

スマートファクトリー技術を用いた設備の新予知保全

New predictive facility maintenance using smart factory technology

熊田 知也

要旨

モーターサイクル(以下、MC)を中心とした製造現場はスループット最大化を目指し、製造リードタイム短縮に取り組んでいる。直近の課題は、生産計画を阻害する突発的な設備故障を最小化することであり、特に長時間故障による製品供給停止リスク対策は最優先課題となっている。

一方で保全現場は、管理コストの点で故障の事象を把握することが困難になっている。その主な理由は、1ライン数十台の生産設備に保全管理用センサー追加の費用が必要で、費用対効果の面で導入優先順位が下がってしまうからである。

一方で昨今のスマートファクトリー技術(以下、SF技術)は、半導体の低価格化による廉価ストレージや画像解析などの出現で、工場エンジニアにとって使いやすく身近なものとなり、安価にソリューションを自前開発することを可能とした。これにより、センシング技術導入高コストの課題を解決することが期待されている。

こういったSF技術を従来のセンシング技術と組み合わせることで保全の課題を解決することについて検証した結果、十分な成果が実証されたため、本稿では「SF技術を用いた新たな予知保全の取り組み」について事例を紹介する。

Abstract

Yamaha Motor continues to work toward shortening manufacturing lead times aiming to maximize the throughput at our manufacturing facilities - especially for motorcycles (hereinafter referred to as MC's). However, the immediate challenge is to minimize sudden equipment failures that hinder production plans. In particular, countermeasures against the risk of product supply stoppages due to long-term failures have become a top priority.

Meanwhile, on the maintenance side, it is becoming difficult to ascertain incidents due to management costs. The main reason for this is that it requires an additional cost to install sensors to dozens of pieces of production equipment for every line for maintenance and management purposes, which tends to be given lower priority due to the low cost-effectiveness.

However, with more affordable data storage options and image analysis capabilities thanks to the price reduction of semiconductors, smart factory technology ("SF technology") has become easier to use and more accessible for factory engineers in recent years, making it easier to develop low-budget solutions on their own. This is expected to help solve the high-cost issue with the implementation of sensing technology.

As a result of verifying that these SF technologies can be combined with conventional sensing technologies to solve maintenance issues, as sufficient results have been demonstrated, this paper introduces examples of a "new approach to predictive maintenance initiatives using SF technology."

1 はじめに

MCを中心とした製造工程は、鋳造から始まり、加工、塗装、組み立て工程など様々な設備が用いられており、長時間故障のリスク対応が課題となっている。

長時間故障の主な理由は、1つの不具合事象が様々な部位に転移し重症化することで、修理から確認に至るまでの総合的な処置が増えるためである。例えば、小さな亀裂から破断したときの被害の高額化、突貫補修のための工数確保、設備の調整ロス、製品品質の確認時間ロスなどがあり、これらのロスは一度に重複して発生するため、製造現場のスループットに大きく

影響を与えている。

今回の取り組みでは、SF技術で重症化前の不具合事象をとらえ、速やかに保全部門へ知らせ、対策を完了することを目指し、様々なセンシングデータの可視化と分析で保全アクションのスピードアップを検証することにした。活動対象は、エンジン製造工程のなかでも比較的長時間故障の多いアルミ加工職場のマシニングセンターを対象に進めることとした。

2 新しいデータ取得の必要性

故障データの従来の活用方法は、故障現象と件数データか

ら故障傾向をとらえる方法である。保全部門はこれを重点化管理に活用している。例えば1年間の故障データを設備ごとに層別することで設備の故障しやすさを明確にして、ある設備が生産能力を著しく低下させている場合には保全を手厚くするといった事例が挙げられる。しかしながらこの手法は、1つの原因から発生する複数の現象をとらえ管理対象とするため、管理工数が膨大となる側面を持っている。また、データが閾値から外れた状態のときにはすでに重症化してしまっていることから予防に至らないケースが多々ある。これにより予防には重症化前の現象を定量化し、原因データと紐づけて取得することが有効と考えた。

