

(1) 高効率低コスト新型 1.2L3 気筒エンジン

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4
奥平 総一郎 ^{*1}	頼實 浩一 ^{*2}	堀川 英知 [*]	武富 信夫 [*]

1. 概要

地球温暖化問題に対し CO₂ を削減しカーボンニュートラル社会を早急に実現することは世界共通の課題である。自動車の電動化による CO₂ 削減が進んでいるが、各国のエネルギー事情、経済進展度の影響により一様でなく、内燃機関の高効率化による CO₂ 排出低減が極めて重要である。一方で、高効率化はパワートレインの複雑化を招き、コスト上昇の要因となっている。今後は新興国中心に自動車需要増が予測され、CO₂ 低減には、高効率化とともにすぐれた経済性を伴っていただなければならない。受賞者は、それらを解決するため、内燃機関の主要素である、吸気、燃焼、噴霧、冷却の設計素性を最適化することでコストを抑制しながら燃費向上させたエンジン (図1) を開発した。



図1. 新開発エンジン(左: NA 右: HEV)

2. 技術の内容

2.1 エンジン諸元

新開発エンジンでは世の中のニーズに合わせ、環境性能、クラスを圧倒するトルク特性、Aセグメント車両に適したコンパクトなサイズを達成するため、1.2L 3気筒ロングストロークをキーコンセプトに、排気量や基本諸元を決定した。主要諸元を表1に示す。

表1. 主要諸元

	新開発 NAエンジン	新開発 HEVエンジン
気筒配置	直列3気筒	
ボア × ストローク [mm]	73.5 × 94.0	
排気量 [L]	1.196	
圧縮比	12.8	
ストローク/ボア 比	1.28	
燃料噴射	デュアルポートインジェクション	
最大出力 (kW/rpm)	64/6,000	60/5,600
最大トルク (Nm/rpm)	113/4,500	105/3200-5,200
エンジンW方向 (mm)	355	
エンジンH方向 (mm)	630	

2.2 吸気：高タンブルストレートポート

シリンダヘッドの動弁系レイアウトを見直し、バルブの挟角化と新開発 薄型バルブシートとの組み合わせで吸気ポート高さを下げ、吸気流を燃焼室へ真っすぐ導入する構造とした (図2)。吸気エネルギーロスを低減するストレートサイドフロー形状としタンブル比 (シリンダ内の縦旋回流と横旋回流の比) 30%向上を実現した。

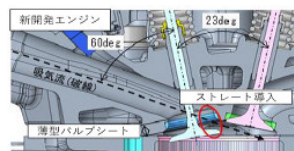


図2. ストレートポート形状

2.3 燃焼：コンパクト燃焼

バルブ挟角化により燃焼室をコンパクト化し、S/V (単位体積あたりの表面積比) を低減して冷却損失改善を行った。ピストン形状はバルブリセス廃止やフラットスキッシュにより、均質燃焼と従来エンジンに対して燃焼期間 25%短縮の高速燃焼を実現した (図3)。

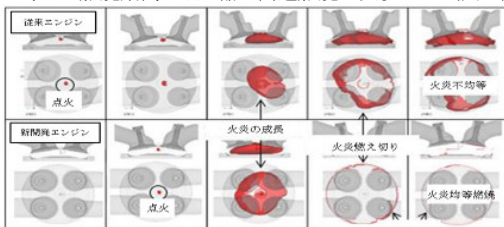


図3. 主燃焼期間における火炎成長比較

2.4 噴霧：デュアルポート低ペネトレーション噴霧

燃料噴霧は未燃損失低減と気化潜熱冷却によるノッキング抑制の両立が求められる。従来はバルブ開口部を狙い、筒内付着による未燃損失増加がみられた。新開発の低ペネトレーション噴霧では、ポート喉元を狙ったレイアウトとし、微粒化した噴霧を吸気流に載せて燃料導入することにより壁面付着量を 14%低減した (図4)。

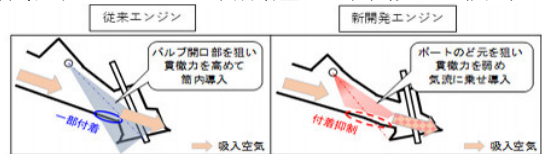


図4. 低ペネトレーション噴霧レイアウト

2.5 冷却：2系統冷却

エンジン冷機時の未燃損失改善と機械損失低減を狙い、2系統冷却システムをシリンダブロックに内蔵、エンジン全体の小型化と循環水量削減を実現した (図5)。常時流水通路は最短経路とし、エンジン早期暖気による未燃損失と機械損失低減できる構造とした。

