

# 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

豊田工業大学 工学部 機械システム工学科

講師 古谷克司 (研究代表者)

教授 毛利尚武 (共同研究者)

(平成5年度研究開発助成 AF-93034)

## 1. 緒 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ピ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ピングでは光造形法が主流となっている。しかし、分解能がサブミリ程度であるため表面の凹凸が目立ち、かつ光硬化性樹脂しか用いることができない。したがって、金属への直接的なラピッドプロトタイピングには用いることができない。

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<sup>1)</sup>。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

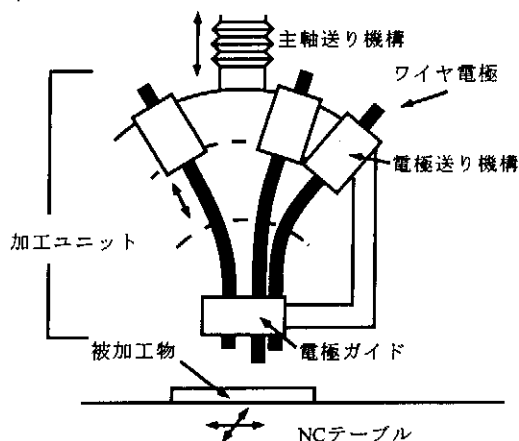


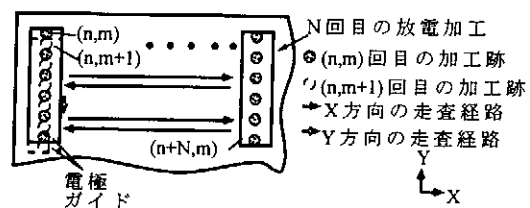
図1 加工ユニットの構成

構)に取り付けられている。図2に示すように、本手法で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。

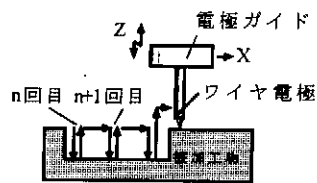
放電加工に適用する場合のサーボの方法には、それぞれの電極に個別にサーボをかける方法と、加工ユニット全体にサーボをかける方法の2通りが考えられる。

ドットマトリクス方式の特徴は以下の通りである。

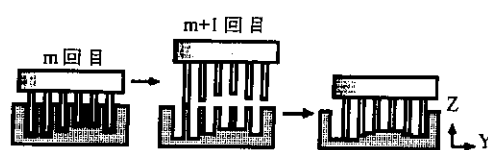
- (1) 個々のワイヤ電極ごとに送り機構を持たせているため、それぞれの送り量を独立に制御することが可能であり、電極束の先端のプロファイルの調節が可能である。
- (2) 電極送り機構に電極ダイレクトドライブ装置を用いることで、電極消耗量を補償することができる。このために、加工ユニットをスキャンする軌跡は単純なものとなる。
- (3) 加工ヘッドの基準点とワークの基準点の相対



(a) 上面図



(b) 側面図



(c) 正面図

図2 走査放電加工の概念図

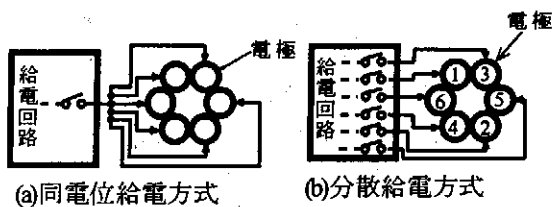


図3 放電強制分散のための分割給電法

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、ワイヤ電極の本数が少なくすむ。
- (5) ワイヤ電極どうしを絶縁することで、放電の強制的な分散が可能となる。その結果、クラックレス加工が可能となることが期待できる。

