

# 流体機器用 PM モータの小型・高速・高効率化

PM Motors for Fluid Apparatus with Small Size, High Speed, and High Efficiency

廣瀬 英男 HIROSE, Hideo

佐々木 敏哉 SASAKI, Toshiya

中谷 僚太 NAKAYA, Ryota

2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を実質ゼロにするため、クリーンエネルギーの導入や消費電力の削減が求められている。モータの用途で大きな割合を占めるポンプ、圧縮機、送風機、冷凍機といった流体機器は、消費電力が大きく、省エネルギー（省エネ）化が必要である。開発した PM モータは、高効率化と冷却性能の向上によって一層の小型化を実現し、装置のサイズダウンに貢献した。また、ベルトやギヤが不要になり機械損失がなくなるダイレクトドライブとインバータを使った可変速運転によって、一層の省エネを実現した。

In order to reduce global greenhouse gas emissions to virtually zero by 2050, it is necessary to introduce clean energy and reduce power consumption. Fluid apparatus is required to save energy, such as pumps, compressors, blowers, and coolers, because it accounts for a large percentage of motor applications and consumes a large amount of power. The PM motor Fuji Electric has newly developed is improved in efficiency and cooling performance to achieve compactness, allowing users to downsize their equipment. Furthermore, it achieves better energy savings by using inverter-based variable speed operation and direct drive operation, which uses no belts and gears to avoid mechanical loss.

## 1 まえがき

モータは、社会生活や産業活動に欠かせない。エレベータやコンベア、ファン、ポンプ、コンプレッサなどのインフラ設備や工作機械、印刷機、クレーン、冷凍機などの各種産業機械の動力源などさまざまな装置やシステムで使用されている。PM モータ（永久磁石形同期電動機）は小型、軽量、高効率などの優れた特徴を持つ。ただし、他の一般的なモータのように商用電源を接続するだけでは駆動できないのでインバータと組み合わせて使用する必要がある。最適な用途であればモータ単体のエネルギー消費量の低減に加え、インバータによるモータの高速回転により装置に多大なメリットをもたらす。本稿では、インバータと組み合わせて小型・高速・高効率化に貢献する流体機器用の PM モータについて述べる。

## 2 流体機器の概要

### 2.1 地球温暖化対策と流体機器の省エネルギーの必要性

世界の平均気温の上昇を、産業革命以前に比べて 1.5℃ に抑えるという「パリ協定」の目標を達成するためには、2050年までに世界全体の温室効果ガスの排出量を森林や海洋などの吸収分を差し引いてゼロにする必要がある。日本では、2020年10月26日、首相が所信表明演説で“温室効果ガスの排出量を2050年までに実質ゼロにする”と表明し、パリ協定を遵守することを内外に宣言した。今後、電力のクリーンエネルギーへの変換による脱炭素化と電力消費量削減が急務である。

全世界で1年間に消費されている約 20 兆 kWh の電力の内訳を見ると、図 1 に示すように、その 40% がモータを介して消費されている。また、図 2 に示すように、モ-