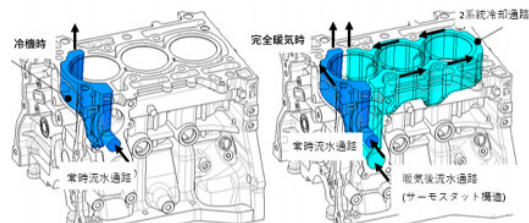


図5. 2系統冷却通路

2.6 体格：従来の 1.0 L 並みのレイアウト

シンプル・スリム・コンパクトの考えの基、ロングストロークによる小径ボア化でエンジン幅方向を短縮、ムービング系の軽量化でクランクカウンターウェイトを小型化して高さ方向を短縮した。これにより、Aセグメントに適した 1.0 L 並の体格としエンジン軽量化も実現した。

2.7 効率とコスト

上記技術を織り込むことで、従来エンジンに対してエンジン熱効率の大幅な高効率化を実現した (図6)。設計素性を最適化し、複雑な燃費デバイスを極力排除することにより、同熱効率エンジンに対して約 45%コスト低減を実現した (図7)。

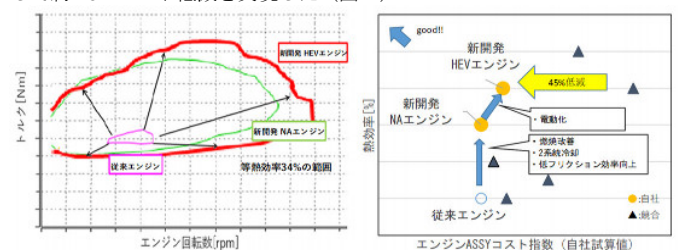


図6. 熱効率比較

図7. 熱効率とコスト指数

3. まとめ

本技術により、従来 1.0 L エンジンと同等サイズでありながら、高効率で経済性に優れた Aセグメント用 1.2 L エンジンの開発に成功した。このエンジンを搭載した車両は市場に広く普及し CO₂ 削減に貢献できた。

*1 特別員, ダイハツ工業(株) (〒563-8651 池田市ダイハツ町 1-1)

*2 ダイハツ工業(株) (〒563-8651 池田市ダイハツ町 1-1)

(2) 安全性と軽量化を追求した新幹線用新型台車の開発

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
金森 成志 ¹⁾	坂上 啓 ²⁾	足立 昌仁 ²⁾	大塚 智広 ³⁾	加藤 宏和 ³⁾

1. 概要

新幹線車両は大量高速輸送機関として、高速走行、大荷重、長距離という極めて高度な条件において、安全性、快適性、環境性能、メンテナンス性能を満足する必要がある。台車は一重系であり、構成部品の信頼性は安全面に直結する。数ある構成部品の中で、溶接により製造される台車枠、及び高速回転体である歯車装置の軸受の信頼性向上を第一に考えた。信頼性を向上させた台車枠及び歯車装置とともに、小型軽量化した駆動モーターを台車に搭載し、台車全体を軽量化している。台車枠は溶接を削減し、その構造の特徴を生かすことで側ばりを空気タンク化した。これにより、車体側の空気タンクを削減し、車両としての軽量化に寄与するとともに、台車枠き裂の有無を検査時に確認できる手法を確立した。歯車装置は新幹線の営業車では初めやまば歯車装置を搭載し、軸受には円筒コロを採用することで歯車装置の隙間調整作業を簡易化している。これら新技術の導入とあわせ、プレーキライニングは厚みを増加させ、また車軸軸受は寿命向上のための寸法拡大を行なっている。加えて、快適性向上のため、専用の電源装置を必要としない100Vでの駆動が可能な小型軽量フルアクティブ制振制御装置を開発し、車体の揺れを大幅に抑え、特にトンネル区間での揺れを半減した。図1に示す本技術は、N700S用台車として2020年7月から実用化している。

