

# 腕時計用マイクロステップモータ\*

中川 安一\*\*

Micro Stepping Motor for Wrist Watch / Yasuichi NAKAGAWA

**Key words** wrist watch, analogue quartz, stepping motor, low power consumption, adaptable control system

## 1. はじめに

マイクロステップモータと言えば小型円筒形状の多極型か一般的と考えられるが、本稿では最も小さいと思われる腕時計用平面型の2極単相ステッピングモータをとりあげる。1971年に、ステッピングモータを採用した世界初のアナログクォーツウォッチを発売(SEIKO)以来、現在に至るまでステッピングモータは、性能面、小型化、低消費電流化において、飛躍的に進歩しアナログクォーツの基盤を確固たるものとした。当初のアナログクォーツウォッチは厚く、大きく紳士用としても大きなサイズでしか実現できなかった。しかも電池寿命は160mAhの電池でようやく1年であった。現在では40mAhの電池で5年間持つようになった。これはステッピングモータおよびICの低消費電流化が進められ消費電流が当初品の約1/20になった。そこでマイクロメカニズム技術進展の一例として腕時計用ステッピングモータのメカニズムについて、低消費電流化にポイントをおいて現状を紹介する。

## 2. 腕時計用ステップモータの条件

アナログクォーツウォッチ用ステッピングモータは、針の駆動動力源として用いられており、腕時計用モータとして求められる条件は次のようになる。

- (1) 小型・薄型が可能である。
- (2) 低消費電力で駆動できる。
- (3) 無調整で安価に大量生産できる。
- (4) ある程度のディテントトルクを持つ。

- (5) 1.5Vで駆動できる
  - (6) ある程度の磁界中でも動作する。
  - (7) ある温度範囲内(例-10~+60°C)で動作する
- 様々なタイプのモータから上記の条件を満たすものとして現在使われているのは2極単相型ステッピングモータである。その最も大きな理由は、小型で、かつ低消費電力で駆動が可能にあることにある。

### 2.1 腕時計用ステップモータの構造

腕時計用ステッピングモータの代表的な構造例を図1に示す。ロータは、径方向に2極に着磁されたリング状のサマリウムコハルト磁石を回転軸に取り付けている。回転軸の一部に歯車が形成され、ロータの回転が輪列に伝わる。リング状磁石の形状は、外径 $\phi 10 \sim \phi 15$ mm、内径 $\phi 0.3 \sim \phi 0.5$ mm、厚みは0.3~0.6mmでエネルギー積20~30 MGOeの焼結型サマリウムコハルト磁石が用いられている。

ステータは、図1に示すように、ロータ穴周辺がわずかな断面積で接続している一体型ステータを用いている。この接続されている部分の幅は0.1mm程度であり、材料厚みが0.5mm程度であるため、コイルにわずかな電流を流すと、接続部分が磁氣的に飽和して、

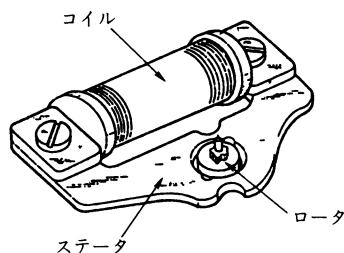


図1 腕時計用ステッピングモータ

\* 原稿受付 昭和63年6月1日

\*\* セイコー電子工業(株) (松戸市高塚新田 563)

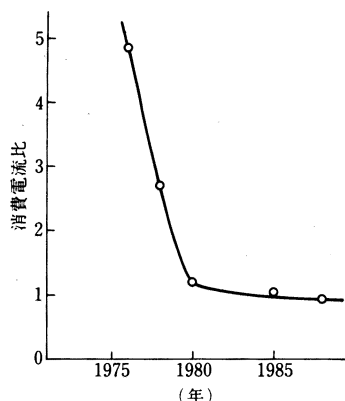


図2 三針時計用モータの消費電流比推移

等価的には、接続部分で2体に分割されたことになる。ロータのディテントトルクは、ロータ磁石の入る穴の内周面にある切欠き部（ノッチ）の大きさによって制御される。また、ノッチの角度を変えることによりロータの静止位置が制御できる。コイルブロックは、高透磁率材料の磁心に $\phi 12 \sim \phi 20 \mu\text{m}$ の極細線ウレタン被膜ワイヤを5000~10000ターン巻いている。なお、モータブロックの大きさとしては最大長で約10~15mmである。

