

# 今までの流れを変えるサーボシステム技術

## バッテリーレス・アブソリュートセンサ「RA062」

牧内 一浩

宮島 徹

石塚 よし

Kazuhiro Makiuchi

Tooru Miyajima

Yoshi Ishizuka

### 1. まえがき

サーボモータを制御するためにはモータの軸位置を検出し、サーボアンプに位置情報を送るためのセンサが必須となる。サーボシステムの性能はセンサで左右される部分が多く、センサの分解能・位置精度・応答性などが非常に重要視される。また、センサはモータに直結して組み込まれるために、振動・温度の面からみて、大変厳しい使用環境に置かれるため、サーボシステムの中で一番壊れやすいのがセンサであり、センサの寿命がサーボシステムの寿命に直結する。

センサはその検出原理により光学式センサと磁気式(レゾルバ方式)センサに分かれ、さらに位置情報の出力形態から、インクリメンタルセンサとアブソリュートセンサに分けられる。光学式センサは一般的に高精度であることが特長であり、滑らかな回転が必要な用途や、ダイレクトドライブで高精度な位置決めを行う用途に用いられる。一方、磁気式センサは精度面では光学式センサに比べ劣るが、構造がシンプルで堅牢であることが特長であり、振動が大きい用途等の厳しい条件下に置かれるサーボモータ用のセンサとして用いられる。信号形態としては、インクリメンタル出力の場合、外部に別系統の原点センサが必要で、位置制御を行うアプリケーションでは原点復帰動作が必要となる。一方、アブソリュート出力の場合、センサの絶対位置情報から、任意に原点を定めることができ、原点復帰動作は不要である。しかしながら、回転回数を含めた絶対位置情報を保持するためには、外部バッテリーを必要とし、定期的な保守作業が必要となる。ロボットや射出成形機などの減速機を介して位置決めを行うアプリケーションでは、アブソリュート出力を用いることが多い。

本稿で紹介する SANMOTION SENSOR 「RA062」(以下、「RA062」という)はレゾルバ方式のアブソリュート出力センサであるが、従来のアブソリュートセンサに必要であったバッテリーを不要としている。また、分割数と精度についても光学式センサと同等レベルの仕様を達成している。図1に「RA062」の外観を示す。センサ体格は外径φ62mm、高さ37.6mmである。本稿ではまず第2章で、「RA062」の特長を説明する。第3章で「RA062」の一番の特長である多回転保持の原理を説明する。第4章では制御ブロック図を示し、内部処理構成について述べる。第5章ではまとめを行う。



図1 RA062 外観

### 2. 「RA062」の特長

#### 2.1 バッテリーレスで回転回数を保持

「RA062」の最大の特長は、バッテリーレスで回転回数を含めた絶対位置を保持することである。これまでの一般的なアブソリュートセンサは、回転回数を保持するために、外部バッテリーが必要であり、またセンサ内部にも大容量の電解コンデンサを持つ必要があった。電源を遮断する直前の回転回数を不揮発性のメモリに書き込み、バックアップするだけであれば、外部バッテリーまでは必要ないが、これだけであると、システムの電源を落とした状態でモータのシャフトを回転した場合に、電源遮断中の回転回数分だけ位置がずれることになってしまう。これを防ぐために、従来の一般的なアブソリュートセンサは装置全体の電源が遮断された状態においても、センサだけではバッテリーから常時電源を供給し、モータシャフトの動きを監視する構成を取っていた。しかしながら、バッテリーは定期的に交換する必要があり、保守作業の必要性があることと同時に、有害な廃棄物として環境に悪影響を与える部品でもあった。さらにはバッテリーの容量低下に起因して、回転回数の保持ができなくなるトラブルが生じることもあった。

「RA062」は、内部に複数の歯車を持ち、歯車の相互位置関係から回転回数を割り出す方式を採用した。内部の歯車は機械的にモータシャフトに連結されており、電源のON/OFFに関係無く、モータシャフトの回転量に比例し回転する。センサ電源投入時に各歯車の位置関係を読み取り、この位置関係より回転回数を算出するため、常時電源を供給する必要がなくなり、バッテリーをなくすことができた。回転回数の検出原理については第3章で詳しく述べる。

## 2.2 分割数 17bit、絶対位置精度 10 分を達成

当社従来のレゾルバセンサの仕様は、分解能 12bit、絶対位置精度で 30 分であった。一方、「RA062」では最大分割数は 17bit(131072 分割)まで設定ができ、絶対位置精度は 10 分以下を達成している。レゾルバの誤差要因には、コイルのインピーダンスバラツキとロータの形状バラツキおよびセンサ組み立て時の芯ずれバラツキがあるが、従来機種では誤差の補正をコイル間に抵抗を取り付けることによるアナログ補正で行っていた。この方法ではコイルのインピーダンスバラツキは補正できるが、ロータの形状バラツキと組み付け時の芯ずれの影響が最終誤差として残ってしまっていた。一方、「RA062」は校正データをフラッシュメモリに書き込むデジタル補正とした。この方法ではコイルのインピーダンスバラツキはもちろん、ロータの形状バラツキや組み付け精度による誤差も補正可能であり、光学式センサと同等の高精度を達成できた。

