続距離の大幅向上を伴う高級化路線などもあったが、新型日産リーフのプロジェクトチームは日産のミッションとお客さまからのこのクルマへの期待値という原点に立ち返り、「Driving the Future of Mobility」というコンセプトを設定した。日産のミッションは、手の届きやすい価格で最新技術を提供すること、およびEVをより主流のクルマへと推し進めることであり、そして新型日産リーフへのお客さまの期待は、未来のモビリティが現実になったと実感できるクルマに乗りたいということである。

そのようなお客さまは、三つの特徴を持っていることが分かった。

- ① 生活をより良くするために、最新技術を使った製品も進んで活用する
  - ② 何かを犠牲にすることは好まないが、より良い社会の実現に貢献したいと思っている
  - ③ 楽しくエキサイティングな運転経験をEVに期待している
- そこで、このようなお客さまをProgressive Thinkers（先進的で賢く使えるものを選ぶお客さま）と名付け、お客さまの毎日の生活にEVのある新しいライフスタイルを提供することのできるクルマとして、新型日産リーフを開発することとした。

## 3. アピールポイント

### 3.1 航続距離の向上

EVの購入を検討されるお客さまの心配事のひとつは航続距離である。そこで、新型日産リーフではバッテリー容量を拡大し、JC08モードで400kmの航続距離を実現している。北米および欧州向けはそれぞれEPAモードで150mile、NEDCモードで378kmである（北米および欧州向けは認証取得中のため仮値）。

一般的なガソリン車のお客さまでも、1日の走行距離は100km以下の方が約80%であり、安心してEVを使っていただけの航続距離を確保した。また、ガソリン車のお客さまの1年の平均走行距離は約12,500km程度で、これを週換算すると約240kmであり、平均的な距離を乗るお客さまであれば、新型日産リーフは1週間に1度の充電で済ませることが可能である。加えて、わざわざガソリンスタンドに行く手間も省くことができるのである。

### 3.2 EVドライブの楽しさの向上

EVによるクイックでスムーズな加速と高い静粛性は、初代でも高いお客さま満足度を得ていたが、新型日産リーフではさらにそのEVドライブの楽しさを向上させるため

## 2. Product Concept

In the process of developing the new Nissan LEAF, various concepts for the direction of vehicle were debated. They included the idea of expanding the sales volume by thoroughly lowering the price and the idea of pursuing an upscale direction by dramatically improving the driving range. However, the project team for the new Nissan LEAF selected “Driving the Future of Mobility” as the concept, going back to the starting point represented by Nissan’s mission and the expectations of customers toward the vehicle. Nissan’s mission is to provide cutting-edge technologies at readily affordable prices and to promote EVs toward being more mainstream vehicles. Customers’ expectations of the new Nissan LEAF include a desire to drive a vehicle that truly feels like it already embodies future mobility.

Our research revealed that such customers have three distinguishing characteristics.

- (1) They willingly use products incorporating the latest technologies in order to make their lives better.
- (2) While they do not like to sacrifice anything, they want to contribute to building a better society.
- (3) They expect an enjoyable and exciting driving experience from EVs.

Therefore, we call such customers “progressive thinkers” who select advanced products that can be used wisely. We decided to develop the new Nissan LEAF as a vehicle that would enable them to enjoy new lifestyles based on an EV in their everyday lives.

## 3. Appealing Features

### 3.1 Improved driving range

The driving range is one anxiety that customers have when considering purchasing an EV. The battery capacity of the new Nissan LEAF was increased to attain a driving range of 400 km under Japan’s JC08 emission test mode. Models sold in North America and Europe achieve a driving range of 150 miles under the EPA emission test mode and 378 km under the New European Driving Cycle (NEDC), respectively. (These figures are provisional as the vehicles are still undergoing the homologation process.)

The new Nissan LEAF ensures a driving range that will give even owners of ordinary gasoline vehicles peace of mind about driving an EV because approximately 80% of them drive less than 100 km a day. In addition, owners of gasoline vehicles drive approximately 12,500 km a year on average. Converting that distance to a weekly basis results in a figure of approximately 240 km. For people who drive the average annual distance, charging the new Nissan LEAF only once a week would suffice. Moreover, they would also avoid the hassle of having to make a specific trip to a gasoline station.

### 3.2 Enhanced EV driving pleasure

The first-generation LEAF enjoyed a high degree of customer satisfaction for its quick, smooth acceleration

に、モータ出力を初代の80kWから110kWへと向上させ、走り出しの加速だけでなく、中速域からの再加速性能も向上させている。

これに新開発のe-Pedalを組み合わせた。e-Pedalとは、アクセルペダルの踏み加減を調整するだけで発進、加速、減速、停止までをコントロールすることができる機能である。瞬時に加速するときはアクセルペダルを強く踏み込み、ゆるめればブレーキを踏んだように確実に減速し、さらにクルマを停止、保持する。緊急時や、より強い減速が必要な場合にはブレーキペダルを踏む必要があるが、ストップ&ゴーを繰り返す街中などではブレーキペダルへの踏み替え頻度が減って楽に運転することができ、一方、ワインディングなどでは思い通りの加減速によってスポーティなドライビングを楽しむことができる。また、雪道などの滑りやすい路面でのアクセル操作にも効果的で、安定した運転も可能になるという特徴もある。この機能によって110kWに出力を向上した新型日産リーフの走りを楽しみ楽しむことができる。もちろんe-Pedalは全車標準装備であるが、お客さまの好みや用途に応じてON/OFFを切り替えることもできる。

### 3.3 EVならではの室内静粛性の向上

新型日産リーフにはエンジンが無いいため、ガソリン車に対して根本的に静粛性能が高いが、静粛性が向上するとタイヤと路面の間で生じるロードノイズや、高速走行時には風切り音が気になってくる。そこで、外からの音の侵入経路となる隙間を徹底的になくした緻密な設計、および吸音材と構造の最適化技術で高遮音車体を実現し、欧州プレミアムブランドのEセグメント車と同等の室内静粛性を達成している。

### 3.4 使える先進技術装備

既に日本市場向けのセレナおよびエクストレイルに搭載し、お客さまから好評を得ている高速道路同一車線内自動運転技術プロパイロットを新型日産リーフにも搭載した。新型日産リーフならではのスムーズな加速や高い室内静粛性とプロパイロットの組み合わせにより、今までのクルマにない非常に快適な移動空間を実現している。これがEV技術と自動運転技術の親和性が高いと言われている理由である。

また、お客さまが日常的にわずらわしいと感じるシーンとして代表的な「駐車」に関しても、日産の自動運転技術を使ったプロパイロットパーキングを日産初採用した。これは簡単な操作で、駐車できるポイントを見つけてドライバーにお知らせするところから、ドライバーが駐車する位置を選んだ後、ステアリング、アクセル、ブレーキ、シフトチェンジ、パーキングブレーキまでをクルマが自動で制御し、選択した駐車位置に入れるところまでを実施す

and quietness that characterize EVs. In order to further enhance EV driving pleasure, the motor power of the new Nissan LEAF was increased to 110 kW from 80 kW for the first generation, thereby improving both standing-start acceleration and passing acceleration at intermediate vehicle speeds.

