

# 単巻コイルブラシレスDCモータ

## Single Coil Brushless DC Motor

太田 久義<sup>\*1</sup>

Hisayoshi Ōta

土本 僚一<sup>\*1</sup>

Ryōichi Tsuchimoto

This paper describes a Brushless DC motor incorporating a technique newly developed by our company and suggests the new trend in Brushless DC motors.

This motor is not just a simple permanent magnet motor but rather has a skeleton type single coil without sensor to detect rotor-position and has bidirectionality (reversibility).

Much consideration has been expended to eliminate problems of starting torque and rotation towards the selected direction.

## 1 まえがき

近年、モータ応用分野における可変速化・高効率化・無接点化の要望はますます増大しつつあり、特に小形モータにおいては、これらの要望に応えるものとして回転子に永久磁石を使用したブラシレスDCモータが広範に使用されている。

しかしながら、従来のブラシレスDCモータでは、回転子磁極位置検出用のホール素子やフォトインタラプタ等のセンサをモータ内に組込む必要があるため、モータ本体コストが上昇し、加えて電子コントローラが必要となるので、高機能化、小形化のメリットを考慮しても、コンデンサモータ等に対比すると価格的にきびしい立場に立たされている。

当社ではブラシレスDCモータのローコスト化の一方法として、単巻コイル形（スケルトン形）のセンサレスブラシレスDCモータ及びコントローラ（以下BL-SFANという）を開発したので、その概要を紹介する。

## 2 BL-SFANの概要

BL-SFANはブラシレスDCモータ本体（以下モータという）の基本性能を損なうことなく、かつ取扱いが容易となる様、下記6項目を中心に検討を重ねて開発した。

### (1) モータコストの低減

スケルトン形モータとし、かつ回転子磁極位置の検出をセンサレス化することにより、モータ本体価格の低減を計る。

### (2) ユーザサイドの自由度向上

センサレス化することにより、モータとコントローラ間の接続リードを2本とし、併せてリード線長、線品種の影響を受け難い方式として、ユーザサイドの使用時レイアウトの自由度向上を計る。

### (3) 回転子位置検出回路の簡略化

回転子位置検出回路（以下センサ回路という）はモ

ータ巻線の片方のみを利用する方式として、回路の簡素化を計る。

### (4) 正確な回転子位置検出と回転方向の検出

センサレス方式であるため、正確な位置検出を可能とする通電制御と、センサ回路信号の状態判定、起動時回転方向の判定をソフトウェア処理し、正確な検出を行う。

### (5) モータ起動対策

① 静止時に十分な起動トルクを発生し、回転時に障害を発生しない磁極構造のスケルトン形モータとする。

② センサレス方式のモータに必要な起動回転方向の判定・制御及び同期運転と、同期運転からセンサ信号フィードバック運転への切替をソフトウェア処理し、確実な起動を行う。

③ 起動失敗時の非常処理、再起動トライをソフトウェア処理し、インテリジェントなモータを実現する。

### (6) 電力制御のソフトウェア化

モータへの電力供給はPWM（パルス幅変調）方式とし、回転数に適合したPWM演算とパワーデバイス制御をソフトウェア化して、コントローラの高機能化とコスト低減を計る。

