

In the previous report the decision-making process to develop a new type of motor was reported.

This paper at first analyzes brushless DC motors from the basic viewpoint of technology and then presents a brushless DC motor that Aichi has developed for home appliances and residential equipment.

In addition, we speculate on future technological trends in Small-and control-motors, including brushless DC motors.

## 1 まえがき

前号では、「エレクトロニクス技術により駆動・制御される高機能の新しいタイプの小形モータの開発」という基本命題にしたがって、情報収集より始めて、市場調査、技術情報の分析・評価などの実施、及び具体的な商品化テーマの検討・審議などを経て、最終的に当社における新形モータの開発コンセプトの確定に至る迄の経過について報告した。

本号では、前号のお復習を兼ねて、ブラシレスモータの構成技術を基本原理の面から紹介した上で、商品化した「家庭電化機器及び住宅設備機器向けのファン駆動用ブラシレスモータ」の概要について報告し、併せてブラシレスモータを含めたこれら制御用モータの将来展望について概観する。

## 2 ブラシレスモータの概要

今世紀初めに Alexanderson などによる水銀整流器あるいはサイクロンを使用した無整流子電動機<sup>(注1)</sup>の研究報告がみられるが、実際にブラシレスモータの研究開発が各所で活発に始められたのは、パワートランジスタやサイリスタが発表、商品化された後の1960年(昭35年)前後からではないかと思われる。

その後、半導体素子の発展、スケールアップ及び信頼性向上とともに、ブラシレスモータは着実に応用研究や実用化が進められ、トランジスタ時計やDDプレイヤなどが市場に登場することとなった。<sup>(注2)</sup>

この間の先輩の地道な努力は称賛に値するものであるが、何と云ってもブラシレスモータに急成長のインパクトを与えたのは、VTRであったと推定される。

続いて音響機器、情報機器及びFA機器などの発展とともに、ブラシレスモータの応用分野が更に急速に拡大

したことは、前号で報告した通りである。

なお、ブラシレスモータの進展要因として、パワートランジスタとともに見落しできないものにホール素子がある。ロータ位置検知センサとして、一時全盛を極めた発振コイル式に代って、安価で信頼性の高いホール素子が近年容易に入手できるようになり、ブラシレスモータ成長のエポックになったと想定される。

(注1) “ブラシレス(DC)モータ”なる呼称はその言語が示すように、米国で10数年前頃より使用され始めたものとみられるが、本邦、学会などでは、過去より「無整流子電動機」あるいは「トランジスタ電動機(またはトランジスタモータ)」などの呼称が一般的であった。「トランジスタ電動機」の呼称は水晶時計が一般に普及する前に、一時市場を占有した「トランジスタ時計用モータ」の呼称にとどめ、大形の例えば電車のブラシレスモータは、「無整流子電動機」と呼称した方が、格調・権威もあると思うが如何なものであろうか。

本報告が対象とする小形モータの分野では、色々論議もあるが、世界各国で“ブラシレス(DC)モータ、Brushless DC motor(英、米)、Bürstenlosen gleichstrom motoren(独)”などの呼称が定着する——ものと思われる。

(注2) ブラシレスモータの歴史・変遷については末尾の参考文献(1)~(6)に詳細に報告されている。

### 2.1 ブラシレスモータの原理、特性及び構成

#### (1) 駆動原理

ブラシレスモータの回転トルクの発生原理を回転電機子形(ブラシ付)の直流モータと対比して以下に説明す

る。図1に示すブラシ付の直流モータでは、常に同一方向に回転トルクが発生するように、ブラシと整流子によって電機子コイルに流れる電流の方向を切替えて、ロータを一方方向に回転させる。

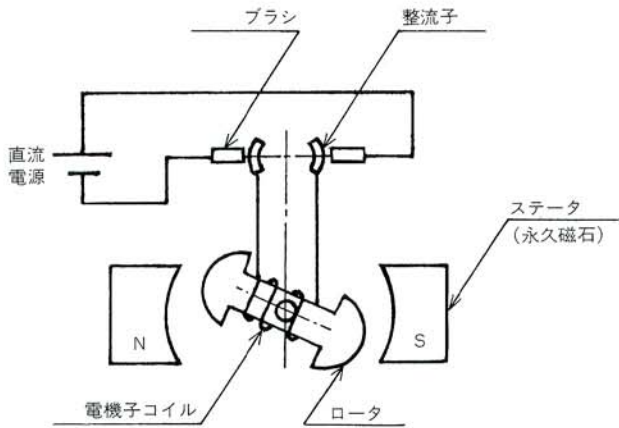


図1 / ブラシ付直流モータの概念図  
Fig. 1/Sketch of permanent-magnet excited DC commutator motor

これに対しブラシレスモータでは、ブラシと整流子の代りにロータ位置検知センサ（ホール素子など）とトランジスタなどの半導体素子によって、電機子（ステータ）コイルの電流を切替える。すなわち回転界磁形のブラシレスモータでは、図2に示すようにロータが永久磁石であり、ステータ側に電機子コイルとロータ位置検知センサがロータに対向して設定され、ロータ位置検知センサがロータの永久磁石のN極（またはS極）を検知して、トランジスタで構成された電子スイッチを切替えば、電機子コイルに流れる電流の方向が切替り、ブラシ付の直流モータと同様に同一方向に回転トルクが発生して、ロータを一方方向に回転させる。

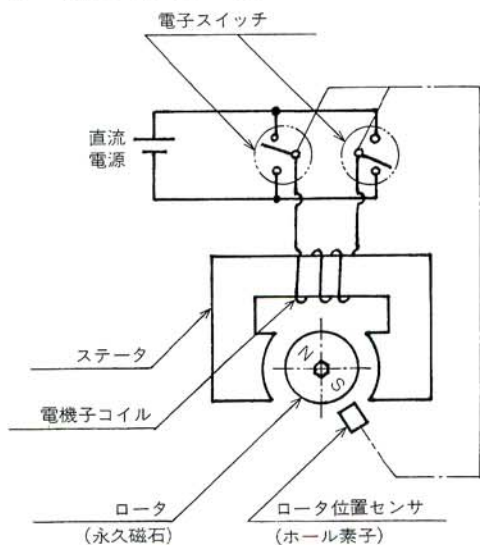


図2 / ブラシレスモータの概念図  
Fig. 2/Sketch of brushless DC motor

## (2) 基本特性

ブラシレスモータは界磁が永久磁石であるブラシ付の直流モータと基本特性は同一で、図3に示すようにトルクと回転数が直線的な関係を示す逆比例特性を持ち、その上電源電圧に対して、トルク対回転数関係が比例関係を示す。したがって電源電圧を変化させることにより、ブラシレスモータの速度制御が容易になる。

