

# リアルタイムで不良品検出を実現する AI を適用した機械装置向け診断ソリューション

Diagnostic Solution for Machinery and Equipment That Uses AI for Real-Time Detection of Defective Products

湯尾 幸輝 YUO, Yukiteru

島村 明夫 SHIMAMURA, Akio

宗像 昌朗 MUNAKATA, Masaaki

近年、エンドユーザーの品質への要求の高まりにより、機械装置における不良品検出技術の向上が求められている。富士電機は、モーションシステムに組み込んで、加工作業中に不良品の検出を可能とする診断ソリューションを開発した。診断機能は「MICREX-SX」の機能モジュールとして提供され、機械装置の制御アプリケーションと連動し、リアルタイムで不良品を検出できる。また、富士電機のサーボシステム「ALPHA7」のサーボアンプの負荷トルクモニタ機能を使用することで、外部センサを追加することなく高精度な不良品検出が実現できる。

The recent increasing demand for quality from end users has necessitated improving the technology for detecting defective products in machinery and equipment. Fuji Electric has developed a diagnostic solution that can be incorporated into motion systems to detect defective products during machining operations. The diagnostic functionality is provided as a module of the “MICREX-SX” and can detect defective products in real time by interfacing with the control application of the machinery and equipment. In addition, it can detect defective products with high accuracy using the load torque monitoring function of the servo amplifier of the Fuji Electric’s “ALPHA7” servo system without adding external sensors.

## ① まえがき

モーションシステムは、金属加工機械や包装機械、半導体製造装置など、さまざまな機械装置で使用されている。

これまでのモーションシステムでは、生産性の向上のため高速化に主眼が置かれていたが、近年では生産性だけでなく製造物の品質を高くしたいという要求もあり、機械装置の稼働中にリアルタイムで不良品を検出し、後段の製造工程への影響を防ぐことが求められている。

この要求に応えるため富士電機は、DX（デジタルトランスフォーメーション：Digital Transformation）の中核技術であるIoT（Internet of Things）やAI（Artificial Intelligence）を適用した機械装置向け診断ソリューションを提供している。本稿では、この診断ソリューションについて述べる。

## ② 機械装置における不良品検出の課題

エンドユーザーにおいては、不良品の流出が発生すると、商品回収に莫大なコストがかかるだけでなく、企業イメージの低下が会社全体の売上減少につながる可能性がある。そのため、エンドユーザーから機械装置メーカーに対して、生産性を損なうことなくリアルタイムで製品の品質を検知し、不良品の流出を防止する仕組みを機械装置に組み込んで欲しい、という要求が増えている。

例えば、食品包装機では包装フィルムの圧着不良、ハーネス加工機では電線の圧着不良などがリアルタイムに検知したい不良の例として挙げられる。機械装置メーカーでは、さまざまなセンサを搭載し不良品の検出精度の向上を図る一方で、そのためにかかるコストの上昇が利益を圧迫しており、コスト低減と不良品検出精度の維持・向上の両立が

課題である。

この要求に応えるため、富士電機は自社製コントローラに、AIを適用した“診断モジュール”とそれを活用するためのアプリケーションライブラリを組み合わせた診断ソリューションを開発した。

## ③ 診断モジュールによる異常の検出

図1に「MICREX-SX」の外観を示す。診断モジュールは、「MICREX-SXシリーズ」における機能モジュールで、入力モジュールのデータやサーボアンプからの応答データ、制御アプリケーションの演算データなどを基に、アナリティクス・AIである多変量統計的プロセス管理（MSPC：Multivariate Statistical Process Control）技術を適用し、診断を行うものである。

