

電動コンプレッサ ESHシリーズの開発 Development of Electrical Compressor ESH Series

山下 拓郎^{*1} 木下 雄介^{*1} 浜名 祥三^{*1} 安保 俊輔^{*1} 早川 賢治^{*1}
Takuro Yamashita Yusuke Kinoshita Shozo Hamana Shunsuke Ambo Kenji Hayakawa

*1 コンプレッサ事業部 技術部

要旨 電動コンプレッサ ESHシリーズは、電動車の普及に伴う多様なニーズに応えるために開発され、2022年よりトヨタ自動車(株)「bZ4X」に搭載されている。ESHシリーズは車室内空調だけでなく、高温になりやすい電池などの車載電子機器を冷却する熱マネジメントにも重要な役割を担っており、電動車の商品力向上に貢献している。ここでは、その製品概要を紹介する。

キーワード: スクロール式圧縮機、電池冷却、ヒートポンプ、電磁ノイズ

Abstract The ESH series electrical compressor was developed to meet diverse needs associated with the spread of electric vehicles, and has been installed in Toyota's bZ4X since 2022. The ESH Series plays an important role not only in vehicle interior air conditioning, but also in thermal management to cool automotive electronic equipment such as batteries, which are prone to high temperatures. This article introduces the product outline of the ESH series.

Keywords: Scroll Type Compressor, Battery Cooling, Heat Pump, EMC

1 はじめに

自動車の電動化ニーズの高まりに伴い、ハイブリッド車(HEV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、電気自動車(BEV)などさまざまな電動車の販売が増えている。

そうした電動車に搭載されるカーエアコン用コンプレッサは電動タイプが必要となり、当社は2003年に2代目プリウス向けに世界初(当社調べ)の量産型カーエアコン用電動コンプレッサES18の生産を開始した。その後も約20年にわたり国内外の自動車メーカーのさまざまな電動車へ電動コンプレッサ(図1)を提供する中で技術・ノウハウを蓄積し、生産台数は2021年度に累計2700万台を突破している。

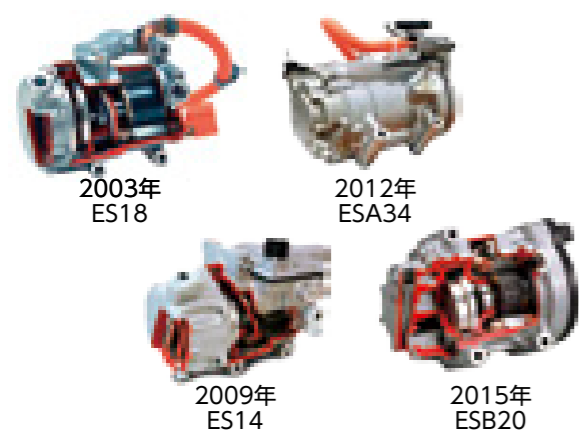


図1 電動コンプレッサの機種変遷
Fig.1 History of Electrical Compressor

このような環境の中、電動コンプレッサに求められる機能も多様化している。車室内だけでなく、高温になりやすい電池などの車載電子機器を冷却する熱マネジメントの重要性が高まっており、電動車に必要な不可欠な部品として役割の幅を広げている。

ESHシリーズは、多様なニーズに応える電動コンプレッサとして開発され(写真1)、2022年に発売されたトヨタ自動車(株)新型BEV「bZ4X」にも搭載されている。

ここでは、その製品概要を紹介する。

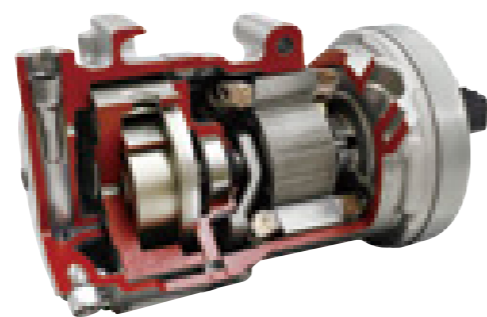


写真1 ESH34カットモデル
Photo1 Cut Model of ESH34

2 開発コンセプト

電動コンプレッサは、スクロール式のコンプレッサ部、コンプレッサを駆動するモータ部、モータを駆動制御するインバータ部から構成されるシステムとなっている(図2)。

当社では、コンプレッサ、モータ、モータ制御ソフトウェア、インバータといった基本構成部品を設計、評価、生産する体制を整えており、車両ニーズに対応した最適な製品作りに取り組んでいる。電動コンプレッサに求められる主な事項は以下である(図3)。

