放電加工*

Electrical Discharge Machining

増沢隆久**
Takahisa MASUZAWA

1. はじめに

放電加工技術の進展は急速で、10年、15年前とは技術レベルに格段の相違がある。切削技術と競合する場面も多く、例えば高速切削の普及により形彫り放電加工のシェア減少などの局面もあったが、現在、放電加工機は成熟した工作機械の一つとして確固たる位置を占めている。

以下、最近の10年間における新技術を中心に、放電加工技術の発展傾向をかいつまんで紹介する。

2. 実用機械の進歩

放電加工機は世に現れた当初より自動機であったが、他の工作機械とは加工現象が異なり、したがって自動機としての方式も独特のものであった。最近では他の工作機械と共通的な基盤をもつ方向に進展しつつあり、使い方の面での進歩が著しい。

放電加工は現象が複雑であるが、ファジー理論の導入以降現象制御が容易となった。最近では3DのデータモデルによるCADが一般化し、制御も適応制御がなされるようになってきている¹⁾²⁾。

また、放電加工を実施するプロセス全体のシステム化も、段取りや工具電極の取扱いを含め急激に進んでおり^{3)~5)}、電極成形と放電による実加工との連結方法にも格段の進歩が見られる。

このように、現在では放電加工機は既に特殊な加工装置ではなく、一般的な工作機械の一つとして製造現場に定着している。

加工機能に関しては、従来油圧に始まり、サーボモータ制御へと進んできた電極送り制御に、リニアモータを用いるなどによる高速性が付与され、深い加工、仕上げ領域の加工といった放電加工の得意とする場面における加工能率、精度の向上に寄与している⁶⁾。

こうした技術向上は形彫りのみならず、ワイヤ放電加工においても並行して進展している²⁾⁷⁾。ワイヤ放電加工では水系の加工液を用いることが多く、超硬合金などの加工

では電解現象の影響により表面の腐食などが問題となっていたが、これも両極性回路の適用が普及した結果、過去の問題となりつつある。

一方、最近のマイクロ・ナノテクノロジーの重要性に適応して微細加工用の放電加工機も、高度の応用に耐えるものが次々と開発され、市場に出てきている。

3. 電極および加工媒体

以前は、電極材は銅、加工液は形彫りではパラフィン系の油、ワイヤ放電加工ではイオン交換水、というのが一般的であった。最近の傾向としては電極材としてグラファイトを用いる例が増えてきており、それに対応した加工電源等の開発も進んでいる。また、放電の安定性が良く、成形が容易な亜鉛や⁸⁾、微細・仕上げ条件での消耗が極端に少ないダイヤモンド系の材料も実用化の研究が進んでいる⁹⁾。また、加工液については、導電性の粉末を混入することで、仕上げ領域での加工面、加工安定性の向上がなされ、有機剤の水溶液により加工速度の向上が得られるなど、新技術が開発され、実用機にも適用されている。また、従来の常識を破り、液ではなく、空気、酸素などの気体を媒体とする放電加工も実用化に近づきつつある¹⁰⁾¹¹⁾。

4. 微細加工

最近の加工技術における重要な応用分野である微細加工においては、放電加工は重要な技術として期待されており、その技術的進展も著しい。まず、微細工具電極を得るための微細軸成形技術にはいくつかの革新的開発がなされている。例えばワイヤ放電研削¹²⁾ (WEDG) は多くの微細加工専用機において標準装備となりつつある。また、さらに高能率な方式も開発が進んでいる¹³⁾¹⁴⁾。また、その派生技術として微細なボールプローブを成形する技術も開発された¹⁵⁾。

加工形状に関しては穴加工、スリット等の単純な形状から、さらに3次元形状加工の技術も開発され¹⁶⁾、微細な中ぐり加工のシステムも発表されている¹⁷⁾。

微細加工においては穴加工の需要が最も多いが、放電加工特有の加工面等に対して研磨による仕上げを施して高度の製品とする手法も開発されている¹⁸⁾¹⁹⁾。

放電加工では工具とワークの材料強度順位が影響しないため、焼結ダイヤモンドなどの高強度材料へのマイクロ加工も重要な将来性を秘めている²⁰⁾。

ワイヤ放電加工においても微細化への対応が進んでい

*原稿受付 平成20年7月22日

**正会員 増沢マイクロ加工技術コンサルティング (神奈川県相模原市相模大野 3-11-17-403)

増沢隆久

1971年東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専門課程博士課程修了。工学博士。研究内容はマイクロ加工、電気的加工法、微細形状の測定。著書は「やさしいマイクロ加工技術」日刊工業新聞社(2000)など。

