

# 家電機器用のモータとインバータ

Motors and Inverters for Home Appliances

谷本 茂也  
TANIMOTO Shigeya

長竹 和夫  
NAGATAKE Kazuo

洗濯機や冷蔵庫においては、モータとインバータが低騒音化や低消費電力化などの製品性能向上に大きな役割を果たしている。これらの製品のため、高度な数値解析を適用した設計による高性能なモータ、低価格で高性能を発揮するインバータなどを開発した。

DD(Direct Drive)洗濯機においては、低トルクむらのモータや低トルクむら用の駆動ソフトウェアに基づいたインバータで、静かな公園並みの低騒音化を実現した。冷蔵庫では、インバータ駆動によるコンプレッサモータ、ファンモータの高効率化や、2冷却器の構成で冷蔵室、冷凍室を冷却するといった製品の特徴を生かした制御で省電力化を達成した。

The motor and inverter play an important role in improving the product functions of washing machines and refrigerators, such as noise reduction and power consumption.

We have developed high-performance motors and low-priced, high-performance inverters by applying advanced numerical analysis to their design. For direct-drive (DD) washing machines, noise reduction was achieved by using a DD motor having lower torque ripple and an inverter controlled by an advanced motor-driving software. For refrigerators, power saving was achieved by using an inverter to drive the compressor motor and fan motors together with a control methodology making best use of the product's features.

## 1 まえがき

洗濯機や冷蔵庫などのいわゆる白物家電製品において、モータとインバータは、低騒音化や低消費電力化及び製品の性能向上のために大きな役割を果たしている。この背景には、モータ設計技術が高性能磁石を適用し、複雑な解析を駆使するなど高度化していることが挙げられる。また、マイコンやパワー半導体素子などの性能が飛躍的に伸び、併せて高度な駆動手法を適用できるインバータも実用的になってきたことも要因となっている。

DD洗濯機においては、数値解析を適用してトルクむらが少なく低騒音化を実現するための鉄心形状や永久磁石形状に特徴のあるDDモータを開発した。また、高度なモータ駆動ソフトウェアに基づいた演算型正弦波駆動インバータを開発した。これらによって低騒音化を実現している。

冷蔵庫では、コンプレッサやファンの駆動を永久磁石モータで行い高効率化するとともに、製品の特徴を生かしたモータ制御によって省電力化を達成している。

ここでは、多くのユーザーから高い評価を受けたDDインバータ洗濯機及び冷蔵庫“みはりばん庫”に用いられている永久磁石モータとインバータの概要について述べる。

## 2 洗濯機用モータとインバータ

### 2.1 洗濯機における駆動の特徴

洗濯機駆動の特徴として、洗濯物の攪拌(かくはん)のために大きなトルクが必要となる点が挙げられる。これまでは、ギヤやベルトなどを用いた機構が採用されていた(図1(a))。この方式では、モータのトルクを有効に利用できる反面、ギヤ

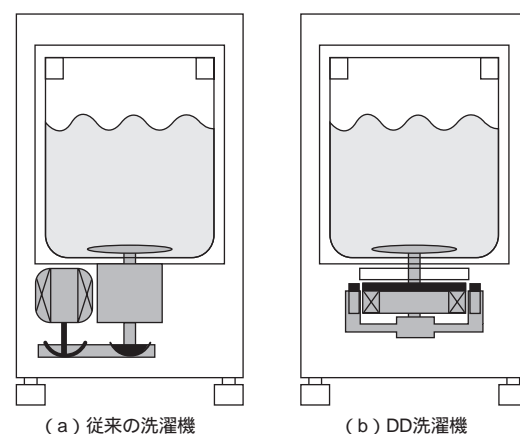


図1. 洗濯機機構部の比較モデル 低騒音化のため(b)のように洗濯槽の回転軸とモータ回転軸を一致させたDD機構を採用した。  
Comparison of washing machine driving methods

などの機械音が大きくなっていった<sup>(1)</sup>。更に、洗濯槽の回転軸とモータ回転軸が別々であるため、機構部のバランスがとれないので騒音が大きくなるといった問題もあった。

したがって、洗濯機の低騒音化を図るためには、図1(b)に示すように、ギヤなどの機構を排除し、回転中心にモータの回転軸を一致させるDD機構が必要となる。DD機構に適用するモータとインバータでは、小型化や高効率化が必要であるが、更にモータの低騒音化のためにトルクむら(コギングトルクむらと出力トルクむら)を少なくすることが重要である。そこで、モータにおいては、コギングトルクと出力トルクむら低減のために鉄心や永久磁石の形状を最適化した。また、インバータにおいては、出力トルクむら低減のために正弦波駆動とした<sup>(2)</sup>。

