

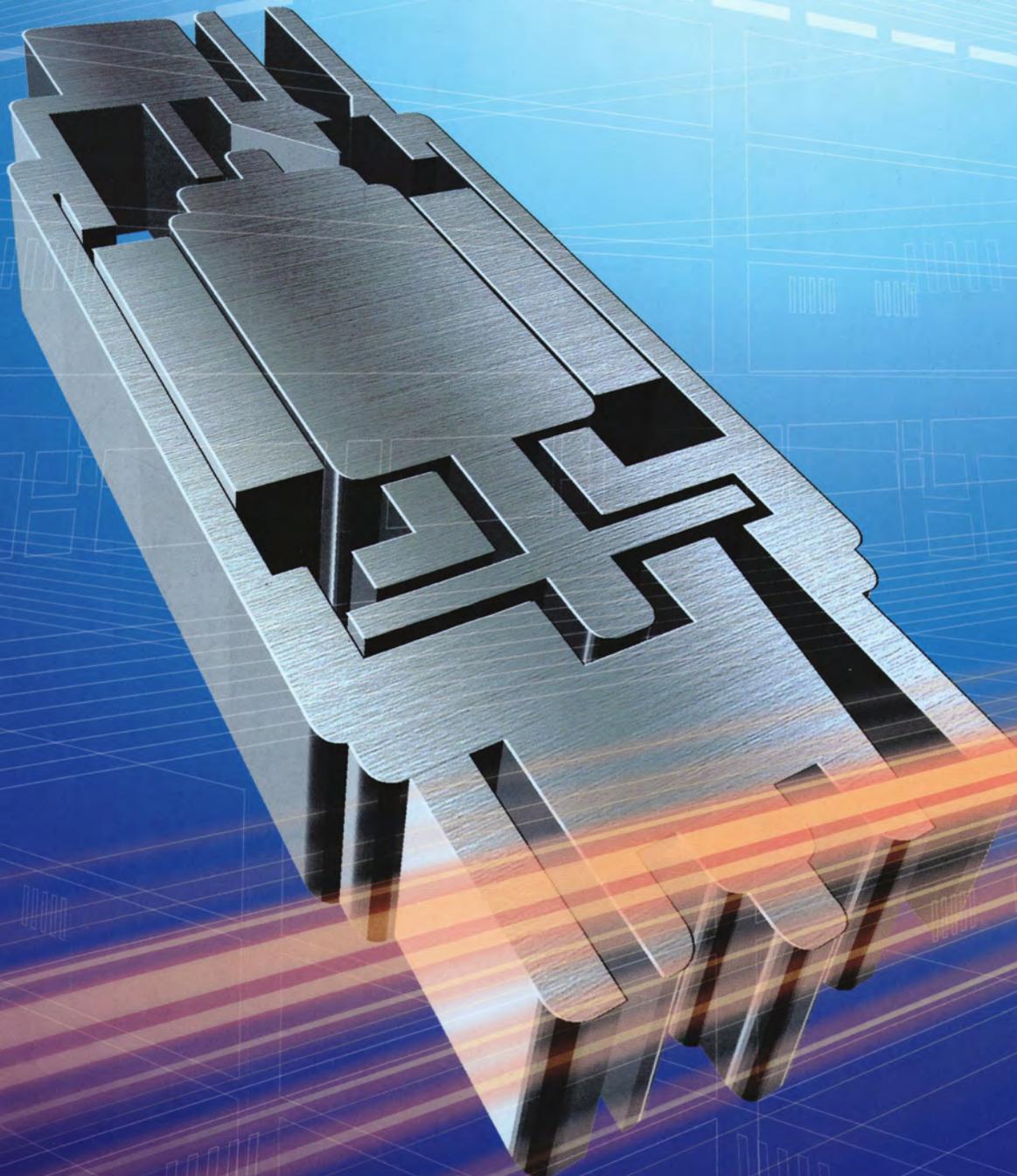
# 愛三技報

2003.6

No.1

AISAN TECHNICAL JOURNAL

創刊号特集「ポンプ技術」



AISAN INDUSTRY CO., LTD.



目次

CONTENTS

巻頭言 Foreword	愛三技報の創刊によせて……………1 On First Issue of Aisan Technical Journal
特集 Features	特集「ポンプ技術」によせて……………3 Introduction of the Features "Pump Technology for Automobile" 高効率電動フューエルポンプの開発……………4 Development of Highly Effective Electric Fuel Pump 電動フューエルポンプ用新カーボンコミュテータの開発……………9 Development of New Carbon Commutator for Electric Fuel Pump ベーン式バキュームポンプの開発……………14 Development of Vane Vacuum Pump ハイブリッド車用電動ウォータポンプの開発……………19 Development of Electric Water Pump for Hybrid Vehicles
論文 Technical Papers	ボンドグラフによるポペット弁の振動解析……………25 Bond-Graph Based Analysis of Poppet Valve Instability 小型電子スロットルボデーの開発……………31 Development of Small Electronic Throttle Body 層流充填法によるABSハウジングのダイカスト化技術……………36 A.B.S Housing Production by Laminar Flow Die Cast 振動・レーザー樹脂溶着技術の開発……………43 Development of Plastic Welding Technology by Vibration and Laser beam
設備紹介 Equipment	エンジン Virtual & Real シミュレータ……………49 Advanced Equipment of Engine Virtual & Real Simulator
製品紹介 Products	製品ラインナップ……………51 Lineup 電子スロットルボデー……………55 Electronic Throttle Body 吸気モジュール……………56 Air Intake Module フューエルポンプモジュール……………57 Fuel Pump Module インジェクタ……………58 Fuel Injector デリバリパイプ……………59 Fuel Delivery Pipe キャニスタ……………60 Charcoal Canister チタンエンジンバルブ……………61 Titanium Alloy Engine Valve

## 巻頭言 「愛三技報の創刊によせて」



代表取締役社長

小西正巳

Masami Konishi, President

今日、いろいろな面で日本の“モノ造り”が危機にさらされている、といわれていますが、それを突き詰めると高い技術の追求が焦眉の急であることを意味しています。

天然資源の少ない我が国が生きてゆくためには、高品質で付加価値の高い“モノ造り”に依存するしかありませんが、そのためのベースは、人間と環境に貢献する画期的な商品を生み出す製品技術と生産技術であります。まさにこの時期に“愛三技報”を創刊して当社の技術開発活動の一層の鼓舞を図ることは、誠に時機を得たものであると考えます。

1980年代にロイヤルダッチシェル社がおこなった長寿命企業の研究によれば、企業が永続するための要因として、次の4点を挙げています。

- ①環境変化に敏感である。
- ②事業の独自性と従業員の結束力がある。
- ③分散的に経営され、自由度がある。
- ④財務的には保守的である。

つまり、①の「変化を敏感に捉える能力」を持ち、②③④の「変化に敏速に対応する

体質」を持つ企業だけが生き残れるというもので、これは、進化論で有名なダーウィンの“適者生存”の法則とまったく同じと考えられます。すなわち、企業も生き物であり、変化に対応できなければ絶滅の運命にあるわけです。

当社の歴史を振り返ってみると、環境変化に応じてダイナミックに主力製品を転換することを通じて発展してきたことが良くわかります。1938年に軍需品の製造を目的に当社は設立されたのですが、終戦と同時に民需転換をはかり、キャブレタなどのエンジンの燃料供給系部品メーカーとして成長を続けました。その後、排出ガス規制の強化の状況変化にも的確に対応して、EFI製品やキャニスタ製品の分野を主力製品化して現在にいたっています。変化に敏感に対応する、と簡単に一口で言っても、そのための技術開発や人材の育成、仕事の仕組みの変革など、決して容易な道であった筈はなく、先輩諸氏の慧眼とご努力に敬服せざるを得ません。

次に、当社が民需転換以来の事業分野として常に関わり続けてきた“車”と“エンジン”は今後どう変化してゆくでしょうか？ “車”は個人の移動手段として、それまでの人類の歴史の中では比較できるものが無い程多くの利便性を持つものとして大発展しましたが、世界的にみるとまだまだその恩恵に浴していない人が多く、また車に変わり得る個人移動手段も今のところ現れそうにないため、今後も世界中で増え続けて行くであろうと思われまふ。現に途上国でのモータリゼーションは大規模な拡大が長期間持続するだろうと予測される状況です。“エンジン”についていえば、ガソリンエンジンもディーゼルエンジンも30年以上も前から、公害の元凶と指弾されて来ましたが、これまでの膨大な研究開発の結果、現在では排出有害ガスの点では殆ど問題が無いレベルになってきたと思ひます。しかし、従来無害とされてきた“CO<sub>2</sub>”が地球温暖化の面で有害ガスとされ、この排出量を減らす、つまり燃料消費量を少なくすべく、天然ガス車、ハイブリッド車、燃料電池車などの開発にいまや大変な努力が払われる事態になりました。状況はこのようですが、個人用移動手段である車は今後も増え続けることは確実で、しかもそれらは何らかの形で燃料を搭載しますので、燃料の供給制御は今後も欠くべからざる技術であります。

幸いなことに、この分野こそ当社が永年にわたって技術を蓄積し人材を育ててきた分野でありますので、今後もこの分野での努力を継続すれば、世界で有数のメーカーとして成長できると信じております。ただ、

そのためには、単に座して待てばチャンスが到来するわけではありません。部品単体メーカーからモジュール製品・システム製品メーカーへと技術の幅を広げ、より高度なニーズに対応できるよう脱皮して行かねばなりません。

そのために私は当社の皆さんに次の三つの意識を持って欲しいと思ひています。

(1)いつもハングリーであること。

・現状のままでは間違いなく減びるといふ危機感。

(2)有りたい姿、すなわち明日のビジョンを明確に持つこと。

・将来を見極め、環境の変化に迅速果敢に対応する。

(3)実現への本気の努力をする。

・わかっていても、本気で実行しなければ駄目。

当社が広い意味でのエンジンへの燃料供給と制御の専門メーカーとして成長して行くために、過去の成功体験を否定し生まれ変わり続けるべく、技術開発に最大の重点を置いて努力し続けることが必須との熱い想いから、今回“愛三技報”を創刊いたしました。この技報を仲立ちとして、社内各部署間で、あるいは関係他社との間で、またお客様各社との間で、シナジー効果生まれ、将来の日本の“モノ造り”を支える素晴らしい技術が生まれることを期待してやみません。当社の技術開発活動および“愛三技報”について、社内外の各位からどうか忌憚の無いご意見、ご指導をお寄せいただきたく、衷心よりお願いして、創刊号の巻頭言といたします。

## 特 集 「ポンプ技術」

Feature "Pump Technology for Automobile"

### 特集に寄せて

第2 製品開発部部長  
取締役

**今 村 兼 雄**

Kaneo Imamura, Director



「ポンプ」というと世の中では各種気体、液体を送る装置としてさまざまな目的に使われています。その中で当社が取り扱うポンプは、主に自動車用エンジンの制御に用いられています。

当社ポンプの歴史は、1945年のキャブレタに燃料を供給するメカニカル式フューエルポンプに始まり、1954年のエンジン冷却水用ウォータポンプ、1983年はディーゼルエンジン用のブレーキブースター負圧発生源としてのバキュームポンプと順次広がってきました。当初は、いずれも機械式駆動でありましたが、1983年電動式フューエルポンプ、1996年電動式ウォータポンプというように電気駆動に置き換わってきました。

ポンプの良否は、①ポンプ効率、②耐久寿命、③静粛性で決まると思います。

ポンプ効率に関する研究は、相似則を用いた可視化モデルによる解析が主流に行われてきましたが、近年ではコンピュータシミュレーションによる流れの解析やモータ磁気特性の過渡状態の解析が可能になりました。これらの技術は、ポンプの効率を飛躍的に向上させました。

今後は、新材料開発による磁気特性向上や各種損失の解析と低減による更なるポンプ効率の向上を進めるとともに、耐久寿命、静粛性についてもシミュレーション技術の活用を推進し、画期的な知恵の発揮による一層の進化を期待したいと思っています。



# 高効率電動フューエルポンプの開発

## Development of Highly Effective Electric Fuel Pump

岩田 光 一  
Koichi Iwata



### 〈要 旨〉

近年燃費規制よりフューエルポンプへの低電流化が強く望まれている。  
フューエルポンプの損失低減に着目してFVM解析を活用・駆使し、  
その低減量を定量化することでのちに改良した  
高効率電動フューエルポンプが開発できたので報告する。

### Abstract

Lowering current of fuel pump is strongly desired in accordance  
with the regulation of fuel consumption.

This report presents that highly effective electric fuel pump  
was developed by making good use of the FVM  
analysis to aim at decreasing the fuel pump loss  
and fixing the quantity.

## 1. はじめに

地球環境問題（CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等の排出量削減）への配慮で車両の法規制（排出ガス規制、燃費規制、エバポ規制）が強化されている。車両部品であるフューエルポンプも例外でなく、燃費規制に貢献すべくフューエルポンプの損失低減に着目して高効率電動フューエルポンプを開発した。

電動フューエルポンプは、図1のように燃料タンク内に搭載されガソリンを昇圧させてインジェクタに供給する。



図1 搭載位置

## 2. 電動フューエルポンプの変遷

1983年から大型ポンプの生産を、1990年から小型ポンプを生産し始めた。その当時、小型で性能のよいポンプとして軽量化に大いに貢献した。

また、当初は2段インペラ式のポンプであったが、性能向上に努め1段インペラ式ポンプもラインナップに追加し、それが次第に主流となっていった。

	生産1990～	STEP1 1996～	STEP2 開発着手1998～
ポンプ構造			
効率		0.5% up	効率アップ

図2 電動フューエルポンプの変遷

1段インペラ式ポンプもインペラ形状の改良により効率向上をはかってきたが、燃費低減等の要求により、さらなる効率向上のニーズに対応する必要が出てきた。

## 3. 目標値の設定

効率向上の目標値を設定するのにあたり他社品の調査を行った。その結果は図3に示す状況であり、ここから目標値を現状の効率14.5%に対し、6ポイント以上向上と設定した。

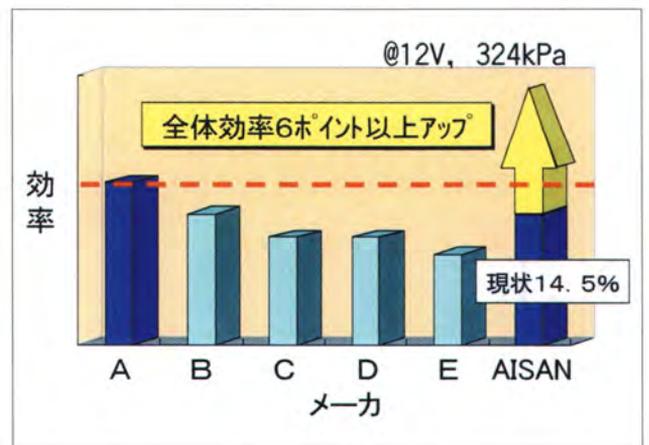


図3 他社品との比較

## 4. 電動フューエルポンプの損失

電動フューエルポンプは、モータ部とカスケード式ポンプ部により構成されており、損失としては大別して図4のような内訳となる。

ここで、ポンプ部損失が40%以上を占めるので、その低減のための調査を行った。

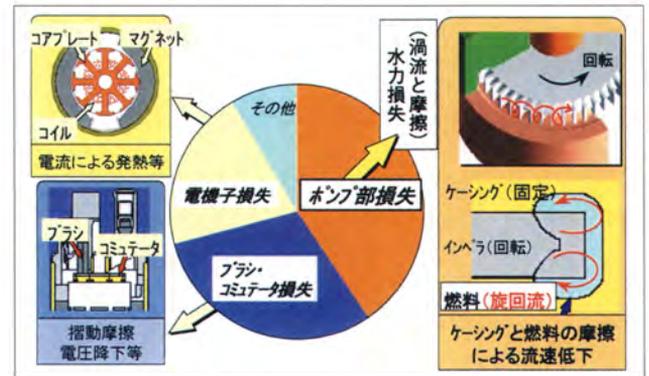


図4 電動フューエルポンプの損失

また、ブラシ-コミュテータ損失も大きく、今回は詳述しないが、テーマとして取り上げ改良活動を行った。

#### 4-1 ポンプ部損失

ポンプの機能は、インペラを回転させ流体に旋回流を起こさせて昇圧するとともに燃料を吐出することである。

その際インペラは回転するがケーシングは固定のため、ケーシングに近い部分の流体は摩擦抵抗を受け、流れ損失となる。

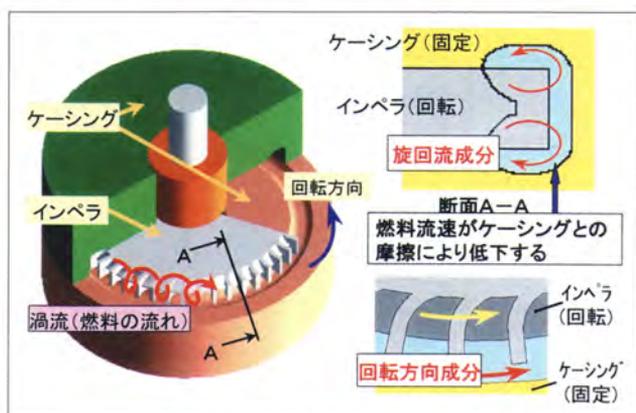


図5 ポンプ部損失の考え方

その状況をFVM解析により流れの状態を見ると下図のようになる。

FVM解析によりケーシング近傍の流速低下が発生しており、流れ損失が起こっていることが明確になった。また、インペラ内部の流速も速い領域が狭く、流体に効率よくエネルギーを与えていないことがわかった。

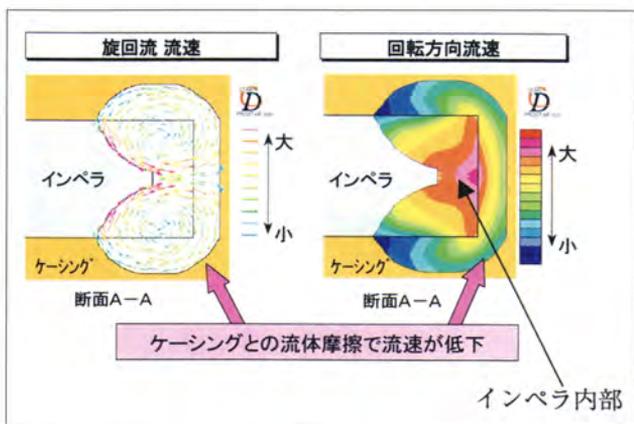


図6 流速解析結果

### 5. 流れ損失の低減検討

#### 5-1 ケーシング側壁との流れ損失低減

ケーシング側壁との摩擦による流れ損失を低減するには、インペラと同速で回転していることが必要となり、インペラに外周壁を設けることが考えられる。

インペラ外周壁を設けることで、ケーシング側壁と流れが接触する容積が減り、摩擦による流れの損失も低減できると考える。

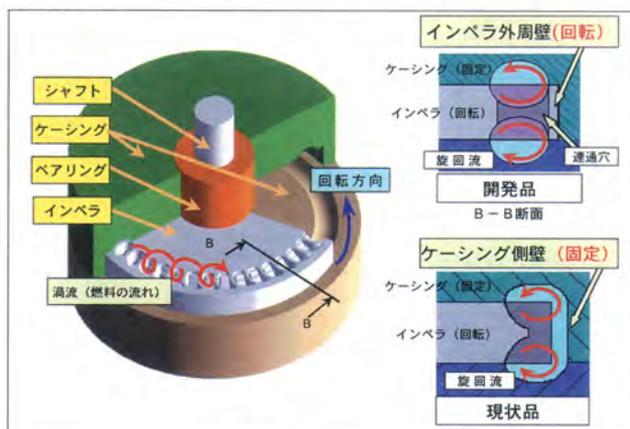


図7 ポンプ部流れ

#### 5-2 インペラ内部の流速向上

インペラ内部で流体にエネルギーを十分与えられないのは、インペラ付け根の角部で流れの乱れが発生して損失が発生しているためである。

インペラの角部をなくすことで、流れ損失を低減できると考える。

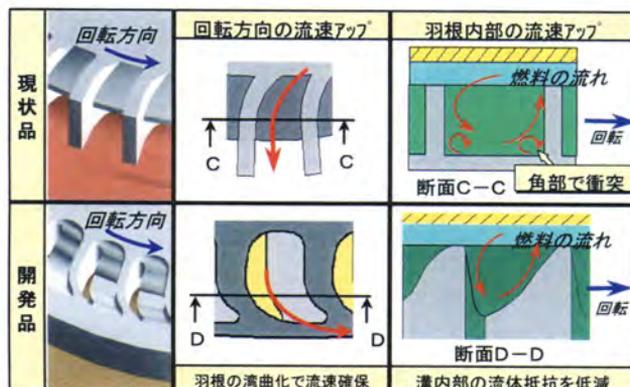


図8 インペラ内部流れ

## 6. 開発品の評価結果

前項の考えに基づいて改良形状のFVM解析を行った。

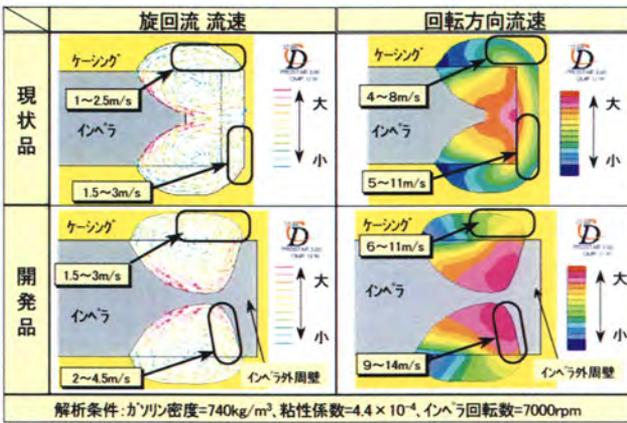


図9 解析結果比較

### 6-1 流速解析

- (1)ケーシング側壁部の低流速部分が、大幅に低減した。
- (2)インペラ内部の高流速部分が大幅に増加した。

### 6-2 性能実測結果

開発ポンプは、インペラ定回転での流量が大幅に増えることが確認できた。

これは、規定流量で評価すると電流値が低いことを意味し効率が向上したことになる。

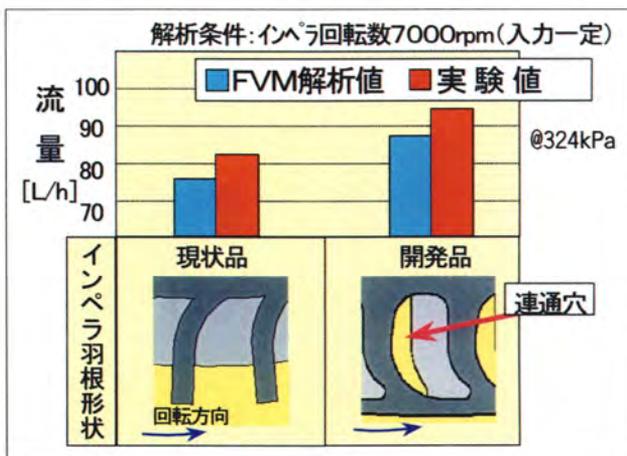


図10 実測結果

### 6-3 モータ部の改良

モータ部の改良については、詳述しなかったが、コミュテータ材料を銅から低抵抗カーボンに変更し、ブラシ-コミュテータ間の機械的・電氣的損失の低減を図るとともに、磁気回路の改良によりモータ効率も向上させた。

それらポンプ部、モータ部の改良を含めた総合効率結果を下記に示す。

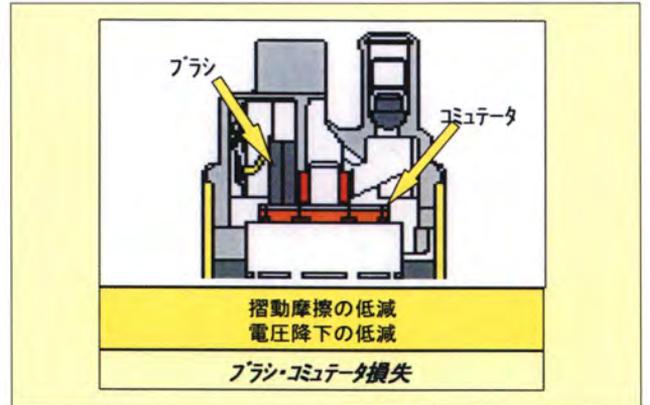


図11 モータ部の損失

### 6-4 ポンプ総合効率結果

ポンプ部の改良およびモータ部の改良により目標の6ポイントの効率向上ができた。

本ポンプは、2000年から生産開始しており世界各地で使用されている。また、2002年からヨーロッパの工場生産を始めた。

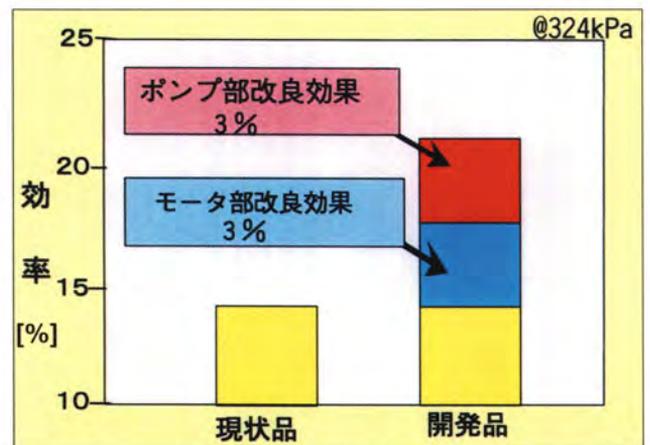


図12 効率結果

## 7. まとめ

- (1)今回開発したポンプは、効率向上を達成したのみならずコミュータをカーボン化することにより酸化ガソリン、高濃度イオウ含有ガソリン等粗悪燃料地域でも同じ仕様で使える特徴がある。
- (2)ポンプ内の流れをFVM解析で視覚化・定量化できたことにより的確な改良が行えるようになった。

### 〈参考文献〉

- 下坂ほか：か流ポンプ特性の研究（第1報，流路および羽根諸元の影響），日本機会学会論文集，25巻157号（1959）
- 下坂ほか：か流ポンプ特性の研究（第2報，理論特性式），日本機会学会論文集，25巻157号（1959）
- 葛西ほか：ウエスコポンプの研究（第1，2報）日本機会学会論文集，17巻56号（1951）
- 臼井ほか：高効率電動フェーエルポンプの開発，自動車技術会春季大会前刷集55-00（2000）

### 著者紹介

岩田 光一  
Koichi Iwata  
（第2製品開発部）



# 電動フューエルポンプ用新カーボンコミュテータの開発

Development of New Carbon Commutator for Electric Fuel Pump

加藤博孝

Hiroataka Kato

中根 巖

Iwao Nakane

村瀬誠司

Seiji Murase

## 〈要 旨〉

カーボンコミュテータは、金属製コミュテータより低質燃料中での耐食性に優れており、電動フューエルポンプでは主流となりつつある。従来のカーボンコミュテータは、製法上の理由で電気抵抗値が黒鉛の理論抵抗値より高いため、効率の点で課題を有していた。抵抗値低減のため、カーボンにめっき後、はんだで金属に接合する方法が考えられるが、信頼性の点で課題が生じる可能性がある。この対策のため新構造のカーボンコミュテータを開発し、効率と信頼性を両立させた。

## Abstract

A carbon commutator which excels in corrosion resistance in low quality fuel compared with a metal commutator is getting to prevail.