る。使用可能なワイヤ径は年々微細化しており、市販機でも $20\mu\text{m}$ 径のワイヤが使えるものが始まった。これによって複雑で微細な断面のノズルやダイなどの切り抜き加工が容易に行えるようになった。

微細加工の応用範囲は工具、型、部品など幅が広いが、砥石のツーリングへの応用も重要な分野の一つである²¹⁾²²⁾。

5. 現象解析の進展

放電加工は実際に加工現象が生起する狭いギャップにおける現象把握が難しい加工法であるが、その解析は着々と進んでおり、将来さらに加工プロセスが明らかになっていくものと思われる。例えば、放電そのものの解析²³⁾、放電位置の解析²⁴⁾、クレータ形成現象の解析²⁵⁾、加工プロセスの解析²⁶⁾などが急ピッチで進められており、加工の全体像が明らかにされる日も近づきつつある。

6. 新しい手法への展開と今後への展望

上述のように、放電加工は成熟した加工技術の側面を有する一方、まだ現象には神秘的な部分もあり、そこからは全く新しい手法の芽も出現する可能性を秘めている。

最近現れた新しいタイプの放電加工として、放電による除去ではなく、ワーク表面への付着を利用した付加層形成技術²⁷⁾、もともと導電性のないセラミックスに表面のみ導電処理すれば本体も加工できるという絶縁性セラミックス加工技術²⁸⁾などが挙げられる。後者は形彫りばかりではなく、ワイヤ放電加工への適用も可能性が示されている²⁹⁾³⁰⁾。

従来からある適用分野における性能向上の動きは今後ますます進むものと推測され、また、新しい手法の発見や、他の加工法との複合なども、いろいろなケースが考えられる。放電加工にはさらなる発展を期待できるであろう。

参 考 文 献

- 1) 林英明, 渡辺浩太郎, 榎本耕二: 3D モデルを用いた, 加工最適化制御に関する研究, 電気加工学会全国大会 (2007) 講演論文集, (2007) 283-284.
- 2) 野田哲男, 岩本貴司, 佐々木一真, 玉置久: 能動型探索アルゴリズムによる加工制御パラメータ調整の自動化, 電気加工学会全国大会 (2007) 講演論文集, (2007) 281-282.
- 3) 安友一: 放電加工およびプロセスチェーンのシステム化, 電気加工学会誌, **39**, 90 (2005) 2-5.
- 4) 米倉竜二: 段取り作業のシステム化, 電気加工学会誌, **39**, 90 (2005) 6-8.
- 5) 齋藤幸一: 3R パレットシステムによる, コストダウンと納期短縮, 電気加工学会誌, **39**, 90 (2005) 13-17.
- 6) 英博: リニアモータ駆動小型超精密形彫放電加工機の紹介, 電気加工学会誌, **36**, 83 (2002) 20-23.
- 7) 吉田伸一: 最上位機種リニアモータ駆動小型超精密ワイヤ放電加工機, 電気加工学会誌, **36**, 83 (2002) 24-27.
- 8) 南久, 増井清徳, 塚原秀和, 萩野秀樹: 亜鉛電極による超硬合