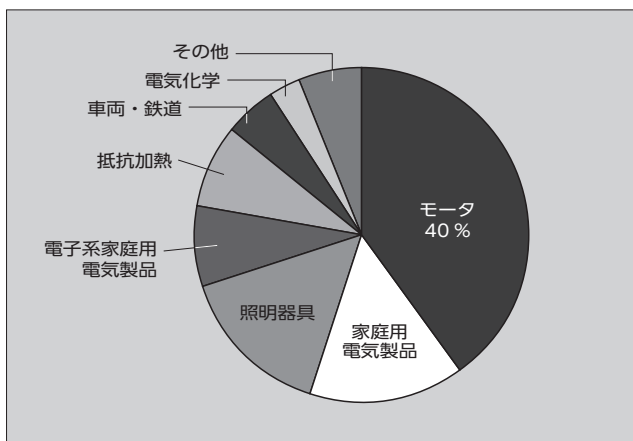


図 1 世界の電力消費の内訳<sup>(1)</sup>

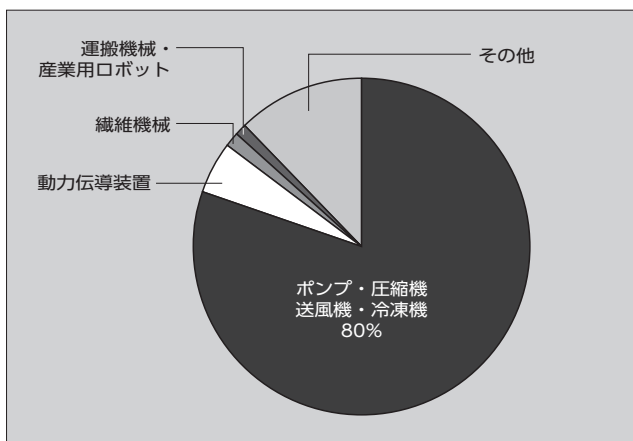


図 2 モータの用途<sup>(2)</sup>

タを介して消費されるエネルギーのうち、ポンプや圧縮機、送風機、冷凍機といった流体機器が 80% を占める。仮に、流体機器のモータを含めた効率が 1% 向上すれば、全世

界の電力消費量を 640 億 kWh、CO<sub>2</sub> 排出量を 2,700 万 t 削減できることになる。

今後、大量に電力を消費している流体機器への省エネルギー（省エネ）化の要求はさらに強まることが予想される。

### 2.2 流体機器へのインバータ、PM モータの適用

流体機器は、装置の設置面積や床荷重の制約などから小型・軽量化が求められる。一般に流体機器は、高速回転することで流体機構部を小型・軽量化できる。しかし、高速回転では、ベルトやギヤといった増速機構を使用すると機械損失が発生する。このような場合、ダイレクトドライブを採用すると、この機械損失がなくなり、高効率化や省エネ化を図ることができる。また、ベルトの調整や点検といった増速機構のメンテナンスも不要になる。PM モータでダイレクトドライブを採用することで上述の効果が得られる。

また、PM モータは二次銅損（ロータの銅損）がなく本質的に低損失な運転であるため、省エネ化が可能である。ただし、PM モータの駆動には周波数や電圧、電流を制御するための専用のインバータが必要である。

しかし、インバータ制御によって回転速度を最適制御すると消費電力が削減できる。羽根車の遠心力を使った流体機器の流量は回転速度に比例するのに対し、必要な動力は回転速度の 3 乗に比例するため、最適制御で省エネ化を図ることができる。特に、流量が少ない場合は省エネ効果が大きくなる。

## 3 流体機器用 PM モータの特徴

### 3.1 開発機の仕様

流体機器用 PM モータの開発機の仕様を表 1 に、構造断面図を図 3 に示す。

モータの据付け面から軸中心までの高さであるセンターハイトは、従来機が 250 mm であるのに対し、開発機では 160 mm と 36% 小型化しつつ、IEC 60034-30-1 の効率クラス IE4 相当の高効率化を実現した。

また、顧客要求に応じて、流体機構部を冷却する装置の冷却冷媒の一部をモータ冷却に流用して、強力な冷却効果を得ることができる。その結果、従来に比べて大幅にモータを小型化できる。

### 3.2 損失の低減

流体機器用 PM モータを小型化するために、ステータ

表 1 流体機器用 PM モータの仕様

項目	仕様
冷却方式	水冷方式
定格出力	75 kW
定格回転速度	7,200 r/min
センターハイト	160 mm

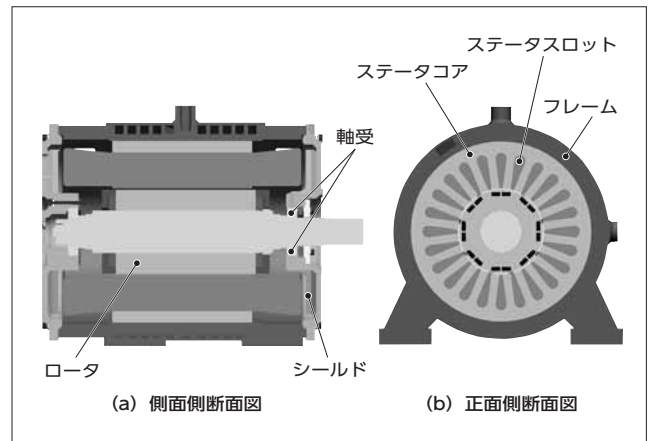


図 3 流体機器用 PM モータの構造断面図

コアを小径化し、磁束密度を高く設定している。また、ダイレクトドライブを採用したことにより高速回転に対応している。さらに高効率化するためには、鉄損や機械損失の低減が必要になる。鉄損対策として高グレードで板厚の薄い電磁鋼板を採用した。また、トレードオフ関係にある銅損と鉄損の比率の考慮と同時に、図 4 と図 5 に示すようにティース部とヨーク部の鉄損発生量の配分を検討し、ティース幅やヨーク幅を最適化した。

