

# IoT技術を活用した予防保全に関する研究開発(第1報)

## —工作機主軸モータの電流データによる状態監視—

横山 哲也      成瀬 哲哉      棚橋 英樹

## Development of Preventive Maintenance using IoT Technology (1<sup>st</sup> Report)

### —State Monitoring by Spindle Motor Current Data—

Tetsuya YOKOYAMA    Tetsuya NARUSE    Hideki TANAHASHI

**あらまし** 工作機械など設備機器の状態を監視することで、機器が正常に動作しているか判断ができる。また状態の時系列変化を検出することで、故障を未然に防ぐことが可能となり、予防保全での活用が期待できる。本研究では平面研削盤の状態監視を行うため、平面研削盤の主軸モータ電流を計測し、稼働状態を推定できるか検討した。本報ではその内容について報告する。

**キーワード** 予防保全, 稼働状態, 平面研削

### 1. はじめに

工作機械など設備機器の状態を監視することで、機器が正常に動作しているか判断できる。また、状態の時系列変化を検出することで、故障を未然に防ぐことができ、予防保全での活用が期待できる。

工作機械の負荷状態などを監視するにあたり、対象とする工作機械の物理量を計測する必要がある。また物理量だけでなく、工作機械の加工・停止といった稼働状態も把握することで、データに付加情報を付け足し、解析を効率的に行うことができる。しかし、物理量は連続量であり、加工・停止を表す信号ではないため、稼働状態を求めするためには、物理量に何らかの処理を施す必要がある。

状態を監視するにあたり、計測センサの利用が前提となる。工場で稼働している工作機械には、センサが内蔵されているものもあれば、そうでない古い加工機もある。そのような加工機にセンサを後付けする場合、装置の改造なしで取付けできるセンサが望まれる。

そこで本研究では平面研削盤の状態を監視するため、容易に取付けできるクランプ式電流センサを用いて、平面研削盤の主軸モータ電流から加工負荷に対応する電流を求め、稼働状態を推定できるか検討した。

### 2. 計測システムの構成

本研究で使用する計測システムはIEEE1888を参考に構築したデータ収集・蓄積システム<sup>1)</sup>である。システムは図1に示すように、センサノード、ゲートウェイ、スト

レージ、アプリケーションの要素で構成される。センサノードにはクランプ型の電流センサが接続されている。電流センサを主軸インバータの1次側ケーブルにクランプし、瞬時値を計測する。センサノードで実効値を計算し、ゲートウェイに送信する。ゲートウェイで受信したデータはEthernet通信でストレージへ送信され、ストレージに蓄積される。アプリケーションではストレージに蓄積されたデータを用いて処理を行う。本システムでは、工場内の配線を少なくするため、センサノードとゲートウェイ間の通信は無線を用いた。

本研究ではセンサで測定した瞬時値を、実効値に変換しサーバに集約する。瞬時値を変換せず、サーバに集約する方法もあるが、複数のセンサで継続的に計測する場合には、データ量が多くなりストレージ側の処理に時間がかかる。そのため、センサノードで特微量に置き換え、情報量を削減している。

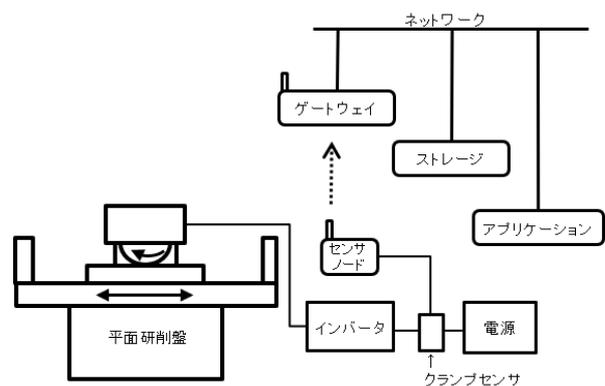


図1 計測システム

### 3. 稼動状態の推定

本研究で取り扱う稼動状態は、停止、待機、加工の3状態である。停止は主軸モータが停止している状態、待機は主軸モータが回転しているが被削材を加工していない状態、加工は主軸モータが回転して被削材を加工している状態とする。

加工時には被削材からの反力が、主軸モータに加工負荷としてかかることから、本研究では、主軸モータ電流から加工負荷にかかる電流を見つけ出すことで、稼動状態を推定する。

