

MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.71 No.4

特集 “限界加工への挑戦”

— ハイテクメカトロ機器の最新動向 —

'97 4



特集 “限界加工への挑戦 — ハイテクメカトロ機器の最新動向 — ”

目次

特集論文

電氣的加工法の素質と役割 増沢隆久	1
限界加工への挑戦 米谷光雄・高鷲民生	2
最近の汎用形彫放電加工機 赤松浩二・種田 淳・河津秀俊・後藤昭弘・今井祥人・金原好秀	5
創成放電加工機“EDSCAN” 新開 勝・真柄卓司・鈴木俊雄・和田光悦・千代知子	11
微細穴放電加工技術 大泉敏郎・酒井洋三・尾崎好雄・永田敏也・牧野文平	17
最近の汎用ワイヤ放電加工機 毛呂俊夫・田中 誠・佐藤清侍・木村宗雅・竹内浩志	23
超高精度ワイヤ放電加工技術 弥富 剛・大場信昭・山田 久・寺田 裕・今城昭彦	29
最近のCO ₂ レーザ加工機 押村光信・祝 靖彦・松野 司・西田 聡・廣崎達也	35
新用途を開拓する短パルスCO ₂ レーザ加工機 水野正紀・福島 司・金岡 優・西前順一・今井祥人・竹野祥瑞	41
高輝度固体レーザ加工機 大谷昭博・安井公治・吉安重宏	47
放電加工機及びレーザ加工機のシステム化 幸嶋利春・杉山和永・森下宏昭・木谷 基・志田伸一	53
微細接合用電子ビーム加工機 荒川及蔵・金子秀巳・野口 洋・石見泰造・菊池正雄	59
ホログラム型エキシマレーザ加工機 南谷靖史・笹川智宏・山本達也・齊藤善夫・佐藤行雄・喜多秀樹	63

普通論文

空気原料オゾンナイザの省電力・高濃度化技術 北山二郎・八木俊憲・沖原雄二郎・石田稔郎	69
VZ-D形高圧真空コンタクタ コンビネーションユニット 大川義博・藤井美実	75
衛星通信システムDAMA装置 笠井則充・喜田智裕・億本智子	81
小型オープンPOSターミナル 上田秀敏・北口友基・鈴木光教・村田俊英・小倉春男	87
三菱製品情報管理システム“PDMMASTER” 中野隆雅・難波奈須夫・中村伊知郎・阿部光久・熊沢高司	93
スピーカ磁気回路の有限要素解析 白木康博・渡辺幹男・古賀士朗	99

特許と新案

「レーザ切断方法」「高熱伝導性炭化ケイ素焼結体の製造方法」	105
「油入電気機器の絶縁紙の劣化診断方法」	106

スポットライト

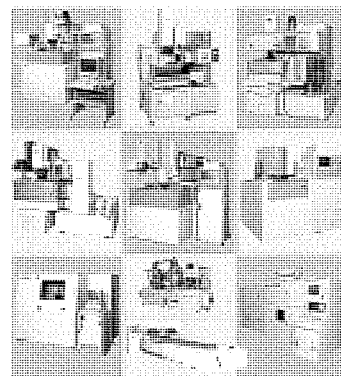
制御盤に最適な小型遮断器FAシリーズNF・NV30-FA	103
66/77kV 10MVAクラス新シリーズガス 絶縁変圧器	104
創成放電加工機	107
新用途を開拓する短パルスCO ₂ レーザ加工機	108
対角21cm(8.4型)VGA TFTカラー液晶ディスプレイ	(表3)

表紙

限界加工に挑戦する 産業メカトロニクス製品群

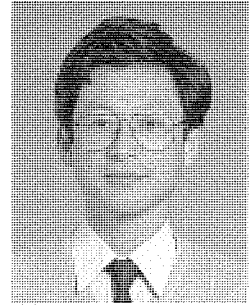
三菱電機の産業メカトロニクス関連製品は、技術革新が著しいエレクトロニクス関連や自動車関連分野等の高精度化・高生産性化・高品質化を追求する新生産技術手段として、実現困難な分野に挑戦する形で革新的な製品開発と加工技術を実現する上でなくてはならない製品となった。

写真は創成放電加工機(上段左)、微細穴放電加工機(上段中)、超高精度ワイヤ放電加工機(上段右)、粉末混入形彫放電加工機(中段左)、汎用形彫放電加工機(中段、中)、汎用ワイヤ放電加工機(中段、右)、短パルスCO₂レーザ加工機(下段、左)、電子ビーム加工機(下段、中上)、CO₂レーザ加工機(下段、中下)、エキシマレーザ加工機(下段、右)である。



三菱電機技報に掲載の技術論文では、国際単位“SI”(SI第2段階(換算値方式)を基本)を使用しています。ただし、保安上、安全上等の理由で、従来単位を使用している場合があります。

電氣的加工法の素質と役割



東京大学
生産技術研究所
教授 増沢隆久

産業革命以来生産の場でなじまれてきた切削や研削といった加工技術に対し、比較的最近登場した加工原理や加工様式の著しく異なる加工法は、一括して特殊加工と呼ばれている。これらの加工法は、切削等の従来の加工法では原理的に又はその様式から見て不可能と思われた加工を実現するために開発されたものである。

一例を挙げてみよう。打抜きのためのダイは熱処理硬化された鋼で作る必要があった。しかし、この材料は、同様に熱処理硬化した鋼で作られていた切削工具では削ることができない。このため、熱処理の前におよその加工をし、熱処理後、そのために生じる変形を修正するという工程が必要で、多くの手間を掛けなければならなかった。そこに登場したのが放電加工である。

放電加工は、小さな電気火花を繰り返し発生させて、それら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、相手の材料の硬さとは無関係に加工できる加工法である。これによって、熱処理済みの鋼に直接精密な加工ができるようになった。また、工具や工作物を回転させる必要がないため、鋭いコーナーを含む複雑な三次元的形状が加工できるなど、従来不可能に近かった形状加工を次々と可能にしてきた。今では、金型加工を始め、多くの加工現場に欠くことのできない加工法となっている。

特殊加工の中には、放電加工のように電氣的エネルギーを直接利用するタイプの加工法が多い。レーザ加工、電子ビーム加工、イオンビーム加工、電解加工などが代表的な

ものである。これらの電氣的加工法は、切削など、多くは力によって材料を除去していくタイプの従来の加工法とは材料除去原理が根本的に異なる。このため、幾つかの目的に関しては圧倒的に優れた素質を持っている。放電加工については上に述べたが、レーザ加工も同様に熱を利用した加工なので、強じん(靱)な材料でも加工できるし、力を加えずにすむので、成形済みの薄板を変形させることなく切抜き加工するなど、従来の方法では不可能な作業をいとも簡単にやってのける。放電加工ほどの高い精度は得られないものの、そのスピードは素晴らしく速く、量産部品加工に威力を発揮する。

もちろん、これらの電氣的加工法では、普通の材料の加工やありふれた形状の加工もできる。そのような加工の領域では電氣的加工法と従来の加工法とが競合関係になるわけで、その時々技術レベルによってどちらが採用されるかが決まる。現在、こうした共通領域における切削等の従来技術の占める割合は依然として大きいですが、かなりの部分には電気加工が食い込んでいる事実も見逃せない。

ともあれ重要なのは、電氣的加工法の生まれながらに持つ素質というものは、将来においても加工現場からの要求に対する唯一の解答を与えるものとなり得るということである。現在も進行しつつある材料の高度化や加工要求の高度化、例えばアモルファス材料、繊維強化材料、マイクロ加工、高速多種少量生産などに対して、電氣的加工法は大きな力を発揮していくであろうし、それを通しての技術向上が共通領域での応用もまた広げていくであろう。

限界加工への挑戦

米谷光雄*
高鷲民生**

1. ま え が き

生産加工手段の中で特殊加工として位置付けられてきた放電加工・レーザ加工・電子ビーム加工は、従来の切削・研削加工法とは異なる特徴的な加工原理からその適用分野が飛躍的に拡大し、生産加工手段として工作機械分野に占める割合も高まり、NC放電加工機ではNC工作機械の約10%を占めるに至り、工作機械の一分野を担うまでに成長した。

三菱電機では1963年に放電加工機の生産を開始して以来、足掛け33年目の'96年6月に生産3万台を達成した。機械の稼働地域も国内だけではなく、'80年代から開始したグローバルマーケティングの着実な展開により、現在、海外で約1/3が稼働している。

'93年8月号の三菱電機技報では、メカトロニクス特集号として当社の放電加工機、レーザ加工機、電子ビーム加工機、ロボット、及びこれらの頭脳であるNC制御装置について紹介し、その中で、放電加工機などの加工機の用途を他の加工手段では従来困難とされていた分野への拡大に挑戦することによって、革新的な技術が創造できると結んだ。

正にその後のエレクトロニクス関連や自動車関連分野の進歩には目覚ましいものがあり、それに適合する生産加工手段として従来の加工方法では実現困難な分野に挑戦する形で、高精度化(ファイン化)・高生産性化・高品質化を追求した放電加工機・レーザ加工機・電子ビーム加工機の革新的な製品技術開発と合わせてそれぞれの分野対応の加工技術開発が並行して行われ、実生産に貢献するレベルにまで生産技術が引き上げられた。今回の特集では“限界加工への挑戦”と題してこれらの先端加工技術を紹介する。

2. 放電加工機

放電加工機は、金型加工のマザーマシンとして、国内外の自動車、電気及び電子産業等で幅広く使用されている。以下に最新の技術動向について述べる。

2.1 形彫放電加工機

形彫放電加工機は、小型精密プラスチック金型から、自動車関連の大型鍛造、ダイキャスト金型に至る三次元金型加工に用いられているが、本質的に熱加工であり、加工表面にクラックやアークこん(痕)を含む変質層を生じる場合があった。しかし、画期的なシリコン粉末混入放電加工法の開発により、従来の放電加工方法では実現できなかったクラックやアーク痕を生じない、また耐食・耐磨耗性の高い加工面を得ることができた。さらに、加工面積が100cm²程度の広い金型であっても原理的に不可能な鏡面加工が可能となるなど、工業的に極めて意義のある加工法となった。

形彫放電加工は本質的に転写加工であるため、加工物に所望の形状を加工しようとする場合、必ず形状と凹凸反対の形を持った総型の銅又はグラファイト電極を必要とする。最近の電気・電子部品の微細化に伴い、必要とされる電極はますます高精度かつ微細化してきているため、電極製作に要する工数は極めて大きくなっているのが現状である。このため、電極製作工数を削減することを目的として、総型電極を使用せずに銅棒等の単純電極によって二次元・三次元形状を加工することが試みられた。しかし、いずれも実用加工には至らなかった。この原因は、放電加工によって単純電極が消耗することを極力防ぐために低消費加工条件を選択したわけであるが、結果的には電極形状精度及び加工速度の双方を満足す

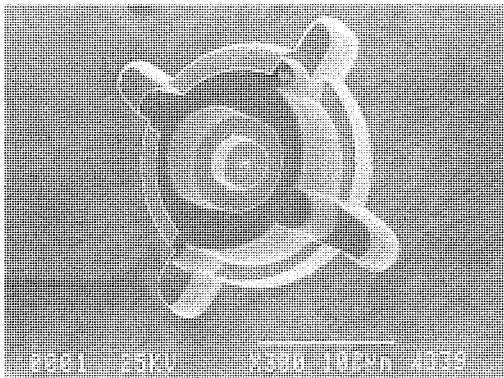


図1. 創成放電加工による電子部品金型加工

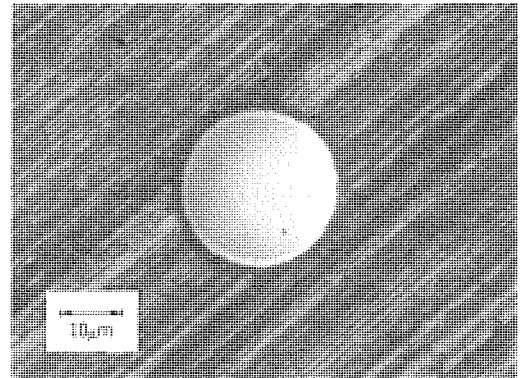


図2. 形彫放電加工による微細穴加工

ることができなかつたことによる。

当社の創成放電加工 (EDSCAN) は、上記のような従来の加工方法を根本的に見直し、電極には銅のパイプ電極を用い、加工条件は有消耗条件とし、電極消耗はリアルタイムで自動補正することにより、総型電極加工に匹敵する高精度加工を実現した。この加工法は、特に微細加工に適しているため、今後更に微細化が進むと考えられる半導体・電子部品金型 (図 1) への適用の拡大が期待される。

形彫放電加工の他の特徴的な微細加工分野としては、セラミックス基板用金型、インクジェットプリンタノズル、光通信部品等に代表される微細加工がある。これらの微細穴は、部品の実装密度が高くなるにつれてますます加工深さが深くしかも小径化の傾向にあり、従来のドリル等の工法では対応できないレベルになっている。これに対し放電加工を応用した微細穴加工では、放電加工を用いた微細電極成形技術の改良により、約 30 μm の微細穴加工 (図 2) も実現しており、更なる微細化・高精度化を目指した技術開発が進められている。

2.2 ワイヤ放電加工機

ワイヤ放電加工機はあらゆる産業分野のプレス金型、プラスチック金型及び部品加工に広く用いられており、現在では、その汎用性 (性能、機能、価格面) から、従来の加工法の代替工法として新たな適用分野が拡大している。

特に半導体関連の金型及び精密電子部品の金型にはますます高精度、高品位、短納期が要求され、これらを満足する新生産技術手段として、超高精度ワイヤ放電加工機が積極的に導入されている。その中でも IC リードフレーム金型分野では、多ピン化・多品種化に伴い、従来のエッチングによるリードフレーム製造から高速精密プレス加工による製造が主流となってきている。

このプレス加工用の高精度金型は従来研削によって製作されていたが、半導体の集積度が高まるにつれて、従来の多工程精密研削による金型製作は精度面・価格面・納期面でも改善が困難であるため、ワイヤ放電加工法への代替が検討された。

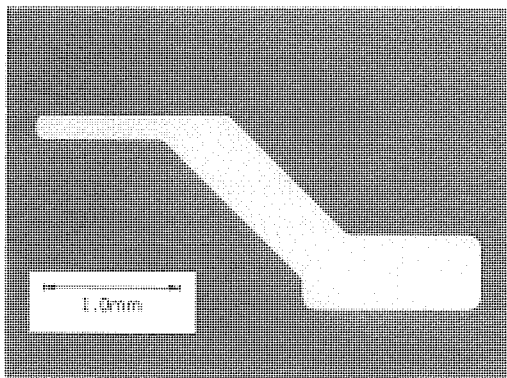


図 3. FS II による高精度金型加工

この市場のニーズに対応し、従来のワイヤ放電加工機の改良点として指摘されていた加工面の変質層の影響の極小化が、粗加工から仕上げ加工に至る全領域での無電解電源 (AEII) 及び超仕上げ電源 (FSII) によって実現し、精密研削面に匹敵する加工面性状 (図 3) が得られるようになった。

さらに加工精度面では、超高精度機械構造体、細線ワイヤの精密テンション制御、及び放電現象にち (緻) 密に追従する極間サーボを装備した超高精度ワイヤ放電加工機と超精密加工を実現する加工技術の開発が行われ、今後更なる拡大が望まれる半導体・精密電子部品金型分野への適用が拡大している。

3. レーザ加工機

当社のレーザー加工機は'79年に1号機を生産して以来、主として精密板金切断分野を主体として成長し、既に2,500台余の機械が国内外で稼働している。切断加工速度が高速化した最近の傾向としては、板金シート1枚当たりの実加工時間の短縮化に伴い、国内では板金加工セルとしての合理化投資の対象として、また全国で数万台稼働しているタレットパンチプレスの代替としての需要が活発化している。

海外においては、日本と比較すると普及率が低いことから、高生産性生産設備としての需要や、特に大型板金成形対応では金型レスを目的とした三次元レーザー加工機の導入も盛んになってきている。

また、レーザー加工は非接触の光を工具とした加工方法である特長を生かし、溶接や表面改質への適用も検討されているが、いずれも付加価値の高い特定分野 (全体の10%以下) への応用にとどまっている。

当社では CO₂ レーザのほか固体 (YAG) レーザ及びエキシマレーザを製品化しているが、最近では半導体・電子部品のマイクロ化に伴い、従来の生産技術手段では加工不可能な微細切断、溶接及びせん孔加工を、それぞれの波長の特長を生かしたレーザー光によるマイクロマシニングとして、実生産へ適用され始めており、レーザー発振器、制御技術及び周辺

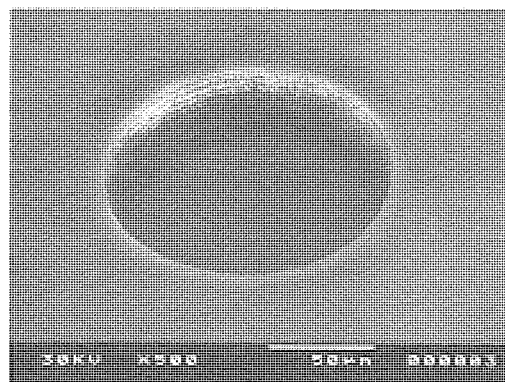


図 4. 短パルス CO₂ レーザ加工によるブラインドパイアホール加工

技術の開発によって今後ますます適用分野の拡大が期待されている。以下に最新の技術動向について述べる。

3.1 短パルスCO₂レーザ加工機

CO₂レーザ加工の最先端応用技術として最近脚光を浴びている技術に、プリント基板の微細高速穴あけ加工がある。最近の電子情報機器の小型軽量化・高機能化の進展に応じ、プリント基板に必要とされるスルーホール、ブラインドバイアホール(図4)に直径が300μm以下の小径が採用され始めていることが新加工技術適用の発端となっている。

従来プリント基板の穴あけにはドリル穴あけ機が使用されてきたが、直径が300μm以下の加工ではドリルの消耗や折損等によって生産性が低下し、代替技術が不可欠であった。これに対し特定の基板材料と光化学反応を用いたせん孔技術が開発されているが、情報機器の機能・性能向上からはそれぞれの用途に応じた基板材料の採用が必要であり、更なる技術のブレークスルーが望まれていた。

短パルスCO₂レーザ加工機は、当社の保有するレーザ発振器基礎技術、光学技術、高速・高精度駆動制御技術等のキーテクノロジーを結集して開発したもので、3軸直交レーザ発振器の特長を最大限に発揮したパルス幅とパルス出力の可変範囲の広い高ピーク短パルスレーザ光により、ガラスエポキシを始め広範囲な材料に対し、熱影響の少ない高品位・高生産性穴あけ加工が可能である。最小加工穴径もレーザ波長による理論限界値に近づきつつあり、更なる微細化による適用分野の拡大が期待されている。

3.2 高輝度固体レーザ加工機

加工用固体レーザは、1.6μmの波長の特長を生かしたファイバ伝送によるハンドリングの容易さと装置の小型化により、主として電子部品等の微細溶接分野で使用されてきた。最近ではCO₂レーザ溶接分野への適用を図るために高出力化されてきたが、YAG(Yttrium Aluminum Garnet)レーザでは、100W以上の出力になると、YAG結晶内部の熱ひずみによってレーザ光の波面が乱れ、10.6μmの波長を持つCO₂レーザ光の集光スポットよりも大きな径にしか集光できないため、本来の目的である高収束化による高速深溶け込み溶接の実現は困難であった。

当社の高輝度固体レーザは、YAGレーザの持つこの根本的な問題をYAG結晶内の均一励起と偏光成分による熱レンズ収差除去技術によって解決し、高ビーム品質を保持したまま出力200Wを超える領域まで高出力化することができた。この技術開発により、本格的な高速深溶け込み溶接や従来適用されていなかった高品位高速切断等の新分野への展開が期待される。

3.3 エキシマレーザ加工機

エキシマレーザは、紫外の波長領域で高出力・高効率発振が可能なレーザで、1フォトン当たりのエネルギーが高いため、高分子材料の結合の直接切断いわゆるアブレーション加工

が可能であることから、CO₂レーザやYAGレーザによる熱加工とは異なる微細加工用光源として実用化が進められている。

特にエキシマレーザは、波長が短い集束性が高く、数十μmのスポット径が得られることから、今後の半導体・電子部品の微細化に対応した加工手段として注目されている。しかし、高信頼・長寿命の下で高い生産性を実現する場合、特に単位エネルギー当たりのランニングコストが問題となる。

これを改善するため、当社ではホログラム技術を適用し、レーザビームの利用率が従来の数倍から数十倍向上し、より少ないエネルギーで加工ができるエキシマレーザ加工機を開発した。そのほか、発振器の長寿命化に対応した技術開発も行い、今後の量産ライン導入に備えている。

4. 電子ビーム加工機

電子ビーム加工機は、当初から高品位溶接を対象として溶接の安定化、ビームの高出力化、電極の長寿命化、装置の信頼性向上、真空排気時間の短縮等に多数の技術開発を行い、現在では生産現場で必ず(須)の加工機として発展してきた。

この電子ビームの微細スポット性、高速・高精度位置決め性能等の特長を生かし、精密電子部品やセラミックパッケージ等の接合への適用が検討され始めている。これらの分野へ適用するためには高生産性が重要なポイントであるため、加工部の真空雰囲気ネックとなっていたが、連続排気式電子ビーム加工機を開発し、タクトタイムの極小化を図った。

また、多数のワークをビーム偏向によって同時加工する技術も開発し、生産性を一段と向上させた。これらの開発により、従来自動車関連で主として使用されていた電子ビーム加工機は、精密電子部品加工関連へ拡大することが期待される。

5. む す び

過去数年の半導体、電子機器等をけん(牽)引役とした産業界の変革は目覚ましいものがあった。これに対応した生産技術手段としての放電加工機・レーザ加工機・電子ビーム加工機の技術革新は、正に限界加工への挑戦の積み重ねであった。この技術革新では、加工現象に基礎を置くハードウェア、ソフトウェア開発とともに、装置のそれぞれの機能を最大限に引き出す加工技術(利用技術)の開発によって目標である性能を実現した。

今後当社は、総合電機メーカーとして最先端の電子・電気技術、制御技術、計測技術、情報技術、及び加工技術の着実な開発を推進し、特殊加工と言われ限定された分野に使用されていた放電加工機・レーザ加工機・電子ビーム加工機を、マイクロ化・高精度化・高生産性化が究極まで求められる加工産業の中核技術に育成するため、ユーザ各位とともに努力する所存である。

最近の汎用形彫放電加工機

赤松浩二* 後藤昭弘*
 種田 淳* 今井祥人**
 河津秀俊* 金原好秀*

要旨

三菱電機の放電加工機DIAXシリーズは、1964年第1号機を発表して以来、金型業界、金型技術とともに発展し、ワイヤ放電加工機、形彫放電加工機を合わせて'96年5月には生産累計3万台を達成している。産業界と物作りを支えて顧客とともに進歩してきたその技術は、NHKスペシャル新シリーズ“新・電子立国”第7回「産業マシーン」('96年4月28日放送)でも放映された。

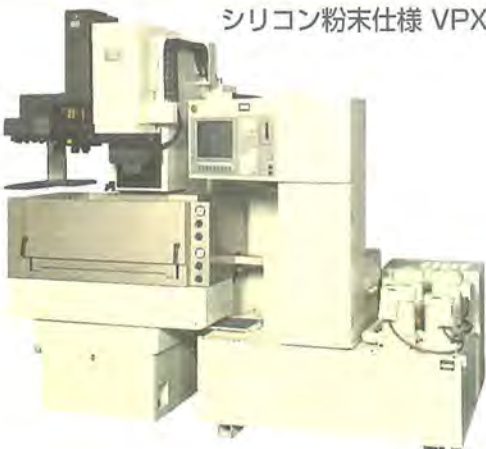
特に形彫放電加工機はその歴史が長く、高硬度材、難加工形状の加工に使用され、高い加工精度、良好な仕上げ面が得られることから金型加工のマザーマシンとして広く用いられている。最近では、マシニングセンタなどの切削加工機の技術改良に伴い、形彫放電加工機に求められる性能は

更に高度なものになっている。金型の高精度化、金型の長寿命化、複雑形状金型への対応、熟練作業不足を補う完全自動化などがその要求である。

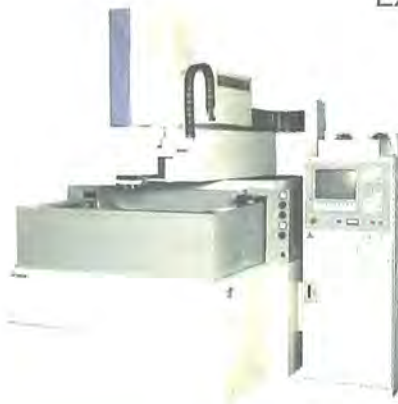
当社形彫放電加工機のVX及びEXシリーズは、次の新技術によってこれらの要求にこたえている。


- (1) 最新のパワーエレクトロニクスを集積した小型、低発熱のFP電源
- (2) 後工程の研磨が不要な光沢面を得ることができるシリコン粉末混入放電加工法
- (3) FP電源の性能を極限まで引き出し、安定かつ高速な加工を容易に実現するFuzzy Pro適応制御技術

シリコン粉末仕様 VPX10



EX30E





FP電源 抵抗レス方式

シリコン粉末混入放電加工法

適応制御 FuzzyPro

小型・低発熱

磨きレス、鏡面加工

複雑形状加工

加工の自動化

形彫放電加工機 VX, EX シリーズ

汎用形彫放電加工機の最新シリーズ

最新の技術を搭載し、金型業界の高いニーズにこたえる汎用形彫放電加工機の名シリーズとそれを支える技術を示す。

金型製作のマザーマシンとも言われる形彫放電加工機は、金型製作現場からの高度なニーズに対して、パワーエレクトロニクス技術、適応制御技術、放電現象の解明、などの多くの要素技術を高度に集約した製品である。特にシリコン粉末混入加工技術は業界トップの実績を持ち、金型製作工程を一新した画期的なものである。

1. ま え が き

形彫放電加工機は、高硬度材や難加工形状の加工に使用され、高い加工精度と良好な仕上げ面が得られることから、金型加工のマザーマシンとして広く用いられている。マシニングセンタなどの切削加工機の技術改良に伴い、形彫放電加工機に求められる性能は更に高度なものになっている。金型の高精度化、金型の長寿命化、複雑形状金型への対応、熟練作業員不足を補う完全自動化などがその要求である。当社形彫放電加工機は、次に示す新技術の開発によってこの要求にこたえている。

- (1) 大面積に対しても光沢面を得ることができるシリコン粉末混入放電加工法の開発
- (2) ファジー適応制御技術の開発

当社形彫放電加工機にはテーブル移動型の高精度機“VXシリーズ”、ヘッド移動型の汎用機“EXシリーズ”、門型構造の超大型“GXシリーズ”の3シリーズがあり、放電加工電源はFP電源として共通仕様である。

本稿では、最新のパワーエレクトロニクス技術と適応制御技術を盛り込んだFP電源と、粉末混入放電加工仕様VPXユニットを中心に、形彫放電加工機の最新技術について述べる。

2. 放電加工用FP電源

2.1 抵抗回路方式加工電源

放電加工間けき(隙)に電気パルスエネルギーを供給する放電加工機の電源の出力特性は、基本加工性能を大きく左右する。放電加工における加工間隙は、放電アーク電圧(約25V)の定電圧負荷とみなすことができ、放電加工電源は、この加工間隙に電流パルスを送る電流パルス電源である。放電加工条件に応じてパルス電流は、図1に示すように、パルスON時間、OFF時間、電流ピーク値などのパラメータ

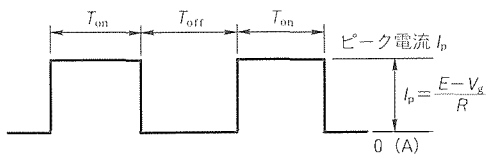


図1. 抵抗回路方式の電流波形

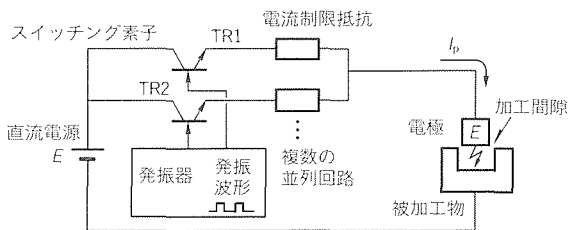


図2. 抵抗回路方式の回路

が変更される。この電流波形を、従来は、FETと抵抗で構成される多数の並列回路を順次高速で選択的にスイッチングすることにより、所望の電流パルス形状を出力させていた(抵抗回路方式、図2)。

この抵抗回路方式は、回路方式が比較的簡単であり、任意の電流波形形状を作りやすいメリットがあり、従来機種で使用されていた。しかしながら、全消費電力の約70%を電流制限抵抗で熱として消費するため発熱が多く、小型化にも適さない回路方式であった。

2.2 抵抗レス回路方式加工電源

VX及びEXの新シリーズでは、放電電流のピーク電流をスイッチングによって制御する新技術を開発することにより、低損失の電源回路を実現した。図3にこの抵抗レス回路方式加工電源の機能構成を示す。機能ブロックとして、電流制御部と電流供給部がある。

電流制御部では、放電の開始とともに立ち上がる電流のピークを制御する。回路中に電流制限用の抵抗素子はなく、加工間隙のアーク電圧 V_g (約25V) と回路中のリアクトル成分とで規定される負荷に対して電流が立ち上がる。電流値を常時検出しており、設定電流ピークを超えたことを検出すると、電流制御部内部のスイッチング素子を用いて直流電源 E を遮断する。負荷によって電流が減衰すると再度直流電源 E を接続し、電流を立ち上げる。このスイッチング制御を用いて電流値をフィードバック制御させることで、規定の電流ピークを維持することができる。

この一定ピーク電流波形制御は、電流供給部内の別のスイッチング素子が加工条件であるパルスON時間 T_{on} 、パルスOFF時間 T_{off} に対応してパルス状にスイッチング制御することで、図4のような加工電流波形を加工間隙に供給する。

図5に抵抗レス回路方式電源の消費電力を示す。抵抗レス回路方式は回路中に発熱する抵抗素子を持たないので、回路

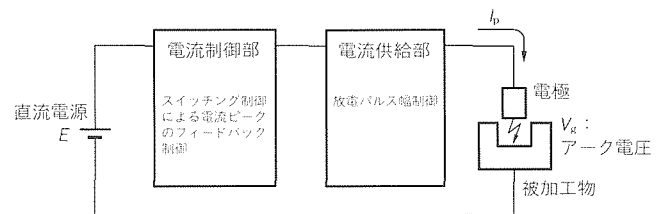


図3. 抵抗レス回路方式の回路

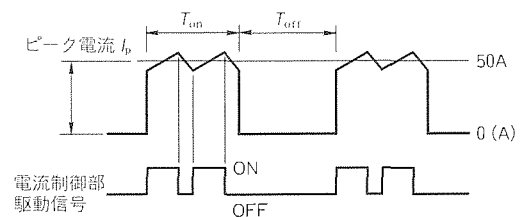


図4. 抵抗レス回路方式の電流波形

中の発熱電力量は抵抗回路方式と比較して約20%。全消費電力は約50%という大幅な低消費電力化を達成することができた。

この方式の採用により、VX及びEXシリーズ用新電源であるFP電源は、次の特長を持っている。

- (1) 電流フィードバック制御方式による再現性の高い加工性能
- (2) 小型化による電源設置面積の低減 (従来比1/2)
- (3) 低発熱化による機械への熱影響の減少 (消費電力従来比1/2)
- (4) 低発熱化による完全間接空冷の実現 (信頼性の向上)

2.3 FP電源のユニット構成

抵抗レス回路方式を採用したFP電源は小型化が可能となり、パワースイッチング回路を一つのユニットとして構成することができた。絶縁皮膜と回路パターンを持つアルミニウム金属基板上にスイッチング素子を直接実装し、金属基板はさらに放熱フィンに直接実装することで、冷却効率を上げるとともに高密度実装を可能にした。図6にパワースイッチングユニットの一部を示す。

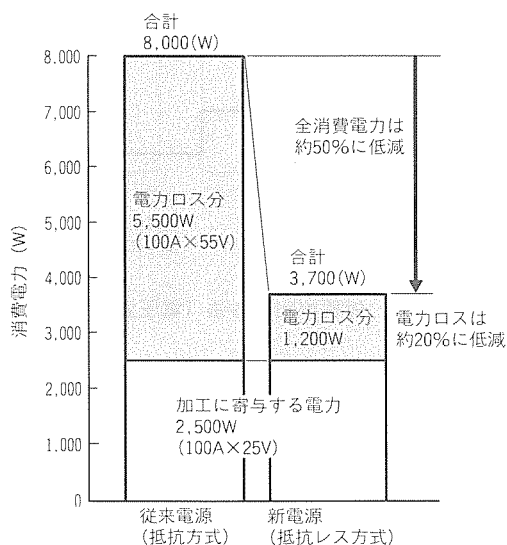


図5. 電源の消費電力

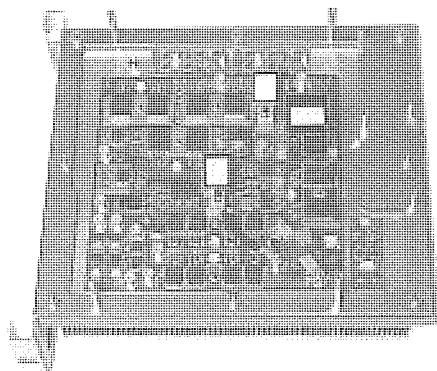


図6. パワースイッチングユニットの構造

放熱フィンには盤外の空気によって冷却され、電子部品部は盤内に完全分離させ、盤内の排熱は間接空冷とした。この完全間接空冷の実現で部品の信頼性を大幅に向上させるとともに、ユーザのフィルタ清掃作業レス(メンテナンスフリー)も実現している。

3. シリコン粉末仕様VPXユニット

3.1 シリコン粉末混入放電加工

シリコン粉末放電加工とは加工液にシリコンの微粉末を混入して放電加工するものであり、面粗さ1 μ mRmax以下まで高速に仕上げることができる。このような粉末混入放電加工装置は、'92年に当社が世界で初めて製品化に成功し(VPシリーズ)、現在、国内を中心に普及しつつある。'94年に加工性能と作業性を向上させたVPXユニットへ発展した。

シリコン粉末仕様の場合、かくはん機能を装備した特殊加工槽及び粉末加工液供給装置が追加される。シリコン粉末は加工液の比重の約3倍であり、均一かつ長時間にわたって一定の濃度を維持するためにはかくはん装置が重要となる。かくはん装置は、小径の穴から加工液を噴射し、液流によって粉末をま(撒)き上げる方式を採っている。CAEを用いて加工槽内の三次元的な流速分布を解析し、噴射装置の配置や流量を最適化することにより、時間に対する濃度低下を当社従来比1/2に低減した。この結果、長時間にわたって粉末加工性能が安定し、ピッチ加工や多数個取り加工が可能になった。図7にかくはんシミュレーションのCAE解析結果の一例を示す。

3.2 短絡ブリッジ除去回路

近年、放電加工の加工面品質に対する要求がますます厳しくなっている。これは、放電加工によって光沢のある仕上げ面が得られるシリコン粉末混入放電加工法が普及してきたことにより、実質的な最良面粗さが向上してきたことが一つの要因である。比較的単純な形状の加工では通常問題になることはないが、複雑な形状の加工の場合にはシリコン粉末混入放電加工によって仕上げた加工面にも小さな傷(ピッ

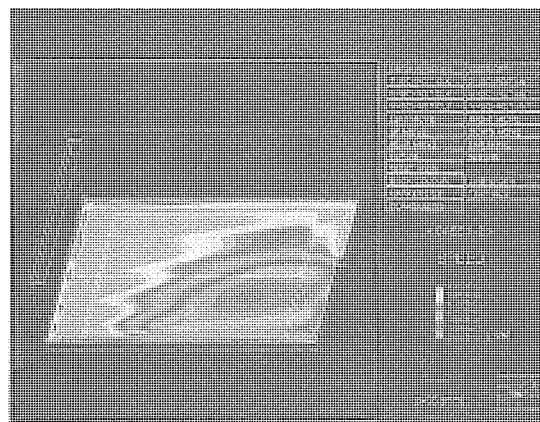


図7. かくはんシミュレーションのCAE解析結果の一例

ト)が残る場合があった。これは、シリコン粉末混入放電加工による仕上げ加工の前の段階の荒加工条件で生成した傷であることが多く、加工くず(屑)の排出不良に起因する。

ピットが生成される原理は次のとおりである。加工形状が複雑であり加工屑(スラッジ)の排出が困難である場合、加工間隙で加工屑を介して電極とワークが短絡する(図8(a))。極間が短絡しているため、間に挟んだ加工屑を通して短絡電流が流れ、その影響によって図9のように磁界が生じる。この磁界により、電流が流れている部分の加工屑には中心方向に集められる力が働くため、図8(b)のように軸が後退してもなお短絡が継続して、放電の集中の原因となる。この放電の集中によってピットが形成される。

FP電源は、短絡時の加工屑の集中を防ぎ、加工屑を分散させる機能を持っている。図10に示すように、放電パルスの休止時間ごとに極間の短絡状態をチェックし、短絡の場合には次の放電パルスをカットし、加工屑が集まるのを防止する。さらに、図11に示すように、所定の時間短絡状態が継続した場合には加工屑の橋絡(短絡ブリッジ)を吹き飛ばすための短絡ブリッジ除去パルスを印加し、短絡を解消させている。以上の機能により、加工速度の向上と加工面品質の向上を実現している。

図12は、加工面が荒れやすい加工においての、従来電源とFP電源とでのシリコン粉末混入放電加工による仕上げ加工面の比較である。従来電源による加工の場合にはピットができていたのに対し、FP電源による加工の場合にはピットがなく品質の良い面に仕上がっていることが確認できる。

4. シリコン粉末混入放電加工の加工事例

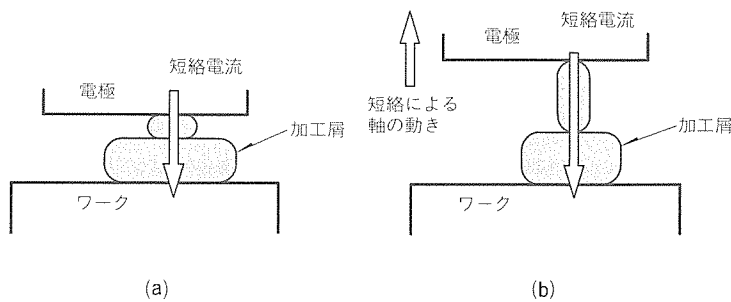


図8. 加工間隙短絡時の様子

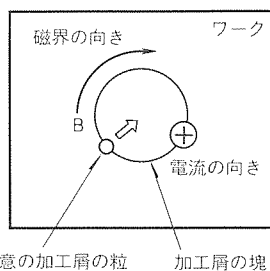
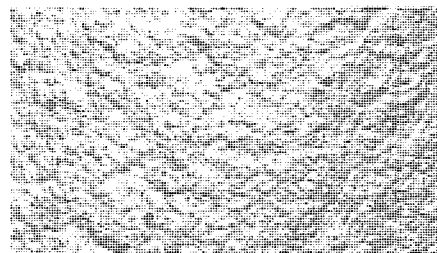
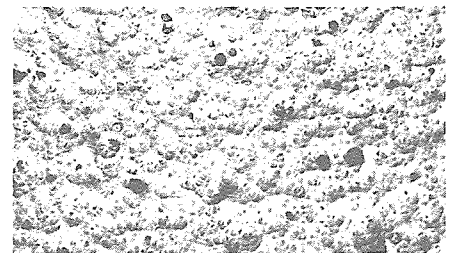


図9. 短絡電流によって加工間隙に発生する磁界



(a) FP電源



(b) 従来電源

図12. 加工面の比較

シリコン粉末混入放電加工法によって仕上げた加工事例を示す。

図13は冷間鍛造型である。磨き工程が省略できただけでなく、クラックやピットがなく面品質が向上したため、型寿命を延ばすことができた。

図14はスピーカの網の部分のプラスチック成型である。この加工例のようなピッチの細かい網は、ピンの側面を磨くことができない。粉末混入放電加工により、手磨き不要の粗さまで仕上げている。手磨き困難なため形状や製造法を変更していたものが、粉末混入放電加工によって解消された事例である。

図15はがん(玩)具のプラスチック成型のピッチ加工である。滑らかな曲面が要求される形状で、全数同様に磨くのに熟練を要していた。粉末混入放電加工によって手磨き不要の面粗さまで、かつ全数面粗さ、深さとも均一に仕上げている。かくはん性能の向上によって粉末濃度が長時間安定するようになって初めて実現した事例である。

以上の加工例は、シリコン粉末混入放電加工法が金型加工

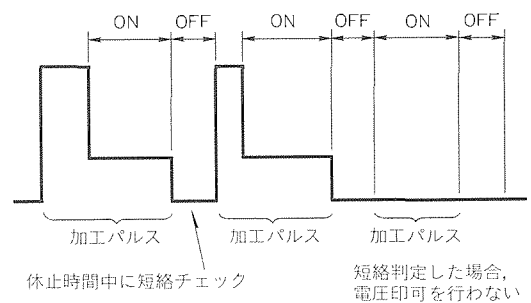


図10. 短絡検出の方法(電圧波形)

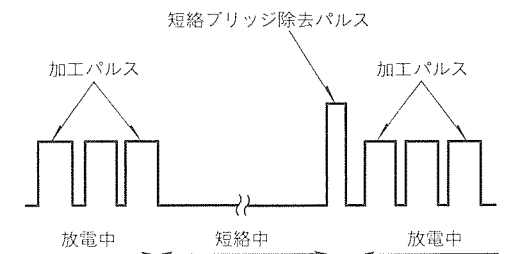
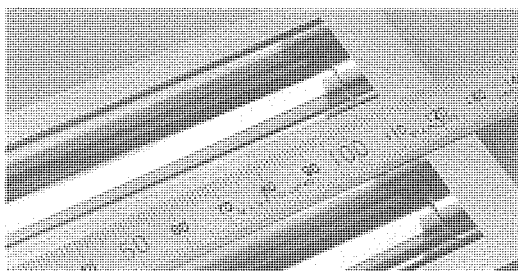


図11. 短絡の解消(電流波形)



電極・加工物：Cu・SKD61
加工時間：油 6h 粉末 3h40min
面粗さ：0.8 μ mRmax

図13. 冷間鍛造型の加工例

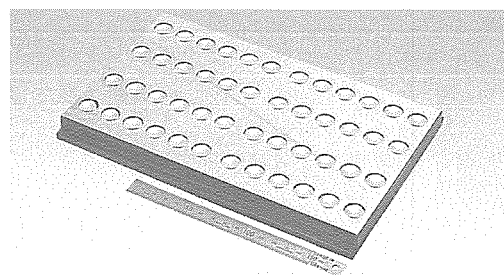


図15. 玩具のプラスチック成形型（ピッチ加工例）

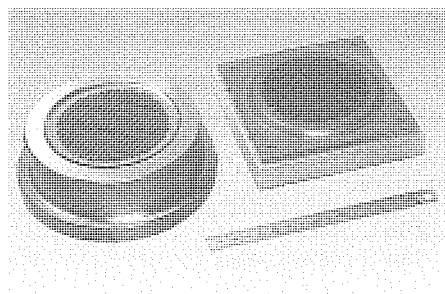


図14. スピーカパネル用プラスチック成形型

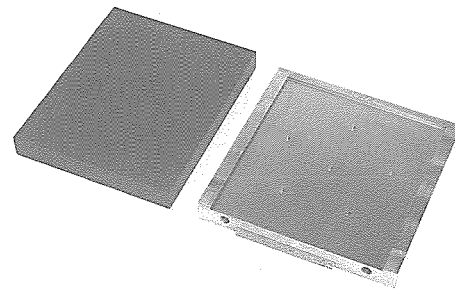


図16. 1,000cm²の大面积粉末加工例

面の磨きレスを実現したものである。

図16は1,000 cm²の粉末加工結果である。このような大面积の場合、粉末を混入しない通常の油加工液では、面粗さ15～20 μ mRzが限界であった。粉末混入放電加工により、5 μ mRz程度まで仕上げることが可能になった。

5. 適応制御機能“Fuzzy Pro”

形彫放電加工の電極形状と加工内容は極めて変化に富んでおり、適応制御が進歩した現段階においても、加工内容によっては自動化の困難な加工があるのが実状である。今回開発した新適応制御“Fuzzy Pro”は、従来の形彫放電加工の不得意な領域の自動化を実現したものである。Fuzzy Proは、三つの新しいセンシング機能とそれらを統括するFuzzy Pro制御部から成り立っている(図17)。Fuzzy Pro制御部は熟練作業者のノウハウをNC上を実現したものである。以下、センシング技術について説明する。

5.1 加工面積モニタ

Fuzzy Proには加工面積を自動認識する機能が搭載されている。図18は、深さに応じて加工面積が変化する形状の電極を使用し、下方向に加工したときの面積認識の結果を示している。横軸は加工深さ、縦軸は面積認識の結果である。加工面積(進行方向に投影した面積)が正確に認識できていることが分かる。

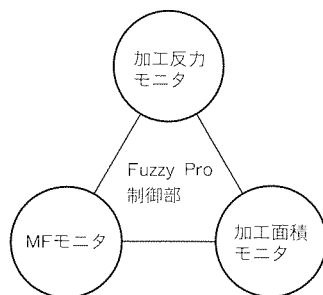


図17. Fuzzy Proの構成

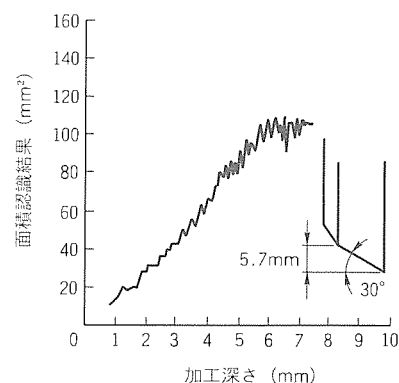


図18. 面積自動認識

5.2 加工反力モニタ

加工面積が大きくなるに従い、目標加工深さに対して加工深さが浅くなることはよく知られている。特に仕上げ加工で顕著である。これは、ジャンプ動作時に電極が加工液の粘性による大きな力を受けることによって機械や治具にたわみが生じるためである。Fuzzy Proは加工反力を検出する加工反力モニタを備えており、加工反力による加工深さの誤差をなくし、精度の良い加工を行うことができる(図19)。

5.3 MFモニタ

放電パルスの良否判別は、放電電圧波形の高周波成分の有無によって判別する方法が優れている。この方法を採用した当社のMFセンサは、加工に寄与する良パルスと加工に寄与せずシミやアークを起こす不良パルスを正確に判別することができる。MFセンサはこのように加工間隙での微小変化

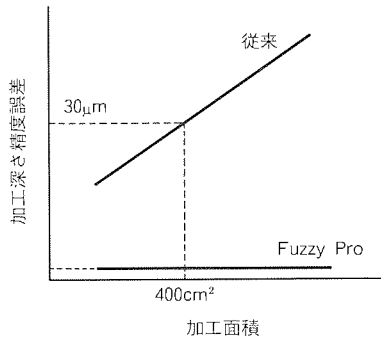


図19. 大面積加工の高精度化

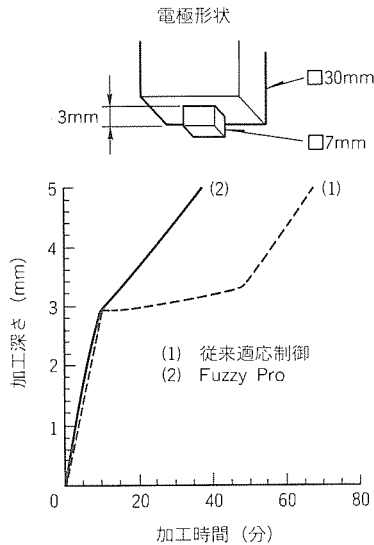


図20. 段付き加工の高速化

を認識することができ、Fuzzy Proにおいても重要な役割を果たしている。その結果、シミやアークのない加工が可能となっている。

6. Fuzzy Proによる加工事例

以下にFuzzy Proによる加工事例を紹介する。

6.1 段付き加工の高速化

図20のような段付き形状の電極で加工を行う場合、従来の適応制御では、面積が変化したときに、適切な条件が選択されるまで長い時間がかかっていた。Fuzzy Proは、面積変化を認識し、短時間で適切な条件を選択するので、加工時間を大幅に短縮できた。

6.2 グラファイト電極リブ加工の高速化

図21はグラファイト電極によるリブの加工である。プラスチック製品の小型軽量化に伴い、製品裏側の補強リブも薄く深くなってきている。このようなリブ形状は切削加工は不可能であり、放電加工が適用される。特に薄いリブ電極は、グラファイトでないと製作ができない。従来グラファイトは銅と比べて仕上げ放電が不安定となりやすく、特に加工屑の排出の悪い深リブ加工は困難であったが、FP電源によって

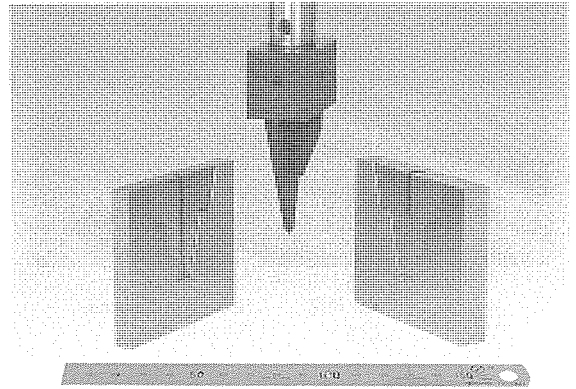


図21. グラファイトリブ電極による加工例

表1. 加工深さ精度の比較

加工条件				指令深さと実加工深さとの誤差 (μm)	
*	I_p	T_{on}	T_{off}	従来機	Fuzzy Pro
1.	120A	384μs	512μs	0	0
2.	55A	256μs	128μs	0	0
3.	35A	218μs	32μs	0	0
4.	25A	166μs	32μs	0	0
5.	15A	102μs	32μs	2	0
6.	10A	77μs	32μs	3	0
7.	8A	64μs	32μs	11	0
8.	5.5A	32μs	32μs	24	0
9.	5.5A	4μs	8μs	38	0

*1~9: 荒加工から仕上げ加工までの各段階での加工条件

安定に加工ができるようになった。

6.3 大面積加工の高精度化

表1は従来機とFuzzy Proを搭載した機種との加工深さ精度の比較である。電極はグラファイトのφ220mmの形状である。従来機の結果から分かるように、仕上げ加工になるに従って指令深さと実加工深さとの誤差が大きくなる。これは、仕上げ加工ほど加工間隙が狭いため電極が加工液から受ける力が大きく、機械等の変形量が大きくなるためである。しかし、Fuzzy Proによる加工では、仕上げ加工においても正確に指令値まで加工できていることが分かる。

新適応制御Fuzzy Proにより、従来の適応制御では困難であった複雑形状の加工が自動化できるようになった。熟練者の技術に頼るところが多かった形彫放電加工が、より容易に使用できるようになったと考えられる。

7. むすび

以上、汎用形彫放電加工機の最新技術と加工技術について述べた。これらの新技術は、金型加工の生産性向上、金型の高品質化を図るのみならず、省エネルギー、省スペースといった要求にもこたえるものである。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現場の要求にこたえていく所存である。

創成放電加工機 “EDSCAN”

新開 勝* 和田光悦*
真柄卓司** 千代知子***
鈴木俊雄*

要旨

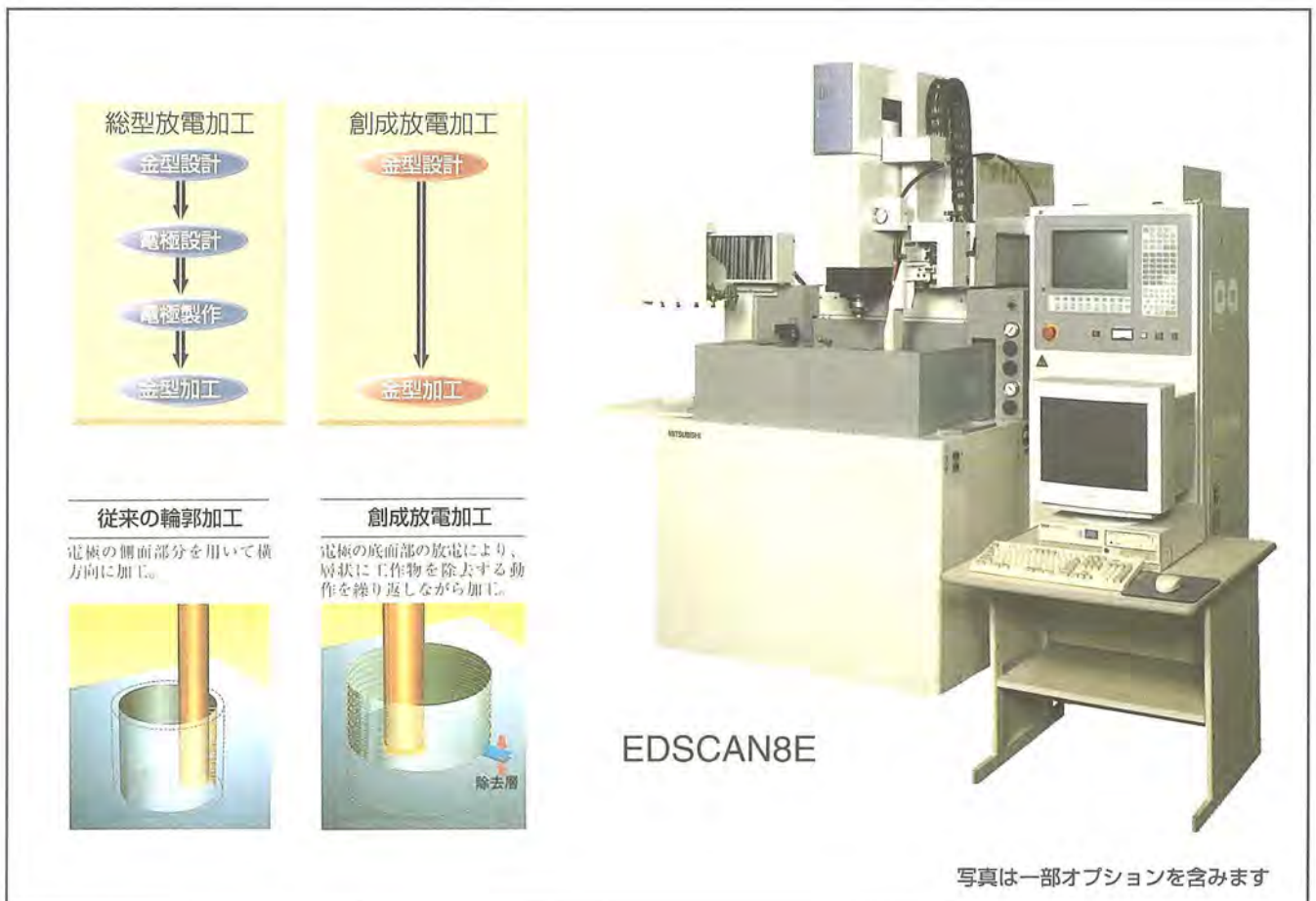
従来の放電加工は転写加工であるため、電極の設計・製作が不可欠であり、その工程がプロセス全体のネックとなる場合も多い。

創成放電加工(Electric Discharge Scanning)は、総型電極を製作することなく市販の規格サイズのパイプ電極を使用して、微細形状を高精度に加工する新しい放電加工である。リードフレーム裏逃げ等が問題となる半導体関連金型、コネクタ等の精密電子部品関連金型、マイクロマシニング、刻印加工等を対象とする。

- (1) 市販のパイプ電極を使用するため、電極設計・製作が不要となり、金型製作の納期・コストを大幅に削減可能である。
- (2) 切削加工、放電加工用電極作成が困難な微細形状にも

細穴加工用の小径パイプ電極で対応可能である。

- (3) 従来の輪郭放電加工と異なり、電極底面を有消耗条件で使用するため、形状の創成は常に新しい電極面で行われ、エッジのシャープさを維持できる。
- (4) 電極消耗はインライン計測で自動的に補正されるので、高い深さ加工精度を実現できる。
- (5) 創成加工用のNCプログラムは、Windows 95上で動作する専用CAMによって汎用CADデータから自動生成される。また、加工シミュレータを装備しており、加工径路をビジュアルにチェックすることができる。
- (6) 生産性向上を図るため、仕上げ加工を高速化する専用電源(SS回路)を搭載し、細穴電極自動切換え機能、加工液圧自動切換え機能などの自動化機能も装備している。



総型電極が不要な創成放電加工機

三菱電機は、総型電極を使用せず、市販のパイプ電極を使用して高精度な輪郭放電加工を行う新技術“創成放電加工”を開発し、創成放電加工機“EDSCAN”を製品化した。従来の輪郭加工が電極側面を使用し、電極消耗の影響を大きく受けるのに対し、創成放電加工では電極底面を使用し、消耗を自動補正するため高精度の加工を実現できる。総型電極の設計・製作が不要なため、金型製作の納期・コストを大幅に削減できる。

1. ま え が き

従来の形彫放電加工は、転写加工によって所望形状の加工を行う加工法であるため、総型電極の製作が不可欠であり、この点が形彫放電加工の生産性向上に関する最大のネックとなっていた。これまで、こうした問題を解決する目的で単純形状の電極を用いた輪郭加工が提案されたが、電極消耗の影響が大きいことから、高精度加工を実現するのは極めて困難であった⁽¹⁾⁽²⁾。

こうした問題に対し、単純パイプ形状の電極を用いるとともに電極消耗を自動補正することにより、高精度加工を実現する創成放電加工法を開発した。

本稿では、この技術を製品化した創成放電加工機“EDS CAN 8E” (図1)を中心に、創成放電加工について述べる。

2. 創成放電加工の原理

2.1 総型電極レス加工の実現

従来の放電加工は、総型電極形状を転写することによって所望形状の加工を行うものであるため、電極の設計及び製作が不可欠である。また、電極の精度が加工製品精度を決定す

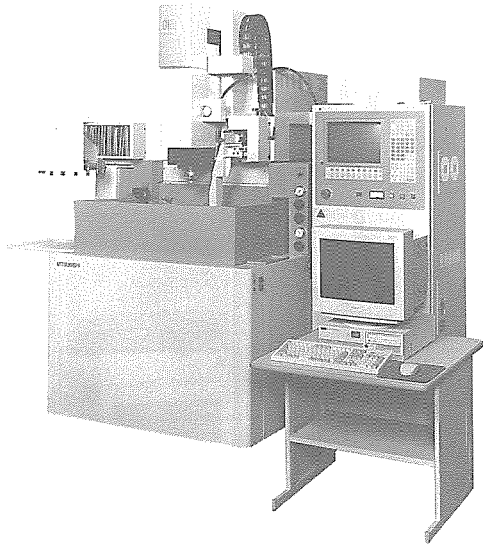
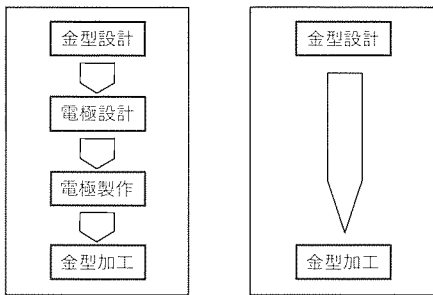


図1. 創成放電加工機 EDSCAN8E



(a) 総型放電加工 (b) 創成放電加工

図2. 加工プロセス

るため、電極自体を高精度に製作する必要がある。高精度の放電加工を行うためには通常複数の荒加工及び仕上げ用電極を使用するため、電極製作にかかわるコストも高く、金型の種類によっては総加工コストの半分以上を電極設計・製作コストが占める場合もある。

創成放電加工は、単純形状電極を用いた輪郭加工によって総型電極の製作が不要な高精度加工を実現するものであり、従来の放電加工の電極製作の問題を解消する技術である (図2)。

創成放電加工は、主としてパイプ状の電極を回転させた状態で、横方向の加工を行うことにより、所望の輪郭形状の加工を行う。図3にパイプ状電極を用いた創成放電加工の原理を示す。

従来の輪郭加工では、円柱状電極の側面部分を用いて横加工を行うことで輪郭形状の加工を行っていたが (図4(a))、この加工方法は、パイプ電極の底面部分の放電により、層状に工作物を除去する動作を繰り返しつつ所望の深さの加工を行う (図の(b))。一回のパスで除去される層の厚さは、荒加工で10~100 μm程度、仕上げ加工では1~10 μm程度である。

2.2 電極消耗自動補正による高精度微細加工

従来の円柱電極による輪郭加工は極力電極を消耗させない低消費条件によって加工を行うのに対し、この方法は有消費条件を利用した高精度の加工を行う。電極底面部分をある程度積極的に消耗させることにより、電極底面エッジ部分のシャープさを維持することができ、その結果、高精度の加工が可能となる (図5)。従来の低消費条件での加工では、電極全体の消耗は少ないがエッジ部分が消耗して丸みがつくのに

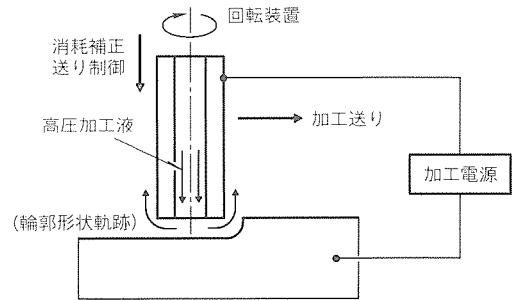
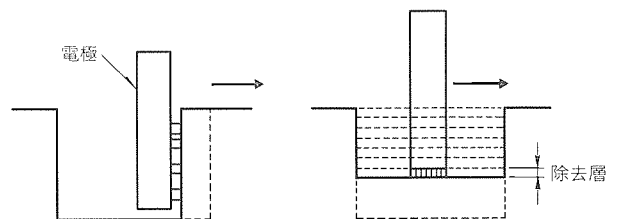
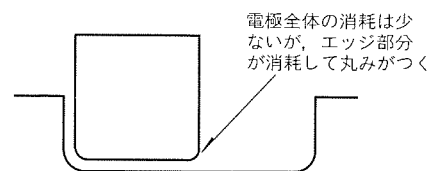


図3. 創成放電加工の原理

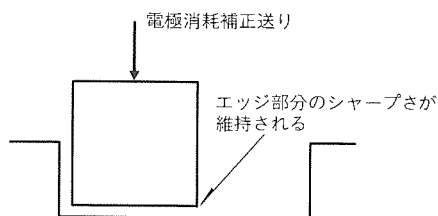


(a) 従来の輪郭加工 (b) 創成放電加工

図4. 従来の輪郭加工との比較



(a) 低消費条件での加工 (従来方式)



(b) 有消費条件での加工 (創成放電加工)

図5. 加工精度の比較

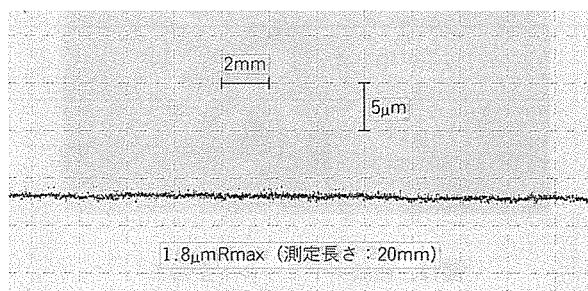


図6. 底面うねり計測データ

対し、有消費条件を利用して底面部分の消耗をある程度許容することにより、エッジ部分のシャープさを維持した加工が可能となる。

こうした有消費条件で加工を行うと、通常の横方向スキャンのみでは電極の消耗につれて電極長さが短くなり、加工形状に傾斜が発生したり放電が継続しなくなる。このため、この加工方法ではこうした電極の消耗を補正するため、XY方向の横方向移動成分にZ方向の送り成分を加え、自動的に電極消耗の補正を行っている。こうした電極消耗補正は、加工中リアルタイムで行われる。さらに、最終的な深さ精度をミクロン台に維持するため、定期的な深さ計測を自動的に行い、最終寸法を確保するシステムとなっている。

図6に、創成放電加工によって仕上げを行った底面の精度測定結果を示す。図から、底面のうねりは測定長さ20mmに対し1.8μmで、極めて平坦(坦)な面が得られており、カットマークもほとんど観察されないことが分かる。

微細輪郭加工では、目的形状の加工を行うために、図7に示すような二次元形状NCパスをあらかじめ作成する必要がある。この二次元パスに基づいて微細電極を移動させることにより、一定微小深さの形状加工が行われる。そのため、実際の加工においては、図8に示すように、NCパスプログ

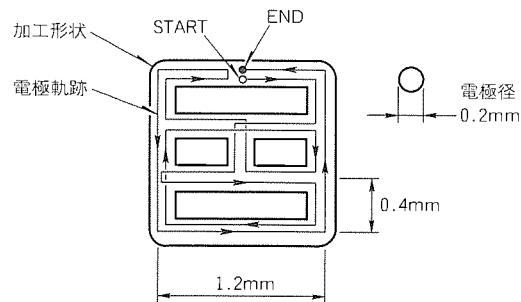


図7. 微細形状二次元NCパス

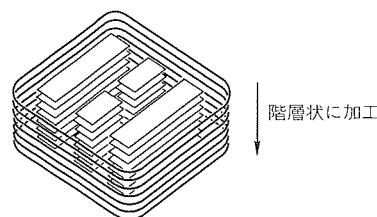


図8. 微細形状加工プロセス

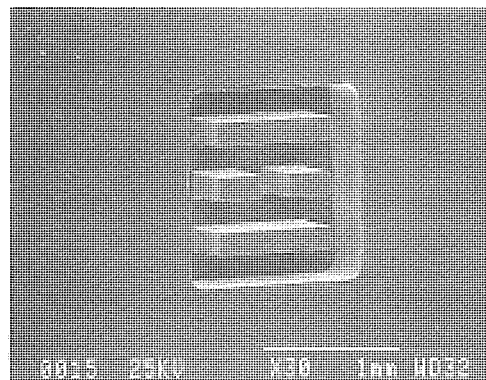


図9. 微細形状加工結果

ラムを複数回実行することによって階層状の加工を行い、所望の深さを得ることができる。また、加工に伴って発生するZ軸方向の電極消耗量は自動的に補正される。

Cu-Wのパイプ形状(外径0.2mm, 内径0.12mm)電極を用い、被加工物(SK-3材)に加工を行った結果を図9に示す。

3. 創成放電加工の適用分野

3.1 特長と用途

創成放電加工は、従来の放電加工と比較し、多くのメリットを持っている。表1に創成放電加工の特長を示す。とりわけ電極製作が不要であることによるメリットが大きい。それ以外にも、電極の製作不能な微細形状の加工が可能など、多くの利点がある。現状ではデメリットもあるものの、今後のCAM性能や加工技術の向上によって改善は可能である。