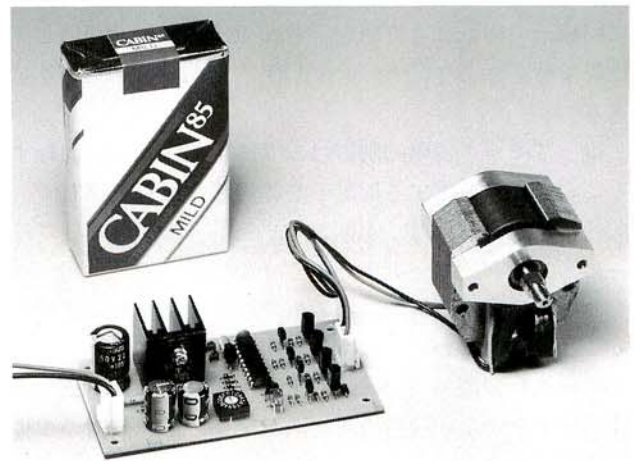


図1/単巻コイルブラシレスDCモータ

Fig. 1/Single coil brushless DC motor

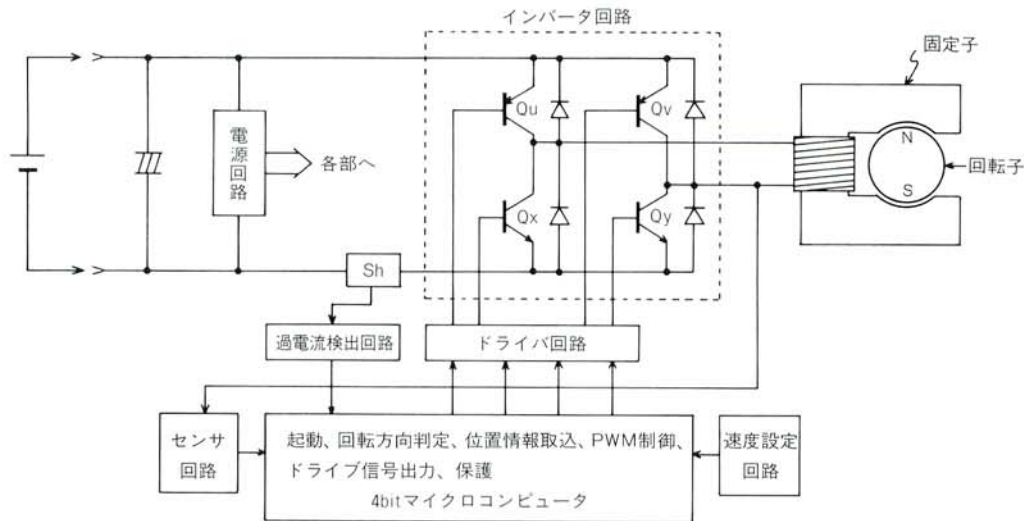


図2/構成図  
Fig. 2/Elemental diagram

### 3 BL-SFANの構成

BL-SFANの外観及び構成を図1、図2に示す。

#### 3.1 モータ構造

モータは、起動時において十分な起動トルクを発生し得るとともに、回転時には障害を発生し難い磁極構造とするために、無通電時の回転子磁路中心軸が通電時の固定子磁路中心軸に対して約15°~30°の傾斜をなすような固定子磁極構造としており、外観は隈取りモータに酷似している。

#### 3.2 コントローラ

制御対象モータは、単巻コイルの2極固定子と2極永久磁石回転子を有するスケルトン形であるが、従来と異なりホール素子等の回転子位置センサを装着せず、代りに回転子の回転による固定子巻線の誘起電圧を利用して位置検出を行うセンサレス方式のブラシレスDCモータである。

従ってモータの駆動制御は、界磁中で回転子が回転することにより発生する固定子巻線誘起電圧を利用して、回転子位置を検出し、4個のパワートランジスタとフリーホイールダイオードより成るフルブリッジインバータを介して固定子巻線への通電電流極性を継続的に反転することにより行われる。

回転数制御は、ソフトウェア処理によるPWM方式であり、停止を含む16段階の回転数設定と、回転方向の切替が可能である。

なお、現時点では回転数フィードバックを行わないオープンループ制御であるが、必要に応じてソフトウェア

を追加することにより、最大8段階迄のクローズドループを持つ略定速制御が可能である。

以下にコントローラ各部の概要を列記する。

(1) 4 bitシングルチップマイクロコンピュータ

1チップLSI中に、コンピュータとしての全機能が組み込まれており、コントローラの大半の制御機能をソフトウェア処理で実現している。

ソフトウェア化して収納されている機能は次の通りである。

- ① 回転数指令の取込みと判定
- ② 回転子の静止状態の判定
- ③ 回転子のセットアップ制御
- ④ 所定回転方向へのモータ起動
- ⑤ センサ回路信号の取込みと転流時期判定
- ⑥ 転流によるモータ駆動制御
- ⑦ PWM演算とインバータ制御
- ⑧ 回生ブレーキ方式による減速と停止制御
- ⑨ 過電流検出信号の取込みと保護処理
- ⑩ モータ起動の確認と起動失敗時の再起動トライ

