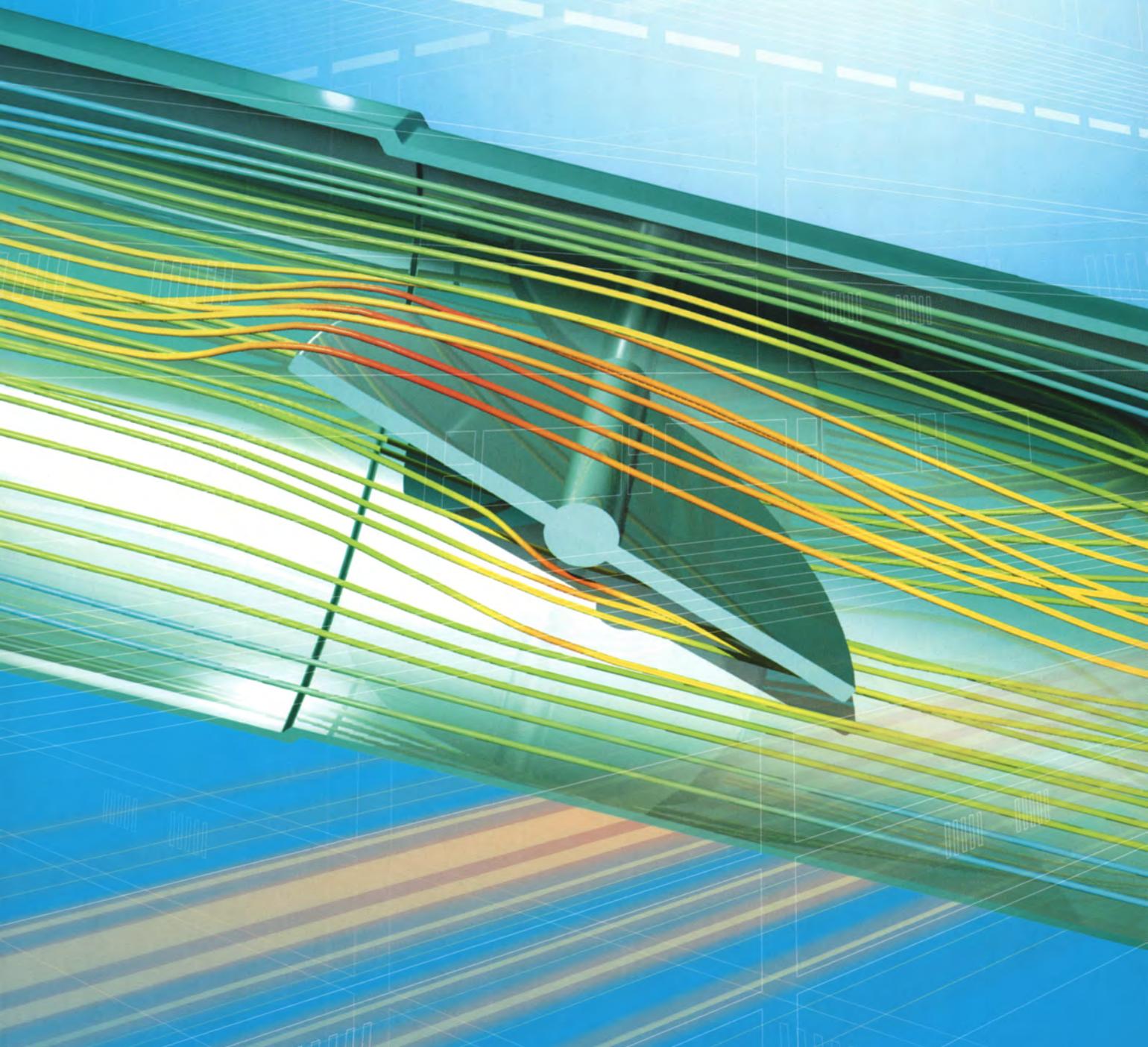


愛三技報

AISAN TECHNICAL JOURNAL

2005
No. 3

特集「CAE」



AISAN INDUSTRY CO., LTD.

目 次

CONTENTS

巻 頭 言 Foreword	新製品開発雑感.....1 "Impression of New Products Development"
特 集 Features	特集「CAE」によせて.....4 Feature "Computer Aided Engineering"
	CAEの製品開発への取り組み.....5 Product Development with CAE
	インジェクタ噴孔部の流れ解析.....11 Flow Analysis of Injector Nozzle
	ステッピングモータの磁場解析手法.....16 Method for Magnetic Field Analysis on Stepping Motor
	数学モデルを用いたトルクモータ挙動応答シミュレーション.....21 Torque Motor Response Analysis by Mathematical Model
論 文 Technical Papers	キャニスター体ポンプモジュールの開発.....26 Development of Canister Integrated Fuel Pump Module
	樹脂スロットルボデーの開発.....30 Development of Plastic Throttle Body
	密閉タンクシステム用封鎖弁の開発.....35 Development of Sealing Valve for Closed Tank System
	プラズマ浸炭法による非磁性化技術.....40 The Technology of Non-magnetization by Plasma Carburizing
新製品紹介 New Products	可変吸気バルブ.....47 Intake Air Control Valve
	船外機用吸気モジュール.....48 Intake Module for Outboard Motor
	チタンエンジンバルブ.....49 Titanium Alloy Engine Valve
	EGRクーラバイパスバルブ.....50 EGR Cooler by-pass Valve
	ターボ用ノズルベーン.....51 Nozzle Vane for Turbo Charger
	ウェイトゲートアクチュエータとバルブ.....52 Waste Gate Actuator and Valve
	キャニスター体ポンプモジュール.....53 Canister Integrated Fuel Pump Module
	密閉タンクシステム用封鎖弁.....54 Sealing Valve for Fuel Vapor-Containment System

巻頭言 「新製品開発雑感」

Foreword "Impression of New Products Development"



取締役社長

鬼木 徹也

Tetsuya Oniki, President

モノづくり企業の経営課題として、新製品開発とグローバル展開がますます重要となっている。

新しい製品を生み出し提供していくことは、口で言うのはたやすいが成果を出すのは大変難しく、各社が新規事業に取り組み、新製品を世に送り出しているが、成功事例が意外と少ないのも事実である。

新製品開発は、従来の延長線上の製品をテーマにするものと、まったくの新分野製品をテーマにする2種類がある。前者はその企業の固有技術やノウハウを十分に活用して進められるので成功の確率が高い。しかし後者の場合、各企業のコア製品となった成功事例はきわめて少ない。

なぜか？成功しない要因は「市場調査」「販路」「技術力」「企画力」「現場力」等々、いろいろあると思われるが、私なりの独断的な見方を述べたい。新規事業あるいは新規分野製品を企画する側が、一見するとお客様の立場に立っているような（実はお客様の立場でない）思い込みが一因と思われる。曰く、この製品はお客様にとって「便利なはずだ」「楽しいはずだ」「うれしいはずだ」「楽なはずだ」である。この曖昧な「はずだ」は、実はまだ十分にお客様の立場で考えられていないことを示しており、この状態で開発を進め製品化したものはまずダメである。お客様にとって「便利だ」「楽しい」「うれしい」「楽だ」などと断定できるまで十分に論議され昇華された製品で、コストパフォーマンスがよくなければ成功しない。

「はずだ」の新製品は、企画した人も開発する人もお客様の立場ではまだ疑問を持っていることになるから売れないのである。

当社のスローガン「お客様の立場で世界に誇る価値づくり」は、事ほど左様に難しいのである。

したがって、売れる新製品のの一つは、新たに施行される法律や規制に関連するもので、これを使用しないと法律や規制に対応できないという製品であり、これらに対する情報収集のため感度のよいアンテナをしっかりと立てておくことが重要である。もう一つは、お客様にとって断定言葉で示せるメリットを企画できるかどうかである。企画段階で、お客様の立場で「お客様のうれしさ」を徹底的に論議し、セレクトされたテーマが成功の確率が高いと思う。当社でも今後、新規製品を企画・開発するときは、衆智を集め徹底的な議論を重ねてまとめていきたい。

一方、グローバル展開において、技術者に期待されることについて触れておきたい。

カーメーカーが我々部品メーカーに期待するのは、カーメーカーがグローバル展開する各生産拠点に対して国際競争力のある製品を供給してくれることである。したがって、日本から各生産拠点に供給しても国際競争力があれば、海外展開の必要はないのである。しかし、現時点ではカーメーカーの海外生産拠点の近くで部品を生産する方が国際競争力があるとの判断で、各社とも速いスピードで海外に生産拠点を設立している状況である。

したがって、技術者にはモノづくりのための、国際競争力のある製品仕様や設備仕様、あるいはライン構成が要求される。品質や納期は日本と同等で、価格をいかに安くするかを問われているのである。製品設計は、共通化・標準化はもとより材料・部品の現地調達、加工・組付をやりやすくする単純形状などが必須である。設備やラインについても現地品の活用、作業・メンテナンスのしやすさを考え、シンプルでスリムな構造や構成の採用などを推進していくことが重要である。

これらをうまく実行できれば、日本での原価低減にも威力を発揮できるので、得意先を含めて関係部署がコンカレントに連携をとり、国内以上のスピードで積極的に取組んで成果を出すことが必要となる。

またグローバル展開が加速するなか、技術者は製品設計・設備の問題や

一拠点での設計変更や設備・ラインの変更が、すべての拠点に影響を与えることを常に意識して仕事を進め、トラブルを未然防止することが肝要である。ここでもお得意先および関連部署との連携が大変重要で、いろいろIT手段を活用してコミュニケーションをはかりコンセンサスを取る活動が不可欠である。

今後、短期・長期にかかわらず技術者の海外派遣や海外駐在はますます増加すると思われるが、私の経験によれば、海外派遣・海外駐在には次のようなメリットがある。

- (1) 本社では経験できない幅広い業務を経験できる。
- (2) 愛三を外部の目で確認でき、良さ悪さがわかる。
- (3) 本社では会えないレベルの人と面識が出来る。(愛三および他社)
- (4) 規模あるいは業種の異なる企業の人と面識ができ、いろいろな考え方がわかる。
- (5) 現地の人・食・自然・文化・芸術・スポーツに触れることができる。
- (6) 海外嫌いが払拭できる。
- (7) いろいろなことに興味を持つようになってくる。
- (8) 愛三に愛着が生まれ、よい会社、誇れる会社にしたいと思うようになる。

もちろん楽しいことばかりではないが、海外派遣・海外駐在を経験することで、技術者として、また人間としても成長できると確信する。

これからも、技術の愛三工業と呼ばれるよう邁進していきたいと思う。

特 集 「CAE」

Feature "Computer Aided Engineering"

特集に寄せて

先行開発部長
取締役

今 村 兼 雄

Kaneo Imamura, Director



今回はCAE特集を組んでいますが、CAEという言葉は今から20年ぐらい前に聞かれるようになった言葉で、調べてみると米国のコンサルタント会社SDRC社が1980年代初頭に提唱したComputer Aided Engineeringが最初ようです。当時、この会社のねらいは、製品開発のあらゆるプロセスで、すべての技術行為をコンピュータで支援することであり、コンピュータ上でのバーチャルプロトタイピングやバーチャルテストングを完璧に行うことによる高品質な製品開発を意図していたようです。3次元CAD、コンピュータの発展にともない、最近ようやくこれらのことが現実のものになってきました。

当社でも70年代後半にコンピュータを用いた解析手法を導入しました。当初はキャブレタの強度問題を100時間かけて解くような状況でしたが、製品の発展、変遷にともない、構造解析・流体解析・振動解析・磁場解析等への活用に発展してきました。特に最近では、動的解析・過渡解析が可能になり、当社の主力製品であるインジェクタ・フューエルポンプ・スロットルボデーの性能向上に大きく貢献できるまでになっています。

現在のグローバル競争に勝つには、スピードと効率化が非常に重要であることは言うまでもなく、その一つの鍵を握っているのがCAEの活用です。CAEの一層の精度向上と改良、活用が不可欠であり、今後は機能製品の性能、機能、信頼性といったところまでシミュレーションできる理想状態に、限りなく近づくようにしなければなりません。現在、当社のCAE活用の考え方は、専門家が必要な高度なテーマはCAE専任者と技術者が一緒に解析し、そうでないテーマは設計者自らが“設計者CAEツール”を用いて解析を行うといった2通りで進めています。前者では、実験での検証・解析結果のフィードバックやソフトの改良を進めることにより、一層の精度向上と新たなソフトの導入・開発を進めることが必要です。また後者においては、設計者が電卓を使うような感覚で設計者CAEツールを使いこなし、設計の精度向上・スピードアップを図っていくことを期待します。そのためには、3次元CADのさらなる普及を同時並行で進める必要がありますので、これについても積極的に取り組んでいきたいと考えています。



CAEの製品開発への取り組み

Product Development with CAE

磯 谷 覚

Satoru Isotani

要旨

製品開発の期間短縮，開発コスト低減，品質の向上の一手段として，バーチャル設計（コンピュータ上のモノづくりによる製品開発）の実現が望まれる．本稿では，バーチャル設計のひとつの技術分野であるCAEの位置付けと，当社におけるその技術の現状と今後について述べる．

Abstract

The principle objective of this project has been the realization of a virtual design system (production development on computer) aimed at manufacturing time reduction, costs reduction and quality improvement. This paper describes the current state of CAE and future prospects in Aisan.

1. はじめに

CAE (Computer Aided Engineering) を直訳すれば“コンピュータによる工学支援”となる。具体的には材料力学、伝熱工学等で確立されている現象の諸理論を解析的に取り扱い、製品の開発・設計に必要な情報をコンピュータで予測する手法のことである⁽¹⁾。

本稿では、このCAEについて当社における製品開発への位置付けや活用方法を踏まえ、その技術の現状と今後について述べる。

2. バーチャル設計とCAE

製品の開発期間短縮、開発コスト低減、品質向上をねらったバーチャル設計の技術としてCAEが重要性を増している。

バーチャル設計とは、製品形状をコンピュータ上に3次元のデジタルデータとして作成し、部品間の干渉チェックや製品性能、品質評価、型設計、加工性評価や製造ライン構想へと3次元データを一貫して使用することである。

このバーチャル設計は、コンピュータを駆使した様々な製品開発技術により、「設計」と「モノづくり」の準備の両方を同時進行で進めるコンカレントエンジニアリングを実現し、品質と信頼性を早い段階で作りこむことで製品開発期間を短縮する画期的な手段である。

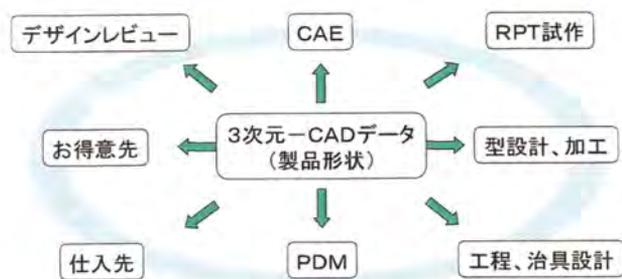


図1 3次元のデジタルデータの一貫活用

(用語補足)

CAD: Computer Aided Design/コンピュータによる設計支援 (設計, 図面作成)

RPT: Rapid Proto Typing/デジタルデータから敏速に試作品を製造する方法 (光造形法など)

PDM: Product Data Management/製品の企画から設計, 製造までの様々な情報, データの一元管理

バーチャル設計の中でCAEは、3次元CADで作成した製品モデルを、シミュレーションにより特性を解析し、製品の強度や性能等を評価して設計仕様の問題点を明確化する目的で使用される。



図2 CAEのフロー

3. 当社のCAEへの取り組み

3.1 CAEの歴史

CAEの歴史は1950年のボーイング社の飛行機翼設計への有限要素法の適用に始まる。

60年代において市販の強度解析用の汎用ソフトが生まれ、70年代になると流体、電磁気など適用分野が拡大、80年代に入ると設計ツールとしてCAEという概念がSDRC社 (現UGS社) を創設したJ.Lemon教授により提唱され⁽²⁾、CAEは産業界に急速に普及した。90年代に入ると3次元CADの進化とともにCAEとの連携は強くなり、製品開発に密接な存在となった。

最近では、化学、医療分野などにもCAEは進出し、コンピュータの急速な性能向上と共に発達を続けている。

3.2 当社のCAEの変遷

当社は1970年代後期にコンピュータを用いた解析手法を導入した。当初はキャブレタの強度問題を100時間かけて解く状況にあったが、コンピュー

タの急激な高速化，ソフトウェアの進歩，CADの普及により，現在は同程度の強度解析であれば20分程度で結果を得ることができる。

当社製品は燃料系，吸排気系，制御系を主力とするため，CAEは構造解析，流体解析，振動解析，磁場解析が中心となっている。近年では，動的な運動シミュレーションを行う衝突解析や機構解析を導入し，さらには異分野のCAEを連携させて，より詳細なシミュレーションを行う連成解析などの高度化を図っている。

年度	'80	'85	'90	'95	'00	'05
計算機の変遷	メインフレーム (集中化)		ダウンサイジング (分散化)		PC, 計算サーバ (最適化)	
CAE分野	構造(線形)		構造(非線形)			
	振動		流体			
	磁場		樹脂流動			
			衝突			
			音響			
			機構			
社内状況	導入期		実用期		普及拡大期	

図3 当社CAE環境の変遷

3.3 製品開発へのCAE適用の状況

当社では製品の開発・設計から加工・製造という各フェーズに対し，各種CAEを活用している。

CAEの活用法は，製品開発の各段階（研究開発，製品設計，生産準備）で異なる。

研究開発では，CAEは製品の基本機能の現象把握や成立性検討に用いられる。

ここでのCAEの活用は，後工程への問題の持ち越しを未然に防止でき，CAEの効果が最も大きくなる。

また，この段階において，新たな製品評価に必要なCAE技術は実験データとの検証を行いながら構築し標準化する。この時点でCAEを可能にすることは後の製品設計に対し，非常に有用になる。

製品設計段階でのCAEは主に設計要求値を満足する設計仕様の最適化に使われる。従ってCAEには設計検討に使える計算精度と，複数のパラメータ検討を，設計が必要とするタイミングに完了できるスピードが必要である。

設計に必要な日程にCAE結果が間に合わない場合，試作や実験をした方が安く早いということになり，CAEの目的である“モノづくりなしで製品評価ができる”ことを達成できない。

生産準備段階では，CAEは鍛造・樹脂成形・ダイカスト成形など，工法の検討に使われる。最近では加工後の特性（温度，弾性率，繊維配向）を予測し，その結果を用いて強度など製品性能を詳細に予測する連成解析に取り組んでいる。

4. 分野別のCAE技術

当社の代表的なCAE分野について説明する。

4.1 構造解析

構造解析は主に強度，剛性の検討に用いられる。変形挙動が微小変形で弾性特性を示し，時間的な荷重変化を伴わない線形静解析は，基礎理論式が1次の線形方程式となり，入力条件も簡素であるため精度の保たれた結果を得ることが可能である。

CAEの原点はこの線形静解析にあり，当社においても，最初に実用化したのがこの領域である。

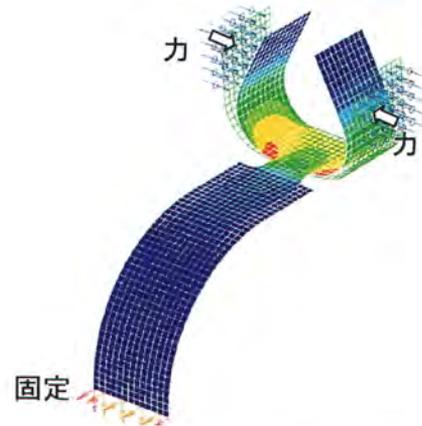


図4 構造解析の例（応力分布）

さらに問題が複雑化し，プレス鍛造やカシメなど変形挙動が弾性域を越え塑性域に至る材料非線形，大ひずみを扱うゴムの大変形挙動を代表とする幾何学的非線形，製品間の位置関係における接触／分離を扱う接触問題などは非線形解析を行う。