創成放電加工の用途として有望なものを表2に示す。微細加工については、ここに挙げたもの以外にも多くの用途が考

表1. 創成放電加工の特長

メリット	<ul style="list-style-type: none"> ●総型電極製作・設計が不要 ●総型電極の製作不能な微細形状の加工が可能 ●電極消耗の影響を考慮する必要がない ●底面の形状精度が良い(うねり) ●大面積でも面粗さが良好 ●加工時間の見積りが容易 ●金型CADデータから直接NCデータを生成できる ●加工液処理(ジャンプ)などを考慮する必要がない
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ●加工速度が総形放電加工より遅い場合がある ●曲面形状の加工が現状不可 ●大きな側面テーパ形状(10°以上)の場合、側面の精度維持が困難

表2. 創成放電加工の用途

分野	具体例
半導体関係金型	<ul style="list-style-type: none"> ●ICリードフレームダイ裏逃げ加工 ●ICリードフレームストリップ逃がし加工 ●ICリードフレーム座付きパンチ ●半導体関係部品など
微細モールド型	<ul style="list-style-type: none"> ●微細コネクタモールド型 ●微細ギヤモールド型 ●時計部品用モールド型 ●電子部品(スイッチ等)モールド型など
精密プレス型	<ul style="list-style-type: none"> ●微細パンチ加工 ●ダイ裏逃げ加工
アルミサッシ型	●アルミ押出型裏逃がし加工
刻印加工	●金型等への文字刻印
部品加工	●部品微細精密部品加工
マイクロマシニング	●マイクロマシン用部品加工

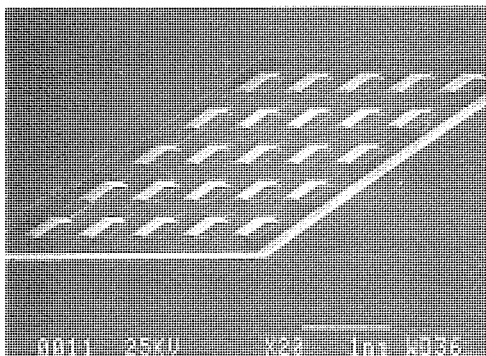


図10. 微細メッシュ形状

えられる。また、将来的には、比較的形状の大きな金型への適用も可能となることが考えられる。

3.2 加工事例

微細加工例としてメッシュ状加工を行ったものを図10に示す。底面に関しては、電極パスが交差する面においても、ほぼ平坦な面を得ることが可能である。また、図11に複数の段(階層)を持つ形状加工例を示す。これらは、複数階層の電極パスを用いて加工することによって実現できる。

実際の用途を想定して微細輪郭加工を行った例として、図12に段付き微細ギヤモールド型の加工を行った結果を示す。図における形状寸法は、大径ギヤの歯先円直径が1.2mm、

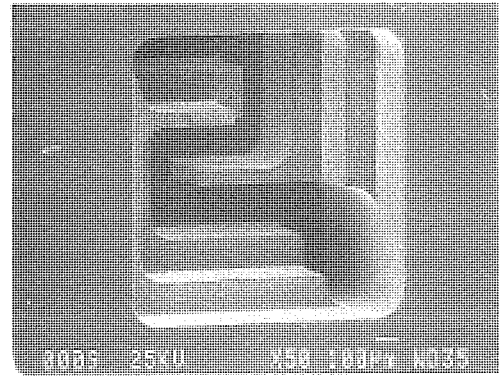


図11. 微細段付き形状

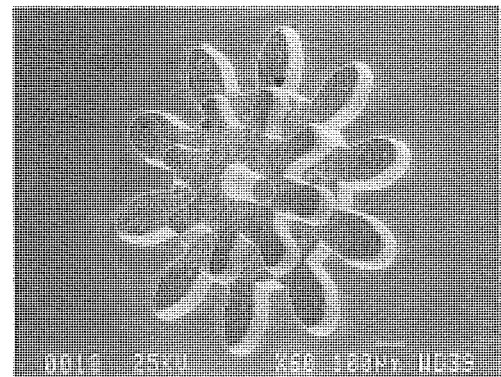


図12. 微細ギヤモールド型加工

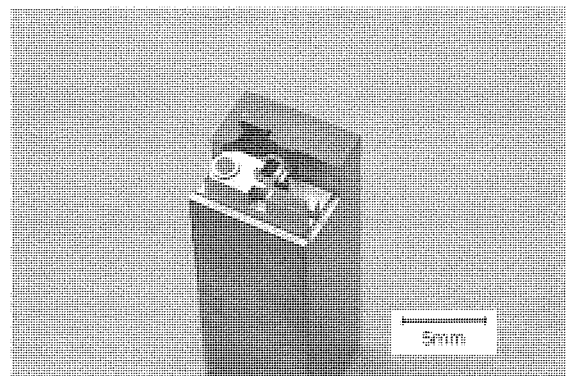


図13. 微細モールド加工(電子部品)

小径ギヤの歯先円直径が0.72mm、中心の軸径は0.1mmとなっている。また、最深部の深さは270μmである。現在、このような微細モールド型を製作する場合、まず薄板に各階層ごとの形状をワイヤカット放電加工機で加工し、それぞれの加工部品を重ね合わせて目的のモールド型を得ている。この微細創成加工技術を用いることにより、CAMデータからダイレクトに目的形状の微細モールド型を得ることが可能となる。

図13及び図14は微細モールド金型の加工例、図15は微細超硬パンチの加工である。このような微細形状の加工は、従来のような総型電極を用いた加工では困難であるが、創成

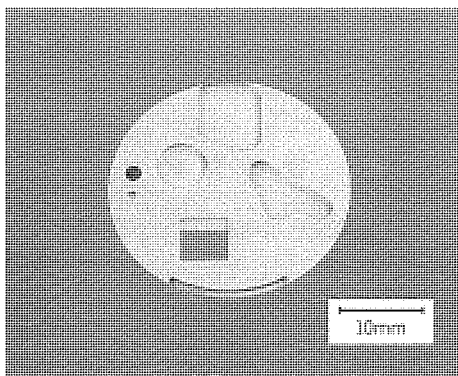


図14. 微細モールド加工（時計部品）

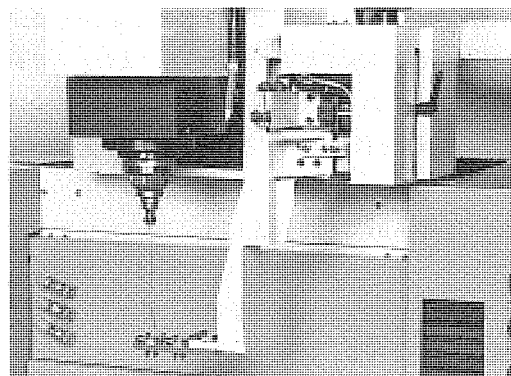


図16. 電極ガイド径交換装置

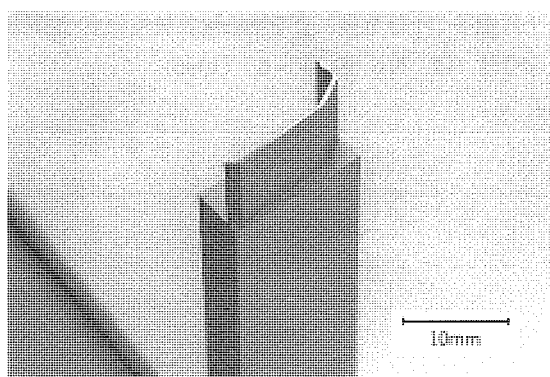


図15. 微細超硬パンチ加工

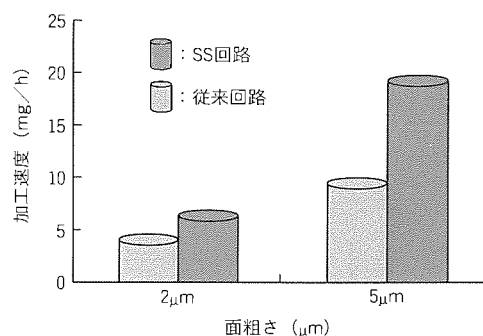


図17. 高速仕上げ加工用速度比較

放電加工では問題なく加工可能である。また、加工精度的にも、総型電極を用いた加工と遜色のない5μm程度の加工精度が得られている。

4. ハードウェア、ソフトウェア

4.1 電極ガイド径自動交換装置

創成放電加工では、加工を効率的に行うため、荒加工、仕上げ加工で最適な電極径を選択して加工を行う必要がある。EDSCAN 8Eでは、電極ガイドの径を自動交換する装置を搭載し、荒加工では大電流の流せる太電極を、仕上げ加工では微細形状加工が可能な細電極を自動的に切り換えて加工を行うことにより、効率的な加工を実現した。図16に電極ガイド径自動交換装置の外観を示す。

4.2 高速仕上げ加工用SS回路

創成放電加工は、総型放電加工と比較し、特に仕上げ加工速度の点で課題があった。こうした問題を解消するため、仕上げ加工速度の大幅な向上を目的とした専用仕上げ回路“SS回路”を開発した。

SS回路は、高速スイッチング制御によって仕上げ条件での極間電圧立ち上がり時の無駄時間を大幅に低減するものであり、この技術によって仕上げ加工における有効放電周波数を飛躍的に高めることに成功した。図17に従来回路との加工速度の比較データを示す。微小仕上げ領域においても極間

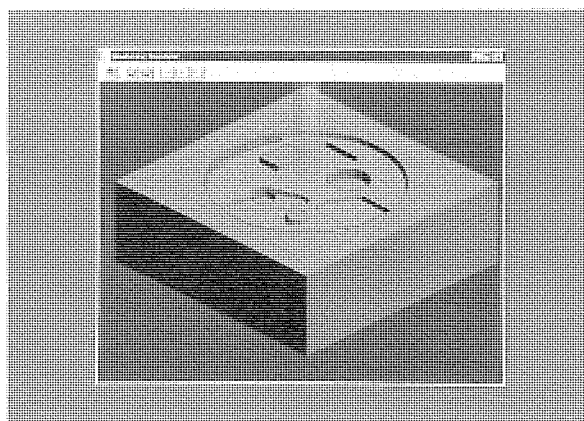


図18. CAM加工シミュレーション

短絡を抑制する効果があるので、安定した高速仕上げ加工が可能となっている。

4.3 専用CAM(EDSCAN/CAM)

創成放電加工では、切削加工と同様にCAMが不可欠であるが、切削加工とは異なる加工プロセスをとるため、専用のCAMシステムを開発した。このCAMシステムはパソコン(Windows 95)上で動くように開発されたものであり、AutoCADなどの汎用CADとの連動、PCネットワークを介してのデータ転送が可能なシステムとなっている。深さごとの二次元DXFデータを汎用CADから受け取ることで、多段(段付き)形状の加工にも容易に対応できる。

このCAMでは、前述のインライン精度計測をサポートしており、高精度の加工を実現している。また、加工残し領域を認識できるため、荒加工用電極（太電極）と仕上げ加工用電極（細電極）を自動交換することにより、効率的な加工を可能としている。

また、このCAMでは、加工に先立ち三次元ビジュアル加工シミュレーションが可能である（図18）。加工形状の異常や取り残しの有無が容易に確認でき、プログラミングの負荷を大幅に軽減できる。

5. む す び

以上、創成放電加工について、特に微細加工への適用例を中心に述べた。創成放電加工は、総型電極製作が不要な上に、高精度な微細加工が可能であるため、今後、機械加工が困難な微細形状加工を中心にかなりの用途開発が可能と考えられ

る。形彫放電加工、ワイヤ放電加工とともに、新たな放電加工技術の一翼を担うよう、今後も技術開発に努めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 金子 勉, 土屋政光: 円筒電極による三次元制御放電加工(第1報)—みぞ加工における電極形状の変化過程—, 電気加工学会誌, 17, No.33, 31~44 (1983)
- (2) 金子 勉, 土屋政光: 円筒電極による三次元制御放電加工(第4報)—底つき形状加工の基礎研究—, 電気加工学会誌, 18, No.35, 1~14 (1984)
- (3) 湯沢 隆, 真柄卓司, 後藤昭弘, 今井祥人, 佐藤達志, 千代知子: 小径電極による微細輪郭放電加工, 電気加工学会誌, 19, No.36, 1~6 (1995)

微細穴放電加工技術

大泉敏郎* 永田敏也*
酒井洋三* 牧野文平**
尾崎好雄*

要旨

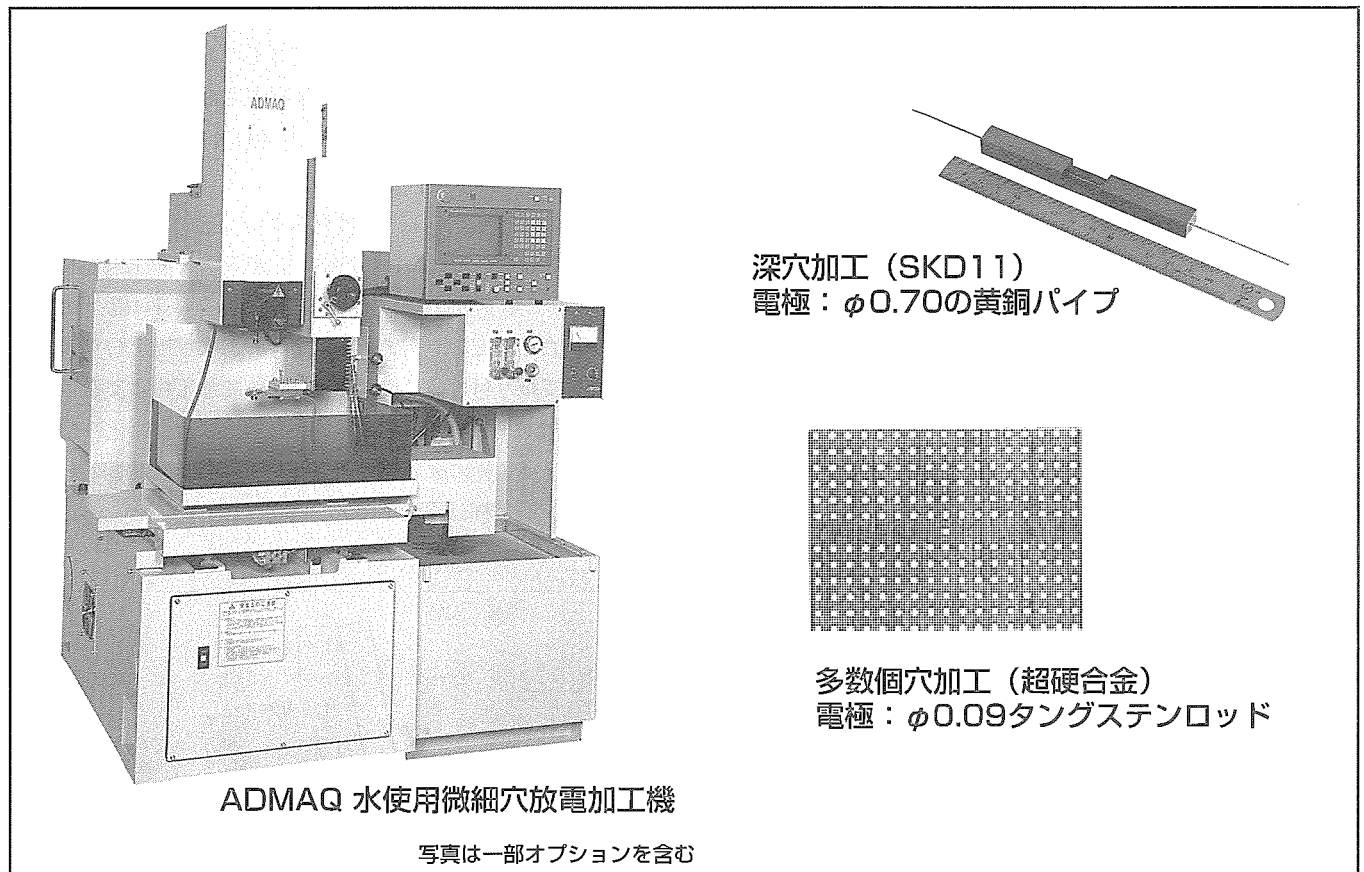
放電加工は、難削材を加工でき、また非接触加工であるため微細穴加工にも適し、幅広い用途に使用されてきた。電極成形による微細穴放電加工は、微細穴を高精度に加工できるが、工具電極の製作に時間と熟練を要し、加工の能率が低かった。工具電極をストレートに短時間で所定の長さ加工できる方法により、加工能率が改善された。

一方、市販のパイプ電極及びロッド電極を使用する微細穴放電加工において、加工液に比抵抗制御した水を使用して高品位な微細穴を加工する放電加工を開発した。

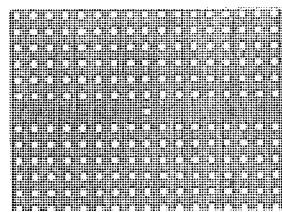
この水仕様微細穴放電加工機による加工では、放電加工液として一般的に使用される油に比べ、冷却能力が高い水を加工液として使用するため加工速度の向上ができるとと

もに、電解作用を抑制する“細穴AE(Anti-Electrolysis)電源”により、超硬合金などの焼結材料の加工にも電解腐食のほとんどない高品位な微細穴加工を行える。また、狭い放電ギャップによる高精度な微細穴加工ができ、パイプ電極の中心からの加工液通液によって電極径の50~150倍程度の板厚の加工ができる。

また、水は火災の心配が全くなく完全な無人運転ができ、電極を16本自動交換できる細穴電極専用ATC(Automatic Tool Changer:自動電極交換装置)によって機械の稼働率を上げられる。さらに、0.1 μ m/パルスのリニアスケール搭載などによってピッチ精度を向上している。



深穴加工 (SKD11)
電極： ϕ 0.70の黄銅パイプ



多数個穴加工 (超硬合金)
電極： ϕ 0.09タングステンロッド

ADMAQ 水使用微細穴放電加工機

写真は一部オプションを含む

水を加工液として高品位な加工を実現した“水仕様微細穴放電加工機”

三菱電機は、水を加工液に使用し、高精度・高品位な微細穴を加工する微細穴放電加工を開発し、水仕様微細穴放電加工機“ADMAQ-E-643150”を製品化した。水の冷却能力の高さによって加工速度を向上させるとともに、“細穴AE電源”によって超硬合金などの焼結金属にも電解腐食の少ない加工を実現した。ICリードフレーム金型のワイヤ下穴、セラミック基板金型、エンジンの噴射ノズルなど、高品位な微細穴加工ができる。

1. ま え が き

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に、高精度な微細穴の需要が増加している。また、部品加工分野においては、インクジェットプリンタノズル、光通信部品、センサ関連部品、流体制御部品などの分野でも、微細穴加工に対する要求が高まっている。これらの微細穴に要求される穴径は、より小径化するとともに、加工深さも深くなってきている。また、ピッチ精度の高精度化も要求されている。さらに、エンジンの噴射ノズルにもエンジン排気ガスの清浄度が要求されるため、穴径が小さく品質の高い穴が求められてきている。

一方、生産コスト低減への対応として、無人化・省力化の推進、加工速度の向上も求められている。微細穴加工には切削加工も使用されているが、放電加工は、難削材にも加工できること、非接触加工であるため微細加工に適していること、加工穴にバリが出ないこと等のメリットがある。

本稿では、放電加工における最小穴径の加工に用いられる電極成形による微細穴放電加工技術、及び生産性の向上と高品位な微細穴放電加工を実現した水仕様微細穴放電加工機“ADMAQ-E-643150”を中心に微細穴放電加工技術について述べる。

2. 電極成形と微細穴放電加工

2.1 電極成形による微細穴放電加工

微細穴放電加工は、加工方法により、①丸棒電極又はパイプ電極を回転させて電極ガイドで案内しながら微細穴を加工する方法、及び②丸棒状の工具電極の先端を二次電極で成形し、成形された工具電極の先端部で微細穴加工する方法とに分類することができる。

電極ガイドを使用する方法は、電極として市販の丸棒電極又はパイプ電極を使用するため、生産性が高く、ランニングコストが安いので、広く普及しているが、加工穴径は電極ガ

イド穴径に依存するため、最小加工穴径は0.1 mmが区切りになっている。

一方、後者の工具電極を成形する方法では、更に微小の穴径の加工が実現できる。通常の油を加工液とする汎用放電加工機において、直径(ϕ)1.0 mmの銀タングステン電極を二次電極によって外径20 μm に成形し、工具電極として使用することで板厚0.15 mmの超硬合金に ϕ 30 μm の加工を行うことができた。このときの加工時間は75秒、電極消耗は450%であった。電極消耗量を少なくするため、電極には銀タングステンを使用する。

2.2 電極成形方法

電極成形による微細穴放電加工は、微細穴を高精度に加工できるが、工具電極の製作に時間と熟練を要し、加工の能率は決して良いとは言えない。特に、工具電極の成形時に工具電極径の確認が必要であること、成形された工具電極の有効長さが短く成形された工具電極での加工可能穴数が少ないため、電極成形の頻度が高くなること等の理由によって生産性の向上が妨げられていた。

ここでは、二次電極を用いて工具電極を成形する方法のうち、二次電極を一定量傾斜させることによって工具電極をストレートかつ短時間で所定の長さに成形し、貫通穴を高精度に加工する方法を紹介する。この電極成形方法により、成形される工具電極の有効長さを長くすることができる。すなわち、従来は工具電極径に対する有効長さが20～30倍程度であったが、この方法によって70～80倍にすることができるようになった。

図1に示すように、機械のスピンドル(最高2,000 r/min)の先端に ϕ 1.0 mmの銀タングステンの工具電極(一次電極)を取り付ける。次にテーブル上に傾斜可能な二次電極保持台を固定し、銅タングステンの二次電極を約0.1度傾斜させて取り付ける。この傾斜によって加工粉による二次放電の影響で先端が細くなる不具合を解決し、径変化のない高精度な工具電極の成形を可能にした。図2に加工順序を示す。なお、工具電極は常時2,000 r/minで回転させる。この加

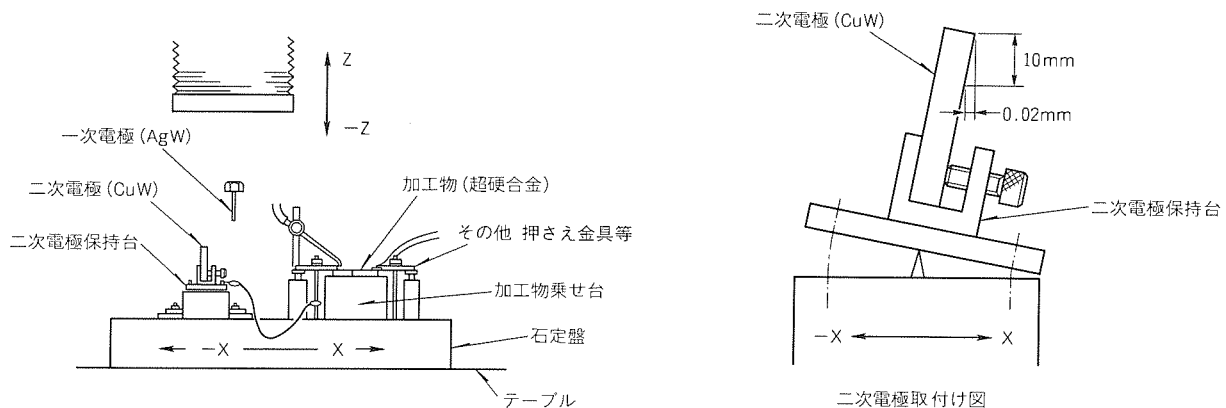


図1. 工作物支持方法と使用工具配置

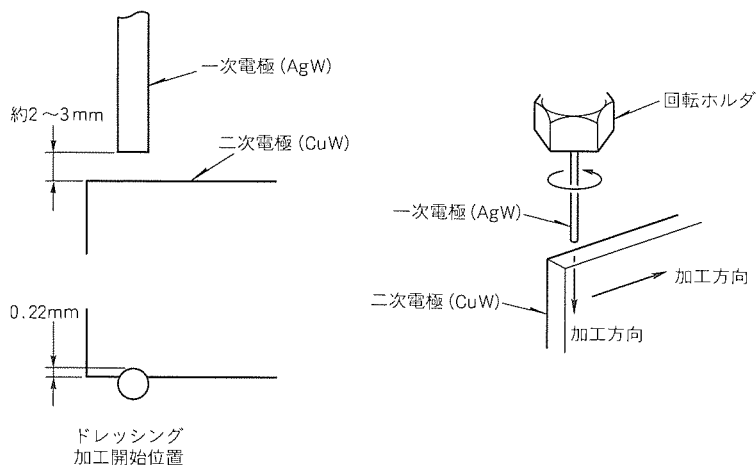


図2. 加工順序

工によって有効長さ約4mmの $\phi 50\mu\text{m}$ 電極が約8分で成形できる。

2.3 貫通穴加工方法

$\phi 50\mu\text{m}$ に成形した工具電極を用いて板厚0.5mmと1.0mmの2種類の超硬合金を加工した結果、それぞれ約3分、8分で加工が完了し、加工穴径 $100\mu\text{m}$ 、精度の上下寸法差 $1\mu\text{m}$ という高精度のものが得られた。このような微細穴加工時には電極を振動させないために、加工液の噴流方法には十分注意を払い、液圧を掛けずに加工物の表面がぬ(濡)れる程度にしておくことと、加工位置は電極成形前に決めておくことが必要である。

図3に、成形電極で加工した微細穴の例を示す。図は板厚0.05mmの銅板に $\phi 80\mu\text{m}$ の穴を35個連続加工したもののうちの1穴である。工具電極には $\phi 1.0\text{mm}$ の銀タングステン電極を外径 $60\mu\text{m}$ 、有効長5mmに成形したものを使用した。加工時間は、電極成形に15分、穴加工は1穴3分であった。

3. 水を加工液として使用する微細穴放電加工

3.1 電極ガイド方式による加工穴の小径化

微小穴の加工能率向上のため、電極ガイドを使用する方法による加工穴の小径化への取組が継続的になされている。現状では、外径 $73\mu\text{m}$ のタングステンロッドを用いて $\phi 100\mu\text{m}$ の微細穴加工が可能となっている。また、実験的には $\phi 45\mu\text{m}$ のタングステンロッドによる $\phi 90\mu\text{m}$ の微細穴放電加工も実現している。

3.2 加工液の違いによる微細穴放電加工の特長

油は絶縁性が高く電極と工作物のクリアランスを小さくできるため、電極ガイドによる高精度の微細穴放電加工では、一般的に油が加工液として使用される。一方、水は油に比べて冷却能力が高いため、水を加工液に使用して加工速度の高速化を実現している。微細穴放電加工において高品位・高精度加工と高速加工を両立させるためのアプローチとして、油

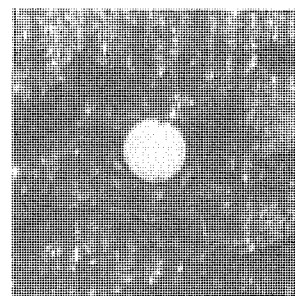


図3. 電極成形による微細加工穴

による高品位加工において高速化を実現する方法、又は、水による高速加工において加工穴の品質を向上させる方法が考えられる。油を加工液として使用する微細穴放電加工では消防法の関係から無人運転ができないことが機械稼働率を上げにくくするため、水を加工液として使用して加工穴の品質を向上させる方向で微細穴放電加工を開発した。

3.3 高速細穴放電加工

従来から水を加工液に使用する高速細穴放電加工では、添加物が入った $2,000\sim 5,000\Omega\cdot\text{cm}$ の水を加工液として使用し、放電ギャップを広くして加工を安定にすることが行われている。この場合、加工中に激しく電解が起り、加工面に電解変質層が生成され、加工面品質が低下するとともに加工の入口にも電解腐食が見られる。さらに、放電ギャップが広いと電極径に対する穴径が大きくなり、小径穴・高精度穴の加工は困難であった。

3.4 直流微細電源による微細穴の高精度加工

水を加工液に使用した高精度加工を実施するため、加工液の比抵抗を $50\text{万}\sim 100\text{万}\Omega\cdot\text{cm}$ 程度に高くし、加工中の電解腐食を少なくするとともに、放電ギャップを狭くする加工を実現した。この加工に使用される直流微細電源は、微細穴加工に特化したコンデンサ放電回路を基本とした電源であり、下記の特長がある。

- (1) 小径穴において $2\mu\text{m}R_{\text{max}}$ の面粗さが得られる。
- (2) 加工電圧の設定によって放電ギャップの調整が可能であり、加工穴径の微妙な調整ができる。

直流微細電源はSUS材、SKD11等のき(鑄)びにくい材質で1mm程度の薄板の加工に有効であるため、ディーゼルエンジン噴射ノズル、セラミック基板金型等の加工に使われている。

3.5 細穴AE電源による電解腐食の抑制

加工液として水を用いるワイヤ放電加工では、既に、電解作用を抑制し高品位な加工を実現するAE電源(無電解電源)⁽¹⁾が普及している。そこで、高品位な微細穴放電加工を実現するため、細穴加工用に改良を加えた細穴AE電源を開発した。

細穴AE電源によって工作物の変質・腐食の原因となる加

工中の電解作用を抑制するとともに、狭い放電ギャップでの安定な加工を実現することで高品位な微細穴放電加工を実現した。また、加工液には比抵抗を7万～10万Ω・cmに管理した水を使用している。この細穴AE電源の特長は次のとおりである。

- 加工穴周辺部の電解変質層を大幅に抑制する。
- 加工深さが深くても精度の良い加工を可能とする。
- 加工穴入口エッジにグレやバリがない加工ができる。
- 油による加工と同等以下の狭いクリアランスの加工ができる。

図4に加工例を示す。この加工例は、φ0.15mmの銅パイプを電極として超硬合金（共立合金KD20）及びSKD11に加工したものである。超硬合金の加工例では、直流微細電源による加工に比べて電解・腐食の少ない加工ができています。また、SKD11の加工例では直流微細電源による加工に比べて加工穴が小さく、クリアランスの小さい加工ができています。超硬合金への高品位な微細穴加工を可能としたことで、スリット幅が小さくピッチ精度が要求されるICリードフレーム金型でのワイヤ下穴など、精度と加工品質を要求される加工に使用されている。

4. 水仕様微細穴放電加工機の概要

加工液に水を使用することによって連続無人加工を可能にするとともに、無電解電源の採用によって電解作用を抑制し、高品位な微細穴加工を可能にした水仕様微細穴放電加工機“ADMAQ-E-643150”（図5）を開発した。主な特長を次に示す。

- 火災の心配がなく完全な無人運転が可能
- 業界初の“細穴AE電源”によって電解作用を抑制し、超硬合金等の焼結材料の加工にも電解腐食のほとんど

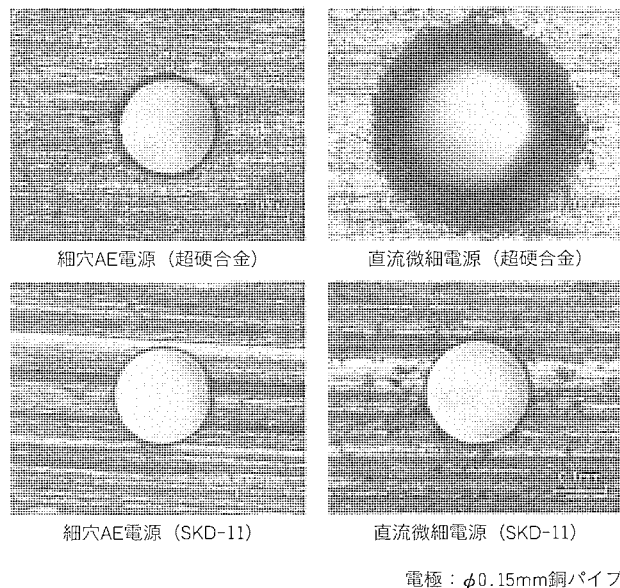


図4. 加工穴例

ない加工を実現

- 狭い放電ギャップによって精度の高い穴加工を実現
- パイプ電極の中心からの加工液通液により、電極径の50～150倍程度の板厚の加工が可能
- 0.1μm/パルスのリニアスケール搭載等によってピッチ精度を向上
- 細穴電極専用ATCによって電極16本の自動交換が可能
- 加工穴径の微調整可能な直流微細電源も搭載可能

以下に、加工電源以外の主な特長について述べる。

4.1 ピッチ精度の向上

高いピッチ精度での加工の要求にこたえるため、デジタル制御の0.1μm/パルスのリニアスケールによるフルクロードループ、インテリジェントACサーボ、32ビット制御装置による高速演算等で、安定した高精度送りを実現している。ピッチエラー測定例を図6に示す。

4.2 加工速度、加工限界深さの向上

加工によって発生するスラッジの排出による微細穴加工の加工速度向上と、加工限界深さ向上のため、主軸に内蔵され

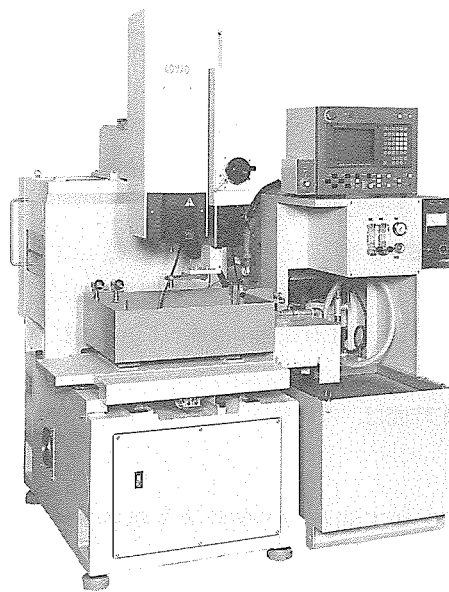


図5. 水仕様微細穴放電加工機の外観

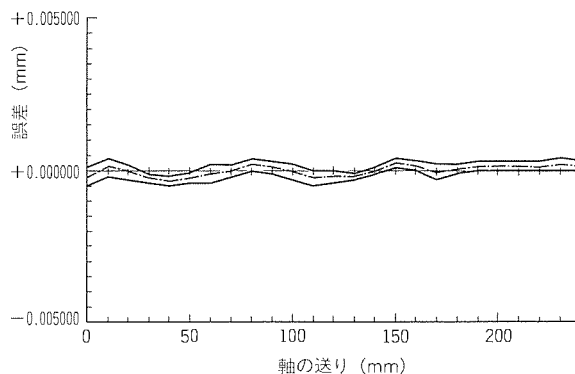


図6. ピッチエラー補正例



図7. 細穴電極用ATC

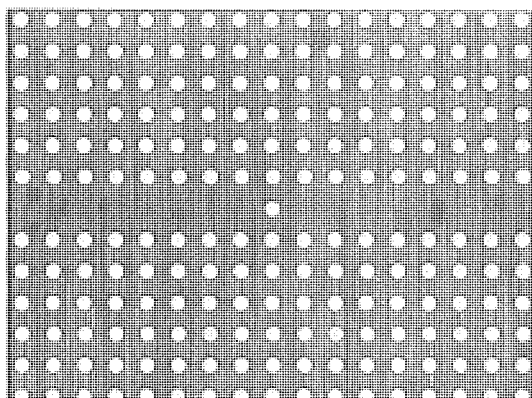


図8. 多数個加工穴

たスピンドルによって最高回転数1,000 r/minで電極を回転するとともに、細穴電極パイプ内に通液する。電極径0.10～0.15mmのとき、電極回転数1,000 r/min程度で加工速度が最高になる。加工限界深さは、電極内の通液なしでは電極径の約10倍が限界であるが、通液によって電極径の約150倍程度が可能になっている。

4.3 自動運転対応

表1. 微細穴多数個加工例

- 微細穴多数個加工
- 工作物：SKD-11 板厚：0.8mm
- 加工範囲：60mm×60mm
- 電極径：0.13mm
- 電極材質：タングステンロッド／銅パイプ
- 加工内容：各50穴加工
- 使用機種：ADMAQ-E-643150 使用電源：細穴AE電源
- 環境：恒温室

	タングステン電極	銅パイプ
総加工時間	47分	43分
平均加工時間	56秒	51秒
平均放電加工時間	40秒	35秒
総電極消耗長さ (mm)	9.19	53.15
平均消耗長さ (mm)	0.184	1.062
穴径最大 (mm)	0.158	0.153
穴径最小 (mm)	0.156	0.150
穴間ピッチ誤差 (X μ m)	±3	±3
穴間ピッチ誤差 (Y μ m)	±3	±3

加工時間は、Z軸端面位置決めと移動時間を含む

表2. 加工性能

工作物	材質	SKD-11	SKD-11	SUS304	SKD-11	SKD-11	SKD-11	S48C
	板厚 (mm)	1	0.8	0.5	8	20	110	0.8
電極	径 (mm)	0.12	0.25	0.073	0.15	0.30	0.70	2.0
	材質	タングステンロッド	銅パイプ	タングステンロッド	銅パイプ	黄銅パイプ	黄銅パイプ	黄銅パイプ
加工結果	加工穴径 (mm)	0.16	0.29	0.100	0.18	0.33	0.75	2.05
	加工時間	40秒	35秒	90秒	8分	13分	23分	8秒
	電極消耗	30%	60%	30%	100%	100%	230%	110%
加工電源		直流微細	直流微細	細穴AE	細穴AE	細穴AE	細穴AE	細穴AE
用途		セラミック基板金型	ディーゼル噴射ノズル	光ファイバ金型	各種ガス抜き穴	精密樹脂型	ワイヤ下穴	バルブ液穴
						エジェクタピン下穴		

工作物	材質	超硬合金	超硬合金	超硬合金	超硬合金
	板厚 (mm)	1	10	15	40
電極	径 (mm)	0.09	0.15	0.30	0.70
	材質	タングステンロッド	銅パイプ	銅パイプ	黄銅パイプ
加工結果	加工穴径 (mm)	0.125	0.19	0.35	0.75
	加工時間	90秒	13分	15分	20分
	電極消耗	30%	150%	100%	500%
加工電源		細穴AE	細穴AE	細穴AE	細穴AE
用途		光ファイバ金型	ICリードフレーム金型 (表裏から加工)	ICリードフレーム金型	ワイヤ下穴

使用機種：ADMAQ-E-643150

(直流微細電源の加工はADMAQ-E-404150)

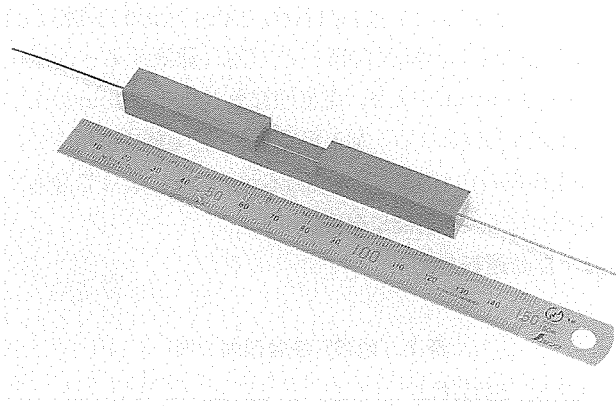


図 9. 深穴加工

電極自動交換のため、細穴電極専用 ATC をオプションとしている。細穴電極ホルダを 16 本連続で精度良く交換でき、連続無人運転を可能としている。細穴電極専用 ATC の外観を図 7 に示す。

4.4 微細穴多数個加工

微細穴多数個加工例を図 8 及び表 1 に示す。使用機は水仕様微細穴放電加工機 ADMAQ-E-643150、細穴 AE 電源によって外径 0.13 mm のタングステンロッド及び銅パイプを電極として、SKD 11 板厚 0.8 mm の工作物に各 50 個の穴加工を行ったものである。穴径のばらつきはタングステンロッドによる加工で直径 $2\mu\text{m}$ 以内、銅パイプによる加工で $3\mu\text{m}$ 以内、穴間ピッチ誤差は X 軸、Y 軸方向とも $\pm 3\mu\text{m}$ 以

内である。

5. 水仕様微細穴放電加工の適用例

表 2 に加工性能を示す。これは超硬合金 (共立合金 KD 20) 板厚 1 mm にタングステンロッド電極 $\phi 0.09\text{mm}$ で加工をした例である。また、深穴加工例を図 9 に示す。SKD 11 板厚 110 mm を黄銅パイプ $\phi 0.70\text{mm}$ で貫通加工したものである。加工穴径は 0.75 mm であり、加工深さが深くなったところでも電極と工作物とのクリアランスは均一で精度良く加工されている。

6. む す び

電極成形による微細穴放電加工技術、及び水仕様微細穴放電加工機を中心に微細穴放電加工技術について述べた。これらの新技術は微細穴放電加工の既存分野における生産性の向上が図れるのみならず、新しい分野への適用、用途拡大につながることを考えられる。

今後とも、更に高度化する生産現場の要求にこたえ、新技術に挑戦し、要求にこたえられる製品をタイムリに提供していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 山田 久, 真柄卓司, 佐藤清侍, 弥富 剛, 伊藤彰康: 無電解電源“AE”搭載ワイヤ放電加工機, 三菱電機技報, 67, No.2, 183~186 (1993)

最近の汎用ワイヤ放電加工機

毛呂俊夫* 木村宗雅*
 田中 誠* 竹内浩志*
 佐藤清侍*

要旨

ワイヤ放電加工機は、他の工作機械では加工できない微細な切断加工が可能なることから、金型製造分野を中心にあらゆる製造現場に導入され、工作機械として一つの分野を構成するまでに成長を遂げた。最近では、経済状況の反映から、投資効果の高い低価格で加工効率の高い設備、いわゆるコストパフォーマンスの高い汎用機が販売の主体となっている。

“FXシリーズ”は、三菱電機がこの汎用機市場における“世界戦略機種”として開発した新シリーズである。そのFXシリーズ開発時に実施した市場ニーズ分析の結果、①加工の自動化、②操作性の向上、③環境・安全性への配慮、④省スペース化、の各項目に対して様々な新技術と新機構を搭載している。

加工の自動化に対しては、1stカット時の加工条件設定の不要化と仕上げ加工の自動化を実現し、さらに、加工速度の向上にも効果があるPM制御(最大パワー制御)を開発した。また、加工槽扉にオートロック機構を装備し、操作性の向上を図った。

環境・安全性への配慮では、ワイヤ電極の回収機構に、ワイヤを微細に切断して回収するワイヤ処理装置を開発し、廃棄処理の簡素化と保管スペースの削減を実現し、フィルタも小容量・長寿命フィルタを搭載し、交換性の向上と廃棄性の向上も図った。さらに、機械構造にコラム移動型を採用し、CAE技術を駆使した静解析・動解析によって最適化し、省スペース化を図っている。

ワイヤ処理装置

FX20

加工槽オートロック機構

電 極：φ0.25 BS
 工作物：SKD-11 階段形状
 ノズル開放モード使用

20 40 60(min)

FX10
 FX1

PM ON PM OFF

加工時間比較
PM Automagic

汎用ワイヤ放電加工機 FXシリーズ に搭載した新技術・新機構

FXシリーズは、汎用機市場をターゲットにした戦略機種として開発した。斬新なデザインイメージの機械本体に、全自動加工を実現した“PM Automagic”を始め、ワイヤ処理装置、加工槽扉自動昇降機構などの新機構と新技術を搭載し、製造現場の生産性向上に大きな効果を発揮するものである。

1. ま え が き

ワイヤ放電加工機は、他の工作機械では加工できない微細な切断加工が可能なることから、金型製造分野を中心にあらゆる製造現場に導入され、工作機械として一つの分野を構成するに至った。当初、特殊な加工機として高付加価値製品の開発に各社しのぎを削っていたが、一般化するとともに、経済環境の変化により、投資効果の高い低価格で加工効率の高い設備、いわゆるコストパフォーマンスの高い汎用機主体へとシフトしてきている。

本稿では、当社がこの汎用機市場における“世界戦略機種”として開発した“FXシリーズ”を中心に、汎用ワイヤ放電加工機の最新技術を紹介する。

図1にワイヤ放電加工機“FX 20”の外観を示す。

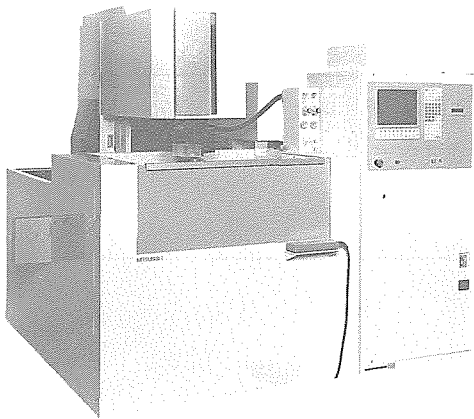


図1. ワイヤ放電加工機FX20の外観

2. 汎用機としての基本コンセプト

汎用機という位置付けの持つべき基本的な考え方として、

- 低価格であること
- 必要最低限の機能・性能が確保されていること
- 生産性が高いこと

の3点がポイントになる。すなわち、ユーザがコストパフォーマンスが高いと感じられる製品ということが言える。この考え方を製品開発に具体化するため、市場ニーズによる分析が不可欠である。

市場分析を実施した結果を図2に示す。この市場ニーズ分析は、様々な観点から情報を収集して実施した。以下に、この分析から抽出されたユーザニーズである次の5項目に対し、FXシリーズに搭載した技術項目について、特に①～④の各項目に関して詳細を説明する。

- ① 加工の自動化：PM Automagic
- ② 簡単操作：操作性の向上
- ③ 環境・安全性の向上
- ④ 経費削減：省スペース化
- ⑤ 低価格の機械

3. 加工の自動化：PM Automagic

3.1 1stカットの自動化：PM制御

ワイヤ放電加工におけるワイヤ断線は、加工効率向上を阻害する最も大きな要因の一つである。ワイヤ断線を防止するには、工作物板厚や加工状況の変化に対して最適な加工エネルギーを投入する必要がある。PM制御は、1stカット加工における加工エネルギーの最

適制御と加工条件の自動設定を実現した適応制御機能であり、FXシリーズに標準搭載して好評を得ている。

3.1.1 PM制御の原理

PM制御は、図3に示すように、加工状態モニタ及び板厚モニタの二つのセンシング部と、加工エネルギーを制御するパワーモニタで構成されている。

(1) 加工状態モニタ

放電パルス一発一発の加工状態の良否を判定し、統計的に加工状態の安定度を判別することで、短絡や放電集中などの異常放電状態を検出している。

(2) 板厚モニタ

極間に投入される加工エネルギー、工作物の加工量、加工状

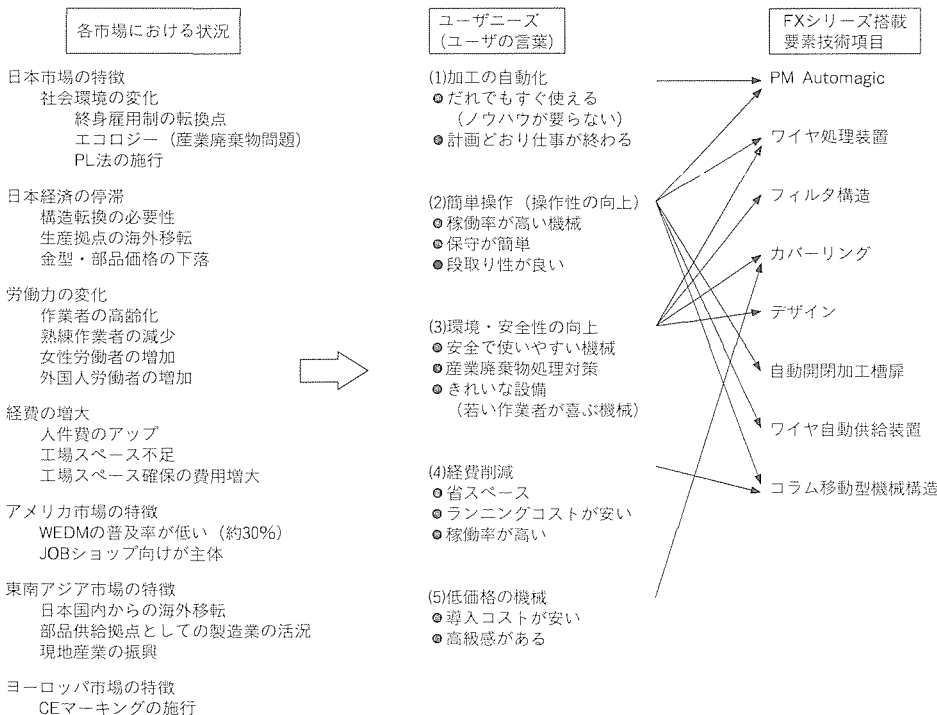


図2. 市場ニーズ分析

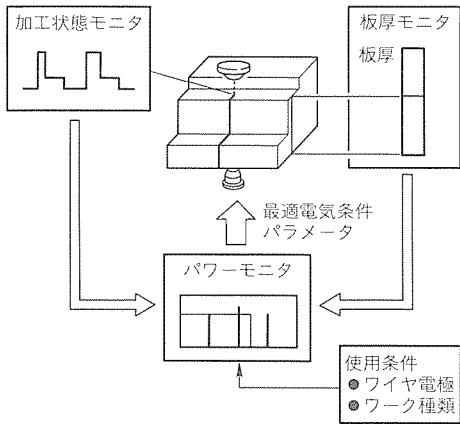


図3. PM制御の原理

態等の変化をリアルタイムで観測し、工作物の板厚変化を自動検出する。検出した板厚はNC画面上でも確認できる。

(3) パワーモニタ

ワイヤ電極や工作物種類などの加工条件と上記加工状態モニタ、及び板厚モニタの検出結果を統合することで、加工状態の変化を素早く認識し、その時の加工状況に応じた最適な加工エネルギーが投入されるように電気条件を制御する。

3.1.2 PM制御の特長

(1) 加工エネルギーの最適制御

段差形状の工作物や工作物端面から加工する場合、加工液のかかりが悪くなりやすい。この場合、ワイヤ電極が断線しない限界エネルギー値が低下するので、従来の加工では、電気条件を下げなければワイヤ断線が発生していた。また、断線を回避する条件設定も熟練を要するものであった。

PM制御は、こうした加工状態の悪い状況下での短絡や放電集中等の異常状態の発生を検出し、断線限界エネルギーの低下に応じて加工エネルギーを絞り込み、ワイヤ断線を防止する。一方、加工液の状態が良好でワイヤ断線の限界エネルギーが高い場合には、積極的に加工エネルギーを増大させるように制御する。このため、常に加工状態に応じて最適な加工エネルギーが投入されるので、ワイヤ断線を防止した高効率の加工が可能となる。図4に加工液の状態と断線限界エネルギーの関係を示す。

(2) 板厚検出による加工条件の自動設定

工作物板厚によって断線限界エネルギーが異なるので、板厚が変化するような場合には、従来は、最も断線しやすい箇所の加工条件に設定することが一般的であった。また、効率を上げるには、NCプログラム上、板厚の変化に応じて加工条件を切り換える必要があった。

PM制御は、板厚モニタによって工作物の板厚を自動検出し、板厚に応じて最適な加工エネルギーになるように加工

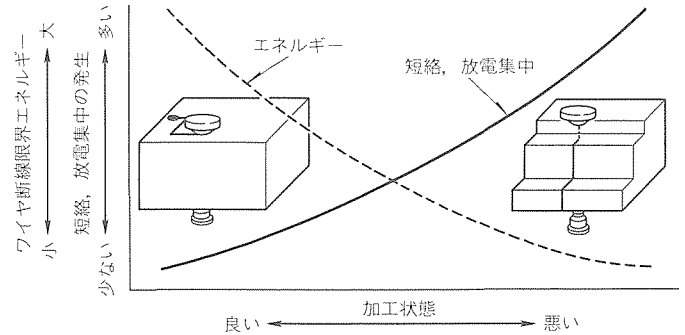


図4. 加工液の状態と断線限界エネルギーの関係

電極 : $\phi 0.25$ 黄銅ワイヤ
 工作物 : SKD-11, 階段形状
 ノズル開放モード

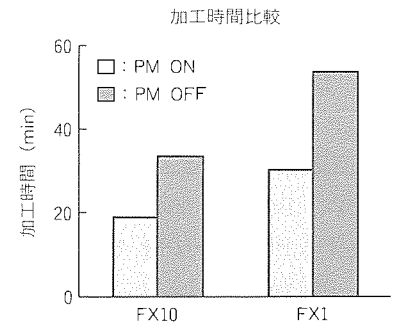
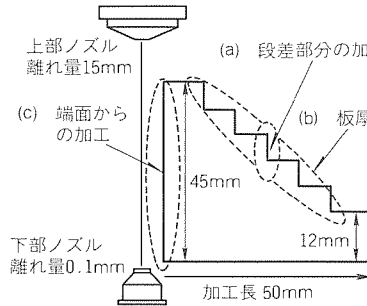


図5. 段差形状ワークの加工例

条件を設定する。そのため、各板厚に応じた高効率の自動加工が可能となり、加工時間が短縮できる。

3.1.3 階段形状ワークの加工例

図5はPM制御のノズル開放モードを使用した階段形状ワークの加工例である。この加工の場合、図中(a)の段差部分の加工、(b)の板厚変化、(c)の端面からの食い付き加工と、加工状態の変化に加え、上部加工液ノズルが離れた加工液状況の悪い状態での加工となっている。

(1) 段差部分の加工

板厚の厚い部分から薄い部分に加工が移る際に、加工液のかかりが悪くなるとともに、加工速度が急に増大して加工が不安定なる。この場合でも、板厚変化と加工状態の変化を素早く検出し、加工エネルギーを的確に制御して、加工の不安定な段差部分でのワイヤ断線を防止している。

(2) 板厚変化

階段形状のような板厚の変化するワークの加工では、加工時間を短縮するには、板厚ごとにNCプログラム上で加工条件を変更する必要がある。加工条件を変更せずに加工する場合は、最も断線しやすい板厚の加工条件で全体を加工する必要がある。

PM制御は、ワークの板厚を自動検出し、各々の板厚ごとに最適な加工条件で加工するので、加工時間を大幅に短縮できる。また、板厚ごとに加工条件を変更するといったプログラミングの煩わしさからも開放される。

(3) 端面からの加工

断線防止機能がない場合、食い付き加工時には加工条件を弱くする必要がある。また、吹き掛け加工では加工液のかかりが極端に悪くなるため、加工条件を大幅に下げることがある。このような加工状態の悪化に対して加工エネルギーを的確に制御するので、ワイヤ断線を防止し、加工速度の低下を最小限に抑えることができる。また、浸せき(漬)加工の端面加工の場合、特に食い付き部分に近いほど加工スラッジの排出効率が高く、より大きな加工エネルギーを投入するため、加工速度が速くなるといった効果がある。

以上のように、PM制御による1stカット加工では、加工状態が刻々と変化するようなノウハウを必要とした加工においても、ユーザでの煩わしい加工条件設定を必要としない効率の高い自動加工が可能となる。

3.2 仕上げ加工の自動化：PM Automagic

3.2.1 PM画面

FXシリーズには、PM加工の能力を最大限に発揮させるため、1stカット加工から仕上げ加工までのプロセスを自動化するPM画面(PM Automagic)を搭載している(図6)。PM画面は、PM加工モードの設定と仕上げ加工面粗さを対話形式で入力することで、仕上げ加工に最適な加工回数、オフセット量、加工条件が自動的に設定できる。PM

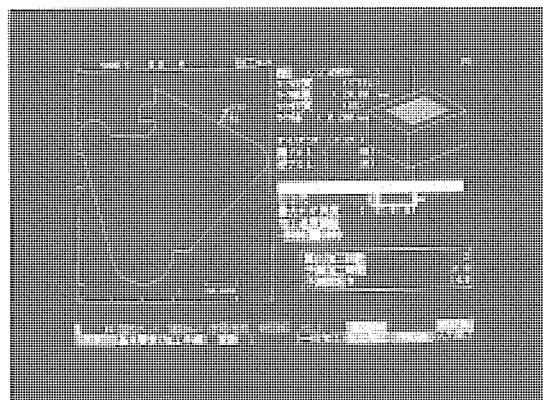
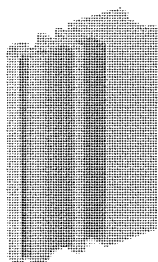


図6. PM画面

■形状



■加工条件

ワイヤ電極	φ0.25BS
ワーク	SKD-11/32mm
加工回数	4回
加工状態	浸漬加工
加工周長 (mm)	107

■加工結果

たいご精度	0.001mm (片側)
最大寸法差	±0.003mm
加工時間	59分19秒
加工面粗さ	3.47μmRz

図7. PM Automagicを使用した加工例

画面を使用すれば、NCプログラムの設定から加工形状のチェック、予測加工時間の算出、さらに加工のスタートから完了までの一連の操作を一つの画面で簡単に操作できる。したがって、初めてワイヤ放電加工機を使うようなユーザにおいても、仕上げ加工まで条件設定が容易に行えるようになった。

3.2.2 仕上げ加工例

図7に、PM Automagicを使用して仕上げ加工を行った加工例を示す。ユーザは形状プログラムを作ってPM画面に入力するだけで、オフセットやEバックなどの面倒な加工条件設定は、PM Automagicが自動設定する。そのため、煩わしい加工条件選択が不要となり、高精度の仕上げ加工が簡単にできるよになっている。

4. 簡単操作：操作性の向上

4.1 自動開閉加工槽扉

段取り作業を考えると、ワークの出し入れ、精度出しが中心であるが、加工槽の扉の開閉作業も一つの重要な要素と位置付けられる。特に近年女性の生産現場への進出も目覚ましく、作業の簡易化は避けては通れないものである。

また加工槽の扉構造としては、単に扉開閉の作業性だけではなく、扉の開閉のために無駄なスペースが発生しないか(省スペース化の推進)、扉の開閉に伴い加工液が漏れないか(作業環境の維持・改善)など、持たねばならない機能は多様である。

FXシリーズでは、加工槽の扉は上下昇降開閉する機構を搭載し、扉の開閉のために無駄なスペースを全く必要としない。また、扉の開閉に伴う加工液の漏れもすべて回収可能な構造としている。さらに加工槽扉の構造に、小型機種では自動ロック機構を、大型機では自動ロックに自動昇降を加えた自動開閉機構を装備した。この自動ロック機構の基本構造を

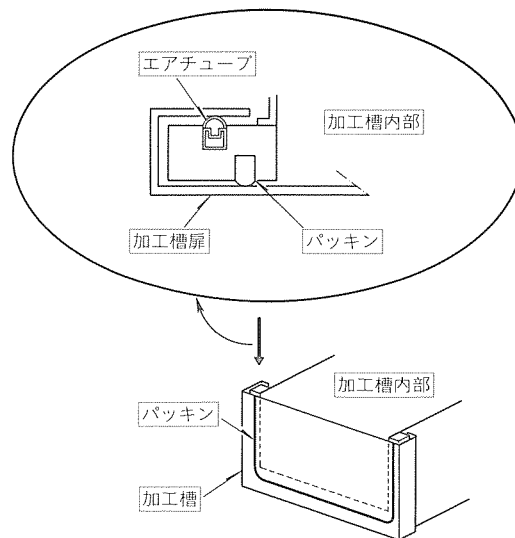


図8. 加工槽扉ロック機構

図8に示す。動作としては、ロック時に、図に示すエアチューブにエアを送り込んで膨張させることにより、そのエア圧に応じた押付け力を加工槽扉に作用させる。力を受けた加工槽扉は、パッキンに押し付けられて加工槽内部を密閉し、加工槽からの加工液の漏えい（洩）を防止する。エアチューブに送り込むエアを切ることにより、アンクランプされ、扉は開放可能になる。

この構造を加工槽扉の全周にわたって設けているので、シールが必要とされる部分に均等に力を作用できる。したがって、パッキンを押さえる力は、加工槽内の水圧に勝ち得る必要最低限でよく、パッキンの局部変形も発生せず、クリーブ寿命も延長できた。

4.2 段取り性の向上

段取り性の向上として、FXシリーズではテーブル固定のコラム移動型機械構造体を採用している。この方式については別途解説するのでここでは省略し、段取り性についてのみ説明する。

ワーク設置後、加工前には必ずワークの精度出しが必要である。その際、ワークを積載しているテーブルが移動すると、テーブル位置によって作業姿勢が変化して作業効率が悪い。これに対し、テーブル固定では、作業姿勢が変化せず、またワークに対する近寄り性も向上し、段取りが容易になる。

5. 環境・安全性の向上

ワイヤ放電加工では、使用済みワイヤ電極、フィルタ、イオン交換樹脂などの廃材が発生する。近年、地球環境の悪化が問題化しつつあり、環境保護に対する規制が強まる傾向にある。

一方、安全性に関して、日本国内ではPL法が施行され、消費者保護の考え方が浸透してきている。また、ヨーロッパでは、CEマーキングが法的規制として登場し、安全に対する考え方もより厳しくなりつつある。

この動向を受け、FXシリーズでは様々な環境・安全性を考慮した新機構を開発したので以下に紹介する。

5.1 ワイヤ処理装置

ワイヤ放電加工では、使用済みワイヤ電極の回収作業が必要である。従来は、ローラユニットで巻き出した使用済みワイヤ電極を回収箱に自然落下で回収していた。しかし、ローラユニットの精度的な要因やワイヤ電極製造時の巻き癖などの影響により、ワイヤ電極にカールが発生し、大きな箱でも短時間で一杯になり、長時間加工に対応できないことがあった。また、ワイヤ電極は通常は黄銅であり、回収業者による回収・再生が可能であるが、自然落下では業者の回収前の保管時の容量も多くなり、回収作業も必ずしも簡単とは言えない。そこでFXシリーズでは、回収する使用済みワイヤ電極を微細（2～4mm）に切断するワイヤ処理装置を開発した。外観を図9に示す。この装置により、長時間連続加工はもと

より、回収したワイヤ電極の容積も小さくなり、保管も容易で、回収性が良くなる。

5.2 フィルタ

放電加工によって加工されたワークの被加工部分は、微粒のスラッジに形を変え、加工液とともに加工液循環を実施する加工液供給装置に集められる。フィルタは、その加工液供給装置の循環システムの中でスラッジを加工液から分離するものであり、ワイヤ放電加工機には必要不可欠の消耗品である。フィルタは、一般的には紙を素材にしたものであり、水にぬれても破れない強じん（靱）さと、多くのスラッジを除去できる構造（長寿命）を必要とする。

FXシリーズでは、そのフィルタの廃棄性を考慮し、その容積を一般的に流通している物の約80%に削減した新型フィルタを搭載している。しかし、容積が小さいから寿命が短くなってはランニングコストに問題が出るため、ろ（濾）過面積を1.6倍にアップして長寿命化も図っている。

さらに、従来機種を複数台所有しているユーザで、従来のフィルタを使用している場合、消耗品の管理の面で同じフィルタが使用できるように、フィルタ設置場所は、カブラ接続が可能な市場に流通しているどのようなフィルタでも装着できるように寸法を確保している。

5.3 デザイン

ワイヤ放電加工機も一般化し、従来の性能さえ良ければ外観は気にしないということではなく、デザインも一つの性能として位置付けられるようになってきた。それは、労働力の意識の変化にも影響を受けている。すなわち、熟練労働者が不足し、若手の労働力を確保する場合に、その若手労働者は、汚くてカッコの悪いものではなく、きれいでスマートな職場と仕事を選ぶようになってきたため、職場環境をいわゆる今風に変化させる必要が生じてきた。そこで、デザインを一つの性能として考えて機械の導入を検討する流れが生まれてきた。当然、見た目のイメージは、機械そのものの性能を判断する有効な手段であることも忘れてはいけない。

FXシリーズは、人間工学に基づく操作性への配慮、作業環境との融合、先進イメージの構築をテーマに、シンプルで

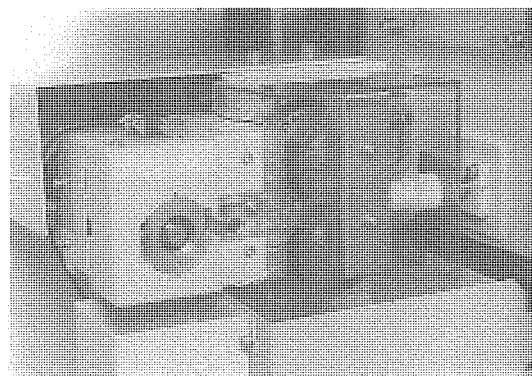


図9. ワイヤ処理装置の外観

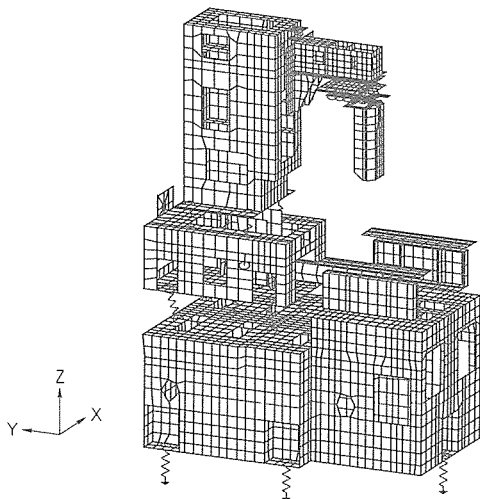


図10. 振動モード解析モデル

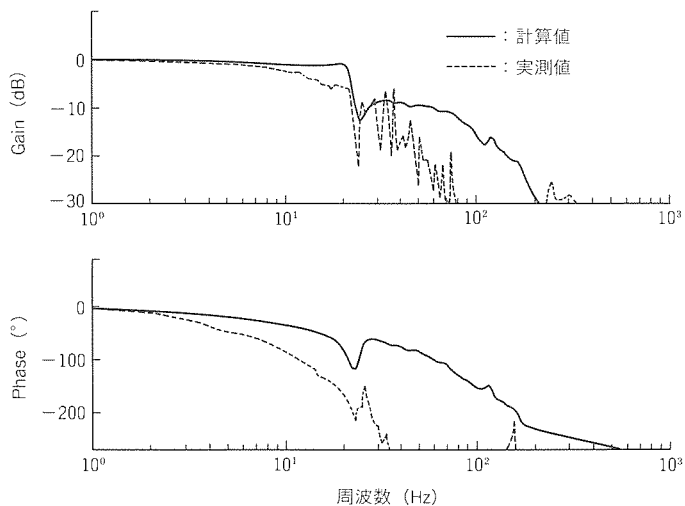


図11. 動解析結果（位置ループ特性）

ざん（斬）新たなデザインを採用した。

このデザインは、国内外を問わず好評を得ており、グローバルスタンダードにふさわしいものと考えている。

6. 経費削減：省スペース化

FXシリーズでは、先に述べた作業性（段取り性）の向上と省スペース化の推進の観点から、コラム移動型構造体を採用した。コラム移動型構造体とは、ワイヤ放電加工機において工具となるワイヤ電極側をXY軸に移動させ、加工対象物であるワークを積載するテーブルを固定するものである。

