

新しいワイヤ放電加工機の性能評価と活用事例

○白木尚康^{A)}，御厨照明^{A)}，鷺見高雄^{A)}，山本浩治^{A)}，中木村雅史^{A)}

^{A)} 工学系技術支援室 装置開発技術系

概要

精密加工に適したリニア駆動を装備した新しいワイヤ放電加工機 WEDM（ソディック社製 AQ327L）は、G-COE の設備品として 2009 年 3 月末に赤崎記念研究館の装置開発ファクトリーに導入され、従来稼働中の WEDM（三菱電機社製 FX10）と共にさらに研究開発業務に寄与することが期待される。稼働に際して、AQ327L と FX10 を機能面と性能面での比較・評価を行った。機能面では主にカタログより比較を行い、性能面では試料を作製して、加工精度や加工面粗さ、加工時間などを測定し、両 WEDM の評価を行った。加えて、AQ327L は細線である $\phi 0.07\text{mm}$ のワイヤが使用可能なので、通常の加工に用いている $\phi 0.2\text{mm}$ と同様の比較を行った。また、薄板加工や細線を使用したスリット加工等の活用事例も併せて報告する。

1 機能比較

表 1 機能の比較

機能の比較を表 1 に示す。今回導入された AQ327L の最大の特徴は、X、Y 軸の駆動方式にリニア駆動を採用していることである。リニア駆動は従来のボールネジに比べ、軸の磨耗から生じる加工精度の低下や位置制御の正確さという観点から優位性がある。また、電極に使うワイヤも $\phi 0.07\text{mm}$ （オプション）が使用でき、微細加工に適している。

構造上の構成や CAD 等について FX10 と比較してみると、加工槽は AQ327L が 3 面自動で開閉する仕組みになっているので、ワークのセットがしやすい。一方、FX10 は前面のみの開閉で手動により行う。加工機にワイヤをセッ

トする際、AQ327L は正面のみで行えるのに対し、FX10 は側面にワイヤホルダーがあるので、側面および正面でセットしなければならない。

加工のための準備段階におけるワイヤ結線については、AQ327L の特徴である割りガイドによりすばやい結線が行えるのに対し、FX10 は約 8 倍の時間がかかっている。また、FX10 では $\phi 0.1\text{mm}$ のワイヤの自動結線に失敗するケースが多く手動により行っていたが、AQ327L では最小径 $\phi 0.07\text{mm}$ でも自動結線ができる。

メーカー	ソディック	三菱電機
機 種	AQ327L	FX10
購 入 年	2009	1997
駆動方式	リニア駆動	ボールネジ駆動
ワイヤ電極径 (ϕ)	0.15~0.3mm	0.2~0.3mm
(オプション)	0.07, 0.1mm	0.1, 0.15mm
移動量 (X×Y×Zmm)	370×270×250	350×250×220
テーブル定盤	コの字一体	ロの字一体
加工槽の形状, 開閉	三面 (自動)	前面のみ (手動)
ワイヤセット	正面のみ	正面および側面
自動ワイヤ結線 ($\phi 0.2\text{mm}$, Z軸高さ:100mm)	早い (12sec)	遅い (95sec)
ワイヤ垂直出し	難しい	簡単
CAD, NCデータ	加工機に附属	外部, FD移動
ワイヤ消費量 (SUS304, 加工距離:25mm)	17.2g (加工時間:6min)	25g (加工時間:7min)
消 耗 品	安 価	高 価

CAD および NC データについて, AQ327L は加工機本体で CAD から NC データが作成できるのでデータ移動の必要がなく便利である. これに対し FX10 では外部の PC に CAD があり, そこで NC データを作成しフロッピーディスクを用いてデータを加工機に入力する方式になっている.

ワイヤの消費量についてはステンレス鋼 SUS304 を用いて同一形状加工を行い, 比較した. AQ327L は時間で 14%, ワイヤは 31% 節減できることがわかった. 消耗品については, FX10 に比べて AQ327L はワイヤにより消耗するダイスおよびノズルカバーと加工液をろ過するためのフィルターおよびイオン交換樹脂, そして最大の消耗品であるワイヤの価格が安価である. 以上のことから, AQ327L は FX10 に比べランニングコストの点からも有利であることがわかる.

