

# ブラシレスモータとドライバの適用事例

🔊 ブラシレスモータ、ビルトイン構造、高効率、アクティブフィルタ方式、力率改善

- \* 秋月正彦 Masahiko Akizuki
- \* 済藤健二 Kenji Saito
- \* 相澤裕一 Yuichi Aizawa
- \* 小林丈将 Takemasa Kobayashi

## 概要

ファン・ポンプなどの省エネ用途や産業機械の小形軽量化を目的に、回転子に永久磁石を用いたブラシレスモータが数多く用いられている。ブラシレスモータは、二次銅損が無く誘導電動機に比べて高効率であり、且つ優れた磁気特性を持つ希土類永久磁石を使用することにより、誘導電動機より小形軽量化ができる。

当社では、これらの特長を有するブラシレスモータの容量系列化や、お客様の仕様に合わせたカスタマイズ化を進めてきた。また、ドライバを用いた制御による産業分野の用途拡大と、それに適したモータの設計を行っている。



ブラシレスモータ

## 1. ま え が き

当社は、コンピュータのハードディスク用モータをはじめとして、各種用途向けにビルトイン構造によるカスタマイズしたブラシレスモータを約30年にわたり生産してきた。最近では高性能希土類永久磁石を使用した高出力で高速回転仕様などの新規分野を開発している。

本稿では、ブラシレスモータ及びドライバの構造や動作原理、適用事例について紹介する。

## 2. ブラシレスモータ

### 2.1 構造

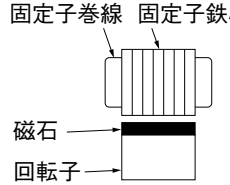
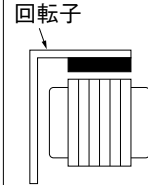
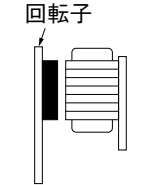
ブラシレスモータは、構造の違いでインナー形・アウター形・アキシャル

形の3種類に分けられる。第1表にそれぞれの構造と特長を示す。

- (1) インナー形 回転子が固定子の内側にある構造であり、高速回転仕様の用途に適している。

第1表 ブラシレスモータの構造と特長

モータの仕様を示す。用途別にビルトイン構造や偏平構造を実現していることを特長とする。

	インナー形	アウター形	アキシャル形
回転速度	高速	中速	中速
同径での発生トルク	中	大	中
容量 (kW)	0.05~10	0.13~1.1	0.85~1.1
構造	固定子巻線 固定子鉄心  磁石 回転子	回転子 	回転子 
当社用途例	電動工具、真空ポンプ、溶接ロボット、医療ポンプ	エアコンプレッサ、自動ドア	エアコンプレッサ

\* (株)甲府明電舎

ロータイナーシャを小さくすることができ、応答性に優れたモータ設計が可能である。

(2) アウター形 回転子が固定子の外側にある構造でインナー形に比べて発生する電磁力の位置が回転中心より遠くなるため、より大きなトルクが得やすいメリットがある。当社では低速・高トルクを必要とするギヤレス・ダイレクトドライブの自動ドア用モータとして製品化している。

(3) アキシアル形 回転子と固定子が軸方向で向かい合わせになっている構造で特殊用途に使用され、エアコンプレッサ用モータとして実績がある。

## 2.2 動作原理

ブラシレスモータは名前の通り直流電動機から整流子とブラシを無くした直流モータであり、制御・駆動用の電源回路（ドライバ）が組み込まれた永久磁石同期電動機（PMモータ：Permanent Magnet Type Synchronous Motor）と同じ構造である。

直流モータは整流子とブラシにより電流の向きを切り替えるが、ブラシレスモータは、整流子とブラシを無くし電流の切り替えを半導体回路とホールセンサで置き換え、固定子には巻線を組み込み、回転子には永久磁石を配置している。

高精度且つ高価なエンコーダなどを使用したPMモータに対して、ブラシレスモータは縦4mm×横4mm×厚さ1mm程度のホールセンサ3個を使用して非接触で位置検出しているため、小形軽量化が可能であり耐久性が高い。

