

磁 場 援 用 に よ る 砥 粒 加 工

—加工量の局部的制御性の検討—

Abrasive Machining Assisted by Magnetic field
—Possibility of Local Control of Stock Removal—

今 中 治*・上 村 康 幸**

Osamu IMANAKA and Yasuyuki KAMIMURA

1. は じ め に

筆者らのひとは、磁場や電場など、場(field)の働きを援用して砥粒の運動を規制しようとする新しい砥粒加工法、Field assisted Fine Finishing (FFFと略称)を提案した^{1)~3)}。従来のラッピング、ポリシングのような散布砥粒による方式では、加工精度は工具の精度に支配されるし、あまり複雑な形状の加工はできないので、自由砥粒による方式を採り、電場、磁場などの作用を導入して、フレキシブルな加工を実現しようとしたものである。磁性流体利用のFFF¹⁾、電気泳動現象利用のFFF²⁾、プラズマ利用のFFF³⁾などを試みた。

本報は磁性流体利用のFFFに関するもので磁性流体に直接懸濁させた砥粒を使用して磁場の作用下で研磨を行い、加工量の局部的な制御性を実験的に検討したものである。なお、磁性流体を利用した自由砥粒による研磨法として磁気浮揚研磨^{6)~9)}が提起されているが、これは磁性流体の“磁気排出現象”を利用したものであるのに対し、本報の研磨法は“磁気吸着現象”を用いたものといえよう。また、従来のラッピング、ポリシングにおける設定パラメータを制御するのに磁性流体と電磁石を使うことが試みられている。加工圧の制御¹⁰⁾¹¹⁾と作用砥粒数の制御¹²⁾とである。前者は、ポリシャの下に磁性流体を封入し、磁性流体にかかる磁場の強さを変えることによってポリシ圧力を加減しようとするもので、“磁気吸着現象”を利用した設定パラメータ制御法である。後者では、多数の穴をもつポリシャと砥粒懸濁の磁性流体を用いポリシャの下に配置した電磁石の励磁電流を変えることにより、“磁気排出現象”を利用して作用砥粒数、ひいては加工量の制御が可能なることを確かめている。

2. 実 験 方 法

2-1 装置

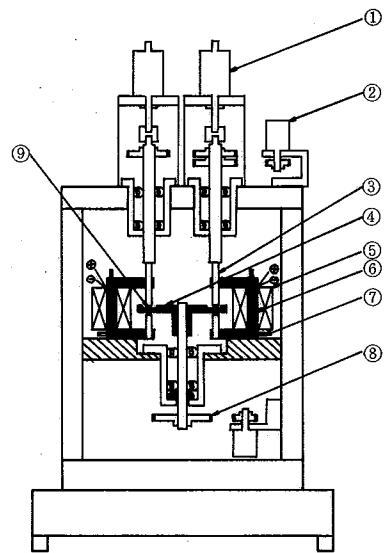
平面研磨特性の実験装置および加工部の詳細図を装置

* 東京大学生産技術研究所 元教授

** 東京大学生産技術研究所 第2部

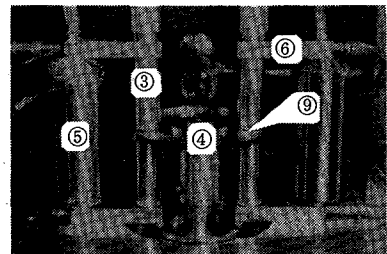
I-1, I-2 に示し、8 個の磁極をもつ実験装置および加工部詳細図を装置 II-1, II-2 に示す。

装置の基本構成は、装置 I, II 共に同じで加工部、駆動部、電磁石部からなり、装置 I は左右に 1 極ずつ、装



① マイクロメータヘッド ⑤ 電磁石 ⑨ 試料
② モータ ⑥ コア
③ 鉄心 ⑦ 冷却水出入口
④ 試料保持板 ⑧ タイミングプーリー

装置 I-1 実験装置の概略図



装置 I-2 加工部の詳細図

置 II は円周上に 8 個固定されている。

装置 I における加工物試料④は、黄銅製の試料保持板④ (回転可能) 上に接着して実験を行い、試料保持板の上下には、純鉄製の電磁石のコア⑥と磁極鉄心③が対置されている。下部磁極は固定であるが、上部磁極は回転し、上部磁極と試料面とのギャップは、装置 I, II 共にマイクロメータヘッド①によって調節することができる。

2-2 用いた材料

加工物試料としては、装置 I では、鏡面仕上げしたガラス (コーニング社製, # 0211, 9mm×9mm×0.5t, HV=600) を使用した。装置 II では、黄銅を使用しており、外径 78 mm, 内径 58 mm の円環板 (厚さ 0.5 mm) のものを試料とした。

