

経常研究

研削加工における加工機の電力変化による加工負荷の観察

山下 健介* 小池 宏侑* 曾田 将来*

Observation of Machining Load by Electric Power of the Machine in Grinding
YAMASHITA Kensuke, KOIKE Hiroyuki and SOTA Masaki

研削加工において目立てのタイミングや加工条件は作業者の熟練度によるところが大きく、技能レス化や不良品低減のため、比較的安価な電力計（電流計）を用いた研削加工状態の見える化が求められている。本研究では、加工機の電力（電流）変化と加工負荷の関係を明らかにし、不安定加工における電力（電流）への影響を検討することにより、不安定加工状態の推定を行った。その結果、加工時の主軸電流を測定することにより、接線抵抗の推定が可能であること、研削焼けと目づまり割合の推定が可能であることが分かった。また、高い周波数を有するびびりは、主軸電流から検知が難しい事が分かった。

Key words: 平面研削, 電流, 加工負荷, 目づまり, びびり

1 はじめに

研削加工では加工中に切りくずなどが砥石表面に凝着・堆積し切れ味が低下する目づまりや砥粒先端が摩滅する目つぶれなどが起こる。そのため砥石の表面を削り、切れ味を復活させる目立て作業を行う必要がある。

目立てのタイミングや加工条件が不適切な場合、加工時に砥石の目づまりやびびりなどが生じて加工負荷が増加又は変動する。これにより研削面の形状精度や粗さの低下、研削焼けなどが起こり、製品不良に繋がる。一方で、目立てのタイミングや加工条件の設定は作業者の熟練度によるところが大きく、熟練度によるばらつきが発生や判断が定量的ではないことから OJT における技術伝承の課題になっている。そのため技能レス化や不良品低減のため研削加工状態の見える化が求められている。なお加工状態は動力計を用いれば一定の水準で推定可能だが¹⁾、動力計は高価なため、より低コストな見える化が求められている。

そこで本研究では、比較的安価な電力計（電流計）に着目し、これを用いて加工機の電力変化と加工負荷の関係を明らかにし、不安定加工における電力への影響を検討することにより、不安定加工状態の推定を目指した。

2 研究の方法

2.1 加工負荷と電力（電流）の測定方法

加工機は平面研削盤（株式会社 岡本工作機械 PSG-63DXNC）を用い、図 1 に示すとおり被削材を切削動力計（日本キスラー(株) 9265B）の上に固定治具ごと固定し加工を行

った。

なお研削砥石は#220 の平型砥石（株式会社 ノリタケカンパニーリミテド WA220K7V35R），研削液は水道水にて 50 倍希釈した弱導電性研削液（東洋工学(株) CG-7）を用い、切削動力計の出力値はデータロガー（横河計測(株) DL950）で測定した。

加工機の電力測定は、予備実験により図 2 に示すとおり電力と電流の傾向は一致したため、電流のみを測定することとし、図 3 に示すとおり、加工機配電盤の主軸モーター配線の三相交流ブレーカーと Y 軸サーボモーター配線に電流クランププローブ（横河計測(株) 720930, 720931）を取り付け、切削動力計と同様にデータロガー（横河計測(株) DL950）で測定した。

加工負荷及び電流の評価方法は、加工時間中心の 6 割を評価領域とした。加工負荷は接線抵抗 F_t 、法線抵抗 F_n の各平均値を算出し、電流値は空転時の電流をゼロとして補正後、主軸は R 相、S 相、T 相の合計平均値、Y 軸サーボモーターは平均値を算出した。

