

NISSAN TECHNICAL REVIEW

日産
技報

2012 No.71



グローバルな生産拡大とモノづくりの付加価値向上を支える生産技術
魅力ある新技術の創出と高い品質の実現を支える実験・計測技術

NISSAN



2012



NISSAN TECHNICAL REVIEW

No.71

日産技報第71号

目次

2012年10月 発行

◆ 巻頭言

内製モノづくり技術の強化と差別化による競争力向上…………… 常務執行役員 坂本 秀行 …… 1

◆ 特集：グローバルな生産拡大とモノづくりの付加価値向上を支える生産技術

1. グローバルな生産拡大とモノづくりの付加価値向上を支える生産技術特集に寄せて…………… 松山 秀信 …… 3
2. エンジン燃費向上に向けた生産技術事例…………… 高橋 政嗣・渡辺 孝文・向後 和弘 …… 4
3. ファイナルドライブ生産技術開発による燃費向上への貢献～高効率な伝達を目指して～
高木 一央・綱脇 慶彦・川井 彬広・隼田 敦之
小出 将克・飯田 智範・中山 克俊 …… 8
4. シミュレーションを活用したハイテン材の成形技術… 徳光 偉央・大年 和徳・吉岡 正義・雄澤 悟 …… 13
5. 980MPaハイテン材の車体スポット溶接技術…………… 吉田 健 …… 17
6. 多関節ロボットによるデファレンシャル自動組立技術の実用化
熊谷 直哉・瀧谷 宗隆・佐久間隆史・中山 克俊 …… 21
7. エンジン組立工程内におけるエンジン品質保証の取り組み…………… 申 富炳・吉田 浩・後藤 浩之 …… 25
8. 複雑形状部品に対するリバースエンジニアリングシステムの開発
藤川真一郎・山下 寛・齊藤 雅基
飯塚 悟・塩飽 紀之・池田 明彦 …… 29
9. 大吐出量可変パターン塗装工法の開発…………… 太田 資良・藤平 正敏・正道 博士・後藤 丈志 …… 33
10. 高触感な射出成形表皮の開発…………… 石井 郁・早川 和孝・徳毛 一晃・寿原 雅也・長尾 毅 …… 37
11. 車両組立における作業成立性シミュレーション技術の開発
金沢 泰・石渡 輝行・守屋 岳志・山本 浩一
萩原 敬二・山下 真之・小島 孝弘 …… 42
12. 自動車用特殊鋼部品への海外材適用について…………… 木野 伸郎・塩飽 紀之・岩田 範之
村上 陽一・吉田 誠・江平 淳 …… 47
13. 鋳抜き中空カムシャフト生産技術開発と国内・海外拠点での同時立ち上げ事例…………… 早苗 知彦 …… 52

◆ 特集：魅力ある新技術の創出と高い品質の実現を支える実験・計測技術

14. 魅力ある新技術の創出と高い品質の実現を支える実験・計測技術特集に寄せて……………	波頭 伸哉 ……	56
15. HILSを活用した制御システム開発の革新 ……………	佐藤 武志・北原 栄一・佐藤 正範・安野 芳樹 ……	58
16. ドライバの状態計測による安全・安心なクルマの開発		
	植栗 寛達・佐久間 壮・伊藤 一也・美記陽之介 ……	62
17. 視線解析による安心と感じる乗り心地のメカニズム解明……………	林 秀樹・仁平 智・村田 誠 ……	68
18. 燃費・電費向上のための低CO ₂ 化技術と流れ可視化技術		
	田中 久史・田中 真悟・鈴木 秀司・齋藤 尚子・岩塚美智子・浦 幸隆 ……	72
19. 薄膜圧力センサを用いたエンジン主軸受油膜圧力測定手法の開発		
	乾 正継・大脇 建作・古川 卓儀・春井 淳・小林 誠・牛嶋 研史 ……	79
20. 品質の向上に寄与する計測技術開発……………	柳澤 基浩・浅田 高信・深川 博利・山本 翔 ……	84
21. 車両の市場走行調査のためのデータ計測システムの開発		
	渡辺 将弘・新木 直樹・月館 秀俊・箕輪 英之 ……	88
22. グローバル計測精度保証の仕組み作り……………	高杉 政男・広川 和仁・新澤 誠・山崎 喜之 古賀 仁志・望月 和彦・高野 孝・下田 辰夫 佐藤 正巳・常住 英夫 ……	93
◆ 新車紹介		
23. 新型NV350キャラバン商品概要……………	八木 則彦・安居 理進・河内 勇人・森 紋子 ……	98
◆ 特許紹介 ……………		
		102

———— CONTENTS ————

◆ Preface	
~ Reinforcement of In-house Monozukuri Engineering and Competitive Differentiation ~	1
By Hideyuki SAKAMOTO	
<hr/>	
◆ Special Feature : Production Technology for Global Production Expansion and Value-added Improvement	
1. Overview of Production Technology for Global Production Expansion and Value-added Improvement	3
By Hidenobu MATSUYAMA	
2. Contribution of Production Engineering to Improvement in Fuel Consumption	4
By Masatsugu TAKAHASHI, Takafumi WATANABE, Kazuhiro KOUGO	
3. Contribution of Production Engineering to the Development of Improved Fuel Consumption ~ Aiming for Highly Efficient Transmission ~	8
By Kazuhiro TAKAKI, Yoshihiko TSUNAWAKI, Akihiro KAWAI, Atsushi HAYATA, Masakatsu KOIDE, Tomonori IIDA, Katsutoshi NAKAYAMA	
4. Stamping Technology for High Tensile Strength Steel using Simulation	13
By Hideo TOKUMITSU, Kazunori OHTOSHI, Masayoshi YOSHIOKA, Satoru OZAWA	
5. Development of Spot Welding for 980MPa Ultra-high Tensile Strength	17
By Tsuyoshi YOSHIDA	
6. Commercialization of Technology for Automated Articulated Robot Assembly of Differentials.....	21
By Naoya KUMAGAI, Munetaka SHIBUYA, Takashi SAKUMA, Katsutoshi NAKAYAMA	
7. Engine Quality Assurance in the Engine Assembly Process	25
By Tomiaki SHIN, Hiroshi YOSHIDA, Hiroyuki GOTO	
8. Reverse Engineering System for Complex-shape Components	29
By Shinichiro FUJIKAWA, Hiroshi YAMASHITA, Masaki SAITO, Satoru IZUKA, Noriyuki SHIWAKU, Akihiko IKEDA	
9. High-speed & Variable-pattern Bell Paint Application	33
By Shirou OOTA, Masatoshi FUJIHIRA, Hiroshi SHODO, Takeshi GOTOU	
10. Development of Soft-Touch Injection Skin for Instrument Panels	37
By Kaoru ISHII, Kazutaka HAYAKAWA, Kazuaki TOKUMO, Masaya SUHARA, Takeshi NAGAO	
11. Development of Workability Simulation Methodology for Vehicle Assembly	42
By Tai KANAZAWA, Teruyuki ISHIWATA, Takeshi MORIYA, Koichi YAMAMOTO, Keiji HAGIWARA, Masayuki YAMASHITA, Takahiro KOJIMA	
12. Application of Locally Obtained Material to Automotive Special Steel Parts	47
By Nobuo KINO, Noriyuki SHIWAKU, Noriyuki IWATA, Youichi MURAKAMI, Makoto YOSHIDA, Atsushi EHRA	
13. Development of Hollow Camshaft Casting Engineering and Simultaneous Startup in Japan and Overseas Plants	52
By Tomohiko SANAE	

◆ Special Feature : Testing and Measuring Technology for Innovation and High Quality	
14. Overview of Testing and Measuring Technology for Innovation and High Quality	56
By Nobuya HATO	
15. Evolution of Control System Development that makes Practical Use of HILS	58
By Takeshi SATO, Eiichi KITAHARA, Masanori SATOU, Yoshiki YASUNO	
16. Automotive Product Development for Safety and Security by Measuring Driver's State	62
By Tomomichi UEKURI, Tsuyoshi SAKUMA, Kazuya ITOH, Yonosuke MIKI	
17. Clarifying Mechanisms for Feeling of Riding Security by Dynamic Line of Sight Data Analysis ...	68
By Hideki HAYASHI, Satoshi NIDAIRA, Makoto MURATA	
18. Low-Drag Car Development with Flow-Visualization Techniques for Fuel/Electricity Consumption	72
By Hisashi TANAKA, Shingo TANAKA, Shuji SUZUKI, Naoko SAITOU, Michiko IWATSKA, Yukitaka URA	
19. Development of an Oil Film Pressure Measurement Method at Main Bearings in an Operating Engine using Thin-film Pressure Sensors	79
By Masatsugu INUI, Kensaku OOWAKI, Takayoshi FURUKAWA, Jun HARUI, Makoto KOBAYASHI, Kenshi USHIJIMA	
20. Development of Measurement Technology for Quality Enhancement	84
By Motohiro YANAGISAWA, Takanobu ASADA, Hirotoshi FUKAGAWA, Sho YAMAMOTO	
21. Development of a Data Measurement System for Researching Use of Vehicles in their Markets ...	88
By Masahiro WATANABE, Naoki ARAKI, Hidetoshi TSUKIDATE, Hideyuki MINOWA	
22. Establishment of a Global Measurement Accuracy Assurance System	93
By Masao TAKASUGI, Kazuhito HIROKAWA, Makoto NIIZAWA, Yoshiyuki YAMAZAKI, Hitoshi KOGA, Kazuhiko MOCHIZUKI, Takashi TAKANO, Tatsuo SHIMODA, Masami SATOH, Hideo TSUNEZUMI	
◆ New Model	
23. Product Outline of the New NV350 CARAVAN	98
By Norihiko YAGI, Masanobu YASUI, Hayato KOUCHI, Ayako MORI	
◆ Recent Patent Applications	
	102



内製モノづくり技術の強化と差別化による競争力向上 ～ Reinforcement of In-house Monozukuri Engineering and Competitive Differentiation ～

常務執行役員 坂本 秀行

「生産技術」は、商品実現に至る製造の過程において登場する技術であり、新機構などのメカニズムと比較し特徴が分かりにくい面がありますが、かつて「メイド・イン・ジャパン」が象徴したモノづくり技術力は、お客様に対し大きな価値を意味しました。しかし、以降多くの調査研究がなされ、論理的体系化が試みられた結果、既にかかなりの部分が一般化されています。

自動車は、高額ながらお客様が購入時にその特性を完全に把握できない不都合な商品であるため、お客様は最も優れた技術を保有するメーカーの商品を選択する傾向にあり、メーカーの競争力自体が意味を持っています。この競争は、今後更に激化し、そのベースが各社の内製技術力に依存することから、容易に平準化されず、結果、淘汰されていくと考えられます。この様な背景のもと、将来の競争力のために必要な「生産技術」は、以下の2点が重要な取り組み課題と捉えています。

- (1) 商品の魅力、性能実現に直接関わる生産技術
- (2) 将来の新興市場を含めたグローバル生産展開を可能とする車両の量産技術

(1) 商品の魅力、性能実現に直接関わる生産技術について

自動車への将来要求から今後、差別化による競争力向上に貢献する技術領域は、①車両の飛躍的な軽量化を可能とするアルミニウム材と超ハイテン材の（ダイクエンチを含めた）製造技術、②従来の常識を超えた造形自由度の拡大を可能とする材料加工技術、と考えています。前者①については、軽量材自体の低コスト加工や、部品の一体化のための casting 工法の適用拡大、強度・耐食を満足できる異種材の締結技術などが課題です。後者②については、製造工法シュミレーション技術の飛躍的進歩により、従来では量産適用が不可能とされた新造形へのチャレンジが可能となって来ました。また、適

用量が大幅に拡大するアルミニウム材に関しては、その固有な材料特性の理解と特徴を利用した成型技術の開発が必要と考えています。

(2) 将来の新興市場を含めたグローバル生産展開を可能とする車両の量産技術について

将来の条件は、成熟市場、将来の新興市場とも市場に近く生産拠点を構える事です。課題は、未成熟な新興国生産における品質を保証し、かつ先進国生産での労務費低減に対応し得る自動化生産システムの導入、生産投資の削減及び台数に比例した投資の実現、製造原価低減、並びに生産システムの標準化など多岐にわたります。自動化に関しては、今後、画像処理、多点の同時計測と組み付け制御などを行う汎用センサ、諸量産ユニットと最新の制御技術を駆使した小規模投資によるシステム構成が必要とされます。また、構造部品製造に不可欠なプレス工程や鍛造工程においても、今後は高度に制御された部分的なプレス工程の組み合わせによる部品製造など、小規模マシンを前提とした新工法開発が必要と考えています。

以上、明日の日産の競争力を飛躍させるための内製技術の重要性と「生産技術」の今後のテーマについて述べてきました。一方で、商品開発には多くの最新の外製技術の活用が必要です。しかしながら、昨今、優れた外製技術の汎用化リードタイムは驚異的に短縮され、すぐに差別化要素ではなくなります。

今日敢えて、日産の門外不出となり得る内製技術を磨き、明日の我々の競争力を構築する事の意味について考えるべき時期ではないかと思っています。

グローバルな生産拡大とモノづくりの付加価値向上を支える生産技術特集に寄せて

Overview of Production Technology for Global Production Expansion and Value-added Improvement

パワートレイン技術開発試作部 松山 秀信
Hidenobu Matsuyama



1. はじめに

日産技報に生産技術の特集を組むのは7年振りとなる。日産自動車では、これまでその時代における社会的な要請や制約条件の下で、モノづくりの技術を進化させてきているが、近年のモノづくりには、厳しい円高環境の下で、経済発展の著しいBRICSやASEAN諸国で増大する自動車需要に応えるべく現地化を推進することが強く求められている。しかしその一方で、日本のモノづくりが日産の強みの源泉となっていることから、日本でこれを継続していくこと、言い換えれば、継続していくために新たな付加価値を創出することが同時に求められている。

2. 本特集の狙いと構成

本特集では、上記の視点から、海外現地化に向けての活動事例と日本のモノづくりの付加価値向上として生産技術による燃費向上の事例、生産性向上による原価低減の事例や開発期間の短縮の事例について、パワートレイン生産技術と車両生産技術の両面からできるだけ全体像を網羅する形で紹介することを狙いとしました。

(1) 海外現地化に対しての重要課題には、材料の現地化と技術転写方法の改善があり、それぞれ『海外材の使いこなし』と『国内・海外同時立ち上げ』の事例を取り上げた。

(2) 付加価値向上のための燃費向上技術としては、エンジンやファイナルドライブで各構成部品の機能や構造をよく理解した上で、部品の組み付けばらつきや最適加工条件の追及といった生産技術面でのアプローチで燃焼効率や伝達効率の改善を図った事例を取り上げた。更に、車両の軽量化による燃費向上に貢献するため、ハイテン材を使いこなすことが求められているが、この目的で、『シミュレーションの活用によるハイテン材のプレス成型技術』および『980MPaハイテン材のスポット溶接技

術』を開発した事例を取り上げた。

(3) 同じく付加価値向上のための生産性の向上については、ロボット技術、各種計測技術やデジタル技術などの周辺要素技術の進化を取り込む形で、従来では実現できなかった切り口での取り組みを行っている。ここでは、『多関節ロボットを協調させた組み立ての自動化』、『エンジン組み立てライン内品質保証の取り組み』の事例を取り上げた。さらに、生産性の向上には、直材や投資の低減技術への継続的な取り組みがあり、塗装工程での『大吐出量可変パターン塗装工法』と樹脂工程での『高触感な射出成形表皮』を開発した事例を取り上げた。

(4) 多様化する消費者ニーズにタイムリーに低コストで対応するためには、開発期間の短縮もまた大きな付加価値を持つ。これまで、自動車開発サイクル段階でのデジタル検討が行われてきたが、一部にオペレータの多大な工数や力量にゆだねられている作業領域があった。そこで、ネックとなるプロセスを自動化する新しいアルゴリズムを開発・導入することで、デジタル検討の工数低減と検討品質の向上を実現させている。ここでは、『複雑形状部品に対するリバースエンジニアリングシステム』と『車両組み立てにおける作業成立性シミュレーション技術』を開発した事例を取り上げた。

3. おわりに

『人々の生活を豊かに』というビジョンの実現に向けて、新しい製品やサービスを提供していくが、その根底には『日本のモノづくり』があり、われわれは、生産技術を通じて商品の魅力や性能、グローバルなマーケットでの拡大に具体的な貢献を果たしていきたいと思う。また同時に、次世代への種まきも抜かりなく行い将来にわたって日産の競争力の源泉でありたいと考えている。

最後に、この生産技術特集に関してご協力いただいた皆様に、深く感謝の意を表します。

エンジン燃費向上に向けた生産技術事例

Contribution of Production Engineering to Improvement in Fuel Consumption

高橋 政嗣*
Masatsugu Takahashi

渡辺 孝文*
Takafumi Watanabe

向後 和弘*
Kazuhiro Kougo

抄 録 昨今の厳しい燃費競争の中で、エンジンへの燃費向上の要求はますます重要となっており、その製造技術への要求も高精度化している。本稿では、燃費向上を実現した主な生産技術開発事例を紹介する。

Summary As competition to improve engine fuel consumption becomes more and more intense, expectations for production technology are also rising. This article presents examples of main production engineering development for improved fuel consumption.

Key words : Production Engineering, manufacturing, fuel consumption, engine, crowning, nano roughness, spark plug, valve train

1. はじめに

昨今の厳しい燃費競争の中で、エンジンへの燃費向上の要求はますます重要となっており、その製造技術への要求も高精度化している。燃費向上におけるエンジンの効率化のアプローチとして、図示熱効率の向上と機械損失の低減がある。図示熱効率とは、シリンダ内の作動ガスがピストンに与えた仕事を熱量に換算したものと供給した熱量との割合をいう。図示熱効率の向上としては、高膨張比サイクルの採用や高EGR（排気再循環）燃焼があり、これらを実現するには燃焼安定性の確保（燃焼ばらつきの抑制）が必要である。また、機械損失の低減としては、しゅう動部のフリクション低減があり、部品の形状最適化や表面性状の改善が必要である。本稿では、量産ラインに適用され、それらを実現した技術を、事例とともに紹介する。

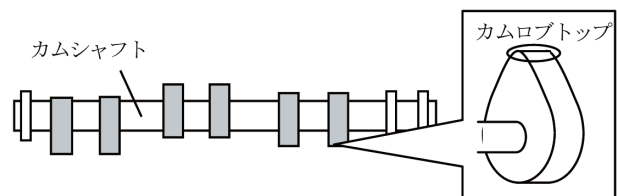


図-1 カムシャフトとカムロブ
Fig. 1 Camshaft and camrob

従来のトップ部形状と、今回開発した形状を図2に示す。今回開発した技術は、トップ部をクラウニング形状（凸形状）にし、トップ部面粗度をナノオーダーまで向上させたものである。

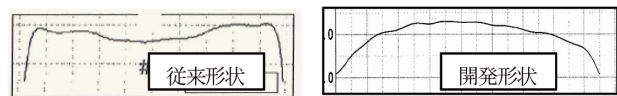


図-2 カムトップ部形状
Fig. 2 Surface profile of camrob top

2. カムシャフトクラウニングナノフィニッシュ加工

2.1 技術概要

カムシャフトは吸排気のタイミングとリフト量を決める部品であり、このタイミングとリフト量はカムロブ形状により決定される。日産のエンジンにおける動弁システムは直動機構を採用しており、カムロブがリフターを直接押下げることで弁を開閉する。したがって、カムロブトップ部（図1）が最も面圧が高く、当該部の形状、面性状を最適化することで、フリクションを低減することが可能となる。

2.2 フリクション低減メカニズム

フリクションは、接触部の面圧と摩擦係数により決まる。該当部位は境界潤滑領域であり、面圧が高くなると摩擦係数は大きくなる。そのため、面圧を下げるのが有効である。

従来は図2左に示すように、トップ部が凹形状となっているため、両端部に局部的に面圧が高い部分が発生し、フリクションが増大していた。一方クラウニング形状では、トップ部がリフターと接触し弾性変形した際の接触面

*パワートレイン技術開発試作部

積が、凹形状に対し大きくなると考えられる。本技術ではトップ部をクラウニング形状とすることにより、局部的に面圧の高い部分を無くした。図3にトップ部形状による面圧分布を示す。

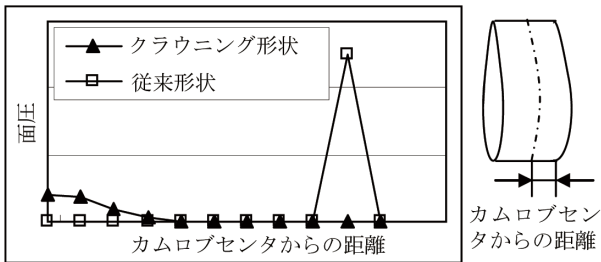


図-3 面圧分布
Fig. 3 Pressure distribution

また、面粗度を低減することで油膜厚さを薄くし、油膜のせん断抵抗が小さくなり、フリクションを低減させることが出来た。

2.3 フリクション効果と最適クラウニング量との関係

図4にクラウニング量とフリクションとの関係を示す。クラウニング量に極小値を持つことが分かる。凹から凸へかけては、フリクションが低下する。これは運転時のカムロブ変形をクラウニング量が打ち消して、適切な面当たりを実現しているためである。クラウニング量がある一定値を超えると、フリクションは増加傾向になる。これはクラウニング量が大きすぎると、先端部面圧が局部的に大きくなるためである。

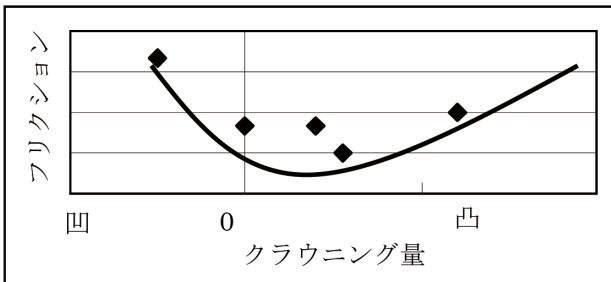


図-4 クラウニング量とフリクションとの関係
Fig. 4 Relation between crowning and friction

2.4 加工方法

クラウニング形状、ナノオーダー面粗度は、マイクロフィニッシュ加工（以下、M/F）にて成形した。M/Fとは、砥粒がついたテープを治具（以下、シュー）で加工部へ押付けながら、カムシャフトを研磨する加工方法である（図5）。M/F工程は3工程にて構成され、工程ごとにシュー材質、シュー材質、テープの砥粒などが異なる。クラウニング形状は1工程目のシュー形状とシュー材質にて決定され、面粗度は2、3工程目の砥粒粒度とシューの押付け力で決まる。

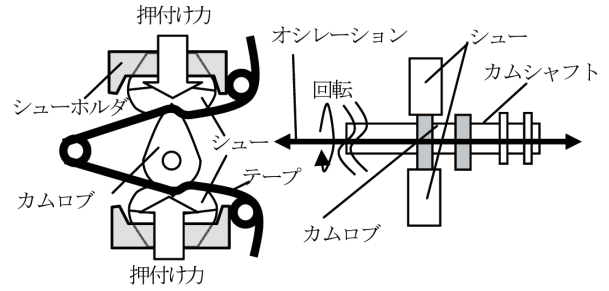


図-5 マイクロフィニッシュ加工
Fig. 5 Microfinishing machining

2.5 クラウニング形状の成形

シューには材質の異なるソフトシューとハードシューがある。図6にソフトシューで加工した際のテープとシューの挙動を示す。

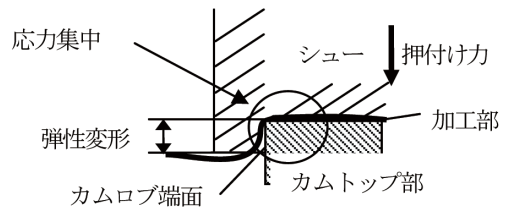


図-6 加工中のテープとシューの挙動
Fig. 6 Behavior of tape and shoe during processing

ソフトシューの場合、シューに押付け力が付与された際、シューの弾性変形によりカムロブ部端面に応力集中が発生する。これによりテープについている砥粒が剥離し、カムロブ両端部の研磨量が減少する。結果、トップ部は凹形状となる。それを防止するためには、シューをハードに変更することが有効となるが、ハードシューはソフトシューと比較しシューの弾性変形が小さいため、押付け圧が付与された際、砥粒の出代が大きくなる。それにより面粗度の悪化が起こる。よって本開発では、2工程目をハードシューに変更し、2工程目のシューの押付け力、3工程目のテープ砥粒粒度を最適化することで、形状とナノオーダー面粗度の確保を可能とした。詳細を次節にて述べる。

2.6 面粗度の向上

図7に押付け力と面粗度の関係、砥粒粒度と面粗度の

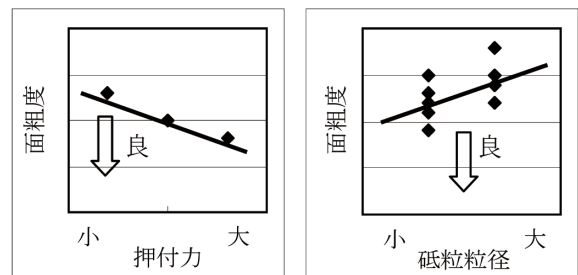


図-7 押付け力、砥粒粒度と面粗度との関係
Fig. 7 Relations of pressure and abrasive size to roughness

関係を示す。

図7より、押付け力を大きくし砥粒粒径を小さくした方が、面粗度が向上することが分かる。この関係より、2工程目の押付け力を「大」に、3工程目の砥粒粒度を「小」に設定した。これにより目標面粗度を達成することが出来た。

2.7 加工技術まとめ

これまで述べた工程設定によりクラウニング形状成形、ナノオーダー面粗度を達成し、従来に対してフリクションを12%低減できた。本工法は、既存工程のテープ交換、M/Fの加工条件変更で対応可能であり、初期投資無しに適用可能な技術のため、直列3気筒、4気筒エンジンに広く適用されている。

3. スパークプラグ電極向き合せ

3.1 技術概要

ガソリンエンジンにおいて、スパークプラグは燃焼の起点となる部品である。熱効率を向上させるには、大量EGRが有効であるが、燃焼安定性が損なわれるため、筒内ガス流動を強めることが必要である。一方、強いガス流動下では、スパークプラグの外側電極が流動を乱す、あるいは火炎の成長を阻害するために、燃焼安定性はスパークプラグ電極向きに左右される。本技術は、スパークプラグ電極向きをローコストで最適化し、大量EGR下での安定した燃焼を実現することで、図示熱効率を改善した。

3.2 達成方策の考え方

従来のねじ位相を管理しない部品構造において、スパークプラグの許容締付トルク範囲内で調整できる角度では、最適な向きに合わせる事が不可能であった。そのため、シリンダヘッドのスパークプラグ穴めねじ位相管理、スパークプラグおねじ位相管理、および電極位置管理を実施した。

以下に精度向上の取り組みと管理方法を示す。

3.2.1 シリンダヘッド加工工程の改善

図8にシリンダヘッドマシニングセンタ加工における、

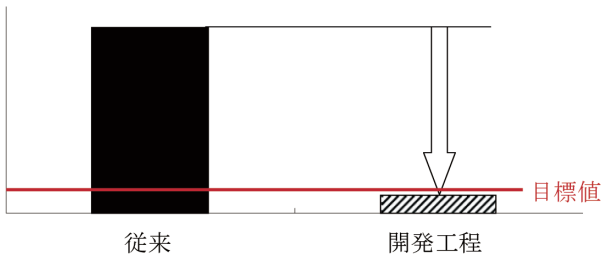


図-8 工程改善によるねじ位相精度
Fig. 8 Accuracy improvement of thread angle by process modification

スパークプラグ穴めねじ位相管理値の開発前後での精度向上結果を示す。

特に大きな改善を要したのは、ねじ加工ツールのライフサイクル交換時の高さ方向の調整であり、精度を決定する大きな要因となった。

3.2.2 ねじ位相管理の方法

ねじ位相の管理については、ねじ山の位置測定が困難であるため、設計部門・サプライヤとも調整し、マスターゲージを用いた管理方法を確立した。

3.3 技術展望

本技術は、マシニングセンタによる既存のシリンダヘッド加工ラインに対し、ほとんど追加投資無しで投入可能な技術である。また、本技術による燃焼安定性の向上は、触媒暖機性の向上への効果も確認されており、今後採用を拡大したい。

4. バルブタイミング個体差補正

4.1 技術概要

図示熱効率向上には、吸気弁遅閉じによる高膨張比サイクルが有効である。吸気弁遅閉じでは、閉じる際のピストン速度が高いため、閉じるタイミングのばらつきによって閉じた時のピストン位置が大きく異なってくる。これにより吸入空気量が変わり、適正な高膨張比サイクルが実現できない。

本技術開発では、このばらつきを50%削減し、高膨張比サイクルを実現した。

4.2 達成方策の考え方

バルブタイミングのばらつきの特徴として、その構成部品の多さがある。このようなシステムにおいては、全部品の精度向上対策では、投資対効果が小さくなるため(表1)、組付け後にVTC (Valve Timing Control) でばらつきを補正する方策を開発した。図9に工程概要を示す。

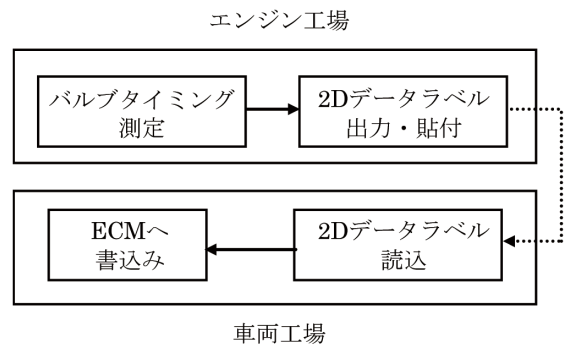


図-9 工程概要
Fig. 9 Outline of production line

表-1 方策検討
Table 1 Improvement methods

	精度	コスト	市場サービス
①構成部品ごとの精度向上	△	×	○
②組立時調整実	△	○	×
③個体ごと情報によるVTC補正	○	○	○

4.3 達成方策の技術開発

VTCによる補正の最大の課題は、インラインでのバルブタイミング全数測定工法の開発である。その内容について以下に示す。

4.3.1 バルブタイミングのずれ測定工法の開発

エンジン個体ごとのずれ量を把握するために、量産ラインのサイクルタイムを満足するバルブタイミング全数測定装置を開発した。その特徴は、クランク角検知とクランクを同時に行い、サイクルタイム短縮を行っていることである。バルブタイミングを測定する際、カムを回転させる必要があるため、エンジンを設備にマウントしクランクしている。その際、クランクシャフトリヤフランジによりクランクを回転させるとともに当該部にあるクランクシャフト加工基準を検知し、クランク角基準を検出できるようにした。また、ロータリーエンコーダを併設することで、クランク角をカウントした。

従来システムによるバルブタイミングばらつきと本開発により実現した制御フィードバック後のばらつきを図10

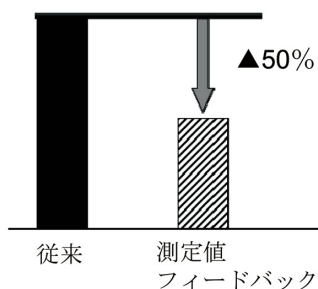


図-10 バルブタイミングばらつき低減
Fig. 10 Improvement of variation in valve timing

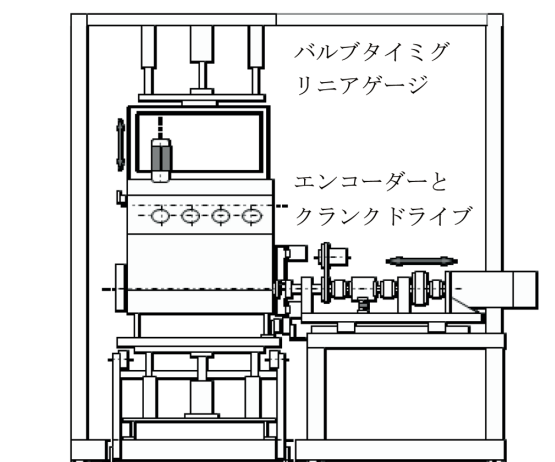


図-11 設備概要
Fig. 11 Outline of production equipment

に、開発した測定設備の概要を図11に示す。

本測定機開発により、目標の「ばらつき50%削減」を達成できた。

4.4 技術展望

エンジンのように多くの機能、システム、部品で構成されているユニットにおいて、個々の部品精度向上によるばらつき低減では、非効率になることがある。本アプローチのように、ばらつきをまとめてキャンセルすることが、投資対効果上有効であるケースも多く、今後もエンジンの素性向上に活用したい。

5. まとめ

エンジンの製造は歴史も深く、成熟された技術イメージもあるが、固定概念にとらわれず、エンジンの理屈を良く理解したうえで知恵を出すことで、投資を抑えた改善が出来た。引き続き、エンジンの生産技術の改善による商品力向上、燃費改善に、国内生産工場のマザー機能の一環として、取り組んで行きたい。最後に多大な協力を頂きました、社内外関係部署の皆様へ深く感謝致します。

■著者■



高橋 政嗣 渡辺 孝文 向後 和弘

ファイナルドライブ生産技術開発による燃費向上への貢献 ～高効率な伝達を目指して～

Contribution of Production Engineering to the Development of Improved Fuel Consumption
～ Aiming for Highly Efficient Transmission ～

高木 一 央*
Kazuhiro Takaki

綱 脇 慶 彦**
Yoshihiko Tsunawaki

川 井 彬 広*
Akihiro Kawai

隼 田 敦 之*
Atsushi Hayata

小 出 将 克**
Masakatsu Koide

飯 田 智 範**
Tomonori Iida

中 山 克 俊**
Katsutoshi Nakayama

抄 録 環境保護や省エネの観点より、自動車の燃費向上が求められており、後輪駆動車の最終減速装置で使用されているハイポイドギヤの伝達効率にもその向上要求がある。本稿では、伝達効率向上のための解析手法、及び解析から導き出したハイポイドギヤの仕様を量産する生産技術の取り組みについて紹介する。

Summary Improved vehicle fuel consumption is vital as a way of protecting the global environment and achieving energy savings. One means of improving fuel consumption is to reduce the friction of hypoid gears. This report describes a method for predicting hypoid gear friction and the development of production engineering of tooth surface treatment.

Key words : Power Transmission, Production Engineering, differential gear, hypoid gear, highly efficient, surface treatment

1. は じ め に

近年、環境保護や省エネの観点より、自動車には燃費向上が求められている。燃費向上のひとつに、後輪駆動車に使用している最終減速装置（以下、ファイナルドライブユニット）（図1）の高効率化が考えられる。

このファイナルドライブユニットには、ハイポイドギヤが使用されている。ハイポイドギヤは、ピニオンの外径が大きく取れ、ねじれ角も大きく取れるので、小型で低騒音化が図られる。しかし、ヘリカルギヤに比べ損失（以下、フリクション）が大きく伝達効率が低い。そこで本稿では、ハイポイドギヤの効率を向上させる取り組みとして、フリクションと歯車諸元、面粗度の関係を明確にし、フリクションを予測できるようにしたことを紹介する。また、ハ

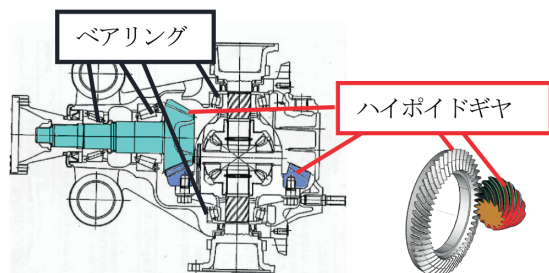


図-1 ファイナルドライブユニット
Fig. 1 Final drive unit

イポイドギヤのかみ合い損失（以下、ハイポイドギヤフリクション）の低減の効果が高い歯面の面粗度を向上させる量産工法（以下、バレル研磨）も開発したので報告する。

2. ファイナルドライブユニットのフリクション要因解析

ファイナルドライブユニットのフリクションは、潤滑油の攪拌（かくはん）損失、ベアリングのしゅう動抵抗による損失、ハイポイドギヤフリクションなどに分類される。その無負荷時及び有負荷時の各損失の割合を図2に示す。

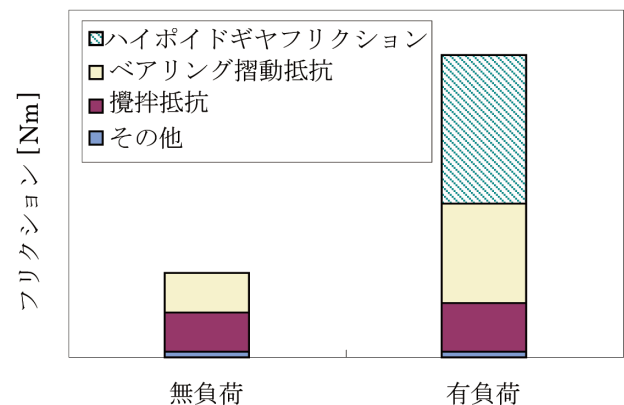


図-2 損失トルクの詳細
Fig. 2 Details of loss torque

*パワートレイン技術開発試作部 **パワートレイン生産技術部

負荷時には、ハイポイドギヤフリクションが全体の約4～5割を占め、その割合が高いことが分かる。

$$\mu = a \cdot Ra + b \quad \dots (3)$$

3. ハイポイドギヤフリクション

ハイポイドギヤフリクションは古くから研究されており、オフセットやねじれ角などの歯車諸元、及び面粗度やコーティングなどの面性状によって決まると言われている。

3.1 ハイポイドギヤフリクション予測式

従来、ハイポイドギヤフリクションの理論計算式は、グリーンソン社のWells Coleman氏の式¹⁾がよく活用されており、基本諸元よりその伝達効率を計算できるようになっている。Coleman式にはベアリングによる損失の係数があるが、今回はハイポイドギヤフリクションのみの解析にするため、今回の検討から除外した。ハイポイドギヤの効率 e は式(1)で表せる。

$$e = \frac{100}{1.0 + \sqrt{T_{\max}/T \left(\mu \sec \phi \sqrt{(\tan \psi_p - \tan \psi_g)^2 + 0.0225} \right)}} \quad \dots (1)$$

- e (%) : Efficiency of hypoid gear
- ϕ (deg) : Pressure angle
- T_{\max}/T : Ratio of load torque
- ψ_p (rad) : Spiral angle of pinion
- ψ_g (rad) : Spiral angle of gear
- μ : Coefficient of friction

Coleman式の摩擦係数 μ は、潤滑油や歯の表面の状況によって $\mu = 0.01 \sim 0.12$ 程度に変化する。

また、式(1)の効率を用いてハイポイドギヤフリクション T_{loss} は、式(2)で計算できる。

$$T_{\text{loss}} = T_{\text{in}} \cdot (100 - e) / 100 \quad \dots (2)$$

- T_{loss} (Nm) : Gear mesh friction
- T_{in} (Nm) : Input torque

3.2 ハイポイドギヤフリクション予測式の検証

歯面の表面の面粗度によって摩擦係数 μ がどのように変化するかを検証するために、面粗度の違うハイポイドギヤを製作し、面粗度 Ra とハイポイドギヤフリクションを測定した(図3)。

上記の実験結果より、面粗度 Ra と摩擦係数 μ の関係は高い相関関係があり、一次式(式(3))で表せることが分かった。

a, b は実験結果より求めた近似式の係数

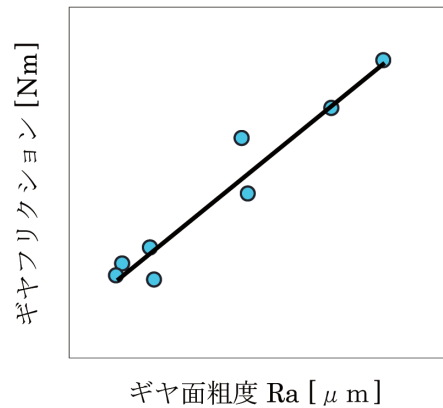


図-3 ハイポイドギヤの面粗度とギヤフリクションの関係
Fig. 3 Relation between surface roughness and gear mesh efficiency

次に上記、摩擦係数 μ を含んだ本提案の予測式を検証するために、ねじれ角、オフセットなどのハイポイドギヤの諸元違いのギヤを製作し、ハイポイドギヤのフリクションを測定し、予測値と比較した(図4)。摩擦係数 μ の式を織り込むことによって、良く一致した。

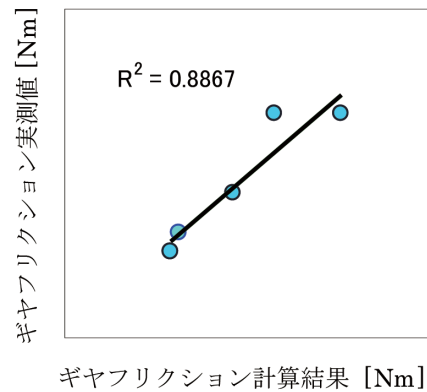


図-4 ハイポイドギヤの計算結果と実測値
Fig. 4 Comparison result of measured and calculated method

3.3 ハイポイドギヤフリクションの要因解析

本提案の予測式を用いて、ハイポイドギヤフリクションの要因を解析した。フリクションの変化が大きい因子は、ねじれ角とオフセット量、面粗度であり、その計算値及び実測値を図5に示す。

上記の結果より、フリクションの予測が可能となり、生産工程では面粗度向上が、フリクション低減の有効な手段になることが分かった。

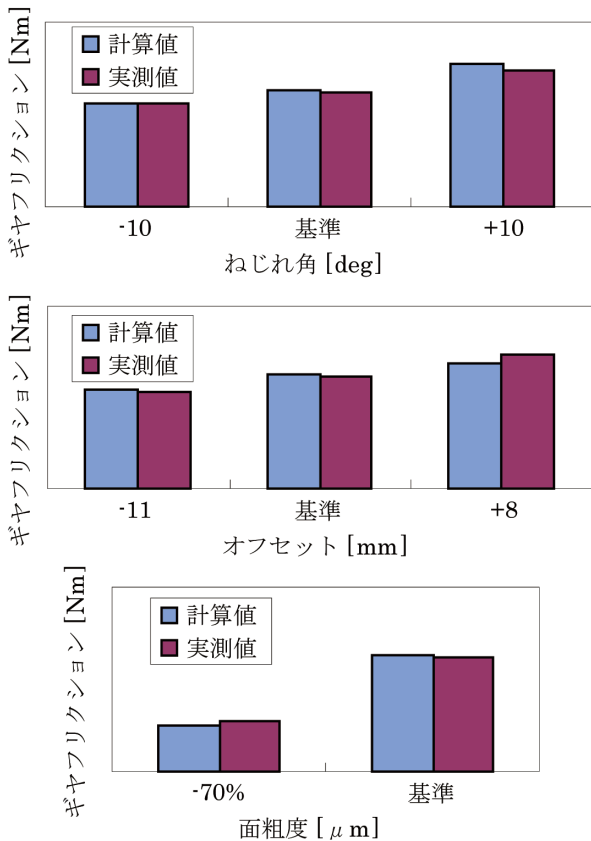


図-5 ハイポイドギヤフリクションの比較
Fig. 5 Comparison of gear mesh efficiency

4. ハイポイドギヤのバレル工法開発

4.1 歯面面粗度向上の方策

本開発の歯面面粗度の目標値は、従来の歯面仕上げ法に対して約70%の向上であった。ハイポイドギヤの歯面面粗度向上の方策として、バレル工法、なじみ加工、エクストールドホーン、高圧ショットピーニング、ナイロンラップ²⁾などの工法を検討した。歯面面粗度、サイクルタイム、工具費などを比較検討した結果、品質とコストを両立し得るバレル工法を選択し開発を進めた。

4.2 バレル工法

バレル工法とは、工具となる研磨石（以下、メディア）及び被加工材となるワークに運動を与え、それらの相対運動により発生する摩擦を利用する加工法である。

バレル工法の方式としては、回転式、振動式、ジャイロ式³⁾、渦流式などがある。今回はハイポイドギヤの歯面面粗度向上が目的であることから、大きな切削力を有するジャイロ式を選定した。ジャイロ式とは、メディアが入ったバレル槽が回転（公転）し、ワーク軸が自転する方式である。バレル工法の自動車部品への量産適用実績は、面粗度向上としてはクランクシャフトや自動変速機（AT）用軸受などがあるが、歯車部品に対してはバリ取りが主で

ある。今回は、歯車の歯面面粗度に影響を与える要因を明らかにすることで、自動車用ハイポイドギヤの歯面面粗度向上の量産工法として、世界で初めて実用化できた。

4.3 バレル工法の適用開発

まず、歯面面粗度に影響を与える加工要素の感度を把握するために、基礎実験を行った。その結果、メディアの粒径、ワーク挿入深さ、バレル槽周速の感度の影響が大きかった（図6）。

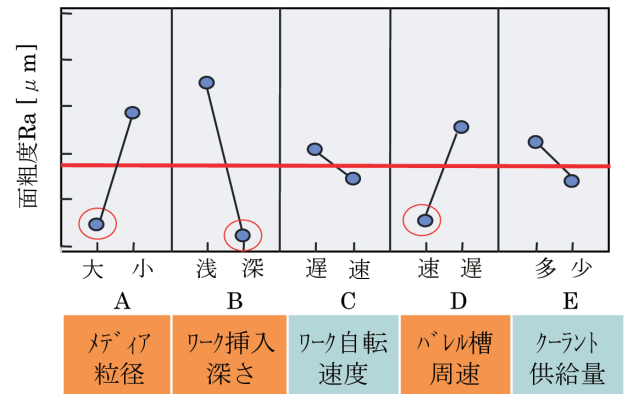


図-6 バレル研磨の基礎実験結果
Fig. 6 Basic experimental result of barrel finishing

続いて、メディアの選定を行った。メディアの材質によるじん性を要因として、メディア磨耗量とサイクルタイムの関係を検証した。その結果、両者は相反する関係にあることが分かり、コスト上、磨耗量を抑えるためにじん性の大きいメディアを選定した。しかし、切削力が小さいため要求面粗度に達するまでのサイクルタイムが長いことが課題である。

当社導入のジャイロ式バレル研磨機（図7）は、サイクルタイム短縮を達成するために、最大周速を標準的なバレル研磨機より50%アップさせている。ワーク挿入深さを確保するために、ワーク軸数はワーク軸の後ろに発生する渦の影響を受けないように2軸とした。また、スラッジがメディアにまとわり付くことによる切削力低下を避けるべく、スラッジ処理性向上のためにバレル槽の底面と側面のメッシュ化を行った。



図-7 バレル研磨機外観
Fig. 7 Overview of the barrel finishing machine

槽周速やワーク挿入深さを調整することで、要求面粗度は達成できる。量産で採用するために、後工程であるファイナルドライブ組立工程とのサイクルタイム差を考慮し、目標サイクルタイムを決めた。今回の取り組みで大幅なサイクルタイムの短縮ができ、設備投資、原価低減への多大な貢献が可能となった加工条件最適化の取り組みを次に述べる。

4.4 バレル工法の加工条件最適化

加工条件最適化を決定するにあたって、特性値は面粗度とし、因子と水準をL18直交表(表1)に割付け、その実験結果から要因効果図を作成した。因子の説明を図8に示す。誤差因子は材料硬度(粗材、熱処理のロット)とした。

表-1 L18 直交表割付け (因子と水準)
Table 1 L18 layout of factors and levels

因子	水準	1	2	3
A	ワーク軸傾き	有	無	
B	槽周速	速	基準	遅
C	ワーク自転速度	速	基準	遅
D	クーラント供給量	多	基準	少
E	クーラント投入位置(周方向)	ワーク直上	ワーク間	ワーク後ろ
F	クーラント投入位置(径方向)	ワーク軸上	内側	外側
G	クーラント濃度	濃	基準	薄
H	ワーク挿入深さ	深	基準	浅

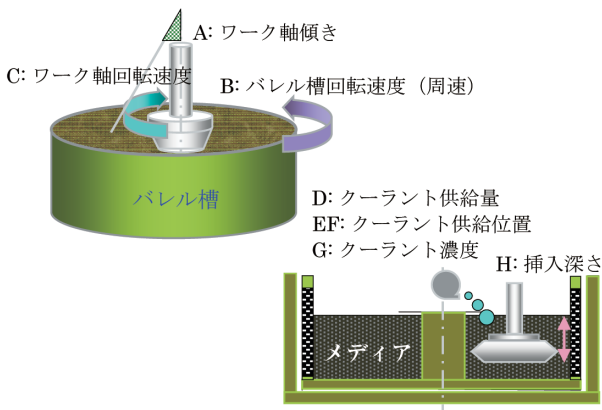


図-8 加工条件の因子
Fig. 8 Factors of a processing condition

SN比はばらつきが非常に小さかったため、感度(図9)で分析を行った。すると、槽周速が最も支配的な要因であること、次にワーク挿入深さが寄与することが分かった。それら以外の因子は誤差レベルであったため、サイクルタイムと面粗度のバランスを見ながら決定することとした。得られた最適条件を表2に示す。

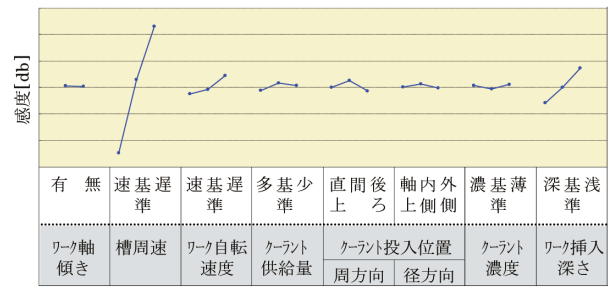


図-9 要因効果図(感度)
Fig. 9 Figure of factor effect (sensitivity)

表-2 実験から得られた最適条件
Table 2 Experimental optimal condition

	現行条件	最適条件
A	ワーク軸傾き	無
B	槽周速	速
C	ワーク自転速度	速
D	クーラント供給量	基準
E	クーラント投入位置(周方向)	ワーク直上
F	クーラント投入位置(径方向)	ワーク軸上
G	クーラント濃度	基準
H	ワーク挿入深さ	深

支配的要因が槽周速に絞られた理由としては、槽周速の寄与が非常に大きくほかの要因の効果を打ち消していること、ジャイロ式の場合メディアが槽の外壁に寄るため深さが変わってしまうこと、メディアとワーク及びワーク軸が衝突するためメディアが歯溝に入らずに弾かれるなどの作用により、このような実験結果に至ったと考えられる。

最終的な量産加工条件を決定するにあたり、バレル後の歯当り変化についても考慮する必要があった。歯当り(図10)とは、リングギヤとピニオンギヤの接触痕で、リングギヤ側の歯面に残ったかみ合いの軌跡で評価する。歯当りにはファイナルドライブユニットの静粛性に影響を与える重要な品質管理項目である。従って、バレル研磨による歯当り変化を最小に抑えることも、同時に成立させることが重要である。



図-10 歯当りの例
Fig. 10 Example of tooth contact

今回得られた最適条件にて検証実験を行い、歯当り変化を抑制するための槽周速の調整(槽周速をサイクル中に変化させる)をすることで、面粗度向上と歯当り変化抑制を両立でき、サイクルタイム短縮も達成できた。

以上のような取り組みから、量産加工条件を決定した(表3)。

表-3 量産加工条件
Table 3 Conditions of mass-production

		現行条件	最適条件
A	ワーク軸傾き	無	有
B	槽周速	基準	速→遅(2段階)
C	ワーク自転速度	基準	基準
D	クーラント供給量	基準	少
E	クーラント投入位置(周方向)	ワーク直上	ワーク後ろ
F	クーラント投入位置(径方向)	ワーク軸上	外側
G	クーラント濃度	基準	薄
H	ワーク挿入深さ	基準	深

4.5 バレル工法の成果

これらの加工条件最適化の取り組みにより、歯面面粗度は工程能力を達成できた。併せて、サイクルタイムは開発時の1/2となったことから、在庫の大幅な削減とランニングコスト削減(主にメディア使用量)につながった。

商品性としては、静粛性を維持しつつ、ハイポイドギヤのかみ合いフリクションをバレル研磨無しのギヤに対して60%低減させることができ、設計要求値を満足することが

できた。結果としてファイナルドライブユニットの大幅な小型・軽量化に貢献できた。

5. ま と め

今後のファイナルドライブユニットに対しては、静粛性と強度を維持しつつ、更なるフリクション低減が求められている。相反する関係にある性能ではあるが、全てにおいて業界トップレベルとなれるように、更なる歯諸元最適化と歯面粗度向上を実施していきたい。

最後に多大な協力を頂きました、社内外関係部署の皆様へ深く感謝致します。

6. 参 考 文 献

- 1) W. Coleman: Computing Efficiency for Bevel and Hypoid Gears, Machine Design, No. 47, pp. 64-65 (1975)
- 2) 中江道彦ほか: ホブ切り調質歯車のラッピング仕上げとその効果、日本機械学会論文集(C編)、Vol. 72、No. 715、pp. 969-974 (2006)
- 3) 穂屋下茂ほか: ショットピーニングとバレル処理を用いた浸炭焼入れ歯車の高品質化に関する研究、日本機械学会論文集(C編)、Vol. 64、No. 620、pp. 1404-1409 (1998)

■ 著 者 ■



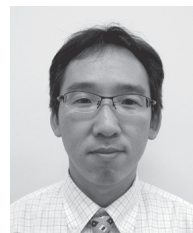
高木 一 央



網 脇 慶 彦



川 井 彬 広



隼 田 敦 之



小 出 将 克



飯 田 智 範



中 山 克 俊

シミュレーションを活用したハイテン材の成形技術

Stamping Technology for High Tensile Strength Steel using Simulation

徳光 偉 央*
Hideo Tokumitsu

大年 和 徳*
Kazunori Ohtoshi

吉岡 正義**
Masayoshi Yoshioka

雄澤 悟**
Satoru Ozawa

抄 録 ハイテン車体骨格部品のプレス成形では、成形後の弾性回復（スプリングバック）による形状精度低下が品質課題となるため、弾塑性変形特性を考慮した材料モデルによりシミュレーションでの形状予測精度を向上させた。同シミュレーションをスプリングバックの駆動力に着目して、形状精度対策に活用した。

Summary To rectify deteriorating stamping part shape precision caused by elastic recovery after stamping, we developed a technology for highly precise simulation by considering the elastic-plastic properties of materials. We applied this simulation to part shape precision measures by paying attention to the driving force of spring-back.