2 性能比較

2.1 試料製作と材質

評価用の試料は 10mm の立方体のパンチ形状で, 材質はステンレス鋼 (SUS304) とジュラルミン (A2017S) の二種類を用いた. 加工回数は, 主に実際の業務で行われる 1 回の加工で形状寸法を得るファーストカット (1st cut) と, さらに高い面粗度を得るための複数回加工のセカンドカット (2nd cut) を行った.

図 1(a), (b)にそれぞれの加工経路を示す.

ワイヤはスタートホールから 5mm の助走の後, 矢印の方向に進行していく. ここで, 加工条件はメーカー仕様のもを用いた.

なお, 試料の加工面粗さ (R_y : 最大高さ JIS B 0601:1994) の測定には, Rank Taylor Hobson 社製の From Talysurf 50e を用いた. 加工精度は, Mitutoyo 製 QM-MEASURE 353 三次元測定器を使用して平行度を測った. また, 加工時間は WEDM の記録を用いた.

2.2 AQ327L と FX10 の比較

試料はワイヤ径 $\phi 0.2\text{mm}$ を用い, 1st cut で作製した. 表 2 に AQ327L と FX10 の測定結果を示す.

SUS304 と A2017S の両材質および両 WEDM とともに, R_y については $17\mu\text{m}$ 前後とメーカーの設定値以内であり, 平行度も 10mm 角の試料寸法に対して $4\sim 6\mu\text{m}$ 幅に治まっているが, AQ327L の方が

FX10 に比べて精度は良いようだ. 加工時間は, SUS304 の場合は AQ327L の方が FX10 より 14% ほど短い, A2017S では逆に約 9% 長くなっている.

2.3 AQ327L について

AQ327L は $\phi 0.07\text{mm}$ のワイヤを使った微細加工が可能なので, $\phi 0.2\text{mm}$ と $\phi 0.07\text{mm}$ の二種類のワイヤについて 2.2 同様に試料を作製して評価を行った. 測定結果を表 3 に示す.

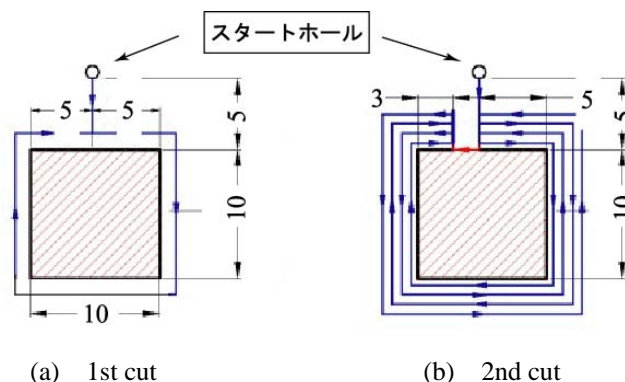


図 1. 製作した試料の加工経路

表 2 AQ327L と FX10 の比較 ($\phi 0.2\text{mm}$)

材 料	WEDM	加工面粗さ R_y (μm)		加工時間 t (min)	加工精度 平行度 p (μm)
		メーカー値	実測値		
SUS304	AQ327L	20	17.3	6:01	4.3
	FX10	16~20	17.1	7:04	5.8
A2017S	AQ327L	20	16.9	3:39	4.7
	FX10	30~40	17.1	3:21	5.8

まず、SUS304 での $\phi 0.2\text{mm}$ における 1st cut と 2nd cut (この場合 4 回加工) の比較では、2nd のほうが加工時間は 4 倍かかっているが、加工距離 (図 1(b)) を考慮すれば妥当な値といえる。Ry は 1st の 1/3

表 3 AQ327L のワイヤ径および加工回数による比較

材 料	加工回数	ワイヤ径 ϕ (mm)	加工面粗さ Ry (μm)		加工時間 t (min)	加工精度 平行度 p (μm)
			メーカー値	実測値		
SUS304	1st	0.2	20	17.3	6:01	4.3
	2nd	0.2	2.5	3.7	24:08	3
	2nd	0.07	2.5	6.4	1:35:33	2.2
A2017S	1st	0.2	20	16.9	3:39	4.7
	2nd	0.2	2	3.3	13:39	1.2
	2nd	0.07	—	13	59:51	3.2

