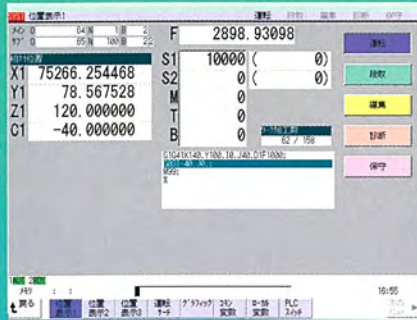


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.77 No.6

特集「最新のNC装置,サーボシステム及びその周辺機器」

2003 6



目次

特集「最新のNC装置、サーボシステム及びその周辺機器」

生産システムの高度化とFA機器 1
島名文忠

最新のNC装置技術

工作機械制御装置の将来 2
垣野義昭

中国市場向け超小型高性能マシンコントローラ“EZMotion NC E60” 7
岩井文雄・三田善郁・福谷武都志

400V電源対応NC用ACサーボ・主軸駆動システム 11
田中利貴・加知光康・中村和幸

NCサーボのオートチューニング機能 15
小澤正啓・田中貴久・林 鋭志

高速・高効率ビルトインIM主軸モータ 19
嶋田明広・仲 興起・川島和之・小川 徹

ナノメートル制御CNC 23
朽木 清・関川勝秀・設楽達哉・加知光康

高精度金型加工制御機能 27
佐藤智典・杉江 弘

最新のサーボコントロール装置技術

サーボコントローラの新しい試み 31
松井信行

汎用ACサーボの制振制御機能 37
松本浩輝・長野鉄明・寺田 啓・磯田隆司

印刷機対応制御機能 42
西村 眞・上田浩一郎

汎用バス対応コントローラ — SSCNETとポジションボードの特長 — 46
世木逸雄・原田保信

オープンフィールドネットワークCC-Link

オープンフィールドネットワーク“CC-Link”の普及とパートナー製品 50
原田昭男

オープンフィールドネットワークの位置付けと最新動向 54
飯田裕一・石田 誠

オープンフィールドネットワークCC-Link及びCC-Link/LTの開発技術 58
可知祐紀

特許と新案

「旋盤の送り軸同期連動方法」「電動機の位置制御装置」 62

「プログラマブルコントローラ(PC)およびそのプログラム容量変更方法」 63

スポットライト

高性能ACサーボ“MELSERVO-J2-Super 400Vシリーズ”

MELSEC-Qシリーズ用Webサーバユニット

表紙

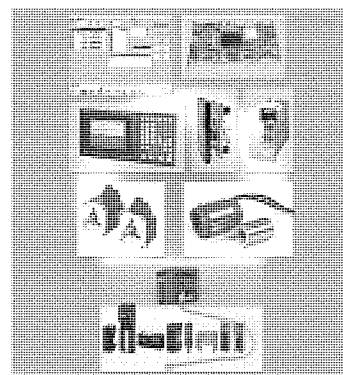
多様なニーズにこたえる三菱FA製品

三菱FA製品は、三菱電機の広汎な技術を活用して、多様な生産現場のニーズにおこたえする。

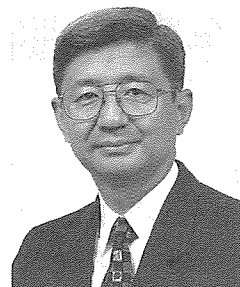
三菱の新型ナノCNCは、高性能CPUを搭載した先進の完全ナノCNCである。

中国市場向けEZmotion-NC E60は、制御ユニットをキーボードの裏に搭載し、小型アンプやコンパクトな三菱サーボモータと組み合わせることにより、手軽に工作機械の数値制御化を可能とした。

フィールドネットワーク関連製品に要求される機能・性能・多彩な接続方式・形状・サイズや保護構造などにこたえる豊富な品ぞろえをしている(当社シーケンサQシリーズ及びCC-Link, CC-Link/LT関連製品群)。



生産システムの高度化とFA機器



常務取締役
FAシステム事業本部長

島名文忠

近年の中国の発展はすさまじい。郊外にも新しく道ができ、次々と新たな建物が建ち並んでいく。また、中国は、市場として、そして生産工場として、世界経済に大きな変革をもたらしつつある。例えば、テレビ、ビデオ、冷蔵庫など家電品の生産シェアは世界トップクラスであり、他の産業における生産も中国へのシフトが進んでいる。

生産システムにおいて、最適なコストで最適な量を最適な時期に生産することは、重要な課題である。従来、日本では、設備・機械の自動化や無人連続運転などでこの課題を解決してきた。これに対して中国では、自動化された設備・機械はそれ自体が高価で、また調整やメンテナンスにも時間と多額の費用が継続して必要となるため、安く豊富な労働力によって代替し解決してきている。

しかし、当然のことながら人間の能力には限界があり、高精度な加工や悪環境での作業には対応できない。特に、高精度・高品位・短納期が求められる精密部品や金型製品においては、どうしても工程集約型の複合加工機及びその周辺技術が必要となる。ここに日本の製造業が進むべき方向についてのヒントがあるように思う。一つは、上記の複合加工機に代表される日本にしかできない高付加価値製品を開発し供給することであり、もう一つは、これら高付加価値製品及びその周辺技術を用いて日本国内に付加価値の高い生産システムを構築し、更なるコスト最適化を図ることである。

一つ目の高付加価値製品について述べる。近年、産業界はIT時代を迎え、より微細、より高精度への要求が高まっており、加工分野においては、高品位鏡面加工・超高精

度金型加工・微細穴加工及び新素材における高速加工などの技術開発が期待されている。従来から三菱電機ではユーザーニーズを先取りし、これらの加工を実現する技術開発に取り組み、NC装置については、ナノメートル制御NCや、SSS制御とOMR制御を用いた高精度金型加工制御を開発してきており、また、簡易な操作性でコストも最適化した中国市場向けNCを開発し、サーボについては、適応制御、オートチューニング、制振制御などの機能を充実してきている。

もう一つの付加価値の高い生産システム構築については、現場の生産システムとMES, SCM, SSM, ERPなどを結び付けた市場動向に合わせたフレキシブルな生産や設備・装置の情報収集・解析により、稼働率向上、機会損失低減、人件費・ランニング費削減等ができ、コスト最適化に大きく寄与することができる。生産現場のネットワークとしては、リアルタイムなレスポンスを実現する高速・大容量のオープンフィールドネットワークCC-Linkが急速に普及している。パートナーメーカーは450社を超え、様々な分野・用途の機器が品ぞろえされており、最適なシステムの構築を可能にしている。

中国などの工業化が進み、今後ますます厳しくなる事業環境の中、日本の製造業は、差別化のため、高付加価値製品生産への移行と生産効率のより一層の向上を進めている。これらのニーズにこたえるため、三菱電機は、総合FAメーカーとして先進技術を生かし、それぞれの地域・分野・用途に応じて更に様々なメリットを創出する製品を供給していきたい。



垣野義昭*

工作機械制御装置の将来

要旨

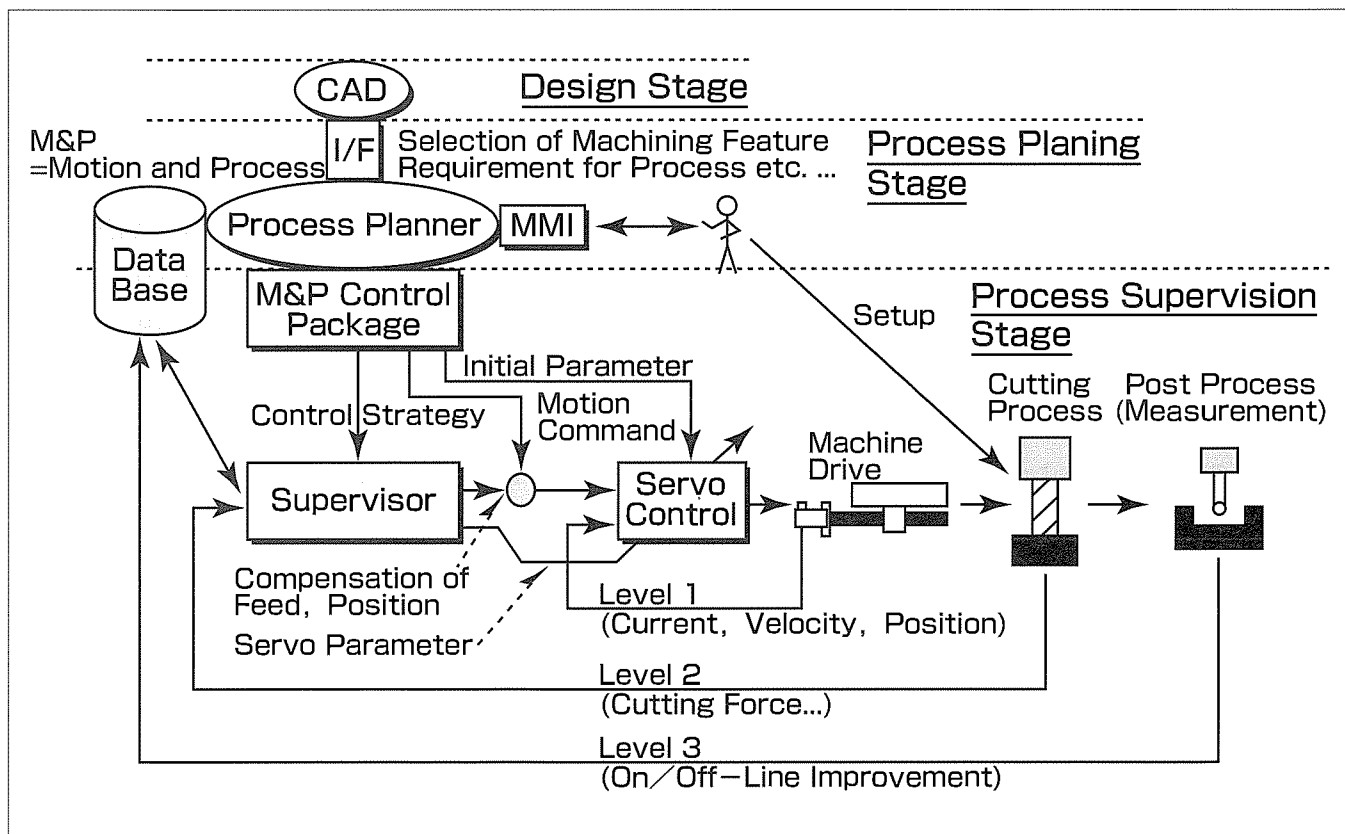
工作機械制御装置は、現在は工具と工作物の相対的な位置、移動速度、駆動力(モータ電流)を制御しているのみであり、工作機械の主目的である加工プロセスを制御対象とはしていない。将来の制御装置は、この主目的である加工プロセスを適切に制御することを対象とする必要がある。そのためには、知能化工作機械システムが不可欠であり、これを開発することを目的とした知能化工作機械研究会(略称:INC研究会^(註1))が作られ、かなりの成果を上げている。

この知能化工作機械システムは下図に示すような構造を持ち、加工プロセスの制御のために3段階のフィードバックループとデータベース、スーパーバイザを備えている。また、加工制御に加えて、工程設計の最適化を行う機能も

備えている。現在、このシステムは、ドリル加工の知能化を目指したMode 1と、タップ加工の知能化を目指したMode 3が開発段階をほぼ終え、実用化の寸前にある。エンドミル加工の知能化を目指したMode 2はまだ研究開発段階にあるが、2年後にはその段階を終え、これらすべてを包含した知能化工作機械システムとしての完成を目指して努力している。

このような知能化を図るためにも、また、加工精度の一層の向上のためにも、工作機械の運動精度を一層高速・高精度化しなければならない。

(注1) INC研究会は、京都大学、滋賀県立大学、新潟大学の研究者と、大阪機工㈱、㈱森精機製作所、三菱電機㈱、安田工業㈱、ヤマザキマザック㈱の技術者で構成されている。



知能化工作機械システムの全体コンセプト(INC研究会)

この知能化工作機械システムは、加工プロセスの制御のために3段階のフィードバックループとデータベース、及びスーパーバイザを備えている。また、加工制御に加えて、工程設計の最適化を行う機能も備えている。

1. ま え が き

数値制御工作機械(以下“NC工作機械”という。)が誕生してから約50年が経過した。その発展は真に目覚ましく、世界第一の工作機械生産国である我が国においては、全工作機械の生産額中に占めるNC工作機械の比率(=NC化率)が90%に達しており、NCを用いていない従来型の工作機械の割合はわずか10%しかない。今や工作機械と言えば、NC工作機械の意味であることは自明である。

量だけにとどまらず、質の面でもNC工作機械は急激に変化を遂げてきた。今や多軸制御は当たり前であり、最小設定単位は0.1 μ mも珍しくなくなった。NCの基本をなす位置・速度・電流のフィードバック制御はほぼ完全にデジタル処理され、高速・高精度化は著しく進んだ。

ただ、変わらない面もある。その第一は、NCは前述の位置・速度・電流といった運動は制御しているが、工作機械の最終目的である金属材料の加工は何ら制御の対象になっていないどころか、通常は監視の対象にすらなっていないことである。加工は工具と工作物の相対運動で生じる干渉によって行われるが、運動が指令どおり正しく行われたからといって、良好な加工が行われているとは限らない。

良好な加工が行われるかどうかは工具と工作物に与えた相対運動の指令が適切であったかどうかには依存するが、NCは、それに関知せず、黙々と指令どおりの運動をサーボ系の性能が許す限りにおいて忠実に実行するのみである。

変わらない第二は、いわゆるサーボゲインの大きさである。約20年前ごろから使われだした標準設定値と称する位置ループゲインは、特別な要求がない場合、 $K_s=30$ 1/s程度に設定されるケースが多い。最近ではサーボ制御装置の高速演算化及び高分解能化によりハイゲイン化が進み、50 1/s又はそれ以上に設定されるケースも増えてきている。しかし、まだ積極的にハイゲイン設定をせず、上述のように低めのゲイン設定をしている例は多い。これは、当時の機械構造と制御性能を考慮して安全サイドに設定されたソフトサーボの考え方がそのまま踏襲されてきたものと思われる。現在ではCAEの手法も普及しつつあり、精度検定法もDBB法を始めとして種々の方法が普及してきたので⁽¹⁾、今や従来のように安全サイドにサーボゲインを設定する必要はなくなったけれども、依然として前のままの値を設定して出荷している工作機械メーカーがまだたくさんある。

