

全自動洗濯機用ダイレクトドライブ インバータモータの製造技術の向上

Progress of Manufacturing Technology for Direct-Drive Inverter Motors

小原 久義
KOHARA Hisayoshi

山岸 芳雄
YAMAGISHI Yoshio

1997年度にダイレクトドライブ(DD)モータを搭載することにより、業界トップの低騒音化を実現した全自動洗濯機を発売した。この低騒音化技術については、すでに紹介⁽¹⁾したが、その後さらに、静音化を推進するとともに製造技術の改善を重ねた。その結果、6分割ステータコア、ステータコアのモールド、一貫高速整列巻線、ロータモールドなどで安定した製造技術を確立した。なお、99年3月には、この製造技術に関して大河内記念技術賞を受賞した。

In 1997, Toshiba developed an automatic washing machine equipped with a direct-drive motor, which attained the lowest level of running noise in the industry. Since that time, we have been steadily improving the manufacturing technology aiming at achieving further noise reduction. In March 1999, Toshiba was awarded the Oukouchi Commemorative Technology Prize for this manufacturing technology.

This paper describes the progress of our manufacturing technology for direct-drive inverter motors.

1 まえがき

97年秋に当社独自のDDインバータ技術を開発し、業界トップの低騒音全自動洗濯機AW-B70/80VPを発売して以来、静音を要求されるユーザーから好評を得たため、98年秋には従来の7kg、8.5kgのほかに4.5kg、6kgへも容量展開をした新製品を発売した。

量産1号機に採用したDDインバータモータは、量産実績のない要素が多いために品質第一で開発した。また、品質の検証のために要する時間的制約から量産化を断念せざるをえなかったアイテムも多かった。

そこで、98年秋発売の新製品に搭載するモータとして採用するには、短期間で成果を出す必要があり、当社の生産技術センターと共同で精力的に検討を行なった。また、97年秋からモータを製造した実績からの反省点、問題点を貴重な経験として織り込んだ。

この97年から98年にかけて実現できたDDインバータモータ(図1)の製造技術について述べる。

2 確立した製造技術の概要

- (1) 6分割ステータコア技術 溶接など固定の概念のない6分割コアを実現し、簡素化した工程の中でコア材料取りの効率の良い製造技術を確立した。
- (2) ステータコアのモールド技術 分割された6個のコアを、巻線絶縁、取付け固定脚、コア防錆、取付け部絶縁の用途で、それぞれの部分が絶縁、耐熱、強度、

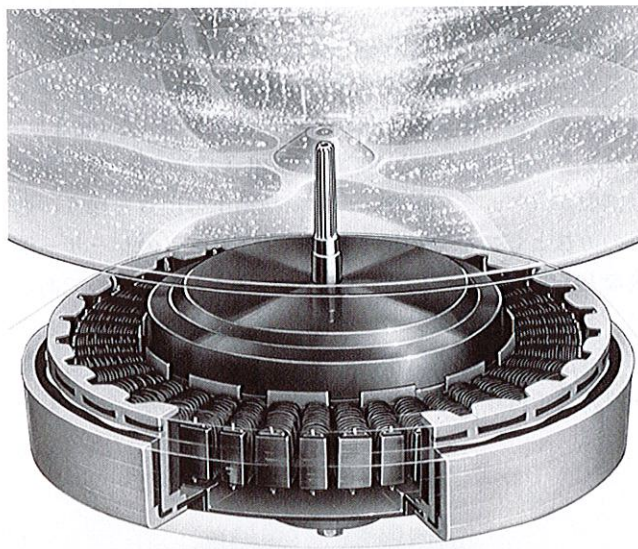


図1. DDインバータモータ(カットモデル) 製造技術の改善を重ねて現在の製造方式に至った。
Direct-drive inverter motor (cutaway model)

温度変化など、それぞれに要求仕様の異なる部品としての機能を満たして、一体モールドする生産技術を確立した。

- (3) 一貫高速整列巻線技術 不均一ティース空隙^(注1)をもつ36ティースの三相巻線を、設定空間への絶縁エア

(注1) 隣あわせた鉄心の巻線部への入口すき間。

ギャップを確保できる整列性をもたせ、全巻線一貫工程で高速巻線による高品位・短時間生産技術を確立した。

- (4) ロータモールド技術 マグネット24個、軸ボス、フレーム、ヨークリングの合計27部品を、接着なしで高い精度で一体化するモールド製造技術を確立した。
- (5) モータ工程の洗濯機生産ラインへのインライン生産技術 従来、モータは完成品として購入していたが、モータの内製化に伴い最小の在庫、部品の移送の合理化、重複検査の廃止など、製造工程を簡素化するために洗濯機生産ラインにモータの製造ラインを直結した生産ラインを構築した。