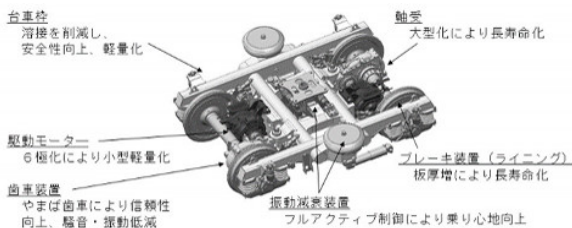


図1 新型台車の新技術について

2. 主要要素技術の内容

(1) 軽量台車枠

台車枠は側ばりと横ばりを主とした溶接構造体である。側ばりの構造をモノカ型からハット型に変更し、溶接線の削減と軽量化を図っている。モノカ型は、内部補強材により枠の剛性を保っている。新技術のハット型は、コの字型の部材を下板に溶接する構造を採用することで、強度が必要な箇所のみ下板を厚くして剛性を確保し、内部補強材を廃止した(図2)。

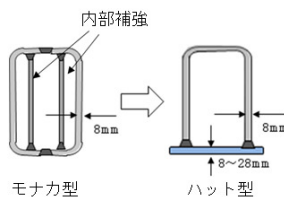


図2 側ばり構造の比較

側ばり中央部は空気タンクとして構成し(図3)、車上に設置していたタンクを削減している。

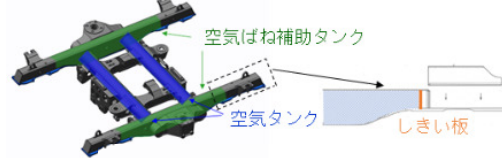


図3 台車枠内の空気タンク

(2) やまば歯車装置

従来のはずば歯車は、歯車回転時のトルクにより車軸方向へ力が発生しその力を軸受が受ける。新技術のやまば歯車装置は、はずば歯車を車軸方向に2枚向かい合わせて構成したもので、回転時に発生する車軸方向の力を打ち消し(図4)、軸受への負荷を低減させ軸受の長寿命化を実現した。また軸受には円筒コロを採用し、検修時の隙間調整を容易化している。

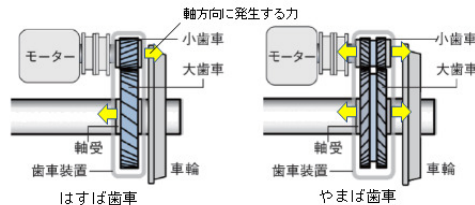


図4 歯車装置の比較

(3) 小型軽量6極駆動モーター

低損失、高耐熱のSiC素子を駆動システム(主変換装置)へ採用したことにより、新幹線で初めてモーターの極数を4極から6極に増やし、回転子・固定子の構造を見直すことで小型かつ軽量の駆動モーターを実現した(約△140kg/台車)。

(4) フルアクティブ制振制御装置

従来のセミアクティブ制振ダンパに交流100Vで動作可能な小型油圧ポンプモーターを組み込んで一体化したフルアクティブ制振制御装置を開発した。モーターは100Vで稼働する仕様とし、新たな電源装置や取付構成を要することなく、制振性能を大幅に向上した。

3. あとがき

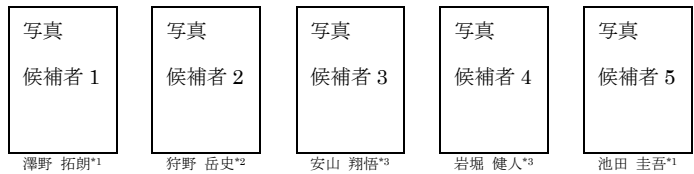
本技術は鉄道の安全・安定輸送、快適性を向上するものである。これにより鉄道のご利用を促進し、ビジネス・観光事業増加に伴う経済の活性化、及び脱炭素社会へ貢献することを期待する。

¹⁾ 東海旅客鉄道(株)(〒432-8037 静岡県浜松市中区南伊場1-1)

²⁾ 東海旅客鉄道(株)(〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)

³⁾ 東海旅客鉄道(株)(〒453-8520 愛知県名古屋市中村区名駅1-3-4)

(3) 車両遠隔制御無人搬送システム



1. 概要

Connected(コネクティッド), Autonomous/Automated(自動化), Shared(シェアリング), Electric(電動化)といった「CASE」と呼ばれる新しい領域で技術革新が進む中、クルマの概念は大きく変わろうとしている。また、近年足元では、国内労働人口の減少による人手不足が深刻化している。これらの背景から、生産性を飛躍的に向上できる新たなクルマづくりが求められている。