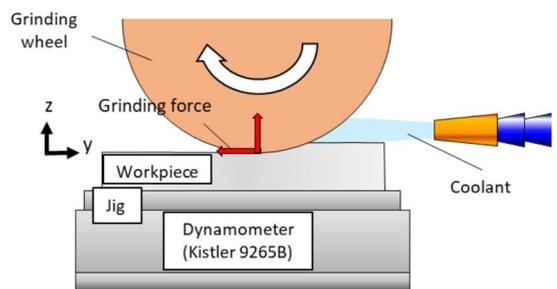


図 1 被削材固定状況

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

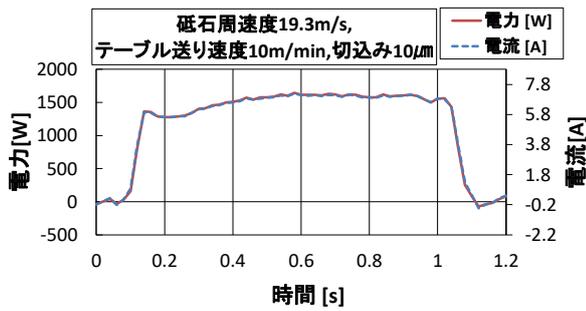


図2 電力と電流の関係



図3 電流測定方法

(左：主軸モータ，右：Y軸サーボモータ)

表1 研削条件

	パターン1	パターン2	パターン3
砥石周速度 [m/s]	12.9 19.3 25.8	19.3	19.3
テーブル 送り速度 [m/min]	10	5 10 15	10
切込み [μm]	10	10	5 10 15

2.2 加工機の電流変化と加工負荷の関係

研削条件における電流変化と加工負荷の関係を明らかにするため、被削材をSS400 (W15×L150×H15mm)とし、砥石周速度 19.3m/s、テーブル送り速度 10m/min、切込み 10 μmを基準加工条件と設定し、砥石周速度を変更したものをパターン1、テーブル送り速度を変更したものをパターン2、切込みを変更したものをパターン3とし、合計7条件で加工を行った。表1に研削条件を示す。なお各条件の加工パス数は、合計切込み量が 150 μmになるまでとした。

2.3 不安定加工状態の推定

不安定加工状態として目づまり状態の推定を行うために目づまりを起こしやすいステンレス SUS304 (W20×L81×H24mm)を被削材とし、砥石周速度 25.8m/s、テーブル送り速度 10m/min、切込み 5 μmで加工を行った。

また、砥石の目づまり割合を定量化するため、加工後の砥石表面を高速ビデオカメラ (㈱フォトロン FASTCAM SA3 model160K) で撮影した。今回用いた砥石は白色であり黒色部が目づまりと考えられるため、撮影し

た動画から画像を抽出し画像処理ソフトウェア ImageJ Fiji²⁾を用いて二値化後、画像全体の画素数から黒色部画素数の割合を算出した。なお加工を停止するとY軸の位置が変化するため、ドレッシング後、規定の加工パスまで加工を行い、砥石表面を観察した。

加工後の被削材の評価は、表面画像をデジタルカメラで撮影し、表面粗さ (Ra, Rku) を接触式表面粗さ測定機 (アメテック㈱ PGI840) で長さ方向 15mm, 40mm, 65mm の位置を計測し平均値で評価した。

3 結果及び考察

3.1 加工機の電流変化と加工負荷の関係

各パターンにおける主軸電流と接線抵抗 Ft の関係を図4～6に示す。

砥石周速度を変えた場合 (パターン1) は、周速度が大きくなるほど、接線抵抗 Ft に対する電流値の傾きが大きくなるのが分かる (図4)。これは砥石周速度 (回転数) が大きくなると回転に必要な電流が多くなる事と一致している。

テーブル送り速度を変えた場合 (パターン2) 及び、切込みを変えた場合 (パターン3) は、接線抵抗 Ft に対する主軸電流の傾きは大きく変化しないのが分かる (図5, 6)。送りや切込みの大小によって接線抵抗 Ft は増減するが主軸電流と接線抵抗 Ft の関係は変化しないと考えられる。なおパターン2のテーブル送り速度 5m/min の条件は加工初期にびびりが発生した。

全ての条件において主軸電流と接線抵抗 Ft の決定係数 R² 値が1に近い線形性が見られるため、加工時の主軸電流を測定することにより、接線抵抗の推定が可能であることが分かる。

次に砥石周速度 19.3m/s、テーブル送り速度 10m/min、切込み 5 μmにて加工した時のY軸サーボモータ電流と法線抵抗 Fn の関係を図7に示す。結果として線形性はなくY軸サーボモータ電流から法線抵抗 Fn を推定するの

