

# CNC 加工における刃物単位での 切削抵抗計測システムの提案と実装

片桐 光貴<sup>†</sup> 河村 拓真<sup>‡</sup> 吉田 拓巨<sup>‡</sup> 島 孔介<sup>†</sup> 大塚 孝信<sup>‡</sup>  
名古屋工業大学<sup>†</sup> 名古屋工業大学大学院 情報工学専攻<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

日本の製造業においては、中小企業が企業数で 99.5%, 従業者数で 65.4% を占めており [1], 日本のものづくりを支えている。しかしながら, 4 割以上の中小企業は, 人材育成が進まないことや人手不足といった人的な課題を抱えている [2]。したがって, 製造現場において作業者の支援を行い, 生産効率を向上させるデジタル技術を活用したシステムが必要とされている。

また, 製造業の中で重要な工程の一つである切削加工では, CNC 加工機における刃物管理において切削負荷が考慮されておらず, 熟練者に依存しており, 生産にばらつきが生じてしまうという問題がある。このため, 刃物管理における定量的な指標が必要とされている。

以上のことから, 本研究では CNC 加工機の主軸モータ電流及び LPWA 通信を用いた刃物単位での切削抵抗を計測するシステムを構築する。

## 2 関連研究

加工負荷電流の波形解析に基づく突っ切り加工用工具の状態監視システムに関する研究 [3] では, 加工機刃物台制御軸にクランプ式の電流センサを設置し, 得られたデータに対して周波数解析を行っている。また, 解析結果から工具破損の予兆を検知している。しかし, このシステムが対象とするのは突っ切り用工具のみであるため, 複数の加工工具を使用する切削加工には適用することができない。

## 3 提案手法

### システムの概要

本研究の切削抵抗計測システムの概要を図 1 に示す。本システムでは, まずセンサデバイスのクランプ式電流センサを用いて, 100ms のサンプリング間隔で CNC 加工機主軸モータの電流の実効値を計測する。

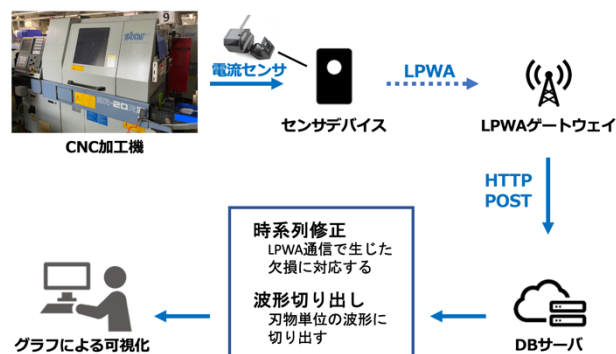


図 1 切削抵抗計測システム

切削抵抗の計測に主軸モータの電流を用いるのは, 主軸モータの電流と切削トルクの間に関係があるためである [4]。また, 計測値が 0 から 1 の間の小数を取るように電流センサを調整する。ただし, 1.0 を超える計測値は 0.999 として扱う。センサデバイスにおいては, 計測値をキューに格納する。10 個の計測値がキューに格納された場合にそれらをまとめて無線通信の一種である LPWA 通信によりゲートウェイに送信する。LPWA 通信で用いるゲートウェイは複数のセンサデバイスからのデータを受信することができるため, 工場に存在する加工機の数に合わせてセンサデバイスを増やすだけで対応することができ, スケーラビリティに優れている。通信量削減のため, センサデバイスが送信するパケットに含める計測値は小数第一位から第三位の 3 桁とし, 先頭にパケットの送信順序を示すシーケンス番号を付与する。ただし, シーケンス番号は 0 から 99 の値を繰り返し取る 2 桁の値であり, 1 つのパケットを送信する度にインクリメントする。ゲートウェイが受信したパケットはデータベースに格納される。最後に, 収集された計測値の推移位がグラフで可視化される。ここでデータベースから取り出したデータに本研究で提案する時系列修正手法と波形切り出し手法を適用する。

### 計測データの時系列修正アルゴリズム

本システムのセンサデバイスが送信するパケットには, 計測時刻を含めていない。これは,

Proposal and Implementation of Cutting Resistance Measuring System for each cutter in CNC Machining

<sup>†</sup>Nagoya Institute of Technology

<sup>‡</sup>Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

計測が 100ms という一定間隔で行われており、基準となるパケットの計測時刻とそこからのパケット数により計測時刻を求めることができるためである。しかし、本システムでは LPWA 通信の失敗によりセンサデバイスが送信したパケットがゲートウェイに受信されず、欠損することがある。この場合、基準のパケットからのパケット数が少なくなってしまう、求めた計測時刻が実際の計測時刻よりも早い時刻となってしまう。この欠損に対応するため、データベース内のパケットのシーケンス番号の前後関係から欠損したパケットを検知するようにした。以降で示す計測データについては、本アルゴリズムを適用している。

