

製品加工に対する異常検知システムの実装

高橋慶行・青柳大志*・小和瀬登**
狩野幹大*・新井宏章***

Implementation of anomaly detection system for product processing

TAKAHASHI Yoshiyuki, AOYAGI Hiroshi, KOWASE Noboru, KANO Motohiro, ARAI Hiroaki

製品加工における不良率低減および生産性向上を図るため、生産時の加工異常を検知するシステム構築を行った。さまざまな不具合要因を解決するため、プロトタイプデジタル機器を使用したオリジナルの異常検知システムを、企業が保有する量産設備を用いて実装した。

キーワード：異常検知, データ収集, 可視化, 通知, プロトタイプ, IoT

In order to reduce the defective rate and improve productivity in product processing, we built the system to detect processing abnormalities during production. In order to resolve various causes of failures, we implemented an original anomaly detection system using prototype digital equipment using mass production equipment owned by the company.

Keywords: anomaly detection, data collection, visualization, notification, prototype, IoT

1 はじめに

製造業の現場では、さまざまな設備を用いて製品を生産している。これらの設備は、生産性向上や品質向上のために大きな役割を担い、迅速かつ正確な作業を行うことができる。一方で、設備に適した加工状態でなければ、本来の性能は発揮されず、寸法不良などの不具合を導き大きな損失に繋がる。

本研究では、製造現場における不具合の発生を解消するため、デジタル技術を活用して加工状態を可視化し、異常を検知することを目的とする。変動する加工状態に対し、プロトタイプデジタル機器で構成した異常検知システムを、企業が保有する量産設備を用いて実装する。

2 方法

2.1 不具合に対する原因と対策

製造現場では、様々な要因で不具合が生じる。本研究では、歯科用精密医療部品において、最も不良率が高い製品に注目し、デジタル技術を活用して問題解決を行った。ここで、過去に発生した具体的な不具合事象について紹介する。ドリルで加工された2つの異なる円筒穴において、同軸度 $\Phi 0.01$ を外れる加工不良が発生した。この不具合に対する、原因と対策を表1に示す。

表1 不具合要因に対する原因と対策

	不具合要因	原因	対策
1	温度 (設備/材料)	温度高低差による、設備動作と材料膨張ばらつきによる精度不良	設備/材料の温度管理
2	切削油 (透過度/汚れ)	切削粉塵等の混在による 切粉の排出不具合による加工不良	切削油の透過度管理
3	ドリル (摩耗/欠損)	ドリル工具の摩耗および欠損による加工不良	ドリル/材料の接触による電流値管理

不具合の発生は、企業にとって大きな損失になる。本研究の目標として、ターゲット部品における不良発生率を、企業目標である3%以下/月に定めた。3%以下にすることで、不良品の材料費、不具合対応に伴う人件費を計上した効果金額を、約70万円/月とした。

2.2 センサ選定とデータ収集

表1で定める3つの不具合要因に対して、センサおよびデジタル機器を選定し、加工状態のデータ収集を行った。選定するセンサは、安価で入手しやすくデジタル機器との親和性を考慮した。

1つ目の温度は、BOSCH社のセンサBME280を用い、生産設備と材料置き場に設置した。測定したデータは、WiFi機能を搭載したESP-WROOM-32によりMathworks社が提供するThingSpeakTM(¹⁾(無料版)IoTプラットフォームにデータを送った。

2 つ目の切削油は、キーエンス社のセンサ FU-80MTZ を使用し、切削油タンク内の不純物や汚れを透過度として測定した。通信モジュールは NQ-MP8L を用いて PC で制御しデータを収集した。

3 つ目のドリルは、切削中の負荷率の変動を測定するため、サラ社のセンサ 3702-150N/191 を選定した。このセンサは、ドリルと材料の接触時に発生する負荷抵抗を測定し、Arduino MEGA により制御され、測定データは PC に収集した。使用した 3 種類のセンサ写真を図 1 に、センサおよびハード/ソフトウェアの仕様を表 2 に示す。



