

# 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

AW-B70VP Automatic Washing Machine with Direct Drive Inverter Technology

今井 雅宏  
M. Imai

洗濯機需要は二槽式洗濯機から全自動洗濯機に変化し、全自動洗濯機が80%を超えている。また、全自動洗濯機の購買層は、二槽式洗濯機からの買替えに代り全自動洗濯機からの買替えへと変化がみられる。このため、不満点の解消が重要となり、当社はいち早く使用水量・洗濯時間削減、大容量化を図ってきた。購入動機の中位である全自動洗濯機の騒音は、購入後の不満点では上位に位置し、またマンションなどの隣家騒音問題や共働き増加に伴う早朝・深夜洗濯の増加によって、静音化が望まれている。

そのような状況のなか、従来の全自動洗濯機の駆動方式であるベルト・ギア減速方式に代えて当社独自のダイレクトドライブ (DD) インバータ技術を開発し、業界トップの低騒音 (約 45 dB) 化を実現した全自動洗濯機を発売した。

Demand for washing machines has been shifting from twin-tub to automatic models, and the penetration rate of automatic washing machines now exceeds 80%. This has resulted in a change in the profile of purchasers of automatic washing machines, from users who had been using a twin-tub model to users already using an automatic model. It has therefore become important to solve the points of customer dissatisfaction concerning automatic washing machines.

Toshiba has been leading the market by reducing the water consumption and washing time of its automatic models and shifting promptly to large-capacity models. Although noise is not a significant purchasing motive for buyers of automatic washing machines, it is ranked high as a point of dissatisfaction after purchase. Moreover, there is demand for quiet-running automatic washing machines due to the increase in problems related to noise from adjacent dwellings in apartment houses, and the growing practice of washing laundry early in the morning or late at night accompanying the rise in dual-income families.

In consideration of the above situation, we have developed the AW-B70VP automatic washing machine with direct drive (DD) inverter technology. Incorporating Toshiba's original technologies, the AW-B70VP has attained the lowest level of running noise in the industry.

## 1 まえがき

わが国の洗濯機市場は年間 450~500 万台の安定需要があり、その需要の中心は全自動洗濯機に変化しており、1997 年度には、84%になると予想されている。また、全自動洗濯機の購買層はすでに全自動洗濯機からの買替えとなっている。このため、全自動洗濯機の新規開発には過去の全自動洗濯機への不満点の解消が重要となってきた。

当社は、その不満点の上位にある使用水量の節減、洗濯時間の短縮化、および大容量化に対応して、94 年度に AW-50/60X7 を発売し、さらに 96 年度に AW-A70X/XP を発売した。

全自動洗濯機の騒音は、購入動機の中位ではあるが購入後の不満点では上位にあり、買替え層には、購入動機の上位となりうる。さらに、マンションやアパートにおける隣家騒音問題、共働きの増加に伴う洗濯時間の早朝・深夜化によって静かな洗濯機が望まれている。

このような背景から、当社は独自の DD インバータ技術



図1. 全自動洗濯機 AW-B70VP 当社独自の DD インバータ技術により業界トップの約 45 dB まで低騒音化した。

AW-B70VP automatic washing machine

を開発し、洗濯・脱水時の騒音を図書館並みの静かさ(約45 dB)にまで抑えた業界トップの低騒音全自動洗濯機 AW-B70/80VP を 97 年秋に発売した。ここでは、AW-B70VP (図1) を代表機種として DD インバータ技術を中心とした静音化技術を紹介する。

