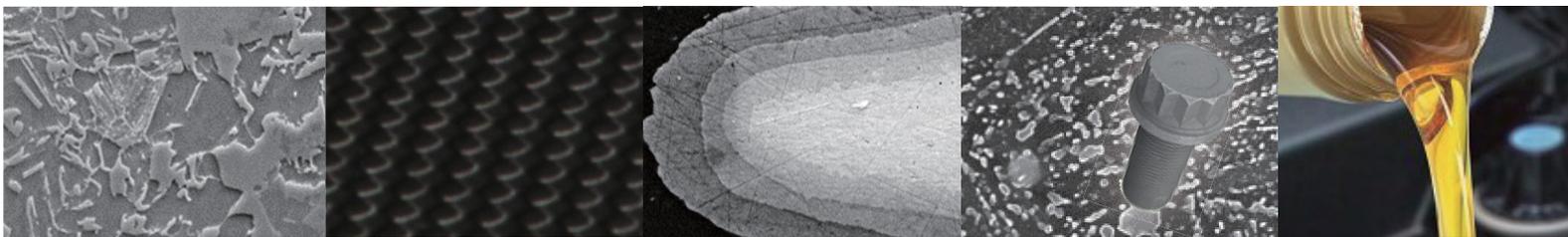


# NISSAN TECHNICAL REVIEW

日産  
技報  
2019 No.85



## Materials Technology Innovation



軽量化・省燃費を支える材料技術

Materials Technologies for Vehicle Weight Reduction and Fuel Economy Improvement

NISSAN MOTOR CORPORATION





2019



NISSAN TECHNICAL REVIEW

No. 85

# 日産技報第85号

## 目次

2019年10月 発行

### ◆ 巻頭言

材料技術開発はクルマづくりにおけるイノベーションの根幹……………山口 武 …… 1

### ◆ 特集：軽量化・省燃費を支える材料技術

1. 日産の軽量化・省燃費を支える材料技術の革新……………福井 孝之 …… 3

2. 高延性980MPa級超ハイテン材および適用技術開発……………平出 卓也・林 孝雄・福原 恵美  
林 慎吾・工藤 大輔・鈴木 洋平 …… 8

3. ダイナミック・パフォーマンスに貢献する軽量カーボンルーフ開発……………鈴木 克彦・田中 真尚 …… 16

4. EVバッテリーの小型化に貢献するCu/Alクラッド材開発……………桜田 賢人・柳原 康宏  
中井 昌之・長島 富雄 …… 24

5. 可変圧縮比エンジンVCターボに貢献する高強度ボルト開発……………浜田 孝浩・小林 大介  
小柳 貢士・田辺 孝司 …… 30

6. 0W-8低粘度省燃費エンジン油の開発……………仲野 誠 一・佐川 琢円・奥田紗知子・小池 裕介  
川村 論史・吉田 敬介・斎藤 弘樹 …… 38

◆ 技術紹介

7. 軽自動車向け新型パワートレインの開発……………小山 良浩・伊佐治 洋・黒木 真  
平野 智久・三嶋 峻平・宮川 育・川岬 芳秀・坂井 雄紀・鈴木 淳也 …… 44
8. 軽自動車向け新型ガソリンエンジンの開発…………… 伊佐治 洋・森嶋 信人・新井 俊哉・櫻庭 健一 …… 56

◆ 新車紹介

9. 新型デイズ商品概要……………伊藤 潔・本島圭奈子・中野健二郎 …… 65
10. 新型シルフィ／セントラ商品概要…………… 豊福 諒・寺本 広樹 …… 72
11. 新型ヴァーサ商品概要……………上總 直人 …… 77

- ◆ 特許紹介 …… 81

———— CONTENTS ————

◆ **Preface**

- Materials Technology Development as the Basis of Automotive Innovation ..... 1  
By Takeshi YAMAGUCHI
- 

◆ **Special Feature : Materials Technologies for Vehicle Weight Reduction and Fuel Economy Improvement**

1. Materials Technology Innovation for Vehicle Weight Reduction and Fuel Economy Improvement ..... 3  
By Takayuki FUKUI
2. Development of High Elongation 980 MPa Advanced High Strength Steel and Application Technologies ..... 8  
By Takuya HIRADE, Takao HAYASHI, Emi FUKUHARA, Shingo HAYASHI, Daisuke KUDO, Youhei SUZUKI
3. Development of a Lightweight Carbon Fiber Roof that contributes to Dynamic Performance ..... 16  
By Katsuhiko SUZUKI, Masanao TANAKA
4. Development of Cu/Al Clad Material for Downsizing EV Battery ..... 24  
By Kento SAKURADA, Yasuhiro YANAGIHARA, Masayuki NAKAI, Tomio NAGASHIMA
5. Development of High Strength Bolt for the VC-Turbo Engine ..... 30  
By Takahiro HAMADA, Daisuke KOBAYASHI, Mitsushi OYANAGI, Takashi TANABE
6. Development of 0W-8 Low Viscosity Engine Oil for Fuel Efficiency Improvement ..... 38  
By Seiichi NAKANO, Takumaru SAGAWA, Sachiko OKUDA, Yusuke KOIKE  
Satoshi KAWAMURA, Keisuke YOSHIDA, Hiroki SAITO

◆ **New Technologies**

7. Development of a Brand-new Powertrain for Japanese Mini-vehicles ..... 44  
By Yoshihiro OYAMA, Hiroshi ISAJI, Makoto KUROKI, Tomohisa HIRANO, Shumpei MISHIMA,  
Akira MIYAGAWA, Yoshihide KAWASAKI, Yuuki SAKAI, Junya SUZUKI
8. Brand-new Small Gasoline Engine for a New Mini-vehicle ..... 56  
By Hiroshi ISAJI, Nobuto MORISHIMA, Toshiya ARAI, Kenichi SAKURABA

◆ **New Models**

9. Product Overview of the New Dayz ..... 65  
By Kiyoshi ITOH, Kanako MOTOJIMA, Kenjiro NAKANO
10. Product Overview of the New Sylphy/Sentra ..... 72  
By Makoto TOYOFUKU, Hiroki TERAMOTO
11. Product Overview of the New Versa ..... 77  
By Naoto KAZUSA

- ◆ **Introduction of Patents** ..... 81



## 材料技術開発はクルマづくりにおける イノベーションの根幹

常務執行役員 山口 武

古来、人は様々な道具を作り出すことで、その生活を格段に進化させ豊かにしてきた。手近にあった石を砕いて作った石器に始まり、粘土をこねて形を作りそれを焼成して得られる土器を発明し、さらには、青銅・鉄と鉱物から物質を精製し道具を作って利用してきた。現代では、石炭や石油から樹脂やゴムを作り出し、必要品として多くの道具に適用している。このように道具は、使用される材料の進化に合わせて飛躍的にその利便性を向上させてきた。

鉄と木とゴムで始まった自動車産業も例外ではない。歴史を紐解くと、材料の革新無くして自動車の革新はありえないと思う。例えば、T型フォードにおいて大量生産を可能にしたのは、軽量・硬質であり高速切削加工が可能なバナジウム鋼が開発されたことによるものが大きい。また、1970年代にはバンパは鉄でつくられていたが、樹脂の高強度・高剛性化により樹脂製バンパが登場し、デザインの自由度も相まって今では当たり前に使われている。また、大気汚染へ対する北米マスキー法の対処には、三元触媒の実用化がブレークスルーのポイントであった。一方、年々強化される衝突規制に対しても、高強度ながら成形性に優れる鋼板が次々と開発され、より安全な自動車を軽量に提供することが可能となっている。そして、アルミニウムやチタン、炭素繊維強化樹脂（CFRP）などの航空機や人工衛星にも使われるような素材が自動車にも使われ始めている。

材料技術は、自然の摂理や原理原則を母体とする自然科学をベースとしており、工業的な自由度は少ないが、材料エンジニアの発想と思考により、まだまだ革新の余地はあるものと信じている。そのために我々は、設計・生産機能との連携をより深くしながら、設計課題や生産課題にも貢献できるように使いこなすまで踏み込んだ開発を実施している。一方で、これまでの経験や試行錯誤に依存した開発手法を見直し、人工知能（AI）を活用した材料開発（マテリアルインフォマティクス）が始まりつつある。こういった最先端の技術動向もにらみながら継続的に価値を生みだしていく取り組みについても、加速していく必要がある。

料理の世界において、良い食材の目利き無しではシェフは腕を振るえない。クルマづくりの根幹である材料技術を支える我々は、世界レベルの自動車材料のエキスパートとして、実験現場を持つ強みをフルに活用し、今後も材料からの車両革新（イノベーション）を目指してチャレンジを続けていきたい。



# Materials Technology Development as the Basis of Automotive Innovation

Takeshi Yamaguchi  
Corporate Vice President

Since ancient times people have substantially advanced and enriched their lives by creating various types of tools. Beginning with stone tools fashioned by breaking apart stones near at hand, people went on to invent pottery by kneading clay into different shapes and baking them to obtain earthenware. People later refined materials from bronze, iron and minerals from which tools were made for everyday use. In modern times, resins and rubber have been derived from coal and oil and applied to make many different tools as necessities. In this way, the convenience of tools has been dramatically improved in line with the evolution of the materials used to make them.

The automotive industry is no exception to this trend, beginning initially with the use of iron, wood and rubber for manufacturing vehicles. As we trace the history of the industry, it is apparent that automotive innovations would not have been possible without innovations in materials. For example, the development of hard, lightweight vanadium steel that was machinable with high-speed machine tools was instrumental in facilitating mass production of the Ford Model T. In the 1970s, bumpers were still being made of steel, but then plastic bumpers appeared that were manufactured from resins possessing high strength and rigidity. Today, plastic bumpers are used as a matter of course, thanks in part to allowing more degrees of design freedom. Practical application of three-way catalysts provided a major breakthrough for complying with the Clean Air Act that was enacted in the United States for dealing with air pollution. Around that same time, steel sheet products with outstanding formability, yet still having high strength, were successively developed to meet collision safety standards that were being tightened with every passing year. Such materials made it possible to supply lighter and safer vehicles. Subsequently, aluminum, titanium, carbon-fiber-reinforced plastic (CFRP) and other materials that were being used for aircraft and satellites also started to be applied to vehicles.

Materials technology is based on the natural sciences that are grounded in the laws and principles of nature. Although the degrees of industrial freedom may be limited, I believe there is still plenty of room for further innovation based on the concepts and ideas advanced by materials engineers. Toward that end, we conduct in-depth development activities until new materials can be used effectively in order to contribute to resolving design and production issues while strengthening collaboration with design and production functions. Meanwhile, we are also reviewing development methods that heretofore have depended on experience and trial and error and are beginning to pursue materials informatics that draws upon artificial intelligence (AI). As we keep a close eye on these cutting-edge technological trends, we must also accelerate our efforts for the continuous creation of value.

In the cooking, chefs cannot demonstrate their talents without having a sharp eye for good ingredients. As world-class automotive materials experts, we support the materials technologies that form the basis of automotive engineering and manufacturing. We intend to continue our challenge aimed at achieving automotive innovation from materials by making full use of the strengths we possess in our experimentation and testing workplaces.

# 日産の軽量化・省燃費を支える材料技術の革新

Materials Technology Innovation for Vehicle Weight Reduction and Fuel Economy Improvement

材料技術部 福井 孝之  
Materials Engineering Department Takayuki Fukui



## 1. はじめに

世界が急速に変化していく中、私たちを取り巻く社会は、直接的かつ長期的に影響を及ぼす様々な課題に直面し、地球温暖化、人口構成の変化、都市化の進行といったメガトレンドは現代社会に大きな影響を与えている。一人当たりのGDP増加、人口増加に伴い、世界の自動車保有台数は2050年までに20億～25億台になると予想されている。また、都市化に伴い、渋滞の増加も懸念されており、世界の温室効果ガス排出に占める運輸部門の割合はおよそ14%になると試算され（図1）、各国で自動車に課されるCO<sub>2</sub>の排出規制は年々強化されている。

それに対応すると同時に、日々変化していくお客様のニーズや社会の流行の変化をタイムリに取り入れ、お客様がよりワクワクするクルマを魅力ある価格で提供し続けることも我々自動車メーカーの責務である。

本特集では、様々な材料のブレークスルー技術により、自動車を革新し、自動車を取り巻く大きな課題をブレークスルーした事例を、主に「軽量化・省燃費」の観点から解説する。

## 2. 自動車会社としての環境への取り組み

世界の人口増加やさらなる経済発展は、複雑かつ多岐にわたって地球環境に依存し、自然環境の劣化、気候の変動、エネルギーや水、資源、食料などの需給ひっ迫といった様々な影響を与えている。地球環境を破壊せずに、経済成長を続けていくことは、私たち人類が豊かさを享受し続けるうえでの大きな挑戦である。

我々自動車メーカーは、持続的に発展するために、企業活動の地球環境への影響を把握し、最小化していく必要がある。エネルギー及び資源の使用効率向上と、多様性及び循環を促進し、「企業活動やクルマのライフサイクル全体での環境負荷や資源利用を、自然が吸収できるレベルに抑えること」を我々が目指すゴールのひとつと考えている。

地球の平均気温の上昇を2℃以内に抑えるために大気中

## 1. Introduction

Amid the rapid changes taking place in the world, the society in which we operate is facing various issues that will have direct and long-term effects. Megatrends such as global warming, demographic changes and ongoing urbanization are profoundly affecting modern society. Accompanying the per-capita growth of gross domestic product (GDP) and population increases, it is projected that global ownership of vehicles will reach 2-2.5 billion units by 2050. There is also concern that ongoing urbanization will cause more traffic congestion, and it is estimated that the transportation sector's share of global greenhouse gas emissions will reach approximately 14% (Fig. 1). Countries around the world are continually tightening their regulations on carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from vehicles every year.

Concurrent with our efforts to address these issues, it is also our responsibility as a vehicle manufacturer to continue to supply vehicles that are more exciting to customers and are available at affordable prices, as a result of incorporating their constantly changing needs and changes in social trends in a timely manner.

This article presents examples of automotive innovations and breakthroughs in major issues surrounding vehicles through the application of various cutting-edge materials technologies and discusses them mainly from the perspectives of weight reduction and fuel economy improvement.

## 2. Environmental Efforts by a Vehicle Manufacturer

Global population growth and further economic development are dependent on the global environment in complex and multifaceted ways and are producing many different effects such as degradation of the natural environment, climate change and a tighter demand-supply balance for energy, water, resources, foodstuffs and other things. Sustaining economic growth without destroying the global environment is a serious challenge for us members of the human race if we are to continue to enjoy lives of comfortable abundance.

As a vehicle manufacturer, we must ascertain and minimize the impact of our corporate activities on



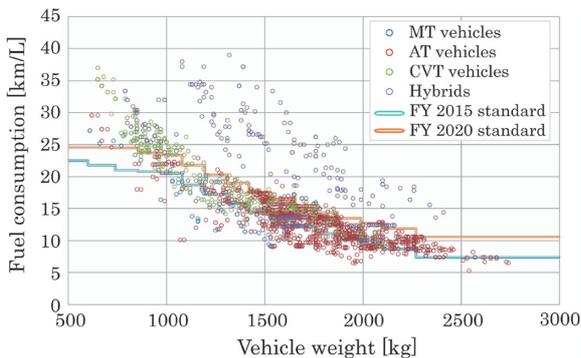
このうち、フリクション低減に関しては、エンジンオイルに代表されるような潤滑性能を向上させる材料による貢献が大きく、近年では特に、潤滑油を低粘度にすることで粘性抵抗を低減し、省燃費化を図るアプローチが盛んに行われている。このトレンドが最も顕著な市場が日本であり、軽自動車を含むコンパクトカーやHEV向けに低粘度エンジン油が市場導入されつつある。

一般に、潤滑油粘度を下げるとオイル消費と耐摩耗性が悪化するため、各社で対象エンジンを絞り込んだオリジナルスペックの低粘度油が開発されている。一方、汎用性を高めることで適用エンジンを拡大し、CO<sub>2</sub>低減効果を最大化するため、基油粘度コントロールと添加剤の最適化によって、従来の低粘度油SN/GF-5 0W-20同等以上のオイル消費と耐摩耗性を確保しながら省燃費性能を最大化したSN 0W-16や本特集で述べる0W-8が次々と開発されており、水素フリーDLC（Diamond Like Carbon）コーティングなどのブレイクスルー技術と合わせてオイル処方最適化することで、さらなる省燃費化に貢献している。

また、日産が世界で初めて実用化した、燃費と出力を高次元で両立する可変圧縮比エンジン（VCターボ）においては、その複雑なリンク機構をコンパクトに成立させる基盤材料として、高強度かつ耐遅れ破壊性能に優れた16T塑性域締めボルトを開発し、世界で初めて適用することで貢献している。

### 3.2 軽量化

CO<sub>2</sub>排出量の削減につながる燃費改善へのもう一つのアプローチとして、車両重量の軽量化が求められている。車両重量は自動車の燃費と相関があり、軽量であるほど燃費



出典：国土交通省 乗用車の燃費・CO<sub>2</sub>排出量（平成31年3月）より加工して作成 <http://www.mlit.go.jp/common/001284634.pdf>  
 Source: Created by processing data in “Passenger Vehicle Fuel Economy and CO<sub>2</sub> Emissions,” Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism of Japan (March 2019)

図-2 車両重量と燃費の関係  
 Fig. 2 Relationship between vehicle weight and fuel consumption

Among them, materials for improving the lubrication performance of the engine oil, as one typical example, contribute substantially to reducing friction. In recent years, lowering the viscosity of the lubrication oil to reduce viscous resistance has been actively applied as a specific approach for improving fuel economy. The market where this trend has been most noticeable is Japan. Low-viscosity engine oils are being put on the market for compact cars, including mini-vehicles, and HEVs.

Because lowering the lubrication oil viscosity generally worsens oil consumption and anti-wear performance, companies have been developing low-viscosity engine oils according to their original specifications targeted at certain specific engines. Meanwhile, SN 0W-16, 0W-8, which is discussed in this special feature, and other oils have been successively developed for application to a wider range of engines by enhancing their general properties and maximizing their CO<sub>2</sub> reduction effect as result of controlling the base oil viscosity and optimizing the additive package. These new engine oils maximize fuel-saving performance while assuring oil consumption and anti-wear performance equal to or better than that of existing low-viscosity SN/GF-5 0W-20 oil. Together with breakthrough technologies like hydrogen-free diamond-like carbon (DLC) coatings, optimization of oil formulations has contributed to further fuel economy improvement.

Nissan also developed a 16T plastic tightening bolt as a fundamental technical feature for the variable compression ratio engine (VC-Turbo) that was introduced as the first of its kind in the world to achieve both high levels of fuel economy and output power. Featuring high strength and outstanding delayed fracture resistance, this bolt was applied as a world’s first development that contributed significantly to achieving a compact size for the complex linkage mechanism of this engine.

### 3.2 Vehicle weight reduction

Lightening the vehicle weight is another approach that is needed for improving fuel economy that leads to a reduction of CO<sub>2</sub> emissions. Vehicle weight correlates with fuel consumption, and it is clear that fuel economy improves as the vehicle weight becomes lighter (Fig. 2).

On the other hand, vehicles are tending to become heavier not only because increasingly higher levels of collision safety are required from the standpoint of protecting occupants in an accident. Equipment features for enhancing comfort as a means of improving the attractiveness of vehicles are also adding to the weight. Various weight reduction technologies have been developed to satisfy multiple conflicting quality requirements such as those between weight reduction and improvement of safety and comfort.

The main approaches to lightening the body-in-white, which accounts for a large portion of the vehicle weight,

が良くなるのは自明である（図2）。

その一方で、事故時の乗員保護の観点から、車体の衝突安全においてもますます高い性能が求められているだけでなく、自動車の魅力向上として、快適性を高めるための装備により、車両重量は増加の傾向にある。軽量化と安全性の向上、軽量化と快適性の向上という複数の要求品質を実現するため、様々な軽量化技術の開発が行われている。

車両の多くの重量を占める車体の軽量化の主な方策として、“車体構造の合理化”と“材料置換”があり、後者においては、高強度である超ハイテン材（本特集では780MPa超級を超ハイテン材と定義）の適用拡大や、従来の鋼板、鋼材をアルミニウムや炭素繊維強化樹脂（CFRP）などの軽量素材へ置換することなどが挙げられる。その中でも超ハイテン材はプレス、溶接工程において、既存設備をそのまま使用できることから、他の軽量材料に比べてコスト競争力が高く、最も効果的な材料置換の一つとして適用拡大が進められている。

一般的に、鋼板は強度を高めると延性が低下する傾向にあり、プレス時の割れにつながることから、強度を高めて薄肉化したい車体骨格部材に対して、超ハイテン材を適用拡大することは大きな課題であったが、すでに高成形性1.2GPa級超ハイテン材が車両に適用され、センタピラー、レイフォース、フロントルーフレール、サイドルーフレールといった部位への実用が進んでいる。一方で、現状590MPa級のハイテン材が使用されている部位へは、成形性の観点から適用が困難であった。超ハイテン材の適用比率を高め、さらに車体軽量化を進めるためには、590MPa級ハイテン材が広く採用されている車体骨格部分に980MPa級の超ハイテン材を採用していく必要があり、そのため590MPa級相当の高い成形性を有する高延性980MPa級超ハイテンが開発され、実用化が始まっている。この高延性超ハイテン材は冷間圧延材に加え、車両の防錆面の課題を解決した合金化溶融亜鉛めっき鋼板も開発され、超ハイテン材のさらなる採用拡大による車体軽量化が期待される。

車両の軽量化において、車両重量の多くを占める車体の軽量化を進めることが重要であるが、同時に各部品コンポーネントにおいても推進することが必要である。この点においては、アルミニウムやCFRPの適用が進んでいる。特にCFRPについては、航空機への採用が格段に増えているため、自動車への適用も大いに期待されている。一方、課題はコストであり、素材の選定・プロセスの革新など原材料だけではない取り組みが必要である。日産では、発泡樹脂をCFRPで挟み込むことで炭素繊維（CF）の使用量を減らしながら剛性を維持したサンドイッチパネルを開発

are body structure rationalization and material substitution. Examples of the latter include expanded application of ultra-high strength steel (defined in this special feature as having ultra-high strength exceeding the 780 MPa grade) and the substitution of lightweight materials such as aluminum and carbon-fiber reinforced plastic (CFRP) for the steel sheet and other steel materials used heretofore. Application of ultra-high strength steel in particular is expanding because it is one of the most effective material substitutions, providing higher cost competitiveness than other lightweight materials. One reason is that existing facilities in the pressing and welding processes can be used as they are.

Increasing the strength of steel sheet generally tends to reduce its ductility, which can lead to cracking during the pressing process. That has been a major issue for expanding the application of ultra-high strength steel to vehicle body frame members for which it is desired to reduce the plate thickness while increasing strength. High strength steel exceeding the 1.2 GPa grade with high formability has already been applied to vehicles, with its application progressing to the center pillar reinforcement, front roof rail and side roof rail. However, application to parts currently made of 590 MPa grade high strength steel has been difficult from the perspective of formability. In order to raise the application rate of ultra-high strength steel and reduce the body weight further, it is necessary to apply ultra-high strength steel of the 980 MPa grade to body framework members for which 590 MPa grade high strength steel is now widely used. That is why highly ductile, high strength steel of the 980 MPa grade or higher and possessing high formability equal to that of the 590 MPa grade has been developed and is now beginning to be applied. In addition to this highly ductile, ultra-high strength steel that is a cold-rolled material, an alloyed zinc-coated steel sheet has also been developed that solves the issue of protecting the body surface from corrosion. It is expected that the body weight will be reduced through expanded application of these ultra-high strength steels.

Although it is important to lighten the weight of the body-in-white that accounts for a large portion of the vehicle weight, reducing the weight of individual components at the same time is also necessary for achieving lighter vehicles. In this regard, progress is being made in applying aluminum and CFRP. Because the application of CFRP to aircraft is markedly increasing, there are large expectations for its application to vehicles as well. The issue here is cost. Efforts are needed to promote innovations in the selection and processing of materials, in addition to work on raw materials. At Nissan, we have developed a sandwich panel consisting of a foamed resin inserted between CFRP, which reduces the amount of carbon fiber used while maintaining the desired stiffness. It has been adopted for the roof panel of the 2020 NISMO GT-R model.

し、NISMO GT-Rの2020年モデルのルーフパネルに採用している。

また、今後拡大が予想されるEVなどの電動車両においては、バッテリーやモータのさらなる小型化および高性能化が求められている。既に中国ではNEV規制によりバッテリーの高容量化・高密度化が求められており、日産では、日産リーフe+においてバッテリーの大幅な高密度化を実現しており、材料としては、例えば銅-アルミニウムのクラッド材を接続端子に採用することで貢献している。

#### 4. おわりに

自動車を取り巻く課題に対し、新材料技術で自動車を革新した事例について簡単に紹介した。各開発案件の詳細は、以後の誌面にて各材料分野のエキスパートから熱く語ってもらうこととするが、ここで紹介した新技術は、今後の社会環境に適合した自動車に必要な性能を徹底的に分析し、その性能を達成するために必要な材料、部品に求められる性能にまでブレークダウンを行い、そして各材料、部品が役割を分担し、材料メーカ、部品メーカ、自動車メーカからなるチームで試作、評価、改良を短時間で繰り返し実施し、開発してきたものである。

今後、グローバルでのモータリゼーションは、自動車保有率の少ない新興国の成長に伴い、さらに進むと予測されている。環境問題を解決しながらモータリゼーションを進めるためには、開発した新技術をグローバルにいかに早く適用できるかが非常に重要であることは明白である。加えて、手ごろな価格で魅力ある製品として自動車を開発、製造していくことも必要であり、そのためには現地でも価格競争力のある技術に仕上げていくことが非常に重要となる。

材料技術の進化は将来の自動車の革新を支える基盤である。開発した新材料技術で自動車をより魅力ある製品にし、タイムリに世界中のお客様に手ごろな価格でお届けすることで、世界中の多くの人々の生活をより豊かにすることを信じ、材料からの自動車の大きな革新に、今後も挑戦していく所存である。

For EVs and other electrified vehicles that are expected to increase in number in the coming years, it will be necessary to further downsize and enhance the performance of the batteries and motor. China's new energy vehicle (NEV) regulation already mandates higher capacity and higher density for batteries. Nissan has substantially increased the density of the battery used on the Nissan LEAF e+. An example of a materials technology contributing to this improvement is the adoption of a copper-aluminum cladding material for the connection terminals.

#### 4. Conclusion

This article has briefly described examples of automotive innovations using new materials technologies to address vehicle-related issues. The details of these developments will be enthusiastically explained in the following pages by experts in each materials field. The new technologies presented here have been developed by thoroughly analyzing the performance needed by vehicles well-suited to the social environment in the coming years. The performance required of the materials and parts needed to attain that vehicle performance was broken down and the role of each material and part was identified. Teams of engineers from manufacturers of materials, parts and vehicles were formed who carried out prototyping, evaluations and improvements repeatedly in a short period of time to develop these technologies.

It is projected that motorization worldwide will advance further in the future accompanying the growth of emerging economies where the rate of vehicle ownership is still low. Whether these new materials technologies can be applied globally as early as possible is obviously a very important question for the promotion of motorization while resolving environmental issues. In addition, it is also necessary to develop and manufacture vehicles as attractive products available at reasonable prices. For that purpose, it is essential to bring technologies with price competitiveness to completion in local areas as well.

The evolution of materials technologies will provide the foundation supporting automotive innovations in the future. We believe that using these new materials technologies to make vehicles into even more attractive products and to supply them to customers globally at affordable prices in a timely manner will enrich the lives of many people worldwide. Toward that end, we will continue our challenge of making significant automotive innovations based on materials.

# 高延性980MPa級超ハイテン材および適用技術開発

Development of High Elongation 980 MPa Advanced High Strength Steel and Application Technologies

平出 卓也\*  
Takuya Hirade

林 孝雄\*  
Takao Hayashi

福原 恵美\*  
Emi Fukuhara

林 慎吾\*  
Shingo Hayashi

工藤 大輔\*\*  
Daisuke Kudo

鈴木 洋平\*\*  
Youhei Suzuki

**抄 録** 一般的に鋼板の強度を向上させると延性は低下するため、従来の超ハイテン材ではサイドメンバに代表される複雑形状部品への適用は困難であった。本稿では、強度と延性を同時に向上すべく材料組織を高度に複合化した高延性980MPa級超ハイテン材を開発し、同時にプレス、スポット溶接などの適用技術を開発、採用した事例について述べる。

**Summary** The circumstances surrounding vehicles have become more complex and reduction of CO<sub>2</sub> emissions is an important issues. Lightening the vehicle mass is considered effective for reducing CO<sub>2</sub> emissions and application of advanced high strength steel (AHSS) to the body-in-white (BIW) is one of the most significant measures. However, higher strength steel may lead to lower elongation, which limited application of existing AHSS to BIW structural parts with complex shapes. Nissan developed 980 MPa AHSS with high elongation with the aim of replacing 590 MPa steel in BIW.

**Key words :** Material, high-strength steel sheet, weight reduction, high formability, spot weldability

## 1. はじめに

昨今の自動車を取り巻く環境は年々複雑化している。日産自動車では中期環境行動計画「ニッサン・グリーンプログラム2022」の中で、新車のCO<sub>2</sub>排出削減40%（2000年度比；日米欧中）を掲げており、その達成方策の一つとして車両の電動化を推進している。電動車両においては航続距離の延長が重要課題であり、加えて自動車事故時の乗員保護の観点から、車体の衝突安全性能においても更に高い性能が求められており、これら二つの要求性能を同時に達成するためには、車体の軽量化と高強度化の両立が必要である。

主な車体軽量化の方策として車体構造の合理化、材料置換があり、後者には超ハイテン材\*、炭素繊維強化樹脂(CFRP)やアルミニウムなどへの置換などが挙げられる。（\*本稿では、780MPa超級を超ハイテン材と定義する。）その中でも超ハイテン材はプレス、溶接工程において、既存設備をそのまま使用できることからコスト競争力が高く、最も効果的な材料置換の一として適用を拡大している。

しかし、鋼板は強度を高めると延性が低下する傾向にあり、プレス成形時の割れにつながることから、強度を高めて薄肉化したい車体骨格部品に対して、超ハイテン材を

## 1. Introduction

The environment surrounding vehicles is becoming more complex with every passing year. One of the targets of the Nissan Green Program 2022, the company's medium-term environmental action plan, is to reduce CO<sub>2</sub> emissions from new Nissan vehicles in Japan, U.S., Europe and China by 40% compared with the level for fiscal 2000. One measure being promoted to achieve this target is vehicle electrification. For electrified vehicles, extending the driving range is a crucial issue. Higher collision safety performance is also required of the body of electrified vehicles from the standpoint of protecting occupants in an accident. In order to satisfy these two performance requirements simultaneously, it is necessary to both reduce the weight and increase the strength of the vehicle body.

The main approaches to reducing the weight of the vehicle body are rationalization of body structures and material substitution. Examples of material substitution include replacement by advanced high strength steel (AHSS, defined here as having ultra-high tensile strength exceeding 780 MPa), carbon-fiber reinforced plastic (CFRP) or aluminum, among other materials. AHSS has excellent cost competitiveness among these materials because existing facilities in the stamping and welding processes can be used as they are. Its application as one of the most effective material substitutions is expanding.

\*材料技術部 / Materials Engineering Department \*\*Infiniti製品開発部 / Infiniti Product Development Department

適用拡大することは困難であった。

今回、超ハイテン材の適用比率を高めた最軽量スチール車体を目指し、既報の高成形性1.2GPa級超ハイテン材<sup>1)</sup>に続く、サイドメンバに代表される複雑形状の骨格部品が成形でき、車体での使用比率が高い590MPa級ハイテン材を置換可能な980MPa級超ハイテン材（以下、開発材）をその適用技術とともに開発したので報告する。

## 2. 材料開発の考え方

### 2.1 材料開発ターゲット

開発材は図1に示すように、高強度と高延性を両立することで、複雑形状骨格部品への適用による構造合理化と薄板化による軽量化を目指した。具体的には、適用開発が完了しているTRIP（変態誘起塑性）タイプの高成形性1.2 GPa級超ハイテン材と同様の金属組織とすることで、DP（Dual-Phase）タイプの590MPa級ハイテン材に迫る延性を持つ980MPa級超ハイテン材の開発を行うこととした。

また、DP 590MPa級ハイテン材は車体のプラットフォーム部品にも適用されていることから、冷間圧延材に加え、防錆機能を有する合金化溶融亜鉛めっき（GA）材も同時に開発することを目標とした。

### 2.2 材料特性

表1、図2に開発材、DP 980MPa級超ハイテン材、DP 590MPa級ハイテン材の機械特性を示す。開発材はDP 590MPa級ハイテン適用部品の置換を可能とするため、高い延性でありながらDP 980MPa級超ハイテン材と同等の穴抜け性を目標とした。そのため、金属組織は1.2GPa級

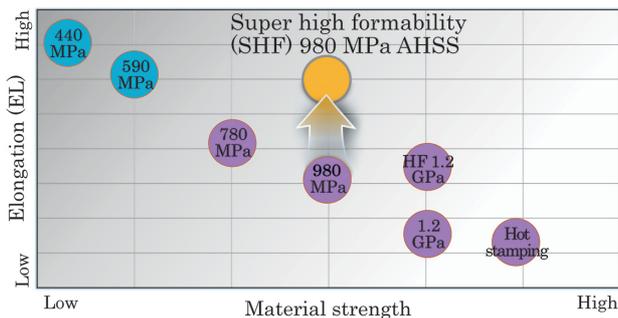


図-1 開発材の機械的特性の狙い  
Fig. 1 Development target of 980 MPa AHSS

表-1 開発材、DP 980MPa 級超ハイテン材、DP 590MPa 級ハイテン材の機械的特性一覧

Table 1 Comparison of mechanical properties of three types of AHSS

	Mechanical property (representative value)			
	YP [MPa]	TS [MPa]	EL [%]	$\lambda$ [%]
New 980 MPa	700	1050	23	25
DP 980 MPa	700	1050	15	25
DP 590 MPa	380	620	30	45

However, the elongation of steel sheet tends to decline as its strength is increased and that can lead to cracking during stamping. Consequently, that has made it difficult to expand the application of AHSS to body structural parts for which it is desired to increase their strength and reduce their thickness.

We have recently developed a 980 MPa AHSS (referred to here as new AHSS), which can replace 590 MPa AHSS that currently has a high application rate to body structural parts, along with the technology for applying this new steel material. This new AHSS can be used to form structural parts with complex shapes, as typified by side members. This development follows Nissan’s earlier reported development of a 1.2 GPa AHSS<sup>1)</sup> with high formability. Our aim is to create the lightest steel body by increasing the application rate of AHSS.

## 2. Material Development Concept

### 2.1 Material development target

The aim was to achieve weight reductions through structural rationalization and downgauging by applying the new AHSS to parts with complex shapes as a result of securing both high strength and high elongation, as shown in Fig. 1. Specifically, it was decided to develop a 980 MPa AHSS with elongation approaching that of dual-phase (DP) 590 MPa AHSS. That would be accomplished by adopting the same metal structure as that of 1.2 GPa AHSS, a high formability type with transformation-induced plasticity (TRIP) and for which application development work has been completed.

In addition, because the DP 590 MPa AHSS is also applied to body platform parts, another aim was to simultaneously develop a galvanized (GA) steel sheet with high anti-corrosion performance, in addition to the new cold-rolled AHSS.

### 2.2 Material properties

The mechanical properties of the new AHSS, DP

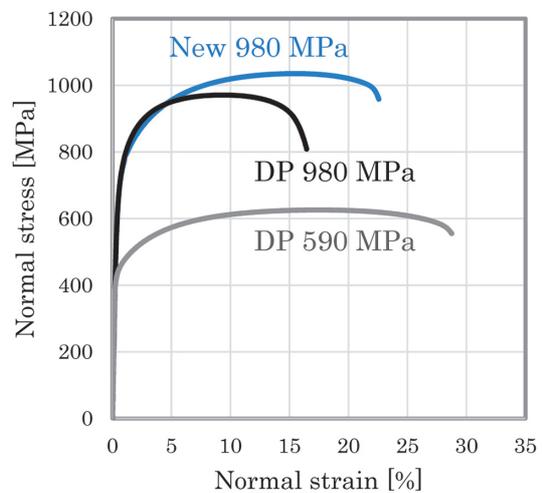


図-2 開発材、DP 980MPa 級超ハイテン材、DP 590MPa 級ハイテン材の SS 線図  
Fig. 2 Stress-strain diagram of three types of AHSS



超ハイテン材と同じコンセプトである変態誘起塑性効果を発現する残留オーステナイト（以下、残留 $\gamma$ ）、軟質なフェライト、硬質なベイナイト、マルテンサイトを最適なバランスで、かつ微細化させた複合組織を採用した（図3）。

また高い延性を確保するための残留 $\gamma$ を得るために、製造時の熱処理において残留 $\gamma$ への炭素の濃縮が必要なことから、高成形性1.2GPa級超ハイテン材に対し炭素量を増やす成分設計を行った。そのため、増量した炭素に起因するスポット溶接部の靱（じん）性低下や割れなどが懸念されるため、これらの懸念を主要課題として取り組んだ。

### 3. 適用技術開発

#### 3.1 成形性

図4に開発材およびDP 980MPa級超ハイテン材、DP 590MPa級ハイテン材の成形限界線図（FLD）を示す。開発材は等軸引張の領域においてはDP 590MPa級ハイテン材と同等の成形限界である一方、単軸引張の領域では伸びと同様にDP 980 MPa級超ハイテン材とDP 590 MPa級ハイテン材の中間の成形限界が得られた。また、開発材をDP 590MPa級ハイテン材から置き換えるためには、降

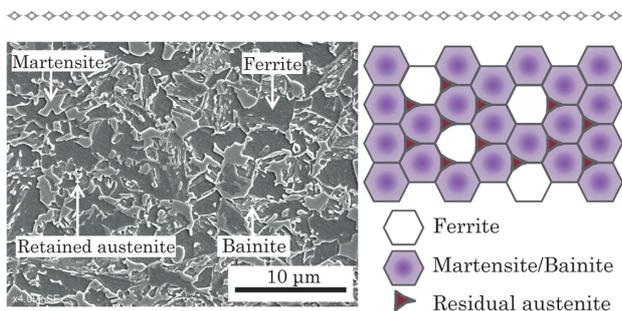


図-3 開発材の金属組織写真  
Fig. 3 Microstructure of new 980 MPa AHSS

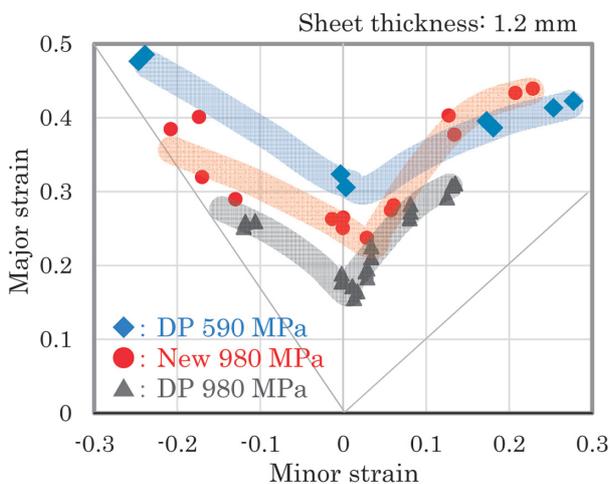


図-4 開発材、DP 980MPa 級超ハイテン材、DP 590MPa 級ハイテン材のFLD

Fig. 4 Forming limit diagram (FLD) of three types of AHSS

980 MPa AHSS and DP 590 MPa AHSS are shown in Table 1. In order to substitute the new AHSS for DP 590 MPa AHSS currently applied to body structural parts, the aim was to achieve hole expandability equal to that of DP 980 MPa AHSS while also securing high elongation. Toward that end, the adopted metal structure has an optimal balance of a residual austenite (residual  $\gamma$ ) phase, which exhibits the TRIP effect, i.e., the same concept as the 1.2 GPa AHSS, soft ferrite, hard bainite and martensite as well as a refined composite microstructure (Fig. 3).

In order to obtain the desired residual  $\gamma$  phase for securing high elongation, it is necessary to concentrate carbon in the residual  $\gamma$  phase during heat treatment when the steel sheet is manufactured. Therefore, the component design was executed with a larger carbon content than that of the 1.2 GPa AHSS with high formability. Consequently, there was concern about a possible decline in spot weld toughness and the occurrence of weld cracking due to the increased carbon content. Such concerns were addressed as principal development issues.

### 3. Development of Application Technologies

#### 3.1 Formability

Figure 4 is a forming limit diagram (FLD) for the new AHSS, DP 980 MPa AHSS and DP 590 MPa AHSS. In the region of equal biaxial tension, the new AHSS has the same forming limit as DP 590 MPa AHSS, whereas in the uniaxial tension region it displays elongation and a forming limit between the other two types of AHSS. In substituting the new AHSS for DP 590 MPa AHSS, there was concern not only that springback would worsen in proportion to yield strength, but also that cracks would occur in difficult-to-form parts that require stretch-flangeability such as flange corners. Therefore, efforts were undertaken to improve the accuracy of formability simulations and to optimize the stamping process design. As a result of high-accuracy shape optimization, including reducing and equalizing in-plane stress, cracking was suppressed and the desired part shape accuracy was satisfied.

For example, a stamping simulation was conducted on the shape of the stamped lower hinge of the front pillar brace shown in Fig. 5. The results raised concern that high strain in the flange corner portion would cause cracking, but strain was mitigated through shape optimization, including multistage stamping of the flange corner.

#### 3.2 Delayed fracture resistance

It was predicted that the residual  $\gamma$  phase in the new AHSS would be transformed by the introduction of strain to deformation-induced martensite. That would cause the trim end faces and other parts to have higher hardness due to strong working than parts made of DP 980 MPa AHSS. Therefore, it was necessary to ascertain the delayed fracture resistance of the new AHSS in order to apply it to body structural parts.