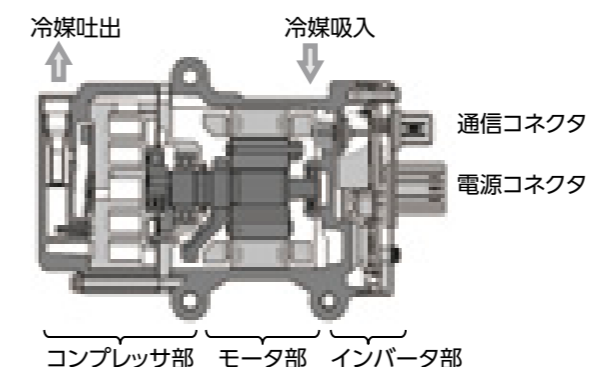


図2 電動コンプレッサのシステム概要
Fig.2 System Outline of Electrical Compressor



図3 電動コンプレッサに求められる機能の拡大
Fig.3 Expanding the Functions Required of Electrical Compressor

1) 大能力・長寿命化

BEVでは、エンジンの廃熱を利用して暖房を行うことができないため、大気から熱を取り込んで暖房する、電動コンプレッサを用いたヒートポンプ空調システムの採用が増えている。そのため、夏場の車室内の冷房だけでなく冬場の暖房にも使われるため使用時間が長くなる。

また、車両の電池などの車載電子機器は、高出力運転時や急速充電時に大電流が流れ高温になりやすく、性能劣化や寿命低下を招く。よって、車室内空調だけでなく車載電子機器を冷却するために電動コンプレッサの能力増強が必要であり、信頼性を確保した大容量タイプの電動コンプレッサが求められている。

2) 高電圧化

電動車の充電時間の短縮や、加速性能向上のため車両電池の高電圧化が進んでいる。そのため、車両電池から電力供給を受ける電動コンプレッサ

は、3相交流に変換するインバータの高電圧化対応が必要になっている。

具体的には、高電圧化においても電磁ノイズの上昇を抑制、充電時含め他機器ノイズ影響による電動コンプレッサの誤作動防止が重要であり、それらに対応した素子の選定が必要になっている。

3) 低騒音・低振動化

電動車、特にBEVでは、従来の騒音源であったエンジンがないため、車両静粛性は高まった。電動コンプレッサは、車両停止時や充電時にも作動するため、騒音が大きいと電動車の商品性が損なわれる恐れがある。

また、電動コンプレッサの搭載位置・方法の多様化も進んでおり、車室内から近い位置や振動が伝わりやすい搭載方法となるケースもあり、より一層の低騒音・低振動の電動コンプレッサが求められている。

4) 省動力化

電動車の航続距離を長くすることは利便性の観点で重要であり、多様な場面で使われる電動コンプレッサの省動力化は、電動車の商品性に直結する。従来の車室内空調だけでなく、幅広い作動領域で運転する電動コンプレッサの省動力化が求められている。

以上のように、電動車の多様なニーズに応えるため電動コンプレッサESHシリーズでは容量・電圧帯のバリエーションを拡充した(図4)。

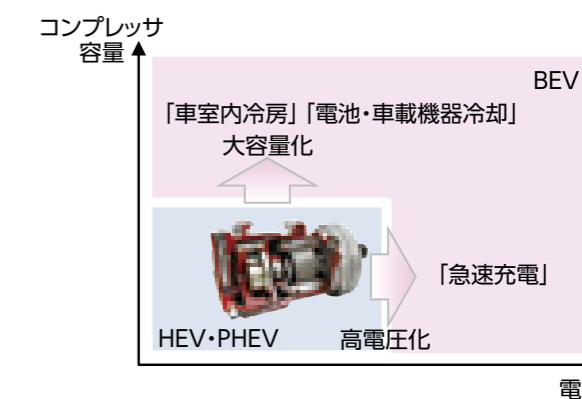


図4 電動コンプレッサの高電圧化・大容量化の拡充
Fig.4 Expanding of High-Voltage / Large-Capacity Electrical Compressor

3 開発の概要

1) コンプレッサ

コンプレッサの能力を向上させるには冷媒流量を多くする必要があり、その手段として「容量を大きくする」・「回転数を上げる」が挙げられる。その背反として、冷媒圧縮時の加振力が大きくなることにより、騒音・振動を悪化させる課題があった。