1. 温度用センサ 2. 切削油用センサ 3. 電流用センサ
図 1 各種測定センサ

表 2 センサ/ハード/ソフトウェア

不具合要因	センサ	ハード/ソフトウェア
1 温度 (設備/材料)	温湿度気圧 AE-BME280	・ ESP-WROOM-32搭載マイコンボード ・ Arduino IDE 2.3.2
2 切削油 (透過度/汚れ)	透過型センサ FU-80MTZ	・ 通信モジュールNQ-MP8L + PC ・ NQ Sensor Monitor
3 ドリル (摩耗/欠損)	CTセンサ分割型 3702-150N/191	・ Arduino MEGA 2560 R3 + PC ・ Arduino IDE 2.3.2

2. 3 可視化と異常検知

生産時のデータを収集することで、加工中の詳細情報を蓄積することができる。蓄積されたデータを分析および可視化するため、MATLAB^{®2)} App Designer (R2022a Update2) を用いた。MATLAB は、2021 年度に群馬産業技術センターが導入した開発環境であり、MathWorks 社が開発した数値解析やシミュレーション、可視化のためのソフトウェアである。

この App Designer は、さまざまな表示や配色を容易にレイアウトすることができるため、ユーザの要望を細部まで反映した、オリジナルのダッシュボードを作成することができる。ダッシュボードのデザインは、ノーコードで作成可能なため、プログラム初心者でも着手しやすい。

異常通知に関しては、3 つの開発環境を用いた。1 つ目はデータを収集・蓄積するための IoT プラットフォーム Thingspeak、2 つ目は異常データを解析する MATLAB、3 つ目は異常をタブレットに受信するための SNS アプリ slack³⁾ と、Thingspeak との通信インターフェイスである slack_api を用いた。

また、不具合が発生した際の異常通知は、作業者が所有するタブレットへ通知される。通知が発信される閾値に関しては、製品の良好な加工状態を検証した上で数値化し決定した。発信に関する管理閾値を表 3 に示す。

表 3 不具合要因と管理閾値

	不具合要因	管理閾値
1	温度 (設備/材料)	適正温度：15°C以上および33°C以下
2	切削油 (透過度/汚れ)	適正透過度：56以上
3	ドリル (摩耗/欠損)	適正電流値：異常度14以下

2. 3. 1 温度に対する可視化と異常検知

温度センサで収集したデータは、インターネット経由で Thingspeak へ送られる。今回用いた温度センサ BME280 は、温度に加え湿度、気圧も同時に測定することが可能である。温度を含む 3 つのデータは、MATLAB App Designer を用いて開発した、ダッシュボードで可視化した。

異常検知に必要な温度データは、Thingspeak に蓄積される。通知発信の閾値は、Thingspeak にある Thingspeak_React コマンドで発信の数値を設定し、Thingspeak_HTTP で異常時のコメントを入力し、slack_api を介して slack へ送信される。通知用の設定画面を図 2 に、温度の可視化と異常検知に対するシステムフローを図 3 に示す。

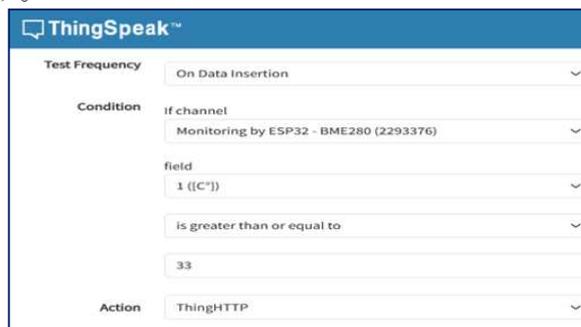


図 2 異常通知用 Thingspeak の設定コマンド

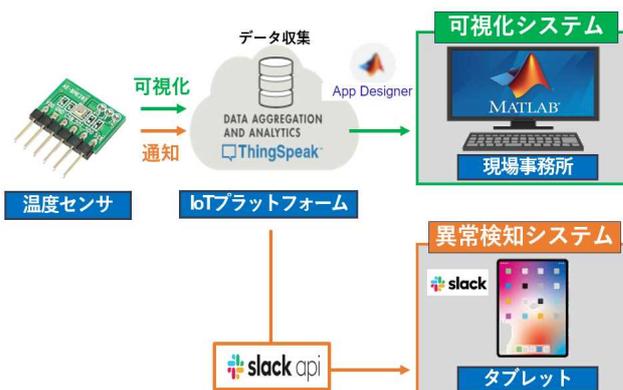


図 3 温度のシステムフロー

2. 3. 2 切削油に対する可視化と異常検知

切削油センサで収集したデータは、PC へ送られる。蓄積データに対しダッシュボードを用いて、切削油の透過度を棒グラフで示した。現場で一括管理できるよう、温度、湿度、気圧に加え切削油の 4 項目を同じモニターで管理するようダッシュボードを作成した。異常検知に関しては、温度同様 Thingspeak の設定を行った。切削油の可視化と異常検知に対するシステムフローを図 4 に示す。

