

超小型電極ダイレクトドライブ装置を用いた ドットマトリクス方式による3次元形状創成加工法

古谷 克司*

1. 結論

近年、加工の形態が多品種少量生産に変移するにつれてラピッドプロトタイプングやフレキシブルな高精度加工機械への要求が高まっている。ラピッドプロトタイプングでは光造形法が主流となっている。しかし、一般に光硬化性樹脂しか用いることができないため、金属への直接的なラピッドプロトタイプングには用いることができない。

微小形状の創成の有効な手段の一つに放電加工が挙げられる。しかし、放電加工では、製品形状の逆の形状を持つ工具電極をあらかじめ製作しておく必要がある。また、微小形状を持つ工具電極は消耗が激しいため、高精度な加工のためには、電極消耗を補償する必要がある。

本研究では、放電加工もしくは電解加工において一列または複数列に配置された多数のピン状の電極の長さをリアルタイムで制御しながらxy方向にスキャンすることで三次元の微細形状を創成する方式を開発することを目的とする。

2. ドットマトリクス方式の原理

ドットマトリクス方式の概念図を図1に示す。ドットマトリクス方式の加工ユニットは、超小型電極送り機構、電極ホルダ、ワイヤ電極より構成される。電極送り機構により駆動されるワイヤ電極が複数束ねられており、それらの先端はホルダにより拘束されている。この加工ユニットは走査するための機構(主軸およびテーブルを持つ機構)に取り付けられている。図2に示すように、本手法で

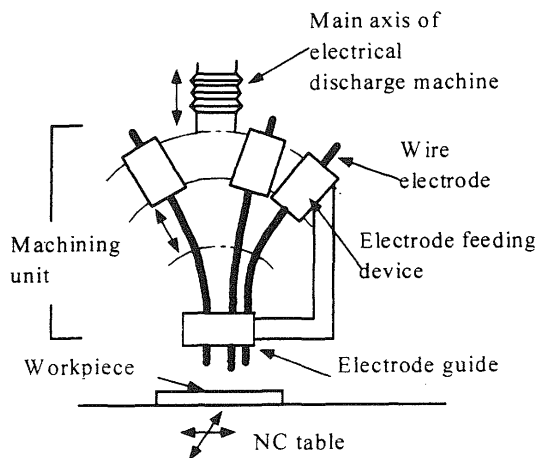


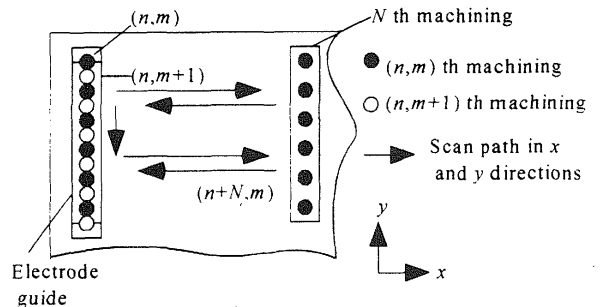
図1 ドットマトリクス方式放電加工ユニットの概念

はこの突き出し量をリアルタイムで連続的に制御しながらスキャンして三次元加工を行う。

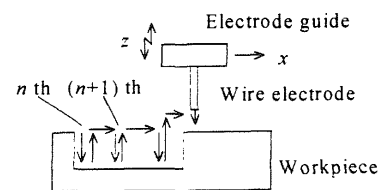
放電加工に適用する場合のサーボの方法には、それぞれの電極に個別にサーボをかける方法と、加工ユニット全体にサーボをかける方法の2通りが考えられる。

ドットマトリクス方式の特徴は以下の通りである。

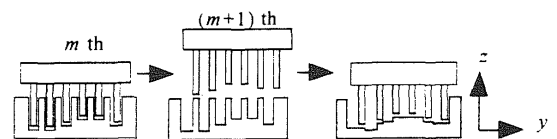
- (1) 個々のワイヤ電極ごとに送り機構を持たせているため、それぞれの送り量を独立に制御することが可能であり、電極束先端のプロファイルの調節が可能である。
- (2) 電極送り機構に電極ダイレクトドライブ装置を用いることで、電極消耗量を補償することができる。このために、加工ユニットをスキャンする軌跡は単純なものとなる。
- (3) 加工ヘッドの基準点とワークの基準点の相対変位を与えることによりワイヤ長さを調整することで高精度な加工が行えるため、比較的小規模な装置ですむ。
- (4) スキャンしながら加工するため、被加工面全体をカバーするだけの電極が必要なく、ワイヤ電極の本数