以下、この2点に重点を置いて、前者を知能化NC工作機械システムとして考察し、後者を運動精度として考察する。

2. 知能化NC工作機械システム

生産機械においては、知能化が一種のトピックスになっている。NC工作機械においても、知能化をうたっていない

いものは時代遅れのような感じがするほどよく使用されている術語である。確かに、知能化とは若干あいまいな言葉であり、明確な定義付けがあるわけではないので、やむをえない側面がある。例えば、制御系のパラメータを機械構造の特性に合わせてチューニングすることを指して、知能化と言っている例がある。確かに、これも知能化の一種には違いないが、どちらかといえば低レベルの知能化である。

我々は、本格的な知能化システムの開発を目指して、三菱電機㈱を始めとして、工作機械メーカー数社と知能化工作機械システムを開発する研究会(INC研究会)を1997年に発足させて活動を開始した。このシステムは、ドリル加工を対象とするMode 1と、エンドミル加工を対象とするMode 2と、タップ加工を対象とするMode 3に分かれている。

それらは、すべて要旨の図に示すような共通のコンセプトを持っている⁽²⁾。すなわち、工程設計の知能化とスーパーバイザを用いた加工制御の知能化である。加工制御の知能化は、NC工作機械に3つのレベルのフィードバックループを持たせることで実現する。第1レベルのフィードバックループは従来のサーボ制御であり、制御パラメータを加工モードに合わせて変更する以外は従来どおりである(従来は制御パラメータは加工モードに関係なく一定であった)。第2レベルのフィードバックループはいわゆる適応制御を行うループであり、切削抵抗をモニタリングして、加工状態を監視し、送り速度などを変えることによって目的に合った加工状態を実現する。第3レベルのフィードバックループは、良好な加工結果のデータを用いて過去に行われた加工結果を保存しているデータベースの値を更新するループであり、常に最善の加工条件を蓄積し、スーパーバイザがこれをコントロールする。

加工制御を行うために導入された知能化されたタップ加工用の固定サイクルと、従来の固定サイクルを比較して図1に示す⁽³⁾。一見して分かるように、従来の固定サイクル

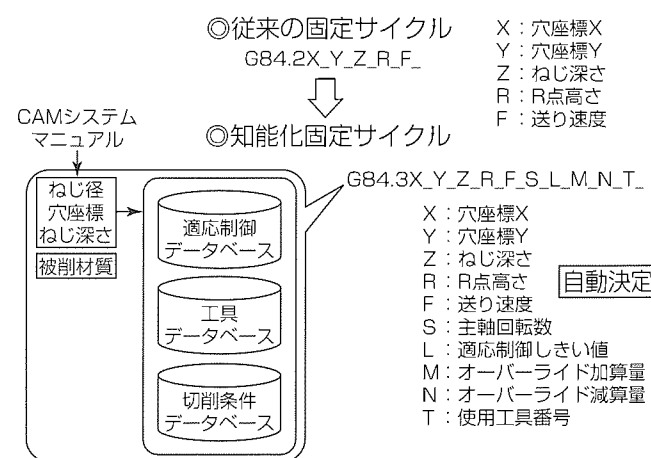
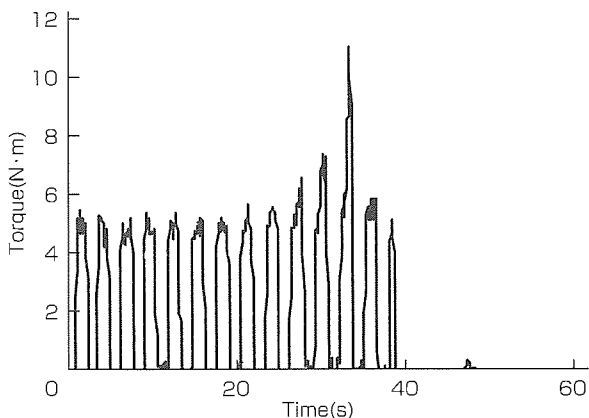


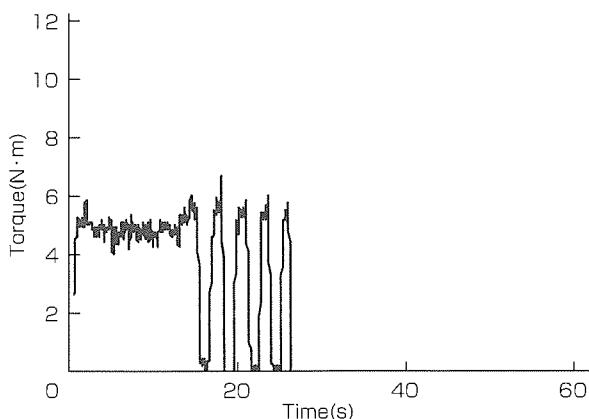
図1. 従来のタップ加工固定サイクルと知能化された固定サイクルの入力情報

においては、工具パスを示す幾何情報以外は何も記述されていない。それに対して、知能化固定サイクルにおいては、幾何情報に加えて目標切削抵抗の値など加工技術情報が記述されている。これらの技術情報は、オペレータが直接入力してもよいし、システムの持っているデータベースから参照してもよい。このような加工技術情報を基に、工具摩耗の検出、切りくず排出のための適応ベッキング、能率向上適応制御などが加工中に自動的に実行される。

適応ベッキングによって安全で高能率な炭素鋼の深穴加工を行った例を図2に示す⁽⁴⁾。従来のベッキング手法(定位置ベッキング)を用いる場合には、入力指令に基づいて深さ3mmごとにベッキングを繰り返してドリルを折損させるおそれのある切りくず詰まりを予防しているが、それでも、11N・mという非常に大きなトルクが生じていて、ドリルの折損の危険がある。これは、適切な定位置ベッキングの設定の困難さを示している。それに対し、知能化された適応ベッキングを用いると、切削抵抗は常に安全な6N・m以下に保持され、ベッキングの回数も最小限ですむため、加工時間は従来の定位置ベッキングの38秒に比べて27秒と大幅に短い時間で加工ができる。



(a) 定位置ベッキングを用いた場合の切削トルク変化



(b) 適応ベッキングを用いた場合の切削トルク変化

図2. 定位置ベッキングと適応ベッキングを用いた場合の切削トルクと加工時間の比較
(被削材：S50C, 工具：φ9mm HSS, 切削速度：40m/min, 1回転当たりの送り：0.15mm/rev, 穴深さ：72mm)

この一例からも知能化加工システムの優位性は明らかであろう。しかも、これらの加工制御は内部センサと呼んでいる位置・速度・電流のセンサのみを用い、特別な外部センサは用いないので、コスト、信頼性などの点で外部センサを用いるシステムに比べてはるかに有利である。

この加工制御を行う知能化とともに重要なのが、工程設計の知能化である。従来も工程設計に類する作業は各種の自動プロの中で行われているが、これは、実際には単なる過去のデータの無批判な再利用でしかなかった。加工コスト、加工時間などを見積もって最適な工程を設計するシステムがINC研究会により初めて構築された。

このような工程設計の最適化システムを特に必要としないドリル加工Mode 1とタップ加工Mode 3は、現在開発段階を終え、実用化の寸前にきた。エンドミル加工Mode 3は、この工程設計とともに、加工制御もドリル加工やタップ加工ほど簡単ではない。すなわち、エンドミル加工においては、従来は工具パスはオペレータの経験に任せられ、自在なパスを使っていたので、これに適応制御などの加工制御の手法を汎用的に持ち込むことは非常に困難であった。

そこで要旨の図に示したこのシステムでは、エンドミル加工においてもドリル加工などと同様に固定サイクルというコンセプトを導入し、加工フィーチャごとに対応した固定サイクルを用いて加工する方法を提唱している⁽⁵⁾。このようにすれば、エンドミル加工においても工具パスが既知となるので、適応制御などの加工制御の導入が比較的簡単に可能となる。

比較的硬度の高い材料の細溝を加工するために使用するトロコイド溝加工固定サイクルにおいて、切削抵抗が常に目標値に一致するように送り速度をフィードフォワード制御によって変化させた一例を図3に示す⁽⁶⁾。このためには、送り速度を図中に示すように加工形状に応じて $F = 2,000 \sim 6,000 \text{ mm/min}$ まで急激に変化させねばならないが、このようにすると、安全かつ高能率で溝を加工することができる。また、この固定サイクルの設計も自動化されているので、切削速度、目標切削抵抗などを入力すればよいなど、非常に実用的なシステムの開発を目指している。

現在のNCサーボ系は、この程度の送り速度変化に対しては十分な速度追従性を持っているが、さらに高速・高精度加工を目指す場合には、次章で述べるように速度追従性を大幅に改善しなければならない。また、加工形状が急激に変化する場所では、フィードバック制御では対応できず、フィードフォワード制御を多用せざるを得ない。

工程設計システムの有効性を示すために、図4に示す複雑な形状をしたプレスプレート部品を加工するための工程設計をこのシステムで行った例を以下に示す。この部品を加工する手順は非常に多数あるが、その中で最も加工時間と加工コストが小さくなる加工手順は図5のようになった。

この加工手順と切削条件は、熟練したオペレータが行っているものとかかなりよく似た結果になり、かつ実際に加工を行ったところ、非常に妥当な結果が得られ、実用に耐えるシステムであると判定された。

このような工程設計の機能は、現在の常識ではCAMシステム(又は自動プロ)に含めるべきであろうが、将来はNCの機能に含めるべきであろう。なぜなら、このシステ

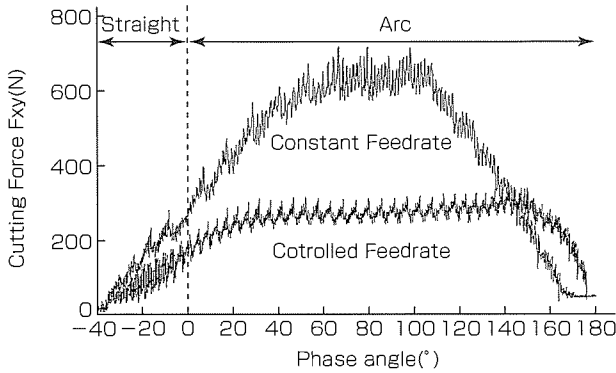
ムを用いていると、オペレータは加工コストを意識した加工が自然に行えるようになり、加工の現場からの合理化が進むからである。又は、将来は金型加工用も含めて、工程設計機能を含むCAMとNCは一体化すべきであろう。このようなシステムの方が、加工制御の観点からは大いに有利である。

3. 高速・高精度な輪郭運動の実現

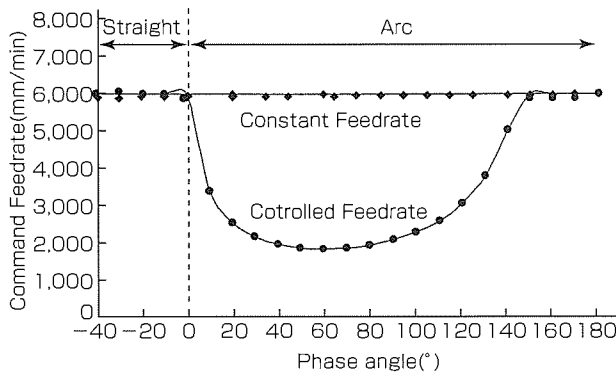
前述したように、切削加工を一定に保ちながら複雑に変化する形状を加工しようとするとき、送り速度を加工形状に応じて、かなり急速に変化させる必要がある。これの最も典型的なものが自由形状からなる金型の加工である。現在、多用されている焼入れ金型(ダイス鋼SKD61(HRC53))の加工に使われている平均的な送り速度は1 m/min程度である。この程度の送り速度であれば、図3に示したように現在のサーボ系でも十分追従できるが、数年後には実用されるであろう3~5 m/minの送り速度には十分な精度では追従できない。

もちろん、送り速度の追従性が悪くなると、位置の追従誤差は大きくなる。粗加工ではある程度の位置の追従誤差は許容されるが、中仕上げ、仕上げ加工においては3 μm以下の追従誤差しか許容されない。この目標を達成するには、NCサーボ系の性能を向上させることが不可欠である。そのためには、まず工作機械構造の改善が第一に重要である。第二には制御装置の性能向上が必要である。一般には、この順序が逆のように考えている人が多い。機械構造が悪いと、機械振動が制御系に入り込み、制御性能を極度に低下させることは、リニアモータを用いたマシニングセンタを作った経験がある人たちにとっては、自明のことであろう。ノッチフィルタなどの性能が改善されつつあるとはいえ、この基本原則は動かしがたい。

最近のマシニングセンタは、高速・高精度を目指して



(a) 切削負荷 Cutting Force



(b) 送り速度 Feedrate

図3. トロコイド加工における切削負荷の一定化
(被削材:ダイス鋼SKD61(HRC53), 溝幅15mm,
切削速度:300m/min, 工具:(Al, Ti)Nコーテッド
超硬エンドミルφ10)

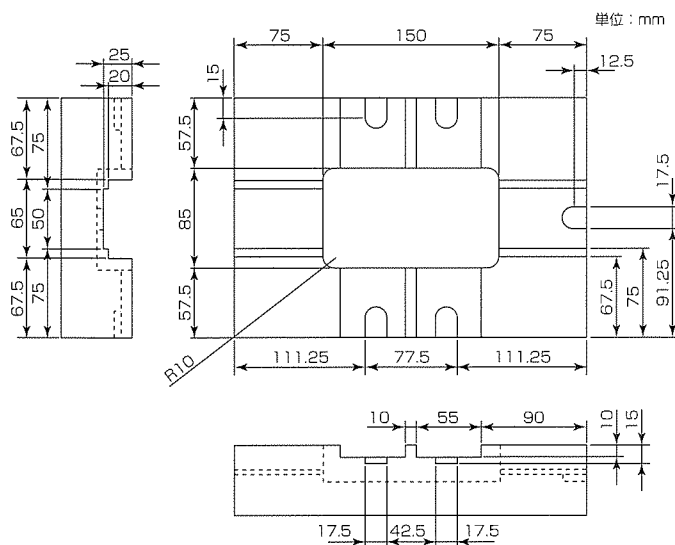


図4. モールドベースコア金型部品の形状(材質:炭素鋼S50C)