### 3. 形状創成加工の基礎実験

まず、近接して配置したワイヤ電極を用いて放

電加工を行った。その結果、ワイヤ電極の先端プロファイルが工作物に転写されており、本手法の効果を確認できた<sup>2)</sup>。

放電加工においては放電が一点に集中すると加工面にクラックを生じ、表面性状を劣化させる。したがって、各ワイヤ電極にパルス分配を行うことで放電を強制的に分散させた。検討した給電方式を図3に示す。6本のタンゲステン電極を用い、それらを全体に電圧を印加する場合と、各電極に順に電圧を印加し放電を強制的に分散させる場合について検討した。その結果、強制分散させた場合にクラックレス加工が可能なることを確認した。

### 4. 電極送り機構の小型化と改良

電極送り機構を小型化するために駆動源に圧電素子を用いた。開発した方法には、インパクト駆動機構による方法、インチワーム機構による方法、楕円運動を用いる方法がある<sup>3)~14)</sup>。これらと従来方式の電極送り機構とを比較した結果を表1に示

表1 電極（主軸）送り機構の比較

電極保持方式	チャック			電極ダイレクトライブ						
	駆動方式	外形寸法 mm	応答周波数*3	送り分解能	ストローク	製作精度	静的駆動力*2	電極径変更時の調整	多電極化	適する用途
	電磁モータ+ねじ	油圧シリンダ	可動コイル	インパクト駆動	インチワーム	楕円運動	摩擦駆動			
	1000×300×300	1000×300×300	80×80×80	70×70×90	10×10×60	26×30×90	60×20×70	100×100×100		
	数10Hz	数10Hz	数100Hz	1kHz	800Hz	5kHz	1kHz	数10Hz		
	0.1 μm~	数 μm~	数 μm~	0.02~0.6 μm	~数 μm	~数 μm	~数 μm	~数10 μm		
	数10cm~	数10cm~	数mm	10mm*1	無限*1	無限*1	無限*1	無限*1		
	高	高	低	低(送り面の真直度)	低	高(クランプの精度)	中(クリアランスの調整)	中(クリアランスの調整)		
	数10kg	数10kg	数10g	数10g	数10g	数100g	数100g	数100g		
	容易	容易	容易	容易	容易	クランプを調整	容易	ガイドを交換		
	難	難	可能	可能	可能	可能	可能	可能		
	細穴大型工作物	大型工作物	細穴・薄板多電極	細穴多電極	丸細穴多電極	丸細穴多電極	丸細穴多電極	丸細穴多電極		ワイヤ放電加工

\*1: 原理的に無限のストロークを持つ、\*2: 静的に発生することが可能な引き上げ力、\*3: 放電加工のサーボが可能な最高周波数

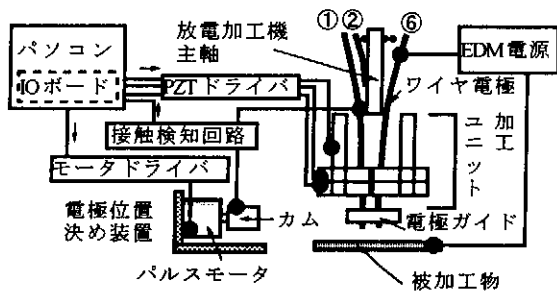


図4 システムの構成

す10)15)~18)。電極の保持方法にはチャック方式と電極ダイレクトドライブ方式の2種類がある。チャック方式は細い電極を取り付けることが困難で、かつ、電極消耗により電極が短くなると電極を交換する必要がある。電極ダイレクトドライブ方式は、電極を繰り出すことで電極消耗を補償することができる。ボールねじ式は小型化が困難であり、可動コイル型は、ストロークが短いという欠点を持つ。インチワーム機構は比較的小型に構成でき、駆動力が大きいため送りが安定している。

したがって、本手法に用いる機構にはインチワーム機構を利用した電極ダイレクトドライブ機構を用いることにした。

## 5. プロトタイプの構成

本方式では、電極ガイドでは多数の電極を近接して保持する必要がある。送り機構とガイド間で電極がたわんだ場合、電極送りが不安定になる可能性がある。これに関する予備実験を行った結果<sup>1)</sup>に基づき、プロトタイプを設計し、試作した。システムの構成を図4に、加工ユニットの外観を図5に示す。加工ユニットは放電加工機の主軸送り機構に取り付けられる。外形寸法は、約55×55×80mmである<sup>19)20)</sup>。6台のインチワーム構造を持つ電極ダイレクトドライブ機構が放射状に配置されている。ワイヤ電極には直径0.3mmのタングステン線を用いた。各電極の先端は、楕円カムへの接触を電氣的に検知することにより位置決めされる<sup>21)</sup>。位置決め可能な範囲は0.5mm、精度は1μmであった。