First, electrolytic hydrogen charging was used to evaluate the crack initiation limit of diffusible hydrogen

伏強度に比例して悪化するスプリングバックだけでなく、フランジR部などの伸びフランジ性を要求する難成形部位における割れが懸念される。そこで、成形解析精度の向上やプレス工程設計の最適化に着手し、板内応力の低減・均一化などの高精度な形状最適化を行うことで、割れの抑制、部品形状精度を満足させることができた。

例えば、図5に示すプレスフロントピラーロアヒンジを模した形状においては、成形解析によりフランジR部のひずみが高く割れが懸念されたが、多段Rなどの形状最適化によってひずみを低減することができた。

### 3.2 耐遅れ破壊性

開発材は、残留 $\gamma$ がひずみ導入により加工誘起マルテンサイトに変態するため、トリム端面などの強加工部がDP 980MPa級超ハイテン材に比べ高硬度になることが予測される。そのため、車体骨格部材への適用に際し、耐遅れ破壊性を見極めが必要であった。

最初に、電解チャージ法により、既に車体に採用済みのホットスタンプ材、高成形性1.2GPa級超ハイテン材、および開発材の割れ発生限界拡散性水素量を評価した。その結果、同じ負荷応力における割れ限界拡散性水素量は開発材が最も大きく、ホットスタンプ材や1.2GPa級超ハイテン材よりも高い耐遅れ破壊性を有していることがわかった(図6)。また、実部品を模擬したピアス、トリムのせん断ひずみ導入部の遅れ破壊性についても実験評価し、亀裂が発生しないことを確認した。以上の結果より、開発材は他の1GPaを超えるハイテン材に比べて遅れ破壊感受性が低いことが判明した。

開発材が良好な耐遅れ破壊特性を示す要因としては、(1)耐遅れ破壊性を低下させるセメントタイトの粒界析出が、残留 $\gamma$ 内に炭素が濃縮されることで抑制されたこと、(2)延性確保のために増加させた残留 $\gamma$ が水素のトラップサイトとして機能したこと<sup>2)</sup>、(3)フェライトやベイナイトを含む複相組織から成っていること、などが挙げられる。また、高成形性1.2GPa級超ハイテン材やホットスタンプ材に対し材料強度が低いことも、遅れ破壊感受性を下げる一因となっていると考えられる。

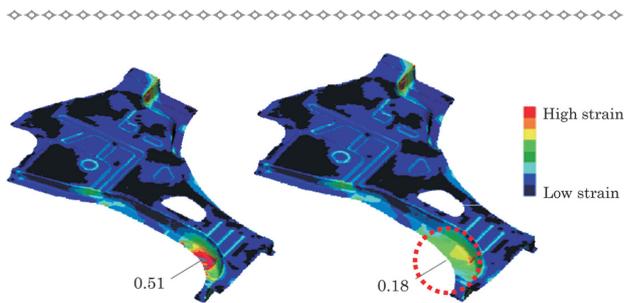


図-5 成形形状の最適化事例  
Fig. 5 Stamping optimization for stretch frangeability

content of a hot-stamped steel already applied to the vehicle body, 1.2 GPa AHSS with high formability and the new AHSS. The results in Fig. 6 revealed that the new AHSS had the highest crack initiation limit of diffusible hydrogen content at the same applied stress, indicating that it possesses higher delayed fracture resistance than the hot-stamped steel and 1.2 GPa AHSS. In addition, tests were conducted to evaluate delayed fracture resistance of places subjected to shear strain loads that simulated the loads induced by the piercing and trimming operations performed on actual parts. The results indicated that cracks did not occur in the test pieces made of the new AHSS. The foregoing results confirmed that the new AHSS has less delayed fracture susceptibility than the other AHSS with tensile strength of over 1.0 GPa.

The following are assumed to be among the factors explaining why the new AHSS shows excellent delayed fracture resistance. (1) Concentrating carbon in the residual  $\gamma$  phase suppresses grain boundary precipitation of cementite that lowers delayed fracture resistance. (2) The residual  $\gamma$  content that was increased to ensure elongation acts as hydrogen trapping sites.<sup>2)</sup> (3) It has a dual phase structure containing ferrite and bainite. In addition, its lower material strength than 1.2 GPa AHSS with high formability and the hot-stamped steel is probably another factor that reduces its susceptibility to delayed fracture.

### 3.3 Spot weldability

It is known that the spot weldability of steel sheet, especially the cross tension strength (CTS) of spot welds, declines with increasing carbon content. That is because, accompanying an increase in carbon content, toughness declines owing to increased hardness of the molten weld pool due to melting and solidification during the welding process. In addition, as the tensile strength of a steel sheet increases, it restrains deformation more during tensile testing, which increases stress toward the interior of the

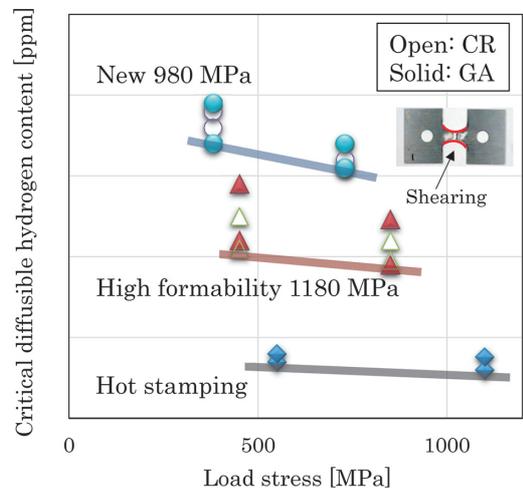


図-6 開発材の水素脆化特性  
Fig. 6 Hydrogen embrittlement property

### 3.3 スポット溶接性

鋼板のスポット溶接性は炭素量が増加するに従い、特に十字引張強度（以下、CTS）が低下する傾向が知られている。これは炭素量の増加に伴い、スポット溶接時の熔融・凝固により溶融部の硬度が上昇し、靱性が低下するためである。また、鋼板の強度が高いほど引張試験時に変形が拘束されるために、剥離方向の入力においてはナゲット内部へ向く応力が大きくなり、破断形態の悪化や低荷重破断が発生すると考えられる<sup>3)</sup>。

開発材は、TRIPタイプの組織を採用することで高い延性が得られた反面、多くの残留 $\gamma$ を安定化させるために、高成形性1.2GPa級超ハイテン材よりも10～20%多く炭素を添加している。そのため、より一層スポット溶接の品質確保が難しい。そこで、スポット溶接品質確保の方策として、ナゲット端部の靱性向上、および熱影響部の硬さの最適化による応力集中の緩和に着目し、開発材に適した溶接条件を検討した。

その結果、溶融部の靱性低下によるCTS低下の懸念に対しては、結晶粒径微細化による靱性向上を目的とした通電パターンの適用により、界面破断時に起点となる鋼板合わせ面のナゲット端の組織を微細化することできた。この効果によって、剥離入力時のナゲット内部への亀裂進展抵抗が向上し、図7に示すCTS試験（JIS Z 3137、板厚2.0mm 同士）において、適正電流範囲内でプラグ破断が得られ、DP 980 MPa級超ハイテン材と同等以上の強度が確認できた。

一方、車体への適用を想定した開発GA材を含むさまざまな種類の鋼板の組合せ（以下、板組）のスポット溶接性試験において、溶接打痕周りやコロナボンド部近傍に亀裂が発生する板組が認められた（図8）。これらの割れは、内部に亜鉛の侵入が確認できたことから（図9）、溶融亜

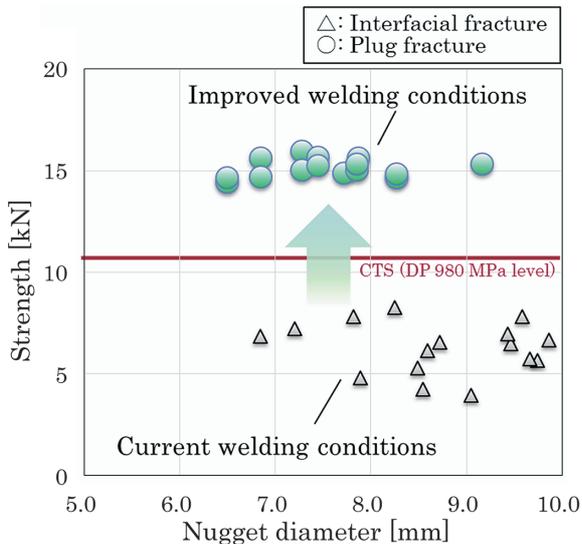


図-7 CTS、破断モードに及ぼす溶接条件の影響  
Fig. 7 Effect of welding conditions on CTS and fracture mode

weld nugget when force is input in the separation direction. Presumably, that worsens the fracture morphology and causes low-load fracture.<sup>3)</sup>

The new AHSS has a TRIP-type structure for obtaining high elongation, but in order to stabilize the increased residual  $\gamma$  phase, its carbon content is 10-20% higher than that of 1.2 GPa AHSS with high formability. For that reason, it is much more difficult to ensure spot weld quality. As measures for securing spot weld quality, attention was focused on improving the toughness of the nugget perimeter and on easing the stress concentration by optimizing the hardness of the heat-affected zone. A study was undertaken to find welding conditions suitable for the new AHSS.

As a result, a welding current pattern aimed at improving toughness by making the crystal grain size of the weld finer was defined as a measure for addressing the concern about the CTS decline due to reduced toughness of the molten weld pool. The application of this current pattern refined the structure at the nugget perimeter of the steel sheet joint where interfacial failure originates. This had the effect of improving resistance to crack propagation into the nugget interior at the time a separation input is applied. Figure 7 shows the results of a CTS test conducted on two test pieces of 2.0 mm in thickness according to the JIS Z 3137 standard. Plug fracture was obtained in the optimal welding current range, confirming that the new AHSS has strength equal to or better than DP 980 MPa AHSS.

Spot welding tests were conducted on combinations of various types of steel sheets (referred to here as sheet combinations), including the new GA sheet intended for body application. The results shown in Fig. 8 indicate that cracks occurred in some sheet combinations around the

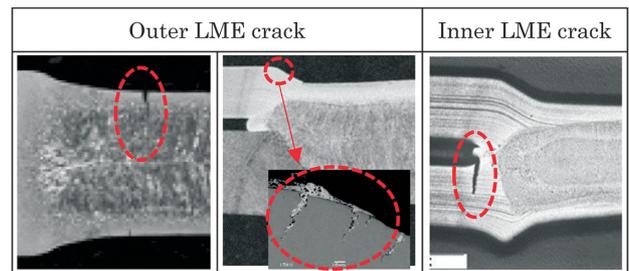


図-8 LME 亀裂の種類  
Fig. 8 Types of LME crack

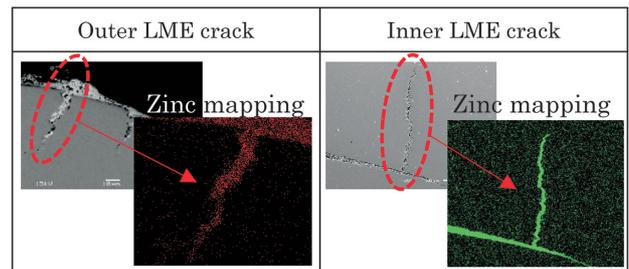


図-9 EDS 分析による LME 亀裂内の亜鉛挙動  
Fig. 9 Zinc behavior at LME crack obtained by energy dispersive X-ray spectrometry (EDS) analysis

鉛に起因するLME（液体金属脆化）割れと推定した。

LME割れの発生要因は一般的に、高強度・高合金材であること、引張応力が付加されていること、熱的エネルギーが高くめっき金属である亜鉛が溶融している環境であることとされており、それらの因子によって鋼の粒界に溶融亜鉛が侵入し、亀裂発生に至ると考えられている<sup>4)</sup>。また、溶接打痕周りに発生するLME亀裂（以下、外割れ）は、入熱過多により発生するため、適正電流試験による溶接条件の最適化により回避することが効果的であると知られている。鋼板間のコロナボンド近傍に発生した割れ（以下、内割れ）については近年の研究で、通電終了後の電極解放時に発生する引張応力が原因であり、その改善としては加圧保持時間の増加が有効と報告されているため<sup>5)</sup>、開発GA材においても、同様の視点から解析、および発生メカニズムの解明、検証を行った。

最初に、内割れの発生原因を特定するため、スポット溶接中のコロナボンド近傍の温度、応力の変化を解析によって明確にした（図10）。その結果、溶接の工程において、通電中はコロナボンドに圧縮の応力が働いている（図10(a)）が、通電終了後の保持工程では、応力が引張に転じることがわかった（図10(b)）。これは溶融金属の凝固収縮により発生した応力で、溶接電極の拘束から解放されることで急激に温度上昇するためと考えられる。また、溶接が終了した直後もコロナボンド部は亜鉛融点以上の高温であり（図10(c)）、亜鉛めっき成分が溶融していることが推察できた。この結果から、開発GA材で発生した内割れは、引張応力場において溶融亜鉛が存在することで起きた現象と推定でき、割れの発生は溶接工程中において終了時であることが判明した。

そこで、内割れを抑制するために、応力解放時に溶接部近傍に溶融亜鉛が残存しないよう、十分な冷却工程を得るための溶接工程として、ホールド時間の最適化を検討した。その結果、図11に示すように、ホールドタイムが短い時には内割れが発生していた板組でも、亜鉛が凝固

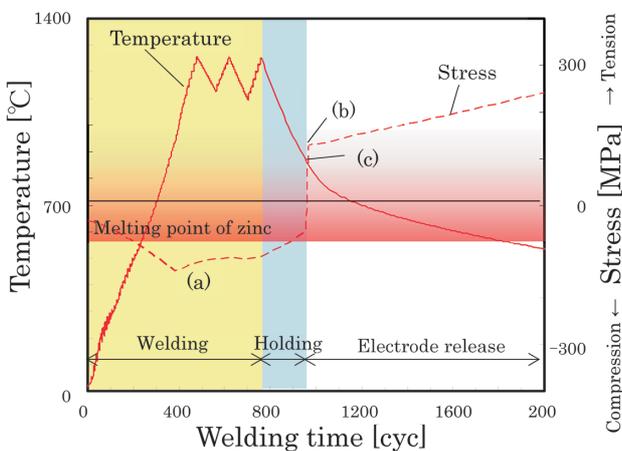


図-10 LME 発生メカニズムの概略図  
Fig. 10 Schematic diagram of LME mechanism

weld indentation or near the corona bond. Because it was observed that zinc had penetrated into the interior (Fig. 9), these cracks were inferred to be liquid metal embrittlement (LME) cracks that originated in the molten zinc.

It is known that LME cracks generally occur in high-strength, high-alloy steels. The causes are presumed to include the application of tensile stress and a welding environment in which zinc metal plating melts under the application of high thermal energy. Because of these factors, molten zinc penetrates into the grain boundaries of the steel, which presumably leads to the occurrence of cracks.<sup>4)</sup> LME cracks that occur around weld indentations (referred to here as outer cracks) are caused by excessive heat input, so it is known that they can be effectively avoided by optimizing the welding conditions based on the results of optimal welding current tests. Studies done in recent years on cracks occurring near the corona bond between steel sheets (referred to here as inner cracks) have shown that they are caused by tensile stress that occurs upon release of the electrode after terminating the welding current. It has been reported that lengthening the pressure hold time is effective for improving this issue.<sup>5)</sup> The same perspective was applied to simulate such cracking in the new GA steel sheet in order to elucidate and verify the mechanism involved.

First, in order to identify the causes of inner cracks, changes in temperature and stress near the corona bond during spot welding were made clear by simulation (Fig. 10). The results revealed that compressive stress acted near the corona bond during the application of welding current (Fig. 10 (a)). It then changed to tensile stress in the pressure hold process after the termination of welding current (Fig. 10 (b)). This stress was caused by the solidification and shrinkage of the molten metal. Presumably, it was caused by a sharp rise in temperature due to release from the constraint imposed by the welding electrode. In addition, right after the completion of welding, the temperature of the corona bond was higher than the zinc melting point (Fig. 10 (c)), suggesting that the zinc plating components were in a molten state. Based on that result, it was inferred that the inner cracking of

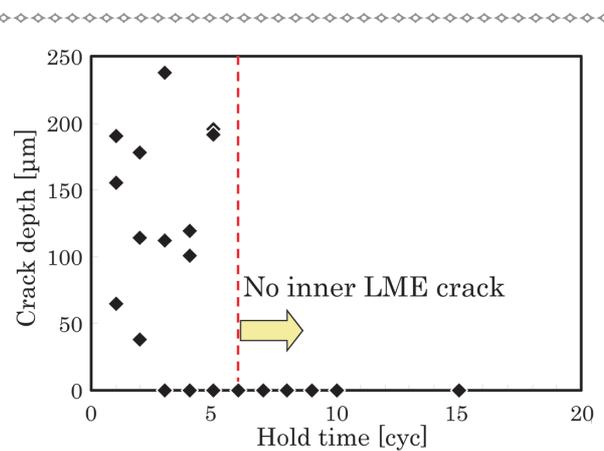


図-11 スポット溶接の保持時間がLME 亀裂深さに及ぼす影響  
Fig. 11 Effect of hold time on LME crack depth

するのに十分な時間を確保すれば内割れの発生が抑制され、ホールド時間が内割れに効果的であることが確認できた。

#### 4. 衝突特性

開発材の衝突特性を評価すべく、軸圧縮圧潰試験による動的性能評価を行った結果を図12、図13に示す。この評価は開発材がDP 590MPa級ハイテン材からの置き換えを前提としていることから、DP 590MPa級ハイテン材の板厚を1.4mm、開発材は1.2mmとし、1ゲージダウンしたものをを用いて性能比較を行った。その結果、高い反力とDP 590MPa級ハイテン材に対して約10%高いエネルギー吸収量が得られた。これは従来DP鋼に対し開発材は引張強度と全伸びの積が増加していることや、高いn値であることから、ひずみ分散性が良くなり材料の曲げ性が向上されたことが理由であると考えられる。

#### 5. 今後の展望

新たなハイテン材（冷延材およびGA材）の開発と、車体への適用技術の開発により、困難とされた複雑な車体骨格部材へ980MPa級超ハイテン材を適用可能とした。また、本開発によりINFINITI QX50の超ハイテン材（780MPa超級）比率は27%となり、23kgの車両軽量化に貢献した（図14）。今後、DP 590MPa級ハイテン材採用部品を積極的に

the new GA material was caused by the presence of molten zinc in a tensile stress field. This assumed that cracking occurred at the end of the welding process.

Therefore, in order to suppress inner cracking, molten zinc should not remain near the weld at the time stress is released. A study was undertaken to optimize the pressure hold time so as to obtain a sufficient cooling period during the welding process. The results shown in Fig. 11 show that, even for sheet combinations exhibiting inner cracking when the hold time was too short, inner cracks were suppressed if sufficient time was allowed for the zinc to solidify. These results confirmed that the hold time is effective in suppressing inner cracking.

#### 4. Impact Properties

The new 980 MPa AHSS was subjected to a drop-weight impact test in the axial compression collapse mode to evaluate its dynamic performance. The results are presented in Figs. 12 and 13 in comparison with the two conventional materials. Because it was assumed that the new AHSS would replace DP 590 MPa AHSS, this evaluation compared the performance of a 1.4-mm-thick test piece made of the existing steel and a new AHSS test piece downgauged one rank in thickness to 1.2 mm. The results show that the new AHSS displayed high reaction force and absorbed approximately 10% more impact energy than DP 590 MPa AHSS. That result can presumably be attributed to the better strain dispersion of the new AHSS owing to the fact that its product of tensile strength and total elongation was greater than that of existing DP 590 MPa AHSS and that its n-value was also higher.

#### 5. Future Prospect

The development of the new AHSS (cold-rolled sheet and GA sheet) and associated technologies for applying it to the vehicle body has now made it possible to apply 980 MPa AHSS to body structural parts with complex shapes for which such application was previously difficult. This development raised the usage rate of AHSS (780 MPa grade or higher) on the INFINITI QX50 model to 27%, thus contributing to a weight reduction of 23 kg (Fig. 14). It is planned to actively promote material substitution of the new AHSS for parts currently made

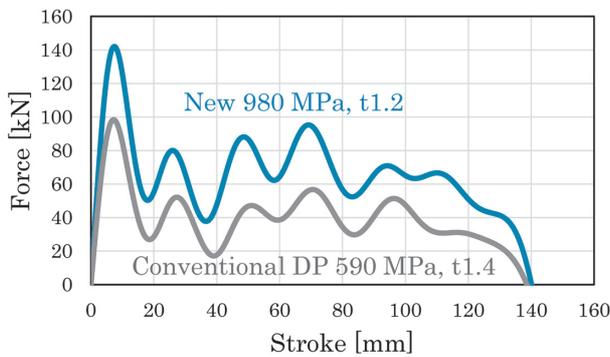


図-12 開発材の衝撃試験結果 1

Fig. 12 SHF 980 MPa impact test results (1)

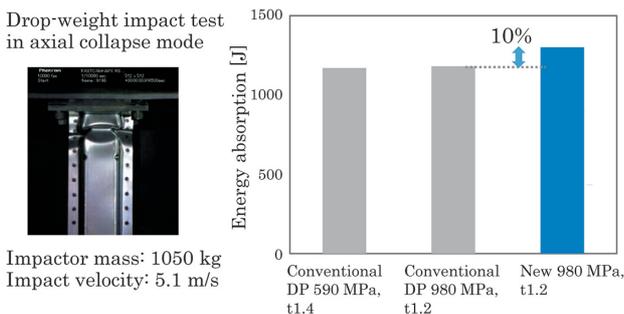


図-13 開発材の衝撃試験結果 2

Fig. 13 SHF 980 MPa impact test results (2)



図-14 INFINITI QX50の開発材適用部品  
Fig. 14 INFINITI QX50 parts made of AHSS

開発材へ材料置換し、超ハイテン材の適用比率を高めることで、車両の更なる軽量化を図っていく予定である。

## 6. 謝 辞

最後に、本開発に多大なご苦勞とご尽力頂いた日本製鉄株式会社、ユニプレス株式会社、東プレ株式会社および関係者の皆様に感謝の意を表します。

## 7. 参 考 文 献

- 1) 石内健太郎ほか：1.2GPa級高成形性超ハイテン材の適用開発、自動車技術会 学術講演会前刷集、No. 76-13、pp. 1-3 (2013).
- 2) 粕谷康二ほか：TRIP型ベイニティックフェライト鋼板の機械的性質に及ぼす合金元素及び焼鈍条件の影響、神戸製鋼技報、Vol. 57、No. 2、pp. 27-30 (2007).
- 3) 古迫誠司ほか：自動車ボディの接合技術における最近の課題とその対策技術－前編、新日鉄技報、No. 393、pp. 69-75 (2012).
- 4) 武田鐵治郎：亜鉛めっき割れ評価法、溶接学会誌、Vol. 71、No. 4、pp. 234-240 (2002).
- 5) 谷口公一ほか：超ハイテンの抵抗スポット溶接継手におけるLME割れ抑止技術の開発（第3報）、平成29年度溶接学会春季全国大会講演概要集、pp. 20-21 (2017).
- 6) 工藤大輔ほか：新型インフィニティQX50車体衝突安全および高成形性980MPa級超ハイテン適用、自動車技術、Vol. 72、No. 12、pp. 67-70 (2018).

of DP 590 MPa AHSS and raise the usage rate of this new AHSS so as to contribute to further vehicle body weight reductions in the coming years.

## 6. Acknowledgements

Finally, the authors would like to thank Nippon Steel Corporation, Unipress Corporation, Topre Corporation and everyone else concerned for their tremendous efforts and cooperation with this development project.

## 7. References

- 1) K. Ishiuchi et al., Application development of the high formability 1.2GPa ultra high strength steel, Proc. of JSAE, No. 76-13, pp. 1-3 (2013).
- 2) K. Kasuya et al., Effect of Alloying Elements and Annealing Conditions on Tensile Properties of TRIP-Aided Steel Sheet with Bainitic Ferrite Matrix, Kobe Steel Engineering Reports, Vol. 57, No. 2, pp. 27-30 (2007).
- 3) S. Furusako et al., Current Problems and the Answer Techniques in Welding Technique of Auto Bodies—First Part, Shinnittetsu Giho, No. 393, pp. 69-75 (2012).
- 4) T. Takeda, Evaluation Method of Zinc Induced Cracking, Journal of the Japan Welding Society, Vol. 71, No. 4, pp. 234-240 (2002).
- 5) K. Taniguchi et al., Development of resistance spot welding technology to suppress LME crack in ultra high strength steel sheets (3rd report), Proc. of Spring National Meeting of Japan Welding Society, pp. 20-21 (2017).
- 6) D. Kudo et al, New INFINITI QX50 Safety Body Structure and the Super High Formability 980MPa UHSS Application, Journal of JASE, Vol. 72, No. 12, pp. 67-70 (2018).

## ■著者 / Author(s) ■



平出 卓也  
Takuya Hirade



林 孝雄  
Takao Hayashi



福原 恵美  
Emi Fukuhara



林 慎吾  
Shingo Hayashi



工藤 大輔  
Daisuke Kudo



鈴木 洋平  
Youhei Suzuki

# ダイナミック・パフォーマンスに貢献する軽量カーボンルーフ開発

Development of a Lightweight Carbon Fiber Roof that contributes to Dynamic Performance

鈴木 克彦\*  
Katsuhiko Suzuki

田中 真尚\*\*  
Masanao Tanaka

**抄 録** 近年、安全性や快適性の追求に伴い、CO<sub>2</sub>削減や燃費向上にも寄与する自動車の軽量化は一段と重要性を増している。これまでは最も質量構成割合の高い鉄を比重の小さいアルミニウムや樹脂材料などに置き換える材料置換を行ってきたが、単純な材料置換は限界に近づいてきている。近年の軽量化のトレンドは、材料の特性を考慮し、要求に合わせて使い分けるマルチマテリアル化が進行しつつある。本稿では、軽量かつ高剛性なCFRPと発泡樹脂から成るサンドイッチ材料を開発し、GT-R NISMO 2020モデルのルーフに採用した事例について述べる。

**Summary** Along with the pursuit of greater safety and comfort in recent years, vehicle weight reduction for contributing to reducing CO<sub>2</sub> emissions and improving fuel efficiency has become more important. Material substitution has so far been done to replace steel, which has the highest mass composition ratio, with aluminum or plastic having a low specific gravity. However, weight reduction by simple substitution is approaching its limit. In recent years, the trend in weight reduction has not been simple material replacement, but rather multi-materialization has been progressing to meet the requirements, taking into account the characteristics of the materials. This article describes a newly developed lightweight and high-stiffness CFRP/plastic foam sandwich material that was adopted for the roof of the 2020 GT-R NISMO.

**Key words :** Material, light weight, body, roof, carbon fiber reinforced plastic, foam, sandwich

## 1. はじめに

近年、安全性や快適性の追求に伴い、CO<sub>2</sub>削減や燃費向上にも寄与する自動車の軽量化は一段と重要性を増している。自動車の車体の材料として、一般的な冷延鋼板から高張力鋼板に置き換えることで、同じ強度であれば板厚を低減することができ、車体の軽量化に大きく貢献することが可能となる。近年はアルミニウム材料の適用も増加しており、フードやドアなどのクロージャ部品への適用が進んでいる。更に軽量かつ高強度・高剛性な材料として、炭素繊維強化樹脂（CFRP）が古くからレーシングカーに使用されている。CFRPは鋼板やアルミニウムと比較し、比強度・比剛性（単位質量あたりの強度・剛性）が高く、より軽量化が可能な材料である（図1）。

## 2. 開発の狙い

従来から車体の材料として使用されている鉄を、より比重の小さいアルミニウムや樹脂などに材料置換することで車両の軽量化を行ってきたが、単純な材料置換は限界に近づいてきている。近年の軽量化のトレンドは、単一の低

## 1. Introduction

The importance of reducing the vehicle weight so as to contribute to lowering carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions and improving fuel economy has increased further in recent years accompanying the pursuit of greater safety and comfort. Substituting high tensile strength steel sheet for general cold-rolled steel sheet as the material for the auto body makes it possible to reduce the sheet thickness, provided the strength is the same. This substitution can contribute significantly to reducing the vehicle body weight. The application of aluminum materials has also increased in recent years, with progress seen in application to closure panels such as the hood and doors. In addition, carbon fiber reinforced plastic (CFRP) has long been used on race cars as a lightweight material having high strength and high stiffness. Because CFRP has higher specific strength and higher specific stiffness (i.e., strength and stiffness per unit of mass) than steel sheet and aluminum, it is a material that offers the possibility for further weight reductions (Fig. 1).

## 2. Development Aim

Previously, the vehicle weight has been reduced through material substitution such as by substituting

\*材料技術部 / Materials Engineering Department \*\*Infiniti 製品開発部 / Infiniti Product Development Department

比重材料を使うのではなく、様々な特性を有する材料を組み合わせ、適材適所に要求に合わせて使い分けるマルチマテリアル車体構造を採用し始めている。また、車両の運動性能向上の観点から低重心化の要求がある。重心高の低減は“質量×重心からの距離”で決まるため、重心からの距離が最も遠いルーフの軽量化の寄与度が最も大きい。本稿では、比強度・比剛性が高いCFRPと低比重の樹脂発泡体を組み合わせたCFRPサンドイッチ材料を開発し、GT-R NISMO 2020年モデルのルーフに採用した事例について述べる。車両を低重心化することで、ロールモーメントの低減、操縦安定性の向上に貢献している。

### 3. CFRPサンドイッチ構造による軽量化

材料の組み合わせによって軽量化する手法に、低比重な材料を弾性率の高い材料で挟むサンドイッチ構造がある。曲げ入力を受ける構造体をサンドイッチ構造とすることで、曲げモーメントが生じたときに、断面における応力は部材の両表面で最大となるが、内部ではほとんど発生しない。この原理を応用し、両表面に弾性率の高い材料、内部は軽量な材料で両表面を支持することで、効率的に軽量化と高剛性化を両立する。

CFRPは弾性率の高い連続した炭素繊維をシート状に加工し、そのシートを積層して成形するため、中間に異なる材料を配置しやすく、サンドイッチ構造に適した材料である。低比重な材料としては、樹脂発泡体やハニカム材料が一般的である。樹脂発泡体を用いた場合のCFRPサンドイッチ構造について、鋼板、CFRP単板と等剛性（曲げ）時の質量を比較した（図2）。CFRPは鋼板と比較し低比重のため、材料置換による軽量化の効果が大きい。また、CFRPは単板に対して、サンドイッチ構造とすることで質量は小さくなり、更には樹脂発泡体の厚さを大きく、かつCFRP層の厚さを小さくすることで、剛性は変わらずに大幅に軽量化することができる。

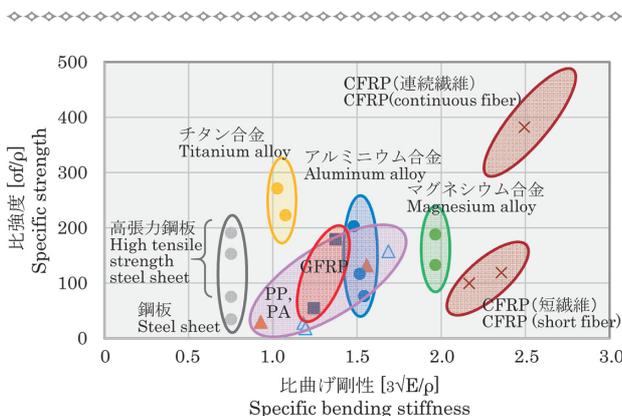


図-1 自動車材料の比強度と比曲げ剛性<sup>1)</sup>  
Fig. 1 Specific strength and specific stiffness of automotive materials<sup>1)</sup>

aluminum or resins having a lower specific gravity for steel materials traditionally applied to the vehicle body. However, weight reduction by simple material substitution is now approaching its limit. The trend in weight reduction in recent years has seen the start of multi-materialization of body structures rather than the use of a single material with a low specific gravity. With this approach, materials having various properties are combined and the right materials are used selectively in the right places to meet the requirements. Moreover, there are demands to lower a vehicle's center of gravity from the standpoint of improving vehicle dynamics. Lowering the height of a vehicle's center of gravity is determined by the “mass x the distance from the center of gravity.” Accordingly, reducing the weight of the roof, which is the farthest from the center of gravity, can make the largest contribution to vehicle weight reduction.

This article presents an example of a newly developed CFRP sandwich material that has been applied to the roof of the 2020 GT-R NISMO. This material combines CFRP having high specific strength and high specific stiffness with a plastic foam having a low specific gravity. Lowering the vehicle's center of gravity has contributed to reducing the roll moment and improving handling and stability.

### 3. Weight Reduction Achieved with CFRP Sandwich Structure

One weight reduction approach by combining materials is a sandwich structure whereby a material with a low specific gravity is inserted between a material having a high modulus of elasticity. Adopting a sandwich construction for a structure subjected to bending force inputs means that when a bending moment occurs, stress that develops in a cross section becomes maximum on both surfaces of the material, but virtually no stress develops in the interior. This principle is applied to achieve both an efficient weight reduction and higher stiffness because the lightweight material in the interior supports both surfaces made of the material having a high modulus of elasticity.

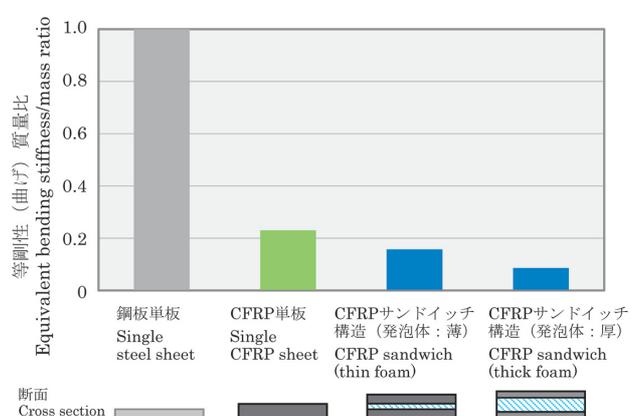


図-2 等剛性時のサンドイッチ構造の軽量化効果  
Fig. 2 Weight reduction effect of sandwich structures at equal stiffness



4. CFRPの成形

4.1 PCM工法

CFRPの成形は材料の性能と量産性の違いにより、数種の工法がある(図3)。従来のCFRPはプリプレグ(炭素繊維に未硬化の熱硬化性樹脂を含浸させたシート状の材料)を積層し、高温・高圧をかけて硬化させるオートクレーブ(AC)工法にて製造されてきたが、成形時間が数時間必要とされるなど、量産性が課題であった。近年、成形サイクルタイムの短縮のため、予め金型内に炭素繊維を配置し樹脂を注入成形するRTM(Resin Transfer Molding)成形が実用化されてきており、硬化速度の速い樹脂を使うことで、数分~数十分での成形が可能となってきた。ただし、短時間で樹脂を反応させながら型内に注入しなければならず、専用の特殊な設備が必要である。

一方、比較的平面形状の部品では、プレス成形を適用することができる。3~5分の短時間で硬化する熱硬化性エポキシ樹脂をプリプレグに用い、高温(130~150℃)、高圧(プレス圧3~10MPa)下でプレス成形するPCM(Prepreg Compression Molding)工法を三菱ケミカル株式会社が開発した。このPCM工法は、GT-R 2014年モデルのトランクリッドに採用されている。

PCM工法は成形時の圧力が高いため、良好な外観を得ることができる。また、PCM工法により成形されたCFRPは連続した炭素繊維を積層し、樹脂に対する繊維量が多いため強度が高く、車両の構造部品や外板部品として適している。

4.2 PCM工法のサンドイッチ構造への応用

従来のAC工法とPCM工法の工程の違いを図4に示す。CFRPの成形は賦形工程と成形工程に分けられる。AC工法は賦形工程においてプリプレグを型に手作業で貼り付けて形状を付けるため、非常に時間がかかる。一方、

CFRP is molded by processing continuous carbon fibers having a high modulus of elasticity into a sheet shape and then stacking the sheets, making it easy to position a different material in between the layers. This makes CFRP well suited to a sandwich structure. Plastic foams or honeycomb materials are generally used as the material having a low specific gravity. Figure 2 shows the weight reduction effect of CFRP sandwich structures when plastic foams are used, in comparison with steel sheet and a single CFRP sheet and assuming equal bending stiffness. Because CFRP has a lower specific gravity than steel sheet, a large weight reduction effect can be obtained by material substitution. In addition, adopting a CFRP sandwich structure reduces the mass compared with a single CFRP sheet. By further increasing the thickness of the plastic foam and also reducing the thickness of the CFRP layers, the weight can be markedly reduced without changing the stiffness.

4. CFRP Molding Methods

4.1 PCM method

There are several methods of molding CFRP depending on differences in material performance and productivity (Fig. 3). Previously, CFRP was manufactured by an autoclave (AC) method in which laminated prepreps were cured under the application of high pressure and high temperature. A prepreg refers to a sheet-like material consisting of carbon fibers pre-impregnated with an uncured thermosetting resin. However, productivity was an issue because the molding time took several hours. In recent years, practical application of resin transfer molding (RTM) has been achieved to shorten the molding cycle time. In this process, a fiber preform is placed in the mold

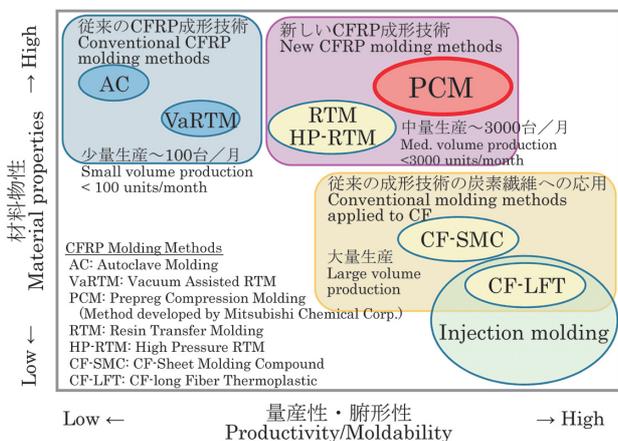


図-3 車両向け CFRP 成形技術<sup>2)</sup>  
Fig. 3 CFRP molding methods for vehicles<sup>2)</sup>

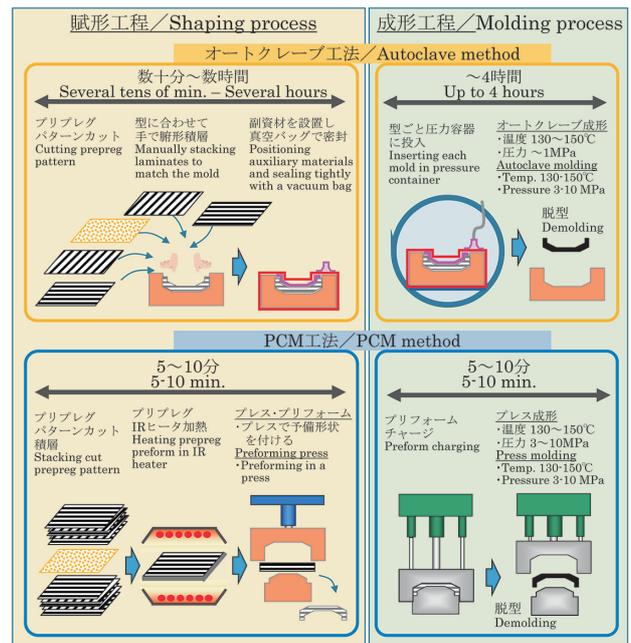


図-4 車両向け CFRP 成形技術<sup>2)</sup> の工法による比較  
Fig. 4 CFRP molding processes for vehicles<sup>2)</sup>

PCM工法は予め積層したプリプレグを赤外線（IR）ヒータで加熱して樹脂を軟化させて型に配置し、プレス機によりプリフォームを作製するため、賦形工程の時間は短い。CFRPサンドイッチ構造を成形する場合、AC工法では型への積層賦形中にプリプレグの間に樹脂発泡体を配置するのに対し、PCM工法では予めプリプレグの積層する時に樹脂発泡体を間に挟むことで、サンドイッチ構造のプリフォームを作製することができる。

更に、AC工法ではCFRPサンドイッチ構造をつくるために、接着フィルムをプリプレグと樹脂発泡体の間に配置して密着性を確保する必要があったが、PCM工法は接着フィルム無しでプリプレグと樹脂発泡体を密着させることができる。

成形工程を比較すると、AC工法は高温・高圧が可能な圧力容器に賦形された材料を型のまま投入し、数時間かけて成形するのに対し、PCMサンドイッチ工法は金型にプリフォームを設置し5～10分加熱プレスすることで、短時間に樹脂を硬化・成形することができる。

5. PCM工法のサンドイッチ構造用材料の選定

本PCM工法のサンドイッチ構造に用いるプリプレグと樹脂発泡体の特徴を表1に示す。

5.1 PCM工法用プリプレグ

PCM工法で使用するプリプレグは短時間で樹脂を硬化・成形するため、従来のAC用のプリプレグとは異なる硬化特性の樹脂を使用している。樹脂の硬化挙動を図5に示す。従来のプリプレグと比較し3分以内で急激に硬化することで、成形サイクルタイム5～7分での成形が可能である。

PCM工法はプリプレグに熱を加えてプレス成形するため、プリプレグの樹脂の温度と粘度の関係が重要となる。PCM工法用とAC工法用のプリプレグの粘度挙動を図6に

表-1 PCM工法に用いる材料の特徴  
Table 1 Characteristics of materials for PCM sandwich structure

材料 Material	特徴 Characteristics
プリプレグ Prepreg	<ul style="list-style-type: none"> <li>速硬化（～3分） Fast curing (&lt; 3 min.)</li> <li>加熱時の粘度低下が小さい Small decline in viscosity during heating</li> <li>Tgが高い；168℃ High Tg: 168℃</li> <li>適切な炭素繊維/樹脂比率 Suitable CF/resin ratio</li> </ul>
樹脂発泡体 Plastic foam	<ul style="list-style-type: none"> <li>独立気泡 Closed cells</li> <li>適切な発泡セルの大きさ/均一性 (樹脂の浸み込む量、樹脂との密着性) Suitable foam cell size/uniformity (amount of resin penetration; adhesion with resin)</li> <li>適切な強度（せん断） Suitable shear strength</li> </ul>

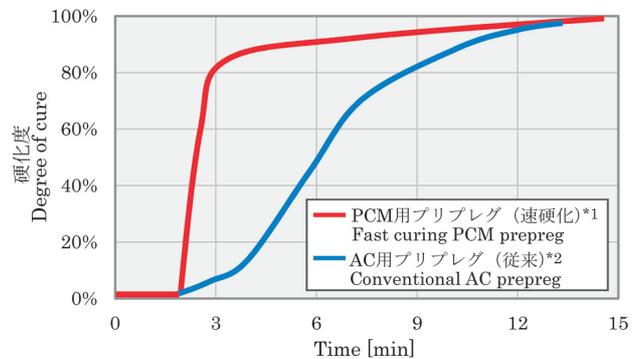
in advance and the resin is then injected and molded. Because fast curing resins are used, molding can be done in several minutes to several tens of minutes. However, special dedicated equipment is needed because the resin must be injected into the mold in a short period while it is reacting.

On the other hand, press molding can be applied for parts having a relatively flat shape. Mitsubishi Chemical Corporation developed a prepreg compression molding (PCM) method whereby a prepreg of thermosetting epoxy resin that cures in 3-5 minutes is molded in a press under high temperature (130-150°C) and high pressure (3-10 MPa). This PCM method was applied to make the trunk lid of the 2014 GT-R model.

An excellent appearance can be obtained with the PCM method because molding is done at high pressure. In addition, CFRP molded by the PCM method is well suited to structural parts and outer body parts of vehicles because it has high strength owing to the large quantity of laminated continuous CF relative to the resin.

4.2 Application of the PCM method to a sandwich structure

Figure 4 illustrates the process differences between the traditional AC method and the PCM method. CFRP molding is divided into the shaping process and the molding process. With the AC method, the shaping process is extremely time-consuming because the shape is formed by putting prepregs in the mold manually. In contrast, with the PCM method laminated prepregs are heated beforehand in an infrared heater to soften the resin before placing it in the mold. The shaping process is short because a preform is produced in advance using a press machine. To mold the CFRP sandwich structure with the AC method, plastic foam is placed between the prepregs during stacking and shaping in the mold. In contrast, with the PCM method, plastic foam is inserted in between the prepregs in advance while they are being stacked, thereby producing the preform of the sandwich structure.



