

全自動洗濯機の低騒音性に革新をもたらした DD インバータ技術と洗濯機の進化

DD Inverter Technologies Bringing Innovation to Automatic Washing Machines with Quiet Operation and Evolution of Toshiba Washing Machine Products

岡崎 潔

■OKAZAKI Kiyoshi

従来、全自動洗濯機には運転時の騒音を低減したいという課題があった。また、近年ではユーザーのライフスタイルが変化し、洗濯機に求められる機能は、洗い上がりの良さや、低振動かつ低騒音、乾燥の仕上がりの良さなどから、洗う、すすぐ、絞る、乾かすといった洗濯乾燥機の基本性能を満足しながら運転時間を短縮することへと変化してきている。更にユーザーの環境意識が高まり、節水性や省エネ性も求められるようになってきた。

東芝はこうした要求に応えるため、ダイレクトドライブ (DD) インバータ技術を採用した全自動洗濯機を、1997年9月にわが国で初めて商品化した。その後もユーザーニーズの変化に応じて、高トルクと高速回転の両立や、省エネ性の向上、高出力と低コストの両立などを実現するDDインバータ技術を次々に開発して、洗濯機を進化させ続けている。

Reduction of operating noise was conventionally an issue in the field of fully automatic washing machines. Accompanying the lifestyle changes that have taken place in the Japanese market in recent years, the performance and functionality required for washer-dryers has shifted from washing performance, low vibration and noise, and drying performance to shortening of the washing time while maintaining the primary capabilities of washing, rinsing, spinning, and drying. Water-saving and power-saving technologies are also essential, reflecting the rising awareness of global environmental issues.

In response to these customer requirements, Toshiba developed and launched Japan's first fully automatic washing machine applying direct-drive (DD) inverter technology in September 1997. Since that time, we have been further evolving washing machine products through the development of DD inverter technologies to achieve a balance between high torque and high speed, to improve energy saving, and to attain high power at low cost.

1 まえがき

洗濯機の普及率はほぼ100%で、年間の需要も約400～450万台と安定している。こうしたなかで需要の中心は、1990年代前半に二槽式洗濯機から全自動洗濯機へと移った。また、ユーザーのライフスタイルや生活環境などが変化して、洗濯機に求められる機能は、洗い上がりの良さだけでなく、節水性や省エネ性、低騒音性など多様になってきている。

こうした要求に応えるため東芝は、独自のダイレクトドライブ (DD) インバータ技術を開発し、低騒音性を追求した国内初のDDインバータ全自動洗濯機AW-B70VP (図1) を1997年9月に商品化した⁽¹⁾。当社は、これ以降も洗濯機の低騒音化に注力し、後継機種AW-F70HVPは、独立行政法人 国民生活センターが行った試験で、洗濯時及び脱水時ともに対象機種中でもっとも騒音が小さいとの評価を得た⁽²⁾。

当社は、2000年代初期から市場に現れ始めたドラム式の洗濯乾燥機や縦型洗濯乾燥機にもこのDDインバータ技術を用いている。低騒音性だけでなく、省エネ性や、短時間化、洗濯性能の向上といった機能向上を実現するための技術も開発し、現在もなお、変化するユーザーニーズに応える洗濯機のコア技術として発展させ続けている。

ここでは、当社のDDインバータ技術の発展と、洗濯機の進



図1. 全自動洗濯機AW-B70VP — DDインバータ技術を採用した、わが国初のDDインバータ全自動洗濯機である。
AW-B70VP automatic washing machine, first model equipped with DD inverter motor

化について述べる。

2 AW-B70VPの低騒音化を実現した技術

2.1 DDインバータ技術

従来の全自動洗濯機の駆動方式は、誘導電動機を用いて

ベルトとギヤで減速する方式であり、これらの減速機構から発生する騒音が大きいのが課題であった。これに対してDD方式は、可変速モータをインバータで制御して、パルセータ及び脱水槽を直接駆動するものである。ベルトとギヤによる減速機構を廃止できるため、より静かな洗濯機を実現できる。