## 6. プロトタイプによる加工実験

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ブ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6に示す<sup>21)</sup>。この場合の加工条件を

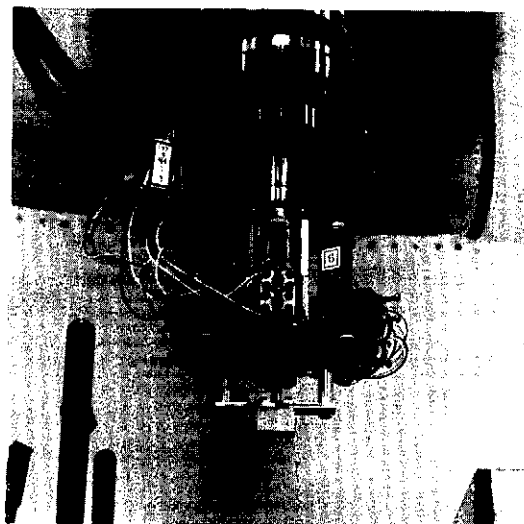


図5 加工ユニットの外観

表2に示す。加工ユニットの走査範囲は4.2×4.2mmである。加工深さは0.5mmとした。平面部A、斜面部Bともに設定形状通りに加工されていた。加工中に揺動を加えた場合、A面のうねりは約20μmであった。また、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A面の平面度は数μmまで向上した。