(2) センサ回路 (回転子位置検出回路)

回転子の回転により発生する固定子巻線誘起電圧を固定子巻線の一端から取り出し、この電圧波形を利用して回転子磁極位置を検出し、検出信号をマイコンに送出する。

(3) ドライバ回路

マイコンのPWM信号に従って、インバータ回路部パワートランジスタを制御する。

(4) インバータ回路

ドライバ回路出力に従って、モータ固定子巻線への通電制御を行う。インバータ回路は4個のパワートランジスタと4個の高速整流ダイオードによるフルブリッジ回路方式であり、スイッチング特性の良好な素子

を使用している。

(5) 過電流検出回路

インバータ回路の電流を監視し、設定値以上の過大電流が流れると出力信号をマイコンへ送出する。

(6) 速度設定回路

ロータリディップスイッチ（以下速度スイッチという）と抵抗器より成り、停止を含む16段階の速度指令と、回転方向指令をマイコンに送出する。

(7) 電源回路

ドロップ方式の定電圧電源であり、コントローラ各部へDC電源を供給する。

## 4 位置検知の原理

図3にDCモータの原理を示す。

図3(a)のとき、固定子磁極と回転子磁極間の吸引反発力の全てが回転トルクとなり、トルク最大となる。

図3(b)のとき、回転トルクは図3(a)の $\cos\theta$ 倍となり、 $\theta$ が $90^\circ$ に近づく程小さくなる。

図3(c)のとき、吸引反発力の全てが回転子磁極軸方向と平行になり、回転トルクは零となる。

図4に継続回転時の固定子磁極と回転子磁極の位置関係を具体的に示す。