This increased power is combined with Nissan's newly developed e-Pedal, a vehicle longitudinal control function that enables the driver to start, accelerate, decelerate and stop the vehicle by simply adjusting the depression of the accelerator pedal. Depressing the accelerator pedal strongly produces instant acceleration. Letting up on the accelerator pedal reliably decelerates the vehicle just like pressing the brake pedal. Releasing the accelerator pedal stops the vehicle and holds it. In emergencies or when stronger deceleration is needed, it is necessary to depress the brake pedal. However, in stop-and-go city driving, for example, e-Pedal makes driving more enjoyable by reducing the frequency of depressing the brake pedal. Moreover, on winding roads and in other situations, drivers can enjoy a sporty feeling by accelerating/decelerating easily as they wish. Another feature of e-Pedal is that it provides stable driving on snow-covered and other slippery road surfaces because it facilitates effective operation of the accelerator pedal. With e-Pedal, drivers can thoroughly enjoy the driving performance of the new Nissan LEAF with its increased motor output of 110 kW. All models naturally come with e-Pedal as standard equipment, but it can be switched On/Off according to the driver's preference or vehicle use.

### 3.3 Enhanced interior quietness characteristic of EVs

Because the new Nissan LEAF does not have an engine, it is intrinsically much quieter than gasoline vehicles. As interior quietness is improved, road noise produced between the tires and the road surface and wind noise in high-speed driving become more noticeable. Therefore, the body of the new Nissan LEAF was meticulously designed to thoroughly eliminate gaps that serve as paths for the incursion of outside noise. Additionally, technologies for optimizing sound-absorbing materials and structures were applied to develop a body with high sound-insulation performance. The new Nissan LEAF provides interior quietness equal to that of European premium-brand vehicles in the E-segment.

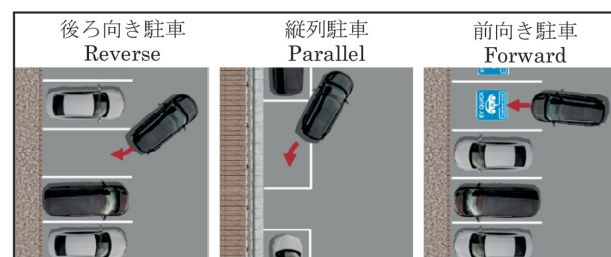


図-2 プロパイロットパーキング  
Fig. 2 ProPILOT Park

る機能である。これは後ろ向き駐車だけでなく、縦列駐車や前向き駐車も任意に選択することができる（図2）。特に新型日産リーフは車両前方に充電ポートが設定されているため、前向き駐車できることも重要である。さらに、本プロパイロットパーキングはセンサのみを使った他社のシステムと異なり、車両上に12個設定された超音波センサに加えて車両前後左右に配置された4つの高解像度カメラによる画像も使うことによって駐車場の白線を検知し、2台分の駐車スペースが空いている場合でも、きちんと1台分の範囲にクルマを入れることができる。

### 3.5 デザイン

新型日産リーフのエクステリアデザインは、2015年に発表したIDSコンセプト（図3）をベースとしている。IDSコンセプトはニッサンインテリジェントモビリティの将来ビジョンを示すコンセプトモデルであったが、それはつまり新型日産リーフが量産モデルとしてニッサンインテリジェントモビリティを象徴するモデルとなることを見据えたものであったと言える。

エクステリアデザインのキーワードは「Cool & Tech」で、爽快な走りを予感させるダイナミックな造形と、航続距離を最大化するための空力性能の二つを両立している。また日産ブランドとしてのデザイン要素であるVモーショングリルとブーメラン型ランプシグニチャ、フローティン



図-3 ニッサンIDS コンセプト  
Fig. 3 Nissan IDS Concept



図-4 エクステリアのEVアイコン  
Fig. 4 Exterior EV icons

### 3.4 Usable equipment with cutting-edge technologies

The new Nissan LEAF features ProPILOT autonomous driving technology that is used during single-lane highway driving. This technology is already provided on the Serena and X-Trail models for the Japanese market and is highly popular with customers. The smooth acceleration and exceptional quietness that characterize the new Nissan LEAF are combined with ProPILOT to create extraordinarily comfortable mobility never before seen in vehicles. This is one reason why EV technology and autonomous driving technology are regarded as having such high affinity.

The new Nissan LEAF also comes with ProPILOT Park, a Nissan-first feature that makes use of the company's autonomous driving technology. This feature assists customers with parking, which is a typical example of a driving situation that they ordinarily feel is a hassle. This function begins with the vehicle finding and informing the driver of a place to park as a result of a simple input operation. After the driver selects the position for parking, ProPILOT Park automatically controls the steering wheel, accelerator, brake pedal, shift lever changes and even the parking brake to guide the vehicle into the selected parking spot. The driver can optionally select not only reverse parking, but also parallel parking and forward parking (Fig. 2). The forward parking capability is especially important because the charging port on the new Nissan LEAF is located at the vehicle front. ProPILOT Park differs from other similar systems that are based solely on sensors. In addition to 12 ultrasonic sensors mounted on the vehicle, it also has four high-resolution cameras located on the right and left sides at the front and rear. Camera images are used to detect white lines on a car park floor. This makes it possible to position the vehicle properly in one parking space in cases where two adjacent parking spaces are open.

### 3.5 Design

The exterior design of the new Nissan LEAF is based on that of the IDS Concept (Fig. 3) that Nissan announced in 2015. The IDS Concept represented a future vision of Nissan Intelligent Mobility. In other words, it anticipated that the production model of the new Nissan



図-5 新型日産リーフの内装デザイン  
Fig. 5 New Nissan LEAF interior styling



グループとキックアップウエストラインに加え、EVアイコンとしてクリアブルーのレイヤ効果で魅せるユニークなフラッシュサーフェスグリルとリヤバンパのブルーモールディングを与えている（図4）。

インテリアデザイン（図5）はリラックスとクール／ハイテックの共存をテーマとし、過剰な装飾を廃した質感重視のデザインアプローチの中に、スマートな操作性を実現するディスプレイ、スイッチ類などを配置した。

#### 4. お わ り に

新型日産リーフは、単なる新型EVではなく、ニッサンインテリジェントモビリティのコンセプトを体現し、お客さまにクルマを通した新しいライフスタイルを提案できる商品に仕上がっている。

インテリジェントパワーは、容量を増加し航続距離を拡大したバッテリー技術と、出力を向上したモータおよびインバータ技術によるエキサイティングなEVドライブによって実現している。また新型日産リーフならではの新しい運転操作を提供するe-Pedalも、インテリジェントパワーを支える重要な技術である。そしてインテリジェントドライビングは、代表する技術であるプロパイロット、プロパイロットパーキングによって、新型日産リーフのお客様に提供されている。

これらの先進技術をお客さまの手の届きやすい価格で提供し続けること、そしてお客さまのためにモビリティの未来をけん引していくことが日産のミッションであり、新型日産リーフは私たちがそれを実践していることの証明である。

最後に、自動車市場のEVシフトが大きく取り上げられている中、完璧なタイミングで新型日産リーフを発表、発売することができたことを、開発、デザイン、生産、マーケティング、販売など新型日産リーフに携わっていただいた全ての皆様に深く感謝いたします。

LEAF would symbolize Nissan Intelligent Mobility.