\*1: #361樹脂プリプレグ Tg: 168℃ (三菱ケミカル社製)  
#361 resin prepreg Tg: 168℃ (made by Mitsubishi Chemical Corp.)  
\*2: #350樹脂プリプレグ Tg: 133℃ (三菱ケミカル社製)  
#350 resin prepreg Tg: 133℃ (made by Mitsubishi Chemical Corp.)

図-5 速硬化プリプレグの樹脂の硬化挙動<sup>2)</sup>  
Fig. 5 Curing behavior of fast curing prepreg<sup>2)</sup>

示す。PCM工法用プリプレグは、高温・硬化時に樹脂が流動しにくくなるよう最低粘度を上げる樹脂設計を行っている。樹脂の粘度低下を制御することで成形時の金型内での樹脂流動が抑えられ、成形品は良好な外観となる。また、プリプレグの樹脂は成形時に樹脂発泡体表面の発泡セル内にも流動し浸み込む。そのため樹脂含有量もPCM工法用に調整し、適切な炭素繊維／樹脂含有率のプリプレグを開発した。

5.2 樹脂発泡体

PCM工法用樹脂発泡体の選定にあたり、樹脂発泡体の圧縮特性と、発泡セルのサイズに着目した。PCM工法は高圧をかけてプレス成形するため、CFRP間に配置する樹脂発泡体には適切な圧縮特性が必要である。図7に樹脂発

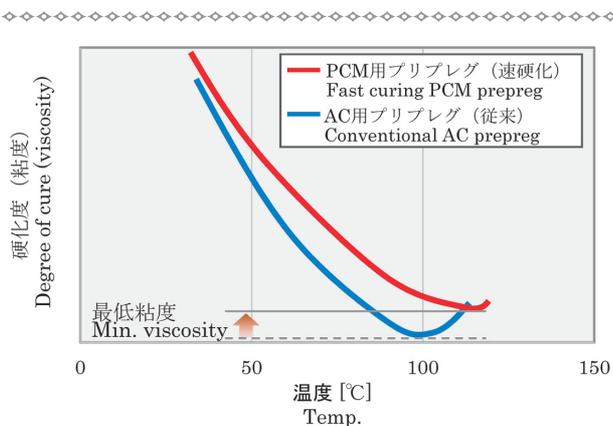


図-6 PCM工法用速硬化プリプレグの樹脂の粘度曲線<sup>2)</sup>  
Fig. 6 Viscosity curve of fast curing prepreg resin for PCM method<sup>2)</sup>

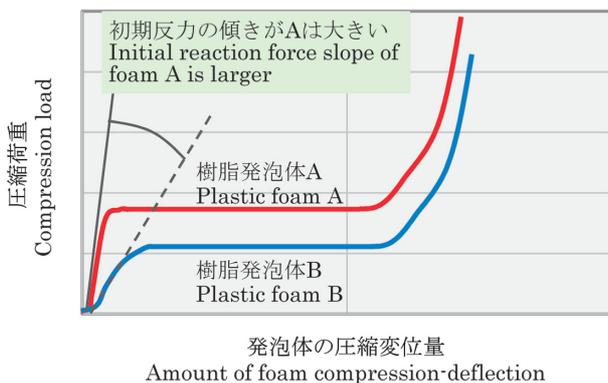


図-7 樹脂発泡体の圧縮特性  
Fig. 7 Compression characteristics of foams

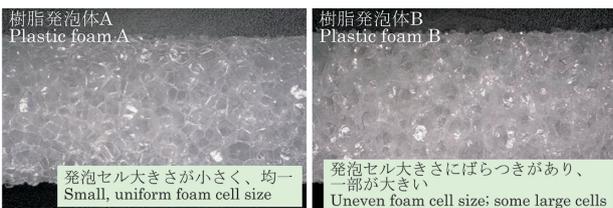


図-8 樹脂発泡体の断面  
Fig. 8 Cross-sectional photographs of foams

Moreover, in order to produce the CFRP sandwich structure with the AC method, it was necessary to place an adhesive film between the prepregs and the plastic foam to ensure adhesion. With the PCM method, adhesion between the prepregs and plastic foam can be secured without using an adhesive film.

A comparison of the molding processes indicates that the material shaped with the AC method in a pressure vessel allowing high temperature and pressure then requires several hours for molding after injection into the mold in that form. In contrast, with the PCM sandwich method the resin can be cured and molded in a short period of time by hot pressing for 5-10 minutes the preform that is already set in the mold.

5. Selection of Materials for Sandwich Structure Molded with the PCM Method

The characteristics of the prepreg and plastic foam used for the PCM sandwich structure are shown in Table 1.

5.1 Prepreg for PCM method

In order to cure and mold the resin of the prepreg used in the PCM method in a short period, the resin has a different curing characteristic than that of the prepreg used in the conventional AC process. The curing behavior of the resins is shown in Fig. 5. Compared with the conventional AC prepreg, the PCM prepreg resin cures rapidly within three minutes, making it possible to complete molding in a molding cycle time of 5-7 minutes.

The relationship between the temperature and viscosity of the prepreg resin is crucial in the PCM method because the prepreg is formed by heating and pressing it. The viscosity behavior of the prepregs for the PCM method and the AC method is shown in Fig. 6. For the PCM prepreg, the resin was designed with a higher minimum viscosity so that it would not tend to flow out during high-temperature curing. Controlling the decline in resin viscosity suppresses resin flow in the mold during molding, making it possible to obtain a molded product that has an excellent appearance. The prepreg resin also flows into the cells on the surface of the plastic foam during molding. Therefore, the resin content has been adjusted to match the PCM method, and a prepreg was developed that has an optimum CF/resin content ratio.

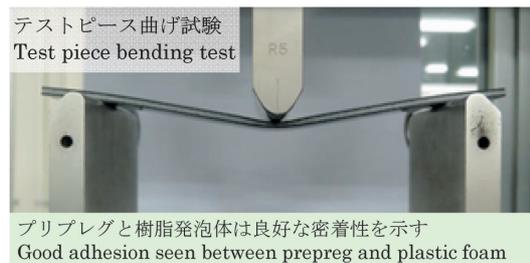


図-9 CFRP サンドイッチ材料の曲げ試験による変形  
Fig. 9 Deformation of CFRP sandwich material in a bending test

泡体の圧縮時の荷重-変位曲線を示す。樹脂発泡体Aは樹脂発泡体Bと比較し、初期の傾きが大きく、曲線の平行部である発泡体潰れ領域の荷重も高い。これらを用いてCFRPサンドイッチ構造を成形した結果、樹脂発泡体Aは外観が良好であったのに対し、樹脂発泡体Bは表面に波打ち、うねりが認められた。これは樹脂発泡体Aが、初期圧縮反力が適度に高いことでPCM成形中の型内圧力を維持し、プリプレグが金型面に高圧で押し付けられたため、CFRPサンドイッチ成形品に良好な外観が得られたと考える。

次に2種類の樹脂発泡体の断面を図8に示す。樹脂発泡体Aは発泡セルのサイズが小さく均一であるのに対し、樹脂発泡体Bは発泡セルのサイズにばらつきがあり、一部のサイズが大きい。

樹脂発泡体AのCFRPの表面には空孔などは無いが、樹脂発泡体BはCFRP表面の樹脂が不均一であり、一部に空孔が認められた。これは発泡セルの大きい部位にプリプレグの樹脂が流動することで、CFRP表面の樹脂量が十分足りずに空孔が発生したと考える。

また、PCM成形において外観に影響を与える要因として、プリプレグ板厚と樹脂発泡体板厚のバランス、板厚の均一性、板厚に合わせた適切なプレス圧縮量がある。それぞれの板厚と圧縮量を最適化することで、良好な外観

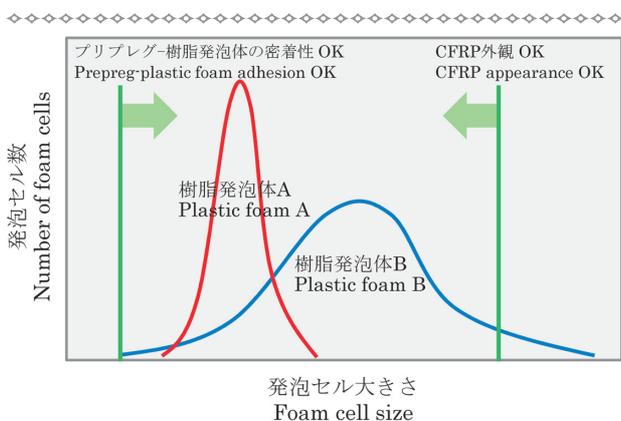


図-10 PCM工法のサンドイッチ構造に適した樹脂発泡体  
Fig. 10 Foam suitable for PCM sandwich material

## 5.2 Plastic foam

In selecting the plastic foam for the PCM method, attention was paid to the material's compression characteristics and the foam cell size. The plastic foam placed between the CFRP layers must have suitable compression characteristics because the sandwich structure is molded in a press under high pressure. Figure 7 shows load-displacement curves during compression for two types of foam. The curve of plastic foam A has a larger slope initially than plastic foam B, and the load in the parallel segment of the curves in the region where the foam is crushed is also higher. When these two materials were used to mold sandwich structures, it was observed that plastic foam A produced an excellent appearance, whereas the surface of plastic foam B was wavy and undulating. Presumably, plastic foam A had a suitably high level of compression reaction force initially, which sustained the pressure in the mold during PCM molding. The prepreg resin was pushed against the entire mold surfaces under high pressure, making it possible to obtain a molded CFRP sandwich structure with an excellent appearance.

Figure 8 shows cross-sectional photographs of the two types of plastic foam. It is seen that the cell size of plastic foam A is small and uniform, whereas the cell size of plastic foam B is uneven and some cells are large.

The CFRP surface of plastic foam A does not have any pinholes or other defects, but the CFRP resin surface of plastic foam B lacks uniformity and some pinholes are observed. Presumably, the prepreg resin flowed into the locations of large foam cells, giving rise to the formation of pinholes because the amount of resin on the CFRP surface was insufficient.

Factors influencing appearance during PCM molding include the balance between the plate thicknesses of the prepreg and plastic foam, plate thickness uniformity, and a suitable level of press compression matching the plate thickness. By optimizing the respective plate thickness and level of compression, a CFRP sandwich structure was molded with an excellent appearance.

Bending strength tests were conducted on test pieces made of the CFRP sandwich material to ensure that



図-11 GT-R NISMO 2020年モデル  
Fig. 11 2020 GT-R NISMO



図-12 CFRPサンドイッチ材料製ルーフ  
Fig. 12 CFRP sandwich material roof

をもつCFRPサンドイッチ成形品を得ることができた。

要求性能を満足させるため、CFRPサンドイッチ材料のテストピース曲げ試験強度を実施した。発泡セルのサイズが小さい樹脂発泡体を用いたCFRPサンドイッチ材料は、プリプレグと発泡体の密着性が低下した。また樹脂発泡体板厚が厚すぎると発泡体破壊となるため、適切な発泡体強度も必要である。

### 5.3 材料選定の結果

PCM工法に適した速硬化プリプレグ、適切な発泡セルのサイズと分布をもつ樹脂発泡体を選定し、CFRPサンドイッチ構造をPCM工法で成形することで、CFRP外観が良好となり、かつプリプレグと発泡体の密着性も確保でき、品質と性能を満足するCFRPサンドイッチ成形品を得ることができた(図9、図10)。

## 6. ま と め

軽量、かつ高剛性であるCFRPの間に低比重の樹脂発泡体を挟み込むサンドイッチ材料をGT-R NISMO 2020年モデルのルーフに採用した(図11、図12)。CFRPサンドイッチ構造を成形する工法として、PCM工法(三菱ケミカル株式会社開発)を用いた。PCM工法用に適切なプリプレグと樹脂発泡体を選定し、ルーフに要求される品質と性能を満足することができた。GT-R カーボンルーフは4kgの車両の軽量化に貢献し<sup>3)</sup>、かつ車両の低重心化、ロールモーメントの低減により、操縦安定性の向上にも貢献している。

## 7. 謝 辞

本CFRPサンドイッチ材料製ルーフは三菱ケミカル株式会社、株式会社チャレンジとの共同開発により実用化することが可能となった。本開発に際し、技術の革新に挑戦して頂いた両社、およびその他社内内外の関係各者に深く感謝致します。

## 8. 参 考 文 献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会: 自動車軽量化炭素繊維強化複合材料の研究開発(中間評価)、<https://www.nedo.go.jp/content/100096356.pdf>(参照日: 2019年7月15日)。
- 2) 木場久雄: 自動車向けPCM、SMCの技術、先端材料技術協会講演資料(2017)。
- 3) 日産自動車ニュースルーム: Nissan GT-R NISMO 2020年モデル グローバル試乗会(2019)。

the required performance was satisfied. It was found that adhesion between the prepreg and the plastic foam declined with the CFRP sandwich material having a small foam cell size. In addition, the plastic foam ruptured when the plate thickness of the plastic foam was too thick. These results indicated that the plastic foam also requires a suitable level of strength.

### 5.3 Material selection results

A fast curing prepreg resin and a plastic foam having an appropriate cell size and distribution were selected as suitable materials for the PCM method. A CFRP sandwich structure was then molded with the PCM method. The molded CFRP sandwich structure had an excellent appearance, secured good adhesion between the prepreg and the plastic foam, and satisfied the requirements for quality and performance (Figs. 9 and 10).

## 6. Conclusion

A sandwich material was adopted for the roof of the 2020 GT-R NISMO model. This material sandwiches a plastic foam having a low specific gravity between layers of lightweight CFRP with high stiffness (Figs. 11 and 12). The PCM method developed by Mitsubishi Chemical Corporation was used to mold the sandwich structure. A prepreg and plastic foam suitable for the PCM method were selected, and the quality and performance required of the roof were satisfied. The CF roof of the GR-T contributes to reducing the vehicle weight by 4 kg<sup>3)</sup> and it also helps improve handling and stability by lowering the vehicle's center of gravity and reducing the roll moment.

## 7. Acknowledgments

The practical application of this CFRP sandwich material roof was achieved through joint development activities with Mitsubishi Chemical Corporation and Challenge Co., Ltd. The authors would like to thank both companies for undertaking the challenge of this technological innovation and also everyone else involved inside and outside Nissan for their cooperation with this material development.

## 8. References

- 1) New Energy and Industrial Technology Development Organization, Lightweight Automotive Structural Elements made of CFRP Composites (Interim report), <https://www.nedo.go.jp/content/100096356.pdf> (as of July 15, 2019).
- 2) H. Koba, Prepreg compression molding (PCM) technology and sheet-molding compound (SMC) technology for automobiles, Presentation at SAMPE Japan (2017).
- 3) Nissan Global Newsroom, 2020 Nissan GT-R NISMO put to the test (2019).

■ 著者 / Author(s) ■



鈴木克彦  
Katsuhiko Suzuki



田中真尚  
Masanao Tanaka



ルまで増大させ、更にそれらを組み合わせることでパック内に288セルを収納し、62kWhのエネルギー搭載に成功している。今回開発したアルミニウム (Al) と銅 (Cu) から成るCu/Alクラッド材は、この新モジュールにおけるバッテリー端子部 (タブ) の接続構造小型化に必須の技術であり、40kWhバッテリーと比較してパッケージのエネルギー密度を11%向上させ、エネルギーを55%多く積載させたバッテリー開発に貢献したアイテムの一つである。

2. バッテリーモジュール小型化における課題

図2に40kWhバッテリーと62kWhバッテリーのバッテリーモジュール及びバスバモジュールを示す。40kWhバッテリーのバスバモジュールは図2左下の拡大図、赤破線部で示されているように、バッテリータブをバスバに超音波接合で接続するため、超音波接合工具を使用するスペースが必要となる。そこで新規開発の62kWhバッテリーでは、図2右下にあるように、バッテリータブとバスバをレーザー溶接で接続することで、前記超音波接合工具用スペースを必要としないコンパクト構造を設計した。ただしこの構造にするには、バッテリータブの部材である正極：Al、負極：Cuを平面状に接続した一体型のバスバ部材、すなわちクラッド材が必要となる。

本開発におけるCu/Alクラッド材の必要要件及び解決方策技術について説明する。必要要件は、(1) Cu-Al平面度が小さいこと、(2) 接合部が短いこと、(3) 界面の強度が高いこと、(4) 抵抗が低いことである。図3に今回の開発技術3であるFingers Dovetail Clad® Joint (以降、Dovetailクラッド) の構造、及びCu/Alクラッド材とバッテリータブ間のレーザー溶接の状態を、現行技術であるIn-layクラッドと比較して示す。現行のIn-layクラッドは圧接のため平面度は小さいが、板厚方向 (図の横方向) に圧力がかからない工法であり、(3) の要件である十分な界面強度を担保するために、板長方向 (図の縦方向) の接合部分を8 mm程度に長くする必要があり、このため図のようにCu とAlのラップ部分が長くなることによって (2) の要件が満た

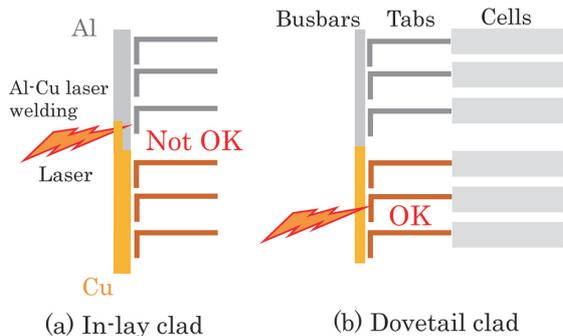


図-3 Cu/Alクラッド材の接合構造  
Fig. 3 Cu/Al clad material structures

The Nissan LEAF is mounted with a 40 kWh battery and the Nissan LEAF e+ with a new 62 kWh battery. Figure 1 shows the pack assembly and module of both batteries. As indicated in the figure, the 62 kWh battery can increase the number of cells per module to as many as 27, up from 8 cells/module for the 40 kWh battery. When all the modules are then combined, a total of 288 cells can be housed in the pack, which succeeds in providing 62 kWh of onboard energy.

The newly developed copper (Cu)/aluminum (Al) clad material is an indispensable technology for downsizing the connection structure of the battery tabs in the new module. Compared with the 40 kWh battery, the energy density of the 60 kWh battery pack has been improved by 11%. This clad material is one measure that contributed to the development of the new battery, which delivers 55% more onboard energy.

2. Issues in Downsizing Battery Modules

Figure 2 shows the configurations of the battery and busbar modules of the 40 kWh and 62 kWh batteries. An enlarged view of the busbar module of the 40 kWh battery is shown inside the red dashed line at the lower left. As indicated in the figure, because the battery tabs are connected to the busbars by ultrasonic welding, there must be sufficient space for using an ultrasonic welding gun. In contrast, for the newly developed 62 kWh battery, the space needed for an ultrasonic welding gun was eliminated by designing a compact tab-busbar joint structure formed by laser welding as shown at the lower right. However, in order to adopt this structure, an integrated busbar clad material, consisting of the Al positive electrode and the Cu negative electrode in the same plane, is needed for connecting the battery tab materials.

The requirements for developing this Cu/Al clad material and the technical measures adopted as solutions are described here. The necessary requirements are: (1) small Cu-Al flatness error, (2) a short joint length, (3) high interfacial strength, and (4) low interfacial resistance. Figure 3 shows the structure of the three-finger dovetail clad® joint (referred to here as dovetail clad) developed to meet these requirements and the laser welded state between the Cu/Al clad material and the battery tabs, in comparison with the existing inlay clad technology. Because the existing inlay clad is pressure welded, it has small flatness error, but with this method pressure is not applied in the depth direction (horizontal direction in the figure). In order to satisfy the third requirement for sufficient interfacial strength, the joint would have to be increased in the lengthwise direction (vertical direction in the figure) to around 8 mm. As shown in the figure, that would lengthen the Cu-Al lapped portion, making it impossible to satisfy the second requirement above. It was envisioned that a solution would involve a very difficult problem of welding dissimilar metals. Therefore, it was decided to adopt the dovetail clad developed by Materion



せなくなり、難易度の高い異種金属溶接となってしまうという問題が想定された。今回適用したマテリオン社のDovetailクラッドは接合部があり継ぎ構造であるため高い界面強度を持ちつつクラッド部が4 mmと短く、有効と考えた。

### 3. Dovetailクラッド材の技術内容と課題

図4にCu/Alクラッド材のDovetail構造を示す。右の顕微鏡写真に示されているCu-Al界面は、製造時の圧接による圧力と母材強度の調質によるアニール時の熱のみが外部エネルギーとして掛かるにすぎないため、Cu-Al接合で懸念される脆（ぜい）性的な金属間化合物は生成しているものの、化合物層は均一かつサブミクロンオーダーと薄い特徴を有す。以降の章では、懸念される接続界面についての電氣的・機械的性能、及びEV用のバッテリーとして市場で掛かる負荷のうち、最も憂慮されるCu/Al接続部のガルバニック腐食に対する耐食性評価結果について述べる。

### 4. 界面性能

図5に示したCu/Alクラッド材界面の電氣的・機械的性能へ影響を与える因子としては、Al-Cuの接合長さであるDovetail長さCu-Alの界面に生成する金属間化合物（Inter Metallic Compounds: 以降、IMC）厚みがある。Dovetail長さは板材の端面の切削加工精度に起因する製造ばらつき因子であり、IMC厚みも母材調質時のアニール、レーザ溶接時の入熱量ばらつきが懸念されるため、それぞれの因子が変化したときの電氣的・機械的特性を調査した。

図6に界面抵抗値とIMC厚みの関係を示す。IMCは金属よりも抵抗が高いため、厚みが増大すると界面で発生する抵抗も増大すると考えられるが、バッテリーの生涯入熱量

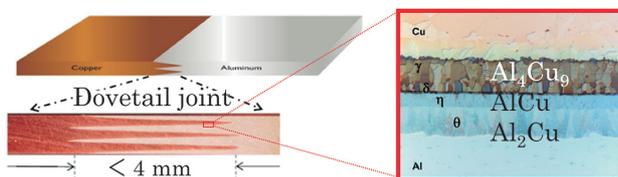


図-4 Cu/Alクラッド材のDovetail構造  
Fig. 4 Dovetail structure of Cu/Al clad material

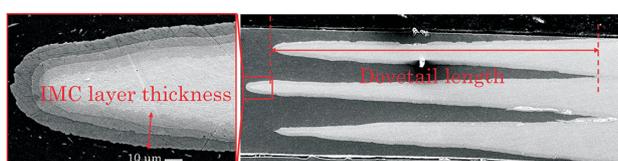


図-5 Cu/Alクラッド界面のSEM（走査型電子顕微鏡）像  
Fig. 5 SEM image of Cu/Al clad interface

Corporation because it was reasoned that the dovetail structure would be effective in achieving a short clad joint of 4 mm while still providing high interfacial strength.

### 3. Technical Details and Issues of Dovetail Clad Material

Figure 4 shows the dovetail structure of the Cu/Al clad material. The Cu-Al interface is shown in the photomicrograph on the right. The only external energies applied to the interface are the pressure used in pressure welding during manufacture and the heat produced in the annealing process for heat treatment of the base metal strength. Therefore, although brittle intermetallic compounds form, which are a concern for Cu-Al joints, the compounds are characterized as being homogeneous and submicron thin. The subsequent sections will describe the electrical and mechanical performance of the joint interface, which was a source of concern, and present the results of an evaluation of the resistance of the Cu/Al joint against galvanic corrosion that is the most worrisome aspect of the loads imposed on the battery in real-world driving.

### 4. Interfacial Performance

Figure 5 is an SEM image of the Cu/Al clad interface. Factors that influence the electrical and mechanical performance of the Cu/Al interface include the dovetail length representing the Al-Cu joint length and the thickness of the intermetallic compound (IMC) layer that forms on the interface. The dovetail length is a manufacturing variability factor originating in the cutting accuracy of the plate material end face. The IMC layer thickness is also a concern regarding heat input variation in the annealing heat treatment of the base metal and in the laser welding process. An investigation was made of the electrical and mechanical properties when these factors were varied.

Figure 6 shows interfacial resistance as a function of the IMC layer thickness. Because IMC has higher resistance than metals, it is assumed that resistance occurring at the interface increases with increasing IMC layer thickness. Even at an IMC layer thickness level of 20 μm, which was formed by applying a heat input

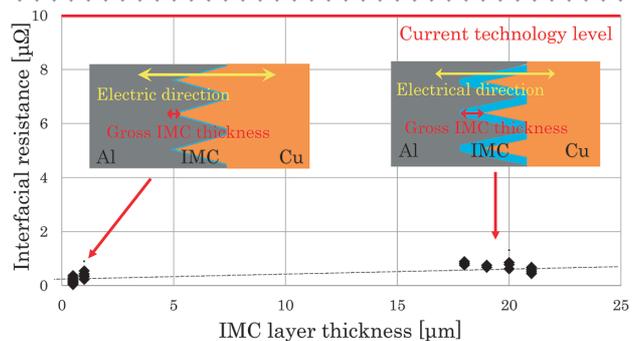


図-6 界面抵抗値とIMC厚みの関係  
Fig. 6 Interfacial resistance as a function of IMC layer thickness

をはるかに超える入熱量で生成するIMC厚み $20\mu\text{m}$ レベルでも、抵抗値の上昇は製造初期のサブミクロンオーダーの厚みの抵抗値に比べて微増であり、抵抗値も $1\mu\Omega/\text{箇所}$ と低く、バッテリーに用いられるCu/Al接合の現行技術水準である $10\mu\Omega$ 以下を十分満足することがわかった。

また懸念していたレーザー溶接時の熱影響によっても、IMC厚みは増えないことが確認された。車載環境ではバッテリーの最高温度はIMC厚みに影響しない温度であるため、製造から車載時でIMC厚みの影響によって抵抗が増大する場面がないと考える。

次に界面抵抗値とDovetail長さの関係を調査した(図7)。Dovetailが長くなってもDovetailの数は変わらず、IMCの角度が水平に近づく。電子は板の長手方向に進むように使われるため、電子が実際に通過するIMC長さが長くなり、界面抵抗も増大すると考えられる。調査結果としては、Dovetail長さが数mmのオーダーでは抵抗値は微増するが、製造上のばらつきを考慮しても現行の接続技術における界面抵抗値以下であることがわかった。

機械的強度についても同様に、界面抵抗値とIMC厚み、Dovetail長さとの関係を調査した(図8)。IMCは通常脆性的なため、IMC厚みが増大することで界面強度が弱くなると考えられるが、バッテリーの生涯入熱量をはるかに超

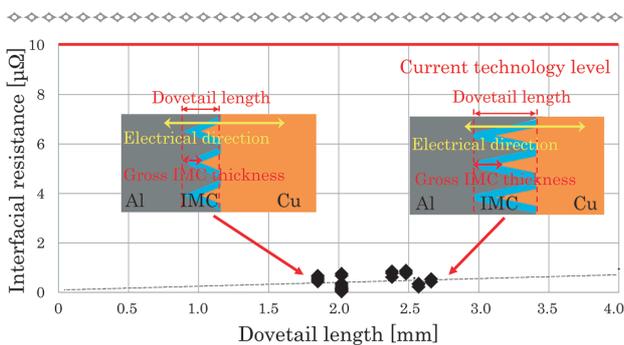


図-7 界面抵抗値とDovetail長さの関係  
Fig. 7 Interfacial resistance as a function of dovetail length

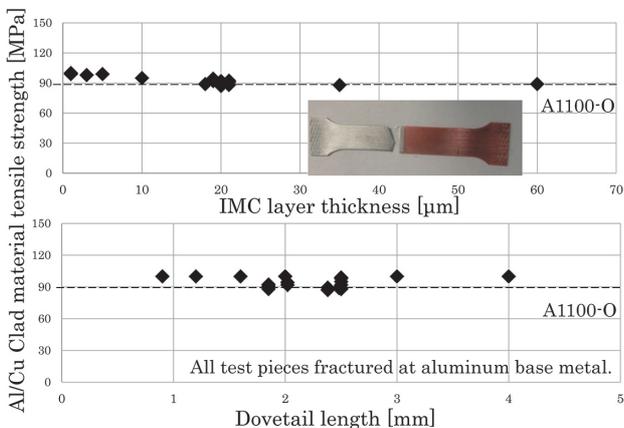


図-8 界面抵抗値とIMC厚み及びDovetail長さの関係  
Fig. 8 Interfacial resistance as a function of IMC layer thickness and dovetail length

vastly exceeding the lifetime heat input of a battery, the resistance value increased only slightly over that for the submicron IMC layer thickness in the initial manufacturing stage. The resistance values were also low at  $1\mu\Omega/\text{location}$ , which amply satisfies the level of less than  $10\mu\Omega$  that is obtained with the existing Cu/Al joint technology.

It was also confirmed that the effect of heat during laser welding, which was another source of concern, did not cause the IMC layer thickness to increase either. Because the maximum battery temperature in the onboard environment is at a level that does not affect the IMC layer thickness, it is assumed that there are no situations from manufacture to in-vehicle use where interfacial resistance would increase due to the effect of the IMC layer thickness.

The relationship between interfacial resistance and the dovetail length was then investigated and the results are shown in Fig. 7. Even if the dovetail length increases, the number of tails does not change and the angle of the IMC layer approaches the horizontal. Because electrons flow in the lengthwise direction of the plate during use, it is assumed that interfacial resistance increases with a longer IMC layer through which the electrons actually pass. The investigation results showed that although the interfacial resistance value increased slightly when the dovetail length was on the order of several mm, it was below the value of the interfacial resistance for the existing joint technology, even taking into account manufacturing variability.

Similarly, an investigation was made of mechanical strength with regard to the relationship between interfacial resistance and ICM layer thickness and dovetail length (Fig. 8). Because the IMC layer is usually brittle, it was thought that interfacial strength might decline with a thicker IMC layer. For a  $60\mu\text{m}$  thick IMC layer formed by applying a heat input vastly exceeding the lifetime heat input of a battery, it was observed that all the test pieces fractured from the Al base metal. Similarly, for a dovetail length of 1-4 mm, it was also found that fracture occurred from the Al base metal. These results indicated that the interfacial performance of the dovetail clad material in terms of both electrical and mechanical properties is as good as or better than that of the joining method used for

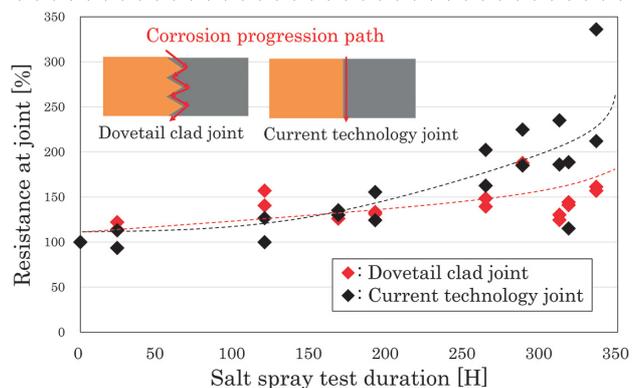


図-9 Cu/Al 接合部の耐食性能  
Fig. 9 Corrosion durability at Cu/Al joint

える入熱量で生成するIMC厚み $60\ \mu\text{m}$ の状態でも、Al母材から破断することが確認された。同様にDovetail長さについても1~4mmの間で、Al側からの母材破断が確認された。このように電氣的・機械的にもDovetailクラッド材の界面部分の性能は、40kWhバッテリーに用いられている接続法同等以上の性能を持ち、かつ製造ロバスト性もあることが認められた。

## 5. 耐 食 性

本材料はアルミニウムと銅が接触しているため、ガルバニック腐食を発生しやすく、界面性能への影響が懸念される。ガルバニック腐食の耐食性を相対的に把握するため、40kWhバッテリーのCu/Al超音波接続技術を比較対象として、塩水噴霧試験の暴露時間に対する接続部抵抗の上昇率(%)を測定した結果を図9に示す。

接続部抵抗の上昇率は暴露時間200時間から差異が始め、350時間ではその差異は顕著になり、40kWhバッテリー同等以上の耐食性を有することがわかった。この結果を導いた構造的な要因としては、図10中の左上に示すようにクラッド材は界面の構造が斜めに入り組んでいるため、一般的な板面同士を接合した工法に比べて腐食進行による機能損失を遅らせることができたと考える。

## 6. ま と め

EVの重要課題の一つであるバッテリーの高エネルギー密度化の方策として、レーザー溶接を用いた導体材の接続技術がある。レーザー溶接信頼性を成立させるためにはバスバ材に、(1) Cu-Al平面度が小さいこと、(2) 接合部が短いこと、(3) 界面の強度が高いこと、(4) 抵抗が低いことが求められる。これらの条件を満足するCu/Al接合方法を検討した結果、Dovetailクラッド材を選定した。懸念であるIMC厚み、Dovetail長さとの界面性能の影響を調査し、量産や車載に際し十分なロバスト性を持っていることを確認した。また信頼性懸念項目である耐食性についても接合部の特徴的な構造から、40kWhバッテリーのCu/Al接続技術同等以上の耐食性を有することがわかった。

## 7. 謝 辞

最後に、本開発を進めクラッド材を適用するにあたり、試験データや知見のご提供など多大なご協力をいただいたマテリオン社に感謝の意を表します。

## 8. 参 考 文 献

1) E. Hilz et al.: Formation and properties of

the 40 kWh battery. The manufacturing robustness of the material was also confirmed.

## 5. Corrosion Resistance

There was concern that galvanic corrosion, which tends to occur with this clad material because aluminum and copper are in contact, might affect interfacial performance. In order to ascertain the relative resistance of the clad material against galvanic corrosion, the rate of increase (%) in interfacial resistance at the joint was measured in relation to the exposure time in a salt spray test. The results are shown in Fig. 9 in comparison with the existing Cu/Al joint formed by ultrasonic welding for the 40 kWh battery.

The rate of increase in interfacial resistance at the joint began to differ between the two types of joint after an exposure time of 200 h and a pronounced difference was seen after 350 h. The results showed that the dovetail clad joint has corrosion resistance equal to or better than that of the 40 kWh battery joint. A structural factor that may have induced this result is illustrated in the upper left part of Fig. 9. The obliquely intertwined structure seen at the interface of the clad material presumably delayed the loss of functionality due to the progression of corrosion compared with the ordinary method of welding mating plate surfaces used for the existing joint.

## 6. Conclusion

Joining conductive materials in EV batteries by laser welding is one approach to increasing onboard energy density so as to address the critical driving range issue of EVs. The following conditions are required of the busbar material in order to ensure the reliability of laser welding: (1) small Cu-Al flatness error, (2) a short joint length, (3) high interfacial strength, and (4) low interfacial resistance. As a result of investigating Cu/Al joining methods for satisfying these conditions, a dovetail clad material was selected. There was concern that the IMC layer thickness and dovetail length might affect interfacial performance. The results of an investigation of these factors revealed that the dovetail clad material possesses sufficient robustness at the time of manufacture and during in-vehicle use. Although corrosion resistance was also an aspect of concern regarding reliability, it was found that this dovetail clad material possesses corrosion resistance equal to or better than that of the existing Cu/Al joining technology used for the 40 kWh battery, thanks to the distinctive structure of the joint interface.

## 7. Acknowledgments

Finally, the authors would like to thank Materion Corporation for its invaluable cooperation in providing test data and knowledge concerning the development and application of this Cu/Al clad material.

## 8. References

1) E. Hilz et al., Formation and properties of intermetallic

intermetallic compounds in an Al-Cu roll-bonded connection, Proc. of the 27th International Conference on Electrical Contacts (2014).

- 2) レーザ溶接対応 電池配線モジュール、SEIテクニカルレビュー、No. 195、p. 63 (2019).
- 3) ロバート・ピー・ウィリスほか：固相接合を用いて異種材間に横並び金属接合を生成する方法及びこれにより製造された製品、特許第5254493号 (2013.04.26).

compounds in an Al-Cu roll-bonded connection, Proc. of the 27th International Conference on Electrical Contacts (2014).

- 2) Battery Wiring Module Available for Laser Welding, SEI Technical Review, p. 63 (2019).
- 3) R. P. Willis et al., The methods and thereby manufactured product to produce a side-by-side metal bond between dissimilar materials using solid phase bonding. Japan Patent 5254493 (2013.04.26).

■著者 / Author(s) ■



桜田 賢人  
Kento Sakurada



柳原 康宏  
Yasuhiro Yanagihara



中井 昌之  
Masayuki Nakai



長島 富雄  
Tomio Nagashima

# 可変圧縮比エンジンVCターボに貢献する高強度ボルト開発

## Development of High Strength Bolt for the VC-Turbo Engine

浜田 孝浩\*  
Takahiro Hamada

小林 大介\*  
Daisuke Kobayashi

小柳 貢士\*  
Mitsushi Oyanagi

田辺 孝司\*\*  
Takashi Tanabe

**抄 録** 新型可変圧縮比エンジンVCターボでは、マルチリンクシステムの小型化要求から1.6GPa塑性域締結用高強度ボルトの開発が必要であった。課題の一つは遅れ破壊であるが、化学成分および熱処理条件を最適化することで、高強度かつ優れた耐遅れ破壊特性を有するボルトを開発した。限界拡散性水素量と環境から侵入する拡散性水素量の比を用いて、開発鋼が現行の高強度ボルトよりも優れた耐遅れ破壊特性を有することを確認した。

**Summary** A new variable compression ratio turbo (VC-Turbo) engine, which has a multi-link system for controlling the compression ratio from 8:1 to 14:1, requires high axial force for fastening the links. Therefore, it was necessary to develop a 1.6-GPa tensile strength bolt with plastic region tightening. In this study, quenched and tempered alloy steel was chosen, and the chemical composition and heat treatment conditions were optimized to improve delayed fracture resistance along with high strength. By using the ratio of the amount of critical diffusible hydrogen and the amount of diffusible hydrogen invading from the surrounding environment, it was confirmed that the newly developed steel has delayed fracture resistance equal to or better than that of the current high strength bolt material.

**Key words :** Material, Engine Component, iron & steel, mechanical property

### 1. はじめに

新型2.0Lガソリンターボエンジン (KR20DDET) は、マルチリンク可変圧縮比 (VCR) メカニズムを採用した世界初の量産可変圧縮比ターボエンジン (VCターボ) である<sup>1)</sup>。エンジン理論熱効率は圧縮比が高いほど向上し、燃費を改善できるが、圧縮比を高めるとノッキングや過剰に高い筒内圧が発生しやすくなる。実エンジンでは、最も厳しい全負荷時のノッキング発生限界、および許容筒内圧限界によって圧縮比が制限される。一方、部分負荷では、筒内の燃焼ガスの圧力や温度は低く、ノッキングの発生や許容筒内圧に対して余裕があり、圧縮比を高めることが可能である。そこで、圧縮比を可変とし、運転条件に応じて最適な圧縮比が設定できれば、熱効率と出力の両方の向上が可能になる。VCターボでは、従来のピストン・クランク機構を日産独自のマルチリンク式クランクシャフト回転機構へ置き換えた。図1にマルチリンク部品の構成を示す。ピストンとクランクシャフトがUリンク (Upper link) とLリンク (Lower link) の2本のリンクにより直列に接続されている。Lリンクは上下2部品から構成され、2本のボルト締結構造である。UリンクとLリンクが無軌道に変化しないようにCリンク (Control link) とコントロール

### 1. Introduction

Nissan's new 2.0L gasoline turbocharged engine (KR20DDET) is the world's first mass-producible variable compression ratio engine (VC-Turbo) that incorporates a multi-link variable compression ratio (VCR) mechanism.<sup>1)</sup> The theoretical thermal efficiency of an engine increases with a higher compression ratio, making it possible to improve fuel economy. However, raising the compression ratio tends to cause knocking or excessively high in-cylinder pressure. In actual engines, the compression ratio is restricted by the knocking limit at wide open throttle, the most severe operating condition, and the allowable

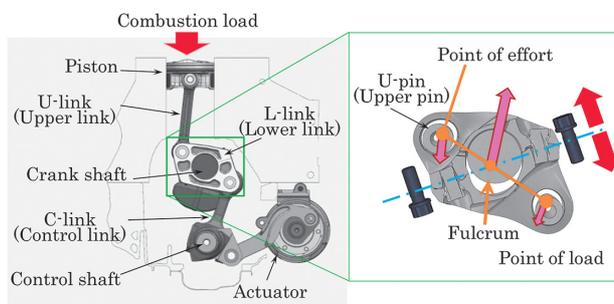


図-1 マルチリンクシステム構成図  
Fig. 1 Configuration of multi-link system

\*材料技術部 / Materials Engineering Department \*\*エンジン&ドライブトレイン技術開発部 / Engine and Drivetrain Engineering Department

シャフトを配置している。コントロールシャフトのCリンク側支持点は、アクチュエータ（電動モータ）によって制御される。すると、Uリンクの下端位置が上下に動いて、上・下死点でピストン頂部位置が約6mmの範囲で可変となる仕組みである。本システムでは、圧縮比を8:1～14:1で変更可能としている。

本システムを成立させるためには、各構成部品に高い機能が求められる。図1中にLリンクボルトへの荷重入力を示すが、燃焼荷重がLリンクの開く方向に働き、Uピンを力点、クランクピンを作用点として、ボルトを引っ張る方向に入力が働く。てこの原理によって燃焼荷重が約2倍となり、従来のピストン・クランク機構におけるコンロッドボルトよりも大きな荷重がかかる。図2にコンロッドボルトとLリンクボルトの入力および軸力を示す。日産が過去に採用したコンロッドボルトに対し、Lリンクボルトがより厳しい環境で使われることがわかる。この軸力を出すために1.4GPa以下のボルトを使うと、Lリンクや周辺部品のサイズアップにつながり、エンジン重量が著しく増加する。そこで1.6GPa塑性域締結用ボルトの開発が必要となった。

2. 高強度ボルト課題

ボルト高強度化に対して克服しなければならない課題は遅れ破壊である<sup>2)</sup>。水素脆（ぜい）性とも呼ばれ、部品製造時または使用環境下で鋼材に進入した水素が結晶粒界に集まり、亀裂が生じて破損に至る。高強度材は耐遅れ破壊性に不利であり、引張強度が1.2GPa以上になると遅れ破壊感受性が高くなると言われている。

一般的な高強度ボルトには、焼入れ・焼戻し合金マルテンサイト鋼が使用されるが、粒界に沿ってフィルム状に形成されたセメントイトは粒界破壊を促進することが知られている。亀裂発生点および結晶粒界での応力集中を減らすことが重要であり、高温焼戻しによるフィルム状炭化物の球状化は有効な対策となる。また、有害な水素のト

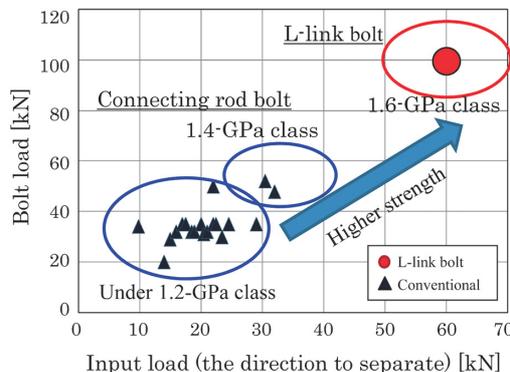


図-2 各ボルトの入力と軸力の関係  
Fig. 2 Comparison of connecting rod bolts

in-cylinder pressure limit. On the other hand, under partial load the pressure and temperature of the combustion gas in the cylinder are lower, making it possible to raise the compression ratio because of the margin available against the occurrence of knocking and the allowable in-cylinder pressure. Therefore, if the compression ratio is made variable and can be optimally set to match the operating conditions, both thermal efficiency and output could be improved.