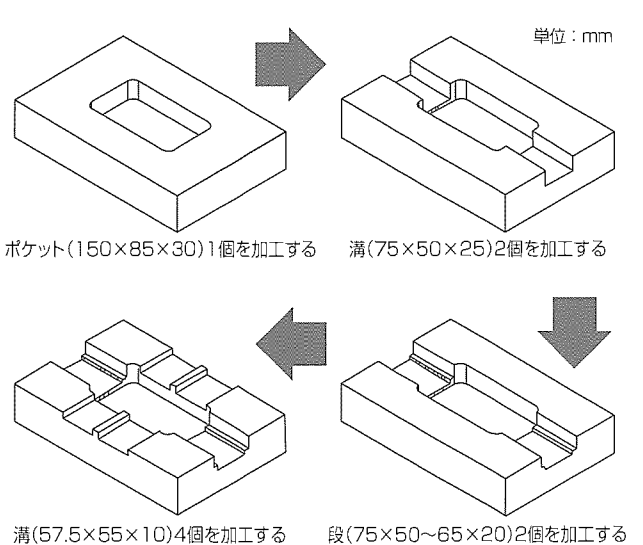


図5. 最適な工程設計となった加工手順

種々の改良が加えられ、その運動精度は大きく改善されてきた。その一例として、KGM法で測定した運動精度を図6に示す。図に示すような鋭角、直角、鈍角、円弧と直線の接続という非常に変化に富んだ軌跡に沿って運動させても、 $4\mu\text{m}$ の軌跡誤差しか生じていない結果が得られている。もちろん、このためには、各種の制御パラメータの微細なチューニングが不可欠である。

4. む す び

以上、工作機械数値制御装置の将来を、知能化と運動軌跡の高速・高精度化の2点から考察してみた。最近のデジタル制御技術の発展は真に目覚ましく、数年前には到底実現不可能と思われていたことが続々実現されてきた。その一例が、前述の内部センサによる切削抵抗のモニタリングである。今では、ドリル加工ではBT40クラスのマシニングセンタにおいても、 $\phi 3$ 程度の加工までモニタリングできるようになってきた。エンドミル加工においても同様に、わずか30Nという小さな切削抵抗のモニタリングが可能となりつつある。

このような制御技術を駆使すれば、加工制御を固定サイクルの中に組み込むことは、そう難しいことではなくなるであろう。ただし、この知能化システムに必要な各種のデータベースをどのように構築するかは大きな問題である。個々の工作機械メーカーが個別に対応するには、コストがかかりすぎるので、何らかのグループで対応すべきであろう。

参 考 文 献

- (1) 垣野義昭, ほか: DBB法によるNC工作機械の精度評価法, リアライズ社 (1990)
- (2) Kakino, Y., et al.: Accuracy Inspection of NC Machine Tools by Double Ball bar Method, Hanser

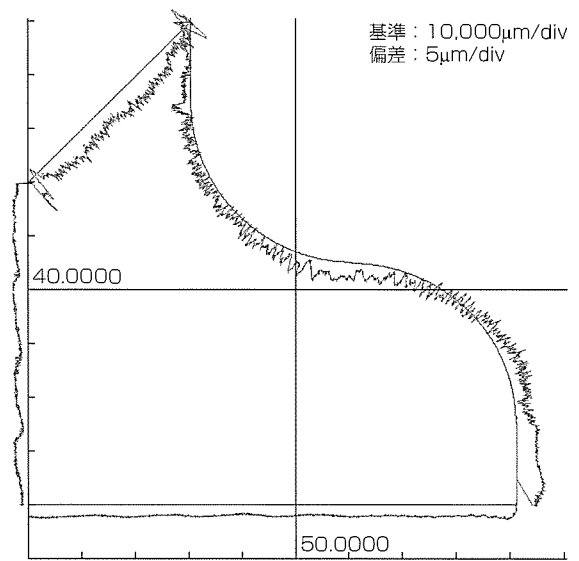


図6. KGM法で測定した立型マシニングセンタの輪郭運動精度(送り速度: 3 m/min)

Publishers (1993)

- (3) 佐藤智典: 知能化NC工作機械システムの開発と加工制御に関する研究, 京都大学学位論文 (2003)
- (4) 山岡義典: タップ加工用知能化工作機械システムに関する研究, 京都大学学位論文 (2003)
- (5) 藤嶋 誠: 知能化工作機械によるドリル加工に関する研究, 京都大学学位論文 (2002)
- (6) Kakino, Y., et al.: Intelligent Endmilling System and Its Application to Internal Cylindrical Machining with Spiral Curves, Proc. of 2002 Japan-USA Symposium on Flexible Automation, 415~420 (2002)
- (7) 大塚裕俊, ほか: 焼入れ鋼のエンドミル加工に関する研究(第2報) - 工具経路の移行部を含む曲線切削時の切削抵抗の一定化制御 -, 精密工学会誌, 67, No.8, 1294~1298 (2001)

中国市場向け超小型高性能マシンコントローラ “EZMotion-NC E60”

岩井文雄*
三田善郁*
福谷武都志*

要旨

中国製造業界では、従来少品種部品の低コスト大量加工が求められていたが、近年、その需要者である欧米、日本を中心とした部品発注元から高品質で多種少量加工への対応が強く求められるようになってきた。しかしながら、現在も大半を占める手動又は単機能サーボなどにより駆動される非プログラマブル工作機械ではそれに対応できず、プログラマブルで高精度な加工に対応できる工作機が求められるようになった。

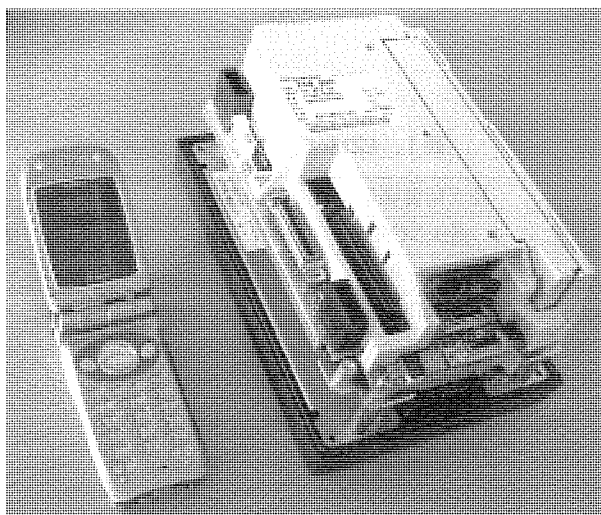
“EZMotion-NC E60”は、30年以上にわたり蓄積された“MITSUBISHI CNC”の高速・高精度な加工制御技術が盛り込まれた小型で高性能な工作機械用コントローラである。コントローラ自体のコスト低減のみならず、それが搭載される工作機械のコストを低減するため、徹底的な小型化と低発熱化を図った。これにより、従来余剰空間であった専

用キーボード背面への実装が可能となり、高価なコントローラ実装用キャビネットが不要となった。

多くの工作機械のCNC化経験が浅い機械メーカーや、CNC工作機械の運用／保全経験が浅い機械オーナーにも簡単に機械性能を最大限に引き出せるよう、NCサーボオートチューニング機能を始めとした多種多様な機能を搭載した。

さらに、将来の機械機能拡張に容易に対応できるよう、CNC内蔵PLCをより高速化する付加型高速PLCエンジンを開発し、必要に応じてそれを付加できる専用スロットを設けた。

EZMotion-NC E60は、中国製造業界が求める“更に伸張するために不可欠な工作機械の多種少量加工への対応、高精度化への変革”にこたえられるコントローラである。



EZMotion-NC E60の外観

左：EZMotion-NC E60本体（専用キーボードの背面に取り付けたところ）
右：EZMotion-NC E60専用ディスプレイと専用キーボード

1. ま え が き

EZMotion-NC E60は、著しい伸張を遂げ、近年更なる伸張のため構造の改革を求められつつある中国産業界をターゲットにした工作機械用コントローラである。

なお、EZMotion-NC E60の専用ディスプレイと専用キーボードの外観を図1に示す。

2. 開発のねらい

2.1 中国産業界が求められている変革

従来、中国製造業界は、低生産コストを最大限に生かす少品種部品の大量加工により著しく伸張してきた。しかし、需要者である欧米、日本を中心とした多くの企業が生産拠点を中国に移した結果、生産コストの低さだけではそれらの企業の競争力を維持できなくなりつつあり、欧米、日本と同等の多種少量部品を高品質・高精度で加工することが強く求められるようになってきた。

しかしながら、手動又は単機能サーボなどにより駆動される非プログラマブル工作機械が大半を占める現状では、それらへの対応ができない状態にあり、プログラマブルで高精度な加工に対応できるコントローラに駆動制御される工作機が求められるようになってきた。

図2に中国のターゲット市場を示す。

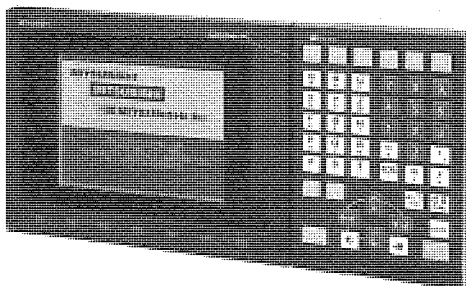


図1. EZMotion-NC E60専用ディスプレイと専用キーボードの外観

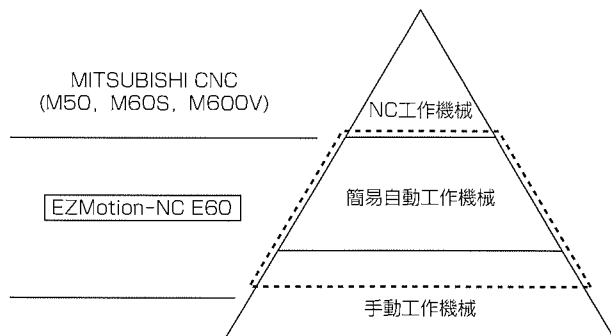


図2. 中国のターゲット市場

2.2 EZMotion-NCの特長

中国製造業界は、日本、欧米の製造業界で主流となった複雑な形状の加工が可能で多種多様な機能が要求される複合加工機械までは求められず、多種類の比較的単純な形状を高速・高精度に加工できる工作機械が求められるようになった。

それを実現するためには、従来の欧米・日本の市場からのニーズに合わせて開発されたCNCを中心とした高機能・高性能コントローラではなく、低価格で機能を限定した高性能なコントローラが必要となってきた。

EZMotion-NC E60は、このような中国製造業界のニーズにこたえるため、30年以上にわたり蓄積されたMITSUBISHI CNCの高速・高精度な加工制御技術を基礎に開発された小型で高性能な工作機械用コントローラである。搭載機能の厳選化と部品点数の大幅削減によるコストの徹底低減を実現し、CPUを中心とした電子部品の発熱低減を進め、コントローラ実装体積を極小化することで電気キャビネットなどの工作機械構造物削減を実現した。

また、工作機械のCNC化経験が浅い機械メーカーや、CNC工作機械の運用/保全経験が浅い機械オーナーも常時簡単に機械性能を最大限に引き出せるよう、サーボオートチューニング機能などの保全支援機能を搭載した。

表1にEZMotion-NC E60の概略仕様を示す。

3. EZMotion-NC E60に採用した技術

3.1 CNCアーキテクチャの搭載

中国製造業界が求める手動又は簡易自動工作機械の自動化・プログラマブル化と加工精度と加工速度の向上にこた

表1. EZMotion-NC E60の概略仕様

最大制御軸数	5	
最大NC軸数	3 (基本: 3軸X, Y, Z)	
最大主軸数	1	
最大PLC軸	1	
最大系統数	1	
同時制御軸数	3	
最小制御単位	1 μm	
内蔵PLC最大ステップ数	4,000step	
PLC能力(基本命令)	2 μs/step	
PLC開発ツール	GX-Developer (MELSEC開発ツール)	
プログラム記憶容量	160m (63,000文字相当)	
表示器	9型CRT/7.2型LCD	
最大I/O点数	機械入出力	256/240点
	操作ボード	アナログ出力1点標準 128/96点

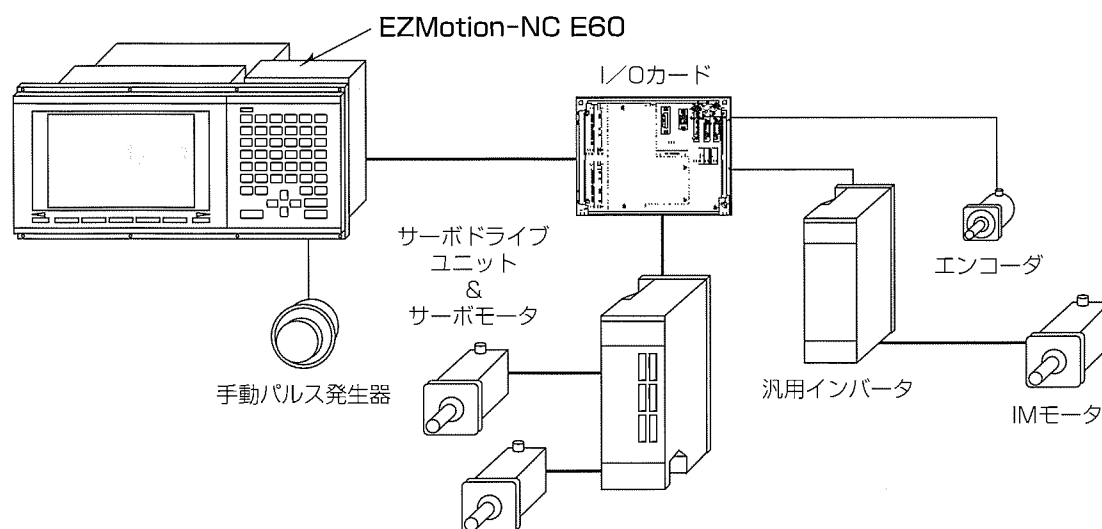


図3. システム構成例

えるため、EZMotion-NC E60の基本アーキテクチャはMI-TSUBISHI CNCと共通化した。搭載機能は、中国市場要求の詳細分析を基に厳選し限定した。これにより、価格を抑えたコントローラながら機械設計者及び機械使用者に以下のような大きなメリットがある。