3 6分割ステータコア技術

97年度に開発したコア一体抜きモータは、大きな素材からモータ特性上必要なドーナツ状部分と、機構部への取付け脚部だけを打ち抜いた、材料ロスが多い構造であった(図2)。これを解決するため、もっとも分割効率の良い6分割コアとして、大トルクのこの種のモータでは業界で初めて、6分割して溶接など“固定”の概念のないモータとして実用化した。この構造とすることにより理論的なGW(グロスウエイト)比較で97年モデル100に対し98年モデルでは55となり、コア素材45%の大幅削減を実現した(図3)。

コアを6分割化すると当然ながら組立てた場合に6ヶ所の分割面が生じ、その結合には生産技術上の困難を伴う。過去の方法としては高い精度でのコア1枚ごとのレーザー溶接など一体抜きコア同様に固定化しようとするものであるが、今回のモータはステータコア径はφ226とサイズも大きく、溶接による磁束密度のバラツキやコアの変形による寸法精度の低下が予測された。このため、ギャップをもた

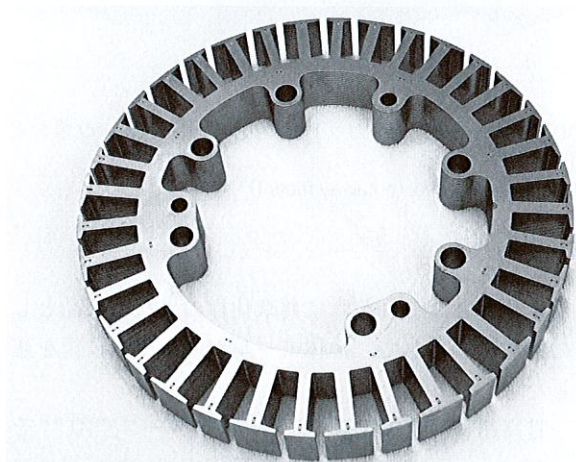


図2. 従来の一体抜きコア 内部は無駄になるため材料効率が悪い。

Conventional core struck out as one body

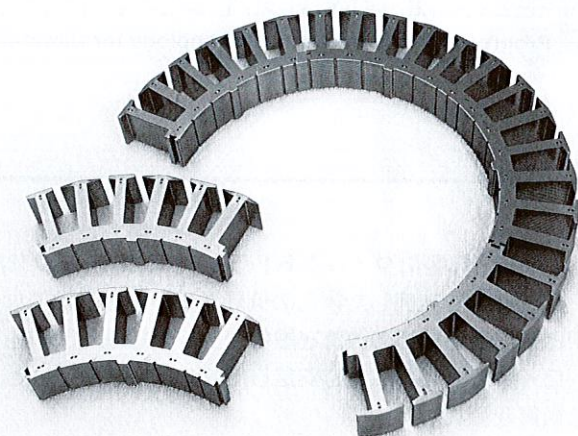


図3. 今回開発した6分割コア 6分割したコアを嵌め合わせてステータコアを構成する。材料効率が良い。

Newly developed 6-segment core

せたままの噛(か)み合せ方式の無溶接構造とした。プレス精度を高くしたコアで、嵌(は)め合せにより、無溶接のまま、成形型金型に納め、成形後のモータとしての寸法精度をだす生産技術を確立することで単純化した製造技術を確立することができた。

4 ステータコアのモールド技術

ステータコア部はこの種のモータでは初めて、コアの材料取り効率のよい6分割コアを、無溶接のまま単純に嵌め込んだ状態で、樹脂による一体モールドで固定する方式とした。

この一体モールドの樹脂厚は、整列巻線する部分では絶縁部材として薄く均一の厚さが、洗濯機底部にステータコアを固定するための取付け脚では強度を要求されるため平均厚さ約4mmが、また、ステータ内外周部の大部分の表面では磁気抵抗を最小にしながら防錆効果を得るために厚さ約0.4mmの超薄肉が、それぞれ要求される(図4)。