## 2.2 腕時計用ステップモータの低消費電力化

一般に電池容量は電池の大きさに比例するため、消費電流を小さくすることが出来れば、小型電池の使用が可能となり、腕時計全体を小さくすることができる。1970年代は、電気・機械変換・磁気回路の効率アップのため、コイルワイヤ線径の太いワイヤで巻数を多くするようにしていたために、コイルスペースが大きくなって、小型腕時計の実現が非常に困難であった。しかし1980年に開発した適応制御駆動方式（3項で詳細に説明）の採用により、図2に示すとおり、これまでの半分に近い消費電流で性能を満たすことができ、現在では10年前の約1/5程度の消費電流が可能となっている。またこれにより、使用電池の小型化も加速された。婦人用三針腕時計の電池体積推移は図3に示すように、この10年間で電池体積比は約1/3となり、ステップモータの低消費電流化、コイルブロック体積の小型化により、腕時計の小型化がいかに進展したかわかる。

## 3. 腕時計用ステップモータのメカニズム

アナログクォーツウォッチの小型化には、小さな電力で駆動出来るステップモータの開発が最も重要である。

しかしコイル体積を小さくすると、巻線スペースが

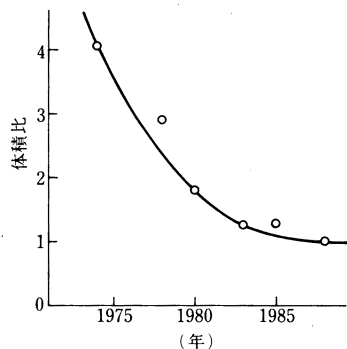
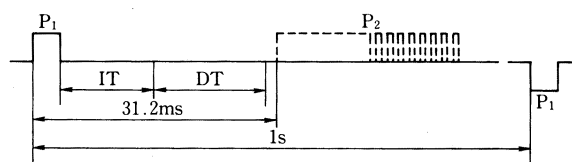


図3 婦人用三針腕時計の電池体積比推移



P<sub>1</sub>:主駆動パルス, P<sub>2</sub>:補正駆動パルス, IT:アイドリングタイム（非検出区間）, DT:ディテクティングタイム（検出区間）

図4 駆動パルスのタイミング例

少なくなるため抵抗値を上げられず消費電力が多くなる。パルス幅を短くすれば消費電力は少なくなるが駆動トルクも小さくなり機械的負荷に対する余裕がなくなってしまう。

そこで通常はロータが回転出来る最小のエネルギーで駆動して電力消費を押さえ、通常の駆動パルスで回転出来なかった時のみ補正駆動パルスで強制的に回転させるパルス幅適応制御駆動システムを採用している。

## 3.1 適応制御駆動システム

適応制御を実行するために、駆動パルスとして主駆動パルスP<sub>1</sub>と補正駆動パルスP<sub>2</sub>を用意する。主駆動パルスP<sub>1</sub>は通常1sごとにステップモータを駆動させるためのパルスである。なお、このP<sub>1</sub>は複数ランク設定されている。補正駆動パルスP<sub>2</sub>は、主駆動パルスP<sub>1</sub>でロータを回転出来なかった時のみ出力され、時計仕様の最大トルクを決定するパルスである。

図4に主駆動パルスと補正駆動パルスのタイミング例を示す。DTは回転検出をする区間であり、ITは誤検出防止のため回転検出をしないマスク区間である。

ステップモータは次の三つのルールによる適切なパルスで駆動される。

ルール(1):あるパルス幅P<sub>1</sub>でステップモータを駆動した直後に、ロータが回転したかどうかを検出する。このとき、検出回路がロータ非回転と判

断すると、直ちに補正駆動パルス  $P_2$  を出力してロータを再駆動し、次の主駆動パルス  $P_1$  を少し長目に設定する。但し  $P_1$  が最大設定値の時は最小設定値まで短くする。

ルール (2) :  $N$  秒 (例えば 128 s) ごとに主駆動パルス  $P_1$  を強制的に短くする。但し  $P_1$  が設定された最小パルスの時はそのパルス幅を維持する。

ルール (3) : 主駆動パルス  $P_1$  が最大設定値である時、 $N$  秒後に最小設定値まで  $P_1$  を短くする。

ルール (1), ルール (2), ルール (3) によりステップモータに対する機械負荷の増減に応じて主駆動パルス  $P_1$  の長さが自動的に変化し、ロータが回転しうる最も短いパルス幅が選択される。この方式は一種の適応制御方式といえる。

### 3.2 検出の原理

次に回転検出の原理について説明する。図 5 はロータとステータの位置関係を示したものであり、図 6 は駆動回路と回転検出回路を示したものである。図 5 (a) はロータが静止している状態であり、ロータの磁極はステータのノッチに対し約  $90^\circ$  ずれている。