程度まで低下している。平行度も 2nd のほうが良好である。 $\phi 0.07\text{mm}$ の加工では、加工時間が $\phi 0.2\text{mm}$ の約 4 倍と大幅に増加しているのに対し、平行度は向上しているものの、Ry は逆に大きくなっている。今後、加工条件を精査する必要があるものと思われる。

一方 A2017S の $\phi 0.2\text{mm}$ の加工では、2nd が 1st に比べて加工時間は約 3.7 倍と長くなっているが、Ry、平行度ともに 1st のほぼ 1/4 程度に低下している。しかし $\phi 0.07\text{mm}$ の 2nd cut での比較では、時間は $\phi 0.2\text{mm}$ の 4.4 倍もかかっているのに、Ry、平行度ともに悪くなっている。 $\phi 0.07\text{mm}$ における A2017S の加工条件はメーカーでは用意されていないので、今回 SUS304 と同じ条件で行っている。このことが Ry および平行度の悪化の原因と考えられる。

以上のことから、現時点では幅 0.2mm 以下のスリットの作製などの場合を除き、通常の加工には $\phi 0.07\text{mm}$ より $\phi 0.2\text{mm}$ のワイヤを使用したほうが加工時間も短く、良好な加工面粗さおよび加工精度も得られることがわかった。

3 活用事例

3.1 薄板加工

表 4 薄板加工実験結果

AQ327L は Z 軸をリミット限界まで下げても、薄板の場合ノズルを密着させることはできない。ノズルを密着させないと噴流等の影響で薄板が振動し、ワイヤが断線して加工が進まないことがある。マニュアルには、薄板加工の場合は加工条件の放電時間設定値 ON と主電源電圧設定値 V のどちらかひとつ

試料No.	放電時間 ON	主電源電圧 V	瞬間速度 (mm/min)	加工時間 (min)
1	1	8	5.0	6:18
2	2	8	7.0	5:18
3	6	1	10.2	3:34
4	6	2	10.9	3:32
メーカー推奨	6	8	—	—

つかあるいは両方を小さくすることで改善されると書いてあるので、実際に加工実験をし、検証した。

材質は SUS304 の 0.5mm 厚の板を用いて、5mm 角のパンチ形状を作製した。加工はワイヤ径 $\phi 0.2\text{mm}$ を用いて 1st cut で行い、助走区間は 5mm とした。加工条件はパラメータの ON と V のどちらか一方を一定とし、他の値を徐々に小さくすることとした。ちなみに、メーカー推奨条件は ON が 6、V は 8 である。

加工実験結果を表 4 に示す。表より V のみ数値を小さくした No.3, 4 が瞬間速度、加工時間ともに良い結果を出すことができた。また、加工寸法をマイクロスコープで計測したところ、 $\pm 0.02\text{mm}$ で加工できていることを確認した。ワイヤの断線は、加工実験中は一度も生じなかった。したがって、今後の薄板加工では V を 1 もしくは 2 に設定することで、ワイヤ断線がなく加工時間も短い良好な加工ができるものと思われる。

3.2 スリット加工

スリット加工は、薄板加工とともにワイヤ放電加工での業務依頼が多い。AQ327Lはワイヤ径 $\phi 0.07\text{mm}$ が使用できるので、溝幅 0.1mm のスリットの作製を試みた。材質は SUS304 の 5mm 厚の板を用い、スリット寸法は幅 0.1mm 長さ 20mm のものを 1st cut で直線加工をした。

最初はメーカー推奨条件で行ったところ、幅 0.125mm のスリットができてしまった。目標は 0.1mm なので加工条件に検討を加え、最終的に主電源電圧 V を 1.0 から 0.1 に補助電源回路 HRP を 407 から 000 に変更して加工を行った結果、図 2 に示すような幅 0.098mm のスリットが製作できた。スリット境界面が粗いという課題があるが、加工条件を検討することで改善できると考える。