ワイヤ放電加工機の場合、加工による反力はほとんど発生せず、軸移動精度に影響を及ぼす要因としては、構造体を構成する部材の移動荷重及びワークや加工液の質量（質量変化）である。この要因の中で構造体による影響は各々の機械で一定であり、バラツキも発生しないため、NC制御装置の補正機能を使用して誤差を補正できる。したがって問題になるのは、ワークや加工液の質量変化ということになる。

一般的なテーブルをXY軸方向に移動するクロステーブル方式は、そのワークや加工液が構造体とともに移動するため、加工するワークの大きさや加工液量によって作用荷重が変化するため、補正機能が掛からず、誤差が発生する。そのため、構造体の剛性を向上させ誤差の絶対値を減らす対策を実施するが、コストアップの要因になる。

しかしコラム移動型では、質量が一定のワイヤ走行系であるコラムが移動し、質量変化のあるワークと加工液が移動しないため、軸移動に対する影響はほとんど発生しない。したがって、構造体の負荷分による発生誤差を補正にすることによって精度を保証できるメリットがある。

FXシリーズでは、この構造体を、最新のCAE技術を駆使して最適化している。

静的な剛性解析では、ベッド、サドル、コラムの各要素の単体の解析とそれらの組合せの総合解析を実施した。

構造体単体の解析では局所的な構造上の問題の有無をチェックし、総合解析では、移動軸に発生する構造体の変形による送り誤差、走りの真直度・直角度などの静的精度に関する項目についてほぼすべて実施している。

この解析結果を基に、機械加工による構造体自重分の倒れ量の精度補正も設計段階で反映し、試作機で効果を確認する試みも始めている。

さらにFXシリーズでは、機械構造体の振動モードとサーボ系の振動系とをリンクした動解析を実施した。

これは、ワークステーション上で構造体の振動モード解析モデルを、サーボ系解析ソフト上で同ソフト上に構成した駆動系モデルに結合して解析したものである。図10に構造体の振動モード解析モデルを、図11にその動解析結果と実機での動解析結果を示す。解析結果と実測が低周波数領域でよく一致しており、今後の製品開発時の使用により、より動特性の優れた機械の開発に活用できるものと考えている。

7. むすび

以上、三菱ワイヤ放電加工機“FXシリーズ”に搭載されている新技術と新機構をベースに、最近の汎用ワイヤ放電加工機について紹介した。これらの新技術と新機構は、製造現場での生産性向上に大きな効果を発揮するものと確信する。

日本経済の構造変革は始まったばかりであり、海外市場の動向も不透明なところが多く、製造業を取り巻く環境は厳しいものと予想される。今後も研究開発に努め、社会環境の変化、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。

超高精度ワイヤ放電加工技術

弥富 剛* 寺田 裕**
大場信昭** 今城昭彦***
山田 久**

要旨

市場における金型への要求が年々高品位化している中、半導体関連の金型及び精密電子部品の金型等の加工において、加工精度と品質に対する要求は非常に厳しくなっている。特に半導体関連の金型加工業界では、パソコンに代表される半導体メモリ需要要請にこたえるため、精密金型の供給が急激に増加しつつある。

こうした要求に対し三菱電機では、“DWC90PA”を開発し、高付加価値加工の中でも、ICリードフレーム金型のニーズをとらえることができた。

(1) ICリードフレーム金型とその課題

ICリードフレームの金型は、LSIの進化につれて、そのピン数の増加と、LSI 接合部のピッチの微細化が進んでいる。ICリードフレームの生産能力を上げるためには、従

来の研削加工を、金型分割の必要のないワイヤ放電加工で実現することが必要となった。

(2) DWC90PAの特長

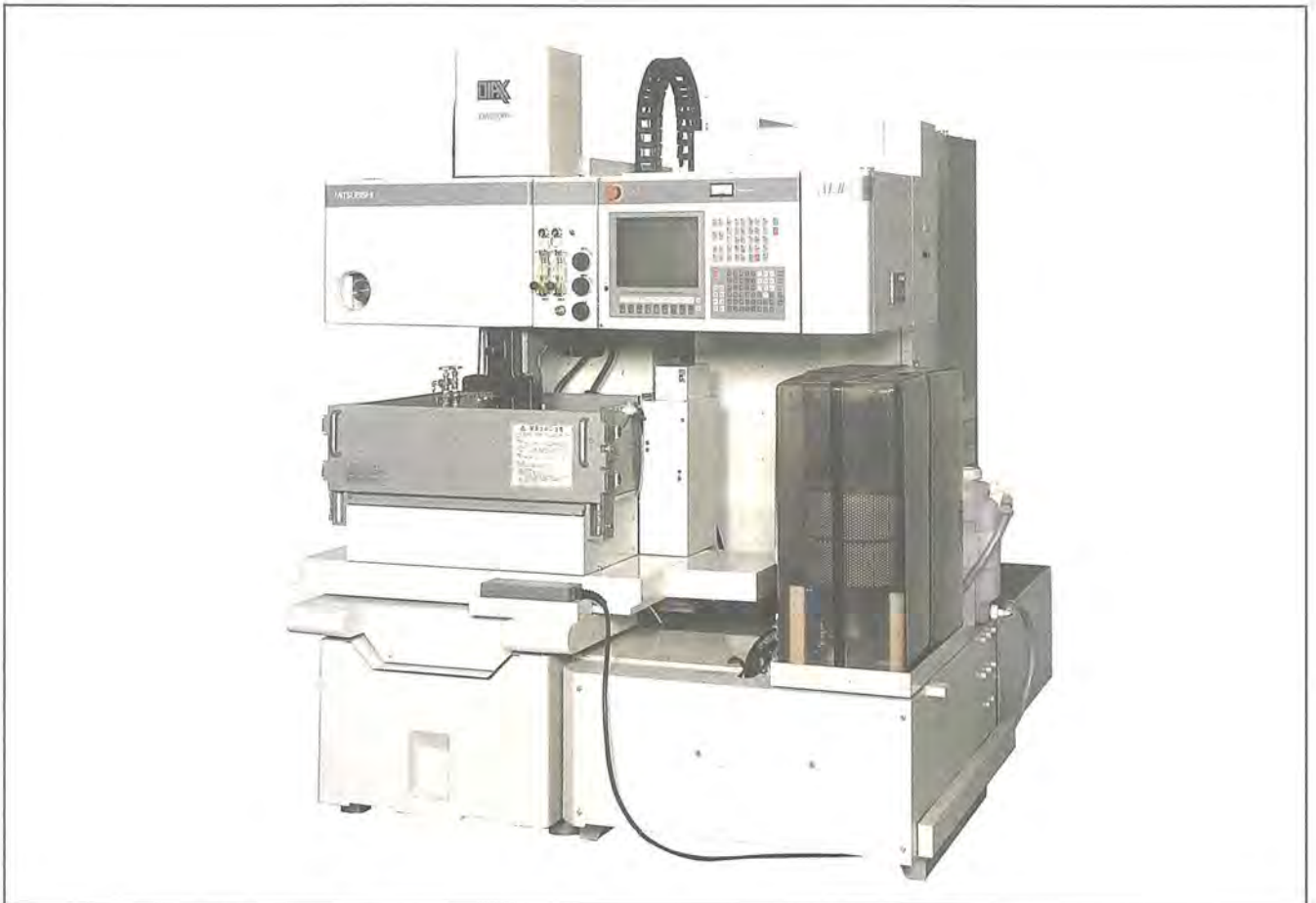
研削に代わる IC リードフレーム金型の加工に、水加工での高品位・超精密加工を行い、最良面粗さ0.3 μ mRmaxを実現した。

(3) HG制御による微細形状精度向上

IC リードフレーム金型に要求される微細スリットと加工形状精度を向上させるために、HG 制御(High Precision Gap Control)を適用した。

(4) 超高精度加工結果事例

FS II 超仕上電源、AE II 無電解高品質加工電源、HG 制御を駆使した高精度加工を行った。



超高精度ワイヤ放電加工技術 DWC90PA

DWC90PAは、研削に代わるICリードフレーム金型の加工に、水加工での高品位・超精密加工、最良面粗さ0.3 μ mRmaxを実現した。

1. ま え が き

市場における金型への要求は年々高品位化している。その中でも、半導体関連の金型及び精密電子部品の金型等の加工において、加工精度と品質に対する要求は非常に厳しくなっている。特に半導体関連の金型加工業界では、パソコンに代表される半導体メモリ需要要請にこたえるため、精密金型の供給が急激に増加しつつある。

こうした要求に対し当社では、“DWC90PA”を開発し、高付加価値加工の中でも、ICリードフレーム金型のニーズをとらえることができた。

本稿では、超高精度ワイヤ放電加工技術として、特にICリードフレーム金型を例に挙げ、それに必要な要素技術と、実際に加工された結果について述べる。

2. ICリードフレーム金型の動向とその課題

ICリードフレーム金型は、LSIの進化につれて、そのピン数の増加とLSIとの接合部分のピッチの微細化が進んでいる。具体的には大量に消費されるLSIのパッケージ寸法として28mm角、32mm角が上限として挙げられるが、これらの外部リードピッチと、ボンディング特性によって限界ピッチが決まってくる。さらに、量産段階での基板実装を考慮すると、現在のところ0.4～0.5mmピッチが実用上の限界とされている。

またリードフレームの多ピン化(100ピン以上)に伴い、従来のエッチングによる製造からプレス加工による製造への移行が盛んになってきており、実際には240ピンレベルまでプレス化されている。

このようにICのリードフレームの集積度が高まるにつれて、従来からの研削による金型製作では生産能力を上げることが困難になってきた。

2.1 研削加工からワイヤ放電加工へ

ICリードフレームの生産能力を上げるためには、従来の研削加工でしか実現できなかったICリードフレームの金型を、分割せずに一体で加工できるワイヤ放電加工機で実現することが必要となった。その背景として、従来から行われていたプロファイルグラインダを使った金型製作では精度を出すために熟練が必要であり、ますます高度化するICリードフレームの生産量を確保するには、人手を掛けずに設備の導

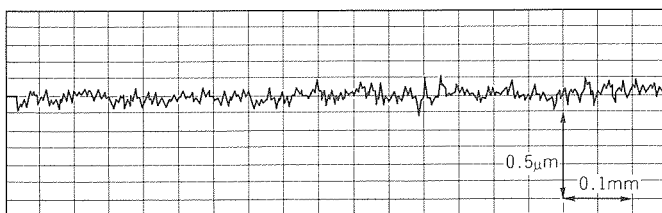


図1. FSII加工面の面粗さ測定結果

入で対応する必要があった。

しかしながら、研削から放電加工に置き換えるには技術的に解決しなければならない課題が多く、特に直径(ϕ)0.1mm以下のワイヤ電極を使って加工精度、放電加工面の面粗さと品質をクリアにする必要があった。このような背景から、当社は超高精度加工機DWC90PAを開発し、ICリードフレーム金型加工をワイヤ放電加工に置き換えることができた。

3. DWC90PAの特長

超高精度加工機DWC90PAの特長について以下に述べる。主な項目は次のとおりである。

- 水加工による高品位・超精密加工
- 機械構造の高剛性化による $\pm 3\mu\text{m}$ の安定したピッチ加工精度
- 微小領域・細線加工での形状精度の向上
- 最良面粗さ $0.3\mu\text{mRmax}$ の超仕上げ加工
- 細線領域での自動無人化運転が可能

これらの性能を実現し、ワイヤ放電加工機の微細型加工への適用範囲を拡大するための最新の微細・高精度加工技術について紹介する。

(1) FSIIによる超仕上げ加工

ICリードフレームのような微細形状加工では、最終の形状寸法精度はもちろんのこと、金型の寿命という点でも加工面の性状、すなわち仕上げ加工面の高品位化は重要なファクタである。特に研削加工からの置換えを考えた場合、ワイヤ放電加工の最終仕上げで研削加工の面粗さに匹敵し、かつ放電加工特有の熱変質層やクラックが極めて少ないことが必ず(須)である。

FSIIは、当社の交流高周波加工技術⁽¹⁾によって微小エネルギー領域における安定加工を実現し、最良面粗さ $0.3\mu\text{mRmax}$ の超仕上げ加工を可能とした。図1に最良面粗さに仕上げた面粗さ測定結果を、図2にその加工面のSEM写真

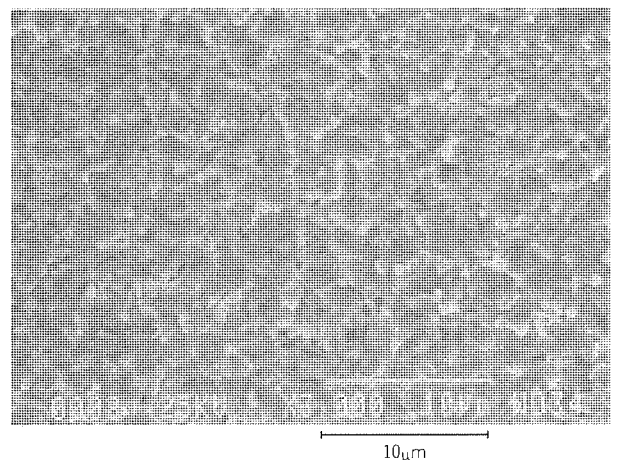


図2. FSII加工面のSEM写真(超硬合金)

真を示す。最良面粗さの向上により、放電加工面であっても研削加工同様、金型の切り刃部分のプレス性能上十分であり、また、ピッチ加工精度±3μmの実現によって金型の寿命を大幅に向上させることができた。

また、従来の超仕上げ加工が必要であった絶縁治具を用いることにより、水浸せき(漬)状態での超仕上げ加工が可能となっている。これにより、操作性・段取り性が大幅に向上するとともに、安定した高精度加工が実現できる。

(2) AEIIにおける無電解高品位加工

高速無電解電源の標準搭載により、ICリードフレーム等の微細金型に使用される超硬合金の加工においても、熱変質層やクラックが極めて少なく、金型の破損につながる加工面の強度低下を抑制できる。

(3) AEII高速無電解電源と油加工との比較

当社のAEII高速無電解電源では加工液に水を使用するため、他社が実施している油加工とは違うメリットが出せる。表1に、油加工と水加工の加工面品質などの比較を示す。通常、水加工の場合は電解変質層が問題となるが、当社は荒加工に高速無電解電源(AEII)を使用し超仕上げ電源(FSII)で仕上げまで行うため、電解変質層をほぼ無視できる。一方、油加工では、加工表面が硬化するためクラック等が生じ、金

表1. 油加工と水加工の比較

	油加工	水加工 (AEII+FSII)
加工面品質		
変質層 (熱変質層)	△	◎
変質層 (電解変質層)	◎	○
クラック	△	○
縦すじ	△	○
強度への影響	△	○
加工速度		
最大加工速度	△	◎
トータル加工速度	△	◎
加工回数	△	○
安全性 (火災の危険性)	△	◎
メンテナンス性	△	○

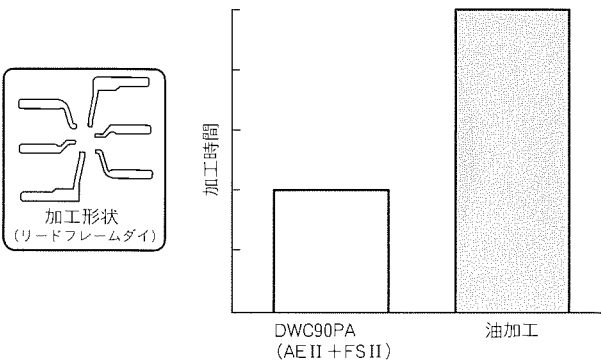


図3. リードフレーム加工時間比較

型の強度上問題となる。

次に加工速度の比較であるが、最大加工速度、トータル加工速度、加工回数のどれをとっても、水の方が有利である。図3はリードフレームの加工時間比較(比率)で、図4は加工回数と加工面粗さ比較である。これらより、ICリードフレームで必要とされる面粗さ1μmRmax以下を実現させるには、水は6回、油は9回と、すべてにおいてAEII+FSIIのメリットが出せる。

また、安全性・メンテナンス性であるが、水は油と異なって火災の心配がないことや、作業する上でも水は容易に扱うことができるため、作業者の立場からは絶対的に有利である。表2に水加工の長所を示す。

4. HG制御による微細形状精度向上

ICリードフレームの加工精度を実現するため、当社DWC90PAでは、HG制御を搭載し、従来加工形状が微細化するほど困難であった形状加工精度を向上させ、かつ、その領域を自動化することができた。

このHG制御は、

- 微小コーナや微小スリットの仕上げ形状精度向上(図5)
- コアレス加工での形状精度向上
- 微小インコーナでの短絡の防止

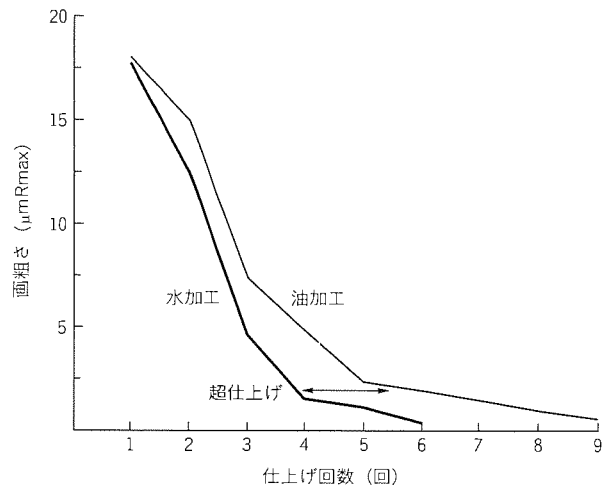


図4. 加工回数と加工面粗さ比較

表2. 水加工の長所

項目	AEII	油加工機
加工液	イオン交換水	放電加工油
クラック(ひび割れ)	少ない 最良仕上げ面で深さ1μm以下	多い 最良仕上げ面で深さ3~5μm
加工速度	速い 無電解最大加工速度270mm ² /min	遅い 水加工の1/4~1/3
無人運転	安全	火災の危険性がある

●加工エネルギーの非常に小さい仕上げ領域での安定化を目的として、新開発のデジタルギャップ制御技術により、微細状加工における制御応答性と安全性を大幅に向上した。

その結果、特にコアレス加工やコーナ部などの加工量が急激に変化するような部分で、形状精度が大幅に向上した。さらに、形状修正のための仕上げ回数を低減できるため、総加工時間の短縮が図れる。図6に仕上げ加工回数と形状誤差の収束を示す。

5. 高精度機械構造

超高精度加工を実現する上で、機械構造も重要なファクタ

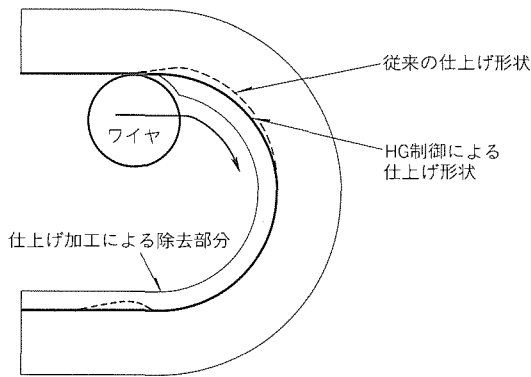


図5. 微小コーナ部における形状誤差

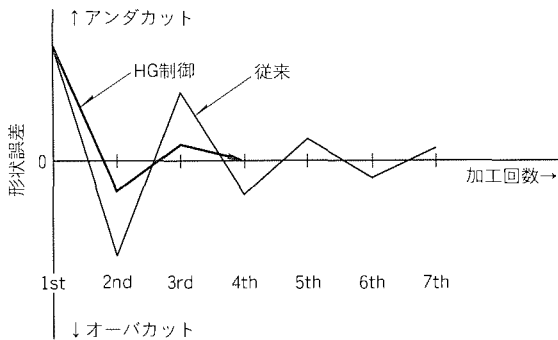


図6. 仕上げ加工回数と形状誤差の収束

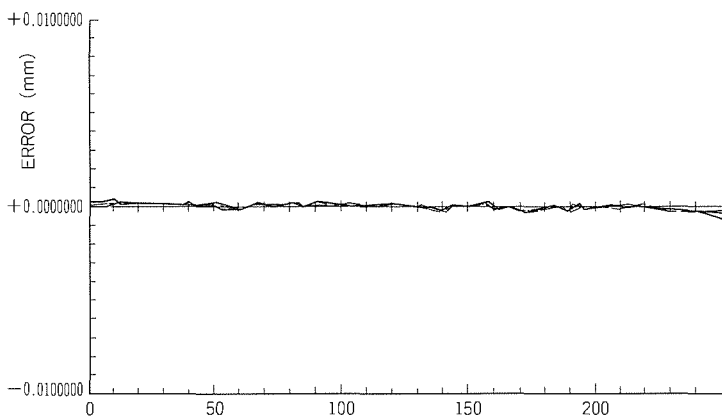


図7. 位置決め精度実測例

である。超精密分野に対応した高精度機械構造について、以下に述べる。

(1) 高剛性基本構造

熱的特性に優れ、急激な温度変化に対しても影響を受けにくい高剛性特殊鋳物を基本構造体に採用した。

(2) フルクローズドループ方式駆動制御

テーブル駆動は、0.1 μm リニアスケールによるフルクローズドループ制御により、安定した高精度位置決めが可能である。図7に、X軸テーブル駆動におけるピッチエラー測定結果を、図8に、材質SKD-11、板厚20 mm、直径20 mmでの真円加工結果を示す。

(3) 外力遮断位置決めガイド構造

コラムから加工槽内に延びている下部アームはCFRPの二重構造になっており、外側アームでフィード線や加工槽内の水流変化等の微妙な変動外力を受力し、内部アームに保持された下部ガイドの微小変位まで防止する構造である。

(4) φ0.05 mm ワイヤ用 AF 装置

自動化する上で必須条件となるのが、ワイヤ自動供給装置 (AF 装置) の細線領域への対応である。DWC 90 PA では、φ0.05 mm ワイヤの領域まで自動的に挿入することを可能にし、挿入の信頼性についても、ほぼ100%に近いところまで技術を確認した。また、細穴サーチ機能、小径ジェットノズルとの組合せにより、微小なスタート穴やスリット加工において適応させた。

φ0.05 mm ワイヤ自体の材質は、従来、モリブデンやタングステン等を使っていたが、ICリードフレームに要求される精度と加工速度を満足させるために、客先及びワイヤメーカーと共同開発を行い、新素材 SP ワイヤを φ0.05 mm の線径に採用し、その加工特性に合った加工条件を確立した。

6. 超高精度加工結果事例

FSII超仕上げ加工電源、AEII無電解高品質加工電源とHG制御により、ICリードフレームのような微細スリット加工が行えるようになり、DWC 90 PA 発売以来、数多くの

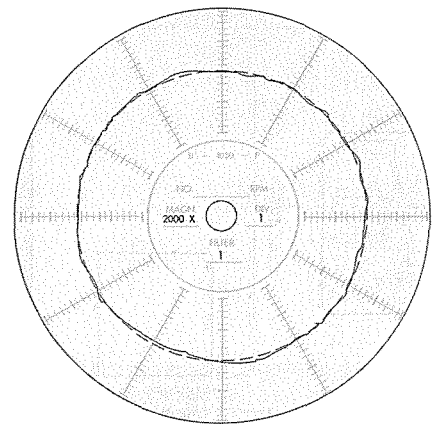


図8. 真円加工精度実測例

加工事例をそろえるに至った。その中でも代表的な加工結果について紹介する。

(1) ICリードフレーム加工 No.1

加工条件

工作物：超硬合金

ワイヤ電極：φ0.07mm黄銅

加工回数：コアレス 6thカットまで AEII+HG 制御
7~8thカット FSII

加工時間：35分

加工面粗さ：0.5μmRmax

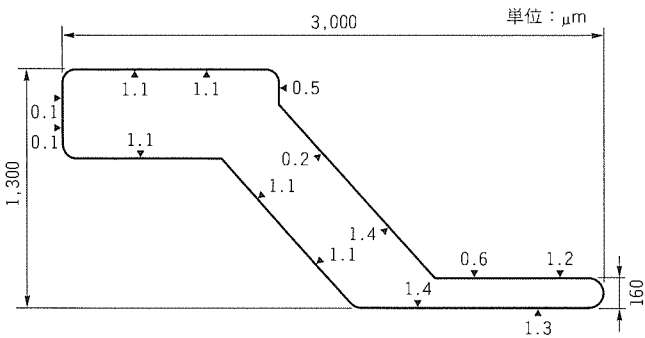


図9. リードフレーム金型寸法測定結果

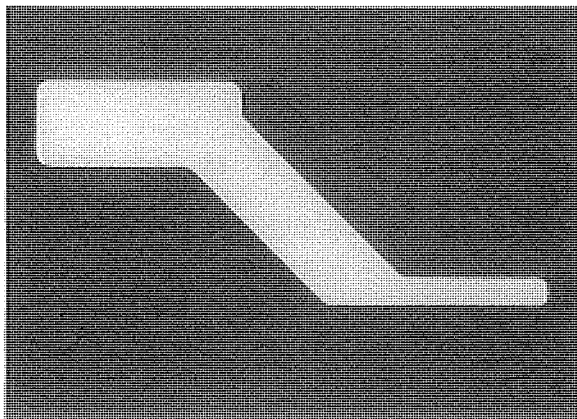


図10. リードフレーム金型加工例 (1)

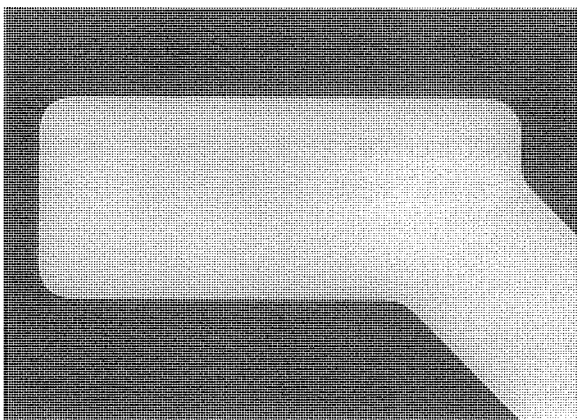


図11. リードフレーム金型加工例 (2)

この加工は、最小スリット幅が0.16mmであり、φ0.1mmワイヤでの限界値である。また、形状誤差は±1.4μmに抑えることができた。図9に、リード各部分の形状寸法測定結果を示す。加工面粗さも0.5μmRmaxまで仕上がっており、加工面性状もクラックのない良好な面である。図10はこの加工における全体写真で、図11と図12は各々リード先端部分の拡大写真である。

ICリードフレーム形状の加工では、スリット幅に対してどれだけ太いワイヤが使えるかがポイントになる。その理由としては、ワイヤ自動供給装置(ΔF)を使って複数の加工を連続で行うために、1stカットでのスクラップを出さず、すべて加工粉(細かいスラッジ)に処理する必要があるためである。すなわち、太いワイヤほど高いエネルギーを供給して加工できるため、コアレス加工時(1stカット)の加工時間が大幅に違ってくる。表3には、φ0.1mm以下のワイヤ径に対し、面粗さ0.5μmRmaxまで仕上げるときの最小スリット幅を示す。この表から分かるように、ワイヤ径+40~60μmが、ICリードフレーム金型に使われる板厚での、仕上げまで含めた放電ギャップになっている。

(2) プレス用精密金型

加工内容

工作物：SKD-11と超硬合金

工作物板厚：10mm

ワイヤ電極：φ0.05mmSPワイヤ

加工時間：SKD-11 35分/個

超硬合金 61分/個

加工面粗さ：SKD-11 1.18μmRmax

超硬合金 0.70μmRmax

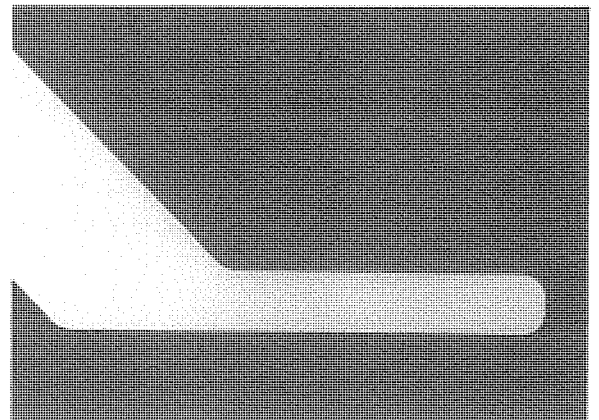


図12. リードフレーム金型加工例 (3)

表3. ワイヤ径と最小スリット幅

ワイヤ径 (mm)	最大スリット幅 (mm)
0.1	0.160
0.07	0.120
0.05	0.090

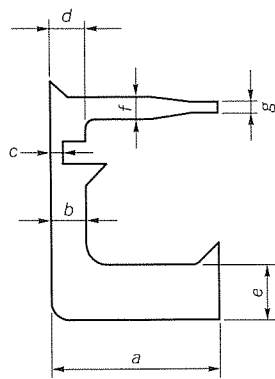


図13. プレス用精密金型の加工形状

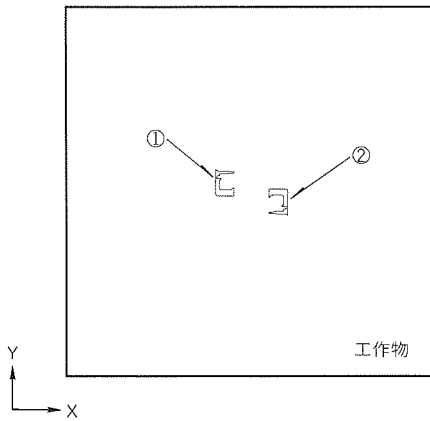


図14. プレス用精密金型の加工位置

図13に加工形状を示す。また、図14に工作物上での加工位置関係を示す。

この加工では、図14に示すように、各々の材質で加工形状を180°回転させて、機械の方向性のないことを実証している。また、加工形状の中での最小スリット幅は、図13から分かるように0.1mmであり、板厚10mmでのほぼ限界値を示す(限界値は0.09mm)。図15に図13の加工結果(サンプル写真)を示す。

また形状誤差は、表4及び表5に示すように、SKD-11では3.9 μ m、超硬合金では3.4 μ mのばらつき(誤差の最大と最小の差)を示す。



(a) 全体 (b) 上部拡大図 (c) 下部拡大図

図15. プレス用精密金型の加工結果(サンプル写真)

表4. プレス用精密金型測定結果 (SKD-11)

単位: mm (誤差単位: μ m)

測定部	図面寸法	測定値	(誤差)
①	a	1.5003	0.3
	b	0.3013	1.3
	c	0.1000	0.0
	d	0.3010	1.0
	e	0.5023	2.3
	f	0.2018	1.8
	g	0.0988	-1.2
②	a	1.5003	0.3
	b	0.3001	0.1
	c	0.0987	-1.3
	d	0.2998	-0.2
	e	0.5024	2.4
	f	0.2015	1.5
	g	0.0985	-1.5

表5. プレス用精密金型測定結果 (超硬合金)

単位: mm (誤差単位: μ m)

測定部	図面寸法	測定値	(誤差)
①	a	1.5021	2.1
	b	0.3029	2.9
	c	0.1022	2.2
	d	0.3022	2.2
	e	0.5031	3.1
	f	0.2020	2.0
	g	0.0999	-0.1
②	a	1.5017	1.7
	b	0.3016	1.6
	c	0.0997	-0.3
	d	0.3014	1.4
	e	0.5027	2.7
	f	0.2014	1.4
	g	0.1003	0.3

7. むすび

以上、ICリードフレーム金型の加工分野をターゲットに開発した超高精度ワイヤ放電加工機“DWC90PA”により、超高精度の分野でも他社の油加工機よりも優れていることを実証してきた。DWC90PAに搭載した新技術を、他のシリーズにも徐々に展開していきたいと思っている。

今後とも客先の声を大切に、さらに、高度化する市場のニーズにいち早くこたえられるよう、開発を進めていく所存である。

参考文献

- (1) 真柄卓司, 弥富 剛, 小林和彦: ワイヤ放電加工における高精度仕上げの研究—交流高周波による亜鏡面仕上げ加工, 電気加工学会誌, 24, No.48, 45 (1991)

最近のCO₂レーザ加工機

押村光信* 西田 聡*
祝 靖彦* 廣崎達也*
松野 司*

要旨

現在の工業製品の生産活動では、世界単一市場化による競争の結果、より高付加価値製品製造を目的とした新しい生産技術の導入や原価低減のための合理化投資として、高生産性設備への置換えが活発になってきている。そこで、これらの市場動向に適合する最新の生産技術手段として、レーザ加工が注目され、従来の生産手段に置き換わりつつある。

本稿では、最新のCO₂レーザ加工機及びレーザ発振器の特長と加工技術の動向について、以下の内容を述べる。

(1) 汎用高生産性レーザ加工機“LX(P)シリーズ”の概要

新開発のレーザ加工機LX(P)シリーズの高速・高精度加工を可能にした駆動制御技術、パレットチェンジャによって実現した高生産性、及びその他の特長。

(2) 大型レーザ加工機の動向

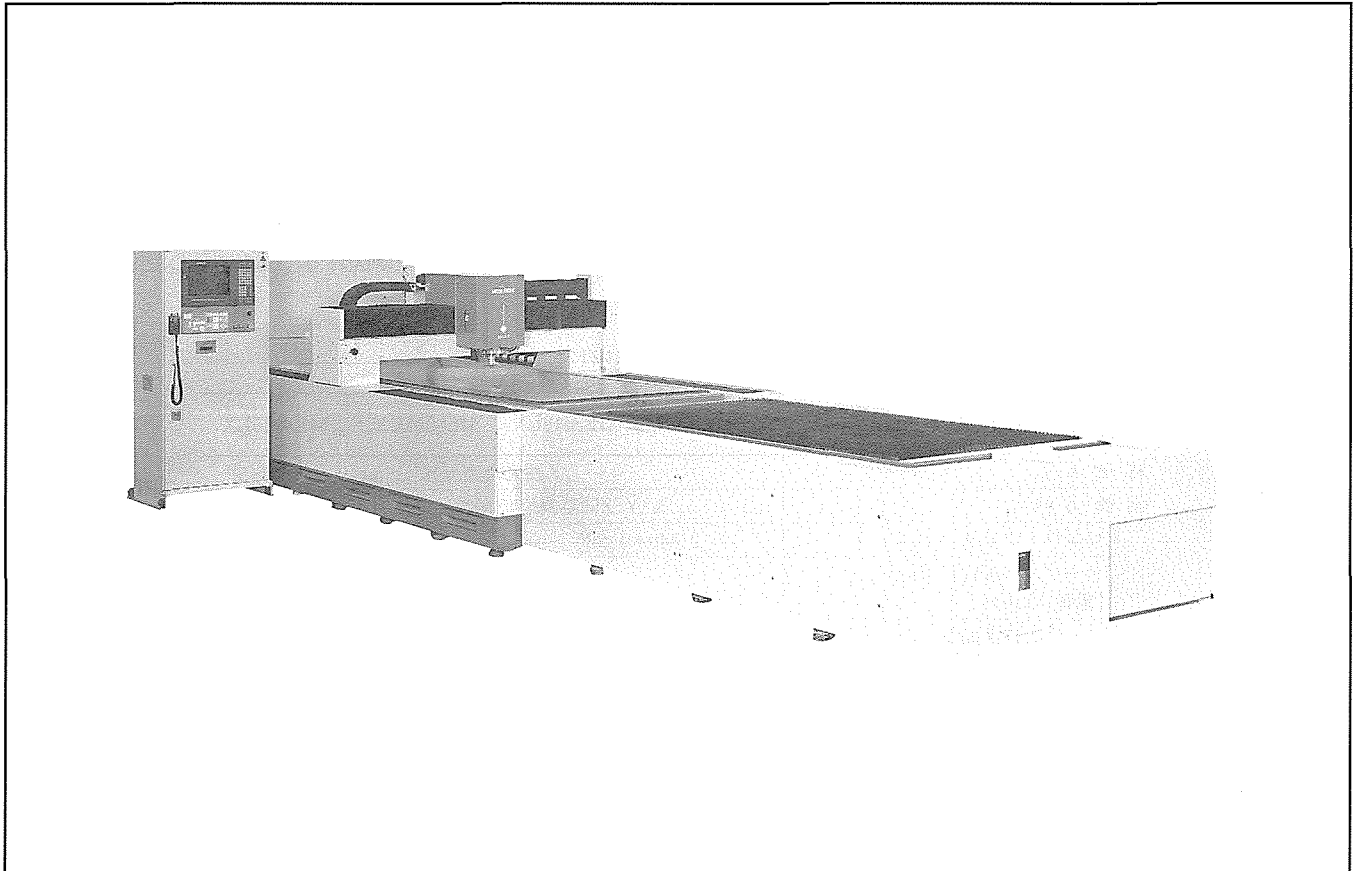
長尺厚板切断分野において光路長一定機構を採用し高速・高精度加工を実現したML6025タイプと、レーザ発振器搭載による高安定性を達成したML13030タイプの開発概要。

(3) レーザ発振器技術

新規に開発した2kWレーザ発振器の技術特長である厚板切断適合モード、共振器の熱的安定性向上技術、及びデジタル制御による出力応答性の向上。

(4) 最新の加工技術

薄板の高速切断における加工精度と生産性の過去7年間の変遷を述べるとともに、厚板切断時の加工条件制御技術についての特長。



汎用高性能レーザ加工機ML2512LXP-3020D

写真は、新開発のレーザ加工機ML2512LXP-3020Dの概要である。このレーザ加工機により、従来比1.6倍の高速性能とパレットチェンジャによる高生産性を達成した。

1. ま え が き

現在の工業製品の生産活動では、世界単一市場化によるボーダレスな競争の結果、高付加価値製品化と国際的な価格競争に耐えられる合理化が一層追求されるようになってきている。そのため、新規性の高いハイテク応用による生産技術の導入や、フレキシブルで生産性の高い設備に対する需要は根強いものがある。

レーザー加工機の主要ユーザである板金加工業界でも、より高精度な部品を多品種少量でも低価格で対応できるように、金型レス化に対する指向が強い。その手段として、レーザー加工機に対する期待は高く、従来の生産手段に置き換わりつつある。また建設機械部品等の長尺厚板切断分野においても、レーザー加工の高精度で安定した加工が評価され、合理化投資の一環として普及し始めている。

そこで本稿では、板金加工用途及び長尺厚板切断用途での最新のレーザー加工機の概要を述べるとともに、CO₂レーザー発振器の特長及び加工技術についても併せて述べる。

2. 汎用高生産性CO₂レーザー加工機 LX(P)シリーズの概要

工業製品の低価格化が進み競争が激化する中、CO₂レーザー加工機の主要ユーザである板金加工業界においては、高精度の多品種少量部品をいかに効率良く生産するかが課題となっている。これにこたえて当社では、3軸光走査(Flying Optics)方式を採用し、高速・高精度、高生産性を実現させた汎用高生産性レーザー加工機 LX (P) シリーズを開発した。

この章では、LX (P) シリーズの高速・高精度、高生産性を可能にした技術を中心に、このシリーズの概要を述べる。

2.1 製品外観及び仕様

本稿のカラーページの写真は、LX (P) シリーズの代表機種である“ML2512LXP-3020D”の外観である。ガントリ部分加工機のX軸部分であり、Y軸及びZ軸部分を搭載して長手方向に移動する3軸光走査構成となっている。

表1にLX (P) シリーズの仕様を示す。

2.2 高速・高精度

加工機の駆動は、X軸部分に2本のナット回転方式ボールネジを同期駆動する2軸同期制御方式を採用する等によって高速化を図り、早送り速度は、単軸で60 m/min、XY合成軸で84 m/minと、倍速化を達成した。また、加工速度は、CAEの活用による加工機構造の最適化に加え、制御装置の処理能力向上と高速駆動時の高精度軌跡制御アルゴリズムの開発、レーザー発振器のデジタル制御化によるレーザー出力応答時間の向上、光学理論に基づくシミュレーションによるレーザー光伝送路構成の最適化等により、厚さ1mmの軟鋼板(SPCC)に直径10mmの穴を真円度50µm以下を維持して、従来の1.6倍である8 m/minで切断可能とし、高速・高精度を達成した(いずれも当社HDシリーズ比)。

2.3 高生産性

材料を搭載するパレット2枚を交互に加工機へ出入させるパレットチェンジャ付きのLX (P) タイプでは、加工機側で、加工中にパレットチェンジャ側のパレットでの材料の搬入と、加工後の部品取出し等を可能とし、大幅な生産性向上を実現させた。さらに、3軸光走査方式では加工時に材料が移動しないため、基本的に材料のずれ防止のためのクランプや加工した部品の脱落防止のためのマイクロジョイント(微小幅の切り残し)が不要となり、歩留り向上、部品取出しの効率化等、生産性の向上が図れる。図1に示した例では、高速

表1. LXシリーズの仕様

項 目		形 名			
		ML2512LXP	ML2512LX	ML3015LXP	ML3015LX
移動方式		3軸光走査方式			
制御方式		X-Y-Z同時3軸 (Z軸微い制御も可能)			
対象ワーク寸法 (mm)		2,440×1,220		3,050×1,525	
テーブル搭載質量 (kg) [重量 <kgf>]		375		585	
ワーク支持部高さ (床面から) (mm)		850			
パレットチェンジャ		あり	なし	あり	なし
諸元・性能	ストローク	X軸 (mm) 2,650 (加工範囲 2,500)		3,250 (加工範囲 3,100)	
		Y軸 (mm) 1,250		1,550	
		Z軸 (mm) 100			
速度	早送り速度 (m/min)	最大60 (100%, 50%, 10% 3段階設定)			
	最大加工送り速度 (m/min)	15			
精度	位置決め精度 (mm)	0.050/500 (X, Y軸), 0.1/100 (Z軸)			
	繰返し精度 (mm)	±0.010 (X, Y軸)			
加工ヘッド		φ2.0"×f5.0" (2kW発振器時はφ2.0"×f7.5")			
適合レーザー発振器		ML1510D (1kW), ML2513D (1.3kW), ML3020D (2kW)			

加工による加工時間短縮及びパレットチェンジャによるマテハン作業の外段取り化によって、高生産性が実現されていることが分かる。

3. 大型レーザ加工機の動向

CO₂レーザ加工機の普及は板金を高速・高精度に加工する分野で普及してきたが、近年、プラズマ切断やガス切断による加工が主であった長尺厚板分野（建設機械、橋りょう（梁）、造船等）に適用し、置き換えるニーズが急速に増えつつある。その理由として、①熱影響の少ない高精度加工が可能、②職人の高齢化、③省力・省人化が挙げられる。しかし、レーザ加工機を長尺厚板分野に適用するに当たり、厚板加工の安定性を維持しつつ、加工機本体を大型化し、レーザビームの長距離伝搬に対するビーム品質の維持、加工機移動時のレーザ発振器への影響等の技術課題をクリアしなければ

■下図の部品を1,000個加工の場合（1,220mm×2,440mmの素材9枚から）

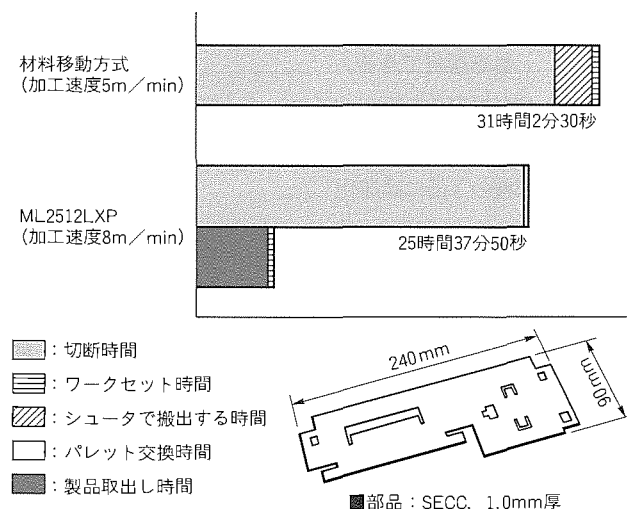


図1. 生産性向上の例

ならない。ここでは、このシリーズにおいて、種々の技術課題をどのように解決し製品化したかの開発概要を紹介する。

3.1 製品仕様

大型レーザ加工機のシリーズとして、ML6025に代表されるレーザ発振器を別置きした高速・高精度タイプと、ML13030に代表されるレーザ発振器を搭載して移動する高生産・高安定性タイプがある。

大型レーザ加工機シリーズの仕様を表2に示す。

3.2 レーザ発振器別置き型高速・高精度タイプ

レーザ発振器別置き型高速・高精度タイプは、対象材料の長さが6mまでを対象としているが、レーザ発振器と加工機を別置きにすることにより、可動部の重さを軽量化し、かつX軸には高減速比の減速器を採用することで、長ストロークにもかかわらず、より高速・高精度化に対応可能とした。しかし、レーザ発振器と加工ヘッドまでの距離において、近い位置と遠い位置とで光路長の変化が大きく、レーザビームの発散角によってビーム品質が異なる問題が発生する。この解決策として、図2に示すX、Y軸の両方に光路長一定機構（当社保有特許登録番号：第1569962号）を採用し、常にレーザ発振器から加工ワークまでの光路長を一定に保つとともに、光路長の間位置に像転写理論に基づいて設計されたレンズ装置を装着することにより、全ストロークにわたってレーザビームの品質を一定かつ最適とし、厚板16mmの軟鋼を高速・高精度に加工することを可能とした。

3.3 レーザ発振器搭載型高生産・高安定性タイプ

レーザ発振器搭載型高生産・高安定性タイプは、対象材料の長さが13mまでの長尺の材料を対象としているが、複数枚の定尺材料を同時に加工テーブルに置くことで大幅な生産性の向上が図れる。しかし、X軸ストロークが13mと大幅に伸びたことにより、レーザ発振器を搭載移動する必要が発生し、そのため、種々の課題を解決する必要があった。

表2. 大型機シリーズの仕様

項目	型名	レーザ発振器非搭載タイプ			レーザ発振器搭載タイプ		
		ML4020	ML6025	ML6030	ML13025	ML13030	
移動方式		X軸,Y軸：光移動（光路長一定方式）			X軸：発振器搭載移動 Y軸：光移動（光路長一定方式）		
制御方式		X-Y-Z同時3軸（Z軸微い制御も可能）			X-Y-Z同時3軸（Z軸微い制御も可能）		
諸元・性能	対象ワーク寸法 (mm)	2,000×4,000	2,500×6,100	3,050×6,100	2,500×13,000	3,050×13,000	
	ワーク支持部高さ (mm) (床面から)	500			500		
	ストローク	X軸 (mm)	4,500	6,600	6,600	13,500	
		Y軸 (mm)	2,100	2,600	3,150	2,600	3,150
		Z軸 (mm)	150			150	
	速度	早送り速度 (m/min)	15			X軸,Y軸：24 Z軸：15	
最大加工送り速度 (m/min)		X軸,Y軸：10 Z軸：5			5		
精度	位置決め精度 (mm)	0.05/500 (X,Y軸)			0.1/500 (X軸,Y軸)		
	繰返し精度 (mm)	±0.015 (X,Y軸)			±0.1 (X軸,Y軸)		
加工ヘッド		φ2.0"×f10"			φ2.0"×f10"		
適合レーザ発振器		4030D			4030D		

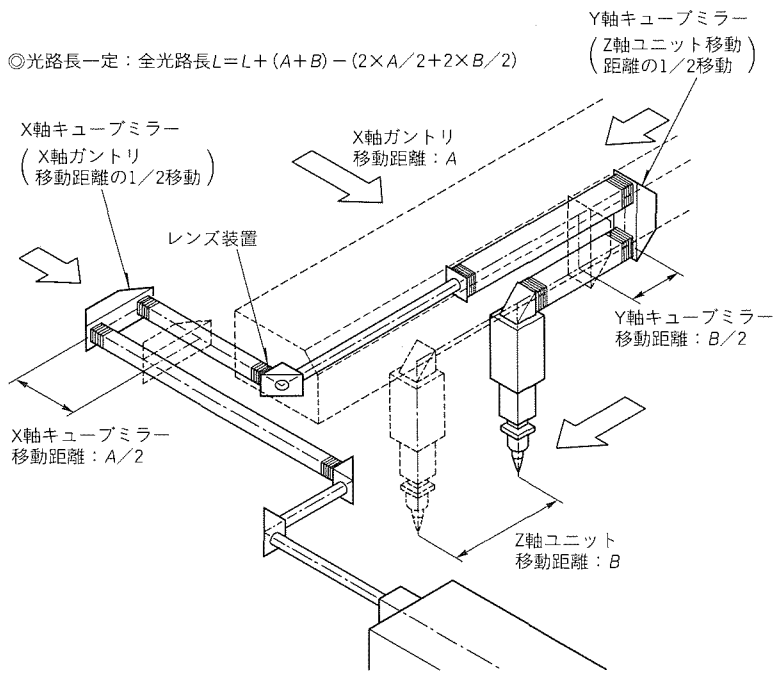


図2. 光路長一定機構の構成

第一に、安定化と高精度化のための最適構造として、レーザー発振器の内部構造が熱による部品の伸び等を吸収する構造となっているため、大きな加振力によっては内部構造に影響が出る可能性があった。このため、レーザー発振器の発振器部分と電源盤部分を分離することにより、発振器の取り付ける向きを加振力に強い方向である可動方向に対して直角に配置することで解決を図るとともに、レーザー発振器、電源盤、冷却装置、制御装置を質量バランス良く搭載することも可能となり、安定した起動/停止が可能となった。また、制御装置に高精度スイッチを標準装備し、2m/min以下の加工速度ではレーザー発振器別置き型と同等の加減速時定数で移動可能にし、良好な軌跡精度を達成した。

第二に、低ランニングコストの維持のために、冷却装置を搭載することによって電力量がレーザー発振器別置き型と同等となり、低ランニングコストを維持することが可能となった。

第三に、死角の多いレーザー発振器搭載型レーザー加工機の安全性を確保するため、可動部前後にエアセンサを配置するとともに、後部確認用ミラーや後進警報ブザーを装備した。

4. CO₂レーザー発振器

4.1 機種系列と特長

当社は、レーザー発振出力0.8～3.0kWまでの切断用途を始めとして、5kW、10kWの溶接用途、0.3kWの特殊用途のCO₂レーザー発振器搭載機など、トータル9機種の幅広い機種系列をそろえており、多様な加工要求にこたえてきている。

当社レーザー発振器の特長は、

- (1) SD励起3軸直交型の採用により、均質な放電と脈動の

少ないガス流が得られるため、く(矩)形波高ピークパルスでかつ安定なビームモードと出力が得られる。

- (2) レーザ発振出力を常時高速パワーセンサで監視しているため、±1%以下の安定な出力ときめ細かな出力コントロールができる。

- (3) ガス封じ切り運転による安価なランニングコストであり、業界でも高い評価を得ている。

4.2 切断用CO₂レーザー発振器

1994年10月にデジタル制御技術を搭載した切断用CO₂レーザー発振器Dシリーズ(0.8～3kW)を発売し、好評を得ている。

Dシリーズは、

- (1) 切断用途により、厚板切断がメインの高出力では光学部品にやさしい厚板切断適合モード(低次<TEM01*主成分>)を搭載したレーザー発振器⁽¹⁾を、薄板微細加工には業界随一の集光性能を発揮するシングルモードを搭載したレーザー発振器を選択できる。

- (2) レーザ発振器の制御にマイコンチップを採用し、レーザー発振器の性能を生かした制御プログラムにより、出力応答性を当社従来機の3倍に高速化した。

- (3) 3kW機では連続波CW出力よりも高いピーク出力4kWまで出力することができ、さらに、高速なピアシングができるようになった。

などの特長がある。Dシリーズ各機種の切断能力は表3のとおりであり、用途に合わせて機種選定ができるようになっている。

4.3 CO₂レーザーの最新技術

特にDシリーズに採用されている以下の最新技術を紹介する。

(1) HIT共振器

レーザー発振器を構成しているミラーは、レーザー光の熱を受けているため、冷却水によって冷却されている。しかしながら、冷却水温は微妙に温度変化をしたり、冷却水の入口と出口で若干の温度差が生じる。この微小な影響を受け、レーザー発振器から得られるビームモードの形状やビームのポインティングスタビリティが変化する。当社のレーザー発振器は、HIT (Heat Insulated and Tolerable) 技術によって、熱的影響を排除し、安定なレーザー光が供給できるようになった。

(2) ARIS

レーザー発振器を構成しているミラーは周辺のごみやオイルミストが一番嫌い、ごみが付着するとミラーはレーザー光のエネルギーによって焼付きを生じてしまう。当社のレーザー発振器は、ARIS (Auto Reverse Side Flow Gas System) 技術により、ガス流体を活用して共振器内部ミラーを汚れや焼付きから防御している。

表3. 切断用CO₂レーザー発振器の能力と機種選定

形名	出力波形		SS400					SUS304					アルミニウム合金(A5052)											
			高周波パルス					パルス(低速)					パルス(酸素切断)					パルス(無酸化切断)						
	パルス	CW	4	8	12	16	20	4	8	12	16	20	4	8	12	16	1	2	3	4	5	2	4	6
ML1508D	max1,500W	max800W	f=5"					f=5"					f=5"					f=5"						
ML1510D	max1,500W	max1,000W	f=5"					f=5"					f=5"					f=5"						
ML2513D	max2,500W	max1,300W	f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"						
ML3016D	max3,000W	max1,600W	f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"						
ML3020D	max3,000W	max2,000W	f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"						
ML4030D	max4,000W	max3,000W	f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"					f=7.5"						

(注) 上記選定表の記載値は特定の条件の下での能力であり,検収条件は仕様書による。
 上記選定表は,材料の表面状態(さび,傷等)によって加工性能は変わる。
 純アルミニウムの加工はレーザー光の反射が多い。

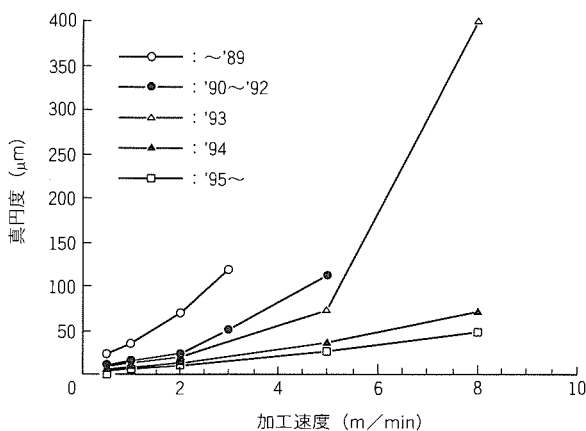


図3. 加工精度(SPCC, 1mm厚, 丸穴径10mmの真円度)比較

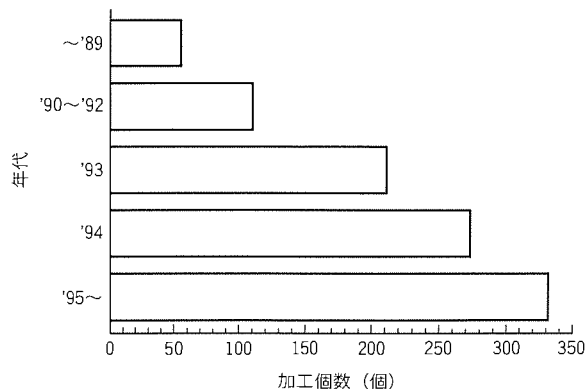


図4. 3分間に加工できる穴個数 (SPCC, 1mm厚, 丸穴径10mm)

5. 最新の加工技術

CO₂レーザーによる加工分野への適用は,自動車関連の試作板金部品に代表される薄板切断分野への普及に始まった。その後,レーザー発振器技術,駆動系制御技術,加工技術等の発展により,切断品質と切断能力を飛躍的に向上させ,今日ではタレットパンチプレスに匹敵するほどの高生産性を持つようになり,一般板金加工に加えてOA機器部品等の高精度板金分野にも利用されるに至っている。

この章では,最新のCO₂レーザー加工の特長とその適用について紹介する。

5.1 切断の高速・高精度化

試作板金部品加工へCO₂レーザーの適用が始まったころは,例えば,SPCC,板厚1.2mmの薄板板金を切断する場合,穴加工部分は速度1.5m/min,外形部分は3m/minの設定が実用レベルであった。これは,当時要求されていた真円

度50μmを満足するためには,上記の切断速度が実用上の限界となっていたことによる。そこで当社では,真円度に影響する機械系・制御系の解析検討に加え,加工テーブルの軽量化・高剛性化,及び様々な制御技術の開発等により,年々切断精度を改善した。その結果,生産性も飛躍的に向上するようになった。この間の切断精度と生産性の変遷を,図3及び図4に示す。いずれも当社CO₂レーザー加工機の開発年代をパラメータとして表したものであり,'89年以前から'95年までに開発されたCO₂レーザー加工機の性能を示す。この7年間で,穴加工時の真円度は大きく向上したことが分かる。例えば真円度50μmを満足させる切断速度は,上述のように当時は1.5m/minであったのに対し,現在では8m/minであり,7年間で5倍以上の切断速度が得られるようになった。さらに,低速度領域での切断精度も改善され,20μm程度までの真円度が得られるに至り,高精度板金加工分野への適用も可能となってきている。

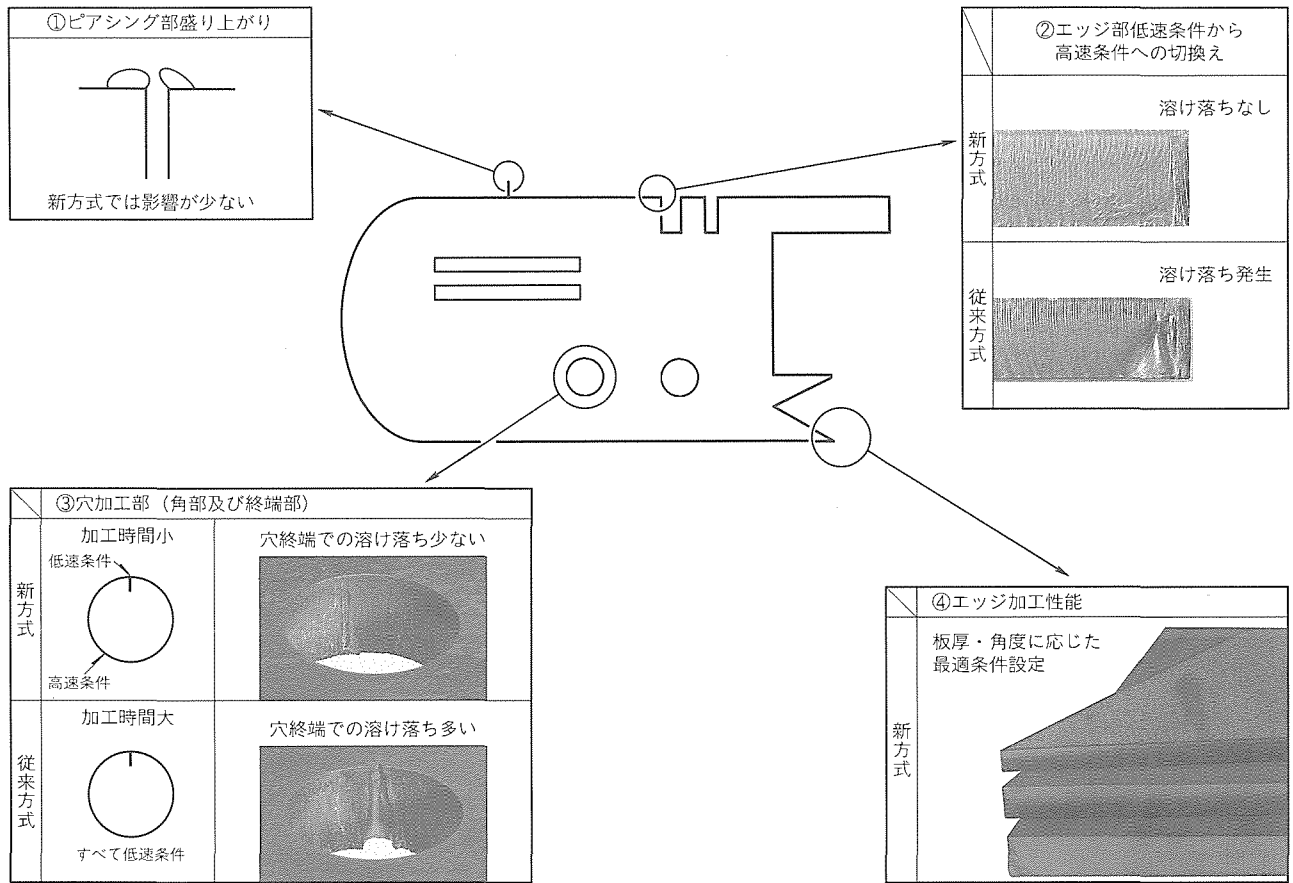


図 5. 自動条件設定機能の比較

図 4 は生産性の変遷について表した図であり、タレットパンチプレスと比較した場合の生産性を、3分間で切断可能な穴加工数(丸穴径 10 mm, ピッチ 15 mm)で示している。現在では3分間で約 330 個もの穴加工が可能となり、生産性を飛躍的に向上させ、薄板板金加工分野でのレーザー加工の位置付けを確固たるものとしている。

5.2 厚板切断加工条件の制御

厚板の形状加工の場合、加工条件の切換え部で切断面に溶け落ちが発生しやすくなる。この発生原因は、高温部分での急激な酸化燃焼反応の広がり、ノズルから切断溝先端部に噴射する加工ガスの乱れが考えられる。図 5 に、条件制御による従来の加工性能との比較を示す。

レーザー加工機の制御装置には様々な付加機能が搭載されており、加工条件制御もその機能の一つである。加工不良の発生しやすい条件切換え部やエッジ先端部では、自動的にレーザービームが OFF となり、加工ガスの噴射によって冷却を行う。その後、入熱を抑制するために、あらかじめ設定された距離だけ低速条件で加工し、再び高速条件へと切り換わる。

この方式を採用することによって、厚板加工時の品質向上と約 15% の加工時間短縮が図れる。最新の CO₂ レーザ加工機には、このような最適加工条件制御が採用されている。

6. むすび

以上、最新の CO₂ レーザ加工機及びレーザー発振器の特長と加工技術について述べた。

CO₂ レーザ加工機は、この数年間で大幅な性能アップが図られ、加工速度と加工精度はもちろん、使い勝手の面でも飛躍的に向上している。今後、高生産性設備の生産技術手段として、CO₂ レーザ加工機が注目され、従来の生産手段に置き換わっていくことを期待する。

参考文献

(1) 松原真人, 竹中裕司, 西前順一, 葛本昌樹: CO₂ レーザビームの集光特性に与える透過光学鏡の熱歪の影響, レーザ研究, 22, No.7, 536 ~ 542 (1994)

新用途を開拓する 短パルスCO₂レーザ加工機

水野正紀* 西前順一***
 福島 司* 今井祥人+
 金岡 優** 竹野祥瑞++

要旨

携帯電話・パソコンなど近年の情報通信機器を中心とした電子機器の小型軽量化・高機能化の進展に対応して、プリント基板の高密度化・多層化が加速されつつあり、それに伴い、プリント基板の穴あけ加工において、穴径0.3mm以下の小径穴加工の要求が高まっている。これに対し、従来の加工法であるドリル加工ではドリル刃の消耗や折損等の生産性の問題から対応困難なため、それに代わる加工法の一つとして、レーザ加工が期待されている。

本稿では、炭酸ガス(CO₂)レーザの新たな適用分野としてプリント基板の穴あけ加工用に開発され、穴径0.1mm以下の微細穴を最大毎秒400穴の高速で加工可能なCO₂ガスレーザ加工機“ML505GT”の特長について述べる。

主な特長は以下のとおりである。

(1) 高品質加工を実現する高ピーク・短パルスレーザ発振器

パルス出力、パルス幅の可変範囲が広く、ガラスエポキシを始め広範囲な材料の高品位加工が可能となった。

(2) 高生産性を実現する制御技術と機械構造

新開発のガルバノスキャナ高速駆動制御技術と高速駆動高剛性XYテーブルの採用により、最大毎秒400穴の高速加工を実現した。

(3) 操作性と機能性に優れたパソコンNC制御装置

制御装置に三菱電機パソコンNC“MELDAS MAGIC”を採用し、ドリル加工用データ変換、高精度ワーク補正などの各種機能と優れた操作性を実現した。



短パルスCO₂レーザ加工機 ML505GT

レーザ発振器、加工テーブル、制御装置の各ユニットを一体配置して省スペース化を実現している。また、加工テーブル部に全面フルカバーを設け、安全性の確保とともに高い集じん(塵)機能を持ち、クリーンな環境での使用が可能となっている。オプションでプリント基板の自動搬入・搬出装置の取付けにも対応している。

1. ま え が き

携帯電話・パソコン等、近年の情報通信機器を中心として電子機器の軽薄短小化・高機能化の要求は止むところを知らない。これらの要求を支え得るキーデバイスは、言うまでもなく半導体と回路基板である。半導体の進歩は目覚ましいものがあり、集積度の増大と高機能化のため、端子数はますます増大している。これに伴い、この半導体を搭載する回路基板すなわちプリント基板には、搭載回路の高密度化が要求されるに至っている。この要求にこたえるためにはプリント基板の構造と製造方法に大きな革新が必要となってきており、プリント基板の穴あけ加工においても高密度化に対応した微細化が進んでいる。

CO₂ レーザは、他のレーザに比べて高出力、高効率、集光性の高いビームが特長であり、熱加工に最適なレーザとして、今日、板金加工分野を中心に切断、溶接、表面改質などの金属加工分野に普及している⁽¹⁾。当社では、この特長をプリント基板の穴あけ加工に適用し、プリント基板の穴あけ用CO₂ レーザ加工機“ML 505 GT”を発売した。ML 505 GTは、CO₂ レーザの新たな適用分野の開拓を行うものである。

