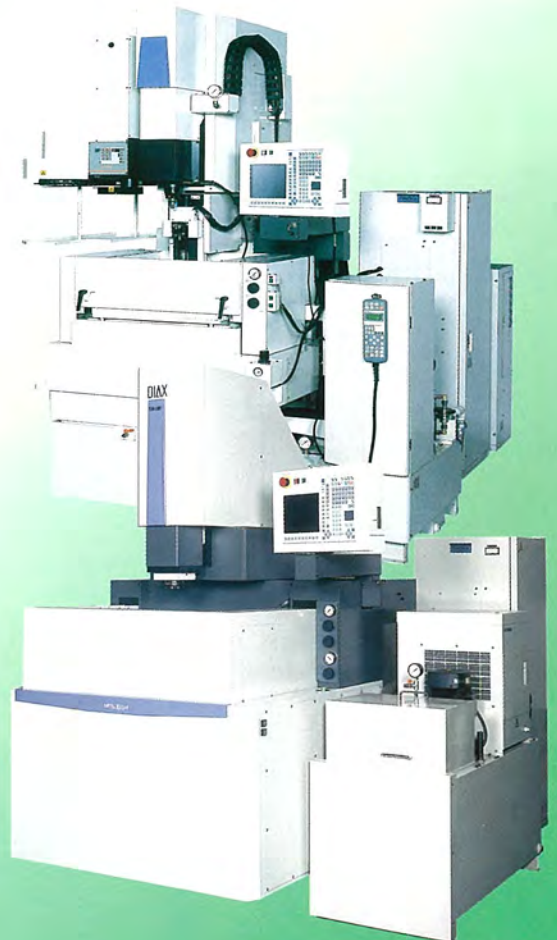
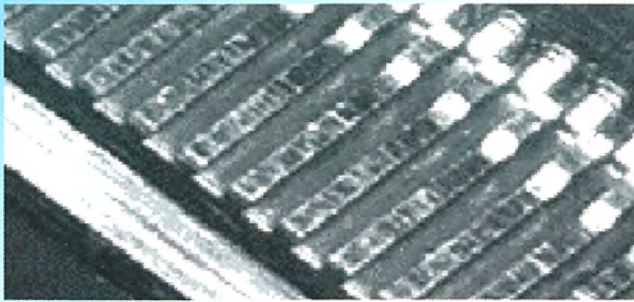
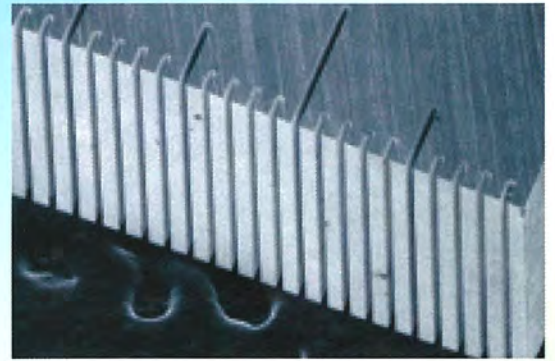


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.75 No.7

特集「ハイテク時代の精密放電加工機」

2001 7



目 次

特集「ハイテク時代の精密放電加工機」

放電加工機の将来展望	1
島名文忠	
新しい放電加工の出現と将来性	2
毛利高武	
放電加工機の最新技術動向と将来への課題	7
富本直一・新開 勝・毛呂俊夫	
形彫放電加工機EAシリーズによる高精度金型加工	11
加藤木英隆・赤松浩二・小川 元・中川孝幸	
半導体向け超精密ワイヤ放電加工機“PX05”	15
眞柄草司・大場信昭・佐藤清侍・岩田明彦	
半導体向け超高精度細穴放電加工機“VH10”	19
湯澤 隆・金谷隆史・佐々木史朗・今井祥人	
放電加工機現場へのIT実用化技術	23
七澤慎文・高橋伸行・前田美由貴	
放電表面処理技術の開発とその利用	27
松川公映・毛呂俊夫・後藤昭弘・吉田 学・三宅英孝	
64ビットCNC搭載ワイヤ放電加工機“FAシリーズ”	31
鈴木俊雄・安達章人・竹内浩志・三宅英孝	
高速ワイヤ自動供給装置“AT”	35
山田 久・大友陽一・酒井明弘	
放電加工機におけるCAD/CAMシステム	39
中村和司・渡辺浩太郎・高橋伸行・佐々木里佳	
CAD/CAMシステムを活用した放電加工自動化システム	43
杉山和永・尾崎好雄・森下宏昭	
放電加工機に対するバーチャルエンジニアリングの適用	48
秋吉雅夫・大葛勝久・今城昭彦・種田 淳	
Technology in INGERSOLL EDM system	52
Jurgen Schmitz・Georg Zander	

普通論文

固体高分子型クリーン電源	54
松本秀一・前田秀雄・篠木俊雄	
ビルシステムにおけるBACnet対応	58
吉川 寛	

特許と新案

「ワイヤ放電加工装置」「ワイヤ放電加工方法」	63
「放電加工装置」	64

スポットライト

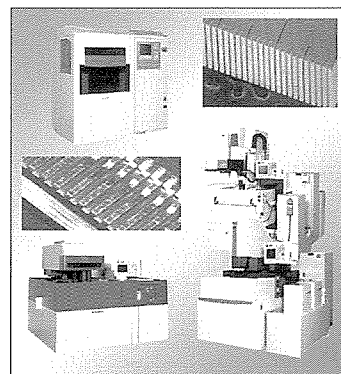
リズムフレーズプレーヤーLSI M65575-××××FP	62
統合適応制御で更に高速・高精度加工を	
——高性能ワイヤ放電加工機“FAシリーズ”——	(表3)

表紙

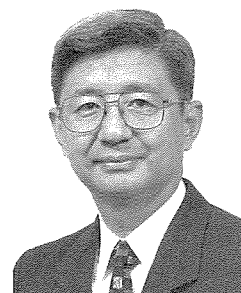
超精密金型業界を支える三菱放電加工機

三菱電機は、半導体デバイス業界のダウンサイジング、他の超高性能化に対応するため、微細かつ超高精度金型の製作技術を世界に先駆けて開発し、業界をリードしている。社会は今、携帯情報端末(IT関連)の驚異的な普及と、高速デジタル通信網のインフラ整備によって高度情報化社会が加速されている。なかでも、コア技術となる超高性能半導体は、集積密度と処理速度の飛躍的な向上が求められ、実装設計においてもダウンサイジング化に一層拍車が掛かった状態である。

写真は、そのような超精密金型を効率良く加工する当社放電加工機の製品群(ワイヤ放電加工機：PX05(左上)、FA20(左下)、形彫(右下)：VH10, EA12)と超精密金型加工事例を示している(右上は、直径0.020mmのワイヤ電極による超微細スリット加工例、左中はファインピッチコネクタ関連金型の加工事例)。



放電加工機の将来展望



FAシステム事業本部長

島名文忠

放電現象を利用した放電加工は、電気火花による瞬間的な高温によって材料を少しずつ溶かして吹き飛ばしていくので、高い加工精度と良好な仕上げ面が得られ、高硬度材料や難加工形状の加工に使用される。また、放電加工機は、工具や工作物を回転させる必要がなく、非接触加工による高精度加工、鋭いコーナー加工、三次元的形状加工、微細加工が可能等のメリットから、従来の切削加工、切断加工の代替加工として新たな適用分野が拡大している。

特にIT関連の半導体金型、精密電子部品金型のますます要求の高まる高精度、高品位、短納期を満足する生産技術手段として、超高精度放電加工機がICリードフレーム金型やコネクタ金型分野などでは主流になってきている。このような状況下の中で、三菱電機では、1964年に放電加工機の生産を開始して以来、革新的な技術開発によって“高品位加工の実現”を追求してきた。

放電加工機は、'70年代以降、金型生産を主たる目的にNC技術の導入によって飛躍的な発展を遂げてきている。しかしながら、'90年代以降、急速な進化を見せているRP（ラピッドプロトタイピング）技術や高速切削技術が金型加工分野に進出し、放電加工機の最も得意とする高硬度材の高精度金型加工領域でし（熾）烈な技術競争となっている。

近年、産業界はIT時代を迎えより微細、より高精度化へという大きなトレンドの中にあり、放電加工機にとっては大きな事業拡大のチャンスになりつつある。

さらに、近年のインターネット普及に伴うネットワーク化とともに、工作機械はCAD/CAMなどの情報系との連携、遠隔メンテナンス、サプライチェーンとの連結と大きな進展を遂げつつあり、ネットワーク化への対応が放電加

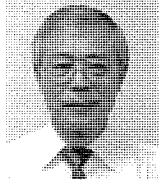
工機の重要な課題となってきている。

一方、生産拠点のグローバル化は急速に進み、コストダウンと市場に最も近い場所での生産を目的として、中国大陸への生産拠点移転に加速がかかっている。また、地域ごとに異なる要求仕様への対応として、仕様のフレキシブル化、コスト最適化、簡易な操作性などの課題を解決する必要がある。既にパソコンなどのOA機器では実施されているが、将来的には、国内の開発拠点化、生産の海外集約化などが大きな課題になる。具体的には、モジュール化、プラットフォーム化の実現がキーと考えられる。

このように激動していく事業環境の中で、常に新付加価値を求める新製品開発を安定して、かつ業界を一步リードして継続させることが事業経営戦略のかなめ（要）である。当然のことながら、これらの高度な先端技術開発は、当社の先端技術総合研究所、大学との共同研究、海外の有力企業との連携などを踏まえて、グローバルな市場調査とコンカレントな技術開発を推進していく必要がある。

将来を展望するに、放電加工機分野で特に期待される技術開発分野は、①高品位鏡面加工分野、②フルネットシェーブに対応した超高精度金型加工分野、③ μ BGA化に対応した微細穴加工システム、微細金型加工システム、④新素材に対応した高速加工技術、⑤省エネルギー指向型加工電源開発、⑥ネットワーク型自動化システム(ITを含む)、⑦光産業関連の超精密金型加工分野などと想定される。

今後も、ユーザーニーズを先取りする形で技術開発を進め、更に高度化する金型生産を中心とした現場の要求にこたえていく。



毛利尚武*

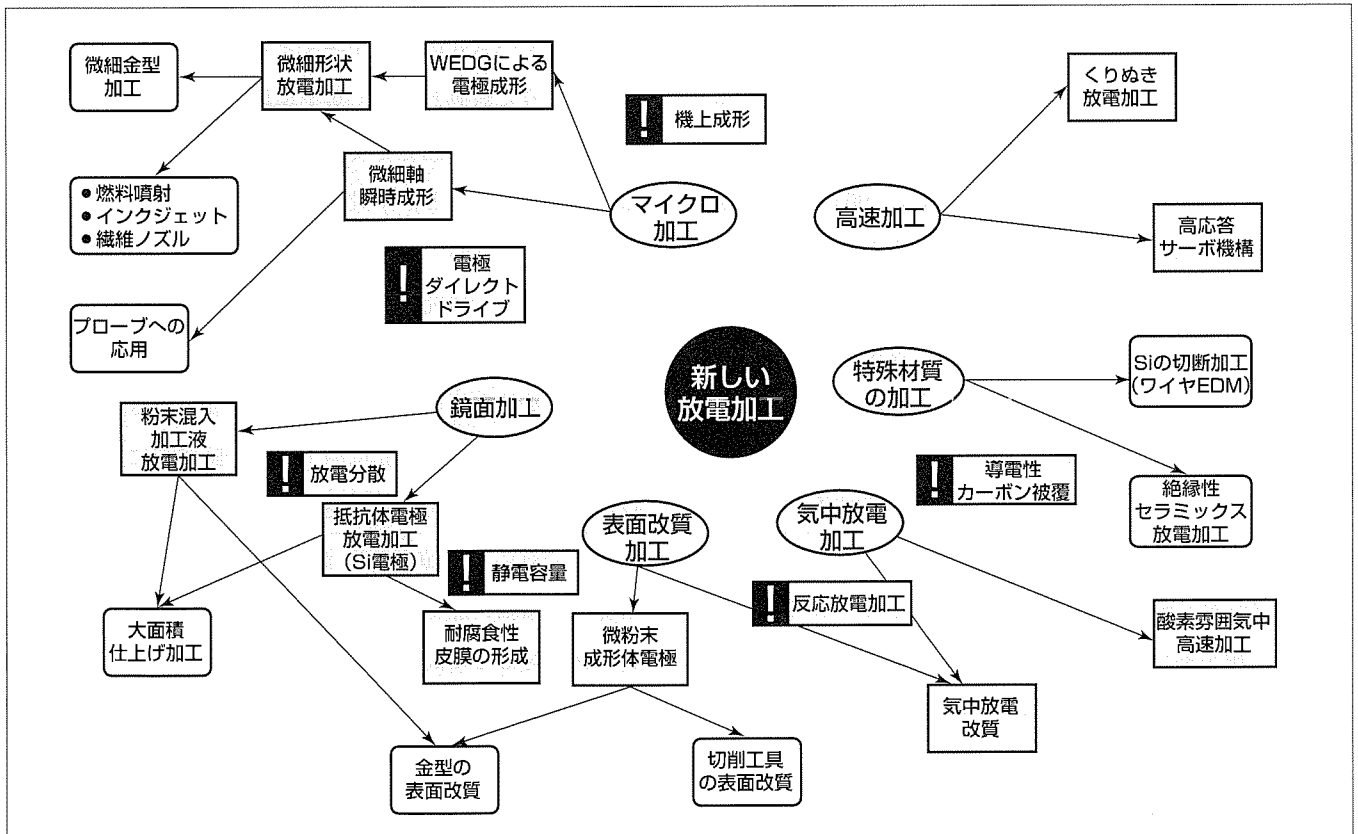
新しい放電加工の出現と将来性

要旨

放電加工は、工業的な応用がスタートした当初はタップ抜きに利用される程度であったが、その後多くの優れた研究に支えられて発展してきた。特に齋藤長男氏(三菱電機技術顧問、豊田工業大学名誉教授)らによって開発された電極低消耗加工は、金型の高精度加工に道を開いた。以後、放電加工法は、基本的には金型加工のマザーマシンとしての道を歩んできたが、ここ10年ほどの間に、これまでの常識を覆す新しい試みが盛んに行われるようになってきた。

下図に最近の放電加工に関する話題をまとめて示す。金型などの仕上げ加工においては、従来の灯油系加工液に微粉末などを加えて放電の分散を促し、大きな加工面積であっても鏡面に近い面性状が得られるようになった。成形体電極による表面改質放電加工は、放電加工は除去加工であ

るとするこれまでの常識を覆し、母材とは異なる改質面に加工物上に形成する新しい加工法となった。放電プロセスにおける化学反応を利用した最近の加工法として、酸素雰囲気中での高速加工は、従来の加工限界を打破する画期的な加工法になろう。高速加工においては、各種のサーボ機構による応答性向上の試みが盛んである。さらに、フレーム状電極によるくりぬき加工が注目を集めている。新しい加工物材料として、シリコン半導体の切断加工や絶縁性材料に対する放電加工は、これまでの常識を覆すものである。マイクロ加工は放電加工の特長を最も生かした加工法と言える。微細電極の機上成形を可能にしたワイヤ放電研削法は既にこの分野の標準手法になっている。



新しい放電加工

従来の三次元形状を持つ放電加工という概念から主に五つのコアテクノロジーが派生的に生まれつつあり、一部では実用機として製品化がされている。

なかでも、形彫放電の高速加工にはマイクロ加工と気中放電加工を組み合わせ、また化学反応を活用した酸素雰囲気中高速加工には将来高速切削の代用としての期待が大きく持たれ、除去加工の概念を大きく変革していく可能性が極めて高い。

1. ま え が き

放電加工は、工業的な応用がスタートした当初はタップ抜きに利用された程度の利用方法であったが、その後多くの優れた研究に支えられて発展してきた。特に、トランジスタ回路方式による電極低消耗加工は、金型の高精度加工に道を開いた⁽¹⁾。以後、放電加工法は、確実に金型加工のマザーマシンとしての道を歩んできたが、ここ10年間ほどの間に、これまでの常識を覆す新しい試みが盛んに行われるようになってきた⁽²⁾。例えば、極間に介在する加工粉は従来できるだけ排除すべきものであったが、これを逆に利用した新しい加工方法が実用化されている。一つは積極的に粉末を混入して加工することによって大面積においても鏡面加工が実現できるようになってきたこと、さらに、電極消耗を極めて多量にすることによって硬質被膜を相手側にたい(堆)積させる放電表面改質加工などの実用化である。また、酸素雰囲気中での高速加工は、基礎研究段階であるものの、高速切削の代替としての期待も大きい。このように、放電加工は実用化以来数十年経過するが、今後、新しい加工方法として時代のニーズにこたえるため、更に進化していくものと期待される。

2. 仕上げ放電加工

仕上げ放電加工においては、均一で精細な加工面を得るために、放電一発当たりのエネルギーを小さくすることと、放電位置を分散することが必要である。かつて、放電加工された面は、仕上げ加工条件であっても面が荒く加工の後手磨きを必要とした。特に大きな面積の加工においては、著しく面が荒れ、溶融残留物が冷却の際に生じたクラックを除去する必要があった。その原因として、仕上げ加工条件においては極間が狭いため放電が集中し、かつ静電容量が大きくなって各放電のエネルギーが増大することによるとされる。これに対する解決策として、シリコンなどの半導体を電極とした加工や、加工液中にシリコンやアルミニウム、グラファイトなどの微粉末を混入した加工が提案され、既に定着している。シリコンを電極とした場合は、その電気的抵抗性のゆえに静電容量が自然分割されて、一発当たりの放電エネルギーは制限される。一方、放電は一般に極間粉末の近傍に飛ぶことから、各放電によって生成される加工粉が引き続いて発生する放電の引き金になる。したがって、狭い極間で加工粉が滞留すればそこに放電が集中することになる。仕上げ加工において生成粉の量をはるかに超える量の微粉末をあらかじめ加工液中に混入すれば放電は分散する。しかも、粉末混入加工液を用いれば極間距離が広がり、加工屑の排出が容易になり、かつ極間の静電容量も小さくなる⁽³⁾。しかし、ギャップが広がった分だけ加工精度が低下する可能性もある。このため様々な種

類の微粉末が試みられ、狭いギャップでの面粗さの向上が図られている。

図1は自由曲面に対する粉末混入加工液による仕上げ加工結果を示す。

3. 表面改質放電加工

シリコンを電極として放電加工を行えば、その消耗量は加工物の除去量よりもはるかに大きく、極間は大量のシリコン粉末で満たされる。その結果、加工物表面はシリコンを含む物質で覆われ、極めて高い耐食性を示す。他の材料を電極とした場合、その消耗量は材料固有の熱物性値で決まるから、その材料で加工物表面を覆うためには材料をそのまま用いては難しい。そこで、これらの材料の微粉末を圧縮成形するか又はこれを半焼結するかして製作した電極を用いる(シリコンの場合は、熱物性値のほかに、その高い電気抵抗のゆえに放電点近傍のジュール熱が作用しているために消耗が大きいとされる)。加工物表面に形成された被膜は、他の表面改質法と比べて母材との密着性が高いことが特徴である⁽⁴⁾。

チタン系(TiH₂)電極による油中改質加工では、チタンと油の分解炭素との化学反応の結果、加工物表面にTiCが形成される。図2にこの加工原理を示す。またTiC半焼結体を電極とした加工も行われ、超硬材料(WC)上への表面改質放電加工の結果得られた加工物表層の硬さは2千数百HV程度となる⁽⁵⁾。抜き型などの切刃の表面改質に応用され、寿命が延長することが確認されている。

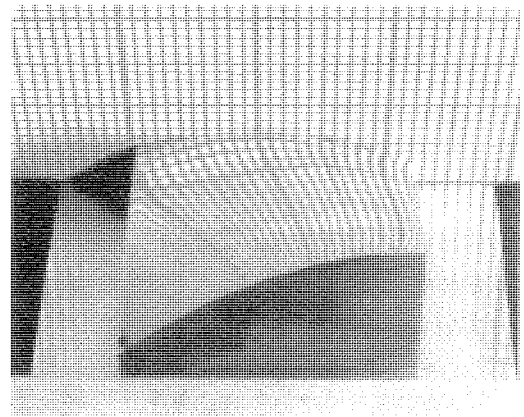


図1. 粉末混入加工液の効果(自由曲面加工)

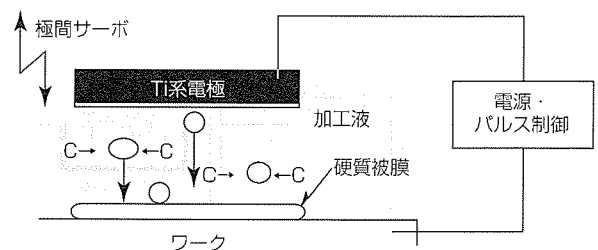


図2. Ti系電極による表面改質の原理

このような表面被覆現象は、放電加工は除去加工であるとする従来の常識を覆すものであり、放電加工の新たな可能性を示している。表面改質放電加工は除去加工と同一の加工機械を用いるため、形状付与と表面改質加工又は堆積加工との複合加工が極めて容易になる。さらにワイヤEDMの加工プロセスにおいては、電解現象による陽極酸化物の膜厚を制御したインプロセス着色加工が実現している。金型や工具又は部品加工における表面改質法として将来の応用は計り知れない。

4. 新材料に対する放電加工

電気磁気材料などの機能性材料の多くはセラミックスであり、21世紀における産業科学推進の担い手となるであろう。これらの材料は極めて硬くしかももろ(脆)い。時には複雑で精密な形状を必要とするため様々な加工法が試みられている。導電性のセラミックスに対する放電加工は、上記の目的に合致するため、早くからその実用化が期待されていた。加工特性は金属などと同様に熱伝導率と融点(又は昇華温度)によって決まり、基本的には材料の硬さには依存しない。

放電仕上げ加工において電極材料として用いられたシリコン半導体は、その電気抵抗のゆえに消耗が非常に大きい。このことから、シリコンに対する高能率放電加工の可能性が伺われた。マイクロマシンなどに用いられるシリコン部品の微細加工やインゴットの切断加工に放電加工が試みられ⁶⁾、将来必ず(須)の加工法としてその実用化が囑望されている。絶縁性セラミックスに対する油中放電加工では、あらかじめ導電体で加工物表面を覆ってこれを補助電極とする。工具電極は補助電極を貫通して絶縁体を加工する。図3にその加工原理を示す⁷⁾。絶縁体の表面は加工油の分解した炭素で覆われ、常時導電性が保たれる。補助電極としては、金属板やメッシュを絶縁体表面に押し付けるか又はPVDでコーティングしたTiNなどが用いられ、絶縁体表面に形成される炭素導体膜と電源とを電氣的に接続する役割を担っている。ワイヤ放電加工では、加工物の両面を

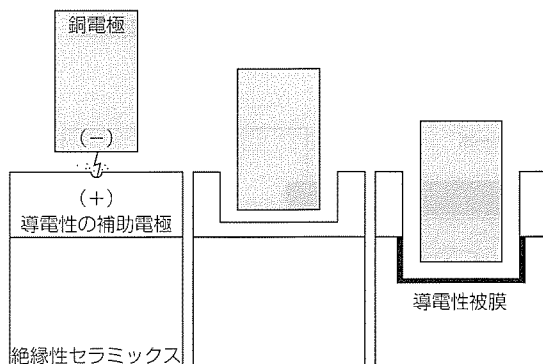


図3. 絶縁性セラミックスの放電加工原理

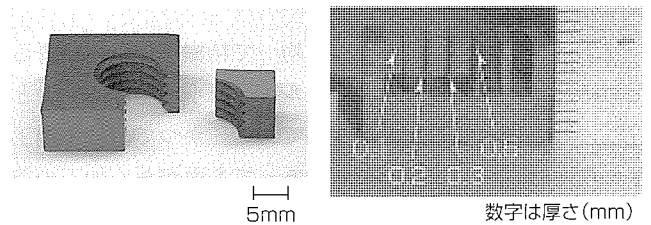
TiNで覆った後、油中加工を行っている。図4に窒化けい(珪)素(Si₃N₄)に対する加工例を示す。通常の金属(鉄)の比抵抗が10⁻⁵Ω・cmであるのに対して、窒化珪素の比抵抗は10¹⁴Ω・cmである。複雑形状のワイヤ放電加工はほとんど独壇場と言えるが、形彫加工においては現在研削加工法と加工速度を競っている。工具費用などから考えると早晩その評価が固まるものと思われる。図5に窒化珪素の加工に関して研削加工と比較した例を示す。

以上のことから、もはや放電加工によって加工できない材用はないと言うべきであり、放電加工の将来の可能性を端的に暗示している。

5. マイクロ放電加工

放電加工は非接触加工であり平均加工反力が小さいため、微細工具によるマイクロ加工において特に効果を発揮している。マイクロ加工においては工具電極の製作法やそのハンドリングに工夫を要する。

ワイヤ放電研削法(WEDG法)による電極機上成形法は、成形された微細工具を加工機から取り外すことなく次段の加工を可能とする画期的な手法である。ワイヤ放電加工に



(a) 放電加工による雌ねじ加工 (b) ワイヤ放電加工による厚板の加工(7mm)

図4. 窒化珪素の放電加工例

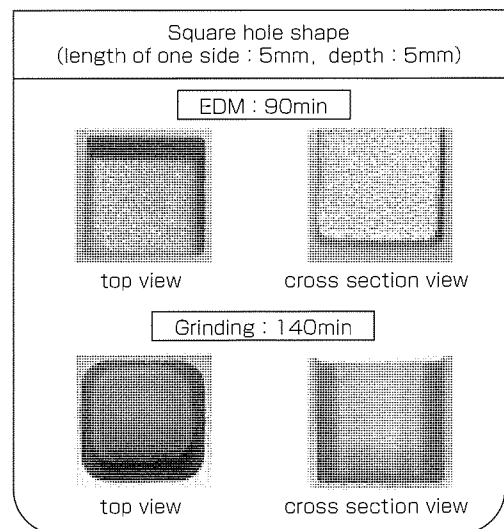


図5. 研削加工との比較

おけると同様に、工具電極はガイドに沿って次々と繰り出されることから、電極消耗の影響を受けず、高い加工精度が実現する。最近では、微細工具の成形荒加工や仕上げ加工及び成形工具による穴あけ加工を同時に機上で実行できる機構が考案され、より実用に近づいた。図6にこの加工方式の模式図を示す⁽⁸⁾。上部のWEDG装置で荒加工を行い、下部のWEDG装置は仕上げ加工を担う。成形電極の下端では同時に穴あけ加工が実施される。

さらに、複数の圧電素子を組み合わせたインチワーム式の細線電極繰り出し装置が考案され、燃料噴射ノズルの微細穴あけ加工に利用されている。図7にその構造を示す⁽⁹⁾。この方式では電極を保持するホルダが不要であるため、非常に高速なサーボ(数kHz)が可能になっている。

微細電極を利用した走査放電加工はマイクロ三次元加工を可能にすることから、市場ニーズに支えられて更に発展するであろう。走査放電加工による三次元形状加工においては、加工精度を維持するために、微細電極の側面での放電を極力避けて底面でのみ加工するよう工夫がなされている。

6. 高速放電加工

最近では切削加工がCAD/CAMと工具材料の発展とに支

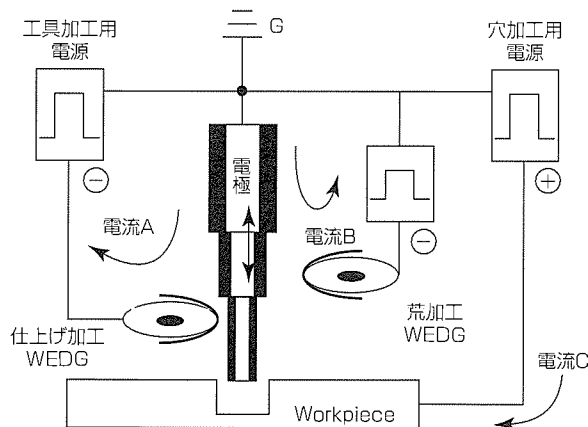


図6. タンデム型WEDG加工装置

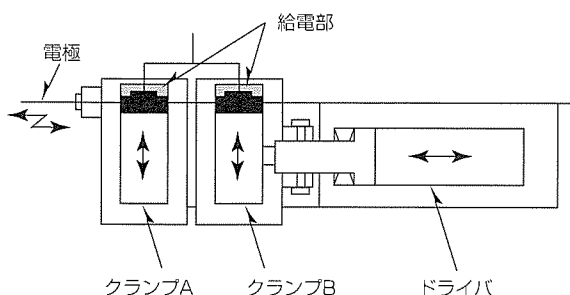


図7. 細線電極のダイレクトドライブ方式

えられて硬い材料も加工の対象になっている。最終仕上げも含めて一つの型を製作する時間は従来の半分以下になった。一方、荒加工速度だけを対象とするならば、放電加工は他の加工法と遜色ないし、超硬材料などのような特別に硬い材料の加工では放電加工を除いては考えられない。既に述べたように、セラミックス材料では加工時間は研削加工と同程度である。

一方、荒加工から仕上げ加工に至る一連の加工プロセスを考えると、今のところ、各加工条件における放電加工時間は電極面積や形状に依存して推定したとおりにはいかない場合がある。特に仕上げ加工用に電極を交換する場合には、電極のセッティング誤差を無視できず、オペレータの経験に頼るところが大きい。各加工条件に対して単位時間当たりの放電回数(放電頻度)と一発の放電による除去体積が制御できるならば、加工速度すなわち加工時間を正確に把握できるはずであり、放電加工を切削加工と同様にロバスタな加工と位置付けることができる。そのためには、一つは、噴流のかけ方や電極のジャンプ動作などの更なる工夫をすることによって、放電点を分散し、一つ一つの放電の集積によって全体の加工が正確に予測できる必要がある。工具電極の交換を含む段取りの工夫も更に必要になろう。従来はテーブル駆動にボールねじが用いられていたが、近年、サーボの高応答性を目的としてリニアドライブ方式の採用や、圧電素子、超磁歪(歪)素子を応用した機構が試みられている。この傾向は今後も広がるであろう。また、フレーム状の電極を走査することによるくりぬき加工(図8)は、形状創成速度を飛躍的に高める可能性がある。電極の消耗量を今よりも格段に抑えることができれば、切削における荒加工をりょうが(凌駕)することにもなる⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。

小電極による高速加工において、最近、画期的な成果が得られている。国枝らによる酸素雰囲気中の反応放電加工がそれである⁽¹²⁾⁽¹³⁾。電極の消耗がほとんどなく、しかも液中での加工速度を超えていることが報告されている。

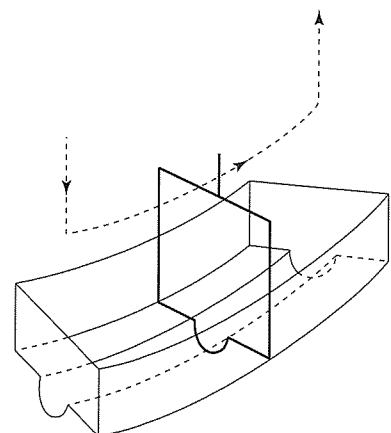


図8. フレーム電極によるくりぬき放電加工

7. む す び

以上に述べたように、新方式の放電加工法は、どれも従来の放電加工に対する常識を覆すものである。これまでの金型加工のみならず、複雑形状の精密部品加工や表面改質加工、さらに機能性材料への加工など、加工対象を格段に広げ今世紀の技術革新の核になる手法に育つであろう。

参 考 文 献

- (1) 齋藤長男, 小林和彦: パルス電源による放電加工特性, 電気加工学会誌, 1, No.1, 5~15 (1968)
- (2) 精密工学会誌 特集: 放電加工技術の最近の進歩, 64, No.12, 1713~1746 (1998)
- (3) 毛利尚武, 齋藤長男, 成宮久善, 河津秀俊, 尾崎好雄, 小林和彦, 恒川好樹: 粉末混入加工液による放電仕上げ加工, 電気加工学会誌, 25, No.49, 47~60 (1991)
- (4) 毛利尚武, 齋藤長男, 恒川好樹, 舩山英教, 宮川昭彦: 放電加工による表面処理, 精密工学会誌, 59, No.4, 625~630 (1993)
- (5) 毛呂俊夫, 後藤昭弘, 毛利尚武, 齋藤長男, 松川公映, 三宅秀幸: TiC焼結体電極による放電表面改質膜の研究, 精密工学会誌, 67, No.1, 114~118 (2001)
- (6) 宇野義幸, 岡田 晃, 中西洋人, 岡本康寛: 単結晶シリコンの放電加工に関する基礎的研究, 精密工学会誌, 63, No.10, 1459~1464 (1997)
- (7) 福沢 康, 谷 貴幸, 岩根英二, 毛利尚武: 放電加工機を用いた絶縁性材料の加工, 電気加工学会誌, 29, No.60, 11~21 (1995)
- (8) 許 東亜, 増沢隆久, 藤野正俊: 大量微細穴放電加工装置の開発, 日本機械学会第2回生産加工工作機械部門講演会論文集, 21~22 (2000)
- (9) 毛利尚武, 森田浩充, 齋藤長男: 電極ダイレクトドライブ方式による細穴放電加工機の開発, 精密工学会誌, 58, No.12, 2063~2067 (1992)
- (10) 今野 廣, 岡本隆司, 岸波健史, 斎藤勝政: 多軸NC放電加工機による形状創成加工法に関する研究, 精密機械, 50, No.8, 1261~1266 (1984)
- (11) 南 久, 増井清徳, 石橋正也: 金型用亜鉛合金の高速加工, 電気加工学会2000年全国大会, 9~12 (2000)
- (12) 吉田政弘, 国枝正典: 気中放電加工, 精密工学会誌, 64, No.12, 1735~1738 (1998)
- (13) 吉田政弘, 国枝正典: 気中放電加工における供給気体の影響, 精密工学会春季大会講演論文集, 251~252 (1996)

放電加工機の最新技術動向と 将来への課題

富本直一*
新開 勝**
毛呂俊夫***

要 旨

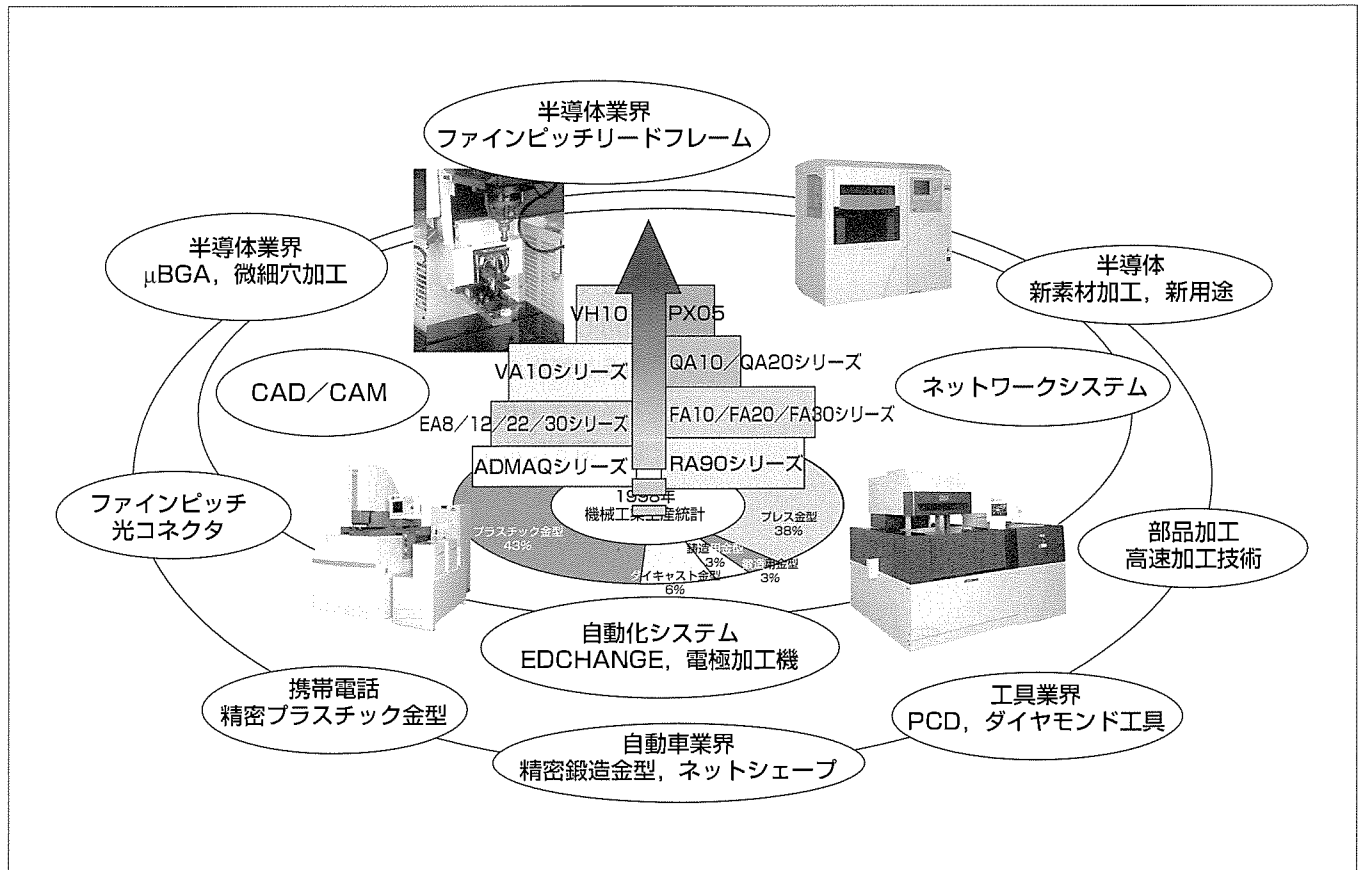
情報通信技術(IT)を支える半導体産業において、量産技術としての金型製作は従来から大きな役割を演じている。半導体リードフレームやμBGA(Ball Grid Array)なども、小型化、コストダウンなどを実現していくためには、超高精度の金型製作技術は不可欠である。この分野においては、三菱電機は、30年以上にわたり世界の業界をリードし、常に最新技術の開発と新しい付加価値を追求してきた。最近では、業界に先駆け、全機種をNC装置を64ビットCNCタイプに変更し、ネットワーク化への対応を含め、より高性能な金型製作システムを提供できるよう新製品をラインアップしてきている。

形彫放電加工機においては、加工性能を飛躍的に向上した新コンセプト“Dynamic-Technology(略称:Dyna-Tech)”を搭載したEAシリーズをラインアップし、微細・

超高精度化への対応として超精密穴加工機VH10などを発表し、市場ニーズの変化に対応している。

一方、ワイヤ放電加工機に至っては、豊富なラインアップ構成と64ビットCNC技術、電源制御技術との融合による新しい加工制御システムとして“AutoMagic”をコンセプトとした新ワイヤ放電加工機FAシリーズを発表し、世界中で好評を得ている。特に生産性に大きく貢献する最大加工速度の向上については、常に業界をリードし、無電解電源仕様では世界最速325mm²/minを実現した。また、超高精度ワイヤ放電加工機PX05は、業界で初めて加工精度保証±0.002mmを実現している。

世界の金型市場は情報通信技術の普及と同期しながらますます微細化・精密化へ向かいつつあり、この動向に対応したシステム製品を提供していくことが極めて重要と考える。



三菱電機の放電加工機及び関連製品の技術動向

IT化時代を支える極めて重要な金型製作技術を総合的に提案していくソリューション型企業理念により、CADステージから最終金型製品まで最高品位のシステムテクノロジーを追求し、関連製品群を含めお客様をグローバルにサポートしていく。

1. ま え が き

形彫放電加工機とワイヤ放電加工機は、放電現象を利用した加工形態を採るものの、その歴史的な発展の過程が大きく異なる。形彫放電加工機は図1のプラスチック型、ダイキャスト型、鍛造型などに、ワイヤ放電加工機はプレス金型を主体に活用されている。しかしながら、形彫は、最近の高速切削技術の台頭などにより、鍛造型分野などでは一部後退傾向にある。一方、ワイヤ放電加工機は、他の工法と基本的に異なり、独自の発展を遂げてきている。なかでも、図2に示すように、加工速度の向上によって大きく市場規模を拡大し、また半導体関連の伸びと微細化ニーズによって高精度化が著しく進展してきた。最近では、加工電源が直流方式から無電解AE方式に変わって更に加工面の高品位化が実現し、研削加工などの代替として確実に伸張している。図3は過去10年間に於けるマシニングセンタに対する両機種の生産台数比率の推移を示すが、形彫は約10%、ワイヤは25~30%程度の範囲で推移している。