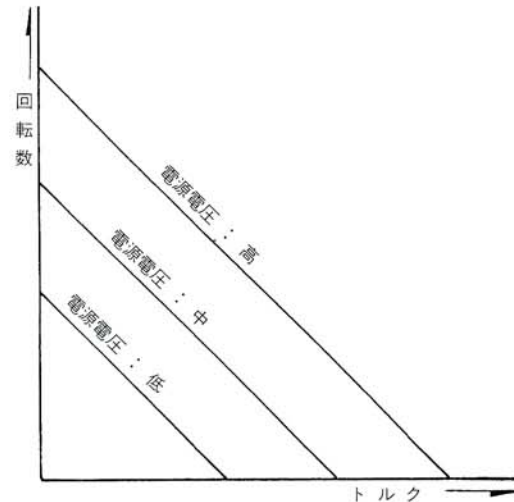


図3 / ブラシレスモータのトルク対回転数特性  
Fig. 3/Relation between torque and speed in brushless DC motor

## (3) 基本構成

ブラシレスモータは従来形のモータとの大きな相異点として、ステッピングモータなどと同様に、モータ部と別に駆動回路部を必要とし、この回路部なしではロータを回転させることはできない。また、モータ部にはロータ位置検知センサを内蔵するものが一般的である。

駆動電源としては直流が必要であるが、商用電源（交流）で駆動する場合には、整流回路などにより所定の電源を作る必要がある。

## 2.2 ブラシレスモータの分類

ブラシレスモータに関する解説・文献は多数見受けられるが、総括的にブラシレスモータを分類した資料はほとんどない。ブラシレスモータの理解を助けるために、ここであえて、ブラシレスモータの分類を試みる。

前述のようにブラシレスモータは、ロータ位置検知センサとこのセンサからの信号により、電機子（ステータ）の各巻線への供給電流を切替えて回転磁界を作る駆動回路部を必要とする。