使用した砥粒は、非磁性の WA # 800 と磁性体のフェライト粉末、(平均粒径-22.5 μm, 図 1) でこれを磁性流体 (タイホー工業(株)製フェリコロイド LS-40, SP 1 はそれぞれ 25°C における粘度 320 cP, 60 c. p.) に一定濃

度で懸濁させて用いた。

図 2 に励磁電流-磁場曲線の測定結果を示す。装置 I, II 共に上部に M 型, 下部に平型を対置し、試料保持板 (厚さ 1 mm) を取り外した状態で 8.5 mm×3.2 mm×0.8 mm 厚のホール素子プローブ (横河電機製作所製, 3252-02) を用いての結果である。

多磁極を持つ装置のブロック図を図 3 に示す。これは、試料保持板と励磁電極との同期を取るために、ロータリエンコーダ (ニコン製, RMh 600) を試料回転機構に取り付けマイクロコンピュータ (NEC-9801 F2) により制御を行うものである。回転機構による試料保持板の回転

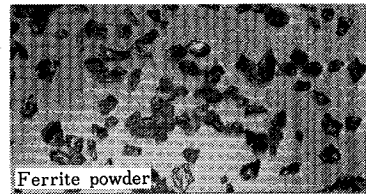


図 1 フェライト粉末の粒径分布

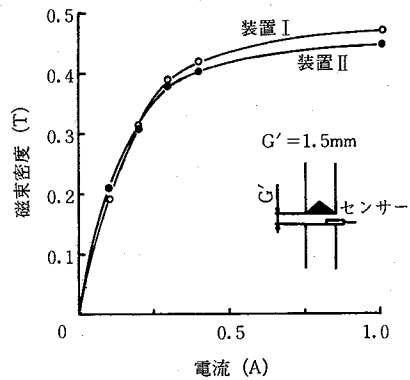
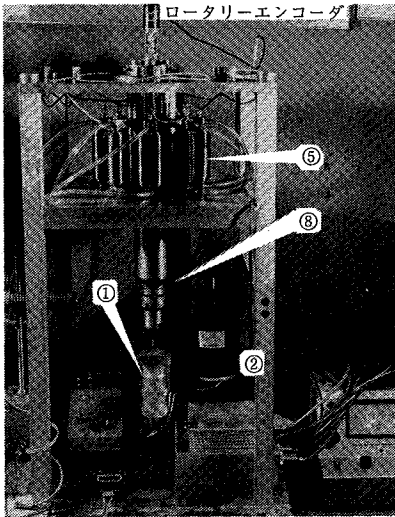
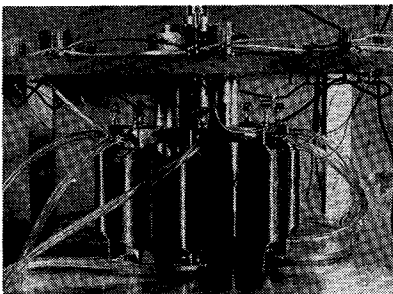


図 2 励磁電流と磁場



装置 II-1. 実験装置



装置 II-2 加工部の詳細図

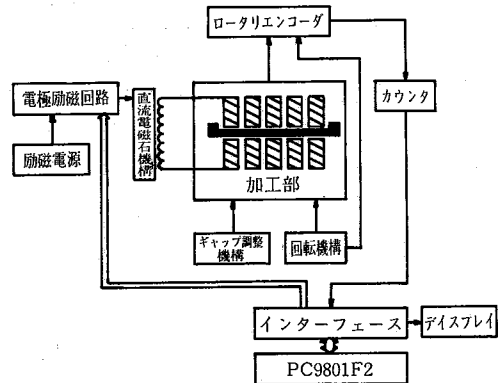


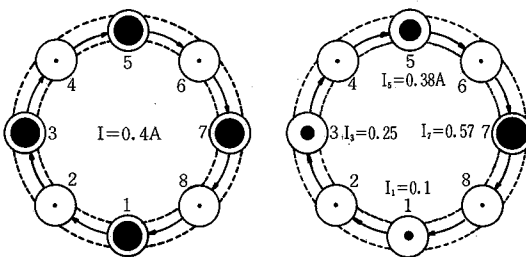
図 3 装置 II のブロック図

研究速報
 をロータリエンコーダに検出し、エンコーダからの出力をカウンタ、インターフェースを経て電極励磁回路に入力する。この回転同期は常にモニターに表示され確かめられている。なお、図の変位駆動機構は、試料表面/磁極端面のギャップ調整を行うものである。図4は、多磁極をもつ装置の、励磁方法とそのタイミングを示す。(a)の4極同電流励磁駆動方式は、1極おきの4磁極が同じ励磁電流値をもって回転する方式である。磁極間の励磁駆動は75パルス、角度にして45度をもって次の磁極に励磁が切り替わる。すなわち、4つの磁極が75パルスカウントした後に、同時に、切り替わるものである。(b)の4極異電流励磁駆動方式は、1極おきの4磁極が異なる励磁電流値を持って励磁される方式で、これも同様に75パルスの信号で次の磁極に励磁が切り替わる。

