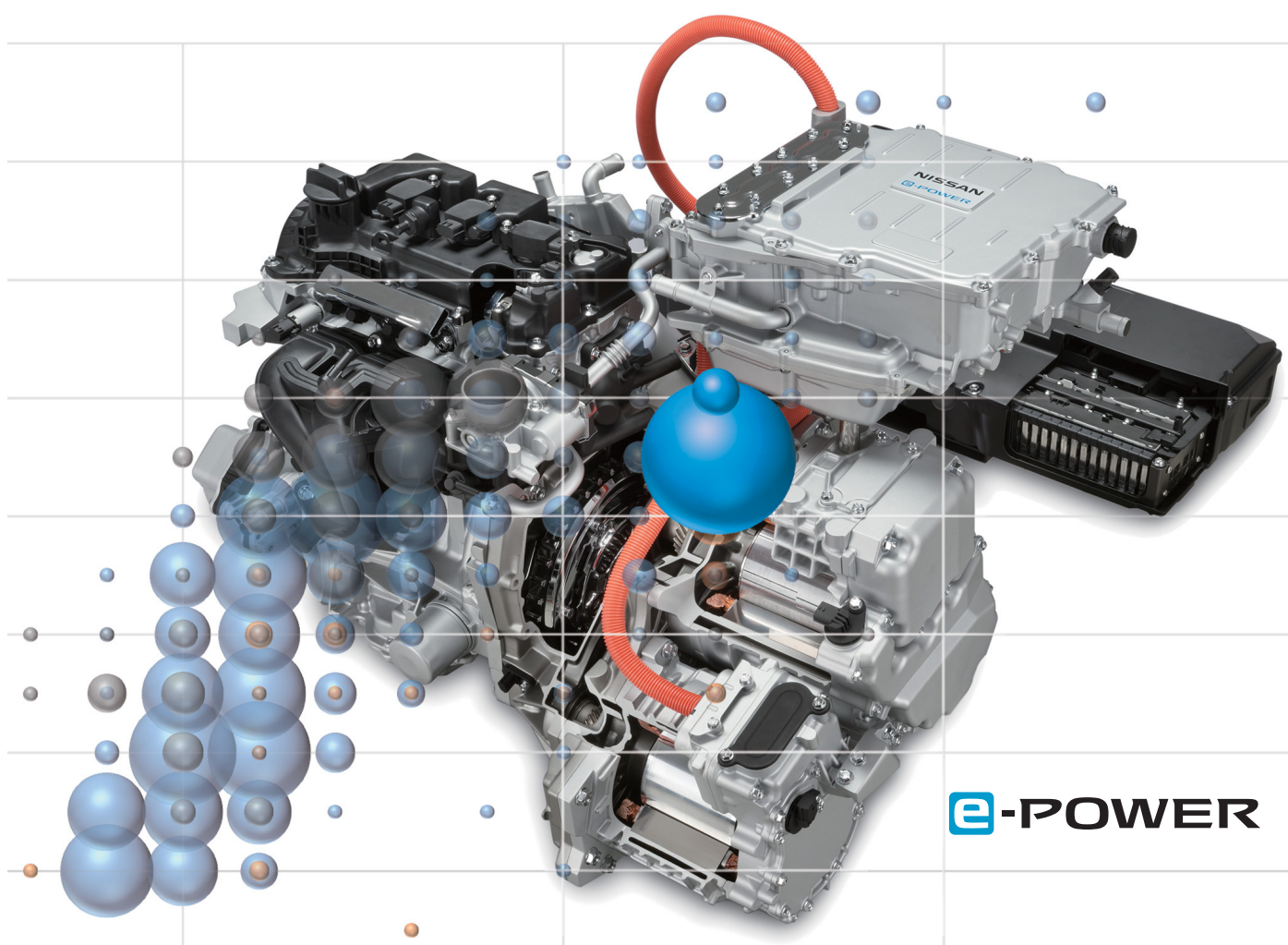


NISSAN TECHNICAL REVIEW

日産
技報

2017 No.80



新世代シリーズハイブリッドパワートレイン e-POWER

New-generation Hybrid Powertrain: e-POWER

NISSAN MOTOR CORPORATION



2017



NISSAN TECHNICAL REVIEW

No.80

日産技報第80号

目 次

2017年3月 発行

◆ 巻頭言

電動駆動車の新たな提案 e-POWER	矢島 和男	1
---------------------------	-------------	---

◆ 特集：新世代シリーズハイブリッドパワートレイン e-POWER

1. 日産の電動化・知能化戦略における新世代ハイブリッドパワートレイン e-POWER	渋谷 彰弘	3
2. 新世代ハイブリッドパワートレイン “e-POWER” の開発	木村 誠・風間 勇・河合 恵介 向 善之介・關 義則・衛藤 聡美	6
3. e-POWER用電動パワートレインの開発	大木 俊治・佐藤 義則・中島 孝 阿部 誠・玉井 克典	15
4. e-POWER用リチウムイオンバッテリーの開発	山村裕一郎・竹内 和史・三枝 宏樹	21
5. e-POWER用新型3気筒HR12DEエンジンの開発	伊藤 達也・内山 茂樹 井口 一紀・浮田 敏行	26

6. e-POWER用新型ギヤボックスの開発	辻 俊孝・出口 貴志・奥廣 将也・近藤 広将	33
------------------------	------------------------	----

7. e-POWERを支える振動・騒音低減技術	餌取 秀一・榎本 俊夫・桑田 敏久 市川 勝則・森 行広	39
-------------------------	---------------------------------	----

◆ 新車紹介

8. ノート・マイナーチェンジ商品概要	青木佐知子・田中 裕樹・谷村磨未子 浅野 博之・中野健二郎	48
---------------------	----------------------------------	----

9. 新型セレナ商品概要	四條 裕史・永井 淳一	53
--------------	-------------	----

◆ 社外技術賞受賞一覧表		59
--------------	--	----

———— CONTENTS ————

◆ **Preface**

e-POWER Represents a New Proposal for Electric-drive Vehicles	1
---	---

By Kazuo YAJIMA

◆ **Special Feature : New-generation Hybrid Powertrain: e-POWER**

1. New-generation e-POWER Hybrid Powertrain in Nissan's Electrification and Intelligence Strategy	3
---	---

By Akihiro SHIBUYA

2. Development of New-generation e-POWER Hybrid Powertrain	6
--	---

By Makoto KIMURA, Isamu KAZAMA, Keisuke KAWAI, Yoshinosuke MUKOU, Yoshinori SEKI, Satomi ETO

3. Development of an Electrified Powertrain for e-POWER	15
---	----

By Shunji OKI, Yoshinori SATO, Takashi NAKAJIMA, Makoto ABE, Katsunori TAMAI

4. Development of a Li-ion Battery for e-POWER	21
--	----

By Yuichiro YAMAMURA, Kazufumi TAKEUCHI, Hiroki SAIGUSA

5. Development of New Small 3-cylinder HR12DE Gasoline Engine for e-POWER	26
---	----

By Tatsuya ITO, Shigeki UCHIYAMA, Kazunori INOKUCHI, Toshiyuki UKITA

6. Development of a New Gearbox for e-POWER	33
By Toshitaka TSUJI, Takashi DEGUCHI, Masaya OKUHIRO, Hiromasa KONDO	
7. Noise and Vibration Reduction Technologies for New e-POWER Powertrain	39
By Syuuichi ETORI, Toshio ENOMOTO, Toshihisa KUWATA, Katsunori ICHIKAWA, Yukihiro MORI	
 ◆ New Model	
8. Product Overview of Updated Note	48
By Sachiko AOKI, Yuuki TANAKA, Mamiko TANIMURA, Hiroyuki ASANO, Kenjiro NAKANO	
9. Product Overview of the All-new Serena	53
By Hirofumi YOJO, Junichi NAGAI	
 ◆ List of Technical Award Recipients	 59



電動駆動車の新たな提案 e-POWER

アライアンス グローバル ディレクター
矢島 和男

今回の特集でご紹介するe-POWERを搭載した新型日産ノートが2016年11月、30年2ヶ月ぶりに日本で全銘柄・月間新車販売台数1位に輝きました。つまりe-POWERは日産が生み出した技術の中で、過去30年で最も市場に受け入れられた技術であるとも言えます。日本市場で日産は、電気自動車ではトップを走っているものの、ハイブリッド車では後塵を拝していると言われてきました。e-POWERの最初のミッションは、電気自動車開発で培った技術を活用して日本市場に大きなインパクトを与えることです。この点については、ある程度目的を果たせたと思います。多くのお客様に受け入れていただくためには、車に乗り込んで走った瞬間に魅力がわかることが必要であると考えてきました。e-POWERはこの要素を確実に備えています。まず、モータから生み出される発進時のレスポンスと太いトルク、それにアクセルペダル操作だけで速度調節可能なワンペダル感覚の新しいドライビングフィール、これらはお客様に乘っていただければ説明の必要はありません。また、e-POWERを実現するためには、100%電気モータで走ることに耐えうる電動パワートレインと、それを量産する技術が不可欠となりますが、私たちは既に日産リーフで保有している技術をそのまま使うことができました。言い換えれば、電気自動車を量産していることがe-POWER誕生の理由であり、過去6年間の日産リーフによる市場実績に裏付けられ、熟成された電動パワートレインの技術がe-POWERを世に送り出したとも言えます。

昨今、自動運転の技術開発と並んで電動化の動きが急速に広がっています。ルノー・日産アライアンスは電気自動車の分野で先頭を切っており、引き続き電気自動車の技術開発に注力をしていきますが、これに加えて広義の電気自動車である電動駆動車が新たな価値を提供できるのではないかと考えています。今後は、電動駆動をベースとしたプラグインハイブリッド車を得意とする三菱自動車も加わった、進化したアライアンスにおいて、さらにその電動駆動技術が発展していくものと期待しています。電動駆動技術では、e-POWERで実現している環境性能と走りの魅力の両立を図ることがキーになります。今回、e-POWERはトレードオフであった優れた燃費と胸のすくような加速を提供できました。特定保健用食品の炭酸飲料のようなもので、環境に気兼ねなく車を楽しんでもらえる商品になったと思います。

e-POWERの開発においては、様々な要素技術開発に取り組みました。モータ／インバータのハードと制御、発電用の3気筒エンジン、減速機、バッテリーなどです。そしてこれらをつなぐ全体のシステム設計とエネルギーマネジメントが開発の要となりました。本特集ではこれらの技術を紹介することで、e-POWERをご理解いただくとともに、将来に向けての発展の可能性を感じ取っていただければ幸いです。

e-POWER Represents a New Proposal for Electric-drive Vehicles

Kazuo Yajima
Alliance Global Director

In November 2016, the new-generation Nissan Note brilliantly ranked first in monthly new car sales among all brands in Japan for the first time in 30 years and 2 months. This latest Note model is equipped with the e-POWER powertrain that is the focus of this issue's special feature. In other words, this suggests that e-POWER is a technology that has received the best market acceptance among the various technologies Nissan has developed and brought out in the past 30 years. In the Japanese market, Nissan has been the leader in electric vehicles (EVs), but has been seen as trailing others in promoting hybrid vehicles.

The first major mission entrusted to e-POWER is to make a large impact in the Japanese market based on effective use of the technologies Nissan has accumulated through the development of EVs. In this regard, it has accomplished its initial mission to a certain extent. At Nissan, our thinking has been that to gain the acceptance of large numbers of customers, it is essential for them to understand the fascination of a vehicle from the moment they sit behind the wheel and start to drive. e-POWER definitely embodies such elements. The first ones are its excellent response and broad torque band produced by the drive motor at vehicle launch as well as its new driving style featuring such as one-pedal control for adjusting the driving speed by operating the accelerator pedal alone without touching the brake pedal. These elements need no explanation once customers drive the Note. The electric powertrain that is capable of 100% electric motor drive and the associated mass production technologies were indispensable for making e-POWER a reality. Fortunately, we were able to use unchanged the technologies that Nissan had already accumulated with the Nissan LEAF. Put differently, mass production of EVs was the reason for the creation of e-POWER. The electric powertrain technologies honed over the last six years for the Nissan LEAF and backed by real-world use made it possible to put e-POWER on the market.

Moves toward electrification have spread rapidly in recent years along with R&D activities for autonomous driving. The Renault-Nissan Alliance has led the way in the EV field and will continue to emphasize the development of EV technologies. In addition, we believe that electric-drive vehicles, representing EVs in the broad sense of the term, are capable of providing new value. We expect that electric-drive vehicle technologies will evolve further in the Alliance that has now been expanded with the addition of Mitsubishi Motors Corporation, which excels at plug-in hybrids based on electric drive. The key to this advance in electric-drive technologies will be to promote the fusion of environmental friendliness and fascinating driving performance that has been achieved by e-POWER. The new e-POWER system delivers both outstanding fuel economy and exhilarating acceleration, attributes that have previously required a trade-off. We are confident that the Note is a product that can be fully enjoyed without any hesitation regarding the environment, much like functional soft drinks as foods for specified health uses.

A wide variety of underlying technologies were developed in the course of developing e-POWER. These included the hardware and control technologies for the drive motor and inverter, the 3-cylinder gasoline engine as the energy source for power generation, reducer and battery pack, among others. The keys to the successful development of e-POWER were the overall system design for integrating all the components and thorough energy management. This special feature explains these technologies in detail, so it is hoped that readers will gain an understanding of e-POWER and perceive its significant potential for further evolution in the future.

日産の電動化・知能化戦略における 新世代ハイブリッドパワートレインe-POWER

New-generation e-POWER Hybrid Powertrain in Nissan's
Electrification and Intelligence Strategy

EV・HEVシステム開発部 渋谷 彰 弘
EV and HEV System Engineering Department Akihiro Shibuya



1. は じ め に

本特集では、日産が開発した新世代ハイブリッドパワートレイン“e-POWER”を紹介する。この技術は、従来のハイブリッド車の燃費の良さに加え、100%モータ駆動による圧倒的な加速の気持ちよさと運転しやすさを提供するものであり、ハイブリッド車のイメージを異次元に高めることを狙った。これは電気自動車（EV）、日産リーフの量産化で蓄積した制御技術や部品技術を共有することで実現した。

開発したe-POWER技術の詳細については本特集の各記事にて紹介するが、ここでは開発の背景やこのシステムの技術的な特徴をお伝えしたい。

2. 戦略的な背景

日産は、自動車の普及に伴うネガティブな影響を軽減し持続可能なモビリティ社会を構築するために、図1に示す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

1. Introduction

This special feature focuses on the new-generation e-POWER hybrid powertrain that Nissan has recently developed. In addition to the excellent fuel economy of conventional hybrid vehicles, this new powertrain delivers a pleasing sensation of overwhelming acceleration and driving ease, thanks to its pure motor-drive technology. The aim set for e-POWER was to elevate the general impression of hybrid vehicles to a totally different dimension. This has been achieved by sharing the control technology and parts technology accumulated through mass production of the Nissan LEAF electric vehicle (EV).

The newly developed e-POWER technologies are described in detail in the articles contained in this special feature. By way of introduction, this article presents the background behind the development of e-POWER and the distinctive technical features of this new system.

2. Strategic Background

Nissan is pursuing R&D activities along two strategic axes of electrification and intelligence as shown in Fig. 1. This strategy is aimed at building a sustainable mobility

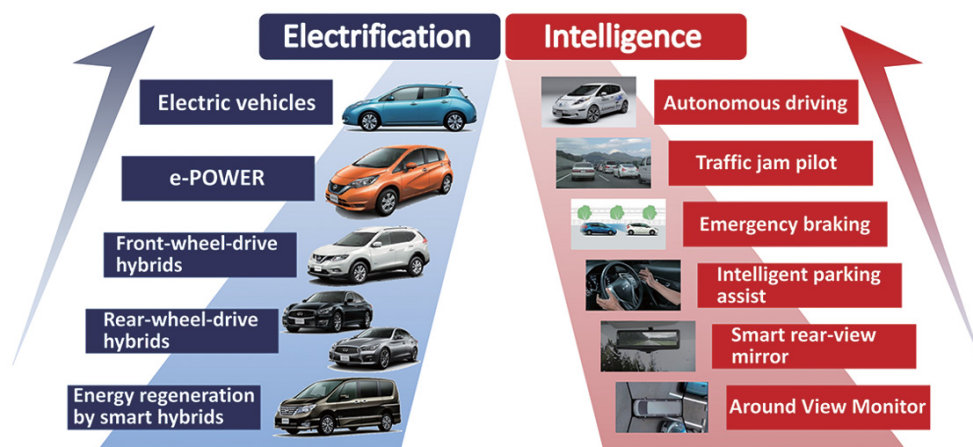


図-1 日産の電動化・知能化戦略
Fig. 1 Electrification and intelligence in Nissan's R&D strategy

- 1ペダルコントロール“e-POWER Drive”による新しい運転感覚：極低速までの回生領域の拡大と状況に応じた緻密な減速G制御により、アクセルからブレーキへの踏み替え頻度を大幅に低減し、市街地やワインディング路などで異次元の運転性を実現する。
- EVらしい静粛性：低速でのICE停止、ICE点火時のフロア振動の抑制、車両レベルの遮音性の向上などにより、EVらしい静粛性を実現する。
- コンパクトカテゴリでトップクラスの燃費性能：メカニカルに独立した発電システムにより、最も燃料消費率が低い動作点を優先的に使用し、e-POWER Driveの回生制御と合わせて高い燃費性能を実現する。

4. お わ り に

新世代パワートレインe-POWERは、先に述べた四つのベネフィットにより1～2クラス上の車両に乗っている感覚を実現できたと考えている。このe-POWERが広く普及することでモータ駆動のファンが増え、本格的な電動化に向けたムーブメントが起こることを期待したい。

- Characteristic EV quietness: EV-like quietness is achieved with the ICE turned off at low vehicle speeds, by suppressing floor vibration when the ICE is started and by the improved noise isolation performance at the vehicle level, among other measures.
- Class-leading fuel economy in the compact category: Thanks to the mechanically independent power generation system, preference is given to the engine operating point with the lowest fuel consumption rate. This feature is combined with regeneration control by e-POWER Drive to obtain high fuel economy.

4. Conclusion

The aforementioned four benefits of the new-generation e-POWER powertrain create the feeling that one is driving or riding in a vehicle one or two classes higher. It is expected that widespread penetration of e-POWER will increase the number of motor-drive enthusiasts and give rise to a movement toward full-fledged electrification of vehicles.

新世代ハイブリッドパワートレイン “e-POWER” の開発

Development of New-generation e-POWER Hybrid Powertrain

木村 誠*
Makoto Kimura

風間 勇**
Isamu Kazama

河合 恵介**
Keisuke Kawai

向 善之介*
Yoshinosuke Mukou

關 義則**
Yoshinori Seki

衛 藤 聡美**
Satomi Eto

抄 録 モータ駆動の特長を生かした走りの良さをより多くのお客様に提供することを目指して e-POWERを開発し、新型ノートに搭載した。駆動システムは日産リーフと同じ制御構成とし、モータ駆動制御技術や部品を共用した。さらに e-POWER Drive という走行モードを開発し、アクセルペダル操作のみで車速の加減速コントロールが容易にできる新しい運転感覚を実現した。

Summary We developed a new powertrain, called e-POWER, for the new Nissan Note to provide the pleasure of a motor-drive experience for larger numbers of customers. The drive motor (e-Motor) and control system were originally developed for the Nissan LEAF electric car. The newly developed e-POWER Drive mode provides a new driving experience for customers. In this mode, the driver can easily control the vehicle speed just by operating the accelerator pedal alone.

Key words : Power Unit, power train, series hybrid vehicle, electric vehicle (EV)

1. はじめに

e-POWERは日産の戦略的な技術軸の一つである電動化の一環として開発した、新しい電動パワートレインである。コンパクトカーへの適用を目指し開発を進め、今回新型ノートへ搭載した。本稿ではe-POWERの開発の狙い、概要、システム設計、および新たに開発した走行モード“e-POWER Drive”について解説する。

2. 開発の狙い

2010年に発売した100%電気自動車（EV）の日産リーフは航続可能距離の延長や運転性の向上などの進化を続け、全世界に20万台以上を販売している。日産リーフはゼロ車速から最大トルクが発生でき、広い車速範囲において固定変速比で直接駆動力を発生できる特長を生かしたモータ駆動による走りの良さが好評を博している。この走りの良さをさらに多くのお客様に提供することを目指し、コストやパッケージングの観点からもコンパクトカークラスに搭載できるパワートレインとしてe-POWERを開発した。

1. Introduction

e-POWER is a new electric powertrain that was developed in Nissan's electrification program, which forms one axis of the company's technology strategy. It was developed for application to compact cars and is mounted on the latest generation of the Note. This article explains the development aims set for e-POWER, presents an overview of the system, and describes its design and the newly developed e-POWER Drive mode.

2. Development Aims

The Nissan LEAF pure electric vehicle that was released in 2010 has continued to evolve through extension of its driving range and improvement of driveability, among other attributes. Cumulative global sales have reached more than 200,000 units. The Nissan LEAF is highly acclaimed for its excellent driving performance achieved with a motor-drive system. It takes advantage of the drive motor (e-Motor)'s ability to generate maximum torque from a vehicle speed of 0 km/h and to generate driving force directly at a fixed gear ratio over a wide range of vehicle speeds. The e-POWER powertrain was developed with the aim of providing this outstanding driving experience to larger numbers of customers. To accomplish that, it was developed for application to the compact car class in terms of both cost and packaging.

*パワートレインプロジェクト部／Powertrain Project Department **EV・HEVシステム開発部／EV and HEV System Engineering Department

3. e-POWERの概要

3.1 システム構成と主な仕様

いわゆるシリーズハイブリッド方式に分類されるe-POWERの最大の特徴は、駆動系と発電系がメカニカルに分離されていることである。システム構成を図1に示す。

e-POWERシステムは、VCM (Vehicle Control Module) によって制御される。VCMは、MC (Motor Controller)、GC (Generator Controller)、BMS (Battery Management System) およびECM (Engine Control Module) と連携し、常に最適な発電によるエネルギーマネジメントと駆動力制御を行う。

駆動系と発電系がメカニカルに分離されているという特徴により、①駆動系の基本コンポーネントや制御はEVの技術を流用でき、駆動力は100%駆動モータで発生する、②発電用のエンジンは走行状態に寄らず自由に回転数とトルクの設定が可能、という二つの大きな特長を持つ。①によりEVと同様のモータ駆動による走りの良さを提供でき、②によりエンジン効率の良い動作点で運転し燃費向上が図られ、また音振上有利なエンジン動作をさせることができる。外観を図2に、構成ユニットの主な仕様を表1に示す。

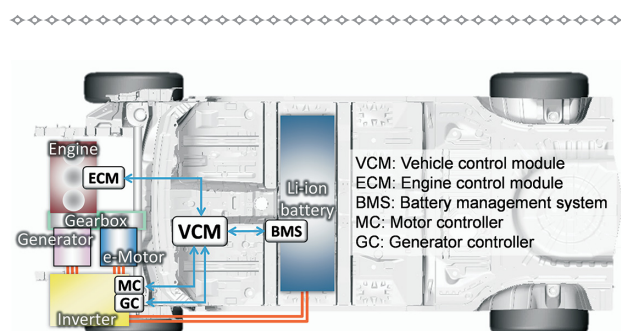


図-1 システム構成
Fig. 1 Configuration of e-POWER system

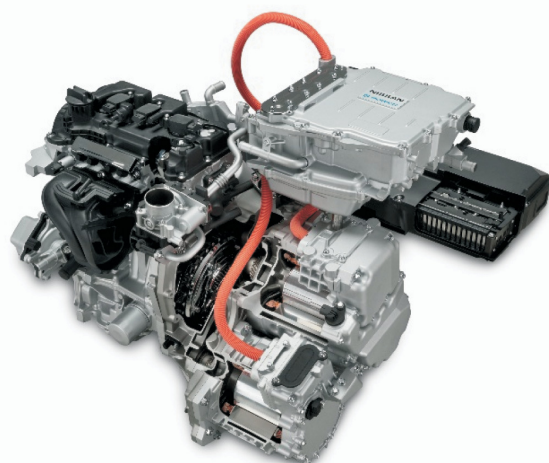


図-2 e-POWER 外観
Fig. 2 Appearance of e-POWER

3. Overview of e-POWER

3.1 System configuration and principal specifications

Classified as a series hybrid, one of e-POWER's most significant features is that the drivetrain system and power generation system are mechanically separated. The system configuration is shown in Fig. 1. The e-POWER system is controlled by the vehicle control module (VCM), which is linked to the motor controller (MC), generator controller (GC), battery management system (BMS) and the engine control module (ECM). VCM performs energy management and driving force control at all times though optimal power generation.

The distinct feature that the drivetrain system and power generation system are mechanically separated provides the following significant advantages. (1) EV technologies can be shared for the basic components and control of the drivetrain system, and all driving force can be generated by the e-Motor. (2) The speed and torque of the engine used for power generation can be set flexibly regardless of the operating state of the vehicle. The first advantage enables the provision of excellent driving performance obtained with the same motor drive as that of an EV. The second advantage enables fuel economy to be improved by operating the engine at the point for the best fuel economy, and it also allows engine operation advantageous for noise, vibration and harshness (NVH) performance. The appearance of e-POWER is shown in Fig. 2, and the major specifications of the constituent units are listed in Table 1.

The maximum motor power and torque specifications are the same as those of the current Nissan LEAF. Figure 3 compares the acceleration characteristics of the Note e-POWER system and two other types of hybrid vehicles A and B. It is seen in the figure that the Note e-POWER system provides better acceleration response than the other types of hybrid vehicles A and B. Acceleration G rises quickly to provide smooth acceleration, like the performance of the Nissan LEAF.

The power generation system consists of an internal combustion engine (ICE) modified specifically for power generation use combined with a generator. The engine was developed based on the HR12DE engine mounted on ICE-

表-1 構成ユニットの主な仕様
Table 1 Specifications of e-POWER components

Drive system	Motor power	80 kW
	Motor torque	254 Nm
Generating system	Generator power	55 kW
	Engine type	Gasoline L3
	Engine displacement	1.2 L
Battery	Type	Li-ion
	Capacity	1.47 kWh

最高出力と最大トルクは現行日産リーフと同スペックである。図3にノート・e-POWERと他方式ハイブリッド車A、Bの加速特性を示す。

ノート・e-POWERは日産リーフと同様、他方式ハイブリッド車A、Bに比べ加速レスポンスが良く、Gの立ち上がりが早くスムーズな加速が実現できている。

発電系は、ノート ICE (Internal Combustion Engine) 車にも搭載されている HR12DE をベースに発電専用でモディファイしたエンジンと発電モータの組み合わせで構成される。バッテリーはリチウムイオンタイプで、クイックな加速レスポンスを実現するために、高出力タイプを採用した。駆動モータ、発電モータ、インバータはエンジン冷却システムとは独立した水冷システムを有し、リチウムイオンバッテリーはパック内に専用の空冷システムを搭載する。

3.2 パッケージング

図4に、バッテリーを含めたe-POWERの車両レイアウトを示す。

ギヤボックスは、モータ駆動用減速機とエンジン発電用増速機の2系統ギヤトレインをワンパッケージに収めている。このギヤボックスを介して駆動系と、エンジンを含めた発電系は一体に組み立てられている。インバータはパワートレインとは別体で車体に固定され、駆動モータおよび発電モータとはそれぞれ三相ハーネスで接続されている。バッテリーパックは、前席シート下に配置できるようコンパクトな設計としている。前席シート下に配置することにより、乗員スペースに影響を与えず、ICE車とほとんど変わらないキャビンおよびラゲッジスペースを実現できた。また、ICE車と共通の骨格内側にバッテリーパックを配置したので、新たな骨格部材を追加することなく高電圧部品保護と乗員安全を両立できる。これらによりBセグメントのコンパクトなプラットフォームであるノートへの搭載を実現した。

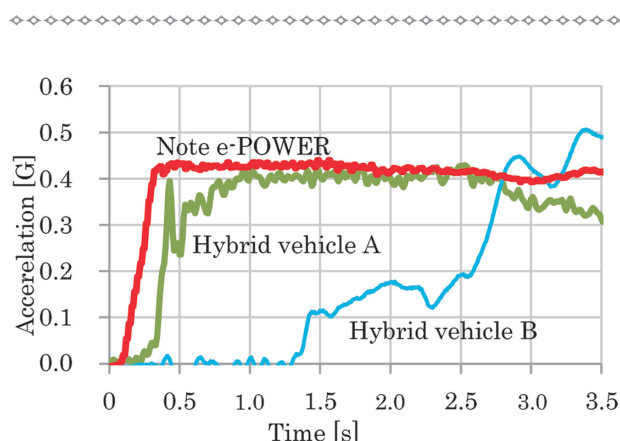


図-3 停車時からの加速特性（スロットル全開時）
Fig. 3 Acceleration G at standing start
(wide open throttle, WOT)

powered Note models. The battery is of the lithium-ion type. A high-output type was adopted to provide quick acceleration response. The e-Motor, generator and inverter have an independent water cooling system separate from that of the engine. The Li-ion battery has a dedicated air cooling system provided inside the battery pack.

3.2 Packaging

Figure 4 shows the in-vehicle layout of the e-POWER system including the battery pack. The gearbox houses two gear trains within one package; one serving as the motor-drive reducer and the other as the multiplier for engine-based power generation. The drivetrain system and the power generation system including the engine are integrally assembled via the gearbox. The inverter is attached to the vehicle body as a separate unit from the powertrain. It is connected to both the e-Motor and the generator via a three-phase wiring harness.

The battery pack features a compact design, enabling it to be positioned below the front seats. This position does not affect the occupant space and allows virtually the same cabin space and luggage area as the ICE-powered Note models. In addition, positioning the battery inside the frame shared with the ICE-powered models achieves both protection for the high-voltage components and occupant safety without adding any new frame parts. This made it possible to mount e-POWER on the compact B-segment platform of the Note.