一方、産業界におけるモバイル機器の飛躍的な発達ダウンサイジング化、集積密度の向上として現われ、形彫放電加工機においては微細穴加工や高品位高精度金型ニーズの増大、ワイヤ放電加工機ではチップサイズパッケージの普及などにより、高速性よりも微細や細密化を求めるニーズが大きくなってきた。このように、最近では、両機種と

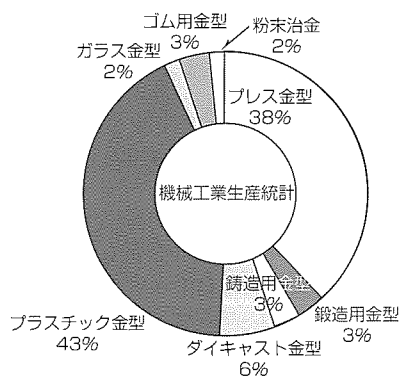


図1. 金型の分類 (1998年)

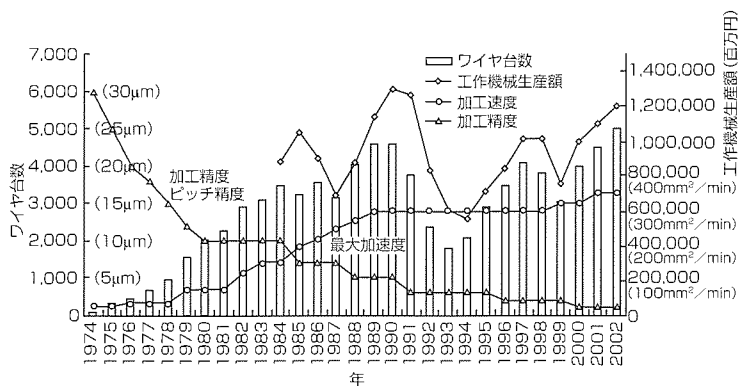


図2. ワイヤ放電加工機の生産動向推移 (工作機械生産額とワイヤの台数推移)

も共通的に極めて高い精度の金型製作が要求され、かつコストダウンの強い要望と合わせ、より一層の自動化などを求める声が増しに大きくなってきている。

2. 形彫放電加工機の技術動向

2.1 統合加工制御システム“Dyna-Tech”

放電加工は、微小間げき(隙)を保ち非接触で加工する方法であり、接触加工の切削とは大きく異なる特異性を持っている。特に電極(マスタ)が最終製品形状と同一寸法で仕上げられている点が異なる。このため、切削のような単純なパステータと切削工具との組合せで加工ができるというのではなく、加工プロセスの進行には特に熟練が必要とされる。その理由は、形状と加工プロセスに最適な組合せを見出すことは容易ではなく、加工間隙に分布する加工粉、スラッジの影響によって加工性が大きく変化するためである。このため、放電加工の性能向上開発はその大半がスラッジの排出とスラッジに伴う短絡回避に向けられてきた。

今回、放電加工の基本的な加工特性を抜本的に見直すため、新しいコンセプトであるスラッジコントロールの概念を導入し、かつ64ビットCNCの高速処理技術を駆使して加工プロセスに関連するすべての技術を統合的に制御するDyna-Techを開発した。この結果、従来に比較して飛躍的な性能向上を実現するとともに高精度化を達成した。

Dyna-Techを構成する重要技術である揺動機能もその一つで、一定位置で停滞することなくほぼ同じ放電負荷になるような制御を行うことにより、加工時間の短縮とギャップ、面粗さの均質化を実現した。一方、加工時のジャンプ量を最適に制御する“FUZZY PRO”についても同様な考え方で改良されている。図4に携帯電話金型にこの技術を適用した事例を示すが、加工時間の大幅短縮と同時に、底面及び側面の面粗さの均質化と低消費化を実現した。また、アスペクト比の高いリブ加工は極めて難しい加工であるが、図5に示すように、大幅な加工時間短縮を実現している。Dyna-Techを搭載した最新64ビットCNC形彫放電加工機EA22の外形を図6に示す。

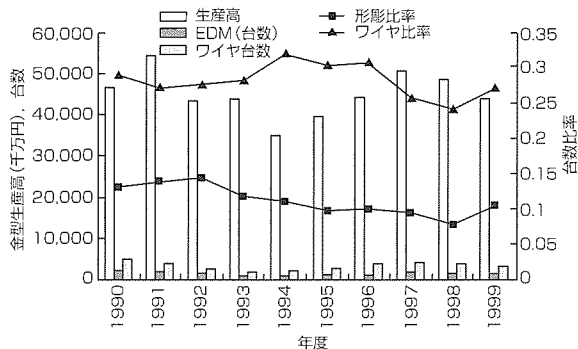


図3. 放電加工機のマシニングセンタ比率推移 (マシニングセンタ対EDM台数推移)

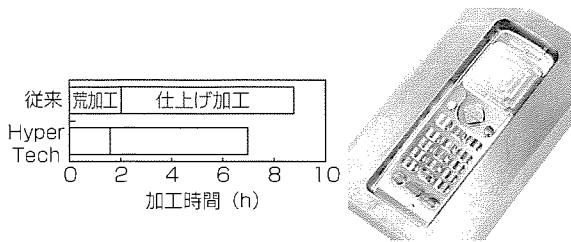


図4. 携帯電話のキャビティ加工

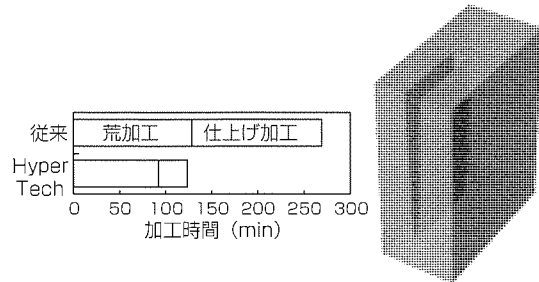


図5. 小縮小代リブ加工, プラスチック型リブ

2.2 粉末混入放電加工の最新事例

粉末混入放電加工が実用化されて以来久しいが、十分な普及には至っていない。その大きな理由は、粉末混入に伴う保守性の煩わしさにあり、この改良が強く要望されている。基本技術として特に大きな進展を見せたのは、放電こん(痕)の性状コントロールと粉末混入の低濃度化及び高濃度の沈殿抑制技術の開発である。図7は精密鍛造金型に応用された事例で、面粗さ1.0 μ mRy以下の鏡面加工を実現している。

現在、鍛造業界では、コストダウンと高精度化の要求にこたえて、ネットシェーブ化が拡大している。ネットシェーブ化は、金型硬度を更に高め、超硬材の利用を促進しているとともに形状の複雑化によって切削加工から形彫放電加工への流れもあって、高精度かつ鏡面加工へのニーズが今後とも一層強くなっていくものと考えられる。

また、プラスチック金型はその外装面の多くが手磨きによって0.5 μ mRy以下に仕上げられるケースが多く、磨きやすい放電面の評価が高まっている点も粉末混入放電加工の市場拡大として期待できる。

2.3 微細穴加工の最新技術

半導体、電子デバイス、光通信関係では高密度化の要求が更に厳しく、例えば μ BGA等においては、穴加工の径は0.1mm以下、かつピッチ精度も5 μ m以下というレベルで数千穴ないし1万穴以上連続で加工する必要がある。このようなニーズに対応する機械は現存しない。

図8は、このような小径加工の自動化に対応するため新しいコンセプトで開発された最新細穴加工機VH10である。特長は、NC化された中間ガイドを持ち、主軸位置に応じた最適な位置に制御され小径電極の振れを防止するとともに長い電極を使用可能とし、長時間の加工に耐えられること

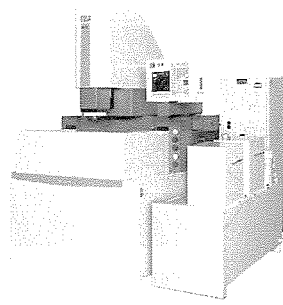


図6. 三菱EA22形新粉末形彫放電加工機 (Hyper-Technologyバージョン)

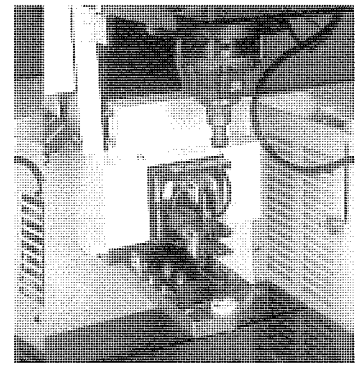


図8. 新細穴加工機VH10

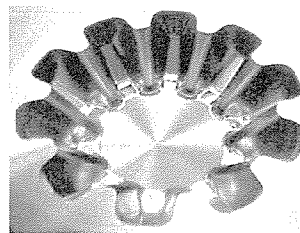


図7. 粉末混入放電加工NS2仕様(高濃度) 仕上げ加工高精度ベベルギヤ金型

である。ガイドは特殊機構を採用し、中間ガイドと合わせ50 μ mのロッド電極も業界初めて自動交換可能な構成になっている。

2.4 表面改質放電加工 “EDCOAT”

表面改質放電加工は、10年前に生まれた極めて独創的な放電加工の一種である。電極を従来の固体電極から複合構造体とし、消耗を積極的に活用して極間に消耗した電極材を供給し、工作物表面に硬質の被膜を形成する。電極材料にチタン系を選ぶことによって炭化チタンTiCの被膜を作る。この被膜は極めて高い耐摩耗性を示し、密着性も優れることから、工具や金型の長寿命化に応用できる。図9はタレットパンチプレスの型に適用した事例を示し、3倍以上の寿命延長効果を確認した。今後とも、簡便な放電加工を利用した表面改質の市場規模は大きくなっていくものと考えられる。

3. ワイヤ放電加工機の動向

3.1 超精密ワイヤ放電加工

1990年代までは高速・高生産性がキーワードであったが、それ以降は、高品位無電解電源の開発によって超硬材が極めて容易にかつ電食発生を防止しながら加工できるようになった。その結果、半導体業界の伸びに合わせ、特にリードフレームの金型製作用として超高精度ワイヤ放電加工機PX05(図10)が開発されてきた。このPX05は、熱外乱遮断機構や機械温度冷却システムを搭載したフルキャビネット型を採用し、業界初めての2 μ mの保証精度を実現した。この基本的な技術思想は、その後の高精度マシニングセンタなどに大きな影響を与えている。リードフレームは、従来は割型によって製作されていたが、この加工機の登場によって極小径ワイヤ電極による一体加工が可能となり、現在ではQFP216Pのインナリードピッチ148 μ mというクラスまでプレスリード品として生産されている(図11)。また最近では、 μ BGAなどに押されているリードフレームもこのように狭ピッチ化によるCSP化によってコストダウン

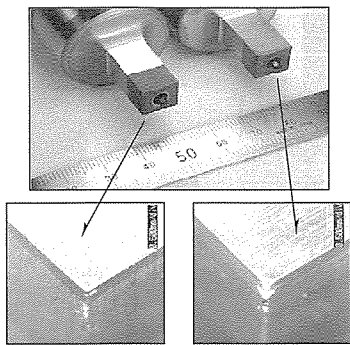
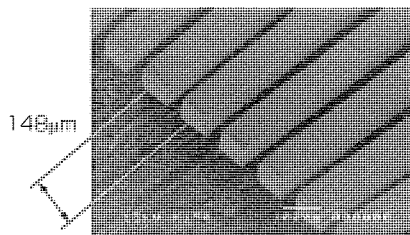


図9. 抜型パンチの摩耗状態比較



Inner Lead Pitch : 0.148mm
Material : Cu 0.125t

図11. 148μmインナリードの先端形状
(新光電気工業)

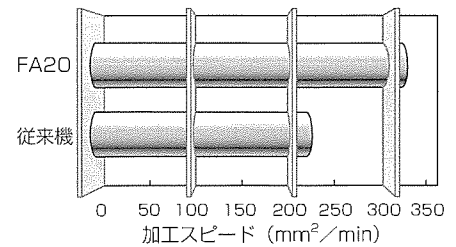


図13. 加工速度の比較(当社従来比50%アップ)

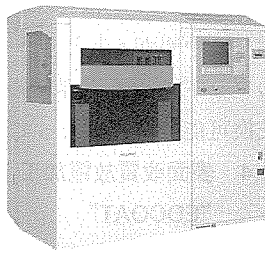


図10. 超高精度ワイヤ放電加工機PX05

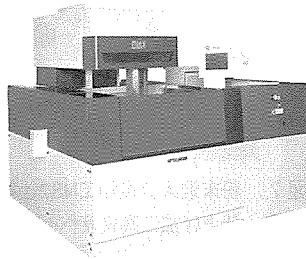


図12. 新型ワイヤ放電加工機

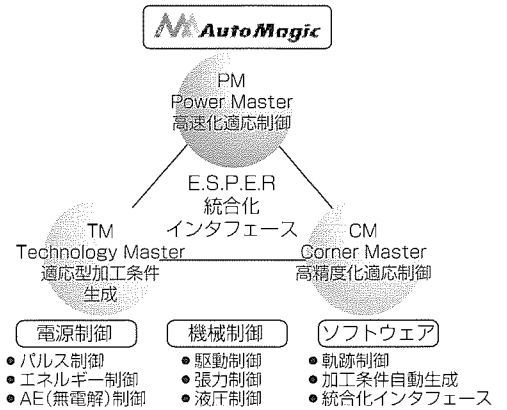


図14. 統合型適応制御テクノロジーのAutoMagic

と小型化を両立し、新規需要を拡大しつつある。将来的にも、狭ピッチ化は更に進展する予定であり、ワイヤ放電加工機の微細加工技術はますます重要になっている。この場合、ワイヤ電極径は更に極細化され、0.03mm以下の自動結線技術の開発が重要な課題になるものと考えられる。また、微細化は加工面の高品位化を前提とするため、0.2~0.3μmRy以下の鏡面加工電源の開発も必要になってくる。

3.2 ワイヤ高速加工技術とその将来性

ワイヤ放電加工機は、加工チップ(切削くず)が極めて少ない省エネルギー指向の加工法として、最近改めて注目されてきている。

新開発された64ビットCNC搭載ワイヤ放電加工機FA20の場合、新開発のコーナー制御を搭載し、電源の高速デジタル発振制御と合わせることでコーナー部での速度の低下を抑えた。さらに、新開発のワイヤ電極との併用で業界最速の加工速度325mm²/minを実現した。

将来的には、部品加工などへの適応を視野に入ると500mm²/min以上の超高速加工性能が必要と考えられる。これについては、電源の高速化・大容量化が必要で、高いハードルの要素技術開発が必ず(須)になる。

3.3 最新適応制御“AutoMagic”の動向

図12のワイヤ放電加工機FAシリーズは、FA10/FA20/FA30とラインアップされ、普及機種に位置付けられる。最大加工速度は業界最速の325mm²/min(図13)を実現するとともに、その高速性能を生かす適応制御“AM(AutoMagic)”を搭載している。AMは三つの適応制御機能としてPM(Power Master)、CM(Corner Master)、

TM(Technology Master)を盛り込み、統合した“統合型適応制御テクノロジー”と言えるものである(図14)。その特長は次のとおりである。

- 複雑形状ワーク加工、ノズル離れ加工、コーナー加工など、様々な加工パターンに応じた最適化プロセスを有機的に組み合わせる次世代の統合適応制御テクノロジー
- 高速化プロセス・高精度化プロセスを最適化
- 究極の生産性と精度再現性を実現

その結果、プラスチック型、モールド型、部品加工など目的の加工内容に応じた最適プロセスを作り出すことができる。

このように自動化と高精度化、高速化のバランスした基本性能向上は、特に普及帯クラスの機械開発ではキーテクノロジーになる。また、今後の技術課題としては、新素材の開発に伴って多岐にわたるようになるため、形状要素だけではなく、材料特性に対する適応制御技術も開発課題になっていくものと考えられる。

4. む す び

以上のように、金型業界はますますIT化によって高精度、高速化、自動化が進展する。特に、精度については確実に1μmクラスの加工精度保証が必須になり、これを実現していくためには三菱電機の総合力の結集が必要になる。機械系のプラットフォーム化、NC装置の次世代技術開発、加工電源の革新など、市場を先取りするため開発に鋭意取り組んでいく所存である。

形彫放電加工機EAシリーズによる 高精度金型加工

加藤木英隆* 中川孝幸**
赤松浩二*
小川 元*

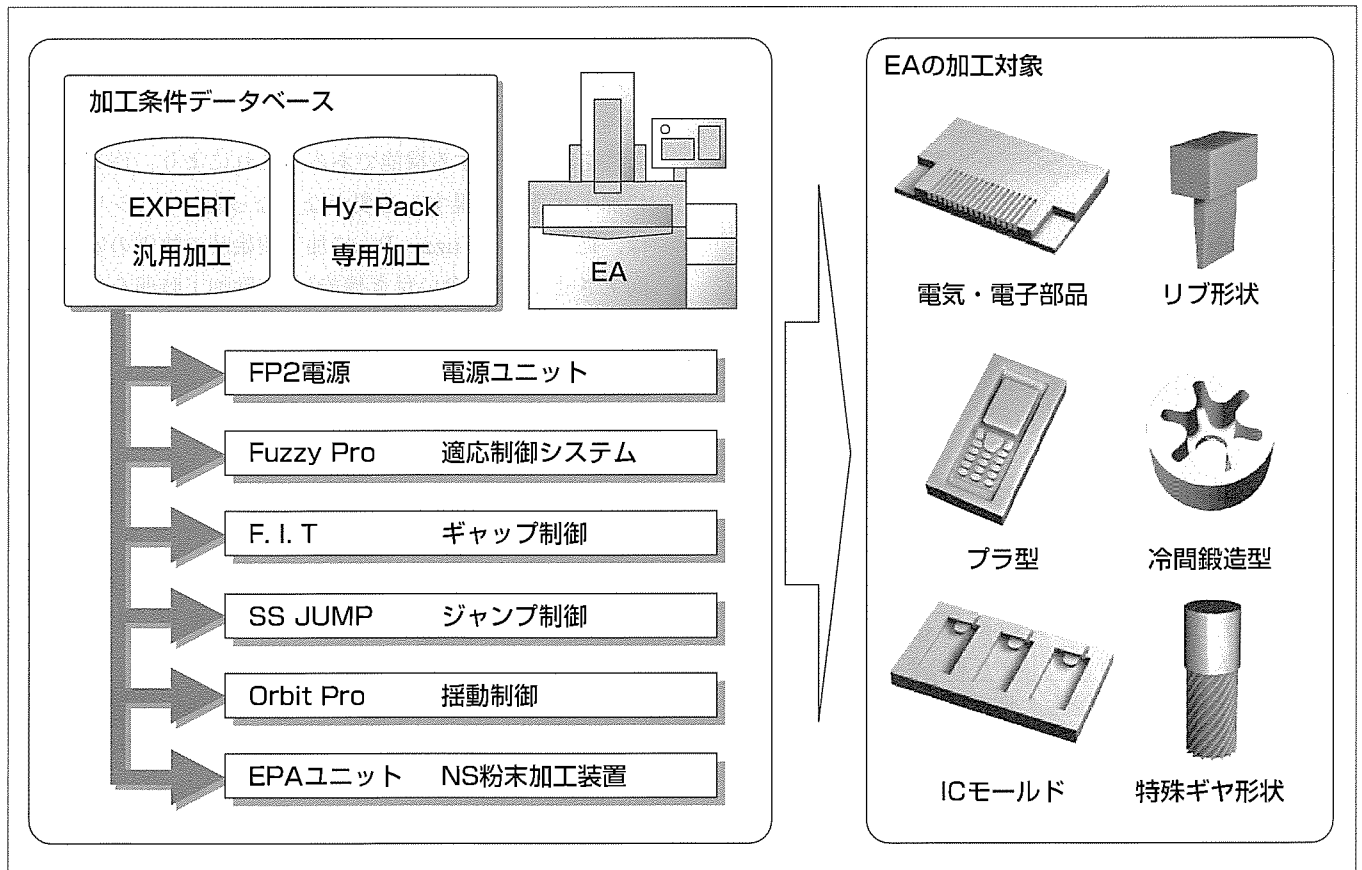
要 旨

64ビットCNC搭載形彫放電加工機EAシリーズは、金型製作において高精度・高品位加工を実現するために開発された。特に近年の“低コスト・短納期”型の物作り現場において威力が発揮できるようにその要求が厳しいとされるプラスチック射出成形金型(以下“プラ型”という。)業界をターゲットとした開発を行ったことにより、市場で大きな評価を受けている。

EAシリーズでは、これまで定評のあった適応制御機能やサーボ駆動制御を64ビットCNCで実現することによって一層ち(緻)密で繊細な制御が可能となり、飛躍的な性能向上が図られている。また、インタフェースをウィザード形式の対話型を採用することによって、初心者でもガイド

に沿った項目を入力するだけで複雑なNCプログラムの作成や加工条件の選択が容易になっている。工作機械ではおろそかになりがちな操作性の面でも大幅に改善がなされ、ユーザーフレンドリな設計が行われている。また、今後増えてくる工場内LANやDNC運転、自動化システムにも対応していることで、次世代の物作りにも柔軟に対応可能である。

現在は、次のステップとして、64ビットCNC形彫放電加工機に対応したアプリケーション開発と更なる性能向上を目指した開発を行っている。今後の金型業界と製品動向の急速なトレンドの変化を先取りし確実に製品に反映していくことが課題である。



EAシリーズのシステム構成と加工対象

EAシリーズではESPER(EXPERTシステムの加工条件データベース)とHy-Packの二つの加工条件データベースを備え、汎用的な加工には前者を使用し、対象とする金型の加工内容に合わせて特殊性を要する場合には後者を使用している。加工条件データベースからは適応制御機能、ジャンプ制御機能などの初期設定情報が与えられ、加工が始まるとその時々状態に応じて常に最適な加工が実現する仕組みが構成されている。

1. ま え が き

“短納期，低コスト，多品種少量”は，最近の製造業界の流れであると同時に，金型業界にとっても重要な課題となっている。携帯電話に代表されるようなIT機器では最新機種種の発表段階で既に次期機種種の試作立ち上げが行われているような状況であり，金型メーカーにとってはこの業界の流れに勝ち残るため常に“最新技術”を模索しているのが現状である。特に高速切削と比較されることの多い形彫放電加工機においては，放電加工でしか成し得ない加工と，切削と共存すべき加工領域の住み分けが今もって不明確な点が多く，ユーザーのノウハウに大きく依存している。

本稿では，EAシリーズに搭載されている様々な機能を紹介するとともに，最新技術と金型業界の動向に触れながら実際の金型形状を例に挙げて技術的なポイントの詳細を述べる。

2. EAシリーズの特長

図1にEAシリーズの外観を，表1にEA12Eの仕様概要を示す。主な特長は次のとおりである。

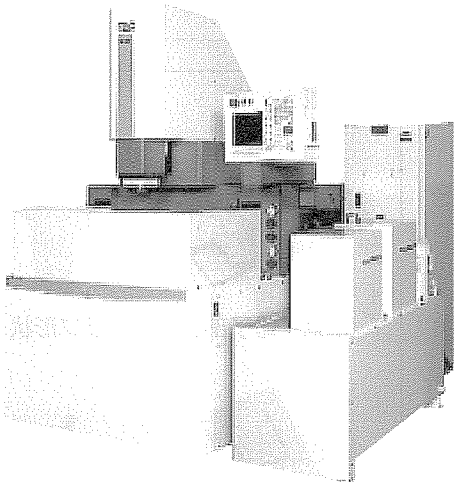


図1. EAシリーズEA12E-EPAの外観

表1. EA12Eの仕様概要*

加工槽内形寸法 (X×Y×Z)	850×600×350 (mm)
工作物最大寸法 (X×Y×Z)	800×550×250 (mm)
各軸移動量 (X×Y×Z)	400×300×300 (mm)
最小駆動単位	0.10μm XYZとも
最大指令値	0.05μm XYZとも
最大電極質量	50kg
機械本体寸法	1,740×1,860×2,265 (mm)
最大平均加工電流	60A (FP60)
主なオプション	超硬加工用SP回路 FP100Bブースタ電源 工具交換装置ATC 高性能スピンドルC軸

*EAシリーズは大きさによって8, 12, 22, 30を用意

(1) 64ビットCNCによる制御機能向上

64ビットCNCの採用によって一層複雑で高度な制御命令(ハイゲインモード等)をサーボ機構に与えることが可能になり，加工速度，加工精度は飛躍的に向上した。

(2) 加工条件データベース

汎用的な加工にはE.S.P.E.Rデータベースを使用し，さらに，高度な加工にはHy-Packデータベースを用いることで，幅広い加工領域で最大の加工特性が発揮される。

(3) 自動化技術への対応

最近の金型製作現場では，工場内LANだけではなく，稼働時間の向上を目指した自動化システムの導入なども多く見られる。EAシリーズでは，ネットワークへの対応と周辺機器の充実によって次世代の物作りにも柔軟に対応可能である。

3. 主要機能

3.1 FP2電源

放電加工では，1パルスごとの放電波形によってその加工特性が大きく左右される。FP2電源では，鋼材やCu合金，Al合金，超硬材などあらゆる材質に適したパルスの供給を可能にしている。また，特殊微細回路の適用によって，1μmRy以下の面粗さを得ることも可能となっている。

3.2 Fuzzy Pro適応制御

Fuzzy Pro適応制御は，加工状態の時々刻々の変化を的確にとらえ，その状態に対して推論エンジンが適正な加工条件を自動調整する機能である。これにより，作業者は常に加工状態を監視する必要がなくなった。EAシリーズでは，従来からのFuzzy Proに加工開始時の放電の安定性を向上させる“高速食い付き機能”と無駄加工時間を半減する“最適ジャンプ機能”を搭載した。

3.3 F.I.T制御

放電加工では，加工精度を決定するのは電極と被加工物間に存在する放電ギャップである。放電ギャップは加工形状や加工くず(屑)の排出効率によって容易に変化するため，厳密な加工精度では数μmのばらつきが存在する。F.I.T制御では，放電状態を検出し加工位置の終了判定に付加することで放電ギャップを均一に保つことが可能になった。

3.4 SS JUMPとOrbit Pro

放電加工では，加工屑の排出と安定加工の維持が決め手になる。SS JUMPでは加工深さや電極形状に依存しない最適な加工屑排出効率を実現し，Orbit Proでは複雑な三次元形状からなる電極を高効率で転写するため，加工時の負荷が掛からない揺動制御によって常に安定した放電状態が維持される。

3.5 EPA粉末加工ユニット

EAシリーズでは，混入する粉末を改良したNS粉末を新たに用意した。NS粉末では，磨きやすさを重視したNS1

高速なし(梨)地仕上げ加工とNS 2 磨きレス光沢仕上げ加工の2タイプから加工目的に合わせた粉末加工方法が選択可能である。

4. 加工事例

EAシリーズでは、小物・中物と呼ばれる100mm角以下程度の加工を高精度・高品位に仕上げることが得意としている。特に、プラ型や電気・電子部品用金型の加工に使用するユーザーが圧倒的に多い。以下に、実際の加工事例を挙げながら、EAシリーズの加工特性を紹介する。

4.1 電気・電子部品

コネクタを始めとする各種の電気・電子デバイス関係では、形状的にも非常に小さく、その加工精度は $\pm 1\mu\text{m}$ を要するものもある。図2に加工形状と加工部の拡大図を示す。加工部はくし(櫛)歯状に形成され、加工深さ0.5mm、ピッチ、幅ともに0.3mm程度の非常に微細な加工になっている。

形状の都合上、磨く場合には専用の治具を用いた作業が行われてきた。EAシリーズでは、FP 2 電源に搭載される α SC回路による低消費加工とNP回路での微細梨地面仕上げにより、インコーナー $20\mu\text{m}$ 、面粗さ $1\mu\text{m}$ 以下の磨きレス加工を実現している。

4.2 リブ形状

プラスチック製品の多くは薄肉化に伴ってリブ部が増え、プラ型ではそのほとんどがリブ部の加工と言っても過言ではない。図3に家電製品のリブ部の加工に用いられた形状を示す。

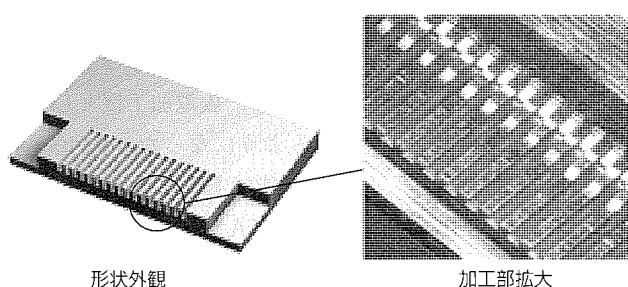


図2. 電気・電子部品加工事例

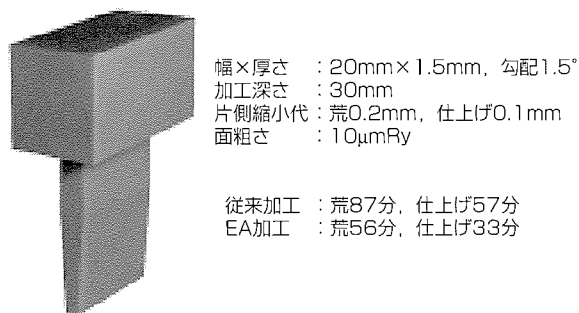


図3. リブ加工形状と加工結果

リブ加工では、SS JUMPによる加工屑の排出とFuzzy Proによる適応制御で従来加工の2/3まで加工時間を短縮している。特に、Fuzzy Proの最適ジャンプ機能により、加工の無駄時間がほとんどない理想的な加工状態が維持された。

4.3 プラ型

国内金型市場ではプラ型メーカーが最も多く、放電加工機にとっても有望な市場である。近年では、携帯電話金型がプラ型を代表する形状とも言え、切削メーカーにとっても対放電加工を意識した分野である。現在最も主流な製作工程は、形状の荒取りを切削加工で行い、荒加工、仕上げ加工を放電加工で行うものである。最近では、浅物であれば高速切削の加工領域が広がりつつあることから、EAでは荒加工を切削加工で行い、仕上げ加工を放電加工で行えるようになってきた。図4に加工形状と加工結果を示す。

放電加工でポイントになるのは、切削加工後の加工面への食い付きである。ある程度加工形状ができていると、放電が行われる面積が目標よりも小さいので、非常に加工が不安定になる。Fuzzy Proでは、高速食い付き機能によって非常に安定して加工が行われる。また、Orbit Proによって複雑な三次元形状の電極でも高精度に転写される。切削加工との住み分けが明確に行われれば、電極製作コストの低減だけでなくリードタイムも大幅に短縮されるため、製品サイクルの激しい携帯電話金型のような分野ではその効果が大きいことが分かる。

4.4 冷間鍛造型

最近では、環境問題や安全性などが製造現場にも問われ、重切削や化学処理などが減少し放電加工に移行してきている。特に、冷間鍛造型では非常に高精度な加工が得られるようになり、自動車関連の製品ではネットシェーブ、ニアネットシェーブ化の流れが主流になっている。図5に示す形状は自動車の等速ジョイント部の金型である。

冷間鍛造型では、型構造の影響が金型寿命に大きく影響するために、仕上げ工程の磨きによっては形状精度が維持できず、金型寿命にばらつきが出てしまう。EAシリーズでは、NS粉末で光沢仕上げを行い、1~2 μmRy の仕上げ加工が可能になる。これにより、磨き代は最小に抑えられ、金型寿命の品質も向上する結果が得られている。

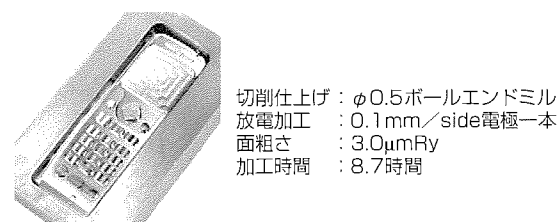
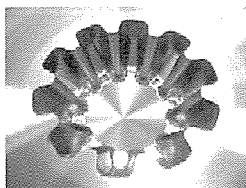


図4. プラ型加工形状と加工結果



加工深さ : 30mm
 片側縮小代 : 荒0.3mm, 仕上げ0.1mm
 面粗さ : 1.2μmRy
 加工精度 : ±3μm
 加工時間 : 荒6.5時間, 仕上げ3時間

図5. 冷間鍛造加工形状と加工結果

4.5 その他の加工事例

EAシリーズでは、小物・中物加工以外に、大型クラスの加工機では自動車内装(インパネ等)やフロントグリルの加工にも適用があり、加工領域は非常に広範囲をカバーしている。また、放電加工が得意とする超硬金型や特殊なギヤ形状の加工などにも優れている。加工で得られたノウハウはHy-Packに継承されるため、加工条件データベースが蓄積され、EA自体は今もって進化中である。

5. 加工条件データベース

放電加工における加工条件とは、切削加工では、切削条件とCAMから生成されるパスに相当する。つまり、加工条件の組合せは無数にあり、形状ごとに最適値が異なるのが実際である。しかし、特殊性の高くない加工では、一般的に構築される汎用条件でも十分に対応可能である。EAシリーズでは、この部分をE.S.P.E.Rが担っている。

E.S.P.E.Rでは、作業指示書に明記されるような加工深さや目標面粗さ、縮小代などを入力するだけで加工条件を自動的に生成することが可能である。図6に、EAシリーズに搭載されているE.S.P.E.Rの入力画面を示す。

近年の金型業界では“勝組み”と呼ばれる金型メーカーの大半は自らのノウハウによって加工条件を構築している例が多く、特化した加工内容であれば、汎用性のある加工条件よりも優れた加工結果が得られている。特に、高精度・高品位な加工が求められる国内のユーザーにとっては、この加工条件一つが非常に重要である。EAシリーズでは、これまでユーザー別に提供してきた専用条件とノウハウを汎用化し、新たな加工条件データベースをHy-Packとして構築した。Hy-Packでは、加工条件の選択方法が“鍛造型”“ゲート加工”など実際の加工キーワードで検索できる方式を採用し、さらに、一般的に使用される頻度の多い加工条件データが網羅されている。また、加工条件の微調整を容易に行える仕組みがあるために、ユーザー自身が更に磨きを掛けることも可能である。図7にHy-Packの入力画面を示す。

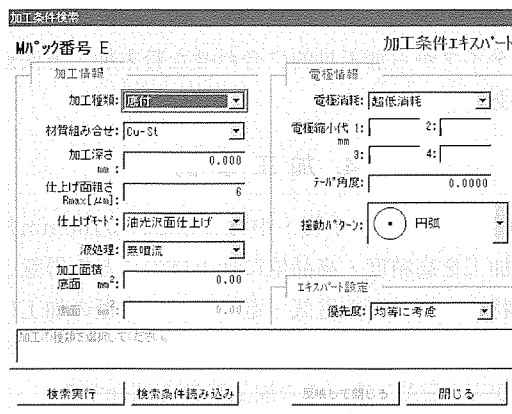


図6. E.S.P.E.R入力画面



図7. Hy-Pack入力画面

6. む す び

EAシリーズでは、64ビットCNCを搭載することで制御機能が大幅に向上した。これにより、放電加工機としての基本性能も最大限に引き出せるようになった。64ビットCNCでは、更に複雑な制御も可能であることから、更なる基本性能の向上が期待できる。EAシリーズで得られた性能を更に向上させ、次期機種でも発展させていく予定である。

今後は、放電加工機を中心とした金型製作のトータルソリューションの開発と、更なる高精度・高品位加工の要求に対する機能開発に注力していく所存である。

参考文献

- (1) 毛呂俊夫, 加藤木英隆: 形彫放電加工の最前線, 機械技術, 48, No.5, 32~35 (2000)

半導体向け超精密 ワイヤ放電加工機“PX05”

眞柄卓司* 岩田明彦***
大場信昭**
佐藤清侍**

要旨

近年の電子機器を始めとする製品の小型化や高密度部品実装化に対応して、微細精密金型の加工においても、高精度化や微細化の要求が高くなっている。また、加工精度や加工面品質の向上により、高精度、微細加工分野において、精密切削加工や研削加工からの置き換えで応用される事例が急速に増加している。こうした市場要求に対し、三菱電機では、超高精度ワイヤ放電加工機“PX05”を開発し、従来不可能であったワイヤ放電加工機のみによる半導体関連の精密プレス金型の一体加工を実現可能とした。

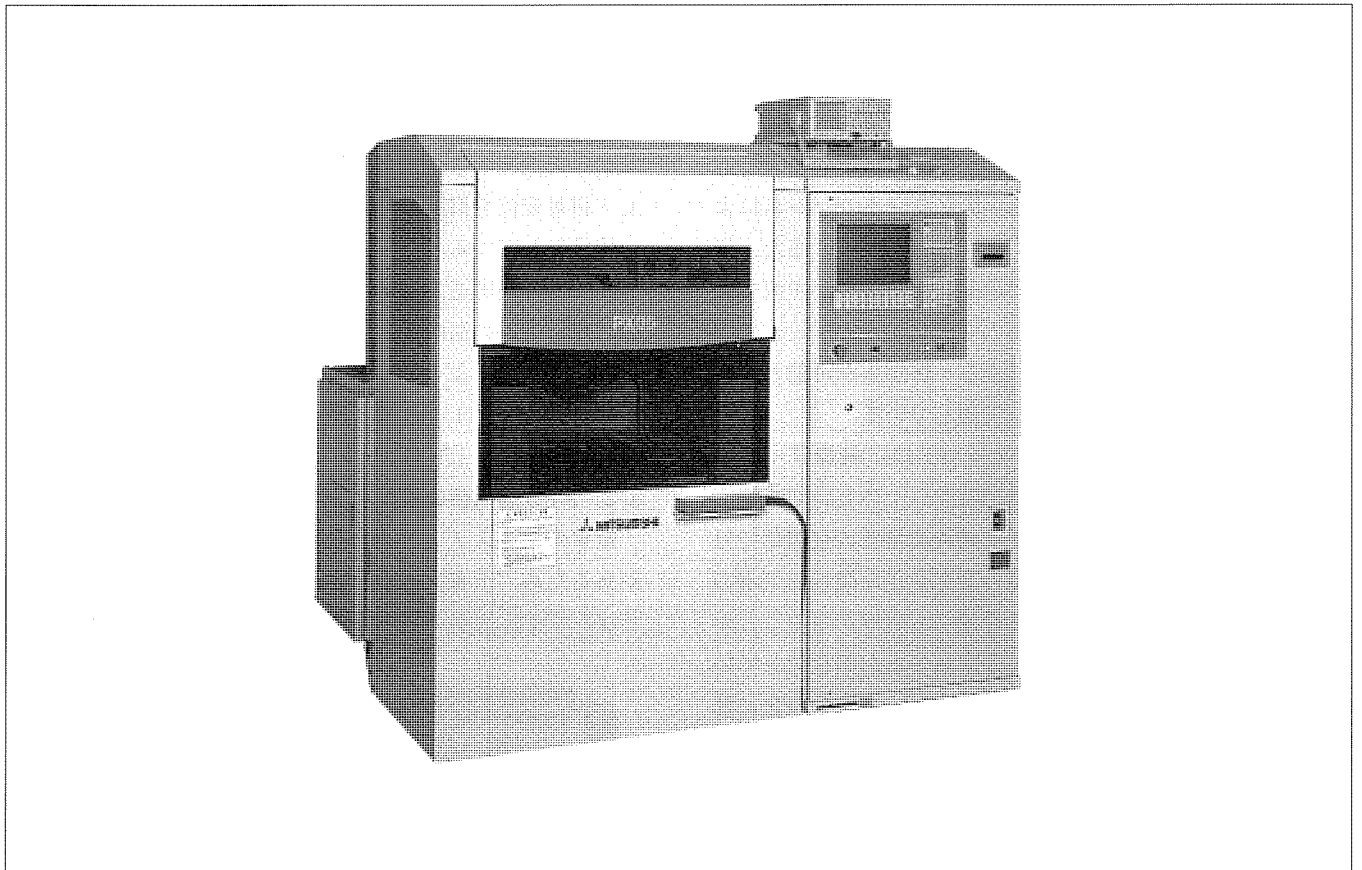
(1) ICリードフレーム金型と課題

ICリードフレーム金型は、LSIチップサイズの小型化やピン数増加に伴い、内部リード先端部の微細化が進んでいる。リード形状が微細化すると、加工形状の制約から加工

速度を犠牲にしてもより細いワイヤ電極線を選択しなければならず、ワイヤ放電加工機としては、長時間安定して高精度を維持する機械構造と、仕上げ面粗度は $0.5\mu\text{mRy}$ クラスを実現させる必要があり、さらに、高い生産性を維持するため、水を加工液とし、電食の発生しない無電解電源が必要とされている。