Key words : Computer Application, Production Engineering, press working, computer aided engineering (CAE), steel & iron, elasticity, plasticity

1. はじめに

近年、CO₂ 排出量削減を目的とした自動車の燃費向上の方策として、自動車ボディの軽量化が急務となっている。このため自動車ボディ部品の軽量化手法として、部品をより比強度の高い材料590～980MPa級のハイテン材（High Tensile Strength Steelの通称）の採用が拡大してきている。しかし、ハイテン材では材料強度に比してプレス成形後の弾性回復（以下、スプリングバック）量が大きくなり、形状精度確保のためプレス金型修正にトライ＆エラーの時間がかかる。これを事前に回避するには、製品設計段階からスプリングバックによる形状不良を高精度に予測する必

要がある。その上で、対策検討のためにスプリングバックの原因を特定する必要がある。

そこで、本報では市販板成形シミュレーション（以下、FEM解析）を活用したハイテン材プレス成形品の高精度な形状不良予測と原因特定の手法についての具体事例を紹介する。本報で取り上げるレインフォースセンターピラー（差厚テーラードブランク材、材料強度980MPa、板厚1.4mm／440MPa、板厚1.6mm）でのスプリングバックによる主要形状不良は図1に示すようなルーフ部の車両外側への扁平（長手そり）やルーフ部の回転（ねじれ）及びロック部などの壁開き／壁そりがある。

2. 予測技術の課題

2.1 金型変形の課題

プレス加工では、鋼板を対となる金型ではさみ、プレス機により加圧することで塑性変形させ、金型表面形状を鋼板に転写することで部品形状を形成している。ハイテン材では、材料の強度に比例し塑性変形に必要な力が増加するため、金型表面が高面圧となり図2左に示すように局部的に変形することにより形状転写性が悪化するが、従来のFEM解析では図2右に示すように金型は変形しない（剛体）と仮定しているため、そもそも転写される金型形状が実際と異なるという課題がある。

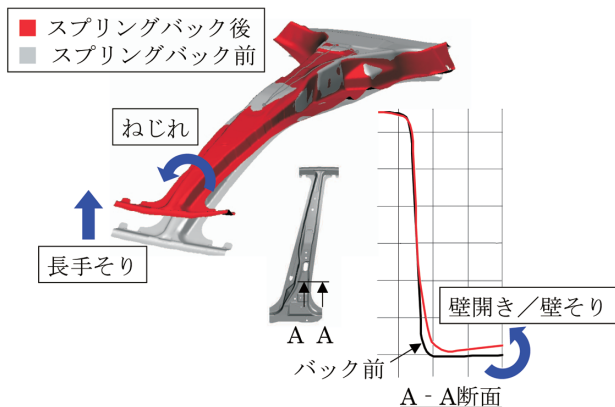


図-1 レインフォースセンターピラーにおける主要形状不良
Fig. 1 Main shape error in reinforcement center pillar

*車両技術開発試作部 **プレス技術部

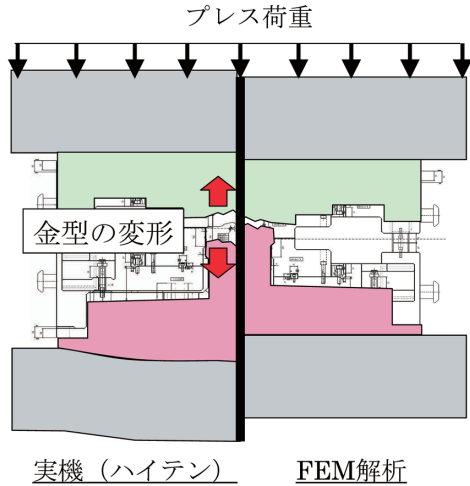


図-2 実機とFEM解析での金型変形の取り扱い差異
Fig. 2 Handling difference of the die deformation between actual and the FEM analysis

2.2 材料の弾塑性変形特性の課題

プレス加工中、鋼板は金型内の曲げ形状部を曲げられながら通過していく部位では、曲げ曲げ戻し変形を受ける。

このとき板表面では、曲げR部通過時(図3点A)には引張荷重を受けるが、曲げR部通過後(図3点B)から除荷され、直線部(図3点C)においては圧縮荷重を受ける。

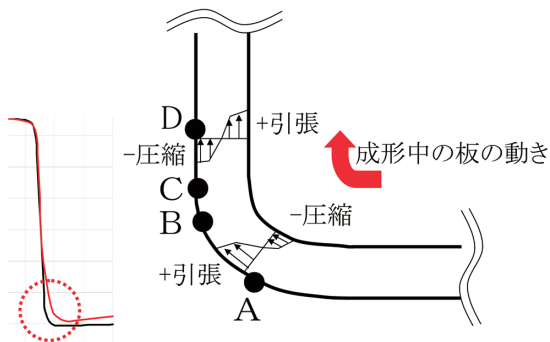


図-3 曲げ曲げ戻し変形時の板厚方向応力分布
Fig. 3 Stress distribution in thickness direction

2.2.1 反転荷重を受ける場合の移動硬化現象

曲げ曲げ戻し変形の荷重反転時には、一方向荷重時の降伏応力に対し、図4の点Cに示すように降伏応力が下がる。(降伏点が移動することから、移動硬化現象またはパウシンガー効果と呼ぶ)

これに対し、従来のFEM解析における材料モデルでは荷重反転時も降伏応力が変化しない(図4点C'、等方硬化と呼ぶ)と仮定しているため、成形時に発生する応力解析値に誤差が発生してしまう。

2.2.2 塑性変形を受けた後の弾性回復特性

また、荷重除荷時は完全弾性体としては振る舞わず、図4点Bに示すように、わずかに塑性変形を伴う。

これに対し、従来のFEM解析における材料モデルでは除荷時のスプリングバックは完全弾性体(図4点B')と仮

定しているため、スプリングバック量に誤差が発生してしまう。

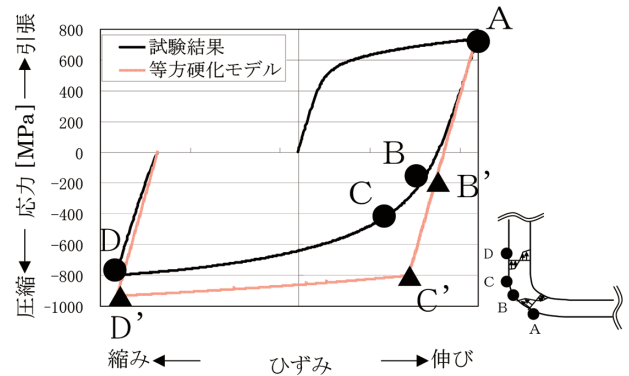


図-4 曲げ曲げ戻し変形時の板表面応力履歴
Fig. 4 Stress history of part surface

3. 予測技術課題の解決

FEM解析精度向上のため、金型変形状態、材料の弾塑性変形特性を解析内へ組み込む手法について検討した。

3.1 金型変形の考慮

プレス加工完了時点での金型の変形量を把握するため、スリット加工した鋼板内に埋め込んだ鉛の厚さにより、上下金型間距離を測定した。高強度側(980MPa側)では部品中央部(図5A3部、A4部)が特に変形していることが確認出来た。低強度側(440MPa側)では変形はほとんどなかった。

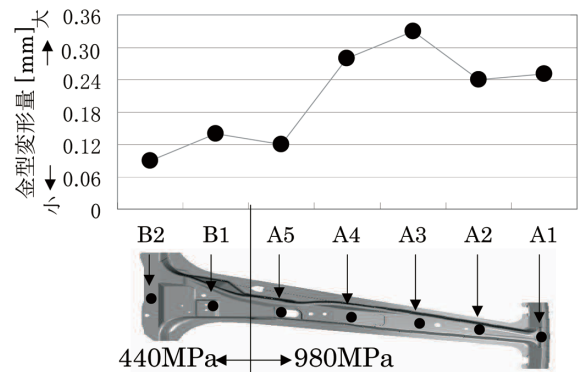


図-5 加工完了時の金型変形量測定結果
Fig. 5 Die deformation at the end of stamping process

金型変形の予測技術については現在開発中であるため、本事例では複数の断面での金型変形量実測結果から、三次元変形を再現した金型表面データを作成(図6)し、FEM解析に用いた。

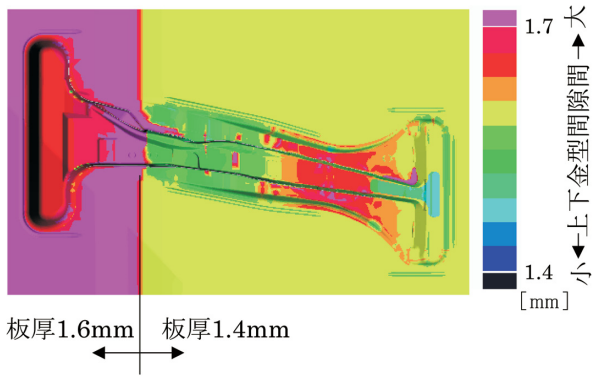


図-6 作成した工具面データの上下金型間隙間分布
Fig. 6 Die gap distribution

3.2 弾塑性変形特性のモデル化

前述の移動硬化及び除荷時のわずかな塑性変形特性については、材料ごとに計測する必要があるため材料試験より求め（図7）、FEM解析では移動硬化、除荷時塑性変形特性の両方を記述可能な吉田-上森材料モデルを用いることによりモデル化した。

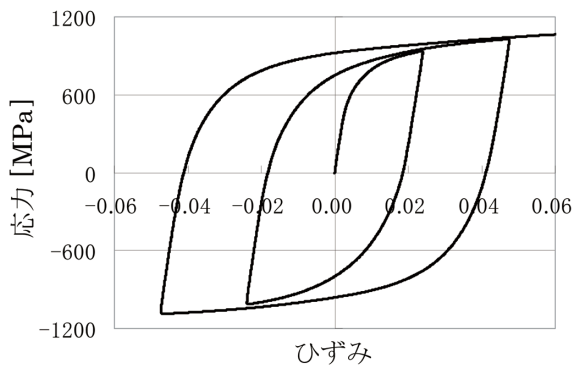


図-7 移動硬化特性試験結果 (980MPa、板厚 1.4mm)
Fig. 7 Result of baushinger effect test

4. スプリングバック予測精度向上効果確認

金型変形を反映した工具面形状、材料の弾塑性変形特性を考慮した材料モデルの導入により、長手そりは再現前（図8中）の0.6mm（予測誤差10mm）に対し、再現後（図

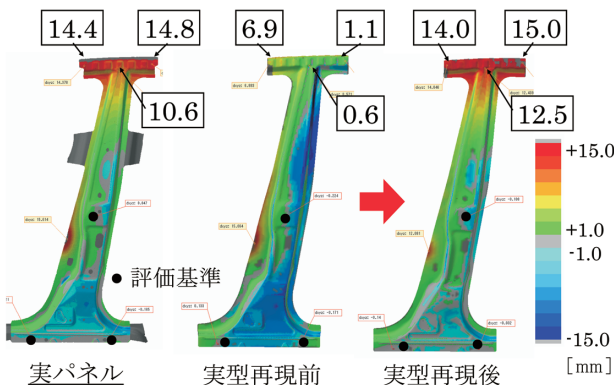


図-8 FEM 解析精度向上結果
Fig. 8 Result of analysis precision improvement

8右)は12.5mm（予測誤差1.9mm）、ねじれについては再現前（図8中）の左右差5.8mm（予測誤差-5.4mm）に対し、再現後（図8右）は左右差-1.0mm（予測誤差0.6mm）と予測精度の向上が確認出来た。

5. スプリングバック対策へのFEM解析の活用

最もスプリングバック量が多い長手そりの事例について紹介する。

5.1 スプリングバック主要因の探索手法

スプリングバックは板成形完了時点の製品内残留応力が離型時に解放される時の弾性回復変形であることから、どの部位の残留応力がスプリングバックの駆動力になっているかがわかれば、対策立案時のヒントとなる。しかし実際の部品形状では、部位ごとに残留応力が複雑に分布している上に、剛性も異なることから、部品全体の变形への影響度合いも異なり、FEM解析での残留応力分布情報のみから主要因となる残留応力を特定することは困難である。

そこで、FEM解析内において任意の部位の残留応力を除去してスプリングバック解析を行うことで、スプリングバック量の変化から部位ごとの残留応力のスプリングバック量に与える影響度を明らかにすることとした。

5.2 スプリングバック主要因探索結果

図9左に示すように、長手そりの減少量はポンチ底部の残留応力を除去した場合が18.6mmと最も大きく、ポンチ底部の引張残留応力によりポンチ底部が長手方向で縮むことによって長手そりが発生（図9右）していることがわかった。

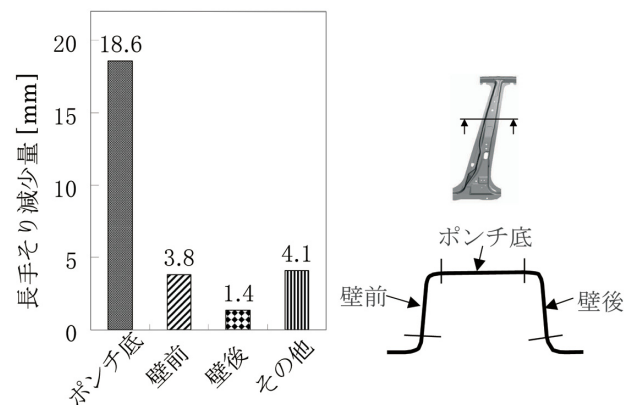


図-9 残留応力除去時の長手そり低減量
Fig. 9 Influence on camber of the residual stress

5.3 スプリングバック対策工法

部位の絞り込みにより、図10左A部の引張残留応力が主要因であると考えられるため、A部写真に示すような凸形状を第一成形工程時形成し、第二成形工程にて凸形状を

平坦化することによって、板余りによる圧縮応力を発生させることで、図10右に示すように引張応力を低減させた。

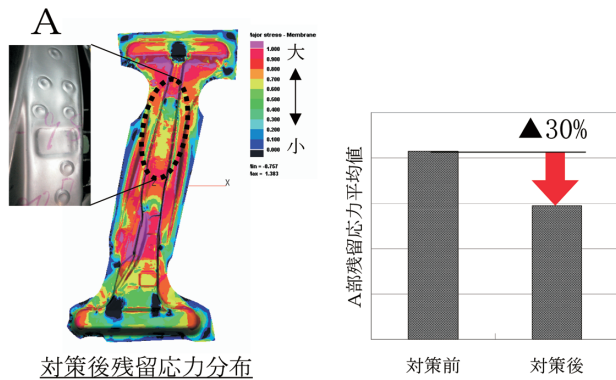


図-10 残留応力低減効果
Fig. 10 Reduction effect of residual stress

が大幅に向上することが確認出来た。

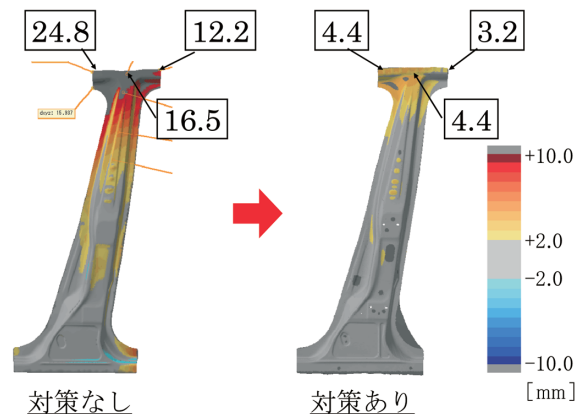


図-11 対策工法によるスプリングバック低減効果
Fig. 11 Result of shape precision improvement

6. スプリングバック低減効果の確認

ねじれ・壁開き・壁そりについても、同様にFEM解析の探索結果より対策工法を決定しスプリングバックを軽減させた後、不足分については形状見込み（スプリングバック量による戻り量をあらかじめ金型形状に織り込むこと）を行い効果を実験確認した。

長手そりは対策前（図11左）の形状不良16.5mmに対し、対策後（図11右）は4.4mm（-12.1mm）となった。また、ねじれについては対策前（図11左）の左右差12.6mmに対し、対策後（図11右）は1.1mm（-11.1mm）と形状精度

7. 結 び

- FEM解析にて金型の変形、材料の弾塑性変形特性をモデル化することで、スプリングバック形状不良を高精度に予測することが出来た。
- FEM解析を活用することでスプリングバックの原因残留応力の特定と対策検討が可能となった。

今後は本技術により新型車での形状精度課題の解決を進めるとともに、さらに予測を高精度化するため、金型変形解析技術および板成形との連成解析技術の構築に取り組んでいきたい。

■ 著 者 ■



徳光 偉央



大年 和徳



吉岡 正義



雄澤 悟

980MPaハイテン材の車体スポット溶接技術

Development of Spot Welding for 980MPa Ultra-high Tensile Strength

吉田 健*
Tsuayoshi Yoshida

抄 録 自動車車体部品に980MPaハイテン材を採用していくにあたり、車体部品組立の主となるスポット溶接において、量産時に安定した溶接品質を確保することは極めて重要な課題である。本報告では、熱弾塑性シミュレーションを活用しながら溶接条件を最適化した事例を紹介する。また、近年ロボットによるスポット溶接において開発されてきた、通電中の加圧力制御の適用事例についても紹介する。

Summary In adopting 980MPa ultra-high tensile steel to automobile body parts, it is very important to secure welding quality stability in spot welding, which is the main welding method in vehicle assembly, at the mass production level. This article introduces an example of optimized welding conditions using a heat elastic-plastic simulation. It also describes the application of welding force control during spot welding, which is an approach developed in robot spot welding in recent years.

Key words : Production Engineering, optimized spot welding conditions, heat elastic-plastic simulation, weld force control during weld

1. はじめに

近年、CO₂排出量低減のグローバルな取り組みの中で、自動車の軽量化の要望はこれまでも増して大きくなってきている。自動車車体軽量化の方策の一つに、部品をより比強度の高い材料へ転換していく方策がある。980MPa材に代表されるハイテン材の採用拡大は、その端的な事例である。本報告では弊社における車体部品への980MPa材の採用を取り上げ、ハイテン材の材料物性や板組の特徴に応じたスポット溶接条件設定の事例について紹介する。なお、ハイテン材とはHigh tensile steelの通称として一般に使われる用語であり、以下では軟鋼と区別して使用している。

長年、スポット溶接は自動車の車体組立において各部品を所定の強度で溶接するために使われてきている。ご存知のとおりスポット溶接は、2枚または3枚の金属板を重ね、溶接部の表裏面から電極チップで加圧するとともに、電極チップを通して溶接部に大電流を短時間流し、この時発生するジュール熱を利用して鋼板を溶接する方法である。自動車車体の溶接をはじめ、多くの産業分野で知見が積み重ねられてきていることから、溶接のメカニズムや支配因子については、十分に解明された技術と言っても過言ではない。また、ほかの溶接法と比べ溶接が比較的短時間で完了する、自動化しやすいといった特徴から、現状においても自動車車体の溶接方法の大多数を占めている。

ここで、本報告で用いるスポット溶接の用語について解説をしておきたい。図1は2枚重ねのスポット溶接部断面の模式図である。溶接中に溶融・凝固した領域（ナゲットと呼ばれる）の径が溶接部の強度と関連することから、スポット溶接において重要な指標となっている。また、通電中に板間から溶けた鋼が飛び出す場合があり、この現象を散りと呼んでいる。

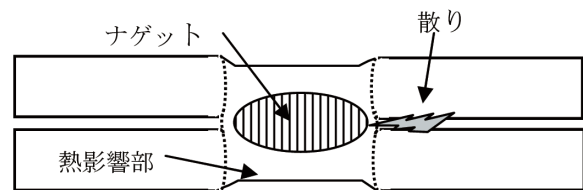


図-1 スポット溶接部の模式図と用語の定義
Fig. 1 Schematic view and terminological definition of spot weld

2. 980MPaハイテン材のスポット溶接性

2.1 980MPaハイテン材の物性と溶接条件

ハイテン材は高い引張り強さ、高い降伏点（塑性変形し始める応力）を有しているが、スポット溶接に影響を及ぼす物性を軟鋼と比較して整理すると、①体積抵抗値が高い、②熱伝導率が低い、③降伏点が高いことが特徴であり、融点と比熱は若干の差があるものの、スポット溶接

*車体技術部

性に大きな影響はない。上記①②の特徴は抵抗熱が発生しやすく、かつ広がりにくいことを意味し、ハイテン材用の溶接条件としては軟鋼に比べ低電流が採用される場合が多い。また、上記③から電極チップで部品を加圧したときに、板間の接触状態を適切に確保するために高い加圧力が必要となり、ハイテン材では高加圧力が採用される場合が多い。

図2は軟鋼と各種ハイテン材の適正電流範囲（ウェルドローブ）を示した図であるが¹⁾、図中斜線で示される適正電流範囲は鋼板の引張り強さがあがるとともに、低電流側へ移っていることがわかる。

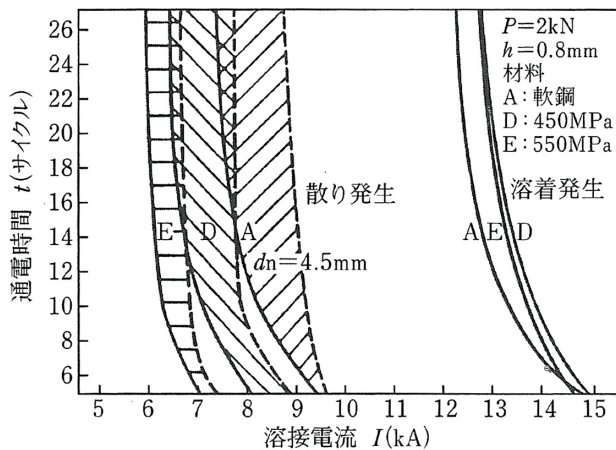


図-2 母材高強度化にともなうウェルドローブの低電流側への移動¹⁾

Fig. 2 Fall in the current of the weld lobe by increasing in base metal tensile strength

また、部品間に必要な溶接初期接触径（通常3mm程度が良いとされている）を得るために必要な加圧力を調べた結果では、溶接初期接触径3mmを確保するために必要な加圧力は鋼板の引張り強さがあがるとともに、高くなるということが報告されている¹⁾。

弊社においても、980MPaハイテン材を採用していくにあたりスポット溶接実験を行ったところ、980MPa材同士のスポット溶接では軟鋼溶接条件に対して、溶接電流で-1000Aおよび加圧力で+1000~1500Nに設定することで、安定した溶接品質が得られた。

2.2 板厚や材質が異なる板組のスポット溶接

さて、自動車車体では衝突時に荷重を受け持つ骨格部品にはハイテン材を使用し、これ以外の部品（例えばアウターパネルなど）には軟鋼を使用する適材適所が進んでいる。また、重ねた部品を溶接できるというスポット溶接の特徴を生かし、3枚重ねとなる溶接部も多い。特に、センターピラーなどの側面衝突時に荷重を受け持つ部位は、軟鋼（0.7~0.8mm）-ハイテン材（1.2~1.6mm）-ハイテン材（1.2~1.6mm）の3枚重ねのスポット溶接部となる。以下では、このような板組を薄-厚-厚板組と称すること

とする。薄-厚-厚板組を溶接する場合、軟鋼を基準として溶接条件を設定すると、ハイテン材が高電流・低加圧力で溶接され、結果として著しい散りを発生させる場合がある。また、ハイテン材を基準として溶接条件を設定すると、軟鋼は低電流・高加圧力で溶接され、結果として軟鋼が溶接されない場合も出てくる。

図3は3枚重ねの板組のスポット溶接中の板厚方向の温度分布を、電極チップの中間点を原点として模式的に表した図である（図中の T_m は鋼の融点）。スポット溶接ではジュール熱による発熱と電極チップへの放熱のバランスによって鋼板の温度が上昇するため、ナゲットは概ね両電極チップの中間点を中心として形成される。図に示したように、3枚重ねで、かつ溶接する2つの界面のいずれかがチップ先端に近い（チップに接する部品の板厚が薄い）場合、温度分布の変化が薄板側の界面の溶融状態に大きな変動を与えることが理解できる。このような点からスポット溶接において、薄-厚-厚板組は比較的溶接の難しい板組とされている。

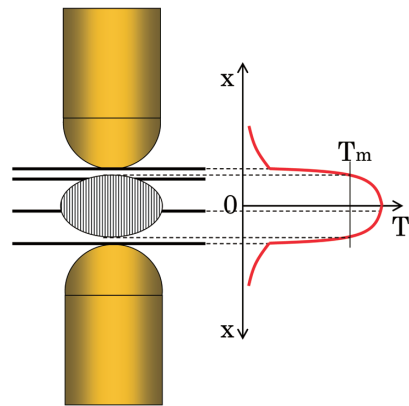


図-3 スポット溶接部の板厚方向温度分布の模式図
Fig. 3 Schematic view of temperature distribution of the direction of board thickness in spot weld

図4は2種類の薄-厚-厚板組の適正電流範囲試験を行った結果の一例である。試験では、従来採用してきた溶接条件のまま、板隙などの外乱を入れずに実施した。図のように980MPaハイテン材を含む板組では、薄い軟鋼側のナゲットは比較的低い電流値から形成されるが、散り発生の電流値が低いいため、適正電流範囲（所定のナゲット径が得られる電流値から散りが発生する電流値までの範囲）が小さくなっている。

実際、散り発生電流値の直下の溶接条件（9kA）にて外乱を入れた連続打点試験を行ったところ、薄い軟鋼側のナゲット径が100打点以内で基準値を下回る結果となった。このような結果から、980MPaハイテン材を含む薄-厚-厚板組に対しては、従来の溶接条件では薄板軟鋼側のナゲット確保が困難と判断し、適切な溶接電流、通電時間、加圧力の組み合わせを検討することとした。

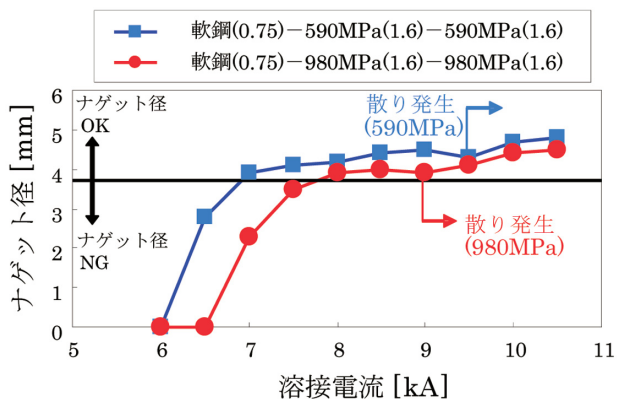


図-4 3枚重ね板組の適正電流試験結果
Fig. 4 Result of weld lobe test of 3 sheet assemblies

2.3 シミュレーションソフトを使った980MPaハイテン材用溶接条件の最適化

最適な溶接条件の検討に際しては、実験工数などの費用を低減する、また過去の経験則にとらわれずに幅広く検討するため、熱弾塑性有限要素法によるスポット溶接シミュレーションソフト Quick Spot（株式会社計算力学研究センター製）を用いて、薄い軟鋼板のナゲット径が安定的に確保できる溶接条件を幅広くスクリーニングした後、テストピースを用いた溶接実験にて結果を検証することとした。

本シミュレーションソフトの妥当性を検証した結果を図5に示す。シミュレーションでは、各鋼板の体積抵抗率、熱伝導率、比熱および降伏応力の温度依存性を入力し、温度分布の境界条件としては、電極チップの接する部品表面を20℃、また部品表面からは外部の空気（20℃）への放冷が起こると仮定して計算を行った。さらに鋼の融点を1500℃と設定し、スポット溶接中に各界面で温度が1500℃を超えた範囲をナゲット径と定義した。図5に示すように、シミュレーションの結果は実験でのナゲット径実測値と絶対値は異なるものの、980MPa材を含む薄-厚-

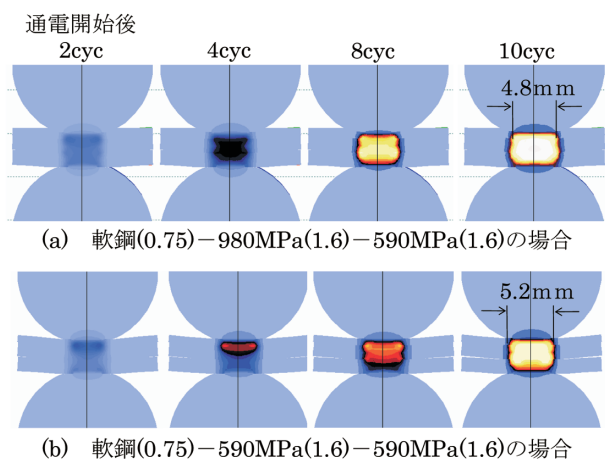


図-5 薄-厚-厚-板組のシミュレーション結果
Fig. 5 Result of simulation of thin-thick-thick assemblies

厚板組で薄い軟鋼側のナゲット径が小さくなる傾向が現れている。本シミュレーションソフトは軸対象の有限要素法であるため、電極チップの打角ずれや芯ずれなどの外乱を計算できない、あるいは実ラインでの連続溶接時に発生するチップ先端の損耗状態を計算することができないという課題はあるものの、数種類の代表的な材質、板厚の板組にてナゲットの成長傾向を検証したところ、実験結果とシミュレーションの結果は定性的には一致しており、実験の検証に先立つ溶接条件の絞込みに使えろと判断した。

2.4 スポット溶接中の加圧力制御

さて、従来スポット溶接では電流値や通電時間を制御することで、鋼板の種類に応じた溶接を行ってきた。加えて近年、スポット溶接用サーボガンの一部で、スポット溶接中に加圧力を変化させる制御が可能となってきている。エアシリンダによって加圧力を発生させるエアガンに比べ、サーボガンではサーボモータのトルク制御により加圧力を発生させているため、加圧力がより細かく制御できるという特徴がある。通電中に加圧力を変化させる方式は薄-厚-厚3枚重ねの板組に代表されるような、体積抵抗値や降伏点の著しく異なる板のスポット溶接においてナゲットを安定的に確保することに効果を発揮すると考え、この方式についても溶接条件の候補として検討を行うこととした。

図6は通電中の加圧力を一定とした場合と、加圧力を変動させた場合の溶接条件シミュレーション結果である。

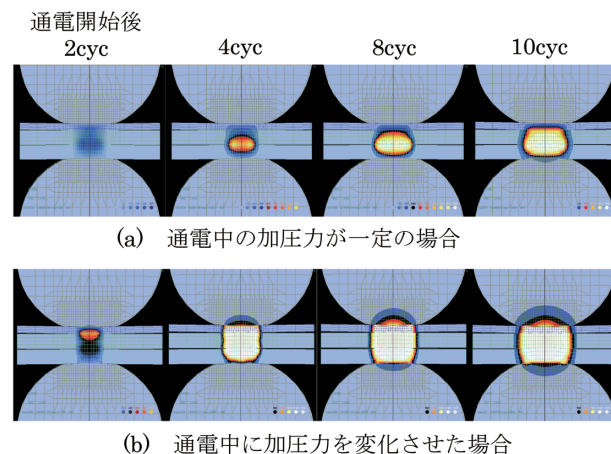


図-6 通電中の加圧力制御の効果
Fig. 6 Effect of pressure control during weld time

両者を比較すると通電前半の加圧力を軟鋼（0.75mm）にあわせて低くし、通電後半の加圧力を980MPaハイテン材（1.6mm）にあわせて高く変化させることにより、通電前半に薄い軟鋼の界面でナゲットが成長し、後通電後半にハイテン材間の界面のナゲットが成長する様子がわかる。

このときシミュレーションにて設定した溶接電流、加圧力を図7に模式的に示した。

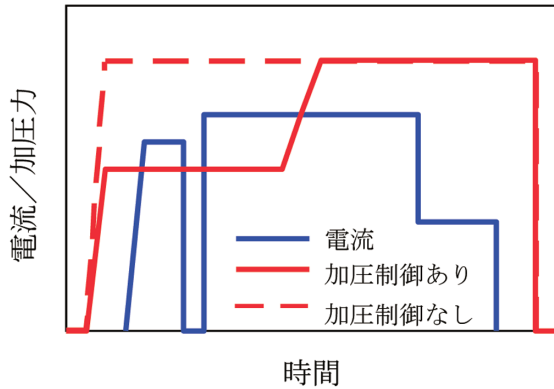


図-7 シミュレーションで用いた溶接条件の模式図
Fig. 7 Schematic view of welding parameters used for the simulation

上述のように通電中の加圧力制御方法を含めた溶接条件を、スポット溶接シミュレーションソフトを用いて絞り込んだ後、実ラインを想定した外乱試験、連続打点試験を行って最終的な溶接条件を決定した。図8は軟鋼(0.75mm) - 980MPa (1.6mm) - 590MPa (1.6mm) の板組にて、通電中の加圧力制御がある場合とない場合の連続打点試験結果である。

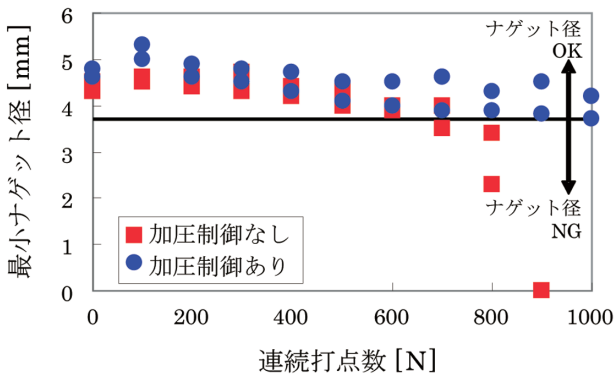


図-8 通電中の加圧力制御による連続打点性向上の例
Fig. 8 Result of improvement of continuous weldability test by pressure control during weld time

スポット溶接を連続的に行うと、チップ先端が損耗して次第に広がっていくため、ナゲット径が次第に小さくなり、最終的には未溶接の状態となる。このため量産時は一定の打点数を溶接した後、ラインを停止してチップを交換あるいは研削するなどしてチップ先端径を新品の状態に整えることで、溶接品質を確保している。このことから、溶接条件を設定する際は連続打点性が長い条件を設定することが重要である。図8に示したように、通電中に加圧力を制御することで、より長い連続打点性が得られており、量産時の溶接品質安定化に効果のある条件と言える。

上記で紹介した通電中の加圧力制御方法および電流条件は、980MPa材を含む薄-厚-厚板組にて量産時に溶接品質を安定的に確保できる条件であることがわかったため、現行スカイラインを皮切りに、すでに数車種のドアオープニングのスポット溶接部に採用しており、量産スポット溶接品質の向上に大きく貢献している。

3. おわりに

スポット溶接はその歴史も長く、溶接現象としてはすでに十分解明されてきたと言えるが、それぞれの板組に対して適切な溶接条件を見出すため、多くの工数をかけて実験を繰り返してきた。今後も、自動車車体の更なる軽量化を狙い、新しい鋼板が開発されていくことが予想されるため、本報告で紹介したシミュレーション技術をさらに精度よく使いこなし、新規開発鋼板のスポット溶接において量産時に安定した溶接品質を確保できる溶接条件を短期間で見出していきたいと考えている。

4. 参考文献

- 1) 松山欽一ほか：抵抗溶接の基礎と実際、産報出版、pp. 230-231 (2011)

■ 著 者 ■



吉 田 健

多関節ロボットによるデファレンシャル自動組立技術の実用化

Commercialization of Technology for Automated Articulated Robot Assembly of Differentials

熊谷 直哉*
Naoya Kumagai

澁谷 宗隆**
Munetaka Shibuya

佐久間 隆史*
Takashi Sakuma

中山 克俊*
Katsutoshi Nakayama

抄 録 トランスミッションに組み込まれているデファレンシャルは11種類の部品により構成され、従来は作業者によるマニュアル組立を行っていた。このデファレンシャル組立作業を多関節ロボットにより自動組立化し、その設備を実用化する事ができた。本稿では、このデファレンシャル自動組立技術の実用化への取り組み内容について紹介する。

Summary A differential is composed of 11 part types and built onto the transmission. Conventionally, differentials are assembled by manual work. We have developed an indirect articulated arm robot for differential assembly and put it to practical use. This article presents our efforts to commercialize automatic assembly through the development of this articulated arm robot.

Key words : Production Engineering, differential, articulated robot, automatic assembly

1. はじめに

トランスミッションに組み込まれているデファレンシャルは、従来手作業により組立を実施しており、短時間で品質を確保するためには、高技能が必要であった。

このため、高技能者に頼ることなく組立を実施するために、多関節ロボットによる自動化技術を確立し、その設備を量産に適用した。

本稿では、このデファレンシャル自動組立技術の実用化への取り組み内容について紹介する。

1.1 デファレンシャルの役割と構成部品

デファレンシャルは、トランスミッションの内部に組み込まれ、ギヤが差動する事で左右の内輪差を吸収する装置である。

構成部品は各部品を組込む箱となるデフケース、ドライブシャフトを駆動させるサイドギヤ、サイドギヤを差動させるピニオンメイト、サイドギヤとデフケースのしゅう動面に入りデフケースとのクリアランスを調整するサイドワッシャー、ピニオンメイトとデフケースのしゅう動面にはいるメイトワッシャー、ピニオンメイトを支持するメイトシャフト、メイトシャフトの抜け止めとなるロックピンの7種、計11個の部品で構成されている(図-1)。

デファレンシャル組立時の管理ポイントは、各構成部品の寸法積上げにより変化するデフケースとサイドギヤとのクリアランスであり、これは厚さごとにランク分けされ

たサイドワッシャーの選択によって調整することができる(図-2)。

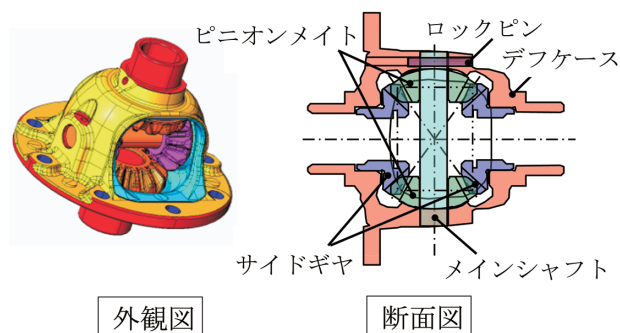


図-1 デファレンシャル構造図
Fig. 1 Structure of differential

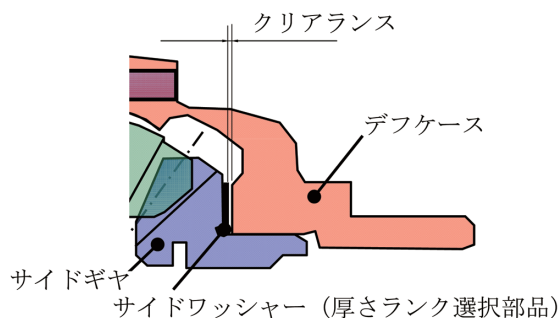


図-2 クリアランス詳細
Fig. 2 Detail of clearance

*パワートレイン生産技術部 **パワートレイン技術企画部

1.2 自動化に取り組んだ理由

従来のデファレンシャル組立工程では、高技能作業員による組立作業と絡繰りを活用した部品供給による手元化を行う事で、手作業組立時間の削減を限界まで突き詰め、出来高向上による原価低減を進めてきた。しかし、この方法による作業時間の削減が限界となってきたため、更なる原価低減の方策として、安価な自動化による原価低減に取り組む事にした。

一方、海外拠点でも、組立作業の自動化によって組立作業員の技能習熟を行わなくてもライン立上げを可能にする事を念頭に取り組んだ。

2. 自動組立化へ向けた取り組み

2.1 自動組立のための要因解析

デファレンシャルの自動組立工程を安価にする方策案として、そもそもサイドワッシャーをその都度選択せずにデファレンシャルを自動組立できるか、技術分析を行った。

まず、サイドワッシャーのランク選択をその都度行わないために必要な管理しなければならない部品寸法の洗い出しを行った。洗い出した部品寸法のL=12の直交表を表-1に示す。寸法が大きいものを「大」、小さいものを「小」と表している。

表-1 L = 12 直交表
Table 1 L=12 layout of factors

		部品特性									
		デフケース/サイドギヤ面振分け (RH)	デフケース/サイドギヤ面振分け (LH)	デフケース/歯面振分け (ロックピン側)	デフケース/歯面振分け (反ロックピン側)	サイドギヤ歯厚 (RH)	サイドギヤ歯厚 (LH)	ピニオンメイト歯厚 (ロックピン側)	ピニオンメイト歯厚 (反ロックピン側)	メインワッシャー厚さ (ロックピン側)	メインワッシャー厚さ (反ロックピン側)
		A	B	C	D	E	E	G	H	I	J
組み合わせパターン	1	大	大	大	大	大	大	大	大	大	大
	2	大	大	大	大	大	大	小	小	小	小
	3	大	大	小	小	小	大	大	大	小	小
	4	大	小	大	小	小	大	小	小	大	大
	5	大	小	小	大	小	小	大	小	大	小
	6	大	小	小	小	大	小	小	小	大	小
	7	小	大	小	小	大	小	小	小	大	小
	8	小	大	小	大	小	小	小	大	大	大
	9	小	大	大	小	小	小	大	小	小	大
	10	小	小	小	大	大	大	大	小	小	大
	11	小	小	小	大	大	大	大	小	大	小
	12	小	小	大	大	大	大	大	小	大	小

次にこの直交表に従い、洗い出した寸法のサイドワッシャー選択に与える影響度の分析を行った。その結果、デフケースの平面振り分け寸法 (図-3) が主要因子である事がわかった (図-4)。

以上のことから、デフケース/サイドギヤ面振分け寸法の管理公差を縮小し、組立ラインへ供給する事により、サ

イドワッシャーをその都度選択せずにデファレンシャル組立を可能にする事ができた。

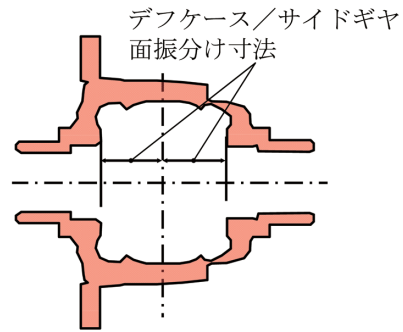


図-3 デフケース/サイドギヤ面振分け寸法
Fig. 3 Side-gear surface dimensions of the diff case

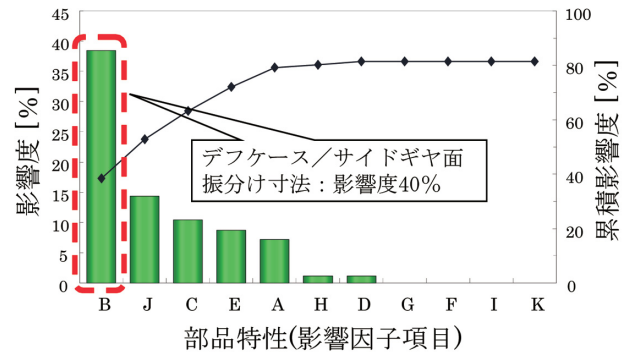


図-4 影響度パレート図
Fig. 4 Pareto chart of influences of factor

3. 自動組立機の構成

今回開発した自動組立機は、デフケース搬入、サイドギヤ及びピニオンメイトの組込み、組立完成品搬出を行う6軸多関節ロボットが2台、サイドギヤの供給装置、ピニオンメイトの供給装置、デフケース組立治具装置、ロックピン圧入及びギヤ回転検査装置にて構成されている。図-5にその概要を示す。

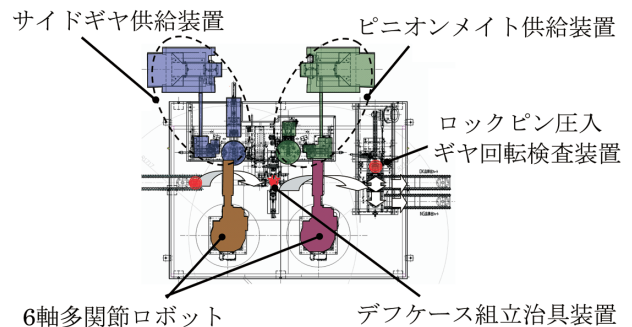


図-5 自動組立機概要
Fig. 5 Overview of the machine

デファレンシャルの組立工程はデフケースの窓部にサイドギヤ及びピニオンメイトの傾きを変えながら挿入する複雑な動作があるため、多関節ロボットを採用した。しかし、手作業で行う際に実施しているデフケースの球面部にピニオンメイトを公転させ組み込む作業については、多関節ロボットに実施させると2台のロボットの協調制御が必要となるため、ピニオンメイトをデフケース窓部に挿入後、デフケースをサーボモーターより自転させ組み込む構造を採用した(図-6)。

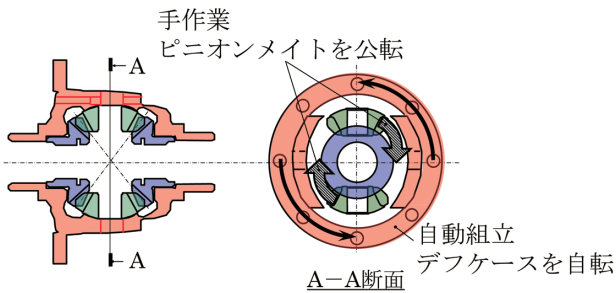


図-6 ピニオンメイトの組立て方
Fig. 6 How to assemble the pinion mate

4. 自動組立機の立上げへの取り組み

4.1 設備停止要因の改善

従来の手作業組立工程の絡繰りによる部品供給は設備異常が発生しても、組立作業者が常にその場にいるため、大きな停止要因にならないが、自動組立装置の場合は設備異常が発生した時、作業者が到着するまでの間停止状態になってしまう。さらに、設備異常の対策、改善を行う際も製作者の高技能が必要であり改善が困難となるため、絡繰りを廃止し、アクチュエータによる部品供給を採用した。図-7に、その絡繰り式とアクチュエータ式の各部品供給装置の例を示す。

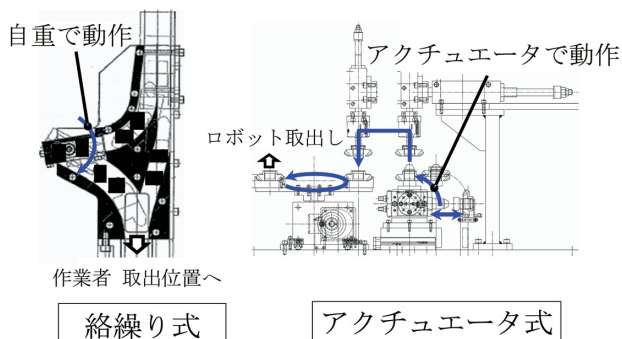


図-7 部品供給装置例
Fig. 7 Example of parts supply

4.2 ロボットを最大限に生かすために

今回開発した自動組立機は、多関節ロボットにて複数の作業を実施しているため、ロボットの動作時間を大幅に短

縮する必要がある。そこで、この時間短縮を図るため、社内で開発したロボット動作シミュレーションを活用した。

ロボットが部品の取出しや組付けを行う際に、部品や周辺機器にロボットが干渉しない様に通過位置設定を行う必要がある。図-8に示す様に、その際に直線的な動作制御をすると確実に干渉しないが、減速、停止、加速動作し、その動作時間が長くなる問題が発生する。一方、曲線的な動作制御をすると、停止はしないが、干渉する可能性がある。そこで通過確認位置を干渉部位から離れた位置に設定する事で、干渉せずに曲線動作制御を設定する事ができた。

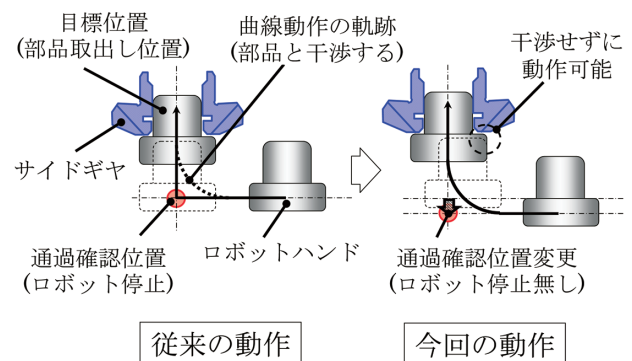


図-8 部品取出し時のロボットの軌跡
Fig. 8 Excursion arm whenever parts supply

次にロボットの動作指示方法について取り組んだ。ロボットの動作には最短距離を動作する「直線動作制御」とロボットのモーターが同時に動作する「各軸動作制御」がある。直線動作制御は最短距離となるが、直線軌跡を保持するために各モーターの速度を制御しながら動作するので、目標地点まで最短時間とならない事がある。一方、各軸動作制御は最短時間で動作するが各モーターが同時に動作するため、動作軌跡を予測しづらい。そこで、ロボット動作シミュレーションにて各軸動作制御が可能な部位について洗い出し、各軸動作制御を採用した。

このような業界トップレベルの技術を採用した取り組みを実施する事で、サイクルタイム短縮と設備総合効率90%以上を達成し、実用化する事ができた。

5. まとめ

今回の取り組みでは、サイドワッシャーをその都度選択せずにデファレンシャルの組立を実施する事と、デファレンシャルの組立作業を多関節ロボットの特性を生かし作業を集約させる事で、安価な自動化の実用化ができた。今後は部品供給についても同様に技術開発を進めていき、自動化の適用範囲を更に拡大していきたい。

更に圧倒的な競争力を得るために、日本に設置する設備の自動化は更なる原価低減に挑戦し、Leading

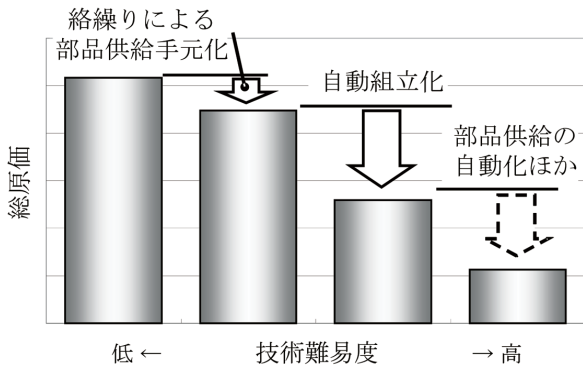


図-9 デファレンシャルの原価推移
Fig. 9 Reduction of differential cost

competitive countries (LCC) での手作業組立工程の原価にも勝てる自動組立工程を目標に活動を進めていく (図-9)。

このような活動を通じて、私達が新たな付加価値を生み出し、世界へ技術を発信する事で、日本でのモノづくり意味を見出していきたい。

最後に多大な協力を頂きました、社内外関係部署の皆様に深く感謝致します。

■著者■



熊谷直哉



澁谷宗隆



佐久間隆史



中山克俊

エンジン組立工程内におけるエンジン品質保証の取り組み

Engine Quality Assurance in the Engine Assembly Process

申 富 炳*
Tomiaki Shin

吉 田 浩*
Hiroshi Yoshida

後 藤 浩 之*
Hiroyuki Goto

抄 録 近年の市場での品質要求の高まりと、エンジンの高機能化、高精度化に伴い、エンジン組立工程内での計測評価技術が重要となっている。今回、品質異常検出力向上と性能向上を目的としたエンジン組立工程内の計測評価装置で用いているいくつかの計測評価技術を紹介する。

Summary Demand for high quality from customers and higher engine performance and precision make it very important for process engineering to assure engine assembly quality. In this article, we introduce some of the latest measurement and evaluation technologies for improving quality abnormality detection and engine performance in the engine assembly process.