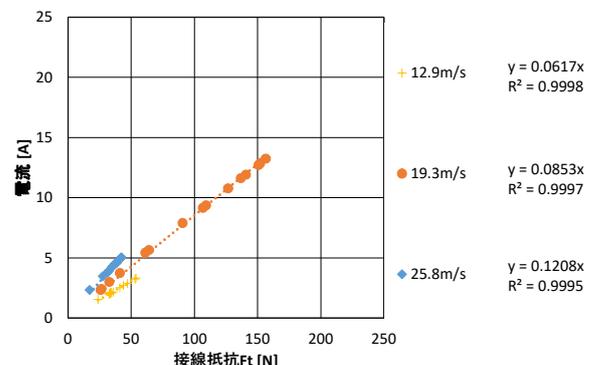


図4 主軸電流と接線抵抗の関係 (パターン1：砥石周速度)

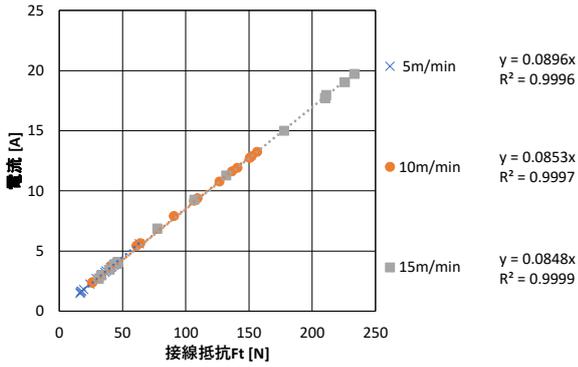


図5 主軸電流と接線抵抗の関係 (パターン2: テーブル送り速度)

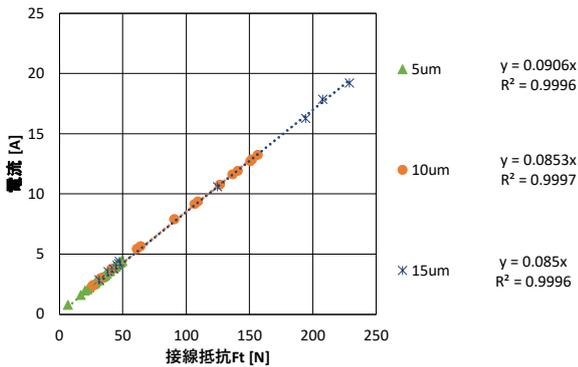


図6 主軸電流と接線抵抗の関係 (パターン3: 切込み)

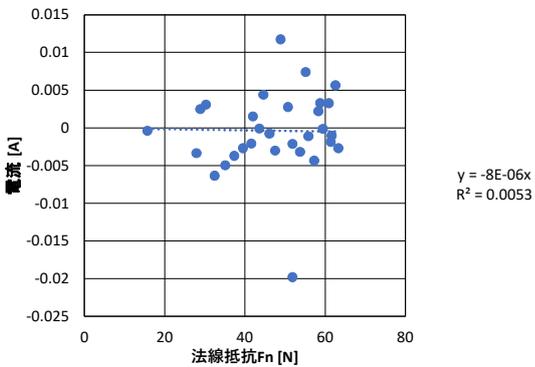


図7 Y軸サーボモータ電流と法線抵抗の関係

は難しいことが分かる。加工機Y軸は加工中にロックするためモータ自体に直接負荷が掛からなかったことが原因として考えられる。

3.2 不安定加工状態の推定

3.2.1 目づまり状態の推定

表2に加工パスごとの目づまり割合、主軸電流、被削材表面粗さの結果を示す。Raは3~15パスでは大きく変わらないが、25パスでは大きくなった。Raが増加した理由としてはドレッシング直後の微細粉砕状態から、砥石の自生作用によって砥粒の切れ刃が大きくなったことが考えられる。Rkuは5パスまでは5以上である一方、それ以降のパスは4前後と小さい。これはドレッシング直後の微細粉砕状態により鋭い凹凸が多く、その

後、目づまりや自生作用により鋭い凹凸が少なくなったためと考えられる。

次に加工後の被削材表面画像を図8、砥石表面画像を図9に示す。被削材表面は6パスに変色が起こり研削焼け発生の可能性があり、25パスには解消されていることが分かる。また砥石表面については5パスにドレッシングの軌跡に沿って目づまりが進行しており、6パス目以降はドレッシングの軌跡以外にも目づまりが進行していることが分かる。このことから、6パス以降が目づまりによる不安定加工と推定することが出来る。