(2) PX05の特長

長時間安定して高精度を維持する機械構造として、熱外乱抑制構造、XY独立駆動構造を採用し、無電解電源、超仕上げ加工電源、高精度ギャップ(HG2)制御といった電源制御に加え、細線用ワイヤ自動供給装置を搭載することで、長時間に及ぶ安定した加工精度と、細線ワイヤにおける精密金型加工の生産性を大幅に改善した。



超高精度ワイヤ放電加工機“PX05”

PX05は、研削加工に代わるICリードフレーム金型の高精度ワイヤ放電加工において、細線ワイヤによる長時間加工下でも、水加工による高品位・超精密加工、最良面粗さ $0.5\mu\text{mRy}$ 以下を実現しながら、従来機よりも大幅な生産性の向上を実現した。

1. ま え が き

近年の電子機器を始めとする製品の小型化や高密度部品実装化に対応して、微細精密金型の加工においても、高精度化や微細化の要求が高くなっている。また、加工精度や加工面品質の向上により、高精度、微細加工分野において、精密切削加工や研削加工からの置き換えで応用される事例が急速に増加している。こうした市場要求に対して、ワイヤ放電加工機としては、長時間安定して高精度を維持する機械構造と、仕上げ面粗度は $0.5\mu\text{mRy}$ クラスを実現させる必要があり、さらに、高い生産性を維持するため水を加工液とし電食の発生しない無電解電源が必要とされるが、三菱電機は、超高精度ワイヤ放電加工機PX05を開発し、従来不可能であったワイヤ放電加工機のみによる半導体関連の精密プレス金型の一体加工を実現可能とした。

本稿では、PX05に搭載する要素技術を中心に、微細精密ワイヤ放電加工の最新技術と今後の微細精密加工の方向性について述べる。

2. ICリードフレーム金型の動向と課題

ICリードフレーム金型は、LSIチップサイズの小型化やピン数増加に伴い、内部リード先端の微細化が進んでいる。数年前まではプレスによるリードフレームの生産は100ピン程度までと言われていたが、フォトエッチング方式など他の生産方式に比較して大量生産が可能であることと高品質でシャープなリードフレーム形状を低コストで生産できるため、市場から、200ピン以上のクラスまでプレスによる生産を求める声が強くなってきている。また、従来、多ピンのリードフレームは研削による割型が主流で金型生産コストの上昇と保守費用の増大に対する解決が求められたが、ワイヤ放電加工機による一体加工が可能となり、金型の低コスト化と品質向上を実現している。

一方、ICリードフレームの金型加工は、細線ワイヤによる複雑な形状加工となるため20時間以上の長時間の連続加工となることが多い。しかし、10時間程度の長周期で見ると恒温室においても 3°C 程度の温度変化や微妙な気流の変化があり、恒温室設備による対策にも限界があることから、加工機側で熱変位を克服する市場要求が顕在化している。これに加えて、近年のLSIチップサイズの小型化に伴い、リード形状が微細化するため、スリット幅等の加工形状の制約から、加工速度を犠牲にしても細いワイヤ電極線を使用して加工する必要がある。したがって、加工速度面で有利な水を加工液に採用しながら、加工に伴う電気腐食作用を徹底して排除する無電解加工が必ず(須)となる。またリードフレーム形状は極めて微細で精度要求が厳しいため、放電ギャップを安定して制御する高精度ギャップ制御システムと、プレスにおいて金型のスリット内面にかすが

たまるのを防止するため、面粗さは $0.5\mu\text{mRy}$ 以下を実現する必要も生じた。さらに、自動で多数のリードフレームを加工していくためには、高信頼性の極細線ワイヤ自動供給装置も必要であった。以上のような背景から、リードフレーム金型の超高精度加工を実現するためには、機械系として熱変位の抑制技術、安定して高精度位置決めを達成できる機構、極細線の自動供給装置が必要であり、電源系としては高速の無電解電源とその加工ギャップ制御、最良面仕上げ電源技術が必要となる。

3. PX05の特長

以下に、超高精度ワイヤ放電加工機PX05の特長について述べる。

3.1 熱外乱抑制構造

PX05の熱外乱絶縁フルキャビン構造とZ軸ベース冷却の外観を図1に示す。機械本体はフルキャビンカバーで覆われ、カバーの内側に断熱材を張り付けた断熱構造となっているのが特長である。鋳物構造全体を外装カバーで覆うことで、気流や直射日光などの熱外乱を遮断し、加工開始前の段取り作業についても、前面カバーを開けた際に気流が鋳物構造部分に流入するのを内部カバーによって防いでいる。また、カバー内に発生する熱エネルギーの処理であるが、加工に伴って発生する熱は加工液タンクとの間で循環する加工液に吸収させ、カバーの外に放出する。また、Z軸ベース、下部アームといった機械構造物に機械本体の温度に同調制御された加工液を循環する構成とすることで、上下相対変位を抑制し、熱外乱に対しても影響を受けにくい構成としている。

熱外乱抑制構造による温度時定数の変化を図2に示す。12時間で 3°C の温度変化を与えているが、熱外乱絶縁フルキャビン構造によって温度変化は緩やかになり、温度が最大になる時間が1~3時間遅れている。そして、温度変化の大きさは $0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ に抑制できていることが分かる。

3.2 XY分離構造の採用

従来のクロステーブル方式は、移動軸の上に他の移動軸があるため、上方にある移動軸構造物の重心移動がわずかではあるが下方軸の送り精度に影響を与えることが分かっ

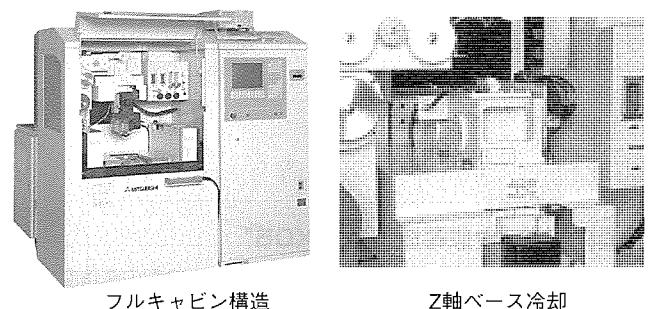


図1. 熱外乱抑制構造

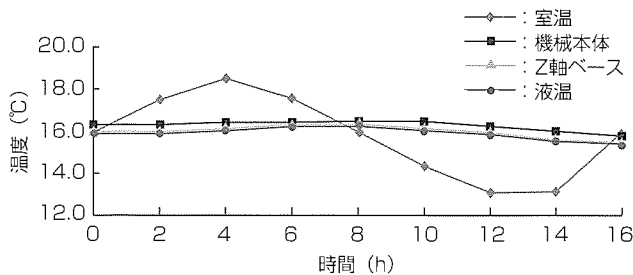
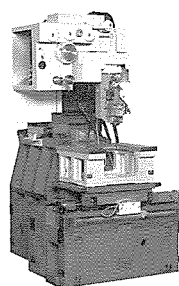
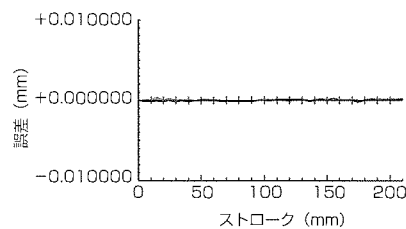


図2. 熱遮断測定例



XY分離構造



X軸位置決め精度

図3. 2軸分離構造の採用

ている。

図3にPX05の機械構造を示すが、XY軸を分離し高剛性を持たせたベッド構造とすることで、位置決め精度の向上を図っている。この結果、他軸の影響をほとんど受けずに、全ストローク範囲で高精度な位置決めが可能となっている。

3.3 細線対応ワイヤ自動供給装置

0.1mm径以下の細線ワイヤを機械にセットする作業は、かなりの熟練を要し、生産性を妨げる要因になっている。PX05は、0.03mm径までは自動供給可能としており、細線ワイヤのセット作業に熟練を不要としている。一方、加工形状が微細化するのに伴って、スタート穴の小径化が進んでいる。PX05は、標準仕様で0.3mm径までの小径穴に対応しているが、さらに、微細穴特殊仕様により、0.1mm径前後のスタート穴へも自動供給可能としている。

図4に細線用ワイヤ自動供給装置の外観を示す。

3.4 無電解電源による高品位・高速加工

ワイヤ放電加工は加工液として水を用いるため、従来の直流電源では、放電の熱によって発生する熱変質層のほかに、加工時のイオン移動による電解作用によって電解変質層が発生し、加工面の品質が低下することが知られていた。これに対して、無電解電源は、極間に両極性のく(矩)形電圧を印加することにより、電解変質層の発生を抑制することができるものである。なお、細線ワイヤにおいても荒加工速度の向上や加工回数の低減といった生産性の向上が強く求められることから、PX05には、細線加工に適した放電パルス波形を発生する新型トランジスタ電源を搭載し、最も効果の大きな領域では、当社従来比で約2倍の加工速度を実現している(図5)。

3.5 FS3電源による超仕上げ加工

ワイヤ放電加工において、直流電源による加工では微小エネルギー領域において持続アークを阻止することが困難であり、さらに、加工液として水を用いるため、電解作用によって組織の欠落(チップング)が発生するという問題がある。これに対して、交流高周波の正弦波を極間に加えることによって最良面粗さ0.5μmRy以下の超仕上げ加工を実現した。これらは、周波数10MHz以上の高周波を使用することにより、単発放電エネルギーが小さいにもかかわらず、加工電圧・電流の極間共振状態を引き起こすことによ

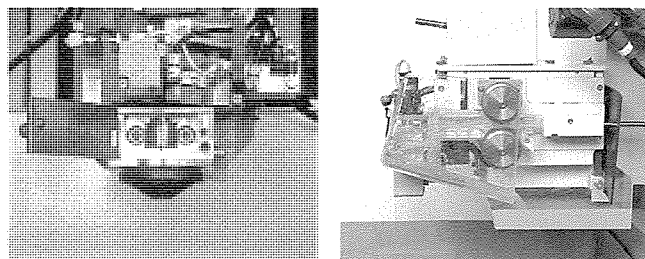


図4. 細線用ワイヤ自動供給装置

って放電を発生し、亜鏡面加工を実現している。PX05に搭載のFS3電源は、従来の超仕上げ加工で必要であったワーク絶縁治具を不要とし、また、加工液を浸せき(漬)したままの超仕上げ加工を可能にしている。

3.6 HG2とコーナーエキスパート

3.6.1 HG2制御

従来は、加工形状が微細化するほど、高精度に仕上げるための加工条件設定が困難になり、さらに、誤差を修正するための調整的なノウハウが必要であった。HG(High Precision Gap Control)2制御は、コーナーの形状精度向上とインコーナーでの短絡現象防止を目的として、新たに開発した放電ギャップ制御技術によって微細加工形状における制御応答性・安定性を大幅に向上するものである。その効果としては、微細形状のコアレス加工や微小なインコーナー部など、加工量が急激に変化する部分での形状精度を大幅に改善し、加工条件の設定も容易にしている。

3.6.2 コーナー制御による精度向上

ワイヤ放電加工において、インコーナーやアウトコーナーは、加工量が急激に変化するため精度を出しにくい箇所である。PX05は、仕上げ加工の加工量の変化をNC装置で内部演算し、これを加工に反映するコーナー制御機能を備えている。これを前述のHG2制御と組み合わせると、コーナー部分での形状精度が格段に向上する。図6は0.1mm径のワイヤで板厚10mmのダイス鋼にアウトシャープエッジを加工した例であるが、従来は2~3μmの“だれ”が生じていたところを、だれ量を1μm以下にまで改善することができた。

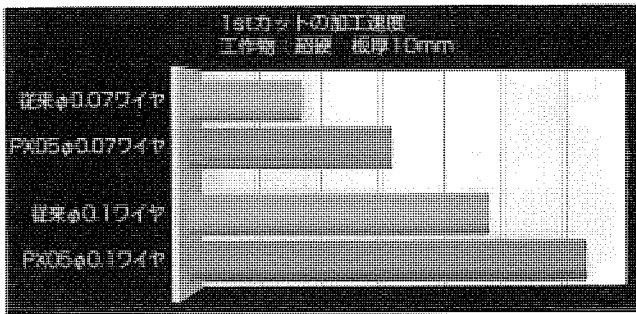


図5. PX05と従来機の荒加工加工速度比較

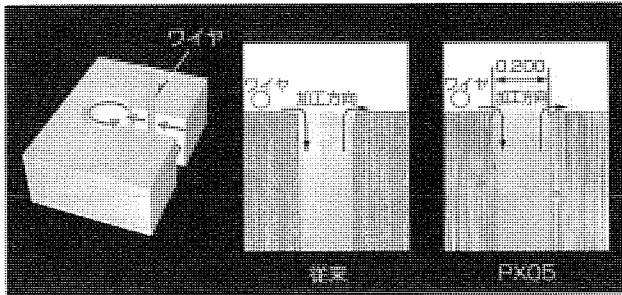


図6. HG2とコーナーエキスパートの効果

4. 加工事例

4.1 ICリードフレーム加工例

図7にICリードフレーム金型を模したサンプル例を示す。また、図8に示すデータシートは、当社で実施したリードフレーム形状の加工性能評価用ベンチマークテスト結果である。従来の超高精度機(DWC90PA)に比べ、PX05は、加工精度が上回るだけでなく、トータル加工時間も大幅に向上していることが分かる。これは、荒加工速度(図8では拡大と表記)の向上と、仕上げ加工の回数削減によるもので、荒加工の速度向上は、細線加工に最適な放電パルスを提供する新電源の効果によるものである。また、高性能サーボHG2とコーナーエキスパート機能により、仕上げ加工の形状誤差修正能力が向上し、従来よりも少ない仕上げ回数で超高精度な加工が可能となっている。

4.2 極細線ワイヤの加工事例

ICリードフレーム金型加工以外でもエレクトロニクス分野を始めとする製品のダウンサイズ化は著しく、これに対応して、金型製作の現場では、より微細精密なものへのワイヤ放電加工の適用が求められている。こうしたニーズに対する加工事例を次に紹介する。図9は、超微細スリットを加工するために0.02mm径のタングステンワイヤを使用し、板厚1.2mmのステン材をワンカットで仕上げたものである。狭スリットを実現するためにFS3電源を使用し、1回加工でも微少なエネルギーで加工することにより、真直精度と面粗さが両立する加工が実現できた。

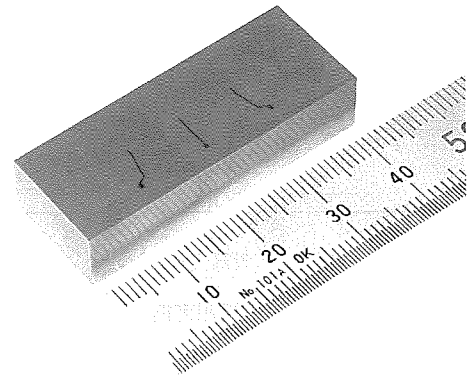


図7. ICリードフレーム加工例

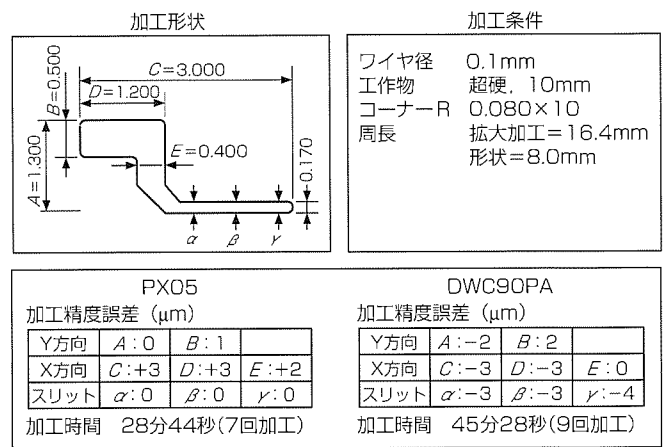


図8. ICリードフレームのベンチマーク加工

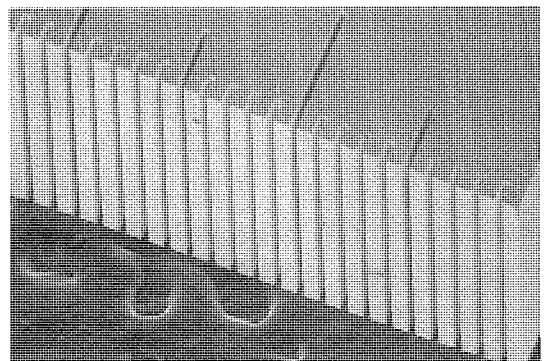


図9. 0.02mm径極細線ワイヤの加工例

5. むすび

以上、超高精度ワイヤ放電加工機“PX05”に搭載されている新技術と新機構をベースに、ICリードフレームを中心とした精密金型加工への適用事例を紹介した。特に微細精密加工の中心になる細線ワイヤを用いた技術開発は、まだまだ発展の余地を多く残していると考えられる。今後とも、製品の更なる改良と研究開発に努め、市場ニーズの変化に即応した製品開発を進める所存である。

半導体向け超高精度 細穴放電加工機“VH10”

湯澤 隆* 今井祥人**
金谷隆史*
佐々木史朗*

要 旨

IT(情報技術)の急速な発達に伴い、それらを支える各種部品に対する高精度・微細化の要求が著しい。特に、高精度金型となるセラミック基板用金型、ICリードフレーム金型のスタート穴を中心に、高精度細穴加工への要求が高度化している。こうした中、高精度微細金型向け細穴加工の生産プロセス革新を目指して、超高精度細穴放電加工機“VH10”の開発を行った。以下に示す特長のように、微細電極交換の自動化と高精度穴加工により、金型を中心とした細穴加工工程の大幅な改善を実現している。

(1) 市販50 μ m径電極の自動交換を業界で初めて実現した。汎用微細電極の自動交換により、微細多数連続穴加工の生

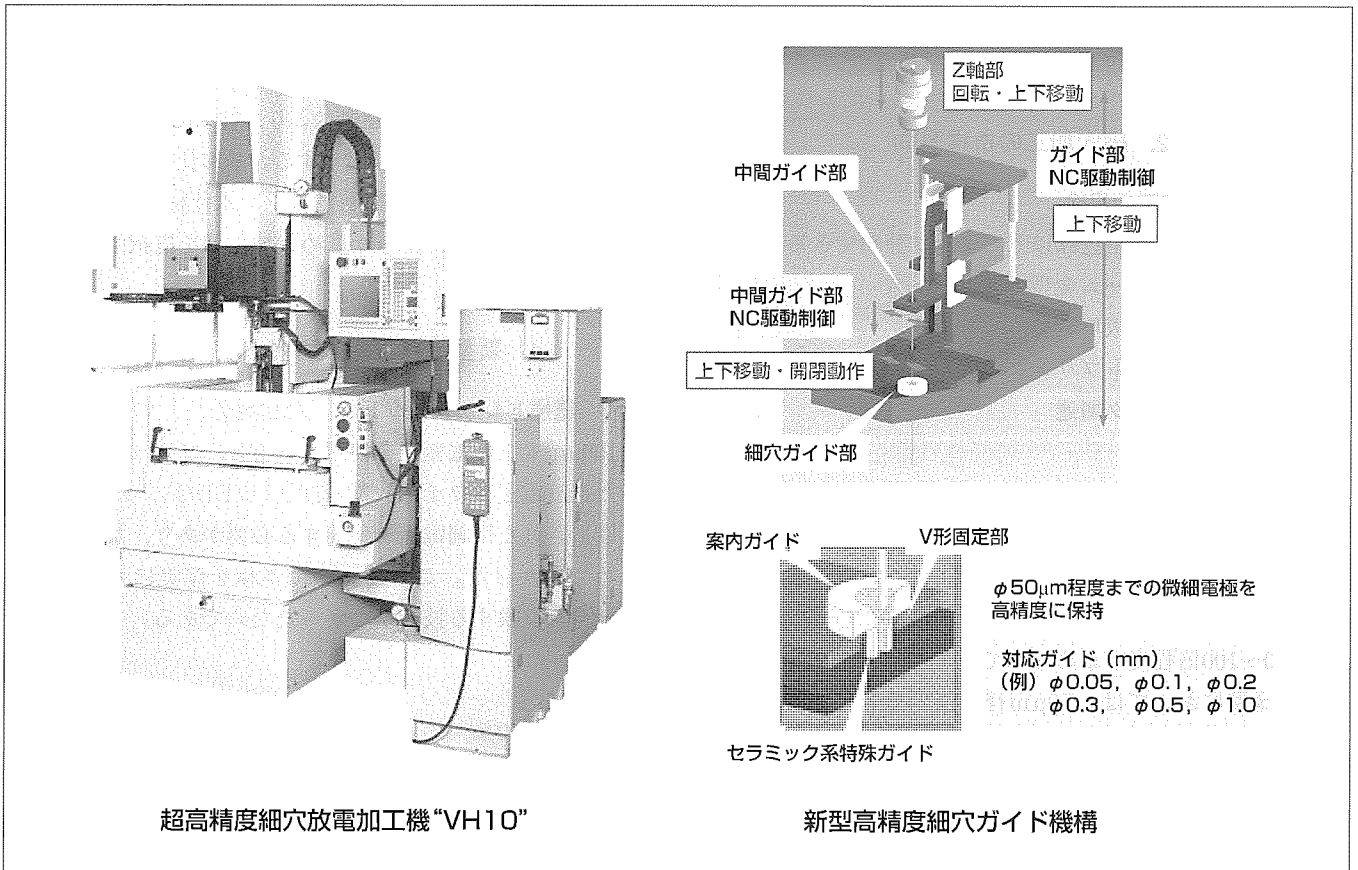
産プロセスを革新する。

(2) 70 μ m径の穴加工を電極ドレッシングなしで実現した。電極成形工程が不要であるため、トータル加工時間を大幅に改善する。

(3) 新型細穴電極ガイド機構により、微細電極の振動を抑制し、高精度微細穴加工の加工時間を短縮する。

(4) 高精度機械構造体とXY軸リニアスケール仕様、及び細穴専用電源により、高精度微細穴加工を実現する。

(5) 加工用途(アスペクト比 L/D , 加工材質)に応じた加工仕様(油仕様機, 水仕様機)の選択により、細穴加工の限界性能を追求できる。



超高精度細穴放電加工機と、高精度加工をサポートする新型細穴ガイド機構

三菱電機は、電極ドレッシングを不要とし、高精度・微細穴の多数連続加工によって生産プロセスを大幅に改善した超高精度細穴放電加工機“VH10”を製品化した。従来の細穴加工機において必要であった電極成形工程を行う必要がないため、トータル加工時間を大幅に改善できる。市販の微細電極を連続的に自動交換できるため、高精度機械構造体と熱変位を最小限に抑制した細穴ガイド機構により、半導体金型を中心とした超高精度金型への多数連続穴加工の加工精度を大幅に改善している。

1. ま え が き

IT(情報技術)の急速な発達に伴い、それらを支える各種部品に対する高精度・微細化の要求が著しい。特に、高精度金型となるセラミック基板用金型、ICリードフレーム金型のスタート穴を中心に、高精度細穴加工への要求が高度化している。

細穴・微細穴加工の歴史は相当に古く、一般的に穴直径に対する加工深さ(アスペクト比)が大きくなるほど加工難易度が高くなる傾向となる。一般的な細穴加工では、パイプ電極を使用して加工液を噴出することにより、効果的な加工くず(屑)排出を行いながら加工を行っている。しかし、出口径に対する加工深さが大きくなるに従い、加工屑の排出が困難となり、加工が進行しにくくなる。また、より微細穴加工に対する市場要求も増大している。この場合、市販のパイプ電極では対処できないため、ロッド電極を微細径にドレッシング成形して加工を行うが、ドレッシング成形工程によって生産性が大幅に悪化することが課題となっている。

こうした中、高精度微細金型向け細穴加工の生産プロセス革新を目指して、超高精度細穴専用放電加工機“VH10”の開発を行った。

本稿では、最新の微細穴放電加工技術及び加工事例について述べる。

2. 細穴加工の市場動向

2.1 細穴放電加工の用途

最近の細穴加工の用途は以下のように分類できる。

- ICリードフレーム金型のスタート穴
- セラミック基板用金型
- インクジェットプリンタノズル
- 光通信コネクタ関連
- センサ関連
- 流体制御部品
- エンジン電子制御噴射ノズル

上記のいずれにおいても穴径/加工深さは最高水準の性能が要求されており、アスペクト比(L/D : L =深さ, D =穴径)20~100倍程度が求められている。また、半導体関連の一部金型においては、50 μ m径以下の多数穴加工も放電加工によって実現されている⁽¹⁾。

2.2 放電加工液の分類

細穴放電加工機は、加工液仕様としてあらかじめ油又は水の選択を行う必要がある。加工液の選択は、図1に示すように、高板厚(5mm以上)の深穴加工($L/D=50$ 以上)では、一般的には油加工液を使用する。主にリードフレーム金型向けのWEDM用高精度下穴加工に用いられる。一方、高速加工特性を発揮しやすい薄板(厚さ1.0mm以下、 L/D

=15以下)加工では、無電解電源方式⁽²⁾を前提として純水加工液が一般的に適用される。BGA(Ball Grid Array)パッケージ用金型などの高精度・高速多数連続加工が主な用途となる。

以上のように、加工液選択は、加工時に排出される加工屑の排出効果や、加工の安定度、加工面質などによって適切に選択する必要がある。

3. 超高精度細穴放電加工機VH10の概要

3.1 特 長

VH10の特長を以下に示す。昨今の高精度連続多数個穴加工を前提として、大幅な自動化と高精度穴加工の実現により、金型を中心とした細穴加工製造工程効率の大幅な改善を実現している。

- 50 μ m径電極の自動交換を実現
- 電極ドレッシングなしで70 μ m径細穴加工を実現
- 高精度微細穴の加工時間を短縮
- 高精度多数穴加工を実現
- 加工用途に応じた加工液仕様の選択

3.2 機械本体仕様

最新CAE技術を駆使した構造解析と熱解析によって機械構造を最適設計し、高剛性・高精度化を行っている。最小駆動単位0.1 μ mリニアスケールを標準装備し、安定した軸送りによってピッチ加工を高精度に実現する。また、高精度細穴ガイド機構との連動により、従来では困難であった50 μ m径電極の自動交換を実現する。基本仕様を表1に示す。

加工液仕様として2種類(油仕様、水仕様)用意している。加工用途に応じて、あらかじめ機械仕様を選択することが可能である。

4. 新型高精度細穴ガイドアーム機構

4.1 電極ドレッシングレス及び自動化

100 μ m未満の電極径を使用する場合、ブロック電極を用いた逆放電法やワイヤ放電研削法(WEDG)⁽³⁾によって機上成形された微細電極を使用する必要があり、加工効率が極めて悪かった。これは、微細電極を確実にガイドに挿入・自動交換する技術がなかったためである。今回開発し

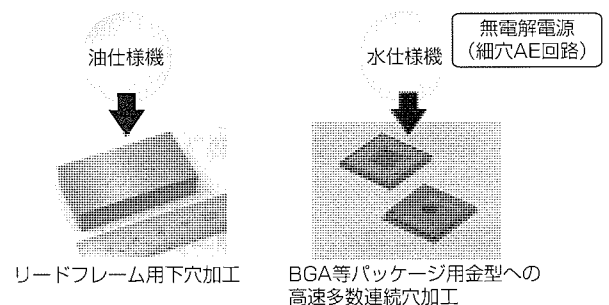


図1. 細穴放電加工液の使用分類例

表1. 基本仕様

	項目	仕様
機械本体	軸移動量(XYZ)	350×250×350 (mm)
	加工槽内形寸法(幅×奥行き×高さ)	530×500×220 (mm)
	最小指令単位	0.1μm (リニアスケールスケールフィードバック仕様)
細穴治具 (中間ガイド)	対応ガイド径(例) (mm)	φ0.05, φ0.1, φ0.2, φ0.3, φ0.5, φ1.0
	ガイド上下移動量	100mm
	ガイド下端部-テーブル間距離	30~130mm
	使用電極長さ	最大300mm (ATC連動時はホルダ高さを含む)

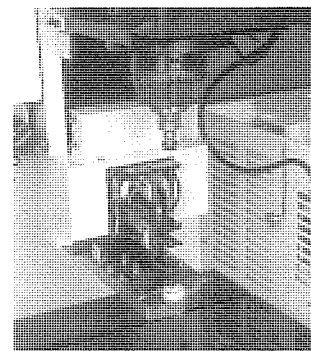


図2. 新型高精度ガイドアーム構造

た加工機は、新開発の細穴ガイドアームと中間ガイドの装備により、市販のロッド電極を用いた直接加工が可能であることを大きな特長としている。従来から一般的に行われている電極ドレッシング工程が不要となるため、トータル加工時間の大幅短縮が可能となる。

ガイドアーム及び中間ガイド構造を図2に示す。細穴ガイド部(NC駆動によって上下移動可能)と、上下移動・開閉動作可能である中間ガイド部(同じくNC制御)で構成されている。図3に電極交換プロセスを示す。電極交換時には、細電極を適切に保持するため、中間ガイド軸が自動的に上昇し(図の(1))、電極交換後、ガイドチャックが閉じて、電極は確実に保持される(図の(2))。さらに電極降下時には、中間ガイドの協調動作により、微細電極は細穴ガイドに確実に挿入される(図の(3))。ATC(電極交換装置)との連動によって微細多数穴加工の生産性が大幅に向上する。

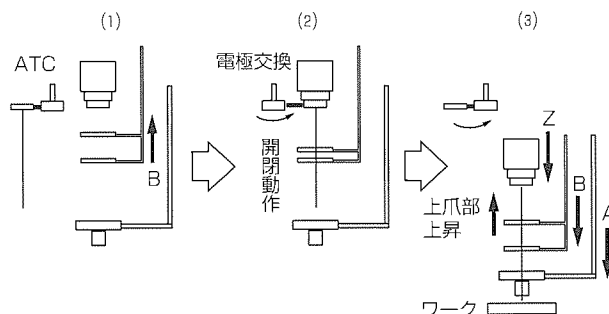


図3. 電極交換プロセス

4.2 高精度化・加工安定化

細穴ガイドアームは、ヘッド直下のコラム部から左右対称に配置しているので、熱変位の影響を最小限に抑制し、長時間にわたるピッチ精度を大幅に向上させている。

中間ガイドに関しては、従来からも固定式又は多数のガイドを単純に並べた方式が存在するが、電極の横振れを効果的に抑制できていない。しかし、この中間ガイドは、NC制御によってZ軸と連動可能であり、加工中最適な保持位置に制御を行うため、電極振れを最小限に抑制し、加工の安定化と高精度化を実現している。

5. 細穴加工用AE(無電解)電源

セラミック基板用金型では、極めて多数の穴加工を必要とし、更なる微細化が進んでいる。また、金型材では、薄板が多いため、高速加工要求に対しては水加工液を一般的に使用する。水加工液の場合、油の数倍以上の加工速度が実現可能である。

さらに、この水仕様機ではAE(無電解)電源を搭載している。従来、超硬材の水中加工では、加工穴周辺部の電解変質・腐食が問題となっていたが、AE電源を使用することによって超硬金型の高精度・高速加工が可能である(図4)。

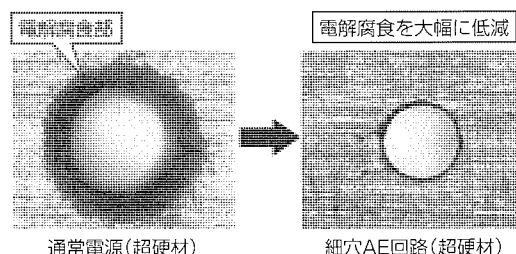


図4. 細穴AE電源による無電解加工

6. 細穴加工事例

半導体部品や電子部品の高密度化・微細化に伴い、ICリードフレーム金型のスタート穴やセラミック基板用金型などの高精度な微細穴加工を行う上で、穴径の微細化、トータル加工時間の短縮がますます要求されている。今回の加工機での適用例を以下に示す。

6.1 セラミック基板用金型加工

80μm径タングステンロッド電極を使用した水仕様加工例を図5に示す。SKD11材(1mm厚)に対して、加工時間30秒/穴、電極消耗0.19mm/穴、穴径110μmの高速加工が実現できる。

6.2 電極ドレッシングレス・微細穴加工

市販の40μm径電極を用いて、GTI30(0.5mm厚)に対して、加工時間3分/穴、電極消耗0.5mm/穴、穴径70μmの加工を油仕様機で実施した(図6)。電極ドレッシング工程を削減可能である。

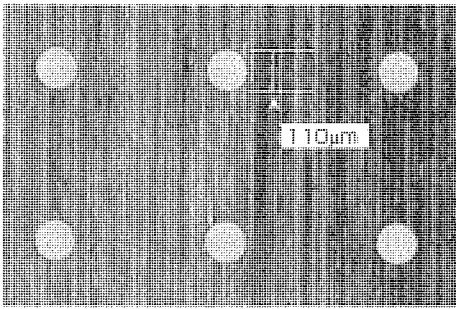


図5. セラミック基板用微細穴加工

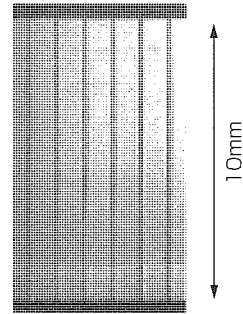


図7. 高アスペクト加工

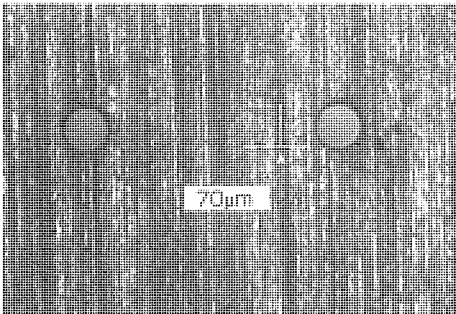


図6. 電極ドレッシングレス・微細穴加工

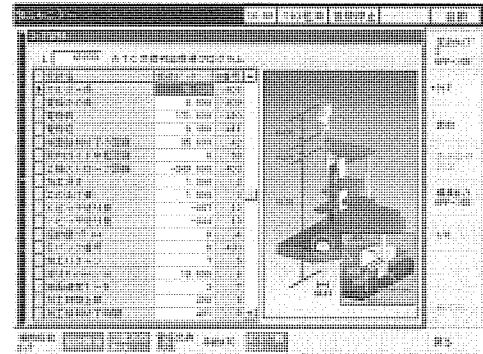


図8. 細穴加工用・専用設定画面

6.3 リードフレーム下穴加工

銅タンゲステンパイプ電極径0.15mm，工作物GTI30（10mm厚）に対して，加工時間3分／穴，電極消耗9mm／穴，加工穴径0.19mmで片側から貫通可能である（油仕様機：図7）。

7. 64ビットCNC搭載

64ビットCNC搭載により，より複雑な制御指令を行うことが可能となっている。高応答加工制御により，加工速度・加工精度の向上を可能としている。

また，GUI(Graphical User Interface)の採用により，操作性と機能性が大幅に向上している。特に従来はNCプログラムによる加工が一般的であった細穴加工機において，図8に示す専用プログラム画面で，容易に加工設定が可能となっている。

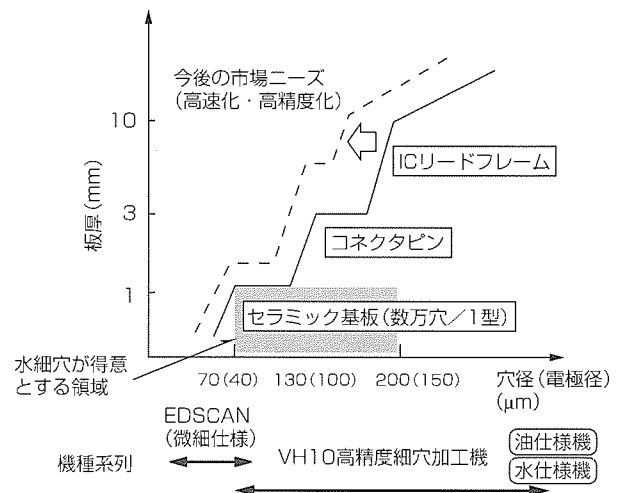


図9. 高精度細穴加工の今後のニーズ

8. むすび

IT関連企業を中心に，更なる微細加工要求が著しい。図9に，加工業種における加工穴径と板厚の関係，及び現在対応している加工機種的位置付けを示す。今後，どの加工領域においても，穴径の微細化・多数穴化に向かうものと考えられ，細穴加工性能への要求もますます厳しいものになっていくものと考えられる。

今後の市場動向として更なる微細穴加工及び連続自動加工時の高精度化が要求されており，それらに応じた性能改善を目指していく所存である。

参考文献

- (1) $\phi 0.001\text{mm}$ 超硬材加工ピン加工の極意，伊藤精工(株)，生産財マーケティング，74～77（2000-11）
- (2) 真柄卓司，弥富 剛，小林和彦：ワイヤ放電加工機における高精度仕上げの研究－交流高周波による重鏡面仕上げ加工－，電気加工学会誌，24，No.48，5（1991）
- (3) 増沢隆久，藤野正俊：高精度微細軸加工の研究（第1報）－ワイヤ放電研削法の開発－，電気加工学会誌，24，No.48，14～23（1991）

放電加工機現場へのIT実用化技術

七澤禎文*
高橋伸行*
前田美由貴*

要旨

金型製造業界は、全事業所の約80%が従業員9人以下の中小企業である。今まで、職人の卓越した技能と優れた設備で世界に誇る金型を生産し、日本経済を支えてきた。この設備面で、三菱電機は、高精度・高機能の放電加工機を常に開発し、貢献してきた。

しかし、納期短縮、コストダウン、海外生産へのシフト等により、従来の対応方法の延長では対応しきれなくなっている。

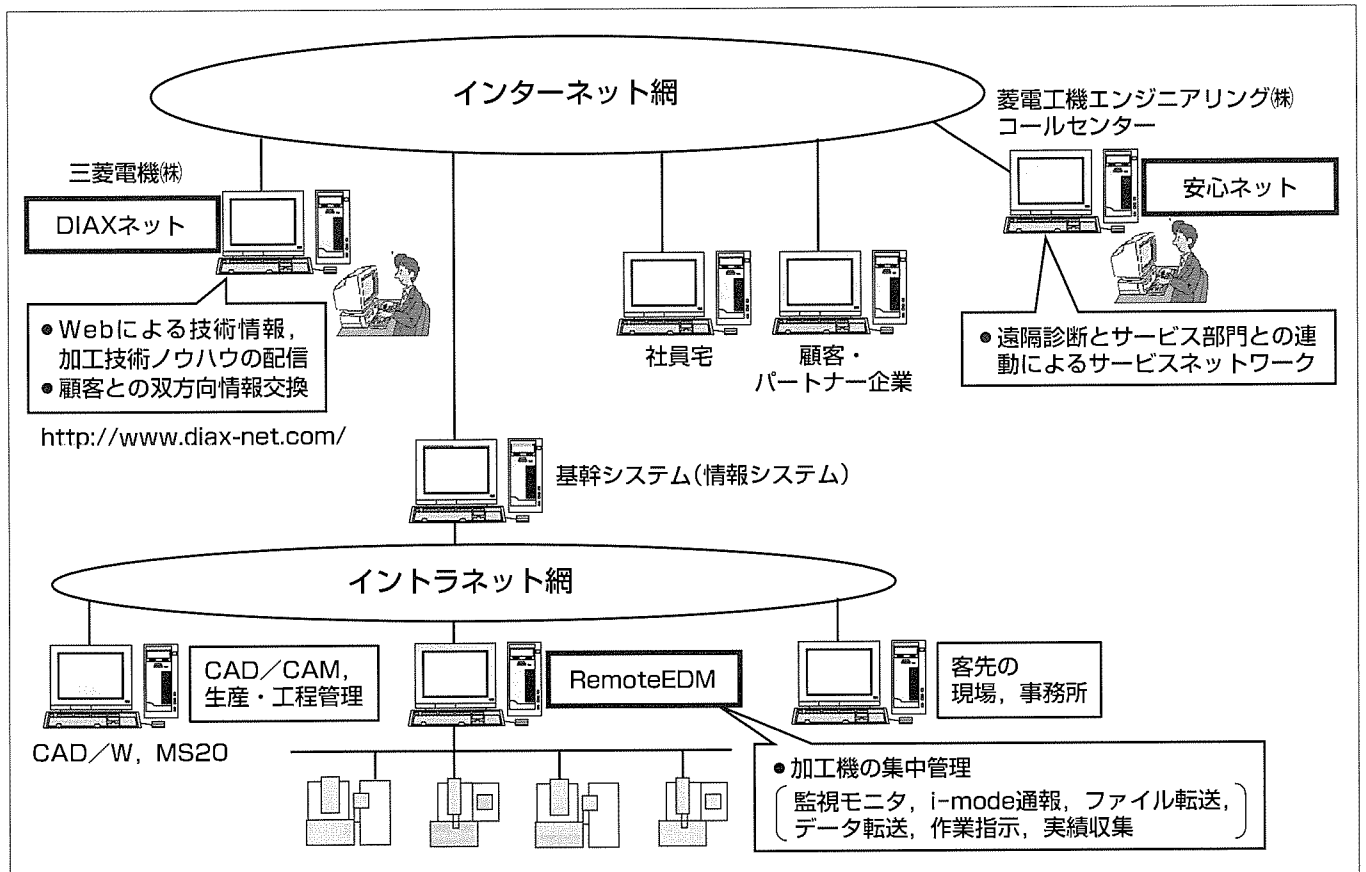
この環境の変化に対応し生き残るには、技能の科学的な分析を行い、マニュアル化やシステム化を図り、“技能”を“技術情報”に組み込むこと、すなわちIT化が必要である。