## 2.2 永久磁石型モータ

固定子と回転子の間にある空隙の磁気エネルギーが、回転子の回転とともに変動することが、永久磁石モータに特有なコギングトルクの発生の要因となる。そのため、空隙磁束分布を滑らかにして、磁気エネルギーの変動が少ない磁石形状と固定子鉄心形状の設計が必要となる。後述するように、DD洗濯機では、正弦波駆動のインバータが用いられるので、滑

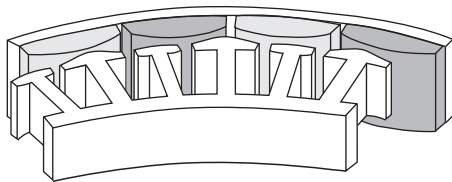


図2．固定子鉄心と永久磁石の形状の概略 モータの永久磁石を円弧形状にするとともに、固定子鉄心のティース幅を大小2種類にすることで、コギングトルクを減少させた。

Stator core and magnet shape

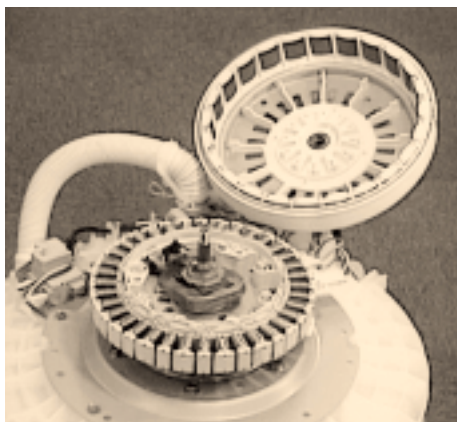


図3．DDモータの固定子と回転子 洗濯機の水槽に取り付けた状態を示す。

Stator and rotor of DD motor

らかな空隙磁束分布として正弦波状にすることが不可欠である。

開発したモータの永久磁石では、内径、外径の形状を円弧形状とし、また、1極の中央部に比較して端部が薄くなるようにしている。更に、固定子鉄心の空隙に面するティース幅も2種類の寸法を設定しこれら大小のティースを交互に配置して、空隙中での磁気エネルギー変動、すなわちコギングトルクの減少を図っている。

永久磁石形状と固定子鉄心の概略を図2に示す。また、開発した永久磁石モータが洗濯機の水槽に取り付けられた状態を図3に示す。

## 2.3 DDモータ用インバータ

インバータには、モータを駆動する出力波形に応じて、図4に示すように二つの方式がある。安価であるが出力トルクむらの大きい矩形(くけい)波駆動と、高価であるが出力トルクむらの小さい正弦波駆動である。これまで、家電機器用インバータには前者が適用されてきたが、出力トルクむらの減少を図り低騒音化するためには正弦波駆動が必要になる。

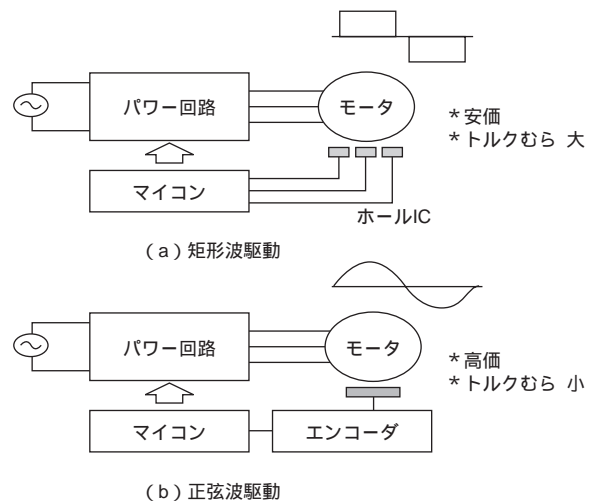


図4．矩形波駆動と正弦波駆動の基本構成の比較 出力トルクむらを減らし、低騒音化するには正弦波駆動が必要になる。

Comparison of inverter driving methods

通常、正弦波駆動のためには詳細な回転子の位置情報を得るためのロータリエンコーダを必要とする。しかし、この方式ではモータが高価格となるので、今回開発したDDモータ用のインバータにおいては安価な素子を用いることにした。ホールICによって得られる回転子の少ない位置情報から、正弦波を生成する駆動ソフトウェアを開発した。図5は、矩形波駆動と正弦波駆動の出力トルクむらの比較を示しているが、後者の方法においてトルクむらが少なくなっていることがわかる。