3.3 Configuration of e-POWER control system

The basic concept for the e-POWER system configuration was to add an engine as the energy source for power generation and a generator, thereby enabling the battery capacity to be reduced and the battery charger to be discontinued. This is in contrast to an EV that is configured with an e-Motor, an inverter, a Li-ion battery

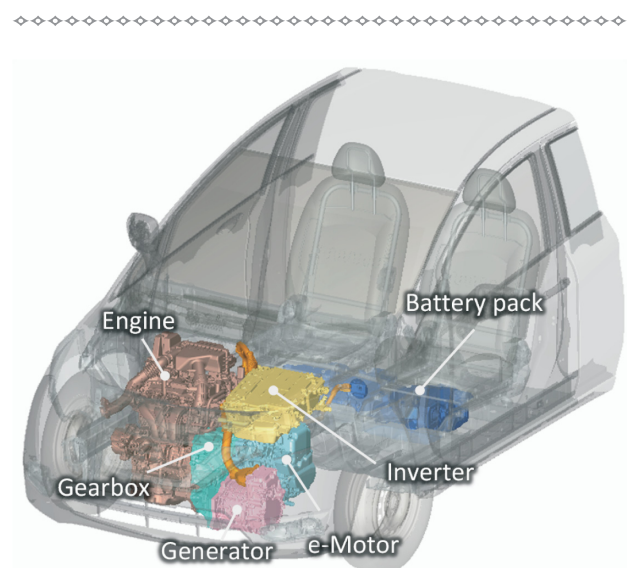


図-4 e-POWER の車両レイアウト
Fig. 4 In-vehicle layout of e-POWER system

3.3 e-POWER制御システム構成

e-POWERの基本構成構想は、駆動モータ、インバータ、リチウムイオンバッテリー、充電器で構成されるEVに対し、発電用のエンジンと発電モータを追加し、リチウムイオンバッテリーの容量を減らし、充電器を削除する、というものである。この構想を基に設計した制御システムの構造を、日産リーフと比較し図5に示す。

制御システム構造における日産リーフとの対比においては、充電システムを発電システムに置き換えるためOBC (On Board Charger) を取り除き、ECMとGCに置き換えている。駆動システムは、日産リーフと同じ制御構成である。この制御システム構造により、日産リーフで築き上げたモータ駆動制御技術と部品を共有できた。

4. システム設計

4.1 基本システム設計理念

e-POWERシステムは、代表的な走行シーンにおいて、リチウムイオンバッテリーからの供給電力のみで走行できるポテンシャルを持たせた (図6の青点と緑点)。また、山岳路などの高負荷連続運転では、発電モータから電力を供給して走行する設計とした (図6の赤点)。このバッテリーと発電モータの供給電力を合わせることで、日産リーフ同様の力強い加速を可能としている。

4.2 トップレベルの燃費

e-POWERに搭載したHR12DEエンジンの燃料消費率と、実用燃費モード (お客様の市場での使われ方を代表した走行モード) でのエンジン動作点頻度を図7に示す。駆動系とエンジンが完全に独立していることを活用し、駆動系の状態にかかわらず、各種要求 (動力・運転性・音振・排気・熱・暖房・ブレーキ負圧・部品保護・診断など) の許容範囲内で最も燃費が良い動作点を選ぶよう、VCMにて各コンポーネントの目標値を演算している。その結果、同セグメントの他車と比較して、圧倒的に高い頻度で最良燃費点 (2400rpm、70Nm付近) での運転を実現した。

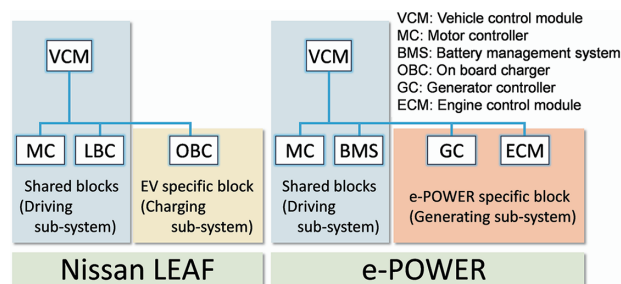


図-5 制御システム構造比較
Fig. 5 Comparison of control systems

and a charger. The structure of the control system designed on the basis of this concept is shown in Fig. 5 in comparison with that of the Nissan LEAF.

In this comparison of control system structures, in order to replace the Nissan LEAF's charging system with a power generation system, the on-board charger (OBC) was discontinued and replaced with the ECM and GC. The drivetrain system has the same control configuration as that of the Nissan LEAF. The structure of this control system shares the motor-drive technology and components honed with the Nissan LEAF.

4. System Design

4.1 Basic system design concept

The e-POWER system has the ability to propel the vehicle on the power provided only by the Li-ion battery in typical driving situations (blue and green points in Fig. 6). The system is designed such that power for propelling the vehicle is also supplied by the generator under continuous high-load operation such as when traveling on mountain roads, among other situations (red points in Fig. 6). Combining the power supplied by the Li-ion battery and that of the generator delivers powerful acceleration like that of the Nissan LEAF.

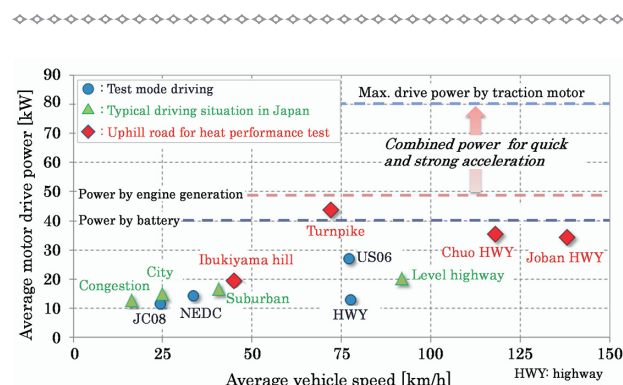


図-6 エネルギー消費/供給のバランス
Fig. 6 Energy consumption and power generation balance

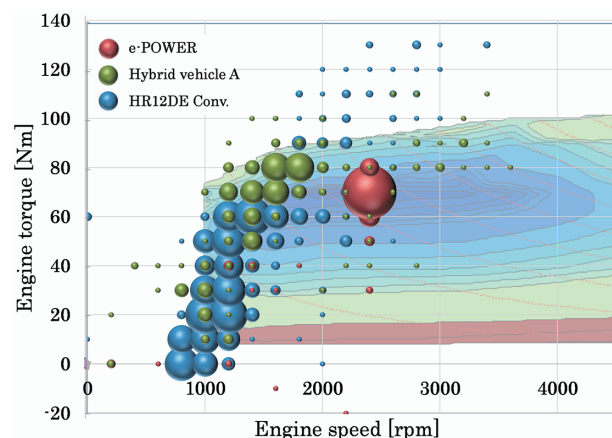


図-7 実用燃費モードでのエンジン動作点頻度
Fig. 7 Operating point for real-world fuel economy (Nissan's definition)

4.3 EVのような静粛性

EVのような静粛性を実現するために、EV走行領域、すなわちリチウムイオンバッテリーからの供給電力のみで走行できる領域を設定するに当たり、日本市場での走行頻度が高い中低速領域をカバーでき、かつ他ハイブリッド車よりも広くなるようにした（図8）。さらに高速領域においても、リチウムイオンバッテリーのSOC（State Of Charge）が高い場合は、可能な限りEV走行を継続し、一方でSOCが低くなった際には、暗騒音に対してエンジン音が目立ちすぎない程度に発電して、リチウムイオンバッテリーに充電する設計とした。

図9に市場でのお客様の使われ方を代表した走行モード（市外路・山岳路・渋滞路・高速路などの走行を包含）での各車速帯におけるEV走行割合を示す。走行時間に対して、25km/h以下において約90%、25～50km/hにおいて約50%と、中低速領域で高いEV走行割合を実現している。

4.4 走行シーンに適したエンジン回転数の設計

図10に、車速と加速度Gに応じて設計した、エンジンの目標回転数を示す。全車速を通じ、できる限り燃費の良い回転数（2400rpm付近）に留まるよう設計した。ドライバがアクセルを強く踏み込んだ際には、エンジン回転数を加速感に合わせて高回転まで上昇するよう設計した。ま

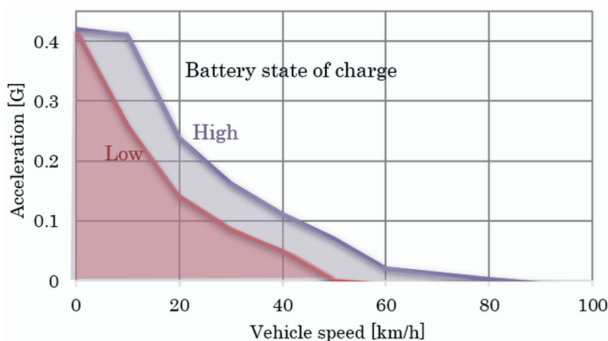


図-8 車速とバッテリー残容量に応じた EV 走行領域
Fig. 8 Scope of EV driving depending on vehicle speed and battery state of charge

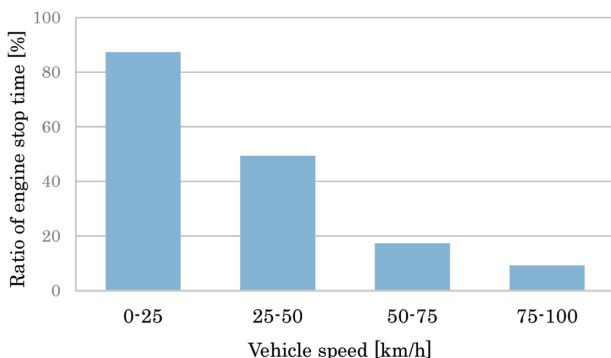


図-9 各車速帯のエンジン停止時間（EV 走行時間）の割合
Fig. 9 Ratio of engine stop time (EV time) in each vehicle speed range

4.2 Top-level fuel economy

Figure 7 shows the fuel consumption rate of the HR12DE engine used in the e-POWER system and the frequency of engine operation in the practical fuel economy mode (representative of customers' driving style in real-world driving). The fact that the drivetrain system and the engine are completely separated is used effectively to select the operating point for the best fuel economy within the allowable range for various requirements. These include power performance, driveability, NVH, emissions, heat, cabin heating, brake negative pressure, parts protection and diagnosis, among others. For that purpose, the VCM calculates the target performance for each component. As a result, e-POWER operates at the point of the best fuel economy (near 2400 rpm and 70 Nm) with an overwhelmingly high frequency compared with other vehicles in this class.

4.3 EV-like quietness

To ensure EV-like quietness, the EV-mode driving region, i.e., operation on power supplied by the Li-ion battery alone, has been defined to encompass the low- to medium-speed range where vehicles are frequently driven in the Japanese market. In addition, it has also been defined wider than that of other hybrid vehicles (Fig. 8). Moreover, in the high-speed region as well, EV-mode driving is continued as long as possible when the battery state of charge (SOC) is high. When the SOC falls, power is generated to charge the Li-ion battery to the extent that engine noise does not become overly conspicuous, which is a measure taken against noise.

Figure 9 shows the share of EV-mode driving in each vehicle speed range for typical driving modes used by customers in the real world, including driving on city, mountain, congested and high-speed roads, among other situations. EV-mode driving accounts for a high percentage of the driving time, for approximately 90% at speeds below 25 km/h and for approximately 50% in the medium- to high-speed range.

4.4 Engine speed suitably designed for various driving situations

Figure 10 shows the target engine speed designed to match the vehicle speed and acceleration G . In all vehicle

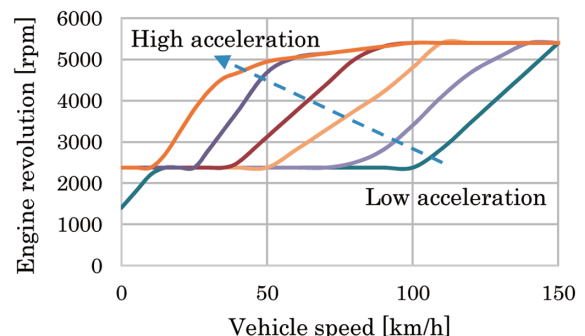


図-10 目標エンジン回転数
Fig. 10 Target engine speed

た、加速時に大電力が必要となる高車速域では、エンジン回転数を高めにしておき、次の加速に備えている。

5. 新しい運転感覚を提供する “e-POWER Drive”

e-POWERは駆動力源としてモータのみを使用していることを生かし、新たに強回生システム、勾配補正、低 μ 路スリップ抑制制御などを組み合わせ運転性と燃費を両立させた運転モードを設定した。これを“e-POWER Drive”と呼び、お客様に訴求している。ここではこの走行モードでの各制御とその効果について説明する。

5.1 e-POWER Driveが提供する新しい運転スタイル

e-POWER Driveはアクセルペダル操作のみで市場走行の約90%を走行可能とした、新しい運転スタイルを提供するものである。これには、①アクセルペダル操作で減速のために発生させるコーストルクを設計すること、②車両停止まで減速度コントロールが容易にできること、という二つの要素が必要である。

①のコーストルク設計に関しては、駆動モータで走行する強みである設計の自由度を生かすことで、図11に示すように市場で発生する90%以上の減速度をカバーすることが可能となった。その結果、アクセルペダル操作のみで十分な減速が行えることとなり、減速時のブレーキペダル踏みかえ操作を軽減することができた。

②の減速度コントロールの容易性に関しては、アクセルペダル操作で減速する際の、ドライバ操作の分析結果から、前車追従走行などで発生する足首操作による微小な減速、交差点停止などで発生する膝を使つての減速、前車との車間が詰まり過ぎた際のアクセルペダルのOFF操作による減速、と三通りあることに着目した。これらの操作とドライバ要求減速度を組み合わせることにより、図12に示すように、e-POWER Driveではアクセルペダル操作のみで、ICE車のブレーキ操作で減速しているかのような扱いやすい減速度のコントロール性を実現している。

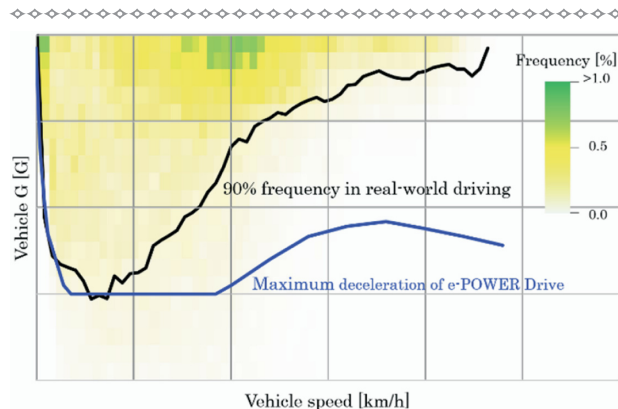


図-11 市場減速度頻度と e-POWER Drive の減速度特性
Fig. 11 Real-world deceleration frequency and deceleration G characteristic of e-POWER Drive

speed ranges, the engine speed is designed to remain near 2400 rpm as much as possible for excellent fuel economy. When the driver presses the accelerator pedal hard, the engine speed is designed to rise to a high level to match the increase in vehicle acceleration. In addition, in the high-speed range where large power is needed for acceleration, the engine speed is held high in preparation for the next acceleration event.

5. e-POWER Drive Providing a New Driving Feel

A new drive mode has been defined that takes advantage of the e-Motor used as e-POWER's only source of motive power. Called e-POWER Drive, this mode combines a new strong power regeneration system, slope assist, slip-suppression control on low- μ surfaces and other advanced features intended to appeal to customers. The following sections explain the control procedures and their effects in this drive mode.

5.1 New driving style provided by e-POWER Drive

Approximately 90% of real-world driving can be done in the e-POWER Drive mode by just operating the accelerator pedal alone, thus providing a new driving style. This requires the provision of the following two elements. (1) Coasting torque generated by the driver's operation of the accelerator pedal must be designed for decelerating the vehicle. (2) It must be easy to control deceleration until the vehicle stops.

With regard to the first element of designing coasting torque, effective use is made of the design flexibility that is one strength of e-Motor propulsion. As shown in Fig. 11, that makes it possible to cover more than 90% of the deceleration events that occur in real-world driving. As a result, operation of the accelerator pedal alone provides sufficient deceleration, thereby reducing the need to switch the foot to the brake pedal to depress it when decelerating the vehicle.

As for the second element of easy control of deceleration, an analysis was made of drivers' operations when decelerating by operating the accelerator pedal. The results revealed three patterns that were focused on. One is operation by ankle motion to produce slight acceleration

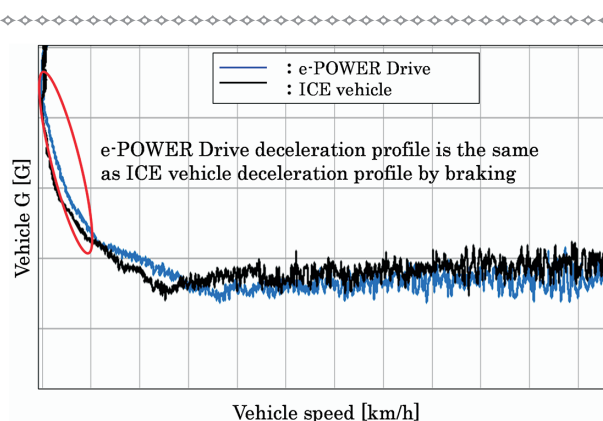


図-12 減速度プロフィール
Fig. 12 Deceleration profiles

また、加速／減速コントロール性が良い、一定速走行しやすい、アクセルを踏み続けても疲れにくい、の3点を実現するため、加速度がゼロとなるアクセルの中立開度を以下の考えを基に設計した。

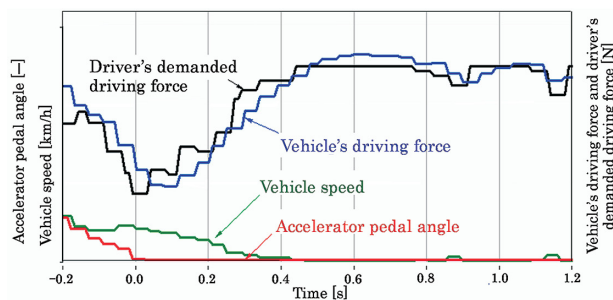
- 加速をする際に、運転姿勢が安定するアクセル踏力
- 減速をコントロールするために十分なアクセル開度
- 自然とアクセルを踏んだ際に到達するアクセル開度

さらに、e-POWER Driveの魅力を向上させるため、勾配補正制御、低 μ 路スリップ抑制制御、グライディング制御を織り込んでいる。

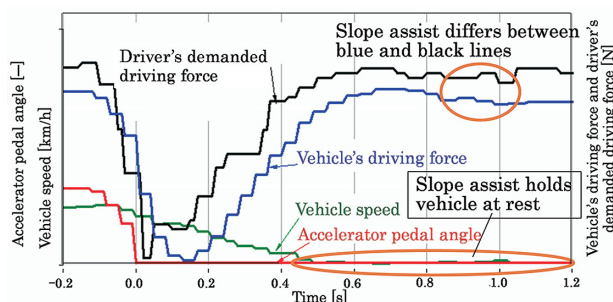
5.2 e-POWER Driveを支える様々な制御

5.2.1 勾配補正制御

駆動力制御系により、時々刻々と変化する路面情報を検出し、これをもとに勾配を推定してトルク補正を行っている。これを勾配補正制御と呼ぶ。この制御により、登降坂路においても平坦路と同じアクセルペダル操作で発進／停止が行えるようになる。特に下り勾配において、トルク補正を行わない場合は減速度が足りず、ブレーキによる車速コントロールが求められるが、本制御により-3%勾配までであれば、アクセルペダル操作のみで車速コントロールが可能となっている。図13に勾配補正制御の効果を示す。(a)は平坦路でアクセルペダルを全閉にした状態で、ドライバの駆動力要求と車両駆動力が一致し、車速がゼロになり停止できていることを示す。一方(b)は-2%勾配で同じようにアクセルペダルを全閉にしているが、ドライバ



(a) On flat road



(b) -2% downhill slope

図-13 勾配補正効果

Fig. 13 Experimental results for effect of slope assist

when following a preceding vehicle. Another is accelerator pedal operation by using knee action to produce deceleration for stopping at intersections, for example. The third one is to lift the foot off the accelerator pedal to decelerate when the distance to a preceding vehicle is too close. As shown in Fig. 12, these operating patterns are combined with the driver's demanded deceleration to achieve easy control of deceleration with e-POWER Drive through operation of the accelerator pedal alone, similar to deceleration of an ICE-powered vehicle by depressing the brake pedal.

The neutral position of the accelerator pedal with acceleration of 0 km/h was designed on the basis of the concepts noted below. This achieves the three points of easy control of acceleration/deceleration, ease of steady-speed driving, and little feeling of fatigue when continuing to depress the accelerator pedal.

- Acceleration pedal effort allowing a stable driving posture when accelerating.
- A sufficient accelerator pedal angle for controlling deceleration.
- Attaining a natural acceleration pedal angle when depressing the accelerator pedal.

To further enhance its attractiveness, slope assist control, slip-suppression control on low- μ surfaces, and gliding control were also incorporated in e-POWER Drive.

5.2 Various control features supporting e-POWER Drive

5.2.1 Slope assist control

The driving force control system detects constantly changing road surface information, estimates the slope on that basis, and provides torque compensation. This feature is called slope assist control. This control enables the vehicle to be launched and stopped on uphill/downhill slopes with the same operation of the accelerator pedal as on flat road. On downhill slopes in particular, deceleration may be insufficient if torque compensation control is not performed, thus requiring operation of the brake pedal for controlling the vehicle speed. However, with this control feature, the vehicle speed can be controlled by operating the accelerator pedal alone up to a downhill slope of -3%.

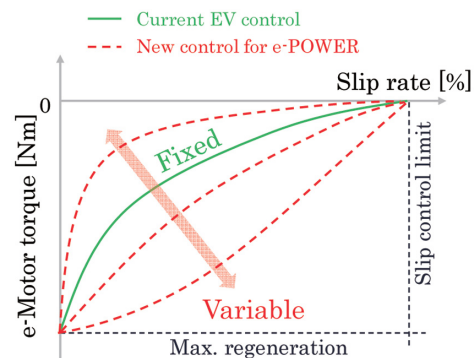


図-14 スリップ率-コーストトルク特性

Fig. 14 Slip rate-coasting torque characteristic

の駆動力要求に対し、車両駆動力は勾配補正制御によってそれより低い値（勾配と釣り合うトルク）で、車速ゼロとなっている。

5.2.2 低 μ 路スリップ抑制制御

e-POWER Driveは日産リーフに対し大きなコーストルクを得ながら低 μ 路での安定性を維持するため、制御の改良を行った。

具体的には、図14に示すように従来はスリップ率に応じてコーストルクを制限していたが、e-POWERでは規範モデルよりスリップ率変化に応じたコーストルクとなるよう、同じスリップ率でもコーストルクを変化できるようにしたことである。

上記改良した制御により、図15に示すように日産リーフより大きな減速度を扱った場合においても、安定した減速が行えている。

5.2.3 グライディング制御

微小なアクセルペダル操作において、加減速を繰り返すことによって電力の入出力が発生する。この際の微小なエネルギー変換を削減することで、燃費向上が図られることに着目した。具体的にはドライバ操作、車速情報から前車追従のような一定速走行からの軽微な減速意図を検知し、モータトルクを0Nm化することである。上記制御により、無駄な電力の入出力を抑制し、かつ無駄な減速を抑制することで、燃費向上につなげるものである。その効果は市街地走行において、約3~4%の効果をもたらしている。図16にグライディング制御の有無による、モータトルク動作点頻度の差を示す。

以上のように、駆動モータで走行する強みである設計の自由度を生かしたコーストルク設計や、様々な制御技術により、新型ノートでは新しい運転感覚と良燃費を提供する運転モード“e-POWER Drive”を実現した。

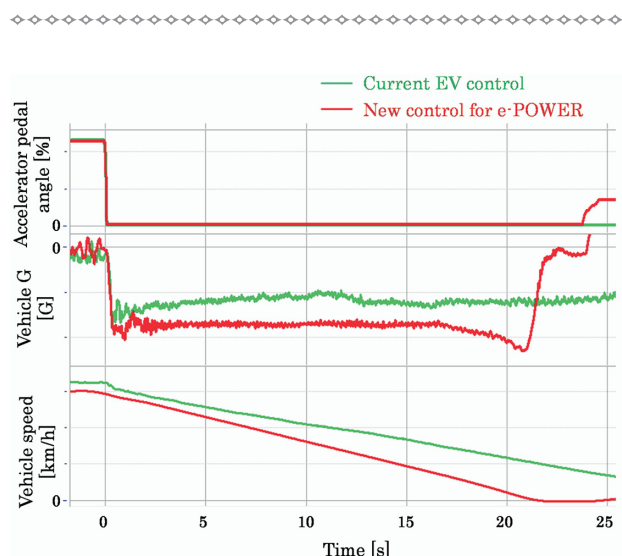


図-15 低 μ 路減速プロフィール

Fig. 15 Deceleration G profile on low- μ surface

Figure 13 shows the effect of this slope assist control. The results in (a) show that the driver's demanded driving force and the vehicle's driving force coincided, resulting in zero vehicle velocity and the vehicle stopped. These results are for complete release of the accelerator pedal on a flat road. In contrast, the results in (b) are for complete release of the accelerator pedal on a -2% downhill slope. Owing to slope assist control, the vehicle's driving force was smaller than the driver's demanded driving force (due to torque matching with the slope), resulting in zero vehicle velocity.

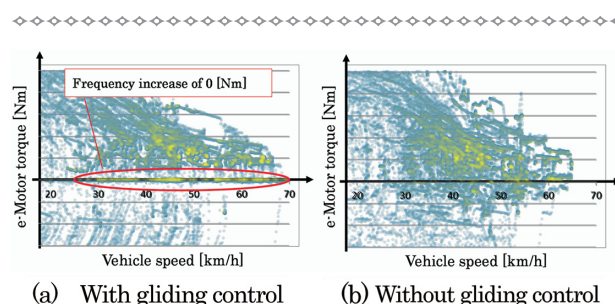
5.2.2 Slip-suppression control low- μ road surfaces

The e-POWER Drive mode provides larger coasting torque than the Nissan LEAF, so the control system was improved to maintain stability on low- μ road surfaces. Specifically, as shown in Fig. 14, the previous system limited coasting torque according to the slip rate. The e-POWER Drive mode uses a reference model to vary the coasting torque even at the same slip rate so that it matches the change in the slip rate. As shown in Fig. 15, this improved control procedure provides stable deceleration even in cases involving larger deceleration than that of the Nissan LEAF.

5.2.3 Gliding control

Repeated acceleration/deceleration by slight operation of the accelerator pedal causes charging/discharging of battery power. Attention was focused on improving fuel economy by eliminating these tiny conversions of energy. Specifically, the system detects the desire for slight deceleration in steady-speed driving, such as when following a preceding vehicle, based on the driver's operational inputs and vehicle data and makes the motor torque 0 Nm. This control suppresses wasteful charging/discharging of battery power and also suppresses unnecessary deceleration, which leads to improved fuel economy. It has the effect of improving fuel economy by approximately 3-4% in real-world city driving compared with that without the control. Figure 16 shows the difference in the frequency of a 0-Nm increase in e-Motor torque with/without gliding control.

As described here, the e-POWER Drive mode was achieved through the coasting torque design, which takes advantage of the design flexibility that is one strong point of motor drive, and the addition of various control features. This drive mode delivers a new driving feel and improved fuel economy in the new-generation Note.



(a) With gliding control

(b) Without gliding control

図-16 モータトルク動作点頻度

Fig. 16 Operating point for e-Motor torque

6. ま と め

モータ駆動の特長を生かした走りの良さをより多くのお客様に提供することを目指してe-POWERを開発し、新型ノートに搭載した。そのために、駆動システムは日産リーフと同じ制御構造とし、モータ駆動制御技術や部品を共用した。また、e-POWER Driveという走行モードによるアクセルペダル操作のみで、車速の加減速コントロールが容易にできる新しい運転感覚を実現した。

最後に、この新型パワートレイン “e-POWER” の開発にあたり、多大なご協力をいただいた社内外の皆様に、深く感謝の意を表す。

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 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) 福永洋輔ほか：日産リーフ向け高応答加速度制御の開発、日産技報、No. 69・70、pp. 16-20 (2012).

6. Conclusion

The e-POWER system was developed and implemented on the new Note with the aim of enabling larger numbers of customers to enjoy an excellent driving experience based on the features of motor drive. Toward that end, the drive system shares the same control system structure and motor drive control technology and parts with the Nissan LEAF. In addition, the e-POWER Drive mode that facilitates driving just by operating the accelerator pedal alone provides a new driving feel, thanks to its easy control of vehicle acceleration/deceleration.

Finally, the authors would like to thank everyone involved within and outside Nissan for their invaluable cooperation with the development of the new e-POWER electric powertrain.

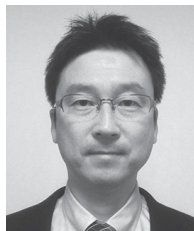
References

- 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 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) Y. Fukunaga et al.: Development of a Highly-Responsive Acceleration Control for Nissan LEAF, Nissan Technical Review, No. 69/70, pp. 16-20 (2012).