DDインバータ技術とは、これを実現するためのモータやその駆動制御技術などの総称である。

2.2 アウタロータ式ブラシレスDCモータ

DDインバータ技術の中心となるのがモータであり、当社は、アウタロータ式ブラシレスDC（直流）モータ（図2）を開発してAW-B70VPに搭載した。ブラシレスDCモータは、誘導電動機のような電磁音を発生せず、高効率である。またアウタロータ式にすることで、モータの中心からステータとロータ間のギャップ部までの径を大きくとれ、より高効率になる。この結果、2.3節で述べる高トルクで低回転数のモータとしては高効率を実現できた。

更に、モータ自体から発生する騒音を低減するため、磁束分布が変化して発生するコギングトルクの低減を図った。このために、磁石を円弧形状にすることで磁束分布を正弦波状にするとともに、ステータ先端の空隙を不均一にすることで磁束変化を低減する形状を採用した。

2.3 モータ駆動制御技術

アウタロータ式ブラシレスDCモータを全自動洗濯機に採用するにあたり、モータの駆動制御技術の開発も必要であった。全自動洗濯機の負荷は、洗い運転時には、高トルクで低速回転が、一方脱水運転時には、低トルクで高速回転が必要になる。このため、通常的设计では、洗い運転時の負荷点と脱水運転時の負荷点を一つの特性で満たす、図3の実線で示す特性を持つモータを用意する必要がある。しかし、このような

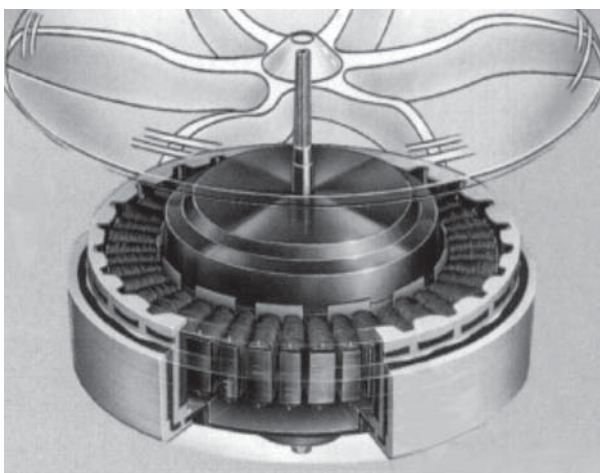


図2. アウタロータ式ブラシレスDCモータ — 小型で、高出力、高効率なアウタロータ式ブラシレスDCモータを開発して、AW-B70VPに採用した。
Outer rotor brushless DC motor

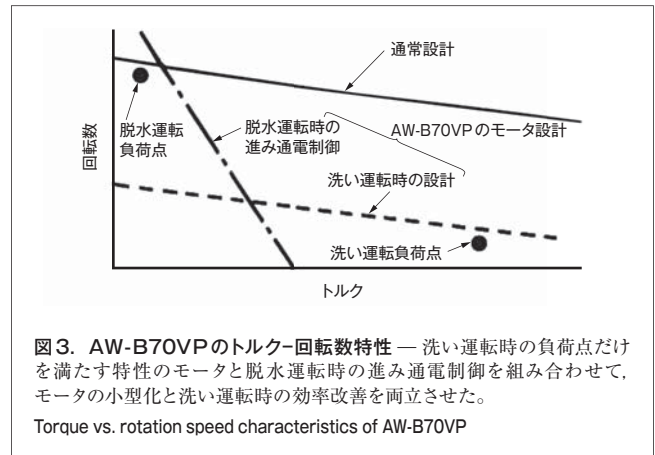


図3. AW-B70VPのトルク-回転数特性 — 洗い運転時の負荷点だけを満たす特性のモータと脱水運転時の進み通電制御を組み合わせ、モータの小型化と洗い運転時の効率改善を両立させた。

Torque vs. rotation speed characteristics of AW-B70VP

モータは、大型化と洗い運転時の効率低下を招いてしまうという問題があった。

これを防ぐため、AW-B70VPでは通電位相制御を採用した。モータ設計としては洗い運転時の負荷点だけを満たす特性（図3の破線）に合わせ、脱水運転時には、通電位相を進める進み通電制御（図3の一点鎖線）を行うことで、モータの大型化と洗い運転時の効率低下を防いだ。