次に目づまり割合と主軸電流の関係を図10に示す。目づまり割合と主軸電流は一定の線形性が見られる。

以上の結果から5パス時点の目づまり割合4%前後が研削焼けの閾値として使える可能性があり、主軸電流から研削焼けと目づまり割合をある程度の精度で推定出来ることが分かる。

表2 目づまり割合、主軸電流、表面粗さの結果

加工パス数 (合計切込み量)	目づまり割合 [%]	電流 [A]	Ra [μ m]	Rku
3 (15 μ m)	1.37	1.74	0.669	6.327
5 (25 μ m)	3.94	8.58	0.762	5.107
6 (30 μ m)	6.07	11.54	0.889	3.881
7 (35 μ m)	8.77	13.92	0.810	3.231
10 (50 μ m)	7.95	12.81	0.912	4.104
15 (75 μ m)	8.25	11.82	1.005	3.614
25 (125 μ m)	3.24	6.03	1.720	3.733

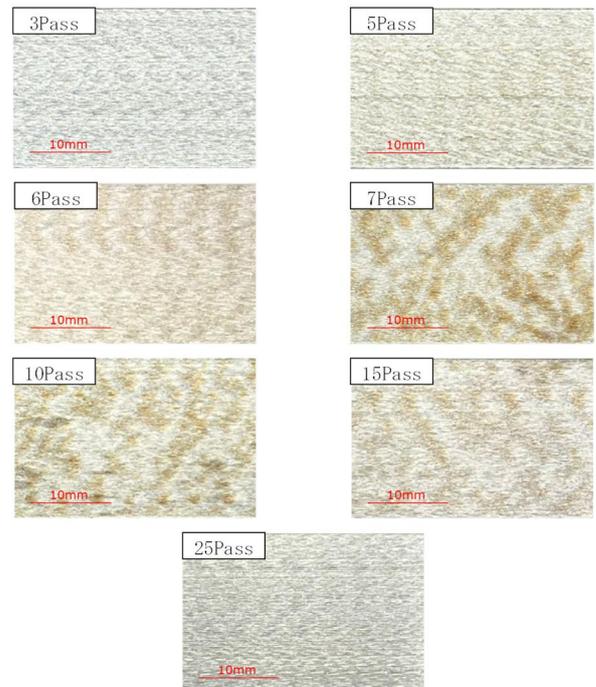


図8 被削材表面画像 (砥石進行方向は画像右方向)

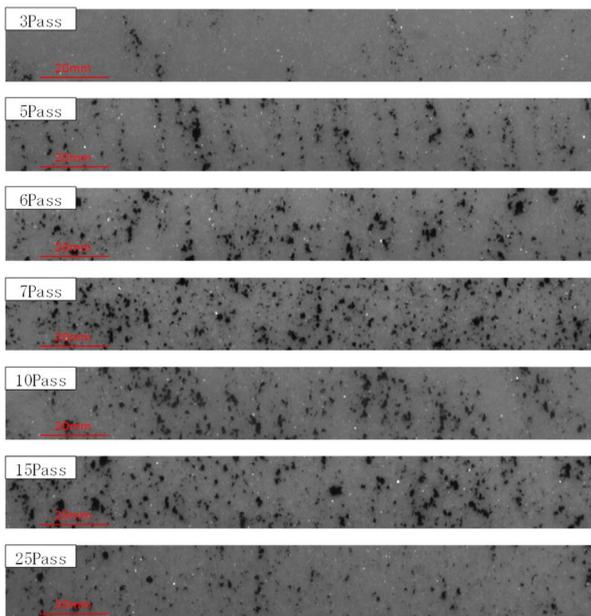


図9 砥石表面画像
(砥石回転方向は画像上方向)