Our current carbon commutator had a problem for its efficiency because the electric resistance value was higher than the theoretical resistance value of graphite for the reason of manufacturing process.

However, plating on the carbon and then soldering with metal to reduce the resistance value can be considered, a problem will be occurred for reliability.

We developed new carbon commutator with new structure and coped with both efficiency and reliability.

## 1. まえがき

近年、環境問題、省エネルギーの観点から自動車の低燃費化が求められ、その結果、車載電装部品にも低消費電力化は必須となってきている。電動フューエルポンプでも効率を悪化させる損失を低減し消費電力を下げる事が求められている。図1にポンプ損失の内訳を示す。ポンプ損失は、大きい順にポンプ部損失、ブラシ・コミュテータ損失、電機子損失がある。ポンプ効率向上のためポンプ部損失低減とブラシ・コミュテータの損失低減に着目し、後者を筆者らが担当した。前者のポンプ部損失低減については本誌内の「高効率電動フューエルポンプの開発」を参照願いたい。

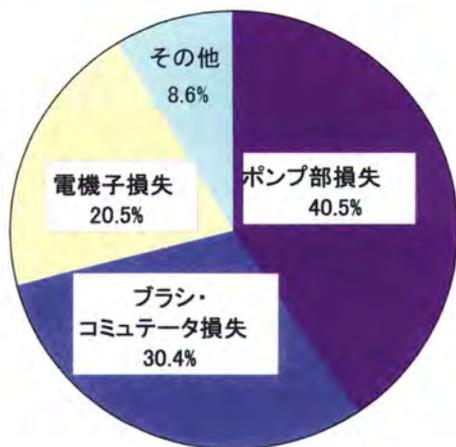


図1 ポンプ損失の内訳

## 2. 量産コミュテータ

### 2-1 コミュテータ材料の特性

弊社の電動フューエルポンプ用コミュテータ材料は、銅 (Cu) と銀-ニッケル (Ag-Ni) とカーボン (C) の3種類ある。表1にコミュテータの特性を示す。

表1 コミュテータの材料と特性

特性 コミュテータ材料	耐燃料性(耐食性)			物性		
	一般燃料 (レギュラー)	低質燃料 (活性酸素)	超低質燃料 (高硫黄・塩素)	電気抵抗	摺動抵抗	チャタリング抑制効果
銅系	○	×	×	○	△	△
銀-ニッケル系	○	△	×	○	△	△
カーボン	○	○	○	△	○	○

カーボンコミュテータは、耐燃料性に優れ、物性値でも電気抵抗が大きいことを除いて金属製より優れている。しかし効率向上のためには低抵抗率化が必要である。本研究では高効率フューエルポンプの開発目標のポンプ効率20%を達成するため、コミュテータ部分の損失低減による効率向上の目標値を2ポイント以上とした。

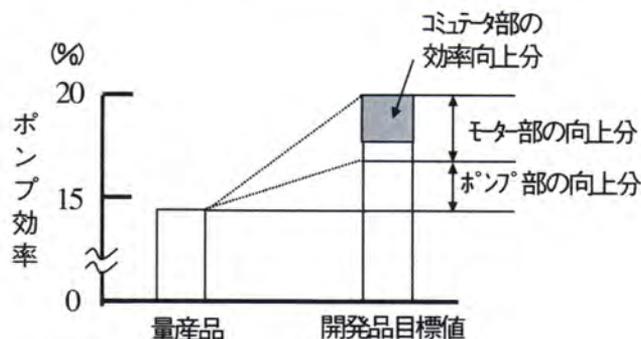


図2 ポンプ効率

### 2-2 カーボンコミュテータ

図3にカーボンコミュテータの構造を示す。

当社の従来品は、黒鉛とフェノール樹脂を混合したカーボン部と金属を一体化成形している。この製法では未炭化樹脂が残るので、電気抵抗率は黒鉛単体より高い。よって他社品以下に低減させることが困難である。他方、他社製カーボンコミュテータは黒鉛をはんだで金属部に接合しており電気抵抗が低く損失が少ない。

しかし、この他社製の構造ではカーボン部と接合部であるはんだ+Cuめっきの熱膨張率の差が大きく、熱サイクルなどに対する信頼性に不安がある。実際、他社品の耐久調査でCuめっきとカーボンが剥離した。本開発では、低抵抗値を実現して損失を抑えながら信頼性を確保できるカーボンと

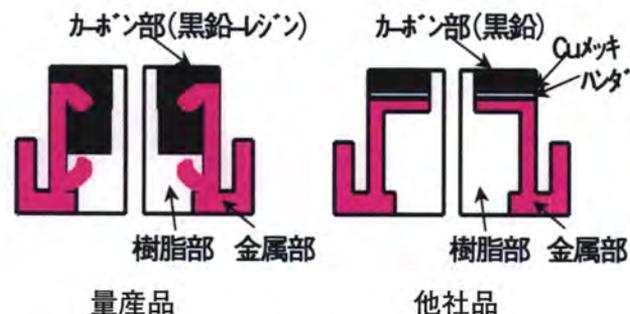


図3 カーボンコミュテータの構造

金属の接合方法について検討する。カーボンコンミュータの定格消費電流時（12V，3.5A時）の電圧損失と抵抗率の関係を図5に示す。（単体での抵抗率の目標値 $1200 \mu \Omega \text{cm}$ ）

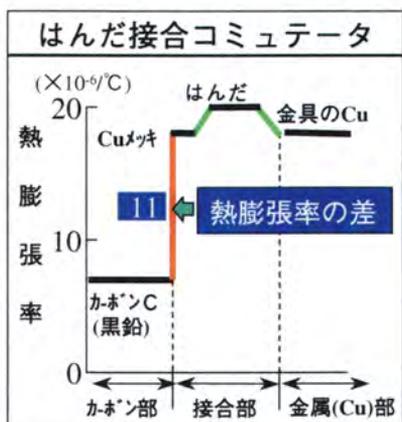


図4 カーボンと金属と接合部の熱膨張率

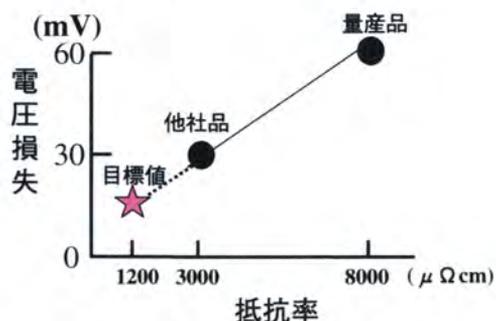


図5 カーボンコンミュータの電圧損失と抵抗率の関係

## 3. 低抵抗化の手段

### 3-1 熱膨張差の緩和

カーボンと金属部の接合部の信頼性を確保するためには、双方の熱膨張率の差を段階的に緩和させることが重要である。図6にそれを示す。

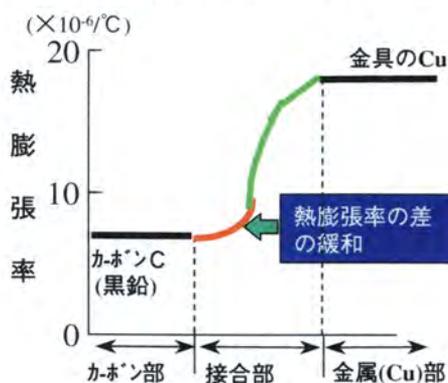


図6 熱膨張率差の緩和

### 3-2 接合方法の検討

表2にカーボンと銅の熱膨張差を段階的に緩和させる接合方法を示す。熱膨張率の差を段階的に緩和させて接合する方法として、接合界面にカーボンと銅の中間的な熱膨張係数を有する化合物層を生じ得るろう付けと、接合界面に傾斜組成を有し得る放電プラズマ焼結が考えられる。このうち、放電プラズマ焼結は接合温度が高いので金属部の寸法精度への悪影響が考えられ、また、真空中で接合するため生産性に難があると判断し、ろう付けで検討を進めることとした。

表2 接合方法

	ろう付け	放電プラズマ焼結
接合温度	○	△
接合強度	○	○
生産性	○	×
接合部		

## 4. ろう材料の検討

### 4-1 ろう材料の主成分の検討

ろう材料の選定するに当たって必要とされる特性は、①融点が銅の融点以下であること、②熱膨張係数がカーボンに近いことであり、我々はNiを主成分として選定した。

表3 ろう材料の特性

主成分	特性	融点	熱膨張率
Cu基		○	×
Ag基		○	×
Ti基		×	○
Ni基		○	○

### 4-2 Ni基に配合する合金成分の検討

Ni基に配合可能でカーボンと親和性のある合金成分を検討すると、W, Si, Ti, Crなどがあり、この中でカーボンと結合する際の炭化物生成温度が銅の融点以下である成分はCrのみであるので、これを合金成分とした。

## 5. カーボンコミュータの開発結果

### 5-1 カーボンコミュータの構造

図7にカーボンコミュータの構造を示す。カーボンと金属は、カーボンと銅との中間的な熱膨張率を有し、C化合物を生じさせるNiろうにより直接接合している。カーボン部には、抵抗率 $1000\mu\Omega\text{cm}$ の高温焼成カーボンを採用し抵抗を低減させた。

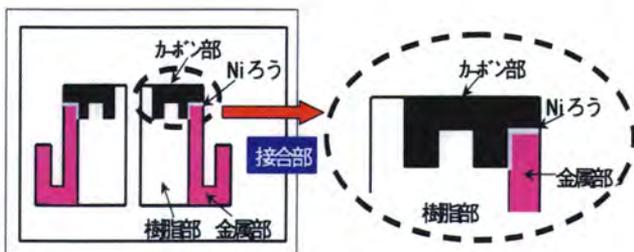


図7 開発コミュータの構造

### 5-2 接合部の解析

接合部をEDXで分析すると、図8、9のように、ろう材料と金具の界面近傍にはNi-Cu合金、カーボンとろう材料の界面近傍には、Cr-C化合物が生成されていることがわかった。この時各部の熱膨張率は図10のようになり、カーボンと金属（銅）の熱膨張率の差を段階的に緩和していることが証明された。Cr-C化合物はX線回折の結果、主成分

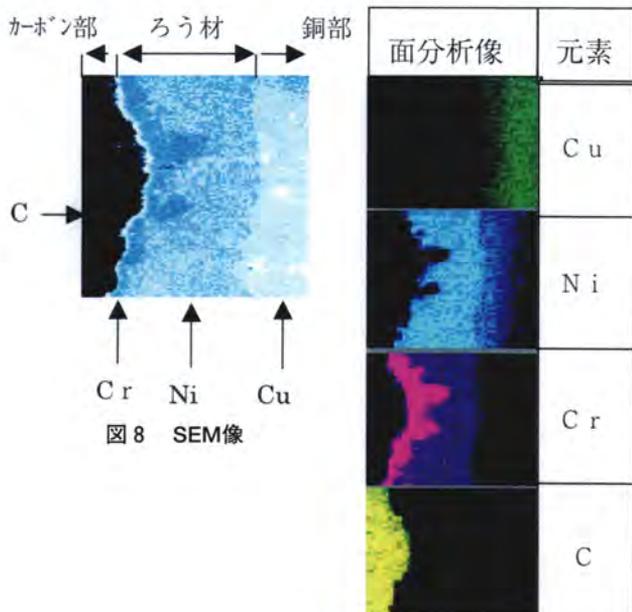


図8 SEM像

図9 接合部の面分析

がクロム系炭化物の中で最も結合力が強く、かつ、化学的に安定している $\text{Cr}_3\text{C}_2$ であることがわかった。

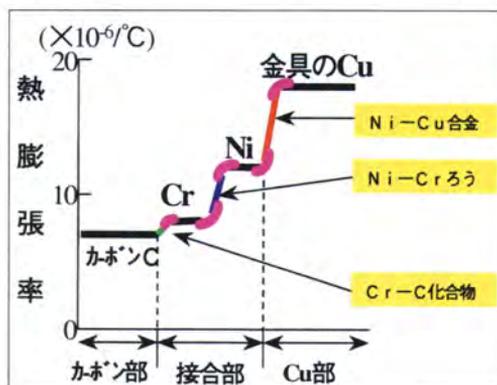


図10 接合部の状態と熱膨張率

### 5-3 単体評価結果

コミュータの抵抗率を測定すると $1180\mu\Omega\text{cm}$ と目標を達成できた。また、熱衝撃による接合部の信頼性の確認をするためヒートショック試験を行い、その後のカーボンと銅の接合強度（剥離強度）を測定した。その結果を図11に示す。ヒートショックによる強度低下はほとんどない。また、接合強度測定時に生じた剥離は母材破壊であって、接合面での剥離ではないため、接合部の信頼性が確認できた。

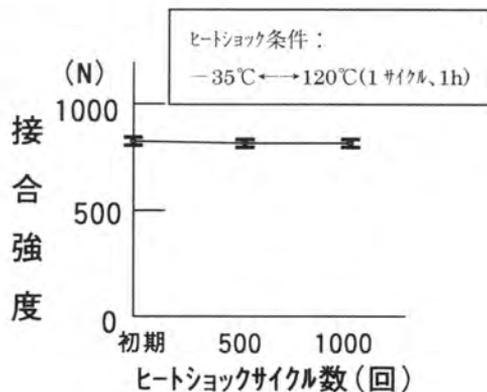


図11 ヒートショック試験結果

### 5-4 ポンプAssy耐久評価

図12に耐久評価結果を示す。

開発したカーボンコミュータをポンプに組付け耐久評価すると耐久寿命は、目標を満足しており接合部の剥離等の問題もないことが確認できた。

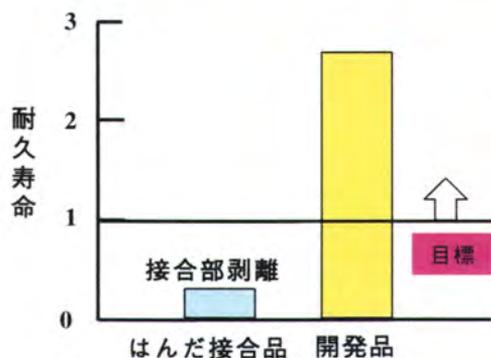


図12 耐久評価結果

## 5-5 ポンプ効率

ポンプ効率は、従来品に対し低抵抗なカーボンコミュテータを採用することにより2.2ポイント向上し目標を達成できた。

## 6. まとめ

カーボンと銅の新ろう付け接合技術の確立により、カーボンコミュテータの低抵抗率化を実現させ、ポンプ効率を2.2ポイント向上させることができた。

## 7. 謝辞

株式会社豊田中央研究所，株式会社原田製作所のご協力により迅速に開発できましたことに深く感謝の意を表したい。

〈参考文献〉

- 加藤ほか：電動フューエルポンプ用コミュテータの開発，自動車技術会 秋季大会前刷集 81-98 (9838697) (1998)

## 著者紹介

**加藤 博孝**

Hiroataka Kato  
(第1製品開発部)



**中根 巖**

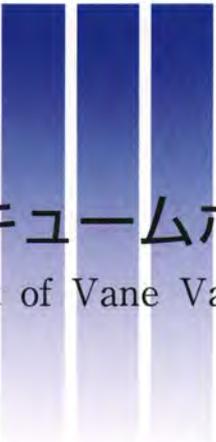
Iwao Nakane  
(研究開発部)



**村瀬 誠司**

Seiji Murase  
(第2製品開発部)





# ベーン式バキュームポンプの開発

Development of Vane Vacuum Pump

根本 公 夫

Kimio Nemoto

稲垣 英 人

Hideto Inagaki

## 〈要 旨〉

ディーゼル車に搭載されるバキュームポンプの軽量化を実現するため、新しいロータの支持方法を採用する。この場合、ロータのスラスト摺動部の油膜形成が信頼性を確保する上での成立条件となるため、ミクロンオーダーでの油膜計測を行いその挙動を解析した。

## Abstract

We will change the method of supporting the rotor in order to design the light-weight vacuum pump for diesel engines.

Because the oil slick formation on sliding thrust face of rotor is required to ensure the reliability, we analyzed the oil slick behavior by micron order measurement.

## 1. はじめに

### 1-1 バキュームポンプの役割

一般に、ガソリンエンジン車ではエンジンの吸気管負圧をブレーキブースタへの負圧供給源としているが、ディーゼルエンジン車はエンジンの吸気管負圧が低いため、負圧供給源としてバキュームポンプを使用している。

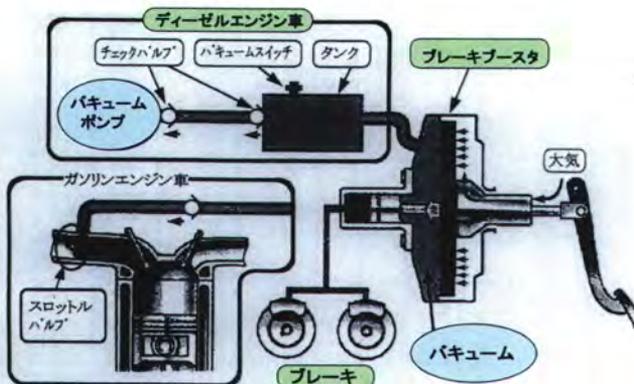


図1 ディーゼル車用ブレーキシステム

### 1-2 バキュームポンプの構造

ベーン式バキュームポンプはエンジンのギヤトレインを駆動源としている。ハウジング内に偏心して取り付けられたロータを駆動し、ロータに放射状に配置されたベーンが遠心力によってハウジング内壁を摺動することで、ロータとベーンで囲まれた空間容積を変化させ負圧を発生させる。

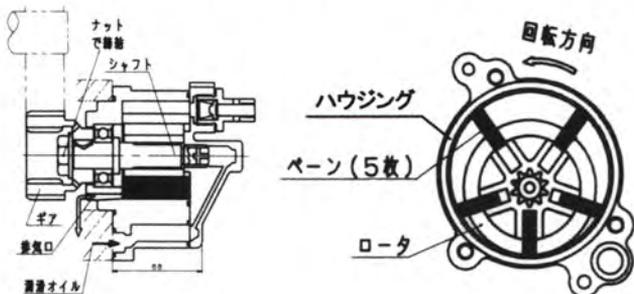


図2 従来のベーン式バキュームポンプ

今回の開発では、バキュームポンプの軽量化を図り、車両の燃費向上に寄与することを狙っている。

軽量化の目標設定に当たり、国内外のバキュームポンプのベンチマークを行った。国内のものに比べて欧州メーカーのものの方が軽量である。

燃費向上のために車両の軽量化が必要

V/Pの軽量化が必要となった

図3 バキュームポンプへの要求

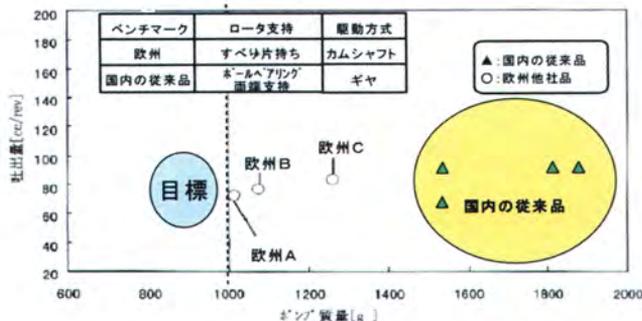


図4 ベンチマーク結果

軽量化方策として、ロータの支持方法をボールベアリングによる両端支持からすべり軸受とロータスラスト面による支持に挑戦することにした。

ロータのスラスト支持については摺動部の油膜形成が必須であるが、スラスト面の油膜形成に関する理論計算は確立されていない。そこで、油膜挙動を定量的に把握するためにミクロンオーダーの油膜計測が可能な二次元蛍光法<sup>(1)</sup>を適用した。

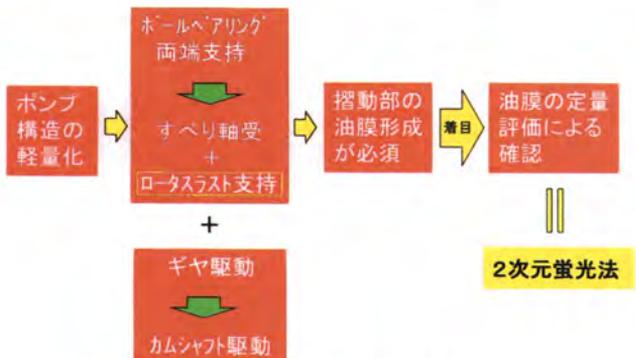


図5 軽量化と二次元蛍光法

## 2. 開発品の構造

開発品の特徴は、カムシャフト駆動方式として、ロータの支持方法をロータ端面で傾きを規制した片持ちのすべり軸受とした構造にある。オイルはカムシャフトの中心より給油され、スラスト面に供給されている。