本稿では、その特長と加工性能について述べる。

2. 概 要

2.1 プリント基板の技術動向と

従来の穴あけ加工の課題

近年、小型化・高密度化を実現するために、プリント基板の部品実装方法が大きく変わってきた。同時に、プリント基板の多層化、回路パターンの微細化、加工穴の微細化要求が

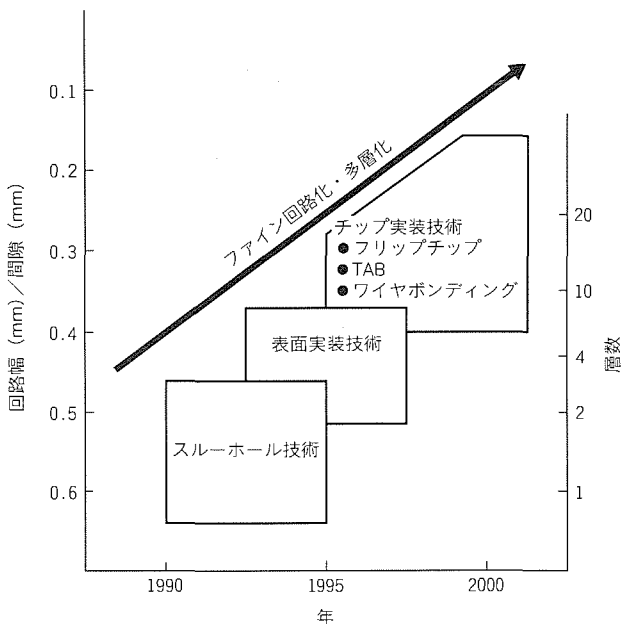


図1. 部品実装形態の推移とプリント基板の技術動向

ますます高まりつつある。図1は、部品実装形態の推移とプリント基板の技術動向を示すものである。

図2は、実装方法の変化に対し、要求される加工穴の径を示す。穴径(φ)0.2~0.3mmのスルーホール(貫通穴)については、ドリル加工が主体であった。しかしφ0.2mm以下の穴あけについては、ドリル歯の折損と摩耗が問題となり、実用性のないのが現状である。しかも、プリント基板の多層化に伴い、必要とされる穴あけ形態も、スルーホールから、一層のみ穴をあけ二層目で止めるいわゆるブラインドバイアホールが主流となっており、フォトバイア加工という方法が考案されて一部の大手メーカーで実用化されている。

図3(a)にフォトバイア加工によるバイアホール形成の過程を示す。多数の穴を露光・現像することによって一括加工できる点では優れた方法と言えるが、この方法では、現在の課題がある。

(1) 回路を形成する基板材料が感光性の樹脂に限られ、電気特性の優れた(低誘電率、高耐熱性、耐吸水性、高絶縁性

実装方法の変化	穴径 (mm)
スルーホール技術 (THT) (THT: Through Hole Technology)	~0.3
表面実装技術 (SMT) (SMT: Surface Mount Technology)	0.2~0.3 0.2~0.1
チップ実装技術 (CMT) (CMT: Chip Mount Technology)	0.1~

図2. プリント基板の高密度実装の流れ

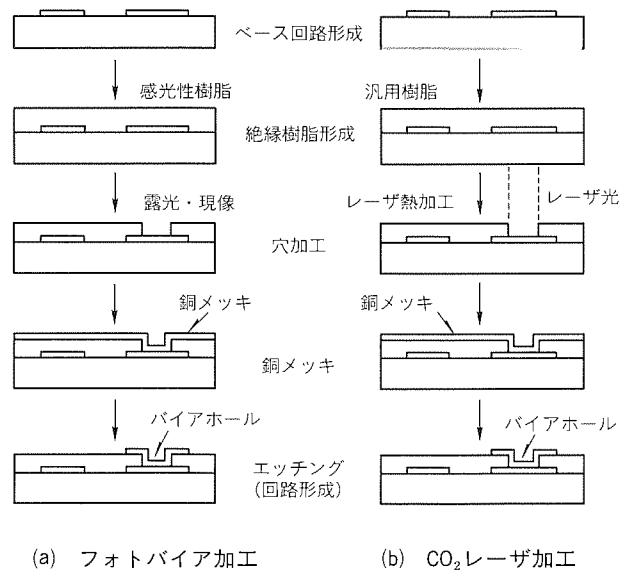


図3. フォトバイア加工、及びCO₂レーザ加工によるブラインドバイアホール形成の工程

等) 材料 (ガラスエポキシ等) を適用できない。

- (2) 現像液等の工程管理が難しく、生産上の歩留り率が低い。
- (3) $\phi 0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ の穴径が実用レベルで、 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 以下の穴は適用困難である。

2.2 レーザの穴あけ加工への適用

以上の課題を解決し、かつ生産性の高い加工方法として、レーザ穴あけ加工が期待されている。図3(b)にレーザによるブラインドバイアホール加工を示す。レーザを照射して上層にある絶縁材料を除去し、下層の銅はく(箔)でせん(穿)孔を止めるもので、CO₂レーザが銅に反射される特徴を利用している。

2.3 開発のねらい

今回開発した高密度プリント基板高速穴あけ用CO₂レーザ加工機は、以下を開発のねらいとした。

- (1) レーザ発振器 (パルス) 出力の高ピーク・短パルス化を図り、ガラスエポキシを含めてほとんどのプリント基板材料に対して良好な穴あけ加工(スルーホール及びブラインドバイアホール)を可能とする。
- (2) 像転写技術とガルバノスキャナ的高速ドライブ技術を適用し、 $\phi 0.1 \text{ mm}$ 以下の微細穴あけ加工を最高400個/秒の速度で達成する。

3. 特 長

3.1 加工機の構成

ML 505 GTの構成を図4に示す。図に示すように、レーザビームを高速に回転するガルバノミラーとf θ レンズで、プリント基板上の30 mm \times 30 mmのスキャンエリアに高速に位置決めし、穴あけ加工を行う。スキャンエリア内での加工が終了するとXYテーブルで次のスキャンエリアにプリント基板を移動し、レーザビームを照射する繰返し動作によってプリント基板全面を加工する。加工穴径は、像転写光学系のマスクの径を変えることにより、最大300 μm から最小50 μm まで変えることができる。

観察光学系は、プリント基板上のマークを画像処理で認識

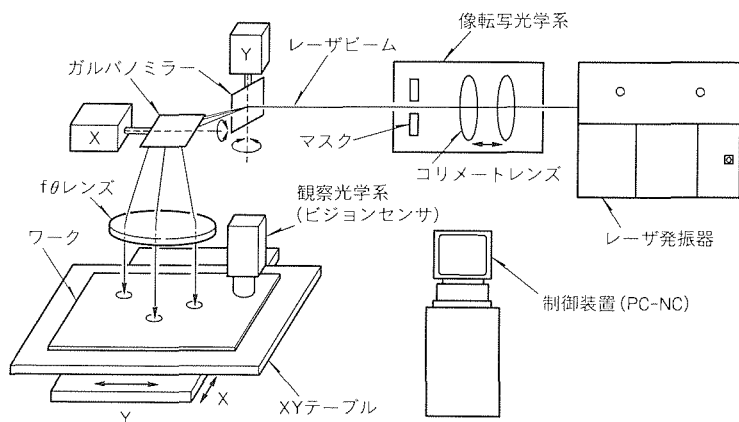


図4. 加工機の構成

し、プリント基板をXYテーブルにセットする際の位置誤差を補正する。各ユニットは、当社パソコンNC“MELDAS MAGIC”を用いた制御装置で制御される。

装置全体は、図5に示すように、一体配置して省スペース化を図っている。また、全面フルカバーを設け、安全性の確保とともに高い集塵機能を持ち、クリーンな環境での使用が可能となっている。

3.2 レーザ出力の高ピーク・短パルス化

今回、独自の高ピーク・短パルス特性を持ったCO₂レーザ発振器を開発し、プリント基板材料の主流でありながら従来のCO₂レーザでは加工困難であったガラスエポキシの高品質加工を可能とした⁽²⁾⁽³⁾。

従来のCO₂レーザでは、パルス幅が長い(ピーク出力は低い)ため、エポキシ樹脂が選択的に分解除去されてガラス繊維が残留するが、高ピーク・短パルスCO₂レーザでは、パルス幅を短く(ピーク出力は高く)しているので、樹脂もガラス繊維もほとんど瞬時に分解蒸発し、ほぼ平坦(坦)な内壁が得られる。

3.3 レーザビームの高精度・高速位置決め制御技術

高密度プリント基板は、通常、基板1枚当たり数千から数万個の穴があり、量産ラインでの実用化を図るには、高精度でかつ高速に加工できることが不可欠となる。このため、独自のガルバノスキャナ高速駆動制御技術と画像処理を用いた加工位置決め補正技術により、 $\pm 20 \mu\text{m}$ の精度で毎秒400ポイントの高速位置決めが可能なガルバノスキャン光学系を開発した。

これにより、スキャンエリア内において最大毎秒400穴の高速加工を実現した。さらに、高速駆動高剛性XYテーブルの開発により、スキャンエリア間0.4秒の高速移動を可能にし、広い加工範囲での高生産性を実現した。表1に装置の主な仕様を示す。

3.4 パソコンNCによる優れた操作性と機能性

処理の自由度が高いパソコンNCを採用し、前述のガル

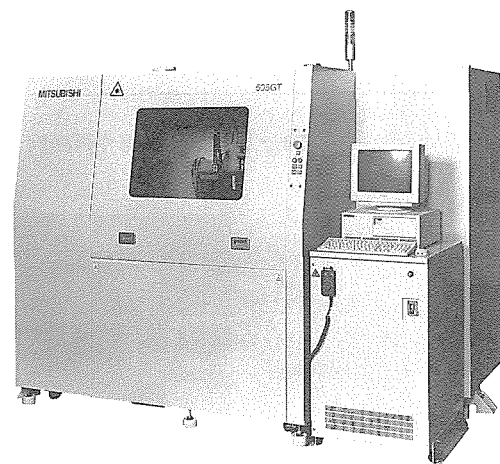


図5. ML505GTの外観

パノスキャナの高精度・高速位置決め制御，ドリル加工用データ変換，高精度ワーク補正などのレーザ穴あけ加工機特有の制御をNCボードとパソコンに最適に機能分担させることにより，一台の制御装置ですべての処理が可能となり，また，機能に独自性を付加することができた。さらに，パソコンが本来持っているグラフィカルユーザインタフェース（GUI）とオープンな通信機能を利用することができ，優れた操作性を実現することができた。図6に制御装置の操作画面の

表1. ML505GTの主な仕様

項目	仕様		
XYテーブル	加工ストローク	500mm×500mm	
	最大送り速度	15m/min.	
	位置決め精度	10μm/500mm	
	繰返し精度	±5μm	
ガルパノスキャナ	位置決め速度	高速モード	400ポイント/秒
		標準モード	200ポイント/秒
	スキャンエリア	30mm×30mm	
	位置決め精度	±20μm（標準モード時）	
発振器	繰返し精度	±10μm（標準モード時）	
	ビームモード	マルチモード	
	定格出力	300W	
	パルスピーク出力	5,000W	
	パルス周波数	8~1,000Hz	
	パルス幅	4~255μs.	

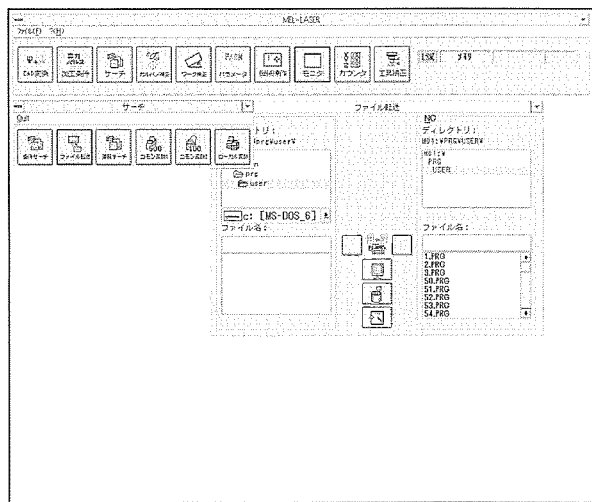


図6. 制御装置の操作画面例

一例を示す。

4. 加工性能

以下に，高ピーク・短パルスCO₂レーザによる最新のプリント基板加工技術について述べる。

4.1 ガラスエポキシ基板の加工品質

(1) 穴壁面品質の最適化

一般にガラス繊維を含む複合材料は，ガラスと樹脂の熱特性が異なるので，CO₂レーザによる加工が困難な材料とされていた。熱分解温度が低い樹脂は比較的低出力でも分解除去されるのに対して，転移点の高いガラスは突起状又は塊状になりやすい特性がある。そのため，加工穴壁面が凹凸状になり，メッキの回り性が損なわれる原因となっていた。また，ガラス加工に合わせてパルスエネルギーを高め設定する加工条件では，銅箔部へのダメージを招くおそれもあった。このような不良発生要因に対して，①パルス幅，②パルス周波数，③パルスエネルギー，④ビームモードなどの各種条件パラメータの最適化により，加工品質の大幅な改善が図られた。

図7は絶縁層厚さ100μmのガラスエポキシ（FR4）に対し，φ150μmの穴あけ後に銅メッキ処理を施した基板断面，図8はブラインドバイアホール断面の拡大写真である。穴壁面のガラス繊維と樹脂がほぼ同時に分解蒸発され，ほぼ平坦な内壁面となっている。

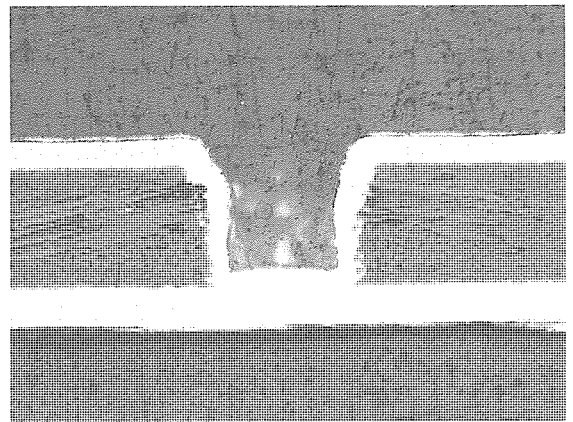


図8. ブラインドバイアホール断面の拡大

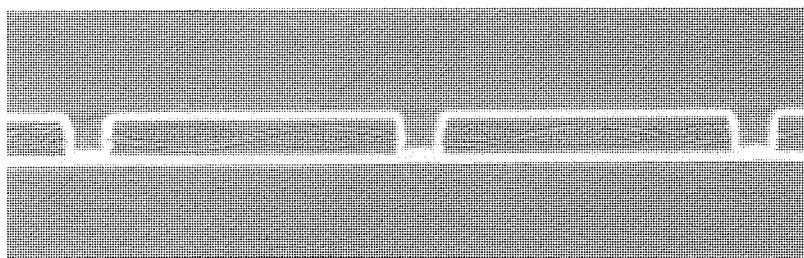


図7. ガラスエポキシ基板のブラインドバイアホール加工

(2) 銅箔周辺部品質の最適化

パルスピーク出力の拡大やパルス幅の短縮などのパルス条件パラメータの制御は、加工（除去）速度向上の効果を発揮する。しかしその結果、物質蒸発時の圧力が高まり、銅箔部と絶縁層の間げき（隙）に亀裂を誘発する不良原因となる。この亀裂防止策として、樹脂の蒸発圧力を抑制するパルス波形、及び銅箔と樹脂の境界面での樹脂厚を制御するビームモードの適用を検討した。図9はレーザーで加工したブラインドバイアホール底面の銅箔と樹脂の境界部の拡大写真である。銅箔と樹脂の密着性は保かれたままで、亀裂現象は観察され

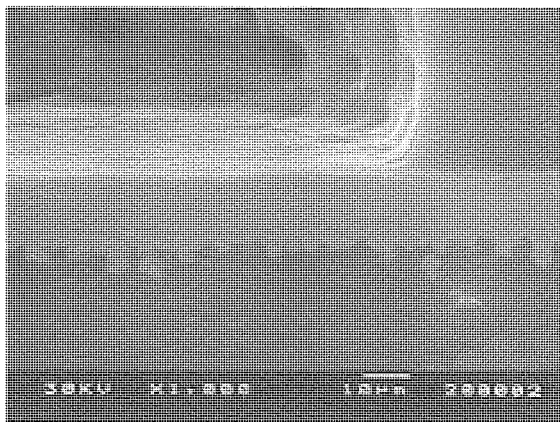
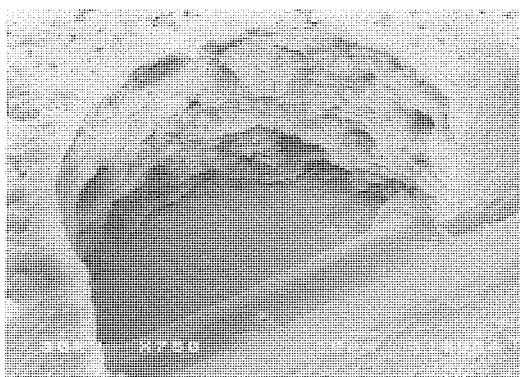
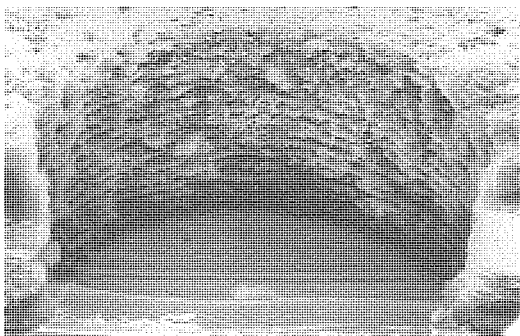


図9. ブラインドバイアホール底面の拡大



(a) 最適化前



(b) 最適化後

図10. エポキシ樹脂基板のブラインドバイアホール加工

ていない。

4.2 樹脂基板の加工品質

(1) 壁面品質及び残さ（渣）除去の最適化

ビーム加工の場合、被加工物の吸光度は加工品質を左右する大きな要因となる。特に穴壁面品質や穴底の残渣はメッキ工程での品質に影響し、メッキ部の接続不良や強度不足の原因となる。最新の加工機では、材料物性の一つである吸光特性を考慮した最適ビーム特性の生成を加工機設計へ反映させている。

図10は絶縁層40μmのエポキシ樹脂にφ130μmの穴加工を実施した場合の内壁面状態を示す。図中の(a)は最適化前の加工例、(b)は最適化後の加工例である。吸光特性の改善が図られたことによって、樹脂層除去の過程で加工穴壁面への熱影響が減少し、加工面粗さが大幅に改善されている。さらにポリイミドの加工では、加工部周囲が熱影響によって変形するなどの品質低下を招いていたが、最適化後の加工では大幅な改善が図られている。

(2) 加工穴形状の最適化

レーザー加工後の穴内部へのメッキ液の循環を促進させるた

テーパ角度	断面写真
15°	
20°	
30°	

図11. エポキシ樹脂基板のテーパ加工

表 2. 加工能力例

材 質	加工厚さ (mm)	加工形態	ショット数 (回)
ガラスエポキシ	0.1	非貫通	3~6
ガラスエポキシ	1.6	貫通	3
エポキシ	0.05	非貫通	2
セラミックス	0.6	貫通	2
ポリイミド	0.05	非貫通	1

めに、穴壁面にテーパ角度を形成させる要求がある。

従来方法は、被加工物表面でのレーザービーム焦点をデフォーカスさせることとパルスショット数を制御してテーパを付加していた。そのため、連続した加工穴径の変更や、穴径ごとの最適テーパ形成要求、及び加工穴径の真円性の確保などへの対応が困難であった。

新たにテーパを付加するために開発した方法は、焦点位置を変化させることなく、被加工物の板厚方向と穴径方向への加工進行とを同時に制御できるビームモードを生成し、テーパ角度を任意に変化させることを可能にした。図 11 は厚さ 70 μm のエポキシ樹脂に ϕ 150 μm の穴加工を行う場合に、15°, 20°, 30° のテーパ角度を形成した例である。被加工物表面に焦点を設定した状態でテーパ加工が可能であるため、焦点深度の効果が最大限発揮できる。その結果、被加工物板厚のばらつきやガルバノのスキャンエリア内の位置ばらつきに対し、安定した加工品質を提供できる。

4.3 加工能力

この加工機による加工条件制御では、パルス幅、パルス周

波数及びパルスエネルギーを任意に変更可能な制御方法を採用しているため、被加工物の材質や板厚に応じて加工速度を向上させるための最適条件設定が可能である。表 2 に各種材質と板厚及び加工形態に対するパルスショット数を示す。

5. むすび

今回開発した高ピークで短パルス CO₂ レーザは、熱影響を極めて小さく抑えながら加工することができるため、これまで加工困難であった材料（セラミックス、パイレックスガラス、ソーダガラス等のぜい（脆）性材料、融点の異なる複合材料等）の穴あけや切断加工が可能となる⁽³⁾。これらの材料は電気・電子分野、医療機器分野、その他の分野でも多く用いられており、今後の適用が期待される。

参 考 文 献

- (1) 水野正紀：今後のレーザー加工装置の展望 (CO₂ レーザ), レーザ熱加工研究会誌, 3, No.1, 1~8 (1996)
- (2) 福島 司, 水野正紀, 竹野祥瑞：高ピーク短パルス CO₂ レーザとその応用, レーザ協会誌, 20, No.4, 54~59 (1995)
- (3) 竹野祥瑞, 森安雅治, 平本誠剛：ハイピークパルス CO₂ レーザによる非金属材料の微細穴あけ加工の研究, 溶接学会マイクロ接合委員会資料, MJ-189-92, 35~47 (1992)

高輝度固体レーザー加工機

大谷昭博*
安井公治**
吉安重宏*

要旨

三菱電機は従来からの炭酸ガスレーザー製品群に加え、新用途分野開拓によるレーザー事業の更なる拡大・発展のために、固体（YAG）レーザーの製品化を推進している。

従来 of 市販固体レーザーでは、100W以上のレベルまで高出力化すると、CO₂レーザーよりも集光性の低い、低輝度の光源しか得られない問題があった。

しかしながら、十数年来の当社研究所における研究開発活動による技術力により、産業用高出力固体レーザーとして従来のロッド型固体レーザーでは達成できなかった“高輝度＝高集光性”を達成し、この技術をベースとした固体レーザーを製品化した。

本稿では、当社高輝度固体（YAG）レーザーの優れた特

長について以下の内容で述べる。

(1) ロッド型固体（YAG）レーザーの高輝度化技術

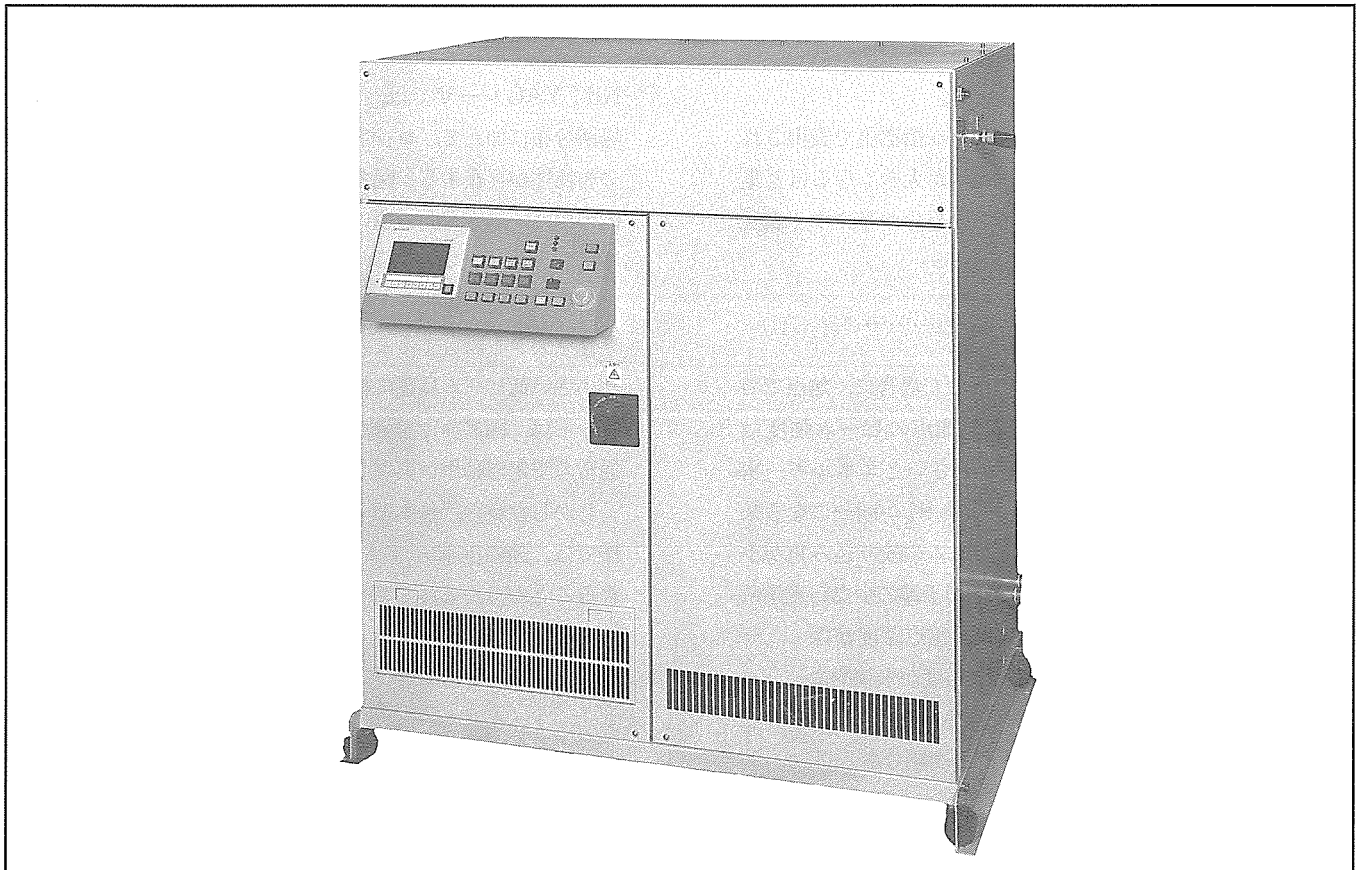
産業用レーザーにとって大きな意味を持つ高輝度化をロッド型YAGレーザーで達成した新しい高輝度化方式について紹介する。

(2) 高輝度固体レーザー加工機

上記技術を基に開発した高輝度固体レーザーの製品を紹介する。

(3) 高輝度固体レーザーによる加工性能と加工事例

高輝度ビームによる溶接・切断加工における優れた特長と加工性能に加え、実際の加工事例を紹介する。



高輝度固体レーザー発振器SCシリーズ

産業用高出力固体レーザー発振器 ML0202SC, ML0606SC-K, ML0606SC-Sの外観写真を示す。高輝度型発振器(ML0202SC, ML0606SC-K)は、良好な集光性を生かした高品位切断及びアスペクト比の高い高品位シーム溶接用途に適用する。高出力型発振器(ML0606SC-S)は、低アスペクト比の溶接及び表面改質用途に適合する。

1. ま え が き

加工用固体 (YAG) レーザは、用途分野の変遷とともに高出力化が大幅に進展してきた。

しかしながら YAG レーザにおいては、100 W 以上の出力になると、YAG 結晶内部の熱ひずみのためにレーザー光の波面が乱れ、波長が 10 倍の CO₂ レーザに比べても大幅に大きいスポット径にしか集光できなかつた。そのため、例えば YAG レーザ溶接等においては、低い集光性を補い、溶込み深さを増大させるために、ピーク値の高いパルス条件での加工が主流となっていた。

そもそもレーザー加工の大きな利点の一つは“スポット径の小さい集中熱源が得られること”であり、レーザー光の集光性を改善すること、すなわち高輝度化は重要な課題である。

ここでは、当社ロッド型高輝度固体レーザー技術、製品化した固体レーザー発振器とその加工性能、加工事例を述べる。

2. 高輝度固体レーザーの技術

2.1 高輝度固体レーザー開発の位置付け

レーザー加工を高い生産性で実現するには、熱源としてのパワー (高いレーザー出力) と、熱源の集中度合いの鋭さ (高い集光性) を備えた光源、すなわち高輝度光源を用いる必要がある。従来の市販固体レーザーでは、CO₂ レーザ並みに数百 W 級以上のレベルまで高出力化すると、集光性の低い、低輝度の光源しか得られない問題があった。

レーザービームの集光性能は、 M^2 という指標値で表現される⁽¹⁾。 M^2 値の下限値は 1 であり、数値が大きくなるほど集光性能が低下する。 M^2 と集光性の関係を分かりやすく表現すると図 1 及び式 (1) のようになる。

$$W_0 = \frac{\lambda M^2}{\pi} \cdot \frac{f}{W} \dots\dots\dots (1)$$

この式によると、同一光学系で集光した場合に、焦点でのスポット径 W_0 は M^2 に比例する。集光点のビーム強度は W_0 の 2 乗に反比例するため、 M^2 が小さいとエネルギー密度が飛躍的に高くなる。逆にスポット径 W_0 が同一になる条件で比較すると、 M^2 が小さいほどビームの絞り込み角が小さくできる。したがって立体ワークとの干渉の少ない光学系 (加工ヘッド) を採用できるとともに、焦点深度が深くなるので焦点位置ずれに対する加工裕度が飛躍的に向上する。このように M^2 を小さくする (輝度を高める) ことは産業用レーザーにとって大きな課題である。

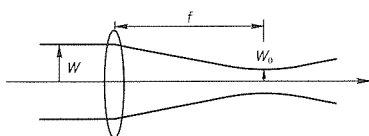


図 1. レーザービーム集光

従来の市販固体レーザーは、数百 W 以上の出力を安定に得るには、 M^2 値を 100 以上に悪化させ、低輝度化させた条件で動作させる必要があった。この主要な原因が固体ロッドの熱ひずみであるという推測の下に、その解決のための方式として、固体を薄板状に変形させたり、新しい光源によって励起する方式の研究が進められてきた。

当社では、固体ロッドの熱ひずみが高輝度化を阻害するメカニズムが十分に解明されていないことに着目した。従来の固体レーザーである Nd:YAG ロッドレーザーの構造は極めて単純なために実用的な解決手段の開発は困難に見えたが、CO₂ レーザの開発で培った共振器技術を基に高輝度化を阻害するメカニズムの解明を進め、新しい高輝度化方式の開発に成功した。

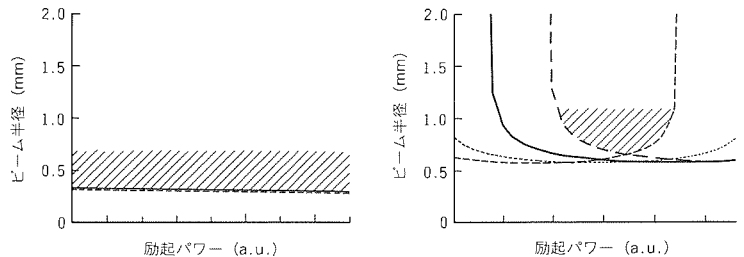
2.2 共振器技術による固体レーザーの高輝度化の実現

固体レーザーの共振器設計では、固体レーザー結晶の熱ひずみを考慮することが必要となる。共振器内の熱レンズの大きさは、固体レーザー結晶の光励起強度に依存する。したがって、励起強度を変更すると、共振器の動作点が移動する。高出力を得るために励起強度を高めた条件で高ビーム品質化しようとする、この動作点の移動がレーザー発振効率の低下と出力の安定性の低下を招く。

高輝度化による共振器動作特性の変化を図 2 をもとに説明する。安定型共振器中の基本モードのビーム半径を、固体レーザー結晶のポンピング度合いに対して計算している。従来の Nd:YAG レーザでは、ロッド断面内での熱レンズ特性の場所分布に加えて、ロッド内の偏光方向に依存する熱レンズ分布特性が存在する。図では、これらの動作領域を、ロッド内の場所、偏光方向の違いで四つの共振モードに分類している。

ビームの高品質化を実現するには、共振器内での基本モード径を大きく設定することが必要となる。基本モードの直径が小さい低ビーム品質に相当する動作状態では、四つの共振モードは、図の (a) の斜線で示すほぼ同一の領域で動作し、通常安定型動作が実現している。

しかしながら、基本モード径を大きくした高ビーム品質動作では、図の (b) に示すように、各共振モードの動作点がずれることが分かる。このずれにより、図 (b) の斜線で示す安



(a) 基本モード径：小

(b) 基本モード径：大

図 2. 従来の Nd:YAG レーザの動作特性模式図

定領域が狭くなる。しかも、この動作領域においても、各共振モードは異なる条件で動作する。さらに、このような動作領域では、固体ロッドの揺れなどの外乱の影響を強く受ける。このために、高出力化しようとして強く励起しても、励起によって増大する熱ひずみなどの外乱が増大し、励起に比例してレーザー出力が増大しなくなることが分かった。

以上の動作解析を基に、共振器構成の工夫で、各共振モードの動作点のずれを解消する技術を開発した。このような動作を実現する固体レーザー共振器技術を HIPER (High-power Polarization-dependence-Erased Resonator) と呼んでいる⁽²⁾。構成の特長は、固体レーザー結晶内の均一励起手段と、偏光成分による熱レンズ収差の除去手段を備えていることである。この技術を導入して各共振モードを同一点で動作させるようにしたところ、高励起・高ビーム品質条件でも、高効率で安定なレーザー出力が得られるようになり、すなわち高輝度動作が実証できた。

図3に、市販固体レーザーの代表である Nd:YAG ロッドレーザーについて、いろいろな動作条件・共振器条件で取得した、実用的な発振効率で得られたレーザー出力とビーム品質指標値との関係を示す。図中、従来の Nd:YAG レーザーの特性は、市販レーザーのカatalog及び従来のロッド型 Nd:YAG レーザーについて、理論的に予言されたか又は実験実証された限界値を示す。従来例では、レーザー出力が 200 W を超えると、ビーム品質が急速に悪化していることが分かる。

しかしながら、高出力領域でも、安定で広い動作範囲を保

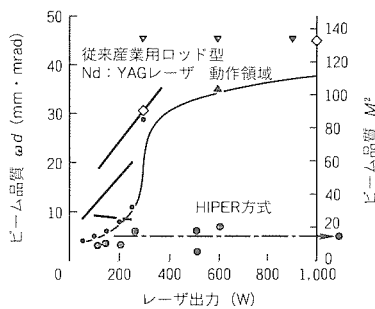


図3. Nd:YAGレーザーのレーザー平均出力とビーム品質指標値: M^2 との関係

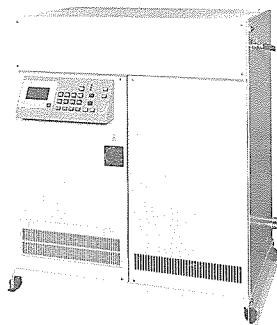


図4. 固体レーザー発振器SCシリーズ

証する HIPER 技術の導入により、図に示すように、高ビーム品質動作を保ったまま出力 200 W を超える領域まで高出力化することができた。さらに、安定度としても、従来の低輝度発振 Nd:YAG レーザーと同等又は上回る安定度が得られている。この基本技術実証を基に開発した製品について次章から順に紹介する。

3. 固体(YAG)レーザーの製品

当社は、従来からの CO₂ レーザー製品群に加え、新用途分野開拓によるレーザー事業の更なる拡大・発展のために、固体レーザーの製品化を推進している。

十数年来の当社研究所における研究開発活動による技術力により、産業用高出力固体レーザーとして従来のロッド型固体レーザーでは達成できなかった“高輝度=高集光性”を達成した。この技術をベースとし、1995年7月に CW (連続波) 高輝度 250 W 固体レーザー発振器と二次元加工機 ML1212SL を、'96年4月に CW 高輝度 500 W, CW 高出力 600 W 固体レーザー発振器を発売した。

図4, 表1に発振器の外観及び仕様を、表2に切断用加工機の仕様を示す。

ML0202SCは定格平均出力 250 W の高輝度 ($M^2 \leq 30$) 型の発振器, ML0606SC-Kは定格出力 500 W の高輝度 ($M^2 \leq 60$) 型の発振器, ML0606SC-Sは定格出力600Wの高出力型 ($M^2 \approx 120$ 程度) の発振器である。

二次元加工機 ML1212SLは、加工ストローク 1,250 mm × 1,250 mm, 最大加工送り速度 15 m/min の光走査

表1. 固体レーザー発振器の仕様

形 式	MLO202SC (高輝度型)	ML0606SC-K (高輝度型)	ML0606SC-S (高出力型)
発振波長 (μm)	1.06		
発振モード	連続・パルス		
定格出力 (W)	250	500	600
ピーク出力 (W)	400	1,000	1,000
ビーム品質 (M^2)	30以下	60以下	120程度
電源入力 (kVA)	25	35	
外形寸法 (mm)	(幅) 1,350 × (奥行き) 700 × (高さ) 1,455		
質量 (kg)	約600	約700	

表2. 固体レーザー加工機の仕様

形 式	ML1212SL
移動方式	光移動・テーブル固定方式 (ファイバ伝送)
制御方式	X-Y-Z同時3軸制御
最大ワーク寸法 (mm)	1,250 × 1,250
ストローク (mm)	X軸: 1250, Y軸: 1250, Z軸: 50
最大加工速度 (m/min)	15
繰返し精度 (mm)	±0.01
外形寸法 (mm)	(幅) 2,170 × (奥行き) 2,235 × (高さ) 1,500
質量 (kg)	約2,300

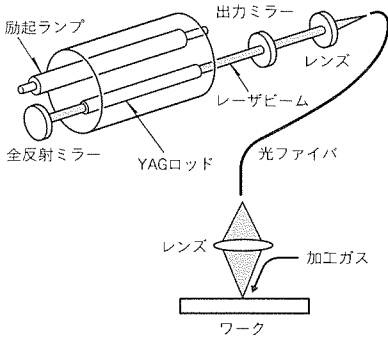


図5. 固体レーザーシステムの基本構成

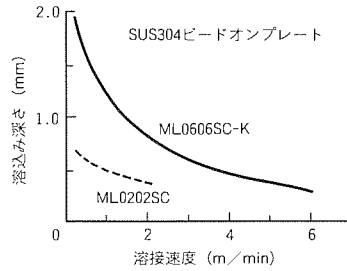
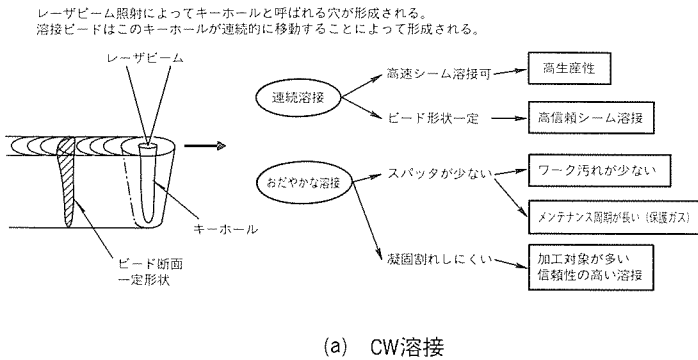
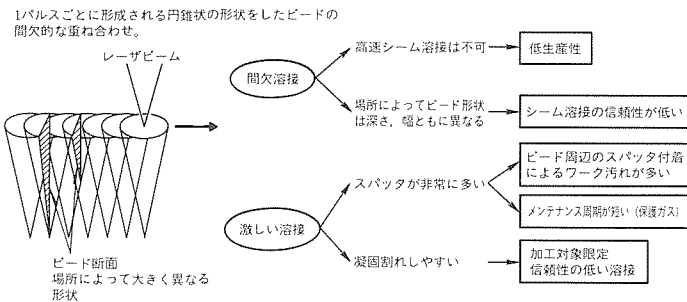


図6. 溶接特性



(a) CW溶接



(b) PW溶接

図8. 高輝度CW溶接とPW溶接の違い

型 NC制御高速高精度切断用加工機である。

レーザー発振器システムの基本構成を図5に示す。レーザー発振器からのレーザービームを光ファイバを用いて加工ヘッドまで伝送した後、加工ヘッドで集光してワークに照射する。光ファイバとしてGI (Graded Index) 型の光ファイバを用いることにより、高輝度ビーム伝送 (高輝度なレーザービームの輝度を低下させることなくファイバ伝送する。) を実現している。

高輝度型発振器 (ML 0202 SC, ML 0606 SC-K) は、良好な集光性を生かした高品位切断及びアスペクト比の高い高品位シーム溶接に用いる。高出力型発振器 (ML 0606 SC-S) は、低アスペクト比の溶接及び表面改質に用いる。

4. 加工性能と加工事例

この章では、高輝度で出力可変の当社固体レーザーが持つ基

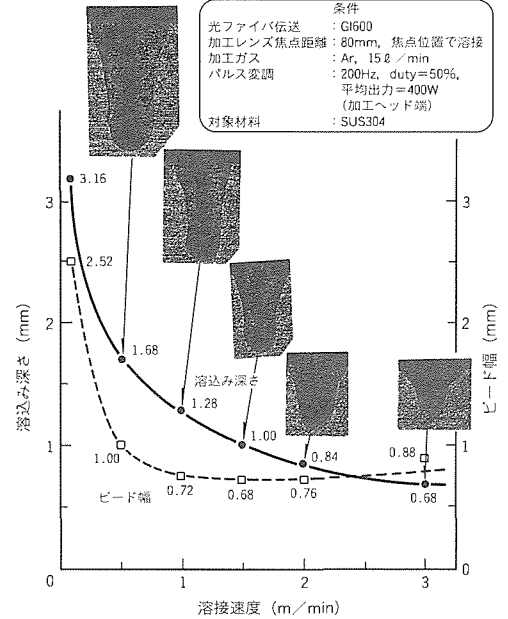


図7. ML0606SC-Kの溶接特性

本的な加工性能と加工事例について紹介する。

4.1 溶接

まず、YAGレーザーの主要な用途である溶接加工について、当社の加工特性の特長と適用事例を紹介する。

4.1.1 高輝度CW溶接の特長

ML 0202 SC及びML 0606 SC-Kの概略溶接性能 (SUS 304における溶接速度と溶込み深さの関係) を図6に示す。ML 0202 SCでは、0.1 m/minの低速で最大約0.8 mmの溶込みが得られ、溶接速度2 m/minの高速でも0.4 mm程度の溶込み深さを得ることができる。一方、ML 0606 SC-Kでは、0.5 m/minの速度で約1.7 mmの溶込みが得られ、溶接速度3 m/minの高速でも0.6 mm程度の溶込み深さを得ることができる。

ML 0606 SC-Kの基本的な特性として、SUS 304に対するビードオンプレートを実施した場合に得られるビード断面形状と溶込み特性の詳細を図7に示す。高輝度CW溶接の特長である良好な溶込み形状で、アスペクト比1.0~1.6のシャープなビード断面形状である。

ここで、当社の高輝度CW型発振器による高輝度CW溶接の優れた特長を、従来実施されていたPW (パルス) 型発振器によるPW溶接と比較しながら述べる。

図8に高輝度CW溶接とPW溶接の比較を示す。従来、高出力のYAGレーザーは、輝度を高くできなかったため、CWでは非常に浅い溶込みしか得られなかった。そのため、高ピークのパルスによって貫通力を高め、溶込みを得ていた。したがってPW溶接は、高ピークパルスによって単発的・衝撃的に形成される逆円錐 (錐) 状の溶接ビードの重なりである。図のハッチングで示すように、溶接場所によってビー

ド形状が変化する上、衝撃的な激しい間欠溶接となる。それに対し高輝度CW溶接は、CO₂ レーザや電子ビームによる溶接と同じくキーホール溶接の形態であり、溶接場所によるビード形状の変化がほとんどない、穏やかな連続溶接が可能である。

このように高輝度CW溶接は、①連続溶接であることと、②穏やかな溶接という、PW溶接にない特長がある。そのため、パルスの繰返し数とビードのオーバーラップ率に関係なく、要求される溶込みが得られる速度まで溶接速度を高められるので、高生産性の加工が可能である。また、ワーク汚れに対する許容度が高く、溶接割れが少ないので、信頼性の高い溶接が可能である。また、スパッタの発生が少ないために、スパッタによるワークの汚れが少なく、同時に加工ヘッドの加工レンズ保護用の保護ガラスのメンテナンス周期も長い。また、加工用途が広い(溶接割れに対する許容度が高い。例えば、溶接割れの発生しやすいSK材、SCM材等の焼入性の

ある材質や、高切削性材料の溶接への適用例もある。)等、高輝度CW溶接は産業用レーザ加工にとって優れた特性を持っている。

また、高輝度の特長として焦点深度が深いという利点がある。図9に焦点位置Zの変化による溶接特性の変化を示す。この例において、溶込み深さ0.8mm以上が必要な場合、許容できる焦点位置の範囲は±1.5mmであり、加工に対して非常に広い裕度が得られている。

4.1.2 溶接加工事例

次に、具体的な適用例を示す。図10は板厚0.2mmのSUS304への重ね溶接(溶接速度1m/min)、図11は板厚0.3mmのSUS430を重ね合わせてへり溶接を実施(溶接速度1m/min)したものであり、それぞれ貫通溶接が可能となっている。

図12は、2本のミグブレード用溶接ワイヤ(直径0.6mm)を接合した例であり、スポット溶接では接合部にくぼ(窪)みが発生したり球状となって分離してしまう等の現象が多く発生するが、上記例では、接合部の直径もほぼ均一に接合されているのが分かる。

4.2 切 断

従来の高出力固体(YAG)レーザはCO₂レーザよりも集光性が劣っていたため、比較的大きな出力でかつ高い集光性が必要となる板厚1mm以上の鋼板の切断分野では、CO₂レーザの方が切断速度と切断品質の面において優れていた。そこで当社は、切断加工分野への用途拡大のために、CO₂レーザに劣らぬ高い集光性を持つ高輝度固体レーザ及びファイバ伝送光学系を開発した。これにより、溶接分野のみならず、薄板切断分野への適用が可能となった。

4.2.1 薄板切断加工からみた基本仕様

条件	
光ファイバ伝送	: GI600
加工レンズ焦点距離	: 80mm
加工ガス	: Ar, 15ℓ/min
パルス変調	: 200Hz, duty=50%, 平均出力=280W (加工ヘッド端)
加工速度	: 0.78m/min

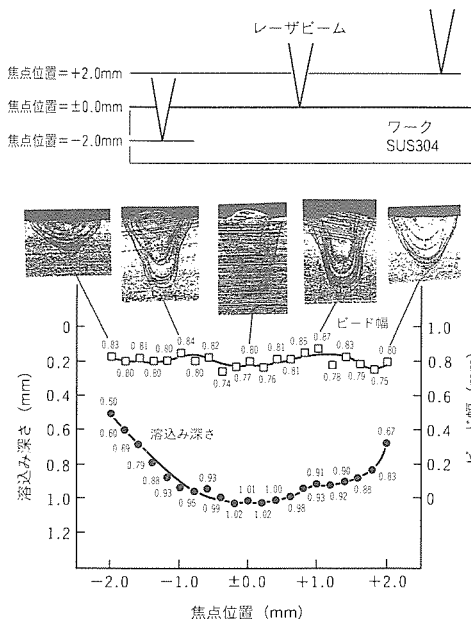


図9. 焦点位置と溶接特性

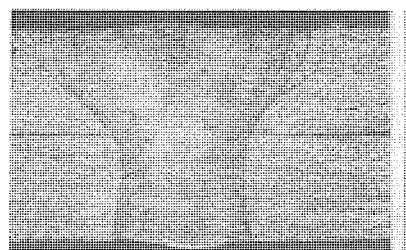


図10. 重ね溶接断面(板厚0.2mm)

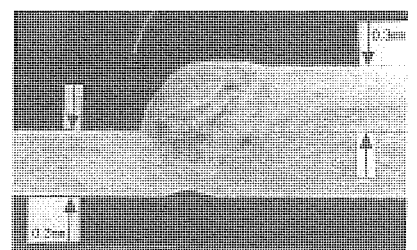


図11. 重ね溶接断面(板厚0.3mm)

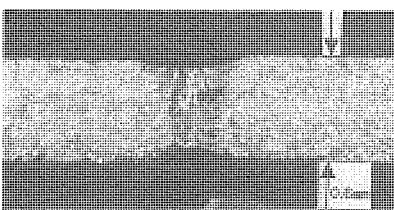


図12. ワイヤ溶接断面

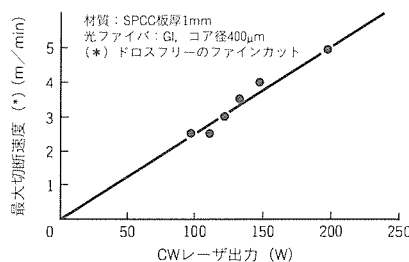


図13. レーザ出力と切断速度

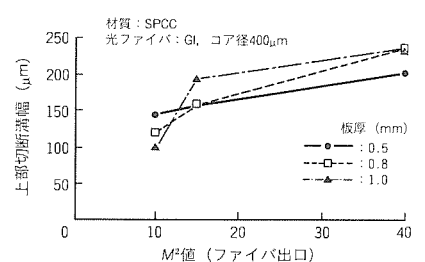



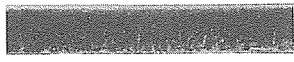
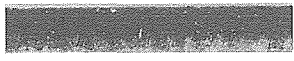






図14. M²と上部切断溝幅

切断速度 (m/min)	切断面	表面粗さR _{max} 測定データ
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

●材質：SPCC 板厚1mm ●レーザー出力：200W
●光ファイバ：Gl, コア径400μm

図15. 切断速度と切断面品質

光ファイバを用いてCO₂レーザーに劣らぬ薄鋼板の高速かつ高品質な切断を達成することを目標とした。そこで、板厚1mm以下の軟鋼板を5m/minでファインカットするという目標を設定し、加工試験を行った。その結果を図13、図14に示す。

図13は切断能力を示す図であり、横軸はレーザー出力、縦軸は切断速度を示す。切断速度5m/minを達成するには、レーザー出力として200W必要であることが分かった。図14は光ファイバ出口でのM²値と切断溝幅との相関を調べたもので、切断溝幅はM²の上昇とともに増加していることが分かる。さらに、CO₂レーザーで得られている150~200μmを得るためには、M²=20~30程度が必要となることが分かった。

以上のことから、目標となる切断速度と切断品質を達成するための条件として、出力が200Wで、かつビーム集光性能(M²=20~30)という基本仕様が得られた。

4.2.2 切断性能

図15は、SPCC板厚1.0mmに対して切断速度を変化させた場合の、切断面の加工品質を示したものである。切断速度6m/minまでドロスフリーで切断可能で、8m/minまでの切断能力が確認された。切断速度2~6m/minではほぼ均質な酸化皮膜を持った滑らかな切断面が得られており、切断面粗さも約10μm以下に抑えられていることが分かる。

次に具体的な加工例を図16に示す。これは板厚0.8mmのSPCCを切断したものであるが、外周切断速度5m/min、穴加工速度3m/min、加工時間約70秒で仕上げることができ、薄板板金切断への適用が可能となった。

図17は、ML0202SCとML0606SC-Kで網羅できる切断領域を示した図であり、切断可能な板厚と切断速度を表

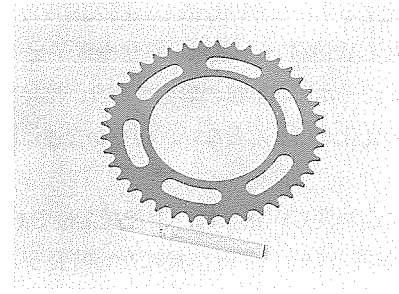


図16. 切断加工例

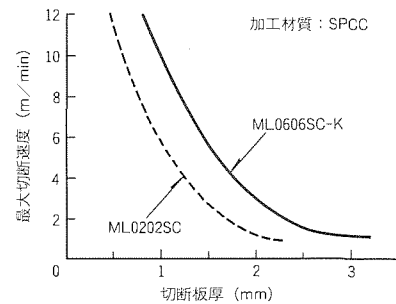


図17. 切断性能

している。図から、ML0606SC-Kでは板厚3.2mmの軟鋼板を1m/minの速度で切断可能で、プレス加工対象材の大半を占める3.2mmまでの鋼板切断に適用できることが分かる。固体レーザーによるプレス板金切断分野への用途拡大を期待している。

5. むすび

以上、当社高輝度固体レーザーに関する基礎研究開発、製品及び加工性能(事例)について紹介した。

現在、ユーザーニーズに対応した加工を積み重ねている。切断分野については高輝度光ファイバ伝送の優位性を生かした薄板板金分野等への適用、溶接分野に関しては、溶接部の信頼性と外観品質が問われる高品位な高速シーム溶接、小物部品へのスポット溶接などへの適用が始まっている。

今後は、各種材料の溶接・切断性能の検証と能力向上を踏まえた固体レーザーの製品力強化を図る予定である。

参考文献

- (1) Sasnett, M. W. : The Physics and Technology of Laser Resonator, Chapter 9: Propagation of Multimode Laser Beams - The M² factor, Edited by Hall, D. R., Jackson, P. E., Hilger, A., Bristol and New York, 132~142 (1989)
- (2) Yasui, K. : Efficient and Stable Operation of a High-brightness CW 500 W Nd:YAG Rod Laser, Appl. Opt., **35**, 2566~2569 (1996)

放電加工機及びレーザ加工機のシステム化

辛嶋利春* 木谷 基*
 杉山和永* 志田伸一*
 森下宏昭*

要旨

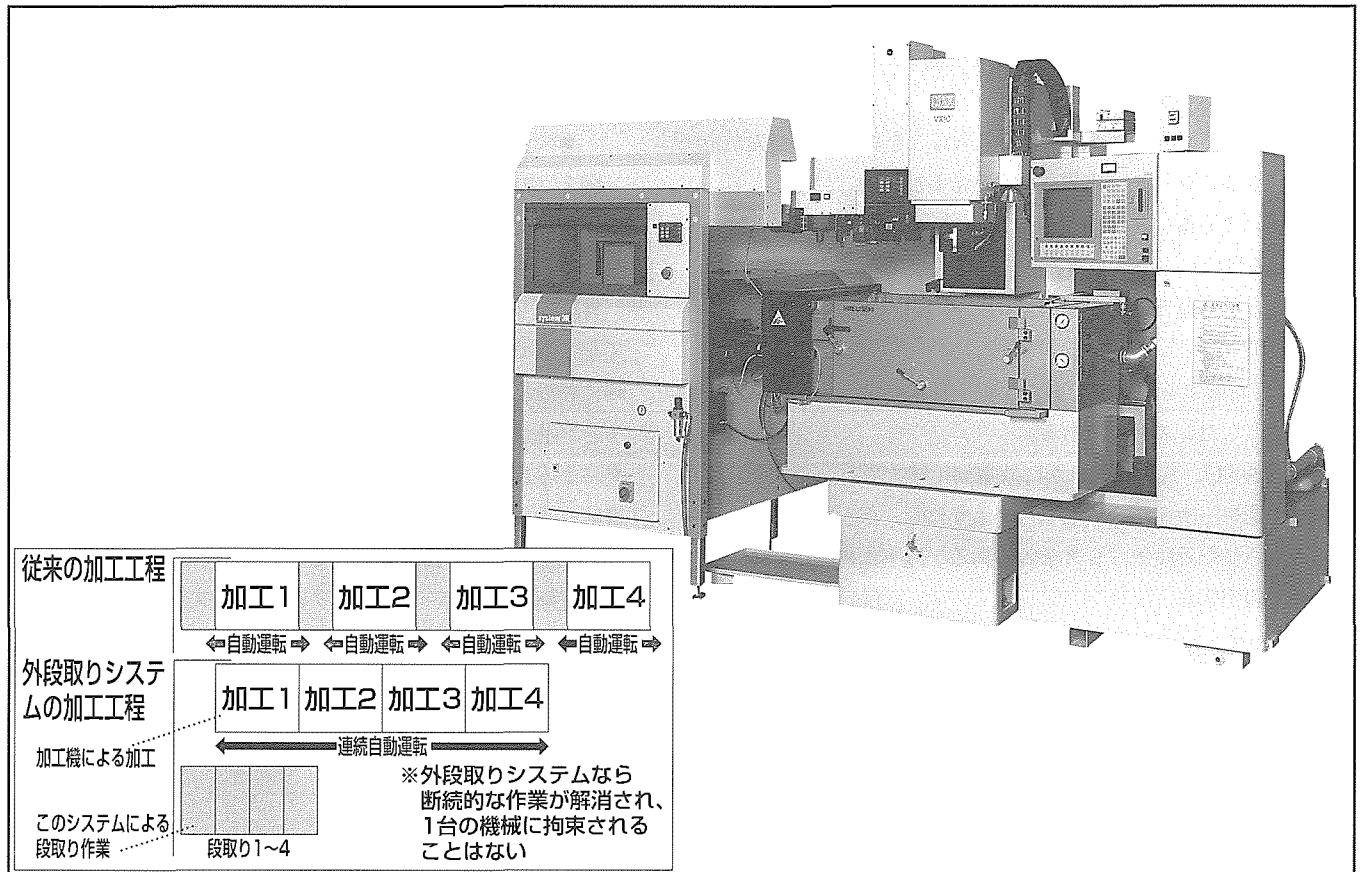
現在の放電加工機及びレーザ加工機ではワーク(金型素材, 板金素材)の搬入出は人手で実施しているのが大半であり, 生産性向上と自動化のネックになっている。この自動化のネックを解決するため, 形彫放電加工機では“ED-CELL”システムを開発した。

このED-CELLシステムは, 形彫放電加工機, 自動電極交換装置(以下“ATC”という。), 自動ワーク交換装置(以下“AWC”という。), IDタグ, 三次元測定機, 及びセルコントローラ等からなり, 電極/ワークの自動交換に加えて, 段取りを加工機の外で行う外段取り方式を採用し, 自動化に加えて放電加工機の稼働率を飛躍的に向上させる

ことができる。

また, 形彫放電加工機とワイヤ放電加工機の両方の加工工程を必要とするアルミサッシ金型加工では, 各機器への金型素材の搬入出用にスタッカクレーンを採用し, 全自動加工システムを構築した。

一方, レーザ加工機では, 板金素材を自動供給するパレットストッカ, 及び2トンこん(梱)包の定尺素材から1枚取りをして素材を自動供給し, 加工済み製品を搬出することのできるローディング/アンローディング装置(以下“ローダ/アンロード”という。)を二種類標準化した。



形彫放電加工機外段取りシステム“ED-CELL”

三菱電機は, 形彫放電加工機に加えて, IDタグシステム, 三次元測定機, セルコントローラからなる形彫放電加工機用外段取りシステムを製品化した。このシステムは, IDタグによる電極心ずれ/ワーク位置の管理, 三次元測定機による加工機外での測定による段取り作業の効率化, スケジュール運転による連続自動運転が可能となっており, ATC/AWCをフルに活用でき, 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

放電加工機及びレーザ加工機のユーザの8割以上を占める中小企業では、近年、週休2日制が定着しつつあり、顧客からの短納期要求にどう対応すべきかが大きな課題となりつつある。

放電加工機及びレーザ加工機では、ワーク(金型素材、板金素材)の搬入出は人手で実施しているのが大半であり、生産性向上と自動化のネックになっている。

本稿では、生産性向上のための自動化システムの一例として、IDタグを用いた外段取りシステムを採用した形彫放電加工機、サッシ金型加工用にワイヤ放電加工機と形彫放電加工機で構築された全自動加工システム、及びレーザ加工機用ワークのローディング/アンローディング装置を紹介する。

2. 形彫放電加工機外段取りシステム

2.1 形彫放電加工機自動化システムの概要

放電加工機の加工速度の飛躍的な向上が期待できない現在、生産性向上の手段としては、機械のアイドル時間を減らし、連続自動運転時間を延ばすことが第一に挙げられる。

形彫放電加工機の納入先がほとんど中小企業であるという現状を踏まえて、費用対効果を考慮した自動化システムを自動化レベルに合わせて示すと次の図1～図3に示す3システムとなる。

図1はATCと2枚のパレットのAWCとを組み合わせたもので、夜間にワークの交換を必要とする加工内容に対応したシステムである。

図2は1台のロボットで電極/ワーク交換を実施することのできる自動電極ワーク交換装置(以下“AWEC”という。)を付加したもので、AWECは電極/ワークの個数が最大100個まで対応することができ、土曜・日曜の自動運転の実施を可能としたシステムである。

図3はATC、AWCのほかに放電加工機上で行っていた段取り作業を三次元測定機上で行うようにし、稼働率を飛躍的に向上させた外段取りシステムである。以下このシステムについて説明する。

2.2 システム構成

図4に外段取りシステムのハードウェア構成を示す。形彫放電加工機のほかに、電極の心ずれ量とワークの位置を測定するための三次元測定機、ATC、AWC、電極/ワークを個々に認識するためのIDタグ、IDタグを非接触で読み取るIDリーダ、及びシステム全体を制御するセルコントローラ(パソコン)で構成される。

また、ソフトウェア構成としては、①形彫放電加工機のソフトウェアとは別にセルコントローラに搭載されるソフトウェアとして電極/ワーク/加工プログラムを製品番号で関連付ける加工情報機能、②三次元測定機を用いて電極/ワークを計測する測定機能、③放電加工機、AWC、ATCを起動してワークをスケジュールどおりに加工するスケジュール運転機能、の3機能で構成される。

2.3 稼働率向上のための施策

図5は外段取りシステムと従来の加工工程による二つのプロセスの実行形態の比較である。従来の加工工程は、段取りプロセスと加工プロセスをシーケンス的に実行する。これに対して外段取りシステムでは、段取りプロセスと加工プロセスを分離し、段取りプロセスと加工プロセスを並行実行する。この並行実行によって放電加工機による加工を連続させ、稼働率を向上させる。具体的には次の施策を行っている。

- IDタグによる加工情報管理の簡略化
- 外段取りによる段取りプロセスの効率化
- スケジュール運転

図6は加工情報管理の簡易化を行うためのセルコントローラ搭載の加工情報機能の画面表示である。図7は電極/ワークを認識するために使用したIDタグ(ICメモリ)である。

外段取りシステムは、この加工情報機能とIDタグを使って加工プログラムと電極のID番号、ワークのID番号を同時に登録し、加工プログラムと使用電極/ワークのミスマッチを防止する。また、ATC、AWCに搭載されたIDリーダによるストック内の電極/ワークの取付け位置の自動認識機能により、作業者は電極/ワークのストック位置を意識せず空きストックに挿入できようになっている。さらに、電極と電極心ずれデータ、ワークとワーク位置といった物と情

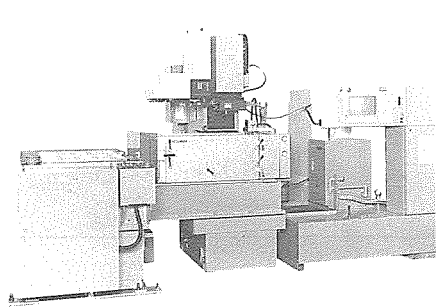


図1. 形彫放電加工機
VX20+AWC-2P

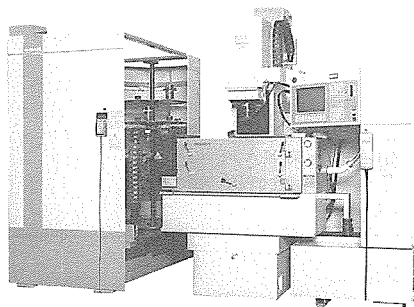


図2. 形彫放電加工機
VX10+AWEC-100

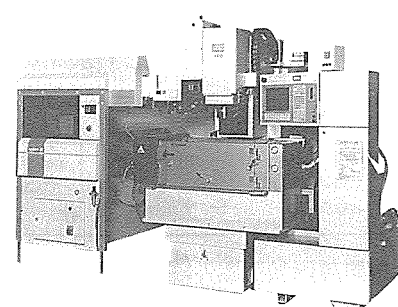


図3. 形彫放電加工機の
外段取りシステム

報の一致は、三次元測定機上での電極/ワークのIDタグ読み込み作業時に実施している。

図8は三次元測定機を用いて計測作業を行うための、セルコントローラ搭載の測定機能の画面表示である。外段取りシステムでは、放電加工機上で計測していたワークと電極の相対位置決めを三次元測定機を用いて行うことにより、段取りプロセスと加工プロセスを並行して実行することができる。また、従来の放電加工機の計測作業の欠点であった電極/ワークの形状が複雑になると計測用のプログラム作成が難しくなるという点も、測定機能の画面表示に従って測定子を当てるだけで、電極心ずれ/ワーク位置を自動的に測定することができる。

図9はセルコントローラ搭載のスケジュール運転機能の画面表示である。スケジュール運転機能により、加工プログラム、電極、ワークを組み合わせた製品番号に基づいて、電極

交換、ワーク交換、放電加工といった一連の加工工程を連続実行し、長時間連続運転を行う。また、次のスケジュールを実行するために必要な加工プログラム、電極及びワークの準備された状況も確認できる。さらに、加工スケジュールにとらわれずに準備の整ったスケジュールを優先して実行するようになっているため、加工の停滞も防げる。なお、ワーク搬入、加工中といったスケジュール実行状況と加工の開始時刻表示機能があり、スケジュールの経過状況が一目で分かるため、段取り作業の計画立案に役立つ。

2.4 導入効果

コネクタの金型の生産に導入された例について述べると、最高で月680時間の実加工をした実績があり、通常のATC付きの放電加工機による稼働が月250~300時間が平均であることを考えると、2倍以上の稼働率となる。

また、作業者の負担という面で考えると、外段取りシステムでは、作業者の仕事の大半が椅子に座った状態での電極/ワークの測定機による計測作業で、肉体的疲労度は大きく軽減される。さらに、計測作業はまとめて行うことが可能(段取りの蓄積)なため、土曜・日曜の出勤は不要になることが期待できる。