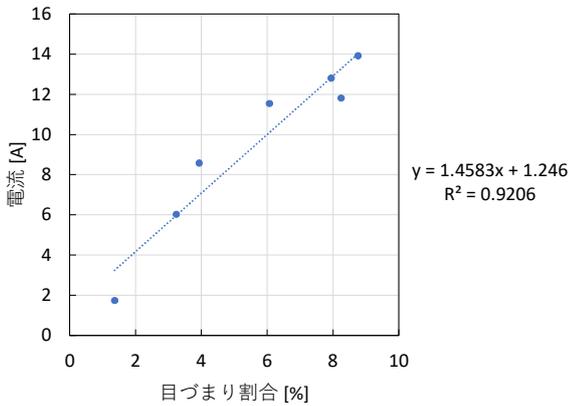


図10 目づまり割合と主軸電流の関係

3. 2. 2 びびり状態の推定

2. 2の実験においてパターン2の砥石周速度19.3m/s、テーブル送り速度5m/min、切込み10 μ mでは加工初期(3パスまで)にびびりが発生した。図11にびびり発生時、図12に同加工条件で定常時(15パス)の加工負荷と主軸電流を示す。びびり発生時は加工負荷が約0.03s周期で変動している。これは主軸回転数である1800rpm(30Hz)とほぼ一致し、加工初期に発生した事を考えると、ドレッシング時の砥石の形状不良によって主軸回転数に同期したびびりが発生した事が考えられる³⁾。一方、主軸電流を見ると、びびりに同期した小さな変動があるが加工開始前の空転時にも変動があり、びびりに伴う変動か判断が難しい。今回は主軸モータ配線の三相交流ブレーカーの電流変化を測定していることから、電源周波数50Hz毎に電流値が変動しているため、観察できる周波数は50Hzの数分の一の周波数と考えられる。びびりの周期は発生要因によって異なるため、電

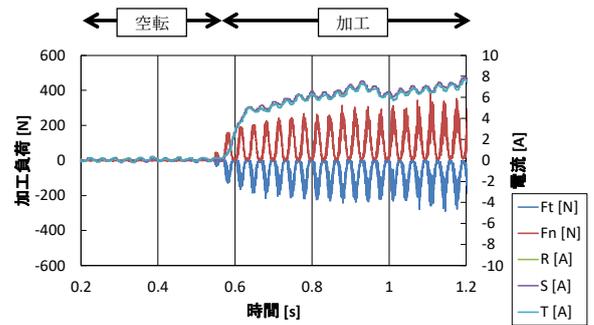


図11 びびり発生時(1パス)の加工負荷と主軸電流

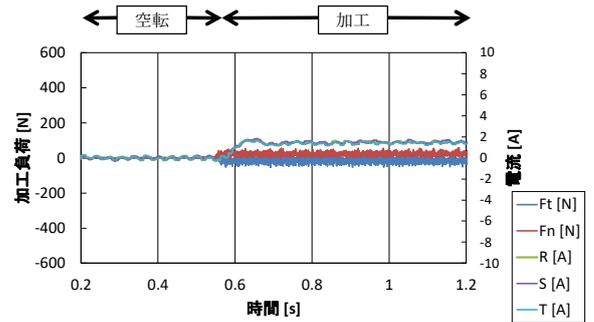


図12 定常時(15パス)の加工負荷と主軸電流

源周波数で観察出来る周期のびびりについては判別出来る可能性があるものの、今回発生したような高い周波数を有するびびりについては、主軸電流から検知することは難しいと考えられる。

4 おわりに

本研究では、研削加工における加工機の電流変化と加工負荷の関係の調査及び不安定加工状態の推定を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 加工時の主軸電流を測定することにより、接線抵抗の推定が可能であることが分かった。
- (2) 加工機の主軸電流から研削焼けと目づまり割合をある程度の精度で推定出来ることが分かった。
- (3) 高い周波数を有するびびりについては、主軸電流から検知することは難しいことが分かった。

参考文献

- 1) 奥山：“砥粒加工学会誌”，59，6(2015)，pp.355-358
- 2) Schindelin, J.; Arganda-Carreras, I. & Frise, E. et al. (2012), "Fiji: an open-source platform for biological-image analysis", Nature methods 9(7): 676-682, PMID: 22743772"
- 3) 稲崎ら：“精密機械”，35，1(1969)，pp.47-53.