主駆動パルス  $P_1$  で駆動すると、ステータは図 5 (b) に示すように磁化され、ロータの各磁極はステータの磁極と反発し合い回転を始める。

主駆動パルス  $P_1$  の印加後は、ロータの振動によりコイルに起磁力が発生する。このとき回路構成が図 6 のループ 3 になり、次の状態にロータがある時制動力が発生する。

(1) 回転のとき： 図 5 (c) に示す  $X_1$  から  $X_1'$  までを磁極が通過するとき。

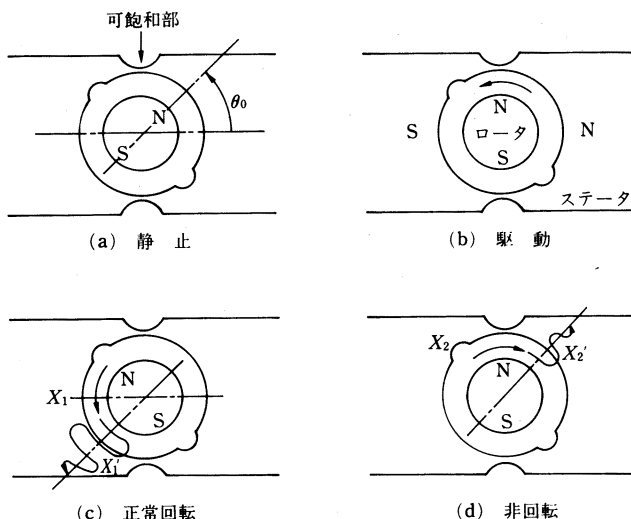


図 5 ロータとステータの位置関係

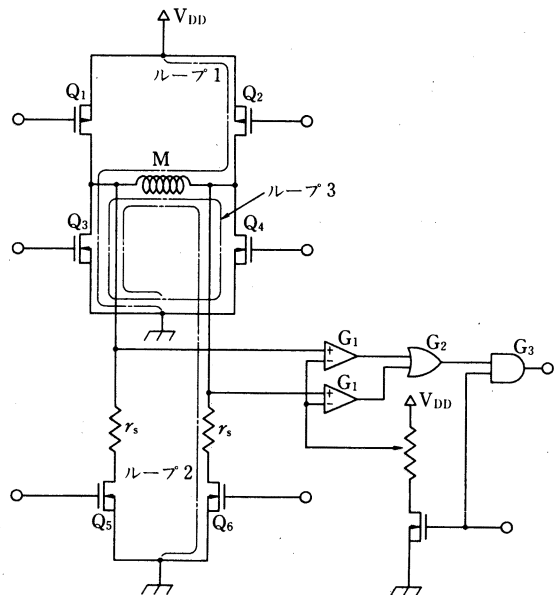


図 6 駆動・検出回路

(2) 非回転のとき： 図 5 (d) に示す  $X_2$  から  $X_2'$  までを磁極が通過するとき。

回転のときは、主駆動パルスが切れたあとロータの磁極がステータ可飽和部を通過しないので誘起電圧も小さく、ロータに制御がかかりにくい (図 5 (c)). しかし非回転のときはロータの磁極が  $X_2$  から  $X_2'$  へ移動する時にステータの可飽和部を通り誘起電圧が大きくなる (図 5 (d)). そのためループ 3 により大きな制動力が加わり、 $X_2'$  後の振幅は小さくなり、ロータはすぐ安定点に静止する。

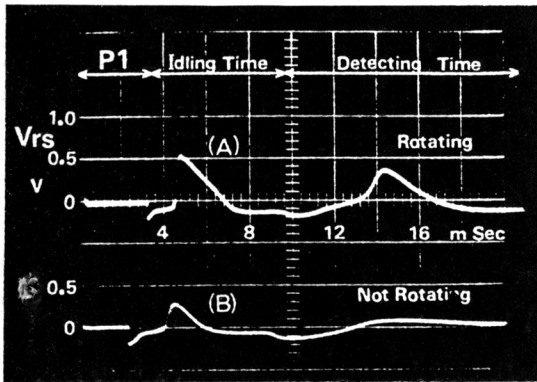
このように、ロータが回転した場合と、非回転の場合では回転検出区間  $DT$  での誘起電圧が異なることを利用し、ロータの回転検出を行う。

図 7 はロータが回転した場合と非回転の場合の回転検出波形  $V_{rs}$  の一例である。  $V_{rs}$  (A) と  $V_{rs}$  (B) において、負の電圧が  $0.2\text{ V}$  でクランプしているのは N MOS-FET  $Q_4$  (図 6) の寄生ダイオードによるものである。