今回、車両工場において生産性の課題となっていた「車両搬送作業」の自動化に取り組んだ。CASE領域の技術を最大限活用し、量産車を無人で走行させる、車両遠隔制御無人搬送システム(Remote Control Auto Driving System: 以下RCDと記載)を開発。世界に先駆けて量産ラインに導入し、大幅な省人化を実現した(図1)。

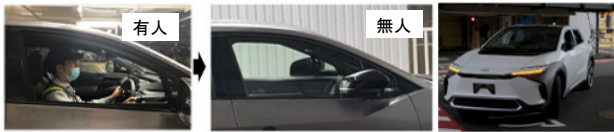


図1 RCDによる車両無人搬送の様子

2. 技術の内容

2.1 システム構成と制御概要

RCDは、運転操作における認知・判断・操作の機能を車外の制御システムが担い、車と無線通信することで自律走行搬送を行う(図2)。制御の流れを次に示す。①車両の位置推定は、インフラカメラによるセンシングで、リアルタイムに画像処理を行うことで実施する。②車両運動制御指示値は、制御システムが位置情報・目標経路・車両状態等から総合的に算出する。③無線通信で運動制御指示値を車両に伝達する。④車両は受信した運動制御指示値の通りに、パワートレインやステアリング、ブレーキ等のアクチュエーターを駆動することで自律走行する。以上の制御を、低遅延・高速周期で繰り返し行うことで、遠隔での車両運動制御を可能としている。



図2 RCDシステム制御概要

2.2 車両測位精度確保とコスト低減の両立

車両測位で算出する位置座標と方位角は、運動制御指示値算出の基準となるため、高い精度が求められる。既存技術は、車載外界センサの使用や、LiDARを使用するなどして測位を行っているが、いずれもコストが課題となり普及のハードルとなっている。RCDでは、インフラカメラを採用し、高速で物体検出とセグメンテーションを同時に行うことができる画像処理モデルを使用。これにより、車両の外形を高速かつ正確に推定し、座標と方位角を精度よく算出することができる。

2.3 経路追従できる運動制御指示値算出

運動制御の目的は、目標経路に追従して車両を走行させることである。制御における課題は、通信及び演算処理遅延の無駄時間を加味した算出式とすること、画像処理では完全には避けることができない測位情報のS-N比悪化影響の克服である。

これらに対して2つの対策を実施した。一つ目は、目標経路の曲率から舵角操作量を定めるフィードフォワード(FF)と、車両位置と目標経路との横偏差から舵角操作量を導くフィードバック(FB)の二自由度制御構成とすることである。安定性確保のため、FB制御の依存度を抑えつつFF制御で経路追従させる設定とした(図3)。

二つ目は、測位情報の推定を画像処理のみに依存せず、車載センサを併用した精度向上手法である。

画像処理では絶対値が取得できるメリットがあるがS-N比悪化のデメリットもある。一方、車載センサはS-N比が良いが、積分誤差が蓄積する課題がある。そこで、画像処理と車載センサ積分双方のメリットを活かすことで、測位情報の推定精度を高めた。以上により、目標とした制御精度を達成することができた。

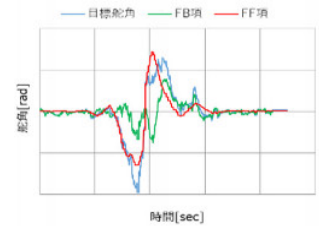


図3 目標舵角算出

2.4 無線通信の安定化

車両遠隔制御においては、無線通信による高速周期での制御値送受信が必要であるため、通信品質の安定化が重要である。しかし無線通信は、電波干渉・ノイズ・フェージングにより品質が劣化するリスクがある。そこでRCDでは無線通信を冗長化し、常時、電波強度等の通信品質に関わる指標を評価し続け、総合的に高品質と判断できる通信経路を採用するロジックを導入した(図4)。これにより、通信遅延や途絶が起きる確率を大幅に低減することができた。また万が一、途絶した場合は、車両が途絶検出し自動でブレーキをかけ停車の上、自律走行制御を停止する仕様とすることで、安全性を確保している。

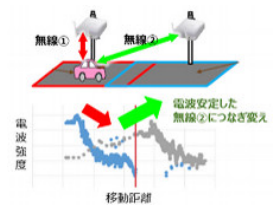


図4 無線通信冗長化

3. あとがき

RCDは「設備による車の運転」という汎用的な技術であり、車両の装備や機能への要件が最小限であるため、普及させやすい技術である。そのため、工場の生産性向上のみならず、安全・安心で利便性を高める、様々なサービスに転用できる可能を秘めている。