このインバータでは、洗濯機特有の駆動として更に次のよ

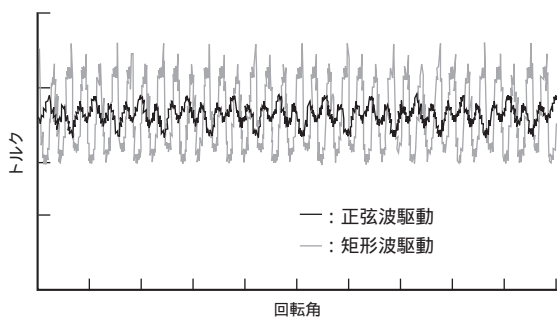


図5．出力トルクむらの比較 正弦波駆動では、トルクむらが低減され低騒音につながる。  
Comparison of torque ripple

うな機能を持っている。洗いモードにおける大トルク、低速度制御、脱水モードにおける小トルク、高速度制御のための弱め界磁駆動などの最適位相制御、緊急時に停止させるためのブレーキ制御といった機能などである。開発したインバータシステムの概略を図6に示す。このようなモータとインバータを適用したDD洗濯機では、振動系の最適化なども行き、脱水時の騒音が最大でも40 dBAと静かな公園並みになっている。

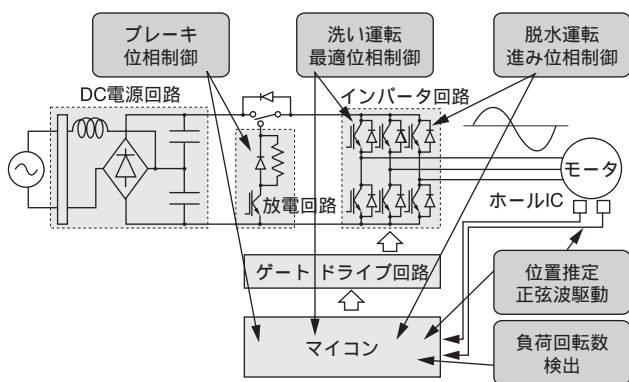


図6．インバータの構成 洗濯機特有の各種駆動制御機能を備えている。  
Inverter circuit and functions

### 3 冷蔵庫用永久磁石モータとインバータ

#### 3.1 省電力化への基本概念

多くの冷蔵庫では、冷蔵室と冷凍室の冷却は一つの冷却器により行われている。使用されるモータも冷蔵室送風ファン、冷凍室送風ファン、機械室送風ファン(それぞれRファン、Eファン、Cファンと略記)やコンプレッサでは単相誘導モータが使

用されるのが一般的であった。冷蔵庫は、家庭の中でも比較的消費電力の多い製品で、これまで冷却方法やモータ性能の改善は行われてきたものの、省電力化には限界があった。

当社の開発した冷蔵庫“みはりばん庫”では、コンプレッサ及び各ファンに適用するモータを永久磁石モータに置き換えて、インバータによる可変速度を行い消費電力の低減を図っている。更に、冷却器を二つ用いる方式の採用などで、冷蔵庫の冷却システムとしても消費電力低減を図っている。

#### 3.2 ツイン冷却器構成とインバータ駆動

新たに開発された冷蔵庫は、図7に示すように冷凍室用と冷蔵室用の、それぞれ独立した冷却器(ツイン冷却器)から構成されている。これらの冷却器を制御弁(三方弁)により切り換える冷却システムとなっている。ここで、コンプレッサ(図では、DCコンプレッサと記述)及び冷気循環ファンモータ、コンデンサ冷却ファンモータをそれぞれ永久磁石モータとして、インバータを用いた可変速度駆動を可能にした。

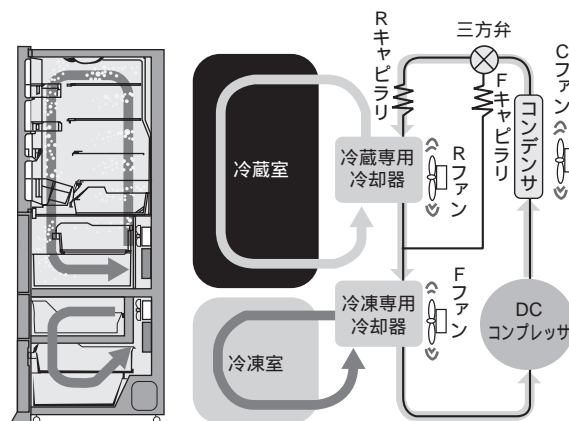


図7．冷却システム 新開発の冷蔵庫に適用された2冷却器構成で、効率的な運転を行う。  
Cooling system of developed refrigerator

モータとインバータでの省電力効果は、冷蔵庫の負荷に応じた速度制御から得られる。二つの冷却器を持つ冷蔵庫は、冷蔵循環サイクルと冷凍循環サイクルを時分割で交互に用い、冷蔵室、冷凍室の温度が設定温度となるように動作する。コンプレッサモータとファンモータは、冷蔵庫の負荷に対応するように速度制御される。したがって、必要な出力に応じた速度で運転が行われるのでモータの消費電力は減少する。