### 刃物単位の波形への切り出しアルゴリズム

本研究では、複数の刃物を使用した切削加工に対応するため、収集した波形を刃物単位の波形へ切り出す。このアルゴリズムでは、刃物の切り替わり前後で主軸の回転数が変化する際に主軸モータにかかる瞬間的な負荷を利用している。切り出しは以下の手順により行う。

1. 400ms 間の計測値を抽出する
2. 抽出した計測値の間の変化量の合計を求める
3. 変化量の合計が閾値を超えた場合に刃物の切り替わりと判定し、切り出す

## 4 評価実験

### 切削加工現場への導入

本研究では、中規模企業の切削加工現場において提案システムを用いた計測実験を行った。センサデバイスを取り付けた CNC 加工機では 5 つの刃物を用いて、同一の製品を繰り返し製造している。2021 年 9 月 15 日 9:38 から 9:46 に計測されたデータを図 2 に示す。図 2 において、9:39:00 から 9:40:40、9:40:40 から 9:42:20、9:43:20 から 9:45:00 という 3 つの 1 分 40 秒区間で同様の波形が繰り返されている様子が確認された。また、各区間において刃物切り替わりを示す 1.0 付近の大きな計測値が定期的に現れて

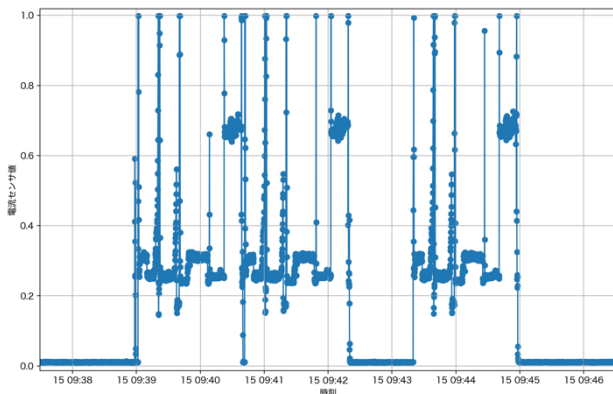


図 2 2021/9/15 9:38 - 9:46 の計測データ

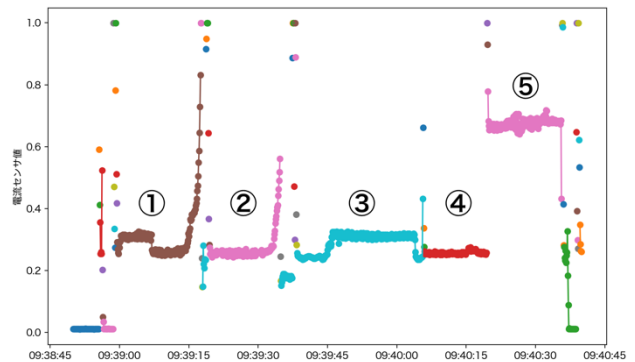


図 3 切り出しアルゴリズムの適用結果

いる。これは、繰り返し同じ製品を製造しており、各サイクルにおいて 5 つの刃物を切り替えている状況に一致しているため、適切に切削抵抗を取得できたと考える。

### 切り出しアルゴリズムの適用

計測実験により得られたデータの内、2021 年 9 月 15 日 9:40:40 から 9:42:20 の計測データに対して、刃物単位の波形への切り出しアルゴリズムを適用した。結果を図 3 に示す。切り出し後の波形は、図中の番号で示すように 5 つの波形に分かれている。これは、実際に計測対象の加工機で使用している刃物数と一致している。図 3 において刃物の切り替え部分の計測値が点として表示されているが、一定の長さ以上の波形のみを取り出すことでこれらは取り除くことができる。

## 5 おわりに

本研究では、切削加工における定量的な指標に基づいた刃物管理の実現を目的として CNC 加工機の主軸モータ電流と LPWA 通信を用いた切削抵抗計測システムを提案し、実装した。また、評価実験では、実際の加工現場においてデータの計測を行い、波形切り出しを行うことで刃物単位の切削抵抗を取得できることを示した。

今後は、クラスタリングを用いて切り出した波形と使用している刃物の対応関係を求め、特定の刃物の波形が加工回数に伴ってどのように変化を分析することで刃物の摩耗による工具状態の変化を検知することを目指す。

### 参考文献

- [1] 中小企業庁, 2021 年版中小企業白書
- [2] 労働政策研究・研修機構, デジタル技術の進展に対応したものづくり人材の確保・育成に関する調査結果
- [3] 鎌木哲志, 河田直樹, 野村秀則, 久米原宏之: 「加工負荷電流の波形解析による突っ切り加工用工具の状態監視システムに関する研究」産業応用工学会全国大会講演論文集 Vol. 2019 pp. 19-20 (2019)
- [4] 茨木創一, 坂平昌浩, 新家秀規, 松原厚, 垣野義昭: 「エンドミル加工における切削抵抗の推定法」精密工学会誌論文集 Vol. 70 No. 8 pp. 1091-1095 (2004)