非線形解析の難しさは，外力と内力のつりあいの線形関係式を解く線形静解析とは異なり，非線形特性に追従する計算安定性の確保にある。

現在、当社においてはCAEモデルのノウハウの蓄積とソフトメーカーの収束解法の改善により、製品開発に有用な情報を得ることが可能となっている。

また、最近では、材料コストの低減や軽量化、製品デザインの自由度の拡大にともない、製品材料の樹脂化が急激に進んでおり、時間経過にともない変形量が変化するクリープ現象や、環境温度による材料特性の変化を考慮する非線形解析の実施が必要である。

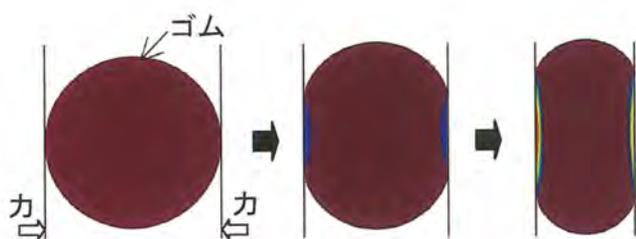


図5 非線形解析（ゴムの大変形）の例

4.2 振動解析

振動解析は、エンジン振動、あるいは車両の走行振動などによる共振現象の回避、振動伝播による耐久性評価の検討に使われる。

振動解析は、ブラケットなど部品単品では良好なCAE結果を得ることが可能だが、実際の製品レベルとなると、製品組み付け状態での部品間の干渉など、現象が複雑化しCAE結果の精度確保が難しくなる。

そこで、ハンマリング実験、あるいは加振機による振動測定による振動特性データとCAEモデルの計算結果を比較しながら、実際の振動現象を再現できるCAEモデルを完成させ、実用化するスタイルで行っている。

近年、製品のモジュール化にともない振動現象の非線形性は増しており、製品ごとのCAEモデルの技術構築を行い、順次、標準化している。

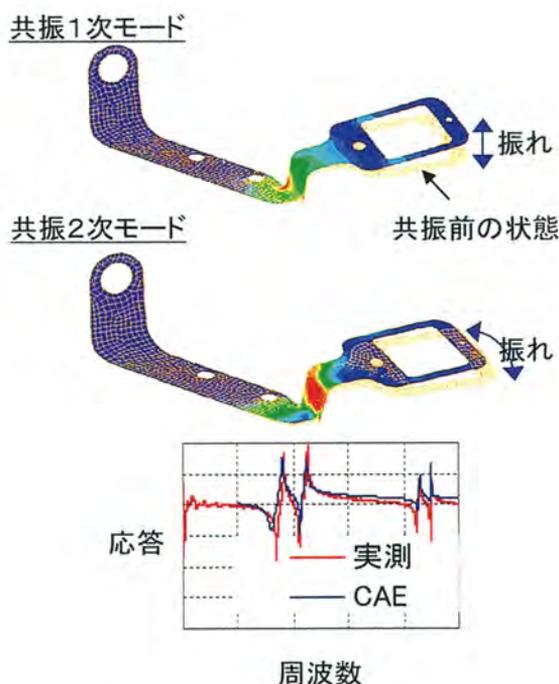


図6 振動解析の例（ブラケットの共振）

4.3 衝突解析

衝突解析は衝突、落下などの衝撃荷重に対する破壊位置の予測、衝撃スベックに対する設計検討に用いられる。

構造解析では、時間的な荷重変化がない静的現象をひずみ速度一定として力の釣り合いを解く。それに対し衝突解析は、短時間で力を受けた物体の挙動について、ひずみ速度の考慮により、時々刻々と変化する衝突エネルギーの伝播状態を計算して強度評価を行う。

近年の車両衝突安全性向上にともない、当社においても、燃料系部品の衝突時の燃料漏れ防止構造の決定など、衝突解析の用途は増加している。



図7 衝突解析の例

4.4 熱流体解析

熱流体解析は、製品内の流れの可視化や冷却性能の把握に使われる。

熱流体解析は熱流れ現象を表現する支配方程式が非線形で、かつ、方程式を構成する変数が多いこと、加えて境界層など流れを適切に考慮する微小な計算格子が必要になり、他分野に比べて計算量が非常に大きい分野である。

当社ではコンピュータの高速化とソフトの改善、ノウハウの蓄積により、CAEモデルの作成から結果を得るまでの時間短縮を図っている。

フューエルポンプにおいてはポンプ内のインペラ回転を計算上で再現し、流れを解く手法を完成させ、開発のツールとして必要不可欠な手段となっている。

また最近では、高速流れの燃料が圧力低下により気化するキャビテーション現象を考慮して、流量性能低下や振動現象を予測する計算手法や、流れの衝突、渦の振動などが引き起こす流体騒音の予測技術の実用化に取り組んでいる。

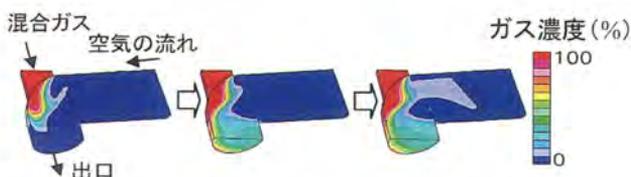


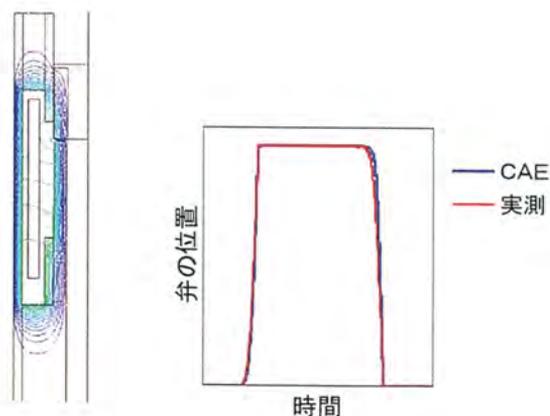
図8 流体解析の例（ガスの混合流れ）

4.5 磁場解析

磁場解析は、電磁弁の吸引力特性や弁開閉の応答性評価、モータではトルク特性や効率向上等、製品の磁気特性評価に用いられる。

最近では製品形状のみではなく外部回路や運動方程式を考慮し、より詳細に実際の作動状態を再現したシミュレーションを日常的に行っている。

また、磁場解析結果と構造解析を連成させ、モータの発熱による製品への熱影響を予測する技術や、制御系ソフトとリンクし過渡応答性を予測する手法なども実用化してきている。



〈磁束線図〉

〈閉弁挙動〉

図9 磁場解析の例（電磁弁）

5. 今後のCAEへの取り組み

以上、当社の製品開発へのCAEの取り組みと使われ方を紹介してきたが、今後の取り組みとして以下の4項目を挙げる。

5.1 製品開発現場へのCAEの浸透

CAEが製品開発現場において真の設計ツールとなるには、設計者に使いこなせるものになることが重要である。

従来、CAEを行うには専門知識やノウハウ、経験が必要で、そのためにCAE専任者が必要であった。ところが最近、“設計者CAEツール”と呼ばれる簡易な道具が出現し、分野を限定すれば設計者でも扱える状況が生まれてきた。

当社でも“設計者CAE”ツールを導入し、設計現場で設計案の検討が敏速に行える様、3次元CADと共に活用を推進している。

推進にあたっては、設計者に対してツールの使い方と共にその意義や結果に対する解釈法などの教育を施し、CAEを効果的に活用できるエンジニアとして設計者を育成することが重要と考えている。

5.2 新規CAE技術の確立

CAEでシミュレートできることは増えてきたが、製品評価項目の中でCAEが対応できる割合はまだ少ない。

バーチャル設計をより強固なものとするためにも、CAE技術の発展とツールの進歩を常に見据え、今後も継続的に新規技術を確立していく必要がある。

5.3 計算の高速化

CAEによる製品評価実験の代替が進むにつれ、シミュレートすべき現象の範囲が広くなり解析領域は拡大する。

解析領域の拡大は計算時間の増加を招くため、開発期間短縮へのCAEの有効活用には計算速度の高速化が必須である。

そのためにはコンピュータハードウェアの進歩による処理速度のアップに頼るだけでなく、領域分割による並列化計算法を取り入れるなどの計算方法の工夫も必要である。

こうした方法は、当社でも、流体解析においては実用化できているが、今後、構造、振動、磁場、衝突の解析でも実用化していく。

現在、PDMへCAEに関するデータベースの組み込みを順次、進めている。

6. まとめ

今後、さらに製品開発競争が激化する状況で、CAEに対する要求は複雑かつ高度化していくと思われる。

常に世の中のCAE技術の動向に目を向け、新しいCAE技術の構築と、製品開発現場への定着を引き続き積極的に進めていきたい。

〈参考文献〉

- (1)オーム社 機械のための有限要素法入門
- (2)朝倉書店 現代人のコンピュータ/CAE
- (3)日本総研 LS-DYNA使用の手引き
- (4)矢川ほか：大規模並列計算力学システムにおける入出力データの標準化，日本計算工学会論文(2000)

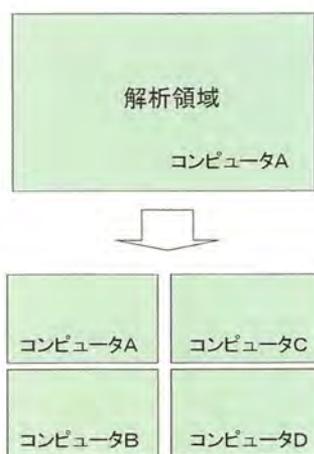


図10 領域分割と並列計算

5.4 CAE結果の社内共有化

CAE結果を製品開発情報として、いかに現場の技術者が共有できるかが重要である。

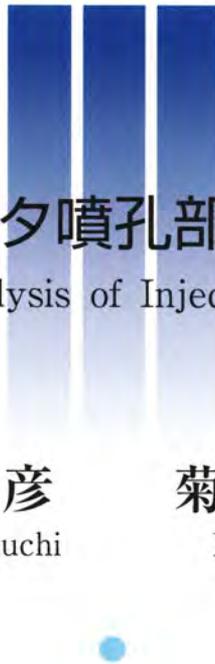
CAE結果を開発現場へフィードバックすることにより、設計者が実験結果からCAEの有効範囲の妥当性判断や、過去の解析結果を現在の新たな設計検討の参考データとして活用することができ、製品開発業務の効率化を図ることができる。

著者紹介

磯谷 覚

Satoru Isotani
(研究開発部)





インジェクタ噴孔部の流れ解析

Flow Analysis of Injector Nozzle

山内俊彦

Toshihiko Yamauchi

菊田光

Hikaru Kikuta

要旨

排気規制強化・燃費向上という市場動向の中、エンジンの燃料供給部品であるインジェクタには噴霧の微粒化が求められている。当社では噴孔部の設計にCAE流れ解析を活用して開発しており、本報告ではその計算事例について紹介する。

Abstract

The current market requires finer atomization of injector spray for emission control tightness and fuel efficiency. Aisan has developed an injector nozzle using CAE flow analysis to meet the market demands.

1. はじめに

排気規制強化・燃費向上・ドライバビリティ向上という市場環境の中、エンジンに対しては、始動・暖機過程の未燃焼HCの低減・過渡応答性向上が要求されている。そのための技術として、エンジンへの燃料供給部品であるインジェクタには、噴霧の微粒化が求められている。

当社では、'99年に高微粒化インジェクタとしてプレートオリフィスを用いたタイプを量産化した。この技術は、'02年に量産化した新開発インジェクタにも受け継がれている。

本報告では、微粒化インジェクタのバリエーション開発で活用しているCAE噴霧・解析手法について紹介する。

2. 微粒化インジェクタの構造

2.1 微粒化のプロセス

図1はノズルから噴射された液体の微粒化の様子を図示したものである。微粒化とは、噴射された液体が連続体の流動・気液の相互干渉・液体の破断と凝集という現象を経て微小な液の粒に分裂される複雑な現象である。

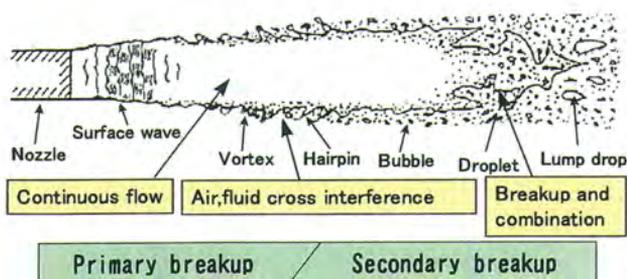


図1 Schematic representation of atomization

この複雑な微粒化の過程は、液流が直接分裂する1次分裂と気流との相互作用が主に液体を分裂させる2次分裂に大別される。

高微粒化インジェクタは1次分裂を促進させることにより、微粒化レベルを向上させている。

2.2 微粒化の手段

図2に噴流の分裂について影響する因子についてあげる。これから、微粒化の手段として、噴射液柱の径を小さくすることおよび噴孔上流の横流れ成分の強化が有効と考えられる。それぞれに対応する技術としては、噴孔径を小さくすること、すなわち「多噴孔化」とバルブ・シート形状を適合することによる「横流れの強化」がある。

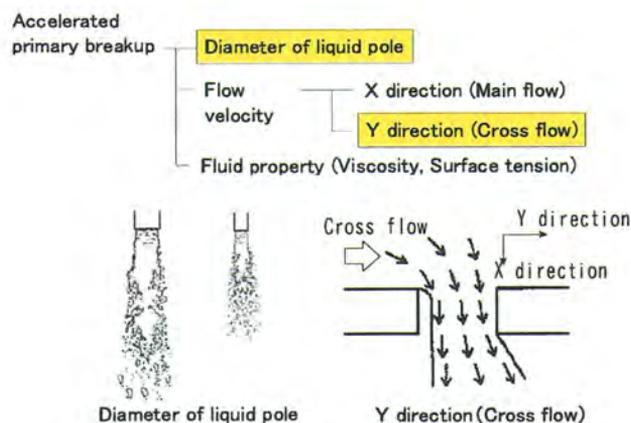


図2 Breakup factor

2.3 高微粒化インジェクタの設計

それらの課題として、多噴孔化に対しては、小径の噴孔加工を行うための生産技術及び最適な微粒化効果を得るための噴孔径と噴孔数の選択、横流れ強化に対しては噴孔上流の横流れ流速を大きくできる、バルブ・シート形状の検討が必要である。

図3に新開発の高微粒化インジェクタの構造を示す。微粒化インジェクタではその先端部に多孔を設けたオリフィスプレート、フラットバルブを採用し、シート、オリフィスプレートを保持するためのホルダプレートが追加されている。オリフィスプレートの噴孔は、それぞれ異なった2方向角 $\theta_x \cdot \theta_y$ を持ち、噴霧干渉による粒径悪化を抑制しつつ噴霧分散性が向上するように設定されている。

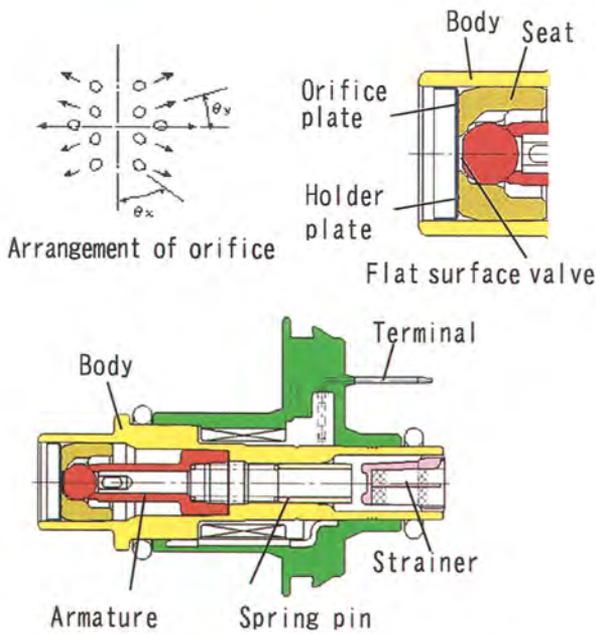


図3 インジェクタの構造

3. CAE解析

最適な微粒化効果を得るためには、「多噴孔化」と「横流れ強化」が必要である。多噴孔化に対しては噴孔径と噴孔数の選択、横流れ強化に対しては噴孔上流の横流れ流速を大きくできるバルブおよびシート形状の検討が必要である。

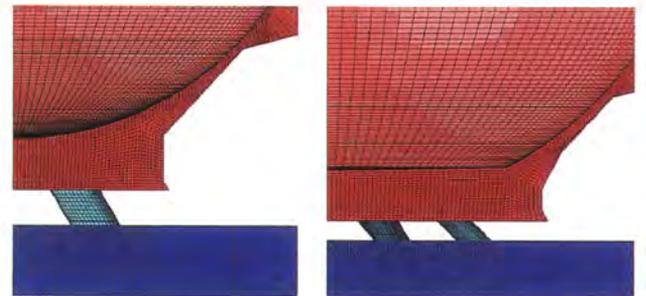
従来型では、バルブ上流部の空間を小さくして横流れの強化をねらい、球状バルブの先端を平面に加工したフラットバルブの検討をCAEを活用して行った。今回はフラットバルブの解析例について紹介する。

3.1 計算方法

計算には汎用流体解析ソフトSTAR-CDを用い、境界条件としてインジェクタ内部の圧力と噴孔の下流に設けた噴射空間の圧力を指定し、3次元のNavier-Stokes方程式を解くことにより流れを計算により求めることができる。

なお、現実のインジェクタの流れは、燃料である液体が空气中に噴射されるものであるが、計算を簡単にするため、噴射空間内も全て液体で満たされ、かつ連続した流れとして計算を行い、噴孔出口での流速・流れの変化によって噴霧粒径を推測することにした。

計算は、球状バルブのものとバルブ先端をフラット加工したもの、それぞれのインジェクタ内部形状を6面体で格子分割した3次元のモデルによって行った。実際に作成した計算格子を図4に示す。インジェクタ内部の流れは90°ごとに対称な流れになると仮定し、計算格子は全体を1/4に分割した90°の領域のみ作成することで、計算時間の短縮を図っている。

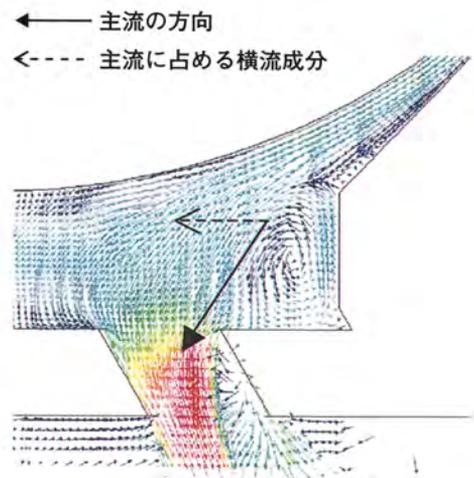


(a)ボールバルブ (b)フラットバルブ

図4 計算格子

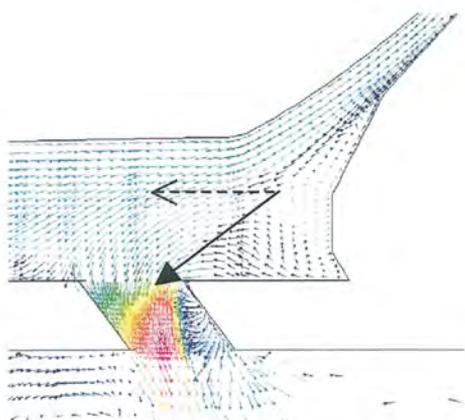
3.2 計算結果

計算結果から得られた噴孔上流断面の流れの様子を図5に示す。バルブ、シート形状の違いによって噴孔上流の流れの様子が異なっており、フラットバルブでは、横方向から鋭角に噴孔へ流れ込んでおり、横流れ流速が増加していることが確認できる。



