

精密深絞り加工の安定生産に関する研究（第3報）

西嶋隆*、松原早苗**、岩田英司†、奥田智裕†、林達彦†

Study on stable production method of precision deep drawing（Ⅲ）

NISHIJIMA Takashi*, MATSUBARA Sanae**, IWATA Eiji†, OKUDA Tomohiro† and HAYASHI Tatsuhiko†

県では令和4年度から県内製造業のDX支援技術開発プロジェクト事業を開始し、県内企業のデジタル技術を活用したスマートファクトリー化の推進を支援している。本研究はその一環として、金属プレスによる自動車部品の精密深絞り加工を主に行う企業と連携し、昨年度までにプレス製品の中間工程ワークの各種寸法を機上計測するデータ収集システムを開発した。本年度は、開発したデータ収集システムのデータサーバに集約される計測データを用いてマハラノビス距離の評価により異常検知を行うプログラムを開発した。本報では、本年度までに開発した機上計測のデータ収集システムの概要と異常検知プログラムの開発について報告する。

1 はじめに

近年、産業界のデジタルトランスフォーメーション関連施策が経済産業省の主導のもとに推進され¹⁾、生産性や売上高の向上が期待されている。

このような中、県では県内製造業の生産性向上支援のため、令和4年度より「県内製造業のDX支援技術開発プロジェクト事業」を実施している。本研究はその一環として、自動車部品の金属プレス製品を主に生産する企業と連携し、IoT技術を活用した品質管理の高度化に取り組んだ。

令和5年度までは、精密深絞り加工の複数工程におけるワークの各種寸法を機上計測するデータ収集システムの開発に取り組んだ。本報では、令和6年度までに開発したデータ収集システムの概要と計測データを用いたワーク寸法の異常検知システムの開発について報告する。

2 データ収集システムの概要

図1にプレス工程とデータ収集システムの全体像を示す。同図に示すように、プレス工程は前工程と後工程用の2台のトランスファープレス加工機で構成し、前後の工程間はワーク搬送用のコンベアで連結している。プレス加工機に投入された素材は多段の深絞り工程を経て成形され、コンテナに収納される。

データ収集システムにおいては、ワークの表面性状に強く影響すると考えられる項目を選定し²⁾、これらをデータ化する4つの計測装置³⁾（①ブランク材厚さ、②金型温度、③直径、④全長+完成品の所定位置厚さの計測装置）を用いてワーク全数を機上計測する。

データ収集システムには、これらの4つの計測装置をクライアントとするデータサーバを設け、計測データの

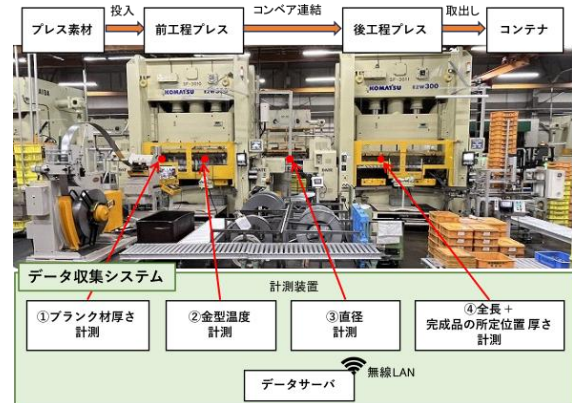


図1 プレス工程とデータ収集システムの全体像

収集、整理、保存を行う。各計測装置の計算機にはRaspberry Pi 4 ModelBを用い、データサーバにはRaspberry Pi 5を用いた。

2.1 ワークと計測データの紐付け

プレス加工機に流れるワークは大量生産品であることから、個々にシリアル番号は採番されていない。このため、各ワークに対して、別々の計測装置で得られた測定データを紐付ける仕組みが必要となる。

これに対し、本データ収集システムでは4つの計測装置の計測カウントをネットワーク経由で同時にリセットする機能を設けた。これにより、各計測装置は計測開始時に計測カウントをリセットし、かつ計測カウント数から各計測装置の工程番号（プレス先頭工程からのワークの並び順）の数を減算（オフセット）した値をワーク番号とし、ワーク番号、計測項目、計測値の3点をセットで計測データを記録する。これにより各ワークに対して全ての計測項目のデータが紐付けできる。

2.2 データサーバにおけるデータ整理

各計測装置は、一測定毎に計測データをデータサーバに送信する。送信データは前述のワーク番号、計測項

* 技術支援部

** 情報技術部

† 株式会社加藤製作所

目、計測値の3点をセットとしている。

データサーバでは、各ワーク番号をプライマリーキーとしてデータ整理を行い、各計測項目をフィールドとしたレコードを生成する。また、後述する異常検知システムでのデータ利用のため、測定ワークの一つひとつについて、全ての計測項目の計測データを記録した1行のcsv形式のデータファイルを出力する。