この駆動回路には各種の方式があり、その方式によりブラシレスモータは設計技術的な原理と基本構成が異り、以下に説明するように3タイプに大別できる。

図4にはこの考えによるブラシレスモータの分類を、図5には各種駆動方式の略図を示す。

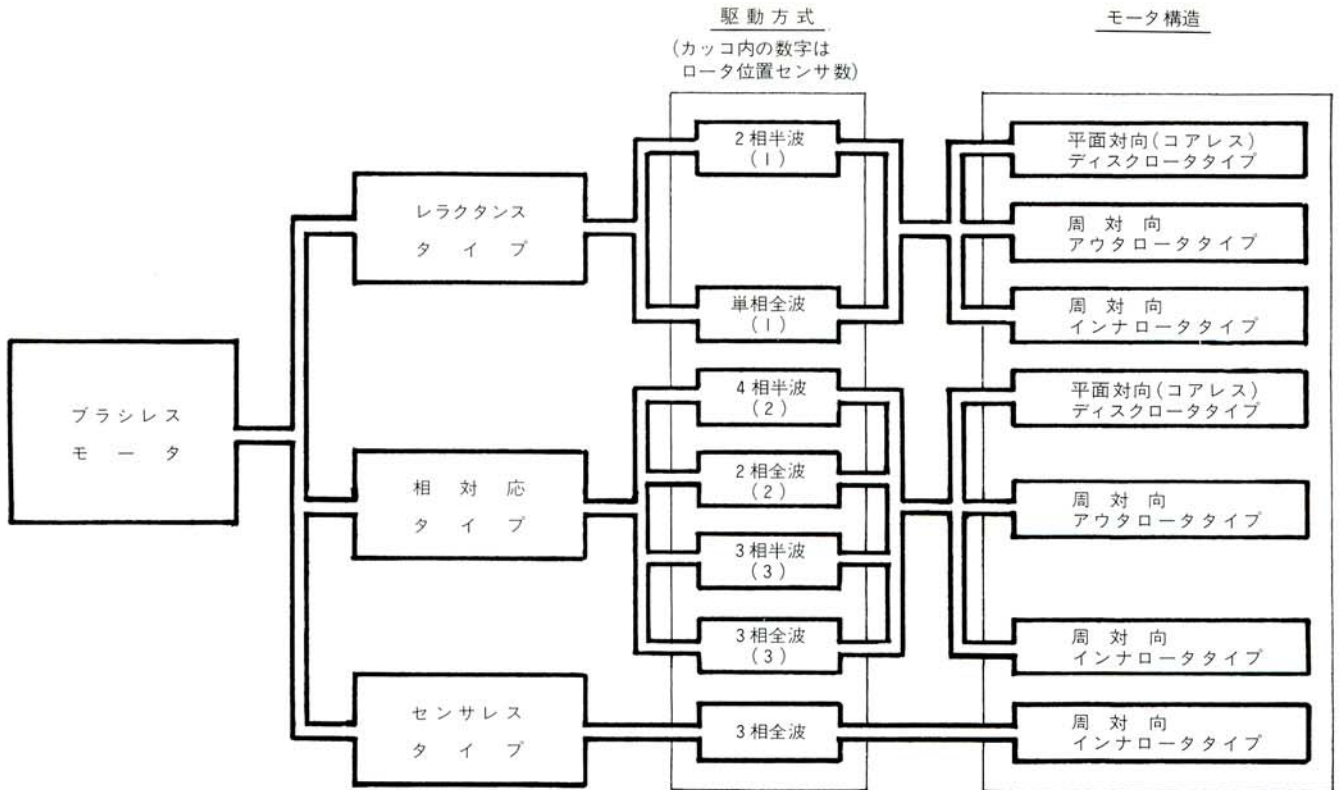


図4/ブラシレスモータの分類  
Fig. 4/Classification of brushless DC motors

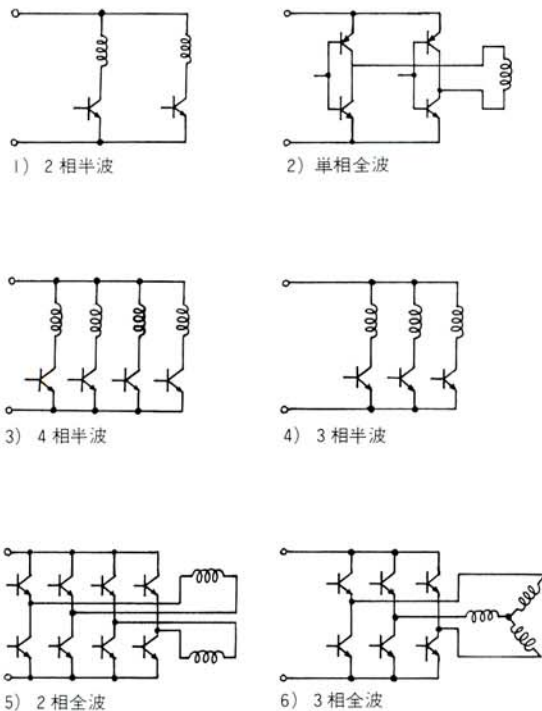


図5/ブラシレスモータの各種駆動方式  
Fig. 5/Examples of driver circuit in brushless DC motor

(1) レラクタンスタイプ

ロータ位置検知センサとして通常ホール素子1個が使用されるもので、駆動原理上死点が存在するために、モータ構造面で何らかの死点解消策(回転方向設定法)が必要である。駆動方式としては2相半波方式が多用されるが、例外として単相全波方式が見受けられる。

適用分野としては、比較的小容量でコストパフォーマンスが要求されるブラシレスモータに採用され、その代表的応用がDC軸流ファンである。

(2) 相対応タイプ

ロータ位置検知センサを2または3個必要とする本タイプは、最もオーソドックスな駆動方式である。モータ構造面ではロータ位置検知センサの設置の他に、ステータと永久磁石ロータがあれば、ブラシレスモータが構成される。

適用分野としては、数W以下の小容量(平面对向のコアレスタイプが多い)のものから、スロットタイプの数kWオーダのサーボモータまで、各種のものが実用化されている。

(3) センサレスタイプ

ロータの永久磁石の磁束と鎖交して発生するステータコイル上の誘起電圧を電子回路にて検出し、論理的に処理してロータ位置検知信号とするもので、ハード的なセンサを持たないタイプである。

ブラシレスモータが原理的に同期モータであるため、起動時より設定速度まで、あるいは①の速度より②の速度までなどの変速時には、駆動回路内蔵の発振器でモータの同期周波数を徐々に変更する手法を取るなどの複雑な電子回路が必要となるため、駆動制御回路をマイコンなどのLSIで集積化して実用化されている。

コストメリット上より、比較的小容量の大きいものに適用されるため、モータ構造は誘導モータ同等のステータと永久磁石ロータとを組合せた単純な構成となる。

## 2.3 ブラシレスモータと誘導モータの対比

スロットタイプ（コアタイプ）のブラシレスモータと誘導モータを比較した場合、回転磁界を作ることには変りがないため、モータ構造面で類似共通点がみられる。例えば誘導モータとブラシレスモータの内部構造（図6及び図7）から分るように、両モータのステータは同一の製造手法で構成できる。

次に図8（a）、（b）には、レラクタンスタイプのブラシレスモータとクマトリモータのステータコア形状を比

較のため示した。図8（a）、（b）を観察すると先端技術といわれるブラシレスモータと低効率で有名なクマトリモータの各々の回転トルクの発生原理が、同一思想のレラクタンسギャップ手法にしたがうことが裏付けされる。

回転トルクの発生原理をもう少し詳細に分析すると、全波方式と半波方式の各駆動方式の間には、3相誘導モータ、単相誘導モータの場合と同様に、長・短所が見つけられる。

かような見方を取りまとめたのが、図9に示すブラシレスモータと誘導モータの対比表である。

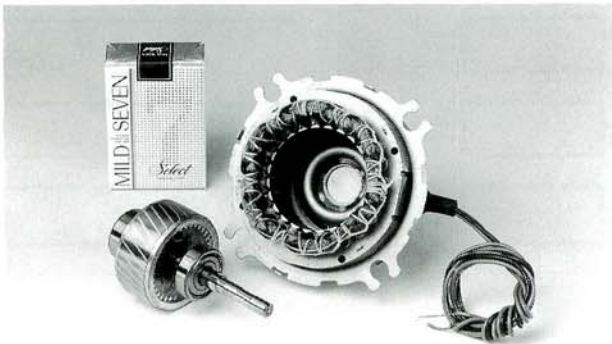


図6/誘導モータ(コンデンサモータ)の内部構造  
Fig. 6/Inner structure of capacitor motor

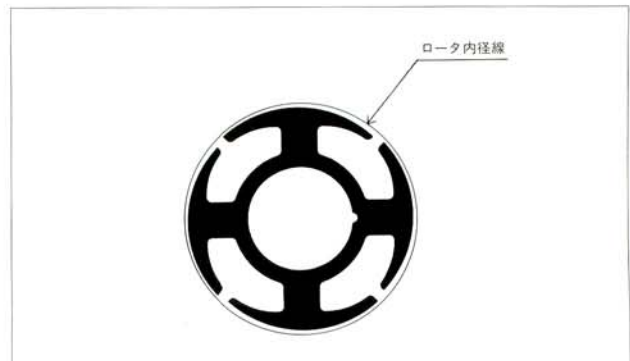


図8(a)/ブラシレスモータのステータコア  
(レラクタンスタイプ、アウトロータ構造)  
Fig. 8(a)/Stator core of brushless DC motor