そこで、この業界のIT化を実現するために、放電加工機現場へ以下の3点の実現を進めている。

- (1) 常に放電加工機を最新技術で使用できるための、メーカーからの情報発信Webの構築
- (2) 放電加工機現場をネットワークでつなぎ、集中して管理・監視するためのシステムの構築
- (3) 24時間フル稼働させるための遠隔監視・故障診断システムの構築

中小企業における短納期・コストダウン・グローバル化を進めるためのIT化支援は、現場に密着した即効的なものが必要である。

当社では、上記の3点を軸に金型業界に貢献していく。



ネットワーク活用に対する概念図

放電加工機現場に対するネットワーク活用システムを示す。Webを利用した情報配信及び当社放電加工機を100%活用するための情報配信(DIAXネット)、ユーザーのイントラネットでの加工機集中管理(RemoteEDM)、サービスの質とスピードを向上させ24時間フル稼働させるシステム(安心ネット)で構成した例である。

1. ま え が き

金型製造業界は、全事業所の約80%が従業員9人以下の中小企業である。今まで、職人の卓越した技能と優れた設備で世界に誇る金型を生産し、日本経済を支えてきた。しかし、短納期・コストダウン・グローバル化という環境の変化に対応し生き残るには、技能の科学的な分析を行い、マニュアル化やシステム化を図り、“技能”を“技術情報”に組み込むこと、すなわちIT化が必要である。

本稿では、放電加工機現場におけるIT化支援の具体策を紹介する。

2. 放電加工機情報サービス

放電加工及び金型加工に特化したビジネス情報サイトとして、ホームページdiax-net.com (<http://www.diax-net.com>)を2000年10月にオープンした(図1)。

非会員のページは営業部門と連携した製品紹介やトピックスといった紹介を主とした構成とし、会員のページは当社ユーザーに限定して放電加工機を100%活用していただくための情報で構成している。

会員のページ構成は、以下のようになっている。

(1) e-ガイド

放電加工機の電子マニュアルを掲載し、知りたい項目を広範囲に検索できるようになっている。特に、メンテナンス方法やトラブルシューティングは、リアルタイムに更新し、印刷物にはない利点を強化している。

(2) e-条件

放電加工機の性能や生産性を左右する加工条件を掲載している。従来、機械出荷時に添付されていた加工条件が改定されたときや加工条件が追加されたときは、顧客に送付されることはなかった。しかし、このページからダウンロードすることが可能で、常に進化する加工技術をリアルタ

イムに提供することができ、したがって、常に機械の性能を最新の状態で稼働することが可能になった。

(3) e-サポート

放電加工機に関するQ&Aと、加工技術ノウハウシートを掲載している。Q&Aは、疑問や質問を受けるものであるが、今までの電話やFAXでの問合せを中心に検索できることから始め、新規のものは、各担当部門で回答する。このページを使って放電加工機の機能を100%使いこなしてもらうことをねらいとしている。加工技術ノウハウシートは、社内で技術の伝承のために用いていたものをベースに、ユーザー用に構成している。ノウハウの文書化は、一番のねらいとするものである。

(4) 掲示板

会員間での共通の話題を情報交換してもらうための掲示板である。一般不特定の者を対象とした掲示板は数多くあるが、今回の情報サービスは、当社のユーザーに、当社の放電加工機の意見交換を主に、より現実に沿ったものにしたという意図がある。

他の業界ではこのようなWebサービスはあるが、放電加工の分野では初の試みである。

3. EDM Network システム

ネットワーク接続した放電加工機の遠隔監視、緊急通報、ファイル転送機能、及び簡易工程管理機能を備えたEDM NetworkシステムとしてのRemoteEDMシステムを述べる。

(1) システム構成

図2にRemoteEDMのシステム構成を示す。

RemoteEDMサーバと各機械とはLANを使用してイーサネット(TCP/IP)接続する。従来機等でLAN接続できない機械においても、RS-232CをLANに変換するモジュールを付加して接続可能である。サーバは、各機械の稼働状況やアラーム状況等の情報を常時収集し、Web上で各部門からの要求に沿ったデータの発信と受信が可能となる。



図1. DIAXネットホームページ

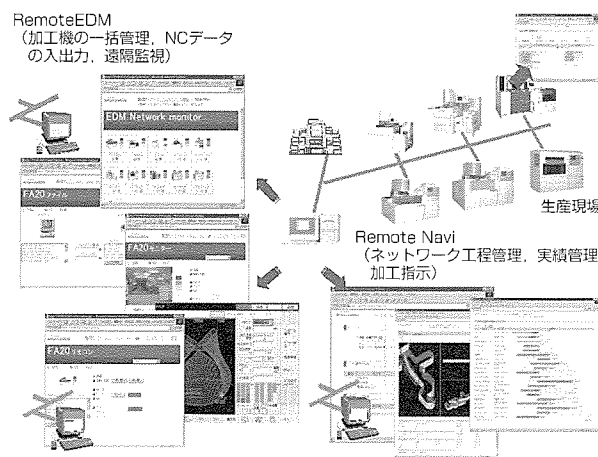


図2. RemoteEDMのシステム構成

クライアント側(現場, 設計, 管理部門)では, 通常のブラウザ機能を持ったパソコンのみを用意すれば, 特別なソフトウェアを使用しなくても任意のデータを参照しコントロールが可能である。

(2) 遠隔監視機能

RemoteEDMの機械監視機能として一括監視モニタ(図3)と個別監視モニタ(図4)があり, 一括監視モニタは, 工場内の放電加工機及び他の機械の稼働状況をパソコン上で一覧確認できる仕様となっている。従来は工場中を回って各機械ごとに確認する必要があり, 無駄を生じていた。このシステムにより, 工場内のどこからでもパソコン上で確認することができ円滑な機械運営が可能となる。また, 異常が発生した場合, 該当の機械を選択し, 個別モニタに切り換えることで機械の詳細な状況(どんなアラームが発生したか, ストップ内容は何か)を確認することができ, 適切な処理・指示が迅速に行える(図5)。また, 機械で発生したアラームやストップなどの状況をE-mailや携帯電話メールに通報することが可能で, 常時機械を監視することなく, 異常を素早くキャッチできて早期復旧に取り掛か

れ, 機械稼働率を向上させることができる。このようにRemoteEDMシステムを導入することで, 機械の監視作業は, 従来一人1~3台であったものを, 一人5~10台へと大幅に効率化することができる。

(3) 簡易工程管理機能

RemoteEDMシステムのもう一つの機能として簡易工程管理がある。これは, 従来の工程管理では工程管理に卓越した人材の育成や工程管理するための人の常時配置が必要であり, 中小の金型メーカーでは導入ができないのが現状であった。このRemoteEDMのNavi機能は, 放電加工機のような加工時間の長い機械作業において, “いつ, だれが, 何を, いつまでに行わなくてはならないか”, また, “納品時期, 完了時期が作業者によって簡単に現場サイドで入力ができ, そのデータが他の加工品と併せて全体の作業進ちょく(捗)状況が確認できるシステムであればいい”という概念・要求から作成されたものである。図6では, 各加工作業の納期間近かの状況及び遅れ状況を一覧で参照できる。また, 図7では, 各作業内容がどこまで進んでいるのかを全体の流れの中で把握できる。図8では, 作業者が作業の進捗状況を簡単に入力できるように各機械の画面からデータの入力が可能となっている。これにより, 工程管理の人

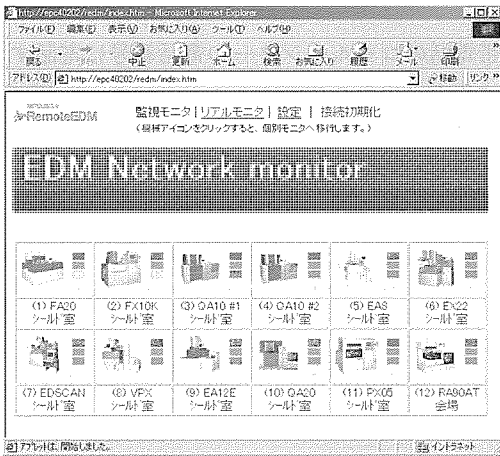


図3. RemoteEDM一括監視モニタ

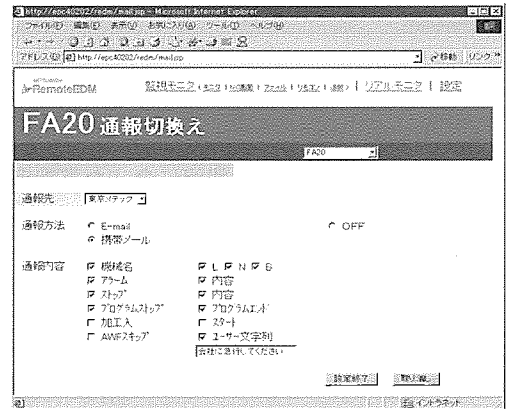


図5. RemoteEDM状態通報設定画面

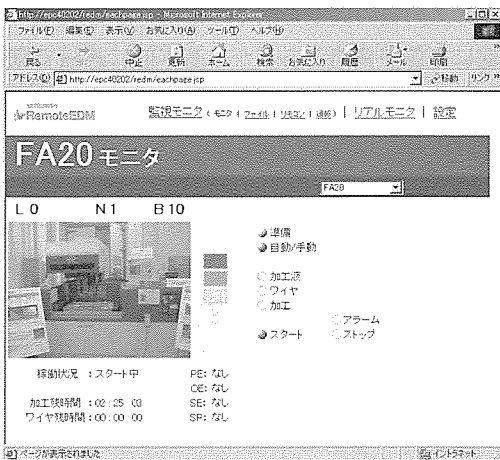


図4. RemoteEDM個別監視モニタ

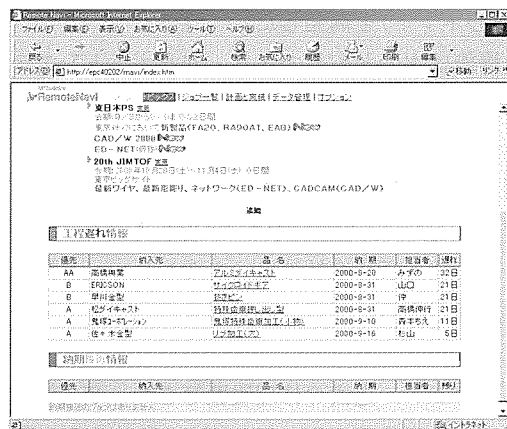


図6. RemoteEDM簡易工程管理画面

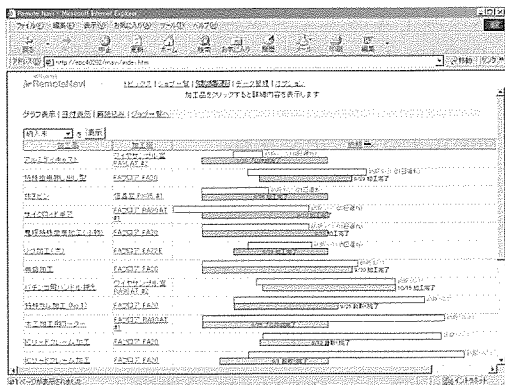


図 7. RemoteEDM簡易工程進捗表示

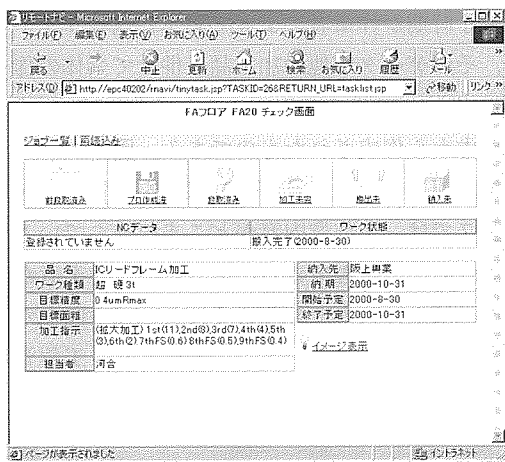


図 8. NC画面での作業工程入力画面

員は必要なくなり、作業の進捗状況に合った進捗データが自動的に集計され、ネットワークに接続されたパソコンから各加工品の状況が把握できる仕組みを提供できる。

4. 遠隔診断システム

放電加工機現場では、24時間フル稼働することが要求される。したがって、マシンダウンは致命的なことであり、復旧にかかる時間短縮は急務である。サービス会社である菱電工機エンジニアリング(株)と共同開発で、遠隔診断システム(安心ネット)を開発した。

主な機能は次のとおりであり、安心ネットシステムの構成を図9に示す。

(1) アラーム通報機能

管理下の加工機でアラームが発生した場合、あらかじめ設定してあるオペレータの携帯電話へE-mailで通報するとともに、サービス会社のコールセンターへも同時に通報される。通報内容は、機械の号機番号とアラームの内容である。コールセンターでは、この情報に基づき、機械の種類、オプション、過去の修理履歴等をユーザー管理データベースから検索する。また、アラームの内容から対応方法を検討し、必要に応じて交換部品の用意を行う。ユーザー

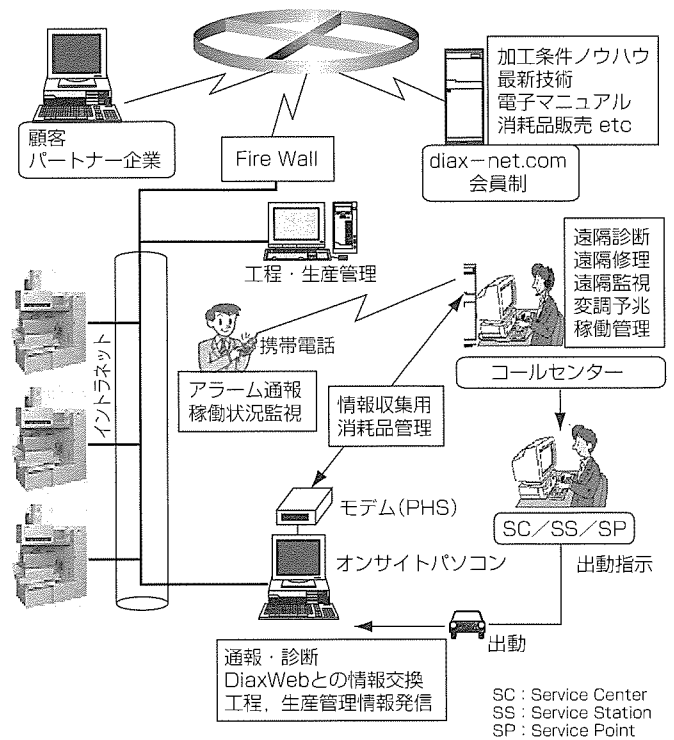


図 9. 安心ネットシステム構成

は、携帯電話のコールセンターの電話番号に電話することによって修理の出動を依頼することができ、即時に修理行動に移ることができる。アラーム通報で、サービス会社の修理行動と連携し、迅速な復旧を可能とした。

(2) 遠隔診断機能

アラーム内容から故障を特定するために、コールセンターからの情報要求に対して加工機側から情報返答を繰り返すことにより、機械の状態を判断し、結果を導く。従来、電話を通じて現地のオペレータからの情報を入手して判断してきたが、言葉では正確な情報のやり取りができないという欠点があり、結局、サービス出動することが必要であった。この場合、修理部品を改めて手配する等のロスが多かった。今回の機能により、正確な情報で正確な判断ができ、サービスの質の向上を図ることができる。

その他にも各種機能があるが、基本的に遠隔で機械の状態を把握することにより、顧客の加工機を常に稼働させる状態を維持するものである。

5. む す び

ネットワークを応用した放電加工機現場のIT化をこのように進めているが、これはまだスタート段階にすぎない。今後は、現場で使えるdixa-net.comへのコンテンツの充実、RemoteEDMでの上位システムとリンクするインタフェースの開発、安心ネットでの診断エンジンの開発などを進めていく予定である。

放電表面処理技術の開発とその利用

松川公映* 吉田 学**
毛呂俊夫** 三宅英孝+
後藤昭弘***

要 旨

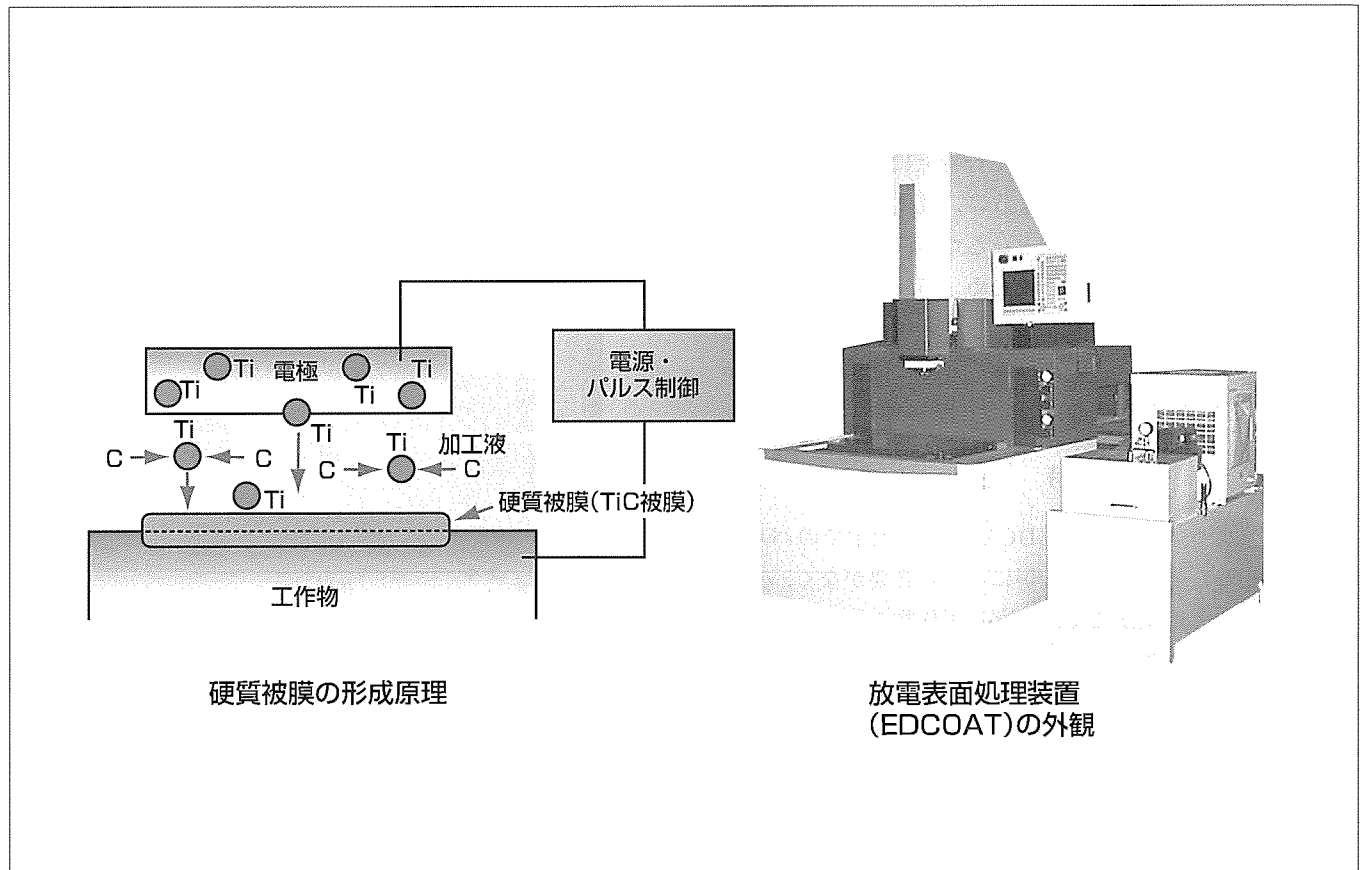
放電によって電極材料を分解するとともに、分解された元素と加工液構成元素を放電の熱によって反応させて工作物上に耐摩耗性に優れた硬質被膜を形成する放電表面処理技術を開発した。この技術は①常温で処理するため、熱ひずみが発生せず母材の高精度性の維持が可能であること、②傾斜被膜となり被膜の密着性が高く、後加工も可能であること、③1 $\mu\text{m}/\text{min}$ という高速処理が可能であること、④前処理が不要であること、⑤局部処理が簡単であること等の特長を持っている。

従来、切削工具、金型、機械部品などでは、耐久性向上のための手段の一つとしてCVD(化学気相蒸着)法やPVD(物理気相蒸着)法によって硬質セラミックが被膜されるこ

とが多かった。しかし、これらの装置は大掛かりなものが多く導入に多大なコストを要することが多い上に、CVDでは、処理温度が1,000K程度の高温になるため、工作物に熱ひずみが発生するという問題があった。また、PVDでは、被膜密着性の向上のために、十分な洗浄を行う等の前処理が必要であった。

そこで、形彫放電加工機をベースとして、従来の除去加工ができ、かつ放電表面処理被膜も形成できる放電加工機を世界で初めて製品化した。

本稿では、放電表面処理の原理と特長、及びプレス金型、タレットパンチ、切削工具への適用事例について紹介する。



硬質被膜形成原理と放電表面処理装置

放電によって電極であるTiが消耗し、極間に放出される。このTiが放電の熱によって分解された加工液構成元素である炭素と反応してTiCになり、ワーク上に硬質被膜(TiC)が形成される。この原理を利用して放電表面処理装置を開発した。

1. ま え が き

各種工業分野で使用される切削工具、金型、機械部品などでは、耐久性向上のための手段の一つとして、表面処理技術が期待されている。工業的によく利用される表面処理としてはCVD法やPVD法があり、多くの場合、硬質セラミックが被膜されている。しかし、これらの装置は大掛かりなものが多く、導入に多大なコストを要することが多い。また、CVDでは、処理温度が1,000K程度の高温になるため、工作物に熱ひずみが発生するという問題がある。PVDでは、被膜の密着性の向上のために、処理前に工作物表面を十分に洗浄する必要がある。

一方、放電表面処理(Electrical Discharge Coating, 以下“EDC”という。)技術は、放電加工の技術をベースに液中でのパルス放電によって耐摩耗性に優れた硬質被膜を形成する技術である。そのため、装置温度が常温近傍となり、前処理が不要で、局部処理が簡単にできるという特長がある。また、CVDやPVDの装置と比較すると、かなり安価な装置になるという特長がある。ここでは、この技術を利用した装置を世界で初めて製品化した⁽¹⁾ので、以下に紹介する。

2. 原 理

被膜形成の原理は、放電によって消耗した電極材料が、放電の熱によって分解された加工液構成元素である炭素と反応して硬質の炭化物となり、工作物上に硬質被膜TiCを形成するものである⁽²⁾。このように、放電表面処理では、電極材料が工作物に移り被膜となるため、電極の消耗を促進することが必要になる。そのため、通常の放電加工で用いる金属電極ではなく、金属粉末を圧縮成形や焼結成形した特殊電極を用いる。これらの特殊電極は通常の金属電極の数倍以上の消耗率になる。

3. 特 長

原理から分かるように、EDCは、加工液中でのパルス放電を利用した方法のため、炉に入れる必要がなく、工作物の大きさにも制限がなく、大きな工作物の部分処理も可能となる特長がある。また、工作物全体を常温の加工液中で処理するため、熱によるひずみが発生せず、母材の高精度を損なうことなく被膜できる特長もある。

図1に、EDCによる被膜の断面写真を示す。鋼材(JIS S45C)の上に被膜したものの断面を研磨し、エッチングした後、電子顕微鏡で撮影したものである。また、同図に電子線マイクロアナライザ(EPMA)による元素分析結果も示す。図から、表面にTiが多くあり、表面下深くなるにつれてTiが漸減する傾斜被膜になっていることが分かる。このため、被膜と母材との間に明確な界面が存在しなくな

り、被膜の密着力が高くなることが予想される。

被膜の密着性評価のためのスクラッチ試験結果を図2に示す。なお、スクラッチ試験とは、被膜をダイヤモンドの針で荷重をかけながら引っかき、膜がはく(剥)離した時に発生するアコースティックエミッション(AE)信号を検出し、被膜の密着力を評価する方法である。図にはPVDによるTiN被膜とEDC被膜の結果を示すが、PVDによる被膜は約45NでAE信号が検出され、被膜が剥離していることが分かる。EDC被膜は80NでもAE信号が検出されず、極めて密着力が高い特長を持つことが分かる。

また、図1から、母材の内部にも硬質層が形成されることが分かる。このため、被膜によって盛り上がった部分を研削しても硬質部分が残存することが分かる。これは、後加工が要求される場合に有用な特長である。例えばクリアランス数 μm の精密プレス用金型では被膜の盛り上がりによるクリアランスの変化が問題になるため、元の寸法まで研削などで仕上げる必要がある。しかし、EDCでは、パルス状の放電によって被膜を形成するため、放電パルスのエネルギーで決定される表面粗さの限界が存在する。そのため、前述の後加工ができれば、面仕上げを良くすることができる。

さらに、CVDによるTiCの成膜速度は1~5 $\mu\text{m}/\text{h}$ であるが、EDCでは処理面積100 mm^2 で約1 $\mu\text{m}/\text{min}$ で形成できる。従来の被膜と比較して、極めて高速処理が可能であることも大きな特長である⁽³⁾。

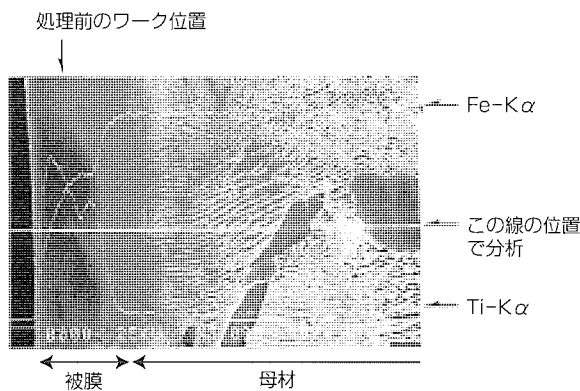


図1. EDC被膜の断面写真とEPMA分析

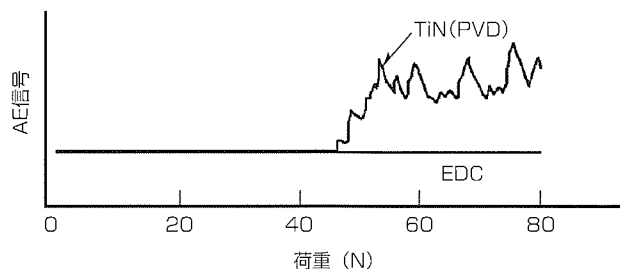


図2. スクラッチ試験結果

4. 耐久性

EDCによるTiC被膜とCVDによるTiC被膜、PVDによるTiN、TiCN、TiAlNの各被膜の耐摩耗性を示す試験結果を図3に示す。試験はピンオンディスク型摩擦試験装置を用いて行った。ディスク試験片は、直径50mmのSUS440Cを焼入れ焼戻しによってHRC58以上にした後、EDC、CVD、PVDの各被膜を3 μ mだけ施した。ピン試験片は直径約8mm(5/16インチ)のSUS440C製軸受鋼球を用いた。図から、EDC被膜の耐摩耗性はCVD被膜と同等以上であることが分かる。したがって、金型の表面のように被膜の耐摩耗性を必要とする場合や切削工具の刃先表面のように相手材を摩耗させる必要がある場合に、有用であることが分かる⁽⁴⁾。

5. 適用事例

ここでは、EDCの適用事例を紹介する。

プレス金型への適用例を図4に示す。プレスの切り刃部

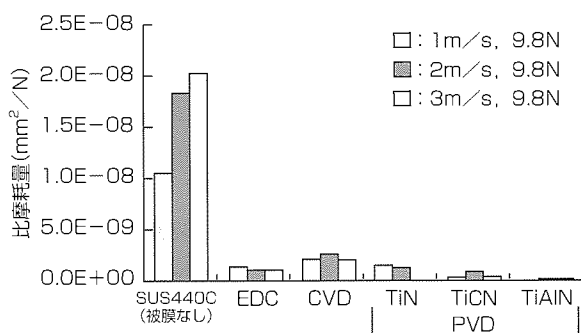
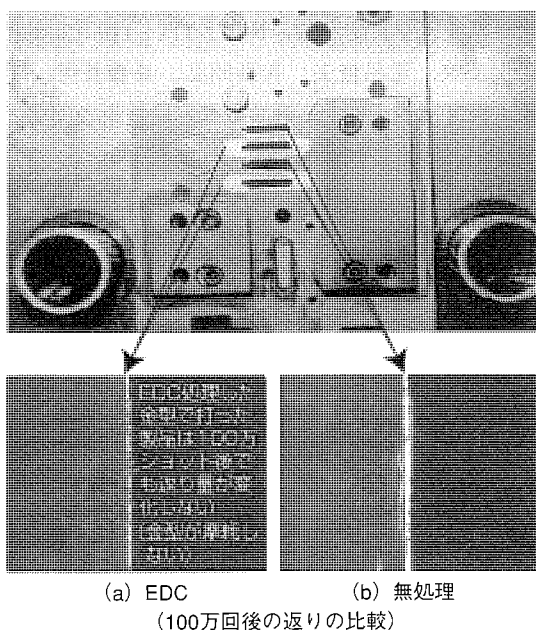


図3. 各種被膜の耐摩耗性の比較



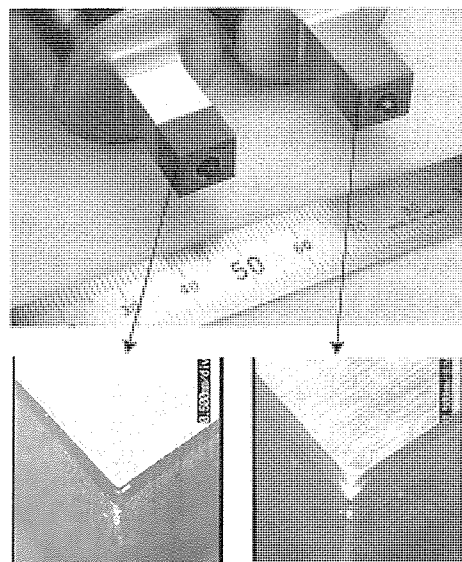
(a) EDC (b) 無処理
(100万回後の返りの比較)

図4. プレス金型への適用例

分の上面(白く見える所)のみにEDC処理を行った。0.5mmのけい素鋼板を100万回打ち抜いた後、打ち抜き製品の返り量を顕微鏡で観察した。無処理の場合は返りがある(約50 μ m)が、EDCの場合には返りがほとんどないことが分かる。また、EDCは部分的処理で済むため、処理時間と処理コストの低減も可能になる。

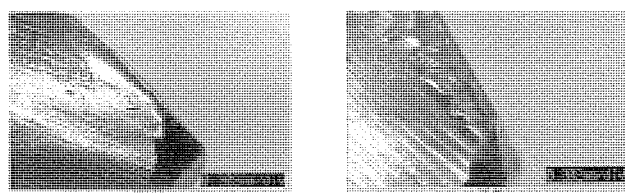
次に、タレットパンチへの適用例を図5に示す。パンチの側面と底面(黒く見える所)にEDC処理を行い、1.2mm厚のSUS304の板を打ち抜く試験を行った。25,000回の打ち抜き後に、無処理の場合にはパンチのコーナーエッジの摩耗が大きくなるが、EDCの場合にはほとんど変化がないことが分かる。実際には約85,000回までの打ち抜きを行うことができ、寿命の延長が可能になった。

切削工具への適用例を図6に示す。PVDによるTiN被膜とEDC被膜を比較したものである。 ϕ 6mm、回転数1,900r/min、深さ16mm貫通、送り0.135mm/rev、切削速度29.6m/min、水溶性切削油の条件で、S50C製の工作物を1,000穴加工後、ドリル先端刃先の摩耗状態を観察した写真である。TiN被膜ドリルの切刃は先端が鈍角になっており、ピッチングも観察されることが分かる。しかし、



(a) EDC処理パンチ (b) 無処理パンチ
(ほとんど損傷なし) (コーナーエッジの摩耗大)
(25,000回後のコーナーエッジの摩耗の比較)

図5. タレットパンチへの適用例



(a) EDC処理の刃先 (b) TiN(PVD)処理の刃先

図6. ドリルへの適用例

EDC被膜の場合には切刃先端の摩耗が非常に少なくなっていることが分かる。

6. 将来展望

EDCによる耐摩耗性被膜への適用例の幾つかを紹介したが、電極に他の機能材料を添加するだけで異なった特性の被膜が容易に形成できるため、この被膜は極めて将来性に富んだものと考えられる。例えば、電極に固体潤滑剤を添加すれば、被膜に潤滑性を付加することができる。

また、図7に示すように、10 μ m程度であった被膜厚さも3mm程度まで厚膜化が可能となり、厚膜の被膜強度とじん(韌)性の向上のための技術開発を進めている。この厚膜化処理が実用できれば、図8に示すように金型の土台は安価な材料を使用しEDC処理によって硬質合金の厚い層を形成することで、金型コストの大幅な低減が実現できるようになる。

7. むすび

形彫放電加工機をベースとして、従来の除去加工ができ、かつ、EDC被膜も形成できる放電加工機を製品化した。この装置の開発により、金型製作の除去加工も被膜加工も同一の装置で行えるようになり、作業時間の短縮化が図られるようになった。

ここで紹介した適用事例以外にも、EDCによる硬質被膜形成技術は、適用実績が種々報告されており⁽³⁾、工業的にも実用レベルに達したと判断される。また、実用化が期待されている金型や工具などの補修分野への適用も、実験室レベルでは可能性が確認されつつある。さらに、被膜厚さも3mm程度まで厚膜化が可能となっている。今後、非鉄金属材料への適用や潤滑機能を持つ被膜形成技術の開発など、工業的に有用な分野への適用拡大も期待できる。

参考文献

(1) 後藤昭弘, 毛呂俊夫, 松川公映: 放電表面処理装置(EDCOAT)の開発, 電気加工学会誌, **34**, No.75, 38~43 (2000)
 (2) 毛呂俊夫, 後藤昭弘, 斎藤長男, 毛利尚武: 表面改質

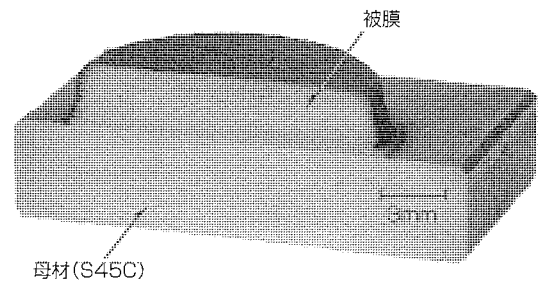


図7. 厚膜の形成例

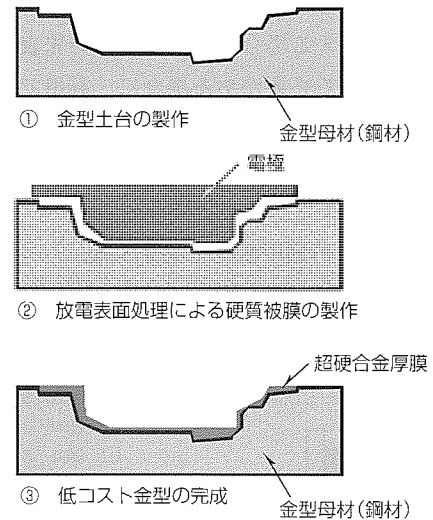


図8. 金型コストの削減への応用例

放電加工技術と金型への応用, 塑性と加工, **41**, No.476, 865~870 (2000)

(3) 毛呂俊夫, 後藤昭弘, 毛利尚武, 斎藤長男, 松川公映, 三宅英孝: TiC焼結体電極による放電表面改質膜の研究, 精密工学会誌, **67**, No.1, 114~119 (2001)
 (4) 松川公映, 毛呂俊夫, 後藤昭弘, 斎藤長男, 毛利尚武: 放電加工機による硬質被膜形成技術の開発とその製品化, 材料, **49**, No.10, 1169 (2000)
 (5) 葉石雄一郎, 毛呂俊夫, 後藤昭弘: 金型製造への放電表面処理の応用, 型技術, **14**, No.7, 18~19 (1999)

64ビットCNC搭載 ワイヤ放電加工機“FAシリーズ”

鈴木俊雄* 三宅英孝**
安達章人*
竹内浩志*

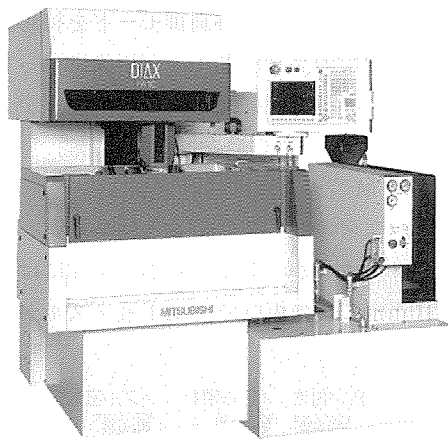
要旨

自動車、家電、IT関連機器など様々な製品の価格低下、製品サイクルの短期化、小型・高精度化、多種少量化の傾向はとどまることなく、それに伴って、金型のコストダウン、短納期、高精度化の要求はますます厳しくなっている。

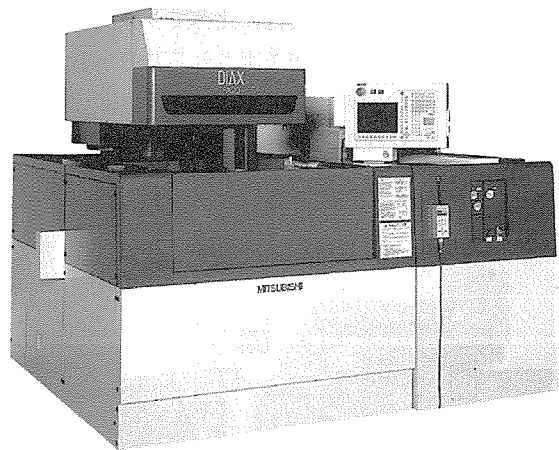
ワイヤ放電加工機は金型加工のマザーマシンとして広く使用されているが、前述の金型への要求を受けて、加工性能はもちろん、操作性、保守性まで含めた生産性の向上や長時間連続自動運転の安定性が求められている。このような市場要求にこたえる高性能ワイヤ放電加工機として、Fast（高速）、Easy（簡単）、Reliable（高信頼性）をキーワードとする新技術を搭載した64ビットCNC搭載FAシリーズを開発した。

FAシリーズは、

- 自動化の核となり長時間連続自動運転を実現する高速・高信頼性ワイヤ自動供給装置“AT”
 - 高性能化した適応制御技術群と、それらを統合制御する“AutoMagic”
 - 超高速加工から高品位仕上げ加工まで目的に合わせた加工を可能にする多彩な加工電源回路
 - 各種セルフクリーニング機能を持つ高信頼性機械構造
 - GUIの搭載により、操作性が高く、ネットワークにも対応した高速64ビットCNC
- などの技術により、ノウハウ不要の高速・高精度加工を実現し、金型加工から部品加工まで幅広い範囲でユーザーから好評を得ている。