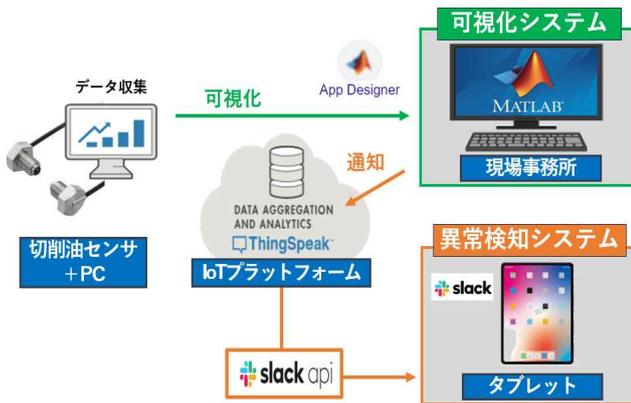


図 4 切削油のシステムフロー

2. 3. 3 電流に対する可視化と異常検知

電流センサで収集したデータは、PC へ送られ蓄積される。データを可視化し加工状態を常時確認するため、正常時は緑色ライト、異常時は赤色ライトをダッシュボードに表示した。

異常検知に関しては、まず過去の生産データを MATLAB で解析し、正常データを抽出した。異常の検出には、加工データと正常データとの差を数値化する。この方法は、K 近傍法 (K-Nearest Neighbors, KNN) に基づく解析手法で、測定対象となるデータとその近傍点との距離 D を計算する。異常度が高い場合、そのデータは周囲のデータから大きく離れていることを示し、異常とみなされる。概略図を図 5 に示す。

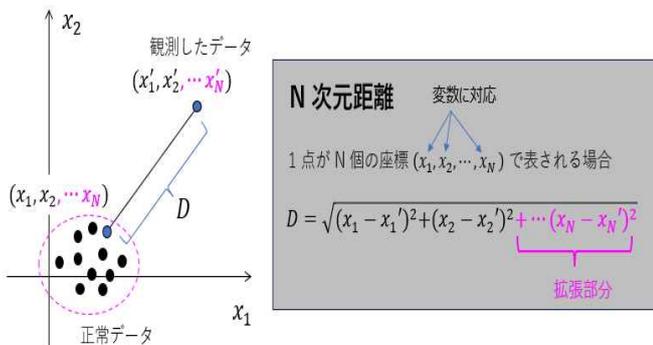


図 5 K 近傍法を用いた異常検知

一方、電流の異常通知に関しては、温度同様 Thingspeak の設定を行った。可視化と異常検知に対するシステムフローに関しては、図 4 の切削油と同様に設定を行った。

3. 実装結果

本研究で構築した異常検知システムは、企業が保有する量産設備を用いて実装した。まず、温度、湿度、気圧、切削油の 4 点に関する可視化については、工場内の現場事務所のモニターに表示し、作業者が常に状態を確認できる環境整備を行った。また、設定した異常閾値を超えると、モニターの表示コメントと数値の色が変化することで、その場で確認することが出来る。図 6 に現場事務所に設置した可視化モニターを示す。



図 6 現場事務所の可視化モニター (温度、湿度、気圧、切削油)