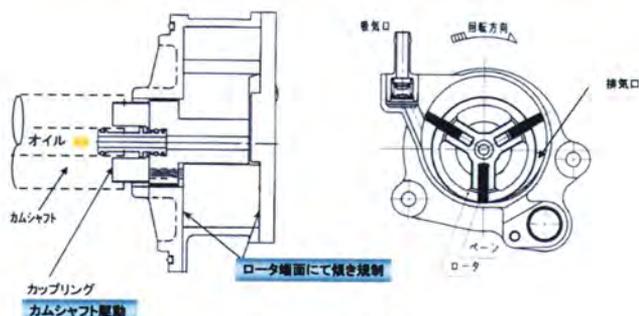


図6 開発品の構造

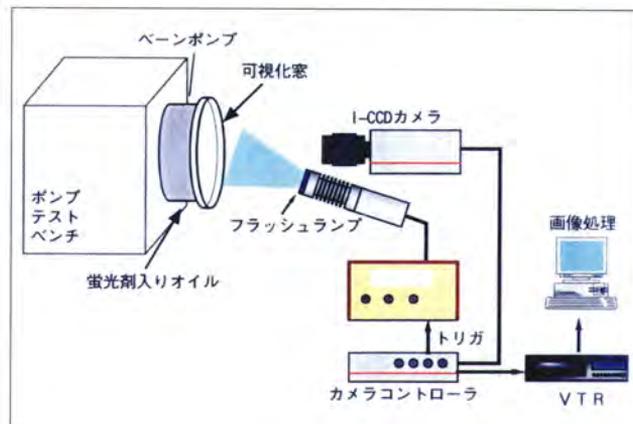


図8 油膜計測システム

### 3. 支持構造と油膜挙動解析

ロータのスラスト支持構造は、軸受隙間と負圧によりロータの傾きが発生するため、スラスト面と接触する部分の油膜が切れなことが信頼性を確保する上で重要である。

そのため、ロータスラスト摺動面T-T'面(図7参照)の油膜挙動について観察した。

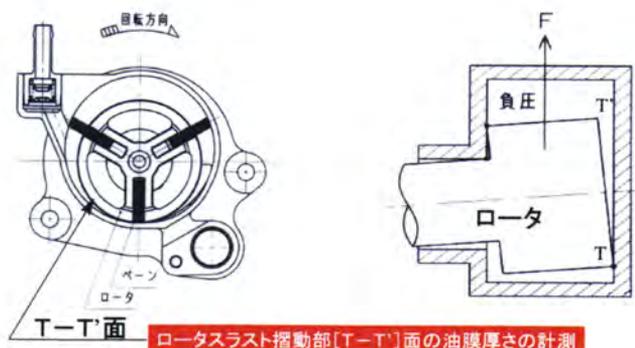


図7 油膜挙動の観察部位

### 4. 二次元蛍光法による油膜計測

#### 4-1 計測装置

バキュームポンプのスラスト面を透明材料で製作し可視化窓とした。

バキュームポンプに供給する潤滑油に蛍光剤を添加し、フラッシュランプで特定波長の光を照射して蛍光剤を励起させる。受光側には、蛍光発光が励起光と重ならないようにフィルタを取り付けたCCDカメラをセットする。

カメラとフラッシュランプを同期させ、蛍光画像を撮影してビデオテープに記録した後、パソコンで画像処理を行って蛍光輝度を油膜厚さに変換する。

#### 4-2 油膜計測結果

図9および図10に画像処理後の油膜計測結果を示す。図9は吸気口が全閉の状態、図10は吸気口が全開の状態である。

それぞれの状態で油膜の分布を比較してみると、吸気口全閉の場合は、油膜の厚い部分では60~80 $\mu\text{m}$ (黄色で表示)、薄い部分では5~10 $\mu\text{m}$ (青色で表示)となっている。これに対して吸気口全開の場合では、厚い部分が40~50 $\mu\text{m}$ (濃い黄緑色で表示)、薄い部分が5~10 $\mu\text{m}$ で両者の分布の差が小さくなっている。これは、吸気口全開の場合にロータの傾きが小さいことを示している。

次に、油膜の薄い部分について注目すると、その部位は、全閉の場合ではロータの下側、全開の場合ではロータの斜め右下辺りとなっている。これは、開発ポンプが片持ち軸受であるために、全閉の場合では、吸入工程後の最も圧力室の容積が大きくなる部分がロータの上側にあり、この位置で吸気口全閉による負圧力が最も大きくなるためと思われる。

また、全開の場合では吸入が十分になされるため、逆に排気工程にある右斜め下の部位で正圧が生じ、ロータを左斜め上方に持ち上げたものと思われる。

そのほか、形成油膜の厚さは、回転数により若干変化するものの、上記の傾向に違いは見られなかった。

以上の油膜挙動の観察結果より、開発ポンプのロータスラスト面T-T'部分には十分な油膜が形成されていることが確認できた。潤滑上の問題は

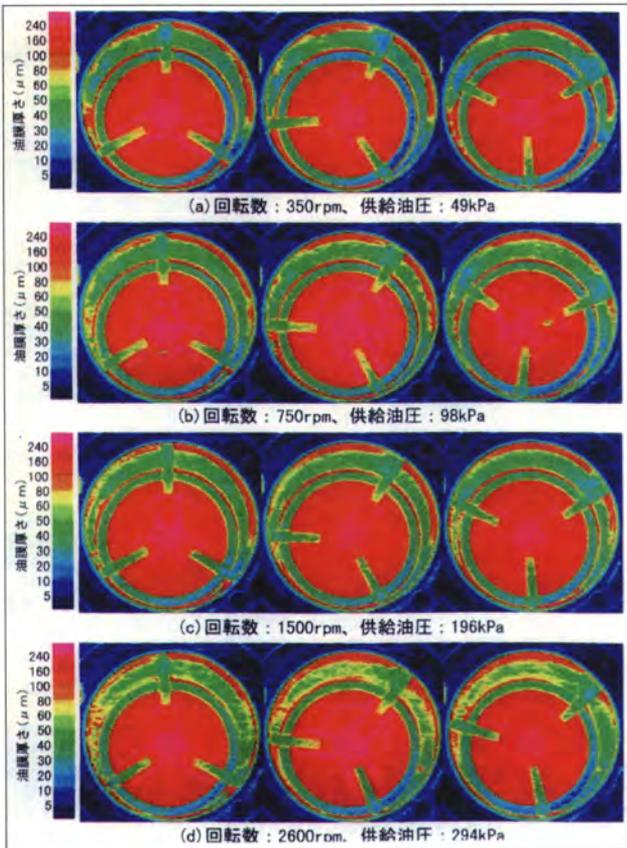


図9 油膜計測結果（全閉）

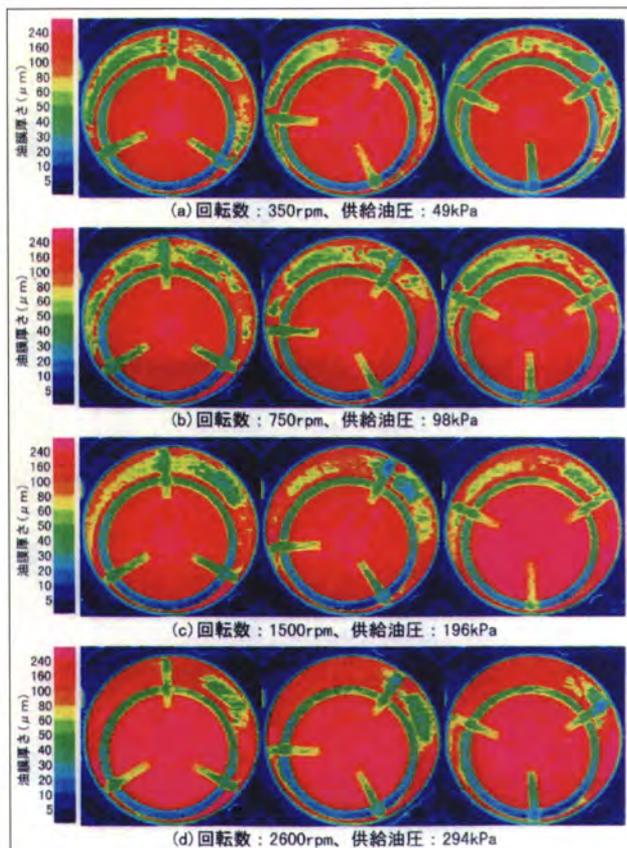


図10 油膜計測結果（全開）

ないと思われるため、耐久試験にてその摩耗量を調査した。

## 5. 耐久試験での摩耗

図11に実機およびベンチ耐久試験での摩耗量の結果を示す。

ベンチ耐久試験の摩耗量の推移からは、なじみ摩耗が耐久初期に終了した後は摩耗の進行が緩やかになることがわかる。また、実機耐久試験においてもベンチ耐久試験と同レベルの摩耗量であることがわかる。

これらの結果は、二次元蛍光法の測定でも確認されたように、十分な油膜が形成されていることを示している。

また、耐久終了後の摩耗量は許容限界値の30%以下で、ポンプ性能への影響も無視できるレベルである。

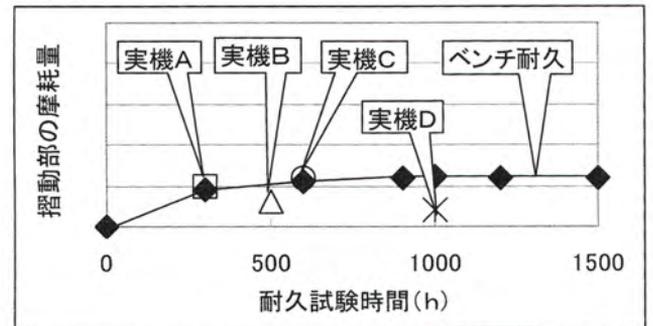


図11 耐久試験での摩耗推移

## 6. まとめ

- ① 二次元蛍光法にてロータスラスト面の油膜厚さを計測することができた。
- ② 運転条件の違いによるロータスラスト面の油膜厚さの変化を比較することができた。
- ③ 油膜厚さ分布からロータ姿勢の推定ができた。
- ④ ①～③および耐久試験結果より、ロータのスラスト面では潤滑上の問題がないことが確認できた。

## 7. 謝辞

今回の解析では、株式会社豊田中央研究所殿の多大なご支援を戴きました。誌面をお借りして謝意を申し上げます。

### 〈参考文献〉

- (1)稲垣ほか：蛍光法によるピストン曲面油膜分布計測，日本機械学会第72期全国大会講演論文集（Ⅲ），P.521-529（1994）

## 著者紹介

### 根本 公夫

Kimio Nemoto  
（第1製品開発部）



### 稲垣 英人

Hideto Inagaki  
（株式会社  
豊田中央研究所）

# ハイブリッド車用電動ウォーターポンプの開発

Development of Electric Water Pump for Hybrid Vehicles

伊 藤 広 久

Hirohisa Itoh

## 〈要 旨〉

ハイブリッド車用として、高性能、低コスト技術を織り込んだDCブラシレスモータ式電動ウォーターポンプを開発したので、その概要について紹介する。

## Abstract

This paper describes the outline of the electric water pump for hybrid vehicles, which adopts DC brush-less motor with high performance and the technology for cost reduction.

## 1. はじめに

「地球に優しく」を合言葉に世界的な規模で環境問題が叫ばれており、自動車メーカーにとっては、排出ガスの低減が急務となっている。排出ガス低減の一つの答えとして、動力源にモータとガソリンエンジンを併せ持つハイブリッド車がある。

自動車メーカーでは環境問題に 대응するとともに、ハイブリッド車の商品価値を高めるために、更なる低燃費、高出力、低コストを目指した開発が進められている。

これを受けて当社はハイブリッドシステムの冷却用として、高吐出性能、低消費電流、低コストアイテムを織り込んだ電動ウォーターポンプを開発した。

## 2. ハイブリッド車の冷却システム

ハイブリッド車は、エンジンの他にインバータ、コンバータ、モータおよび発電機を搭載しており、これらが発熱するため冷却が必要となる。冷却方式には、水冷と空冷があるが、水冷方式においても、エンジンの適正水温とハイブリッド系の適正水温とが異なるため、エンジン冷却系とは別にハイブリッド系で専用の冷却系を持つ必要がある。ここでは、ハイブリッド車の水冷式冷却システムのために開発した電動ウォーターポンプについて述べる。

車両の高出力化に伴い、インバータ、コンバータ、モータおよび発電機の発熱量が増大するため、ハイブリッド系の冷却性能の向上が必要であり、電動ウォーターポンプの吐出能力の向上が求められている。

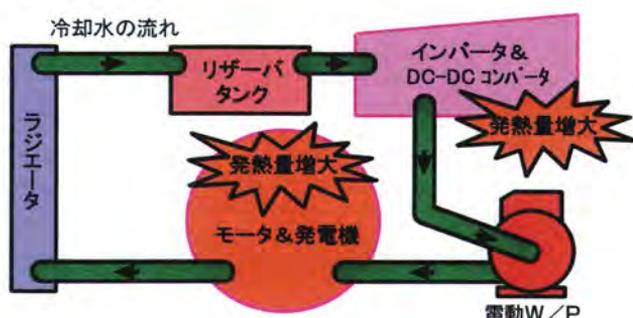


図1 ハイブリッド車の冷却システム

## 3. 開発目標値

開発目標値を表1に示す。

ウォーターポンプに求められる特性は、インバータ、モータを冷却するのに十分な流量を供給し、かつ小型で低消費電流である。

表1 開発目標値

項目	開発目標値
1. 吐出能力	6.8L/min
2. 体格	φ67×L95以下
3. 消費電流	1.5A以下

## 4. 目標達成のための検討課題

目標を達成するための構想とその検討課題を図2に示す。

構造は当社で1996年から電気自動車のインバータ冷却用として生産開始したDCブラシレス電動ウォーターポンプを基本とした。また、体格は搭載性を考慮し決定した。

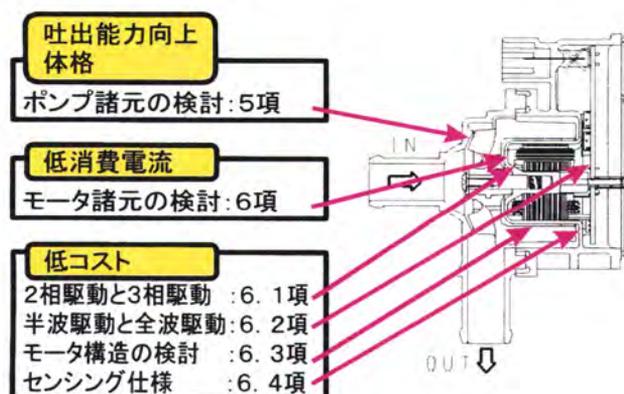


図2 開発品の検討課題

まず、吐出能力を達成させるためにポンプ諸元の検討を行った。低消費電流に関しては、主に、モータ部の効率確保で対応することにした。

低コスト化については、2相モータの採用、半波駆動の採用、モータ構造の検討、センシング仕様の工夫などで達成すべく、構想案を抽出し、具体的に検討した。

## 5. ポンプ諸元の検討

### 5-1 ポンプ回転数の検討

ポンプ構造は、渦巻ポンプを使用し、回転数の目標値を決定した。

表2のように、要求体格で吐出能力は、1.25Wとなり、流量としての吐出能力目標値6.8L/minを満足するための必要ポンプ回転数2600rpmを決定した。

表2 吐出能力とポンプ回転数

目標値	吐出能力		回転数
	6.8L/min (at 11kPa)	1.25W	
			2600rpm

### 5-2 羽根諸元の検討

吐出能力とポンプ回転数が求められたので、渦巻ポンプ設計式より、羽根入口径、羽根出口径、羽根高さ等を算出し、図3に示す羽根諸元を選定した。

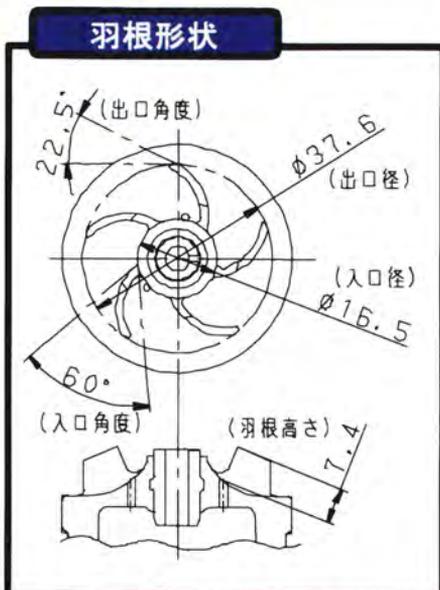


図3 羽根形状 (決定諸元)

## 6. モータ諸元の検討

### 6-1 2相駆動と3相駆動

表3に、2相モータと3相モータのトルク波形と特徴を示す。

2相モータは3相モータに比べて、トルクの実

効値が低くなり、モータの効率が悪くなる傾向がある。しかし、部品点数削減やコストの面で大きなメリットがあることから、開発品は2相駆動方式を採用した。

表3 2相駆動と3相駆動の比較

駆動方式	2相駆動	3相駆動(従来品)
トルク波形		
回路面積	○	△
効率	△	○
部品点数	◎	△
コスト	◎	△

### 6-2 半波駆動と全波駆動 (2相モータ)

駆動方法には、半波駆動と全波駆動の2種類がある。半波駆動がモータコイルに片側からしか通電しないのに対し、全波駆動ではモータコイルの両側から通電するため、コイルの使用効率が向上し、モータ効率が向上することが知られている。しかし、2相モータにおける全波駆動は、従来の3相モータでは問題とならなかった動作安定性の解決に大きな課題を残すことが解った。

表4 半波駆動と全波駆動の比較

駆動方式	半波駆動	全波駆動(従来品)
回路構成		
回路面積	○	△
効率	△	○
部品点数	○	△
動作安定性	◎	△
コスト	◎	○

2相モータは、a相に通電し、次にb相、またa相と、交互に切替が行われる。

半波駆動の場合は電流の流れる方向が一方向のため、どのタイミングで行われても問題はない。

しかし、全波駆動の場合はコイルを中心としてHブリッジを形成する回路となっているので、電流が右方向、左方向と流れることとなり、その切替タイミングによっては上下トランジスタに貫通

電流が流れる危険性がある（表4回路構成図参照）。

これを避けるため、通常のHブリッジ回路では、すべてのトランジスタがOFFとなる時間を設ける方法を取る。しかし、すべてのトランジスタがOFFになるということは、a相、b相どちらのコイルにも通電しないということであり、これはモータに不起動ポイントが存在するということになる。

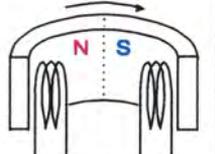
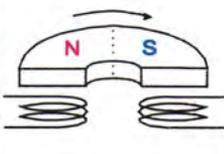
これでは製品として成立しないため、開発品は動作安定性とコストの観点から、半波駆動方式を採用した。

### 6-3 モータ構造の検討

モータ構造にはラジアル型とスラスト型の2種類がある。ラジアル型は、磁気回路が回転のラジアル方向となる方式、スラスト型は磁気回路がスラスト方向となる方式である。

今回の開発では、モータ効率が良く、コスト上有利なラジアル型を採用することにした。

表5 ラジアル型とスラスト型の比較

構造	ラジアル型	スラスト型(従来品)
構造図		
体格	○	△
効率	◎	△
部品点数	○	△
コスト	◎	○

### 6-4 センシング仕様

ブラシレスモータでのマグネット位置検出方法には、ホールセンサ方式と逆起電圧方式の2種類がある。動作安定性の良さと信号処理が容易な点より、今回の開発品には従来品と同じホールセンサ方式を採用した。

更に、センシングを確実にするための改良を加えた。まず、基板がマグネット面から浮かない構造とした。

次に、ホールセンサ位置を基板下面から基板上面に変更することにより、マグネットに近い位置でセンシングできる構造とした。

また、その構造が取れるように、電源供給のターミナル締結方法を工夫した。

マグネット部にはプラスチックマグネットを採用し、低コスト化を図るとともに、センサマグネットの一体化、センシング角度の高精度化、センサ部の磁束密度をアップさせるなどの配慮を行った。

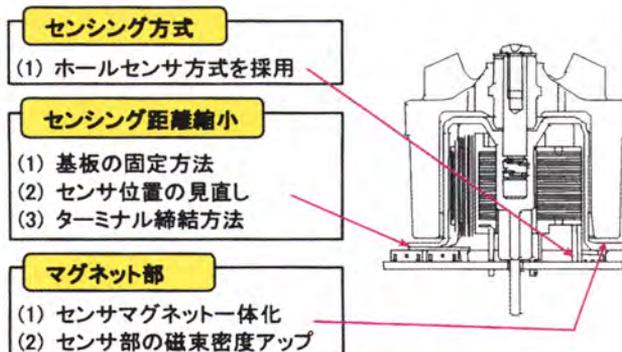


図4 センシング仕様

## 7. 開発結果

選定したポンプ部、モータ部の諸元にて吐出性能を評価した。供給電圧を12Vとし、その時の流量と電流値を測定した結果を図5・図6に示す。

流量は6.8L/minで目標を満足している。

また、電流値についても、1.1Aと目標を満足しており、開発目標を達成した。

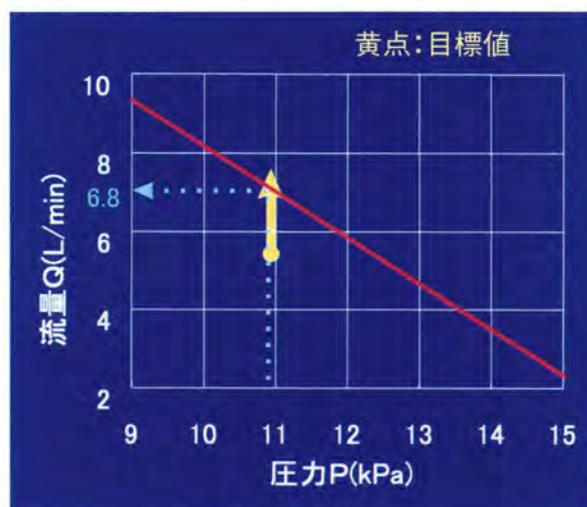


図5 圧力-流量特性

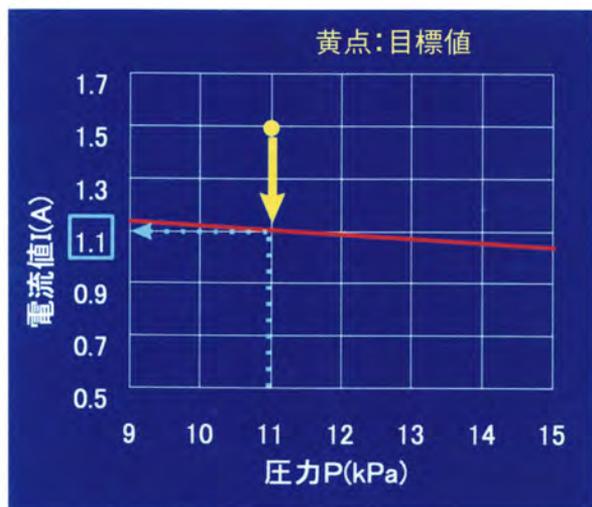


図6 圧力-電流値特性

表6 開発品の性能

項目	開発目標値	開発結果
1.吐出能力	6.8L/min	6.8L/min
2.体格	φ67×L95以下	φ67×L93
3.消費電流	1.5A以下	1.1A

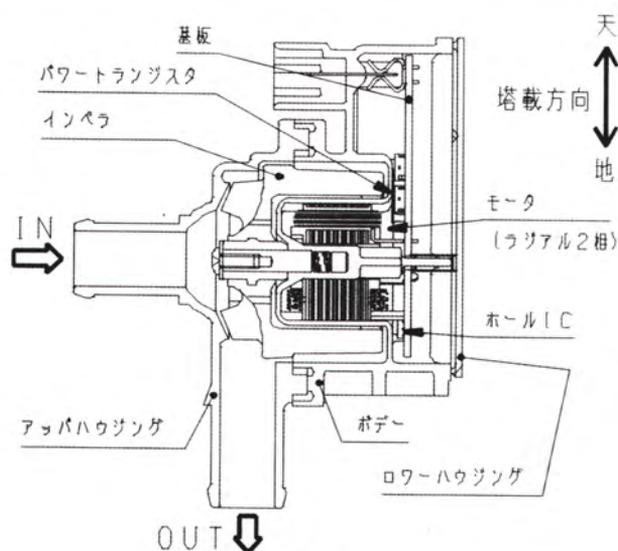


図7 開発品の構造

## 8. まとめ

開発目標を満足する電動ウォーターポンプが開発でき、2000年4月より生産開始している。

〈参考文献〉

- 伊藤ほか：電気自動車用電動ウォーターポンプの開発，自動車技術会春季大会前刷集971（1997）

## 著者紹介

伊藤 広久  
Hirohisa Itoh  
(第1製品開発部)



## 特集の関連製品



電動フューエルポンプ

# FUEL PUMP



バキュームポンプ

# VACUUM PUMP



電動ウォーターポンプ

# WATER PUMP

# ボンドグラフによるポペット弁の振動解析

Bond-Graph Based Analysis of Poppet Valve Instability

松原 守

Mamoru Matsubara

高田重孝

Shigetaka Takada

池谷昌紀

Masaki Ikeya

鈴木勝也

Katsuya Suzuki

## 〈要 旨〉

ポペット弁と配管とから成る油圧回路系の振動現象を  
ボンドグラフによってモデル化した。

そして、このモデルとボンドグラフを直接入力できる市販ソフト「20-sim」によって、  
軟発振および硬発振の現象を計算し、更にその発振領域も求められることを示した。

## Abstract

This paper shows a bond graph model for a hydraulic circuit system consisting of a pipeline and a poppet valve is shown. Soft self-excited oscillations and hard self-excited oscillations are obtained by using this bond-graph-based modeling and the simulation software (20-sim).

