

薄型・高効率のポンプ用单相・圧粉鉄心型クローポールモータ

Thin-Profile High-Efficiency Single-Phase Claw Pole Motor with Powder Compact Magnetic Core for Compact Pumps

橋本 俊治* ・ 末松 真二* ・ 関 孝文**
Toshiharu Hashimoto Shinji Suematsu Takafumi Seki

給湯機器等に搭載されるポンプ用モータにおいて、圧粉鉄心型クローポールモータに单相方式を採用するとともに、圧粉鉄心材料の比較的低密度成形で低コスト化を図りながらも、モータ特性が確保できる鉄心形状とその成形条件を開発することによって、従来の三相ブラシレスモータと同等の性能を有する薄型で単純な構造のモータを考案した。

これによりポンプ本体の薄型化が可能となり、組込機器である給湯機器等の小型化にもつながる。

In a pump motor used for water heaters, a thin-profile simple-structure motor having a comparable performance to that of a conventional 3-phase brushless motor has been created by adopting a single-phase iron-powder compact magnetic core claw pole motor and developing a core configuration and molding condition for securing motor performance while reducing production costs by adopting the relatively low density molding of iron powder.

The thin profile of the developed motor enables compact-sizing of the water heater when incorporating this motor.

1. ま え が き

近年、CO₂ 排出量を大幅に削減する自然冷媒 (CO₂) ヒートポンプ給湯機エコキュート^{*1)}の需要が急速に拡大している。エコキュートには沸上用や温水循環用として図1のようなデバイスポンプ (以下、ポンプと記す) が組み込まれている。

エコキュートには設置性や施工性向上のために小型化が求められており、構成要素であるポンプにおいても薄型化が重要な課題となっている。

従来のポンプの構造 (図2) ではモータが大きな割合を占めており、薄型化することでポンプ全体の小型化が可能となる。

これまでのモータは三相ブラシレスモータ方式で、一般的なスロット巻線構造を用いていた。三相方式とは、電流の流れ方を時間的にずらす巻線を三つ有する方式である。ほかにも单相方式、二相方式、四相以上の方式があるが、相数の増加に伴って駆動回路構成の規模が大きくなるため、四相以上の方式は実際にはあまり用いられていない。

单相方式から三相方式までのスロット巻線構造を有するモータのサイズを比較すると、磁石の極とステータの磁極

の位置関係や通電パターンの関係により、原理上は三相方式が磁気回路の体積をもっとも小型にすることが可能である。このため、比較的高出力なモータでは三相方式がもっともよく用いられている。

しかしこのスロット巻線構造では、巻線が鉄心から軸方向にはみ出すコイルエンド部が薄型化の障害となっていた。

そこで筆者らは、モータ方式の見直しも含めてモータの薄型化の検討を行う。



図1 ポンプの外観

* 電器事業本部 電器R & Dセンター Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

** 電器事業本部 アクア・デバイス事業部 Water Processing Products & Devices Division, Home Appliances Manufacturing Business Unit

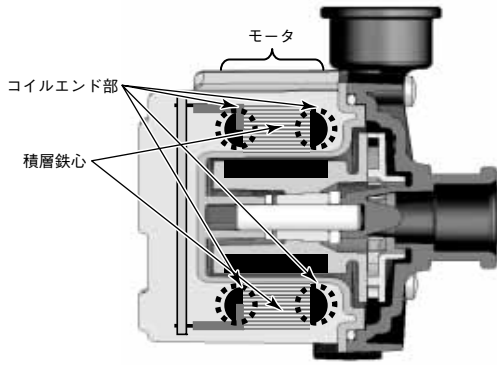


図2 従来のポンプ構造

2. モータ方式の検討

薄型化のため、コイルエンド部が構造上生じないモータ方式としてクローポールモータに着目する。本章では圧粉鉄心を用いたクローポールモータと、ポンプへの適用可能性について検討する。

2.1 従来のクローポールモータの概要と課題

まず従来の一般的なクローポールモータについて述べる。ステータの磁気回路は、図3に示すとおり上下に互いに噛み合うように配置された磁極歯と、それらに挟まれたコイルから構成されるため、無駄な空間がほとんどない。

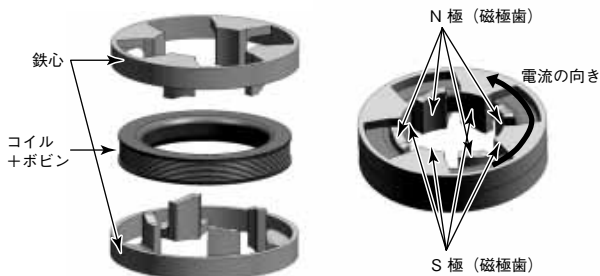


図3 クローポールモータのステータ（1相分）

回転原理は、コイルに通電すると隣り合う磁極で交互にN極とS極が発生するため、中心に配置される磁石ロータの回転角度に伴って通電方向を順次切り替えることによりロータを回転させるものである。