3. 実験結果と考察

3-1 装置Iによる実験

加工モードによる影響の検討結果を図5に示す。WA 800(砥粒容積濃度3%)を用い、上下磁極の端面形状、試料の保持状態、上部磁極の回転速度 n 、試料保持板の回転速度 n' (n と n' は逆方向に回転)を変えて実験したものである。試料保持位置は、図6に示すとおりである。総括して、加工面近傍における磁場勾配の大きい場合に有効な材料除去が行われること、試料保持板が回転しても加工剤は対向磁極に拘束される度合いの大きいことがわかった。



(a) 4極同電流励磁駆動 (b) 4極異電流励磁駆動

図4 励磁方法とそのタイミング

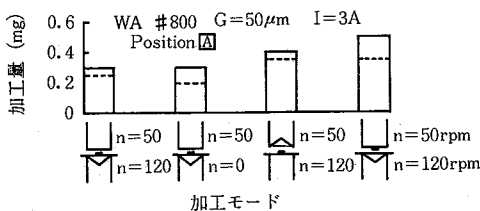


図5 加工モードの影響

次に、磁性砥粒のフェライト粉末を用い磁極端面と試料表面のギャップ・ G' の影響について調べた結果を図7に示す。上部磁極にM型を、下部磁極に平型を用い ($n=50$ rpm, $n'=0$ rpm, 励磁電流 $I=0, 0.3, 3.0$ A) 試料位置としては、図6(図6参照)で得られた結果である。磁性砥粒を用いているためにギャップが大きくなっても、磁場の効果が認められ、ギャップが大きくなると除去曲線の変化が小さくなることがみられる。

以上、非均一磁場下の自由砥粒による平面研磨実験の結果、磁場勾配の効果、磁性砥粒の有効性が確認された。

3-2 装置IIによる実験

多磁極をもつ実験装置IIを用い、磁極と試料保持板の回転同期を取ることににより、加工量の局所的な制御性の検討を行った。図4(a)にての4極同電流励磁駆動方式による結果を図8、図9に、同図(b)の4極異電流励磁駆動方式により得られた結果を図10、図11に掲げる。図8は、励磁電流 I の変化に対する加工特性を示したものであるが、励磁電流が上がるに連れ加工量も増加していることがわかる。また、加工量の極大値を示す位置が対応磁極の直下よりやや後方に現れている。これは、試料保持板の回転と同期して対向する磁極が新たに励磁されるので、その励磁の切り替えが砥粒の運動に影響するためと考えられる。また、励磁電流値を一定にして回転数を変化させた結果が図9である。加工量は、試料の励磁作用回数によっても影響されることがわかる。