FA10



FA20

	FA10	FA20
各軸ストローク (X×Y×Z) (mm)	350×250×220	500×350×300
最大工作物寸法 (幅×奥行き×高さ) (mm)	800×600×215	1,050×800×295

三菱ワイヤ放電加工機 FA10/FA20

FAシリーズは、加工対象の大きさに応じた3機種をラインアップしている。大型機FA30は、各軸ストローク(X×Y×Z)は700×500×350(mm)で、オプションでZ軸ストローク510mmにも対応できる。機械サイズは異なるが、搭載している新技術は同一であり、ユーザーの幅広い要求にこたえることができる。

1. ま え が き

金型の短納期化、高精度化、価格低減の要求はますます厳しくなり、マザーマシンとしてのワイヤ放電加工機には、加工性能はもちろん、保守時間まで含めた生産性の向上や長時間連続自動運転の安定性などが求められている。これらの市場要求にこたえるため、Fast(高速)、Easy(簡単)、Reliable(高信頼性)をキーワードとする新技術を集結して、64ビットCNC搭載のワイヤ放電加工機FAシリーズを開発した。FAシリーズは、金型製作から部品加工まで広い範囲をカバーする高性能ワイヤ放電加工機で、対象とする加工物の大きさに合わせてFA10、FA20、FA30の3機種をラインアップしている。図1にFA20(2000年度グッドデザイン賞受賞)の外観を、表1に各機種の基本仕様を示す。

本稿では、FAシリーズに搭載した新技術を中心に紹介する。

2. FAシリーズに搭載の新技術

2.1 高速ワイヤ自動供給装置“AT”

ワイヤ自動供給装置は、ワイヤ放電加工機の自動化に不可欠なキーデバイスである。FAシリーズは、従来の機構を一新し、挿入時間10秒を達成したワイヤ自動供給装置ATを標準搭載している。大径送りローラとワイヤ電極の負荷を高速に検出する光学式センサによって高速かつ確実な挿入を実現している。従来の装置に比べてサイクルタイムを半減し、半導体関連で増加が予測される数百～数千穴の多数穴加工にも大きな効果を発揮する。断線ワイヤの処理には独自の吸引方式を採用しており、2m以上の長い断線ワイヤ処理も多数本回収可能であるため、長時間の連続

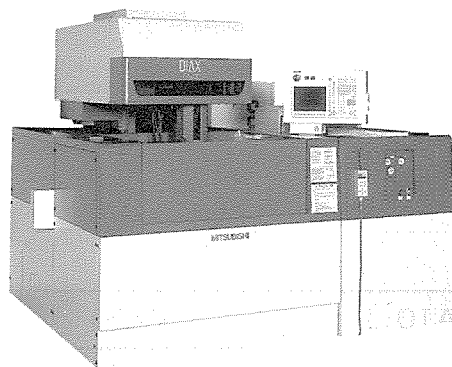


図1. FA20の外観

表1. FAシリーズの基本仕様

	FA10	FA20	FA30
各軸移動量 (mm) (X×Y×Z)	350×250×220	500×350×300	700×500×350
最大工作物寸法 (mm) (幅×奥行き×高さ)	800×600×215	1,050×800×295	1,300×1,000×345

運転でも信頼性を向上している。64ビットCNCによる三次元サーチ機能や取扱説明書不要のグラフィカルヘルプなどサポート機能も充実している。なお、この特集の“ワイヤ自動供給装置AT”の項に詳細を記載しているので参照願いたい。

2.2 統合適応制御“AutoMagic”

統合適応制御AutoMagicは、①PM(Power Master)、②CM(Corner Master)、③TM(Technology Master)の三つの適応制御を統合したもので、モールド型、プレス型、部品加工などの加工内容に応じた最適プロセスを作り出す機能である。複雑形状、コーナー加工、加工液ノズル離れ等の様々な加工パターンに対応し、高速・高精度加工をノウハウを必要とすることなく実現している。

2.2.1 P M

PMは、加工物の板厚や板厚変化を自動検出して加工条件を最適化することにより、ワイヤ断線を回避しながら加工効率を最大にする適応制御である。FAシリーズに搭載のPM3は、板厚検出速度や制御サイクルを従来の10倍以上に高速化し、加工速度を最大50%アップした。座ぐり形状等での加工速度向上が顕著である。図2にPM加工の概念図を示す。

2.2.2 C M

CMは、コーナー加工精度を向上する機能で、荒加工用のCM-Rと仕上げ加工用のCM-Sを搭載する。CM-Rはエネルギー制御モードと軌跡制御モードを持ち、薄板での高速加工、厚板での高精度加工など用途によって使い分けが可能である。非制御時に比べ、形状誤差を1/3に低減できる。図3にCM加工の概念図を示す。

2.2.3 T M

TMは、従来の加工条件検索とは全く異なる新しい機能である。メーカーが供給できる加工条件には限りがあり、例えば10mmごとの板厚で、加工液ノズルが密着できる場

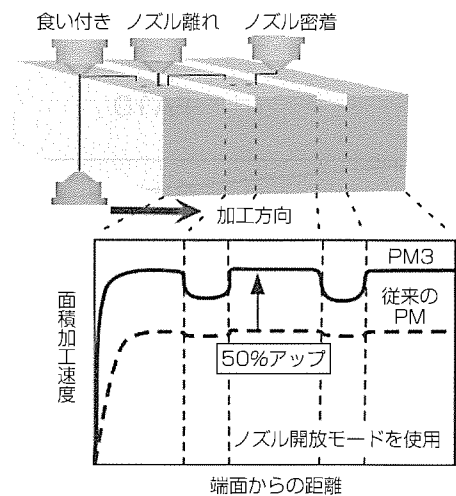


図2. Power Masterの概念図

合などという制限がある。この条件から外れる場合、従来ではテストカットを行い、加工条件を手動設定していた。TMは、要求事項に従って最適な加工条件を自動的に生成することで、テストカットやノウハウを不要とした。図4にTM加工の概念図を示す。

2.2.4 AutoMagicインタフェース

AutoMagicの各機能を使用するためのインタフェースとして専用画面を設けている。ユーザーは、各機能を意識することなく、性能を最大限に引き出すことができる。

2.3 加工電源

2.3.1 高速加工電源“AE3-HS”

FAシリーズに搭載の高速加工電源AE3-HSは、高速加工用ワイヤ電極を使用することで325mm²/minの加工速度を達成している(従来比55%アップ)。黄銅ワイヤ電極を使用しても加工速度は20%以上アップしており、生産性の向上に大きく寄与する。

2.3.2 仕上げ加工電源回路“HL”

仕上げ加工電源HLは、真直精度を著しく向上させた。加工例を図5に示す。また、グラファイトやダイヤモンドコンパックス等の加工にも適している。

2.3.3 多彩な電源回路

HS, HL回路のほか、全部で7種類の標準電源回路とオプション電源の組合せにより、速度重視の加工から精度重視の加工まで幅広い要求にこたえることができる。全回路とも省エネルギータイプの電力回生型無電解電源である。

2.4 高信頼性機械構造

2.4.1 機械構造体

機械構造体(図6)は、CAE解析を実施し、最適リブ配

置等によって高い剛性を確保している。駆動系については大径ボールねじの最適配置など軸方向剛性の向上を図っている。後述する各種セルフクリーニング機能等とあいまって、長期間にわたる精度維持を可能としている。

2.4.2 各種セルフクリーニング機能

上下ワイヤガイド部、回収パイプ部、加工槽シール部などには常時清液を流し、ワイヤ粉やスラッジの付着を軽減している。ユーザーのメンテナンス頻度を減らすと同時に信頼性を向上している。

2.4.3 その他

加工槽、加工液タンク、シール板にはステンレスを採用し、さび(錆)の心配を排除している。駆動部への潤滑は電動の自動潤滑方式を標準装備し、保守を簡単にしている。

2.5 64ビットCNC

制御装置には高速な64ビットCNCを採用し、グラフィカルユーザーインタフェースによる優れた操作性と豊富な機能を実現している。

2.5.1 プログラムチェック機能

ワイヤフレームのみではなく、サーフェース表示も可能

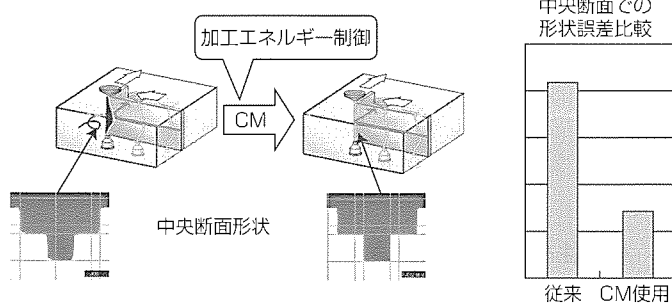


図3. Corner Masterの概念図

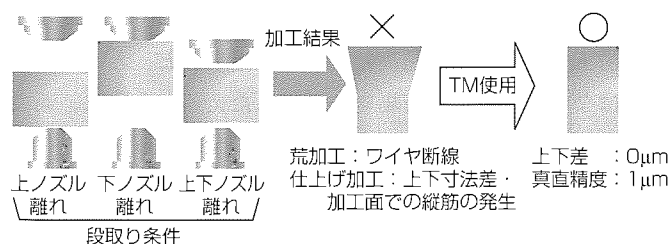


図4. Technology Masterの概念図



図5. HL回路による加工例

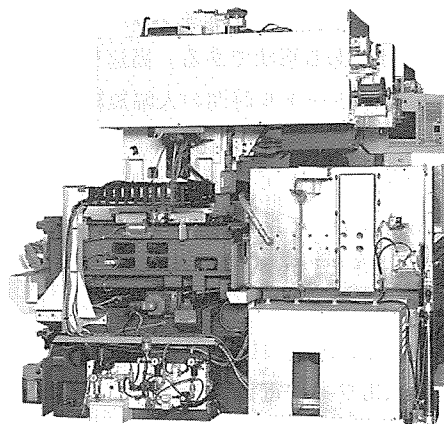


図6. 機械構造体

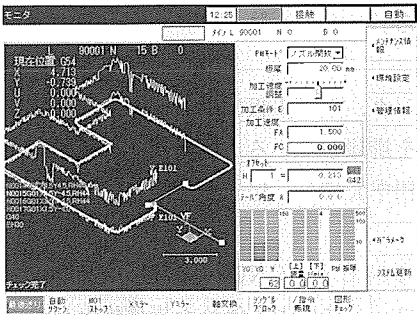
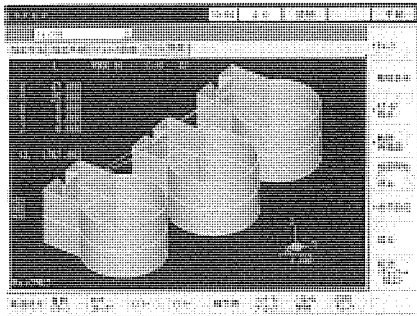


図7. 3Dサーフェス表示・VFモニター

なプログラムチェック機能、加工速度のリアルタイム表示が可能なVFモニターなど視認性の高いチェック機能を搭載し、プログラムや加工の良否が容易に確認できる(図7)。

2.5.2 ネットワーク機能

ユーザーのIT化に対応する工場内LANへの接続オプションを用意している。Remote EDMは、プログラムのアップロード/ダウンロードだけでなく、複数の加工機の稼働状況の管理が可能である。アラームや機械状態のE-mailや携帯電話への通報もサポートしている。事務所やCAD/CAM室から加工機の工程進捗(捗)を管理するにはRemote Naviを使用する。情報の共有化、作業の合理化、オペレータの負荷軽減等の効果が期待できる。また、将来的にはネットワークによる市場サービスに展開していくことを計画している。

3. FAシリーズによる加工事例

FAシリーズによる加工事例を示す。図8は加工穴数600のプレート加工例である。加工スタート穴の大きさは0.5mm、裏逃げのある形状である。高速ワイヤ自動供給装置ATの使用で、トータル時間の大幅短縮と安定した連続加工を実現している。

図9は高精度ギヤモールド成形金型加工例で、歯形精度JIS 0級の高精度加工である。微細加工仕様を装着することで、加工面粗さを1.5 μ mRmaxまで仕上げることができる。

図10は高速部品加工の例である。高速加工電源AE3-HSと高速加工用ワイヤ電極の組合せにより、部品加工の

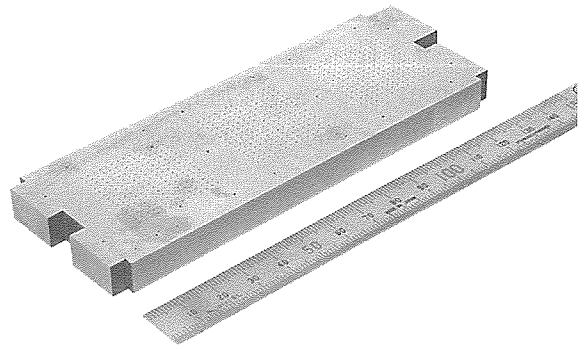


図8. FAシリーズ加工例1

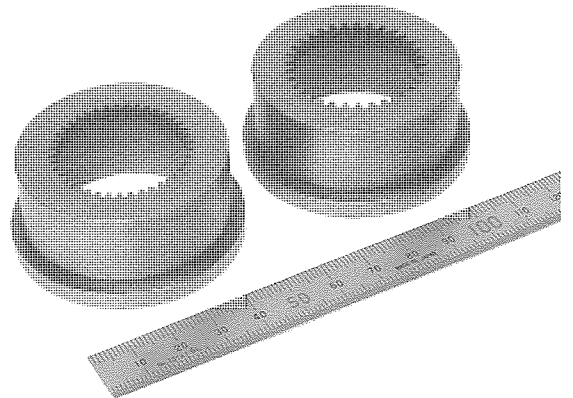


図9. FAシリーズ加工例2

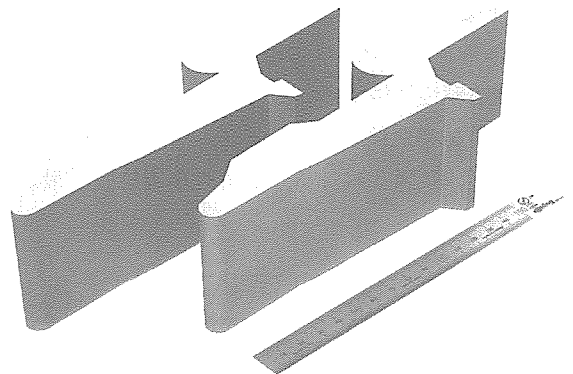


図10. FAシリーズ加工例3

生産性を大幅に向上している。

4. むすび

ワイヤ放電加工機FAシリーズと、搭載する新技術について紹介した。ワイヤ放電加工機に対するニーズは、更なる加工速度の向上、超高精度加工の追求など、とどまることはない。今後とも市場ニーズにこたえらるとともに、新たな市場を開拓する技術と製品の開発に全力で取り組んでいく所存である。

高速ワイヤ自動供給装置“AT”

山田 久*
大友陽一**
酒井明弘**

要 旨

ワイヤ自動供給装置は、ワイヤ放電加工機の自動化を実現する技術の中では最も重要な位置付けにある。この装置を用いた新しいアプリケーション技術によって加工生産性は飛躍的に進歩している。さらに、近年の金型製作の短納期化、かつ低コスト化の要求に対し、挿入・切断時間といった基本性能及び信頼性に対する要求はますます厳しくなっている。その市場ニーズに対応するために三菱電機が新たに開発したワイヤ自動供給装置“AT(Automatic Threader)”の新技術の特長は以下のとおりである。

(1) 高速自動結線による生産性向上

結線時間10秒を実現するとともに、クイックリトライ機能によって信頼性を向上した。

(2) 新切断ワイヤ回収方式

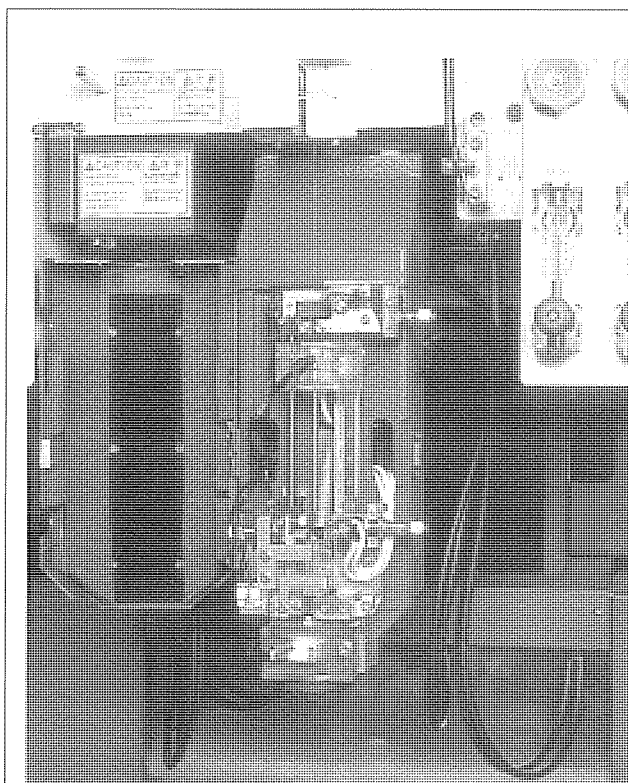
断線ワイヤの回収方式には新開発のパキューム方式を採用したので、長い切りかす(滓)まで信頼性の高い回収が可能となった。

(3) 保守性支援機能

自動結線情報のリアルタイムモニタ、ヘルプ機能のビジュアル化により、操作性を向上させた。

(4) 適用範囲の拡大

新細穴挿入機能、断線点挿入機能、水中結線機能により、自動加工の適応範囲の拡大とトータル加工時間の短縮を実現した。



ATの外観(写真はFA20)

主要諸元(FAシリーズ)

切断方式	通電・引張り併用切断方式 +ワイヤ真直処理機能
適用ワイヤ電極	黄銅ワイヤ：φ0.1~0.3* ¹ 高速加工用ワイヤ：φ0.25~0.3* ²
適用ポピンサイズ	P-3, P-5, P-10, P-15* ³ DIN125, DIN160
最大適用板厚	300mm
最小開始穴径	0.5mm
リトライ機能	クイックリトライ(切断なし) フルリトライ(切断あり)
拡張機能	細穴挿入機能、水中結線機能* ⁴ 、 断線点挿入機能* ⁴

- *1 φ0.1・0.15はオプション(コラムアップ仕様機及びFA30には設定なし)
- *2 当社推奨ワイヤに限定
- *3 P-15はオプション
- *4 適用ワイヤ径0.2mm以上、工作物板厚60mm以下

ワイヤ自動供給装置ATの外観と仕様

新開発のワイヤ自動供給装置ATの高速・高信頼性ワイヤ自動結線により、ワイヤ放電加工による生産性の飛躍的な向上が期待できる。

1. ま え が き

ワイヤ放電加工機は、自動化技術及びその周辺機器の進歩により、数日間程度の無人運転が実現している⁽¹⁾。一方、情報関連機器や自動車関連のハイテク製品の金型製作に代表されるように、短納期化、かつ低コスト化が近年急速に進んでいる。したがって、ワイヤ放電加工機の自動化技術に求められるものとしては、単なる人の作業の機械への置換え技術ではなく、徹底的な生産性を追求したものでなければならない。

電極であるワイヤ線を加工開始前に工作物の加工開始穴に通すワイヤ自動供給装置は、ワイヤ放電加工機の自動化を実現する技術の中では最も重要な位置付けにある。この装置を用いた新しいアプリケーション技術によって加工生産性は飛躍的に向上し、挿入・切断時間や信頼性に対する要求はますます厳しくなっている。

本稿では、三菱電機のワイヤ自動供給装置の開発経緯と、新たに開発した新ワイヤ自動供給装置“AT”（以降“AT”という。）の要素技術について述べる。

2. ワイヤ自動供給装置の開発経緯

2.1 当社のワイヤ自動供給装置の開発経緯

当社ワイヤ自動供給装置の開発経緯を表1に示す。当時の市場ニーズとそれぞれの特長について以下に述べる。

1982年に初めてDWC-90FSKに“SK”が搭載された。これ以降、多数個取り加工の無人化が可能となった。当時は、加工開始穴にパイプを通す、いわゆる“パイプガイド方式”が採用された。

その後、金型の微細化・高密度化が進み、より信頼性の高いジェット水流方式が市場に普及し始めた。

’88年に当社ワイヤ自動供給装置はジェット水流方式の“AF”にモデルチェンジされ、DWC-Hシリーズに搭載された。この方式により、細線ワイヤや小径開始穴に対応でき、保守性と信頼性も従来の装置に比較して大幅に改善した。このころから、自動結線装置は標準機能として普及し、自動結線装置を駆使したアプリケーションが発達した。そのため、市場からはメンテナンス性や適用ワイヤ径の微小化などの要求が厳しくなってきた。

そこで、’93年に“AF”が高精度機対応の“AF2”，汎用機対応の“AF3”にモデルチェンジされ、

- (1) 消耗部品のワンタッチ交換化とメンテナンス性の向上
 - (2) 適用ワイヤ径の拡大(最小ワイヤ径0.03mm)
- 等の改良が図られた。“AF2”は、超高精度機PX05，高精度機QAシリーズ現行機に搭載されている。

2.2 ATの開発経緯

市場ニーズとしての短納期化・低コスト化に対応するためには、自動結線を含めた段取り時間及び機械のメンテナンスの短縮が非常に重要な課題である。

新ワイヤ自動供給装置であるATは、

- (1) 高速自動結線による生産性向上
- (2) 高信頼性・メンテナンス性の大幅改善
- (3) アプリケーションの拡大

をコンセプトとして開発された。ATの外観及び主要諸元は前頁に示すとおりである。

この装置は、2000年にRA90AT，次に新機種であるFAシリーズに搭載された。以下に新規に開発されたATの要素技術について述べる。

3. ATの新技术

3.1 高速自動結線による生産性向上

表1. 当社ワイヤ自動供給装置の開発経緯

	SK	AF1	AF2, AF3	AT
出荷年	1982年	1988年	1993年	2000年
主な搭載機種	F, G	H, SZ, HA	SX, FX, PX, QA	RA, FA
挿入ガイド方式	パイプガイド方式	ジェット水流方式	同左	同左
切断方式	カッタ切断方式	通電・引張り併用切断方式	同左	同左
ワイヤ送り方式	ピンチローラ方式	同左 (高精度ローラ)	同左	同左 (大径ローラ)
適用ワイヤ電極	φ0.2~0.3	φ0.1~0.3	φ0.03~0.3 : AF2 φ0.1~0.3 : AF3	φ0.1~0.3
最大適用板厚	150mm	250mm	同左	300mm
最小開始穴径 (mm)	φ1~2(〜50mmt) φ5(50mmt〜)	φ0.5	φ0.3 : AF2 φ0.5 : AF3	φ0.5
挿入時間	120秒	100秒	50秒 : AF2 40秒 : AF3	10秒
新機能	●断線復帰機能 ●挿入リトライ機能	●自動スタート穴サーチ機能 ●負荷検出機能	●保守性改良 ●メンテナンスガイダンス画面	●クイックリトライ機能 ●ワイヤ真直処理機能 ●水中結線/断線点挿入機能

* φ0.2ワイヤ，Z軸高さ60mmでの最短時間(機械ストロークサイズによって異なる)

高速自動結線を実現するには次の条件が必要となる。

- (1) 送り出し速度の高速化
- (2) ワイヤガイド等の走行経路の負荷検出と、送り出しの停止及び復帰

図1にATの機構の概略構成を示す。送り出し機構では、送り出しローラ大径化(従来比4倍)、DCサーボモータによる定速・定トルク駆動、及びエア搬送により、ワイヤにカールの発生しない高速送りを実現した。

さらに、ATでは、走行経路の負荷検出に光学センサを採用した。非接触検出方式により、従来の電氣的接触検出方式に比較して、検出感度のばらつきが少なく、悪環境に対する信頼性の高い検出が可能となる。この検出方式を利用して負荷の検出による復帰動作を行う新方式の“クイックリトライ”機能を図2に示す。

これらの新機能により、結線時間では業界でトップレベルの約10秒を達成するとともに、悪環境におけるリトライ動作を含めた結線時間を大幅に短縮した。特に、多数穴の加工におけるトータルの加工時間短縮に大きな威力を発揮する。

3.2 高信頼性・高メンテナンス性

3.2.1 新切断ワイヤ回収方式

断線ワイヤの回収方式には、図3に示す新開発のバキューム方式を採用した。ワイヤ切断後に切断通電機構下方に残留するワイヤ切り滓は、巻上げローラによって上方に巻

き上げられる。巻き上げる際に、切り滓ガイドが切り滓装置に吸引される構造となっている。

さらに、回収装置の大型化により、高板厚ワークでの断線ワイヤや、ワイヤ回収部でリトライした場合などに発生する長い切り滓まで信頼性の高い回収が可能である。また、回収ワイヤの取り出し作業も軽減させた。

3.2.2 保守性支援機能

図4に示す保守支援機能は、

- (1) ワイヤ自動結線時のワイヤの送り出し、巻戻し、停止等の状態のリアルタイムモニタ
- (2) リトライ回数によるワイヤ経路負荷増大の判別、及び使用時間に応じた清掃時期の警告

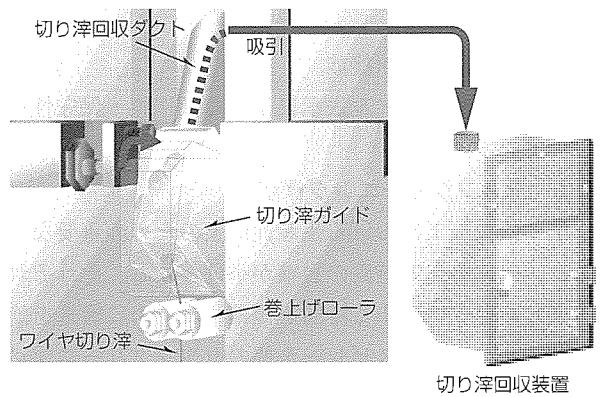


図3. 新切断ワイヤ回収方式

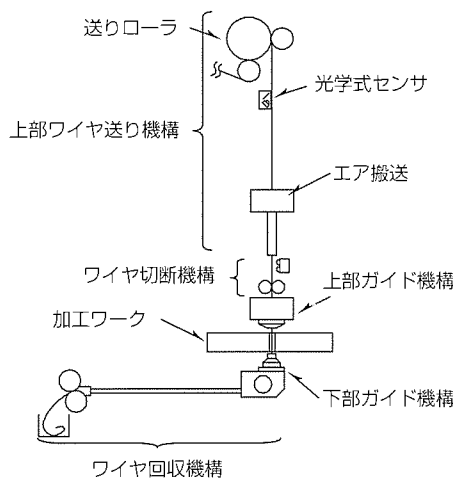


図1. ATの概略構成

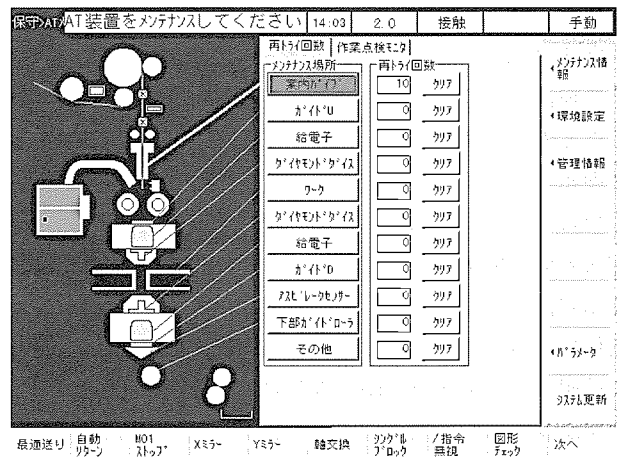


図4. ATメンテナンスガイダンス画面

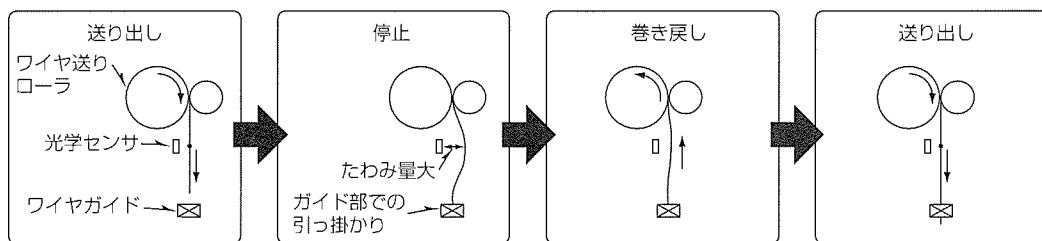


図2. クイックリトライ機能の動作

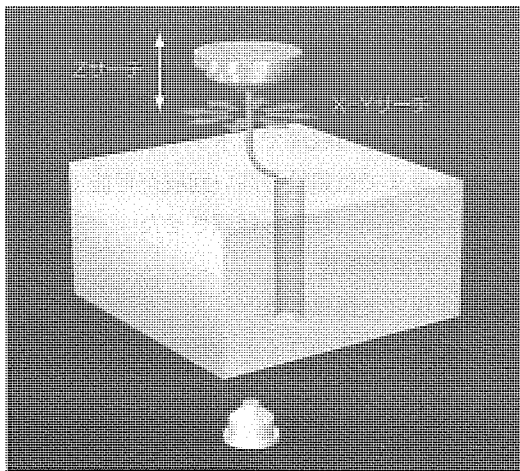


図5. 新細穴サーチ方式

(3) ヘルプと故障診断機能

で構成され、ビジュアル表示によって操作性・保守性を向上させている。

3.2.3 セルフクリーニング機能

ワイヤ放電加工における生産性向上のための重要なアイテムに、機械の保守時間の短縮が挙げられる。それぞれの機構部品の保守に要する時間を短縮するために構造を簡素化したほか、エアアスピレータ部のセルフクリーニング機構及び給電部への冷却水の供給など、ワイヤ走行系の汚れによる負荷を低減する機能によって保守間隔を延長させた。

3.3 適用範囲の拡大

3.3.1 新細穴挿入機能

図5に示すように、従来のX-Y方向に電氣的に接触状態を検出してサーチを行う際、Z軸方向にワイヤと加工ワークとの接触状態を一定制御することで、より安定した加工開始穴サーチが可能となった。ワイヤ真直処理機能との併用により、微小開始穴及び穴間ピッチの狭い多数穴への挿入の信頼性が向上した。

細穴挿入機能を拡張して、断線した箇所での切断・挿入動作を可能にした。図6に示すように、加工開始穴に戻って結線し直す手順を省略できるので、加工開始位置までの経路が長い場合や加工ひずみの発生しやすい材料へ適用する場合、トータルの加工時間を大幅に短縮できる。

3.3.2 水中結線機能

加工槽に浸せき(漬)状態で結線動作を行う水中結線は、加工液の充満・排出が不要なため、特に多数穴加工でのトータル加工時間短縮に効果が大きく、ワークの温度変位による熱変形やさび(錆)の発生を抑制できる。

3.3.3 適用ワイヤ電極

多数の高速加工用ワイヤ電極に対応しており、高速化と

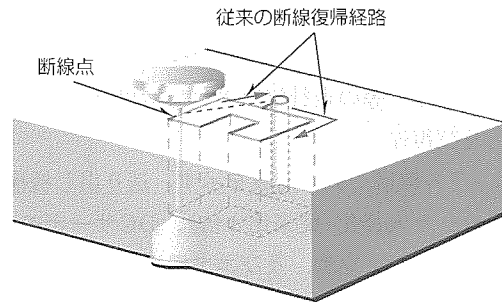
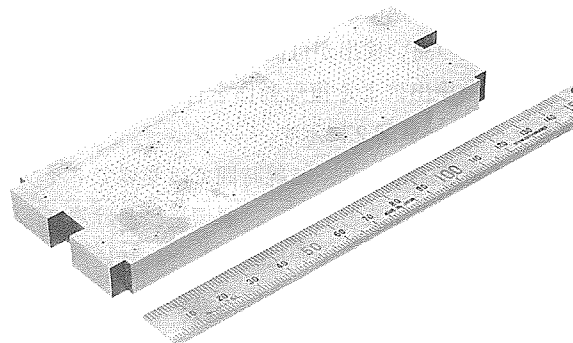


図6. 断線点挿入



0.2mm径ワイヤ、開始穴径0.5mm、加工穴数600穴

図7. 小径・多数穴加工例

自動化の両立を可能とした。

ワイヤ径は、黄銅ワイヤの場合、0.1mm径から自動結線可能である。特に0.1mm径ワイヤでの自動結線時間においては、従来装置AF2 (AF3)に比較して約1/2に短縮した。

4. アプリケーション

近年、プリント基板金型の穴加工等の多数穴加工に対する需要が増加している。数百～数千穴の加工では、総加工時間に対する自動結線・切断時間の比率が高い。図7に小径・多数穴加工例を示す。ATによる自動結線時間短縮によって総加工時間を従来比30%短縮した。

5. むすび

新ワイヤ自動供給装置であるATの開発経緯と新技術について述べた。今後、適用分野を更に拡張するため、アプリケーション技術を充実していく所存である。

参考文献

(1) 齋藤長男, 毛利尚武, 高鷲民生, 古谷政典: 放電加工技術 - 基礎から将来展望まで, 日刊工業新聞社, 113 ~ 190 (1997)

放電加工機における CAD/CAMシステム

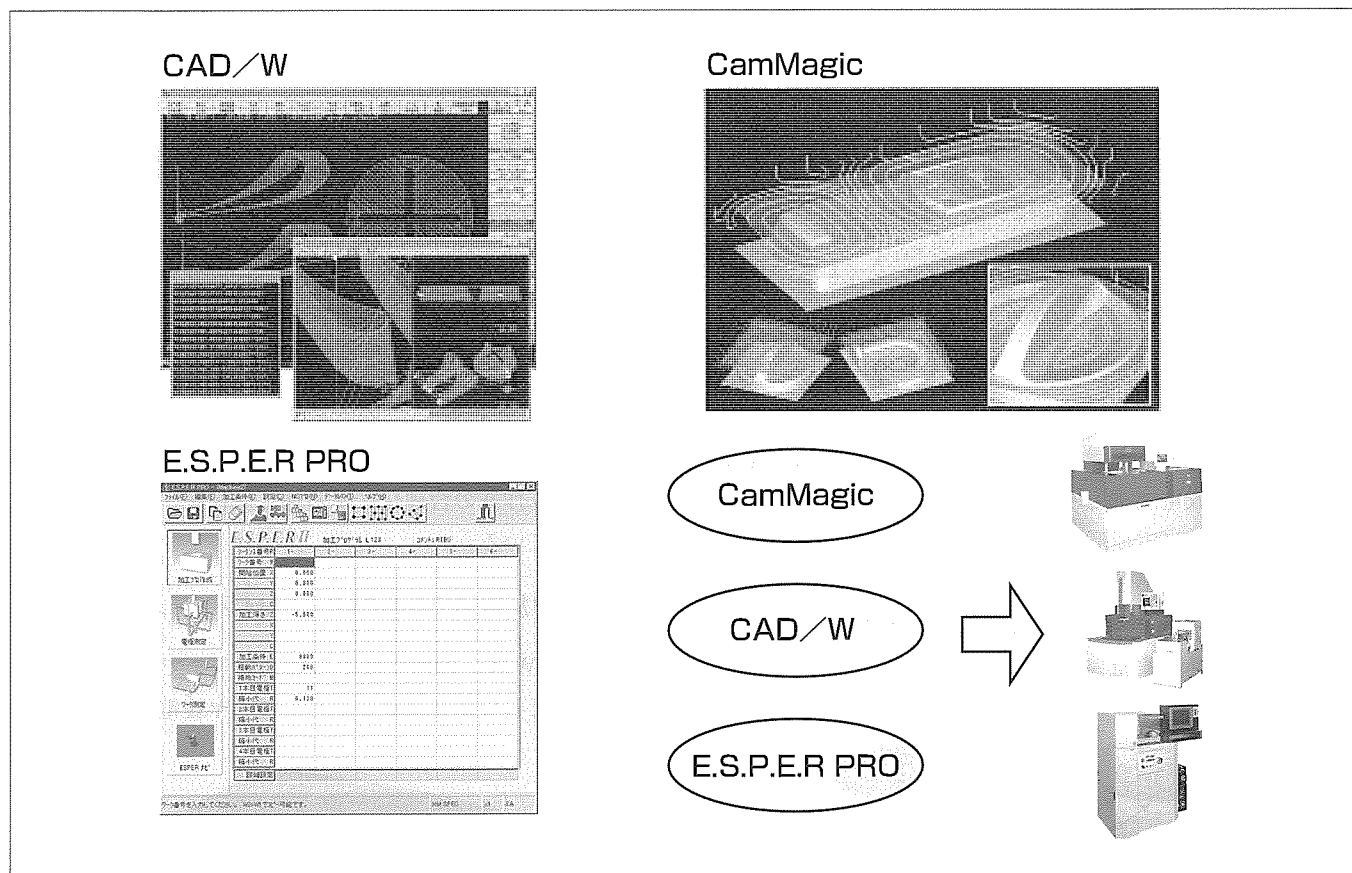
中村和司* 佐々木里佳*
渡辺浩太郎**
高橋伸行*

要旨

CAD/CAMシステムは、単に図面作成や加工プログラム生成を行うためのツールとしてだけでなく、加工ノウハウのデジタル化、実加工レベルのシミュレーション等によって加工機の性能、生産性を向上させるための重要なツールとなっている。また、製造業においても、IT (Information Technology) を活用して生産性を上げる取組が活発に行われてきている。製造プロセスのIT化を進めるに当たっては、製造の始点となるCAD/CAMが重要な位置を担うことになり、CAD/CAMデータを設計から現場までシームレスにつなぎ、情報を最大限に活用するシステム

を構築していくことが大きなテーマとなっている。

ここでは、①金型設計・製造に特化した目的で開発され、ミーリングや放電加工などの金型製作をトータルにサポートする金型用三次元CAD/CAM“CamMagic”，②ワイヤ放電加工専用の開発され、図面作成から加工終了までのプロセスをシステムとしてサポートするワイヤ放電加工用CAD/CAM“CAD/W”，③形彫放電加工をトータルに支援する形彫放電加工用自動プログラミングシステム“E.S.P.E.R PRO”について紹介する。



放電加工機用CAD/CAMシステム

放電加工機対応のCAD/CAMは、①三次元CAD/CAMとして放電加工機だけでなくミーリングに対応できる三菱電機メカトロニクスソフトウエア(株)製の“CamMagic”，②ワイヤ放電加工機専用として実加工レベルのチェック等が可能でありワイヤ放電加工全プロセスをサポートする“CAD/W”，③形彫放電加工専用としてネットワークによる加工ノウハウの一元管理までをサポートする“E.S.P.E.R PRO”があり、用途・目的に合わせたCAD/CAMが開発されている。

1. ま え が き

CAD/CAMシステムは、単に図面や加工プログラム生成を行うためだけでなく、加工機の性能、生産性を向上させるための重要なツールとなっている。ここでは、①金型用三次元CAD/CAM“CamMagic”，②ワイヤ放電加工用CAD/CAM“CAD/W”，③形彫放電加工用自動プログラミングシステム“E.S.P.E.R PRO”について紹介する。

2. 金型用CAD/CAMシステム“CamMagic”

CamMagic (IHMS-20)は、金型設計・製造に特化した目的で開発されたCAD/CAMシステムである。二次元、三次元のデータに幅広く対応し、金型設計から加工まで一貫したシステムとして、1,000台以上が国内で稼働し、多くのユーザーから高い評価を得ている。CamMagicは、図1に示すとおり、幅広いデータ形式に対応している。

2.1 金型用に特化したCAD機能

金型メーカーの悩みの一つは、CADシステムのデータ交換によるデータの欠落という問題である。CADシステム間での微妙な表現形式の違いにより、完全にデータを受け取れないことが多い。CamMagicでは、抜けた部分に種々の曲面を張る機能や、伸びすぎた部分を切り取ったり、足りない部分を延長したりする機能がある。また、CamMagicが採用している三次元カーネル“ACIS”では、境界の曲線部分の誤差を許容してソリッドモデル化を助けるヒーリング機能がある。データ誤差のためにできたわずかなすき(隙)間のために生じる問題をなくすのに非常に強力なツールである。