(a) Top view



(b) Side view



(c) Front view

図2 ドットマトリクス方式放電加工プロセス

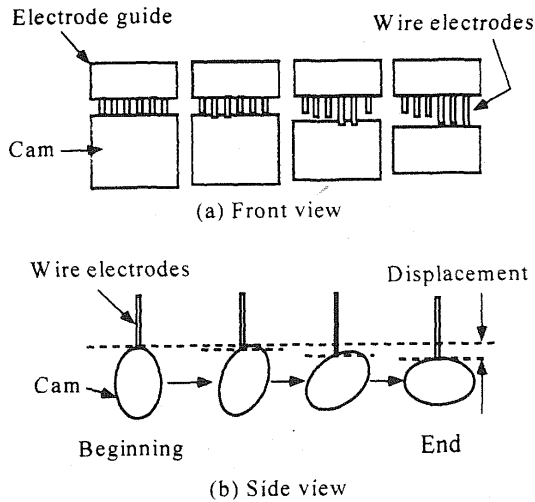


図6 電極長さの位置決め

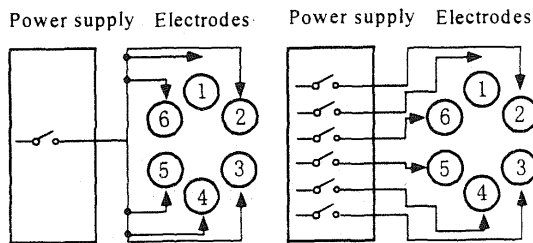


図7 給電方式

い方から順に位置決めされる。位置決め可能な範囲は0.5mm、精度は1 μ mであった。

給電方法は、図7(a)に示すようなすべての電極を電気的に並列に接続し1台の電極から給電する等電位給電法と、同図(b)に示すような各電極を絶縁し独立した電極から給電する分割給電法がある。

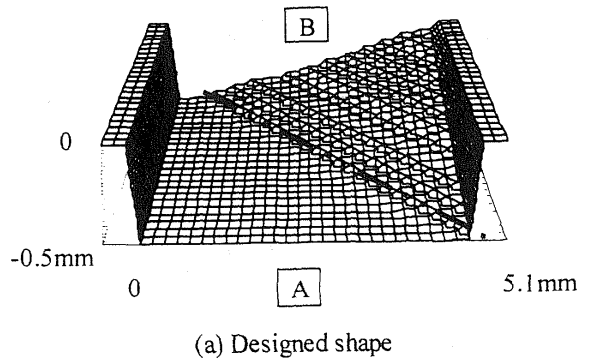
5. プロトタイプによる加工実験

5.1 形状加工

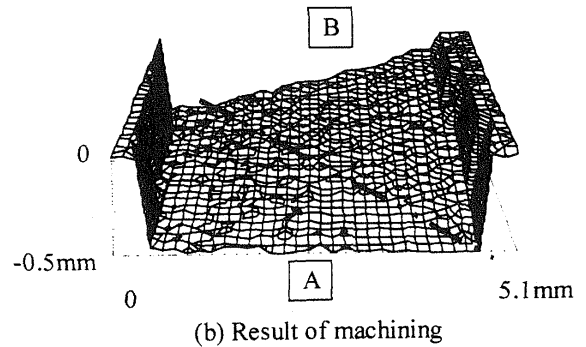
試作した加工ユニットを用いて三次元形状を加工した。電極には直径0.3mmのタングステン、被加工物には機械加工が困難なドーパされたシリコンを用いた。電極長さを位置決めしながら、加工ユニット全体にサーボをかけることで加工した。加工結果の例を図8に示す。この場合の加工条件を表2に示す。加工ユニットの走査範囲は4.2 \times 4.2mmである。加工深さは0.5mmとした。加工

表2 加工条件

Gap voltage	150 V
Duty factor	50 %
Discharge duration	16 μ s
Peak current	4 A
Working fluid	EDF-K (Mitsubishi Oil)
Electrode polarity	(+)