## 3. ブラシレスモータ適用事例

### 3.1 エアコンプレッサへの適用

エアコンプレッサは建築現場で使用されるエアツール用の圧縮空気を作る機械であり、本体はレシプロタイプのピストンシリンダ部と圧縮された空気をためるタンクで構成されている。建築現場ではエアコンプレッサ本体を持ち運び移動するため、小形軽量化が最も重要なテーマとなっている。

当初はアキシアル形モータを採用し、その質量は5.5kgであったが、モデルチェンジに伴ってアウター形の採用、最適化設計、部品の薄肉軽量化などにより現在では質量を1.9kgまで低減している。第1図にコンプレッサ用モータの外観を示す。

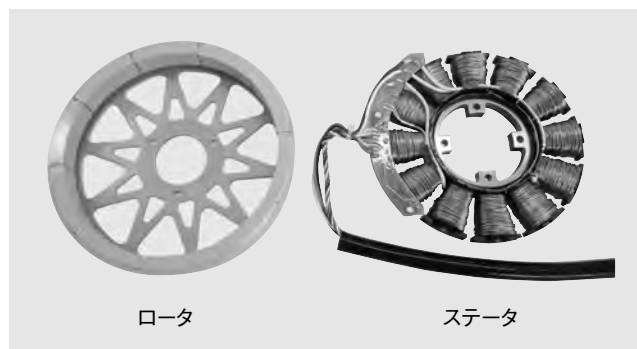
### 3.2 真空ポンプへの適用

近年、需要が高まりつつある太陽光発電パネルや液晶パネルの半導体製造装置分野の真空ポンプ用として高出力ブラシレスモータの開発を行った。第2図に真空ポンプ用モータの外観を示す。また、製品概要及び特長は、以下の通りである。

(1) ポンプと一体のビルトイン構造

(2) 水素ガスをはじめとした腐食性ガス対応のキャンド構造 固定子と回転子間のギャップを広げ、固定子側ギャップ面には樹脂キャンを、回転子にはステンレス製キャンを取り付け、モータ部品・素材の腐食を防止している。また、回転子の磁石は特殊表面処理を行い、更にOリング、接着剤で気密構造として水素ガスから保護している。

(3) SPM（Surface Permanent Magnet）方式 高性能希土類永久磁石を使用し、永久磁石を回転子表面に貼り付けたSPM方式を採用し、他社モータと比較して鉄心積厚比で50%の小形化を実現した。また、ギャップを広げたキャンド構造ではあるものの約91%の高効率となっている。



第1図 コンプレッサ用モータ 1.1kW-2500min<sup>-1</sup>  
1.1kWモータの外観を示す。新規開発した時よりも改良を進め、小形（外径φ150mm）・軽量化を実現した。



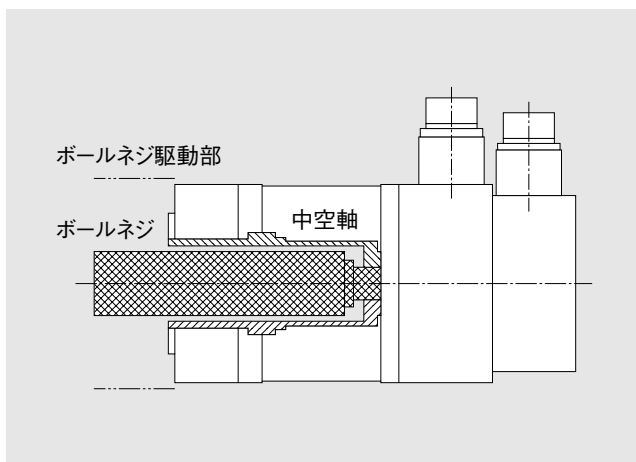
第2図 真空ポンプ用モータ 7.5kW-6400min<sup>-1</sup>  
7.5kWモータの外観を示す。ロータとステータのビルトイン構造としており、小形化（外径φ210mm）・高効率化を実現した。