また、金型設計専用のCAD機能も充実している。モールド金型設計用には三次元的な抜き勾配付けのためのテーパー付けシェリング機能があり、パーティングラインの自動計算、プレス順送金型向けには二次元的な曲げ展開機能、ストリップレイアウト機能、プレートばらし機能などを用意している。放電加工用の電極設計では、ブーリアン演算で製品形状を基に電極形状を作成し、放電加工位置を決める。放電代分だけ小さくする計算をオフセット計算することによって、電極モデルを作成することができる。

2.2 切削用CAM機能

金型を加工するのに使用される工作機械はその種類や新旧など様々であり、工具や加工方法は日々進歩している。CamMagicは、NC制御装置メーカー、放電加工機メーカーとしての三菱電機のノウハウを豊富に取り込み、切削加工分野においても放電加工機分野においても、高性能で幅広い対応能力を持つCAM機能を提供している。

切削加工CAMの機能では、三次元形状をいかに高精度・高品質で仕上げるかの工夫が進んでいる。荒加工では、高速切削加工機に対応できるように、工具の負荷が一定かつ切り込み量が小さい加工経路になるように改良が行われている。すなわち、経路のコーナー部にRを入れたり、経路の乗り移り部分ではS字型に動くようになっている。仕上げ加工では、部分部分で適切な経路で仕上げられるように工夫している。等高線の仕上げ加工は側面部分の切削に適しており、走査線加工は上面部分の切削に適している。そこで、切り立った部分では等高線加工を、平坦(坦)部分では走査線加工を自動で行うことで、カットマークがそろった仕上げを実現している。

放電加工用の電極製作も切削加工の一部ではあるが、更に特化し、電極加工専用の加工機と電極用素材(銅やグラファイトなど)の加工特性を研究し、そのノウハウを組み込むことを行っている。図2は、携帯電話の電極加工の例である。

2.3 放電加工用CAM機能

ワイヤ放電加工用のCAM機能としてNCデータ生成機能を備えており、さらに、NCデータの経路を基にした曲面を三次元上で作成してチェック可能である。複雑な動きになり形状のイメージのつかみにくい上下任意形状で力を発揮する。

形彫放電加工のCAM機能は、非常にユニークな業界初の機能である。電極の心だし作業時の測定位置を電極モデル上で指定し利用することにより、段取り時間を短縮する。また、三菱電機形彫放電加工機(64ビット機)では、電極・ワークの心だし測定位置と放電加工位置を、自動プロE.S.P.E.R PRO形式でのデータとして出力することができる。段取り作業の合理化による加工機稼働率の向上に効果を発揮している。

3. ワイヤ放電加工専用CAD/CAMシステム“CAD/W”

CAD/Wは、図面作成から加工終了までのプロセスをシステムとして総合サポートし、ワイヤ放電加工機の能力

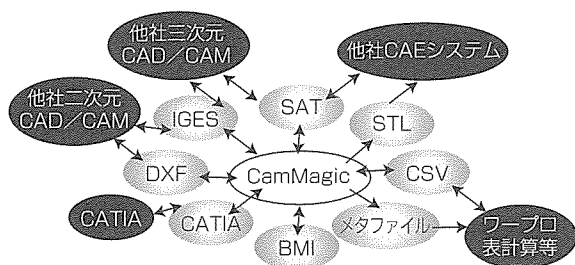


図1. CamMagicのデータ交換形式

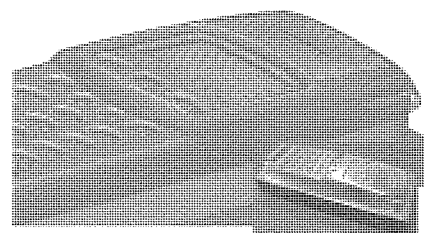


図2. 携帯電話形、総型電極の切削加工

をフルに引き出すワイヤ放電加工専用CAD/CAMである。

図3にCAD/Wを用いた加工サイクルを示す。

3.1 多彩なCAD機能

ワイヤ放電加工機用図面を作成する場合、いかに早く正確に金型加工用図面を作成できるか、また特殊形状(歯車、カム曲線、サイクロイド曲線等)図面が作成できるかによってCAD機能の良し悪しが判断される。これらのワイヤ放電加工機特有の加工では、外部データ取り込み機能(IGES, DXF, BMIというデータコンバータ機能, 自由曲線で生成された図面を座標化した点列機能)を用いることで他社のCADで作成した図面データを取り込み、CAD/W上の図面に変換し、ほとんど修正を加えることなくデータを使用することができる。また、上記標準装備されている特殊形状作成機能を用いることにより、他の工作機械では加工できないような形状を図面化できる。また、ワイヤ放電加工機においては被加工物の上部と下部の形状が異なる押し出し成形型を作成することが可能なため、CAD/Wにおいても上下任意形状の作図が可能となっている。

3.2 他に類を見ないCAM機能

CAM機能は、放電加工機メーカーの特長を生かして、汎用のワイヤ放電加工機から高精度ワイヤ放電加工機までのNCプログラムが作成可能となっている。旧シリーズ機から最新シリーズ機までの加工条件、加工テーブル図を標準で持っており、加工前段取りから加工終了までの流れがCAD/Wですべて確認できるように構成されている。ま

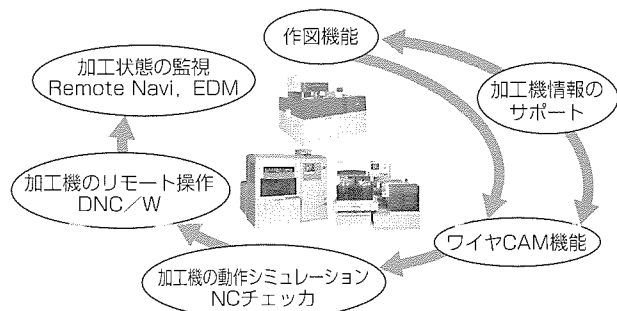


図3. CAD/Wを用いた加工サイクル

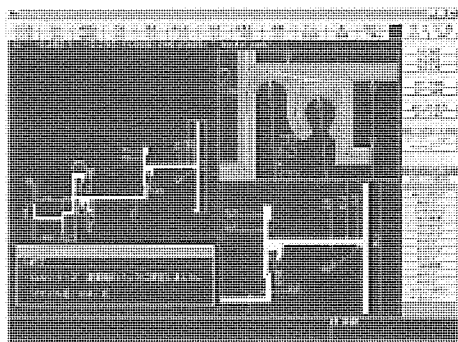


図4. コアレス形状

た、CAD/W以前のCAD/CAMを持っているユーザーに対して従来のCADで作成したCAD図も取り込める仕様にしており、導入後すぐにNCプログラムが作成できる。

(1) コアレス加工に完全対応

ICリードフレーム加工等の微細加工用NCデータ作成時、加工スリットパス、順逆形状パス、拡大仕上げパス等の指定が可能で、60μm幅の加工物のNCプログラムでも生成可能である(図4)。

(2) 3D NCプログラムチェック機能装備

作成されたNCプログラムの実加工レベルでのチェックが可能である。ワイヤ放電加工の場合、板厚、オフセット値、テーパ角度、機械のテーパ諸元によって作成されたNCプログラムが必ずしも加工に適しているとは言えない。特にテーパが入っている場合、干渉が発生して加工のやり直しという最悪のケースが発生する。これらのデータを、CAD/Wでは、完全にシミュレートすることが可能である(図5)。

3.3 通信機能

作成したNCプログラムを機械に転送する場合、通信方法として標準でRS-232C接続, FD(Floppy Disk), 機械直接出力, リーダパンチャ出力, DNC(Direct Numerical Control)通信機能を持っており、様々な機器と簡単にデータ送信することが可能となっている。また、DNC接続を行うことで、単にプログラム転送するだけでなく、機械の状況(運転モード, スタート/ストップ/アラーム発生等の運転状況, 加工液/ワイヤ/加工等のスイッチ状況, 加工残時間/ワイヤ残時間等の管理情報)の確認、操作が遠隔からできる(図6)。

4. 形彫放電加工機用支援ソフトウェア“E.S.P.E.R PRO”

金型業界を含めた製造業は、生産のIT化を進め、社会及び市場のニーズに迅速に対応できる企業体質を確立し、差別化できる“もの作り”を進めようとしている。この差別化できるもの作りにおいては、IT技術による製造ノウハウ

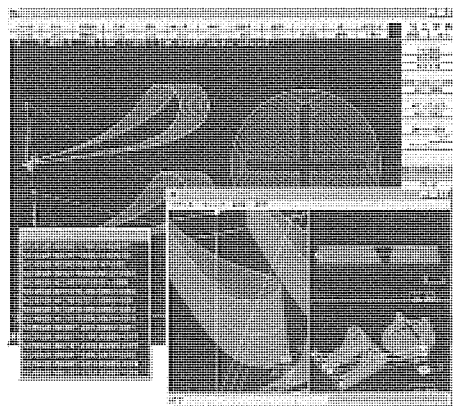


図5. 3D NCチェック

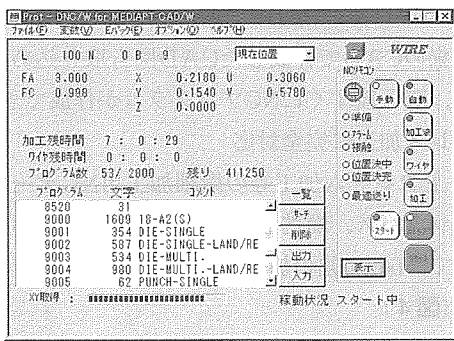


図 6. DNC接続

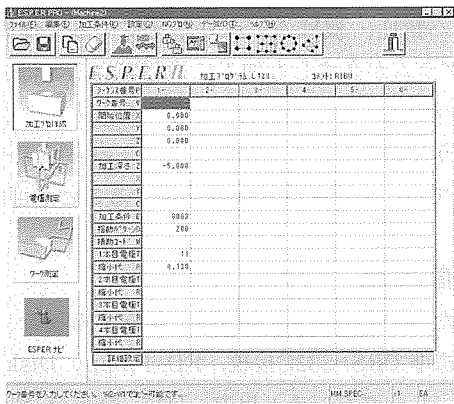


図 7. E.S.P.E.R PROの画面

ウの蓄積とシームレスな製造ノウハウの利用が求められる。これに対して、形彫放電加工機における従来の加工プログラム作成は加工機の前で実施し、しかもその加工プログラム管理はFDで行っており、一元管理がされていない状況にあり、製造ノウハウである加工プログラム、加工条件の蓄積やその利用の改善が望まれている。

この要求にこたえるため、形彫放電加工機(64ビット機)搭載のE.S.P.E.R IIを汎用パソコン上で実行させ、加工プログラム、加工条件の一元管理とオペレータの作業負荷改善を図ることができ複数の加工機とネットワーク接続することのできるアプリケーションソフトウェアE.S.P.E.R PROを開発した。

図 7 に E.S.P.E.R PRO の画面を示す。

4.1 基本仕様

形彫放電加工機(64ビット機)搭載のE.S.P.E.R IIと完全互換の仕様となっており、加工プログラム作成、電極/ワーク測定プログラム作成、加工条件検索等の機能を備えている。操作性においても、使い慣れた形彫放電加工機制御装置と同じにすることで、新しく操作を覚える必要もなく、現場でスムーズに使いこなすことが可能である。これに加えて、通常のマウス操作が可能のため、より一層のプログ

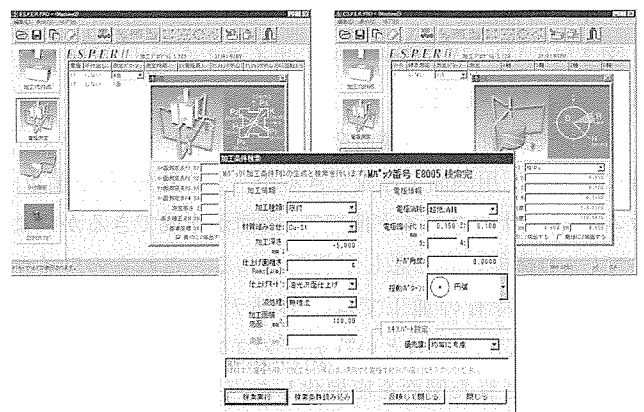


図 8. 電極/ワーク測定プログラム作成・加工条件検索画面

ラム作成作業の効率向上を図ることができる。

さらに、前シリーズの32ビット機にも対応しており、E.S.P.E.R PRO一つで64ビット機、32ビット機両方の加工プログラムの作成、加工条件作成が可能となり、プログラムの一元管理がより行いやすい仕様となっている。また、汎用パソコン上で動作する機能を生かして、複数の形彫放電加工機とネットワーク接続することが可能である。

図 8 に電極/ワーク測定プログラム作成・加工条件検索画面を示す。

4.2 ネットワーク対応による業務効率化

従来はオペレータは加工機の前での立ち仕事でしかプログラム作成を行えなかったが、汎用パソコン上で動作可能なE.S.P.E.R PROを使用することで、作業が現場に限定されることなくフレキシブルに行えるように改善される。さらに、ネットワーク対応として、イーサネットを介して複数の形彫放電加工機からE.S.P.E.R PROで作成した加工プログラム、加工条件のデータを転送することが可能となる。これにより、プログラミング作業とオペレーション作業の分離ができ、外段取り化による効率化を図ることができる。

また、FDによるプログラム管理からファイルサーバによる一元管理へと改善することも可能となり、生産現場の情報化と効率化を進めることが可能である。

5. むすび

生産現場においてもIT化による情報の効率化要求が高まっている。製造プロセスのIT化に当たっては、製造の始点となるCAD/CAMが今後更に重要な位置を担うことになる。CAD/CAM情報を最大限に活用し、加工の最適化、加工見積りなどの加工機稼働率の更なる向上を実現するシステムを構築していく予定である。

CAD/CAMシステムを活用した 放電加工自動化システム

杉山和永*
尾崎好雄*
森下宏昭*

要旨

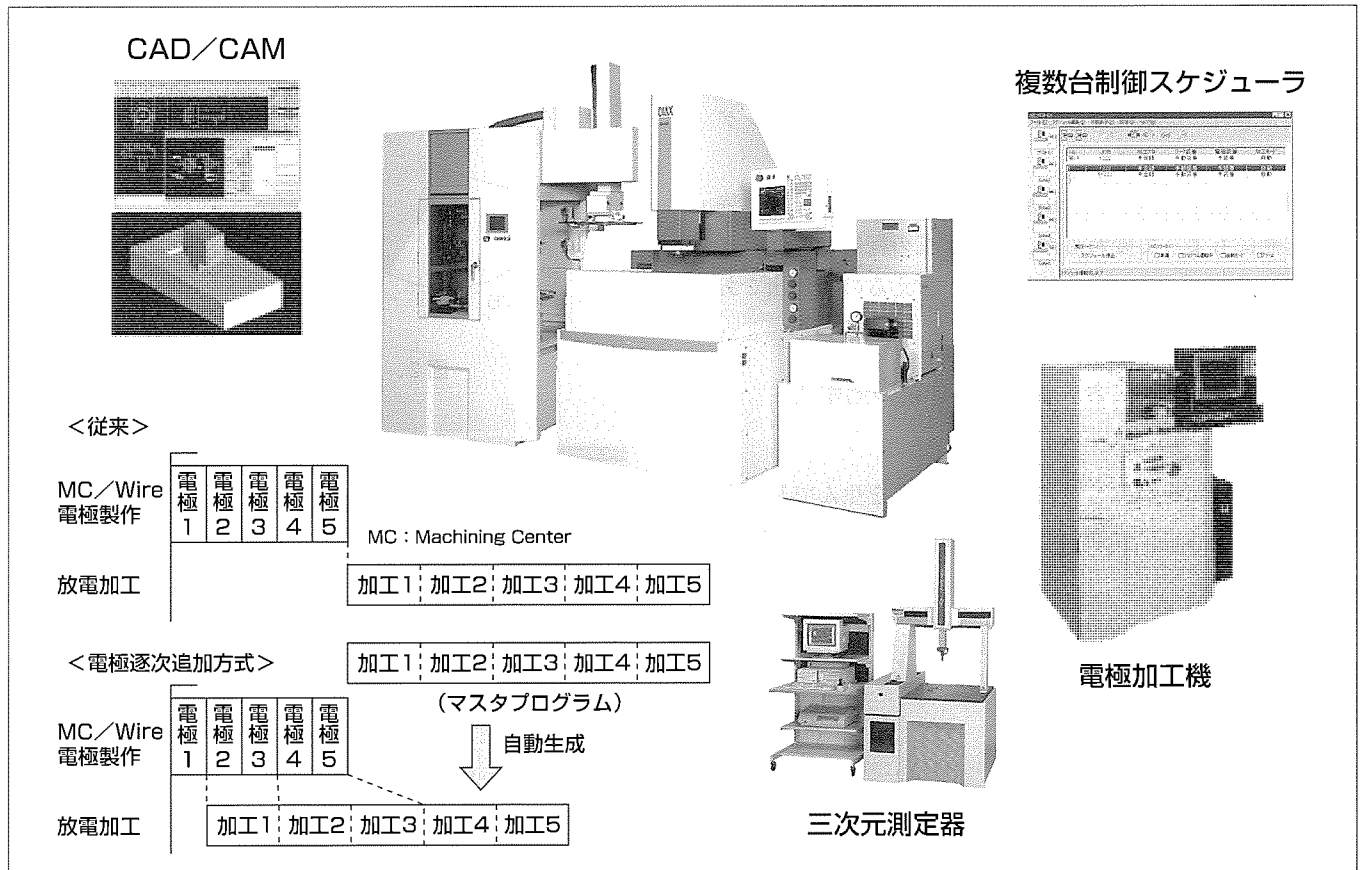
現在の放電加工機では、切削加工に比べて時間が読みにくく、段取り作業、加工条件出し、加工プログラム作成といった作業が経験に大きく左右され、また最終工程に近いためにミスは命取りになりかねないという事情から、人手による作業と確認が必要であり自動化が難しい。この自動化のネックを解決するために、金型製作における放電加工工程の問題点の分析を実施し、Q(品質)に加えて、C(コスト)、D(納期)を満足させることができる自動化システムを開発した。

この自動化システムでは、従来の放電加工機に電極/ワーク自動搬入装置(AWEC)を付加したシステムだけでなくCAD/CAM、三次元測定器(CMM)、IDタグ、セルコントローラで構成され、機械稼働率向上の阻害要因である①加工プログラム作成作業、ドライランによるチェック作

業、電極/ワークの位置出し作業の効率化、②放電加工の前工程である電極製作工程を考慮したスケジュール機能による電極製作待ち時間の削減、③夜間又は休日の加工を終了してから次の段取り作業に入るまでのアイドル時間の削減などが実現できる。

また、このセルシステムは、1台のセルコントローラから複数台の放電加工機を制御可能としたため、放電加工機以外のCAD/CAM、CMMなど周辺装置の導入コストを抑えるとともに、複数台の放電加工機の仕事量に応じたスケジュール割り振りを可能としている。

このシステムの導入により、稼働率は通常の放電加工機を単体で導入した場合と比較して2倍以上、さらに、オペレータの負荷は大きく軽減される。またコスト面では、一人で管理できる台数が5~10台になり省人化が図れる。



最新の放電加工自動化システム

三菱電機は、放電加工機に電極/ワーク自動搬入装置に加えて、CAD/CAM、三次元測定器、IDタグ、セルコントローラで構成される放電加工自動化システムを開発した。

このシステムは、機械稼働率の阻害要因であるプログラム作成作業、段取り作業、ドライラン作業を効率化し、機械稼働率を大幅に向上させることができる。

1. ま え が き

昨今、金型業界もメガコンペション時代に突入し、全世界を相手に、Q(品質)のみならず、C(価格)、D(納期)面で戦う必要がでてきた。このC、D面での高レベルの実現は企業にとって有力な戦力になり得るが、現状では、放電加工がボトルネックとなってしまうケースも見受けられる。これは、切削加工に比べて加工時間が読みにくく、段取り作業、加工条件出し、加工プログラム作成といった作業が経験に大きく左右され、また最終工程に近いためにミスは命取りになりかねないという事情から、人手による作業と確認が必要であり自動化が難しいとされていたところが大きい。

本稿では、金型製作における放電加工工程の問題点の分析を実施し、Qに加えてD、Cを満足させることのできる自動化システムを開発したので紹介する。

2. 放電加工工程の問題

C、Dのレベルをアップするには、設備投資を抑制し、放電加工機による加工の稼働率を上げる必要がある。その阻害要因は、①段取り時間が長い、②電極製作待ち時間がある、③アイドル時間が長い、の三つに要約される。

したがって、一般に放電加工の工程は図1の上のグラフに示すようになり、手動の段取り工程によって自動運転時間が限定され、段取りできない夜間と休日にアイドル時間が発生してしまう。

金型の種類やATC(Automatic Tool Changer)などの装置の有無にもよって変わるが、放電加工の稼働時間といえは約250~350 h/月が平均的な数字と言えるのが現状である。

3. 放電加工における段取り作業の効率化

3.1 段取り作業分析

自動運転時間を短縮しアイドル時間を生んでしまう段取り作業の内容を分析してみると図2のようになる。

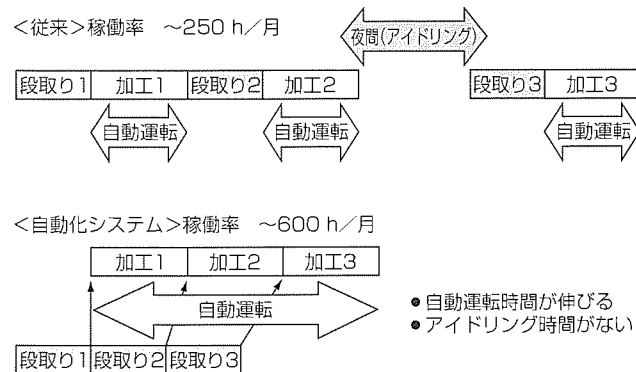


図1. 放電工程分析

ここで、段取り作業に時間がかかる要因を分析すると、次の三つの理由が挙げられる。

- 放電現場でのプログラム作成
- 位置決め作業の手動操作
- ドライランチェック

3.2 CAD/CAM連動による段取り作業の改善

これらの分析から、放電加工機で実施すると非効率的な段取り作業をなるべく加工機の外で並行実施し、加工機では加工だけを行うと、飛躍的に加工効率が上がることが分かる(図1の下)。

そこで、外段取り化と段取り時間短縮を図るCAD/CAM連動の段取りシステムを開発した。

3.2.1 CAD/CAM連動プログラム作成

図3は、CAD/CAMで作成した加工位置の情報を読み込むことのできる形彫放電加工機用オフライン自動プログラム(E.S.P.E.R PRO)である。

設計者は、設計室にあるCAD/CAMを用いてグラフィックス上で加工位置を分かりやすく指定する。この加工位置情報をネットワークを介して放電加工現場にあるE.S.P.E.R PROに転送し、現場でプログラムを確認・修正して使用する。

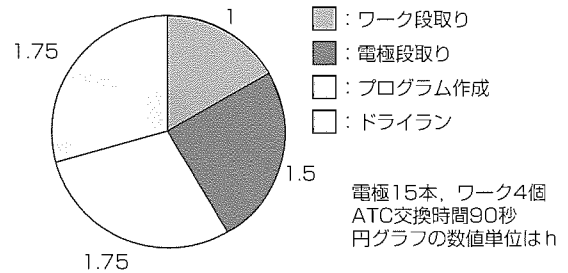


図2. 段取り作業分析

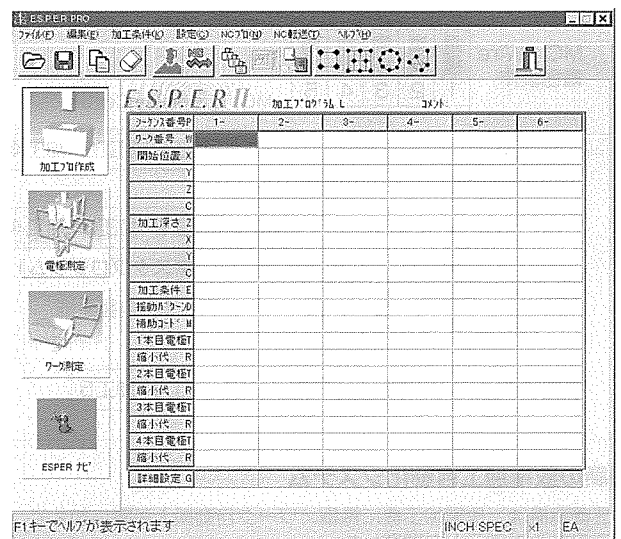


図3. E.S.P.E.R PRO

3.2.2 CAD/CAM連動電極/ワーク自動測定

図3に示したE.S.P.E.R PROでは、心出し測定位置情報及びワーク原点測定位置情報についても読み込むことができる。

したがって、加工位置情報と同様に、設計者がCAD/CAMで測定位置を指定し、ネットワークを介して放電加工現場にあるE.S.P.E.R PROに転送して、現場で測定プログラムを確認・修正して使用できる。

3.2.3 CAD/CAM連動の効果

CAD/CAM連動による段取り作業の効率化の効果をまとめると次のようになる。

- (1) 現場でのプログラム作成による停止時間がなくなる。
- (2) 座標入力ミスがなく、後戻りによる時間のロスがなくなる。
- (3) NCコードではなく編集しやすい自動プログラム形式のデータを作るので、CAD/CAMまで戻らずに現場で加工条件の変更や追加工に対応できる。
- (4) アイドリング時間の削減が可能となる。
- (5) 放電加工現場でのドライランチェックが不要となる。

4. 放電加工におけるアイドル時間の削減

放電加工においてアイドル時間が発生する原因を改めて挙げると以下がある。

- (1) 段取りが人手を介するため、作業者のいない夜間・休日では段取りできず停止する。
- (2) 加工時間を見積もれないため工程管理が不可能である。

次節に示すED-CELL(放電加工機用セルシステム)では、上記の原因(1)を解決することでアイドル時間を削減できる。

4.1 スケジュール運転による連続自動運転

ED-CELLは、加工機とDNC又はLAN接続されたセルPC(パソコン)上のスケジューラによってスケジュール運転するシステムである。スケジューラは、作成されたスケジュールに基づいてプログラムや段取りデータを加工機に転送し、プログラムを起動して加工を行う。このシステムでは、加工機外で段取りを行う方法(外段取り)、又は加工機上で3.2節に示した測定プログラムによる自動測定を行う方法(内段取り)によって、加工終了後に人手を介さずに次の加工を実行でき、図4の中段及び下段に示すような連続自動運転を実施できる。

4.2 電極/ワーク測定作業の更なる効率化

ED-CELLでは、前記のとおり、CMMなどをプリセットとして用いて電極/ワークの位置出しを行う外段取り方式と、加工機上の自動測定による内段取り方式とを選択できる。ユーザーはそれぞれの特徴を考慮して段取り方式を選択することになるが、段取り方式を要求精度などによって電極ごとに選択することも可能である。

5. 電極製作工程を含めたリードタイム短縮

5.1 金型製作リードタイム分析

2章で述べたように、一般に、放電加工工程では電極待ち時間が発生する。例えば電極1~5を用いる放電加工の場合、図5の上の示すように電極1~5のすべてが加工終了するまで待ってから放電加工することになる。

このようなシーケンシャルな工程順によってリードタイムが長くなる問題を解決するために、次節に示すような方式を考案した。

5.2 電極逐次追加方式スケジューリング

ED-CELLのようにワークをパレットで供給する方式であれば、加工途中でのワークの着脱が可能なので、製作終了した電極の分だけ加工を行うこともできる。しかし、CAMの作業効率や加工プログラム管理の面から加工プログラムもワーク単位で作成されるので、スケジュールも基本的にワーク単位となる。ED-CELLでは、エラーを防ぐため準備完了しないスケジュールはスキップされて次のス

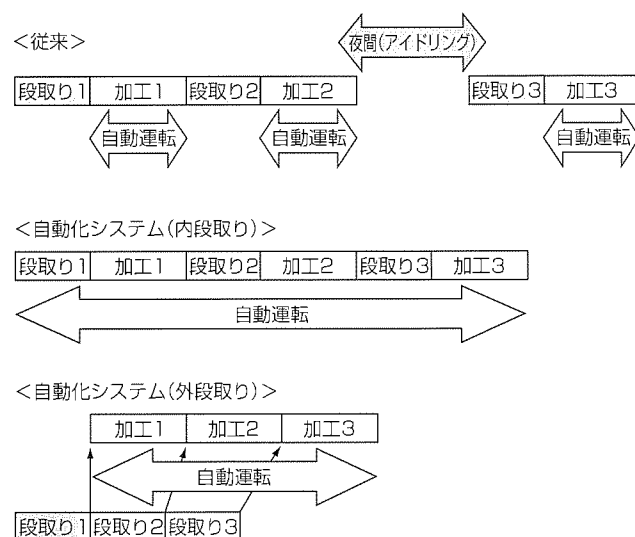


図4. ED-CELLによる連続運転

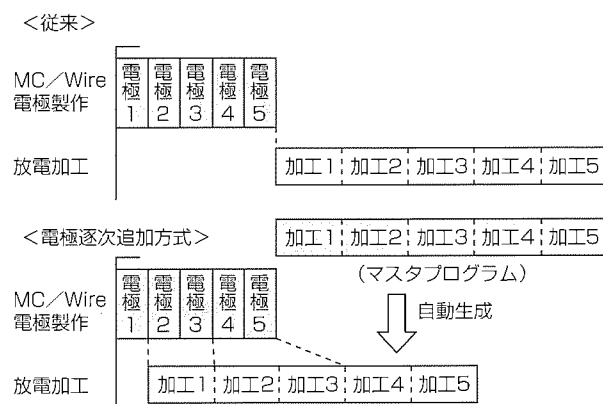


図5. 電極製作工程と放電加工工程の関係

スケジュールが実行されるので、電極待ちのワークは加工されないことになる。

そこで、ED-MAPS(逐次電極生成順加工システム)というスケジュール生成ソフトウェアによってこれを解決する。ED-MAPSは、ワーク単位のマスタプログラムから準備済み電極だけを用いて加工するスケジュールを自動生成するので、現在加工可能な分だけ次々と加工を進められる。このED-MAPSによる電極逐次追加方式での工程を図5の下に示す。電極製作工程と並行して加工を進めることで、従来の方法に比べてリードタイムを大きく短縮できる。

6. 最新の形彫放電自動化システム

6.1 システム構成

前章までに説明した形彫放電CAD/CAM, E.S.P.E.R PRO, ED-CELL, 及びED-MAPSにより、金型を効率的に生産できる形彫放電加工自動化システムを構築した。図6に構成図を示す。

各要素間はLANで接続され、各情報は作業者が意識することなく各要素間で受け渡される。

次節で、各要素について詳細を説明する。

6.2 CAD/CAM

CAD/CAMとしては、二次元形彫放電CAM機能を持つ“CAMMAGIC MS-20”を適用できる。今回、電極設計を行う三次元CAD上で加工位置情報や電極/ワークの位置出し測定点情報を設定・出力できる形彫放電CAMを開発した。以下でその機能を説明する。

(1) 加工位置情報

三次元CADでの電極設計では、ワークの三次元モデルから電極素材形状を引き算(立体差, サブトラクト)して電極形状を作成する(その後、縮小代などを考慮した変形が必要)。この操作を行った三次元上の位置がすなわち電極の加工位置である。加工位置情報はワーク基準座標系における電極基準位置の座標として定義され、この加工位置情報がCADから出力される(図7)。

(2) 電極測定点指定

電極モデルにおいて、基準となる面を選択することで、自動的に心ずれ測定点及び平行出し測定点を生成し、座標値を出力する。

(3) ワーク測定点指定

電極と同様に、ワークの基準面を選択することで、位置出し測定点及び平行出し測定点を自動生成し、座標値を出力する。

(4) 加工シミュレーション

CAMに必要な機能として、シミュレーションによる加工検証機能がある。この三次元形彫放電CAMでは、検証用ワークモデル上に電極モデルを順に呼び出してサブトラクトするので、電極の干渉や加工順序について検証でき、また、シミュレーション後の検証用ワークモデルと設計ワークモデルとの比較により、電極設計のミスや設計忘れを検証できる。

以上四つの機能により、三次元CAD上での電極設計と同時に形彫放電CAMを行うことができる。

6.3 ED-CELL II

最新のED-CELLである“ED-CELL II”では、1台のセ

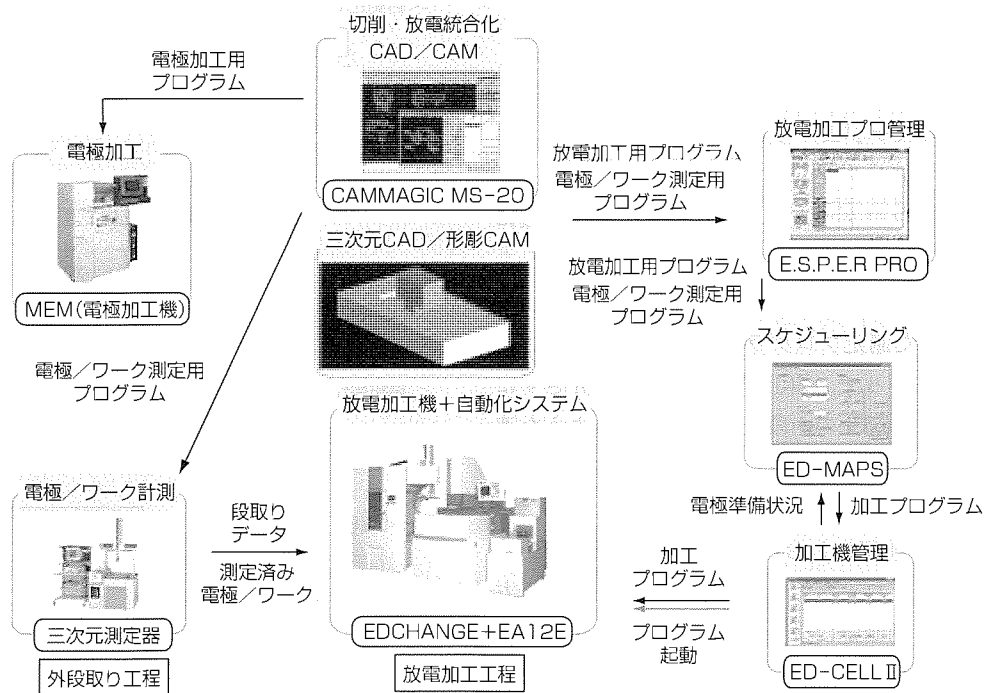


図6. 自動化システム構成図

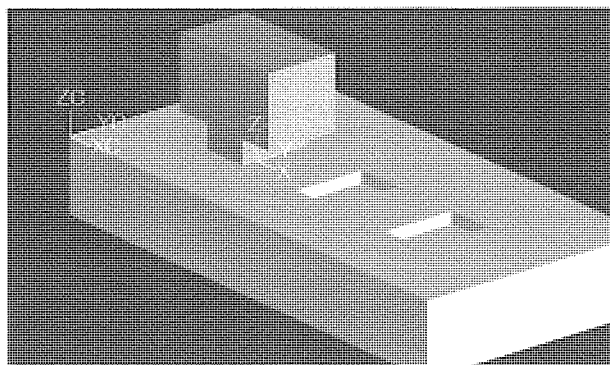


図7. 加工位置情報

ルPCから複数台の加工機を制御可能なスケジューラ“E.S.P.E.R SCHEDULE”により、複数台構成のシステムを構築できる。ED-CELL IIでは、電極やワークパレットに取り付けたIDチップ(システム3R(株)製)による管理を行う。スケジュールに使用する電極/ワークは、セルPC上でのID登録によって設定される。また、ATC、APC(Automatic Pallet Changer)上のIDリーダによってIDをスキャンすることで、IDと投入マガジン番号の対応関係が管理されるので、電極/ワークを任意の位置に投入できる。このことは、連続運転するため多数の電極/ワークを準備する必要がある自動化システムにおいて非常に重要な点である。さらに、外段取りデータもIDで管理されており、スケジュールで使用される電極/ワークの段取りデータはスケジュール開始時にセルPCから加工機に転送される。

外段取りにおいては、CAMで作成された測定点データをCMMに転送することで、自動測定を実現している。測定された段取りデータは、LANを経由してセルPCに送られる。

6.4 ED-MAPS

ED-MAPSは、4.2節に示したように、電極製作と並行して放電加工を実施するため、準備済みの電極だけを加工

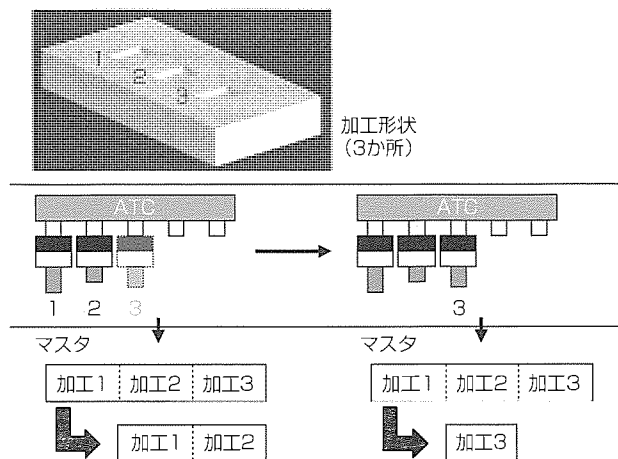


図8. ED-MAPSの概念図

表1. 自動化システムの効果

項目	効果
稼働率	内段取り方式550~600 h/月 外段取り方式700 h/月
オペレータ負荷	プログラム作成作業はほぼ不要 電極/ワーク測定作業は大幅に改善
省人化	一人につき放電加工機2~3台の管理 から5~10台管理可能

するプログラムをマスタプログラムから分割生成する。図8にED-MAPSの処理の概念図を示す。

7. む す び

最後に、提案した金型自動化システムの効果を表1に示す。

稼働率は通常の放電加工機を単体で導入した場合と比較して2倍以上、さらに、オペレータの負荷は軽減され、余裕の時間を用いて加工条件の見直しや新たな加工方法の開発などに当てることができる。また、コスト面でも、一人2~3台だった放電加工機の管理を一人5~10台にすることができ、省人化を図ることができる。

放電加工機に対するバーチャルエンジニアリングの適用

秋吉雅夫* 種田 淳***
大鷲勝久*
今城昭彦**

要 旨

近年、パソコンやEWSなどのハードウェアの発達と解析ソフトウェアのユーザーインタフェースの向上によって、解析のモデリングと計算時間の短縮化が現実のものとなった。様々な分野において、試作や設計段階で解析ソフトウェアを適用し、開発コストの低減や新たな商品化が可能となるバーチャルエンジニアリングが脚光を浴びている。

バーチャルエンジニアリングの適用範囲は、大きく二つに分かれる。

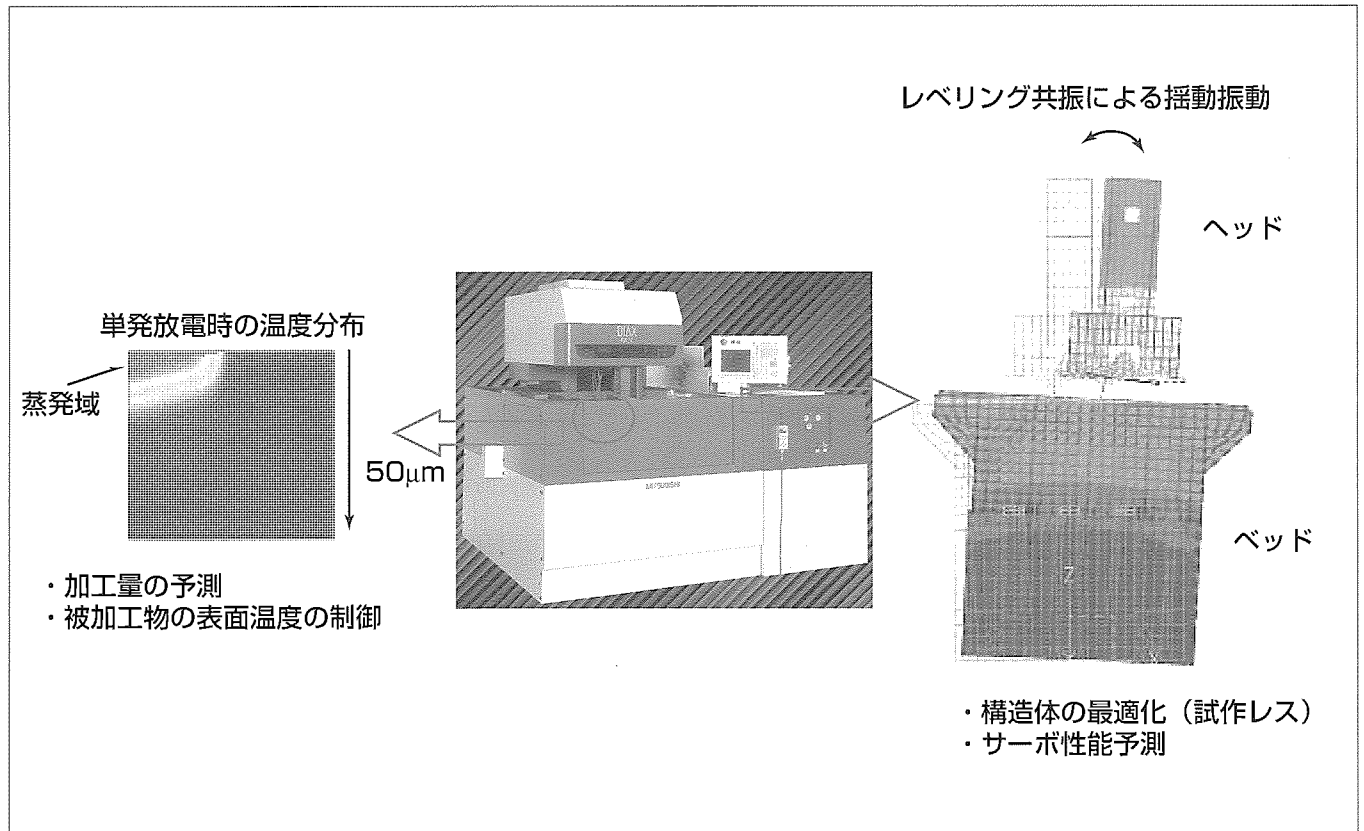
- (1) 現存する測定技術では、調査が不可能な高速な変動現象を定量的・定性的に把握するため
- (2) ある構造体を試作せずに性能を予測し、最適化を図るため