これを実現するためにはステータの巻線部、脚部、内外周部など、厚肉部と超薄肉部が混在しても完全充填が可能な成形技術を確立することが必要であった。

それには一体モールドコアの金型設計の適正化、成形の条件出しが重要である。そこで、数値解析(コンピュータシミュレーション)を駆使して樹脂の流動性を解析し、最適条件を見出して、それらの実証確認を行なった。この結果から成形法の選定および金型設計の絞り込みを実施し、一体モールドコアの製造技術を確立することができた。

さらに、樹脂材料は成形性および使用環境条件を満たすように組成を調整して検証を繰り返し、最適な専用の樹脂材料を開発した。

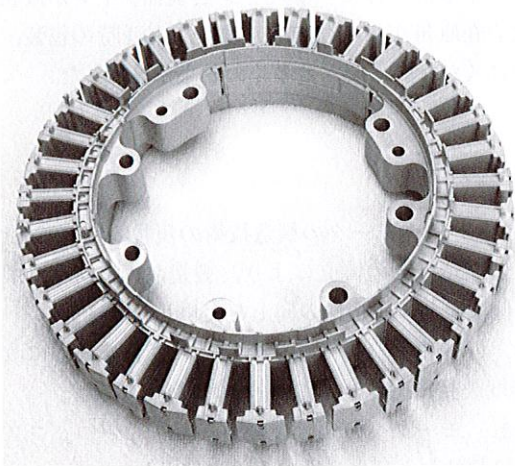


図4. 一体コアモールド 取り付け脚, 巻線部, 内外周部の異なる樹脂厚にもかかわらず一体成形を実現した。
Integral core mold

また, 製造設備に関しては, 工程間の仕掛かりをなくして最小の部品在庫とし, 部品の移送を合理化するために, コア抜きプレスから成形までの一貫生産ラインを実現した。

5 一貫高速整列巻線技術

ロータに対向したステータコアのティース幅は交互に不均一になっており, ティース間隔(空隙幅)もわずか3mm強で, しかもステータコア径 ϕ 226mmで36極もあるため, 高速度で巻線を行うためには相当の困難を伴う。また, 偏平で薄型のモータとして巻線が多く巻ける占積率の高いコンパクトなモータとする必要がある。困難な条件下ではあるが, 整列巻を行うことが上記の占積率の向上, 整列による銅線部の傷・ピンホール防止に効果があるため達成しなければならない重要な製造技術である。

そのため, 不均一なティース幅で3mm強のティース空隙に線径 ϕ 0.6mmの銅線を巻き込むことができる巻線機の位置決めの高精度化と, 整列して銅線が巻ける特殊な巻線技術の開発および巻線ガイドなどの改善などにより高速整列巻線技術を確立した。

また, 高速で巻くためには市販の銅線では不十分なため, 高速巻線に最適な専用の銅線を開発した。

なお, この技術を確立するため, 一步一步部分的なロス改善の積重ねと, 改善品の一つ一つの実証確認, 運転ソフトの修正ごとの詳細な観察とフィードバックなど, 地味な努力も大きく寄与している。

この結果, 従来のモータに比べ巻線傷が少なく, しかも整列性を確保して線径 ϕ 0.6mmの銅線を巻回速度850rpmで巻線を行うことができた(図5)。

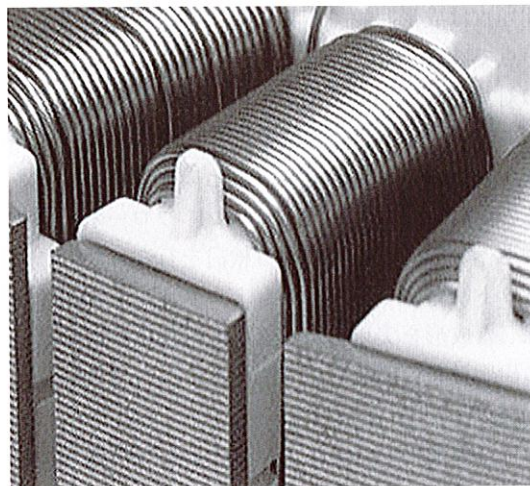


図5. 高速整列巻線状態 巻線の整列性を確保するとともに, 銅線の巻付け速度850rpmを達成した。
High-speed aligned winding

6 ロータモールド技術

N極またはS極に着磁するフェライトマグネット24個と, マグネットのバックヨークと寸法精度確保を兼ねるフレーム組立て, および洗濯機に動力を伝える軸との取り付け部となる焼結合金製のボスを樹脂で一体成形している(図6)。