固定子巻線に通電することにより、固定子磁極が発生し、回転子磁極との間に吸引反発力が作用して回転トルクが発生する（図4(a)）。

回転磁極が固定子に対向した時点で通電を遮断すると、回転子磁極は、回転の慣性力により回転トルク零部分を通過する（図4(b)）。

固定子巻線の電流方向を反転し通電する（転流）と、図4(a)と同様の原理により回転トルクが発生する（図4(c)）。

図4(b)と同様の理由により、回転子は回転トルク零部分を通過する（図4(d)）。

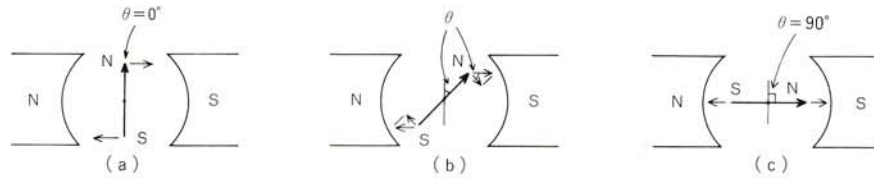


図3 / DCモータの原理

Fig. 3/Principle of DC motor

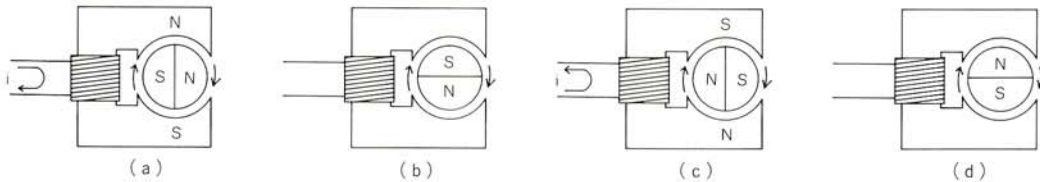


図4 / 固定子磁極と回転子磁極との関係

Fig. 4/Relation between stator and rotor pole

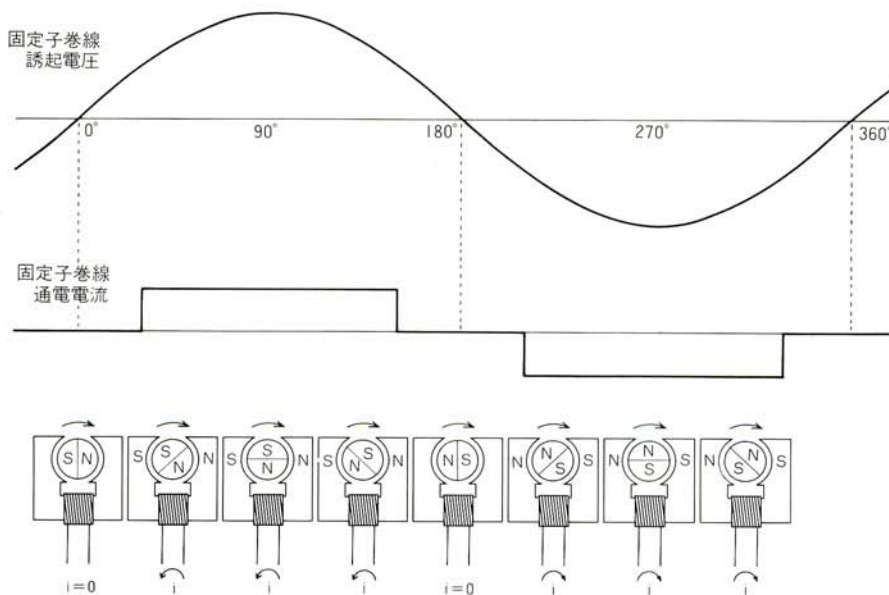


図5 / 回転子位置・誘起電圧・巻線電流の関係

Fig. 5/Relation among rotor position, induced voltage and current

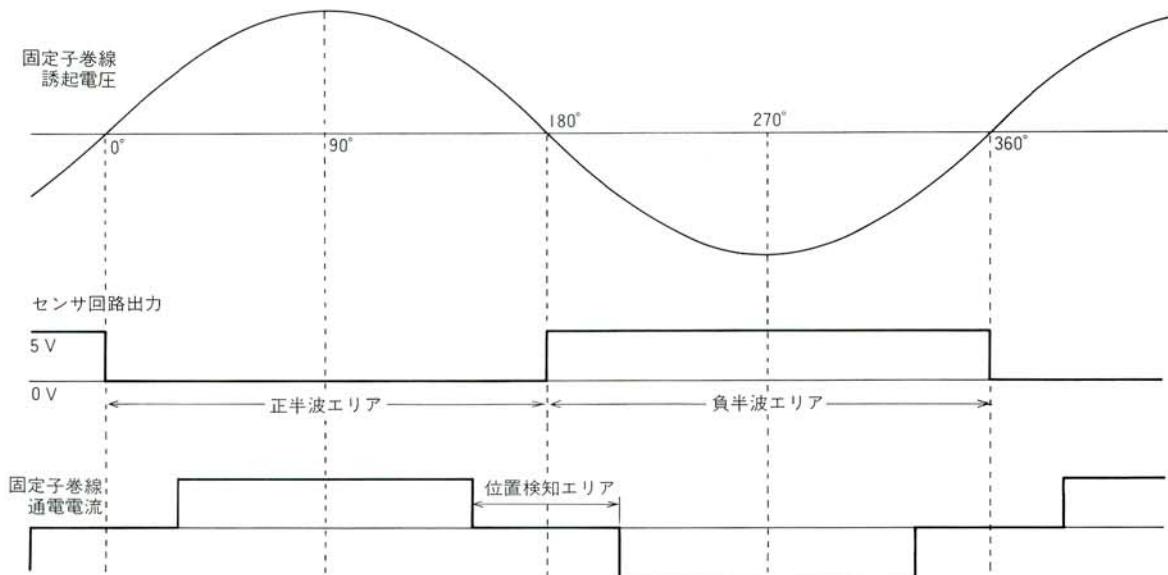


図6 / 誘起電圧・センサ回路出力・通電電流の関係  
 Fig. 6 / Relation among induced voltage, output of sensor circuit and current

