

洗濯機用高効率フェライト磁石モータ

High-Efficiency Motor with Ferrite Magnets for Washers

新田 勇 齊藤 徹 志賀 剛

■ NITTA Isamu ■ SAITO Toru ■ SHIGA Tsuyoshi

家電機器に対する省エネ志向は高く、洗濯機についても消費電力量を下げるための様々な取組みが行われている。省エネ志向の機種では、駆動源であるモータに強力なネオジム磁石が用いられているが、希少金属のネオジムとジスプロシウムを含むため、供給不安や価格高騰リスクがある。

そこで東芝は、従来から使用されているフェライト磁石に対して、磁石内部の磁化方向を調整して磁力を高めることによって、消費電力量を当社の自動洗濯機の従来機種比で6%低減する新モータを開発した。

To meet the growing demand for energy conservation in home appliances, various measures to reduce electricity consumption have been introduced into washer-dryers. Although powerful neodymium magnets are used in the motors of energy-saving models, the continued use of such magnets, which contain a small amount of the rare-earth element dysprosium, has become a critical issue.

In order to rectify this situation, Toshiba has developed a new motor using conventional ferrite magnets whose magnetic force is enhanced by adjusting the direction of internal magnetization. New automatic washer models equipped with this motor achieve a reduction in power consumption of 6% compared with our conventional models.

1 まえがき

1990年ころから、可変速運転する機器の動力源として永久磁石同期モータ (PMSM) が普及してきている。PMSMに用いられる永久磁石は、出力や消費電力の観点から高磁力であることが求められており、現時点で最大の磁力を持つネオジム磁石が使われる場合が増えている。ネオジム磁石は、その成分に希少金属のネオジムとジスプロシウムを含んでいる。したがって、ネオジム磁石の価格はこれらの原料相場に大きく左右され、2011年には一時直前の3倍に急上昇したこともあった。2012年に入って価格は落ち着いてきたものの、依然として高い水準にあり、潜在的な供給不安は解消されていない。そこで近年、各種のモータでは、希少金属の使用量を削減する技術が検討され始めている。

わが国の洗濯機においても、1990年代後半から主力機種には永久磁石モータが使われており、ネオジム磁石を用いた省エネ志向の機種と、磁力はネオジム磁石に劣るがフェライト磁石を用いた安価な機種に分かれている。

そこで東芝は、フェライト磁石を用いた高効率の新モータを開発し、洗濯機の消費電力量の低減を実現した。ここでは、洗濯機用フェライト磁石モータの高効率化技術について述べる。

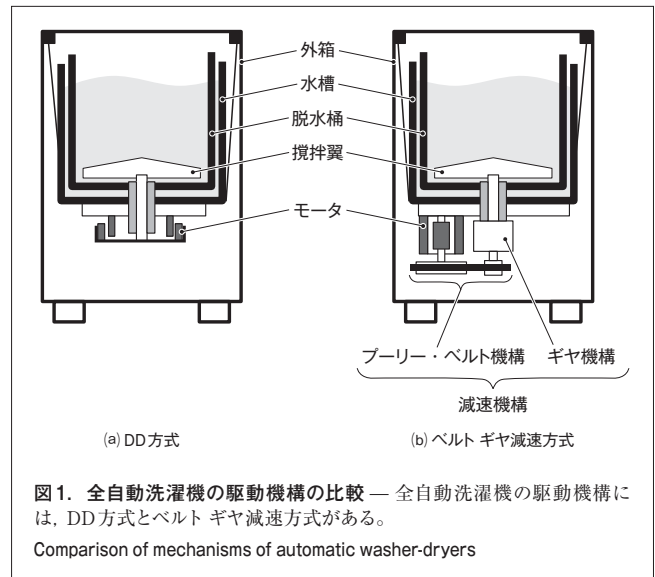


図1. 全自動洗濯機の駆動機構の比較 — 全自動洗濯機の駆動機構には、DD方式とベルトギヤ減速方式がある。

Comparison of mechanisms of automatic washer-dryers

2 洗濯機用従来モータ

2.1 駆動機構

当社洗濯機の主力機種では、図1に示す攪拌 (かくはん) 翼や脱水桶をモータで直接駆動するダイレクトドライブ (以下、DDと略記) 方式を採用している。DD方式では、ギヤやベルトなどの減速機構が不要なため、それらからの振動と騒音が発生しないという特長があるが、モータ自体の振動は直接脱水桶に伝わりやすくなる。