The key theme of the exterior design is a “cool tech attitude.” It combines both dynamic styling suggestive of exhilarating driving performance and excellent aerodynamics for maximizing the driving range. It embodies distinctive design elements of the Nissan brand such as the V-motion grille, signature boomerang-shaped headlights, floating roof and kick-up waist line. In addition, the unique flush-surface grille with a captivating clear blue layer effect and the rear bumper’s blue molding serve as identifying EV icons (Fig. 4).

The theme of the interior design (Fig. 5) is the coexistence of a relaxing ambience and a cool, high-tech look. The design approach emphasized high perceived quality that eliminates unnecessary decoration, with the display, switches and other controls positioned so as to allow smart ease of operation.

#### 4. Conclusion

The new Nissan LEAF is not merely a new generation of an EV. Rather, it embodies the concept of Nissan Intelligent Mobility and is a product that can propose new lifestyles to customers through its use.

Intelligent Power is given concrete expression in exciting EV driving achieved through battery technologies that improve capacity and extend the driving range and through motor and inverter technologies that boost power output. Another key technology supporting Intelligent Power is e-Pedal that facilitates a novel driving style one would expect from the new Nissan LEAF. Intelligent Driving is distinctly exemplified by ProPILOT and ProPILOT Park technologies that are provided on the new Nissan LEAF.

Nissan’s mission is to continue to provide customers with such cutting-edge technologies at readily affordable prices and to lead the future of mobility for the sake of our customers. The new Nissan LEAF is concrete proof that we are actually implementing this mission.

Finally, the author would like to thank everyone involved, including the R&D, design, manufacturing, marketing, sales and other divisions, for making it possible to announce and release with the new Nissan LEAF with perfect timing amid the marked shift to EVs in the global vehicle market.

#### ■ 著者 / Author(s) ■



福田 真人  
Makoto Fukuda

# 新型 INFINITI QX50 商品概要

## Product Overview of the New INFINITI QX50

角 智 彰\*  
Chiaki Sumi

**抄 録** 新型 INFINITI QX50 は、欧州プレミアムブランド車と同等以上を目指して開発したプレミアムミッドサイズSUVである。世界初の量産可変圧縮比エンジンVC-TおよびDAS (Direct Adoptive Steering) と組み合わせた高速道路同一車線運転支援システムProPILOT Assistの採用、INFINITIの個性である“Powerful Elegance”を細部まで具現化した特徴的なエクステリアデザイン、クラストップレベルの室内空間を新規プラットフォーム上で実現した最新のINFINITIらしさを体現するモデルである。

**Summary** The all-new INFINITI QX50 is a premium midsize SUV, which has been developed with the aim of providing dynamic performance competitive with European premium brand rivals. This model is the most compelling INFINITI to date, featuring the VT-C engine with the world's first mass-production variable compression ratio technology, ProPILOT Assist, which is INFINITI's first application of Nissan's technology for supporting autonomous driving in the same expressway lane and is combined with Direct Adoptive Steering, INFINITI's signature exterior design projecting powerful elegance, and class-leading interior roominess on an entirely new platform.

**Key words :** Automotive General, new car, powerful elegance, design, variable compression ratio engine, VC-Turbo, ProPILOT, platform

### 1. はじめに

北米および中国におけるプレミアムミッドサイズ SUV は、プレミアムセグメント全体需要の約50%を占め、それぞれ年間50万台規模であり、Audi Q5、BMW X3、Mercedes GLCに代表される欧州プレミアムブランド車がひしめく競争の厳しいセグメントである。先代の INFINITI EX (J50型、2013年7月にQX50に改名) は、プレミアムミッドサイズのクロスオーバーSUVの先駆けとして2007年に投入され、通算の販売台数は11万5千台を数え、好評を博してきた。新型QX50は欧州プレミアムブランドの車とも競える、最新のINFINITIブランドを体現

### 1. Introduction

Premium midsize sport utility vehicles (SUVs) account for approximately 50% of the total premium segment demand in the U.S. and China, where annual vehicles sales in this category are around 500,000 units in each market. European premium brand models typified by the Audi Q5, BMW X3 and Mercedes GLC compete fiercely in this crowded segment. The previous-generation INFINITI EX (J50 model, renamed the QX50 in July 2013) was released in 2007 as the pioneer premium midsize crossover SUV. It has been highly acclaimed and has recorded cumulative sales of 115,000 units. The new QX50 has been developed as a vehicle that embodies the latest INFINITI brand qualities and is fully capable of competing with European premium brand models (Fig. 1).

### 2. Product Concept

The product concept was defined as an “uncompromising life creator; copilot of your drive in life.” While the new QX50 is targeted at customers in their 30s with a family as a vehicle for making their lives easier and more comfortable, it can also be a personal expression. It was designed around the themes of distinctive proportions and powerful elegance. The QX50 features space efficiency achieved with a new platform, improved dynamic performance, and the world's first variable compression ratio engine. These features are intended to surpass rival



図-1 新型 QX50 エクステリア  
Fig. 1 New QX50 exterior

\*商品戦略・企画部 / Product Strategy and Planning Department

するクルマとして開発した（図1）。

## 2. 商品コンセプト

商品コンセプトは“uncompromising life creator ; copilot of your drive in life”で、ターゲットカスタマである30代ファミリーの生活を楽にする道具でありながら自己表現ができるクルマとした。特徴的なプロポーションと Powerful Elegance をテーマとしたデザイン、新規プラットフォームによる空間効率性、動的性能の向上、世界初の可変圧縮比エンジンの採用により、欧州プレミアムミッドサイズSUVに対し、デザイン、動力性能、燃費、ハンドリング、乗り心地、静粛性すべてにおいて、競合車を上回る性能を目指した。

## 3. アピールポイント

### 3.1 “Powerful Elegance” エクステリアデザイン

1,287mmのアイポイント地上高、競合車よりも1インチ大きい19インチおよび20インチのホイールの採用によりSUVらしい力強いスタンスとし、遠くからでも一目でわかる特徴的なプロポーションを実現した（表1、図2）。また4バーリンク機構のフードヒンジとの組み合わせによる“Clamshell hood”を採用し、キャラクタラインがボディサイド前端から後端までスムーズにつながる特徴的なボディサイドを実現した。かつ視覚的にフードを長く見せることにも貢献している。ドアウエストのキャラクタラインは断面の挟み角をクラス最少の125度とし、彫塑のような彫りの深いドア断面によりソリッド感を演出している。

表-1 車両諸元  
Table 1 Vehicle dimensions

Length (mm)	4,693
Width (mm)	1,903
Height (mm)	1,679
Wheelbase (mm)	2,800



図-2 新型 QX50 バッククォータービュー  
Fig. 2 New QX50 back quarter view

European premium midsize SUVs in all qualities, including design, power performance, fuel economy, handling, ride comfort and quietness.