■著者 / Author(s)■



木 村 誠
Makoto Kimura



風 間 勇
Isamu Kazama



河 合 恵 介
Keisuke Kawai



向 善之介
Yoshinosuke Mukou



關 義 則
Yoshinori Seki



衛 藤 聡 美
Satomi Eto

e-POWER用電動パワートレインの開発

Development of an Electrified Powertrain for e-POWER

大 木 俊 治*
Shunji Oki

佐 藤 義 則*
Yoshinori Sato

中 島 孝*
Takashi Nakajima

阿 部 誠*
Makoto Abe

玉 井 克 典*
Katsunori Tamai

抄 録 新しい電動車両技術であるe-POWERの電動パワートレインとして、駆動モータ、発電モータ、及びインバータの開発を進めてきた。e-POWERは競合コンパクトハイブリッド車に対する優位性を確保するため、小型、低コスト、高効率が求められた。この電動パワートレインでは日産ノートへの搭載に向け、日産リーフの技術を継承しつつ、省レアアース磁石を採用した駆動モータ、薄肉ハウジング採用の小径発電モータ、新構造パワーモジュール採用でコンパクトなパッケージを実現した2 in 1 インバータを開発した。これらのコンポーネントにより、高い品質はもちろん、「モータならではの力強く上質な走り」の実現に貢献している。

Summary This article describes the electrified powertrain developed for the new e-POWER system. This powertrain requires a compact package, low cost, and high efficiency to secure competitiveness against other compact HEVs. The cost of the drive motor (e-Motor) was reduced by using rare-earth-saving magnets. The generator diameter was shortened by adopting a thin-walled housing. The inverter has two inverter functions in one compact package, achieved by using power modules with a new structure. This high-quality powertrain delivers powerful driving performance of outstanding quality.

Key words : Power Unit, electric vehicle (EV), hybrid electric vehicle(HEV), motor, generator, interior permanent magnet synchronous motor, motor drive system, inverter

1. は じ め に

日産の将来に向けた技術チャレンジの柱である電動化技術としてe-POWERを開発し、2016年11月にこの電動パワートレインを搭載した日産ノートの発売を開始した。

本電動パワートレインは電気自動車（EV）の日産リーフにおける技術を継承しつつ、コンパクトカーへの適用、低コスト、高効率を実現した。また、「モータならではの力強く上質な走り」に向けて、モータ制御の更なる改善も実施した。

本稿ではこの電動コンポーネントの概要と採用されている特徴的な技術を紹介する。

2. 電動パワートレイン

2.1 電動パワートレイン概要

e-POWERシステムは「EVならではの走りの良さ」と「充電しないEV」を実現するために開発された新しい電動駆動システムである。図1にe-POWERのシステム構成を示す。e-POWERシステムは二つのモータを持ち、一方の

1. Introduction

e-POWER was developed as an electrification technology that forms one pillar of Nissan's technology challenge for the future. In November 2016, the Nissan Note went on sale in Japan, fitted with this new electrified powertrain.

Continuing the technologies of the Nissan LEAF electric vehicle (EV), this electrified powertrain is a low-cost, high-efficiency system that is applicable to compact cars. Further improvements were made to the motor control technology to achieve powerful, high-quality driving performance that only a motor drive can deliver.

This article presents an overview of the electrified components and the distinctive technologies adopted for this powertrain.

2. Electrified Powertrain

2.1 Overview

e-POWER represents a new electrified powertrain system that was developed to achieve both the excellent driving performance characteristic of an EV and an EV that does not need charging. The configuration of the e-POWER system is shown in Fig. 1. The e-POWER system

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

モータで駆動し、もう一つのモータで発電することで、EVの走りの良さを実現しながら、充電の煩わしさからお客様を開放するという目的を達成している。

図2にパワートレインの外観(カットモデル)を示す。e-POWER用電動パワートレインは、車両前方のエンジンルームに搭載されており、車両の動力源である駆動モータ、発電機を構成するエンジンと発電モータ、及びそれぞれのモータを駆動制御するインバータで構成されている。

駆動モータの出力はギヤボックス内の減速ギア（減速比7.388）とドライブシャフトを介してタイヤへ伝達される。発電モータは増速ギア（増速比0.6）を介してエンジンと接続されている。これら二つのモータとインバータは三相ハーネスにて接続されており、バッテリー及び二つのモータ間の電気エネルギーの授受はインバータを介して行う。図3に電動パワートレインの電気エネルギーの流れを示す。発進・低速走行などの駆動出力の小さい領域では、発電は行わずバッテリーから駆動モータへ電力を供給する（青矢印）。強い加速など駆動出力の大きい領域では、発電モータからの発電電力とバッテリー電力にて駆動モータを駆動する（橙矢印）。停車状態でバッテリーのSOC（State of Charge）が低下している状態では、発電モータからの発電電力でバッテリーを充電する（ピンク矢印）。

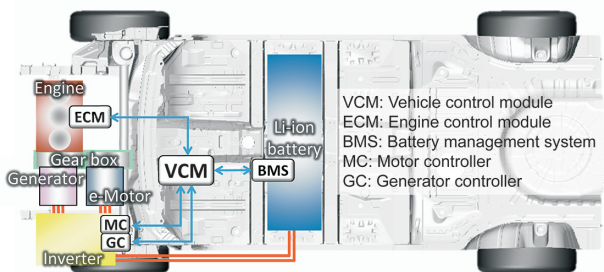


図-1 e-POWER システム構成
Fig. 1 Configuration of e-POWER system

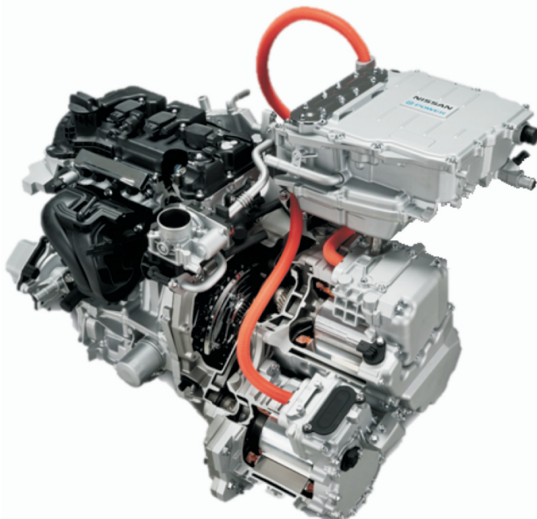


図-2 e-POWER 外観 (カットモデル)
Fig. 2 Appearance of e-POWER

incorporates two motors, one for propelling the vehicle and the other for use as a generator. It achieves the objective of freeing customers from the hassle of charging the battery, while providing an outstanding EV driving experience.

The appearance of the powertrain is shown in a cut-away model in Fig. 2. The electrified powertrain of the e-POWER system is mounted in the engine compartment at the front of the vehicle. It consists of a drive motor (e-Motor) that functions as the vehicle's motive power source, an engine and a motor that form a generator, and an inverter that drives and controls the motors.

The power produced by the e-Motor is transmitted to a reducer (reduction ratio: 7.388) inside the gearbox and then via the drive shaft to the tires. The generator is connected to the engine via a speed increasing gear (increasing ratio: 0.6). The two motors and the inverter are connected by a three-phase wiring harness. The exchange of electrical energy between the battery and the two motors takes place via the inverter. Figure 3 shows the flow of electrical energy in the electrified powertrain. In the scene of low driving force such as for starting the vehicle and traveling at slow speed, the battery supplies power to the e-Motor (blue arrow) and electrical power is not generated. In the scene of large driving force such as for powerful acceleration, the e-Motor is driven by both the power generated by the generator and the power from the battery (orange arrow). If the state of charge (SOC) of the battery drops while the vehicle is at rest, power generated by the generator is used to charge the battery (pink arrow).

Figure 4 shows the N-T output characteristics of the e-Motor. The e-Motor produces maximum torque of 254 Nm and maximum power of 80 kW, the same output levels as the e-Motor of the Nissan LEAF. In the lighter Nissan Note, this results in the same or even higher power performance.

Figure 5 shows the combined efficiency of the e-Motor and the inverter. Efficiency of approximately 96% is achieved at the most efficient operating point and average efficiency of more than 92% is attained under Japan's JC08 test mode.

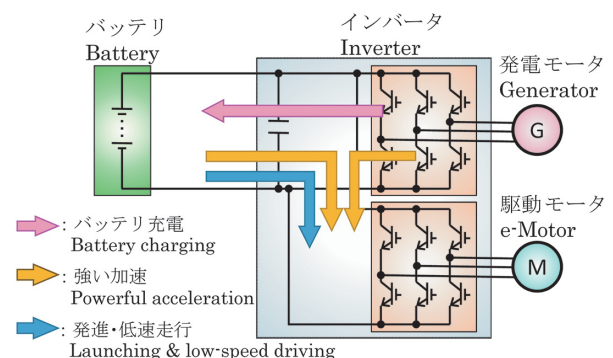


図-3 電気エネルギーの流れ
Fig. 3 Energy flow in the powertrain

図4に駆動モータのN-T出力特性を示す。駆動モータは最大トルク254Nm、最高出力80kWと日産リーフと同じ出力となっており、より軽量な日産ノートでは同等以上の動力性能を発揮する。

図5に駆動モータとインバータの組合せによる効率を示す。最も効率の良い運転点で約96%、JC08モードの平均でも92%超を実現している。

3. 駆動モータ

3.1 駆動モータ概要

e-POWERの駆動モータは日産リーフの駆動モータと同じ日産内製の設計・生産であり、多くの技術・構成部品を流用しつつ、車両のパッケージングを成立させるために機電一体構造から三相ハーネス引出構造へ変更している。図6に駆動モータの外観、表1に仕様を示す。

3.2 重希土の使用量削減

自動車用モータで使用するネオジム磁石には、高温下での保磁力を確保するために希土元素である重希土（ジスプロシウム（Dy）、テルビウム（Tb））を添加している。しかし、重希土には量的リスクと地域的偏在リスクがあることから、可能な限り使用量を削減することが望まれている。そこで本モータに使用するネオジム磁石は、従来の磁石粒子サイズを微細化すると共に、重希土を磁石粒子界

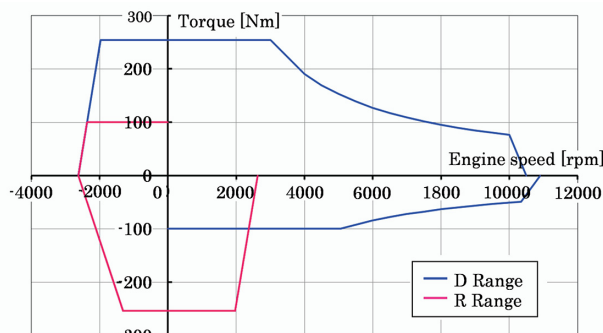


図-4 駆動モータ N-T 出力特性
Fig. 4 N-T map of e-Motor

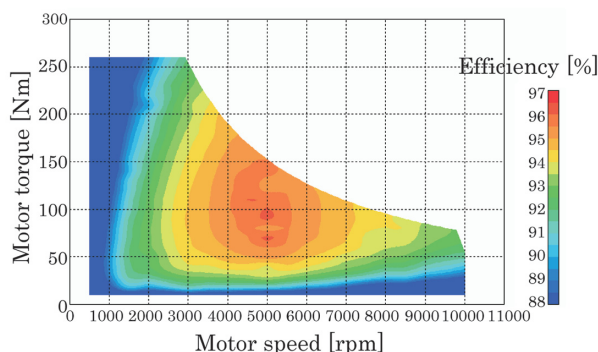


図-5 駆動モータとインバータの総合効率
Fig. 5 Combined efficiency of the e-Motor and inverter

3. e-Motor

3.1 Overview

Like the e-Motor used on the Nissan LEAF, the e-Motor of the e-POWER system was designed and is manufactured in-house. While sharing many technologies and components with the former motor, the integrated electro-mechanical structure of the former was changed to a lead structure for the three-phase wiring harness so as to make the in-vehicle package viable. The appearance of the e-Motor is shown in Fig. 6 and its major specifications are listed in Table 1.

3.2 Reduced use of heavy rare earth elements

Heavy rare earth elements of dysprosium (Dy) and terbium (Tb) are added to the neodymium magnets used in automotive motors for the purpose of ensuring coercivity under high operating temperatures. However, because heavy rare earths are subject to quantitative risk and the risk associated with uneven regional distribution, it is desirable to reduce the quantities used as much as possible. Therefore, the grain size of the neodymium magnets used in the e-Motor was made finer than that of previous magnets and also heavy rare earths are dispersed only on the magnetic grain interface. These measures made it possible to markedly reduce the quantities of heavy rare earths used while still maintaining coercivity equal to that of previous magnets. Figure 7 presents micrographs comparing the grain size. This change reduced the quantities of heavy rare earths used by more than 50% compared with previous magnets, thus contributing to a large cost reduction.



図-6 駆動モータ (EM57)
Fig. 6 EM57 e-Motor

表-1 駆動モータの仕様
Table 1 Specifications of e-Motor

Max. torque	254 Nm
Max. power	80 kW
Max. speed	10500 rpm
Outer dimensions	260 mm dia. × 290 mm (L)
Mass	52.3 kg

面のみに拡散させることで、従来と同等の保磁力を確保しながら重希土使用量を大幅に削減している。図7に粒子サイズのイメージを示す。この変更により従来の磁石に対して50%以上の重希土の削減を実現し、コストダウンに大きく貢献している。

4. 発電機一々

4.1 発電機一夕概要

e-POWERで採用した発電モータの外観を図8に、仕様を表2に示す。本発電モータはe-POWERにおける最高出力や連続登坂走行などの要件より求められる必要発電電力を発揮すると共に、エンジン始動時のスタータ機能を有する。

本発電モータも駆動モータと同様に小型・高出力を狙って埋め込み磁石同期型を採用しており、磁石は駆動モータと同様に微細結晶化により重希土を削減することで、コストダウン及び資源リスク低減に貢献している。

4.2 小型化対応

図9に車両搭載状態のサイドビューを示す。コンパクトカーである日産ノートへの搭載にあたり、駆動モータとの軸間距離の短縮を狙い、発電モータの外径を最小にすべくステータ径 $\phi 180\text{mm}$ に対して外径 $\phi 210\text{mm}$ の水冷薄型ハウジングを採用した。駆動モータとの軸間距離を約240mmに短縮することでレイアウトを満足している。

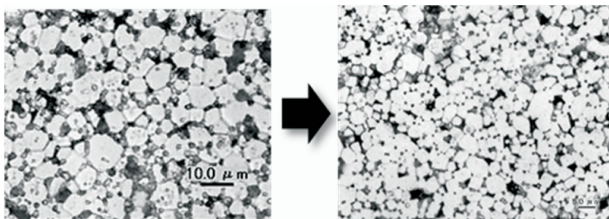


図-7 磁石粒子イメージ
Fig. 7 Comparison of magnetic grain size



図-8 発電機一夕
Fig. 8 Generator

4. Generator

4.1 Overview

Figure 8 shows the appearance of the generator adopted for e-POWER, and Table 2 lists its principal specifications. This generator has the generation capacity to produce the necessary power required by e-POWER for delivering the system's maximum power and for enabling continuous uphill driving, among other requirements. In addition, it also functions as a starter for cranking the engine.

Like the e-Motor, an embedded-magnet synchronous motor was adopted for this unit to achieve a compact size and high output. Similar to the magnets of the e-Motor, the crystal grains of the magnets were made finer to reduce the use of heavy rare earths, which contributed to lowering the cost and mitigating the resource risk.

4.2 Downsizing measures

Figure 9 is a side view of the system when installed in the engine compartment. In order to mount the system on the Nissan Note compact car, the outer diameter of the generator was minimized by using a thin-walled water-cooled housing, and it's realized a 210-mm outer diameter in relation to the 180-mm stator diameter. The aim here was to shorten the center distance between the generator and the e-Motor. The center distance to the e-Motor was shortened by approximately 240-mm to satisfy the layout requirement.

表-2 発電モータの仕様
Table 2 Specifications of generator

Max. torque	108 Nm
Max. power	55 kW
Max. speed	10000 rpm
Outer dimensions	210 mm dia. $\times$ 240 mm (L)
Mass	30.2 kg

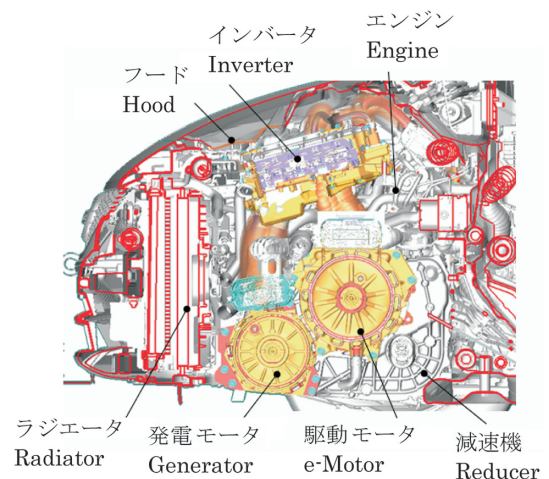


図-9 エンジンルーム (サイドビュー)
Fig. 9 Side view of engine compartment

5. インバータ

5.1 インバータ概要

インバータの外観を図10に、仕様を表3に示す。本インバータでは新構造のパワーモジュールを採用した。日産リーフ向けインバータは水路を備えたアルミニウム製ヒートシンクに絶縁シートを介して固定する間接水冷構造であるが、e-POWERではパワーモジュールのヒートシンクを直接冷却水に浸漬する直接水冷構造を採用した。これによりパワー半導体から冷却水への熱抵抗を低減し、パワーモジュールの冷却面積を50%以下に縮小している。二つのインバータ機能を1パッケージに搭載しつつ、日産リーフのインバータとほぼ同等のサイズ、質量を実現させた。

また、半導体の特性改善、インダクタンスの低減、電圧に応じた駆動回路の最適化などにより、先に示した効率を実現した。

5.2 モータ制御

日産ノートで新たに採用した「e-POWER Drive」は、モータで大きな減速度を発生させるため、モータトルクの正負が反転する頻度が多くなり、減速機のバックラッシュによって生じるショックの発生を抑制することが必要である。

そこで、従来の制振制御を改良し、バックラッシュを考慮した制御系を再構築することで、e-POWER Drive使用時であっても、力強く滑らかな加速性能を実現した。



図-10 インバータ
Fig. 10 Inverter

表-3 インバータ仕様
Table 3 Specifications of inverter

Max. output current	356 Arms (30 s)
	144 Arms (60 min)
Power source voltage	240-344 V
Outer dimensions	422×406×204 mm
Mass	16.9 kg

5. Inverter

5.1 Overview

The appearance of the inverter is shown in Fig. 10 and its major specifications are listed in Table 3. This inverter adopts power modules featuring a new structure. The inverter used on the Nissan LEAF has an indirect water-cooled structure in which it is fixed to the aluminum heat sink incorporating the cooling water passages via an insulation sheet. The e-POWER inverter has a direct water-cooled structure in which the heat sink of the power modules is directly submerged in the cooling water. This structure reduces the thermal resistance from the power semiconductors to the cooling water, enabling the cooling area of the power modules to be reduced by more than 50%. Two inverter functions are incorporated in one package to achieve almost the same size and mass as that of the Nissan LEAF inverter.

In addition, the characteristics of the semiconductors were improved, inductance was reduced, and the drive circuit was optimized to match the voltage, among other improvements that were made to achieve the high efficiency mentioned earlier.

5.2 Motor control

In the e-POWER Drive mode newly adopted on the Nissan Note, the motor is used to generate large deceleration, so the motor torque switches frequently between positive and negative signs. That makes it necessary to suppress the occurrence of shock caused by the backlash of the reducer.

Therefore, the previous shaking vibration control was improved and a new control system was built, taking into account backlash. As a result, smooth, powerful acceleration is obtained even in the e-POWER Drive mode.

Figure 11 compares the vehicle longitudinal acceleration waveforms when torque was input to switch from regeneration to the e-POWER Drive mode. The results indicate that the vibration level was improved after the reversal of the sign of the torque command value.

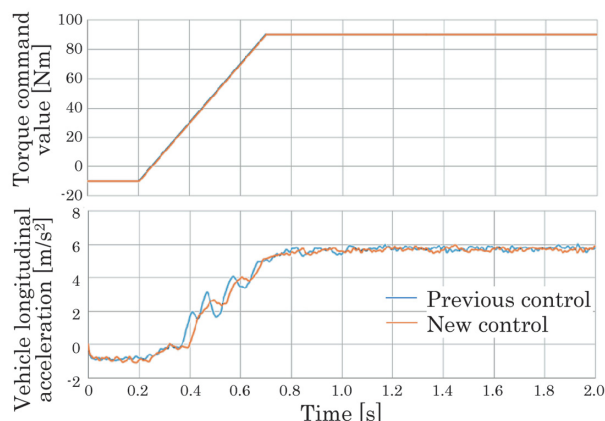


図-11 バックラッシュショックの改善
Fig. 11 Backlash shock improvement

図11に、回生から力行にトルクを入力した際の車両前後加速度を示す。トルク指令値の符号が反転した後の振動が改善されていることがわかる。

6. ま と め

以上、e-POWERシステムを搭載した日産ノート向けに駆動力として最大254Nm・80kWのトルクと出力を、発電電力として55kWの出力を実現する電動パワートレインを開発した。各コンポーネントは本システムに求められる幅広い運転条件での性能を、適切なコストで実現するための技術を採用している。また、更なる走りの上質化にも取り組んだ。今後も、電動車両が市場に広く受け入れられることを目指し、より魅力的な性能を低コストで提供する開発を続けていく。

7. 謝 辞

本パワートレインは非常に高い性能・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・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。深く感謝申し上げます。

6. Conclusion

This article has described the electrified powertrain developed for the e-POWER system mounted on the Nissan Note for producing maximum torque of 254 Nm and maximum power of 80 kW as driving force and output of 55 kW as generated power. All of the powertrain components embody technologies for achieving at a reasonable cost the performance demanded of this system under a wide range of driving conditions. Efforts were also made to further improve the quality of the driving experience. We will continue our R&D activities for providing more attractive vehicle performance at lower cost with the aim of gaining widespread acceptance of EVs in the marketplace.

7. Acknowledgments

The authors would like first of all to thank all of the suppliers of the component parts of this powertrain for their cooperation in attaining the exceptionally high levels of performance and quality required by this powertrain system. Naturally, thanks are also due all the related departments in Nissan's development division as well as everyone involved in other divisions such as the manufacturing and purchasing divisions for their invaluable cooperation in a wide range of activities.

■著者／Author(s)■



大 木 俊 治
Shunji Oki



佐 藤 義 則
Yoshinori Sato



中 島 孝
Takashi Nakajima



阿 部 誠
Makoto Abe



玉 井 克 典
Katsunori Tamai

e-POWER用リチウムイオンバッテリーの開発

Development of a Li-ion Battery for e-POWER

山 村 裕一郎*
Yuichiro Yamamura

竹 内 和 史*
Kazufumi Takeuchi

三 枝 宏 樹*
Hiroki Saigusa

抄 録 日産自動車は環境に対する究極のゴール「ゼロ・エミッション」を目指し、環境技術開発を行っている。日産リーフなどで培った独自の先進モータドライブシステムと発電用エンジンを組み合わせたe-POWERは環境技術の一つである。本稿では、e-POWER用に開発したリチウムイオンバッテリーに関して紹介する。

Summary Nissan has been developing environmental technologies aimed at achieving the ultimate goal of "zero emissions" into the environment. e-POWER, which combines an engine for power generation and Nissan's advanced motor-drive system honed through use on the Nissan LEAF, is one of these environmental technologies. This article describes the development of a Li-ion battery for e-POWER.

Key words : Automotive General, series hybrid vehicle, lithium-ion battery

1. は じ め に

e-POWERシステムは、発電用エンジン、駆動モータ、発電モータ、インバータ、ギヤボックス、リチウムイオンバッテリーで構成され、モータ駆動ならではの静かな走行と力強くスムーズな走りを実現している。このシステムの中で、リチウムイオンバッテリーは発電モータによる回生電力及び発電用エンジンによる発電電力を蓄え、駆動モータへ電力を供給する役割を担っている。e-POWERでは静粛性の確保及び燃費性能向上のためにエンジン始動頻度を減らすことが重要であり、リチウムイオンバッテリーへは従来のハイブリッド車に比べ高い入出力性能が要求される。そのため、要求入出力性能を満足させるにはリチウムイオンバッテリーの冷却設計が重要となる。

本稿ではe-POWER用に開発したコンパクトかつ高出力なりチウムイオンバッテリーの仕様、レイアウト及びバッテリー冷却について紹介する。

2. e-POWER用リチウムイオンバッテリーの概要

2.1 バッテリーパックの車載レイアウト

e-POWERでは、コンパクトカーという限られた室内空間の中で、後部座席スペースや荷室容量を犠牲にすることなく室内の広さと使いやすさを確保するため、バッテリーパックを前席シート下にレイアウトした。バッテリーパックを小型化することで前席シート下の限られたスペースに、

1. Introduction

The e-POWER system consists of an engine for power generation, a drive motor (e-Motor), a motor for power generation, an inverter, a gearbox and a lithium-ion (Li-ion) battery pack. It provides the quiet operation and smooth, powerful acceleration that only a motor-drive system can deliver. The Li-ion battery in this system serves to store the electric power regenerated by the motor and that generated by the engine and to supply it to the e-Motor. A key point for ensuring quietness and improving fuel economy with the e-POWER system is to reduce the frequency of starting the engine. In this connection, the Li-ion battery is required to have a higher level of charge/discharge performance than that of batteries used on previous hybrid vehicles. An important factor in satisfying this required charge/discharge performance is the cooling system design for the Li-ion battery.

This article describes the specifications, layout and cooling system of the compact, high power Li-ion battery developed for the e-POWER system.

2. Overview of Li-ion Battery for e-POWER

2.1 Battery pack layout in vehicle

The e-POWER battery pack is installed under the front seats. This layout was chosen to ensure interior roominess and ease of use without sacrificing the rear-seat space and luggage area capacity within the limited interior space of a compact car. The battery pack was downsized to enable installation in the limited space under the front seats. Consequently, the battery pack can be installed on non-e-POWER models by simply making minimum changes

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

e-POWER非搭載モデルに対し最小限の車体部品の変更で搭載することができた。

また、前席シート下は衝突時の乗員保護のための車体骨格があり、その車体骨格に囲まれているエリアにバッテリーパックをレイアウトすることで、衝突時のダメージを受けにくい構造としている。

バッテリーパックの車両搭載レイアウトを図1に示す。

2.2 バッテリパック

e-POWER用リチウムイオンバッテリーは、20個のセルを直列に接続し一つのモジュールを構成し、そのモジュールを直列に4個配置しバッテリーパックを構成している。モジュール内のセル間の電氣的接続には、新しい溶接技術を採用している。セル総数は80セル、公称電圧は292Vである。

バッテリーパック内部は2層構造となっており、下層にモジュール、上層に補機類（バッテリーマネージメントシステム、ジャンクションボックス、サービススイッチ、DC-DCコンバータ）をレイアウトすることで、バッテリーパックの小型化を実現した。

また、バッテリーケースは、防塵・防水と強度・剛性の機能を分け、樹脂製ケースと金属フレームの2部品の構成にすることでレイアウトの自由度を上げ、コンパクトカーの前席シート下という複雑かつ限られたスペースへのレイアウトを実現することができた。

バッテリーパックの主な仕様について表1に記す。また、バッテリーパック構成を図2に示す。

3. バッテリ冷却設計

バッテリー冷却システムは、バッテリー冷却ファン、ダクトから構成されている。冷却風は、負圧式冷却ファンを用いて前席シート下から車室内の空気をバッテリーパック内に導入させ、セルとDC-DCコンバータを冷却し、排気ダクトから排出される。

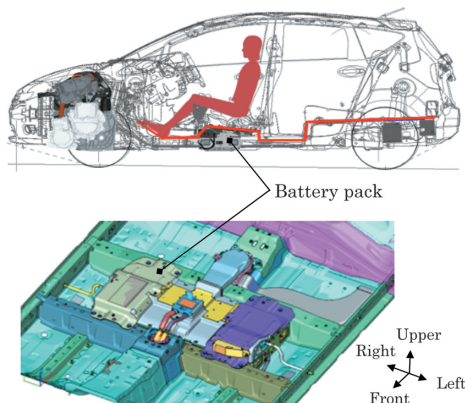


図-1 バッテリーパック搭載レイアウト
Fig. 1 Battery pack layout in vehicle

to the body parts.

In addition, the vehicle frame for protecting the occupants in a collision is present under the front seats. Positioning the battery pack in this area surrounded by the vehicle frame provides a structure that can lessen damage to the battery in the event of a collision. The in-vehicle layout of the battery pack is shown in Fig. 1.

2.2 Battery pack

The e-POWER Li-ion battery consists of one module comprising 20 cells connected in series, and four modules are arranged in series to make the battery pack. A new welding technique was adopted to form the electrical connections between the cells in the modules. There are a total of 80 cells, which produce a nominal voltage of 292 V. The interior of the battery pack has a two-level structure, with the modules comprising the lower level and the auxiliaries (battery management system, junction box, service switch and DC-DC converter) positioned on the upper level. This layout enabled the battery pack to be downsized.

The battery case separates dustproof and waterproof functions from the requirements for strength and stiffness.