## 2.3 優れた耐環境性

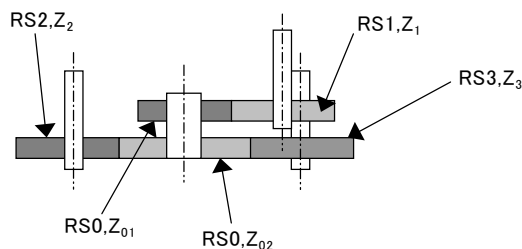
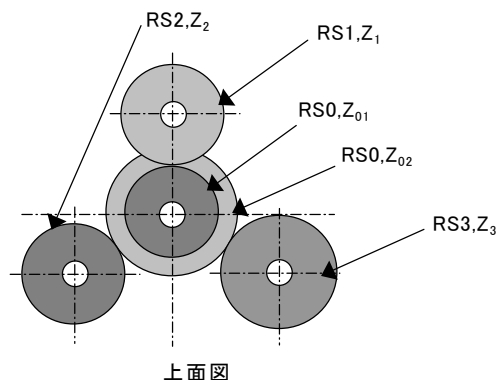
「RA062」はレゾルバセンサであり、その検出部は積層した電磁鋼板とコイル巻線のみから構成されるため、堅牢で高信頼性を有する。近年、センサに要求される耐環境性の要求は一段と厳しくなっている。例えば、グリースミストが飛散する環境や、強い振動がかかる環境での使用を考えたときに、光学式検出のセンサではその適用に限界があるが、レゾルバであれば問題ない。また、光学式センサでは発光ダイオードに代表される寿命部品があるが、「RA062」では寿命部品に相当する電子部品は使用していないことより、長寿命であるといえる。

## 2.4 省配線・高速シリアル通信方式

「RA062」がバッテリーレスセンサであることは、省配線化にもつながっており、従来必要であったバッテリー用の1対の配線が不要である。通信方式はマンチェスタ符号化同期伝送方式(最大 2Mbps)と調歩同期伝送方式(最大 4Mbps)の2種類のシリアル通信に対応しており、前者では4対、後者では2対の配線のみで通信ができる。2対というのは世の中にある位置検出用センサの中でも最少本数であり、取り扱いやすいことはもちろん、客先側でのケーブルハーネスの組み立てにおいても、コスト削減に大きく寄与できる。

## 3. 回転回数検出原理

「RA062」内部には1回転内位置検出用の1つの4極対レゾルバ(RS0)と回転回数算出のための3つの1極対レゾルバ(RS1,2,3)がコンパクトに配置されており、各レゾルバの同心上には歯数の異なる歯車を取り付けられている。図2にレゾルバと歯車の概略構成図を示す。RS0 はモータシャフトに直結され、歯数  $Z_{01}$  の歯車と歯数  $Z_{02}$  の歯車を同心状に持つ。RS1 は歯数  $Z_1$  の歯車を同心状に持ち、前述の RS0 に直結された歯数  $Z_{01}$  の歯車とかみ合う。RS2 は歯数  $Z_2$  の歯車をもち、前述の RS0 に直結された歯数  $Z_{02}$  の歯車とかみ合う。RS3 は歯数  $Z_3$  の歯車をもち、RS2 と同様に RS0 に直結された歯数  $Z_{02}$  の歯車とかみ合う。歯数の組み合わせを工夫することで、各歯車の位置関係から回転回数を算出することができる。歯数組み合わせについては特許を出願しており(出願番号:2000-301511)、こちらで詳しく説明している。ここでは具体例として表1に示す歯数で回転回数算出の原理を説明する。