### 3.3 検出信号の増幅

図 7 に示す回転検出波形では、回転時のピーク電圧  $0.4\text{ V}$ 、非回転時のピーク電圧  $0.1\text{ V}$  とその差が  $0.3\text{ V}$  しかなく、回転、非回転の判断が困難である。そのため検出波形を増幅し、検出をより一層安易にする必要がある。

しかし時計用 IC の中に増幅器を構成する



(A)：回転時，(B)：非回転時

図7 回転検出波形  $V_{rs}$ 

ことは好ましくない。その理由は、一般的な増幅器では大きな電力を必要とし、時計全体の低消費電力化に反するからである。そこで時計用ICでは電力を必要としない次の方法で検出波形の増幅を行っている。

図6のゲート  $Q_4$  と  $Q_6$  (1ステップ後は  $Q_3$  と  $Q_5$ ) を 1024 Hz の周波数で交互に ON, OFF するという単純なものである。

$Q_4$  が OFF から ON に変わった瞬間の検出抵抗  $r_s$  の両端の電位差  $V_{rs}$  は閉回路の過渡応答によるピーク電圧を発生し、スイッチングしない時に比べ数倍高い電圧検出ができる。

以上のように閉回路の過渡応答特性を利用することにより、電力を消費しないで検出信号を増幅することを可能にしている。

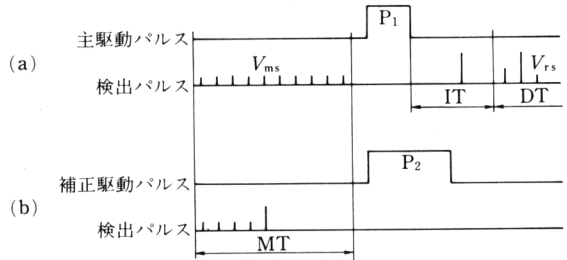
### 3.4 交流磁場検出

この適応制御駆動システムは、ロータの振動により発生する誘起電圧で回転検出を行っている。この検出方法では時計が交流磁界内にあるとコイルが励磁され、ロータの振動とは無関係に誘起電圧が発生する。交流磁界内でロータを駆動すると、回転検出電圧  $V_{rs}$  は次のような影響を受ける。

- (1) 二つの誘起電圧の極性が合うと、より高い電圧が発生して  $V_{rs}$  が高くなり非回転でも回転と誤検出し、補正駆動を行わない。
- (2) 二つの誘起電圧の極性が逆だと  $V_{rs}$  は実際より低くなり、回転を非回転と誤検出し補正駆動パルス  $P_2$  を出力してしまう。

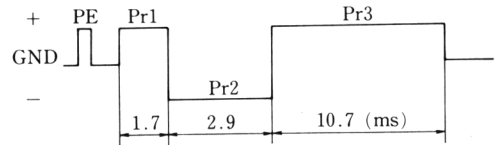
こうした誤検出を防止するため、主駆動パルス  $P_1$  を出力する前に時計が交流磁界内にあることを確認している。確認は次の方法で行われる。

図8は交流磁界検出と駆動パルスのタイミングを示すものである。主駆動パルス  $P_1$  を出力する前約 30 ms



$V_{ms}$ ：交流磁場検出パルス， $V_{rs}$ ：回転検出パルス，MT：磁場検出区間，DT：回転検出区間，IT：回転非検出区間

図8 磁場検出と駆動パルスのタイミング



PE：消磁パルス，Pr1～Pr3：駆動パルス

図9 逆転駆動パルスのタイミング例

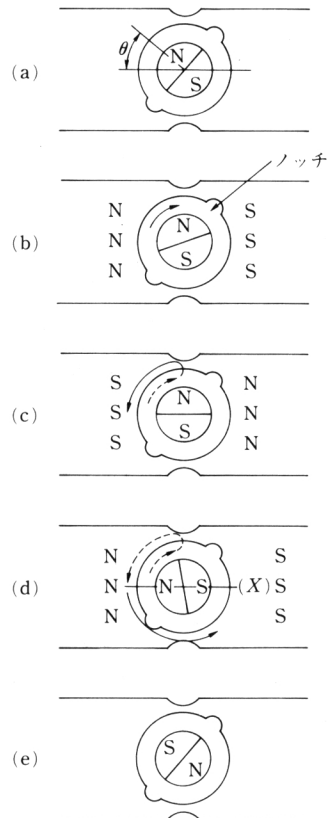


図10 逆転駆動のモデル図

から図6のループ2とループ3を 1024 Hz で切り換える。交流磁界検出電圧  $V_{ms}$  が発生しなければ時計は

交流磁界内にないと判断し通常の駆動制御を行う。しかし交流磁界内に入ると、コイルが励磁され誘起電圧が発生し  $V_{ms}$  が検出される。この時は通常の駆動制御を行わず、主駆動パルス  $P_1$  の代わりに駆動力に余裕のある  $P_2$  を出力し回転検出は行わない。