(a) Designed shape



(b) Result of machining

図8 加工結果の例

中に揺動を加えた場合、平面部のうねりは約20 μ mであった。図9に示すような段差のある経常の加工も可能である。

同一箇所にも2回加工した場合の表面形状の変化を図10に示す。ワイヤ放電加工における「セカンドカット」と同様に、電極先端を位置決め後再度加工することで平面度は数 μ mまで向上した。

5.2 電極送りピッチの検討

試作した加工ユニットでは、電極直径が300 μ m、ピッチが760 μ mである。これを走査しながら加工していく場

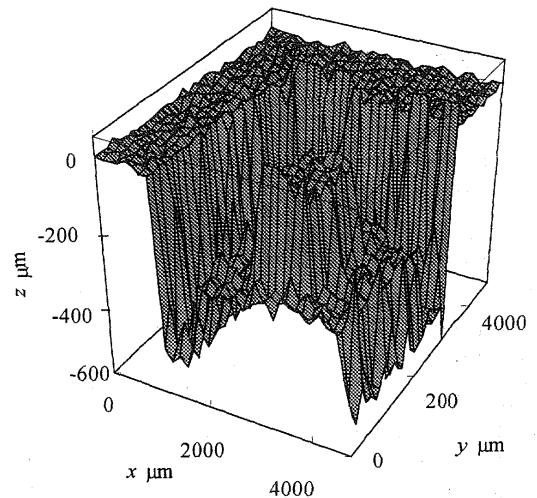


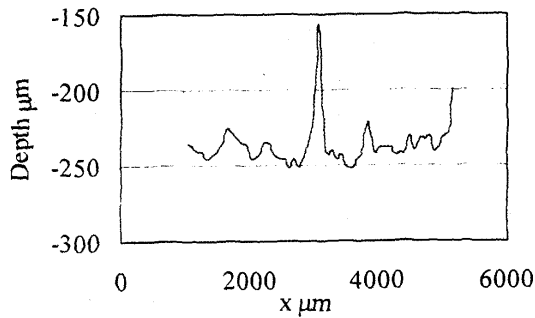
図9 段差のある形状の加工例

合の被加工物上への電極の投影図を図11に示す。電極間の除去残り部を完全に除去するためには、以下の2通りが考えられる。

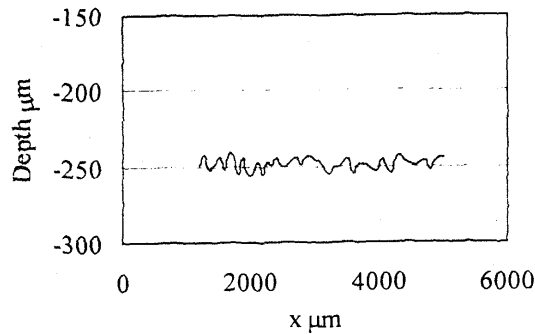
- (1) 電極に揺動をかける
- (2) 送りピッチを細かくする

これまでの実験により、電極直径 d_e 、揺動直径 d_p 、送りピッチ f の間に次の式が成り立てばよいことが明らかになっている。

$$d_e > d_p > f \quad (1)$$



(a) After the first machining
(average depth = -240 μm, waviness = 31 μm)



(b) After the second machining
(average depth = -248 μm, waviness = 14 μm)