## 1. はじめに

ポペット弁を用いる油圧回路系では往々にして振動が発生し、古くから多くの研究が行われてきた<sup>(1)~(4)</sup>。林らはポペット弁の流量特性や弁と弁座との衝突等の非線形特性を含めた解析を行ない、従来は安定とされていた領域に、外乱が大きい場合に硬発振現象が発生することを明らかにした<sup>(5)~(6)</sup>。しかしこの解析には、流量特性や衝突特性などの非線形特性を数式で表わす能力と数値解析の知識が必要とされ、必ずしも容易ではない。

また、ボンドグラフにより油圧回路系のモデル化を行った解析例もいくつか報告されている<sup>(7)~(11)</sup>。異なる工学分野のシステムを同一記号で表現できるボンドグラフの特徴をうまく利用したものである。しかし、ボンドグラフを用いた、ポペット弁の硬発振現象の報告例はない。

我々はこの分野の研究者ではないが、振動現象を予測することは油圧回路系の性能向上には必要な設計技術と考えた。そこで、これら油圧回路に対し非線形特性を含めた系全体をボンドグラフで表わし、市販解析ソフト「20-sim」<sup>(12)</sup>を用いて、硬発振現象及び硬発振領域を求めることを行った<sup>(17)(18)</sup>。

## 2. ポペット弁の振動解析

林らはFig.1に示す管路、オリフィス、弁室およびポペット弁から成る油圧回路系において、弁の運動方程式、弁と弁座との衝突の方程式、弁の圧力・流量特性方程式、管路の方程式など8個の方程式をたてて、これらをRunge-Kutta法により解いたものである。その結果をFig.2およびFig.3に示す。Fig.2では、微小じょう乱から振動が成長する軟発振と、弁が大外乱を受けたときに振動が成長する硬発振の領域が示されている。Fig.3は硬発振の波形で、外乱として与えた弁初速度が小さいときは収束し、大きいときは発振することが示されている。

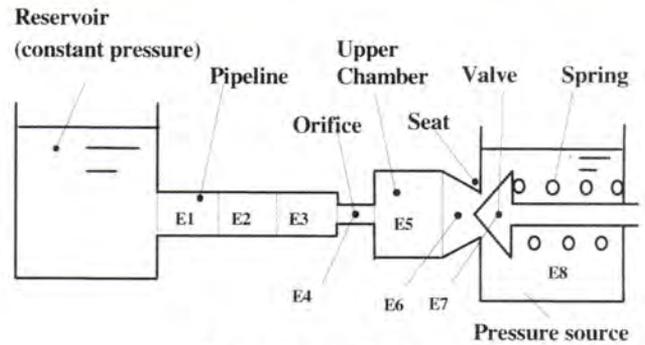


Fig.1 Hydraulic circuit

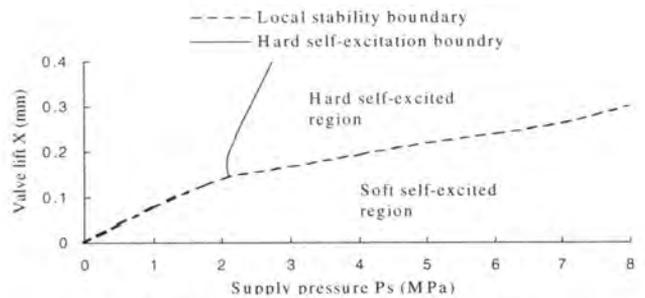


Fig.2 Oscillation region of Poppet Valve analyzed by Hayashi et al.

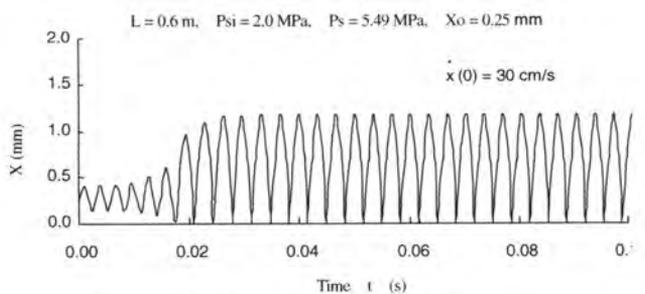
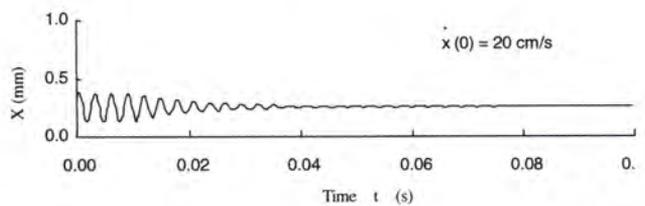


Fig.3 Hard self-excited oscillation waves analyzed by Hayashi et al.

## 3. ボンドグラフによるモデル化

### 3-1 ボンドグラフ

始めにモデル化の簡単な例を示す。ばね質量系はFig.4のように三つの素子R, C, Iと一つの接点“1”で表わせられる<sup>(10)~(13)</sup>。多自由度のモデル化も、これらの素子数が増えるだけで容易である。

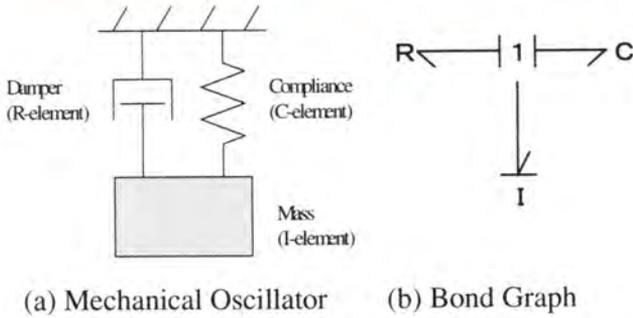


Fig. 4 Bond Graph Modeling of Mechanical Oscillator

この例ではR素子は減衰係数だが、電気系では抵抗、流体系では摩擦係数となる。つまり、異なる工学分野の現象を同一の記号で表現できるところにボンドグラフの特徴がある。また、各素子間関係は接点“1”や“0”で、異なる工学分野間の変数変換は変換素子を用いて、エネルギー保存則に基づきモデル化される。

更にボンドグラフを直接入力できる解析ソフトが市販されており、各定数値と初期条件を入力すれば解が求まる。ボンドグラフに少し慣れれば、解析的には解けない問題を容易に解くことができる<sup>11)</sup>。

### 3-2 機械系のモデル化

モデル化する解析対象は、林らと同じFig.1に示す油圧回路である。この回路を同図のE1～E8と8分割してボンドグラフによるモデル化を行う。まず、弁の作動という機械系のモデル化から行う。

ポペット弁には弁の上流側と下流側に作用している圧力があり、これが流体力として作用する。これに非線形バネを加えてモデル化するとFig.5のようになる。ここで、nonlinear C素子は非線形バネを、MR素子は衝突時の損失項を、TF素子は流体力を、I素子は弁質量を、Se素子はバネ設定荷重を表している。

非線形バネは弁が開いている時のバネ力と、弁が閉じているときの弁と弁座との弾性変形による力を表している。損失項であるMR素子は、弁と弁座との衝突による減衰を表し、変位が負の時のみに有限な値を持っている。ここで、損失項と反発係数との関係を求めると、Fig.6のようになる。

速度によらず、ほぼ同じ反発係数を示しており、この損失項で反発係数を表現しても差し支えないと考える。

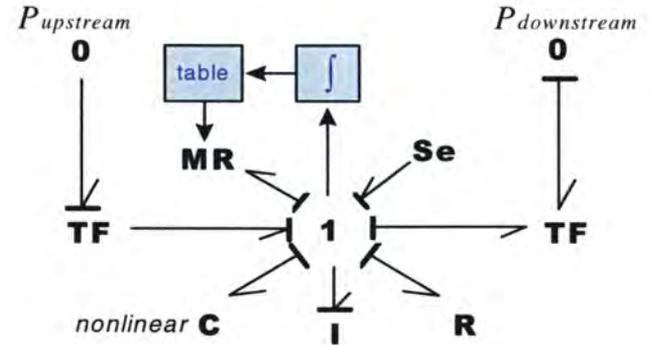


Fig. 5 Bond Graph of the mechanical Submodel

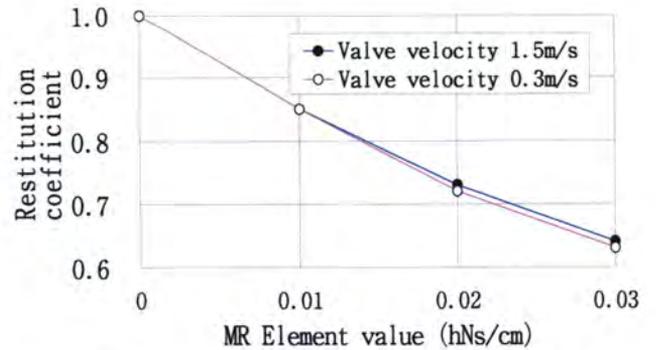


Fig. 6 Restitution coefficient against R element value

### 3-3 ポペット弁の流量特性のモデル化

ポペット弁の流量は、弁の変位のみの関数である流量係数C(X)、弁部通路面積A(X)を用いて(1)式のように表される<sup>5)</sup>。変位が小さく流量が非常に少ないときに解が求められなくなる問題を回避するために、トーマに従い<sup>12)</sup>、2乗項ではなく線形項による損失項によって計算を行なった。線形項の損失係数R<sub>th</sub>は(2)式のように表される。更に、この損失係数R<sub>th</sub>は弁速度を積分して得られる弁変位の関数として与えることができる<sup>10)~12)</sup>。ボンドグラフはFig.7のようになる。

$$Q = C(X)A(X)\sqrt{\frac{2|\Delta P|}{\rho}} \text{sgn}(\Delta P) \quad (1)$$

$$R_{th} = \frac{\Delta p}{Q} = \frac{\text{sgn}(\Delta p)}{C(X)A(X)}\sqrt{\frac{\rho|\Delta P|}{2}} \quad (2)$$

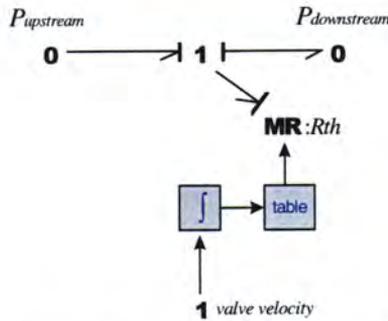


Fig. 7 Pressure-flow characteristic Bond Graph

3-4 管路のモデル化

管路は区分要素法<sup>[5]</sup>によってモデル化を行なう。圧力降下は2乗項とし、ゲインKと可変R素子とを掛けて求める。これをボンドグラフで表すとFig. 8のようになる。

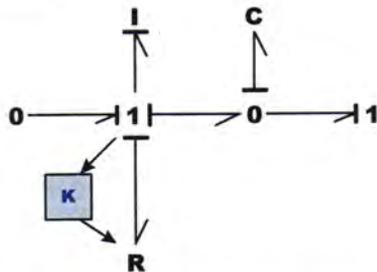


Fig. 8 Pipeline Bond Graph

3-5 ポペット弁と管路全体のモデル

こうして求めたボンドグラフによる、ポペット弁と管路全体のモデルをFig. 9に示す。Fig. 9では管路は3区に分れているが、管路の区分数は結果に影響を与えることが予想された。その結果は4-2節で述べる。

4. シミュレーション結果

4-1 計算条件

計算に用いた数値は林らと同じである。但し、反発係数の代わりとして、損失項を0.02hN・s/cmに設定した。この値はFig. 6から、反発係数で0.73に相当するとして決めた。なお、発振形態を調べるために、弁の初速度を外乱として与え、他の初期条件は安定状態の値とした。使用した解析ソフトは「20-sim」<sup>[11]</sup>である。

4-2 区分数の影響

Fig. 10は、管路の区分数の影響を硬発振領域A点 (Fig. 12)での、外乱として与えたバルブ初速度と振幅の大きさの関係で表したものである。区分数1では発振現象は現れない。区分数2では発振するが、発振を始めるバルブ初速度が高い。区分数3と8ではほぼ同じ結果となり、以下に示す結果は区分数3で実施したものである。

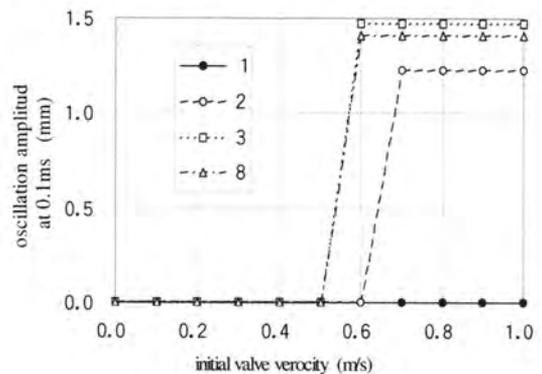


Fig. 10 Effect of pipeline segments

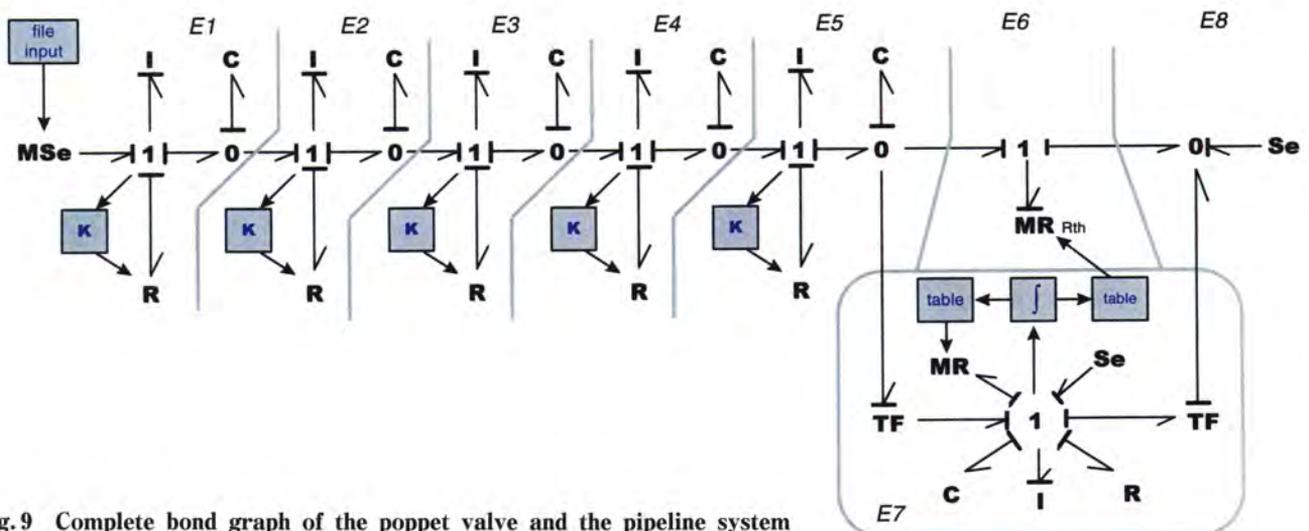


Fig. 9 Complete bond graph of the poppet valve and the pipeline system

4-3 硬発振・軟発振・安定時の波形

Fig. 11 には上から硬発振, 軟発振及び安定領域の代表的な波形を示す. Table 1 には林らが求めた値との比較を示すが, 発振の振幅と周期はほぼ一致していることが分る. 供給圧力とバルブの定常変位を変えたときの, 発振領域の境界をFig. 12 に示す. 求められた硬発振域, 軟発振域および安定領域もFig. 2 に示した林らの結果と良く一致している. なお, Fig. 11 の三つの波形はFig. 12 の A点, B点, C点における波形である.

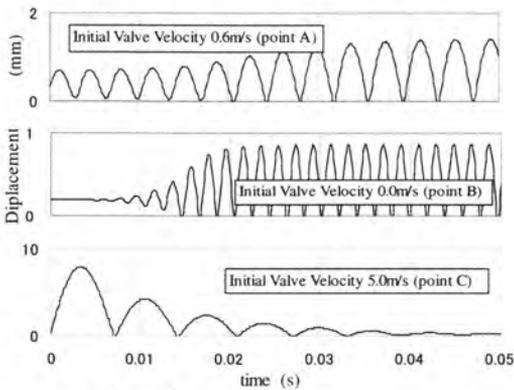


Fig. 11 Self-excited oscillation waves

Table 1 Comparison between the bond graph model and the model by Hayashi et al.

	Bond graph	Hayashi et al.	Ratio Bond/Hayashi
Amplitude (mm)	1.4	1.2	1.2
Period (ms)	3.9	3.3	1.2
Oscil. Vel. (m/s)	0.6	0.3	2.0

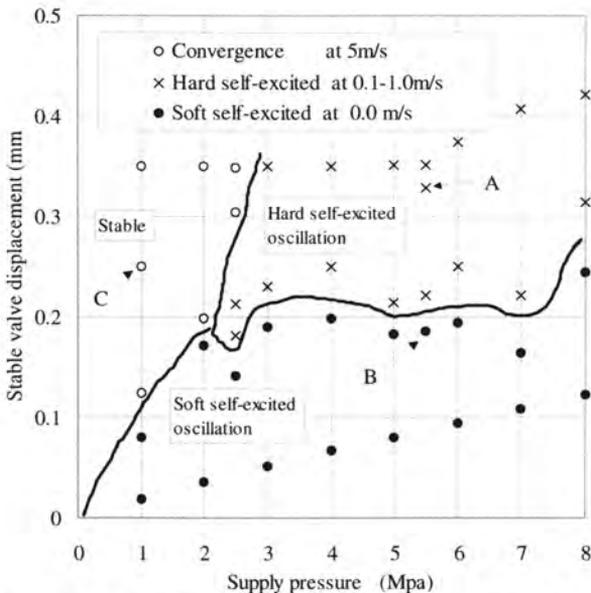


Fig. 12 Boundaries of self-excited oscillation Regions

4-4 弁変位・流体力位相面軌跡

発振は振動の1サイクルにおいて, 流体が弁に与えるエネルギーEが正になり, かつ摩擦損失エネルギーより大きい場合に発生する<sup>(5)(6)</sup>. このエネルギーEは, Fig. 13にてx軸に弁変位を, y軸に流体力をとった位相面軌跡にて, 1サイクル内に囲まれる面積に相当する. これらは(3)式によって容易に求めることができる. これはFig. 11 に示した硬発振のもので, 弁初速度が0.6m/sのエネルギーが初速度が0.5m/sのものより大きくなっているのが分かる.

$$E = \oint F_f dx \dots \dots \dots (3)$$

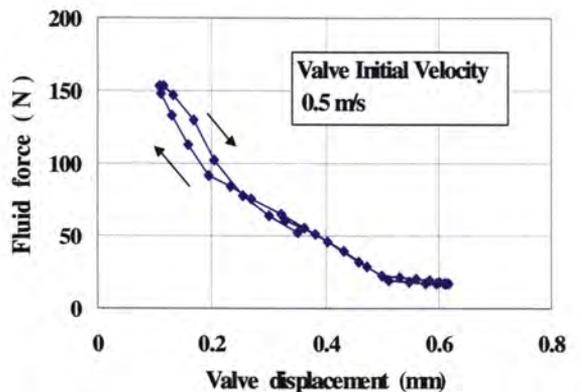
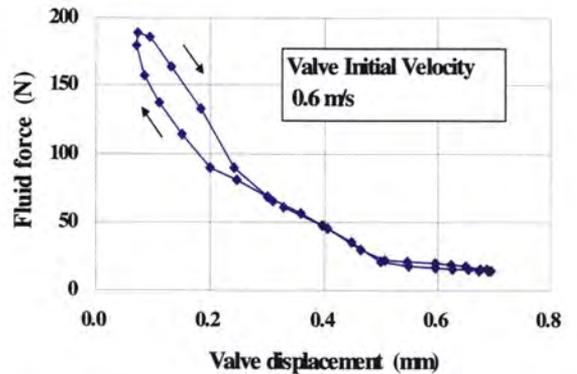


Figure 13. Phase plane trajectory

5. まとめ

管路とポペット弁からなる油圧回路に対し, その振動モデルをボンドグラフで表わすことが出来た. そして硬発振現象の発生を確認し, さらにその領域も容易に求める事が出来た. このようにボンドグラフを用いることで, 容易にポペット弁の安定性判別を可能とすることを示せた.

〈参考文献〉

- (1) Funk, J. E., "Poppet Valve Stability",  
Trans. ASME, Ser. D, 86-6 (1964), 207
- (2) 市川・中村, 機論34-257 (1968), 91
- (3) 笠井, 機論, 35-270 (1969), 350
- (4) 前田, 機論, 35-275 (1969), 1293
- (5) 林・大井, 機論, 56-532, C (1990), 3185
- (6) 林, 機論, 57-541, B (1991), 2867
- (7) 田中・高橋・中川・田島, 油圧と空気圧, 20-1  
(1989), 64
- (8) 鈴木, 機論, 61-587, B (1995), 230
- (9) 佐藤・田中・伏屋, 機論 66-646, C (2000),  
127
- (10) A. Grabowiecka, K. A. Grabowiecki,  
Proceeding IFAC Symposium on Pneumatic  
and Hydraulic Components, Pergamon  
Press, pp.15-20, (1981)
- (11) Jose. J. Granda, Edward Ferner,  
"Computer Aided Simulation of a Hydraulic  
Four Way Control Valve", Trans. of the  
Society for Computer Simulation, 3(1), pp.  
67-81, (1986)
- (12) Michel Lebrun, "A Model for a Four-Way  
Spool Valve Applied to a Pressure Control  
System", J. Fluid Control, 17(4), (1986)
- (13) 20-sim (Twente Sim) Bond-graph based  
modeling and simulation software, [http://  
www.20sim.com](http://www.20sim.com)
- (14) Thoma, J.U. "Simulation by Bond Graph",  
Springer-Verlag. 1990, 30-33
- (15) J.U. トーマ, 須田著「ボンドグラフによるシミュレーション」コロナ社
- (16) 須田著「システムダイナミクス」コロナ社
- (17) M. Matsubara et al. "Bond-Graph Based  
Analysys of Poppet Valve Instability",  
Proceeding ICBGM2001
- (18) 松原, 高田, 池谷, 鈴木 平成14春季フルード  
パワーシステム講演会 PP28-30

著者紹介

松原 守

Mamoru Matsubara  
(研究開発部)



高田 重孝

Shigetaka Takada  
(製品企画部)



池谷 昌紀

Masaki Ikeya  
(第2製品開発部)



鈴木 勝也

Katsuya Suzuki  
(財団法人  
科学技術交流財団)



# 小型電子スロットルボデーの開発

Development of Small Electronic Throttle Body

櫻 井 徹

Toru Sakurai

●

## 〈要 旨〉

電子スロットルシステムが必須となる車両システムの採用拡大に伴い、ローコスト・軽量・コンパクトな電子スロットルボデーのニーズが強くなってきた。そこで、従来の電子スロットルボデーの機能・性能を満足し、かつ、ローコスト・軽量・コンパクトな電子スロットルボデーを開発した。

## Abstract

The need for lighter, more compact, lower-cost electronic throttle body has increased in the compact car market with the expanding adoption of the vehicle to which electronic control throttle system is essential. Then, we have developed the light, compact and low-cost, small electronic throttle body, which satisfies the function and performance of the conventional specifications.