## 2 DD インバータ全自動洗濯機 AW-B70VP の概要

AW-B70VP は、洗濯容量 7 kg のふろ水給水ポンプ内蔵全自動洗濯機である。

主な特長は次のとおりである。

- (1) “うるさくしま洗”の技術開発で業界トップの低騒音化を実現
  - ・標準コース 洗い：38 dB, 脱水：45 dB
  - ・“すやすや”コース 洗い：38 dB, 脱水：40 dB
  - ・低騒音ふろ水給水ポンプ 45 dB
- (2) “からみま洗”の技術で当社独自のスクリーパーとインバータの回転数可変水流により、布からみを従来比 30% 低減。しわも押さえて、取出しから干すまで“ラクラク洗濯”を実現
- (3) インバータの回転数可変により、洗濯物の布質や汚れ具合に合わせて7段階の水流強弱が選べる“お好み水流”の採用
- (4) “がんこ汚れ”をきれいに落とす“ザブザブ”コースを洗濯容量 7 kg (従来 3.2 kg) の定格容量まで拡大
- (5) パルセータに加わる負荷抵抗を直接検知することで、従来の自動設定水位 10 段階を無段階にして年間約 2.7 トンの節水を実現(“時間半分・水半分”の進化)

## 3 DD インバータ技術

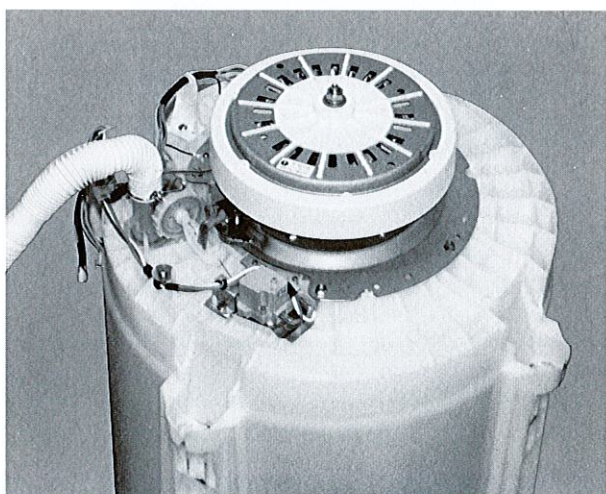
DD インバータ技術とは、従来の全自動洗濯機の駆動方式である誘導モータを用いたベルトギア減速方式から、インバータ駆動による可変速モータにより直接パルセータおよび脱水槽を駆動する DD 方式(図2)に変更することで、ベルトギア減速機構を廃止し、駆動機構騒音をなくすことにより静かな全自動洗濯機を実現する技術の総称である。しかし、これを実現するためには、次に示す技術バリアがあった。

- (1) 全自動洗濯機の負荷特性には、高トルク/低回転が必要な洗い運転と、低トルク/高回転が必要な脱水運転があり、これを一つのモータで両立させるためには大型のモータが必要である。
  - (2) モータが大型化、すなわちモータ出力が大きくなれば、それに伴ってモータ自身の騒音が大きくなる。
- これらの技術バリアを解決する技術として、次に示す技術を開発・適用した。

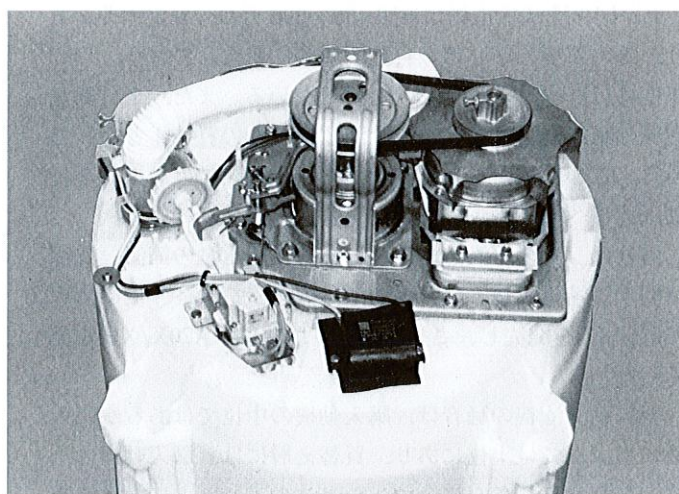
- (1) 小型化技術
  - (a) アウタロータ方式のブラシレス DC モータの採用
  - (b) 負荷特性対応のための通電位相制御の採用
- (2) 低騒音化技術
  - (a) コギングトルク騒音低減のための円弧形状磁石と、不均一空隙(げき)形状ステータの採用
  - (b) トルクリップ騒音低減のため、低コストの正弦波通電制御の適用