そこで、まずはスクロール形状に着目した。

スクロール式圧縮機では、1対のスクロール形状が噛み合い三日月形状の圧縮室を形成する。この圧縮機は、旋回スクロールの公転運動により容積を縮小しながら徐々に中心部に移動し冷媒を圧縮する。圧縮工程における半径方向圧縮力の変動が加振力の原因であり、変動を小さくする必要がある。しかし、従来設計法では圧縮力の総和ならびにその変動は「なりゆき」となり制御できない。そのため、圧縮力の制御が極めて困難で、長年にわたって騒音・振動低減の根本的な障害となっていた。

圧縮力変動低減を可能にするために歯車用に構築された新歯形理論を発展させ、インボリュート曲線における基礎円半径の可変性と形状の非対称化により、圧縮力と歯厚を所望の値に設定できる新たな形状を創出した((株)豊田中央研究所と共同研究)。これにより歯厚の調整が可能になり、スクロールの巻数増、噛み合う接触位置の調整により圧縮力変動の小さいスクロール形状を設計した(図5)。

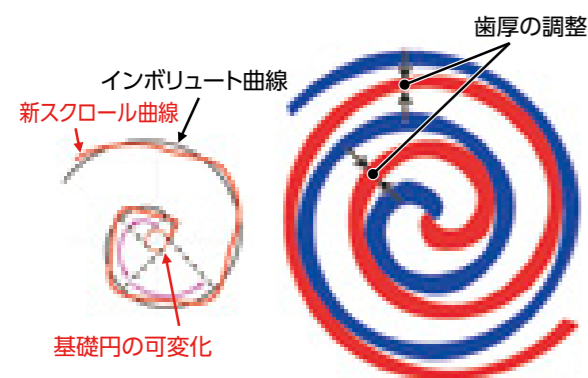


図5 新スクロール形状
Fig.5 New Scroll shapes

さらには、回転不釣り合いの低減に取り組んだ。旋回スクロールは、シャフト回転軸から偏芯した軸で公転運動をするため、回転不釣り合いが発生する。この不釣り合いを解消するためにバラ

す部材を組み込んでいるが、旋回スクロールの偏芯距離を調整する従動クランク機構により、運転中に揺動し振動増加を招いていた。

これは、大容量・高回転化でより大きな影響を受けるため、揺動する部材を小型化し、バランス部材をシャフトと結合する新たな構造を採用した(図6)。

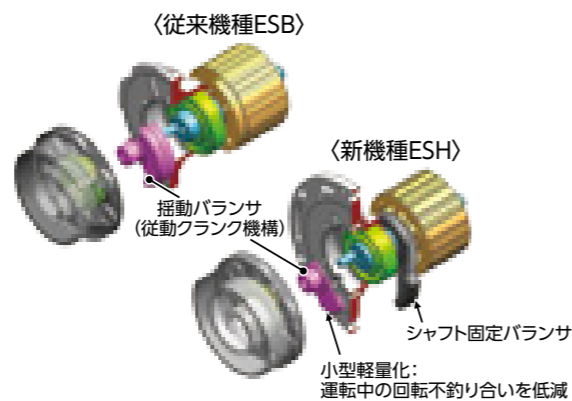


図6 回転バランス構造の比較
Fig.6 Comparison of Rotational Balance Structure

また、旋回スクロールを押し付ける背圧機構にも改良を加え、省動力化に取り組んだ。

背圧室の入口は、旋回スクロール歯先の隙間を利用し自動的に吐出圧力に比例した背圧制御ができる構造をとっており、常に最適な背圧制御をしている。今回は、背圧室の出口機構を変更した。シャフト後端にて絞り部を設けていた従来構造を見直し、旋回スクロールの公転運動に伴い背圧室から吸入室へ間欠的に排出する流路を設けた。