次に、回転子磁極位置と固定子巻線誘起電圧及び継続回転させ得る固定子巻線通電電流の関係を図5に示す。

固定子巻線に図5に示す0°及び180°附近を除く区間で交互に電流を反転（転流）し、通電を繰り返すことにより、回転子を継続回転させることができ、その転流タイミングは誘起電圧が零点を通過する時点を基準として、その前後であり、この時点で通電電流方向を反転すればモータを継続回転させ得る。

具体的に説明すれば、誘起電圧が零クロス点に達する手前で通電を遮断し、零クロス点通過後に電流方向を反転し通電することを繰り返すことにより、モータを継続回転させ得る。

図6に誘起電圧とセンサ回路出力及び固定子巻線通電電流の関係を示す。

## 5 プログラム

本コントローラは、制御の大部分をマイコンで行っている。

図7にマイコンの処理内容を示す。

プログラムは、起動プログラムと運転プログラムに大別されている。以下にその概要を説明する。

### (1) 起動プログラム

起動プログラムは、誘起電圧の発生しない停止時において、強制的に指定回転方向へ起動し、センサ回路出力によるフィードバック運転が可能な誘起電圧が発生する回転域迄加速する処理を行う。

#### ① セットアップ

停止時においては、誘起電圧が発生しないため回転子位置検出が不可能であり、一時的に所定方向へ