Key words : Production Engineering, quality control, manufacturing, assembling, quality assurance, firing test, motoring test, quality improvement

1. はじめに

近年、エンジンはお客様の要望する高い品質を満足すべく、静粛性、運転性、燃費、出力、排気性能各面での改良が進んでいる。それに伴いエンジン構成部品の高精度化、高機能化、軽量化、エンジン制御システムの電子化、複雑化が進んでいる。エンジンの組立工程においても、構成部品数の増加への対応や、組付けばらつきの低減、複雑かつ高精度な組立が求められるようになってきている。

本稿では、エンジン品質の更なる向上を目的とした、エンジン組立工程内での品質保証の取り組みについて紹介する。

2. エンジン組立品質保証の概要

2.1 エンジン出荷品質保証概要

私たちの生産するエンジンは、構成部品の製造から車両としてお客様にお届けするまでの間、生産プロセスごとにあらゆる品質検査工程を経た後、出荷されている。その

品質検査の概要は、部品製作工程で行われる部品レベルの検査、エンジン組立工程におけるエンジンがエンジンとして機能する形まで組立られた段階でのエンジン単独の機能確認、車両組立工程における周辺ユニットと組み合わせた状態での機能確認検査となっている（図1参照）。

2.2 エンジン組立工程内検査による品質向上技術

従来からエンジン組立工程における出荷品質確認のため、ファイヤリングテストと呼ばれる検査工程にてエンジン全数について着火運転試験を行ってきた。そこでは、水や油などのもれ、異音、振動、各種運転制御用センサ、アクチュエータの機能などを確認することが出来る。

しかし、近年のデバイスの複雑化、構成部品の増加、部品の高精度化に伴い、ファイヤリングテストだけでは検出が困難となるエンジンの制御デバイスが出現した。

また、計測技術の進歩により品質異常検出力の向上が図られる品質保証設備の構築が可能となり、品質異常の早期検出、異常原因の特定と工程改善のサイクル促進、試験運転で発生するCO₂削減による環境影響改善の面で有利な、組立工程半ばで実施するの品質保証（エンジン組立工程内検査）の重要性が増大してきている（図2参照）。

今回、エンジンの品質異常検出力向上を目的とした、エンジン組立工程内の検査装置で用いているいくつかの計測技術の例として、モータリングテストによるメタル油穴位置保証、メタルクリアランス（異物）検査、バルブクリアランス保証、VTC駆動検査、燃料インジェクタ検査について紹介する。

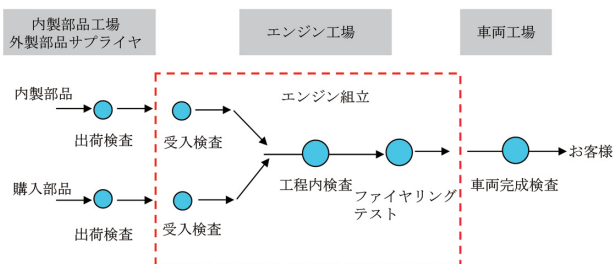


図-1 品質保証概略

Fig. 1 Quality assurance summary

*パワートレイン生産技術部

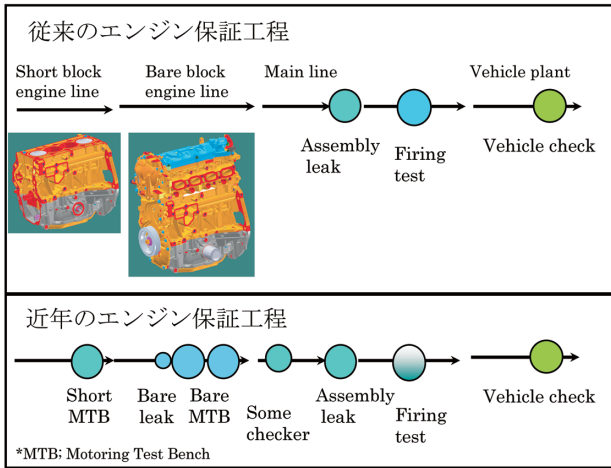


図-2 品質保証設備構成例
Fig. 2 Example of quality assurance equipments

3. エンジン組立工程内計測評価技術の事例

3.1 ショートエンジン用モタリングテスト

3.1.1 装置概要

シリンダブロック、ピストン、コンロッド、クランク、オイルパンで構成されたショートブロック状態（図3参照）で、クランクシャフトを外部モータから回転（モタリング）しながら検査する装置をショートモタリングテストベンチ（以下、S-MTB）と呼んでいる。

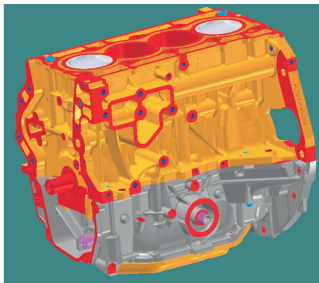


図-3 ショートブロックエンジン
Fig. 3 Short block engine

S-MTBは、モタリングしながらエンジンのシリンダブロックに内蔵されたエンジン潤滑用オイル回路に、エンジン外部から圧縮空気を一定圧力で供給し、供給された圧縮空気流量を計測する機能と、モタリングに要する回転トルク（クランキングトルク）を計測する機能、及びシリンダブロック壁面に伝わる振動を計測する機能を有している。ここでは、圧縮空気流量計測によるメインベアリングの位置ずれ検出事例とクランキングトルク計測による、ベアリングへの異物かみ込み検出事例を紹介する。

3.1.2 圧縮空気流量計測によるコネクティングロッドベアリング給油穴位置保証事例

図4にエンジンのモタリング中の圧縮空気流量とクランク角度の関係を示す。コネクティングロッドにピストン

背面潤滑油供給穴を有するエンジンの中には、クランクシャフトピンに設けられた給油穴とコンロッドベアリングに設けられた給油穴、コンロッド大端部の給油穴が一致しオイルを噴出する設定がなされているものがある。圧縮空気の流量を計測することで、このオイル噴出しが所定のクランク角で発生する組付け状態であることを観測することが出来る。

クランキング中のクランク角度とエア流量を同期させて計測し、任意のクランク角度に対する流量値に対して判定をすることで、正規の位置にコンロッドベアリングが組付けられていることが確認でき、視認が難しい給油穴の位置保証を行うことが出来るようになった（図5参照）。

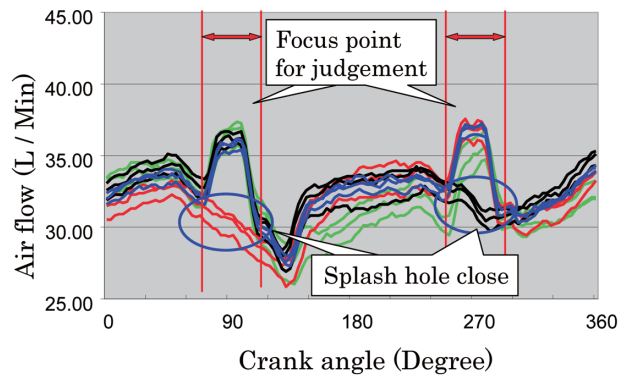


図-4 流量計測例
Fig. 4 Example of flow measurement

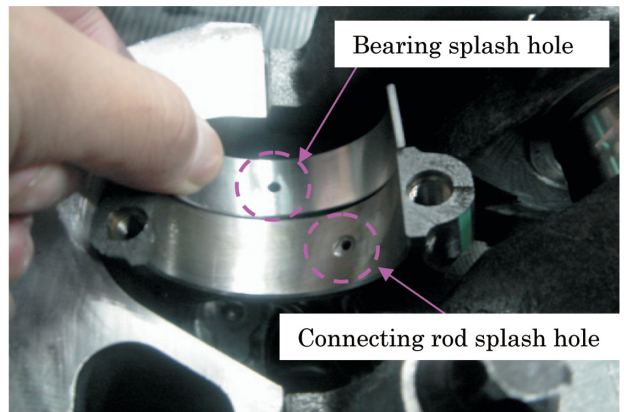


図-5 コネクティングロッドとコネクティングロッドベアリング
Fig. 5 Connecting rod and connecting rod bearing

3.1.3 クランキングトルク計測によるメインベアリングへの異物かみ込み検出事例

クランキングトルクを計測し、そのトルク波形を詳細に解析することにより、ベアリングへの異物付着、ピストンリングの組付け異常などを検出することが出来る。

ショートブロックエンジンを一定の回転数で回転させるためのクランキングトルクは、主にピストンリングーシリンダーボア間のフリクションと、クランクシャフトーメインベアリング間のフリクション、及びクランクシャフトー

コネクティングロッドベアリング間のフリクションに打ち勝つための力として構成されている。

ピストンリングとシリンダーボア間のフリクションは、ピストンのしゅう動速度がゼロとなる上死点及び下死点にてゼロとなる。そして、その中間でピストンのしゅう動速度が最大となるところで、フリクションも最大となる。一方、クランクシャフトーメインベアリング及びクランクシャフトーコネクティングロッドベアリング間のしゅう動速度は一定のため、フリクショントルク値はクランク角度の依存性が小さく、ほぼ一定の値を示す。

ショートブロック状態でのクランキングトルクは、これらピストンしゅう動起因のトルクと、クランクしゅう動起因のトルクの合成波形として計測することができ、図6で示すような波形形状となる。ここで得られたトルクカーブでは、山側トルク波形（上側ピーク）はピストンしゅう動フリクションが、谷側トルク波形（下側ピーク）はクランクしゅう動フリクションが支配的と考えられる。よって、上側ピーク値、下側ピーク値、振幅のそれぞれを判定することで、現象の異なる事象を保証することが出来る。

図6は4気筒エンジンにおけるトルク波形のOK状態を上段に、メインメタルの裏側とシリンダブロックの間に異物をかみ込ませたNG状態のトルク波形を下段に示す。下側ピークに着目することで、NG状態の検出が可能となっていることが分かる。

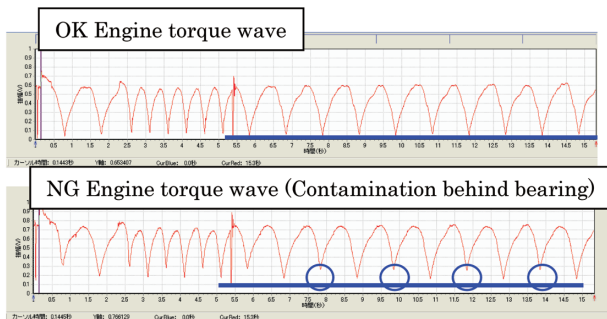


図-6 トルク計測例
Fig. 6 Example of torque measurement

3.2 ベアエンジン用モータリングテスト

3.2.1 装置概要

シリンダブロック、シリンダーヘッド、オイルパン、チェーンケース、ロッカーカバーまでが組付けられたベアエンジン状態（図7参照）でモータリングをしながら計測評価を実施する設備をベアエンジンモータリングテストベンチ（以下、B-MTB）と言う。

ここでは、B-MTBの計測例として、VTC（Valve Timing Control）の駆動保証の事例について紹介する。

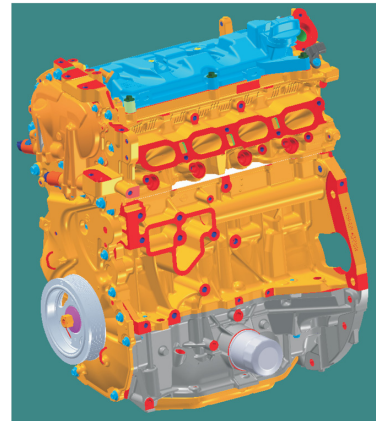


図-7 ベアエンジン
Fig. 7 Long block engine

3.2.2 VTC駆動時油圧計測事例

VTCとは油圧を利用してクランクに対するカムの位相を、任意に進角もしくは遅角させる装置である。カムシャフトに取り付けられたカムスプロケット内の進角室と遅角室のどちらかへ油圧をかけることで、カムの位相をそれぞれ進角側と遅角側へ動作させることが出来る。このVTCの油圧の流路の選択と供給量の制御はVTCソレノイドバルブが行っている（図8参照）。

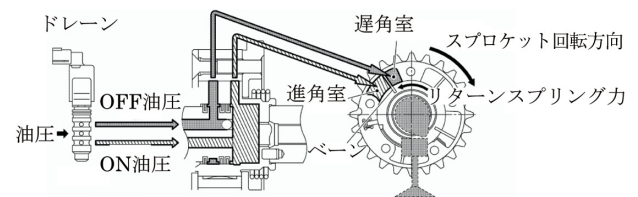


図-8 VTC
Fig. 8 Valve Timing Control

図9にB-MTBにて、エンジンを一定回転数でクランキングさせながらVTCを作動させた時の潤滑油圧の計測結果を示す。横軸は時間、縦軸には油圧を表している。図中上段には潤滑油圧系統部品が正常に組付けられた場合の油圧波形を、下段には潤滑油圧系統部品のうち遅角動作時の油圧供給回路のシール部品に組付け異常が発生し油圧もれが生じている場合の油圧波形を示す。

この波形を観察すると、VTCが進角動作（ON）時と遅角動作（OFF）時の油圧値に差異が現れていることが分かる。この差異はVTCが遅角維持するために供給した潤滑油がエンジン内部にもれたためである。この計測により外観からは分からないエンジン内部での潤滑油圧系統部品からのもれ検出力が向上し、内臓されている組付け部品に関する保証度を向上させることが出来た。

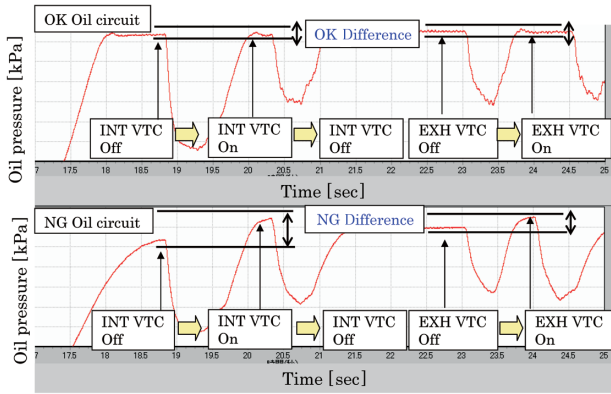


図-9 VTC 駆動時の油圧計測例
Fig. 9 Example of oil pressure measurement with VTC in operation

3.3 その他の計測装置事例 (燃料インジェクタチェッカー)

燃料インジェクタは加圧された燃料を適正量噴射する装置である。この燃料インジェクタの開閉弁動作、開弁時の噴射流量の正常性確認のため、燃料の代わりに圧縮空気を噴射し、その際の圧縮空気流量を計測する燃料インジェクタチェッカーを導入した。図10に4個のインジェクタ全てを開弁→閉弁した後、一つずつ順番に開弁→閉弁させた時の圧縮空気流量波形を示す。各インジェクタが開弁した際、正常な流量の圧縮空気を噴射し、閉弁後正しく噴射の停止を計測することで、正常な開閉弁動作と噴射流量の正常性を観測することが出来る。インジェクタ組立工程で懸案となる異物混入による噴射量ばらつきなどを検出でき、エン

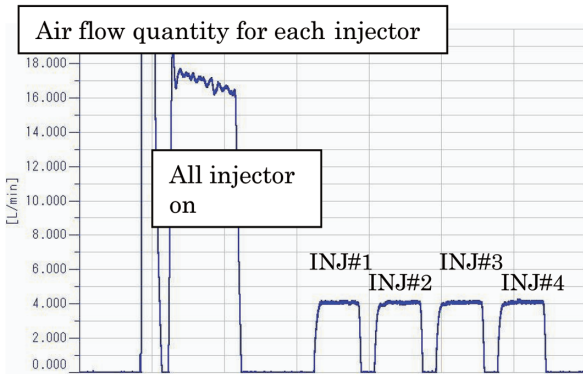


図-10 インジェクタ噴射量チェッカー流量計測
Fig. 10 Example of air flow measurement with an Injector

ジンの振動低減や排気ガスの浄化に貢献している。

4. 今後の課題と取り組み

ここで紹介した組立工程内でのいくつかの計測結果と部品サプライヤでの検査結果、エンジン組立工場での着火運転試験（ファイヤリングテスト）結果、車両での計測結果をつなぎあわせることで、生産工程で発生するいくつかのばらつきを効率的に制御できる仕組みの構築の可能性がある。また、生産ばらつきを正確に把握することで、一層の設計品質向上の可能性がある。今後は計測結果の有効利用を促進し、更なる品質向上を図りたい。

5. ま と め

エンジンの組立工程において、本来、検査工程は付加価値を生み出さない無駄な工程である。しかし、組立工程における組付け時の保証が困難な工法に対する保証方法の確立や、各構成部品のばらつきを検査工程にて正確に検査し、保証することは益々重要となってきている。

そして近年、エンジンに要求されている品質保証レベルが従来と比較し向上してきたことから、今回紹介したようなファイヤリングテスト以上の検出力を持つ工程内の計測技術を開発してきた。この結果として、ファイヤリングテストでの検査項目を組立工程内の中間検査に置き換えが可能となり、品質を向上させながら、従来のファイヤリングテストを抜き取り検査に移行することが出来た。

さらにこれらの保証設備で得られるデータを組立工程の品質保証だけでなく、生産ばらつき把握のデータストックとすることで、今後は生産ばらつきを加味した部品設計、制御設計に生かすことなどが検討され始めている。そして、エンジン組立工程における保証技術の最適化を図ることで、グローバルのエンジン工場のどこでも同じ品質を、最短納期かつ最小投資で達成していきたいと考えている。

最後に、日頃から保証設備の開発に関して多大な協力を頂いている社内外関係各位に深く感謝し、本稿を閉めさせていただきます。

■ 著 者 ■



申 富 炳



吉 田 浩



後 藤 浩 之

複雑形状部品に対するリバースエンジニアリングシステムの開発

Reverse Engineering System for Complex-shape Components

藤川 真一郎*
Shinichiro Fujikawa

山下 寛**
Hiroshi Yamashita

斉藤 雅基**
Masaki Saito

飯塚 悟*
Satoru Iizuka

塩飽 紀之**
Noriyuki Shiwaku

池田 明彦*
Akihiko Ikeda

抄 録 従来のリバースエンジニアリングシステムでは、計測した形状データをCADデータに変換する作業の一部がオペレータの力量にゆだねられており、非常に時間がかかっていた。本開発では、そのネックとなっているセグメンテーションプロセスを自動化する新しいアルゴリズムを提案し、リバースエンジニアリングプロセス全体の自動化を実現した。これにより鍛造クランクシャフトなどの複雑な形状を計測したデータを、短時間で精度の高いCADデータに変換することが可能となった。

Summary The conventional reverse engineering system requires operators to do some time-consuming manual operations. The authors developed algorithms that automate the segmentation process and an automated system for all reverse engineering processes. The system can convert complex measured data, such as those for forged crankshafts, into precise CAD data in a short time.

Key words : Measurement, CAD, reverse engineering, crankshaft, forging

1. はじめに

リバースエンジニアリング¹⁾では、CADモデル(数式モデル)を構築する際に、測定データから物理モデルを構成している曲面を識別し^{2),3)}、それぞれの曲面を数式で表現(定義)する。従来このプロセスにおいて、特徴の異なる曲面を区分けして、その境界線を決定する(セグメンテーション)などのオペレータによるマニュアル操作が必要で、多大な労力・時間・コストを要しており、その解決が望まれている。

本研究では、そのようなネックとなるマニュアル操作の工程を自動化するアルゴリズムを考案し、クランクシャフトのような複雑な加工形状に対しても、計測点群データを全て自動でCADデータ化するリバースエンジニアリングシステムを開発した。本稿では、その内容について報告する。

2. 提案する手法

2.1 概要

本システムは下記の4手法を考案し、これをプログラミング化することにより、自動で高品質のCADデータを創成するシステムである。

(1) 測定離散点群データに含まれる測定誤差を平均化する手法

(2) 測定離散点群データを基に三次元格子状配列データの構築手法

(3) 三次元格子状配列データから物理モデルを構成している曲面を区分けして、その境界線を識別する手法(セグメンテーションプロセス)

(4) 曲面境界線で囲まれた格子状配列データから数式モデルを構築する手法

以下に、この4手法の内容について述べる。

2.2 測定誤差の平均化

リバースエンジニアリングでは物理モデルを対象に、非接触三次元測定器などで測定を行い、離散点データを獲得する。しかし、このデータは測定誤差を含んでいる。測定誤差を平均化するため、シャープなエッジ以外の形状の微小領域は楕円曲面形状として近似できるという考えに基づいて、以下の処理を行う。

2.2.1 微小領域のローカル座標系の設定

測定した点群のある1点に注目し、その点を中心にした微小球の内部に存在する測定点を近傍点として抽出する。これら注目点と近傍点の座標から x 、 y 、 z 各座標値の分散を式(1)および式(2)に基づいて算出する。

$$\bar{P}(x, y, z) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(x, y, z) \quad (1)$$

*パワートレイン技術開発試作部 **成形技術部

$$\sigma^2(x,y,z) = \sum_{i=1}^n (\bar{P}(x,y,z) - P_i(x,y,z))^2 \quad (2)$$

座標値の分散は、その値が大きいほど、その座標軸方向に幅広く分布していることを示している。逆に、その値が小さいと、その座標軸方向の分布領域が狭いことを示す。

以上のことから、 x 、 y 、 z の3成分の中で、座標値の分散が最も小さい成分の軸方向が、注目点とその近傍点群が位置する形状の法線方向に最も近い方向を示していると考えられる。元の x - y - z 座標系Aに加え、 x 軸を中心に45度回転した x - y - z 座標系B、 y 軸を中心に45度回転した x - y - z 座標系C、 z 軸を中心に45度回転した x - y - z 座標系Dの4つの座標系において、それぞれ3成分、計12個の座標値の分散を算出する。これらの座標値の分散の中で、最小となった成分の軸方向を、注目点の法線軸方向として注目点に記録する。次に、注目点およびその近傍点を保持したまま、2.2.2節の処理に入る。

2.2.2 移動ベクトルの決定

先に取り出した注目点とその近傍点群について、2.2.1節で決定した法線軸方向の座標軸を w 軸、残り2つの座標軸をそれぞれ u 軸、 v 軸としたローカル座標系を設置する。この座標系内において、最小自乗法を用いて式(3)における係数 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f を決定する。この処理により求められた二次式は楕円曲面を表し、注目点近傍の形状を近似している。導出した楕円曲面を座標空間内に定義し、各点を始点とした曲面までのベクトルを算出する。算出されたベクトルは、各点に記録し保持させる。また、近似楕円曲面式は後述する三次元格子データ構築に使用するため、法線軸方向と同様に注目点に保持させる。

$$w > au^2 + bv^2 + cuv + du + ev + f \quad (3)$$

2.2.3 測定点群の移動

2.2.1節から2.2.2節までの処理を、全ての測定点が注目点となり終わるまで、注目点をほかの測定点に変更しながら繰り返し行う。繰り返し処理が完了した時点で、各測定点は曲面までのベクトルを複数保持していることになる。各点において、これらのベクトルの平均を移動ベクトルとし、図1のように元の位置を基点として移動させる。注目

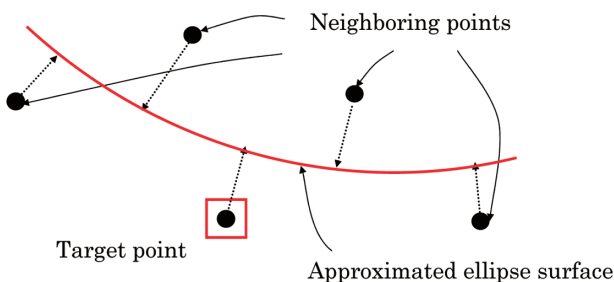


図-1 近似局面への座標の移動

Fig. 1 Moving co-ordinates to approximated ellipse surface

点の近似曲面だけでなく、近傍の近似曲面への移動ベクトルを考慮することにより、大域的な測定誤差の平均化を実現する。

2.3 測定点の三次元格子化

測定データの分布は不均一であり、ある測定点の近傍点を取り出すには、全測定点に対して点間距離を算出しなければならず、計算効率が悪い。また、曲面を構築する際に隣接する曲面の間に隙間が生じるという問題がある。これらの問題に対応するために、測定データの三次元格子化を行う。この処理により、分布が不均一であった測定データは等間隔に配置されたデータに変わる。また、データの位置情報が座標値から整数の格子番号に変換されることで、近傍点の検索が容易になると同時に、曲面の隣接関係も明確になるため、前述の隙間の発生問題を防ぐことが可能になる。

2.3.1 測定点の格子点への再配置

まず、測定データを三次元格子空間内の格子点に当てはめる。 x - y - z 座標空間内に測定点が分布しているとする。各軸方向について等間隔に区切り、 x 軸、 y 軸、 z 軸をそれぞれ i 軸、 j 軸、 k 軸に変更する。各測定点の最近傍に位置する格子点を決定し、各測定点について算出し保持させていた法線軸方向と近似楕円曲面式をその格子点に記録し保持させる(図2)。

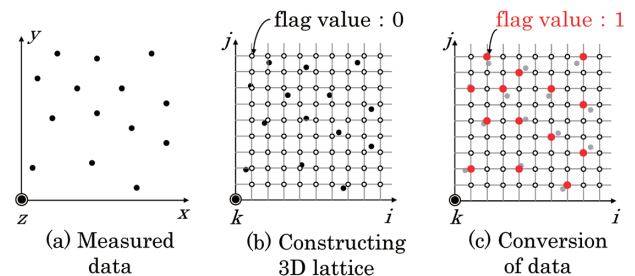


図-2 計測点の格子点への移動
Fig. 2 Converting method of measured data

2.3.2 曲面上に位置する格子点へのデータ補間

測定データを格子点に再配置しただけでは図2に示すように、測定データの密度が疎の部分には隙間が残る、等間隔に分布したデータにはならない。この格子点が表示している曲面の近傍で空いている格子点を補完する。図3のように、

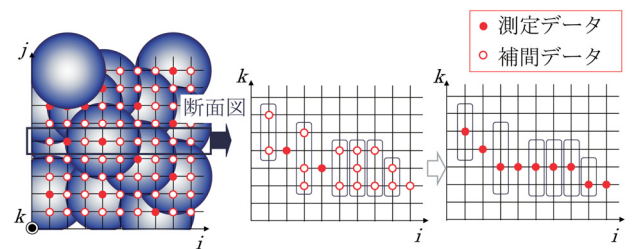


図-3 格子点の補完
Fig. 3 Interpolating method

曲面を表現する上で格子点の足りない断面を抽出し、新たな格子点を定義する。

2.4 形状に応じた格子点の分割 (セグメンテーション)

最大曲率値と格子点の分散に基づく法線軸方向を用いて形状を認識し、格子点群を分割 (セグメンテーション) する。詳細を以下に述べる。

2.4.1 最大曲率によるセグメンテーション

図4に示すように、格子点1点に注目し、その近傍点を持つ同一の楕円曲面式から平均曲率、ガウス曲率、最大曲率を算出し、これらが大きく変化するところをセグメントの境界線として抽出する。

2.4.2 法線軸方向によるセグメンテーション

2.4.1節によりフィレット形状とそれ以外の形状に分けられた格子点群に対し、同一形状と判定された格子点群の中で、各格子点に記録されている法線軸方向が一致し、かつ隣接する格子点群をグルーピングし、各グループにセグメント番号 (Seg. 1, Seg. 2, … Seg. N) を与える。図5は本処理の例であり、図5 (a)は最大曲率によるセグメンテーションの結果、図5 (b)は法線軸方向によるセグメンテーションの結果である。

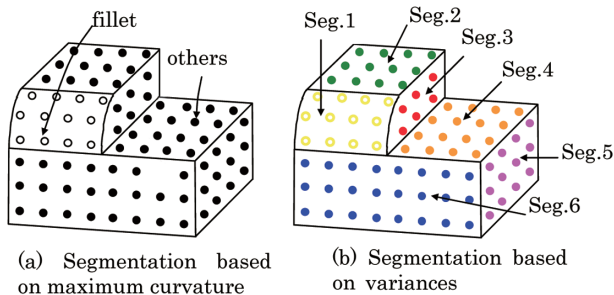


図-5 セグメンテーションの結果
Fig. 5 Result of segmentation

2.5 セグメントの数式モデル化

以上説明した2つのセグメンテーション処理で定義されたセグメント間について隙間がないかをチェックし、欠陥のあるところは縫合処理を行い、セグメント間の境界線を一意的に生成する。この境界線に囲まれたセグメントごとに最小自乗法を用いてNURBS曲面を定義し、CADデータ化が完了する。

3. 曲面モデル構築実験および結果

複雑な形状として図6 (a)示すクランクシャフトを対象に、接触式アーム型三次元測定器FaroArm Gold8および3D SCANNER社製非接触式三次元スキャナーシステムModelMaker V70を用いて測定データを獲得した。図6 (b)は測定データ、図6 (c)は三次元格子データ生成結果、図6 (d)は最大曲率値を色で表示した結果、図6 (e)は境界線を定義した結果、図6 (f)は曲面モデル構築結果である。

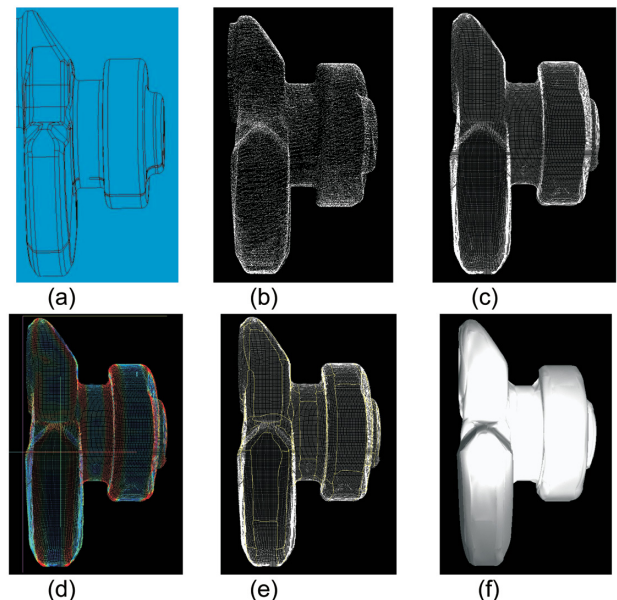


図-6 クランクシャフトのデータ生成
Fig. 6 Data generation for crankshaft

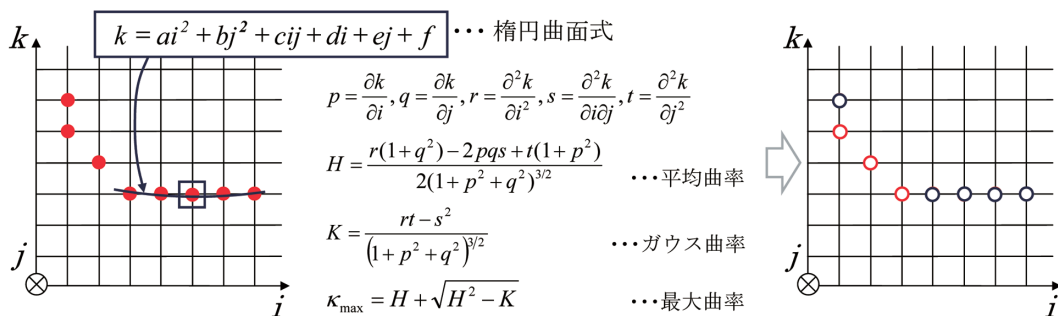


図-4 セグメンテーション
Fig. 4 Segmentation

図6 (d)に示した最大曲率の算出結果は、CADデータと比較してもフィレット形状部分での最大曲率値が大きくなり、注目点を中心にした微小領域を楕円曲面に近似する手法は有用であると言える。

4. おわりに

非接触型形状測定器により獲得される物理モデル上の高密度離散点群の位置ベクトルから数値モデルを構築することを目的として、(1) 微小領域に対して楕円曲面に近似することで誤差を平均化する手法、(2) 測定データを三次元格子に当てはめ、データの不足部分を補間する手法、(3) 最大曲率と座標値の分散による主方向判定に基づいて、モデルを構成している曲面ごとにデータを識別する手法 (セグメンテーションプロセス)、(4) 曲面ごとに測定データに基づく最小自乗法によりNURBS曲面を導出し、数値モデルを構築する手法、を提案した。

本システムは、従来マニュアル作業に頼っていた特徴の異なる曲面を適確に区分けして、隙間のない境界線を定義する作業 (セグメンテーションプロセス) の自動化が可

能となり、計測データをCADデータ化する一連のプロセスをすべて自動化することができるようになり、大幅な作業の簡素化が可能となる。

5. 謝 辞

本研究に当たっては、慶應義塾大学の青山英樹教授、元慶應義塾大学の佐藤めぐみ氏の大きなご尽力、ご貢献を頂いたことをここに感謝申し上げます。

6. 参 考 文 献

- 1) 藤川真一郎：リバースエンジニアリングとその塑性加工への利用、塑性と加工、No. 43, pp. 497-469 (2002)
- 2) Tames Varady et al. : Reverse engineering of geometric model-an introduction, Computer-Aided Design 29, No. 4, pp. 255-268 (1997)
- 3) 伊達宏昭ほか：3次元計測に基づく3次元形状処理技術点群からの曲面生成手法、設計工学、No. 41、Vol. 2、pp. 68-76 (2006)

■ 著 者 ■



藤川 真一郎



山下 寛



斉藤 雅基



飯塚 悟



塩 飽 紀 之



池田 明彦

大吐出量可変パターン塗装工法の開発

High-speed & Variable-pattern Bell Paint Application

太田 資 良*
Shirou Oota

藤 平 正 敏**
Masatoshi Fujihira

正 道 博 士**
Hiroshi Shodo

後 藤 丈 志***
Takeshi Gotou

抄 録 地球規模でのCO₂排出量の削減に向けた取り組みが加速する中、自動車製造工程全体のCO₂排出量の約25%を占める塗装工程では劇的な排出量削減を行う責務がある。日産保有の「微粒化技術」と慶應義塾大学の保有する「自己組織化理論」を活用し、必要塗装機の基数半減を実現する革新的な塗装工法を開発し、大幅なCO₂排出量の削減、初期投資の削減が出来た。

Summary As efforts to reduce CO₂ emissions on a global scale accelerate, dramatic emission reduction must be achieved in the painting process, which accounts for about 25% of all CO₂ emissions from the automotive manufacturing process. Here, we developed a revolutionary new coating method that halves the number of painting machines necessary by utilizing “atomization technology” possessed by Nissan and “spontaneous formation theory” developed by Keio University. As a result, we achieved lower initial investment and a significant reduction of CO₂ emissions.

Key words : Production Engineering , painting , CO₂ , pattern , atomization , bell cup , uniform orientation

1. はじめに

地球規模でのCO₂排出量の削減に向けた取り組みが加速する中、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 2016）に基づき、挑戦的な目標を掲げて取り組みを行っている。生産工程においては、全企業活動におけるCO₂排出量20%削減（2005年度比）を達成すべく、新技術の開発導入や省エネ活動を推進している。

図-1に当社自動車製造における各工程のCO₂排出量の内訳を示す。塗装工程は鋳造工程に続きCO₂排出量が多くなっており、全体の25%を占めている。また塗装工程の中では、塗装ブースが最も排出量が多い設備であり、占有率約50%と突出している。これは、塗装品質を確保する上で、塗装時の雰囲気温湿度を調整する必要があり、空

気の加温や除湿に多くのエネルギーを使用しているためである。

従って、当社のみならず他社においても、塗装工程におけるCO₂排出量削減の主力策として、ブースの大きさ（幅、長さ）を小さくする取り組み事例が多く報告されている。

本稿では、塗装ブースのコンパクト化を狙って当社が開発した「大吐出量可変パターン塗装工法」の技術内容と、その効果について紹介する。

2. 開発内容

2.1 開発目標

自動車塗装では、防錆を主目的とする「下塗り」と耐久性と美観を主目的とする「中上塗り」により複層膜を形成させている。

塗装ブースを使用するのは「中上塗り」である。ブースでは温湿度が調整された環境下、塗料を小さな粒子状に霧化し、エアの流れと静電気力にて被塗物に塗着させる工法が採用されている。

図-2に中上塗り塗装工程の平面図を示す。要求品質である平滑性や色調を満足させるには、均一な膜を付与する必要がある。自動車の車体外板は10㎡を超える広い面積であるため、合計18基もの塗装機を用いて塗装を実施している。その結果、当該エリアのブース長も長くなっていった。

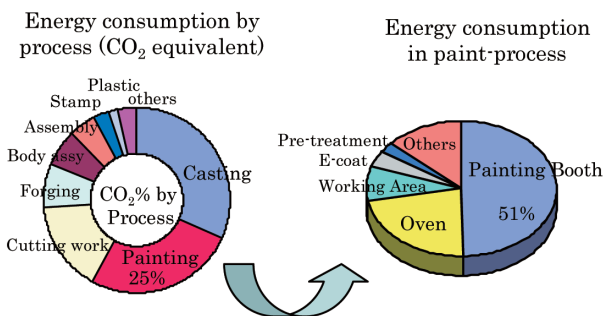


図-1 自動車製造工程におけるCO₂排出量内訳
Fig. 1 Breakdown of CO₂ emissions in the automobile manufacturing process

*グローバル型・設備管理部 **車両技術開発試作部 ***車両技術部

本開発では、塗装ブースのコンパクト化を狙うため、全体の約50%を占める車体外板塗装エリアに着目し、その長さを大幅削減することを目指した。

なお、エリア削減の方策としては、塗装機（ロボット）を上下に階層配置し密集度を上げることも考えられるが、「投資削減」と「歩留まり向上（色替えロスの低減）」の観点から、「塗装機の基数半減（9基化）」を具体的な目標値として開発に着手した。

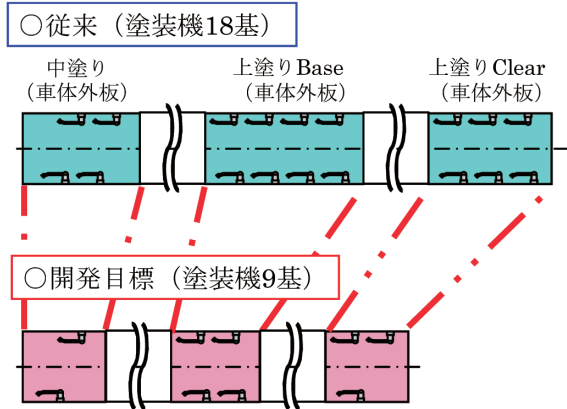


図-2 中上塗り塗装工程 平面図
Fig. 2 Top coat line layout

2.2 開発課題

図-3に塗装機の基数半減を実現するための方策を従来との塗装方法の違いにより説明する。

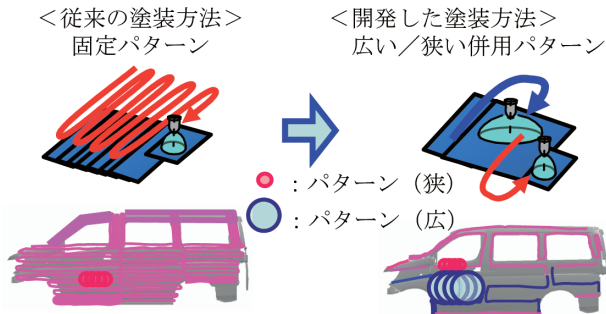


図-3 塗装方法の違い
Fig. 3 Differences in the way paint

従来の塗装方法を図中左に示す。従来は固定の塗布幅（パターン）にて、車体表面に均一な膜を付与していた。そのため、塗装機の軌跡が示すように、塗装開始から完了までに長時間を要していた。一方、図中右に示すように、「大吐出量且つ広いパターン」が実現出来れば、単一時間での塗装可能範囲を広げ、塗装機の基数を削減することが出来る。

また、図中右に示すように、広いパターンのみの適用では車体端部で被塗物に着かない無駄な塗料（塗着ロス）が発生するため、同一塗装機にて狭いパターンでも塗装出来るようにすることが重要となる。

従って、本開発の目標「塗装機の基数半減化」、つまり「塗装機能力の倍増」を達成するためには、下記2項目が

開発課題となる。

- 1) 大吐出量且つ広いパターン（従来比2倍）を実現する。
- 2) 広い/狭いパターンの併用を可能とする。

以降は、品質（色味）に対する要求度の高い「ベース塗装」に関する内容に絞って開発内容を報告する。

2.3 広いパターンの実現<微粒化目標の設定>

塗装品質の中で最も難易度の高いのは、メタリック塗装における光輝材の配向（並び方）であり、所望の色味を再現するには、光輝材の配向を均一にしなければならない。

図-4に均一な配向を得るための二つの方式を示す。

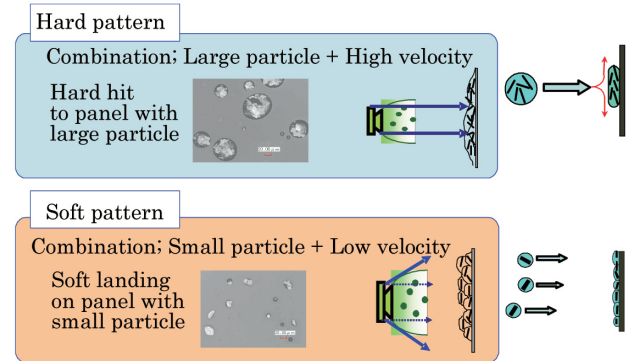


図-4 均一な配向を得るための塗装方法
Fig. 4 Methods to get an uniform orientation

図中上に示す「ハードパターン」と呼ばれる塗装方法は、「粒子飛行速度」を上げて被塗物に叩きつけ光輝材を配向させる方法である。一方、図中下に示す「ソフトパターン」と呼ばれる塗装方法では、塗料の粒子1粒に光輝材1粒を存在させる程度に「粒子径」を小さくすることで、被塗物に均一に塗着させ、配向させる方法である。

本件で開発する広いパターンでは、パターンを形成するエア流量を小さくしなくてはならないため、後者の「ソフトパターン」による塗装方法を選択することとなる。

先述のように、ソフトパターンでは「粒子径」が配向を左右する。本開発の技術目標値設定を行うため、ソフトパターンにおける「粒子径」と配向の関係を調査した結果を図-5に示す。

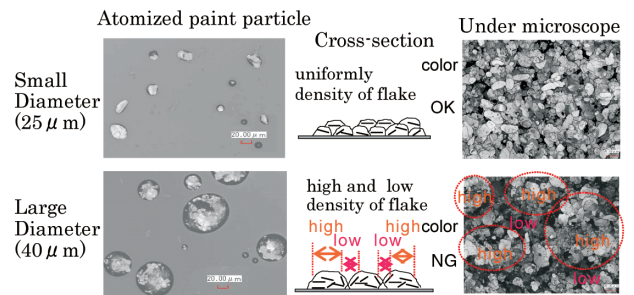


図-5 粒子径と配向の関係
Fig. 5 Relationship between particle size and orientation

図中下に平均粒子径40 μmで塗布された被塗物の顕微鏡観察結果を示す。白く見える光輝材の密度が高い部分

と低い部分があるため、光輝感が弱く、要求品質を達成することが出来ないことが分かる。一方、図中上の平均粒子径 $25\mu\text{m}$ で塗布された被塗物は、光輝材が均一に並び、光輝感が強く、要求品質を達成出来ることが分かる。

こうした考察から、広いパターン開発の技術目標値として、「平均粒子径」を「 $25\mu\text{m}$ 」と設定した。

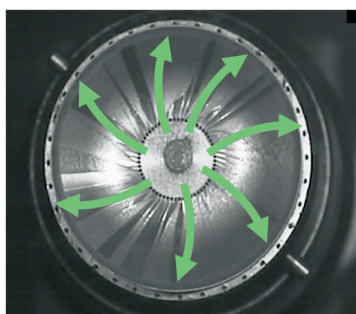
2.4 広いパターンの実現<ベルカップ内面形状開発による微粒化>

一般的に「微粒化向上」を図る手法として、ベルカップの大口径化、高速回転化が知られている。

まずは、市場の技術レベルをベンチマークすべく、塗装機器メーカ各社の「高速回転塗装機」、「大口径ベルカップ」を実験評価した。その結果、市場技術レベルでは、目標とする粒子径が得られないことが分かった。

図-6に上記の実験評価に供したベルカップの表面状態を示す。ベルカップの中央にある塗料吐出孔より放射状に吐出された塗料の痕跡が認められる。このことは、ベルカップ表面における塗料の液膜が不均一であることを示している。この観察に基づき、目標とする粒子径が得られなかった原因につき、以下の様に考察した。

- 1) ベルカップの中央にある塗料吐出孔より吐出された塗料は、そのままベルエッジへと向う。このため、ベルカップ表面での液膜は不均一状態でベルエッジに到達する。
- 2) 不均一な液膜がベルエッジから不均一な太さの液糸として射出され、液滴化するため、粒子径のばらつきが大きく、粗大粒子が多い状態となる。



Concave (conventional)

図-6 塗装後のベルカップ表面状態
Fig. 6 Bell cup surface condition after paint

そこで、微粒化を改善するために、ベルカップの内面形状の検討に取り組んだ。

ベルカップの内面形状の設計に関しては、塗料吐出孔から吐出した塗料を如何に均一な液膜として、ベルエッジまで到達させるかが課題となった。均一な液膜を形成するために、塗料吐出孔から塗料が吐出した直後に遠心力方向への押付け力で液膜の均一化を図る縦壁を設けた。ここで形成した均一な液膜を、ベルエッジ到達までに均一でより薄い液膜とするため、従来の内面形状（凹面）を廃止し、凸面形状を採用した。その形状の最適化は、図-7に

示すような高速度カメラを使用した検証にて実施し、独自の凸面形状を確立した。

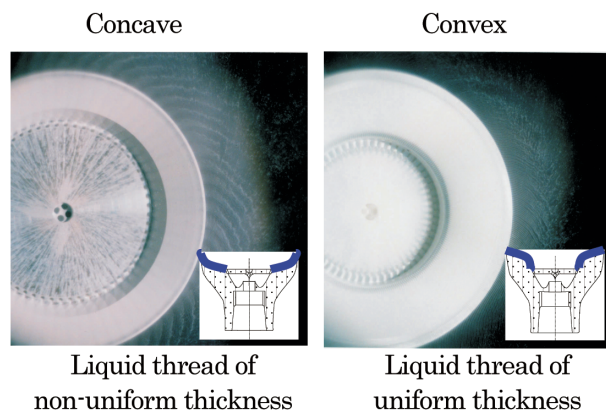
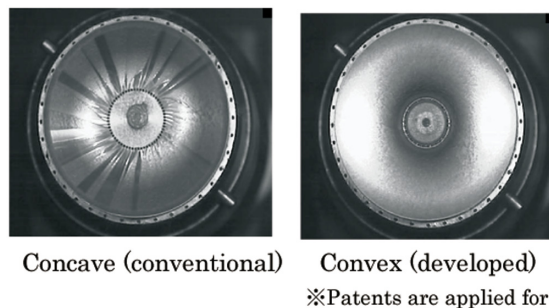


図-7 液糸の高速度カメラ観察結果
Fig. 7 Observations of liquid thread by high-speed camera

図-8に独自の凸面形状ベルカップと従来形状ベルカップの微粒化を比較した結果を示す。図中下の開発ベルカップの表面状態から、均一な液膜が形成されていることが分かる。粒子径については、従来ベルに対し大きく向上し、目標とした「平均粒子径 $25\mu\text{m}$ 以下」を達成した。



Concave (conventional) Convex (developed)
※Patents are applied for

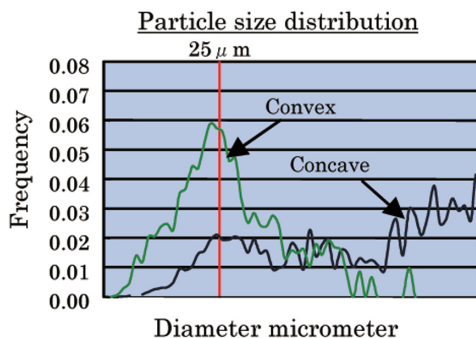


図-8 ベルカップ形状による粒子径分布の差異
Fig. 8 Differences in particle size distribution by the bell cup shape

2.5 広い/狭いパターン併用の実現<粒子径と粒子飛行速度による制御>

先述の様に、配向を左右する主な因子は、塗料霧化状態における「粒子径」と「粒子飛行速度」である。従って、狭いパターンの「粒子径」と「粒子飛行速度」を制御することにより、広いパターン（ソフトパターン）と同一品質を確保することが出来るという仮説を立てた。

狭いパターンでの粒子の飛行速度を制御する方法を図-9に示す。塗装機には2種類のシェーピングエアがあり、その強さを組み合わせることで、塗布幅と粒子の飛行速度を制御することが出来る。

そこで、粒子径、粒子飛行速度などの因子と色味との関係を、品質工学を用いて明らかにすることに取り組んだ。

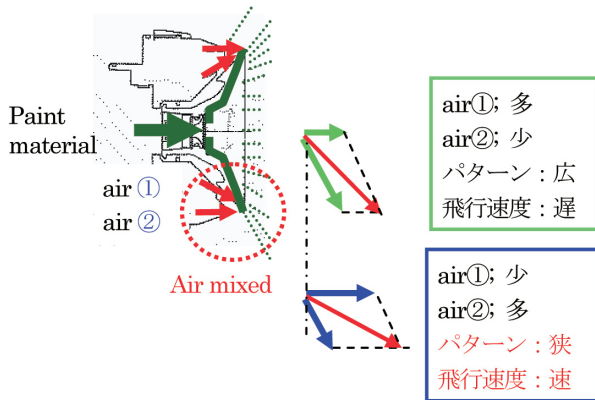
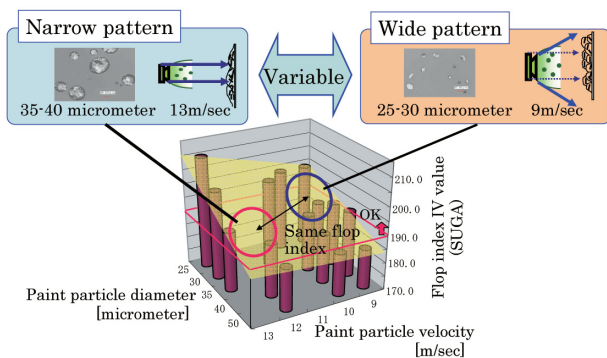


図-9 狭いパターンでの粒子の飛行速度コントロール
 Fig. 9 Control flight speed of particles in a narrow pattern

図-10に広いパターンと狭いパターンの色味成立性を検証した結果を示す。図は、粒子径と粒子飛行速度（図中横軸）と品質（図中縦軸）の関係を示しており、粒子径と粒子飛行速度と品質の回帰式を得ることが出来た。



<Silver metallic>
 $IV = 187.64 \cdot 1.13 \cdot (\text{particle diameter}) + 10.54 \cdot (\text{particle velocity})$
 ※Patents are applied for

図-10 広いパターンと狭いパターンでの色味成立性
 Fig. 10 Feasibility of color in wide and narrow pattern

■ 著 者 ■



太田 資 良



藤 平 正 敏



正 道 博 士



後 藤 丈 志

ライン導入に向けては、上記の回帰式からベルカップ回転数や吐出量、シェーピングエアなどの塗装条件を設定し、実際に塗装、品質確認を行い、標準塗装条件の確立を行った。図-11に広いパターンと狭いパターンでの標準塗装条件の一例を示す。

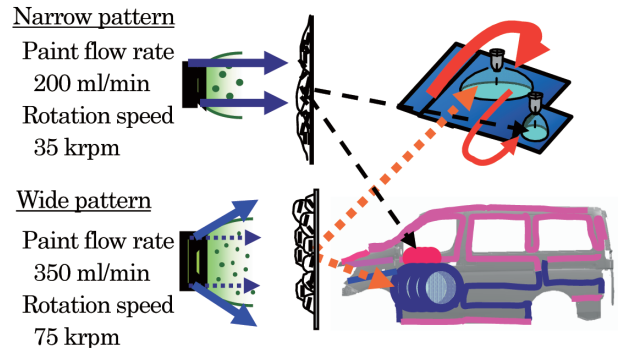


図-11 広いパターンと狭いパターンの標準塗装条件
 Fig. 11 Standard paint condition of wide and narrow pattern

3. ま と め

塗装ブース長の大幅な削減を狙って、塗装機の基数半減を図るため、大吐出量で品質が成立する塗装機、および塗装の歩留まりを考慮した可変パターン工法の開発にチャレンジした。特に難しい課題であった「微粒化」については、そのメカニズムにこだわり、ベルカップ内面形状として日産独自の凸形状を開発し、最適化においては、慶應義塾大学の保有する「自己組織化理論」の実証研究を応用することで、世界初の工法を開発することが出来た。本開発にあたり、多大なるご協力を頂いた慶應義塾大学理工学部の朝倉浩一教授ならびに志澤一之教授に感謝の意を表します。

本技術は既にインド、中国の新工場に採用済みである。今後海外新工場においても採用することが決定しており、グローバルでのCO₂排出量削減に大きく貢献するとともに、新工場建設における初期投資の削減にも貢献している。

なお、本開発効果を織り込んでも、未だ塗装工程からのCO₂排出量は多く、削減に対する責務は重い。今後も継続してCO₂排出量を削減し、且つ安価に導入出来る技術開発を行い、地球環境保全に貢献する所存である。

高触感な射出成形表皮の開発

Development of Soft-Touch Injection Skin for Instrument Panels

石井 郁*
Kaoru Ishii

早川 和孝**
Kazutaka Hayakawa

徳毛 一晃***
Kazuaki Tokumo

寿原 雅也****
Masaya Suhara

長尾 毅*****
Takeshi Nagao

抄 録 自動車の内装に求められる「上質な造り」、「コスト競争力」、「グローバル生産」達成を目的に、汎用射出成形設備で生産可能なミドルクラス向け内装インストルメントパネル表皮の新技術開発に取り組んだ。主に、薄肉品の成形技術開発（高流動材における成形技術の確立）及び薄肉・柔軟品の自動取り出し装置開発（世界初）により、従来ラグジュアークラス向け工法と同等の触感、コスト27%低減、新興国でのグローバル生産を実現することが出来た。本稿では、新型シルフィに搭載された高触感インストルメントパネルの射出成形表皮に関する技術開発の概要について紹介する。

Summary This paper describes new technical development of interior instrument panels that achieve “high quality,” “low cost,” and “global production” for the interiors of middle-class cars and can be produced with a general injection molding machine. A soft feeling that is the same as that achieved from the manufacturing method for high-grade cars, a 27% cost reduction, and global production in developing countries are made possible mainly due to technical development of thin product molding (molding technology for high MFR resin) and development of a robot that automatically removes thin and flexible product (the first in the world). The following is an outline of technical development related to high soft-feeling instrument panel injection molding skin that is installed in the new SYLPHY.

