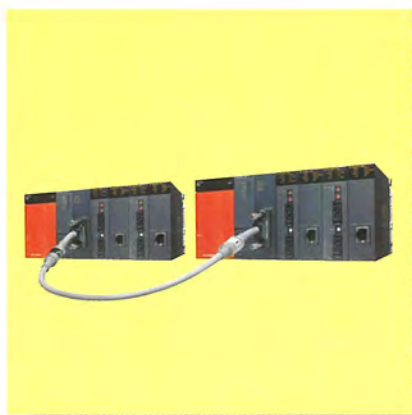


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.79 No.3

2005 3

特集「最新のFA機器,産業加工機」



目次

特集「最新のFA機器，産業加工機」

最新のFA機器，産業加工機について	1
杉山 彰	
最新のFA機器	
サーボ技術の将来展望	2
大西公平	
新サーボネットワーク“SSCNETⅢ”対応 モーションコントローラ&ポジションボード	7
高久秀昭・牛尾裕介	
新ACサーボアンプ“MR-J3シリーズ”	11
宮崎友宏・尾崎正則・寺田 啓・池田英俊	
小型・高性能サーボモータ“HFシリーズ”	15
宮崎高志・菊池友弘・山口信一・木村康樹	
次世代省エネインバータ“FREQROL-F700シリーズ”	19
白石康裕・池田克司・田村静里・金原義彦	
“MELSEC-Qシリーズ”二重化システム	23
西雪 弘・那須威裕・塩谷圭介・板場雄介・山中孝彦	
プログラマブル表示器“GOT1000シリーズ”	27
水澤賢剛・近藤剛義	
最新の産業加工機	
放電・レーザ加工の技術動向と将来展望	32
小林和彦	
新型ワイヤ放電加工機“FA-Sシリーズ”	37
木場亮吾・安達章人	
超高精度ワイヤ放電加工機“PA05S”	41
石原秀一郎・林 英明・佐藤清侍	
新型形彫放電加工機“EA12V”	45
塩谷利弘・榊田 中・加藤木英隆	
ワイヤ放電加工機用小型多関節ロボットシステム	50
杉山和永・河合泰弘・加藤達也	
コンパクト・高出力LD励起固体レーザ発振器“ML45LS”	54
藤川周一・渡辺俊昭・久場一樹	
新型プリント基板穴あけ用レーザ加工機 “ML605GTW-5150U”	59
成瀬正史・菅原雅之・井嶋健一	

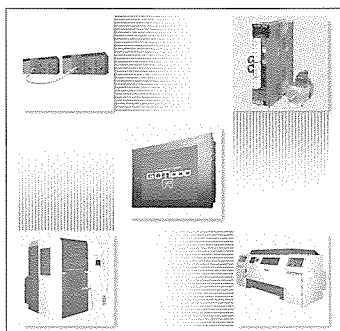
Latest Technologies of Factory Automation(FA)Devices and Mechatronics	
Latest Technologies of Factory Automation(FA)Devices and Mechatronics	
Akira Sugiyama	
Latest Technologies of Factory Automation(FA)Devices	
Future Prospects of Servo Technology	
Kouhei Ohnishi	
Motion Controller & Position Board for New Servo Network “SSCNETⅢ”	
Hideaki Takaku, Yuusuke Ushio	
New AC Servo Amplifier “MR-J3 Series”	
Tomohiro Miyazaki, Masanori Ozaki, Kei Terada, Hidetoshi Ikeda	
Small-Size and High-Efficiency Servo Motor “HF Series”	
Takashi Miyazaki, Tomohiro Kikuchi, Shimichi Yamaguchi, Yasuki Kimura	
Next Generation Energy Saving Inverter “FREQROL-F700 Series”	
Yasuhiro Shiraiishi, Katsushi Ikeda, Shizuri Tamura, Yoshitiko Kinpara	
“MELSEC-Q Series” Redundant System	
Hiroshi Nishiyuki, Takehiro Nasu, Keisuke Shiotani, Yuusuke Itaba, Takahiko Yamanaka	
Programmable Graphic Operation Terminal “GOT1000 Series”	
Kengo Mizusawa, Takeyoshi Kondo	
Latest Technologies of Mechatronics	
The Technology Trends of Electrical Discharge and Laser Beam Machining, and those Future Views	
Kazuhiko Kobayashi	
New-design Wire EDM “FA-S Series”	
Ryogo Koba, Akihito Adachi	
Ultra-high Accuracy Wire EDM “PA05S”	
Shuichiro Ishihara, Hideaki Hayashi, Seiji Sato	
New-design Die Sinking EDM “EA12V”	
Toshihiro Enya, Naka Sakakida, Hidetaka Katougi	
Introduction of Wire EDM Compact Robot Automation System	
Kazuhisa Sugiyama, Yasuhiro Kawai, Tatsuya Katou	
Compact High-Power Diode-Pumped Solid-State Laser “ML45LS”	
Shuichi Fujikawa, Toshiaki Watanabe, Kazuki Kuba	
New Laser Processing Machine for PCB Drilling “ML605GTW-5150U”	
Masashi Naruse, Masayuki Sugawara, Kenichi Ijima	

特許と新案

「ワイヤ放電加工装置及びその制御方法」	
「配線基板加工用レーザ加工装置およびその方法」	63
「多段式蓄冷型冷凍機及びそれを組み込んだ冷却装置」	64

スポットライト

三菱グラフィックオペレーションターミナル
“GOT1000シリーズ”



表紙

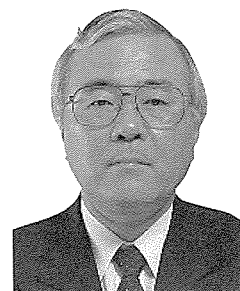
最新のFA機器，産業加工機

FA機器・産業加工機は、市場ニーズの変化にタイムリーに対応する新製品の開発に取り組んでいる。

表紙写真は、その一例として、高信頼化を実現し適用範囲を拡大したシーケンサの二重化システム(左上)，新世代の高速同期ネットワークSSCNETⅢに対応したモーションコントローラ・サーボアンプ・サーボモータ(右上)，高速応答・高品位表示・大容量ユーザーメモリを搭載したプログラマブル表示器(中央)，サブミクロンオーダーの高精度加工を実現した超高精度ワイヤ放電加工機(左下)，小径化・高精度化と生産性の向上に対応したプリント基板穴あけ用レーザ加工機(右下)を示す。

最新のFA機器，産業加工機について

Latest Technologies of Factory Automation(FA) Devices and Mechatronics



杉山 彰
Akira Sugiyama

近年，我が国の製造業を取り巻く環境は大きく変化している。一つはユーザーニーズの多様化と，多品種少量生産・製造ラインの変更・増設・移設等に迅速かつフレキシブルに対応するという変化である。また，中国等の低賃金で多くの労働力を背景にした低コスト生産に対抗できる自動化の推進や稼働率の更なる向上をねらう変化である。さらに，今後の製造現業部門の高齢化・素人化に対応した操作・メンテナンス・診断など機械や装置の取扱容易性が不可欠となってきており，国際的な高まりである安全・環境に対する規格等への高度な適合化という変化もある。

こうした変化を背景に，三菱電機のFA機器は，装置エンジニアリング効率の向上，様々な機械・装置やその使用・環境条件へフレキシブルに対応できること，システムダウンを防止する故障診断・予知，環境性への配慮，そして小型・省エネルギー化等，多様化したニーズへ対応する必要がある。

一方，当社の産業加工機は，自動化システム対応・加工技術などのソリューション強化，省エネルギー・低ランニ

ングコストや操作性改善等，顧客利便性の改善に対する要求に対応する必要がある。また，新分野としての微細・超高精度加工技術，新素材加工技術の開発も不可欠であり，こうした新しい付加価値を持った製品を開発していく必要がある。

今回の特集では，FA機器に対する市場のニーズ変化を的確にとらえて開発された，生産性向上を大きく支援できる高速光サーボネットワークを搭載したサーボ製品及び高性能モータ，省エネルギーを更に追求したインバータ，システムダウンレスを目指したシーケンサシステム，アーキテクチャを一新しグローバルスタンダードを目指す表示器の新製品群と，前述したような新しい付加価値を持った産業加工機の新製品を紹介する。

当社は，シーケンサ・サーボ・インバータ等強力なFA機器個々の製品力や相互親和性を更に高め，FA総合メーカーとして国内及び世界の製造業発展に更に大きく貢献していくとともに，ますます高度化・グローバル化する生産現場の要求にこたえていきたい。



大西公平*

サーボ技術の将来展望

Future Prospects of Servo Technology

Kouhei Ohnishi

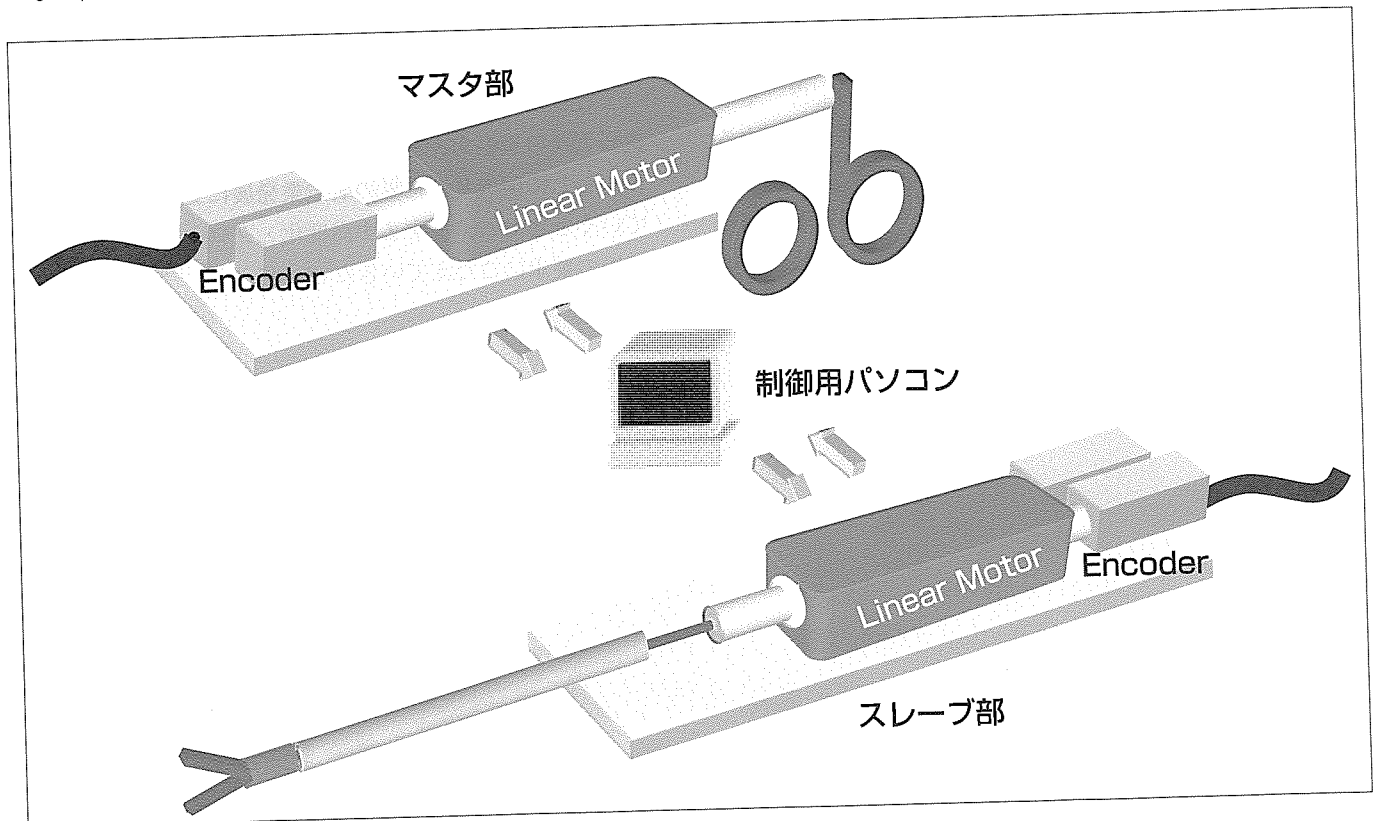
要旨

今世紀に入り、電気・機械の統合システムに対する新しい技術が希求されている。特に、サーボ技術は其中で中核技術として従来の枠を大きく乗り越える必要があるといえる。本稿では、まず制御剛性を導入することでサーボ系を評価する。従来のサーボ技術では、制御剛性を大きくすることで位置追従性とロバスト性を共に満足せしめていた。しかし、ヒューマンインタラクションを強く意識したサーボ技術を考えると、従来のサーボ技術では外部環境と安定な接触動作を行うことが困難である。特に実世界ハプティクスは作用-反作用則の工学的になるため、ロバスト性を失うことなく良好な接触動作を行うためには制御剛性をゼロにする制御が必要である。高いロバスト性を保ちつつ制御剛性をゼロにするには加速度制御系が有効である。

また、一般に、制御系はフィードバックループを基本と

しフィードフォワードパスが付け加わることでその性能が格段に増す。電機統合システムの高速度高精度位置決めのためのサーボ技術を考えると、従来のフィードバックループのみの制御方式では、制御遅れにより、高速な加工や急な目標軌跡の変化を行う際に誤差が累積してしまう。電機統合システムでは動作の記述が実世界空間で行われるのに対し、サーボ制御器は、実時間空間で記述されるので、速度のプロファイルを指定することなしには空間記述と時間記述を合致させることが不可能である。この空間記述と時間記述に基づいて加速度信号の目標値を生成することにより遅れない系を実現することが可能になる。

このように加速度制御系の実現がロバストな力制御系及び遅れない連続軌跡制御において肝要であることを示す。



バイラテラル鉗子システム

このバイラテラル鉗子(かんし)システムは、加速度制御に基づき分解能0.1 μ mのリニアエンコーダのみで力制御を実現している。このシステムは力応答が直流から200Hz程度であり、鮮明な触覚が得られる。

1. ま え が き

今世紀に入り、電気・機械一体系(以下“電機統合システム”という。)における新しい技術がますます希求されるようになってきている。その背景を探ってみると以下のような新しい需要が喚起されつつあるのではないと思われる。

- (1) 電機統合システムが人間社会を含む環境で使用されることが期待されてきたこと
- (2) 様々な産業界でより早くより正確に、しかもより経済的に電機統合システムが求められていること

まず、最初の項目は、ロボットの社会への普及や介護システムなどヒューマンインタラクションを前提にした未来社会に必要な不可欠な鍵(かぎ)技術として今後大いに発展するように思われる。来るべき未来社会では、パーソナル機器の極度に発達した“私的空間”の確保と、“他人”“公共システム”、又は“社会システム”との接続を容易にする“インタフェース空間”の確立が求められることになる。その中で電機統合システムの果たす役割は大きく、既存のモーションコントロールを更に研究開発していく必要がある。サーボ技術はその中で中核技術として従来の枠を大きく乗り越えていかななくてはならない。それは、ヒューマンインタラクションとしてのサーボ技術が初期研究段階にあり、未来社会を支えるには至っていないからで、逆に言えばこの技術をいち早く確立することが将来の技術的優位性を確保することにつながる。特に若年層が減少し高齢化社会が進展する我が国においては、このような技術は必要不可欠であり国際的な貢献度も大きい。

次に第2の項目は絶え間ない産業界からの要請であるが、決して最初の項目と独立ではない。実はこれらの二つの要求をそれぞれ具体的な技術課題にブレークダウンすると、意外にも共通課題が数多くあるのである。上記のような背景の中で、将来のサーボ技術として何を研究し、どのように開発項目として絞り込んでいくかが企業における課題となる。

本稿では、そのうちの次の二つを概観したいと考える。

まず、ヒューマンインタラクションを強く意識したサーボ技術を考えるに当たって、それにふさわしい技術的評価指標を定める必要がある。ここでは制御剛性 κ の導入を提案する。 κ は特に目新しいものではないが、うまく活用することにより従来にない概念を得ることができる。従来のサーボ技術では κ をできるだけ大きくすることに主力が注がれていた。これは κ とロバスト性に密接な関連性があるからで、 κ を大きくすることで位置追従性とロバスト性を共に満足せしめていた。

実は、これでは接触を伴う動作の実現が難しいのである。接触動作はヒューマンインタラクションにおける基本動作であり、それなしに将来のサーボ技術を語ることはできな

い。しかし、従来の位置決めを主体としたサーボ技術では必ずしも接触動作を十分に実現できるわけではない。図1は通常の三重マイナーループ構成による位置決め用サーボ制御を表している。位置制御ループはP制御(比例制御)、速度制御ループはPI制御(比例積分制御)、電流制御ループはP制御という構成であり、前向き利得を高くすることでロバスト性を確保している。このシステムが外部環境(以下“環境”という。)と何らかの接触をしたときを考える。環境を集中定数系とし、そのインピーダンスを図の破線で表されるブロック内のばね-マスダンパ系として近似すると、反作用力が二重積分系のフィードバックとして作用する。このブロック部は、三重マイナーループの前向き利得が大きい場合、環境インピーダンスのばね係数が高いと κ が大きくなり発振しやすくなる。つまり、硬い環境と接触しようとすると発振し、安定して接触することができないことになる。

特に実世界ハプティクスは、作用-反作用則の工学的実現になるためロバスト性を失うことなく良好な接触動作を行うためには κ をゼロにする制御が必要である。高いロバスト性を保ちつつ κ をゼロにするには加速度制御が有効である。加速度制御については文献(1)にも“パラダイムシフト”として紹介されており、従来のサーボ技術の中で主原理の推移が起こりつつあることが実感される。もう一つはサーボ系の入力参照値の計算である。一般に、制御系は、フィードバックループとフィードフォワードパスが付け加わることでその性能を格段に増す。このうち、フィードフォワードパスについては、従来余り着目されてこなかった。しかし、電機統合システムでは動作の記述は実世界空間で行われるが、サーボ制御器は実時間空間で記述される。したがって、空間記述と時間記述を何らかの方法で合致せしめる必要がある。例えば軌道計画は空間内の点列で記述されるが、それを連続軌跡制御(CP制御)で実現しようとするれば、速度のプロファイルを指定することなしには実行不可能である。しかし速度プロファイルのみを設定すれば性能が格段に上がるという訳ではなく、むしろ、フィードフォワードパスの設計にかかっているとんでもない。これにかかわるサーボ技術は、産業界で強く求められ

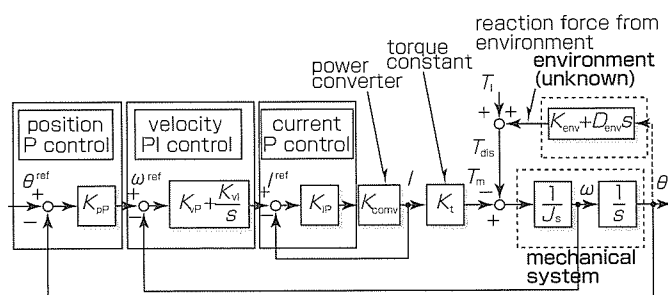


図1. 三重マイナーループ構成による位置決め用サーボ制御

ている高速高精度位置制御を実現する鍵技術になると思われる。

2. 制御剛性によるサーボ系の評価

一般に、モーションシステムにおいては、駆動軸周りの運動方程式として次式が成立する。

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_m - (T_{\text{react}} + T_{\text{inner}}) \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 T_m は駆動トルク、 T_{react} は接触に伴う反作用トルク(非接触時はゼロ)、 $T_{\text{inner}}(\theta, t)$ は摩擦やもともと受けているばね力などの負荷トルクとサーボ制御器により発生する制御トルクとの和であり接触いかんにかかわらず存在するトルクである。

サーボ剛性 κ を次のように定義する。

$$\kappa = \left| \frac{\partial T_m}{\partial \theta} \right| \dots\dots\dots(2)$$

一般の制御系で $T_{\text{inner}} = 0$ で非接触時に T_m が次のように制御されているときを考える。

$$T_m = J \{-2\zeta\omega_n \dot{\theta} + \omega_n^2(\theta^{\text{ref}} - \theta)\} \dots\dots\dots(3)$$

これは

$$L \left[\frac{\theta}{\theta^{\text{ref}}} \right] = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \dots\dots\dots(4)$$

とすることに相当し、よく知られた標準二次系となる。ここで、 L はラプラス変換を表す。そのサーボ剛性は式(2)から

$$\kappa = \omega_n^2 \dots\dots\dots(5)$$

となり、固有各周波数が高い、つまり制御帯域が広いほどサーボ剛性も高いことになる。つまり、位置追従性が高いほどサーボ系は固いことになる。しかし、ヒューマンインタフェースとしてのサーボ系では軟らかい制御が必要になる。 κ を用いることにより、軟らかい制御は力制御系であることが理解される。つまり、位置制御と力制御は剛と柔という関係にあることは式(2)から、次のように理解できる。

理想的な位置制御 $\Rightarrow \partial \theta = 0 \Rightarrow \kappa = \infty$

理想的な力制御 $\Rightarrow \partial T_m = 0 \Rightarrow \kappa = 0 \dots\dots\dots(6)$

κ が有限値 k であることは定常状態で $T_m = k\theta$ であることを意味し、コンプライアンスが $1/k$ であるばねに接続されていることを示す。また、理想的な位置制御では力が有限値なら幾らでもよいこと、つまり、力が不定であることを意味する。逆に、理想的な力制御では位置は不定になる。

位置制御において力不定となり力制御において位置不定になることは、一軸では位置と力を独立に決定することはできないということを意味する。この場合は、コンプライアンスを持たせなくてはならない。表1にサーボ剛性とサーボ制御の関係を示す。

将来のサーボ技術はヒューマンインタフェースの技術としてサーボ剛性が0の軟らかい制御を目指すことが望まれ

るが式(3)からは位置利得が0になることに帰結される。これは、前向き利得が0になることを意味し、ロバスト性を失ってしまう。ロバスト性を失わずにサーボ剛性を0にするには、位置制御ループを外し、外乱オブザーバにより固定された等価外乱をキャンセルする手法⁽²⁾などがある。この結果、システムは加速度が実現される加速度制御系になる。これにより、ロバストな力制御の実現が可能になる。この応用の一例にハプティクスがある。

3. 実世界ハプティクス

ヒューマンインタフェースの一つとして触覚や力覚の再現が望まれている。事実低侵襲(しゅう)性外科手術用ロボットにおいては力覚伝達が重要な課題となる。鮮明な力覚を再現するバイラテラルサーボ技術は、剛性の高い位置制御と剛性の低い力制御を同時に成立せしめる必要がある。図2に開発したハプティック鉗子を示す。この装置はリニアエンコーダのみで力制御を実現している。エンコーダ分解能は0.1 μm でサンプリングタイムは100 μs になっている。

このシステムは力応答が直流から200Hz程度であり、鮮明な触覚が得られる。バイラテラル系はマスタ軸とスレーブ軸の二軸から成るので位置制御と力制御を独立に実現できる。

このように、実世界ハプティクスにより離れた場所における接触を再現することができる。さらに、これを遠隔操作に応用しテレハプティクスを実現することも可能になる。

4. フィードフォワード

より高速な連続位置決め制御がPTP(Point-To-Point)のみならずCP(Continuous Path)についても要求されるようになってきた。この場合は定常特性のみならず過渡特性

表1. サーボ剛性とサーボ制御の関係

サーボ制御	サーボ剛性
位置制御	∞ (ただし力不定)
コンプライアンス制御	$\kappa(\theta = k^{-1}T_m)$
力制御	0(ただし位置不定)

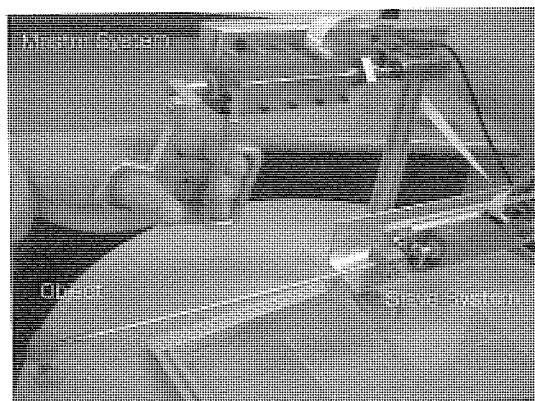


図2. 開発したハプティック鉗子

が問題となる。従来のフィードバックのみの制御方式では、制御信号は目標値との誤差に基づいて算出されるため、制御に遅れが生じることになる。この制御遅れにより、高速な加工や急な目標軌跡の変化を行う際に誤差が累積してしまい、適切な制御を実現することが困難となる。

本稿では、電機統合システムの高速度高精度位置決めのためのサーボ技術について示す。図3は実世界空間内の点列で記述された電機統合システムの軌道計画を表している。図から電機統合システムの実世界空間における位置指令値は点列を低次多項式で近似することができる。

$$x = a_x \lambda^3 + b_x \lambda^2 + c_x \lambda + d_x \dots\dots\dots(7)$$

$$y = a_y \lambda^3 + b_y \lambda^2 + c_y \lambda + d_y \dots\dots\dots(8)$$

式(7)、式(8)のような多項式を用いて点列を補間することにより滑らかな曲線軌道を記述することが可能である。この定義された曲線の全長(1)は

$$l = \int \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$l = \int \sqrt{\left(\frac{dx}{d\lambda}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\lambda}\right)^2} d\lambda \dots\dots\dots(9)$$

のように算出できる。

一方で、サーボ制御器は実時間空間で以下のように記述される。

$$x = e_x t^3 + f_x t^2 + g_x t + h_x \dots\dots\dots(10)$$

$$y = e_y t^3 + f_y t^2 + g_y t + h_y \dots\dots\dots(11)$$

したがって、CP制御で実現しようとするれば、空間記述と時間記述の整合性をとる必要があり、速度プロファイルを指定することなしには実現不可能である。

ここで図4のような速度プロファイルが与えられているとすると、移動距離は面積Sで表すことができ

$$S = \int_0^{t_n} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} dt \dots\dots\dots(12)$$

となる。この速度プロファイルから求めた移動距離と空間多項式により求めた線分長を等しくすることで、空間記述と時間記述の整合性をとることが可能になる。

また、時間関数としての多項式(10)、(11)を1階微分した速度指令、2階微分した加速度指令値をフィードフォワードパスの指令値とすることで、時間遅れを生じさせることなく生成することができる。

$$\dot{x}^{cmd} = e_x t^3 + f_x t^2 + g_x t + h_x \dots\dots\dots(13)$$

$$\ddot{x}^{cmd} = 3e_x t^2 + 2f_x t + g_x \dots\dots\dots(14)$$

$$\ddot{x}^{cmd} = 6e_x t + 2f_x \dots\dots\dots(15)$$

こうして求められた速度、加速度などの制御信号に基づいて電機統合システムを制御するので、将来の状態を予測して制御することが可能となる。図5に上記に基づいたサーボ制御のブロック線図を示す。

すなわち、目標値に対して過渡特性を改善するため式(3)を次のように変形する。

$$T_m = J \{ (\ddot{\theta}^{cmd} - \ddot{\theta}) + 2\zeta\omega_n (\dot{\theta}^{cmd} - \dot{\theta})$$

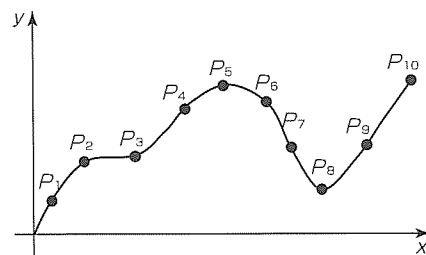


図3. 実世界空間における電機統合システムの軌道計画

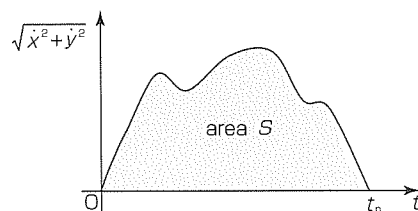


図4. 速度プロファイル

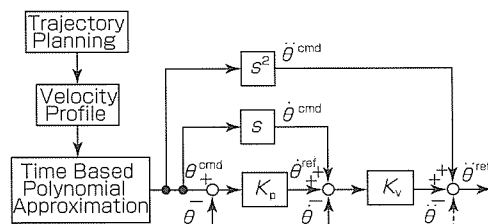


図5. フィードフォワード制御

$$+ \omega_n^2 (\theta^{cmd} - \theta) \} \dots\dots\dots(16)$$

すると、

$$L \left[\frac{\theta}{\theta^{ref}} \right] = \frac{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = 1 \dots\dots\dots(17)$$

となり設定位置指令に対し遅れない系となる。このためには位置の二階微分すなわち加速度信号の目標値と応答値が共に必要である。これは、さきに述べたロバストな力制御系との共通点であり加速度制御系の実現が肝要であることを示している。

5. む す び

サーボ技術は数値制御機械における位置決め技術として高度に発展してきた。今後は、ロボットや介護機械などヒューマンインタラクションの基礎技術として人間社会に直接入り込でいくことになる。そのため、ロバストでありながら制御剛性が零であるサーボ制御の確立が望まれる。そのような一例として、実世界ハプティクスにおけるバイラテラル鉗子の開発について述べた。一方、産業においては、高速かつ高精度な軌跡制御が求められてきている。本稿では、位置、速度、加速度指令値のフィードフォワードパスを導入することで高性能化が図れることを示した。実はこれら二つの技術は加速度を制御するという意味で共通因子があり、興味深い。高度な計算能力、制御能力、計測

能力の密なる協同により将来のサーボ技術の新しい応用が広がることを期待したい。なお、本稿執筆に当たり、慶應義塾大学理工学部桂誠一郎博士の多大な協力があったことを記しここに謝意を表す。

参考文献

(1) Tomizuka, M. : Sensors in the Engineering of Mod-

ern Mechatronic Systems, 3rd IFAC Symposium on Mechatronic Systems, MECHATRONICS'04-SYDNEY, 19~24 (2004-9)

(2) Ohnishi, K., et al. : Motion Control for Advanced Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, **1**, No. 1, 56~67 (1996)

新サーボネットワーク“SSCNETⅢ”対応 モーションコントローラ&ポジションボード

高久秀昭*
牛尾裕介*

Motion Controller & Position Board for New Servo Network “SSCNETⅢ”

Hideaki Takaku, Yuusuke Ushio

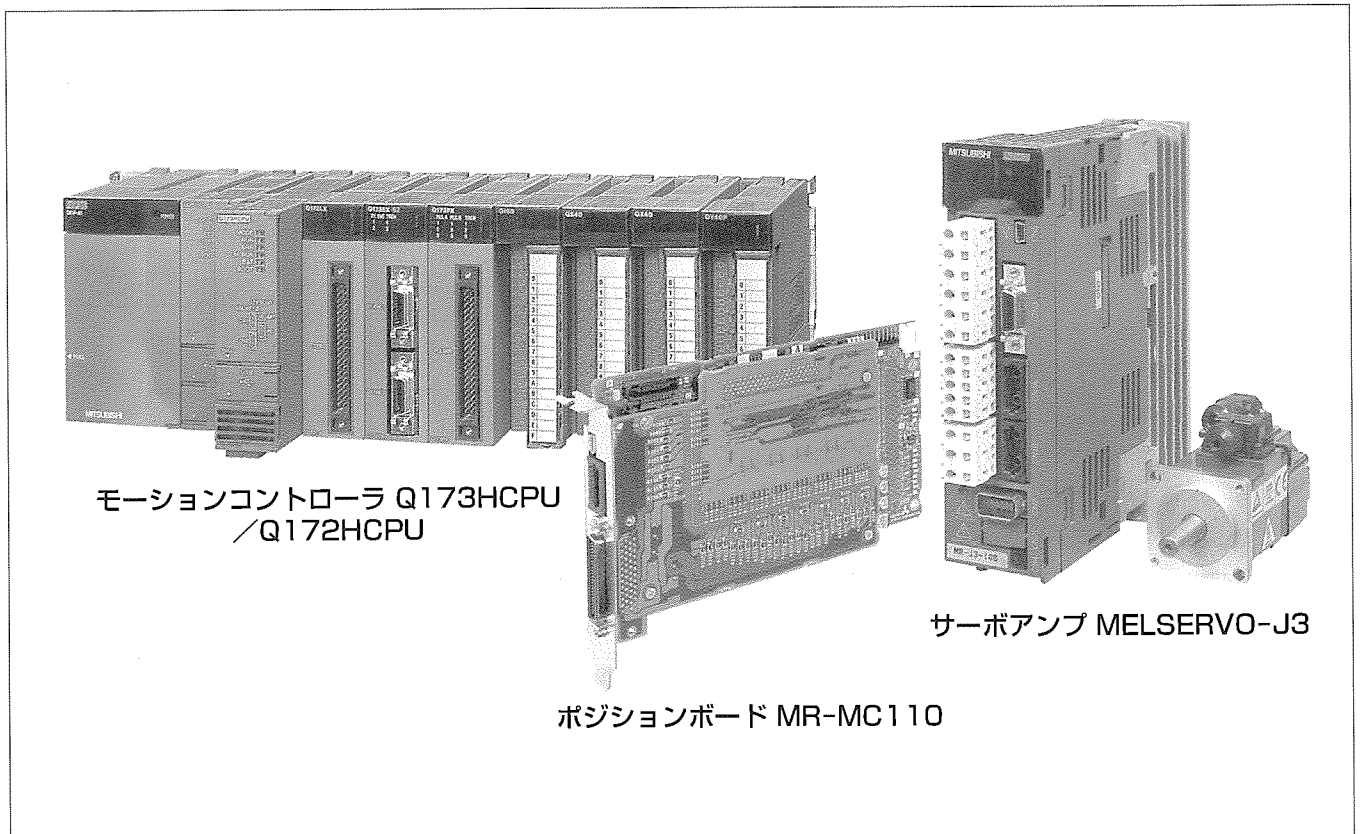
要旨

現行のモーションコントローラとポジションボードでは、SSCNET(Servo System Controller NETwork)により、パルス列指令やアナログ指令では得られなかった装置の高性能化・高精度化を実現した。SSCNETは、1993年の発売以来、市場に浸透し、高機能、高性能、使いやすさにより三菱電機のサーボシステムとして100万ノードを超える実績を上げるに至った。しかし、設備のフレキシブル化や装置の高速・高精度化への要求は年々増大しており、接続軸数や応答性能の面で限界に近づきつつある。そこで、高性能なサーボアンプの性能を十分に引き出すことが可能な新世代の高速同期ネットワークSSCNETⅢと、それに対応したモーションコントローラ“Q173HCPU/Q172HCPU”及びポジションボード“MR-MC110”を開発した。これに

より、あらゆるシーンにおいて滑らかで高応答、高精度な制御を実現した。

SSCNETⅢの特長を以下に示す。

- (1) 光通信方式による50Mbpsの高速通信
コントローラ-サーボアンプ間のデータ送受信を大幅に高速化するとともに、タクトタイムを短縮した。
- (2) 装置レイアウトの自由度が向上
コントローラやサーボアンプの局間を最大50mまで拡張し、装置を自由にレイアウト可能である。
- (3) モーション制御による高速・高精度化
モーション演算周期を従来比1/2に短縮し、より滑らかな指令による高精度な制御が可能である。



SSCNETⅢ対応のサーボシステム製品群

- (1) SSCNETⅢ対応のモーションコントローラは、QシリーズシーケンサのマルチCPU(Central Processing Unit)システムを継承し、システム規模に応じた構成が可能である。
 - (2) ポジションボードは、PCI(Peripheral Component Interconnect)バスに対応しており、パソコンで簡単にサーボシステムを構築可能である。
- これらのコントローラを使用することにより、業界最高性能(2004年10月現在)サーボアンプ“MELSERVO-J3シリーズ”に対応できる。

1. ま え が き

従来、パルス列指令やアナログ指令が使用されてきた。しかし、パルス列指令で高速・高精度な制御を行うには、パルスの周波数に制約がある。また、アナログ指令(電圧指令)も、ノイズの影響、ケーブル長による電圧降下、及び温度ドリフト等の影響を受けやすいなどの問題があった。これらの問題点を解決し、“より滑らかに高速・高精度な動作”を実現したのが当社のSSCNETである。SSCNETは、同期性の高い高速シリアル通信方式を採用しており、以下のメリットがある。

(1) 同期通信による装置の高性能化

パルス列指令では、サーボアンプとコントローラが非同期に動いており、同時起動や高精度に2軸補間する動作は困難である。SSCNETでは、より滑らかな制御が可能になり、印刷機械、食品機械、加工機などの同期精度が必要な装置の高性能化が実現できる。

(2) アプソリュートシステムの簡単構築

パルス列指令でアプソリュートシステムを構築する場合、I/OユニットでABS(ABSolute)データを送受信することが不可欠で、I/Oユニットとサーボアンプ間の配線が必要である。

SSCNETでは、専用の通信ケーブルを接続するだけでアプソリュートシステムを簡単に構築できる。原点復帰動作が不要となるので、電源投入後、短時間で起動することが可能となり、段取り時間を短縮することができる。

しかし、近年、サーボ技術の変化のスピードには目覚ましいものがあり、サーボの性能を十分に引き出すためには、更に高速なネットワークが必要になってきた。その問題を解決するため、今回、光通信方式を採用した高速同期ネットワークSSCNETⅢ、それに対応したモーションコントローラQ173HCPU/Q172HCPU、及びポジションボードMR-MC110を開発した。これらの製品により、あらゆるシーンにおいて、滑らかで高応答、高精度な制御を実現した。

本稿では、新サーボネットワークSSCNETⅢ、モーションコントローラQ173HCPU/Q172HCPU、ポジションボードMR-MC110の概要及び特長について述べる。

2. 新サーボネットワークSSCNETⅢのメリット

SSCNETⅢは、SSCNETの利点を生かし、さらに、以下のようなメリットを追加してドライブシステムをより快適に使用できる新世代のサーボネットワークである。

(1) ネットワークによる集中管理のメリット

SSCNETⅢは、コントローラとサーボアンプ間で大量のデータをリアルタイムに通信することができる。モーションコントローラやポジションボードに接続されたパソコ

ンからSSCNETⅢに接続されたすべてのサーボアンプのサーボパラメータの設定が可能である。また、高精度指令データ、モータ回転数・電流値・現在値などのモニタデータ、準備完了や位置決め完了などの各軸ステータス信号を送受信することが可能であり、一括してサーボアンプの管理ができる(図1)。

(2) 省配線

SSCNETⅢでは、ストロークリミット信号(FLS(Foward Limit Switch), RLS(Reverse Limit Switch))や近点ドグ信号(Proximity DOG)をサーボアンプに接続し、サーボアンプ経由でコントローラに送ることが可能である。これにより、機械に取り付けられたセンサからコントローラまでの配線が不要となり、配線コストを大幅に低減できる(図2)。

(3) 信頼性の向上

パルス列指令では、ノイズの影響でデータが不定になると、位置ずれを起こしたまま動きつづけてしまう。しかし、SSCNETⅢでは、データ通信で位置データなどを送受信しているため、高精度かつ通信信頼性を確保している。もし、ノイズの影響で通信に異常が発生しても、今回のデータを使用せず、指令値を推定しながら次の正常データを使用するため、異常の累積はない(図3)。