3. 放電加工の全自動加工システム

3.1 システムの概要

このシステムは、形彫放電加工とワイヤ放電加工の両方の加工工程を必要とする、アルミサッシの押出しダイスの加工用に開発したシステムである。

構成例を図10に、加工工程例を図11に示す。

(1) ワイヤ放電加工機

このシステムにおけるワイヤ放電加工の課題は、確実にスクラップ(以下“中子”という。)を切り落とし、切り落とされた中子がワ

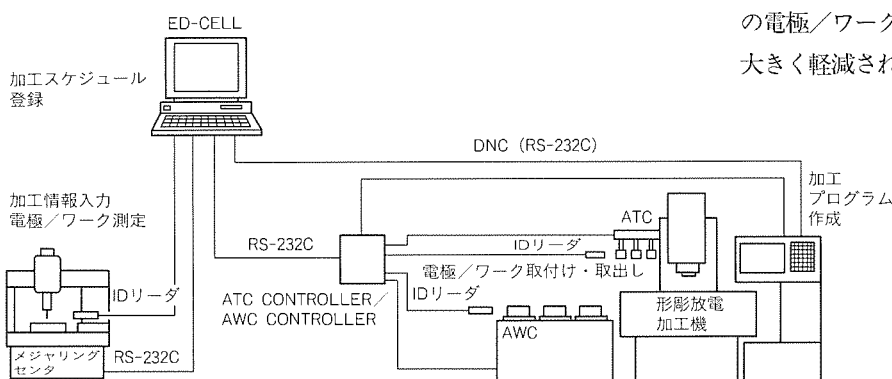


図4. 外段取りシステムのハードウェア構成

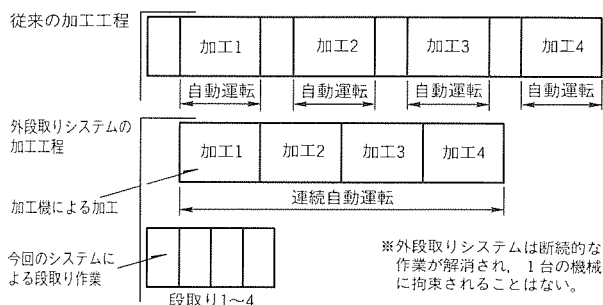


図5. 加工工程比較

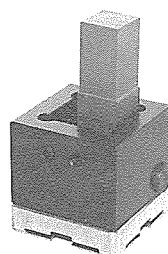


図7. IDタグ

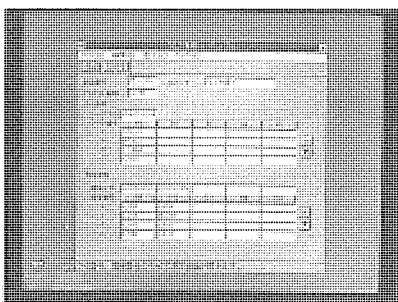


図6. 加工情報画面

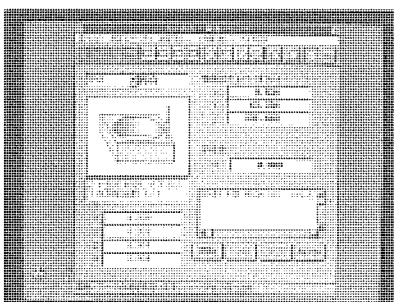


図8. 電極/ワーク測定画面

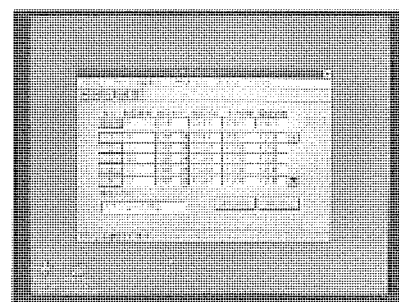


図9. スケジュール運転画面

ークとワイヤの間に入らないようにすることである。この課題に対し、切り落とし部において、落下した中子がワイヤを挟まないようにスペースを確保するため、わずかに拡大加工を行う加工形状プログラムに変更している。

(2) 形彫放電加工機

多数のワークを取り扱う場合、形彫放電加工の自動化に対する課題は電極の供給方法である。このシステムでは、パレットに電極を積載して供給するようにしている。

動作としては次のように行う。ワーク搬入前に次に加工するワークに対応する電極パレットを加工機に搬入し、加工機の主軸でパレット上の電極をつかみ、ATCに格納する。次にワークを加工機に搬入し、ATC内の電極を所定の加工順に交換して加工を行う。加工を終了してワークを搬出した後、

元の電極パレットに使用済み電極を返却する。

(3) 三次元測定機能付き細穴加工機

パレットに取り付けられたワークの位置を計測し、ワイヤ放電加工のスタート穴を加工する装置である。計測データはセルコントローラに保管され、加工時に各加工機にダウンロードされるため、機上で計測する必要はない。細穴加工に使用するパイプ電極供給は、形彫放電加工機の電極の供給と同様にパレットを使用し、自動的に行われる。

(4) 洗浄・防せい(錆)処理装置

ワイヤ放電加工と形彫放電加工では加工液が異なるため、加工終了後ワークを洗浄し、乾燥する必要がある。

この装置では、洗浄液に、環境破壊をせず人体に悪影響を与えず、しかも、ワークの加工精度を悪化させないという観点から、常温の水を使用した。洗浄は、高速の水流にエアを混入させたバブルジェットをワークに当てて物理的に行う方式とし、乾燥は液槽からリフトアップした後、ワークの上下面から自走式ノズルによってエアブローを行う方式とした。

(5) 中子処理装置

ワイヤ放電加工で切り落とした中子の処理は、自動化にとってネックである。このシステムでは、ワークを反転させて中子を除去するという方法を採用した。

動作の原理を図12に示す。ワイヤ放電加工のファーストカットで上向き開きのテーパに切断し、中子をワークに保持する。装置の内部でワークを反転し、エアブローノズル兼用のブラシで中子を突き落とす。軽量の中子は切断面に付着した水の表面張力で落ちにくいので、エアブローは非常に効果的である。

(6) スタッカクレーン

パレットをストックし、各加工機にパレットを搬送する装置である。この装置では、クレーンの停止精度を向上させ、パレットの搬出入案内機構の設置などの対策を行い、直接クレーンから加工機へ投入できるようにしている。

(7) セルコントローラ

システム全体の情報及び工程の管理を行う装置である。この装置では、上位のデータサーバから加工に必要なデータをダウンロードし、スケジュールの設定を行い、システムのスタートを行う。また、各装置の運転状態を表示するモニタ機能、各種のシステム履歴の表示機能も備えて

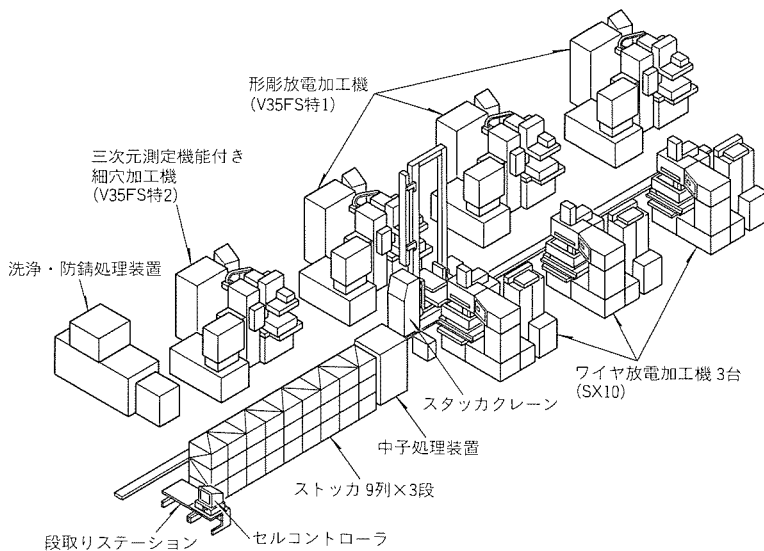


図10. 全自動加工システム構成例

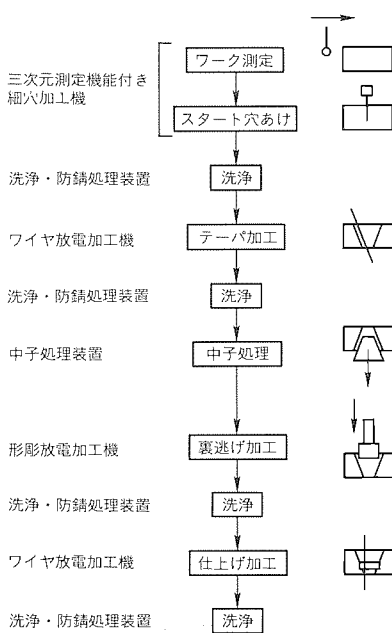


図11. 加工工程例

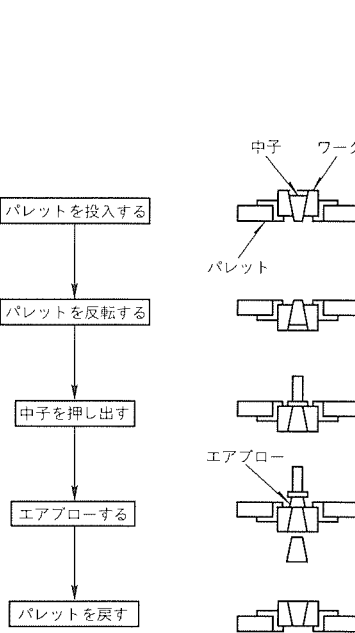


図12. 中子処理装置の原理

いる。

3.2 システムの導入の効果

(1) 生産性の向上

(a) 段取り時間の削減

ライン内で位置測定を行うため投入は簡単な段取りで、しかも各工程での段取り替えの時間が不要となるので、製作完了までの時間を短縮できる。

(b) ワークの滞留時間削減

セルコントローラが各加工機の運転状態を監視し、空いた機械にワークを次々に投入可能となり、ワークの滞留時間を極力抑制することができる。

(2) 生産品質の向上

段取り替えを行うことによるワークの位置ずれの発生がなくなり、品質的にも安定した製品ができるため、歩留りの向上が図れる。

(3) 省人化と熟練者不足の解消

機械の定期的なメンテナンスを行う保守要員以外は、一人の作業でラインを稼働できるので大幅な省人化ができ、熟練者は不要となる。

以上述べたように、このシステムは、アルミサッシ押出しダイスの加工用に開発を行ったが、形彫放電加工機とワイヤ放電加工機を使用した複数の工程を必要とする加工に対しても有効なシステムである。

4. 連続自動加工用レーザ加工システム

レーザ加工機単体では通常1枚の素材をクレーン、フォークリフト又は人手によってレーザ加工機に載せて加工するが、加工が終了するたびに製品の取出しと素材の交換のための人の介在が必要となり、自動化の阻害要因となっている。連続自動加工をするためには、素材を自動供給するパレットストック及び2トン梱包の定尺素材から1枚取りをして素材を自動供給し、加工済み製品を搬出するローダ/アンローダが必要となる。

以下、実施例について紹介する。

4.1 パレットストック方式（マイクロジョイントレス用）

レーザ加工後の製品部分とスクラップ部分とを分離しやすくするためには、マイクロジョイント（製品部分とスクラップ

部分との間に付ける小さなジョイント）を付けずに加工するマイクロジョイントレス加工が望ましいことは周知の事実である。しかしマイクロジョイントレス加工では、製品部分とスクラップ部分が完全に分離しているため、加工済み材料の自動搬送に障害となる。

パレットストック方式は、レーザ加工機のテーブル部分をパレット化し、ストックに収納したものである。例えば10段パレットストックでは、10枚の加工用パレットに各1枚の素材をあらかじめ供給しておき、操作盤のスケジュール設定機能によって加工スケジュールを設定し、ストックからレーザ加工機にパレットを供給して連続自動加工するものである。加工済み製品はパレットごとストックに収納する。加工用パレットには50mmピッチで加工製品を支える棧があり、比較的小さな製品でもマイクロジョイントレス加工に対応できる。

この方式は、マイクロジョイント外しに多大な労力を要する4.5mm厚以上の材料の加工に威力を発揮すると同時に、1枚当たり加工時間が1時間以上かかるような比較的板厚の厚い素材の加工では、素材の追加なしで10時間以上の連続運転が可能である。

また加工中に“割り込み”を行うことによって、加工を停止せずに加工済み製品をまとめて取り出し、新しい素材をパレットに追加することもでき、更に長時間の連続加工が可能となる。

パレットストックにはレーザ加工機LXシリーズ用、HDシリーズ用が標準化されており、パレットを収納するストック棚数も6段、10段（15段、20段は特殊対応）がある。

図13はLXレーザ加工機用の直列配置型のパレットストックである。詳細は省くが、ストックリフト内のトラバーサ部分を上下2段方式とし、次加工パレットを待機させることにより、加工終了から次の加工開始までの搬送ロス時間を約100秒（2512LX用）に短縮させている。

この方式は直列配置で構成されているため、長手方向のスペースが必要となるが、図13、図14から推定できるように、直交配置型に比べて製品の取出しが極めて容易であること、壁際にすっきりと配置できることが特長である。

図14はレーザ加工機とパレットストックを直交配置した方式である。LX及びHDシリーズのレーザ加工機用に採用

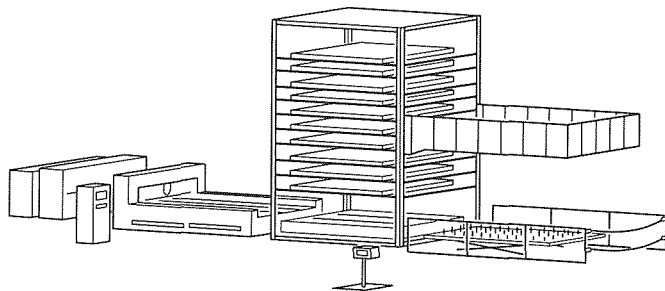


図13. 10段パレットストック（直列配置型）

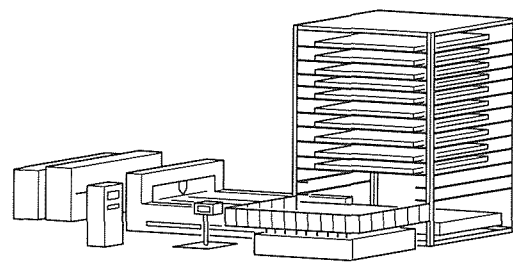


図14. 10段パレットストック（直交配置型）

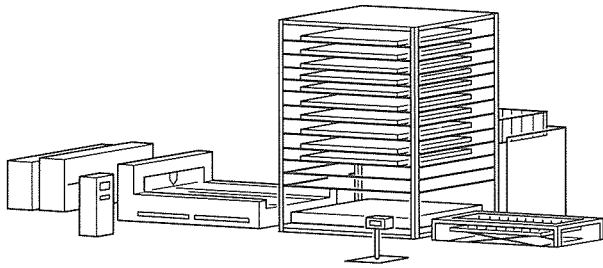


図15. 10段パレットストッカ
(素材・製品搬入出ステーション付き)

している。この方式ではストッカ本体に次加工パレットの待機エリアを設けており、同様にロス時間を短縮している。直交配置型では長手方向の長さが減少するため、比較的設置スペースの制約を受けにくい、反面、加工済み製品が取り出しにくいことは否めない。

いずれにしてもユーザの工場内スペースは様々であり、細長いスペースしか確保できない場合は直列配置が、正方形に近いスペースの場合は直交配置が適する。

図15は直交配置タイプに素材搬入／製品搬出専用ステーションを設置したものである。製品の取出しが容易になると同時に、ローダ／アンローダや自動倉庫等を付加し、大規模のシステムを構築する場合にも適している。

4.2 積載素材1枚取り方式ローダ／アンローダ

薄板素材製品形状が比較的大きなものを主体にレーザ切断する場合は、素材1枚当たりの加工時間が短く、パレットストッカ方式では、ストックされた素材が2～3時間で消費されるため適さない場合が多い。このような生産形態では、素材として定尺材の2トン又は1トン梱包材を使用して、より長時間の連続運転を実現するのが一般的である。

すなわち、定尺素材を積載した梱包材から、素材を1枚ずつレーザ加工機に搬入して加工する方式である。当然のことながら、加工済み製品も素早くレーザ加工機から搬出する機能も持っていなければならない。この方式では切断済み製品も1枚ずつアンローダで搬出するため、マイクロジョイントを付けた状態で加工することが一般的であるが、可能な限りマイクロジョイントレス加工を要望されることは言うまでもない。

当社では、図16に示すシャトルテーブル付きローダ／アンローダを開発している。動作は次のとおりである。

梱包材を取納したシートストッカ(6段、10段)から梱包材を素材ステーションに取り出し、素材1枚のみを吸着した後、装置内のフォーク(ローダ／アンローダ兼用)上に載せる。次いでシャトルテーブル上に素材を載せ、加工が完了するまで待機する。加工終了後シャトルテーブルで製品と素材を入れ替え、次の加工を開始する。シャトルテーブル上の製

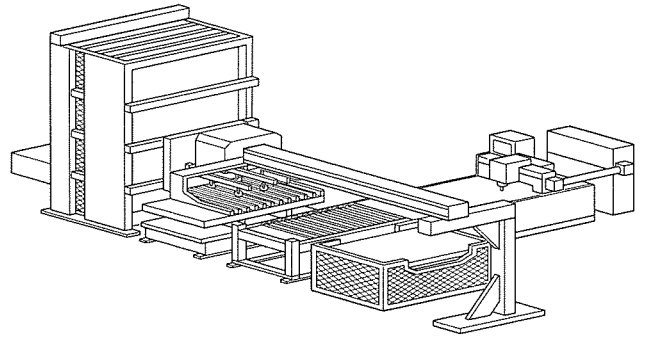


図16. 積載素材一枚取り方式ローダ／アンローダ

品はフォークによってすくい上げられた後、製品ステーションに積載される。

この装置は、30プログラムを連続で加工することが可能なスケジュール運転機能付きである。例えば同一プログラムを2枚ずつ加工するとすれば、60枚もの連続加工が可能である。スケジュールに従って、素材もストッカから自動交換できるようになっている。

この装置では加工中に次の素材をシャトルテーブルにセットしておくため加工停止ロス時間が短いこと、またローダ／アンローダとしてフォークを採用しているためフォークピッチ方向が約200mmより大きい加工形状であれば、マイクロジョイントレス加工が可能であること、が大きな特長である。

さらに、レーザ加工機本体部がオープン構造であるので、端材の加工など人を付けて加工する場合でも安全に使用できる。

なおストッカなしのものも標準化しており、単一素材のスケジュール運転はもとより、素材を加工順に積載すれば、異なる素材のスケジュール加工も可能である。

現状の課題として、上記2方式ともレーザ加工機は周辺装置と組み合わせるための改造が必要である。今後既納入の標準レーザ加工機にそのまま周辺装置を取り付けられるようになれば、需要は急速に拡大するものと思われる。

5. む す び

以上、放電加工機及びレーザ加工機の自動化システムについて、納入事例に基づいて述べた。

自動化システムという搬送系を含めた全自動CIM工場をイメージしがちであるが、現場では種々雑多なワークの交換をいかに自動化するかが一つの課題になっており、この課題を解決することが次のステップへの足掛かりとなる。

今後は多岐にわたるユーザの要求に対し、ハードウェア、ソフトウェアの両面からこたえていく所存である。

微細接合用電子ビーム加工機

荒川及蔵* 石見泰造***
金子秀巳* 菊池正雄***
野口 洋**

要旨

多数個のワークをビーム偏向加工で連続加工し、タクトタイム1秒以下を実現する微細接合用連続排気式電子ビーム加工機を製品化した。その特長を次に示す。

(1) LaB₆陰極の採用と装置小型化

陰極材料として低温高エミッション材料のLaB₆を採用した。従来のタングステン陰極に比べて陰極加熱電力は1/10以下でも5倍の放射電流密度が得られ、30kVという極めて低い電圧で60kV並みの集束特性を得た。また、高電圧電源は従来比で1/10以下に小型化した。

(2) ビーム偏向による連続加工

偏向による最大ビーム移動速度を10,000m/min以上と超高速化した。これにより、通常の溶接速度 数m/minから最大速度に瞬時に切り換えられ、加工物への熱的影響

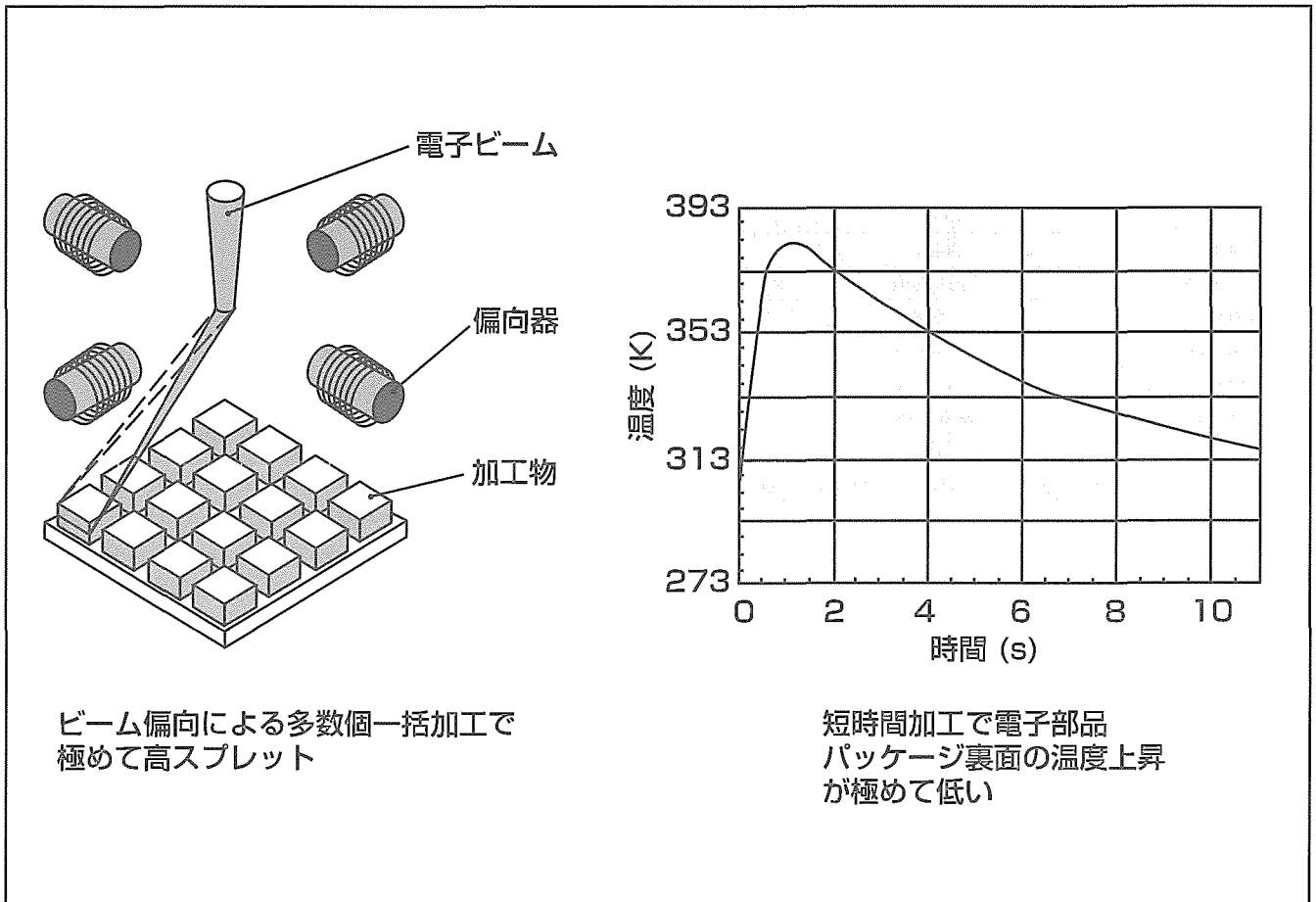
をなくすことができ、ビームのON/OFF制御なしで連続加工を可能とした。また、最大速度移動後のビーム制定時間も1ms後で0.03mmと従来の1/10以下を得た。

(3) 連続排気方式

ハイスピードカセット式連続排気方式を採用し、見掛け上の排気時間を0秒とした。従来のバッチ方式に比べて排気ポンプ容量を一回り小型化した。

(4) 電子部品パッケージ接合

セラミックパッケージの封止において、ビーム偏向による短時間照射でパッケージへの熱的ダメージ(クラック)がなく、ICマウント部の温度上昇も従来接合の半分以下という良好な接合結果を得た。



ビーム偏向による多数個一括加工で極めて高スプレット

短時間加工で電子部品パッケージ裏面の温度上昇が極めて低い

ビーム偏向による電子部品の接合

通常の溶接速度 数m/minに対し、ビーム偏向加工では、10,000m/min以上のビーム移動が可能で、加工物上でビームON/OFF制御なしで安定したビームパワーを瞬時に供給できる。また、多数個の加工物をステージの移動なしで偏向のみで一括加工できるため、加工時間が極めて短い。

1. ま え が き

電子ビーム溶接は、航空機や原子力等の高品質の溶接に、小入熱、低ひずみのメリットで特異な地位を得ている。また、自動車のA/T部品では、その形状の複雑さ、小型軽量化の要求から、分割加工後の組立て溶接に専用機としての地位を得ている。しかし、この2分野以外では、真空なるがゆえの操作とメンテナンスの難しさから汎用性がなく、CO₂レーザー、YAGレーザーに比べて普及が進んでいない。

当社では、電子ビームの高密度熱源、真空のクリーンさを生かした溶接を種々の分野で広げるため、電子ビーム溶接の最大の難点である真空を装置として弊害とならないように検討し、連続真空式新形電子ビーム加工機(以下“ハイカセEBM”という。)を1993年に製品化した⁽¹⁾。

今般、精密・電子機器等の熱容量の小さな小物部品の精密加工をターゲットとし、300W出力の新形電子銃搭載の新製品を開発した。

本稿では、その加工上の特長及び電子部品の組立てに対する適用について述べ、また、6kW出力大型ハイカセEBMについても紹介する。

2. 微細接合用電子ビーム装置

小物部品の精密加工は、従来、60kV・1kW出力の電子

表1. 陰極及び電源比較

		新 形	従 来 形
定 格	出力	300W	1,000W
	加速電圧	30kV	60kV
陰 極	陰極材料	LaB ₆ 陰極	タングステン陰極
	陰極径 (mm)	φ0.8	φ1
	使用温度	1,600°C	2,500°C
	放射電流密度	10A/cm ²	2A/cm ²
	加熱方式	通電加熱	衝撃加熱
	加熱電力	20W	250W
	高 圧 電 源	加速電源	サイズ (mm) (W)140×(H)175×(D)165 (φ)460×(H)680 絶縁方式 固体絶縁 インバータ 80kHz
補 助 電 源	補助電源	体積 (mm) (W)140×(H)175×(D)165 (φ)460×(H)910 サイズ方式 固体絶縁 インバータ 80kHz	ガス絶縁 10kHz

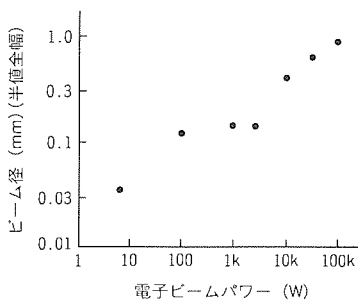


図1. 電子ビームパワーとビーム径の関係

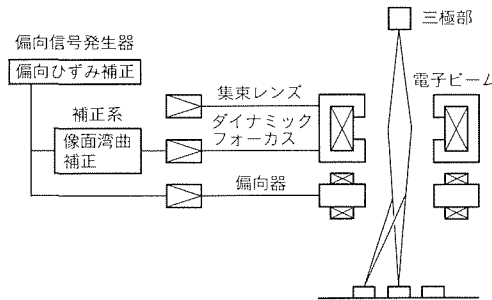


図2. 偏向系の構成

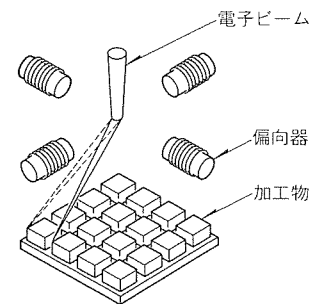


図3. ビーム偏向による高スループット加工

銃で対応していたが、ユーザからの装置の小型化要求にこたえ、30kV・300W出力の電子銃を開発した⁽²⁾。

2.1 電子銃構造の高信頼化と高電圧電源の小型化

LaB₆陰極は、低温高エミッション材料で、タングステン陰極に比べて加熱電力1/10倍でも5倍の放射電流密度が得られる(表1)。したがって、低電圧30kVでも60kV並みの集束特性を得ている。

また、タングステン陰極では、電子銃室の高電圧絶縁部を水冷する必要があり、また、陰極加熱のサイクルごとにヒートショックが大きく、その信頼性に問題があった。LaB₆陰極では、使用温度が下がり、陰極・高電圧絶縁部は熱的にも絶縁できるので、ヒートショックは問題にならない。したがって、新形電子銃の高電圧絶縁方式は、従来の油絶縁から固体絶縁化ができ、環境にクリーンで、しかも構造も簡素にでき、大幅な信頼性向上が図れた。

また、インバータの高周波化で高電圧電源部品を見直し、発生ロスの抑制と低電圧化により、高電圧電源は大幅に小型になった(表1)。

2.2 ビーム集束特性

図1に、当社で開発した電子ビーム加工装置の電子ビームパワーとビーム径の関係を示す。100Wクラスの電子銃を用いることにより、100μmのビーム径を得ている。

2.3 ビーム偏向加工

図2に電子ビーム加工機の偏向系の構成を示す。

大面積偏向に伴って偏向ひずみ、像面湾曲の収差が発生するが、偏向信号発生器内の偏向ひずみ補正系、ダイナミックフォーカスの補正レンズでその影響を抑制している。高周波磁界によって発生する渦電流の影響を低減するため、偏向器周辺の構成材を電気抵抗の高い材料で構成している。その結果、次の性能を得た。

- (1) 最大ビーム移動速度：10,000 m/min以上
- (2) ビームの応答周波数対域(小振幅)：100 kHz程度
- (3) ビーム径：110 μm±15% (偏向エリア 60 mm角)

この装置でビーム偏向加工を行うと、ビーム移動速度を通常溶接等に用いられる数 m/min から 10,000 m/min に瞬時に変えることができる。この高速移動中は加

工物への相対的な入熱量は1/10,000になるため、熱的な影響は無視でき、ビームのON/OFF制御をすることなく連続加工が可能となる。

さらに、ビーム偏向ではビーム移動速度の電氣的に精密な速度制御が容易に実現できるため、加工の要求に応じ、高精度で入熱量の制御が可能になる。この制御方法を用いることによって、図3に示すようにパレット上に並べられた多数個の小物部品を短時間で加工することが容易に可能となり、高スループット加工が実現できる。

2.4 排気方式

2.4.1 バッチ排気方式

装置概念と排気特性を図4に示す。

ワークを載せたテーブルをインデックスした後上昇させ、下方が開いた溶接室を密封して排気する方式である。排気時間は低真空6.7Pa { 5×10^{-2} Torr}まで8~12秒、高真空 6.7×10^{-2} Pa { 5×10^{-4} Torr}まで40~120秒必要で、多数個同時加工で月産数十万個の量産ができ、タクトタイムは低真空で30~60秒、高真空で60~150秒である。

2.4.2 ハイスピードカセット式連続排気方式

排気動作を機械動作に並行させるので、排気時間は見掛け上無視できる。タクトタイムは高真空でも約10秒であり高

速運転ができ、多数個同時加工で月産数百万個程度の大規模量産向きである。

装置概念と排気特性を図5に示す。排気装置は、複数の排気室を備えたパイプ形状のカセットトランスファチューブと、ワーク収納室を備えた複数の円筒状のカセット治具で構成している。ワークは、カセット治具とともに、順次、搬入室から予備排気室を通して、溶接室まで搬送される。

この方式は、カセット治具のOリングで溶接室に流入する空気は完全に遮断することができるので、小型で、かつ高い信頼性の真空差圧機構を実現できるとともに、排気ポンプを小型にすることができる。

表2に排気ポンプ容量とタクトタイム比較を示す。また、図6に装置の外観を示す。

3. 電子部品のパッケージングへの展開

電子部品の長期信頼性を保証するには気密性が重要で、セラミックパッケージが用いられている。パッケージにICを装着後、窒素又は真空雰囲気中でキャップを封止する。封止法には、シーム溶接、はんだ接合、低融点ガラスシール法といった方法がある⁽²⁾。

表2. 排気ポンプ容量とタクトタイム比較

		ハイスピードカセット式	バッチ式
排気ポンプ容量	溶接室	DP : 310 l/s SP : 310 l/min	DP : 1,650 l/s RP : 7,500 l/min MB : 1,200m ³ /h
	予備室	MB : 100m ³ /h SP : 310 l/min	—
タクトタイム	溶接	4s	4s
	機械	6s	16s
	排気	—	40s
	合計	10s/10個 1s/1個	60s/10個 6s/1個

注 RP：油回転ポンプ、SP：スクロールポンプ、MB：メカニカルブースタポンプ、DP：油拡散ポンプ

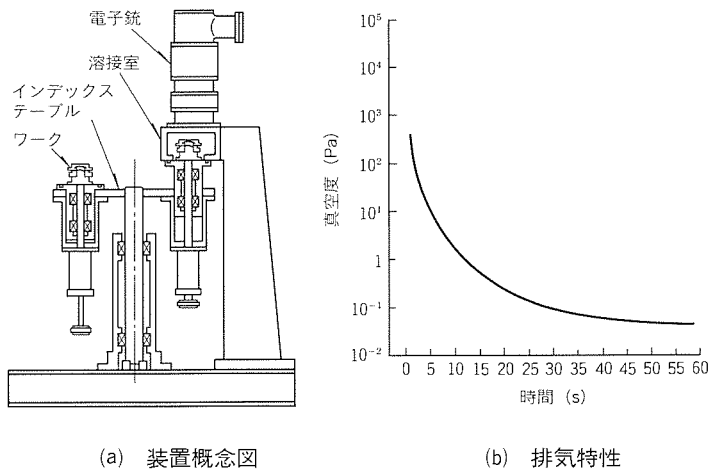


図4. バッチ式排気方式

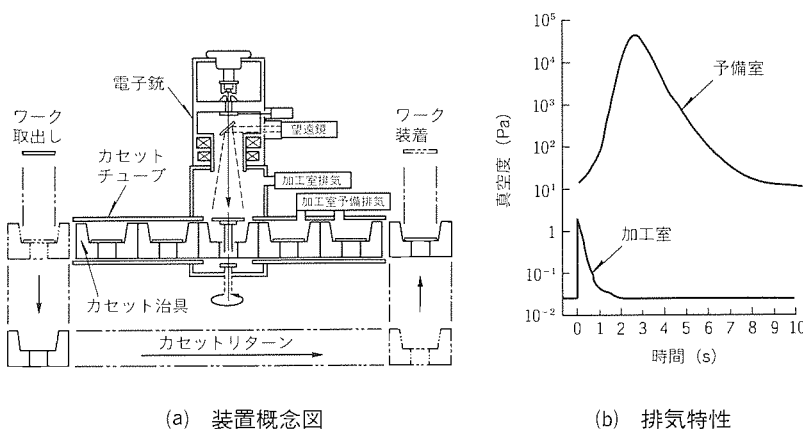


図5. ハイスピードカセット式連続差圧排気方式

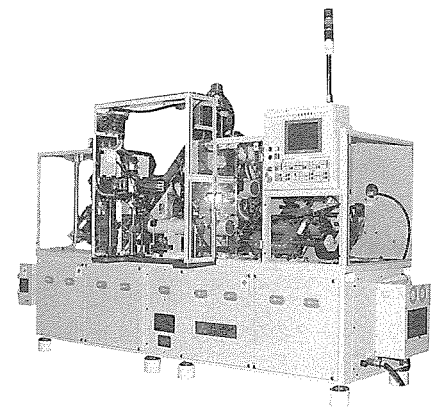


図6. ハイスピードカセット式電子ビーム加工機

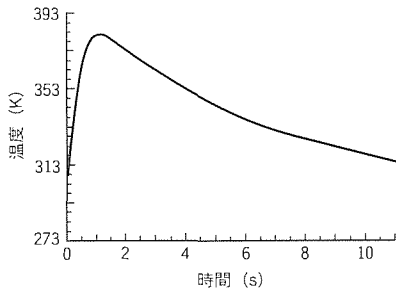


図7. パッケージ裏面中央
(チップ直下) 温度測定結果

表3. カセットシリーズ比較

カセット 治具サイズ	対称 ワークサイズ	機械動作 時間
φ100mm	φ50mm	6s
φ150mm	φ100mm	7s
φ200mm	φ150mm	8s

この分野では、劣化が少なく強度の高いシール材を用い、封止時のチップへの熱影響が少なく、タクトタイムが短い封止法の開発と製品化が持たれている。

電子ビーム加工プロセスの特長を次に示す。

- (1) 本質的に真空プロセスであり、真空封止が容易
- (2) 局所加熱であるため、周囲への熱影響が少ない
- (3) ビーム偏向プロセスで、多数ワーク加工で高タクト
- (4) 金属的に接合封止するので、耐湿性・耐食性が高い

図7はチップIC直下(セラミックスパッケージ裏面の中央部)の温度を実測したものである。電子ビーム照射後0.5秒ほどで383 K (110°C) まで上昇した後、10秒ほどでほぼ室温近くまで低下する。

他の封止法と比較すると、封止時のチップへの熱ダメージは次のように極端に少ない。

- 電子ビーム接合 : 383 K (110°C) (IC直下)
- シーム溶接 (An接合) : 523 K (250°C) (IC直下)
- Au-Suろう付け : 融点 553 K (280°C)
- はんだ付け : 融点 573 K (300°C)

一方、電子ビーム接合の場合、接合部の温度はシーム溶接と同様に高く1,200~1,300 Kと推測され、セラミックスへの熱的ダメージ(セラミックスのクラック)が課題となる。

そこで、ビーム照射条件のチップ直下温度、熱応力に与える影響についてシミュレーションした⁽⁹⁾。その結果、ビームを集束させて高エネルギー短時間側の条件でキャップ上に照射する方がセラミックスへの熱的ダメージが小さくなるのが分かった。サンプル加工においても、クラックの発生がなく、リークのない良好な封止が得られている。

4. カセット治具の大型化

従来のハイスピードカセット式電子ビーム加工機のカセットのサイズ(φ100 mm, φ150 mm)シリーズに、今回新た

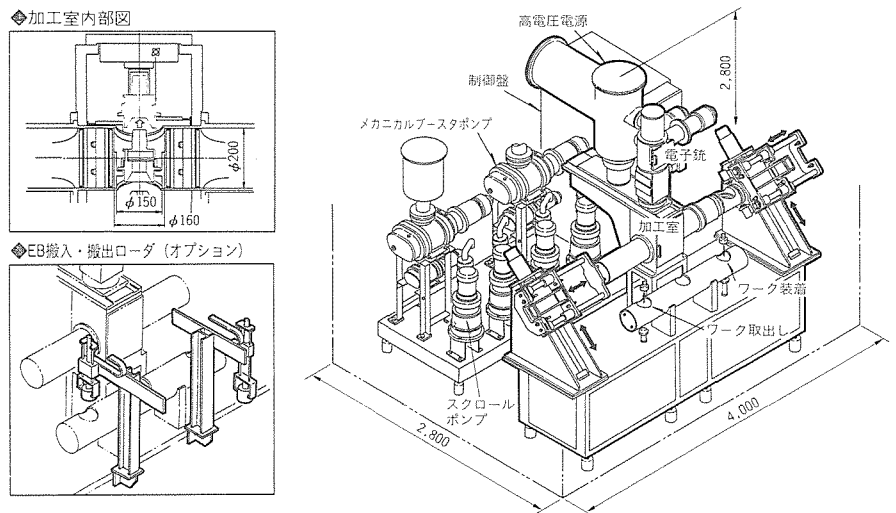


図8. ハイスピード大型カセット式電子ビーム加工機

にφ200 mmを追加した(表3)。

このサイズになると、カセット治具搬入時、真空シール部の摩擦抵抗が大きくなり、機械動作時間は8秒となる。また、カセット治具上下昇降時の振動を防止するため、サーボ駆動を採用している。既に、カセット搬送の耐久性の検証を終えており、'97年度末に製品1号機を納入する予定である。

このシリーズは自動車関連部品の加工をターゲットとして、排気は低真空タイプである。ただし、バッチ排気式(6.7 Pa { 5×10^{-2} Torr})と比べて5倍以上の高真空(1.3 Pa { 1×10^{-2} Torr})を維持することができ、加工品質の向上を図っている。排気と機械動作時間の合計も、バッチ排気式の20秒から8秒と12秒のタクトタイム短縮を実現している。

装置のイメージを図8に示す。

5. むすび

小型化が進む電子部品分野で、その接合時のビーム照射精度向上が必要である。現在、ビーム照射時に発生する反射電子の強弱からワーク位置を検出する方法で実験レベルで10 μmの精度を得ている。今後、実用化に向けて処理の高速化を検討する。

参考文献

- (1) 野口 洋, 荒川及蔵: 高速連続排気形電子ビーム加工機の特長, 第15回高エネルギービーム加工研究委員会資料 (1994)
- (2) 中村有美子, 石見泰造, 村上正治, 荒川及蔵: 微細接合用電子ビーム装置の特長, 第19回高エネルギービーム加工研究委員会資料 (1995)
- (3) 菊地正雄, 石見泰造, 丸山敏郎, 荒川及蔵: 電子ビーム加工法の微細接合分野への展開, 第23回高エネルギービーム加工研究委員会資料 (1996)

ホログラム型 エキシマレーザー加工機

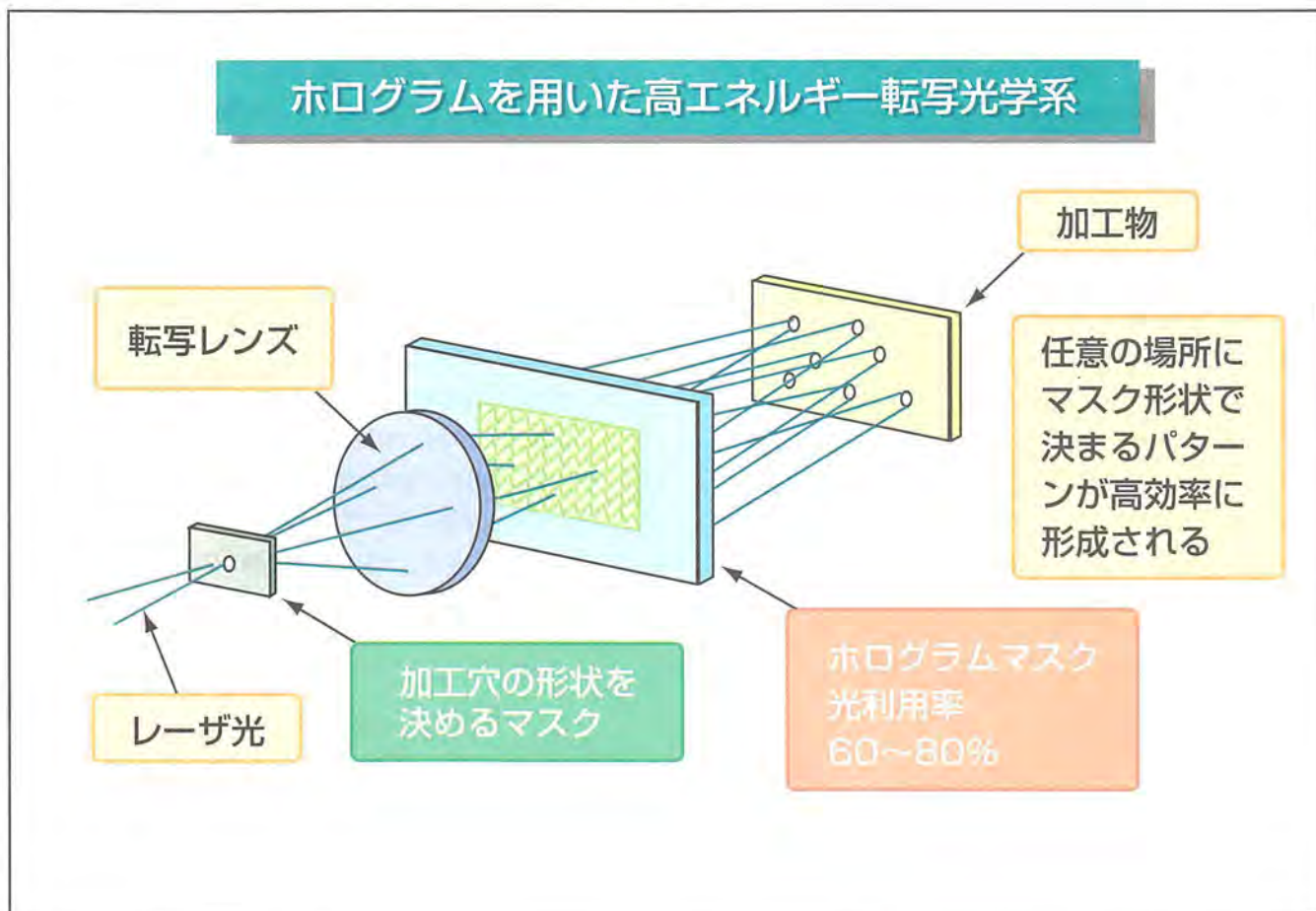
南谷靖史* 齊藤善夫***
 笹川智宏** 佐藤行雄**
 山本達也** 喜多秀樹*

要旨

数十マイクロオーダーの溝加工や穴加工を低コストで行うことを可能にしたホログラム型エキシマレーザー加工機を製品化した。ホログラムとは、たった一つの光学素子で、単一のビームを複数の任意な形状の均質なビームに分割する技術である。従来は、ワーク(加工物)に転写するマスクパターンを製作し、マスク全体にレーザービームを照射して加工していた。しかしホログラムを使用すると、マスクは加工穴のパターンを決めるのみで、そのパターンの光がホログラムパターンによって決められるワークの任意の場所に多数転写されるので、光の利用効率が従来よりも数倍から数十倍程度向上し、より少ない出力エネルギーで加工ができる。

この技術は、エキシマレーザーのように単位エネルギー当たりのランニングコストが高い光を利用する場合に極めて有効であり、ランニングコストを大きく改善できる。

またレーザー発振器には、レーザーガス中に発生する不純ガスを原因とするレーザー出力低下を防止するため、コロナ放電による電気化学反応を使用して不純ガスをイオン化して除去する方法を開発し、採用している。これにより、従来の液体窒素による不純ガス除去装置を使用したレーザー発振器に比べ、取扱いが極めて容易になった。コスト面においては、従来ガス代の半分を占めていた液体窒素が不要になり、ランニングコストを大きく低減している。



ホログラムを用いた高效率転写加工光学系

ホログラムを用いた高效率転写加工光学系の概念図である。レーザ光をたった一つの穴のあいたマスクに当て、その光を転写レンズを通してホログラムマスクに入射させると、ワークにはホログラムパターンで決まる任意の場所に多数の穴が転写される。

1. ま え が き

最近の携帯電話、携帯ビデオカメラに代表されるように、情報化時代を迎えるに合せて、電子機器の小型化・多機能化が進んでいる。このようなコンパクトで高機能な電子機器を実現するためには、電子回路を構成する基板の小型化が不可欠となり、1cm角程度の基板上に電子部品を高密度実装することも行われている。小型の実装基板では、その背面における配線が極めて複雑となるために、基板背面を多層構造とし、必要な配線を何層かに分離して行っている。

ここにおける配線は、従来行われているような金属線によるものではなく、銅ポリイミド基板等に数十 μm オーダの微細な穴をあけて、銅を流し込んで階層間を接続したものであり、厚み数十 μm オーダの樹脂材料に対し、1 cm^2 当たり数百個の穴あけを秒単位で行う必要がある。ドリルによる穴あけは150 μm 程度が限界であり、このような穴あけにはエキシマレーザが必要となる。このような例として、ほかに、バブルジェットプリンタノズルにおける微小穴あけ等の樹脂、セラミックス材料に対する微細加工がある。

エキシマレーザは紫外の波長領域で高出力・高効率発振が可能なレーザである。産業用として一般に使用されているXeCl (308 nm), KrF (248 nm), ArF (193 nm)の各レーザでは1光子当たりのエネルギーが4~6 eVと高いため、高分子材料の基本的な結合であるC-C結合(約3.5 eV)やC-H結合(約4.3 eV)の直接切断が可能となる。また波長が短いために収束性が高く、また、樹脂材料及びある種の金属材料に対して吸収率が高いという特徴がある。このため、従来のCO₂レーザやYAGレーザによる熱加工とは異なる光化学加工を基本とする微細加工用の光源として応用研究及び開発が行われている。

筆者らはエキシマレーザによる微細加工、特に多層電子基板への微細穴あけ加工の適用を進めている。エキシマレーザの量産ライン適用を考えると、加工性能とともにそのランニングコストが問題となり、高信頼・長寿命の装置の下で高い生産性を実現することが重要となる。

本稿では、光利用率の向上による生産性向上を目的として開発した、ホログラム方式の加工光学系を搭載したエキシマレーザ加工装置について紹介する。

2. エキシマレーザ加工機の課題

従来のエキシマレーザ加工機は、図1に示すように、あるマスク上のパターンをワーク上に縮小転写して一括加工することが行われている。ここで問題となるのが光の利用率の問題である。例えば1 cm^2 当たり直径100 μm の穴を100個あける場合を想定すると、単純に計算して、マスクにおける光の透過率は0.8%程度である。穴径が50 μm のときはその1/4の透過率となる。現実の系では、加工品質向上に必要なビームホモジナイザ及び転写レンズ等の光学系の存在により、光利用率は更に3/4程度まで下がる。

したがって、単位面積当たりの穴数にもよるが、ほとんどの場合、実際に加工に使われているレーザ光の出力は1%未満であり、平均出力100 Wのレーザ光を使ったとしても実際には1 Wも使われていないことになる。これは、微細加工を対象とするエキシマレーザにとって常に付随する問題である。

一方で、エキシマレーザはF₂, HClといった腐食性の高いガスを使用するために、レーザガス、レーザ光取出し窓、放電電極の定期的な保守を必要とし、必ずしもランニングコストの安い装置とは言えない。この傾向は平均出力が大きくなるほど顕著となる。したがって、極力光の利用効率を向上してワーク上で必要なレーザ出力を確保し、レーザ発振器の平均出力を抑制することが生産ライン導入への必要条件となる。逆に、例えば光利用率を5倍に増大できれば、現状100 Wのレーザで行っている仕事を20 Wのレーザで行えることになり、初期のレーザ導入コストも含めてかなりのランニングコスト低減が期待できる。

筆者らはこのような観点から高効率光加工系の製品開発に取り組んでおり、既に上記課題を解決する多重反射方式のエキシマレーザ加工機⁽¹⁾⁽²⁾を製品化しているが、今回、ホログラム方式のエキシマレーザ加工機を開発して製品化した。

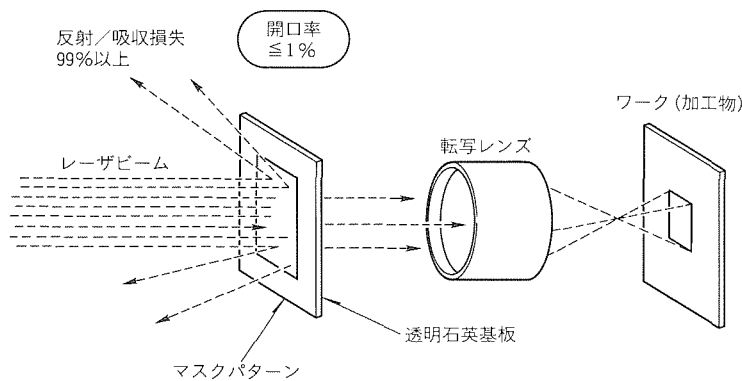


図1. 従来の転写光学系

3. ホログラム加工機の概要

3.1 ホログラム方式の原理と構成

まず、この加工機で使用しているホログラム方式⁽³⁾⁽⁶⁾について説明する。従来の転写加工光学系では、前節で述べたように、マスク面における損失が非常に大きい。単に一点に穴をあけるだけであれば、レンズで集光することによって高効率加工が可能である。もし、集光光の分割と分割後の個々の光の進行方向制御ができれば、マスクは不要となり、光の利用効率も極めて高くすることが期待できる。これは多数のプリズムを同時に挿入することによって可能となり、図2に示

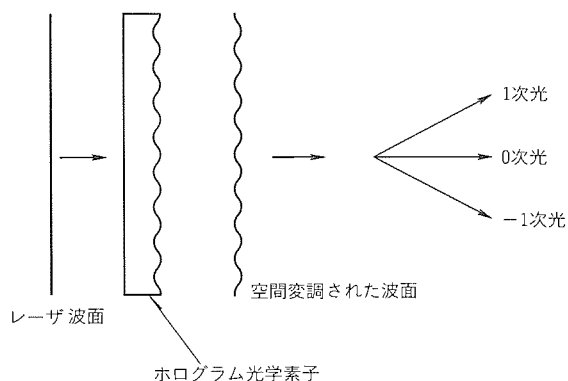


図2. ホログラムの原理

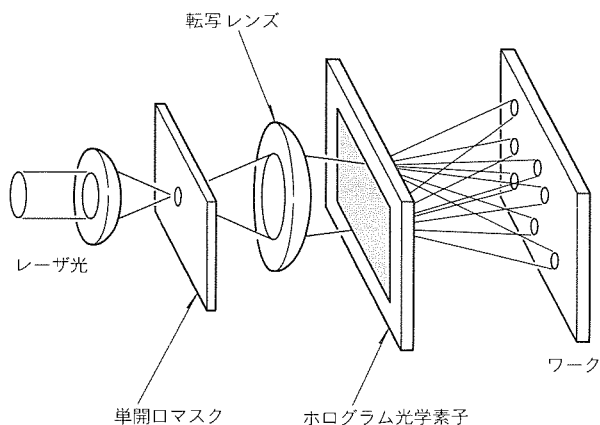


図3. ホログラム多重結像光学系の構成

すように、本質的にはビームを飛ばしたい方向に応じた空間周波数でレーザの波面を同時に変調することができれば可能となる。

ホログラムは回折格子の一種で、レーザの波面に対して周期的な光路差を与えることによって空間変調をかける機能がある。図3は、このような機能を持つホログラム光学素子をレンズによる転写光学系に入れた場合の概念を示している。単開口マスク、転写レンズ、ホログラム光学素子 (Holographic Optical Element: HOE)、ワークで構成される。もしHOEがなければ、マスクを透過したレーザ光はワーク上の一点に集光される。しかしながら、HOEの存在により、レーザ光は等しい強度で分割されると同時に分散され、必要な点に対する多重結像が可能となる。

3.2 ホログラム光学系による加工例

ここでHOEパターンによる加工例を示す。加工対象は20 μ mのポリイミドフィルムである。図4に加工光学系の概略を示す。レーザビーム整形のため、2枚のシリンドリカルレンズ、転写パターンである1mmの円形開口マスク、HOE、1/10倍転写レンズで構成される。加工面に対して垂直にレーザ光が照射されるように、転写レンズ出射側はテ

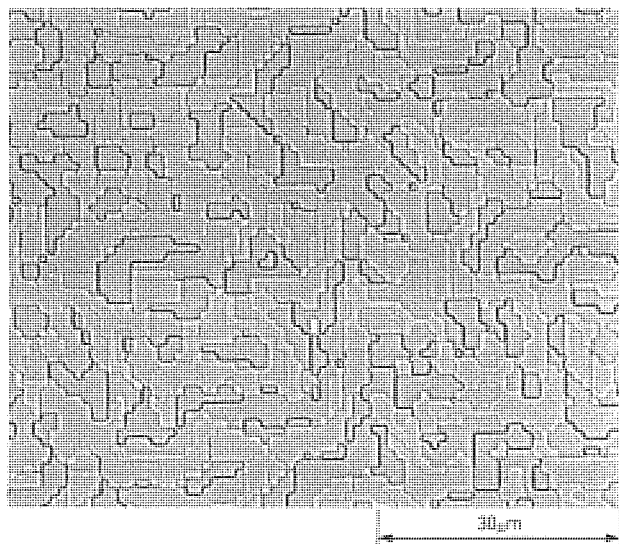


図5. 製作したHOEの表面の顕微鏡写真

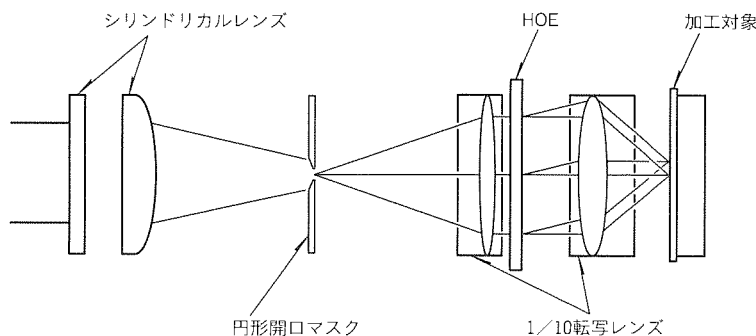


図4. HOEによる多重結像加工光学系

レセントリックとしている。使用した HOE は、合計 95 点の穴を加工するもので、 $1\mu\text{m}$ 角、 $1,024 \times 1,024$ 画素、位相 4 段階パターンのものである。回折効率の計算値 72%、ピークのばらつき $\pm 1\%$ 以下である。

図 5 に製作した HOE の表面の顕微鏡写真を示す。また、図 6 に加工結果を、図 7 にその拡大顕微鏡写真を示す。

1cm 角の領域に存在する $100\mu\text{m}$ 径の穴が、95 個一括であけられている。レーザー出力 $20\text{mJ}/\text{パルス}$ に対し、加工物上でのレーザー出力は $3.9\text{mJ}/\text{パルス}$ (エネルギー密度 $514\text{mJ}/\text{cm}^2$) で、19.4% の高いエネルギー利用率が達成できた。このパターンの開口率は 1% 以下であるので、エネルギー利用率が 20 倍改善されたことになる。HOE の回折効率 66% (透過率 92% を考慮)、マスク透過率 (40%)、レンズ系の透過率 (80%) がエネルギー利用率の制限要因である。マスクにおける透過率改善により、更なるエネルギー利用

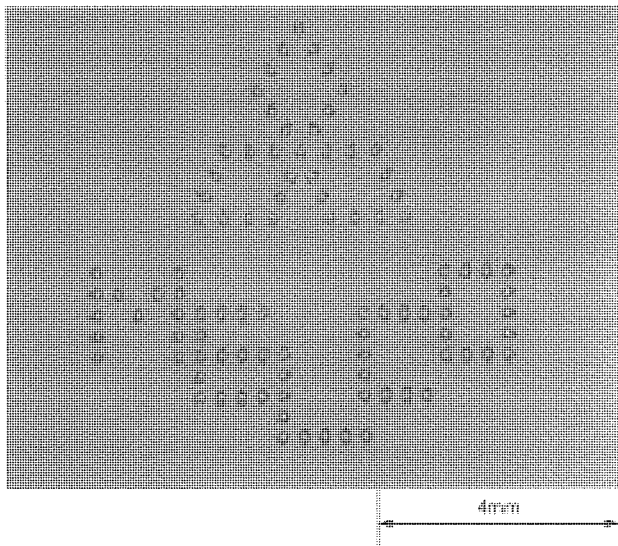


図 6. 多重結像光学系による加工結果

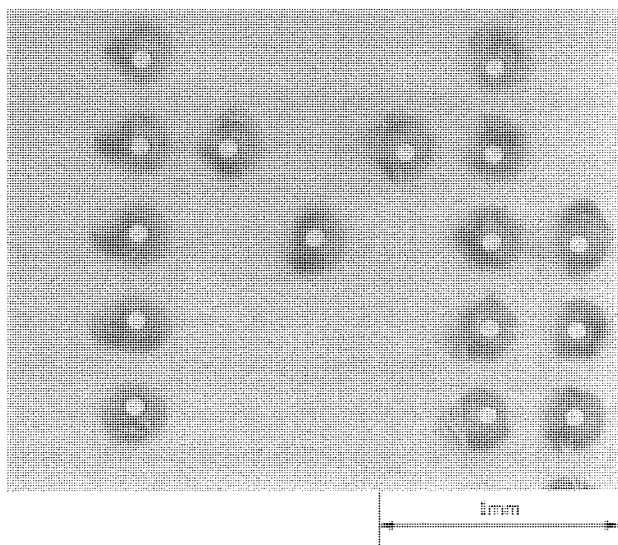


図 7. 加工結果の拡大顕微鏡写真

率向上が期待できる。

3.3 ホログラムをホモジナイザとして活用した加工系

HOE のもう一つの活用方法に、ホモジナイザとしての活用⁽⁴⁾がある。ここでは、HOE をホモジナイザとして使用した場合の加工光学系について概説する。

エキシマレーザー出力光の強度分布は、通常、放電ギャップ長方向でトップハット状、放電方向でガウス状の分布をしており、均一ではない。実際の応用において $100\mu\text{m}$ 以下の領域で精密加工を行おうとすると、必然的にビームの均一性が要求される。HOE はビームを等しい強度で分割する機能があり、分割・重畳することによってホモジナイザとしての機能を果たすことができる。図 8 にその構成を示す。基本的にホモジナイザは、ビーム整形光学系、HOE、及び集光レンズで構成される。HOE がなければ、整形されたビームが転写マスク上の一点に集光されるのみである。しかしながら、HOE の存在によってレーザービームが分割・重畳され、ビーム強度が一定な領域が得られる。

この加工系は、マスクの開口部が何箇所かに局所的に集中している場合に有効である。ビーム強度が一定な領域は、転写マスクの開口部に合わせた形で作られる。このホモジナイズされたレーザービームを、転写マスクの開口部のみに照射して加工する。そのため、光の利用率が従来の加工系よりおよそ 5 倍程度向上する。

4. エキシマレーザー発振器の特長

次に、ホログラム加工光学系と組み合わされるエキシマレーザー発振器について述べる。

図 9 にこのエキシマレーザー加工機の外観を示す。また、エキシマレーザー発振器の基本性能を表 1 に、必要な保守間隔を表 2 に示す。

発振器は KrF レーザで、定格パルスエネルギー $40\text{mJ}/\text{パルス}$ 、最大 600Hz の連続運転が可能であり、定格出力は 24W である。本稿のホログラム方式との組合せによって加工系における光利用率が向上し、平均出力 24W という比較的低い平均出力にもかかわらず、加工条件次第で従来加工系における 100W 以上の仕事をこなすことを可能としている。

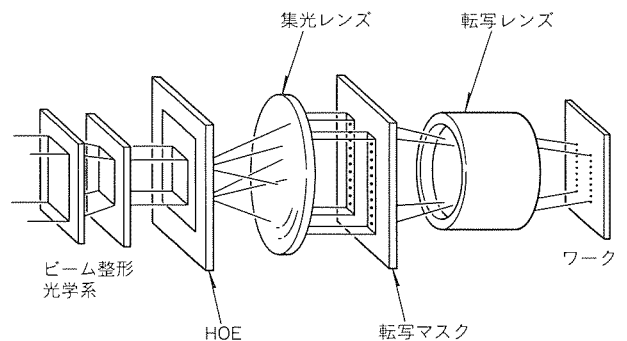


図 8. HOE をホモジナイザとして使用する際の加工光学系

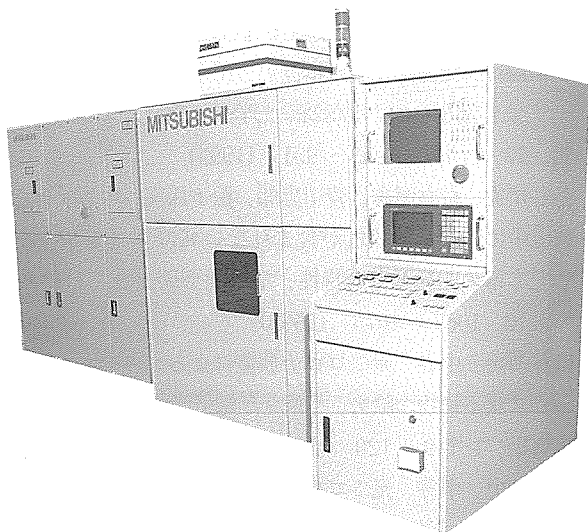


図9. エキシマレーザ加工機の外観

表1. 24Wエキシマレーザの基本特性

発振波長	248nm (KrFレーザ)
レーザ出力	24W (最大)
パルスエネルギー	40mJ/パルス
繰返し周波数	600Hz (最大)
ビームサイズ	16mm×6mm (縦×横)
ビーム発散角	2×1 mrad
パルス幅	~15ns

表2. エキシマレーザの必要保守間隔

ガス寿命	5×10 ⁷ ショット (600Hz, 24時間)
窓寿命	4×10 ⁹ ショット* (600Hz, 8時間×240日)
電極寿命	4×10 ⁹ ショット (600Hz, 8時間×240日)

* 回転式窓使用時の最終窓寿命

一方、平均出力の低減は、発振器の高信頼化・長寿命化と600 Hzという高繰返し発振を可能にする。発振器で保守を必要とする部品はレーザガス、レーザ光取出し窓、放電電極であるが、今回のレーザ発振器は、更に各部品の長寿命化を図るために、次の項目を特長として持っている⁽⁶⁾。

- (1) レーザ励起放電回路において、アーク状放電、ストリーマ状放電を含まないグロー状レーザ励起放電を実現する残留電荷除去回路を開発し、採用した。
- (2) 予備電離回路は、ガス劣化の少ない高効率コロナ予備電離方式を開発し、採用した。
- (3) 絶縁物に、ガス劣化を起こさないアルミナセラミックスを使用した。

さらに、この発振器の特長は、コロナ放電によるガス浄化装置⁽⁶⁾⁽⁷⁾を開発して使用していることである。レーザガス、レーザ光取出し窓の寿命を延ばすために、従来、一般に液体

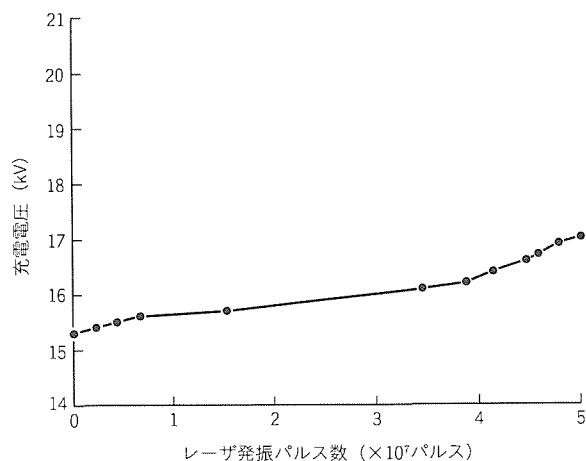


図10. ガス寿命特性

窒素トラップによる不純物ガスの除去が行われているが、液体窒素の使用はユーザにとって極めて煩雑な作業となっていた。また、日々のランニングコストの面でも液体窒素は大きなウェイトを占めていた。この装置では、この問題を解決するために、放電方式によるガス浄化装置を開発し、使用している。これは、レーザきょう(筐)体に取り付けられた円筒チャンバ内にコロナ放電を発生させ、不純ガスをイオン化して捕獲するものであり、液体窒素トラップとほぼ同等のガス浄化能力を持っている。また液体窒素を使用しないため、日々のガス代が当社レーザ装置の場合で約半分となる。