以上から今回はセンシングデータ取得と、劣化具合（現象）と関係性の高い原因系のデータを自動取得しながら、保全職場に知らせる仕組みを検討することにした。

メリットは重症化前の現象データと原因データを紐づけて取得できるようになることで、今までわからなかった故障原因の関係性解明や、根本原因を見極めることができ再発防止にも活用できる。

その際闇雲にデータを取得してコストが増加することを防ぐため、過去のトラブルや成功知見から得られた対策項目を優先的にデータ取得していくこととする。分析は統計的視点で整理することで目的を明確化できると考え、現象のデータを目的変数、原因のデータを説明変数と位置付けて行う。

3 事例：加工マシニングセンター リニアガイド長時間故障

3-1. 故障現象

前述した内容を検証するために加工マシニングセンターの重点部品リニアガイド故障の生産ロスについて、現象と原因を洗い出すことにした。調査した結果、保全費用は部品費が1設備あたり150万円で、復旧時間は1,440分（ライン停止3日間）かかることが判明した。また不具合の初期段階でガタが発生し、製品の精度不良につながり、調整作業ロスも発生している。

次に故障現象を観察することにした。その結果、故障品すべてのエンドプレートが外側に変形しており、リニアガイド内側から何らかの力が加わってガタや動作不良につながっていることがわかった。さらにリニアガイドの動作原理を調査すると、内部循環しているボールを覆う潤滑油が正常に作用すればエンドプレートには大きな力が加わらないことが確認できた。さらに故障部品の分解調査をすると、エンドプレート付近でボールが内部循環されずに止まっていることも確認できた（図1参考）。

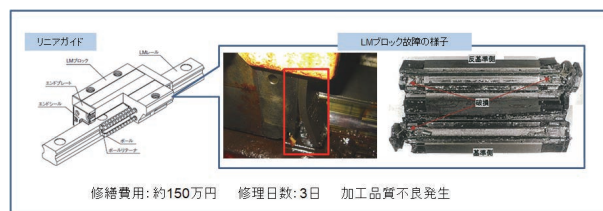


図1 リニアガイド重症化現象

3-2. 故障に至る仮説

リニアガイド動作中に加工用の水溶性クーラントと細かなアルミ切粉が摺動隙間から内部へ入り込み、潤滑油が汚れたり、洗い流されたりする。これによりボールのころがり抵抗が上昇したことで動きが鈍り、リニアガイド本体が移動する力との反力でプレートを押し出したと考えられる。

長時間故障を防ぐための現状の対策は図2の仮説フローより潤滑油とエンドプレートの目視点検である。

この仮説をもとに予知予防の保全を実現するためには、原因となる潤滑油の状態データ（説明変数）と被害を最小限にするためのエンドプレート変形データ（目的変数）のそれぞれを定量化して紐づけし、リアルタイム閾値監視することが必要であると考えた。さらに、これらのデータを保全マンの良否判断基準と照合し、人判断のバラつきを無くすために、判断閾値の定量化が必要となる。故障が重症化せずに復旧できる状態で保全部門がすぐにアクションできれば、長時間故障、管理工数を削減できる。この仮説検証の取り組みについて次章以降で述べる。

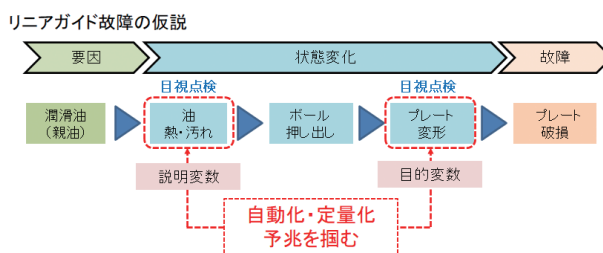


図2 リニアガイド故障メカニズム（仮説）

4 解決手段の検討

4-1. 画像解析による外観・官能検査の定量化 （油の汚染度定量化）

仮説検証の対象を加工マシニングセンターに設定し、既存設備（50台）への監視展開方法の検討を実施した。最初に加工機のリニアガイドに供給されている潤滑油の状態データの定量化に着手した。