2.2 静音化設計

DD方式の洗濯機では減速機構がないため、ベルトギヤ方式に比べて約5倍のモータ出力トルクが必要になる。一般にモータ自体の振動は出力トルクと相関関係があるため、DD方式のモータでは低振動・静音化設計が不可欠である。モータの騒音振動の発生原因としては、トルク変動の影響がもっとも大きい。トルクが変動すると、脱水槽などの被回転物が加減速して振動を発生させる。このため当社の洗濯機用モータでは、トルク変動を低減するため、3相モータで、かつ回転時に逆起電力となる誘起電圧と巻線電流をそれぞれ正弦波となるように構成している。これは、誘起電圧と巻線電流の変化がそれぞれ正弦波の場合、1相当りの発生トルクはそれらの積に比例するので2倍の周波数の正弦波となり、これを3相で合成すれば常に一定トルク、すなわち原理的にトルク変動をゼロにできるからである(図2)。

2.3 従来モータの構造とその磁石形状

当社従来モータは、図3に示すように外転型のPMSMである。図2に示した正弦波状の誘起電圧を得るために、磁石には中央部が厚く端部が薄い円弧形状のフェライト磁石を用いていた(図4)。これは、磁石の厚さを滑らかに変化させることによって、磁石の中央部と端部とで磁力の差を設けるためである。

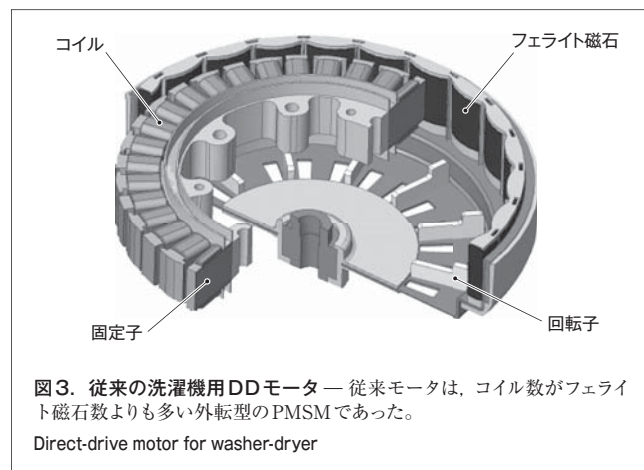


図3. 従来の洗濯機用DDモータ — 従来モータは、コイル数がフェライト磁石数よりも多い外転型のPMSMであった。
Direct-drive motor for washer-dryer