このモータのメリットは、製造コストを抑えられる点である。構造的にみると、鉄心は一般的に厚み1mm程度の電磁鋼板の板金加工により立体成形が可能であること、またコイルもスロット巻線に比べて単純なボビン巻線であることなどから生産性を高めることができる。

一方デメリットは、うず電流が大きい点ため効率が低い点である。ブラシレスモータなど他方式のモータでは、一般的に絶縁皮膜を施した電磁鋼板を軸方向に積み重ねた積層鉄心を用いてうず電流を低減している。しかし、クローポー

ルモータの鉄心のような立体的な形状に積層鉄心を用いることは困難である。したがって、情報機器の位置決めなどの低出力の用途が主となっていた。

2.2 圧粉鉄心

近年、粉末冶金の分野において圧粉鉄心の開発が進み、モータに応用する研究が行われている¹⁾。圧粉鉄心は鉄粉に絶縁皮膜を施し、バインダと一緒に圧縮成形して製造されるため、立体形状ができるとともにうず電流低減を図ることができる(表1)。これは、クローポールモータの高効率化の手段として有効と考えられる。デメリットとしては、飽和磁束密度と機械的強度の低さが挙げられる。

表1 積層鉄心と圧粉鉄心の比較

	積層鉄心	圧粉鉄心
構成	・絶縁皮膜した鋼板を積層	・絶縁被覆した鉄粉とバインダを圧縮成形
メリット	・積層方向のうず電流低減	・等方的にうず電流低減 ・3次元成形可能
デメリット	・3次元形状の構成が困難	・飽和磁束密度が低い ・機械的強度が低い ・製造コストが高い

2.3 圧粉鉄心型クローポールモータ

圧粉鉄心を用いたクローポールモータにおけるこれまでの開発²⁾では、まず2.1節に示した鉄心とコイルを組み合わせ合わせたステータを軸方向に三つ重ねた三相方式としている。さらに、高密度に圧縮成形することで圧粉鉄心の透磁率を向上させ、スロット巻線構造の三相ブラシレスモータに比べて大幅に小型化している。しかしこの方式では、ステータを三つ重ねるため構造が複雑になる。また高密度の圧縮成形を行う場合、一般的に成形性が悪くなる。

2.4 相数の検討

前述の三相方式のクローポールモータにおける三つのステータは、構造上、それぞれ個別の単相方式のモータのステータであるといえる。このことから、クローポールモータでは体積当りの出力や効率が、単相方式の場合でも三相方式と同等になると考えられる。さらに単相方式ではステータが一つになることによって構造の複雑さを解消できる。

積層鉄心を用いた従来の単相方式のブラシレスモータは原理上、三相方式に対して大型化するため、効率やサイズが大きき問題とならないような低出力の用途が主となっている。一方、圧粉鉄心型クローポールモータにおける単相

方式では、高効率で薄型の構成であることからポンプ駆動用など中高出力用としても有効と考えられる。

3. 単相・圧粉鉄心型クローポールモータ

そこで、単相方式の圧粉鉄心型クローポールモータの開発を行う。モータ特性の目標値は当社従来品同等（トルク：0.052 Nm，回転数：5000 min⁻¹，入力電力：40 W）とする。

3.1 成形条件と圧粉鉄心材料

成形性を考慮したうえでモータ特性を確保するため、鉄心形状や圧縮密度などの成形条件、および圧粉鉄心材料の検討を行う。最初に成形性が確保できる鉄心形状（各部の厚み，高さなど）と圧縮密度の関係を把握する。この結果をもとに、圧縮密度を比較的低くした場合（7.2 g/cm³）に成形が可能な鉄心形状の条件を求める。

また圧粉鉄心材料は、鉄粉粒径，離型剤添加の有無などによる複数の種類のなかから磁気特性，材料コスト，成形性を考慮して選定する。

3.2 磁気回路形状

圧粉鉄心型クローポールモータの磁気回路形状の検討において、実際に金型を作り、圧粉鉄心の試作を行うのは費用と期間の点から困難である。そこで、基本的には磁界解析を用い、実機モータの確認には圧粉鉄心材料のバルクから切削加工したものをを用いる。

クローポールモータは図3に示したように3次元的な磁気回路を構成しているため、3D対応磁界解析ソフトJMAG（(株)JSOL）を用いる（図4）。また、ここでは解析の計算時間の短縮のため、磁気回路形状や磁束の流れの対称性を利用した分割モデル（1極分）を用いる。



図4 磁界解析による磁束密度分布例

3.3 パラメータ設計による磁気回路形状の検討

クローポールモータの形状検討において、パラメータ設計を用いることによりロバスト性を確保する形状を効率的に求める。主な制御因子としては、ロータとステータの内径，磁極や外周部，上下方向端面部分の厚みなどを設定する。また外乱としては、成形時において想定される寸法

ばらつきとポンプ動作時におけるモータの温度変化を調査誤差因子に設定する。

直交実験を行って求めた要因効果図（図5）をもとに、ロバスト性を確保する条件下で、従来品と同等の入出力特性を確保できる条件を求める。その結果得られたモータは、従来品に比べて大幅に小型化されている（表2）。