図7/ブラシレスモータの内部構造  
Fig. 7/Inner structure of brushless DC motor



図8(b)/クマトリモータのステータコア  
(4極レラクタンスギャップ付インナロータ構造)  
Fig. 8(b)/Stator core of shaded pole motor

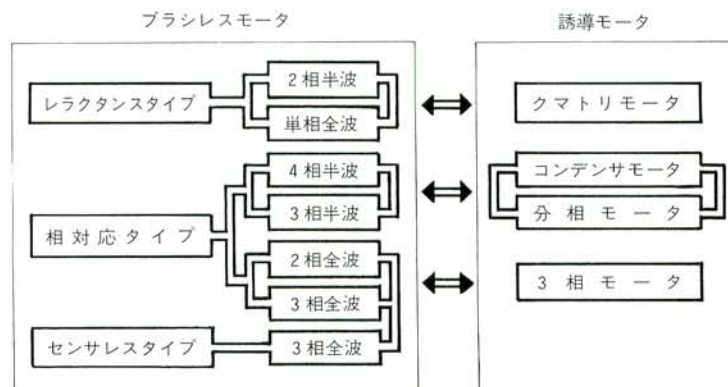


図9/ブラシレスモータと誘導モータの対比  
Fig. 9/Comparison between brushless DC motor and induction motor

## 2.4 ブラシレスモータの応用例

ブラシレスモータの種類が多さ、分化の激しさ、あるいは分野の広さなどを折りに触れ報告したが、ここで2～3の応用具体例を紹介する。

図10はA社ヘッドホンステレオに搭載された平面对向形のディスクロータタイプのもので、ブラシレスモータとしては最小容量、最軽量に属する。

図11、12は同じく平面对向形ディスクロータタイプのFDD用スピンドルモータで、図11が5.25"用(B社)、図12

が3.5"用(C社)である。モータ部と駆動回路部がプリント配線板を介して一体化された、薄形の代表例である。

図13は負荷ファンと複合化したアウトロータタイプで知られるDC軸流ファン(D社)である。図から分るようにステータはスロットタイプで、駆動回路が内蔵化されている。

最後の図14は容量の大きい方の応用例のサーボモータ(E社)で、スロットタイプの3相巻線のステータ、インナタイプの永久磁石ロータ及び速度センサとしてのエンコーダより構成される。

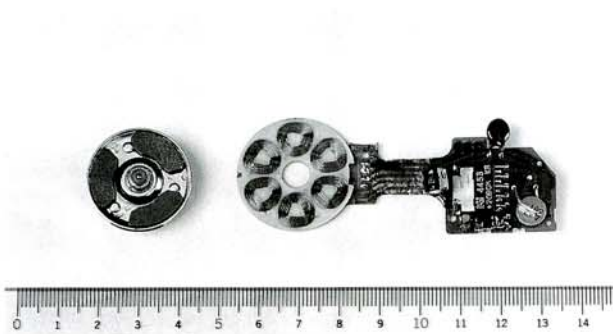


図10/ブラシレスモータの例(1)  
Fig. 10/Example (1) of brushless DC motor



図13/ブラシレスモータの例(4)  
Fig. 13/Example (4) of brushless DC motor



図11/ブラシレスモータの例(2)  
Fig. 11/Example (2) of brushless DC motor



図14/ブラシレスモータの例(5)  
Fig. 14/Example (5) of brushless DC motor

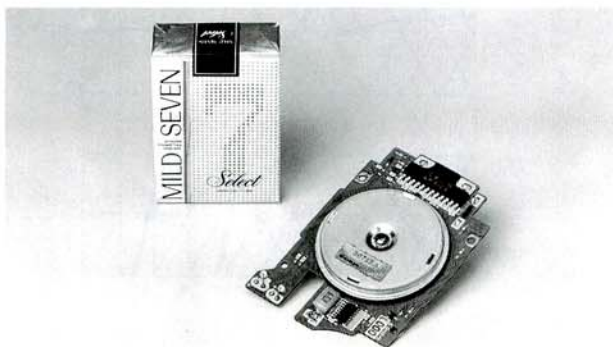


図12/ブラシレスモータの例(3)  
Fig. 13/Example (3) of brushless DC motor

## 3 家庭電化機器及び住宅設備機器向けのファン駆動用ブラシレスモータの商品化

開発コンセプトの確定経過については、前号で順を追って紹介した通りであるが、商品化テーマの決定要件を再記すると次のようになる。

- (1) 当社の小形誘導モータに対する顧客要求・市場ニーズを帰納化した新形モータの概念がブラシレスモータに一致したこと。(図15参照)
- (2) 最近の小形モータ市場では、需要の想定される新規分野への参入・事業化メーカーが余りに多過ぎるのに対し、当社としては商品化テーマの遂行により、本業を離れ

ずに、本業の転換と高付加価値化が計り得るとともに、エレクトロニクス技術の導入・装備ができ、更には来たるべきHA時代への布石にもなり得ると判断されたこと。

- (3) ブラシレスモータの設計技術や製造技術などが、当社の現事業の手の届くほどの近くにあったため、事業化課題はテクノロジトランスファ（技術移転）と先端技術のポピュライズ（普遍化）にあったこと。
- (4) ステッピングモータ、ブラシレスモータなどの制御用モータの適用分野と容量範囲を考察すると、現事業の小形誘導モータの対象市場には新しい制御用モータの進出・適用がほとんどなかったこと。（図16参照）

