

加工機モータの回転を利用した情報伝達手法の開発

横山哲也^{*}、加賀忠士^{*}、亀井誠二[†]、山口裕之[†]

Method for transmitting information using rotation of processing machine motor

YOKOYAMA Tetsuya^{*}, KAGA Tadashi^{*}, KAMEI Seiji[†] and YAMAGUCHI Hiroyuki[†]

製造業の人手不足などの解決策の一つとして、DXの導入による業務の自動化がある。切削加工の現場においても、人が関わる作業をなくす、または機械に置き換えることで業務の自動化が可能となり、省人化や生産性の向上が期待できる。本研究では切削加工の業務の自動化を目的とし、加工機のモータ回転から外部装置に情報を伝達する手法を提案する。今年度は試作したタップ加工の異常検知プログラムに提案手法を組み込み、タップ加工で試行を行った。その結果、情報を伝達できることを確認した。

1 はじめに

製造業の人手不足などの解決策の一つとして、DXの導入がある。DXの導入は3つの段階(データのデジタル化、個別プロセスのデジタル化、全体プロセスのデジタル化)に分けられ、企業の現状に応じて取り組むべき内容を選定し、推進していくことになる。

切削加工の現場においても、IoTを活用して加工データの収集やデータの可視化など、データのデジタル化に取り組んでいる。その取り組みの次の段階は、収集データを活用した業務の自動化やプロセスのデジタル化である。切削加工の現場で作業者が関わる作業をなくす、または機械に置き換えることで業務を自動化できれば、省人化や生産性向上が期待できる。このため本研究では切削加工業務の自動化に取り組んでいる。

工場には新旧の加工機が併設されており、加工機によって備わっている機能が異なる。最新機であれば通信機能やモニタリング機能が備わっており自動化に支障はないが、機能が十分でない加工機に関して自動化を進める場合は、加工機にPLCやパソコンなどの外部装置を取付け、外部装置でプログラムを実行する必要がある。その際、通信機能を備えていない加工機では、外部装置との情報のやりとりに支障が生じる。例えば、タップ加工の異常検知を行う場合、外部装置に加工の計測データを集め、プログラムで閾値判定を実行することになる。タップにかかる負荷はタップ径に応じて変化するため、閾値をタップ径毎に用意し、タップ径の変更に応じて作業者が閾値を切り替える必要がある。この切り替え作業は加工担当者に負担を強いることになり、異常検知技術の実用化における課題の一つとなっている。

そこで我々は、通信機能を有していない加工機を対象に、加工機のNCプログラムに、加工には直接関係ない

スピンドルモータの回転(以下、情報伝達回転)を意図的に追加することで、モータ電流経路で外部装置に情報を伝達する手法を提案する。具体的には情報伝達回転を予め決めたルールで変化させることで、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仕組みを構築する。これにより、通信機能を備えてない加工機を用いた切削加工業務の自動化を推し進めることができると考える。

本稿では、はじめにモータ電流からのモータ回転数の推定手法を述べ、次にモータ回転数から情報を伝達する提案手法を説明する。最後に、試作したタップ加工の異常検知プログラムに提案手法を組み込み、工場の加工業務に試行した内容を報告する。

2 モータ電流からのモータ回転数の推定

2.1 電流計測方法

加工機に搭載のスピンドルモータは交流モータであり、交流モータの回転速度はモータに流れる交流電流の周波数に依存する。本研究ではモータに流れる交流電流を計測し、計測データから周波数を推定することでモータの回転数を推定した。

図1に計測構成を示す。電流計測にはクランプセンサを用いた。スピンドルモータとサーボアンプ間の3相配線の1つにクランプセンサを取付け、クランプセンサの出力を電子回路経由でマイコンのAD入力に接続した。なお、クランプセンサは非接触センサであり後付けが容易であることから、システムを安価に構築できる。