### 3.1 MSPC

MSPCとは、多変量のプロセスデータ（パラメータ）



図1 「MICREX-SX」

間の相関関係を表す空間において、正常な状態である範囲（診断モデル）を設定し、観測されたパラメータのセットが診断モデルの範囲を逸脱した場合、異常とする診断手法である。図2に示すように、診断モデルのパラメータ間の相関からのずれを  $Q$  統計量、平均値からのずれを  $T^2$  統計量とし、この2種類の評価値に基づき異常の検出を行う。この手法を用いることで、個々のパラメータの上下限值による診断では見逃されてしまう異常についても検出が可能となる。

### 3.2 診断モジュール

診断モジュールは、MICREX-SX の CPU モジュールと同様のコントローラプラットフォームを採用している。富士電機は、CPU モジュール上で制御機能として、診断モジュール上で診断機能として動作するシステムファンクションブロック（SFB：System Function Block）をユーザーに提供し、ユーザーはその SFB を組み合わせてアプ

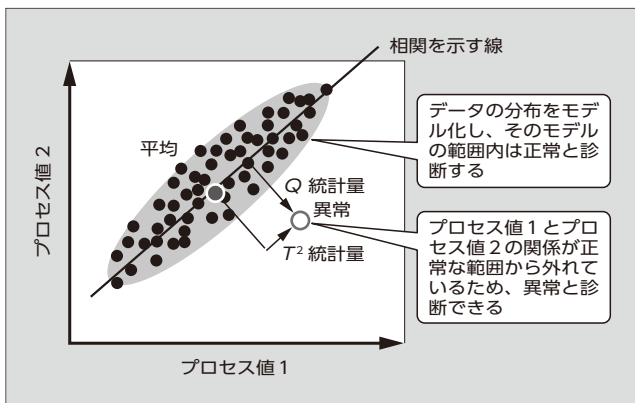


図2 MSPCによる診断

リケーションを作成する。

CPU モジュールでは、制御機能をユーザーの作成した制御アプリケーションが活用し、システムを制御する。一方、診断モジュールでは、診断機能およびモデル生成機能をユーザーの作成した診断アプリケーションで活用して診断を実施する（図3）。診断およびモデル生成の入力パラメータとして、SXバスにつながるI/Oモジュールからの入力やサーボアンプへの指令値に対する負荷トルクや帰還速度の実測値が利用可能である。診断機能は、表1に示す10種類のSFBとして診断モジュールに実装され、ユーザーはこれらのSFBを組み合わせて、診断アプリケーションを構築する。

診断モジュール上で動作する診断アプリケーションは、<sup>(注1)</sup>演算に使用するために、同じベースボード上にあるCPUモジュールと診断モジュールの標準メモリの両方にアクセスできる。また、CPUモジュール上で動作するシーケン

表1 診断モジュールSFB一覧

分類	名称	機能概要
共通	MSPC_INIT	使用メモリの初期化
モデル生成	MSPC_MODEL_STACK	モデル生成用データ収集
	MSPC_MODEL_CREATE	モデルの生成
	MSPC_MODEL_UPDATE	診断モデルの更新
	MSPC_MODEL_READ	モデル読み込み (SDカード)
診断	MSPC_DATA_STACK	診断パラメータ収集
	MSPC_PREPROCESS	収集パラメータ前処理
	MSPC_ANALYSIS	MSPC診断処理
	MSPC_EVALUATION	MSPC診断結果判定
	MSPC_OUTPUT	MSPC診断結果出力

