

サーボシステム「ALPHA7 シリーズ」の新機能と適用例

“ALPHA7 Series” Servo System: New Functions and Application Examples

山下 智史 YAMASHITA, Satoshi

高山 哲也 TAKAYAMA, Tetsuya

谷口 享 TANIGUCHI, Toru

近年、サーボシステムは、半導体・液晶製造装置、電子部品加工装置、印刷機、包装機、金属加工機などの産業機械全般に用途を広げている。市場の要求に応えるため、業界トップレベルの高速・高精度化といった基本制御性能の向上や、小型化に加え、過負荷耐量を向上させた「ALPHA7 シリーズ」を開発した。また、新たに負荷トルクモニタ機能の搭載やオープンネットワーク（EtherCAT）への対応、機能安全規格に適合した安全機能を搭載した。富士電機の変量統計的プロセス管理（MSPC）と併用することで、ユーザーの安全・安心と生産能力向上に貢献する。

Servo systems have been increasingly used for applications in all types of industrial machinery, including semiconductor and LCD manufacturing equipment, electronic parts processing equipment, printing machines, packaging machines, and metal processing machines. To meet market demands, Fuji Electric has developed the new models of “ALPHA7 Series” that is compact and have enhanced overload capacity, as well as improved basic control performance, including the industry’s highest processing speed and high accuracy. It also comes with a new load torque monitoring function, open networks (EtherCAT), and safety functions that comply with functional safety standards. Combining it with Fuji Electric’s multivariate statistical process control (MSPC) can help users to improve safety, security and productivity.

1 まえがき

近年、サーボシステムは、半導体・液晶製造装置、電子部品加工装置、印刷機、包装機、金属加工機などの産業機械全般に用途を広げている。その中で、高速・高精度化による設備稼働率の向上だけでなく、不良品の流出防止による生産性向上のニーズが高まっている。これらのニーズに応えるサーボシステム「ALPHA7 シリーズ」を開発し、発売した。

2 「ALPHA7 シリーズ」の概要

ALPHA7 シリーズは、業界トップレベルの高速・高精度による設備稼働率の向上や新たにセンシング技術を活用した負荷トルクモニタ機能により、加工中の不良品の発生を抑制する。さらに、小型化に加え、過負荷耐量^(注1)を向上させた。また、オープンネットワーク（EtherCAT）への対応、機能安全規格に適合した安全機能（STO SIL3 ほか）を搭載した。

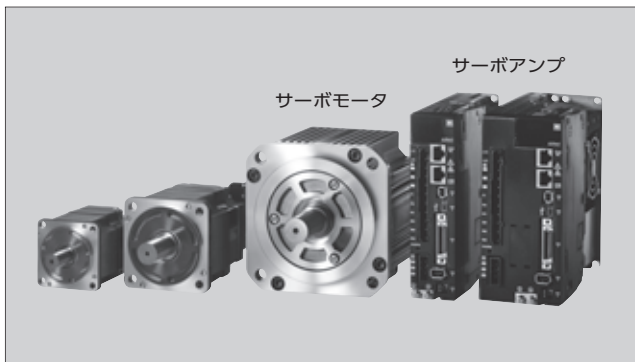


図1 「ALPHA7 シリーズ」

表1 製品仕様

項目	仕様
指令インタフェース	高速シリアルバス（SXバス通信）、パルス、アナログ、MODBUS*1、EtherCAT*2
制御モード	位置制御、速度制御、トルク制御
容量	0.05～5.0 kW
主電源	AC200～240 V
周波数応答	3,200 Hz
フィードバック	24ビットシリアルエンコーダ（インクリメンタル／アブソリュート）

*1 MODBUS : Schneider Automation, Inc.の商標または登録商標
 *2 EtherCAT : Beckhoff Automation GmbHの商標または登録商標

ALPHA7 シリーズの外観を図1に、製品仕様を表1に示す。

3 「ALPHA7 シリーズ」の特徴

3.1 業界最高レベルの小型化

サーボモータ、サーボアンプともに従来品よりも小型化している。サーボモータでは、ALPHA7 シリーズ用モータとして、慣性帯別に GYS、GYB、GYG の3タイプをラインアップしている。GYB モータ 0.2 kW における従来品との比較を図2に示す。GYB と GYG は、モータの全長を従来比約 13～19% 削減し、業界最小クラスのサイズである。サーボアンプは、従来と同様に密着配置が可能である。さらに、幅を従来よりも約 6～27% 小さくしたこ