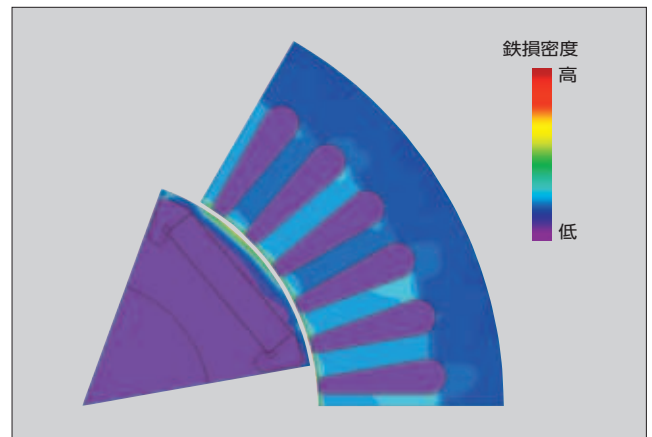


図 4 ティース部とヨーク部の鉄損解析結果

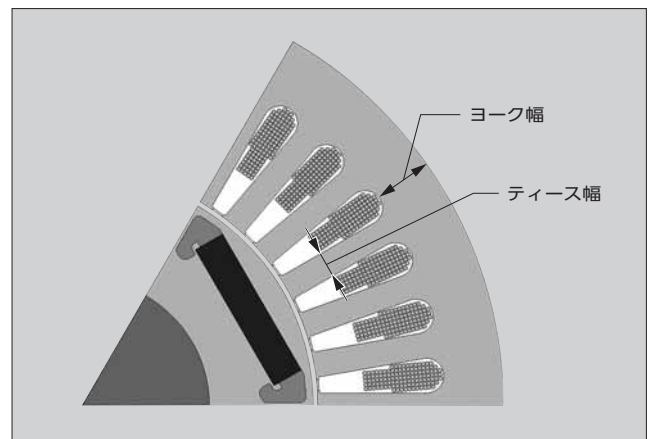


図 5 ティース幅、ヨーク幅の最適化

特集 省エネルギー・小型化と生産性向上に貢献するパワーエレクトロニクス

### 3.3 冷却能力の向上

モータを運転すると温度が上昇する。巻線や軸受の寿命は温度の影響を大きく受けるため、規定の温度以下に抑える必要がある。PM モータの発生損失は小さいものの、小型化を進めると冷却面積が小さくなるため、冷却能力の向上が必要である。

そこで、従来の空冷方式よりも冷却能力が高く小型化に対応できる液冷方式を採用した。モータ内部に冷却水や冷却油などの冷媒を通す流路には、パイプ方式とジャケット方式がある（表 2）。パイプ方式の場合、液漏れのリスクは減るが、流路が円筒形状に限定され、流路設計の自由度が低い。また、パイプとフレームが別部品になるので熱抵抗が増える欠点もある。ジャケット方式は、図 6 に示すようにフレームに直接流路を設けるので、流路の断面形状の自由度が高く、広い伝熱面積が確保できるため、冷却性能が高い。今回、冷却性能を確保するためにジャケット方式を採用した。液漏れについては、事前の液漏れテストや設計対応によりリスクを回避した。

### 3.4 ステータの放熱性の管理

モータのステータコアを大幅に小径化した中で、導体に必要な断面積を確保するため、ステータスロットを深くした。これによって、導線の位置によって放熱性にばらつきが生じるといった問題が生まれた。図 7 に示すように、導線が内周側にあることによって放熱性が低くなるのを避けるため、設計や製造工程を工夫することによって外周側に巻線がまとまるようにした。また、図 8 に示すように、巻線

