

多回転バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「MAR-M700MFA」の開発

後藤雅彦, 阿部 桂, 千代晋平, 山本拓巳, 常盤圭佑

Development of a Multi-Turn Battery-Free Absolute Encoder 「MAR-M700MFA」

Masahiko GOTO, Kei ABE, Shimpei SENDAI, Takumi YAMAMOTO and Keisuke TOKIWA

アブソリュートエンコーダは、自動車製造ラインの産業用ロボットや工作機械など、産業機械に幅広く利用され、ロボットアーム等の回転変位を絶対値で検出することができるセンサである。2023年11月にリリースした多回転アブソリュートエンコーダ「MAR-M700MFA」は、世界で初めて全固体電池を搭載し、保証温度の向上及びメンテナンスフリー化を実現した。新たに予知保全機能や角度精度自己補正機能を搭載し、産業用ロボット等の利用環境拡大、稼働安定性向上、モーション制御の高精度化に貢献する。本稿では、「MAR-M700MFA」が持つ技術的特徴について解説する。

An absolute encoder is a type of sensor device commonly used in industrial robots in automobile manufacturing lines, machine tools, and various other applications. It detects absolute values for robot-arm rotational displacement and similar measurements. MAR-M700MFA, a multi-turn absolute encoder released in November 2023, offers an increased guaranteed operational temperature range compared to the previous multi-turn external battery-free absolute encoder of the company. This is because of the utilization of all-solid-state battery which renders this model maintenance-free. Furthermore, this model is equipped with new features including predictive maintenance and angular precision self-correction, which enable an expanded range of possible usage environments for industrial robots, improved operational consistency, and greater precision in motion control. This article explains the technical features of “MAR-M700MFA”.

Key words アブソリュートエンコーダ, バッテリーレス, メンテナンスフリー, 予知保全, 角度精度自己補正, 全固体電池
absolute encoder, battery-free, maintenance-free, predictive maintenance, angular precision self-correction, all-solid-state battery

1 はじめに

アブソリュートエンコーダは、自動車製造ラインの産業用ロボットや工作機械など、さまざまな産業機械に幅広く利用されており、ロボットアームなどの回転変位を絶対値で検出することができるセンサである。近年では、ニーズの多様化や高機能化が進んでおり、「MAR-M700MFA」

(Fig. 1) は世界で初めて全固体電池を搭載し、保証温度の向上とメンテナンスフリー化を実現した。さらに、新たに予知保全機能や角度精度自己補正機能を搭載し、産業用ロボットなどの利用環境の拡大、稼働安定性向上、モーション制御の高精度化に貢献する [1]。本稿では「MAR-M700MFA」が持つ技術的特徴について解説する。

2 構成

エンコーダの検出方式には、光学式、磁気式、電磁誘導式などの種類が一般的であり、高精度、高分解能が必要とされるアブソリュートエンコーダの検出には光学式が採用されることが多い。光学式エンコーダの原理 (Fig. 2) を簡単に説明する。光学式エンコーダは位置変位 (軸の回転) が生じると、回転ディスクを透過した光に明暗の変化が発生する。この光の変化を受光素子で捉え、光電変換、増幅を行い、その後、内挿処理 (細分化読取処理) を経て、位置データとして上位機器に出力する [2]。