Key words : Production Engineering, injection molding

1. はじめに

自動車市場のグローバル化が加速している中で、販売を拡大するためには、エントリークラスはもちろんのこと、ミドルクラスについても商品力の強化とコスト競争力のあるものづくりが必要となる。そこで、「上質な造り」、「コスト競争力」、「グローバル生産対応できる工法の実現」を狙いとして、図1に示すようなミドルクラス以上に採用さ

れているインストルメントパネル（以下、INSTと称す）表皮の技術開発に取り組んだ。

本稿では、2012年6月の中国生産を皮切りにグローバル生産を始めた新型シルフィ（型式：B17）に採用した高触感INST射出成形表皮における生産技術の課題と開発の概要を紹介する。

2. 開発の狙い

人が触って心地よいと感じる触感について日産自動車では、ソフトフィール値という定量値を設計目標として掲げている。

今回のINST開発における目標の位置づけを図2に示す。触感の目標は、ミドルクラス向けで一般的に採用されているTPO材（真空成形工法）より触感を高め、ラグジュアークラスで採用されているTPU材（パウダースラッシュ工法）並みとした。コストの目標は、従来の真空成形工法以下にすることとした。

まず、開発の目標である触感がよく、コスト競争力のあるINSTを実現するために、安価なオレフィン系樹脂を

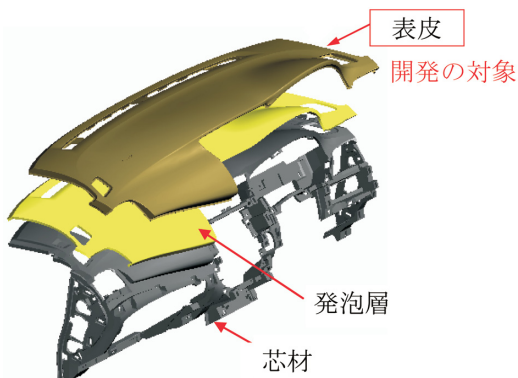


図-1 インストルメントパネルの部品構成（ミドルクラス）
Fig. 1 Instrument panel components

* 追浜工場工務部 ** 栃木工場工務部 *** 材料技術部 **** 内外装技術開発部 ***** 車両技術開発試作部

ベースに材料開発を行うこと、またパウダースラッシュ工法や真空成形工法よりも汎用性の高い射出成形設備を使用することを基本方針とした。

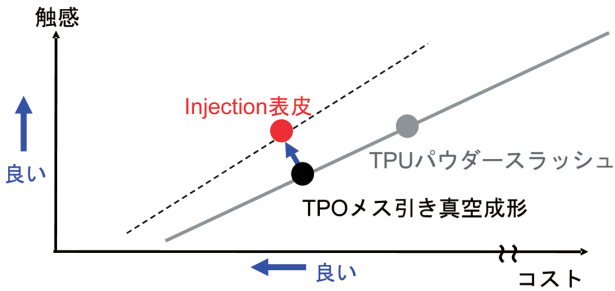


図-2 コストと触感における開発の狙い
Fig. 2 Development target
(Relation between cost and soft feeling)

図3に示すようなグローバル生産拠点においては、表皮専用設備を有していない拠点もあり、パウダースラッシュ工法や真空成形工法を用いる場合、新規設備導入が必要となる。しかし、射出成形工法を採用することで、バンパーの生産設備として全拠点に導入されている射出成形機を使用できるため、グローバル生産対応可能な工法の実現が可能である。



図-3 グローバル生産拠点
Fig. 3 Global production area

3. 主な技術課題

高触感表皮を実現するために、製品の板厚は1.0mmを目標とした（従来製品の板厚と同等）。この目標により、従来のオレフィン系樹脂製品の板厚（バンパーで約2.5mm）に比べて大幅な薄肉化を実現しなくてはならない。

板厚を薄肉化すると金型内を流れる樹脂の流路が狭くなり、樹脂の流動抵抗が増加することから、より粘度の低い高流動材が必要となる。さらに、触り心地のよさや、表皮硬度、エアバッグ展開性能といったINSTに求められる機械特性を満足する必要がある。そこで、原材料の選定と配合量検討から材料開発に取り組んだ。流動特性は図4に示すように、従来に比べてMFR（Melt Flow Rate）の高い材料とした。

以降に、高流動材の成形に伴う、生産技術上の主要な課題である薄肉成形、自動取り出しについて述べる。

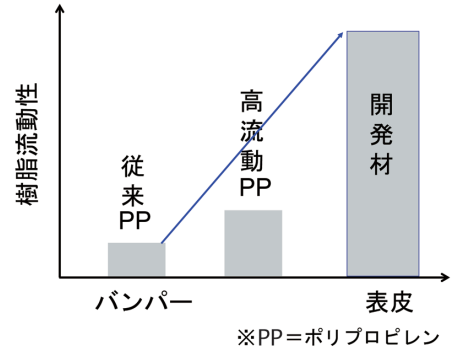


図-4 高流動材料の開発
Fig. 4 Development of high MFR (melt flow rate) resin

3.1 薄肉成形

高流動な材料による射出成形においては、①シボ（皮模様）の転写不良、②樹脂合流部のウェルド、③厚肉部のヒケ、という品質の不具合が懸念される。そこで、可視化実験やCAE解析（樹脂流動解析）により、それらのメカニズムを明確にし、造形が変わっても汎用的に使用できる判断基準を定めた。

シボの転写不良については、金型に加工しているシボ面を通過する樹脂の流動を、透明材を用いた可視化金型で観察することによりメカニズムを明確にした。さらに、物理量によるシボの転写の変化を確認するにあたり、CAE解析を活用することで、図5に示すように、樹脂の固化層が形成される前に型内の圧力を短時間で最大にすることにより、シボの転写が良くなることがわかった。

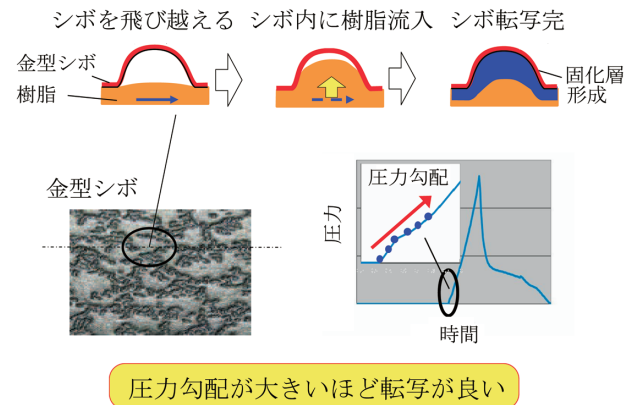


図-5 シボ転写のメカニズムと転写不良の対策
Fig. 5 Copy mechanism of mold to skin surface

樹脂の合流部に発生するウェルドについては、一般的に会合角が重要とされていたが、合流時の樹脂温度が高いほどウェルドが発生しにくい。図6にCAE解析により算出した樹脂温度の結果に基づいてウェルドを評価した例を示す。

板厚が厚い部位のヒケについては、金型内樹脂圧力が高いほどヒケが改善されることがわかった。

そこで、上記不具合が発生しないように閾値（いきち）を設定することにより、金型設計段階で、CAE解析によ

る適正なゲート（樹脂注入口）配置が設定できる仕組みを作った。

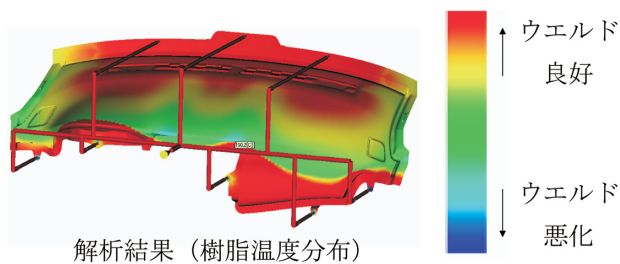


図-6 CAEの活用
Fig. 6 Application to CAE

3.2 自動取り出し

薄肉化に伴うもう一つの課題が、射出成形後に金型へ貼りつく樹脂部品を生産タクト内で破れることなく金型から剥がすことである。

剛性が高い樹脂部品の場合は、吸着またはチャック方式で製品をつかみ、金型から取り出すことが可能であるが、本開発INST表皮は薄肉・柔軟品であるため、吸着またはチャック方式では製品の変形や破れてしまう恐れがある。

そこでこの問題を解決するため、取り出し機の動作を工夫し、製品を自動で取り出す技術確立した。具体的には、図7に示すように、人が金型から製品を剥す工程を観察し、ロボットの動作に取り入れた。

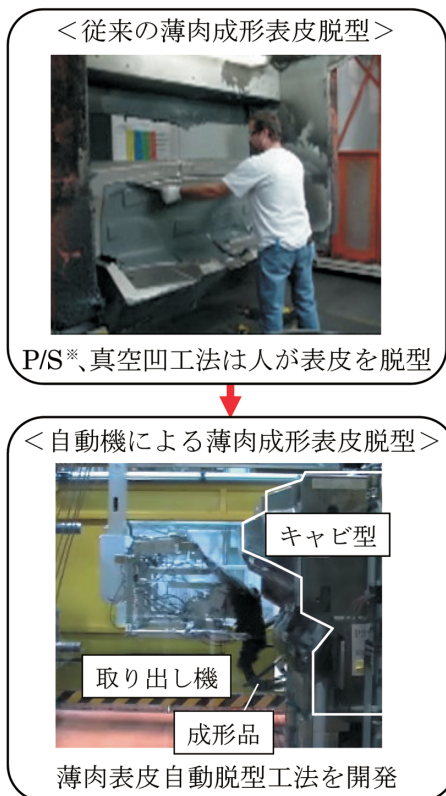


図-7 薄肉表皮自動脱型工法の開発
Fig. 7 Development of thin skin auto demold manufacturing method

動作については、図8に示すように2段階のステップに分けた。まず、そのまま製品を一方方向に剥がすと、製品が金型と干渉するため、製品リブのある上側を先に剥がす。次に、製品面積の大きい正面から剥がす。そうすることで保持しやすくなり、途中で製品を落とすことなく取り出すことができる。さらに、製品を剥がれやすくするため、補助的な力を付加することで、製品の変形、破れがなく、表皮をはがす技術が確立できた。

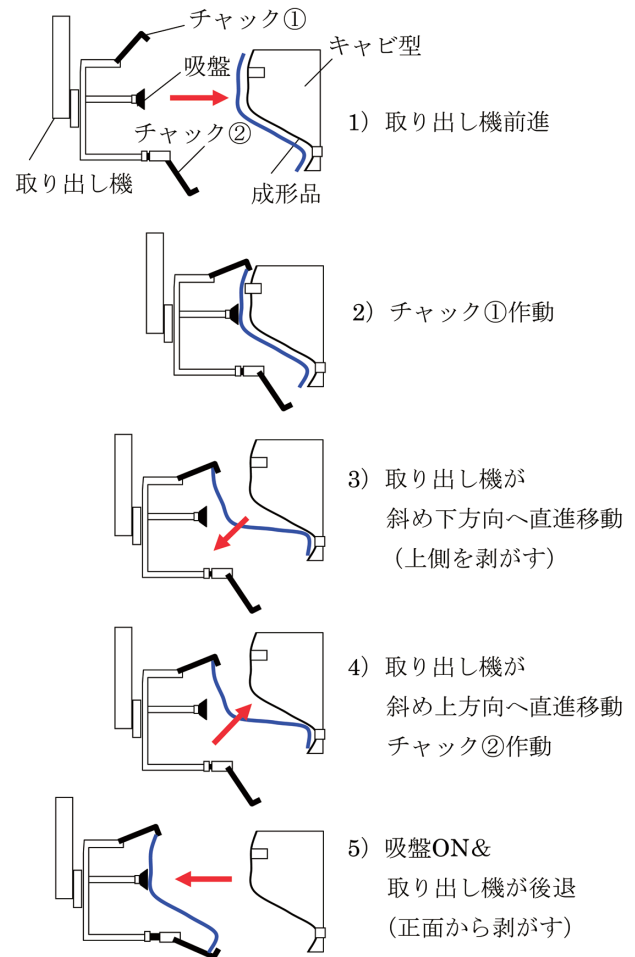


図-8 薄肉表皮自動脱型の手順
Fig. 8 Process of thin skin auto demold

4. 量産時の安定した品質の確保

これまで説明した技術により、品質、触感、機械特性については、目標を達成した。ここでは、さらなる安定した品質の確保に向けた取り組み内容を示す。

選定した材料は流動性が極めて高くなっているため旧型の設備を使用し、スクリーンの先端（逆流防止用リング）のシール部に、磨耗による隙間が発生した場合、図9に示すような樹脂が材料供給装置（ホッパー）側へ逆流する現象が発生する。このようなバックフロー現象が発生すると、樹脂が充填しないため、重量、射出圧力、射出速度が安定しない。

そこで拠点ごとに成形機の仕様を整理し、実際にバックフローが発生する設備については、逆流防止リングの隙間を変更するなどの設備仕様に沿った対策を行った。さらに樹脂温度の管理を行うことで、上記バックフローを防止し、量産時の安定した品質の確保が可能となった。

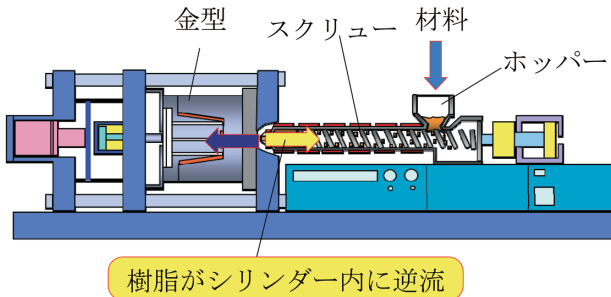


図-9 バックフロー
Fig. 9 Back flow

5. 環境への貢献

次に、本開発の環境的側面への貢献を紹介する。INST用の射出成形表皮工法は、従来の工法に対し、圧倒的な環境負荷の低減を実現している。例えば、従来の真空成形工法は、一枚のシート状の材料から成形するため形状に制限があり、かつ不要な部分を廃棄することから、材料歩留まりが20～30%程度しかないという問題があった。それに対して、射出成形工法は必要な形状のみを射出金型で成形するため、真空成形工法と比較し材料歩留まりを約3倍とし、大幅に廃材を削減できる。

またパウダースラッシュ工法は、オイルや熱風で200℃以上に熱した金型にパウダー状の樹脂を投入し、熱で溶融させて、それを冷却し、表皮を作る方法であり、形状の自由度が高いというメリットがあるものの、大型金型の温度を急激に上昇下降させる必要がある。そのことで生産サイクルが長くなる上、ボイラーなどの大規模な熱源を必要とするため、生産時のCO₂排出量も多くなる。それに対して射出成形表皮工法は、パウダースラッシュ工法と比較してCO₂の排出量を約60%削減し、生産サイクルも1/5にできる。

6. 新型車への適用

6.1 採用計画

今回技術開発した射出成形表皮工法は、前述した技術開発の結果、厚さ1.0mmの表皮を汎用射出成形機にて生産することが可能となり、品質およびコストの目標を達成した。さらに今後、国内工場や関連会社の全拠点で生産することもできる。また、グローバルな拠点拡大においても、表皮生産設備の自由度を向上させ、設備投資効率の

向上、生産効率の向上、設備稼働率の向上が可能となり、各生産拠点でのフレキシブルな対応が容易に実現できる。

図10に示すように、新型シルフィは2012年6月の中国生産を皮切りにグローバル生産を始めた。図11に高触感INST表皮を採用した新型シルフィの内装を示す。

		FY 2012			
		Apr.	Jul.	Oct.	Jan.
China	Left-hand drive	SOP			
Thailand	Right-hand drive	SOP			
	Left-hand drive	SOP			
Mexico	Left-hand drive		SOP		

SOP = start of production

図-10 グローバルでの採用日程
Fig. 10 Global adoption plan



図-11 新型シルフィの内装
Fig. 11 Interior of the new SYLPHY

7. まとめ

本技術開発により、以下のことが実現できた。

- (1) 新たに開発した高流動材によるシボの転写不良、樹脂合流部のウエルド、厚肉部のヒケが発生するメカニズムを明確にし、設計段階でCAE解析による不具合対策ができる仕組みを構築した。
- (2) 薄肉・柔軟品の自動取り出し装置を開発し、高触感INST表皮の自動生産ラインを構築した。

結果として、「上質な造り」、「コスト競争力」、「グローバル生産対応できる工法の実現」ができた。

今後も低コスト高付加価値技術開発に取り組み、新興国をはじめとするグローバルでの売り上げ拡大に貢献していきたい。

最後に、今回の開発に多大なる御協力を頂いた社内外の方々に深く御礼を申し上げる。

■著者■



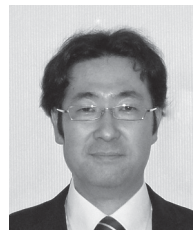
石井 郁



早川 和孝



徳毛 一晃



寿原 雅也



長尾 毅

車両組立における作業成立性シミュレーション技術の開発

Development of Workability Simulation Methodology for Vehicle Assembly

金 沢 泰*
Tai Kanazawa

石 渡 輝 行*
Teruyuki Ishiwata

守 屋 岳 志*
Takeshi Moriya

山 本 浩 一*
Koichi Yamamoto

萩 原 敬 二**
Keiji Hagiwara

山 下 真 之**
Masayuki Yamashita

小 島 孝 弘***
Takahiro Kojima

抄 録 多様化する消費者ニーズにタイムリーに低コストで対応するために、自動車開発サイクル段階でのデジタル検討が必要不可欠となってきた。従来、車両組立ではデジタルデータで作業者が作業の成立性を確認していた。しかし工数がかかるため、全数検討が難しく、不具合検出もれが発生していた。そこで、サイクル段階で成立性評価を正確に、かつ効率よく実施するためのデジタル検討自動化技術を開発し、検討工数低減と検討品質の向上を実現した。

Summary A practical vehicle assembly simulation system that enables advanced study of parts set workability and bolting feasibility has been developed. In conventional vehicle assembly, an operator checks work feasibility with digital data. However, because this method takes a great deal of time, complete survey is difficult. The newly developed system consists of 1) simulation technologies to enable parts set path feasibility evaluation, and 2) simulation technologies to predict interference of tools and parts. The system can be used to drastically shorten the vehicle development period without the need for highly skilled operators.

Key words : Computer Application, assembly simulation, workability, parts set path generation

1. はじめに

現在、自動車の車両生産準備において、開発期間の短縮やコスト低減を目的としたサイクル段階でのデジタル検討が必要不可欠となっている。新車開発でのサイクル活動は、図1の示すプロセスにて、デジタルデータを用いた検討を中心に実施されている。各デジタルロットにおいて生産性を評価し、部品設計に改善項目を提示するとともに、効率的な工程計画と生産準備を進めることで、フィジカル段階でのスムーズな立ち上がりを実現している。

既に樹脂成形やプレス成形といった素形材関連の成形シミュレーション¹⁾²⁾は、実車の生産準備に1990年代より適用されている。また、車体溶接工程や塗装工程などで多く使われている産業用ロボットの動作検討では、ロボッ

トシミュレーション³⁾を適用し、ロボット動作成立性検討などのデジタル検討が行われている。

一方、車両組立工程では、デジタルモックアップによる作業性の事前検討が行われているが、次に示す理由から他工程と比較してデジタル検討の効率化が難しく、デジタルでも人がチェックしている部分が多いのが現状である。

- デジタルデータからの作業性判断について、検討者の経験に頼る部分があり、網羅的な検討や判断の定量化が難しい。
- 他工程と比較して、作業・加工・工具の種類が多く、特定の要素技術開発のみでは大きな効率化が図りにくい。
- 他工程と比較して、取扱う部品の数・種類が多く、組立順序の考慮や効率的に取扱う技術の開発が必要となる。

近年、生産準備検討を製品設計と並行して実施することで、期間短縮を実現している。しかし、並行で検討するため、双方の変更を随時反映することが難しく、検討のやり直しが多く発生している。これを改善するためには生産準備検討を効率的に実施する必要があり、組立作業成立性検討の標準化および自動化が必要となる。

また、今後グローバルで多くの量産立ち上げを効率よく

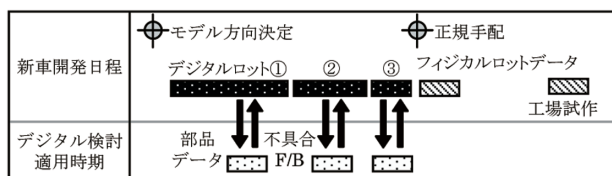


図-1 新車開発における生産 CAE 技術の適用
Fig. 1 Application of manufacturing CAE technology in the process of vehicle development

*車両技術開発試作部 **車両技術部 ***先進車両生産技術部

進めるためにはデジタル段階でのさらなる検討品質の向上、効率化が必要となる。

そこで本報告では、組立作業成立性検討の効率化に関する技術内容について述べる。

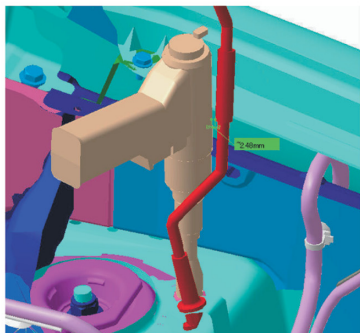
2. 車両組立工程生産準備におけるデジタル検討

組立工程でのデジタル検討内容を図2に示す。まず各工場で効率的に生産できる工順を決定する。この情報から、各工順での部品の状態が決まる。

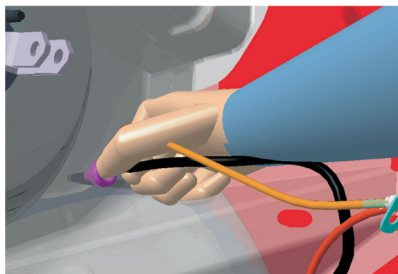
次に各工順での部品の取付け方（取付け軌跡）・作業スペース（工具スペース、ハンドスペース）・作業姿勢などをデジタルモックアップ上で検討する。取付け軌跡が他部品と干渉がある場合や、使用する工具が他部品と干渉する場合などは、不具合内容とともに設計部署へ変更要望を出すこととなる。



a)部品の取付け軌跡方法の検討
(例：ワイパードライブ取付け)



b)工具スペース検討



c)ハンドスペース検討

図-2 車両組立工程における主なデジタル検討内容
Fig. 2 Car assembly manufacturability study on digital mock up

次に、組立工程でのデジタル検討工数比率を図3に示す。これより、取付け軌跡検討と工具スペース検討に約70%の工数を要していることがわかる。これらの検討はデジタル

モックアップ上で経験者が不具合箇所を探し、判断しているため高技能が必要であり、また工数もかかっている。従って、車両組立工程のデジタルモックアップでの作業成立性検討を効率よく実施するためには、これらの不具合箇所探索および判断の効率化・自動化が不可欠となる。

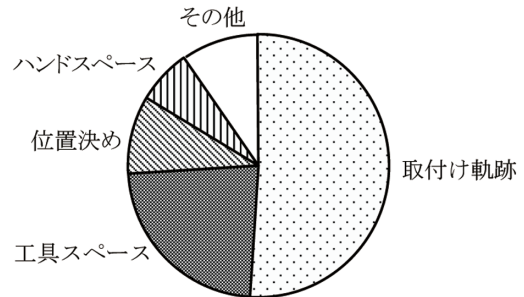


図-3 車両組立デジタル検討工数比率
Fig. 3 Man-hour ratio by digital mock up study

3. 組立作業成立性シミュレーション技術

本章ではデジタル検討工数の約70%を占める部品取付け軌跡検討と工具スペース検討、およびそれぞれの効率化を実現した技術について述べる。

3.1 部品取付け軌跡自動検討技術

3.1.1 作業による部品取付け軌跡検討

車両組立工程では多くの部品の組付けを行っている。デジタルモックアップ上ではその全ての部品の取付け可否検討を実施する必要がある。多くの部品は取付け面に対して面直に取付けることが可能である。しかし、約50部品は複雑な取付け軌跡となるため、詳細な検討が必要となり、工数も多大である。図4に複雑な部品取付け軌跡を持つ例として、ドアガラス組立作業を示す。

デジタルモックアップ上で部品を動かしながら、周辺部品とのクリアランスが許容値以上になるかを確認することで、部品が取付け可能であるかの判断を行う。試行錯誤



図-4 複雑な部品取付け軌跡を持つ組立作業例
(ドアガラス取付け)
Fig. 4 Example of assembly work with complex parts set path (Door glass assembly)

を伴う「知恵の輪」的な軌跡を検討する場合もあり、検討難度の高い部品を従来技術で検討すると、1部品あたり10時間以上の工数が必要となる。

3.1.2 取付け軌跡自動生成アルゴリズムの開発

部品の取付け軌跡を検討する場合、組立手順とは逆に搭載状態から他部品などとの干渉なく部品を車両から取外すことのできる軌跡を探索する。これは検討のスタート点を有限とすることで、検討の効率化を図ることが可能となるからである。軌跡の探索には一般に経路探索技術といわれるものが用いられる。経路探索空間を構造化し、構造化された探索空間に対して経路探索を行い、経路を導出する。探索空間の構造化手法には、グラフネットワークを構成する方法としてロードマップ法やセル分割法があり、場を構成する方法としてはポテンシャル法がある⁴⁾。部品の干渉などは幾何学的制約であり、グラフネットワーク探索のほうが効率がよいと考えられる。このことから、本開発ではグラフネットワークにより構造化を行ったうえで、乱数を用いた手法による探索を行うこととした。

このような手法は商用ソフトでも採用され⁵⁾ており、成立する解（以下、成立解と称す）がある場合には効率よく解を導くことが知られている。しかし、実際のサイマル段階でのデジタル検討では、必ずしも成立解があるとはかぎらない。そのため、これらの手法をそのまま用いても成立解が見つからない場合は、部品形状や組付け順序を作業者が検討する必要がある、経路探索技術を用いても十分な工数低減効果を上げることが難しい。

そこで、作業者による対策検討の特徴を観察した結果、干渉などが回避できない問題箇所については形状などを変更しやすい部品を把握したうえで、干渉回避できるような変更が可能であるかを検討しながら成立解を求めていることがわかった。このように検討を進めることで、成立解がない場合でも、全体の検討を進めることが可能となる。

これらの作業者検討の特徴を、干渉クリアランスを可変しながら自動評価するアルゴリズムとして定式化し、ソフトウェアに実装することで、成立解がない場合でも効率的に取付け作業性を検討できるシステムを開発した。

3.1.3 検証結果、今後の課題

図5にドア組立におけるガラス搭載の軌跡生成事例を示す。このように取付け軌跡の自動生成が可能になっただけでなく、次善解探索をした部位については、干渉などの危険がある組立作業性が悪い箇所として出力することも可能となった。このことは、本システムが高い実用性を有することに繋がっていると考えられる。

本システムの開発により工数低減を図ることが出来たが、実際の作業を考えた場合、作業者のハンドスペースなどを同時に考慮する必要があり、今後の課題となる。またゴム部品などの柔軟物については、たわませて取付ける場

合や、ゴム部品が被干渉物の際には、ゴム部品をたわませてよける場合などもあり、本手法のみでは自動検討が難しく、対応は今後の課題となる。

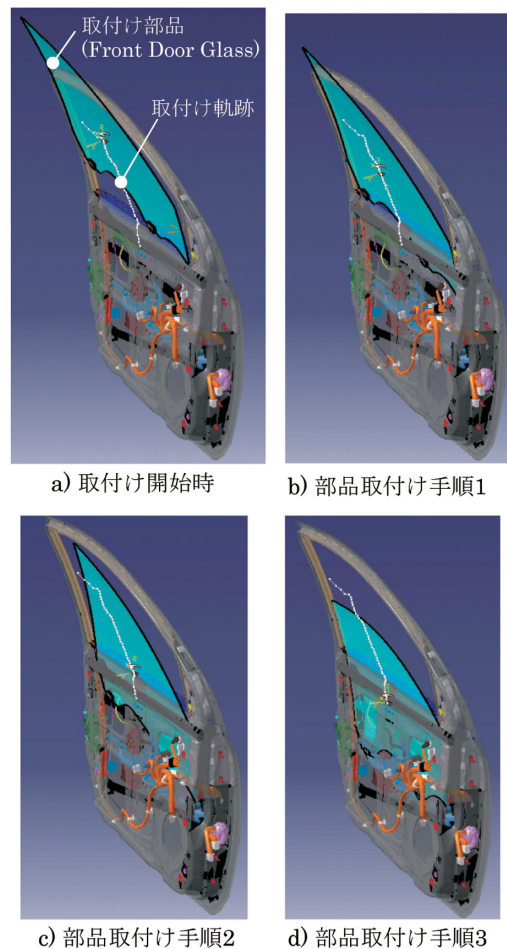


図-5 ドアガラス取付け軌跡自動生成結果
Fig. 5 Result of path search for door glass

3.2 組立工具成立性自動検討技術

3.2.1 デジタル段階での組立工具成立性検討方法

組立工程では部品の締結にボルトやナットを用いているが、その数は約1,500点にもものぼる。サイマル段階ではこれら全ての締結点について、使用する工具を用い、支障なく締結作業を実施することができるかを、図2-b)に示すようなデジタルモックアップ上で作業者が工具モデルを動かしながら検証しなければならない。工具を挿入し操作する際に周囲との干渉がないか、締め付け過程での干渉が発生しないかなどの正確な判断を下す業務は、多大な工数を要すると共に、高度な熟練を要するものとなっていた。

3.2.2 区分干渉評価アルゴリズムによる工具干渉検討手法の開発

図6に作業者のデジタル検討手順を示す。まず締結点を探し、検討対象となっている締結点での使用工具を工程表から選択する。次にソケットなど、工具先端分を該当するものにした変更した工具モデルを作成する。この工具モ

デルを締結点に移動し、締結点周りの工具干渉範囲を評価して、作業が成立するかを判断する。続いて締結前後のボルト移動量を加味して、工具干渉しないかの詳細確認を行う。

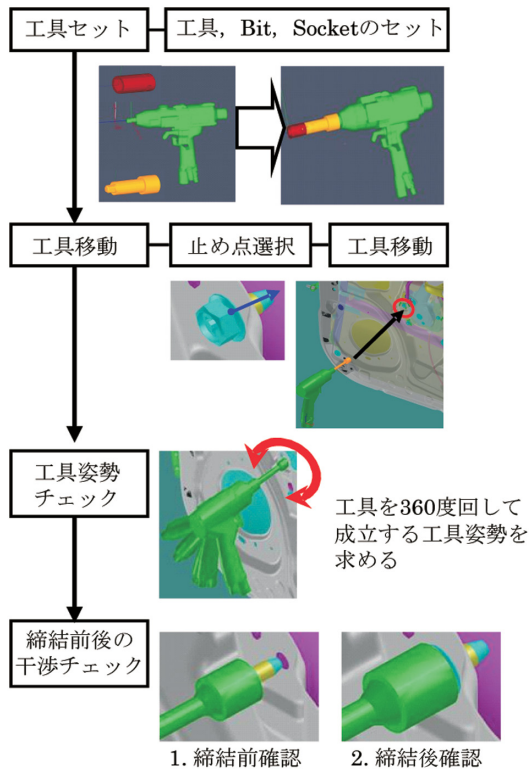


図-6 締結工具の作業成立性検討手順
Fig. 6 Validation procedure of hand tool work

これらの作業の自動化を行うため、作業者による判断が必要な作業について自動化アルゴリズム開発を行った。まず締結点探索については、ボルト形状を認識することにより、デジタルモックアップデータから締結点を自動的に抽出可能とした。この機能により、作業性評価もれをなくすることが可能となった。次に使用工具については、工程表から自動判断する機能を開発することで、工具選択ミス撲滅と工数削減とを可能とした。更に、工具干渉検討を締結点まわり全周について実施することで、最も作業余裕スペースのある作業方向を決めることができ、作業性を考慮した評価を可能にした。

これら自動検証機能を実装する場合、干渉判定回数が膨大となるため、干渉検出処理の高速化が不可欠となる。本技術開発では、動的に最小限の干渉確認エリアを決定する技術を開発することで、実際の業務時間の制約内での検討完了を可能とした。

3.2.3 実部品による適用検証結果と今後の課題

本技術の適用により、作業者による検討と比較して、図7に示す大幅な工数低減を実現するとともに、検討もれの低減を図ることができた。

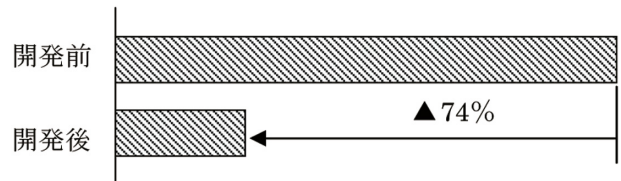


図-7 工具干渉検討手法開発による検討工数低減
Fig. 7 Man-hour reduction by automatic tool interference validation methodology

一方、作業者姿勢については、締結点とその周辺のモデルのみからは検討が難しく、作業順序や人体モデルを反映させることが必要となり、現時点では考慮が難しい。今後、更なる作業ミスの低減などを狙う場合には、開発が必要である。

4. ま と め

自動車開発の部品設計段階における車両組立作業性のデジタル検討技術を紹介した。これまでのデジタルモックアップを用いた作業性評価で多くの工数を占めていた部品取付け軌跡検討と締結工具の作業成立性検討において、検討自動化技術開発を行うことにより、車両組立作業性のデジタル検討工数を大幅に削減するとともに、フィジカルフェーズでの不具合発生を防止することに大きく寄与することができた。今後、車両の生産がグローバルに拡大していく中でこうした検討自動化技術は、ますます重要なものとなっていくと考えられる。

5. 参 考 資 料

- 1) 山部昌ほか：樹脂部品開発におけるCAE手法の活用と今後のシステム化、日産技報、No. 23s、pp. 48-55 (1988)
- 2) 高橋進ほか：板成形シミュレーション技術開発、日産技報、No. 52、pp. 5-9 (2003)
- 3) 山本浩一ほか：ロボットシミュレーション領域における高精度化および効率化技術について、日産技報、No. 52、pp. 16-20 (2003)
- 4) J. C. Latombe：Robot Motion Planning, Springer, Kluwer Academic Publishers, (1990)
- 5) 深井瑞樹：Kineo DPM Path Plannerのご紹介、PLM NETWORK、Vol. 40、(2008)

■著者■



金沢 泰



石渡輝行



守屋岳志



山本浩一



萩原敬二



山下真之



小島孝弘

自動車用特殊鋼部品への海外材適用について

Application of Locally Obtained Material to Automotive Special Steel Parts

木野 伸郎*
Nobuo Kino

塩飽 紀之*
Noriyuki Shiwaku

岩田 範之*
Noriyuki Iwata

村上 陽一**
Youichi Murakami

吉田 誠**
Makoto Yoshida

江平 淳**
Atsushi Ehira

抄 録 ここ数年の厳しい円高の中、為替損失を抑えつつ、経済発展の著しいBRICSやASEAN諸国で増大する自動車需要に応えるためには、これらの地域で車両生産体制を拡大することのみならず、部品や材料の現地調達を促進していくことが日本の自動車メーカーにとって重要である。本報では、自動車に使用される特殊鋼材に焦点を絞り、海外で現地鋼材を適用する上での品質課題と当社の取り組みについて紹介する。

Summary In order to minimize the impact of the yen's appreciation and also meet increasing demand for vehicles in the BRICS and ASEAN region, which are enjoying strong economic growth, it is important for Japanese automotive companies to not only expand vehicle production capacity in those regions but also promote parts and material localization. This article discusses quality issues and their countermeasures in applying overseas local material procurement, with focus on special steel for automotive parts.

Key words : Production Engineering, material localization, special steel, forging, powertrain

1. はじめに

ここ数年の急激な円高の進行は、輸出産業である日本の自動車メーカーの収益を大きく低下させており、各社ともその対応を迫られている。一方で経済発展の著しいBRICS（ブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカ）や、インドネシア、タイなどASEAN地域での自動車需要の伸びは著しく、自動車メーカー各社の事業拡大の主戦場となりつつある。

このような厳しい円高の中、為替損失を抑えつつ、高まる海外需要に応えていくには、これらの地域での現地生産体制を拡大していくことと、そして車両生産のみならず、部品の現地調達を促進していくことが非常に重要であり、材料もその例外ではない。

本報では、自動車に使用される特殊鋼材に焦点を絞り、海外で現地鋼材を適用する際の品質課題と、日産自動車における取り組みについて紹介する。

2. 自動車用特殊鋼部品の特徴

図1に自動車に用いられている代表的な特殊鋼部品を示す。自動車において特殊鋼は、エンジンのクランクシャフト、駆動ユニットの歯車類、足回りのアクスル部品などの動力伝達部品に数多く用いられる。これらの部品は、車体の鋼板部品などに比べて製造工程が複雑であり、鋼材を

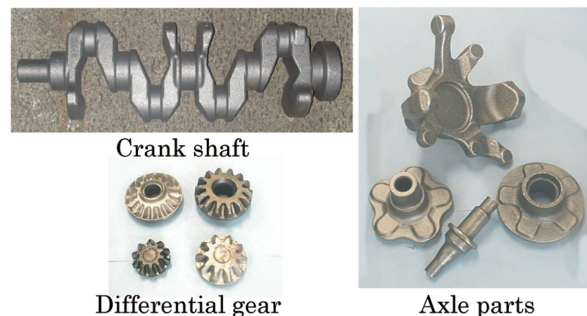


図-1 代表的な特殊鋼部品
Fig. 1 Representative special steel parts

熱間または冷間鍛造により成形した後、機械加工や熱処理などの複数の工程を経て作られる。

過去30年の特殊鋼開発を総括するならば、高強度化と低廉化の技術開発の歴史といえる。近年のエンジン高出力化や燃費向上のニーズに対応すべく、これらの部品は小型・軽量化が進められてきた。その結果、使用環境はますます苛酷なものとなり、現在の特殊鋼には高い強度信頼性が求められている。同時に部品コスト低減のため、工程省略、省合金化技術開発も行ってきた。例えば、クランクシャフトは、鍛造後の調質（焼入れ焼戻し）によって機械的特性を向上させるのが一般的であったが、1985年頃から調質工程を廃止し、バナジウム炭窒化物を熱間鍛造後の空冷過程に析出させ、フェライトを強化するフェライト・パーライト型非調質鋼の採用を開始した。その後、各

*成形技術部 **材料技術部

種合金成分の狭幅管理と鍛造・冷却条件の最適化により、機械的特性は維持しつつ、高価で希少なバナジウムの添加量を半減した。

歯車などの浸炭部品では、同様に高価な元素であるモリブデンの削減や、高温浸炭化を図ってきた。浸炭工程では、炭素の拡散が処理リードタイムを律速しており、拡散速度アップのため処理温度の高温化が有効である。但し、浸炭温度の上昇は結晶粒粗大化を招くため、窒化アルミニウム (AlN) などの鋼中の微細析出物活用による結晶粒粗大化防止が、高温浸炭のキー技術となっている。

以上説明したように、自動車用特殊鋼には高いレベルでの強度信頼性と低コストの両立が求められており、これらの技術は、日本の鋼材メーカーの優れた製鋼技術と開発力の上に成り立っている。しかも特殊鋼部品は、車体用の鋼板部品などに比べて部品製造工程も複雑で、鋼材品質が各工程の製造性にも複雑に影響することから、日本材対比低品質な海外材への切り替えが難しい材料といえる。

3. 海外材適用時の品質課題

ここでは、海外材を適用する際に懸念される代表的な品質課題である「表面欠陥」、「内部欠陥」、「成分ばらつき」について、その種類と部品への影響度を説明する。

表面欠陥としては、表面傷と脱炭が挙げられる (図2)。これらの表面欠陥は部品の鍛造時の割れの起点となることや、最終製品の未加工部 (鍛造肌) に残存し部品強度を低下させる恐れがある。

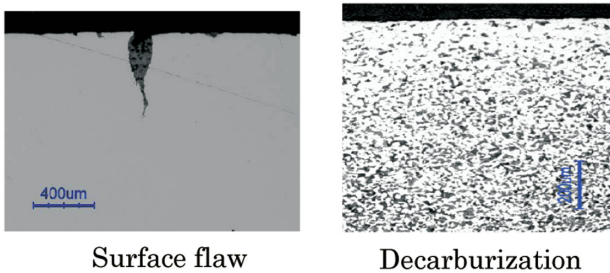


図-2 表面欠陥の一例
Fig. 2 Example of surface defect

内部欠陥としては、鋼中の非金属介在物が挙げられる (図3)。鋼中の粗大介在物は、部品強度を低下させるだけ

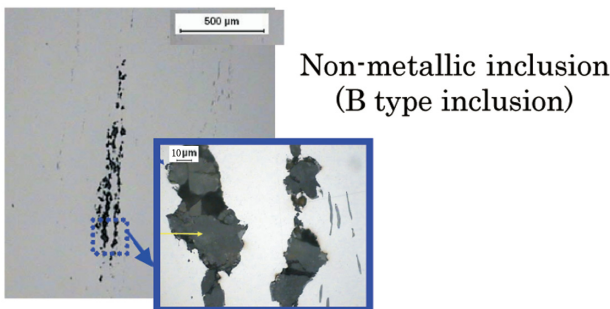


図-3 内部欠陥の一例
Fig. 3 Example of internal defect

でなく鍛造、機械加工、熱処理などの部品製造過程で割れの起点として作用し、生産性にも悪影響を及ぼす。

成分ばらつきとしては、成分規格外れと成分偏析が挙げられる (図4)。例えば、クランクなどの非調質鋼部品では、成分のばらつきが硬さ、つまりは強度に直接的に影響する。海外材では日本材同様の成分の狭幅管理ができないケースもあるため注意が必要である。歯車などの浸炭部品では、成分ばらつきが材料の焼入れ性、すなわち硬さ分布に影響するだけでなく、前述の微細析出物の析出状態にも影響し、結晶粒の異常成長 (図5) による浸炭むら、強度低下、ひずみ増大など複数の品質不良を招く恐れがある。なお、浸炭部品は非調質鋼部品に比べ要求強度レベルも高く、部品製造工程も複雑で、鋼材品質が複数の製造工程の製造性や部品品質に複雑に影響するため、海外材適用のハードルは高くなる。

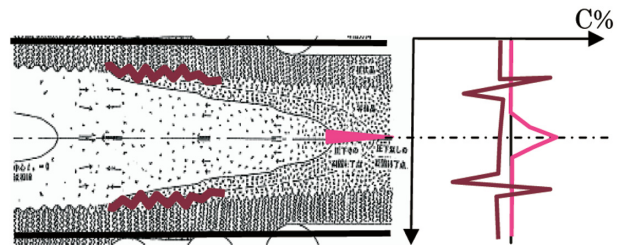


図-4 鋼中炭素偏析の一例
Fig. 4 Example of carbon segregation

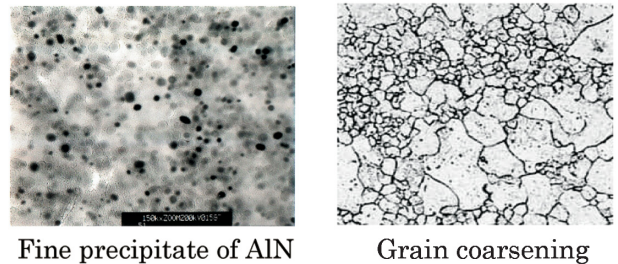


図-5 AlN 微細分散析出物及び結晶粒粗大化
Fig. 5 Fine precipitate and grain coarsening

4. 特殊鋼の製鋼プロセスと品質課題の関係

鋼材ユーザである自動車メーカーにとって、あらゆる鋼材品質が鋼材製鋼プロセスのどの工程に起因するかを把握しておくことは重要である。ここでは、一般的な特殊鋼の製鋼プロセスの概要と鋼材品質との因果関係について、電炉材を例にとって説明する。図6に特殊鋼の製鋼プロセスと鋼材品質の関係を示す。

4.1 アーク溶解

電気エネルギーにより、原料であるスクラップを溶解し溶鋼を作る工程である。同時にリン、水素、酸素などの不純物除去も行う。銅、錫 (すず) などを多く含む低品位なスクラップを使用すると、鋼材の内部品質や製鋼プロセス全体に悪影響を及ぼす。

	電炉/転炉 溶解	取鍋精錬 LF 成分調整	脱ガス RH/VD	連続铸造 ブルームCC /ビレットCC	加熱炉→ 分塊圧延	ホットスカーフ 溶剤 (or研削)	鋼片検査 傷取り	加熱炉→ 製品圧延	曲り矯正 製品検査 傷取り
中心部未圧着	-	-	-	○	-	-	-	-	-
中心偏析	○	○	○	○	-	-	-	-	-
成分/Ceq	○	○	○	-	-	-	-	-	-
介在物/地傷	-	○	○	○	-	-	○	-	○
脱炭深さ	-	-	-	-	○	○	○	○	-
表面傷	-	-	-	○	○	○	○	○	○
鋼材硬さ	-	-	-	-	-	-	-	○	-
寸法、曲り	-	-	-	-	-	-	-	○	○

図-6 製鋼プロセスと品質課題の関係
Fig. 6 Relationship between steel making process and quality issue

4.2 取鍋精錬・脱ガス工程

電炉にて溶解された溶鋼は取鍋精錬・脱ガス工程にて硫黄、酸素、水素などの不純物を取り除く操作、及び合金元素を添加し成分調整する操作が行われる。この工程は鋼の諸特性を決める成分元素濃度を調整する最終工程にあたることから、高品質な鋼材を製造するための重要な工程となっている。この工程で、脱ガスが不十分であると、鋼中酸素濃度の増加を招き、巨大な酸化物系介在物が残存する確立が増加する。

4.3 連続铸造工程

次に、精錬が終わった溶鋼は、連続铸造工程へ運ばれる。この工程も、鋼材のあらゆる品質を決める重要な工程である。連続铸造工程では、溶鋼を最上部の鑄型に注ぎ込み、溶鋼を外周面から徐々に凝固させながら連続的に鑄型の底から引き抜き、一定形状の半製品である鑄片を作る。この凝固過程で不適切な操作を行うと、鋼材の長手方向、径方向の成分ばらつきは大きくなる。また、この工程では、溶鋼中に存在する非金属介在物を浮上分離により取り除く役目も担う。鑄片は断面サイズが160mm角以上のものを「ブルーム」、それ以下は「ビレット」と呼ぶが、この断面サイズの大小は鋼材品質に大きく影響する。ブルーム連铸は、ビレット連铸に比べて断面サイズが大きく、铸造速度も遅くなることから、介在物を浮上分離しやすい。また、ブルーム連铸材は後工程の圧延工程で圧下率（減面率）を稼げることから、巨大介在物の除去、微細化に寄与するだけでなく、成分偏析の抑制にも有利である。

なお、連铸材の末端部（先端部、後端部）は铸造条件が不安定になることから、介在物や成分偏析などの品質ば

らつきを発生しやすく、注意が必要である。品質確保のためには、連铸材末端の品質と品質管理条件を正確に把握しておくことが重要である。

4.4 分解圧延・ホットスカーフ工程

連続铸造によって得られたブルームは、次に中間製品である鋼片に分解圧延された後、表面傷（铸造傷）や表面脱炭層などの表面欠陥を溶剤により除去する。海外ではホットスカーフ工程を持たない鋼材メーカーも多く、代わりに全面研削を施す場合もある。

4.5 鋼片検査・傷取り工程

この工程では製品圧延前の鋼片に対して、超音波探傷による内部欠陥検査と、磁気探傷による表面検査及び表面傷の除去の操作を行う。特に線材の場合は、製品圧延後には全長に渡る検査が実施できないため、鋼片検査が非常に重要である。日本では鋼片検査はすべて自動化されているが、海外ではマニュアルの目視検査のみで、内部欠陥検査は行っていない所も少なくはない。

4.6 製品圧延・製品検査

製品圧延は最終製品の寸法精度を決める工程である。鋼片検査を通過した鋼片は再度加熱され、所定の製品サイズに圧延された後、冷却床にて常温まで冷却される。圧延機の剛性・能力が低いと、変形抵抗を下げるために再加熱温度を高く設定する必要があるが、その結果、表面脱炭層や鋼材の硬さに悪影響を及ぼす場合がある。また、圧延機の剛性不足は、鋼材の曲がりや真円度の低下にも直接的に影響し、ユーザにおける鋼材シャー切断性を低下させるだけでなく、後工程の製品検査の検査精度にも悪

影響を及ぼす。

製品検査は、内部欠陥や表面傷などの品質不良を流出させないための最終出荷検査工程であり、超音波探傷と漏えい磁気探傷及び傷取り工程から構成されるのが主流である。

製品検査は、基本的に鋼材メーカーとユーザー間で取り交わした品質スペックに基づき実施され、その検査を通ったもののみが出荷される。つまり、仮に製鋼プロセスに多少の課題があっても、製品検査が精度よく実施されていれば、我々ユーザーは、ある意味安心して海外鋼材を使用できるわけである。しかしながら、海外では日本に比べ検査設備や検査技能が不足していることも多く、これらの品質不良が我々ユーザーに流出することは少なくない。従って、海外材を適用する場合には、鋼材メーカーの製品検査工程の実力を見極めることが大事であり、設備能力だけでなく検査条件、校正条件、保証ロジックの妥当性なども確認する必要がある。

5. 海外材適用に向けた当社の取り組み

これまで説明してきたように、海外で現地鋼材を適用する場合、その製鋼プロセスや技術レベルの違いも含めて、鋼材の安定品質を確保できるかどうかを正確に見極めることが重要である。同時に、日本材とは異なる品質の海外鋼材を使いこなすための技術開発も必要である。ここでは当社の取り組みとして、海外材の評価プロセスと使いこなし技術を紹介したい。

5.1 海外材の評価プロセス

当社では海外材の評価プロセスを標準化し、世界各地の鋼材メーカーの実力調査を行っている。図7にその評価プロセスを示す。

評価は3つのステップで構成され、Step1では中炭素鋼、肌焼き鋼などの鋼種群ごとに、そのメーカーで現在製造している鋼種の鋼材サンプル評価と製鋼プロセス評価を行う。ここではルノー社と共通化した判断基準を元に判定を行い、基準を満たせば、その地域での鋼材現地化プロジェクトの候補メーカーとしてエントリーされる。

Step2から具体的な部品の鋼材現地化プロジェクトがスタートする。ここではじめて当社要求スペックの鋼材を試作し、部品試作評価により、強度及び製造性課題を抽出する。このステップは前節で説明した視点をベースに、現地鋼材メーカーと共に品質課題の抽出と対策を繰り返し、鋼材品質と製鋼プロセス（工程条件）を作り込んでいく重要なステップである。現地鋼材メーカーとは、そもそも品質に対する考え方が異なることが多い。そのため筆者の経験では、この段階で我々の品質保証の考え方と目的をしっかりと相手に伝え、お互いに十分理解、納得しあって取り組む

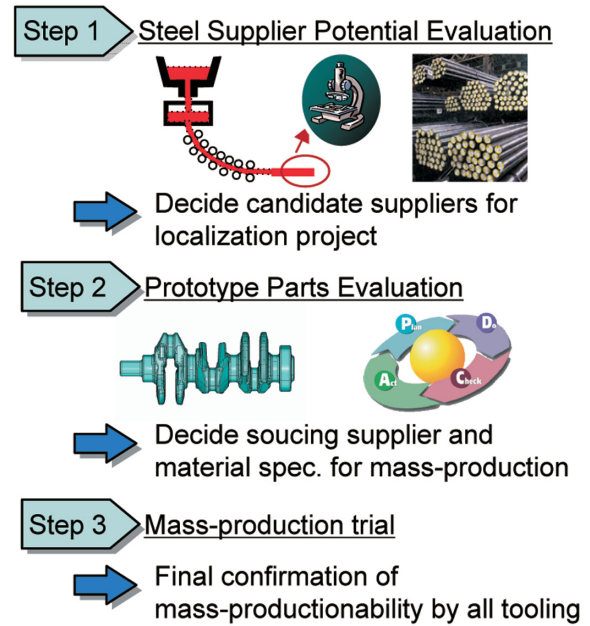


図-7 現地鋼材適用に向けた評価ステップ
Fig. 7 Evaluation step for local steel application

ことが成功の鍵だと考える。当社の場合、この評価ステップの中で品質、コストの両面から、当該部品に最適な鋼材メーカーを選定する。

最後にStep2をパスした鋼材は、Step3部品量産性評価に移行する。ここでは、すべて現地の量産工順で部品を製造し、量産性の最終確認を行う。

5.2 海外材の使いこなし技術

日本の鋼材はその優れた製鋼技術と品質保証技術によりち密な品質管理が実施されており、我々ユーザーは生産性を高めるため、そのち密で安定した日本の鋼材品質に頼った作り方をしていた。しかし、海外では同様の管理をできない鋼材メーカーも多く、我々ユーザー側でも品質ばらつきをカバーする“使いこなし技術”が必要となってくる。当社も世界各地の現地鋼材を使いこなすべく、鋼種選定の見直しや、鍛造工程、熱処理工程、機械加工工程の改良、最適化に取り組んでいる。

ここで一例として、現地材の成分ばらつきをカバーする鍛造工程での“使いこなし技術”を紹介する。図8にクランクシャフトの鍛造工程及びCeq（炭素当量）と硬さの関係を示す。クランクシャフトなどの非調質鋼部品の硬さは炭素、マンガン、バナジウムなどの合金成分の関数で表されるCeqと良い相関を示し、Ceqのばらつきが硬さばらつきに直結する。通常クランクシャフトは、熱間鍛造後の制御冷却過程において、ある一定の冷速で粗材を冷却することにより硬さを調整するのが一般的であるが、この方法では、日本材のような成分狭幅管理のできない現地材は硬さばらつきが大きくなり、硬さ規格を満足できないケースが起り得る。そこで当社では、このような現地材を使い

こなすべく、材料のCeqに合わせた冷速コントロールを実施することにより、硬さばらつきを抑制している。

また、海外材を使いこなすためには、我々ユーザの受入れ検査も重要な役割を果たす。前述したように、海外材は日本材に比べ検査設備や検査技能が劣ることがあるため、

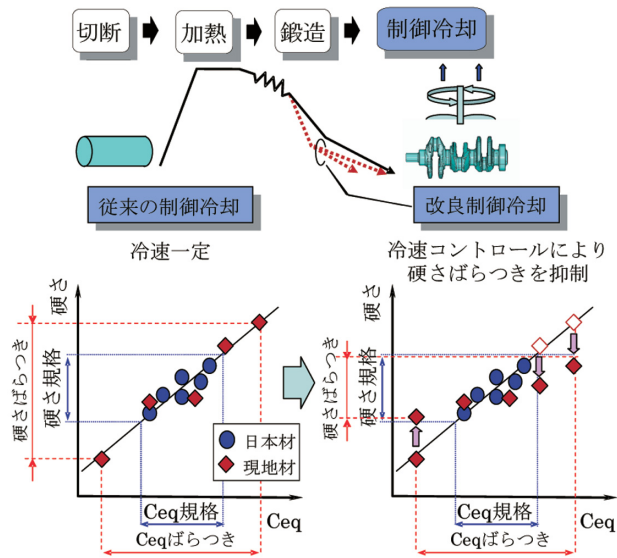


図-8 現地鋼材の使いこなし技術の一例
Fig. 8 Process improvement for local steel adoption

鋼材の品質不良品が納入されるケースを想定しておく必要がある。従って、品質不良品の市場流出を防ぐためには、鋼材受入れ先であるユーザ側でも、受入検査や出荷検査を強化する必要がある。

6. おわりに

以上、自動車用特殊鋼に関して、海外で現地鋼材を適用する上での品質課題と当社の取り組みについて紹介してきた。先の見えない円高の中、伸び悩む国内需要と増大する海外需要に対応するには、当社だけでなく各自動車メーカーともに、部品や材料の現地化を更に加速せざるを得ない。従って、鋼材品質を見抜く品質評価技術と低品質材の使いこなし技術は、今後益々重要になってくる。

一方で、日本国内では何をすべきか、筆者は世界のモノづくり技術のマザーカントリー、マザー工場として新たな付加価値を持った製品とそれを実現するためのブレークスルー技術を創出し続けることだと考える。今後は現地材化を加速するだけでなく、国内鋼材メーカーとともに、圧倒的な競争力を持つ“究極の材料”及び“究極の工法”の実現を目指し、革新的な材料、工法開発にも注力していきたい。

■ 著者 ■



木野伸郎 塩飽紀之 岩田範之 村上陽一 吉田誠 江平淳

鋳抜き中空カムシャフト生産技術開発と国内・海外拠点での同時立ち上げ事例

Development of Hollow Camshaft Casting Engineering and Simultaneous Startup in Japan and Overseas Plants

早苗 知彦*
Tomohiko Sanae

抄 録 軽量化ニーズから日産内製初となるカムシャフトの鋳抜き中空化技術開発に取組み、薄肉化と強度の両立を図るため、中空部の寸法精度向上に取り組んだ結果、従来の加工中空に対し15%の軽量化を達成できた。また、既存量産技術を有効活用することにより、大幅なコスト低減ができた。更に、量産ラインを海外拠点で同時に立ち上げるための生産技術の転写手法を考え、日本、メキシコ同時立ち上げを達成した。

Summary Due to the need for weight reduction, we developed Nissan's first technology for hollow camshaft casting engineering. As a result of hollow area dimension improvement in terms of both thinness and strength, we successfully produced a camshaft that is 15% lighter than a conventional drilled camshaft. We also vastly reduced production cost through effective use of conventional production engineering. We further established a means of transferring production engineering for simultaneous process startup at overseas plants and began hollow camshaft production simultaneously in Japan and Mexico.