以上述べたようにパルス幅適応制御と固定パルス駆動とを自動的に切り替えることで交流磁界による誤動作を防止し、システムの信頼性を向上させている。

### 3.5 逆転駆動

逆転は図9、図10のようにまず  $Pr1$  がコイルに印加されステータが励磁されると、ロータが正転方向に回転を始める(図10(b))。しかしパルスが短いのでステータのノッチを越えることが出来ない。

次に  $Pr2$  を印加してステータの極性を反転させるとロータは逆転を始め、初期位置を通過してさらに逆転する。ロータの磁極が図10(d)のX軸を越えた時  $Pr3$  を印加するとステータの極性は再び反転してロータの磁極と反発する。そしてロータは更に逆転する。 $Pr3$  は十分長いパルスにしておき、ロータの磁極

がステータの磁極に吸引されてロータの振動を押さえる。 $Pr3$  が切れるとロータは磁気ポテンシャルの最も低い位置に落ち着く。つまり  $180^\circ$  逆転したことになる。この動作を繰り返すことにより、逆転による時刻修正が行える。

## 4. おわりに

腕時計用に用いられているステップモータの特徴は、小型化と低消費電力駆動化にある。この2点を主に腕時計用ステップモータの技術動向を紹介した。本文に書かれた駆動方式を用いて、1s換算の平均消費電流が約  $0.6\mu A$  (モータと回路の合計) の商品が実用化されている。今後更に低消費電流化、小型化を図るには、高エネルギー積の磁石の検討、輪列負荷トルクの低減、ワイヤ径を更に細くする、ステータ、磁心等の材質検討等の展開が必要とされる。また1モジュールに複数のモータを使用して様々な時刻関連情報をアナログ的に表現した多針腕時計は、今後の多機能化に貢献するものと思われる。



## 新素材の規格制定

新素材普及のためには、品質や製造方法など、全体で約1100項目に及ぶ規格を制定する必要があるとの報告が通産省の審査標準化特別委員会でまとめられた。

同報告はファインセラミックス、新金属、ファインポリマー(高分子)の3分野の標準化項目をまとめたもので、同省はこれに基づき今後、関係各機関と必要な作業計画を協議、10年程度の計画でJIS化を進める方針である。

ところで、新素材は、一部を除いてこれまでJISなど品質を客観的に示す手段が確立されていないのが現状である。そのためメーカーの性能がユーザーの要望と一致しているかをユーザー自身が確認する必要があるなど、基礎素材としての使用環境が整っているとは言えず、これが利用促進のネックにもなっている。

この要因の一つが新素材の定義がはっきりしていないことである。例えばアモルファスのように材質そのものが新規性を持つものと、エンジニアリングプラスチックのように製造技術が進歩して、材質としては従来と同じだが、性能・機能面で新しいものが同じレベルで扱われていることがあげられる。

そこで、同報告は材料研究開発の現状に合わせ、材料別に、品質、製造技術、検査方法などの標準化すべき項

目をまとめ整理した。それによると金属467項目、セラミックス437項目、高分子120項目に及んでいる。

内容は、金属では形状記憶合金、超電導材料、アモルファス、制震材料、粉末冶金など材料別に26種類を取り上げ、特性や製造技術などに関するものである。

具体例では、形状記憶材料の繰返し使用回数とその検査方法、水素吸蔵合金の吸蔵量や放出条件などが主な点である。

セラミックスはファインセラミックスとニューガラスに分け、ファインセラミックスでは174項ある。ジルコニア、炭化けい素、炭化窒素、アパタイトなどの材料を対象に、電気・磁気、光学、化学、生物、機械、熱の各機能別に、耐食性、耐熱性、ヤング率、引張強度などと検査方法などを中心にまとめた。ニューガラスは光学、電気・磁気、熱・機械、化学・生体の4つの機能別に、ディスプレイ用、磁気ディスク用、精密機械部材用などに分け、263項目を指摘した。

高分子は材質の新規性より製造技術の高度化が目立つ分野であるところから、機械的、熱的、電氣的、化学的、光学的、成形加工、耐久性など特性別に項目を整理、120項目を上げている。

(服部 敏夫)