## 7. 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。

今後は強制放電分散によるクラックレス放電加工への展開、インプロセスの電極長さ測定法の検討を行う予定である。

## 謝辞

本研究は平成5年度天田金属加工機械技術振興財

表2 放電加工条件

極間開放電圧	150V
デューティ	10%
放電時間	16 μs
ピーク電流	4A
加工液	EDF-K
電極極性	+

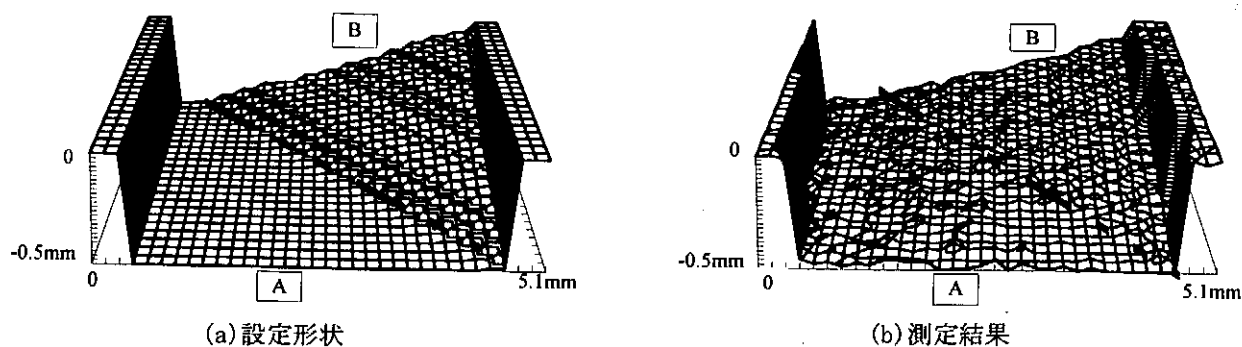


図6 加工結果の例

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工学部樋口俊郎教授、須賀唯知教授、黒沢実助教授、東京大学生産技術研究所中川威雄教授、増沢隆久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生石倉新治氏、安藤昇氏、同大学院修士課程修了生江南俊夫氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 石倉新治、古谷克司、毛利尚武：超小型電極送り機構を用いたドットマトリクス方式による三次元形状創成加工法(第1報)－構想と基礎実験－、1995年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp. 969-670 (1995)
- 2) 吉田隆夫、毛利尚武、齋藤長男、鈴木政幸、古谷克司：多分割電極による加工現象の観察、1994年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集、pp. 905-906 (1994)
- 3) T. Higuchi, K. Furutani, Y. Yamagata, K. Takeda: Development of Electro-Discharge Machine with Multiple Electrodes, Journal of Advanced Automation Technology, vol. 5, No. 2, pp. 77-82 (1993)
- 4) 古谷克司、毛利尚武、齋藤長男、樋口俊郎、森田浩充：衝撃力を利用した電極ダイレクトドライブ方式による超小型放電加工機の開発、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'93講演論文集、pp. 749-752 (1993)
- 5) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi, N. Saito: Development of Pocket-Size Electro-Discharge Machine with Multiple Degrees of Freedom, Proceedings of the 1993 JSME International Conference on Advanced Mechatronics, pp. 561-566 (1993)
- 6) 古谷克司、毛利尚武、樋口俊郎、齋藤長男、森田浩充：精円運動を利用した電極ダイレクトドライブ方式の開発、平成5年度電気学会産業応用部門全国大会講演論文集、pp. 671-672 (1993)
- 7) 古谷克司、毛利尚武、樋口俊郎、齋藤長男：超小型放電加工機(第6報)深穴の加工性能、1993年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp. 107-108 (1993)
- 8) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi, N. Saito, H. Morita: Direct Drive Method of EDM Electrode Utilizing Elliptically Moving Devices, Proceedings of International Conference on Machining Technology in Asian & Pacific Regions, pp. 224-229 (1993)
- 9) 古谷克司、毛利尚武、樋口俊郎：衝撃力を利用した電極ダイレクトドライブ方式による超小型放電加工機の開発(第2報)－電極の送り量のシミュレーション－、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'94講演論文集、pp. 547-552 (1994)
- 10) 古谷克司：圧電素子を利用した放電加工用小型電極送り機構に関する研究、平成6年度東京大学審査学位論文、(1994)
- 11) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi: Direct Drive Method of EDM Electrode Utilizing Impulsive Force, Proceedings of the 2nd Japan-France Congress on Mechatronics, vol. 1, pp. 184-187 (1994)
- 12) 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)
- 13) 古谷克司、毛利尚武、樋口俊郎：精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)
- 14) H. Morita, K. Furutani, N. Mohri: Electrical Discharge Device with Direct Drive Method for Thin Wire Electrode, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 73-78 (1995)
- 15) 古谷克司、毛利尚武、樋口俊郎：圧電素子を利用した小型電極送り機構、電気加工技術、vol. 18, No. 59, pp. 9-14 (1994)
- 16) 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)
- 17) K. Furutani, N. Mohri, T. Higuchi: Miniaturized Electrode Feeding Devices Using Piezoelectric Elements, Proceedings of International Symposium for Electro Machining XI, pp. 621-628 (1995)
- 18) 古谷克司、毛利尚武、樋口俊郎：圧電素子を利用した放電加工用電極送り機構、第7回電磁気関連のダイナミクスシンポジウム講演論文集、pp. 441-444 (1995)
- 19) 江南俊夫、安藤昇、古谷克司、毛利尚武：超小型電極送り機構を用いたドットマトリクス方式による三次元形状創成加工法(第2報)－加工ユニットの動作の確認と加工実験－、1995年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集、pp. 309-310 (1995)
- 20) 江南俊夫、安藤昇、古谷克司、毛利尚武：超小型電極送り

機構を用いたドットマトリクス方式による三次元形状創成  
加工法、電気加工学会全国大会(1995)講演論文集、pp. 115-  
118 (1995)

21) 江南俊夫、古谷克司、毛利尚武：超小型電極送り機構を用

いたドットマトリクス方式による三次元形状創成加工法  
(第3報)－電極消耗量の補償効果－、1996年度精密工学会  
春季大会学術講演会講演論文集、pp. 233-234 (1996)