<注1> EtherCAT : Beckhoff Automation GmbH の商標または登録商標

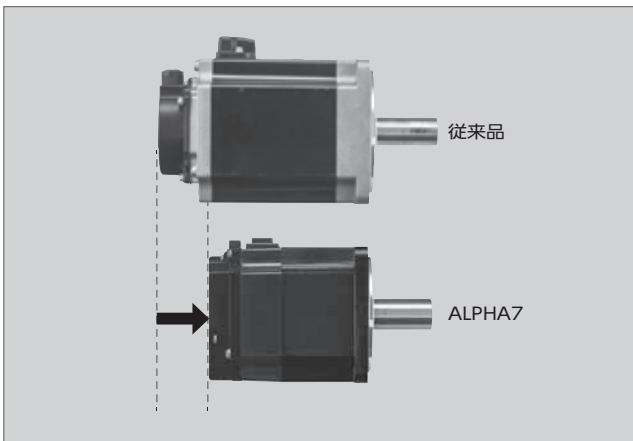


図2 サーボモータの小型化

とで、取付け面積を最大12%削減し、機械装置の一層の小型化に貢献する。

3.2 EtherCAT対応

IoT (Internet of Things) 化が進む中、産業用ネットワークは、RS-485をベースとしたフィールドバスから、より多くの情報を高速にやり取りできる産業用Ethernet^(注2)への移行が進んでいる。特にファクトリーオートメーション (FA) 分野においては、リアルタイム性と同期性能に優れた特徴を持つEtherCATが注目を集めている。ALPHA7シリーズでは、このEtherCATを搭載した「ALPHA7 VCタイプ」をラインアップした。主な仕様を表2に示す。半導体製造装置などのように高速で、多軸同期制御が必要となる分野での活用が期待される。

3.3 高速・高精度化

ALPHA7シリーズでは、従来のサーボシステムで培ってきた制御アルゴリズムをさらに進化させることにより、周波数応答を従来の1,500 Hzから3,200 Hzに向上させた。さらに、全サーボモータにおいて高分解能の24ビットシリアルエンコーダを採用したことにより、従来品よりも16倍の高精度な位置決め動作ができる。図3に、位置決め動作波形例を示す。従来品は指令からの遅れ(位置決

表2 「ALPHA7 VCタイプ」製品仕様

項目	仕様
ポーレート	100 Mbits/s
デバイスプロファイル	CoE*
対応制御モード	pp、pv、hm csp、csv、cst
同期モード	DC (同期)、SM2 (同期)、 FreeRUN (非同期)
最小Cycle Time	125 μs

*CoE : CAN Application Protocol over EtherCAT

〈注2〉 Ethernet : 富士フイルムビジネスイノベーション株式会社
の商標または登録商標

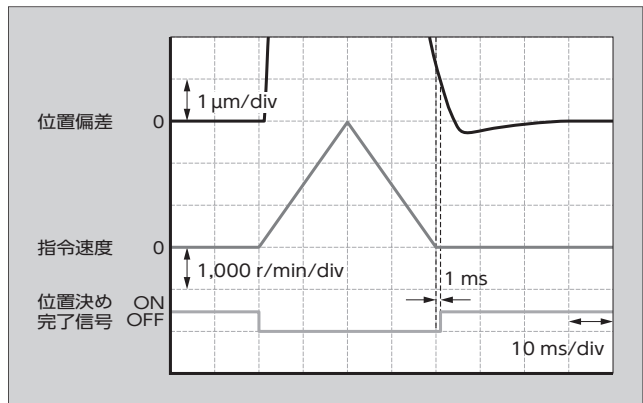


図3 位置決め動作波形

め整定時間) が数msかかっていたが、ALPHA7シリーズでは1ms前後に改善している。短いタクトタイムと高精度が要求される半導体製造装置などの機械性能を向上させることができる。

3.4 過負荷耐量の向上

サーボモータ内部の磁石の磁気的構造を最適化し、従来よりも小型で高トルク化を実現している。さらに、サーボアンプにおいて、最新のパワー半導体を採用し、熱冷却構造を最適化することで、主回路部の温度上昇を抑制し、350%の最大トルクを可能にした(図4)。

