生産管理業務のデジタル化に関する研究開発（第１報）

－主軸モータの回転パターンを利用した工具番号の特定－

横山哲也*、加賀忠士*

Development on digitization of production control operations（Ⅰ）
- Tool identification using spindle motor idling pattern -

YOKOYAMA Tetsuya* and KAGA Tadashi*

IoT 技術の発達によって生産管理のデジタル化が容易となり、生産性向上の期待が高まりつつある。本研究では工作機械の主軸モータの電流計測により加工内容を特定し、生産管理業務の自動化を目指す。具体的には、主軸モータを特定パターンで回転させ、モータ電流から加工内容を判別する。今年度は工場の実加工環境において、主軸モータに回転パターンを追加して電流を計測し、そのデータを解析することで使用中の工具番号を求めた。本結果より、工具番号と加工工程を紐づけることで、加工内容の特定につながる可能性を得た。

1　はじめに

IoT 技術の発達により、通信機能を有していない古い工作機械の稼働状況の可視化が可能となってきた。さらに加工対象や工程等の加工内容が特定できれば、生産管理業務のデジタル化や自動化が進むと考える。

古い工作機械の加工内容を特定するには、バーコードリーダーや情報端末を用いたシステム構築が必要となり、設備投資が課題となる。後付け可能な電流センサを用いて加工内容を特定できれば、安価にシステムを構築できるが、電流センサは加工負荷しか把握できない。

我々は過去、通信機能を有していない工作機械の NC プログラムに、加工とは直接関係ないスピンドルモータの回転（情報伝達回転）を意図的に追加することで、モータ電流を経由して外部装置に情報を伝達する手法を提案した [1)]。この手法は情報伝達回転を予め決めた手順で変化させることにより、外部装置で動作するプログラムに情報を伝えることができる。

本研究では通信機能を有していない工作機械を対象に、主軸モータの回転パターン（以下、主軸回転パターン）と電流センサを用いて情報伝達を行うことで、加工内容を特定できるか検討する。具体的には、使用中の工具番号を特定することで、間接的に加工内容を求める。

2　主軸回転パターンによる工具番号の特定

ここでは使用する工具番号をモータ電流経由で外部装置に情報伝達する方法を考える。

2.1　計測構成

図 1 に計測構成を示す。電流計測には電流センサ（クランプセンサ）を用いた。主軸モータとサーボアンプ間の 3 相配線の 1 つに電流センサを取付け、その出力を電子回路経由でマイコンの AD 入力に接続した。

マイコンでは電流実効値の算出と、計測電流から周波数を測定 [1)]する。なお、周波数fを求めることで、式(1)

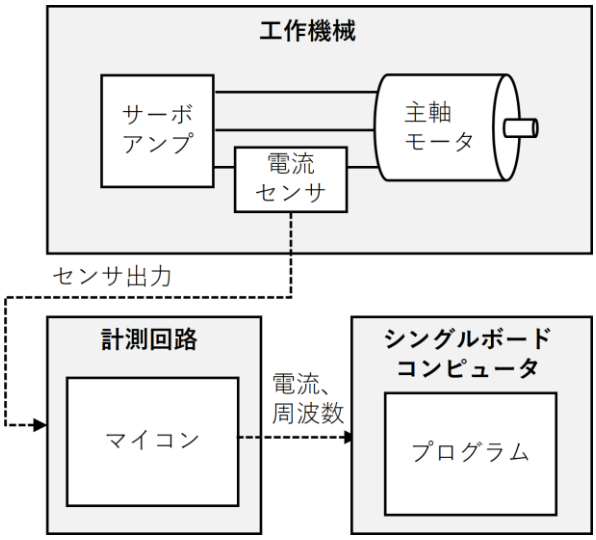

図 1　計測構成

より回転数N(rpm)を算出できる。

$$N = \frac{120f}{p} \tag{1}$$

ここでpはモータの極数である。

電流実効値と周波数は外部装置のシングルボードコンピュータに送られ、プログラムで主軸回転パターンを特定する。

2.2　主軸回転パターンによる情報伝達

NC プログラムに主軸回転パターンを追加する。以下に回転パターンの手順を示す。

1) X秒間、モータをN_1(rpm)で回転
2) X秒間、モータをN_2(rpm)で回転
3) X秒間、モータをN_3(rpm)で回転

NC プログラムのドゥエル(送りの一時停止)を使って、X秒間回転させる。なお、1)の前、3)の後は主軸モータの回転を停止する。

＊ 機械部

回転数N_1は補助用とし、回転数N_2と回転数N_3で 2 桁の数値を伝えることとする。T_{id}を工具番号（2 桁数値）とした場合、N_2とN_3は以下の計算式を用いて算出する。