### 3.1 アウタロータ方式ブラシレス DC モータ

表1にモータ方式の比較を示す。この中から、製造技術



(a) AW-B70VP 機構部



(b) 従来機構部

図2. 機構部の比較 DD インバータ方式は、ベルトギア減速方式に比べシンプルな構造である。

Comparison of mechanical sections

表1. モータ方式の比較

Comparison of motor systems

| モータ方式  | 誘導モータ |       | ブラシレス DC モータ |       |
|--------|-------|-------|--------------|-------|
|        | インナ方式 | アウト方式 | インナ方式        | アウト方式 |
| 騒音低減   | ×     | △     | △            | ○     |
| モータ効率  | ×     | △     | △            | ○     |
| モータ小型化 | ×     | △     | △            | ○     |
| センサ精度  | ×     | △     | △            | ○     |
| 洗濯機高さ  | ×     | △     | △            | ○     |
| 製造技術   | ○     | △     | △            | ×     |
| 総合評価   | ×     | △     | △            | ○     |

の開発は必要となるが、小型化の可能性の高いアウトロータ方式のブラシレス DC モータを選定した。ブラシレス DC モータは、誘導モータのような電磁音を発生せず高効率で、さらにアウトロータ方式にすることでモータ中心からステータとロータのギャップ部までの径が大きく取れ、より高効率になる。この結果、洗い運転の定格負荷点 (18 Nm/150 rpm) で、効率 54 % (インバータ回路ロス含む、通常は 50 % 以下) を達成し、高トルク/低回転数モータとしては高効率なモータを開発できた。

### 3.2 通電位相制御

前述したように、全自動洗濯機の負荷は、洗い運転時は高トルク/低回転が必要で、脱水運転時は低トルク/高回転が必要となる。このため、通常であれば図3の実線で示した両負荷点を満たす特性のモータを設計することとなり、モータの大型化と洗い運転時のモータ効率の悪化を招く。

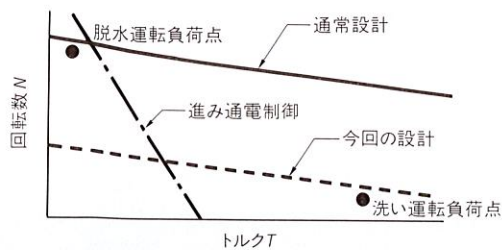


図3. 通電位相制御による T-N 特性変化 進み角通電制御により、脱水運転負荷特性を満たした。

T-N property diversity by phase-controlled input

これを防止するために、産業機器で使用されている通電位相制御を採用することとした。この制御は、高トルクの必要な洗い運転時の特性に合わせたモータを設計し、(図3の破線)、脱水時は通電位相を進める制御(進み通電制御)を行い、モータ特性を図3の一点鎖線のように変化させるもので、モータの大型化と洗い運転時の効率悪化を招かないで、両極端な洗い運転と脱水運転の負荷特性を満たすものである。

### 3.3 コギングトルクの低減

ブラシレス DC モータは、ロータを回転させるとステータに対する磁石の磁束分布の大きさと向き(N/S極)が変化する。この磁束の変化量はコギングトルクと呼ばれ、この変化が急激に発生するとモータの騒音となる。

このコギングトルクの変化量を小さくするには、磁束分布を正弦波状にすることが必要であり、このために磁石形状を図4に示す円弧形状磁石とした。また、ステータ先端形状が同一であると、磁束の向きの変化が同時に発生するため、コギングトルクも大きくなる。このため、ステータの先端形状を不均一空隙形状にして、同時に発生する磁束変化を1/2にした。これらの改善により、コギングトルクは対策がない場合の1/10に低減できた。