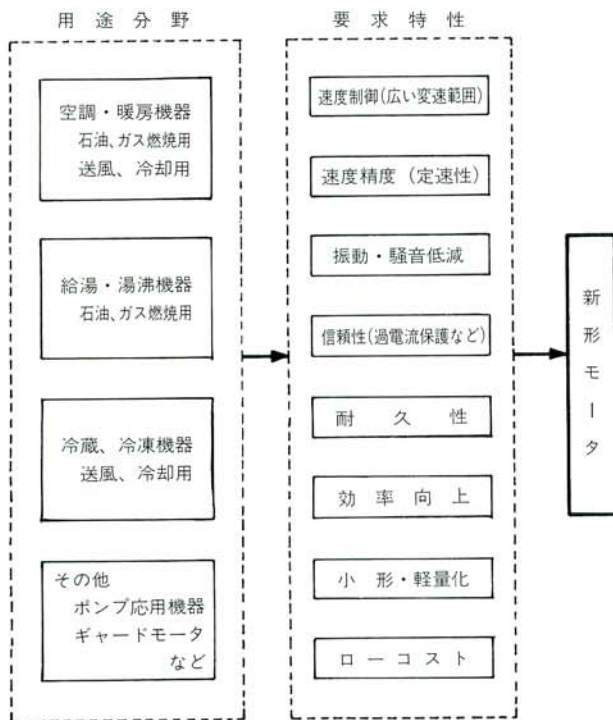


図15/家電機器及び住設機器における新形モータのニーズ  
Fig. 15/Needs for a New type motor on home appliances and residential equipment

### 3.1 商品化した「家庭電化機器及び住宅設備機器向けのファン駆動用ブラシレスモータ」の紹介

#### (1) 定格・仕様

KC-08、KC-12の2シリーズの定格出力範囲を図17に示す。

構成仕様は、相対応タイプ、3相全波駆動方式、周対向インナロータタイプで、その基本ブロック図を図18に示す。

なお付加機能として定速制御機能、過電流保護機能などを顧客要求にしたがって提供している。

#### (2) 外形図

KC-08、KC-12の各シリーズのモータ外形寸法を図19(a)、(b)に示す。

また図20(a)に、モータ部及び駆動回路部の外観を、図20(b)にモータ内部構造とロータを示した。

#### (3) 特長

商品化したブラシレスモータを当社のコンデンサモータと対比すると、次の4つの特長があげられる。

- (i) 小形軽量である。（体積比 約40%）
- (ii) 薄形である。（軸方向寸法比 約50%）
- (iii) 高効率である。（効率比 約150%）
- (iv) 制御回路との組合せにより、各種の駆動制御が可能である。

なお、小形軽量・薄形の例示のために、図21に当社コンデンサモータCSシリーズとKC-08シリーズの外形比較図を示した。

型式	定 格		
	トルク(kg-cm)	回転数(rpm)	出力(W)
KC08	~0.7	~5,500	~20
KC12	~0.9	~4,000	~23

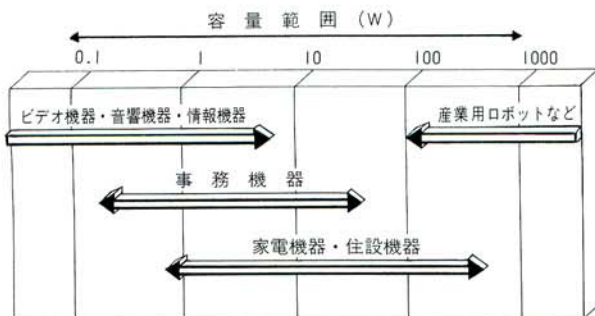


図16/小形モータの用途分野と容量範囲  
Fig. 16/Relation between application and output range of small motors