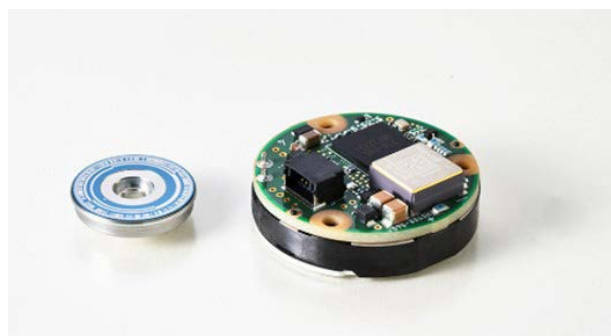


Fig. 1 多回転アブソリュートエンコーダ「MAR-M700MFA」

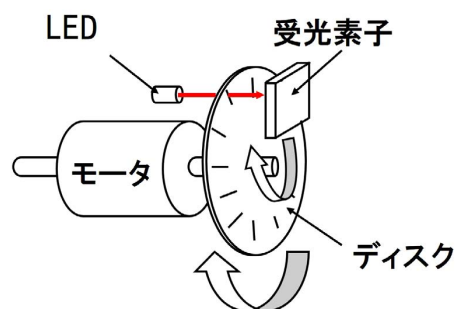


Fig. 2 エンコーダの原理

近年では、ロボットの小型化や設計の自由度の観点から、アブソリュートエンコーダの小型化、薄型化が求められている。従来の透過光学系と反射光学系の比較を Fig. 3 に示す。

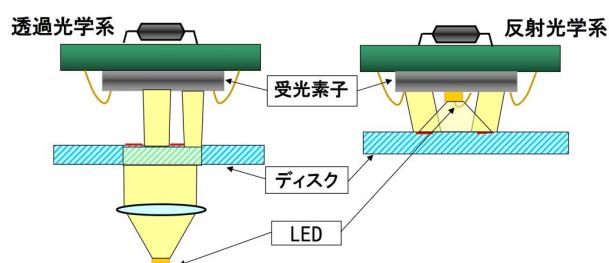


Fig. 3 透過光学系と反射光学系の比較

反射光学系では、光源である LED と受光素子が同一面に配置されている。従来の透過光学系では、LED と受光素子までの距離が必要であったが、反射光学系では、投光、受光の光路長が短く、コンパクト化が可能となった。反射光学系の採用により製品高さは約1/2に抑えられ、低背化が実現されている [2], [3]。また、従来のディスクは一般的にガラス製であったが、反射型では金属製ディスクを採用することで信頼性の向上が図られている。近年では、反射光学系のアブソリュートエンコーダが主流となっており、当社では10年以上前から反射光学系を採用している。これにより十分な実績を有するとともに、豊富な製品ラインナップを取り揃えている。

今回紹介する本製品は、その反射光学系を踏襲し、更に機能追加し進化させたものである。従来の構成では1系統の光学系で位置検出を行っていたが、本製品では光学系を2系統の構成 (Fig. 4) とした。

この光学系2系統による位置検出をそれぞれ行うことで、位置データを2系統兼ね備えることができる。これにより、予知保全機能及び角度精度自己補正機能を追加することが可能となった。

予知保全機能は故障の兆候を事前に察知し、産業用ロボットの部品交換やメンテナンス時期を事前に通信規格 (A-format[®]) を用いて上位機器に知らせることができる。その結果、故障による装置や生産ラインの突然停止リスクを抑えることが可能である。また、角度精度自己補正機能

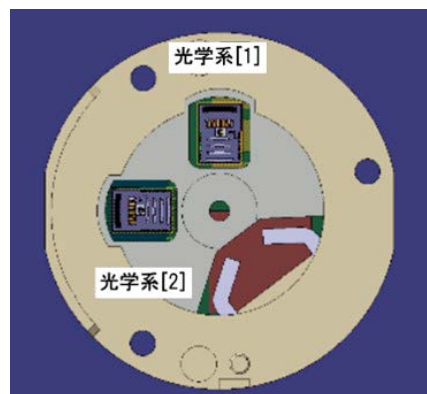


Fig. 4 光学系2系統の配置

は基準エンコーダを使用することなく精度補正が可能となり、稼働安定性やモーション精度の高度化に寄与している。

さらに、アブソリュートエンコーダにおいては、角度絶対位置検出に加え、何回転したかを計数する多回転検出機能が必須である。この多回転検出機能は主電源 OFF 時も動作させる必要があるが、従来製品では受信側である上位機器に外部バッテリーを準備し、主電源 OFF 時は外部バッテリーの電源で動作していた。そのため、メンテナンス時に外部バッテリーの交換作業が必要不可欠であった。また、アブソリュートエンコーダは AC サーボモータに組み合わせられることから、高温環境下で使用されることが多く、エンコーダの高温対応は必須であった。