3.5 安全性の向上

ALPHA7シリーズは、機能安全規格IEC 61800-5-2/IEC 61508 (SIL3)、ISO13849-1 (PL-e) に適合したSTO (Safe Torque Off) 機能を標準で搭載している。これにより、従来機種の大長化した主回路の遮断回路(例えばマグネットコンタクト2台)が不要になった。さらには、ALPHA7シリーズのモータと安全オプション(WSU-ST1)を組み合わせることによって、図5に示す安全機能SS1/SLS/SSM/SBC (SIL2, PL-d) の5種類の設定が可能となった。ユーザーは、必要なものを機械装置ごとに容易に設定できる。

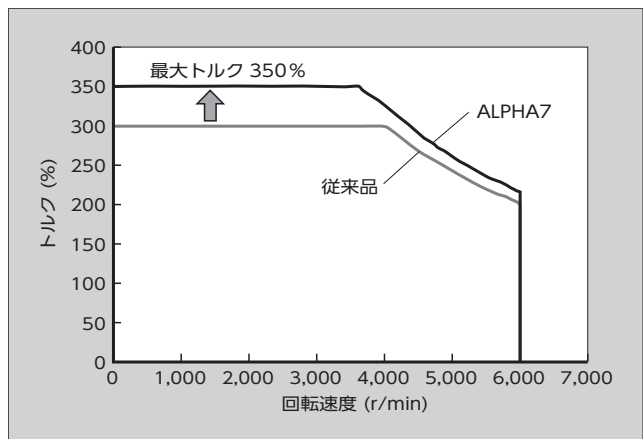


図4 速度トルク特性

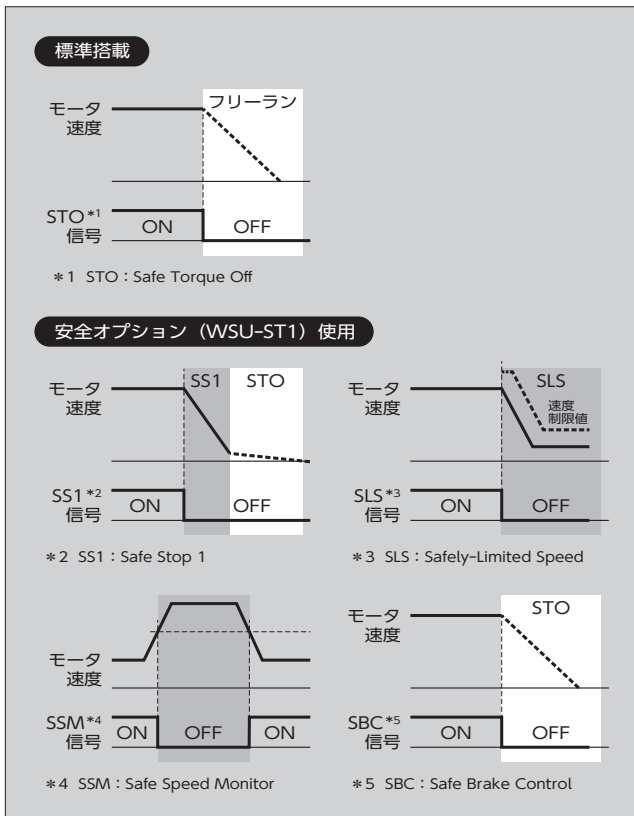


図5 安全機能

3.6 新しい制振制御方式

ロボットアームなどのばね性を持つ構造では、従来の制振制御でもワーク先端の振動を抑制できているが、機械モデルからの位置情報のみで制御していたので、微妙なずれなどで振動が残ることがある。

ALPHA7シリーズでは、図6に示すように、この振動を抑制する制振制御の方式を、従来品の構成に対して、サーボモータに搭載しているエンコーダからの位置のフィードバック情報に現れる残留振動成分から補正する構成を追加した。これにより、従来に比べて振動を57%低減した(図7)。

3.7 フルクローズド制御方式

一般的に、機械装置の位置決めには、図8に示すように大別してセミクローズド制御とフルクローズド制御の二つの方式がある。

セミクローズド制御では、サーボモータに搭載されているエンコーダ情報でフィードバック制御することにより、サーボモータの位置を制御することで機械位置を制御する。そのため、モータから機械への伝達機構(ボールねじやギヤなど)の誤差が制御できない。