図10 繰り返し加工による表面形状の改善

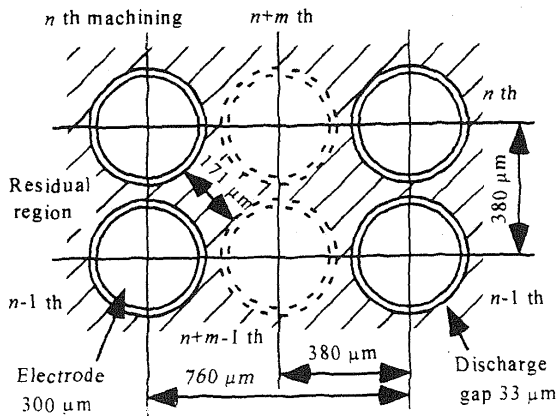


図11 電極の配置と送りピッチの関係

揺動半径を100μm、送りピッチを190μm、380μmとした場合の表面粗さを図12に示す。送りピッチが小さな方が表面粗さも小さい。

5.3 放電分散の観察

給電方式による放電の分散状態の違いの観察結果

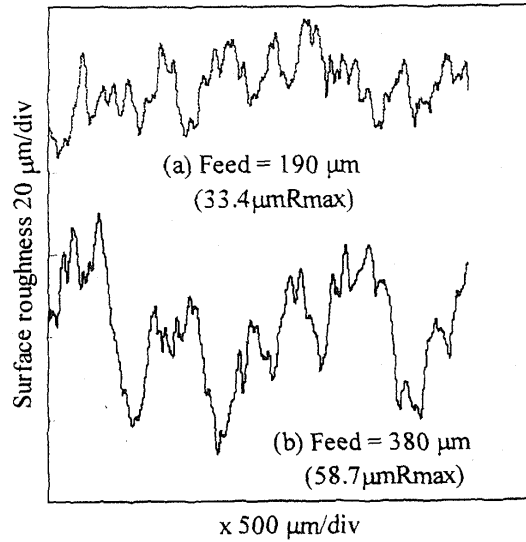
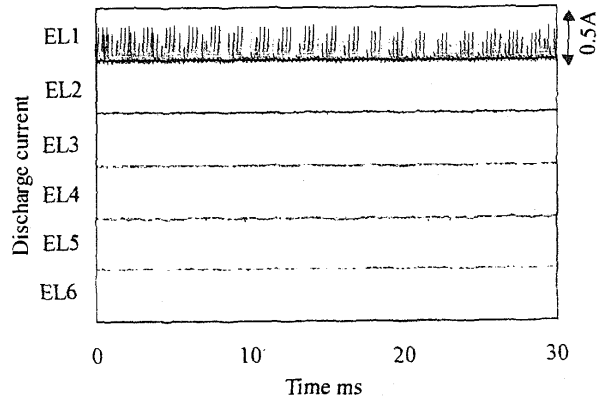
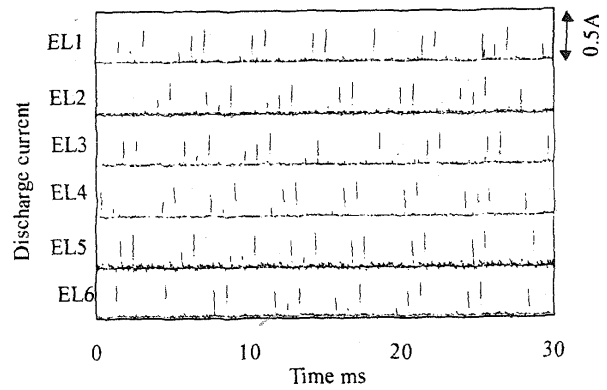


図12 送りピッチによる粗さの違い



(a) Equi-potential power



(b) Divided power

図13 放電分散の観察

を図13に示す。同図(a)の同電位給電方式では、電極1のみに放電が発生している。同図(b)の分割給電方式では、電極1から6へ順に電圧を印加した。したがって、放電が強制的に分散されている。放電の頻度は同電位給電方式の方が高かった。したがって、加工速度を増加させるためには同電位給電方式が適していると考えられる。しかし、同電位給電方式では放電が集中しクラックが発生しやすくなる。そのため、仕上げ加工では強制放電分散が可能な分割給電方式が適していると考えられる。

6. 結論

本研究ではドットマトリクス方式による三次元形状創成加工法を提案し、基礎実験を通して本手法により三次元形状創成加工が可能であることが明らかになった。また、微小部品に対するクラックレス加工法として放電の強制分散法を提案した。また、クラックレス放電加工の方法として微小部品以外にも適用可能であると考えられる。

今後は、形状フィードバック型精密加工法、ローカル・マシニング・ステーション方式などと組合せた多自由度加工システムを検討する予定である。

謝辞

本研究の一部には、平成5年度天田金属加工機械技術振興財団研究助成を用いました。記して感謝いたします。

貴重なご意見をいただきました東京大学大学院工学系研究科・樋口俊郎教授、東京大学生産技術研究所・増沢隆久教授、豊田工業大学大学院工学研究科・毛利尚武教授に感謝いたします。また、実験にあたりご協力いただいた豊田工業大学卒業白井一久氏、同大学院修士課程修了生江南俊夫氏に感謝いたします。