### 3.3 溶接ロボット用サーボモータへの適用

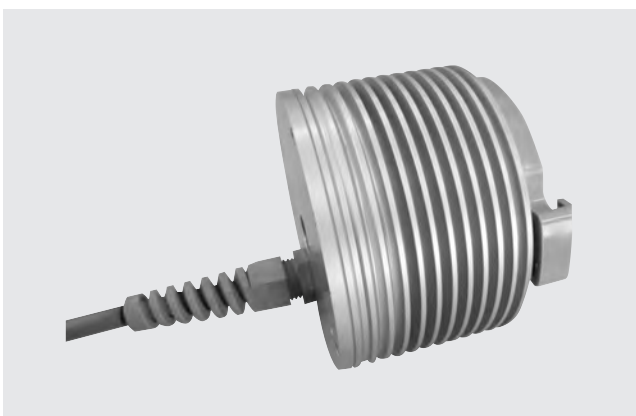
自動車生産ライン向け溶接ロボットは、小形軽量化及び高速化が求められ新規開発を行っている。従来の溶接ガンは溶接ガン用のボールネジ駆動部をベルトを介してサーボモータで駆動していた。しかし、モータ軸を中空軸構造とし、その中にボールネジを配置することにより、大幅な小形軽量化及び高速化が可能となり、溶接ガン構造も非常にシンプルなものとなった。第3図に溶接ロボット用サーボモータの構造を示す。

### 3.4 そのほかの適用

(1) 医療ポンプ 血液を循環させるポンプ駆動用として、当社インナー形ブラシレスモータを適用している。特殊用途のため小形で低騒音、低発熱設計及び信頼性の高い製品となっている。第4図に医療ポンプ用モータの外観を示す。



第3図 溶接ロボット用サーボモータ 2.2kW-300min<sup>-1</sup>  
溶接ロボットの断面図を示す。従来のベルト直結方式から、モータ軸を中空軸等構造工夫することで、小形化(外形φ123mm)・高速化を実現した。



第4図 医療ポンプ用モータ 45W-3000min<sup>-1</sup>  
医療ポンプ用モータの外観を示す。特殊用途のため、小形(外径φ110mm)・低騒音・低発熱を考慮した製品である。

(2) 電動工具 一般的なボルト締め付け用電動ドライバにはブラシ付きの直流モータが多く採用されているが、当社ブラシレスモータは火気厳禁の場所でバッテリー電源を使用しているため、高効率化と小形軽量化を両立させている。第5図に電動工具用モータの外観を示す。

(3) 自動ドア エレベータ及び電車の自動ドア開閉用モータとして採用されている。ドア上部の非常に狭い空間にモータを配置するため、アウター形で偏平・低速大トルク化・低トルクリップルを実現し、ギヤレスダイレクトドライブ構造としている。第6図に自動ドア用モータの外観を示す。



第5図 電動工具用モータ 100/200W  
電動工具用モータの外観を示す。高効率化と小形化(外径φ44mm)に注力した仕様を特長とする。



第6図 自動ドア用モータ 135W-260min<sup>-1</sup>  
電車の自動ドア用モータの外観を示す。設置スペースが狭いため、偏平形で低速大トルク化を実現し、ドアへの適用を可能にした(外形φ160mm)。

## 4. ブラシレスモータ用ドライバ

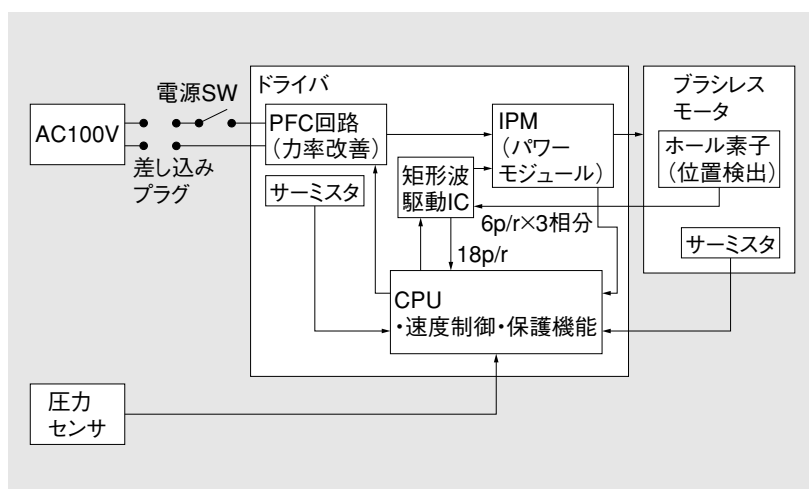
### 4.1 ドライバの基本動作原理

第7図に回路構成を示す。速度制御部から出る電流指令に従って、駆動IC部ではモータ内部に取り付けてある3個のホールセンサから回転子位置を検出しながら、120度導通の電流によりモータを駆動している。第8図にホールセンサ信号から120度導通パターンで電流を流すタイムチャートを示す。