Key words : Production Engineering, camshaft, weight reduction, cost reduction, simultaneous start

1. はじめに

自動車から排出されるCO₂の削減に向けた取り組みが加速する中、各自動車メーカーでは電気自動車やハイブリット車はもとより、従来のガソリンエンジンの軽量化開発も積極的に行われている。日産自動車においても、エンジン各構成部品の軽量化に取り組んでおり、今回カムシャフトの鋳抜き中空化に取り組むこととなった。鋳抜き中空カムシャフトは他社では既に採用実績があるが、日産内製としては初となる。より低コストにて軽量化を達成するため、独自の量産技術を開発したので、その事例を紹介する。

一方、かつてないレベルで円高が進行する中、自動車の海外拠点での現地生産化は避けられない状況となっている。当社鋳造部品もその例にもれず、特に国内生産比率の高いカムシャフト生産も一部現地生産へ移行する計画である。従来、新規性の高い部品はまず国内で量産技術を確立してから現地生産へと展開していくが、今回の鋳抜き中空カムシャフトでは海外拠点で同時に立ち上げるための生産技術の転写手法を考え、実際に適用した。その事例についても紹介する。

2. 鋳抜き中空カムシャフト生産技術開発事例

2.1 鋳抜き中空カムシャフトの紹介

加工中空カムシャフトおよび鋳抜き中空カムシャフトの

断面図を図-1に示す。加工中空ではドリルで中空部を加工するため、断面は直線形状となるが、鋳抜き中空では中空部を中子で成形するため、カムシャフトの外側形状に沿った鋳抜きが可能であり、その分薄肉・軽量化が可能となる。しかしその反面、薄肉部の強度は低下するため、最低肉厚を定め、それを確実に保証できる中空部の位置精度が必要となる。

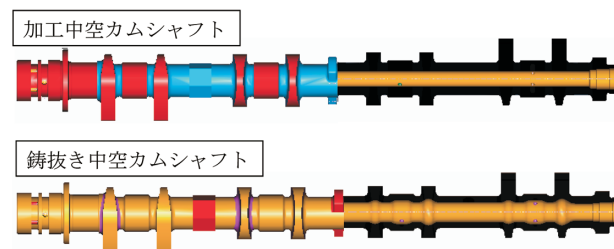


図-1 加工中空および鋳抜き中空カムシャフト断面図
Fig. 1 Cross-sectional view of drilled and hollow camshafts

2.2 軽量化、低コストのための同軸度向上の取り組み

中空部の位置精度を表す指標として、同軸度を用いる。設計上の同心円について、外円の中心と内円の中心がどれだけずれているかを表す指標を同心度というが、それを長手方向に連続的に見た場合の集合体が同軸度である。同軸度0とは、中空部が完全にカムシャフトの中心に位置することを表す。実際には、常に中心に持ってくることは難しく、同軸度φ1.5程度まで許容するのが一般的で、最大

*成形技術部

限ずれた所でも強度上成立する肉厚設定とする。今回の鋳抜き中空カムシャフトでは、15%の軽量化を達成するため、同軸度 ϕ 1.0以下という非常に挑戦的な設定とし、開発をスタートした。

同軸度を0に近付けるための要件としては、次のことが挙げられる。

- 1) 中空部を成形する中子の変形が少ないこと
- 2) 中子が常に中心に維持されていること

中子の骨材として一般的に天然砂が用いられるが、鋳込み時に約1~2%膨張するため、1)の要件を満足させるためには適さない。従って、人工砂であるセラビーズ（商標名）を使用することにより、膨張率を0.1%以下とした。また、造型後の中子保管方法として、常温まで冷却する間縦吊り状態とすることで、弓なり状に変形するのを防止できることがわかった。

次に、中子を製品の中心に維持する方法を図-2に示す。まず製品外形を成形する主型との基本的な位置関係は、中子両端部の巾木にて行う。この部分は製品形状とはならないが、製品形状となる巾木間の部分は、3個のケレン（金属留め治具）にて行う。このケレンは鋳込み時に製品内部に溶け込み、製品の一部となる。

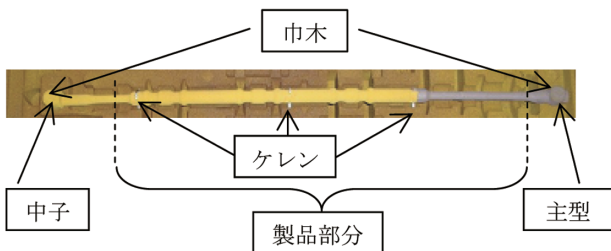


図-2 中子の位置決め方法
Fig. 2 Locating way of center core

ここまでは、他社と同様の一般的な技術であるが、より低いコストで製品化するために、既に業界ベンチマークレベルの低コストを達成している従来カムシャフトの量産ラインを最大限活用する方向で、鋳造方案の検討をスタートした。

当社における量産5本取りラインで鋳抜き中空を実施する場合、1ヵ所の湯口から溶湯が流入し、湯口に近い部位と湯口から遠い部位では注湯時100℃以上の温度差が発生するため、3個のケレン溶け込み状況も変わってくる。一方、ケレンは溶湯温度が高すぎると、溶湯が凝固する前に溶損してしまい機能を果たさなくなってしまう。逆に、溶湯温度が低すぎると、ケレンと鋳鉄が溶着不良となり隙間が発生するため、製品になった際に中空部を通る潤滑油がもれて、潤滑不良となる恐れがある。つまり、ケレンには使用可能な温度帯域が存在する。図-3に、注湯時のキャビティ内溶湯温度とケレンの使用可能温度帯域の関係を示す。キャビティ内溶湯温度は、湯口周辺と、3ヵ所のケ

レン周辺（湯口側から#1、#2、#3とする）とした。ケレン材質は軟鋼にSnめっきを施した仕様とした。

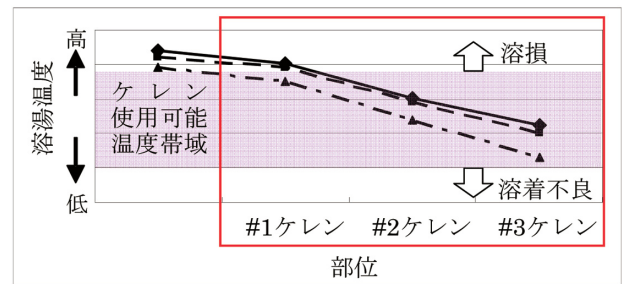


図-3 注湯時溶湯温度とケレン使用可能温度帯域
Fig. 3 Casting iron temperature and available temperature band for keren

グラフより、ケレン使用可能温度帯域よりも溶湯温度範囲の方が広がっており、#1ケレンが溶損する可能性が高いことがわかる。従って、ケレン使用可能温度帯域を広げるか、溶湯温度範囲を狭める以外に方法がないことがわかる。溶湯温度範囲を狭める方法として、湯口を複数にする鋳造方案変更があるが、個取りを減らす必要がありコストが悪化してしまうこと、堰（せき）折りの方法が複雑になり既存設備の大改造が必要になることから、ケレン使用可能温度帯域を広げられないか模索することにした。

そこで、ケレンのめっき材質に着目し、数種類のめっき材質にて、使用可能温度帯域を実際の鋳込みトライアルを通して調査した結果、図-4のように、単独で帯域を広げられる材質は無いものの、異なる種類のめっき品を組み合わせることで、溶湯温度範囲をカバーできることがわかった。

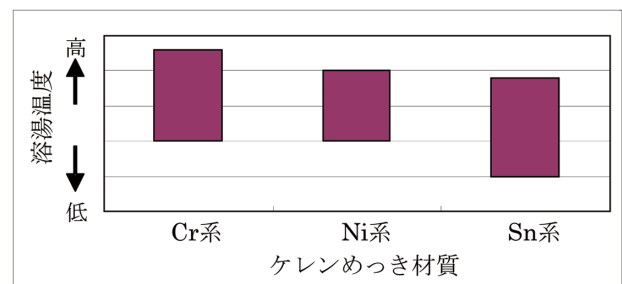


図-4 めっき材質によるケレン使用可能温度帯域の違い
Fig. 4 Difference of available temperature band for keren with a type of plating material

量産方案として、湯口側#1ケレンにCrめっきを採用し、ほかの2ヵ所はSnめっきとした結果、ケレン溶損、溶着とも見られず、同軸度 ϕ 1.0以下を得ることができた。

2.3 同軸度測定技術の開発

前項では、安定した同軸度を造り込む技術について述べたが、同軸度を正確に測定できなければ、結局はそのばらつきも考慮した基準設定としなければならず、不良率の悪化を招いたり、肉厚設定をある程度大きくせざるを得な

くなり、軽量化の阻害要因となってしまう。そこで、同軸度を正確に測定できる測定装置の開発にも取り組んだ。

同軸度の定義は前述した通りであるが、これを測定する方法として、日産技術標準では外径と内径で作られる肉厚が最小となる部位の180°対面の部位との肉厚差を同心度と規定している。この規定を忠実に非破壊にて再現するため、図-5のような回転式の超音波同軸度判定装置を考案した。

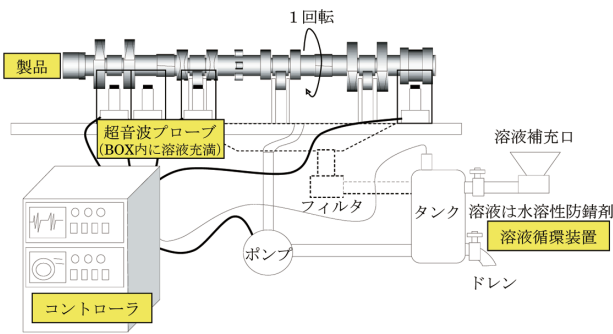


図-5 超音波同軸度判定装置
Fig. 5 Ultra-sonic coaxiality measurement system

この装置では製品を1回転させる間に、4箇所超音波肉厚センサにてそれぞれ1周64点の肉厚を測定し、最小肉厚部とその180°対面部の肉厚差を同心度として算出し、あらかじめ設定した基準値からOK/NGを自動判定する。実測値との相関や繰り返し精度が高いことも確認でき、信頼性の高い装置となった。

2.4 効果とまとめ

有形効果として、今回開発した鋳抜き中空カムシャフトを業界ベンチマークレベルの低コスト（他社比推定-20%以上）で立ち上げることができた。また15%の軽量化（従来加工中空カムシャフト比）を高品質で達成できた。

日産初となる鋳抜き中空カムシャフトの低コスト量産技術および同軸度測定技術の確立により、今後の鋳抜き中空化の基礎ができた。

3. 国内・海外拠点での同時立ち上げ

3.1 同時立ち上げの有効性と転写の考え方

コストの観点から現地生産化の必要性が高まっているが、従来のようにまず日本国内で立ち上げてから現地生産化となると、新商品が必要な拠点にタイムリーに供給できず、機会損失の恐れがある。あるいは、当初は日本から輸出供給する形をとっても、その間はコスト悪化が懸念されること、場合によっては能力確保のために必要以上の投資が発生する可能性がある。従って、このようなロスを最小限にするためには、同時立ち上げが最も有利であると言える。

同時立ち上げを行うに当たっては、まず国内での設計試作段階から、国内・海外各拠点における量産プロセスの基本仕様を固め、共通仕様とするものをMUST項目、拠点別の仕様とするものをWANT項目として、項目ごとに重要度によって層別する。ある程度不確定要素が含まれる中で、このような層別をしておくことにより、転写の際の不具合発生時の対処方法を事前に決めておくことができる。

3.2 転写バトンの作成

転写の際に、転写元と転写先で受け渡しする媒体を「転写ボタン」と呼ぶことにする。転写ボタンとしては、金型・設備仕様などの図面、管理工程図・作業表・条件表などの各種帳票が挙げられる。これらをまとめて、それぞれの解説と転写完了チェック項目を加えたものを「転写リスト」と呼ぶ。表-1に今回使用した転写リストの一部を示す。転写リストは設計試作段階で作成し、MUST/WANT項目と項目ごとの不具合対処方法を明確にした。

表-1 鋳抜き中空カムシャフトの鋳造転写リスト
Table 1 Copy list for hollow camshaft casting

Process	Item	MUST or WANT	Button MUST = U-NAVI	
Core Making	Equipment	WANT	Specification Operation Method	Shell
	Specification of equipment	MUST	Specification	
	Fixing gas passage needle	MUST	Specification	Fix
	Blow pressure	WANT	Condition sheet	
	Blow time	WANT	Condition sheet	
	Condition of curing	WANT	Condition sheet	Temp. u
	Waiting time till falling gas passage needle	WANT	Condition sheet	
	Core die layout	MUST	Specification	
				Process control chart

3.3 転写の実施と確認

金型や設備など、立ち上げまでのリードタイムが長いものは、生産試作に対応できる日程で国内・海外拠点分を含めて同一メーカーにて手配を行った。当初仕様にて製作完了後、国内での立ち上げ課程において改造などの仕様変更が発生した場合は、図面およびデータを現地へ電子メール送信し、実際の仕様変更対応は現地サイドにて実施した。

そのほか転写ボタンについては、国内での受け入れ研修形式で一つ一つ確実に、フェイ・トゥ・フェイスで海外拠点の立ち上げ担当者に伝承した。その後は毎週の定例ミーティングおよび電子メールにて都度進捗状況の確認、フィードバックを行っている。

3.4 効果とまとめ

日本、メキシコでの同時立ち上げ達成により、有形効果として、従来の2段階立ち上げと比較し13%のコスト低減ができた。

また無形効果として、新商品の各拠点同時立ち上げ手法の確立により、今後の海外展開の自由度が飛躍的に向上した。

4. ま と め

鋳抜き中空カムシャフトは、新規性が高く難易度が高い部品であったが、ケレンめっきの組合せ手法を始め、新たな技術を開発することにより、従来の鋳造方案、設備を最大限活用することに成功した。新旧技術がうまく融合した

事例と言える。その結果、圧倒的な低コストを達成でき、非常にコスト競争力のある部品を造り出すことができた。今回得られた知見やプロセスを標準化し、カムシャフト生産技術はもとより、どのような新規部品でも体系的に取り組める仕組み作りを行っていく。

また、こういった新規部品を海外拠点でも同時立ち上げできたことは、これから同じような機会、更には海外拠点単独で立ち上げる機会が増えていくことを考えると、非常に大きな意味があると言える。今回不足していた部分の修正も含めて標準化し、来るべき次の機会に備えていきたい。

■ 著 者 ■



早苗知彦

魅力ある新技術の創出と高い品質の実現を支える実験・計測技術特集に寄せて

Overview of Testing and Measuring Technology for Innovation and High Quality



実験技術開発部 波頭伸哉
Nobuya Hato

1. はじめに

お客様のニーズに応える商品を如何にタイムリーに提供できるかが自動車メーカーの競争力の根幹である。そこで世界中の自動車産業が商品力を高め、品質を確保し、コスト目標を達成しつつ開発期間を短縮する大きな課題に取り組んでいる。この課題を解決するために開発プロセスの改革が必要であり、その方策としてコンピューターシミュレーションやCADによるバーチャル開発が脚光を浴びてきた。しかし本当に地に足がついた開発プロセスの革新を実現するには単なるバーチャル化を目指すだけではなく、フィジカルな解析の実験技術および計測技術の飛躍的な進歩や、それら実験・計測技術によるフィジカルにおきている現象のメカニズム解明が必要である。そのため日産自動車では、従来からさまざまな実験・計測技術を開発してきた。世界中の環境を安定的に再現できる全天候型環境試験室(図1)や風洞実験設備(図2)などもその一例である。

さらに当社は、新規の市場とセグメントを含む世界市場での成長を加速させ、2016年度末までにグローバル市場占有率を8%に伸ばすことなどを目標とした中期経営計画「日産パワー88(NP88)」を策定している。今回の特集では、このNP88達成に向けた実験・計測技術の動向として、「制御システムが採用され複雑化していくクルマへの対応」「安心感に代表されるヒトの感じ方のメカニズム解明」の視点で特集を編成した。

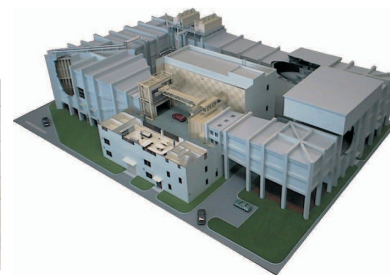


図-2 大型風洞実験設備
Fig. 2 Wind tunnel facility

2. 複雑化するクルマへ対応する実験技術

車両運動性能の中の「ドライバーがステアリングをきってコーナーを曲がる」を例にとると、これまでのクルマではステアリングシステムを制御しクルマの向きを変えてきたが、フーガではVDC (Vehicle Dynamic Control) システム、ジュークでは駆動トルクを制御しクルマの向きをコントロールする技術を開発し、市場投入してきた。これ以外にもIT/ITSや電気自動車 (EV)、ハイブリッド車 (HEV) をコントロールする制御システムがクルマに搭載され、その結果、クルマの中のコンピューターのプログラム数は10年前を1とすると、ここ10年で8倍に、更に今後10年で30倍に激増すると予測されている。



図-1 全天候型環境試験室
Fig. 1 All weather environment test chamber

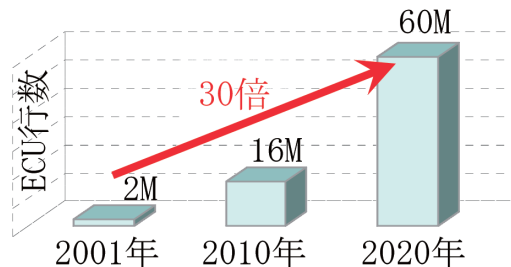


図-3 車内のコンピュータープログラム数
Fig. 3 Number of lines of computer programs in a vehicle

制御システム開発の難しい点は、お客様が使われる操作や環境の全てを想定し信頼性を確保することや、ヒトの感じ方にあったロジックを開発することである。複数の制

御システムが搭載され無数の組み合わせの中から、お客様に最良の性能を提供する、あるいは信頼性を保証するロジック開発、制御定数決定を実現する実験技術としてハードウェアインザループシミュレーション実験（HILS）がある。これは、実在する油圧系や制御システムのコントロールユニットはフィジカル、制御システムに関係のない部分は数値モデルとしたバーチャルとフィジカルを結合し、リアルタイムシミュレータで解析・実験するものである。HILSはキー実験技術の一つであり、本特集の中で事例を紹介したい。

3. ヒトの感じ方を解明する実験・計測技術

従来の人間工学・HMI（Human Machine Interface）と言うと、ドライバ周りのレイアウト寸法関係、各種スイッチを含む操作系の扱いやすさ、表示系の見やすさなどが主な取り組みであったが、ナビゲーションシステム装着に伴い、モニタと操作系へのIT機器に関わる新しいインターフェイスを持つコックピットがらみの使い勝手や、ITSの車両制御安全システムなどの受容性と安全性とを確立するために、ヒューマン・マシンシステムとしての評価が必要である。そのために、一部の表示や操作系のハードウェアを評価できるHMI用ドライビングシミュレータを導入してきた（図4）。

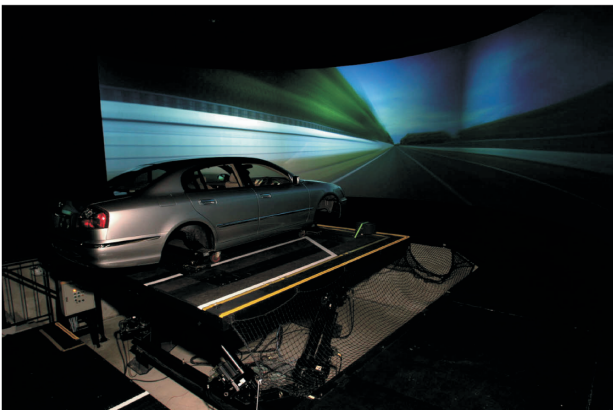


図-4 HMI評価用ドライビングシミュレータ
Fig.4 Driving simulator for HMI

本特集では先のHMI用ドライビングシミュレータを用いた安全・安心なクルマ開発の取り組み事例と、日産の戦略的技術領域の一つであるダイナミック・パフォーマンスの中から、視線計測による安心と感じる乗り心地の実現を事例とともに紹介する。

4. NP88に貢献する計測技術

計測技術には、大きく三つのことが期待されている。

第一は「知りたいことを、計れるようにする」ことであり、評価の質とスピードを上げることはもちろん、物理特性が計測できることにより現象メカニズムが解明され設計手法の革新につながったものが多い。先ほど紹介した「視線計測による安心と感じる乗り心地の実現」も、視線計測結果からヒトのストレスのメカニズムを紐といた例である。本事例に加え、本特集では新しい計測技術を用いたメカニズム解明で燃費向上に貢献した二つの事例を紹介する。

第二は「計測データを使って、あるいは流通させて、仕事のスピードや質を上げる計測システムを提案する」ということである。モノの出来栄へのチェックツールとしてだけでなく、計測したデータを使ってCAE解析を実施する、あるいは量産ばらつきを抑制するなど、計測データの活用範囲を更に広げ、仕事のやり方を変革するためのツールとしても期待が大きい。

また、新興国の販売ボリュームが増大する中、国ごとの要件を正確につかむ必要がある。「正確につかむ」には二つあり、これまで調べていない国の要件を調査することが一つ。一方、新興国は変化が一度始まるとそのスピードは速いため、一度調べた国でも変化を見逃さないことが二つ目であり、市場でのクルマの使われ方を知る計測・実験技術の開発が要求されている。

本特集では、これらの第一歩となる二つの計測システム事例を紹介する。

第三は「全ての計測データが、グローバルな共通言語となる」ということである。すなわち、全てのデータが国際計量標準に紐付けされる様、計測器が開発・管理・活用されていることを保証することであり、グローバル48拠点で計測精度保証レベル向上に取り組んだ内容を紹介する。

5. おわりに

実験技術及び計測技術の革新のためには、設備に対して長期的かつ計画的に投資を行っていくことが重要であるが、設備計画はややもすると業務組織、すなわち部署単位の部分最適化、単年度の個別課題解決に陥りやすく、また何のために投資するのか、リターンに対し誰が責任を持つのか、またその透明性に課題がある場合がある。

そこで、NP88の目標達成に向け、投資額の大きい実験設備投資の戦略とその実行計画を策定するために部門を横断する実験戦略ワーキングチーム活動を行い、実験設備の柱を立ててきた。今回本特集で紹介する取り組みもその中の重要事例であり、計測・実験技術の重要性を理解いただけると幸いである。

HILSを活用した制御システム開発の革新

Evolution of Control System Development that makes Practical Use of HILS

佐藤 武志*
Takeshi Sato北原 栄一*
Eiichi Kitahara佐藤 正範*
Masanori Satou安野 芳樹*
Yoshiki Yasuno

抄 録 昨今、車両の運動性能に関する様々な電子制御システムが採用されているが、その開発にあたってはCAEと各種電子制御システムの実機を連動させるHILS (Hardware in the Loop Simulation) が必須の技術となっている。元々は、主にシステムが設計仕様通りに作動するかの確認を行う、制御信頼性の開発に活用されてきた。しかし制御システムの多様化や装着車の増加に伴い、これらの性能評価も確認条件増大や複雑化が求められているため、実車主体で開発を行ってきた性能領域へのHILS適用を進めている。本稿では多車種、多仕様の評価を可能としたVDC性能シミュレーション技術、及び新たに活用領域を拡張した、カメラをセンサとして用いたITS性能評価へHILSを適用した事例を紹介する。

Summary Various kinds of electronics-control systems are being adopted for recent vehicles. An essential element of their development is HILS (Hardware in the Loop Simulation) technology, which links CAE and the actual parts of the systems. Originally, HILS was mainly utilized for system reliability tests to ensure that systems work according to their specifications. However, as the systems became more varied and adopted to more vehicles, test conditions needed to become more complex and numerous. Thus, HILS is also being utilized to evaluate vehicle performance that has mainly been evaluated with vehicle dynamic tests. This article describes two cases: one is a simulation of VDC performance that enables testing of variants of vehicle models and conditions, and the other is new HILS utilization for ITS performance evaluation with a camera sensor.

Key words : *Testing, Chassis, electronics, simulation, vehicle dynamics, ITS, experiment*

1. はじめに

電子制御システムを台上実験で評価するためには、対象となるシステムのECUに必要となる各種信号 (= 車両挙動をセンサで検出した結果) を送り込み、またシステムの作動結果を車両挙動に反映させる必要があり、車両挙動を高精度に再現できるCAE (Computer Aided Engineering) との連動が重要となる。また、このとき実機のECUやアクチュエータを用いて評価を行うには、CAEの演算や通信を実時間で行う必要があり、高速演算が可能な演算装置であるRTS (Real-Time Simulator) を用いる。このようにCAEと実機を連動させて行うシミュレーション実験技術をHILS (Hardware in the Loop Simulation) と呼ぶ。

日産自動車ではこれまで数多くのシャシやITS系の電子制御システムの評価・開発にHILSを適用してきている。その適用領域は主に、システムが設計仕様通りに作動することを確認する制御信頼性評価であった。昨今、ワイヤ技術の拡大によって、実車では評価困難な性能領域が出現してきているだけでなく、複数の電子制御システムの

組み合わせによる膨大な評価条件の検討が必要となり、適用領域と性能評価領域が拡大してきている。

本稿では、HILSを性能評価に適用した最近の事例を2件紹介する。

2. VDC性能シミュレーション技術

2.1 VDC装着車種の拡大

車両の横滑りを軽減し、車両挙動を安定させる電子制御システムVDC (Vehicle Dynamics Control) は、日産では1997年のシーマ (FY33) に初採用した以降、販売のグローバル展開や、日・米・欧などの主要地域でのVDC法規導入に加え、VDCユニットのブレーキアクチュエーション機能を活用した各種機能の採用により、装着車種が拡大している。また、VDCと連動する電子制御システムも増加しており、制御の信頼性の保証や最良の性能を効率よく開発する必要性が高くなり、シミュレーションによる開発が欠かせなくなっている。

*実験技術開発部

2.2 HILSによるVDC性能の開発

シミュレーションによるVDCの台上実験では、これまで図1のようなHILSを実験ツールとして活用してきた。

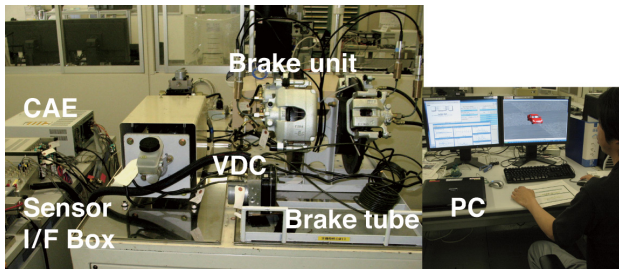


図-1 VDC HILS 構成の写真
Fig. 1 Photo of the configuration of VDC HILS

構成要素としては、実機で、ブレーキマスターシリンダ～VDCユニット（ECU、アクチュエーター体）～ブレーキチューブ・ホース～ブレーキユニットのブレーキ油圧回路一連を用意し、これにCAEを組み合わせた構成としている。

動作は以下のステップで実行され、実機で出力された各輪のブレーキ圧力が車両モデルにフィードバックされる。

- ① ドライバ操作を元に、CAE内の車両モデルで車両挙動を演算
- ② ①の結果がVDCの各種センサ（車輪速、操舵角、ヨーレイト、横G）値、及び車両CAN（Controller Area Network）としてCAEからI/F Boxを介しVDC ECUに送信
- ③ VDC ECUで、必要に応じて制御指令が発生
- ④ VDCアクチュエータで、ブレーキ液の増減制御
- ⑤ ブレーキ配管を通じ、ブレーキユニットの圧力が変化
- ⑥ ブレーキユニットの圧力を測定
- ⑦ CAEへ圧力情報をフィードバックし、ブレーキ力による車両挙動への効果を演算

なお、PC（パソコン）はCAE内の車両モデルを動かすためのドライバ操作の入力インターフェース（I/F）、及び結果のモニタに使用する。

上記構成にてCAEの処理時間や通信I/Fの整合を行い、RTSが可能となり、制御信頼性や性能の評価を可能としている。

以上のようなHILSを活用した台上実験により、以下のような成果をあげている。

- 実験検証のフロントローディングによる開発の不具合早期解決
- 実車実験の効率化による実験車、工数などの開発リソースの削減
- 実車では評価困難な環境要件、走行領域の評価による製品の信頼性の向上

実機を用いる事で、モデルの精度に左右されない評価が行える一方、課題もある。システム構成要素や実機の部品仕様の変更が必要になると、CAEの処理時間やI/Fを考慮してシステム全体を再構築しなければならない、さらなる効率化や評価領域拡大を進めるには、実機の構成要素を減らす必要があり、精度のよいモデル化技術が求められる。

2.3 HILSを活用した高精度のVDCモデル化技術

前節末の課題を解決すべく、HILSの実機部分もモデル化し、PCのみで実施できるフルバーチャルのシミュレーション開発に取り組んだ。VDCでモデル化が必要になる実機の構成要素はECU部、アクチュエータ部（バルブ、モータ、油路）、ブレーキユニット（キャリア、ロータ、ブレーキパッド）である。

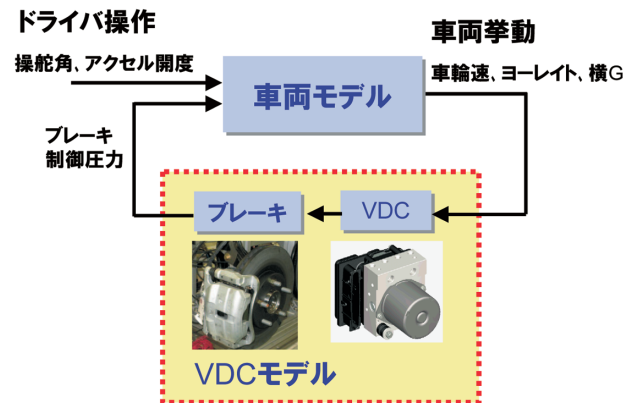


図-2 VDCモデルを用いたシミュレーションの構成
Fig. 2 Configuration of the VDC SILS

ここでは、ECUから要求された制御量に従いアクチュエータでブレーキ液の加減が行われ、ブレーキユニットのホイールシリンダの圧力となるが、これら全てをモデルで計算された結果が実物を再現できている必要がある。

モデルの精度開発は一般的には実車とシミュレーションの結果を比較し、差異を対策して行くことで進めていく。しかし、図2のように車両モデルとVDCモデルはクロズドループで相互に関連して変化していくため、各々のモデルのシミュレーション結果と実車の結果の比較が困難である。

この課題をHILSの技術を活用することで解決した。

VDCモデルの比較を実車とはなくHILSと行うことで、車両モデルは完全に同等となるため、VDCの実機モデルへ送信される情報も同等となり、純粋な比較を行うことが可能となった。

これにより、車両モデルとVDCモデルの問題を切り分けて抽出し、的確な対策を行うことで、高精度なVDCモデル化と車両モデル化が可能となり、フルバーチャルのシミュレーションを可能とした。

2.4 適用事例

以上の取り組みによるVDC性能シミュレーション結果の例として、法規でも採用されている代表的な性能試験であるSine with Dwell性能試験の結果を紹介する。

性能試験は、初速80km/hから図3のように0.7HzのSine操舵の間に0.5秒の保舵を行う（最大舵角270°）、車両スピンを誘発する走行条件で、ヨーレイトの収束率（ $Y_r(t1) / Y_r(max)$ ）が評価指標である。

図4のように、応答性、絶対値共に精度のよいVDC性能シミュレーションが実現できており、本技術については、2011年3月に各国の認証機関からの認可を得ている。

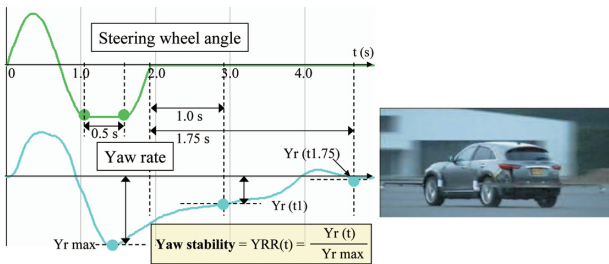


図-3 VDC 法規性能試験方法と実車試験風景
Fig. 3 Way of the performance test for VDC regulation

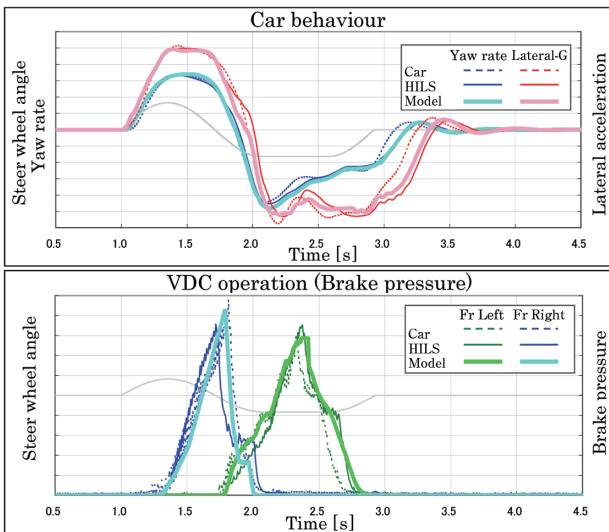


図-4 Infiniti FX50 の車両挙動とVDC 制御結果
(実車/HILS/フルバーチャルでの比較)
Fig. 4 Result of car behavior and VDC operation
(Comparison among car test, HILS and full-virtual simulation)

3. ITSにおける白線認識カメラの評価技術

ITS (Intelligent Transport Systems) とは運転を支援するシステムであり、その中の一つである車線逸脱防止支援システムなどに使われる車線を検出するセンサが白線認識カメラ（以下、カメラ）である。車線逸脱防止支援システムの中で、性能を左右する最も重要な構成部品である。

3.1 HILSによる評価の狙い

カメラの性能開発は、従来公道にて評価していた。しかし、公道は天候や周辺交通などの環境条件が毎回変わり、安定した評価が困難である。その課題を解決するため、HILSによるカメラ評価環境を構築した。

3.2 HILSの構成

図5に構成図を示す。カメラ、白線認識システム制御ユニットは実機で構成し、走行路は道路CG（コンピュータグラフィックス）用PC及び道路CG表示モニターで表示している。また、車両モデルを用いて車両挙動を演算し、白線認識システム制御ユニットからのステアリング、ブレーキなどへの指令値を車両モデルに入力し、白線認識システムの実路走行状態を模擬している。

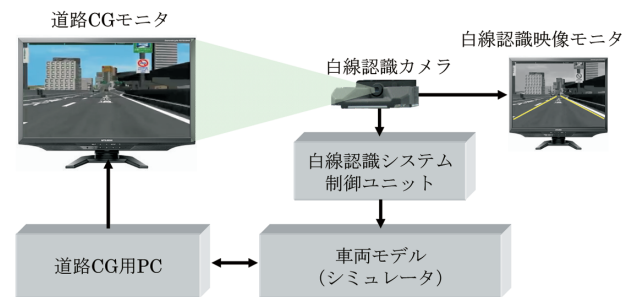


図-5 HILS の構成（カメラ撮影範囲は実車同等に調整）
Fig. 5 Configuration of the ITS camera HILS

3.3 CGの活用

安定した評価環境を構築するために、CGを活用し道路を再現してHILSによる実験を行うと（図6左）、システムの狙い通りにカメラは白線の内側を認識していることが分かる（図6右）。

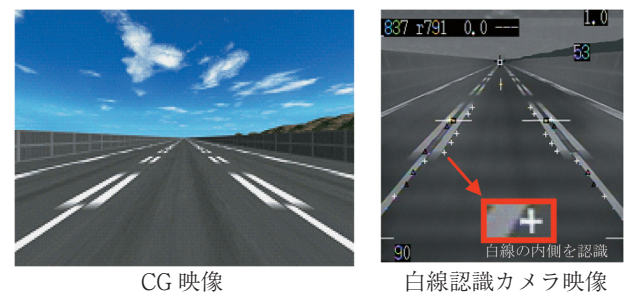


図-6 CGの路面画像とカメラ認識結果映像
Fig. 6 Road CG and its camera recognition results

しかし、CGでのカメラ評価は、コントラスト差が現実の路面より高くなりすぎるため、誤認識や無認識のエラーが全く発生せず、そのままではカメラ性能評価には使えない（図7上段）。

これは、カメラが映像の白線と道路の境界を白と黒に分け、境界の連続性を検出しているが、かすれた部分の境界は連続性が失われるため、判定が難しくなる事に起因し

ている（図7下段）。一方、人は経験上学習しているため、かすれの有無にあまり影響されず白線と認識できる。

カメラ評価用CG路はこの点に注意し道路を再現する事が重要である。

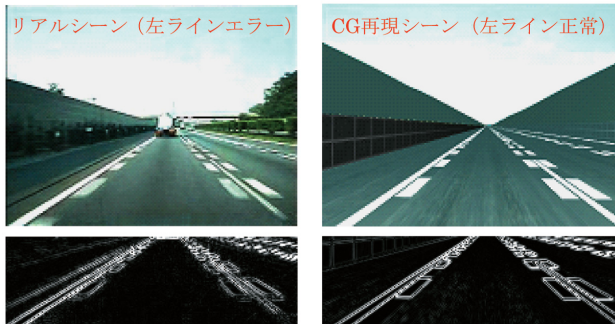


図-7 認識結果の違い（イメージ）

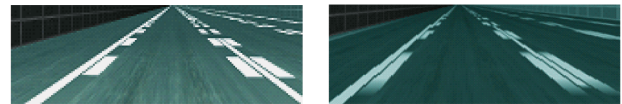
Fig. 7 Difference of the camera recognition results between real and CG

3.4 リアルシーン同等のCG評価路作成

そこで、誤認識しやすい実路の白線データからかすれや色むらなどをサンプリングして解析し、コントラストを数値に落とし、CGの白線データに修正を加えた。数値に落とす事により、リアルシーンでの白線判断基準も明確になり、よりリアルシーンに近いCG路の作成が可能となった。

この結果、CG映像も図8修正後のCG評価路の様にリアルシーンに近似し、実際の評価結果もリアルシーン（図7上段左）とCG評価路において同等の評価結果が得られる

ようになった。



修正前のCG評価路

修正後のCG評価路

図-8 白線のCG映像の改良
Fig. 8 Improvement of the road CG

3.5 車両挙動も取り入れたHILSによる性能評価

本HILSは車両モデルを組み込み、走行中のバネ上6自由度の車両挙動をCGに反映させる事で、カメラの取付け位置や車両挙動の異なる多くの車種評価が可能となった。このことにより、実車が出来る前の事前評価が可能となり、開発期間の短縮が実現できた。

さらに、CGを使ったHILS評価ならではの利点として、道路情報があれば、世界各地の道路がCGで再現できるため、現地に行かなくても事前評価が可能である。これにより現地評価の数を減らし、開発期間の短縮も図られる。

4. まとめ

以上のように、これまで実車主体で行ってきた性能評価領域においても、HILSを活用した制御システム開発の適用が進んでいる。現在も多くの新規電子制御システムが開発されており、今後も積極的にHILSを核とした実験技術開発をすすめていく。

■著者■



佐藤 武志



北原 栄一



佐藤 正範



安野 芳樹

ドライバの状態計測による安全・安心なクルマの開発

Automotive Product Development for Safety and Security by Measuring Driver's State

植 栗 寛 達*
Tomomichi Uekuri

佐久間 壮**
Tsuyoshi Sakuma

伊 藤 一 也*
Kazuya Itoh

美 記 陽之介*
Yonosuke Miki

抄 録 安全で安心なクルマを造るためには、ドライバがどのような状態で運転しているかを知ることが不可欠である。人間工学では、主観評価や行動観察からは推定ができないドライバの心理状態や身体状態を、生理反応や脳活動などの定量指標から推定する技術開発を進めている。本稿では、脳波や心拍による覚醒度の推定、唾液アミラーゼ濃度変化による精神ストレスの推定、眼球停留関連電位から注意状態を推定する技術について、その概要を紹介する。

Summary Developing safe and secure automotive products requires the adoption of new technologies based on driver conditions while driving. Estimating a driver's arousal level and attention level is difficult. This makes it necessary to develop a method for estimating the driver's state by physiological response and brain activity. This article introduces a method that we developed to estimate a driver's arousal level in real time and attention level by using eye fixation-related potentials.

Key words : ergonomics, arousal level, drowsiness scale, driver's attention, eye fixation related potential, driving simulator

1. はじめに

誰もが安全で安心と感じられるクルマを実現するために、さまざまな新機能、新装置、新デザインが開発されている。しかしそれらを本当に効果があるものにしていくためには、人とクルマのかかわりを正確に、かつ定量的に計測し、そのメカニズムを解明して、その結果に基づいてクルマを開発していく必要がある。

人とクルマのかかわりの中では人が何をどう感じ、何を考え、身体がどう変化するかを捉えることが極めて重要である。これは人とクルマの間で発生している事象のメカニズムを解明するために、必要不可欠なものだからである。また、実際に実験を正確に、かつ効率的に行うためには、さまざまな実験条件のコントロールや実験参加者の状態の統制などが重要であり、人の内部状態の把握が必要となるからである。これらの人の内部状態の計測は、安全・安心なクルマづくりだけでなく、感性を心地よく刺激する魅力的なクルマを開発することにもつながり、今後のクルマ開発のキー技術とも言える。

本稿では、日産自動車に取り組んでいるドライバの運転にかかわる内部状態の計測事例を紹介する。

2. 人の状態計測の重要性

従来は人の内部状態の推定は、本人からの直接の申告である主観評価や、外部の実験者による観察に基づいて行ってきた。主観評価は人の内部状態を高度な感性のレベルまで評価することができる優れた手法であるが、評価基準を異なる実験参加者の間で統一することは難しく、またばらつきも大きいという問題がある。さらに眠気、疲労、集中度などを計測する場合、評価対象である人間自身がその状態の変化を自覚していないこともあり、これらの場合は計測不能となる。

行動観察は特にユーザビリティなど高度で認知的な使いやすさを検討する上では極めて有用である。また視線や手の動きの解析などを行うことで、さまざまな推定をすることができる。しかしその推定には限界があり、例えば、同じ位置に視線が向けられていたとしても、必ずしも情報として認識しているものが同じとは限らない。つまり、行動レベルでは同じであっても、生理、心理、感覚的に同じ状態であるとは限らない。

クルマの安全・安心にかかわる性能では、ドライバが自覚していない状態の変化や、視線や手の動きに表れない状態の差異が大きな問題となる可能性があるため、官能評価や行動観察以外に、人の内部を直接測る手法の開発が求められている。人の内部の心理状態や身体状態を推定

*実験技術開発部 **モビリティ・サービス研究所

するために心電や心拍、発汗などの生理反応や、脳波などによる脳活動の計測、およびその分析手法を開発する必要がある。さらに感性や情動のように微妙であいまいなものでは、音声や表情などの微小な変化を捉える技術が重要となる（図1）。

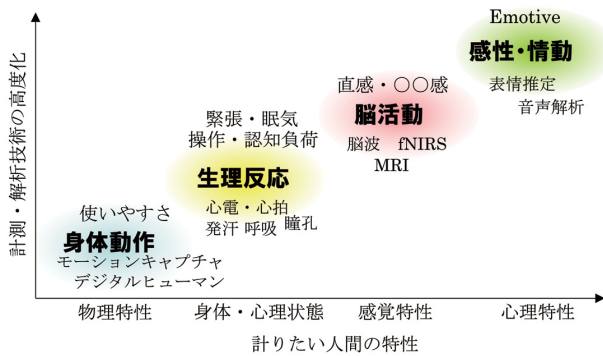


図-1 人の状態計測技術
Fig. 1 Measuring method of human state

安心で安全なクルマを開発していく上では、このような人の状態計測技術を活用し、実験室環境で再現実験を効率よく行うことや、人の状態を正確に把握して精度の高い分析をすることが重要である。

以下に、その事例を説明する。

3. 生体信号計測によるドライバの状態推定技術

人間の身体は、その内的な心理状態によって、外的な身体状態の変化が無意識に起きることが知られている。例えば、緊張すれば手に汗をかき心拍数が上がり、眠くなれば心拍数が下がり深部体温が下がるなどが起こる。こういった変化は、脳や自律神経の働きによって自動的に変化が起き、人による差が少ないため、そのメカニズムを明らかにすれば生体信号を用いて定量的に評価することが可能と考えられる。一般的にこのような研究で計測される生体信号としては体温、心電、脳波、発汗、呼吸、筋電、唾液、眼振、脈波などがある（図2）。近年これらの生体信号を計測するためのさまざまなセンサが開発されている。

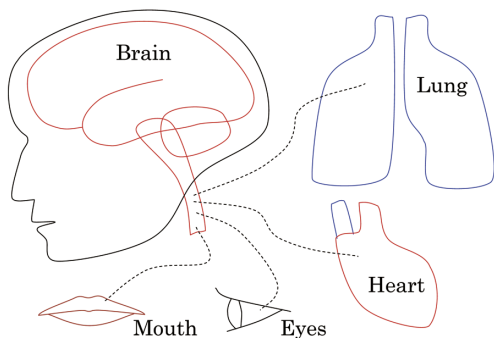


図-2 自律神経系
Fig. 2 Autonomic nervous system

3.1.1 生体信号計測

実験参加者のドライバを計測するためには、できるだけ運転動作に影響を与えないことが、安全かつ正確に実験を行う上で極めて重要である。そこで電池を搭載してワイヤレスで計測するなど、できる限り身体に直接触れずに非接触で計測できるような工夫を施している（図3）。



図-3 負担になる生体計測機器の例
Fig. 3 Troublesome bio-sensors

このような小型・軽量の計測機器を用いることで、安全に運転中のドライバの生体信号を計測出来るようになった。しかしドライバの負担を最小限にするためには、測りたい状態を明確にし、その状態変化と対応する生体信号を絞り込んで必要最低限のセンサを用いることが必要である。それが実験技術上の重要なノウハウとなっている。

3.1.2 脳活動計測

脳の活動を測るためには、まず頭に電極を貼付けて脳波を計測するが、近年脳計測技術は著しく進歩しており、小型化し装着方法も簡略化した脳波計が開発され、脳波計測が格段に容易になった。また、脳の働いている部位に流れる血流を測る脳血流計（fNIRS）などを使って、運転中の脳の働きを解明する研究もなされている¹⁾（図4）。

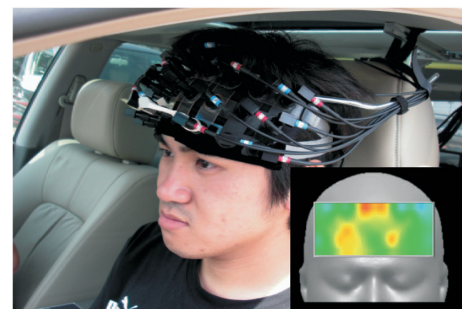


図-4 脳血流計（fNIRS）
Fig. 4 Functional near-infrared spectroscopy

ただし、脳波では脳のどの部位が働いているかは明確にわからない。また頭部の筋肉の筋電位などは、ノイズの影響を受けやすい。またfNIRSは脳の表面部分の活動しか計測できないなどの制約がある。そのため、現在の技術では脳活動計測だけでドライバ状態を推定することは難しく、これまでと同様に生体信号を計測し、これらと統合してドライバ状態を推定することが必要である。

次節で実際に脳波計測と生体信号計測を用いたドライバ状態推定実験の例を示す。

3.2 生体計測による覚醒度の推定

ドライバの覚醒度の低下は居眠り運転や漫然運転など、重大な問題を引き起こす可能性があるため、それを防止するための様々な技術開発と、覚醒度のレベルを評価する手法が開発されている。しかし眠気がある状態では、実験参加者自身がそのレベルを主観的に評価することは難しく、実験参加者自身が口頭で主観を報告をしようとする、その刺激で覚醒度が変化してしまうため、覚醒度の時間的変化を評価出来なくなる。またあくびや姿勢変化などの副次行動による評価は、人によりその特徴の違いが大きく、評価しづらい。そのため生理反応による計測手法の確立が求められている。眠気レベルの低い高覚醒状態では、運転にかかわる情報処理が活発に行われるため、大脳が活性化している。また集中・緊張状態にあるため、自律神経系で交感神経が優位になる。逆に、眠気レベルが高い低覚醒状態では大脳活動が低下し、自律神経系がリラックス状態となり副交感神経が優位になる。このことから、脳と自律神経系の活動を示す脳波と心電を用いて覚醒度を推定する手法について検討を行った。

3.2.1 実験方法

実験はドライビングシミュレータ上の高速道路を用いた。実験参加者には速度が80～100km/hの間でランダムに変化する前車との車間距離をおおよそ一定に保たせた状態で運転させた。

実験者は実験参加者の表情をもとに眠気の顔表情評定を行い、ドライバの眠気レベル（表1）を推定した。実験者が眠気レベル3と判定した時点で音声などの刺激提示を行い覚醒度を回復させ、この覚醒度の変化を記録した。同時に、実験参加者の脳波と心電、顔画像を計測し分析を行った（図5）。

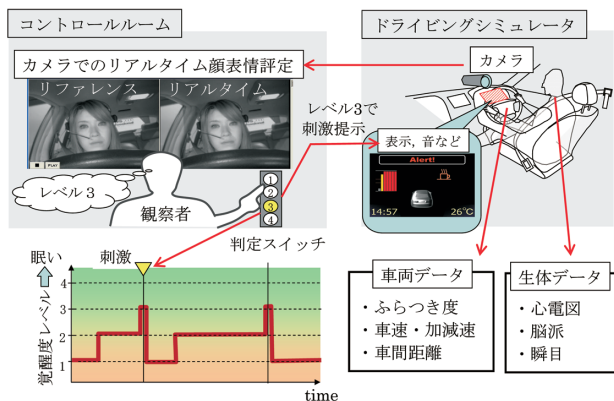


図-5 ドライビングシミュレータ実験
Fig. 5 Driving simulator experiment

表-1 覚醒度と眠気レベル
Table 1 Scale of arousal and drowsiness

評点	覚醒度	具体的な眠気レベル
1	眠くない	眠気はなく、意識もしっかりしている
2	少し眠い	少し意識が低下しているものの、運転には問題ない
3	眠い	はっきりとした眠気を感じるが、何とか運転はできる
4	非常に眠い	居眠りしそうな危険な状態、通常なら運転をあきらめる

3.2.2 脳波による覚醒度の推定

脳の活動状態をその周波数成分のバランスによって推定する。覚醒度が低下すると、大脳における情報処理が少なくなり、それに伴い高周波（β波（12Hz～）とγ波（26～70Hz））が減少し、低周波（δ波（1～4Hz）とθ波（4～7Hz））が増加すると考えられている。

ワイヤレス脳波計（Emotiv社製）で運転中の実験参加者の脳波を計測した結果を周波数分析し、高周波成分及び低周波成分の傾向を観察した。その結果、高覚醒状態でのパワースペクトル（図6）と眠気レベルが2から3に変化する直前の低覚醒状態（図7）を比較すると、低覚醒状態ではβ波が減少し、θ波とδ波が増加する傾向が見られた。

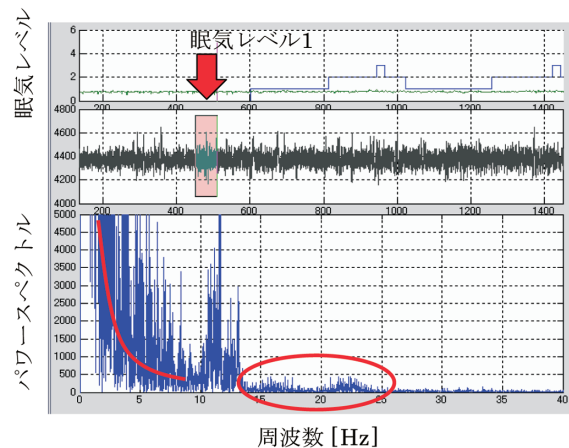


図-6 脳波と眠気レベルの変化（高覚醒状態）
Fig. 6 EEG (electroencephalography) and drowsiness scale (High arousal)