### 1. まえがき

電子スロットルシステムが必須となる車両システムの小排気量エンジンへの採用拡大に伴い、より軽量、コンパクト、低コストな電子スロットルボデーのニーズが強くなってきた。そこで、従来の電子スロットルボデーの機能、性能を満足し、かつ、軽量、コンパクト、低コストな小型電子スロットルボデーを開発した。

(以下、電子スロットルボデーを電子スロットルと記す)

### 2. 開発のねらい

従来の電子スロットルに対し、構造の簡素化、一体化、DCモータの小型化を図り、画期的な小型・軽量・低コストな電子スロットルを開発することをねらいとした。

### 3. 目標の設定

小型・軽量及び低コスト化に対する目標値の設定にあたり、ベンチマーク調査から、他社電子スロットルの質量及びコストレベルを調査した。(図1, 2)

競争他社レベルに対し、質量をボア径との関係から図1の点線ラインを目標とし、他社を凌駕できるレベルに、また、コストについても他社を凌駕出来るレベルに目標を設定した。

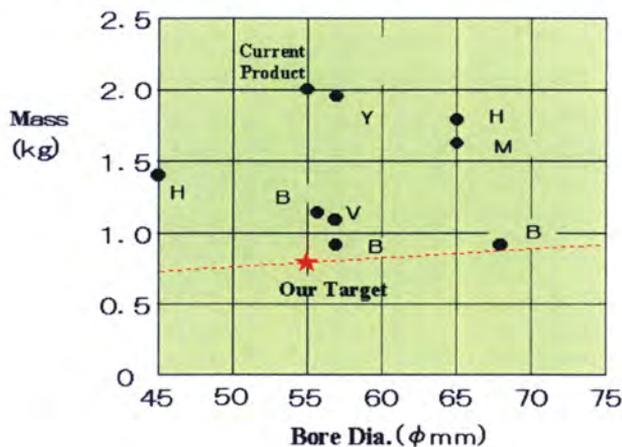


図1 他社品質比較

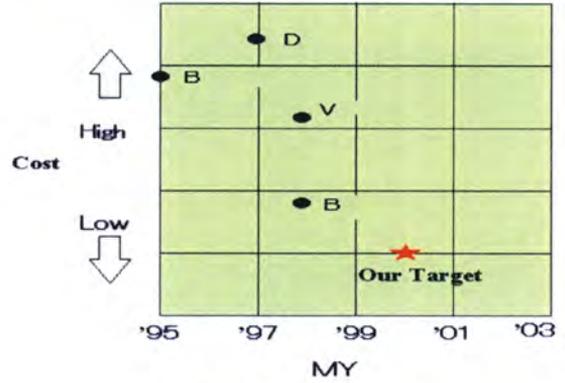


図2 他社品コスト比較(推計)

性能目標については、全閉→全開、全開→全閉の応答性(以下全開閉応答性とする)0.15s以下、分解能0.04°未滿と従来品と同等以上のレベルを確保することを目標とし、開発を進めた。

### 4. 小型・軽量化

小型・軽量化を達成するにあたり、従来品をベースに下記3項目について検討を実施した。

- (1)DCモータの小型化
- (2)モータディテントルクに打ち勝つバックスプリングの設定によるクラッチレス化
- (3)従来品と同じ2系統スロットルセンサのビルトイン化

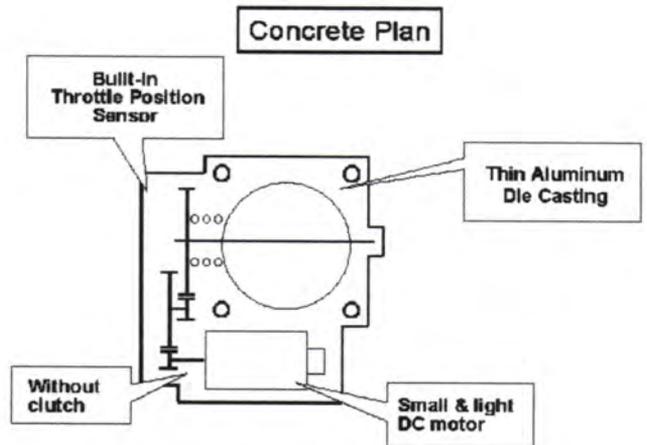


図3 概要構成図

### 5. DCモータの小型・軽量化

#### 5-1 DCモータの選定

電子スロットルの目標質量を達成するため、モータ単体での質量目標を、従来モータ質量の半分

以下に設定した。

モータ仕様抽出にあたり、

- (1)モータの発熱，寿命に配慮したコイル仕様及びブラシ材の選定
- (2)コギングトルク低減に配慮した磁気回路の改善
- (3)耐振性に配慮した内部構成部材の支持

等の検討を実施の上，基本仕様の抽出と共に，質量210gのモータを選定した。

## 5-2 減速比の選定

目標性能である全開閉応答性0.15s以下を達成するため，選定したモータ性能から，モータ軸とスロットル軸間の減速比Rを選定する。

(決定因子)

①応答性  $t$

Rが大きくなる程， $t$ は遅くなる。

②スロットル駆動トルク  $T_0$

Rが大きくなる程， $T_0$ は小さくなる。

各因子の減速比との関係を図4に示す。

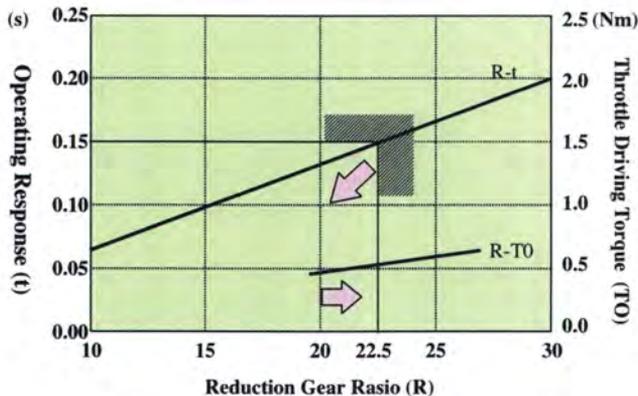


図4 減速比と応答性・トルクの関係

目標全開閉応答性0.15s以下を満足するにはRは，22.5以下に設定する必要がある。また， $T_0$ との関係から，Rは出来る限り大きく設定することが優位となる。

これより，ギヤの成立性から，減速比Rを21.6に決定した。

## 6. モータのクラッチレス化

### 6-1 クラッチレス化の課題

電子スロットルでは，安全性確保のため，システム異常時，モータ通電をオフし，スロットルバルブを所定開度まで閉じる必要がある。この通電オフ時のスロットル動作について，従来品（クラッチ付）との比較を図5に示す。

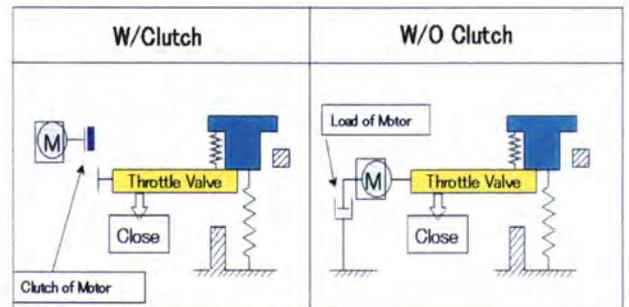


図5 クラッチレス化検討

クラッチ付の場合，クラッチをオフし，モータをギヤから切り離すことにより，モータ負荷トルクに関係なく，スロットルバルブを閉じる構成となっている。

これに対し，クラッチレス化により，モータデイトメントトルクに打ち勝ってスロットルバルブを閉じる必要が生じる。

### 6-2 スロットル戻しスプリングトルクの設定

モータデイトメントトルクに打ち勝ってスロットルバルブを戻すため，必要余裕トルクを確保したスプリングトルクを設定する。設定したスプリングトルクを図6に示す。

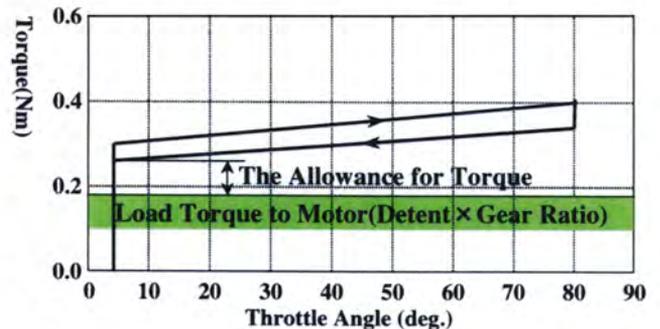


図6 スロットルバックスプリング特性

### 6-3 スロットル戻り性の確認

確認結果を図7に示す。

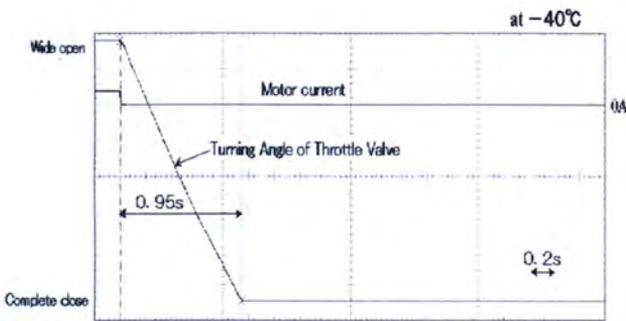


図7 スロットルバルブ戻り性評価データ

雰囲気温度 $-40^{\circ}\text{C}$ での戻り性は目標値3s以下に対し、0.95sと十分問題ないレベルであることが確認出来た。

### 7. センサのビルトイン化

図8に従来品別体センサとの構造比較を示す。

従来品では、センサ単体にて、スロットルポデーとは独立した軸受部を構成しており、レバーを介し、連結、スロットルバルブの回転を伝達している。

これに対し、一体式では、各々独立した軸を共有化し、又、センサ単体のハウジングをスロットルカバーと一体化し、部品数を低減することにより、低コストを、又、ビルトイン化することにより、コンパクト化を実現した。

また、ビルトイン化にあたって、センサ部への異物及びギヤ等の摩耗粉の侵入に配慮し、センサ部の個室化を図った。

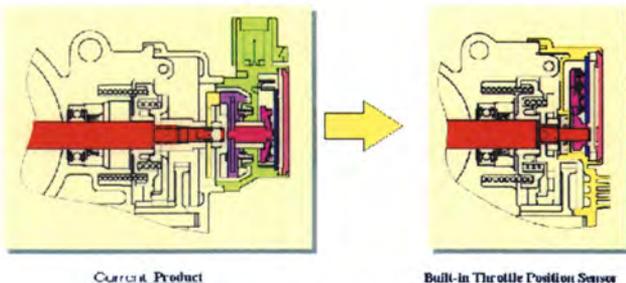


図8 スロットルセンサ構造比較

### 8. 結果

#### 8-1 従来品との比較

従来品との比較を図9に示す。

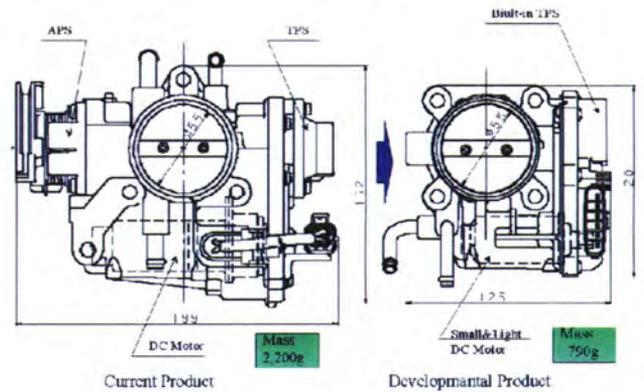


図9 従来品との比較

以上の項目、小型DCモータの採用、モータのクラッチレス化、センサのビルトイン化を実施し、従来品に対し、体格にして約50%、質量にして、約64%低減した小型電子スロットルを実現した。

また、部品の組付けにあたり、出来るだけ同じ方向からの組付けを実現し、組付けやすさにも配慮した。

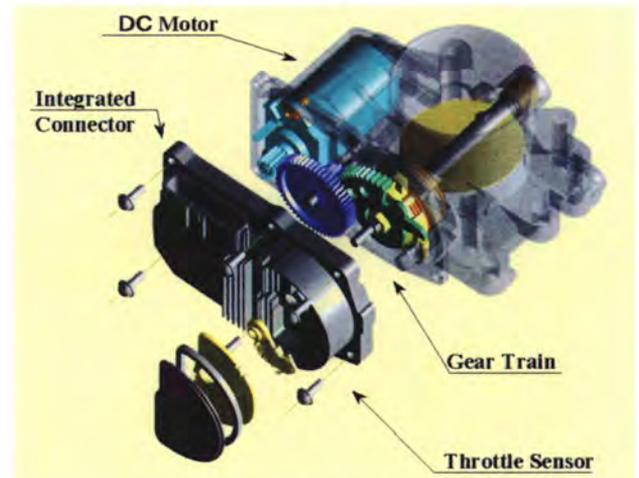


図10 具体化構成

#### 8-2 性能確認

##### (1)制御性

全開閉応答性及び分解能について、代表波形を図11に示す。

目標性能である全開閉応答性0.15s以下に対し、0.12s, 分解能については、平均 $0.04^{\circ}$ 未満に対し、

0.03° の指令値にスロットルバルブの動きが追従し、目標を満足していることが確認できた。

## (2)信頼性

規定の車両寿命を模擬した作動試験及び振動試験を実施し、問題ないことを確認出来た。

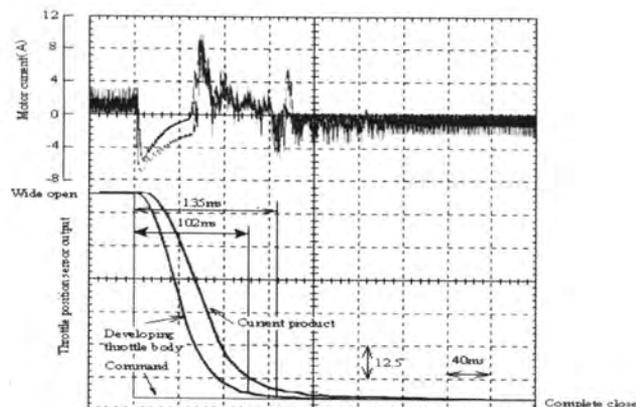


図11 全開閉応答性データ

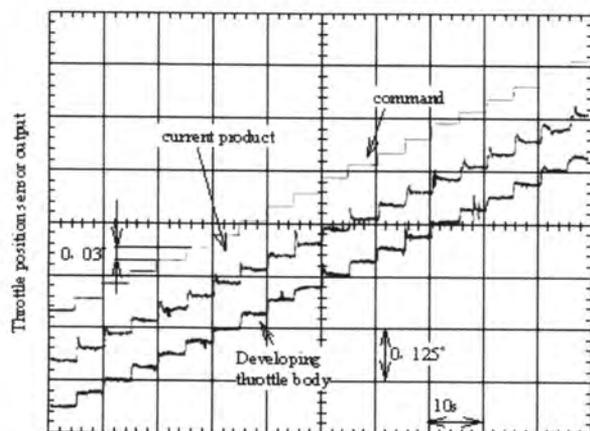


図12 微作動安定性データ

②標準化の徹底及び構成部品の簡素化によるローコスト化

を図った非接触センサを特徴とした電子スロットルを2002年秋に生産開始した。

また、より小型で、よりローコストな電子スロットルの開発も現在進行中である。

## 〈参考文献〉

- 櫻井ほか：小型電子スロットルの開発，自動車技術会春季大会前刷集44-01（2001）

## 9. まとめ

競合他社レベルと比較し、ベンチマーク足り得る小型電子スロットルを実現出来た。

## 10. 現在の動向

本小型電子スロットルは、'00/5に生産開始し、現在も量産中であるが、市場の要求はより高品質、よりローコストへと変遷している。

このような市場動向を受け、本小型電子スロットルを基本とし、

①さらなる長寿命

## 著者紹介

櫻井 徹

Toru Sakurai  
(第1製品開発部)





# 層流充填法によるABSハウジングのダイカスト化技術

A. B. S Housing Production by Laminar Flow Die Cast

高 村 貞次郎

Teijiro Takamura

●

## 〈要 旨〉

安全意識の高まりにつれて、自動車へのABSの装着率が増加しており、  
それ故大幅なコスト低減が求められている。  
そこで、層流充填法により、ハウジングをダイカスト化する事により  
加工工程の大幅な短縮と軽量化を図ったので紹介する。

## Abstract

With a growing safety consciousness these days, more and more automobiles  
have become equipped with ABS(Anti lock brake system).

So cost reduction is very important.

We achieved this by ABS housing production with laminar flow die cast.

An ABS housing has many complicated oil holes  
and requires many machining processes.

This method reduces the machining processes by near net shape die casting  
and ensures the strength at the same time.

We introduce how to get these characteristics.

## 1. はじめに

軽量化・ローコスト化といった自動車産業のトレンドを受けて、素材分野においても工法や材料の革新が進展している。ダイカストにおいては、薄肉化・加工レス化の例として例えばピエールブルグ社の吸気モジュールがある。材料変更の例としてはノートパソコン用マグネシウムケース等が挙げられる。一方従来は強度や信頼性の問題で鋳鉄或いはアルミ鋳物といった他の材料・工法でしかできないと考えられていた製品のダイカスト化の動きもある。その代表的なものに、今回当社が取り組んだABSハウジングがある。当社がこの製品のダイカスト化に取り組み始めたのは、まだABSが高級車にしか装着されていない時で、ABSを全ての車に標準装備させるには、コスト低減が不可欠であった。

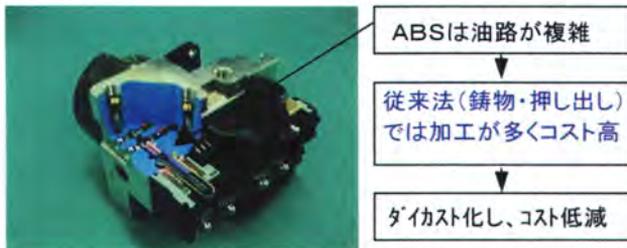


図1 ABSハウジング  
(Anti Lock Brake System)

それまで、得意先のABSは低圧鋳造のハウジング素材を使用していたが、油路が複雑で加工の多いハウジングのコスト低減のためキャブレタダイカストの経験が活かせないかとの着想でスタートした。

ABSは急制動時に4輪のブレーキ油圧を制御して車輪のロックを防止する装置であり、高圧下で使用される。従って、高い気密性が要求されるとともに、ダイカスト法の弱点である鋳巣を極限まで低減する必要があった。確かに通路が複雑な点でキャブレタと似ているが、内容は全く別物で大変な紆余曲折を経て量産に至った。ニアネットシェイプを保ちながら、高耐圧(35MPa)かつ、かしめを可能とした点ではあまり例を見ない製品と考える。(図2)

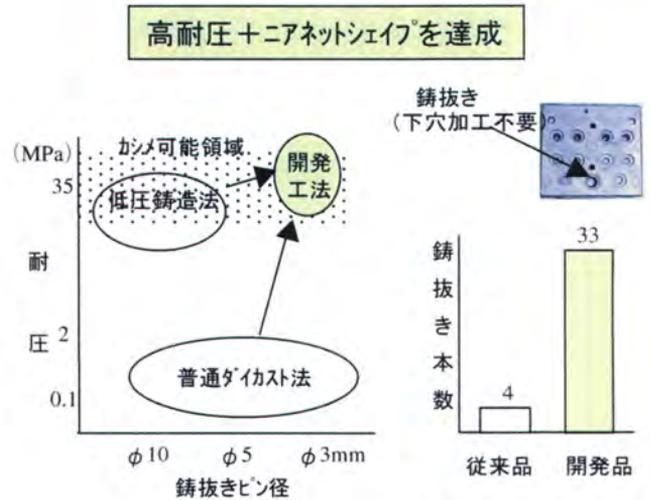


図2 開発品の耐圧レベルと鋳抜き本数

## 2. ダイカスト化へのアプローチ

ダイカストで生成される鋳巣欠陥は、原因系で分類すると図3に示す様に7項目に大別される。一般的な要因としては⑥⑦の空気巻き込みと引け巣を指す場合がほとんどで、当初はこの2項目に的を絞って開発を進めた。しかし、ABSの要求品質に対しては、残りの5項目も非常に大きな意味を持っている。

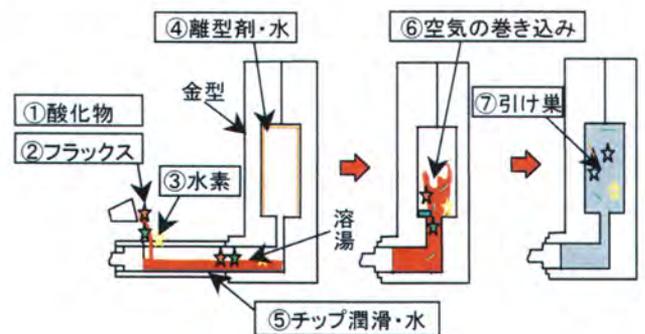


図3 鋳巣欠陥の要因系

## 3. 鋳巣の分析

ABSの技術スペックに鋳巣φ0.2以下あるいは体積気孔率0.3%以下とあるが、これは殆ど計測誤差が支配する領域であり、言い換えれば鋳巣“0”を意味している。鋳巣低減のためには、まず鋳巣の正体を明確にする必要があり、SEM・EDX分析によって解析した。図4にその結果の代表例を示

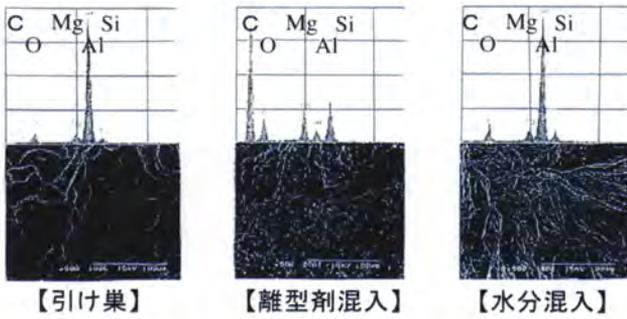


図4 SEM・EDX分析結果

す。  
引け巣はその形状に特徴があり、写真を見ると結晶が自由に成長した“葡萄状”の模様が見える。離型剤の混入は成分分析で予め調査したタルク(Mg/Si/O)を検出した事により判明した。水分混入の例は最後まで頭を悩ました例で、Mgは材料そのものに含まれていたり、離型剤から来る場合或いは溶湯保持中に炉の中で濃化する場合がある。写真から判断すると、ガスでできたと思われる皺が見える。分布状態・発生頻度・再現テストの結果から判断し、金型等に残った水分(離型剤・潤滑剤の塗布時に使用)が溶湯に取り込まれ、熱処理時(520℃×6h)に急膨張したのが原因と考える。Mg/Oの濃化は铸造直後の製品には見られず、熱処理過程で変化が進む事も明確になった。表1に鑄巣分析結果をまとめる。

表1 鑄巣分析結果のまとめ

項目	目視	EDX分析	SEM分析	分布	その他
フラックス	灰 OR	Cl/k/Na/S	—	ランダム	
水素	白 OR	AC材同一	圧縮→雛	↑	ガスクロ測定
酸化物	灰 OR	Mg/O	↑	↑	
チップ潤滑	灰 OR	C	↑	↑	T6後多発
離型剤・水	白 OR	C/O/Mg/Si	↑	↑	T6後多発
空気	白 OR	O/N	↑	↑	ガスクロ測定
引け巣	白	AC材同一	ぶどう状	製品中央	

け巣の発生が予想されたのでCAEによって鑄巣発生部位を予測した。その結果からスクイズ(部分加圧)を2箇所追加した(図5参照)。

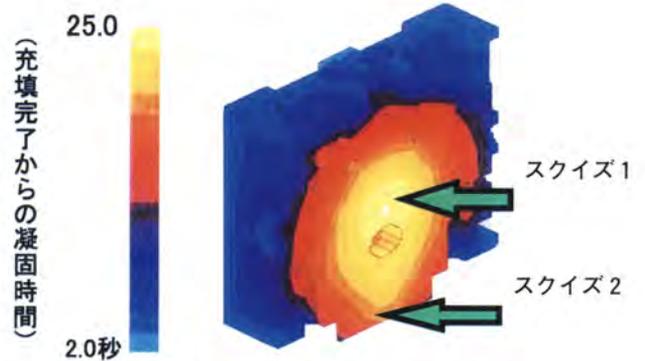


図5 CAE凝固解析結果

#### 4-2 スクイズ圧力の低減

従来からスクイズの実施例は多いが、高温高压下に曝されるスクイズピンを安定的に作動させるため、高圧力(メタル圧の2~3倍=20~30MPa)を付加する必要があった。しかしながら、今回ニアネットを目的に細い入子ピン(φ3)を使用しているため、作動圧力の低減が必須と考えられた。