また、RCDはCASEに関わる様々な技術の組み合わせから成り立っているため、より多くのユースケースで活用するためには継続的な進化が必要である。今後も、リアルな製造現場で技術を鍛え「全ての人の移動の自由」に資する技術革新に貢献していく。

*1 正員、トヨタ自動車㈱ (〒471-8573 愛知県豊田市元町1番地)

*2 トヨタ自動車㈱ (〒471-8571 愛知県豊田市トヨタ町1番地)

*3 トヨタ自動車㈱ (〒471-8573 愛知県豊田市元町1番地)



技術 (4) 石油コンビナート等の大規模火災に対応可能な消防ロボットシステム

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
藤田 淳 ¹	天野 久徳 ²	村角 謙一 ³	大野 和則 ⁴	小島 匠太郎 ⁵

1. 概要

大規模な石油タンク火災では、発災施設近くは火災からの強い輻射熱（最大 20[kW/m²]と試算される）や爆発等の危険性があり、人が近づくことができない。このような環境で火災現場の監視や火災への放水等の消防活動を人に代わって無人で行える画期的な消防ロボットシステムを開発した（図 1）。



図 1 消防ロボットシステム

本ロボットシステムは、図 1 手前右から飛行型偵察ロボット、走行型偵察ロボット、放水砲ロボット、ホース敷設ロボット、これらロボットを搭載し火災現場へ搬送する車両（図 1 奥）で構成される。ロボットを降ろした車両内はロボット操作室となり、全ロボットの移動ルートや放水砲ロボットの放水位置・放水角度等の動作計画を立案し操作者（消防隊員）に提案する指令システムが搭載されている。操作者は提案された計画を選択することで、全ロボットを操作でき、移動、送水ホース敷設、風向きを考慮した放水角度調整等、自律で動作する。

放水砲ロボットとホース敷設ロボットによる火災への放水手順を説明する。ホース敷設ロボットに搭載した送水ホースを放水砲ロボットに予め接続し、放水砲ロボットを自律または遠隔操縦で放水位置へ移動させる。その後ろをホース敷設ロボットは車間距離を保って自動追従する（図 2①）。放水位置到着後、放水砲ロボットをその場に残留し、ホース敷設ロボットは自律または遠隔操縦で水源まで後退移動しながら送水ホースを送り出し敷設する（図 2②）。発災施設から離れ十分に輻射熱が低い水源近くで、消防隊員がポンプと送水ホースを接続し（図 2③）、1[MPa]の水圧で 4000[L/min]の放水を行う（図 2④）。

2. 新規技術開発の内容

2. 1 放水作業完全無人化を実現するホース敷設ロボットの開発

発災施設近くの放水場所は危険であり、人に代わって放水作業を行う放水砲ロボットの開発例は多い。しかし、水源からの送水ホース敷設と放水砲への接続には人の作業が必要となり無人化ニーズがあった。予め放水砲ロボットに接続された送水ホースを牽引して（引きずって）移動する例は存在するが、曲がり角で送水ホースが引っ掛かり牽引できない可能性や、引きずりによる損傷が問題となる。放水砲ロボットに送水ホースを搭載し、地面に置きながら火災現場へ移動する方法も検討したが、目的地に到着後ロボット内に搭載した送水ホースが残っていると、潰れ等の理由で送水できない問題があった。

この問題を、先行ロボットの自動追従機能と、送水ホースの自動敷設機能を有するホース敷設ロボットを新規開発し解決した。ホース敷設ロボットには両端に接続金具がついた内径 150[mm]の送水ホース 6 本（計 300[m]）がホースドラムに巻かれて搭載されている。適切な放水を行うためには、送水ホースを一定以上の曲率で振じれ無く地面に敷設する必要がある。送水ホースの自動敷設実現のため、ロボット自律移動の経路計画手法と送水ホースの適切な送り出し制御技術を開発した。これに先行ロボットの自動追従技術を組み合わせると、送水ホース取扱を含む放水作業を完全無人化した。