側面図  
図2 RA062 歯車構成

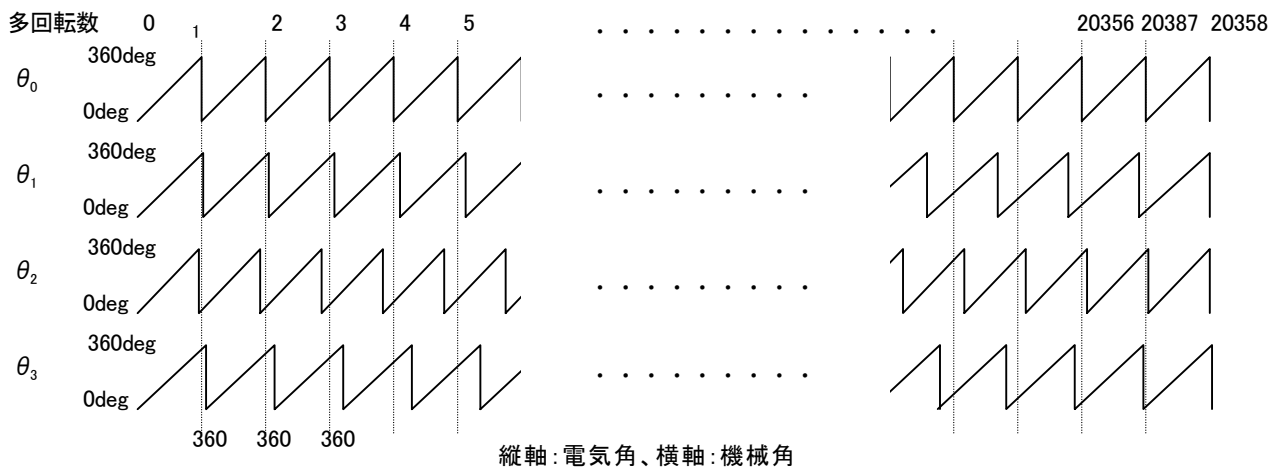
表1 歯数の設定例

$Z_{01}$	25 歯
$Z_{02}$	28 歯
$Z_1$	26 歯
$Z_2$	27 歯
$Z_3$	29 歯
判別可能回転数	$Z_1 \times Z_2 \times Z_3 = 20358$ 回転

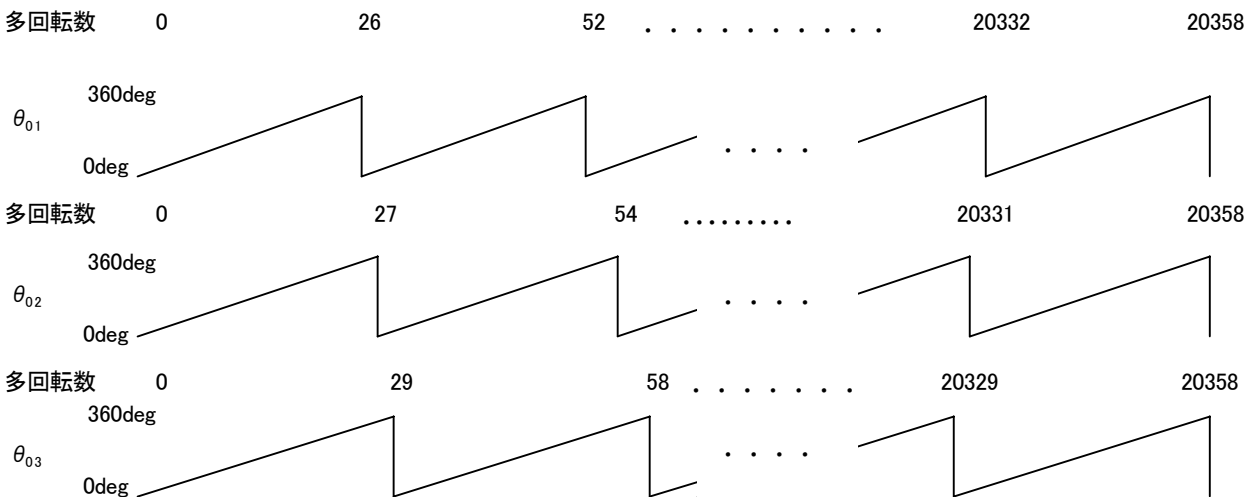
1. モータシャフトに直結された RS0 が回転すると、歯数の異なる歯車を介して各レゾルバ(RS1,2,3)は図3(a)のように、回転比が異なって回転する( $\theta_0 \sim \theta_3$  は RS0~3 の出力する角度)。
2. RS0 と RS1 の出力する角度を演算することによって、図3 (b)に示すような26回転で1周期となる連続的な回転回数データを得ることができる。同様に RS0 と RS2 の角度より27 回転で1周期の回転回数データが得られ、RS0 と RS3 の関係から 29 回転で1周期の回転回数データを得る ( $\theta_{01}$  は RS0 と RS1 の関係から求められる演算値であり、 $\theta_{02}$  と  $\theta_{03}$  も同様)。
3. 3つの異なる周期の相互関係は 20358( $26 \times 27 \times 29$ )回転まで独立した関係となり、どの関係に位置するかにより回転回数を割り出す。

判別可能な回転回数は  $Z_1, Z_2, Z_3$  の最小公倍数となるため、 $Z_1, Z_2, Z_3$  の歯数は互いに素の関係に選ぶことにより、効率よく広い判別範囲を得ることができる。

「RA062」では前述したように、電源投入時に上記回転回数の算出を行っている。センサの電源 OFF 時に外部駆動で回転した場合でも、各歯車の位置関係は機械的に保持されているため、電源投入時には正しい回転回数を出力できることになる。