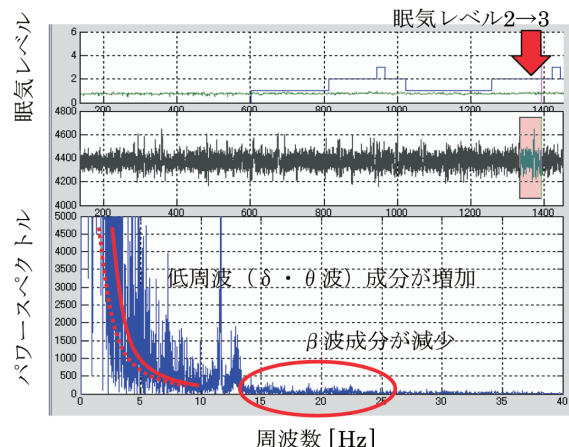


図-7 脳波と眠気レベルの変化（低覚醒状態）
Fig. 7 EEG and drowsiness scale (Low arousal)

しかし、頭の動きや視覚刺激によるノイズが大きく、眠気と脳波の変化に明確な傾向が見られない実験参加者もあり、脳波だけでは安定して覚醒度を計測できないことがわかった。

3.2.3 心電の計測

自律神経系の交感神経と副交感神経は、緊張やリラックスなどの状態に応じてその働きをバランスさせ、心臓や肺などの循環・呼吸器から、体温調節などの生理的な状態を制御している。そのため心電や呼吸数、体温などから、自律神経系のバランスを推定することができる。眠気を感じている状態では、安静やリラックス状態と同様に副交感神経が優位になる。ここでは、運転中の心電図を計測し、心拍の間隔 (RRI)、RRIの平均値に対する標準偏差の比である心拍変動係数 (CVRR) を求め、覚醒度との関連の分析を行った³⁾⁴⁾(図8)。

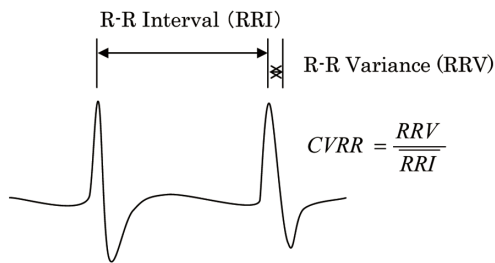


図-8 心電図
Fig. 8 ECG (electrocardiogram)

一般にRRIは副交感神経が優位になると増大することが知られているが、今回の実験でも眠気レベル1から眠気レベル3に移行するに従って、安静時やリラックス状態と同様に心拍数が減少し、6割の実験参加者でRRIが約15%増加した。

またRRIの変化が少ない実験参加者が4割いたが、この場合、初期からリラックス状態であったと考えられる。しかし、これらの実験参加者は、RRIの変動率CVRRが平均25%減少していた(図9)。これは初期状態からRRIが高めで、交感神経と副交感神経がほぼ拮抗している状態であったと考えられるが、交感神経と副交感神経が拮抗している状態ではRRIが短い周期で時折低下するため、その変動率を表すCVRRが高くなる。その後、覚醒度の低下に伴って副交感神経がより優位になると、RRIの変動が減りCVRRが減少したためと考えられる。

このように、覚醒度は心電のRRI及びCVRRを計測することで、ほぼリアルタイムで推定できることがわかった。

心電など、既に計測技術が十分に進歩している生体信号でも、そのメカニズムを理解することで人の状態推定に用いることが可能となった。

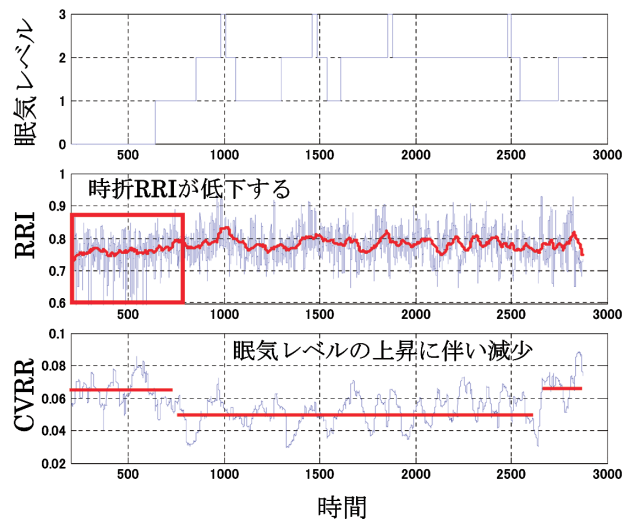


図-9 眠気レベル、RRI、CVRR の変化
Fig. 9 Variability drowsiness scale, RRI and CVRR

4. 「意識の脇見」の定量的評価技術の検討

運転中にドライバが操作する様々な機器を開発する上で、機器操作による「意識の脇見」の影響を考慮する必要がある。ドライバの五感で得られた情報に対する注意配分を定量的に計測する手法を適用することが重要である。そこでドライバの注意力を定量的に測定する方法として、眼球停留関連電位による解析を行った。

4.1 眼球停留関連電位の計測

眼球停留関連電位は、サッカディック眼球運動と呼ばれる視線移動が停留した時点から約100ミリ秒後に現れる比較的大きな陽性成分 (P100成分) であり、視覚情報の処理量の増加に伴い増大すると言われている。この眼球停留関連電位P100は、脳波計測器を用いて後頭部から導出できる⁶⁾⁷⁾。

クルマの運転の場合、例えば市街地のように障害物や看板、歩行者、ほかの車両など、多くの視覚情報を得る必要がある場面では、この眼球停留関連電位P100は大きくなる。一方、高速道路のように運転に必要な視覚情報が相対的に減少する場面では、眼球停留関連電位P100は市街地に比べて小さくなる。

このことから、ドライバの注意力が運転以外のことに振り向けられている場合、この眼球停留関連電位P100は小さくなると考えられる。本計測技術を用いた視覚的注意配分の定量計測技術と適用事例を紹介する⁸⁾。

4.2 眼球停留関連電位による意識の脇見の評価

4.2.1 実験方法

ドライビングシミュレータを用いて、高速道路上 (3車線) の中央車線を100km/hの速度で走行するように実験参加者に教示した。右側車線から追い越し車両がほぼ1分

間隔で自車の前に割り込み、再び右側車線へ戻るといった運転シナリオを用いて、周囲に注意を配分するような実験場面を設定した。

実験参加者は二次課題として以下6条件を2回ずつ、計12試行を実施した。

- (a) 無負荷：走行のみ
- (b) ラジオ課題：FMラジオのニュースまたは交通情報を聞き取り、試行後に内容に対する質問に答える
- (c) ボイスコマンド操作（易）：1～2回のコマンドで操作が終了する操作を行う（例：「自宅に帰る」）
- (d) ボイスコマンド操作（難）：5～8回のコマンドで操作が終了する操作を行う（例：電話番号から目的地設定）
- (e) 手操作（易）：(c)と同じ操作をリモコンで行う
- (f) 手操作（難）：(d)と同じ操作をリモコンで行う

なお、(f)は本来、走行中に操作出来ない複雑な機能であるが、ほかの条件との比較のために適用した。

4.2.2 実験結果

操作の合間に視線が車両前方に向いている時の眼球停留関連電位を解析した結果を図10に示す。無負荷条件(a)とラジオ条件(b)の間には、大きな差異は認められなかった。これに対し、ナビゲーションシステムを利用する条件(c)～(f)では眼球停留関連電位P100成分の振幅が減衰している。特に手操作（難）条件(f)における振幅が小さくなり、ほかのすべての条件よりも有意に振幅が小さい($ps < .05$)。ボイスコマンド操作条件(c)および(d)はラジオを聴くだけの条件(b)よりも振幅が小さくなっており、聴取するだけよりも発話は認知負荷が高いことがわかる。しかし手操作に比べれば振幅は大きく、運転への影響は小さいことがわかる。

運転に必要な情報を認知できるようにするためには、認知負荷を低くすることが重要である。そのため、運転行動や視線計測のみでは推定できなかった意識状態の変化を、

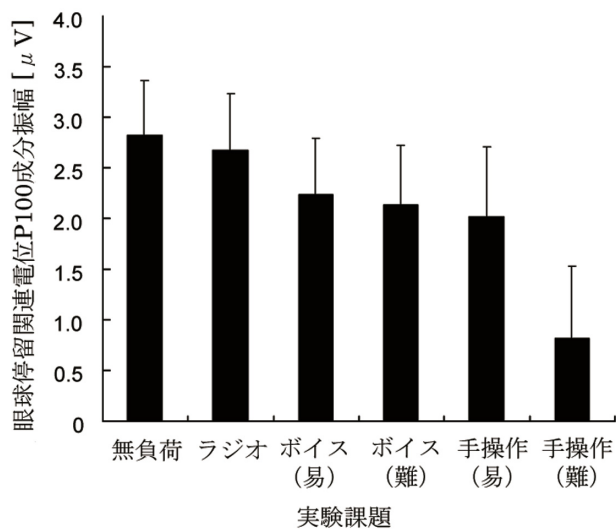


図-10 眼球停留関連電位 (P100)
Fig. 10 Experiment result of eye fixation related potential (P100)

定量的に推定することが可能な本実験手法が有効である。

5. 精神的ストレスの定量評価手法の検討

ドライバの状態計測でも疲労計測、とりわけ精神疲労は難しい分野である。ここでは、精神的疲労の一因と考えられる精神的ストレスにかかわる、唾液アミラーゼの濃度変化の計測について述べる。

人は五感で得られる様々な情報を脳で処理する際に、脳でのエネルギーおよび血中酸素消費が増大し、精神的ストレスを自覚する。それに伴い、内分泌系のノルアドレナリンが増加し、唾液アミラーゼ (α-アミラーゼ) の増加につながる。一方、ノルアドレナリンはストレス変動に対する感度が高く、唾液アミラーゼは1～2分程度で減少するという特徴もある。

今回、ポータブル計測器および計測用チップを用いて、車内で運転中に計測した。

ここで、テストコースの高速周回路の車線中央±15cmの範囲を、100±2km/hを維持して1時間連続で走行した時の唾液アミラーゼの濃度変化を、約8分間隔で計測した事例を紹介する。ある実験参加者の計測結果を図11に示す。ドライバがイライラや苦痛、負担を感じる時に数値が上昇する傾向が見られることが確認できた。

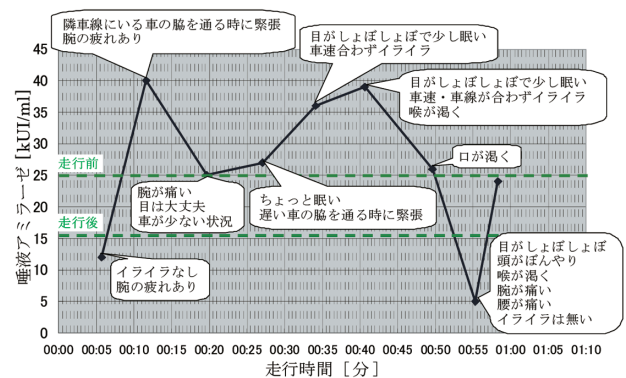


図-11 運転中の唾液アミラーゼの濃度変化
Fig. 11 Experiment result of concentration of saliva amylase while driving

6. おわりに

本稿で紹介したようなドライバの生体計測からドライバの状態を推定する技術を活用することで、実験室環境においてドライバの状態をできるだけ精度よく再現し、効率よく実験を実施することが可能になる。これにより、コックピットのレイアウトやコントロール系の最適化の検討が容易になるだけでなく、ドライバへの適切な運転支援方法の開発が可能となり、より安全で安心かつ魅力的なクルマの開発に大きく寄与できる。今後は、さらに人間の感性や情動のメカニズムを解明し、感性や情動を心地よく刺激す

る魅力的なクルマを目指していきたい。

7. 参 考 文 献

- 1) 広瀬悟ほか：機能的近赤外分光装置（fNIRS）によるドライバーの脳活動計測、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 144-08、pp. 5-10（2008）
- 2) 大須賀美恵子ほか：ドライバの覚醒状態推定(1)－顔表情評定と生理指標－、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 51-08、pp. 1-4（2008）
- 3) 林佐千男ほか：蓄積疲労による心拍変動の自律神経系の指標（第2報）、計測自動制御学会、生体・生理工学シンポジウム論文集、No. 12、pp. 213-216（1997）
- 4) 高津浩彰ほか：心拍変動による精神的ストレスの評価についての検討、電気学会論文誌、Vol. 120-C、No. 1、pp. 104-110（2000）
- 5) 伊藤一也ほか：ドライビングシミュレータによる音声入力システムの評価、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 93-03、pp. 15-20（2003）
- 6) Y. Takeda et al. : A. Eye fixation related potentials in a proof reading task, International Journal of Psychophysiology, No. 40, Vol. 3, pp. 181-186（2001）
- 7) A. Yagi : Visual signal detection and lambda responses, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol. 52, pp. 604-610（1981）
- 8) 伊藤一也ほか：脳波計測による音声操作システムの評価、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 93-05、pp. 27-30（2005）

■ 著 者 ■



植 栗 寛 達



佐久間 壮



伊藤 一也



美 記 陽之介

視線解析による安心と感じる乗り心地のメカニズム解明

Clarifying Mechanisms for Feeling of Riding Security by Dynamic Line of Sight Data Analysis

林 秀 樹*
Hideki Hayashi

仁 平 智**
Satoshi Nidaira

村 田 誠*
Makoto Murata

抄 録 近年、新興国を含めた世界の市場で、安心と快適性を高次元で両立させる事が益々重要になってきている中、乗り心地というものをこれまでの「振動の大きさ」や「快適性」という視点から、「視線・視界」や「安心感」といった視点まで広げて、「人」の感じ方のメカニズムに基づいた「ばね上の動き」におけるありたい姿の解明が重要な技術課題の一つとなっている。また、「視線・視界」の安定には、「シートからの入力で上半身や頭部が振られる」現象が深く関わっており、身体と触れているシート着座面の「動的な面圧変動」の解析が不可欠である。本稿では、これらの実験解析をサポートする最新計測技術の一例として、「非接触型視線計測装置 (SmartEye)」と「動的な面圧計測装置 (XSENSOR)」の概要と、それをを用いたメカニズム解明の事例を紹介する。

Summary Recently, achieving both security and comfort at a high level is becoming more and more important in international markets, including emerging countries. This makes expanding “riding comfort” from the current viewpoint of “vibration level” and “comfort” to include “line of sight & field of vision” and “feeling of security” important. A key technical issue to achieve this is clarification of ideal “body motion” characteristics based on the mechanisms of human sensation. This makes analysis of dynamic body contact pressure to the seat essential, as motion of the upper part of the body and head caused by force from the seat is closely linked to stability of “line of sight & field of vision.” In this article, we introduce examples of mechanism clarification using the latest measuring technologies, such as a “non-contact eye-tracking system (SmartEye)” and “dynamic seat pressure distribution sensor system (XSENSOR).”

Key words : ride, comfort, secure, safe, mechanism, gaze, eyesight, head, seat, body, contact, pressure, distribution, dynamic, measuring, noncontact, eye-tracking, equipment

1. はじめに

従来の乗り心地開発は、周波数と振動の大きさで現象を定義し(図1)、各現象の振動レベルを低減することを主体に進めてきた。しかし、周波数の低い所から高い所まで全ての領域で振動レベルを低減しようとする、ダンパの減衰力でトレードオフが生じ、複雑で高価なダンパを採用してその両立を図る場合が多い。

一方、ばね上の動きに関しては、車両の振動レベルや動きの大きさだけでなく、乗員の身体の振られ方や視線・視界の動きなどが影響していることも分っており¹⁾²⁾、これらと人の感じ方の関係メカニズムを解明することで、低周波と高周波の両立が可能と考えている。

従来は、視線・視界の動きや乗員の身体の動きを定量的に把握する事が困難であったため、そのメカニズム解明がこれまであまり進んでいなかった。今回新たに計測技術を開発し、実際の視線・視界や乗員の身体の動きに加え、シート上の動的な面圧を計測/分析することにより、ばね上

の動き～人が安心・快適と感じるメカニズムを解明したので、事例とともにを紹介する。

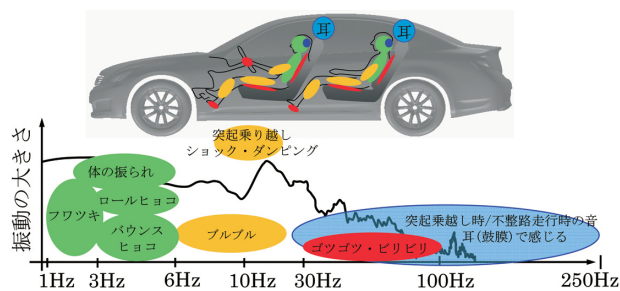


図-1 乗り心地の周波数と現象の定義
Fig. 1 Relation of frequency to ride comfort and definition of the phenomena

2. 乗員の視線の動きの計測

2.1 視線計測装置

これまでの視線計測装置では、専用の帽子に固定した

*実験技術開発部 **計測技術部

センサを用いるため、「普段通りの自然な運転が出来ないこと」や「カメラが視界の妨げになること」などの問題があった。そこで、非接触型の視線計測装置として、Smart Eye社製の「SmartEye」を適用した。

本装置は、実験参加者のドライバにセンサ類を一切装着する事なく、運転中の「視線角（ピッチ／ヨー方向）」と、視線の動きと関係の深い「頭部」6軸方向の動きを同時計測する事が可能である。

測定原理は、ダッシュボード上の複数の赤外線カメラ（図2）により、人の顔と眼球の特徴点を3次元で認識する事で、頭と視線角の動きを算出するものである（図3）。



図-2 実験時車両装着状態
Fig. 2 Measuring equipments on board

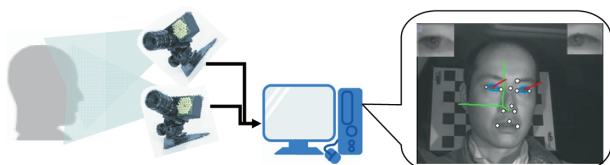


図-3 センサ（赤外線 CCD カメラ）と測定原理
Fig. 3 Sensors and measuring principle

2.2 測定結果

本装置により頭部角と視線角、車体の動きを同時計測した結果を図4に示す。

また、視線角の計測結果より、前方風景映像における視点位置の動きを動画で確認する時の測定結果を図5に示す。前方視界の中で、視点の位置がどのように動いているかを時系列で見られるので、視線の動きの大きさや速さをリアルに再現できるというメリットがある。

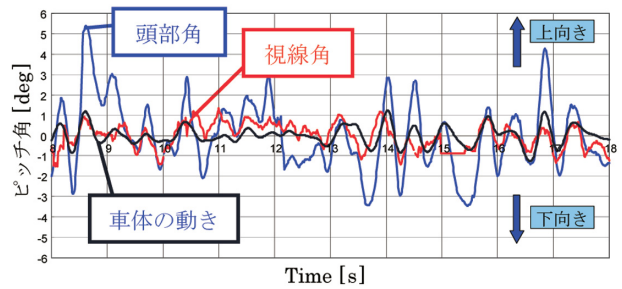


図-4 測定結果
Fig. 4 Measured result



図-5 測定結果（動画出力）
Fig. 5 Measured result (Video data)

2.3 分析事例

今回、ブルーピンググラウンド内のうねり路や不整路を運転中に計測した車体、頭部、視線の動きの大きさを比較した結果、車体の揺れに対し頭の揺れは大きく増幅される一方、視線の動きは小さく抑えられている事が分かった（図6）。

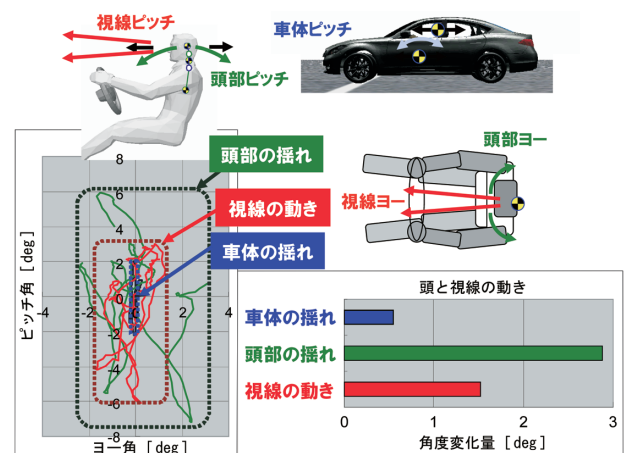


図-6 頭部の揺れと視線の動きの分析結果
Fig. 6 Analysis result of head waggle and line of sight

頭の揺れに対し視線の動きが小さいのは、一般的に「前庭動眼反射」とか「頸（けい）眼反射」と呼ばれる人間の反射機能（図7）による補正効果のためと考えられる。このことより、「人」は眼球の動きを（無意識に）制御し、視線を安定化させている事が確かめられた。

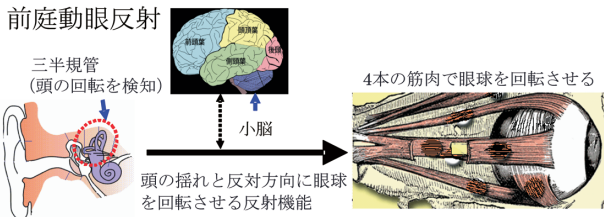


図-7 眼球の動きによる視線安定化のメカニズム
Fig. 7 Stabilizing mechanism of line of sight by eyeball rotation

また、一般的に安心感が高いと評価されている車とそうでない車を比較分析した結果、安心感の評価が低い車では、「頭部の動き」を抑え込む事より、視線補正を補っているという事を裏付けるデータが確認できた。

これらの結果から、頭部や眼球で視線・視界を補正制御する事そのものがストレスであり、不安感や疲労につながるというのが、「人」が安心感の高さの違いを感じるメカニズムと言える。

3. シート上の動的面圧の計測

3.1 シート動的面圧計測装置

「車体の揺れ」と「上半身」や「頭部」の揺れの関係には、身体が触れている「シート」の形状やパッドの硬さが大きく影響している。そこで、このシートから身体への入力計測手法として、動的（運転中）な面圧を計測する装置（図8）を新規に開発した。運転中の面圧を動的に計測するためには、シート形状に隙間無く設置が可能で、座り心地（感触）を損なうことなく計測ができるようになっていることが必要要件である。そこで、XSENSOR社製の面圧センサXSENSORを用いることとした。今回導入したシステムはセンサ部が2枚構成となっており、シートクッション、シートバックそれぞれに設置することで同期計測が可能になること、さらに計測中の映像も同期収集ができるため、実験中の実験参加者の映像を見ながら面圧分布の推移を確認できる強みがある。



図-8 シート動的な面圧計測装置
Fig. 8 Dynamic seat pressure distribution sensor

3.2 測定結果

本計測装置を使用して得られた測定結果の一例を図9に示す。この様な面圧分布の変化を、刻一刻と色が変わる様子を見る事でリアルに確認でき、さらに身体の左右方向のセンター（赤の点線）を基準に、面圧が高い部位の変動や面圧中心（赤丸）のセンターからのずれ量の変化によって、シートから身体への振られ入力の様子が確認できる。

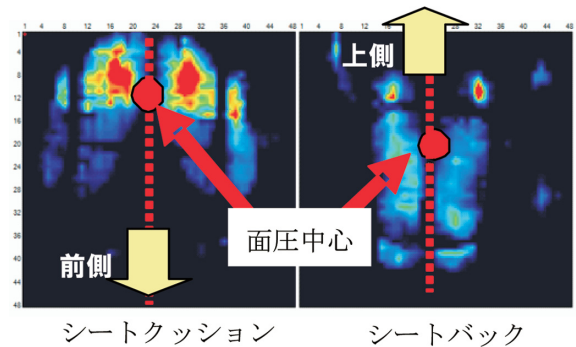


図-9 測定結果
Fig. 9 Measured result

3.3 分析事例

乗り心地の重要現象の一つである「身体の振られ」性能向上の効果確認を目的に、オリジナルシートと身体の振られ低減を狙った改善シートを付替えて、面圧分布の比較を行った。

図10にシートバックの面圧データの比較を示す。身体の振られ改善シートではロール入力が入る時に、その瞬間のシート肩部の入力（図中赤丸）が減っており、面圧中心もほとんど動いていない事が分かる。また、頭部に取り付けたGセンサのデータ（図11）でも左右方向の加速度で約10dBの改善効果があり、身体の振られが弱くなった事により、頭部の振られも大幅に低減される事が確認できた。

以上より、本計測システムによる計測・分析結果で、車体から乗員への入力の差異が確認でき、身体の振られ改善シートによる改善効果を定量的に示す事ができた。

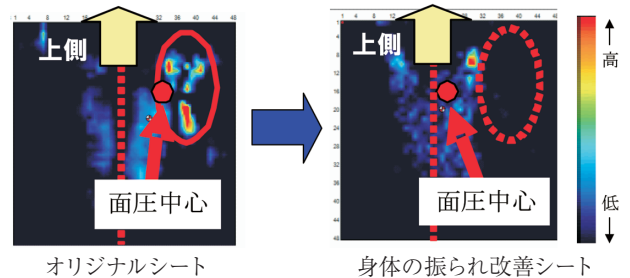


図-10 シートバック面圧分布の比較
Fig. 10 Result of improved seat (Seat-back pressure distribution)

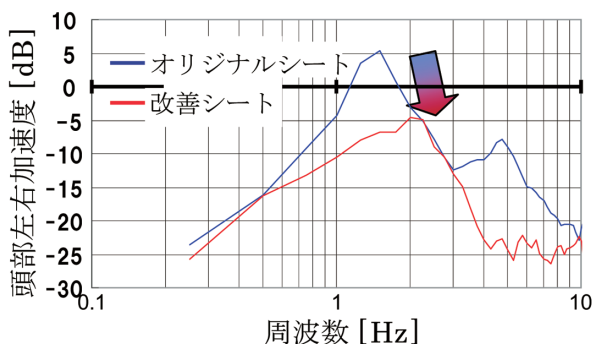


図-11 頭部加速度レベル比較（左右方向）

Fig. 11 Result of improved seat (Lateral G on the head)

4. ま と め

昨今、欧州車・韓国車を中心に、ダイナミック・パフォーマンスの性能向上が著しい。その様な競争環境のもと、安心・快適性を更に進化させていくためには、「人」の感じ方のメカニズムを解明し、人間工学的な知見から「ありがたい姿」を提示する事が重要で、そのために様々な人体特性を計測可能にする技術開発へのニーズが益々高まっている。

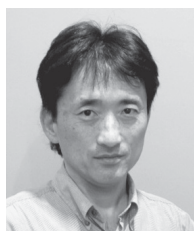
今回紹介した事例では、「非接触型視線計測装置」「動的面圧計測装置」という、最新の人体特性計測技術により「人」が安心と感じるメカニズム解明やシートによる改

善の可能性を示しているが、人にとって安心・快適な性能実現のためには、更に“視線補正のしやすい動き”の解明や、“シート上の身体の動き”の解析などについて、今回紹介した手法に加え人体のモデル化技術などを含めて推進していく必要がある。

5. 参 考 文 献

- 1) 古平貴大ほか：視覚・動揺感受性に基づく操舵過渡応答性能の向上（第3報）、自動車技術、学術講演会前刷集、No. 103-06、pp. 1-4（2006）
- 2) 和田隆広：ドライバ動揺感覚の解析とその姿勢制御装置への応用、第6回アクティブセーフティ部門委員会資料（2011）
- 3) 平崎鋭矢：歩行中の視線安定を維持する頭部運動と眼球運動、大阪大学大学院人間科学研究科紀要、Vol. 26、pp. 177-193（2000）
- 4) 大日方五郎ほか：前庭動眼反射機能に及ぼすワークロードの影響評価、バイオメカニズム学会、バイオメカニズム、Vol. 18、pp. 13-22（2006）
- 5) 平田豊：動的視覚安定化の脳内情報処理、日本神経回路学会、日本神経回路学会誌、Vol. 11、No. 4、pp. 176-192（2004）

■ 著 者 ■



林 秀 樹 仁 平 智 村 田 誠

燃費・電費向上のための低 C_D 化技術と流れ可視化技術

Low-Drag Car Development with Flow-Visualization Techniques for Fuel/Electricity Consumption

田中久史*
Hisashi Tanaka田中真悟*
Shingo Tanaka鈴木秀司**
Shuji Suzuki齋藤尚子*
Naoko Saitou岩塚美智子*
Michiko Iwatsuka浦幸隆***
Yukitaka Ura

抄 録 レースにおける高速走行へのニーズから始まった自動車の空力開発は、高速走行のニーズが高い欧州を中心に研究開発が進み、近年では環境問題への意識の高まりから低燃費化・CO₂削減を目的とした空気抵抗低減が全世界的に行われている。日産でも1968年に日本で初めて自動車用風洞を導入して以来積極的に空力性能向上に取り組んでおり、2007年に発表した日産GT-Rではエンジンルームを含めたプラットフォームまわりの流れを徹底的に追及し、ダウンフォースと低 C_D を両立する断トツの空力性能を実現した。こうした中で、最近では電気自動車（EV）やハイブリッド車（HEV）の様な動力源の多様化ともあわせてさらなる低 C_D 化のニーズが高まる一方で、デザインの差別化や低コスト化への要求も高く、低 C_D 化のためのアイテムが不足してきているのが実情である。そこで、今後のさらなる性能向上を実現すべく日産で取り組んでいる流れのメカニズム解明に基づく新たな低 C_D 化のアプローチと、それを支える流れの可視化技術を紹介する。

Summary Research and development of vehicles' aerodynamic performance has progressed especially in Europe, where it started as part of the quest to develop high-speed racing cars. In recent years, amid growing consciousness of environmental issues, development of low-drag passenger cars has been pursued for the purposes of lowering fuel consumption and reducing CO₂ emissions all over the world. Nissan has also actively implemented aerodynamic development since building a full-scale wind tunnel in 1968. A result of this effort was the successful development of the Nissan GT-R, released in 2007, which achieved top-class aerodynamic performance by optimizing airflow around a platform that included the engine room. However, although the need to develop low-drag cars has been growing year by year, differentiation of styling and cost reduction are also strongly demanded, and hence improvements in aerodynamic performance have stagnated. This article introduces a new C_D reduction approach to overcome this situation and a supportive airflow-visualization technique.

Key words : Body, Aerodynamics, flow visualization

1. はじめに

1898年のボルドー・ビアリッツレースで優勝した「ボレー・トリピリアル」は“世界で最初に流線型を採用した自動車”と言われており、また翌1899年に世界で初めて100km/hの壁を破った「ジャメ・コンタント号」は魚雷の様なカタチをしていた。どちらも実際の効果については疑問視する声もあるが、いずれにしてもこのころから100年以上にわたって自動車の車体形状は常に空気の影響（＝空力）を意識してきたと言える。

「速く」走るために始まった空力はそのニーズが高い欧州を中心に研究開発が進み、やがて環境意識の高まりとともに全世界共通で「低燃費化・CO₂削減」に向けた空気抵

抗の低減（低 C_D 化）が当たり前の様に行われるようになり、現在に至っている。そのため「風洞」と呼ばれる空力用実験設備（巨大な送風機を備えるトンネル状の試験室；図1）についても大半の自動車メーカーはもちろん、主要カロッツェリアも自前の設備を持ち、様々な研究や車両開発に取り組んできている。

日産自動車においても1968年に完成させた日本初の自動車用風洞を皮切りにいくつかの風洞を導入しつつ¹⁾²⁾、積極的に空力性能向上に取り組んできた。1990年発表の初代プリメーラ（P10型）は“キャビンフォワード”コンセプトにより居住性と空力性能を高い次元で両立させ、当時としては画期的な空気抵抗係数 C_D 値 = 0.29を達成した。また2007年に発表した日産GT-R（図2）ではエンジンルー

*実験技術開発部 **車両性能開発部 ***Infiniti 製品開発部

ムからプラットフォームまわりの流れを徹底的に追及し最適化することで、ダウンフォースと低 C_D を両立する断トツの空力性能を実現している。

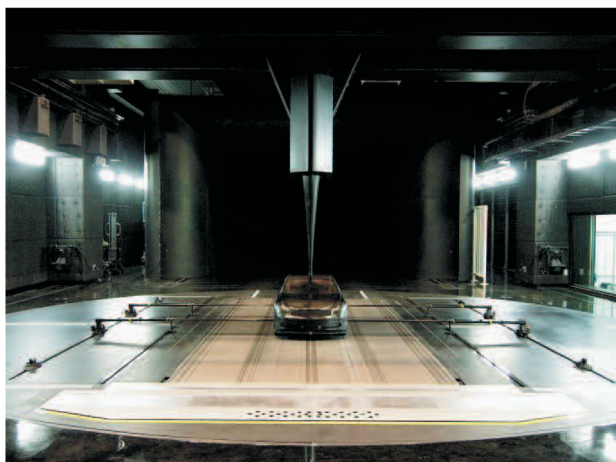


図-1 50%ムービングベルト風洞
Fig. 1 50% scale wind tunnel with moving belt system



図-2 日産 GT-R
Fig. 2 Nissan GT-R

最近では電気自動車やハイブリッド車の様に動力源の多様化もはじまっているが、少ないエネルギーで効率よく走りたいというニーズに変わりは無く、逆に回生ブレーキに代表される様なパワートレイン系の工夫による実用域での燃費・電費改善が進めば進むほど、高速走行域での走行抵抗の大半を占める空気抵抗の低減は必要性を増す一方である。

この様に100年以上にわたる歴史を経て、今後さらに積極的に低 C_D 化を進めていくためには、当然今までとは違った新しい取り組みが必要となる。そこで本稿では、新しい時代に相応しい新たな低 C_D 化アプローチと、それを支える流れの可視化技術について紹介する。

2. 空力開発における可視化技術の役割

2.1 従来の低 C_D 化アプローチ

自動車の車体に作用する空気抵抗の大半は車体形状に起因する圧力抵抗からなっており、特に上屋とよばれる外観部分の占める割合が大きい。

しかし C_D に関係するといわれている部位は上屋だけでも数十箇所にはのぼる一方で、各部位で得られる低減効果の多くは車体全体で発生する C_D の数%程度と小さいため、性能改善には多くの部位について網羅的に行う必要があり、莫大な実験数が必要となる。しかもそれら空気抵抗源の多くは剥離や渦の有無などで大きく傾向が変化する非線形性および不連続性を有するため、たとえば「トランクの高さを10mmアップすると C_D 値5%向上」の様に単純に予測することや、あるモデルで効果があった対策をそのまま別のモデルへ適用するという事はできない。

多くの風洞では「主(ヌシ)」とも呼ぶべきその道一筋のベテランが豊富な経験と勘を頼りに改善アイデアを次々と考え出す、あるいは車体の上流側から地道にヶ所ずつ丹念に形状を振りながら風洞での計測を繰り返して最適点を探していく(=部分最適化手法)、という様なアプローチが多く行われてきた。

しかし低 C_D 化へのニーズがどんどん高まる一方でデザインの差別化への要求も高い中、従来の経験や勘、部分最適化実験の積み重ねによる性能向上検討だけではもう限界にきていると言え、新しいアプローチが必要となっている。

2.2 帰納的アプローチを用いた低 C_D 化への取り組み

一般的に複雑な現象の多くは、単純な現象の組み合わせで表現できると考えられる。その場合単純な現象を決定付けているパラメータ間の関係性を発見し、階層的に組み合わせることで複雑な現象を大まかに表現することが可能となる。そしてそれらの情報をヒントにすることで現象を予測し、さらに詳細を分析することで新しい発見も期待できる。

また、従来は個々の経験や既知メカニズムの積み重ねにより C_D の良い車両を作り上げてきたが、逆にいろいろな車両を集めて比較検討する中から特定の群や部位ごとに単純な関係性を複数発見し、それらを階層的に組み上げることでトータル C_D を予測することや、性能向上に貢献する新しい関係性を見いだすことが期待できる。このようなアプローチを従来型の「演繹的」に対して「帰納的アプローチ(図3)」と呼ぶ。

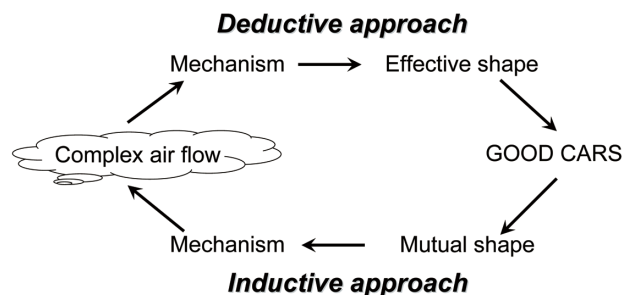


図-3 演繹的アプローチと帰納的アプローチ
Fig. 3 Deductive and inductive approach

日産では低騒音実車風洞を導入した1985年から25年余の間に、乗用車300台分以上のデータをストックしてきた。これらには同風洞で計測した空力6分力と、たとえばトランク面の高さやバンパの高さなどの「空力に効く」とされている37ヶ所の形状情報（寸法、R、傾斜角など）を含み、先輩方から代々受け継いできた貴重な財産である。

そこでこれを母集団とし、目的変数をC_D、設計変数を37ヶ所の形状情報として帰納的アプローチによる分析を試みた。

当然特性・特徴の異なる車両が混在しているため、そのまま同一の近似関数で回帰しても意味のある情報が得られるとは考えにくい。そこで複数のグループに分けて回帰分析を行うことで精度の高い情報を得るとともに、それを階層的に組み合わせることで各部形状情報とC_Dとの関係、交互作用などの低C_D化につながるヒント、感度情報を用いたC_D値予測式の導出を目指した。その際データ全体を意味ある階層的な体系に分類し組織立てていくアルゴリズムには、階層的クラスター分析（HCA）に基づく日産オリジナルのものを使用した³⁾。

実際に分析を行った結果、交互作用を持つ複数のパラメータの関係性など、多くのヒントを得ることができた（図4）。さらに各設計変数同士の関係性を立体的に可視化（図5）して詳細に観察することで、実際には300台余の車両が「流れの特徴が異なるいくつかのグループに大きく分

かれること」「さらにその隙間を狙うことで飛躍的な性能向上が期待できそうなこと」がわかった。

またその観点から改めて一部階層構造を見直して再分析するとともに、「流れの特徴」をヒントに形状検討を加えることで居住性などの条件を悪化させることなく、またグリルシャッターの様な可動パーツなども使わずに市販車断トツのC_D値=0.24を達成するアイテムの発見へとつながった。さらに得られた関係式を整理した結果、各部形状情報からC_D値をR²=0.9で予測可能な簡易式を得ることができた。

現在車両開発においては、例えば造形から提案されたモデルについて形状情報より所属する群（クラスター）を特定し、現形状でのC_D見込み値とともに性能向上に向けた攻めどころと効果代を見積もる、あるいは定められた目標から所属すべきクラスターを限定して各部形状に対する空力からのOB杭を提示するといった形で活用中である。

2.3 流れの可視化技術が持つ役割

従来の経験や勘、実験データの積み上げによる低C_D化検討に替わる新しいアプローチの一つとして、2.2節ではHCAから得られるヒントを基に、各部位形状とC_Dとの因果関係を読み解く方法を紹介した。HCAを行うことで各パラメータの要因効果とともに、交互作用など多くのヒントを得ることができた。ただしそれらはあくまでも「統計的に」得られた情報であって、物理的には正しく無いものも含まれてしまう。そのため、そこから真に有益な情報を導き出すためには、「正しい」情報のみを選び分けて使うことが非常に重要になってくる。

また同様に日常の研究開発の中でも、低C_D化に貢献し得る様々な「気づき」が得られることは多い。それぞれの真偽を見極めるための判断基準はいくつか考えられるが、得られるC_D値の変化についてメカニズムがきちんと説明できるということが、最も重要かつ確実な基準であろう。

C_D値変化のメカニズムがわかるということは、形状変更に伴う流れの変化の様子がわかり、またその流れの変化によりC_Dの増減が説明できるということである。この「流れの変化の様子」をとらえるために必要な技術が「流れの可視化」である。

流れを知るために従来から表面の圧力や車体近傍の風速を測る、いわゆる「流体計測」が行われているが、準備・計測に要する時間面での制約、およびプローブや配管・配線などの取り回しにより流れが乱されかねないという空間面の制約から、特別な場合を除いて流れ全体をとらえるために数多くの点を計測することはしづらいのが現状である。しかしながら流れを理解するためには、やはり面または空間としてある程度の範囲をカバーして感覚的にとらえる「可視化」が必要不可欠であり、現在に至るまで多くの工夫がなされてきている。

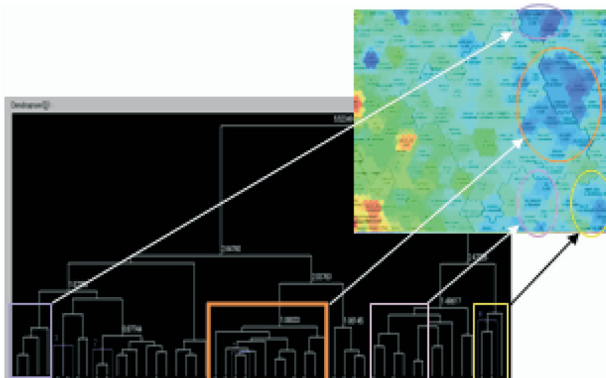


図-4 自己組織化マップ³⁾⁴⁾と階層樹形図
Fig. 4 SOM (self-organizing map) and hierarchical clustering tree

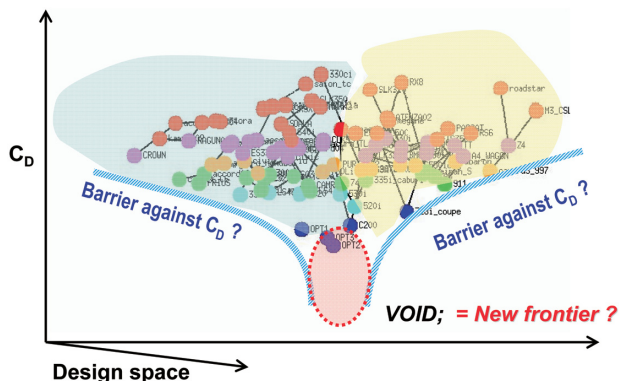


図-5 立体クラスタマップ
Fig. 5 3D cluster map

3. 流れの可視化技術

3.1 従来からある可視化技術

「流れを見たい」という欲求は、多分自動車の空気に限らず流体を扱う全ての人に共通な根源的な欲望ではないかと思う。そして、古くから現在に至るまで最も日常的に活用されているものは「煙」「油膜」「タフト」である。

大半の人は理科の実験で、水の中に赤インクを流して流れの様子を観察した経験を持っているであろう。自動車など空気を扱う場合は、インクのかわりに煙を使って対象物まわりの流れを観察する(図6)。大がかりな準備や設備が不要で簡単に実施できるため、可視化のための煙発生装置を持たない風洞は皆無と思われるくらい一般的であり、自動車のカタログや広報資料でもよく使われているおなじみの方法である。



図-6 煙による車体中央断面流れの可視化
Fig. 6 Flow visualization with smoke

一方物体表面に塗料を混ぜたパラフィンオイルなどを塗りつけて送風し、オイルが流れていく様子で物体表面流れの方向などを観察する方法が「油膜法」である(図7)。これは空気中だけでなく、水中での可視化実験でもよく使われる方法である。



図-7 油膜法によるサイドウィンドウ流れの可視化
Fig. 7 Oil flow visualization pattern on the side window

またオイルのかわりに糸を使うのが「タフト法」である。物体表面に糸を多数並べて流れを観察するという一般的な方法(図8)のほかに、先端に糸をつけた細い棒を流れのあちこちに差し込んで流れの方向を観察するタフトス

ティック法や、格子状に組んだワイヤなどの各交点にタフトをつけて面として流れをとらえるタフトグリッド法など、幅広く使われている。



図-8 タフトを用いた流れの可視化
Fig. 8 Flow visualization with tufts on car-body

これらはいずれも比較的単純な方法であるが、使い方を工夫することで剥離の有無や流速の大小、乱れの度合いや渦の中心位置など、多くの有益な情報を得られる強力なツールとして日常的に活用されている。しかし一方で、どれも「職人芸を要する」「定量的な把握が難しい」「高速・複雑な流れには限界がある」という共通の課題がある。

たとえば油膜法に使うオイルの粘度によって得られる模様が変化してしまうし、タフトも貼り方や結び方により癖があらわれてしまう。また風速や乱れなどを定量化することは難しく、大きさなどは容易に計測できるものの、前述の通り粘度や貼り方が大きくなればつき要因となるため、リピータビリティまで考慮すると心許ない。

さらに煙やオイル、糸では可視化できる現象の細かさに限界がある一方で、それらが100km/h以上の流れの中で発生しているため、人の目が追いついていくことも困難である。

しかし「流れを見たい」という欲求は根強いものであり、様々な工夫を凝らすことでこれら弱点を克服した新しい可視化技術が実用化されつつある。

3.2 蛍光油膜法

物体表面の流れの様子をパラフィンオイルを使って可視化する「油膜法」は、オイルの粘度によって流れの様子が異なって見えてしまうという弱点のほか、細かい渦の様子まで可視化することが難しいという問題点がある。

一般的には酸化チタンをパラフィンオイルに混ぜたものを使うが、表面流速が遅い場所では模様が現れるまでに送風時間を要し、一方流速が速い部位はその間にオイルが全て流れて模様が消えてしまうため、広い範囲で綺麗に可視化することが困難である。また送風をやめたあとは流速が遅くてオイルが溜まった部位を中心に模様が滲むことや、重力で垂れ落ちて変形してしまうことなどが起きてしまう。しかし送風しながら流れを観察する場合は主流域の

外からの観察となるため、距離の問題から細かい観察は難しい。

そこで考えられたのが、蛍光顔料の細かい粉末をシリコンオイルに混ぜたものを使う「蛍光油膜法」である。

オイルを塗って送風するという作業は従来の油膜法と大きくは変わらないが、送風は従来の数倍の時間をかけて、オイルがほとんど全て吹き飛んでしまうまで待つことになる。送風後は一見「なにも残っていないのではないか」という状態になるが（図9）、そこにブラックライトを当てると流れの様子が従来手法とは比べものにならないくらい詳細に浮かび上がる（図10）。



図-9 蛍光油膜法（送風後）
Fig. 9 Fluorescent oil flow

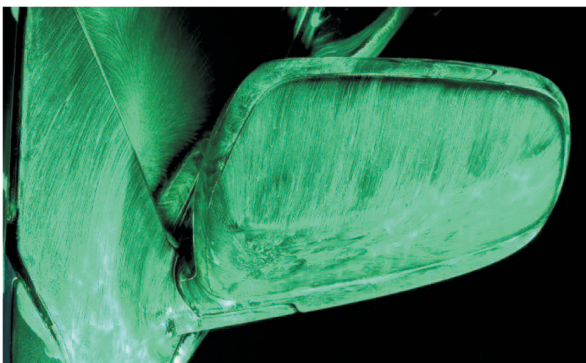


図-10 蛍光油膜法（ブラックライト照射時）
Fig. 10 Fluorescent oil flow with black light

蛍光油膜法の場合には、流れの様子はオイルではなく蛍光顔料の模様となって表れるため、オイルはほぼ全量吹き飛んでしまって構わない。そのため場所ごとの表面流速の違いを気にする必要は少なく、また送風停止後もしみやオイル垂れの影響を受けずに済むため時間をかけてゆっくり詳細を観察することができ、またその解像度も従来手法とは比べものにならないくらい細かいところまで観察できる。

ブラックライトを使わないと目に見えない、風洞内へのオイルの飛散を避けることができない、という2つが難点ではあるが、大きな物体でも比較的簡単に可視化でき、しかも非常に細かいスケールの剥離泡まできちんと観察でき

るという点で、とても貴重な可視化手法と言える。

3.3 感圧塗料を用いた表面圧力計測手法

先に述べた通り自動車の空気力の大半は表面圧力によるものであるため、車体表面の圧力分布を見ることで直接空気力の発生源を特定することができる。しかし一般的に物体表面の圧力を計測する場合、表面に小さな穴を開けてパイプなどで圧力を導き、一点一点圧力センサにつないで計測する必要があるため、準備に非常に時間を要する。簡易にごく薄い圧力センサを表面に貼付けるといった方法もあるが、センサ自体（および大抵は配管・配線も）によって物体表面形状そのものが変わってしまうため、多点計測には限界がある。

従って物体表面形状を変えずに圧力を面で計測する手法は非常に根強いニーズがあり、その一つの解決策として「感圧塗料（PSP）」と呼ばれる特殊な塗料を用いる方法がある。当初は航空機分野で使われていたが、徐々に自動車などで使った事例も報告されつつある。

PSPは特定の波長の光を吸収しそのエネルギーを別の波長の光として発光する蛍光塗料の一種で、周囲の酸素濃度が高まると放出する蛍光（または燐光）が暗くなる効果を有する。酸素濃度は空気の大気圧に比例することを利用して、蛍光（または燐光）の強弱を観察することで圧力の大小を得る方法である。（同時に燐光時間が変化するため、燐光時間の長短を圧力へ置き換えるという方法もある。）

具体的にはあらかじめモデルなどの表面にPSPを塗り、送風中に紫外線などの励起光を照射しながら放出される蛍光を高感度カメラで撮影する。その後画像データを基に部位ごとに明るさを計算し、そこから部位ごとの圧力を得る⁴⁾。

蛍光は非常に弱いため、実際に実験を行う場合には風洞を真っ暗にして蛍光だけを超高感度ビデオカメラで撮影できる様にし、それを長時間撮影して時間方向に積算することで精度を稼ぐという方法を取る。この様な工夫により、センサや配管・配線などの影響を受けずに物体表面の圧力分布を詳細に計測することができる（図11、図12）。

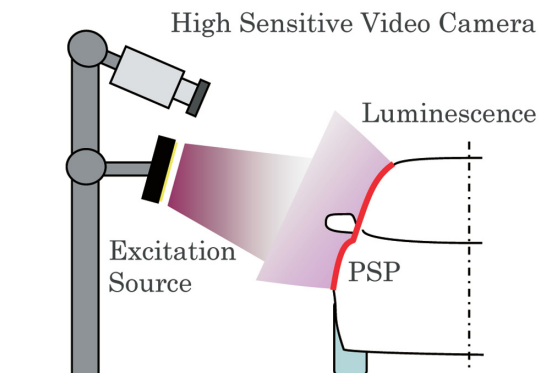
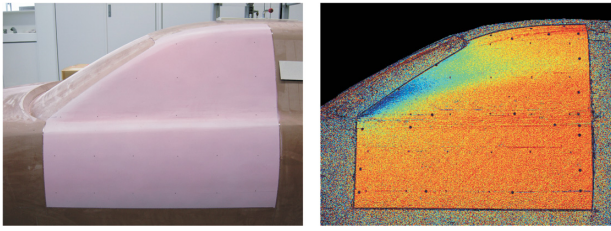


図-11 感圧塗料を用いた圧力計測レイアウト
Fig. 11 PSP measurement schematic



a) PSP painted b) Measured pressure

図-12 感圧塗料を用いた圧力計測結果
Fig. 12 Pressure measurement with PSP

しかし PSP における酸素による消光作用は酸素濃度、すなわち「空気の絶対圧」に比例するものであり、一方主流速 100km/h で実験をした場合に発生する表面圧力の分布は、大気圧約 100kPa に対してせいぜい 0.5～1kPa 程度の増減に過ぎないことから、フルレンジでも明るさの変化は 1% 程度に過ぎない。航空機の場合は風速が数倍速いため辛うじて SN 比を稼ぐことができたが、自動車の場合にはこの変化幅の小ささが大きなネックになっている。しかも PSP からの蛍光強度は温度によっても変化するため、計測の間モデルや気流の温度が全く変化しない様に制御する、あるいは温度変化を同時に計測して補正するなどの処理も必要となってくる。またこの様な方法の場合には時間平均値しか得られない。(別に変動計測にフォーカスした PSP 計測手法もある。)

本手法はまだ残念ながら日常的に活用するにはいくつかのハードルが残っている。超高感度カメラや強力な励起光源などのハードウェア側と、画像処理やノイズ除去などのソフトウェア側はそれぞれ大きく進みつつあるが、やはり肝心のセンサとも言うべき「塗料」の革新に期待するところが非常に大きく、逆に高性能の塗料が開発された場合には一気に用途が拡大する方法であると言える。

3.4 PIV

3.1 節では「煙」を用いた流れの可視化方法について紹介したが、画像処理技術を用いた発展版とも言うべき手法が PIV (Particle Image Velocimetry) である (図 13)。

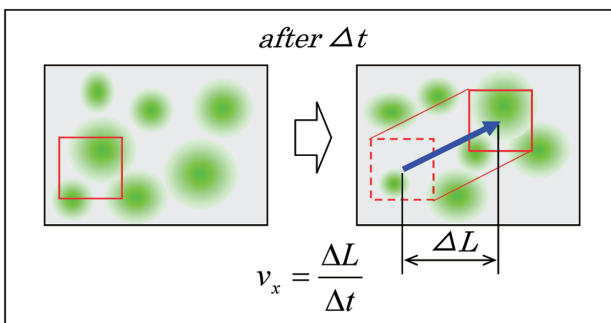


図-13 PIV 基本原理
Fig. 13 PIV principle

煙を流して流れを可視化している様子を、短い時間間隔を置いて撮影した 2 枚の写真で見比べると、煙の濃淡や渦など同じ塊が少しだけ移動している様子が見取れる。この時あらかじめ写真上で寸法と撮影時間間隔がわかっているならば、その部分が動いた方向とスピード、すなわち速度ベクトルを得ることができる。この原理を用いて画面全体を解析することで、撮影した瞬間の流れ場全体の速度ベクトル図を得る手法が PIV である。

100km/h またはそれ以上の非常に速い流れを正確に撮影する必要があることから、数千分の 1 秒のスピードで撮影できる超高速カメラ (たいていは時間変化を得るために超高速ビデオカメラ) を用いるが、露光時間が非常に短くなるため、光源にはシート状に広げた強力なレーザを併用するのが一般的である。図 14 に実際の様子を示す。

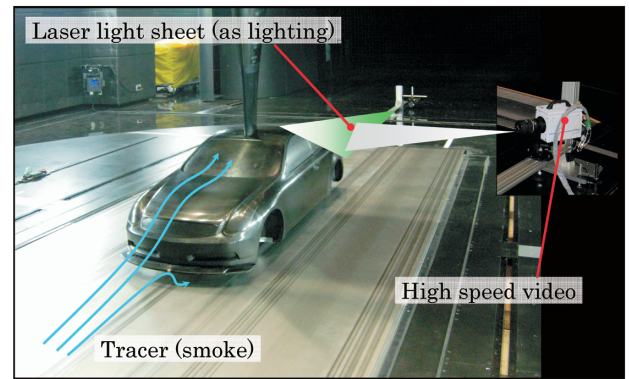


図-14 PIV 計測実験の様子
Fig. 14 PIV schematic

計測の鍵は撮影する画像の鮮明さにかかっており、ピントのぼけや画像のブレは大敵である。どうしても明るさが不足するために絞りを開いてシャッタースピードを長くとりたくなるが、その場合被写界深度が浅くなって画面全域でピントが合わなくなり、また画面のブレも大きくなって良好な結果を得られない。煙の濃度を増すと明るさも増すが、本当に計測したい断面内だけに流すことはできないため、逆に手前の煙が流れ場を隠してしまう原因にもなり得る。結局レーザの出力を上げたいが、非常に危険なため安全上取り扱いが難しくなる。

従って単なる流れの可視化と比べると PIV は数段取り扱いが難しく、また妥当な計測結果を得るためには多くのノウハウ蓄積が必要である。特に車体まわりの流れ場を計測しようとした場合、どうしても流れを乱さない様にある程度離れた場所から計測する必要があるため、難易度は格段にあがる。

日産では 2007 年の 50% ムービングベルト風洞建設にあわせて、車体まわり流れ解析用に PIV を導入した。特に安全面を確保しつつ、ある程度の自由度を持って計測できるように風洞設備と PIV システムの双方について工夫を凝らし、かつノウハウを積み重ねてきた (図 15)。

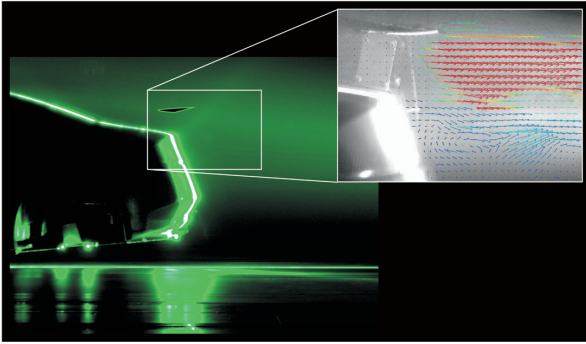


図-15 PIV計測結果（リヤスポイラまわり流れ）
Fig. 15 Airflow pattern around rear spoiler measured with PIV

PIVはPSPと同様にセンサを用いずに非接触で流れ場を面でとらえることができる強力な流れの可視化技術であり、これらを日常的に使いこなしていける様になると、流れのメカニズム解明が一気に進み、さらなる性能向上への道が期待できる。

4. おわりに ～流れの可視化技術の今後～

環境問題への取り組みは自動車という商品そのもののサステナビリティをも左右する重要な課題であり、従来型のいわゆるエンジンを用いた自動車はもちろん、電気自動車の時代になっても低C_D化へのニーズは高まる一方である。しかもそれはデザインやほかの要件を妨げることなく実現する必要があり、そのためにも流れのメカニズム解明とそれを支える流れの可視化技術の発展は欠かせない。

一方でコンピュータの性能向上とそれに伴うコンピュータシミュレーション技術の発達はめざましい。もともとその豊富な情報量を活用して「メカニズム解明」に取り組むという研究はごく一般的に行われてきており、また実際にC_D値などの計算精度も風洞実験と遜色無いレベルまで向上しつつある。コンピュータシミュレーションも強力な可視化技術の一つである。

自動車の空力開発においてデザイン要素を最大限確保

するためには、今後ともデザイナーと共同での細かい作り込みのための風洞実験は欠かせないものと考えている。デザインと空力を高い次元で両立させるために、両者の協業はますます密度の濃いものとなっていくであろう。

その時に必要となるのは「その場でさっと試せる」可視化技術である。実験中迷った時にさっとその場で試して、次の方向性を判断できる手軽さである。

PSPやPIV並の情報が30分足らずでさっと得られる様になった時、きっと自動車の空力開発スタイルは劇的に変わるに違いない。「実験技術の革新」と「コンピュータの高速化」のどちらが先にこれを実現するのか、非常に楽しみな技術競争かもしれない。

5. 謝 辞

本報で紹介した蛍光油膜法や感圧塗料による圧力計測手法は宇宙航空研究開発機構の渡辺重哉センター長（当時）をはじめとする風洞技術開発センターの皆様と、東北大学 浅井圭介教授および研究室の皆様から、共同研究などを通じて技術指導をいただいたものである。ここに記し、感謝の意を表する。

6. 引用文献

- 1) N. Ogata, et. al : Nissan's Low-Noise Full-Scale Wind Tunnel, SAE Paper No. 870250 (1987)
- 2) 臼井美智子ほか：新設ムービングベルト付50%スケール風洞、自動車技術学会、学術講演会前刷集、No. 44-08、pp. 23-26 (2008)
- 3) 齋藤尚子ほか：クラスタリング手法を用いた車体空気抵抗低減開発、自動車技術学会、学術講演会前刷集、No. 43-12、pp. 1-4 (2012)
- 4) 依田大輔ほか：偏揺角のついた単純自動車模型の風下側圧力分布のPSP計測、可視化情報学会誌、No. 28、Suppl. 1、pp. 97-100 (2008)

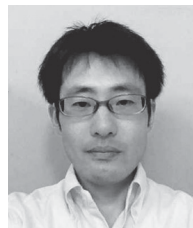
■ 著 者 ■



田中久史



田中真悟



鈴木秀司



齋藤尚子



岩塚美智子



浦幸隆

薄膜圧力センサを用いたエンジン主軸受油膜圧力測定手法の開発

Development of an Oil Film Pressure Measurement Method at Main Bearings in an Operating Engine using Thin-film Pressure Sensors

乾 正 継*
Masatsugu Inui

大 脇 建 作*
Kensaku Oowaki

古 川 卓 儀*
Takayoshi Furukawa

春 井 淳*
Jun Harui

小 林 誠**
Makoto Kobayashi

牛 嶋 研 史**
Kenshi Ushijima

抄 録 エンジンの燃費向上にはクランクシャフト主軸受の摩擦損失低減が有効である。そのためにクランクシャフトと軸受間の潤滑状態すなわち油膜圧力分布を把握する必要がある。今回エンジン主軸受の油膜圧力を測定することを目的として、軸受の剛性や形状を変更せず、しゅう動面の圧力を測定できる薄膜圧力センサを開発した。このセンサを用いて実働中の主軸受の油膜圧力を測定すると共に、EHL解析による油膜圧力計算を実施した。本報では薄膜圧力センサ及び油膜圧力の測定結果と解析結果について紹介する。

Summary In order to analyze the oil pressure distribution of an engine's main bearings, we developed thin-film pressure sensors that do not involve changing form or bearing rigidity. Using thin-film pressure sensors, we measured the oil pressure of main bearings in an operating engine and conducted calculations using EHL analysis. This article describes the characteristics of thin-film oil pressure sensors, the results of measurement, and the results of comparison with calculations of oil pressure at main bearings.