次に、ドリルの摩耗および欠損状態を確認するため、電流値を可視化した。図 7 に現場事務所の可視化モニターを示す。

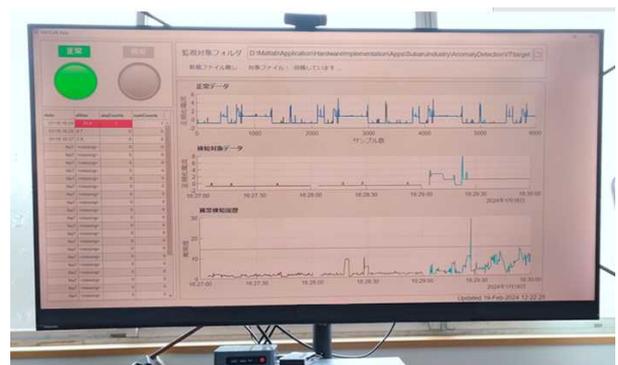


図 7 現場事務所の可視化モニター (電流)

画面左上には、加工状態の正常/異常が判断できるよう、緑/赤のライトで識別できる。画面上段の波形は、過去 3 か月分の電流データから抽出した正常データである。このデータに対し、生産中に取得された加工データが随時、画面中段で表示される。

画面下段は、正常データと加工データの差を異常度として数値化される。異常度は検証の結果、14を超えた場合のみ、検出されるよう設定した。異常数値が検出されると、システムに回数がカウントされる。一方、異常数値は瞬間的に上昇する可能性があるため、14を超える数値が連続して3回検出された場合のみ、赤色ライトが点灯する。このように、正常/異常をデジタルで管理することで、個人の判断に依存することなく、工場にいる全ての作業者が正しい判断をできるようになった。

一方、異常により発信された通知例を図8に示す。通知は、インターネットを経由してタブレット（slack）に送信されるため、作業者が生産現場から離れても、異常を把握することができる。作業者が不在の夜間においても、slackが確認できる環境であれば工場外でも通知が届くため、24時間確認できるようになった。また、通知には具体的な異常内容が記載されているため、生産ラインで改めて不具合事象を確認する必要がなくなり、円滑な復旧作業が可能となった。

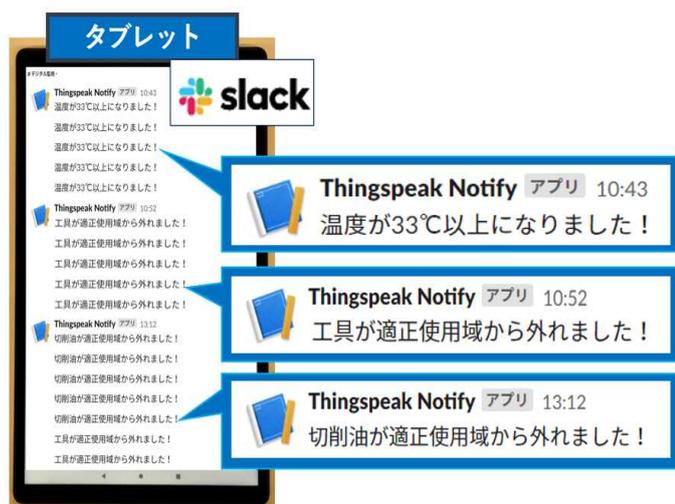


図8 タブレットによる異常通知

4 まとめ

本研究により、製品加工に対する異常検知システムの実装を行った。このシステムは、プロトタイプによる異常検知の事例として、量産設備における実用性を確認できた。一般的に、本研究と同等のシステム構築には、1000万円以上の高額な費用が必要となる。本研究での必要経費は約45万円であり、低コストでオリジナルの可視化および異常検知の実装を行うことができた。

約2か月間実装した結果として、目標としていた不良発生率3%以下に対して、不良発生率0.5%/月となり、得られた効果金額は約78万円となった。

今後の方針としては、デジタル技術の更なる進展のため、ノウハウ構築を行っていく。方法や解決手段、ソフトや使用機器等のデジタル内容を仕様書としてまとめていくことで、情報共有や技術伝承にも繋がる。また、地域SIerとも連携し、中小企業に対してより幅広い範囲で、よりスピーディーに支援を行い、デジタル技術の成果に対して、実証および実感してもらえるよう、継続的に進めていきたいと考えている。

謝辞

本研究の遂行にあたり、スバル工業㈱の野村社長様はじめ従業員の皆様に、多大なるご協力を頂いた。ここに記して、深く謝意を表する。

参考文献

- 1) <https://thingspeak.com/>
- 2) <https://jp.mathworks.com/>
- 3) <https://slack.com/>