機械設計者は“スムーズな加減速制御機能”と“機械振動を自動的に抑制する電子フィルタ”により、機械固有振動を意識しないで設計することが可能となり、“電子ギア”“座標変換機能”“機械座標管理機能”などにより、ギア比、位置検出器の分解能、ボールねじのピッチの整合性を検討する煩わしさから開放される。また“ピッチエラー補正”“バックラッシ補正”“各種ロストモーション補正”などの機能により、高い加工精度が実現できる。

さらに、工具や加工対象を回転させる主軸モータとの“各種同期制御”も標準搭載されており、タッピング加工も簡単に実現できる。電気サーボの使用経験が浅くても簡単に各軸間の補間性能を落とすことなく各軸を最適状態に調整することができるオートチューニング機能も搭載した。

機械使用者には国際標準であるISO/EIO言語でのプログラミングが可能で、パソコン上で作成したプログラムを簡単に転送することもできる。また、工作機械で使用する工具を管理する機能も標準搭載されており、煩雑な工具の寿命管理をコントローラに任せることができる。

機械の保守・保全担当者用に、“アラーム履歴”“オペレーション履歴”などの機能に加え、近い将来に通信インフラが整備された際に使用できる遠隔サービスI/Fの搭載も考慮されている。

図3にシステム構成例を示す。

3.2 64ビットRISC CPUの採用

高速で高精度な加工性能実現と超小型を実現するために、64ビットRISC CPUを採用した。

ユニットを小型化するためには部品点数を減らすことも重要であるが、それ以上に、電子部品、特にCPUの発熱を抑制することが重要である。工作機械は、電子機器が最も嫌う金属片を発生させるため切削油を必要とする。これらから保護するために、電子機器は専用のキャビネット内に設置される。

したがって、電子機器自体が小型化されても、その発生する熱が大きいと、その熱を逃がすためにキャビネットのサイズを大きくしたり、冷却装置を付加することが必要となる。

そこで、EZMotion-NC E60では、一般的なパソコンに使用されているSISC型CPUよりも高性能ながら発熱が少ない64ビットRISC CPUを採用した。

3.3 超集積度専用LSI開発技術の応用

豊富なLSI開発経験とシミュレーション技術の応用により、従来個別のLSIであったCPU周辺回路、メモリ制御回路、ディスプレイ制御回路、サーボドライブユニットとの高速ネットワークを始めとした各種通信回路などを一つの超集積度専用LSIに収めた。これにより、部品実装面積の大幅削減とこれらの回路の低発熱化を実現した。

3.4 熱シミュレーション/熱解析技術の応用

EZMotion-NC E60では、熱シミュレーション/熱解析技術により、ユニット内局部に熱が集中しないよう電子部品の配置を最適化した。また、発熱の少ないCPUの採用、超集積度専用LSIの開発、制御回路の低電圧化などとの相乗効果で、ユニット内冷却用ファンレスを実現した。

ユニットは185×125×48(mm)と非常にコンパクトで、サイズの的にも、熱的にも、従来無駄であった専用キーボード背面の空間に実装することが可能である。これにより、コントローラを実装するキャビネットサイズを大幅に小型化することができ、機械のコスト低減と機械デザインの自

由度に貢献できる。

3.5 将来の機械機能追加への備え

EZMotion-NC E60では、内部処理能力を向上させる付加型エンジンも同時に開発した。

この付加型エンジンは、通常メインCPU(64ビットRISC CPU)で実行・実現されるNC内部のシーケンス処理などを実行するものである。この付加型エンジンはメインCPUとは独立・並行動作するものであり、ソフトウェアの変更なしで着脱が可能である。

機械メーカーから販売された機械に、将来、搬送装置、計測装置などの高速シーケンス制御が必要な機器が付加さ

れた場合、それらの装置専用のコントローラを付加することなく機械の主制御装置であるEZMotion-NC E60で制御することが可能である。

4. む す び

EZMotion-NC E60は、CNCアーキテクチャの適用範囲を手動又は単機能自動工作機械まで広げる最初の試みである。

今後は、中国製造業界の基礎を支えるコントローラとするため、更なる価格低減と市場ニーズの変化に即応した新機能の搭載を両立させた開発を進めていく所存である。



田中利貴*
加知光康*
中村和幸*

400V電源対応NC用ACサーボ・主軸駆動システム

要旨

世界の工作機械消費市場は欧米やアジアで約70%に達しており、そのほとんどの地域で工場の標準電源が400Vである。国内メーカーも輸出比率が非常に高く、400V系NCへの指向が強まっている。また、工作機械の高生産性追求や複合化の進展に伴い、駆動システムは高速化・大容量化・多軸化の方向に進んでいる。これらの市場動向やユーザーニーズに対応するため、本格的に400V電源対応NC用ACサーボ・主軸駆動システムの開発を行った。

この400V駆動システムは、以下のような特長を持っている。

(1) 制御性能の向上

機械の高速・高精度要求に対応するため、サーボ及び主軸制御のハイゲイン化、主軸検出器の高分解能化等により、

駆動部トータルで位置精度が3倍以上向上

(2) 品ぞろえ強化

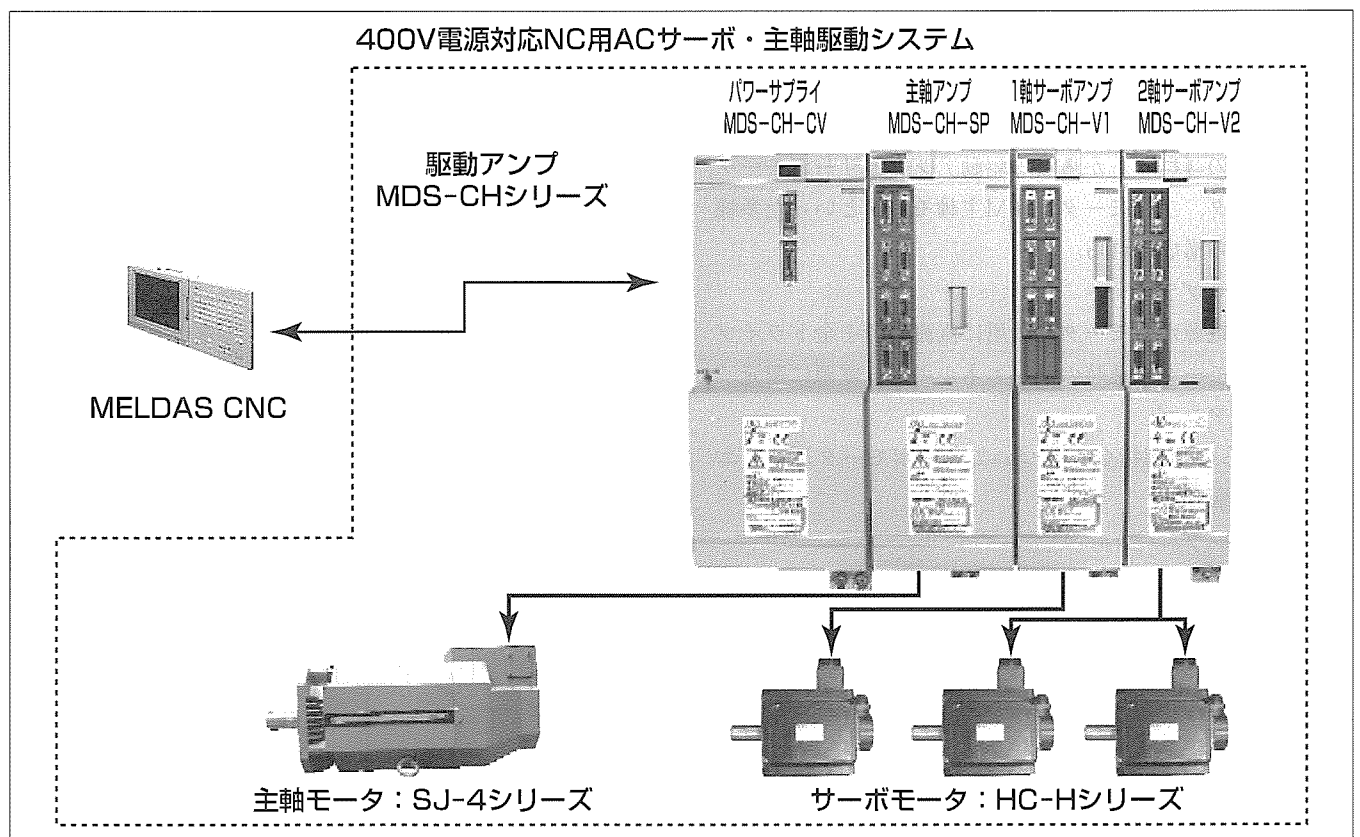
機械の高生産性・複合化にこたえるため、モータ容量をサーボ15kW、主軸75kWまで拡張し、リニアモータ(～15,750N)、IPM(Internal Permanent Magnet:永久磁石埋め込み型)主軸モータ(～670N・m)駆動システムも実現

(3) 小型・省配線

降圧トランスレス、電流低減によるケーブルの省配線により、機械の小型化に大きく貢献

(4) 対電源環境特性の向上

電源制御ユニットであるパワーサプライの制御ソフトウェアを駆使することにより、電源障害に対する信頼性が大幅に向上



400V電源対応NC用ACサーボ・主軸駆動システム

モータ容量をサーボ15kW、主軸75kWまで拡張し、リニアモータ(～15,750N)、IPM主軸モータ(～670N・m)も追加し、安全規格(CEマーキング、UL規格)にも準拠した製品をラインアップした。上記写真は、工作機械の一般的な構成となる駆動アンプ(パワーサプライ、主軸アンプ、1軸/2軸サーボアンプ)MDS-CHシリーズ、主軸モータSJ-4シリーズ、サーボモータHC-Hシリーズの外観を示す。

1. ま え が き

世界の工作機械消費市場は、図1に示すように、CECIMO (European Committee for Cooperation of the Machine Tool Industries：欧州工作機械工業連盟＝ドイツ、イタリア、スイス、フランス、イギリス等15か国が加盟)やアメリカ、中国を始めとする伸長著しいアジア諸国で約70%に達している。日本・韓国以外の国では工場の標準入力電源が400Vであり、中国は電源環境の悪さから降圧トランスを用いて200V系電機品を使用しているが、将来的には400V系に統一していくものと思われる。

国内の工作機械メーカーにおいても、世界市場の動向や国内市場の縮小化などから輸出比率が非常に高く、400V系NCへの指向が強まっている。

また、工作機械の高生産性追求や旋盤、マシニングセンタ両方の機能を持つ複合機の進展に伴い、駆動システム自体が高速化・大容量化・多軸化の方向へ進んでいる。しかし、従来の200V駆動システムを用いた機械システムでは電流が増大するため、降圧トランスや配線等の肥大化が大きな課題となってきた。

これらの市場動向やユーザーニーズに対応するため、直接入力電源に接続できる400V系NC駆動システムを開発した。

2. 400V駆動システムの構成

この400V駆動システムの基本構成を図2に示す。下記に示す3点のユニットからなる駆動アンプとサーボモータ、リニアモータ、主軸モータ、IPM主軸モータといった多様なモータから構成される。

(1) パワーサプライ

3相交流電源からモータ駆動用に直流電源を全ドライブに供給し、モータ減速時の回生エネルギーを電源に還元

(2) サーボアンプ

CNCからの制御指令に基づいてサーボモータ及びリニアモータを駆動

(3) 主軸アンプ

CNCからの制御指令に基づいて主軸モータ、IPM主軸モータを駆動

この400V駆動システムは、入力電源をAC380Vから

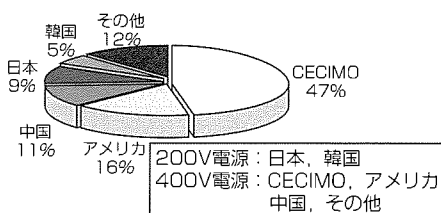


図1. 世界の工作機械消費市場

480Vまでカバーし、世界の幅広い地域に対応することが可能である。海外の各種安全規格にも適合しており、欧州のCEマーキング(感電保護、保護接地、ノイズ抑制、高調波電流抑制、ノイズ耐量の確保を規定)、アメリカのUL規格(火災防止、人命保護を規定)の認証を取得している。

3. 400V駆動システムの特長

この400V駆動システムの4点の特長について述べる。

3.1 制御性能の向上

工作機械の高生産性追求や複合化が進む中、加工の高速・高精度化要求が強まっており、サーボ・主軸トータルの位置制御性能向上が求められている。

当社は200Vサーボドライブで業界トップクラスのハイゲイン化を実現しており、この技術を400V主軸ドライブ、サーボドライブにも適用した。さらに、主軸位置検出器の高分解能化、サーボモータの低リプル化等も行い、駆動部トータルで大幅な精度向上を達成した。

(1) 主軸

主軸制御は、速度制御モードと位置制御モードの2つの使い方があるが、機械の複合加工等の進展でサーボレベルの位置制御モード性能向上を要求されるようになってきた。主軸制御は、サーボと同様に、位置・速度・電流の3ループ制御で構成されるが、その中で最も重要なのが電流制御である。電流制御特性を向上することによってよりハイゲインな速度・位置制御特性が実現できるのが第一の理由であるが、もう一つ重要な課題がある。マシニングセンタの主軸最高回転数は、現在、15,000~20,000r/min程度が主流となってきている。極数が4つのモータでは最高回転数での電流制御周波数が666Hzとなり、より安定な電流制御を行うためにも処理周期などの向上が必要であった。