従来、潤滑油の一般的な汚染度評価は2つあり、1つ目はセンシング技術を利用し高精度で高速処理が可能なコンタミ用

センサーなどを利用する方法、2つ目は現物とサンプルとの比較を人が官能検査する方法である。

前者のセンシングは、高い精度で数値出力が得られるメリットがある。一方で明確な閾値が無いと、根拠が無いゆえに個人差による判断のバラつきが出て管理・初動が難しくなる。また、精密分析用のため部品代が高額で、横展開スピードの制約となる。さらに既存設備の潤滑油タンクは一般品で構成されていることから、センサー機能を取り付けるには大がかりな工事がともなってしまう、コストが高騰しROI(Return On Investment)が成立しないことが分かった。

同様に後者の官能検査による手法を3つの視点(①SF技術で置き換えられるか、②明確な閾値が引けるか、③低コストが実現できるか)で検討した。従来の潤滑油状態確認は、人による目視によって行われ、油量と色相の良否判断をタンクの点検窓から実施している。サンプル比較は点検対象の状態をダイレクトに認知・判断することで良否判定が容易なメリットがある。課題は、いかに高い精度で測定し判断のバラつきを少なくするかである。課題解決手法として我々は画像解析に着目し、撮影画像の色相を数値化するテストを行った。その結果、撮影画像の中から油部分だけ切り出すことで色相数値を安定して出力できることが検証できた。また画像のトリミングを工夫することで反射光などのノイズを除去でき、閾値を明確に設定することが可能となる。

カメラの選定については、設置レイアウト、照明を工夫することで、普及価格帯のカメラによる撮影画像で安定した解析を廉価に実現した。また画像処理は3万円程度の廉価PCをネットワーク上に配置し、処理のタイムスケジュールを工夫することで、システムパッケージとしても大幅なコストダウンが可能となった(外作比 約1/10)。

設備改造費に関しても、タンクの点検窓にカメラを設置するのみで大きな改造は不要である。以上より、手の内化したSF技術によって設備不具合検出と効率的な横展開の両面を進めることが可能と判断した。

次に画像処理による具体的な検査手法を検討することにした。まず実際の油の良否判定について、画像処理技術でどこまで定量化できるかを検証することにした。当社加工工場の加工機の作動油と潤滑油は大半がセミクローズの循環回路で使われ、また加工用切削油の約9割以上が水溶性であることから、水分の侵入によって劣化がおきると考えられている。そして油に水分が侵入すると白濁などの濁り現象が発生することも分かっている(図3)。

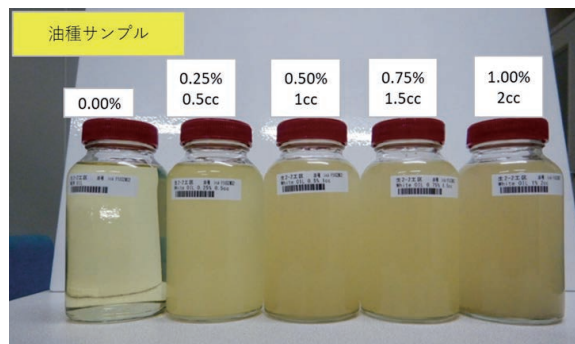


図3 油の白濁現象

油劣化の基礎データを取得するため、油中の水分含有量0%から1.0%の油サンプルをつくり目視で確認した。その結果、含有量と同様に色相が変化し濁りが目視でも認識できた。また、この濁りの代用特性として輝度値を選択し調査したところ、水分含有量との相関があることが分かった。さらにRGBカラーモデルで解析するとグリーンが強く反応していることがわかったため、グリーン色相の輝度値をみることで、おおよその水分含有量のレベリングができると判断した。

水分含有量の測定範囲は、油圧ポンプのシャフトの破損を重症化と定義し、その予兆として現れるキャビテーション現象がとらえられる範囲にした。キャビテーションは過去の知見から水分含有量1%で起きることが分かっている。よって正常値を0%から上限1.0%と定め測定範囲と決めた。その試験サンプル数種類を測定した結果、0.5%から1%の範囲では輝度値が線形に近い形で現れた(図4)。