上記のような特長を持つことにより、発振器は600 Hzの連続動作を行った場合、1回のガス封じきりで約24時間の連続発振動作が可能である。図10に、24 W一定で5×10⁷パルスの連続動作を行ったときの充電電圧上昇特性を示す。途中でのフッ素注入なしに、1.7 kVの電圧上昇で、5×10⁷パルスの連続動作が可能であることが分かる。

また、窓と電極に関しては、1日8時間の連続動作で、240日間交換の必要がない(ただし窓は、この間、1枚の窓を5×10⁸パルス使うごとに1/8ずつ回転し、8回に分けて分割使用している)。これらの数値は、実際の産業ラインにおけるワークの移動、加工材料のセッティング時間等を考慮すると、日常のガス交換時間を除き、ほぼ一年に近い稼働を意味している。

5. む す び

エキシマレーザの量産ラインへの導入を目的とした、高スループットと低ランニングコストを実現するホログラム方式の高効率加工光学系を搭載したエキシマレーザ加工機について、その光学系と装置概要について紹介した。

ホログラム方式は、ホログラム光学素子によってレーザ光波面を多数の空間周波数で同時変調し、レーザ光の分割・重畳を可能にする。100 μm程度の穴径であれば、転写マスクなしの加工光学系によってレーザ出射光の20%近い光利用

率が達成されている。

加工機における光利用率の向上は、相対的に発振器に必要なレーザ出力を低減し、レーザ加工機の高信頼化・長寿命化に対して有効であり、エキシマレーザの量産ライン導入のため必要不可欠な技術である。

また、発振器においても、残留電荷除去回路、高効率コロナ予備電離方式、コロナ放電によるガス浄化装置等の開発により、レーザガス、レーザ光取出し窓、放電電極を長寿命化し、ランニングコストを低減している。

参考文献

- (1) 頭本信行, 出雲正雄, 八木俊憲, 田中正明: エキシマレーザ高速微細穴明け装置の開発, レーザー研究, **23**, No.5, 323~330 (1995)
- (2) 江浦 隆, 八木俊憲, 出雲正雄, 中谷 元, 田中正明: 量産用エキシマレーザ加工システム, 三菱電機技報, **68**, No.9, 821~827 (1994)
- (3) 笹川智宏, 山本達也, 井上満夫: ホログラフィック光学素子を用いたエキシマレーザ加工用多重結像光学系, 電気学会論文誌, **117-A**, No.6 (1997) 掲載予定
- (4) 頭本信行, 出雲正雄, 八木俊憲, 田中正明: エキシマレーザ加工装置における高効率光学系の開発, レーザー研究, **22**, No.11, 943~951 (1994)
- (5) 南谷靖史, 杉立厚志, 皆川忠郎, 松下嘉文, 中谷 元: 放電中にアーク状放電が含まれない KrFエキシマレーザ発振器の開発と寿命特性, 電気学会論文誌, **116-A**, No.12, 1067~1073 (1996)
- (6) 南谷靖史, 中谷 元: コロナ放電によるエキシマガス中のガス状不純物の除去, 平成7年電気学会全国大会講演論文集, 1-119~120 (1995)
- (7) 南谷靖史, 中谷 元: コロナ放電によるエキシマガス中のガス状不純物の除去(2), 平成8年電気学会全国大会講演論文集, 1-236 (1996)
- (8) 田中正明, 頭本信行, 八木俊憲, 笹川智宏, 山本達也, 井上満夫, 出雲正雄, 皆川忠郎, 喜多秀樹: エキシマレーザの高効率転写加工光学系, 電気学会産業応用研究会資料, IEA-95-2, 9~15 (1995)

空気原料オゾナイザの 省電力・高濃度化技術

北山二郎* 石田稔郎**
八木俊憲*
沖原雄二郎**

要旨

オゾンは、自然界に存在する物質の中でフッ素に次ぐ強力な酸化力を持ちながら、自然分解して酸素に戻り残留毒性を持たないため、その酸化力を利用して水や大気の脱臭・脱色や消毒・殺菌などに利用されている。特にヨーロッパにおけるオゾン利用の歴史は古く、ドイツでは約100年も前から上水の殺菌用として使用されている。我が国でも、“安全でおいしい水”への要求が高まるにつれ、オゾンを用いた高度浄水処理設備の需要が年々拡大してきている。

今後のオゾン処理の適用分野の拡大に際して、処理コストの低減と処理効率の向上から、オゾナイザの省電力化と発生オゾンの高濃度化が要求されている。この課題解決の

ためには、オゾナイザシステムの主要構成機器であるオゾン発生器の高効率化が有効である。

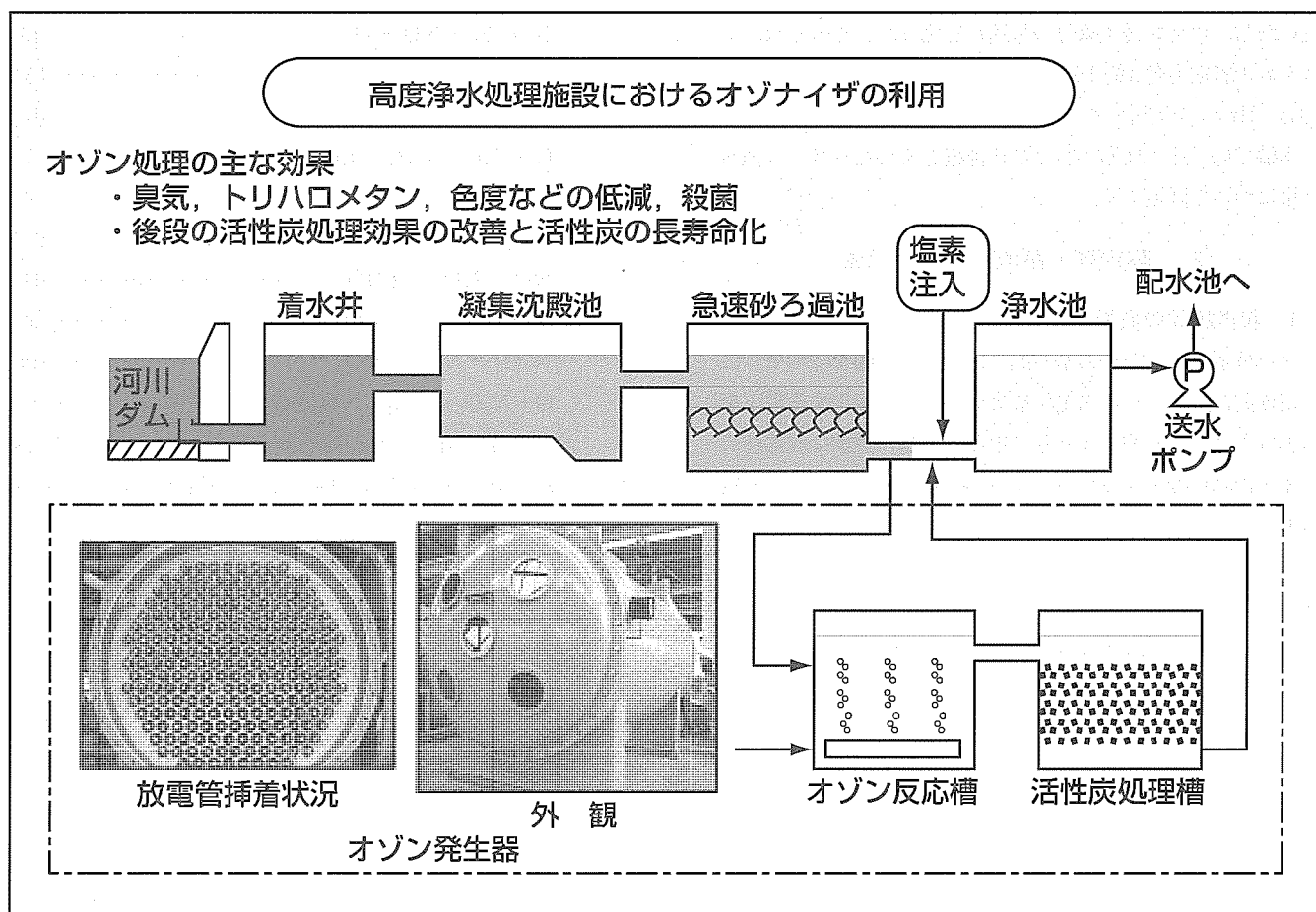
本稿では、オゾン発生メカニズムとシステム最適化の検討から得られた空気原料オゾナイザの高効率化への指針に対し、以下の2点について詳述する。

(1) オゾン発生条件の最適化

放電ギャップ長の短縮化と原料ガスの高圧力化によって、高濃度・高効率オゾン発生が実現できた。

(2) システムの最適設計

高濃度・高効率オゾン発生の実現により、オゾナイザシステムの省電力化（15%）が可能となった。



オゾンを利用した高度浄水処理設備の例

これまでの水処理にオゾン処理を付加した処理方法は高度水処理法と呼ばれる。強い酸化力を利用したオゾン処理の効果は、処理水の色度や臭いの低減、殺菌・消毒など多岐にわたる。

1. ま え が き

オゾン、自然界に存在する物質の中でフッ素に次ぐ強力な酸化力を持ち、かつ、自然分解して酸素に戻り残留毒性を持たないため、その酸化力を利用して水や大気中の脱臭・脱色や殺菌などに利用されている。特にヨーロッパにおけるオゾン利用の歴史は古く、約100年も前から上水の殺菌用として使用されている。我が国でも、“安全でおいしい水”への要求が高まるにつれ、オゾンを用いた高度上水処理市場は年々拡大してきている。さらに近年、高濃度のオゾンが必要とされる下水処理、パルプ漂白分野などにおけるオゾン処理の本格的な適用が検討されている。また、いずれの分野においても、一層の浄化処理費用の低減が望まれている。

このような背景から、オゾン発生装置に対しては、発生オゾンの高濃度化とオゾナイザシステムの省電力化が必須(須)課題となってきた。この課題解決のためには、とりわけオゾナイザシステムの主要構成機器であるオゾン発生器の高効率化が有効となる。

筆者らはオゾン発生メカニズムの究明を行い、その結果、空気原料での高効率・高濃度オゾン発生のためには、放電ギャップ長の短縮化と原料ガスの高圧力化がキーとなることを見だし、オゾン発生条件の最適化を図った。その結果、システムの省電力化(約15%)と発生オゾンの高濃度化(20→40g/Nm³)を実現した。

本稿では、その技術内容と周辺補機を含めたシステム検討結果について詳述する。

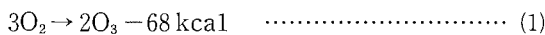
2. 高効率・高濃度オゾン発生

2.1 無声放電の概要

無声放電生成のための基本的な電極構成を図1に示す。この電極間に交流やパルス電圧などの時間的に変化する電圧を印加すると、電極間のギャップ中では無数の微細な放電柱の発生・消滅が繰り返される。誘電体の存在により、この放電は放電ギャップ間で局在することがなく、一様に形成される。また、放電がアーク放電に移行することもない。このため、ガス温度の局所的上昇が抑えられて、電子温度のみが高い非平衡プラズマが、高圧ガス中(大気圧以上)でも実現される。

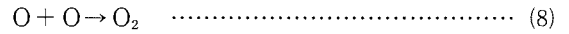
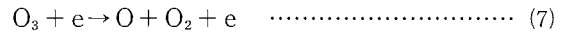
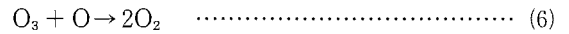
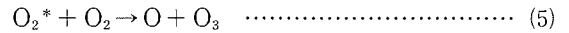
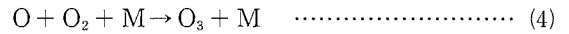
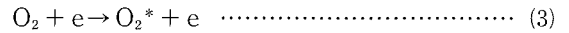
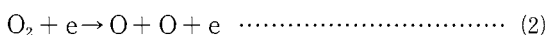
2.2 無声放電によるオゾン生成

オゾンの生成は、熱化学式で



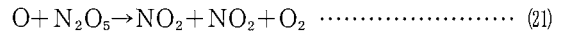
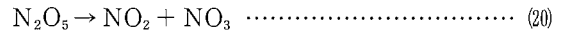
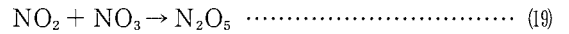
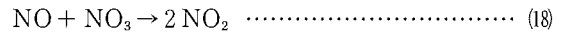
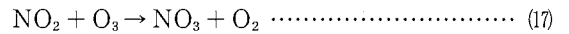
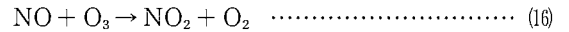
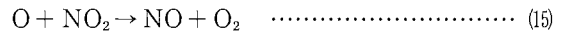
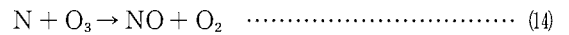
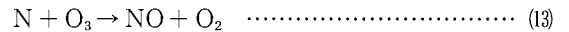
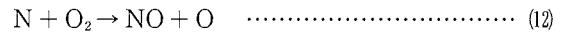
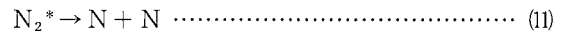
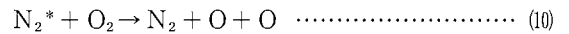
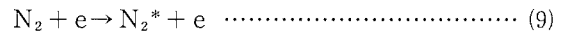
と表されるので、エネルギー効率を100%とした理論的なオゾン生成効率は1,200g/kWhである。

放電によるオゾン生成において、放電空間では、電子、原子、分子、及びこれらの励起種などを含む多数の粒子間で様々な反応が起こっている。基本的な反応を以下に示す⁽¹⁾。



原料ガス中の酸素の一部は、電極から放出された電子(上記式中“e”で示す。)との衝突により、式(2)のように酸素原子に解離、又は式(3)のように励起される。酸素原子及び励起酸素分子は、他の酸素分子との反応によって式(4)、式(5)のようにオゾン(O₃)生成に寄与する。ここで、式(4)中のMは酸素原子や分子などの第3体である。放電空間では、オゾン生成と並行して式(6)~(8)のようなオゾン分解反応が進行する。式(6)はオゾンと酸素原子、式(7)はオゾンと電子による分解反応であり、式(8)は酸素原子の再結合によるオゾン生成抑制反応である。

原料ガスが空気の場合、共存する窒素がオゾン発生に大きく影響する。窒素系粒子を含む反応を以下に示す。



式(9)は電子衝突による窒素分子の励起であり、式(10)は励起窒素分子との衝突による酸素分子の解離を示している。原料ガス中に窒素を含む場合、式(10)のような酸素原子生成バースが存在するため、オゾンの生成効率は原料ガス中の酸素分圧の一次に比例しない。式(11)で示された窒素分子の解離に

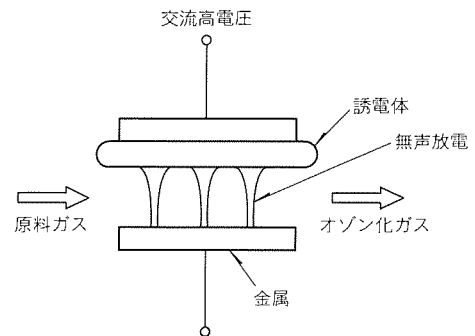
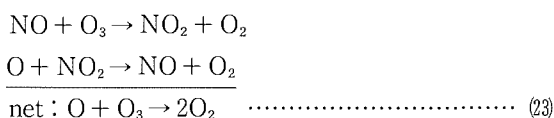
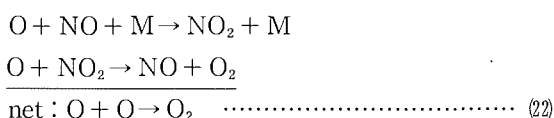


図1. 無声放電の基本電極構成

より、式(12)以降に示されるように窒素酸化物が生成される。これらの窒素酸化物は、生成したオゾン及び酸素原子を消費するため、オゾンの生成効率を低下させる主要因となる。オゾンとの共存下では、これら窒素酸化物のほとんどすべてが、最高次の酸化物(N₂O₅)、又は化学的に不活性でオゾン生成に影響を及ぼさないN₂Oの形で存在する⁽²⁾。しかし、放電場ガス温度が高まった場合、式(19)、式(20)に示した可逆反応は式(20)の反応速度が急激に増大し、低次の窒素酸化物濃度が高まることにより、オゾン分解を更に促進することとなる。このため、効率良いオゾン生成には、放電場ガス温度を低く保つことが要求される。

このように、無声放電法においては、オゾンの生成と同時に、オゾンの分解又は生成抑制反応が進行する。無声放電法でのオゾン生成効率の現状レベルは、生成オゾン濃度が極めて低い場合に限定しても、空気原料で100 g/kWh、酸素原料で250 g/kWh程度であり、前記式(1)に示された理論効率(1,200 g/kWh)に比べてかなり低い。さらにオゾン発生器への入力エネルギーが大きい領域では、見掛け上窒素酸化物がオゾン生成を完全に抑制するOzone-less Mode又はPoisoned Disc Hargeと呼ばれる現象が現れる⁽³⁾。この現象に対しては、酸素原子の触媒的再結合とオゾンの触媒的分解という二つの過程が考えられている。これらの反応は以下のとおりである。



NO_x濃度が高まっておよそ1,000 ppm程度になると、上記式(22)、式(23)の触媒的反応の速度が直接的反応速度(式(6)、式(8))とオゾンの生成反応速度(式(4))を上回ることにより、見掛け上、オゾンの生成が完全に停止する。

以上述べたように、高濃度のオゾンを高効率で生成するためには、電子衝突解離及びNO_xとの反応によるオゾン分解

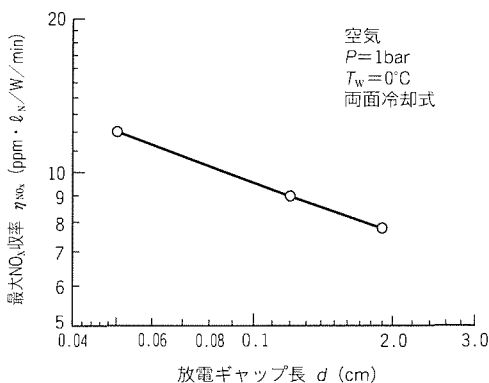


図2. NO_x生成と放電ギャップ長の関係

を抑えることが重要である。次節で高濃度・高効率オゾン発生を実現するための技術内容について解説する。

2.3 空気原料オゾン発生器の高効率化

オゾン発生器の性能は、放電ギャップ長、供給ガスの圧力、冷却水温度や投入電力密度などの動作条件に強く依存し、これらのパラメータが相互に影響を及ぼし合っている。これまでオゾン発生器の性能改善に対して、特に放電ギャップ長と発生器の性能との相関について検討されており、オゾン分解の抑制のために放電空間のガス温度上昇を低減することを目的とし、放電ギャップを短縮することが試みられてきた⁽⁴⁾。しかし空気を原料とした場合、放電ギャップを短縮するだけでは、図2に示すようにオゾン発生の阻害要因であるNO_xの生成量が増加し、オゾンの生成効率が低下することが予想される。このため、放電ギャップを1mm以下とすることは逆に不利であるとされていた⁽¹⁾。

筆者らは放電ギャップ長とともに、放電空間の電界強度を決定するガス圧力に着目した。そして、これら二つのパラメータの積(pd値)がオゾン発生器の性能を大きく左右するものと考え、オゾン生成に最適な放電条件に関して理論と実験の両面から検討を進めた。

2.3.1 放電条件の検討

放電場における各種粒子の解離や励起に対する反応速度は、放電場の電子のエネルギー、言い換えれば放電場の電界強度に強く依存する。無声放電場における電界強度は、主に放電ギャップ長と放電場のガス圧力によって決定され、図3に示すように放電ギャップ長とガス圧力の積pdの一義的な関数として表される。この図から、放電ギャップ長を短縮することで放電空間の電界強度が増加することが理解される。

前述のようにオゾン発生器においては、オゾンの卵である酸素原子は酸素分子の電子衝突による解離、及び励起窒素分子との衝突による反応によって生成される。酸素原子の濃度が原料ガス中の酸素分子濃度に比べて十分に小さい場合には、酸素原子の再結合反応(式(8))は無視できるため、生成された酸素原子は式(4)によってすべてオゾンに変換され、1個の酸素原子から1個のオゾン分子が生成される。したがって、

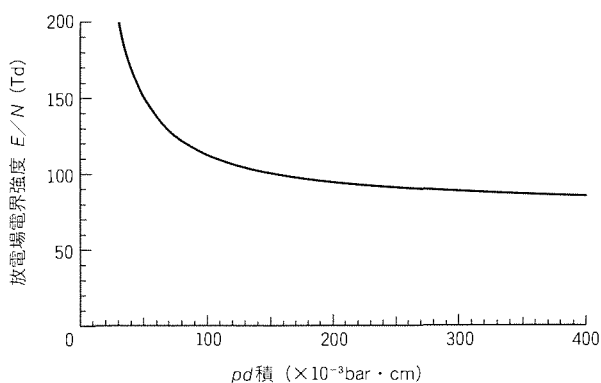


図3. 無声放電場の電界強度とpd積の関係

Boltzmann 方程式から酸素原子の解離速度及び電子のスウォームパラメータを求めることにより、放電による理論的な酸素原子の生成効率、すなわちオゾン生成効率の上限値が得られる⁽⁶⁾。

理論的に得られた最大オゾン生成効率と放電場電界強度の関係を図4に示す。図より、酸素原子の生成のみを考慮した場合、最大オゾン生成効率は放電場電界強度の増加とともに増加し、電界強度がおよそ180 Tdで最大値をとることが分かる。一方、NO_x生成の原因となる窒素原子の生成は、同じく電界強度の増加とともに増大する。このため、前述のように放電ギャップ長を短縮するのみではNO_x生成量が増加することにより、オゾン生成効率がかえって低下する。以上のことから、空気原料オゾン発生器の場合、高電界放電では高濃度・高効率オゾン発生を実現できない。

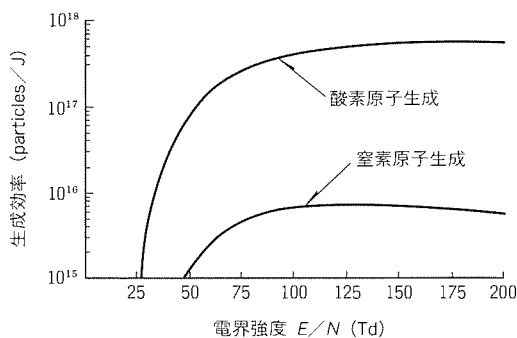


図4. 酸素原子・窒素原子の生成効率と電界強度の関係

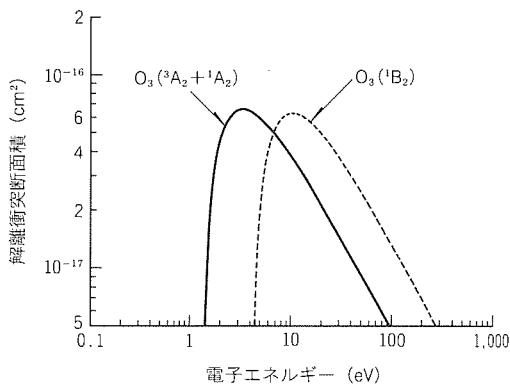


図5. オゾンの解離断面積

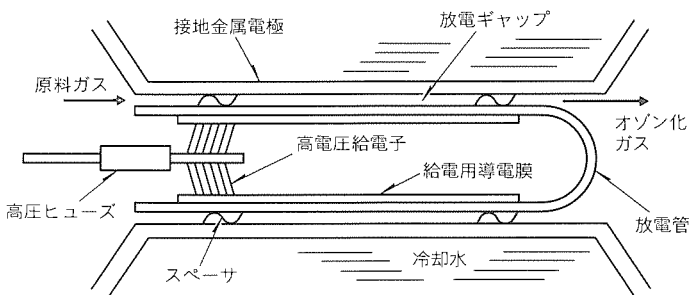


図6. 円筒型オゾナイザの構造 (片面冷却式)

また、前述したように、オゾンの分解にはNO_xとの反応のほかに、式(7)で示された電子衝突解離がある。図5に示すようにオゾンの電子衝突解離断面積は比較的低い電子エネルギー領域で極大値を持つため⁽⁶⁾、低エネルギー電子が多く存在する低電界強度の放電では、この反応によってオゾンの分解が促進される。すなわち、高濃度・高効率オゾン発生に関して、NO_xによるオゾンの消費と電子衝突による分解の双方を抑制するという観点から見れば、オゾン生成に最適な放電場電界強度が存在するものと考えられる。

以上の検討を基に、実験的に放電条件の最適化を進めた。得られた結果を次項で述べる。

2.3.2 実験検証

実験では特に、1mm以下の放電ギャップ長を持つ単管機を用いて、ガス圧力の変化がオゾン発生特性に与える影響を調べた。実験に用いた同軸円筒型オゾナイザの構造を図6に示す。

主な実験結果として、数種のギャップ長に対するオゾン発生特性のガス圧力依存性を図7に示す。図において、縦軸はオゾン収率 (単位時間、電力当たりのオゾン発生量)、横軸は供給ガスの圧力である。これから、それぞれのギャップ長に対してオゾン収率が最大値をとるガス圧力が存在し、最大オゾン収率はギャップ長の短縮化に伴って大きく向上していることが分かる。

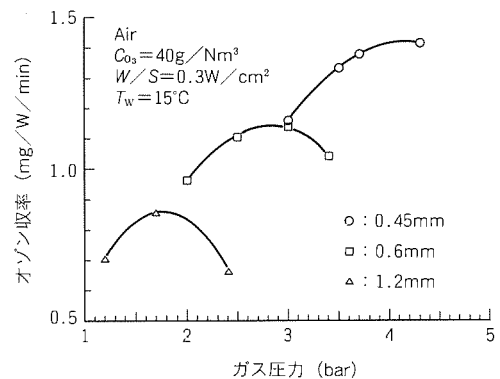


図7. オゾン発生特性のガス圧力依存性

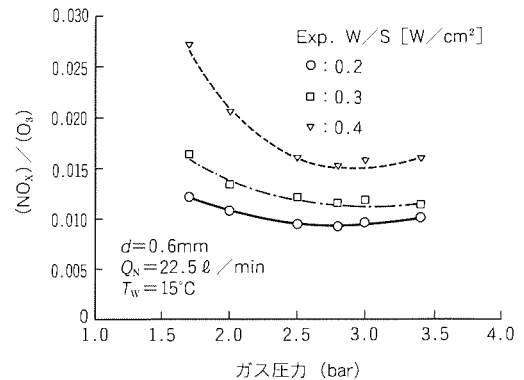


図8. NO_x生成とガス圧力の関係

さらに、オゾン濃度と同時にNO_x濃度の測定も行った。
 図8は同一の投入エネルギーの下で測定されたNO_x濃度とオゾン濃度の比を、横軸に供給ガス圧力をとってプロットしたものである。図7及び図8から、最大のオゾン収率が得られたガス圧力の近傍において、オゾン濃度に対するNO_x濃度の比が最小となり、NO_x生成の低減によってオゾン生成効率が向上したことが理解される。

以上の取組から、オゾン発生条件の最適化により、空気原料オゾン発生器の大幅な性能改善(当社従来機と比較して発生オゾン濃度は2倍に向上)を図ることができた。

3. システムの最適化

3.1 オゾナイザシステムの機器構成

図9に示すように、空気原料オゾナイザシステムは大別し

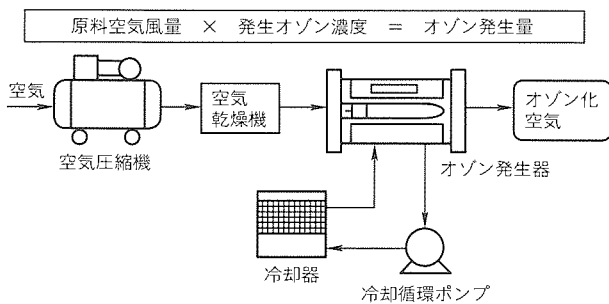


図9. 空気原料オゾナイザのシステム構成

て、原料空気供給装置、オゾン発生器、冷却水供給装置、電源・制御装置などで構成される。以下に、構成機器の概要を簡単に述べる。

(1) 原料空気供給装置

原料空気供給装置は、コンプレッサ、空気冷却・乾燥装置、アフタフィルタなどで構成され、所望のオゾン発生に必要な原料空気を、必要な量・圧力・乾燥状態で、大気中のじんあい(塵埃)を除去してオゾン発生器に供給する。

(2) オゾン発生器

高誘電率で絶縁耐力に優れたガラス電極管が耐食性の高いステンレス製の接地電極管と同軸状に挿入されることにより、放電ギャップが形成される(図6)。放電管及び接地電極管の加工精度の向上と新型の板ばね式スペーサの開発により、0.6mm程度の微小ギャップを高精度に形成することが可能となっている。最近では、放電管1本当たり投入する放電電力を増大させることにより、1本当たりのオゾン発生量を増加させ、単位オゾン発生量当たりの使用放電管本数を低減することが検討されている。

(3) 冷却水供給装置

冷却水供給装置は、循環ポンプ、熱交換器又はチリングユニットとクーリングタワー、空冷チラーなどで構成され、オゾン発生時の放電による発熱を効果的に除去し、安定したオゾン発生を可能とする。

(4) 電源・制御装置

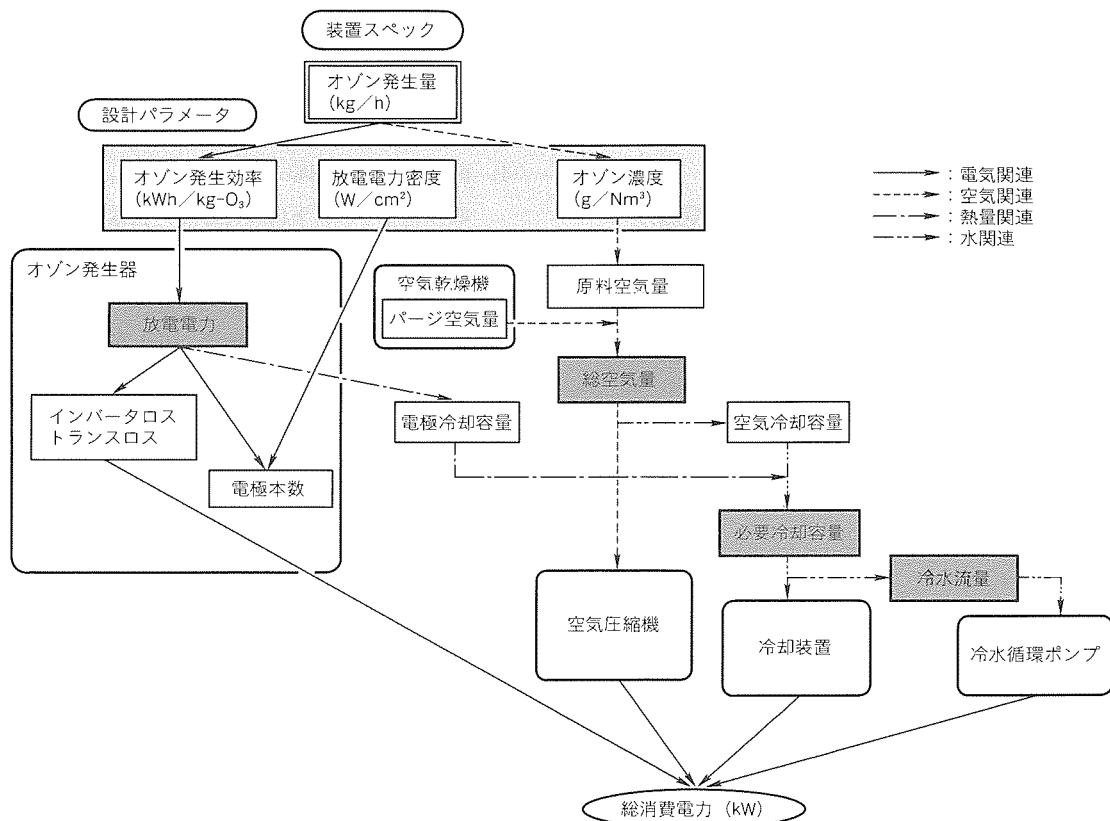


図10. 構成機器へのエネルギーフロー

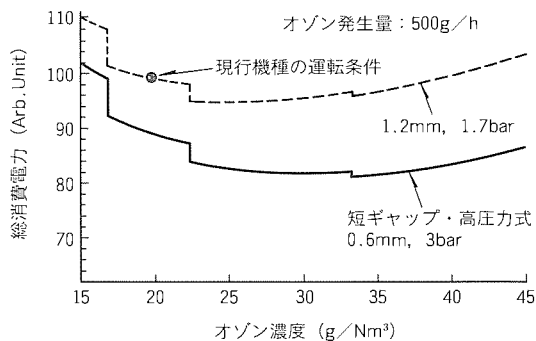


図11. システム消費電力の計算例

電源・制御装置は、オゾナイザ高圧盤、コントロールセンター、オゾナイザ操作盤・リレー盤、高周波定電流形インバータ、高電圧トランスなどで構成される。

3.2 構成機器の消費電力の分析

前章で述べたように、放電ギャップの短縮化と供給ガス圧力の高圧化による放電条件の最適化から、オゾン発生器の大幅な性能向上を図ることができた。この結果を基にした空気源オゾン発生装置システムの最適化に当たり、まず、システムを構成する主要機器へのエネルギーフローを分析した。

図10に示すように、システムが消費する電力は、大別して空気供給系、放電系と冷却系に分けられ、各機器へのエネルギーフローは、オゾン発生器のオゾン収率、発生オゾン濃度及び放電電力密度によって決定される。すなわちシステムの全消費電力は、所望のオゾン濃度における発生器のオゾン収率から決定される各構成機器の消費電力の和として求められる。したがって、放電電力密度を一定とした場合のオゾン収率とオゾン濃度の関係を把握することにより、発生オゾン濃度の変化によるシステムの総消費電力の推移を計算できる。

3.3 システムの最適設計

ここでは、発生オゾン濃度に対するシステムの全消費電力の変化を自動算出する解析ツールを用いてシステム運転条件の最適化を行った結果について述べる。

図11は、オゾン発生量500g/hのオゾン発生装置を想定し、放電ギャップ長1.2mm(現行システム)と0.6mmのオゾン発生器を用いた場合の、発生オゾン濃度に対するシステム消費電力の変化を示したものである。なお、冷却装置と

して空冷チラーを使用している。この図から、オゾン発生器を短ギャップ・高圧式とすることにより、発生オゾン濃度のほぼ全域においてシステムの消費電力は15%程度低減されていることが分かる。

また、システムの消費電力を最小にするオゾン濃度は35~40g/Nm³近辺に存在し、発生オゾン濃度を従来システムよりも高めることでより一層の省電力化が可能である。これらの成果は、主にオゾン発生器本体のオゾン生成効率の向上と、発生オゾンの高濃度化によって原料空気供給系の負荷の低減で実現した。

以上の成果により、省エネルギー型空気原料オゾナイザ“Jシリーズ”が製品化され、1997年度から販売が開始される。

4. む す び

空気原料オゾナイザの省電力・高濃度化技術に関して、高効率・高濃度のオゾン発生技術及びシステムの最適設計について紹介した。今後も技術開発を継続して推進し、オゾンの利用分野のより一層の拡大とともに、地球環境問題の解決に役立つことができれば幸いである。

参 考 文 献

- (1) 田畑則一, 田中正明: オゾナイザの諸特性, 静電気学会誌, 7, No.3, 150 (1983)
- (2) Braun, D., Kuchler, U., Pietsch, G.: Aspects of Ozone Generation from Air, Ozone Science & Engineering, 255~268 (1989)
- (3) 山部長兵衛: オゾンを作る, 電気学会誌, 114, No.10, 640~644 (1994)
- (4) 葛本昌樹, 田畑要一郎, 吉沢憲治, 八木重典: 100μm級極短ギャップ下における無声放電による高濃度オゾン発生, 電気学会誌, 116, No.2, 121 (1996)
- (5) 葛本昌樹, 田畑要一郎, 広辻淳二: 高濃度・高効率オゾナイザ, 電気評論, No.3, 49~52 (1996)
- (6) Keto, J.W.: Electron Beam Excited O₂, J. Chem. Phys., 74, No.8, 15 (1984)

VZ-D形高圧真空コンタクタ コンビネーションユニット

大川義博*
藤井美実*

要旨

近年の制御機器に対する市場のニーズは、信頼性の向上とともに、インテリジェント化が要望されている。一方、営業・計画部門では仕様の統合化による機器設定が、またPL法の制定等でより一層の安全性に対する配慮が必要となってきた。このようなニーズと技術動向を踏まえ、高圧真空コンタクタ コンビネーションユニット（以下“VMC”という。）の電子式制御回路化を指向した。また、操作電源のAC/DC共用化、操作コイルの共用化等を図り、機器選定面での仕様の統合を図るとともに標準化を行った。さらに鳥瞰(瞰)図による組立て・検査作業指示、徹底したユニット組立てによる分業化を行い、生産性の向上を図った。

本稿では、このVMCの製品及び開発の概要について紹介する。

このVMCの特長について以下に述べる。

(1) 電子制御回路の採用

操作電源のAC/DC共用化、投入操作電流の自動制御、“切り”優先の安全操作回路、トリップコイル電流の断続通電、引外し異常時の警報出力等の機能を設けた。

(2) 信頼性向上

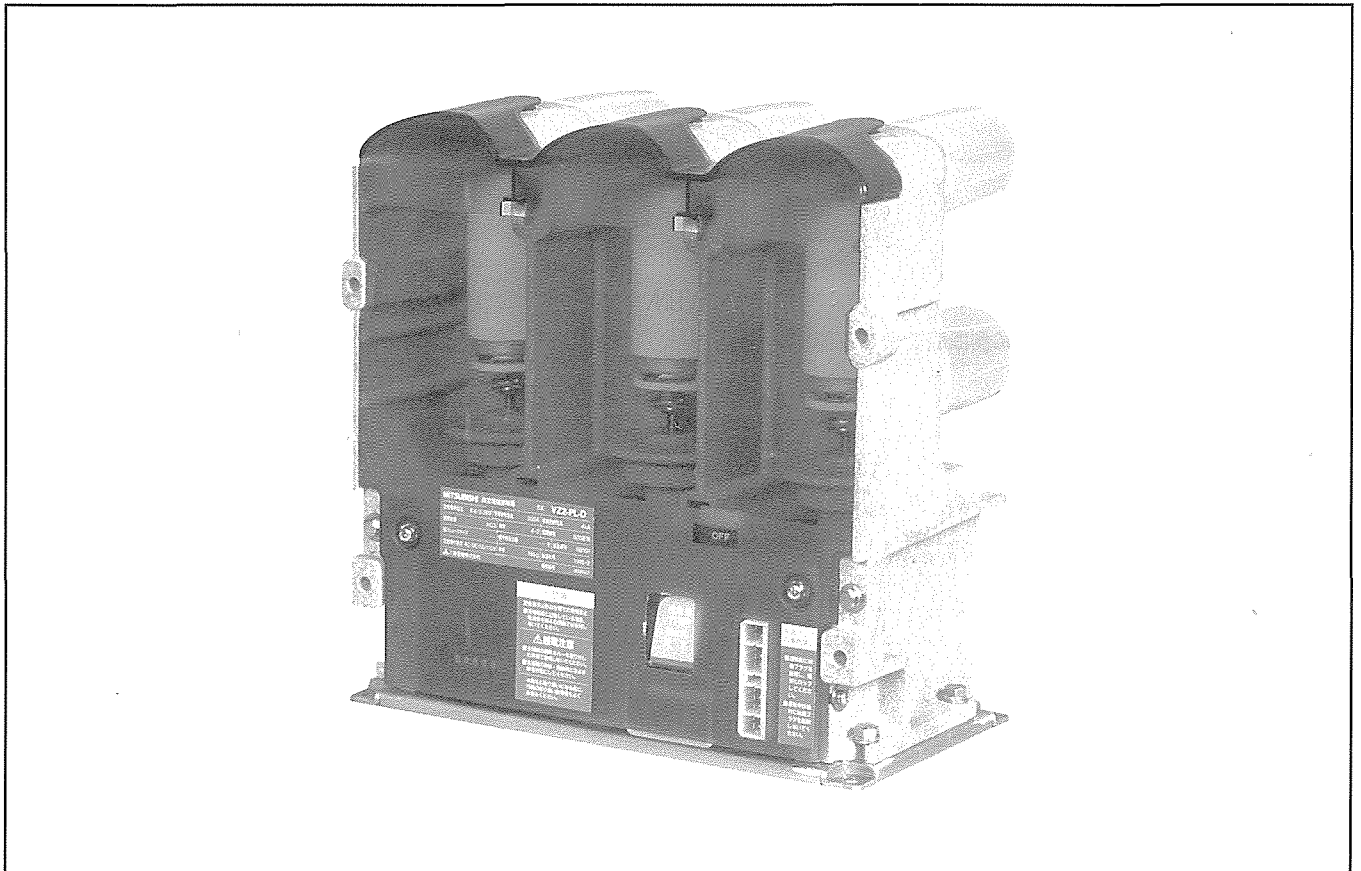
新モールド材料の採用と最適形状によってトラッキング性能を向上させ、環境性に強い製品とした。

(3) 安全性の具現化

電氣的・機械的の二重の引出しインタロック、盤外脱着防止金具の標準装備などを行った。

(4) 工場生産性の向上

部品の複合化による部品点数削減と標準化、鳥瞰図による作業指示、ユニット組立てによる分業化を行った。



VZ-D形高圧真空コンタクタの外観

真空コンタクタは、電磁石の力によって電路の開閉を真空中で行う接触器である。用途としては、モータ、進相コンデンサ、トランスなどの負荷開閉器として使用されている。

1. ま え が き

近年の制御機器に対する市場のニーズは、信頼性の向上とともに、インテリジェントビルに象徴されるように、制御機器においてもインテリジェント化が要望されている。機器選定面では仕様の統合化が、またPL法の制定等で安全性に対する配慮が必要となってきた。このようなニーズと技術動向を踏まえ、VMCの制御回路の電子化を指向し、当社独自の高信頼度の電子制御回路を実現した。また、操作電源のAC/DC共用化、操作コイルの共用化等を図り、選定面での仕様の統合と標準化を図った。更に鳥瞰図による組立て・検査作業指示、徹底したユニット組立てによる分業化を図り、生産性の向上を行った。

本稿では、このVMCの製品及び開発の概要について述べる。

2. 特長と仕様・定格

2.1 特長

(1) 電子制御回路の採用

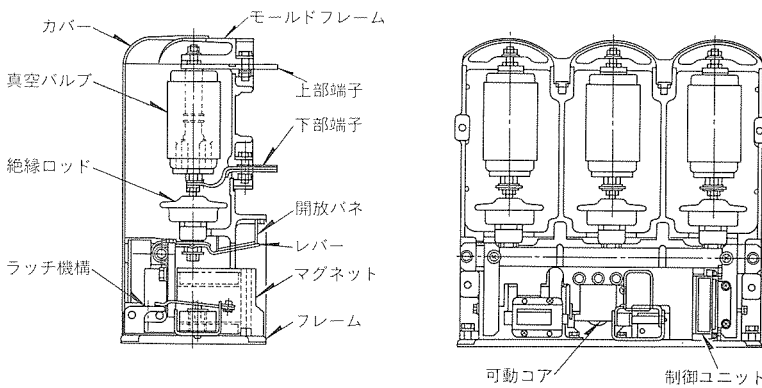


図1. VMC側断面図及び正面図

表1. 定 格

定格使用電圧 (kV)	6.6/3.3 (共用), ただしコンビネーションユニット400Aは6.6と3.3	
定格使用電流 (A)	200A, 400A	
短絡遮断電流 (kA)	4kA (電力ヒューズ付きは40kA)	
操作方式	常時励磁式	ラッチ式
開閉容量及び遮断容量	AC3 (定格使用電流の8倍の開閉)	
開閉頻度 (回/h)	600	
電氣的開閉耐久性 (万回)	25	
機械的耐久性 (万回)	250	25
準拠規格	JEM1167 (1990) 高圧交流電磁接触器	

表2. 機種と据付け方式

機 種	据付け方式
コンタクタ	固定形
コンビネーションユニット	標準タイプ引出し形 (CW)
	プッシングタイプ引出し形 (PW)
	薄形タイプ引出し形 (CW)
	車輪付き固定形

- (a) 操作電源の AC/DC 共用化
 - (b) 投入操作電流の自動制御
 - (c) “切り”優先の安全操作回路
 - (d) トリップコイル電流の断続通電と引外し異常時の警報出力
- (2) 信頼性向上
- (a) 新モールド材料を用い、トラッキング性能向上による耐環境性の向上
- (3) 安全性の具現化
- (a) 引出しインタロックの電氣的・機械的な二重ロック化
 - (b) 盤外脱着防止金具の標準装備
 - (c) 裏面保護カバーの設置
 - (d) 制御回路部品をすべてモールドフレーム内部に収納
- (4) 工場生産性の向上
- (a) 部品の複合機能化による部品点数削減と標準化
 - (b) 鳥瞰図による作業指示とユニット組立てによる分業化

2.2 仕様・定格

図1に今回開発したVMCの側断面図及び正面図を、図2その外観を、図3に従来のVMCの外観を示す。また、表1に定格を、表2に機種と据付け方式を示す。

3. 電子制御回路の採用

図4に今回の開発で採用した電子制御回路のブロック図を示す。

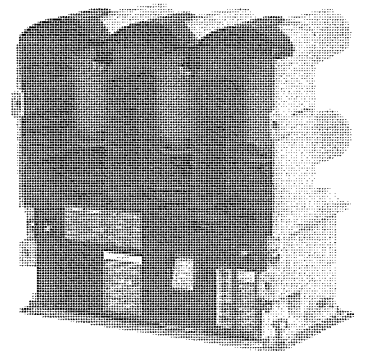


図2. 開発品の外観

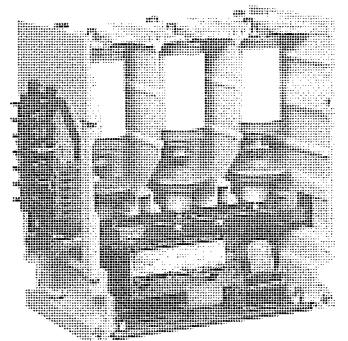


図3. 従来品の外観

3.1 操作電源のAC/DC共用化

従来のVMCの操作回路はACとDCが個々に構成されていたため、客先において操作電源に変更が生じた場合、本体の改造又は新規手配が必要であった。これに対し、今回開発したVMCの制御回路は、AC操作/DC操作の仕様を統合し、機種選定を容易にするとともに、納入後操作電源の種類に変更が生じてそのまま使用可能とした。

方式としては、ダイオードブリッジの前後にサージ保護としてサージアブソーバを付加し、AC/DCに関係なくダイオードブリッジを介しての構成とした。

3.2 投入操作電流の自動制御

従来VMCは、補助スイッチ、制御リレー、リミットスイッチ等の機械式接点によってコイル電流の制御を行っていた。

今回開発した制御回路は、電子化することによって、投入コイル電流の自動遮断、投入電流の保持電流への減流など、投入操作電流を自動制御して投入動作の安定化を図った。

(1) 投入コイル電流の自動遮断

上記の機能を実現するために、図5に示すように、ワンショットマルチバイプレータを使用し、エッジトリガブルのワ

ンショットタイマとした。

このタイマ時間の設定は、各制御電圧の電圧変動範囲を考慮して、投入動作可能な時間とした。また、タイマ動作中における入力信号変化によるタイマ再起動防止として、出力を入力にフィードバックする回路構成とした。

(2) 投入電流の保持電流への減流

従来VMCは、投入コイルと保持コイルの2個のコイルを持っていた。減流方式は、投入完了後投入コイルの電流を機械式の接点で断ち、保持コイルのみに電流を通電する方式になっていた。これに対し、今回開発された制御回路は、以下に記すような回路方式により、投入動作時と保持時のコイルに与えられるエネルギーを変化させ、コイル1個で投入(短時間定格)と保持(連続定格)の両方への対応を可能とした。

制御回路は、図6に示すように、“常時励磁式/ラッチ式”設定による簡単な選択/加算回路を構成している。また、PWM制御部の回路方式は、CMOSインバータを使用したCR発振回路で、ここでもCMOS素子のリニア動作による消費電流の増大を抑えるためにシュミットトリガ入力のバッファを使用した。

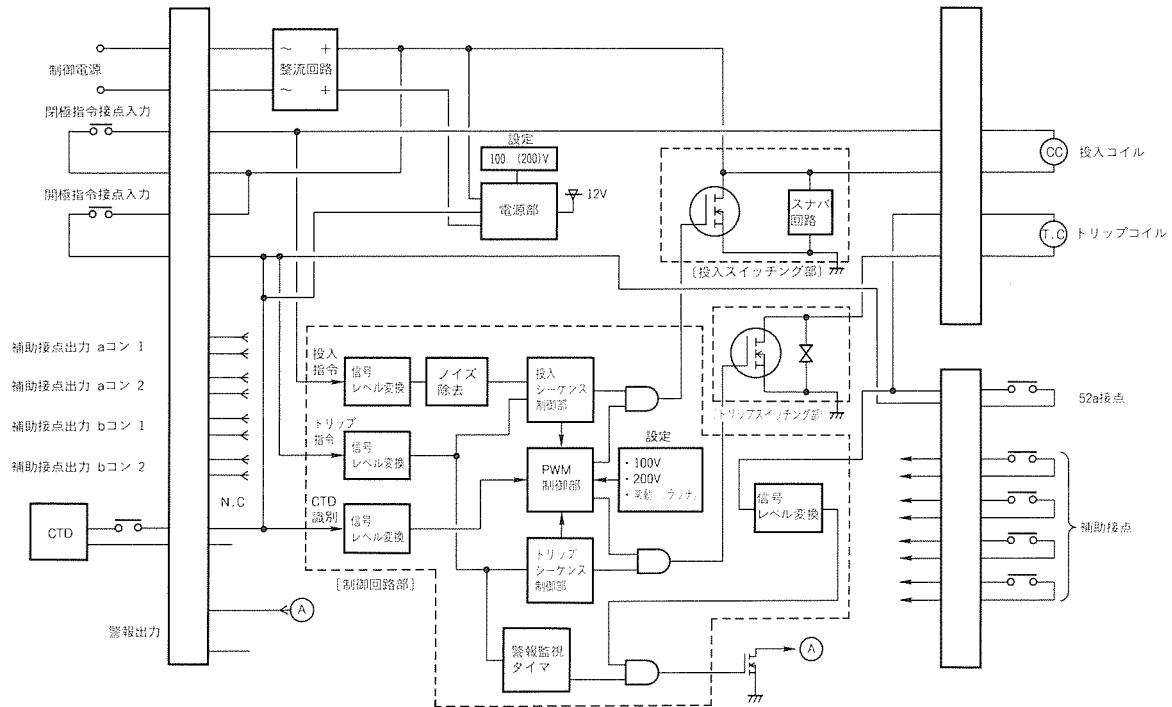


図4. 電子制御回路のブロック図

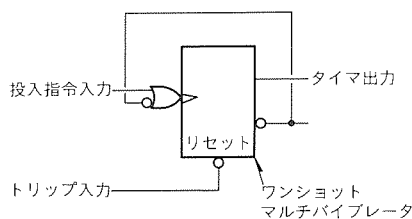


図5. ワンショットタイマ回路

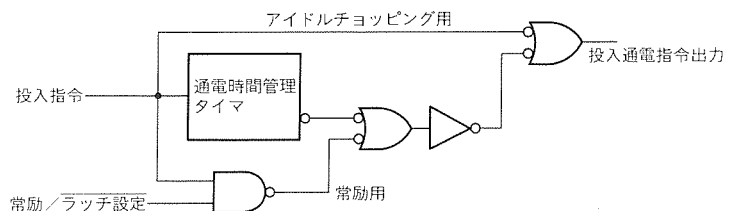


図6. 常時励磁式/ラッチ式設定回路

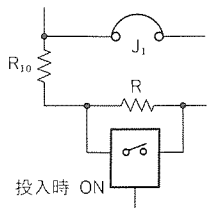


図7. 減流動作回路

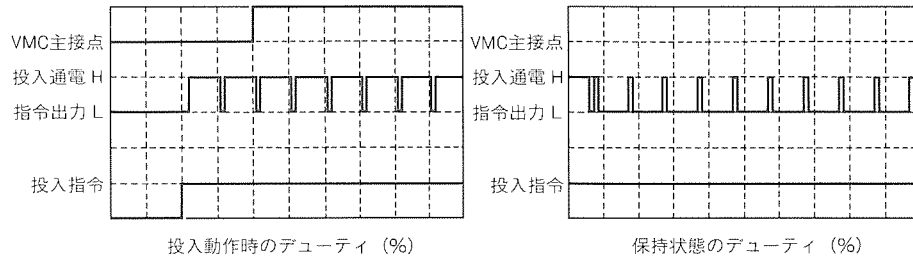


図8. デューティ波形

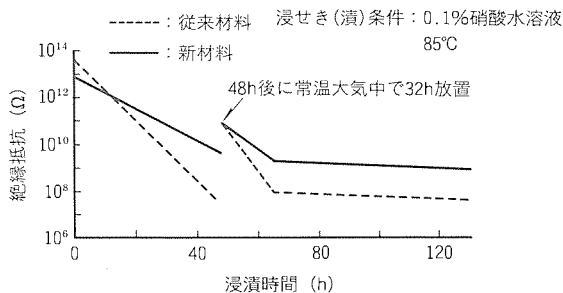


図9. 加水分解による絶縁抵抗変化

投入電流から保持電流への減流は、このデューティを切り替えて行っている。図7に減流動作部の回路を示す。保持のデューティは、投入のデューティに対してある比率で低減しなければならない。これを簡単な回路で達成するために“H”の期間は投入時のままにして、“L”の期間のみを伸ばす方法を採用した。回路は、アナログスイッチを用いて投入動作時以外は直列にR(抵抗)が加わり、Rを大きくすることで“L”の期間を伸ばしている。

図8に投入動作時及び保持時のデューティ波形を示す。図において左側が投入動作時でデューティ90%、右側が保持時でデューティ11%となっている。このデューティ比は、準拠規格の動作電圧よりも裕度をとった数値で、保持時の連続定格での発熱などからデューティの割合(コイルに与えるエネルギー)を決定した。

3.3 “切り”優先の安全操作回路

コンタクトの規格(JEM-1167)では、遮断器のように引外し自由方式(トリップフリー)が規定されていないため、一般のものは、盤側のシーケンスで“入り”指令と“切り”指令のインタロックを採用する必要があった。今回のVMCは、一度“切り”信号を受け付け、“切り”信号を解除するまで“入り”信号を与えても投入動作を行わない回路構成とした。また、投入動作の過程で“切り”指令が入ると、投入コイルの電流が自動的に遮断され、主回路はOFFとなる“切り”優先の回路構成とした。

上記の機能を実現するために、前述3.2節の投入電流の自動制御で説明した図5の回路に“切り”信号が入力されると、タイマがリセットされるとともに、“切り”信号がアクティブな間はタイマの入力が禁止状態になるように回路を構成している。

表3. トラッキング性能

項目	新モールド材料	従来モールド材料	備考
耐トラッキング性	10 ⁸ ~10 ¹⁰ Ω 953h	10 ⁶ ~10 ⁸ Ω 140h	0.1%硝酸水溶液200h後

3.4 トリップコイル電流の断続通電と引外し異常時の警報出力

従来VMCは、自己接点52aのみでトリップコイル電流を遮断しており、“切り”指令を与えても異物のか(噛み込みなどの理由によってトリップしなかった場合、自己接点52aは開とならないため、“切り”指令が連続で与えられている場合は、コイルが短時間定格のため焼損に至る。

これに対し今回開発の制御回路は、図5と同様な回路を構成(ただし、ワンショットタイマではなく連続)し、トリップコイルへの通電をパルス制御することで、コイルの連続通電使用を可能とした。また、前述のような理由により、トリップしなかった場合において“切り”指令が連続となっている場合は、トリップコイルへの通電パルスが2回入力されると警報接点出力されるようになっている。

4. 信頼性向上

4.1 新モールド材料と最適形状による耐環境性の向上

従来のモールド材料と新モールド材料の耐トラッキング性能を表3に示す。また、図9に従来及び新材料の加水分解による絶縁抵抗の変化を示す。表3及び図9から新モールド材料は、耐環境性ではより優れていることが分かる。

また、図2に示すように、今回のVMCは、曲面形状を採用して水分が溜まりにくく、かつ垂直方向の沿面距離が十分にとれる形状とした。

5. 安全性の具現化

5.1 引出しインタロックの電氣的・機械的二重ロック

図10に引出し形VMCの機械的インタロック構造を、図11に結線図を示す。引出し形のインタロックは、VMC投入状態で出し入れ操作ができず、VMC移動過程では投入できない構造にしている。図10に示すように、VMC開放状態では、インタロックレバーを持ち上げるとマグネットの可動コアの動作が機械的に規制され、同時に図11に示すリミットスイッチ(LS1)によって投入操作回路をOFFするこ

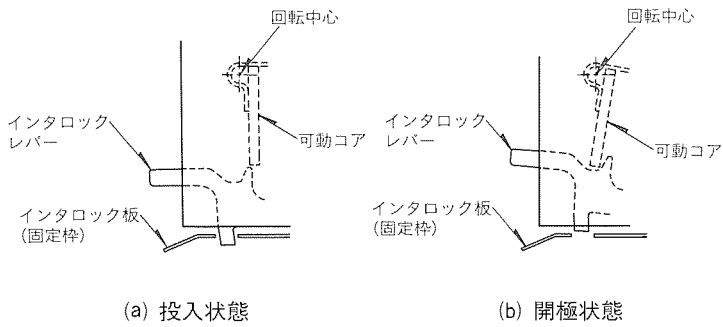


図10. インタロック構造

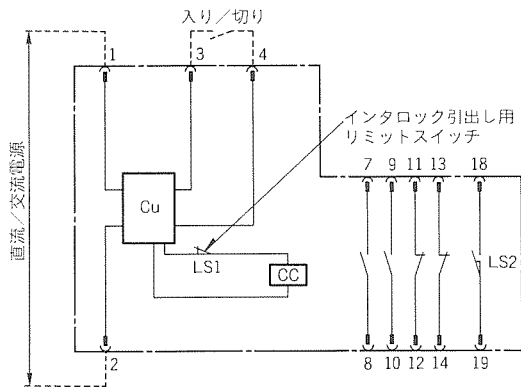


図11. 結線図

とで、電気的にも投入動作を規制している。また、VMC投入状態においては、図10に示すようにインタロックレバーを持ち上げようとしてもマグネットの可動コアと干渉してインタロックレバーが上がらない構造になっているので、VMC投入状態では、インタロックレバーが固定枠のガイド穴から外れないために出し入れができない。

5.2 盤外脱落防止金具の標準装備

図12に盤外脱落防止金具の取付図を示す。盤外脱落防止金具は、VMC本体を盤外へ引き出そうとした場合、VMC本体を引っ張った勢いで盤外まで出てくるのを防止する。VMC本体の盤外出し入れ作業は重量物扱いとなるので、安全性に配慮した。

5.3 裏面保護カバーの設置

従来のVMCの上部と前面保護カバーに加え、裏面にも保護カバーを設置し、全面に対して異物混入対策を行い、より高い安全性を得ている。

5.4 制御回路部品をモールドフレーム内部に収納

今回開発のVMCは、補助スイッチ等の制御回路部品をすべてモールドフレーム内部に収納し、かつ制御回路とのインタフェースにプラグ式コネクタを採用することで、低圧充電部の露出をなくした。また、VMCの前後左右に補助スイッチ等の突起物がないので、運搬等の取扱性が良くなった。

6. 工場生産性の向上

6.1 複合機能化による部品点数の削減

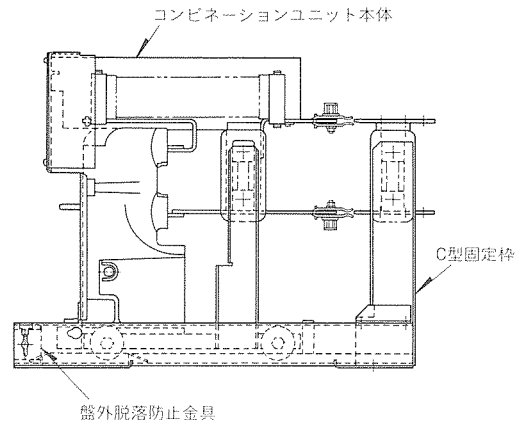


図12. 盤外脱落防止金具取付図

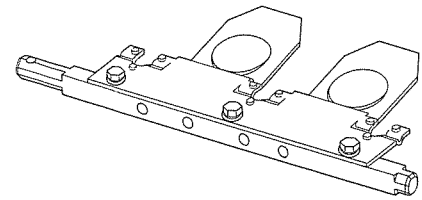


図13. 従来構造

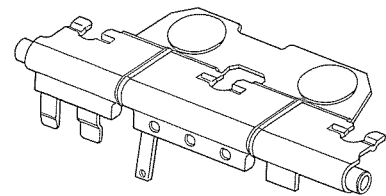


図14. 開発品の構造

(1) 精密プレス部品の適用

図13に従来構造を、図14に今回開発品の構造を示す。この部品は精密プレス加工を適用した例で、マグネットの吸引力を真空バルブの可動部へ伝える部品である。従来構造は、主軸とレバーを別部品で構成し、ボルトによって締め付けていた。これに対し、今回の製品は、精密プレス加工によって主軸とレバーを1部品で構成した。

(2) 成形による部品の一体化

図15に従来部品を、図16に今回のVMCに採用した部品を示す。この部品は、コンビネーションユニットの絶縁構成部品で、成形による部品の一体化を適用した例である。従来品は、正面と両サイドの3個の部品を絶縁板のプレス加工で製作していた。これに対し、今回の開発品は、上述の3個の部品を成形で一体化し、1部品として構成した。

以上、二つの部品削減例を示したが、これら以外にも“二つ以上の機能を持った一つの部品”を念頭に置いて部品数の削減を行った結果、従来のVMCに対し、今回のVMCは、部品点数を20%減らすことができた。

6.2 鳥瞰図による作業指示

今回開発のVMCは、図17に示すように鳥瞰図を用い、初心者でも間違いなく容易に組立てができるように品質の安定化を図った。組立てを行うためのユニットは、図18に示す底板ユニットと図19に示す本体ユニットの2ユニットで

構成し、底板ユニットには投入コイルユニット、ラッチ機構ユニット、補助スイッチユニットが組み込まれ、組立て治工具によって無調整とした。

7. むすび

今回の開発は、試作の組立て段階から鳥瞰図による組立て・検査指示を行い、経験のない素人でも容易に組立てができるように進めた。開発が完了し、量産移行において、鳥瞰図は効果を奏して組立て・検査作業の簡素化を実現した。

なお、制御機器であるVMC(真空コンタクト コンビネーションユニット)は、制御回路の電子化を始め、更に複合機能を加えたデジタル応用技術により、制御・保護・予測保全システム等のインテリジェント化がますます加速化されると考える。今後は、その技術を活用したインテリジェントVMCの製品化を図る所存である。

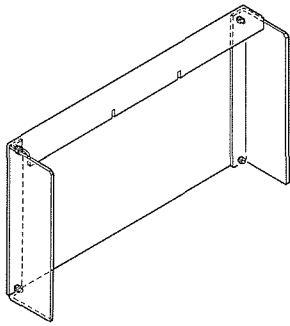


図15. 従来部品

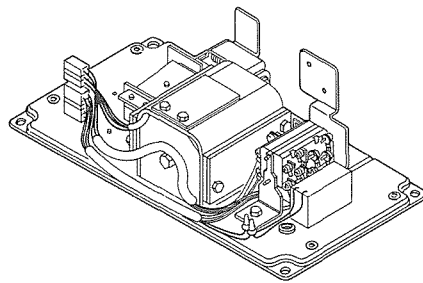


図18. 底板ユニット

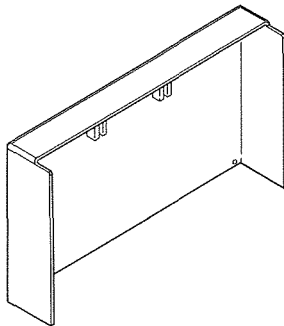


図16. 今回の部品

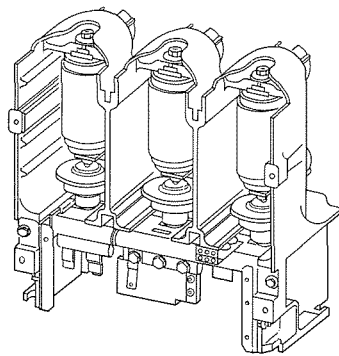


図19. 本体ユニット

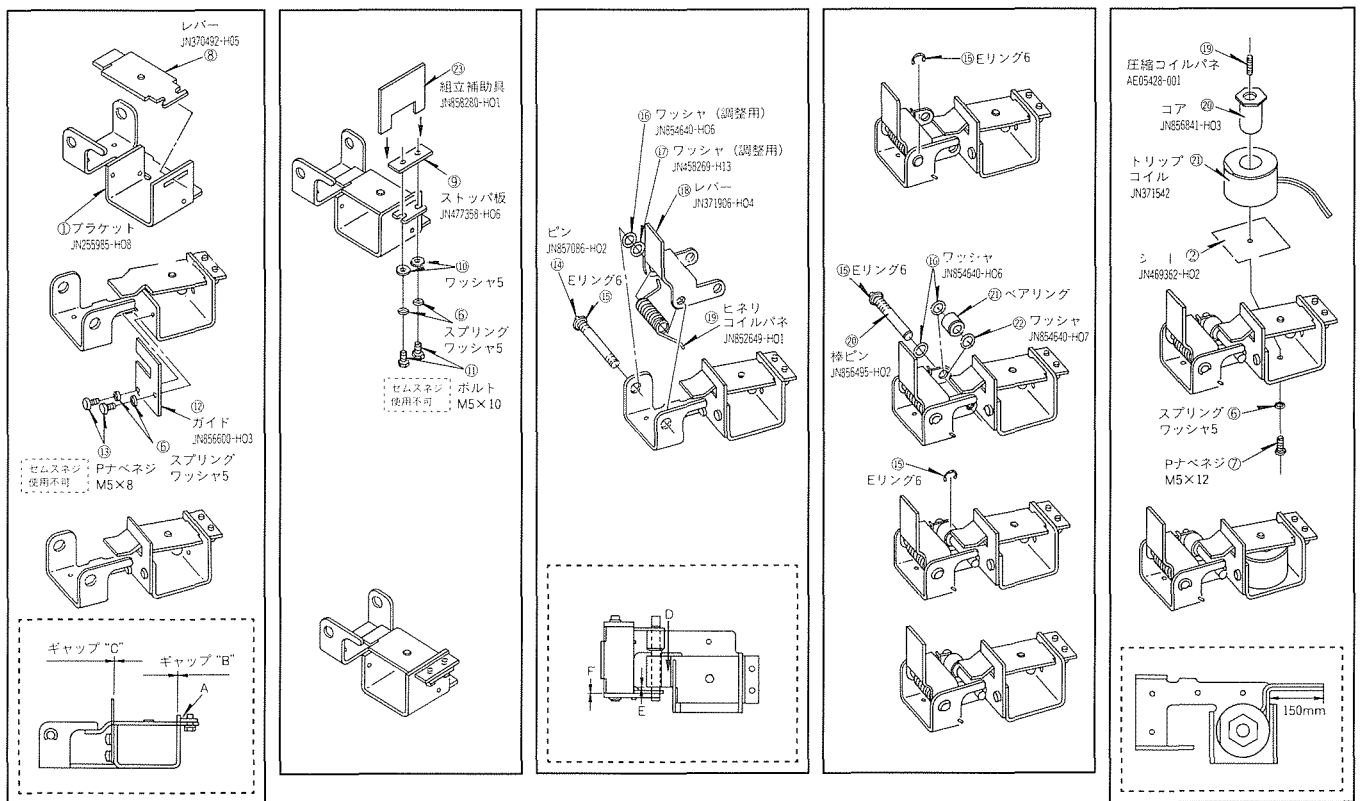


図17. 鳥瞰図

衛星通信システムDAMA装置

要旨

民間通信衛星の Ku バンドを利用する衛星通信システムにおいて、DAMA(Demand Assignment Multiple Access：要求時割当て多元接続)装置を開発した。