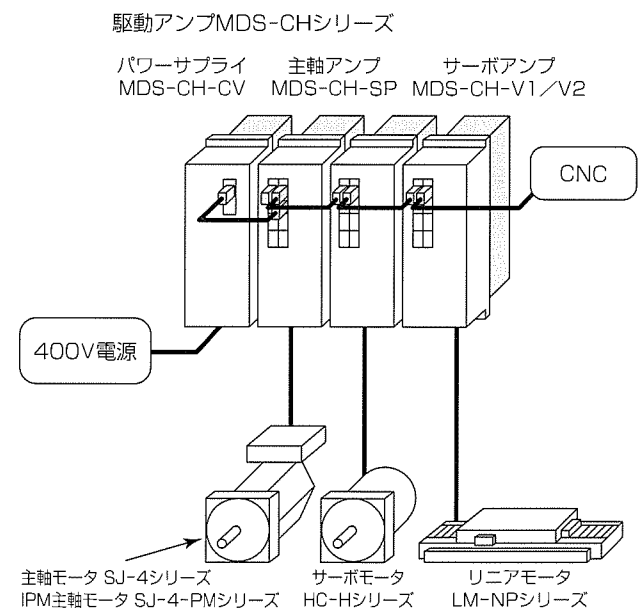


図2. 400V駆動システム

当社では、高速マイクロプロセッサの採用や、高速化のための専用回路をASIC(Application Specific Integrated Circuit)内に内蔵することにより電流制御能力の向上を実現した。こうして得られた位置制御のハイゲイン化の効果を示す例として、M6×1.0タップねじ加工における主軸・サーボ同期精度を図3に示す。同期精度は200V製品と比べ約3倍向上しており、サーボとの協調制御の高精度化が確認できる。

また、ハイデンハイン社製検出器(ERM280)をダイレクトに接続し1/10,000°分解能での検出を可能とし、ハイゲイン主軸ドライブとの組合せで、主軸位置制御(C軸制御)の位置決め精度は他社の追随を許さない大幅な向上を実現した。C軸位置決め精度の一例を図4に示す。位置決め精度は、従来の200V製品と比較し、約6倍(±7.2秒→1.2秒)向上していることが確認できる。

(2) サーボ

サーボドライブは、200V系製品と同様な電流ループ制御処理部を別処理とすることで制御処理周期を高速化した。

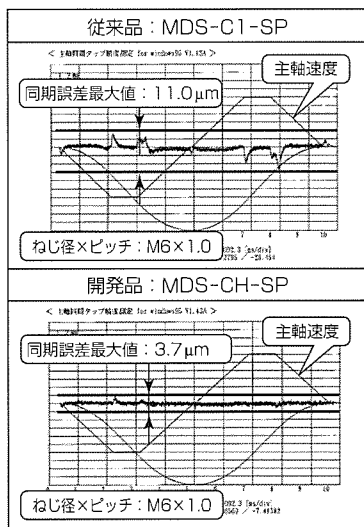


図3. タップねじ加工における同期誤差比較

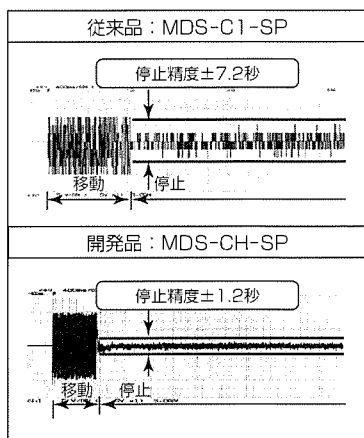


図4. C軸位置決め精度

効果を示す例として、円弧運転時の真円精度を図5に示す。高性能のサーボドライブとサーボモータの低リプル化により、低速から高速域まで指令単位(1μm)レベルの軌跡精度を保っていることが確認できる。

3.2 品ぞろえ強化

400V駆動システムを構成するモータ及び駆動アンプのラインアップを表1に示す。充実した品ぞろえは、全世界の幅広いユーザーニーズを満足できるものである。

(1) モータ

用途に合わせた多様かつ幅広い容量のモータ群を開発することにより、工作機械の高生産性・複合化にこたえることが可能となった。低慣性サーボモータは、2,000r/minが0.5kWから15kW(200V系は9kW)まで、3,000r/minが0.5kWから11kW(同7kW)まで容量を拡張した。今後機械の高速・高精度化を大幅に向上するために有望視されているリニアモータ(最大推力1,500~15,750N)や小型・高効率なIPM主軸モータ(短時間定格トルク50~670N・m)についてもラインアップに加えた。

(2) 駆動アンプ

上記高付加価値モータを駆動するアンプ群については、サーボアンプの容量を0.5~18.5kW(200V系は15kW)に、主軸アンプの容量を5.5~75kW(同55kW)に拡張した。また、ドライブに電源を供給するパワーサプライについても3.7~75kW(同55kW)までの品ぞろえを用意した。

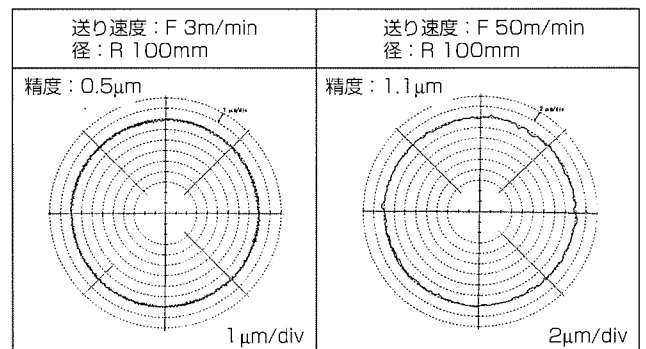
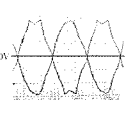
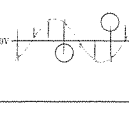
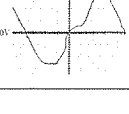



図5. サーボ真円度

表1. 400V駆動システムのラインアップ

	型名	容量/推力/トルク	
モータ	サーボモータ2,000r/min	HC-H52~152	0.5~15kW
	サーボモータ3,000r/min	HC-H53~113	0.5~11kW
	リニアモータ	LM-NPシリーズ	1,500~15,750N
主軸モータ	(ビルトイン・フレーム付き)	SJ-4シリーズ	3.7~75kW
	IPM主軸モータ(ビルトイン・フレーム付き)	SJ-4-PMシリーズ	50~670N・m
駆動アンプ	パワーサプライ	MDS-CH-CV-37~750	3.7~75.0kW
	1軸サーボドライブ	MDS-CH-V1-05~185	0.5~18.5kW
	2軸サーボドライブ	MDS-CH-V2-0505~4535	0.5+0.5kW ~4.5+3.5kW
	主軸ドライブ	MDS-CH-SP-55~750	5.5~75.0kW

表 2. 代表的な電源障害例

項目	内容	
電圧ひずみ (高調波)		電源電圧に基本周波数の整数倍の高調波電圧が重なり電圧がひずむ障害。電源設備容量に対して過大な負荷をとっている場合に発生しやすい。
Notching		電気設備や半導体のスイッチング動作により負荷が急峻(きゆうしゅん)に変動する場合に発生しやすい。
位相変動		1日に数回程度、電源負荷に応じて力率を変更する改善器が動作する際に発生する。
瞬時 電圧低下		落雷等による電源システムの故障により発生しやすい。

3.3 小型・省配線

この400V駆動システムでは、下記に示すように降圧トランスレス、省配線等が可能となり、工作機械の小型化に大きく貢献している。

- (1) 400V電源がダイレクトに入力できるため、降圧トランス(400→200V)レスが可能である(従来は、数十kV・Aの大きな降圧トランス(400V→200V)を200V系駆動システムの前段に挿入)。
- (2) 同一容量の200V駆動システムに対して、電流が半減することから動力ケーブルの断面積を小さくできるため省配線化が可能となった(例：標準30kWの主軸モータの場合、38mm²→14mm²)。主軸の場合、巻き線を複数持ち、切換えを行って高速・高出力特性を確保する場合が多く、省配線化は特に有効である。

3.4 対電源環境特性の向上

電源再生方式はモータの再生エネルギーを電源に還元するため省エネルギーに大きく貢献するが、粗悪な電源環境では、再生制御が非常に難しく、最悪の場合システムダウンに至ることもある。このため、このシステムを全世界展開のためには、様々な電源障害(表2)に対する耐量を向上する必要がある。

当社のパワーサプライでは、電源制御専用CPUを搭載し再生エネルギーをソフトウェアを駆使して制御することにより、この課題を克服した。この結果、EMC(Electro Magnetic Compatibility：電磁環境適合性)に関する規格IEC6100-4レベル(ひずみ率：最大8%)を超える電源障害が発生しても安定な再生制御が可能となり、駆動システムの電源障害に対する信頼性が大幅に向上した。

一般的に、再生制御は、モータ駆動用直流電源の上昇を検知して行われる。小容量サーボ等で用いられる単純な抵抗再生方式ではこれで問題ないが、電源再生方式では、入

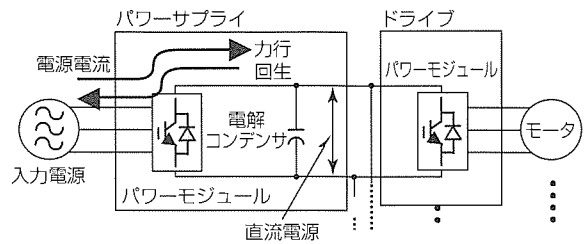


図 6. 再生制御方式

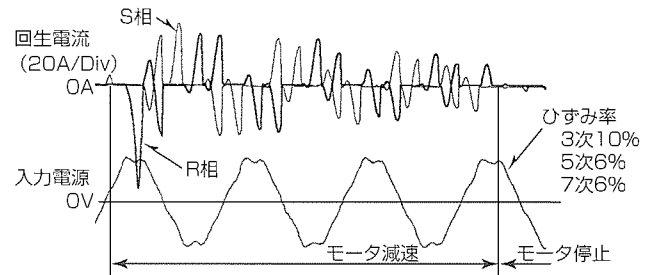


図 7. 電圧ひずみ時の再生制御

力電源の変動により再生電流が過大となる場合があるので、入力電源とモータ駆動用直流電源の電圧差を検知して安定に再生電流を制御する必要がある。モータ駆動用直流電源の電圧上昇を極力抑えることで、より安定なモータ電流制御も実現できる。

ただし、三相交流電源に電源障害がある場合、この判定が難しく、無駄な再生制御動作を起こす場合がある。そこで、パワーサプライ入力部の力行・回生電流を併せて検出することにより安定な再生制御を実現した(図6)。

この開発に先立ち、電源ひずみに対する耐量評価用にシステム交流電源装置を導入した。電源ひずみを持つ入力電源を任意生成でき、最大135kV・Aまでの電源容量に対応しており、現在、このシステムで最大の75kWパワーサプライまで耐量評価を行うことができた。実力的には、全容量で国際規格に対し約2倍の電源ひずみ耐量があることを確認している。

欧州の現地でも、実際に国際規格を越えるような電圧ひずみが観測された(図7)。ひずみ率は、3次高調波が10%、5次が6%、7次が6%であった。この駆動システムは、この場合でも電源ひずみの影響を極力抑え、安定に再生制御できているのが図7上部の再生電流波形から分かる。

4. む す び

世界の標準電源に対応した400V駆動システムは、CNC製品の世界市場拡大に大きく貢献している。今後も、伸長著しい中国を含め世界市場での販売拡大を目指し、製品の高性能・省エネルギー・大容量・小型ローコスト化及び耐環境性の向上を推進していく所存である。

NCサーボのオートチューニング機能

小澤正啓*
田中貴久*
林 鋭志**

要 旨

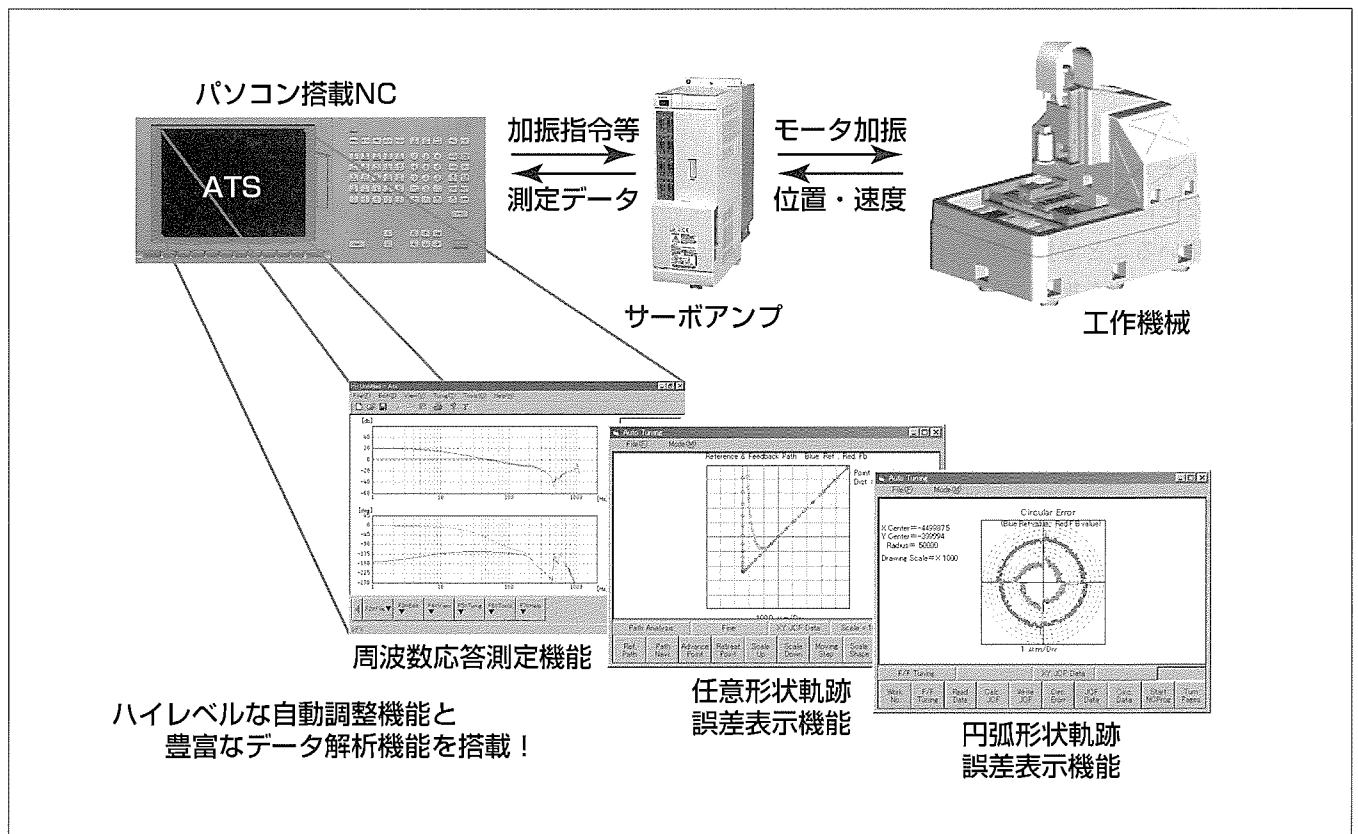
近年のリニアサーボやDD(Direct Drive)モータを搭載した工作機械の普及に代表されるように、工作機械における高速・高加速度化や高精度化に対する要求はますます強くなってきている。このような要求が強くなる中、高応答で高精度なサーボ制御系を実現するためには、高度なサーボ制御の知識と経験に基づいたサーボパラメータのチューニング技術が必要となる。