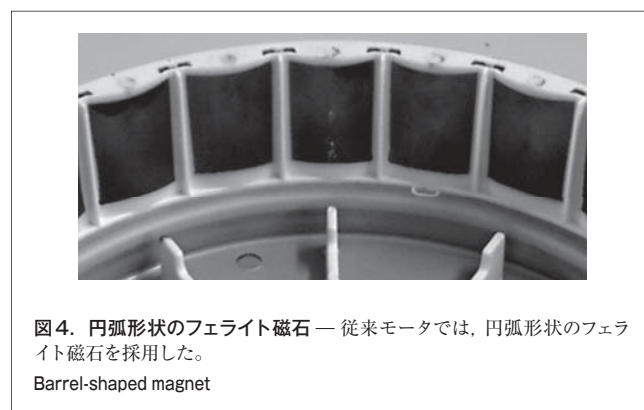


図4. 円弧形状のフェライト磁石 — 従来モータでは、円弧形状のフェライト磁石を採用した。
Barrel-shaped magnet

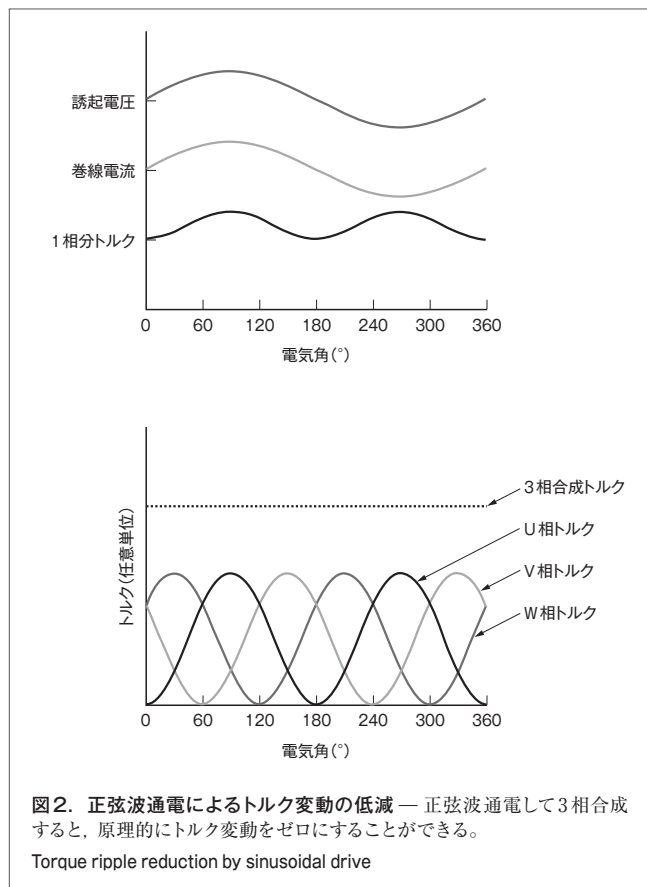


図2. 正弦波通電によるトルク変動の低減 — 正弦波通電して3相合成すると、原理的にトルク変動をゼロにすることができる。
Torque ripple reduction by sinusoidal drive

3 高効率の新モータ設計

3.1 従来モータの課題

従来モータを搭載した洗濯機では、1997年初期製品のAW-B70VP⁽¹⁾において、脱水時の騒音が45 dB (Aスケール)であり、当社比で10 dB以上の騒音低減を実現した。しかし、磁石厚さによって磁力の差を設けたため、磁石が極めて厚くなるという課題があった。一般に、磁石は厚くなるほど単位断面積当たりの磁力である磁束密度が増える傾向にある。しかし磁石材料ごとに上限となる残留磁束密度があるため、図5に示すような飽和曲線となる。ここで、永久磁石の磁束密度の上限となる残留磁束密度 B_r と実際の磁束密度 B_a の比率は、磁気ギャップと磁石厚さの比率に比例する。磁気ギャップは空隙長と磁石厚さの合計となるため、空隙長に比べて磁石厚さが十分大きい場合、 B_a/B_r は図5に示すように飽和傾向を示す。すなわち、磁石厚さがある程度以上になると、磁束密度はあまり増えなくなる。更にモータの外径寸法を固定すると、内周側に配置される固定子サイズが小さくなるため、結局モータ出力トルクは低下することになる。したがって、従来モータは、磁石厚さで大きなスペースをとるうえに、出力トルクもそれほど増えないという課題があった。