これらの課題を解決するために、本製品では高温環境下でも安全性能の高い全固体電池を搭載し、使用温度範囲を 105℃ まで拡大した。また、多回転検出は位置が変位したときのみ全固体電池から多回転検出部へ電源が供給するよう、スイッチング素子を併用することで、出荷時において10年以上のバックアップが可能となり、使用環境温度にもよるが、10年使用し続けた後でも10年以上のバックアップを実現し、高寿命化を実現した。主な仕様一覧を Table 1 に示す [4]。

Table 1 仕様一覧

外径	Φ35 mm
高さ	12.48 mm (TYP)
一回転分解能	最大 27 bit
多回転分解能	16 bit
応答回転速度	8,000 min ⁻¹
主電源電圧	5 V ± 10%
消費電流	120 mA (TYP)
動作温度範囲	-20 ~ +105℃
通信仕様	A-format [®]

製品の高さは 12.48 mm としており、従来製品と同等の高さを実現している。また、従来製品との互換性を意識した設計としたため、モータ側は設計変更を伴うことなく取

り付け可能となっている。

次に各機能の詳細について説明する。

3 予知保全機能

従来のエンコーダでは、異常発生時にエラーを出力する機能のみを備えており、エラー発生と同時に装置の突然停止を余儀なくされていた。生産ラインの突然停止は、製品の品質低下や生産計画の遅延を引き起こすだけでなく、装置の再立ち上げにも時間を要するため、工場全体の生産性に大きな影響を及ぼす。

これに対し本製品では、信号品質の低下を事前に検知して上位機器へ通知する予知保全機能を追加した。LEDの劣化などによる信号品質の低下を検知すると、A-format[®]を介して上位機器に予知保全アラームを出力する。この予知保全機能により、装置停止前に計画的なメンテナンスが可能となり、生産ラインの突然停止リスクを大幅に低減することができる。計画的なメンテナンスにより、生産計画に合わせた最適なタイミングでの部品交換が可能となり、ダウンタイムを最小限に抑えることができる。また、事前に交換部品の手配や作業人員の確保ができるため、メンテナンス作業の効率化も実現できる。予知保全アラームは、装置の稼働に影響を与えることなく出力されるため、生産性を維持しながらこれらの準備を進めることが可能となる。

また、さらなる信頼性向上のため、偶発故障への対応も実現している。製品には、製造時のわずかなばらつきや潜在的な欠陥により、低い確率ながら使用期間中に予期せぬ故障が発生することがある。このような偶発故障は、出荷前の検査で検出することが困難であり、エージング等の対策を施しても完全な防止は難しく、多大なコストと時間を要する。このような偶発故障に対しても、予知保全機能により早期に検知することが可能である。ただし、偶発故障の場合、予知保全アラーム発生から故障に至るまでの期間が通常の劣化よりも短くなる傾向がある。そのため本製品では、独立して位置検出と信号品質の監視を行う2系統の光学系による切替機能で対応している。偶発故障により一方の光学系で予知保全アラームが発生した場合、まだ劣化の影響が少なく信頼性を維持しているもう一方の光学系に自動的に切り替わる (Fig. 5)。これにより、偶発的な故障

の予兆を事前に検知して通知することができ、かつ信頼性の高い状態でメンテナンスまでの運用を継続することが可能となる。このように予知保全機能と2系統の光学系を組み合わせることで、装置の安定稼働を実現している。

4 A-format[®]

A-format[®]は、当社が開発したエンコーダ用の独自通信フォーマットである。位置データやエンコーダ内に搭載している温度センサの温度データなど、エンコーダの基本情報を上位機器へ出力することができる。