3. SSCNETⅢ対応コントローラの特長

3.1 モーションコントローラQ173HCPU/Q172HCPU

モーションコントローラQ173HCPU/Q172HCPUは、Q

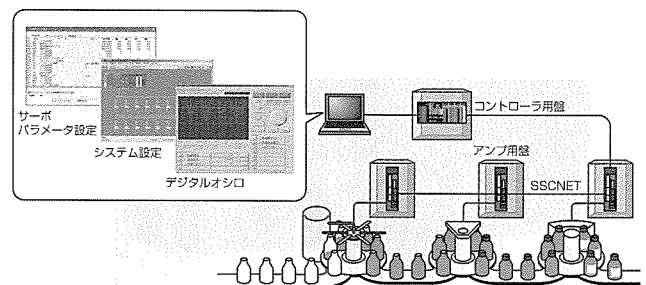


図1. ネットワークによる集中管理

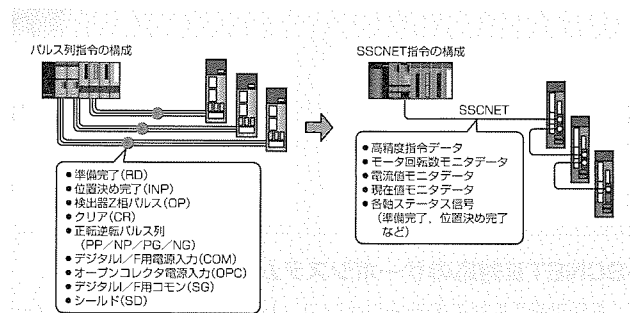


図2. 省配線

シリーズシーケンサのマルチCPUシステムを継承し、システムに最適な構成が可能である。Q173HCPUで32軸まで、Q172HCPUで8軸までのサーボアンプを制御可能である。

以下に、Q173HCPU/Q172HCPUの特長を示す。

(1) 通信速度と指令通信周期の向上

通信速度が5.6Mbpsから50Mbpsに高速化することにより、サーボアンプへの指令通信周期(送信通信周期)は、モーションコントローラではSSCNETで0.88msであるのに対して、SSCNETⅢで0.44msに向上した。これにより、コントローラとサーボアンプ間のデータ送受信を大幅に高速化し、タクトタイムの短縮を実現した。

(2) 配線の長距離化による装置レイアウトの自由度向上

SSCNETⅢでは、光ファイバによる通信方式を採用したことにより、高速通信であるにもかかわらず、1系統当たりのケーブル長が最大50mまで延長できるようになり、長距離配線が可能となった。大規模な装置、生産ラインでコントローラ用盤と駆動部が離れている場合など、これまで以上に規模の大きい装置にも対応できるようになる。また、コントローラ部と駆動部を分離できるので、サーボア

ンプとサーボモータ間の動力線の引き回しを短くできる。装置を分散配置することにより制御盤の小型化も図ることができる。

長距離配線は、最大総延長距離、局間最大50m×軸数に対応できる(図4)。

(3) MELSERVO-J3との相乗効果による更なる高速・高精度の実現

SSCNETⅢは、業界最高性能(2004年10月現在)のサーボアンプMELSERVO-J3と組み合わせることにより、高速化(HF-KPモータ最高回転速度:6,000r/min)、高精度化(HF-KPモータ分解能:262,144p/rev)に対応し、より高速で滑らかな動きを実現可能である。これにより、同期精度及び速度・位置制御の精度が大幅に向上した(図5)。

(4) サーボ調整・多軸モニタによる調整時間の短縮

MR Configurator(セットアップソフトウェア)がSSCNETⅢ経由でシームレスに使用できるようになった。ケーブルを差し換えることなく、モーションコントローラにパソコンを接続したままでサーボアンプと通信ができる。MT DeveloperのアイコンからMR Configuratorを起動して必要な軸を選択することにより、サーボアンプのパラメータ設定やモニタが可能になった。これにより、コントローラに接続されたパソコンから複数のサーボアンプを一括して調整することが可能である(図6)。

(5) 耐ノイズ性の向上

従来のSSCNETでは、動力線に沿って通信ケーブルを配線すると、動力線から通信ケーブルにノイズが混入し、配線長が長い場合などに通信エラーが発生することがあ

った。しかし、SSCNETⅢでは、光ファイバケーブルを採用しており、動力線や外部装置などから混入するノイズ等に対し、耐ノイズ性が飛躍的に向上した。これにより、通信ケーブルと動力線の配線経路を変える必要がなくなった(図7)。

(6) 位相補正機能

同期エンコーダを使用して追従同期を行う場合、同期エンコーダ

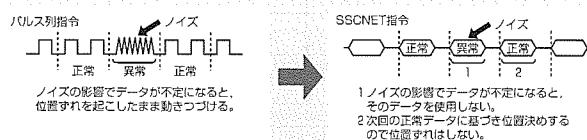


図3. 信頼性の向上

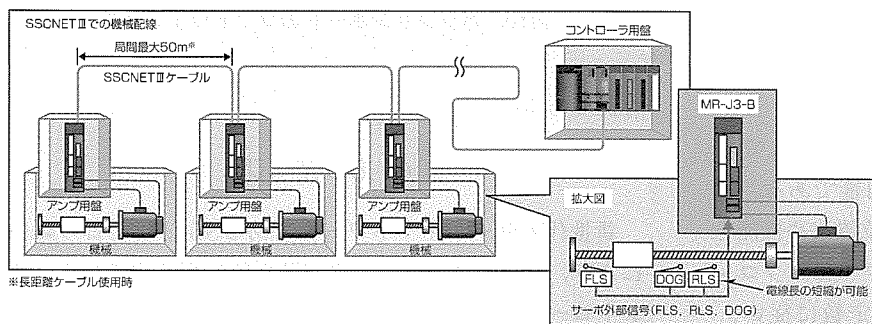


図4. 装置レイアウトの自由度の向上

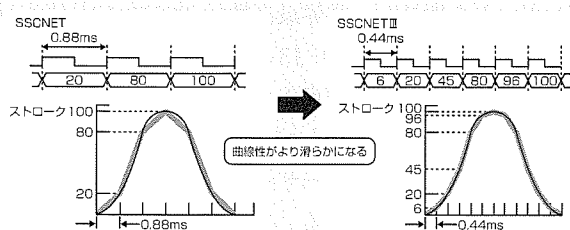


図5. 同期精度の向上

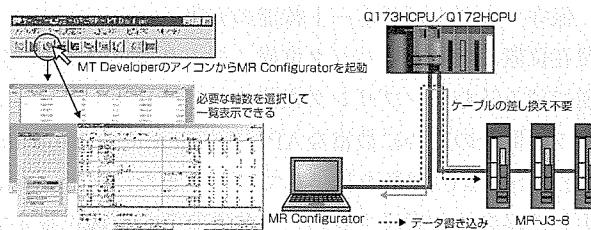


図6. コントローラとサーボアンプのシームレス通信

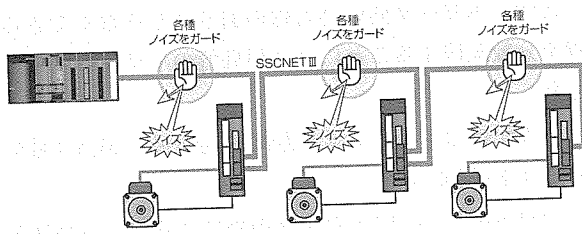


図7. 耐ノイズ性の向上

に対してサーボモータ軸端では、処理遅れ等による位相ずれが発生する。このような場合でも、位相がずれないように補正するのが位相補正機能である。電子カムを使用した場合に、同期エンコーダの処理時間やサーボの溜(た)まりパルスによる誤差を自動的に補正し、同期エンコーダとカム角度の位相のずれをなくすることができる(図8)。

(7) 定位置停止速度制御機能(オリエン機能)

定位置停止速度制御機能とは、サーボモータを指定速度で回転させ、停止指令がONした後に指定位置に停止させることができる機能であり、スピナー等の装置に適用可能である。運転中の速度変更だけでなく、加減速時間も任意に変更できる(図9)。

3.2 ポジションボードMR-MC110

ポジションボードMR-MC110をパソコンに組み込むだけで、パソコン上でサーボアンプを制御するコントロールシステムを簡単に構築できる(図10)。

MR-MC110の特長を以下に示す。

(1) PCIバスに対応

ポジションボードは、PCIバスに対応しており、一般的なパソコンで使用できる。パソコンとはPCIバスに接続された2ポートRAM(Random Access Memory)を介して通信する。

(2) 高速、多軸、簡単位置決め機能

通信周期0.22msで4軸まで、0.44msで8軸まで、0.88msで16軸までのサーボアンプを制御可能である。ポジションボードは、PTP(Point To Point)位置決め機能を内蔵し、2ポートRAM上のポイントテーブルにパソコン側から設定された位置・速度・加減速時定数に従い、SSCNET III通信により自動的にサーボアンプへの位置指令を出力し、位置決めを行う。パソコン上のユーザーアプリケーションから簡単に位置決めが可能である。

(3) 保守・立ち上げサポート機能の充実

現在位置、フィードバック位置、モータ速度などを一定周期で読み込むサンプリング機能や、アプリケーションプログラム開発のために豊富なAPI(Application Programming Interface)関数を提供している。また、アラームが発生した場合など履歴を見ることによりその原因を推定できるログ機能を用意しており、迅速なトラブルシューティング

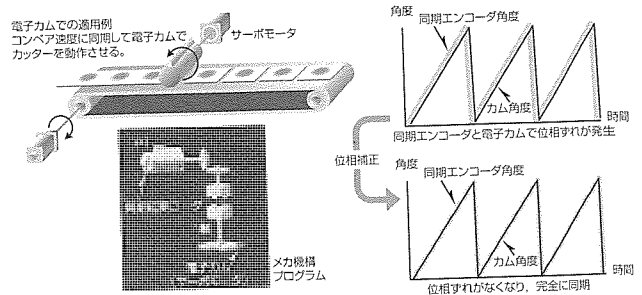


図8. 位相補正機能

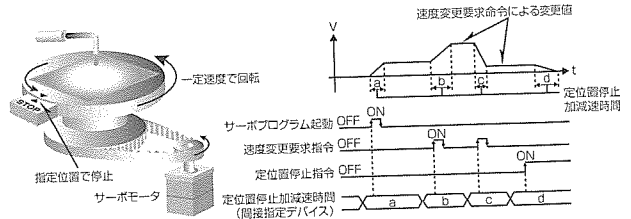


図9. 定位置停止速度制御機能

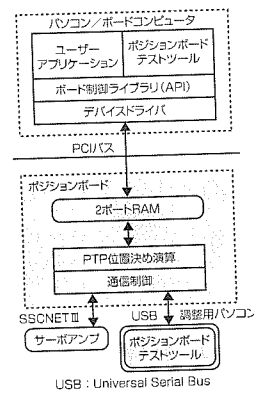


図10. ポジションボードのソフトウェア構成

可能である。

4. む す び

新世代のサーボネットワークであるSSCNET IIIの誕生により、サーボネットワークが革新的に高速化された。コントローラとサーボアンプ間で大量のデータをリアルタイムに通信することができるようになり、また、コントローラとサーボアンプ間のシームレス通信を実現した。

SSCNET IIIに対応したモーションコントローラとポジションボードを開発し、業界最高性能(2004年10月現在の)サーボアンプMELSERVO-J3と組み合わせることにより、装置の高速化や高精度化が可能となり、当社サーボビジネスを更に強化できたと確信している。今後とも、当社FA製品の総合力を生かし、ユーザーの利便性を向上させた製品を開発していく予定である。

新ACサーボアンプ“MR-J3シリーズ”

宮崎友宏* 池田英俊***
尾崎正則**
寺田 啓**

New AC Servo Amplifier “MR-J3 Series”

Tomohiro Miyazaki, Masanori Ozaki, Kei Terada, Hidetoshi Ikeda

要 旨

汎用ACサーボは、現在、様々な産業機械の駆動制御に用いられおり、高速・高精度化に対する強い要求がある。

MR-J3シリーズは、この要求にこたえ、機械の性能を最大限に引き出すことを目指した新世代汎用ACサーボである。業界最高クラスの高機能・高性能と小型化、使いやすさを実現している。MR-J3シリーズの主な特長を以下に示す。

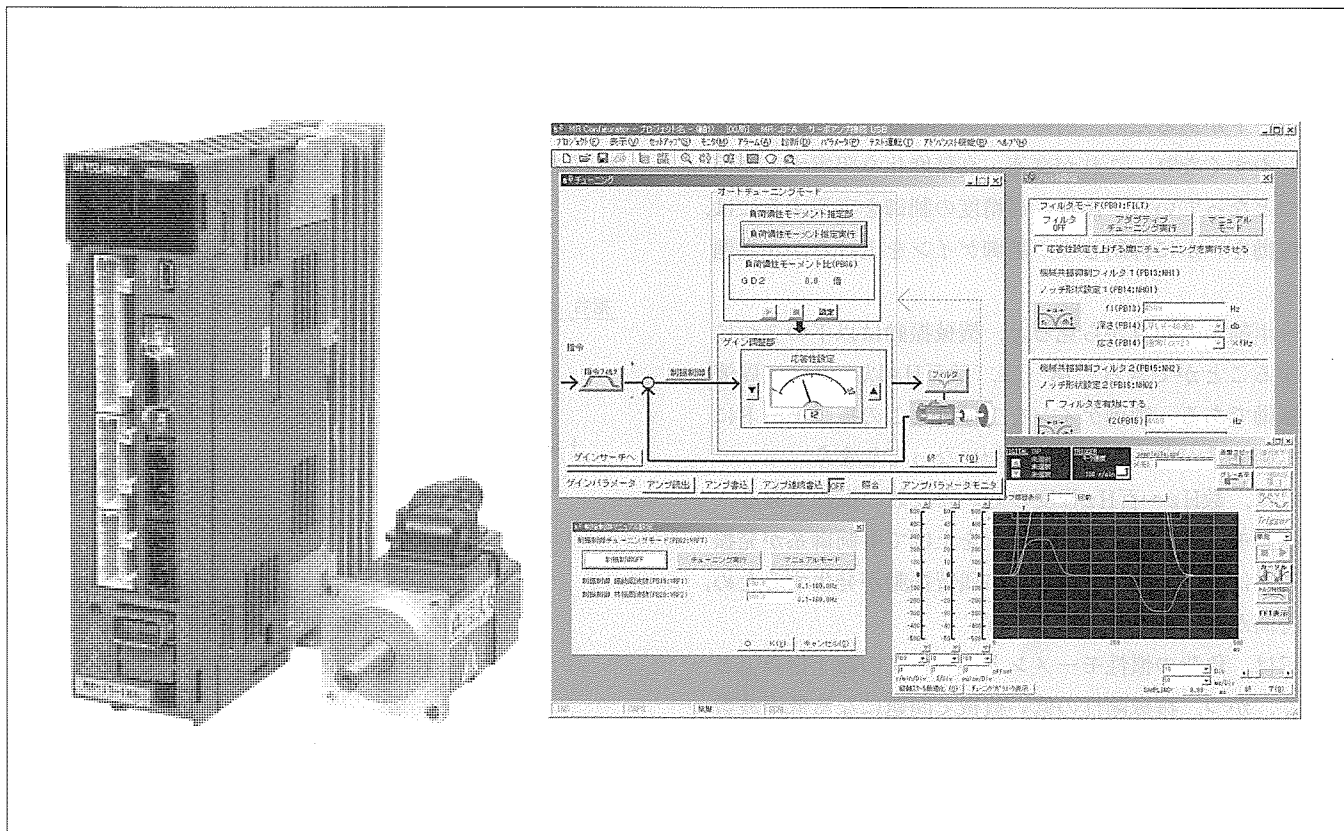
(1) 高速・高精度化

- 回転速度の高速化及び速度周波数応答の高速化による位置決め時間の短縮
- 18ビット高分解能エンコーダにより、高精度と低速での安定性を実現

(2) 簡単調整で機械の性能を最大限に引き出す

- モデル適応制御とオートチューニングの性能向上
 - 残留振動をオートチューニングにより自動的に抑制
 - 機械共振抑制フィルタを自動設定し、共振を抑制
 - 安定して外乱を抑制するロバスト外乱補償
- (3) 小型化
- 設置面積を従来比40%減。密着取付け可能
- (4) “SSCNET III”に対応
- 50Mbps高速シリアル通信で完全同期システムを構築可能

本稿では、これらの中で、MR-J3で強化された先進的な制御機能、及びこれを簡単に調整可能とする調整支援機能について述べる。



汎用ACサーボアンプMR-J3BとセットアップツールMR Configuratorの設定画面

MR-J3は、機械の特性に合わせて高速・高精度の制御を実現するため、モデル適応制御をベースにアドバンスド制御、ロバスト外乱抑制機能、アダプティブフィルタIIなどの先進的な制御技術を取り入れている。MR Configuratorは、これらのオートチューニング機能に加え、充実したモニタ機能でMR-J3の設定を強力にサポートする。

1. ま え が き

汎用ACサーボは、現在、様々な機械装置の駆動制御に用いられている。代表的な用途は、半導体製造装置、部品実装装置、印刷機、射出成型機、ロボット、工作機械などと多様である。いずれの用途においても機械の高性能化を実現するため、高速・高精度の位置決め制御や同期制御が強く求められている。

このような要求に対して、三菱電機では、サーボアンプ内に負荷モデルを備えた“モデル適応制御”によって位置決め整定時間の短縮を図るとともに、負荷慣性モーメントをリアルタイムに同定して常に適正ゲインを設定する“オートチューニング機能”も業界に先駆けて開発してきた⁽¹⁾。また、剛性の低い機械の振動を低減して高速位置決めを可能とする振動抑制制御も開発している⁽²⁾。

今回開発したMR-J3シリーズは、これらの制御機能を更に強化するとともに、高速同期ネットワークSSCNETⅢによりコントローラを含めたシステムとして機械の性能を最大限に引き出す汎用ACサーボアンプである。本稿では、MR-J3シリーズで強化された制御機能、及びその調整支援機能について述べる。

2. 機械特性に応じた高速・高精度制御

機械を高速・高精度に制御するには、制御ゲインを上げることが基本である。ところが、一般に機械には幾つかの振動モードがあるため、制御ゲインを上げると機械振動が発生しやすくなり、これが高速・高精度化を阻害する要因の一つとなっている。高速・高精度の制御を実現するには、機械振動をいかに抑制しつつ制御ゲインを上げるかが課題となる。

サーボ制御の観点から見ると、機械振動は以下の3つに分類することができる。第一は、数百Hz以上の高い周波数の振動である。制御ゲインを上げるとこの振動モードによって制御系が発振し、制御不能になってしまう。

第二は、数Hz～百Hz程度の低い周波数の振動である。この振動モードでは、制御ゲインを上げても制御系が発振することはないが、位置決め時に残留振動が発生するため、整定時間が逆に長くなってしまふ。

第三は、負荷の慣性モーメントがモータの数倍以上と大きく、かつ、機械剛性の低い機械で問題になる低周波数の振動モードである。このような機械では、振動そのものが問題になることは少ないが、低周波数でのゲインが小さくなるため、外乱の影響を受けやすく十分な精度が得られないという問題が生じる。

機械振動を抑制するには、このような機械の振動特性に応じて適切な制御方式を適用する必要がある。MR-J3では、それぞれの機械振動に対して、“アダプティブフィル

タⅡ”“アドバンスト制振制御”“ロバスト外乱補償機能”を開発している。

2.1 アドバンスト制振制御

アドバンスト制振制御は、上記第二の振動を抑制する制御であり、位置決め整定時の残留振動の低減に有効である。

アドバンスト制振制御を含むMR-J3の制御ブロック図を図1に示す。図中の網掛け部分がアドバンスト制振制御に関連するブロックである。MR-J3の基本的な制御方式はモデル適応制御であり、機械先端の動きが規範モデルの動きと一致するようにモータが駆動制御される。機械先端の動きを規範モデルと一致させるため規範モデル内部に機械の動特性モデルを備えており、この機械モデルに基づいてモータをどのように駆動するかを計算する。

アドバンスト制振制御は、規範モデル内の機械モデルとして振動モデルを持つことで機械先端が振動しないようなモータの駆動パターンを生成するとともに、機械の振動モデルをリアルタイムで同定する機能を付加したものである。実際のモータの動きから振動成分を抽出して機械の振動特性を同定し、機械モデルを修正している。

図2はアドバンスト制振制御を適用した場合の実験結果である。横軸は時間、縦軸は位置指令と機械先端位置の偏差であり、位置決め動作を繰り返したときの機械先端の振動を示している。時間の経過とともに振動が減少し、約4秒で振動モデルの同定が完了して振動が完全に抑制されているのが分かる。

2.2 ロバスト外乱補償機能

ロバスト外乱補償機能は、印刷機や包装機など負荷慣性

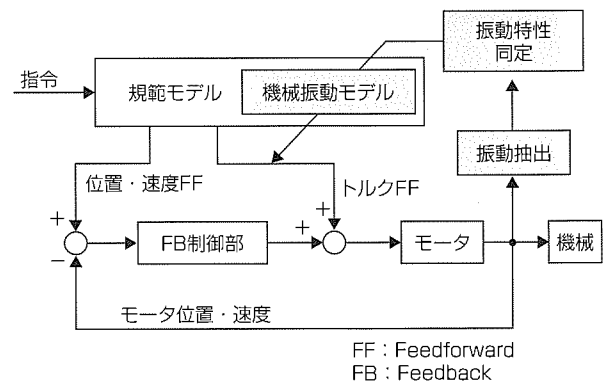


図1. アドバンスト制振制御の構成

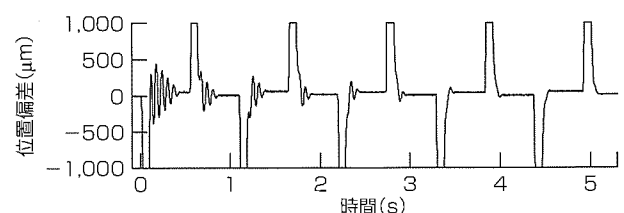


図2. アドバンスト制振制御による制振効果

が大きい機械で同期精度を上げたい場合に有効な制御であり、上記第三の機械振動に対応した機能である。

負荷慣性が大きく低剛性の機械では、低周波数よりも高周波数でのゲインが大きくなるため制御系が不安定になりやすく、従来の制御方式では低周波数でのゲインを十分に大きくできないことが多かった。このため、外乱の影響を受けやすくなり、十分な精度が得られないという問題があった。

ロバスト外乱補償機能は、このような機械に対して、安定に外乱を抑制する機能である。制御方式は、図3に示すように、外乱抑制制御器を従来制御器に付加する構成となっている。外乱抑制制御器は外乱成分に対してのみ応答性を向上させるので、従来制御器のゲインはさほど大きくする必要はなく、安定性を保ったまま外乱の影響を大幅に低減することが可能になる。この機能は印刷機に適用され、良好な結果を得ている⁽³⁾。

この機能を有効に適用するには外乱抑制制御器を適切に調整する必要があるが、MR-J3では、外乱に対する応答性を設定するだけで簡単に外乱抑制制御器を調整できるワンパラメータ調整機能を提供している。

2.3 アダプティブフィルタⅡ

機械が数百Hz以上の高い周波数に機械共振を持つ場合、制御ゲインを上げると、この振動モードによって制御系が発振し、制御不能になってしまう。このような機械共振に対しては、機械共振抑制フィルタを制御ループに挿入して発振を防止するのが一般的である。アダプティブフィルタⅡは、この機械共振抑制フィルタをリアルタイムで自動設定する機能である。

図4にアダプティブフィルタⅡの構成を示す。トルク指令に含まれる機械共振成分を抽出して、その周波数を推定し、機械共振抑制フィルタのパラメータを自動調整する。従来は機械の周波数特性を計測したり、トルク波形をモニ

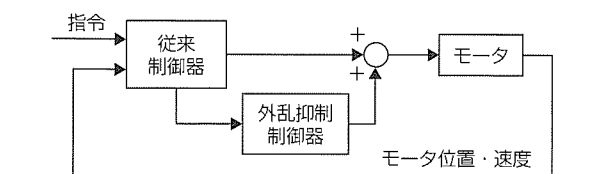


図3. ロバスト外乱補償機能の構成

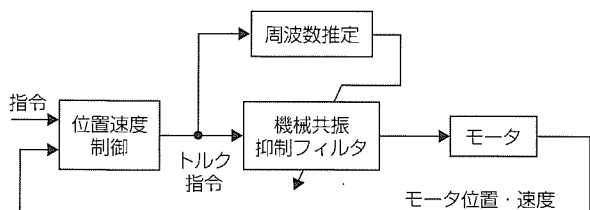


図4. アダプティブフィルタⅡの構成

タする方法で共振周波数を測定してフィルタパラメータを手動で設定する必要があったが、この機能により、短時間で簡単にフィルタ調整が行えるようになった。

図5にアダプティブフィルタⅡによるフィルタ調整の実験結果を示す。上の図はモータ速度、下の図はモータトルクの時間経過を示している。動作開始直後はモータが発振しておりそれぞれの波形に高周波数の振動成分が見られるが、2秒以降は発振が収まっており、機械共振フィルタが適切に設定されたことが分かる。

3. MR Configuratorによるサーボ調整支援機能

MR Configuratorはパソコン上で動作するソフトウェアツールであり、パソコンとサーボアンプをUSB(Universal Serial Bus)で接続することによって、サーボアンプ内のデータやパラメータのモニタや設定を行うことができる。これに加えて、前に述べたMR-J3の先進的な制御機能の調整を強力に支援する機能を持っており、専門的な知識がなくてもだれでも簡単に最適な調整が行えるように構成されている。

MR-J3の主な制御機能には、調整の簡単化のため、自動調整機能又はワンパラメータ調整機能が提供されている。制振制御や機械共振抑制フィルタなど最適なパラメータが一意に決まるものに対しては自動調整機能を用いる。また、指令に対する応答性設定やロバスト外乱補償機能など、応答の速さと安定性のトレードオフが必要となる機能については、ワンパラメータ調整として、トレードオフを調整者に委(ゆだ)ねるようになっている。

以下、MR Configuratorの調整機能支援の一部を示す。

3.1 モデル適応制御の調整

モデル適応制御の調整は、図1のブロック図の規範モデル部とFB制御部のパラメータの調整を行う。この調整はワンパラメータ調整で、指令に対する応答性を指定するだけで各部のパラメータが適切に設定される。図6はモデル

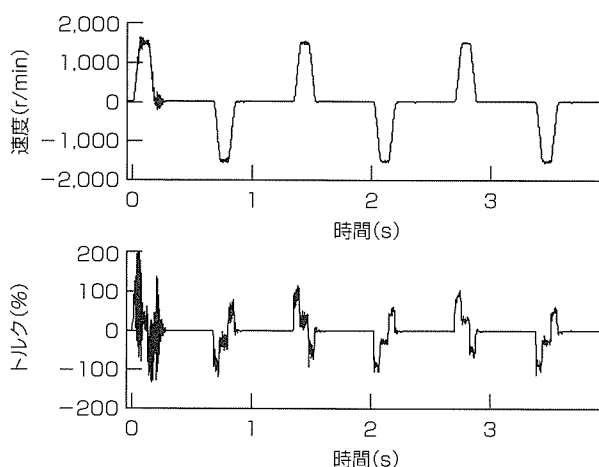


図5. アダプティブフィルタⅡによる機械共振抑制

適応制御の調整画面である。機械の応答を見ながら、図の応答性設定ボタンで応答性を上下して調整する。

応答性を上げて残留振動が大きくなる場合は、図の制振制御ボタンを押してアドバンスト制振制御を起動すれば、自動的に振動が抑制される。また、機械が高い周波数で発振する場合は、フィルタボタンを押してアダプティブフィルタⅡを起動すればよい。

3.2 ゲインサーチ機能

ゲインサーチ機能は、自動的にゲインを変化させながら位置決め動作を繰り返し、整定時間が最短でオーバーシュートや振動の少ないゲインを自動探索する機能である。上記のモデル適応制御のワンパラメータ調整でゲインを決めた後、更にゲインを微調整する場合に用いる。

3.3 グラフ表示機能

グラフ表示機能は、サーボアンプ内のデータを取り込み、グラフ表示する機能である。アナログ3チャンネル、デジタル4チャンネルのデータを表示でき、指令、位置偏差、トルクなどの応答波形をモニタできる。

“重ね書き”機能を用いると過去に取得したデータと現在のデータを重ねて表示することができ、サーボパラメータによる応答波形の違いを同一画面上で比較することができる。図7に重ね書きしたグラフの例を示す。

また、取得したデータのパワースペクトルを表示することも可能で、応答波形を即座に周波数分析できる。

3.4 速度-トルク特性図

運転時のモータ速度を横軸に、モータトルクを縦軸にしてグラフ表示する機能である。図8のようにモータのトルク特性図が同時に表示されるので、モータの限界性能に対して運転パターンがどの程度の余裕があるのかを判断することができる。

3.5 マシンアナライザ

マシンアナライザは、モータにランダムなトルクを発生させて機械を数秒間試験駆動し、機械の周波数特性を計測する機能である。これにより、低周波数から高周波数まで広い帯域にわたる機械の詳細な振動特性の解析が短時間で可能となる。MR Configuratorは、得られた機械特性を用いて精度の良いシミュレーションを行うマシンシミュレーション機能も備えている。また、得られた機械特性に基づいて機械自身の特性改善に役立てることも可能になる。

4. むすび

機械装置のトータルシステムとしての性能向上に貢献するサーボとして、MR-J3の制振機能とその調整支援機能について述べた。今後、更に市場のニーズに対応した製品開発に努めていく所存である。

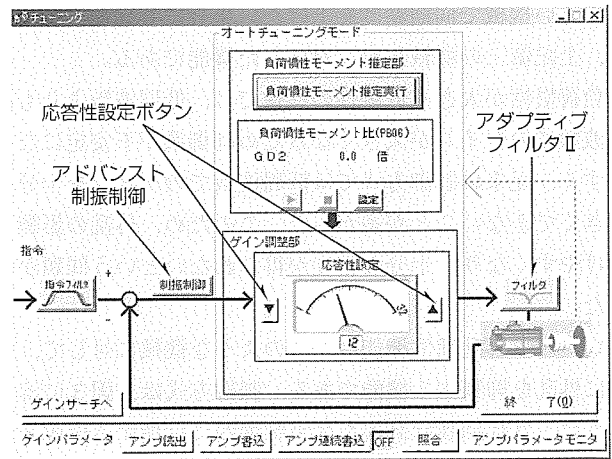


図6. モデル適応制御の調整画面

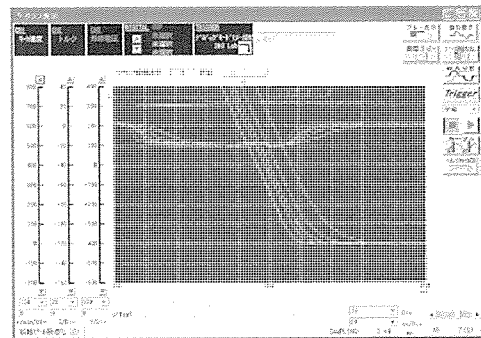


図7. グラフの重ね書き機能



図8. 速度-トルク特性図

参考文献

- (1) 井川 康, ほか: 次世代サーボアンプ“MELSERVO-J2 Superシリーズ”, 三菱電機技報, 73, No.9, 661~666 (1999)
- (2) 松本浩輝, ほか: 汎用ACサーボの制振制御機能, 三菱電機技報, 77, No.6, 401~405 (2003)
- (3) 西村 真, ほか: 印刷機対応制振機能, 三菱電機技報, 77, No.6, 406~409 (2003)

小型・高性能サーボモータ“HFシリーズ”

宮崎高志* 木村康樹***
 菊池友弘*
 山口信一**

Small-Size and High-Efficiency Servo Motor “HF Series”

Takashi Miyazaki, Tomohiro Kikuchi, Shinichi Yamaguchi, Yasuki Kimura

要 旨

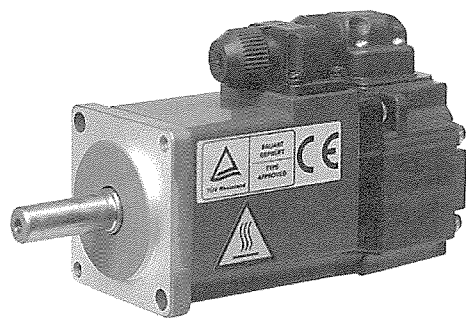
近年、産業機械の小型化・高速化・高性能化に伴い、機械に搭載されるサーボモータにも小型化・高速化・高性能化が求められている。このような要求にこたえるため、小型化と高性能化を両立したACサーボモータ“HFシリーズ”を開発し、製品化した。HFシリーズは、新型汎用サーボ“MELSERVO-J3シリーズ”対応のサーボモータとしてサーボアンプ“MR-J3シリーズ”で駆動する。

HFサーボモータは、三菱電機独自の“関節型ボキボキ鉄心”構造を採用し、高速高密度巻線による小型化と磁気回路設計の最適化による高性能化の両立を実現した。また、サーボモータの性能を最大限引き出す制御方式と新開発小

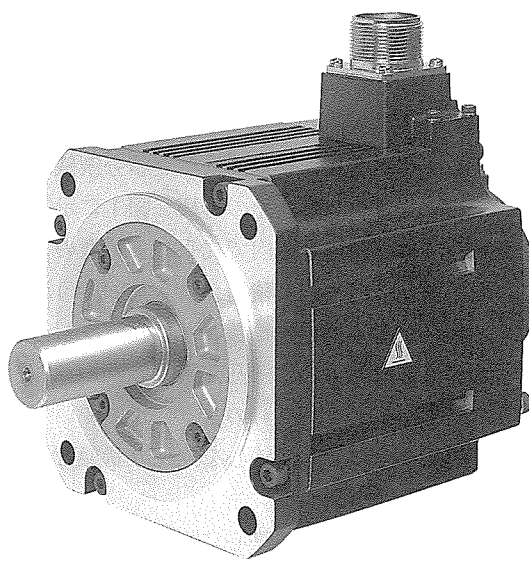
型高分解能アブソリュートエンコーダを搭載することにより、高速・高トルク・低トルクリプルの高性能化を実現した。

HFシリーズは、現在出力50W～7kWまでラインアップしており、多様なユーザーの用途に対応できるよう、以下のようなシリーズ展開をしている。

- 小容量低慣性 : HF-KPシリーズ (50～750W)
- 小容量超低慣性 : HF-MPシリーズ (50～750W)
- 中容量中慣性 : HF-SPシリーズ
 (定格2,000r/min : 0.5～7kW)
 (定格1,000r/min : 0.5～2kW)



小容量低慣性 : HF-KPシリーズ
 小容量超低慣性 : HF-MPシリーズ



中容量中慣性 : HF-SPシリーズ

小型・高性能サーボモータHFシリーズ

新型汎用サーボMELSERVO-J3シリーズ対応として、小型・高性能サーボモータHFシリーズを製品化した。小容量低慣性HF-KPシリーズ、小容量超低慣性HF-MPシリーズ、中容量中慣性HF-SPシリーズをラインアップしている。HFシリーズは、高密度巻線技術とサーボモータの特性を最大限引き出す制御方式により、小型かつ高速・高トルク・低トルクリプルの高性能化を実現した。

1. ま え が き

近年、産業機械の小型化・高速化に伴い、機械に搭載されるサーボモータにも小型・高速化が求められるようになってきている。当社のサーボモータとしては、1996年に通称“ポキポキモータ”と呼ぶ独自のステータの製造方式を採用し、業界トップクラスの小型化を実現した“HCシリーズ”を展開し、順次市場投入を行ってきた。しかし、近年の産業機械の小型・高速化は著しく、サーボシステムの高性能化とともに、装置の駆動源となるサーボモータの小型化及び高速・高性能化の要求が強くなっている。

今回、更なる小型・高性能化をねらった新型サーボモータHFシリーズの開発・製品化を行い、業界最小クラスの小型化とトップクラスの高性能化を実現した。

本稿では、今回開発した小容量HF-KP, MPシリーズ、中容量HF-SPシリーズの小型化・高性能化技術及び各モータの特長について述べる。

2. 小型化技術

2.1 関節型ポキポキ鉄心の採用

サーボモータの小型化を達成するためには、①コイルの高密度化、②ロータ磁石の高性能化、③放熱性の向上、④電磁気設計の最適化が有効である。①のコイルの高密度化を実現するために、現在生産されている小型サーボモータは、各社独自の分割鉄心等による高密度集中巻線を採用している。当社サーボモータHCシリーズも当社独自の薄肉連結鉄心(薄肉連結型ポキポキ鉄心)を採用し、業界最高レベルの小型化を実現していた。今回開発したHFシリーズは、このポキポキ鉄心を更に進化させた関節型連結分割鉄心(関節型ポキポキ鉄心)を採用した。その外観を図1に示す。関節型ポキポキ鉄心は、順送金型内で従来の一体型の鉄心と同等の打ち抜き速度で円筒状に積層される(図の(a))。その関節部分は、鉄心材がある規定の枚数ごとにラップしており、そのラップ部位の回転中心に凹凸が形成され、それらが積み重なって蝶番(ちょうつがい)のようになっている。この蝶番部分を開くことにより、鉄心を逆反り状態とすることが可能となる(図の(c))。

この構造により、直線状の薄肉連結鉄心に比べ十分な巻線作業領域を確保することができ、フライヤ巻線などによ

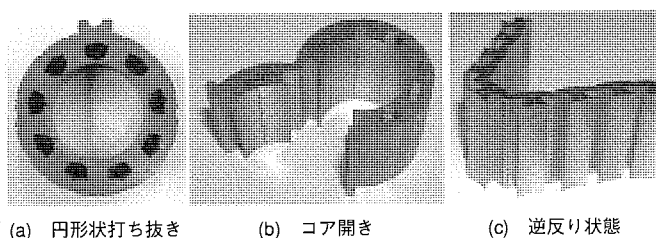


図1. 関節型ポキポキ鉄心

る高速高密度巻線が可能となる。

図2に関節型ポキポキ鉄心への巻線の状態を示す。ステータは、図の(a)のような円形の鉄心を図の(b)のように逆反りさせ巻線を施した後、図の(c)のように再び円筒形状に成形され、モールド処理又はモータフレームに焼きばめされる。

2.2 高密度整列巻線技術

前述した関節型ポキポキ鉄心を使用することにより、巻線に使用できるスペースが拡大し、フライヤによる高速巻線が可能となった。しかし、巻線フライヤを高速回転させながらコイルを俵状に積み上げる整列巻線を実現するためには、フライヤの回転と同期した巻線ノズル位置の高速送り位置決め制御が必要になる。高速高密度整列巻線を実現するため、HFサーボモータ用の巻線機は、巻線ノズルを取り付けたフライヤヘッドを移動する送り軸に当社のリニアサーボを使用するとともに、高加速度指令に対する同期運転を実現するため、当社のモーションコントローラによるフライヤ送り軸及びフライヤ回転軸の高精度同期運転を行っている。図3にリニア駆動を使用した巻線機の構成を示す。