縦軸：電気角、横軸：機械角  
(a)各レゾルバからの回転位置データ



縦軸：電気角、横軸：機械角  
(b)補正後の回転位置データ

図 3 回転回数検出原理

## 4. 処理回路構成

「RA062」の処理回路構成を、図4に示す。レゾルバの励磁・検出処理を行うアナログ ASIC、位置の演算を行うデジタル ASIC、誤差補正テーブルが書き込まれているフラッシュメモリ、各種パラメータが書き込まれる EEPROM、シリアル通信を制御する送受信ゲートアレイ、回転回数の算出と異常検出を行う CPU から構成される。「RA062」はフラッシュメモリ内に誤差の補正テーブルを持ち、デジタル補正を行うことにより、高精度化（絶対位置精度 10 分以下）を達成している。「RA062」は内部に4つのレゾルバをもち、順次切り替えて使用するが、この処理は「RA062」専用開発したアナログ ASIC により実現している。「RA062」の高分割な位置出力は新規開発したデジタル ASIC の機能による物であり、最大 17bit(131072 分割)は光学式センサの1回転内分割数 30000P/R 以上に相当する。

「RA062」はフェールセーフ機能として、レゾルバ断線異常検出、センサ内部温度異常検出などを搭載している。また、通信においては前述のとおり、マンチェスタ符号化同期伝送方式と、調歩同期伝送方式に対応し、省配線で上位アンプと接続することができる。

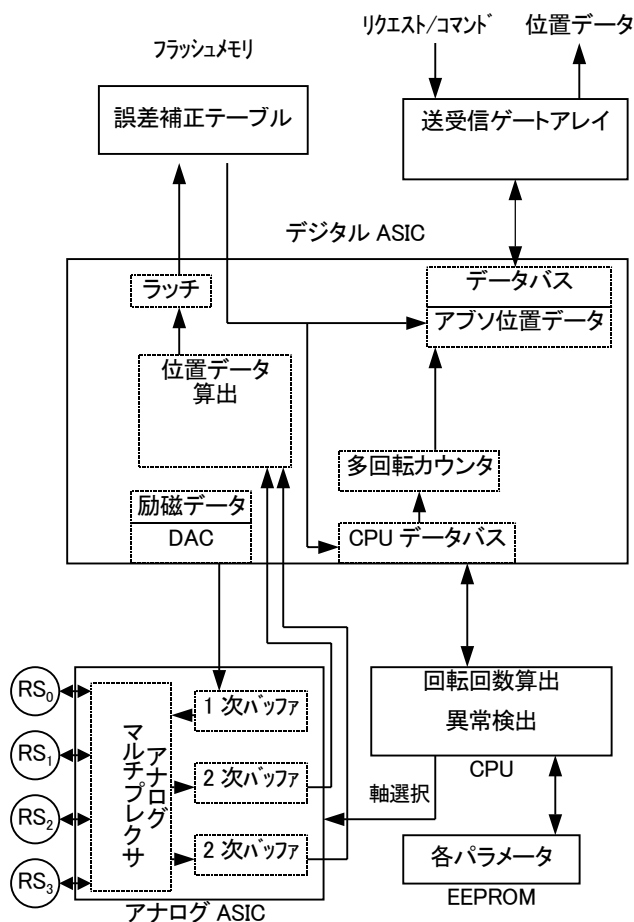


図4 処理回路ブロック図

## 5. むすび

「RA062」は寿命部品であるバッテリーが不要となることにより、エンドユーザで生じる保守労力の軽減に大きく貢献できる。さらに産業廃棄物の削減にもつながり、地球環境にもやさしい製品であるといえる。さらに、新規に開発した ASIC による高分割化と、デジタル補正方式による高精度化を実現し、光学式センサに匹敵する性能を有したレゾルバセンサといえる。また、レゾルバの特長である高信頼性を有し、耐環境性を必要とする用途への適用もできる。通信方式はシリアル通信であり、最少で2対のケーブルのみで上位アンプとつながる。省配線化により、ケーブルハーネスの組み立てコストの削減とケーブル設置の作業性向上に寄与できる。

「RA062」はこれまでのレゾルバセンサにない特長を持ち、新しい価値観を提供できるセンサである。新しい価値観を創造し、顧客にとってのメリットを生み出す事のできる製品の開発に今後も取り組んでいきたい。



牧内 一浩

1998年入社  
サーボシステム事業部 設計第1部  
サーボモータの開発、設計に従事。



宮島 徹

1996年入社  
サーボシステム事業部 設計第1部  
サーボモータの開発、設計に従事。



石塚 よし

1984年入社  
サーボシステム事業部 設計第1部  
サーボモータの開発、設計に従事。