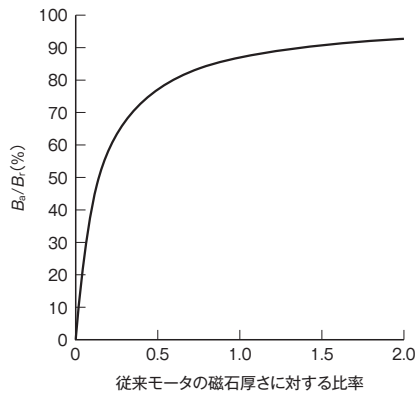


図5. 磁石厚さに対する磁束密度の変化 — 磁石厚さがある程度以上になると、磁束密度は飽和傾向を示す。
Relationship between magnetic flux density and thickness

3.2 集束異方性磁石による磁束量の増大

永久磁石内の磁束密度を向上させる他の方法としては、磁束を集束させることが有効である。永久磁石は、小さな磁石の集合体であるため、この小さい磁石の磁化方向を狭い範囲に制御できれば、理論的に磁束を集束できる。磁化方向は磁石成形時に、磁場を印加することで調整可能である。これを異方性と呼び、従来との比較を図6に示す。

図6(b)は従来モータに使ったラジアル異方性磁石である。磁化方向は、回転軸上に焦点を持つ放射状であるが、モータ外径が大きいため、磁力線はほぼ平行である。一方、図6(a)は集束異方性磁石であり、磁力線が磁石内部でやや湾曲しているとともに、ラジアル異方性により集束している。このような異方性を適用すると、磁石厚さを大きく増大させることなく、誘起電圧を正弦波に近づけることができる。またスペース効率が良いので、同じ厚さで比較すると、磁束量を15～20%程度増やすことができる。

図6(a)に類似した異方性は、樹脂を結合材とするボンド磁

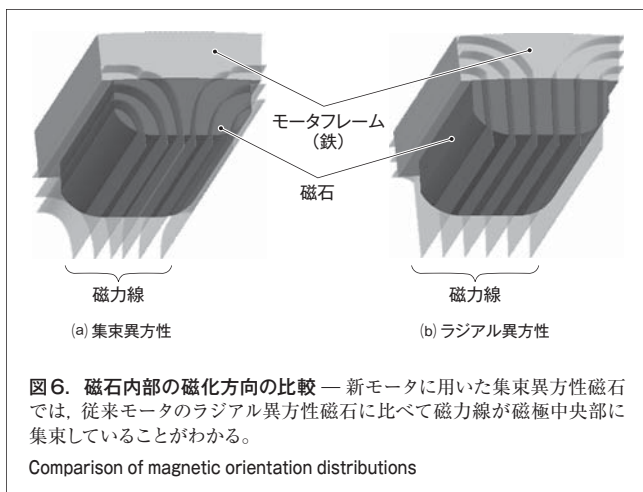


図6. 磁石内部の磁化方向の比較 — 新モータに用いた集束異方性磁石では、従来モータのラジアル異方性磁石に比べて磁力線が磁石中央部に集束していることがわかる。
Comparison of magnetic orientation distributions

石でも以前より使用されていたが、磁力の大きな焼結磁石では生産時の歩留りに課題があった。しかし近年その歩留りの課題が解決され、洗濯機用モータへの集束異方性磁石の使用が可能になった。

3.3 設計パラメータの適正化

集束異方性磁石を採用することを、新モータの設計基本方針としたが、より高効率化を図るためには、磁力発生には過剰となる磁石厚さを適正な厚さまで薄くすることが必要である。そのほか磁石の薄型化を阻害する要因としては、逆磁界が作用した場合に磁力が低下する不可逆減磁がある。不可逆減磁は磁石厚さのほかに、図7に示すようにロータ側の永久磁石の磁極数とステータ側の固定子コアの突極数の組合せの影響も受ける。図7(b)に示すように、従来モータは24磁極36突極であった。この場合、突極に発生した逆磁界は全て対向した磁石N磁極に作用してしまう。新モータでは図7(a)の組合せである48磁極36突極とした。この組合せでは、図7(b)と同じ電気角においても、S磁極の一部が対向しているため、N磁極に逆磁界が作用しにくくなり、磁石厚さが薄くても、不可逆減磁を起こしにくい。