3.3 プロジェクトイル製作

図 3 に、業務依頼で製作したプロジェクトイル（飛翔体）とサボ（発射台）を示す。サボに連結されたプロジェクトイルは、He ガスの噴出によって発射された後サボと分離し飛び続ける。その軌跡を評価するつまりプロジェクトイルの空気力学的特性を検証するのが、実験の目的である。ここで重要なことは、分離後のプロジェクトイルの直進性であり、プロジェクトイルとサボ双方の高精度加工が要求される。すなわち、プロジェクトイルとサボとのはめ合いが重要で、ガタがなくかつ抵抗なくスムーズに着脱できることが望ましい。

プロジェクトイルは、SUS304 で作製した長さ 7.7mm の円錐形先端部と、それ以外の翼を持つ長さ 30mm 幅 12mm の A2017S 製のボディ部から構成されている。

ボディ部は、①図 4 に示す長さ 30mm 、幅 12mm 、翼部分の厚さ 1mm 、中央の円柱部の直径が $\phi 4\text{mm}$ の形状のものを作製し、②その円柱部分を NC 旋盤で加工した後、③翼部分をマシニングセンタで 3 次元加工して完成する。先端部は $\phi 4\text{mm}$ の SUS304 丸棒に M2.5 のネジを切り、ボディ部と一体にした後、NC 旋盤で加工して、プロジェクトイルを完成させた。なお、サボはマシニングセンタで精密加工した。材質はポリカーボネートである。

当初ボディ部①はマシニングセンタで作製していたが、片持ち加工であるため、加工精度に問題があった。そのため、完成したプロジェクトイルとサボとのクリアランスが約 0.1mm もあり、その大きさが課題であった。そこでボディ部①を、WEDM を用いて作製してみた。加工は 2nd cut（3 回加工）で行った。完成した形

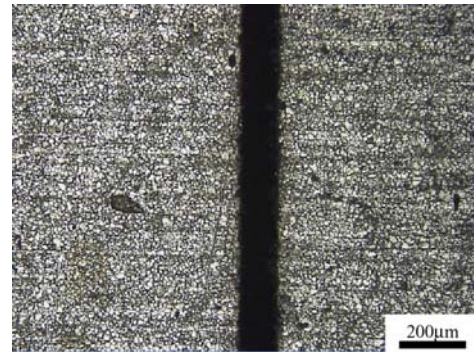


図 2. スリット加工（幅 0.098mm ）

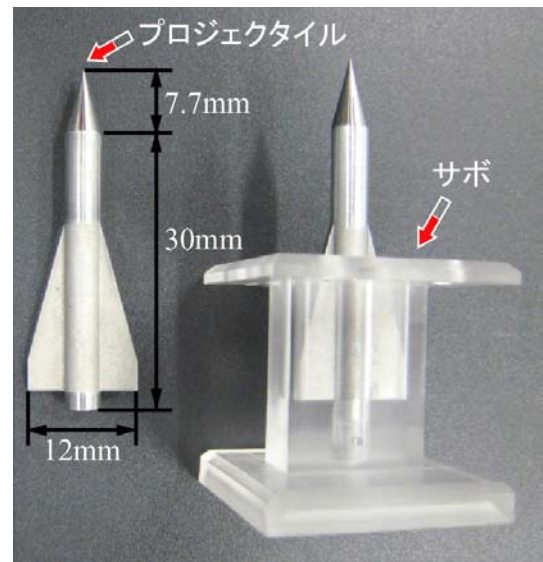


図 3. プロジェクトイルとサボ

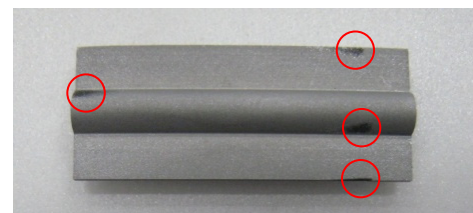


図 4. WEDM で製作したボディ部①

状および寸法は要求どおりのものであったが、図4中の赤丸で示すような、放電焼けが数箇所が発生した。この状態では製品としては使用できない。原因は加工の最後でワークからボディ部①を切落とす際、ボディが振動し、その一部分がワークに接触したことによってショートしたことである。この問題は、切落とし時におけるプログラムの一部を変更すること（具体的には加工条件を1st cutではなく2nd cutで、つまり放電電流を下げる）と、スラッジを除去する機能を持つ噴射を高圧から低圧に変えることで、ボディ部①の振動を抑えることに成功して解決した。