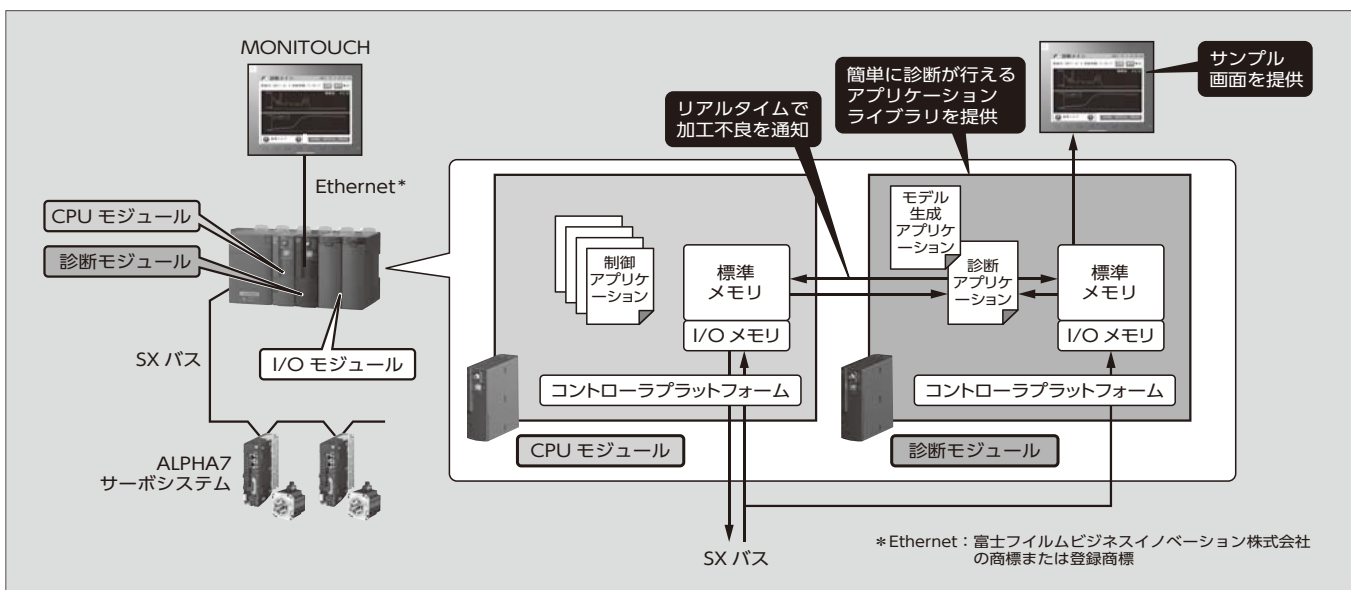


図3 モジュールの構成

〈注1〉ベースボード：電源モジュール、CPUモジュール、I/Oモジュールを実装するボード

ス制御アプリケーションは、診断モジュール内の標準メモリにもアクセスでき、診断結果をリアルタイムで参照できる。シーケンス制御アプリケーションは、診断結果の正常・異常を参照し、リアルタイムで不良品を排出するなどの処理を実行できる。

また、診断モジュールの前面に備えている Ethernet<sup>(注2)</sup> ポートに接続した富士電機のプログラマブル表示器である「MONITOUCH」を使って、診断結果をモニタすることもできる。

診断用 SFB を利用した診断アプリケーション構築の自由度の高さは、さまざまな機械装置に最適な診断アプリケーションを構築できる反面、診断機能に不慣れなユーザーにとっては導入の難易度が高いことも想定される。そこで、標準的な診断アプリケーションをライブラリとして準備するとともに、この診断アプリケーションを操作するための MONITOUCH の操作画面のサンプルも用意し、これらをカスタマイズすることで簡単に診断アプリケーションが構築できるように工夫している。

### 3.3 診断機能の仕組み

3.2 節で述べたとおり、診断モジュールにはモデル生成機能と診断機能がある。

モデル生成機能とは、診断で用いるために、機械装置が正常に運転している状態を表す診断モデルを作成する機能である。

診断機能とは、モデル生成機能で作成した診断モデルと実際の製造時のパラメータを比較して良品の判定を行う機能である。図 4 に示すように、診断の対象となる機械装置の一連の処理周期をサイクルで表す。診断機能の入力となるパラメータを取り込むタイミングをサンプリングポイントと呼び、サンプリングポイントの間隔をサンプリング周期という。