Key words : Testing, engine component, gasoline engine, tribology, bearing, crankshaft, calculation, EHL, thin-film pressure sensor

1. はじめに

近年のエンジンは燃費向上と排ガス低減のために、シリンダ内圧力が高くなる一方で、エンジンを構成する部品は小型・軽量化が進められている。その結果、エンジン軸受にかかる面圧は従来以上に増大し、クランクシャフトと軸受間の潤滑状態はより厳しくなっている。従来クランクシャフトと軸受間の潤滑状態改善のために、軸受材の耐力向上、軸受形状の最適化、軸受クリアランスの拡大などで対応してきた。今後更なる燃費低減を進めるにはクランクシャフト主軸受の摩擦損失低減が重要であり、そのためにクランクシャフトと軸受間の潤滑状態、すなわち油膜圧力分布を把握する必要がある。

本研究ではクランクシャフト主軸受の油膜圧力分布の把握を目的に、エンジン実働中の油膜圧力の測定と弾性流体潤滑理論 (EHL) を用いた油膜圧力解析結果との比較を試みた。主軸受の油膜圧力測定には、軸受形状や剛性を変えることなく圧力の測定が可能である薄膜圧力センサをガソリンエンジンに適用した。本報では薄膜圧力センサの特徴、実機での油膜圧力測定結果、並びに解析結果と比較した結果について紹介する。

2. 薄膜圧力センサ

2.1 計測原理

薄膜圧力センサは金属抵抗素子であり、圧力の作用によって電気抵抗が変化する。この抵抗変化を図1に示すようなホイートストンブリッジ回路で電圧変化に変換して、油膜圧力の計測を行った。基本的な原理はひずみゲージと同じであり、ひずみや温度による抵抗変化が大きい場合は、圧力の計測誤差を生じる可能性があるため、センサ作成にあたってひずみ感度と温度感度を十分に低減させる必要がある。

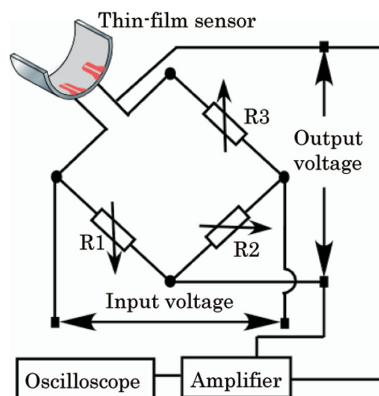


図-1 測定系統図
Fig. 1 Measurement circuit

*パワートレイン実験部 **パワートレイン第一技術開発部

2.2 センサ構造

図2に薄膜圧力センサの基本構造を示す。スパッタリング装置を用いて、主軸受（基盤①）の表面に基盤とセンサ間の絶縁膜として Al_2O_3 を $3.0\mu m$ 、圧力を検知するセンサ膜としてCu-Mn-Ni合金を $0.2\mu m$ 、センサ膜の絶縁及びクランクジャーナルとの接触によるセンサの剥離・破損を防ぐ保護膜として Al_2O_3 を $2\mu m$ 、それぞれ成膜した。

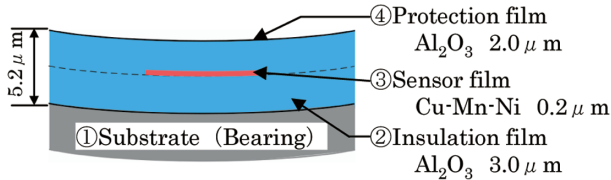


図-2 薄膜圧力センサの膜構成
Fig. 2 Structure of thin-film pressure sensor

2.3 圧力感知部形状

図3にセンサ膜形状を示す。センサ膜は信号を外部に取り出すためのリード膜 (a) と圧力を感知する感知膜 (b) とで構成される。リード膜は全長11.5mm、幅2mmと3.5mmの複合幅をもつ形状とし、感知膜は軸受の変形による測定誤差を低減するため $\phi 45\mu m$ 、幅 $20\mu m$ の二つの半円弧で、中心の二つの半円を接続するツインアーク形状とした。

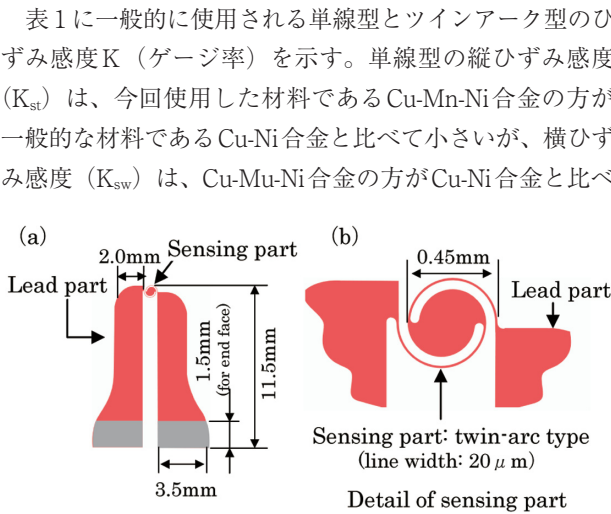


図-3 センサ膜形状
Fig. 3 Shape of thin-film pressure sensor

表-1 単線型とツインアーク型のひずみ感度
Table 1 Comparison table gauge factor K

	Staight line type		Twin-arc type	
Direction	(X)	(Y)	(X)	(Y)
(a) Cu-Mn-Ni	$K_{swc}=-1.19$	$K_{alc}=0.59$	$K_{twc}=-0.31$	$K_{tlc}=-0.30$
(b) Cu-Ni	$K_{swa}=-0.05$	$K_{sla}=1.95$	$K_{twa}=0.90$	$K_{tla}=0.95$

て非常に大きい。一方でツインアーク型のひずみ感度は、縦方向、横方向ともに小さい。

2.4 圧力感度と温度感度

圧力感度は圧力容器にセンサを形成した軸受を入れ、油圧ポンプで0~200MPaまで加圧した時の抵抗変化を確認した。図4に示すように薄膜圧力センサの圧力感度は $\alpha_{P20}=18(\mu\Omega/\Omega)/MPa$ となり、1%以下の非直線性とヒステリシスが得られた。

温度感度は恒温槽にセンサを形成した軸受を入れ、20~120℃まで温度変化を与えた時の抵抗変化を確認した。図5に示すように薄膜圧力センサの温度感度は $\alpha_T=1.0(\mu\Omega/\Omega)/^\circ C$ であり、単位温度あたりの圧力誤差は0.06MPa/℃と、温度による圧力誤差は無視できるレベルであると判断した。

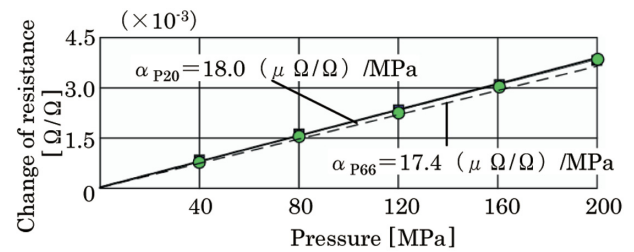


図-4 圧力感度
Fig. 4 Pressure-output characteristics

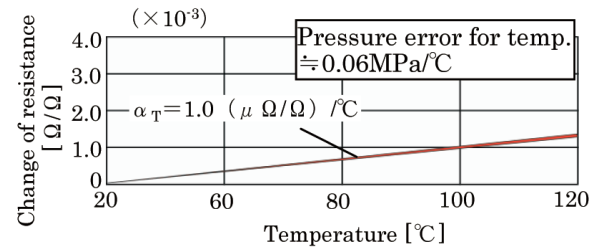


図-5 温度感度
Fig. 5 Temperature-output characteristics

3. エンジン主軸受における油膜圧力測定

3.1 供試機関

実験に用いたエンジンは排気量 $2488cm^3$ （ボア径 $\phi 89mm$ 、ストローク $100mm$ ）の直列4気筒水冷4サイクルガソリンエンジンである。表2に主軸受の主要諸元を示す。

表-2 主軸受の主要諸元
Table 2 Main bearing specification

Items	Details	Units
Rotation speed	2000	rpm
Shaft diameter	55	mm
Bearing length	20	mm
Diametal clearance	0.023	mm

3.2 計測位置及びエンジン外部へのリード線導出方法

図6に主軸受の油膜圧力測定位置を示す。測定は2番主軸受ロア側で行った。薄膜圧力センサの圧力感知部は主軸受合わせ面から45°、90°、135°の位置、軸受幅中心10mmの位置に形成した。また主軸受の温度を確認するため、クランクハウジングのフロント側とリヤ側にそれぞれK型熱電対を設置した。

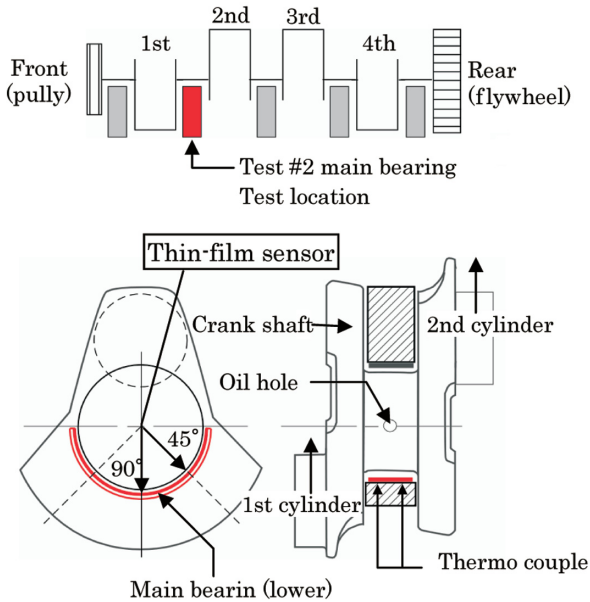


図-6 油膜圧力とベアリング温度測定位置

Fig. 6 Measurement point of oil film pressure and bearing temperature

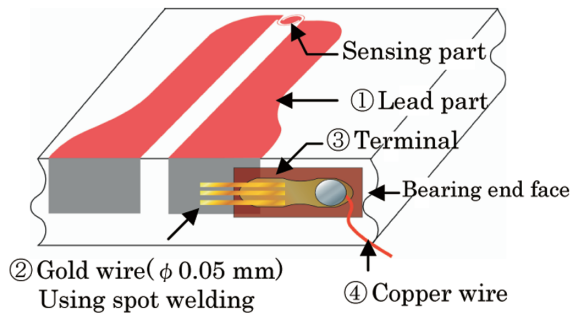


図-7 薄膜圧力センサからのリード線導出

Fig. 7 Wiring from thin-film pressure sensor

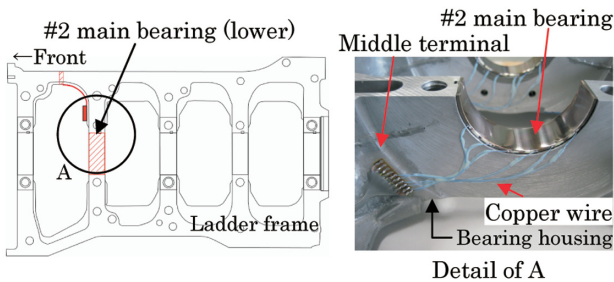


図-8 エンジン外部へのリード線導出方法

Fig. 8 Wiring from main bearing to outside of engine

薄膜圧力センサの信号は図7に示すようにリード膜①を軸受端面側面まで形成し、ここで $\phi 50 \mu\text{m}$ の金線②を溶接して、ターミナル③を介して外部リード線④に接続した。外部リード線④は図8に示すようにラダーフレームの壁面を介してエンジン外部の計測機器と接続させた。

3.3 測定結果

図9は機関回転速度が2000rpm、全負荷条件における測定結果であり、(a)に油膜圧力測定値を、(b)に各気筒の筒内圧力を示す。測定位置135°については測定中にセンサが破損し測定不能となったため、計測位置45°、90°について結果を示している。油膜圧力は当該軸受部に隣接する1、2番気筒の筒内圧力の上昇の影響を受けて増大する。3、4番気筒の筒内圧力ピーク位置においても油膜圧力の立ち上がりが見られるが、その値は1、2番気筒のそれと比べて小さい。1番気筒の燃焼時の油膜圧力は2番気筒のそれと比べて大きく、軸受間の荷重分担が異なることが推測される。図10に2番クランクハウジングの温度測定結果を示すが、フロント側の温度が高くなっており、クランクシャフト曲げ剛性とハウジング剛性の影響を受け、この差が生じていると考えられる。なお、計測位置90°のクランク角度0°付近に油膜圧力の急激な低下が見られるが、これはクランクジャーナルの油孔が軸受に形成した薄膜圧力センサの直上を通過した際の圧力低下を測定したものである。

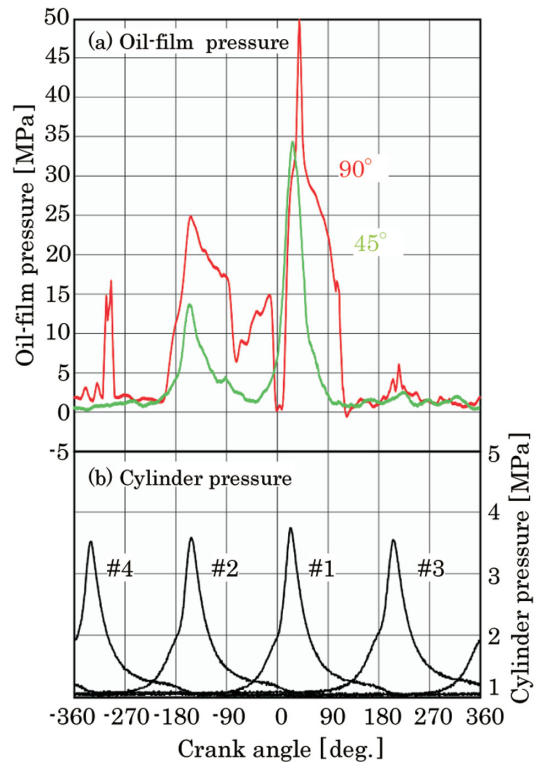


図-9 #2主軸受油膜圧力測定結果

Fig. 9 Measurement result of oil film pressure at #2 main bearing

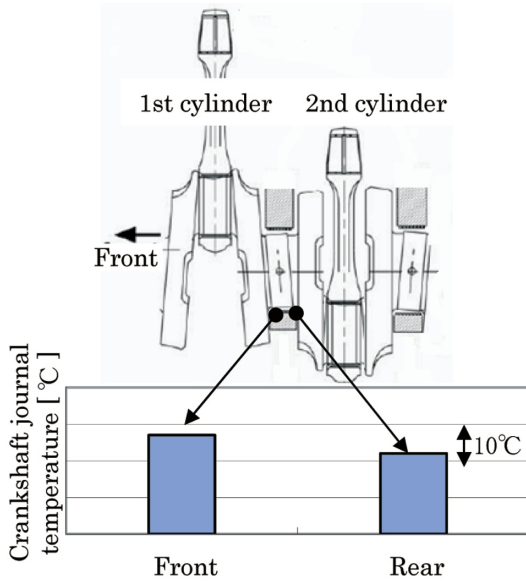


図-10 #2 主軸受部の温度測定結果
Fig. 10 Measurement result of crankshaft journal at #2 main bearing

4. 実機測定とEHL解析結果との比較

4.1 計算手法

図11に示すようにクランクシャフトとシリンダブロックのFEM解析モデルを用いて連成計算を行い、軸受の垂直

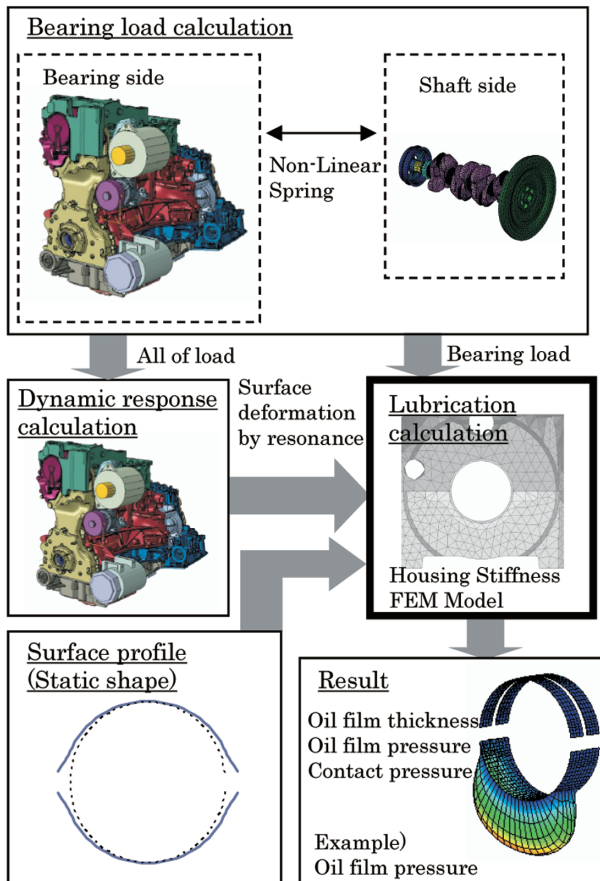


図-11 計算手法
Fig. 11 Calculation methodology

荷重及びモーメント荷重を求め、これを潤滑計算に入力することで油膜圧力を計算した。軸と軸受の接続は非線形ばね要素を用いる軸によって、また軸受の同軸ずれによる荷重増分の影響は練成計算により求められる。またエンジン全体の共振による主軸受変形を考慮するため、上記荷重を入力とした応答解析を実施し、共振による軸受変形モードを求め、その変形量を潤滑計算に入力した。ハウジング剛性、しゅう動面初期形状、しゅう動面粗さが油膜形成に及ぼす影響、並びに粗さ突起接触を考慮に入れて、平均流れモデルと弾性変形を練成した潤滑計算を実施した。

4.2 EHL解析との比較結果

図12に機関回転速度が2000rpm、全負荷条件における計測位置90°での油膜圧力測定結果とEHL解析結果を示す。油膜圧力は測定結果、解析結果ともに筒内圧力の上昇の始まり及びピーク位置はほぼ同様な傾向を示したが、ピーク圧力は測定位置により乖離が見られた。

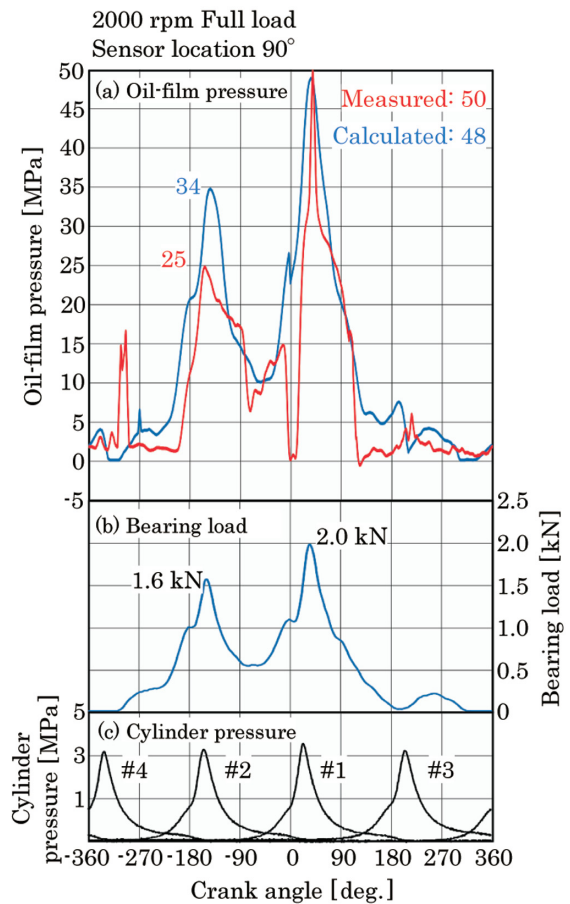


図-12 #2 主軸受油膜圧力の実験値と計算値の比較結果
Fig. 12 Comparison result of measured and calculated pressure in #2 main bearing

5. まとめ

(1) 4気筒ガソリンエンジンの主軸受の油膜圧力測定を目

的に、本エンジン向けの薄膜圧力センサを開発し、実働中の油膜圧力測定が可能となった。

- (2) 薄膜圧力センサは軸受の剛性や形状を変更することなくしゅう動部に形成でき、センサ材料の選定、形状の最適化により、ひずみや温度の影響をほとんど受けずに油膜圧力の測定が可能である。
- (3) 主軸受の油膜圧力は隣接する燃焼圧力の影響で増大するが、その大きさは各軸受荷重分担で異なる傾向を示す。
- (4) 1サイクル中の油膜圧力は実機測定値と解析値とで同様の傾向を示すが、ピーク圧力は測定位置により乖離が見られる。
- (5) 今回開発した手法を応用することで、開発初期段階での軸受の潤滑状態の予測及び評価が可能となる。

6. 謝 辞

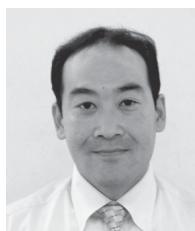
センサに関する技術及び作製に多大なご協力をいただき

た東京都市大学工学部の三原雄司教授、尾鷲道康助教をはじめ、関係者の皆さまに深く感謝の意を申し上げます。

7. 参 考 文 献

- 1) Y. Mihara et al. : Measurement of Oil-Film Pressure in Engine Bearings Using a Thin-Film Sensor, Society of Tribologists and Lubrication Engineers, STLE Tribology Transactions, Vol. 45, No. 1, pp. 11-20 (2002)
- 2) 三原雄司ほか：薄膜センサによる滑り軸受の油膜圧力分布計測の研究、日本マリンエンジニアリング学会誌、Vol. 42, No. 4, pp. 595-600 (2007)
- 3) 古川卓儀ほか：薄膜圧力センサによる4気筒ガソリンエンジンの主軸受油膜圧力分布計測、第22回内燃機関シンポジウム講演論文集、No. 22, pp. 191-196 (2011)
- 4) 小林誠ほか：EHL計算と薄膜センサーを使ったメインジャーナル軸受の油膜発生メカニズム検討、日本機械学会、年度年次大会講演論文集 (2012)

■ 著 者 ■



乾 正 継



大 脇 建 作



古 川 卓 儀



春 井 淳



小 林 誠



牛 嶋 研 史

品質の向上に寄与する計測技術開発

Development of Measurement Technology for Quality Enhancement

柳澤基浩*
Motohiro Yanagisawa

浅田高信*
Takanobu Asada

深川博利*
Hirotohi Fukagawa

山本翔*
Sho Yamamoto

抄 録 日産自動車が発表した中期経営計画「日産パワー 88」の第3の柱である「クオリティの向上」を支えるため、製品のばらつきを抑制する品質造り込み活動を実施している。本報では、品質の達成度合いを把握するために車両生産工場の検査工程向けに開発、導入した計測装置について紹介する。

Summary To support “quality enhancement,” which is the third pillar in the midterm plan “Nissan Power 88”, Nissan is implementing quality-development activities to control product variation. This article describes the measuring equipment that has been developed and introduced to the inspection process at vehicle production plants in order to grasp the degree of quality achieved.

Key words : Testing, quality enhancing, quality variation characteristics control, measuring equipment

1. はじめに

お客様が日産車を選び、長く使用していただくためには、高い品質の製品を提供することが必要である。製品開発の最終工程である車両生産工場で、生産車のばらつきを計測することは、品質を守るために大変重要である。本稿では、車両生産工場向けに開発した計測装置について紹介する。

2. 品質への取り組み

高い品質の製品を提供するためには、製品の性能がお客様の期待値を上回ることが必要である。もし、お客様の期待値を下回ると不満が発生し、結果、お客様の信頼を失うことになる。従って、品質を向上させるためには、お客様の期待値を的確に把握し、その期待値を下回る領域をなくすように製品のばらつきを抑制することが必要である(図1)。

日産自動車ではこのばらつきを抑制するため、

- 1) 目標設定フェーズ：お客様の期待値を的確に把握して定量目標を決定する
- 2) 設計フェーズ：目標を満足するように車両システム特性を部品特性に割付ける
- 3) 生産フェーズ：部品特性の中で影響度の大きい重点管理特性QVCC (Quality Variation Characteristic Control) を決めて管理する

という3段階のフェーズに分けた品質造り込み活動を重点的に取り組んでいる。

この中でも、お客様の期待値を下回るばらつき領域をなくすためには、車両生産工場でQVCCの工程能力を定量的に計測し、その結果を迅速に生産工程へフィードバックすることが重要である。このサイクルが滞ると期待値を下回った製品を生産、出荷することになり、お客様へ多大な迷惑を掛けることになる。従って、生産工場に導入する計測装置は、計測結果を直ちに工程にフィードバックできるようデジタルデータで出力し、工程能力として管理できるよう簡単にデータを蓄積できることが要求される。

そこで、生産工場で容易に取り付けが可能で、QVCCをデジタルデータとして計測し、計測結果を自動で蓄積するために開発、導入した四つの計測装置を紹介する。

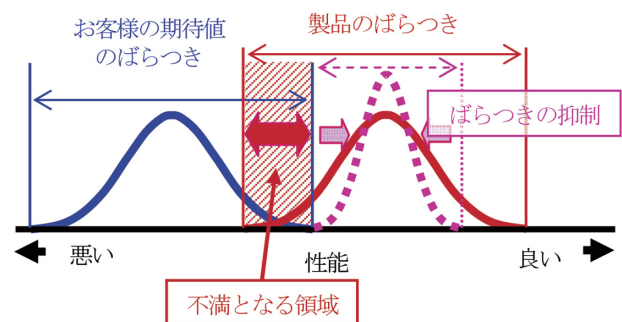


図-1 お客様の期待値と不満の関係
Fig. 1 Relationship between customers' expectation and complaint

*計測技術部

3. デジタルデータ出力計測装置

3.1 ドア閉じ計測装置

近年、車室内の静粛性を向上させるために車室内の気密性を高めているが、その反面ドアが閉まり難くなり、ドア閉まり性が悪くなる傾向にある。解析の結果、ドア閉まり性と、ドア閉じに要する最小エネルギーとの相関が高いため、閉まり性の悪いドアの流出防止を目的に、ドアハンドル部に加えられる必要最小限の閉じエネルギーと速度を計測する（図2）。



図-2 ドア閉じ計測装置
Fig. 2 Door closure measuring equipment

本装置は、スピードセンサ（角速度計）と操作力計（ロードセル）を使い、それらから出力される信号を閉じエネルギーと速度のデジタルデータとして取得し、PC（パソコン）に測定結果を蓄積する。

従来生産工場で光電管を使ってドア閉じ速度のみを計測していたが、本装置導入により、ドア閉まり性と相関が

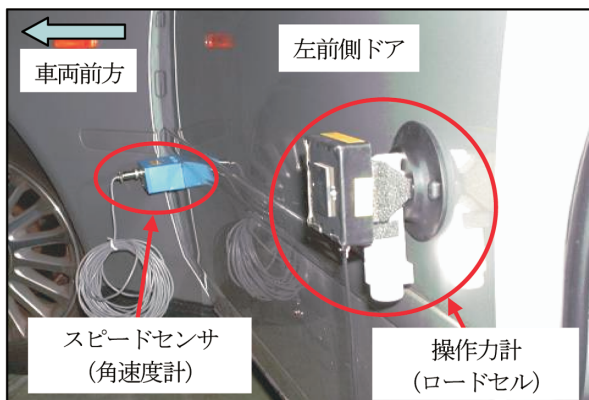


図-3 ドア閉じ計測装置取り付け状況
Fig. 3 Attached condition of door closure measuring equipment

高いドア閉じエネルギーで工程能力を管理できるようになり、品質の向上につながっている。また、スピードセンサは磁石で、操作力計は吸盤でドアの OUTER パネルに容易に取り付けることが可能である（図3）。

3.2 シール面間寸法計測装置

ドア閉じ性能に影響度を与える部品特性の中で、最も寄与率が高いシール面間寸法（ドアと車体間の内隙寸法）を重点ばらつき管理特性として本装置で測定している。本装置は、ラインレーザと CCD カメラを用いて光切断方式により断面形状を取得し、形状プロファイルから面間寸法をデジタルデータとして計測する（図4）。

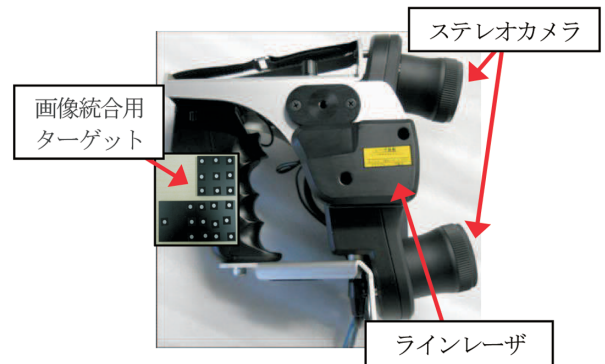
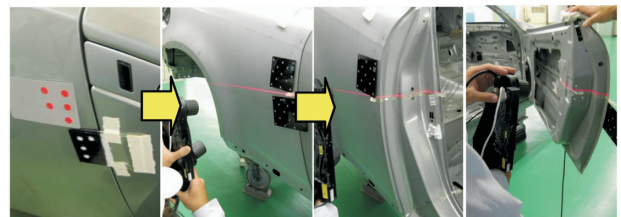
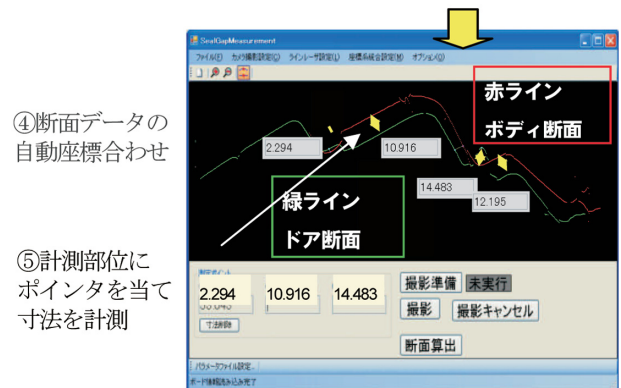


図-4 シール面間寸法計測装置
Fig. 4 Seal gap measuring equipment

計測方法は、画像統合用ターゲットを計測部位の車体に貼付け、本装置でドア閉状態とドア開状態の計測部位を撮影する。その後、PC上で画像処理ソフトにより自動的に断面図が表示され、計測したい部位にポインタを当て、



①画像統合用ターゲットを貼る
②ドア閉状態で撮影する
③ドア開状態で撮影する



④断面データの自動座標合わせ
⑤計測部位にポインタを当て寸法を計測

図-5 シール面間寸法計測方法
Fig. 5 Procedure of seal gap measurement

表示される寸法を読み取る (図5)。

従来シール面間寸法は、ドアと車体間に粘土を貼付け、ドアを閉めた後の粘土の潰れ量をノギスを使って計測していた。本装置の導入により、粘土、ノギス共に不要となり、より精度よく計測可能となった。また、PCに自動で断面図、寸法を取り込むため、データ蓄積のためのPC入力作業が不要となり、全体で1時間程度掛かっていた計測時間が約15分に短縮された。

3.3 ワイパーアタックアングル計測装置

ワイパーアタックアングルとは、ワイパージャダーや拭きむらといったワイパー払拭性能に影響を与える重点ばらつき管理特性で、ガラス曲線上の一点において、その点の接線に垂直な直線とワイパーアームの成す角度をいう (図6)。

また、ワイパーアームの作動起点から反転位置までの角度をワイパー作動角という (図7)。

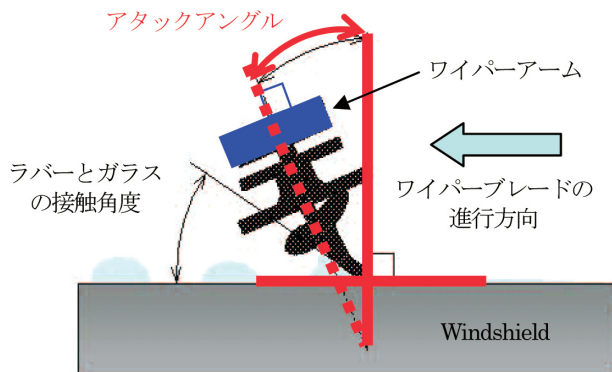


図-6 ワイパーアタックアングル
Fig. 6 Wiper attach angle

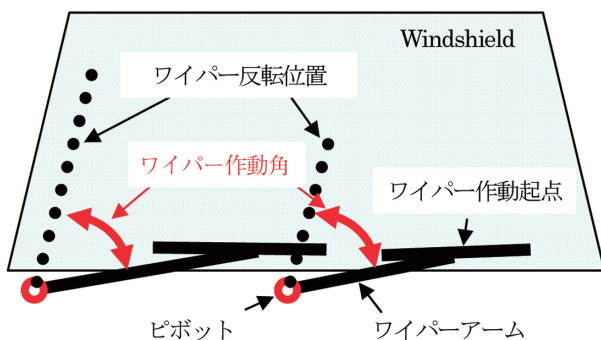


図-7 ワイパー作動角
Fig. 7 Wiper operation angle

本装置は、ワイパーアタックアングル計測センサをワイパーアーム先端に、ワイパー作動角センサをワイパーピボットに取り付け、各々のセンサから出力されたパルスをカウントし、その値をアタックアングルと作動角に換算した値をデジタルデータとして計測する (図8)。



図-8 ワイパーアタックアングル計測装置
Fig. 8 Wiper attack angle measuring equipment

従来は、分度器での目視計測であり、本装置の導入により精度よく計測可能となった。また、PCに自動でデータを蓄積するため、装置取り付けからデータ蓄積まで約3分以内で実施できる。

3.4 ステアリングオフセンタ計測装置

ステアリングホイールをしっかりと握った状態で直進走行する際、ステアリングホイールが中立位置からずれを起こす「ステアリングセンタずれ」と呼ばれる現象がある。その中立ずれ角度をオフセンタ舵角といい、重点ばらつき管理特性として計測する (図9)。



図-9 ステアリングオフセンタ舵角
Fig. 9 Steering off-center angle

本装置は、ステアリングホイール上に取り付け具を使って約1分以内に取り付けが可能で、一般的な傾斜路面(-1.2~2.6%)を直進走行した際のオフセンタ舵角をデジタルデータとして計測する。更に、データ転送のための送信機を内蔵しており、受信機と通信可能になると、計測したオフセンタ舵角を自動的に収集用PCへ転送する。計測前にバーコードリーダーで読み込んだModel Code、VINを結合させることにより、作業者が計測走行ごとにデータを収集用PCに登録する煩わしさを解消している (図10)。

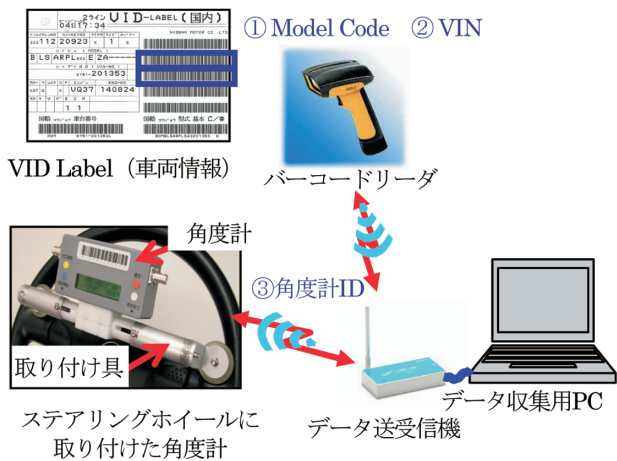


図-10 ステアリングオフセンタ計測装置
Fig. 10 Steering off-center measuring equipment

4. おわりに

本報で紹介した計測装置は、QVCCの目標達成度合いを測る装置として車両生産工場に導入され、品質の向上に貢献している。今後、グローバル生産の拡大に対応するため、より安価で使いやすく、タイムリーな保守、導入を可能とする装置の改良と仕組みづくりに注力していく。

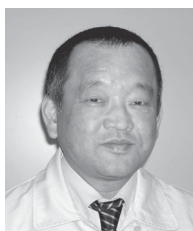
5. 参考文献

- 1) 大島恵ほか：品質ばらつき抑制設計手法とプロセスの開発、自動車技術会、学術講演会前刷集、No. 32-10、pp. 19-24 (2010)

■著者■



柳澤基浩



浅田高信



深川博利



山本翔

車両の市場走行調査のためのデータ計測システムの開発

Development of a Data Measurement System for Researching Use of Vehicles in their Markets

渡辺 将弘*
Masahiro Watanabe

新木 直樹*
Naoki Araki

月館 秀俊**
Hidetoshi Tsukidate

箕輪 英之***
Hideyuki Minowa

抄 録 車両の品質を向上していく上で、その使われ方を把握し、設計にフィードバックすることが求められる。この把握作業では、実際に車両が使われる環境を走り、種々の必要な信号を長時間取得し、解析することが必要となる。これらを効率よく実施するために、要求工学に基づいてデータの統合計測・解析システムの開発を行った。要求工学は1970年代より提唱され、要求を整理しシステムを構築する手法として知られている。実際に、フーガハイブリッドに採用したパラレルフルハイブリッドシステムの信頼性評価のために、北米4都市（ニューヨーク、サンフランシスコ、ロサンゼルス、フェニックス）を代表とした各地で開発したシステムを適用し、データの質と効率化の両面で高い有用性が確認できた。また、市場走行調査業務だけでなく、寒地実験などのシーンでもこのシステムを適用し、同様に効率化、データ精度、システム信頼性で非常に良好な結果を残し、本システムの拡張性の高さについても示すことが出来た。

Summary To improve the quality of our vehicles, it is important to ascertain the many ways our consumers drive them and apply acquired information in vehicle design. In this activity, it is necessary to drive our vehicles in real-life environments, to measure the many signals received from them, and to analyze the results in detail. We proposed applying requirement engineering to these activities. As a result of application, we constructed a total system that includes measurement and analysis. Requirement engineering aims to refine requirements and structure systems. Our system provided high quality measurement data and operation efficiency in a parallel full-hybrid system reliability assurance project for the Fuga Hybrid. Furthermore, we applied the system to a cold-area experiment and other tests. Through these activities, we found that the system produced good results in terms of data quality, efficiency, and reliability. The results also demonstrated the high expandability of our system.

Key words : Testing, Measurement, requirement analysis

1. はじめに

お客様にご購入頂いた車両に対して、満足感を持って所有してもらうためには、お客様が車両をどのように使用されているか、どのような環境で使われているかを把握した上で、車両の設計を行うことが必要である。これらを把握するために、実際に公道で走行評価を行うことを「市場走行調査」と呼んでいる。

この市場走行調査で用いる計測システムは、以下3点の要求を満たさなければならない。

- (1) 公道で長期間継続して計測できる安定性
- (2) 大量多種の計測データを保存しつつ、特徴的なデータを即時に取り出せる操作性
- (3) 多くの車種に適用できるロバスト性

これらの要求は相互に依存し影響し合うため、要求を最適な仕様として落とし込むことは困難である。そこで今回、この計測システムの仕様設計において、新たな取り組

みを行った。

以下、2章では計測システム仕様設計に用いた手法とその背景を明らかにする。3章では、市場走行調査向けの計測システムの仕様設計プロセスの事例を述べる。4章では、開発された計測システムを実務に適用した結果を示す。5章では、4章で述べた事例を振り返り、この手法の有用性を述べる。

2. 適用手法について

今回導入した新たな取り組みとは、大規模なシステム開発プロジェクトでよく用いられる要求工学¹⁾である。

要求工学とは1970年代より提唱され、相互に依存し合う要求を整理し、安定性やロバスト性を持つシステムを構築することに効果があることが知られている。要求工学では、まずシステムを適用する領域を明らかにし、次に要求の相互関係を考慮しながら詳細化することを特徴としている。

*計測技術部 **パワートレイン第四製品開発部 ***IT&ITS開発部

今回は、領域を明らかにするために、ゴール指向要求分析と呼ばれる手法を用いて、システムが使われる業務領域を明らかにすると共に、システム内の詳細要求を定めるために、システム内の関係に着目した分析を行った。

3. 市場走行調査

3.1 市場走行調査の概要

本システムを利用する社内ユーザに対してヒアリングを行った。ヒアリング結果を基にゴール指向要求分析を行い、ユーザのニーズや意図から個別の要求までを統計的に表現するゴールモデルと、ゴールモデルに基づいてどのエージェントがどのゴールの達成に責務を負っているのかを表現する責務モデルを作成し、要求と本システムが担う責務の関係を明らかにした。要求獲得手法のひとつであるKAOS法による分析結果を図1に示し、以下に内容について述べる。

市場走行調査業務は、車両の開発フェーズに応じて2種類ある。ひとつは、新型車の設計を行うために市場での使用方を把握して市場モデルを構築することであり、もうひとつは市場での要件を織り込んで設計した車両が、設計どおりの挙動を示しているかを現地で確認するために実施される、短期検証実験や長期フリート走行試験である。

市場走行調査では、市場での使用方のばらつきを考慮して、最大数百人相当のデータを扱う。従って、市場においてデータの効率的な取得・評価が求められる。

3.2 市場走行調査業務における課題

市場走行調査業務を効率的に行うためには、社内の評価環境を離れることに起因する、既存の計測システムと異なる新たな技術課題を予測し、事前に対応しておく必要がある。表1に解決すべき課題の一部を示す。

表-1 市場走行調査で予想された課題
Table 1 Subjects assumed in the research

要求	予想される課題
現地で長期走行する	計測データがリアルタイムに入手出来ない
	車載要件がより厳しくなる
多種多量の計測データを扱う	データ処理・整理が出来なくなる
複雑な計測機能が欲しい	計測項目が多種多様になる

3.3 本システムの構成の検討

今回構築する比較的大規模なシステムは、相互に関連する、又は相互に作用する要素の集まりと定義される。関連もしくは作用は、要素間（以下、モジュール）の依存関係であると定義できる。要求獲得に用いられる分析手法^{i*)2)}では、モジュールの依存関係を戦略依存モデルとして表現する。この戦略依存モデルを用いることで、システム内の要求関係を分析し、各モジュールに対する要求を明らかにすることができる。

図2に^{i*)}戦略依存モデルを示す。

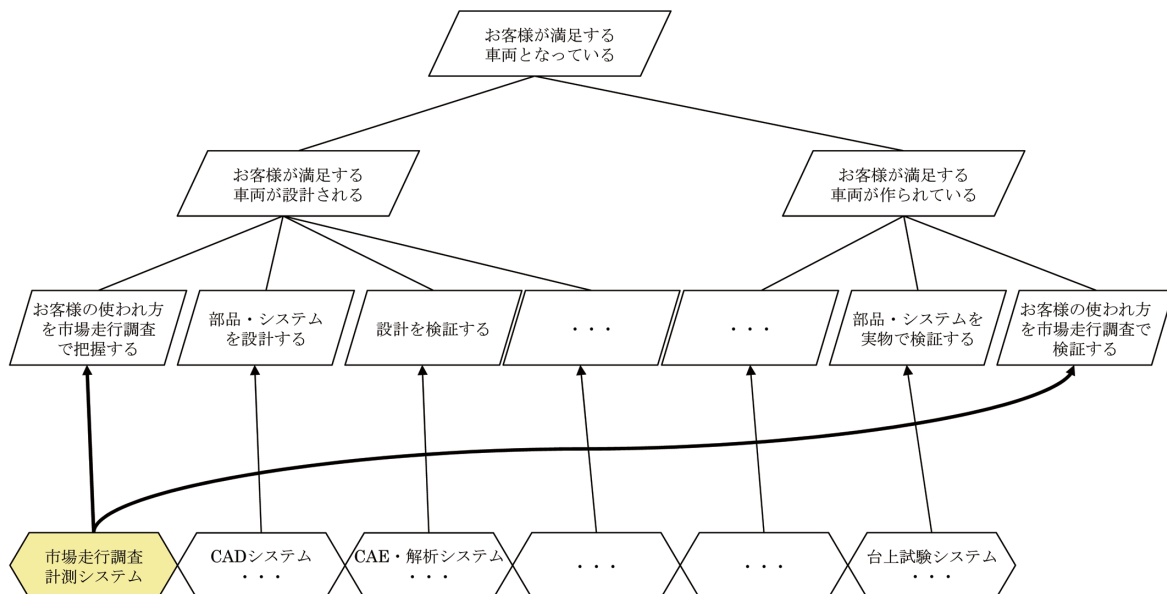


図-1 本システムの対象領域
Fig. 1 Domains of this system

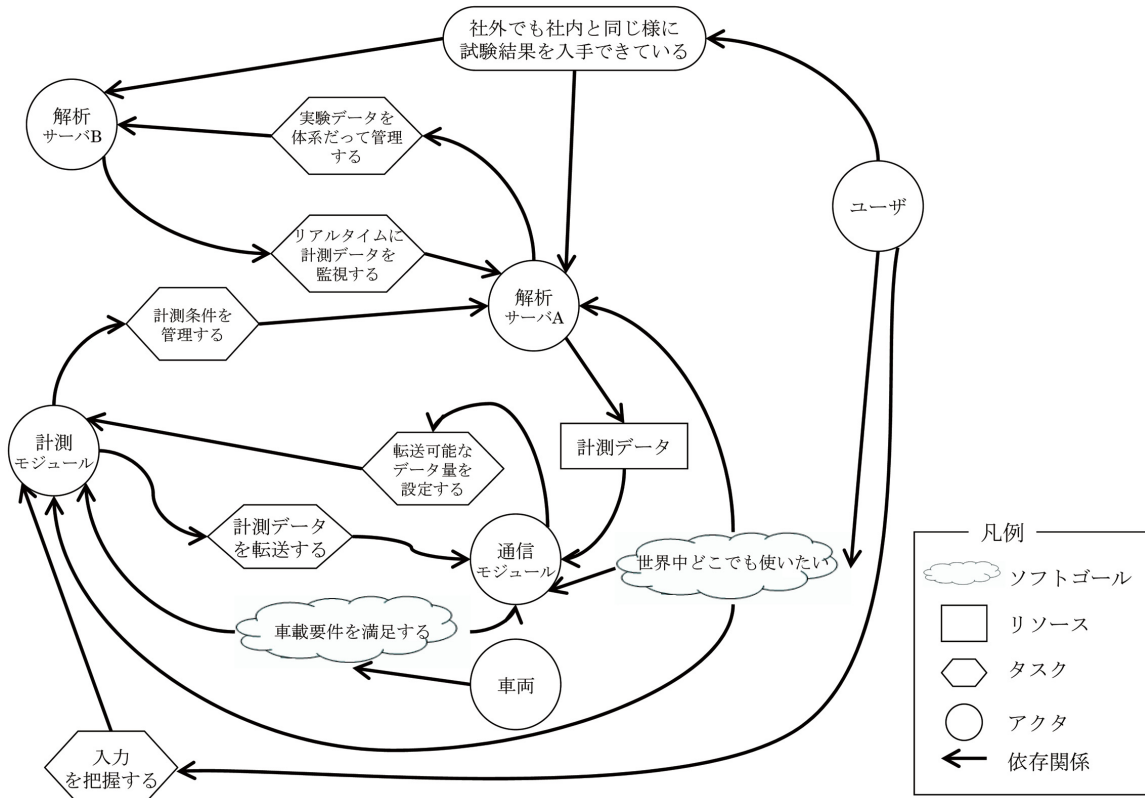


図-2 システムの戦略依存モデル
Fig. 2 Strategic dependency model

3.4 本システムにおける各モジュールの特徴と機能

各モジュールで実現させた機能を、計測モジュールに例に述べる。

計測モジュールは、図2より6項目の依存関係を持ち、矢印が計測モジュールに向いている4項目が計測モジュール（通信モジュール、計測モジュール、解析サーバA、解析サーバB）で実現すべき要求である。以下に、要求に基づいて実装した機能の一部を述べる。