以上のような過程で製作したプロジェクトイルとサボとのクリアランスは0.02mmとなり、精度の高いプロジェクトイルの製作が可能になった。なお、プロジェクトイル完成までの加工時間は約50分で、そのうちWEDMで作製したボディ部①は15分程度を要している。

3.4 剣状デバイスの製作

培養容器の下部より磁性体を含む生体試料位置を保持したまま長期間培養するためのデバイス、剣状デバイスの製作依頼があった。突起部が正方形で等間隔であることが、重要な事例である。材料は電磁軟鉄(SUYB)で、一辺20mmの正方形、厚さ10.3mmのブロック材の先端に、 $0.1 \times 0.1 \text{mm}^2$ で高さ0.3mmの突起を0.3, 0.25, 0.2, 0.15mmの間隔で作製する。

デバイス間の最小距離が0.15mmなので、 $\phi 0.07 \text{mm}$ のワイヤを用いて作製した。自動プログラムで一筆書きのNC加工を行うと、加工によって開放されたワーク固有の内部ひずみが開放されて、突起部が変形するおそれがある。そこでまず図5(1)に示すように、オフセット値を0にしてワイヤを往復させて、幅0.1mm程度の溝を作製するとともにひずみを開放した。次にスタート地点に戻って、オフセットをメーカー指定値に設定して往路では溝の右側の面(図5(2))を、復路では左面(図5(3))を加工した。

図6は完成した剣状デバイスのマイクロスコープ画像である。図中の上の画像がデバイスの一部を上から撮ったもので、下の画像は拡大した横からのものである。ほぼ依頼どおりの製品が製作できたと思っている。なお、加工時間は約11時間であった。

4 まとめ

機能比較と性能比較することで、ソディック社製ワイヤ放電加工機AQ327Lの特徴を理解することができた。加工実験では、AQ327L, FX10ともにワイヤ径 $\phi 0.2 \text{mm}$ の加工では、加工面粗さ(R_y)はメーカー値精度以内であり、加工精度(平行度)も良好な値を示した。AQ327Lの細線加工($\phi 0.07 \text{mm}$)では R_y はメーカー値より悪い。メーカー推奨の加工条件が少ないので、データベースを増やすとともに加工条件の検討を今後の課題としたい。

活用事例では基本操作だけでなく、加工条件の変更や加工方法、プログラムの編集についても学ぶことができた。今後の教育研究、技術開発業務に貢献できるよう、技術の習得研鑽に努めたいと考えている。

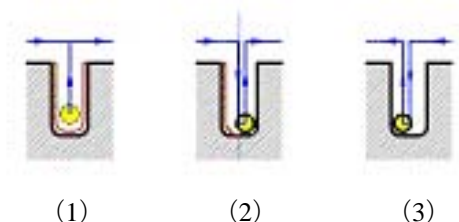


図5. 剣状デバイスの加工経路

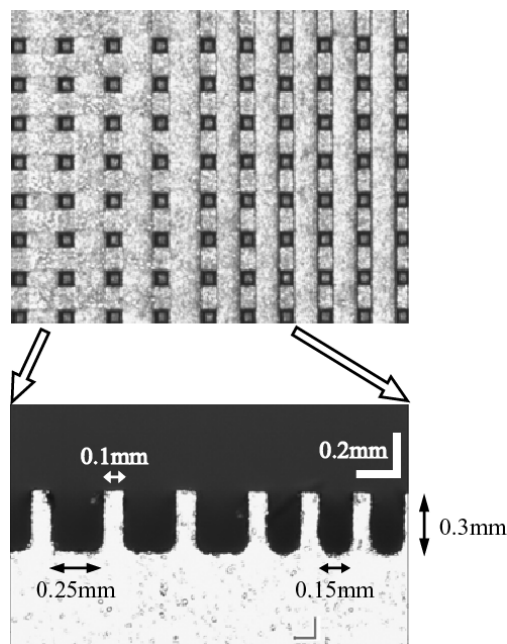


図6. 剣状デバイス