#### 3. 1 電流と加工負荷の関係

研削加工において、砥石と被削材の接触部に研削抵抗が働く。ここでは主軸モータに取り付けられた砥石の接線方向に働く接線研削抵抗 $F_t$ と、主軸モータに流れる電流 $I$ の関係を考える。

接線研削抵抗 $F_t$ は、式(1)で与えられる<sup>[2]</sup>。

$$F_t = K_s b t v / V \quad (1)$$

ここで、 $K_s$ は比研削抵抗、 $b$ は研削幅、 $t$ は切込み深さ、 $v$ は被削材の送り速度、 $V$ は砥石の周速度になる。

主軸モータにかかる負荷トルク $T$ は、

$$T = F_t R + T_0 \quad (2)$$

になる。ここで $R$ は砥石半径、 $T_0$ は非加工時に主軸モータを回転させるのに必要なトルクである。

主軸モータのトルク $T$ は、モータに電流 $I$ が流れることによって発生する。トルク増加分と電流増加分の関係を比例とみなした場合、非加工時の回転に要する電流 $I_0$ を基準とした電流増加分 $\Delta I (= I - I_0)$ と、接線研削抵抗 $F_t$ が働くことでモータに生じるトルク増加分との間にも比例関係がある。

$$F_t R \propto \Delta I \quad (3)$$

これより、電流 $\Delta I$ を求めることで、研削加工における加工負荷が把握できる。

図2に平面研削盤での加工時の電流を示す。平面研削盤は、砥石を取り付けた主軸が回転し、被削材が固定されたテーブルが左右に動く。砥石が被削材に接触し、被削材を削りだす際に研削抵抗が生じるため、電流値が増加する。砥石が被削材に接していないときは、主軸の回転に要する電流のみが流れる。電流波形が振動しているのは、

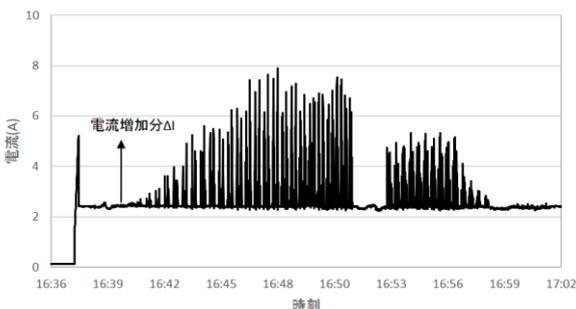


図2 研削時の電流時系列データ

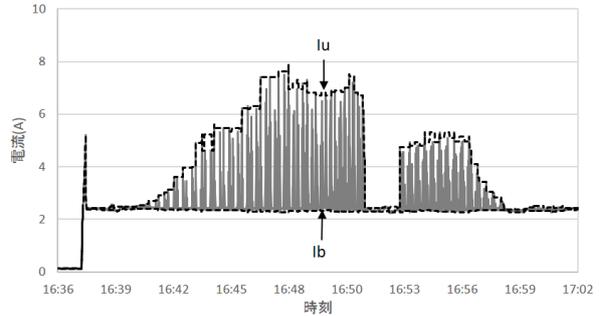


図3 時系列データの包絡線 $I_u, I_b$

砥石と被削材の接触が断続的に発生しているためである。このように、電流データから平面研削盤の負荷状態を把握することができる。

#### 3. 2 稼動状態の推定方法

本研究では、電流 $\Delta I$ の閾値判定で稼動状態を推定する。しかし、電流 $\Delta I$ は図2に示すように振動波形であることから、そのまま閾値判定を行うと稼動状態の切り替わりが多数発生する。そのためここでは、電流 $\Delta I$ の振動波形の包絡線を用いて閾値判定を行う。ここで用いる包絡線は、振動波形の頂点を覆う上側包絡線 $I_u$ と下側包絡線 $I_d$ である(図3)。