フルクローズド制御では、機械の位置を外部エンコーダを使って検出し、サーボモータを制御するため、高精度に位置決めができる。そのため、機械のたわみやゆがみの影響を受けずに位置決めが求められる場合には、フルクローズド制御が採用される。

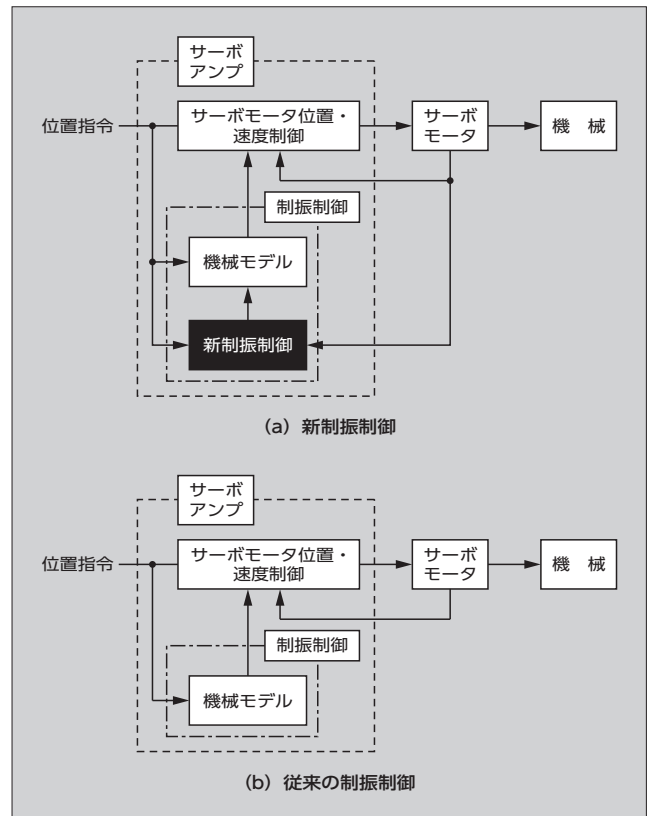


図6 新制振制御と従来の制振制御のブロック図の比較

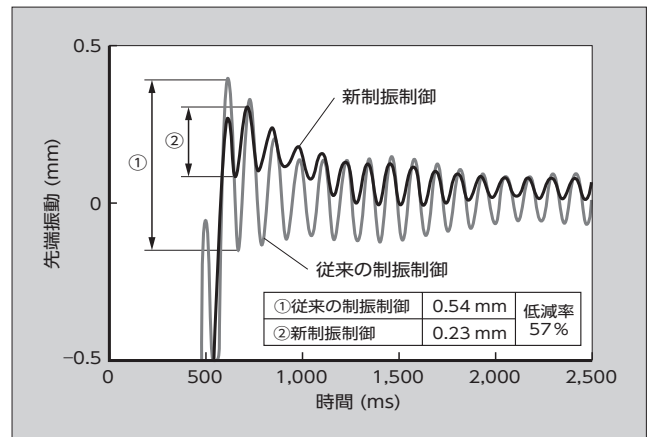


図7 新制振制御と従来の制振制御の波形の比較

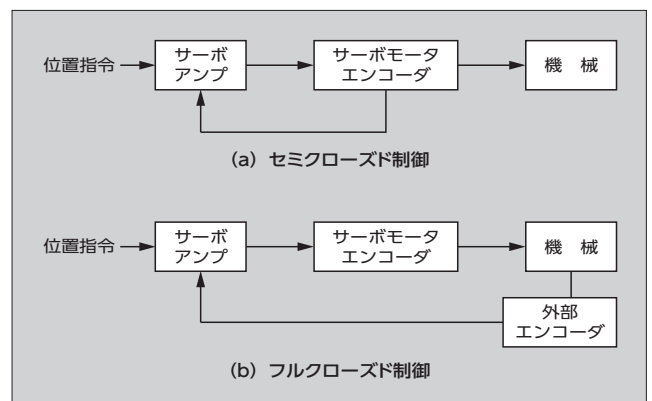


図8 セミクローズド制御とフルクローズド制御のブロック図の比較

特集 省エネルギー・小型化と生産性向上に貢献するパワーエレクトロニクス

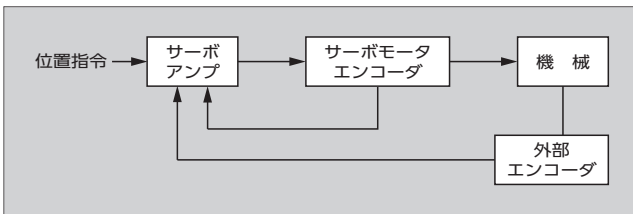


図9 「ALPHA7シリーズ」のフルロード制御のブロック図

しかし、外部エンコーダはサーボモータのエンコーダよりも機械共振によって生じる振動などの影響が顕著に現れる。そのため、機械共振が発生しやすい高タクト動作では、外部エンコーダの検出値だけでフルロード制御を行うと、制御ゲインを上げられず整定時間などの性能が出ない問題がある。そこで ALPHA7 シリーズでは、図9に示すように、外部エンコーダのフィードバックとサーボモータエンコーダのフィードバックの両方を位置制御に使用することにした。サーボモータエンコーダの検出値を使用して機械共振などの影響を受けにくくし、最終的な位置決めは外部エンコーダを使って行う。このようにして、高速・高精度な位置決め動作を可能にした。ALPHA7シリーズに搭載したフルロード制御は、半導体製造装置をはじめとする高速・高精度な位置決めが必要な産業での活用が期待される。