この樹脂部は, クラッチの噛み合せ部などの機能も兼ねている。このような部品は従来, 一般的にはアルミニウムなどで成形し, 機械加工後ヨークを取り付け, その表面にマグネットを接着固定していた。このため工程も多く, 接着など不安定な強度の部分もあり, しかも高価であった。

今回の製造方法では, 樹脂成形だけで接着や機械加工工程をなくしたため, 安定した強度で安価に部品を製造でき

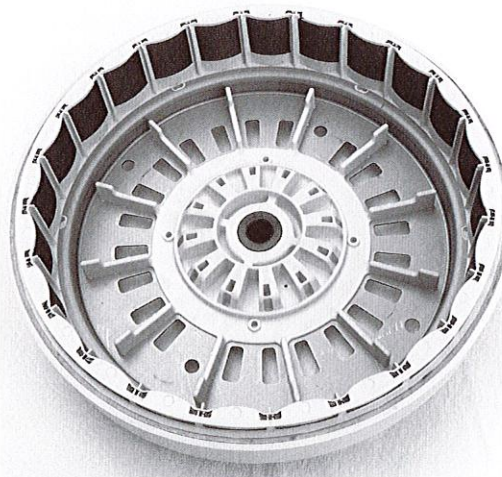


図6. モールドロータ 鉄板フレームの高精度化, 高流動性の樹脂材の開発などにより27部品のインサートモールドが実現した。
Molded rotor

る。問題点は成形収縮や変形による部品寸法精度が確保できない点である。

その対策として、マグネット内周寸法精度はそのままモータのエアギャップ精度となるため、鉄板フレームの精度を上げるとともに、鉄板フレームと成形金型のマグネット押え部の寸法精度を確保し、モールドフロー解析によりマグネットへの樹脂圧を軽減する検討を行なった。この結果マグネット割れのない、しかも、マグネット内周寸法精度を確保した成形を実現した。また、内部応力の少ない高流動性の樹脂材料の開発により流動バランスを良好な状態に確保した。

さらに、成形のバランスを保つために堅型成形機を導入し、また、製造の合理化のためにマグネットなど合計27部品をインサートするための自動化装置も開発した。

7 モータ工程の洗濯機生産ラインへのインライン化技術

洗濯機の製造としては、国内で初めてモータ工程を洗濯機生産ラインの中の機構部ラインに直結してインライン化した。

このインライン化により、コアラインではコア材を打ち抜いてすぐモールドするため、保管による錆(さび)の発生などの不具合の心配がない。また、ステータラインでの完成品は、巻線が露出しているため輸送による傷つきなどの問題があるが、インライン化により解消される。さらに、ロータマグネットへの鉄粉などの異物付着の心配がない。

なお、全般的にはモータラインと製品ラインが直結しているため在庫量が最小化でき、また、輸送時の包装、輸送などのロスがない、などの多くの効果が得られた。

8 あとがき

DDインバータモータの製造技術の現状について述べた。これらの製造技術の確立により、製造品質の向上、製造コストの低減などの製造性の向上を実現した。

なお、静音化についても従来製品に対して大幅に改善した97年度製品に比べさらに改善されている。

今後も、モータへの要求仕様をクリアしつつ、カスタミニマムの設計および生産性の改善に努力したい。

文献

- (1) 今井雅宏、図書館並みの静かさを実現したダイレクトドライブインバータ全自動洗濯機AW-B70VP、東芝レビュー、53、2、1998、p. 71-75.



小原 久義 KOHARA Hisayoshi

家電機器社 愛知工場 ランドリー部主幹。
ランドリー製品の開発・設計に従事。
Aichi Operations



山岸 芳雄 YAMAGISHI Yoshio

家電機器社 愛知工場 ランドリー部主査。
全自動洗濯機などの電気部品の開発に従事。
Aichi Operations