診断機能では、次に示すようにパラメータ収集、診断処

理、結果判定の順でそのサイクルの加工の正常・異常を判定する。

#### (1) パラメータ収集

- ・診断パラメータ収集 SFB で 1 サイクルの中のサンプリング周期ごとにパラメータの値を収集する。
- ・パラメータ前処理 SFB で収集したパラメータを加工する。

#### (2) 診断処理

MSPC 診断処理 SFB で加工したパラメータを診断する。

#### (3) 結果判定

MSPC 診断結果判定 SFB に診断モデルとの差異を表す  $Q$  統計量と  $T^2$  統計量のしきい値をあらかじめ入力し、そのサイクルの加工の正常・異常を判定する。

表 2 に診断モジュールの診断機能の仕様を示す。この診断性能および診断周期を実現したことにより、機械装置での加工中に不良品の検出が可能となる。

## 4 診断モジュールを用いたシステム

### 4.1 サーボシステム「ALPHA7」を用いたモーションシステムの構成

診断モジュールは、負荷トルクモニタ機能を実装した富士電機のサーボシステム「ALPHA7」<sup>(2)</sup> を組み合わせると、診断精度の向上が実現できる (図 3)。

表 2 診断モジュールの診断機能の仕様

項目	仕様
パラメータ数	2～5点
サンプリング数	11～200点
サンプリング周期	最速2ms
診断周期 (サイクル)	最速200ms
診断性能 (1回の診断時間)	70ms以内

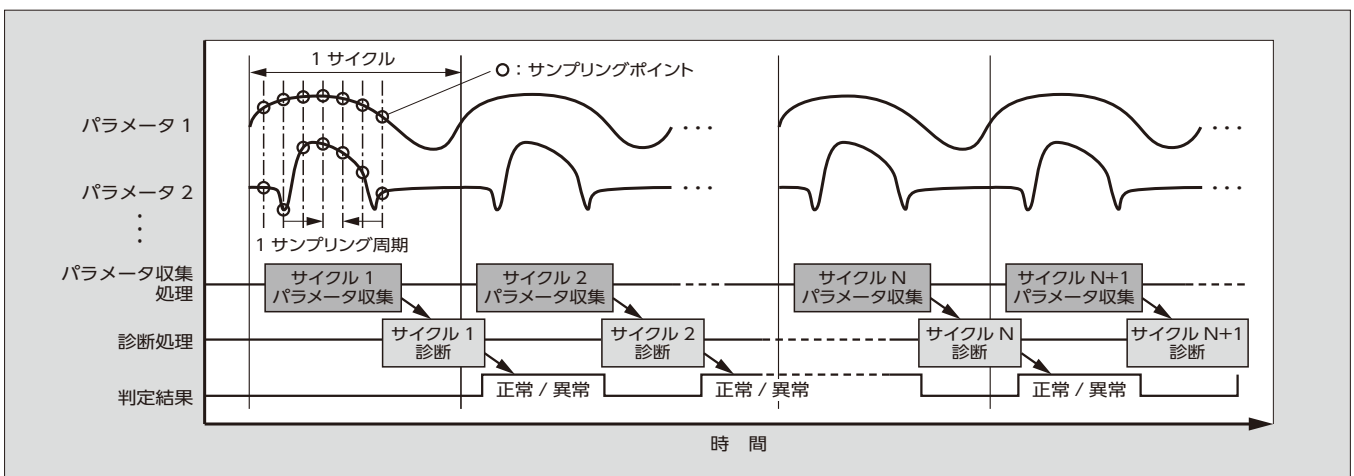


図 4 診断機能のタイムチャート

(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

ALPHA7 に新たに搭載した負荷トルクモニタ機能では、サーボアンプからフィードバックされたモータトルクから、加減速トルクや重力トルクおよび摩擦力などを除いた負荷のトルクだけを抽出し、モニタすることができる。

この負荷トルクや帰還速度を診断モジュールの入力データの一つとして活用することで、例えば、想定以上の負荷がかかっている、あるいは必要な負荷が得られていない、などの機械装置の異常動作が検出できる。