The VC-Turbo replaces the conventional piston-crank mechanism with Nissan’s unique multi-link crankshaft rotation mechanism. Figure 1 shows the configuration of the multi-link parts. The piston and the crankshaft are connected directly by two linkages—an upper link (U-link) and a lower link (L-link). The L-link consists of an upper part and a lower part that are connected by a two-bolt mechanism. A control link (C-link) and a control shaft are provided so that the U-link and L-link do change to trackless motion. The C-link support point of the control shaft is controlled by an actuator (electric motor). Accordingly, the lower end position of the U-link moves vertically and this linkage arrangement varies the position of the piston crown at top and bottom dead center in a range of approximately 6 mm. This enables the compression ratio to be varied between 8:1 and 14:1.

All of the constituent parts must provide high functionality to make this system viable. Figure 1 shows the load input to the L-link bolts. The combustion load acts in the direction to open the L-link, and the input force acts in the direction to pull the bolts, with the U-pin as the point of effort and the crank pin as the point of load. Because of the principle of a lever, the combustion load is approximately doubled. A much larger load is applied to the bolts than in the case of the connecting rod bolts of a conventional piston-crank mechanism. Figure 2 shows the load and axial force input to conventional connecting rod bolts and the L-link bolts. The results indicate that the L-link bolts are used in a more severe environment than the connecting rod bolts Nissan has applied previously. In order to convey this much axial force using bolts with tensile strength of 1.4-GPa or less, the size of the L-link and associated parts would have to be increased, which would drastically increase the engine weight. That is why it was necessary to develop the 1.6-GPa plastic tightening bolt described here.

2. Issues Concerning High Strength Bolts

An issue that must be overcome to increase bolt strength is delayed fracture,<sup>2)</sup> which is also referred to as hydrogen embrittlement. Hydrogen that invades steel materials at the time of parts manufacture or from the usage environment collects at crystal grain boundaries, causing cracks to occur that lead to breakage. High strength materials have a disadvantage with respect to delayed fracture resistance. It is said that susceptibility to delayed fracture increases when tensile strength reaches



おり、圧延後の線材を二次加工後、冷間圧造による頭部成形と、冷間転造によるねじ部成形を実施した後、焼入れ焼戻し熱処理を行った。以上のように試作したボルトについて、引張試験および遅れ破壊試験を行った。

5. 試験方法

5.1 引張試験

焼戻し温度違いで試作したボルトサンプルについて、室温引張試験を行った。基礎評価ではボルト寸法をM16とし、そこからJIS 4号試験片を切り出した。万能試験機を使用し、試験速度は4mm/minに設定した。最終的な引張試験では、実際のLリンクボルト形状で実施した。

5.2 限界拡散性水素量の測定

遅れ破壊の評価として、遅れ破壊を起こさない上限の拡散性水素量（限界拡散性水素量；Hc）、および環境から鋼材中に侵入する拡散性水素量（He）を測定し、その比を用いて比較を行った<sup>7)8)</sup>。図4(a)に本測定で用いた水素チャージ法を示す。ボルトを治具にナット締結（降伏点締結）した後、塩化水素（HCl）溶液に一定時間浸漬させた。水素チャージ条件を変えることでボルト中に含まれる水素量を変化させ、酸溶液に浸漬した状態で、ボルトが破損するまでの時間を測定した。水素量測定には、昇温脱離ガス分析法（TDS）を用い、試験後のボルトに含まれる水素量を測定した。図4(b)にHc測定結果の一例を示す。浸漬試験は100時間まで実施し、100時間で破損しなかったボルトの最大水素含有量をHcと定義した。

of two reference steels (CrMoV steel and SCM 440) used for comparison are shown in Table. 1.

First, secondary processing was performed on rolled rods, after which the bolt head was formed by cold heading and the thread portion by cold rolling. Bolt samples were then subjected to tempering and quenching heat treatment. Tensile tests and delayed fracture resistance tests were conducted on prototype samples manufactured with the intended bolt shape.

5. Test Methods

5.1 Tensile tests

Tensile tests were conducted at room temperature on bolt samples prepared at different tempering temperatures. The bolt dimension used in a fundamental evaluation was M16, from which JIS No. 4 specimens were cut out. A universal testing machine was used with the test speed set at 4 mm/min. Test pieces shaped like actual L-link bolts were used in the final test.

5.2 Measurement of critical diffusible hydrogen content

Measurements were made of the upper limit of the diffusible hydrogen content that did not cause delayed fracture (called the critical diffusible hydrogen content, Hc) and the diffusible hydrogen content invading the steel from the environment (He). Delayed fracture resistance was evaluated by comparing the ratio of the measured amounts.<sup>7)8)</sup> Figure 4 (a) is a schematic diagram of the hydrogen charging method used in the measurement. A test bolt was fastened in a holder with a nut at the yield point and then immersed in a hydrochloric acid (HCl) solution for a specified period of time. The amount of hydrogen contained in the test bolts was varied by changing the hydrogen charging conditions. The length of time to fracture of the bolts immersed in the acid solution was measured. Thermal desorption spectroscopy (TDS) was used to measure the amount of hydrogen contained in the bolt samples after the test. Figure 4 (b) shows an example of the measured Hc results. The immersion test was conducted for 100 h, and the maximum hydrogen content of unbroken bolts after 100 h was defined as Hc.

6. Test Results

6.1 Tensile test results

First, as a fundamental study, tensile tests were conducted on samples the chemical contents of which were varied. Figure 5 shows the tensile test results for samples containing different Si and Cr contents, and Fig. 6 shows the results for samples containing different C and Mo contents. As seen in the two figures, higher C and Si contents were effective in strengthening the base matrix. Moreover, as shown in Fig. 7, adding Mo greatly improved tempering softening resistance in the vicinity of 600 deg. C.

The tensile strengths of the newly developed steel (0.6 wt% C-2.0 wt% Si-1.2 wt% Cr-1.6 wt% Mo) and of the two reference steels were derived from the fundamental study results and are shown in Fig. 7. As shown in the figure, the



表-1 比較鋼の化学成分

Table 1 Chemical composition of reference steels (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
CrMoV steel (1.4-GPa bolt)	0.25	0.10	0.30	1.20	1.00	0.25
SCM440 (1.2-GPa bolt)	0.38 -0.43	0.15 -0.35	0.60 -0.85	0.90 -1.20	0.15 -0.30	—

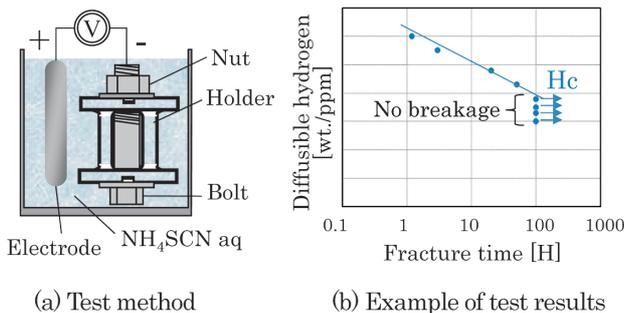


図-4 遅れ破壊試験法  
Fig. 4 Delayed fracture resistance test



6. 試験結果

6.1 引張試験結果

まずは基礎検討として、成分を振ったサンプルについて引張試験を行った。図5にSi量およびCr量の異なるサンプルの引張試験結果を、図6にC量およびMo量の異なるサンプルの引張試験結果を示す。図5、図6が示すように、高Cおよび高Siはマトリクスのベース強化に有効である。さらに図7が示すように、Mo添加によって600℃付近での焼戻し軟化抵抗が大きく向上することがわかる。

図7に基礎検討結果から導き出した開発鋼 (0.6wt%C-2.0wt%Si-1.2wt%Cr-1.6wt%Mo) および比較鋼の引張試験結果を示す。図7に示すように、比較鋼では焼戻し温度が550℃以上になると引張強度の規格 (1569~1667MPa) が達成できない。一方、開発鋼では焼戻し温度が約600℃においても1.6GPaの要求強度が達成でき、高い焼戻し温度が設定可能であることがわかった。

6.2 限界拡散性水素量の測定結果

図8にMo含有量の異なるボルトでのHc測定結果を示す。図8より、Mo含有量が多いほどHc値が大きくなり、耐遅れ破壊性が向上することがわかる。Mo炭化物による水素トラップの効果と考えられる。

two reference steels (SCM 440 and CrMoV) did not attain the tensile strength standard (1569-1667 MPa) when the tempering temperature was 550 deg. C or higher. In contrast, the newly developed steel achieved the required strength of 1.6-GPa at a tempering temperature of approximately 600 deg. C, indicating that a high tempering temperature can be set with this new steel.

6.2 Measured results for critical diffusible hydrogen content

Figure 8 presents the measured Hc results for bolts with different Mo contents. The results show that the Hc value increased with a higher Mo content, indicating

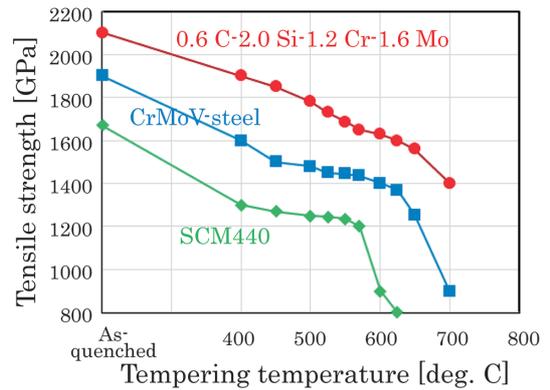


図-7 引張強度と焼戻し温度の関係  
Fig. 7 Tensile test results for newly developed steel

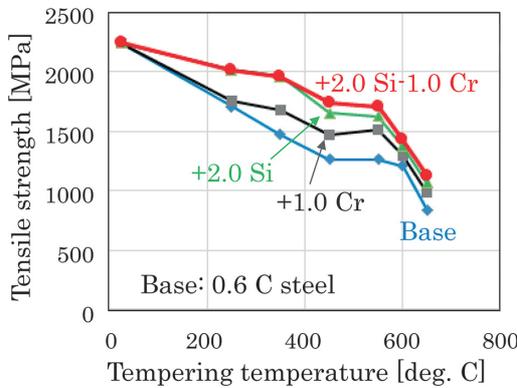


図-5 引張強度とSi量およびCr量の関係  
Fig. 5 Effect of Si and Cr on tensile strength

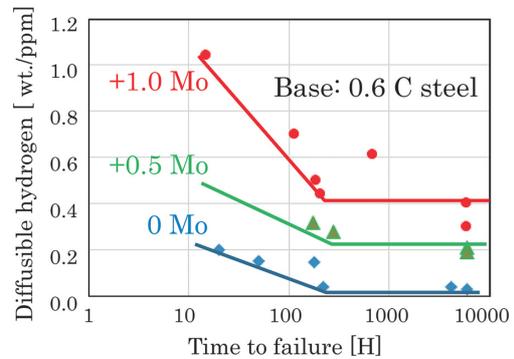


図-8 限界拡散性水素量 Hc と Mo 量の関係  
Fig. 8 Effect of Mo content on Hc

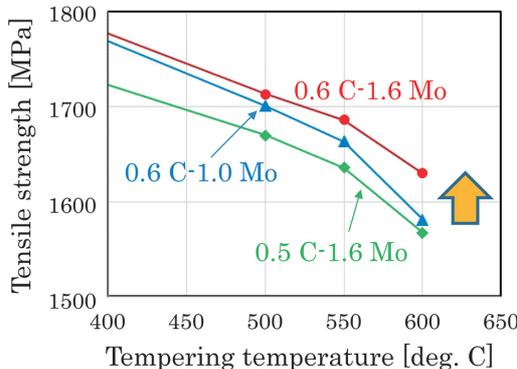


図-6 引張強度とC量およびMo量の関係  
Fig. 6 Effect of C and Mo on tensile strength

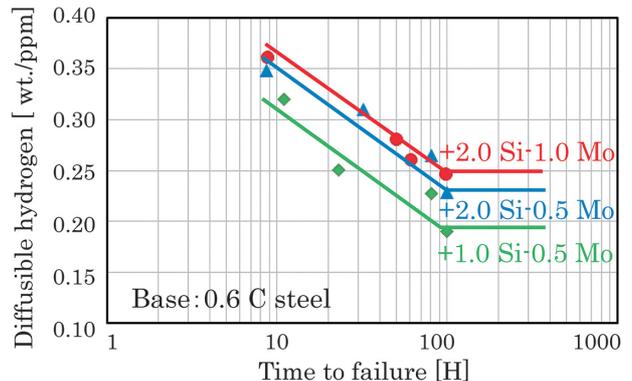


図-9 限界拡散性水素量 Hc と Si 量の関係  
Fig. 9 Effect of Si content on Hc





## 9. 謝 辞

最後に、高強度ボルト開発に多大なご苦勞とご尽力頂いたNIMS（物質・材料研究機構）、大同特殊鋼株式会社、池内精工株式会社、株式会社サンノハシおよび関係者の皆様に感謝の意を表します。

## 10. 参 考 文 献

- 1) S. Kojima et al.: Development of a New 2L Gasoline VC-Turbo Engine with the World's First Variable Compression Ratio Technology, SAE Technical Paper No. 2018-01-0371 (2018).
- 2) 松山晋作：遅れ破壊、日刊工業新聞社（1989）。
- 3) 並村裕一ほか：耐遅れ破壊特性に優れた高強度ボルト用鋼、神戸製鋼技報、Vol. 50、No. 1、pp. 41-44（2000）。
- 4) 並村裕一ほか：耐遅れ破壊特性に優れた1600MPa級高強度ボルト用鋼、神戸製鋼技報、Vol. 54、No. 3、pp. 16-20（2004）。
- 5) 木村勇次：耐遅れ破壊性に優れた1800MPa級高強度鋼の創製、第6回超鉄鋼ワークショップ概要集、pp. 88-89（2002）。
- 6) 木村勇次ほか：超高力ボルトの創製と機械的特性、鋼構造論文集、Vol. 14、No. 54、pp. 121-127（2007）。
- 7) 山崎真吾ほか：遅れ破壊特性評価方法と耐遅れ破壊高強度鋼の開発、新日鉄技報、第370号、pp. 51-55（1999）。
- 8) 久保田学ほか：高強度ボルト用鋼の開発、新日鉄技報、No. 381、pp. 57-60（2004）。

Ltd., Ikeuchi Seiko Co., Ltd., Sannohashi Corp. and everyone else concerned for their invaluable assistance and cooperation with the development of the new high strength bolt.

## 10. References

- 1) S. Kojima et al., Development of a New 2L Gasoline VC-Turbo Engine with the World's First Variable Compression Ratio Technology, SAE Technical Paper No. 2018-01-0371 (2018).
- 2) S. Matsuyama, Delayed Fracture, Nikkan Kogyo Shimbun (1989).
- 3) Y. Namimura et al., Steels for High Strength Bolts with High Delayed Fracture Resistance, Kobe Steel Engineering Reports, Vol. 50, No. 1, pp. 41-44 (2000).
- 4) Y. Namimura et al., Improved Delayed Fracture Resistance in 1600MPa Class Ultra-high-strength Bolt Steel, Kobe Steel Engineering Reports, Vol. 54, No. 3, pp. 16-20 (2004).
- 5) Y. Kimura et al., Creation of 1800MPa-class ultra high strength bolt steel, Proc. of the 6th Workshop on the Ultra-Steel, pp. 88-89 (2002).
- 6) Y. Kimura et al., Fabrication of Ultra High Strength Bolt and Its Mechanical Properties, Steel Construction Engineering, Vol. 14, No. 54, pp. 121-127 (2007).
- 7) S. Yamasaki et al., Evaluation Method for Delayed Fracture Susceptibility of Steels and High Strength Steel with High Delayed Fracture Resistance, Nippon Steel Technical Report, No. 370, pp. 51-55 (1999).
- 8) M. Kubota, Development of High Strength Steel for Bolts, Nippon Steel Technical Report, No. 381, pp. 57-60 (2004).

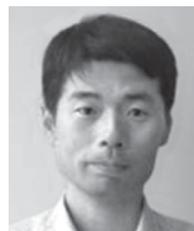
### ■ 著者 / Author(s) ■



浜田 孝浩  
Takahiro Hamada



小林 大介  
Daisuke Kobayashi



小柳 貢士  
Mitsushi Oyanagi



田辺 孝司  
Takashi Tanabe

# 0W-8低粘度省燃費エンジン油の開発

Development of 0W-8 Low Viscosity Engine Oil for Fuel Efficiency Improvement

仲野 誠 一\*  
Seiichi Nakano

佐川 琢 円\*  
Takumaru Sagawa

奥田 紗知子\*  
Sachiko Okuda

小池 裕 介\*\*  
Yusuke Koike

川村 諭 史\*\*\*  
Satoshi Kawamura

吉田 敬 介\*\*\*\*  
Keisuke Yoshida

斎藤 弘 樹\*  
Hiroki Saito

**抄 録** 日本市場では、燃費向上のために 0W-16 低粘度エンジン油の市場導入が進んでおり、更なる低粘度化の検討がなされている。しかしながら、低粘度化によりオイル消費量の増大および摩耗の増加が懸念され、そのため耐摩耗性能と低蒸発性を維持しながら低粘度化する技術が求められる。これらを実現する方策として摩擦調整添加剤として多く使用されるモリブデンジチオカーバメート (MoDTC) と基油の特性に着目し、低粘度化しつつも耐摩耗性能およびオイル消費量を現行油並の性能を維持できる 0W-8 省燃費エンジン油を開発し、新型デイズに採用した事例を紹介する。

**Summary** Introduction of 0W-16 low viscosity engine oil is expanding for improving fuel efficiency in the Japanese market and an even lower viscosity grade is being considered. However, lowering the oil viscosity generally has negative effects in regard to anti-wear performance and volatility control. Therefore, measures to lower the viscosity while securing wear resistance and volatility are required. Attention was focused on molybdenum dithiocarbamate (MoDTC), which is used as a friction reduction additive, and base oil properties for maintaining anti-wear performance and volatility at the same levels as the current oil. The 0W-8 fuel-saving engine oil that was developed based on these studies has been adopted in the new Dayz.

**Key words :** Oil, lubrication, viscosity, fuel economy

## 1. はじめに

燃費向上のため、ハイブリッド車や電気自動車といった電動化パワートレインが日米欧中を中心に市場投入されているが、グローバルでは従来の内燃機関のみの車両が多数を占めており、内燃機関の燃費改善は、CO<sub>2</sub>削減の観点から依然として非常に重要な課題である。

近年では特に、潤滑油の低粘度化により攪拌(かくはん)抵抗を低減し、燃費改善を図るアプローチが盛んに行われている。そのため、0W-16 省燃費エンジン油<sup>1)</sup>が市場投入されている他、SAE J300 粘度分類においても、従来の SAE 16 より更に低粘度である SAE 12、SAE 8 といった低粘度グレードが 2015 年に設定<sup>2)</sup>された。一方で SAE 12、SAE 8 については公的品質規格が無いため、日本の自動車メーカーの要望から規格化が検討され、2019 年に自動車用ガソリン機関潤滑油規格 JASO GLV-1<sup>3)</sup>が制定された。

これに先駆けて、日産は今回 0W-8 低粘度省燃費エンジン油の検討を行った。エンジン油の低粘度化による課題と

## 1. Introduction

Electric powertrains typified by hybrid vehicles and electric vehicles are being put on the market mainly in Japan, America, Europe and China for the purpose of improving fuel economy. However, the majority of the vehicles in use globally are equipped with only a conventional internal combustion engine (ICE). Improving the fuel economy of ICEs remains a crucial issue with respect to reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions.

One specific approach actively employed to improve fuel economy in recent years has been to lower the viscosity of the lubrication oil so as to reduce churning resistance. Toward that end, 0W-16 fuel-saving engine oil<sup>1)</sup> was put on the market. In addition, SAE 12 and SAE 8 were established in the SAE J300 viscosity classification standard in 2015 as low viscosity grades having viscosity even lower than that of the existing SAE 16 grade.<sup>2)</sup> Meanwhile, because SAE 12 and SAE 8 did not have any official quality standards, a standardization study was launched at the behest of Japanese vehicle manufacturers, and JASO GLV-1<sup>3)</sup> was established by the Japanese Automotive Standards Organization in 2019 as a standard

\*材料技術部 / Materials Engineering Department \*\*エンジン&ドライブトレイン技術開発部 / Engine and Drivetrain Engineering Department \*\*\*株式会社日産オートモーティブテクノロジー / Nissan Automotive Technology Co., Ltd. \*\*\*\*愛知機械工業株式会社 / Aichi Machine Industry Co., Ltd.

しては、(1) 基油の低粘度化による蒸発性の悪化とオイル消費の増大、(2) 油膜が薄くなることによるしゅう動部の接触増加に伴う摩耗の増加、が挙げられる。そこで、(1) については、JASO GLV-1規格への適合を考慮し、低蒸発性を持つGas to Liquids (GTL) 基油<sup>4)5)</sup>を適用し、低粘度化を図りつつもオイル消費を抑制すること、(2) に対しては、基油粘度の最適化および摩擦調整剤であるモリブデンジチオカーバメート (MoDTC) を活用したフリクション低減と耐摩耗性の向上について検討した。

2. 基油の検討

燃費向上のためには低粘度化は必須であるが、現行0W-16油と同じ粘度指数を保持した処方では低粘度化を図るには、基油を低粘度にする必要がある。この場合、API SNおよびJASO GLV-1規格のオイル蒸発性基準であるNOACK 250℃の要求値15%以下を大きく上回る。そのため、低蒸発性を持つGTL基油の適用と粘度処方の最適化について検討を行った。

同一の粘度指数向上剤 (VM : viscosity modifier) 及び添加剤パッケージをベースにした基油 (従来基油とGTL基油の2種)、基油粘度とVM添加量でオイル蒸発性レベルを調整した0W-8油を用いて、MR20DDエンジンを使ったモータリング試験による燃費評価 (WLTCモード推定値) を行った。蒸発性と燃費向上率との関係を図1に示す。

従来基油とGTL基油で比較すると、従来基油と同等の燃費改善率を示すGTL基油は、蒸発性が半減している。これはGTL基油成分の分子量分布が狭くなっており、蒸発しやすい低分子量成分が少ないためと考える。

また、図1は蒸発性と省燃費性能がトレードオフの関係にあることを示している。このことから、潤滑油の低粘度化により燃費向上を図った場合、GTL基油を使用するこ

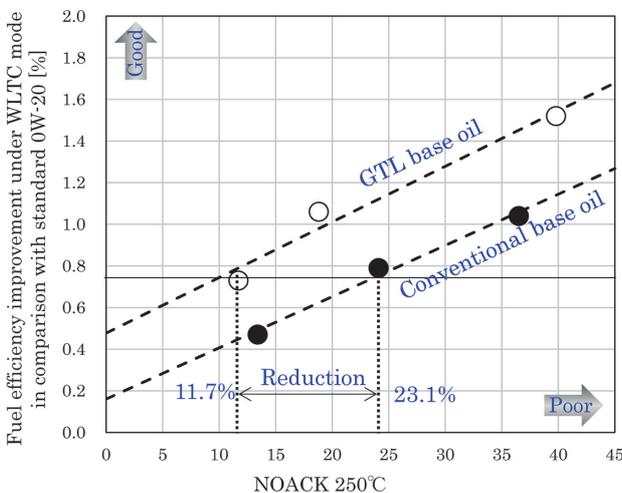


図-1 オイル蒸発性と燃費の関係  
Fig. 1 Relationship between volatility and fuel efficiency

for lubrication oils used in gasoline automotive engines.

Prior to that, Nissan undertook a study of the 0W-8 low viscosity, fuel-saving engine oil discussed here. The following can be cited as issues caused by lowering the engine oil viscosity: (1) lowering the base oil viscosity worsens volatility and increases oil consumption, and (2) wear increases accompanying greater contact at sliding surfaces due to a thinner oil film. Therefore, in consideration of compliance with the JASO GLV-1 standard, the adoption of a gas-to-liquid (GTL) base oil<sup>4)5)</sup> having low volatility was examined to address the first issue and suppress oil consumption while still lowering viscosity. For the second issue, optimization of the base oil viscosity was examined along with investigating friction reduction and anti-wear improvement by making effective use of the molybdenum dithiocarbamate (MoDTC) friction modifier.

2. Study of Base Oil

Although reducing engine oil viscosity is necessary for improving fuel economy, with a formulation that continues the same viscosity index as the current 0W-16 oil, the base oil viscosity has to be reduced to obtain a lower level of viscosity. In that case, volatility would greatly exceed the 15% limit required at 250°C in the NOACK volatility test, which is the oil evaporation loss standard of the API SN and JASO GLV-1 specifications. For that reason, the application of a GTL base oil having low volatility was examined along with studying optimization of the viscosity formulation.

Nissan’s MR20DD engine was used to conduct motoring tests on the 0W-8 oil in order to evaluate fuel efficiency as an estimated value under the worldwide harmonized light-duty vehicles test cycle (WLTC). Two types of base oil were examined. One was the conventional base oil and the other was the GTL base oil, both of which had the same viscosity modifier (VM) and additive package. The volatility level of the 0W-8 oil was adjusted on the basis of the base oil viscosity and the amount of VM additive. The relationship between volatility and fuel efficiency is shown in Fig. 1.

A comparison based on the conventional base oil and the GTL base oil shows that the volatility of the 0W-8 oil with the latter base oil was reduced by half while showing the same rate of improvement in fuel efficiency as the 0W-8 oil with the former base oil. Presumably, that is because the molecular weight distribution of the GTL base oil components was narrower and it contained fewer low molecular weight components that evaporated easily.

Figure 1 also indicates there is a trade-off between volatility and fuel-saving performance. This suggested that in an effort to improve fuel economy by lowering the viscosity of the lubrication oil, the use of the GTL base oil would reduce volatility and thereby suppress deterioration of oil consumption while at the same time improving fuel efficiency.

とで燃費向上させつつも蒸発性が低減でき、オイル消費の悪化を抑えることができると考える。

### 3. 耐摩耗性の検討

#### 3.1 油膜厚さ確保による摩耗防止の検討

エンジン油の低粘度化において懸念となる動弁駆動系のサイレントチェーンでは、摩耗部位であるピンとプレートのしゅう動部は油膜確保において、混合・境界潤滑域での揺動によるVMの影響は小さく、基油粘度が支配的<sup>1)</sup>と考えられる。このことからサイレントチェーンにおけるOW-8油の耐摩耗性を検証するため、基油の100℃粘度がほぼ同じである粘度グレードOW-20油とOW-8油における油膜厚さを測定した。表1に本試験で使用したオイルの性状を示す。測定はPCS Instruments社製 EHD2を用いて、荷重5N、油温140℃の油膜が薄くなり摩耗に厳しい高温域で実施した。図2に油膜厚さ試験の結果を示す。OW-8油のすべり速度0.5m/s以下の領域では、油膜厚さはOW-20油と同等となっており、耐摩耗性はOW-20油と同等の性能になると考える。

#### 3.2 サイレントチェーンの摩耗試験

3.1節で使用したエンジン油にカーボンブラックを混入して、サイレントチェーンの摩耗試験を行った。2軸間が

表-1 油膜厚さ分析に使用したオイルの性状

Table 1 Oil properties for oil film thickness measurement

		GTL base oil 0W-8	SN/GF-5 0W-20
VM additive		Reduced	Standard
Additive package		Package A +MoDTC	←
Kinematic viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	100 °C	5.0	7.8
	40 °C	23.6	32.4
HTHS 150 °C [mPa·s]		1.7	2.6

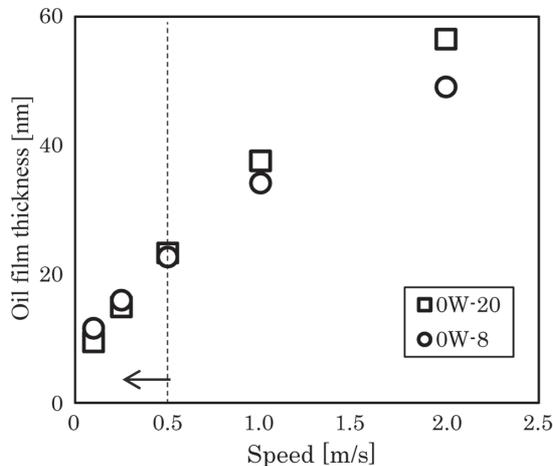


図-2 油膜厚さ測定結果  
Fig. 2 Results of oil film thickness measurement

### 3. Study of Anti-wear Performance

#### 3.1 Study of wear prevention by securing oil film thickness

In connection with reducing engine oil viscosity, there was concern about the silent chain used in the valve train. It was assumed that the base oil viscosity is dominant<sup>1)</sup> in securing the oil film thickness at the sliding surfaces of the pins and plates where wear occurs and that the influence of the VM is small due to oscillation in the region of mixed and boundary lubrication. Based on this assumption, the oil film thickness of the OW-8 oil and an OW-20 viscosity grade oil having nearly the same base oil viscosity at 100°C was measured to verify the anti-wear performance of the OW-8 oil with respect to the silent chain. Table 1 lists the properties of the oils used in the measurement. The EDH2 ultra-thin film measurement system made by PCS Instruments was used to measure the oil film thickness. Measurements were made under a load of 5 N and an oil temperature of 140°C where the oil film becomes thin, creating a severe condition for wear in the high temperature region. Figure 2 presents the measured oil film thickness results. In the sliding velocity region below 0.5 m/s, the oil film thickness of the OW-8 oil was equal to that of the OW-20 oil. Its anti-wear performance is presumed to be equal to that of the latter oil.

#### 3.2 Silent chain wear test

A silent chain wear test was conducted by mixing carbon black in the engine oils used in the measurements

表-2 サイレントチェーン摩耗試験に使用したオイルの性状  
Table 2 Oil properties for silent chain wear test

		GTL base oil 0W-8	SN/GF-5 0W-20	SM/GF-4 5W-30
Additive package		Package A +MoDTC	←	Package B
Kinematic viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	100 °C	5.0	7.8	10.1
	40 °C	23.6	32.4	57.4
HTHS 150 °C [mPa·s]		1.7	2.6	2.9

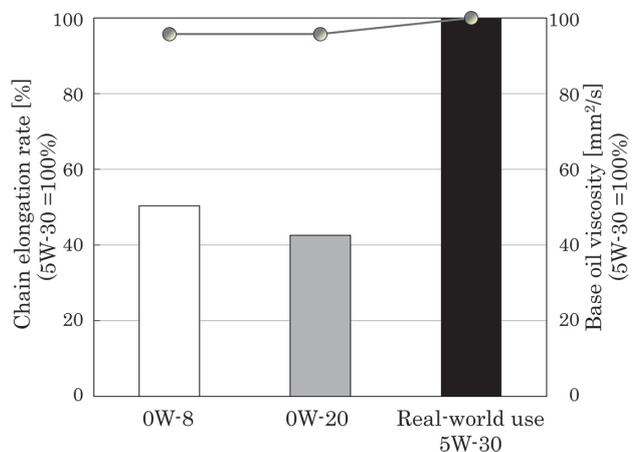


図-3 サイレントチェーン摩耗試験結果  
Fig. 3 Results of silent chain wear test

調整可能で、各軸にスプロケットが取り付けられており、任意の張力、温度、回転数にてチェーンを回転させることができる試験機を用いて、高張力、高油温での運転条件にて評価した。0W-20油、及び同一の基油と添加剤パッケージを使用しVMで粘度を調整した0W-8油、サイレントチェーン適用エンジンで市場実績がありMoDTCを添加していないAPI SM/ILSAC GF-4 5W-30油を用いた。エンジン油それぞれの性状を表2に、試験結果を図3に示す。0W-8油のチェーン伸び率は0W-20油と同等であるが、5W-30油に対しては50%低減することを確認した。低減理由としては、添加剤パッケージの違いと、MoDTC由来の三酸化モリブデン (MoO<sub>3</sub>) 被膜の形成<sup>1)</sup>によるものであると考える。

3.3 劣化オイルによる摩耗試験

劣化によりMoDTCが減少した際の耐摩耗性の影響を確認するため、車両走行にて劣化した0W-8油を回収しSRV（振動摩擦摩耗）試験を実施した。本試験はサイレントチェーンを模擬した条件にて行った。図4にSRV評価結果を示す。劣化によりフリクションは高くなるが、急激な摩耗増加は無く、10,000km走行後でも新油と同等の摩耗レベルであることを確認した。

4. 省燃費効果の確認

表3に今回検討・評価してきた0W-8油とAPI SN 0W-16油の性状を示す。WLTCモード（国内モード）における燃費向上率を算出するため、MR20DDガソリンエンジンを用いたモータリング試験を実施した結果を図5に示す。650rpmではトルクは変わらないがエンジン回転数が高くなるにつれトルクが低減されていることから、低粘度化による攪拌抵抗の低減でトルクが改善されたと考える。

これらの低減トルク値からWLTCモードの燃費向上効

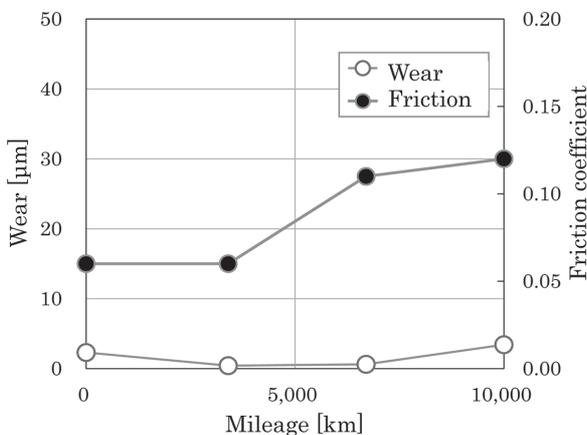


図-4 SRV 試験結果  
Fig. 4 Results of the SRV wear test

described in preceding subsection. The test equipment allowed the distance between two shafts to be adjusted and a sprocket was attached to each shaft; the chain could be rotated at arbitrary levels of tension, temperature and speed. Wear evaluations were made under operating conditions of high chain tension and high oil temperature. The oils used were an 0W-20 oil, the 0W-8 oil having the same base oil and additive package and VM-adjusted viscosity, and an API SM/ILSAC GF-4 5W-30 oil without any MoDTC additive and with a record of real-world use in an engine equipped with the silent chain. The properties of each engine oil are listed in Table 2. The wear test results are shown in Fig. 3. The chain elongation rate for the 0W-8 oil was equal to that seen for the 0W-20 oil, but it was 50% less than that for the 5W-30 oil. The reasons for this reduction can probably be attributed to differences in the additive packages and the formation of a molybdenum trioxide (MoO<sub>3</sub>) film<sup>1)</sup> originating from the MoDTC friction modifier.

3.3 Wear test using deteriorated oil

Used 0W-8 oil that had deteriorated during vehicle operation was collected and used in conducting an SRV (vibration friction and wear) test to confirm the influence on anti-wear performance of the reduced MoDTC content due to deterioration. The test was conducted under conditions that simulated the silent chain wear test. Figure 4 shows the results of the SRV wear test. Friction



表-3 モータリング試験に使用したオイルの性状  
Table 3 Oil properties for motoring fuel efficiency test

		GTL base oil 0W-8	SN 0W-16
Additive package		Package A +MoDTC	Package C +MoDTC
Kinematic viscosity [mm <sup>2</sup> /s]	100 °C	5.0	6.2
	40 °C	23.6	27.2
HTHS 150 °C [mPa·s]		1.7	2.3
NOACK [mass%]		250 °C	11.7
			13.5

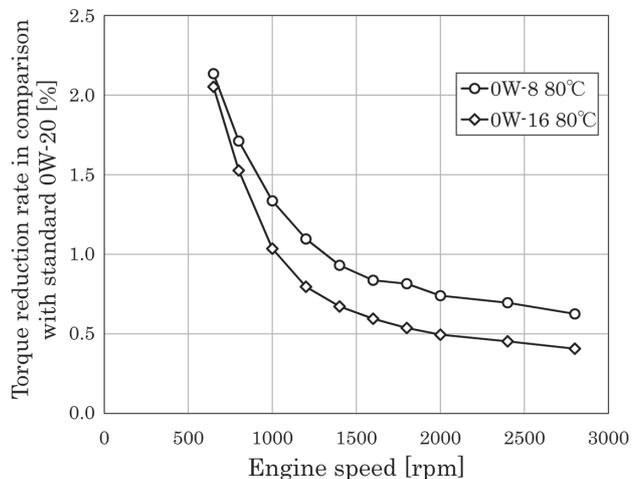


図-5 エンジンのモータリング試験によるトルク改善の結果  
Fig. 5 Results for torque improvement rate in motoring fuel economy test



果<sup>6)</sup>を計算した結果を図6に示す。課題であるNOACK 250℃ 15%以下を満足する0W-8油で、API SN 0W-16に対し0.57%の燃費改善が見込まれることを確認した。

### 5. ま と め

今回の処方検討により、低粘度化を図りつつもGTL基油を適用することで、JASO GLV-1規格の蒸発性基準であるNOACK 250℃ 15%以下を満たすことができ、耐摩耗性が現行油と同等な0W-8省燃費エンジン油を実現した。

この0W-8省燃費油はJASO M 365モータリング燃費試験方法において、API SN 0W-16油対比で0.57% (WLTCモード)の燃費改善効果を示し、新型デイズより採用されている。

### 6. 謝 辞

本0W-8省燃費油を開発するにあたり、多大なご協力を頂いたシェルブリカンツジャパン株式会社、並びに関係の方々には厚く御礼の意を表します。

### 7. 参 考 文 献

- 1) T. Sagawa et al. : Development of Low Viscosity API SN 0W-16 Fuel-Saving Engine Oil Considering Chain Wear Performance, SAE Technical Paper No. 2017-01-0881 (2017).
- 2) SAE規格、Engine Oil Viscosity Classification, SAE J300 (2015).
- 3) JASO規格、材料・表面処理、自動車用ガソリン機関潤滑油、自動車技術会、JASO M364 (2019).
- 4) 鎌田久美子 : GTL基油の動向、潤滑経済、No. 634、pp. 19-23、(2018).

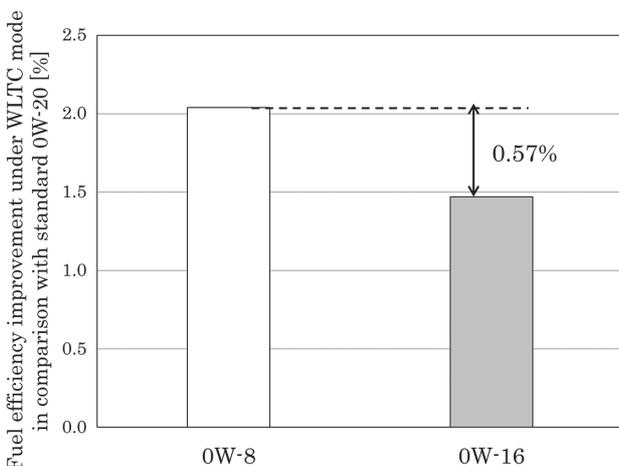


図-6 WLTCモードでの燃費改善効果  
Fig. 6 Fuel efficiency improvement results under WLTC mode

increased due to oil deterioration, but there was no rapid increase in wear. The results indicate that the wear level after 10,000 km of driving was equal to that seen for the fresh oil.

### 4. Confirmation of Fuel-saving Effect

Table 3 shows the properties of the 0W-8 oil and API SN 0W-16 oil that were examined and evaluated. Figure 5 presents the results of motoring tests that were conducted to calculate the fuel efficiency improvement obtained under the WLTC mode (Japan's domestic version) using Nissan's MR20DD gasoline engine. At an engine speed of 650 rpm, there was no difference in the torque levels, but torque decreased as the engine speed rose. This presumably indicates that torque was improved by the reduction of churning resistance due to the reduced oil viscosity.

Based on the reduced torque values, the effect on improving fuel efficiency<sup>6)</sup> under the WLTC mode was calculated and the results are shown in Fig. 6. The 0W-8 oil that satisfies the issue of the NOACK test requirement for volatility of no more than 15% at 250℃ can be expected to improve fuel efficiency by 0.57% over the API SN 0W-16 oil.

### 5. Conclusion

The 0W-8 fuel-saving engine oil provides anti-wear performance equal to that of the current oil while satisfying the volatility standard of the JASO GLV-1 specification that requires volatility of no more than 15% in the NOACK test at 250℃. That was accomplished by adopting the GTL base oil while lowering the viscosity in line with the formulation study described here.

This 0W-8 fuel-saving oil showed a fuel efficiency improvement effect of 0.57% under the WLTC mode compared with the API SN 0W-16 oil when measured by the motoring fuel efficiency test procedure specified in JASO M 365. It has been adopted beginning with the new Dayz.

### 6. Acknowledgments

The authors would like to sincerely thank Shell Lubricants Japan K.K. for their invaluable cooperation in connection with the development of the 0W-8 fuel-saving oil as well as everyone else involved in this project.

### 7. References

- 1) T. Sagawa et al., Development of Low Viscosity API SN 0W-16 Fuel-Saving Engine Oil Considering Chain Wear Performance, SAE Technical Paper No. 2017-01-0881 (2017).
- 2) SAE Standards, Engine Oil Viscosity Classification, SAE J300 (2015).
- 3) JASO Standards, Material and surface treatment, Automobile gasoline engine oils, No. m366-19e, JSAE (2019).
- 4) K. Kamata, Technical Trends of GTL Base Oil, Journal of Economic Maintenance Tribology, No. 634, pp. 19-23

- 5) R. H. Clark et al. : Future fuels and lubricant base oils from Shell Gas to Liquids (GTL) technology, SAE Technical Paper No. 2005-01-2191 (2005).
- 6) JASO規格、材料・表面処理、自動車用ガソリン機関潤滑油－モータリング燃費試験方法、自動車技術会、JASO M365 (2019).
- 5) R. H. Clark et al., Future fuels and lubricant base oils from Shell Gas to Liquids (GTL) technology, SAE Technical Paper No. 2005-01-2191 (2005).
- 6) JASO Standards, Material and surface treatment, Automobile gasoline engine oils - Motored fuel economy test procedure, No. m365-19e, JSAE (2019).