- 「入力を把握する」機能を実現するために、各種の車両制御信号であるCAN、DiagOnCANおよびXCPonCANの計測機能を持たせた。
- 「転送可能なデータ量を設定する」機能を実現するために、計測データ圧縮機能及び計測データの分割転送機能を持たせた。
- 「車載要件を満足する」要望に答えるために、JASOを参考に独自の基準を定めた。例えば、保証温度域として-20℃～60℃を定めると共に、「世界中どこでも使いたい」要望に応える実力値保証域として-40℃～85℃の基準を設けた。

以下同様に、モジュールを分析した結果を示す。

- 通信モジュールについては、世界中で使用できるようにするために、W-CDMA (850/1900/2100MHz) 及び GSM/GPRS (850/900/1800/1900 MHz) 対応機能を持

たせた。

- 解析サーバAには、データをタイムリーに入手するために、転送された計測データに対して高速解析を行う機能を持たせた。また高速解析された結果や計測データの受信に基づき、利用者にタイムリーに通知するためのメール通知機能を持たせた。
- 解析サーバBには、中長期に渡ったデータを参照、及びデータ傾向を簡単に確認できるようにするためにWebユーザインターフェースを持ち、容易にデータにアクセスできる機能を持たせた。

これらの4種類の計測モジュールを組み合わせることで、システムの構築を行った。図3に本システムの構成図を示す。

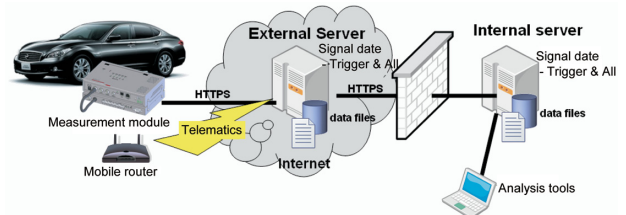


図-3 全体システム構成図
Fig. 3 System architecture

3.5 システムの評価

作成したシステムに対して以下の評価を行い、システムに対する要求を満足していることを確認した。

表-2 評価内容
Table 2 Validation items

評価項目	評価内容
安定性	1週間連続計測を行い、安定して動作すること
操作性	要求された表示結果が指定されたクリック回数で表示されること
ロバスト性	複数車種間で簡単に計測できること

4. 適用事例

4.1 フーガハイブリッド

4.1.1 信頼性・性能の検証

フーガハイブリッドに採用したパラレルフルハイブリッドシステムのシステム信頼性や性能に関する市場実績の例は無かった。市場実績、すなわちお客様の使われ方に基づく設計を行うために、北米4都市（ニューヨーク、サンフランシスコ、ロサンゼルス、フェニックス）を主に、各地でフリート走行試験を実施し、信頼性や性能について検証を行った³⁾。

総台数30台、総走行距離141万km（地球35周分）の3年8ヶ月に渡るフリート走行試験期間中、本システムは適用され、トリップ数として約3万回の計測及び解析を行った。図4に実験の様子を示す。



図-4 フーガハイブリッドでの実走行実験
Fig. 4 Driving test environment of Fuga Hybrid

この検証を支えるために、各計測や解析に関わる要望を集約し、システムのチューニングを行った。例として、バッテリーにおけるチューニングを紹介する。

計測モジュールとしては、制御情報や温度センサなどからバッテリーの温度を計測するために、通信仕様のパラメータを変更した。解析サーバAでは閾値（しきいち）に基づく一次判断を行うための閾値パラメータを変更した。以

下に、システムで得られた結果の一例を示す。

図5に示すように、各計測日における走行開始前のバッテリー温度の変化履歴や、走行開始時及び終了時の最低最高温度の変化状態がリアルタイムに記録されている。このフリート走行試験において、本システムは安定的に動作し、日々の信頼性の検証を支えた。

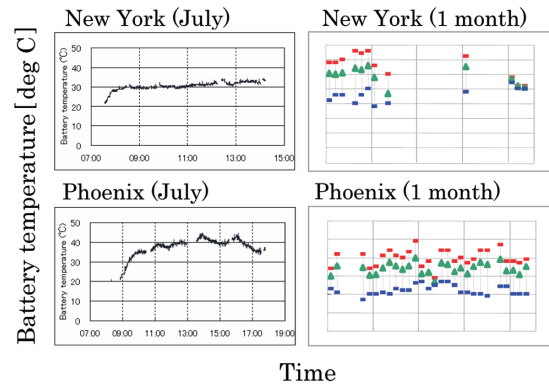


図-5 バッテリー温度検証結果例
Fig. 5 Actual battery temperature data from fleet tests (sample)

4.1.2 Long-Run-Challenge

お客様の使われる環境での検証評価及び燃費性能評価目的に、無給油Long-Run-Challengeを日本国内で実施した（図6）。



図-6 Long-Run-Challenge 走行履歴
Fig. 6 Long-Run-Challenge trip history

このLong-Run-Challengeでは、フーガハイブリッドの燃費性能を検証するために、横浜～鹿児島間を無給油で走行することが求められた。また、ドライバーの疲労などを早期に検知し、ドライバーの交代を促すなど、長距離を安全に運転するために本システムを拡張し、数分おきのリアルタイム動態監視機能を新たに設けた。結果、1373kmを無事に完走し、平均燃費20.8km/h及びEV走行距離頻度が57%となる結果を得るとともに、トラブル無く安定して評価を完了させることができた。また、リアルタイムに動態監視が可能となったことにより、社内でも大きな関心を集めた。

4.2 日産リーフの寒地環境実験

極低温環境下ではバッテリーなどの電動部品の性能保証は重要な課題となっていた⁴⁾。この保証実験のために、北海道陸別試験場にて寒地環境実験を実施した。実験の様子を図7に示す。

この寒地環境実験では、屋外放置後に始動、即発進という条件での評価実験があり、長時間の低温放置後に問題なく計測できる計測モジュール、また計測する約100chの制御信号に対して規定の解析を行うことが求められた。本システムを適用し計測、自動解析及びリアルタイムでのデータ解析を行った。

本システムのこれらの機能を用いることで、極低温環境下における信頼性保証を効率よく実現できた。



図-7 走行実験の様子
Fig. 7 Driving test in cryogenic environment

5. ま と め

Long-Run-Challengeや寒地環境実験を通じて、本システムは安定性、操作性の要件を満足していることを確認した。また、同じ計測システムを適用できたことは、ロバスト性についても検証できたといえる。これらの結果を受けて、本システムは、エコドライブ活動にも適用されている。

今後の市場走行調査では、センサネットワークやスマートフォンなどの活用が進むと考えられ、我々のシステムでもビッグデータを扱うことが求められると予測される。これらの動向を踏まえながら、車両に新たな価値を提供するため、今回の手法を用いた新たな計測システムの開発を進めていく予定である。

6. 参 考 文 献

- 1) 妻木俊彦ほか：要求工学概論、近代科学社（2009）
- 2) E Yu: Towards Modelling and Reasoning Support for Early-Phase Requirements Engineering, Proceedings of the Third IEEE International Symposium on Requirements Engineering, pp. 226-235（1997）
- 3) 吉野谷大輔ほか：フーガ ハイブリッド向け1モータ2クラッチの平行フルハイブリッドシステムの開発、日産技報、No. 69・70、pp. 25-30（2011）
- 4) 宮田昌治ほか：極低温環境下でEVを総合的に計測するシステムの開発、日産技報、No. 69・70、pp. 132-136（2011）

■ 著 者 ■



渡辺 将弘



新木 直樹



月館 秀俊



箕輪 英之

グローバル計測精度保証の仕組み作り

Establishment of a Global Measurement Accuracy Assurance System

高杉 政男* Masao Takasugi	広川 和仁* Kazuhiro Hirokawa	新澤 誠* Makoto Niizawa	山崎 喜之* Yoshiyuki Yamazaki
古賀 仁志* Hitoshi Koga	望月 和彦* Kazuhiko Mochizuki	高野 孝* Takashi Takano	下田 辰夫* Tatsuo Shimoda
		佐藤 正巳* Masami Satoh	常住 英夫* Hideo Tsunozumi

抄 録 車両開発中の性能確認や工場での品質検査など、正しく計測することは品質のベースとなっており、昨今の開発、生産拠点の海外シフトを支えるためには、グローバルに計測の精度を保証するための仕組みが不可欠である。本報では、グローバル日産拠点における計測精度保証の仕組み作りと、定着に向けた活動について紹介する。

Summary Accurate measurement is the basis for quality in performance confirmation at the vehicle development phase, quality checks in manufacturing plants, and so on. Hence, a global measurement accuracy assurance system is needed to support recent shifts of R&D and manufacturing operations to overseas locations. This article describes our efforts to establish and deploy a measurement accuracy assurance system in Nissan's global manufacturing bases.

Key words : Performance, measurement, administration, quality control, standard

1. はじめに

新興国を中心に自動車市場はグローバルに成長を続けており、お客さまのニーズに応えた商品をタイムリーに提供するためには、マーケットの近くで車両を開発、生産することが有効である。また円高を筆頭とした為替リスクの回避やコスト削減の観点から、生産拠点の海外シフトが進んでいる。

一方で、グローバル開発、生産を推進する上では、品質の確保も、留意すべき課題となっている。ものづくり活動において、開発中の性能確認や、工場での品質検査など、正しく計測することは品質のベースとなっており、そのためには計測の精度を保証するための仕組みが不可欠である。

本報では、グローバル日産の開発、生産拠点における計測精度保証の仕組み作りと、定着に向けた活動について紹介する。

2. グローバル日産計測管理基準の策定

日産自動車は1960年代のメキシコで海外生産を、1980年代に米国で海外開発を始めて以来、今なおグローバル

での拠点の拡大を図ってきている。しかしながら海外展開を開始した当時は、計測管理について日産自動車として統一した考えや手順を持っていなかったため、拠点ごとに独自の思想で計測管理が行われていた。

日産自動車計測技術部（以下、計測技術部）は、2002年より計測管理の視点で各拠点の実態調査を開始した。表1に2002年時点の欧米拠点の計測管理状況を示す。

表-1 2002年時点の欧米拠点の計測管理状況
Table 1 Situation of measurement control at European sites and North American sites in 2002

	A(生産)	B(生産)	C(生産)	D(生産)	E(開発)	F(開発)	G(開発)	H(開発)
管理組織の有無	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり
計測管理業務基準の有無	あり	あり	あり	あり	あり	なし	あり	あり
校正実施の管理	問題なし	問題なし	問題なし	不徹底	問題なし	不徹底	問題なし	不徹底
計測機器への校正要否/期限等のラベリング	問題なし	問題なし	問題なし	管理番号表示なし	問題なし	問題なし	問題なし	問題なし
ISO9000s 認証	あり	あり	あり	なし	なし	なし	なし	なし

結果、各拠点独自の管理を行っており、ISO9000シリーズなどの品質管理システム規格に照らして、不十分な点がみられた。これは、先に述べた日産自動車として統一した考えや手順を持っていなかったことに起因している（図1参照）。

*計測技術部

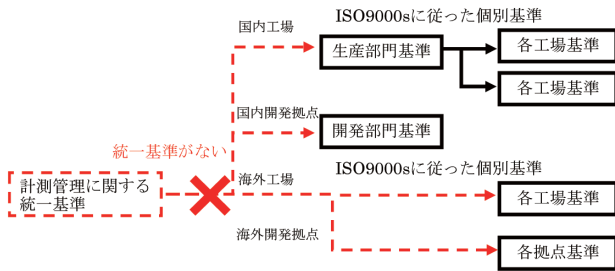


図-1 2002年当時の計測管理基準の状況
Fig. 1 Situation of measurement control standards in 2002

この状況を改善するため、グローバル開発、生産拠点における計測精度保証の統一ポリシーとなる、「グローバル日産計測管理基準」を策定することとした。策定にあたっては、以下の点を考慮した。

- ◆ 全てのグローバル日産開発、生産拠点で適用可能であること
- ◆ ISO9000シリーズとの整合を考慮しつつ、日産独自の要求事項を付加して定義
- ◆ 計測管理の組織、責任と権限の明確化
- ◆ 計測機器の登録と区分（認証実験用、完成検査用など）の定義
- ◆ 計測管理に不可欠な手順の明確化
- ◆ 計測に関する監査の手順の定義

この基準を、後述する会議体で海外拠点とも内容を論議し、社内規格として発行した。以降、グローバル日産の開発、生産拠点（日本国内委託会社や一部部品サプライヤを含む）では、この基準に基づいた計測管理を行うこととなり、また新たに立ち上がった拠点は、この「グローバル日産計測管理基準」に基づき計測管理の機能を立ち上げてきた。

3. 「グローバル日産計測管理基準」の策定、定着に向けた拠点間連携の仕組み作り

「グローバル日産計測管理基準」の策定に合わせ、計測管理に関する会議体を、2003年に欧州と北米に立ち上げた。当時から欧州、北米それぞれの地域で開発、生産ともに複数の拠点が存在していたが、計測管理に関する拠点間の連携はほとんどなく、他拠点の活動を知らなかったり、自拠点の抱える問題点に気付いていなかったり、という状況であった。そこで拠点間の連携の場を設けることにより、

- ◆ 計測管理レベルの向上
- ◆ 管理手順や校正基準の標準化
- ◆ 計測や校正のスキル向上
- ◆ 計測コストの最適化

を狙い、会議体を立ち上げることにした。会議体の名称は「CAMIC* Meeting」とし、「グローバル日産計測管理基準」の策定に向けた内容論議を皮切りに活動を開始し、以降年1回のペースで開催している（図2参照）。

(*Calibration and Measuring Instruments Control)



図-2 CAMIC Meeting
Fig. 2 CAMIC Meeting

4. 「グローバル日産計測管理基準」に基づく改善事例

「グローバル日産計測管理基準」では、同基準に対して各拠点の計測管理のマネジメントシステムがどれだけ適合しているかを評価する「計測管理レベル評価」と、計測機器の管理、使用状況を監査する「計測パトロール」の2つの監査手順を定義している。

4.1 「計測管理レベル評価」に基づく改善

「計測管理レベル評価」では、主に各拠点の計測管理に関する組織や業務手順の整備状況について評価し、表2に示すようにレベルを5段階でランク付けする。

表-2 計測管理レベル
Table 2 Measurement control level

レベル	主な要求内容	
5	<ul style="list-style-type: none"> ・計測管理の組織化 ・検査成績書の作成 ・計測のトレーサビリティ確保 	日産独自要求
4	<ul style="list-style-type: none"> ・計測機器の分類（完成検査用／認証用・・・）と表示 	ISO9000s要求
3	<ul style="list-style-type: none"> ・責任と権限の明確化 	
2	<ul style="list-style-type: none"> ・手順化文書化（レベルは問わない） 	
1	<ul style="list-style-type: none"> ・計測機器のリスト化 ・校正対象品の識別 ・校正の実施 	・・・etc.

計測技術部では「グローバル日産計測管理基準」の策定以降、順次グローバル開発、生産拠点の評価を行い、要求事項に対して不足がある拠点に対しては、必要に応じ改善の支援を行ってきた。具体的な事例を以下に示す。

- ◆ 校正対象とする計測機器の選定が不十分であった拠

点に対して、使用区分に合わせて校正対象機器のリストアップを指導

- ◆ 国家標準へのトレーサビリティが確保できていなかった拠点に対して、標準器トレーサビリティ体系の見直しと校正スキルの指導
- ◆ 校正結果の合否判定に用いた基準が不明確だった拠点に対して、校正基準の整備を指導

これら支援の結果、2011年3月時点、グローバル日産の開発、生産の全拠点で、全ての要求事項を満足した“計測管理レベル：5”を達成している。

4.2 「計測パトロール」に基づく改善

「計測パトロール」は、従来国内開発拠点で実施されていた仕組みをグローバル基準化したものであり、「計測管理レベル評価」で決められた仕組みのもとで、現場で正しく計測機器が管理、使用されているかを評価する。

チェック項目は、

- ◆ 保管状態
- ◆ 管理状態（校正の実施状況やラベリングなど）
- ◆ 取扱い状態（機器の使われ方や標準作業書の励行状況）

の3つの視点で10項目ずつ定義し、全30項目について100点満点で評価する（図3参照）。

「計測パトロール」の実施単位は、例えば“音振実験グループ”、“エンジンプロック加工ライン”などの職場単位とし、実施頻度は毎年行うこととした。指摘項目があった場合には、各職場は速やかに改善を行い、100点になるまでフォローアップ活動を行う。

管理状態	1 検査点検が必要な計測機器には基準・記録表があり、実施・記録されている。	
	2 計測機器は管理番号等で識別(表示)され、管理されている。	
	3 校正有効期限ラベルまたは計測機器管理台帳により、校正有効期間がわかる。	
	4 校正有効期限切れの計測機器はない。	
	5 校正対象外の計測機器は識別(表示)され、基準や台帳等で理由が明確になっている。	
5点/項目	6 取扱い計測機器・完成検査機器は、識別(表示)され管理されている。	
	7 取扱い計測機器・完成検査機器は、校正記録簿が保管・管理されている。	
	8 作業又は実験計画書等で指定されていない計測機器は使用されていない。	
	9 ケーブルのコネクタには、無理な力がかからないよう処理されている。	
	10 計測機器は安定した場所に置かれ、配線・電源処理でタコ足・絡みなど見られない。	
		管理状態点数 点

図-3 「計測パトロール」チェックシートの一部抜粋
Fig. 3 A part of “measurement audit” check sheet

また「計測パトロール」の結果は、毎年のCAMIC Meeting で拠点間で共有することにした。単に評価点だけでなく、図4に、校正期限ラベルの貼り忘れを発見し改善を行った事例と、「計測パトロール」の継続により計測機器の保管状態（定位置、定品、定量）が改善された事例を示すが、これら改善事例も共有化することで、拠点間の“よいとこどり”を促し、更なる計測管理のレベルアップを図っている。

Case introduction Non-conformity and corrective action

	Non-conformity	→	Correction
Photo			
Explanation	校正ラベルの表示改善 Calibration labels was stuck		

Good point To share good activities

	Photo	Explanation
3		Body Shop TPOC ~ good, clear storage and identification of calibrated instruments.
4		良好な保管状態 board and contents well defined.

図-4 「計測パトロール」の改善事例
Fig. 4 Improvement cases by “measurement audit”

4.3 拠点独自で改善を進めるための仕組み作り

「計測パトロール」は計測管理の重要性を訴求し、改善をリードする任にあたる“計測監査員”を各拠点に認定して、実施している。“計測監査員”には、認定証と図5に示す腕章を付与してきた。



図-5 計測監査員の腕章
Fig. 5 Armband of ‘measurement auditor’

活動を始めた当初より、計測技術部がグローバル日産の開発、生産拠点の計測監査員の教育、認定を行ってきた

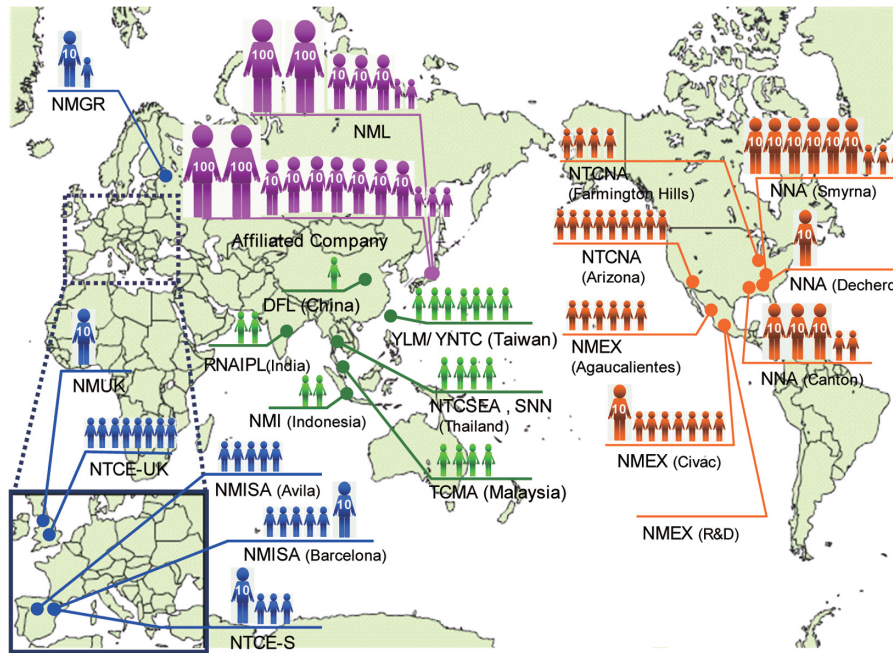


図-6 計測監査員の充足状況
Fig. 6 Sufficient situation of 'measurement auditor'

が、本活動の定着に伴い、「計測パトロール」の実施職場が大幅に拡大し、計測技術部だけで“計測監査員”の維持拡大を図ることが年々困難になってきた。また「グローバル日産計測管理基準」に基づく計測管理レベルの向上を図ってきた結果、各拠点で自ら監査員を増員し計測パトロールを推進して行きたいとの声が高まってきた。

これに対応するため、「計測監査員トレーナ制度」を立ち上げた。“計測監査員”経験者の中から必要な要件を満たした者を“計測監査員トレーナ”として認定し、各拠点での“計測監査員”の育成の任に当たってもらうこととした。その結果、2012年3月時点、グローバルで、

計測監査員トレーナ：54人

計測監査員：768人

の体制となり、計測管理への高いマインドをもって日々改善を行っている。図6に“計測監査員”の充足状況を示す。

5. 今後の展開

以上、紹介してきた活動により、グローバル日産の開発、生産拠点における計測管理レベルを向上させ、計測精度保証を実現するための仕組み作りや拠点の支援に取り組んできた。2011年度には欧米に続き、中国地域における「CAMIC Meeting」を立ち上げたところであり、現在も拡大を続ける開発、生産拠点に対しても、これら活動の適用拡大を図っていく。

さらに今後は、計測マネジメントに関する国際規格ISO10012との整合を取っていくことも課題のひとつと捉えている。既に整合に向けた「グローバル日産計測管理基準」の見直しは終えており、実務面で効率的に運用していくことで、もう一段上の計測管理レベルへステップアップしていきたい。

■ 著 者 ■



高杉 政 男



広 川 和 仁



新 澤 誠



山 崎 喜 之



古 賀 仁 志



望 月 和 彦



高 野 孝



下 田 辰 夫



佐 藤 正 巳



常 住 英 夫

新型NV350キャラバン商品概要

Product Outline of the New NV350 CARAVAN

八木 則彦*
Norihiro Yagi

安居 理進*
Masanobu Yasui

河内 勇人*
Hayato Kouchi

森 紋子*
Ayako Mori

抄 録 1973年の初代モデルの発売以来、「キャラバン」は商用車の基本性能を常に向上させながら、仕事だけでなく趣味やレジャーなど、あらゆるシーンで多目的に使用できる本格的商用車として、高く評価されてきた。今回11年ぶりにフルモデルチェンジした5代目は、名称も新たに「NV350キャラバン」と改め、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン共に「クラストップの低燃費」を実現している。また、「堂々として存在感のあるデザイン」に、「広くて使い勝手のよい荷室空間」を確保し、さらに商用車としての利便性、快適性を向上させる「従来の商用車にはない先進装備」を採用した。本稿では、この新型NV350キャラバンの商品概要を説明する。

Summary Since it first debuted in 1973, the CARAVAN has been highly rated as a full-fledged versatile commercial vehicle that can be used not only for business but also for hobbies and leisure. Its basic performance as a commercial vehicle has continuously improved throughout four previous model generations. The all-new NV350 CARAVAN offers a number of significant improvements, including best-in-class fuel efficiency for both gasoline and diesel engine models. The vehicle also has a strong, bold presence and a roomy, versatile cargo space. In addition, the new NV350 CARAVAN adopts advanced equipment for greater convenience and comfort that is unavailable on current commercial vehicles.

Key words : Automotive General, commercial vehicle, new model

1. はじめに

「キャラバン」は1973年に初代モデルが発売されて以来、あらゆるシーンで多目的に使える本格的商用車として、高く評価されてきた。

小型キャブオーバーバンのマーケットは、2004年の競合車のフルモデルチェンジ以降、当社とのシェア差は徐々に広がり、2011年度のキャラバンの市場シェアは14%であった。この状況を打開すべく、11年ぶりにフルモデルチェンジを行い、名称も新たに「NV350キャラバン」として誕生した（図1、図2）。



図-1 エクステリアデザイン
(カラー：タイガーアイブラウン)
Fig. 1 Exterior design (color: Tiger eye brown)



図-2 リヤクォータービュー
Fig. 2 Rear quarter view

2. 商品コンセプト

新型NV350キャラバンは、次世代のビジネスバンユーザーのために、商用車の基本性能をさらに向上させながら、仕事だけでなく趣味やレジャーなど幅広く多目的に使える本格商用バンとして開発した。

3. アピールポイント

新型NV350キャラバンのアピールポイントは、次の4つとした。

*LCV事業本部

- 1) クラストップの低燃費
- 2) 堂々として存在感のあるデザイン
- 3) 広くて使い勝手のよい荷室空間
- 4) 従来の商用車にはない先進装備

3.1 クラストップの低燃費

新型NV350キャラバンは、エンジン本体の改良やギヤ比の見直し、空力の改善など、様々な改良を積み上げ競合車を凌駕する燃費性能を実現した。

新開発のクリーンディーゼル・テクノロジーを駆使した「YD25DDTi」エンジン（図3）は、前型車に対して約40%もの改善となる12.2km/L（JC08モード）というクラストップレベルの低燃費を実現した。またガソリンエンジンは、従来のQR20/25DEをベースに燃費技術の改善、低フリクション化などを図ることにより、燃費性能や静粛性に一層の磨きを掛けた。

尚、バンのディーゼル車、ガソリン車共に、平成27年燃費基準を達成し、エコカー補助金および減税*対象となっている。（*MT車の一部を除く）

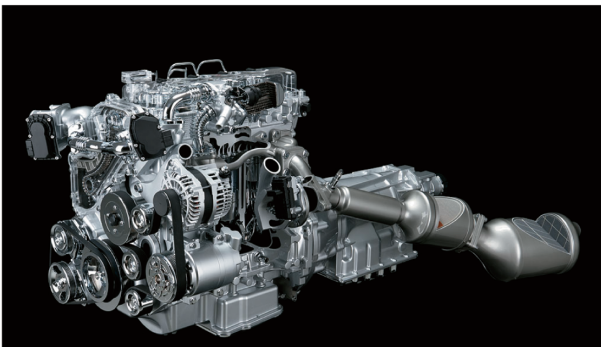


図-3 YD25DDTi エンジン
Fig. 3 YD25DDTi engine

3.2 堂々として存在感のあるデザイン

3.2.1 エクステリアデザイン

新型NV350キャラバンは、エクステリアプロポーションの改善を図り、クリーンでモダン、安定感のあるフォルムとした。全体的にボクシーなシルエットにしつつ、フロントは丸みのあるデザインを採用した。力強い2本の柱が特徴のアングルドストラットグリルとシャープなヘッドランプを組み合わせ個性的なデザインにした。

また、白色光で遠方まで明るく照らすキセノンヘッドランプに加えてLEDポジションランプも搭載し、新世代バンに相応しいヘッドランプの性能・デザインとした。

また、ボディサイドはキャラクターラインをBピラーで分断して動きのあるデザインとし、更にルーフサイドのドリップチャネルをなくして極力シンプルな面構成とした。リアは、キラキラ輝くコンビランプを設定し、更にシャープなキャラクターラインを設けた。

カラーは、様々なお客様の好みを満足させる全7色をラインナップしている。NV350キャラバンのために新開発された「タイガーアイブラウン」は、深みと押し出し感のある力強い専用色として、仕事も遊びもプロフェッショナルに楽しむ人のこだわりを表現した。

3.2.2 インテリアデザイン

インストルメントパネルは、ブラックとグレーの2トーンカラーコーディネーションとし、限られた空間の中で横方向への広々感を表現している。機能的でありながら広さと質感を感じさせるデザインとした。

シートカラーは、お客様のニーズに応えるモノトーン、ブラック/グレー、ライトグレーの3タイプを用意し、それぞれのトーンに合わせたクロス素材との組み合わせが、機能的でありながら高品質感も演出している（図4）。



図-4 インテリアデザイン
Fig. 4 Interior design

3.3 広くて使い勝手のよい荷室空間

3.3.1 クラストップの荷室長を実現

NV350キャラバンのロングボディ車は、国内4ナンバー枠の中でクラストップの「荷室長 3,050mm」を実現した（前席2人掛け時）。

またホイールハウスの上面など、平面部を多く取ることによって荷物の積みやすさに配慮するだけでなく、荷室側面も極力フラットな形状とし、長さも大幅に拡大することで、大きな棚の設置など架装しやすい荷室空間とした。

3.3.2 お客様の目的に合わせて柔軟に使える工夫

クラス初の「後席5:5分割可倒ベンチシート」を採用し、レジャーグッズや脚立など、長尺物を積載していても後席に一人座ることが出来る（図5）。



図-5 後席5:5分割可倒ベンチシート
Fig. 5 50/50-split folding seat

また、クラス初の「ラゲジューティリティナット」を採用し、収納棚や工具の固定など、使い勝手に合わせてお客様自身で容易にアレンジを可能とした(図6)。設定は、ウェスト部にロングボディ車で左右8個、スーパーロング車で左右10個、ルーフサイドにもロング車は左右8組計16個、スーパーロング車は左右10組計20個とした。更にウィンドガードバー(ディーラーオプション)用に左右4個をバンDX全車に設定した(図6)。



図-6 広くて使い勝手のよい荷室空間およびラゲジューティリティナット(M6)取付け位置
Fig. 6 Spacious, user-friendly cargo space and luggage utility nuts (M6)

3.4 従来の商用車にはない先進装備：商用だからこそ有効・有用な装備

3.4.1 インテリジェントキー&プッシュエンジンスターター

荷物の出し入れ時などの両手が使えない時でもキーを取り出す事なく、全ドアのロック/アンロック操作が可能となった。また、商用車初のプッシュエンジンスターターの採用により、配送業などエンジンのオン/オフ頻度の多いユーザーの利便性を大幅に向上させた。

3.4.2 ファインビジョンメーター、カラー車両情報ディスプレイ+バックビューモニター

メーター内には、見やすく高級感のあるファインビジョンメーターに加え、燃費向上に役立つ情報などを確認できる3.5インチの大型カラーディスプレイを設定し、車両情報を分かりやすく表示している(図7)。またこのカラーディスプレイはバックカメラの追加により、バックビューモニターとしても使用可能である。高価なナビゲーションを購入しなくても、ディスプレイにより後方視界を確保することが出来る(図8)。



図-7 ファインビジョンメーター
Fig. 7 Fine vision meter

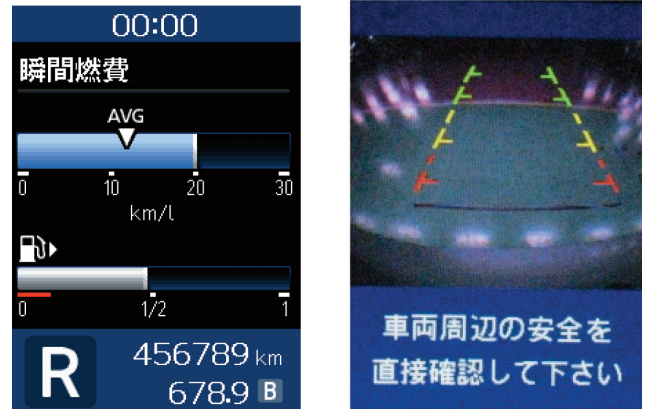


図-8 車両情報ディスプレイ/バックビューモニター
Fig. 8 Multi functional display / Back view monitor

4. ダイナミックパフォーマンス

4.1 乗り心地&操縦安定性

新型NV350キャラバンは、ロングボディ車でホイールベースを140mm拡大したこと、またリーフスプリング(板バネ)の1バネを空車時用としてソフトに、2バネ以降を積車時用としてハードにすることで各積載状態、特に空車状態での乗り心地を大幅に改善した。

またFRスタビライザーの径アップ、RRサスペンションに対する車軸位置の変更、及びショックアブソーバーの減衰力の応答性向上などにより、操縦安定性を向上した。

4.2 動力性能

新開発の「YD25DDTi」エンジンは2.5Lと、前型車や競合車の3Lに対し、小排気量としながらもクラストップのトルクを実現している。これはターボチャージャーの過給特性の変更、コモンレール式高圧噴射システムの加圧力アップ、小噴口径インジェクターの採用などに因る。同時に小型ターボによりレスポンス良く、低~中速回転域から余裕のトルクを発生させることができ、特に街乗りなどの実用域でゆとりのある走りを実現する。発進のしやすさに加え、アクセルを踏めばどこからでも気持ちのよい加速感も得ることが可能となった。

4.3 安全性能

シミュレーション技術の向上や高張力鋼板の多用化により、前型車よりフロントオーバーハングを140mm短縮しながらも、十分な衝突安全性能を確保している。

またバンの後席にも、3点式シートベルト（中央席は2点式）を標準設定した。更にワゴン／バスの全席に3点式シートベルトを採用し、より安全性を高めた。

5. 環境性能

新型「YD25DDTi」エンジンには日産のクリーンディーゼル・テクノロジーを採用し、世界で最も厳しいとされる「平成21年排出ガス規制（ポスト新長期規制）」に適合している。また燃費性能では「平成27年度燃費基準」をバンのディーゼル車、ガソリン車共に達成している。

更に、環境に優しい運転を促す瞬間燃費計や、ギヤシフトインジケータ（MT車）などの採用により、実用上のCO₂排出量の削減を目指す。加えて、リサイクル性向上のため、再生材の使用により、リサイクル可能率95%以上を達成した。

6. バリエーション

NV350キャラバンは、上級（プレミアムGX, GX）、標準（DX）の2グレード構成としている。前型車と同様のボディタイプバリエーションに加え（図9）、スーパーロングハイルーフのワイドボディを新たに設定する予定である。

プレミアムGX (VAN):
ロングボディ／標準ルーフ



DX (VAN,WGN):
ロングボディ／標準ルーフ



GX (WGN):
スーパーロングボディ/
ハイルーフ



DX (VAN):
スーパーロングボディ／ハイルーフ

図-9 グレード
Fig. 9 Grade

7. おわりに

以上、新型NV350キャラバンの商品概要について説明した。様々な厳しい制約条件の下、劣勢な販売シェア奪回のため、プロジェクトチーム一丸となって、販売価格の上昇を抑えつつ商用車としての性能の向上および装備の充実を図った。結果として、新型NV350キャラバンは、競合車に負けない商品になったと確信している。

しかしながら商用車の長いモデルライフの中で、常に競争力を維持すべく、今後とも継続して商品力を向上させていきたい。

最後に、NV350キャラバンのデザイン・開発・購買・生産・マーケティング・販売など、本プロジェクトに関わった全ての皆さまに、深く御礼申し上げます。

■著者■



八木 則彦



安居 理進



河内 勇人



森 紋子

特許紹介

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や、工場に導入され大きな効果を上げている注目技術を支える特許計4件を紹介する。

(※発明者の所属は2012年8月現在)

1. 円筒内面の溶射前処理形状及び溶射前処理方法

出願：2000年11月16日 特願2000-350056号

登録：2006年3月17日 特許第3780840号

名称：円筒内面の溶射前処理形状及び溶射前処理方法

発明者：パワートレイン技術開発試作部 長谷川 清
パワートレイン技術開発試作部 高橋 秀夫
退職者 中鉢 実則

【発明の狙い・効果】

アルミ製シリンダブロックのボア内面に鉄系材料を溶射する際、アンカー効果によって溶射皮膜の密着力を確保するための下地処理を行っている。本発明は、この密着力を向上させるために開発したもので、従来のブラスト処理*と比較して約1.5倍の密着力を得ることができる。

(*投射材を衝突させることによる下地処理のこと)

【発明の構成】

本発明は、工具を使用してシリンダボア内面をねじ切り加工をするものであり、具体的には、ねじ切り加工条件、工具形状を工夫することにより、ねじ切り加工によって発生する切屑を、加工後のねじ山に押し付けてねじ山を引きちぎり、面粗度の高い破断面を形成する。

【活用状況】

アルミ製シリンダブロックのボア仕上げボーリングマシンに採用されており、今後グローバルに拡大する予定である。

【発明者の想い】

車の軽量・低燃費化がどんどん進み、エンジン部品で最も重いシリンダブロックも、アルミ铸件が当たり前になった。とは言っても、重い鋳鉄製のシリンダライナを鋳ぐるんでおり、設計者はどうしたらこのライナを無くせるか葛藤していた。

ライナの代わりに、シリンダブロックのアルミ表面に鉄系材料の溶射被膜を形成させようとして、ブラスト処理などさまざまな下地処理を試みたが、エンジンの過酷な条件に耐え得る密着力を出すことができない。シリンダ内面に溶射するには、下地をもっと極端に荒らさなければなら

ず、「そんな面、どうやって作るのか」と案が浮かばず、あきらめムードが漂っていた。

そんな時、小さなアルミ部品を製造している協会の加工ラインを見学させて頂いた。そこで、「刃先の鋭い工具でアルミ部品の外周を仕上げ加工していると、逆に面が荒れて仕上げが悪くなることもある」と聞いた。刃先に、被削材(アルミニウム)が凝着している訳でもなさそうに見えた。見せて頂いた面の荒れ具合は、ブラスト処理面と同程度であった。

この『荒れた面』を『さらに1桁悪く』『安定して』作れたら、と手(加工条件)を変え、品(工具)を変え、色々やってみた。

その結果、砂利道もどきの『荒れた面』を作れるようになった。また、高速度カメラで切屑の流れを観察することで理屈もわかるようになり、長年の課題であった、鋳鉄製のシリンダライナが無いシリンダブロックの実用化の目処が立った。

その後の実用化までに、周辺技術を確立して下さった方々に、感謝申し上げます。

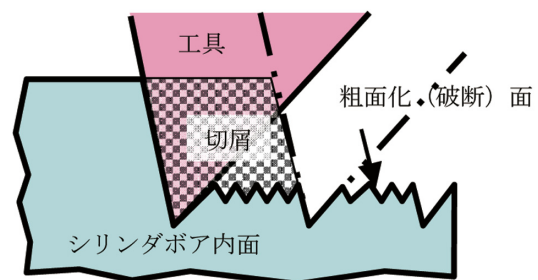


図1 シリンダボア内面と工具の模式図

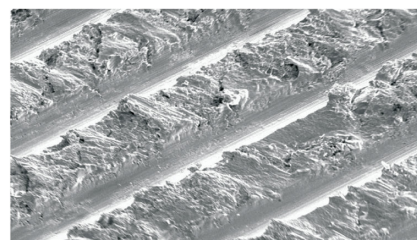


図2 粗面化加工によって形成された破断面

2. ラッピング加工方法とカムシャフト

出願：2004年1月30日 特願2004-024608号

登録：2010年1月15日 特許第4438432号

名称：ラッピング加工方法とカムシャフト

発明者：パワートレイン技術開発試作部 西村 公男

パワートレイン技術開発試作部 小又 正博

退職者 武田 和夫

【発明の狙い・効果】

エンジンのカムシャフトは、バルブリフトを円滑に作動させるために、通常、砥粒をコーティングしたラッピングフィルムを背面からハードシューで押し付けながらカムシャフトを往復させて、カムロブ面を研磨している。本発明は、ハードシューの形状を工夫して、狙った形状にカムロブ面を研磨することで、バルブリフト作動フリクションを10%低減させ、ひいては燃費を1%向上させるものである。

【発明の構成】

本発明では、ラッピングフィルムをカムロブ面に押し付けるハードシューの形状が、中央部分を凹ませたものとなっている。これによって、カムロブ両端部分が中央部分と比較して積極的に研磨され、中央部分が盛り上がる凸状にカムロブ面を形成する。

【活用状況】

エンジンのカムロブ面研磨用マイクロフィニッシュ装置に採用されている。

【発明者の想い】

本発明は、エンジン燃費向上のためカムシャフトエッジ部のフリクションを低減する開発を材料技術部と連携して行っていたときに発案したものです。カムロブ面を中凸状に形成するには研削工具で加工することが一般的ですが、研削砥石のメンテナンスが難しいことがネックでした。

そこで、研削工程の後の表面粗さを仕上げるフィルムラップ工程での形状創成に注目し、開発をスタートさせました。砥粒を脱落させながら加工する点がフィルムラップ工程の特徴ですので、マクロ視点では凸形状であるものの、ミクロ視点では微小な凹凸が創成されていることから、カムロブの凸形状を図示表記させることに苦労しました。図示表記については、開発当初からより量産性を考慮していたため、半年にわたるトライアルを経て暫定的なものを決め、更に確実性を確認するために約1ヵ月半にわたるフィールドテストを経たうえで最終版を決定し、採用にこぎつけることができました。カム本数に換算すると4万本以上というトライアル実績は、これまでの技術開発にな

い位に精度の高い結果が得られたと自負しています。

最後に、技術提案、図示検討、フリクション低減効果の確認、量産化の課題解決など、さまざまな領域で本技術の採用にご協力を頂いた、材料技術部、日産および愛知機械工業の設計担当部署、実験担当部署、愛知機械工業生産技術担当部署、同品質保証担当部署の関係各位に深くお礼を申し上げます。

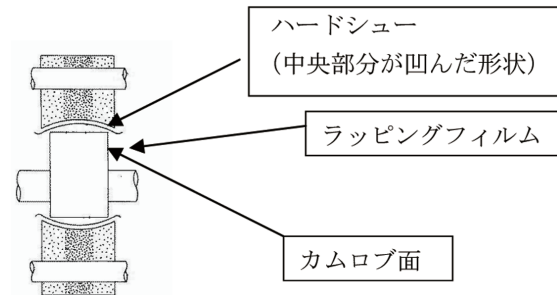


図3 本発明を適用したカムシャフトのラッピング加工

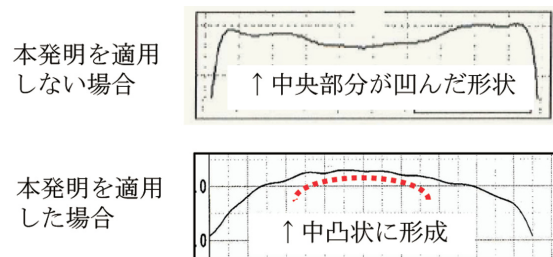


図4 カムロブ形状の比較

3. 回転霧化静電塗装装置

出願：1996年8月12日 特願平8-212638号
 登録：2004年5月28日 特許第3557802号
 名称：回転霧化静電塗装装置
 発明者：先進車両生産技術部 風間 重徳

【発明の狙い・効果】

車両などを静電塗装する装置の一つとして、高速回転するカップ状噴霧頭の遠心力で塗料を霧化する方式による、ベル型塗装装置がある。本発明は、噴霧頭の内面形状を工夫することで、(低い回転数でも)塗料の粒度を微細化できるようにして塗着効率を大幅に向上させるものであり、さらに塗料の粒度のばらつきが抑制されて塗膜品質をも向上させるものである(図6の通り、本発明の装置は従来装置と比較して、回転数を上げなくても良好に塗料の粒度が微細化されている)。

【発明の構成】

図5のとおり、噴霧頭の内面を凸状とすることにより、遠心力によって噴霧頭外縁方向に運ばれた塗料液面が急激に引き延ばされる。これによって、塗料の粒度が微細化され、さらに粒度のばらつきが抑制される。

【活用状況】

国内外工場の車両中塗りライン、上塗りライン、ならびにバンパ上塗りラインにて採用中である。

【発明者の想い】

本発明は、塗装の原価低減活動に取り組んでいた中で、ベル(型塗装装置)の塗着効率向上をターゲットとしていたときに発案したものです。エアスプレー塗装の塗着効率が30%位だったのに対して、ベルの塗着効率は50~70%位と圧倒的に高いものであったため、これ以上の改善は高いハードルと感じていました。

ところがあるとき、ベル噴霧頭の内面形状がメーカーによって全く異なっていることに、ふと疑問が沸いてきたのです。形状は何でも良いのか、実際ケーキ皿のようなものや湯飲みのようなものがある中で、遠心力を用いて塗料の粒度を微細化するのに適した形状があるのではないかと、というのが発想の原点でした。そのうちにラッパ型にするほうが合理的ではないかと思いついたわけです。

上司に頼み込んで許可をもらって、総合研究所で試作した「凸曲面ベル」(2個)で味見実験をした後、数回試作を行い、また、計測技術部の協力により塗料粒子が塗着するまでの動きを解析することで、均一微粒化ベルによる塗着効率向上という改善アイテムの道筋が見えてきました。

実用化にあたっては、車両技術部と共同でラインを想定した実験を繰り返した後、工場技術課単独でのランニングチェンジによる採用となり、半年間のライン実績で効果を検証するという珍しい方法がとられました。後で聞いたところ、初めてのライントライアルでは、工長が「塗料が出ていない」と勘違いするほど見た目が違っていたそうです。大きな塗料粒子がないことで塗装のパターンが見えにくく、副次効果として塗膜の平滑性も狙えるものでしたから、現場でその効果が認められた瞬間だったのだろうと実感しました。静かな採用開始でしたが、その後上塗り塗装にも徐々に広がりました。

あまり宣伝していませんが、このベルを用いた塗装は、世界最高の塗着効率を誇っています。また、この特許によって塗着効率を犠牲にすることなく塗装品質が維持でき、塗装品質と塗着効率の両立に大きく寄与できたと自負しています。とは言え、さまざまな部署の協力がなければ、開発を継続することすらも無理でした。改めて関係各位に感謝したいと考えています。

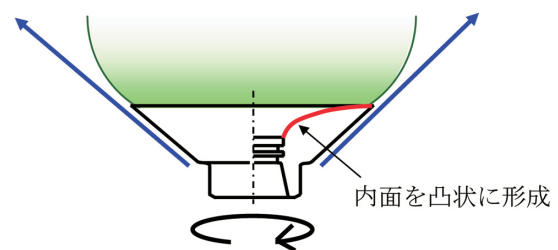
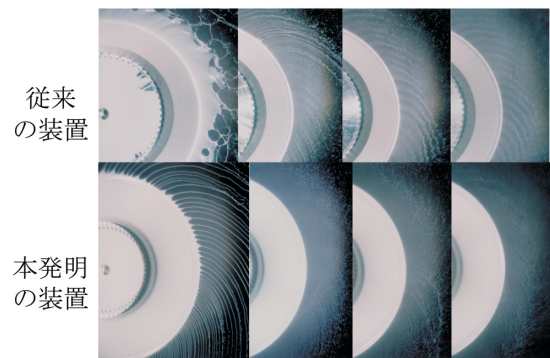


図5 本発明によるベル噴霧頭形状



(低い) ← 回転数 → (高い)

図6 塗料の粒度が微細化されている状況

4. ドア用検査装置およびその方法

出願：2003年6月2日 特願2003-156625号

登録：2007年7月27日 特許第3988680号

名称：ドア用検査装置およびその方法

発明者：計測技術部 田中 勉

新工場準備部 山田 昌弘

退職者 一之木幸雄

【発明の狙い・効果】

車両の出荷前の検査項目の一つとして、締りの悪いドアの市場流出防止を図るためにドア閉じ性能評価が行われている。本発明は、適切な速度でドアを閉じた結果、ドアが確実に閉じられたか半ドア状態かを、検査員による目視から、センサを用いて確認することとして、検査員の負担を大幅に軽減するようにしたものである。

【発明の構成】

ドアに角速度計を取り付け、ドアを閉める際、角速度が検出され始めてから「0」になるまでの時間をドア閉じ時間として計測し、その時間が所定時間を超えたときに、ドアロックのかみ合い不具合などにより半ドアであるとの判断を行うようにした。

【活用状況】

国内各車両工場のほか、アメリカ、メキシコ、イギリス、中国、ロシアなど海外の車両工場に、延べ約140台が導入されている。

【発明者の想い】

本発明は2001年度に計測開発グループの諸先輩方と「簡単に短時間でドアの閉じ速度を測ることができないか」という論議のなかから始まったものです。この「簡単に短時間で」の背景には、当時販売好調だった初代エルグランド(E50)の助手席のドアが、特に助手席に乗る機会の多い女性の力では閉まりきらずに、半ドアになることが多いという市場の声があり、工場出荷直前のインラインでドアの閉じ速度を測ることができないか、という工場品質保証部署からの切実な願いと要望が発端でした。

当時、実験部署や工場での抜き取り検査で活躍していた計測器は光電管と言われるもので、一定距離にセットされた光電管によってドアが通過する時間から速度を算出していました。この方法では、光電管とドアの位置関係が測定精度に著しく影響するため、正確に取り付ける必要があり、準備に多くの時間がかかること、また半ドアの判定ができないといった欠点があることから、「簡単に短時間で」計測できるものではありませんでした。

そこで、当時シートの倒れや戻り速度を計測していた小

型のジャイロ（角速度計）を利用すれば、センサ取り付けの正確性をそれほど気にせずに測定できる（角速度によって測定するためドアに取り付ける位置が変わっても角度は変わらない）のでは、という共同発明者である山田さんと一之木さんの発想がきっかけで生まれたものが、この「ドア用検査装置」です。取り付けの簡便さは磁石または吸盤を使用することで画期的に改善されていますが、併せて、装置としての使い勝手を左右するアプリケーションにもさまざまな工夫を凝らしました。

例えば、現在のラインでの多車種混流生産に対応できるように、10車種のドアを登録し簡単に切り替え計測を可能としたことや、4ドア車の片側（左右どちらか）の前後ドアを連続して計測可能としたこと、また試行錯誤した結果ですが、最小ドア閉じ速度を求める計算機能、半ドア判定ロジックによる自動化機能を取り入れました。その後、車両品質技術部と共に使い勝手などを改良して、栃木工場での4代目シーマ(F50)の全数検査から、この装置の導入が開始されました。

本発明によって、また関係者の皆様の努力によって、ドア閉じの品質向上やお客様満足度向上に寄与できたと考えております。最後に本発明において、当時ご協力頂いた方々にご指導賜った方々に、深くお礼申し上げます。ありがとうございました。



図7 角速度計（ジャイロセンサ）使用による
ドア閉じ性能評価

編 集 後 記

日産技報第71号をお届けします。日産技報は1965年に創刊され、この号では中期経営計画「日産パワー88」達成に向けた最新の「生産技術」、「実験・計測技術」を特集いたしました。売れる商品を継続的に創出する開発競争力を求め続けられています。すなわち開発品質、開発効率、開発期間を飛躍的に高めることです。実験技術と計測技術については、市場が拡大する中での開発品質の革新という切り口で編集し紹介することとしました。また、生産技術では、海外現地化に向けての活動事例と日本のモノづくりの付加価値向上事例を紹介しました。

一方商品として集大成された技術を紹介する視点から、期待に背に大きく変わったNV350キャラバンを新車紹介として掲載しています。

本号が優れた技術を多くの方々に知っていただくことに少しでもお役に立てれば幸いです。最後に大変お忙しい中、多くの寄稿していただいた皆さんに感謝申し上げます。

— 日産技報編集委員・波頭伸哉 —

2012年度日産技報編集委員会 (Editorial Committee)

委員長 (Chairman)

原 田 宏 昭 先端材料研究所
(Hiroaki HARATA)

副委員長

小野川 馨 パワートレイン開発本部

委 員

今 西 朗 夫 商品戦略室

高 城 龍 吾 技術企画部

佐 藤 正 晴 Infiniti製品開発部

斎 藤 康 裕 Infiniti製品開発部

山 田 晃 央 Infiniti製品開発部

木 村 敏 也 I T & I T S 開発部

波 頭 伸 哉 実験技術開発部

古 谷 宏 次 パワートレイン第三製品開発部

坂 元 宏 規 研究企画部

中 野 正 樹 E V システム研究所

三 田 村 健 モビリティ・サービス研究所

中 条 桂 介 パワートレイン計画部

長 谷 川 哲 男 環境・安全技術渉外部

田 井 中 信 人 車両生産技術統括部

大 井 進 パワートレイン技術企画部

藤 谷 克 郎 生産・SCMシステム部

事務局

小宮山 晋 研究企画部

丸 山 高 澄 研究企画部

細 谷 裕 美 研究企画部

日 産 技 報 第 7 1 号

© 禁無断転載

発 行 2012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 046(290)0870

印 刷 所 相互印刷株式会社

東京都江東区森下3-13-5

Nissan Technical Review 71

October, 2012

Publisher Nissan Technical Review
(Editor) Editorial Committee

Distributor Society and Frontier Laboratory
Nissan Research Center

NISSAN MOTOR CO., LTD.

1-1, Morinosatoaoyama, Atsugi-shi
Kanagawa, 243-0123, Japan

Copyrights of all articles described in this Review have been preserved by NISSAN MOTOR CO., LTD. For permission to reproduce articles in quantity or for use in other print material, contact the chairman of the editorial committee.

表紙コンセプト

デザイン本部で INFINITI を担当している山本です。ゼロ・エミッションリーダーシップを INFINITI ブランドでも強くアピールするため、2012 年ジュネーブモーターショーで発表したコンセプトカー EMERGE-E をモチーフに表紙デザインを行いました。日産先進技術の根幹をなすパワートレインを画面センターに、EV に必要な「ハイパフォーマンス&エキサイティング」を表現した EMERGE-E のフロント&リヤを両サイドにレイアウトすることで、EV の更なるポテンシャルを表現しました。



プロダクトデザイン部
山本 孝紀
