

小型高精度バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「HA035」の開発

荘司 祐大 八尋 達郎 赤津 智広
 Yoshihiro Shoji Taturou Yahiro Tomohiro Akatsu

山崎 智仁 牧内 一浩 伊藤 昭二
 Tomohito Yamazaki Kazuhiro Makiuchi Shoji Ito

1. まえがき

世界のものづくりを支える工作機械、産業用ロボットおよび射出成形機などの装置は、精密な部品を作るために、高精度の位置決め駆動が不可欠である。このため、機械装置に搭載されるサーボモータの位置検出器であるエンコーダの役割はより一層高まってきている。

現在、サーボモータ用のアブソリュートエンコーダの多回転検出は、バッテリーバックアップ方式が主流である。しかし、バッテリーを定期的に交換する必要があるため、グローバル化による海外市場の拡大にあわせて、メンテナンスを必要としないエンコーダが要求されている。

また、工作機械に代表される加工装置では、精密な部品を作るために、高精度で滑らかな位置決め駆動が必要となり、サーボモータのエンコーダには一層の高精度化と高分解能化が要求されている。

さらに装置の使用環境の多様化や、性能向上のために、エンコーダの耐環境性の向上が求められている。

このような背景のもとに、小型高精度バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「HA035」の開発を行った。本稿では、「HA035」の主な仕様と特長を示し、それらを達成するために採用した技術について紹介する。

2. 仕様

表1に従来品と開発品の仕様比較、図1に「HA035」搭載モータの外観を示す。当社ではこれまで、標準のアブソリュートエンコーダとして、「PA035」をラインアップしていた。この「PA035」の多回転部はバッテリーバックアップ方式を採用している。バッテリーバックアップ方式では、装置の電源が遮断された状態でも、バッテリーから電源を供給することでモータのシャフトの回転を検知する。これにより、装置が停止したあとにシャフトが回転した場合も、装置の再起動時に誤動作を起こすことはない。しかしこの方式では、バッテリーの定期的な交換が必要であり、そのメンテナンスが非常に重要であるにもかかわらず、昨今のように海外で使われる装置が増加した状況では、その保守管理が難しくなっている。さらにはエンコーダ用バッテリーとして使われるリチウム電池は海外での入手性が悪いことと、海

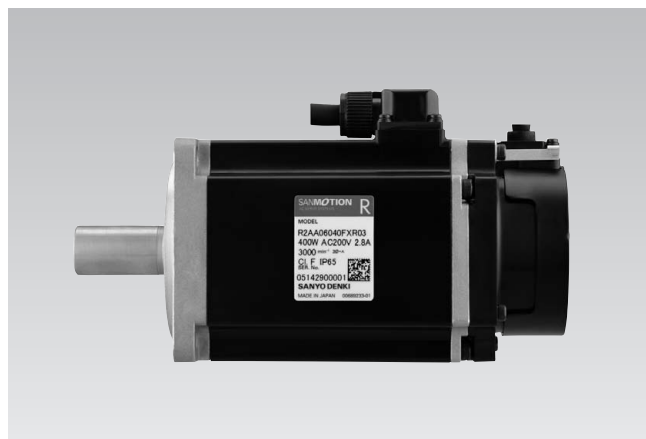


図1 「HA035」搭載モータ外観

外への輸出が難しいこと、最終的には有害廃棄物となることなどの問題がある。

また当社では、他社に先駆け、バッテリーレスエンコーダにいち早く着目し、レゾルバ方式の「RA035」⁽¹⁾や、光学と磁気の高ブリット方式の「HA062」⁽²⁾をラインアップしてきた。しかし、「RA035」は絶対角度精度10分、最高分解能17bitと高精度化が難しく、「HA062」は外径が大きく、フランジ角サイズ100mm以上のモータにしか取付けられないという問題があった。

今回開発した「HA035」は、フランジ角サイズ40mm以上の当社Rシリーズモータから取付可能な小型高精度バッテリーレスエンコーダであり、「PA035」に替わる新しい標準エンコーダとしてラインアップする。

「HA035」は高精度版で絶対角度精度1分、最大分解能23bitと従来品と比べて高精度・高分解能化している。さらに使用温度105°Cmax、耐振動15Gと耐環境性も向上している。また、従来品に比べ小型化を図り、フランジ角サイズ40mm以上のRシリーズモータから取り付け可能である。なお、通信仕様は従来と同じ山洋電気標準フォーマットであるので、お客さまはいままでお使いいただいているサーボアンプと組み合わせるだけでいいいただける（分解能23bitについてはSANMOTION R 3E Modelから対応）。