更に、モータのトルク変動によって発生する騒音を低減するため、正弦波通電制御技術を開発した。

3 DDインバータ技術の発展と洗濯機の進化

洗濯機の騒音を低減するために開発したDDインバータ技術であったが、前述のように、ユーザーのニーズは多様化してきており、ライフスタイルの変化から、深夜や早朝に洗濯する人が増え、洗濯機の低騒音化は引き続き強く求められている。一方、洗濯乾燥機の出現などにより、省エネ性や短時間化なども注目を集めるようになった。当社は、開発したDDインバータ技術を洗濯乾燥機にも応用するなどして、低騒音化だけでなく、洗濯機の省エネ性向上や、短時間化などの技術開発を通して洗濯機を進化させてきた⁽³⁾⁻⁽⁵⁾。DDモータと洗濯機の変遷を図4に示す。

3.1 より高いトルクと高速回転を実現したS-DDモータ

ドラム式洗濯乾燥機は全自動洗濯機とは異なり、洗い運転時には、ドラムを回転させて洗剤液を含んだ衣類を重力に逆らって持ち上げて落とす、たたき洗いをしている。このため、全自動洗濯機以上の高いトルクが必要になる。また、乾燥運転時の省エネを図るには、乾燥に入る前に衣類からできるだけ多くの水分を除くことが必要である。このためには、脱水運転時に高速回転をすることで、脱水率を向上させる必要がある。ドラム式洗濯乾燥機が持つこれらの特徴のため、DDインバータモータには、より高いトルクと高速回転が求められる。