3.8 負荷トルクモニタ機能

包装機のような食品を袋詰めする装置を製造する機械メーカーは、加工した製品の品質の向上が要求されているため、センサなどを使って加工中の異常検知に力を入れている。

例えば、袋詰めするフィルムのシール部に対する異物な

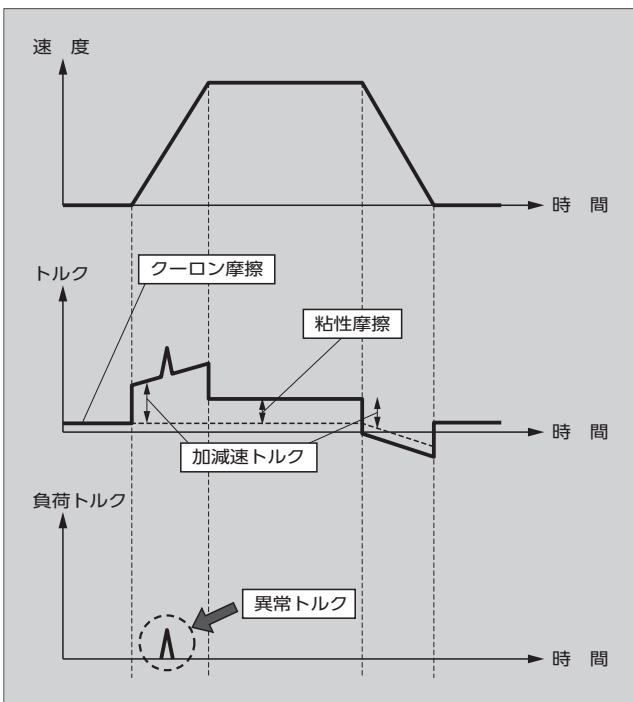


図10 速度・モータトルク・負荷トルク波形

どのかみ込みを指令トルクで検知する場合、加減速トルクの成分が、実際のかみ込み時の負荷トルクの成分よりも大きい場合に、かみ込みを検知することができなかった。

ALPHA7シリーズでは、図10に示すように、指令トルクから加減速トルクや摩擦・重力トルクなどを含まない負荷トルクを抽出し、監視することで異常なトルクが検知できる。

想定できる用途は次に示すとおりである。

- (a) 機構へのごみ詰り、かみ込み、欠損などの検知
 - (b) 誤設定による他の機構とのこすれ、衝突などの検知
 - (c) ハーネス加工機の圧着不良の検知
 - (d) 包装機シール部への異物混入の検知
- 本機能は、要望があれば個別に対応する。

4 「ALPHA7シリーズ」の適用事例

4.1 負荷トルクモニタ機能を応用した干渉検知

ALPHA7シリーズが持つ負荷トルクモニタ機能を使うことにより、機械端への衝突などの装置への外乱をサーボアンプで検知し、機械への衝突時の衝撃を緩和する干渉検知を行うことができる(図11)。