表-1 バッテリーパック主要スペック
Table 1 Main specifications of battery pack

Item		Description
Cell	Structure	Prismatic type
	Nominal capacity	5 Ah
Module	Number of cells	20 cells in series
Pack	Number of modules	4 modules in series
	Nominal voltage	292 V
	Total energy	1.47 kWh
	Weight*	41 kg

*without DC-DC converter

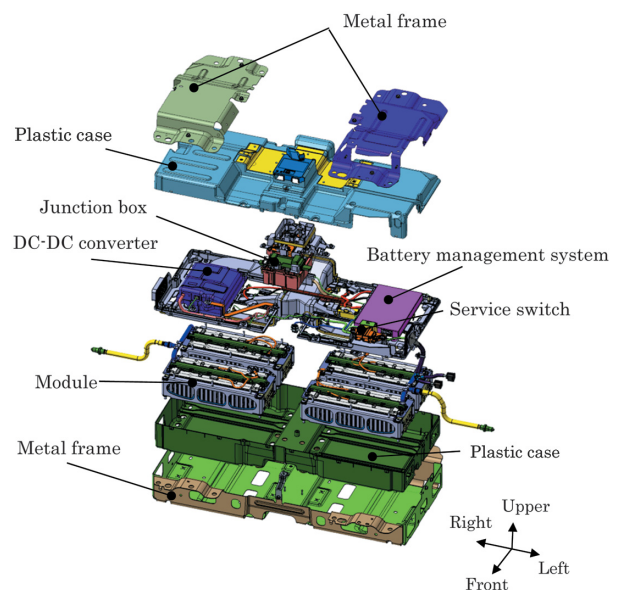


図-2 バッテリーパック構成
Fig. 2 Battery pack architecture

バッテリー冷却システム構成を図3に、バッテリーパック内の風流れを図4に示す。

バッテリーパックの左右には各2個の吸気口があり、各吸気口から導入された冷却風はモジュール内のセル間を流れ、各モジュール内を流れた冷却風はバッテリーパック内で統合されて、バッテリーパック後方から排気ダクトへ排出される。

冒頭でふれたように、e-POWERでは冷却設計が極めて重要となる。モジュールが冷却されずセル温度が高い状態となってしまうと、入出力性能を十分に発揮することができない。e-POWER用バッテリーパックでは、冷却風の吸気口を4箇所配置し、バッテリーパック内の四つのモジュール各々に、車室内の冷えた空気を供給する構造とした。これにより、各モジュールを効果的に冷却することができ、e-POWERシステムの要求を満足するリチウムイオンバッテリーの入出力性能を確保することができた。

また、リチウムイオンバッテリーの入出力性能と同時に優れた静粛性を実現するため、冷却ファンはセル温度と車両の暗騒音に従って、最適な回転数で制御している。図5にファン運転制御の概念図を示す。

駆動負荷の異なる走行パターンのリチウムイオンバッテリー平均実効電力を図6に示す。

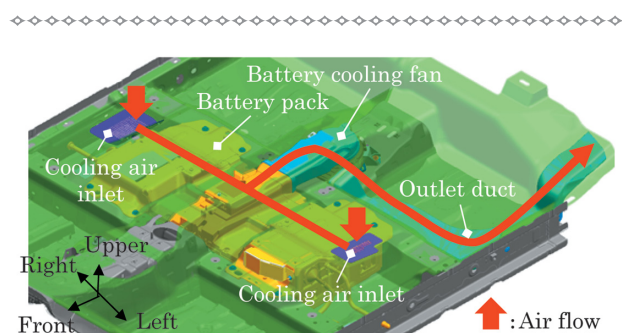


図-3 バッテリー冷却システム構成
Fig. 3 Battery cooling system architecture

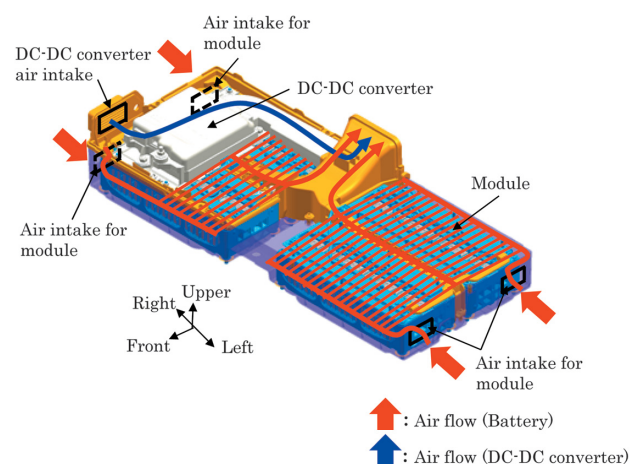


図-4 バッテリーパック内の風流れ
Fig. 4 Air flow in battery pack

The case is composed of two parts, a plastic case and a metal frame, for increased layout flexibility. That made it possible to position the battery in the complex, and limited space under the front seats of a compact car.

Table 1 lists the main specifications of the battery pack, and the architecture of the battery pack is shown in Fig. 2.

3. Battery Cooling System Design

The battery cooling system consists of a battery cooling fan, cooling air inlets and an outlet duct. The negative-pressure cooling fan induces cooling air into the battery pack from the air in the interior through the inlets under the front seats to cool the battery cells and the DC-DC converter, and the air is exhausted through the outlet duct.

The architecture of the battery cooling system is shown in Fig. 3, and the airflow inside the battery pack is illustrated in Fig. 4.

Cooling air induced through the two inlets each on the left and right sides of the battery pack flows between the cells inside the modules; the flows are then combined inside the battery pack and exhausted through the outlet duct at the rear of the battery pack.

As mentioned earlier, the battery cooling design is a vital aspect of the e-POWER system. If the modules are not properly cooled and the cell temperature rises to a high level, the battery will not be able to fully provide charge/discharge performance. The cooling system of the e-POWER battery pack is configured with four cooling air inlets so that cool air from the vehicle interior is supplied separately to each of the four modules in the pack. This design enables effective cooling of each of the modules, thereby ensuring that the Li-ion battery can satisfactorily deliver the charge/discharge performance required by the e-POWER system.

In addition, the battery cooling fan is controlled to the optimal speed according to the cell temperature and the vehicle background noise. This achieves outstanding quietness simultaneously with the excellent charge/

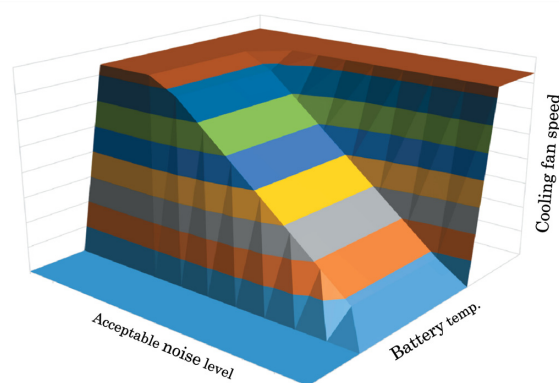


図-5 冷却ファン制御の概念図
Fig. 5 Concept of cooling fan control

e-POWERではエンジン始動頻度を減らすために、リチウムイオンバッテリーへは高い入出力性能が要求される。リチウムイオンバッテリーの発熱量は、入出力時の電力と頻度で決まる。このため、加減速を頻繁に行う山岳路走行が最もリチウムイオンバッテリーの平均実効電力が大きくなる。このような走行パターンにおいても、目標としていた静粛性と高い入出力性能を両立させる冷却設計を実現することができている。

図6で示したりチウムイオンバッテリーの平均実効電力が最も大きい山岳路走行時の、セル温度の測定結果を図7に示す。

山岳路走行では走行直後からセル温度が上昇するが、各モジュールを効果的に冷却することで、セル間に大きな温度差を生じることなく、セル温度が飽和状態になっていることが確認できる。

以上のように山岳路走行で述べた効果は、さまざまな走行シーンにおいても確認できており、セル温度を適正に保つことで、リチウムイオンバッテリーの性能を最大限に発揮することができた。

4. ま と め

e-POWER用に開発したコンパクトかつ高出力なリチウムイオンバッテリーを前席シート下にレイアウトすることで、コンパクトカー、新型ノートの室内の広さと使いやすさを確保することができた。また、さまざまな走行シーンにおいてバッテリー温度を適正に保つことができ、リチウムイオンバッテリーの性能を最大限に発揮することができた。

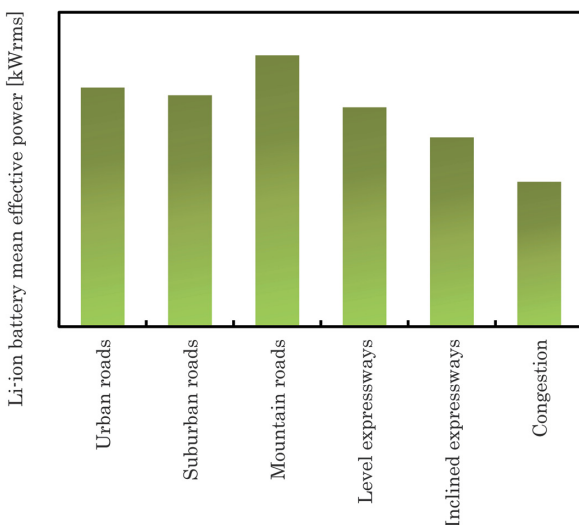


図-6 駆動負荷別リチウムイオンバッテリーの平均実効電力
Fig. 6 Mean effective power of Li-ion battery in different driving situations

discharge performance of the Li-ion battery. The concept for controlling the cooling fan speed is shown in Fig. 5 in relation to the battery temperature and the acceptable noise level.

The mean effective power of the Li-ion battery is shown in Fig. 6 for various driving patterns that involve different motor loads.

High levels of charge/discharge performance are required of the Li-ion battery for reducing the frequency of starting the engine in the e-POWER system. The amount of heat generated by the Li-ion battery is determined by the power level and frequency of charging/discharging. For that reason, driving on mountain roads with frequent acceleration/deceleration is the driving pattern where the mean effective power of the Li-ion battery becomes the highest. The battery cooling system has been successfully designed to provide both the targeted quietness and charge/discharge performance even in this type of driving pattern.

Figure 7 shows the cell temperature measured during driving on a mountain road where the mean effective power of the Li-ion battery is the highest as indicated in Fig. 6. The cell temperature rose right after starting to drive on the mountain road. Because each module was effectively cooled, it is seen that no large temperature differences occurred between the cells and the cell temperature reached a saturation state.

This cooling effect seen for mountain road driving was also confirmed in various other driving situations. Because the cell temperature is properly maintained, the Li-ion battery is able to display its maximum performance.

4. Conclusion

The interior roominess and ease of use of the new Note compact car were maintained by positioning the new compact, high power Li-ion battery developed for the e-POWER system under the front seats. As described here, the battery temperature is optimally maintained in all types of driving situations to enable the Li-ion battery to deliver its maximum performance.

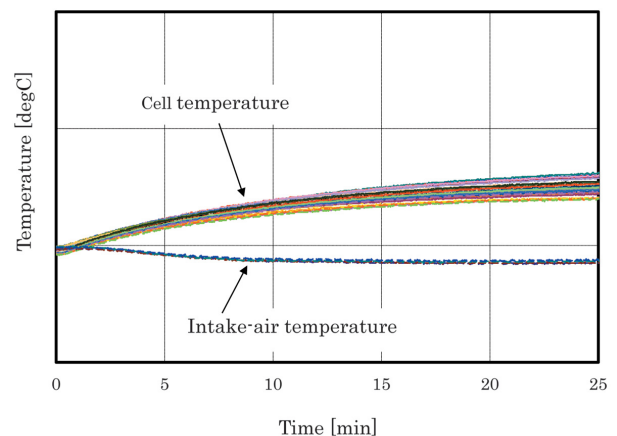


図-7 セル温度 (山岳路)
Fig. 7 Cell temperature measured in mountain road driving

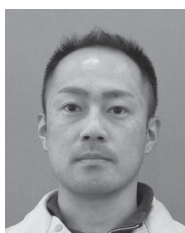
5. 謝 辞

最後に、本開発にあたり多大なるご協力を頂きました社内関係者の皆様に深く感謝いたします。

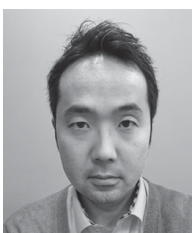
5. Acknowledgments

The authors would like to thank everyone concerned within and outside the company for their invaluable cooperation concerning the development of this Li-ion battery.

■著者／ Author(s) ■



山 村 裕一郎
Yuichiro Yamamura



竹 内 和 史
Kazufumi Takeuchi



三 枝 宏 樹
Hiroki Saigusa

e-POWER用新型3気筒HR12DEエンジンの開発

Development of New Small 3-cylinder HR12DE Gasoline Engine for e-POWER

伊藤 達也*
Tatsuya Ito

内山 茂樹*
Shigeki Uchiyama

井口 一紀**
Kazunori Inokuchi

浮田 敏行**
Toshiyuki Ukita

抄 録 新型電動パワートレインe-POWERの投入に向け、その電力源として新型3気筒1.2Lエンジン（HR12DE）を開発した。e-POWERシステムにおけるエンジンの役割が発電機能のみである特徴を最大限に生かし、熱効率の向上、ポンプ損失およびフリクションの低減を図り、本パワートレインに求められる低燃費性能を達成した。

Summary A new small 3-cylinder 1.2L gasoline engine (HR12DE) was developed for the electric power source of the new e-POWER powertrain. This engine achieves low fuel consumption to meet the e-POWER requirement through thermal efficiency improvement and reduction of pumping loss and mechanical friction because it serves only as the electric power source in this powertrain.

Key words : Power Unit, e-POWER, gasoline engine, thermal efficiency

1. は じ め に

近年のハイブリット車の台頭などにより、環境意識の高まりから、国内小型乗用車市場は低エミッションなどの環境性能への要求が高い。日産として市場要求に応えるため、電動化によるゼロ・エミッションの実現に向けて日産リーフなどの電気自動車を投入してきた。その電動化技術の一つとして、今回新たに新型パワートレインe-POWERを投入した。

e-POWERは電気自動車の走りの良さを多くの人に体感していただくため、外部充電ではなく、エンジンを回して発電しながら走る100%モータ駆動の新しいパワートレインである。エンジンは駆動系に直結することなく、電力源として発電を行い、この電力をリチウムイオンバッテリーの充電や、直接駆動モータに供給することが役割である。

e-POWERのエンジンへの要求として、下記3点が挙げられる。

- (1) 動力性能要求を満たすための電力供給元としての出力性能
 - (2) 燃料を消費する唯一のコンポーネントとしての燃費性能と排気性能
 - (3) 一体型パワートレインとしてのコンパクト性
- これらe-POWERとしての要求に応えるため、発電機能に特化した新型HR12DEエンジンを開発した。

1. Introduction

There are strong demands for environmental performance such low exhaust emissions in Japan's small car market owing to heightened awareness of environmental concerns partly as a result of the appearance of hybrid vehicles in recent years, among other factors. In order to respond to such market demands, Nissan has launched the Nissan LEAF and other electric vehicles (EVs), aiming to attain zero emissions through vehicle electrification. The new e-POWER powertrain has been put on the market as one of Nissan's electrification technologies.

e-POWER represents an all-new powertrain with a pure motor drive system in which power for propelling the vehicle is generated by running an engine instead of relying on external charging. This system is intended to enable many people to experience the excellent driving performance of EVs. The engine is not directly connected to the drivetrain, but rather serves as a power source for generating electric power. The generated power is used to charge the lithium-ion (Li-ion) battery and is supplied directly to the drive motor (e-Motor) at times for propelling the vehicle.

e-POWER puts the following requirements on the engine.

- (1) Output performance as the energy source for generating electric power sufficient to meet the power performance required of e-POWER.
- (2) Acceptable fuel economy and emissions performance as the only unit that consumes fuel.
- (3) Compact size as an integrated powertrain.

*愛知機械工業株式会社／Aichi Machine Industry Co., Ltd. **パワートレイン制御開発部／Powertrain Control Engineering Department

2. 開発の狙い

2.1 エンジンの選定

e-POWERは日産リーフと同じ定格出力の駆動モータを採用しており、代表的な走行シーンはリチウムイオンバッテリーからの供給電力のみで走行できるよう、その容量を選定した。一方で高負荷・連続運転となる山岳路などにおいては、エンジン運転による発電モータからの供給電力も合わせることで、日産リーフと同等の加速性能を実現することを狙った。この狙いを実現するため、エンジンの最大出力要求を58kWとした。

この最大出力要求58kWを満たしつつ、燃費性能、排気性能、コンパクト性、および音振性能を高次元で両立できるユニットとして、3気筒1.2LのHR12系ガソリンエンジンを選定した。その中でも、熱効率向上のポテンシャルが最も高いHR12DDRをベースにe-POWER用エンジンを開発することにした。

2.2 エンジン開発の狙い

本エンジンは、前述のe-POWER用エンジンとしての三つの要求（出力性能、排気・燃費性能、コンパクト性）を実現することに加え、以下を狙い開発した。

- ・発電機として最良燃費点に特化した仕様の選定
- ・HR12系として部品・設備共用性を高めるための変更規模の適正化

3. エンジン主要諸元

HR12系エンジンの主要諸元を表1、外観を図1に示す。前述した開発の狙いの通り、HR12DDRの熱効率向上アイテムである圧縮比12.0とミラーボアコーティング、およびポンピングロス低減アイテムであるミラーサイクルなどのアイテムを踏襲した。さらに日産で既に採用されている燃費向上ア

表-1 エンジン諸元
Table 1 Specifications of engines

Engine	e-POWER HR12DE	HR12DDR	HR12DE
Engine type	Inline 3 cylinder Aluminum with mirror bore coating	Inline 3 cylinder Aluminum with mirror bore coating	Inline 3 cylinder Aluminum with steel liner
Displacement [cc]	1198	1198	1198
Bore×stroke [mm]	78.0×83.6	78.0×83.6	78.0×83.6
Compression ratio	12.0:1	12.0:1	10.2:1
Max. power [kW/rpm]	58/5400	72/5600	58/6000
Max. torque [Nm/rpm]	103/3600-5200	142/4400	106/4400
Variable valve timing control	INT: Hydraulic EXH: Without	INT: Hydraulic EXH: Hydraulic	INT: Hydraulic EXH: Without
EGR system	Cooled EGR	EGR	EGR
Fuel injection	MPI Dual injection	DIG	MPI Single injection
Piston top ring/oil ring	DLC* coating	DLC* coating	DLC* coating
Valve lifter	DLC* coating	DLC* coating	No coat
Starter motor	Without	With	With
Water pump	Electric	Mechanical	Mechanical
A/C compressor	Electric	Mechanical	Mechanical
Alternator	Without	With	With
Accessory drive belt	Without	With	With

*Diamond-like carbon

The HR12DE engine was developed specifically for power generation use in order to meet these requirements imposed by e-POWER.

2. Development Aims

2.1 Engine selection

The e-Motor adopted for e-POWER has the same rated output as the Nissan LEAF drive motor. The Li-ion battery capacity was selected to facilitate vehicle operation on the power supplied only by the battery in typical driving situations. On the other hand, acceleration performance equal to that of the Nissan LEAF was desired in mountain road driving and other situations involving continuous operation under a high load. That aim would be met by running the engine to generate power by the generator for supplying additional power to the e-Motor. To accomplish that, the maximum output required of the engine was set at 58 kW.

An engine in the 3-cylinder 1.2L HR12 series of gasoline engines was selected as the unit capable of providing optimal levels of fuel economy, emissions performance, compactness and noise, vibration and harshness (NVH) performance, while delivering the required maximum output of 58 kW. Among the units in this series, the HR12DDR engine with the highest potential for thermal efficiency improvement was selected as the base unit for the development of the e-POWER engine.

2.2 Engine development aims

In addition to satisfying the aforementioned three requirements for the e-POWER engine (i.e., power performance, emissions/fuel economy and compactness), the following development aims were also defined for the engine.

- Selection of specifications specifically for operating at the point for the best fuel economy when driving the generator.
- Optimization of the scope of changes in order to heighten common use of parts and production facilities with other HR12 series engines.



図-1 エンジン外観
Fig. 1 Appearance of HR12DE engine

アイテムのクールドEGR（Exhaust Gas Recirculation）や電動ウォーターポンプ、電動エアコンコンプレッサなどを採用した。

駆動モータを持つe-POWER向けエンジンであるため、出力向上アイテムである筒内直接噴射とスーパーチャージャを非採用とした。また、発電モータでエンジンの起動と、発電された電力をDC/DCコンバータで電圧変換して利用できるように、スタータモータ、オルタネータも廃止した。これらにより、e-POWER向けエンジンとして、燃費性能を最大限に向上している。

4. 特徴および主要採用技術

4.1 e-POWER用エンジンの使われ方

新型電動パワートレインe-POWERはエンジンと駆動軸が機械的に繋がっていないことから、エンジンは運転性へ直接の関連が無い。これにより、発電要求に特化し、回転数ごとに一定のトルク設定とした（図2）。また、エンジンが稼働しているときは、主に一定回転数に制御し効率のよい動作点を使っている。さらに、エンジンの停止頻度を増やすことで、e-POWERの魅力である静粛性、低燃費性の実現に貢献している。

4.2 e-POWER用エンジンの燃費

e-POWERの駆動エネルギーの電力は、回生による発電もあるが、主にエンジンが燃料を燃焼させて発電している。したがって、車両の燃費性能を向上させるには、当パワートレインで唯一燃料を消費するコンポーネントであるエンジンの素質向上が重要である。

エンジンの素質向上の基本技術である「熱効率の向上」を図り、損失低減のために「ポンピングロスの低減」、「フリクションの低減」を行い、図3の燃料消費率を実現した。

今回e-POWER用HR12DEエンジンは、HR12DDRに対して、最良燃費点で約6%の燃費向上効果を得た。

採用技術の詳細について以降の項で説明する。

4.3 熱効率の向上技術

熱効率を上げるためにCv（静的空気流量係数）とタン

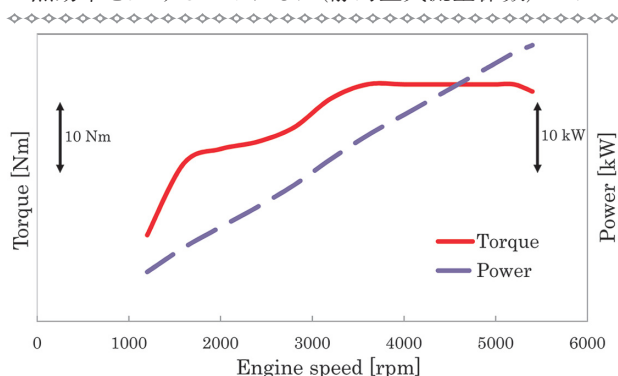


図-2 要求トルク・出力特性

Fig. 2 Characteristics of demanded torque and power

3. Major Engine Specifications

The major specifications of the HR12 series engines are listed in Table 1 and the appearance of the HR12DE engine is shown in Fig. 1. In line with the development aims, the e-POWER engine continues the measures applied to the HR12DDR engine to improve thermal efficiency, i.e., a compression ratio of 12.0:1 and mirror bore coating, as well as the Miller cycle and other measures taken to reduce pumping loss. In addition, it also adopts measures Nissan has previously applied to improve fuel economy, such as cooled exhaust gas recirculation (EGR), an electric water pump, and an electric air conditioner compressor.

Because the engine was intended for the e-POWER system that includes an e-Motor, measures for improving power output such as direct fuel injection and a supercharger were not adopted. In addition, the starter motor and alternator were also discontinued because the generator would be used to start the engine and the voltage of the generated power could be changed before use by the DC-DC converter. As a result, the fuel economy of the engine for e-POWER was optimally improved.

4. Features and Major Technologies Adopted

4.1 Operating modes of e-POWER engine

The engine and drive shaft in the new e-POWER electrified powertrain are not connected mechanically, so the engine is not directly related to driveability. That allowed a certain level of torque to be defined for each engine speed specifically for the required power generation (Fig. 2). Moreover, when the engine is operating, it is mainly controlled to a certain steady speed at an operating point for good efficiency. The frequency of stopping the engine has also been increased, which contributes to achieving the quietness and high fuel economy that are attractive features of e-POWER.

4.2 Fuel economy of e-POWER engine

The electric power that is the driving energy source of e-POWER is mainly generated by burning fuel in engine

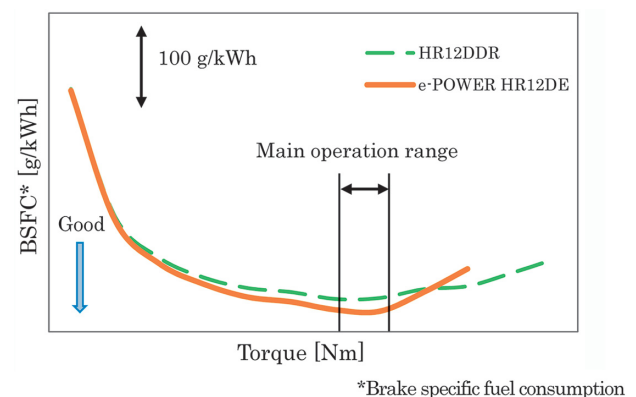


図-3 エンジン燃料消費率の比較
(エンジン回転数 2,400rpm)

Fig. 3 Comparison of fuel consumption
(engine speed: 2400 rpm)

ブル比が最適なポートおよび燃焼室を設計し、HR12DDRと同じ高圧縮比を採用した。筒内直接噴射は、高圧ポンプの駆動損失を避ける目的と、e-POWERの特徴としてエンジン低回転数での出力やトルク応答性への要求が低いことから非採用とした。一方、筒外噴射でデュアルインジェクタを採用することで噴霧燃料の微粒化を促進し、燃焼安定性を向上させた。

さらにミラーボアコーティングを踏襲して燃焼室の放熱性を高め、HR系エンジンでは初採用となるクールドEGRでの冷却性と合わせることで、主にエンジンが使われる高負荷・高EGRの条件でもノッキングを防ぐことができ、点火時期の進角により熱効率を向上させた（図4）。

4.4 ポンピングロスの低減技術

ポンピングロス低減アイテムとして、HR12DDRと同様に、ミラーサイクルおよびインテークVTC（Valve Timing Control）を採用した。

また、ノッキング抑制策として採用したクールドEGRによる大量EGRも、ポンピングロスの低減に寄与している。

4.5 フリクションの低減

徹底したフリクション低減策として、しゅう動部品を改良した。表面処理としては、バルブリフタ、ピストントップリングおよびオイルリングに対し、ダイヤモンドライクカーボンコーティングを採用した。またピストンセカンドリング幅とメインメタル幅を狭め、接触面積を低減した。加えて、発電モータで高電圧を発電する特徴を生かし、エアコンコンプレッサを電動化した。また、DC/DCコンバータによって、高電圧を12Vバッテリー用の低電圧へ変換することができるため、オルタネータも廃止した。合わせて、ウォータポンプも電動化し、負荷損失を低減した。さらに不要となった補機駆動ベルトも廃止できた。