$$N_2 = N_{20} + N_s f_{div}(T_{id}, 10) \quad (2a)$$

$$N_3 = N_{30} + N_s f_{mod}(T_{id}, 10) \quad (2b)$$

ここでN_sは回転数の刻み幅であり、$f_{div}(\ )$は商のみを、$f_{mod}(\ )$は余りのみを算出する。式中のN_{20}、N_{30}、N_sの値は回転数N_1、N_2、N_3が式(3)に示す 3 段階の単調増加を満たすように決定する。

$$N_3 > N_2 > N_1 \quad (3)$$

2.3　主軸回転パターンの特定方法

周波数fの時系列データから回転パターンを特定する際、回転パターンのテンプレート（雛形）を設け、時系列データの中からテンプレートに類似したデータを、相関関数などを用いて探し出すことになる。この際のテンプレートは固定時間長のデータとなる。ただし、周波数の時系列データは、モータ回転の加減速の影響やドゥエルによる停止時間が正確でないため、固定時間とはならない。そのため、固定時間長のテンプレートを用いてはマッチングすることができない。

本研究では、図 2 に示す、値が 3 段階で単調増加する時系列データをテンプレートとして採用し、測定周波数の時系列データとの類似度を計算するために、動的時間伸縮法[2)]（Dynamic Time Warped : DTW）を用いる。図 3 に DTW のイメージ図を示す。図中左側が DTW 適用前のテンプレート、右側が適用後のテンプレートになる。テンプレートを時間軸方向に伸縮することで、比較対象（周波数）の時系列データに類似した形に変形させる。このときのテンプレートの 3 つの段①②③の値は、比較対象のデータがとりうる範囲の中間値とする。

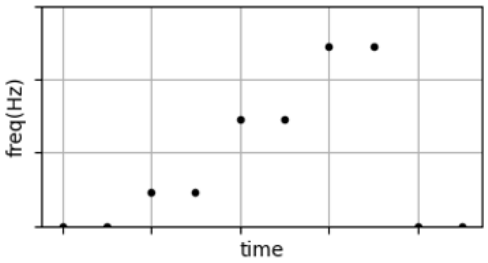

図 2　テンプレートの時系列データ

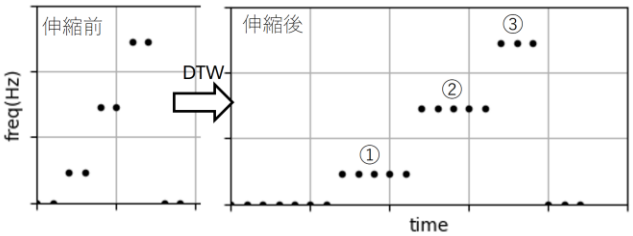

図 3　DTW による時間方向伸縮イメージ

なお、類似度は誤差距離で判断する。

誤差がある閾値を下回った際、DTW を施したテンプレートに対して 3 つの段①②③各々のデータ個数を求め、X秒に相当するデータ個数があるか確認する。既定以上の個数があれば、②③の周波数fから式(1)を用いてN_2とN_3を算出し、式(2)を用いて 2 桁数値の工具番号を求めることになる。

以上より、オンラインで、窓サイズの時間区間を一定の時間間隔でスライドしながらデータを取得・処理することで、主軸回転パターンを検知し、工具番号を取得することができる。

3　実加工環境での試行

切削加工を行っている工場で、工作機械に計測装置を取り付け、特定の加工（タップ加工）の前後に主軸回転パターンを追加した際のデータを計測した。主軸回転パターンのパラメータはN_{20} =300 、N_{30} =600 、N_{20}=30(rpm)、X=2 秒である。

図 4 にタップ加工前に追加した主軸回転パターン時の電流実効値と、計測電流から測定した周波数の時系列データを示す。図 2 に示したテンプレートを、この周波数時系列データに近づけるために、DTW を施すことになる。

図 5 にタップ加工時の時系列データのグラフを示す。図の上段が電流実効値、中段が周波数、下段が推定した工具番号になる。なお、工具番号の推定はオフライン解析で行った結果である。図中のハッチング箇所がタップ加工前後に追加された主軸回転パターンの時間帯である。図より、主軸回転パターンが発生した際に、工具番号54が認識できていることがわかる。