従来は、上位のコントローラにおいてトルク異常を検知して保護動作を行っていた処理を、この負荷トルクモニタ機能によりサーボアンプ単体で行うことができる。

4.2 MSPC と併用した異常検知診断システム

プレス装置への適用事例について述べる。

従来は、荷重を検出するセンサをプレス軸の真下に設置することで荷重の違いで異物を判断していた。

今回は、負荷トルクモニタ機能を搭載しているALPHA7シリーズと多変量統計的プロセス管理(MSPC: Multivariate Statistical Process Control)診断機能を搭載した診断モジュールを組み合わせることで、図12に示すような外部センサレスで加工品の異常検知システムが構築できる。

MSPC診断とは、図13に示すように多数の正常データに基づき診断モデルを作成し、診断モデルから外れたデータをQ統計量(相関からのずれ)と T^2 統計量(平均からのずれ)の2種類の統計量を使って異常を検出する手法である。

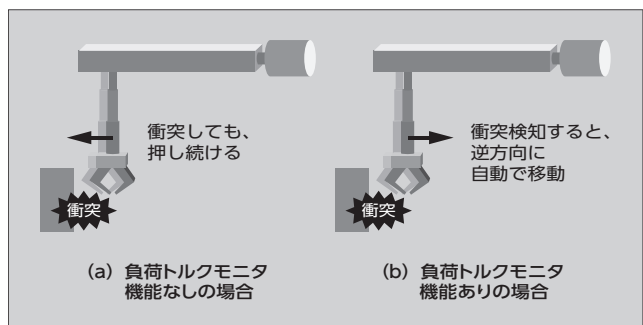


図11 負荷トルクモニタ機能による干渉検知

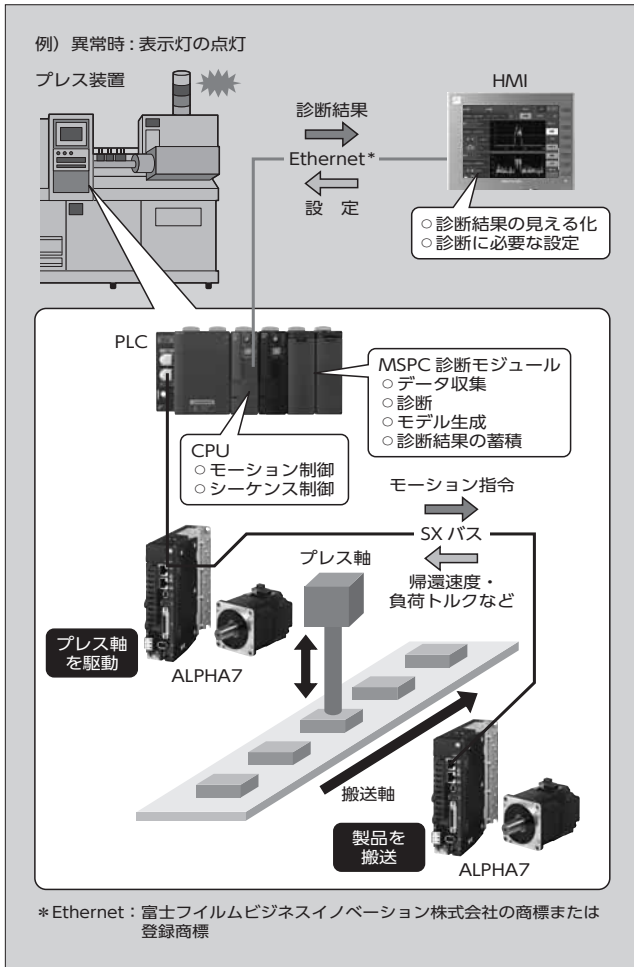


図 12 MSPC と併用した異常検知診断システム

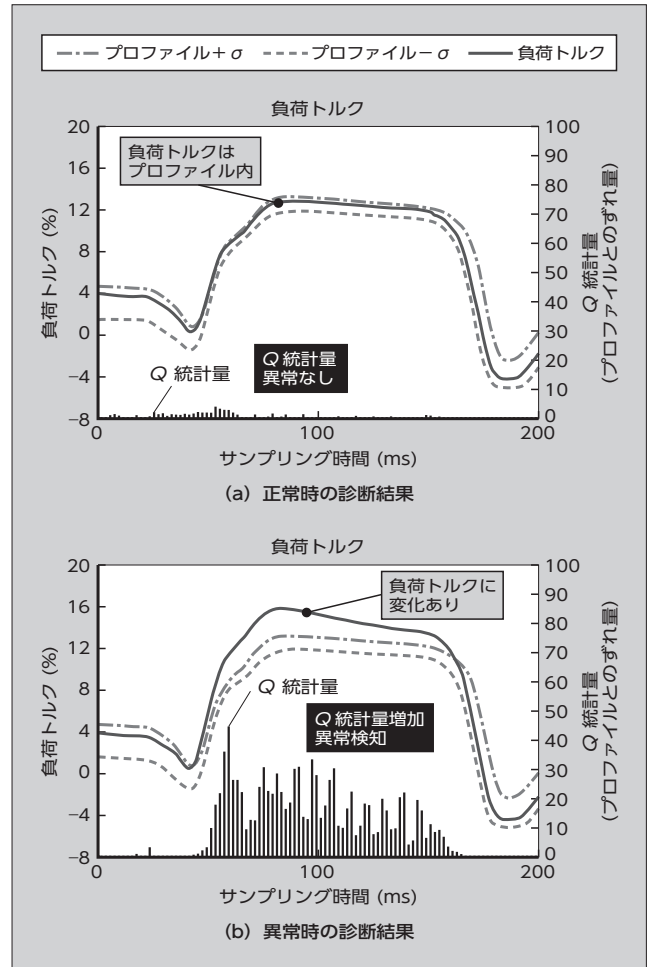


図 14 正常データと異常データの MSPC 診断結果

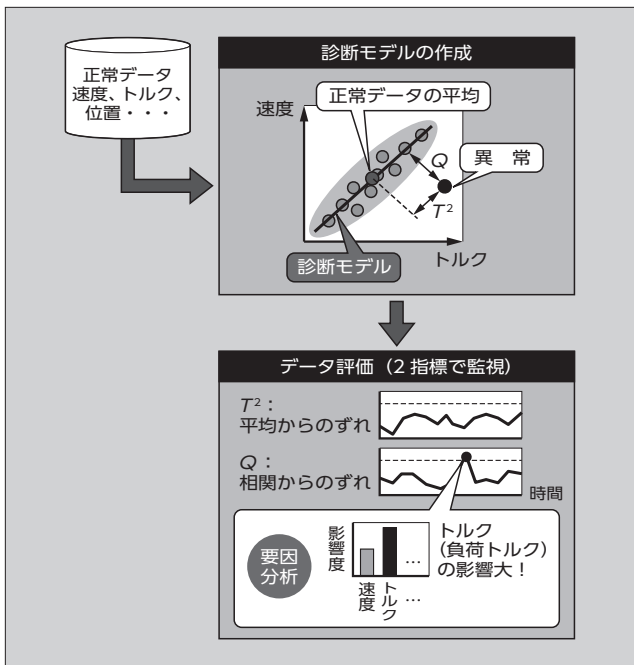


図 13 MSPC 診断方法