本製品の開発にあたり、以下の3つの機能を追加した。

- ・予知保全アラーム、各光学系のステータス情報の出力
- ・エンコーダ内部で演算した速度情報の出力
- ・ユーザー用不揮発メモリ領域の拡張

(予知保全アラーム、各光学系のステータス情報の出力)

前述した予知保全アラームと、独立した2つの光学系それぞれのステータス情報は、データフレームの構成は変更せず、従来未使用であった領域を活用することで実現している。これにより、基本仕様との整合性を保ちながら、システムへの影響を最小限に抑えて機能を追加することができた。

(エンコーダ内部で演算した速度情報の出力)

エンコーダ内部で演算した速度情報の出力については、従来は上位機器で通信周期ごとの位置データから速度を算出する必要があったが、本製品ではエンコーダ内部で速度演算を行うことで、より短い間隔での計測が可能となり、より正確な速度情報を得ることができる。この位置データと高精度な速度データを組み合わせることで、より滑らかな動作制御の実現に貢献できる。

(ユーザー用不揮発メモリ領域の拡張)

ユーザー用不揮発メモリ領域の拡張については、従来から装置のシリアル番号、運転パラメータ、モータ側パラメータなどの情報を保存することができたが、容量を拡張したことで、各種補正データやメンテナンス履歴など、より多くの情報を保持することが可能となった。

このように通信フォーマットを拡張しながらも従来の仕様との整合性を保つことで、予知保全機能の実現、制御性能の向上、保存領域の拡充といった新機能の追加と、既存システムとの親和性を両立している。

5 角度精度自己補正機能

エンコーダに存在する誤差の1つに、1回転ごとの系統誤差（繰り返し発生する誤差）が存在する。それらは代表的には以下の要因によって生じる。

- ・製造によるディスクパターンの誤差
- ・エンコーダディスク取り付け時の偏心

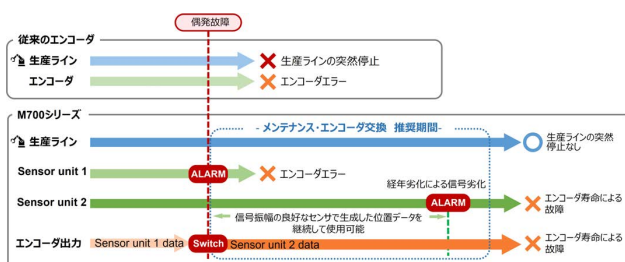


Fig. 5 切替機能のイメージ

・モータシャフトの振れ、偏角

これらによる誤差は、エンコーダを用いたモータ制御において、モータ単体における回転速度ムラや、それに起因したロボットシステム全体での異音、振動の発生など、様々な問題を生じる原因となり、課題の1つであった。

エンコーダメーカーにおける誤差に対する取り組みには、組み立て時の偏心取りと呼ばれる回転中心とパターン中心を合わせる調整を中心とした根本的誤差の除去を行う取り組みや、 μm オーダでの部品精度化が一般的だが、他にもエンコーダ内での電氣的な補正が存在している。

ここで、電氣的な補正の方式としては、いくつかの手法が公知となっており、代表を以下に記載する [5]。

- ・高精度な基準エンコーダとの比較測定による補正
 - ・等分割平均法を用いた基準器との比較測定による補正
 - ・製品自身に等分割平均法を組み込んだ自己での補正
- 他にも多種多様な補正方式が存在するが、従来、電氣的補正には以下の課題が存在していた。

- ・高額な基準器への投資
- ・補正作業による作業時間の増加
- ・自己誤差検出、自己補正機構による製品の大型化

本製品では、これらの課題を解決する新しい補正機能を有している。2系統の光学系を用いた独自の処理により、従来の方式で存在していた課題の解消を図った。

本製品において、補正処理は製品組み込み時の自動信号調整 (Auto Tuning) と同時に実行される。従来は分単位の時間を要する補正作業を、15秒以下にまで短縮した。試作機での実験結果を Fig. 6 に示す。