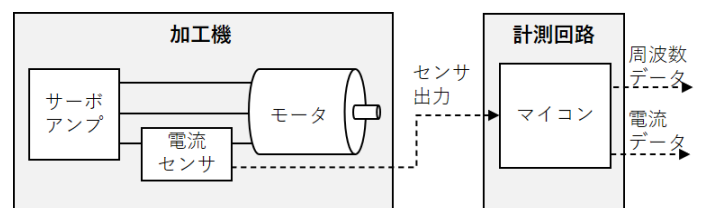


図1 計測構成

^{*} 機械部

[†] 株式会社イマオコーポレーション

2.2 モータ回転数の推定

計測した電流データからモータ回転数を推定するため、図1に示す計測回路のマイコンを用いて電流の周波数 f を算出する。

スピンドルモータに流れる交流電流をクランプセンサで計測すると、センサ出力の波形(イメージ)は図2に示すようにオフセット電圧を基準に±に振動する周期波形となる。この周期波形の周期の逆数が周波数 f である。なお、実際のモータ電流にはノイズが含まれていることから、ローパスフィルターを用いてノイズを除去した。

ノイズを除去した波形に対して、オフセット電圧を交差(負から正へ、または正から負)する回数 cnt を計測周期 T 毎にカウントする。このときの周波数 f は式(1)で算出できる。

$$f = \frac{cnt}{2T} \quad (1)$$

周波数 f からモータの回転数 $N(\text{rpm})$ は、式(2)から算出できる。

$$N = \frac{120f}{p} \quad (2)$$

ここで p はモータの極数である。

3 提案手法

3.1 モータ回転による情報伝達

切削加工機のスピンドルモータは、工具または被削材を把持し回転させるモータであり、モータ駆動にはフィードバック制御ができるサーボアンプが使用されている。NC プログラムで記述したスピンドル回転数がサー

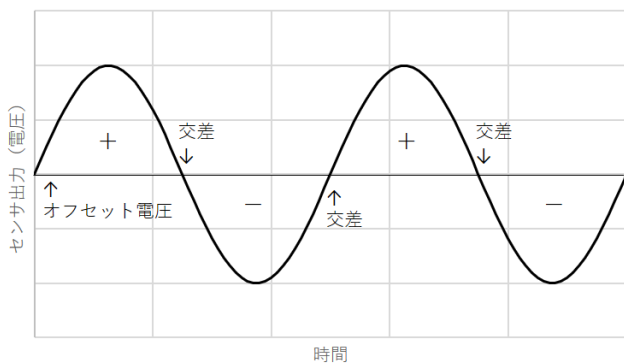


図2 電流センサの出力波形 (イメージ)

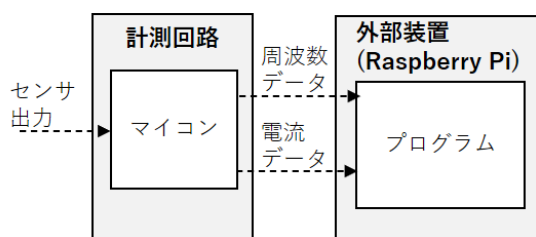


図3 計測回路と外部装置

ボアンプの指令値となり、その値に従いスピンドルモータは回転することとなる。

提案手法は、制御できるスピンドルモータの回転(アナログ)を用いて、伝えたい情報を符号(デジタル)に変換して伝える。具体的には、情報を伝達するための加工には直接関係ない情報伝達回転をサーボアンプに指令し、モータを回転させる。この情報伝達回転は、外部装置(図3)に伝達したい情報を次節に記述する方法で回転数に変換したものである。また、情報伝達回転の回転数を、電流センサの計測データから復元することで、加工機から外部装置に情報を伝達することになる。

3.2 モータ回転のパターン

回転数を受け取る外部装置では、受け取った回転数データが、情報伝達回転の回転数なのか、被削材切削時の回転数なのかわからない。外部装置が両者を区別するために、情報伝達回転の一部を予め決めたパターンで回転させることで、材料切削時の回転と区別を行う。

図4に情報伝達回転のパターンを示す。情報伝達回転の構成には前半と後半があり、前半は外部装置に対してこの回転が情報伝達回転であることを通知するためのパターンとなる。後半の回転は外部装置に伝達する情報が含まれている。

本研究では10進数2桁の数値(0~99)を外部装置に伝達することとした。以下に情報伝達回転の手順を示す。

(前半)