また、高応答化を実現するため、駆動機構部分の重心配置等の最適化を行い、高剛性の巻線機を開発した。この巻線機により最高1,200r/minの高速整列巻線が可能となり、モータの小型化とともに、生産性の向上を実現している。

2.3 小型アブソリュートエンコーダ

HFサーボモータには、新開発の光学式小型アブソリュートエンコーダを搭載している。従来のエンコーダと今回開発した新型エンコーダを図4に示す。この新開発エンコーダは、徹底した回路の最適化とソフトウェア技術により、基板枚数を2枚から1枚に低減した。また、光学設計技術を駆使することにより、投受光モジュール、折り返しプリズム構造を開発した。これらの技術により、従来のエンコーダに対し長さ寸法を約1/2に小型化を実現しながらも、17ビット/rev(131,072P/rev)から18ビット/rev(262,144P/rev)へ高分解能化を実現している。

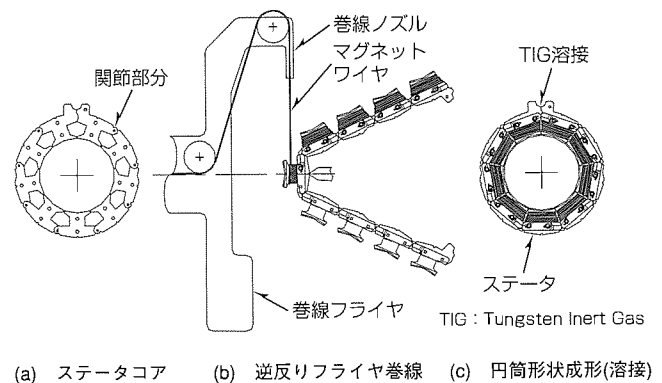
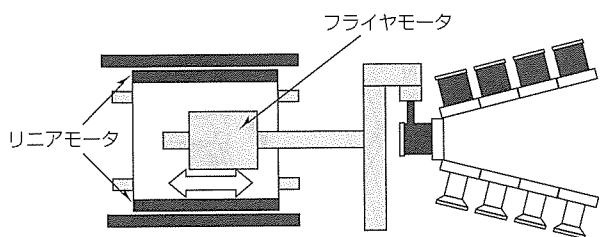
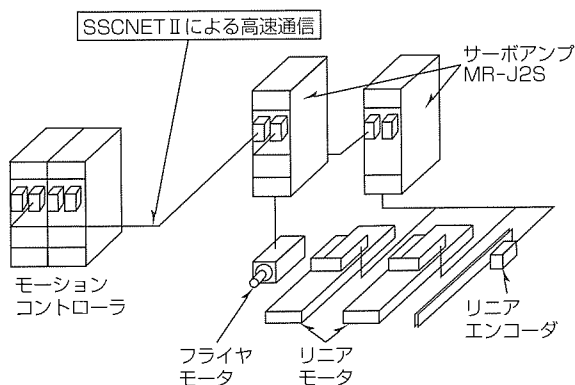


図2. 関節型ポキポキ鉄心への巻線

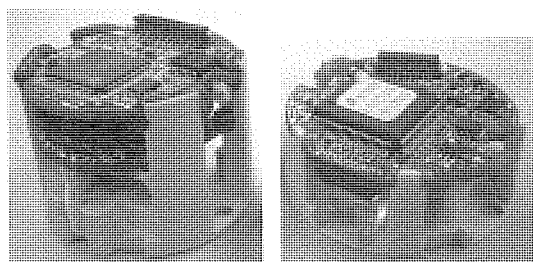


(a) リニアモータを使用した巻線機構成



(b) リニア巻線機のシステム構成

図3. リニア駆動巻線機



(a) 従来のエンコーダ

(b) 新型エンコーダ

図4. エンコーダ

3. 高性能化技術

3.1 低コギングトルク化

ACサーボモータは、磁石を使用したロータを持つ構造から、無通電時においてもコギングトルクと呼ばれるトルク脈動が存在する。コギングトルクは、サーボの外乱要素となるため、高性能化・低トルクリプル化を実現するために極力小さくすることが望まれる。このコギングトルクを低減するために、HFシリーズでは、従来二次元で実施していた電磁界解析を三次元に拡張した。これにより、回転方向の平面だけでなく、軸方向の磁気回路も含めて解析による最適化を実施することが可能となった。また、従来考慮されていなかったプレス加工等が電磁鋼板の磁気特性に与える影響も考慮し、従来に比べより実機に近い精度の高いシミュレーションを行った。図5に三次元電磁界解析の例を示す。

また、今回採用した関節型ボキボキ鉄心は、図2に示したように、円形状に鉄心の打ち抜きを実施し、展開した後

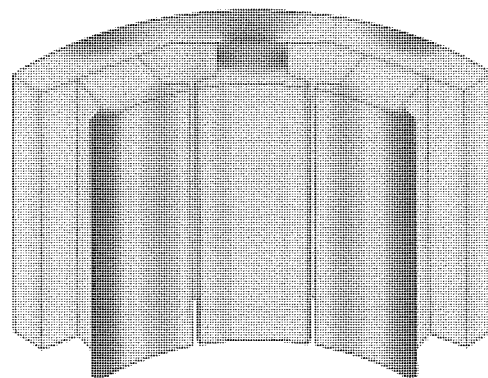


図5. 三次元電磁界解析

に巻線を実施した上、再度円形状に成形するため、直線状の鉄心を折り曲げて円形にする薄肉連結鉄心に比べステータの内径の精度を向上することができた。これにより、精度要因によるコギングトルクのばらつきを低減することが可能となった。

これらの解析技術及び製造技術により、コギングトルクを従来比約1/2に低減した。図6に従来のHCモータと新型HFモータのコギングトルクの波形を示す。

3.2 高速・高トルク化

HFサーボモータは、モータの磁気・電気特性の見直しと、サーボアンプMR-J3シリーズに搭載したサーボモータの特性を最大限引き出す制御方式により、最大回転速度を従来のHC-KFS/MFSシリーズの4,500r/minからHF-KP/MPシリーズの6,000r/minへ、HC-SFSシリーズの2,000~3,000r/minからHF-SPシリーズの3,000r/minへ高速化した。また、高速運転時のトルクの落ち込みを低減し、高速域まで高トルクを維持するトルク特性を実現した。図7にHFシリーズとHCシリーズのトルク特性の比較を示す。

3.3 耐環境性の向上

サーボモータの用途が広がるにつれ、食品機械、工作機械など水や薬液が直接サーボモータに降りかかるような状況が増えてきており、サーボモータの耐環境性の向上が望まれている。HFシリーズでは、従来使用していた部品勘合部分におけるシール材(液体パッキン)やゴムの板状パッキンを廃止し、Oリングによるシール構造とすることで部品同士の面接触による精度の向上と、薬液等によるシール部品の膨潤や浸食の影響を少なくし、信頼性の向上を図っている。これにより、小容量機種HF-KP/MPシリーズはIP65(軸貫通部を除く)、中容量機種HF-SPではIP67(軸貫通部を除く)を実現した。

また、小容量HF-KP/MPシリーズは、従来リード線引き出し(先端コネクタ)としていた電源及びエンコーダの接続をモータ本体でのコネクタ接続方式とした。電源用、エンコーダ用コネクタをそれぞれコネクタメーカーと新規開発し、コネクタ結合状態において、コネクタ部分を含めIP65仕様を満足する構造とした。また、モータに接続する

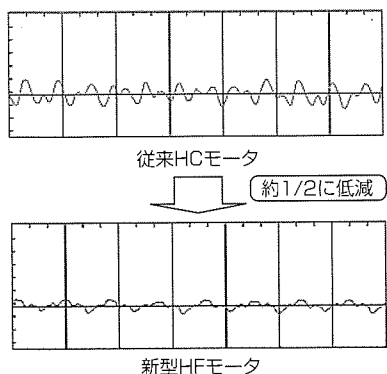
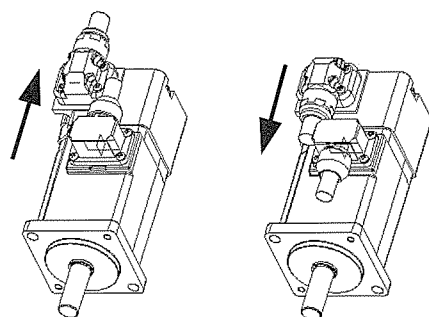


図6. コギングトルク



(a) 反負荷側引き出し (b) 負荷側引き出し
図8. ケーブルコネクタ接続方向

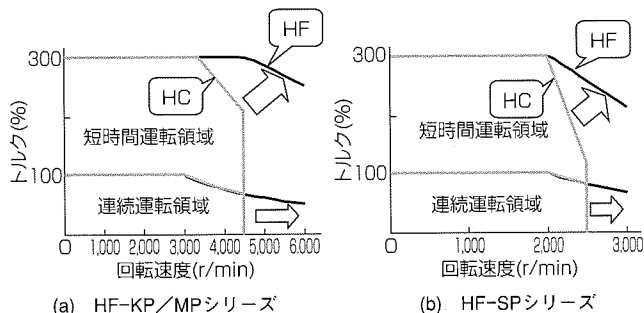


図7. トルク特性

コネクタは、ケーブルの引き出し方向を変更することが可能な構造とした。HF-KP/MPシリーズのケーブルコネクタ接続方向を図8に示す。この構造により、当社のオプションケーブルで取り付け方向を選択することによりケーブルの負荷側引き出し、反負荷側引き出しの両方向の配線が可能となり、ユーザーの配線の自由度が増している。

4. む す び

新型サーボモータHFシリーズは、当社独自の製造技術

と最新の解析技術及び制御技術により小型・高性能化を実現している。本稿では、HFシリーズに適用した小型化を可能とした製造技術、解析技術、制御技術について述べるとともに、HFシリーズの特長について述べた。

今後は、HFシリーズの製品化に当たり適用した技術を他機種へ展開するとともに、HFシリーズの拡充を行う所存である。

参 考 文 献

- (1) 池田洋一, ほか: 新形汎用ACサーボモータの生産技術, 三菱電機技報, 72, No.4, 303~306 (1998)
- (2) 秋田裕之, ほか: エアコン用圧縮機モータの省エネルギー・高効率化, 三菱電機技報, 75, No.10, 655~658 (2001)
- (3) 川口 仁, ほか: 住環境機器用高効率モータ, 三菱電機技報, 76, No.6, 382~386 (2002)
- (4) 三宅展明: 最新のモータ製造技術, 三菱電機技報, 76, No.6, 426~430 (2002)

次世代省エネインバータ “FREQROL-F700シリーズ”

白石康裕* 金原義彦**
池田克司*
田村静里*

Next Generation Energy Saving Inverter “FREQROL-F700 Series”

Yasuhiro Shiraiishi, Katsushi Ikeda, Shizuri Tamura, Yoshihiko Kinpara

要旨

従来から好評を得ているファン・ポンプ用インバータ“FREQROL-F500/F500Lシリーズ”に対し、省エネルギー技術を大幅に進化させ、さらに、メンテナンス性・操作性・耐環境性を向上させた本格ファン・ポンプ用インバータFREQROL-F700シリーズを開発し製品化した。

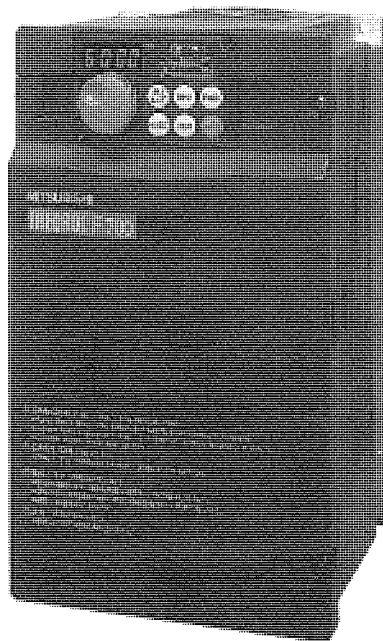
省エネルギー効果の改善としては、従来機種FREQROL-F500/F500Lシリーズで採用している最適励磁制御の方式を見直し、加減速中の消費電力量に関し、最大12%低減を実現した。また、インバータの使用による省エネルギー効果が一目で分かるように、省エネルギーモニタ機能を追加した。

メンテナンス性向上としては、寿命部品である冷却ファンと電解コンデンサの長寿命化を図り、設計寿命10年を実

現した。また、冷却ファン、電解コンデンサの劣化度合いを自己診断し、寿命が近づくと警報を出力することによりトラブルを未然に防ぐことを可能にした。

操作性向上としては、着脱可能な操作パネルに、FREQROL-S500シリーズ、FREQROL-F500Jシリーズで好評のMダイヤルを採用し、周波数、パラメータの設定において、素早く簡単な設定を実現した。

耐環境性向上としては、ノイズフィルタを内蔵しインバータ単体でEMC(Electro Magnetic Compatibility)指令(2nd Environment)に対応可能とした。また、漏れ電流低減のため、スイッチによりノイズフィルタの有効/無効を選択可能にしている。また、多彩なオープンネットワークに対応可能とした。



省エネルギーの更なる追求

・最適励磁制御の改善、省エネルギーモニタ機能

メンテナンス性向上

・寿命部品の長寿命化、寿命診断機能

簡単操作

・Mダイヤルの搭載

耐環境性向上

・EMCフィルタ内蔵

多彩なネットワークへの対応

・CC-Link Ver.1.1/Ver.2.0他

次世代省エネインバータFREQROL-F700シリーズ

FREQROL-F700シリーズは、200V系は0.75kWから110kW、400V系は0.75kWから560kWまでの幅広い容量レンジをラインアップしている。従来の最適励磁制御を改良することで、更なる省エネルギー効果を実現した。また、着脱可能な操作パネルにMダイヤルを搭載し、簡単操作で周波数、パラメータの設定が可能であり、ファン・ポンプ用途に最適である。

1. ま え が き

近年、地球環境保全やコスト削減の観点から省エネルギーに対する関心が高まり、空調設備・衛生設備において大きな省エネルギー効果が得られるインバータの需要が拡大している。

このような市場のニーズに対応するため、ファン・ポンプ用インバータFREQROL-F700シリーズを開発した。

本稿では、FREQROL-F700シリーズにおいて採用した最新技術と機能について述べる。

2. 製 品 概 要

FREQROL-F700シリーズの仕様概要を表1に、基本構成を図1に示す。200V系においては0.75kWから110kWまでの17容量、400V系においては0.75kWから560kWまでの29容量と、幅広い容量をラインアップしている。

FREQROL-F700シリーズは、最適励磁制御を始めとし、ファン・ポンプ用途に適した機能が装備されており、オプションの装着により多彩なネットワークに対応できる拡張性を持っている。

以下に主な特長を示す。

- (1) 更なる省エネルギーの実現
- (2) 簡単操作・簡単メンテナンス
- (3) 環境への配慮

表1. FREQROL-F700シリーズの仕様概要

No	項目	FREQROL-F700仕様
1	電圧・容量	0.75~110kW /200V(240V対応可) 0.75~560kW /400V(480V対応可)
2	出力周波数範囲	0.5~400Hz
3	制御方式	高キャリア周波数PWM制御(V/f制御) 最適励磁制御, 簡易磁束ベクトル制御
4	主な機能	省エネルギーモニタ, 低減トルク負荷選択, V/F5点アジャスタブル, PID機能, 瞬停時運転継続機能, 瞬停再始動機能(つれ回り引き込み可能), 回生回避機能, PTCサーミスタ機能, 商用切換えシーケンス
	操作性・メンテナンス性	寿命診断機能, メンテナンスタイマ, 電流平均値モニタ信号, シンプルモード, 冷却ファンOn/Off制御
5	標準装備	RS-485, Modbus-RTU
	オプション	CC-Link Ver.1.1/Ver.2.0, LonWorks, DeviceNet, PROFIBUS-DP
6	保護構造	IP20(200V:22K以下, 400V:30K位以下)
	制御端子台	脱着式(F500の脱着式制御端子台も接続可)
	冷却ファン	カセット式交換(全容量)
7	DCL	全容量接続可
	対応規格	UL, cUL EN規格(EMC:2nd Environment)

PWM : Pulse Width Modulation
 PID : Proportional, Integral, Differential
 PTC : Positive Temperature Coefficient
 UL : Underwriters' Laboratories Inc
 EN : European Standards

3. 省エネルギーの更なる追求

3.1 最適励磁制御の改善

最適励磁制御はFREQROL-F500シリーズで採用し、大きな省エネルギー効果を実現した。FREQROL-F500シリーズの方式の場合、d軸とq軸のロスがほぼ等しくなるように制御して、一定速中は大きな省エネルギー効果を実現したものの、応答性が低いため、加減速中は十分な省エネルギー効果は得られなかった。そこで、FREQROL-F700シリーズでは、d軸とq軸電流偏差に着目し、ゲインの最適化を図り、d軸電圧指令 v_d^* に微分要素を考慮した応答改善項を用いることで、一定速中は従来と同レベルの省エネルギー効果を実現するとともに、加減速中においても省エネルギー効果が得られるようにした。図2にブロック図を示す。

その結果、加減速中の電圧補正量制限なしでも急加減速時に過電流が発生することがなくなり、加減速中の省エネルギー効果を向上することができた。図3に、FREQROL-F500シリーズとFREQROL-F700シリーズの省エネルギー効果の比較例を示す。

3.2 省エネルギーモニタ機能

上記のようにして、従来の最適励磁制御の課題を克服し、更なる省エネルギー制御を実現した。さらに、FREQROL-F700シリーズでは、省エネルギーモニタを新規に装備し、優れた制御により実際に得られた省エネルギー効果をモニタとして表示することを可能にした。

省エネルギーモニタは、インバータを用いず商用で運転

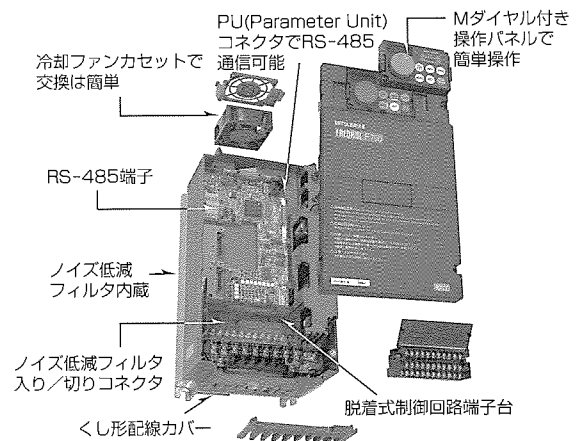


図1. 基本構成

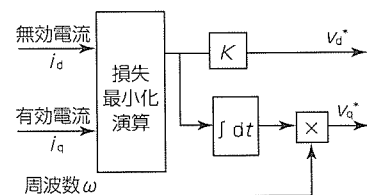


図2. 最適励磁のブロック図

した場合に消費される電力(推定値)と、インバータ運転時に消費される電力との差分をとり、インバータを用いることでどれだけの効果が得られたかを示すモニタである。ファン用途での商用運転では、通常ダンパ制御が一般的であり、図4に示されるような特性を持つことが知られている。そこで、インバータ内部の読み出し専用記憶素子(ROM)に、あらかじめ図の特性パターンを記憶しておき、インバータの出力周波数 f に応じて、商用時の消費電力 $P_0(f)$ を推定値として求める。一方、インバータ運転時の消費電力 P_1 は、出力電圧指令 V_d 、 V_q と電流検出値 I_d 、 I_q とから、次式で求められる。

$$P_1 = K_1 \times (V_d \cdot I_d + V_q \cdot I_q) \dots\dots\dots(1)$$

K_1 : インバータ効率

省エネルギーモニタ(省電力) P は、 $P_0(f)$ 、 P_1 から、下式で求められる。

$$P = P_0(f) - P_1 \dots\dots\dots(2)$$

図はファンの吐出側ダンパ制御の例であるが、インバータ運転との比較対象として、そのほかにファンの吸い込み側ダンパ制御、ポンプのバルブ制御、商用駆動の特性パタ

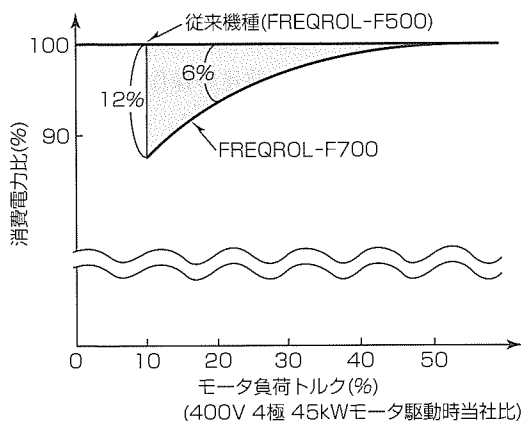


図3. 加減速時モータ消費電力比較例

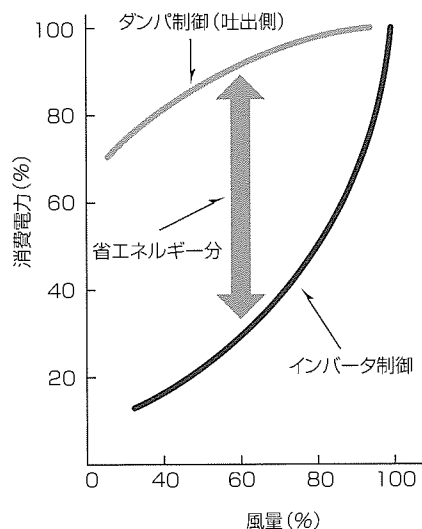


図4. ブLOWER運転の特性例

ーンを記憶しており、パラメータにより選択可能である。

こうして求められた省エネルギーモニタは、パラメータの設定により、料金や一定時間当たりの平均値に換算することができる。また、積算値や年間の予測値としての表示も可能である。これらのモニタは、標準装備の操作パネルに表示可能であるほか、アナログ出力端子からの電圧出力/FM(Frequency Modulation)パルス出力、ネットワーク経由でのモニタが可能であり、省電力効果の把握に有用である。

4. メンテナンス性向上

4.1 寿命部品の長寿命化

寿命部品である冷却ファン、主回路コンデンサ、制御回路コンデンサに関し、長寿命品を採用し、設計寿命10年(周囲温度:40℃、出力電流:三菱標準4極モータ定格電流の80%相当)を実現した。特に冷却ファンにおいては、グリス、ベアリング等の改良により他には類を見ない長寿命化に成功した。

4.2 寿命診断機能

寿命部品に関して、劣化度合いを自己診断し、寿命が近づくと警報を出力することによりトラブルを未然に防ぐことを可能にした。FREQROL-F700シリーズで診断可能な部品は、①主回路コンデンサ、②制御回路コンデンサ、③突入電流抑制回路、④冷却ファンの4種類である。各部品の劣化度合いは、表2のようにして各々求められ、寿命モニタとして常時インバータのパラメータで読み出し可能であり、寿命モニタ値が一定レベルに到達すると警報信号として出力端子又は通信経由で確認可能である。

また、寿命診断とは別に、ユーザーの設定した時間ごとに出力端子に信号出力、又は操作パネルに警報出力可能なメンテナンスタイマを装備しており、周辺機器のメンテナンス時期の目安として利用可能である。

表2. 寿命診断機能概要

	寿命推定方式	警報出力タイミング
主回路コンデンサ	主回路コンデンサ寿命チェックパラメータを設定し、電源Off時にモータに直流電圧を印加し、放電電荷量を求め、コンデンサ容量を測定する。	初期値を100%とし、85%以下で警報出力
制御回路コンデンサ	インバータの運転状態を監視し、寿命計算を行う。	初期値を100%とし、10%到達時
突入電流抑制回路	接点(リレー、コンタクト、サイリスタ)のOn回数を検出し、規定の満寿命回数から寿命推定する。	規定の満寿命回数の10%到達時
冷却ファン	冷却ファン回転数が規定値(50%)を下回ったかどうかを常時ハードウェアで検出する。	回転数が50%以下

5. 簡単操作

標準装備の操作パネルでは、簡単設定を実現するため、FREQROL-S500シリーズ、FREQROL-F500Jシリーズで好評のMダイヤルを採用した。操作パネルとインバータの間で常時取り交わされる通信を高応答化し、着脱可能かつ、円滑で、スピーディな操作性を実現した。

操作パネルの新規機能としては、入出力端子モニタ、操作ロック機能を追加している。入出力端子モニタでは、インバータ本体及びオプションのデジタル入出力端子のOn/Off状態を操作パネルのモニタに表示することで、端子状態を実測することなく、容易に確認することができる。また、操作ロック機能に関しては、あらかじめパラメータの設定をしておくことにより、簡単なキー操作のみで、操作パネルからの操作をロック及び解除することができる。

また、FREQROL-F700シリーズでは、FREQROL-F500シリーズのシンプルモードを更に見直し、工場出荷の状態では、ファン・ポンプ用途に限定した15個の基本パラメータのみを表示可能とし、設定のシンプルさを強調した。

別売りのセットアップソフトウェアと組み合わせることで、パソコン上で、よりビジュアルかつ円滑な操作によるパラメータ管理や運転状態の監視が可能であり、立ち上げ支援にも有効である。

6. 耐環境性向上

EMCフィルタを内蔵することにより、制御盤内に設置することなくインバータ単体でEMC指令(2_{nd} Environment)に対応可能とした(図5)。

また、EMCフィルタにより漏れ電流が増加しノイズブレーカなどの外部機器の誤動作を引き起こす場合があるため、切換えスイッチによりEMCフィルタの有効/無効を選択可能とした。

(注1) Modbusは、Modicon社の登録商標である。

(注2) LonWorksは、エシャロン社の登録商標である。

(注3) DeviceNetは、ODVA(Open Device Net Vendors Association)

(注4) PROFIBUSは、PROFIBUS User Organizationの登録商標である。

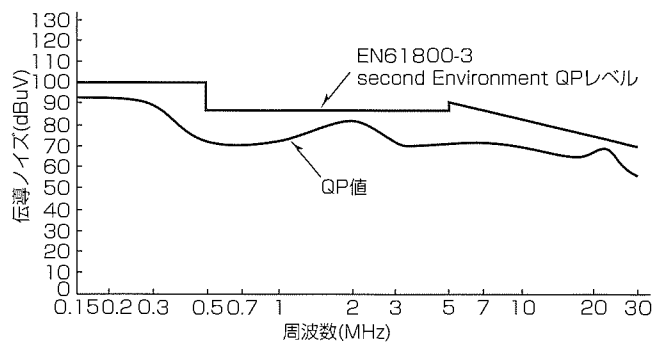


図5. 伝導ノイズデータ

7. 多様なネットワークへの対応

RS-485端子台を標準装備しており、FREQROLインバータの専用プロトコル通信と、Modbus^(注1)-RTU(Remote Terminal Unit)通信が標準で対応可能である。

また、“CC-Link Ver.1.1/Ver.2.0”，そのほか、ファン・ポンプ用途で需要の高いLonWorks^(注2)やDeviceNet^(注3)、PROFIBUS^(注4)-DPにオプションで対応可能とした。これらの通信オプションは、起動指令受信から実際の起動開始まで、約10msで反応できるよう、従来製品に対して応答性を大幅に改善している。

また、RS-485端子台とは別に、RS-485通信用のRJ-45コネクタを標準装備しており、前述の操作パネルやセットアップソフトウェアを接続した状態で、RS-485通信やModbus-RTU通信が可能であり、多彩な使用方法が期待できる。

8. むすび

ファン・ポンプ用途対応の省エネルギーインバータとしてFREQROL-F700シリーズについて述べた。今後も、インバータに対し、省エネルギー、耐環境性、使いやすさの更なる向上が望まれており、一層の技術開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 桜井寿夫, ほか: ファン, ポンプ用省エネルギーインバータ“FREQROL-F500シリーズ”, 三菱電機技報, 73, No.9, 653~656 (1999)

“MELSEC-Qシリーズ” 二重化システム

西雪 弘* 板場雄介*
那須威裕* 山中孝彦*
塩谷圭介*

“MELSEC-Q Series” Redundant System

Hiroshi Nishiyuki, Takehiro Nasu, Keisuke Shiotani, Yuusuke Itaba, Takahiko Yamanaka

要 旨

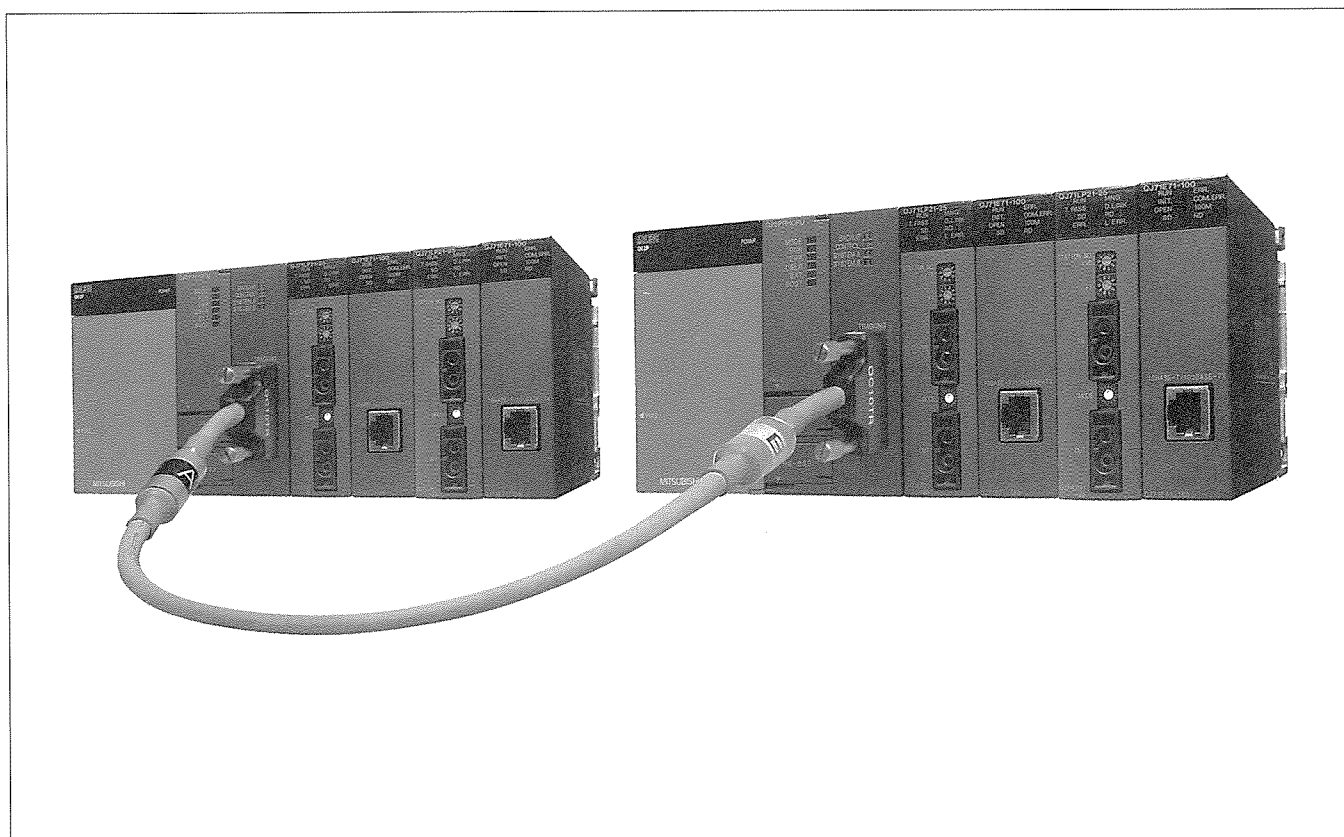
近年、計装システムを中心とした各種分野において、シーケンサを使用した設備の高信頼化の要求が高まってきている。その要求にこたえるため、MELSEC-Qシリーズにおいて、二重化システムを開発し、MELSEC-Qシリーズの適用範囲を更に拡大可能とした。

主な特長を以下に示す。

- (1) CPU(Central Processing Unit)ユニット、電源ユニット、ベースユニット、ネットワークを含めた基本システムの二重化により、システム全体の高信頼化が可能
- (2) CPUの異常等により系切換えが発生した場合、運転データのトラッキングにより、継続して運転が可能
- (3) コンパクトサイズのQシリーズをプラットフォームにすることにより、制御装置の省スペース化が可能

- (4) “MELSECNET/H”, Ethernet^(注1)の二重化システム対応により、制御系のユニット故障や通信異常時も、系切換えにより通信の継続が可能
- (5) プログラムの両系書き込みやメモリコピー機能等、エンジニアリング環境の充実により、容易に二重化システムの構築が可能
- (6) 設備を停止することなく、入出力ユニットやアナログユニットのオンラインユニット交換が可能
- (7) 電源ユニット、ベースユニット、入出力ユニット等、従来のQシリーズのハードウェア資産を活用することにより、補用品の削減が可能

(注1) Ethernetは、米国XEROX Corp.の登録商標である。



MELSEC-Qシリーズ二重化システムの外観

独立したベースユニットにそれぞれ二重化CPUユニットを装着し、CPUユニット間をトラッキングケーブルで接続する構成としている。これにより、システムの基本要素であるCPUユニット、電源ユニット、ベースユニット、ネットワーク全体を二重化可能とし、システムの高信頼化を実現した。

1. ま え が き

近年、システム構築のトータルコスト削減に向けて、自動車産業、IT (Information Technology) 産業を中心として普及してきたFA (Factory Automation) 制御と、連続プロセス系で普及してきたPA (Process Automation) 制御の統合化が進み、FAだけでなくPAまで含めたシステムのシーケンサによるダウンサイジング化が加速している。

三菱電機では、このような要求にこたえるため、1台のシーケンサCPUユニットでシーケンス制御と、高速・高精度なループ制御を実現可能としたプロセスCPUユニットを開発し、計装システム構築のためのコンポーネント群“MELSEC計装”を2002年1月に発売した。

さらに、計装システムを中心として各種分野で高まってきている設備の高信頼化の要求にこたえるために、プロセスCPUユニットに二重化機能を付加したMELSEC-Qシリーズ二重化システムを2004年5月に発売した。

MELSEC-Qシリーズ二重化システムは、高信頼システムとして他社に先駆けて1996年に発売した“Q4ARCPU”二重化システムのノウハウと、数々のユーザーニーズを反映し、開発したものである。

本稿では、MELSEC-Qシリーズ二重化システムで適用した技術について述べる。

2. MELSEC-Qシリーズ二重化システムの基本構成

図1にMELSEC-Qシリーズ二重化システムの基本構成を示す。独立したベースユニットに二重化システムを構成する2台の二重化CPUを装着し、それぞれのCPUユニット間をトラッキングケーブルで接続する構成としている。これにより、システムの基本要素であるCPUユニット、電源ユニット、ベースユニット、ネットワーク全体を二重化可能とし、システムの高信頼化を実現した。

また、Qシリーズ二重化システムのI/Oは、MELSEC-NET/H リモートI/Oネットワークを介してリモートI/Oを分散配置する方式とし、柔軟なシステム構築とリスク

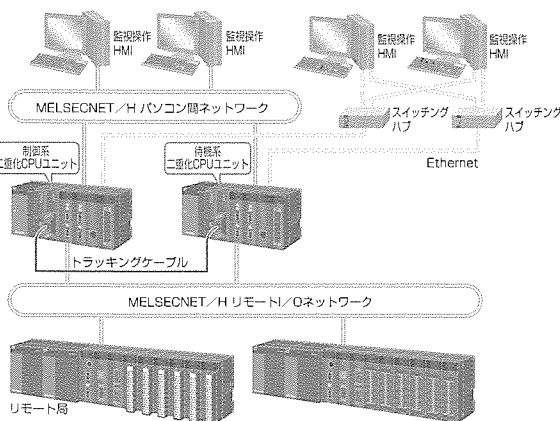


図1. MELSEC-Qシリーズ二重化システムの基本構成

分散を可能とした。

高信頼システムを構築可能とするためには、ハードウェアの冗長化のみならず、優れた操作性と保守性も必要である。

操作面では、系切換えが発生した場合も、監視操作装置 (HMI) による接続先の制御系追従機能や、2台の二重化CPUユニットを1台のCPUユニットとして扱える便利機能等を充実した。さらに、それらの操作性が当社MELSECNET/HやEthernet等のネットワーク環境下でも実現できるようにした。

保守面では、既存のQシリーズの電源ユニット、ベースユニット、ネットワークユニット、I/Oユニットや、その他インテリジェント機能ユニットを共通して使用可能とすることにより、補用品の削減を可能とした。

3. 二重化CPUユニット

MELSEC-Qシリーズ二重化システムの中心となる二重化CPUユニットでは、従来のQ4ARCPUに対して、交換容易化・トラッキング性能向上・異常時の復旧時間短縮・簡単操作・小型化等の要求を取り入れた。これらの要求を実現するため、MELSEC計装対応のプロセスCPUユニットを基盤としながら、二重化システムの核となるトラッキング通信機能を新たに開発した。

トラッキング通信機能は、制御系二重化CPUユニットから待機系二重化CPUユニットへ常に制御情報を送信し、制御系システムと待機系システムを常に同じ状態に保つために必要不可欠なものである。この機能により、制御系システムで異常が発生した場合でも待機系システムが制御を継続可能となる。

トラッキング通信機能を実現するために適用した技術を以下に述べる。

- (1) 各二重化CPUユニットのベースユニットを分離するためシーケンサCPUユニット間をケーブルで接続する必要があるが、Qシリーズの特長である小型化を維持するため、信号線数削減に向けてシリアル通信方式を採用した。データ通信としてEthernet技術を活用するとともに、各CPUユニット間の状態診断用として、データ通信とは別に状態通知用回線を設ける等、高信頼化への対応を行った。また、それらの実現に当たっては、シリアルライザ・デシリアルライザICを活用した。

図2に二重化CPUユニットの概略ブロック図を示す。

- (2) トラッキング通信時の性能向上に向けて、トラッキング通信に特化したDMA (Direct Memory Access) コントローラをFPGA (Field Programmable Gate Array) 内に実装した。さらに、ハードウェア的に独自プロトコルを実装し、トラッキング通信データの格納先自動振り分け処理、受信パケット異常時及び送信側CPUユニットで

の応答タイムアウト検出時にトラッキングデータを再送する処理を実現した。

- (3) 二重化の要(かなめ)であるトラッキング通信機能では、トラッキング通信回路の故障やケーブル抜け等の異常を確実に検出し、故障要因を詳細に通知できる設計とした。