今回、このサーボパラメータを短時間で、かつハイレベルに自動調整できるサーボオートチューニングシステムを開発した。このシステムでは、機械の周波数応答解析をベースに速度や位置ループのパラメータを自動調整し、より最適なサーボ制御ループ系を構築するとともに、加工精度に大きく左右する摩擦負荷による軌跡誤差(送り方向反転時の応答性劣化による追従誤差)を補正するロストモーシ

ョン補正などNCサーボ特有の機能をハイレベルに自動調整できる。

このシステムにより、例えば1台当たり約6時間必要としていたサーボ3軸の工作機械における調整をわずか10分で可能とするなど、大幅な調整時間の短縮を実現するとともに、専門家レベルの安定で高性能なサーボシステムの提供を可能とした。また、波形測定などの各種サーボデータ測定機能も用意し、機械データの管理や不具合解析の効率化なども支援する。

また、近年のNC工作機械の消費市場は欧米や中国を中心としたアジア等の海外に大きくシフトしているが、このサーボオートチューニングシステムを活用することで、十分な技術支援が困難な地域においても、高性能なサーボシステムを提供することが可能となった。



NCサーボオートチューニングのシステム構成

NCサーボオートチューニングのシステム構成を示す。NCサーボのオートチューニングは、調整用のNCプログラム又は加振信号をNCに与えて機械を駆動し、この間のサーボ系の動作信号を測定・解析してサーボパラメータを調整する。また、周波数応答波形を基に速度ループゲイン調整をするハイレベル自動調整機能と豊富なデータ解析機能を備えていることが特長として挙げられる。

1. ま え が き

NC工作機械において、生産性の向上及び高精度加工による高付加価値の創造に対する要求は、近年、ますます強くなってきている。そのような中で、機械の送り軸を高速・高加速度で安定に駆動し高精度な加工を実現するサーボ制御系の構築は、NCシステムにとって重要な課題の一つである。

しかし、そのサーボ系の制御性能はサーボアンプやサーボモータの性能だけでなく、①機械可動部の質量、②機械の固有振動、③ボールねじのねじり共振、④摩擦、⑤切削外乱、⑥ボールねじのバックラッシュやピッチエラー、⑦機械の姿勢変化、などの機械の影響が大きく作用する。したがって、これらの条件に応じて最適な性能を発揮するためには様々なサーボパラメータを適切に調整することが必要であるが、この調整には専門的な知識が必要であり多大な時間を必要としていた。また、加工条件の違いによるワークや工具(チャック等)質量の変化、摩擦量などの経年変化を考慮すると、最適なパラメータに対し安全率を見込んだ調整でしか機械を出荷できない場合があった。

今回、機械の周波数応答解析をベースにサーボパラメータを自動調整し、最適な制御系を構築するとともに、加工精度に大きく左右する摩擦負荷による軌跡誤差(送り方向反転時の応答性劣化による追従誤差)を補正するロストモーション補正など、NCサーボ特有の機能をハイレベルに自動調整できるツールを開発した。

これにより、十分な技術支援を提供することが困難な場合や加工条件などによりサーボ系に変化が生じた場合にもこのツールを用いることで短時間に自動調整でき、常に高性能なサーボシステムを提供することを可能とした。

本稿では、このサーボオートチューニングシステムで用いられる各種技術と特長について述べる。

2. 基本構成

パソコン搭載NCにおけるサーボ系のオートチューニングシステム“ATS(Auto-Tuning System)”の基本構成を図1に示す。当社は、機械の高付加価値化をねらい、パソ

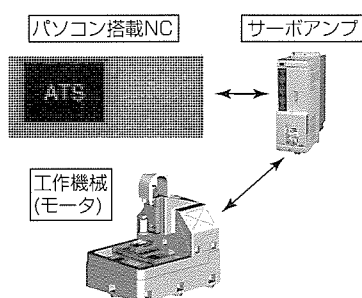


図1. ATSの構成1 (パソコン搭載NC時)

コンを内蔵したNCを主流としている。このシステムの場合、外部装置との接続が不要であるため通信経路設定の必要がない上に、計測したデータも高速で収集・解析できるという特長がある。

また、図2に示すように、パソコンが搭載されていないNCの場合でも外部パソコンを用いることでシステムを構成できる設計となっている。ただし、調整時間はパソコンとNC本体との通信速度に大きく影響される。

ATSは、調整用NCプログラム又は加振信号をNCに与えて機械を駆動し、この間のサーボ系の動作信号を測定し、これを解析してサーボパラメータを調整する。ATSは、次のようなサーボパラメータの自動調整機能、及び機械系を含めたサーボ系の動作データの解析機能を備えている。

(1) 自動調整機能

- 速度ループゲイン調整
→速度ゲイン、ノッチフィルタを調整
- 位置ループゲイン調整
→オーバーシュートがないように位置ゲインを調整
- 加減速時定数調整
→早送り、切削送りの時定数を調整
- ロストモーション調整
→象限突起が最小になるように調整

(2) データ解析機能

- 周波数応答測定
- 時系列データの測定
- 任意形状軌跡の誤差表示
- 円弧形状誤差表示
- イナーシャ、摩擦同定

3. 主要機能とその特長

NCサーボシステムとして客先から要求される性能として、いかに機械を指令どおりに高速・高加速度でかつ安定に駆動するかが重要となるが、ここでは、NCサーボ調整時に要(かなめ)となる速度ループゲイン調整とロストモーション調整を中心に紹介する。次に、チューニング前とチューニング後の真円精度を測定してこのATSを用いた調整による効果の一例を示す。また、データ解析機能につい

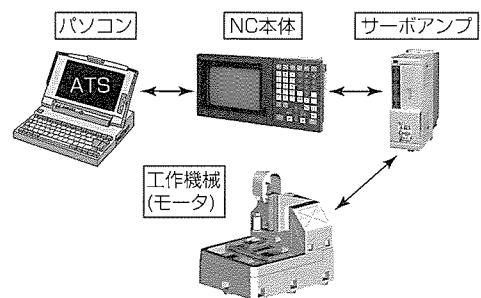


図2. ATSの構成2 (パソコン非搭載NC時)

てもその有益性を示す。

3.1 速度ループゲイン調整

高精度が要求されるNCサーボの速度ループゲイン調整では、共振抑制フィルタを用いていかに速度ゲインを上げることが重要なポイントである。しかし、周波数応答波形を用いない従来のオートチューニングでは十分に満足できる結果を得ることは困難であった。そこで、今回、周波数応答波形を用いたハイレベルな調整システムの開発を行った。

初めに、速度ループゲイン調整時に用いる周波数応答波形を測定する技術について示し、次に、調整結果を示す。

3.1.1 周波数応答測定

NCサーボの制御対象である機械システムでは、複数存在する機械共振が問題になる場合が多く、広い周波数帯域にわたり詳細な機械特性を解析する必要がある。

従来は、FFT(Fast Fourier Transform)アナライザなどの高価な計測器を必要とすることに加え、加振信号としてスイープサイン信号を用いる場合、数分程度機械を加振し続けるので、機械に悪影響を与える可能性があり、一般的には余り行われていなかった。

そこで、今回は、短時間でFFT解析ができる擬似ランダム信号を採用し、広帯域にわたる詳細な機械特性の解析を可能にした。このシステムでは、加振時間も1秒程度である。この際、不安定化の要因となるカップリング、負荷イナーシャ、ボールねじのねじりなどから発生する数百Hz付近の高周波数共振も測定可能なように、1kHzまでの広帯域にわたる測定を可能とした。

図3にATSを用いて測定した周波数応答波形の一例を示し、比較として、図4に同一の機械系に対してFFTアナライザを用いて測定した周波数応答波形を示す。従来のFFTアナライザに対して、ATSを用いて測定した周波数応答波形は広い周波数帯域にわたって機械特性を正確に再

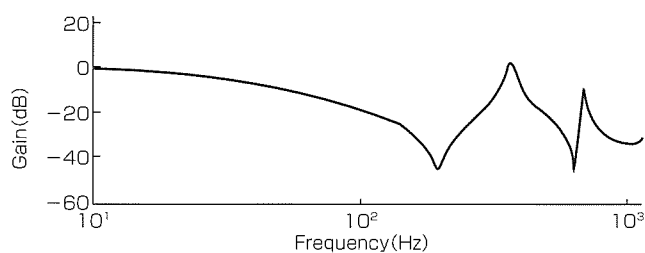


図3. 周波数応答波形(ATS使用)

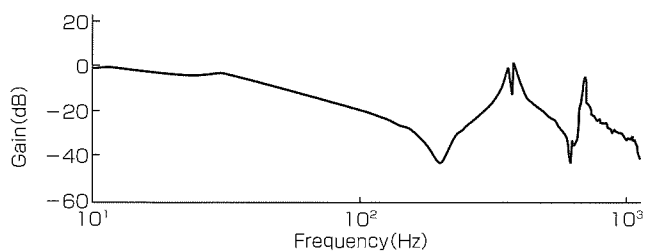


図4. 周波数応答波形(FFT使用)

現できた。

3.1.2 速度ループゲイン調整の特長と調整結果

速度ループゲイン調整は、前述したような周波数応答波形を基に調整を行う。

周波数応答波形から共振周波数、ゲイン余裕、位相余裕等の特長量を抽出する。ゲイン余裕、位相余裕が安定な範囲内で最適となるように速度ゲインに関するパラメータを調整する。機械共振があると判断した場合は、その共振に対して適切な周波数と深さの機械共振抑制フィルタ(ノッチフィルタ)を自動的に設定する。

ここで、実際に速度ループゲイン調整をした結果の一例を示す。図3に示すような周波数応答特性を示す機械系に対して、速度ゲインループ調整を行った。チューニングが完了した後に測定した周波数応答波形を図5に示す。図3中の350Hzと690Hzの機械共振を適切に抑制している。また、速度ゲインを適切に調整することで、速度応答帯域に関しても20Hzから90Hzに上がっている。

このように、広帯域にわたる詳細な機械特性の解析を短時間で行うことが可能になったことで、従来多くの時間を要していた速度ループゲインの調整を1分程度の短時間で完了することが可能となった。

また、特長量が最適になるように各種パラメータを調整していく上で、当社独自のアルゴリズムによって探索回数を極力少なくしている。

3.2 ロストモーション調整

NC工作機械においては、サーボ軸の移動方向が反転した時に軸動作が一瞬停止するロストモーションという現象がある。その主な原因として、①機械のバックラッシュ、②ボールねじのねじれ、③摩擦などが上げられるが、特に③摩擦が原因の大半を占める場合が多く、これを補正して象限切り替わり点における象限突起をいかに小さくするかが重要な課題となっている。

そこで、低速で機械を往復運転させて得られた摩擦量のデータを基に象限突起を最適に調整するロストモーション調整機能を開発した。調整後の効果については次の3.3節の中で併せて紹介する。

3.3 ATSによるチューニング結果

今回開発したATSをボールねじ付きのモータスタンドに適用した場合の調整結果を以下に示す。まず、パラメー

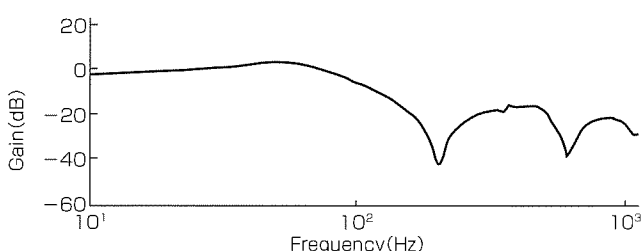


図5. チューニング後の周波数応答波形

タにすべて標準値を設定し、そこからATSを用いて自動調整を行った。自動調整に要した時間は1軸当たり約3分であった。

調整の結果どの程度性能が向上したかを検証するために、チューニング前とチューニング後の真円精度の比較を行った(図6)。目標軌道として直径500mm、送り速度1,000mm/minの円弧指令を与えた。図中の左がチューニング前の軌道であり、右がチューニング後の軌道である。チューニングにより位置ゲインが向上し、チューニング前に2 μ m内回りしていた軌跡が、ほぼ指令軌道と重なっている。また、ロストモーション補正パラメータの調整により、チューニング前に2 μ mあった象限突起が1 μ m以下に改善されていることが分かる。

3.4 データ解析機能

データ解析機能には、①周波数応答測定、②時系列データ測定、③任意形状軌跡の誤差表示、④円弧形状誤差表示、⑤イナーシャ、摩擦同定がある。データ解析機能の一例として、任意形状軌跡の誤差表示機能で測定した結果を図7に示す。この機能を用いることで、指令軌跡と実軌跡の差分を短時間で定量的に解析できる。

これらのデータ解析機能を用いることにより、機械特性を含めた有益な情報をデジタルデータとしてユーザーに提供することが可能となった。また、ユーザーは個々の機械特性に関するデータを用いて機械のばらつきを様々な角度から分析することも可能であり、データを蓄積していくことで、同じ機械での経年変化に関する特性を把握することも可能である。

さらに、従来は故障等の何らかの問題が発生してから対処していた部分を前もって予測していくことで、機械の稼働時間が大幅に改善されると期待できる。また、たとえ問題が発生した場合でも、蓄積されたデータからいち早く原因を究明することもでき、不具合解析の効率化を図ることができる。