## 5. ドライバの適用事例

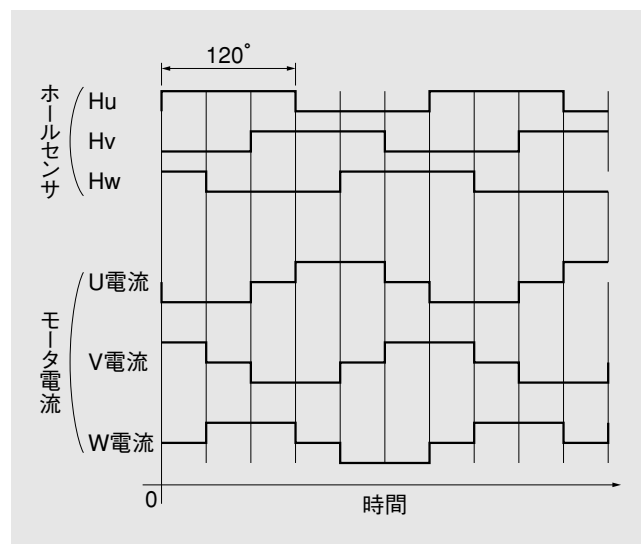
### 5.1 エアコンプレッサ用ドライバ

本製品は開発当初は低価格要求のため、回路は



第7図 回路構成

エンコーダは使用せず、ホールセンサでロータの位置検出を行い駆動する方式を採用している。



第8図 ホールセンサとモータ駆動電流のタイムチャート

ロータ位置検出とモータに流す電流のタイミングを示す。120°ごとにパワーデバイスのスイッチをONさせることを特長とする。

できる限りシンプルな倍電圧整流によるコンデンサインプット方式を採用してきた。しかし、家庭用コンセント（100V・15A）の制限によって、駆動可能なモータ容量は最大750Wが限界であった。

近年、エアコンプレッサのニーズとして、モータ及びドライバの大容量化、軽量化の要求があり、これらのニーズに対応するためにコンデンサインプット方式の弱点である低力率を改善してモータ・ドライバの大容量化を実現している。第2表に力率改善方法の比較を示す。

(1) 力率を考慮していないコンデンサインプット方式は、電流波形に示す通り高調波成分を多く含み且つ低力率であり、高調波電流の限度量はJIS規格を適用することが推奨されている。

(2) パッシブフィルタ方式は、入力電源ラインに大きなインダクタンスを挿入し、コンデンサインプット方式の急峻な電流波形を平滑して力率を改善する方式である。本方式は、このインダクタンスの外形が大きく、且つ質量が大きくなるなどのデメリットがある。

(3) アクティブフィルタ方式は回路が複雑になるが、省スペース・軽量・高力率でメリットが大きい。コンデンサインプット方式と比較すると、同じサイズで約1.5倍のモータ容量を駆動することが可能になる。第3表にドライバの比較を、第4表に力率改善回路評価結果（アクティブフィルタ方式）を示す。

第2表からアクティブフィルタ方式を採用した結果、以下の特長が得られた。

第2表からアクティブフィルタ方式を採用した結果、以下の特長が得られた。

- (1) 昇圧機能を有しているので単相100Vの電源仕様でも200V系モータの駆動が可能
- (2) 力率99%以上が達成可能
- (3) パッシブフィルタに比べ小形軽量化が可能
- (4) 100V・15Aの電源容量の条件でモータ出力1.1kWが可能
- (5) 高調波抑制の法制化に対応