図4. コギング音低減の構造 マグネットの円弧形状化、ステータの不均一空隙化によりコギングトルクを低減した。

Cogging sound reduction structure

### 3.4 低コストな正弦波通電制御

ブラシレス DC モータの発生トルクの大きさは、磁束量と巻線に流れる電流の積算値となる。磁束量は、前述したようにコギングトルク低減のために正弦波状になっている。これに正弦波状の電流を流すと積算値は正弦波の2乗 ( $\sin^2 \theta$ ) になり、位相角が  $120^\circ$  ずれた三相巻線に発生するトルクを重ね合わせることでモータトルクは次式のようなになる。

$$\sin^2 \theta + \sin^2(\theta + 120^\circ) + \sin^2(\theta + 240^\circ) = \text{一定}$$

この結果、モータトルクは変動がない理想的な形状となり、トルク変動による騒音の発生はなくなる。しかし、これを行うにはそのときの回転数に応じて正弦波状の電流を流す必要があり、通常はブラシレス DC モータ駆動に使われる

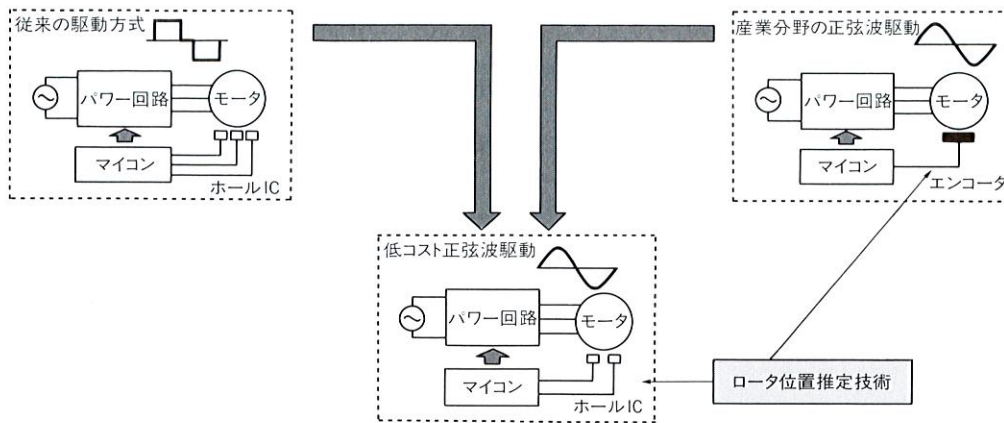


図5. 低コスト正弦波通電制御の概念 マイコンで高精度なエンコーダの代りを行い、低コストな正弦波通電を実現した。  
 Concept of low-cost sine wave input control

通電方向検出用の位置センサとは別に、高精度なエンコーダが必要となる。このエンコーダは、産業機器などのブラシレス DC モータの正弦波通電の制御に使われており、高価なため家電機器への採用は無理である。このため、マイコンによって位置センサ検出結果から演算処理により回転数を高い精度で推定し、正弦波状電流を巻線に流す低コストの正弦波通電制御を開発した(図5)。

#### 4 静音化技術

AW-B70VPの低騒音化は、DD インバータ技術だけで実現できたのではなく、その他の静音化技術を開発することにより実現できた。以下にその代表例を紹介する。

##### 4.1 静音クラッチ機構

クラッチ機構はモータのステータ内部に配置され、洗い運転時は脱水槽の動きを止め、脱水運転時はモータの回転力を脱水槽に伝える重要な機構である。このクラッチ機構のしゅう動部および嵌(かん)合部には、騒音低減のためのクッション部材などの静音化構造を盛り込んでいる(図6)。

##### 4.2 新ダンパおよびアンバランス低減制御

全自動洗濯機は、脱水運転時の脱水槽の振動を防振し、外箱に伝わらないようにするために、脱水槽を収納した水槽をダンパを介してつり棒で外箱につった構造となっている。従来、このダンパは図7のようにケース、しゅう動部材、ばねから構成され、ケースとしゅう動部材によりケース内部に空気を閉じ込める、いわゆるエアダンパ構造としていたが、このケースとしゅう動部材との擦れ音、エアの漏れ音が脱水騒音を悪化させていた。このため、このケースとしゅう動部材を廃止し、ダンパ効果をばね受けとつり棒、およびばねとばねの外側に巻いたゴムの摩擦を利用した構造の新ダンパを開発した。しかし、この構造はエアダ