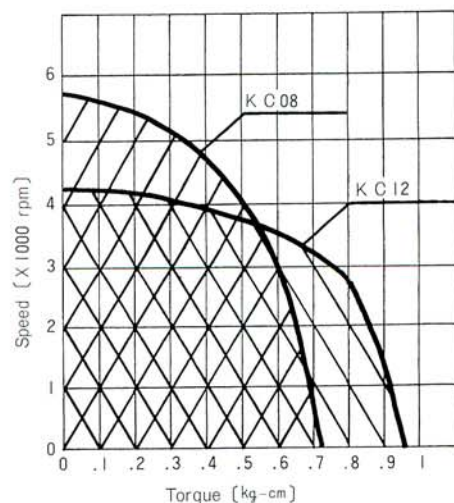


図17/定格出力範囲  
Fig. 17/Rated output range

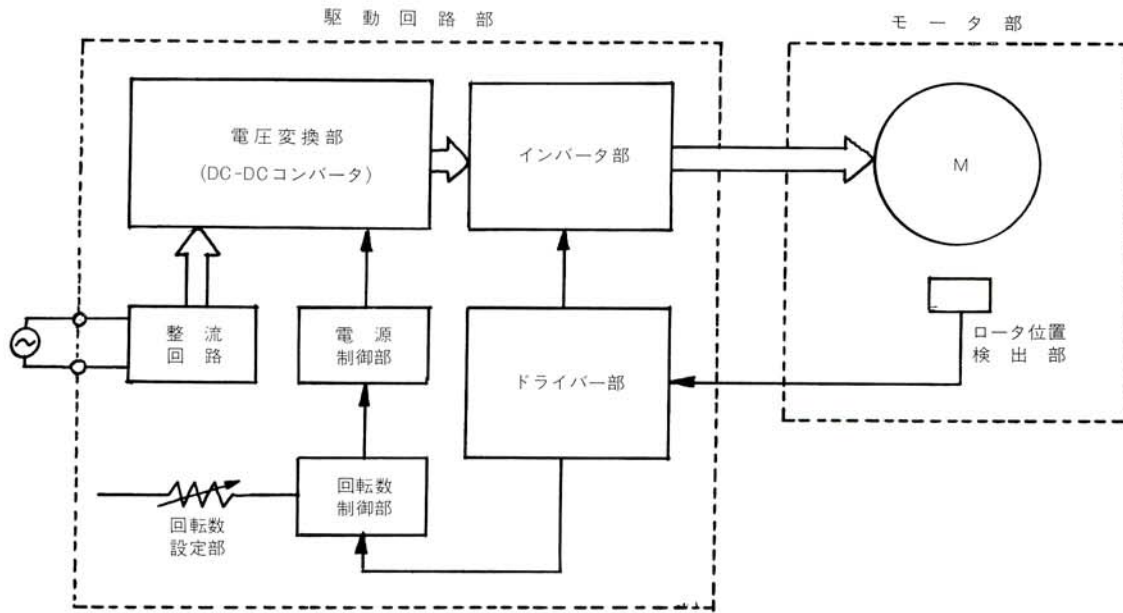


図18/ブラシレスモータ基本ブロック図  
Fig. 18/Block diagram of brushless DC motor

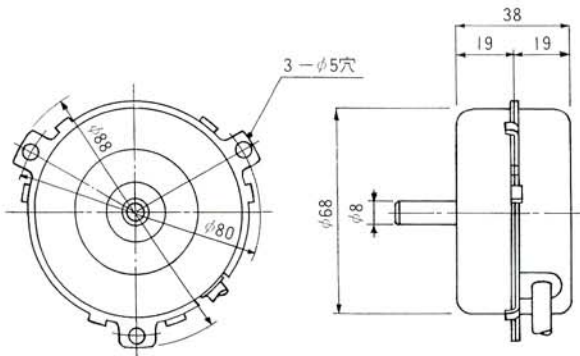


図19(a)/KC-08外形図  
Fig. 19(a)/Outline of KC-08

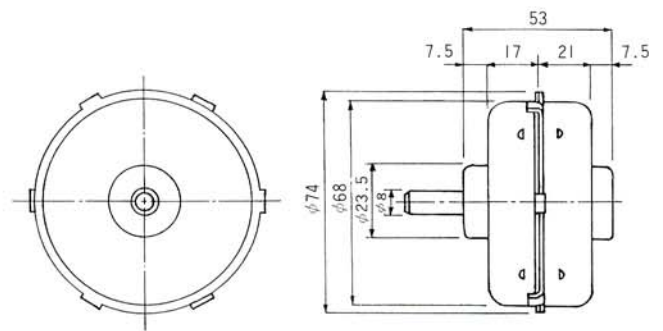


図19(b)/KC-12外形図  
Fig. 19(b)/Outline of KC-12

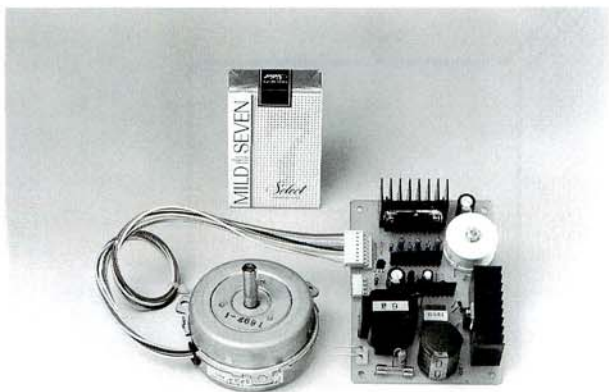


図20(a)/KC-08外観  
Fig. 20(a)/Exterior of KC-08



図20(b)/KC-08内部構造  
Fig. 20(b)/Inner structure of KC-08

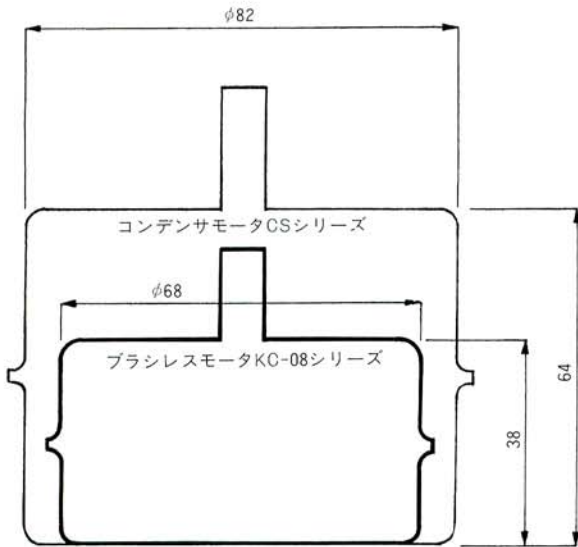


図21/ ブラシレスモータとコンデンサモータの外形比較図  
 Fig. 21/ Comparison in outline between brushless DC motor and capacitor motor

### 3.2 構成技術について

技術開発から商品開発までの経過を振り返って、ブラシレスモータを構成する技術を整理すると、図22に示すように4つに区分される。

設計、製造及び品質保証の各技術については、特に説明の必要はないと思うので、残ったVE技術(VEという用語に間違いがあるかも知れないが)の必要性を以下に補足する。

従来のモータハード技術にエレクトロニクス技術を複合化する技術開発のみならば、VE技術は不必要であったかも知れないが、昨今のコスト優先市場に向って、商品開発を進めるには、VE技術の克服が必要不可欠であった。

VTR、パソコン、FDD、ワープロ、……などのハイテク技術商品の年率数10%に及ぶ値下り傾向は、一般によく知られた事実であるが、同じように最近の小形モータ市場における価格問題は、正にサバイバルを賭けた熾烈な戦いであると強調しておかねばならない。