表1 従来品と開発品の仕様比較

項目	従来品			開発品
	PA035	RA035	HA062	HA035
1回転検出方式	光学式	レゾルバ式	磁気式+光学式	光学式
1回転分解能	17bit (20bit)	17bit	17bit (20bit)	17bit (20bit,23bit)
絶対角度精度	10分	10分	1分	10分 (1分)
多回転バックアップ	バッテリー	バッテリーレス		
多回転総回転数	16bit	14bit, 16bit	16bit	
使用温度	85°Cmax			105°Cmax
耐振動	10G	15G	10G	15G
通信方式	NRZ 調歩同期伝送 (山洋電気標準フォーマット)			
通信速度	2.5Mbps または 4Mbps			
通信ケーブル本数	3対6本		2対4本	
取付モータ フランジ角	40mm以上	40mm以上	100mm以上	40mm以上

3. 特長

3.1 小型化を実現したバッテリーレスシステム

従来の「RA035」と「HA062」は多回転情報の保持に歯車の組み合わせを用いていた。そのため歯車のスペースがネックとなり小型化が難しく、「RA035」では全高が高くなり、「HA062」ではフランジ角サイズ100mm以上のモータにしか取付けることができなかった。

「HA035」では新たに、特殊な磁気素子を用いた誘起電圧を利用するバッテリーレスシステムを採用し、小型化に成功した。図2にこのバッテリーレスシステムの構成を示す。基本的な構造物は基板に取りつけるコイルと、シャフト先端に取りつける磁石の2つだけである。このシステムの基本的な原理は、磁石の回転に応じてコイルからパルス状の電圧が誘起され、そのパルスを検出し不揮発メモリに書き込むことである。このときに必要な電力はパルス状の誘起電圧から供給されるため、外部からの電力供給なしで動作する。

コイルの誘起電圧はファラデーの電磁誘導の法則に従い、(1)式で示される。

$$e = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

(1)式は誘起電圧が鎖交する磁束の単位時間あたりの変化に比例することを示しており、その磁束がマグネットの磁束であれば、磁束変化の時間、すなわち回転速度に比例する。そのため、コイルが空芯もしくは、一般的な材質の芯であれば、低速で回転した際には十分な誘起電圧は得られない。

「HA035」のバッテリーレスシステムではこのコイルの芯に特殊な磁気素子を用いることでこの問題を解決している。図3に磁気素子のB-H特性を示す。この磁気素子のB-H特性では、磁界に対して磁束が急峻に変化する箇所がある。磁界がこの変化

点を通る際には磁束が急峻に変化する、つまり磁界変化の時間にはかかわらず磁束変化の時間は微小になり、誘起電圧は大きくなる。したがって、モータの回転速度にかかわらず、確実にシャフトの回転を検出することができる。

このバッテリーレスシステムにより、エンコーダの外径はφ35と小型に抑えられ、フランジ角サイズ40mm以上のモータで取り付け可能となった。

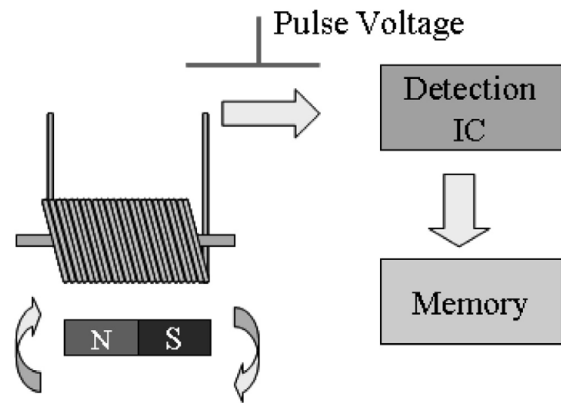


図2 「HA035」バッテリーレスシステム

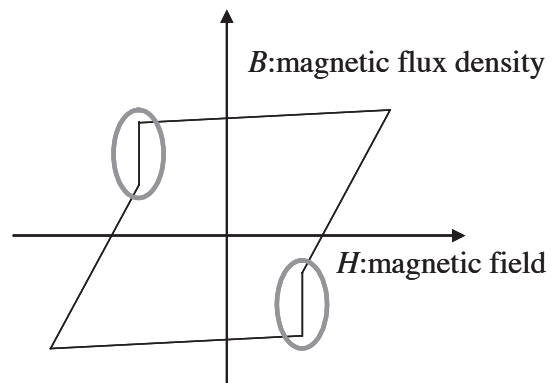


図3 「HA035」磁気素子のB-H特性

3.2 高精度・高分解能化

「HA035」では、回転ディスクの偏心や1スリット毎のアナログ波形の歪による誤差を、エンコーダ組立時に測定し、補正する機能を搭載している。これにより高精度版では絶対角度精度60秒以下という高精度を実現している。図4と図5に補正前後の絶対角度精度の実測値を示す。通常、補正前には図4のように1回転に1周期の誤差を持つ。その誤差には個体差はあるが、図4の例では324秒の誤差を持っている。角度補正により、図5の例では16秒まで低減している。