(a)ボールバルブ流速

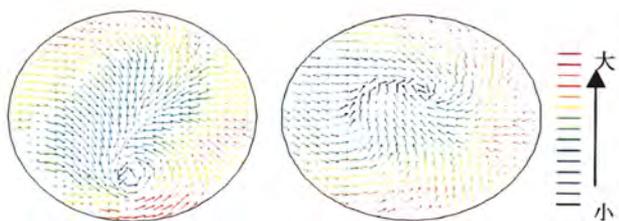
図5 噴孔上流断面の流れの様子



(b)フラットバルブ流速

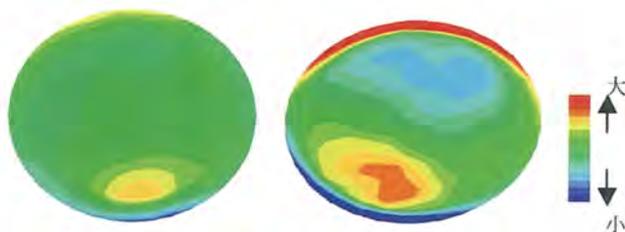
図5 噴孔上流断面の流れの様子

また、噴孔を上部から見た流速、渦度の結果を比較したものを図6に示す。フラットバルブでは、噴孔内で渦度が高くなっており、この噴孔内の渦度が噴霧の微粒化に何らかの影響を与えているものと予想できる。



(a) ボールバルブ (b) フラットバルブ

(1) 流速



(a) ボールバルブ (b) フラットバルブ

(2) 渦度

図6 噴孔内の流れの様子

3.3 渦度と微粒化への影響

XY平面での渦度の定義は、下の式のようになる。

$$\partial v/\partial x - \partial u/\partial y$$

ここで、 u は流速のX方向成分、 v は流速のY方向成分を示している。

この式の意味を図で説明する。図7のように対向する流れの場合、点Aの位置ではZ軸方向を軸とした回転力が流体に働くと考えることができる。この回転の大きさは、流速 v のX方向の速度勾配によって決まり、 $v_2 - v_1$ の差が大きいほど回転力も大きくなる。

また、点Bの位置では流れは同じ方向を向いているが、速度差があるため、同様に回転力を受ける。この速度勾配の大きさを式で表すと $\partial v/\partial x$ となる。

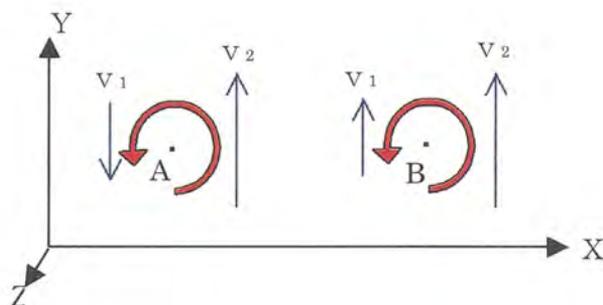


図7 流速のY方向成分vの勾配

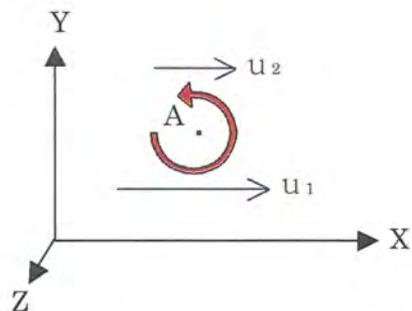


図8 流速のX方向成分uの勾配

同様な回転力は図8のような流れにも発生し、回転の大きさは、 $u_1 - u_2$ の差が大きくなるほど大きい。

この速度勾配を式で表すと $-\partial u/\partial y$ となる。

(回転の向きを合わせるためにマイナスが付く)

この2つの値を足したものが、渦度であり、渦度は各軸方向の回転の大きさを示している。(値が負の時は、回転方向が逆であることを表している)

このことから、渦度の高い個所は流れの速度勾配が大きいところであり、速度勾配によって流体にせん断力が働いていると考えることができる。フラットバルブでは、噴孔内の渦度が高い個所で、より強いせん断力が働き、微粒化が促進されると考えられる。

4. まとめ

CAE解析の結果に基づいて設計した高微粒化インジェクタの噴霧写真を図9に示す。

CAE解析を活用し横流れを強化することによって、噴霧粒径(SMD)を35%向上した高微粒化インジェクタを開発することができた。

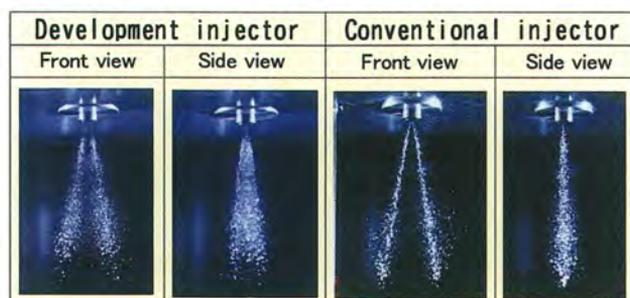


図9 Photographs of spray

今後も噴孔部設計にCAE解析を活用し、インジェクタのバリエーション開発のスピード化をはかっていく。

著者紹介

山内 俊彦

Toshihiko Yamauchi
(研究開発部)



菊田 光

Hikaru Kikuta
(第2製品開発部)





ステッピングモータの磁場解析手法

Method for Magnetic Field Analysis on Stepping Motor

吉川 晃 司
Koji Yoshikawa

要旨

ステッピングモータは磁気の流れが3次元で、従来CAEを活用しにくいモータであったが、トルク特性において実験値との誤差 $\pm 10\%$ 以内を満足できるステッピングモータの磁場解析手法を構築した。

Abstract

We have formulated a magnetic field analysis method of stepping motors to accurately calculate the torque experimental value with an accuracy of $\pm 10\%$ Max. Because of three-dimensional magnetic flow issues, the method has difficulties to use CAE with the existing stepping motors.

1. はじめに

自動車には多種、多様なモータが使用されている。当社においてもモータを使用した製品を市場に数多く提供している。その中に、クローポール式PM（永久磁石）形ステッピングモータがある。このモータは製造コストが比較的安価なためよく用いられている。当社で使われるステッピングモータもほとんどがこの形式である。

代表的な適用製品としては、アイドルスピードコントロールバルブやEGRバルブ、ステッピングモータ式ディーゼルスロットルボデーが挙げられる。

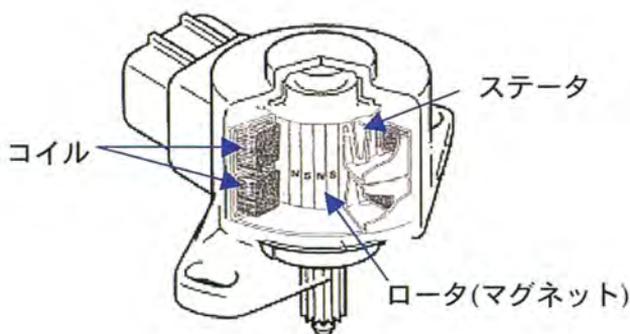


図1 ステッピングモータ概観図

このクローポール式PM形ステッピングモータ（以下ステッピングモータ）は、磁気の流れが3次元になるため、メッシュ作成が困難であるうえ、メッシュ数が増大することなどから、CAE解析が活用されにくいモータであった。

2. 目的

これまでCAE解析の活用が進んでいなかったため、ステッピングモータの設計は先達のナレッジおよび試作・評価の繰り返しの頼りにしてきた。

そこで、CAEによる設計支援を可能とするためにステッピングモータの磁場解析手法を構築することにした。目標値は、トルク値の解析精度±10%以内とした。

3. ステッピングモータとは

ステッピングモータの電磁気回路を構成する要素を図2に示す。

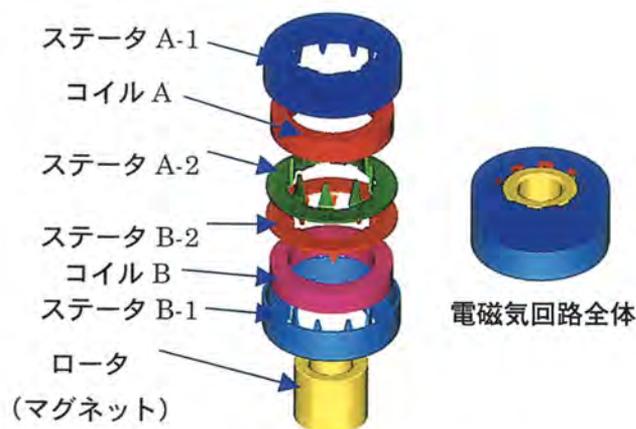


図2 ステッピングモータ電磁気回路

ステッピングモータは2層になっており、2つのコイル部、4つのステータとロータであるマグネットで構成されている。図2の例ではステータには8つのツバがあり、コイル部をはさむことでツバ数8×2極=16極の磁極が交互に現れる。このステータ極歯形状が爪形に見えることがクローポール式と呼ばれる由縁でもある。2層のステータ部は1/4ピッチずれて設置され、合計16極×2=32極でロータを駆動する。1つのコイル部には正逆両方への通電が可能となっており、2つのコイル部で合計4相となる。これら各コイルへの通電を切り替えることでステータの磁極を替え、ロータの回転・停止を行う。

コイルの巻線方法はコイルへの通電切り替えの方法の違いにより2種類ある。1つのコイル部に2本のコイル線を同時に巻き、通電コイル線を切り替えることにより駆動する方式をバイファイラ（2本巻線）という。また、1つのコイル部に1本のコイル線を巻き、駆動回路で通電方向を切り替える方式をユニファイラ（1本巻線）という。どちらの方式にも一長一短があり、使用目的により使い分けられる。

表1 バイファイラとユニファイラ比較

	バイファイラ	ユニファイラ
巻線		
駆動回路		

4. 磁場解析上の課題

ステッピングモータを磁場解析する場合、磁気の流れが3次元になることと、コイルの巻き方でバイファイラがあることから、これらをモデル化する上で表2に示す課題が考えられる。

これらが、今までステッピングモータの設計に磁場解析が用いられてこなかった理由である。

これら課題の検討を株式会社日本総合研究所の磁場解析ソフトJMAGを用いて実施した。

表2 ステッピングモータ磁場解析上の課題

No.	課題
1	3次元化によるメッシュ数増大の抑制
2	メッシュ数抑制によるエアギャップ分割層数の減少による精度低下の回避
3	バイファイラのモデル化 (2重同時巻線のモデル化)

5. 課題への対応

5.1 メッシュ数増大の抑制

通常の3次元化によるメッシュ数増大の対策として、構造解析等で通常用いられているモデルの対称性を利用した分割モデル法がある。今回は磁気の流れに対称性があるので、分割モデル法を適用できる。

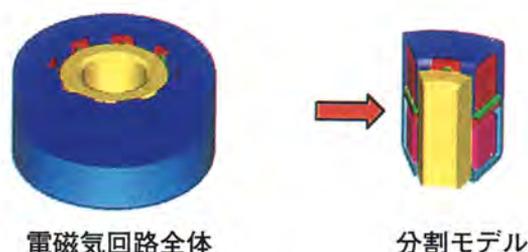


図3 分割モデル

3次元CADにて図3の分割モデルを作成し、磁場解析ソフトの改良をソフト開発メーカと共同で行った。

また、分割モデル作成にあたって、各回転位置でのモデルを作成するのではなく、ロータであるマグネットの磁化方向をパラメータとして入力するようにし、モデル作成時間の低減を図った。

以上の手法により、メッシュ数を50万メッシュ程度に抑制した。

5.2 エアギャップ分割層数の確保

通常ステッピングモータのエアギャップは0.5mm程度と狭く設定されている。メッシュ数増大の抑制のためメッシュサイズを出来るだけ大きくし、メッシュ数を抑制しようとする時、オートメッシュによるメッシュ分割の際、エアギャップは1層でメッシュ分割されてしまう。しかし、エアギャップ部は、ロータ・ステータ間で磁気のやり取りをする重要な部位となるため、詳細なメッシュ分割が必要であり、またロータとステータに共有されるメッシュの存在が解析精度に悪影響を与えるため、エアギャップは3層以上が必要である。

そこで、通常はステッピングモータのようなモータの解析には用いないスライディングメッシュを用いたメッシュ分割を行い、その後2重節点を同一節点化することにより、エアギャップ部の3層化を実現した。

上記手法にて作成したメッシュを図4に示す。

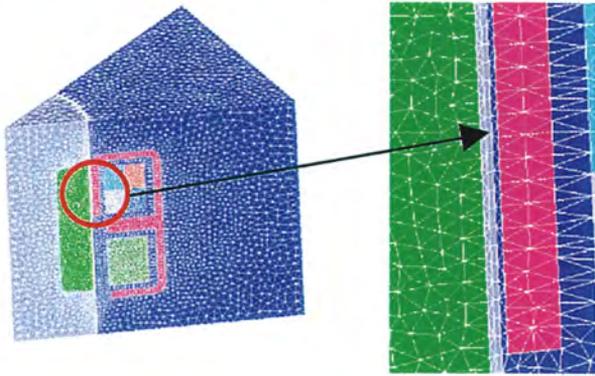


図4 エアギャップ部のメッシュ

5.3 バイファイラのモデル化

ステッピングモータは、巻線方法によりバイファイラとユニファイラに分類できることは前述した。

ユニファイラの場合はコイルが1本であるため、コイルは全体的に均一に分布しており、モデル化において問題はない。

しかし、バイファイラの場合、1相のコイル部の中に2本の巻線が存在し、通電時はどちらか1本の巻線にのみ通電されるため、巻線の分布による解析結果への影響が懸念される。

そこで、バイファイラのモデル化検討を図5に示す手法で実施した。



図5 バイファイラ巻線分布のモデル化

上記の巻線分布で実際に解析を実施し、得られたトルク特性結果を図6に示す。この結果より、巻線分布によるトルク特性に差異は見られず、バイファイラ特有のモデル化は、必要ないことが判った。

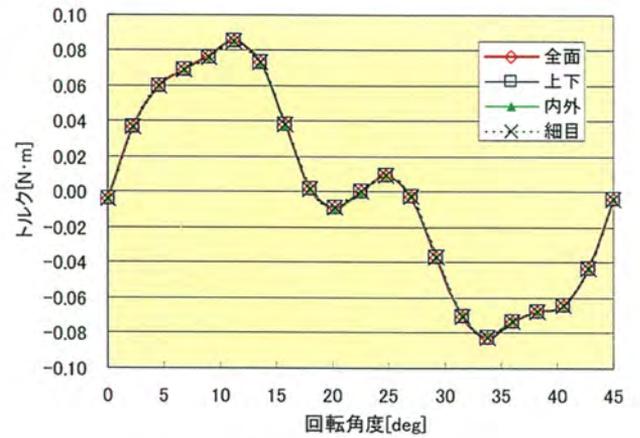


図6 バイファイラ巻線分布検討結果

6. 解析精度検証

今回、構築したステッピングモータの磁場解析の手法を用いた解析で求めたトルク特性と、実験により求めたトルク特性の比較を図7に、実験値との誤差を図8に示す。

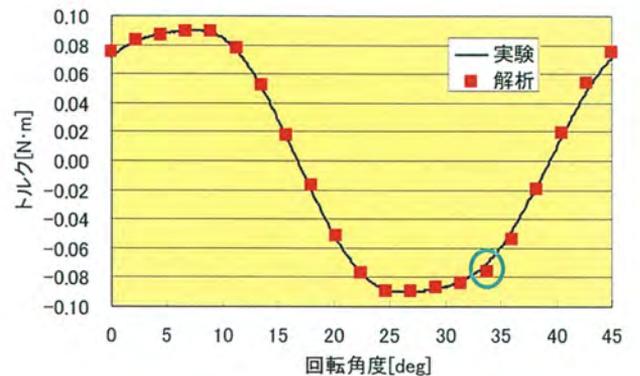


図7 解析値と実験値との比較 (2相通電時)

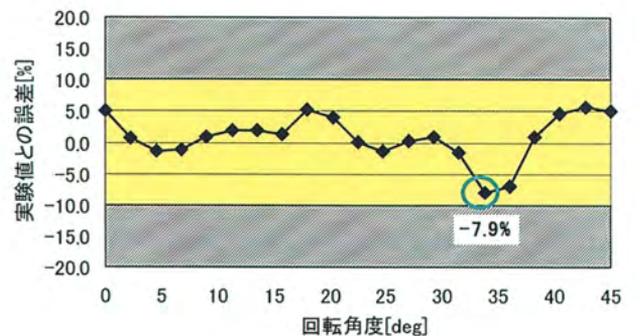


図8 実験値との誤差

この結果より、解析値と実験値は良く一致しており、実験値との誤差は最大で-7.9%と目標である $\pm 10\%$ 以内を満足している。

7. まとめ

実験値との誤差 $\pm 10\%$ 以内の解析精度を満足するステッピングモータの磁場解析手法を構築することができた。

謝辞

本手法構築にあたり、株式会社日本総合研究所殿からソフトの改良等のご支援を頂きましたことを、この紙面をお借りしてお礼申し上げます。

〈参考文献〉

- (1)大木 著
ステップモータの理論と応用：実教出版
- (2)小沢ら 著
クローポール型ステッピングモータの特性算定
電気学会リニアドライブ研究会資料
LD-93-98 (1993.11) [6]
- (3)荒川 著
パルスモータのコギングトルク解析
豊田中央研究所 R&D レビュー
Vol.31 No.2 (1996.6)
- (4)河瀬 著
最近の大規模三次元有限要素解析と応用例
株式会社 日本総合研究所
JMAG Users Conference 2004

著者紹介

吉川 晃司
Koji Yoshikawa
(研究開発部)



数学モデルを用いたトルクモータ挙動応答シミュレーション

Torque Motor Response Analysis by Mathematical Model

磯 谷 覚

Satoru Isotani

要旨

設計初期段階でモータ挙動検討を可能にするための、磁場CAE解析と数学モデルを連成させたシミュレーション手法について紹介する。

数学モデル：システム（今回はモータ）のふるまいを代数方程式、微分方程式、あるいは論理式などで数学的に表現したもの⁽¹⁾。

Abstract

There is a request that motor behavior should be studied at initial stage of design. We have developed a simulation procedure including CAE analysis and applied it to the motor design.

Mathematical model: The methodology including algebraic/differential equations and logical formula for motor system behavior⁽¹⁾.