また、タップ加工前のN_1と加工後のN_1を、異なる回転数とすることで、加工の開始と終了を判断することもできる。

4　まとめ

本研究では通信機能を有していない工作機械を対象に、

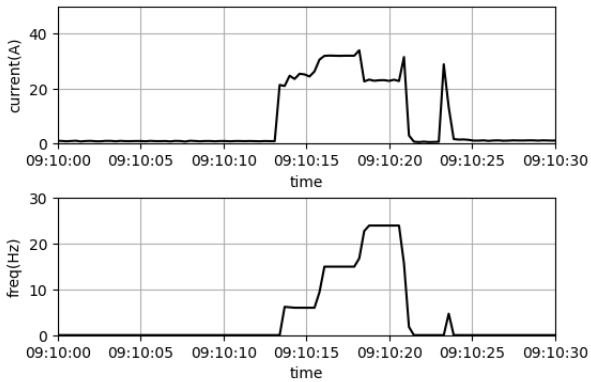

図 4　主軸回転時の計測データ
（上段：電流実効値、下段：周波数）

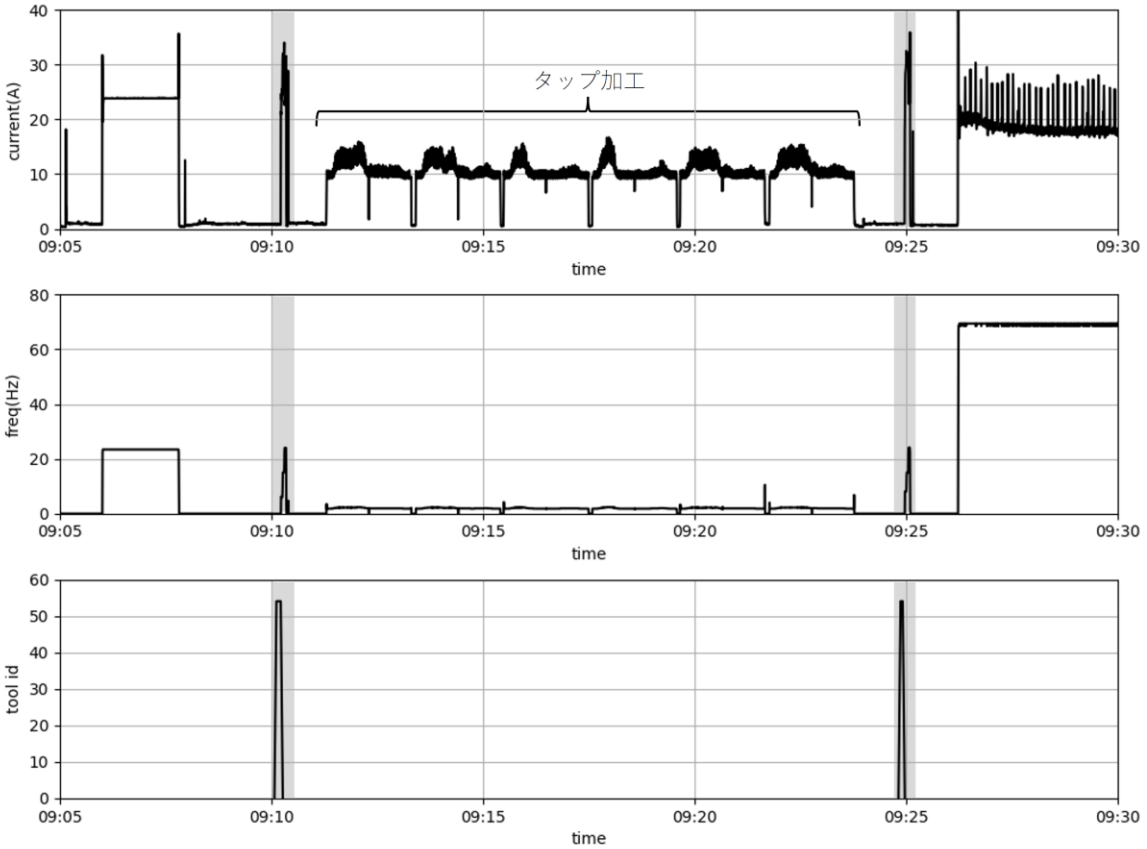

図５　計測データ（上段：電流実効値、中段：周波数、下段：工具番号）

切削加工における工作機械の主軸モータの電流を計測することで、加工内容を特定できるか検討した。具体的には、主軸モータに特定の回転パターンを追加し、計測した電流データから得られる周波数データに DTW を施すことで、回転パターンを特定することができた。さらに、回転パターンから 2 桁の数値を読み取ることができ、今回のケースでは工具番号を外部装置に情報伝達することができた。工具番号と加工工程（タップ加工、穴あけ加工、エンドミル加工など）を紐づけることで、間接的ではあるが加工内容を特定できると考える。

今後は読み取り精度の検証などを行い、改良を進め、加工の進捗管理や工具毎の負荷管理を行う予定である。

【謝　　辞】

工場でのデータ計測にご協力いただきました株式会社ナベヤ製作所の皆様に深く感謝いたします。

【参考文献】

1) 横山ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.6, pp92-95,2025
2) Sakoe, H. et.al., IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 26(1), pp.43–49,1978