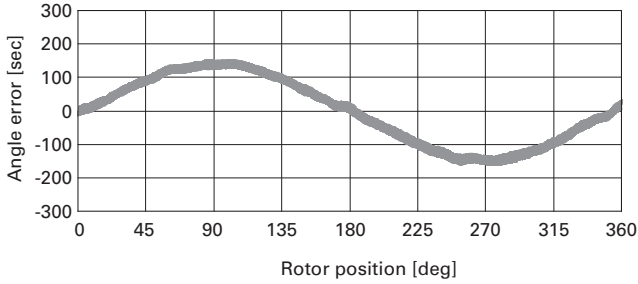


図4 角度補正前の誤差波形 (実測値例)

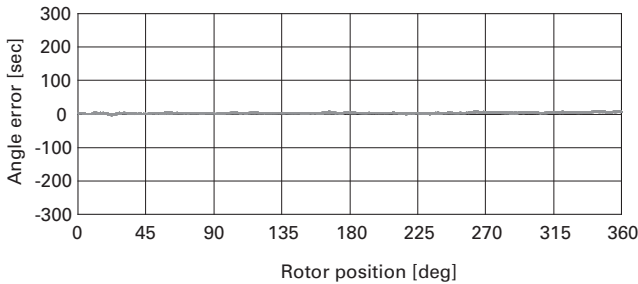


図5 角度補正後の誤差波形 (実測値例)

また、1回転の分解能は「PA035」、「HA062」の20bit (1048576分割) から最大で23bit (8388608分割) まで拡大した。この23bitという分解能は、数字が大きすぎて実感がわきにくいですが、赤道の長さ40000kmを分割した場合、1bitあたり4.8mとなる分割数であり、その細かさを理解いただけるだろう。分解能を上げることにより、検出できる位置や速度が細かくなり、サーボ性能を向上できる。図6と図7に100min⁻¹で一定速運転したときの、分解能17bit時と23bit時の運転波形を示す。図の上側にはトルクの指令値を、下側には速度の指令に対する偏差を示している。17bitの場合、検出できる最小速度である速度分解能は4.1min⁻¹であるため、速度偏差は-2と+2のどちらかの値となり、実際の動きを検出できていない。これにより、トルク指令も脈動しているのがわかる。これに対して23bitの場合、速度分解能が0.06min⁻¹と格段に細かくなるので、細かな速度の変化を捉えられている、これによりトルク指令も変化が小さくなる。このことから、分解能をあげると速度検出の量子化誤差が小さくなり、滑らかな駆動が可能になることがわかる。

高精度・高分解能化により、お客さまの装置では、加工精度を向上させることや、位置決め精度の向上に寄与することができる。

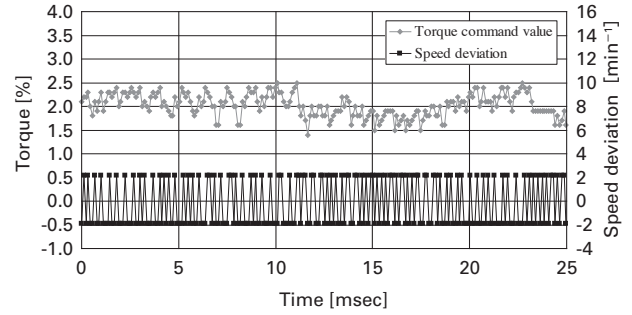


図6 分解能17bit時の運転波形

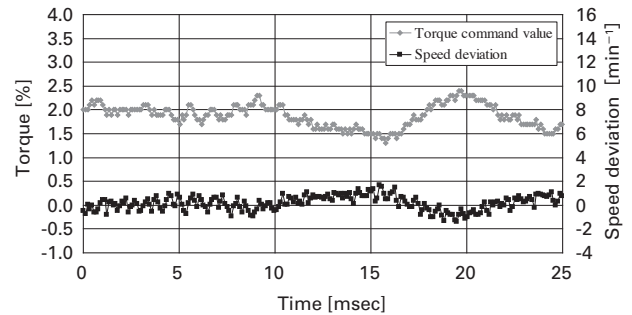


図7 分解能23bit時の運転波形

3.3 耐環境性の向上

「HA035」では、エンコーダの使用温度上限を85°Cから105°Cに拡大した。従来のエンコーダの温度上限85°Cは、使用する電子部品の温度上限がネックとなっていたが、「HA035」では高温対応の部品を選定することで、105°Cまで使用可能となった。また、エンコーダには温度センサを内蔵しているので、エンコーダ温度を確認しながら運転することも可能であり、温度上限に達した場合にアラームを出す機能も備えている。