1. はじめに

従来、モータの挙動は試作品を製作して評価していたが、開発期間の短縮や開発効率アップのために設計検討段階でモータ挙動を確認したいという要求が出てきた。

本稿では、揺動型モータと呼ばれるトルクモータを例に、実際に試作することなく挙動検討できるように、磁場CAE解析の静特性の算出結果を数学モデルに反映させて挙動解析を可能とした手法について概説する。

2. トルクモータ概要 (例：マグネットが平行着磁)

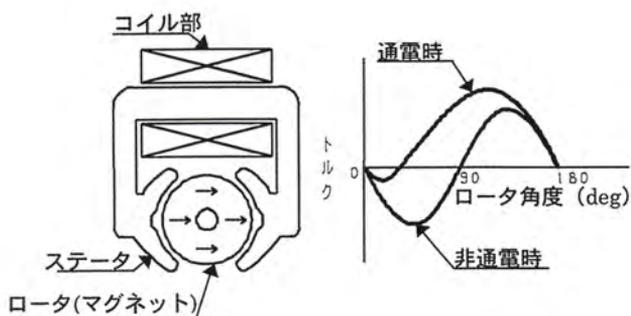


図1 トルクモータ形状

図2 トルク特性

トルクモータは、コイル部、ステータ部、マグネットの3要素で構成される。このモータは角度によって起磁力が一定であっても発生トルクが異なることが特徴である。

【トルクモータを使った当社製品例】



可変吸気バルブ

電子制御ディーゼルスロットルボデー

3. モータ設計法における数学モデルの役割

3.1 モータ設計フロー

モータの設計仕様を決定する際に、磁場CAE解析と数学モデルをどのように活用しているかを以下に示す。

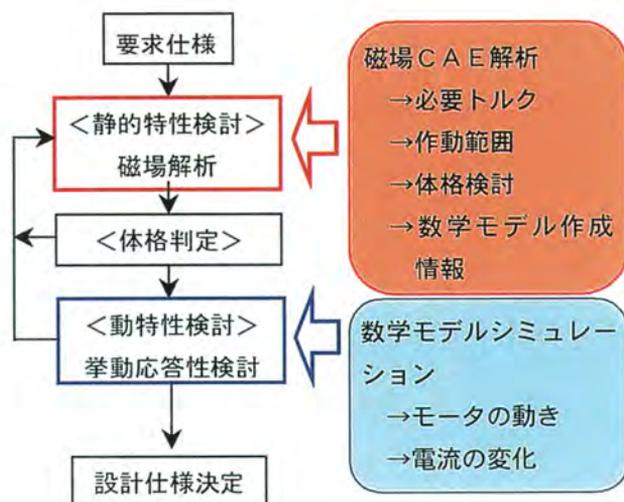


図3 設計検討フローチャート

本フローの中で、磁場CAE解析は静特性の把握、数学モデルは動特性の確認を行っている。

まず電流を考慮した必要トルク、作動範囲、体格等の静特性について、磁場CAEソフトを使い要求を満たす構成を見つけ出す。次に解析モデルから重量等大きさを計算し体格を確認判定する。そしてモータの挙動を見るために、モータの数学モデルに磁場解析結果などを代入して動特性である挙動応答性を確認する。以上の流れでモータ設計仕様が決まる。

本設計フローにおいて、各ステップで要求を満たさなければ構成部位を見直すしくみとなっており、このフローに従って作業を進めることで、挙動解析を含めた机上での仕様決定ができる。

3.2 トルクモータ数学モデル構築法

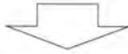
3.2.1 トルクモータの駆動概要

数学モデルの作成手順について示す。一般にモータはエネルギーの入出力の関係を数式化することで表現できる⁽²⁾。

モータが動く（回転）という動作をエネルギーの流れに着目すると、

まず

モータに電圧を印加するとコイルに電流が流れ磁束が発生し、ステータに磁束が流れる。



コイルの発生磁束とマグネット自身の磁束との合成磁束が、ステータとマグネット間の空間にトルクを発生させ、シャフトを回転させる。

ということになる。

上記の関係は、電気回路方程式、電気機械関係式、運動方程式を各要素で組み立てることで物理的に表現できる。

以下に、各要素を数学的に表現した関係を示す。

モータに印加される電圧は、コイル間の電位差とシャフト回転により発生する逆起電力とつりあう。

$$V_{in} = L \frac{d}{dt} i + R \cdot i + V_{re}$$

第1項：コイルのインダクタンス成分による電圧降下

第2項：コイルの抵抗成分による電圧降下

第3項：シャフト回転で発生する逆起電力

逆起電力 V_{re} は、下式で示される。

$$V_{re} = n \frac{d\Phi \{i(t), \theta(t)\}}{dt}$$

V_{in} ：コイル印加電圧 i ：コイル電流
 L ：コイルインダクタンス R ：コイル抵抗
 n ：コイル巻き数 Φ ：コイルの鎖交磁束
 θ ：シャフト回転角度 t ：時間

トルクはコイルに流れる電流に対応して発生する。

$$T_i = K_t \cdot i$$

T_i ：発生トルク K_t ：モータトルク定数

トルクの大きさは、マグネット回転位置で変化する。

$$T = T_i - T_d \quad T_d = K_d \cdot \theta$$

T ：シャフトを回転させるトルク

T_d ：シャフト位置補正トルク

K_d ：シャフト位置トルク補正係数

θ ：シャフト回転角度

トルクによってシャフトは回転する。

$$T = J \frac{d}{dt} \omega + D \cdot \omega \quad \theta = \int \omega dt$$

T ：シャフトを回転させるトルク

T_d ：シャフト位置補正トルク

K_d ：シャフト位置トルク補正係数

θ ：シャフト回転角度

3.2.2 数学モデル構築

数学モデルは3.2.1で示した各関係式をエネルギーの流れに従って連結することにより得られる。連結法はブロック図にて展開すると分かりやすく、図4の構成となる。

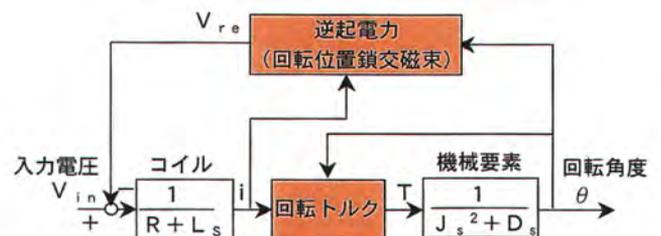


図4 ブロック図

なお、ブロック図の 部に磁場CAE解析結果を用いることにより非線形モデルの表現となる。

本モデルは

- ・回転トルクブロックにトルク特性（図5）
- ・逆起電力ブロックに鎖交磁束（図6）のCAE解析結果を用いている。

3.2.3 磁場CAE結果

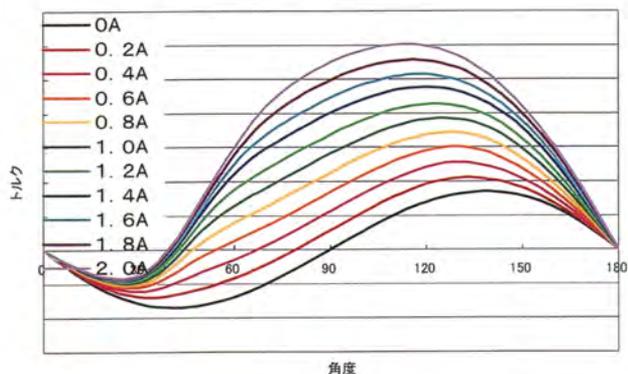


図5 電流値による回転角とトルクT

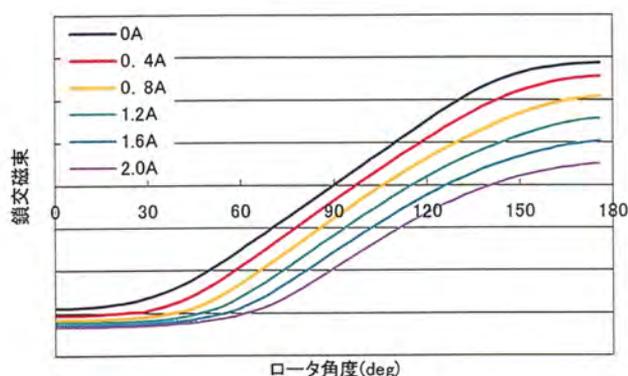


図6 電流値による回転角と鎖交磁束Φ

今回、数学モデルによるシミュレーションにMATLABを使用した。ブロック図に磁場CAE解析結果を入れた数学モデルは図7のようになる。

- Aブロック：励磁コイルターン数 n
- Bブロック：磁場CAE結果から求める鎖交磁束 Φ
- Cブロック：励磁コイルの抵抗 R 、インダクタンス L
- Dブロック：磁場CAE結果から求める励磁電流とシャフト回転角で決まるトルク T
- Eブロック：機械要素(慣性モーメント J 、粘性係数 D)
- Fブロック：モータ印加電圧 V_{in}

このMATLABモデルによって机上でモータ挙動を確認できる。

4. 数学モデルによるシミュレーション結果

4.1 シミュレーション内容

図8に示すトルクモータにおいて、DC12V印加時のステップ応答のシミュレーションを行った。

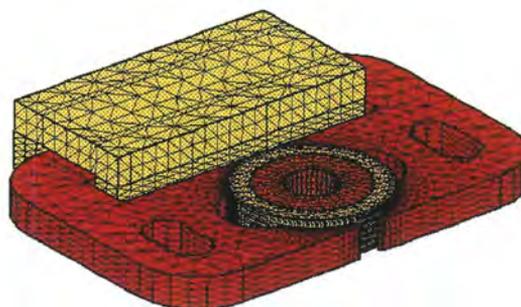


図8 トルクモータ形状(磁場CAE解析モデル)
(対称性を考慮した1/2モデルメッシュ図)

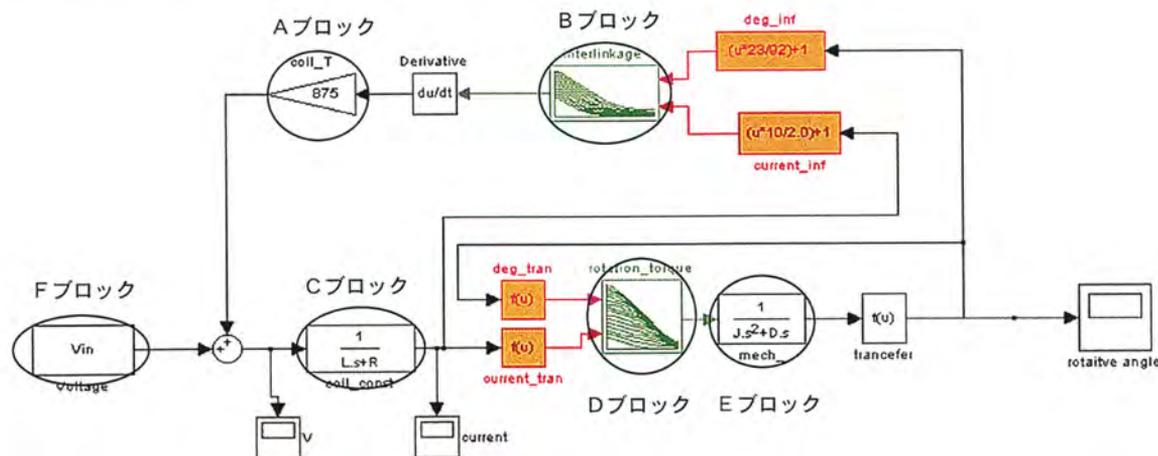


図7 MATLABモデル

4.2 シミュレーション結果

図9, 10にシミュレーション結果と実験結果との比較を示す。

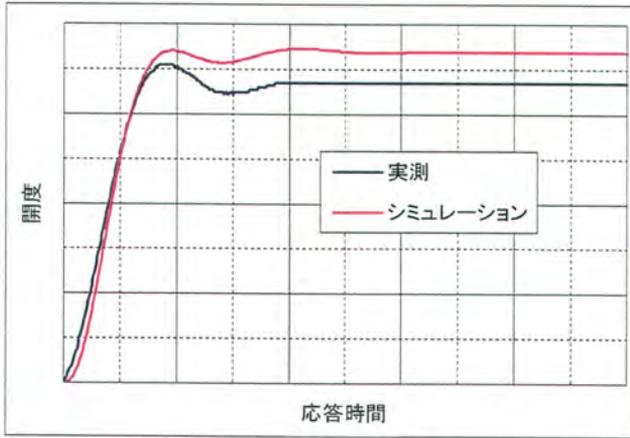


図9 モータ回転角挙動

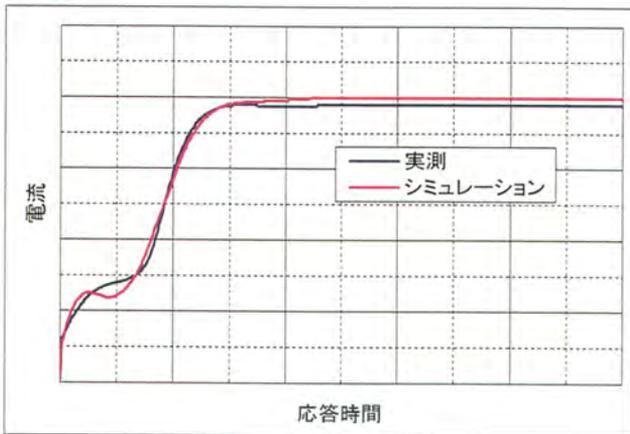


図10 モータコイルの電流挙動

モータ回転角挙動について

- ・実測と比較して、動き始めがやや遅い
- ・回転速度は実測と同じ
- ・オーバーシュートを再現している

モータコイル電流挙動について

- ・実測と比較して、0.01sec付近で逆起電力が大きく発生している
- ・過渡電流の傾向は再現している

以上、シミュレーション結果が実測とほぼ同じ挙動を示していることから、本数学モデル構成は実際の挙動を再現できるといえる。

5. まとめ

モータ特性に対し磁場CAE解析と数学モデルを用いて挙動解析ができるシミュレーション手法が構築できた。これにより、試作によらないモータ評価が可能となった。

〈参考文献〉

- (1)足立修一著：制御のためのシステム同定
東京電機大学出版局
- (2)見城尚志著：実験とシミュレーションで学ぶ
モータ制御 日刊工業新聞社

著者紹介

磯谷 覚

Satoru Isotani
(研究開発部)





キャニスター一体ポンプモジュールの開発

Development of Canister Integrated Fuel Pump Module

蟹江 進一

Shinichi Kanie



要旨

モジュール化は欧米自動車メーカーにて進んでいるが、近年日本においてもコスト低減及び付加価値追加の視点で注目されている。

今回、愛三の固有技術であるフューエルポンプモジュールとキャニスターを統合し、低コスト化やエンジンルームの省スペース化を図った世界初のキャニスター一体ポンプモジュールの開発内容を報告する。

Abstract

Modularization of automotive components are expanding in Western countries to expect cost reduction and creation of new added values. Aisan developed the world's first canister-integrated-pump-module, which is integrated fuel pump module and canister as our unique technologies, to achieve the cost reduction and the installation flexibility. The following describes the development details.

1. はじめに

ポンプモジュールとは燃料ポンプ・燃料フィルタ・プレッシャレギュレータ等を一体化したモジュール製品であるが、お客様に更なる利便性を提供するために、より高度なモジュール化を考えている。

当社は、ポンプを始めとする燃料系製品とキャニスタを初めとするエバポ系製品を有しており、この2つの製品を組み合わせることにより、車両工場でのキャニスタ組付け工数削減、キャニスタ取り付けブラケット等の部品点数低減による低システムコスト化やキャニスタ取り付けスペースの削減等のメリットをお客様に提供することが可能と考えた。

2. 当社のポンプモジュールの変遷

当社のポンプモジュールは1998年にマツダ殿向けに量産を開始した。当初のポンプモジュールは鉄タンク用の吊下げ式と呼ばれる物であり、燃料ポンプ・燃料フィルタ・サクシオンフィルタ・プレッシャレギュレータ・タンク内圧制御弁を一体化したものであった。

近年はタンクの樹脂化に伴い、従来燃料タンクに取り付けていた燃料を一時的に溜めておくリザーブカップをポンプモジュールと一体化したカップ付きタイプも2001年より量産を開始している。

また、二輪用システムに対応するため、燃料ポンプとサクシオンフィルタ、プレッシャレギュレータ、センダゲージのみを備え、簡素化したポンプモジュールを2002年より量産開始している。

表1 モジュールの変遷

年度	'98	'99	'00	'01	'02	'03	'04
吊下げ式							
カップ付き							
二輪用							

3. キャニスター一体化のメリット

3.1 システムの変更内容

従来の燃料供給システム及びエバポ系システムと開発品のシステムを図1、図2に示す。

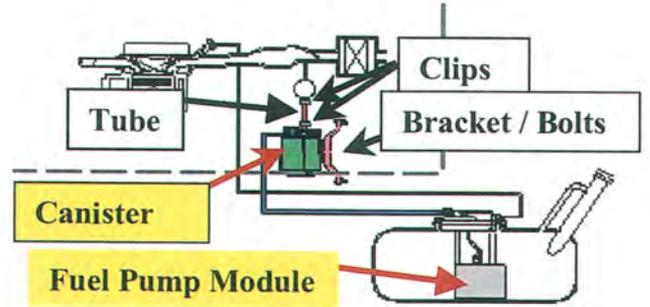


図1 従来の燃料供給とエバポシステム

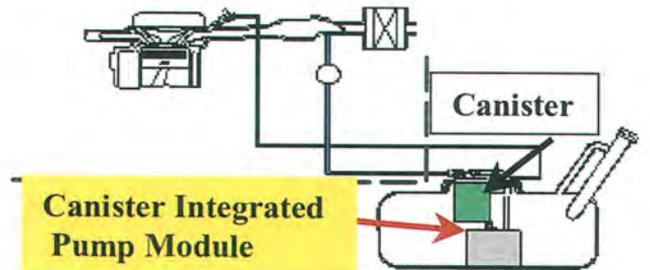


図2 開発品の燃料供給とエバポシステム

従来のシステムでは、燃料タンクより発生したガソリンベーパーを配管にてエンジンルームに取り付けたキャニスタへ導入し、一旦吸着させ、エンジン負圧によりベーパーをエンジンに導き（パージ）、燃焼させていた。

開発品においては、燃料タンクにて発生したガソリンベーパーを燃料タンク内に設置したポンプモジュールと一体にしたキャニスタに導入し、一旦吸着させ、エンジンに導いている。

3.2 開発品のメリット

3.2.1 コストと質量の低減

キャニスタをポンプモジュールと一体化したことにより、キャニスタをエンジンルームに取り付けるブラケットや燃料タンクからキャニスタへ導くホース及びクリップが廃止でき、コストと質量の低減が可能となった。

また、車両工場でのキャニスタ組付け工程の廃止や従来2製品を運んでいた物流費の低減もできた。

3.2.2 エンジンルームスペースの低減

エンジンルームにキャニスタがなくなったため、工数がかかるエンジンへの搭載検討が省略でき、またエンジンルームの省スペース化が可能となった。

3.2.3 安全性

衝突時に変形を受け難いタンク内に入れたため、衝突時のキャニスタの変形に対するロバスト性が向上した。

4. キャニスタ一体化の課題と対応

4.1 キャニスタのリア搭載による通気抵抗の増加

従来のシステムに比べ、キャニスタからエンジンへ導くパージ配管が長くなり、通気抵抗が増加してキャニスタの脱離性能の低下が予測されるため、影響について確認を行なった。

市販小型車をモデルに現状パージ配管とリア搭載を想定したパージ配管で流量の影響を確認した。

測定装置及び条件を図3、測定結果を図4に示す。

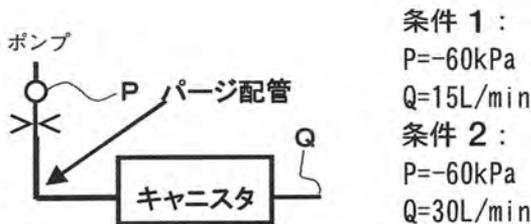


図3 測定条件

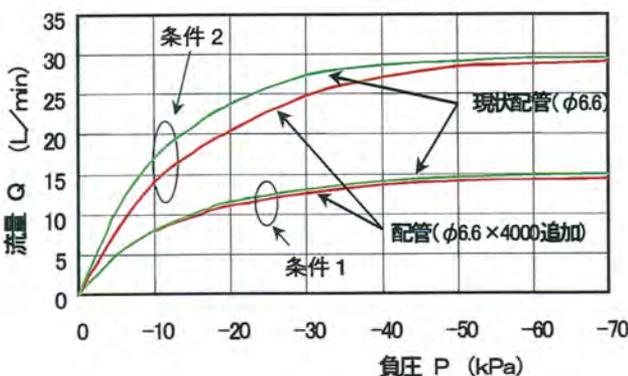


図4 流量測定結果

結果は、-60kPaあれば脱離性能への影響はほとんどなく車両適合可能な範囲であることが確認できた。

4.2 雰囲気温度のキャニスタ脱離性能への影響

キャニスタがエンジンルームよりタンク内へ搭載が変更されることにより、雰囲気温度が低下するため脱離性能への影響を確認する。

測定条件を図5、測定結果を図6に示す。

結果は、雰囲気温度の影響により若干脱離量に影響はあるが、市販小型車での走行モード（11M×1回、10・15M×3回）での測温結果では、エンジンルーム：40℃、インタンク：30℃と10℃低下するものの、脱離性能への影響はないと判断できる。