## 3. Appealing Features

### 3.1 Exterior design exuding “powerful elegance”

The driver’s eye point is set at 1,287 mm above the ground level and large 19-inch or 20-inch wheels, one inch larger than those of rival models, were adopted. These features project a powerful stance befitting an SUV and create distinctive body proportions recognizable at a glance even from a distance (Table 1, Fig. 2). A clamshell hood was adopted together with 4-bar linkage hood hinges, resulting in a unique body side view with the character line continuously running smoothly along the body sides from the front to the rear. It also contributes to making the hood look longer visually. The door waist character line has a cross-section included angle of 125°, the smallest in this class and giving the door cross section a deeply chiseled look resembling sculpture, which imparts a solid impression.

### 3.2 Interior design featuring advanced human artistry

The interior design was defined based on the concept of “driver-centric, yet passenger-minded.” The layout of the operating controls and display systems was determined in consideration of safety and ease of use for supporting the driver’s operation of the vehicle. Ease of operation from the front passenger’s seat was also taken into account.

The overall interior was designed with the aim of projecting an impression of stellar quality and a hand-crafted feeling (Fig. 3). Meticulous care was taken in choosing and refining the materials based on the principles of selection and tailoring so as to incorporate Japanese delicate sensitivity. Many areas of the interior are covered with either artificial or real leather, depending on the trim grade, rather than plastic, which, in combination with the stitching, pursues a feeling of authenticity and fine craftsmanship. The wood-grain finishers feature an open-pore material that imparts an impression of natural



図-3 新型 QX50 インテリア  
Fig. 3 New QX50 interior

### 3.2 “Advanced human artistry” インテリアデザイン

インテリアの空間は“Driver centric, yet passenger minded”のコンセプトに基づき定義した。操作系、表示系はドライバーの運転を支援するために使いやすさ、安全性を考慮してレイアウトを決定した。また助手席からの操作性にも配慮をした。

インテリア全体は品質感があり、かつ手工芸品を思わせるものを目指した(図3)。“見立て、仕立て”の概念に基づき素材の選択と仕上がりにこだわり、日本的な繊細さを織り込んだ。インテリアの多くの部位を樹脂ではなく、合成皮革もしくはグレードによって本革を張り込み、ステッチとの組み合わせにより本物感、工芸品感を追及した。木目フィニッシュには多孔質材料を採用し、自然な本物感を実現した。

最上級モデルの内装にはブルー、ブラウン、ホワイトの特徴的なカラーコーディネーションと人が触れる部位に本革を採用し、上質な本物感を目指した。

### 3.3 世界初可変圧縮比エンジンVC-T

量産エンジンとしては世界初の可変圧縮比ターボエンジンVC-T (Variable Compression-Turbocharged) を全車に採用した(図4)。圧縮比を可変とすることにより、直列4気筒 2.0L ガソリンエンジンにもかかわらず、V6 3.5L ガソリンエンジン並みの出力と最新2.0Lディーゼルエンジン並みの燃費を両立させた。マルチリンク機構により、圧縮比は運転状況に応じて8:1(高性能)から14:1(高効率)まで連続的に可変させることができる(図5)。最高出力200kW、最大トルク380Nmを発揮し、燃費はUS combineモードで前輪駆動モデルが27mpg(11.5km/L)、4輪駆動モデルは26mpg(11.0km/L)と、どちらもクラストップを達成している。これはV6ガソリンエンジンに対し35%の改善に相当する。マルチリンク機構の副次効果として、エンジン回転中にコンロッドがほとんど垂直に保たれるた



図-4 可変圧縮比ターボエンジン VC-T  
Fig. 4 VC-T engine

genuineness.

The interior trim of the top-of-the-line models adopts distinctive color coordination schemes of blue, brown and white as well as real leather trim at places occupants touch, with the aim of projecting an impression of premium quality and genuineness.

### 3.3 VT-C engine—world’s first with variable compression ratio

All models are equipped with the VC-T engine, the world’s first mass-producible variable compression ratio turbocharged engine (Fig. 4). As a result of making the compression ratio variable, the engine produces power equal to a 3.5L V6 gasoline engine, despite being a 2.0L in-line 4-cylinder unit, while also providing fuel economy equivalent to that of the latest 2.0L diesel engines. The multi-link mechanism continuously varies the compression ratio to match the engine operating conditions, ranging from 8:1 for high performance to 14:1 for high efficiency (Fig. 5). The engine produces maximum power of 200 kW and maximum torque of 380 Nm. Front-wheel-drive models achieve fuel economy of 27 mpg (15.5 km/L) and four-wheel-drive models provide 26 mpg (11.0 km/L) under the U.S. combined city/highway test cycle. Both figures represent class-leading fuel economy and correspond to a 35% improvement over the previous V6 gasoline engine. An auxiliary benefit of the multi-link mechanism is that the connecting rods are maintained in nearly an upright orientation during engine operation, which reduces the thrust force applied to the cylinder walls. This enables the engine to operate with notable quietness without requiring balancer shafts.

### 3.4 New platform

The new QX50 is built on an all-new platform. One of its distinctive features is that it achieves class-leading packaging efficiency to maximize both interior roominess and luggage area space. The platform was newly developed with the objective of providing handling, stability, ride

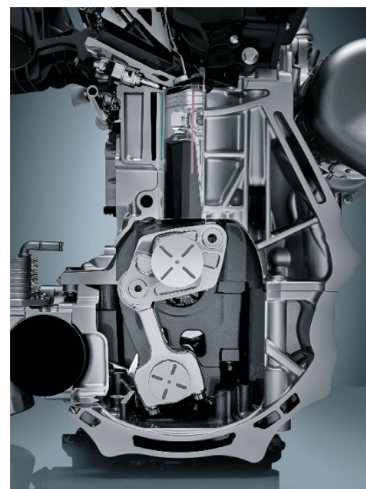


図-5 VC-Tのマルチリンク機構  
Fig. 5 Multi-link mechanism of VC-T engine

め、シリンダ壁へのスラスト力が低減されバランス無しで静粛性を確保している。

### 3.4 新プラットフォーム

新型QX50には、全面新規開発のプラットフォームを採用した。その特徴は、クラストップレベルのパッケージ効率により室内空間とラゲッジスペースを最大化すること、欧州プレミアムブランドクラスの競合車と同等以上の操安性、乗り心地、ハンドリンク、静粛性、安全性の実現、および軽量化を目的に開発した。

大型ベビーカーが前後方向に積載できるようにラゲッジの前後長は990mmを確保し、競合車に対する強みとした。リヤシートには150mmストロークのスライド機能を採用し、フレキシブルに後席とラゲッジを活用できる。

