

ヒートポンプ式ドラム洗濯乾燥機 TW-4000VF の省エネ技術

Energy-Saving Technologies for TW-4000VF Drum Type Washer-Dryer with Heat Pump

西脇 智 河野 哲之

■ NISHIWAKI Satoru ■ KONO Tetsuyuki

洗濯乾燥機の市場規模が2008年度には洗濯機全需要の30%、約130万台まで成長すると見込まれ、そのうちドラム式洗濯乾燥機は80万台弱と予測^(注1)されている。

一方で、二酸化炭素(CO₂)排出量の抑制は世界的な急務であり、東芝ホームアプライアンス(株)はこれまでに、高容積化、ドラム式構造の採用、及びヒートポンプ式熱交換器の採用などにより、消費電力量と使用水量低減に貢献した製品開発を進めてきた。

今回開発したヒートポンプ式ドラム洗濯乾燥機 TW-4000VFは、新開発の高性能・小型コンプレッサと冷媒流量制御などにより、業界で初めて^(注2)1,000 Whを切る980 Whの消費電力量と60 Lの使用水量で6 kgの洗濯乾燥を行えるもので、全自動洗濯機による洗濯と同等以下の運転コストで洗濯乾燥を実現した。

Sales of washer-dryers in Japan are expected to reach about 1.3 million units in fiscal year 2008, accounting for about 30% of all washing machine sales, with those of drum type washer-dryers amounting to 0.8 million units. In response to the worldwide demand for the reduction of carbon dioxide (CO₂) emissions, Toshiba Home Appliances Corporation has been developing products that reduce both water and power consumption by introducing a high-capacity drum type structure and a refrigeration cycle using a heat pump system.

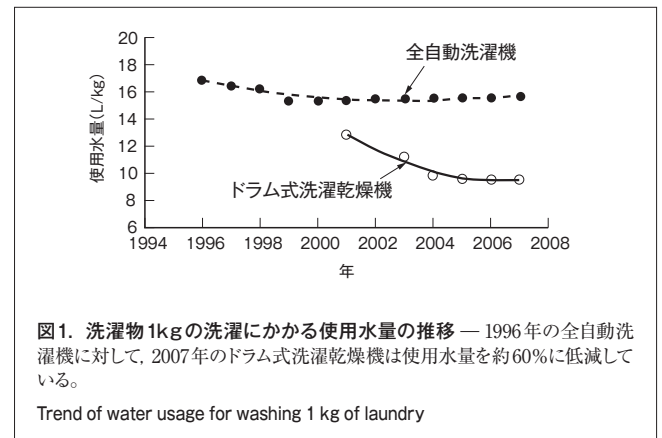
We have now released the TW-4000VF, a new drum type washer-dryer equipped with a heat pump system as well as a new compact compressor and new refrigeration cycle control system. As a result of these technologies, the TW-4000VF features high energy-saving performance and high washing and drying performance.

1 まえがき

東芝ホームアプライアンス(株)は、市場をリードする形で2000年に、当時ヨーロッパで主流だったドラム式洗濯機に当社独自のDD(Direct Drive)モータを搭載することで、日本の家庭に合った軽量・低振動・低騒音の洗濯乾燥機を開発し、発売した。その後、縦型洗濯乾燥機を含めた洗濯乾燥機の需要が急拡大し、2008年度には洗濯機全需要の30%、年間約130万台の需要になると予想されている。これは、住宅の高層化や花粉被害の拡大といった外に干せない住環境の変化や、共働き世帯の増加による洗濯時間の早朝・深夜化といったライフスタイルの変化で、天日干しのできない家庭が増えていることが要因になっていると考えられる。

一方、1997年の京都議定書の目標値に反して、家庭からの二酸化炭素(CO₂)排出量は増えており、洗濯乾燥機においても消費電力量と使用水量の低減が急務となっている。

当社はこれまで、全自動洗濯機の節水構造、高容量化、及びドラム式構造の採用などにより、洗濯物1kg当たりの洗濯にかかる使用水量を低減してきており、2007年の製品は、



1996年に対して約60%のレベルを達成している(図1)。

消費電力量に関しても、高容積化やヒートポンプ式熱交換器の採用などにより、2007年の製品は2000年の1/3のレベルまで低減してきている(図2)。

今回開発したドラム式洗濯乾燥機“ヒートポンプハイブリッドドラム TW-4000VF”(図3)は、これらの節水や節電を更に推し進めた製品であり、標準コースで定格6kgの洗濯乾燥を、60 Lの使用水量と980 Whの消費電力量で実現した(洗濯定格9kgの洗濯時の使用水量は75 Lで8.3 L/kg)。これ