また「HA035」では、エンコーダの耐振動を従来の光学式エンコーダの規格値である10Gから15Gに拡大し、レゾルバ式の「RA035」と同等にしている。これは、構造解析を実施し、部品レイアウトや構造を最適設計したことによる。また、解析だけではなく実機での検証も実施している。

モータの使用温度や耐振動性も考慮する必要があるが、エンコーダの耐環境性の向上により、いままでよりも厳しい条件で使用することができる。エンコーダの耐環境性に制約されていた環境では、いままでよりも短いサイクルタイムで運転できるようになったり、振動の大きい装置でも使えるようになる。

3.4 ユニークなカバー構造

一般に、磁気素子を用いたエンコーダでは、外部からの磁界の影響を受けやすい。この外部磁界を遮蔽する構造は、磁気素子の構成磁気回路に影響を及ぼさないようにする必要がある。寸法に余裕のある大型モータでは、距離を離すことで影響を及ぼさなくできるが、小型モータでは寸法の制約上難しい。図8に「HA035」のシールドカバー構造を示す。「HA035」ではシール

ドカバーの天面に穴を設け、側面には切り欠きを設けたユニークなカバー構造としている。この構造では、外部からの磁界に対しては遮蔽効果を発揮するが、エンコーダの構成磁気回路には影響を及ぼさない。このユニークなシールドカバー構造により、「HA035」では外部磁界の加わる環境でも安心してお使いいただける。

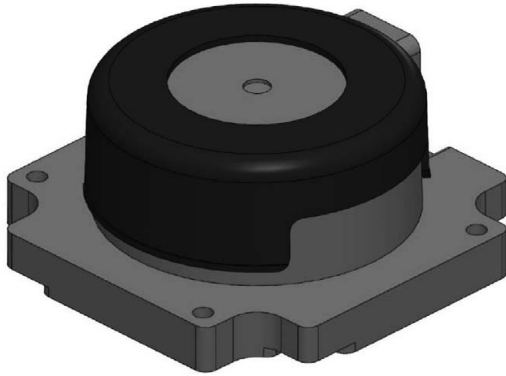


図8 「HA035」シールドカバー

3.5 高集積受光素子 ASIC

「HA035」では先行して開発したインクリメンタルエンコーダの「PP031T」⁽³⁾のフォトダイオードICの技術をさらに進化させた受光素子ASICを使い、より高集積化を実現した。「PP031T」のフォトダイオードICでは受光素子と増幅器、コンパレータまでを1つのICに搭載していた。今回「HA035」に用いた高集積受光素子ASICでは、受光素子と増幅器のアナログ回路に加え、ADコンバータから信号生成までのロジック回路までを、1つのIC上に搭載している。これにより、微小なアナログ信号が基板上のパターンを通ることはなく、IC内部で最短接続されるため、外部からのノイズに対して強くなる。加えて部品点数が大幅に削減できたため、製品の小型化および低消費電流化を実現した。また、温度センサをASICに内蔵しており、ASICの発熱異常によるリスクから、お客さまの装置を確実に保護することができる。

4. むすび

本稿では新規開発した小型高精度バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「HA035」の仕様とその特長を紹介した。

「HA035」では磁気素子を用いた誘起電圧を利用する新開発のバッテリーレスシステムにより、従来よりも小型化を図りながら、高精度・高分解能、耐環境性の向上を実現した。

筆者らは、地球環境にやさしいバッテリーレスエンコーダは、これから先の「あたりまえ」になると考えている。そのため他社に先駆けてバッテリーレスエンコーダを当社の標準に位置づけた。今回開発した、小型高精度バッテリーレスエンコーダ「HA035」で「バッテリーレスの文化」を世界に広めていきたい。

文献

- (1) 牧内一浩ほか；小型バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「RA035」の開発, SANYODENKI Technical Report No.25 May.2008
- (2) 荘司祐大ほか；高精度・高信頼バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「HA062」の開発, SANYODENKI Technical Report No.33 Nov.2012
- (3) 荘司祐大ほか；小型通信インクリメンタルエンコーダ「PP031T」, 「PP031H」の開発, SANYODENKI Technical Report No.28 Nov.2009



荘司 祐大

2006年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
エンコーダの開発, 設計に従事。



八尋 達郎

2012年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
エンコーダの開発, 設計に従事。



赤津 智広

2013年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
エンコーダの開発, 設計に従事。



山崎 智仁

1998年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
エンコーダの開発, 設計に従事。



牧内 一浩

1998年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
サーボモータ及びエンコーダの開発, 設計に従事。



伊藤 昭二

1980年入社
サーボシステム事業部 設計第一部
エンコーダの開発, 設計に従事。