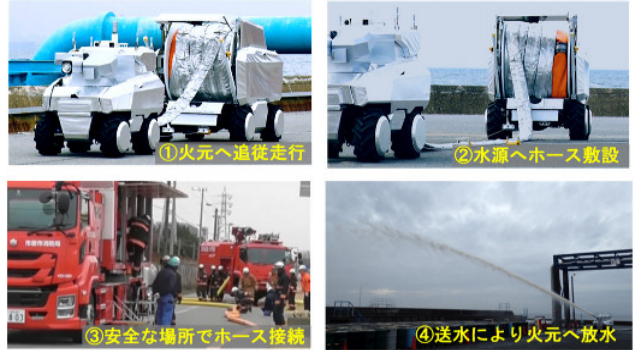


図 2 放水砲ロボットとホース敷設ロボットによる火災への放水

2. 2 ロボットが火災から受ける輻射熱対策

大規模火災現場で放水を行うロボットには火災からの強い輻射熱に耐えるニーズがあった。消防車や消防ロボットの中には、輻射熱に対応できる装備として、自身に水をかけて冷却する自衛散水機能を搭載したものがあつた。これらは水源から送水される放水用の水を分流して使用するため、ロボット移動中等の放水していない間は散水できない問題があつた。その間の散水に必要な水をタンクに搭載する方法もあるが、大量の水が必要でロボット大型化が問題であつた。

この問題を、輻射熱の大部分を表面で反射させ、反射できず透過した僅かな熱エネルギーを、裏面繊維への少量の水噴霧による気化熱冷却と、ロボット内部の自然対流による空気置換により温度上昇を抑える画期的な外装を開発し解決した（図 3）。噴霧水量が少ないため、水源からの送水が無い間に使用する水を搭載するタンクを小型化でき、搬送車両に搭載可能な大きさのロボット開発が可能となった。

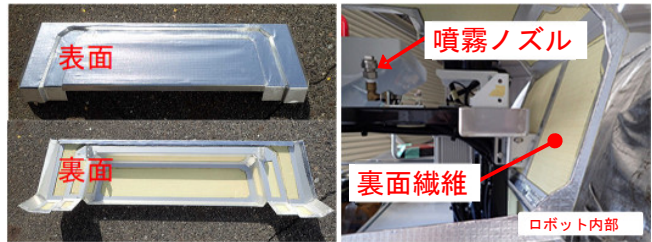


図 3 輻射熱の反射と気化熱を用いた耐輻射熱外装

3. まとめ

人が近接できない危険な場所である発災施設近くで、送水ホース取扱を含む放水活動を人の作業無く行えるロボットシステムを完成させた。この性能を有するロボットは国内初、世界でも確認できていない。従来不可能だった発災施設近くからの消火活動や情報収集が行える消防機材として、石油コンビナート火災等での活用が期待できる。本ロボットシステムは千葉県市原市消防局に配備され、万が一の災害に備え運用されている。大規模火災や爆発災害に備えて各地の消防本部及び石油コンビナート事業者が、配備を検討できる消防ロボットシステムが完成したことは、消防力強化に貢献する優れた成果である。

本ロボットシステムは、総務省消防庁が 2014 年度から 2020 年度に行った公募プロジェクト「エネルギー・産業基盤災害対応のための消防ロボットシステムの研究開発」の成果である

¹ 正員、三菱重工業株式会社（〒100-8332 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号）

² 正員、総務省消防庁消防研究センター（〒182-8508 東京都調布市深大寺東町 4-35-3）

³ 特別員、三菱重工業株式会社（〒100-8332 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号）

⁴ 正員、東北大学未来科学技術共同研究センター（〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1）

⁵ 正員、東北大学未来科学技術共同研究センター（〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1）

(5) 新歯形理論による電動車用低騒音スクロール圧縮機の開発

写真 候補者 1	写真 候補者 2	写真 候補者 3	写真 候補者 4	写真 候補者 5
山下 拓郎 ¹⁾	前田 拓巳 ²⁾	友田 達規 ³⁾	近藤 靖裕 ³⁾	堀 英津子 ³⁾

1. 概要

今後急速な普及が見込まれる電動車においては、乗員の快適性を左右する空調用電動圧縮機の静粛性向上が最重要課題の一つとなっている。その課題克服のため、筆者らは元々歯車設計技術として開発された新歯形理論を、電動スクロール圧縮機の構造設計に発展させるという独創的な切り口で、長きにわたり不変であったインボリュート曲線に替わる新たな渦巻き曲線創成技術を確立、設計自由度を拡張することで圧縮性能・静粛性・強度などの多性能並立設計を可能とした(図1)。さらに、開発した設計法を用いることで、騒音低減を実現するために渦巻き体に作用する圧縮力変動を低減する形状を導出し、大幅な低騒音化を実現した電動スクロール圧縮機を開発した。