自動車業界初の高成形性980MPaハイテン材をフロントおよびリヤのクラッシュブルゾーンに採用することにより、効率よくエネルギーを吸収できる構造とした。ハイテン材の適切な配置と二重輪管ボディ構造によるボディ後部およびラゲッジ開口部の剛性アップにより、前型比+23%のねじり剛性を実現し、操安性の向上、振動のキャビンへの伝達低減に寄与することができた。

サスペンションのチューニングは、長距離を運転しても疲れないうスタビリティを重視しながら、操舵の正確さ、快適な乗り心地を高次元でバランスさせた。

### 3.5 高速道路同一車線内自動運転支援技術ProPILOT Assist

INFINITIとしては初の高速道路同一車線内自動運転支援技術であるProPILOT Assistを採用した。これは将来の自動運転技術への橋渡しの一歩となるものである。新型QX50のシステムの特徴は、DAS (Direct Adaptive Steering) と組み合わせることにある。通常のステアリングシステムに比べ、ハンドルとステアリングシャフトが機械的につながっていないことにより、ステアリング系の慣性質量が小さくなり、直線およびコーナを走行時に正確にレーンをキープし、かつスムーズな動きを実現できる。

## 4. おわりに

新型INFINITI QX50は、高効率な新設のプラットフォーム、世界初の技術である可変圧縮比エンジンVC-Tにより白紙の上に理想のクルマをつくることのできた恵まれたプロジェクトである。先代の後継としてではなく、常にお客様の期待を満たすことを目標にしながら、欧州プレミアムミッドサイズSUVと伍(ご)して戦えるクルマ、最新のINFINITI - nessを体現するクルマとして仕上げる事ができた。

comfort, quietness and safety equal to or better than rivals in the European premium brand class and also to reduce the vehicle weight.

The luggage area measures 990 mm in length, which is sufficient to accommodate a large baby stroller in the lengthwise direction. This is a prominent feature compared with rival models. The sliding mechanism of the rear seat allows long travel of 150 mm, enabling flexible use of the rear seat and luggage area.

The front and rear crushable zones are made of 980 MPa high tensile strength steel sheet with high formability. This application is a first for the automotive industry and the body structures enable highly efficient absorption of crash energy. The placement of high tensile strength steel sheet at suitable locations and the double tubular body construction increase the stiffness of the body rear end and around the luggage area opening. As a result, torsional stiffness is 23% higher than that of the previous model, which contributes to improving handling and stability and to reducing the transmission of vibration to the cabin.

The suspension has been tuned to provide an optimum balance of steering accuracy and pleasant ride comfort, while emphasizing stability so as to avoid driver fatigue even on long-distance drives.

### 3.5 ProPILOT Assist for autonomous driving support in the same expressway lane

The new QX50 is the first INFINITI model to adopt ProPILOT Assist, a Nissan technology supporting autonomous driving in the same expressway lane. This system is intended to be an in-between step toward autonomous driving technology in the future. A distinctive feature of this system on the new QX50 is that it is combined with Direct Adaptive Steering (DAS). Compared with a conventional steering system, the steering wheel and the steering shaft are not mechanically connected. This reduces the inertial mass of the steering system, which enables accurate lane-keeping when driving straight ahead or cornering and also ensures smooth vehicle motions.

## 4. Conclusion

The new INFINITI QX50 was a highly successful project that created an ideal vehicle from a blank drawing board, thanks to the newly developed platform with high efficiency and the VC-T engine incorporating the world's first variable compression ratio technology. The goal set for the new QX50 was to respond to customers' expectations at all times without simply continuing the previous model. The resulting new QX50 is a vehicle that embodies the latest INFINITI-ness and is capable of competing head-on with European premium band SUVs.

■著者 / Author(s) ■



角 智 彰  
Chiaki Sumi

# 社外技術賞受賞一覧表

## 1. 技術賞

(2016年11月～2017年10月)

※主要な技術賞、論文賞、貢献・功労賞を対象に掲載しております。  
 ※所属は受賞時の所属、( ) は研究開発当時の部署。  
 ※敬称略。

受賞年月	賞名	受賞技術	受賞者
2016.11	平成28年度神奈川県技能者等表彰 〔神奈川県〕	優秀技能者  青年優秀技能者  第54回技能五輪全国大会特別優秀技能者	パワートレイン技術開発試作部 岡本 泰男 追浜工場 山村 大作 横浜工場 松波 良一 追浜工場 沢村 忠 実験試作部 縄野 昌明 実験試作部 山内 武  パワートレイン生産技術部 (実験試作部) 横浜工場 加瀬 大樹 追浜工場 斉藤 学 追浜工場 植松 未冴樹 実験試作部 宮原 護 実験試作部 伊藤 裕介 実験試作部 田崎 伸幸  新車生産準備技術センター 池田 龍哉 グローバルサービスエンジニアリング &テクニカルトレーニング部 下原 侑也 車体技術部 葛西 勇輝 (実験試作部) バッテリー生産技術部 原 諒星 EV・HEVコンポーネント開発部 廣戸 誠也 パワートレイン技術開発試作部 佐藤 彰哉 パワートレイン実験部 松崎 信智 車体技術部 遠藤 優哉 車体技術部 藤近 大樹 新車生産準備技術センター 井手 寛太 新車生産準備技術センター 石崎 将太郎 EV・HEVコンポーネント開発部 菊地 優輝 市場品質改善部 長田 快将
2016.11	平成28年度栃木県知事表彰 〔栃木県〕	卓越した技能者	栃木工場 福田 里志
2016.11	平成28年度栃木県職業能力開発協会 会長表彰 〔栃木県〕	卓越した技能者 職業訓練功労者	栃木工場 蓮 義則 栃木工場 山田 正
2016.11	平成28年度福岡県優秀技能者表彰 〔福岡県〕	卓越した技能者	日産自動車九州 馬場 政信
2016.11	平成28年度福岡県勤労者知事表彰 〔福岡県〕	(車体部門での幅広い業務経験により、現場改善活動の実施、監督者の人材育成に貢献。効果的な教育訓練を行う仕組みを構築し、技能向上へ功績をあげている)	日産自動車九州 井手口 俊宏
2017.3	2016年秋季大会学術講演会 優秀講演発表賞 〔公益社団法人自動車技術会〕	高調波インピーダンスを用いた自動車駆動用IPMSMの磁石温度推定精度の向上	EVシステム研究所 谷本 勉