これらの対策により、HR12DDRに対し、メカニカルフリクションを約35%削減した（図5）。

4.6 エンジン始動方法

e-POWERは発電モータを搭載していることから、エン

~~~~~

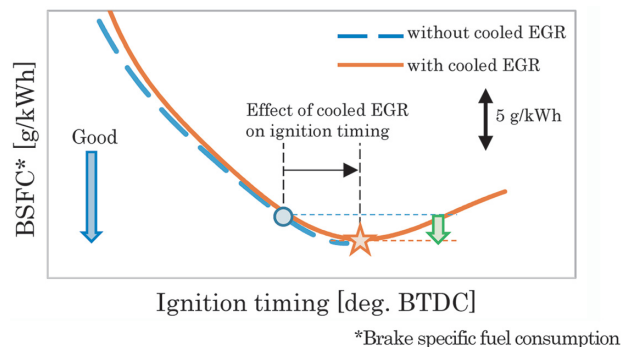


図-4 クールドEGRの燃費効果  
Fig. 4 Effect on fuel consumption of cooled EGR

combustion to drive the generator, though it is also generated by regenerative braking. Therefore, in order to improve vehicle fuel economy, it was necessary to enhance the fundamental nature of the engine, which is the only unit that consumes fuel in this powertrain.

Efforts were made to increase thermal efficiency, which is a basic technical approach to improving the fundamental nature of the engine. Toward that end, pumping loss and friction were reduced to lower energy losses, enabling the fuel consumption rate shown in Fig. 3 to be achieved. The HR12DE engine developed for e-POWER improves fuel economy by approximately 6% over that of the HR12DDR engine at the operating point for best fuel economy.

The technologies adopted for the HR12DE engine are explained in detail in the following sections.

#### 4.3 Technologies for improving thermal efficiency

In order to increase thermal efficiency, the intake port and combustion chamber were designed for the optimal static air flow coefficient ( $C_v$ ) and tumble ratio, and the same high compression ratio as that of the HR12DDR was adopted. Direct fuel injection was not adopted for the purpose of avoiding the drive losses of a high-pressure fuel pump. Another reason is that one feature of e-POWER is that the power and torque response required at low engine speeds are low. On the other hand, dual injectors were adopted for fuel injection outside the cylinders in order to improve combustion stability by promoting atomization of the fuel spray.

Mirror bore coating was also continued to improve heat conduction from the combustion chamber. Combined with the cooling effect of cooled EGR, which was adopted for the first time in the HR engine series, that works to prevent knocking even under the high load and heavy EGR conditions where the engine is mainly operated. As a result, the ignition timing was advanced for improving thermal efficiency (Fig. 4).

#### 4.4 Technologies for reducing pumping loss

Similar to the HR12DDR, the Miller cycle and intake valve timing control (VTC) were adopted as measures for reducing pumping loss. The application of heavy EGR by the cooled EGR system adopted for suppressing knocking also contributes to reducing pumping loss.

#### 4.5 Reduction of friction

Sliding parts were improved in a thoroughgoing effort to reduce friction. A diamond-like carbon (DLC) coating is applied to the valve lifters, piston top ring and piston oil ring as a surface treatment. As another measure, the width of the piston second ring and the main bearing was narrowed to reduce the area of contact. In addition, the air conditioner compressor was electrified by taking advantage of the high voltage generated by the generator. Because the high voltage can be reduced by the DC-DC converter to a lower voltage for the 12V battery, the alternator was



ジン始動には発電モータを使用し、従来エンジンで採用していたスタータモータ、リングギアを廃止した。

e-POWERの静粛性を際立たせる目的で、発電モータの出力(55kW)の大きさを生かし、エンジン始動時の回転数上昇を早く、かつ高くすることで、前述のミラーサイクルと合わせて車体に伝わる振動を抑えた起動方法としている。

出力の高い発電モータで始動することにより、エンジン始動時の燃焼による起動トルクを従来のスタータモータ始動に対して下げられる。これにより、低回転・高負荷での運転が避けられ、燃費の良い始動を可能にしている。エンジン始動プロフィールを図6に示す。

#### 4.7 排气性能

e-POWERは駆動をエンジンで行わないが、エンジンの燃焼エネルギーを使用して発電しているため、従来のエンジン駆動車同様に排気の浄化が必要である。

従来同様、冷機始動時に点火時期をリタードさせ、触媒を早期に昇温し活性化させることで、排気浄化性能を高めた。さらにエンジンと駆動軸が機械的につながっていないことで、車速に関わりなく、排気に最適動作点設定ができる。

反面、始動／停止を繰り返すことによる排気の影響はあるが、e-POWERでは従来のハイブリッド車に対しエンジンの作動回数が少ない。また、稼働が始まったら効率よく充電を行い、主に一定回転数に制御しているのでエンジン

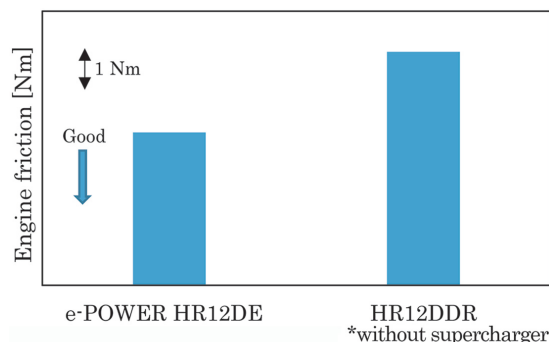


図-5 エンジンフリクションの比較  
(エンジン回転数 2,000rpm、80deg. C)  
Fig. 5 Comparison of engine friction  
(engine speed: 2000 rpm; 80 deg. C)

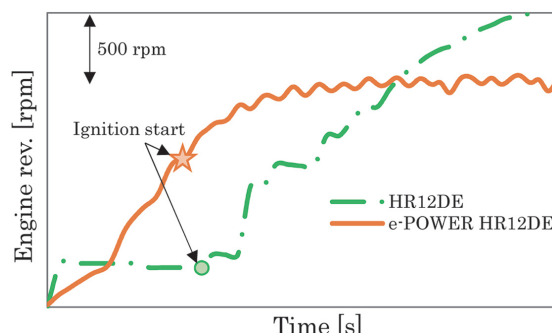


図-6 エンジン始動プロフィール  
Fig. 6 Engine start profiles

also discontinued. Additionally, the water pump was also electrified, thereby reducing load losses. The accessory drive belt was also discontinued because it was no longer needed.

These measures reduced mechanical friction by approximately 35% compared with that of the HR12DDR (Fig. 5).

#### 4.6 Engine starting method

The generator incorporated in the e-POWER system is used for starting the engine, making it possible to discontinue the starter motor and ring gear adopted for engines previously.

The large 55-kW output of the generator is used to increase the engine speed faster and higher at engine start, which works to suppress the vibration transmitted to the body, together with the effect of the Miller cycle. This method of starting the engine was selected for the purpose of accentuating the quietness of e-POWER.

Starting the engine by using the high output of the generator reduces the starting torque produced by combustion at engine start to a lower level than that for engine start by a conventional starter motor. That facilitates fuel-efficient engine start because low-speed, high-load engine operation can be avoided. Figure 6 compares the engine start profiles.

#### 4.7 Exhaust emissions

Although the engine does not propel the vehicle in the e-POWER system, the combustion energy of the engine is used for power generation. This means that exhaust emissions must be controlled just as is necessary for conventional engine-powered vehicles.

As done previously, emission control performance at engine start is enhanced by retarding the ignition timing so as to warm up the catalyst more quickly for faster light-off. In addition, because the engine and the drive shaft are not connected mechanically, the optimal engine operating point for emissions can be set irrespective of the vehicle speed.

On the other hand, repeated starting and stopping of the engine affects emissions performance, but the engine in the e-POWER system operates less frequently than the engine of previous hybrid vehicles. Once started, the engine is controlled to operate mostly at a steady speed and battery charging proceeds efficiently. Consequently, excessive exhaust emissions are suppressed during engine operation. This obtains clean emissions performance comparable to that of engine-powered vehicles.

## 4.8 Engine control

The entire powertrain of the e-POWER system is controlled by the vehicle control module (VCM). Energy management driving force control are performed at all times through optimal power generation. In particular, the engine speed and torque are controlled as explained below.

(1) The engine speed is set to match the speed of the

稼働中の過渡の排出ガスを抑制している。これらにより、エンジン駆動車と同様にクリーンな排気性能を得た。

#### 4.8 エンジン制御

e-POWERでは、パワートレイン全体をVCM (Vehicle Control Module) によって制御し、常に最適な発電によるエネルギーマネジメントと駆動力制御を行っている。その中で、エンジンの回転数とトルクは以下のように制御される。

- (1) 回転数は、VCMからの要求によって制御される発電モータの回転数に応じて設定される。
- (2) トルクは、VCMからの要求によりECM (Engine Control Module) で制御される。

e-POWERは自在にエンジンの動作点を制御できる特徴を持つが、エンジン駆動車のようにアクセルワークに基づく駆動力の要求でなく、電力収支のエネルギーマネジメントの要求から、精細に動作点をトレースする必要がある。このため、従来のエンジン駆動車よりも高いトルク精度と応答性が要求される。この要求に対し、補機類の廃止とともに、制御を改良することで対応した。さらに、VRSベンチ (Virtual and Real Simulator bench) を最大限に活用することで、要求精度と応答性を満たすよう適合の玉成を図った。

#### 5. ま と め

e-POWERの魅力であるモータ駆動による高い動力性能と環境性能を実現するため、電力源としての出力性能と低燃費性能を備えた3気筒1.2Lガソリンエンジンを開発した。HR12DDRをベースとし、発電に特化したエンジンの仕様選定と改良によって、これらを実現することができた。

また、電気エネルギーマネジメントの精細な要求に応えるため、エンジン回転数およびトルクの制御精度と応答性も向上させた。今回構築したエンジントルクの緻密な制御とマネジメントは、今後のエンジン駆動車の魅力向上にも貢献すると考える。

最後に、本エンジンの開発および製品化にあたり、多大なるご協力を頂いた社内外の方々に深く御礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) 森嶋信人ほか：デュアルインジェクターシステムを採用したHR改良エンジンの開発、自動車技術会、学術講演会前刷集、No.110-10、pp. 11-14 (2010)。
- 2) 板倉裕二ほか：軽量/コンパクト/高効率 新型3気筒1.2Lガソリンエンジンの開発、自動車技術会、学術講演会前刷集、No.110-10、pp. 15-18 (2010)。
- 3) 伊佐治洋ほか：直噴ミラーサイクル採用の新型I3 1.2Lスーパーチャージャガソリンエンジン、自動車技術会、学術講演会前刷集、No.140-11、pp. 1-4 (2011)。

generator, which is controlled by the demands from the VCM.

- (2) The engine torque is controlled by the engine control module (ECM) according to the demands from the VCM.

One characteristic of e-POWER is that it can flexibly control the engine operating point. Unlike engine-powered vehicles in which driving force is demanded based on operation of the accelerator pedal, it is necessary for the engine to closely trace the operating point according to energy management demands regarding the electric power balance. Therefore, e-POWER requires higher torque accuracy and response than conventional engine-powered vehicles. That requirement has been met by discontinuing some accessories and improving the control procedure. In addition, the engine was optimally calibrated to satisfy the required accuracy and response by making full use of a virtual and real simulation (VRS) bench.

#### 5. Conclusion

A 3-cylinder 1.2L gasoline engine featuring high power performance and fuel economy was developed as the power source for electric power generation in the e-POWER system. This engine enables the high power performance and environmental friendliness that are obtained by motor drive and typify the attractiveness of e-POWER. Based on the HR12DDR engine, the new HR12DE engine can deliver these performance attributes as a result of selecting and improving the engine specifications specifically for power generation.

In addition, engine speed control and torque control accuracy and response were also improved in order to meet the fine-tuned demands for electric energy management. It is expected that the high-precision engine torque control and energy management system developed for the e-POWER engine will also contribute to improving the attractiveness of engine-powered vehicles in the future.

Finally the authors would like to thank everyone concerned within and outside the company for their invaluable cooperation with the development and commercialization of this engine.

#### References

- 1) N. Morishit et al.: Development of HR improvement engine which adopted Dual Injector System, Proceedings of JSAE, No. 110-10, pp. 11-14 (2010).
- 2) Y. Itakura et al.: Development of New light/small/high efficiency 3 cylinder 1.2L Gasoline Engine, Proceedings of JSAE, No. 110-10, pp. 15-18 (2010).
- 3) H. Isaji et al.: Development of new I3 1.2L Supercharged Gasoline Engine, Proceedings of JSAE, No. 140-11, pp. 1-4 (2011).

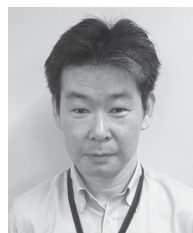
■著者／Author(s)■



伊藤 達也  
Tatsuya Ito



内山 茂樹  
Shigeki Uchiyama



井口 一紀  
Kazunori Inokuchi



浮田 敏行  
Toshiyuki Ukita

## e-POWER用新型ギヤボックスの開発

## Development of a New Gearbox for e-POWER

辻 俊 孝\*  
Toshitaka Tsuji

出口 貴志\*\*  
Takashi Deguchi

奥 廣 将 也\*  
Masaya Okuhiro

近 藤 広 将\*  
Hiromasa Kondo

**抄 録** e-POWERを実現するにあたり、モータ駆動用減速機とエンジン発電用増速機の2系統ギヤトレインをワンパッケージのギヤボックスとして開発した。既存のコンパクトなエンジンルームに収めるために幅を狭くし、静粛性に貢献する音振性能、および低コスト構造で耐久性と高効率を達成する潤滑性能を実現した。

**Summary** We developed a new gearbox that integrates two gear trains functioning as a reducer and a multiplier. It was designed with a narrower width to enable installation in an existing compact engine compartment. It adopts a lubrication system that balances low noise, a low-cost structure, high durability and high efficiency.

**Key words :** Power Transmission, electric vehicle (EV), power train, gear box

## 1. はじめに

新たにe-POWER用パワートレインを実現するにあたり、ギヤボックスを開発した。モータ走行ならではの魅力を実現するために、特有の要件を満足させる必要があった。

本稿では、日産ノートに搭載したe-POWER専用のギヤボックス（図1）について、技術概要を紹介する。

## 2. ギャボックス開発の狙い

ギヤボックス開発にあたり、車両コンセプトから以下の四つを開発の狙いとして、検討を進め実現した。

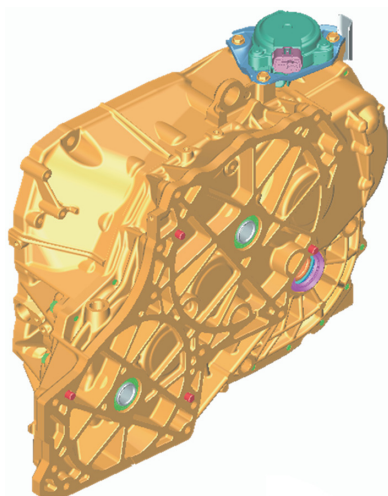


図-1 e-POWER 用ギヤボックス  
Fig. 1 Gearbox for e-POWER

## 1. Introduction

A new gearbox was developed in order to construct the e-POWER powertrain. It was necessary to satisfy certain special requirements in order to deliver the attractive performance that characterizes motor drive.

This article presents a technical overview of the gearbox (Fig. 1) developed specifically for the e-POWER system mounted on the Nissan Note.

## 2. Development Aims for New Gearbox

The following four development aims were defined and achieved for the new gearbox based on the vehicle concept.

- (1) The overall structure should allow a compact layout.
- (2) The gear specifications and noise, vibration and harshness (NVH) levels should achieve outstanding quietness.

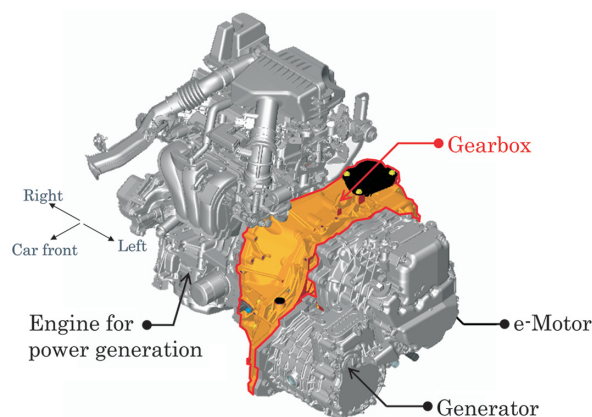


図-2 e-POWER 外観  
Fig. 2 Appearance of e-POWER powertrain

\* パワートレインプロジェクト部 / Powertrain Project Department    \*\* 愛知機械工業株式会社 / Aichi Machine Industry Co., Ltd.



- (1) コンパクトなレイアウトを実現する全体構造
- (2) 高静粛性を実現するギヤ仕様と音振性能
- (3) 低フリクションと最適潤滑を実現する潤滑システム
- (4) 新感覚な操作を実現する電制シフトシステム

### 3. ギヤボックスの概要とコンパクト設計

e-POWER用パワートレイン外観を、図2に示す。

車両右側に発電用エンジン、車両左側に駆動モータと発電モータを配しており、その間をつなぐようにギヤボックスが配置されるレイアウトとなっている。

また、ギヤボックスは図3に示すように、駆動モータの動力をドライブシャフトに伝達する3軸2段の減速機（ギヤ比：7.388）と、エンジン動力を発電モータへ伝達する3軸2段の増速機（ギヤ比：0.6）で構成されている。減速機は100%電気自動車（EV）の日産リーフ用の減速機をベースに、日産リーフより上方に配置された駆動モータ位置に適合するギヤ配列としている。増速機はエンジンから発電モータのレイアウトに適合するギヤ配列としている。今回、既存のエンジンルーム内にエンジン、ギヤボックス、モータを一列に配置するために、ギヤボックスの幅を最小限にする必要があり、ギヤ支持ベアリング間の距離を日産リーフ用減速機に対し約30mm短縮し、増速機アイドルギヤに2重かみ合い方式を採用することなどにより、レイアウトを成立させた（図4）。

### 4. 高静粛性を実現する音振設計

e-POWERの特徴である優れた静粛性を実現するためには、モータ駆動時の圧倒的な静粛感の実現のみならず、エンジン発電時にも騒音を抑える必要があり、ギヤノイズに対し厳しいレベルが求められる。そこで日産リーフ用減速機の開発で得たギヤ設計のノウハウや音振シミュレーション

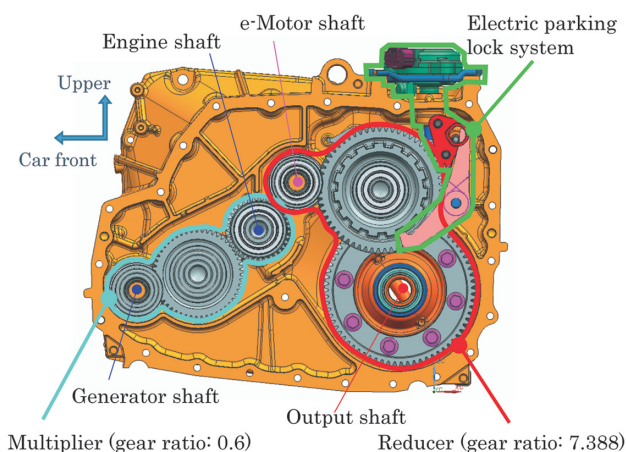


図-3 ギヤボックスの内部構造  
Fig. 3 Internal structure of the gearbox

- (3) The lubrication system should achieve low friction and optimal lubrication.
- (4) The electric shift control system should provide a new shift feel.

### 3. Overview of Gearbox and Compact Design

The appearance of the e-POWER powertrain is shown in Fig. 2. The engine for power generation is located on the right side of the vehicle and the drive motor (e-Motor) and generator are positioned on the left side. The gearbox is laid out in between as if to connect them.

As shown in Fig. 3, the gearbox consists of a three-shaft, two-stage reducer (gear ratio: 7.388) for transmitting the power of the e-Motor to the drive shaft and a three-shaft, two-stage multiplier (gear ratio: 0.6) for transmitting the engine power to the generator. Based on the reducer used on the Nissan LEAF pure EV, the reducer has a gear arrangement suitable for the e-Motor that is positioned higher than the corresponding motor on the Nissan LEAF. The multiplier has a gear arrangement suitable for the layout from the engine to the generator. In developing the new gearbox, it was necessary to minimize its width in order to position the engine, gearbox and motors in a single row in the existing engine compartment. The distance between the bearings supporting the gearbox was shortened by approximately 30 mm from that of the reducer used on the Nissan LEAF, and a double-mesh idler gear was adopted for the multiplier. These measures made the desired layout possible (Fig. 4).

### 4. NVH Design for Outstanding Quietness

In order to provide the outstanding quietness that is one distinctive feature of e-POWER, engine noise during power generation must be suppressed, in addition to having an overwhelming sensation of quietness during motor drive. That requires rigorous suppression of gear noise to a low level. A remarkably quiet gearbox was successfully achieved as a result of applying the gear design knowhow gained in developing the dedicated

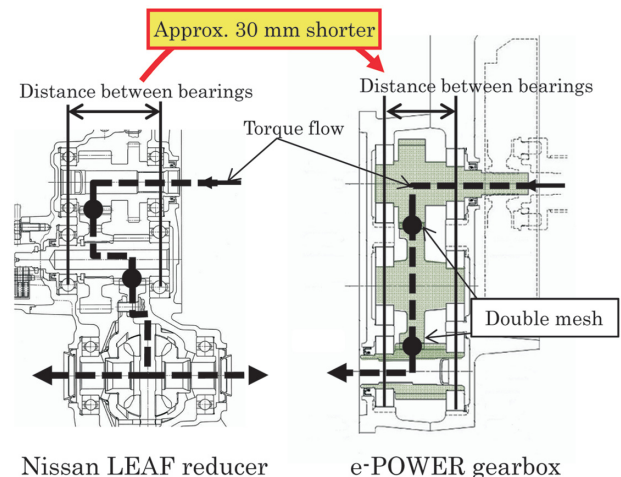


図-4 ギヤトレイン断面  
Fig. 4 Comparison of gear train cross sections

ン技術を活用し、静粛性に優れたギヤボックスとすることができた。表1、2に主なギヤ諸元を示し、以下に活用した技術項目を紹介する。

#### 4.1 かみ合い次数の適正化

本ギヤボックスは、ギヤトレインが2対あるため、互いに干渉し合ってギヤノイズを悪化させる場合がある。これを回避するために、要求ギヤ比を確保しつつ、干渉する次数にならない歯数を選定した。

#### 4.2 かみ合い率の確保

ギヤボックスの幅を狭めているが、ギヤ幅を最大限確保し、歯車諸元とかみ合い率を日産リーフ用減速機並に設定した。

#### 4.3 歯面仕上げの適用

量産化に伴うギヤノイズのばらつきと、ギヤ幅短縮に伴うアライメントエラーに対するロバスト性向上のため、全歯面に熱処理後歯面仕上げを追加した。

以上の結果、手動変速機の発進段並の強度耐久性と巡航高速段並の静粛性を両立するギヤ仕様とすることができた（図5）。

表-1 減速機 歯車諸元  
Table 1 Specifications of reducer gears

|                      | Input  | Main #1  | Main #2 | Final    |
|----------------------|--------|----------|---------|----------|
| Number of teeth      | 21     | 59       | 27      | 71       |
| Total gear ratio     | 7.388  |          |         |          |
| Thickness of teeth   | 27.5   | 26.0     | 32.5    | 28.0     |
| Outside dia.         | 61.9   | 159.6    | 76.9    | 191.0    |
| Root circle dia.     | 48.8   | 146.3    | 63.6    | 178.1    |
| Dia. of shaft        | Φ30    | Φ43      | Φ35     | —        |
| Center distance (mm) | 104.8  |          | 128.0   |          |
| Surface finishing    | Honing | Grinding | Honing  | Grinding |

表-2 増速機 歯車諸元  
Table 2 Specifications of multiplier gears

|                      | Input  | Reduction | Output |
|----------------------|--------|-----------|--------|
| Number of teeth      | 35     | 51        | 21     |
| Total gear ratio     | 0.6    |           |        |
| Thickness of teeth   | 28.5   | 23.0      | 28.5   |
| Outside dia.         | 82.2   | 115.6     | 51.3   |
| Root circle dia.     | 71.1   | 104.5     | 40.6   |
| Dia. of shaft        | Φ32    | Φ40       | Φ32    |
| Center distance (mm) | 94.0   |           | 78.7   |
| Surface finishing    | Honing | Honing    | Honing |

reducer of the Nissan LEAF and effectively utilizing NVH simulation technology. The principal specifications of the reducer and multiplier gears are given in Tables 1 and 2, respectively, and the techniques that were used are explained below.

#### 4.1 Optimization of meshing orders

Because this gearbox has two gear trains, gear noise can worsen in cases where their meshing orders interfere with each other. To avoid that, the numbers of teeth were selected so that meshing order interference would not occur, while still maintaining the required gear ratios.

#### 4.2 Assurance of contact ratio

Although the width of the gearbox was narrowed, the maximum gear width was assured and the gear specifications and contact ratio were set equal to those of the dedicated reducer of the Nissan LEAF.

#### 4.3 Application of tooth surface finishing

A tooth surface finishing process was added for all tooth surfaces after the heat treatment in order to improve robustness against gear noise variability induced by mass

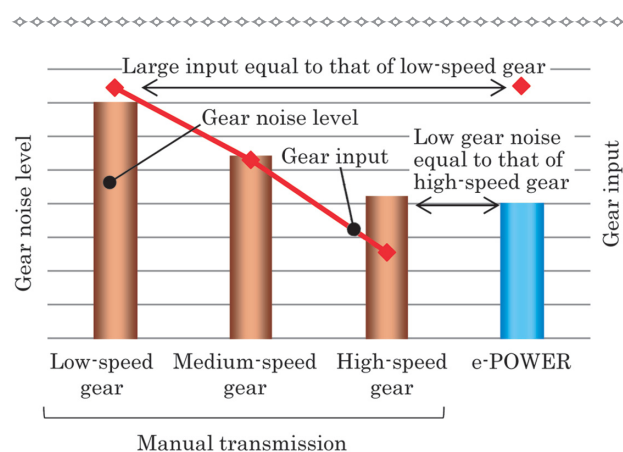


図-5 ギヤノイズ達成レベル  
Fig. 5 Gear noise level

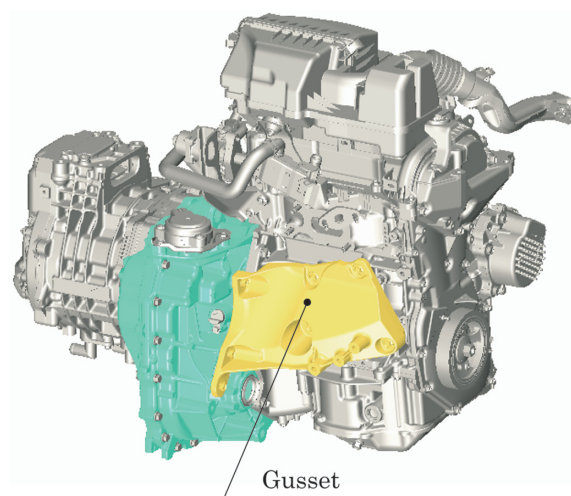


図-6 ガセツによる音振性能の改善  
Fig. 6 Gusset for NVH improvement

#### 4.4 パワートレイン音振特性

パワートレイン全体での音振シミュレーションを実施することにより、ギヤボックス単体だけでなく、エンジンとギヤボックスの締結剛性を上げるための最適形状ガセット(図6)を追加することとした。これにより、モータノイズを含めた音振性能を、高いレベルで達成した。

## 5. 最適な潤滑設計による低フリクションの実現

本ギヤボックスは、ギヤのオイル攪拌（かくはん）により各部を潤滑するシステムとし、以下の考え方に基づいて開発を進めた。

- (1) オイルの搅拌損失を低減するための最適最少油量化
- (2) ポンプ駆動損失を排除するためのオイルポンプレス化
- (3) 高い位置にも確実にオイルを届ける最適なりづ配置
- (4) あらゆる運転シーンの組み合わせでの減速機と増速機の潤滑性能の確保

## 5.1 オイルの循環計画

各ギヤの配置に対し、オイルの供給先、かきあげ方、流す経路と循環のさせ方、といった着目点に基づき、大きなオイルの流れ（オイルループ）を計画した（図7）。

走行時、ファイナルリングギヤによって、効率よくオイルをかきあげる「オイルループ1」(A部)と、発電時のリダクションギヤによって効率よくオイルをかき上げる「オイルループ2」(B部)、更にオイルが行き来するオイル通路の確保(C部)の三つのポイントを重点として検討した。

この計画に沿って、オイルの流れをコントロールするためにガイド（潤滑リップ）の配置を決めた。ガイドは、別部品を追加せず、鋳物ケースの薄肉リップ形状にて実現した（図8）。

## 5.2 様々な運転シーンでも成立する油面の設定

ギヤボックス内の潤滑を考える場合、走行時だけではなく、車両停止時にエンジンが運転中となるシーンなど

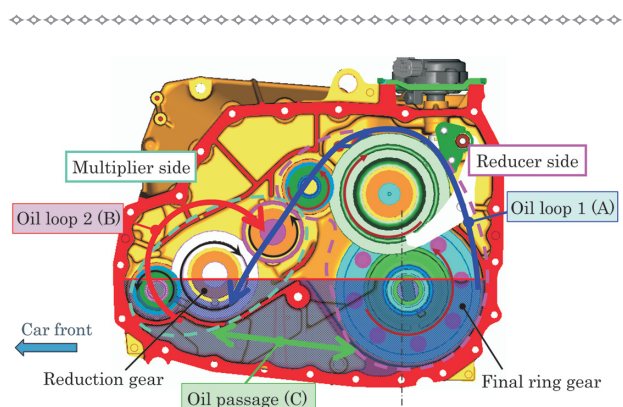


図-7 潤滑のためのオイルループ考え方  
Fig. 7 Oil loops for lubrication

production and alignment error resulting from reduction of the gear width. As a result, gear specifications were achieved that combine strength and durability equal to that of the start-off gear in a manual transmission with the quietness of the high-speed cruising gear (Fig. 5).

#### 4.4 Powertrain NVH performance

As a result of conducting an NVH simulation for the entire powertrain, an optimally shaped gusset (Fig. 6) was added to improve connection rigidity between the engine and the gearbox, in addition to reducing the NVH levels of the gearbox itself. This measure helped to achieve a high level of NVH performance for the powertrain, including motor noise.

## 5. Low Friction attained with Optimum Lubrication System Design

The gearbox was developed based on the following concept of a system in which churning of the oil by the rotation of the gears lubricates all parts of the gearbox.

- (1) Optimal minimization of the oil quantity to reduce loss due to oil churning.