4. 今後の展開

近年、より高速・高精度の要求が高まり、リニアサーボ

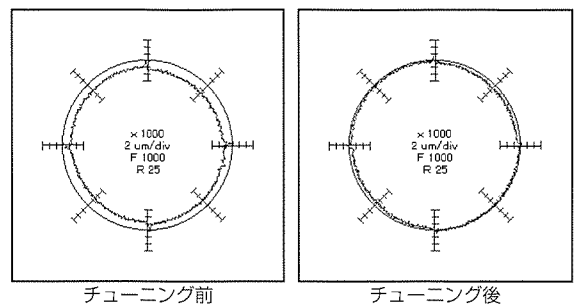


図6. 2軸円弧指令時のモータ軌跡比較

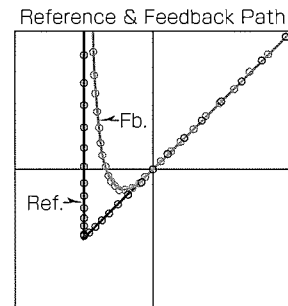


図7. 任意形状軌跡の誤差表示

やDDモータを採用する機械メーカーが増加してきた。これらのシステムでは加工条件によりワーク質量が大きく変化する場合が多く、それに対してイナーシャ同定、時定数調整を行うなどして加工条件に応じて柔軟に対応していなくてはならない。また、NC工作機械市場では主軸システムについてもサーボ同様の要求があり、今後はこれらの分野への要求がますます増加するので、今回紹介したオートチューニングを基に更なる開発を行う。

5. むすび

以上に述べたように、周波数応答波形を用いた調整をすることで従来にないハイレベルな調整が可能となった。今後は、測定したデータから機械の状態を様々な角度から診断することで更なる高速・高精度機械にするための提案ができる機能開発に注力していく所存である。

高速・高効率ビルトインIM主軸モータ

嶋田明広* 小川 徹*
仲 興起**
川島和之*

要 旨

工作機械用の主軸モータは、サーボモータの一種ではあるが、高速回転性能を重視した独自の特性を持っている。近年、機械加工の高効率化、高精度化の要求に対応するため、工作機械(特にマシニングセンタ)の高速化が進展する中で、特に高速・高精度加工の観点から主軸モータの低発熱化が強く求められている。

10,000r/minを超えるような高速加工機に対しては従来から誘導電動機(Induction Motor:IM)タイプが広く採用されており最適励磁制御による低発熱対策等が試みられているが、それでも、電源周波数が400Hzを超えるような高速領域になると、渦電流損増加に伴う鉄損の増加を回避することが困難となる。

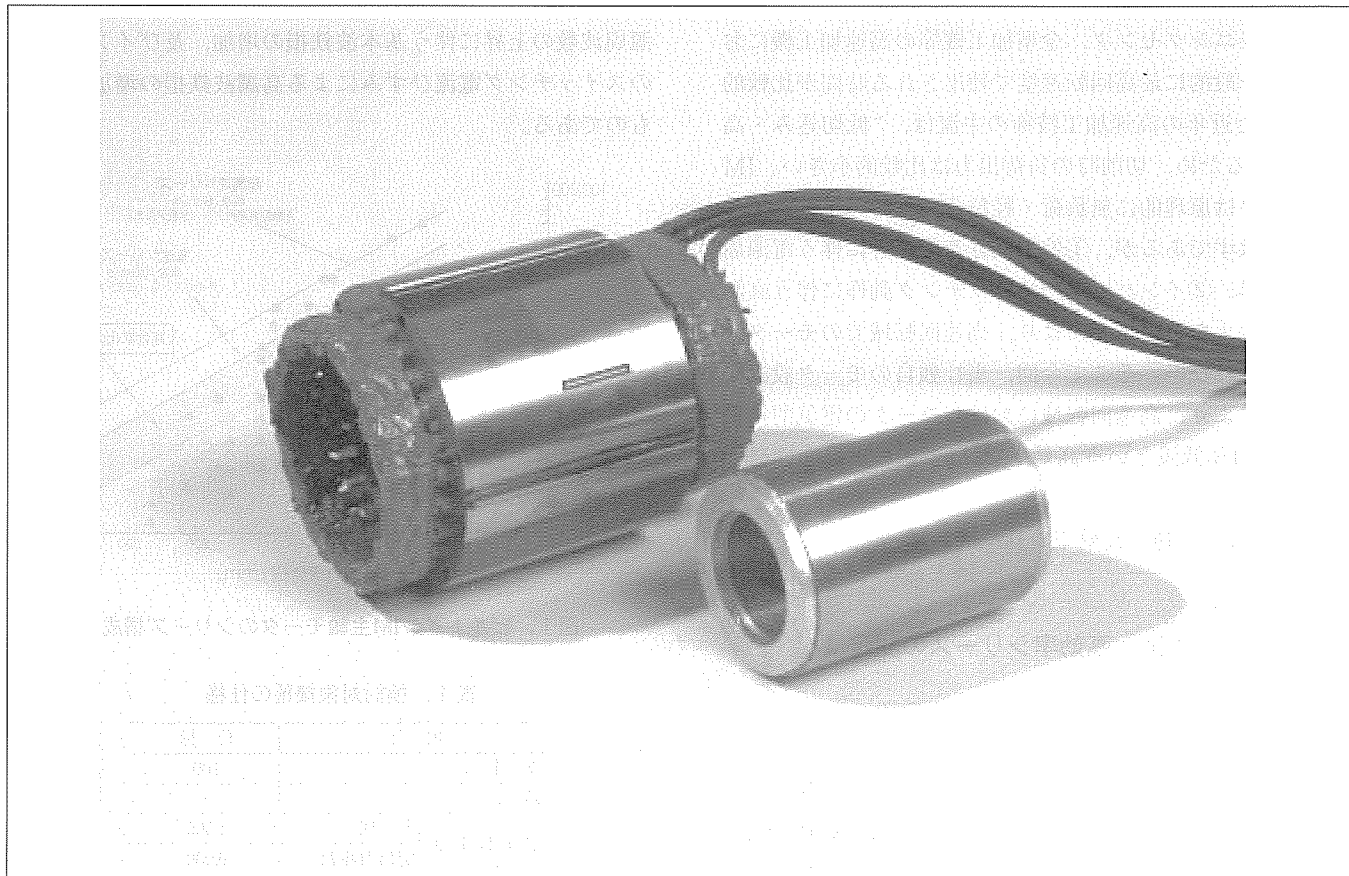
そこで、三菱電機では、特に高速マシニングセンタ等の高速加工機を対象とし、高速回転域のモータの電氣的損失

を従来比50%低減することを目標とする“高速・高効率シリーズ”の開発に着手した。損失低減(特に鉄損)のための主な施策は、

- (1) 電磁鋼板のグレードアップ
 - (2) ステータとロータのエアギャップ寸法の最適化
 - (3) ロータコア仕様の最適化
- などである。

サンプルモデルモータによる特性試験により、高速無負荷回転時、高速負荷回転時とも従来製品に対して電氣的損失50%低減を確認している。

製品としては、“高効率化”のほか、①“溶湯鍛造ロータ”の標準採用、②ステータ全長の短縮化(従来比20%低減)、の特長を持っている。



高速・高効率ビルトインIM主軸モータの外観

高速・高効率ビルトインIM主軸モータは、高速回転域のモータの電氣的損失を従来に対し50%低減という高効率化を実現する。これにより、高速マシニングセンタ、金型加工機等の高速加工機の性能向上(加工精度向上、主軸低発熱化など)に貢献する。

1. ま え が き

工作機械用の主軸モータは、サーボモータの一種ではあるが、高速回転性能を重視した独自の特性を持っている。近年、機械加工の高能率化、高精度化の要求に対応するため、工作機械(特にマシニングセンタ)の高速化が進展する中で、特に高速・高精度加工の観点から主軸モータの低発熱化が強く求められている。従来から高速加工機用の主軸モータとしてはIMタイプが広く採用されており、最近では、最適励磁制御による低発熱化のほか、永久磁石埋込型モータ(Internal Permanent Magnet-type Motor: IPM)の登場による高効率・低発熱化で選択肢が広がってきている⁽¹⁾。

IPM主軸モータは、原理的にはロータの発熱がほとんどないこと、特に大トルク領域での効率が良く、モータの小型化、又は低損失化が可能となることなどの特長を持っているが、ロータ構造の強度的な限界、及び永久磁石方式による高速回転域での鉄損増加等の理由から、高速化への対応についてはまだ課題を抱えている。そのため、10,000r/minを超えるような高速機に対しては、ロータ構造が堅牢(けんろう)・強固なIM主軸モータが現在も主流となっている。

高速マシニングセンタ、金型加工機等の高速加工機においては、一般的に最高回転速度で使用される時間が比較的長く、また近年の高速加工技術の主流は、“低切込み・高送り”であるため、切削時の負荷出力は比較的小さい。IM主軸モータは原理的に無負荷・軽負荷回転時の電氣的損失は小さいはずであるが、①使用回転速度上昇に伴う電源周波数の上昇、②インバータのスイッチング動作に伴う高調波電流の流入などの影響により、高速回転域でのモータ発熱が避けられない。そこで今回、当社独自のモータ設計・製造技術により、高速回転域におけるモータの電氣的損失を従来比50%低減という高効率なIM主軸モータを開発した。

本稿では、“高速・高効率シリーズ”の概要について述べる。

2. 高速・高効率シリーズの開発

2.1 高効率化の適用範囲

当社のビルトインIM主軸モータのシリーズ構成を図1に示す。ロータ外径の最大周速により大きく3シリーズに区分されている。一般シリーズは、ロータ外径周速80m/s以下で従来の製造技術(ダイカスト法)により製作したものであり、旋盤主軸等の比較的低速領域で使用されるものである。超高速シリーズは、“浮動型溶湯鍛造法”と呼ばれる製造技術により、鑄造欠陥発生を回避し、高強度・高信頼性を確保するように開発されたロータを適用したシリーズ

で、ロータ外径周速180m/sという超高速回転を実現するものである。高速シリーズは、ロータ外径周速130m/s以下のもので、前述のシリーズの中間に位置するものである⁽²⁾。

現在の高速マシニングセンタの主力機種は高速シリーズの範囲内であるため、当該シリーズについて高速・高効率化を実施することとした。

2.2 従来品の特性分析

高速・高効率仕様の開発に際して、従来の製品群のうち1機種を選定し、その損失特性を分析した。検討対象機種の仕様を表1に示す。今回は、評価の作業性簡易化の観点から、検討対象機種(以下“従来品”という)として100フレーム、4極、最高回転速度15,000r/min、連続定格出力2.2kWの比較的小容量のものを選定した。

従来品について詳細特性を把握するため、実負荷試験法により、各回転速度における無負荷/負荷時における損失特性を把握した。図2の(a)は無負荷運転時の各回転速度における損失分析結果、図の(b)は負荷時の各回転速度における損失分析結果を示す。

無負荷運転時においては(図の(a))、モータの電氣的損失は鉄損が支配的であり、特に最高回転速度15,000r/min時においては鉄損がモータの全電氣的損失(一次銅損と鉄損の和)の9割以上を占めていることが分かる。これは、電源周波数の上昇に伴う基本波鉄損の増加、及びインバータのスイッチング電流ひずみによる高調波鉄損の増加によるものである。

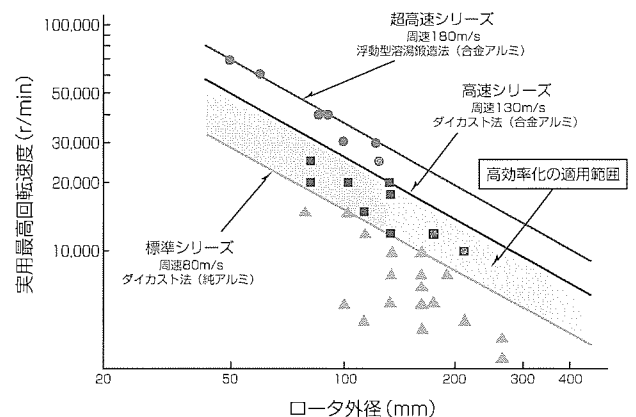


図1. ビルトインIM主軸モータのシリーズ構成

表1. 検討対象機種の仕様

項目	仕様	
枠番	100	
極数	4	
定格回転速度 (r/min)	基底	1,500
	定出力範囲	6,000
	最高回転速度	15,000
定格出力 (kW)	連続	2.2(0.88)
	短時間(1/4h)	3.7(1.5)
定格トルク (N・m)	連続	14(0.6)
	短時間(1/4h)	23.6(1.0)

※仕様の括弧内の数値は最高回転速度における値を示す。

また、負荷時においては(図の(b)), 一次銅損, 二次銅損が増加するものの, 無負荷時と同様, 鉄損がかなりの部分を占めていることが分かる。特に15,000r/min負荷運転時においては, 鉄損がモータの全電氣的損失(一次銅損, 二次銅損, 鉄損の和)の7割以上を占めていることが分かる。

以上, 従来品の特性結果を踏まえ, 高速・高効率シリーズの開発において, 以下の目標仕様を設定した。

- (1) 最高回転速度におけるモータの電氣的損失の総和を従来比50%以下とする(無負荷時, 負荷時とも)。
- (2) 基底速度(ベース速度)におけるモータの電氣的損失の総和は従来と同等レベルとする(無負荷時, 負荷時とも)。

前述のとおり, 現在の高速加工機においては, 一般に高速回転速度で使用される時間が比較的長く, かつ高速回転域での主軸の発熱が特に重要視されるため, 上述の目標仕様を設定した。

2.3 高効率サンプルモデルによる特性検証

2.2節で述べた従来品の特性分析結果を基に, 特に高速回転域における損失(特に鉄損)を低減するため, 電磁界解析技術を用いて高効率サンプルモデルモータの検討を実施

した。主な仕様変更点は,

- (1) 電磁鋼板のグレードアップ
 - (2) ステータとロータのエアギャップ寸法の最適化
 - (3) ロータコア仕様の最適化(スロット数など)
- などである。

実際に高効率サンプルモデルモータを設計・製作し, 従来品と同様に, 実負荷試験法によりその特性試験を実施した。ただし, 高効率サンプルモデルモータの出力, トルク等の基本仕様は従来品と同様である。図3は無負荷運転時の従来品と高効率サンプルモデルの損失比較結果, 図4は負荷運転時の従来品と高効率サンプルモデルの損失比較結果を示す。