3 異常検知プログラムの開発

本研究で扱うプレス加工機による生産では、不良品の発生頻度は非常に少ないため、不良時の大量データの取得は困難である。そのため、今回は正常データのみ機械学習し、異常度をマハラノビス距離の2乗値により評価するホテリングのT2法による異常検知を採用した。

本異常検知プログラムは、中間工程ワークの寸法に基づいた異常検知であるため、その利用方法としては、例えば途中工程の成形異常を直ちに検知し、金型の消耗等を確認することなどが考えられるが、本取り組みでは、主にプレス工程の後工程にある洗浄工程後に稀に見つかるワークの表面性状の不具合との関連を調査していくことを想定している。

開発した異常検知プログラムは単独のソフトウェアとしての利用も可能であるが、データ収集システムと連携して使う場合、データサーバ上またはネットワーク上の他のシングルボードコンピュータ等で動作させる。

本異常検知プログラムは、生産現場での利便性を考慮して作成しており、データサーバから出力されたデータファイルを受け取るための受信用フォルダを設定することで実装できる。

3.1 学習データの蓄積と機械学習の流れ

本異常検知プログラムに用いられる学習データは、データサーバから送信されたワーク毎の計測データファイルが、異常検知プログラムで設定したデータ受信用フォルダに書き込まれるイベントによって、学習データフォルダに蓄積される。

機械学習の計算は、学習データを十分に蓄積した後、任意のタイミングでGUI上の学習計算ボタンを押すことで実行する。

図2は実行時のGUIの一例（本例の計測項目「特徴量」は11項目）であり、左側に特徴量の相関行列、右側に学習データのマハラノビス距離の2乗値のヒストグラムを表示する。ヒストグラムにはカイ2乗分布を破線で表示する。これにより学習データの目視確認ができる。

加えて学習計算の実行時には、特徴量間の相関プロット（対角成分はヒストグラム、非対角成分は2特徴量間の相関図）、ならびに各学習データのマハラノビス距離のグラフ）の画像ファイルを生成する機能を設けた。それぞれの一例を図3、図4に示す。前者では、特徴量の度数分布の単峰性や特徴量間の相関による学習データの

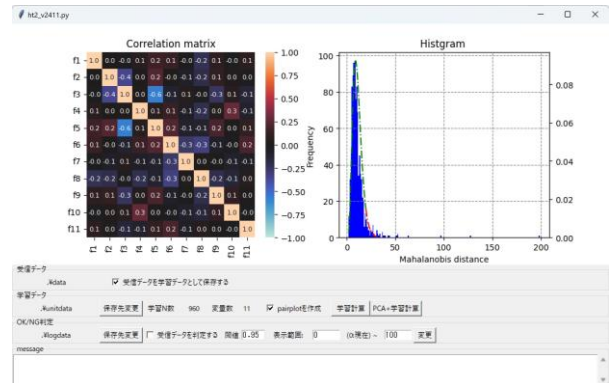


図2 学習実行時のGUIの一例

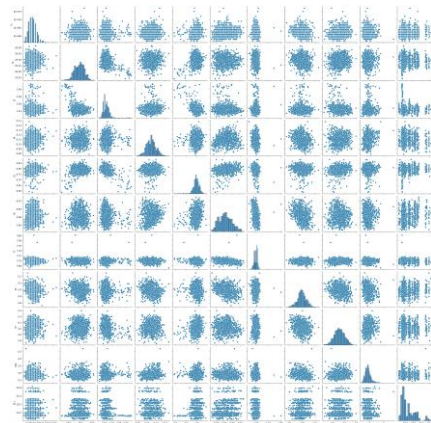
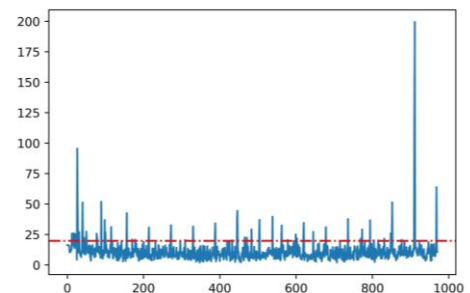


図3 特徴量の相関プロットの一例



（縦軸：マハラノビス距離の2乗値、横軸：ワーク番号）

図4 学習データのマハラノビス距離のグラフの一例

適切性の目視確認、後者では、外れ値などの目視確認を行う。

3.2 異常検知の流れ

学習計算後においては、データ受信用フォルダに書き込まれた計測データは、学習データに基づいた異常度の判定が行われる。

異常検知の閾値は、マハラノビス距離の2乗値の分布が特徴量数を自由度とするカイ2乗分布に従うことを利用する。例えば、正常データのうち99.7%を正常と判定するには、確率密度関数の下側累積確率を0.997と設定する。設定値はGUIから適宜変更できるが、実用的な