上側包絡線 $I_u$ を構成する時刻 $t$ の値は、時刻 $t$ の直前の計測データの最大値と、時刻 $t$ の直後の計測データの最大値のどちらか小さい値とする。下側包絡線 $I_b$ を構成する時刻 $t$ の値は、時刻 $t$ の直前の計測データの最小値と、時刻 $t$ の直後の計測データの最小値のどちらか大きい値とする。このときの計測データの窓サイズは $ws_{size}/2(sec)$ である。これより電流増加分 $\Delta I$ を、次式で近似する。

$$\Delta I = I_u - I_b \quad (4)$$

包絡線を用いた稼動状態の推定方法は以下のとおりである。ここでの $I_{th1}, I_{th2}$ は閾値である。

- 1)  $I_b < I_{th1}$  であれば、停止
- 2) 1)以外で、 $\Delta I > I_{th2}$  であれば、加工
- 3) 上記以外であれば、待機

上記の推定方法のうち1)は、モータが停止状態であれば、センサで計測する電流はインバータ本体が消費する電流だけであることを指す。

### 4. 推定結果と考察

工作機械の稼動状態を撮影して加工の有無を調べ、推定結果と比較した。撮影中における、加工機での作業の流れは以下のとおりである。

- ① ゼロ点を出すため、被削材に砥石を当てる
- ② ドレス
- ③ 1回目の加工
- ④ ドレス
- ⑤ 2回目の加工

なお撮影動画からの加工有無の判定基準は、研削液の供

給ありなしとした。

結果を表1, 2に示す。表1は撮影動画から判定した加工時の時間帯であり、表中の空白行は研削液の供給のない加工していない時間帯を指す。また、表1の時刻は10秒単位である。表2は3.2節の手順に従い推定した結果であり、表中の終了時間は、次の状態の開始時間に合わせてある。このときのパラメータは  $I_{th1}=1.0(A)$ ,  $I_{th2}=0.5(A)$ ,  $wsz=60(sec)$  であり、時系列データを観察して決定した。

表1 撮影動画から判定した稼働状態

状態, 作業	開始時間	終了時間
①②		
加工 ③	16:39:40	16:52:00
④		
加工 ⑤	16:53:20	16:58:50

表2 推定した稼働状態

状態, 作業	開始時間	終了時間
停止	16:34:46	16:37:41
待機	16:37:41	16:37:46
加工 ①	16:37:46	16:37:53
待機 ②	16:37:53	16:41:30
加工 ③	16:41:30	16:51:47
待機 ④	16:51:47	16:53:33
加工 ⑤	16:53:33	16:58:15
待機	16:58:15	17:06:22

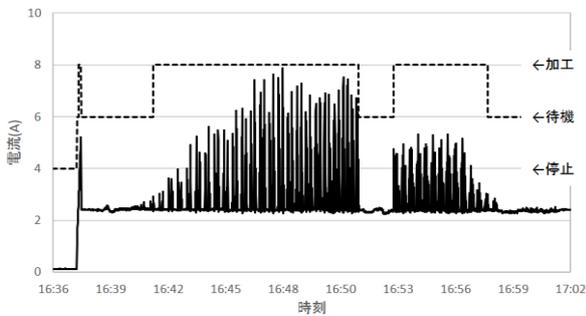


図4 時系列データと稼働状態

図4は、電流の時系列データと稼働状態をグラフで表した。

表2の推定結果を見ると、作業の流れに応じて稼働状態が切り替わっていることが分かる。ただし、推定結果の加工③の開始時間は、撮影結果の時間に対して遅れている。これは、被削材の取り代にばらつきがあり、砥石が被削材に部分的にしか接触せず、その結果モータに流れる電流が小さく、 $\Delta I$ が閾値 $I_{th2}$ を越すのに時間を要したと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、容易に取付けができるクランプ式電流センサを用いて、平面研削盤の主軸モータ電流を計測し、加工負荷に応じた電流をもとに生成した包絡線を用いて、平面研削盤の稼働状態、停止・待機・加工の3状態を推定した。推定結果を実加工と照らし合わせたところ、作業の流れに応じて稼働状態が切り替わっていることが分かった。

今後は稼働状態の情報を活用して、予防保全に関する研究開発を行う予定である。

## 文献

- [1] 横山哲也, 窪田直樹, ”設備機器のデータ収集・蓄積システムの開発”, 岐阜県情報技術研究所研究報告 第17号, pp.58-59, 2016.
- [2] 奥山繁樹, ”若手研究者のための研削工学 (第五回) 研削抵抗とその変化”, 砥粒加工学会誌, Vol.59, No.6, pp.355-358, 2016.