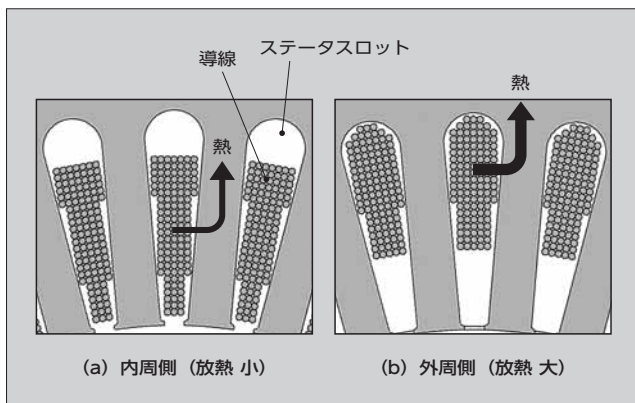


図 7 放熱性

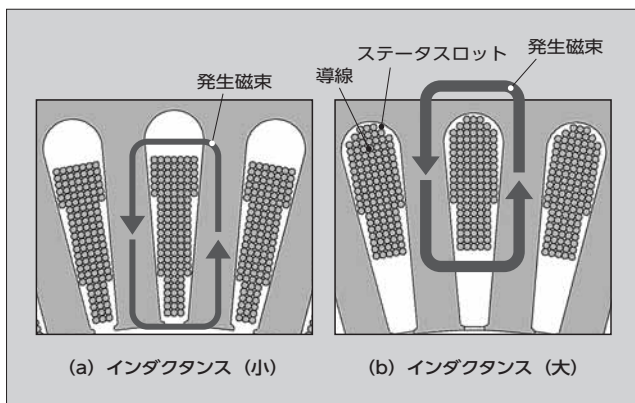


図 8 巻線位置の管理

完成後に巻線のインダクタンスを測定することで、ステータスロット内の導線の位置のばらつきを管理している。

## 4 あとがき

流体機器用 PM モータの小型・高速・高効率化について述べた。

特に、永久磁石の技術革新はわが国で歴史があり、世界的にみても非常に進んでいる分野である。また、インバータドライブ技術も同様に得意とする技術分野である。この永久磁石とインバータドライブを組み合わせた PM モータドライブシステムは、日本が先行している技術分野であり、中でも富士電機は、高い技術力でソリューションを提案している。省エネルギーや温室効果ガス排出量の削減、環境保護という社会課題に対して、モータやインバータの高効率化への期待はさらに高くなってきている。これらの期待に応えるため、サプライヤーとして、さらにはお客さまの製品の価値向上をともに進めるパートナーとして、技術の高度化を推進していく所存である。

### 参考文献

- (1) Roland Brüniger. Motor Systems Annex IEA ExCo Meeting in Paris 14/15 April 2008.
- (2) 一般財団法人 日本電機工業会. 2018年度『モータ・インバータに関するユーザ調査（相手機械調査）』報告書.

表 2 冷却方式の比較

項目	ジャケット方式	パイプ方式
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 流路設計の自由度が高い</li> <li>○ 広い伝熱面積→冷却性能が高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 液漏れリスク減</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 液漏れリスク有</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 流路設計の自由度が低い</li> <li>○ 熱抵抗が増→冷却性能が低い</li> </ul>

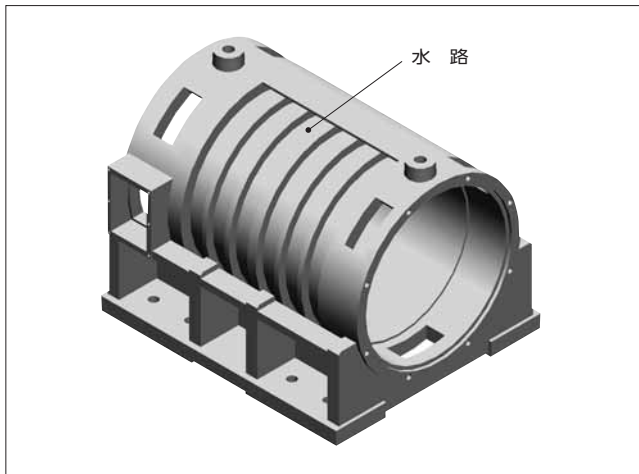


図 6 ジャケット方式のフレームの例



**廣瀬 英男**

電動機の開発と設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部パワエレ機器開発センター回転機開発部主任。



**中谷 僚太**

電動機の開発と設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部パワエレ機器開発センター回転機開発部。



**佐々木 敏哉**

電動機の開発と設計に従事。現在、富士電機株式会社パワエレシステム インダストリー事業本部開発統括部パワエレ機器開発センター回転機開発部主任。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。