放電加工機にこのバーチャルエンジニアリングを適用した。放電加工現象は狭いすき(隙)間(50~200 μ m)において短時間(0.1~10 μ s)で発生・消滅するため、既存の測定技

術で加工状態を完全に調査するのは困難であり、開発に当たり定量的な議論ができず経験によるところが大きかった。

(1)の例として、放電表面処理における熱解析による電流波形の最適化について述べる。熱解析により、電極や被加工物における放電中の非定常温度分布、蒸発域・熔融域の大きさを予測できる。放電によるTiC硬質被膜の形成において、被膜表面温度を最適にコントロールする放電波形の開発に熱解析を適用し、表面硬さを15%程度向上した。

(2)の例として、ヘッドの振動を構造と振動の連成解析を用いて検討した結果を述べる。この解析により、試作前にサーボ特性を予測できる。放電加工機では高応答サーボを必要とするが、これを実現する機械構造体の最適化が設計段階で可能となった。その効果として、形彫EDMのVシリーズでは、ベッド曲げ共振を35Hzから45Hzに上げ、加工速度を最大で20%高速化した。



放電加工機とバーチャルエンジニアリング

バーチャルエンジニアリングとは、実際に見えない現象をパソコン上で把握することである。放電加工機においては50 μ mの隙間で発生する放電現象を熱解析によって把握した。また、試作前にヘッドの振動を予測し最適化を図ることに適用した。

1. ま え が き

放電加工機にバーチャルエンジニアリングを適用した。放電加工現象は狭い隙間(50~200μm)において短時間(0.1~10μs)で発生・消滅するため、既存の測定技術で加工状態を完全に調査するのは困難であり、開発に当たり定量的な議論ができず、経験によるところが大きかった。

まずその例として、放電表面処理における熱解析による電流波形の最適化について述べる。熱解析は、電極や被加工物における放電中の温度分布、蒸発域・溶融域の大きさを予測できる。放電によるTiC硬質被膜の形成において、被膜表面温度を最適にコントロールする放電波形の開発に熱解析を適用し、表面硬さを15%程度向上した。

また、ある構造体を試作せずに性能を予測し最適化を図った例として、ヘッドの振動を構造と振動の連成解析を用いて検討した結果を述べる。この解析を用いることにより、試作前にサーボ特性を予測することができる。放電加工機では高応答サーボが必要となるが、これを実現する機械構造体の最適化が設計段階で可能となる。

2. 熱解析の放電表面処理への適用⁽¹⁾

2.1 単発放電熱解析モデル

図1に熱解析モデルを示す。電極と被加工物間にアーク柱が発生する。アーク柱の大きさは、放電電流や放電時間の影響を受ける。アーク柱半径の変化を予測するためアーク柱拡大に費やされる放電エネルギーが加工液へ放出されるエネルギーとアーク放電状態になるために必要なエネルギーにバランスすると仮定すると、式(1)が成り立つ。

$$\eta i v d t = 2 \pi R l h \Delta T d t + 2 \pi R l E d R \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 i は放電電流、 v は放電電圧、 R はアーク柱半径、 l は極間距離、 h はアーク柱表面の熱伝達率、 ΔT はアーク柱表面と加工液の温度差、 E はアーク放電状態になるために必要なエネルギー、 t は放電時間、 η はアーク柱

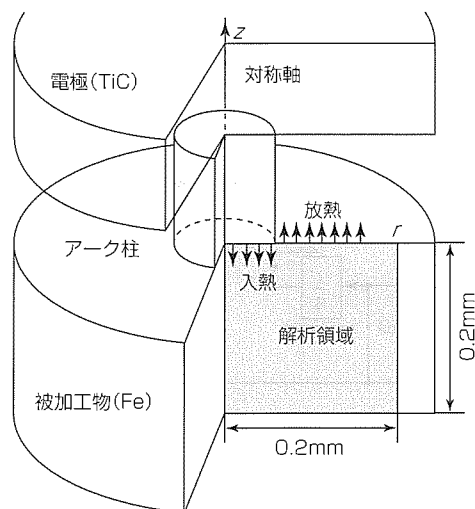


図1. 熱解析モデル

の拡大に費やされる放電エネルギーの割合である。

両辺を dt で割り、整理すると式(2)となる。

$$R \frac{dR}{dt} = C_1 i - C_2 R, \quad C_1 = \frac{\eta v}{2 \pi l E}, \quad C_2 = \frac{h \Delta T}{E} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 $h = 2.1 \times 10^5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ 、 $\Delta T = 5,000 \text{ K}$ ⁽²⁾、 $E = 3.5 \times 10^8 \text{ J/m}^3$ 、 $v = 20 \text{ V}$ 、 $l = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$ とした。 C_1 中の η は、 C_1 をパラメータとして式(2)を解き、単発放電こん(痕)から推定されるアーク柱半径と一致するよう C_1 を決定した後、その値を算出した。 η を放電電流 i に依存すると仮定して求めた。求めた C_1 、 C_2 の値を式(2)に代入し、ルンゲクッタ法を用いてアーク柱半径 R を求める。

被加工物上では、式(2)から求められたアーク柱の下面と接した領域が、熱流束 $q = a i v / (\pi R^2)$ によって加熱される。 a は放電エネルギーのうち被加工物に伝わる割合⁽³⁾で、電極材質や被加工物材質の影響を受ける。電極にTiCの焼結体、被加工物にFeを用いた場合、熱解析において a が約20%のとき予測放電痕深さと単発放電による実験結果が一致したので、この値を使用した。また、被加工物表面からは熱伝達率 $2.1 \times 10^5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ で温度293Kの加工液に放熱されるとする。

解析モデルは二次元軸対称で、その解析領域はTiCが積層される被加工物側の $0.2 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm}$ 正方形である。解析領域を縦横方向ともに400分割した。式(3)の二次元熱伝導方程式によって温度を算出した。ただし、被加工物であるFeの融解熱と蒸発熱を考慮するため、エンタルピー上昇量を計算し、温度の再定義を行った。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{1}{r} \left(\frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad \dots\dots(3)$$

ここで、 k は温度伝導率、 T は絶対温度、 r は解析中心からの距離である。

2.2 単発放電熱解析結果

被膜表面の結晶子径を大きくすれば被膜硬さが向上する。結晶成長時間を長くするため、主パルスの後に保温パルスを付加した。検討した新しい放電電流波形を図2に示す。8Aの電流を8μs間流した後に1Aの電流を20μs流した。

図3に、被加工物表面($z = 0$)で $r = 5 \mu \text{ m}$ の位置での放

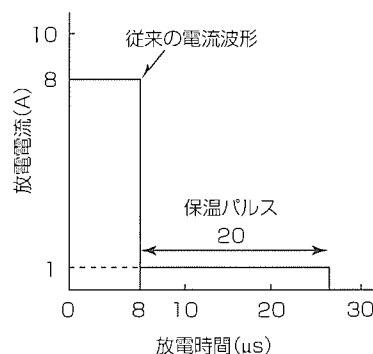


図2. 放電電流波形

電時間と放電痕表面の温度変化を示す。横軸は放電開始からの経過時間である。従来の放電により、表面温度は2μs間に3,200Kまで上昇し、その後6μs間は3,000K以上で余り変化しない。TiCの融点は3,413Kであるため電極から移動してきたTiCは被加工物に到達後に凝固を始めるが、放電中(図中①)は電極から被加工物にTiCが供給され続けるため、放電終了以降(図中②)をTiCの結晶子径が拡大する過程と考える。結晶子径の成長は一般に融点から1/2程度温度低下する過程で影響を受けるため、TiC結晶子の成長時間として1,707Kに達するまでを検討した。保温パルスがない場合、その温度に到達する時間は4.1μsであったが、保温パルスの付加によって1.3倍の5.4μsに拡大した。保温パルスを付加すれば結晶の成長時間を長くでき、結晶子径の大きさを拡大できる可能性があることが分かった。

2.3 試験結果

5 mm × 5 mmのTiC焼結電極を用いて、5分間加工し、TiC被膜を作成した。図4に、SEMによるTiC被膜の表面観察結果を示す。(a)は保温パルスがない場合、(b)は保温パルスを付加した場合である。白い筋は凹凸を表す。白い筋に囲まれた円形状のものが、単発の放電によって形成された溶融域が再凝固した放電痕である。(a)では一つ

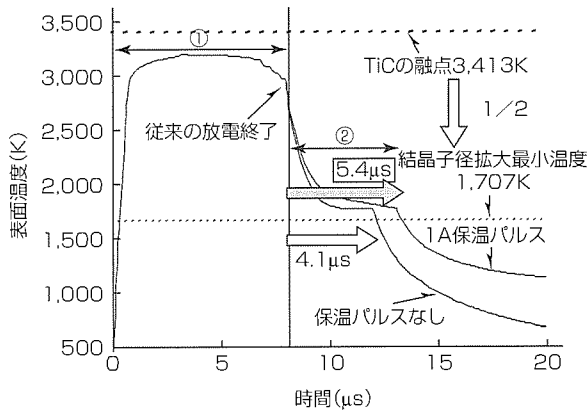


図3. 被加工物表面温度変化

つの放電痕の境界が明確で、TiC膜表面に凹凸が観察できる。放電痕表面の温度が急速に低下するため、凝固時に発生する熱応力等の影響で放電痕表面に凹凸が形成される。(b)では、放電痕の境界を表す白い筋がほとんど見られない。被膜への入熱時間を長くする保温パルスによって被膜表面が平滑化することが分かる。

表1に、TiC被膜表面のX線回折測定結果から求まる結晶子径と、負荷荷重を0.098Nとしたときのマイクロビッカース硬度計によるTiC被膜硬さの測定結果を示す。結晶子径の決定は、回折ピークの半値幅の増加としてとらえることができる。その算出にはScherrerの式を用いた。保温パルスがない場合は100Åであったが、保温パルスを付加することでTiC被膜の結晶子径を約2.5倍に拡大することができた。TiC膜硬さを比較すると、従来の放電波形によって形成されたTiC被膜硬さは1,289HVであるのに対し、1Aの保温パルスを20μs付加すれば1,500HVとなり、TiC被膜硬さが約15%向上した。

3. 構造振動連成解析

放電加工機の高速度・高精度化を図るため、制御・構造の連成解析を実施した。

全体系のブロック線図を図5に示す。ACサーボモータとボールねじで駆動される位置決め系と構造体の動特性を

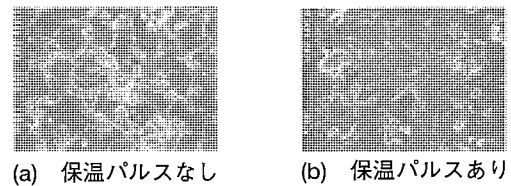


図4. TiC被膜の表面写真

表1. X線回折結果とビッカース硬さ

	保温パルスなし	保温パルスあり	被加工物
結晶子径	100Å	250Å	
ビッカース硬さ	1,289HV	1,500HV	253HV

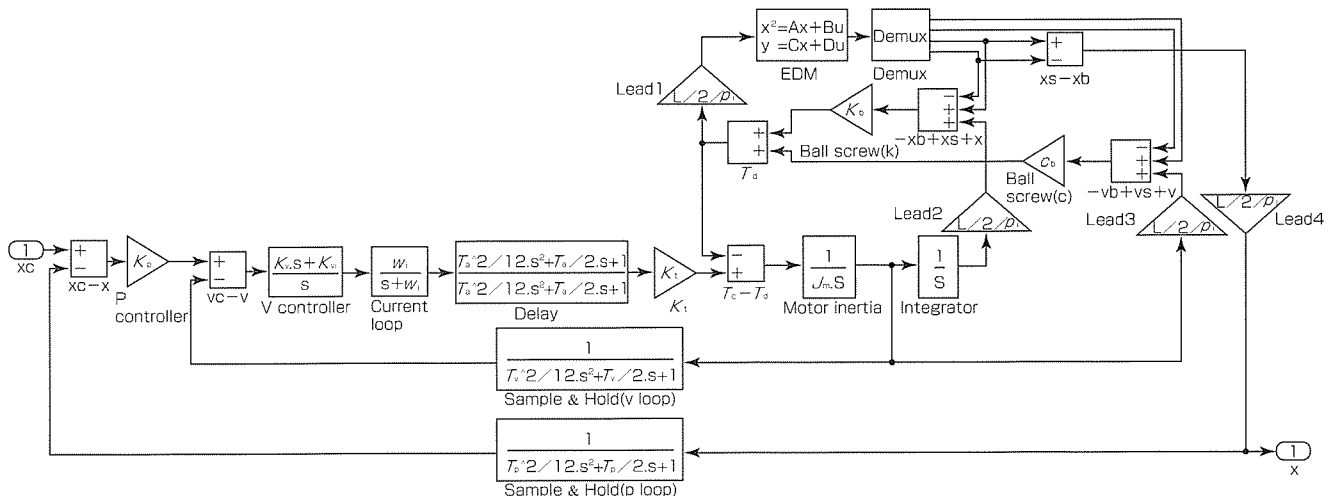


図5. 全体系のブロック線図

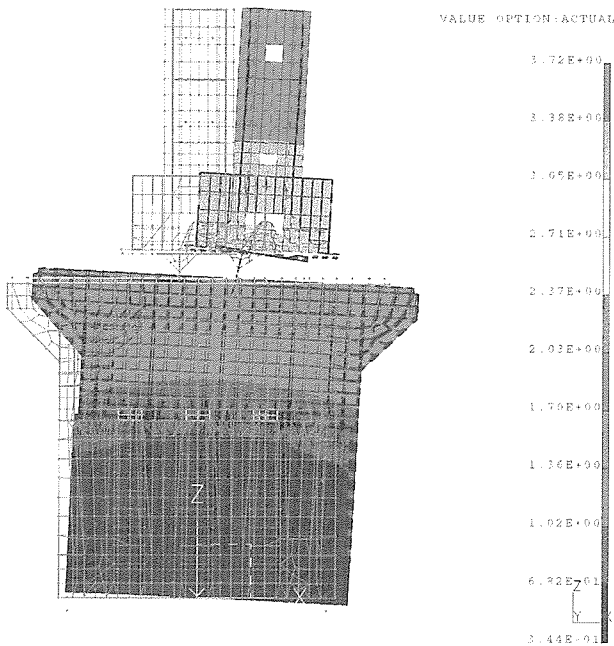


図6. 固有振動モード

考慮している。位置ゲインを K_p 、速度ゲインを K_v とし、デジタル演算の遅れをパデ近似で表している。

機械構造体はFEMでモデル化し、固有値解析した。固有振動モードの一例を図6に示す。得られた固有値と固有ベクトルから伝達関数を求め、図5のブロック線図に組み込んだ。

位置ループの周波数伝達特性の計算結果を図7に、実測結果を図8に示す。両者はよく一致しており、解析が妥当であることが確認できる。

この解析を用いることにより、試作前にサーボ特性を予測することができる。放電加工機では高応答サーボが必要となるが、これを実現する機械構造体の最適化が設計段階で可能となる。その効果として、形彫EDMのVシリーズでは、ベッド曲げ共振を35Hzから45Hzに上げ、加工速度を最大で20%高速化した。

4. む す び

熱解析の適用例として放電表面処理における電流波形の最適化を、制御・構造連成解析の例としてサーボ特性予測を紹介した。バーチャルエンジニアリングにより、現在まで定量的に不明であった局所的な非定常温度変化の予測や、設計段階で構造体の最適化が可能となった。

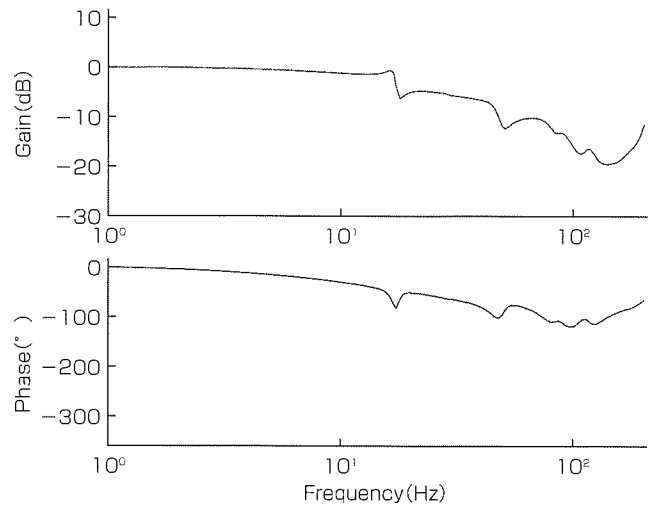


図7. 位置ループ周波数伝達特性の計算結果

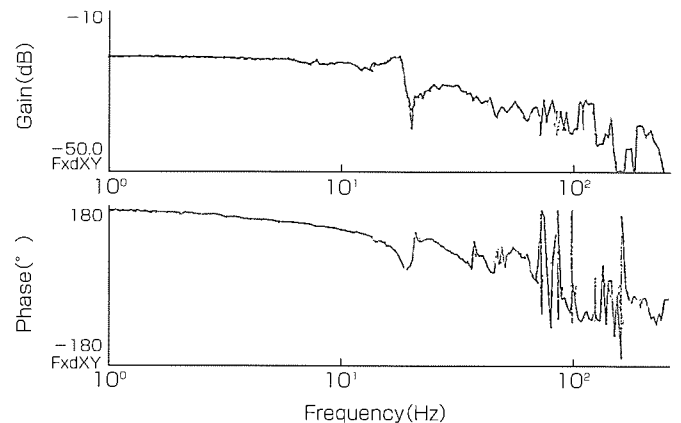


図8. 位置ループ周波数伝達特性の実測結果

参 考 文 献

- (1) 秋吉雅夫, 後藤昭弘: 放電表面処理における電流パルス形状の検討, 日本機械学会, 第二回生産加工・工作機械部門講演論文集, No.00-5, 115, 31~32 (2000)
- (2) 橋本浩明, 国枝正典: 分光分析による放電加工アークプラズマの温度変化の観察, 電気加工学会誌, 31, No.68, 32~40 (2000)
- (3) Xia, H., Kunieda, M., Nishiwaki, N.: Removal Amount Difference between Anode and Cathode in EDM Process, International Journal of Electrical Machining, IJEM, No.1, 45~52 (1996)

Technology in INGERSOLL EDM system

By Jurgen Schmitz and Georg Zander*

The golden days of EDM sinker technology in the 1980th have disappeared and the big fight for better market shares has become harder and harder since high speed cutting technology has taken away some of the former application fields of EDM.

Some well known names of EDM producers have gone and those who have survived work hard to remain on top.

History

Ingersoll one of the largest private owned machine tool manufacturers world wide started the die sinker EDM business 1955 in the US.

Ingersoll Germany founded 1962 in Burbach took over the die sinker business from its US mother company in 1968.

Since that time Ingersoll developed die sinker business continuously and became a specialist for big machine EDM application (Fig.1).

Also in small machine Ingersoll was a leader in developing new EDM technologies as use of ATC, full screen CNC and orbiting strategies (Fig.2).

In 1992 Ingersoll took over the die sinker business from MAHO Hansen which was the market leader in small die sinkers in Germany.

Cooperation with Mitsubishi

In 1994 Ingersoll Funkenerosionstechnik and Mitsubishi Electric Corporation started a strategic alliance as a mar-

keting cooperation for the German market using the same agents for Ingersoll die sinker and Mitsubishi wire EDM.

In 1995 the marketing cooperation was extended by a technical cooperation with the supply of generator, CNC and drives from Mitsubishi for the Ingersoll die sinker EDM.

The first machine a Gantry 500 was presented 1996 (Fig.3).

As all Ingersoll die sinker EDM it is using the most advanced technologies as fall and rise worktank, Gantry design for best accuracy and stability as well as ATC and C-axis as a standard.

Today's Ingersoll EDM product range is up to the Gantry 1300 (Fig.4).

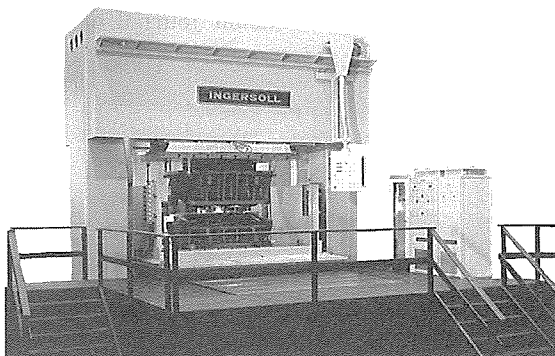


Fig.1 Large portal type die sinker for draw dies

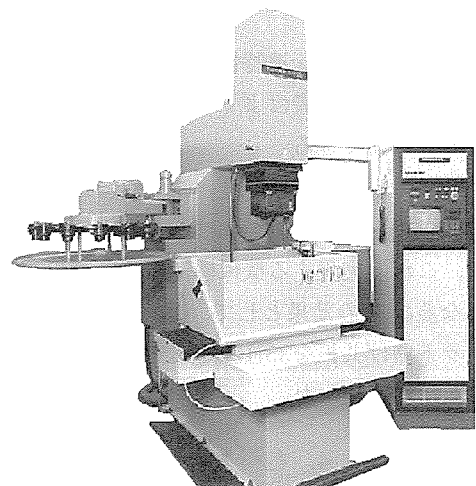


Fig.2 Ingersoll IC 110

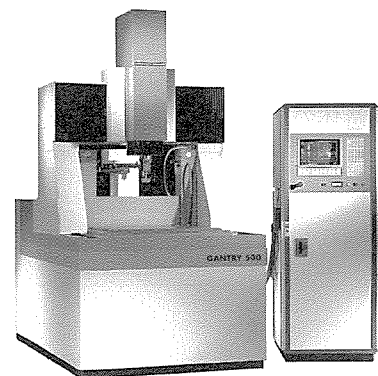


Fig.3 Gantry 500

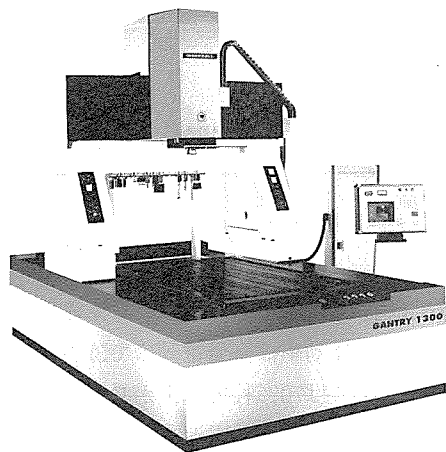


Fig.4 Gantry 1300

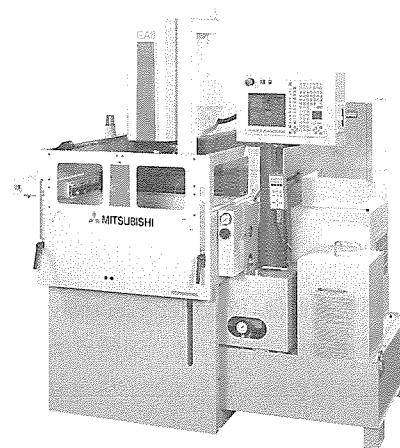


Fig.6 Mitsubishi EA8

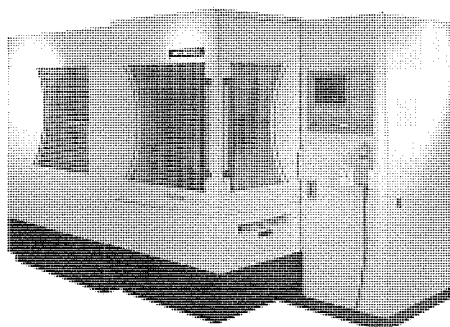


Fig.5 CENTER 4000(CENTER 400+ROBOT)

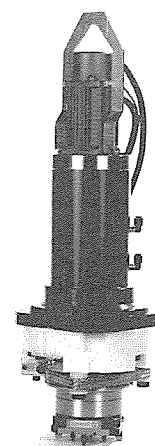


Fig.7 Ingersoll C-axis

A machine for large size EDM application mostly for the automotive industry.

From mid 2001 the new developed Gantry 2000 with a worktank size of $3,200 \times 2,000$ mm will perform the top end of the Ingersoll die sinker EDM.

Automation

In the today's market of EDM the interest in automated systems is growing steadily.

Therefore Ingersoll has been developing since several years hard- and software solutions for automated EDM process.

With the CENTER 4000 Ingersoll presented at EMO 1999 in Paris, an EDM Center equipped with an integrated electrode- and workpiece handling system.

The machine concept is based on the CENTER 400, which had been developed one year before together with Mitsubishi(Fig.5).

The concept of C400 is also the base of future common developments between Ingersoll and Mitsubishi.

Since end of 2000 the cooperation made its next step.

Ingersoll is now completing the die sinker EDM EA8 (Fig.6) with Ingersoll components like C-axis(Fig.7) and

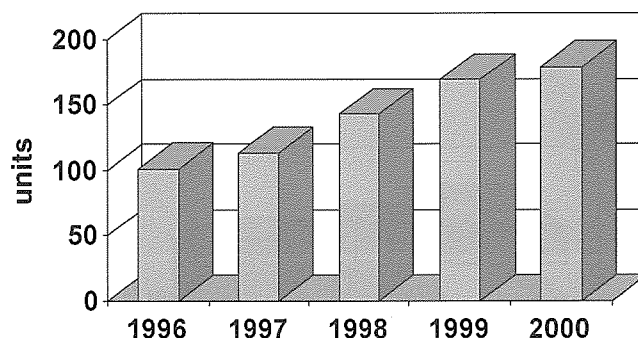


Fig.8 Sales of Ingersoll die sinker

safety related parts according to CE requirements. The EA8 is sold under "Mitsubishi" brand name in the European market.

The combination of the advanced Ingersoll mechanics together with the powerful Mitsubishi electronics performed the most successful die sinker EDM of the European market(Fig.8).

The worldwide partnership and the power of two advanced companies is base for more success in the future.

固体高分子型クリーン電源

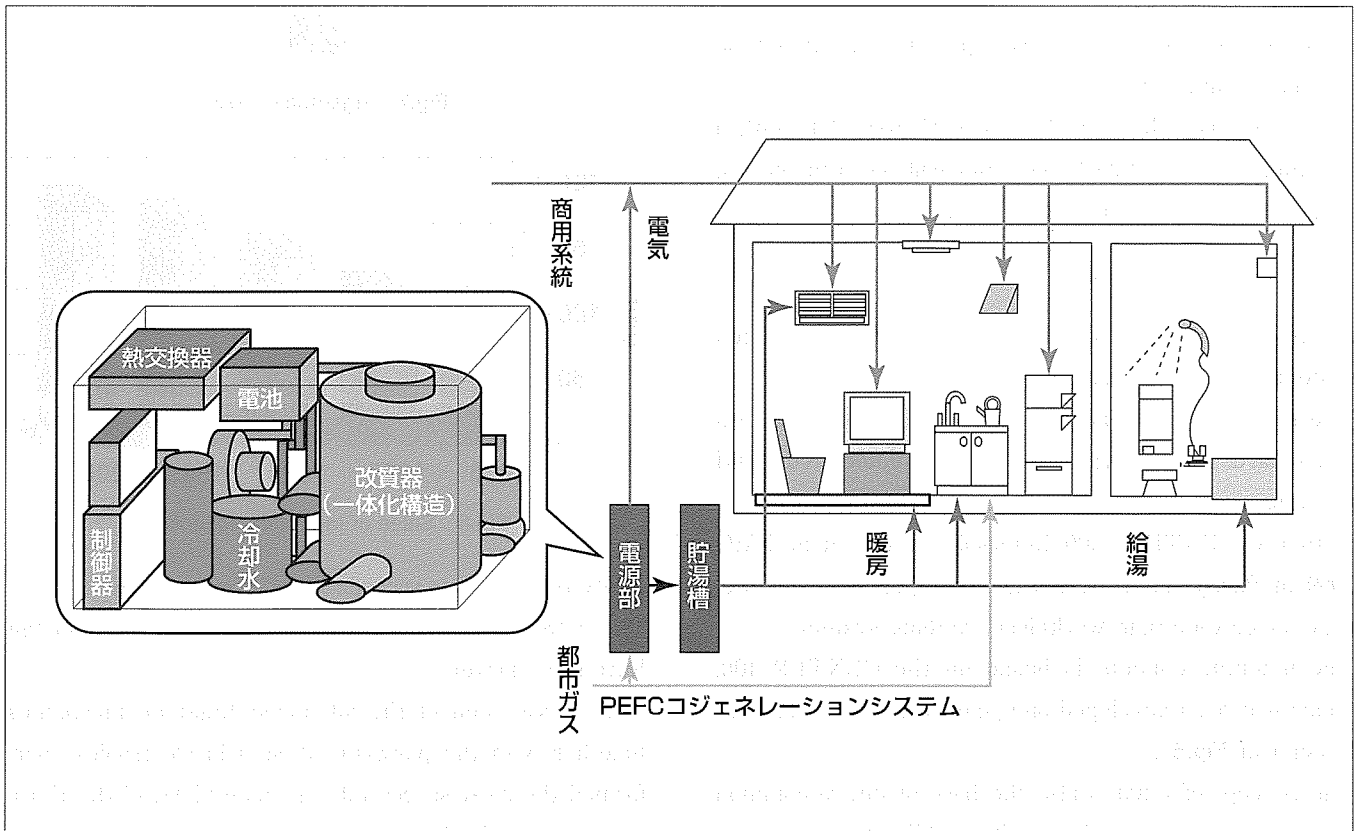
要旨

固体高分子型燃料電池(Polymer Electrolyte Fuel Cell: PEFC)クリーン電源システムは、天然ガス等を燃料として燃料電池から発電を行うとともに、システムから排出される熱を温水として回収し、家庭や工場等での電気・熱エネルギーを供給するコジェネレーションシステムである。導入形態の一つとして想定している一般家庭用においては、電力と熱の消費量、消費パターンから電気出力として1kW程度が適当とされている。

一般家庭での光熱費を2割程度削減し必要エネルギー消

費に対するCO₂排出量を3割程度少なくするためには、システムとしての目標効率、発電効率で35%、熱効率35%を含めた総合効率では70%程度以上が必要となる。

三菱電機では、現在、燃料電池本体とガス改質器の開発を中心とし、またそれら主要機器を組み合わせたシステムの開発を行っている。今後は、信頼性、寿命、コスト面の課題解決も更に進め、システム全体としての完成度を上げる必要がある。



家庭用コジェネレーションシステムの想定図

一般家庭における電気と温水を、都市ガス燃料のコジェネレーションシステムで供給する。

1. ま え が き

最近、地球環境保護のためにCO₂削減が可能となるエネルギー政策が必要であるとの認識が強まっており、燃料電池による発電は、高効率で環境に優しい等の理由により、その実用化が期待されている。エネルギーの利用形態としてはこれまでは発電所で作った電気を必要とする場所で利用するというものであったが、発電部を分散設置された装置で行い、その際に発生する熱も利用するコジェネレーションシステム(以下“コジェネシステム”という。)の検討が進められている。発電だけでなく熱を併給することで、総合効率を上げてCO₂排出量を削減しようとするものである。

三菱電機ではこれまで可搬型電源としてのPEFCシステムを開発してきたが、今回は、その技術を定置用コジェネシステムに適用するPEFCクリーン電源システムについて述べる。

2. クリーン電源システム

定置用クリーン電源システムは、燃料として天然ガス等を用いて燃料電池によって発電するとともに、発電システム系内から生成される熱を温水として回収するコジェネシステムである。前ページにコジェネシステムを家庭用に設置した例を示す。発電を行う電源部は、都市ガスから水素を製造する改質器、水素と空気から電気を出力する電池、変換部などのその他の機器で構成されている。家庭用途では、電気使用パターンから、1kW出力程度を最大定格とする規模が広く想定されている。燃料電池システムから排出される熱は、温水としていったん貯湯槽に蓄積し、給湯や暖房の熱需要に応じ温水として利用する。現在の開発目標効率は、電気を作る発電効率で35%、温水として熱を回収する熱効率35%を含めた総合効率では70%である。この目標効率が達成されると、CO₂排出量は最大3割程度削減でき、家庭での電気・ガス代の光熱費は最大2割程度節約できる。

図1にシステムのフロー構成を示す。

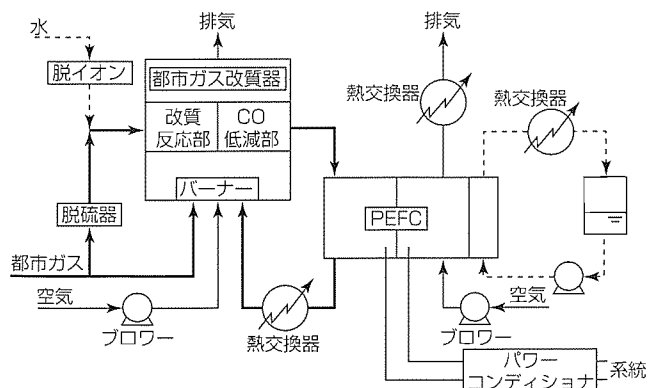


図1. 燃料電池システムのフロー

前述したようにシステムは燃料電池とガス改質器、貯湯槽、パワーコンディショナで構成されており、それぞれの主要機器へはブローヤやポンプによって負荷などの条件に応じ流体を調節して供給される。

当社では、現在、燃料電池本体とガス改質器を中心とし、またそれらの主要機器を組み合わせたシステムの開発を行っている。また電源部については、容積が500ℓ以下となるよう機器を集合化させ、コンパクト化に努めている。

3. 固体高分子型スタックの開発

PEFCのスタックについて、家庭用スタックの開発課題及び1kW級試作機の概要を述べる。

3.1 家庭用PEFCスタックの開発課題

家庭用電源では、効率の高い発電を長期間持続する高い信頼性が求められる。また、可搬型電源に比べて低電流密度で動作させることになり、カソードの電位が高くなるので、触媒にとっては厳しい条件で運転することになる。さらに、運転時間についても、可搬型では数千時間程度が想定されているのに対して、日常的に使用される家庭用では数万時間に及ぶことが予想される。そのため、特性低下率は、可搬型よりも小さく保つことが要求される⁽¹⁾。

また、家庭用電源では、電池の廃熱から温水を得るコジェネシステムが前提となり、できるだけ高温の温水を得るために電池の運転温度を高温に設定する必要がある。高温化はCO被毒の軽減には有利であるが加湿量の増大を招くので、低加湿でも運転可能なセルの開発が必要になる。

さらに、空気からのNO_x、SO_x、ごみ混入とフィルタリング開発が必要となる。

ガス流路については、空気供給での動力損失を低減するために、空気の圧力損失を低く抑える必要がある。しかし、流速を保って電池内で生成した水を速やかに排出する必要もあり、両者をバランス良く成立させる流路設計が必要となる。さらに、電池に致命的なダメージを与える燃料欠乏を防止するための工夫も重要である⁽²⁾。

3.2 PEFCスタックの構成

燃料電池の動作原理や構造については以前に紹介しているが⁽³⁾、PEFC 1セル当たり1V弱の直流電圧が得られる。電池の出力は電流(セル面積)に積層数を乗じた直流出力であり、セルの面積と積層数によって出力規模が決まる。燃料電池では、積層体内の各セルに反応ガスを供給するため反応に必要な電極面積のほかにガスのマニホールドやシール部等が必要であり、電極面積を大きくとり、積層数を減らす方がコンパクト化には有利である。しかし、インバータの変換効率を高めるためには、逆に積層数を増加させる必要がある。そこで、1kW級の出力規模である家庭用では、積層数を60セル程度と設定し、単セルの有効面積を100cm²級とした。

3.3 1 kW級PEFCスタックの試作機

家庭用として、図2に示す流路パターンを新たに開発した。燃料流路は、燃料欠乏を防止するため、積層体の端部で混合させる外部循環パラレルフロー方式⁽⁴⁾を用いた。さらに、水が滞留しないよう、発電部ではガスが上から下に流れるようにした。また、空気側は反応分布が面内で均一になるように、反応が集中しやすいガス入口を3か所に分散して配置した⁽⁵⁾。

図3にこの流路パターンを取り入れた家庭用の1 kW級PEFCスタック試作機を示す。有効面積100cm²の単セルを60枚積層して構成した。右側が発電部で、左側が加湿部である。家庭用では壁際に置くことを想定し、床面積をとらないように縦長の形状に仕上げている。今後、システムでの試験を通じて課題の抽出を行い、電池としての完成度を高めていく予定である。

4. ガス改質器の開発

4.1 定置用改質器

定置用1 kW級のPEFC電源向けに、燃焼部を改質器中心に配した円筒型で内炎構造を採用したガス改質器を開発した。構成を図4に、仕様を表1に示す。この改質器は、改質反応部とCO低減部の2機の構成になっている。改質反応部は、水素を生成する改質反応とCO濃度を約1%未満まで減少させる転化反応を同一機器内に配置した一体構

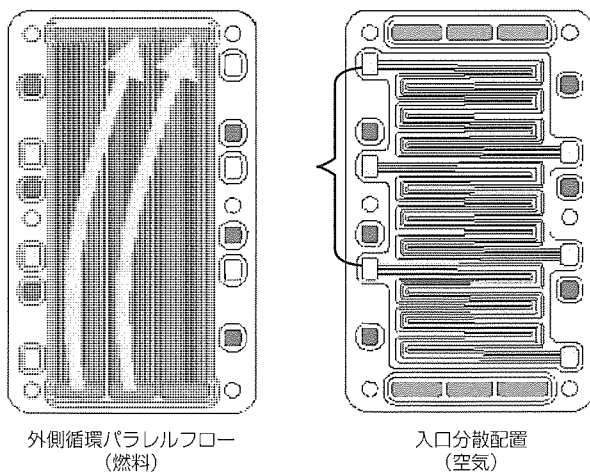


図2. 家庭用PEFCスタックのガス流路構成

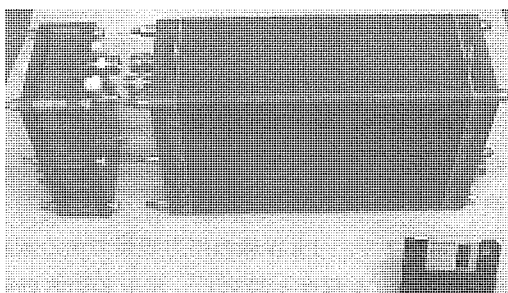


図3. 家庭用1 kW級PEFCスタック試作機の外観

造である。改質反応部の外観を図5に示す。

発電効率35%LHV (Low Heat Value)を達成するためには、改質器効率として約77%が必要条件となる。ここで改質器効率は式(1)で定義した。

$$\text{改質器効率} = \frac{\text{電池で消費される水素の発熱量}}{\text{外部から改質器に供給される燃料の発熱量}} \dots\dots(1)$$