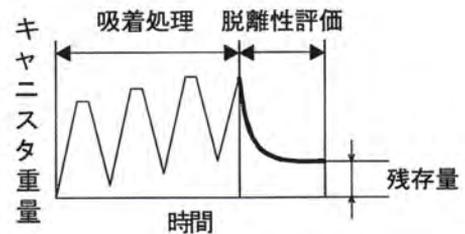


図5 測定条件

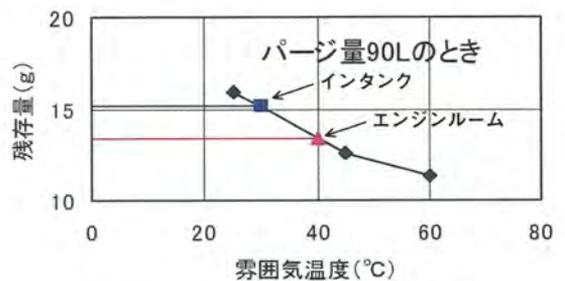


図6 雰囲気温度とベーパー残存量

4.3 ベーパー吸着時の発熱による影響

キャニスタにベーパーが吸着される際に発生する熱量の影響を確認する。

調査は吸着時の発生熱量が全て燃料を加熱するエネルギーに変換されるとして計算を実施した。

表2 吸着熱による影響調査

ガソリン量	ガソリン温度上昇量	ベーパー発生増加量	活性炭の増加必要量
22L	0.2℃	0.5 g @DBL	10mL

結果はペーパー発生量が増加し、それによる活性炭の必要量として10mLの増加が必要となるが、現行の活性炭量0.7Lの吸脱性能の余裕で吸収できる。

4.4 搭載時の全高短縮化

キャニスタとポンプモジュールを一体化することによりモジュールの全高が高くなり、全高の低いタンクへの搭載ができなくなる。そのため、今回はポンプモジュールユニット部とキャニスタ部を並列に配置するオフセット構造を採用することにより、全高短縮化を図った。

オフセット構造化によりタンク容量と使用可能となるポンプモジュールの全高の関係を図7に示す。65Lタンクまでであれば全高145mmまで短縮可能である。

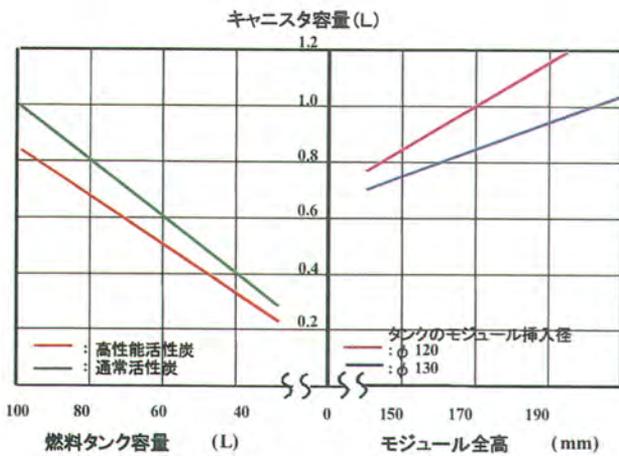


図7 タンク容量とモジュール全高

4.5 燃料タンクへの脱着性

オフセット構造を採用したことにより燃料タンクへのポンプモジュールの脱着性が悪化するため、オフセットしたキャニスタ下面とポンプモジュールユニット部上面に、タンク組み付けの時に横にずらせる隙間が出来る様な工夫が必要となる。図8にオフセット構造でのタンクへの組み付けの方法を表す。

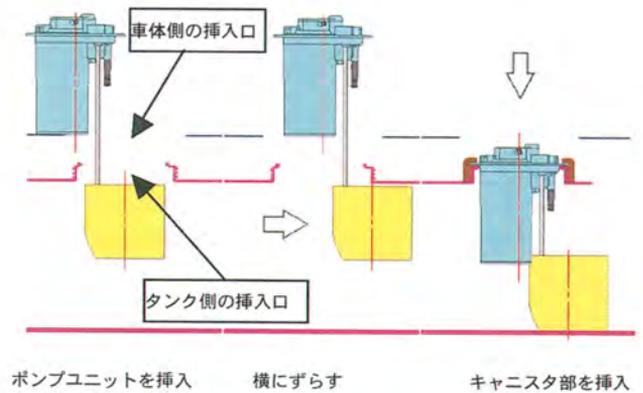
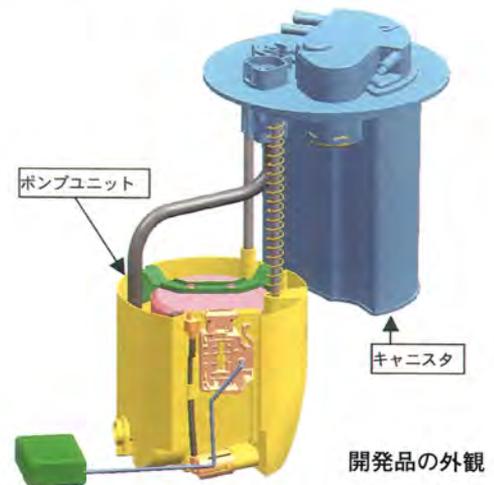


図8 モジュール組み付けイメージ

5. 開発まとめ

- (1)キャニスタをポンプモジュールに一体化し、燃料タンク中に入れることを可能とした。



開発品の外観

- (2)今後、更なる小型化を行い、扁平型の燃料タンクへの搭載を目指し開発を行っていく。

謝辞

本製品を開発するにあたり、トヨタ自動車株式会社殿をはじめとする関係各会社各位から多大なご協力とご支援を頂きましたことを、この紙面をお借りしてお礼申し上げます。

著者紹介

蟹江 進一

Shinichi Kanie

(第2 製品開発部)





樹脂スロットルボデーの開発

Development of Plastic Throttle Body

河井伸二

Shinji Kawai



要旨

軽量化（燃費向上）のためにエンジン部品が樹脂化されてきている。当社は2004年4月に国内サプライヤーとして初めて、樹脂スロットルボデーの生産を開始した。

樹脂化のための技術課題解決について、開発の概要を報告する。

Abstract

In order to meet the growing demand for better fuel efficiency products (weight-saving) at a lower cost, Aisan has become the first Japanese supplier to successfully produce a plastic throttle body. The following is a brief description of the plasticization process development.

1. はじめに

燃費向上のための軽量化と、部品サプライヤー間の価格競争の中で、当社でもスロットルボデーの樹脂化を検討してきた。

従来、機能部品としての要求性能を機械加工による寸法の精度で確保していたが、低コスト実現のためには機械加工を廃止し、樹脂成形精度だけで要求機能・性能を満足させることができるかどうか重要なカギとなる。

本報告では、樹脂化のための課題解決について述べる。

2. 樹脂スロットルボデー材料選定

スロットルボデーとして使用する樹脂材料の選定について下記に示す。

表1 要求項目からの材料比較表

材 料	フェノール	PEI	PPS
	熱硬化	熱可塑	
		非晶性	結晶性
要求項目			
耐 環 境 性	◎	○	◎
寸 法 精 度	○	◎	△
強 度	◎	○	◎
生 産 性	×	△	○
コ ス ト	○	×	○

表1に示す様に、PPS（ポリフェニレンサルファイド）が耐環境性と機械的強度に優れ、大きな背反項目もないことが分かる。

そこで、PPSの中で充填材の影響を加味し、寸法精度上最適なグレードの選定を行った。

各PPSグレードの詳細は表2に示す。

表2 PPSグレード一覧

記号	無機系充填材	狙い・特徴
A	ガラスファイバー + ガラスビーズ	ガラス異方性の低減
B	ガラスファイバー + ガラスフレーク	ガラス異方性の低減
C	ガラスファイバー + エラストマー	ポリマーの低減
D	ガラスファイバー	一般材

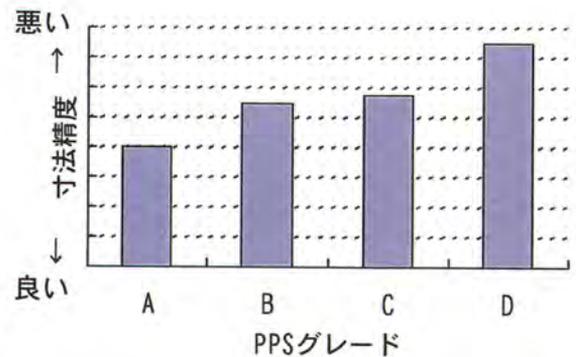


図1 PPSグレードによる精度比較

図1はPPSの各グレードをスロットルボデー試作金型にて射出成形し、ボア部真円度を比較したものである。

本結果から材料はAの、PPSのガラスファイバー+ガラスビーズ充填グレードが寸法精度上優位であることが判明し、本グレードを選定した。

3. 樹脂スロットルボデーとしての課題

スロットルボデーに求められる重要な特性として、全閉空気量の少ないことがあげられる。エンジンのアイドル回転数に直結するスロットルバルブ全閉時の空気量の要求値は、アイドル回転数低下にともない、ますます小さな値になってきている。

樹脂スロットルボデーの全閉空気量を低減するための課題はつぎのとおりである。

①スロットルボア真円度の向上

全閉空気量を要求値以下にするためには、ボデーのボア真円度を向上する必要がある。

従来のアルミ製では、機械加工によって真円度を確保してきた。

樹脂スロットルボデーにおいては、先に述べた成形精度の良い材料を用いたとしても、要求値を容易に満足することはできない。

そこで各種解析を行い、ボア部と周辺部の肉厚バランスの最適化を図った。その結果を図2に示す。

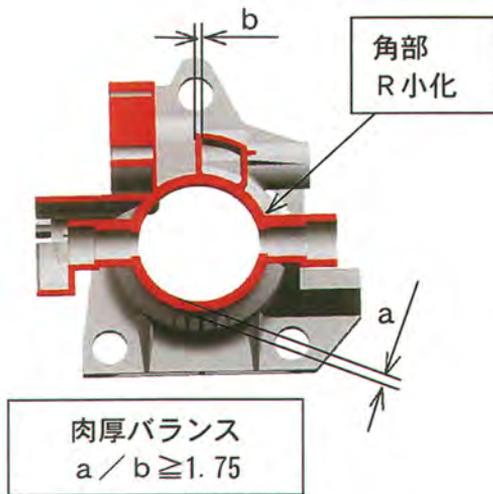


図2 ボア周りの均肉化形状

ボア部肉厚に対し周辺の肉厚を小さくすることで、成形後の収縮による影響の低減と全閉空気量低減の目処をつけることができた。

②エンジン組付け時の変形量低減

次に、静的な状態だけでなく、エンジンへの搭載状態でのボア精度確保について検討した。

スロットルボデーは、エンジン搭載の際にインテークマニホールドに締結される。それぞれの取り付け面の平面度や、ガスケットの反発力などによる歪みが発生し、ボア部の変形が懸念される。

そこで組付けによる歪みをボア部に伝えない構造として、「拡管ボア」と称する管径を一樣としなない形状を考案した。本形状での応力・歪みの伝達状況をCAE解析した結果を図3に示す。

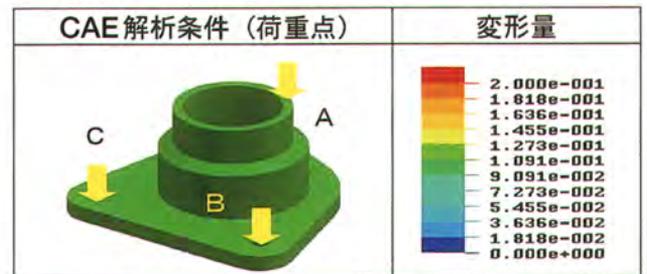
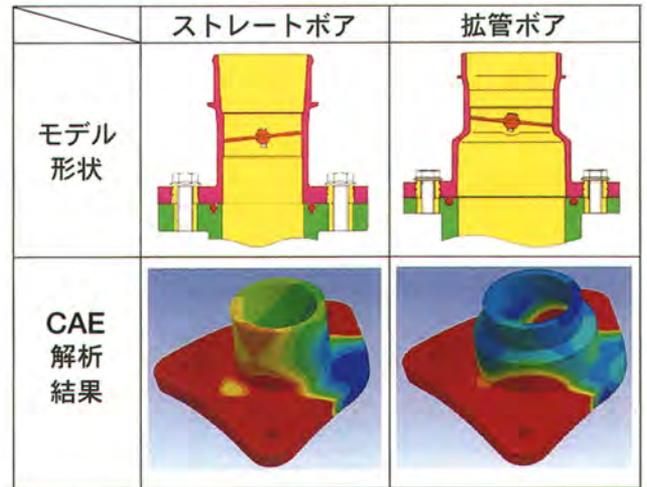


図3 ボア歪み解析

A～Cは、インテークマニホールドへの組付け時のボルト軸力であり、フランジを変形させる主要因となる。CAE解析結果に示すように、従来の「ストレートボア」に対し「拡管ボア」の場合は、拡管部の上にあるボア部の変形量が小さくフランジの変形が伝わらないことがわかる。

本モデル相当での実測結果を図4に示す。

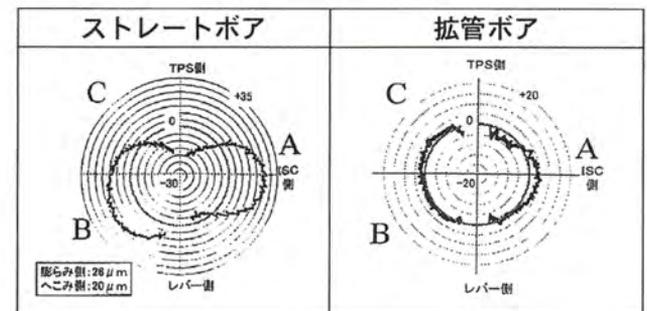


図4 ボア歪み実測結果

本実測結果からも、「拡管ボア」の効果が実証された。これらの形状を織り込むことで、樹脂スロットルボデーの課題である全閉空気量低減に目処をつけることができた。

4. 材料変更による課題と解決方策

従来のアルミ製では、走行中にブローバイ系統から流入するエンジンオイル中の水分によりスロットルボデー内部が氷結する場合（以降アイシングと称する）があり、温水加熱が必要であった。しかし、理論上は樹脂の方がアイシングに対して有利といわれているため、樹脂化にあたりその必要性について再検討した。

水がボデー表面に付いた時、一般的にアルミと樹脂では水の付着形状に違いがあり、これは材料自身が持つ表面エネルギーの差である。樹脂（PPS）の場合にはアルミの場合に対し接触角が大きく、約3.6分の1の接触面積となるため、引き剥がす力も同様に小さくなる。これらのモデルを図5に示す。

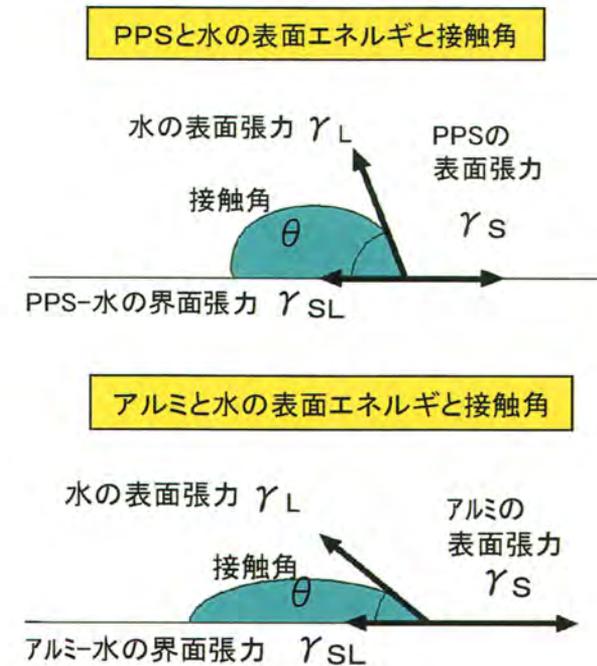


図5 材質による接触角の差

また、空気中の水分付着においても、同様のことが言える。ボデーと水の接触面積が小さいことで、熱伝導が悪くなる。すなわち水から熱エネルギーを奪い、氷結させるまでの時間が長くなることを意味する。また材料の違いにより、元々の熱伝導率が異なるため、さらに氷結までの時間に差が出る。

表3 熱量移動速度(Q)と熱伝導率(λ)

材料	Q kcal/sec	λ kcal/(sec·m·°C)
PPS	0.0018	60×10^{-6}
アルミ	1.5	50×10^{-3}

表3は、樹脂（PPS）とアルミの熱伝導率（ λ ）および、付着した水の温度：0℃、ボデーの温度：-30℃、ボデー肉厚：2mmの時に水の熱がボデーに奪われる速度（Q）を示す。この結果から、水の熱が奪われる速度（Q）は、樹脂（PPS）とアルミで約830倍の差があることが解る。これは、同一接触面積での比較であるので、実際は接触面積の差も加わり、結果的に氷結に至らず吸気流れに飛ばされてしまうと考えられる。

前述の樹脂化の優位性を検証するため、氷結によるスロットルバルブ固着に対する解除トルクの評価を実施し、その評価結果を図6に示す。

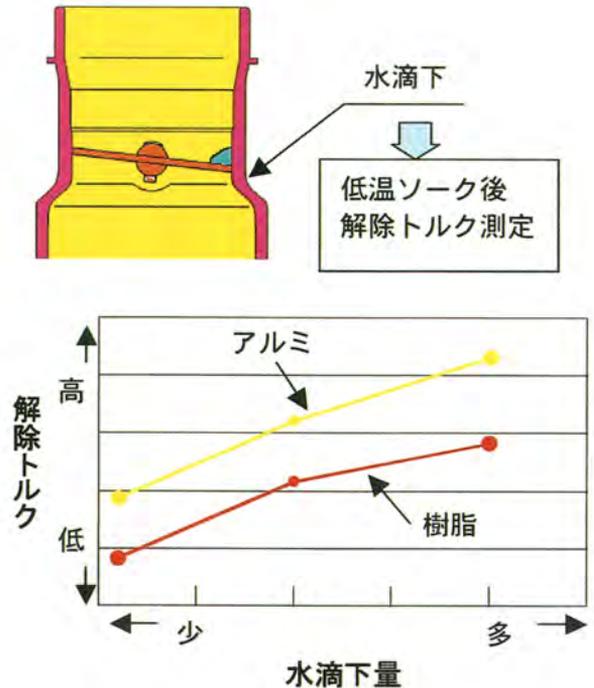


図6 単体氷結解除トルク結果

この様に、当初設計検討した結果同様、ボデーの樹脂化の優位性が確認出来た。

そこで、樹脂スロットルボデーでの実車評価として、寒冷地走行評価等、種々のアイシング評価を実施し、アイシングが無いことを確認できたの

で、加熱用温水通路を廃止できた。

5. アイドルスピードコントロールバルブ

今回の樹脂製スロットルボデーに合わせて、軽量・ローコストなアイドルスピードコントロールバルブを開発した。

特徴としては、部品点数を削減し、樹脂モールド構造による小型で軽量のステッピングモータ式とした。



図7 アイドルスピードコントロールバルブ

6. まとめ

本開発により、国内サプライヤーとして初めて樹脂スロットルボデーの生産を開始することができ、以下の知見を得た。

- (1)樹脂ボデー成形歪みを低減するための肉厚最適値を見出した。
- (2)外部応力に対し、精度が必要なスロットルボア部の変形を抑える形状を確立した。

また、開発品は従来品に比べ質量を34%低減することができ、加熱用温水通路の廃止によるシステムでのコストダウンが可能となった。

謝辞

本製品を開発するにあたり、トヨタ自動車株式会社殿、ダイハツ工業株式会社殿から多大なご協力とご支援を頂きましたことを、この紙面をお借りしてお礼申し上げます。

著者紹介

河井 伸二
Shinji Kawai
(第1製品開発部)





密閉タンクシステム用封鎖弁の開発

Development of Sealing Valve for Fuel Vapor-containment System

田 下 広 和

Hirokazu Tashita

要旨

低パージ車両に対応した世界初の新タンクシステム用封鎖弁を開発した。封鎖弁は、電磁弁と、今回開発したメカ弁で構成される。

新しいシステムでのメカ弁要求値を明確にし、トヨタ自動車株殿と共同で、それに合った弁諸元を決定し、ダイアフラム用コーティングを開発することで高気密性（シール性）と耐固着性という相反する性能の両立を可能とした。

Abstract

Using an electromagnetic valve and newly developed mechanical valve, Aisan successfully developed the world's first sealing valve for a new tank system introduced in the low purge vehicles.