図 12 のハーネス加工などのプレス軸の場合、サーボからのデータを基に PLC (Programmable Logic Controller) に搭載されている MSPC 診断モジュールで診断を行うと、図 14 に示すように Q 統計量の増加を監視して異常が検知できる。

さらに、負荷トルクモニタ機能と MSPC を併用することで、プレス装置の場合は、加工中に異物が混入した、あるいは製品の厚みが変わってしまったなどの異常検知ができる。

5 あとがき

サーボシステム「ALPHA7シリーズ」の新機能と適用例について述べた。さらに、富士電機製の MSPC 診断モジュールと組み合わせることで、システムの性能が向上し、ユーザーの安全・安心と生産能力向上に貢献する。

今後、容量拡大およびリニア・DD モータ対応サーボアンプなどのニーズに応じたラインアップを拡充していく所存である。



山下 智史

サーボシステムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス インダストリー事業本部ファクトリーオートメーション事業部 FA システム技術第二部。



谷口 享

サーボシステムの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス インダストリー事業本部開発統括部パワーエレクトロニクス開発センター回転機開発部主任。



高山 哲也

サーボシステムの開発・設計に従事。現在、富士電機株式会社パワーエレクトロニクス インダストリー事業本部開発統括部パワーエレクトロニクス開発センターオートメーション機器開発部ソフトリーダー。





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。