これらの技術により、従来のQ4ARCPU二重化システムと比較して、システムMTBF(Mean Time Between Failure)では約1.4倍と信頼性を高めるとともに、トラッキング性能は容量が約2倍、速度が約1.6倍と性能向上を実現した。さらに、異常検出機能の強化により故障要因の判別を容易にして異常の分析を迅速に行えることとなった。また、ベースユニットの分離構造により、基本システムの丸ごと二重化が可能となり、システムの信頼性を更に高めることができた。

参考までに、Q4ARCPU二重化システムとの比較を表1に示す。

- (4) 二重化システムは、製造現場で使用されるため、十分なノイズ耐量を確保する必要がある。二重化CPUユニットでは、耐ノイズ性を高めるため、放熱とEMC(Electro Magnetic Compatibility)シールドを兼ねた金属板をコネクタシェルとFG(Frame Ground)との接続も兼ねる構造とし、また、トラッキングケーブルにはフェライトコアを追加した(図3)。

表1. Q4ARCPU二重化システムとの比較

No.	キーワード	特長
1	構成	電源の二重化が可能 ネットワークの二重化 ベースユニット分離によりシステムは完全に分離
2	小型・省スペース化	取付面積：約1/4、体積：約1/5の小型化を実現
3	システムMTBF	約1.4倍
4	トラッキング性能	容量：100kW(約2倍) 速度22ms/48kW(約1.6倍)
5	異常検出機能の強化	65種類の異常検出(約3倍)

(※Q4ARCPU同等システム構成で比較)

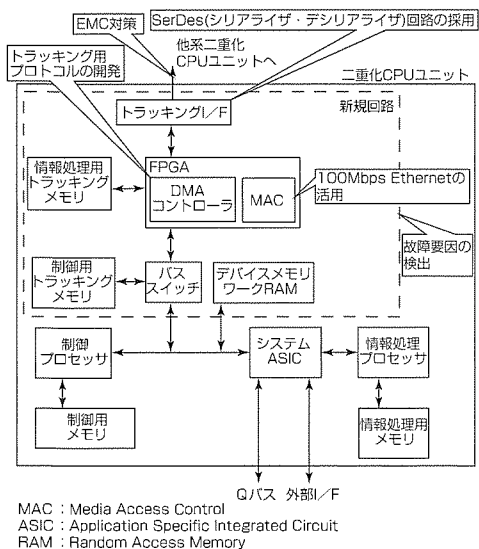


図2. 二重化CPUユニットの概略ブロック図

4. ネットワーク

ネットワークユニットとして、パソコン等との通信を行う情報ネットワークユニット(Ethernetユニット)とシーケンサ間で通信を行うコントローラネットワークユニット(MELSECNET/Hユニット)が二重化CPUユニットに対応した。以下では、これら二重化CPUユニットに対応したネットワークユニットについて述べる。

4.1 情報ネットワークユニット

Ethernetユニットは、生産管理システムや情報収集システム等と通信を行うために使用される。二重化システムにおいては、ネットワークで異常を検出した場合は、いち早く正常に通信できる待機系に切り換わる必要がある。Ethernetユニットは、要求の応答が返ってこない場合等の通信異常完了や、ケーブル抜け又はハブとの通信不通等の断線を検出すると、二重化CPUユニットに対し系切換えを要求する。系が切り換わることにより正常に通信可能な待機系が制御系となり、通信継続することが可能となる。

4.2 コントローラネットワークユニット

MELSECNET/Hユニットは、シーケンサ⇔シーケンサ間又はシーケンサ⇔リモートI/O局間で、高速かつ定期的にデータの通信を行うために使用される。MELSECNET/Hでは、同じネットワーク内のMELSECNET/Hユニットが持つリンクデバイス(LB・LW)を各局で送受信範囲を共有し合い、定期的にデータを交信することにより、すべての局に同じデータが伝わるサイクリック伝送が行われている(図4)。

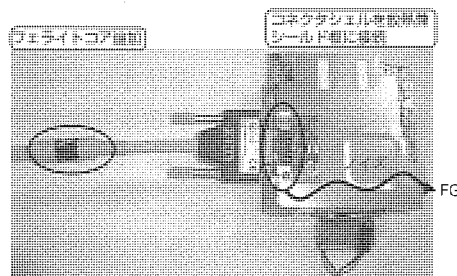


図3. トラッキングケーブルのノイズ対策

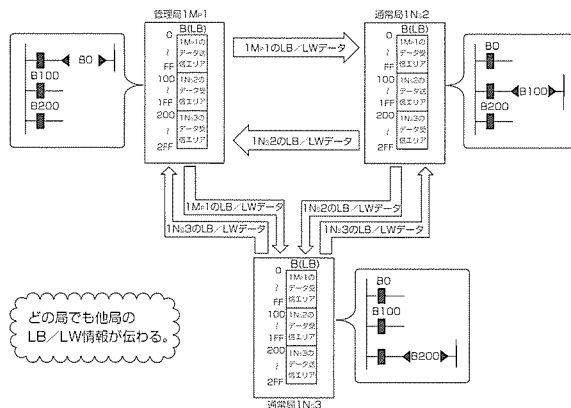


図4. サイクリックの伝送イメージ

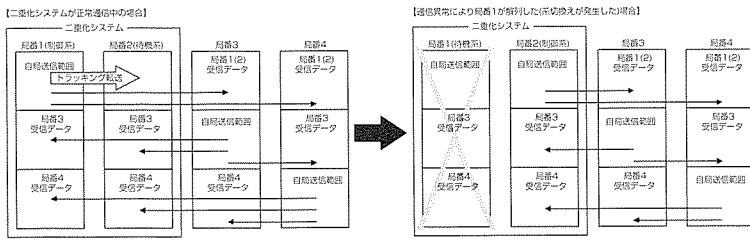


図5. ペアリングとトラッキングの転送イメージ

二重化システムでは、ペアリングの技術を用いて、制御系と待機系が同じ送信エリアを持っている。制御系時のみデータを送信し、待機系時にはデータを送信せず他局のデータ受信のみ行う。ペアリングとトラッキング転送を用いることで、系切換えが発生してもデータの送信を停止することなく通信でき、制御系・待機系を意識しないアプリケーションの構築が可能となる(図5)。

また、情報ネットワークと同様にネットワーク異常時に系を切り換える機能も持っている。

5. エンジニアリングツール

エンジニアリング環境として、プログラミングツール(GX Developer)及び計装用プログラミングツール(PX Developer)を、二重化CPUユニットに対応させた。二重化CPUユニット対応として、2台の二重化CPUユニットを、1台のCPUユニットとして扱えるようにしている。

二重化CPUユニットでは、制御系と待機系に同じプログラムとパラメータを書き込む必要がある。シーケンサCPUユニットにプログラムやパラメータを書き込む場合、1度の操作で制御系と待機系の両方に書き込むようにした。また、プログラムの一部を変更したとき、変更箇所を動作中のシーケンサCPUユニットに部分書き込みを行うプログラムRUN中書き込み機能も、制御系と待機系の両方に書き込むようにした。このほかにも、PCメモリフォーマット、リモート操作といったシーケンサCPUユニットにアクセスする多くの機能が1度の操作で制御系と待機系の両方に対して動作する。

上記、2台の二重化CPUユニットを意識させない対応により、従来からMELSECを使用しているユーザーに、違和感なく二重化CPUユニットを導入できる環境を提供している。

6. 電源二重化システム

上記以外にも、電源ユニットのみを二重化したシステムに対するニーズがあり、電源ユニットに関しての高信頼化・長寿命化が期待されている。今回、QシリーズマルチCPUユニットにも対応し、信頼性を向上させた電源二重化システム用電源ユニット“Q64RP”，及びベースユニット

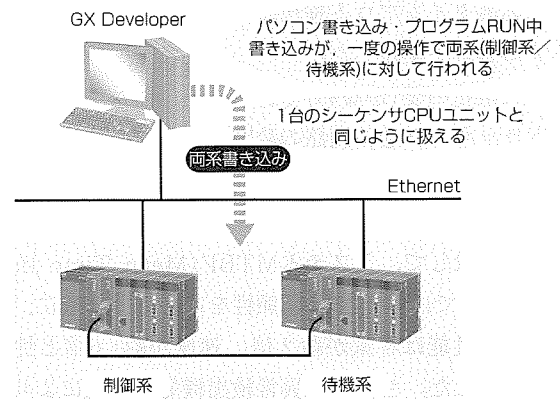


図6. プログラム書き込み操作のイメージ図

“Q38/68RB”を開発した。

6.1 冗長機能

電源二重化システム中の2台の電源ユニットは、通常、負荷を50%ずつ分割するハーフロード状態での並列運転となり、1台の電源ユニットが故障した場合には、もう一方の電源ユニットが電流を肩代わりして運転を継続するものである。

一般に使用されているダイオードのみの突き合わせによる電源二重化方式ではなく、負荷バランス機能を新たに設け、2台の電源ユニットの負荷バランスを均一にした。これにより、片側の電源ユニットのみの負荷偏重により温度が上昇することがなくなり、システムとしての寿命を伸ばすことができた。

放熱対策に関しては、経験的な実機対策だけでなく、設計上流で最新の熱シミュレーション技術を駆使し、ケースのスリット形状、部品配置、ヒートシンク形状等の要素の最適化を図った設計とした。

6.2 電源故障検出機能

電源二重化システムでは、ユーザーが電源ユニット故障時のトラブルシューティングを容易にし速やかな復旧ができるよう電源故障検出機能を搭載した。過負荷、検出回路故障等の電源ユニット故障やシステム制御信号系故障の場合には、LED(Light Emitting Diode)とERR(ERRor)接点により故障した電源ユニットの特定を可能とした。また、シーケンサCPUユニットとの組合せにより、シーケンサのシステムモニタ機能やパソコン診断機能を用い、システムとしての異常検出を可能とした。

7. むすび

今後も、シーケンサシステムとして更なる用途拡大、ユーザーにおけるより一層の使い勝手の向上と付加価値向上を目指した製品開発を推進していく所存である。

プログラマブル表示器“GOT1000シリーズ”

水澤賢剛*
近藤剛義**

Programmable Graphic Operation Terminal “GOT1000 Series”

Kengo Mizusawa, Takeyoshi Kondo

要旨

近年、装置の高性能化・高機能化・グローバル化に伴いプログラマブル表示器でも性能向上・機能追加が求められている中、三菱電機プログラマブル表示器(Graphic Operation Terminal: GOT)としては6年ぶりとなる新シリーズ、GOT1000シリーズを開発した。

GOT1000シリーズでは、“高速応答性能・高品位表示性能・大容量ユーザーメモリ”という市場から絶えず求められる表示器の普遍ニーズについて、従来機種のアーキテクチャを刷新し、新技術の取り込みなどを積極的に行うことで機能・性能向上を実現した。

さらに、“作業効率化・ダウンタイム短縮・グローバル化”の観点から、前面に配置されたUSB(Universal Serial Bus)インタフェースを活用した“USBダウンロード機能”や、トラブル発生時の早期解決を実現するため、従来のアラーム機能を見直し、強化した“拡張アラーム機能”など様々な新機能の開発を行った。

本稿では、当社プログラマブル表示器の主力となるGOT1000シリーズの開発のねらい、コンセプト、製品特長、適用技術及び今後の取り組みについて述べる。

GOT1000シリーズ

次代表示器GOT1000シリーズ。フルスペックモデルGT15(12.1型, 10.4型, 8.4型)とスタンダードモデルGT11(5.7型)をラインアップする。表示器へ求められる普遍ニーズ(速く!美しく!使いやすく!)を徹底的に追求し、基本機能・性能を強化した。65,536色対応の多色表示機能や、前面配置のUSBインタフェースを利用したUSBダウンロード機能などの新機能を搭載し、市場の様々なニーズに対応している。

1. ま え が き

当社は、1992年の“A64GOT, A77GOTシリーズ”で本格的に表示器市場に参入した。その後の“GOT-A800シリーズ”(1996年)、“GOT-A900/F900シリーズ”(1998年)と、“MELSECシーケンサ(以下“MELSEC”という。)との親和性による他社差別化”戦略に基づいた製品投入により、当社表示器ビジネスは堅調に伸び、国内シェア業界第2位に成長している。

今後更なる市場浸透・拡大を実現するため、近年のユーザーニーズ変化へ対応した新シリーズGOT1000を約6年ぶりとなる2004年7月に発売した。

本稿では、GOT1000シリーズ開発のねらい、コンセプト、製品特長、適用技術及び今後の取り組みについて述べる。

2. 表示器を取り巻く環境の変化

21世紀に入り、デフレ不況、中国等アジア製造業の台頭、アジア市場への装置輸出増加、生産現場のグローバル化、消費者の需要変化スピード加速等、表示器の土俵であるFA(Factory Automation)市場を取り巻く環境が大きく変化してきた。この環境変化はセットメーカー、製造業のエンドユーザーが表示器に求めるニーズへ大きく影響を与えており、次に示すより切実な課題に対する貢献が表示器へ求められている。

(1) 作業効率化・ダウンタイム短縮への貢献

装置納品までの短納期化、多品種少量生産に伴うリードタイム短縮要求が厳しくなっている。

(2) 装置差別化構築への貢献

メガコンペティション時代を迎え、競合他社との差別化構築が重視されている。

(3) グローバル化対応への貢献

装置の海外輸出、労働力不足に伴う海外労働者割合の増大へ対応できる機能が求められている。

また一方で、表示器の適用市場が広がりを見せている。従来の表示器ユーザー層はFA市場に特化していたが、近年は、非FA市場での表示器の適用事例が増えてきている。一例として、放送局の操作パネル、アミューズメント機器、健康器具、医療器具等が挙げられる。

3. GOT1000シリーズのコンセプトと特長

以上、表示器を取り巻く環境は大きく変化してきている。GOT1000シリーズは、この環境変化を敏感にとらえ、そのソリューションを提供する製品として、表1に示す2点の製品コンセプト、各コンセプトに属する特長を持っている。なお、このコンセプトは、将来ますます拡大していく表示器の適用市場の広がりに対する対応力強化も念頭に置いている。

4. 製品ラインアップ

GOT1000シリーズでは、GOT900シリーズのA900、F900シリーズ間で存在していた用語、機能仕様、マニュアルの相違を撤廃・統合し、

- GT15シリーズ：ネットワークに対応した高機能機

- GT11シリーズ：スタンドアロンを想定した普及機と再定義した。GT15シリーズがGT11シリーズの完全上位

表1. GOT1000シリーズの開発コンセプトと特長

コンセプト1：表示器へ求められる普遍ニーズの徹底強化	
特長	①高速応答性能 ②高品位表示性能 ③大容量ユーザーメモリ
コンセプト2：作業効率化・ダウンタイム短縮・グローバル化へ貢献する製品仕様と機能	
特長	①画面設計・システム設計を更に自由・簡単に ②デバッグ・立ち上げをスピーディに ③ダウンタイム短縮と予防保全への貢献

表2. GOT900シリーズとGOT1000シリーズの比較

項目	GOT900シリーズ		GOT1000シリーズ		
	GOT-A900シリーズ	GOT-F900シリーズ	GT15シリーズ	GT11シリーズ	
発売時期	1998年		2004年		
応答性能	CPU	32ビットRISC 64MHz	32ビットRISC 28MHz	64ビットRISC スーパースカラ200MHz 131MHz	
	描画方式	ソフトウェアによる描画		専用グラフィックアクセラレータによる描画 ソフトウェアによる描画	
	MELSEC BUS接続	対応	非対応	対応	非対応
	通信用シリアルI/F	オプション/38.4kbps	標準/38.4kbps	標準/115.2kbps	
	画面データ転送方式	RS-232		USB	
高品位表示	表示色数	256色	8色	65,536色	256色
	TrueTypeフォント対応	非対応		対応	
画面容量	標準	1Mバイト	0.5Mバイト	9Mバイト	3Mバイト
	最大	9Mバイト	0.5Mバイト	57Mバイト	3Mバイト
機能	トランスベアレント機能	RS-232		USB・RS-232	
	レイヤ機能	非対応	対応	対応	
	言語切換え専用機能	非対応		対応	非対応
	拡張アラーム機能	非対応		対応	非対応

互換機となり、シリーズ内でのユーザー画面データの相互流用性が高まったことを始め、ユーザーにとって使い勝手の良い製品体系に仕上がっている(表2)。

5. 表示器へ求められる普遍ニーズの徹底強化

5.1 高速応答性能

GT15シリーズでは、ハードウェアアーキテクチャから刷新し、“描画”“演算”“通信”応答性能の高速化を実現している。業界最高クラスの動作周波数200MHz、64ビット処理のスーパースカラRISC(Reduced Instruction Set Computer)を採用し、演算性能を高めた。また、高速メモリアクセス技術を導入したグラフィックアクセラレータを開発し搭載したことにより、GOT-A900比色情報が2倍に増えながらも(16bpp)、5~10倍のベンチマーク性能を引き出す高速二次元図形描画を実現している。

通信は従来どおりのMELSEC BUS接続による高速通信を継承しているとともに、GOT1000シリーズでは、他社シーケンサ接続、マイコン接続時の高速応答性能を重視しており、GOT-A900比で3倍の115.2kbps高速シリアルインタフェースを全機種に標準装備し、シリアル接続時における高速応答性能とコストメリットを両立している。

このように“描画”“演算”“通信”で高速応答アーキテクチャを確立した。GOT-A900シリーズ比でGT15シリーズのモニタ性能は4倍以上高速化されている。

5.2 高品位表示

GT15シリーズでは、65,536色表示に対応している。また、BitMapファイルだけでなく、JPEG(Joint Photographic Experts Group)デコード技術の導入により、JPEGファイル表示にも対応している。デジカメと連携し、効果的なトラブルシュート画面、ガイダンス画面を簡単に作成し美しく表示させることが可能となった。

さらに、フォントバリエーションの強化を図った。Windowsにインストールされている汎用TrueTypeフォントで文字描画が可能である。豊富な書体から選択でき、大きさも4ドット単位できめ細かくサイズを指定でき、たとえサイズが大きくてもジャギー(ぎざぎざ)のない美しい文字表示が可能となった。TrueTypeフォント以外にも、標準フォント、高品位フォントにおける12ドット・24ドットフォントの採用、書体の拡張、Unicode(他言語統合文字コード体系)ver.2.1標準対応といったフォントバリエーション強化により、“グローバル言語を、レイアウトを悩まず、美しく表示させる”ことが可能である。また、GT15に搭載された液晶デバイスは、“高輝度”“高視野角”“高透過鮮明度”の特性を持ち、これら高品位データをより際立たせて表示する。

5.3 大容量ユーザーメモリ

GOT1000シリーズでは、複雑化・高品位化により肥大

化するユーザー画面データに対し、空容量不足による画面削減等ユーザーの後戻り作業を極力撤廃できるよう、GT15では標準9Mバイト、最大57Mバイト(GT11では標準、最大3Mバイト)までユーザーメモリを拡張しているが、これは、メモリ大容量化とコストといった相反する課題をNAND(Not AND)フラッシュROM(Read Only Memory)技術、ブートシステム技術、高速メモリアクセス技術を取り入れたアーキテクチャ設計により可能となった。容量拡大により、効果的なトラブルシュート画面に必要な画像データを豊富に使用することが可能である。また、GOT-A900シリーズの最大が9Mバイトであり、これまで増設メモリボードの購入が必要であったユーザーにとっては、GT15シリーズではその購入が不要となる。コストメリット面での貢献も大きい。

6. 作業効率化・ダウンタイム短縮・グローバル化へ貢献する製品仕様・機能

6.1 システム設計・画面設計の自由度向上と簡単化

GOT1000シリーズでは、システム設計の自由度向上を目指し、FA機器との接続性を強化している。シーケンサを始め、マイコン接続性を強化し、さらには、モーションコントローラ、サーボアンプとの接続が可能である。エンドユーザーからの様々なシーケンサ指定への対応、よりスピーディな立ち上げ作業、トラブルシュート性強化のため、今後もシーケンサを始めFA機器接続を強化していく。

画面設計をより効率的に、より自由に行うことは、ユーザーにとっての大きな課題であり、画面設計に関するニーズは非常に多く、多岐にわたる。今回はその多岐にわたるニーズを包括的に解決するソリューションとして、レイヤ合成機能(あらかじめ指定された上下関係でベース画面上に動画部品を上下関係を保証して表示するブレンディング機能)を実現している(図1)。①多言語切換え可能名板付きタッチスイッチ・ランプの実現、②トラブルシュート用画面(画像部品上のポイント図形等)の実現、③折れ線グラフと棒グラフの重ね合わせ表示、④グラフ本数の拡大等、この機能により解決されるユーザーニーズは限りない。

GT15シリーズでは、このレイヤ合成機能を4章で述べた専用グラフィックアクセラレータに持たせた。ベース画

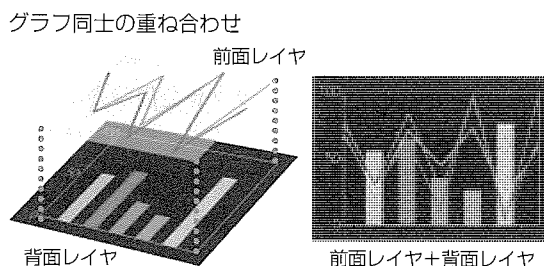


図1. レイヤ合成機能

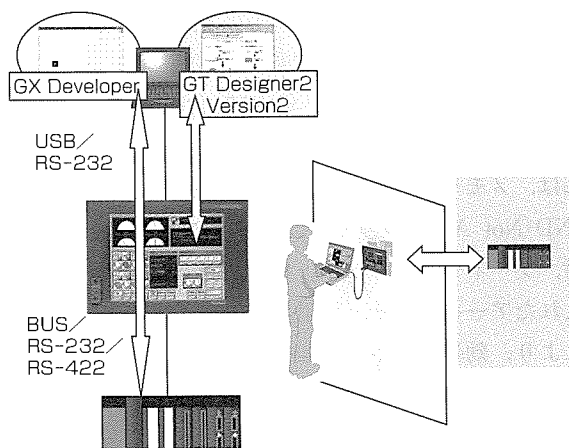


図2. USBダウンロードとUSBトランスペアレント機能

面は2レイヤ(前面レイヤ, 背面レイヤ)に分割されており, 専用グラフィックアクセラレータは二つのレイヤを画素ごとの重なり情報とパターンマッチさせながら高速に合成し, 合成情報を描画メモリへ書き込む技術(レイヤタグ合成技術)により実現している。したがって, OS(制御プログラム)はあらかじめ指定されたレイヤへ部品を状態変化時に1回描画するだけとなり, レイヤ合成のために状態が変化しない限りは再描画が発生しない。したがって, この機能を多用しても描画性能を落とすことがなく, 高速応答性能を確保することができる。

6.2 デバッグ・立ち上げの迅速化

GOT1000シリーズでは, 前面にUSBインタフェースを全機種標準装備している。USB通信技術と転送パケット最適化技術を導入したことにより, 画面転送時間は, GOT-A900比(RS-232使用)約20倍高速化しており, 立ち上げ作業のスピーディな完了が可能になった。また, GX-Developer(MELSEC用プログラミングツール)を使用したラダー転送, ラダーモニタ・診断がGOTを中継して可能(トランスペアレント機能)であり, 立ち上げ作業時など現場においてGOTとパソコンをUSBケーブルで接続するだけで, つまり盤開閉作業, ケーブルつなぎ変え作業, 複数ケーブルの準備等, 面倒な一連の間接作業を行うことなく, 画面転送とラダー転送, ラダーモニタ・診断を実行できる。USBトランスペアレント機能は, 立ち上げをスピーディに完了するための強力な機能である。この機能は, 三菱FA用通信ミドルウェア(EZSocket)へUSB通信技術を融合させたことにより実現している(図2)。

6.3 ダウンタイム短縮と予防保全への貢献

運用時, 表示器を見るのはトラブル発生時のみというユーザーは非常に多い。つまり, 多くのユーザーはダウンタイム短縮, つまりトラブルシュート性を表示器に求めている。トラブルシュート性を強化するためには, ①エラーとして監視できるアラーム種別や点数の制約をなくし, より幅広くエラー情報を収集できること, ②複雑化する要因の

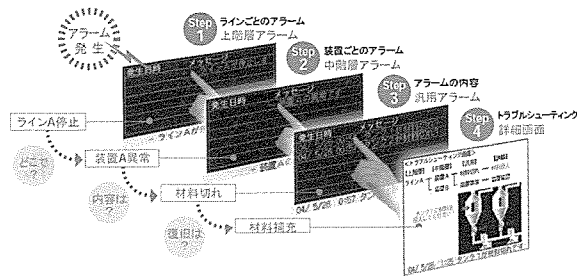


図3. 4段階ステップ表示(拡張アラーム機能)

トラブルシュート力を高めるため履歴保存性能を高めること, ③オペレータの状況整理・把握を促し, 適切なアクションへと導くソリューションを強化すること, 以上3点が重要と考え, 従来のアラーム機能を抜本的に見直し・強化した全く新しい“拡張アラーム”を開発した。

この拡張アラームは, 以下3つの特長を持っている。

- (1) 監視, 履歴保存点数を各々32,767点まで拡張でき, また, 監視対象(グループ)を複数設定でき, 一つの表示ウインドウで切換え表示が可能なので, 大規模装置, ネットワークで結ばれた工場であっても, エラーを一元的に監視・表示することが可能となる,
- (2) アラーム種別(システム・ユーザー)を問わず履歴保存が可能で, また, 設定したあらゆる監視対象はすべて履歴として保存することが可能であり, トラブルシュートに必要・効果的な情報をより多く収集できる。
- (3) 発生したアラームの“ラインごとのアラーム→装置ごとのアラーム→アラームの内容→トラブルシューティング”といった4段階で表示(4段階ステップ表示)が可能で, アラームの発生場所・重要度ごとに絞り込み表示が可能である(図3)。発生時刻など様々な条件によるソート表示が可能で, これらバリエーション豊かな機能を活用することにより, アラーム多発時であってもオペレータは迅速に発生場所・装置を認識し, 復旧のプライオリティ付けを行うことができ, 該当する保全者へ適切な報告ができる。

以上の特長を持った“拡張アラーム機能”は, ユーザーによる自己復旧率の向上, ダウンタイム短縮を具現化し, 運用面での効率化へ大きく貢献する機能である。

7. 今後の取り組み

今後, “作業効率化・ダウンタイム短縮・グローバル化へ貢献する製品仕様と機能”を更に追求していく。特にダウンタイム短縮を含む運用時における効率化への貢献は, エンドユーザーへのメリットが高く, 他社差別化を強化し, 自社装置の製品力を強化したい装置メーカーにとって最重要課題である。

ダウンタイム短縮のためには, 現場情報をより多く表示器で収集し, それを生産情報・工程管理情報・異常情報と

いったより人間が解析しやすい形態で生成し、表示させ、上位コンピュータへ通知できることがポイントと考える。そのために、FA機器との接続性を今後も高めていく。現場情報をより多く表示器に集め、各種現場情報として生成し、管理する仕組みを強化していくとともに、生成した各種情報を上位コンピュータの様々なアプリケーションへ効果的に通知させる仕組み作りを具現化していく。

また、当社は、総合FA機器メーカーであり、各FA機器の単体製品力は非常に高い。これらFA機器間の接続性を相互強化するとともに、各FA機器が必要とする情報(設定情報、画面データ等)、GOTが生成する情報(生産情報、工程管理情報、異常情報)が、複数のネットワーク、複数の機器を経由しながら伝達される通信技術確立すること

により、ユーザー作業の効率化、ダウンタイム短縮へ更に貢献する三菱統合ソリューションを展開していく。

8. む す び

以上述べたGOT1000シリーズは、表示器としての普遍ニーズの徹底強化を図るとともに、ユーザー作業効率化、ダウンタイム短縮、グローバル化へ貢献するための豊富な機能を備え、ユーザーにとって真に役立つ製品に仕上がっている。ここで紹介した現在の姿は当社が考える新たな表示器の第一歩にすぎない。今後も、ユーザーの声を積極的に聞き、時代に合わせて変化していくユーザーニーズを敏感にとらえ、いち早く具現化していく。



小林和彦*

放電・レーザ加工の技術動向と将来展望

The Technology Trends of Electrical Discharge and Laser Beam Machining, and those Future Views

Kazuhiko Kobayashi

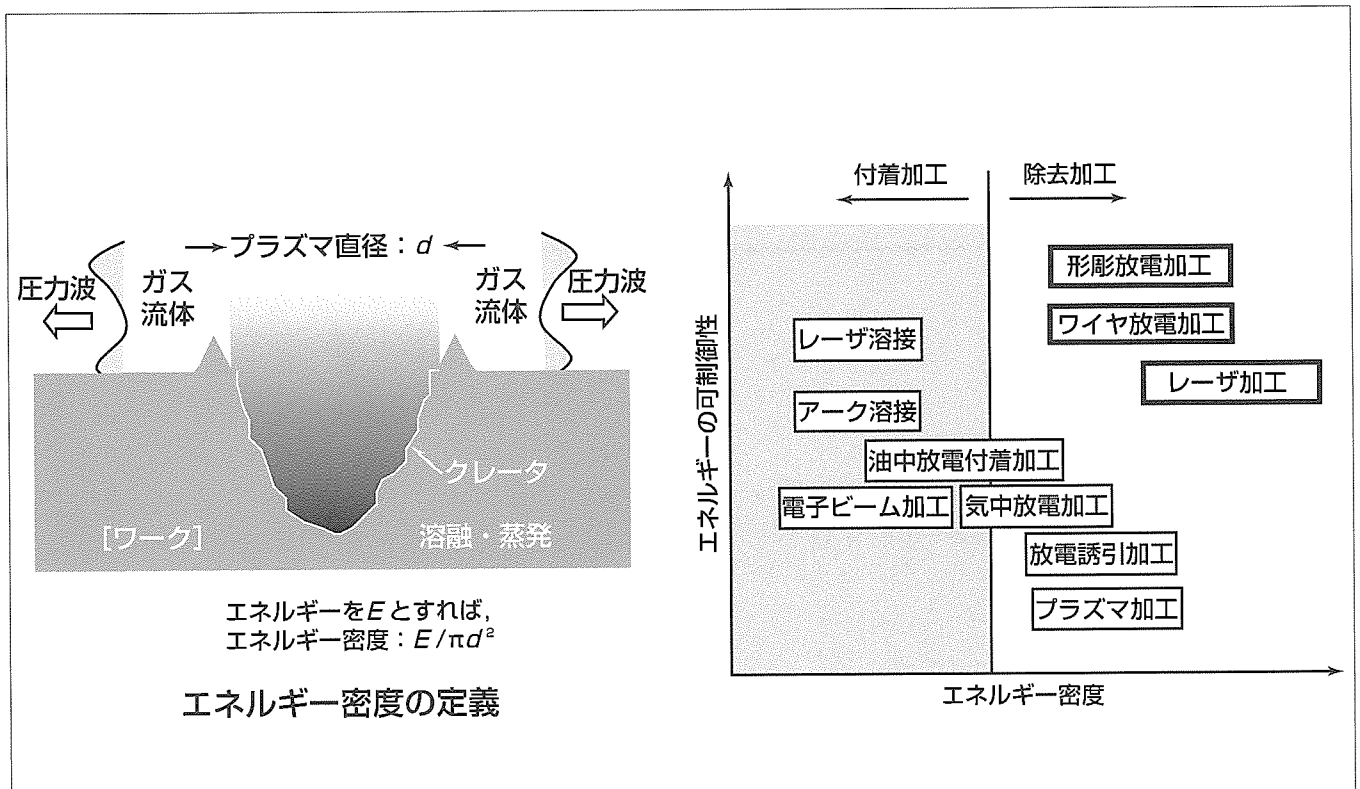
要 旨

電気加工法は、工具に力を加えて加工を行う切削加工に対し、工具と加工物間是非接触状態で、物理・化学的現象によるエネルギーを局所的微小領域に与えて、その高速な繰り返しで加工を行うことを基本原理としており、加工物全体に及ぼす力はほとんど無視できるという特長がある。

電機・自動車産業などの発展に大きく貢献してきた電気加工法の用途は、加工間隙（かんげき）に与えるエネルギー密度によって決定されると言ってもよい。すなわち、エネルギー密度の低い場合は溶接・溶断に、エネルギー密度の高い場合は加工として利用される。電気加工の中でも放電加工とレーザ加工は、エネルギー密度に従って、前者は主に加工に、後者は溶接又は切断の分野に用途を見だし、

目覚ましい発展を遂げてきている。さらに、ここまで発展してきた理由として、時代の要求に応じて、種々な付加的機能もタイムリーに開発してきたからであろう。

一方、産業界における加工技術のニーズは、比較的大物の加工から、マイクロマシンに代表される微細加工、又は高品質の表面改質、また、セラミック、ダイヤモンドなどの特殊材料の加工にまで広がってきている。さらに、先回の国際工作機械見本市に見られるように、ナノメータ（Nanometer）レベルの加工精度が追求され始めた。このような加工においても、微小領域で加工し、加工物には原理的にほとんど力のかからない電気加工法が極めて有利であり、将来の展望はますます明るいと言えよう。



放電・レーザ加工におけるエネルギー密度と応用分野

放電加工、レーザ加工に代表される電気加工法では、エネルギー密度とエネルギーの可制御性によっていろいろな用途が考え出されている。エネルギー密度が比較的高い場合は除去加工に、小さい場合は溶接又は溶融・切断加工に利用される。放電加工も最近材料の表面に高硬度・耐磨耗性の材料を付着させる加工法が開発されつつある。

1. ま え が き

電気加工法は、時代のニーズにこたえるために、新しい物理・化学現象をベースに、その時代の先端技術を取り入れながら発展してきた。放電加工、電解加工、レーザ加工、電子ビーム加工、イオンビーム加工などは正しく独自の領域を開いて確固たる地位を築いてきた。中でも放電加工とレーザ加工は、自動車、電機、情報産業などの進展とともに大きくシェアを伸ばしてきている。その一番の理由は、時代のニーズにマッチした機能・性能の大幅な進歩があると考えてもよい。

一方、産業界からのニーズを見ると、マイクロマシンに代表される微細加工やナノメートルレベルの加工精度であろう。しかし、これらのニーズにこたえるためには、更に高度な機械技術、情報技術(IT)、制御技術を取り入れた技術開発が要求されるのは言うまでもない。

ここでは、放電加工及びレーザ加工について、技術動向と将来展望について述べる。

2. 放電・レーザ加工特性と応用分野

放電加工とレーザ加工は、電機、自動車産業などにおいて、金型加工、部品加工、又は溶接・溶断などの分野で数多く利用されてきているが、用途は加工間隙に与えるエネルギー密度とそのエネルギーの可制御性によって種々考え出されてきている。すなわち、エネルギー密度の低い場合は溶接・溶断に、エネルギー密度の高い場合は除去加工として利用される。電気加工の中でも放電加工とレーザ加工は、エネルギー密度の大きさによって、前者は主に除去加工に、後者は溶接又は切断の分野に用途を見だし、目覚ましい発展を遂げてきている。前頁に掲載されているイメージ図では、エネルギー密度の定義と、そのエネルギー密度と可制御性から応用分野の位置付けを概念的に示している⁽¹⁾。

3. 技術動向

現存する技術も、長い技術開発史の中でその時代のニーズに対応して開発されてきた経緯がある。したがって、ここでは過去の経緯を振り返りながら、技術動向について述べてみることにする。

3.1 放電加工の技術開発経緯⁽²⁾

形彫放電加工に関する機能・装置、また、ワイヤ放電加工に関する機能・装置の開発経緯について、それぞれ年代別に図示してみると、大まかに図1のようになるようである。

まず、形彫放電加工では、ワークの自動位置決め制御が行われたのは、工作機械の数値制御(Numerical Control: NC)化よりかなり遅れて1970年代に入ってから採用

された。1974年ごろにワイヤ放電加工が日本で実用化されたのを契機に、急速にNC化が始まった。16ビットのNCから始まり、32ビットを経て、現在では一般の工作機械と同じように64ビットで構成されている。

ただし、一般のNC装置は、放電加工の極間距離制御を持っていないので、そのままの機能だけでは放電加工機には利用できず、放電加工特有の制御方式を組み込む必要があった。すなわち、3軸(X, Y, Z軸)方向すべてに極間距離制御を行いながら所定のNC制御も行うという、非常に高度な制御方式が採用されている。

さらに、放電加工間隙(極間)における異常放電の発生防止のために、1960年代の後半から極間の状態に応じて制御する、いわゆる適応制御が試みられている。1990年代になると、複雑な加工内容に対しても安定した加工状態を維持するために、加工状態を総合的に評価することによって、電気パルス条件などの複数パラメータの制御を可能にしたファジー適応制御が開発された。現在では、ほとんどのメーカーでこのような高度な制御方式が採用されている。

一方、ワイヤ放電加工は、基本的には二次元加工が主体であるが、ワイヤを斜めに傾けて加工を行うテーパカット装置が1970年代の後半に開発されて、部品加工分野への用途が一段と拡大した。したがって、ワイヤ放電加工におけるNC制御装置は、X, Y, Z, U, V軸の5軸同時制御が基本構成となっている。1980年代になると、32ビット制御装置の登場とともに、ワイヤ自動供給装置に代表される自動化機能の充実により、ほとんど全自動無人運転が可能となった。

1990年代に入ると、0.5 μ Rmax程度の非常に良好な仕上げ面粗さも可能になった上に、さらに、電解作用のない画期的な無電解電源方式が開発されて一段と高品質の加工ができるようになった。それまでは、直流電源で加工していたので、原理的に必ず電解作用が起り、鉄系の材料なら錆(さび)が発生し、超硬合金ならコバルト(Co)の溶出があったが、この無電解電源の出現以降は、そのような問題

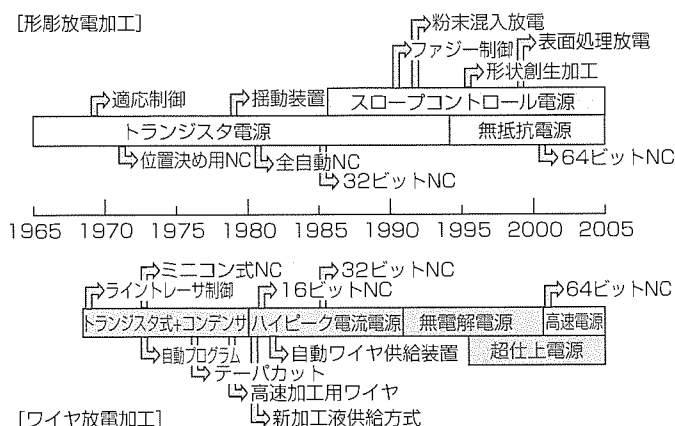


図1. 形彫放電加工とワイヤ放電加工の発展経緯

が完全に解決されて、ICリードフレームなどの超硬合金を用いた高精度プレス金型の加工が可能になり、半導体産業などへの貢献は非常に大きいと考えられる。

全体を通してみると、形彫放電加工の技術開発は1990年代に入ってから増加しているのに対し、ワイヤ放電加工は、加工電源を除いて1980年代の前半でほとんど現存する機能が開発されていることが分かる。