Working with Toyota, Aisan defined the required value for mechanical valve in new system, determined the valve specifications and developed the coating for the diaphragm. This allows contradictory performances in high-sealability and bonding resistance.

1. はじめに

北米において大気汚染を防止する為に2004年以降エバポエミッションに対する規制が一層強化された。また市場では、環境にやさしい燃費効率の優れたハイブリッド車への人気が高まって来ている。

そこで、パーズ量が少ないハイブリッド車でもそのエバポ規制に対応可能なハイブリッド車専用の新タンクシステムが開発された。

今回、このシステム用封鎖弁に使われるメカ弁の開発について紹介する。

2. メカ弁機能と要求仕様

新システムは、駐車中にタンクを密閉させることで、タンクからの発生エバポを大気中に放出しないシステムである。封鎖弁は、電磁弁と今回開発したメカ弁で構成され、燃料タンクとキャニスタ間に搭載されており、その通路を遮断する役割がある。

そのため、メカ弁要求性能は、タンク想定圧力内での高シール性と、想定圧力外時のタンク保護を目的とした圧力リリーフとなる。表1に要求仕様と開発目標値、図1にメカ弁要求流量特性を示す。

表1 主な要求仕様と開発目標値

要求仕様	開発目標値
タンク密閉	メカ弁シール性： 0.5mL/min以下@-P _{S1} , P _{S2} ボデー気密性： 0.5mL/min以下@-P _{R1} , P _{R2}
タンク保護	メカ弁開弁流量： 5.5L/min以上@-P _{R1} , P _{R2} 最大開弁圧（固着許容圧） 正圧側：P _{R2} 負圧側：-P _{R1}
耐温度性	機能保証温度 -30~80℃ 保存温度 -40~100℃
信頼性	15年15万マイル保証

(-P_{S1}, P_{S2}, -P_{R1}, P_{R2}については図1参照)

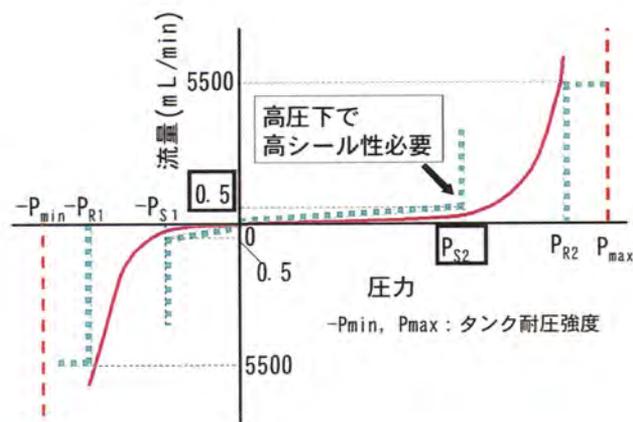


図1 メカ弁要求流量特性

3. 類似品とのシール性能比較及びバルブ構造

類似品では開弁点前でも圧力印加と同時に漏れが発生するため、シール性の規格を満足しない。そこでシール面を密着させてシール性の向上を狙う手段があるが、その背反として固着が起きてしまうため、相反する特性を両立する必要がある。

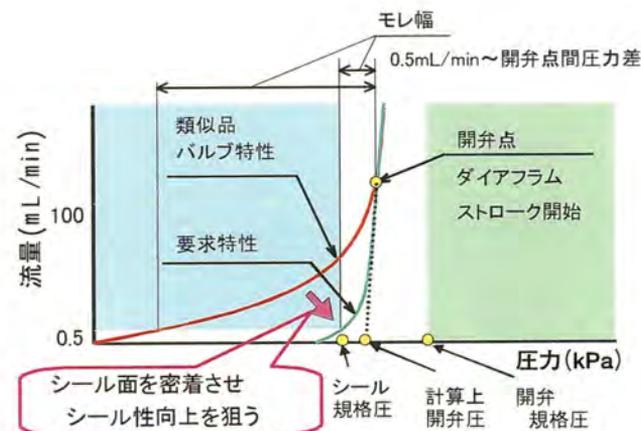


図2 類似品とのシール性能比較

ここで、モレ規格値（流量）から開弁点までの圧力差をモレ幅と称し、シール性能の目安とする。図3にバルブ構造を示す。

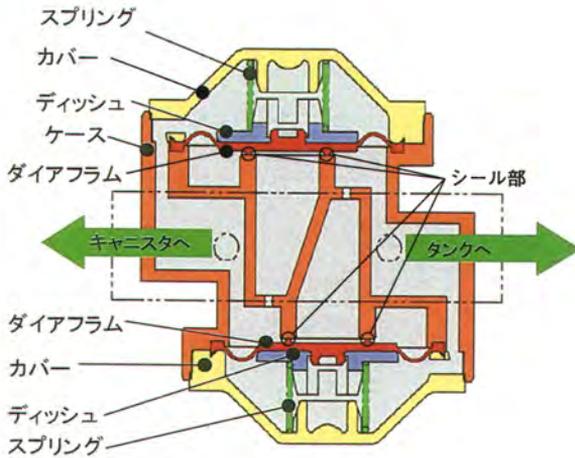


図3 バルブ構造

4. ダイアフラムの開発

シール性と耐固着性の両立でキーポイントになるダイアフラムの開発について説明する。

4.1 コーティング材

シール性と耐固着性の両立を考慮し、表面化学処理とテフロンコーティングに絞込み仕様検討した結果、テフロンコーティングDを採用した。(図4, 5)

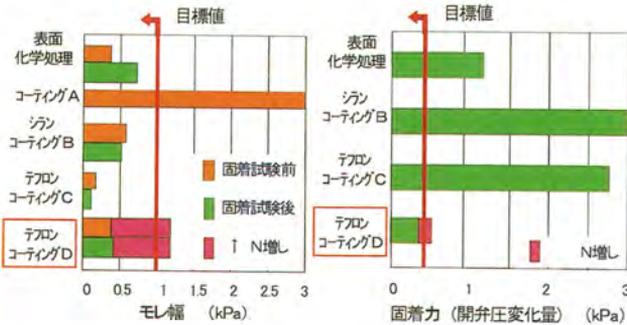


図4 各諸元毎のモレ幅

図5 各諸元毎の固着力

n 増し評価結果では、モレ幅、固着力ともバラツキが大きく目標値を満足することが出来ないため、その向上検討を実施した。ここで、耐固着性は、固着試験前後の開弁圧の差を固着力として評価した。

4.2 シール性向上

(1) コーティング液塗布方法

シール部全体を同時に塗布する方法から、部分的に塗布しダイヤフラムを回転させる方法で、シール部全周の塗布量を均一にした。

(2) ダイアフラムシール部形状

改良前は、耐久後のシール性を重視してシール部へたり後の面幅が変わらない角形を採用していた。しかし、角形はシール面が凹凸になっており、初期シール性が劣る事が分かった。そこで、丸形シール形状として対策した。(表2)

この丸形での懸案項目である耐久後の面幅変化によるシール性能低下においても、コーティング面がなじむことで性能低下が起こらない事を確認済である。

表2 シール部形状

改良後(調査結果) ◎:優れる ○:良い △:やや劣る ×:劣る

項目	シール部形状	
	角形:面シール	丸形:線シール
形状		
初期シール性	× (シール面凹凸)	◎
耐久後シール性	△	◎

(3) 改良品のシール性

図6に膜厚バラツキとシール性の関係を示す。膜厚バラツキとはシール部の最小膜厚部位と最大膜厚部位の膜厚差とする。膜厚バラツキ20 μ m以下で目標値を満足する。

図7では改良前後の膜厚バラツキを示す。改良後で、膜厚バラツキが10 μ m程度になり、シール性を確保することができた。

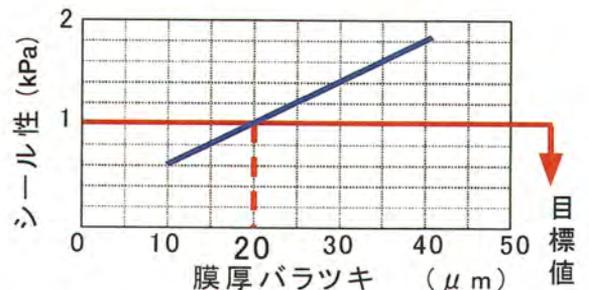


図6 膜厚バラツキとシール性

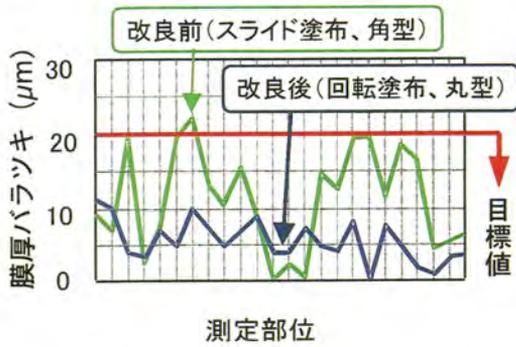


図7 改良前後の膜厚バラツキ

(3)改良品の固着力

図9に改良品の固着力を示す。焼成条件とコーティング液の改良により固着力は、0.1kPa以下にすることができた。

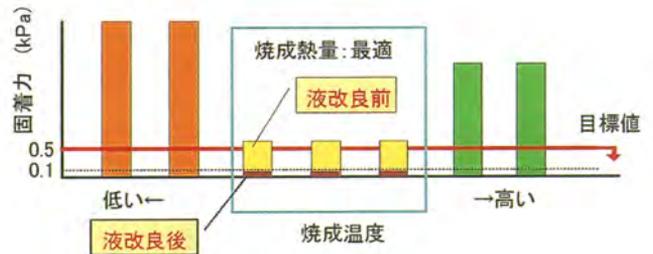


図9 改良品の固着力

4.3 耐固着性向上

耐固着性は、テフロンコーティング表層のフッ素樹脂層で発揮される。以下このフッ素樹脂層について説明する。

(1)フッ素樹脂層形成メカニズム

コーティング液塗布後、液中にはフッ素ゴム、フッ素樹脂、加硫剤、水分の4成分が混在する。焼成することで表層にフッ素樹脂層、その下に樹脂・ゴム混在層が、さらに下にゴム層が形成される。この焼成条件が、樹脂層形成に大きく影響を与える。

(2)焼成条件とコーティング層の状況

図8に、焼成条件とコーティング層の状況を示す。焼成温度が低いと、混在層の樹脂が未溶解のため焼成時間に関係なく、表層樹脂層を形成しない。また、焼成熱量大(長時間、高温下)では表層樹脂が凝集してしまい固着を引き起こす。最適焼成熱量では、樹脂層が表層を覆い耐固着性を確保する。

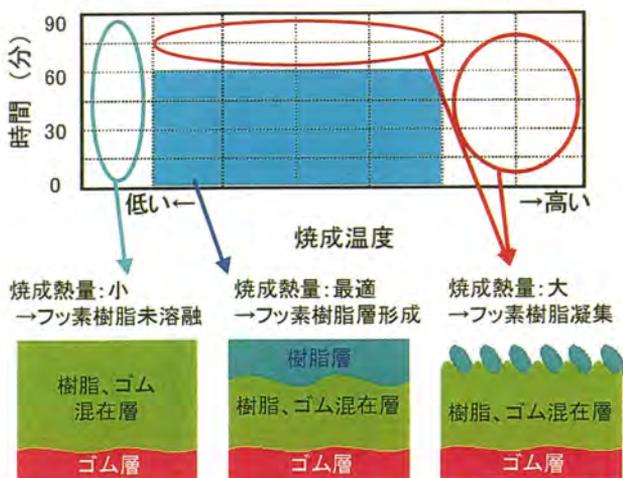


図8 焼成条件とコーティング層の状況

5. 設計諸元まとめ

耐固着性及びシール性の設計諸元についてまとめた。(表3)

表3 耐固着性及びシール性設計諸元まとめ

5性能/狙い	項目	メカ弁諸元
高温時特性ズレ低減 /有効径変化低減	ダイアフラム膜部	膜部 膜幅縮小
高温時特性ズレ低減 /高温時ディッシュ 変形防止	ディッシュ材質	アルミ
低温時特性ズレ低減 /ゴム硬化低減透過 性/透過防止	ダイアフラム材質	FKM (GLT)
作動時の音低減 /圧力脈動低減	通路絞り有無・絞 り径	有り
開弁時の音低減 /打撃音低減	ディッシュとカバ ー接触部	ストッパー部4 箇所のみ接触 (接触面積小)
バルブ性能(高圧力 化対応) /ダイアフラム膜変 形防止	ダイアフラム膜厚	膜厚増加

ダイアフラム以外の改良は、スプリング荷重が垂直かつ均一に掛る様考慮して、スプリング荷重位置、諸元見直しと、ディッシュとのガタ低減で圧入固定とした。また、表4の主な所では、高温時の特性ズレ低減の為にダイアフラム膜形状とディッシュ材質の見直し、作動音低減の為に、通路絞り追加等の改良が織り込まれている。

表4 その他設計諸元まとめ

狙い	項目	メカ諸元	
耐固着	非粘着	ダイアフラムシール面	テフロンコーティング
	コーティング密着性	ダイアフラム材質	FKB (GLT)
シール性	シール面粗度向上	シール面コーティング方法	製品回転、ノズル固定
	シール面うねり防止	ダイアフラムシール面形状	丸形
	ダイアフラム傾き防止	スプリング荷重位置	シール面直上
	スプリングすわり性向上	スプリングL/D	L/D 2以下
	スプリング荷重均一化	スプリングp/D	P/D 0.4以下
	スプリング傾き防止	スプリング-ディッシュ取付	内径ガイド圧入

6. 要求仕様に対する開発状況

最後に、開発状況結果を表5示す。各項目とも要求値を満足することが出来た。

また、バルブ特性を図10に示す。

バルブ特性は、初期バラツキ $\pm 4\sigma$ 、低温時のズレ、耐久劣化によるズレ、高温時ズレを含めても要求値を満足する。

表5 主要要求仕様に対する開発状況まとめ

要求仕様	開発目標値	結果
タンク密閉	メカ弁シール性： 0.5mL/min以下@-P _{S1} , P _{S2} ボデー気密性： 0.5mL/min以下@-P _{R1} , P _{R2}	○
タンク保護	メカ弁開弁流量： 5.5L/min以上@-P _{R1} , P _{R2} 最大開弁圧（固着許容圧） 正圧側：P _{R2} 負圧側：-P _{R1}	○
耐温度性	機能保証温度 -30~80℃ 保存温度 -40~100℃	○
信頼性	15年15万マイル保証	○

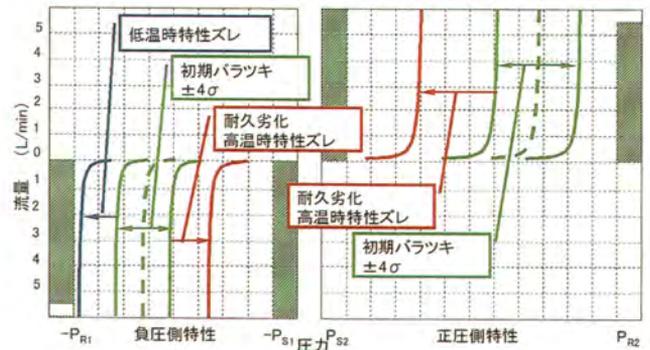


図10 バルブ特性

7. まとめ

トヨタ自動車株式会社と共同で、メカ弁諸元を決定し、ダイアフラム用コーティングを開発することで、高气密性（シール性）と耐固着性という相反する性能の両立を可能とした。

- (1)塗布方法、シール部形状の改良で膜厚バラツキを低減しシール性を確保する事が出来た。
- (2)コーティング表層のフッ素樹脂層形成メカニズムと固着原因を明確にし、焼成条件とコーティング液の改良により未加硫ゴム量低減を図り、耐固着性を確保する事が出来た。

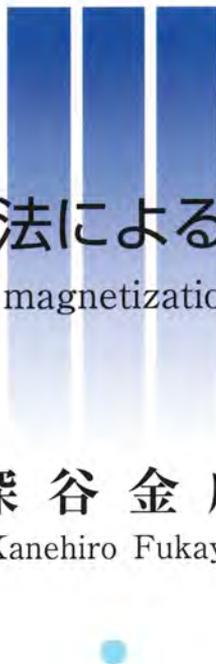
謝辞

本製品の検討に、多大なご協力とご支援を頂きました。トヨタ自動車株式会社および株式会社豊田中央研究所殿に対し、この紙面をお借りして、お礼申し上げます。

著者紹介

田下 広和
Hirokazu Tashita
(第2製品開発部)





プラズマ浸炭法による非磁性化技術

The Technology of Non-magnetization by Plasma Carburizing

大久保 友 弘

Tomohiro Okubo

深 谷 金 広

Kanehiro Fukaya

加 藤 幸 範

Yukinori Kato

要旨

プラズマ浸炭法を用いることで、磁性材の一部を部分的に非磁性化し、従来に比べて低コストで小型のインジェクタが可能となった。

ここでは、プラズマ浸炭法によって非磁性化する原理と、この技術を小型インジェクタへ適用した内容について報告する。

Abstract

We have successfully reduced costs and produced a downsized injector by using plasma carburization to attain partial non-magnetization of the magnetic material. The following is a brief description of the principles on non-magnetization by plasma carburization and the non-magnetization process.