(注1) 2008年8月現在、当社調べ。

(注2) 2008年8月時点、当社調べ。

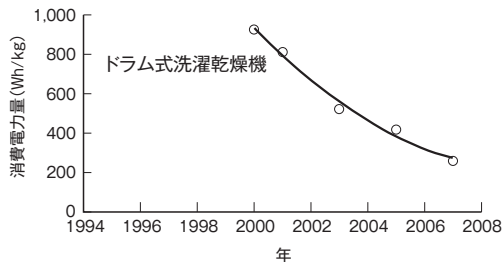


図2. 洗濯物1kgの洗濯乾燥にかかる消費電力量の推移 — 2000年のドラム式洗濯乾燥機に対して、2007年は消費電力量を約1/3に低減している。
Trend of power consumption for washing and drying 1 kg of laundry



図3. ヒートポンプハイブリッドドラム TW-4000VF — 低消費電力と小型化を特長とするドラム式洗濯乾燥機である（洗濯乾燥定格6 kg, 洗濯定格9 kg）。
TW-4000VF “heat pump hybrid drum” washer-dryer

は、水と電気の使用量を金額に換算すると、全自動洗濯機による洗濯と同等以下の運転コストで乾燥まで行うことができるものである。

2 TW-4000VFの概要

ヒートポンプハイブリッドドラム TW-4000VFは、長年にわたり培ってきたDDモータ及びヒートポンプとその制御技術を融合させることで、高度な基本性能を実現した洗濯乾燥機である。

エアコンと同様の除湿・冷房機能を持つ新開発のエアコンサイクルエンジンの採用により、乾燥時にヒータや冷却水をまったく使わない洗濯乾燥機として2006年から製品化してきた。TW-4000VFでは、その心臓部であるヒートポンプユニットを新規設計し、小型化と高効率化を実現し、制御内容を刷新した。また、S-DD (Super-DD) モータは、最高回転数1,300 rpmの強力脱水で乾燥前に水分を絞り、約80%の脱水率まで水分を取り除いた後に乾燥工程へ移行することで、乾燥時間と乾燥消費電力の低減に大きく寄与している。更に、洗濯においては衣類へのシャワーすぎを採用し、節水性を高めている。

3 省エネ技術

3.1 ヒートポンプユニットと冷凍サイクル制御

新規設計のヒートポンプユニットは、その主要な構成要素であるコンプレッサ、熱交換器、及びファンのすべてにおいて小型化と高効率化を実現している（図4）。

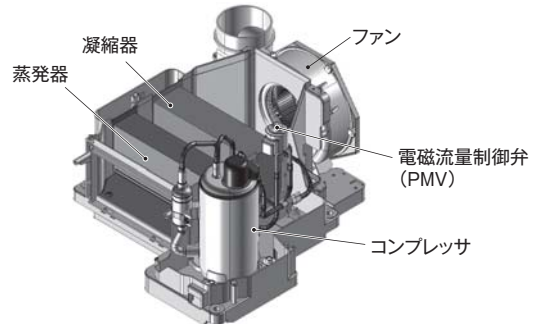


図4. ヒートポンプユニット — 主要な構成要素のすべてにおいて小型化と高効率化を実現した。
Heat pump unit

3.1.1 小型コンプレッサ TW-4000VF向けに、体積が従来比で約83%のシングルロータリ方式の小型インバータコンプレッサを新たに開発し、搭載した。コンプレッサ自身の熱容量を低減して加熱速度を高めたほか、モータ部には希土類磁石やコイルの集中巻きを採用し、機械部のシリンダの小型化とロータ軸の小径化による摩擦抵抗や圧力変動の低減などにより、高効率化を実現した。

3.1.2 小型熱交換器 熱交換器の熱は、空気、熱交換フィン、冷媒配管、及び冷媒を相互に行き来し、各工程での熱の移動が効率よく行われることが肝要である。TW-4000VFでは、熱交換フィンにはスリット構造を設け、冷媒配管には内部に溝付き構造をとっているほか、空気流量とのマッチングを図るため、熱交換器の高さと奥行きの比率を改善し、従来品に対して熱交換効率を約10%増加させた。