- a-1) T_s 秒間、モータを N_1 で回転
- a-2) T_s 秒間、モータを N_2 で回転
- a-3) T_s 秒間、モータを N_1 で回転

(後半)

- b-1) T_s 秒間、モータを N_A で回転
- b-2) T_s 秒間、モータを N_B で回転

N_1 と N_2 は互いに異なる回転数で、外部装置がこの回転数(周波数)パターンを読み取った際、情報伝達回転であることを判断する。伝えたい数値を α とした場合、 N_A と N_B は以下の計算式で求めることになる。

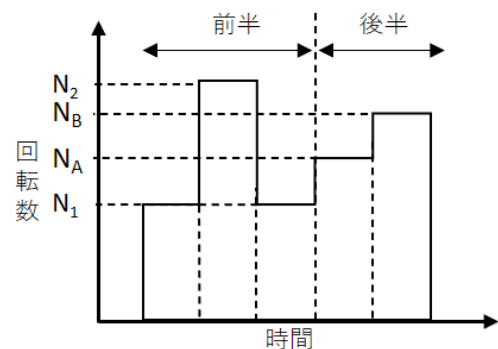


図4 情報伝達回転のパターン

$$N_A = N_0 + N_s A \quad (3a)$$

$$A = \alpha/10 \quad (3b)$$

$$N_B = N_0 + N_s B \quad (4a)$$

$$B = \alpha\%10 \quad (4b)$$

ここで N_s は回転数の刻み幅、 N_0 は A または B が 0 のときの回転数である。式(3b)の A には商のみを代入し、式(4b)の B は余りのみを代入する。

マイコンから周波数データを受け取った外部装置は、受け取ったデータの中から情報伝達回転の前半パターンが存在するか確認を行う。存在する場合は、それ以降の後半データから、式(3)(4)を用いて 2 桁の数値 α を復元することになる。

4 タップ加工での試行

試作したタップ加工の異常検知プログラムに提案手法を組み込み、実際の加工業務で情報伝達の動作確認を行った。

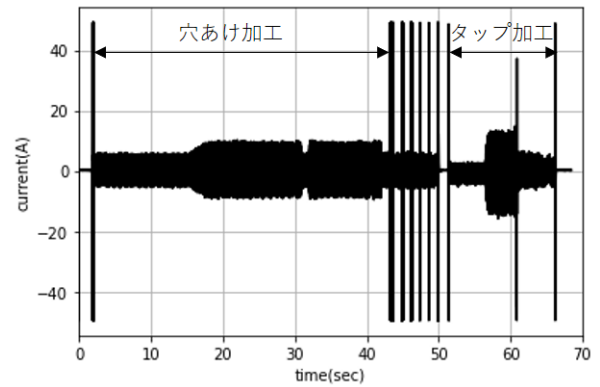
対象とするタップ加工(M12)は、ドリルで開けた下穴に対してねじ山を成形する加工であり、対象とする工具は切削タップ(スパイラルタップ)である。タップ加工を行う加工機は複合加工機で、タレットでタップを把持し、スピンドルモータで被削材をチャックし回転させて加工を行う。

異常検知プログラムが動作する外部装置(Raspberry Pi)には計測データ(電流値、周波数)が蓄積されるが、その計測データが示す加工内容(加工の種類、加工条件など)は分らない。そこで本研究では外部装置に伝達する情報 α に、タップ加工の内容を識別できる数値、タップ加工時のモータ電流の周波数 f_{tap} を与えることとした。これにより、異常検知プログラムでは、情報伝達回転で受け取った α をもとに、計測データの周波数から f_{tap} を見つけ、タップ加工の時間帯を特定する。また、 f_{tap} に紐づけられた閾値を用いることで、異常検知の閾値判定を実行する。なお、異常検知プログラムは昨年度の報告²⁾をもとに試作したプログラムであり、タップ加工時の電流の大きさの変化などを閾値判定で検知する。