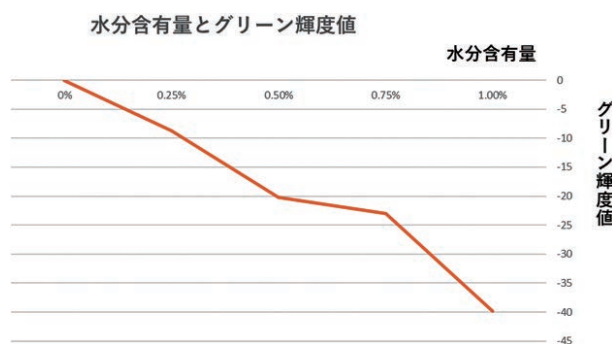


図4 水分を含んだ油輝度値推移(縦軸:グリーン輝度値)

これらのことから仮に0.75%の時点で保全部門へのお知らせを可能にすれば、油の異常を予防することは十分可能であると判断した。フィールドテストによって、センサーと比較しても遜色ない結果が得られた。

油の画像検査をすることで従来の油汚染度点検とポンプのキャビテーション点検(異常音の点検)の工数も削減できることが検証できた。

4-2. 破損・変形の定量化(エンドプレート)

次にリニアガイドの不具合状態を把握する代用特性となるプレートの変形を定量化する手法を検討する。従来のセンシング手法は、設備内狭所への取り付けが困難などの課題があり安定的なデータ取得ができなかった。一方で経験のある人による点検の場合は、エンドプレートが浮いている状態など、一目で即座に異常と判断することができる。さらにカメラの設置の制約も少なく、安価に取り付けが可能であったため、カメラによる撮影画像を解析し不具合を検知する方法を検討することにした。

具体的な手法は、廉価なマイコンに接続されたカメラが内部プログラムによってリニアガイドを上方から自動撮影し、画像解析から形状変化の特徴を監視することでエンドプレートの変形、位置ズレを数値化することとした。

画像解析の方法は、撮影されたりニアガイドの大きさと画素数から計算する。写真の中には解析対象外のものも映り込んでいるため、画像からレールとブロックの境目の位置を正確に識別する前処理方法を始めに検討した。

形状や輪郭、特徴を捉えるための画像解析の一般的手段は二値化処理である。この処理は、白と黒の2色に変換し輪郭をとらえることができる。今回のリニアガイドの構成部品であるブロックとレールの境目を毎回二値化すればその変化からエンドプレートの変形を定量化できると考えた。

二値化処理を進めるにあたり色相の閾値を決めることが課題となった。具体的には閾値に重要な要素は輝度値であったため複数の画像を解析した結果、撮影条件によって大きな誤差が生じていた。これは工場環境、季節や時間帯での明るさのバラつきが、撮影したりニアガイドの色相に影響を及ぼしているということが原因であった。加えて、この輝度値のバラつきは160～200の範囲であることも検証できた(図5)。



図5 リニアガイド撮影サンプル

この基礎データをもとに、レールとブロックの二値化処理において最も光の反射影響が少ない輝度値を調査し、180を最適な設定値として設定した。

以上より、撮影写真を輝度値180に予備補正する前処理プログラムをつくり、その後二値化するフローを採用した。

撮影画像の輝度値が安定したところで、実戦形式で加工中サイクルでの写真撮影、二値化処理を試みた結果、設備内部での反射光が影響して、不定期に計測誤差を生じてしまう現象が観測された。この現象は不規則な発生のため、除去するのは困難である。従って、新たに不要な光の映り込みを除去する手法を考え、二値化処理の領域を処理する手法を取り入れた。領域処理の手法は面積の大きさや幅、高さに応じた画像を選択し処理する方法である(図6)。