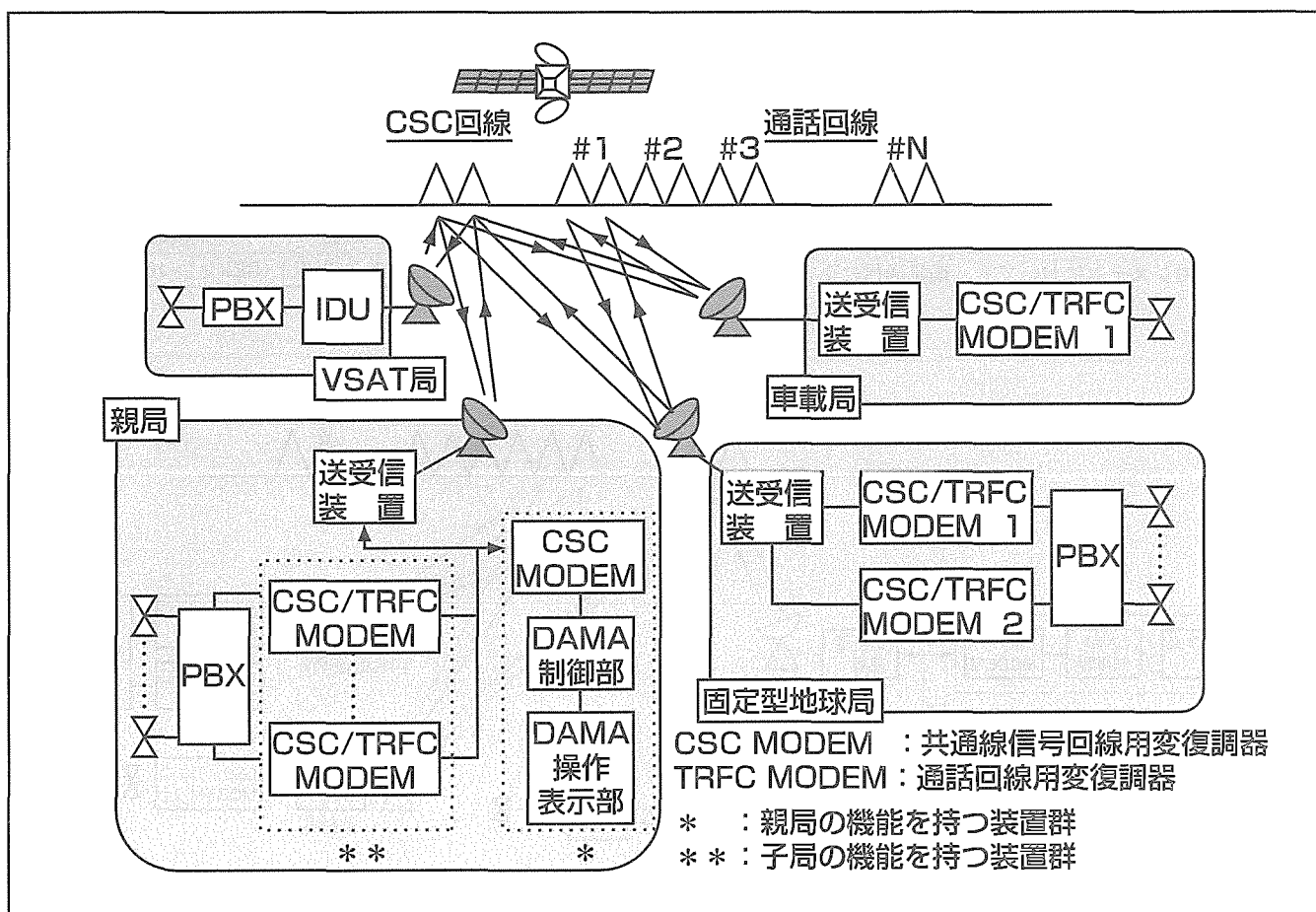
この装置の導入に当たり、以下の機能を目的とした。

- 非常時、災害時の連絡回線を確保する。
- ユーザ独自の衛星電話システムを経済的に構築可能とする。
- ユーザ固有の連絡回線とすることで、非常時、災害時のトラヒックを確保する。
- 通話時のみ回線を使用することで衛星回線の帯域を有効利用する。

このシステムの導入により、以下の効果が期待できる。

- (1) 携帯電話が使用できない地域においても通話が可能である。
- (2) 非常時以外でも地上系の回線に依存することなく使用可能である。
- (3) 映像回線を併せて使用しているようなユーザの場合、この回線の使用を中止して本システム用に割当てることによって、通話用の回線を増加させることができ、結果として帯域を有効利用できる。

本稿では、衛星電話システムの概要と構成目的、特長、及び主要機能について概説する。



衛星通信DAMAシステムの全体構成

親局はCSC回線を用いて常に全子局に対してヘルスチェックを行い、子局の状態を監視する。固定型地球局のPBX接続の電話から車載局へ発呼を行うと、親局は現在空きの回線のうち、回線#1を固定型地球局及び車載局へ通知する。これらの子局は親局から指定された回線#1を用いて通話を行う。通話終了時に子局はCSC回線で親局へ終了を通知し、親局は#1の回線を解放する。

1. ま え が き

民間通信衛星のKuバンドを利用する衛星通信システムにおいて、DAMA装置を開発した。

DAMA方式は発呼要求時に衛星回線を割り当て、通話終了時にこれを解放する方式で、衛星回線を有効に利用できる。また、地球局の設備は衛星回線の制御等を行う親局、通話等を行う子局とも比較的小規模であり、システム全体としても数局からの構築が可能である。

阪神淡路大震災以来、緊急時の非常通信連絡網がますます重要視されているが、地上回線と独立し、特に携帯電話等の使用が不可能な地域においても通話やFAX等データ伝送が可能なこの衛星電話システムは、法人が自前の通信システムとして適用する場合にも有益であり、比較的容易に導入可能なものである。

本稿では、衛星通信システムの一つとしての衛星電話システムについて述べる。

2. 衛星電話システムの概要

地球局数が10局以下程度の小規模のシステムや必要な通信容量が大きな地球局間の通信では、装置導入費用に対するDAMAの効率は余り大きくないため、通常、PAMA (Preassignment Multiple Access: 固定割当て多元接続) が用いられることが多い。一方、小さな通信容量の多数の地球局が単一のトランスポンダを共同使用する場合は、DAMAの方が効率的である。特にネットワーク制御を行う親DAMA局の装置は現在比較的安価となったため、従来よりも小規模のシステムにおいても、衛星通信によるシステ

ムが有利となりつつある。

DAMA方式は、通信を行う局間に通信の都度通話回線を割り当てることで電話回線を構築する。これにより、比較的少ない衛星回線と各子局に最低1台の衛星回線用モデムを用意することで、メッシュ型の通信ネットワークを構築できる。

図1にこの衛星通信DAMAシステムの全体構成を示し、表1にその総合性能を示す。

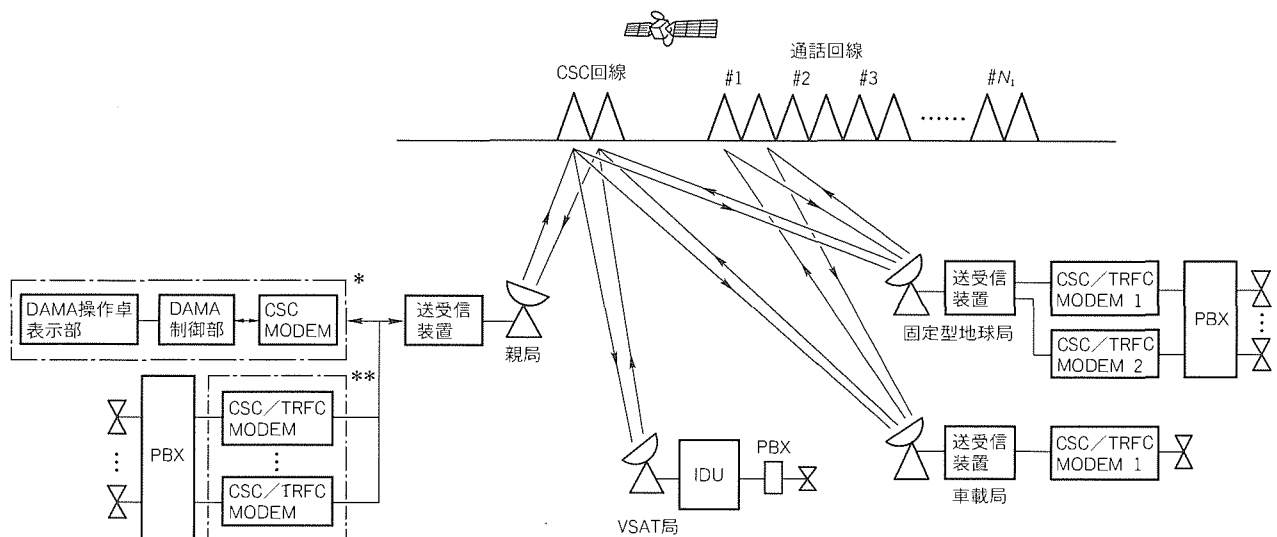
3. 衛星電話システムの目的と特長

近年、携帯電話システムの発達が著しいが、中継局を多数必要とすることから、へき(僻)地や山間部では使用できないことが多い。しかし衛星電話システムでは、衛星を捕そく(捉)できる地形であれば可搬局設備のみを設置することで、衛星電話を使用することができる。

また、地震などの災害によって地上系の通信ネットワーク

表1. DAMAシステムの総合性能

項目	性能	
周波数	送信	14.00~14.4GHz
	受信	12.44~12.75GHz
偏波	直線偏波, 送受直交2ポート	
回線割当て方式	回線固定割当て(PAMA方式)及び要求割当て(DAMA方式)多元接続方式	
伝送情報	音声/FAX/データ情報	
ネットワーク構成	音声ネットワーク	
音声符号化方式	32kbps ADPCM方式	
変復調方式	QPSK-SCPC方式	
誤り訂正方式	レート1/2畳込み符号/ビタビ復号方式	
所要伝送帯域幅	50kHz/キャリア(周波数多重方式)	
回線稼働率	99.97%以上(BER $\geq 1 \times 10^{-4}$)	



CSC MODEM: 共通線信号回線用変復調器
TRFC MODEM: 通話回線用変復調器

* : 親局の機能を持つ装置群
** : 子局の機能を持つ装置群

図1. DAMAシステムの全体構成

表 2. 親局DAMA装置の基本構成

品 目	内 容	選 択 表
CSC MODEM	共通線信号回線用変復調器	必要
DAMA制御部	工業用コンピュータ	必要
DAMA操作表示部 (1) CPU	Microsoft Windows搭載 コンピュータ (キーボードを含む。)	最小構成の場合は不要 }いずれかを選択
(2) CRT	15インチ カラーディスプレイ 17インチ カラーディスプレイ	
(3) マウス	マウスによる入力	
(4) プリンタ	レーザープリンタ	オプション

は致命的な打撃を受けることがあるが、衛星電話システムでは地球局の設備さえ稼働可能であれば通信を行うことができる。車載局では発電機能を持っているため、災害などから受ける影響はほとんどないといえる。ただし、DAMAシステムでは、親DAMA局が機能不全となった場合、回線接続機能が麻痺(痺)するため全ネットワークが使用不能となるが、このようなことを避け、ネットワークの信頼性を上げるため、親DAMA局は局内設備冗長と局冗長の構成を採ることもできる。

局内設備では主としてCSC(Common Signaling Channel: 共通制御信号線)モデムを冗長構成とし、装置異常発生時には自動で予備系へ移行する。局冗長では主局と副局の構成を採り、例えば主局を東京に、副局を大阪に設置し、両者を専用回線で接続して主/副の切替え時に最新の運用パラメータ等を伝送する。ただし、この伝送は絶対的に必要なものではなく、この専用回線が切断されても、手動で切替えを行うことが可能であり、別段運用に支障を来すわけではない。

上記目的のほかに、地上回線の補完を目的とした衛星電話システムがある。衛星通信は地上有線ネットワークと比較して稼働率が多少劣るため、主として地上系ネットワークで運用するシステムにおいては、地上系障害時のバックアップや地上系で賄いきれないあふれ呼を補完するものである。

4. 衛星電話システムの構成

DAMAシステムの地球局は、親DAMA局と子局で構成される。

4.1 親局の構成

親DAMA局装置の基本構成を表2に示し、装置外観を図2に示す。

DAMA制御部は、回線の割当てや解放の制御を行う計算機で構成され、高い信頼性を必要とするが、工業用の計算機を採用することで24時間の連続運転が可能となっている。搭載するソフトウェアはROMに組み込まれており、機械的動作部分をなくし、経年変化に耐えるように考慮されている。

DAMA操作表示部は、DAMA制御部と接続され、使用

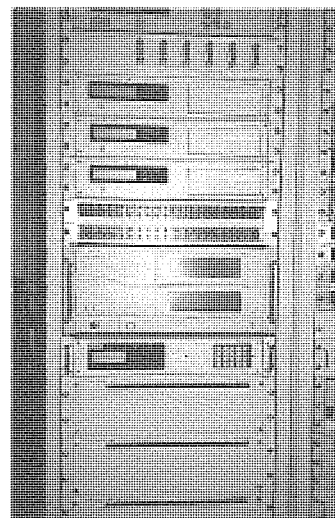


図 2. DAMA装置の外観

表 3. 衛星回線の通信方式

通信方式	制 御 回 線		通 話 回 線
	上り回線	下り回線	
多重方式	PA-TDMA	PA-TDM	SCPC-FDMA
変調方式	QPSK (バースト)	QPSK (連続)	QPSK (連続)
情報速度	32kbps	32kbps	32kbps
誤り訂正方式	畳込み符号* ビタビ復号	畳込み符号* ビタビ復号	畳込み符号* ビタビ復号
符号化方式	—	—	32kbps ADPCM

*: 符号化率 1/2, 拘束長 7

PA-TDMA : Preassign-Time Division Multiple Access

PA-TDM : Preassign-Time Division Multiplex

SCPC-FDMA : Single Channel Per Carrier - Frequency Division Multiple Access

する衛星回線、ネットワークに参入する子局データ、制御パラメータ等をDAMA制御部へ登録し、これを監視する。操作表示性を重視するため、市販の高性能パソコンを採用し、Windows環境の下で動作する。ほとんどすべての操作は付属のマウスのみで行うことができ、また、ビジュアルな表示によって監視性能を高めている。この装置が機能停止しても通常の通話の開始・終了には全く影響を与えないため、最小構成システムでは、この装置を構成品から省略することも可能である。

4.2 子局の構成

子局は、固定局として送受信装置、1台以上のPSK(Phase Shift Keying)モデム、PBXによる構成、又は、車載局、可搬局や簡易型の固定局として送信電力2Wか4WのODU(Outdoor Unit: 屋外ユニット)とIDU(Indoor Unit: 屋内ユニット)によるVSAT局(Very Small Aperture Terminal: 超小型地球局)による構成がある。ODUはアンテナに直接実装する方式とし、IDUとODUは、

1GHz帯のIF周波数と、ODUの送受信する周波数帯域の設定やその他の監視・制御信号を多重化して、同軸ケーブルによって接続することで設置工事を簡略化している。

4.3 衛星回線

衛星回線の通信方式を表3に示す。

親局はCSC下り回線によって常時全子局に対してヘルスチェックを行い、子局の異常又は降雨等による衛星回線の劣化を監視し、これらの条件が満たされない局に対しては回線割当てを制限する。さらに、この下り回線は、TDM (Time Division Multiplex: 時分割多重) によって子局に対する衛星回線の割当て等の制御信号を伝送する。

また、子局からのCSC上り回線は、スロットアロハによるランダムアクセス TDMA (Time Division Multiple Access: 時分割多元接続) によって発呼要求等の制御信号を多重化する。この回線により、回線割当て制御を行ったり、回線の切断要求に対して通話の終了を制御する。

5. システム性能

このDAMAシステムのシステム性能を次に示す。

(1) システム容量

収容チャンネル：1,000 ch

収容局数：最大500局、1局当たり最大50回線

使用可能衛星回線数：100回線 (200キャリア)

CSC回線：現用1回線+予備1回線 (各上り/下り)

(2) DAMA接続性能

同時接続数：最大100回線

接続時間：約10秒以内

(3) ヘルスチェック

各地球局内チャンネルユニットに対するヘルスチェック
 全局監視周期：ヘルスチェック信号送信間隔と全チャンネルユニット数の積

6. 主要機能

6.1 システム機能

- (1) 各子局からの発呼要求による接続ごとに、音声、FAX、データ回線を接続することができる。
- (2) 通話時間の制限をすることができる。
- (3) 通信中の子局からの要求により、回線を解放することができる。

図3、図4に個別通信のシーケンスを示す。

6.2 ネットワーク管理機能

(1) 局状態監視

- 運用中の局に対して周期的にヘルスチェックを行うことができる。
- 運用者の操作によって、局を指定してヘルスチェックを行うことができる。
- 各局が通話中か空き状態かを、リアルタイムで表示することができる。

(2) 衛星回線の監視制御

- 回線利用状態をリアルタイムで表示する。
- 優先回線に割り付けた回線数とその利用数をリアルタイムで表示する。
- 衛星回線ふくそう (輻輳) 時に、運用者の操作により、発呼規制を行うことができる。また、その規制を解除

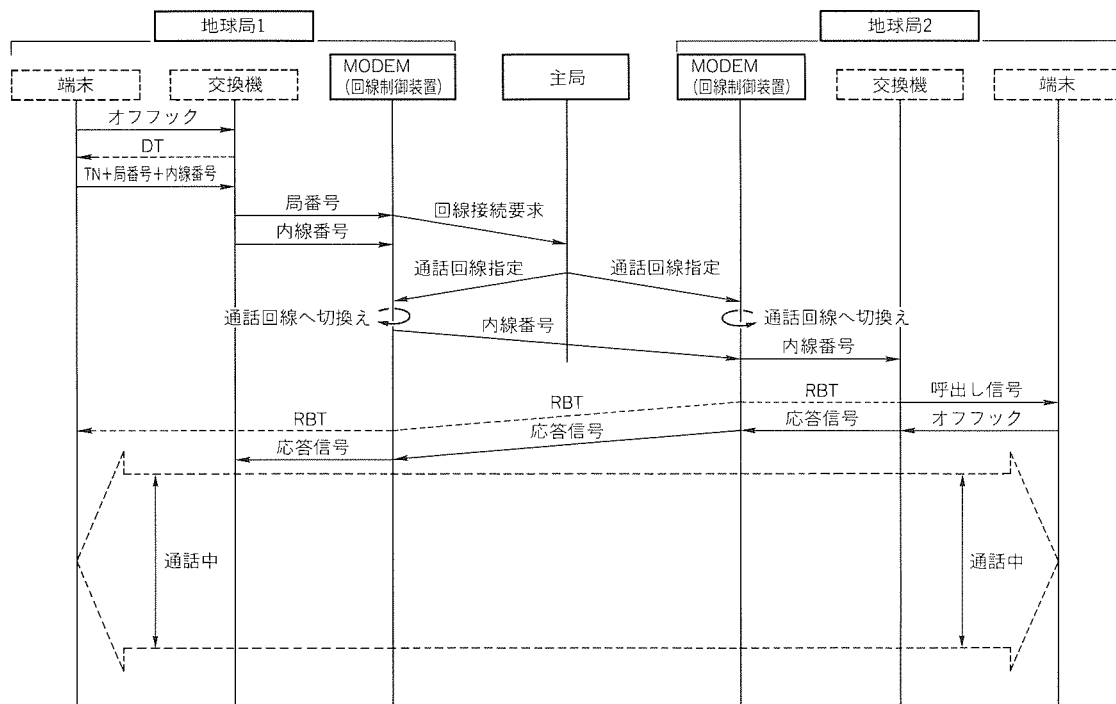


図3. DAMA接続の発着呼手順

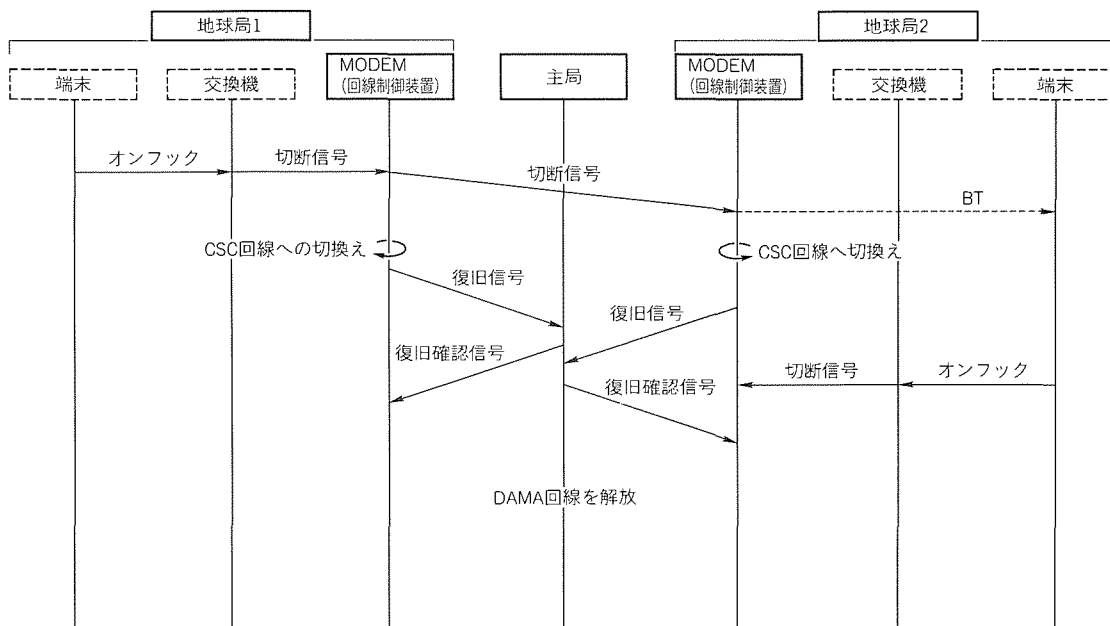


図4. DAMA接続の終話手順

することができる。

- 運用中の衛星回線を閉そく(塞)／解除することができる、その状態を表示する。
- (3) CSC周波数のダウンロード
 - 各子局が使用するCSC上り回線周波数をダウンロードすることができる。
 - トランスポンドの故障等に起因した使用トランスポンドの切換え用として、CSC回線の予備周波数をダウンロードする。各子局は使用周波数の選択機能によって自動的に周波数を変更する。
- (4) トラヒック情報の集計, 印字
 - 通話回線の呼数, 呼量, 回線使用率を1時間ごとに算出して集計し, 日報として保存, 及び表示／印字する。また, 子局の通話回数, 通話時間を集計し, 月報として保存, 及び表示／印字する。
 - CSC回線の平均送信回数を1時間ごとに算出して集計し, 日報及び月報として保存, 及び表示／印字する。
- (5) ネットワーク構成機能
 - 運用者の操作により, 地球局の名称, 局識別番号, モデム／子DAMA番号を登録, 変更, 及び削除することができる。
 - 子局からの要求時に, 登録した子局内の各モデムを自動的にネットワーク内に組み入れることができる。
- (6) ネットワーク管理の履歴機能, セキュリティ
 - 異常終了した呼についての情報を履歴として保存し, 表示／印字することができる。
 - 運用者の行った操作とその結果を履歴として保存し, 表示／印字することができる。
 - ネットワーク管理者以外の操作を禁止するために, パ

スワードを設定／解除することができる。

6.3 オプション機能

(1) 優先通信

- トラヒックが集中する局の回線を確保するため, あらかじめ運用者の操作によって優先通信用の回線を確保しておくことができる。

(2) 直通回線

- 各局からの接続要求を受けて直通回線(ホットライン)を接続することができる。
- ホットラインが接続された2局間は, 受話器を上げるだけで, 相手局に対して発信することができる。
- ホットライン接続中の子局からの要求により, ホットラインを解放することができる。

(3) グループ通信

- 収容する加入者を最大99のグループに分割し, グループ内の通信を可能とするとともに, グループ間の通信を規制することができる。

(4) 親局冗長

- 親局を(主／副)冗長構成とすることができる。
- 運用中の親DAMA装置からの操作によって運用中の親局のシステムを停止し, 待機中の親局に交代することができる。
- 通話中の呼を切断せずに, 親局の交代ができる。
- 待機中の親局は, 運用中の局に影響を与えずに, 試験やバージョンアップ等の保守を行うことができる。

(5) DAMA制御装置冗長

- DAMA装置を冗長構成とすることができる。
- 運用中の親DAMA装置からの運用者の操作により, システム断を伴わずに待機中の系へ切り換えることが

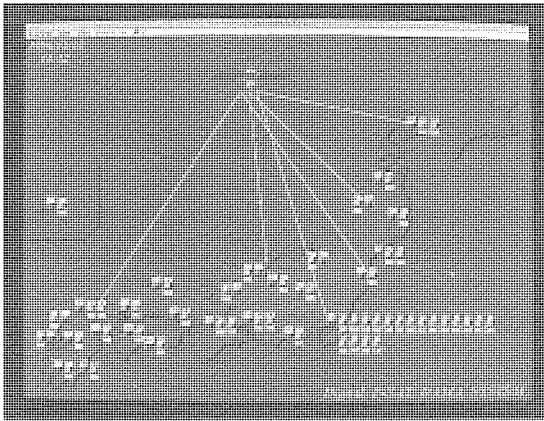


図 5 . DAMA装置の全体画面

できる。

- 運用中の系に障害が発生したときは、自動的に待機中の系へ切り換えることができる。
 - 系の切換えは、通信中の呼を切断せずに行うことができる。
 - 待機中の系は、運用中の系に影響を与えずに、試験やバージョンアップ等の保守を行うことができる。
- (6) 一斉同報機能
- 一斉同報用の装置の増設により、一斉同報回線を設定し、親局が対象地球局に一斉同報を行うことができる。
- (7) 強制切断
- 強制切断用の装置の増設により、個別通信を親局の運用者の指示によって強制的に切断することができる。
- (8) 課金情報蓄積
- 親局に課金装置等を増設することにより、呼ごとにトラヒック情報を蓄積し、課金に使用することができる。

6.4 ユーザインタフェース

運用中のネットワークに対する操作はDAMA操作表示部によって行う。

図 5、図 6 に DAMA 操作表示部の運用中の画面例を示す。

図 5 の全体画面では、ネットワーク全体の概況を表示する。全地球局のおおよその位置、地球局単位のヘルスチェック状

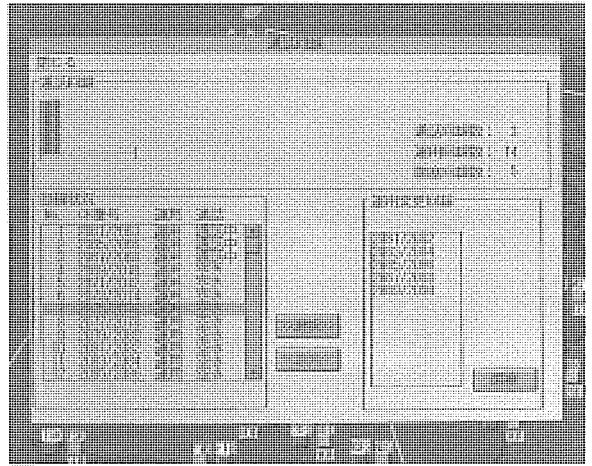


図 6 . DAMA装置の通話回線画面

況、通話状況をリアルタイムで監視し表示する。

全体画面のメニューから呼び出される下位画面は、監視・制御、履歴、登録等の各画面群に分類されている。

一例として図 6 に通話回線画面を示す。この画面は、全体画面の表示のうち衛星回線の状況を詳細表示するものである。画面内では各回線を構成するチャンネルを表示し、その使用状況を監視する。通常の運用時は十数回線を確保し、映像伝送用の帯域は閉塞しておく。緊急時にこの帯域を閉塞解除して通話回線を 100 回線程度に拡張することで、トラヒックの増加に対応する。また、トランスポンダの状況によって特定の回線品質が劣化したとき、これを一時的に使用しないような制御を行う。

7. む す び

以上、今回開発した衛星通信 DAMA システムについてその概要と特長について述べたが、このシステムはユーザの要求にこたえて幅広く適用され、特定機能のカスタマイズ等によって飛躍的な普及が期待できるものとする。

今後、装置価格や衛星回線使用料の低減により、小規模な通信システムでも構築が容易となり、導入が大いに促進されると思われる。

小型オープンPOSターミナル

上田秀敏* 村田俊英*
北口友基* 小倉春男*
鈴木光教*

要旨

オープンネットワーク化が進んできているストアオートメーションシステムに対応し、ネットワーク接続性を重視した小規模専門店市場及び量販店市場向けとして“T6200”小型POSを開発したので、その概要について述べる。

T6200小型POSの主な特長は以下のとおりである。

(1) 小型一体化構造

幅350mm、奥行き440mmの設置しやすい形状

(2) ネットワーク接続

PC(パソコン)アーキテクチャのハードウェア上にLANインタフェースを標準装備し、OSにはWindows 95^(注1)を採用したことによる高いネットワーク接続性

(3) 省電力

消費電力を抑えた設計、パワーマネジメント機能のサポートによる電力消費の節約性

(4) 優れた操作性

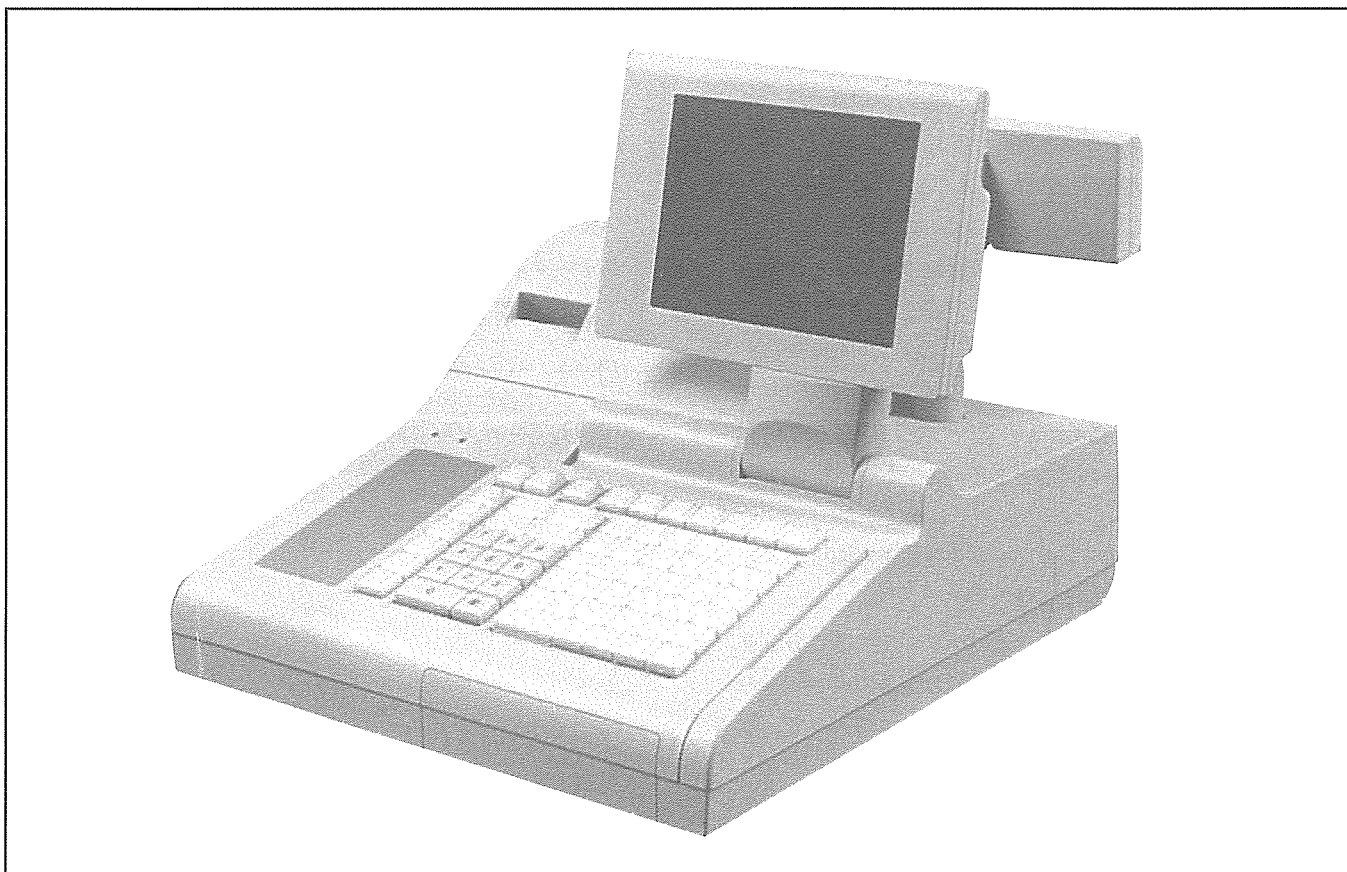
カラーLCD、タッチパネル(オプション)、サーマルプリンタの採用による優れた操作性

(5) ソフトウェア共通性

上位機T6800とのレジ機能共通性の確保によるシステム構築の容易性

(6) 安全性

バッテリーバックアップによる停電時のデータ安全性



小型POSの外観

一体化構造とし、通常のカウンターに置きやすい設置面積となっている(幅350×奥行き440(mm))。LCDはオペレータに合わせて角度調整ができる(チルト、スイベル)。

1. ま え が き

近年、POS (Point of Sales) 端末は、流通の先端情報収集の機器として設置台数を伸ばしている。

一方、POS 端末の情報を処理するシステム側は、オープンネットワーク化が進んでおり、これに接続する POS 端末にもオープンネットワークへの接続性が要求されてきている。当社では、1995 年度に、PC アーキテクチャをベースとした POS 端末として T 6800 を高級専門店向けに開発し、1996 年 4 月から発売した。

この T 6800 の系列機種として、小型専門店向けを主眼に、小型高機能を特長とした POS 端末を開発したので、その概要について述べる。

2. T6200 小型 POS ハードウェアの特長

T 6200 小型 POS (以下“T 6200”という。)は、中小規模の店舗に設置するため、小型化に注力するとともに、量販店へ対応、PC アーキテクチャの採用、LAN インタフェースの標準装備、シリアルインタフェース機器の多チャネル接続、バッテリーバックアップ機能、APM (Advanced Power Management) 準拠の電源制御、カラー液晶パネル、サーマルプリンタ、キーボード、拡張オプション接続、従来システムへの対応など、優れた機能を実現している (図 1)。

2.1 小型一体化構造

T 6200 の第一のターゲットである小規模の店舗では、設置省スペースと低価格の要求が強い。T 6200 ではプリンタ、LCD、キーボードを制御装置に組み込んだ一体化構造とし、内部配置を最適化することにより、これらの要求を満たした。

また、従来機種では制御基板と外部接続コネクタとの間には中間ケーブルが多数存在していたが、構造設計の工夫によって、ケーブル点数を最小限に抑えた。

その結果、従来小型専門店向けに納入してきた T 2200 の横幅 420 mm に対して 350 mm を実現しており、カウンターの変更なしでリプレース可能としている。

2.2 量販店への対応

基本的には小型専門店とショッピングセンター向けの機種であるが、量販店への対応も考慮した。

量販店においては、省スペースよりも使いやすさの方が重視される傾向にあり、キャッシュドロワは容量の大きいものを望まれることが多い。そこで、量販店向けに対応して、中型と大型のキャッシュドロワを用意した。大型のキャッシュドロワを使用する場合、POS 本体との横幅の寸法差を有効利用して備品の置けるケースを準備し、使いやすさを考慮している。

また、量販店対応のオプションとして、シリアルインタフェースに接続可能な縦型スキャナ (縦型定置式バーコードリーダー) を新規に用意した。

2.3 PC アーキテクチャの採用

ハードウェアコストの低減、開発資産の流用、アプリケーションプログラムの開発の容易化、オープンネットワークへの接続を踏まえて、PC アーキテクチャを採用した。

CPU には Intel DX 4^(注2) を使用し、OS には Windows 95 を採用した。また、Pentium^(注3) に容易に移行できるように考慮した設計となっている。

2.4 LAN インタフェースの標準装備

LAN (10 Base T) のインタフェースを標準装備し、今後主流となるネットワークコンピューティングに増設なしで対応できる構成とした。

また、遠隔地から LAN 経由で POS を立ち上げられる機能 (Magic Packet^(注3) Technology) を備え、毎日夜間にホストに吸い上げる POS のデータの収集はもちろん、保守データの収集やプログラムアップデート等のリモートメンテナンスを可能としている。

2.5 シリアルインタフェース機器の多チャネル接続

POS 端末には、通常の PC ベースの端末と比較して、多くのシリアルインタフェースの機器の接続が要求される。POS キーボード、磁気カードリーダー、バーコードリーダー、マウス、JIS キーボード、100 キーボード (メニュー選択キーボード)、タッチパネル、プリンタ、カスタムディスプレイ、自動釣銭機、G-CAT 端末 (クレジット信用照会端末) などの接続が必要とされるため、処理性能を落とさずにこれらの接続を実現するための工夫をしている。

キーボードインタフェースの下に POS キーボード、磁気カードリーダー、バーコードリーダー、JIS キーボード、100 キーボードを接続できるようにハードウェアを構成し、これらをデータ上で区別可能とした。

また、PC アーキテクチャで標準に用意されるシリアルポ

(注 1) “Windows95”“VB”“VC++” は、米国 Microsoft Corp. の商標である。

(注 2) “Intel DX4”“Pentium” は、米国 Intel Corp. の商標である。

(注 3) “Magic Packet” は、米国 Advanced Micro Devices, Inc. の商標である。

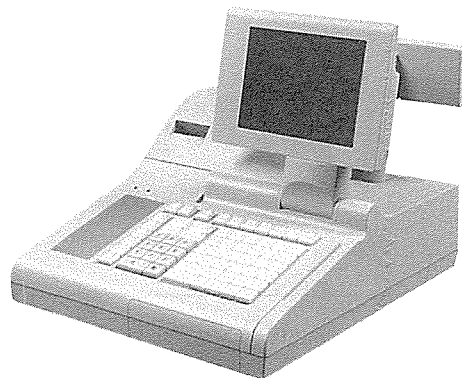


図 1. 小型 POS の外観

ートは二つであるが、これを六つに拡張し、カスタマディスプレイ、プリンタを始めとし、自動釣銭機やG-CAT端末など他社機器も含め、多種のオプション機器の接続を可能としている(図2)。

2.6 バッテリバックアップ機能

POS端末が通常のPCと異なるポイントの一つとして、停電に対しデータの消失を防ぐ要求がある。

T6200はバッテリーを標準で内蔵し、バックアップする範囲を絞る(データのみをバックアップする。)ことにより、外付けの無停電電源装置を使用する場合と比べて、低コストでデータの確保を実現している。

2.7 電源制御

運用性の向上とランニングコスト(消費電力)の低減のために、T6200では、きめの細かい電源制御を実施している。APM1.1に準拠したハードウェアを実現し、通常ON、スタンバイ、サスペンド、電源OFFなどのモードをサポートした。なお、装置前面のスイッチを使用した通常の運用では、通常ONとサスペンドを切り換えることができるようになっており、LAN経由によるリモートONやレジューム処理(始めから立ち上げ直すことなく、継続作業ができる処理)が可能である。

また、定常稼働状態でも極力消費電流を抑えるように設計を行った結果、内部冷却用ファンの不要な構造を実現し、省スペース・低コスト化の重要な要素となっている。

2.8 カラー液晶パネル

省スペース化及びタッチパネルによる操作性の向上を実現するため、7.5インチのカラー液晶パネルを採用した。液晶パネルは、他の端末機種と部品を共通化することで低コストを実現している。

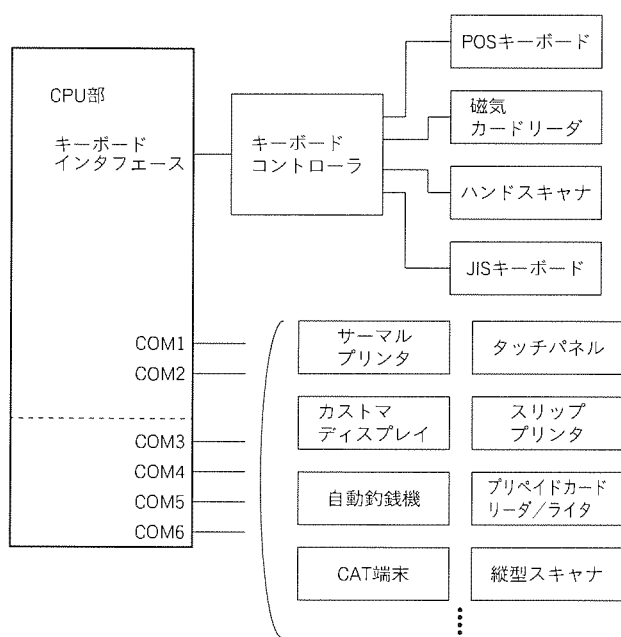


図2. シリアルインタフェース接続の概念

2.9 サーマルプリンタ

最近の傾向として、POS端末のプリンタは、高速印字の要求が強く、主流がドットプリンタからサーマルプリンタに移行してきている。T6200でも、サーマルプリンタを採用した。紙幅は58mmとし、日本語フォントも印字可能な高速のものを採用している。

2.10 POSキーボード

キーボードは、業態・業種によってキーの意味付けを変える必要があり、従来機種と同様、キャップ式のキーを採用している。

テンキーについては、従来機種では固定であったが、キー配置とファームウェアを考慮することによって2種類の配置が選択できるようにした。

表1. T6200のハードウェアの仕様

項目	仕様
C P U	Intel DX4 75MHz
メ モ リ	16Mバイト
F D D	1.44Mバイト
H D D	540Mバイト以上
表 示	7.5"カラーLCD 640×480ドット, 256色 タッチパネルありタイプ/ タッチパネルなしタイプ
L A N	10BASE T
入出力	PS/2キーボード 1 マウス 1 パラレル (プリンタ) 1
インタフェース	ハンズキャナ 1 磁気カードリーダー 1 100キーボード 1 JISキーボード 1 RS-232C 3
POSキーボード	66キー
レシート/ ジャーナルプリンタ	ラインサーマル方式 紙幅 58mm 印字速度65mm/秒 (最大)
データ保護機能	バッテリーバックアップ 停電時3分間 HDDへの待避機能あり
省電力制御	サスペンド/レジューム機能
外形寸法	350×440×340 (mm)
入力電源	AC100V 50/60Hz
消費電力	90W
オプション機器	キャッシュドロー (小) 350mm キャッシュドロー (中) 410mm キャッシュドロー (大) 460mm カスタマディスプレイ ハンズキャナ 磁気カードリーダー PCMCIAインタフェース 縦型キャナ ISDNアダプタカード スリッププリンタ
接続可能機器 (他社品推奨)	自動釣銭機 バーコードリーダー/ライター G-CAT端末 無線LAN など

また、音量ボリューム調整やディップスイッチ設定等を容易にするため、キーボードを着脱可能な構造としてメンテナンス性を向上させた。

2.11 拡張オプション接続

拡張オプションとして、ISDNカード、モデム、SCSI関連機器(CD-ROM、MO等)を想定している。これらに対するインタフェースとして、PCMCIA(Personal Computer Memory Card International Association)仕様のスロット二つをオプションで装備できる。

2.12 現行システムへの接続

現行システムでは、量販店等で、POS端末を専用のPOSサーバであるストアデータプロセッサ(SDP)に接続する形態があり、独自インタフェースで接続している。

T6200では、上位とのインタフェースはLAN接続を基本としているが、当社機種のリプレースで既設の配線を使用したい場合や既存の当社システムに増設する場合のために、外付けオプションとして独自インタフェースへの接続アダプタを用意している。

2.13 T6200のハードウェアの仕様

T6200のハードウェアの概略仕様を表1に示す。

3. T6200のソフトウェアの特長

T6200のソフトウェアは、Windows 95上にVB^(注1) VC++^(注1)、C言語を用いて作られている。アプリケーションソフトウェアである基本レジソフトウェアは、T6800と仕様を共通化している。

今回の開発に当たって特に次の点に留意した。

- 従来の専用POSとの互換性を持ったキー操作性
- 違和感なくキー操作できる即時レスポンス
- アブノーマル操作、悪環境(電源瞬断)下での動作保証

T6200は、専門店、ショッピングセンター、及び量販店向けPOSとして今後販売を行っていく予定である。

各用途にT6200を使用した場合のシステム構成を図3に示す。

3.1 ソフトウェアの構成

T6200のソフトウェアは、Windows 95をベースに、①POS専用入出力機器を制御するデバイスコントロール、②TCP/IPネットワーク上でPOS間の通信を実現するインラインネットワーク、③ファイル制御ソフトウェア(Btrieve^(注4)ソフトウェア)、

④レジ機能を実現する基本レジの各ソフトウェアで構成している。

また上位機とのネットワーク接続は、専用に開発したネットワークソフトウェア(M2LINK)で実現している(図4)。

3.2 Windows 95

前に述べたT6800ではOSにMS-Windows 3.1及びWindows 95を採用しているが、POSでもWindows 95の市場要求が強くなっており、T6200ではWindows 95を採用した。

Windows 95の採用に当たり、アプリケーションソフトウェアを始めとする他のソフトウェアについても、32ビットベースでのソフトウェア開発を行った。

3.3 デバイスコントロール

POS専用の入出力機器(レシート/ジャーナルプリンタ、カスタムディスプレイ、POS専用キーボード、バーコードリーダー、磁気カードリーダー、ドロウ、縦型スキャナ)を制御するためのソフトウェアであり、C言語で開発している。他の入出力機器については、Windows 95標準のデバイス制御ソフトウェアを使用している。デバイスコントロールの構

(注4) "Btrieve"は、米国Btrieve Technologies, Inc.の商標である。

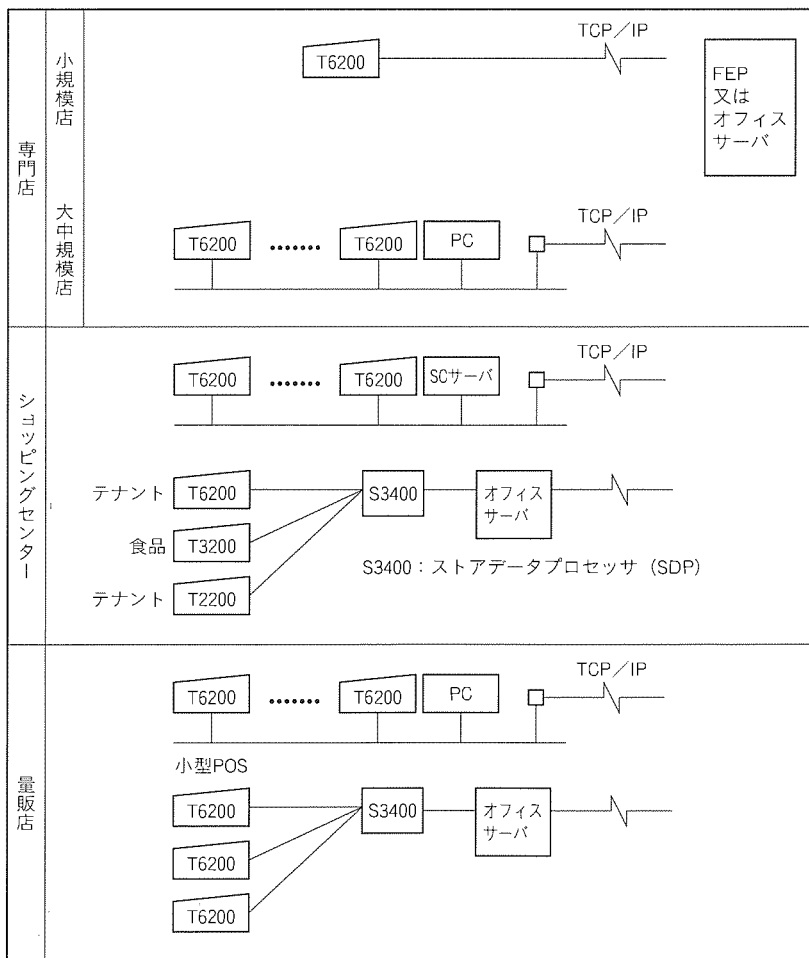


図3. 小型POSのシステム構成

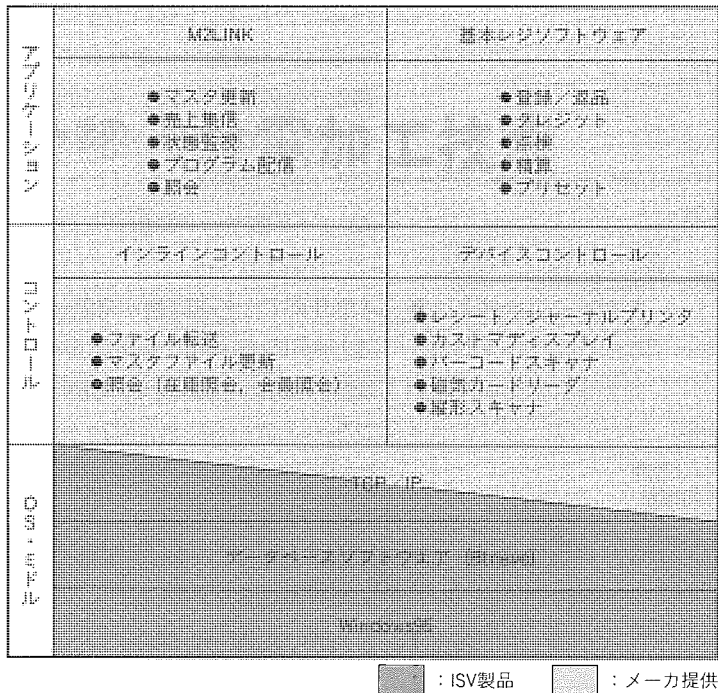


図 4. ソフトウェア構成

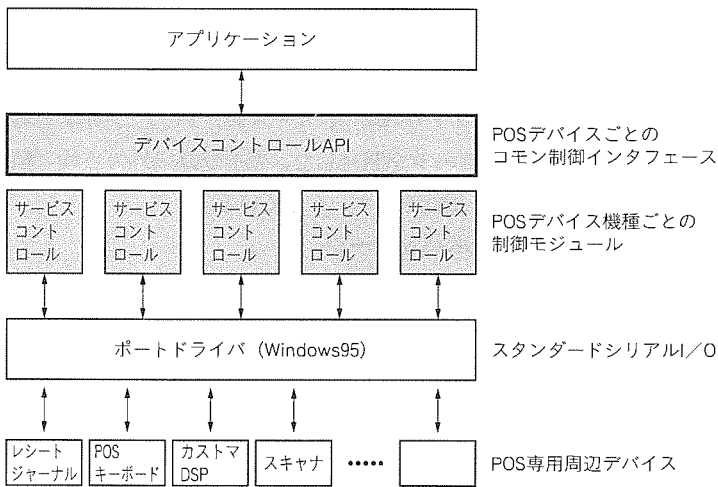


図 5. デバイスコントロールの構成

成を図 5 に示す。

3.4 ネットワーク

T6200では、PC等をサーバとしたネットワークシステムの構築が可能である。

ネットワーク制御用ソフトウェアとして、Windows 3.1ではISV製品を採用していたが、今回、Windows 95がサポートしている WinSock を使って独自のネットワーク用ソフトウェア（インラインコントロールソフトウェア）を開発した。次の機能を実現している。

- POS-サーバ間でのファイル転送
- マスタファイルのデータ変更
- サーバに対する在庫、会員情報などの照会機能

インラインコントロールソフトウェアの構成を図 6 に示す。

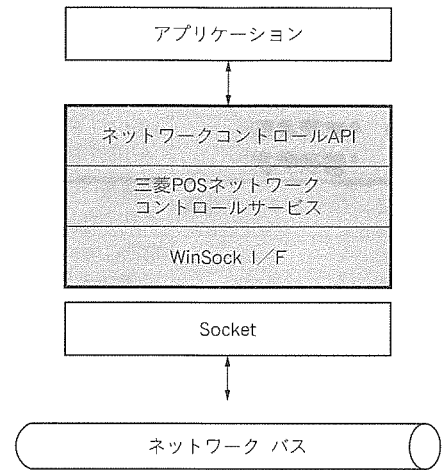


図 6. インラインコントロールの構成

3.5 基本レジソフトウェア

その名のとおりレジとしての機能を実現するアプリケーションソフトウェアであり、これまでの専用POS端末で培ったノウハウを基に、専門店から大量販店まであらゆる業態・業種で使用できるように種々の機能を実現している。

基本仕様を表 2 に示す。

3.5.1 機能系統

基本レジソフトウェアは、①機能選択を行うメニュープログラム、②レジで商品の登録を行う売上登録プログラム、③売上情報の出力、閉店後の処理を行う点検/精算プログラム、④各種マスタファイルの設定を行うプリセットプログラムで構成されている(図 7)。

3.5.2 売上登録の特長

専門店から量販店まで対応可能なように、様々な機能をサポートしている。

- どれでも 3 個で 500 円等の販売機能 (まとめ値引)
- 1 個 280 円, 12 個 3,000 円, 24 個 5,500 円等のセット販売機能
- 雑誌・書籍バーコードでの販売機能
- 一般客は 1,000 円, 会員は 900 円等の会員販売機能
- 一括取消し, 直前訂正, 指定訂正操作
- 複数消費税対応
- 領収書発行機能 (横書き, 縦書き)

3.6 オプション機能

3.6.1 SDP接続

量販店やショッピングセンターなど多数のPOSを接続する場合の専用のPOSサーバであるSDPと接続する機能をサポートし、従来の接続仕様に合わせることで上位サーバとの互換性を維持し、リプレース商談にも柔軟に対応できるようにしている。

表 2. 基本レジの基本仕様

No.	項目	仕様
1	金額 売上げ集計 1商品売価 1レシート	±21億円 (日計, 累計とも) 1億円以下 1億円以下
2	割引き/値引きキーの種類	20種類 それぞれに割引き/値引き名称を持つ
3	主要コードけた(桁)数	部門Gコード: 4桁, 部門コード: 6桁, PLU: 13桁 店舗コード: 6桁, ターミナルNo.: 4桁, 係員No.: 8桁 販売員No.: 8桁, 精算回数: 4桁, レシートNo.: 4桁
4	名称	カナ名称: 20文字 漢字名称: 10文字
5	取引種類	現金及びその他30種類の合計31種類
6	入金, 支払	その他取引使用可能なものそれぞれ8種類 現金だけ使用できるものそれぞれ20種類 別に在高登録を持つ
7	管理数	部門G: 1,000 部門: 10,000 PLU: 100,000 係員: 100
8	売上集計期間	日計, 累計の2種類
9	消費税	外税, 内税, 非課税対応 税率10種類
10	コマースシャルメッセージ	漢字が使用可能。最大12行

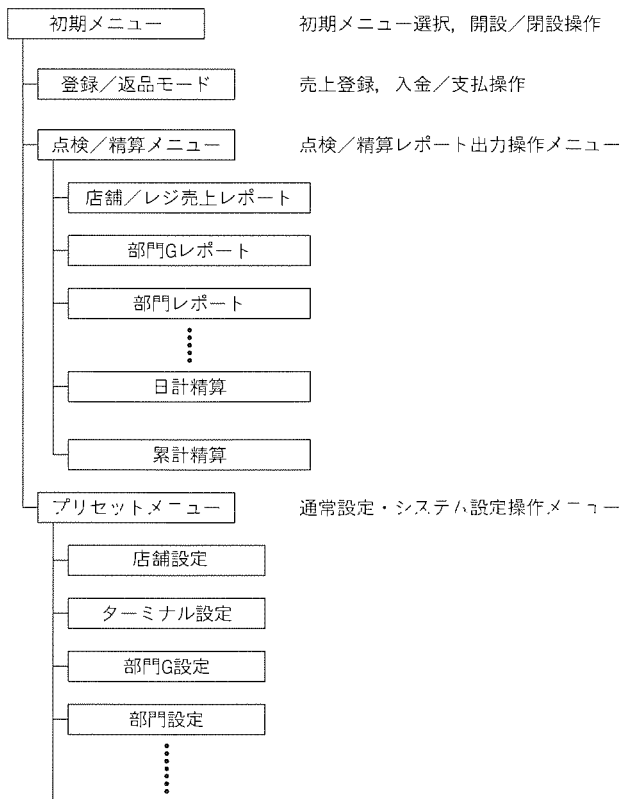


図 7. 基本レジの機能系統

3.6.2 クレジットシステム

T 6200では、クレジットシステムとして次の二つのシステムをサポートしている。

(1) G-CAT 端末接続クレジットシステム

専用のクレジット信用照会端末である G-CAT と接続し、

POSでクレジット払いするデータを G-CAT 経由で信用照会する。構成が単純ではあるが、電話回線を使用するためレスポンスに時間がかかる (通常 30 秒)。

(2) CAFIS サーバ経由クレジットシステム

NTT データ通信(株)が提供している CAFIS (Credit And Finance Information System) LINK ソフトウェアをベースにサーバ上に CAFIS 接続のパッケージを開発し、サーバ経由でのクレジット信用照会をサポートしている。高速レスポンスが可能である。

3.6.3 会員管理

リライトカードを使用した会員管理機能をサポートしており、買上げ金額に対するポイント計算やプライベート支払が可能である。

3.7 関連ソフトウェア

3.7.1 PCサーバ上でのPOS管理パッケージ

基本レジソフトウェアをベースに、PC上で動作する POS 管理パッケージを開発した。売上登録以外の点検/精算、プリセット機能をサポートしている。

3.7.2 M2LINKパッケージ

上位コンピュータと TCP/IP で接続するためのネットワークソフトウェアを開発した。

売上データの集信、メンテナンスはもちろん、POS の状態監視とプログラム配信機能をサポートしている。

3.8 OLE-POS 技術協議会の取組

米国 Microsoft 社及び POS 主要メーカーで構成され、Windows ベースの POS の各種デバイスの標準入出力仕様を定義している上記技術協議会に参画し、OLE-POS 仕様準拠のデバイスドライバを提供している。

4. む す び

新しく開発したオープンネットワーク接続を主眼とした T 6200 小型 POS の概要について述べた。

オープンネットワークの下では、異なる機種同士のデータ交換が直接できるようになって、POS 端末での収集データの分析や、その結果に対するアクションの速さがより要求される時代である。今後も、トータルなネットワークシステムの中で、インターネットやイントラネットのシステムへの対応も考慮し、時代にマッチした形態の POS 端末を提供していく所存である。

三菱製品情報管理システム “PDMMASTER”

中野隆雅* 阿部光久*
難波奈須夫* 熊沢高司*
中村伊知郎*

要旨

近年、製造業における営業・設計・資材・製造などの各部門では、個別業務の電子化・最適化が進められてきた。しかし多様化するユーザーズ、短いリードタイム、低コストを実現し、激しい企業間競争に勝ち残っていくには、部門間のシームレス化、製品情報の統合的な保管が求められてきている。このようなニーズにこたえる新たなシステムとしてPDM (Product Data Management System: 製品情報管理システム) がある。

本稿では、当社で開発したPDM製品である三菱製品情報管理システム“PDMMASTER”を、以下の四つの機能に分けて紹介する。

(1) 実データ管理機能

製品や部品の情報及び図面や文書などの実体データを管

理する機能で、セキュリティ管理やバージョン管理、状態管理機能などがある。

(2) 構成管理機能

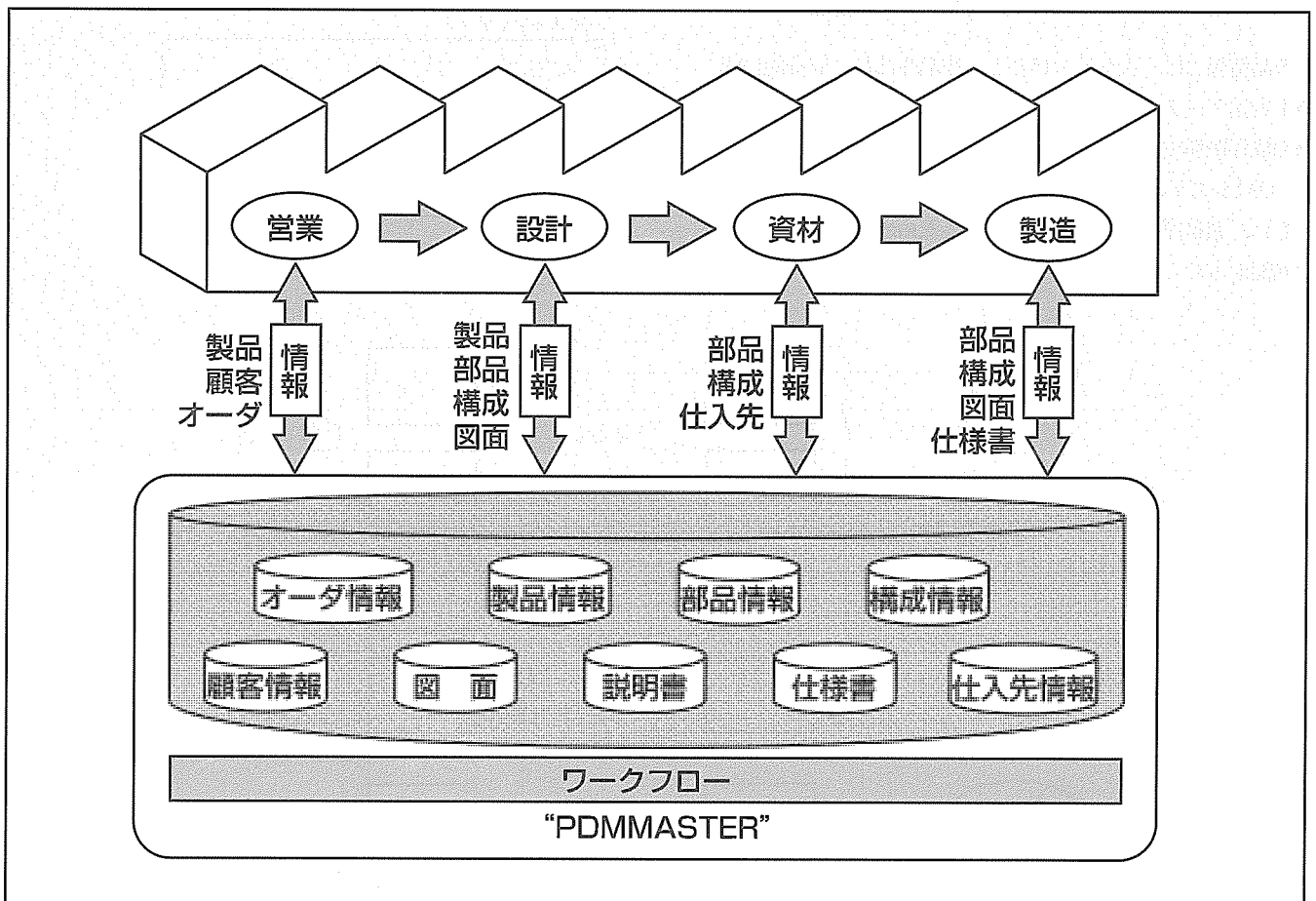
部品間の関係や部品とドキュメントの関係を管理する機能である。

(3) ワークフロー管理機能

実データや構成データを業務の流れに従って管理する機能がある。

(4) カスタマイズ機能

利用目的に応じてデータベーススキーマ及び画面をGUI (Graphical User Interface) ベースでカスタマイズする機能を持っている。



PDMMASTERによる製造過程の統合化例

従来、部門間は紙を用いて情報伝達を行うことが多かったが、PDMMASTERの導入によって情報を統合的に管理することが可能になり、情報伝達の迅速化が進められる。また、必要情報の高速な検索/参照や構成を含めた製品/部品の流用が容易になるため、部門間の効率改善とともに部門内での作業効率改善が図れる。

1. ま え が き

従来の製造業においては、設計部門ではCADやCAEなどのコンピュータ支援システムの導入により、また営業・資材・製造などの部門ではそれぞれの専用システムの導入により、部門ごとに業務の電子化や最適化が進められてきた。

しかし、激しい企業間競争に勝ち残っていくためには、今後ますます多様化するユーザーニーズを満たし、かつ、より短いリードタイム、より低いコストを実現していかなければならない。このためには業務ごとの電子化・最適化だけでは十分でなく、部門間をシームレスにつなぐ仕組みが必要となってきた。

また、CALS (Commerce at Light Speed) による国際標準化、製造物責任 (PL) 法や ISO 9000 シリーズに基づく品質保証など、製品にかかわる情報の統合的な管理が求められるようになってきた。