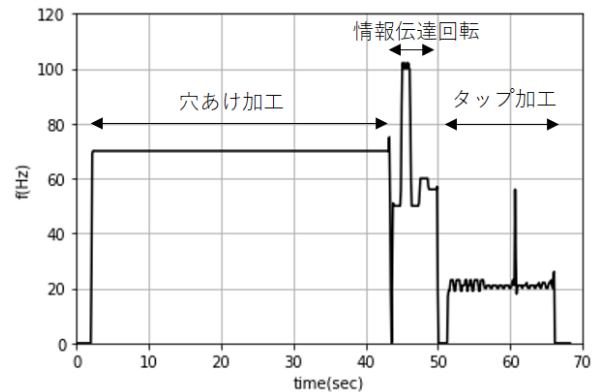
作業者は 3.2 節の処理手順に従い、情報伝達回転を実現する NC プログラムを作成した。該当タップ加工の回転数は 212rpm、スピンドルモータの極数 $p=12$ 、式(2)より伝えたい情報 α のタップ加工時周波数は $f_{tap}=21\text{Hz}$ である。このときの情報伝達回転の回転数及び回転数から

表 1 情報伝達回転時の回転数と周波数

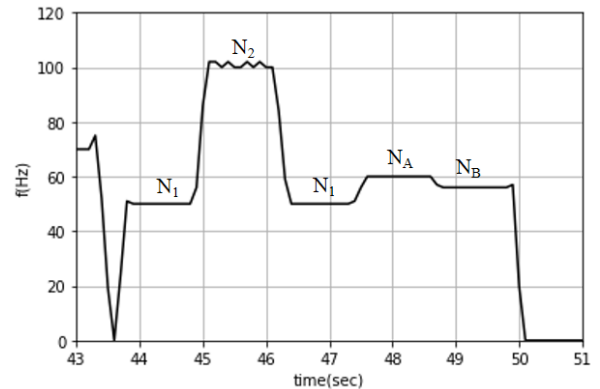
	回転数 rpm	周波数 Hz
N_1	500	50
N_2	1,000	100
N_A	600	60
N_B	550	55



(a) モータ電流



(b) モータ電流の周波数推定結果



(c) モータ電流の周波数推定結果
(情報伝達回転時の時間帯)

図 5 計測データと周波数推定結果

求まる周波数を表 1 に記す。なお、 N_A 、 N_B は $N_0=N_1$ 、 $N_s=50$ として求めた。

図 5(a)に穴あけ加工とタップ加工(M12)時のスピンドルモータの計測電流を、図 5(b)に電流データから推定した周波数結果を示す。図中の約 44 秒から 50 秒の回転が、情報伝達回転に該当し、図 5(c)にその時間帯の周波数推定結果及び該当する情報伝達回転の回転数(記号)を示す。図 5(c)より、推定した周波数は表 1 記載の周波数と概ね一致しており、推定した N_A と N_B から α を算出できることを確認した。また α をもとにタップ加工(正

転)の時間帯を特定することができ、その時間帯の電流データに対して異常検知プログラムの閾値判定が実行されることも確認できた。ただし、上記結果はタップ加工 M12 のケースであり、異なるタップ径での検証が少ないため、さらなる検証が必要である。

5 まとめ

本研究では、通信機能を有していない加工機を対象に、加工機の NC プログラムに、加工には直接関係ないスピンドルモータの回転を意図的に追加することで、モータ電流経由で外部装置に情報を伝達する手法を提案した。また、試作したタップ加工の異常検知プログラムに提案手法を組み込み、タップ加工で試行を行った。その結果、スピンドルモータの情報伝達回転から情報を読み取り、その情報に基づいて、外部装置のプログラムが動作することを確認できた。ただし、事例が少ないため、さらなる検証が必要である。

本研究では制御できる物理量(アナログ)を用いて、伝えたい情報を符号(デジタル)に変換して伝えることを目的としている。本稿では伝達した情報を2桁の数値としたが、手順を変更することで桁数の増加や文字データも伝えることが可能と考えている。そのため、今後は手順の見直しを含め、改良を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 経済産業省, DX レポート2 中間取りまとめ(概要)
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/dgs5/pdf/005_s03_00.pdf (参照 2025/3/6)
- 2) 横山ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.5, pp95-98,2024