アクティブフィルタを搭載したドライバは、単相100V電源の仕様では、小形・高力率・高調波規制に対して有利であり、コンプレッサ以外の用途でも期待できる。



**第2表 力率改善方法の比較**

力率比較を示す。アクティブフィルタ方式を採用することにより、大幅な力率改善が期待できることを特長とする。

方法	コンデンサ入力方式 力率改善無し	パッシブフィルタ方式 (力率改善回路)	アクティブフィルタ方式 (力率改善回路)
回路構成 100V電源			
電流波形			
スイッチング周波数	—	—	30kHz
力率	× (64%)	△ (80%)	○ (99.4%)
高調波	×	×	○
DC電圧制御	×	×	○
回路損失	×	○	△

**第3表 ドライバの比較**

ドライバの制御方式を示す。同じ入力電力で比較すると、コンデンサ入力形に比べ、アクティブフィルタ方式が約1.5倍の出力を得られることを特長とする。

項目	コンデンサ入力形 ドライバ	アクティブフィルタ搭載 ドライバ (力率改善回路搭載)
面積	1	1
質量	1.2kg	1.3kg
モータ定格出力	750W	1150W
力率	64.4%	99.2%
力率×効率	62.2%	91.3%

**第4表 力率改善回路評価結果 (アクティブフィルタ方式)**

アクティブフィルタ方式での評価結果を示す。定格負荷時に力率がほぼ1であり、省エネに貢献できることを特長とする。

項目	開発ドライバ
電源電圧	100.2Vrms
電源電流	14.73Arms
入力電力	1476VA
出力電圧	270.8V
出力電流	5.0A
出力電力	1354W
力率	99.4%
効率	91.3%

**5.2 自動ドア用ドライバ**

システムの特長は、ダイレクト駆動方式を採用していることである。ギヤやベルトで減速する方式と比べると高精度の位置決め機能が必要になる。本ドライバは通常1回転3000パルスの位置センサが必要であるが、1回転60パルスの位置センサで高精度の位置制御を可能にしている。

ドアの安全性を高めるため様々な保護機能を有している。以下に例を挙げる。

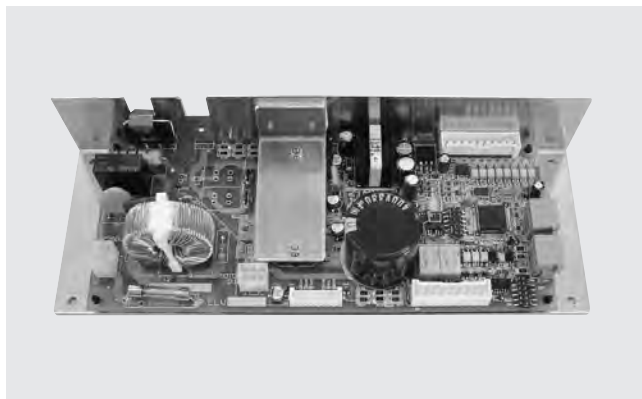
- (1) ドアの閉動作中に手を挟んだ
- (2) ドアに取り付けてある全開全閉位置のセンサ異常
- (3) ドアの閉閉速度が設定値より高くなった

など十数項目の保護機能を搭載

また、ドアは様々なサイズがあるので開閉時の移動距離を学習する機能が搭載されている。この機能により、ドアに取り付けてある全開全閉位置のセンサのみで位置制御を可能とし、外部の減速位置検出センサを削減している。第9図に自動ドア用ドライバを示す。

**6. む す び**

以上、ブラシレスモータとドライバの適用事例などについて紹介した。当社ブラシレスモータは



### 第9図 自動ドア用ドライバ

自動ドア用ドライバの外観を示す。位置制御を可能とし、ドアサイズを考慮した移動距離を学習する機能を盛り込んだ高機能なものとなっている。

小形・軽量・高効率及びビルトイン構造という特長を生かし各種分野に採用され、これまで多くのお客様から高い信頼を得ている。

今後は更なる性能向上、小形軽量化、高効率化を押し進め、お客様各位のニーズに応じていく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

### 《執筆者紹介》



秋月正彦 Masahiko Akizuki  
ブラシレスモータの開発・設計に従事



済藤健二 Kenji Saito  
ブラシレスモータ用ドライバの開発・設計に従事



相澤裕一 Yuichi Aizawa  
ブラシレスモータの開発・設計に従事



小林丈将 Takemasa Kobayashi  
ブラシレスモータの開発・設計に従事