これにより、旋回スクロール背面とプレートの摺動部における潤滑性が向上し摺動損失を小さくした(図7)。

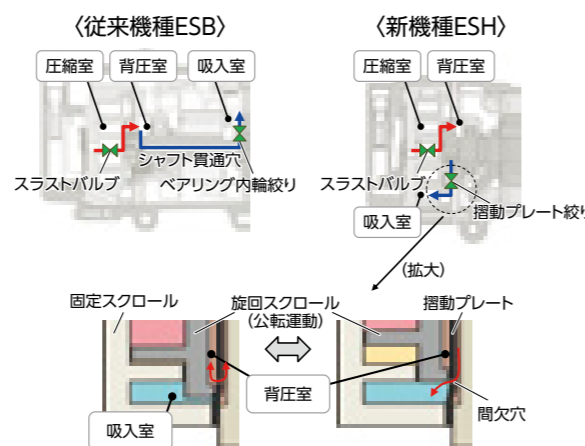


図7 背圧調整機構の比較
Fig.7 Comparison of Back Pressure Adjustment Mechanism

2) モータ

ESHシリーズのモータは、従来機種のモータを更に小型軽量化する設計を行った。

そのために、効率向上につながるトルクアップアイテムを織込み、その特性向上分を軸短化に振り分け、効率を従来機種と同等にしながら小型軽量化を実現した。そのトルクアップアイテムは、エアギャップ縮小、高磁力磁石の採用、ステータ断面形状の台形ティース化などである(図8)。

そのなかでエアギャップ縮小はトルクアップが大きい反面、騒音・振動の悪化につながるトルク脈動が増加するという背反があった。これを解決するために、実機のモータ電流波形を用いてロータ外周形状を最適化する形状変更を複数回繰り返し、トルク脈動の増加を抑制するロータ外周形状を決定した。

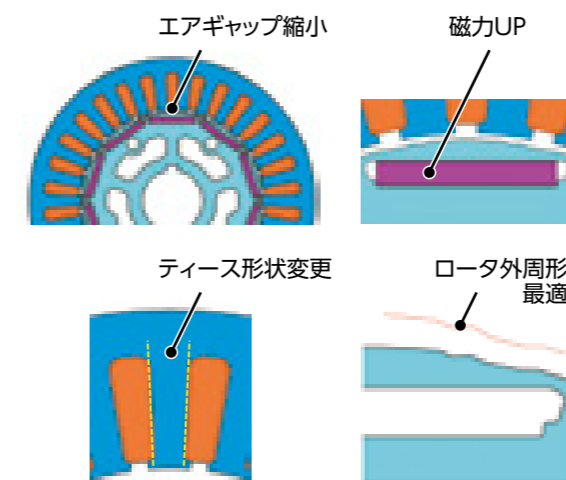


図8 ESHシリーズのモータ概要
Fig.8 Overview of ESH Series Motor

3) インバータ

電動コンプレッサのインバータは車両側システムとの電気適合設計だけでなく、BEVの厳しい電磁ノイズ規格を満足させる必要がある。

従来は、電磁ノイズ抑制のためにディファレンシャルモードコイル2個と共通モードコイル1個を搭載しており、インバータの体格が大きくなる課題があった。そこで、ESHでは漏れ磁束を利用して上記2種のコイル機能を兼ね備えたハイブリッドコイルを採用し小型化を実現した。

また、車両側との電気共振を抑制するための新技術として機能統合コイルを開発した。ハイブリッドコイルの外周にメタルリングを配置することでハイブリッドコイルで発生した漏れ磁束の電磁誘導によりメタルリングに電流を流し、電力消

費することでダンピング機能を実現した(図9)。

そして、インバータの外壁には、車両の電池および車両側システムと接続するコネクタを各1個備えているが、従来構造はシール材やコネクタ固定部をそれぞれ設置する必要があった。

今回、樹脂と金属の直接接合を開発し、鉄製インバータカバーに樹脂製コネクタを直付けすることで、シール材や固定部材を用いない簡素化を実現し、小型化にも貢献した(図10)。