当社はこれを実現するため、次期モータとして、S-DDモータ

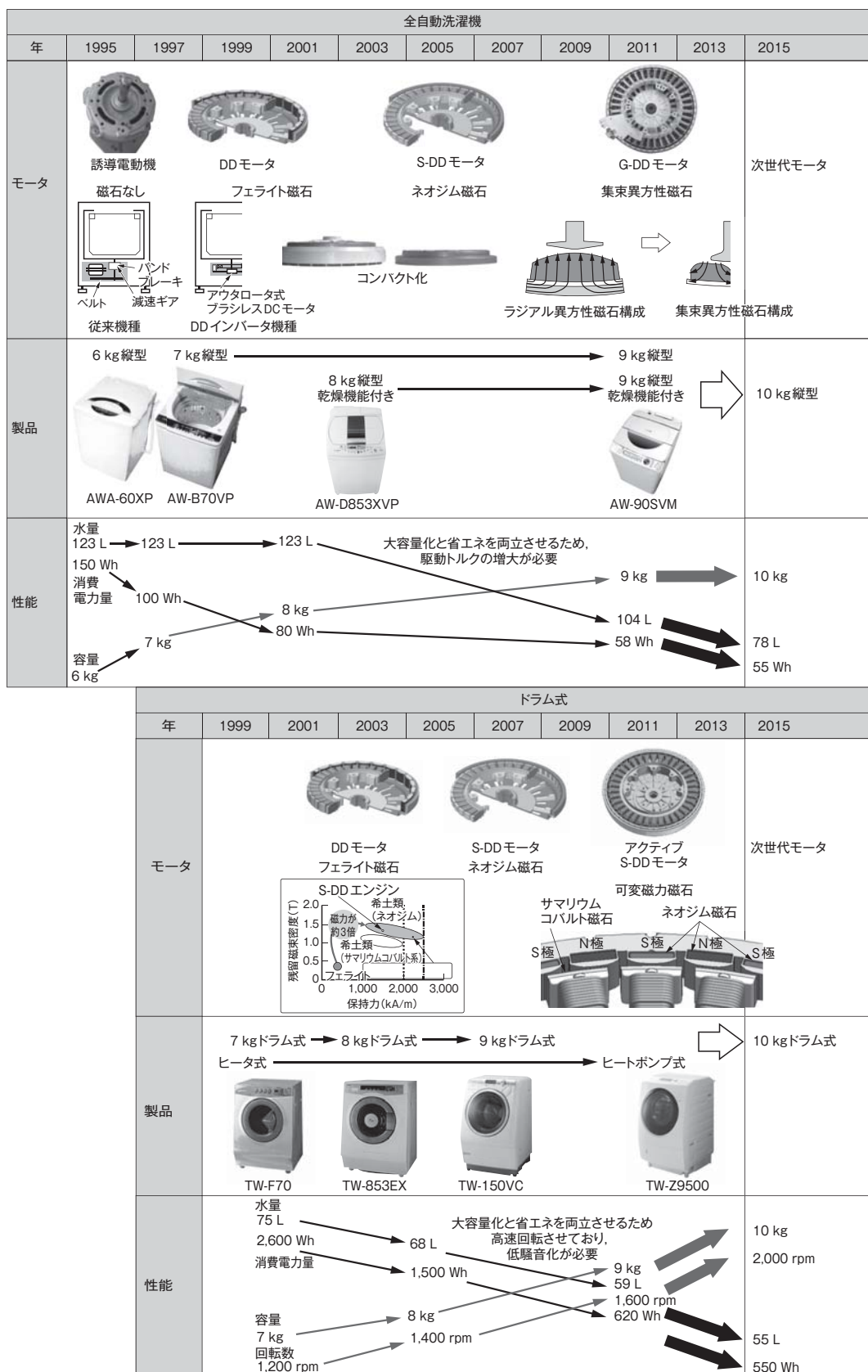


図4. DDインバータモータと洗濯機の技術動向と変遷 — 省エネや、大容量化、高速化などの製品要求仕様を満たすDDモータへと進化を続けている。
Trends in DD inverter motors, products, and performance of automatic washing machines

を開発し、東芝130周年記念商品である、ザ・フロントインドラム™ TW-130VBに採用し、2005年に商品化した。S-DDモータは、ロータの磁石を従来のフェライト磁石からネオジム磁石に変更し、コンパクト化を図るとともに高トルク化と高速化を実現した。

また、海外市場、特にアジア市場では、大容量の洗濯機が求められている。当社はこのニーズに応えるため、洗濯容量15kgといった大型全自動洗濯機にもこのS-DDモータを適用した。

3.2 磁力を変えられるアクティブS-DDモータ

S-DDモータで実現した高トルクと高速回転に加え、近年では、省エネ性のいっそうの向上が求められるようになった。

当社はこのニーズに応えるため、アクティブS-DDモータを開発し、2011年に商品化した。アクティブS-DDモータでは、洗い運転時には大トルクでたたき洗いともみ洗いをする事で洗浄性能の向上を図り、また脱水運転時には、いっそうの高速回転をさせて遠心力で衣類の水分や洗剤分を飛ばし、すすぎ性能の向上と水量の削減、及び乾燥時間の短縮を図った。

このような運転を実現するためアクティブS-DDモータでは、モータの駆動トルクが必要な洗い運転時と、モータの回転数が必要で駆動トルクが少なくてよい脱水運転時とで、内蔵の可変磁力磁石の磁力を変化させる技術を開発して適用した。運転工程に応じたモータ特性(図5)とすることで、電力消費量を運転工程ごとに適正化した。

3.3 低コスト型G-DDモータ

洗濯機の大型化や、大容量化、省エネ性と節水性のいっそうの向上などの要求により、モータの更なる高出力化が要求される一方、ネオジム磁石は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といったリスクがある。これを避けるため、磁石の脱ネオジム化が必要になってきている。