そこで、図4(b)の4極異電流励磁駆動方式によって、試料面各部の除去量を局所的に規制することを試みた。

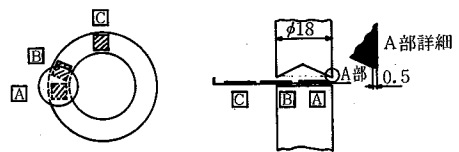


図6 加工物試料の保持位置

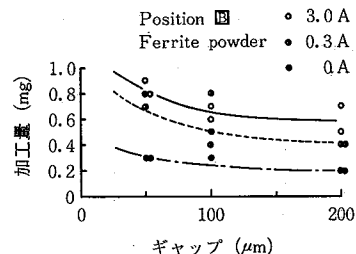


図7 磁極・加工物ギャップの影響

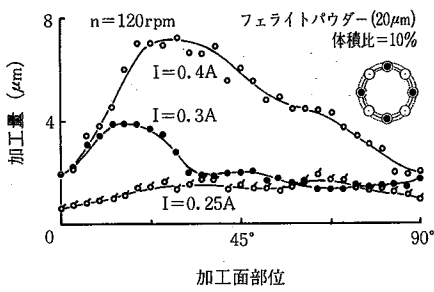


図 8 電流変化に対する加工特性

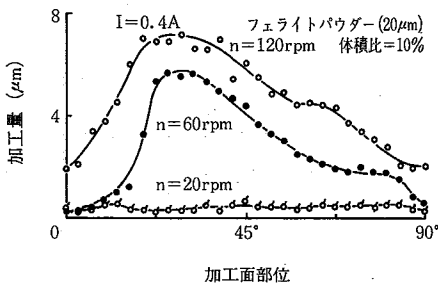


図 9 回転数に対する加工特性

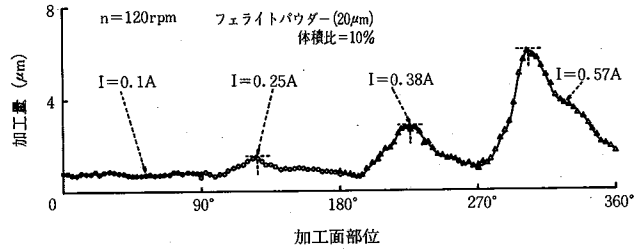


図 10 励磁電流変化による加工量の局部的制御特性

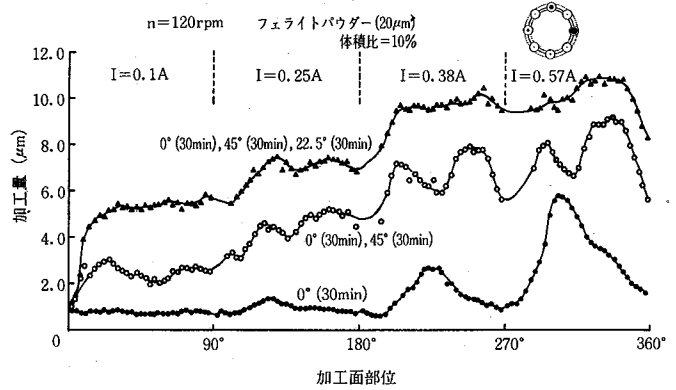


図 11 励磁電流変化による加工量の制御特性

結果の一例は図 10 に示すとおりで、励磁電流値 I を変化させることにより、加工量を局部的に変化できることがみられる。図 10 でみられる局部的なうねりをなだらかにする目的で、試料位置を段階的に変化させて実験した。図 11 において、黒丸(●)で示した結果を基準角度 0 度とすると、試料保持位置を回転方向に 75 パルス(角度にして 45°)ずらして得られた加工量が白丸(○)である。さらに、黒丸と白丸の中間位置、角度にして 22.5° だけ試料保持位置をずらして得られた結果が白三角(△)である。

なお、作用時間は黒丸の場合 30 分であり、白丸の場合、基準角度 0 度の位置で 30 分、45 度ずらした位置でさらに 30 分、合計 60 分である。白三角の場合、試料保持位置 0 度で 30 分、45 度で 30 分、22.5 度の位置で 30 分、合計 90 分として実験を行った。

対応磁極の位置は 0 度から 90 度の範囲で 4 極が同時に一定に作用している。加工面の各部位の加工量が随時試料保持位置を段階的に変化させることにより、なだらかになることがみられる。

4. ま と め

磁性流体に懸濁した自由砥粒による非均一磁場下の平面研磨実験を行い、加工面近傍での磁場勾配の大きいほど大きな除去量の得られること、磁性砥粒の有効性など

を確認した。また、多磁極をもつ実験装置を試作し、加工物試料の回転と同期して磁極の励磁電流を変化させた実験で、加工面局部の除去量の規制が可能なることを明らかにした。この方式を発展させれば、非球面などのやや複雑な曲面の加工にも適用が可能かと考えられる。

(1985 年 8 月 14 日受理)

参 考 文 献

- 1) 今中, 黒部, 松島: 精機学会学術講演論文集(1981), 774
- 2) 黒部, 今中, 坂谷: 同上, 777
- 3) 黒部, 今中: 同上, 780
- 4) T. Kurobe and O. Imanaka: Technical Digest at the Topical Meeting on the Science of Polishing, Opt. Soc. Amer., (1984) TuB-C 4
- 5) T. Kurobe and O. Imanaka: ibid., TuB-C 5
- 6) 谷, 仙波, 河田: 生産研究, 35, 531 (1983)
- 7) 河田, 谷, 高尾: 同上, 36, 366 (1984)
- 8) 高尾, 谷, 河田: 同上, 37, 76 (1985)
- 9) 谷: 機能材料, 5 [1] 68 (1985)
- 10) T. Kurobe, O. Imanaka and S. Tachibana: Bull. Japan Soc. Precision Engg., 17, 49 (1983)
- 11) T. Kurobe and O. Imanaka: Precision Engg., 6 [3] 119 (1984)
- 12) 黒部, 示野, 今中: 精機学会春期大会学術講演論文集(1984), 777