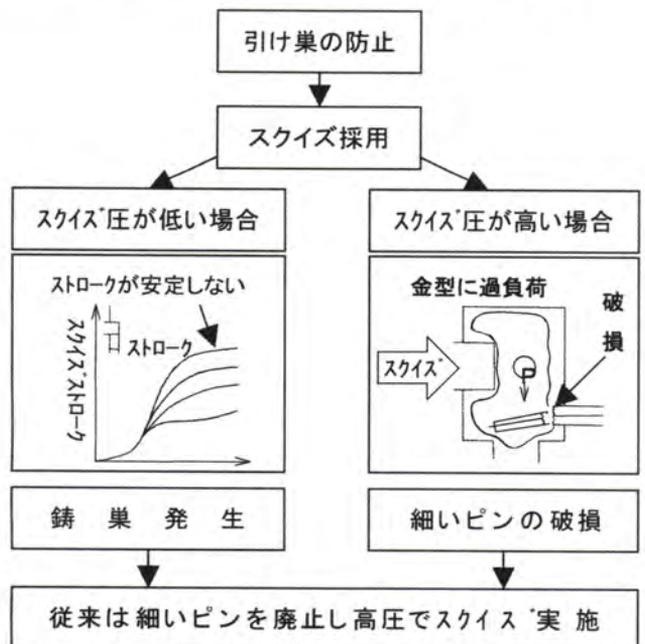


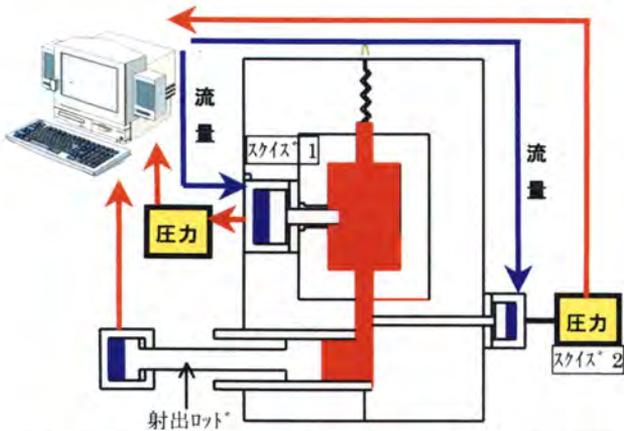
図6 従来スクイズの問題点

### 4. 引け巣防止

#### 4-1 引け巣発生部位の予測

ABSハウジングは、肉厚が厚いため当初より引

そこでスクイズの特性を把握するため、図7に示す装置にてスクイズと射出ロッドの背圧・変位を計測して解析した。



・スクイズシリンダーの背圧と流量(=ストローク)を測定し特性を調査  
 ・射出ロッドの微小ストロークはハイトダイヤルを設置して計測

図7 背圧測定方法

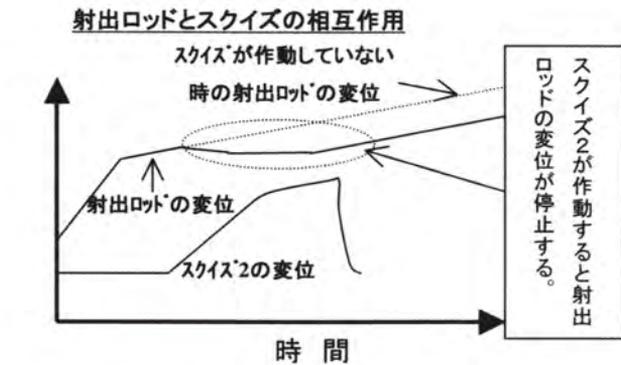
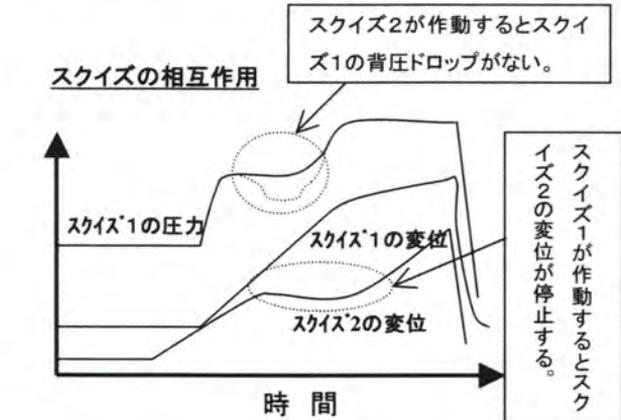
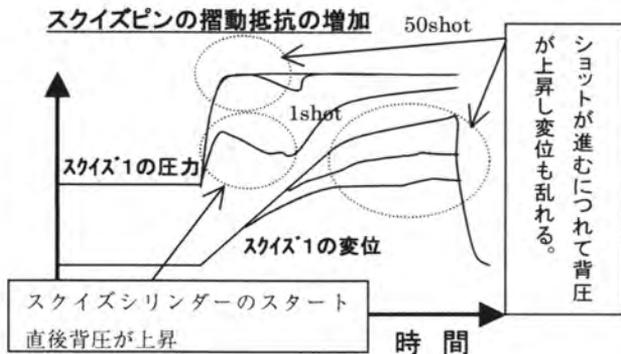


図8 背圧測定結果

背圧測定結果から以下のことがわかった。

- ①スクイズシリンダーのスタート直後背圧が上昇し、その後急激な圧力の落ち込みが見られる。
- ②ショット数が進むにつれて、背圧が高くなり、ついには油圧元圧と同一圧力になる(抵抗増加)。
- ③スクイズ2箇所とダイカストマシンの増圧は互いに干渉する(早くスクイズが作動すると射出ピストンは停止する)。

#### 4-3 スクイズ圧力の低減方策

背圧とストロークの関係を調査して得た結論として、もっとも重要なポイントは、ピンの摺動抵抗を低減する事である。摺動抵抗さえなければ、スクイズピンはパスカルの原理に従い、スクイズシリンダー圧力を従来の様にメタル圧の2~3倍にする必要はなく、細いピンの破損もなくなる。また、スクイズピンの抵抗を低減することで、凝固収縮に高応答で追従することができる。

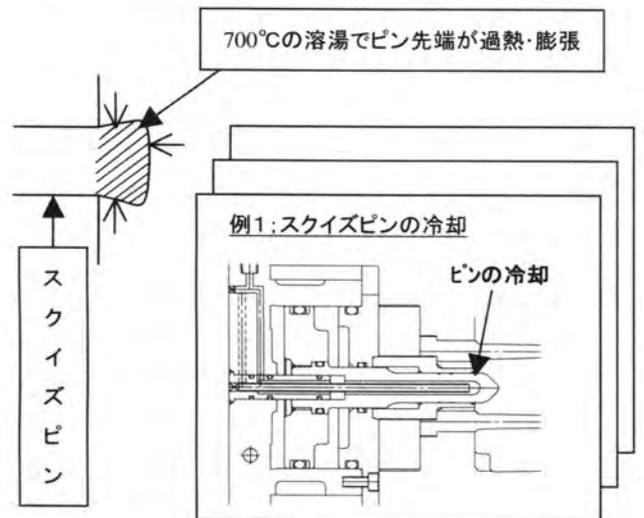


図9 スクイズピン抵抗低減例

図9に示す様に、スクイズピンは高温の溶湯に曝され続けるとその先端が膨張してくる。スクイズピンと金型は溶湯の浸入を防止するため隙間はほとんどないため、少しのピンの膨張で摺動抵抗が増大する。従来はある程度の摺動抵抗の増大でもスクイズピンが安定して作動する様に、高压をスクイズシリンダーに加えていた。しかしながら、

高圧のスライズ圧力は弊害が大きいため、今回は例えば図9に示すようにスライズピンに冷却を入れ、スライズピンが膨張するのを防いだ。その結果、スライズ圧力は射出ロッドからのメタル圧より少し高い程度で安定的に作動する様になり、高品質とニアネットシェイプを達成する事ができた。

4-4 入れ子ピン周辺の冷却

厚肉部の引け巣対策にスライズは有効であるが、ニアネットシェイプを目的に入れ子ピンが多くなると、その間はスライズ効果が伝達し難くなる。一般に、入れ子ピン周辺は温度が低くなって引け巣はでき難いが、ABSでは、厚肉中央部に入れ子ピンがあるためにピンが過熱されることによってその表層まで引け巣が現れた。スライズとピン冷却の併用によって引け巣が抑制できている。(図10)

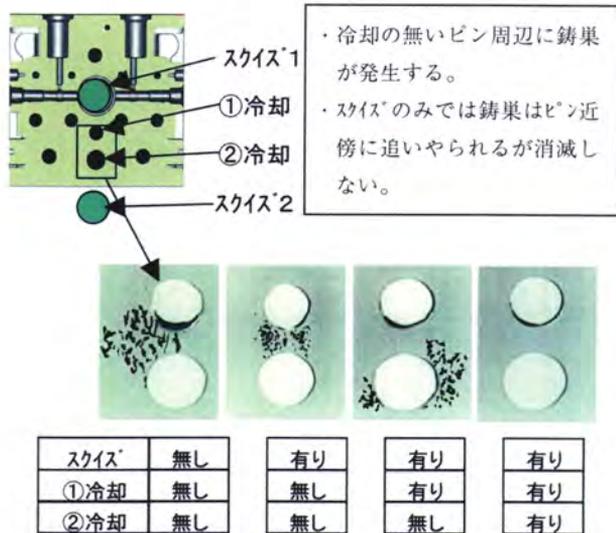


図10 冷却の有無と引け巣発生状況  
(図はX線写真(黒色は引け巣)を示す)

量産にあたっては、図11に示す様にピン双方のスライズ深さを管理することによって品質を確保した。尚、図に示すスライズ1及び2は図10に示す部位である。

また、同時にピンの冷却量管理も実施した。冷却不足の場合は良品域が極端に狭くなり、スライズ圧力が過大となってピンの損傷が激しくなる。一方、過大の場合には湯廻り不良が発生する。

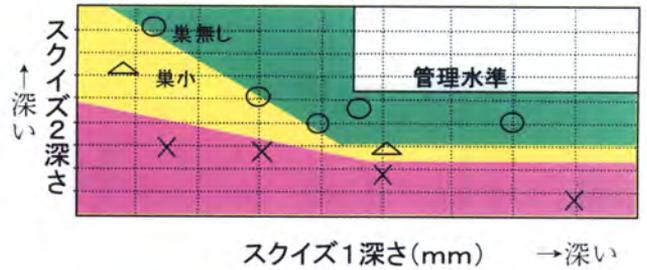


図11 スライズ深さと引け巣欠陥

5. 空気の巻き込み防止

引け巣と並んで引け巣の代表に、空気の巻き込みが挙げられる。図12に示すように、金型内の空気が十分に抜けきらずに製品に取り込まれると熱処理時に膨れ(プリスター)が発生し不良品となる。製品内に含まれるガス量はABSの場合、従来の普通ダイカスト法で製造されたスロットルボデー等

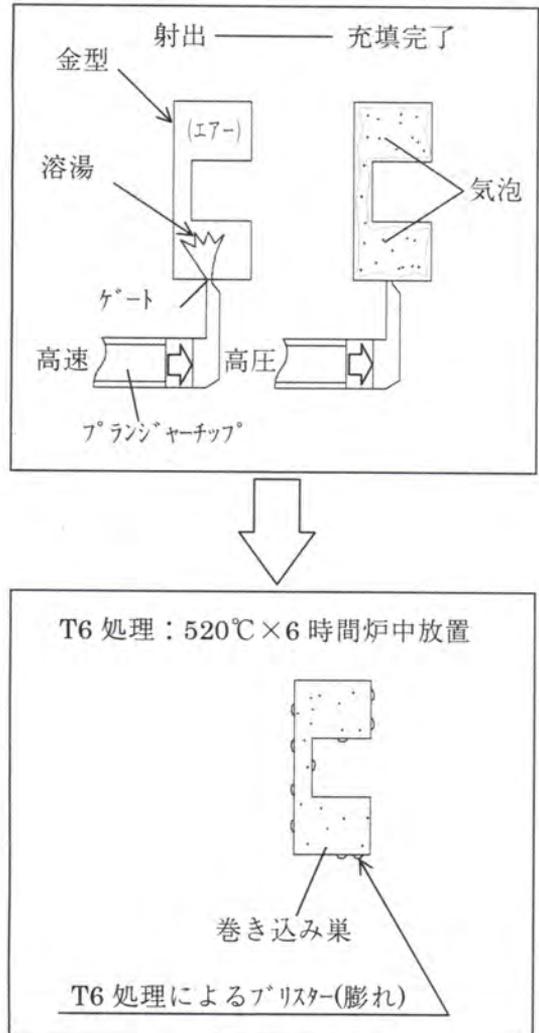


図12 プリスター生成メカニズム

に比べ、約1/50程度にする必要があった。ガス量は、アルミ100g中の量で表される。過去の文献等では3cc以下が熱処理可能領域とされていたが、実際には更に厳しく、1cc以下が要求された。金型方案・ダイカストマシンの超低速化等によって溶湯の層流充填を実現し、号口の低圧鋳造品と同等のガス量レベルを達成した(図13)。図14にガス量の実測値を示す。尚、水素は溶湯に含まれるもので、方案に関係無く存在する。

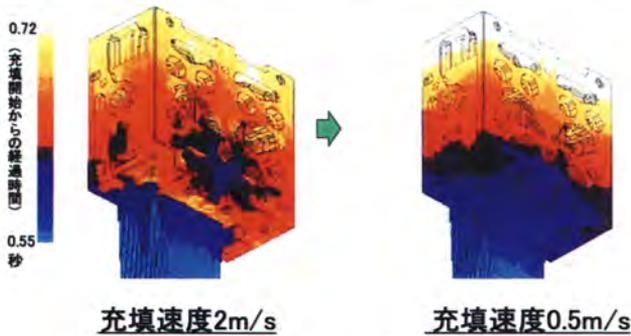


図13 充填の層流化

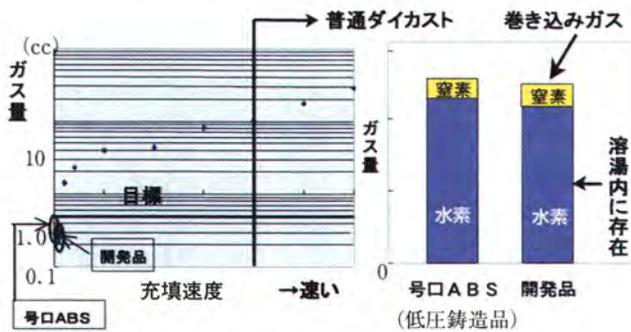


図14 ガス量

## 6. チップ潤滑剤・離型剤・水の混入防止

チップ潤滑は高温高圧下で作動するチップを滑らかに作動させるため、また離型剤は金型にアルミが付着するのを防止し、且つ溶湯の熱が金型に奪われないための断熱剤として機能する必要不可欠なものである。それらを自動塗布するためには、水で希釈する事も避けられない。しかしながら、これらの成分は、溶湯充填前に充分乾燥しないと確実にしかも大きな鑄巣になる。例えば、鉍物性潤滑剤(1cc程度以下でも)が製品に取り込まれた場合、熱処理前微小な欠陥であっても、熱処理後は数mm程度の大きな欠陥になってしまう。これ

らを防止するため、以下の開発アイテムも織り込んでいる。

主な開発内容

- ①溶湯と反応しない、つまりガスを発生しない潤滑剤・離型剤の選定
- ②潤滑剤を均一に少量塗布するための装置の開発
- ③チップ潤滑剤・水のスリーブ内への残りを防止するため、チップ潤滑剤塗布後(鋳造直後)チップを再前進させスリーブ内を清掃する回路の工夫
- ④水残りを防止し、且つ潤滑剤・離型剤を金型に付着させることのできる金型温度設定
- ⑤微小でしかも詰まり易い流体(潤滑剤)を精度よく測定・管理可能なシステムの導入

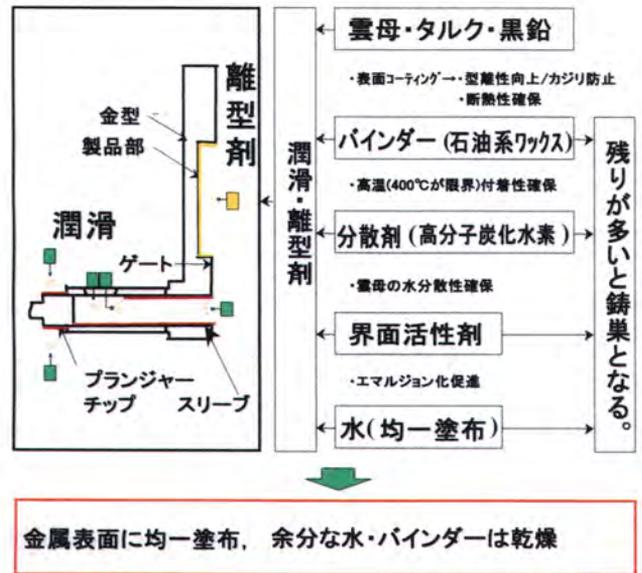


図15 潤滑剤に対する考え方

## 7. まとめ

ニアネットシェイプで高品質なABSハウジングを開発し、現在安定的に生産を実施している。開発内容をまとめると以下の通りである。

- ①考えられるすべての鋳造欠陥の判別技術の確立。
- ②溶湯・スリーブ・金型から鑄物に取り込まれる不純物の除去技術の確立。
- ③汎用の横型ダイカストマシンを使用した層流

充填法による、空気の巻き込み防止技術の確立。

(含有ガス量：1 cc/100g以下)

- ④スクイズピンの冷却等による、低圧で安定して作動するスクイズ技術の確立。(体積気孔率0.2%以下)
- ⑤スクイズ条件・金型冷却の最適化。

## 8. 謝辞

ABSハウジングのダイカスト化に当たっては、多大なご支援ご協力を頂いたトヨタ自動車株式会社殿（カシメ強度評価等）・株式会社豊田中央研究所殿（欠陥評価等）に対して深く感謝いたします。

〈参考文献〉

- 株式会社豊田中央研究所：AC4CHの引張特性
- 社団法人日本鑄造工学会：ダイカスト鑄物のガスの種類と含有量
- 社団法人軽金属学会：アルミニウム中の介在物の生成挙動と欠陥事例集

## 著者紹介

高村 貞次郎  
Teijiro Takamura  
(生産技術部)



## 振動・レーザー樹脂溶着技術の開発

Development of Plastic Welding Technology by Vibration and Laser beam

佐久間 義 弘

Yoshihiro Sakuma

酒 井 朋 博

Tomohiro Sakai

尾 関 正 司

Masashi Ozeki

### 〈要 旨〉

当社では、以前より種々の樹脂溶着工法を採用してきた。  
ここでは、近年量産化した特徴的な2つの事例「高耐圧要求に応える樹脂インマニの  
振動溶着技術」「新工法であるレーザー溶着技術」について紹介する。

### Abstract

We have used some technologies of plastic welding.  
This paper introduces two typical examples which are used  
in mass production in recent years.  
One is the technology of vibration welding of intake manifold,  
which is durable under high pressure.  
The other is the new technology of laser welding.

## 1. はじめに

自動車の軽量化・コスト低減の要求は、地球環境問題やグローバル化を背景に益々厳しくなっている。構成部品においては、軽量でかつ機能複合化や加工レス可能な樹脂化の動きが依然として健在である。

樹脂部品に不可欠な締結法としては、従来から振動や超音波を用いた溶着法、カシメやネジ締めなどの機械的締結法が主流であり、材質や製品デザイン・要求品質にあわせて使い分けられてきた。

本稿では、最近量産開発した特徴的溶着技術として、樹脂インテークマニホールド（以下インマニと略す）に適用した大物3次元形状の振動溶着技術、及びトラップキャニスタに新規採用したレーザー溶着技術について、開発段階における生産技術の取組みを紹介する。前者は4気筒直噴ガソリンエンジン用吸気モジュールで'00年に、後者は'02年に当社初の量産化がなされている。

レーザー溶着法は、他の溶着法に比べて製品の形状自由度に富み汎用性が高いため、近年着目されている新しい工法である。また、局所加熱のため熱影響部が抑制できる点や振動がないことなどが特徴である。

## 2. インマニの振動溶着技術

### 2-1 製品の構成と課題

インマニ本体は、ガラス強化ナイロンの射出成形体5部品で構成され（図1）、振動溶着によって一体化されている。走行時のバックファイヤに耐え得る高い耐圧性能が要求されるが、多層構造かつ複雑形状に対して高耐圧を得るための溶着強度の確保が極めて困難であった。燃焼効率向上のためのデュアルポート化、気流制御弁作動用の蓄圧室を有する等の製品の高機能化に適応する故である。

耐圧性能はピースの分割方案や肉厚、補強リブ等の製品形状にも影響されるが、製造側の要因としては ①成形体肉厚や欠陥等による母材強度低下 ②溶着部ズレによる内圧付与時の応力増大 ③溶着

部の強度低下がある。

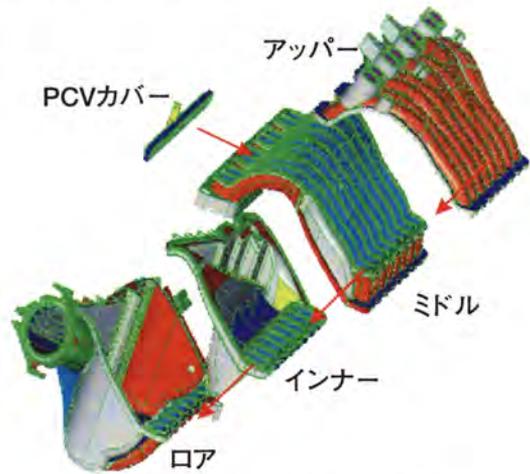


図1 インマニ本体の構成

### 2-2 振動溶着法の概要

振動溶着法は、上下のパーツを規定の加圧下で加振することによって起こる摩擦発熱とせん断発熱によって双方の樹脂を溶融し、溶着するものである（図2）。

インマニに使用したガラス繊維強化樹脂材料の場合には、振動方向に繊維が配列するために溶着部の強度は母材部の30~40%程度に低下するため、高い強度を確保する為には、溶着条件の最適化が重要となる。

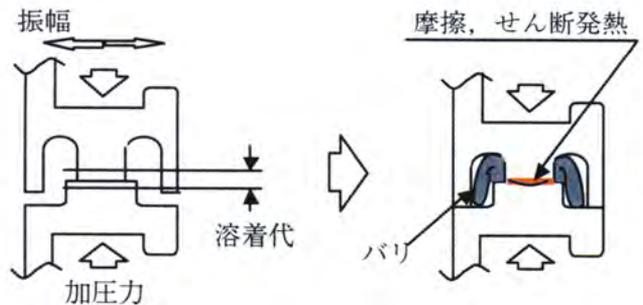


図2 振動溶着プロセス

### 2-3 溶着条件

#### (1) 溶着品質への影響因子

溶着時の溶融エネルギーQは次式で示されることが知られている<sup>(1)</sup>。

$$Q = KP^a V^{\beta} t$$

$V = 2af$  ここで P; 加圧力 V; 加振速度  
t; 加振時間 a; 振幅  
f; 振動数 K, a,  $\beta$ ; 定数

振幅・加圧力・加振時間（＝溶着代）が溶着品質を決定づける主な因子である。図3に単純試験片におけるこれら3条件と溶着強度の関係を示した。最良な強度を得るためには、それぞれ、図中に示す適正な条件設定が必要となるが、中でも加圧力が大きな影響を及ぼすことがわかる。

実際のインマニ成形体の溶着においては、溶着面が3次元形状であり、かつ反りや変形を伴うため、前述した適正な条件をいかに溶着面全体に均等に付与することができるかが高強度を確保するための決め手となる。

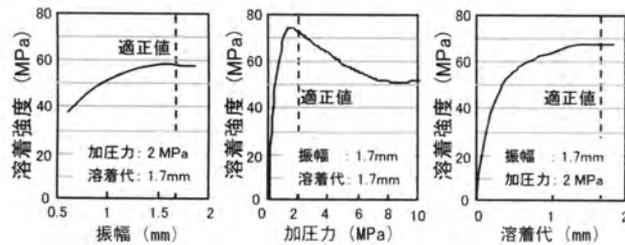


図3 主要3因子の溶着強度への影響

## (2)加圧力と溶着代

接合面全域で規定の溶着代を得るためには、適正な加圧力によって成形体の反りを矯正して接合面の隙間を小さくするように調整する必要がある（図4）。

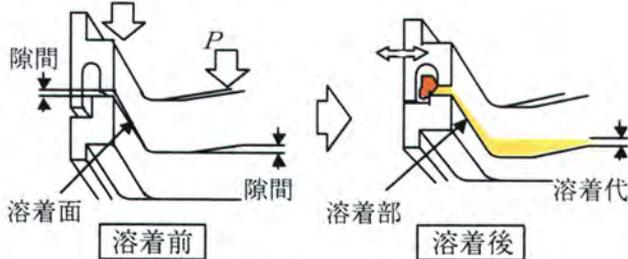


図4 加圧による反り矯正

矯正時の隙間許容値は、実際の製品における溶着代と強度の関係を求めてその狙い値を設定した。図5に実溶着代と溶着強度の実測値の分布を示す（傾斜溶着部も含む）。図から溶着代が約1mm以上であれば、溶着強度が安定することがわかる。したがって、適正溶着代設定値を1.7mmとした場合の許容隙間は0.7mmとなる。初期加圧時の隙間狙い値を全域で0.5mm以下とした。