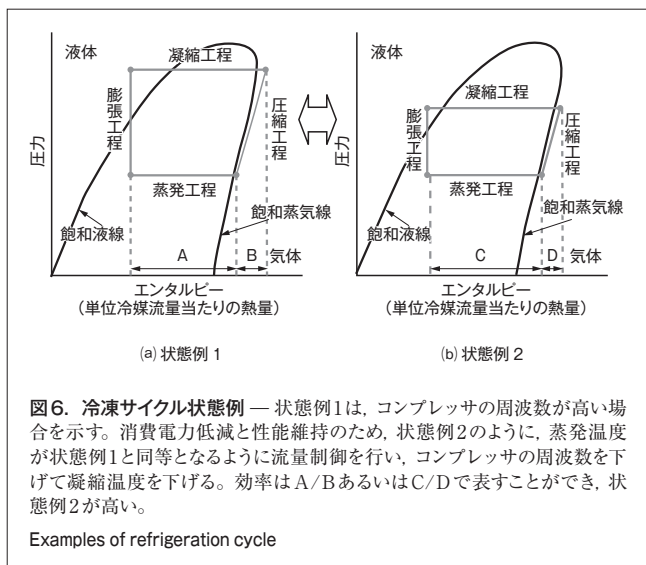
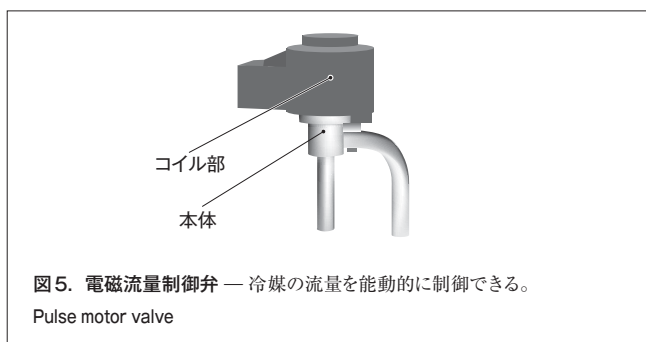
3.1.3 高効率冷凍サイクル制御 当社のヒートポンプ式洗濯乾燥機は、電磁流量制御弁を搭載していることを特徴とし、この構成を最大限に生かして高効率化を図っている。

冷凍サイクルは、まずコンプレッサから吐き出される高温高圧の冷媒が、加熱用熱交換器（凝縮器）を介して空気側に熱エネルギーを与える。熱エネルギーを与えられた高温の乾いた空気は、ドラム内に導入され、ドラム内でタンブリングされている衣類から水分を蒸発させ、湿った高温の空気となる。ドラムから排出された湿った高温の空気は、蒸発器で冷却されるため、蒸気が水分となり除湿水として排出される。このとき冷媒は、冷却用熱交換器（蒸発器）を介して、空気側から熱エネルギーをもらうことになり、冷媒は1サイクル回ってくる間

に、気体→液体→気体と相変化している。

この工程において、コンプレッサの周波数を高くすると冷媒の流量が増加するので、凝縮器～蒸発器間の配管の流量制限を加えることにより、凝縮器～蒸発器間に圧力差が生じ、凝縮器の温度を上げて蒸発器の温度を下げるができる。流量制限の方法として、電磁流量制御弁を用いており、これは、**図5**に示すコイル部にパルス通電することで、モータと同様の原理で本体内部のニードル部を上下し、管とニードルのすき間を変えることで、能動的に流量制御を行うものである。流量を制限するには、所定長さの細い配管（キャピラリチューブ）を用いる方法が簡便であるが、ほぼ一定の流量制御であり、最適制御には不向きである。

コンプレッサの周波数を高くすることは消費電力の増加を意味し、省エネの観点では、衣類からの負荷を処理できる最低の周波数で運転することが好ましい。一方、負荷量は乾燥の進行とともに減少し、時々刻々変化する。また、凝縮温度と蒸発温度の最適値は、コンプレッサの周波数制御だけでは必ずしも一義的に決まらず、凝縮温度の下降と蒸発温度の上昇が同時に起こるため、キャピラリチューブを用いた場合には、除湿するのに十分な蒸発器の温度低下が得られないなどの問題が生じてしまう。