MICREX-SX と ALPHA7 を使用している機械装置であれば、不良検出のためのセンサがなくても、診断モジュールをシステムに追加することで診断機能が使えるので、不良品の検出が可能になる。

#### 4.2 診断モジュールの適用事例

食品業界では、不良品の流出は即時に消費者にマイナスイメージを与えることにつながり、商品の売上に多大な影響を及ぼすだけでなく、場合によっては消費者に健康被害を及ぼしかねない。

消費者の元に安全に商品を届ける上で重要な機械装置の一つに、食品包装機がある。この装置には、さまざまな種類があり、例えば図5に示す横ピロー包装機では、ロールに巻かれた包装用フィルムを送り出してフィルムを筒状にし、ベルトコンベヤを流れる商品を包み込み、フィルムの背中合わせの部分で熱圧着し、さらに商品の前後のフィルム部分をカッタシーラー機構によって熱圧着したのち切断して商品を包装する。

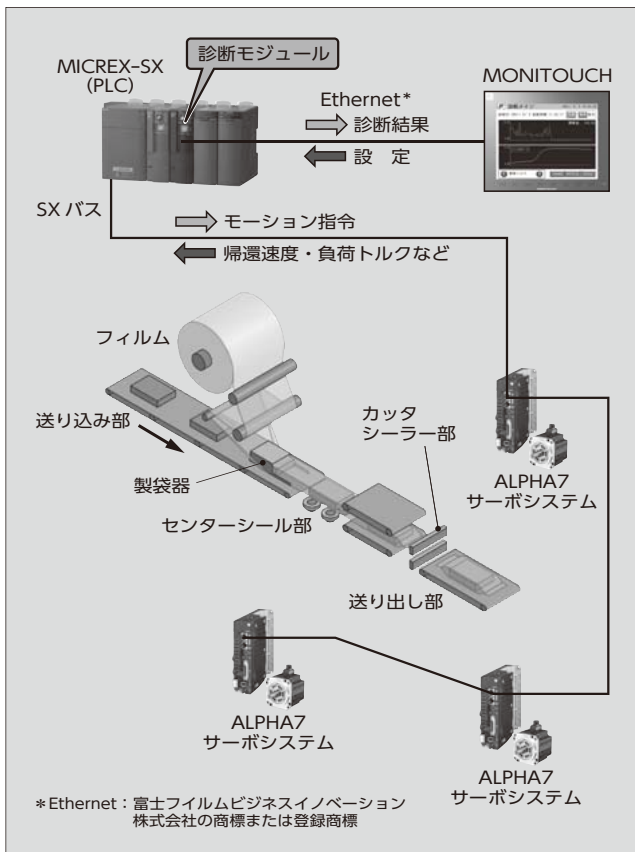


図5 食品包装機の診断ソリューションシステム構成

このような食品包装機では、シール時のフィルムの厚さを近接センサを使って測定して不良を検知、別工程で赤外線センサを使って異物混入の有無を確認するなどの検査を行っている。

食品包装における不良の多くは、図6に示すように包装フィルムをシールする際のフィルムのしわや食品くずのかみ込みによるシール不良であり、これを精度よく検出したいという要求が強い。この要求に応えるため、図5に示す構成の診断ソリューションシステムを開発した。

食品包装機のカッタシーラー部をはじめとしたさまざまな機構部は、PLC (Programmable Logic Controller) がモーション制御するサーボシステムによって動作する。このサーボシステムから得られる負荷トルクなどのデータを使って、診断モジュールはシール不良を検知できる。

図7は、包装フィルムのしわや食品くずの混入を想定し、厚さ 70  $\mu\text{m}$  の紙をかみ込ませた模擬試験の結果である。診断モデルを、プロファイル+2 $\sigma$  とプロファイル-2 $\sigma$  で示す。負荷トルクの計測データが上昇する領域がフィルムの圧着に相当し、負荷トルクの立ち上がりタイミングがわずかに診断モデルより早い。このわずかな違いは Q 統計量の急激な増加として現れ、圧着不良を検知でき、従来よりも検出精度が向上した。