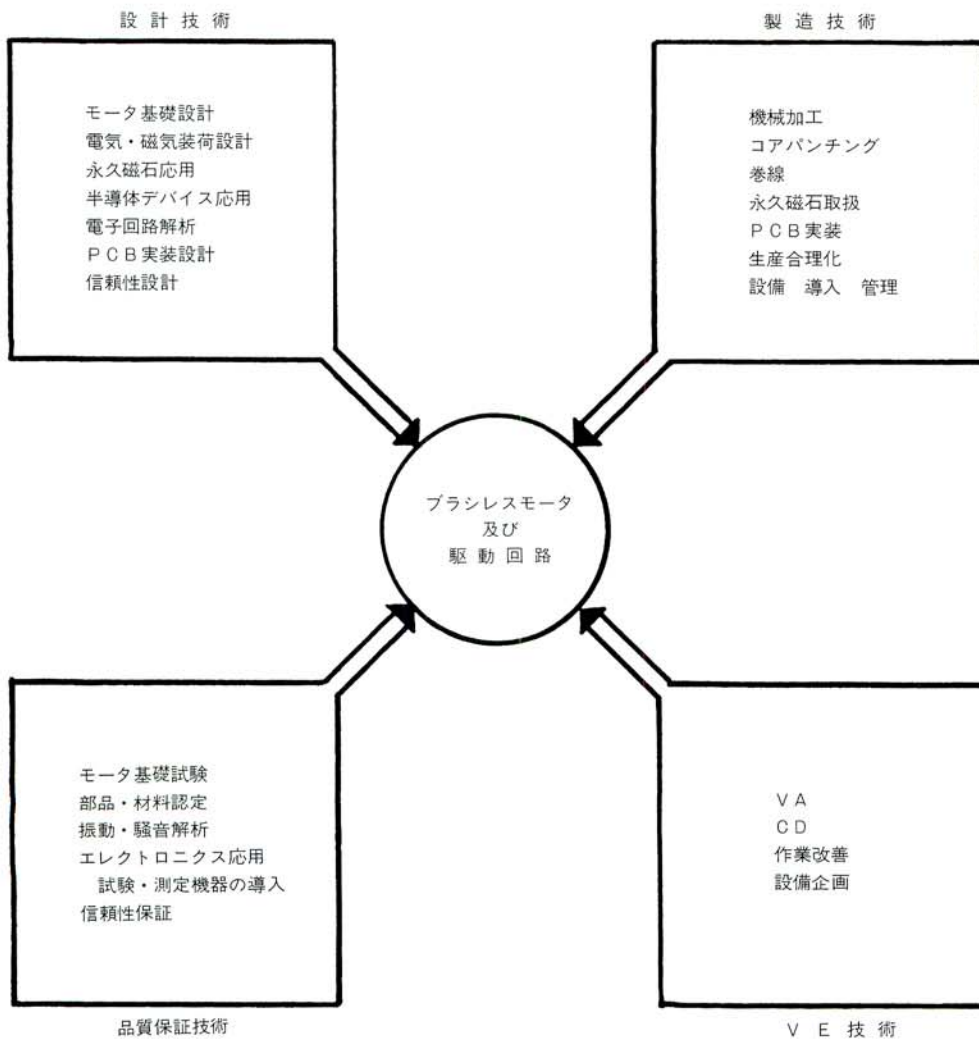


図22/ ブラシレスモータの構成技術  
 Fig. 22/ Elemental technics in brushless DC motor

## 4 今後の展望

### 4.1 家電機器及び住設機器向ブラシレスモータの今後

商品化したブラシレスモータは、生産ラインへの機械設備の導入が順次進むとともに、生産量も順調に増加しているが、今後とも顧客ニーズを早期に把握して新たな時代に即応した商品提供を図り、品種及び市場分野の拡大を推進して確固たる地歩を築き上げることが期待される。

技術的課題としては、家電機器及び住設機器分野をターゲットにしたにしても、ブラシレスモータには変りがないので、高機能化のための新しい半導体デバイスや新素材の採用検討、あるいは、信頼性向上のための諸施策の導入検討とともに、永遠のテーマである小形軽量化とローコスト化の追求が必要である。

更には測定・試験・検査にLAの導入、製造的にはFAあるいはFMSが今後必定となるであろう。(図23参照)

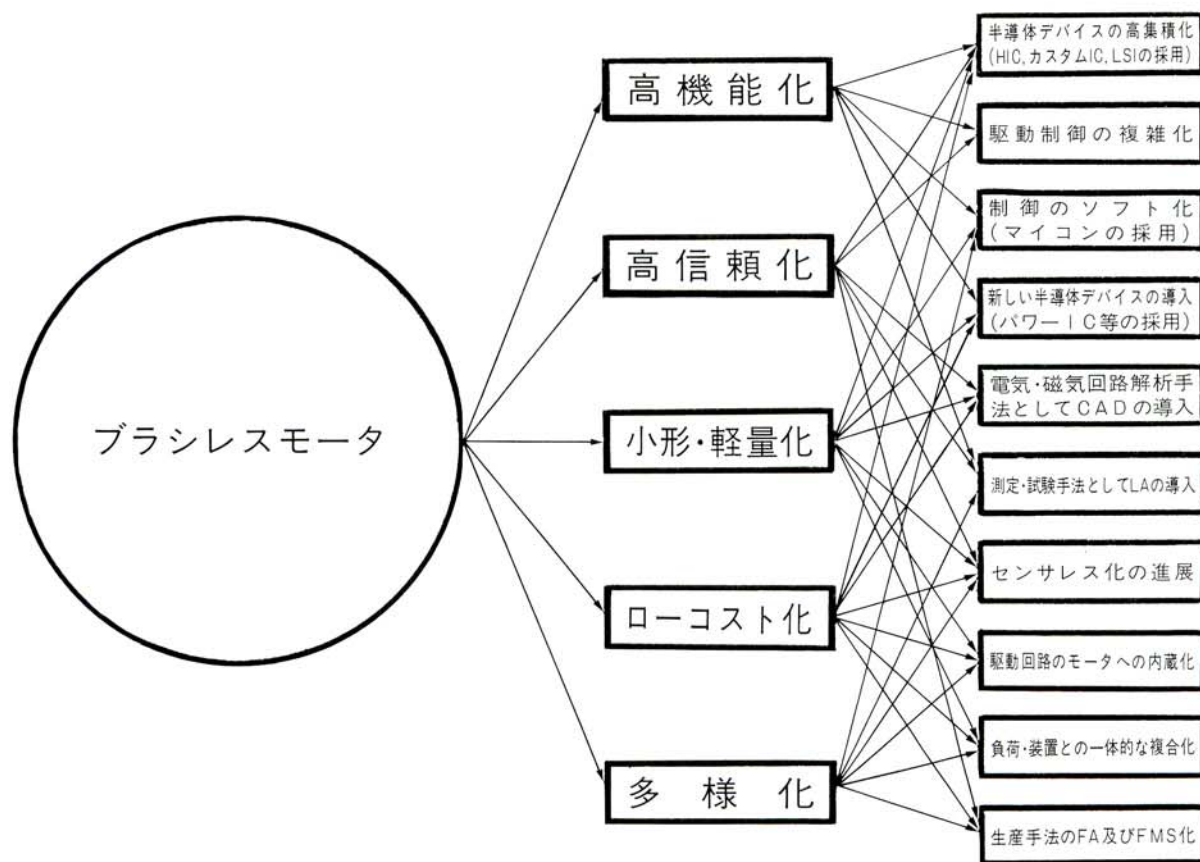


図23/ブラシレスモータの今後の展望

Fig. 23/Future view of brushless DC motor

### 4.2 制御用モータの発展動向

エレクトロニクス技術により複合化あるいは高機能化された制御用の小形モータの発展動向を、これまでにも紹介してきたが、ここでブラシレスモータの制御用モータとしての位置付けを明確にするために、誘導モータ、直流モータ及びステッピングモータの制御用モータとしての発展動向とそのニーズをたどりながら、最近の技術動向を図表化した。(図24参照)