3.2 放電加工特性

放電加工の加工特性として加工速度及び加工精度は、表1のような要因で影響を受ける。形彫放電加工の加工速度は、加工電流を投入することにより増大するが、同時に、面粗さも粗くなる。したがって、仕上加工における加工速度をいかに向上させるかが重要な技術となるが、現状は理論的にほとんど飽和段階にきているようである。

一方、ワイヤ放電加工の場合は、 $\phi 0.4\text{mm}$ 以下の細線が用いられることから常にジュール熱によるワイヤ断線の危険性があり、いかに加工効率を上げられるかが重要な技術となる。ワイヤ放電加工の加工速度の進歩は図2のようになっている。これから分かることは、1980年代の前半の伸び率が非常に高かったこと、また、加工速度と年代の関係式から $600\text{mm}^2/\text{min}$ に達する時期は2007年ごろ、 $700\text{mm}^2/\text{min}$ は2013年ごろになると予想される。この程度の加工速度になると、コンターマシンと十分競合できる能力になり、新しい分野が開けることが期待できる。

加工精度としては、現在では誤差発生要因の解析がかなり進んでおり、サブミクロンの精度も不可能ではないところまできているようである。特に機械本体の構造は、最新

表1. 放電加工特性に影響を及ぼす要因

加工特性	要因
加工速度	電源回路、電気パルス条件、極性ワーク、電極材料 極間(放電プラズマ)の状態 加工液の種類、清浄度、圧力
加工精度	加工形状 加工機の構造、機構 制御方法、センサ解像度 設置環境(温度、塵埃(じんあい)、振動など)

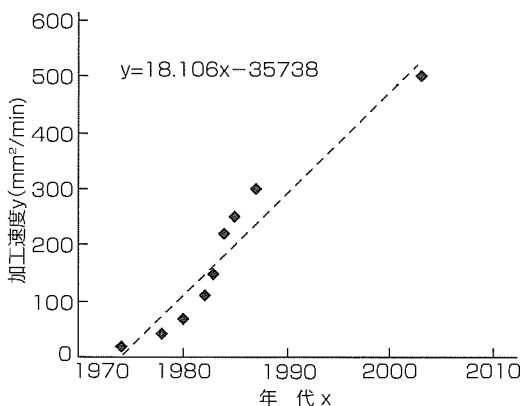


図2. ワイヤ放電加工における年代別最大加工速度

のコンピュータによる解析技術の進歩により一段と最適化され、送り機構、センサ技術などの進歩とあいまって、機械本体のテーブル送りは $0.1\mu\text{m}$ も可能になっている。

3.3 レーザ加工

レーザー加工は、比較的歴史が浅く、1970年代に入ってから実用化された新しい加工法で、放電加工と同じようにエネルギー密度が非常に高く、非接触加工で、各種材料を融解・気化して切断、穴あけ、溶接などを行う。また、電子ビームと類似しているが、真空を必要とせず、空気中で加工ができるなどの利点がある。現在気体レーザーと固体レーザーの両方が加工に利用されているが、前者は主として切断・溶接・熱処理などに、後者は穴あけ加工に用いられる場合が多い。

レーザーの種類や応用は多岐にわたり、枚挙にいとまがない。ここでは、一般的な説明にとどめる。

レーザー加工にはいろいろな加工方式があり、その分類は概略次のようになると考えられる。

- (1) 加工機構による分類：加工機構には、熔融・蒸発による除去機構、熔融硬化、変体硬化など
- (2) レーザ光の照射方法：ミラー及びレンズによる集光照射、オプティカルファイバ及びレンズによる集光方法など
- (3) 加工雰囲気：反応ガス、反応液、シールドガス、空気、真空など
- (4) レーザ光の発振方式：連続、パルスなど
- (5) レーザ光の種類：名称、レーザー光の波長

レーザー加工におけるエネルギー密度は、パワー密度(W/mm^2)と加工時間(パルス幅)との積で求められる。したがって、この二つのパラメータを軸にして各種の加工法を描くと、図3⁽⁴⁾のように提案されている。

エネルギー密度とレーザーの照射時間を適切に設定し加工部分だけを蒸発させて他の部分が熱伝導によって熔融しないようにすれば、微小径の深穴除去加工が可能になる。

また、加工用レーザー光の種類は非常に多く、名称と波長を表2に示す⁽⁴⁾。このようにレーザー光の種類は非常に多い

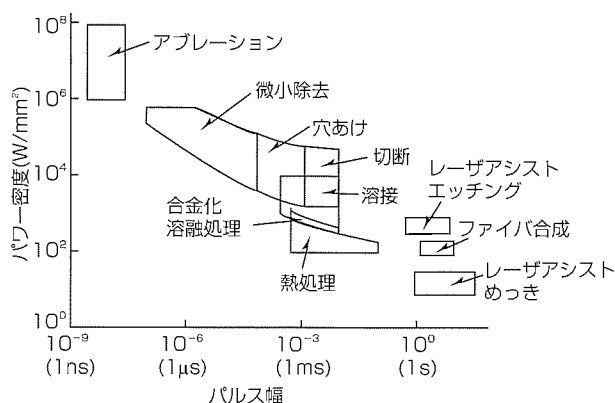


図3. 加工機構と加工の種類

のが特徴で、現在生産加工に使われているのはCO₂、YAG (Yttrium Aluminum Garnet)、アルゴンレーザーである。

レンズによるレーザー光の集束径はその波長に比例するので、波長が短いほど微細なスポットにレーザー光を集束してエネルギー密度を高くすることができる。現在生産加工用として最も使用されているCO₂レーザーは、波長が10.6μmと固体レーザーに比べて10倍以上も長いので、精密加工用としては不利な条件であり、主に切断や溶接、又は比較的大きな穴加工に利用されている。また、波長が長くなると、レーザーを照射した表面での反射によるエネルギー損失が大きくなるので、これを防ぐために、加工部に酸素などの気体を吹き付け、金属の酸化による反射率の減少を図ると同時に、酸化熱を利用して加工能率を高めることが通常行われる。

YAGレーザーは波長が1.06μmであるので10μm以下のスポットまで絞ることができ、電子部品などの精密加工に多く利用されている。

3.4 IT・ネットワーク技術

加工機を駆動するのはNCであり、この技術の進歩は著しい。最新のNCは、パソコン技術の導入が進み、外部と結ぶネットワーク技術が一段と進歩している。他の場所から機械群の稼働状態を監視したり、場合によっては機械の遠隔制御を行ったりすることもできる。また、機械が故障した場合、遠隔からその状況を把握し、内部診断を行って、迅速に修理することも可能になっている。

遠隔操作におけるワークの自動段取りに関する技術も既に研究されている⁽³⁾。この技術を用いれば、自動的にワークの傾きを測定し、正確な形状座標を計算し直すことにより高精度に自動加工が可能である。

4. 新しい技術の萌芽と将来展望

最近の学会などで発表されている研究報告、前回の国際工作機械見本市における製品展示などに基づいて調査を行うと、新しい技術の萌芽(ぼうが)が見えてくる。ここでは、それらの技術の将来展望について述べる。

4.1 新しい放電現象の応用と実用化

過去2年間の精密工学会で発表された放電加工部門の研究発表内容⁽⁵⁾を分類すると、図4のようになっている。

表2. レーザの種類と波長

レーザーの種類	波長
CO ₂ レーザー	10.6μm
Nd: YAGレーザー	1.06μm
アルゴンイオンレーザー	4905.1nm
エキシマレーザー	193~351nm
ルビーレーザー	694nm
ガラスレーザー	1.06μm

最も多いのが新しい放電現象の応用で、次いで従来の放電加工法の改良、放電現象の基礎的解析、極間隙の制御・安定化、加工精度・性能、そして放電以外の加工法(電解加工、電子ビーム加工など)の順になっている。また、ワイヤ放電加工の研究の数は少なく、数%という状況である。これから分かることは、放電加工の加工精度、加工性能については、ほぼ成熟状態に達しているのではないかと考えられる。一方、新しい放電現象の応用が一番多いのは、新しい分野への応用が有望であるということの意味しており、その内訳は表3のとおりである。

特に、W、Ti、Coなどの圧粉電極を用いて被加工物の表面に0.1mm以上の厚さの緻密(ちみつ)な被膜を形成させる方法は、耐磨耗性の表面改質が可能になり、実用的にも広範囲の応用が考えられ、極めて有望である。

また、瞬時微細軸成形法は、一瞬のうちに微細電極が生成できるという利点があるが、毎回同じ径の軸が精度良くできるかどうか今後の課題である。絶縁性材加工法は、セラミックのような絶縁材料でも加工ができるという点で画期的であるが、加工精度がどの程度改善されるかが今後の大きなテーマである。

4.2 精密・微細加工への応用

精密・微細加工は、半導体、医療、情報機器などの金型や部品加工などにとって重要な技術であり、国の助成などにより将来大きく成長する産業になると言われている。放電加工とレーザー加工は、エネルギーを微細なスポットに絞ることができる特長を持っていることから、これらの分野への応用は非常に有望である。

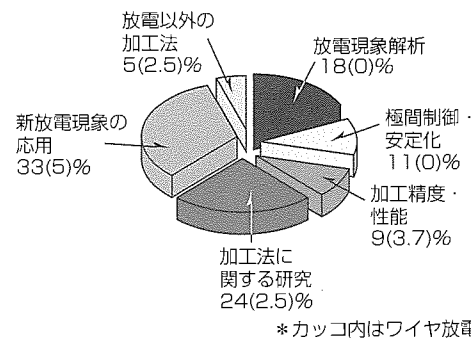


図4. 精密工学会における過去2年間の研究発表内容

表3. 新しい放電現象にもとづく加工法

瞬時微細軸成形法	直径100μm程度のタングステン(W)線に大電流の単発放電をさせることにより、電極の先端部に直径約数〜数十μmの微細軸を形成させる現象
放電付着加工法	W、Ti、Coなどの圧粉電極を用いて、非加工物の表面に0.1mm以上の厚さの緻密な被膜を形成させる方法
絶縁性材加工法	セラミックなどの絶縁性材料の表面に、銅、グラファイトなどの板状又は皮膜などの補助電極を用いた放電加工法
気中放電加工	液中の代わりに、気体中で放電を行う加工法

形彫放電加工は以前から微細加工への応用はかなり進んでいるが、ワイヤ放電加工では、数～数十 μm の極細線の送り機構、自動ワイヤ供給装置、さらに三次元的に微細送りのできる高精度テーブルなどが今後のキーテクノロジーとなると思われる。

レーザ加工の場合は、放電加工の場合と違って電極が不要なので、はるかに有利である。また、前掲の図3及び表2で示したように、微細スポットにするために短波長レーザとパワー密度を上げるためにQスイッチ形を使用することにより、更に超微細除去加工が可能になる。

4.3 レーザ加工における新しい技術

レーザ加工については、Q-Switch Nd:YAG-レーザ光を利用し、偏光ミラーの3軸制御と機械テーブルの3軸制御を組み合わせた6軸制御形彫りレーザ加工機⁽⁶⁾が最近実用化され始めている。この機械は、形彫放電加工機と同じような形状加工が可能で、比較的小型の精密部品加工、微細加工への応用が考えられている。一回のレーザ光の照射量を制御することにより、仕上げ面粗さの制御も可能である。

次に、金属粉末をレーザ光で焼結積層させて造形する加工法も最近開発された。レーザ光のプロトタイピングへの応用は既に実用段階に入っているが、これは、精密小物金型・部品を直接造形する方法⁽⁷⁾で、他の方法では不可能な内部形状の加工も可能になり、精密・微細部品の加工への応用に有望であると考えられている。

レーザ光の発振は、効率が非常に低いと言われてきた。しかし、最近、半導体を利用したレーザ発振方式が注目されてきており、将来は半導体だけで構成されたハイパワー

電源も視野に入ってきている。その場合、発振効率の大幅な向上が期待できることは間違いない。

5. むすび

放電加工とレーザ加工に代表される電気加工技術の応用範囲はますます拡大してきている。放電加工は金型加工で確固たる地位を築いており、また、レーザ加工の応用範囲は裾野が非常に広い。さらに両者は、加工メカニズムの面から超精密・微細加工においても、非常に有望である。将来、生産加工技術に新しい息吹を吹き込むとすれば、多分電気加工ではないかと確信する次第である。

参考文献

- (1) 小林和彦：放電加工の基礎研究と新しい加工法について、精密工学会春季大会，321（1998）
- (2) 小林和彦，ほか：放電加工の技術史と今後の課題，電気学会研究会資料，25～30（2003）
- (3) Kobayashi, K.: The study on the methods for applying Internet-use technology to EDM fields, ISEM 13, 523～536（2001）
- (4) 宮崎俊行：レーザ加工機，超精密生産技術体系，フジ・テクノシステム，391（1994）
- (5) 精密工学会春季および秋季大会前刷集（2003～2004）
- (6) レーザによる3D形状加工と精密切断，JIMTOF資料，DMG（2004）
- (7) 金属光造形複合加工機，JIMTOF資料，松浦機械製作所（2004）

新型ワイヤ放電加工機“FA-Sシリーズ”

木場亮吾*
安達章人*

New-design Wire EDM “FA-S Series”

Ryogo Koba, Akihito Adachi

要 旨

自動車、家電、IT関連機器など様々な製品の価格低下、製品サイクルの短期化、小型・高精度化、多種少量化の傾向はとどまることなく、それに伴って金型のコストダウン、短納期、高精度化の要求はますます厳しくなっている。一方、医療機器関連などの部品加工においても微細化・高精度化が進み、既存の汎用ワイヤ放電加工機では対応が難しくなってきた。このような市場の要求にこたえる高性能ワイヤ放電加工機として、“超ハイコストパフォーマンス”をキーワードに、新型ワイヤ放電加工機“FA-Sシリーズ”を開発した。FA-Sシリーズは、現状最も市場のボリュームが期待できる高性能汎用機種に位置付けられる世界戦略機であり、次のような特長を備えている。①微細加工に対応

したφ0.1mmワイヤに対応した自動結線装置“AT2”搭載、②長期間にわたって経年変化の少ない安定した高精度加工を実現する“X、Y軸リニアスケール”標準装備、③加工液インバータ制御システムを含む各種ランニングコスト低減技術、④加工内容に応じた最適プロセスを作り出す各種適応制御、⑤絶縁ジグなしで高品位な微細加工面が得られる絶縁ジグレス微細仕上げ回路搭載、⑥最大45°の高品位テーパ加工を実現する“アングルマスタ”を含む高機能なオプション。

これらの新技術により、作業者のノウハウなしで高精度加工を実現しており、現在、幅広いユーザーから好評を得ている。

[ランニングコスト低減] CSモード・省電力型電源・省電力型加工液供給装置
 [アプローチ部の凹み低減] EM制御を新搭載
 [条件設定レス荒加工] PM4を新搭載
 [段差レス仕上げ] SL制御を新搭載
 [コーナー形状精度の向上] CM-R(荒)・CM-S(仕上げ)

ロングストロークテーパカット装置
標準搭載(FA20Sのみ)
 φ0.1mm対応ワイヤ自動結線装置(AT2)標準搭載

絶縁治具レス微細仕上げ回路
標準搭載

[かんたん加工ナビ]
E.S.P.E.R Light画面

[高精度広角テーパ加工]
アングルマスタ*対応
※オプション

全軸(X, Y, Z, U, V)
高精度絶対値制御

加工液インバータ制御システム

FA10S

XY軸リニアスケール
標準搭載

かんたん洗浄ノズル

FA20S

	FA10S	FA20S
各軸ストローク(X×Y×Z) (mm)	350×250×220	500×350×300
最大工作物寸法(幅×奥行き×高さ) (mm)	800×600×215	1,050×800×295

高性能ワイヤ放電加工機“FA10S/FA20S”

FA-Sシリーズは、φ0.1mm対応細線自動結線装置AT2や、絶縁ジグレス微細仕上げ回路など、従来高級機種にのみ搭載、又はオプションでのみ対応していた技術をすべて標準搭載としたハイコストパフォーマンス機である。ワイヤ放電加工機における次世代の標準機として、高い注目を集めている。

1. ま え が き

自動車、家電、IT関連機器など様々な製品の価格低下、製品サイクルの短期化、小型・高精度化、多種少量化の傾向はとどまることなく、それに伴って金型のコストダウン、短納期、高精度化の要求はますます厳しくなっている。一方、医療機器関連などの部品加工においても微細化・高精度化が進み、既存の汎用ワイヤ放電加工機では対応が難しくなってきた。このような市場の要求にこたえる高性能ワイヤ放電加工機として、“超ハイコストパフォーマンス”をキーワードに、新型ワイヤ放電加工機“FA-S”シリーズを開発した。FA-Sシリーズは、従来高精度機種にのみ装備していたり、オプションでのみ対応していた各種機能を大幅に標準展開している。一部の部品増加については価格増加があるが、ロット増による購入品価格低減や、共通化による組立てコスト低減などが、それを上回るコスト低減効果を生んでいる。ここでは、FA-Sシリーズに標準展開された新機能・新技術を中心に述べる。

2. FA-Sシリーズに搭載の新技術

2.1 AT2

ワイヤ自動供給装置は、ワイヤ放電加工機の自動化に不可欠な装置であり、その信頼性と高速性がこれまでの課題であった。それに対し、2001年発表のFAシリーズで搭載したワイヤ自動結線装置“AT”は、信頼性を向上しつつ、挿入時間10秒を達成した装置で、現在、市場でも好評を得ている。しかし、金型が更なる微細形状化へと進む中、ワイヤ自動供給装置で使用可能なワイヤ線径の細線化への要求が強まっていた。そこで、FA-Sシリーズでは、これまでオプション対応であったφ0.1mm、φ0.15mmの細線ワイヤにも対応できる“AT2”(図1)を標準搭載した。これにより、微細加工要求への対応が格段に向上した。

2.2 ランニングコスト低減技術

マザーマシンであるワイヤ放電加工機は、できるだけ効率的に稼働させて、付加価値の高い製品を作り出すことによりユーザーはより大きな利益を得ることができる。稼働にかかるランニングコストを低減させることはそのままユーザーの収益を改善させることとなり、更なる改善が求め

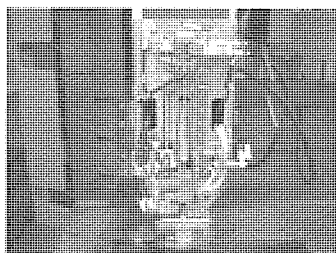


図1. φ0.1mm対応自動結線装置(AT2)の外観

られていた。FA-Sシリーズでは、部品や電力の消耗をできるだけ抑える新技術を盛り込むことにより、従来に比べて最大40%のランニングコスト低減を実現している(図2)。次に、その具体的な技術について述べる。

2.2.1 ワイヤ電極消費量低減技術

加工に用いるワイヤ電極は、一度使用したものは再利用できないので使い捨てである。そこで、ワイヤ電極の送り速度を落とし同じ加工内容に用いるワイヤの消耗を抑える“コストセーブモード”を標準搭載した。ワイヤ電極の送り速度を遅くすると加工中のワイヤ電極消耗が多くなり、それにより、精度悪化につながることもある。コストセーブモードでは、それを事前に検出して補正をかけることで、精度悪化をできるだけ抑えることに成功している。

2.2.2 給電子寿命向上技術

加工に用いる電力をワイヤ電極に供給する給電子は、ワイヤが連続的に擦れるために摩擦による消耗が発生する。しかし、そういった通常摩擦とは別に、加工反力などでワイヤが跳ね、給電子から離れた際に生じるワイヤと給電子間の異常放電が給電子寿命を短くしていることが分かった。そこで、給電子の形状を最適化して、ワイヤが跳ねても給電子から離れず異常放電が発生しないようにした。これにより、給電子寿命を80%向上させることができた。

2.2.3 フィルタ寿命向上技術

加工で発生したスラッジを濾過(ろか)するためのフィルタは、詰まってくると必要な清液量を濾過できなくなるので消耗品である。しかし、すべての汚液を濾過するのではなく、事前にある程度スラッジをタンク内に沈殿させ、スラッジ濃度の低下した汚液のみ濾過する方法とすれば、フィルタ寿命は向上し、スラッジ除去はタンク清掃という消耗品の発生しない形で行うことができる。そこで、タンク内構造を変更し、スラッジが発生する加工部位からフィルタまでの距離をとるようにして途中経路でスラッジの沈殿を促すようにした。また、加工終了後の夜間などは、自動で濾過ポンプを止め、加工に必要な時間に必要な量だけ濾過するシーケンスを選べるように改良した。これにより、

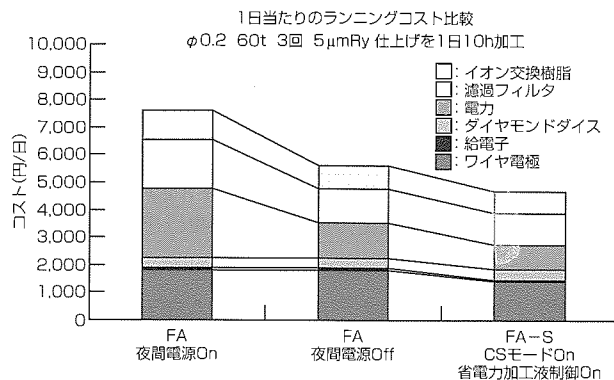


図2. FA-Sシリーズのランニングコスト比較

フィルタ寿命を約30%向上させることができた。

2.2.4 電力消費量低減技術

従来は、加工部位に加工液を供給する回路に液温制御装置(クーラー)を設置し、冷却された清液を極間に供給して加工を安定させていた。加工時の加工液供給には大きな圧力が必要なため、供給ポンプ(P1)は大型で電力消費が大きいものを選ばざるを得ないが、液温制御は常時働かせなくてはならないので、加工時以外もP1を駆動させ、冷却された清液をバイパスで循環させていた。そのため、P1の電力消費が非常にランニングコストを圧迫していた。そこで、FA-Sシリーズに採用した液回路では、クーラーを循環回路に設置し、P1はインバータによる圧力制御運転とした。液温制御に用いる常時駆動のポンプは小型の循環ポンプ(P7)となり、P1は必要なときのみに必要なだけの電力で駆動させることができる。これにより、機械全体に必要な電力消費量が半減した。また、圧力制御が可能となったため、液制御バルブなども特殊な高圧タイプを使用する必要がなくなり、価格低減にも寄与できた。従来機種の加工液回路と、FA-Sシリーズで採用した加工液回路を図3、図4に図示する。

2.3 新適応制御技術

2.3.1 PM4制御

PM(Power Master)制御は、加工物の板厚や板厚変化を自動検出して加工条件を最適化することにより、ワイヤ断線を回避しながら加工効率を最大にする適応制御である。FA-Sシリーズに搭載のPM4は、板厚変化が生じた際に、加工部位に噴出している加工液の流量を自動制御する機能

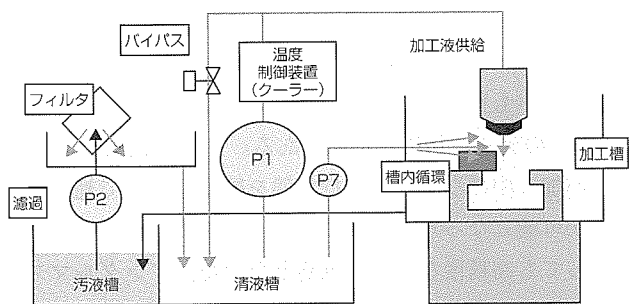


図3. 従来機種の加工液回路

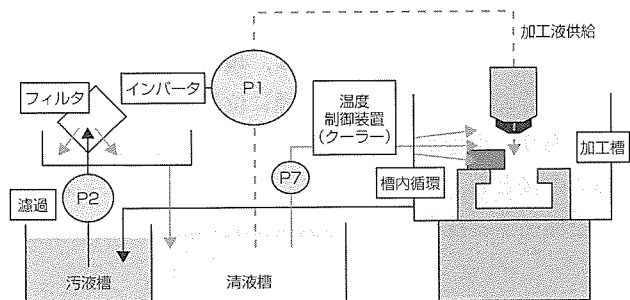


図4. FA-Sシリーズの加工液回路

を新たに盛り込んだ。これにより、断線しやすいコーナー加工でも加工速度低減を最小限とすることができるため、従来よりも20%の加工速度向上を実現できた。

2.3.2 CM制御

CM(Corner Master)制御は、コーナー加工精度を向上させる機能で、荒加工用のCM-Rと、仕上げ加工用のCM-Sから構成される。CM-Rは、従来からある軌跡制御に加工エネルギー制御を加えた。さらに、薄板加工では速度重視の軌跡制御を選択し、厚板加工では精度を重視した加工エネルギー制御を選択するなど、内容に応じた加工が可能となった。これにより、コーナー形状誤差を従来の1/3に低減できた。また、CM-Sは、小さなコーナーでの短絡を防止する機能で、仕上げ加工時のコーナー精度を向上できる。これにより、加工プログラムの形状変更や速度変更など、ユーザーが独自の工夫を施さなくても、安定した加工を実現できた。CMの効果を図5に示す。

2.3.3 SL制御

従来、板厚が加工途中で変化するようなワークの仕上げ加工は、板厚が変化する箇所において段差が発生したり、筋が残ったりして後処理が発生するなど、困難なものであった。SL(Step Less)制御は、このような厚みの変わる加工物に対する仕上げ加工面の段差を低減させる機能である。SL制御を用いると、従来 $\pm 3 \sim 7 \mu\text{m}$ 程度あった段差を、 $\pm 2 \mu\text{m}$ 以下に低減できる。これにより、段差形状などの複雑形状加工の高精度化・自動化を図ることができるようになった。図6にSL制御の特長を示す。

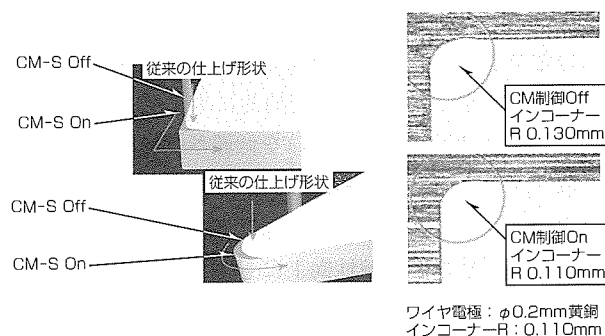


図5. CM制御

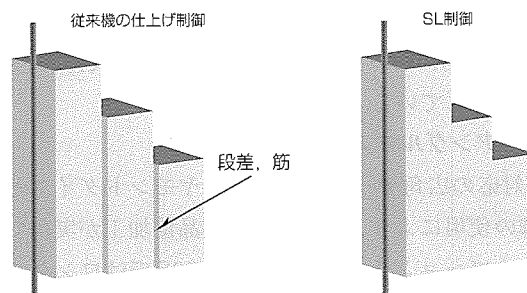


図6. SL制御

2.3.4 EM制御

イニシャルホールから形状加工部へ移行するアプローチ部には、微小な凹みが生じやすく、仕上げ加工でも取りきれない場合があった。EM(Entrance Master)制御は、このアプローチ部に生じる凹みを解消する機能である(図7)。これにより、磨きなどの後工程を大幅に低減できる。アプローチ部を凸形状にも調節可能なので、簡単な手仕上げでアプローチ部を仕上げたい場合などにも有効に活用できる。

2.4 加工電源(絶縁ジグレス微細加工仕上げ回路)

従来から $2\mu\text{mRy}$ 以下の面粗さを実現するためのオプションはあった。しかし、絶縁ジグを定盤の上に設置し、ワークを定盤以外の部分で段取りをしなければならず、制約が多かった。今回FA-Sシリーズに標準で搭載した微細加工仕上げ回路は、定盤にワークを直置きした状態で、最良面粗さ $1.5\mu\text{mRy}$ が実現できる。これにより、段取り性が向上しただけではなく、ロボットなどでワークを自動交換するなどの自動化にも対応が容易となった(図8)。

2.5 高信頼性機械構造

2.5.1 X, Yリニアスケール標準搭載

従来オプションでのみ対応していたリニアスケールを、標準搭載した。長期間にわたって、経年変化の少ない安定した高精度加工が実現できる。

2.5.2 高精度絶対値制御を標準装備

全軸(X, Y, U, V, Z)高精度絶対値制御を搭載した。停電後の復帰動作についても、高精度に行えることが特長である。

2.5.3 各種クリーニング機能

上下ワイヤガイド部、回収パイプ部、加工槽シール部などには常時清液を流し、スラッジの付着を軽減している。また、AT2案内パイプは、定期的にエアブローを実施し、ワイヤ粉などの堆積(たいせき)を低減させている。さらに、加工液タンク正面には“かんたん洗浄ノズル”を実装し、加工槽内の水洗いなどの日常清掃作業を容易にしている。これら清掃の容易性が信頼性向上にも寄与している。

2.6 可動範囲拡大による生産性向上

2.6.1 ロングストロークテーパ装置標準装備

従来中心から $\pm 32\text{mm}$ であったU, V軸のストロークを、 $\pm 75\text{mm}$ に拡大するロングストロークテーパ装置を標準装備とした(FA20Sのみ)。高板厚の加工が求められることの多いFA20Sにおいて、 260mm の板厚で最大 15° のテーパ加工を実現している。

2.6.2 アングルマスタ

45° 対応の広角テーパ用新型ダイヤモンドダイスと新しい制御の使用により、最大 45° の高品位加工が実現できる新しいオプションを用意した。FA20Sではロングストロ

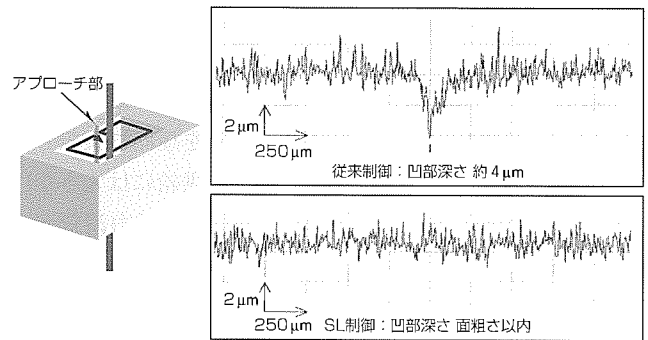


図7. EM制御

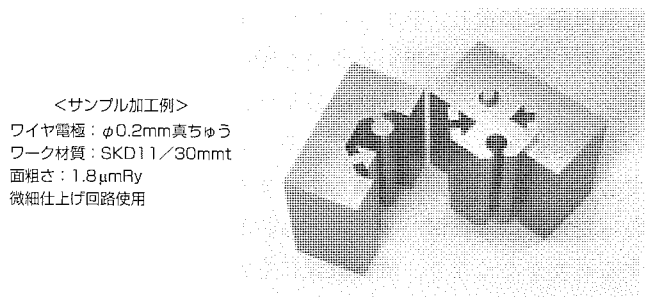


図8. 絶縁ジグレス加工サンプル例

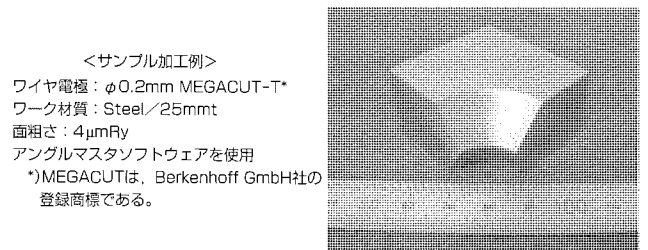


図9. アングルマスタによる加工サンプル例

ークテーパも標準で搭載していることから、 40mm の板厚まで 45° のテーパ加工が可能である。新しい制御により、テーパ加工中のワイヤの支持状態を微小レベルで補正することが可能となった。これにより、加工中にテーパ角度が変わっても高精度な加工が可能となった。アングルマスタの加工事例を図9に示す。

3. む す び

ワイヤ放電加工機FA-Sシリーズと、搭載する新技術について述べた。FA-Sシリーズは、現状最も市場のボリュームが期待できる高性能汎用機種に位置付けられる世界戦略機であり、市場からは次世代の標準機として注目されている。今後とも、市場ニーズにこたえるとともに、新たな市場を開拓する技術と製品の開発に取り組んでいく所存である。

石原秀一郎*
林 英明*
佐藤清侍*

超高精度ワイヤ放電加工機“PA05S”

Ultra-high Accuracy Wire EDM “PA05S”

Shuichiro Ishihara, Hideaki Hayashi, Seiji Sato

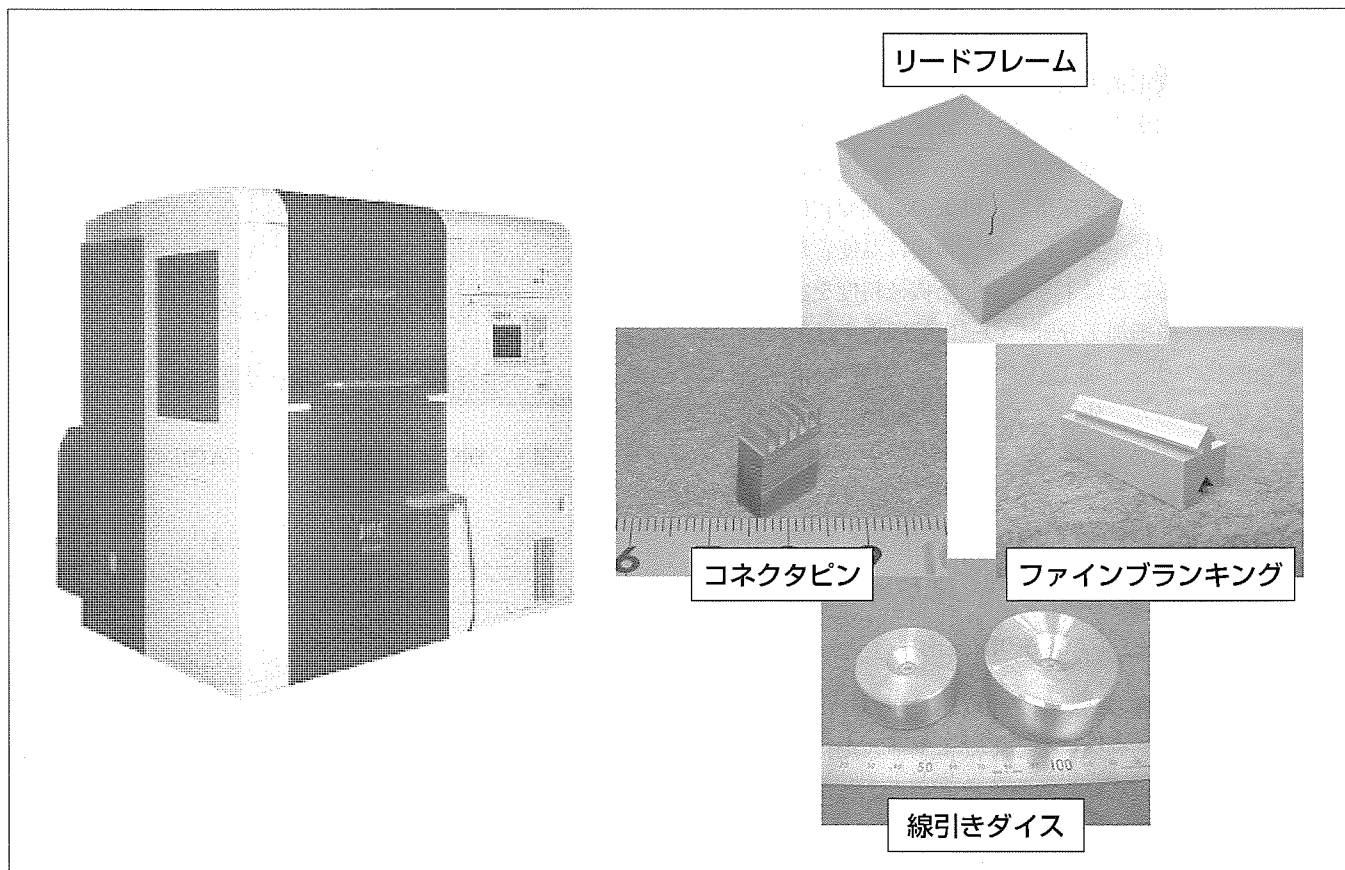
要 旨

近年のデジタル家電の隆盛により、電子デバイス部品の小型化が進み、半導体関連金型や微細モールド金型の微細高精度化がますます進んでいる。また、自動車関連では、金型の複合・高精度化による切削レス加工の推進により、ファインブランキング金型・冷間鍛造金型が増加し、精密切削加工や研削加工工程からの置き換えも含め、ワイヤ放電加工への要求精度はサブミクロンオーダーにまで達してきている。

三菱電機では、X/Y軸分離構造とフルキャビン構造を踏襲しつつ様々な微細加工分野への適用範囲を広げるため、使用ワイヤ線径の極小化とそれに対応したコア技術を搭載したPAシリーズの最新機種である“PA05S”を開発した。

- (1) $\phi 0.02$ mmワイヤに対応した細線対応新自動結線装置(ATS)
 - (2) 安定したワイヤ走行を可能にするTS(Tension Stabilized)コントロールと流体静圧下部ローラ
 - (3) 微細加工への適用範囲を広げるため、PF(新仕上げ)回路の搭載と超仕上げ電源(FS5電源)の開発
- これらの技術により、コネクタピン加工を始めとした狭スリット加工や $\phi 0.02$ mmワイヤを使用したインコーナーRの厳しい微細ギヤ加工を実現した。

今後は、各アプリケーションに最適な加工条件の生成を進め、ユーザーマインドに即応した加工技術が提供できるように更なる製品力強化に努めていく。



超高精度ワイヤ放電加工機“PA05S”

PA05Sは、 $\phi 0.02$ mmワイヤ対応の細線対応新自動結線装置(ATS)を搭載し、微細超精密加工を可能とする超高精度ワイヤ放電加工機である。FS5電源を使用した $\phi 0.02$ mmワイヤ加工では、加工溝幅 $23\mu\text{m}$ の狭スリット加工を実現し、ワイヤ放電加工機の限界を超えたマイクロマシニングが可能になった。

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、その特異性を生かし高精度金型加工の主要な工作機械としての地位を築いてきた。

近年のデジタル家電の隆盛により、金型産業や部品加工業界においては、従来以上の高精度・高品位を追求する加工と低価格・短納期に対応できる生産性の高い加工の2極化が進み、ワイヤ放電加工機もユーザーマインドに対応する製品ラインアップの充実が図られている。

超微細高精度加工においては、電子デバイス関連ではICリードフレームに代表される高速スタンピング用金型の狭ピッチ化やコネクタピンなどの精密モールド金型の微細化が進んでいる。また、自動車関連では、金型の高精度化・複合化による切削レス加工の推進により、ファインブランキング金型や冷間鍛造金型が増加している。そのほか、化繊ノズル径の極小化に伴う線引きダイスや光フェール用細穴加工の微細化も進み、これらの加工は、精密切削加工や研削加工工程からの置き換えとワイヤ放電加工機でしかできない加工の超精密化に伴い、その要求精度はサブミクロンオーダーにまで達してきている。