- 金の微細加工, 電気加工学会全国大会 (2004) 講演論文集, (2004) 87-90.
- 9) 鈴木清, 岩井学, シェルマ・アヌラグ, 植松哲太郎, 佐野定男: 導電性 CVD ダイヤモンド圧膜電極による微細放電加工, 電気加工学会全国大会 (2004) 講演論文集, (2004) 95-98.
- 10) 虞戦波, 高橋潤, 中島宣洋, 佐野定男, 国枝正典: 超硬合金における気中創成加工に関する研究, 電気加工学会誌, **39**, 92 (2005) 20-27.
- 11) 虞戦波, 渡部善博, 宇井余始次, 中島宣洋, 佐野定男, 国枝正典: 気中ワイヤ放電加工における超硬合金加工の試み, 電気加工学会誌, **40**, 95 (2006) 146-153.
- 12) T. Masuzawa, M. Fujino, K. Kobayashi and T. Suzuki: Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-Machining, Annals of the CIRP, **34**, 1 (1985) 431-434.
- 13) 谷貴幸, 後藤啓光, 李珠瓊, 毛利尚武: スリット間中心追跡マイクロ放電加工による微細軸成形特性, 電気加工学会全国大会 (2007) 講演論文集, (2007) 331-332.
- 14) 田辺里枝, 鈴木大, 保科貴史, 伊藤義郎, 毛利尚武: 単発放電による微細軸の形成精度—電流波形の効果— (第1報), 電気加工学会全国大会 (2007) 講演論文集, (2007) 335-336.
- 15) 許東亞, 陳亮嘉: 微細単発放電による CMM 用マイクロボールチップの加工に関する研究—放電エネルギーとボールサイズの関係—, 電気加工学会全国大会 (2005) 講演論文集, (2005) 21-24.
- 16) Z.Y. Yu, T. Masuzawa and M. Fujino: Micro-EDM for Three-Dimensional Cavities, Development of Uniform Wear Method, Annals of the CIRP, **47**, 1 (1998) 169-172.
- 17) 内村明高, 増沢隆久, 藤野正俊: マイクロ放電旋盤の開発, 電気加工学会全国大会 (2004) 講演論文集, (2004) 13-14.
- 18) 佐野定男, 加藤善考, 鈴木清: 超硬合金の高精度微細穴放電加工の研究, 電気加工学会全国大会 (2006) 講演論文集, (2006) 41-42.
- 19) 山口美賀, 増沢隆久, 藤野正俊: WEDG 製品の機械的研磨, 電気加工学会全国大会 (2004) 講演論文集, (2004) 23-24.
- 20) 中奥洋, 増沢隆久, 藤野正俊: 焼結ダイヤモンドの微細放電加工, 電気加工学会誌, **39**, 91 (2005) 24-28.
- 21) 岩井学, 張丹陽, 田中幸徳, 佐野定男, 植松哲太郎, 鈴木清: 導電性ダイヤモンド切刃砥石の放電ツーリング, 電気加工学会全国大会 (2005) 講演論文集, (2005) 41-42.
- 22) N. Nebashi, K. Wakabayashi, M. Yamada and T. Masuzawa: In-Process Truing/Dressing of Grinding Wheels by WEDG and ELID, Int'l. Journal of Electrical Machining, **3** (1998) 59-64.
- 23) 小島彰, 国枝正典: 放電加工アークプラズマの熱平衡に関する分光学的研究, 電気加工学会誌, **41**, 97 (2007) 56-60.
- 24) 韓福柱, 国枝正典: カオスを用いた放電加工の放電点分布の解析, 電気加工学会誌, **35**, 79 (2001) 16-23.
- 25) 武沢英樹, 小久保博高, 毛利尚武, 堀尾健一郎: 低融点合金を用いた単発放電に関する研究 (第1報)—放電痕除去量と単発放電条件の関係—, 電気加工学会誌, **42**, 99 (2008) 5-11.
- 26) 森本賢治, 国枝正典: 極間隙の流体解析と放電点探索アルゴリズムの連成による形彫り放電加工シミュレーション, 電気加工学会全国大会 (2006) 講演論文集, (2006) 17-20.
- 27) 岡根正裕, 後藤昭弘, 寺本浩行, 中村和司: パルス放電を利用した金属皮膜形成技術に関する研究, 電気加工学会全国大会 (2007) 講演論文集, (2007) 317-318.
- 28) 谷貴幸, 福澤康, 古谷克司, 毛利尚武: 絶縁性セラミックスの放電加工プロセス, 精密工学会誌, **63**, 9 (1997) 1310-1314.
- 29) 金子健正, 福澤康, 山田隆一, 金子雄二, 原田武則: 高強度絶縁性炭化珪素セラミックスのワイヤ放電加工特性, 電気加工学会全国大会 (2007) 講演論文集, (2007) 325-328.
- 30) 後藤啓光, 谷貴幸, 福澤康, 毛利尚武: 絶縁性 Si_3N_4 セラミックスのワイヤ放電加工, 電気加工学会誌, **40**, 95 (2006) 162-168.