1. はじめに

従来のインジェクタは、磁性材のボデーとコアの間に非磁性材のリングを挟む3体構造で磁気回路を形成している。

この非磁性材のリングにあたる部分を部分的に非磁性化することで、ボデー部品が一体化でき、部品点数と工程数が削減できる。(図1)

そこで、インジェクタのコスト低減と小型化を実現するため、ボデー部品の一体化が可能な部分非磁性化技術の開発に着手した。

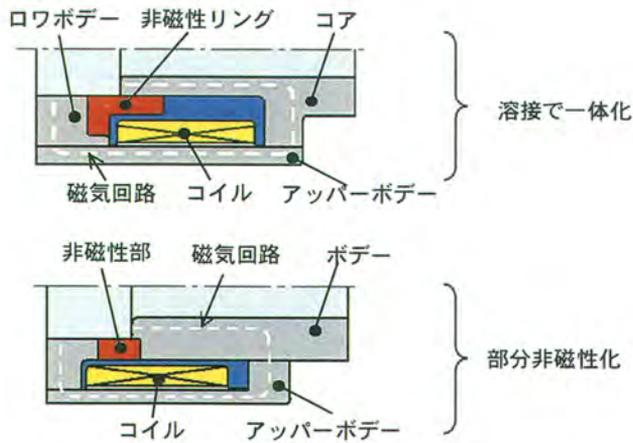


図1 従来品と開発品の磁気回路

2. 部分非磁性化の基礎検討

部分非磁性化方法は、表1に示すように、主に元素固溶法、合金化法、強加工法がある。合金化法は、レーザなどの熱源で非磁性元素を溶融させる為、寸法精度が悪く後加工が必要となる。強加工法は深絞り加工が可能な形状に限られ、部品点数は削減できない。

これらに対して、元素固溶法は元素レベルの固溶であるため、寸法精度が良く形状の制約もないので、1部品化が可能である。よって、部分非磁性化技術として、元素固溶法で検討を行った。

表1 非磁性化方法の特徴

項目	元素固溶法	合金化法 (肉盛り)	強加工法
工 法	窒素や炭素のプラズマ雰囲気 高温炉内	レーザ 非磁性元素供給	強加工 部分加熱による非磁性化
部品点数	○	○	× (2部品)
後加工の有無	○	×	○
部分非磁性化	○	○	○
総合評価	○	×	×

2.1 元素固溶法による部分非磁性化

元素固溶法による部分非磁性化技術には、プラズマを利用して部分的な処理が可能なイオン窒化法とプラズマ浸炭法がある。その比較結果を表2に示す。

イオン窒化法の原理は、窒素ガスの雰囲気中に電圧を印加して窒素ガスをイオン化する。イオン化した窒素は印加電圧によって被処理品にスパッタリングされ、固溶侵入する。

一方、プラズマ浸炭法は炭素イオンのスパッタリングとヒータによる外部熱源の両方で炭素が固溶侵入する。そのため、イオン窒化法よりも処理時間は短く、また、深い処理が可能なることから、イオン窒化法に比べて低透磁率を得ることができる。

以上の理由から、部分非磁性化技術として、プラズマ浸炭法を採用した。

表2 イオン窒化法とプラズマ浸炭法の比較

手 法	イオン窒化法	プラズマ浸炭法
原 理	真空炉 ガス 陽極 陰極 被処理品 スパッタリングにより窒化	真空炉 ガス ヒータ 陽極 陰極 被処理品 スパッタリングと外部熱により浸炭
部分処理	○	○
処理温度	○ (低い)	△ (高い)
処理時間	× (長い)	○ (短い)
処理深さ	× (浅い)	○ (深い)
非磁性化	△	○
総合評価	×	○

2.2 浸炭による非磁性化のメカニズム

(1) 浸炭による歪みの発生⁽¹⁾

鉄は常温では格子間が狭い体心立方格子であるため、炭素は鉄に0.022%しか固溶できない。

しかし、昇温によって面心立方格子に変態すると、格子間が拡大し最大2.11%の炭素が固溶可能となる。

プラズマ浸炭はこの現象を利用して、ヒータで被処理品を加熱し面心立方格子に変態させ、炭素を固溶侵入させる。固溶侵入した炭素によって、冷却過程の格子収縮（元の体心立方格子に変態）時に格子間に歪みが生じる。（図2）

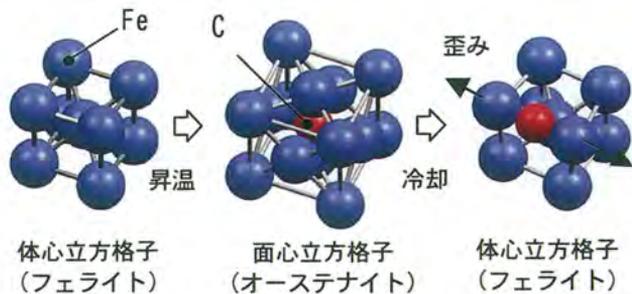


図2 結晶格子と炭素固溶による歪みの発生

(2) 歪みの発生による非磁性化⁽²⁾⁽³⁾

外部磁界が加わっていない時は、浸炭による歪みの有無に関わらず磁気モーメントの総和はゼロである。しかし、外部磁界が加わると、磁性材（浸炭されていない部位）に磁壁の移動が生じ、磁気モーメントの総和が増加する。更に、外部磁界が加わると磁気モーメントが飽和し、最後には外部磁界と同一方向に磁気モーメントが回転する。つまり、外部磁界が加わるとそれに伴い磁束密度が増加し、傾きである透磁率は大きくなる（磁化する）。（表3の生材）

一方、プラズマ浸炭によって歪みを生じた部位（浸炭処理材）は、外部磁界が加わってもこの歪みにより磁壁の移動が阻害され、磁気モーメントは増加しない。そのため、傾きである透磁率は小さくなり、非磁性化する（磁化しない）。

つまり、浸炭で生じた歪みの部位のみ非磁性化が可能となる。（表3の浸炭処理材）

表3 歪みの有無による外部磁界に伴う磁束密度

	B-Hの関係	外部磁界:H0	外部磁界:H1	外部磁界:H2	外部磁界:H3
生材	傾き透磁率(B/H) 磁束密度:B 外部磁界:H	磁壁 磁気モーメント	磁壁が移動	磁気モーメントが揃う	磁気モーメントが回転する
浸炭処理材	傾き透磁率(B/H) 磁束密度:B 外部磁界:H		歪みにより、磁壁の移動が阻害され、磁気モーメントが揃わない		

3. インジェクタへの適用

プラズマ浸炭法をインジェクタに適用するには、次の課題がある。一つはバルブを駆動できる磁気回路を形成すること。つまり、透磁率をある一定値以下にする必要がある。もう一つは、インジェクタの耐久性を確保するため、バルブ当接部の硬度をある一定値以上にすることである。

この課題を解決する方策として、透磁率の確保に対しては材質の選定、マスキング治具の検討、浸炭条件の最適化を行い、バルブ当接面硬度の確保に対しては、浸炭範囲の最適化を行った。

表4 設計要求値と課題

項目	検討課題
透磁率	① 材質の選定
	② マスキング治具の検討
	③ 浸炭条件の最適化
バルブ当接面硬度	浸炭範囲の最適化

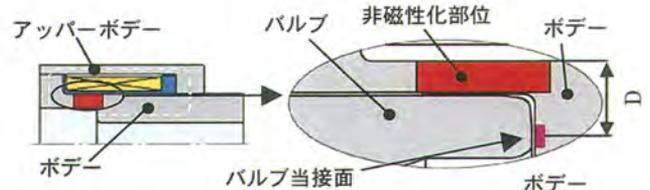


図3 非磁性化部位とバルブ当接面

4. 透磁率の検討

4.1 材質の選定

浸炭材質として、冷鍛と切削を前提に以下の3種類を選定した。

量産実績のあるA材、将来の環境に対応した鉛レスのB材、さらにCr含有量が少なく、浸炭性が良いと推測するC材である。(表5)

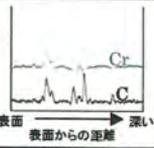
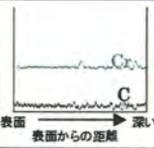
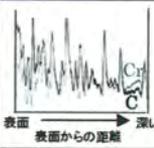
これら材質の浸炭結果は、C材が他の材質に比べ炭素の固溶率が高く、透磁率が最も低下した。この理由はC材のみCr含有量が13%以下であるため、炭素が固溶可能なオーステナイト領域が広域となるためである。

そこで、C材を選定し、Cr含有量を最適化してインジェクタのボデー材に採用した。

表5 浸炭材の主な特長

材 質	A 材	B 材	C 材
快 削 性	○	○	○
冷 鍛 性	○	○	○
環 境 対 応	×	○	○
材 料 費	○	○	△
浸 炭 性	△	△	○

表6 検討材の浸炭結果

材質	A材	B材	C材
C固溶率	△(中)	×(小)	○(大)
線分析 (EDX)			
透磁率	△(中)	×(大)	○(小)
評価	○	×	◎

4.2 プラズマ浸炭工程

プラズマ浸炭処理プロセスについて説明する。浸炭炉内はプレート治具を用いて3分割にし、そのプレート上にマスクング治具を設け製品を配置する。

工程は、真空引き→昇温→均熱後、Arガスと水素ガスにより、処理品の酸化膜を除去するクリーニングを行う。その後、プロパンガスと水素ガス

で製品を浸炭処理する。最後に窒素ガスで常温まで冷却して製品を排出する。(図4)

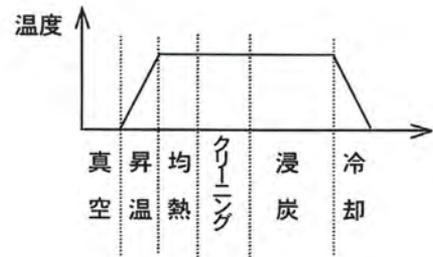


図4 工程フロー

4.3 マスキング治具の検討

製品を部分的に非磁性化するため、治具を用いて防炭処理を行う。このマスクング治具は製品とのクリアランスが狭いと接触して固着してしまう。

逆に、クリアランスが大きいとガスを巻き込み、防炭することが不可能となる。(図6)

そこで、ガスの巻き込み長さを一定値以下にするため、治具と製品のクリアランスを設定した。

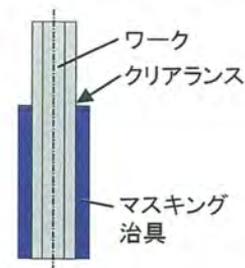


図5 治具の構成図

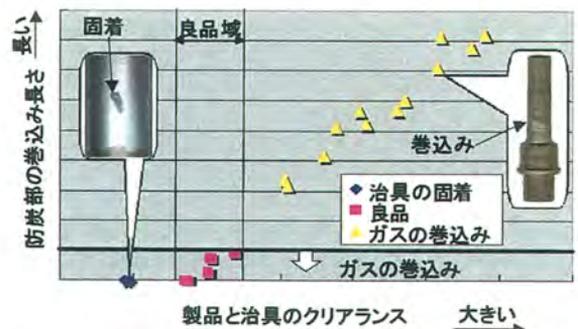


図6 治具のクリアランスと防炭の関係

4.4 浸炭条件の検討

各要因による透磁率の影響を調査する為、パラメータ設計を用いた。このときの検討因子と水準は表7のとおりである。また、誤差因子の水準は

炉内の上端と中央とし、パラメータの組合せ実験から炉内の位置で生じるバラツキを低減する。

表7 検討因子とその水準

因子	水準	
	1	2
A：炉内温度（処理温度）	低い	高い
B：ガスの比率（ガスの希釈率）	薄い	濃い
C：ガス流量	少ない	多い
D：放電電圧	高い	低い
E：クリーニング時間（酸化膜除去）	短い	長い
F：冷却圧力（冷却時間）	短い	高い
G：均熱時間（処理品温度）	短い	長い

この実験から、バラツキに影響する因子は『ガスの比率』と『冷却圧力』であった。(図7)

『ガスの比率』は、プロパンガスの比率を下げることでプロパンガスが希釈され、ガス濃度が均一化したためと思われる。

『冷却圧力』は、圧力が高いと処理品個々の冷却時間差が小さくなり、バラツキが低減したと考える。

また、透磁率（非磁性化）には『炉内温度』と『冷却圧力』が影響した。(図8)

これは、『炉内温度』が低く『冷却圧力』が高いと冷却時間が短くなり、浸炭で生じた歪みが保持され、透磁率が低下したためと考えられる。その逆に、磁気焼鈍など冷却時間が長い処理では、浸炭の歪みが開放され、透磁率が上昇する。

以上の試験から処理条件の最適組合せを見出し、確認テストの結果、透磁率の目標上限値以下にすることができた。

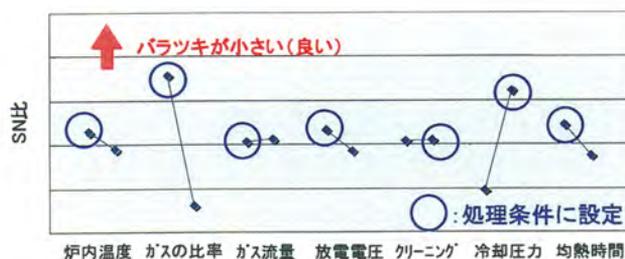


図7 バラツキ因子の検討

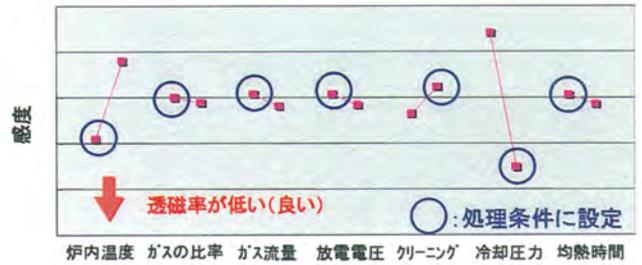


図8 透磁率の検討

5. バルブ当接面の硬化検討

5.1 浸炭処理品の硬化調査

今回のボデー部品の一体化により、従来の3体部品では可能であった硬質Crメッキをバルブ当接面に適用できず、耐久性を確保するには、新たに当接面の硬化処理が必要となった。

そこで、浸炭本来の特性である『硬化』に着目し、浸炭処理品の硬度分布を調査した。その結果、浸炭部位よりその近傍で著しく硬化していた。(図10)

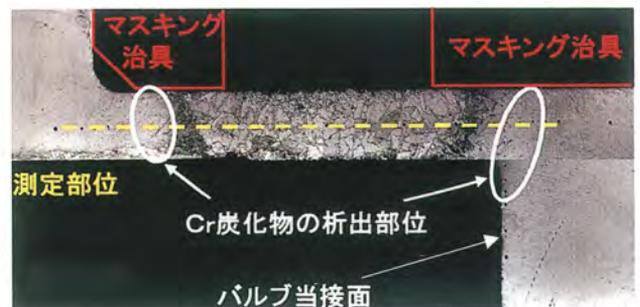


図9 浸炭部組織

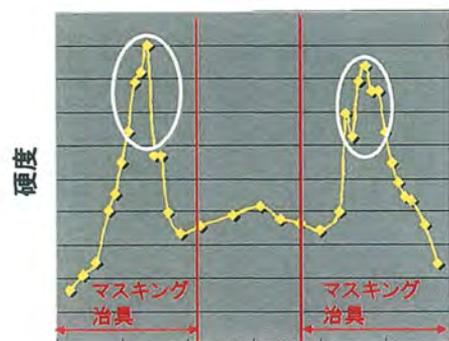


図10 浸炭部の硬度分布

この硬化調査の結果、処理材に含有するCrと浸炭による炭素が結合し、高硬度のCr炭化物 (Cr_7C_3 , $(\text{CrFe})_7\text{C}_3$) が析出して硬化することがわかった。

更に、過剰に浸炭される部位では、Cr炭化物の析出は組織の結晶粒界内ではなく、ほとんど粒界部で析出するため、粒界内部は軟化していた。

これらにより、Cr炭化物が結晶粒界内で析出し高硬度となる部位は、過剰に浸炭されない浸炭部近傍（炭素の拡散部）ではないかと考えた。

そこで、バルブの駆動が可能な磁気回路を維持しつつ、バルブ当接面を硬化できるように、Cr炭化物の析出部位を浸炭範囲の変更で検討した。

5.2 浸炭範囲の最適化

まずはじめに、バルブ当接面が過剰浸炭されないように、浸炭処理幅は小さく処理時間は短い条件の処理幅:L1, 浸炭時間:T1で実施した。しかし、炭素の拡散部が当接面まで達せず、目標硬度は達成できなかった。(図12①)

次に、処理幅をL1からL2に拡大することで炭素の拡散範囲を拡大し、硬度のピーク値を当接面側にシフトさせる試みを実施した。しかし、処理幅は拡大したが安定して硬度規格を満足することはできなかった。(図12②)

更に、浸炭時間をT1からT2に長くして、深さ方向に拡散範囲を拡大させた。その結果、更に硬度のピーク値を当接面側にシフトでき、安定して硬度規格を満足できるようになった。(図12③)

以上から処理幅と浸炭時間の管理により、プラズマ浸炭の一工法で、磁路を形成する部分非磁性化処理とバルブ当接面の硬化処理を可能とすることができた。

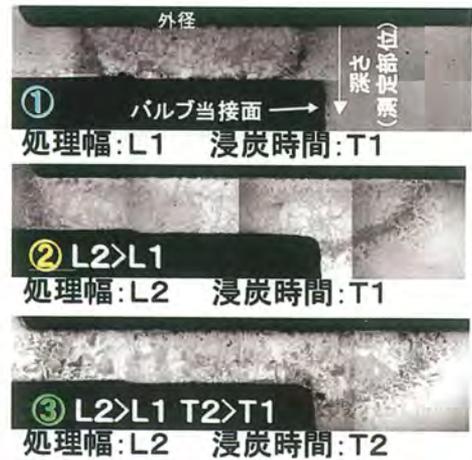


図11 浸炭範囲の拡大

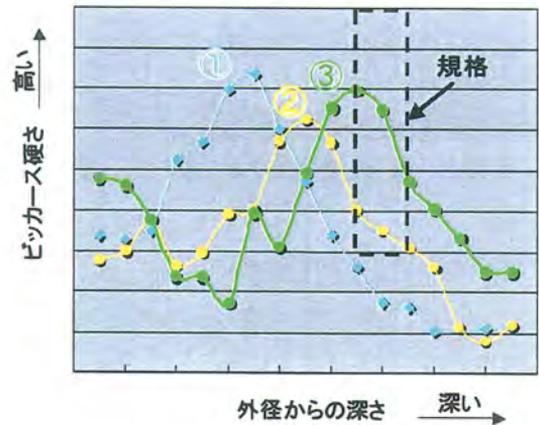


図12 浸炭範囲と硬度分布

6. 設計要求値に対する結果

設計要求項目と浸炭適用結果を表8に示す。プラズマ浸炭法により、部分非磁性化処理とバルブ当接面の硬化処理の両立が可能となった。

表8 設計要求値と結果

項目	透磁率	バルブ当接面硬度
結果	目標達成	目標達成
主な適用内容	<ul style="list-style-type: none"> 最適材の選定 治具諸元の最適化 浸炭条件の最適化 	プラズマ浸炭による硬化 ・浸炭処理幅:L2 ・浸炭時間:T2
評価	○	○

7. まとめ

- (1) プラズマ浸炭法により、従来3部品で構成されていたボデーを一体化できた。
- (2) 浸炭の硬化現象を利用してバルブ当接面硬度を確保し、従来のメッキ処理が廃止できた。
なお、この技術は2輪用の小型インジェクタに適用され、量産流動中である。

〈参考文献〉

- (1) 「金属材料学 第3版」 高橋昇, 浅田千秋 著
森北出版株式会社
- (2) 「磁性材料 選択のポイント」 太田恵造 著
日本規格協会
- (3) 「磁性体材料」 内山晋, 増田守男 著
コロナ社

著者紹介

大久保 友弘

Tomohiro Okubo
(生技開発部)



深谷 金広

Kanehiro Fukaya
(生技開発部)



加藤 幸範

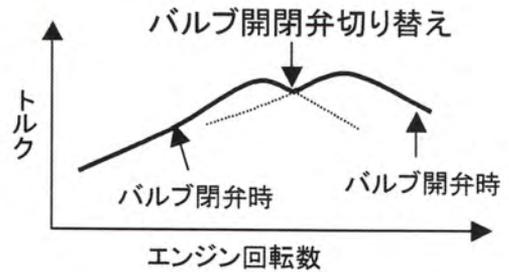
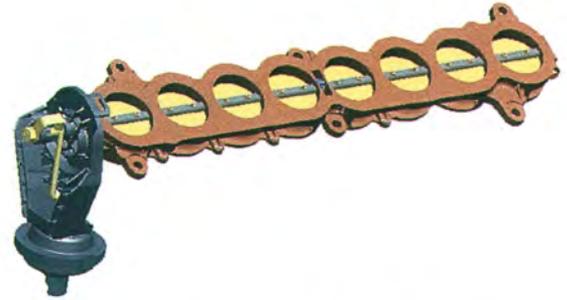
Yukinori Kato
(第2製品開発部)



可変吸気バルブ Intake Air Control Valve

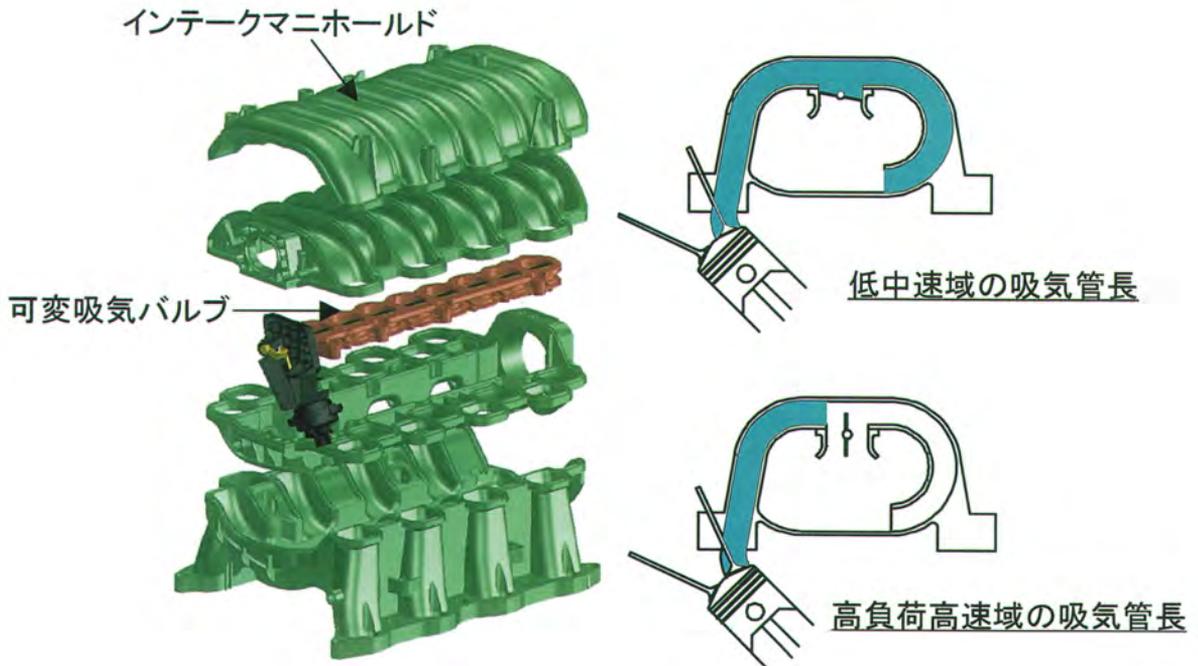
概要

V8エンジンの樹脂インテークマニホールド内に装着し、アクチュエータの作動によりバルブを開閉させ、吸気管長を切替えることにより、低速域から高速域まで全域の高出力化を図った。