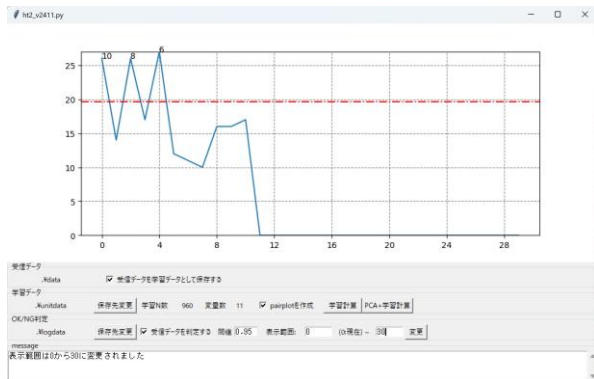


図5 異常検知時の GUI の一例

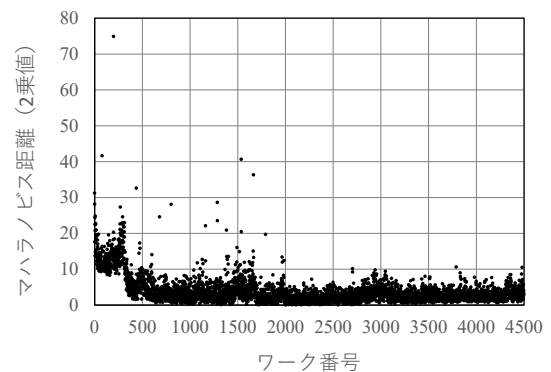


図7 測定データのマハラノビス距離 (2乗値)

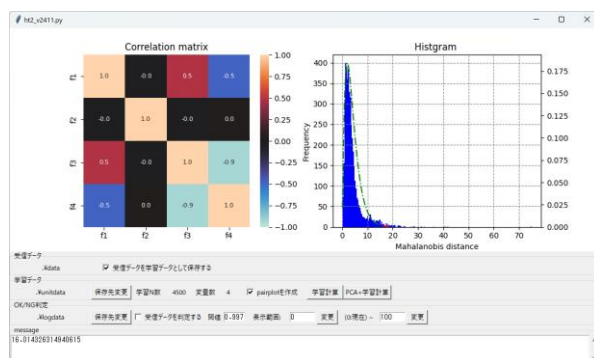


図6 計測データによる機械学習の実行画面

閾値の設定については、運用上、その都度検討する必要がある。

図5に異常検知時のGUIの一例を示す。横軸はワーク数、縦軸にマハラノビス距離の2乗値がプロットされる。また、破線で閾値ラインが表示され、異常検知された場合は、ワーク番号がグラフ上に表示される(図5では、ワーク番号10, 8, 6が異常として判定されている)。また、ログデータとして、ワーク番号、異常判定結果、マハラノビス距離、閾値、実行時刻が記されたファイルが保存される。

4 計測実験

プレス生産時の機上計測で得られたデータを用い、機械学習を行った。解析に用いたデータ数は約4500点であり、計測項目は blanks材の厚さ、中間工程品の直径、中間工程品の全長、完成品の所定位置厚さの4項目である。金型温度は本解析には適さないと判断し除外した。

なお、データ収集システムで収集した計測データにおいて、電磁ノイズやネットワーク負荷等によると考えられる欠損が認められたため、これらデータについては除外して解析を行った。

4.1 計測データの機械学習

計測データによる機械学習の実行画面を図6に、学習データのマハラノビス距離(2乗値)を図7に示す。

マハラノビス距離は、サンプル番号の小さいプレス加工の初期段階においては大きく、サンプル番号が増えるに従い減少する傾向となり、生産開始期に計測寸法が不安定であることがわかる。なお、本学習データから異常判定する場合、特徴量数が4であるため、自由度4のカイ2乗分布を利用することとなる。

5 課題と今後の展望

トランスファープレスの中間工程品の各種寸法を機上計測するデータ収集システムを開発し、中間工程品の寸法異常検知プログラムを開発した。

プレス生産時の計測実験を行い、収集した学習データによる異常検知プログラムの動作を確認した。

今後は、データ収集システムのデータ欠損などの対策とともに、完成品の成形異常や表面性状異常の発生時の計測データに基づいた本異常検知プログラムの実用検証を行いたい。

【参考文献】

- (独) 情報処理推進機構, DX 動向 2024
<https://www.ipa.go.jp/digital/chousa/dx-trend/dx-trend-2024.html> (参照 2025/2/1)
- 西嶋ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp79-80, 2023
- 西嶋ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.5, pp99-101, 2024