- (2) Discontinuation of the oil pump to eliminate oil pump drive losses.
- (3) Optimal rib placement so that oil also reliably reaches the highest positions.
- (4) Assurance of lubrication performance for combined operation of the reducer and multiplier in all types of driving situations.

### 5.1 Oil circulation plan

Large oil loops were planned based on the focal points of the oil supply destination, churning method, flow passages and method of circulation relative to the layout of each gear (Fig. 7). Priority was given to the examination of three points: oil loop 1 (part A) for efficient churning of the oil by the final ring gear during driving; oil loop 2 (part B) for efficient churning of the oil by the reduction gear during power generation; and assurance of flow passages (part C) for oil circulation.

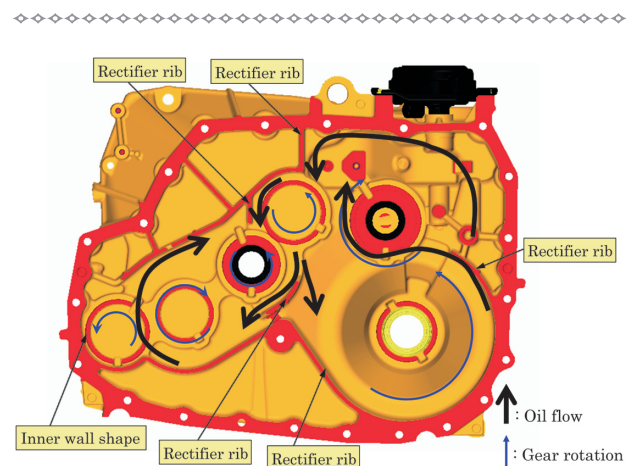


図-8 潤滑リブ  
Fig. 8 Ribs for lubrication



についても考える必要がある。例えば図9に示すような登坂姿勢にある場合は、オイルが減速機側に偏り、増速機ギヤ周辺のオイルが少なくなる。このようなe-POWER特有の運転条件を洗い出し、各々のシーンでギヤがオイルをかき上げる油面を確保できる最小限の油量を成立させるため、ギヤとリブの隙間の設定やオイル通路を確保するためのリブ上のスリットなどを採用し、オイルの攪拌抵抗を低減できた。

結果として、ギヤボックスのフリクションは日産リーフ用減速機に対して約1%向上し、燃費に貢献できた（図10）。

## 6. 電制シフトシステムの採用

e-POWERらしさを運転操作でも実現すべく、日産リーフ同様の電制シフトシステムを採用した（図11）。電制シフトによるワンタッチで瞬時に作動する新感覚の操作性に加え、構造上もギヤボックス操作用メカケーブルが不要となり、レイアウトのコンパクト化、軽量化にも寄与した。電制シフトコントロールモジュールについても、VCM（Vehicle Control Module）と一体化してレイアウトスペースを改善した。

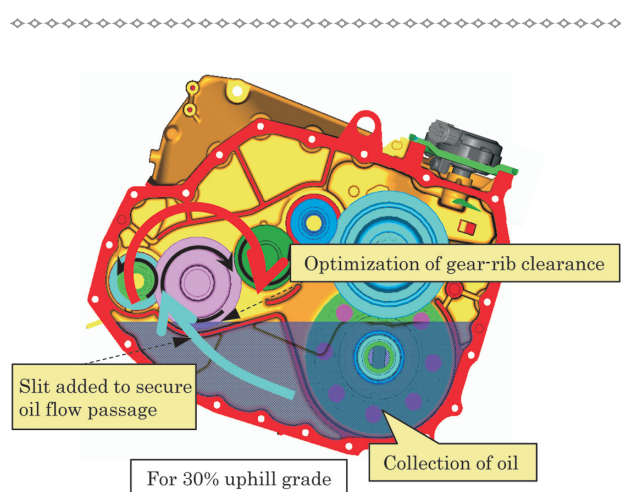


図-9 登り傾斜時の潤滑成立性  
Fig. 9 Lubrication in uphill driving

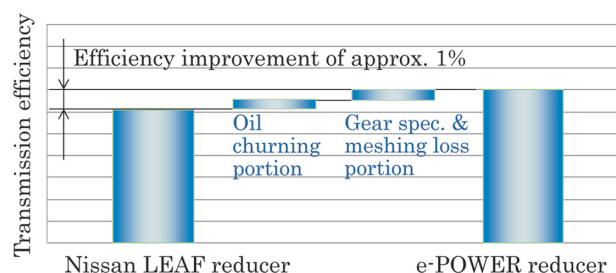


図-10 伝達効率比較  
Fig. 10 Comparison of efficiency

In line with this plan, the placement of lubrication ribs (guides) for controlling the flow of oil was determined. The ribs were achieved using the thin rib shapes of the cast-iron case without adding any additional parts (Fig. 8).

## 5.2 Defining a viable oil level for various driving situations

In examining lubrication inside the gearbox, it is necessary to consider situations when the engine is running while the vehicle is at rest and not just the times when the vehicle is moving. For example, in the vehicle attitude shown in Fig. 9 when traveling uphill, lubrication oil tends to collect on the reducer side and decreases around the multiplier gears. Driving conditions like this that are specific to e-POWER were identified, and the minimum necessary oil quantity was defined for ensuring an oil level churnable by the gears in every driving situation. That was accomplished by setting a suitable clearance between the gears and the ribs and by adding a slit in the top of the ribs for securing oil passages. These and other measures worked to reduce oil churning resistance.

As a result, gearbox friction was reduced by approximately 1% compared with that of the reducer used on the Nissan LEAF, which contributes to improving fuel economy (Fig. 10).

## 6. Adoption of Electric Shift Control System

The electric shift control system used on the Nissan LEAF was adopted to achieve performance characteristic of e-POWER even for shifting operations (Fig. 11). This electric shift control provides a new shift feel whereby shifting is actuated immediately with just one touch of the shift lever. In addition, structurally it also contributes to a more compact layout and lighter weight by eliminating the need for a mechanical cable to operate the gearbox. The layout space was also improved by integrating the electric shift control module with the vehicle control module (VCM).

## 7. Conclusion

The following points were accomplished through the development of the e-POWER gearbox.

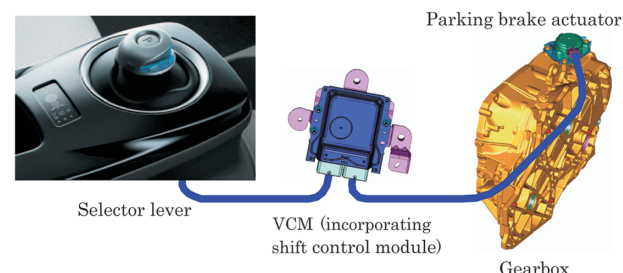


図-11 電制シフトコントロールシステム  
Fig. 11 Electric shift control system



## 7. ま と め

e-POWER用ギヤボックスとして、以下のことが実現できた。

- (1) エンジンとモータの間に、減速機と増速機2対のギヤトレインをコンパクトに配置
- (2) 日産リーフ用減速機の設計ノウハウやシミュレーション、高精度な歯面仕上げを活用し、高静粛な音振性能を達成
- (3) e-POWER特有の運転条件を満足し、低コストで損失の少ない潤滑システムを実現
- (4) 電制シフトシステムを採用して、新感覚の操作性とギヤボックスのコンパクト化を実現

## 8. 謝 辞

最後に、本ギヤボックスの開発・商品化にあたり多大なご協力を頂いた社内外の関係者の皆様に、深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 刈屋 武ほか：日産リーフ用減速機開発、日産技報、No.69・70、p. 11-15 (2012)。

- (1) Two gear trains functioning as a reducer and a multiplier were positioned compactly between the engine and the motors.
- (2) NVH performance providing excellent quietness was attained by applying the design knowhow gained with the Nissan LEAF gearbox, NVH simulation technology and high-accuracy tooth surface finishing processes.
- (3) A low-cost lubrication system with low energy losses was developed that satisfies the operating conditions specific to e-POWER.
- (4) A more compact gearbox and a new shift feel were achieved by adopting an electric shift control system.

## 8. Acknowledgments

The authors would like to express their deep appreciation to everyone concerned inside and outside the company for the invaluable cooperation extended for the development and commercialization of the new gearbox.

## References

- 1) Takeshi Kariya et al.: Development of a Reducer for the Nissan LEAF, Nissan Technical Review, No. 69/70, pp. 11-15 (2012).

## ■著者／Author(s)■



辻 俊 孝  
Toshitaka Tsuji



出 口 貴 志  
Takashi Deguchi



奥 廣 将 也  
Masaya Okuhiro



近 藤 広 将  
Hiromasa Kondo

# e-POWERを支える振動・騒音低減技術

Noise and Vibration Reduction Technologies for New e-POWER Powertrain

餌 取 秀 一\*  
Syuuichi Etori

榎 本 俊 夫\*\*  
Toshio Enomoto

桑 田 敏 久\*\*  
Toshihisa Kuwata

市 川 勝 則\*  
Katsunori Ichikawa

森 行 広\*  
Yukihiro Mori

**抄 録** さらなる低燃費車の普及を目指して開発した新電動パワートレインe-POWERは新型日産ノートに搭載され、高い静粛性を実現した。本稿ではe-POWERの振動・騒音視点での特徴と考察、および振動・騒音低減技術の中でも特にe-POWER特有のエンジン制御に関わる技術について紹介する。

**Summary** The new e-POWER electric powertrain was adopted on the new Nissan Note to further popularize fuel-efficient vehicles. It achieves highly competitive noise and vibration performance. This article describes the noise and vibration reduction technologies employed, especially those related to e-POWER's unique engine control, taking into account the features of the system from noise and vibration perspectives.

**Key words :** Performance, Noise, Vibration, power train, series hybrid vehicle

## 1. は じ め に

自動車開発においてCO<sub>2</sub>排出量の削減は急務であり、日産自動車においては2010年より電気自動車の日産リーフを量産し、市場に投入している。環境負荷の低い車両のさらなる普及を目指して、シリーズハイブリッドシステムを採用した新電動パワートレインe-POWERを開発し、新型ノートに搭載した。本稿ではe-POWERの振動・騒音視点での特徴と、静粛性を実現した技術について紹介する。

## 1. Introduction

Reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions is an urgent issue in the development of new vehicles. In this regard, Nissan launched mass production of the Nissan LEAF electric vehicle (EV) and put it on the market in 2010. The new e-POWER electric powertrain was developed and adopted on the new-generation Note with the aim of further popularizing vehicles having a low environmental impact. This article describes the features of e-POWER from the perspectives of noise and vibration and explains the technologies adopted to achieve outstanding quietness.

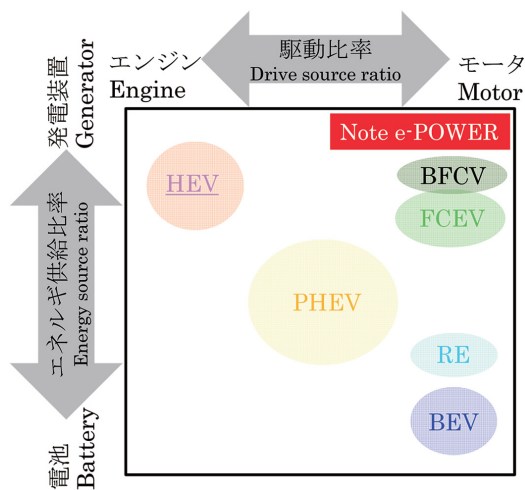


図-1 電動車両と e-Power の位置付け  
Fig. 1 Position of e-POWER relative to other EVs

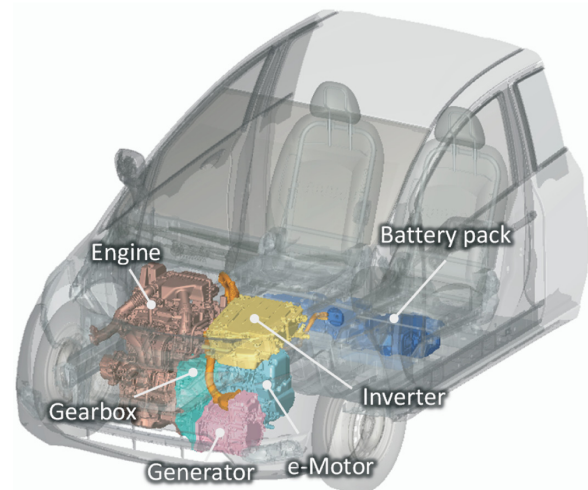


図-2 e-POWER システム概要  
Fig. 2 e-POWER system

\*Nissan 第一製品開発部／Nissan Product Development Department No. 1 \*\*先行車両性能開発部／Advanced Vehicle Performance Engineering Department

## 2. e-POWER概要

現在、様々な電動パワートレインが販売・開発されており、シリーズパラレルハイブリッド、プラグインハイブリッド、BEV (Battery electric vehicle)、RE (Range extender)、FCEV (Fuel cell electric vehicle)、BFCV (Bio fuel cell vehicle) などがある。e-POWERはそれらとは異なり、モータのみで駆動力を発生させ、必要なエネルギーはエンジンとモータを組み合わせた発電機で供給する、新しい形のシリーズハイブリッドシステムである。このシステムの特徴は、ほとんどの走行においてSOC (State of Charge) が低下しても、一部のREのように駆動力が制限されないことである。これにより、モータ駆動の静粛性をはじめとする走りの良さと、充電の必要がない利便性を両立している (図1)。

### 2.1 システム概要

e-POWERは日産リーフで開発を行い技術ノウハウが蓄積されたコンポーネントである駆動モータ、インバータ、バッテリーに、エンジンと発電モータを追加した構成である。また車両搭載にあたり、バッテリーを除くそのすべてのコンポーネントをエンジンルーム内に収め、ガソリン車からの変更規模を最小限にし、ペンデュラム方式での防振構造や遮音構造をe-POWERに合わせて設計した (図2)。

### 2.2 動作パターン

次にe-POWERの動作について説明する。駆動力を発生させるのは駆動モータのみであり、エンジンと発電モータで構成された発電機によって発生させた電力は、駆動モータとバッテリーに供給される。

続いてエネルギーの流れを説明する。車を走行させる場合、駆動モータへのエネルギー供給パターンは3通りである (図3)。

## 2. e-POWER Overview

Various types of electric powertrains have been developed and are being sold today, including series parallel hybrids, plug-in hybrids, battery electric vehicles (BEVs), range extenders (REs), fuel cell electric vehicles (FCEVs) and bio-fuel cell vehicles (BFCVs), among others. e-POWER differs from all of them in that driving force is generated by a drive motor (e-Motor) alone, and the necessary energy is provided by a generator set consisting of an engine and a motor. This represents a new type of series hybrid system. A major feature of this system is that, like some range extenders, driving force is not limited in most driving situations even if the battery state of charge (SOC) drops. This feature combines the excellent driving performance of motor drive, especially its quietness, with the convenience of not having to charge the battery (Fig. 1).

### 2.1 System overview

The e-POWER configuration adds an engine and a motor for power generation use to the e-Motor, inverter and battery that were developed for the Nissan LEAF and for which much technical know-how has been accumulated. Excluding the battery, all of the components are mounted in the engine compartment, which minimized the scope of the changes made compared with the gasoline-engine Note models. A pendulum type of anti-vibration structure and a noise damping structure were designed to match the e-POWER system (Fig. 2).

### 2.2 Operating modes

This section explains the operating modes of e-POWER. The only unit producing driving force is the e-Motor. The electric energy produced by the generator set, comprising a gasoline engine and a motor, is supplied to the e-Motor and the battery.

The flow of energy for propelling the vehicle has the following three patterns for the supply of electric energy to the e-Motor (Fig. 3).

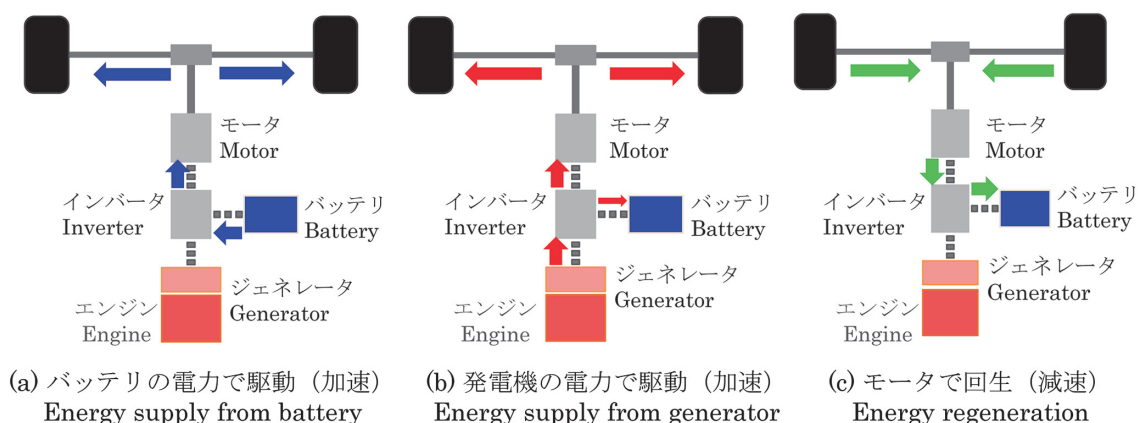


図-3 e-POWERの動作  
Fig. 3 Operating modes of e-POWER

- (a) バッテリーに蓄えた電力のみ（バッテリー電力量が多く、かつ低負荷走行時）（図3 (a)）
- (b) 発電機からの電力のみ（バッテリー電力が低い場合）（図3 (b)）
- (c) バッテリー電力＋発電機からの電力（高負荷走行時）

また、減速時は他の電動パワートレインと同様に、運動エネルギーを駆動モータでバッテリーに回生するが、駆動輪がモータだけに機械的に結合されているためエネルギー損失が少なく、効率高く回生することが可能である（図3(c)）。

### 3. 主な振動・騒音現象

この章では、e-POWERの主な振動・騒音現象について説明する。

e-POWERで発生する振動・騒音現象は、日産リーフやハイブリッド車（HEV）で発生するモータノイズなどの現象に加えて、発電時のエンジン騒音や振動、モータノイズがある（表1）。

これらのe-POWERで発生する振動・騒音現象に対して、従来の振動・騒音設計に加え、発電専用となったことで自由度が広がったエンジン制御を含めて性能設計を行った。本稿では、特に新たな取り組みである後者について紹介する。

#### 4. 振動・騒音視点での特徴

この章では振動・騒音設計の考え方の前に、e-POWERの振動・騒音視点での特徴を説明する。

エンジンは発電専用であり駆動軸と完全に切り離され

表-1 e-POWER の振動・騒音現象  
Table 1 Noise and vibration characteristics of e-POWER

|                                       |                                                                     |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 現象<br>Phenomenon                      |                                                                     |
| e-POWER特有                             | 発電時のエンジン騒音と振動<br>Engine noise and vibration during power generation |
| Unique to<br>e-POWER                  | 発電時のモータノイズ<br>Motor noise during power generation                   |
| 日産リーフや<br>HEVと共通                      | エンジン始動/停止時の車体振動<br>Body vibration when starting/stopping the engine |
| Common with<br>Nissan LEAF<br>and HEV | バッテリー冷却時のファン騒音<br>Fan noise for battery cooling                     |
|                                       | 走行中のモータノイズ<br>Motor noise during driving                            |
|                                       | インバータからの高周波音<br>High frequency noise from inverter                  |
|                                       | 運転中のギヤノイズ<br>Gear noise during driving                              |
|                                       | モータトルクリップルによる車体振動<br>Body vibration caused by motor torque ripples  |
|                                       | 冷却用のウォータポンプからの騒音<br>Noise from electric water pump for cooling      |

- Only the energy stored in the battery (when the battery SOC is high and the driving load is low) (Fig. 3-(a))
- Only the energy generated by the generator (when the battery SOC is low) (Fig. 3-(b))
- Energy from both the battery and the generator (high-load driving situations)

In addition, like other electric powertrains, kinetic energy is regenerated by the e-Motor and stored in the battery during vehicle deceleration. Because the drive wheels are connected mechanically only to the e-Motor, highly efficient energy regeneration is possible with little energy loss (Fig. 3-(c)).

### 3. Principal Noise/Vibration Phenomena

This section explains the principal noise and vibration phenomena produced by e-POWER. Besides motor noise and other phenomena that occur in common with the Nissan LEAF and HEVs, the noise and vibration phenomena produced by e-POWER also include engine noise and vibration during power generation as well as motor noise (Table 1).

In addition to conventional design measures against noise and vibration, the noise and vibration performance design took into account engine control, for which there is greater flexibility because the engine is operated specifically for power generation use. This article especially explains the latter measures that were newly taken to deal with the noise and vibration phenomena produced by e-POWER.

#### 4. System Features from Noise and Vibration Perspectives

Before explaining the concepts of the noise/vibration design, this section describes the features of e-POWER from the perspectives of noise and vibration.

The engine speed and torque can be set arbitrarily as desired regardless of the vehicle speed and drive state because the engine is completely separated from the drive shaft and is used only as the energy source for power generation. In conventional powertrains, the engine speed and torque have been limited within the range of the reduction ratio of the transmission. While e-POWER has a high degree of design flexibility, when viewed from the perspectives of noise and vibration, it has conditions that are advantageous and disadvantageous compared with conventional powertrains. As typical examples, the following discussion explains two advantageous conditions and one disadvantageous condition (Fig. 4).

One advantageous condition is that the vehicle is propelled by the e-Motor alone with the engine turned off at relatively low vehicle speeds and also low loads, which typify operating conditions in city driving, for example. This is possible because the drive shaft and the engine are completely separated, and it allows outstanding quietness to be achieved (Fig. 4-(a)).



ているため、車速や駆動状態によらずにエンジン回転数とトルクを任意に設定することができる。従来のパワートレインでは変速機の持つ減速比の幅でそれらが制限されていたが、e-POWERは設計自由度が高いものの、振動・騒音視点で見ると従来のパワートレインに対し有利、もしくは不利な条件が存在する。本稿では代表的な例として有利な条件を二つ、不利な条件を一つ挙げる（図4）。

有利な条件としては、まず市街地走行などに代表される比較的低車速かつ低負荷の条件で、駆動軸とエンジンが切り離され、モータのみで駆動する（エンジンを停止する）ことで、高い静粛性を実現することが可能である（図4 (a)）。

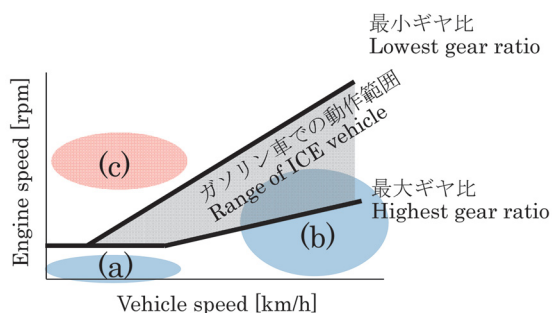
次に、高速道路走行などの比較的高車速かつ中負荷の条件では、エンジン回転数とトルクの設計自由度から、タイヤの騒音や風切り音などの走行騒音に対してエンジン騒音を抑えて、目立ちにくくさせることができる(図4(b))。

一方不利な点として、急加速などに代表される比較的  
低車速かつ高負荷の条件では、駆動に必要なエネルギーの発電  
に充電の要求が加わり、従来のガソリン車以上にエンジン  
回転数を高くするような不利な条件が存在し得る(図4 (c))。

## 5. 振動・騒音設計の考え方

この章では、4章で説明した三つの代表的な条件について、振動・騒音設計の考え方を説明する。

基本的な考え方は、前述したe-POWERの車速に対するエンジン回転数とトルクの設計自由度を生かし、有利な条件を拡大して、不利な条件を縮小するようにエンジン回転数とトルクを制御することで、静粛性を向上させることで



|                    | Situation                                                               | Characteristics                                                                                                                  |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 有利<br>Advantages   | 市街地走行<br>(低車速低負荷)<br>City<br>(Low vehicle speed<br>and low load)        | (a) エンジンオフ、または静かな低回転<br>で走行可能<br>Driving with engine stopped or at<br>low engine speed                                           |
|                    | 高速巡航時<br>(高車速中負荷)<br>Highway<br>(High vehicle speed<br>and medium load) | (b) 走行騒音に応じたエンジン回転と<br>トルクに設定できる<br>Engine noise can be balanced with<br>background noise by designed<br>engine speed and torque |
| 不利<br>Disadvantage | 急加速<br>(高負荷)<br>Strong<br>acceleration<br>(High load)                   | (c) 低車速かつ高回転高トルクで発電<br>することがある<br>High engine speed and torque are<br>used for power generation at low<br>vehicle speed          |

図-4 代表的なシーンと振動・騒音視点での特徴  
Fig. 4 Noise and vibration characteristics in typical driving situations

Another advantageous condition is that engine noise can be suppressed and made less conspicuous by masking it with background noise such as tire noise and wind noise (Fig. 4-(b)). This is possible because of the greater design flexibility allowed for setting the engine speed and torque at relatively high vehicle speeds and medium load levels like the conditions of expressway driving.

On the other hand, one disadvantageous condition is that the engine speed may become higher than that of conventional gasoline-engine vehicles at relatively low vehicle speeds and high loads such as the conditions typified by rapid acceleration. That is because of the demand for battery charging in addition to power generation for providing the energy needed to propel the vehicle. (Fig. 4-(c)).

## 5. Concepts for Noise/Vibration Design

This section explains the concepts for the noise and vibration design with respect to the three typical conditions described in the preceding section.

The basic concept is to improve quietness by controlling the engine speed and torque so as to expand the advantageous conditions and curtail the disadvantageous condition. That is accomplished by effectively using the greater design flexibility allowed by e-POWER for setting the engine speed and torque relative to the vehicle speed, as mentioned above.

With regard to the first advantageous condition of motor drive at low vehicle speeds and low loads, the time when the vehicle is propelled only by the e-Motor with the engine turned off has been expanded within the range where the energy balance between vehicle propulsion and power generation is viable (Fig. 5-(a)).

With regard to the second advantageous condition while operating at high vehicle speeds and medium loads, the system is designed such that engine noise becomes smaller relative to the background noise by regulating engine control. At that time, the control procedure also gives priority to torque so that more electric energy can be generated while suppressing the engine speed as much as possible. This control takes into account sensitivity to the engine noise level as will be described later (Fig. 5-(b)).

Lastly, with regard to the disadvantageous condition of a higher engine speed during high load operation, electric energy generated at high efficiency and stored in the battery is used effectively so as not to operate the engine as much as possible or to control the engine speed to a low level if it is operated. This design works to reduce the engine noise level (Fig. 5-(c)).

The following sections explain in detail these three design concepts and the outstanding quietness attained as a result.

### 5.1 Maximization of motor-drive region

Generally, background noise levels such as tire noise and wind noise are low and engine noise tends to be conspicuous when traveling at low vehicle speeds (Fig. 6).

ある。

有利な条件の第一である低車速・速低負荷での走行は、エンジンを停止してモータのみで走行する時間を、走行と発電のエネルギー収支が成立する範囲で拡大した（図5 (a)）。

有利な条件の第二である高車速・中負荷での走行は、エンジン制御を規制することで、走行騒音に対しエンジン騒音が小さくなるよう設計をした。またその際、同じ騒音レベルでより多くのエネルギーの発電が可能となるよう、後述する騒音レベルへの感度を考慮し、トルクを優先して極力エンジン回転を抑える制御にした（図5 (b)）。

最後に不利な条件の高負荷での走行は、効率よく発電して蓄えたエネルギーを用いることで、極力エンジンを動かさない、もしくはエンジンを動かしても回転数を抑える制御として、騒音レベルを低くする設計とした（図5 (c)）。

以下に、これらの三つの設計の考え方と、その結果として実現した静粛性について詳細に説明する。

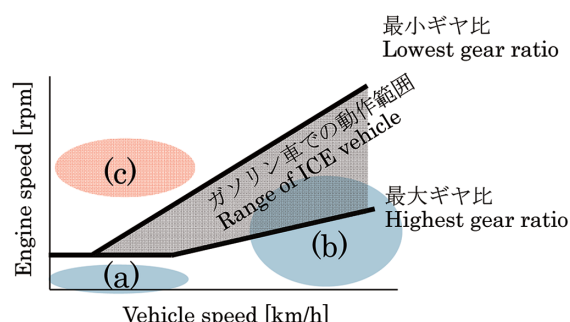
### 5.1 モータ走行領域を最大化

一般的に低車速で走行しているときはタイヤの音や風切り音といった走行騒音のレベルが低く、エンジン騒音が目立ちやすい（図6）。e-POWERでは、従来のハイブリッドパワートレインより広い車速域でエンジンを停止する設計としたため（図7）、エンジン騒音レベルが下がることになる。したがって、e-POWERはエンジンを動かしながら走行するパワートレインに対する優位性がある。

### 5.2 エンジン騒音を走行騒音に隠すように発電

5.1節とは逆に、高い車速で走行しているときは、走行騒音が大きい。従来のパワートレインでは、変速機の持つ減速比が限られているため、走行騒音とエンジン騒音のバランスがある程度決まっているが、e-POWERは減速比の幅に制限されることなく、このバランスを意図的に変化さ