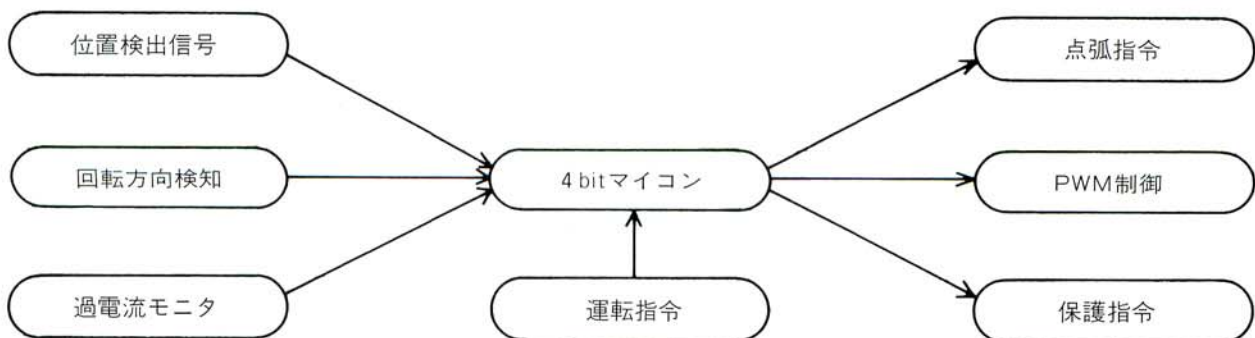


図7 / マイコンの処理内容  
 Fig. 7 / Function of microcomputer

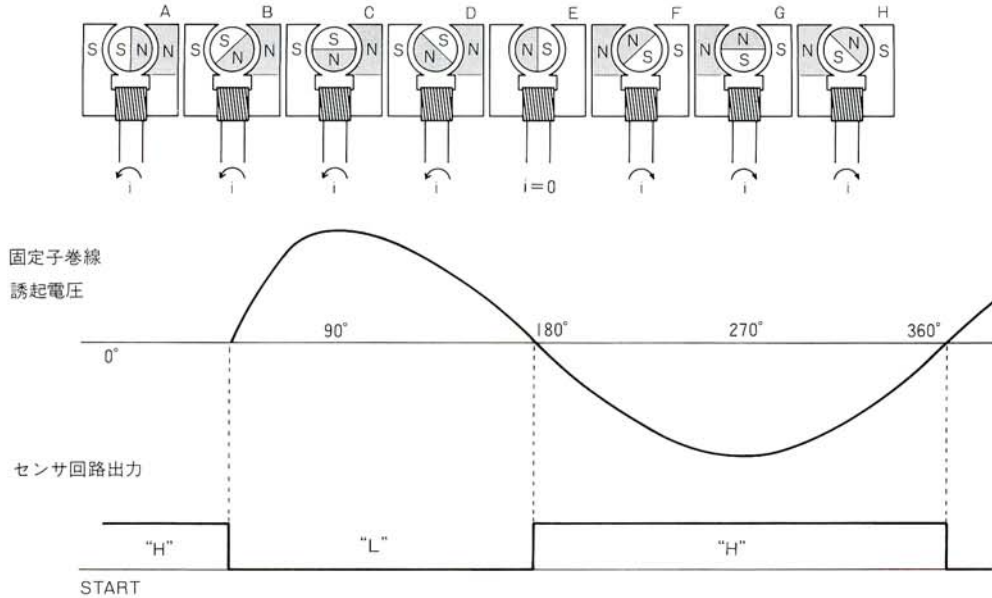


図8 / 起動時の誘起電圧とセンサ回路出力

Fig. 8 / Induced voltage VS. output of sensor circuit at starting

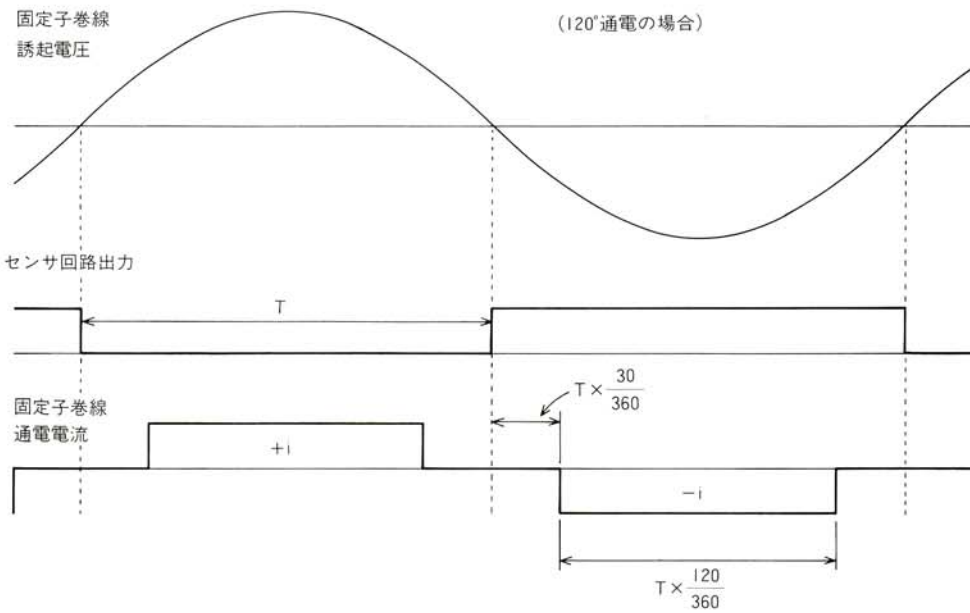


図9 / タイミング演算例

Fig. 9 / Example of timing chart

通電し、回転子を起動容易な位置へ移動させる。

② ブート

回転子が所定位置に停止した後、通電電流を反転して強制的に指定方向へ起動する。

通電モードは断続的であり、未通電時間内にセンサ信号を読み込み、信号が反転した時点で通電電流を反転し、モータを加速する。

図8にその様子を示す。

(2) 運転プログラム

運転プログラムは、センサ回路出力の反転タイミングに基づいて固定子巻線への通電電流方向反転(転流)