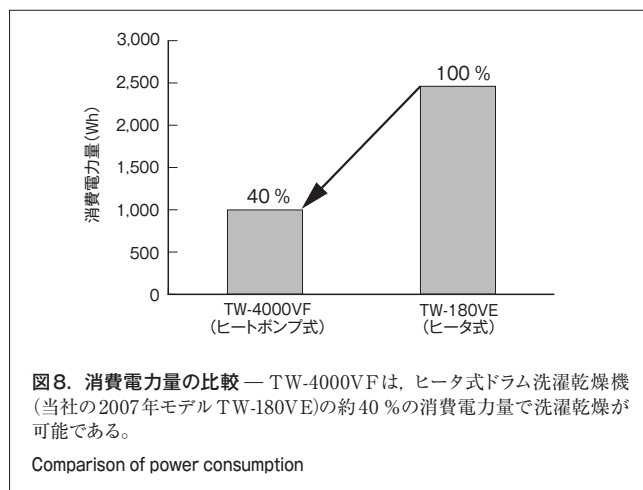
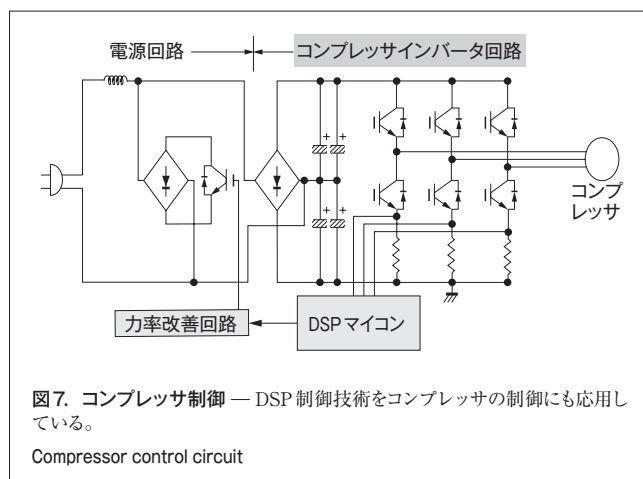


TW-4000VFでは**図6**に示すように、乾燥工程に即し、コンプレッサの周波数を制御して凝縮器の温度を下げ、電磁流量弁を制御して蒸発器の温度上昇を抑制し、蒸発温度を一定とすることで効率の高い状態を維持する制御を実現した。

3.1.4 インバータ制御 コンプレッサの駆動制御に、S-DDモータ駆動用として採用しているDSP (Digital Signal Processor) インバータ制御技術を応用した。ロータの位置推定ゲインの可変制御による確実な起動と、演算されたモータの誘起電圧と回転数から異常を即座に検出するアルゴリズムにより信頼性の向上を図ったほか、力率の改善にDSPマイコンから直接成形信号を出力する方式を採用した (**図7**)。

更に、省エネの観点から、ドラムブレーキ時に生ずる回生電流をいったんコンデンサに蓄積し、再利用する構成とした。乾燥運転では、その初期工程で衣類からの水分をしっかりと絞るために、衣類を加熱し水の粘性を下げた状態で高速脱水を行っており、また、衣類のはり付き防止のため複数回に分けて脱水している。各脱水ごとに回生電流を再利用することで、いっそうの消費電力低減に貢献している。

このように、これまでに培ってきた技術と新規開発技術を結集

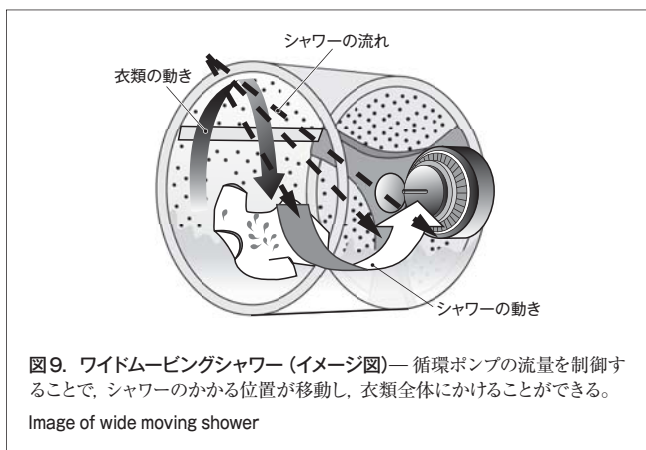


し、洗濯乾燥機として業界で初めて消費電力量が1,000 Whを切る980 Whを達成した。図8に示すように、この値はヒータ式洗濯乾燥機（当社の2007年モデル TW-180VE）の約40%である。