~~~~~



- | |
|--|
| (a) EV走行領域を最大化
Maximum EV driving |
| (b) エンジン騒音を走行騒音に隠すように発電
Masking engine noise by background noise |
| (c) 極力、エンジンを動かさない、または回転を上げない
Engine stopped or minimum engine speed |

図-5 各シーンでの設計の考え方
Fig. 5 Design concept for each situation

e-POWER has been designed to keep the engine turned off over a wider vehicle speed range than previous hybrid powertrains (Fig. 7), which results in a lower level of engine noise. Accordingly, this gives e-POWER an advantage over powertrains that run the engine while propelling the vehicle.

5.2 Power generation that masks engine noise with background noise

In contrast to the condition in the preceding section, background noise is large when traveling at high vehicle speeds. With conventional powertrains, the balance between background noise and engine noise is fixed to a certain extent because the reduction ratio of the transmission is limited. However, with e-POWER, this balance can be intentionally varied because there is no limit on the reduction ratio range. The system is designed such that engine noise becomes smaller relative to the background noise, thus making it less conspicuous (Fig. 8).

Specifically, the control procedure puts priority on increasing engine torque, which has less impact on engine noise than the engine speed, thus attaining outstanding quietness while still obtaining the required output (Figs. 9 & 10).

Power generation is therefore designed to be advantageous toward quietness by maximizing the use of engine speed and torque characteristics in relation to the engine noise level. This enables much electric energy to be

~~~~~

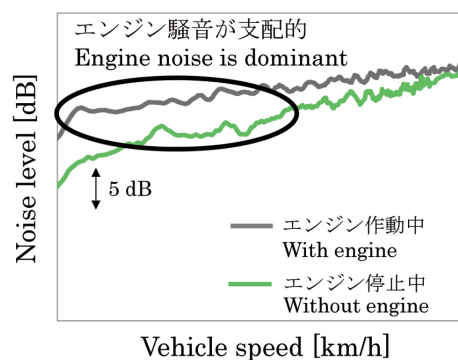


図-6 エンジン騒音有無による車両の騒音レベル差  
Fig. 6 Total noise level with/without engine noise

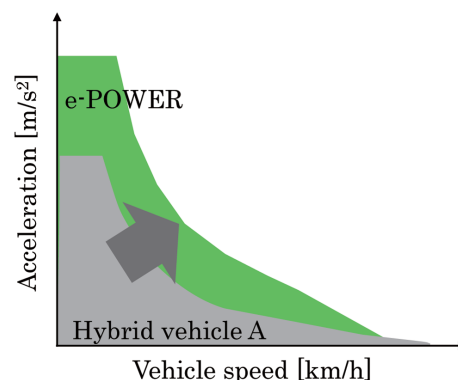


図-7 e-POWER のモータ走行領域  
Fig. 7 EV driving range

せ、走行騒音に対してエンジン騒音を小さくし、目立ちにくくする設計とした（図8）。

具体的には、エンジン騒音に対しエンジン回転数よりもトルクの影響が低いことから、トルクを優先して上げることで、必要な出力を得つつ静粛性に優れた制御とした（図9、図10）。

このようにエンジン騒音に対する回転数とトルクの特性を最大限、静粛性に有利に設計して発電することで、極力エンジン騒音を目立たせずに、多くのエネルギーを発電することができ、モータ走行領域を拡大することができた。

### 5.3 エンジンを動かさない、または回転数を上げない

不利なシーンである低車速かつ急加速などの高負荷の運転が必要となきであっても、基本的には極力エンジンを動かさない、もしくは動かしても回転数を抑える制御とし、騒音レベルを低くする設計とした。エンジン騒音視点での効率のよい発電が、走行と発電のエネルギー収支を助け、この条件においても有効な技術となっている。

### 5.4 実現した静粛性

この節では、実現した静粛性の確認結果の一例について紹介する。

実際の市場を想定し、数種類の車速や加減速の組み合わせで構成された走行パターンで検証を行った結果、これまで説明した設計の考え方により、狙い通りの静粛性を確認することができた。

第一はモータ走行領域の拡大であり、この走行パターンにおいて約70%以上の時間でエンジンを停止したまま走行し、エンジン停止中の時間において高い静粛性を実現した（図11（a））。

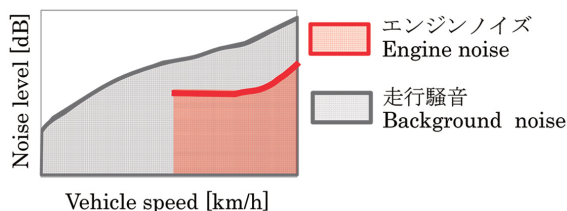


図-8 エンジン音と走行騒音のレベル差  
Fig. 8 Levels of engine noise and background noise

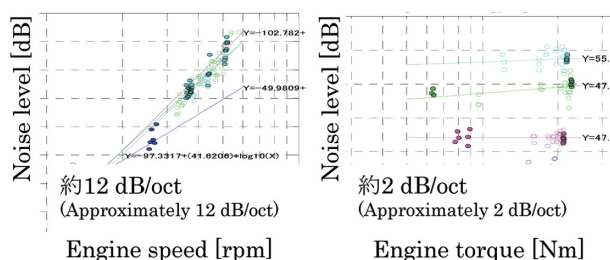


図-9 エンジン騒音のトルクと回転数との関係  
Fig. 9 Correlation between engine noise and torque/speed

generated for expanding the motor-drive region while making engine noise as inconspicuous as possible.

### 5.3 Not operating the engine or raising the engine speed

The control procedure is basically designed to minimize engine operation as much as possible and to keep the speed low when it is operated. This reduces the engine noise level when engine operation is necessary in disadvantageous situations involving a low vehicle speed and a high load such as during rapid acceleration. High-efficiency power generation from the perspective of engine noise assists the energy balance between vehicle propulsion and power generation and is an effective technique under this disadvantageous condition.

### 5.4 Quietness achieved

This section presents typical examples of test results that confirm the quietness attained with the above-mentioned design concepts. Verification tests were conducted using driving patterns consisting of several combinations of vehicle speed levels and acceleration/deceleration, which were envisioned for real-world driving situations. The results confirmed that the design concepts explained above achieved the targeted quietness, as intended.

The first point concerns the expansion of the motor-drive region. Under the driving patterns used, the test vehicle was propelled with the engine turned off for over 70% of the time, and outstanding quietness was attained during that period (Fig. 11-(a)).

The second point concerns the noise level during engine operation. Although the superior quietness obtained with the engine turned off was not attainable, the noise level was equal to or better than that of same-segment vehicles, while still generating power under high engine torque (Fig. 11-(b)).

The third point concerns a situation of engine operation and rapid acceleration. The increase in the noise level accompanying the rising engine speed was kept to a minimal level (Fig. 11-(c)).

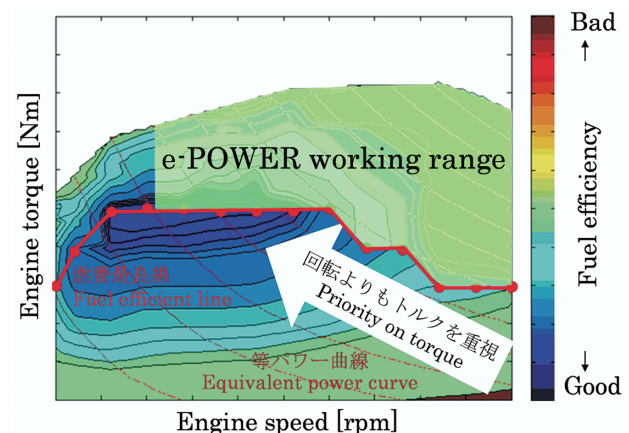


図-10 エンジントルクと回転数における使用範囲  
Fig. 10 Usable range of engine torque and speed



第二はエンジン動作中であり、エンジン停止中のような明らかな優位性はなくなるものの、高いトルクで発電しながらも同セグメントの車両と同等以上の騒音レベルとすることができた (図11 (b))。

第三はエンジン動作中かつ急加速のシーンであり、エンジン回転数の上昇とそれに伴う騒音レベルの悪化を最小限にとどめることができた (図11 (c))。

## 6. e-POWER特有の設計における課題

最後にe-POWER特有のパワートレインの電動化に伴う課題を紹介する。

5章の設計の考え方では、急加速などの高負荷の条件では極力エンジンを動かさない、もしくは回転数を上げないこととしたが、充電状態やその他の条件によってエンジンを低回転かつ高トルクで運転しながら、駆動モータによる高い車両加速度を同時に発生させる条件が存在する。これは従来のパワートレインにはない加速条件とエンジン振動の入力周波数のバランスが存在することを意味する (図12)。

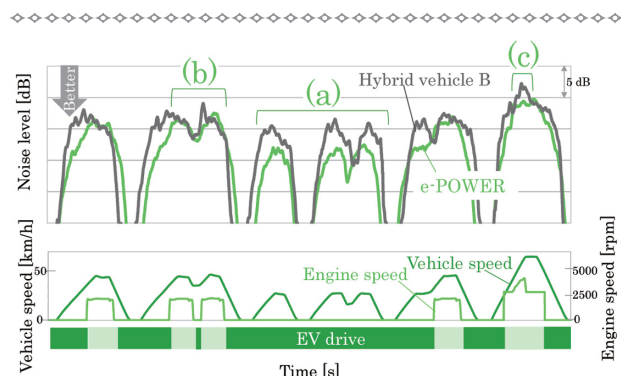


図-11 実際の市場を想定した走行モードでの測定結果  
Fig. 11 Actual test results for noise level in real-world driving modes

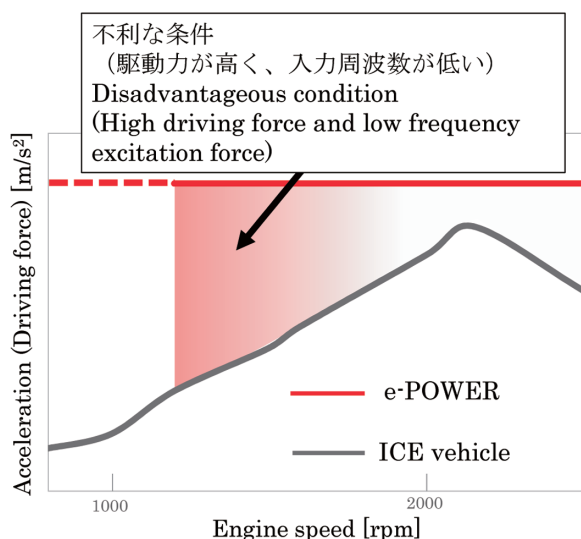


図-12 エンジン回転数と車両加速度の使用範囲  
Fig. 12 Range of acceleration and engine speed

## 6. Issue in e-POWER's Unique Design

Finally, this section describes an issue accompanying the electrification of the unique e-POWER powertrain.

One of the design concepts explained in section 5 is that engine operation is minimized as much as possible or the engine speed is not raised under high-load conditions such as that of rapid acceleration. However, depending on the battery SOC and other conditions, there are situations where the vehicle is accelerated rapidly by the e-Motor while at the same time the engine is operating at a low speed and under high torque. Such situations involve a balance between an acceleration condition not found in conventional powertrains and the input frequency of the engine vibration (Fig. 12).

For example, engine mount insulators are influenced by the driving force generated by the e-Motor (top graph in Fig. 13). In this condition disadvantageous to the vibration damping characteristic (middle graph), large engine vibration induced by the high engine torque is input into the low frequency region where the natural frequency of the vehicle body and powertrain exists (bottom graph). As a result, it causes body vibration (Fig. 14).

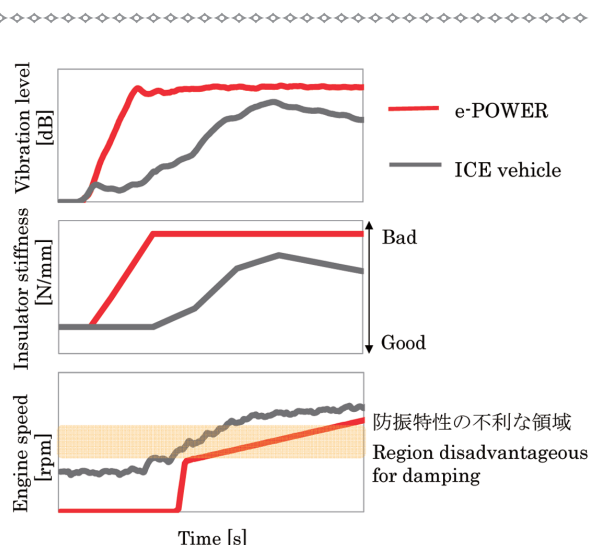


図-13 インシュレータ特性とエンジン回転数  
Fig. 13 Insulator stiffness and engine speed

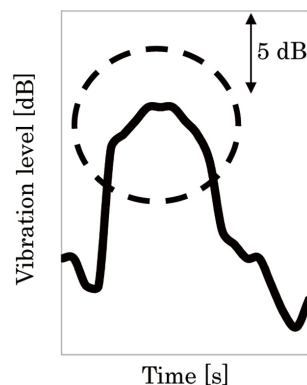


図-14 車体振動結果  
Fig. 14 Body vibration test results



例えば、エンジンマウントインシュレータがモータによる駆動力を受け（図13上段）、防振特性が不利な状態において（図13中段）、高トルクで励起された大きなエンジン振動が車体やパワートレインの固有値の存在する低い周波帯に入力し（図13下段）、車体振動を発生させる（図14）。

車速に対するエンジン回転数とトルクの設計自由度が高いシステムであるがゆえに、このような振動・騒音現象にとって極端に不利な条件を起り得る。

この特異な条件については、エンジンマウントインシュレータの特性やエンジン回転数の組み合わせを設計することで解くことができるが、これは一例にすぎず、従来の設計範囲を超えたより多くの条件が、パワートレインシステムの複雑化によって生まれている。そのため従来の設計の常識にとらわれることなく、すべての組み合わせや条件を想定し、問題を一つひとつ解決していくことが求められる。

## 7. ま と め

従来のパワートレインと異なる振動・騒音視点でのe-POWERの特徴を明らかにし、それらをエンジン制御にまで踏み込んだ設計を行うことで、独自の高い静粛性を実現することができた。

また多様化する電動パワートレインの新たな課題として、システムや動作が複雑となることで動作範囲や車両側の特性との組み合わせにおいて、新しい条件が多く生まれ予想外の課題が発生することが多々ある。これまでのように、各性能や各システムが独立し設計やシミュレーションする開発では、それらを予見し必要な対策を計画段階にぶしこむことは難しく、全系をつなぎこんだ予測技術の構築が必要である。

## 参 考 文 献

- 1) 日産自動車ホームページ, 電気自動車総合情報サイト, <http://ev.nissan.co.jp/> (参照日: 2016年11月30日).
- 2) 濱野崇ら: 新開発EVのギヤノイズ低減技術、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 56-11、pp. 1-4 (2011).
- 3) 鎌塚均ら: 新開発EVの車両静粛性向上に関する技術開発、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 56-11、pp. 5-8 (2011).
- 4) 鎌塚均ら: 日産リーフの車両静粛性達成技術、日産技報、No. 69・70 pp. 81-85 (2011).

Because the e-POWER system has greater design flexibility for setting the engine speed and torque relative to the vehicle speed, it can give rise to a condition that is extremely disadvantageous with respect to such noise and vibration phenomena.

This unique condition can be resolved by designing the characteristics of the engine mount insulators in combination with the engine speed. However, this is just one example of the many more conditions exceeding the conventional design realm that are caused by the increased complexity resulting from electrification of the powertrain. For that reason, it is necessary to try to envision all the possible combinations and conditions without sticking to conventional design wisdom and to strive to resolve potential issues one by one.

## 7. Conclusion

The features of e-POWER were made clear from noise and vibration perspectives that differ from those of conventional powertrains and were incorporated in the engine control design to achieve a unique level of quietness.

A new issue that occurs with the diversification of electric powertrains is that many new conditions are produced by the combination of various operating ranges, owing to more complex systems and operating modes, with the vehicle characteristics. Consequently, there are many times when unexpected issues can occur as a result. With the traditional development approach in which individual vehicle systems and performance attributes are designed and simulated independently, it is difficult to predict such issues and incorporate the necessary countermeasures against them at the planning stage. There is a need to develop prediction techniques capable of tying all the systems together.

## References

- 1) Nissan Motors Global Website: "Comprehensive EV Information Site," <http://ev.nissan.co.jp/> (reference date: November 30, 2016).
- 2) T. Hamano et al.: Technologies for Gear Noise Reduction in The Newly Developed Electric Vehicle, Proceedings of JSAE, No. 56-11, pp. 1-4 (2011).
- 3) H. Kamazuka et al.: Technical Development of Vehicle Quiet Performance for newly developed Electric Vehicle, Proceedings of JSAE, No. 56-11, pp. 5-8 (2011).
- 4) T. Kanuma et al.: An Approaching Vehicle Sound for Pedestrians (VSP) System for Electrified Vehicles that Balances Quietness and Pedestrians' Peace of Mind, Nissan Technical Review, No. 69/70, pp. 81-85 (2012).

■著者／Author(s)■



餌 取 秀 一  
Syuuichi Etori



榎 本 俊 夫  
Toshio Enomoto



桑 田 敏 久  
Toshihisa Kuwata



市 川 勝 則  
Katsunori Ichikawa



森 行 広  
Yukihiro Mori

# ノート・マイナーチェンジ商品概要

## Product Overview of Updated Note

青 木 佐知子\*  
Sachiko Aoki

田 中 裕 樹\*  
Yuuki Tanaka

谷 村 磨未子\*  
Mamiko Tanimura

浅 野 博 之\*\*  
Hiroyuki Asano

中 野 健二郎\*\*  
Kenjiro Nakano

**抄 録** 今回マイナーチェンジを行った新型ノート（E12型）は、日本、北米、中南米を中心としたグローバルモデルとして開発した。本稿では、新型ノートの商品概要と日本に投入する「e-POWER」について紹介する。

**Summary** The updated Note (E12) has been developed mainly for the markets of Japan, U.S. and Latin America. This article presents a product overview of the updated Note as a global model and the e-POWER system for Japan.

**Key words :** Automotive General, minor model change, electric powertrain, Note

### 1. は じ め に

日産ノートは初代、2代目を通じ、「スマートな走り」、「スタイリッシュなデザイン」、「先進技術に守られた安全性と視界のよさ」「家族がゆったり座れる広い室内空間と積載性の高さ」の四つの強みをあわせ持った、ベストバランスなコンパクトカーとしてグローバルに価値を提供してきた。

今回マイナーチェンジを行った新型ノート（E12）は、日本、北米、中南米市場向けに企画した。新電動パワートレインe-POWERは、主に年間10万台超の台数を占める基幹ブランドに成長している日本向けに展開をしている。

日本のコンパクトカー市場は、競合社のハイブリット車（HEV）投入を背景にHEVの需要が増加した。市場成長

### 1. Introduction

Both the first and second generations of the Nissan Note have provided value to global customers as an optimally balanced compact car that embodies four distinct strengths. These are its “smart driving performance,” “stylish design,” “excellent safety and visibility supported by advanced technologies,” and its “spacious interior allowing families to sit comfortably along with providing a large luggage area.”

The newly updated Note (E12) was planned for the markets of Japan, North America, and Latin America. However, its new e-POWER electric powertrain is being deployed mainly in Japan where the Note has become a mainstay brand with annual sales of over 100,000 units.

In Japan’s compact car market, demand for hybrid vehicles (HEVs) have grown backed by new introduction of HEV from competing company. Amid stagnant market growth, the structure of the market has changed in 2016, with HEVs that are positioned in the high price range now accounting for over 50% of overall compact car sales.

Nissan has so far responded to this trend by putting an eco-supercharger engine on the market. However, eco-friendly technology and superb quietness that symbolize hybrid engines are also becoming persistent customer demands in the compact car market.

Amid this competitive environment, Nissan decided to launch a new HEV system that draws upon electric vehicle (EV) technology as a replacement for the eco-supercharger with the aim of gaining a wider range of customers (Fig. 1).



図-1 ノート・マイナーチェンジ  
Fig. 1 Updated Note

\*第一商品企画部／Product Planning Department No. 1 \*\*ブランド推進部／BRAND Promotion Department

が停滞する中で、2016年にはコンパクトカーでも、より高価格帯に位置するHEVの構成比が過半数を占める構造に変化した。

これまで日産は、この動向に対しエコスーパーチャージャの投入で対応してきたが、ハイブリッドエンジンに象徴される「環境によい“エコ（ECO）”技術」、「静粛性の高さ」といったニーズはコンパクトカー市場においても定着しつつある。

このような競争環境の中で、エコスーパーチャージャに代わる、電気自動車（EV）の技術を生かした新たなエコパワートレインを投入することで、より幅広いお客様を獲得することを目指した（図1）。

## 2. 商品コンセプト

新型ノートは、各国での競争力を担保することを第一義に、「クリーン、ダイナミックで革新的なコンパクト」をコンセプトに検討をすすめた。

特に、日本事業が掲げる技術戦略の2本の柱である「電動化」「知能化」のうち、日産リーフとともに「電動化技術」を象徴とすべく、先進技術の詰まった環境にやさしい、シリーズハイブリッドの新電動パワートレイン「e-POWER」を組み合わせた（図2）。

## 3. アピールポイント

### 3.1 デザイン

デザインは、「コンパクトなサイズながら広いキャビンを持つ」というノートのキャラクタを継承しつつ、日産ゼロ・エミッションの先進性表現の象徴であるIDSコンセプトとの一貫性を持たせ、「COOL-TECH COMPACT（クールテック・コンパクト）」をテーマにしている。

エクステリアは、新型ノートと認識できるアイコニックなシグネチャをフロント、リヤに取り入れ、ダイナミックさと洗練さを表現したデザインに進化させている。

### Challenge to create technologies for the future

■ Electrification and intelligent technologies are Nissan's major pillars for the future

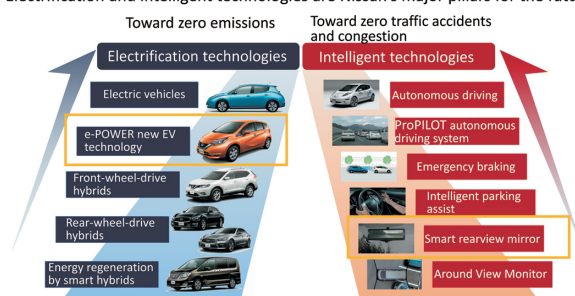


図-2 日産の技術戦略

Fig. 2 Nissan's technology strategy

## 2. Product Concept

Studies for the updated Note were based on the concept of a “clean, dynamic and innovative compact,” with the principal consideration being to ensure competitiveness in each market. It was decided to adopt Nissan's e-POWER series hybrid powertrain, a new environmentally friendly electrification technology packed full of advanced technical features. Along with the Nissan LEAF, the Note would symbolize electrification technologies, which together with intelligent technologies comprise the two specific pillars Nissan has defined for the company's technology strategy in its business in Japan (Fig. 2).

## 3. Appealing Qualities

### 3.1 Design

The design was developed around the theme of a “cool, tech compact” consistent with Nissan's IDS Concept that symbolizes the expression of Nissan's zero-emission innovation, while continuing the Note's distinctive character of providing a spacious interior in a compact body size.

The exterior design has evolved into an expression of dynamism and refinement, embodying the car's iconic front and rear signature styling that is immediately recognizable as the new Note. Specifically, the front end design imparts a bolder impression, thanks to the “V-Motion” shaped grille, a common design motif of the Nissan brand, and the black projector headlamps.

Similarly, the rear combination lamps adopt Nissan's “boomerang-shaped lamp signature” that gives the rear view a unique design instantly recognizable as the Note when the lamps are illuminated at night (Figs. 3 and 4).

In addition, a blue color has been added for effect on the inside of the V-Motion grille to give the front a unified image of belonging to Nissan's electric powertrain family.

The interior design emphasizes horizontal movement that creates a feeling of lateral expansiveness as a way of strengthening perceived roominess. Nissan's new steering wheel and corresponding dedicated e-POWER instrument graphics have been adopted along with the shift lever shared with the Nissan LEAF to create a distinctive design (Figs. 5 and 6).

Thirteen body colors in total, including four newly added ones, are offered. Paint is applied by a “super shine painting” technique whereby an atomized paint coat is overlaid on the clear coat. This painting technology is used for Infiniti cars and it enhances the perceived quality of the exterior body color.

### 3.2 Driving performance with a new driving feel obtained with e-POWER

The Note's e-POWER system uses motor-drive technology that is characteristic of series hybrids, in contrast to previous hybrid models. This system is mainly differentiated by the following two points.

The first point is its acceleration feel. Because it





第一に、加速フィーリングである。EVと同様の高い発進・中間加速があることにより、ペダル操作に対して遅れを感じないスムーズな加速感を得られる。このことにより、高速道路での合流や追い越し、幹線道路での車線変更のシーンで、力強さとストレスフリーで気持ちよいEVのような加速フィーリングを体感できる。

二つ目は、アクセルペダルひとつの操作で発進・停止、加速・減速ができる新しい運転感覚をドライバに感じてもらえる「e-POWER Drive」の採用である。アクセルペダルからブレーキペダルへの踏み替え頻度を大幅に低減することができる。

アクセルの踏みこみの強さにより強い加速・減速感をだす“きびきびした走り”を体感する「Sモード」、エンジン回転数を燃費に最適に制御することで“燃費にやさしい運転”が可能な「ECOモード」の2種類の走行モードを用意し、ノーマル走行とあわせて三つの走行モードを「ドライブモードスイッチ」の操作で切り替えられる(図7、図8)。

特に、「Sモード」は、郊外のカーブが連なるワインディング路では、アクセルペダルの操作のみで力強い加速とレスポンスのよいスポーツライクな運転を楽しめ、ドライバのペダル操作の負荷も軽減する。さらに、信号待ちからの発進や高速道路での合流などでも、その効力を発揮する。

### 3.3 静粛性の向上

今回のマイナーチェンジでは、「e-POWER」搭載グレードにボディへの遮音対策も併せて実施しており、市街地での中低速の巡航時における音振性能の改善、向上が期待できる。

特に上級グレードの「e-POWERメダリスト」は、コンパクトカーとしてのプレミアム感を表現するグレードとして、遮音対策を前方の遮音ガラスに加えて、側方・後方のドアガラスそれぞれの板厚増加、ラゲッジルーム・後方ドア開口部への吸音材の追加などを施すことにより、一つのセグメントに匹敵する静粛性を実現している。

### 3.4 燃費性能

新型ノートの燃費値は、「e-POWER」の搭載により、e-POWER Sはクラストップレベルの37.2km/L (JC08モード)を実現している(e-PowerX、e-Powerは34.0km/L)。その効果は、特にコンパクトカーの日常的な利用シーンである市街地、住宅地などでのストップ&ゴーの多い走行時において、実用燃費の向上を期待できる。

### 3.5 コンパクトカーの「安全性の向上」に根ざした先進技術

新型ノートは、「インテリジェントエマージェンシーブレーキ (FEB)」、「車線逸脱警報 (LDW)」を、e-POWER Sを除く全グレードに標準装備している。

加えて、「踏み間違い衝突防止アシスト (EAP)」、「イ

### 3.3 Improved quietness

As part of this minor model change, sound insulation measures were also applied to the vehicle body of the grades fitted with the e-POWER system. These measures are expected to improve and enhance noise and vibration performance at low to medium cruising speeds in city driving.

For the upper-grade e-POWER Medalist in particular, measures were taken to impart a premium-quality feel to this grade of compact car. In addition to sound-absorbing windshield glass, the thickness of the door window glass on the sides and rear was increased and sound-absorbing material was applied around the opening of the back door of the luggage area. These and other sound-insulation measures achieve a degree of interior quietness equal to that of cars in the segment one class higher.

### 3.4 Fuel economy

The new Note achieves class-leading fuel economy of 37.2 km/L (e-POWER S), as measured under Japan's JC08 test mode, thanks to the adoption of the e-POWER system. This effect is expected to improve practical fuel economy especially in the everyday driving situations in which compact cars are used such as frequent stop-and-go driving in cities and residential areas.

| ドライブモード<br>Drive modes | 加速<br>Acceleration                                  | アクセルOFF時の減速<br>Deceleration without<br>accelerator input |
|------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ノーマル<br>Normal         | 標準<br>Normal                                        | 標準<br>Normal                                             |
| S                      | 力強い<br>Powerful                                     | 強い<br>Strong                                             |
| ECO                    | 燃費を重視した穏やかな加速<br>Gradual for better<br>fuel economy | 強い<br>Strong                                             |

図-7 e-POWER : 走行モードメニュー  
Fig. 7 e-POWER Drive: Drive mode menu



図-8 ドライブモードスイッチ  
Fig. 8 Drive mode button

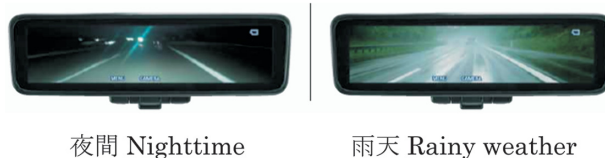


図-9 スマートルームミラー (モニタとして使用シーン)  
Fig. 9 Smart rearview mirror (Monitor images)

ンテリジェントアラウンドビューモニタ（移動物検知機能（MOD）付）」をオプション設定しており、さまざまなシーンに備えた安全・安心装備を充実させている。

今回さらに「スマートルームミラー（SRM）」を追加し、後席に大きな荷物を搭載した場合や、雨天の運転の際の後方視界が見えづらいシーンでも、後方の状況を把握できるようになった（図9）。

この機能と先にあげたEAP、アラウンドビューモニタ（MOD付）とのメーカーセottoオプションをエントリーグレードのS、e-POWER Sを除く、全てのグレードに用意している。

#### 4. お わ り に

本稿では、ノート・マイナーチェンジの概要として、企画の訴求ポイントを中心に紹介した。

シリーズハイブリッド「e-POWER」は、現時点で日本のみの投入ではあるが、コンパクトハイブリッドエンジンの市場に日産の電動化技術として一石を投じ、新たなお客様の獲得をうながすと同時に、今までのお客様にも満足していただけるものと信じている。

最後に、この新型ノート、e-POWERの開発、デザイン、生産、マーケティング、販売、そして商品企画に携わっていただいた全ての皆様に、深く感謝と御礼を申し上げます。

#### 3.5 Improved compact car safety rooted in advanced technologies

All grades, except e-POWER S, are equipped with intelligent Forward Emergency Braking (FEB) and Lane Departure Warning (LDW) as standard equipment. In addition, Emergency Assist for Pedal misapplication (EAP) and an intelligent Around View Monitor with Moving Object Detection (MOD) are available as options. Safety and security equipment features have been improved and expanded to cover a wide variety of driving situations.

Nissan's smart rearview mirror (SRVM) has also been added to the updated Note (Fig. 9). This feature enables the driver to clearly recognize the circumstances behind the vehicle even in situations where rearward visibility is difficult such as when large objects are loaded in the rear seat or when driving in the rain.

This feature along with EAP and the intelligent Around View Monitor with MOD are available in a package of factory-installed options on all grades except the entry-level S and e-POWER S grades.

#### 4. Conclusion

This article has presented an overview of the updated Note, focusing mainly on the features emphasized in planning the vehicle.

The e-POWER series hybrid system is only available on the Note sold in Japan. It represents one of Nissan's proposed electrification technologies for the compact hybrid engine market. In addition to securing new customers, we are confident that existing customers will also be satisfied with this new technology.

Finally, the authors would like to thank everyone involved in the product planning, design, development, production, marketing and sales of the new Note and e-POWER system for their invaluable cooperation.

#### ■著者／ Author(s) ■



青 木 佐知子  
Sachiko Aoki



田 中 裕 樹  
Yuuki Tanaka



谷 村 磨未子  
Mamiko Tanimura



浅 野 博 之  
Hiroyuki Asano



中 野 健二郎  
Kenjiro Nakano



## 新型セレナ商品概要

## Product Overview of the All-new Serena

四 條 裕 史\*  
Hirofumi Yojo

永井 淳 一\*  
Junichi Nagai

## 抄 録

新型セレナ（C27型）は、日本事業を支える重要な柱の一つとして位置づけられ、主に日本市場をターゲットとして開発された。今回第5代目となる新型セレナは、渋滞のイライラや帰り道の運転の心配などのストレスを低減する自動運転技術プロパイロットを日本車として初採用したほか、ハンズフリーオートスライドドアやデュアルバックドアなど、使い勝手の良さも追求している。本稿では新型セレナの商品概要を説明する。

**Summary** The all-new Serena is targeted at contributing to Nissan's business in Japan as one of the company's mainstay models and has been developed mainly for the Japanese market. This 5th generation all-new Serena is the first Japanese model to adopt Nissan's autonomous driving technology called ProPILOT. In addition, the Serena also provides improved ease of use such as by adopting a hands-free auto sliding door and a dual back door system. The article presents a product overview of the new Serena.

**Key words :** Automotive General, new car, active control, autonomous driving, Serena

## 1. はじめに

今回で5代目になるセレナ(図1)は、1991年のデビュー以来、ファミリーミニバンとしての核心的な価値であるBig・Easy・Funを追求するため、常に進化を図り、新しい提案をし続けてきた。2代目(C24型)からは「モノより思い出」というコミュニケーションとともに、より経験価値に着目し、家族がかかけがえない思い出をたくさん作るためのクルマを目指して、ミニバンNo.1としての地位を確固たるものにしてきた。

5代目（C27型）では日本の人口の減少が始まり、家族の形態がより多様化していく中で、さまざまな家族の幸せを満たせるミニバンを目指して開発した。



図-1 新型セレナ  
Fig. 1 All-new Serena

## 1. Introduction

Since its debut in 1991, the Serena has continued to present new proposals as it has constantly evolved in pursuit of the core values of a family minivan in terms of being big inside, easy to drive and fun to use. The all-new Serena is the fifth generation in this series (Fig. 1). Beginning with the second-generation model (C24), attention was focused on communicating a message of “memories rather than things” and more on experienced value. The aim was to present a vehicle in which families could create many irreplaceable memories. That Serena model established a solid position as the No. 1 minivan in the Japanese market.

The fifth-generation model (C27) was developed with the aim of creating a minivan for filling various types of families with happiness, amid the initial decline in Japan's population and the ongoing diversification of the structure of families.

## 2. Product Concept

The new Serena was developed around the concept of a “family magical playground” providing a comfortable space all family members can enjoy without sacrificing anything for the family’s sake. The Serena’s basic values of being big inside, easy to drive and fun to use were thoroughly refined. The aim was for the Serena to establish a position as the minivan leader and as one of Nissan’s mainstay models in Japan. Development priorities were especially put on the perspectives of women, who play central roles in three-generation families, including elderly

\*第二商品企画部／Product Planning Department No. 2



## 2. 商品コンセプト

新型セレナは家族のために何かを犠牲にすることなく、家族みんなが楽しめる快適空間“Family Magical Playground”をコンセプトに、Big・Easy・Funというセレナの持つ基本的な価値を徹底的に磨き上げ、ミニバンのリーダとして、また、日本における日産の柱の一つとしての地位を担うものとするを旨とした。特に両親を含む3世代での家族や仲間たちの中で中心的な役割を果たしている女性の視点を重視して開発を進めた。

## 3. アピールポイント

### 3.1 デザイン

新型セレナは次世代ミニバンとしての新しさ+セレナらしさを目指してデザインが進められた。

力強さを増したフロントグリルからヘッドランプ、そしてサイドへと流れるように続く次世代の日産デザインを象徴するVモーションと、セレナの象徴ともいえる横桟グリルをプラスした。そこから続くサイドでは、ブラックアウトしたAピラーとDピラーにより、まるでルーフが浮いているかのようなフローティングルーフデザインを実現している。加えて、セレナを象徴する、流れるようなシェパールラインを継承している。リヤでも次世代日産の象徴となるブーメランランピングネチャを採用し、リヤのセンタにフォーカスしたデザインにより、スピード感とシャープさを演出している。

インテリアのデザインはエクステリアと同様、次世代の日産のテーマであるグライディングウイングを採用した(図2)。センターコンソールからサイドへと広がりを感じさせるデザインは、広さと開放感を演出している。また、柔らかな触り心地と高級感を融合した3色の合成皮革+Wステッチラッピングフィニッシュをクラス初採用し、所有する喜びを高める上質感を提供している。

ボディカラーはクラス初の2トーンを含め全13色と、大幅に増加させた(図3)。コンセプトの項で触れたように、



図-2 インテリア（プレミアムインテリア）  
Fig. 2 Interior (Premium Chic)

parents, and among groups of friends.