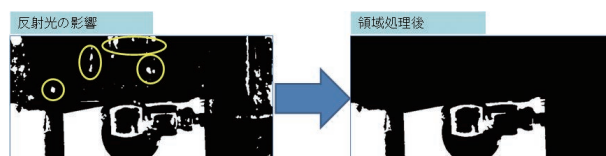


図6 画像二値化と領域処理

このような前処理フローを開発することで検出したい境界を安定的に検出することに成功し、画像のみで境界のズレ量の計測が可能になった。

また、検査結果の説明性、視認性を向上させる工夫として、元の撮影画像に処理結果の線を加え画像処理の位置を明確にした(図7)。

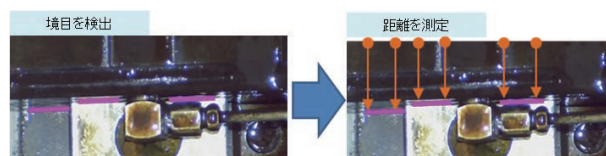


図7 画像からの位置測定

5 新保全方式

5-1. 目的変数と説明変数の監視

今回の分析の目的は保全のアクションを早めることであり、故障状況のデータを目的変数、原因のデータを説明変数と位置付けて手法開発を進めた。前述のリニアガイドの事例を例にとると、4.1で述べた油の吐出量と汚染度を説明変数と考え、4.2で述べたエンドプレートの変形は目的変数と考える。

従来の保全の分析方法は、油の定期交換が正常に行われていることを前提に、リニアガイドの破損をデータ化していたため、人のバラつきや外乱の影響が分からず迷宮化することがしばしばあった。これに対し常に説明変数を監視し、目的変数と紐づけることで真の原因とそのバラつきがわかり、次の対応を決めることができる(図8)。また、画像による事象のわかりやすさだけでなく、定量化できたことで統計的な重回帰分析などに

活用できるようになる。これによりプロセスが可視化され管理レベルが上がることで、重症化する前に手が打てることや、データの監視をサイクル化することで、設備状態への影響度を監視し、生産を止めることなく保全活動に繋げることができると考えた。



図8 故障の目的変数と説明変数と関連図

5-2. 保全計画

従来の保全計画は、担当者の経験や感覚に頼った内容で計画立案され、余裕を持たせた計画になっていた。これに対し今回は演算処理装置をネットワーク上に置くことで、事実に基づいた結果を保全部門が認知でき、根拠の高い保全計画の立案が可能になる。

この内容を保全部門の事務所で監視できるようすることで、最適な保全サイクルの実現が可能となる。

また、今回の画像処理アルゴリズムの構築にはノード型プログラムを採用しており、プログラムの可読性も高く現場に実装しやすくなっている。このノード型プログラムのおかげで、設備の設置環境にあった様々なチューニング作業が GUI(Graphical User Interface) 環境で調整が容易にでき、誰でも高度なプログラミング知識不要で習得が可能となる(図9)。

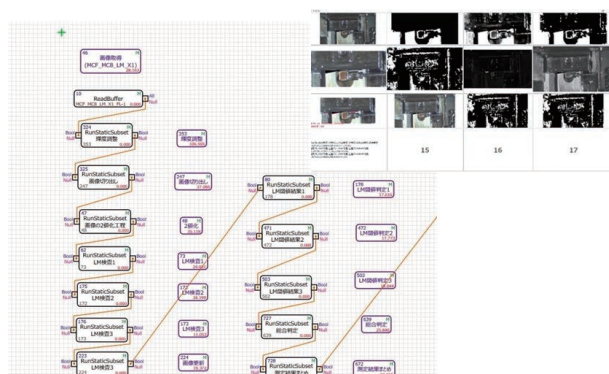


図9 ノード型プログラムと画像処理補正の流れ

6 まとめ

今回の取り組みでは、一般的に外部委託すると高額となる展開コストの制約を手の内化した SF 技術により解決できた。これにより人にしかできない作業に対する価値が見直され、そのなかで最も重要な保全作業の予知・復元にリソースを集中できるようになった。

今回画像処理を採用したことで設備異常の予兆の見極めが容易になり、確認作業や追加点検作業が減り、保全部門工数の削減も実現できた。

さらに保全部門の従来のプロセスに対し、多様なデータを可視化することで事実に基づいた行動に変えることができ、納得したアクションをともなう PDCA(Plan-Do-Check-Act) サイクルのスピードアップが実現した。そして、保全の管理改善と同時に意識改革ができたことは大きな収穫と考える。

■著者



熊田 知也
Tomoya Kumada
生産技術本部
設備技術部