3.2 更に進んだ節水機能 “ワイドムービングシャワー”

全自動洗濯機では、衣類を脱水槽にはり付けたままで水をかけるシャワーすすぎが節水効率の高い方式として一般的であるが、ドラム式洗濯機の場合、衣類がドラムの奥行き方向に長く伸びているため、均一に給水することが難しく、採用されてこなかった。TW-4000VFにおいては、水の循環に能力可変のDC（直流）ポンプを採用し、水槽の底部にためた水をポンプ能力を変えながら循環することで、衣類にまんべんなく給水し、シャワーすすぎを採用することができた。これによりドラム式の特長である節水洗濯を更に進化させ、約60 Lの水量で6 kgの洗濯乾燥が、約75 Lの水量で9 kgの洗濯が可能となった（図9）。

これらの節水効果と前記消費電力量低減を合わせて試算すると、全自動洗濯機（当社 AW-90GF）での洗濯と同等以下の運転コスト^(注3)で洗濯乾燥まで行えるレベルであり、CO₂排出量も洗濯乾燥どうしの比較で約1/6^(注4)とすることができた。



3.3 小型化による省資源化と設置性向上

前記のコンプレッサ及び熱交換器の小型化により、約6 kgの軽量化と50 mmの本体高さ低減を実現し、省資源化と設置性向上に寄与している。最高部高さを1,030 mm、給水口の取付部高さを980 mmにすることで、約90%の家庭で設置できるようにした。

- (注3) TW-4000VF 6 kg 洗濯乾燥：49.6 円
(使用水量 60 L, 洗剤量 41g, 消費電力量 980 Wh)
AW-90GF 6 kg 洗濯：55.1 円
(使用水量 151 L, 洗剤量 50g, 消費電力量 143 Wh)
水道料金 228 円/m³ (税込), 洗剤単価 0.35 円/g (税込),
電力料金単価 22 円/kWh (税込)として試算。
- (注4) TW-4000VF 6 kg 洗濯乾燥：0.4 kg
(使用水量 60 L, 消費電力量 980 Wh)
AW-E80HVP 6 kg 洗濯, ED-C50H 6 kg 乾燥：2.4 kg
(使用水量 123 L, 消費電力量 6,040 Wh)
CO₂排出量は、水道水が0.36kg/m³, 電力量が0.39 kg/kWhとして試算。

4 TW-4000VFのそのほかの特長

4.1 仕上がり性能

ヒートポンプ式の大きな特徴である低温（約70℃）の乾いた空気を衣類に当てて除湿・乾燥することで、衣類の縮みやしわが低減し、天日干しと同等の上質の仕上がりを実現した。

4.2 使いやすさ（ユニバーサルデザイン）

出し入れのしやすい大口径の衣類投入口、大型液晶パネル、及び大型ダイヤルボタンの組合せで、見やすく操作しやすいコントロールパネルにした。

4.3 低振動・低騒音

前機種から採用の“ツイン振動センサ”と“DSP制御”によるアンバランス検知制御技術を更に改善し、“低硬度ベローズ”や“ヒートポンプユニットの除振構造”の採用など、内部の振動を外部に伝えない工夫を加え、洗濯脱水時39 dB、乾燥時42 dBの低振動・低騒音を実現した。

5 あとがき

洗濯乾燥機のニーズの高まりに対応して、消費電力量と使用水量の低減は急務であり、当社は、これに応えられる製品としてTW-4000VFを開発した。この製品では、使用水量と消費電力量を大幅に低減し、洗濯乾燥までの運転コストを全自動洗濯機で洗濯するのと同様以下で実現することができた。

今後も更なる技術開発を進め、当社が標榜する省エネ、健康、便利、及び地球環境保護などをキーワードとした“ecoスタイルTM”を具現化する家電機器へと進化させ続け、ユーザーの価値ある生活を支えていきたい。

文 献

- (1) 今井雅宏, ほか. 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.
- (2) 田中照也, ほか. 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.



西脇 智 NISHIWAKI Satoru

東芝ホームアプライアンス（株）家電機器開発部 要素技術担当主査。ランドリー製品の要素部品開発業務に従事。
Toshiba Home Appliances Corp.



河野 哲之 KONO Testuyuki

東芝ホームアプライアンス（株）ランドリー事業部 ランドリー技術部グループ長。ランドリー製品の設計業務に従事。
Toshiba Home Appliances Corp.