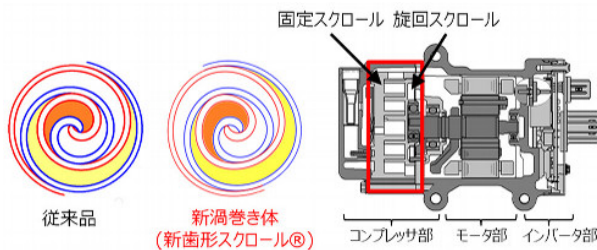


図1 新スクロール圧縮機とその渦巻き体形状

2. 技術の内容

2・1 スクロール圧縮機

スクロール圧縮機では、一对の渦巻き体によりその内部に三日月状の圧縮室が複数形成され、片方の渦巻き体がもう片方の渦巻き体の周りを旋回運動(公転運動)することで、圧縮室が外側から内側へ移動することに伴い容積が減少して冷媒が圧縮される(図2)。

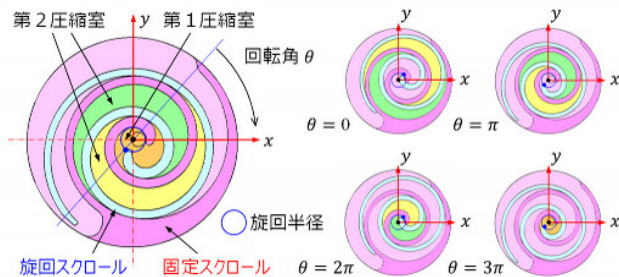


図2 一对の渦巻き体によって形成される圧縮室

2・2 渦巻き曲線設計法

従来の渦巻き体は、伸開角φを変数とするインボリュート曲線

$$x = a \cos(\phi) + a\phi \sin(\phi) \quad (1)$$

$$y = a \sin(\phi) - a\phi \cos(\phi) \quad (2)$$

で表される(図2)。ここで、aは基礎円の半径である。

従来設計法では、圧縮室に作用する圧縮力がインボリュート曲線によって決定されるため、騒音には影響し、なおかつ圧縮仕事に寄与しない半径方向圧縮力の総和ならびにその変動がなりゆきとなり制御できない。そのため、圧縮力の制御が困難で、長年にわたり騒音・振動低減の根本的な障害となっていた。

そこで、インボリュート曲線における基礎円半径の可変性(新歯形理論)と、従来は対称であった形状を非対称化することにより、圧縮力と歯厚を所望の値に設定できる新たな形状設計法を構築した。本設計法を用いて、渦巻き体の巻数(伸開角)の増加や渦巻き体どうしが接触する位置の調整をし、特定位相で半径方向圧縮力変動の小さい渦巻き体形状を設計した(図3)。

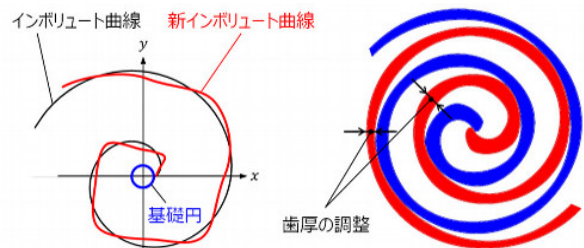


図3 新歯形理論による渦巻き体設計

2・3 スクロール圧縮機への適用例

新歯形理論によって設計した渦巻き体(新歯形スクロール®, 図3)の騒音に対する効果として、標準運転条件で約2dB(対従来品)の静粛化を実現した。新製品全体としては、その他の改良と合わせ、重量を維持、コンプレッサ効率を向上した上で、さらなる静粛化を達成することができた。

3. まとめ

新歯形理論を適用した革新的な渦巻き曲線設計法では、騒音特性を向上させるだけでなく、圧縮性能・強度・耐久性・シール性などを同時に満足する多性能並立設計が可能である。今後、圧縮機の用途拡大に合わせて様々な渦巻き体形状を創出していく予定である。

¹⁾ 正員, (株)豊田自動織機 (〒448-8641 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地)

²⁾ (株)豊田自動織機 (〒448-8641 愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地)

³⁾ 正員, (株)豊田中央研究所 (〒480-1192 愛知県長久手町横道41番地の1)