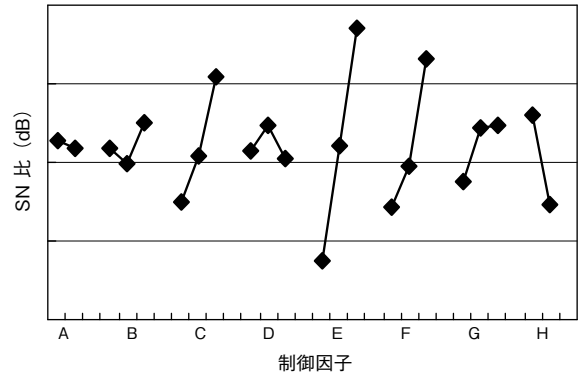


図5 パラメータ設計における要因効果図

表2 従来品と開発品の比較

	従来品	開発品
モータ方式	三相ブラシレスDCモータ	単相クローポールモータ
外形 (mm)	66	58
厚み (mm)	26	15
鉄心材料	積層鉄心	圧粉鉄心

3.4 開発品の概要と特徴

前節で求めた鉄心形状をもとに、まず圧粉鉄心材料のバルクを切削加工したものをを用いてモータ試作を行い、その特性を確認する。開発した鉄心を図6に、モータ特性を図7に示す。



図6 開発した鉄心

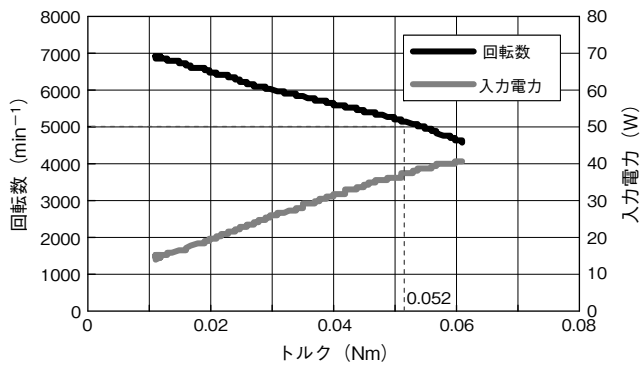


図7 開発品の回転数・入力電力-トルク特性

このモータ特性は、目標とした従来品と同等であることがわかる。さらに試作金型で成形した圧粉鉄心を用いてモータ特性を測定し、切削加工したものと同等の性能であることも確認している。

以上のとおり、磁界解析を用いて見いだした薄型モータの実現可能性を、実際の量産に近い製造方法を用いたモータで確認している。

開発したモータを搭載することでポンプ本体の薄型化(図8)につながり、組込機器となる給湯機器の小型化が可能となる。

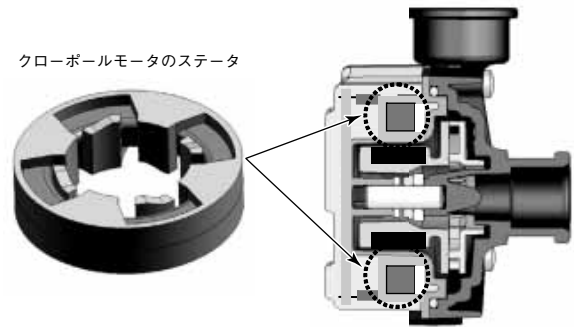


図8 開発品を搭載したポンプの断面

4. あとがき

給湯機器等に搭載されるポンプ用モータにおいて、圧粉鉄心型クロールポールモータに単相方式を採用するとともに、圧粉材料の比較的低密度成形で低コスト化を図りながらも、モータ特性が確保できる鉄心形状とその成形条件を開発することによって、従来の三相ブラシレスモータと同等の性能を有する薄型で単純な構造のモータを考案した。

これによりポンプ本体の薄型化が可能となり、組込機器である給湯機器等の小型化にもつながる。

今後、ポンプへの採用に向けた課題抽出と検討を行うとともに、他の回転モータ搭載機器へのクロールポールモータ搭載の検討や、圧粉鉄心を用いた新アクチュエータの検討を行っていく予定である。

●注

* 1) エコキュート：関西電力株式会社の登録商標

*参考文献

- 1) 石原 千生, 浅香 一夫, 榎本 祐治, 伊藤 元哉: 圧粉鉄心製コアを用いたモータの特性評価結果, 粉体粉末冶金協会講演概要集平成 19 年春季大会, p. 100 (2007)
- 2) 榎本 裕治, 伊藤 元哉, 正木 良三, 浅香 一夫: 爪型ティースを圧粉鉄心で構成した新型同期モータの特性検討, 電気学会回転機研究会資料 RM-05-108, p. 1 (2005)

◆執筆者紹介



橋本 俊治

電器 R & D センター



末松 真二

電器 R & D センター



関 孝文

アクア・デバイス事業部