食品包装機に診断ソリューションを適用することにより、今まで検出できなかった異常や機械の故障の予兆を検知し、不良品の検出精度を向上することや、センサなどの外部機

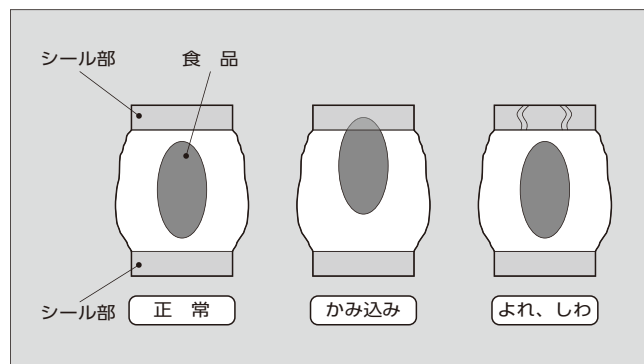


図6 食品包装における不良例

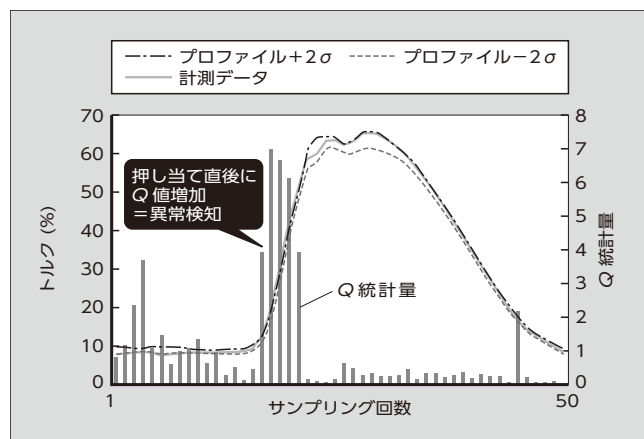


図7 シール不良検知の模擬試験結果 (負荷トルク)

器の極小化、人を介在したチェック工程の削減によるトータルコストの低減が可能となり、機械装置の付加価値の向上ができた。このように、リアルタイムで不良を検知することで、後段の製造工程への悪影響や不良品の流出を防ぐことができる。

## 5 あとがき

リアルタイムで不良品検出を実現する AI を適用した機械装置向け診断ソリューションについて述べた。

機械装置向けのシーケンス制御を行う CPU モジュールとは別に診断モジュールをコントローラシステムに組み込み、負荷トルクモニタ機能を持つサーボシステム「ALPHA7」と組み合わせることにより、より高い不良品検出を可能とする機械装置の実現に貢献している。

今後は、MSPC による診断機能を適用するモジュールを拡充し、富士電機の DX の中核である IoT システムの適用拡大を進めることにより、ユーザーの製品品質向上や業務効率改善に貢献していく所存である。

## 参考文献

(1) 松本充弘ほか. 工場ですぐ使えるタッチオペレーションの

現場型診断装置「SignAiEdge (サインアイエッジ)」. 富士電機技報. 2020, vol.93, no.1, p.30-33.

(2) 山下智史ほか. サーボシステム「ALPHA7シリーズ」の新機能と適用例. 富士電機技報. 2021, vol.94, no.1, p.51-56.



**湯尾 幸輝**

プログラマブルコントローラの開発業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測・制御開発センターコントローラ開発部マネージャー。



**島村 明夫**

プログラマブルコントローラの企画・マーケティングに従事。現在、富士電機株式会社パワエレ 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制御機器部主査。



**宗像 昌朗**

制御ネットワークの開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ インダストリー事業本部開発統括部計測・制御開発センターコントローラ開発部主任。





\*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。