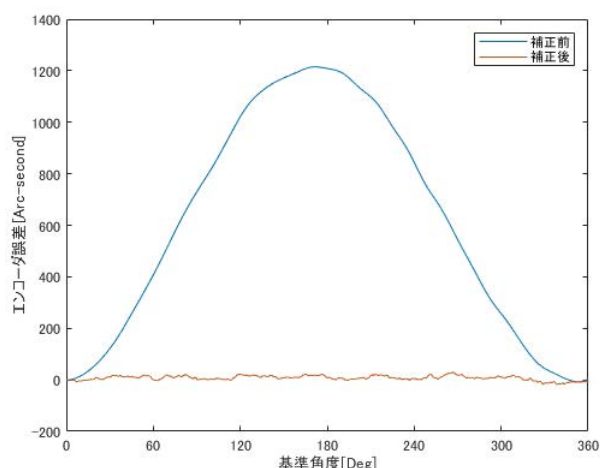


Fig. 6 精度測定結果 補正前後の比較

大径エンコーダと比較して誤差が大きくなってしまっている比較的小径のエンコーダでありながら、本製品の自己補正後精度は 20 bit 換算表示では全幅39カウント ($\approx 0.0136^\circ$) を達成し、作業性と精度を高次元で両立した。本製品は以前から精度を必要としていたユーザーはもとより、これまで精度を求めていなかったユーザーに対して、角度精度自己補正機能による精度向上が新たなメ

リットを与える製品になることが期待される。

6 全固体電池を使用した多回転検出

本製品は従来製品で確立した独自の多回転検出方式を採用している。エンコーダ基板上に搭載している内蔵電池をリチウム一次電池から全固体電池に変更し、全固体電池は二次電池であることから充電回路を専用設計することで実使用環境において十分なバックアップ保持時間 (エンコーダの主電源が投入されていない状態で基板に実装された電池により多回転位置情報を保持できる時間) を確保している。全固体電池への充電はエンコーダへの主電源が ON された場合に内部で自動的に制御されるため実使用環境においてユーザーが充放電を意識する必要がなくユーザーから見た場合にバッテリーレスエンコーダとして扱える構成になっている。

また、従来製品で確立した独自の多回転検出方式を採用しているため多回転検出の信頼性、従来製品との取り付け互換性、同等の製品高さを継承している。バッテリーレスエンコーダとして従来の技術では基板上に発電素子を実装し発電素子出力信号を電力及び位置検出に使用する方式か、ギア式による方式が主流となっており製品高さが高くなってしまう。当社のバッテリーレスエンコーダは独自の検出方式、磁気回路を構成することでエンコーダディスクの取り付け方法も含めた薄型、簡易取り付け可能な機構を踏襲することが可能となっている。

本製品の多回転検出方式の特徴は、発電素子出力を電力及び位置検出としては使用せずに、多回転位置検出及びその保持を行うためのスイッチングのみに使用する構成である (Fig. 7)。

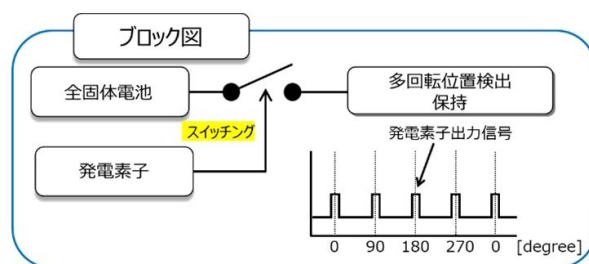


Fig. 7 多回転検出方式 ブロック図

エンコーダに主電源が供給されていない状態でモータシャフトが回転すると磁気回路で発電素子出力信号が発生する。それにより Fig. 7 のスイッチングが OFF から ON に切り替わり全固体電池から電源が供給され多回転位置検出及びその保持動作が行われ処理が完了するとまたスイッチングは ON から OFF に切り替わる。スイッチングが ON になっている状態での多回転位置検出は光学系の検出回路を瞬間的に動作させエンコーダディスクパターンを読み取る構成を採用している。この検出方式は発電素子を動作させ