当社は、超高精度ワイヤ放電加工機としてPAシリーズを開発・発売しユーザーニーズにこたえてきた。長時間加工が多いワイヤ放電加工機にとって機械の熱変位は設置環境の周囲温度変化が支配的であり、安定した加工精度を得るためには徹底した温度管理が求められる。PAシリーズは、フルキャビン構造を採用し、外気の温度変化による精度悪化要因を遮断し、さらに機械鋳物内に温度管理された加工液を通水することにより安定した機械精度を実現してきた。しかし、微細加工分野への適応範囲を広げるためには、更なる狭スリット加工やインコーナーR径の極小化に対応する必要があり、使用ワイヤ線径の細線化とそれに対応した制御・加工技術を開発し最新機種PA05Sに搭載した。

本稿では、最新機種であるPA05Sに搭載した要素技術と超精密微細加工の最新技術の加工について述べる。

2. PA05Sの新技術

ワイヤ放電加工機の超微細高精度化対応の柱は、軸駆動機構・電源・温度制御技術そしてワイヤ挿入走行技術であり、これらの技術がバランス良く成立することが重要である。1997年発表のPX05から好評を得ているX/Y軸分離構造とフルキャビン構造を踏襲しつつ、以下の点を新たに開発又は改良し高精度加工を実現している。

- (1) 細線対応新自動結線装置(ATS)
- (2) TSコントロール
- (3) 流体静圧下部ローラ

- (4) 微細仕上げ回路(PF回路)
- (5) 超仕上げ電源(FS5)

2.1 細線対応新自動結線装置(ATS)

微細・狭スリット加工になるほど使用されるワイヤ径は極細線化するが、加工前段階として、まず使用ワイヤを加工物のイニシャルホールに通し安定したワイヤ走行ができることが不可欠となる。人間の髪の毛1本が約 $\phi 80\mu\text{m}$ であることを考えると、人間の手で $\phi 20\mu\text{m}$ のワイヤをほぼ同径のガイドとイニシャルホールに通すにはかなりの熟練を要する作業になる。また、 $\phi 20\mu\text{m}$ のワイヤでは1N程度の力を加えただけで簡単に断線するため、ほんの少しの外乱要因で断線し作業者が同様な作業を繰り返すことは生産性の向上を妨げる大きな要因となっていた。PA05Sでは、FAシリーズで培った自動結線装置(AT)を元に、その適用領域を細線に特化し細線対応新自動結線装置(ATS)を開発し搭載した。図1にATSの外観を示し、図2に従来の細線自動結線装置(AF2)とATSの相違点を示す。

(1) 段取り性の向上

AF2では、結線時に生じるワイヤのたわみを搬送パイプ内の接触検出で行っていたため、検出速度が遅く、その

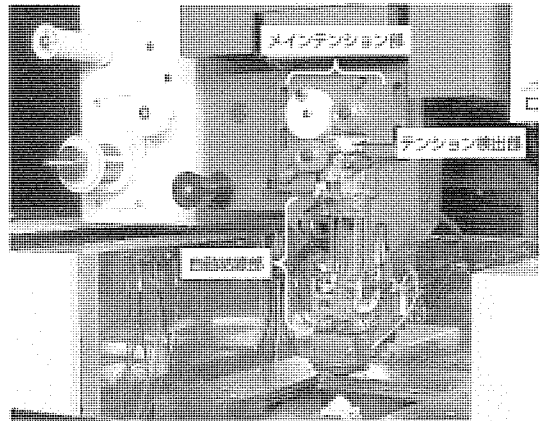


図1. 細線対応新自動結線装置(ATS)の外観

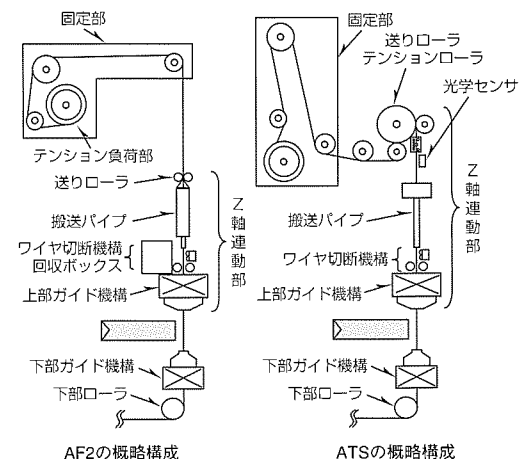


図2. AF2とATSの相違点比較

他の部分からワイヤがはみ出さないようにオープンスペースの少ない構造とする必要があり、熟練した作業者でも細線ワイヤを通すには10分以上の時間を要していた。ATSでは、光学センサでワイヤのたわみ検出を行うことにより、ワイヤの初期段取りに必要なスペースを確保することができ、熟練作業者でなくとも3分程度で初期段取りを行え大幅に操作性を向上させた。また、使用ワイヤ線径・イニシャルホールごとに設定が必要なジェット液圧計・下部回収流量計を機械前面に配置することで微調整作業を容易にしている。

(2) マシンダウンの排除

ATで実績のある大径送りローラによる正・逆転動作によるクリックトライ機能やバキューム方式のワイヤ断線かす回収機構を改良し、ワイヤのはみ出しや切断ワイヤが走行経路に残ることで発生するマシンダウンを排除し、AF2に比べてシンプルで信頼性の高い結線装置となった。適用ワイヤ径はφ0.02mmからφ0.1mm、結線時間は現在φ0.02mmワイヤ使用時に90秒程度、結線確率は100%を実現している。

2.2 極細線ワイヤのテンション制御の改善

極細線ワイヤでは付加できる張力(テンション)も小さく、微小なテンション変動が加工面の筋の発生や加工中のワイヤ断線を誘発する。この問題の解決のためには、テンション変動に更に素早く反応し、より安定したテンション制御方式の開発と、回転負荷がなく経年変化の少ない下部ローラ構造の開発が不可欠条件となっていた。

テンション制御については、従来のテンションモータと回収モータ間の速度フィードバックによるモータトルク制御に加えて、テンション検出器をワイヤ走行経路に配置し走行中のテンションを絶対値で検出してテンション制御にフィードバックするTSコントロールを開発した(図3)。クローズドループでテンション値を制御できるため、極間テンションを0.05Nごとに変更できると同時に微小なテンション外乱にも追従し、極細線ワイヤ使用時でも安定した

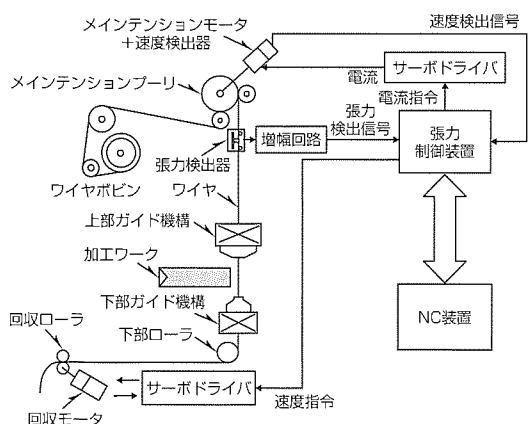


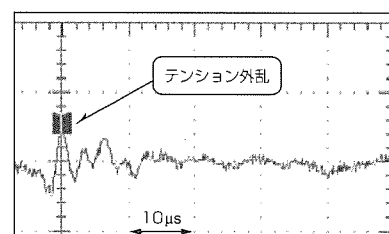
図3. TSコントロールの概要

ワイヤ走行を可能にした(図4)。

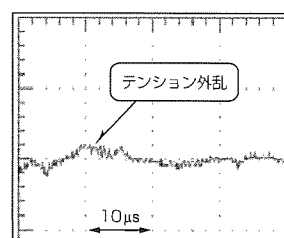
また、下部ローラについては接触式のベアリングに代わり、下部ローラ(セラミック製)と軸の間に生じる微小隙間(すきま)に任意のオリフィス径によって加圧された加工液(清液)を供給し、下部ローラを軸と非接触でスムーズに回転させる流体静圧下部ローラを開発した。図5に流体静圧下部ローラ部の外観と断面図を示す。0~20Nのワイヤテンションに耐えるため、ラジアル方向とスラスト方向にバランス良く加工液が供給されるようにオリフィスを配置し、投入加工液の液圧変動に強い構造としている。図6に投入加工液流量とテンションロス(下部ローラ前後のワイヤテンション値の差)の関係を示す。約2.5 l/min以上の加工液を投入することにより、使用テンション領域ではほぼテンションロス0を達成している。ユーザーはベアリングの交換を行うことなく(メンテナンスフリー)、長時間の加工が可能となり、TSコントロールと合わせて高品位加工面の実現に寄与している。

2.3 PF回路と超仕上げ電源(FS5)

PA05Sでは、最終仕上げ加工に至るまでの加工プロセス



(a) 従来制御



(b) TSコントロール

図4. TSコントロールのテンション変動追従性

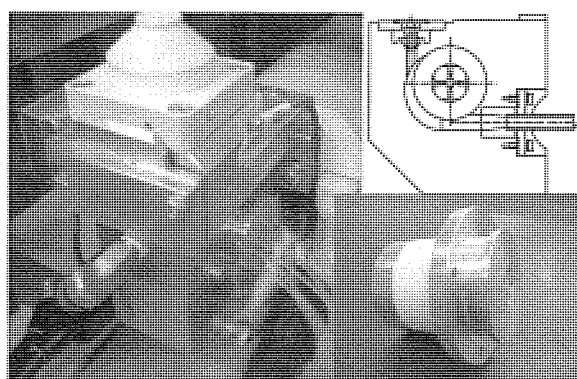


図5. 流体静圧下部ローラの外観と断面図

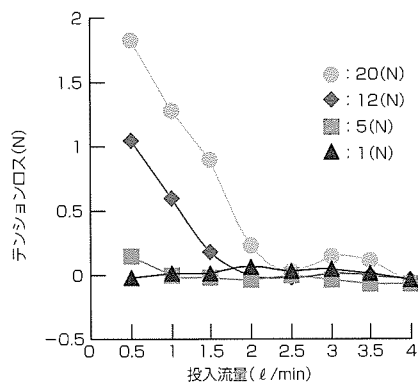


図6. 流体静圧下部ローラの性能確認

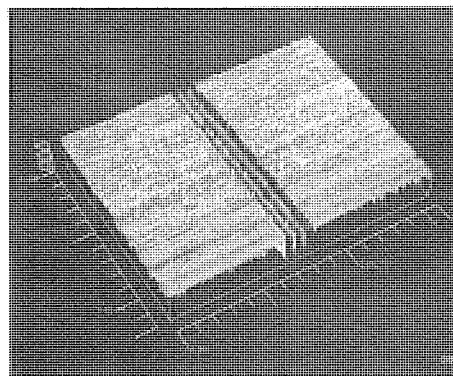


図7. φ0.02mmワイヤでの最小スリット加工事例

スにおいて、微細加工仕上げの性能を向上するPF回路を搭載し、真直精度の高い微細仕上げ加工が可能となった。また、交流高周波による超仕上げ電源(FS5)は、加工中の放電ギャップに応じて加工送り速度を最適制御することで、取り量変化の大きい細線ワイヤを使用した微小形状加工において、高い形状精度を維持したまま1 μ mRy以下の加工面粗さを実現した。これにより、最終仕上げでの調整要素と加工回数を削減でき、電子部品分野の加工だけではなく、精密ファインランキンング金型のパンチや冷間鍛造型、各種超硬加工に適した仕上げ加工特性が得られ、ユーザーはより簡単に高精度で高品位な加工を実現できる。

3. 加工事例

3.1 φ0.02mm極細線加工事例

図7はφ0.02mmのタングステンワイヤ電極を用いたスリット加工の結果である。板厚1.25mmの超硬材に幅23 μ mのスリットを深さ50 μ mで3本加工し、7 μ mのピンを2本作成している。1回加工でも微小な加工量制御ができるFS5電源を使用し、油加工を凌(しの)ぐ狭ギャップ加工を水加工で実現した。図8はコーナー部の加工を行った結果である。板厚3mmのスチール材に半径20 μ mのコーナー逃がし加工を行っている。従来の加工では直線部とコーナーのつなぎ部の“ダレ”が発生していたが、加工条件の最適化を行うことで、ダレのない形状を仕上げている。φ0.02mmワイヤでの加工が実用化されるには、形状精度の高精度化だけでなく高板厚部材への適用と加工速度の向上が必要であり、実現に向けて開発を進めていく。

3.2 φ0.05mmコネクタピン加工事例

図9にコネクタピン加工への適用事例を示す。従来の加工ではピンの変形(曲がり)のためL/D=20程度が限界であったが、FS5電源とSL(Step Less)制御を組み合わせることにより、ピン幅D=0.15mm、長さL=5.0mm(L/D:33)、ピッチ0.30mmで加工でき、コネクタピンの次世代規格に

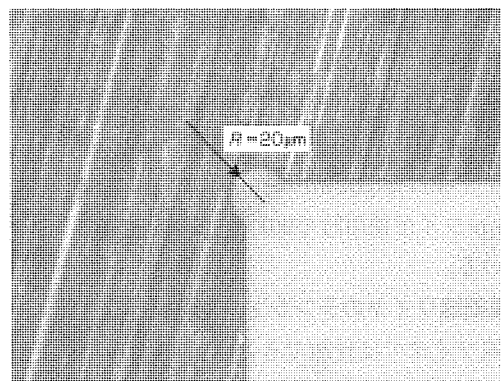


図8. φ0.02mmワイヤでのコーナー加工事例

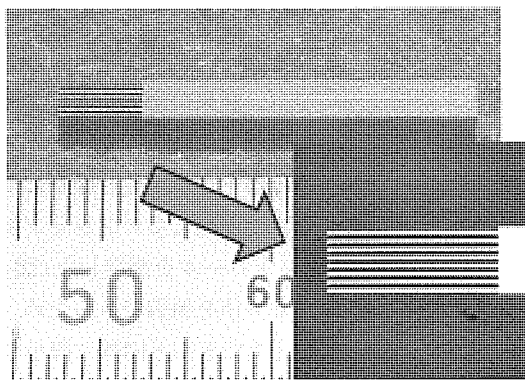


図9. φ0.05mmコネクタピン加工事例

も対応可能である。

4. むすび

微細・精密加工分野はナノテクノロジーの発展とともに市場の拡大が予想される分野である。今後は、各アプリケーションに最適な加工条件の生成を進め、ユーザーマインドに即応した加工技術が提供できるように更なる製品力強化に努めていく。

新型形彫放電加工機“EA12V”

塩谷利弘*
榊田 中*
加藤木英隆*

New-design Die Sinking EDM “EA12V”

Toshihiro Enya, Naka Sakakida, Hidetaka Katougi

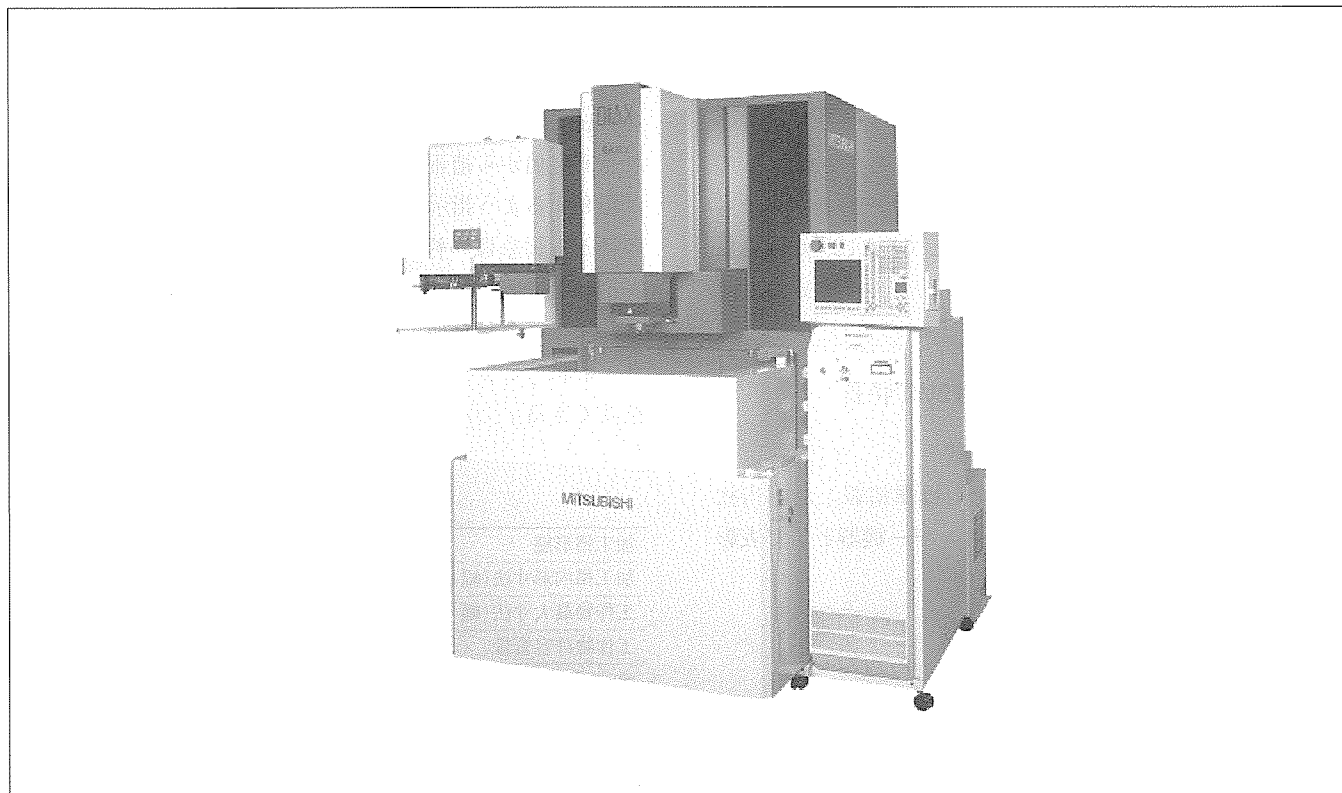
要 旨

近年の金型メーカーでは、より一層の価格低減・納期短縮が求められ、金型を製作する放電加工機に対する要求は厳しいものになってきている。すなわち、様々なワーク材質/形状の加工ができること、より早く・より高精度に加工できること、投資費用(電極/電力/消耗品/必要油量/設置スペース)が少ないこと、加工をしていない時間を削減し機械の稼働率を向上することが要求されている。これらの要求を満たすため、形彫放電加工機EA12Vを開発した。以下に特長を示す。

- (1) 超高性能“FP80V”電源を新規開発して標準搭載し、鋼材はもちろんのこと、従来はオプション電源で対応していた超硬材の加工にも対応
- (2) 従来電源に対して加工速度の向上・最良面粗さの向上・電極消耗の低減を実現し、加工性能を大幅に向上

- (3) 高精度加工に対応するため、XYZ駆動軸すべてにリニアスケールを標準搭載し、機械の静的精度を向上
- (4) 機械周辺の温度変化による機械本体の熱変位を削減するために熱変位補正システムを標準搭載し、長時間にわたり安定した機械精度を維持することが可能
- (5) 加工槽の前面・左右の3方向が自動昇降し、きめ細かな高さ設定とともに、ハンドリフタによるワークの搬出/搬入を可能とし、段取作業性を向上
- (6) 使いやすい新加工液回路の搭載と保守性の向上

これらの特長により、2004年4月に正式発表して以来、国内外の冷間鍛造型から微細コネクタ型まで広範囲のユーザーで好評を得て、現在に至るまで順調に出荷台数を伸ばしている。



三菱新型形彫放電加工機 EA12Vの外観

EA12V機械本体の外観を示す。右側面に新型FP80V電源、その後に加工液温制御装置(ユニットクーラー)を配置し、機械本体後ろに加工液を貯蔵する加工液タンクが機械本体と結合され一体化している。外装カバー板金のデザインを一新し、従来にないスタイリッシュな機械外観と設置面積の低減を可能とした。左側面の電極自動交換装置(ATC)及び機械ヘッドの電極割り出し装置(C軸)はオプション仕様である。

1. ま え が き

近年の金型メーカーでは、アジア諸国の安価な金型メーカーの進出により、更なる価格低減・納期短縮が求められ、金型を製作する放電加工機に対する要求はますます厳しいものになってきている。すなわち、様々なワーク材質/形状の加工に対応できること、より早く・より高精度に加工できること、投資費用(電極/電力/消耗品/必要油量/設置スペース)が少ないこと、特に形彫放電加工では、マスタである電極を他の電極加工機で加工する必要があるため、加工に使用する電極本数をできるだけ少なくすることが要求される。また、プログラミング時間・加工条件の作成・ワーク/電極の位置決め作業・加工開始前に機械全体の温度を一定にするためのならし時間・保守メンテナンス時間など加工していない時間を削減し、機械の稼働率を向上することが要求されている。

これらの要求に対し、三菱電機では、冷間鍛造型から微細コネクタ型まで広範囲なユーザーをターゲットにした高性能形彫放電加工機EA12Vを開発して2004年4月に正式発表し、国内外で好評を得て、今日に至るまで順調に出荷台数を伸ばしている。

以下にその特長と実加工事例について述べる。

2. 形彫放電加工機EA12Vの基本仕様

EA12Vの外観を図1に、基本仕様を表1に示す。従来、当社形彫放電加工機は、超高精度機“MA2000”、高精度機“EA8P”、普及機の“EAシリーズ”をラインアップしていた。EAシリーズは、機械ストロークの大きさによって“EA8/EA12E/EA22E/EA30E”があり、その中で最も好評を得ていたEA12Eの後継機種としてEA12Vが開発され、機械ストローク、加工槽内寸、テーブルの大きさをそのまま引き継いでいる。

3. 形彫放電加工機EA12Vの特長

3.1 高性能FP80V新電源の標準搭載

超高性能FP80V電源を新規開発し標準搭載した。当社の従来電源は、1997年に優秀省エネルギー機器として表彰

されており、新電源についてもその技術を継承し、消費電力では従来電源と比較して約20%低減を達成している。また、多様なワーク材に対応するため、従来はオプション電源で対応していた超硬材の加工にも標準仕様として対応可能とした。さらに、電極/ワークへの給電フィード長さの最適化の実施と合わせて、従来電源に対して加工性能を大幅に向上した。加工内容にもよるが、おおむね加工速度は約2倍、面粗さは約30%削減、電極消耗は約1/2の低減を実現している。詳細加工事例は後述する。

3.2 剛性を向上した機械構造体の採用

機械構造体を三次元CAD(Compter Aided Design)でモデル化し、最新の解析ツールにより最適設計を実施した。その結果、機械共振周波数(1次モード)を従来機種と比較して約1.3倍増加させ機械剛性を向上した。そのため、従来機種では加工時の軸移動による機械本体の振動により不安定だった加工を安定化した。

3.3 機械精度の向上

高精度加工に対応するため、XYZの駆動軸すべてにリニアスケールを標準搭載し機械の静的精度を向上した。また、機械周辺の温度変化による機械本体の熱変位を削減するため、図1のとおり、機械全体をカバー板金で覆い、直接外気が機械構造体に当たらない構造としている。さらに、熱変位補正システムを標準搭載した。熱変位補正システムは、放電加工機メーカーでは当社だけが採用している独自の機能であり、図2にその概念図を示す。温度センサにより外気温と機械構造体の温度変化を常に測定し、NC(Numerical Control)へデータが送られる。NCでは、送られた測定値から補正値を計算し、各軸の駆動部へ補正量だけ駆動するよう指示する。このシステムにより熱変位量を各軸とも従来機の約1/2以下に低減し、長時間にわたり安定した機械精度を維持することを可能とした。図3にその効果を確認した加工事例を示す。従来機と比較して、深さ・形状・ピッチ加工精度がそれぞれ向上していることが確認できる。

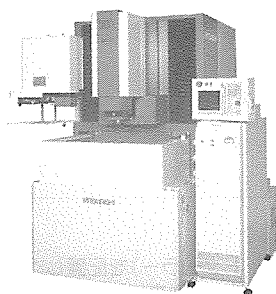


図1. 形彫放電加工機 EA12Vの外観

表1. EA12V 基本仕様

加工槽形態	自動昇降式
加工槽内寸法(幅×奥行×高さ) (mm)	850×600×350
工作物最大寸法(幅×奥行×高さ) (mm)	800×550×250
工作物許容質量 (kg)	700
テーブルの大きさ(幅×奥行) (mm)	700×500
移動量(X軸×Y軸×Z軸) (mm)	400×300×300
電極許容質量 (kg)	50
機械本体寸法(幅×奥行×高さ) (mm)	1,325×2,050×2,365
加工液タンク容量(初期充填(じゅうてん)量) (ℓ)	340(400)
電源型式	FP80V
制御部型式	C21EA-2

3.4 省スペース化の実現

加工液を貯蔵する加工液タンクを機械本体の後ろに配置し、機械本体と結合一体化した。また、前述の新電源の外寸寸法を最適化し、従来機種と比較して幅方向・奥行き方向寸法とも10%、設置面積で20%低減している。これにより同ストロークサイズ他メーカーの放電加工機と比較して最も省スペース化を実現している。さらに、加工液タンクを機械本体と一体化することで、据付け時や客先でのレイアウト時に機械本体と加工液タンクの間の配管作業や配線作業が不要になるため、据付け時間の短縮を実現している。

3.5 段取時間の削減

加工槽の前面・左右の3方向が自動昇降し、従来機と比較して、自動で設定できる加工槽高さ(液面設定高さ)の数を多くした。そのため、多種多様なワーク高さに対して、より細かな高さ設定が短時間で可能になった。加工槽の3方向が開放されるため、作業者の機械テーブルへの接近性の向上とハンドリフタによるワークの搬出/搬入にも対応した構造となっているため、段取作業性を向上した。また、従来機では、高精度加工を実施する場合、ワークの段取り後に温度制御された加工液を加工槽内に循環させ、機械温度を液温に馴染ませる時間が必要であった。EA12Vでは、図4に示すとおり、ワークの段取作業中に、テーブル定盤の周りのみ加工液を循環させ、テーブル定盤及び治具などを加工液の温度に馴染ませることを可能とした。そのため、段取り後の馴染ませ時間の短縮を実現した。

また、XYZ軸のストローク位置を示す目盛りも標準で

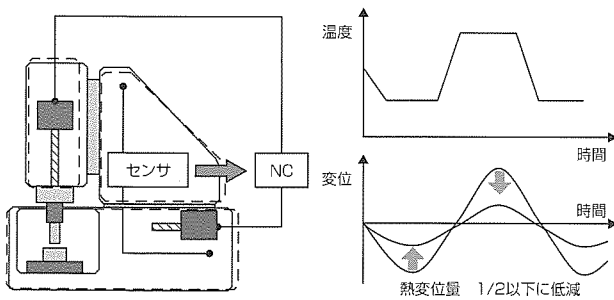


図2. 熱変位補正システム概念図

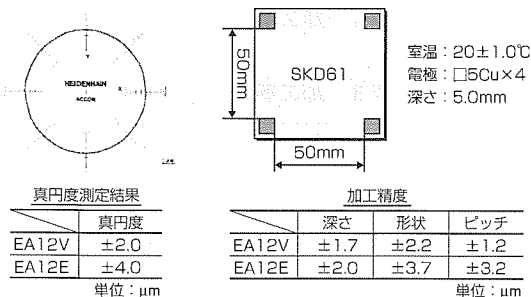


図3. 精度確認試験結果

取り付けてあり、作業者は、大まかなストロークを、NC画面上ではなく、機械の動きを見ながら確認することが可能である。このような作業者の立場に立った細かい配慮もなされている。

3.6 新加工液回路の採用

放電加工中には、加工で発生したスラッジが極間に発生する。そのスラッジを瞬時に極間から除去しないと2次放電によるアークが発生し、加工面の面質を悪化させる。EA12Vでは、新加工液回路の採用により、加工で発生したスラッジを瞬時に除去するため、“大流量モード”を新設した。大流量モードは、手動スイッチ、プログラム指示が可能で、スイッチが押されると加工槽の背面から大流量の液が供給され、加工槽内に液の流れを発生させる。これにより、荒加工時に大量に発生したスラッジを強制的に除去し、加工を安定させる。また、一般の加工時には大流量モードをOffして中流量の中で使用可能である。さらに、微細電極など液流の影響を受けやすい場合には、手動のバルブがあり、微調整することで液流をなくすことも可能である。この液回路により、多様な加工内容において、好みの液流に調整して使用することができる。

また、加工終了後、加工の状態を確認するために、加工槽に貯留した加工液を排出しているが、従来機では、加工槽下の稼働式のシールパッキンを開いて加工液を排出し、その後、加工槽を下げるということを実施していた。しかしながら、EA12Vでは、加工槽を下げることで加工液を加工槽上面からオーバーフローして排出する。したがって、加工槽が最下限に達することで加工液の排出が完了するため、従来機と比較して排出時間の短縮が可能となった。また、従来機では、シールパッキンの駆動にエアシリンダを使用し、パッキン部に消耗品があったが、EA12Vでは、固定シール方式に変更したため、機械本体に入力するエアは不要で信頼性を向上し、同時に消耗品の削減も実現している。

また、加工が終了して加工液を排出後、ワーク周りに沈殿したスラッジを洗い流すため、手洗浄専用の液回路を新設し、加工槽底部にスラッジを加工槽から排出するための排出窓を用意した。手洗浄時には、手洗浄専用の回路にホースをつなぎ、手動バルブを開く。機械の準備がされて

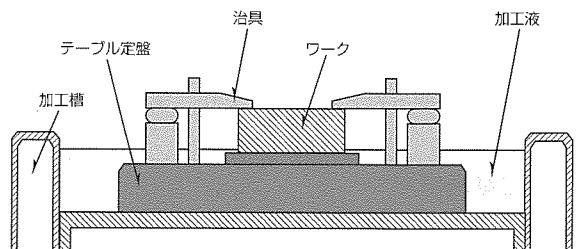


図4. 液ならし概念図

いれば、ホースから液が噴出され、前述の窓を開くことで加工槽の外へ簡単にスラッジを洗い流すことが可能である構造とした。

3.7 フィルタリング効率の向上

前述のとおり、大流量モードにより、加工時に極間で発生したスラッジを除去し、加工液タンクへ加工液を戻している。加工液タンクに戻された加工液中のスラッジを効率的に除去するために、フィルタ専用のポンプを増設し、フィルタ2本を標準仕様とした。また、それぞれのフィルタのメッシュ径を細かくすると、スラッジを補足可能な過面積を増加した。そのため、従来と比較してより細かいスラッジの補足とフィルタの交換寿命を向上している。

3.8 メンテナンス性の向上

放電加工機の主な保守は、フィルタの交換、各軸の潤滑油の補給と排液、エア入力部のフィルタの清掃・ルブリゲータの補給である。メンテナンス部を機械本体の背面にまとめることで一度に確認が可能で作業性を向上させた。また、フィルタの交換時期は、従来は、加工液タンクの所まで行き、タンク上のフィルタ圧力計を確認していたが、EA12Vでは、加工槽の脇に圧力計を配置することで、機械正面からいつでも確認可能とした。また、フィルタの交換作業時、従来は、機械を停止してフィルタの交換を実施していたが、EA12Vでは、2本のフィルタそれぞれに対応した手動バルブを装備しているため、1本ずつ順番に手動バルブを閉じて交換することで、機械を停止することなくフィルタの交換を可能とした。

3.9 多彩なオプション

顧客の多種多様な加工に対応するためのオプションも充実した。“ツボ”選択機能、ATC-MVH(Automatic Tool Changer-Mitsubishi Vertical-drive Horizontal magazine index)、将来的には細穴加工や粉末加工にも対応する予定である。

3.10 自動化への対応

近年の自動化への要求を満たすために、ワークパル・ワークマスタなどの電極/ワークの自動交換による自動システムにも対応可能とした。さらに、電源を機械の左側に配置して、1台のロボットで左右2台のEA12Vを制御する自動化システムにも対応可能としている。これらにより、機械の稼働時間を大幅に向上している。

4. 加工事例

以上の特長を持ったEA12Vにより、実際に加工した事例を紹介する。

4.1 加工事例①

図5及び表2に、加工した外観写真と結果を示す。

この加工は、超硬の高速加工サンプル例である。6角ダイス形状で深さ10mmを放電加工した。ここでのサンプル

ポイントは、標準電源で高速荒加工(最大1.0g/min)を実現した。これは従来機種の約1.6倍の加工速度である。また、電極消耗についても従来と比較して約30%低減しており、同一の加工において電極本数を削減することが可能である。

4.2 加工事例②

図6及び表3に、加工した外観写真と結果を示す。

この加工は、超硬チップ型を模擬した形状サンプルであり、大きさは約□20mm、深さ1mmを放電加工した。ここでのサンプルポイントは、標準電源における最良面仕上げ加工である。片側縮小代0.010mmで、ほとんど揺動加

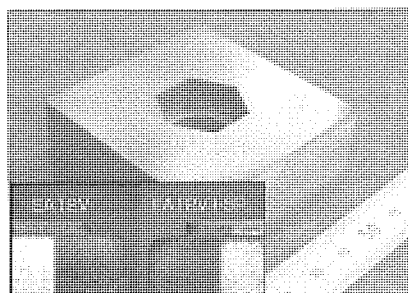


図5. 加工事例①の外観

表2. 加工事例①の結果

EA12V EDM Sample	
ワーク	G8(超硬合金)
電極	銅タングステン2本
縮小代	0.120-0.020 mm/side
加工時間	36分
転写精度	-0.008~-0.002 mm
面粗さ	Ry : 11.701 Ra : 2.709

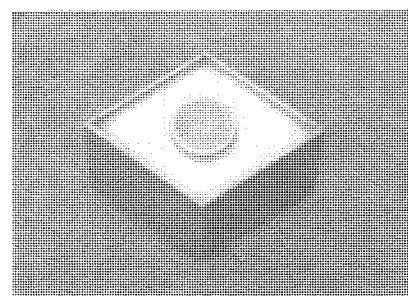


図6. 加工事例②の外観

表3. 加工事例②の結果

EA12V EDM Sample	
ワーク	G3(超硬合金)
電極	銀タングステン3本
縮小代	0.010 mm/side
加工時間	3.0 時間
転写精度	-0.002~-0.000 mm
面粗さ	Ry : 1.321 Ra : 0.167

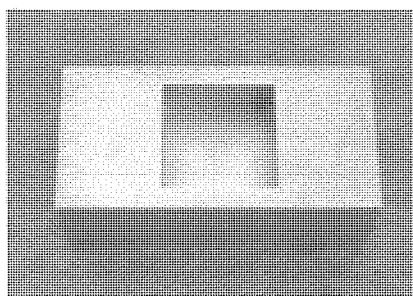


図 7. 加工事例③の外観

表 4. 加工事例③の結果

EA12V EDM Sample	
ワーク	G6(超硬合金)
電極	銅タングステン3本
縮小代	0.200 mm/side
加工時間	2.6 時間
転写精度	-0.006~-0.003 mm
面粗さ	Ry : 1.251 Ra : 0.157

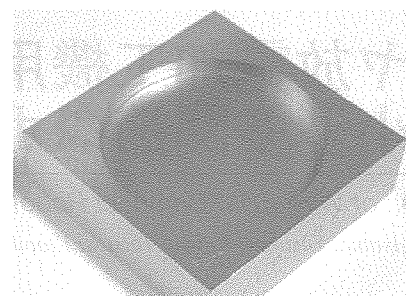


図 8. 加工事例④の外観

表 5. 加工事例④の結果

EA12V EDM Sample	
ワーク	STAVAX
電極	銅2本
縮小代	0.100-0.100 mm/side
加工時間	10 時間(前加工あり)
転写精度	-0.005~-0.001 mm
面粗さ	Ry : 2.372 Ra : 0.320

工できない形状において、高い転写精度と面粗さを実現している。

4.3 加工事例③

図 7 及び表 4 に、加工した外観写真と結果を示す。

この加工は、超硬の底付け加工サンプルであり、深さ 5 mm を放電加工した。ここでのサンプルポイントは、標準電源での高速荒加工と最良面仕上げ加工、及び低消耗加工である。加工速度は従来と比較して約 1.6 倍、電極消耗は約 40% 削減を実現している。

4.4 加工事例④

図 8 及び表 5 に、加工した外観写真と結果を示す。

この加工は、中面積の梨地(なしち)最良面のサンプルであり、前加工後に深さ 0.3 mm を放電加工した。サンプルポイントは、φ50 mm の中面積において、標準電源で 4 μm 以下の梨地面加工が実現しており、平坦(へいたん)性、加工精度に優れ、プラスチック型に最適な仕上げ加工であり、放電の後工程である磨き時間の短縮が実現可能である。

4.5 加工事例⑤

図 9 及び表 6 に、加工した外観写真と結果を示す。

この加工は、鏡面加工のサンプルである。6 角柱の側面を深さ 0.1 mm 放電加工した。サンプルポイントは、標準電源で 1.0 μm 以下の光沢加工を実現しており、磨きが困難な金型部の磨きレス加工が可能であり、磨き工程の削減を実現している。

5. む す び

以上に述べたとおり、EA12V は、従来機と比較し、加工性能を大幅に向上した。しかしながら、金型メーカーの要求は日々厳しくなり、その要求に合わせて機械の性能改

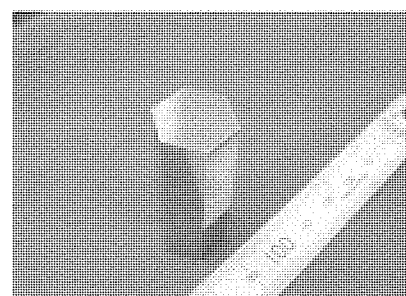


図 9. 加工事例⑤の外観

表 6. 加工事例⑤の結果

EA12V EDM Sample	
ワーク	STAVAX
電極	銅
縮小代	0.100 mm/side
加工時間	1.3 時間/面
転写精度	-0.002~+0.002 mm
面粗さ	Ry : 0.447 Ra : 0.056

善を日々実施していく必要がある。同時に、今回開発した FP80V 電源及び機械の特長を次期開発機へも継承し、今後も世の中の金型メーカーの要望にこたえる機械を開発していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 加藤木英隆, ほか: 形彫放電加工機の技術動向と金型加工への適用事例, 型技術, 19, No.8, 26~27 (2004-7)
- (2) 加藤木英隆, ほか: 形彫放電加工機 EA シリーズによる高精度金型加工, 三菱電機技報, 75, No.7, 449~452 (2001)