■ 著者 / Author(s) ■



仲野 誠一  
Seiichi Nakano



佐川 琢円  
Takumaru Sagawa



奥田 紗知子  
Sachiko Okuda



小池 裕介  
Yusuke Koike



川村 諭史  
Satoshi Kawamura



吉田 敬介  
Keisuke Yoshida



斎藤 弘樹  
Hiroki Saito

## 軽自動車向け新型パワートレインの開発

## Development of a Brand-new Powertrain for Japanese Mini-vehicles

小山良浩\*  
Yoshihiro Oyama伊佐治 洋\*\*  
Hiroshi Isaji黒木 真\*\*\*  
Makoto Kuroki平野智久\*\*\*\*  
Tomohisa Hirano三嶋峻平\*\*\*\*  
Shumpei Mishima宮川 育\*\*  
Akira Miyagawa川岬芳秀\*\*\*  
Yoshihide Kawasaki坂井雄紀\*\*\*  
Yuuki Sakai鈴木淳也\*\*  
Junya Suzuki

**抄 録** 日本の軽自動車は、独自の規格に基づきながら環境性能・経済性において高い性能が求められる。この要求に応えるべく、日産自動車として初の軽自動車用に特化したパワートレインを開発した。本稿では、その新パワートレインの概要と達成した性能を紹介する。

**Summary** Japanese mini-vehicles are based on a unique standard, but customers' requirements for environmental friendliness and economy are at high levels among Japanese competitors. We developed a new powertrain specifically for Japanese mini-vehicles for the first time. This article describes this new powertrain, its key breakthrough technologies and how downsizing, weight reductions, quietness and drivability have been achieved and demonstrated.

**Key words :** Power Unit, Power Transmission, gasoline engine, continuously variable transmission (CVT), mechanism

## 1. はじめに

日本の軽自動車は、独自の規格に基づきながら環境性能・経済性において高い性能が求められ、「限られた空間での居住性技術」「排気量660ccの中での動力性能と燃費の両立」「運転支援の先進技術の投入」といった更なる技術革新が求められている。また、軽自動車のシェアは、国内新車販売のうち約40%を占めており、日本の自動車産業を支える重要な商品である。

この要求や役割に応えるべく、日産自動車として初の軽自動車用に特化したパワートレインを開発し、小型化・軽量化を実現しながら、高い動力性能、音振性能、燃費性能を達成した。本稿では、新パワートレインの概要と達成した性能を紹介する。

## 2. 開発コンセプト

## 2.1 新型軽車両の開発コンセプト

新型軽自動車「デイズ」の開発にあたり、軽自動車の規格という厳しい制約がある中でも、お客様が求める全ての期待値に高い次元で応えることを目指した。

## 1. Introduction

Japanese mini-vehicles are required to provide high levels of environmental performance and economy while being based on unique specifications. There are needs for further technological innovation, such as measures for providing roomy comfort in a limited interior space, attainment of both power performance and fuel economy with an engine displacement of 660 cc, and provision of advanced technologies for driver assistance. In addition, mini-vehicles are key products supporting Japan's automotive industry, with a market share accounting for approximately 40% of domestic new car sales.

To meet these requirements and fulfill this role, Nissan developed its first-ever powertrain specifically for use on mini-vehicles. This new powertrain provides high power performance, low noise, vibration and harshness (NVH) and excellent fuel economy in a downsized, lightweight package. This article outlines the new powertrain and describes the performance levels it achieves.

## 2. Development Concepts

## 2.1 Development concept of new mini-vehicle model

In developing the new generation of the Dayz mini-

\*パワートレイン・EVプロジェクト部 / Powertrain and EV Project Department \*\*株式会社日産オートモーティブテクノロジー / Nissan Automotive Technology Co., Ltd \*\*\*エンジン&ドライブトレイン技術開発部 / Engine and Drivetrain Engineering Department \*\*\*\*パワートレイン・EV性能開発部 / Powertrain and EV Performance Engineering Department

具体的には下記5点について、前型車から改良を行うものとした。

- (1) 広い室内空間の実現
- (2) 加速性能の向上
- (3) 静粛性の向上
- (4) 燃費向上
- (5) 先進安全装備の実装

新型デイズの開発コンセプトを実現するための大きな取り組みとして、プラットフォームの刷新を図り、図1に示す新エンジン、無段変速機（Continuously Variable Transmission：以降CVTと記載）、及びS-HYBRIDシステムを採用した。

## 2.2 軽自動車用パワートレインの開発コンセプト

軽自動車特有の規格を満足しつつ、新型デイズの開発コンセプトを実現するため、軽自動車用パワートレインの開発の狙いは、これまで登録車用エンジン・CVT開発で培った技術<sup>1)6)</sup>を搭載した上で、下記性能の向上を図るものとした。

- (1) 軽自動車専用設計による小型化・軽量化により新型デイズに要求される搭載要件の織込み
- (2) エンジンの出力向上、最適ギヤ比の選定、トルクコンバータの流体性能向上による加速性能向上の実現
- (3) パワートレイン全体の高剛性化による小型登録車並の静粛性の実現、エンジン音は低回転でうならず、高回転までリニアで雑味のないエンジン音質の実現
- (4) 新エンジン、新CVTのメカニカルフリクション削減、S-HYBRIDシステムとの協調制御による燃費性能の向上

## 3. 構造と主要諸元

新型パワートレインは各構成部品を軽自動車専用に設計することで軽自動車に求められる性能を達成しながら、

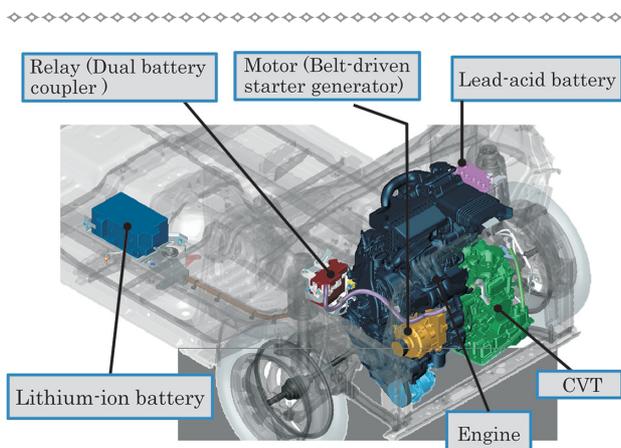


図-1 軽自動車向け新型パワートレインの外観図  
Fig.1 Appearance of new powertrain

vehicle, the aim was to meet all of customers' expectations at the highest possible levels within the severe restrictions imposed by the mini-vehicle standard. Specifically, the following five aspects were improved over the previous model.

- (1) Attainment of greater interior roominess
- (2) Improvement of acceleration performance
- (3) Improvement of quietness
- (4) Improvement of fuel economy
- (5) Provision of advanced safety features

The platform was completely reformed as one of the major efforts to make the development concept of the new Dayz a reality. Figure 1 shows the new engine, continuously variable transmission (CVT) and S-HYBRID system that were adopted for the new powertrain.

## 2.2 Development concept of a mini-vehicle powertrain

The development aim set for the mini-vehicle powertrain was to improve the performance attributes noted below by installing technologies<sup>1)6)</sup> accumulated to date through the development of engines and CVTs for registered vehicles. That was intended to achieve the development concept defined for the new Dayz while complying with the unique Japanese mini-vehicle standard.

- (1) To embody all the installation conditions required of the new Dayz by executing a dedicated mini-vehicle design to downsize and lighten the vehicle.
- (2) To improve acceleration performance by enhancing engine power, selecting optimal gear ratios and improving the hydrodynamic performance of the torque converter.
- (3) To achieve quietness on a par with small registered vehicles by increasing the overall stiffness of the powertrain and to obtain pure, clear engine sound quality with linearity to the high speed range and without any low speed groaning.
- (4) To reduce the mechanical friction of the new engine and new CVT and to improve fuel economy through collaborative control with the S-HYBRID system.

## 3. Structure and Main Specifications

The constituent parts of the new powertrain were designed specifically for a mini-vehicle, enabling size and weight reductions while obtaining the performance demanded of mini-vehicles.

### (1) Engine

The main specifications of the engine are listed in Table 1 and its appearance is shown in Fig. 2. A naturally aspirated (NA) version and a turbocharged (TC) version of the engine were prepared for the new Dayz. The fundamental qualities of the engine, including thermal efficiency, pumping loss and mechanical friction loss, were thoroughly improved in order to balance higher power performance and fuel economy with lower exhaust emissions. Among the measures adopted for that purpose were a long stroke specification (SD ratio = 1.14:1), higher compression ratio (12.0:1), various measures to reduce

小型化・軽量化を図ることができた。

(1) エンジン

エンジンの主要諸元を表1に、外観を図2に示す。新型デイズは自然吸気 (NA) エンジンと過給 (TC) エンジンを用意している。動力性能と燃費性能の向上や排出ガス低減を高次元でバランスさせるために、熱効率、ポンピングロス、メカニカルフリクションロスなどのエンジンの素質の改善を徹底的に行った。そのために、ロングストローク化 (SD比1.14)、高圧縮比化 (12.0)、各種のメカニカルフリクション低減アイテム、デュアルインジェクタシステムや水冷4層積層タイプのコアを用いたクルード EGRシステムなどを採用した。<sup>7)</sup>

(2) CVT

新型CVTの主要諸元を表2に、外観図を図3に示す。新型CVTは各構成部品を軽自動車専用に設計することで小型化・軽量化を図ることができた。また、前型車に搭載しているCVTに対して、副変速機の無い構造を採用した。その際、プーリ軸間は前型CVTから変更せず、高い燃費性能・動力性能を実現できる軽自動車の使われ方にマッチングしたレシオカバレッジを確保した。

また、発進加速性能、音振性能を向上させる目的で、トルクコンバータの流体性能を見直し、トルク容量、トルク比、ダンパ特性を改良した。<sup>8)9)</sup>

mechanical friction, a dual injector system and a cooled exhaust gas recirculation (EGR) system with a water-cooled 4-layer core.<sup>7)</sup>

(2) CVT

The main specifications of the new CVT are listed in Table 2 and its appearance is shown in Fig. 3. The constituent parts of the new CVT were designed specifically for a mini-vehicle, making it possible to reduce their size and weight. Compared with the CVT mounted on the previous model, the configuration adopted does not have an auxiliary transmission. In this regard, the ratio coverage was designed to match the way in which mini-vehicles are driven so as to deliver high levels of fuel economy and power performance without changing the center distance between the pulley shafts from that of the previous CVT.

The hydrodynamic performance of the torque converter was also reviewed and the torque capacity, torque ratio and turbine characteristics were improved for the purpose of enhancing launch acceleration performance and NVH performance.<sup>8)9)</sup>

(3) S-HYBRID system (12-volt mild hybrid system)

The main specifications of the motor and battery are listed in Table 3. The auxiliary battery of the new S-HYBRID system has been changed to a lithium-ion battery from the lead-acid battery of the S-HYBRID system used on the Serena.<sup>10)</sup> This change increases the energy

表-1 NA/Turbocharger エンジン仕様  
Table 1 NA/turbocharged engine specifications

	Naturally aspirated	Turbocharged
Engine type	Inline 3	
Displacement [cc]	659	
Bore x stroke [mm]	Φ62.7 x 71.2	
Compression ratio	12.0:1	9.2:1
Max. power [kW/rpm]	38 / 6400	47 / 5600
Max. torque [Nm/rpm]	60 / 3600	100 / 2400-4000
Emission level	2018 ☆☆☆☆ WLTP	2018 ☆☆☆☆ WLTP
Fuel supply system	Port injection	
EGR system	Cooled type	None
CVTC system	Intake	

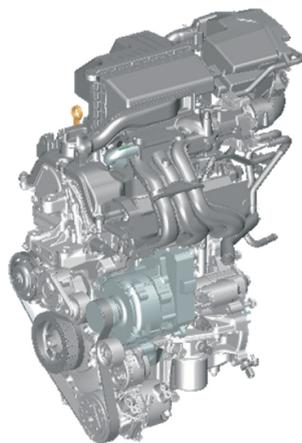


図-2 新型エンジンの外観図  
Fig. 2 Appearance of new engine

表-2 新型 CVT の仕様  
Table 2 CVT specifications

Item	Previous	New	
Torque capacity	150 Nm	100 Nm	
Auxiliary transmission	With	Without	
Stall torque ratio (NA)	2.13	2.26	
Gear ratios	Ratio coverage	7.3	6.0
	Pulley ratio	2.2-0.550	2.411-0.404
	Pulley ratio coverage	4.0	6.0
	Final gear ratio	4.575	6.540
	Auxiliary transmission	Low High	1.821 1.000
Reverse	1.714	0.952	
Weight (wet, for NA 2WD)	65.0 kg	60.8 kg	



図-3 新型 CVT の外観図  
Fig. 3 Appearance of new CVT

(3) S-HYBRIDシステム (12V マイルドハイブリッドシステム)

モータとバッテリーの主要諸元を表3に示す。新型S-HYBRIDシステムはセレナS-HYBRIDシステム<sup>10)</sup>に対して、サブバッテリーを鉛バッテリーからリチウムイオンバッテリーに変更することで回生量の増大およびエンジンアシスト領域の拡大を実現し、軽自動車用に小型・軽量で燃費改善に貢献できるシステムとした。

#### 4. 車両性能向上の技術

新型デイズの開発コンセプトを実現するためにパワートレインで採用した主要な技術、向上した車両性能を以下に紹介する。

##### 4.1 新型デイズの搭載要件対応

軽自動車規格の中で広い室内空間の実現するために、図4に示すとおり、フロントオーバーハングを65 mm短縮し前型車からキャビン長を拡大した。一方でフードの高さは、同等としている。衝突安全性を向上させるため、図5に示すとおり、エンジンルーム内に衝突部材を追加することとした。また、S-HYBRIDシステムの採用に伴い、エンジンサイドマウントにモータを配置するなど、新型パワートレインは全長、上下左右方向に限られた空間に搭載する必要があった。

本開発においては、パワートレインを軽自動車用に特化することで、各要素部品形状を小型化するとともに、車両プラットフォームの新規開発と同時並行で進められる開発環境であったことから、車両・パワートレイン双方のアプローチより全体で最適なパッケージングを追求することができ、本搭載要件の対応が可能となった。

一方で、エンジンルームが縮小した場合、エンジンルーム内熱環境の悪化(冷却性能)が主な課題となる。そのため、本開発ではパワートレイン冷却水回路の改良に加えて、エンジンルーム内の熱環境を向上させるため、車両走行時に、パワートレインに効率よく走行風が流れるようにCFD (computational fluid dynamics analysis) を駆使し、最適な風流れをシュミレーションした上で部品形状へ反映

表-3 S-HYBRIDシステムの仕様  
Table 3 S-HYBRID system specifications

Motor	Type	AC synchronous motor
	Max. power [kW/rpm]	2.0/1200
	Max. torque [N·m/rpm]	40/100
	Weight [kg]	6.74
Battery	Type	Li-ion
	Voltage [V]	12
	Capacity [Ah]	10
	Weight [kg]	4.62

regeneration capacity and expands the engine assist range. The new system is thus lighter and smaller for use on the Dayz mini-vehicle, which contributes to improving fuel economy.

#### 4. Technologies for Improving Vehicle Performance

This section describes the principal technologies adopted for the powertrain to achieve the development concept of the new Dayz and outlines the resulting vehicle performance improvements.

##### 4.1 Compatibility with installation conditions of the new Dayz

As shown in Fig. 4, the front overhang was shortened by 65 mm to enlarge the cabin length over that of the previous model in order to obtain a roomier interior within the mini-vehicle standard. Meanwhile, the height of the hood remains the same. As shown in Fig. 5, an add-on member was added to the engine compartment for absorbing impact energy to improve collision safety performance. With the adoption of the S-HYBRID system, the motor and other parts are positioned on the engine side mount. The new powertrain had to be mounted within the limited space allowed in the longitudinal, vertical and lateral directions.

Developing the new powertrain specifically for mini-vehicles allowed the shapes of constituent parts to be downsized. In addition, the vehicle platform was newly developed and the development environment enabled activities to be carried out simultaneously in parallel. That allowed trade-offs to be resolved quickly and made it easy to achieve optimal solutions for the entire vehicle. Accordingly, the overall optimal package was pursued from both vehicle and powertrain approaches, making it possible to meet the vehicle installation conditions.

A major issue that occurs when the engine compartment is shortened is that it worsens the thermal environment inside the compartment with respect to cooling performance. Therefore, the coolant flow passages of the new powertrain were improved in this project. In addition, computational fluid dynamics (CFD) software was used to simulate the optimum air flow so that wind

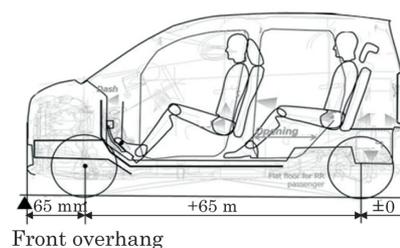


図-4 フロントオーバーハングの変更内容  
Fig. 4 Enlarged interior roominess

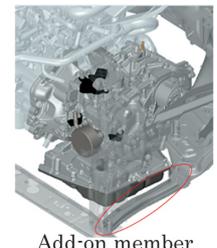


図-5 エンジンルーム内の衝突部材  
Fig. 5 Collision safety performance

させた。以上の取り組みの結果、エンジンルーム内の各部品に発生する温度を許容温度以下に抑えることができ、かつ十分な冷却性能を確保することができた。

## 4.2 動力性能向上技術

### (1) 加速性能の向上

図6に今回開発したNAエンジン搭載モデルの加速G波形を前型車との比較の形で示す。NAモデルはアクセル踏み込み時のG及びGピークを向上しつつ、加速中も高いGを持続させた結果、力強い加速性能を実現することができている。

エンジンにおいては、全域回転域でトルクを向上し、特に1000～5000rpmの低中速回転域では、NAエンジンで平均+6Nm(+12%)、TCエンジンで平均+8Nm(+9%)の性能向上を実現した。

CVTにおいては、ギヤ比の最適化、トルクコンバータ流体性能を向上させた。ギヤ比は、車両諸元、エンジン出力から得たい加速Gを実現するためにローギヤ比を定めた。また、停止から出足の加速性能に寄与するトルクコンバータの流体性能は図7に示すとおり、トルク比・容量係数を向上させた仕様を採用した。

### (2) 運転性能の向上

軽自動車の出力規制の規格を考慮しつつ、登録車で培っ

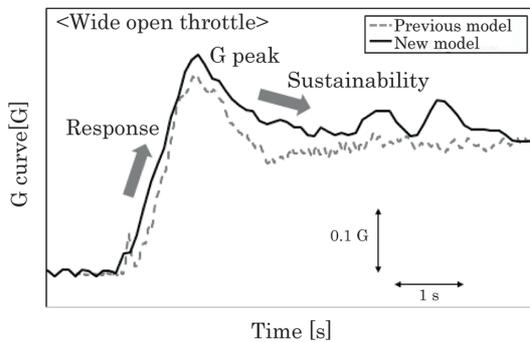


図-6 NAエンジン動力性能の比較  
Fig. 6 Comparison of dynamic performance (NA engine)

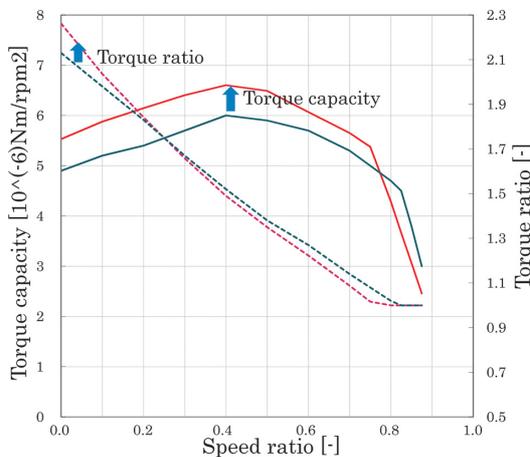


図-7 トルクコンバータ性能比較  
Fig. 7 Torque converter performance

produced by vehicle movement would flow efficiently around the powertrain in order to improve the thermal environment in the engine compartment during vehicle operation. The results were then reflected in part shapes. Thanks to the foregoing measures, the temperature that occurs in each part in the engine compartment is kept below the allowable temperature level and sufficient cooling performance is thus assured.

## 4.2 Technologies for improving power performance

### (1) Improvement of acceleration performance

Figure 6 shows the acceleration (G) curve of the newly developed model equipped with the NA engine in comparison with that of the previous model. The NA engine-equipped model improves acceleration response when the accelerator pedal is depressed and also the G peak. It also sustains a high G level during acceleration, thereby providing powerful acceleration performance.

The NA engine improves torque over the entire engine speed range. In the low to medium speed range of 1000-5000 rpm in particular, the NA engine improves torque by 6 Nm (12%) on average while the TC engine improves torque by 8 Nm (9%) on average over the previous engine.

The gear ratios of the CVT were optimized and the hydrodynamic performance of the torque converter was improved. Low gear ratios were determined to obtain the desired acceleration G from the vehicle specifications and engine output. Figure 7 shows the hydrodynamic performance of the torque converter that contributes to standing-start acceleration performance. Specifications were adopted that improve the torque ratio and torque capacity coefficient.

### (2) Improvement of driveability

Driveability of the Dayz mini-vehicle was constructed by using the shift design technology accumulated for registered vehicles, taking into account the restricted output standard of mini-vehicles. As shown in Fig. 8, in low throttle situations such as when driving in town, the shift lines are designed to deliver quiet, smooth, fuel-efficient operation; the vehicle speed rises

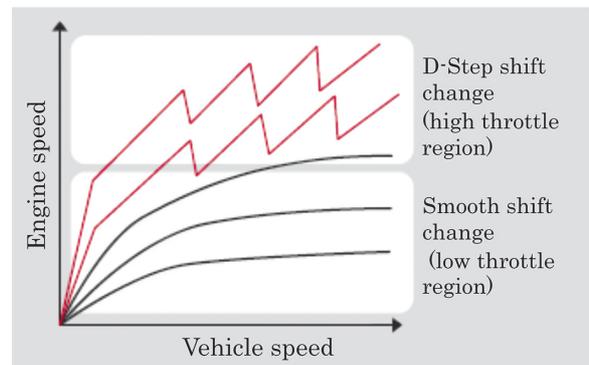


図-8 D-STEP 変速の概要  
Fig. 8 D-Step shift schedule

た変速設計技術で、軽自動車としての運転性能を構築した。

図8に示すとおり、街中走行などのアクセルをあまり踏まないシーンでは、エンジン出力の向上およびCVT本来の無段変速により、エンジン回転の上昇を抑え車速が上がり、また燃費の良い静かで滑らかな走りになるよう変速線を設定した。一方、高速道路でのETC通過後や本線合流などの加速意図の強いアクセルを深く踏み込むシーンにおいては、CVTがまるでギヤがあるかのようにステップ変速し、エンジン回転と車速が一体となって上昇するように変速するD-STEP制御<sup>4)6)</sup>を採用した。これにより、図9に示すとおり、加速しながらエンジン音に変化していくリズムカルで心地よい爽快感が味わえるドライビングフィーリングを実現した。また、エンジン回転が高車速時に一定回転に留まらず、車室内音の低下に寄与している。

D-STEP制御を軽自動車に採用するにあたり、エンジンの出力には軽自動車の規制があるため、背反として登坂路、車両重量が大きく、補機負荷が高いシーンが重なる場合、ステップ変速した直後に加速度が一旦落ち込む息継ぎ感が発生し、本来求める運転性能を得られない懸念があった。

そこで、D-STEP制御によるシフトアップ直後に駆動力が不足し、加速停滞感が発生するシーンが懸念される場合、D-STEP制御を行わない制御を開発した。本制御は、車両走行状態をモニタして車両加速Gを演算し、D-STEP制御によるシフトアップ後の予測加速Gを演算する。この予測加速Gが基準値以下となる場合は、D-STEP制御による変速を不可と判断し、無段変速を継続する制御である。このD-STEP作動可否判定制御により、あらゆるシーンにおいてスムーズな走行感を得ることが可能となった。

### 4.3 音振性能向上

図10に示すとおり、加速時の騒音レベルは、小型登録車並を実現することができた。また、雑味のないクリアなエンジン音を実現するため、音質向上技術を新エンジンに採用した。

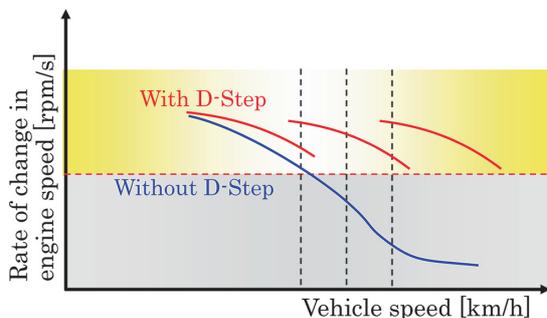


図-9 D-STEPの効果  
Fig.9 D-Step effect

while the increase in engine speed is suppressed, thanks to the improved engine output and the CVT's intrinsic seamless shifting. In contrast, in high throttle situations where the driver strongly desires to accelerate such as after passing through an electronic toll collection (ETC) gate on an expressway or when merging with through traffic, the CVT shifts in a step-like manner as if it had gears. Dynamic Step (D-Step) shift control<sup>4)6)</sup> was adopted to shift the CVT so that the engine speed and vehicle speed rise in unison. As shown in Fig. 9, this enables drivers to enjoy an exhilarating driving feeling in which the engine sound changes in a pleasing, rhythmical manner as the vehicle accelerates. In addition, the engine speed does not remain constant in the high vehicle speed range, which contributes to reducing the interior noise level.

In adopting D-Step control on a mini-vehicle, there was concern that the driveability originally desired might not be obtained because of a contradiction due to the restricted engine output of mini-vehicles. In situations where an uphill grade, a heavy vehicle weight and a high auxiliary load overlap, a feeling of engine hesitation might occur with a momentary decline in acceleration right after a step-like shift.

Therefore, a control procedure was developed whereby D-Step control is not performed in situations where a feeling of sluggish acceleration might occur owing to insufficient driving force immediately after an upshift executed by D-Step. This control procedure monitors the vehicle's operating state and calculates the vehicle's acceleration G, i.e., it predicts the acceleration G available after an upshift performed by D-Step. If the predicted acceleration G is below a certain reference value, it judges that an upshift by D-Step is impossible and controls the CVT so as to continue step-less shifting. This control procedure for judging and controlling whether D-Step can be actuated or not makes it possible to obtain a feeling of smooth driving performance in a wide variety of situations.

### 4.3 Improvement of NVH performance

As shown in Fig. 10, the new model achieves a noise level during acceleration equal to that of a small registered vehicle. Technologies for improving the sound quality were adopted for the new engine to provide a pure, clear engine sound.

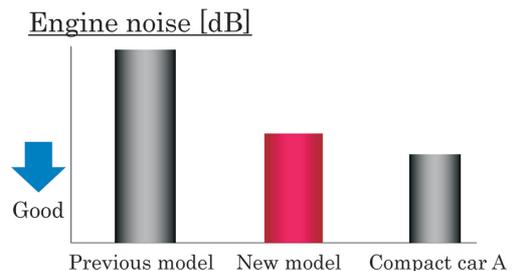


図-10 加速時のエンジンノイズ  
Fig.10 Quietness performance during acceleration



(1) パワープラント振動低減

騒音レベルに影響するパワープラント共振によるマウント振動を低減するためにエンジンとCVTの締結剛性を大幅に向上させた。また、エンジンの主運動本体構造系部品を高剛性化することでエンジン振動、ノイズの低減を図った。今回開発したパワートレインに採用した技術は下記5点である (図11)。

- (a) エンジンとCVTの断面剛性変化の縮小化
- (b) エンジンとCVTのドッキングボルトの最適配置
- (c) エンジンシリンダヘッドとトランスミッションケースを連結する剛性部材の追加
- (d) クランクシャフト最適化設計
- (e) エンジン本体構造系軽量高剛性設計

(a) (b) (c) の採用により、現行のパワープラント曲げ固有値を従来技術比で1.5倍向上させ、図12に示すとおりマウントの振動レベルを大きく低減することができた。一方で、エンジンとCVTの締結剛性を上げた場合の相反する事象として質量増加が課題となる。そのため、上記で述べた (a) (b) (c) の技術を織り込む際には、パワープラント曲げ固有値の解析を行い、その固有値向上に寄与が高いエンジンとCVTの合わせ面上方部の剛性を高め、寄与の低い合わせ面の下方部は軽量化を図ることで、高剛性と軽量化を両立する最適形状にすることが可能となった。また、上記 (c) の剛性部材は、配管やTCエンジン部品の固定部材としても機能を有するようにし、部品点数

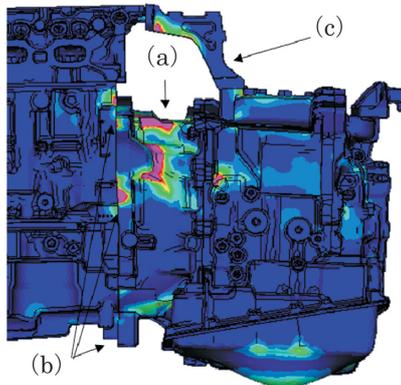


図-11 曲げ固有値改善の方策内容

Fig. 11 Measures for improving natural bending frequency

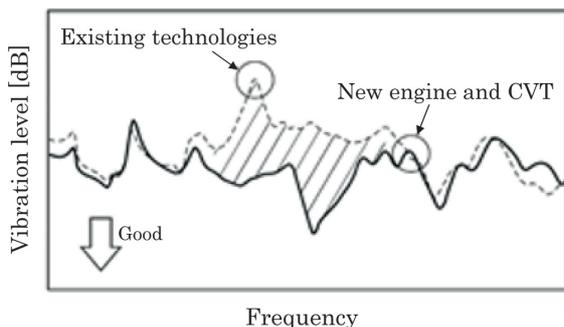


図-12 振動レベルの低減効果

Fig. 12 Effect of improving natural bending frequency

(1) Reduction of powerplant vibration

Coupling stiffness between the engine and the CVT was markedly improved to reduce mount vibration induced by powerplant resonance that affects the noise level. Engine vibration and noise were also reduced by increasing the stiffness of the parts composing the main moving structures of the engine. The following five technical measures were adopted for the newly developed powertrain (Fig. 11).

- (a) Reduction of changes in cross-sectional stiffness of the engine and CVT
- (b) Optimized positioning of the bolts connecting the engine and CVT
- (c) Addition of a stiffness member connecting the engine cylinder head and the transmission case
- (d) Crankshaft design optimization
- (e) Lightweight, high-stiffness design of engine structural parts

The adoption of measures (a), (b) and (c) raised the natural bending frequency by 1.5 times over that of the existing powerplant with the previous technologies. As a result, the mount vibration level was substantially reduced as shown in Fig. 12. On the other hand, increasing the coupling stiffness of the engine and CVT gives rise to a conflicting issue of an increase in mass. For that reason, a simulation was conducted of the powerplant's natural bending frequency when measures (a), (b) and (c) noted above were incorporated. The stiffness of the upper portion of the engine-CVT interface, which contributes greatly to improving the natural bending frequency, was increased, whereas the weight of the lower portion of the interface that makes a small contribution was reduced. In this way, the optimal shape was obtained that both increases the stiffness and reduces the weight. The addition of a stiffness member as measure (c) above also functions to secure the piping and TC engine parts, thereby serving to reduce the parts count and the mass. The adoption of the structures described here enabled a mass reduction of 1.5 kg from that for the previous technologies while also reducing the mount vibration level.

In addition, as shown in Fig. 13, adoption of a forged crankshaft and optimization of the crank web shape as measure (d) reduced NVH and friction as a result of

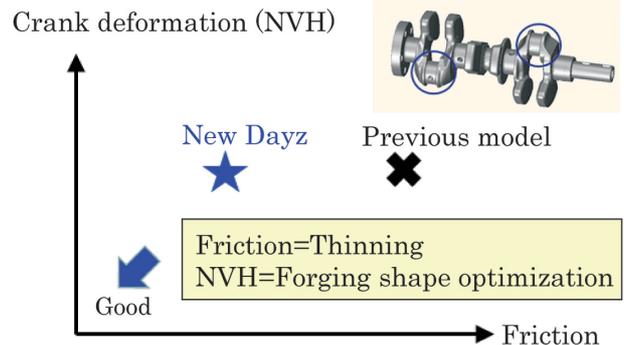


図-13 クランクシャフトの最適形状化

Fig. 13 Optimization of crankshaft shape

の低減や質量低減を図った。上記構造の採用により、マウントの振動レベルを低減しつつ、従来技術より質量を1.5kg削減することが可能となった。

加えて (d) は図13に示すとおり、クランク鍛造化、及びクランクウェブ形状の最適化を行うことで、音振とフリクション（細軸化）、重量との両立を実現した。

(e) は図14に示すとおり、エンジン本体構造は従来の板厚及びリブによる剛性設計から重量効率の高い、コーン形状及び曲面形状を採用することで、音振と重量の両立を図った。

(2) エンジンノイズの音質向上

「雑味のないクリアな音質」を実現するために吸気音響等長システムを採用した。各吸気ポート長さを等長化することで、図15に示すとおり、エンジンの基音・倍音成分を強調したクリアなサウンドを実現できた。

4.4 燃費性能向上技術

表4、表5に今回開発したNAモデルとTCモデルのJC08モード燃費値を、それぞれ前型車との比較の形で示す。前型車に対して燃費性能は大幅に向上し、2020年度燃費基準を達成するとともに、市場汎用性を追求した実用燃費においても大幅に向上している。<sup>7)</sup>

(1) エンジン

最良燃費率の向上、良消費率の向上、メカニカルフリクションの低減を実施した。採用した技術の詳細は、以降の記事「軽自動車向け新型ガソリンエンジンの開発」を参照されたい。

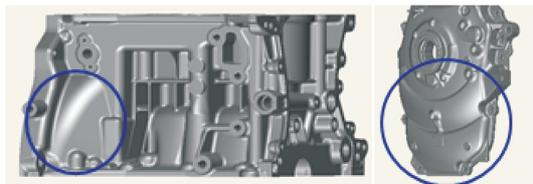


図-14 エンジン本体構造の高剛性化  
Fig. 14 High stiffness of engine structure

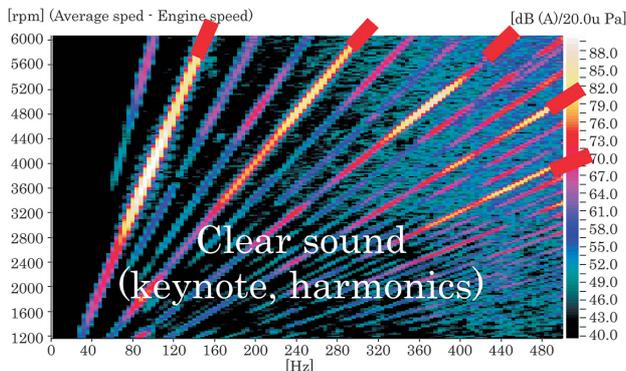


図-15 吸気音響等長システムによるエンジン音の効果  
Fig. 15 Clear sound obtained with same length intake manifold runners

thinning the crankshaft while also reducing the weight at the same time.

As shown in Fig. 14, the engine structure was changed from a stiffness design based on the plate thickness and ribs to one with high weight efficiency by adopting cone and curved shapes. As a result, measure (e) achieved both NVH performance and a weight reduction.

(2) Improvement of engine sound quality

A system of acoustically tuned, equal-length intake manifold runners was adopted to achieve pure, clear engine sound quality. By making all the intake manifold runners the same length, clear sound quality was obtained that emphasizes the engine's keynote sound and harmonics, as shown in Fig. 15.

4.4 Technologies for improving fuel economy

Tables 4 and 5 respectively show the fuel economy achieved by the new model equipped with the NA engine and the TC engine in comparison with the corresponding versions of the previous model under Japan's JC08 test mode. Fuel economy has been markedly improved over the previous model. The fuel economy standard set for fiscal 2020 has been achieved along with a substantial improvement in practical fuel economy under the typical conditions of real-world driving.<sup>7)</sup>

(1) Engine

The new engine improves the best fuel consumption rate, expands the region of an excellent fuel consumption rate and reduces mechanical friction. The details of the technologies adopted in this regard are explained in a subsequent article entitled "Brand-new Small Gasoline Engine for a New Mini-vehicle."

(2) CVT

Mechanical friction under steady-state operation was reduced and the control procedure during transient operation was also improved. As a result, the ability to trace the targeted gear ratio was improved so that the engine can operate in a speed range of good efficiency. Measures taken to reduce mechanical losses include the application of ball bearings for supporting the pulleys and gear shafts, optimization of the pressure receiving area and pressure settings of the pulley system, and adoption

表-4 NAモデルの燃費比較 (JC08)  
Table 4 Comparison of fuel economy (NA engine)

Grade	Previous model	New model
2WD NA	25.8 km/L	29.8 km/L

FY 2020 fuel economy standard + 20%: 29.4 km/l

表-5 TCモデルの燃費比較 (JC08)  
Table 5 Comparison of fuel economy (TC engine)

Grade	Previous model	New model
2WD TC	23.2 km/L	25.2 km/L

FY 2020 fuel economy standard: 23.7 km/l

(2) CVT

定常的なメカニカルフリクションの低減を行い、過渡においても制御の改良により、エンジン回転が効率のよい回転になるよう目標変速比への追従性向上を図った。メカニカルロス低減としては、プーリとギヤ軸支持部のボールベアリング化、プーリーシステム受圧面積・油圧設定値の最適化、高効率のベルトの採用を行った。また攪拌（かくはん）抵抗を低減するため、ケース内側の構造や、バッフルプレート配置、ストレーナ吸い口を最適化し、オイルレベルを最適設計した。<sup>8)</sup>

(3) S-HYBRIDシステムによる燃費向上

本システムはサブバッテリーをリチウムイオンバッテリーへ変更した。これにより、回生量は鉛バッテリーのセレナに対して約2倍となりエネルギーを無駄なく回生することが可能となった。その結果、発電負荷低減に加えて、エンジンアシストに供試する電力の増加を可能とし、アシスト時間を約10倍へ延長することができた。回生量の増大とエンジンアシストの拡大により、燃料消費量の削減を実現した。

一方で、回生量の過剰な増加は、アクセル操作やブレーキ操作を煩雑にし、実用燃費の悪化を招くことが懸念される。そのため、市場モデルを使ったシミュレーションを行い、自然な減速の実現ならびにブレーキ操作量を低減できる回生量を設定した。

(4) エンジンとCVTのマッチング技術

燃費向上としてエンジンとCVTが協調した技術を多数採用したが、ここでは今回初採用したフルコーストストップ制御（以降Full C/Sと記載）について述べる。

Full C/Sとは、図16に示すとおり、車両がブレーキ減速から停止するシーンにおいて、減速中のエンジン燃料噴射を停止し、一定の車速まで減速した時にエンジンが燃料噴射を復帰させることなくエンジンをそのまま停止させる制御である。新型デイズではこの新たな制御を採用した。

本制御を採用するにあたり、下記技術課題に対して取り組んだ内容を述べる。

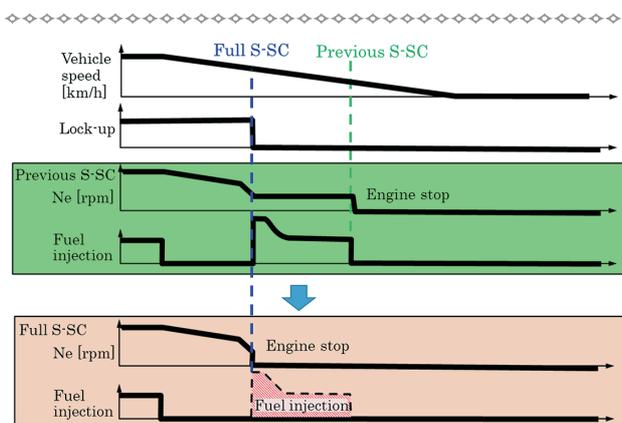


図-16 Full C/Sのタイムチャート  
Fig. 16 Full S-SC operational time chart

of a high-efficiency belt. In addition, churning resistance was reduced by optimizing the interior structure of the case, baffle plate position and the strainer suction port and by designing the optimal fluid level.<sup>8)</sup>

(3) Fuel economy improvement obtained with S-HYBRID system

The auxiliary battery of this system was changed to a lithium-ion battery, which increases the energy regeneration capacity by approximately twofold over that of the lead-acid battery of the system used on the Serena. This makes it possible to regenerate electrical power without wasting any kinetic energy. As a result, in addition to reducing the power generation load, it also increases the amount of electrical power that can be provided for engine assist. The assist time has been extended by approximately tenfold over the previous system. The increased regeneration capacity and expanded engine assist have the effect of reducing the amount of fuel consumed.

There was concern that an excessive increase in the regeneration capacity would complicate operation of the accelerator pedal and brake pedal, causing practical fuel economy to worsen. Therefore, a model that reflected customers' actual driving patterns was used to conduct simulations in order to set the regeneration capacity so as to allow natural vehicle deceleration and reduce the frequency of depressing the brake pedal.

(4) Engine-CVT matching procedures

Many procedures were adopted for collaborative control of the engine and CVT for improving fuel economy. This section describes the full start-stop coasting (Full S-SC) control that was adopted for the first time.

As shown in Fig. 16, Full S-SC control suspends fuel injection to the engine during deceleration in situations where a vehicle is decelerated by braking to a complete stop. This control shuts off the engine without resuming fuel injection when the vehicle decelerates to a certain specified speed. This new control system is featured on the new Dayz.

The following are the details of technical issues that had to be addressed in order to adopt this control system.

(a) Variator shift speed for returning to low gear side when activating Full S-SC control

The new CVT is not fitted with an electric oil pump from the standpoint of size and weight reductions, so the only power source for producing CVT pressure is the engine output. Suspending engine output stops the supply of pressure inside the CVT, thus stopping the shifting action of the variator. Consequently, if Full S-SC control is actuated in a condition where the variator gear ratio has not fully returned to the low gear side, the vehicle must be re-accelerated in a state with the variator gear ratio on the high gear side. There was concern that the resulting driving force would not be sufficient for accelerating the vehicle. To resolve that contradiction, consider that an attempt is made to shift the variator quickly to the low gear

## (a) Full C/S作動時のバリエータのロー戻り変速

新型CVTでは小型・軽量化の観点から、電動オイルポンプを搭載しておらず、CVT油圧を発生させる動力源はエンジン出力のみである。エンジン出力が停止するとCVT内の油圧供給が止まり、バリエータの変速は止まる。そのため、バリエータ変速比が十分にローギヤ側まで戻れていない状態でFull C/Sを行った場合、再発進時にバリエータ変速比がハイギヤ側の状態から発進することとなり、駆動力不足が懸念される。また、その背反を解消するためにFull C/S制御を作動させる前にロー側に早く変速させようとする減速中に乗員の体が前のめりになるようなG変化（引き込まれ感）を生じ、運転性上問題となる。

そのため動力性能、運転性能、燃費性能の両立を図りつつCVTオイルポンプの吐出量、変速線、バリエータ油圧諸元を決定した上で、Full C/Sの作動条件として、エンジン停止前のバリエータ変速比、エンジン停止前のロー戻り変速速度に上限を設定した。

## (b) アイドリングストップ、コーストストップからのエンジン再始動時の協調

アイドリングストップまたはコーストストップ状態からの再発進時は、タイムラグが少なくスムーズでショックの無い発進性能が求められる。新型CVTは、エンジン停止状態ではCVTの前進クラッチが解放状態になる。そのため、再発進時前進クラッチの締結は、ショックが発生せず、かつ短時間で締結し駆動力を伝達する必要がある。

一方、CVTの前進クラッチが解放状態で再始動するため、エンジン回転が吹け上がりやすくなる。エンジン回転の吹け上がり大きい場合、回転を同期させCVT前進クラッチを締結するまで、ある一定の時間が必要となり、結果として発進時のタイムラグが大きくなる。回転同期の時間を短縮するためにはエンジン再始動時の回転吹け上りを抑制する必要があるが、過度な抑制は発進に必要な余裕駆動力を損ねることにつながる。したがって、発進時のタイムラグとショックを成立させるために再始動時のエンジン回転プロフィールを最適化する必要があった。

これを解決するために、CVT制御では前進クラッチの状態（締結または解放）を回転センサから読み取り、前進クラッチが解放状態の場合は点火時期リタード制御を作動し、過度なエンジン回転吹け上りを抑えるようにエンジンとCVTとの間で協調する制御を織り込んだ。

また、CVT本体においては、エンジン再始動時のCVT油圧の立ち上がりを早期化するため、油圧室内のリークを抑制することを目的として、プーリ油圧室のシールリングをDリング、低リークタイプとし、コントロールバルブとケースの回路間にフラップ弁を配置することで、CVT油圧の立ち上がりの早期化を実現した。<sup>8)</sup>

以上の取り込みの結果、アイドリングストップまたはコーストストップ状態からの再発進時において、タイムラ

side before Full S-SC control is actuated. This would result in a driveability issue by causing a G change (pull-down feeling) that would make occupants' bodies fall forward during deceleration.