主な特長

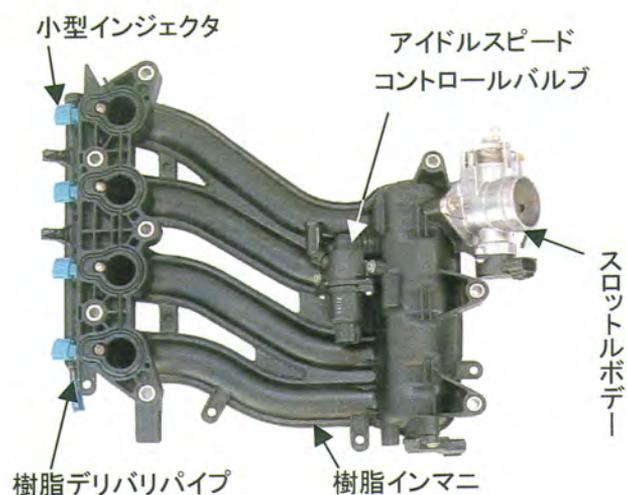
- ・V8エンジンの振動と吸気脈動に対してシャフトの振動を抑制して、高い信頼性と静粛性を確保



船外機用吸気モジュール Intake Module for Outboard Motor

●概要

船外機の吸気系とFIシステムを一体構成として、搭載性の向上を図った。

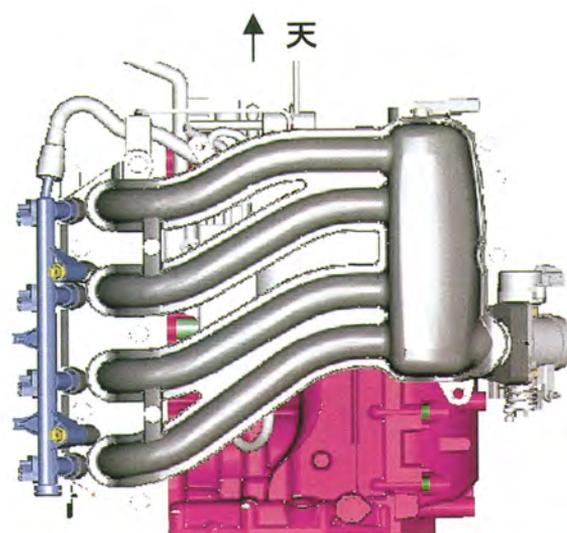


●主な特長

- ・樹脂インマニ、スロットルボデー、小型インジェクタ、樹脂デリバリパイプ、アイドルスピードコントロールバルブのモジュール化で、軽量化・コンパクト化を実現



船外機全体



搭載状態

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

概要

軽量のチタン材料を用いたエンジンバルブで、回転数の向上と低騒音を図った。



インテークチタンバルブ



エキゾーストチタンバルブ

主な特長（耐熱鋼バルブと比較）

- ・エンジン回転数10%アップによる高出力化
- ・低騒音 耐熱鋼比 3 dB減

		組成またはJIS規格	表面処理	重量(g)※
インテークバルブ	チタンバルブ	Ti-6Al-4V	酸化処理	18
	耐熱鋼バルブ	SUH11	タフトライド	30
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	13
	耐熱鋼バルブ	SUH35	タフトライド	22

※あるエンジンの場合

EGRクーラバイパスバルブ EGR Cooler by-pass Valve

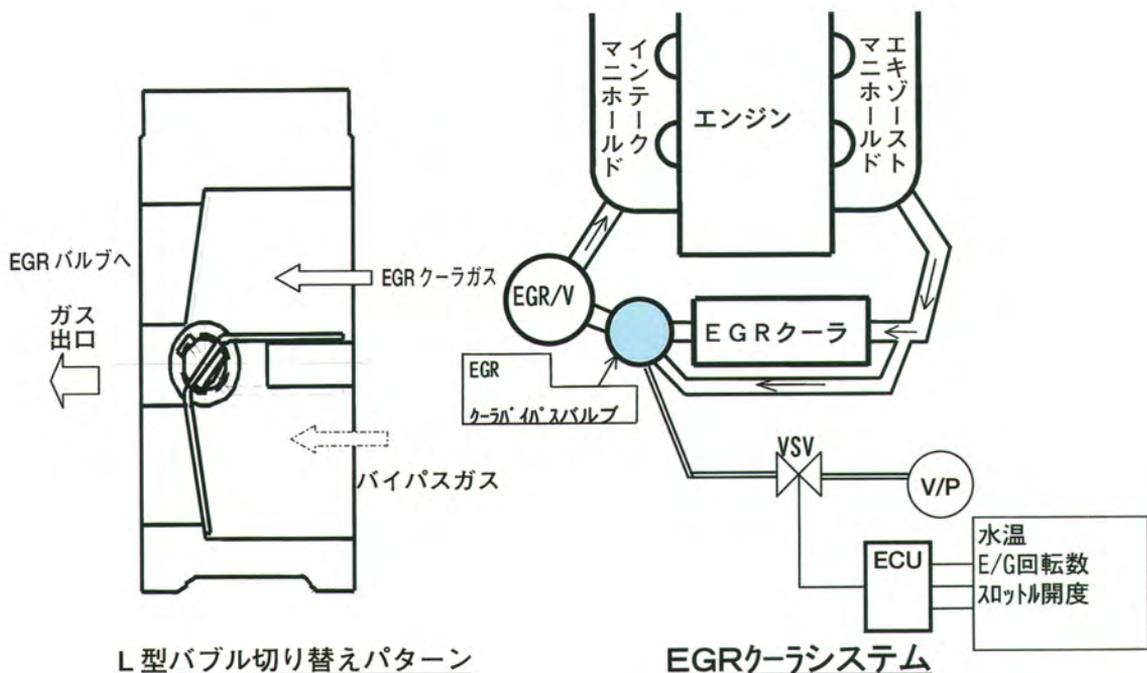
概要

クリーンディーゼル車用に冷間時はEGRクーラを通さずにホットなEGRガスを供給し、暖機後はEGRクーラを通したEGRガスを供給することで冷・温間性能の向上を図った。



主な特長

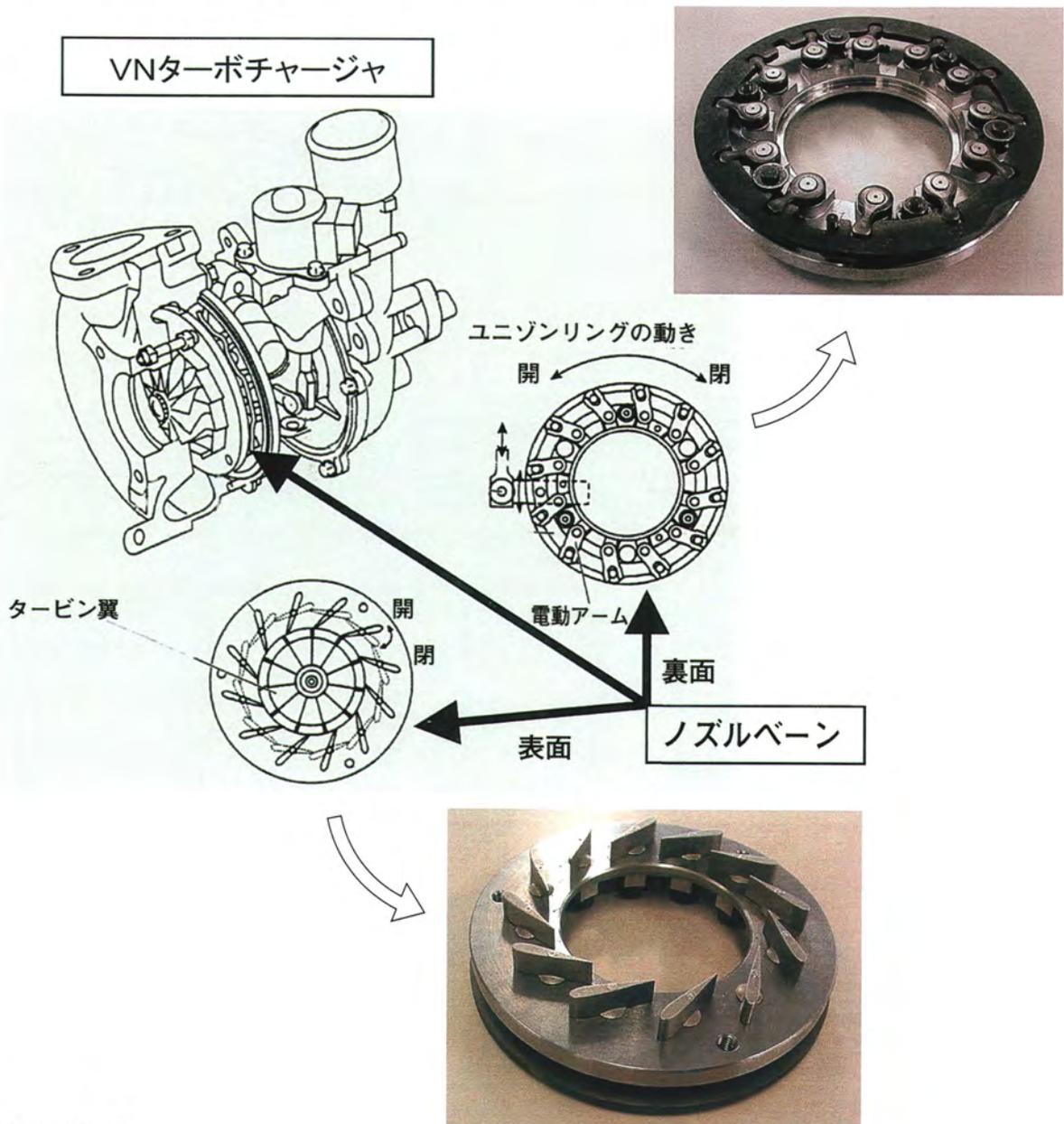
- ・ EGRガス環境下で生成されるデポジットの付着防止のため撥油コーティングを採用
- ・ 3方向切り替えバルブに愛三オリジナルのL型バルブを採用



ターボ用ノズルベーン Nozzle Vane for Turbo Charger

概要

ターボチャージャのタービン翼に流入する排気ガスの流速を可変制御して過給特性の向上を図った。



主な特長

- ・ 900℃排気ガス中での、抜群の信頼性を確保

ウェイトゲートアクチュエータとバルブ Waste Gate Actuator and Valve

●概要

- ・ターボチャージャに取り付け、エンジンへの過給圧力を一定に制御・調圧し、低速からのエンジントルク向上を図るとともに、エンジン寿命の向上を図った。

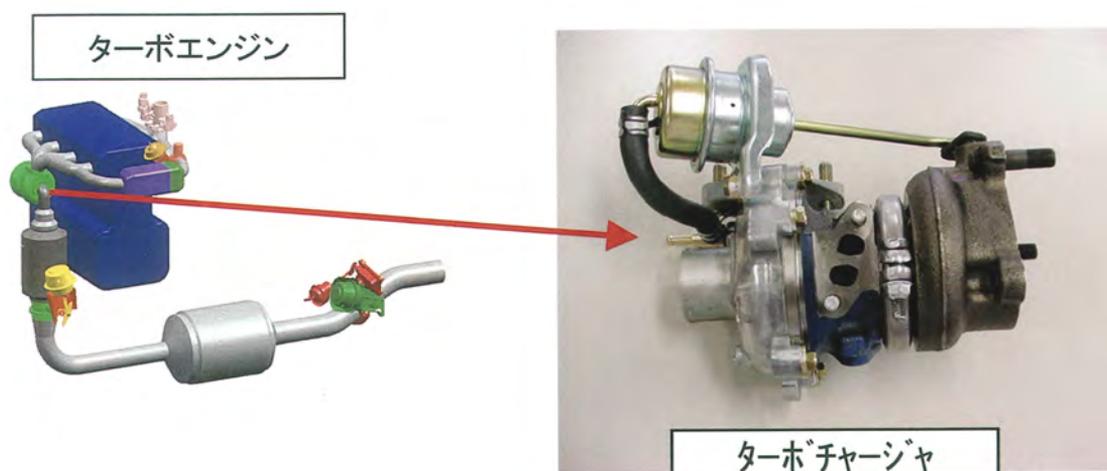


ウェイトゲートアクチュエータ

ウェイトゲートバルブ

●主な特長

- ・耐久性・応答性に優れるダイヤフラム式の調圧サーボ機構
- ・弁気密性に優れる耐熱鋼製のバルブ



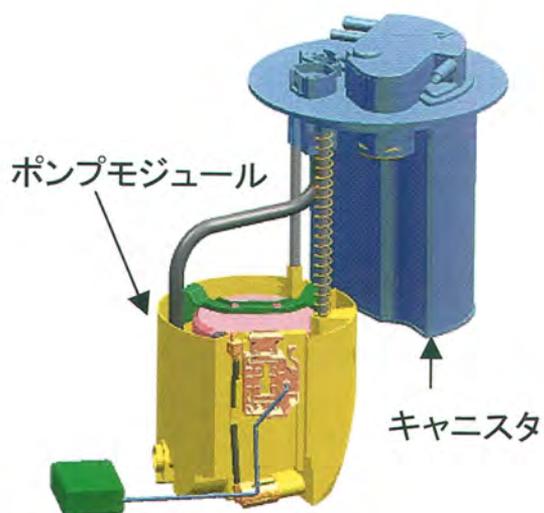
ターボエンジン

ターボチャージャ

キャニスター体ポンプモジュール Canister Integrated Fuel Pump Module

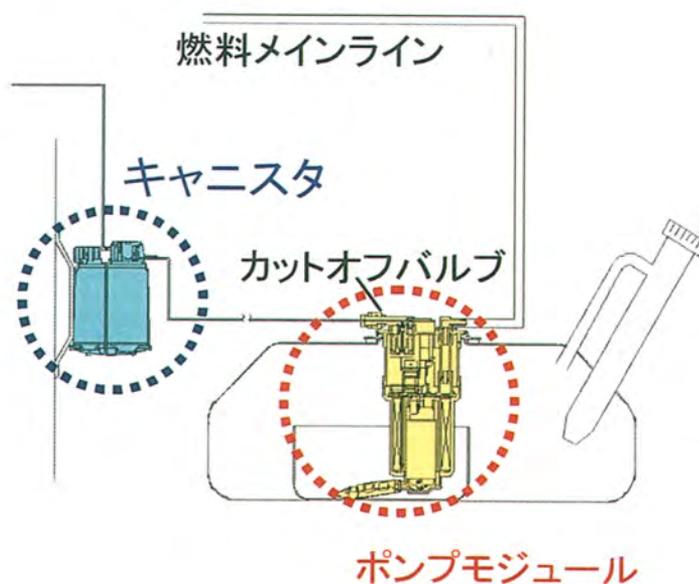
概要

従来エンジンルームに搭載されていたキャニスタとポンプモジュールを一体化し、燃料タンク内への装着を可能とすることでコスト低減、省スペースを図った。
(世界初)



主な特長

- ・キャニスタ装着用部品廃止等による車両システムコスト低減
- ・エンジンルーム内の省スペース化による車室空間の拡大
- ・キャニスタ破損に対する安全性向上



密閉タンクシステム用封鎖弁 Sealing Valve for Fuel Vapor-containment System

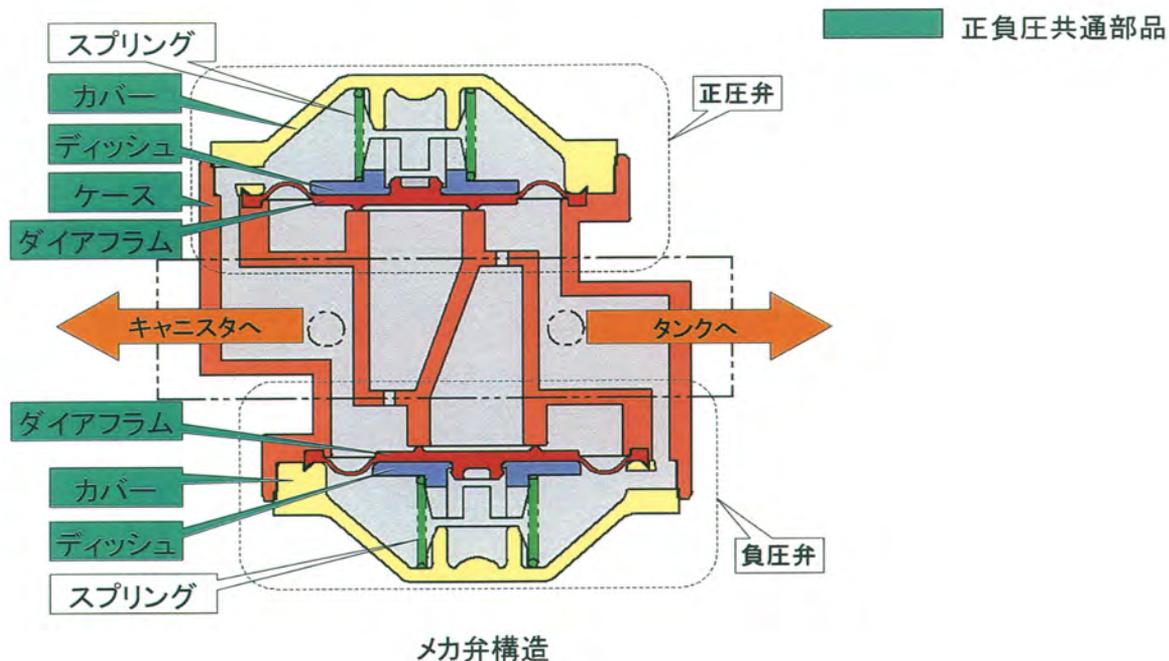
概要

通常はタンクの呼吸孔を密閉し、タンク内圧が規定値以上の正圧、負圧になった時にタンクの安全を確保するため呼吸孔を開く機能の実現を図った。



主な特長

- ・「密閉」するための高シール性と「圧力リリース」するための耐固着性を両立
- ・シンプルな構造，正負圧弁の部品共通化



編集委員

今村 兼雄 (取締役)	
渡邊 幸広 (研究開発部)	藤井 真一 (第2製品開発部)
鈴木 敏郎 (技術企画部)	大原 満 (技術企画部)
磯谷 寛 (研究開発部)	富永 忠良 (第1製品開発部)
高松 浩司 (第2製品開発部)	大川 直哉 (システム開発部)
浜田 幹生 (二輪事業部)	池谷 昌紀 (先行開発部)
岩瀬 悟 (生技開発部)	鈴木 良典 (生産技術部)
坂口 巖 (総務部)	

愛三技報 第3号 AISAN TECHNICAL JOURNAL No.3

禁無断転載 © 2005 AISAN INDUSTRY CO.,LTD.

発行 2005年6月3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 邊辺 幸広
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