〈2016年11月～2017年10月〉

受賞年月	賞名	受賞技術	受賞者
2017.4	平成29年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞 〔文部科学省〕	無人搬送車自動脱着位置決め装置の考案 プレス成形過程の可視化技術の考案 搬送設備レール磨耗量測定器の考案	栃木工場 金成 恒三 栃木工場 吉原 正暁 日産自動車九州 長意 善豪
2017.4	平成29年 電気学会産業応用部門表彰 部門奨励賞（副賞 高橋勲賞） 〔一般社団法人電気学会〕	可変磁力モータの高速領域における着磁時 電圧上昇の抑制及び、着磁制御に伴うトルク 脈動に関する考察	EVシステム研究所 佐々木 健介
2017.4	平成29年春の褒章 黄綬褒章 〔内閣府 厚生労働省関係〕	多年機械修理工としてよく職務に精励した こと	栃木工場 矢嶋 渡
2017.10	2017年春季大会学術講演会 優秀講演発表賞 〔公益社団法人自動車技術会〕	パッシブとアクティブを活用した新しい振 動遮断技術	パワートレイン性能開発部 山内 亮佑



## 2. 製品ほか受賞

〈2016年11月～2017年10月〉

※主要な製品賞を対象に掲載しております。

受賞年月	受賞車（製品）、その他	受賞名	主催
2016.11	INFINITI's VC-Turbo variable compression power unit	Grand Austrian Automobile Award ・ Environment category	Automobile, Motor and Bicycle Association of Austria (ARBÖ)
2016.11	Sliding door and tailgate of the new Nissan Serena	Doors and Closures in Car Body Engineering 2016 ・ Innovation Award	(独) Automotive Circle
2016.11	奥会津・EV移動販売車プロジェクト	KAIKA Awards 2016 KAIKA賞	一般社団法人日本能率協会
2016.12	セレナ	第37回（2016 - 2017）日本カー・オブ・ザ・イヤー ・ イノベーション部門賞	日本カー・オブ・ザ・イヤー実行委員会
2016.12	企業間連携による大型コージェネの排熱面的利用の実現 ～ 日産自動車横浜工場・J-オイルミルズ横浜工場間の熱融通事例 ～ （東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社／日産自動車株式会社／株式会社J-オイルミルズ）	コージェネ大賞2016 産業用部門 優秀賞	一般財団法人 コージェネ財団
2016.12	Kicks	Auto Show TV 2016 ・ Diseño Más Innovador	(メキシコ) Auto Show TV
2016.12	Kicks	10Best award 2016 ・ The Best category ・ Melhor (Best) SUV category	(ブラジル) 「Car and Driver Brazil」誌
2017.1	VR32 GT-R	東京国際カスタムカーコンテスト2017 ・ チューニングカー部門 最優秀賞	東京オートサロン事務局
2017.1	SKYLINE Premium Sport Concept	東京国際カスタムカーコンテスト2017 ・ セダン部門 最優秀賞	東京オートサロン事務局
2017.1	Vmotion 2.0	2017 EyesOn Design Award ・ Best Concept Vehicle ・ Best Innovative use of Color, Graphics and Materials	(米) North American International Auto Show
2017.1	Titan	2017 Pickup Truck of the Year	(米) 「Truck Trend」誌
2017.1	3.0L Twin Turbo DOHC V-6 (Infiniti Q50)	2017 Wards 10 Best Engines	(米) 「WardsAuto」誌
2017.1	異業種企業間連携による分散型エネルギーの面的利用の実現 （東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社／日産自動車株式会社／株式会社J-オイルミルズ／横浜市）	平成28年度省エネ大賞 省エネ事例部門 省エネルギーセンター会長賞	一般財団法人省エネルギーセンター

〈2016年11月～2017年10月〉

受賞年月	受賞車（製品）、その他	受賞名	主催
2017.2	Titan	2017 Drivers' Choice Awards ・ Best Pickup Truck	(米) MotorWeek (TV)
2017.4	东风日产全新劲客 (東風日産 Kicks)	2017 上海车展大奖 ・ 最佳首发新车奖 (最高新車賞)	上海国际汽车展览组委会 (上海国際モーターショー)
2017.10	Titan King Cab SV	2017 Texas Truck Rodeo ・ Best commercial vehicle category	Texas Auto Writers Association, Inc.

平成29年 電気学会産業応用部門表彰 部門奨励賞（副賞 高橋勲賞）  
2017 IEEE Industry Applications Society Best Presentation Award

## 可変磁力モータの高速領域における着磁時電圧上昇の抑制及び、 着磁制御に伴うトルク脈動に関する考察

Magnetization State Manipulation Method with Low Vehicle Vibration for  
High Speed Operating Region of Variable Flux PMSMs

佐々木 健 介\*  
Kensuke Sasaki

ガガス ブレント\*\*  
Brent S. Gagas

福 重 孝 志\*\*\*  
Takashi Fukushima

加 藤 崇\*  
Takashi Kato

赤 津 観\*\*\*\*  
Kan Akatsu

ローレンツ ロバート\*\*  
Robert D. Lorenz

### 1. はじめに

電動車の電費向上を目的として、駆動モータ内の磁石への着磁量（磁力）を可変させて高効率範囲を拡大する可変磁力モータが提案されている。磁力を制御するには着磁のための電流制御が必要となるが、従来手法では車軸トルク変動への影響や、モータの速度起電力（電圧）が大きくなる高回転域において得られる着磁レベルが制限されるという課題があった。

本論文では、著者らが提案してきた着磁が可能なモータ回転数の上限を引き上げる手法（Straight Line Stationary Flux Linkage Trajectory；以下SL $\lambda$ ST）について、着磁制御時にステータ上に発生させる空間起磁力分布を可視化することで、その基本原理を明らかにした。また提案手法SL $\lambda$ STを車両駆動に適用した場合の効果について実験とシミュレーションを行い、高回転域においても所望の磁力制御が可能であること、磁力制御中の車軸トルク変動を抑制できることを明らかにした。

### 2. 概 要

従来手法では静止しているステータ上に、ロータ回転に同期して磁場が移動する空間起磁力を生成して磁力を制御するため、回転速度と着磁磁界に比例した逆起電力が生じる。高回転域では、速度起因の起電力が大きいため、起磁力の強度を下げて電圧を抑制する必要があり、結果として得られる着磁レベルに制約が生じていた（図1-a）。

一方SL $\lambda$ STではステータ上の任意の位置に、固定するように空間起磁力を生成して磁力制御を行うので、速度起因の起電力が低減され、結果として着磁可能なモータ回転数の上限を引き上げることができる（図1-b）。なお、この

### 1. Introduction

Variable flux permanent magnet synchronous machines (VF-PMSMs) have been proposed to reduce the energy consumption of electric vehicles over a driving cycle. With this type of motor, the magnetization state is varied so as to expand the high efficiency region. Manipulating the magnetization state requires control of the magnetizing/demagnetizing current. However, with the conventional method, the obtainable maximum magnetization state is limited in the high-speed region due to large back electromotive force. In addition, the magnetizing current influences drive axle torque fluctuation.

In this article, the fundamental principle of the straight line stationary flux linkage trajectory (SL $\lambda$ ST) method, which has been proposed for increasing the obtainable maximum magnetization state in the high-speed region, is clarified by visualizing the spatial magnetomotive force distribution that occurs on the stator at the time of magnetization state manipulation. Experiments and simulations were conducted to investigate the effect of the proposed SL $\lambda$ ST method when applied to a vehicle traction motor. The results revealed that the desired magnetization state can be achieved in the high-speed region, and drive axle torque fluctuation can be suppressed during magnetization state manipulation.