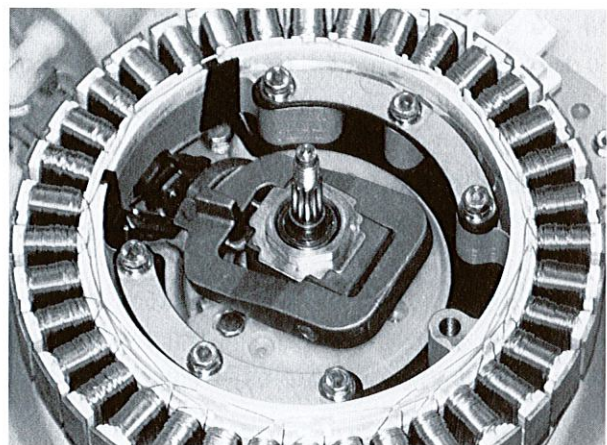


図6. クラッチ機構 モータのステータ内部に配置されるもので、しゅう動部、嵌合部など随所に静音化構造を盛り込んでいる。  
 Clutch system

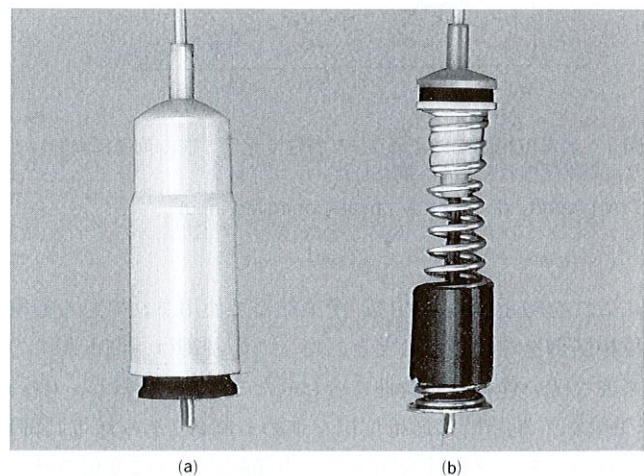


図7. ダンパの比較 新ダンパ(b)はケース、しゅう動部材を廃止した簡単な構造となっている。  
 Comparison of dampers

ンパ方式に比べ、ダンパ力は少なく、洗濯物の重量アンバランスが大きいと脱水起動時の異常振動が発生しやすくなる。このため、インバータの特長である回転数可変を使い、洗い運転時の布からみを少なくする制御を取り入れ、アンバランスの発生量を少なくするとともに脱水起動方法を見直し、このダンパを使用できるようにした。

#### 4.3 低騒音ふる水給水ポンプ

近年、ふる水給水ポンプは全自動洗濯機に必須(す)の機能となりつつある。このため、これの低騒音化にも取り組んだ。ポンプ騒音の周波数分析結果から、ポンプ羽枚数を4枚から8枚に増やすことによる共振の回避、羽形状および取付け構造の変更を行った結果、騒音を50 dBから45 dBへと低減させた。

## 5 あとがき

DD インバータ全自動洗濯機 AW-B70VP を代表機種として、DD インバータ技術を中心にした低騒音化技術について紹介した。この製品の販売実績は好調に推移している。これは、DD インバータ技術をシーズとして市場ニーズを掘り起こせたからであると考えている。今後は、さらに、DD インバータ技術の発展を図るとともに、新たなシーズを開発し、新しいニーズの掘起しに努力していきたい。



今井 雅宏 Masahiro Imai

愛知工場 ランドリー一部主務。  
全自動洗濯機の企画・製品開発に従事。  
Aichi Works