回路をスイッチングする磁気系と実際にエンコーダディスクの位置を検出する光学系の異なる二つの検出方式を組み合わせた構成である。それによりエンコーダの実使用環境においてモータシャフトが停止している状態でエンコーダが外乱磁場を受け発電素子信号が想定外に発生してしまった場合でも、多回転位置検出には影響しないといった耐外乱磁場に対する性能として有利に働く。

7 まとめ

「MAR-M700MFA」は、産業用ロボットや工作機械に広く用いられるアブソリュートエンコーダであり、精度位置検出技術や耐環境性の強化など、最新技術を搭載した製品である。

本製品は従来技術を継承しつつ、新機能を追加することで、性能と信頼性を従来製品比で大幅に向上させている。これにより、産業機械の多様なニーズに対応するとともに、小型化やモジュール化に対応した設計自由度の向上や、高温環境下でも安定して稼働する特性を実現している。導入によって、生産効率の向上（例：製造ラインの稼働時間短縮）やメンテナンスコストの削減（例：部品交換頻度の低減）が期待される製品であり、次世代の産業機械の発展（例：自動化やスマートファクトリーの実現）にも寄与する

ものと考ええる。

今後は、これらの機能を備えた製品ラインアップの拡充を図り、より幅広い用途や多様なニーズに対応する製品開発を進めていく。

引用文献

- [1] 株式会社ニコン, 2023, “世界初 全固体電池を搭載した多回転バッテリーレスアブソリュートエンコーダ「MAR-M700MFA」を発売,” [オンライン]. Available: https://www.jp.nikon.com/company/news/2023/1120_01.html
- [2] 後藤雅彦, “AC サーボモータ用アブソリュートエンコーダの最新開発動向,” 第36回モータ技術シンポジウム合本, 2016.
- [3] 森田徹, “アブソリュート・エンコーダーセンサの紹介と今後の動向について—,” 精密工学会誌, vol. 9, no. 82, pp. 797-802, 2016.
- [4] 株式会社ニコン, “世界初 全固体電池搭載 多回転バッテリーレスアブソリュートエンコーダ,” [オンライン]. Available: https://digital-sol.nikon.com/assets/pdf/absolute-encoder_mar-m700mfa.pdf
- [5] 益田正, “超高精度角度計測技術,” 計測と制御, vol. 47, no. 9, pp. 720-725, 2008.

後藤雅彦 Masahiko GOTO

インダストリアルソリューションズ事業部

開発・技術統括部 第三開発・技術部

3rd Development & Engineering Department

Development & Engineering Sector

Industrial Solutions Business Unit

山本拓巳 Takumi YAMAMOTO

インダストリアルソリューションズ事業部

開発・技術統括部 第三開発・技術部

3rd Development & Engineering Department

Development & Engineering Sector

Industrial Solutions Business Unit

阿部 桂 Kei ABE

インダストリアルソリューションズ事業部

開発・技術統括部 第三開発・技術部

3rd Development & Engineering Department

Development & Engineering Sector

Industrial Solutions Business Unit

常盤圭佑 Keisuke TOKIWA

インダストリアルソリューションズ事業部

開発・技術統括部 第三開発・技術部

3rd Development & Engineering Department

Development & Engineering Sector

Industrial Solutions Business Unit

千代晋平 Shimpei SENDAI

インダストリアルソリューションズ事業部

開発・技術統括部 第三開発・技術部

3rd Development & Engineering Department

Development & Engineering Sector

Industrial Solutions Business Unit



後藤雅彦
Masahiko GOTO



阿部 桂
Kei ABE



千代晋平
Shimpei SENDAI



山本拓巳
Takumi YAMAMOTO



常盤圭佑
Keisuke TOKIWA