### 2. Overview

With the conventional method, the spatial stator magnetomotive force that moves in synchronization with rotor rotation is produced to control the magnetization state. Consequently, back electromotive force is produced that is proportional to the rotational speed and the intensity of magnetomotive force. Because the back electromotive force becomes large in the high-speed region, it is necessary to control the voltage by lowering the intensity of the magnetomotive force. As a result, the obtainable maximum magnetization state has been limited

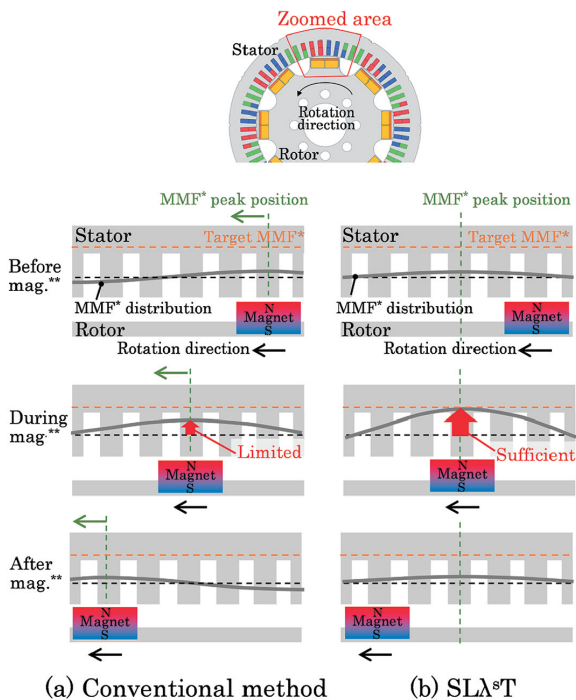
\*EVシステム研究所 / EV System Laboratory \*\*University of Wisconsin-Madison \*\*\*モビリティ・サービス研究所 / Mobility Services Laboratory \*\*\*\*芝浦工業大学 / Shibaura Institute of Technology

時モータには磁力制御電流に起因するトルクリプルが生じるが、速度起電力を低減して得た余剰電圧によって磁力制御電流の応答性が向上するため、着磁制御時間を車両の応答時間より短くしてトルクリプルの車軸への伝達を抑制することが可能となる。

図2は車両駆動相当の出力を有する可変磁力モータでのSLλ<sup>ST</sup>の実験結果と、実験結果を用いてシミュレーションにより算出した、着磁時の車軸トルクである。この結果から、SLλ<sup>ST</sup>を用いることで高回転域でも最大着磁が可能となり、かつ磁力制御中の車軸トルク変動は生じないことがわかる。

### 3. おわりに

本論文に示した着磁手法により、駆動用途への可変磁力モータ適用における主要課題の一つを解決した。本手法が今後の可変磁力モータ適用拡大の一助となることを期待する。



MMF\*: magnetomotive force  
mag.\*\*: magnetization

図-1 従来手法とSLλ<sup>ST</sup>の着磁過程（高速域）  
Fig. 1 Magnetizing process of conventional method and SLλ<sup>ST</sup>

(Fig. 1-a).

In contrast, the SLλ<sup>ST</sup> method produces the magnetomotive force that is fixed at an arbitrary position on the stator, thereby reducing the back electromotive force. As a result, the desired magnetization state can be obtained in the high-speed region (Fig. 1-b). It is noted that torque ripples that originate in the magnetizing current occur in the motor. However, the response of the magnetizing current control is improved by the surplus voltage obtained by reducing the back electromotive force. Therefore, the magnetization state manipulation period becomes shorter than the vehicle response time so the transfer of torque ripples to the drive axle is suppressed.

Figure 2 presents the experimental results obtained when the SLλ<sup>ST</sup> method was applied to a VF-PMSM having an output comparable to that of a vehicle traction motor. It also shows the drive axle torque calculated at the time of magnetization state manipulation in a simulation that was conducted using the experimental results. The results show that using the SLλ<sup>ST</sup> method makes it possible to obtain the maximum magnetization state even in the high-speed region, and that drive axle torque does not fluctuate during magnetization state manipulation.

### 3. Conclusion

The magnetization state manipulation method described here resolves one of the principal issues involved in applying a VF-PMSM for vehicle traction. It is expected that this method will contribute to the expanded application of VF-PMSMs in the coming years.

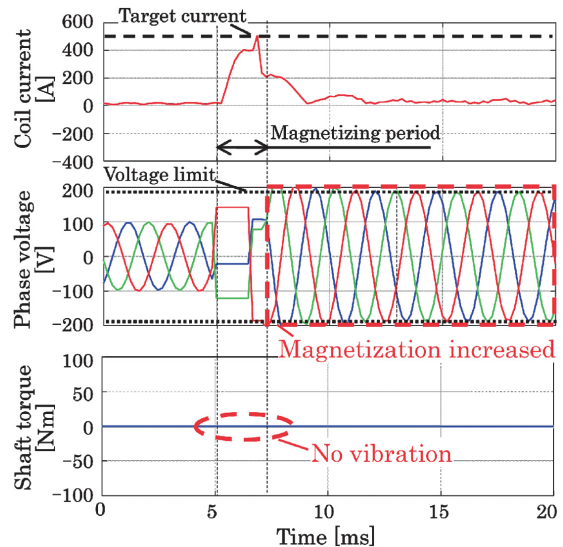


図-2 5500min<sup>-1</sup>でのSLλ<sup>ST</sup>実験結果と予測車軸トルク  
Fig. 2 Experimental results for SLλ<sup>ST</sup> and calculated drive axle torque at 5500 min<sup>-1</sup>

※ 電気学会産業応用部門奨励賞（副賞 高橋勲賞）とは、部門大会で優秀な論文を発表した35歳未満の若手技術者（正員）、上位2名に贈られる。

The Best Presentation Award is given by the Institute of Electrical Engineers of Japan Industrial Applications Society to two young engineers (regular members) under 35 years old for presenting the most outstanding papers at the Society's conference.