本研究に関する公表文献

- 1) T. Higuchi, K. Furutani, Y. Yamagata, K. Takeda: Development of Electro-Discharge Machine with Multiple Electrodes, *J. Advanced Automation Technology*, 5, 2, pp. 77-82 (1993).
- 2) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi, N. Saito: Development of Pocket-Size Electro-Discharge Machine with Multiple Degrees of Freedom, *Proc. 1993 JSME Int. Conf. Advanced Mechatronics*, Tokyo, Japan, pp. 561-566 (1993).
- 3) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi, N. Saito, H. Morita: Direct Drive Method of EDM Electrode Utilizing Elliptically Moving Devices, *Proc. Int. Conf. Machining Technology in Asian & Pacific Regions*, Guangzhou, China, pp. 224-229 (1993).
- 4) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi: Direct Drive Method of EDM Electrode Utilizing Impulsive Force, *Proc. 2nd Jpn-Frn Congress on Mechatronics*, Takamatsu, Kagawa, Japan, 1, pp. 184-187 (1994).
- 5) 古谷克司, 毛利尚武, 樋口俊郎: 細穴放電加工用電極送り機構の比較, *電気加工学会誌*, vol. 28, No. 59, pp. 41-50 (1994).
- 6) 古谷克司, 毛利尚武, 樋口俊郎: 衝撃力を利用したリニアドライブ機構, *精密工学会誌*, vol. 61, No. 4, pp. 527-531 (1995).
- 7) 古谷克司, 毛利尚武, 樋口俊郎: 楕円運動を利用した放電加工用電極ダイレクトドライブ方式, *精密工学会誌*, vol. 61, No. 5, pp. 661-665 (1995).
- 8) H. Morita, K. Furutani, N. Mohri: Electrical Discharge Device with Direct Drive Method for Thin Wire Electrode, *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, Nagoya, Japan, 1, pp. 73-78 (1995).
- 9) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi: Miniaturized Electrode Feeding Devices Using Piezoelectric Elements, *Proc. Int. Sympo. Electro Machining XI*, Lausanne, Switzerland, pp. 621-628 (1995).
- 10) K. Furutani, T. Enami, N. Mohri: 3D Profile Generation by Dot-Matrix Method Using Miniaturized Electrode Feeding Devices, *Proc. 11th Annual Meeting of Am. Soc. Prec. Eng.*, Monterey, California, USA, 14, pp. 86-90 (1996).
- 11) T. Enami, K. Furutani, N. Mohri: EDM for 3D Profile Fabrication by Dot-Matrix Method, *Proc. 4th Int. Conf. Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV'96)*, Westin Stamford, Singapore, 1, pp. 339-343 (1996).
- 12) 古谷克司, 江南俊夫, 毛利尚武: ドットマトリクス方式を用いた放電加工による三次元形状創成加工法(第1報)ー加工法の提案ー, *精密工学会誌*, 63, 2, pp. 211-215 (1997).
- 13) K. Furutani, T. Enami, N. Mohri: Dot-matrix Electrical Discharge Machining for Shaping Fine Structure, *Proc. IEEE 10th Int. Workshop on Micro Electro Mechanical Systems*, Nagoya, Japan, pp. 180-185 (1997).
- 14) N. Mohri, K. Furutani, K. Shiarai, T. Enami: Forced Discharge Dispersion by Dot-Matrix Method, *Ann. CIRP*, 46, 1, pp. 139-142 (1997).
- 15) 古谷克司, 白井一久, 毛利尚武: ドットマトリクス方式を用いた放電加工による三次元形状創成加工法(第2報)ー放電分散の観察ー, *精密工学会誌*, 63, 11, pp. 1553-1557 (1997).
- 16) K. Furutani, T. Enami, N. Mohri: Three-dimensional Shaping by Dot-matrix Electrical Discharge Machining, *Proc. Eng.*, 21, 2/3, pp. 65-71 (1997).
- 17) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi: Comparison of Electrode Feeding Devices for Micro Hole Electrical Discharge Machining, *Proc. 3rd Int. Conf. Advanced Mechatronics*, Okayama, Japan, 1, pp. 336-341 (1998).
- 18) K. Furutani, M. Urushibata, T. Enami, N. Mohri: A Linear Drive Mechanism for Dot-matrix Electrical Discharge Machining, *Proc. 4th Jpn-Frn Congress on Mechatronics*, Kitakyushu, Japan, 1, pp. 96-101 (1988).

他に口頭発表15件