上記の改質器効率は、例えば、改質率95%以上でかつ改質反応部出口CO濃度0.8%、CO酸化部での空気比3以下で達成できる。表2に試作改質器の試験結果を示す。これまでのところは、改質部と転化部の一体化構造を採用しつつ、改質反応部出口でのCO濃度低減の目処を得ている。改質率に関しては、伝熱性の面で改善を行い、向上を図る必要がある。断熱を含めた改質器自体をコンパクトに設計することを図りつつ、製品化を想定したシステム機器構成での安定な運転状態を導き出し、これらの条件で性能を引き出すことが重要と考えている。

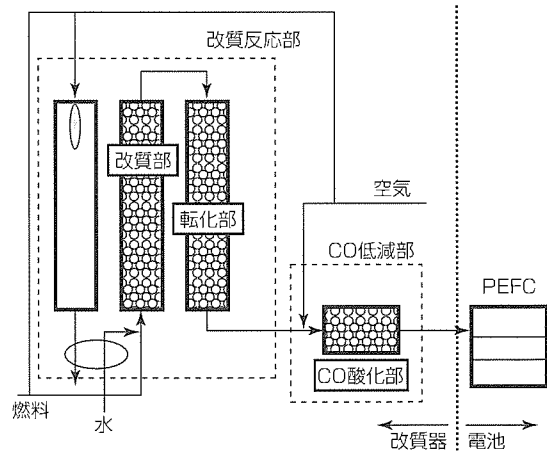


図4. ガス改質器の構成

表1. ガス改質器の主な仕様

機器	項目	仕様
改質反応部	形式	内炎・多重円筒型
	反応部	改質反応部+転化反応部一体型
	燃焼方式	バーナー
	定格出力	1kW級
CO酸化部	形式	円筒熱交換型
	反応部	選択酸化方式

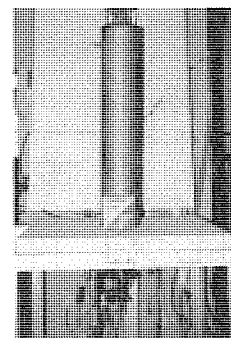


図5. 改質反応部の外観

表 2. 一体型改質器の試験結果

項 目	1.3kWDC 相当出力	75% 部分負荷	45% 部分負荷
改 質 率	97%	94%	95%
改質反応部出口CO濃度	~0.7%dry	~0.9%dry	~0.6%dry
CO低減部出口CO濃度	~10ppm	~10ppm	~10ppm
改質器効率	~71%	~70%	~66%

4.2 一 体 構 造

PEFCシステムを構築する場合、電池本体に供給する燃料ガス中のCOを除去する手段が重要である。選択肢としてCO選択酸化、膜分離等を適用した方法が提唱されている。なかでも、最も一般的なCO酸化の場合、発電効率を低下させないため、CO酸化部の前段階でより低濃度までCO濃度を低下させる必要がある。そのため、通常は、CO酸化部の上流すなわち改質部の下流に転化反応器を設ける。今回開発した改質反応部は、この転化反応器と改質部を一体化させ、コンパクトで応答性が良い改質反応部の実現を目指した。また一体化構造は、冷起動時、改質部中心に設けたバーナーによって改質部と転化反応部の一括昇温が可能であり、運転やシステムの簡素化にも優れている。

この反面、複数の機能部分が熱的・構造的に直結しており、起動停止や負荷変化等の非定常状態において相互干渉によって機能や運転性に問題が生じる可能性がある。現在、電池との連系運転等においてそのような課題の抽出・改良

を進めている。熱効率の改善やコンパクト性に優れた一体型構造を実現する上で重要な課題であると考えている。

5. む す び

一般家庭に燃料電池コジェネシステムが導入されるまでには、信頼性、寿命、コストと解決しなければならない課題が多く残されている。それらをすべてクリアしユーザーが十分なメリットを享受できるよう、今後とも開発を進める必要がある。

参 考 文 献

- (1) 山崎 修, 越後満秋, 田畑 健, 佐々木博一: 大阪ガスに於けるPEFC単セル評価研究, 第7回燃料電池シンポジウム講演予稿集, A2-5, 101~105 (2000)
- (2) Maeda, H., Fukumoto, H., Mitsuda, K., Kono, K., Nakayama, T.: Development of PEFC for Transportation, Proceeding of 3rd IFCC, A1-2, 53~56 (1999)
- (3) 光田憲朗, 前田秀雄, 漆畑広明: 固体高分子型燃料電池可搬電源システム, 三菱電機技報, 70, No.9, 913~918 (1996)
- (4) 前田秀雄, 光田憲朗, 福本久敏: 固体高分子型燃料電池, 特開平11-233126
- (5) 好永功夫: 燃料電池, 日本国特許第1758726号

ビルシステムにおけるBACnet対応

吉川 寛*

要 旨

BACnet(A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks)は、ASHRAE(米国冷暖房空調工業会)が1995年6月に制定したビルシステムのための共通通信プロトコルで、最近多くのビルシステム案件の仕様に取り入れられてきている。

三菱電機においても、ビルディングオートメーションシステム(BAS)及びセキュリティシステム(SEC)などに、BACnetを搭載した製品を開発し案件に対応している。

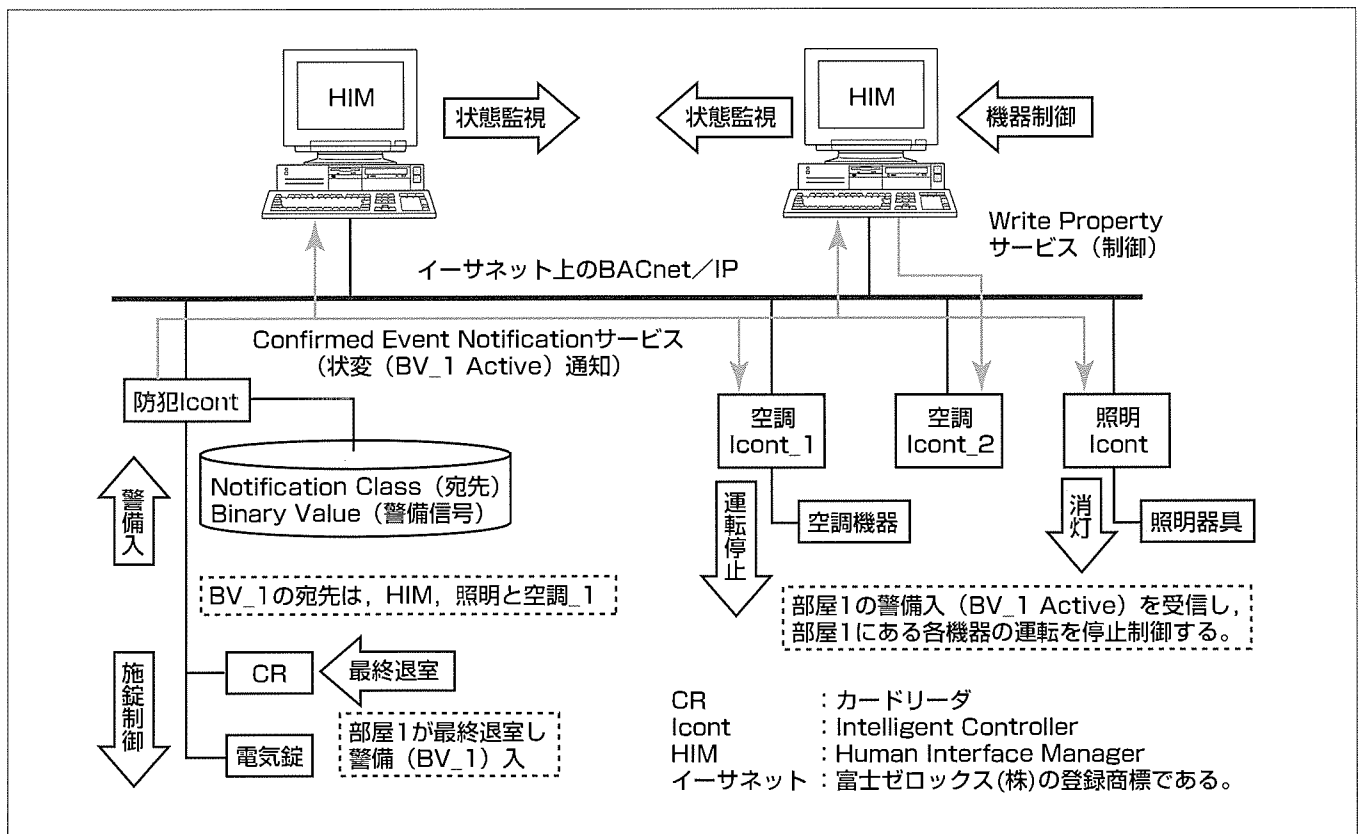
BASである“MELUNITY”及びSECである“MEL SAFETY”については、現システム資源(ハードウェア及びソフトウェア)を有効活用し、BACnetに対応する。

ネットワークについては、現在、イーサネット上のBACnet/IPに限定して対応している。

サービス及びオブジェクトについては、サブシステムごとに分けて説明するが、特にSECの警備信号(Binary Valueオブジェクト)による空調設備や照明設備などの設備間連携制御を適用事例として示す。また、SECとして実装すべきオブジェクトについての注意点やエンジニアリング作業の軽減についても説明する。

BACnetは現在ISO(国際標準化機構)規格化に向け議論されていることから、BACnetを採用するベンダー(メーカー)が増加している。ビルオーナーからは、これら複数のベンダー設備を組み合わせ低価格で高品質なビルシステムをBACnetで構築したいという要望も高まっている。当社は、この要望にこたえるため、接続実績を増やししながら、高品質のBACnet製品を提供していく所存である。

(注) “BACnet”は、米国冷暖房空調工業会の登録商標である。



BACnetを使用したシステム構成例

イーサネット上のBACnet/IPで各設備が通信を行う。SECの防犯Icontでは、警備信号をBinary Valueで、通告あて(宛)先をNotification Classオブジェクトで実装する。部屋での最終退室操作により、“警備入(無人)”(BV: Active)がConfirmed Event Notificationサービスで各設備宛に送信される。各設備では、各々の部屋にある自身の機器に対して、運転停止などの設備間連携制御を実行する。

1. ま え が き

BACnetは、ASHRAEが1995年6月に制定したビルシステムのための共通通信プロトコル^{(1)~(4)}であり、同年12月にはANSI(米国規格協会)においても規格されている。また、現在、ISOでも規格化に向けて審議中である。

国内においても、(社)電気設備学会が中心となってこのプロトコルの調査・研究が行われ、BACnetを基本に機能拡張されたプロトコル仕様書⁽⁵⁾が発行されている。これらを背景として、最近、大規模案件だけでなく中・小規模案件に対してもマルチベンダー設備でビルシステムを構築したいという要求もあり、オープンな共通通信プロトコルであるBACnetが特に注目されている。

本稿では、三菱電機ビルシステム(BASであるMELUNITY及びSECであるMELSAFETY)におけるBACnetへの取組について、適用事例とともに述べる。

2. BACnetへの取組

BACnetでは、大別して、ネットワーク、サービスとオブジェクトについて規定されている。図1に、現在サポートしているプロトコルスタックについて示す。

ネットワークについては、BACnetには下位層にLonTalkやARCNETなども選択肢としてあるが、イーサネット上のUDP/IP、いわゆるBACnet/IP(シングルIPのローカルネットワーク)に限定し使用する。

上記のプロトコルスタックは、インターネットワークを中心(IPがネットワーク層に対応)にまとめたもので、BACnetを中心に考えると、BACnet Network層がネットワーク層に、BACnet Virtual Link層及びUDP/IPがデータリンク層に対応する。

メッセージフォーマットについて以下に概説する。図2にBACnet/IPのメッセージフォーマットを示す。ここで、EtherヘッダからUDPヘッダについては説明を省略する。以下、各ヘッダ情報について説明する。

OSI参照モデル	対応するプロトコルスタック
アプリケーション	BASアプリケーション BACnetオブジェクト 追加・修正オブジェクト
アプリケーション層	BACnetサービス 追加・修正サービス BACnet Network層 BACnet Virtual Link層
プレゼンテーション層	NULL
セッション層	NULL
トランスポート層	UDP
ネットワーク層	IP
データリンク層	イーサネット
物理層	

図1. サポートするプロトコルスタック

- BVLLヘッダ(4 octet; タイプ, 機能と長さ)
BVLCタイプ(1 octet) 0x81(BACnet/IP)固定
BVLC機能(1 octet) 0x0A(ユニキャスト) 又は
0x0B(ブロードキャスト)
BVLC長さ(2 octet) 任意値, 最大1,030 octet
- NPCI(2 octet; バージョンとコントロール)
バージョン(1 octet) 現状, 0x01固定
コントロール(1 octet) 0x04(応答メッセージあり) 又は0x00(応答メッセージなし)
- APDU(N octet) 現状, N=1,024(最大)

PDUタイプには8種類の定義があるが、このうちSegment Ack-PDUについては現在未サポートである。その他の詳細については紙面の関係上省略する。

サービスとオブジェクトについては、BASとSECによってサポートする項目が異なる。以下、サブシステムごとに、これらを含めBACnetへの対応方法について述べる。

2.1 BAS(MELUNITY)での対応

BAS(MELUNITY)では、現システムの資源(ハードウェア及びソフトウェア)を有効活用しながらBACnetに対応する手法を採る。図3にそのシステム構成を示す。

メインコントローラCIPにイーサネットインタフェースを追加し、BACnet/IPに対応する。これと従来システムのマンマシンHIPとを組み合わせ、(社)電気設備学会が提案するシステムモデル⁽⁶⁾におけるHIMを構成する。

BASでは、BACnetオブジェクトとして、Deviceオブジェクトを実装している。その他、設備を管理するポイント情報については、従来システムのデータベースをそのまま使用している。

これを実現するためには、メインコントローラCIPに、従来データベースにおける管理番号とBACnetにおけるオブジェクト識別子とを交互に変換するテーブルを設け、さらに、BACnetサービスを解釈するソフトウェアライブラリを新規に開発し搭載している。このことにより、従来シ

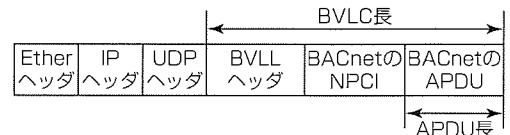


図2. BACnet/IPのメッセージフォーマット

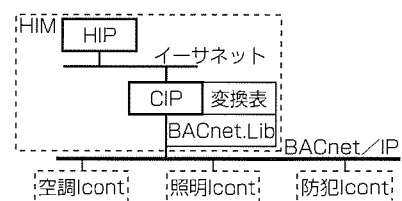


図3. BASのシステム構成

システムを有効活用したBACnet対応が可能となった。

BASが発行するサービスには、制御のためのWrite Propertyや管理点情報を読み込むRead Property (Multiple)サービスなどがある。ただしRead Property Conditionalは、その応答メッセージが分割される可能性があるため、現在未サポートである。逆に、受信するサービスには、状態変化や警報信号を受信するConfirmed Event Notificationなどがある。これらサービス対応については、SECの場合とともに2.3節で述べる。

2.2 SEC(MELSAFETY)での対応

SEC(MELSAFETY)の場合も、BAS (MELUNITY)の場合と同様、現システムの有効活用を図りBACnetに対応する。図4にそのシステム構成を示す。

防犯Icontは、従来のSEC(マンマシンHIP及びメインコントローラCIPなど)に付加する形でパソコンで構成し、BACnet通信においてゲートウェイ的役割を果たす。

この防犯Icontに警備信号などの管理点をBACnetオブジェクトの形で実装する。またBASと同様、サービスを解釈するソフトウェアライブラリに加えて、オブジェクトをアクセスするためのソフトウェアライブラリも搭載している。

またCIPには、従来のデータの流れのほか、BACnetとやり取りする信号について、防犯Icontへデータを受け渡す仕組みを追加している。防犯Icontでは、この信号を受け、BACnetオブジェクトとして保持する。

SECでは、Deviceオブジェクトのほか、警備や施解錠の状態信号をBinary Valueオブジェクトで、侵入などの警報信号をBinary Inputオブジェクトで、これら信号の送信宛先をNotification Classオブジェクトで実装する。

ここで重要なポイントは、セキュリティというシステムの性格上、すべてのポイント情報をオープンなネットを通じて見せないということである。

つまり、例えば個人情報というハイセキュリティな情報についてはSEC内に閉じるべきであると考えられる。したがってマンマシンHIPでは、SEC情報については、従来どおりすべての操作・設定を可能としている。

ビルシステム全体を考慮した場合、SECが持つどの信号をオープンなBACnetに乗せるかについて、十分に検討・設計する必要がある。これがSI(システムインテグレータ)

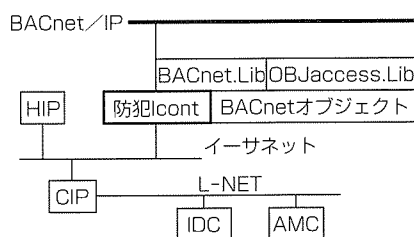


図4. SECのシステム構成

業務である。

SECのサービスは、基本的に、状態変化や警報信号をBACnetへ送信するConfirmed Event Notificationサービスと、これとは逆にこれら信号をBACnetから読み込むRead Property (Multiple)サービスに対応する。

2.3 サポートするサービス

BAS (MELUNITY) 及びSEC (MELSAFETY) がサポートするサービスについて表1に示す。

3. 適用事例

BACnetの適用事例について、SECを中心に、以下に述べる。ここでは、SECの“警備信号”による空調や照明設備などとの設備間連携制御への応用について説明する。

システムの構成例とその機能概要について図5に示す。この機能は、他のベンダー設備と当社SEC (MELSAFETY)間において実際の案件に適用している機能である。

SECでは、警備信号をBinary Valueオブジェクトで実装

表1. BACnetサービスのサポート一覧

サービス	BAS		SEC	
	Init	Exec	Init	Exec
AcknowledgeAlarm				×
ConfirmedCOVNotification				
UnconfirmedCOVNotification		×	×	
ConfirmedEventNotification		×	×	
UnconfirmedEventNotification		×	×	
GetAlarmSummary				
GetEnrollmentSummary				
SubscribeCOV				
外部モード*			×	
AtomicReadFile	×	×	×	×
AtomicWriteFile	×	×	×	×
AddListElement	×			×
RemoveListElement	×			×
CreateObject & DeleteObject				
ReadProperty	×			×
ReadPropertyConditional				
ReadPropertyMultiple	×			×
WriteProperty	×			×
WritePropertyMultiple	×			×
ReadRange				
DeviceCommunicationControl				
ConfirmedPrivateTransfer				
UnconfirmedPrivateTransfer				
ConfirmedTextMessage				
UnconfirmedTextMessage				
ReinitializeDevice	×			
I-Am & I-Am*	×	×	×	×
I-Have & Who-Has				
Who-Is	×	×	×	×
TimeSynchronization	×			×

× : サポートすることを示す

Init : 各サブシステムが送信するサービス

Exec : 各サブシステムが受信するサービス

* : (社)電気設備学会で追加・修正されたサービス

その他Virtual TerminalとSecurityサービスは未対応のため省略

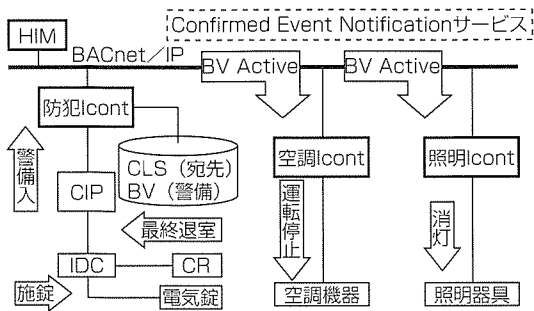


図5. BACnetの適用事例を表すシステム構成

し、その状態変化時にConfirmed Event Notificationサービスを各設備宛に送信する。各設備の宛先は、Notification Classオブジェクトで実装する。また、各設備の立ち上がり時などにおいて、Read Property Multipleサービスを受信し、警備信号の現在状態と状態フラグ(信頼性などの情報)をまとめて返信し、確実に状態合わせを行う。

警備状態は、SECの入退室者を識別するカードリーダー(以下“CR”という。)などを操作することによって変化する。CRで“初回入室操作”を行うと、この部屋は“警備切(有人)”状態となり、逆に“最終退室操作”を行うと部屋は“警備入(無人)”状態となる。

一方、例えば空調設備においては、SEC警備信号の“警備切(有人)”状態から“警備入(無人)”状態への変化を受信した場合、その部屋の空調運転を停止するという設備間連携制御を行う。これにより、無人状態の部屋におけるスケジュール運転を自動的に取り消すことや、手元スイッチでの空調停止忘れを防止することができる。

同様に、照明設備においても、警備切(有人)で照明ON、逆に警備入(無人)で照明OFF制御することも可能である。また、昇降機設備におけるサービス階カット(警備入:無人の場合)機能へも応用可能である。

このとき、SECから各設備には、事前に、部屋名称とその部屋の警備信号(Binary Valueオブジェクト)のインスタンス番号を渡し、各設備からはその部屋の機器を制御するIcontの装置番号を受け取る。これによって各設備内だけの設定が可能となり、エンジニアリング作業が軽減される。

4. む す び

当社ビルシステム(BASのMELUNITY及びSECのMEL SAFETY)のBACnetへの取組について、適用事例を含め説明した。

BACnetは、ANSI規格であり、ISO規格化も照準にしたビルシステムのための共通通信プロトコルであるため、国内においても採用するベンダー(メーカー)が増加している。また、BACnetを用いたビルシステムも、大型案件を中心に今後増加するものと予想される。

これは、ビルオーナーやシステム設計者側からは、オープンな通信プロトコルであるため各設備を供給するベンダーの選択肢が広がることで、低価格でしかも高品質な設備を自由に組み合わせてシステム構築ができるとの期待があるためである。一方、ベンダー側からは、BACnet通信を搭載した製品を開発すれば、同様な構成で数多くの案件(及び相手設備)に対応可能になるというメリットもある。

本稿では、特にSECについて、BACnetに対応する際の注意点やエンジニアリング作業の軽減についても言及した。BACnetでは、オブジェクトという管理点情報は、だれでもネットを通じBACnetサービスによってアクセス可能である。SECにおいては、すべての管理点をBACnetオブジェクトとして実装するのではなく(個人情報などはオブジェクト化しない)、警備信号など他の設備との連携制御に利用する信号について実装するのが有効である。

今後当社は、数多くのベンダー(メーカー)とのBACnet接続実績を増やししながら、高品質なBAS及びSECシステム製品を提供していく所存である。

参 考 文 献

- (1) ANSI/ASHRAE Standard 135-1995 (ISSN 1041-2336): BACnet A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks, ASHRAE (1995)
- (2) ASHRAE SSPC 135: Addendum 135a and 135b to ANSI/ASHRAE Standard 135-1995, BACnetホームページ: <http://www.bacnet.org/Addenda/> (2000)
- (3) BACnetビルディングオートメーション用データ通信プロトコル(電気設備学会BAS標準化委員会訳), (社)電気設備学会 (2000)
- (4) BAS標準化委員会: 特集BACnetビルディングオートメーション用データ通信プロトコル, (社)電気設備学会誌, 21, No.3, 176~227 (2001)
- (5) BAS標準化委員会: BAS標準インターフェース仕様書およびその解説, IEIEJ/p-0003-2000, (社)電気設備学会誌, 20, No.7~No.9 (2000)

冷蔵庫が“氷ができました”，電子レンジが“時間をセットしてください”……身の回りの家電製品がいろいろな音声を発する時代になってきました。

M65575-XXXXFPは、リズム、メロディなどラジカセやミニコン等のオーディオ機器や楽器分野での付加機能だけでなく、ボイスガイダンス、環境音、警告音、効果音など多様な分野のシステムに応用可能なリズムフレーズプレーヤーICです。

1. M65575-XXXXFPの特長

●音質をキープしつつメモリ容量を有効に活用

容量に制限のあるメモリにできるだけ多くのデータを記録し、かつ音質を損なわない…こうした相反する要求を、三菱電機は、二つの技術で解決しました。

(1) 独自の符号化方式による音源データの圧縮

一般的によく知られている圧縮方式であるADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) は、急激に立ち上がる音に対してはひずみを発生し、音質を悪化させやすいという傾向があります。M65575-XXXXFPは、三菱電機独自の圧縮方式でこの問題を解決し、データに応じた最適なビット数を割り当てることにより、メモリを効率的に使いかつ十分な高音質を確保することができます。

(2) 異なるサンプリング周波数の音源をROMに混在可能

サンプリング周波数を高くすると再生周波数帯域が広がり高音質が維持できますが、音源ROMの使用エリアが大きくなり記録できる音源の種類は少なくなります。M65575-XXXXFPは、音源の音域に応じ4/8/16/32kHzの中から最適なサンプリング周波数を選んで処理した音源データを、他のサンプリング周波数の違う音源データと一緒にROMに混在させて格納することができます。これにより、音源ROMのエリアを有効に使用できます。

●タイミング制御用ROM(96kビット)内蔵

M65575-XXXXFPには、音源発生のタイミング制御をすためのROMが内蔵されています。複雑なシーケンス制御をあらかじめプログラムしておくことによって、制御マイコンの負担を大きく軽減します。この機能は、リズムやメロディ音源などの用途に対し、更に強力な役割を果たします。

●その他の機能

さらに、M65575-XXXXFPは、以下の機能も持っています。

- 3音同時発音
- パンポット(ステレオ定位)機能
- ワンショット、ループ、チェインなどの再生機能
- テンポ可変
- 出力レベル可変 など

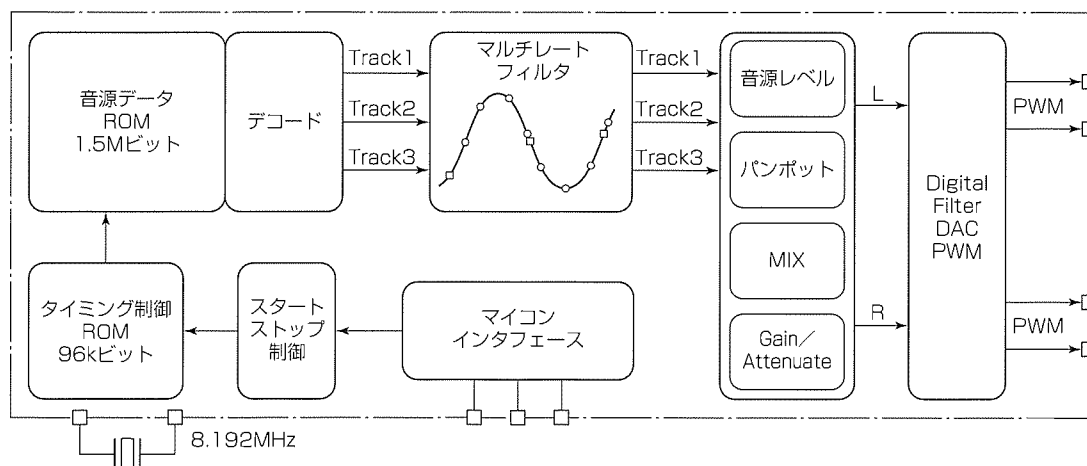
多くの機能と特長を持つM65575-XXXXFPは、オーディオ製品、家電製品、がん(玩)具、電話周辺機器など様々な分野で活用いただけます。

2. 音源ライブラリ

音源は三菱電機でも製作可能です。また、各種音源のライブラリもそろえています。

主な仕様

電源電圧	3.3V ± 10%
パッケージ	36ピン SSOP
音源データROM	1.5Mビット
タイミング制御ROM	96kビット
出力方式	PWM方式(DAC内蔵)
動作周波数	8.192MHz
マイコンI/F	3線
最大同時発音数	3音
出力レベル可変	-∞ ~ +6dB (16ステップ)



M65575-XXXXFPブロック図



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話 (03)3218-9192(ダイヤルイン)

ワイヤ放電加工装置 (特許 第2683977号, 特開平5-277835号)

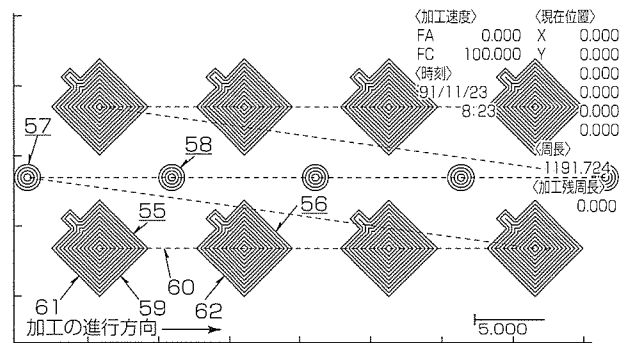
発明者 後藤美由貴

この発明は、同一形状を多数個切り抜くNCプログラムや、コアレス加工で多数個の加工を行うNCプログラムのワイヤ移動軌跡の描画チェック方法に関するものである。

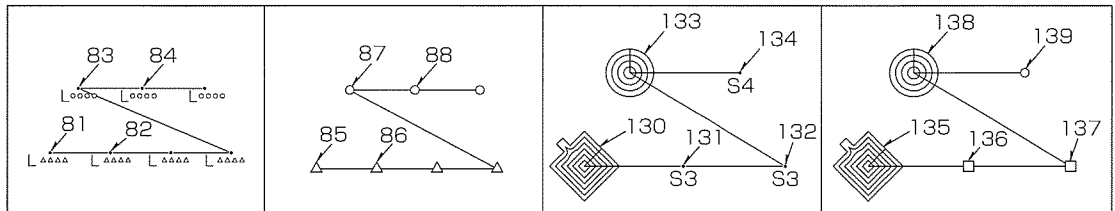
ワイヤ放電加工はNCプログラムによって実行されるが、被加工物上の加工配置やワイヤ移動軌跡を確認するために、実加工前にNCプログラムの描画チェックを行うことが一般的である。ところが、描画チェックがNCプログラムどおりに実行されるので、すべてのワイヤ移動軌跡を描画すると、一つの被加工物に多数個の同一形状を切り抜く場合やコアレス加工で多数個の加工を行う場合には、描画チェックに非常に時間がかかるという問題があった。

この発明は、実加工前の画面チェックモード時にはすべてのワイヤ移動軌跡を描画するのではなく加工配置や輪郭形状のみを描画することを可能とし、実加工前の描

画チェックを短時間で行えるようにしたものである。



従来例



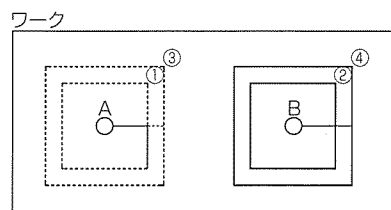
この発明での描画例

ワイヤ放電加工方法 (特許 第2713038号, 特開平6-55353号)

発明者 仲 成章

この発明は、複数個の穴を加工するワイヤ放電加工方法に関するものである。ワイヤ放電加工はNCプログラムによって実行されるが、NCプログラムは加工の軌跡を示すコードやワークの穴にワイヤを挿入するワイヤ挿入コードなどから成っている。精度良く加工を行うために、一つの加工穴に対して、粗加工と仕上げ加工といった複数回の加工を行うことが一般的である。また、ワークのひずみなどを考慮すると、各加工穴の粗加工のみを先に行った後に仕上げ加工を行うことがよくある。このような加工方法において、粗加工で断線が多発するなどして加工が途中で放置された場合、従来は単にNCプログラムに従って加工を続行するために、粗加工が正常に終わっていない加工穴に対しても仕上げ加工を実行してしまうという問題があった。この発明は、一つの加工穴に対するワイヤ挿入コードは同一の座標値で実行されるはずであるという前提に基づくもので、

途中放置された加工穴のワイヤ挿入コードの実行座標値を記憶しておいて、新たにワイヤ挿入コードを実行しようとするときに、記憶された座標値に現在の座標値と一致するものがあれば、その加工は行わずに次のワイヤ挿入コードまでNCプログラムを空運転することによって、上記の問題を解決した。また、ワーク自体が交換される指令が実行された場合は、上記の記憶された座標を無効とすることによって、複数ワークの連続加工にも有用なものとした。



- ・ワイヤ挿入コード実行位置：A, B
- ・記憶された座標：A
- ・NCプログラム実行順序
- ①途中放置 (Aの位置を記憶)
- ②加工正常実行 (粗加工)
- ③空運転 (Aと一致するため)
- ④加工正常実行 (仕上げ加工)

左の加工が途中で放置された場合の加工例



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

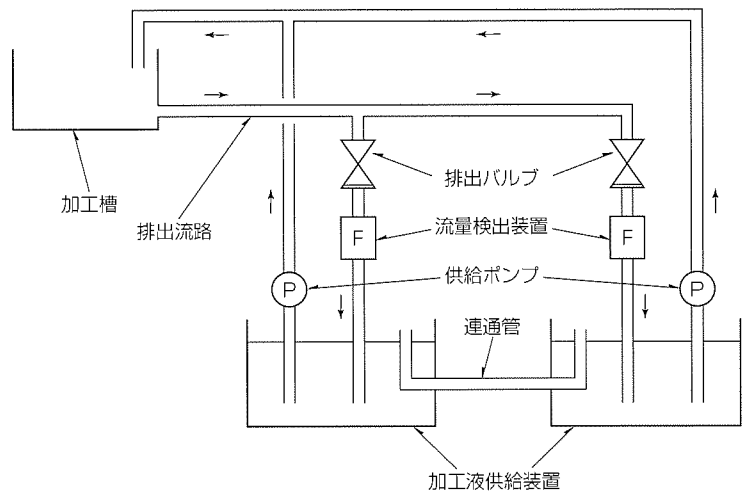
放電加工装置 (特許 第2709670号, 特開平5-253755号)

発明者 金谷隆史

放電加工は、加工液中で対向させた電極と被加工物との間の放電現象を利用して電極の形状を被加工物に転写する電気加工方法である。加工液としては水系や炭化水素系のものが一般に使用されるが、加工状況に応じて複数の加工液を切り換えて使用する場合がある。例えば、複数の異なる比抵抗の水系加工液を切り換えて使用したり、通常の加工液のほかに微粉末を混入した炭化水素系加工液を使用したりすることが一般的に行われている。このような複数の加工液供給装置において、加工液がある一つの加工液供給装置に集中すると、加工液が外部に漏れ出すおそれがあり、特に炭化水素系の加工液では、火災発生の危険や外部環境への悪影響などが生じる。

この発明は、このような複数の加工液供給装置を連結する連通管の開口端を所望の満水位よりも上部になるようにしたり、又は加工液を貯留する加工槽から排出した加工液を複数の加工液供給装置に導く排出流路に加工液の流量を検

出する流量検出装置を設けて異常時に排出バルブを制御するようにしたりすることを特徴とする。これによって、異常が発生した場合においても、加工液が外部に漏れ出すおそれのない、安全性の高い放電加工装置を提供することが可能となる。



〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.75 No. 8 「インテリジェント変電所システム/新外鉄形変圧器の開発」特集

特集論文

- 変電所から調電所へ
- 変電所インテリジェント化への潮流
- インテリジェント変電所システム
- 変電所プロセスバスシステム
- インテリジェントGISの開発と実用性能検証
- 開閉局位相制御遮断器
- 新形CT/PD

- 次世代機器監視システム
- 進化する変圧器 —— 新外鉄変圧器開発に寄せて
- 外鉄形変圧器の技術動向と展望
- 新外鉄形変圧器プロトタイプの完成
- 新外鉄形変圧器の絶縁・冷却構造
- 新外鉄形変圧器の耐機械力構造
- IT化対応変圧器保守支援システム

<p>三菱電機技報編集委員 委員長 井手 清 委員 中村治樹 村松 洋 吉原孝夫 榎原幸志 安福正樹 松本 修 浜 敬三 荒木政敏 西谷 一治 中島克人 河内浩明 畑谷正雄 山木比呂志 幹事 名畑健之助 7月号特集担当 毛呂俊夫</p>	<p>三菱電機技報 75巻7号 2001年7月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2001年7月25日 発行</p> <p>編集人 井手 清 発行人 名畑 健之助 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部 〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号 秀和芝パークビルA館9階 電話 (03) 3437局2692</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03) 3233局0641</p> <p>定 価 1部735円(本体700円) 送料別</p> <p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp</p>
<p>電子文書時刻証明に関するお知らせ 2001年6月16日 三菱電機株式会社 集約期間：2001年5月16日～2001年6月15日 集約ハッシュ値： +oF10iA0H9xUsTNLrwXNtXJpLTiYHHp03uVT9udugWEViTJ</p>	
<p>URL http://www.melco.co.jp/giho/</p>	

スポットライト

統合適応制御で更に高速・高精度加工を — 高性能ワイヤ放電加工機“FAシリーズ” —

世界最速技術、革新的な統合適応制御と高度な真直精度を実現する電源技術等を備えた高性能ワイヤ放電加工機FAシリーズをご紹介します。

コンセプトは“速く”“正確に”“簡単に”で、統合適応制御テクノロジー“AutoMagic”を搭載することによってユーザーの加工ノウハウを支援し、これらを簡単操作で実現できるワイヤ放電加工機です。

特長

統合適応制御テクノロジー“AutoMagic”

AutoMagic(オートマジック)は、複雑な形状ワーク、加工液ノズル離れ加工、コーナー加工など、様々な加工パターンに対応した最適化プロセスを有機的に組み合わせた全く新しい統合適応制御テクノロジーです。

プレス型、モールド型、部品加工など、それぞれの加工に必要な加工ノウハウを自動的に選択し、高速化プロセスと高精度化プロセスを最適化することにより、究極の生産性・精度再現性を実現します。

AutoMagicは、下記の三つの適応制御技術を状況に応じて効果的に組み合わせます。

このAutoMagicは、統合化インターフェース“E.S.P.E.R.”によって簡単に操作することができます。

(1) Power Master (PM)

PM(パワーマスター)は、工作物の板厚や加工状態を自動的に検出して加工エネルギーを最適に制御し、加工速度の低下を最小限に抑えながらワイヤ断線を防止し、高速化適応制御を行います。

従来の制御に比べて板厚検出速度を10倍以上にするなど、制

御の高速化を図るとともに、加工液の流れ方の変化に対する適応能力を高めました。

金型でよく見られるザグリ形状などの加工液ノズルの密着と開放が混在する状況において、加工速度が大幅にアップし、従来の制御に比べて最大50%の速度向上を実現しました。

(2) Technology Master (TM)

TM(テクノロジーマスター)は、世界初の適応型加工条件自動生成機能で、加工液ノズルが離れた状態での加工や加工条件表に掲載されていない板厚の工作物の加工においても、制御装置に内蔵された高度なノウハウに基づいて最適な加工条件を自動生成します。

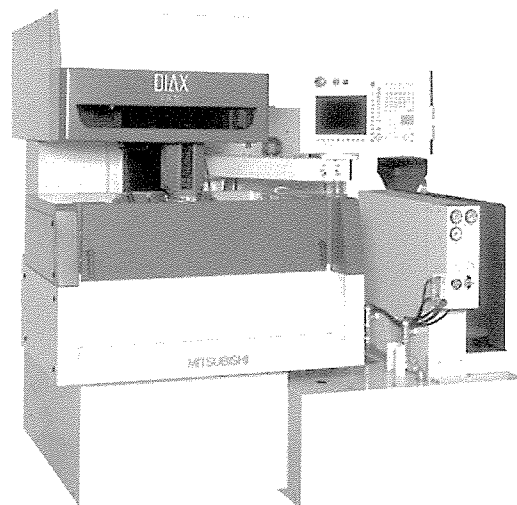
例えば加工液ノズルが工作物から離れた加工においては、上下寸法差・真直精度の改善、荒加工時の断線防止、仕上げ加工時の縦筋発生防止などに大きな効果を発揮します。

(3) Corner Master (CM)

CM(コーナーマスター)は、高精度化適応制御で、荒加工から仕上げ加工までトータルでコーナー形状精度を向上させます。

荒加工時には“コーナーマスターR”が動作し、軌跡制御、加工エネルギー制御によって荒加工時のコーナー精度を大幅に向上させます。速度重視の軌跡制御、精度重視のエネルギー制御など、加工内容に応じて最適な方式を選択でき、荒加工時のコーナー形状誤差を最大で従来の約1/3に改善できます。

また、仕上げ加工時には“コーナーマスターS”が小さなコーナーでの短絡を防止し、仕上げ加工時のコーナー精度も大幅に向上させます。加工プログラムの形状変更や速度変更などの煩わしい操作は一切必要とせず、安定した加工を実現します。



FAシリーズの外観