図24では、ブラシレスモータとステッピングモータがVR形で融合することを示唆しているが、その他に過去より誘導モータと同期モータをインバータ駆動による無整流子電動機として、統一的に分類・理論展開する試みなどもある。

かようなモータ制御技術の動向を総括して見直すると、エレクトロニクス制御技術がますます高度に発達するにつれて、モータ構成技術の原理上の垣根が次第に取り払われて、新たなモータの出現の可能性もあり得ると付け加えたい。

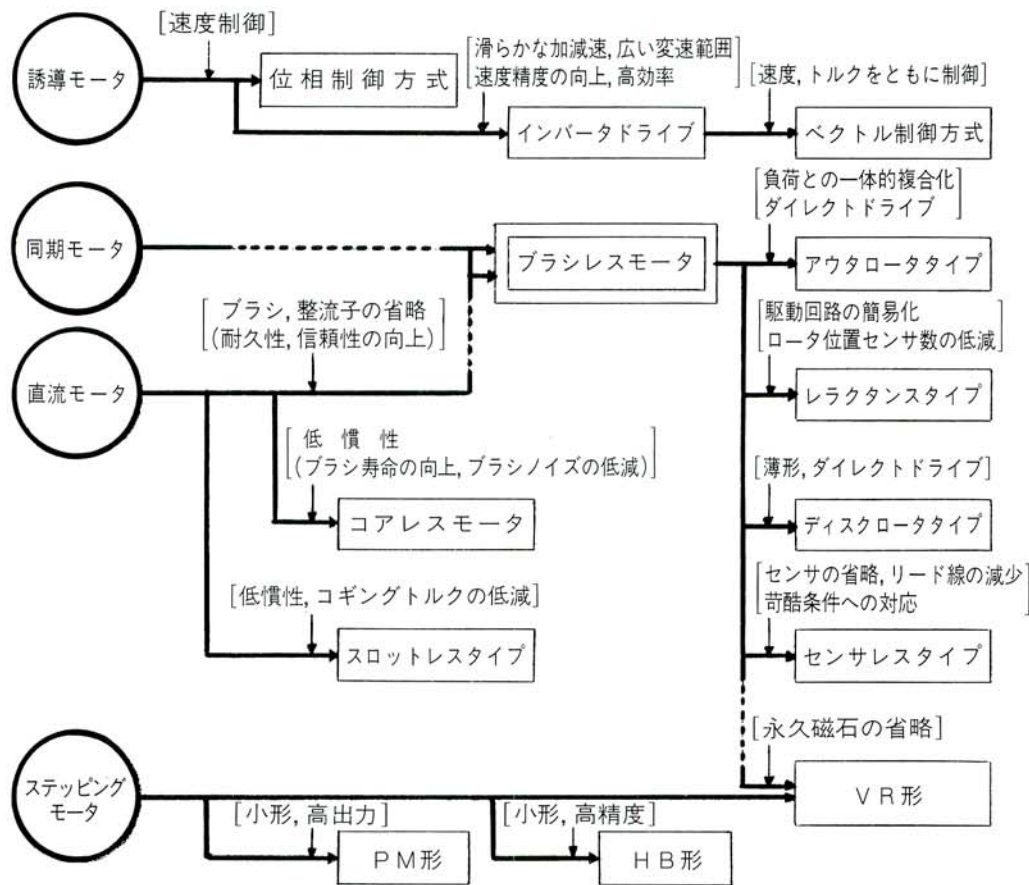


図24/制御用モータのニーズと発展動向

Fig. 24/Relation between needs and technology tendency in small and control-motors

## 5あとがき

今回商品化したブラシレスモータは、当社における小形モータ事業のイノベーションと考えられるが、これを礎としてサバイバル戦略の中核として、あるいは新市場の創造作戦として、新たな事業展開が望まれる。

最後に、プロジェクト推進及び商品化過程で多大なる御協力、御指導を頂いた社内関係各位に、厚くお礼を申し上げるとともに、ブラシレスモータのなお一層の発展のため、今後とも御支援、御鞭撻の程よろしくお願い申し上げます。

## 参考文献

- (1) 宮入、常広「無整流子電動機の最近の進歩(1)」  
OHM 昭37年 10月号
- (2) 宮入、常広「無整流子電動機の最近の進歩(2)」  
OHM 昭37年 11月号
- (3) 宮入、井上「トランジスタ電動機の動向」  
電学誌 Vol.84-3、No.906(3/64)
- (4) 田中 「トランジスタ電動機の発展」  
National Technical Report  
第11巻第5号(昭40年10月号)
- (5) 錦織、小林他「直接駆動形ホノモータ  
電子整流子モータの開発 第I報」  
National Technical Report  
Vol.16 No.3 (June, 1970)
- (6) 錦織、小林他「直接駆動形ホノモータ  
電子整流子モータの開発 第II報」  
National Technical Report  
Vol.20 No.4 (Aug, 1974)
- (7) 牧野昇 「衰亡と繁栄  
—企業は革新をいかに進めるか—」  
講談社
- (8) J. Montgomery、H. Neidhart  
「Transitions Occurring in Small Motor  
and Controls Markets」  
ELECTRI・ONICS Feb, 1985