3.4 新モータの性能

今回設計した新モータの写真を図8に、設計仕様を表1に示す。

集束異方性フェライト磁石を採用した新モータは、図9に示す2012年9月に商品化した全自動洗濯機AW-80DLのほか2機種に搭載された。このAW-80DLにおける洗濯時の消費電力量は78 Whと、当社の前年機種に比べて6%低減した。

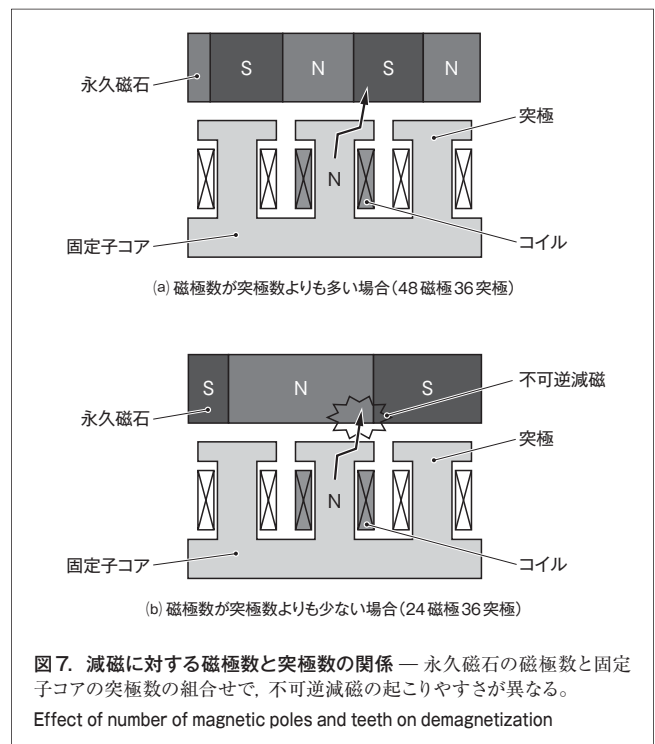


図7. 減磁に対する磁極数と突極数の関係 — 永久磁石の磁極数と固定子コアの突極数の組合せで、不可逆減磁の起こりやすさが異なる。
Effect of number of magnetic poles and teeth on demagnetization



図8. 新モーター — 新モーターでは、コイル数よりもフェライト磁石数が多い構造を採用した。

Newly developed motor

表1. 新モーターの設計仕様

Specifications of newly developed motor

項目	仕様
モーター形式	3相PMSM
形態	外転型DD駆動
磁極数	48
突極数	36
磁石	焼結フェライト磁石(集束異方性)



図9. 新モーターを搭載した洗濯機 — 2012年9月に商品化した全自動洗濯機 AW-80DLに、新モーターを搭載した。

Automatic washer equipped with newly developed motor

4 あとがき

高効率PMSMでは、ネオジム磁石を使用することが主流であるが、希少金属資源の供給不安や価格高騰リスクがあり、現在はサマリウム系磁石やフェライト磁石を使用することが再度注目を集めている。

今回の開発において、これら磁石によってもまだまだ省エネは可能であることの一部を示すことができたと考えられる。今後も、それぞれの磁石を使った高性能化技術の開発を進めていく所存である。

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.



新田 勇 NITTA Isamu

生産技術センター 制御技術研究センター主任研究員。
モーター及び磁気応用機器の開発に従事。電気学会会員。
Control Technology Research Center



齊藤 徹 SAITO Toru

生産技術センター 制御技術研究センター。
モーター及び磁気応用機器の開発に従事。
Control Technology Research Center



志賀 剛 SHIGA Tsuyoshi

東芝ホームアプライアンス(株) 技術本部 ランドリー技術部
主務。ランドリーの電子機器技術開発に従事。
Toshiba Home Appliances Corp.