

波形解析による生産プロセスの状態監視技術の研究

河田 直樹*, 及川 昌志**

* 埼玉工業大学工学部機械工学科

** 埼玉工業大学先端科学研究所

kawada@sit.ac.jp*

Study on Condition Monitoring Technology of Production Manufacturing Process for Waveform Analysis

Naoki KAWADA* and Masashi OIKAWA**

* Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Saitama Institute of Technology

** Advanced Science Research Laboratory, Saitama Institute of Technology

Abstract

In product manufacturing process, there are various technologies for quality control methods. One of the methods for quality control is a monitoring system to manage and maintain the product manufacturing process. However, monitoring of the product manufacturing process for the maintenance and management of product quality requires monitoring of the entire process, including before and after process, not just during process. Therefore, the management of the manufacturing quality needs the condition monitoring in the above method. The condition monitoring technology of this study is based on waveform analysis of data in various manufacturing, and is used for turning, joining, injection molding, etc. The results of this study will be useful for DX (Digital Transformation) at the manufacturing site. In this paper, we first give an overview of the condition monitoring technology in each manufacturing process, and then describe the condition monitoring technology based on waveform analysis for general-purpose production processes that can be considered from the common points.

Key Words: Condition monitoring, Waveform analysis, Failure detection, Production manufacturing processes, DX

1. はじめに

日本国内においては少子高齢化の問題、世界全体ではコロナ禍の影響によるリモートワークの推進によって、生産現場の人手不足の問題が大きくなり、省人化・無人化が急がれ、近年注目されているDX（デジタルトランスフォーメーション）がものづくりの現場で推進されて

きている¹⁾。ものづくり現場における生産や品質管理の方法には様々な技術が存在し、その手法の一つに、生産システムを維持管理するための状態監視システムがある。

しかし、製品品質の維持管理のための状態監視は、加工中に限らず、加工の前後を含む全プロセスの監視が必要である。

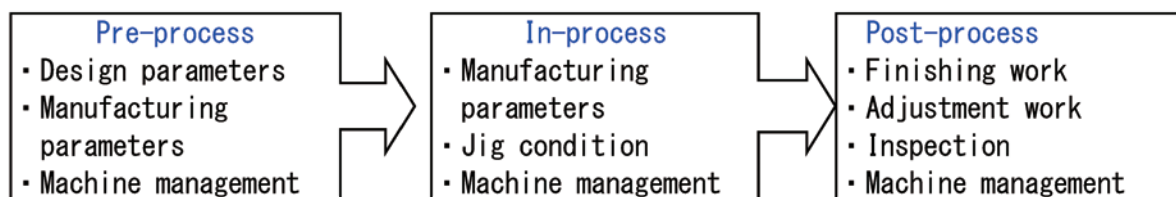


Fig. 1 生産プロセスの概要と主要監視項目

本研究のテーマである状態監視技術は、様々な製造で得られる加工中の種々のデータを時間的または空間的波形データとして波形解析することを根幹とし、切削加工、接合、成形加工等に有効活用できるので、前述した DX の一端を担うことができると考える。

本報では、その概要を述べ、切削加工と成形加工を例に生産プロセスの状態監視技術の適用状況について述べる。

2. 生産プロセスの状態監視システム

ものづくりにおける様々な加工形態を一般的な形で捉えるための考え方として Fig. 1 に生産プロセスの概要を示す。

まず、主たる加工プロセスを In-process と位置づけ、前後の関連性の強いプロセスを Pre-process, Post-process と位置づけ、その上で各プロセスにおける品質に影響する事項を監視する。その考え方とシステム構築の要点について、以下に述べる。

2.1 状態監視の考え方

生産プロセスの状態監視は、Fig. 1 に示すプロセスの流れに対して、各プロセスの状態の変化を相互に監視する。

この流れの中で日常的に起こる問題の一つが加工設備のチョコ停である。チョコ停とは、生産設備のトラブルにより一時的に設備や製造が停止する現象をいい、加工機や搬送機、センサなどの設備不良で発生する原因もあれば、原材料の欠陥で発生する原因もある。

チョコ停の特徴は以下の通りである。

- ・トラブルから復帰までの時間は数分程度
- ・トラブルは部品交換や修理が不要なレベル
- ・1日に数回の頻度で発生する

このように、時間は短い現象であるが、1日

に数回発生するとなると、交通渋滞の発生と同様に後工程の遅れが蓄積していくことになるので生産への影響は無視できない。

このため、チョコ停の前兆をつかみ、できるだけ早期に対応することで、その発生を防ぐことが必要となる。

以上より、生産設備の点検のタイミングは一定周期（日、週、月、半年、1年など）で実施する他に、設備の稼働状況を常時監視することが必要と考える。

さらに ICT, IoT の発展によって、生産設備の状態監視は遠隔地から可能になり、近年はクラウドコンピューティングや AI の進化によって、ビッグデータの処理も容易になっているので、実現性は極めて高くなっている。