Therefore, the discharge rate of the CVT oil pump, shift lines and variator pressure specifications were determined so as to achieve an optimum balance among power performance, driveability and fuel economy. On that basis, upper limits were defined for the actuation conditions of Full S-SC with respect to the variator gear ratio and the shift speed for returning to the low gear side before the engine is shut off.

## (b) Collaboration for restarting the engine from start-stop or coasting start-stop states

Smooth, shock-free acceleration performance with little time lag is required when re-accelerating from a start-stop or a start-stop coasting state. The forward clutch of the new CVT is disengaged while the engine is shut off. Accordingly, at the time of re-acceleration the forward clutch must be engaged quickly and without any shock in order to transmit driving force.

On the other hand, engine speed flare is apt to occur when the engine is restarted with the forward clutch disengaged. In the case of large engine speed flare, a certain amount of time is needed to synchronize the rotational speeds and engage the CVT forward clutch. Consequently, the time lag until vehicle launch becomes longer. In order to shorten the speed synchronization time, engine speed flare must be suppressed when the engine is restarted. However, excessive suppression would detract from the extra driving force needed to launch the vehicle. Therefore, it was necessary to optimize the engine speed profile at the time of restart in order to obtain an acceptable time lag and minimal shock for vehicle launch.

In order to resolve these issues, a procedure for collaboration between the engine and the CVT was incorporated in the CVT control system. With this control procedure, the engaged or disengaged state of the forward clutch is detected by a rotation sensor. If the forward clutch is disengaged, ignition timing retard control is activated to suppress excessive engine speed flare.

Moreover, measures were applied to the CVT itself to quicken the rise of the CVT pressure at the time the engine is restarted. For the purpose of preventing leakage in the pulley pressure chambers, a D-ring was adopted as the sealing ring for the primary pulley pressure chamber and a low-leakage type of seal was adopted for the secondary pulley pressure chamber. A flapper valve is positioned in the hydraulic circuit between the control valve and the case. These measures enable the CVT pressure to rise faster.<sup>8)</sup>

As a result of adopting the measures described here, the time lag for re-acceleration from a start-stop or a start-stop coasting state was shortened by 0.15 s from that of the previous model. A smooth launch feeling was also achieved.

グが前型車より0.15秒短縮でき、かつスムーズな発進フィーリングを得ることができた。

## 5. ま と め

これまでの登録車用パワートレインの開発にて培った技術に加えて、軽自動車用パワートレインとして新たに下記技術開発を行い採用することで、車両性能の向上を可能とした。

### (1) 搭載性能・軽量化

エンジンとCVTの小型化により、エンジンルームが縮小でき、広い室内空間の実現、衝突安全性の向上に貢献した。また小型化により、前型パワートレインに対して5kgの軽量化を実現した

### (2) 動力性能

前型エンジンに対して全回転域でトルク向上を実現し、車両・エンジン特性にあわせたCVTのギヤ比選定により、アクセル踏み込み時の立ち上がりG及びGピークを向上しつつ、加速中も高いGを持続させ力強い加速性能を実現できた。

また軽自動車として初のD-STEP制御を採用し、加速しながらエンジン音に変化していくリズムカルで心地よい爽快感が味わるドライビングフィーリングを実現した。

### (3) 音振性能

エンジン本体の剛性、エンジンとCVTの締結剛性を軽量化と両立して向上させることにより、パワープラント曲げ固有値を向上しマウント振動を抑制することで、小型登録車並の加速時の騒音レベルを実現した。またエンジンの音質向上技術を採用し、クリアな雑味のないエンジン音を実現した。

### (4) 燃費性能

エンジンとCVTのフリクション低減、ならびにエンジン、CVT、S-HYBRIDシステムの協調制御の採用により、前型パワートレインに対して実用燃費を向上させ、モード燃費として約15% (JC08モード) の車両燃費向上に寄与した。

末筆ながら、本軽自動車用新パワートレインの開発におきましては愛知機械工業株式会社、ジャトコ株式会社の多くの方々にご多大なるご協力を頂きました。ここに深く御礼申し上げます。

## 6. 参 考 文 献

- 1) 森脇信人ほか：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) 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

## 5. Conclusion

In addition to adopting the technologies accumulated to date in developing powertrain systems for registered vehicles, the following technologies were newly developed specifically for this mini-vehicle powertrain to improve vehicle performance.

### (1) Mountability and weight reduction

Downsizing the engine and the CVT enabled the engine compartment to be shortened for creating a roomier cabin and it also contributed to improving collision safety. Downsizing also had the effect of reducing the powertrain weight by 5 kg compared with that of the previous powertrain.

### (2) Power performance

The new engine improves torque over the entire engine speed range compared with the previous engine, and the gear ratios of the CVT were selected to match the vehicle and engine characteristics. As a result, powerful acceleration performance is achieved in response to depression of the accelerator pedal. Both the G rise curve and G peak have been improved and a high G level is also sustained during acceleration.

D-Step shift control has been adopted for the first time on a mini-vehicle to enable drivers to enjoy an exhilarating driving feeling with the engine sound changing in a pleasing rhythmical manner as the vehicle accelerates.

### (3) NVH performance

The natural bending frequency of the powerplant was improved and mount vibration was suppressed to achieve a noise level during acceleration on a par with that of small registered vehicles. That was accomplished by increasing the stiffness of the engine proper and also by improving the coupling stiffness between the engine and the CVT while simultaneously reducing the weight of the interface. In addition, measures were adopted for improving the sound quality of the engine to obtain a pure, clear engine sound.

### (4) Fuel economy

Friction of both the engine and the CVT was reduced and procedures were adopted for collaborative control of the engine, CVT and S-HYBRID system. As a result, the new powertrain enhances practical fuel economy over that of the previous powertrain, contributing to an improvement in fuel economy of approximately 15% under Japan's JC08 test mode.

Finally, the authors would like to sincerely thank many people at Aichi Machine Industry Co., Ltd. and JATCO Ltd for their invaluable cooperation with the development of this new mini-vehicle powertrain.

## 6. References

- 1) N. Morishima et al., Development of HR improvement engine which adopted Dual Injector System, Proc. of JSAE, No. 110-10, pp. 11-14 (2010).
- 2) H. Isaji et al., Development of new I3 1.2L Supercharged Gasoline Engine, Proc. of JSAE, No. 140-11, pp. 1-4

- 学術講演会前刷集、No. 140-11、pp. 1-4 (2011).
- 3) 松井義典ほか：新型高効率4気筒1.6L直噴ガソリンターボエンジンの開発、自動車技術会 学術講演会前刷集、No. 91-14、pp. 1-6 (2014).
  - 4) 中野晴久ほか：新世代ワイドレシオカバレッジ小型CVTの開発、自動車技術会 シンポジウムテキスト、No. 06-15、pp. 34-37 (2015).
  - 5) 齋藤一美ほか：ディーゼルエンジン車適用CVT開発、自動車技術会 シンポジウムテキスト、No. 03-14、pp. 49-53 (2014).
  - 6) 塩見淳ほか：環境に配慮した次世代2.0～3.5LクラスFF車用CVTの紹介、自動車技術会 学術講演会前刷集、No. 26-12、pp. 5-8 (2012).
  - 7) 伊佐治洋ほか：新型軽自動車用ガソリンエンジンの開発、自動車技術会 学術講演会講演予稿集、No. 85-19、pp. 1-6 (2019) .
  - 8) 国久美樹子ほか：軽自動車向け新型CVTの開発、自動車技術会 学術講演会講演予稿集、No. 60-19、pp. 1-4 (2019).
  - 9) 小山良浩ほか：新型軽自動車用ベルト式CVTの開発、自動車技術会 学術講演会講演予稿集、No. 60-19、pp. 1-6 (2019).
  - 10) 渡邊剛史ほか：新型セレナ搭載S-HYBRID システムの開発、日産技報、No. 72、pp. 37-41 (2013).
  - (2011).
  - 3) Y. Matsui et al., Development of the new high efficient 4-cylinder 1.6L Direct Injection Gasoline turbocharged Engine, Proc. of JSAE, No. 91-14, pp. 1-6 (2014).
  - 4) H. Nakano et al., Development of New-generation Eco-friendly CVT for Small Vehicles, Text of JSAE Symposium, No. 06-15, pp. 34-37 (2015).
  - 5) K. Saito et al., Development of CVT for diesel engine vehicle, Text of JSAE Symposium, No. 03-14, pp. 49-53 (2014).
  - 6) J. Shiomi et al., Next-generation Eco-friendly CVT for 2.0-3.5L-class FWD-vehicle, Proc. of JSAE, No. 26-12, pp. 5-8 (2012).
  - 7) H. Isaji et al., Brand New Small Gasoline Engine for New Kei-Car, Proc. of JSAE, No. 85-19, pp. 1-6 (2019).
  - 8) M. Kunihisa et al., Development of a New Generation CVT for Mini-Vehicles, Proc. of JSAE, No. 60-19, pp. 1-4 (2019).
  - 9) Y. Oyama et al., Development of Brand New Belt Type CVT for Japan Kei-Car, Proc. of JSAE, No. 60-19, pp. 1-6 (2019).
  - 10) T. Watanabe et al., Development of Serena S-HYBRID System, Nissan Technical Review, No. 72, pp. 37-41 (2013).

■著者 / Author(s) ■



小山良浩  
Yoshihiro Oyama



伊佐治 洋  
Hiroshi Isaji



黒木 真  
Makoto Kuroki



平野智久  
Tomohisa Hirano



三嶋峻平  
Shumpei Mishima



宮川 育  
Akira Miyagawa



川岬芳秀  
Yoshihide Kawasaki



坂井雄紀  
Yuuki Sakai



鈴木淳也  
Junya Suzuki

# 軽自動車向け新型ガソリンエンジンの開発

## Brand-new Small Gasoline Engine for a New Mini-vehicle

伊佐治 洋\*  
Hiroshi Isaji

森 嶋 信 人\*\*  
Nobuto Morishima

新 井 俊 哉\*  
Toshiya Arai

櫻 庭 健 一\*  
Kenichi Sakuraba

**抄 録** 軽自動車は日本市場向けの小型車であり、お客様からの明確な要求である高い環境性能、競争力のあるコストを満たした設計がなされている。今回、日産はこれらの要求にこたえるべく、アライアンスエンジンシリーズのモジュール開発を基本とした、新しい660ccガソリンエンジンを開発した。高性能を達成するために、小径ボアとしてロングストローク化、インテーク及びエキゾーストポート、そして燃焼室形状の最適化による、エンジンの基本構造の開発を行った。また、デュアルインジェクタシステム、クーールドEGRシステムを採用し、出力・燃費・排気性能向上を実現した。本稿では新型エンジン開発の詳細、出力・燃費・排気性能向上を実現した、ブレークスルー技術について紹介する。

**Summary** Mini-vehicles are a unique vehicle segment in the Japanese market designed to meet specific customer requirements for high environmental standards and competitive cost. Nissan developed a new 660cc gasoline engine to meet these specifications, based on modular development of an Alliance engine series. The initial focus was to develop the basic construction of the engine by optimizing the small bore-long stroke, intake and exhaust ports and combustion chamber shape to achieve high performance levels. To attain higher power, better fuel efficiency and low exhaust emissions, we combined a dual injector system and a cooled EGR system. This article details the development of this new engine, including the key breakthrough technologies adopted to achieve high power, good fuel economy and low exhaust emissions.

**Key words :** Power Unit, heat engine, spark ignition engine, turbocharger, dual injection

### 1. はじめに

私たち日産自動車は、登録車用エンジン開発のノウハウを織り込み、日産として初めて開発を行った軽自動車用のガソリンエンジンを開発した。この新型エンジンは、1.0Lを上限とする登録車用エンジンシリーズの基本骨格を踏襲しながらも、軽自動車専用エンジンとして完全新規設計を行い、動力性能と実用燃費性能を向上し、かつ排出ガスの低減を図った。本稿では、その技術内容について紹介する。

### 2. エンジン開発の狙い

エンジンの主要諸元を表1に、外観を図1に示す。動力性能と燃費性能向上、排出ガス低減を高次元でバランスさせるために、熱効率、ポンピングロス、メカニカルフリクションロスなどのエンジンの素質の改善を徹底的に行った。そのために、ロングストローク化 (SD比1.14)、高圧縮比化 (12.0)、各種のメカニカルフリクション低減アイテ

### 1. Introduction

At Nissan, we drew upon the know-how gained in developing engines for registered vehicles to develop a new gasoline engine specifically for use on the first mini-vehicle that was developed in-house. This new engine was completely designed anew as a dedicated mini-vehicle engine, while also inheriting the basic framework of a registered vehicle engine series that has an upper displacement limit of 1.0L. That was done to improve

表-1 NA/Turbocharger エンジン仕様  
Table 1 NA/turbocharged engine specifications

	Naturally aspirated	Turbocharged
Engine type	Inline 3	
Displacement [cc]	659	
Bore x stroke [mm]	Φ62.7 x 71.2	
Compression ratio	12.0:1	9.2:1
Max. power [kW/rpm]	38 / 6400	47 / 5600
Max. torque [Nm/rpm]	60 / 3600	100 / 2400-4000
Emission level	2018 ☆☆☆☆ WLTP	2018 ☆☆☆ WLTP
Fuel supply system	Port injection	
EGR system	Cooled type	None
CVTC system	Intake	

\*株式会社日産オートモーティブテクノロジー / Nissan Automotive Technology Co., Ltd \*\*愛知機械工業株式会社 / Aichi Machine Industry Co., Ltd.





2.2 燃費性能の向上

図4、図5に今回開発したNA及びTCエンジンの燃費率マップを示す。最良燃費率の向上に加え、良燃費率の領域を広げることができた結果、JC08モードにおいて、前型エンジンに対してNAエンジンで+9%、TCエンジンで+7%の燃費向上に貢献することができた。

3. 性能向上をもたらす要素技術

前述の動力性能と燃費性能の向上、及び排出ガス低減を図るために採用した技術を表2に示す。

3.1 熱効率の向上

3.1.1 高圧縮比化

熱効率向上のために高圧縮比化すると耐ノック性が悪化する。そのため高負荷領域での性能向上を行うためにはノック抑制技術が高圧縮比化とセットで必要となる。本エンジンでは、ロングストローク化 (SD比1.14)、後述するガス流動強化やデュアルインジェクタシステムの採用によ

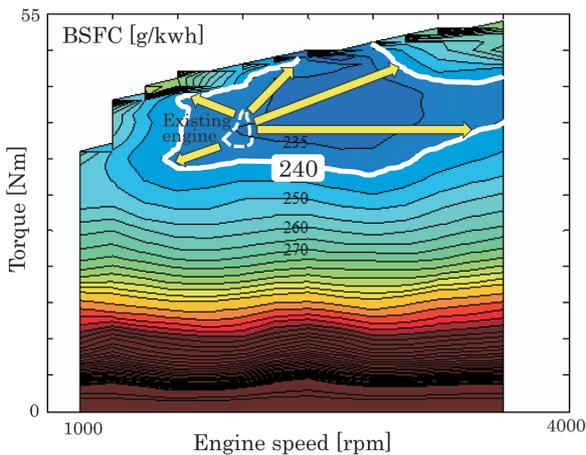


図-4 燃費率 (NA エンジン)  
Fig. 4 Fuel consumption rate (NA engine)

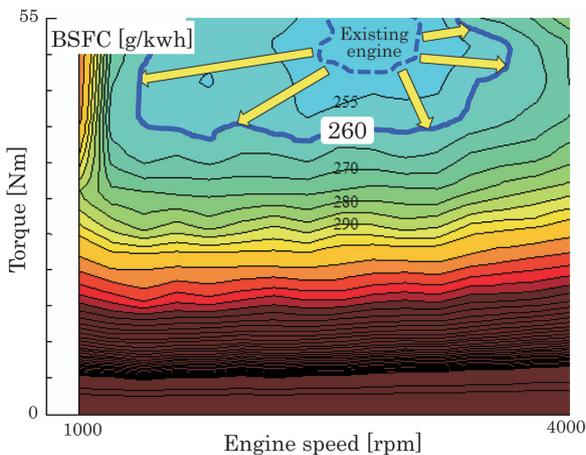


図-5 燃費率 (TC エンジン)  
Fig. 5 Fuel consumption rate (TC engine)

explained later, were adopted to improve knock resistance. Other measures adopted to improve knock resistance included piston-cooling oil jets, cooling ribs with a heat sink structure, and a top piston ring with higher thermal conductivity. The combined effect on improving knock resistance was equal to a crank angle of approximately 5 deg. A compression ratio of 12.0:1 was adopted for the NA engine, the same as that of the existing engine. The improved knock resistance thus works to increase engine torque and to improve thermal efficiency in the high load region.

3.1.2 Stronger gas flow

Strengthening the gas flow improves knock resistance owing to the faster combustion velocity, enhances combustion stability, and reduces pumping losses on account of a higher EGR rate, among other effects that contribute to improving engine torque and fuel economy. Retarding the ignition timing to the allowable combustion limit is aimed at reducing exhaust emissions by quickening catalyst light-off as a result of raising the exhaust gas temperature at a cold engine start. Because combustion stability is improved, the ignition timing can be retarded further, which has a larger effect on raising the catalyst temperature. To obtain the maximum effects possible, the intake port was newly designed to strengthen the gas flow in combination with the long stroke. As a result, a high tumble ratio was attained while maintaining the same level of air flow resistance as that of the existing engine (Fig. 6).

3.1.3 Adoption of a dual injector system

The new engine features a dual injector system that Nissan was the first in the world to apply to a mass-produced engine.<sup>1)</sup> Ordinarily, fueling systems use one injector to supply fuel to one cylinder. This system uses two injectors per cylinder for the purpose of improving combustion (Fig. 7).



表-2 主な採用技術  
Table 2 Main technical features

Main technical features	NA	TC	Performance				Weight reduction
			FE	Power/Torque	Emissions	NVH	
Stop-start system	○	○	○			○	
Cylinder head & cylinder lock	Long stroke	○	○	○		○	○
	Cylinder head high tumble port	○	○	○		○	
	Cylinder head with integrated exhaust manifold					○	○
	Increase stiffness using oil pan & transmission	○	○				○
Piston	Oil jet	○	○	○	○		
	Ring: DLC coating	○	○	○	○		
	Ring: High thermal conductivity	○	○	○	○		
Rear oil seal	○	○	○	○	○		
Drive train	Mirror finished crankshaft	○	○	○	○	○	
	Mirror finished cam lobe	○	○	○	○	○	
Valve train	Cast hollow camshaft	○	○	○	○		○
	Valve lifter with DLC coating	○	○	○	○	○	
	Beehive valve spring	○	○	○	○	○	
	Intake CVTC	○	○	○	○	○	
Lubrication	Oil 0W-8 (Turbo: 0W-16)	○	○	○	○	○	
Fuel supply	Dual fuel injector system	○	○	○	○	○	
	Plastic fuel tube	○	○				○
Ignition	M10 spark plug	○	○	○	○		
Intake	Long branch & equal length	○	○	○	○		○
EGR	EGR system (internal / external)	○		○			

NA: Naturally aspirated  
TC: Turbocharged  
FE: Fuel economy

る耐ノック性の向上に加え、ピストン冷却のためのオイルジェット、ヒートシンク構造による冷却リブ、高热伝導性トップリングなどの耐ノックアイテムを採用することにより、約5degのノック改善効果を得た。NAエンジンでは前型エンジンと同じ圧縮比12.0を採用した上で、このノック改善効果によりエンジントルクの向上や高負荷域の熱効率向上を実現している。

3.1.2 ガス流動強化

ガス流動の強化は、燃焼速度を速められることによるノック改善の効果や、燃焼安定性が向上しEGR率を高められることによるポンピングロス低減の効果など、エンジントルクや燃費の向上に寄与する。また、冷機始動後には点火時期を燃焼限界まで遅角し排気温度を上げ触媒の早期活性による排出ガス低減を狙うが、燃焼安定性が向上することでより点火時期を遅角することができ、触媒昇温効果が大きくなる。これらの効果を最大限に得るために、ロングストローク化との組み合わせで、ガス流動を強化する吸気ポートを新たに設計した。これにより、前型エンジン並の通気抵抗を維持した上で、高タンブル比を実現することができた (図6)。

3.1.3 デュアルインジェクタシステムの採用

弊社が量産エンジンで世界初採用したデュアルインジェクタシステム<sup>1)</sup>は、通常は1シリンダあたり1本のインジェクタで燃料を供給するが、本システムは燃焼改善のために、1シリンダあたり2本のインジェクタを採用するシステムである (図7)。

デュアルインジェクタシステムに使用しているインジェクタの主要諸元を表3に示す。デュアルインジェクタは、1本あたりの静的流量低減によりインジェクタ本体をスリム化した結果、噴霧点を吸気バルブに近づけることができ、吸気ポートへの燃料の付着量を増加させることなく広角な噴射と、噴霧の微粒化が可能となる。本エンジンのインジェクタは、デュアルインジェクタ用の第3世代として新規に専用開発した。インジェクタ本体は、新規開発の

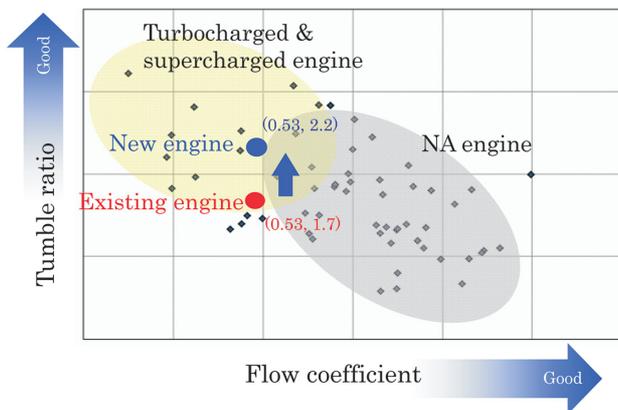


図-6 通気抵抗とタンブル比の関係  
Fig. 6 Relationship between flow coefficient and tumble ratio

The main specifications of the injector used in this dual injector system are given in Table 3. The injector body was made slimmer by reducing the static flow rate per injector, with the result that the spray point can be brought closer to the intake valve. This facilitates a wide-angle spray and better spray atomization without increasing the amount of fuel adhering to the intake port wall. The injector was newly developed specifically for this engine as a third-generation device for the dual injector system. The injector is an 8-hole device that produces a highly dispersed spray with an outstanding wall wetting characteristic (i.e., amount of fuel adhering to the port wall and combustion chamber wall). A high spray dispersion concept was adopted in contrast to the existing type that concentrated the fuel spray around the intake valve in order to avoid spray impingement on the port wall. This concept disperses the fuel spray by introducing air into the spray from the clearance directly below the injector nozzle (Figs. 8 and 9). Previously, a thick fuel film occurred when the spray impinged on the wall, but now a broad, thin fuel film forms that also promotes better evaporation, which reduces the area of wall flow (Figs. 10 and 11). The dual injector system has various effects on improving the fundamental qualities of the engine.

3.1.4 Adoption of a cooled EGR system

The NA engine is equipped with a cooled external EGR system with a water-cooled 4-layer laminated core (Fig. 12). Cooled EGR and the continuously variable valve timing control (CVTC) adopted on the intake side facilitate concurrent use of internal EGR. This reduces pumping losses in the low load region and contributes to enhancing thermal efficiency in the high load region by improving knock resistance as a result of lowering the mixture temperature by cooling the EGR gas. Figure 13 shows a map of the external EGR rate for the NA engine. Based on the known effects of the stronger gas flow and dual injector system on improving combustion<sup>1)</sup> as described

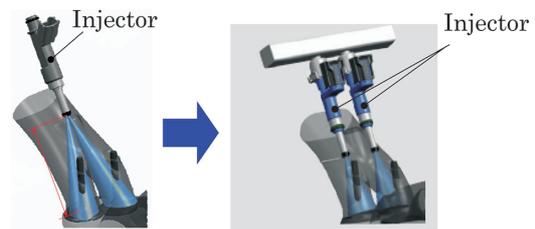


図-7 デュアルインジェクタシステム  
Fig. 7 Dual injector system

表-3 インジェクタ仕様  
Table 3 Injector specifications (TC engine)

	1 <sup>st</sup> generation	2 <sup>nd</sup> generation	3 <sup>rd</sup> generation
Injector Number / cyl.	2	←	←
Jet aperture number	18	10	8
Fuel pressure [kPa]	350	←	←
Jet form	1 direction	←	←
Fuel droplet diameter [μm]	about 30	about 50	about 50
Static flow rate [cc] @300 kPa	157	119	100

ウェット（ポートかつ燃焼室への燃料付着量）特性に優れた高分散噴霧を実現する8孔タイプを採用した。ポート壁面への噴霧衝突を避けるために、吸気バルブ周りに集中的に噴射する従来のコンセプトに対し、高拡散化コンセプトとした。これは、インジェクタのノズル直下の噴霧の間隙から空気を導入して、噴霧を分散させるコンセプトである（図8、図9）。これにより、従来は壁面衝突時に、厚い液膜が発生していたが、広く薄い液膜となり蒸発の促進が可能となり、壁面付着面積が低減した（図10、図11）。デュアルインジェクタシステムは、エンジンの素質の向上に様々な効果をもたらしている。

3.1.4 クールドEGRシステムの採用

NAエンジンには、水冷4層積層タイプのクールドEGR（外部EGR）システムを採用した（図12）。クールドEGRと吸気側に採用したCVTC（可変バルブタイミングコントロール）による内部EGRを併用することで、低負荷域ではポンピングロスを低減し、高負荷域ではEGRガスの冷却による混合気温度の低下に伴ってノッキングが改善し、熱効率の向上に寄与する。図13にEGR率マップを示す。前述までのガス流動強化やデュアルインジェクタシステムの既知の効果である燃焼改善効果<sup>1)</sup>により、EGRは広範

above, EGR is applied over a wide engine speed range and also at a maximum rate of 25% that is approximately two times greater than that of the existing engine. The EGR gas cooling effect is shown in Fig. 14. Thanks to the adoption of a water-cooled 4-layer laminated core, the EGR gas cooling effect is around 200°C in the high load and high speed region where the EGR flow rate is large.

3.2 Reduction of mechanical friction

The main measures adopted for reducing mechanical friction are shown in Fig. 15. A hydrogen-free diamond-like carbon (DLC) surface treatment is applied to the valve lifters and the top piston ring and oil ring. Additionally, sliding parts like the camshaft and crankshaft are machined to a mirror finish to improve their surface roughness. Moreover, an ultra-low viscosity 0W-8 engine oil was newly developed and adopted for the NA engine, while 0W-16 oil is used in the TC engine. The adoption of

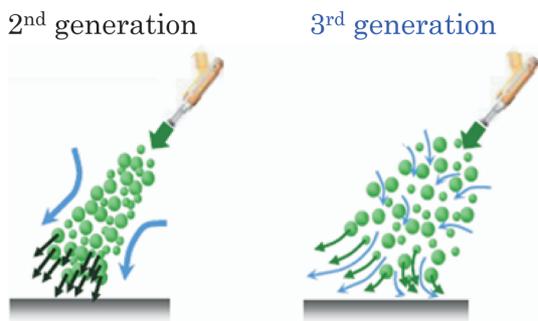
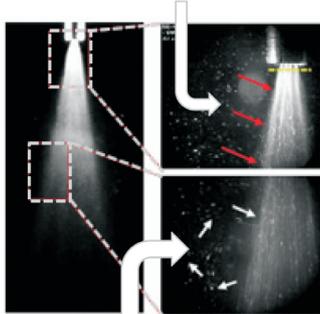


図-8 噴霧コンセプトの比較  
Fig. 8 Comparison of spray concepts

Air flows into spray immediately below nozzle



High dispersion

図-9 高分散噴霧コンセプト  
Fig. 9 High dispersion spray concept

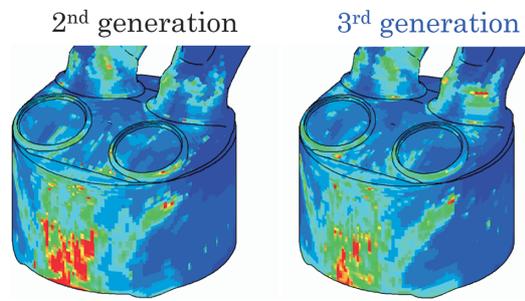


図-10 壁流解析  
Fig. 10 Results of wall flow simulation

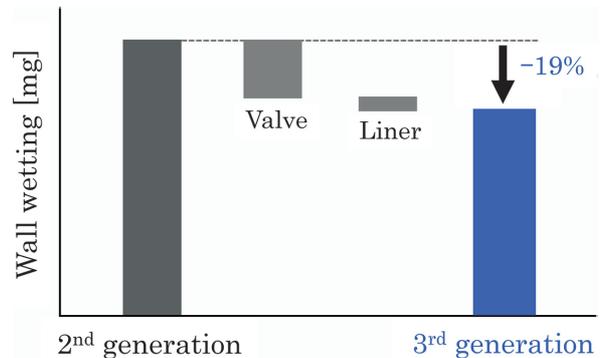


図-11 壁流解析  
Fig. 11 Comparison of wall flow

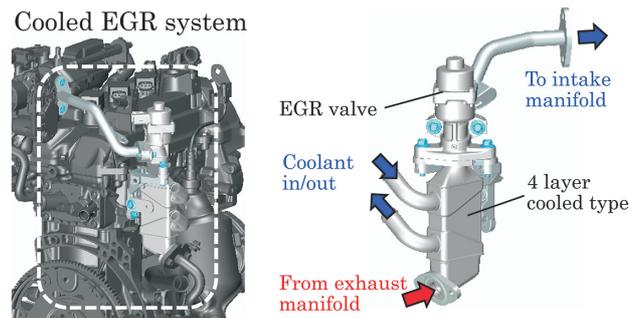


図-12 クールドEGRシステム（NAエンジン）  
Fig. 12 Cooled EGR system (NA engine)

囲に、かつ前型エンジンの約2倍の最大25%をかけることができた。また、図14にEGRクーラの冷却効果を示す。水冷4層積層タイプのコアの採用により、EGRガス冷却はEGR流量の大きい高負荷域や高回転域で200℃前後の効果を得ている。

3.2 メカニカルフリクション低減

メカニカルフリクション低減のために採用した主な技術を図15に示す。バルブリフタやトップリング及びオイルリングに水素フリーDLC（Diamond Like Carbon）の表面処理を採用し、しゅう動部はカムシャフト、クランクシャフトの面粗度を向上する鏡面加工を追加した。更にNAエンジンには超低粘度0W-8エンジン油を新規に開発して採用した（TCは0W-16エンジン油）。これらの技術により、前型エンジンに対して約20%のフリクション低減を行うことができた（図16）。

3.3 排出ガス低減技術

一段と厳しくなる排気規制に対応するために、触媒性能に頼らない排出ガス低減技術を採用した。主な技術は、

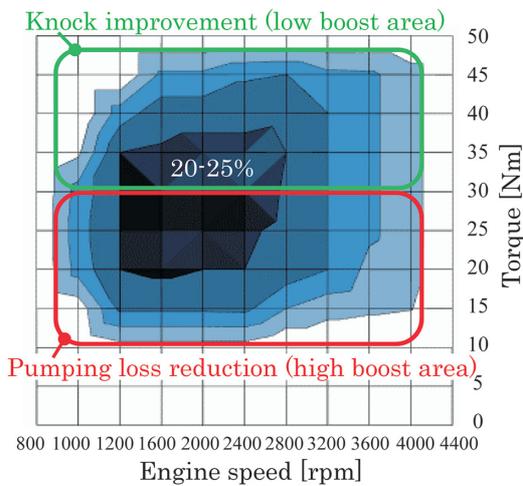


図-13 外部EGRマップ (NAエンジン)  
Fig. 13 External EGR map (NA engine)

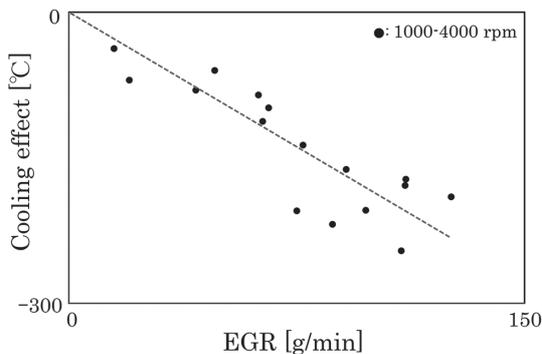


図-14 EGRガス冷却効果  
Fig. 14 EGR gas cooling effect

these measures has reduced mechanical friction in the new engine by approximately 20% compared with that of the existing engine (Fig. 16).

3.3 Technologies for reducing exhaust emissions

Technologies for reducing exhaust emissions without relying on catalyst performance were adopted to comply with the further tightening of exhaust emissions regulations. The main technology used for this purpose is the dual injector system for improving fuel economy. Reduction of wall flow due to better fuel atomization and the reduced quantity of injected fuel contribute to markedly suppressing hydrocarbon (HC) emissions at a cold engine start (Fig. 17). In addition, the adoption of a cylinder head with an integrated exhaust manifold shortens the distance to the catalyst and reduces the heat mass, which contributes to raising the catalyst temperature faster for earlier catalyst light-off (Fig. 18). The adoption of technologies incorporating these measures enables both the NA engine and the TC engine to comply with Japan's latest emissions regulations enforced in 2018 for operation under the worldwide harmonized light-duty vehicles test cycle (WLTC). It will be noted that in the future the NA engine is capable of reaching the 2018 - 75% level by changing only the catalyst specifications (Fig. 19).

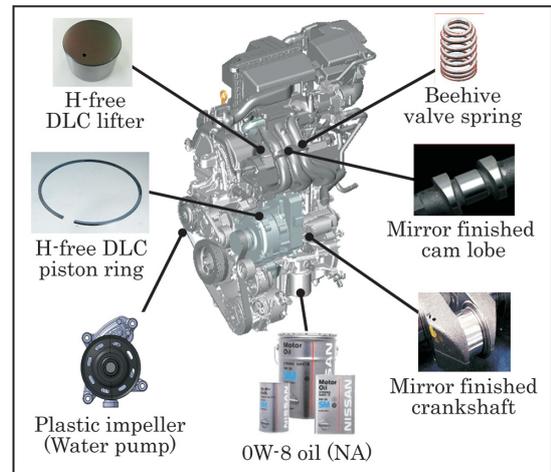


図-15 フリクション低減アイテム  
Fig. 15 Friction reduction measures

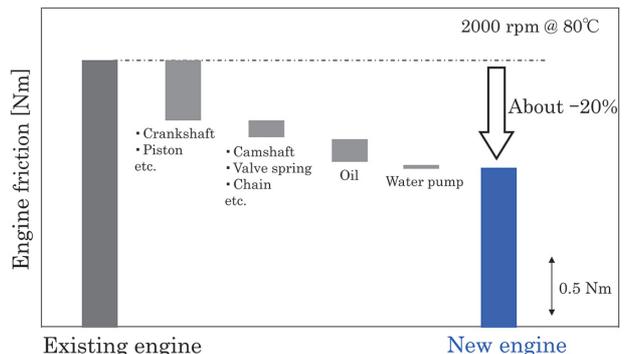


図-16 フリクション低減アイテムによる効果  
Fig. 16 Effect of friction reduction measures

燃費向上技術でもあるデュアルインジェクタシステムであり、燃料の霧化改善による壁流低減、燃料噴射量低減により、冷機始動時のHC（炭化水素）排出量の大幅抑制に寄与する（図17）。また、シリンダヘッド一体型排気ポートを採用することで触媒までの距離の短縮と、ヒートマスを低減することができ、触媒昇温を早め、触媒の早期活性に寄与する（図18）。これらを含む技術の採用により、NA及びTCエンジンともに新排気規制である平成30年規制（WLTCモード）への対応を可能とした。なお、NAエンジンは将来的には平成30年-75%レベルまで触媒仕様の変更のみで対応可能である（図19）。

### 3.4 エンジン出力向上技術

出力向上の技術的な要素を図20に示す。前述のノック改善、ガス流動強化、メカニカルフリクション低減に加え、インテークマニホールドと吸気ダクトのチューニングによる吸入空気量増加によって性能向上を実現している。

### 3.5 音振性能の向上

本エンジンは、登録車用エンジンの基本骨格を踏襲し（表4）、変速機（CVT）含めたパワートレインとして高剛性化を行うことで、音源であるエンジンの静粛性の向上に加え、各吸気ポート長の等長化によるエンジンの音質も向上した。車両としては遮音、吸音材を効率的に配置することで、登録車並の静粛性を実現した。

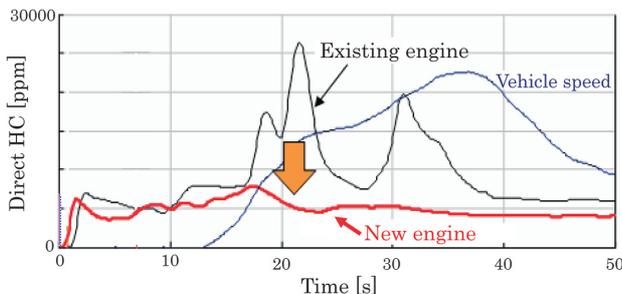


図-17 冷機始動時のHC排出量（WLTCモード）  
Fig. 17 WLTC cold start emissions

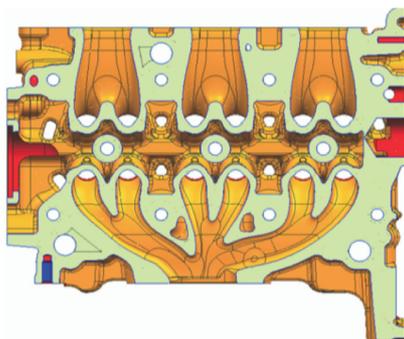


図-18 シリンダヘッド一体型排気ポート  
Fig. 18 Cylinder head with integrated exhaust manifold

### 3.4 Technical measures for improving engine output

The technical measures adopted for improving engine output are shown in Fig. 20. In addition to the improvement of knock resistance, stronger gas flow and reduction of mechanical friction, the intake manifold and intake duct were tuned to increase the intake air volume, which also contributes to improving engine performance.

### 3.5 Improvement of NVH performance

The new engine inherits the basic framework of the existing engine for registered vehicles (Table 4), and the stiffness of the powertrain, including the continuously variable transmission (CVT), was further increased. That improved the quietness of the engine, which is a major noise source. In addition, the sound quality of the engine was also improved by making the length of all the intake ports isometric. At the vehicle level, sound-isolating and

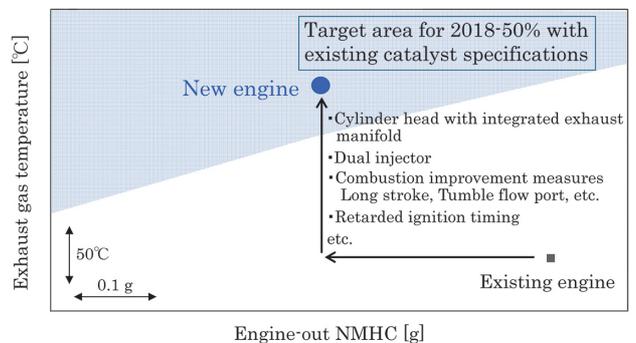


図-19 冷機始動時の排出ガス量（NAエンジン、WLTCモード）  
Fig. 19 Emissions (NA engine, WLTC cold start)

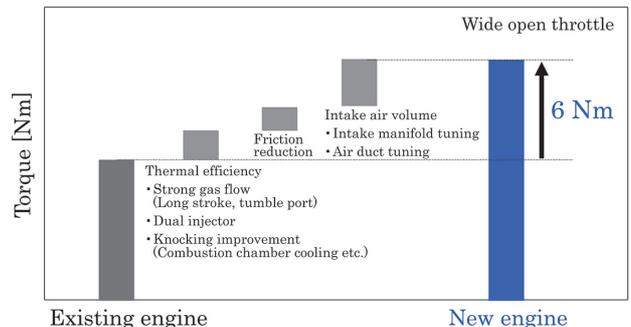


図-20 トルク向上アイテム（NAエンジン）  
Fig. 20 Torque improvement measures (NA engine)

表-4 シリンダーブロック、クランクシャフトの仕様  
Table 4 Cylinder block and crankshaft specifications

		Existing engine		New engine NA/TC
		800 cc	1000 cc	
Cylinder block	Displacement [cc]	799	998	659
	Bore [mm]	φ69	φ71	φ62.7
	Stroke [mm]	71.2	84.1	71.2
	Bore pitch [mm]	78	←	←
Crank shaft	Counter weight	6	6	6
	Pin diameter [mm]	φ35	φ38	φ35
	Pin width [mm]	22	20.7	19
	Journal diameter [mm]	φ35	φ39	φ39
	Journal width [mm]	22.0	20.9	20.9

NA: Naturally aspirated  
TC: Turbocharged

#### 4. ま と め

新開発のNA及びTCエンジンは、これまでの登録車用エンジン開発で培ってきた、動力性能、実用燃費性能向上、排出ガス低減技術を採用することで、軽自動車用エンジンに求められる性能を達成した。

- (1) ロングストローク化をはじめとする熱効率の改善、メカニカルフリクション低減により、JC08モードにおいて、前型エンジンに対してNAエンジンで+9%、TCエンジンで+7%の燃費向上と、全回転域でトルク向上を達成した。
- (2) 熱効率の改善は、2010年に世界で初めて量産エンジンに採用したデュアルインジェクタシステムの磨き上げを中心とし、水冷4層積層タイプのコアを用いたクルールドEGRシステム、ピストン冷却のためのオイルジェット、ヒートシンク構造による冷却リブ、高熱伝導性トップリングなどの耐ノックアイテムの採用、及び各部品の最適設計により実現した。
- (3) メカニカルフリクションの低減は、NAエンジン用として超低粘度0W-8エンジン油を新規開発して採用し、これにバルブリフタやトップリング及びオイルリングに水素フリーDLCなどを組み合わせることで、前型エンジンに対して約20%のフリクション低減を実現した。
- (4) 排出ガスの低減としては、触媒性能に頼らない排出ガス低減技術であるデュアルインジェクタシステムと、シリンダヘッド一体型排気ポートの採用により、NA及びTCエンジンともに新排気規制である平成30年規制（WLTCモード）への対応を実現した。
- (5) NVH（noise, vibration, harshness）は、パワートレインとして高剛性化を行い、音源であるエンジンの静粛性の向上に加えてエンジンの音質も向上し、車両として登録車並の静粛性を実現した。

最後に、本エンジンの開発、製品化に多大なるご協力を頂いた社内外すべての関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

#### 5. 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) 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）。
- 3) 松井義典ほか：新型高効率4気筒1.6L直噴ガソリンターボエンジンの開発、自動車技術会 学術講演会前刷集、No. 91-14、pp. 1-6（2014）。

sound-absorbing materials are efficiently placed to achieve quietness on a par with that of registered vehicles.