## 編 集 後 記

今回の特集は「新型日産リーフの電動パワートレイン」です。2017年9月にワールドプレミアを行った新型日産リーフの電動パワートレインの技術について幅広くお伝えできたかと思えます。新型日産リーフは前型に対し、車両価格は据え置きのまま、航続距離や動力性能を向上し、さらに新しい機能を追加して新しい魅力をアピールしていますが、その技術は初代日産リーフで開発した技術を土台とし、要素技術を積み重ね、市場走行から得られた莫大なデータをフィードバックして開発されたものです。またお客様の要求を高い次元で満足できるよう、お客様から頂いた多数の反響をもとに、新しい目標を設定して取り組んできた技術として読んで頂けると、編集委員として大変嬉しく思います。

電気自動車（EV）そのものの起源は意外に古く、内燃機関と同等の100年以上の歴史があります。しかしEVとしての技術が目覚ましく発達したのは最近のことであり、初代日産リーフの開発をスタートさせた約10年前から、現在、そしてこれからがEVの歴史に残る革命の時代と思えば、エンジニアとしてこの瞬間に立ち会っているのは大変幸運なことではないでしょうか。今回の特集が、自動車を取りまく課題を解決すべく、様々な技術開発に日夜チャレンジされている皆様の参考となれば幸いです。

— 日産技報編集委員・小野山 泰 —

## 2017年度日産技報編集委員会

委員長	大西 孝 一	カスタマーパフォーマンス&車両実験部	
坂元 宏 規	先端材料研究所	小野山 泰 一	EV・HEVシステム開発部
		河本 桂 二	パワートレイン計画部
副委員長		楠川 博 隆	エンジン&トランスミッション技術開発部
平工 良 三	パワートレイン技術開発本部	高木 潔	研究企画部
		内藤 原 平	モビリティ・サービス研究所
委員		長谷川 哲 男	グローバル技術渉外部
天田 正 秀	商品戦略部	石島 守	車両生産技術統括部
佐藤 正 晴	Infiniti製品開発部	折井 亮 次	パワートレイン技術企画部
斎藤 康 裕	Infiniti製品開発部		
森 達 朗	Infiniti製品開発部	事務局	
佐々木 徹 夫	コネクティドカー&サービス開発部	柳井 達 美	研究企画部
荒木 敏 弘	統合CAE・PLM部	細谷 裕 美	研究企画部

## 日産技報第82号

© 禁無断転載

発行	2018年3月
発行・編集人	日産技報編集委員会
発行所	日産自動車株式会社 総合研究所 研究企画部 神奈川県厚木市森の里青山1番1号 〒243-0123
印刷所	相互印刷株式会社 東京都江東区森下3-13-5

## Editorial Postscript

The special feature in this issue focuses on the electric powertrain for the new Nissan LEAF. The articles extensively describe the technologies incorporated in the electric powertrain adopted on the new Nissan LEAF that made its world premiere in September 2017. Compared with the previous model, the new Nissan LEAF features an extended driving range, improved power performance and also additional new functionality to enhance its captivating appeal, while the price has been kept at the same level. The technologies have been developed on the basis of those of the first-generation model and by feeding back vast amounts of data collected in real-world driving to build up the underlying technical fundamentals. As a member of the editorial staff, I will be very happy if readers view the technologies as resulting from efforts made to achieve new targets based on substantial feedback gathered from customers with the aim of satisfying their requirements at the highest possible dimension.

The origin of electric vehicles (EVs) goes back a surprisingly long way, as EVs have a history of over 100 years equal to that of internal combustion engines. However, it has only been in recent years that EV technologies have shown such dramatic advances. Development of the first-generation Nissan LEAF started approximately ten years ago, and the present time and coming years will be age of EV revolution that will go down in history. Considering that, we feel very fortunate as engineers to be able to witness this momentous time. It is hoped that this special feature will be a useful reference to everyone who is constantly undertaking the challenge to develop various new technologies for resolving the issues surrounding vehicles today.

Taiichi Onoyama

Member of the Nissan Technical Review Editorial Committee

## FY2017 Nissan Technical Review Editorial Committee

### Chairman

Hiroki SAKAMOTO  
Advanced Materials Laboratory

### Vice-chairman

Ryozo HIRAKU  
Powertrain Engineering Division

### Members

Masahide AMADA  
Product Strategy Department  
Masaharu SATOU  
Infiniti Product Development Department  
Yasuhiro SAITOU  
Infiniti Product Development Department  
Tatsuro MORI  
Infiniti Product Development Department  
Tetsuo SASAKI  
Connected Car and Services Engineering Department  
Toshihiro ARAKI  
Integrated CAE and PLM Department  
Koichi ONISHI  
Customer Performance and Vehicle Test Engineering Department

Taiichi ONOYAMA

EV and HEV System Engineering Department

Keiji KAWAMOTO

Powertrain Planning Department

Hiroataka KUSUKAWA

Engine and Transmission Engineering Department

Kiyoshi TAKAGI

Research Planning Department

Genpei NAITO

Mobility Services Laboratory

Tetsuo HASEGAWA

Global Technical Affairs Department

Mamoru ISHIJIMA

Vehicle Production Engineering Control Department

Ryouji ORII

Powertrain Planning Department

### Organizer

Tatsumi YANAI

Research Planning Department

Hiromi HOSOYA

Research Planning Department

---

## Nissan Technical Review 82

March, 2018

Publisher Nissan Technical Review  
(Editor) Editorial Committee  
Distributor Research Planning Department  
Nissan Research Center  
NISSAN MOTOR CO., LTD.  
1-1, Morinosatoaoyama, Atsugi-shi  
Kanagawa, 243-0123, Japan

Copyrights of all articles described in this Review have been preserved by NISSAN MOTOR CO., LTD.

For permission to reproduce articles in quantity or for use in other print material, contact the chairman of the editorial committee.

---

---

---

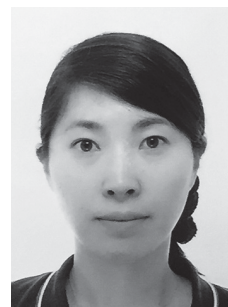
## 表紙コンセプト / Cover Design Concept

---

---

EV・HEV システム開発部の梅木です。電気を動力源とする電動車両のさらなる普及のために、日産自動車は様々な「新しい電動化技術」の開発を進めています。従来の技術に加え、新しい技術を搭載した新型日産リーフが、2017年に発売となりました。今回の表紙は100%電気自動車の新型日産リーフの四つの技術的な特徴、(1)優れたレスポンスと加速感を表すG波形、(2)減速時の精確なモータ制御によるスムーズな減速感を表すブロック線図、(3)ワンペダルでのイーゼードライブを表すアクセルペダル、(4)40kWh バッテリーと110kW モータを搭載し e-Pedal で停止保持可能な30%勾配(約16度)を走るスケルトンの日産リーフを組み合わせたデザインとしました。

Nissan is pushing ahead with the development of various new electrification technologies in order to further popularize electrified vehicles that use electricity as their power source. The new-generation Nissan LEAF that was released in 2017 is equipped with many new technical features in addition to existing technologies. The cover design this time expresses four key technical features of this all-electric new Nissan LEAF together with a cutaway view of the vehicle in motion. The features represented are: (1) an acceleration waveform indicating superior response and acceleration performance, (2) a block diagram depicting a feeling of smooth deceleration achieved by accurate motor control during vehicle deceleration, (3) an accelerator pedal that symbolizes the driving ease obtained with one-pedal vehicle operation, and (4) a 30% (approximately 16°) slope on which the e-Pedal system, combining a 40-kWh battery and a 110-kW motor, can stop and hold the vehicle.



梅木 志保  
Shiho Umeki

EV・HEV システム開発部  
EV and HEV System  
Engineering Department

---