特に、コンプレッサはモータ速度に比例して冷凍能力が増加するが、消費電力も多くなる。冷蔵庫の庫内温度に適した速度に制御することで、消費電力の削減効果が大きくなる。また、常に必要な冷気が供給される状態になるので、コンプレッサでは始動と停止の回数が少なくなり、モータの始動電流に起因する電力増加が抑制される。



更に、2冷却器構成となっているので、電力消費量に影響する冷却器の蒸発温度は冷気循環サイクルに適したものとすることができる。したがって、消費電力に逆比例するコンプレッサのCOP( Coefficient Of Performance )が向上し、コンプレッサモータの消費電力がよりいっそう低減される。

### 3.3 インバータの特徴

ファンモータ及びコンプレッサモータを駆動するインバータでは、3相構成のモータの各相に120度周期の矩形波を印加する矩形波駆動を採用している。一般的に、この種の駆動においては、印加電圧を変化させて速度可変を行う。方法としては、PWM( Pulse Width Modulation )とPAM( Pulse Amplitude Modulation )が用途に応じて適宜選択されている。PWMでは、120度周期の波形中にある複数パルスの幅を操作して電圧を制御する。PAMは、120度周期の波形の波高値を、コンバータ回路により直接変化させて電圧を制御する。後者の方法は、120度周期の波形合成以外にコンバータ回路が必要のため損失が多くなり、省電力効果が相殺される傾向となる。したがって、PWMを採用した。

コンプレッサモータは、密閉ケースの中で高温の冷媒や機械油が存在する特殊環境で用いられる。また、ファンモータでは、庫内容積増加のために小型化が必要になる。いずれのモータにおいても、ホールICなどの位置センサを必要としない駆動方式が求められる。これらのモータでは、通電していない一つの巻線の誘起電圧を検出し、回転子位置を演算によって求めるセンサレス駆動を採用している。

特に、ファンモータにおいては、新たにモータ駆動用のIC( 当社製TB6537P )を開発した。このICは、PWM制御や高効率駆動のための進み角制御など、高い機能を備えている。図8は、新規開発したファンを一体化した永久磁石モータで、ステータなども合わせて示している。

なお、開発したモータ及びインバータなどを搭載した当社

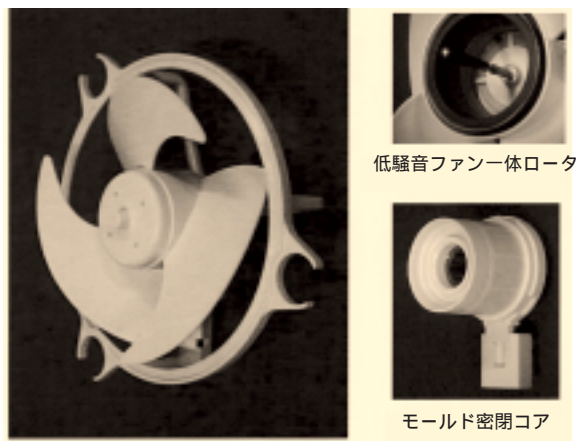


図8 . ファンモータ ファンとモータを一体化して小型化している。  
Fan motor for refrigerator



図9 . 冷蔵庫GR - 471“ みはりばん庫 ” 開発したモータとインバータを搭載している。  
GR - 471 refrigerator

の冷蔵庫GR - 471の概観を図9に示す。

## 4 あとがき

モータとインバータの性能向上により、洗濯機では低騒音、冷蔵庫では低消費電力といったユーザーに不可欠な性能が実現されている。モータとインバータの発展は高効率化に関係する永久磁石や、マイコンなどに代表される半導体の進歩など、要素技術の発展に負う部分も多い。

こうした技術の進歩に応じ、今後も家電機器用モータとインバータの開発を行い、ユーザーにとって価値ある製品を生み出す所存である。

## 文 献

- (1) 谷本茂也, 他 “洗濯機用ブラシレスDCモータの開発”. 電気学会回転機研究会, RM-92-25. 1992 .
- (2) 谷本茂也. “洗濯機用DDモータの開発”. 電気学会回転機研究会, RM-98-24. 1998.



谷本 茂也 TANIMOTO Shigeya

生産技術センター モータ技術開発センター主任研究員。  
モータ及びインバータの開発に従事。  
Motor Technology Development Center



長竹 和夫 NAGATAKE Kazuo

生産技術センター モータ技術開発センターセンター長。  
モータ及びインバータの開発に従事。  
Motor Technology Development Center