## 3. Appealing Qualities

### 3.1 Design

The new Serena was designed with the aim of embodying freshness and the Serena's characteristic DNA in a next-generation minivan. The front end adopts the distinct V-Motion styling that symbolizes Nissan's next-generation designs, featuring a flowing motif from the more powerful-looking front grille to the headlights and around toward the sides. Added to this unique look is the horizontal bar grille that symbolizes the Serena. Continuing along the side view is the floating roof design created by blacking out the A-pillar and the D-pillar so that the roof appears to be floating. In addition, the new Serena continues the flowing spur lines that also symbolize this model. The rear styling adopts the boomerang lamp signature that also symbolizes next-generation Nissan models. The design is focused on the center of the rear end, which imparts a sense of speed and sharpness.

Like the exterior design, the interior design adopts the gliding wing motif that is another one of Nissan's next-generation design themes (Fig. 2). Expanding from the center console toward the sides, the design imparts a feeling of spaciousness and openness. Blending a soft tactile sensation with a high quality impression, a tricolor synthetic leather and a double wrapped stitch finisher are featured on the dashboard for the first time in this class. This provides an impression of superb quality that heightens the joy of ownership.

A selection of 13 body colors is offered, including the first two-tone scheme in this class (Fig. 3). The body color is another a key element that is especially important to women, whose perspectives were thoroughly considered as mentioned in the product concept section. The idea was to give families the pleasure of picking a body color together.

Five interior trim color packages are available, including cheerful and pleasant Relaxful Cozy, Urban Casual, Stylish Sporty, Dignified Rich and Premium Chic.

### 3.2 Interior roominess

The new Serena provides class-leading interior length, interior width and luggage compartment spaciousness (Fig. 4). All seating positions enable passengers to travel in relaxed comfort, as typified by knee room of 784 mm in



図-3 ボディカラーラインナップ  
Fig. 3 Body color lineup

特に女性にとってボディカラーは重要な要素の一つであり、家族で選ぶ楽しみを提供したいと考えている。

内装色は、明るく居心地のいい“Relax Cozy”、都会的でカジュアルな“Urban Casual”、スタイリッシュでスポーティな“Stylish Sporty”、格調高くリッチな“Dignified Rich”、プレミアムでシックな“Premium Chic”の5色を用意した。

### 3.2 室内空間

新型セレナでは室内長、室内幅、荷室の広さすべてでクラスNo.1を実現した(図4)。すべての席で快適にくつろいでいただけるよう、2列目のニールームは784mm、超ロングスライド+横スライド機能を使えば900mmまで拡大し、ひとクラス以上上の広さを実現している。

また、2列目でも3列目でもその広さを拡大しており、特に3列目のスライド機構を使用すれば、3列ともに足を組んで座れるエルグランド並みの広さを確保している。

加えて、Perceived roominessに影響が大きい視界についても、メータの横方向に大きく高さを押さえたデザインや、Aピラーのスリム化による三角窓の視界の拡大、穴開きタイプのヘッドレスト、3列目のヒップポイントの20mmアップ、シートマウントタイプのシートベルト、伸びやかな形状のルーフトリムなど、その工夫は多岐にわたっている。

### 3.3 使いやすさ

新型セレナに搭載されている自慢の装備のひとつが、日



図-4 2列目でも3列目でも足を組んでくつろげる室内空間  
Fig. 4 Comfortable and roomy 2nd- and 3rd-row seats



図-5 ハンズフリーオートスライドドア（左図）と  
デュアルバックドア（右図）  
Fig. 5 (left) Hands-free auto sliding door and  
(right) dual back door

the 2nd-row seats. That can be further expanded to 900 mm by using the ultra-long sliding and lateral sliding seat functions, thereby creating the roominess of a vehicle one class higher.

Both the 2nd- and 3rd-row seats provide greater roominess. For the 3rd-row seats in particular, the seat slide mechanism can be used to create roominess equal to that of the Elgrand, allowing passengers to sit comfortably with their legs crossed.

Attention was also paid to visibility, which has a large effect on perceived roominess. Forward visibility was expanded by substantially suppressing the height of the dashboard design in the lateral direction, and visibility through the triangular front corner windows was increased by slimming down the A-pillars. Many other measures were also taken to ensure excellent visibility such as by adopting see-through headrests, raising the hip point in the 3rd-row seats by 20 mm, adopting seat-mounted seat belts, and using roof trim with a streamlined shape.

### 3.3 Ease of use

The new Serena comes with a “hands-free auto sliding door” that has been adopted for the first time in Japan and is one equipment feature in which Nissan takes special pride (Fig. 5). When carrying a child or with both hands full of bags, users can enter the vehicle smartly without using their hands. Hands-free sensors are installed in two places, at the side and bottom of the auto sliding door, for enhanced safety. They judge that a person is about to enter the vehicle by simultaneously detecting movement of the shins and the tips of the feet. Care was thus taken so that the door does not open on account of the motion of animals like a cat or the swaying of grass or other plants.

Another notable equipment feature on the Serena is the “dual back door” that opens in approximately one-half of the space and with roughly one-half of the effort usually required. This provides heightened convenience when opening/closing the door in tight places and also for loading small items.

Efforts were also made to improve the convenience of using the 3rd-row seats so as to create a minivan that all family members can more fully enjoy. For improving ingress and egress in particular, seat-mounted seat belts were adopted to enable easy entry even with a child seat installed in a 2nd-row seat. For easy egress as well, the 2nd-row seats can be slid forward from the 3rd-row seats by means of a foot pedal or the seat slide lever. Sliding door switches that can be operated from the 3rd-row seats are also provided to enable passengers to enter/exit freely. The effort needed to slide the 2nd-row seats has also been reduced by about one-half compared with the previous C26 model.

Driving information is presented in an easy-to-understand manner by the newly designed meters and gauges. The center console incorporates a 7-inch color display that minimizes the driver's eye movement, and the steering-wheel switches can be operated in four directions.



本初採用となる「ハンズフリーオートスライドドア」である（図5左）。子供を抱えているときや両手に荷物を持っているときに手を使うことなくスマートに車内に乗り込むことができる。もちろんその安全性を高めるため、ハンズフリーセンサはスライドドアのサイドと下部の二箇所に配置し、すねと足先の動きを同時に検知して、乗り込む人を判断しており、猫などの動物や草などの動きでは開かないよう配慮されている。

セレナの重要な装備となる「デュアルバックドア」は狭い場所での開閉や小さな荷物の積み込みへの利便性が高く、開くのに必要なスペース、開けるのに必要な操作力ともに約1/2としている（図5右）。

さらに、より家族みんなで楽しめるミニバンとするため、3列目の使い勝手についても向上を図った。特に乗降性については、シートマウントタイプのシートベルトを採用することにより、2列目にチャイルドシートを装着したままでも乗降が可能である。降りる際にも3列目からフットペダルやスライドレバーで2列目をスライドし、3列目から操作可能なスライドドアスイッチを使用して、自由に乗り降りすることができる。2列目をスライドする際の操作力の低減も図っており、先代（C26型）の約半分まで減らすことができています。

運転情報は新デザインのメータにわかりやすく表示している。視線移動の少ないメーター一体型の7インチカラーディスプレイと4方向に操作可能なステアリングスイッチにより、すばやく簡単な切り替え操作が可能になっている。

インテリジェントパーキングアシストはさらに進化を遂げている。専用スイッチによりワンタッチで起動し、駐車位置を確認して、開始ボタンを押すだけでシステムが作動を開始する（図6）。アラウンドビューモニターも進化しており、内輪の進路予測線を表示して、内輪差による巻き込み防止をサポートする機能を新たに採用している。

スマートルームミラーも従来モデルより性能向上を図っている。高解像度デジタルカメラの搭載によって精細度を向上し、フレームレートの大幅な向上でよりスムーズで自然な映像を実現している。またHDR（High Dynamic Range）技術により、コントラストの強い場所での視認性

[illegible]

図-6 専用スイッチで起動できるインテリジェントパーキングアシスト

Fig. 6 Intelligent parking assist activated by pushing dedicated switch

These features enable control changes to be made quickly and simply.

The intelligent parking assist has been further enhanced. It is activated by one touch of its dedicated switch, enabling the driver to confirm the parking position easily. The Serena is perfectly parked by simply pushing the start button (Fig. 6). The Around View Monitor has also evolved and now incorporates a new function for displaying the predicted path of the inside wheels so as to help prevent objects from getting caught under the vehicle due to the different path traced by the inside wheels.

The performance of the smart rearview mirror has also been improved over that of the previous model. Resolution was improved by the installation of a high-resolution digital camera, and the frame rate was substantially improved to present natural images more smoothly. High dynamic range (HDR) imaging is used to improve visibility even in places with strong contrast.

As many as six USB sockets can be installed so that all passengers can charge their personal devices without any hesitation toward anyone else.

The Serena also features the first cap-less fuel filler in this class, mainly intended for women drivers based on comments about getting one's hands dirty when refueling at self-service gas stations and forgetting to replace the cap. As there is no need to unscrew the inner cap, refueling can be done simply and easily.

### 3.4 Driving performance

Considering that minivans are typically used by wives on weekdays and for family outings on weekends, the new Serena combines a light steering effort in city driving with a firm steering feel for high-speed driving. Optimum measures were taken to suppress unsteadiness when changing lanes in expressway driving such as by strengthening body stiffness, increasing the size of the shock absorbers and improving the stiffness of the suspension attachment points. The increased size of the shock absorbers in particular achieves both a firm feel in the handling region and a comfortable sensation in the ride comfort region.

Development of the new MR20DD engine began with a review of the combustion chamber. The strong point of the previous engine in that it reconciled output power with fuel economy has been continued. In addition, fuel economy was further improved and exhaust emission performance was achieved that complies with the super ultra-low emissions vehicle (SULEV) regulations in the U.S.

The reduced friction of many parts, including the adoption of a new belt tensioner, contributed to improving fuel economy to a level of 17.2 km/L, compared with 16.0 km/L for the previous C26 model.

Particular attention was paid to ensuring quietness so as not to interfere with the conversations of family members or friends. Sound-insulating materials are positioned with a better balance so as to enable conversations even between 1st- and 3rd-row passengers.

も向上している。

USBソケットは最大で6個まで設定ができ、乗員みんなが誰にも気兼ねすることなく、それぞれのデバイスを充電可能としている。

さらに女性を中心とする、セルフの給油は手が汚れる、キャップを閉め忘れるという意見を踏まえ、クラス初のキャップレス給油口を採用した。内側のキャップをまわす必要がなく簡単に給油ができる。

### 3.4 走行性能

平日は奥様の使用、週末は家族で遠出といった典型的な使われ方を踏まえ、新型セレナは街中での軽い操舵力と高速でのしっかりとした操舵感を両立している。また、車体剛性の強化、ショックアブソーバのサイズアップ、サスペンション取付け剛性の向上など、最適な処理で高速道路での車線変更時のふらつきも小さく抑えた。特にショックアブソーバのサイズアップは、ハンドリング領域でのしっかり感と乗り心地領域での快適性を両立させている。

新型MR20DDエンジンは燃焼室の見直しから開発が始まり、前型エンジンの強みである出力性能と燃費の両立は継承し、更なる燃費向上と北米SULEV規制までカバーできる排出ガス性能を実現している。

新型のベルトテンションを採用するなど、多数の部品の低フリクション化によって燃費を改善しており、燃費は前C26型の16.0km/Lから17.2km/Lにまで向上している。

家族や仲間との会話を妨げない静粛性についてもこだわり、1列目と3列目の間でも会話ができるようバランスを見直し、遮音部材を配置している。

### 3.5 プロパイロット

日産自動車では、技術開発として二つの柱を掲げている。一つは、環境に対する究極のゴールである「ゼロ・エミッション」で、もうひとつは、安全に対する究極のゴール「交通死亡事故ゼロ」である。この二つの実現に向け、日産は最先端の「電動化技術」「知能化技術」の開発を進めている。

プロパイロットは、安全の究極のゴールを目指す自動運転技術の第一弾として位置づけられ、高速道路または自動車専用道路の単一車線の自動運転技術である（図7）。

新型セレナでは家族でのドライブやレジャーをもっと楽しいものとするために、渋滞のイライラや、帰り道の運転の心配などのストレスを低減する自動運転技術プロパイロットを日本車として初採用した。

高速道路でドライバが負担を感じるのは渋滞走行と、長時間の巡航走行であり、これらの二つのシーンでアクセル、ブレーキ、ステアリングすべてを車両側で自動制御し、ドライバの負担を低減する。他の日本車でもステアリング制御を提供している例もあるが、負荷の高い渋滞時に効果

### 3.5 ProPILOT

Nissan has defined two pillars for the company's R&D activities. The first is to achieve zero emissions, which is the ultimate goal for environmental performance. The second is to achieve zero fatalities in traffic accidents involving Nissan vehicles, which is the ultimate goal for safety. To accomplish these two goals, Nissan is advancing R&D work on electrification technologies and intelligent technologies as cutting-edge disciplines.

ProPILOT is positioned as the first step toward autonomous driving technologies that are aimed at attaining the ultimate safety goal. This autonomous driving technology is designed for use on expressways and in single-lane traffic on vehicle-only motorways (Fig. 7). The new Serena is the first Japanese vehicle to adopt ProPILOT for the purpose of reducing irritation over traffic jams and stress, for example, due to worries about being able to drive home from an outing. This technology will make family drives and leisure trips more enjoyable for everyone.

Drivers feel the workload of expressway driving when driving in congested traffic or when cruising for a long period of time. In these two situations, driver workload can be reduced through autonomous control that lets the vehicle execute all the actions for accelerating, braking



\*1 前を走行するクルマをモニタし、セレナがアクセル、ブレーキを自動でコントロールして前のクルマとの車間距離を保つ手助けをします。

ProPILOT automatically controls the accelerator and brake pedal to help keep an adequate distance from the vehicle in front. If the car stops during heavy traffic, ProPILOT will hold the stopping position.

\*2 白線をモニタし、セレナがステアリングを自動でコントロール。直線道路はもちろん、カーブにおいても走行車線の中央を走行する手助けをします。

If there are lane markers on both sides of the lane, steering control keeps the vehicle in the center of the lane on straight roads and corners to reduce driver workload in heavy traffic.

図-7 自動運転技術「プロパイロット」  
Fig. 7 Autonomous driving technology, "ProPILOT"



図-8 プロパイロット表示とステアリングスイッチ  
Fig. 8 Display screen for ProPILOT and steering-wheel switches



のある低速時のステアリング制御を実現している点が、独自のポイントとなっている。

操作方法についても、ステアリングのプロパイロット専用スイッチおよび7インチのディスプレイで簡単な操作を実現している（図8）。

#### 4. お わ り に

新型セレナはファミリーユースに最も適したクルマとして進化し、ミニバンにとって最も重要な価値を提供できていると確信している。

最後に、新型セレナの開発、生産、マーケティング、販売に携わっていただいたすべての皆様の一つひとつのアイデアが形になり、このような完成度の高いものに仕上がったと確信しています。深く御礼申し上げます。

and steering. There are examples of other Japanese cars that offer autonomous steering control, but the unique feature of ProPILOT is that it provides the benefit of steering control at low speeds in congested traffic when the workload is high.

ProPILOT can be operated easily via a dedicated switch on the steering wheel or by touching a switch on the 7-inch display screen (Fig. 8).

#### 4. Conclusion

We are confident that the new Serena provides the most important values required of a minivan, having evolved as a vehicle that optimally meets the diverse needs of families.

Finally, the new Serena was finished to such a high level of perfection precisely because the ideas of everyone involved in its development, production, marketing and sales were given concrete expression. That fine cooperation is deeply appreciated.

#### ■ 著者 / Author(s) ■



四 條 裕 史  
Hirofumi Yojo



永 井 淳 一  
Junichi Nagai

## 社外技術賞受賞一覽表

## 1. 技術賞

〈2015年11月～2016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。  
 ※敬称略。

[illegible]

〈2015年11月～2016年10月〉

| 受賞年月    | 賞 名                                                                                                               | 受 賞 技 術                                                                                   | 受 賞 者                                                                                                                                              |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2015.11 | 平成27年度福岡県知事表彰<br>〔福岡県〕                                                                                            | 優秀技能者                                                                                     | 日産自動車九州 西村 徹                                                                                                                                       |
| 2015.11 | 平成27年度福岡県勤労者知事表彰<br>〔福岡県〕                                                                                         | (自動車製造のプレス部門で幅広い業務経験を積み、品質管理や生産性向上などの生産管理全般において豊富な知識と技能を発揮し、ものづくり現場改善に貢献している)             | 日産自動車九州 加来 正人                                                                                                                                      |
| 2015.11 | 平成27年秋の褒章<br>黄綬褒章<br>〔内閣府 厚生労働省推薦分〕                                                                               | 業務精励 (自動車検査工・卓越技能)                                                                        | 実験試作部 赤坂 量康                                                                                                                                        |
| 2016.4  | 平成28年春の褒章<br>藍綬褒章<br>〔内閣府 経済産業省推薦分〕                                                                               | 産業振興功績                                                                                    | 元 副 社 長 山下 光彦                                                                                                                                      |
| 2016.4  | 平成28年度科学技術分野の文部科学大臣表彰<br>創意工夫功労者賞<br>〔文部科学省〕                                                                      | 歩行者保護向上に向けたFEM解析モデルの考案<br>工場内建屋間の搬送無人化システムの考案                                             | 実験試作部 品田 宗則<br>日産自動車九州 松本 裕次郎                                                                                                                      |
| 2016.4  | 第26回型技術協会<br>奨励賞<br>〔一般社団法人 型技術者協会〕                                                                               | 歩留まり向上の取組みーシミュレーションを活用したショックライン予測手法活用事例ー                                                  | プレス技術部 船本 雄二<br>生産技術研究開発センター 小高 秀元<br>プレス技術部 田中 美德<br>プレス技術部 足立 尚久<br>新日鐵住金株式会社 本田 和彦<br>新日鐵住金株式会社 桑山 卓也                                           |
| 2016.5  | 2016 IEEE IAS Power Conversion Systems Department Industrial Drives Prize Paper Awards Second Prize<br>〔IEEE IAS〕 | Permanent Magnet Temperature Distribution Estimation in PMSMs Using BEMF Harmonics        | University of Oviedo David Diaz<br>University of Oviedo Daniel Fernandez<br>EVシステム研究所 谷本 勉<br>EVシステム研究所 加藤 崇<br>University of Oviedo Fernando Briz |
| 2016.9  | 型技術者協会創立30周年記念大会<br>MVP賞<br>〔一般社団法人 型技術者協会〕                                                                       | (2006年度から2015年度開催の型技術者会議および型技術ワークショップにおいて最も多くの論文を発表した企業として、活発な研究活動と積極的な情報発信の取り組みを評されての受賞) | 日 産 自 動 車                                                                                                                                          |

## 2. 製品ほか受賞

〈2015年11月～2016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                                                       |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 2015.12 | 3.5L DOHC V-6 (Nissan Maxima)                                                                 | 2016 Wards 10 Best Engines                                                               | (米)「WardsAuto」誌                                          |
| 2016.1  | 新しいエネルギー診断チーム<br>(NESCO) による全社省エネ活動                                                           | 平成27年度省エネ大賞<br>省エネ事例部門<br>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                                        |
| 2016.2  | 日産自動車株式会社（自動ブレーキ<br>標準化矢沢篇）                                                                   | 日テレCM大賞2015                                                                              | 日本テレビ放送網株式会社                                             |
| 2016.2  | NISSAN GLOBAL TAXI IN JAPAN<br>(NV200 タクシー)                                                   | OMOTENASHI Selection 2016<br>金賞                                                          | OMOTENASHI NIPPON 実行<br>委員会                              |
| 2016.8  | e-NV200                                                                                       | German Commercial Vehicle Award for 2016<br>・ Electrically Driven Urban Delivery Vehicle | (独)「handwerk magazin」誌、<br>「Deutsche Handwerks Zeitung」誌 |
| 2016.9  | 日産セレナ（セレナ／セレナ ハイ<br>ウェイスター）                                                                   | 2016年度グッドデザイン賞                                                                           | 公益財団法人日本デザイン振興会                                          |
| 2016.3  | 電気自動車およびポータブル蓄電池<br>を非常用電源とした災害対応訓練<br>(東北大学災害科学国際研究所／日<br>産自動車株式会社／オートモーティ<br>ブエナジーサプライ株式会社) | ジャパン・レジリエンス・アワード（強靱<br>化大賞）2016<br>優秀賞                                                   | 一般社団法人レジリエンス<br>ジャパン推進協議会                                |
| 2016.4  | 日産自動車株式会社<br>“やっちゃん” NISSAN                                                                   | 第45回 フジサンケイグループ広告大賞<br>メディアミックス部門 グランプリ                                                  | 株式会社フジテレビジョン、<br>株式会社産業経済新聞社など                           |
| 2016.10 | 日産自動車                                                                                         | 「DBJ 環境格付」特別表彰                                                                           | 株式会社日本政策投資銀行<br>(DBJ)                                    |



## 編 集 後 記

日産自動車は、自動車の世界的な普及に伴うネガティブな影響を軽減し、持続可能なモビリティ社会を構築するため、「知能化」と「電動化」という二つの大きな方向性に沿った技術戦略を推進しています。

今号では、新たな電動パワートレインである「e-POWER」を特集いたしました。e-POWERは内燃機関を使って発電し、電気自動車と同じくモータによる駆動システムでクルマを走らせるシリーズハイブリッド方式のパワートレインです。e-POWERには、内燃機関、動力伝達装置、モータ、バッテリーおよびインバータなど、パワートレインに関する様々なハード技術とともに、それらを統合して電気エネルギー収支と駆動力要求とを両立させるシステム制御技術が活用されており、これまでに日産が培ってきたパワートレイン技術の総合力が問われたと言っても過言ではないシステムです。そして、低燃費だけでなく、走りの楽しさと快適さをも追及し、環境性能と商品性を高次元で両立できたことは、今回の特集によってもご理解いただけるものと思います。

ハイブリッド車も含めた厚みのある電動化戦略を推進するためには、最新の電気・電子系技術だけでなく、従来の内燃機関や動力伝達・変速機などの機械系技術の進化も欠かせません。今回の特集記事が、自動車およびパワートレインに関する様々な分野の技術に携わる社内外の研究開発者の皆様にとって、さらなる技術進化への取り組みの参考になるものとなれば幸いです。

— 日産技報編集委員・河 本 桂 二 —

## 2016 年度日産技報編集委員会

|         |                    |         |                     |
|---------|--------------------|---------|---------------------|
| 委 員 長   |                    | 畠 山 徹 也 | エンジン&トランスミッション技術開発部 |
| 高 木 潔   | 先端材料研究所            | 河 本 桂 二 | パワートレイン計画部          |
|         |                    | 佐 藤 学   | 技 術 企 画 部           |
| 副委員長    |                    | 安 岡 正 之 | 研 究 企 画 部           |
| 村 田 茂 雄 | パワートレイン開発本部        | 中 野 正 樹 | E V シ ス テ ム 研 究 所   |
|         |                    | 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          |
| 豊 嶋 浩   | ブランド推進部            | 田 所 克 康 | 車両生産技術統括部           |
| 佐 藤 正 晴 | Infiniti 製品開発部     | 稲 葉 義 宣 | 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 C A E ・ P L M 部 | 細 谷 裕 美 | 研 究 企 画 部           |
| 大 西 孝 一 | カスタマーパフォーマンス&車両実験部 |         |                     |

## 日 産 技 報 第 80 号

© 禁無断転載

|        |                                                             |
|--------|-------------------------------------------------------------|
| 発 行    | 2017 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<br>神奈川県厚木市森の里青山 1 番 1 号<br>〒 243-0123 |
| 印 刷 所  | 相互印刷株式会社<br>東京都江東区森下 3 - 13 - 5                             |

## Editorial Postscript

Nissan is promoting a technology strategy along two major axes of intelligence and electrification for the purpose of building a sustainable mobility society and mitigating the negative impact associated with the global penetration of vehicles.

This issue focuses specifically on Nissan's newly developed e-POWER electric powertrain. e-POWER is a series hybrid powertrain in which an internal combustion engine (ICE) is used as the energy source for generating electric power for a motor drive (e-Motor) system that propels the vehicle in the same manner as an electric vehicle. e-POWER incorporates various hardware technologies related to the powertrain units, including the ICE, transmission, e-Motor, battery pack and inverter, among others, as well as control technologies for managing the electric energy balance and driving force through integrated control of these units. It would be safe to say that the development of the e-POWER system was a challenge for our overall powertrain technologies that Nissan has accumulated to date. I am confident that this special feature will enable readers to understand that e-POWER pursues not only excellent fuel economy but also driving pleasure and comfort and that it achieves an optimal balance of environmental performance and marketability at the highest possible level.

In promoting our extensive electrification strategy that also includes hybrid vehicles, it is indispensable to advance mechanical technologies for conventional engines, transmissions and other power transmitting devices, in addition to the latest electrical and electronic technologies. I hope that the articles in this special feature may provide a useful reference for efforts to promote further technological evolution by research and development engineers both within and outside the company who are involved in various technical fields related to vehicles and powertrain systems.

Keiji Kawamoto

Member of the Nissan Technical Review Editorial Committee

## FY2016 Nissan Technical Review Editorial Committee

### Chairman

Kiyoshi TAKAGI  
Advanced Materials Laboratory

### Vice-chairman

Shigeo MURATA  
Powertrain Engineering Division

### Members

Hiroshi TOYOSHIMA  
BRAND Promotion 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  
Tetsuya HATAKEYAMA  
Engine and Transmission Engineering Department

Keiji KAWAMOTO

Powertrain Planning Department

Manabu SATOU

Technology Planning Department

Masayuki YASUOKA

Research Planning Department

Masaki NAKANO

EV System Laboratory

Genpei NAITO

Mobility Services Laboratory

Tetsuo HASEGAWA

Global Technical Affairs Department

Katsuyasu TADOKORO

Vehicle Production Engineering Control Department

Yoshinori INABA

Powertrain Planning Department

### Organizer

Tatsumi YANAI

Research Planning Department

Hiromi HOSOYA

Research Planning Department

---

## Nissan Technical Review 80

March, 2017

Publisher Nissan Technical Review  
(Editor) Editorial Committee  
Distributor Society and Frontier Laboratory  
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

---

---

パワートレインプロジェクト部で e-POWER を担当している木村です。e-POWER は構造上、エンジンが駆動系とメカニカルに切り離されているということが、最大の特徴です。描いているエンジン動作点頻度のグラフは、この特徴を生かしてエンジンが車速によらず最も効率の良い点を中心に運転できることを表しています。そして、ご好評をいただいている "ひと踏みばれ" する加速フィーリングやクラストップの低燃費をはじめ、電動駆動の新たな魅力をお客さまへ提供する原動力となった、e-POWER 開発メンバ全員の熱意の結晶を直接的に表現できるよう、ユニット外観写真を中心に据えています。

The most salient structural feature of e-POWER is that the engine is mechanically separated from the drivetrain system. The graph in the cover design that plots the engine operating point distribution shows that this feature is used effectively to enable the engine to operate mainly around its point of optimal efficiency regardless of the vehicle speed. The photograph showing the appearance of e-POWER is placed in the center as a direct expression of the passion of all the members of the e-POWER development team that is crystallized in this powertrain. e-POWER produces driving force that lets customers enjoy the novel fasciation of an electric drive system, including class-leading fuel economy and its highly acclaimed acceleration feel that inspires love at the first depression of the accelerator pedal.



木村 誠  
Makoto Kimura

パワートレインプロジェクト部  
Powertrain Project  
Department