#### 4. Conclusion

The NA and TC versions of the newly developed engine incorporate the power performance, practical fuel economy improvement and exhaust emission reduction technologies that Nissan has developed to date for registered vehicles. As a result, the new engine delivers the performance demanded of a mini-vehicle engine.

- (1) The NA engine improves fuel economy under Japan's JC08 test mode by 9% over the existing engine and the TC engine does the same by 7%, and torque has been improved over the entire engine speed range. This performance was achieved by improving thermal efficiency, especially with the long stroke specification, and by reducing mechanical friction.
- (2) Thermal efficiency was improved principally by further refining the dual injector system that Nissan was the first to apply to a mass-produced engine in 2010. Also contributing to this improvement are optimized parts designs and various measures for improving knock resistance, including a cooled EGR system with a water-cooled 4-layer laminated core, piston-cooling oil jets, cooling ribs with a heat sink structure, and a top piston ring with higher thermal conductivity.
- (3) Mechanical friction was reduced by newly developing and adopting an ultra-low viscosity 0W-8 engine oil for the NA engine. That was combined with a hydrogen-free DLC coating on the valve lifters and top piston ring and oil ring. These and other measures work to reduce friction by approximately 20% from the level of the existing engine.
- (4) Exhaust emissions were reduced by adopting the dual injector system and a cylinder head with an integrated exhaust manifold, which are two reduction technologies that do not depend on catalyst performance. As a result, both the NA and TC engines comply with Japan's latest exhaust emission regulations enforced in 2018 for operation under the WLTC mode.
- (5) Noise, vibration and harshness (NVH) performance was secured by increasing the stiffness of the powertrain to improve the quietness of the engine that is a major noise source. In addition, the sound quality of the engine was also improved to achieve vehicle quietness on a par with that of registered vehicles.

Finally, the authors would like to sincerely thank everyone involved inside and outside the company for their valuable cooperation with the development and commercialization of this new engine.

#### 5. References

- 1) N. Morishima et al., Development of HR improvement engine which adopted Dual Injector System, Proc. of JSAE, No. 110-10, pp. 11-14 (2010).
- 2) H. Isaji et al., Development of new I3 1.2L Supercharged Gasoline Engine, Proc. of JSAE, No. 140-11, pp. 1-4

(2011).

- 3) Y. Matsui et al., Development of The new high efficient 4-cylinder 1.6L Direct Injection Gasoline turbocharged Engine, Proc. of JSAE, No. 91-14, pp. 1-6 (2014).

■著者 / Author(s) ■



伊佐治 洋  
Hiroshi Isaji



森 篤 信 人  
Nobuto Morishima



新 井 俊 哉  
Toshiya Arai



櫻 庭 健 一  
Kenichi Sakuraba

# 新型デイズ商品概要

## Product Overview of the New Dayz

伊藤 潔\*  
Kiyoshi Itoh

本島 圭奈子\*  
Kanako Motojima

中野 健二郎\*  
Kenjiro Nakano

**抄 録** 新型デイズは、国内最大である軽自動車市場において、日本事業を支える柱の一つとして位置づけられている。今回2代目となる新型デイズは、「プロパイロット」を軽自動車として初採用したほか、パワートレインを一新し、動力性能を大きく向上した。また快適な空間や便利収納など、クルマの基礎を一から見直し、使い勝手の良さも追及している。本稿では新型デイズの商品概要を説明する。

**Summary** The all-new Dayz is in the kei mini-vehicle segment, the largest sector of the Japanese car market. It is targeted at contributing to Nissan's business in Japan as one of the company's mainstay models. This all-new 2nd-generation Dayz is the first Nissan mini-vehicle model to feature the company's ProPILOT driving technology. A new powertrain improves dynamic performance significantly. In addition, as a result of a thorough review of automotive basics from scratch, the Dayz also provides improved ease of use, including comfortable interior space and useful storage places. This article presents a product overview of the new Dayz.

**Key words :** Automotive General, new car, Dayz

### 1. はじめに

初代デイズは「日産のすべてを、軽に」というキャッチコピーの通り、日産が商品企画・開発・デザインの段階から初めて携わった軽自動車であり、「スタイリッシュなデザイン」「上質な室内空間」「先進技術に守られた安全性と視界のよさ」などの強みをあわせもった、ベストバランスなハイトワゴンタイプの軽自動車として価値を提供してきた。その結果、初本格参入にも関わらず、年間6万台超を販売し、他の軽自動車専業ブランドに負けないブランドとして成長している。

一方で、国内の軽自動車の競争環境は、税制優遇のみならず、限られた排気量での加速性能と燃費の向上、登録車にもまだ普及していないような先進装備の搭載などの革新の継続により、需要が増加している。市場成長が停滞する中で、2018年には国内新車販売に占める軽自動車の割合は40%近くに達している。

これに伴い、日産はこの国内最大市場に向け魅力ある商品の開発に力を入れているが、この市場は「限られた空間での居住性技術」、「660ccでの加速性能と実用燃費の両立」「お手頃価格の先進技術の投入」といった厳しい制約の中での更なる知恵や工夫が求められる。

### 1. Introduction

The first-generation Dayz was the first mini-vehicle that Nissan was involved with from the product planning, design and development stages, as epitomized by the advertising slogan—"a mini-vehicle embodying all of Nissan's know-how and technologies." It provided significant value as a tall wagon-type mini-vehicle, optimally balanced with a combination of outstanding features including a stylish design, high-quality interior, safety protected by advanced technologies and excellent visibility. As a result, the first-generation model recorded annual sales in excess of 60,000 units, despite being Nissan's first



図-1 新型デイズ  
Fig. 1 All-new Dayz

\*商品企画部 / Product Planning Department



このような厳しい環境に対して、2世代目となる新型デイズは、クルマの基礎を一から見直し“技術の日産”として商品力の向上を図り、より幅広いカスタマを獲得するための基幹ブランドとしての役割を持つ（図1）。

## 2. 商品コンセプト

新型デイズの開発にあたり、毎日が「ぱっ」と明るくなり、お出かけしたくなる軽自動車というコンセプトを設定した。また軽自動車の規格という厳しい制約がある中でも、お客様が求める全ての期待値に高い次元で応えることを目指した。

そのうえで、新型デイズは日産が掲げる技術コミュニケーション「ニッサンインテリジェントモビリティ」の三つの柱である「知能化」「電動化」「つながるクルマ」に関係する技術をお手頃価格で提供するモデルと位置づけている（図2）。

## 3. アピールポイント

### 3.1 デザイン

新型デイズは「洗練された」「存在感のある」方向性を表現しつつ、Vモーショングリルに代表される日産ブランドの一貫性も表現している。またスタンダードタイプに加え、より上質なデザインであるハイウェイスタータイプを設定している。

エクステリアは、安心感を与える厚いフロント、安定感のあるシルエット、ロングホイールベースのグッドスタンスにより、信頼感のあるプロポーションを表現したデザイン



図-2 ニッサンインテリジェントモビリティ三つの柱  
Fig. 2 Three pillars of Nissan Intelligent Mobility



図-3 Vモーションシェイプグリル  
Fig. 3 V-motion shaped grille

full-fledged entry into the mini-vehicle market. The Dayz has grown to be a brand that is never bested by other specialized mini-vehicle brands.

The competitive environment surrounding mini-vehicles in the Japanese market has seen increased demand owing to continuous innovation, in addition to tax breaks. This has included improvement of acceleration performance and fuel economy with limited engine displacement as well as the provision of advanced equipment features that are still not commonly found on registered vehicles. Amid stagnant market growth, the share of mini-vehicles among domestic new car sales in 2018 reached nearly 40%.

In this regard, Nissan has been emphasizing the development of attractive products for this largest segment of the Japanese car market. This market segment demands the exercise of further wisdom and ingenuity within severe limitations, including provision comfort technologies in the limited interior space, attainment of both acceleration performance and practical fuel economy with a 660-cc engine, and application of advanced technologies at a reasonable price.

To meet these rigorous market requirements, the all-new second-generation Dayz underwent a thoroughgoing review of automotive basics from scratch, and Nissan's vaunted technologies were utilized to enhance the car's product appeal. The role expected of the new Dayz as a core Nissan brand is to secure a wider range of customers (Fig. 1).

## 2. Product Concept

The development concept defined for the new Dayz was to create a mini-vehicle that will suddenly brighten up everyday life and inspire a desire to go out. The aim was to respond to customers' every expectation at the highest dimension within the severe restrictions imposed by the mini-vehicle specification.

In addition, the new Dayz is positioned as a model that provides Intelligent Power (electrification), Intelligent Driving (intelligence) and Intelligent Integration (vehicle connectivity) at an affordable price (Fig. 2). These are the three pillars of Nissan Intelligent Mobility that Nissan has proposed as a technological initiative.

## 3. Appealing Features

### 3.1 Design

The new Dayz's design expresses consistency with the Nissan brand as represented by the V-motion shaped grille, while also embodying the themes of refined stylishness and impressive sense of presence. In addition to the standard model, a Highway Star model is also available featuring a premium-quality design.

The exterior design has evolved to express confidence-inspiring body proportions thanks to the thick front end that projects a feeling of stability, the stable-looking silhouette and the excellent stance formed by the long wheelbase. The front-end design is executed with a fresh, highly crafted impression created by the jewel-like

ンに進化させている。フロントデザインは、先進感を強調したフロントコンビランプと日産ブランド共通のデザインモチーフであるVモーションシェイプに加え、ジュエライクなカットを施したグリルにより、フレッシュで作りこまれた印象に仕立てている（図3）。

ハイウェイスターモデルにおいては、シャープなアウターレンズ形状を際立たせるインナーデザインのLEDヘッドランプ（図4）、新デザインのアルミホイールの採用により、上質な仕上がりを実現した。登録車からのダウンサイズをも満足させるクオリティである。

インテリアは、水平かつ奥行きのある断面で使い勝手とルーミネスを両立し、快適な室内空間を実現した。具体的には、フローティングしながら気持ちよくワイドに伸びたインストルメントパネルと、すっきりとしたAピラー周りにより、運転時の安心感に加え、気持ちよさもアップした（図5）。

初代から好評である静電タッチパネル式のオートエアコンをより進化させ、表示部とスイッチを一体化し直感的なオペレーションを実現する。使いやすさと美しさを両立したデザインとした（図6）。

またボディーカラーは、華やかで楽しさにあふれる4種類の2トーンカラーを含めた合計17種類の充実のバリエーションにより、幅広い軽自動車のカラーニーズに応えた。

### 3.2 新設計のパワートレイン

新型デイズは、パワートレインを一新した。新型エンジンと新型CVTにより、動力性能を大きく向上させた。さ



図-4 7眼マルチレフレタイプLEDヘッドランプ  
Fig. 4 7-multi-reflector LED headlamp



図-5 インテリア前席部  
Fig. 5 Front interior

cut given to the grille, in addition to the front combination lamps that emphasize an advanced feeling and the V-motion shape, a design motif common to Nissan brand vehicles (Fig. 3).

The Highway Star model adopts LED headlamps with an inner design that highlights the distinctive outer lens shape (Fig. 4) and newly designed aluminum wheels. These features impart an impression of superior quality that will satisfy even downsizers from registered vehicles.

The interior design, composed of horizontal sections with a look of depth, creates a comfortable interior space, providing both convenience and roominess. Specifically, the broadly expansive instrument panel with its pleasantly floating impression and the clean execution around the A-pillars also enhance the feeling of comfort, in addition to providing a sense of security while driving (Fig. 5).

A highly popular feature on the first-generation Dayz has been the automatic air-conditioner with electrostatic touch panel controls. It has now further evolved as a result of integrating the display and control switches for intuitive operation. The design combines ease of use with a beautiful appearance (Fig. 6).

The new Dayz is available in a total of 17 body colors, including four types of two-tone color combinations overflowing with a sensation of bright colorfulness and fun. These improved and expanded color variations are intended to meet a wide range of mini-vehicle body color needs.

### 3.2 Newly designed powertrain

The new Dayz is equipped with a completely new powertrain. Power performance has been markedly improved by adopting a new engine and a new CVT. In addition, the application of a smart, simple hybrid system



スマートな使い勝手  
Smart operation

静電タッチパネル：  
表示部とスイッチが一体化し直感的なオペレーションを実現  
Electrostatic touch panel:  
Integration of display and switches for intuitive operation

図-6 静電タッチパネル式オートエアコン  
Fig. 6 Electrostatic touch panel

らに、スマートシンプルハイブリッドシステムなどの採用で、高いレベルの実用燃費も実現させている。

新型エンジンは、低速から高速まで全域で前型モデルを上回るトルクを実現する。信号待ちからの走り出しや、幹線道路への合流も、ストレスなくスムーズに行える。また新型CVTは、低フリクションベルトの採用などにより、前型モデルに対し燃費性能を5%向上させ、伸びのある加速を感じられる軽自動車初の「Dステップ」機能も追加した。アクセルペダルを深く踏み込んだときに、無段階に変速させるのではなく、ギアがあるかのようにステップ変速をしながらリズムカルな加速が味わえるため、エンジン本来が持っている加速の気持ちよさを体感できる（図7）。

またスマートシンプルハイブリッドでは、日産登録車が二つの鉛バッテリーを搭載しているのに対し、新型デイズは一方を新設計のリチウムイオンバッテリーに変更した。その結果、一回りサイズが小さいモータで、日産登録車と同等の出力を実現する。回生エネルギーが2倍、モータによるエンジンアシストの時間は最長30秒、アイドリングストップの時間も10%アップし、エネルギーを無駄なく回収して利用することが可能となった（表1）。

### 3.3 技術の日産が誇る先進技術

新型デイズは、セレナから搭載を開始し好評の「プロパイ

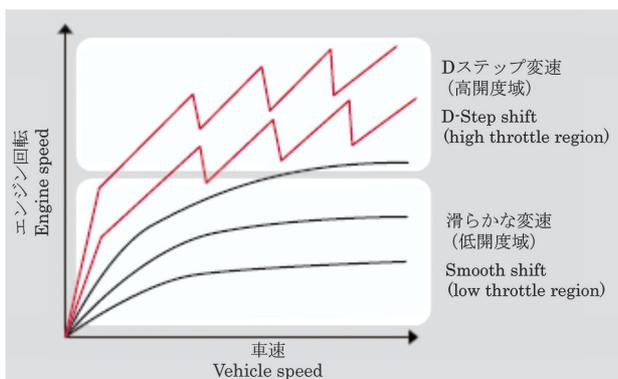


図-7 Dステップのイメージ図  
Fig. 7 D-Step concept

表-1 電動パワートレインの性能比較

Table 1 Comparison of electric powertrain performance

	新型デイズ New Dayz	日産登録車 Nissan registered model
モータサイズ (径のサイズ) Motor diameter	130 mm	137 mm
モータ出力 Motor power	2.0 kW	1.9 kW
リチウムイオン電池/個数 Lithium-ion battery/No. of cells	10 Ah/5	-
1回のアシスト時間 Duration of 1 engine assist	Max. 30 s	-
回生量 Amount of energy regenerated	Double	-
アイドリングストップ時間 Duration of idling shutdown	10% longer	-

and other improvements also achieves a high level of practical fuel economy.

The new engine produces more torque than that of the previous model over the entire speed range from low to high speed. This enables smooth, stress-free acceleration after stopping for traffic lights or when merging with traffic on a trunk highway. The new CVT adopts a low-friction belt and other measures that improve fuel economy by 5% over that of the previous model. It also incorporates Dynamic Step (D-Step) Shift Control for the first time in a mini-vehicle to deliver a feeling of strong, sustained acceleration. When the accelerator pedal is depressed deeply, drivers can enjoy rhythmical acceleration as the CVT shifts in a step-like manner as if there were gears, instead of shifting seamlessly. This enables customers to experience directly the pleasing acceleration performance inherent to the engine (Fig. 7).

The smart, simple hybrid system fitted on the new Dayz has been changed to a newly designed lithium-ion battery in contrast to the two lead-acid batteries mounted on Nissan registered vehicles. As a result, the one size smaller motor provides power equal to that of the registered vehicles. The new system doubles the amount of energy regenerated, enables engine assist by the motor for a maximum of 30 sec. and also increases idling shutdown time by 10%. It allows energy to be recovered and reused without any waste (Table 1).

### 3.3 Proudly presenting advanced technologies showing Nissan's engineering excellence

Nissan's highly popular ProPILOT, which was first mounted on the Serena, is available on the new Dayz as a factory-installed option. This system enables the following driving behavior:

- Automatically maintains a suitable distance to the vehicle ahead according to the vehicle speed.
- Controls steering to keep the car near the center of its lane.
- Provides braking control to keep the car stationary while stopped for driving ease in low-speed situations such as congested traffic.

Nissan has adopted this same system for the first time on a mini-vehicle ahead of other manufacturers to make

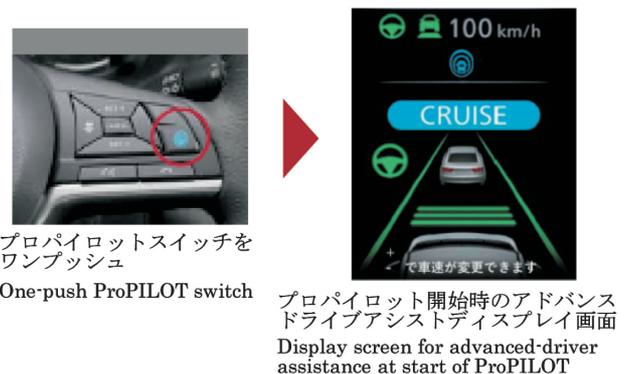


図-8 プロパイロットシステム  
Fig. 8 ProPILOT system

イロット」をメーカーオプションとして設定している。本技術により、

- 車速に応じて先行車との適切な車間距離を維持しながらの走行
- 車線中央付近を走行するようにステアリングを制御
- 渋滞などの低速走行にも対応し、停止中もブレーキ制御により停止状態を保持

long drives a more comfortable and familiar experience to customers (Fig. 8).

The new Dayz is the first Nissan mini-vehicle to be equipped with Intelligent Around View Monitor incorporating a moving object detection function and Intelligent Lane Intervention for assistance in preventing lane departure. The former system detects and informs the driver of moving objects, including pedestrians, around

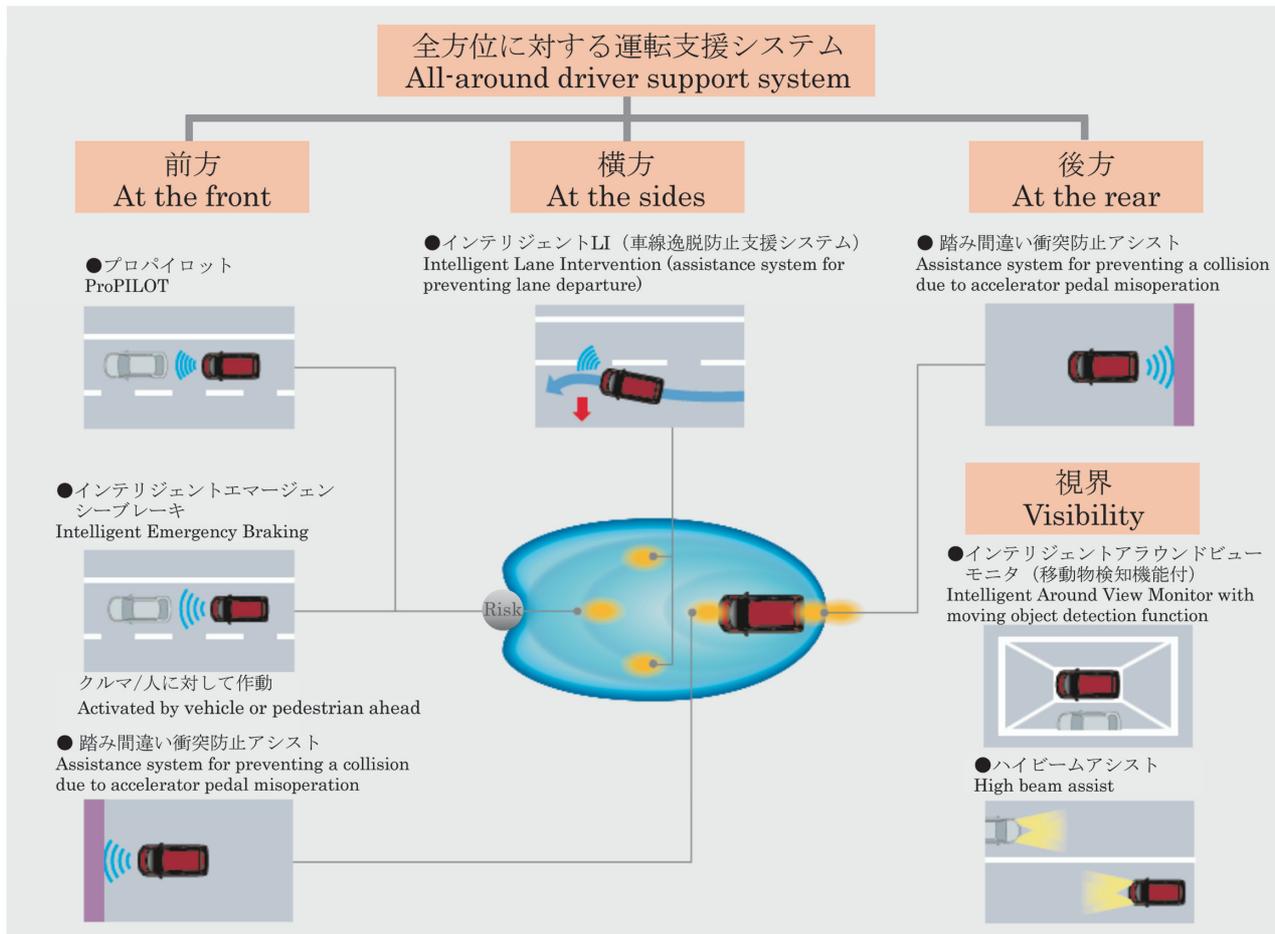


図-9 新型デイズの採用された予防安全技術  
Fig. 9 Active safety technologies

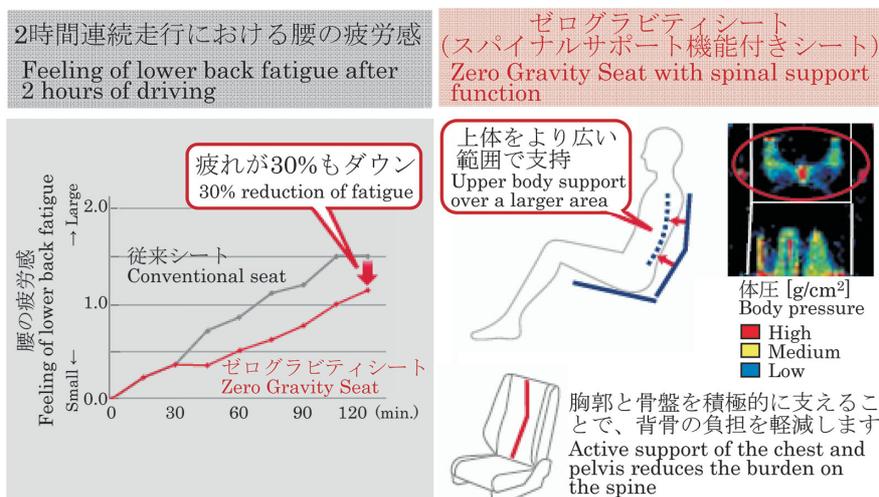


図-10 ゼログラビティシート  
Fig. 10 Zero Gravity Seat

が可能となる。他社に先駆け、軽自動車と同様のシステムを初めて採用し、ロングドライブをもっと身近で快適なものとする事ができる（図8）。

またクルマの周囲の移動物（歩行者など）を検知して知らせるインテリジェントアラウンドビューモニタ（移動物検知機能付）や、車線からクルマが逸脱しそうになると警報と共に車線内に戻す方向に短時間力を発生させてドライバーの操作を支援するインテリジェントLI（車線逸脱防止支援システム）を日産の軽自動車に初めて搭載する。ぶつからないクルマを旨として、新型デイズは多くの運転支援システムを搭載し、高い安全性能を実現した（図9）。

### 3.4 車内の最適な気配り空間

新型デイズはプラットフォームを刷新し、軽自動車の限りあるスペースを最大限に生かし、更なる快適性を実現した。運転席の足元（ニールーム）に加え、後席ニールームは前型モデル比で30%近く拡大し、ラゲッジスペースの荷室長は50%以上向上している。

すでに上級セダンのティアナやスカイラインで好評のゼログラビティシート（スパイナルサポート機能付きシート）を日産の軽自動車に初めて採用する。腰から背中にかけての広範囲を連続的に支持することで柔らかさと疲れにくさを両立し、長時間走行における腰の疲労感を30%、背骨の負担をさらに軽減できるようになった（図10）。

また新型デイズは「不快な振動」や「車内の静かさ」に対しても更なる向上を実施した。振動を吸収するショックアブソーバのサイズアップや日産登録車にも使われている高応答バルブの採用、更にエンジンマウントを液体タイプとすることで、不快な振動を低減させた。加えて、ひとクラス上の小型登録車並の静かさを実現するため、エンジン音を小さくすると共に吸音材や遮音材を効果的に配置して、車内に侵入するエンジン音やタイヤの音を低減した。

インストルメントパネル周りには合計7ヶ所の収納を設定し、ティッシュボックスや携帯電話などはもちろん、お客様の多種多様な物を車内に置きたいというニーズに対応できる気配り設計を行った。

## 4. おわりに

新型デイズは、軽自動車という厳しい規格制約があるからこそ、開発、デザインなどを含めた全関係者の知恵と工夫が凝縮されており、この日本市場向けならではの気配り設計により、多くのお客様に訴求できるふさわしい商品に仕上がったと確信している。

最後に、この新型デイズの開発、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。

the vehicle. The latter system issues a warning if the vehicle is about to leave its lane and also generates force momentarily in the direction to return the vehicle to its lane. These technologies are aimed at creating a vehicle that will not be struck, giving the new Dayz a high level of safety performance (Fig. 9).

### 3.4 Interior space designed with optimal consideration

The new Dayz provides further enhanced comfort as a result of adopting a new platform and making maximum use of the limited space in a mini-vehicle. In addition to increasing knee room in the driver's seat, rear-seat knee room has been expanded by nearly 30% over that of the previous model. The luggage compartment length was increased by over 50% to provide greater luggage space.

The new Dayz is the first Nissan mini-vehicle to adopt Zero Gravity Seats with a spinal support function. As a popular feature on Nissan's upper grade sedans like the Teana and the Skyline, these seats provide continuous support over a wide area from the lower to the upper back, combining both softness and anti-fatigue properties. On long drives the feeling of lower back fatigue is reduced by 30% and the burden on the spine is further lightened (Fig. 10).

The new Dayz has also been further improved with regard to unpleasant vibration and interior quietness. Shock absorbers for absorbing vibration have been increased in size and now incorporate a high-response valve that is also used on Nissan's registered vehicles. In addition, engine mounts have been changed to the fluid-filled type. These measures noticeably reduce unpleasant vibration. Moreover, to achieve interior quietness on a par with that of small registered vehicles, which are one class higher than the Dayz, the engine operates more quietly and engine noise and tire noise entering the interior have been reduced as a result of effective placement of sound-absorbing and soundproofing materials.

A total of seven storage places are provided around the instrument panel as a thoughtful design response to customers' need to keep various things in the interior when driving, including, of course, a tissue box, cell phone and other personal items.

## 4. Conclusion

The new Dayz concentrates the wisdom and ingenuity of everyone involved in this project, beginning with the design and development people, for the very reason that it is subject to severe specification restrictions as a mini-vehicle. By executing the design in consideration of the special characteristics of the Japanese market, we are confident that the Dayz has been finished into a product that will appeal to many customers.

Finally, the authors would like to profoundly thank everyone involved in the product planning, design, development, production, marketing and sales of the new Dayz.

■ 著者 / Author(s) ■



伊藤 潔  
Kiyoshi Itoh



本島 圭奈子  
Kanako Motojima



中野 健二郎  
Kenjiro Nakano

# 新型シルフィ / セントラ商品概要

## Product Overview of the New Sylphy/Sentra

豊 福 諒\*  
Makoto Toyofuku

寺 本 広 樹\*  
Hiroki Teramoto

**抄 録** 新型シルフィ / セントラは日産ブランドの中核をなすグローバルモデルのセダンとして、主に中国と北米向けに開発された。本モデルは新規開発プラットフォームと大幅に改良されたパワートレインを採用し、クラスベストレベルの動性能を、シルフィ / セントラの伝統である低燃費、DQR (Durability, Quality, Reliability)、広い室内空間を損なうことなく達成した。本稿では、新型シルフィ / セントラの商品概要を紹介する。

**Summary** The new Sylphy/Sentra was developed mainly for the Chinese and U.S. markets as a global sedan and a key model in Nissan's global product lineup. This latest generation adapts a new platform and a further evolved engine to achieve class-leading driving performance based on the Sylphy/Sentra's heritage of excellence, high fuel economy, durability, quality, reliability and roominess. This article present an overview of the new Nissan Sylphy/Sentra.

**Key words :** Automotive General, new model, Sylphy, Sentra

### 1. は じ め に

シルフィ / セントラは、60か国以上のお客様にご愛顧されており、今回の新型モデルにも大きな期待が掛けられている。

新型モデルの開発にあたり、以下3点をベースに検討がスタートした。

- (1) 中国市場におけるシルフィは、2006年の投入以降、本モデルで3世代目となる。2世代は20万台 / 年もの台数を販売しており好調である。
- (2) 北米市場におけるセントラは、本モデルライフ中に40周年を迎える長寿モデルである。
- (3) 近年グローバルにSUVセグメントが台頭してきているが、中国、北米においてコンパクトセダンは未だ大きな台数規模のあるセグメントであり、今後も安定した需要が望める。

### 2. 商品コンセプト

新型シルフィ / セントラは中国での発売を皮切りに、北米と他地域へ順次展開される。中国では20代後半のファミリー層を、北米は20代後半の独身男性をターゲットカスタマに設定し、「Exhilarating Breakthrough」をコンセプト

### 1. Introduction

The Sylphy/Sentra has been favored by customers in over 60 countries worldwide, and there are strong expectations that this new model will also be accepted equally well. In developing this new model, the following three points were the basis for the start of our activities.

- (1) In the Chinese market, the new model will be the third generation since the Sylphy was first launched there in 2006. The second-generation model was highly popular, registering sales of 200,000 units per year.
- (2) In the U.S., the Sentra has been a long-selling model that will observe its 40th anniversary on that market during the life span of this new model.
- (3) The SUV segment has come to the forefront in recent years, but the compact sedan segment still accounts for a large sales volume in China and the U.S. Demand is expected to remain stable in this segment in the coming years as well.

### 2. Product Concept

The new Sylphy/Sentra will go on sale first in China and sales will subsequently be launched in turn in the U.S. and other markets. Target customers in China are families in their late 20s, whereas single men in their late 20s are the target in the U.S. The new model was developed around the concept of an "exhilarating breakthrough."

To make the product concept a reality, the new

\*商品企画部 / Product Planning Department

トとし、開発を進めてきた。

コンセプトを実現するために三つのモデルプロミス（低燃費、広く快適な室内空間、品質・信頼性・耐久性）に加え、四つの魅力（デザイン、操縦安定・乗り心地・静粛性、予防安全、インフォテイメント）を付加し、競争力の高いモデルに仕立て上げた。

### 3. モデルプロミス

#### 3.1 低燃費

新型シルフィ／セントラは軽量化された新プラットフォームの採用、エンジンとCVTの世代進化による高効率化、空気抵抗を考え抜いたボディ形状などの採用によりトップレベルの低燃費を実現した。

エンジンは、中国向けは1.6L（HR16DE）を第3世代へ進化させ、燃費はもちろんのこと、出力、トルクも向上させ競争力を高めた。CVTも、世代進化によりリニアでスムーズな加速を実現し、燃費向上だけでなく走りの気持ち良さも改善を図った。

空力性能については、風をきれいに流すために細部にまでこだわり抜き、スタイリッシュさも維持しつつ、造形美と機能美を両立することによりC<sub>d</sub>値をGT-R同等の0.26とし、低燃費に貢献している。

#### 3.2 広く快適な車内空間

全幅を55mm広げることにより、ワイドかつダイナミックなエクステリアデザインを実現しただけでなく、クラストップレベルのカップルディスタンスを確保し、上級セグメント並の広くて快適な空間を実現している。また、前型モデルで好評であった後席ニールームも、クラストップレベルの広さを確保している。

#### 3.3 Japanese DNAである品質・信頼性・耐久性

信頼性、耐久性は当たり前性能として、新型シルフィ／セントラにおいても継続し開発を進めてきた。また、品質という観点では感性品質（Perceived Quality）にもフォーカスし、素材の向上やパーティングラインの最適化など機能美と造形美の両方を追求した。

### 4. アピールポイント

新型シルフィ／セントラはモデルプロミスに加え、以下四つの新しい魅力を付加することにより、ワンランク上のモデルを求めるお客様にも満足いただける商品となっている。

#### 4.1 デザイン

車としてお客様に一番初めに印象づけられるエクステリアデザインは、このモデルの企画として最も力を入れたボ

model embodies three promises in the form of (1) excellent fuel economy, (2) comfortable interior roominess, and (3) quality, reliability and durability. Added to these are four areas of attractive attributes represented by (1) design, (2) handling, stability, ride comfort and quietness, (3) active safety features, and (4) infotainment. All of these qualities combine to give the new model a high level of competitiveness.

### 3. Model Promises

#### 3.1 Excellent fuel economy

The new Sylphy/Sentra is built on a new, lightweight platform. The engine and CVT achieve higher efficiency due to generational evolution, and the body form gives thorough consideration to aerodynamic drag. These and other measures achieve one of highest levels of fuel economy in this class.

The engine adopted for the Chinese market is the third generation of the 1.6L HR16DE with enhanced competitiveness due to improved power and torque levels, not to mention outstanding fuel economy. Thanks to generational evolution, the CVT delivers smooth, linear acceleration for greater driving pleasure in addition to improving fuel economy.

Careful attention was paid to fine design details to ensure that air flows around the car cleanly for good aerodynamic performance. While remaining stylish, the exterior design combines both formative beauty and functional beauty to achieve a drag coefficient of 0.26, which is equal to the C<sub>d</sub> of the Nissan GT-R and contributes to excellent fuel economy.

#### 3.2 Comfortable interior roominess

A wide, dynamic exterior design was executed by increasing the overall vehicle width by 55 mm. This also secured class-leading hip-point couple distance, creating comfortable roominess equal to that of a higher class vehicle segment. In addition, class-leading rear-seat knee room is also provided, which was already highly acclaimed on the previous model.

#### 3.3 Japanese DNA in terms of quality, reliability and durability

The new Sylphy/Sentra was developed to continue the taken-for-granted performance of reliability and durability. With regard to quality, focus was also put on perceived quality, which was pursued in terms of both functional beauty and formative beauty. This included improving the materials used and optimizing parting lines, among other aspects.

### 4. Appealing Features

In addition to the model promises incorporated in the new Sylphy/Sentra, the following four areas of attractive attributes were newly emphasized to create a product that will also satisfy customers who usually purchase vehicles ranked one level higher.



イントである。新型シルフィ／セントラは「力強く自信に満ちあれる (Vigor /Confidence)」と「鋭敏で躍動感のある (Lean/Dynamic)」をキーワードにデザインした。具体的には、タイヤの大径化とともに低重心を感じさせるプロポーション、力強く踏ん張る姿を想起させるワイドスタンスによってそれらを実現している (図1)。そして、日産ブランド車共通のデザインアспектもふんだんに織り込んだ。アルティマに続き新型シルフィ／セントラも Nissan Vmotion 2.0 Concept をベースにしており、前型モデルから全高を45mm下げ、全幅を55mm広げ、低重心でダイナミックなエクステリアを実現している。更にサイドビューで際立つフローティングルーフも相まって、日産ブランドらしさを引き立てている。

インテリアデザインのキーワードは「考えぬかれた構造体 (Smart structure)」である。新型シルフィ／セントラはアルティマ同様に「グライディングウイング」デザインによる薄く伸びやかなインストルメントパネルを採用し、開放感のある空間を創り上げた (図2)。また、高級家具などでも使われるダイヤモンドパターンのキルティングを施したタン内装や各加飾などの細かな部分にもこだわり抜くことにより、外装のみならず内装においてもワンランク上の質感を実現した。



図-1 新型シルフィ 外観  
Fig. 1 All-new Sylphy



図-2 新型シルフィ 内装  
Fig. 2 Tan leather interior trim

#### 4.1 Design

The exterior design was the aspect that was emphasized most in planning the new model because it gives customers their first impression of a vehicle. The design of the new Sylphy/Sentra was executed around the key themes of “vigor and confidence” and “lean and dynamic.” Specifically, these ideas are expressed by the larger diameter tires, body proportions indicating a low center of gravity, and the wide, firm stance suggestive of a powerful form (Fig. 1). The design also abundantly embodies the design elements common to Nissan brand vehicles. Following upon the Altima, the new Sylphy/Sentra is also based on Nissan’s V-motion 2.0 Concept. Compared with the previous model, the overall height was reduced by 45 mm and the overall width was increased by 55 mm to create a dynamic-looking exterior with a low center of gravity. Together with the prominent floating roof in side view, the design highlights the signature features of the Nissan brand.

The key theme of the interior design is “smart structure,” representing well thought out functionality. Like the Altima, the new Sylphy/Sentra adopts Nissan’s “gliding wing” instrument panel design with its thin, expansive look that imparts an open, spacious feeling (Fig. 2). The tan interior trim features seats covered with a diamond-cut quilting pattern used on high-class furniture, for example, and meticulous attention was paid to the smallest details of the interior decoration. As a result, the perceived quality of both the interior trim and exterior trim is that of a vehicle ranked one class higher.

#### 4.2 Handling, stability, ride comfort and quietness

The various structures of the body, suspension, steering system and other parts were reviewed, and their stiffness was increased along with optimally placing sound absorbing and insulating materials. As a result, top-level performance is provided in terms of handling, stability, ride comfort and quietness, which are key aspects buyers consider at the time of purchase. This succeeds in further enhancing the vehicle’s overall excellent quality.

Other features adopted on the new model to enhance ride comfort, handling and stability include Nissan’s Intelligent Engine Brake, Intelligent Trace Control and Intelligent Ride Control.

Intelligent Engine Brake automatically controls engine braking when cornering or decelerating, thereby adjusting the driver’s depression of the brake pedal and lessening the frequency of switching the foot from the accelerator to the brake pedal. As a result, the system provides greater driving ease by reducing driver fatigue (Fig. 3).

Intelligent Trace Control applies braking control at each of the four wheels individually according to the driving conditions when cornering on a winding road or on expressway entrance/exit ramps. This system smooths the vehicle’s motions and simultaneously heightens its response, thus providing stable cornering performance

### 4.2 操縦安定性・乗り心地・静粛性

車体、サスペンション、ステアリングなどあらゆる構造を見直し、高剛性化や吸音材の最適化などを行った結果、購入時のポイントである操縦安定性、乗り心地、静粛性についてクラストップレベルの性能を確保し、車としての質感を更に引き上げることに成功している。

また、新型では操縦安定性、乗り心地の向上アイテムとして、「インテリジェントエンブレキ」「インテリジェントトレースコントロール」「インテリジェントライドコントロール」を採用した。

インテリジェントエンブレキはコーナや減速時にエンブレキを自動的に制御することにより、ドライバのブレーキペダルの踏み加減の調整や、アクセルからブレーキへの踏みかえ頻度を減らすことができる。結果としてドライバの疲労を軽減することになり、イーゼードライブをサポートする（図3）。

インテリジェントトレースコントロールは、ワインディング路や高速道路の出入り口といったコーナにおいて、走行状況に応じて4輪それぞれのブレーキを制御することで、車両の動きをなめらかにし、同時に応答性を高めることにより、安心感の高いコーナリングを実現する。コーナの出口では走行ラインのトレース性をサポートすることにより、車両が外側に膨らむのを抑えて走行することが可能となり、ドライバが楽しく自信をもって運転することができる（図4）。

インテリジェントライドコントロールでは、ブレーキを制御することで、上屋の不快感を抑制し、凸凹（でこぼこ）道などでの乗り心地と安定感の向上を実現する（図5）。

### 4.3 予防安全

新型シルフィ／セントラでは近年お客様の重視度、期待値共に高まっている予防安全性能についても、満足いただける性能に仕上げている。

実現する技術として、「オートマチックエマージェンシーブレーキ（AEB）」「後側方車両検知警報（BSW）」「後退時車両検知警報（RCTA）」「リヤオートマチックブレーキ（RR-AEB）」などの予防安全装備を、アルティマに続きCセグメントの本モデルにおいても充実させた。（グ

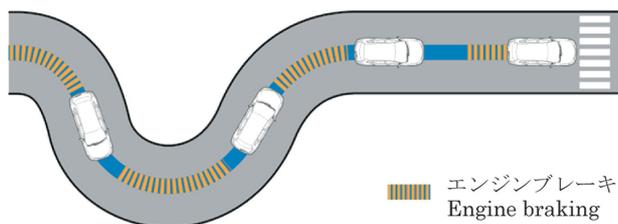


図-3 インテリジェントエンジンブレーキのイメージ図  
Fig. 3 Concept of Intelligent Engine Brake

that gives drivers greater peace of mind. By assisting the driver in tracing the driving trajectory when exiting a corner, the system suppresses the vehicle's outward sway so that it follows the steered line. This enables drivers to navigate corners confidently for more enjoyable driving (Fig. 4).

Intelligent Ride Control suppresses uncomfortable movement of the vehicle body by suitably controlling braking, thereby improving ride comfort and stability on rough and other uneven road surfaces (Fig. 5).

### 4.3 Active safety

Customers' priorities and expectations have been rising in recent years regarding active safety features. The new Sylphy/Sentra also embodies active safety performance that customers will find satisfying.

Among the active safety technologies provided are Automatic Emergency Braking (AEB), Blind Spot Warning (BSW), Rear Cross Traffic Alert (RCTA) and Rear Automatic Emergency Braking (RR-AEB). Following upon the Altima, active safety features have been further improved and expanded on this new C-segment Sylphy/Sentra. (The technologies available differ depending on the trim grade and destination market.)