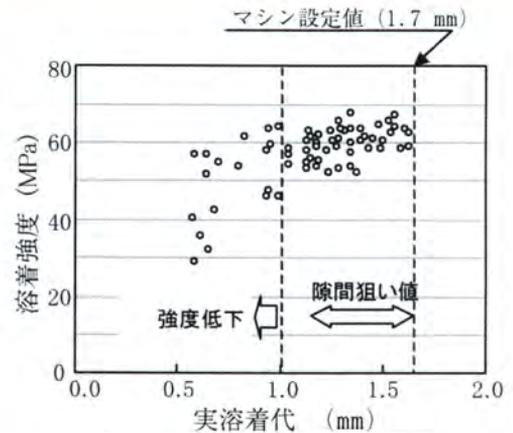


図5 実溶着代と溶着強度の関係

隙間は、製品の寸法誤差や変形によって起こりうるが、この調整は溶着治具によって行う。治具はアルミ製でブロックが多分割化されており、位置調整が容易にできる構造としている（図6）。

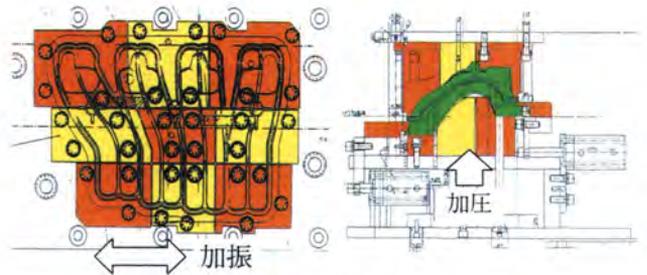


図6 溶着治具構造

## (3)振幅（振動伝達）

溶接機の加振プレートの振動が減衰せず正確に製品溶着面に伝達されなければ適正な溶着強度は得られない。振動減衰の原因としては、治具の剛性不足によるたわみ、製品保持部のクリアランス、治具当接面から溶着面までの距離が遠い場合などが挙げられる。

溶着面に正確に振動が伝播しているか否かを評価するため、レーザー変位計を用いて治具端部、及び製品溶着部近傍の加振中の振動波形を測定した（図7）。不良時には、製品面において時間経過に伴う振幅低下と製品のズレが確認されている（図8）。

振動不良は、治具チューニングによって改善するが、量産時は設定した溶着代に到達するまでの溶着時間で管理している。

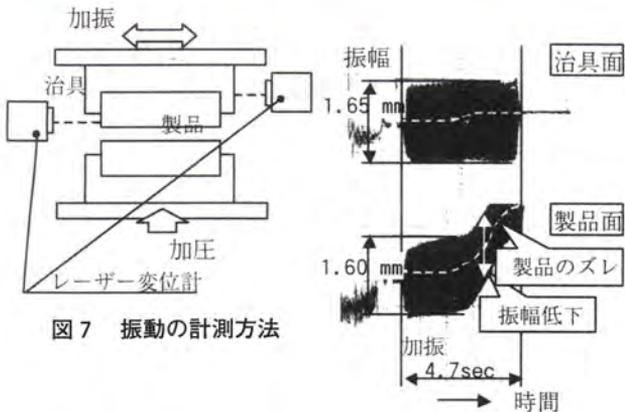


図7 振動の計測方法

図8 伝播不良時の振動波形

図10にアッパー部の試作開発段階における溶着強度と耐圧強度の推移を示す。種々の改善により溶着強度を向上し、耐圧強度も目標値を達成した。

また、リップ補強やビード幅拡張等の製品設計の改良効果も加わり、最終的には目標に対して十分に安全な耐圧性能を得た。

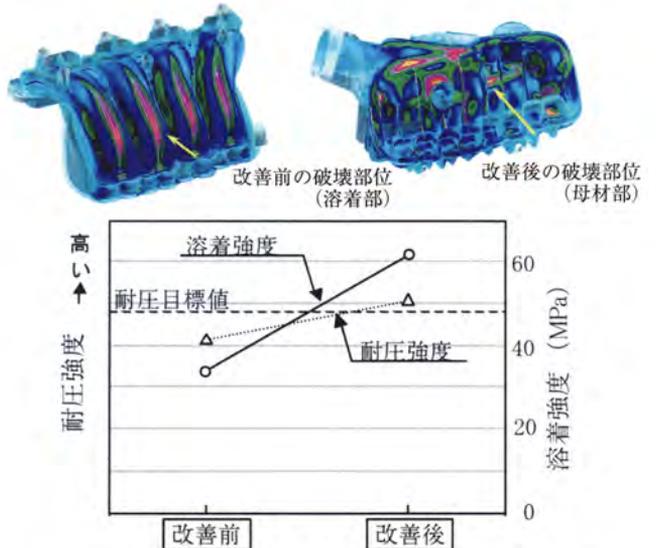


図10 アッパー部における溶着強度と耐圧強度の推移

### 2-4 溶着部の品質評価法

溶着部の品質は、5 mm厚の切出し品の引張り強度試験、溶着断面観察による内部欠陥、及びそのスライス片の偏光顕微鏡観察による溶着層厚みの測定等で評価した。

### 2-5 耐圧性能改善と成果

実機では、目標耐圧強度を確保するために、設計段階からCAE<sup>(2)</sup> (構造解析)、モデリング修正を繰り返した。CAEによって耐圧値及び破壊部位の予測は可能であるが、溶着強度分布を含む製造要因による誤差を事前に予測することは難しい。このため実際の開発段階では、破壊起点の調査とその部分の強度や断面観察を詳細に実施して原因の予測と改善作業を繰り返し行った。破壊起点の調査は、完全破壊品の破面調査では起点の特定が困難なため、破壊直前品の分解調査で実施している(図9)。

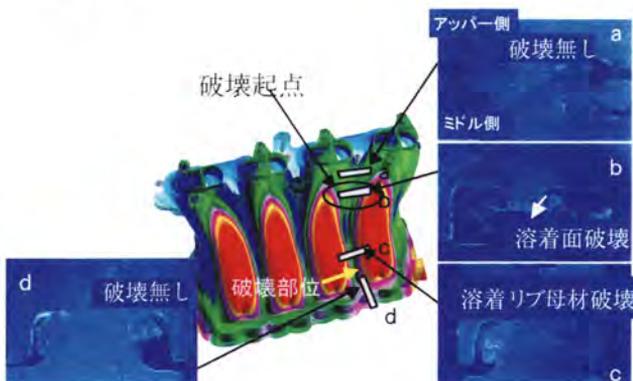


図9 耐圧破壊起点の調査結果 (破壊直前品)

### 2-6 まとめ

- (1) 振動溶着条件の基本特性を明確に把握することができた。
- (2) 変形を伴う大物3次元溶着面の振動溶着ノウハウを獲得し、難形状樹脂インマニにおいても高い耐圧性能を確保した。

## 3. レーザー溶着技術のキャニスタへの適用

### 3-1 製品の構成

今回レーザー溶着を採用したトラップキャニスタの外観を図11に記す。活性炭の脱落を防止するための不織布の固定、及び高い気密性を要求されるカバーの接合を溶着対象とした。従来は、それぞれの部位に超音波溶着法と振動溶着法を併用していたが、レーザー工法に統一し共用化することによって、設備の汎用化とコスト低減が実現できている。

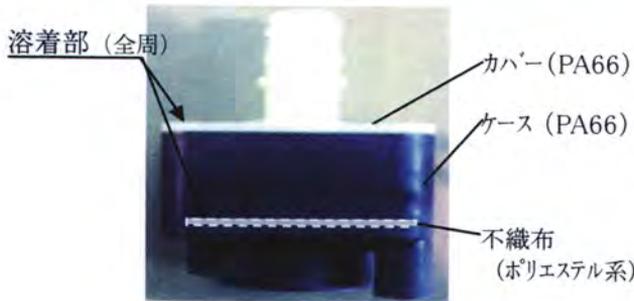


図11 トラップキャニスタ断面

### 3-2 レーザー溶着の概要

レーザーは、半導体レーザーを採用した。これは樹脂への透過性に優れ、均一なビームモードを有しているためである。

本溶着法は、レーザー光を透過する透過材と吸収する吸収材の2材種を組み合わせて接合せしめるものである。表1にそのプロセスを示す。

吸収材の発熱で相溶させる為、接合部材の勘合ギャップがその品質に与える影響は極めて大きい。図12は、接合部のスライス断面を偏光顕微鏡で観察したものであるが、ギャップが大なる場合は上段写真の様に透過材の溶融が見られないばかりでなく、気泡も残存して気密性能や強度が得られない状態となっている。

表1 レーザー溶着プロセス

プロセス	I	II	III
模式図			
現象	<ul style="list-style-type: none"> <li>透過材を介し吸収材にレーザーを照射</li> <li>吸収材の発熱</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸収材の溶融</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸収材の熱伝導により透過材が溶融</li> <li>吸収材と透過材が溶着</li> </ul>

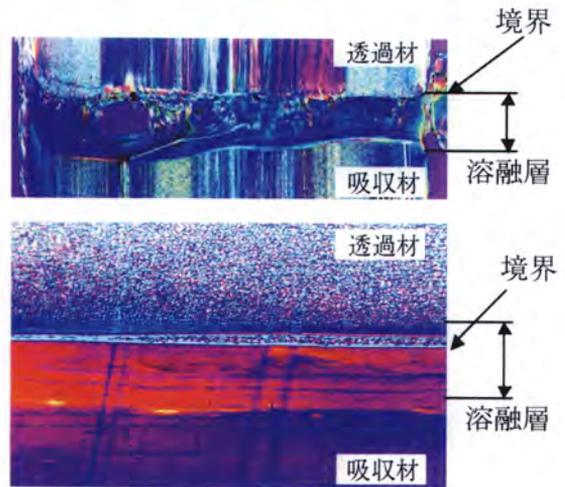


図12 接合部のスライス断面  
(上段：気泡不良，下段：良好)

### 3-3 必要条件

前述したプロセスから、量産で安定した溶着品質を得るためには、2材のレーザー光透過率と吸収率が安定であることが必要条件となる。主要因のこれらの特性への影響について平板試験片を用いて調査した。

#### (1)透過率評価/成形体品質の影響

今回使用している透過材はPA66のナチュラルベースであるため、透過率の変動要因として吸水率と成形時の未結晶層に着目し、その透過率への影響を調査した。尚、未結晶厚さは、樹脂の固化速度に依存すると考えて成形時の金型温度を変えて成形体を作成し、そのスライス断面を偏向顕微鏡で観察して測定した(表2)。それぞれの結果を図13、14に記すが、いずれも透過率には影響を及ぼさないことが確認された。

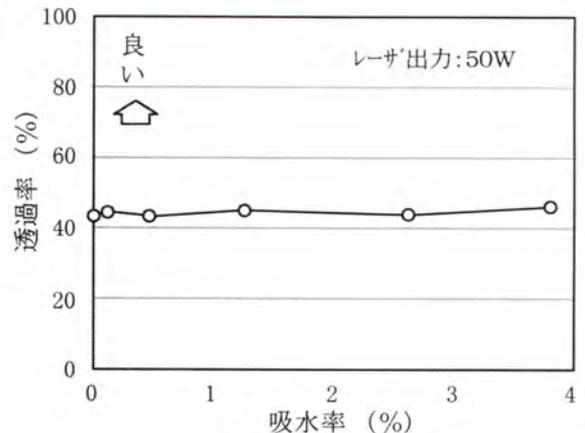


図13 吸水率と材料透過性

表2 金型温度による未結晶厚さの変化

金型温度 (°C)	100	60	40
未結晶層 と厚さ (μm)			

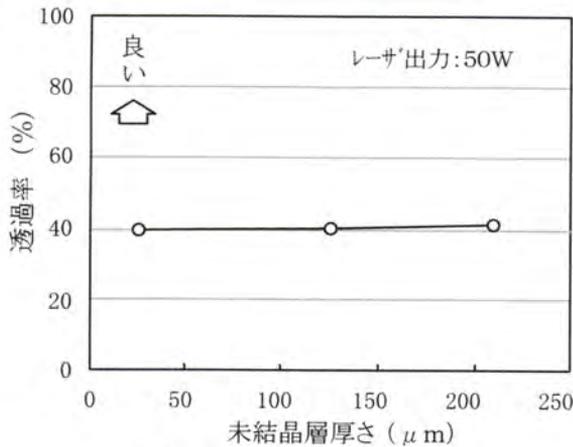


図14 未結晶厚さと材料透過性

(2)吸収材評価／カーボン濃度と適正出力

吸収材として機能するカーボンの含有量<sup>(3)</sup>をパラメータとして、レーザー出力と溶着強度の関係を調査した。結果を図15に記す。カーボン濃度によってその強度特性は大きく異なることがわかる。また、高濃度の場合においては必要最小エネルギー下においても強度低下が見られた。これは、吸収材の最表層で発熱が起こることによって入熱過剰状態となり、炭化物が生成されることに起因していると考えられた。

高い強度が安定して得られ、かつその出力の許容範囲を広く有するカーボン含有量を設定した。

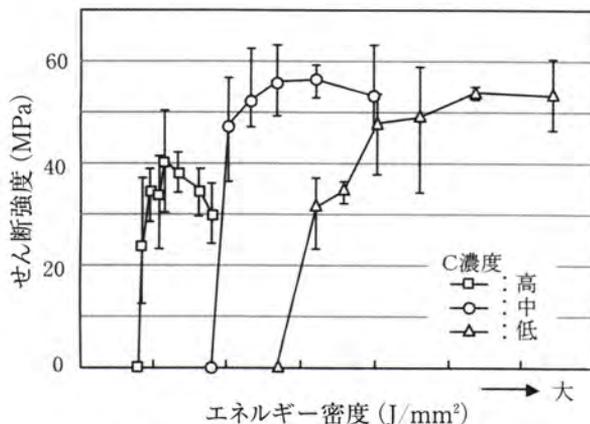


図15 カーボン濃度のせん断強度への影響

3-4 まとめ

レーザー樹脂溶着における諸要因と溶着性の関係を明確化し、良好な品質を得るための必要条件を設定できた。

4. おわりに

機能部品において重要な気密性や強度特性を早期に確保することにより、以上に述べた2種製品の円滑な量産化ができた。

今後は、更なる生産性向上とレーザー溶着法についてそのメリットを生かした他製品への展開を推進していきたい。

最後に、開発に対して多大なご支援ご協力を頂いたトヨタ自動車株式会社殿（レーザー溶着は共同開発）、及び本樹脂インマニ製造を担当頂いた小島プレス工業株式会社殿、ほか、社内外の関係各位に対しまして深く感謝いたします。

〈参考文献〉

- (1)BRANSON/日本エマソン株式会社：溶着技術資料
- (2)BASFジャパン株式会社：技術資料
- (3)デュポン株式会社：技術資料

著者紹介

佐久間 義弘

Yoshihiro Sakuma  
(生技開発部)



酒井 朋博

Tomohiro Sakai  
(生技開発部)



尾関 正司

Masashi Ozeki  
(生技開発部)



# エンジン Virtual & Real シミュレータ

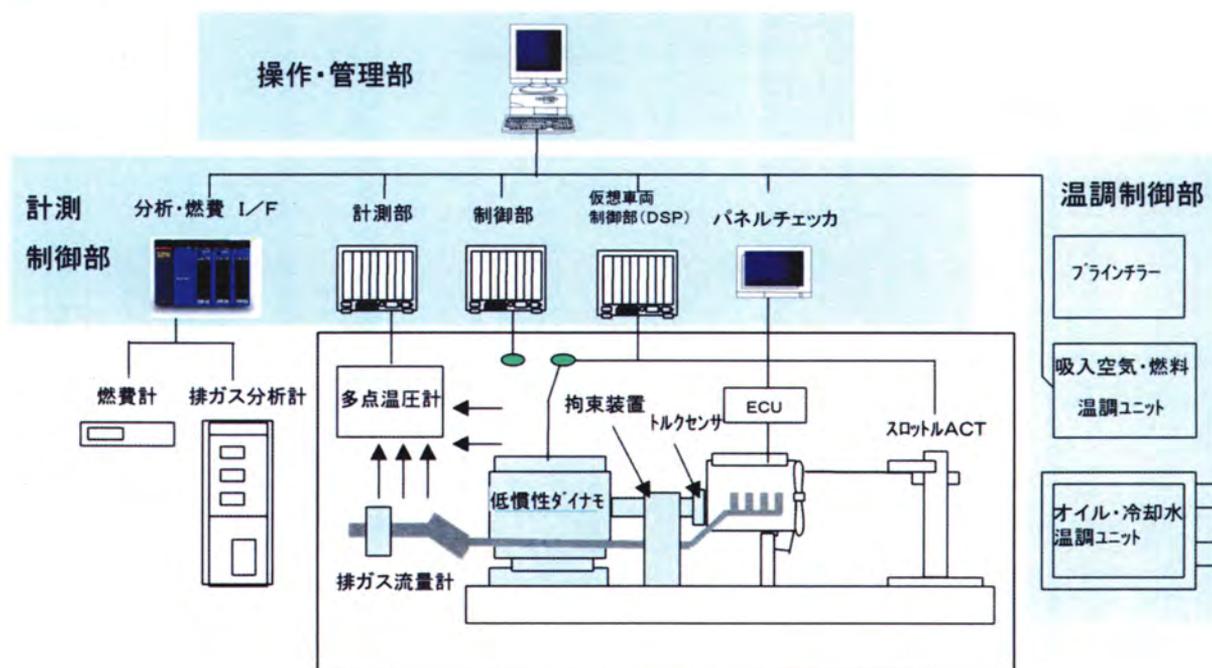
## ●概要

低慣性ダイナモと車両モデルによりエンジンベンチで車両の走行を仮想的に再現するシステム

## ●主な特長

- ・水冷式低慣性インダクションモータを採用
- ・エンジンと動力計を軽量コンポジットシャフトで直結
- ・パターン運転の再現性に優れる

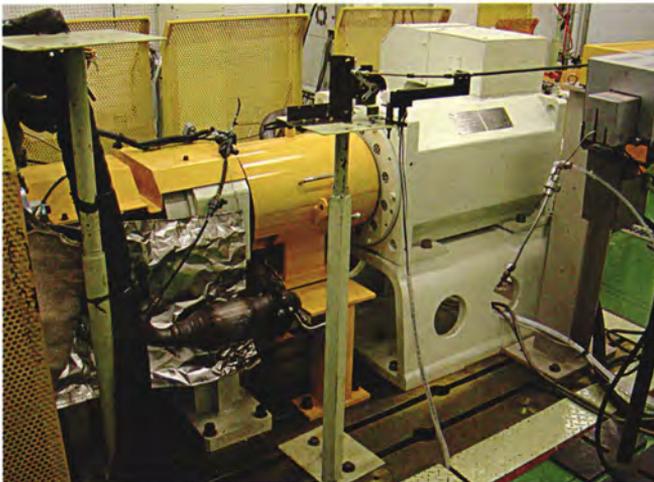
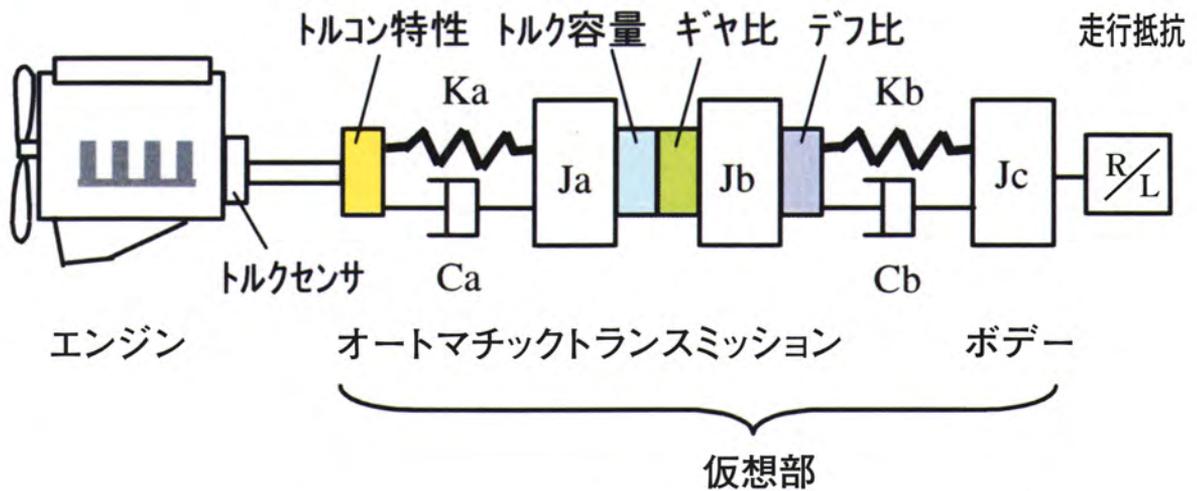
## ●システム構成



仮想車両制御部：動的負荷をリアルタイムに演算し、エンジンクランク軸端面のトルクをフィードバックしてダイナモを制御する。

温調制御部：冷間始動条件を短時間で実現する。(1時間以内)