こうしたニーズにこたえる新たなシステムとして PDM がある。

本稿では、当社で開発した PDM 製品である三菱製品情報管理システム“PDMMASTER”について紹介する。

2. PDMシステムに要求される機能

製品情報には、大きく分けると、製品や部品に直接的に関連する実データと、製品や部品間の関係 (例えば、組立て関係や依存関係) を示す構成データがある。

PDM システムには、上記二つのデータを管理する機能とともに、業務間の流れをサポートするためのワークフロー管理機能が求められる。

2.1 実データ管理機能

実データには、図 1 に示したように、名称や型番などの製品や部品の主な特徴を表すデータ、顧客情報や仕入先情報などの表形式のデータ、文書や図面など文書処理システムや CAD システムで作成されたデータがある。

CALS で標準化が進められている SGML (Standard Generalized Markup Language) や STEP (Standard for the Exchange of Products Model Data), IGES (Initial Graphics Exchange Specification) といった形

部品データ

名称	型番	型	定格電圧	消費電力
パソコンA	KATA00001	タワー	AC100V	140W
パソコンB	KATA00002	デスクトップ	AC100V	140W
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

顧客情報

顧客名	担当者	連絡先	所在地
得意先A	Aさん	0467-43-82xx	神奈川県鎌倉市…
得意先B	Bさん	03-3437-82yy	東京都港区…
⋮	⋮	⋮	⋮

ドキュメントデータ

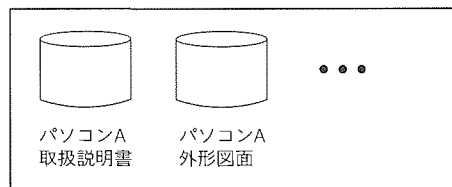


図 1. 実データの例

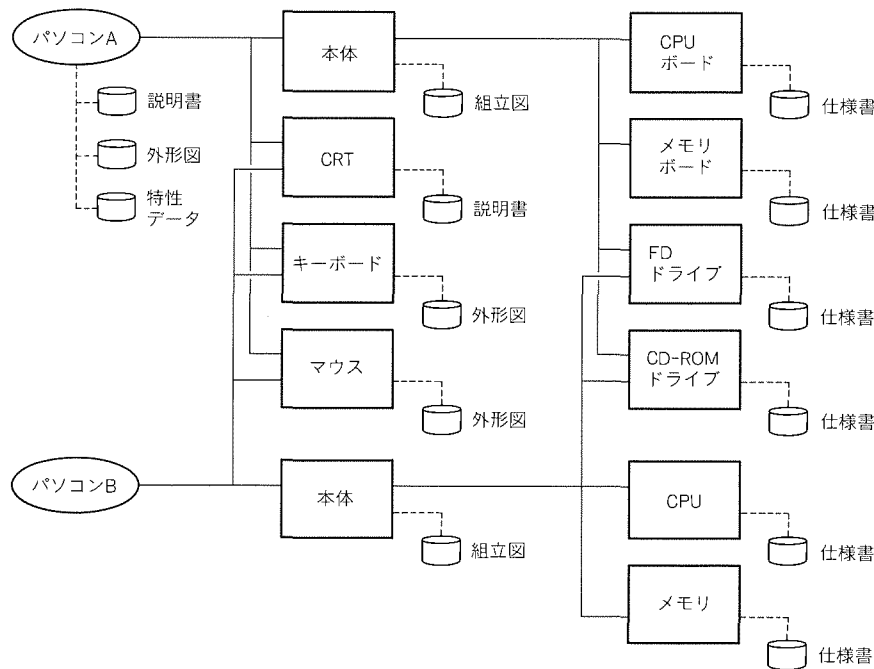


図 2. ドキュメントを含む製品の構成例

式のファイルは、文書や図面として保管される。

実データ管理機能としては、個別の実データを保管/管理するとともに、製品や部品の単位で保管/管理する機能も求められる。

2.2 構成データ管理機能

構成データは、図2に示したように、製品と部品間や、部品間の関係を示した情報である。

構成データ管理機能では、これら構成データの保管/管理と編集機能が求められる。

2.3 ワークフロー管理機能

製品を設計・生産するときの主な業務は、図3に示すように、構想、検討、設計/製図、出図、手配、製造の順に進められるのが一般的である。また個々の業務(例えば設計)内部では、作成、照査、承認などが行われる。

ワークフロー管理機能として、あらかじめ設定された手順に従って、電子化した承認や通知などを自動的に行うことが要求される。

3. PDMMASTERのシステム構成

PDMMASTERは、図4に示すように、サーバ/クライアントシステムであり、ネットワークで結合された計算機群の扱うデータを一元的に管理するために、データベースサーバと実体保管サーバを持つ。

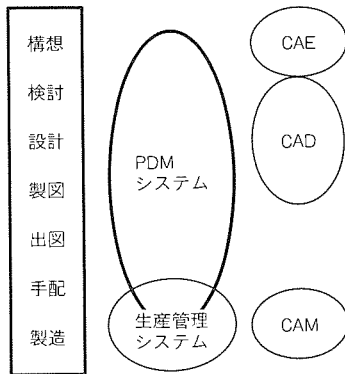


図3. 生産時の主な業務の流れとPDM対象範囲

また、ユーザによるアプリケーションプログラムの構築を容易にするため、Visual Basic対応のアプリケーションインタフェースを提供している。

4. PDMMASTERの機能

この章では、PDMに要求される機能の分類に対応させて、PDMMASTERが提供する機能を紹介する。

4.1 実データ管理機能

PDMMASTERで扱う実データには、製品や部品に関するデータを直接的に管理する部品データと、アプリケーションプログラムを介して管理する図面や文書などのドキュメントデータ、及び顧客情報や仕入先情報などの表形式で管理されるデータの3種類のデータがある。

これらのデータを管理するため、PDMMASTERでは、以下の機能を提供している。

4.1.1 分類管理機能

一般的に、製品を構成する部品としては、機械部品・電子部品・電気部品など複数の種類の部品があり、またドキュメントもCAD図面やイメージ図面、文書など複数の種類のドキュメントで構成される。したがって、利用者に分かりやすい分類での実データの保管が必要となる。

PDMMASTERでは、利用者が実データの分類を自由に定義することができるので、分類に従った検索が可能である。

4.1.2 状態管理機能

通常、実データは、図5に示すように、新規作成、承認、登録を経た後も改定を伴う場合がある。

PDMMASTERでは、この流れを状態管理機能として実現している。検討用図面など承認を必要としない実データにも対応するため、状態及び画面上での表示文字などは利用者が設定可能となっている。

4.1.3 バージョン管理機能

改定を行った場合、従来は最新版のみを正式なデータとして管理することが多かったが、製造物者の責任として、また品質管理の点からも旧版のデータの保管が必要となってきて

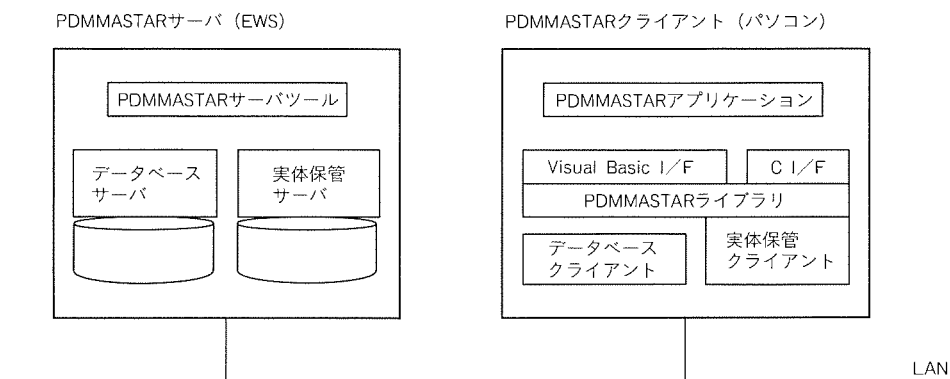


図4. システム構成

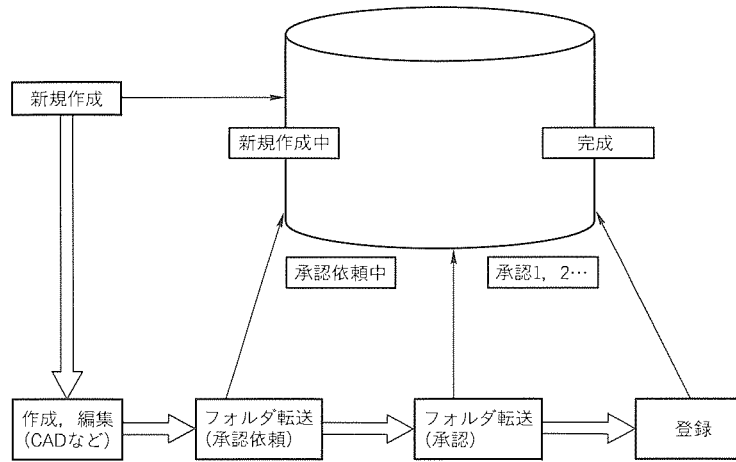


図 5. 状態管理と対応する機能

いる。

PDMMASTERでは、旧版データの保管を行うとともに、属性データとして変更内容の情報が追加できるようにしている。

4.1.4 リビジョン管理機能

従来、設計変更を行う場合、部品データや図面を借用し、これを変更し、再登録する行為を行っていた。

PDMMASTERでは、設計変更中のデータを、一時的に承認を受けていない仮の実データ（リビジョン）として管理している。

4.1.5 セキュリティ管理機能

PDMシステムは基幹をつかさどるシステムであるので、セキュリティ管理機能が非常に重要となる。

PDMMASTERでは、各利用者の利用権限と実データのアクセス権の組合せによってアクセス制御を行う。従来のデータ管理ソフトウェアでは、要素単位でアクセス制御を行うのが一般的であるが、PDMMASTERでは、同一要素内の属性群に対して複数の部門がデータ設定を行うような業務フローにも対応できるように、要素ごとのアクセス制御に加えて、属性ごとでのアクセス制御も提供している。

4.1.6 アプリケーションリンク機能

ドキュメントデータとは、ファイル単位で管理される実データである。このうち、図面や文書などアプリケーションプログラムで生成・編集するファイルの場合は、あらかじめファイルの種類とアプリケーションの対応関係を定義しておけば、アプリケーションリンク機能を利用して、PDMMASTERの画面から直接CADやワープロを起動して修正/変更することができる。

4.2 構成データ管理機能

構成データ管理機能は、部品間の関係や部品とドキュメントの関係を管理する機能である。

PDMMASTERでは、これらの関係を実データ間のリンク関係として管理している。構成データは、利用者が自由

に拡張属性を設定できるため、品番や数量などを表す属性を追加することにより、品目欄として使用することもできる。

またカスタマイズを行うことで、この情報をCADに受け渡し、自動的に図面に品目欄を配置したり、逆に図面に記入された品目欄から構成データを生成することなどができる。

4.2.1 構成データの編集機能

製品や部品の改定を行う場合、構成の変更も必要となるが、PDMMASTERでは、品目欄に準じた表形式での編集機能に加えて、グラフィック表示画面で分かりやすい操作での編集も可能である。

編集機能としては、構成の移動、追加、削除、変更ができる。

4.2.2 親検索機能

部品を変更する場合、その部品を使用している部品や製品を調べて影響を確認する必要があるが、PDMMASTERでは、構成データの逆検索機能によって部品変更の影響を簡単に調べることができる。

4.3 ワークフロー管理機能

業務の流れに従って実データや構成データを管理するのがワークフロー管理機能である。

PDMMASTERでは、複数の実データを一つの単位として扱える“フォルダ管理”の機能でこれを実現している。以下に、フォルダ管理で提供している機能について述べる。

4.3.1 フォルダの編集機能

フォルダの作成、削除、属性変更ができる。承認用や作業依頼用など目的別にフォルダ作成が可能であり、作成時に、フォルダを受け渡す順番をルートとして設定することができる。

4.3.2 フォルダ内格納データの編集

フォルダに格納されている部品やドキュメントの一覧表示と削除ができ、部品データやドキュメントの編集も可能である。

4.3.3 フォルダの転送機能

あらかじめ設定されたルートに従って、フォルダを転送する。転送されたフォルダは、ルート上の次の利用者だけが参照できるように個人を特定して表示される。

4.4 カスタマイズ機能

データベースのスキーマ及び画面の表示項目やその並びは利用目的によって異なるが、利用者がこれらを自ら決めるのは難しい。この問題を回避するため、PDMMASTERでは、基本的なデータ構造や画面を製品として提供し、かつカスタマイズが可能となるようにGUIでの編集ツールを提供している。

4.4.1 データベーススキーマ カスタマイズツール

PDMとして基本的なデータベーススキーマを製品として提供するが、データベーススキーマをGUI画面で編集する

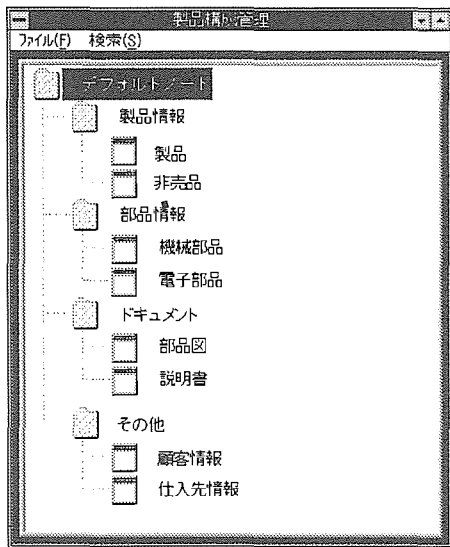


図 6. 初期画面

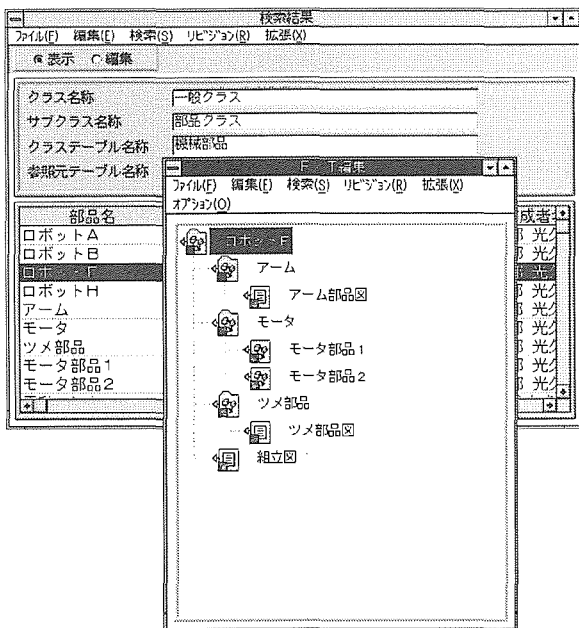


図 7. 検索結果画面と構成編集画面

ツールも同時に提供する。主な機能は次のとおりである。

- (1) 部品、ドキュメント、表形式データなど管理対象に応じたテーブルの作成
- (2) 作成したテーブルの属性変更 (追加, 削除, 変更)
- (3) ユニークキー, アクセス権などの設定

4.4.2 画面カスタマイズツール

データベーススキーマの変更に対応させた画面カスタマイズ及び新たに作成されたテーブルの表示を可能とするため、表示項目, 表示文字列などの設定/変更ツールを提供する。主な機能は次のとおりである。

- (1) 検索条件入力画面での表示項目, ソート, 条件の一覧からの選択指定など
- (2) 検索結果画面での見出しタイトル, 属性の表示順, 幅, 表示形式 (左・右・中詰め, 西暦, 和暦) 指定など
- (3) 構成編集画面での表示属性指定など

5. PDMMASTERの画面

以下に、PDMMASTERの主な画面例を紹介する。

図 6 は、PDMMASTERの初期画面である。PDMMA

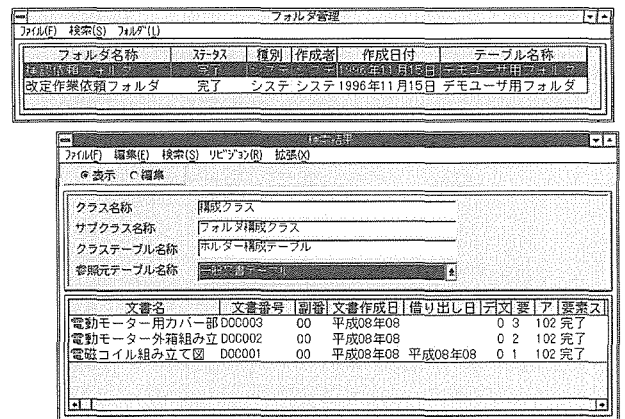


図 8. フォルダ管理画面とフォルダ内容一覧画面

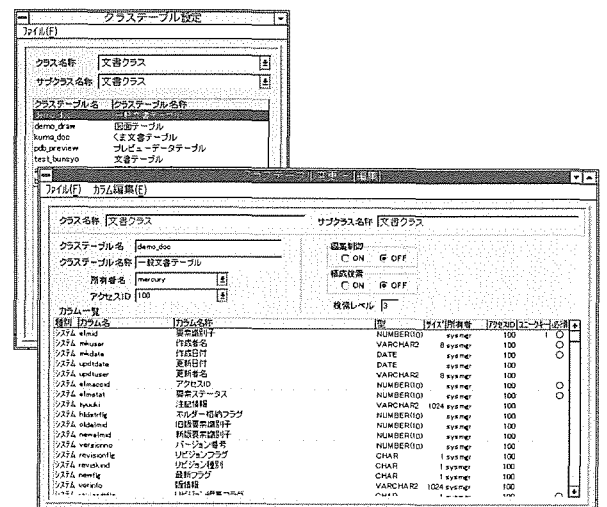


図 9. 画面カスタマイズツールの画面

STARでは、親子関係とは別に、利用者の定義した分類に基づく実データの管理も可能となっている。

図7は、検索結果及び検索結果から表示した部品構成の編集画面である。構成編集画面から構成の移動、追加、編集ができる。また図面や文書の編集もできる。

図8は、ワークフローで利用するフォルダ管理画面とフォルダの内容表示を行った画面である。利用者は、フォルダ管理画面によって自分への指示又は依頼項目を把握ことができ、また内容表示画面によって詳細な内容の把握とその処理を行うことができる。内容表示画面からは、実データの変更も可能である。

図9は、検索条件画面や結果画面の表示項目や表示順、タイトルの表示文字列などを設定する画面カスタマイズツールの画面である。表示幅や左詰め、西暦など表示形式の設定もできる。

6. む す び

“PDMMASTER”は、当社が開発してきたファイリン

グシステムや図面管理システムのパッケージ開発とシステム開発のノウハウを生かして製品化したパッケージ製品で、複雑なデータベーススキーマの定義やシステム導入時の難しい設定が容易に行えるようになっている。

また、ユーザ独自のPDMシステム構築の要望もあり、これへの対応として、システム分析と提案を行う“企画サービス”，基本設計や機能設計などを行う“設計サービス”を製品化し、パッケージ提供とシステム構築サービスの両面からニーズに合った製品情報管理システムを提供できるようにしている。

PDMMASTERで扱えるデータには部品やドキュメントなどの個別の情報、またその関係を扱う構成情報、それに加えて業務の流れを制御するワークフローがあり、利用範囲は広い。

今後は、CALSなどの標準化への対応を進めるとともに、利用目的を絞ったパッケージ化や見積り支援など、PDMMASTERの持つ統合的データ管理の特長を生かした周辺ツールの充実を進めていく。

スピーカ磁気回路の有限要素解析

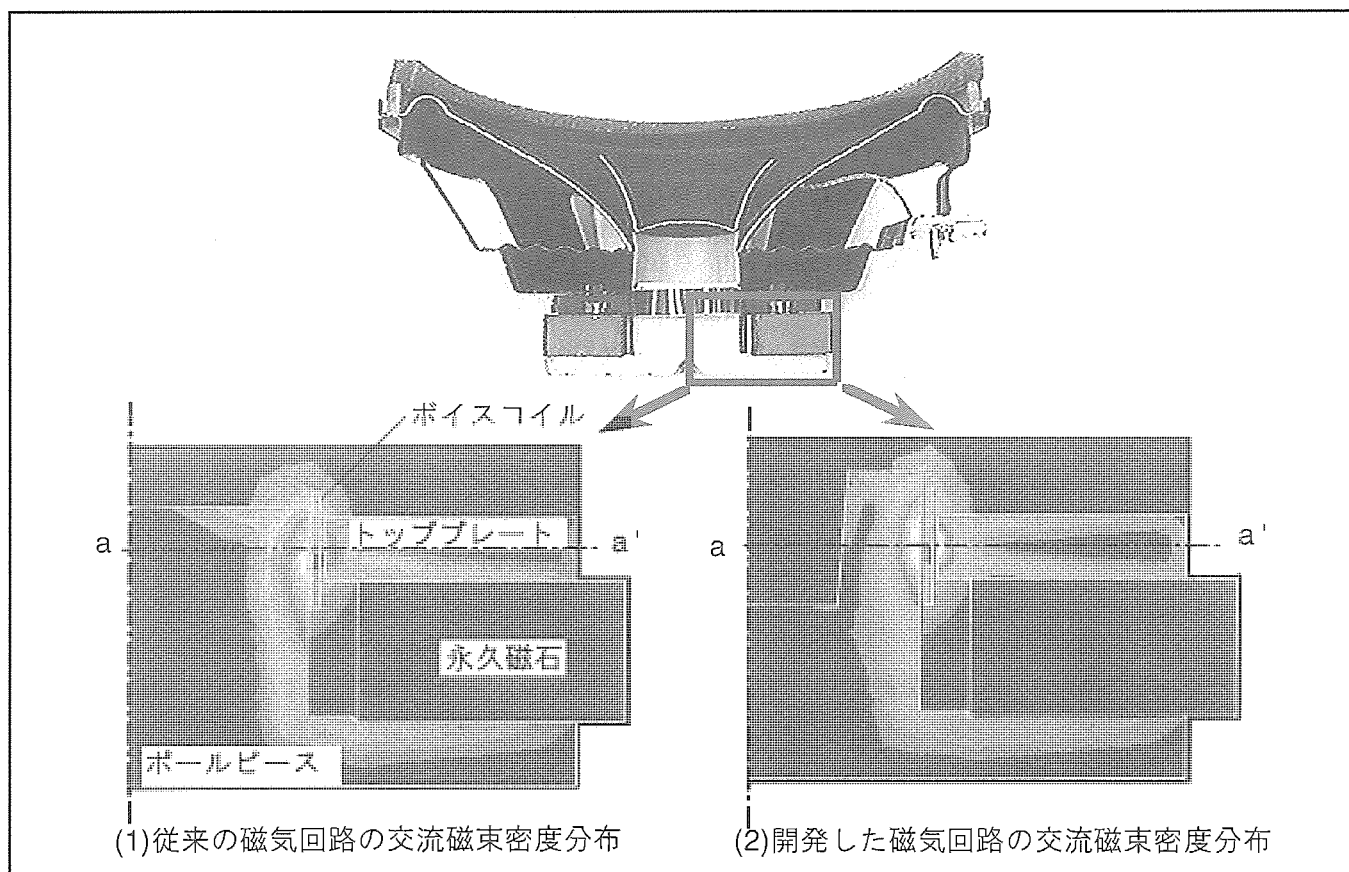
要旨

スピーカには、音質向上だけでなく、低コスト化・軽量化などが要求されている。さらに、開発期間縮小、開発コスト低減のために、従来のカットアンドトライ的な手法に代わり、数値解析によるアプローチが必要となっている。スピーカの音圧ひずみの要因は駆動系と振動系に分けられるが、本稿では駆動系に起因するひずみを低減する方法について述べる。

三菱電機では、実験的手法と有限要素法を組み合わせることにより、ボイスコイル電流によって発生する交流磁束

に起因する駆動ひずみを計算することを可能にした。さらに、この手法を用いて、音圧ひずみを低減できる磁気回路形状について検討した。

その結果、この手法によって求めた最適な磁気回路形状は、駆動ひずみの要因であるボイスコイル部の交流磁束密度を25%低減できることが分かった。さらに、実際に試作して音圧ひずみを測定した結果、従来の磁気回路に比べて音圧ひずみを8dB程度低減することができた。また、この手法が駆動ひずみ要因の検討に有用であることが分かった。



スピーカ磁気回路の交流磁束密度分布

図はボイスコイル電流が作る交流磁束線図である。開発した磁気回路では、ボイスコイル近傍の交流磁束密度分布が中心線a-a'に対して従来の磁気回路よりも対称になっており、音圧ひずみを低減できる。

1. ま え が き

オーディオ機器の性能向上のために、スピーカの音圧ひずみの低減が要求されている。音圧ひずみの発生系は振動系と駆動系(磁気回路)に大別されるが、ここでは駆動系に起因するひずみ(以下“駆動ひずみ”という。)とその低減法について述べる。駆動ひずみは、①ボイスコイル部の直流磁束密度の非対称性、②ボイスコイル電流によるボイスコイル部の交流磁束、③ボイスコイル電流の電流ひずみ、などによって駆動力が非直線性を持つために生じる⁽¹⁾。

駆動ひずみを低減させるために、ボイスコイル近傍の磁性体に積層した方向性けい素鋼板を用いる方法、磁性体に銅のショートリングを付加する方法、ポールピースを中空形状にする方法などがよく行われる^{(1)~(3)}。このうち、ポールピースを中空形状にする方法は、コスト低減と軽量化の点で他の方法よりも有利である。

筆者らは、実験的手法と有限要素法⁽⁴⁾を組み合わせることにより、ボイスコイル電流によって発生する交流磁束を計算することを可能にした。さらに、この手法を用いて、交流磁束に起因する駆動ひずみを低減できるポールピースの高さと中空形状を求めた。最後に、駆動ひずみの低減が音圧ひずみに及ぼす効果を検討した。

2. 駆動系に起因するひずみ要因

図1に示すように外磁形のスピーカは、永久磁石、トッププレート及びポールピースからなる駆動系、ボイスコイルの振動を音にするためのコーン、ダンパ及びフレームからなる振動系で構成されている。駆動系の永久磁石、トッププレート及びポールピースの材質は、それぞれフェライト、熱間圧延軟鋼及び機械構造用炭素鋼である。

ボイスコイルが振動する範囲の平均磁束密度の直流成分を B_{gDC} 、交流成分の振幅を $|\Delta B_g|$ とすると、ボイスコイルに波高値 i_m (A0-p)、角周波数 ω (rad/s) の正弦波電流が流れたときの駆動力 F (N) は次式で表される⁽⁵⁾。

$$F = \{ B_{gDC} + (\Delta B_g) \sin(\omega t + \alpha) \} \cdot L \cdot i_m \sin \omega t \\ = B_{gDC} \cdot L \cdot i_m \sin \omega t \\ + 0.5 |\Delta B_g| \cdot L \cdot i_m \cos \alpha$$

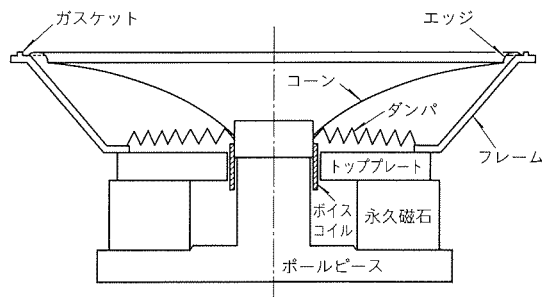


図1. スピーカの構造

$$-0.5 |\Delta B_g| \cdot L \cdot i_m \cos(\omega t + \alpha) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 L はボイスコイルの全体長(m)、 α は電流と交流磁束密度の位相角(rad)である。式(1)の第1項は駆動力の基本波成分であるが、ボイスコイルが振動する範囲の直流磁束密度分布が不均一であると駆動ひずみが生じる。第2項はボイスコイルの振動中心が移動する原因となり、第3項は二次ひずみの一因となる。本稿では、式(1)のひずみを低減させるために、ポールピースの形状について検討した。

3. 直流磁束密度分布の改善

3.1 ポールピース形状

図2に6種類のポールピース形状を示す。ケース1が従来形状である。ケース2から6は、ケース1よりもポールピースを高くした場合である。ケース3から6は、ポールピースの上部を中空にした形状である。ケース4から6の中空形状は、トッププレート下面と同一高さのポールピースの断面積をトッププレート内周部の表面積と同一とした場合である。ケース6は、中空の深さをトッププレート下面よりも深くした場合である。

3.2 ボイスコイル部の直流磁束密度分布

図3にボイスコイル部の直流磁束密度分布の磁界解析と実測結果を示す。ケース2及び6の磁界解析と実測結果はほぼ一致し、磁界解析結果が妥当であることが分かる。トッププレートよりも低いボイスコイル部では、すべてのケースで直流磁束密度が一致する。ケース2及び6のようにポールピースを高くすると、ケース1に比べてトッププレート幅部 ($-0.8 \leqq y \leqq 0.8$) の直流磁束密度が3%程度減少し、トッププレートよりも高いボイスコイル部で直流磁束密度が高くなる。x軸に対する直流磁束密度の対称性を比較すると、ケース2はケース1とほぼ同等であり、直流磁束密度が対称になるポールピースの高さはケース1とケース2の間にあると考えられる。ポールピースを中空にしたケース6の直流磁束密

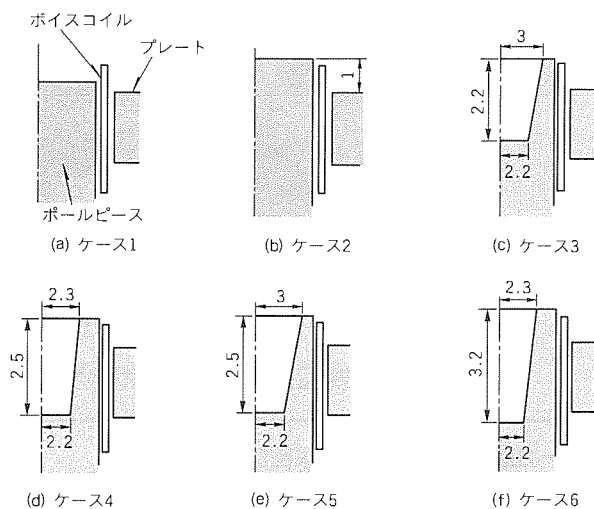


図2. ポールピース形状 (寸法は相対値)

度分布はケース2とほぼ同様である。

4. 交流磁束の改善

4.1 マイナループの測定

ボイスコイル近傍の磁性体では、ボイスコイル電流によって作られる交流磁束はマイナヒステリシスループ上を変化させる。したがって、有限要素法を用いて交流磁束を計算するためには、マイナループの増分透磁率が必要である⁽⁶⁾。

図4にトッププレート材のマイナループを実測した結果を示す。直流磁束密度が高くなると、増分透磁率とマイナループの面積が小さくなる。一方、ポールピースを中空にすると、ポールピースの直流磁束密度が高くなることから知られている⁽³⁾。したがって、図から、ポールピースを中空にすることによって増分透磁率を小さくすることができる。交流磁束の計算では、マイナループの増分透磁率 $\Delta\mu$ はヒステリシスを無視して、次式で定義する。

$$\Delta\mu = \Delta B / (\Delta H \cdot \mu_0) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 ΔB (T) は交流磁束密度の振幅、 ΔH (A/m) は交流電流による磁界の強さの振幅、 μ_0 (H/m) は真空の透磁率である。

4.2 交流磁束計算法

従来の有限要素法を用いた磁界解析では、材質ごとに一定の増分透磁率を与えるので、直流磁束密度分布を考慮して、

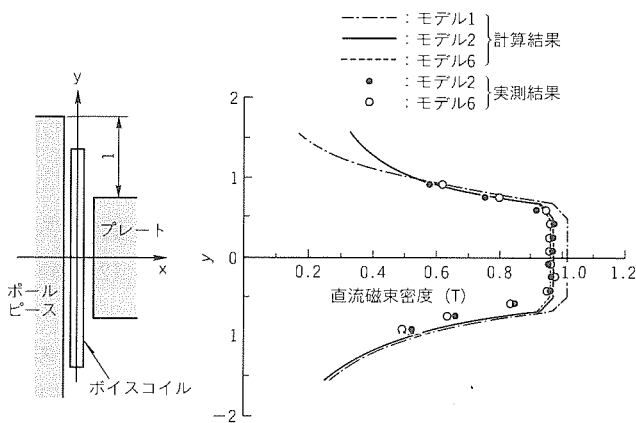


図3. ボイスコイル部の直流磁束密度分布 (y軸上)

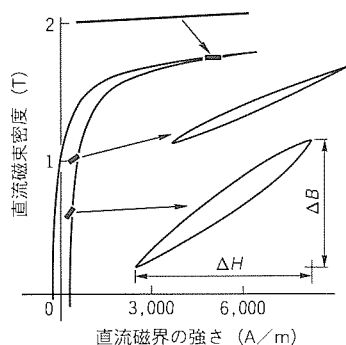


図4. マイナループの実測波形 (トッププレート)

交流磁束を計算することができなかった。そこで、材質ごとに一定の増分透磁率を与えるのではなく、実測によって得られた増分透磁率を有限要素ごとに与える次のようなステップの計算方法を開発した。

ステップ1: 非線形静磁界解析によって、磁性体内の直流磁束密度分布を計算する。

ステップ2: 式(2)から求めた図5に示す増分透磁率と直流磁束密度の関係から、有限要素ごとの直流磁束密度に対応した増分透磁率を求める。増分透磁率は材質によって異なり、トッププレート材はポールピース材よりも大きくなる。

ステップ3: 有限要素ごとの増分透磁率を用いて、線形動磁界解析によって交流磁束を計算する。

4.3 交流磁束の計算結果

周波数が50, 100, 200 Hzについて、スピーカ磁気回路の交流磁束を計算した。ボイスコイルの印加電圧と直流抵抗はそれぞれ1.4 V, 1.6 Ω とした。ポールピース形状がケース1とケース6の場合について、図6に交流磁束線図を示した。ボイスコイル部では互いに反対の向きの交流磁束が存在しているが、両者の磁束量の差異が $|\Delta B_g|$ の大きさを決定する。中心線a-a'に対して、ボイスコイル部のケース6の磁束線はケース1よりも対称になり、ボイスコイル上下の磁束量の差異が小さくなる。

表1にボイスコイル部の $|\Delta B_g|$ の計算結果を示す。また、ポールピースの形状の違いが $|\Delta B_g|$ に及ぼす影響を明確にするために、表2にポールピース表面の交流磁束密度 $|\Delta B_m|$ の

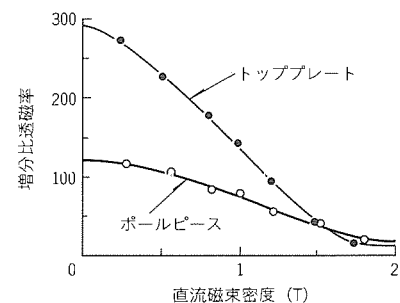


図5. 直流磁束密度と増分透磁率の関係

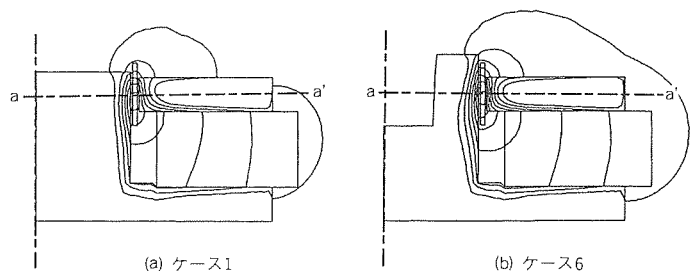


図6. ボイスコイル電流による交流磁束線図 (印加電圧最大時 100Hz)

表 1. ボイスコイル部の交流磁束密度 $|\Delta B_g|$ の計算結果

	$ \Delta B_g $ (10^{-4} T)		
	50Hz	100Hz	200Hz
ケース1	75	62	48
ケース2	61	49	36
ケース3	60	48	35
ケース4	60	48	35
ケース5	60	48	35
ケース6	58	46	33

比較を示す。図中の $|\Delta B_{m1}|$ と $|\Delta B_{m2}|$ は中心線 a-a' に対して対称な位置の交流磁束密度であり、両者の差異が $|\Delta B_g|$ に影響を及ぼす。

ボイスコイル電圧の周波数が 100 Hz の場合について、各ケースの $|\Delta B_g|$ を比較する。ケース 1 に比べて、ケース 2 のようにポールピースを高くして、ボイスコイル周辺部を上下対称形に近づけると、 $|\Delta B_{m1}|$ と $|\Delta B_{m2}|$ の差異が小さくなり、 $|\Delta B_g|$ が低減する。ポールピースを中空にしたケース 3 から 6 は、ケース 2 よりも更に $|\Delta B_{m1}|$ が低減し、 $|\Delta B_g|$ が低減する。交流磁束密度の対称性及び大きさの点から、最も優れている中空形状は深さをトッププレート下面よりも深くしたケース 6 であり、 $|\Delta B_g|$ を従来のケース 1 に比べて約 25% 程度低減することができた。

また、他の周波数 (50, 200 Hz) でもほぼ同様な結果が得られた。

5. 駆動ひずみの低減が音圧ひずみに及ぼす影響

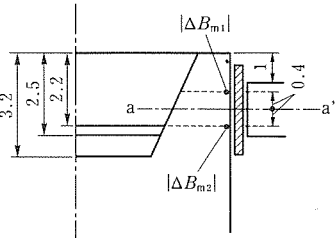
駆動ひずみの低減が音圧ひずみに及ぼす影響を検証するため、音圧ひずみを実測した。表 3 に周波数が 50, 100, 200 Hz の音圧ひずみの実測結果を示す。最も音圧ひずみが小さいポールピースの形状はケース 6 であり、従来形状のケース 1 に比べて最大 8 dB 低減している。この結果は、表 1 に示すボイスコイル部の交流磁束密度 $|\Delta B_g|$ の計算結果と対応している。なお、表 3 から、二次ひずみが三次ひずみよりも低減割合が大きいことが分かる。

6. む す び

スピーカの音質向上のために、駆動ひずみ要因を計算する方法と、ひずみ低減の具体例について検討した。以下に、得られた知見を述べる。

- (1) ポールピースを従来形状に比べて高くすると直流磁束密度の最大値は低下するが、トッププレートの中心線に対する対称性はほぼ同等である。
- (2) ポールピースを中空形状にする場合、トッププレートと同一高さのポールピースの中空部分を除いた断面積をトッププレート内周部の表面積と同一にすると、ボイスコイル部の直流磁束密度分布にはほとんど影響を及ぼさない。

表 2. ポールピース表面の交流磁束密度 $|\Delta B_m|$ の計算結果 (100Hz)



	$ \Delta B_m $ (10^{-4} T)	
	$ \Delta B_{m1} $	$ \Delta B_{m2} $
ケース1	476	565
ケース2	627	635
ケース3	467	482
ケース4	487	495
ケース5	464	477
ケース6	482	480

表 3. 音圧ひずみの実測結果

	二次ひずみ (dB)			三次ひずみ (dB)		
	50Hz	100Hz	200Hz	50Hz	100Hz	200Hz
ケース1	-24	-31	-42	-17	-31	-52
ケース2	-25	-33	-46	-18	-32	-53
ケース3	-25	-35	-48	-18	-32	-53
ケース6	-25	-36	-50	-18	-33	-54

- (3) 実験的手法と有限要素法を組み合わせると、ボイスコイル電流によって発生する交流磁束を計算する方法を開発した。ボイスコイル部の交流磁束密度 $|\Delta B_g|$ を計算した結果は音圧ひずみと対応しており、この計算法の妥当性を検証できた。
- (4) ボイスコイル部の交流磁束密度 $|\Delta B_g|$ を最も低減できるポールピース形状は、その高さをトッププレート上面よりも高くし、中空深さをトッププレート下面よりも深くした形状である。従来形状に比べて、このポールピース形状の磁気回路は $|\Delta B_g|$ を約 25% 低減できる。
- (5) 上記 (4) で示した最適なポールピース形状にすることにより、音圧ひずみを従来形状に比べて最大 8 dB 低減できる。

参 考 文 献

- (1) 土屋英司, 岡田 将, 池田英男, 佐伯多門: 低ひずみスピーカーの開発, 三菱電機技報, 51, No.12, 789~792 (1977)
- (2) 大村俊次, 岡部正志, 奥村正富, 矢島幹夫: 高性能スピーカーシステム, 三菱電機技報, 63, No.10, 853~857 (1989)
- (3) 佐伯多門: スピーカ&エンクロージャー百科, 誠文堂新光社 (1981)
- (4) 中田高義, 高橋則雄: 電気工学の有限要素法 (第2版), 森北出版 (1992)
- (5) 白木康博, 渡辺幹男, 岡部正志, 古賀士朗: ポールピースの最適設計によるスピーカ音圧ひずみの低減, 電気学会マグネティックス研究会資料, MAG-95-188 (1995)
- (6) 土屋英司, 岡田 将, 池田英男, 野村達衛, 佐伯多門: スピーカの駆動系による非直線ひずみの低減, 三菱電機技報, 50, No.12, 670~674 (1976)

制御盤に最適な小型遮断器

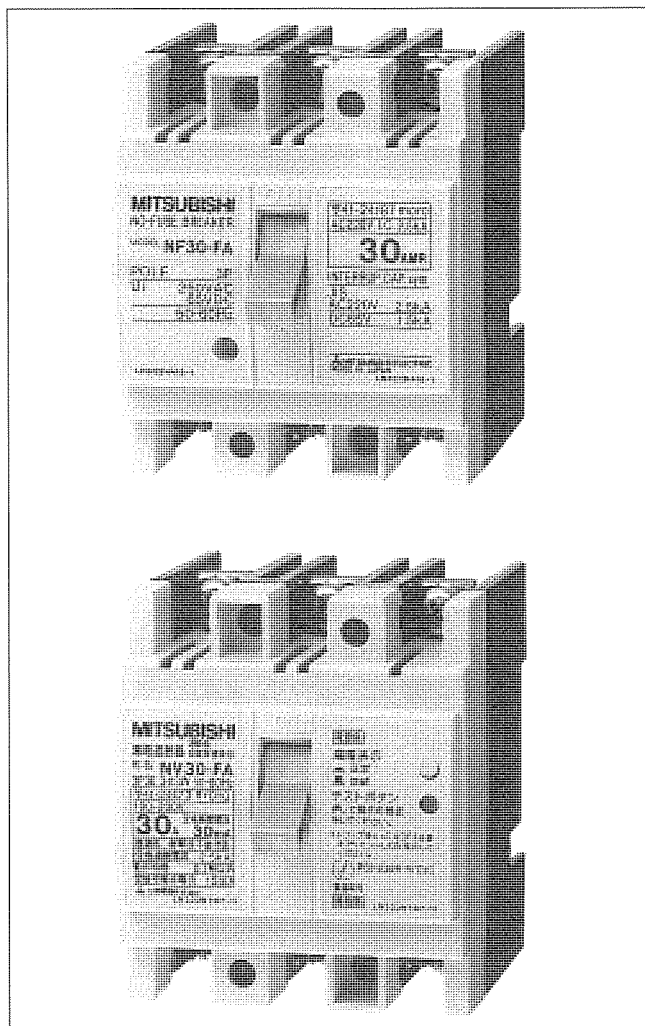
スポットライト

FAシリーズ NF・NV30-FA

制御盤における省スペース化・省力化のニーズに対応し、制御盤用小型遮断器FAシリーズをラインアップしました。業界最小寸法による盤設計の容易さ、IECレール標準取付けによる取付作業の簡便さを実現しました。

特長

- (1) 制御盤の小型化に貢献
 - 遮断器の縦寸法をミニチュアリレー用ソケットの縦寸法72mmに統一(業界最小)したため、同一ダクト間にミニチュアリレー・電磁接触器等と並べて取り付けることができ、無駄なスペースがなくなります。
- (2) 制御盤の作業簡素化に貢献
 - IEC35mmレール(DINレール)に標準で取付けできます。
 - 表板取付けが可能、裏からのナット締付けが不要です。
 - 裏面配線が可能な端子構造になっています。
- (3) 制御盤に最適な機能搭載
 - ノーヒューズ遮断器はAC/DC共用です。
 - 漏電遮断器は高調波・サージ対応ICを搭載していますので、インバータ負荷にも適用できます。
 - 警報スイッチ(AL)、補助スイッチ(AX)に縦形リード線端子台(SLT)が取付け可能(オプション)です。
- (4) 制御盤に適した斬新なデザイン
 - カバー上部を従来の平面から曲面としました。
 - カバーの色を従来の黒から白系(アイボリー)の明るいデザインとしました。



仕様

● ノーヒューズ遮断器

フレームA	30		
形名	NF30-FA		
定格電流(A) (基準周囲温度 40℃)	(5)(10) 15 20 30		
極数	2	3	
定格絶縁電圧(V)	AC	250	
	DC	65	
定格遮断容量(kA) JIS C 8370	AC	460V	—
		220V	2.5*
	DC	65V	1.5
外形寸法 (mm)	a	40	60
	b	72	
	c	57	
	ca	73.5	
表面形製品質量(kg)	0.14	0.2	
接続方式	表面形 圧着端子用		
付属装置付き	警報スイッチ(AL)	○	
	補助スイッチ(AX)	○	
	警報スイッチ(AL)+補助スイッチ(AX)	—	○
	縦形リード線端子台(SLT)	○	
部別品売	とってロック装置(LC)	○	
	端子カバー(TC-S)	○	

* 定格電流5A品の定格遮断容量は1.5kAとなります。

● 漏電遮断器 高調波・サージ対応形

フレームA	30		
形名	NV30-FA		
相線式	1φ2W	3φ3W, 1φ2W, 1φ3W	
極数	2	3	
定格電圧 AC(V)	100/200両用		
定格電流(A) (基準周囲温度 40℃)	(5)(10)15 20 30		
高速形	定格感度電流(mA)	(15)30	
	動作時間(s以内)	0.1	
漏電表示方式	機械式ボタン		
定格遮断電流(kA) JIS C 8371	AC	415V	—
		200V	2.5*
		100V	2.5*
外形寸法 (mm)	a	40	60
	b	72	
	c	57	
	ca	73.5	
表面形製品質量(kg)	0.16	0.22	
接続方式	表面形 圧着端子用		
付属装置付き	警報スイッチ(AL)	○	
	補助スイッチ(AX)	○	
	警報スイッチ(AL)+補助スイッチ(AX)	—	○
	縦形リード線端子台(SLT)	○	
部別品売	とってロック装置(LC)	○	
	端子カバー(TC-S)	○	

* 定格電流5A品の定格遮断容量は1.5kAとなります。

ガス絶縁変圧器は、絶縁及び冷却にSF₆ガスを使用するので不燃性であり、ビル内や地下の受変電設備に最適な変電機器としてその需要が大きく伸びています。これら屋内に設置されるガス絶縁変圧器は、建設費の抑制とスペースの有効活用のため、更なるコンパクト化が望まれています。

三菱電機では、こうした状況に対処するため、保守点検性に優れたガス入り自冷式変圧器において、新構造の適用による小型・軽量化を実現し、66/77kV 10MVAクラスの新シリーズ ガス絶縁変圧器を製品化しました。

特 長

(1) コンパクト化

従来、放熱器はタンクの両側に配置していましたが、ガス流路の圧力損失低減により、片側に配置できるようになりました。これにより、変圧器本体の据付け面積が縮減でき、かつ放熱器を片側配置した変圧器を鏡対称に配置することにより、変電所における機器間寸法が縮小できるので、変電所の省スペース化が可能となります。

(2) 軽量化

①絶縁性・耐熱性の優れた高分子材料の導体絶縁への適用、②ガス流の改善による冷却性能向上、③鉄心接合構造の改善による低損失化により、巻線及び鉄心の占積率向上を可能にしました。これらにより、巻線及び鉄心質量の軽量化を実現しました。

また、鉄心接合構造の改善により、騒音も低減できるようになりました。

(3) 省メンテナンス化

冷却方式としてガスを自然循環して冷却するガス入り自冷式を採用しており、補機を一切使用しないので、保守管理が容易です。また、計器類を一か所に集中させ、保守点検性を向上させました。



新シリーズ ガス絶縁変圧器の外観 (66/6.6kV 8MVA)

仕様

準拠規格	JEC-2200 (1995)	
一次/二次電圧 (kV)	66/6.6又は3.3	77/6.6又は3.3
タップ (無電圧切換え)	F69-R66-F63-F60	F80.5-R77-F73.5-F70
容量 (kVA)	3,000, 4,000, 5,000, 6,000, 7,500, 10,000	
短絡インピーダンス (%)	7.5	
相数/周波数 (Hz)	三相/50又は60	
結線	△/△又は人/△	
騒音	JEM-1118標準騒音	
耐熱クラス	E	
冷却方式	自冷式 (放熱器片側配置)	
一次側接続	GIS接続	
二次側接続	バスグクト接続	
ガス圧	0.14MPa (ゲージ圧, 20°C)	



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 特許センター

0120-787-200

レーザ切断方法 (特許 第1733482号, 特公平3-6872号)

発明者 木谷 基, 金原好秀

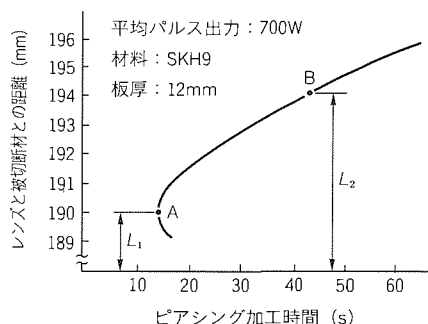
この発明は、板厚が6 mm以上ある場合に特に有効なレーザ切断方法に関するものである。

従来、板材の切断に際しては、始めに切断開始点に穴あけ加工を行った後、切断加工する。レーザビームの焦点位置は、穴あけ加工時及び切断加工時とも、被切断材のほぼ表面に設定されている。このため、薄板切断には問題がないが、厚板の場合、穴あけ加工は最適に行えるものの、切断加工において、良好な切断結果が得られない欠点があった。

この発明は、この点を考慮してなされたもので、幾つかの

実験結果について説明する。表は、レンズと被切断材との距離及び切断溝と切断状況について調べたものである。ここで、被切断材はSKH9材、板厚12 mmで、焦点距離190.5 mmのレンズを用いた。この結果から、レンズと被切断材との距離が194～195 mmのとき、最も良好な切断が得られている。すなわち、被切断材の表面に焦点を設定するのではなく、表面よりも数ミリ上方に設定するのがよい。図に穴あけ加工の際の、レンズと被切断材との距離と穴あけ加工時間の関係を示す。レンズと被切断材との距離を189～191 mmとすると、穴あけ加工時間が最も短時間になることが分かる。

レンズと被切断材との距離 (mm)	切断幅 (mm)	結果
190	0.2	切断幅が狭すぎると酸素ガスが溝内に流れにくく、切断不可能
191	0.2	
192	0.3	
193	0.5	
194	0.7	切断面良好、ドロスも少ない
195	0.9	
196	1.0	切断面は良好であるが、ドロス付着が多少ある
197	1.1～1.2	
198	1.3～1.4	
199	1.6	



この発明は、レーザビーム焦点位置移動手段を設け、穴あけ加工と切断加工においてそれぞれ最適な位置にレーザビームの焦点を設定することにより、能率良く、しかも精度良く切断加工ができるレーザ切断方法を提供する。

高熱伝導性炭化ケイ素焼結体の製造方法 (特許 第1958028号, 特公平4-11504号)

発明者 中條博史, 内海良和, 井戸猛夫

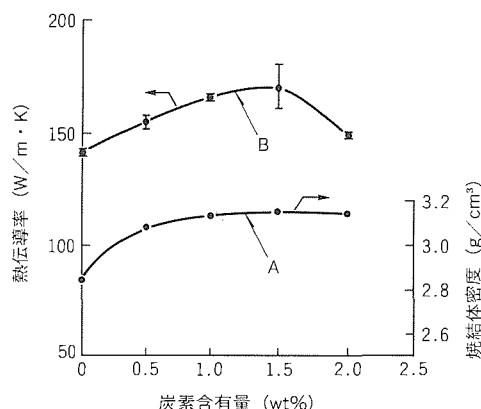
この発明は、高熱伝導性がある炭化ケイ素焼結体の製造方法にかかわり、特に炭化ホウ素と炭素を含有する炭化ケイ素の製造方法に関するものである。

従来の炭化ケイ素焼結体の製造方法には、無加圧焼結法、加圧焼結法、反応焼結法があった。無加圧焼結法は熱伝導性の高いものがなく、後者の2方法は耐薬品性が悪い問題があった。

この発明は、従来の問題点を解消するためになされたもので、無加圧焼結により、耐薬品性の良い、熱伝導率の高い炭化ケイ素焼結体を提供することを目的とする。

この発明による製造方法は、 α 型炭化ケイ素粉末に非晶質炭素を0.5～2重量%、炭化ホウ素を0.5～2.5重量%の範囲内で含有させ、これを真空中で2,000～2,150℃の温度領域で無加圧焼結することにより、高密度で高い熱伝導率を持つ高熱伝導性炭化ケイ素焼結体を得る。図は、横軸に炭素

含有量 (wt%)、縦軸に熱伝導率 ($W/m \cdot K$) を曲線B、焼結体密度 (g/cm^3) を曲線Aに示す。炭素量1.5 (wt%)で最高熱伝導率180 ($W/m \cdot K$)を示し、高い熱伝導率を持つ高熱伝導性炭化ケイ素焼結体が得られる。





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 特許センター

0120-787-200

油入電気機器の絶縁紙の劣化診断方法 (特許 第2076081号, 特公平6-48654号)

発明者 難波貞雄, 宮本晃男

この発明は、電気絶縁紙の劣化診断に関するものである。従来、絶縁紙の寿命診断は、絶縁紙の抗張力又は絶縁紙の重合度を測定することで寿命診断が行われていたが、これらの試料採取には、機器の停止状態すなわち内部点検時のみに限られていた。

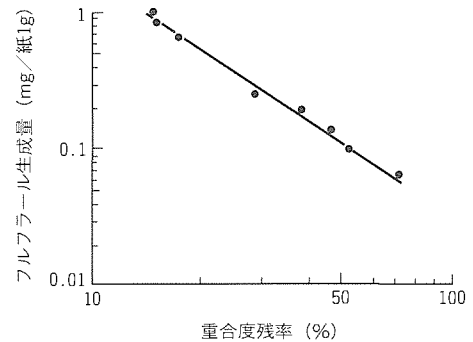
近年、絶縁紙中のセルロースが熱分解したときに発生して絶縁油中に溶解したフルフラール量から絶縁紙の重合度を推定する寿命診断技術が注目されていた。しかしながら、このフルフラールは絶縁紙そのものにも吸着しており、絶縁油中のみのフルフラール量を測定するだけでは、実際の発生量よりも少なく算出することとなり、診断精度が悪くなるおそれがあった。

この発明は、絶縁油中に溶解しているフルフラール量に、絶縁紙に吸着されるフルフラール量を加算してフルフラールの総量を求め、この総量と機器の最高温度部の絶縁紙量とか

らその絶縁紙 1g 当たりのフルフラール生成量を算出する。さらに、算出したフルフラール生成量から、最高温度部における絶縁紙の劣化診断を行うものである。

この発明によれば、油入電気機器の運転中に絶縁紙の劣化程度が正確に把握できる。

図にフルフラール生成量と重合度残率との関係を示す。



〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.71 No.5 “「環境」と「品質」の統合経営に向けて”

特集論文

- 環境にどう取り組むか
- 21世紀へ向けた環境・品質に対する当社の取組
- 宮古島における太陽光発電・ディーゼル発電ハイブリッドシステム
- 住宅用太陽光発電システム
- 省エネルギー照明“メルセーブシステム”
- 事務所・工場の省エネルギー空調・照明システム設備導入事例
- 廃家電品一貫処理リサイクルシステム
- ごみ処理リサイクル・焼却プラントシステム
- 電力エネルギーの配電監視・計測システム
- 衛星リモートセンシングによる地球環境観測
- 大規模情報制御システムにおける品質システム
- 基幹系C/Sシステム構築の品質保証
- 大規模開発システムにおける設計(製品)品質向上
- 顧客満足 (CS) 測定による品質向上
- 国内外EMC規格の動向と品質向上
- 製品の火災安全と燃焼試験

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 山本 彬</p> <p>委員 永田 謙蔵 河内 浩明 宇治 資正 内藤 明彦 上杉 豪 山本 延夫 磯田 悟 前田 信吾 畑谷 正雄 才田 敏和 鈴木 軍士郎 鳥取 浩 下村 寛士</p> <p>幹事 門田 光司</p> <p>4月号特集担当 高鷲 民生</p>	<p>三菱電機技報71巻4号</p> <p>(無断転載を禁ず) 1997年4月22日 印刷 1997年4月25日 発行</p> <p>編集兼発行人 小林 保雄</p> <p>印刷所 千葉県市川市塩浜三丁目12番地 (〒272-01) 菱電印刷株式会社</p> <p>発行所 東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋 (〒105) 三菱電機エンジニアリング株式会社内 「三菱電機技報社」Tel. (03) 3437局2692</p> <p>発売元 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 (〒101) 株式会社 オーム社 Tel. (03) 3233局0641代, 振替口座東京6-20018</p> <p>定 価 1部735円(本体700円) 送料別</p>
--	---

スポットライト 創成放電加工機

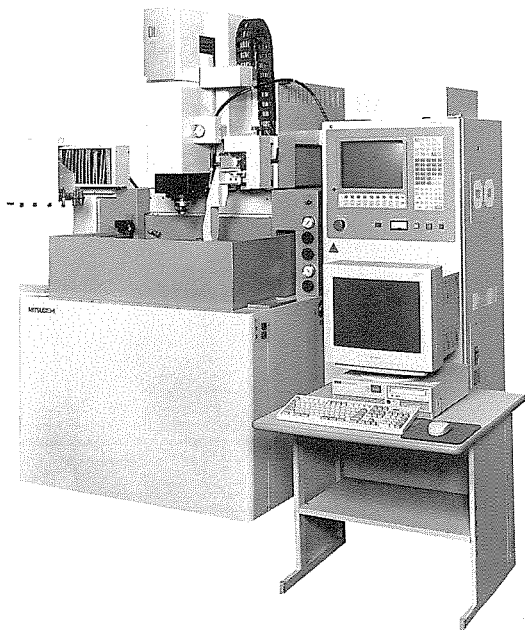
“EDSCAN 8 E”は、総型電極を製作することなく、市販の規格サイズのパイプ電極を使用して微細形状を高精度に放電加工する全く新しいコンセプトの放電加工機“創成放電加工機”です。EDSCANはElectric Discharge Scanningを表しており、パイプ電極の底面部の放電により、薄い層状に工作物を除去する動作を繰り返して加工します。ICリードフレーム金型の裏逃げ加工等の半導体関連金型、コネクタ等の精密電子部品関連金型、マイクロマシニング、刻印加工などへの適用が可能です。

特長

- (1) 電極の設計・製作が不要であるため、金型製作のコスト・納期を大幅に削減できます。
- (2) 有消耗条件を用いて、常に新しい電極面で形状を創成しま

す。電極消耗はインライン計測で自動的に補正し、高い加工深さ精度を実現しています。また、極間状態が一定のため、大面積加工におけるうねりの発生や、加工面積の違いによる面粗さのばらつきを抑えることができます。

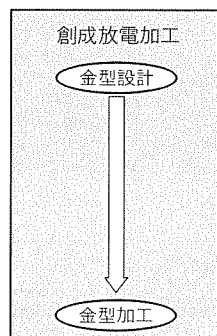
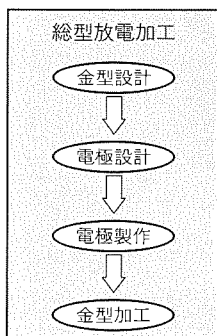
- (3) 切削加工や総型電極の製作が困難な微細形状にも、細穴加工用の小径パイプ電極で対応できます。ガイド機構が電極先端の振れを抑制し、高い位置精度を保持します。
- (4) 創成放電加工専用の高速スイッチング電源回路(SS回路)を搭載しています。有効放電周波数の飛躍的な増加と短絡の抑制により、安定した高速仕上げ加工を行うことができます。
- (5) Windows 95上で動作する専用CAMを標準装備しています。汎用CADデータ(DXFフォーマット)から創成放電加工用のNCプログラムを自動生成します。取り残し領域を認識し、荒加工用電極(太径パイプ電極)と仕上げ加工用電極(小径パイプ電極)を用いた効率的な加工ができます。また、三次元ビジュアル加工シミュレーション機能により、加工前の確認作業が容易にできます。
- (6) 加工槽昇降タイプで工作物への接近性に優れ、段取り作業が容易です。また、小径パイプ電極ガイドの自動切換え機能(2ポジション)、加工液圧自動切換え機能、電極自動交換装置(オプション)など自動化に対しても十分考慮しています。



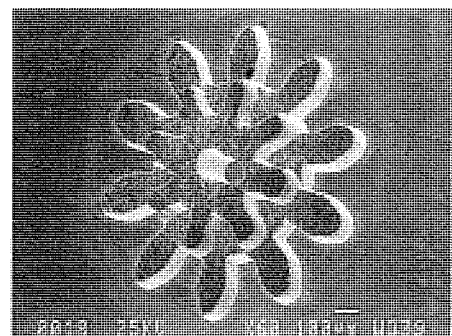
創成放電加工機EDSCAN 8 Eの外観

EDSCAN 8 Eの主要仕様

項目	仕様
加工槽内寸法(幅×奥行き×高さ)	(mm) 710×480×250
工作物最大寸法(幅×奥行き×高さ)	(mm) 680×450×150
工作物許容質量	(kg) 550
テーブルの大きさ(幅×奥行き)	(mm) 500×350
X軸移動量	(mm) 300
Y軸移動量	(mm) 250
Z軸移動量	(mm) 250
専用スピンドル最大回転数	(r/min) 1,000
専用スピンドル最小指令単位	(°) 0.001
使用パイプ電極径	(mm) 0.2~10.0



創成放電加工



加工例(マイクロギャモールド)

新用途を開拓する 短パルスCO₂レーザ加工機

最近、携帯電話やパソコン等の高機能化・小型軽量化に対応して、多層プリント基板の高密度化が進み、それに伴い多層プリント基板の穴あけ加工において、孔径300 μ m以下の微細穴加工の要求が高まっています。

三菱電機では、これらの要求にこたえるため、従来のドリルでは加工が困難であった孔径100 μ m以下の微細穴を最大毎秒400穴の高速で穴あけ加工可能なCO₂レーザ加工機“ML505GT”を開発しました。

ML505GTはCO₂レーザの新たな用途を開拓する加工機として期待されています。

特長

●高品質加工を実現する高ピーク短パルスレーザ発振器

パルス出力とパルス幅の可変範囲が広く、ガラスエポキシを始め広範囲な材料の高品位加工が可能になりました。

●高生産性を実現する制御技術と機械構造

新開発のガルバノスキャナ高速駆動制御技術と高速駆動高剛性XYテーブルの採用により、最大毎秒400穴の高速加工を実現できます。

●低ランニングコスト

光学部品の汚れを防止する光路エアパージなど消耗部品の長寿命化に配慮した経済設計、さらにレーザガスの消費量を低減するガス封じ切り運転により、ランニングコストを低く抑えることが可能です。

●操作性と機能性に優れたパソコンNC制御装置

制御装置に当社パソコンNC(MELDAS MAGIC)を採用し、ドリル加工用データ変換、高精度ワーク補正などの各種機能と優れた操作性を実現しています。



CO₂レーザ加工機ML505GTの外観

仕様

項目		仕様	
XYテーブル	加工ストローク	500mm×500mm	
	最大送り速度	15m/min	
	位置決め精度	10 μ m/500mm	
	繰返し精度	±5 μ m	
ガルバノスキャナ	位置決め速度	高速モード	400ポイント/秒
		標準モード	200ポイント/秒
	スキャンエリア	30mm×30mm	
	位置決め精度	±20 μ m (標準モード時)	
レーザ発振器	繰返し精度	±10 μ m (標準モード時)	
	ビームモード	マルチモード	
	定格出力	300W	
	パルスピーク出力	5,000W	
	パルス周波数	8~1,000Hz	
	パルス幅	4~255 μ s	



ポイント

- レーザ出力波形の高ピーク短パルス化により、レーザと材料の相互作用時間を短縮
- パルス繰返し周波数の適正化により、材料の蓄熱作用を抑制



複合材料の高品位加工

- 樹脂とガラス繊維の同時除去
- 炭化層及び熱変質層の抑制
- 熱応力によるクラックの発生防止

ガラスエポキシ基板のブラインドバイアホール加工

スポットライト

対角21cm (8.4型) VGA TFTカラー液晶ディスプレイ

今日、TFTカラー液晶ディスプレイは、高画質・薄型・軽量・低消費電力等の特長を持ち、OA機器を始めとして幅広い用途で急速に需要が拡大しています。一方、応用分野の拡大とともにそれぞれの分野に適したディスプレイの開発が強く望まれています。

この要求にこたえ、(株)アドバンスト・ディスプレイ(ADI)は、計測器やFA機器等の産業用機器に適応するVGA(Video Graphics Array)仕様の対角21cmのTFTカラー液晶ディスプレイ“AA084VB01”を製品化しました。広範囲な環境で使用することが想定される産業用機器では優れた視認性が要求されます。そこで、この製品の設計では、高輝度化・広視野角化等を最先端の技術を用いて実現しました。

また、バックライトに長寿命管を使用するとともに、フィールドでのバックライト交換が容易な構造を採用し、長期間の稼働に対応しました。

画面表示方向は入力信号によって上下/左右が独立に反転可能な機能を採用しております。また、3.3V単一電源を採用することによって低消費電力化を図るとともに、入力信号レベルについては3.3V-CMOS、5V-TTLの両仕様に対応可能となっております。

この製品の特長は次のとおりです。

特長

- 高輝度/広視野角特性
- 26万色の多色表示
- 長寿命バックライト
- ワンタッチ式ランプ交換
- 上下/左右反転表示機能
- 3.3V-CMOS、5V-TTL対応入力I/F

主な仕様

項目	仕様
表示サイズ(対角)	21cm (8.4型)
解像度(画素数)	640×480
画素寸法	0.267×0.267 (mm)
輝度	200cd/m ²
視野角 [H], [V]	-60~60, -40~50 (°)
表示色	26万色
コントラスト比	150:1
バックライト	冷陰極管, 2灯, 交換可
供給電源	3.3V
消費電力	5.2W
質量	420g
外形寸法(W)×(H)×(D)	221×152.4×10.3 (mm)



表示例