を行い、速度スイッチの設定に従ったPWM演算を行い、ドライバ回路を介してインバータ部を制御して、モータ運転を行う。

① 出力制御

速度設定回路のスイッチ設定に従ったPWM演算を行い、演算結果に基づくパルス幅の通電パルスをマイコンの出力ポートから出力する。

マクロ的な意味でのパルス列のON・OFFは、後述するタイミング制御プログラムにより決定される。

② タイミング制御

前々回のセンサ回路出力の反転時から、前回の反

転時迄の時間を演算し、今回の通電時間（パルス列出力時間）を算出する。

これにより、誘起電圧が零クロス点に到達する以前に通電を遮断することができ、位置検出を確実に行うことができる。

図9に演算例を示す。

### (3) 過電流保護

運転中は常時過電流検出回路出力を監視し、過電流信号が発生すると直ちにドライバ回路を介してインバータ部パワートランジスタをOFFし、モータへの通電を停止することにより、インバータ部を保護する。

### (4) 起動監視及び再起動

一時的な過負荷や外乱によりモータ起動が不成功に陥った場合、これを検出して所定時間経過後に再起動トライを行う。

再起動トライが所定回数以上連続した場合は、システム異常と判定し、コントローラ基板上の異常ランプを点灯し、速度設定回路スイッチが停止に設定される迄、以後の動作を停止する。

## 6 主な仕様

- 電源……DC50V<sub>MAX</sub>、3 A<sub>MAX</sub>
- 回転数……16段階（停止を含む）、可逆回転可能  
設定はロータリディップスイッチ
- 電力制御……PWM方式  
マイコンによる直接演算制御
- インバータ……単相フルブリッジ方式
- 補助電源……ドロップ式
- 主制御……4 bit シングルチップマイコン
- 保護機能……過電流保護
- その他……再起動トライ機能  
システム異常表示灯

## 7 あとがき

今回開発したBL-SFANは、主としてファン用途を目的としたものであるが、従来形のブラシレスDCモータに比較してセンサ及びセンサリード線が不要なため、価格面での優位性を得るとともに、ユーザサイドのレイアウト自由度が大幅に向上することが期待される。

今後ブラシレスDCモータの需要は大幅に増加するものと思われるが、一方では高性能化への要求、他方では価格面での優位性が必要という二極分化の傾向にあるため、新しい考え方に基づく製品作りの必要性を感じている。

最後に本件の開発に際して多大なる御指導、御協力を頂いた関係各位に対し、感謝の意を表する。

## 参考文献

- 愛知電機技報No. 2 新形モータ開発におけるR&D《第一報》
- 愛知電機技報No. 3 新形モータ開発におけるR&D《第二報》
- 愛知電機技報No. 4 磁石モータ用インバータ装置

## 最近公告された愛知出願(I)

特許

公告番号	名 称	発 明 者	共同出願人
62-41810	プレス成形金形装置	奥村 顕治	㈱橋本製作所
62-43328	モールドコイルの製造方法	水野 弘一	
62-43329	モールドコイルの製造方法	水野 弘一	
62-44845	樹脂モールドコイルの製造方法	伊藤 宗臣	
62-60896	発電機の運転制御における ファイダージャ断器の自動再 閉路装置	浮田 義也	沖縄電力㈱
		小田 新一 田中 雅治	
62-61854	電気湯沸装置	山本 修	東陶機器㈱
63-56	暖房便座における便座用ヒ ーターの取付方法	横山 武弘	東陶機器㈱
			高木工業㈱

公告番号	名 称	発 明 者	共同出願人
63-16887	巻鉄心の成形装置	磯部 治男	
63-16890	変圧器におけるブッシングボケ ット部への絶縁油注入方法	佐藤 巨	中部電力㈱
		坂入美津郎	
63-27843	巻鉄心変圧器の製作方法	広江 成致 河村 良二	
63-30774	負荷時タップ切換装置	森 鉄夫	
63-32070	発電機の自動解列装置	浮田 義也	
		小田 新一 田中 雅治	
63-46659	強制接地装置	戸松 均治	中部電力㈱