## ● 車両モデル



低慣性動力計の外観

- ・ 走行抵抗→車速関数( $aV^2+bV+c$ )
- ・ 変動抵抗→運動方程式(J, K, C)
- ・ 非線形特性→実験マップ



結合シャフト

## ● 仕様

動力計／330kW, 525Nm, 回転軸慣性モーメント0.143kgm<sup>2</sup>

制御部／500MFLOPS DSP×2

温度制御ユニット／冷却水, オイル, 燃料, 吸気温を-30℃まで冷却

車両モデル／MATLAB/SIMULINKで記述しDSP上で実行する

モード走行／各種モード走行がAT/MTで可能, パターン追従性±2 km/h以内

## 製品ラインナップ / LINE UP

### 電子制御燃料噴射システム製品 / ELECTRONIC FUEL INJECTION SYSTEM PRODUCTS



インジェクタ  
Fuel Injector



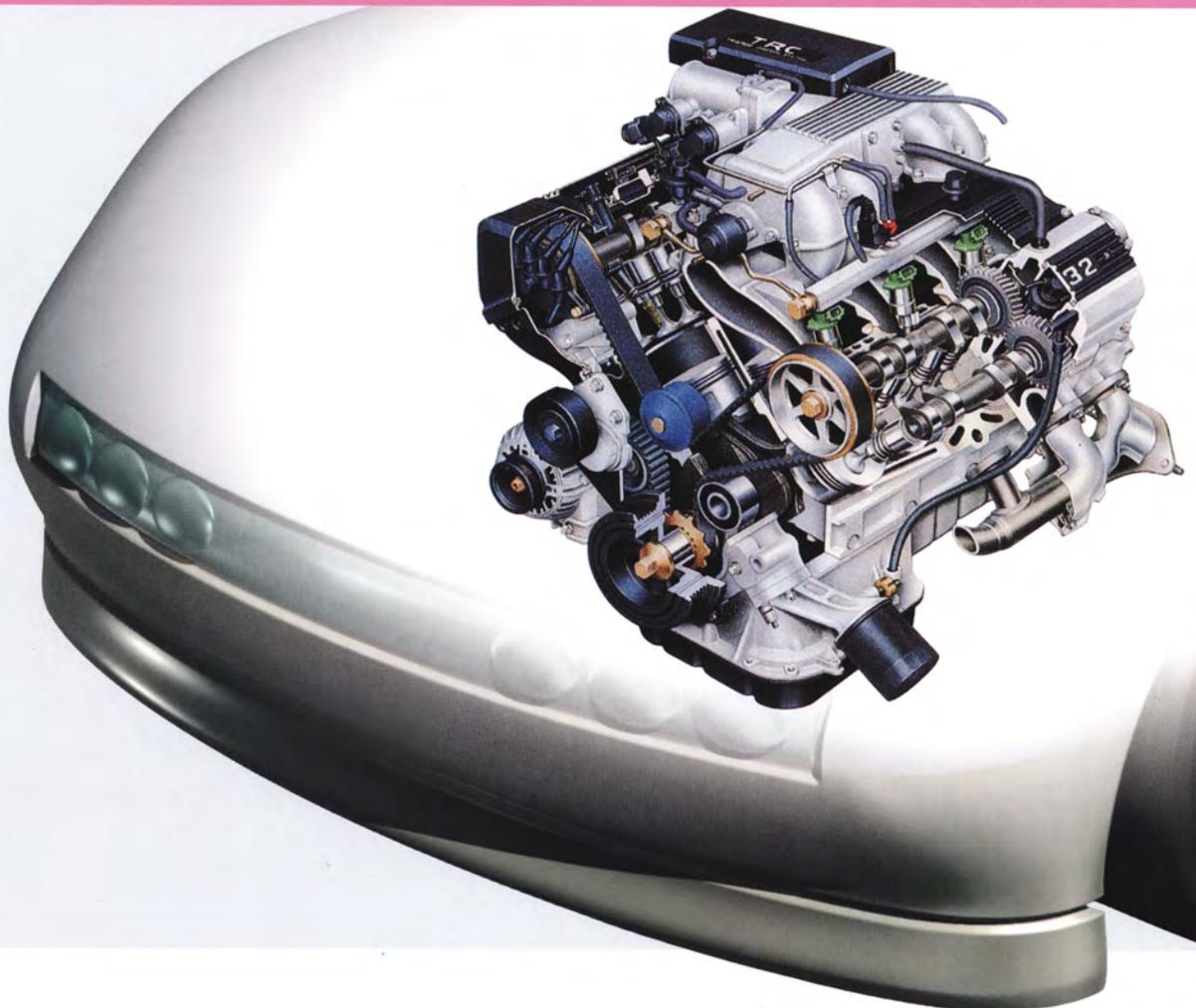
スロットルボデー  
Throttle Body



ポンプモジュール&ポンプ  
Fuel Pump Module & Pump



マグネットピックアップセンサー  
Magnetic Pick-up Sensor





電子制御スロットルボデー  
Electronic Control Throttle Body



センサー付アクセルペダル  
Accelerator Pedal W/Sensor



デリバリパイプ  
Fuel Delivery Pipe



プレッシャレギュレータ  
Fuel Pressure Regulator

LPG・CNGシステム製品 /  
LPG・CNG SYSTEM PRODUCTS



電子制御ミキサー  
Electronic Control Mixer



CNG用インジェクタ  
CNG Injector



低圧レギュレータ  
Low Pressure Regulator



電子制御ミキサー用ECU  
Electronic Control Unit For Mixer



高圧レギュレータ  
High Pressure Regulator

## 製品ラインナップ / LINE UP

排出ガス制御系製品 /  
EMISSION CONTROL SYSTEM PRODUCTS



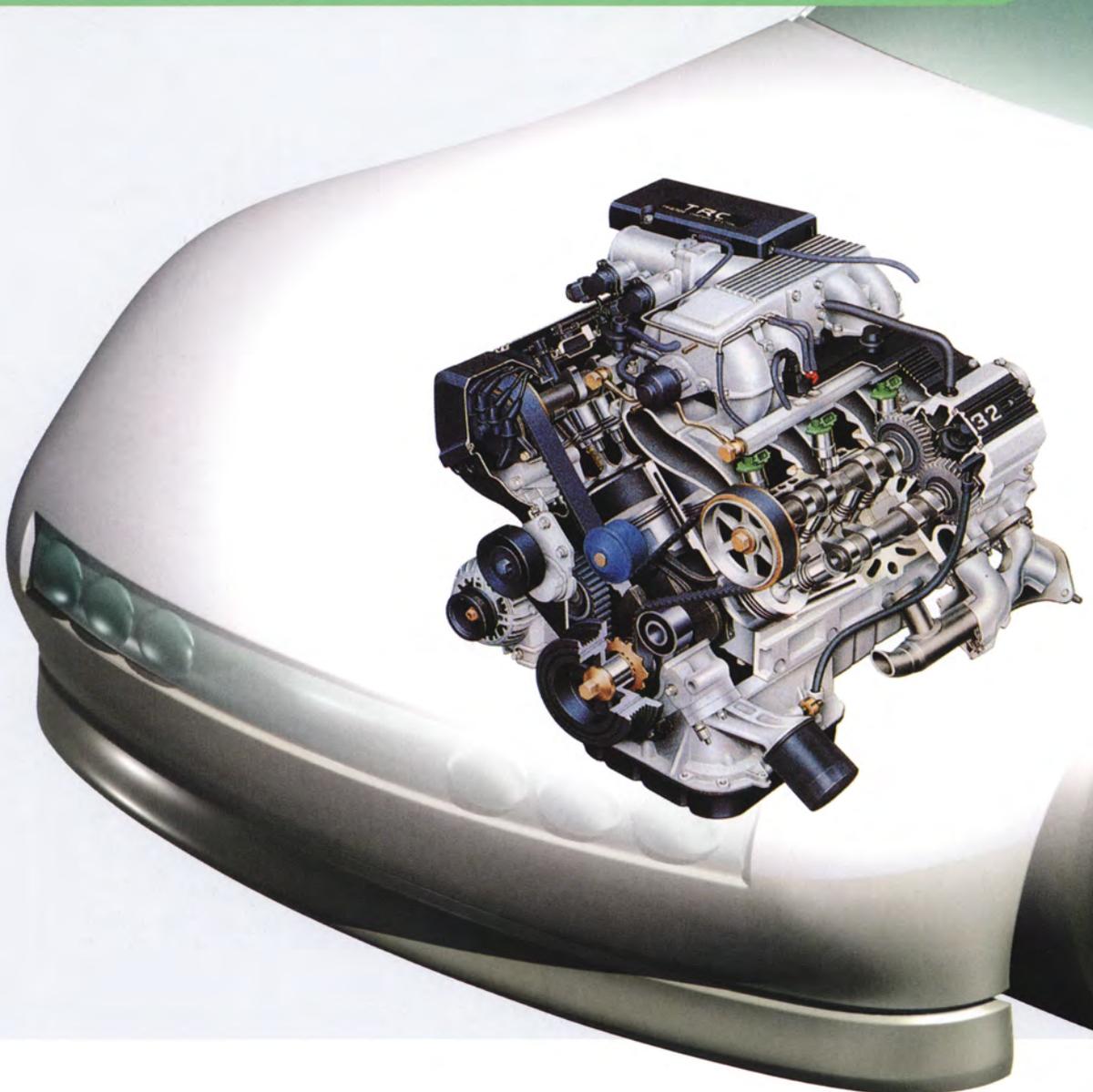
キャニスタ  
Charcoal Canister



PCV/バルブ  
Positive Crankcase Ventilation Valve



カットオフバルブ  
Cut off Valve



吸気系製品 /  
AIR INTAKE SYSTEM PRODUCTS



吸気モジュール  
Air Intake Module



インテークエアコントロールバルブ  
Intake Air Control Valve



EGRバルブ  
EGR Valve



インテークシャッター  
Intake Shutter

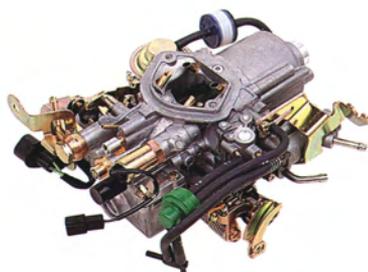
その他製品 /  
OTHER PRODUCTS



チタンエンジンバルブ  
Titanium Alloy Engine Valve



エンジンバルブ  
Engine Valve



電子制御キャブレタ  
Electronic Control Carburetor

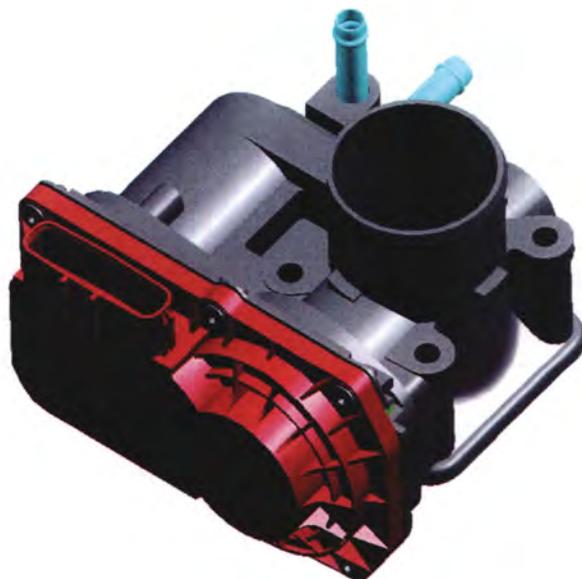


電動ウォーターポンプ  
Water Pump

# 電子スロットルボデー Electronic Throttle Body

## 概要

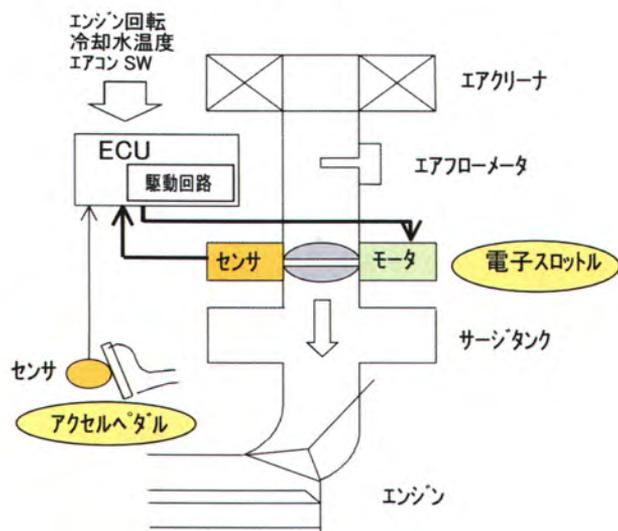
搭載寸法およびボア径をシリーズ化することにより広範囲の排気量に対応でき、部品の共通化を追求した電子スロットルボデー。



## 主な特長

- ・ボア径φ40からφ76までのシリーズ化により広範囲の排気量に対応
- ・非接触式センサ採用による長寿命化
- ・部品の共通化（ボデー、バルブ、シャフト以外の部品はすべて共通化）

### 〈電子スロットルシステム〉



### 〈構造〉



# 吸気モジュール Air Intake Module

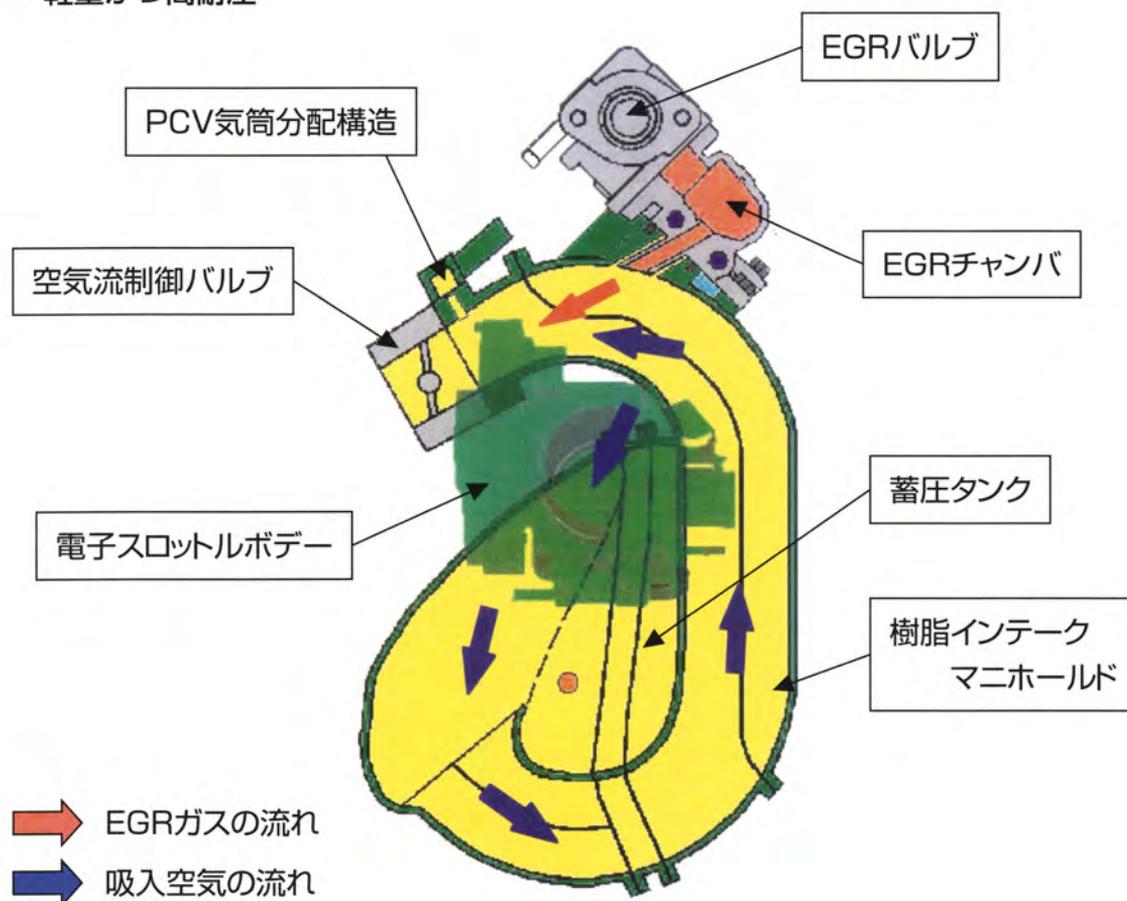
## ● 概要

樹脂インテークマニホールドと電子スロットルボデー，EGRバルブ，EGRチャンバ，空気流制御バルブ，蓄圧タンクをモジュール化し，高性能・軽量化を実現．



## ● 主な特長

- ・ 大量EGRガスの気筒間均一分配
- ・ 全域デュアルポートと空気流制御バルブによる出力性能と燃費の両立
- ・ 軽量かつ高耐圧

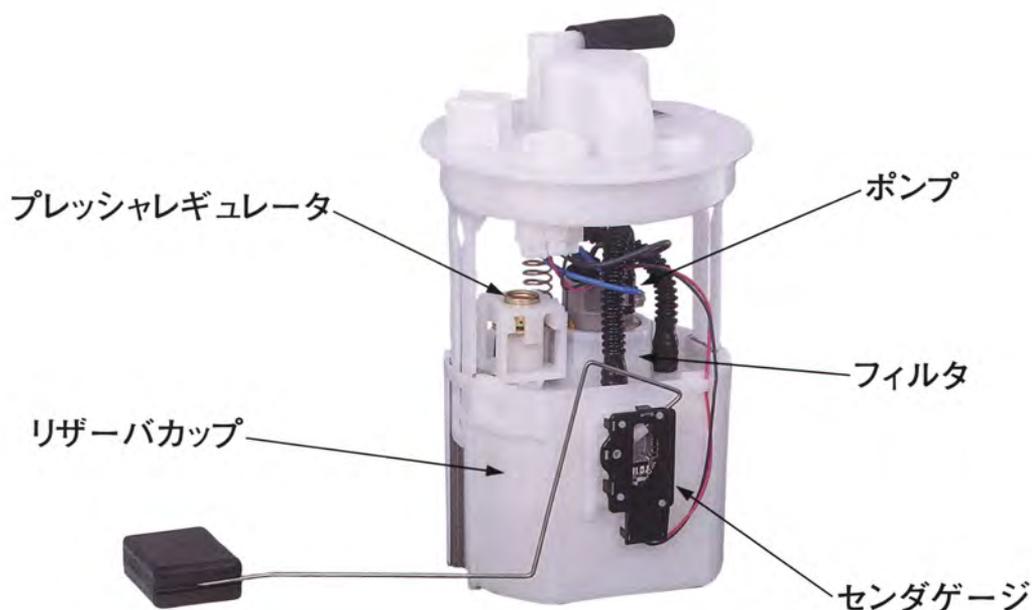


# フューエルポンプモジュール Fuel Pump Module

## ● 概要

車両用燃料タンクは、軽量化・扁平化等の要求と形状の複雑化により、樹脂化が進んでいる。

このような要求に応えつつ、燃料タンク内に装着でき、ポンプ、フィルタ等の機能部品を集積したフューエルポンプモジュール。



## ● 主な特長

- ・機能部品の高集積化による低コスト化
- ・リザーバカップの装着による樹脂タンクへの対応
- ・小型・高効率ポンプの採用による扁平タンクへの対応

# インジェクタ Fuel Injector

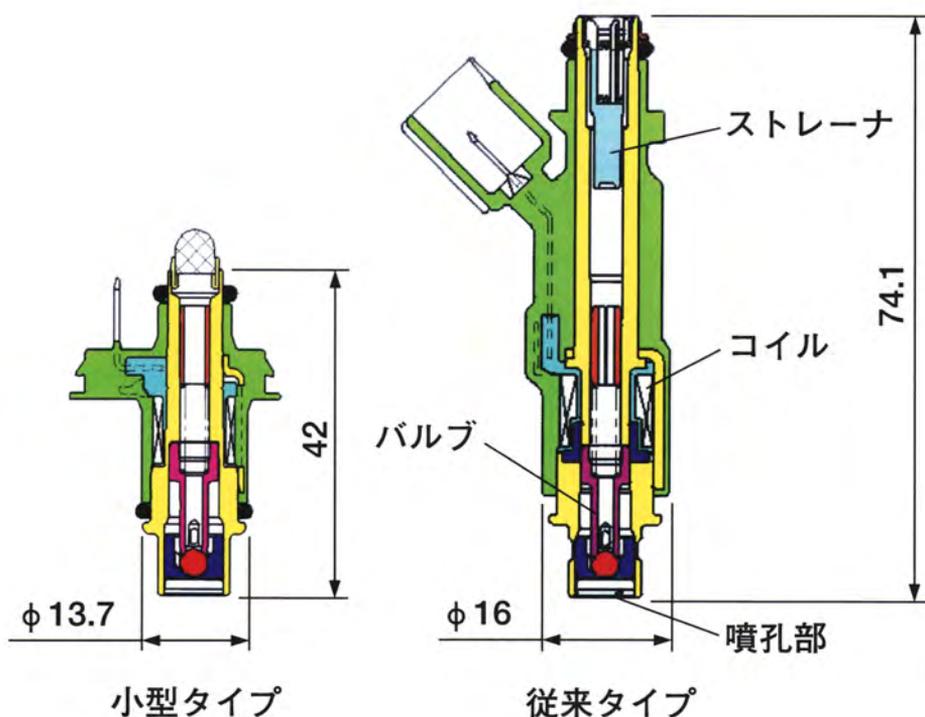
## 概要

2 輪車の燃料噴射化が進んでいる。  
2 輪車用エンジンに搭載でき、エンジンの高回転化および各国の排気ガス規制に対応した小型インジェクタ。



## 主な特長

- ・ 2 輪車への搭載を考えた世界最小サイズφ13.7×42
- ・ エンジンの高回転化に対応するための高ダイナミックレンジ化
- ・ 各国の排気ガス規制に対応するための噴霧の高微粒化



## デリバリパイプ Fuel Delivery Pipe

### ● 概要

インジェクタへの燃料供給部品であるデリバリパイプは従来、金属製が主であった。

樹脂化することにより軽量化および低コスト化を同時に実現。



### ● 主な特長

- ・樹脂化による軽量化：アルミ製比 35%減
- ・加工レス化による低コスト化：V 6 エンジンアルミ製比 50%減
- ・多層樹脂チューブによる左右バンクの締結
- ・多様な燃料に対応可能：アルコール混合燃料，MTBE混合燃料など

デリバリパイプの樹脂化  
加工レスによる低コスト化



# キャニスタ Charcoal Canister

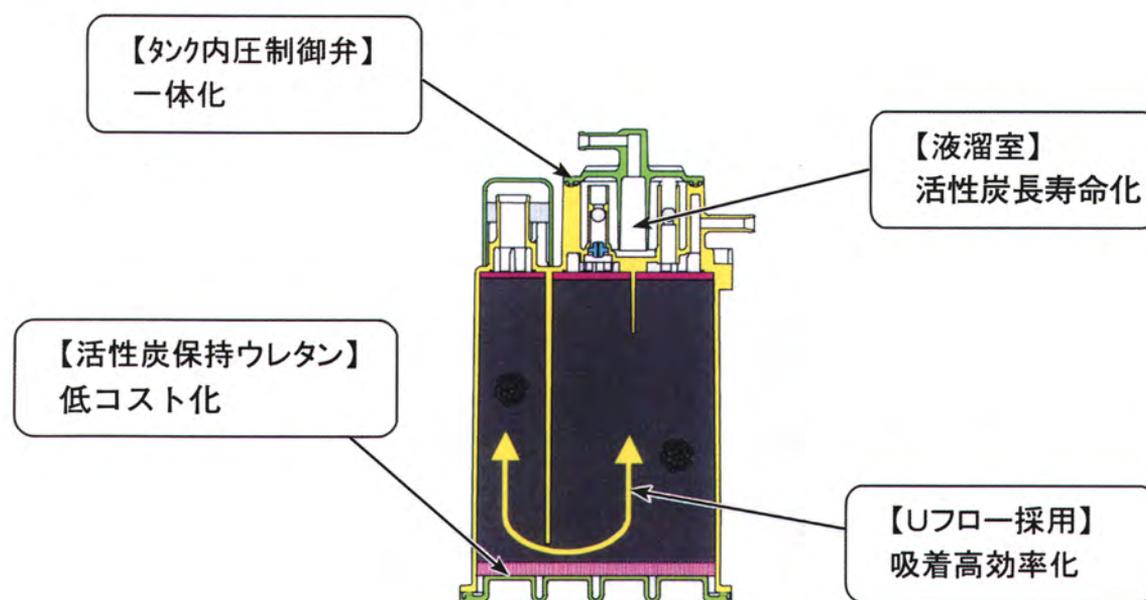
## ● 概 要

ガソリン蒸気の車外への放出防止のためにエバポシステムが装備されている。国内のエバポ規制に対応し高品質で低コストな樹脂キャニスタ。



## ● 主な特長

- ・ 2層式Uフローの採用による高性能（高効率）化
- ・ タンク内圧制御弁の一体化による低コスト化
- ・ 活性化長寿命化のために液溜室を内装化



## チタンエンジンバルブ Titanium Alloy Engine Valve

### ●概要

エンジンの高回転数化のためにエンジンバルブの軽量化が望まれている。  
軽量のチタンを用い、回転数アップと低騒音を両立させたチタンエンジンバルブ。



### ●主な特長（耐熱鋼バルブと比較）

- ・回転数10%アップによる高出力化
- ・低騒音 3dB減

		組成またはJIS規格	表面処理	比重 (g/cm <sup>3</sup> )
インテーク バルブ	チタンバルブ	Ti-6Al-4V	酸化処理	4.43
	耐熱鋼バルブ	SUH11	タフトライド	7.70
エキゾースト バルブ	チタンバルブ	Ti-6Al-2.7Sn-4Zr-0.4Mo-0.4Si	酸化処理	4.5
	耐熱鋼バルブ	SUH35	タフトライド	7.75

## 編集委員

小出 紘 (常務取締役)	磯貝 富治 (第1製品開発部)
高田 重孝 (製品企画部)	佐藤 亨 (第2製品開発部)
渡邊 幸広 (研究開発部)	池谷 昌紀 (第2製品開発部)
中野 正高 (技術企画部)	佐久間義弘 (生技開発部)
鈴木 敏郎 (技術企画部)	杉浦 政雄 (生産技術部)
大原 満 (技術企画部)	鈴木 良典 (生産技術部)
藤井 真一 (研究開発部)	坂口 巖 (総務部)
萩原 正一 (研究開発部)	神田 勝司 (第1製品開発部)
和田 里美 (システム開発部)	村石 昭夫 (研究開発部)
高松 浩司 (システム開発部)	

---

愛三技報 創刊号 AISAN TECHNICAL JOURNAL No.1

禁無断転載 © 2003 AISAN INDUSTRY CO., LTD.

発行 2003年6月25日

発行所 愛三工業株式会社

技術企画部

〒474-8588 愛知県大府市共和町一丁目1番地の1

TEL 0562-47-1131 (代表)

発行人 今村 兼雄

編集人 小出 紘

印刷所 三帰プリンティング株式会社

---

# AISAN TECHNICAL JOURNAL

## 愛三技報

愛三工業株式会社