ワイヤ放電加工機用 小型多関節ロボットシステム

杉山和永*
河合泰弘*
加藤達也**

Introduction of Wire EDM Compact Robot Automation System

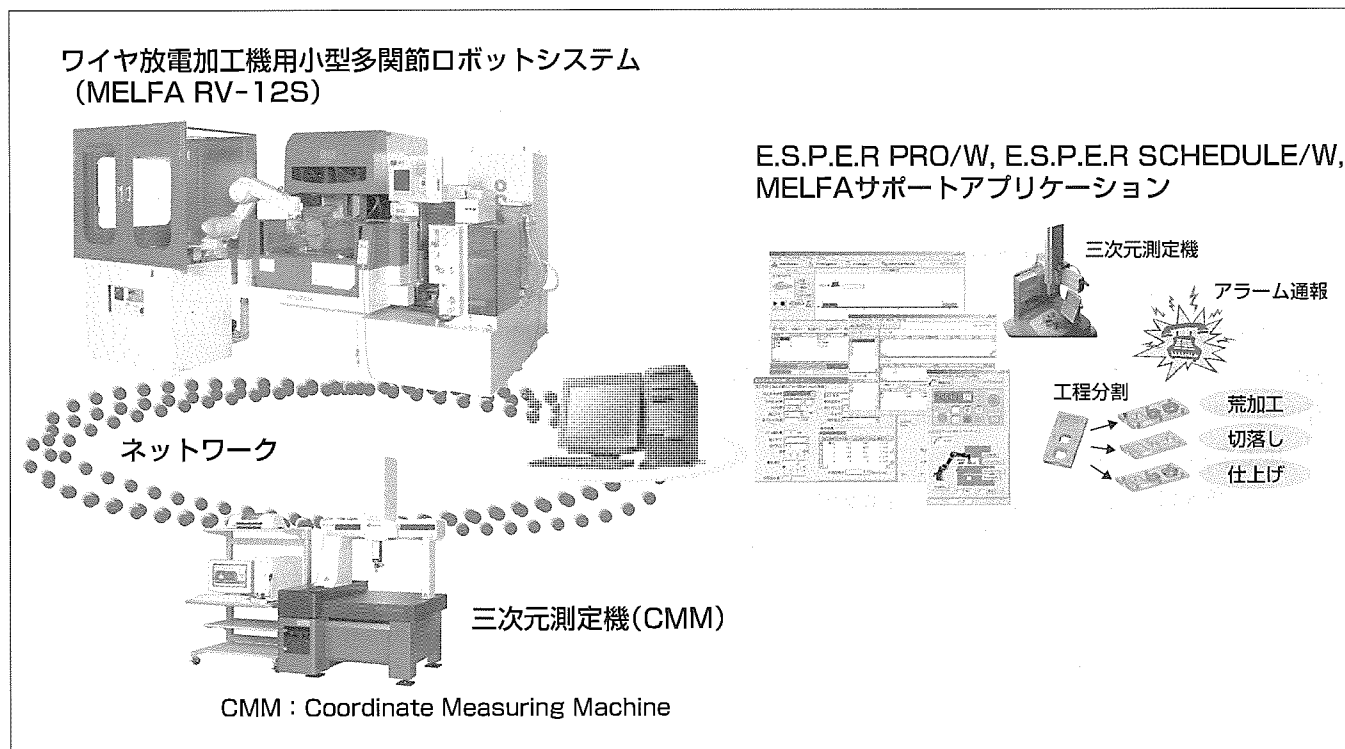
Kazuhiya Sugiyama, Yasuhiro Kawai, Tatsuya Katou

要旨

金型業界がメガコンペティション時代に突入して久しく、従来行われてきた機械のコストダウン、加工速度向上の範囲を超え、金型の海外移転の加速は、フルタイムで休みなく働く、省スペースの自動化システムを強く求める状況を作り出している。これら要求にこたえるため、ワイヤ放電加工機における小型多関節ロボットを応用した自動化システムを開発した。この自動化システムは、ワーク測定をワイヤ放電加工機の外で三次元測定機を用いて行い、ワークパレットごとの段取り作業と加工を並行実施する外段取り対応ができ、さらに、CAD(Computer Aided Design)/CAM(Computer Aided Manufacturing)から一つの仕事として生成される荒、切落し、仕上げ加工で一對となったNC(Numerical Control)プログラムを、他のパレットを含む工程ごとにまとめて実施する機能を持ったスケジューラを備えている。

また、自動化する上ではロボット用治具の関係からノズルの離れた状態で加工を行うが、この状態でもコーナー加工精度を出すことのできる専用条件“HybridPack”を開発した。さらに、三菱電機製の小型多関節ロボット“MELFA RV-12S”を採用し、従来放電加工機で用いていた治具メーカー製のロボットに比べて設置面積が1/2以下の小型化を実現するとともに、各種サポート用のソフトウェアの開発により据付時間は3日を1日、オペレータ教育時間は5日を2日に削減した。また、多関節ロボットの復旧のサポートも行い、マシンダウン時間を短縮することに成功した。

なお、このシステムにおいて、一例ではあるが、稼働率としては従来の約2倍の500~600時間/月、有人率は従来60%(1人で1.6台管理相当)から20%(1人で5台管理相当)を実現した。



ワイヤ放電加工機用小型多関節ロボットシステム

ワイヤ放電加工機用の小型多関節ロボットMELFA RV-12Sを用いた自動化システムを開発した。この自動化システムは、三次元測定機を用いたワーク測定データを読み込むスケジューラ、ノズル離れ放電加工条件、さらには、小型多関節ロボットの復旧、ワークマガジンのティーチング容易化、加工機との接続を短縮するための各種のサポートソフトウェアを備えている。

1. ま え が き

金型業界がメガコンペティション時代に突入して久しい。従来行われてきた機械のコストダウン，加工速度向上の範囲を超え，金型の海外移転の加速は，フルタイムで休みなく働く，省スペースの自動化システムを強く求める状況を作り出している。一方，ワイヤ放電加工機を考えると，NC搭載機でありながら，中子処理，CAMデータの調整といった手動介入操作が多く，連続自動運転が困難である。この対策として，ワイヤ放電加工機における小型多関節ロボットを応用した自動化システムを開発した。

2. ワイヤ放電加工の連続運転の阻害要因

図1にワイヤ放電加工機の連続運転(自動化)の阻害要因とその解決のキーワードを示す。

①～②はワイヤ放電加工機を使う上で手動介入が必要な作業による阻害要因であり，手動介入をなくしすべて自動運転にすることがコスト的に困難であるという問題を示している。また，③～⑦は夜間又は休日の連続運転を実施するためにロボットを使用した場合の問題であり，③はロボットによるワーク交換用の治具との干渉を防ぐためノズルを離すと加工精度がでない問題，④はロボット自身のサイズが大きくて国土の狭い日本の工場での設置面積の問題，⑤はロボットの据付けやスケジューラのソフトウェアなどのシステム立ち上げの時間が長く，購入してもすぐに生産に寄与できない問題，⑥はロボットが何らかの要因で故障した場合のマシダウン後の復旧時間がかかってしまう問題，⑦はシステム操作説明の時間がかかるためオペレータ教育講座の期間が長くなり，通常業務への支障を考えると講座を受けられず，連続運転ができるようになるまでの技量習得に時間がかかるという問題を示している。

2.1 外段取り改善とスケジュール運転

ワイヤ放電加工機では，現状，次の問題がある。

- (1) 放電加工機の中で段取り作業を実施するため，まとめて段取りができない。
- (2) 多数個のワークオフセットデータなどの測定結果をワーク交換ごとにNC画面から設定が必要で，人がいる時間にしか作業できないため夜間は加工が進まない。
- (3) ワイヤによる測定は時間がかかりすぎる。

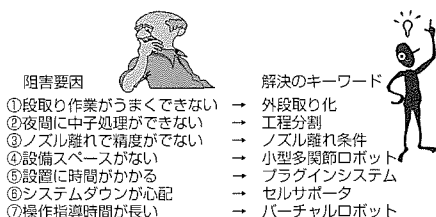


図1. ワイヤ放電加工機連続運転阻害要因

これらの問題を解決するため，図2のように，ワーク測定をワイヤ放電加工機の外で三次元測定機を用いて行い，ワークパレットごとの段取り作業と加工を並行実施する外段取り対応のワイヤ放電加工機用スケジューラを開発した。図3は，パレットごとの仕事をスケジュール運転で連続実行するためのワイヤスケジュール運転画面である。

2.2 工程分割による連続運転

中子処理の自動化は，中子の位置と形状が雑多なため困難である。現状は，人による作業が一般的であり，作業が夜間になると，それ以降の加工は連続実施できていない。この中子処理の問題を解決するため，CAD/CAMから一つの仕事として生成された荒，切落し，仕上げ加工で一体となったNCプログラムを工程ごとに分割し，他のパレットを含めて工程ごとにまとめたの実施をサポートするスケジューラを開発した(図4)。

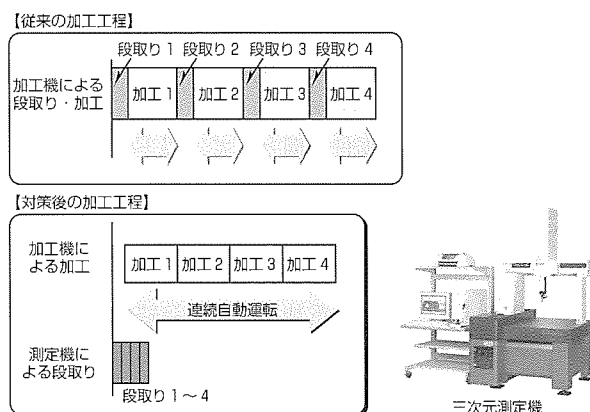


図2. 外段取り化による改善

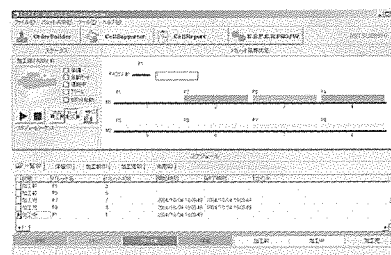


図3. ワイヤスケジュール運転画面

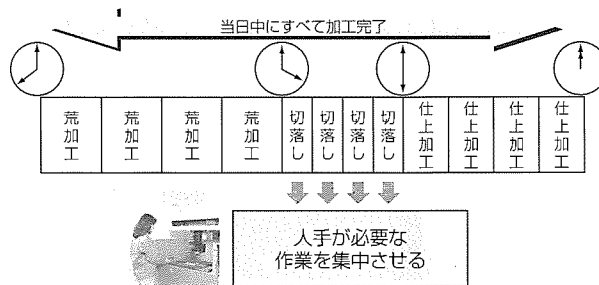


図4. 工程分割可能なスケジューラの効果

2.3 ノズル離れ条件改善

現状は、図5のようにロボット用の治具によりノズルの離れた状態で加工を行う必要がある。この状態では加工精度を出すのは困難で、“自動化システム＝駄物加工”であった。この対策として、ノズルが離れた条件でコーナー精度を出す専用条件HybridPackを開発した。この条件により上下のノズル離れ25mmでアウトコーナダレ4μm以下の精度を実現できる(図6)。

2.4 小型多関節ロボットシステム

夜間の自動運転時間を延ばすには、ワーク交換の自動化を実施する必要がある。従来はワーク交換を自動化するためにワーク交換装置として50kg搬送のオーバースペックのロボットを採用してきたが、設置スペースが大きく、狭い日本の工場環境に適していないという問題があった。この問題を解決するため、通常のワーク質量として支障のない範囲である搬送質量が12kg(ワーク質量で7kg)、機械設置寸法が従来ロボットの1/2となる当社製小型多関節ロボットMELFA RV-12Sを採用した(表1)。

2.5 プラグインシステム

ロボットシステムの据付時間として、以下の2点の作業があり、ワークマガジンの数にもよるが、2～3日間を要していた。

- ワークマガジンの位置をティーチングする作業
- ロボットとワイヤ放電加工機との接続作業

これらの問題を解決するために、図7の小型多関節ロボットシステムでは、次の対策を打ち、据付けに要する時間

を従来の2/5(1日程度)に抑えることに成功した。

- (1) ワークマガジンの構成を指定するとティーチング位置を自動設定するマガジン位置自動ティーチング機能(図8)
- (2) ロボットとワイヤ加工機間はイーサネット接続でワンタッチ接続

2.6 セルサポータ

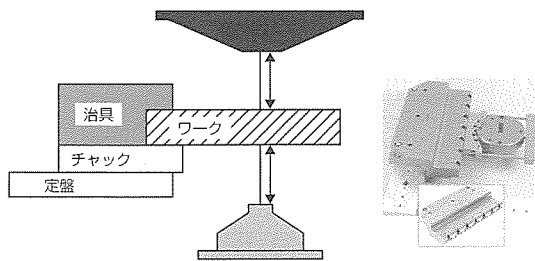
自動化システムでは、夜間及び休日でも機械が稼働している状態を作り出すことができる。この状態は通常考えると非常に良い状態であるが、逆に、このシステムがダウンした場合は、残業又は休日出勤で挽回(ばんかい)するしかなく、納期問題を引き起こすというリスクを含んでいる。こうした問題を解決するために、今回は、多関節ロボットが何かの要因でワーク交換に失敗したか又は衝突などを起こしロボットが停止した場合に、移動軌跡ゾーン内にロボット位置が入っていれば自動復旧することをサポートするソフトウェアを開発した(図9)。

2.7 バーチャルロボット

ロボットシステムでは、ワイヤ放電加工機のオペレータ

表1. ロボットシステム(MELFA RV-12S)の仕様

最大パレット収納枚数	4～16枚
最大ワーク質量	7kg (治具を含めた総搬送質量12kg)
最大ワーク寸法(X×Y×Z)	100×100×100(mm)
機械設置寸法 (奥行き×幅×高さ)	1,450×1,260×2,000(mm)



業界イメージ：コーナー精度10μm

図5. ノズル離れ時の加工精度

板厚 (mm)	加工回数 (回)	ノズル距離 (mm)		アウトコーナダレ量			
		上	下	上断面(μm)		下断面(μm)	
20	3	25	25	3.0	-2.6	2.9	2.0
40	3	25	25	3.0	1.0	2.9	1.5
60	3	25	25	3.9	-2.1	3.8	-3.9

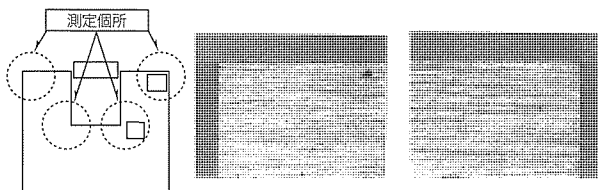


図6. ノズル離れ加工精度改善効果

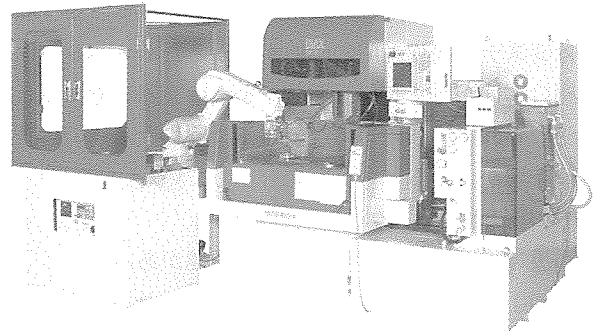
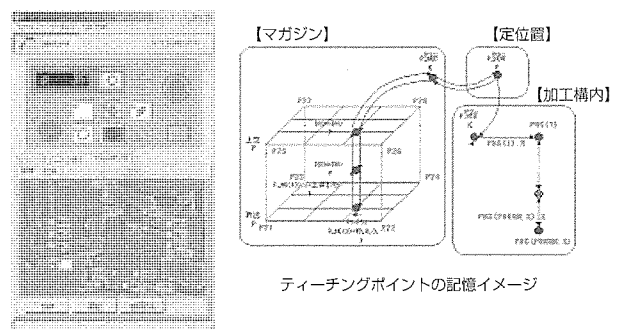


図7. ワイヤ放電加工機用小型多関節ロボットシステムの外観



ティーチングポイントの記憶イメージ

図8. ワークマガジン位置自動ティーチング画面

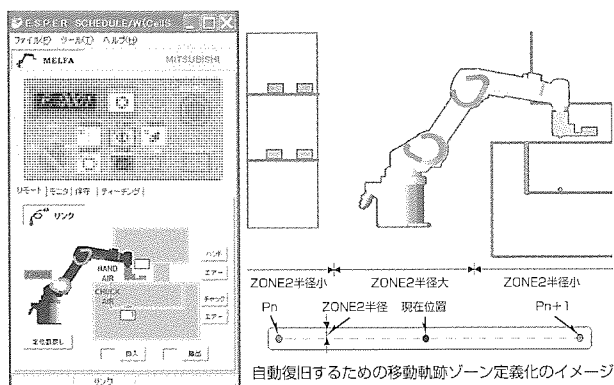


図9. セルサポータ画面

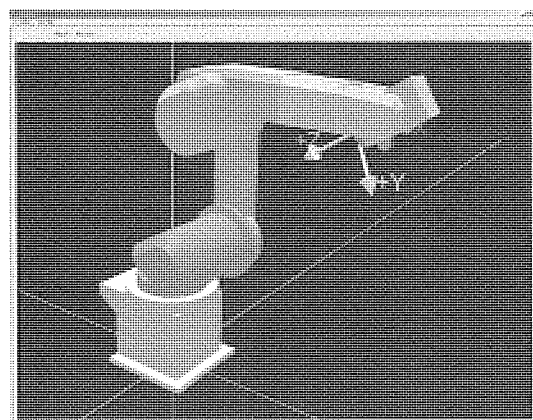


図10. バーチャルロボット動作画面

は放電加工機の操作に加えてロボット、スケジューラ、外段取りのための三次元測定機の操作を、一度に、一連の流れの中で覚える必要があり、操作に慣れるまで長時間を必要とした。特にロボットの操作に関して、要点を理解するのに時間がかかってしまう問題があった。この対策として、図10に示すロボット操作シミュレータを開発した。このシミュレータを使うことで、実際のロボット動作はさせずにパソコン上のグラフィックでロボットを素早く動作させ、全体の流れを簡単に確認することができる。これにより、従来は多関節ロボットが立ち上がるまで一連の操作の流れを確認できなかったが、ロボットの立ち上げ中にもパソコン上で操作を確認することができ、従来5日間かかっていたオペレータ教育の期間を2日程度に短縮することができた。

3. 自動化とその効果

表2に自動化の効果を示す。一例ではあるが、稼働率としては約2倍を実現し、有人率は従来の1/3、加工精度は3~4μmを実現するとともに、設備としては、省スペース化、据付け及び教育時間の削減とロボットの復旧対策までをシステムに盛り込むことができた。

4. むすび

日本の金型業界において、メガコンペティション時代を

表2. 自動化の効果

評価項目	効果	
	従来方式	自動化方式
機械稼働率	100~300時間/月	500~600時間/月
有人率	60% 1人で1.6台管理	20% 1人で5台管理可能
コーナー加工精度 (ノズル離れ状態)	10μm前後 高精度加工は不可能	3~4μm 高精度加工可能
ワイヤCAMとの連動性	形状パスのみ。プログラム指定など煩雑	加工条件、工程分割を含めて自動実施
段取り性(ワークコーナー位置決め時間)	ワイヤ位置決め 120秒/1ワーク	三次元測定機による位置決め(外段取り) 20秒/1ワーク

勝ち抜く手段としてのワイヤ放電加工機の自動化システムは、今後ますます重要になる。今後とも、ワイヤ放電加工機、小型多関節ロボットといったハードウェア、スケジューラ、セルサポータといったソフトウェア、さらに、それらを使いこなすユースウェアをメーカーとして開発していく所存である。

参考文献

- (1) 杉山和永, ほか: ワイヤ放電加工自動化システム最新技術事例, 型技術者会議, 講演論文集 (2003)

コンパクト・高出力LD励起固体レーザー発振器 “ML45LS”

藤川周一*
渡辺俊昭*
久場一樹*

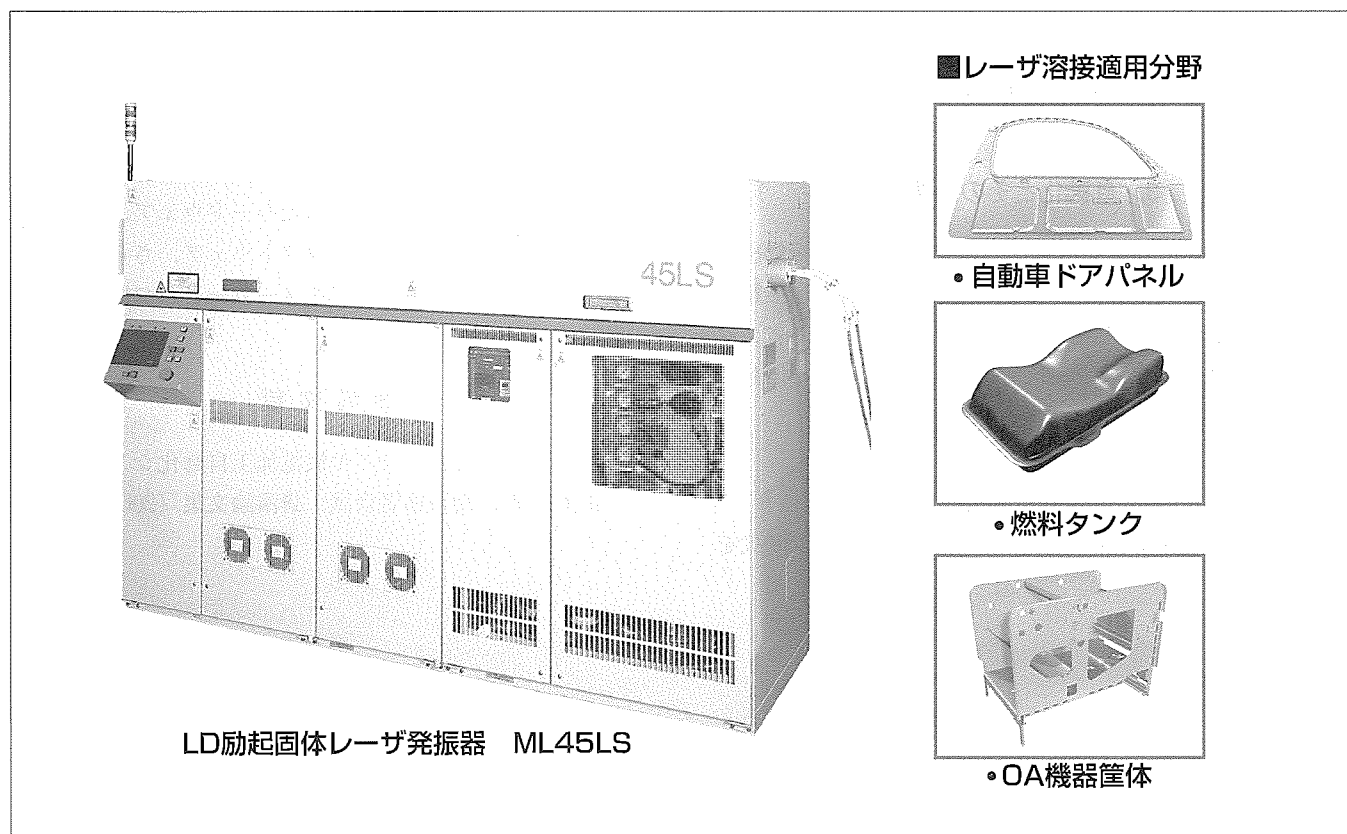
Compact High-Power Diode-Pumped Solid-State Laser “ML45LS”

Shuichi Fujikawa, Toshiaki Watanabe, Kazuki Kuba

要 旨

励起光源に半導体レーザー(Laser Diode: LD)を使用するLD励起固体レーザーは、光ファイバによるビーム伝送が可能になることに加え、従来のランプ励起方式に比べ効率が飛躍的に向上するため、現在、産業用レーザーの主流であるCO₂レーザーに続く実用的な生産ツールとして期待されている。kWクラスの高出力LD励起固体レーザーが市場に登場してから約4年が経過し、国内製造分野においても、産業機器として定着しつつある。三菱電機は、2000年に出力2.5kWのLD励起固体レーザーの市場投入を開始し、世界に先駆け実生産ラインでの本格稼働に成功している。今回、従来シリーズでの豊富な稼働実績と生産ラインで培ったノウハウを結集し、新たに出力4.5kWのLD励起固体レーザー発振器“ML45LS”を製品化した。ML45LSは、YAG

(Yttrium Aluminum Garnet)ロッド周囲を拡散反射集光器で包囲する独自の励起構成に加え、YAGロッド内部の励起分布の軸対称性を高めることによって、業界トップクラスの発振効率18%を実現している。また、発振器の基本構成となる出力1kW級のキャビティを新たに開発するとともに、600ミクロンの光ファイバに対し集光性・光学系を最適化することで、世界最小の設置面積を実現した。ML45LSは、励起光源であるLDパッケージを含め、主要パーツはすべて自社開発品を搭載している。さらにユーザーインタフェースに優れた操作パネルや、前面メンテナンス構成等、操作性・保守性に関しても実用性を重視した設計となっている。



ML45LSと適用分野

ML45LSは、発振器出力4.5kWと高出力ながら2m²以下という世界最小の設置面積を実現している。発振器を出射したレーザー光は光ファイバによって所望する場所まで伝送され、主にレーザー溶接に利用される。ML45LSの適用分野は、自動車ボデーやテールランプ溶接等、自動車産業を中心とする用途を始めとして、鉄道車両の低ひずみ溶接や鉄鋼、OA機器の精密筐体(きょうたい)溶接等、幅広い分野での応用が期待できる。

1. ま え が き

高出力LD励起固体レーザーの市場投入から約4年が経過し、2004年7月から従来の製品シリーズを一新する第二世代のLD励起固体レーザーML45LSの販売を開始した。ML45LSでは、高出力固体レーザーの用途としては最も実用性の高い4.5kWに出力を設定し、従来シリーズでの豊富な稼働実績と生産ラインで培ったノウハウを結集するとともに、ユーザーから見た使いやすさを追求している。

本稿では、LD励起固体レーザーの技術動向について概説するとともに、ML45LSの構成、特長、適用分野について述べる。

2. 技術動向

高出力固体レーザーは、90年代後半から欧米において自動車産業を中心に、溶接用ツールとして積極的な導入が進められてきた。固体レーザーは、産業用レーザーの主流であるCO₂レーザーに比べ、光ファイバによるビーム伝送が可能になることを最大のユーザーメリットとしている。可視光より遥かに長い波長を持つCO₂レーザーは、ビームが低損失で透過する実用的な媒体が存在せず、反射ミラーによるビーム伝送に頼らざるを得ない。このため、剛性の高い構造体の組合せによって大型の加工機を構成するとともに、加工機と隣接又は物理的に連結して発振器を配置する必要があった。一方、可視光に近い波長を持つ固体レーザーは、一般的な硝材である石英の光ファイバによってビーム伝送が可能になる。この結果、CO₂レーザーに比べ加工機に対する自由度は大幅に向上する。典型例がロボットとの組合せである(図1)。多軸ロボットのアーム先端に照射光学系からなる加工ヘッドを搭載し光ファイバを結合すれば、コンパクトかつ簡易な構成の下で、CO₂レーザーでは特殊な機構や治具を必要とする三次元形状の加工を汎用的に行うことができる。この特長は、デザインが重視される自動車ボデーの溶接には特に威力を発揮する。さらに、光ファイバは50m以上にまで延長が可能であり、加工機と発振器を同一個所

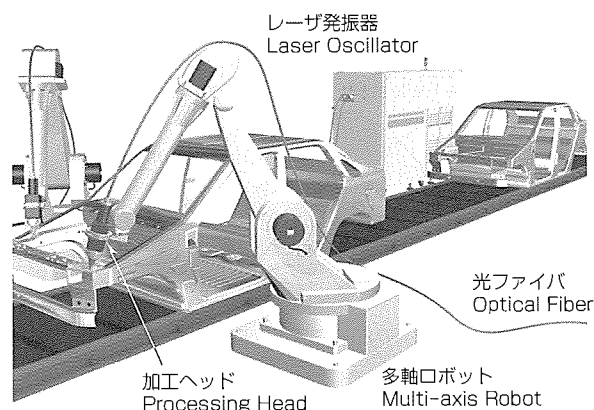


図1. 自動車製造ラインにおける固体レーザー溶接(イメージ)

に設置する必要はない。例えば、加工機とは異なるフロアに発振器を設置する生産ラインの三次元的なレイアウトが可能になるため、工場スペースの有効利用を図る上でも光ファイバによるビーム伝送は優れた特長となる。

しかしながら、国内における高出力固体レーザーの導入状況に目を向けると、欧米に比べ積極的であるとは言えない。理由の一つに、高出力固体レーザーの励起光源に放電ランプが使用されてきたという経緯がある。固体レーザーは光によって媒質を励起する光励起レーザーである。しかしながら、実際に光励起に寄与する波長は、媒質のエネルギー準位によって決まる限られた範囲に過ぎない。一方、放電ランプから発せられる光は、黒体放射(ふくしゃ)をバックグラウンドとする紫外から赤外に至る幅広い波長成分を含んでいる。このため、放電ランプから発生した全光子のうち、固体レーザーの励起に寄与する割合は10%に満たない。ランプ励起固体レーザーの場合、電気入力からレーザー光への変換効率は通常3%程度であり、残り入力エネルギーは発熱として消費される。これに加えて、放電ランプは電極の消耗により頻繁に交換する必要があるため、固体レーザーは相対的にフォトンコストの高いレーザー加工機であると考えられてきた。この結果、出力kWレベルの高出力固体レーザーの導入は、冷却装置や配電盤等大規模な付帯設備と電力料金を許容することができる一部の企業、付加価値の高い用途に限られていた。

ランプ励起に伴う種々の課題に対するソリューションとして近年注目を集めているのが、放電ランプに代わり半導体レーザーを励起光源として使用するLD励起固体レーザーである。LD励起固体レーザーの基本構成を図2に示す。半導体レーザーを励起光源に使用すれば、媒質の吸収波長と半導体レーザーの発振波長を一致させることにより、効率の飛躍的な向上が可能である。さらに、放電ランプに比べ約1けた長い10,000時間以上の光源寿命が期待できるため、頻繁なメンテナンス作業に伴うライン休止期間を短縮し、生産性の改善が可能である。

LD励起固体レーザーの歴史は意外に古く、80年代初頭には既に原理実証がなされている。LD励起固体レーザーの数

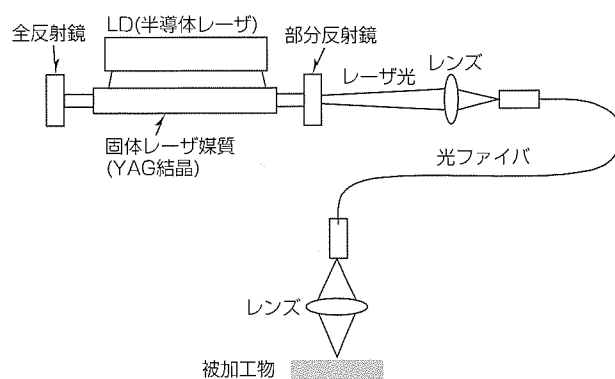


図2. LD励起固体レーザーの基本構成

多くのメリットが認識されながらも、生産現場への浸透は思いのほか進展が遅い。最大の理由はLDのインシヤルコストである。高出力固体レーザーの励起には、複数の発光点を一体形成したLDアレーと呼ばれる特殊な半導体レーザーが使用される。LDアレーを製造するメーカーが世界でも限られていたことに加え、数mm²の面積から数十Wの発熱を取り去る高性能なヒートシンク上への実装が必要になることから、搭載するLDアレーの数が3けたにも達するkW級の高出力固体レーザーともなれば、生産装置に対する投資額としては当時破格な値段となった。当社は、80年代後半からレーザー媒質にYAG結晶を使用したLD励起固体レーザーの研究開発に着手し、独自のLD励起技術を確認することによって世界最高の発振効率を記録している⁽¹⁾。さらに、固体レーザーの基本エンジンとなるLDパッケージの自社開発に成功し、品質・信頼性及び価格を実用的なレベルにまで仕上げ、2000年に2.5kW機の製品投入を開始し、世界に先駆け実生産ラインでの本格稼働に成功している。

kWクラスの高出力LD励起固体レーザーが製品として登場してから約4年が経過し、製造分野においても実用的な生産ツールとして定着しつつある。これまで高出力固体レーザーは、ボデー溶接やテーラードブランク溶接、造管、部品溶接など主に自動車産業を中心とする溶接用途において使用されてきた。LD励起固体レーザーの製品投入が加工技術の進展を加速したことに加え、加工システムや加工モータ等周辺機器の充実、レーザー溶接を前提としたデザイン等ユーザーサイドからの気運にも後押しされ、固体レーザーの適用分野は多様化する傾向にある。現在、LD励起固体レーザーの市場は、従来の2kWクラスを中心とした市場から、4kWクラスを中心とする高出力機種種の市場と、主に部品溶接を目的とした1kW以下の中低出力機種種の市場への2分化が進んでいる。ML45LSは、高出力機種種の市場に的を絞り、実用性の高い4.5kWへ出力を設定している。ML45LSは、レーザー溶接の高速化による加工時間の短縮、厚板の貫通溶接や深溶け込み溶接、高反射材であるアルミニウムの溶接等、高出力化に対する様々なニーズにこたえることができる。

3. ML45LSの特長

3.1 基本構成

表1にML45LSの仕様、図3に発振器構成を示す。ML45LSは、発振器の基本単位となるキャビティ、発振器を射出したレーザー光を光ファイバへ伝送する光学系、発振器へ電力を供給する電源ユニット、発振器へ冷却水を供給する純水ユニット、発振器をコントロールする制御ユニットから構成される。キャビティの内部にレーザーの増幅媒体であるロッド型のYAG結晶及び励起光源であるLDが設置されている。キャビティ1台当たり1kW以上のレーザー光

の発生が可能であり、このキャビティ4台を光学的に連結することによって出力4.5kWを得ている。発振器を射出したレーザー光を、光学系を介してコア径600μmのステップインデックス(SI)型光ファイバへ結合し、所望する場所へとビームを供給する。ML45LSは、LDパッケージからキャビティ、電源に至るまで主要パーツはすべて自社開発品を搭載しているため、発振器供給メーカーとして製造から品質に至るまで責任のある対応が可能である。

3.2 高効率

CO₂ガス排出に伴う地球温暖化や、化石燃料の枯渇等環境問題への関心の高まりから、産業機器に対しても高効率化が強く求められている。ML45LSでは、YAG結晶の周囲に拡散反射材からなる集光器を近接して配置し、スリット状の開口からLD光を導入する当社独自の均一励起技術：CIDER(Close-coupled Internal Diffusive Exciting Reflector)方式を採用し発振効率の向上を図っている。図4にCIDER方式の構成を示す。CIDER方式では、YAG結

表1. ML45LSの仕様

型名	ML45LS	備考
発振波長	1.064μm	
発振モード	CW	LDによる連続励起
定格出力	4500W	発振器出口における出力
出力設定範囲	10~100%	対定格出力
外形寸法	W 2400mm	突起部を除く
	D 800mm	
	H 1600mm	
質量	約2,500kg	
電源入力	58kVA	

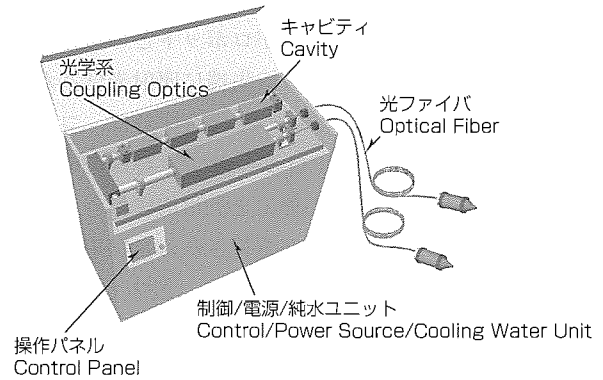


図3. ML45LSの発振器構成

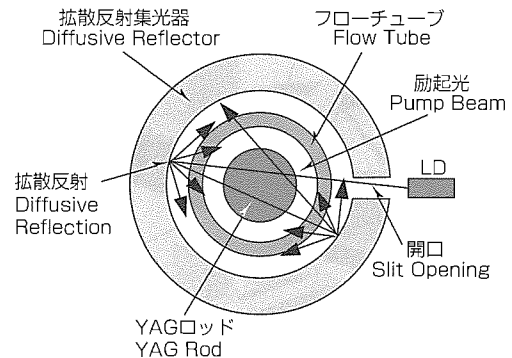


図4. CIDER方式の構成

晶の周囲を拡散反射集光器で包囲することによって、LD光をYAG結晶近傍へ閉じ込め、吸収効率の向上を図っている。また、YAG結晶へ直接入射することのないLD光や、YAG結晶に吸収されず透過したLD光についても、集光器での反射作用により、励起への再利用が可能である。また、キャビティへ搭載する各LDの出力、波長を考慮し、LDの配置を決定する独自のアルゴリズムを開発することによって、LD特性のばらつきによりYAGロッド内部に発生する励起密度(LD光の吸収密度)の非対称性を、当社比で1/10以下にまで低減することに成功した。励起密度の対称性を改善することによって、複数のキャビティを連結する際発生する出力損失を低減し、高出力化する過程においても高効率化が図られている。この結果、kW級の発振器においては、業界トップクラスの発振効率18%(LDへの電気入力からレーザー光への変換効率)を実現した。これに加えて、LD配置アルゴリズムの開発は、LD特性に対する要求仕様を緩和し、低コスト化に対しても貢献している。同出力で比較すると、消費電力は従来のランプ励起方式に比べ約1/6にまで低減し、この結果、配電盤や冷却装置など付帯設備容量も1/6となり、環境にも配慮した発振器となっている。

3.3 コンパクト

土地・工場建屋が高価な国内製造業にとって、世界規模での競争に生き残るためには、工場単位面積当たりの収益性を可能な限り高くすることが求められている。生産設備の高密度な配置、多品種生産に伴う頻繁なレイアウトにも容易に対応可能なものとするため、ML45LSでは、発振器のコンパクト化に特化した開発を行っている。第1のポイントはキャビティ出力の倍増である。従来シリーズでは、定格出力500Wのキャビティを基本構成としていたのに対し、ML45LSでは、出力1kW以上のキャビティを新規開発することで、4.5kWのレーザー光発生に必要なキャビティ数を半減している。これに加えて、高出力域での用途に適したコア径600 μ mの光ファイバを選定し、集光性・光学系を最適設計することで発振器の小型化を図っている。また、電源ユニットについては、自社製の小型IPM(Intelligent Power Module)を搭載した新方式を採用することで、従来シリーズに対し体積を一定に維持しながら、出力を2倍以上にまで大容量化することに成功している。これに加えて、これまで発振器本体とは別置き構成としていた純水ユニットを発振器筐体中へ内蔵することで、発振器の設置面積を大幅に削減した。この結果、4kWクラスの高出力固体レーザーとしては、世界最小となる1.9m²の設置面積(発振器本体)を実現している。この設置面積は、他社比で約1/2、当社従来シリーズの2.5kW機よりも小さな値である。ML45LSは、工場スペースの有効利用を促進し、生産性の向上を図る上でも、有用なツールになることが期待できる。