2.2 状態監視システム構築の要点

前記のように、状態監視システムを構築するための要素は揃っているため、生産プロセスの初期段階において、加工条件を最適化し、良品条件を初期条件として常時監視するしくみを整えれば、システム構築は容易になる。

具体的には、生産設備に対してセンサを複数設置し、センサから得られた情報をネットワークで収集し、データを処理して変化や異常を検知し、その対応を行えるしくみを構築することで実現できると考える。

3. 特徴量の抽出と判別・判定の技術

状態監視で変化や異常を検知するためのコア技術として、特徴量抽出のための波形解析技術と、判別・判定のためのパターン認識技術がある。一連の流れを以下に説明する。

まず、常時監視のために Fig. 2 のようにセンサからの情報を波形データにする。多くの情報は時刻歴データであるが、静止画像のように、

空間内に分布するデータもある。いずれのデータも波形として扱えるので、Fig. 3 に代表される波形解析技術を活用できる。

波形解析技術は、短時間で変化が生ずる事象と、長時間で変化が生ずる事象があるため、どちらにも柔軟に対応できる手法を構築している。具体的には、移動平均、区間二乗和、そして、変化量・存在量などが含まれる。

移動平均と区間二乗和は、一定時間のデータを抽出し、平均や二乗和をもとめ、その値によって変化を捉えた値である。移動平均に関連した特定周波数の抽出による方法もある。

変化量・存在量は、波形として示されるデータの時間に対する分布の仕方を平均値と標準偏差を利用して表現する方法である²⁾。

Fig. 3 の例では、平均値を波形の振れ幅の中心として、正負の方向に標準偏差の 1.5 倍、3.0 倍を加算した値に時間軸と平行に線を引き、これを標本線として、波形を特徴化する。

変化量は、それぞれの標本線と波形が交差した回数とし、存在量は、それぞれの標本線から見て、上方にあるデータの数としている。これらの特徴量を組み合わせて、波形の動きをパターン化し、変化や異常を明らかにする。

判定や判断は、上記特徴量を使ってパターン認識技術や AI で行うが、本報では MT システムの適用について述べる。

Fig. 4 に MT システムの概要を示す。MT システムは、例えばお手本となるデータ群（例えば良品データ）を基本単位として学習させ、そのデータ群の仲間であるかどうかをマハラノビスの距離（MD）で表現する手法である。予め学習させたデータと同じ性質か近い性質のデータであれば、MD 全体の平均値が 1 に近づき、別の性質または遠い性質のデータであれば大きな値を示す。これで学習したデータと同じ状態であるかどうかを判別する。

4. 各生産プロセスへの適用状況

本研究の例として、突っ切り加工とプラスチック射出成形への適用状況について述べる。

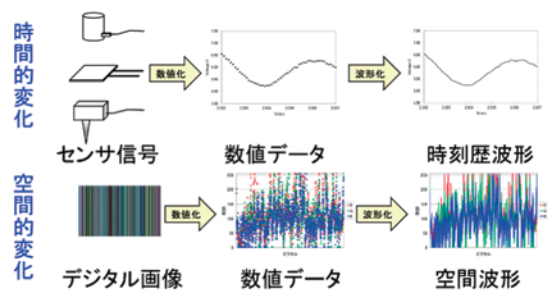


Fig. 2 様々な状態量の波形

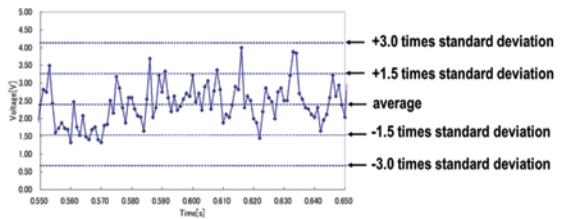


Fig. 3 波形解析技術 (存在量・変化量)

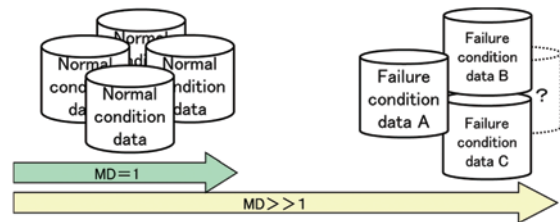


Fig. 4 MT システムによる異常検知・変化検知

4.1 突っ切り加工への適用

突っ切り加工では、加工中の負荷によって工具の劣化が生じ、破損による工具の交換作業を伴う。このため、工具交換時間がネックとなる場合があり、これを早期に発見し、工具交換時期を予測することでより適切な工程管理が可能となる。