Moreover, development work has been under way that also takes into consideration the China Insurance Automotive Safety Index (C-IASI), a new safety assessment

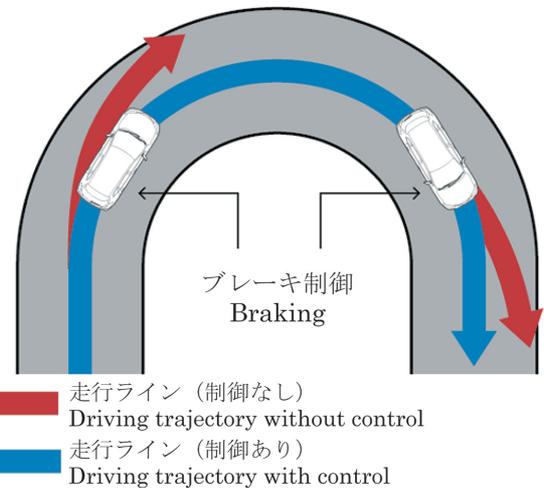


図-4 インテリジェントトレースコントロールのイメージ図  
Fig. 4 Concept of Intelligent Trace Control

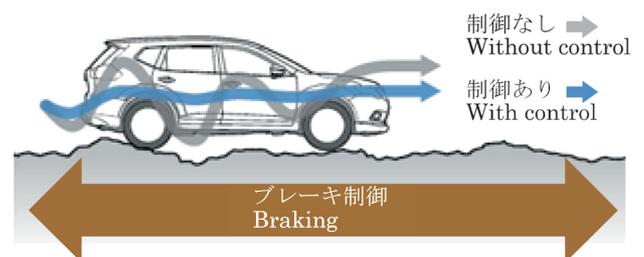


図-5 インテリジェントライドコントロールのイメージ図  
Fig. 5 Concept of Intelligent Ride Control

レード、仕向け地により搭載技術は異なる。)

また、中国においては2018年より新たに開始された安全評価制度C-IASI（中国保険汽車安全指数）を視野にいれた開発にも取り組んでおり、トレンドを見越した開発を行っている。

#### 4.4 インフォテインメント

アルティマ同様の7インチのアドバンスドライブアシストディスプレイ、8インチのセンターカラーディスプレイを採用することにより、日々のドライビングをサポートする。更にAndroid Auto™、Apple CarPlay™の標準装備によるシームレスなスマートフォン接続、USB Type-Cの採用による変換アダプタ無しでの充電を可能とし、利便性と快適性の両方を兼ね備えて、大きな強みとなっている。

### 5. おわりに

以上、本稿では新型シルフィ／セントラの概要として、商品アピールポイントを中心に紹介した。モデルプロミスの上に更なる強みを付加し、セダン市場を活性化するキーモデルとなることを確信している。

末筆ながら、新型シルフィ／セントラの開発・デザイン・品質・生産・M&Sで本モデルに携わり、ご尽力をいただいたすべての皆様に深く御礼申し上げます。

system that was initiated in China in 2018. The work being done is in anticipation of this trend.

#### 4.4 Infotainment

Like the Altima, the new Sylphy/Sentra comes with a 7-inch Advanced Drive-Assist Display and an 8-inch center color display as features to support everyday driving. In addition, Android Auto™ and Apple CarPlay™ are provided as standard equipment for seamless smartphone connectivity. The adoption of USB Type-C ports enables recharging of batteries without a conversion adapter, thus combining both convenience and comfort in a strong selling point.

### 5. Conclusion

This article has presented an overview of the new generation of the Sylphy/Sentra, focusing mainly on its appealing product features. With further strong attributes added on top of its significant model promises, we are confident that it will be a key model for energizing the sedan market.

Finally, the authors would like to sincerely thank everyone involved with the design, engineering, quality assurance, manufacturing, marketing and sales of the new Sylphy/Sentra for their tremendous efforts made for this new model.

#### ■著者／Author(s)■



豊 福 諒  
Makoto Toyofuku



寺 本 広 樹  
Hiroki Teramoto

# 新型ヴァーサ商品概要

## Product Overview of the New Versa

上 總 直 人\*  
Naoto Kazusa

**抄 録** 初代ヴァーサは広い居住性を有するモデルとして、Bセダンセグメントにおいてグローバルに成功を収めた。多くの国で販売台数No. 1を記録し、日産ブランドのラインナップの中で中核をなすモデルとなっている。新型ヴァーサは2世代目として、主に北米向けに開発された。本モデルは、ワイド&ローなプロポーションと最新の日産ブランドのデザインアスペクトを採用することにより、エネルギッシュなスタイリングを表現している。また燃費を犠牲にすることなく、動力性能の向上を実現した。本稿では、新型ヴァーサの商品概要を紹介する。

**Summary** The first-generation Nissan Versa has been globally successful as a B-segment sedan with interior roominess. It has been the No. 1 top-selling model in many countries and also serves as an essential model in the Nissan lineup. The all-new Versa was developed as the second generation of this series mainly for the U.S. market. This model is an energetic-looking sedan designed with low and wide proportions and the latest signature design elements of the Nissan brand. This second generation provides high dynamic performance without compromising fuel economy. This article presents an overview of the new Versa.

**Key words :** Automotive General, new model, Versa, Almera

### 1. はじめに

近年、SUVセグメントの成長が目覚ましく、セダンセグメントは縮小傾向にあるものの、メキシコでは引き続き最も販売台数の多いセグメントであり、いまだ競合他社が切磋琢磨している。その中で、初代ヴァーサは2011年の発売以降、米国とメキシコにおいてセグメント販売台数No. 1を記録し、累計で300万台以上を売り上げ、エントリーセダンとして108か国以上のお客様に愛用されている。

### 2. 商品コンセプト

新型ヴァーサは、米国市場においては自主性を重んじる、シンプルな志向を持った若い女性を、メキシコ市場ではエネルギッシュで活動的な若い男性をターゲットとした。このように、異なる国やお客様をカバーするグローバルエントリーセダンとしての役割を実現するために、“Lively and energetic sedan providing confidence expressing his/her own sense”をコンセプトとし、開発を進めてきた。一方で、異なる市場ニーズに合わせて動性能や装備を変えることで、商品競争力を高めるアプローチを取っている。多くのお客様にとって、日産ブランドに初めて触れる

### 1. Introduction

The SUV segment has grown remarkably in recent years while the sedan segment has tended to contract. Yet the latter segment continues to have the largest sales volume in Mexico, and rival automakers are still competing vigorously in this segment. Against this backdrop, the first-generation Versa has continued to record the No. 1 sales volume in its segment in the U.S. and Mexico since it was first launched there in 2011. It has a cumulative sales volume of more than three million units and is favored by customers in over 108 countries worldwide as an entry-level sedan.

### 2. Product Concept

In the U.S. market the new Versa is targeted at young women who value their independence and are inclined toward a simple life style, whereas the target in Mexico is energetic, active young men. In order to fulfill its role as a global entry-level sedan and accommodate diverse customers in different countries, the new Versa was developed around the concept of a “lively, energetic sedan providing confidence and expressing customers’ individual sensibilities.” Meanwhile, the approach adopted to heighten product competitiveness is to meet differing market needs by varying the dynamic performance and equipment features. It was assumed that the Versa may well

\*商品企画部 / Product Planning Department

モデルとなることを想定し、日産ブランド愛好者を増やすために、印象的なデザイン、高品質感、使い勝手の良い機能、クラストップクラスの居住性と燃費に加え、信頼性と自信を持てる走りを提供する王道のセダンの実現を目指した。

### 3. アピールポイント

#### 3.1 デザインと居住性の両立

ヴァーサの個性および日産ブランドをお客様に伝える要素として、デザインは重要である。初代ヴァーサが確立した広い居住性と、ワクワクする走りを想起させる印象的なデザインの両立は、本モデルの絶対条件として様々なアイデアが出され、議論が交わされた。

エクステリアデザインは、よりエネルギッシュで刺激的なイメージを提供すべく、前型モデルに対して、全高を55mm下げ、全幅は20mm広げ、ワイド&ローなプロポーションを実現している。さらに、お客様に日産ブランドアイデンティティを感じてもらうために、数多くの日産ブランドのデザインアспектを採用している。例えば、ダイナミックに仕上げたVモーショングリル、ブーメラン型のシグネチャを配したLEDヘッドランプ、スリムピラーのフローティングルーフが、日産ブランドへのエントリモデルとしてのヴァーサをより引き立てている (図1)。

インテリアデザインにおいては、こちらも日産ブランドのデザインアспектである「グライディングウィング」デザインのインストルメントパネルを採用した。薄く水平に広がるセンターコンソールとインストルメントパネルにより、ワイド&ローなエクステリアと協調性を保ちつつ、開放感のある室内を演出している。トリムに使用する素材にも高品質を追求し、お客様が心地よく室内で過ごせる空間を提供している (図2)。

一方で、居住性においても妥協することなく、運転席の足元幅は550mmを確保し、クラストップの広さを実現している。また、後席においても600mmのニールームおよび23mmのヘッドルームを確保し、ワイド&ローなプロポーションと十分な居住性を両立させている。



図-1 新型ヴァーサ 外観  
Fig.1 New Versa exterior

be the first Nissan brand car that many customers come in contact with. Accordingly, in order to expand the fan base of the Nissan brand, the aim was to create a classic sedan that owners could drive reliably and confidently, in addition to having an impressive design, high perceived quality, numerous convenience features and class-leading roomy comfort and fuel economy.

### 3. Appealing Features

#### 3.1 Impressive design combined with roomy comfort

The design is a key element for conveying to customers the Versa's unique character and the Nissan brand. An absolute condition defined for the new model was to combine an impressive design suggestive of an exciting driving experience with roomy comfort, which was established by the first-generation Versa. To accomplish that, many different ideas were put forward and discussed.

The overall height was lowered by 55 mm and the overall width was widened by 20 mm to create wide and low proportions so that the exterior design would project a more energetic and stimulating image than the first-generation model. In addition, signature design elements of the Nissan brand were abundantly adopted to enable customers to readily perceive the Nissan brand identity. For example, these include the dynamic-looking V-motion grille, signature boomerang-shaped LED headlamps, and the floating roof with slim pillars. These features further accentuate the Versa's exterior design as an entry-level model to the Nissan brand (Fig. 1).

The interior design also incorporates many signature design elements of the Nissan brand, such as the "gliding wing" motif adopted for the instrument panel. The thin, horizontally expansive center console and the instrument panel create an open, airy interior while maintaining harmony with the wide and low exterior. The materials used for the interior trim also pursue premium quality so as to provide a pleasing cabin space where customers can spend time comfortably (Fig. 2).

Assurance of roomy comfort did not allow any compromises either. The driver's seat area provides space 550 mm wide for the feet, which is the widest in this class. The rear seats have 600 mm of knee room and 23 mm of head room, thereby ensuring ample roomy comfort within the wide and low proportions.



図-2 新型ヴァーサ 内装  
Fig.2 New Versa interior

### 3.2 使い勝手の良いインフォテインメント

車の装備が多機能化する反面、運転中であっても安全に情報を確認し、簡単かつ直感的に操作できることは重要である。新型ヴェーサのメータには7インチのカラーディスプレイを採用し、運転に関わる情報をわかりやすく表示する。また4方向に操作可能なステアリングスイッチで、より素早く簡単な操作や切り替えができ、運転中の視線移動やデストラクションを最小にしている。

7インチのセンターカラーディスプレイについても、新世代のインフォテインメントシステム、Android Auto™とApple CarPlay™を装備することで、特にお客様の感度が高いスマートフォン協調に対応している。

### 3.3 信頼できる走り

我々がターゲットとしたお客様は、様々なシーンで運転することが想定される。街中では渋滞も激しく、頻繁にストップ & ゴーを繰り返すため、クイックなレスポンスが要求される。また、一部地域では道路環境が悪く、高い安定性が求められる。そのような中で、新型ヴェーサは「一度乗ったら、二度と他車に乗れない」とお客様に感じてもらうことを目指した。

北米市場向けエンジンには、HR16DE 第3世代を採用している。第2世代に対して、出力を13%、トルクも7%アップさせている一方で、燃費も5.5%向上させている。結果として、セグメントトップクラスの加速と燃費性能の両立を達成した。

ハンドリング性能としては、リヤサスペンションやステアリングシステム、車体剛性を向上させることで、安定したコーナリング性能を実現した。またEPS (Electric Power Steering)に“Active return control”を採用し、シーンに応じてステアリングフィールを変えている。駐車や渋滞シーンでは軽くストレスのないステアリングフィールを、高速シーンではより安心感のあるステアリングフィールを提供している。さらに、上述の技術によって、うねり路などにおいて、収まりの良いフラットな走行を可能としている。

静粛性については、インシュレータの構造やカーペットの厚みを最適化することで、特にエンジン音の伝達を抑え、加速シーンにおける静粛性を向上させている。また、サスペンションやホイールの剛性を高めることで、ロードノイズを減らし、セグメントトップクラスの静粛性を実現している。

### 3.4 予防安全装備の充実

日産ブランドとして推し進めている安全戦略セーフティ・シールドを実現する技術として、駐車時の安全をサポートする「アラウンドビューモニター (AVM)」をはじめ、「オートマチックエマージェンシーブレーキ (AEB)」、「後

### 3.2 Convenient infotainment features

As onboard equipment continues to diversify in function, it is essential for drivers to be able to confirm information safely while driving and operate the equipment simply and intuitively. The new Versa is equipped with a 7-inch color display that shows information related to driving in an easy-to-understand format. In addition, steering wheel switches operate in four directions, enabling quicker, simpler operations and changes so as to minimize eye movement and distractions while driving.

The 7-inch center color display incorporates a new-generation infotainment system with Android Auto™ and Apple CarPlay™ as smartphone-compatible features that customers especially desire.

### 3.3 Reliable driving performance

It is envisioned that the target customers of the new Versa will be driving in a wide variety of situations. Quick vehicle response is required in frequently repeated stop-and-go driving during heavy traffic congestion in urban driving. High stability is also required in some regions where the road environment is poor. Amid these driving circumstances, the aim was to have customers feel that once they drove the new Versa, they would never drive another car again.

Models for the U.S. market are equipped with the third generation of the HR16DE engine, which produces 13% more power and 7% more torque than the second generation, while also improving fuel economy by 5.5%. This results in both segment-leading acceleration performance and fuel economy.

The stiffness of the rear suspension, steering system and body was improved for better handling in terms of stable cornering performance. The electric power steering (EPS) system adopts active return-to-center control that varies the steering feel according to the driving situation. It provides a light, stress-free steering feel when parking and in congested traffic and a highly stable steering feel in high-speed driving. Moreover, the technologies mentioned here suppress vehicle motions quickly on undulating road surfaces to provide a flat ride.

Quietness was improved by optimizing the structure of the insulators and carpet thickness, especially to suppress the transmission of engine noise. These measures provide a quieter interior in acceleration situations. Road noise has also been reduced by increasing the stiffness of the suspension and wheels, thereby achieving segment-leading quietness.

### 3.4 Improvement of active safety equipment

Following upon the Altima and Sylphy, the active safety features of the new B-segment Versa have also been improved and expanded. Many advanced safety technologies have been adopted to achieve Nissan's safety strategy called Safety Shield, including Around View Monitor (AVM), Automatic Emergency Braking (AEB), Blind Spot Warning (BSW), Rear Cross Traffic Alert (RCTA) and

側方車両検知警報 (BSW)、「後退時車両検知警報 (RCTA)」や「リヤオートマチックブレーキ (RR-AEB)」などの予防安全装備を、アルティマ、シルフィに続きBセグメントの本モデルにおいても充実させた。(グレード、仕向け地により搭載技術は異なる。)

#### 4. おわりに

以上、本稿では新型ヴェーサの概要として、商品アピールポイントを中心に紹介した。新型ヴェーサはエネルギーギッシュな印象を与えるワイド&ローなプロポーションと日産ブランドのデザインアспект、広い居住性、使い勝手のよいインフォテインメント、信頼できる走りと燃費性能の両立、先進安全装備の拡充を実現し、手ごろな価格でお客様に提供することで、世界中にひとりでも多くの日産愛好者が増えることを期待している。

末筆ながら、新型ヴェーサの開発・デザイン・品質・生産・M&Sで本モデルに携わり、ご尽力を頂いたすべての皆様に深く御礼申し上げます。

Rear Automatic Emergency Braking (RR-AEB), among others. (The available technologies vary depending on the trim grade and market destination.)

#### 4. Conclusion

This article has presented an overview of the new Versa, focusing in particular on its appealing product features. The new Versa is distinguished by its wide and low proportions and signature design elements of the Nissan brand, which combine to project a lively and energetic image. It features a comfortable, roomy interior, a highly convenient infotainment system, confidence-inspiring driving performance combined with excellent fuel economy, and improved and expanded advanced safety equipment. By providing all of these features at affordable prices, we hope to expand the Nissan fan base as much as possible worldwide.

Finally, the author would like to sincerely thank everyone involved in the design, engineering, quality assurance, manufacturing, marketing and sales of the new Versa for their tremendous efforts made for this new model.

■著者 / Author(s)■



上 總 直 人  
Naoto Kazusa

# 特許紹介

## Introduction of Patents

当社の登録特許のうち、重要課題をブレイクスルーすることにより会社への大きな貢献をもたらした特許、その中でも特に軽量化・省燃費を支える材料技術に採用されている特許計4件を紹介する。

The four patents presented here pertain to materials technologies that have been adopted especially to support weight reductions and fuel economy improvement. Among the patents registered to Nissan, these four patents have contributed substantially to the company by achieving breakthroughs in key issues.

※発明者の所属は2019年9月現在  
Inventors' affiliations are as of September 2019

### 1. 車両用メンバ部材 (図1、図2)

出願：2006年9月6日 特願2006-241847号  
登録：2009年5月1日 特願4301269号  
名称：車両用メンバ部材  
発明者：統合CAE・PLM部 武田 力紀

#### 1.1 発明の狙い

車両用メンバ部材としてのフロントサイドメンバは、その後方のエクステンションメンバにつながる部分が滑らかに傾斜する屈曲部となっており、直線部分の側面の高さ方向略中央部には長さ方向に連続してビードが形成され曲げ剛性が高められている。

しかし、エクステンションメンバにつながる屈曲部は大きな曲げモーメントが作用するにもかかわらずビードが形成されていなかったために曲げ剛性が十分ではなく、断面耐力向上のために板厚の増大や補強部材の追加が必要となり車体質量が増加していた。

#### 1.2 発明の構成

本発明は、フロントサイドメンバの前部から屈曲部の終端部にわたって、側面の高さ方向略中央部に連続する補強用のビードを形成したため、屈曲部の断面耐力が向上し、衝突荷重の入力に対して屈曲部を含めたフロントサイドメンバ全体の曲げ剛性を高めることができ、もって、フロントサイドメンバの薄肉化を可能とし、車体質量を軽減できる。

#### 1.3 活用実績

K13型マーチ、E12型ノートなどのVプラットフォーム車に採用されている。

### 1. Vehicle Front Side Member (Figs. 1 & 2)

Patent application date: September 6, 2006  
Japanese patent application No.: 2006-241847  
Registration date: May 1, 2009  
Japanese patent No.: 4301269  
Title: Vehicle front side member  
Inventor:  
Riki Takeda, Integrated CAE and PLM Department

#### 1.1 Aim of invention

A vehicle front side member has a bend that slants smoothly toward the extension member connected after it. Consecutive beads are formed lengthwise on the side face of its straight section approximately in the center in the height direction to increase bending stiffness.

However, even though a large bending moment acts on the bend leading to the extension member, it was not provided with beads and lacked sufficient bending stiffness. In order to improve cross-sectional strength, it was necessary to increase the plate thickness of the front side member or add a reinforcement member, which increased the vehicle mass.

#### 1.2 Composition of invention

This invention pertains to the formation of consecutive reinforcement beads on the side face approximately in the center in the height direction from the front of the front side member to the end point of the bend. This improves the cross-sectional strength of the bend and increases the bending stiffness of the entire front side member, including the bend, against collision load inputs. For that reason, the plate thickness of the front side member can be reduced, which lightens the body mass.

#### 1.3 Status of use

This invention has been adopted on V-platform

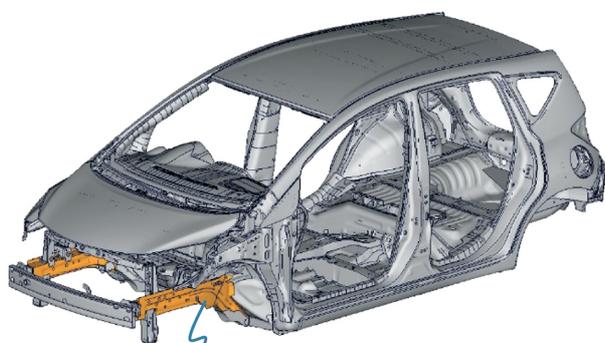


1.4 発明者の想い

当時、私が車体設計者としてK13（現行マーチ）開発を担当していたときに、本特許の検討をしていました。K13開発初期は小型車の燃費競争が激化し、各自動車メーカーが対応策を世の中に次々と出す時代であり、K13もK12(前型車)に対し大幅な燃費向上が求められていました。燃費向上の対策として軽量化が求められ、超ハイテン化やアルミニウムへの材料置換が主流の技術となり始めていた頃でした。一方でK13は日本と欧州だけでなく、インドやブラジルなどの新興国への販売を計画したため、K12に対して大幅なコスト低減が同時に求められました。車体も大幅な軽量化とコスト削減が急務となっており、ホワイトボディは車両全体に占める重量比率が高いことから、特に軽量化は重要な課題でした。

このような背景から、本特許考案に至るまで、強い味方となったのが、コンピュータシミュレーション技術でした。1990年代までは、試作車実験が主流でしたが、2000年代に入ってから新しい新車開発プロセス（V3P）が立ち上がり、それに伴って衝突や音振、強度耐久などの試作車実験は、コンピュータシミュレーションに置き換わっていきました。このシミュレーション技術を活用することで、複数のフロントサイドメンバ形状を考案し、トライアンドエラー計算を繰り返し、形状をつくり上げることが出来ました。また、再度シミュレーションでビードの配置を最適化することで、板厚を薄くしたにもかかわらず、強度を維持するビード配置を実現することが出来ました。

近年は効率化が求められる時代となりましたが、他社に負けない技術を持つことが、良い車を出すベースとなり、日々技術を磨くことが改めて大事だと実感しました。この様な経験を生かし、今後も新車開発に携わっていきたいと考えています。



フロントサイドメンバ  
Front side member

図-1 車体全体図  
Fig. 1 Overall view of vehicle body

vehicles such as the March (K13) and the Note (E12), among others.

1.4 Inventor's thoughts

At the time when I undertook a study of this patented invention, I was responsible for the body design of the current March (K13). In the initial development stage of the K13, fuel economy competition among small cars was greatly intensifying. It was a time when vehicle manufacturers were bringing out one measure after another to improve fuel economy. The K13 had to achieve substantially better fuel economy than the previous K12 model. Weight reductions were necessary as one measure for improving fuel economy. Around that time, material substitution to advanced high strength steel and aluminum was starting to become the mainstream technology for that purpose. Meanwhile, it was planned to sell the K13 not only in Japan and Europe, but also in emerging markets like India and Brazil. That made it necessary to simultaneously reduce the cost from that of the previous model. Reducing the weight and cost of the body substantially thus became an urgent issue. Reducing the weight of the body-in-white was an especially crucial issue because it accounts for a large portion of the total vehicle weight.

Against that backdrop, computer simulation technology was a strong ally in the process that led to the concept of this invention. Until the 1990s, prototype vehicle testing was the mainstream approach, but after entering the 2000s a new vehicle development process was launched called Value-up Innovation in Product, Process and Program (V-3P). Together with that development, computer simulation replaced prototype vehicle testing with regard to collision performance, noise, strength, durability and other parameters. The use of simulation technology made it possible to consider multiple front side member shapes, and the desired shape was obtained though repeated trial-and-error calculations. In addition, the arrangement of the beads was optimized by conducting a further simulation. That made it possible to define the optimal bead layout for maintaining strength even though the plate thickness was reduced.

In recent years, efficiency has become the

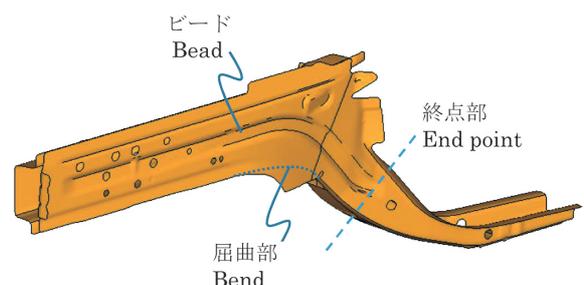


図-2 フロントサイドメンバ全体図  
Fig. 2 Overall view of front side member





3. チェーンおよびタイミングチェーンドライブシステム  
(図5、図6)

出願：2006年 8 月 11 日 特願2006-220328号  
 登録：2012年 2 月 17 日 特願4923840号  
 名称：チェーン、およびチェーンドライブシステム  
 発明者：材料技術部 樋口 毅  
 エンジン&ドライブトレイン技術開発部 田村 雅之  
 退職 馬淵 豊  
 退職 加納 眞

3.1 発明の狙い

タイミングチェーンドライブシステムでは、走行中におけるチェーンの振動、横振れを防止するためのチェーンガイドが設けられ、そのチェーンガイドに対してチェーンは潤滑油環境下で接触ししゅう動する。この場合、チェーンを構成するリンクプレートとガイド機構との間のしゅう動抵抗が、チェーン駆動時の機械損失となる。

本発明は、チェーンのリンクプレート端面の形状および表面粗さを最適にすることにより、リンクプレートとガイド機構との間のしゅう動抵抗を低減し、駆動損失を大幅に軽減できるようにした。

3.2 発明の構成

本発明のチェーンは、相互に連結される複数のリンクプレートのしゅう動面に、しゅう動方向と同じ方向に沿って形成された溝形状の凹部を有する。そして、この凹部の両

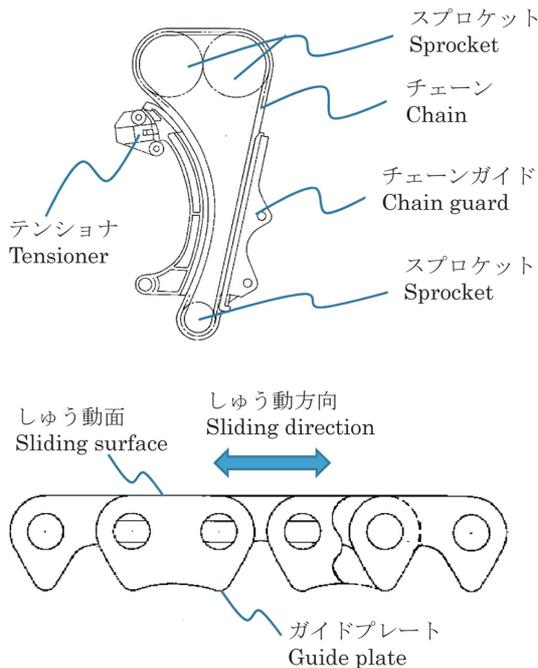


図-5 チェーンの構造としゅう動面  
Fig. 5 Chain structure and sliding surface

Japanese patent No.: 4923840  
 Title: Chain and chain drive system  
 Inventor:  
 Tsuyoshi Higuchi, Materials Engineering Department  
 Masayuki Tamura, Engine and Drivetrain Engineering Department  
 Yutaka Mabuchi, Retired employee  
 Makoto Kano, Retired employee

3.1 Aim of invention

The timing chain drive system is fitted with a chain guide to prevent chain vibration and lateral deflection during vehicle operation. The chain slides in contact with the chain guide in a lubricating oil environment. In this case, sliding friction between the chain link plates and the guide mechanism becomes a mechanical loss when the chain is driven.

This invention makes it possible to substantially reduce the drive loss by reducing the sliding friction between the link plates and the guide mechanism as a result of optimizing the end face geometry and surface roughness of the chain link plates.

3.2 Composition of invention

The chain of this invention has a concavity in the groove shape, formed in the same direction in which the chain slides, in the sliding surface of the multiple interconnected link plates. By providing a raised corner positioned at both ends of the concavity, the groove depth there is set at 1/1000-1/20 of the thickness of the link plates.

3.3 Status of use

This invention has been adopted on the March, Note, Tiida, Serena, X-Trail and Titan, among other models.

3.4 Inventor's thoughts

Friction losses occurring at engine sliding parts have now been reduced to less than 10% of overall losses. However, among engines of two or three generations earlier, there were many that had much larger friction losses. It was not unusual for some engines to have large friction losses that were nearly twice that of engines today. At Nissan, we undertook efforts to reduce the surface roughness of all parts with sliding surfaces in order to reduce mechanical friction losses. Even though it was found that the timing chain drive system accounted for only a slight several percent of an engine's overall friction losses, it was still one part that was the target for improvement. Many development engineers recognized long ago that it was difficult for lubricating oil to reach the timing chain drive system, and many patents relating to various types of lubrication mechanisms were proposed. However, there were almost no examples of improvements that pertained to the chain itself, especially to the sliding surfaces. It was easy to imagine that smoothing the surfaces would be effective. However, confirming that



#### 4. ピストンリング (図7)

出願：2008年 3 月 4 日 特願2008-53078号

登録：2015年10月30日 特願5828575号

名称：ピストンリング

発明者：材料技術部	近藤 隆明
日本EV事業部	小川 隼平
製品品質設計技術革新部	宮澤 智則
パワートレイン・EVエネルギーシステム開発部	井口 豊樹
パワートレイン・EV先行技術開発部	鈴木 琢磨
社外	牧田 剛
社外	小川 勝明
社外	岡崎 孝弘

##### 4.1 発明の狙い

内燃機関用ピストンリングが持つべき機能として、ガスシール機能とオイルコントロール機能が挙げられる。近年、燃費を向上させるために、エンジンの圧縮比を上げることが求められており、燃焼室内はより高温の環境になる。この場合、ピストンリング材には、ピストンへの入熱をボアへ逃がし燃焼室温度を下げる熱伝導性と、高温環境下での使用に耐えるための耐熱へたり性が求められる。

本発明は、優れた熱伝導性と耐熱へたり性を備えるピストンリングを提供することにある。

##### 4.2 発明の構成

本発明のピストンリングは、炭素 (C)、ケイ素 (Si)、マンガン (Mn)、リン (P)、クロム (Cr) の含有量がそれぞれ、C:0.25~0.90%、Si:0.10%以上0.40%以下、Mn:0.60~1.50%、P:0.01~0.05%、Cr:0.50~2.00%である調質鋼からなる。そして、以下パラメータを持つことを特徴とする。すなわち、 $8.8Si + 1.6Mn + 1.7Cr$ が9.0以下、 $36C + 4.2Si + 3.8Mn + 4.5Cr$ が14.0以上、かつ焼入れ焼戻し後の硬さが32HRC以上、熱伝導率が $36W/m \cdot K$ 以上である。

##### 4.3 活用実績

F15型ジェーク (ターボ仕様)、L34型アルティマ、V37型スカイライン、E52型エルグランド、D23型NP300ナバラなどに採用されている。

##### 4.4 発明者の想い

燃費改善のために圧縮比を上げるとノッキングが発生するため、いかにノッキングを抑制するか、つまりは燃焼室周辺の熱をいかに逃がすかが燃費向上の鍵になります。燃焼室周辺の排熱の中で、ピストンで受けた熱の大部分がピストンリングを介してシリンダーボアに流れる点に着目し、

This invention pertains to the provision of piston rings possessing outstanding thermal conductivity and heat resistance.

##### 4.2 Composition of invention

The piston rings of this invention are made of tempered steel having a composition of 0.25-0.90 % carbon (C), 0.10% or more – 40% or less silicon (S), 0.60-1.50% manganese (Mn), 0.01-0.05% phosphorus (P) and 0.50-2.00% chromium (Cr). In addition, it is characterized as having the following parameters, namely, one having a value of 9.0 or less based on the contents of  $8.8 Si + 1.6 Mn + 1.7 Cr$  and one having a value of 14.0 or more based on the contents of  $36 C + 4.2 Si + 3.8 Mn + 4.5 Cr$ . Hardness after tempering and quenching is 32 HRC or higher and thermal conductivity is  $36 W/m \cdot K$  or more.

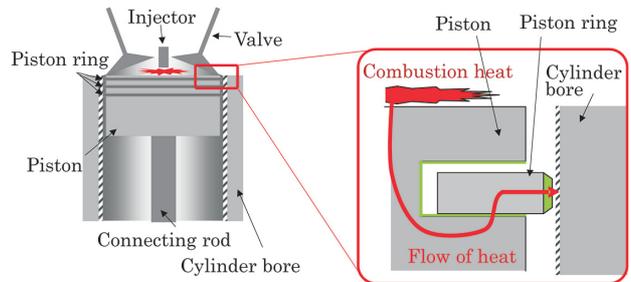
##### 4.3 Status of use

This invention has been adopted on the F15 series Juke (turbocharged specification), L34 series Altima, V37 series Skyline, E52 series Elgrand and D23 series NP300 Navara, among others.

##### 4.4 Inventor's thoughts

Raising the compression ratio for improving fuel economy gives rise to knocking. Accordingly, the key to improving fuel economy with this approach lies in how to suppress knocking, i.e., how to dissipate heat around the combustion chamber. Of the waste heat around the combustion chamber, attention was focused on the fact that most of the heat input to the piston flows to the cylinder bore through the piston rings. Therefore, it was decided to narrow the focus of our study to the piston rings.

Although the scope was decided, we did not know in which direction to proceed with our development work. We began by varying the piston ring shapes and materials in order to make clear what sort of conditions would produce effective results. In a basic study, it was observed that the use of materials with high thermal conductivity clearly had an effect on suppressing knocking. However, the materials that were examined initially all weakened



ピストンとその周辺部  
Piston and periphery

ピストンリング周辺拡大  
Enlarged view of piston ring periphery

図-7 ピストン周辺部と拡大図  
Fig. 7 Piston and periphery and enlarged view

ピストンリングに絞った検討を進めることとしました。

スコープは定まったものの、当初は開発の方向性がわからず、まずは形状、材料を様々に変えて、どういう条件であれば効果が出るのかを明確にする作業から始まりました。基礎検討で熱伝導率の高い材料を使うことにより明確なノッキング抑制効果が現れることがわかったのですが、当初検討対象とした材料はことごとく高温環境下でへたってしまい、ピストンリングの最も大切な機能であるガスシール性を確保できませんでした。

高熱伝導率と耐熱へたり性、この相反する機能を両立させる材料の模索には長い時間がかかりました。最終的には鉄系の材料に絞り、Si、Crに加え、C、Mnなどの複数の添加元素の最適な配合を粘り強く分析・検討を重ね、なんとか開発目標を満足する組成範囲を見出すことができました。当該組成で試作したピストンリングでエンジン試験を行い、結果OKの報告を受け取った時の達成感は今でも鮮明に思い出することができます。

開発は苦勞しましたが、本技術はこれまでに多くのエンジンに採用されており、全世界のお客様に自分の技術をお届けできたことは、まさにエンジニアリング冥利に尽きると思っています。

最後に、本発明の中で多大なるご協力をいただきました関係者の皆様、特に、多くの試作、試験を実施いただいた共願先の日本ピストンリング株式会社の皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。

under a high-temperature environment, so they were unable to seal in combustion gases, which is one of the most critical functions of piston rings.

A long time was spent searching for a material capable of satisfying the conflicting functional requirements for high thermal conductivity and heat resistance. Finally, the focus was narrowed to ferrous materials to which we added Si and Cr and sought the optimal formulation of multiple additive elements including C and Mn, among others. Through persistent and repeated analyses and studies, we somehow found the composition range for satisfying the development targets. Prototype piston rings were manufactured using that composition and subjected to engine tests. Even now I distinctly remember the feeling of accomplishment that I felt when we received the report that the test results were satisfactory.

Although it was a struggle to develop the piston rings, this technology has been adopted for many engines to date. Being able to provide this technology we developed to customers around the world makes me feel truly fortunate to be an engineer.

Finally, I would like to thank everyone involved for their tremendous cooperation with this invention, especially the people at Nippon Piston Ring Co., Ltd., our co-applicants, for their assistance in manufacturing and testing many prototypes.

## 編 集 後 記

今回の特集はおよそ5年ぶりとなる「軽量化・省燃費を支える材料技術」の特集です。CO<sub>2</sub>排出量削減のためにパワートレインの電動化が進んできており、それとともにバッテリーやインバータ、モータなどの電動化要素技術の開発が活発に行われています。そんななかでも、日産の大半の車種に搭載される内燃機関の低燃費化や、基礎体力ともいえる車両の軽量化に手を抜くわけには行きません。

このような背景のもと、今回の特集で取り上げる材料技術は決して派手なものではありませんが、これまで積み上げてきた材料技術を基盤としてさらに磨きをかけたものです。材料技術には、特定のパワートレインや車種によらず、幅広く水平展開ができるという特徴があります。車体鋼板の高張力化やエンジン油の低粘度化に代表されるベース材料のレベルアップは、まさに日産車全体の性能の底上げに貢献するものです。

VCターボやカーボンルーフはシステムや部品としては新規なものですが、それらを支えているのは長年にわたって培ってきた金属材料の高強度化や高分子材料の車体適用にかかわる基盤技術です。これらの技術は、金属材料と高分子材料で構成されるバッテリーや電動パワートレインの高性能化にも貢献の幅を広げています。

全てのクルマの部品は材料でできています。本特集にて取り上げた最新の材料技術をご理解いただくとともに、今後の進展にご期待いただければと思います。

— 日産技報編集委員・坂元宏規 —

## 2019年度日産技報編集委員会

委員長	河本 桂 二	パワートレイン・EV 計画部	
坂元 宏 規	先端材料・プロセス研究所	楠川 博 隆	エンジン&ドライブトレイン技術開発部
		小野山 泰 一	パワートレイン・EV 技術開発本部
副委員長	高木 潔	技術企画部	
平工 良 三	パワートレイン・EV 技術開発本部	森 春 仁	研究企画部
		山村 智 弘	モビリティ& AI 研究所
委員	長谷川 哲 男	グローバル技術渉外部	
天田 正 秀	商品企画部	八角 恭 介	車両生産技術統括部
佐藤 正 晴	Infiniti 製品開発部	井口 栄 二	パワートレイン技術企画部
細井 秀 俊	Nissan 第三製品開発部		
森 達 朗	Infiniti 製品開発部		
大石 賢 治	コネクテッドカー&サービス開発部	事務局	
大西 孝 一	カスタマーパフォーマンス&車両実験部	柳井 達 美	研究企画部
名取 奏	統合CAE・PLM部	細谷 裕 美	研究企画部

## 日産技報第85号

© 禁無断転載

発行	2019年10月
発行・編集人	日産技報編集委員会
発行所	日産自動車株式会社 総合研究所 研究企画部 神奈川県厚木市森の里青山1番1号 〒243-0123
印刷所	相互印刷株式会社 東京都江東区森下3-13-5



## Editorial Postscript

It was roughly five years ago that we last created a special feature focusing on “materials technologies for vehicle weight reduction and fuel economy improvement,” which is the theme of this issue’s special feature. Since then, progress has been made in powertrain electrification for reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions, along with vigorous efforts to develop key electrification technologies such as for the battery, inverter, motor and other components. Amid these developments, we cannot very well be negligent about improving the fuel economy of internal combustion engines that are installed on the majority of Nissan’s vehicles or about reducing the vehicle weight that is a fundamental aspect of automotive engineering.

Against this backdrop, the materials technologies described in this special feature are definitely not conspicuous. Rather, they are things based on the fundamental materials technologies we have accumulated over the years and have further refined. Materials technologies are characterized by being widely deployable horizontally across product lines without being dependent on any special powertrain or vehicle model. Improving basic materials, as typified by increasing the tensile strength of body sheet metal or lowering engine oil viscosity, truly contributes to enhancing the overall performance of our vehicles.

The VC-Turbo and carbon fiber roof represent a new engine system and a body part, but they are supported by fundamental technologies that we have honed over many years to improve the strength of metal materials and to apply polymer materials to the auto body. The scope of the contributions of these technologies is expanding to include performance enhancement of electric powertrains and batteries that are composed of metal and polymer materials.

All vehicle parts are made of materials. We hope that this special feature will give readers a better understanding of the latest material technologies described here and will foster expectations of further progress in the coming years.

Hiroki Sakamoto

Member of the Nissan Technical Review Editorial Committee

## FY2019 Nissan Technical Review Editorial Committee

### Chairman

Hiroki SAKAMOTO  
Advanced Materials and Processing Laboratory

### Vice-chairman

Ryozo HIRAKU  
Powertrain and EV Engineering Division

### Members

Masahide AMADA  
Product Planning Department  
Masaharu SATOU  
Infiniti Product Development Department  
Hidetoshi HOSOI  
Nissan Product Development Department No. 3  
Tatsuro MORI  
Infiniti Product Development Department  
Kenji OHISHI  
Connected Car and Services Engineering Department  
Koichi ONISHI  
Customer Performance and Vehicle Test Engineering Department  
Sou NATORI  
Integrated CAE and PLM Department  
Keiji KAWAMOTO  
Powertrain and EV Planning Department

Hiroataka KUSUKAWA  
Engine and Drivetrain Engineering Department  
Taiichi ONOYAMA  
Powertrain and EV Engineering Division  
Kiyoshi TAKAGI  
Technology Planning Department  
Haruhito MORI  
Research Planning Department  
Tomohiro YAMAMURA  
Mobility and AI Laboratory  
Tetsuo HASEGAWA  
Global Technical Affairs Department  
Kiyosuke HAKKAKU  
Vehicle Production Engineering Control Department  
Eiji IGUCHI  
Powertrain Planning Department

### Organizer

Tatsumi YANAI  
Research Planning Department  
Hiromi HOSOYA  
Research Planning Department

---

## Nissan Technical Review 85

October, 2019

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

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

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

---

---

---

## 表紙コンセプト / Cover Design Concept

---

---

自動車の根幹をなす材料は、直接、お客様の目に留まることは少なく、どちらかと言うと縁の下での力持ちであった。我々も、それを是として敢えて前面に立つことを躊躇(ちゅうちょ)してきた感がある。本表紙の作成に当たっては、その立ち位置を刷新するという意味も込めて、本来主役である自動車を敢えてシルエットとし、それを支える材料をメインに据えることで、材料が今後の自動車革新の先頭に立って貢献していく、という強い意志を表しました。自動車にとって百年に一度の革新と言われる時代に、材料技術として何ができるのか、これからも考え抜いていく所存であり、叱咤(しった)激励いただければ幸いです。

The materials technologies that form the basis of automotive engineering have seldom attracted the direct attention of customers, rather materials have discharged their functions out of sight in the background. There is a feeling that we ourselves have been hesitant to highlight the role of materials so prominently, thinking that a modest presence is proper. In creating this cover design, I deliberately depicted the silhouette of a vehicle, though ordinarily it would be the principal focus, and positioned materials that support vehicles as the main center of attention. That was done with the intention of radically changing the traditional position of materials by conveying a strong impression that materials will be at the forefront in contributing to vehicle innovations in the coming years. In this present age when it is said that vehicles are undergoing innovations which occur once in a hundred years, we will continue to contemplate thoroughly what materials technologies could be contributed. I hope that this cover design may provide strong encouragement toward that end.



福井 孝之  
Takayuki Fukui  
材料技術部  
Materials Engineering  
Department