3.4 高信頼

産業用の生産ツールには極めて高い信頼性が要求される。LD励起固体レーザーにとって信頼性の核となるのが励起光源として使用するLDである。実際に発振器へLDを搭載する際には、発光部本体であるLDチップ、LDチップを冷却するためのヒートシンク、LDへ電流を供給する電極等の部材を一体実装したLDパッケージが使用される。他の発振器メーカーの多くが専門メーカーから購入したLDパッケージを使用しているのに対し、ML45LSでは、自社開発・生産したLDパッケージを搭載している。ヒートシンクの熱流体設計からCD(Compact Disk)、DVD(Digital Versatile Disk)等民生機器向けLDの量産技術で培われた品質管理手法に至るまでダイレクトに適用することができることも、当社が総合電機メーカーであるがゆえのメリットである。また、物理メカニズムに基づくLD劣化シミュレーション技術や、豊富なフィールドデータに裏打ちされた高精度なLD寿命予測によって、ユーザーにとって最もリーズナブルな使用方法を提案することが可能である。ML45LSでは、CW(Continuous Wave)動作で使用する場合、LD通電1万時間又は2年間のどちらか短い期間について完全無償保証を実施している。

3.5 操作・保守性

3.5.1 液晶タッチパネル

ML45LSは、発振器前面に取り付けられた液晶タッチパネルによって、特別なトレーニングなしで簡単に操作することができる。液晶タッチパネルには当社製GOT(Graphic Operation Terminal)を採用しており、図5に示すように、表示に従い画面に触れるだけで、条件設定から周辺機器のモニタに至るまで適確に操作することができる。

3.5.2 各種モニタ機能

発振器を正常かつ安全な状態に維持管理するため、出力を始めとして発振器内部約300か所の温度、シャッターの



(a) 出力設定画面



(b) 出力モニタ画面

図5. 操作パネル画面

開閉状況、光ファイバの有無、電源電圧等発振器の動作状況を監視するモニタ機能を備えている。発振器の状態は操作画面から簡単に確認することが可能であり、日々のメンテナンスや定期点検に役立てることができる。モニタ機能によって発振器の些細(ささい)な変化や異常を検知し、消耗部品の交換や補給時期をユーザーに知らせるほか、アラームを発生し発振器を停止することで安全性を確保している。また、LAN(Local Area Network)や電話回線へ接続するオプション仕様も準備しており、遠隔地から発振器の状態を常時監視することも可能である。

3.5.3 前面メンテナンス

発振器の主なメンテナンス作業は、ユーザーが実施する日常点検からメーカーのサービスマンが実施する専門的な作業に至るまで、すべて前面からのアクセスが可能である。この結果、発振器の背面側に冷却配管を除く特別なメンテナンススペースを設ける必要はなく、世界最小の設置面積であることに加え、更に工場の省スペース化に対し有利な発振器となっている。また、主要構成部品はユニット交換を基本に設計されており、キャビティやシャッター等光学部品を始め、電源ユニット、制御ユニット、純水ユニットについても、すべて前面からのユニット交換が可能である。発振器には、実生産ラインでの経験とノウハウを基に、リミットスイッチや近接センサ等部品交換時の作業ミスを防止するための施策が随所に盛り込まれている。このため、経験の浅いユーザーにとっても安心して日常メンテナンスを行うことができる。

3.5.4 ファイバ無調整交換

高出力レーザーの光ファイバ伝送では、レーザー光を集光し、直径1mm以下の光ファイバの中心へ入射させなければならず、レーザー光と光ファイバの光軸がわずかにずれた場合であっても、光ファイバ入射端に損傷を招くおそれがある。このため、光ファイバの交換作業が発生した場合、従来は調整及び確認作業が必要となっていた。ML45LSでは、再現性よく高精度に光ファイバを位置決めする保持機構を新たに開発することによって、光ファイバの無調整交換を実現している。このため、不慣れな作業員でも、短時間で簡単に光ファイバを交換することが可能である。

3.5.5 拡張性

加工機側との制御信号のやり取りには、標準のI/O接続仕様に加えて、高速ネットワークである“CC-Link (Control & Communication Link)”接続をオプション仕様として用意している。CC-Link接続によって、大幅な省配線化が可能になることに加え、外部装置からの出力値指定、異常コード読み出し等の機能を搭載し、より高度な発振器の遠隔操作を可能にしている。

4. ML45LSの適用分野

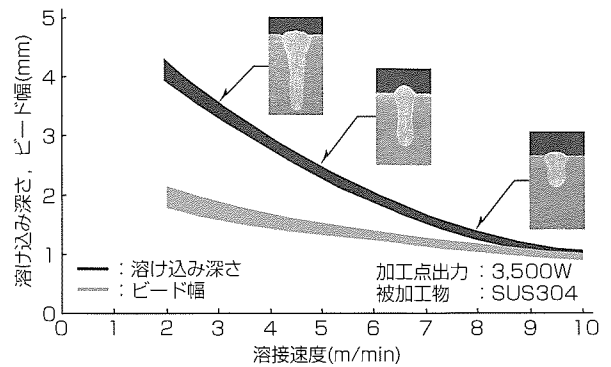


図6. ML45LSの溶接特性

ML45LSは、自動車のボデー溶接を皮切りに、テーラードブランク溶接や造管溶接等の自動車産業を中心とした生産現場で既に適用が始められている。YAGレーザーはCO₂レーザーに比べ波長が1/10と短くなることから、光ファイバによるビーム伝送に加え、金属に対する吸収率が高く、ビーム照射時に発生するプラズマの影響も小さくなるため、潜在的な加工性能は高い。図6にML45LSの溶接特性を示す。図では、SUS304に対する溶接溶け込み深さ、及び溶接ビード形状を示している。溶け込みに関しては、溶接速度3m/分で約3.6mm、8m/分で約1.5mmの溶け込み深さが得られている。また、溶接速度5m/分以上の高速条件でも低速時と同等の幅広の溶接ビード形状が得られており、ねらい裕度の広い加工が可能であることが分かる。現在、車両関連の低ひずみ溶接や鉄鋼関連、また、OA機器や電機機器の精密筐体溶接等、自動車分野以外への適用拡大に関しても積極的な検討、加工技術開発が進められている。

5. む す び

LD励起固体レーザーML45LSの構成、特長、適用分野について述べた。ML45LSは、独自の励起方式を採用することによって業界トップクラスの発振効率を達成するとともに、出力4kWレベルでは世界最小の設置面積を実現している。また、操作性・保守性に関しても実用性に重点を置いた設計としている。ML45LSは、YAGレーザーによる溶接技術の浸透とともに、世界最小のコンパクトさ、優れた保守性を特長に更に幅広い分野での展開が期待できる。今後も、適用分野を拡大するための発振器シリーズ化、加工技術開発に加え、LD励起固体レーザーを様々な現場でより身近なツールとするため、ユーザーの視点に立った製品開発を続けていく。

参考文献

- (1) Fujikawa, S., et al.: 28% electrical-efficiency operation of a diode-side-pumped Nd:YAG rod laser, Opt. Lett., 26, Issue 9, 602~604 (2001)

新型プリント基板穴あけ用レーザ加工機 “ML605GTW-5150U”

成瀬正史*
管原雅之*
井嶋健一*

New Laser Processing Machine for PCB Drilling “ML605GTW-5150U”

Masashi Naruse, Masayuki Sugawara, Kenichi Ijima

要旨

パソコン、携帯電話を始めとするIT (Information Technology) 機器のプリント基板は、高機能化に伴い、高密度化している。そのため、プリント基板の穴数は年々増大しており、プリント基板の穴あけ工程においては、小径化・高精度化、及び生産性の向上が大きな課題となっている。

また、プリント基板の材質変更やプリント基板製造工程の変更による穴加工方法変更など、常に新たなレーザ穴あけ加工技術が求められている。

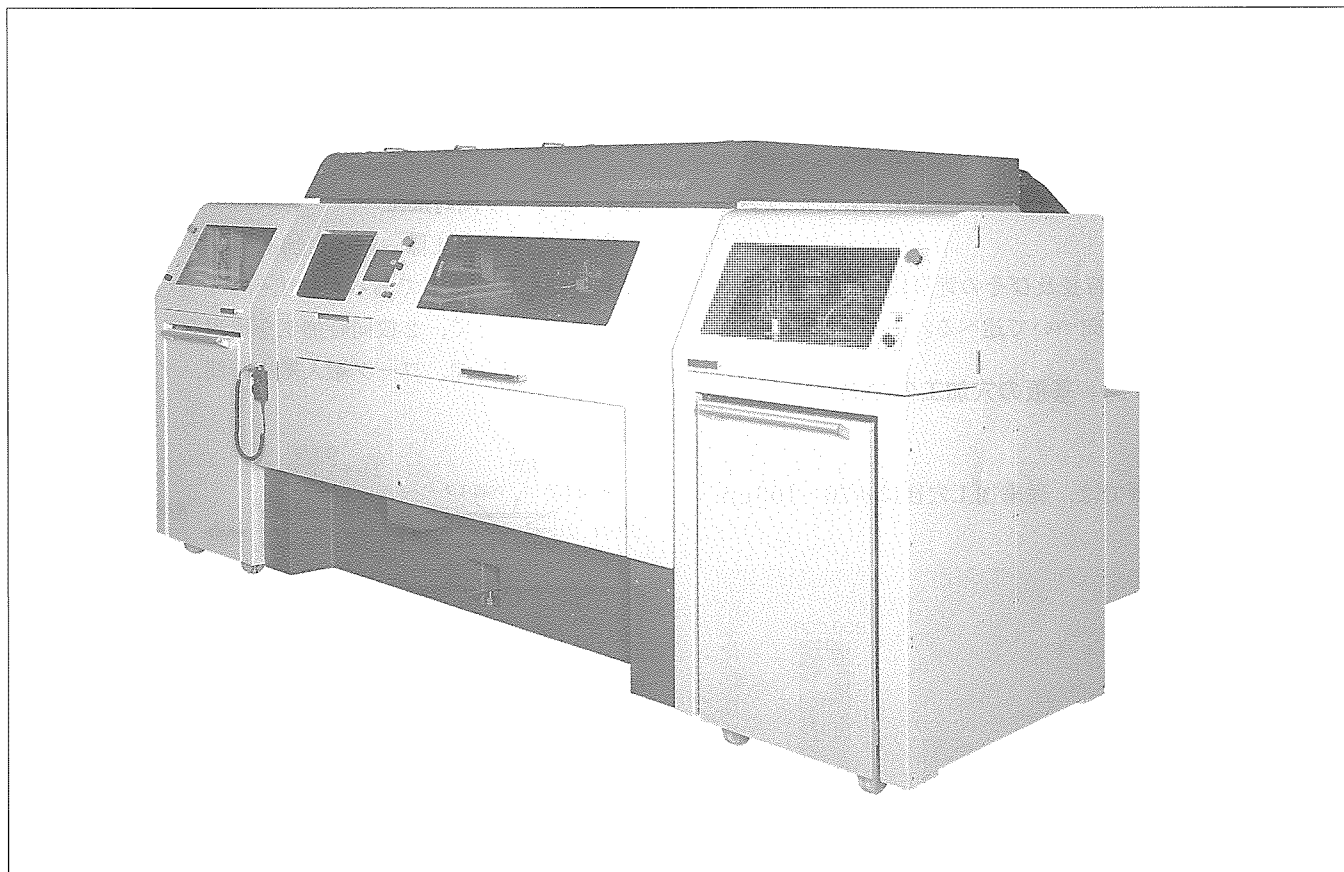
これらの要求にこたえるため、CO₂レーザ2ヘッド2ワーク加工機ML605GTW-5150Uの開発を行った。特長は以下のとおりである。

(1) 加工機を2ヘッドにすることで、2枚同時加工を実現

し、1枚当たりのテーブル移動時間、ワーク搬入搬出時間、アライメントマーク読み取り時間等の大幅短縮を実現した。

(2) 高出力高周波数発振器及び穴ピッチ間を高速に動作することが可能なガルバノスキャナの搭載によって、加工速度向上を実現した。

(3) 多種多様なプリント基板(パッケージ、マザーボードなど)に、様々な加工方法(イメージング加工、コンフォーマル加工、銅ダイレクト加工など)で加工穴の真円度・テーパー度の向上及び加工範囲の拡大(小径化・大径化)を実現した。



プリント基板穴あけ用レーザ加工機 ML605GTW-5150U

ML605GTW-5150Uは、パッケージ基板での小径化、マザーボード基板での加工穴の真円度向上など、様々な種類のプリント基板に良質の穴加工を行うことを実現した。また、2ビーム同時分光技術を採用することにより2ヘッド2ワーク化を実現し、さらに、高速ガルバノスキャナを搭載することで従来機よりも大幅な生産性の向上を実現した。

1. ま え が き

プリント基板を始め電子部品の急速な高密度化・高精度化に伴い、それらを製造する機械も急速に進歩している。

以前はドリルマシンで行われていたプリント基板への穴あけ加工に、10年ほど前から穴あけ用レーザ加工機が導入され始めた。穴あけ用レーザ加工機は、ドリルマシンでは不得手とされているブランクインドバイアホール(止まり穴)の加工や、小径($\phi 100\mu\text{m}$ 以下)の加工を得意とする。

プリント基板の穴あけ工程では、製品の付加価値向上(小径化・高精度化)及び生産性の向上が大きなテーマとなる。

パソコン、携帯電話を始めとするIT機器のプリント基板の代表として、パッケージ(パソコンのCPU(Central Processing Unit)のプリント基板)、マザーボードが挙げられ、各々、高機能化に伴い、高密度化している。

図1に示すように、現在プリント基板の穴数は、2003年にはパッケージで最大30万穴から50万穴、マザーボードでも8万穴から12万穴を超える穴数に増大してきている。そのため、穴あけ用レーザ加工機は更なる高生産性を要求されている。

また、パッケージへの穴加工は小径化、マザーボードに関しては基板の材質の変化及び基板製造工程の変更による穴加工方法変更など、常に新たなレーザ穴あけ加工技術が求められている。

これらの要求にこたえるため、CO₂レーザ2ヘッド2ワーク加工機ML605GTW-5150U(以下、GTWという。)の開発を行った。

本稿では、GTWの特長及びその背景にあるプリント基板に対する穴加工の動向について述べる。

2. プリント基板の穴加工の動向

2.1 パッケージ

パッケージの分野では、従来加工穴径は $\phi 70\sim 100\mu\text{m}$

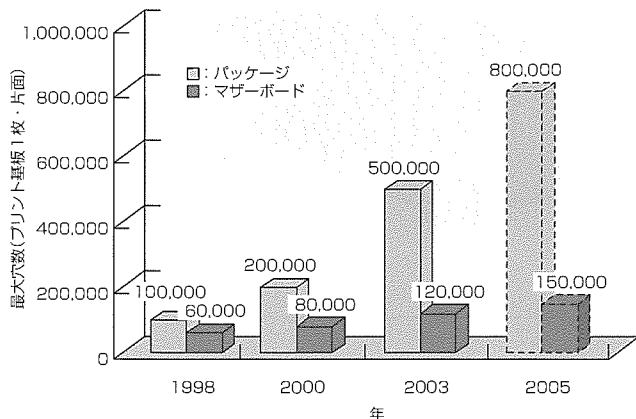


図1. プリント基板の加工穴数動向

程度であったが、パソコンのCPUなどの小型化・高機能化に伴い、加工穴径の主流が $\phi 50\sim 70\mu\text{m}$ と小径化の傾向にある。

2.2 マザーボード

マザーボードの分野では、プリント基板の材質及び穴加工方法が変化している。従来はRCC(Resin Coated Copper (Foil))材にコンフォーマル加工を行っていたが、電気絶縁性・機械的強度・弾性率・寸法安定性を向上させるために、材質がRCCからFR(Flame Retardant (Grade))-4に変わりつつある。さらに、現在ではFR-4への加工方法がコスト低減・回路パターンの精密化に伴いコンフォーマル加工から銅ダイレクト加工に変化しつつある。ここで、コンフォーマル加工とは、図2に示すように、表層銅箔(はく)にあらかじめエッチングにより穴をあけておき、エッチング穴径よりも大きいレーザビームを照射して内装銅箔まで穴加工する加工である。また、銅ダイレクト加工とは、図3のように、表層銅箔に表面処理膜を付加した後、内装銅箔まで穴加工する加工である。銅ダイレクト加工はコンフォーマル加工と比較して工程数が削減されるため、約15%のコストダウンとなる。

FR-4へのコンフォーマル加工に対する要求として、ガラスクロス突き出し量の低減、底面穴径の安定化が挙げられ、また、FR-4への銅ダイレクト加工に対する要求としては、加工穴真円度向上が挙げられる。

3. GTWの特長

3.1 2ワーク同時加工

表1にGTWの仕様、図4に加工ヘッドの構成を示す。従来機では1ヘッドであった加工ヘッドをGTWでは2ヘッドにすることで、2枚同時加工を実現し、1枚当たりのテーブル移動時間、ワーク搬入搬出時間、アライメントマ

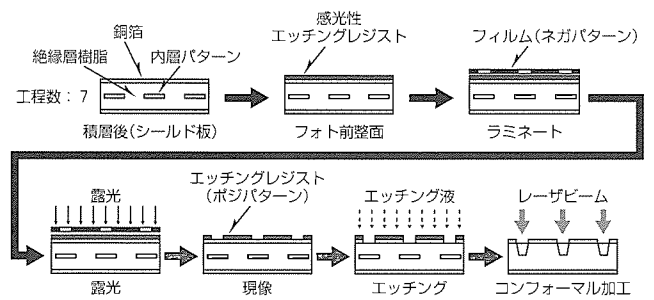


図2. コンフォーマル加工

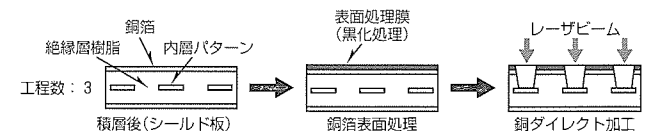


図3. 銅ダイレクト加工

ーク読み取り時間等の大幅短縮を実現した。

また、2ヘッドにビームを分岐する際に、当社独自の2ビーム同時分光技術を採用した。この結果、2つのワークに同時に加工することが可能である。

3.2 高速ガルバノスキャナ

ガルバノスキャナは、図4に示されるように、加工ヘッド内で高速・高精度に位置決めを行う光学部品である。

今回開発したガルバノスキャナは、穴ピッチ間を高速に動作させることで加工速度を向上させた。また、小ピッチになるにつれて高速に動作する。これにより、従来品と比較して、1mmピッチ移動時は1,200Hz→1,400Hz、微小ピッチでは1,600Hz→1,800Hzを実現した。

図5に、従来機と比較したGTWの生産性を示す。

3.3 高出力高周波数発振器

ガルバノスキャナの高速化に伴い、発振器のビームパルス周波数も当然高速化されなければならない。

そこで、新型高周波インバータユニットの開発により出力アップを実現した。従来機と比較して、定格出力を100→150Wへ1.5倍向上し、発振周波数5.0→6.2kHzへ1.2倍向上した。また、ミラーの長寿命化・パルス安定性の向上を実現した。

3.4 光制御技術

エネルギーアップユニットを開発し、高密度にレーザービームを集光し、ビームモードを整形することが可能となった(エネルギーアップユニットは選択仕様)。

エネルギーアップユニットによる効果の事例を図6に示す。

コンフォーマル加工においては、レーザービームの中心と表層銅箔のエッチング穴中心の間に位置ずれがあると加工穴に樹脂が残ってしまう場合があった(位置ずれは、工程間のアライメント誤差やエッチング工程における伸縮によ

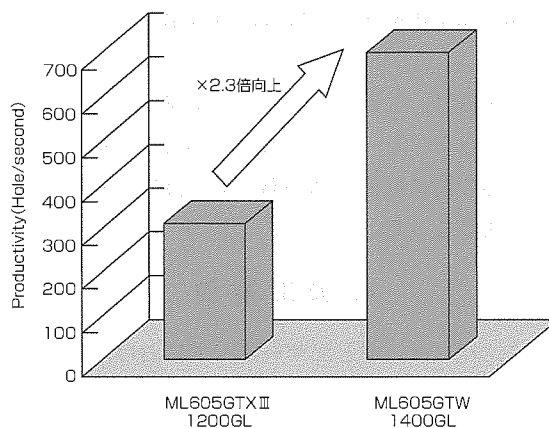


図5. 生産性比較(当社従来機比)

表1. GTWの仕様

項目		仕様
システム	外形寸法(mm)	加工機(発振器+制御装置+L/UL) (W)4,100×(D)2,550×(H)2,270(シグナルタワーを含む) 冷却装置 (W)1,540×(D)670×(H)1,765
	加工機	加工対象ワーク寸法(mm) 620×560 最大送り速度(m/min) 50
発振器	ガルバノスキャナ	スキャニング周波数(1mmピッチ) 1,400×2
	レーザーの種類	CO ₂ レーザー
	出力(W)	150
	設定パルス周波数(Hz)	10~6,200

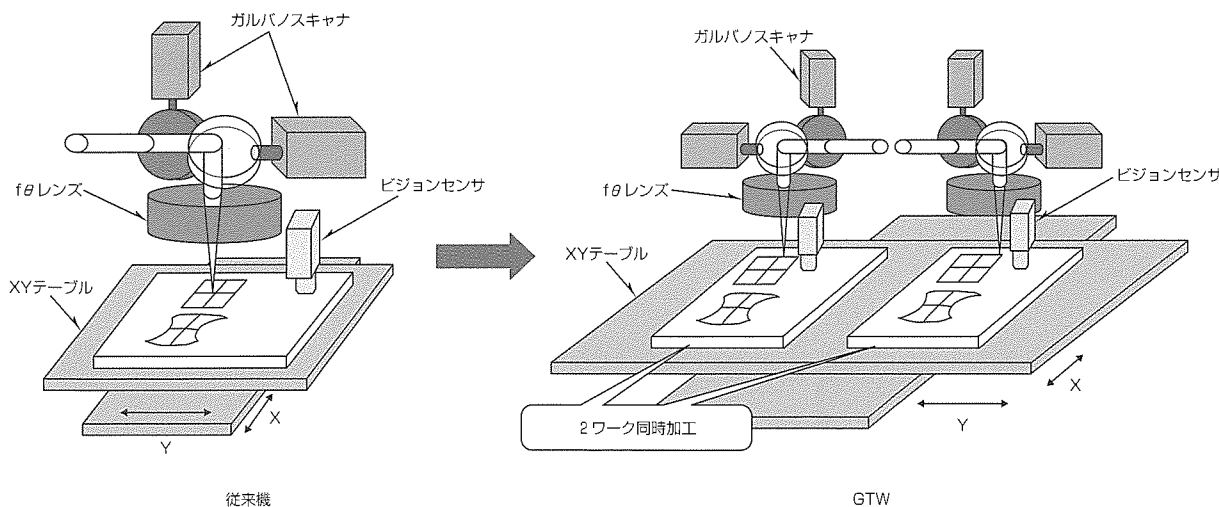


図4. 加工ヘッドの構成

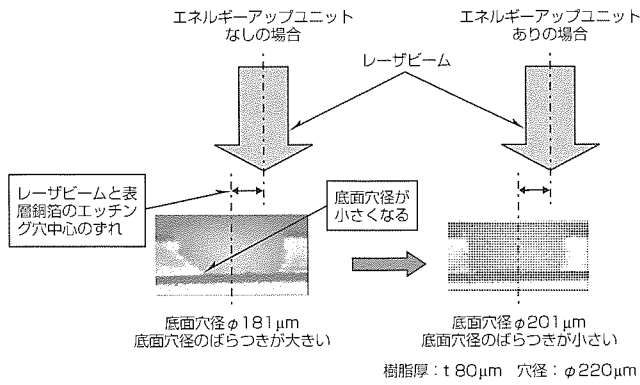


図6. エネルギーアップユニットによる効果の事例

って発生する。)。しかし、このエネルギーアップユニットの開発によって、レーザービームの中心と表層銅箔のエッチング穴中心の間に位置ずれがあっても良質の穴加工をすることが可能となった。

4. 加工事例

以下に、パッケージとマザーボードにおける加工事例を示す。

4.1 パッケージ

図7に加工例を示す。加工穴のテーパ度が75%に向上したために底面穴径が拡大し表面穴径を $\phi 55\mu\text{m}$ にまで小さくすることが可能となった。

4.2 マザーボード

図8, 図9に加工例を示す。

図8はFR-4へのコンフォーマル加工で、従来機では約 $15\sim 25\mu\text{m}$ であったガラスクロス突き出し量が約 $5\sim 15\mu\text{m}$ に減少している。

また、図9はFR-4への銅ダイレクト加工で、真円度の向上を実現した。

5. むすび

以上、高生産性を実現した CO_2 レーザー2ヘッド2ワーク加工機ML605GTW-5150Uについて述べた。IT化の進行

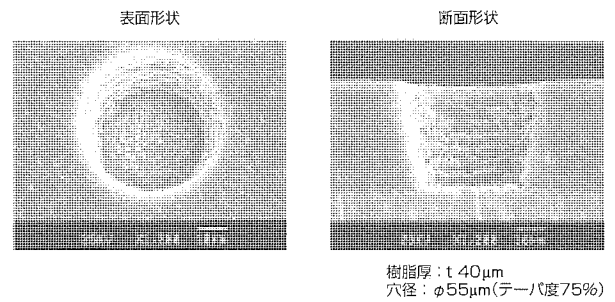


図7. パッケージへの穴加工

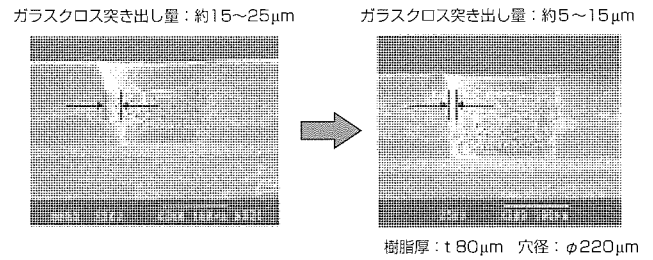


図8. FR-4へのコンフォーマル加工

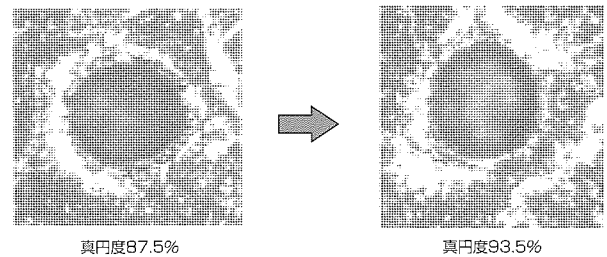


図9. FR-4への銅ダイレクト加工

により、携帯端末機器の高機能化・小型化が進み、プリント基板の高集積化がますます進行するものと思われる。現在、プリント基板の穴あけは、 CO_2 レーザーが主流であるが、より一層の小径化が進むにつれて、第3, 第4高調波YAG (Yttrium Aluminum Garnet) レーザの適用が進展していくものと考えられる。今後は、第3, 第4高調波YAGレーザーの生産性向上に取り組んでいく必要がある。



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 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

ワイヤ放電加工装置及びその制御方法 特許第3223723号(特開平8-90342)

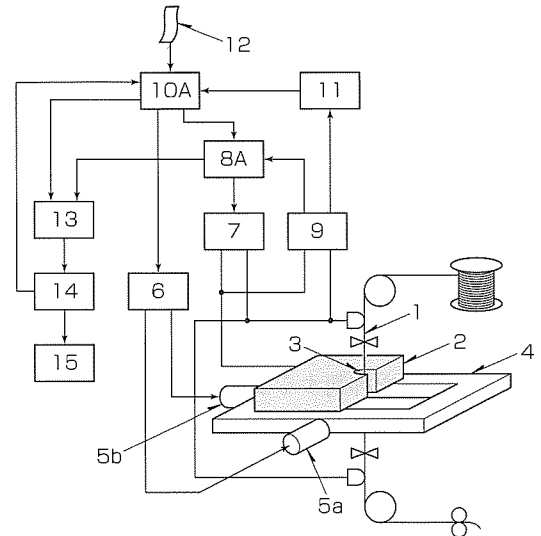
発明者 佐藤清侍, 山田 久, 真柄卓司, 今井祥人, 佐藤達志

この発明は、ワイヤ放電加工装置及びその制御方法に関するものであり、ワイヤ電極と被加工物との加工間隙(かんげき)への投入エネルギーの最適化を図るものである。

従来のワイヤ放電加工において、加工中における投入エネルギーを検出する手段としては、平均加工電流を検出することにより求めることができるが、極間の電圧・電流波形を平滑化した信号を用いるため、検出のタイミングに遅れが生じ、投入エネルギーに基づく制御にうまく反映させることができなかった。

この発明は、上記欠点を解決するためになされたもので、所定時間内の加工電流供給時間幅に対応するパルス列のパルス数を積算することで投入エネルギーを検出し、休止時間等の加工条件を制御するものである。

この発明により、加工間隙に供給している投入エネルギーを検出遅れなく的確に計測することが可能となり、この投入エネルギーに応じた加工条件の制御により、ワイヤ電極の断線防止、加工効率の向上、アーク等の異常加工の回避を図ることができる。



- 1: ワイヤ電極
- 2: 被加工物
- 3: 加工間隙
- 4: テーブル
- 5a: X軸駆動モータ
- 5b: Y軸駆動モータ
- 6: 軸駆動制御装置
- 7: 加工用電源
- 8A: 加工用電源制御回路
- 9: 電圧検出回路
- 10A: NC制御装置
- 11: 平均電圧検出回路
- 12: NCプログラム
- 13: パルス列発生回路
- 14: カウンタ回路
- 15: 表示装置

配線基板加工用レーザー加工装置およびその方法 特許第3512624号(特開平11-254171)

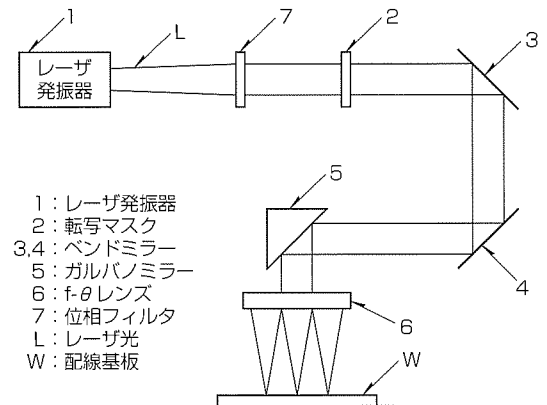
発明者 松原真人, 城所仁志

従来の配線基板加工用レーザー加工機のレーザー光の強度分布はガウス分布をしていたため、配線基板のバイアホール加工時に、内層銅箔(はく)の中心部の温度が高くなり、内層銅箔に損傷又は貫通が生じるおそれがあった。配線基板のバイアホール加工では、内層銅箔に損傷又は貫通が生じると、配線基板の性能劣化となるため、内層銅箔に損傷又は貫通のない加工が望まれていた。

この発明は、従来の配線基板加工用レーザー加工装置における上記問題点を解消するために、レーザー発振器と転写マスクの間に非球面レンズ等の位相フィルタを配置し、レーザー光の強度分布をトップがフラットで側面が急峻(きょうしゅん)なトップハット形状にしたものである。

これにより、配線基板のバイアホール加工において内層銅箔の中心部の温度上昇を低く抑えることができ、内層銅箔に損傷や貫通が生じることなく安定したバイアホール加工を行うことができる。

さらに、位相フィルタは、光の位相を制御して強度分布をトップハット形状に変換するため、レーザー光のエネルギー低下・減衰がなく、マルチビーム加工機や2ヘッド加工機のようにレーザー光を分光して加工する加工機においては、レーザー光のエネルギーが有効に使い、特に効果的である。



- 1: レーザ発振器
- 2: 転写マスク
- 3,4: ベンドミラー
- 5: ガルバノミラー
- 6: f-θレンズ
- 7: 位相フィルタ
- L: レーザ光
- W: 配線基板



特許と新案 * * *

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

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

多段式蓄冷型冷凍機及びそれを組み込んだ冷却装置 特許第2135795号 (特開平2-298765)

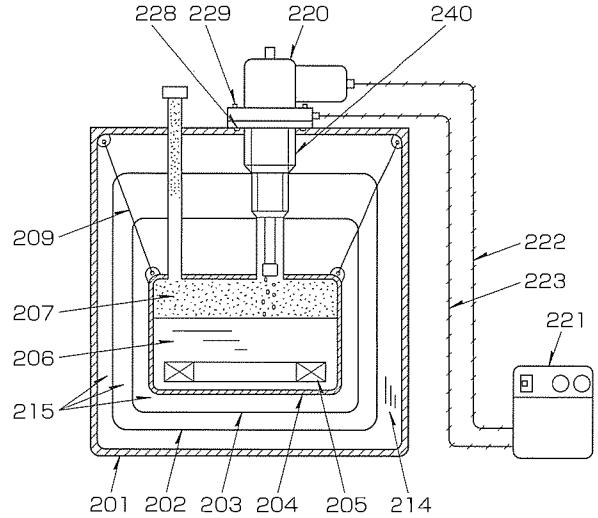
発明者 吉村秀人, 長尾政志, 稲口 隆

この発明は、GM冷凍機、パルス管冷凍機、スターリング冷凍機などの蓄冷型冷凍機とその冷凍機を超電導マグネット等の冷却装置に適用したことに係るものである。

従来の蓄冷型冷凍機は、液体ヘリウム温度付近まで温度が下がらなかった。使用されている蓄冷材の比熱が液体ヘリウム温度近傍では極端に小さくなるから蓄冷器の効率が低下するためである。

この発明では、液体ヘリウム温度付近でも比熱の大きい希土類を蓄冷材として使用し、また、低温端でのしゅう動抵抗による発熱量を抑制することにより、液体ヘリウム温度まで温度を下げることを可能にした。

この冷凍機を超電導マグネット等の冷却装置に適用し、ヘリウム槽内で蒸発するヘリウムガスを再液化することにより、従来必要であった液体ヘリウムの定期的な補充を不要にすることができる。



201: 真空槽 204: ヘリウム槽
202: 輻射(ふくしゃ)熱シールド 205: 超電導マグネット
203: 輻射熱シールド 220: ギフォードマクマホン冷凍機

<本号記載の商標について>

本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標である。

<次号予定> 三菱電機技報 Vol.79 No.4 特集「ユビキタス社会を支えるITソリューション」

三菱電機技報編集委員	三菱電機技報 79巻3号	2005年3月22日 印刷
委員長 三嶋 吉一	(無断転載・複製を禁ず)	2005年3月25日 発行
委員 小林智里 長谷川 裕 堤 清英	編 集 人 三嶋 吉一	
柴原幸志 村松 洋 松本 修	発 行 人 園田 克己	
浜 敬三 藤原 正人 中川 博雅	発 行 所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部	
瀬尾和男 部谷文伸	〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号	
黒畑幸雄 山木比呂志	日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847	
事務局 園田 克己	印 刷 所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス	
本号取りまとめ委員 石井 義一	発 売 元 株式会社 オーム社	
	〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地	
	電話 (03)3233局0641	
	定 価 1部945円(本体900円) 送料別	
URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp	

スポットライト

三菱グラフィックオペレーションターミナル “GOT1000シリーズ”

三菱電機では、FA^(注1)の現場での人と生産設備のインタフェースとなるプログラマブル表示器、グラフィックオペレーションターミナル“GOT1000シリーズ”を発売しております。

特長

1. ストレスを感じさせない高速応答性

- (1) 専用の超高速描画チップを開発し、描画速度を当社従来品(GOT900シリーズ)比約7倍に向上しています(GT15)。
- (2) 業界最高クラスの64ビット並列処理RISCプロセッサを搭載し、高速演算を実現しています。

2. 高い操作性を実現できる豊かな表現力

- (1) 65,536色フルカラー表示により同系色の多い写真画像なども鮮明に表示でき、アプリケーションの幅を広げます(GT15)。
- (2) デザインパターン別パーツライブラリにより、統一感のある、美しい画面を簡単に作成可能です。
- (3) 高品位フォント、TrueTypeフォントの採用により、文字の大小を問わず、美しく鮮明な文字表示を実現しています。

3. 様々なシステム構成に柔軟に対応できる接続性

- (1) 高速シリアルインタフェース標準搭載により、三菱シーケンサだけでなく、他社シーケンサとの接続も充実し、高速な接続形態を実現しました。
- (2) マイコン接続のプロトコルを拡充しましたので、幅広い用途でご使用いただけます。
- (3) 当社モーションコントローラやサーボアンプなどとの接続も可能としましたので、FA分野の様々なシステム構成を実現します。

4. あらゆるユーザーシーンで作業性向上を追求

- (1) 業界で初めてUSBを前面に配置しました。装置の前面に配置される表示器の特性を生かし、面倒な操作盤の開け閉めの手間なく画面データ転送や装置内機器へアクセスが可能です。
- (2) Windows^(注2)標準の操作性・メニュー構成や、複雑・膨大な作業を効率化できる諸機能でご好評いただいている“GT-Designer2”をバージョンアップし、“コメントグループ機能”や“テンポラリーエリア”等の機能を追加し、作業性を更に高めています。
- (3) メモリ容量を当社従来品(GOT900シリーズ)から大

幅アップ(GT15=標準9M/最大57M, GT11=標準3M)し、メモリ容量を気にせず作画ができます。

- (4) CFカードを全機種に標準装備し、パソコンを接続しなくてもデータ転送が短時間でできます。

5. 生産現場のグローバル化に対応

- (1) Unicode^(注3)2.1TrueTypeに対応し、世界各国の言語を見やすく、美しく表示できます。
- (2) 言語切換え機能により、ワンタッチで表示言語切換えが可能で、オペレータの多国籍化に対応します。言語切換え画面の作成も容易に行えます。

6. 新発想のアラーム機能で異常からの復旧時間を短縮

異常発生時のアラーム情報を“ポップアップ”“3ステップ”“レベル・グループ別”などの多彩な表現方法で作業者に伝達することで、迅速な状況把握・原因分析を可能にし、システム復旧作業を大幅に効率化します。

(注3) Unicodeは、米国Unicode, Inc. の登録商標です。

品名	型名	仕様
GT15	GT1585-STBA	12.1型SVGA(800×600ドット) TFTカラー液晶 AC電源タイプ
	GT1575-STBA	10.4型SVGA(800×600ドット) TFTカラー液晶 AC電源タイプ
	GT1575-VTBA	10.4型VGA(640×480ドット) TFTカラー液晶 AC電源タイプ
	GT1565-VTBA	8.4型VGA(640×480ドット) TFTカラー液晶 AC電源タイプ
GT11	GT1155-QSBD	5.7型QVGA(320×240ドット) STNカラー液晶 DC電源タイプ
	GT1155-QLBD	5.7型QVGA(320×240ドット) モノクロ液晶 DC電源タイプ



(注1) FA: Factory Automation (自動化された工場)

(注2) Windowsは、米国Microsoft Corp. の登録商標です。