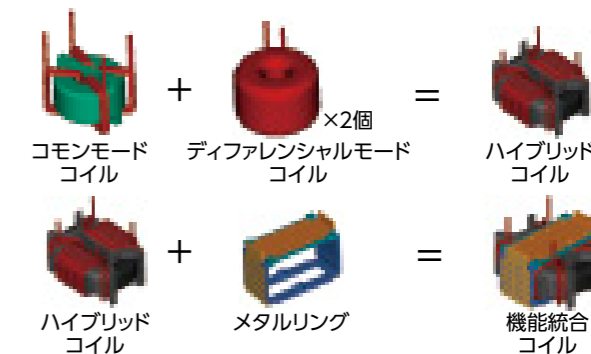


図9 機能統合コイル
Fig.9 Function integrated coil

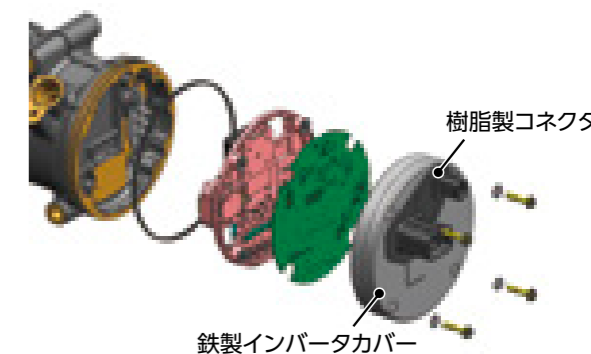


図10 インバータ構造
Fig.10 Structure of Inverter

4 まとめ

スクロール形状変更による圧縮力変動の抑制、回転バランス構造変更、モータロータ外周形状の最適化により、従来機種の同容量コンプレッサ比較において、静粛性は大幅に改善された。また、背圧調整機構の改良や、モータ磁力UPにより、コンプレッサの効率(COP^{*1})を約5%向上^{*2}できた(図11)。

*1 COP: Coefficient of Performance
*2 2年間の使用れ方に基づいた条件で測定し、発生頻度を加味して重み付けし積算した効率

また、ESHシリーズとして大能力の電動コンプレッサESH41（スクロール容積41cc）は、容積増加と高速化により従来機種に比べ、冷房能力を40%向上できた（体格20%増）。その一方で、軸受の配置等の構造見直しにより従来機種に比べ2倍以上の長寿命化を実現し、電動コンプレッサ振動は約半分にする事ができた（図12）。

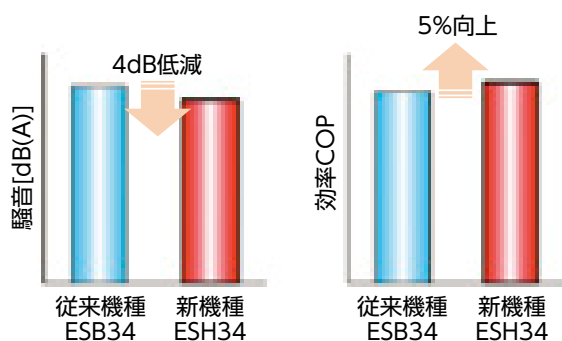


図11 同一容量機種の性能比較
Fig.11 Performance Comparison of Same Capacity Models

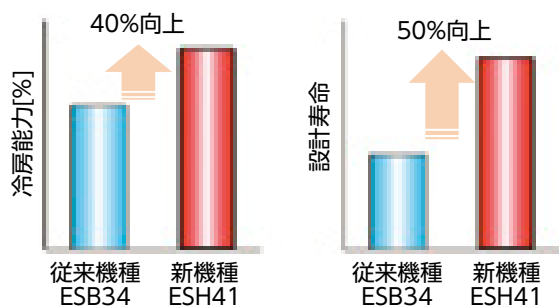


図12 大容量機種の性能比較
Fig.12 Performance Comparison of Large-Capacity Models

2003年にES18の生産を開始して以来、ESHシリーズは当社として第4世代となる電動コンプレッサとなる。

今後は更なる電動車の普及に伴いニーズは多様化することが考えられるため、このESHシリーズの拡充を図り、脱炭素社会構築に貢献していく。

本稿においては、機密の観点からグラフの数値表記は省略しています。

■著者紹介■



山下 拓郎 木下 雄介 浜名 祥三 安保 俊輔



早川 賢治

開発の経緯と開発者の思い

ESH開発初期を振り返ると、当時の電動コンプレッサはHEV向けを中心に生産台数を拡大していた時期でした。ESHはその延長線上ではなく、BEV向けにも幅広く対応できるようにコンセプト・要求特性を考えるとところから始まりました。具体的には、BEVでより一層重要になる静粛性確保、充電時の電磁ノイズ対応、電池冷却に対応した冷房能力増強など、従来機種では対応できない特性の向上を狙いました。

その具現化には、従来機種まで踏襲してきた設計諸元の見直しや、構造の変更など、ゼロベース思考を心がけました。その一方で、従来機種との混流生産など、ものづくりを考慮する必要があり、開発メンバー全員で課題解決に取り組んできました。

お客さまにとって電動コンプレッサは、普段気に掛けないものだと思います。だからこそ、縁の下の力持ちとなって快適な車室内空間・電動車の利便性に貢献できるよう黒子役に徹することが、良い電動コンプレッサだと考えています。「ん？何か音がするぞ」「エアコンをつけるとガソリンの減りが早いぞ(HEV)、走行可能距離が短くなったぞ(BEV)」と思われないよう今後も製品開発をしていきたいと考えています。

最後に、本製品の開発、生産準備、および生産にあたり多大なご指導・ご協力を頂いた社内の関係者の方々、仕入先の皆様に深くお礼申し上げます。