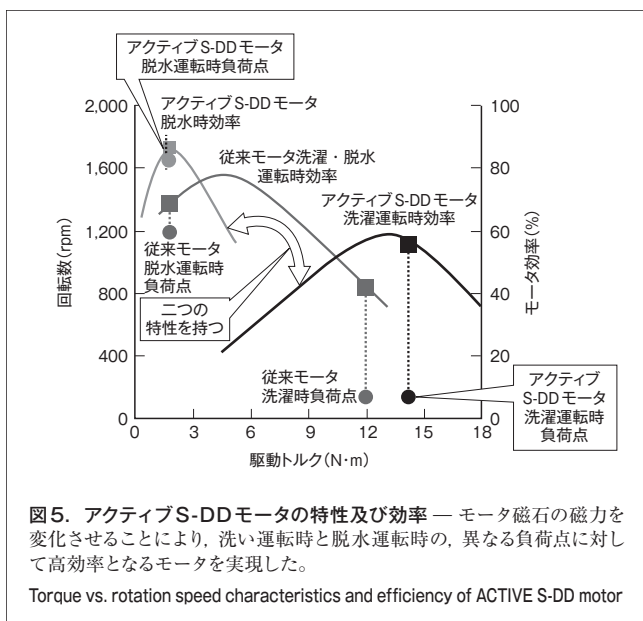


図5. アクティブS-DDモータの特性及び効率 — モータ磁石の磁力を変化させることにより、洗い運転時と脱水運転時の、異なる負荷点に対して高効率となるモータを実現した。

Torque vs. rotation speed characteristics and efficiency of ACTIVE S-DD motor

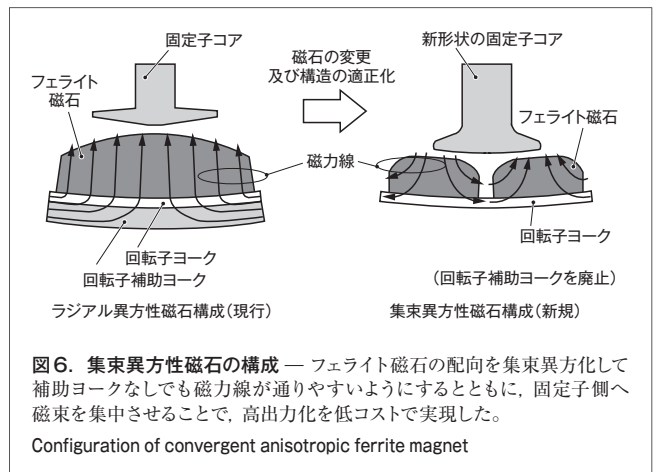


図6. 集束異方性磁石の構成 — フェライト磁石の配向を集束異方化して補助ヨークなしでも磁力線が通りやすいようにするとともに、固定子側へ磁束を集中させることで、高出力化を低コストで実現した。

Configuration of convergent anisotropic ferrite magnet

そこで当社は、フェライト磁石の配向を集束異方化して補助ヨークなしでも磁力線が通りやすいようにするとともに、固定子側へ磁束を集中させ(図6)、更に新形状のコアで出力を改善する低コスト型のG-DDモータを開発し、2012年に商品化した。これにより、性能を維持しながら、全自動洗濯機の低コスト化を達成した。

4 あとがき

1997年にDDインバータ全自動洗濯機AW-B70VPを発売して以降、当社は洗濯機のコア技術であるDDモータを核としたDDインバータ技術の開発を続け、ユーザーニーズに応える商品を実現し、洗濯機を革新させ続けてきた。

今後も、更なるコスト低減を図るとともに、洗濯機の洗う、すすぐ、絞るといった基本性能を更に向上させるため、新たな技術開発を進めていく。

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.
- (2) 国民生活センター. “全自動洗濯機の比較テスト結果”. 国民生活センターホームページ. <http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20010706_1.pdf>. (参照2014-01-19).
- (3) 今井雅宏 他. ヒートポンプ搭載ドラム式洗濯乾燥機. 東芝レビュー. 61, 10, 2006, p.8-11.
- (4) 田中照也 他. エアコンサイクル乾燥方式を搭載したドラム式洗濯乾燥機の紹介. 冷凍. 82, 951, 2007, p.57-61.
- (5) 西脇 智 他. ヒートポンプ式ドラム洗濯乾燥機TW-4000VFの省エネ技術. 東芝レビュー. 63, 10, 2008, p.15-18.



岡崎 潔 OKAZAKI Kiyoshi

東芝ホームアプライアンス(株) 開発生産本部 ランドリー技術部 主幹。ランドリー製品の企画、設計、及び開発に従事。
Toshiba Home Appliances Corp.