この事例では、工具を取り付けた刃物台の制御軸の電流を監視することで、間接的に加工負荷を波形データとしている。

Fig. 5 に、状態監視システム構築のための実験概要を示す。対象とする機械を図示していない



Fig. 5 突っ切り加工における実験概要

いが、この例では中村留精密工業(株)製ターレット型複合加工機 TW-10 で突っ切りバイト(イ斯卡ル製チップ DGN 2202J IC808) を用い、みがき棒鋼 SS400-D (直径 14.0 mm, 長さ 2,200 mm (加工前寸法)) の突っ切り加工を対象とした。主軸回転数 2,000 rpm, 送り速度 0.03 mm/rev の加工条件で、1本の突っ切りバイトで、94個目の加工で刃物が破損するまで加工を繰り返し、測定データから特徴量を把握して工具破損の予測を検討した。

この実験で得られた刃物台の制御軸の電流波形から 5~40 Hz の周波数成分を抽出した結果(加工負荷相当信号)を Fig. 6 に示す。なお、電流センサはマルチ計測器(株)製 CTF-10 を用いた。図中の波形は、70個目と80個目の加工中の状態を示しており、80個目の後半部分で著大な加工負荷相当信号が表れている。これを波形特徴量として捉え、94個目の加工の前に工具交換すれば、品質と生産速度の維持が期待できる。

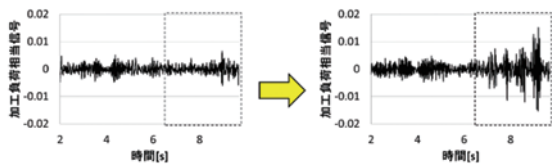


Fig. 6 突っ切り加工の状態監視状況

4.2 射出成形への適用

最近の射出成形機には、成形条件を確認するためのモニタリング機能が付いているので、これを有効に活用する検討を行った。

Fig. 7 に成形機から取得できるデータの例を、

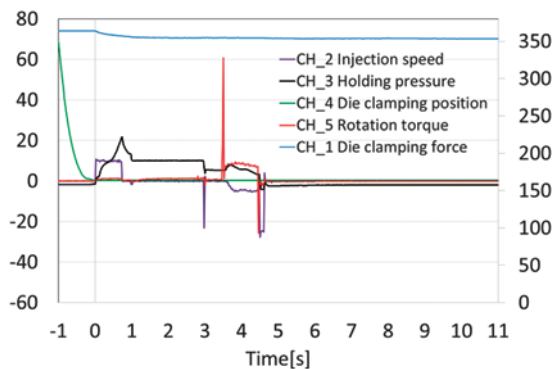
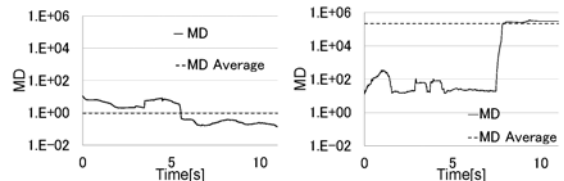


Fig. 7 成形機から取得したデータの例

Fig. 8(a) に正常時(良品条件)の MD を、Fig. 8(b) に異常時(不良品・ヒケ発生)の MD を示す。

MT システムには良品条件を学習させたので、Fig. 8(a) では MD の平均値が 1, Fig. 9(b) では MD の平均値が 1×10^5 以上を示し、低いところでも 1×10^2 を示しているの、明確な差が得られていることが確認できる。



(a) 正常(良品)条件 (b) 異常(不良品)条件

Fig. 8 波形解析と MT 法による判定方法

5. まとめ

状態監視技術を様々な加工法に適用し、それぞれの目的に合わせたシステムを構築し、実際の生産現場の改善や最適化を実施することができた。最も効果的に作用したのはセンサと波形解析によって実現した常時監視であり、チョコ停の撲滅に貢献している。

また、本報では割愛したが、接合への活用例として全プロセスの状態監視による歩留まりの向上や不良の抑制も実現している³⁾。

今後も幅広い分野への適用を目指し、できるだけ全プロセスの監視が可能なシステムの構築を進めたい。

参考文献

- 1) 西岡靖之：“つながるものづくり”による未来の製造業, 日本機械学会誌, Vol.124, No.1226, 16-19 (2021)
- 2) 手島昌一, 奥野 拓, 青野文朗, 佐藤功一, 久保洋：マハラノビス距離を適用した切削異常監視に関する研究, 精密工学会誌, Vol.65, No.9, 1325-1329 (1999)
- 3) 河田直樹, 及川昌志, 大塚陽介, 岩木俊一, 江口文夫：ステンレス鋼板のレーザ溶接システムに関する状態監視システムの開発, 精密工学会誌, Vol.75, No.5, 629-633 (2009)