図3から, 最高回転速度15,000r/min無負荷回転時のモータの電氣的損失が高効率サンプルは従来品に対して54%低減されていることが分かる。これは, 鉄損低減の効果によるものである。1,500r/min無負荷回転時においてはほぼ同等である。

また, 図4から, 最高回転速度15,000r/min, 1.7kW出力時のモータの電氣的損失については, 高効率サンプルが

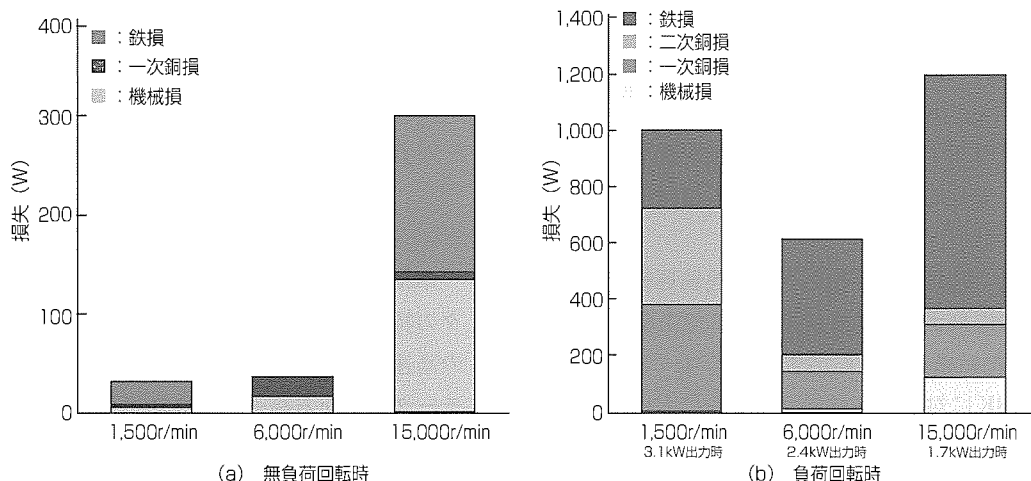


図2. 従来品の損失分析結果

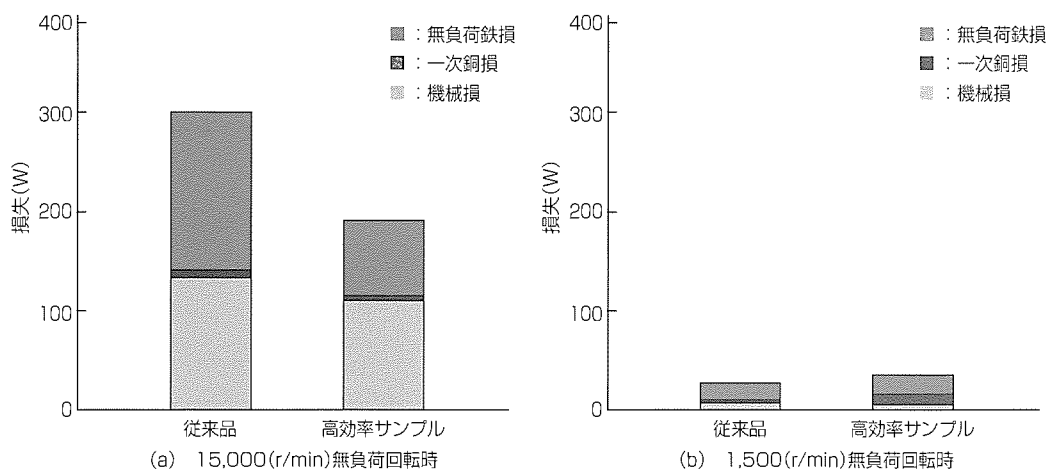


図3. 無負荷運転時の損失分析結果比較

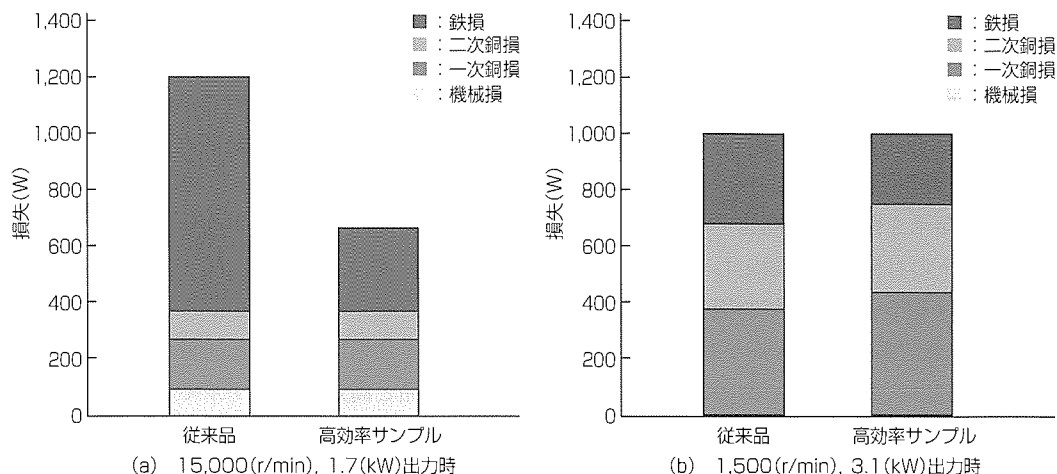


図 4. 負荷運転時の損失分析結果比較

表 2. モータ温度測定結果 (15,000(r/min)無負荷連続運転時)

測定箇所	温度上昇値(K)	
	従来品	高効率サンプル
コイルエンド	30	16
ステータ鉄心	30	16
ロータ表面	28	15

表 3. 高速・高効率シリーズのモータ寸法諸元

枠番	極数	主要寸法(mm)			最高回転速度 (r/min)	主な用途
		ステータ外径	ロータ外径	ロータ内径		
100	4	160	98	60	15,000~25,000	#30マシニングセンタ
112		180	112	75	14,000~22,000	#40マシニングセンタ
132		210	132	85	12,000~20,000	#40マシニングセンタ
160-A		230	160	95	10,000~16,000	#50マシニングセンタ
160-B		255				

従来品に対して47%低減されていることが分かる。これも、無負荷時と同様、鉄損低減の効果によるものである。1,500r/min, 3.1kW出力時においては、高効率サンプルは一次銅損が若干増加するが、その分、鉄損を低減しているため、結果として全電氣的損失は両者ともほぼ同等となっている。

また、参考までに15,000r/min無負荷連続運転時の試験モータ各部位の温度測定(冷却方式は空冷で温度飽和まで測定)を実施した結果を表2に示す。特にロータ表面の昇温値が従来品28Kに対し、高効率サンプルにおいては15Kと大幅に低減されており、高効率化の効果が確認された。

3. 高速・高効率シリーズの特長

高効率化の定量的効果については前章で述べたとおりであるが、製品としては“高効率化”のほか、以下の特長を持っている。

(1) 溶湯鍛造ロータの標準採用

ロータ単体のバランス精度を向上させることにより、主

軸バランシングの作業性を向上

(2) ステータ全長の短縮化(従来比20%低減)

主軸ユニットの小型化・高剛性化に貢献

なお、高速・高効率シリーズの寸法諸元を表3に示す。

4. むすび

本稿においては、高速・高効率ビルトインIM主軸モータの特長について述べた。工作機械の主軸高速化は送り系的高速化と並行して今後も進展するものと考えられ、主軸モータの更なる高速化・高効率化を追求していく所存である。

参考文献

- (1) 川島和之, ほか: 工作機械用主軸モータ, 三菱電機技報, 76, No.6, 405~409 (2002)
- (2) 伊田秀樹, ほか: 低欠陥溶湯鍛造によるスピンドルモータの高速化, 三菱電機技報, 75, No.10, 659~662 (2001)

ナノメートル制御CNC

朽木 清* 加知光康*
関川勝秀*
設楽達哉*

要 旨

近年NC工作機械において、IT (Information Technology) 産業の活況化を背景に注目を集めているものが超精密加工機である。いわゆるナノ加工機である。主な加工物は、液晶ディスプレイに用いる導光板や非球面レンズ加工等である。その加工精度レベルは、既存のCNC制御よりも1けた～2けた高いナノ領域の精度が要求される。高精度に対する要求はNC工作機械の本質的なニーズであるが、IT製品に利用される電子部品や光学機器の需要の高まりに連鎖して、ナノ加工機を制御するCNCの需要が拡大している。

三菱電機は、この需要にこたえるナノメートル制御CNCを開発した。

従来のCNC装置の最小制御単位はサブミクロン(0.1マイクロメートル)までの対応が可能である。しかし、位置・速度のデータ長が32ビットのアーキテクチャを基本に設計されているCNCシステムでは、ここまでが限界であった。

当社は、このハードルをクリアすることで、完全なナノメートル制御に対応できるCNCシステムを開発した。技術的な特長は下記の2点である。

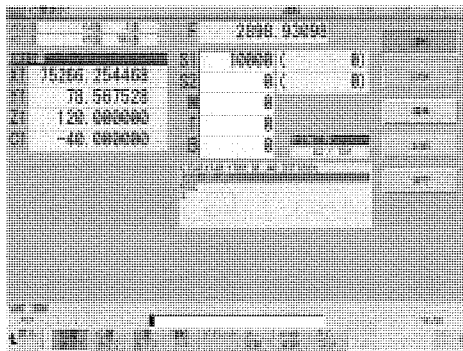
(1) CNCシステムの64ビットアーキテクチャ化と新CPUエンジン

位置・速度データ長64ビットのナノ演算を実現し、指令範囲を1ミクロン時と同等で、ナノメートル制御の分解能に対応した。また、新CPUエンジンを採用し、CNCシステム全体の処理能力を当社従来機比2倍以上に引き上げ基本性能の向上を図った。

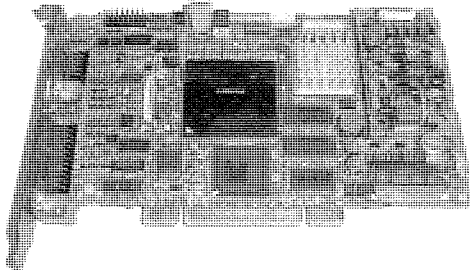
(2) サーボネットワークの高速化とサーボアンプの高応答化

サーボアンプとCNC装置間ネットワークを光方式に変更し、従来比10倍の高速通信を実現した。また、アンプの制御CPUの高速化で、サーボ応答能力の向上とフィードバック分解能1ナノメートル以下を対応可能にした。

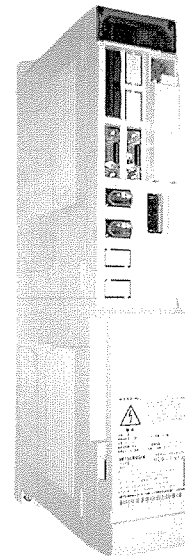
1. ナノメートル制御CNCの画面表示



2. ナノメートル制御CNCのハードウェア (パソコン内蔵型)



3. "MDS-Cn" サーボアンプ(ナノ対応)



ナノメートル制御CNC

当社がナノメートル制御CNCとして開発した画面表示例、ハードウェア及びサーボアンプを示す。CNCコントローラをパソコンに内蔵するシステムであり、1ナノの指令単位でしかも指令の最大値を1ミクロン時と同等の範囲までをサポートした。また、サーボアンプも新規にナノ対応の高応答アンプMDS-Cnを開発し、ナノ精度加工を実現する。

1. ま え が き

近年NC工作機械において、IT産業の活況化を背景に注目を集めているものが超精密加工機である。いわゆるナノ加工機である。主な加工物は、液晶ディスプレイに用いる導光板や非球面レンズ加工等である。その加工精度レベルは、既存のCNC制御よりも1けた～2けた高いナノ領域の精度が要求される。高精度に対する要求はNC工作機械の本質的なニーズであるが、IT製品に利用される電子部品や光学機器の需要の高まりに連鎖して、ナノ加工機を制御するCNCの需要が拡大している。

当社は、この需要にこたえるナノメートル制御CNCを開発した。

本稿では、このナノメートル制御を実現したCNCシステムの構成や要素技術について解説する。

2. ナノメートル制御CNCシステムの構成

図1にCNCシステムの制御構成を示す。左から順に流れを追って説明する。基本的な流れは従来と同等である。まず、編集画面などでNC加工プログラムを作成しNCに格納する。次に、指令解析部はテキスト形式で入力されたNC加工プログラムを言語解析し、命令の意味解釈を行う。そして、軌跡解析部は各命令に対して解析されたデータに対して速度と移動パスの計算を行う。さらに補間処理部は、CNCの基準時間に同期して一定時間(補間周期:数ミリ秒)で呼び出され、その都度リアルタイムで $F\Delta t$ のデータを算出しサーボアンプへ位置・速度のデータを送信する。デ

ータの単位は計算の過程も含めすべてナノメートルである。

CNC本体とサーボアンプ“MDS-Cn”は、光通信による高速周期でデータ授受を行っている。サーボアンプは、現在の軸の位置を管理しており、新たにCNCが送信した $F\Delta t$ から次の移動のための位置制御、及び速度制御を経て最終的には電流制御でモータを駆動する。位置情報のフィードバックは1ナノ以下の分解能を持つリニアスケールを利用する。

3. ナノメートル制御CNCの要素技術

3.1 ハードウェア技術

ナノメートル制御CNC対応に開発したハードウェアについて以下に説明する。ナノメートル制御CNCは、HMI (Human Machine Interface)としてパソコンを使用するため、CNC制御用のハードウェアは、パソコンが標準的にサポートしているPCI(Peripheral Component Interconnect)バスに実装できるようにPCIカードサイズとした。CNC制御用のCPUとしては最新鋭の64ビットCPUを採用し、また、メインメモリに同期式RAMを採用し、基本性能で、当社従来機種種の2倍以上を実現している。また、CNC制御として①サーボ通信、②機械IO通信、③PLC (Programmable Logic Controller)制御、④外部バス制御、⑤シリアル通信などの機能を必要とするが、従来機能別に複数のASIC(Application Specific IC)で実現をしていたこれらの機能を、1個のASICに集約したいわゆるCNC用の“システムLSI”を開発した。これにより部品実装の削減による高信頼性、動作周波数向上による高性能化、バスをLSI内部に集約したことによるバスの最適分割・スループット

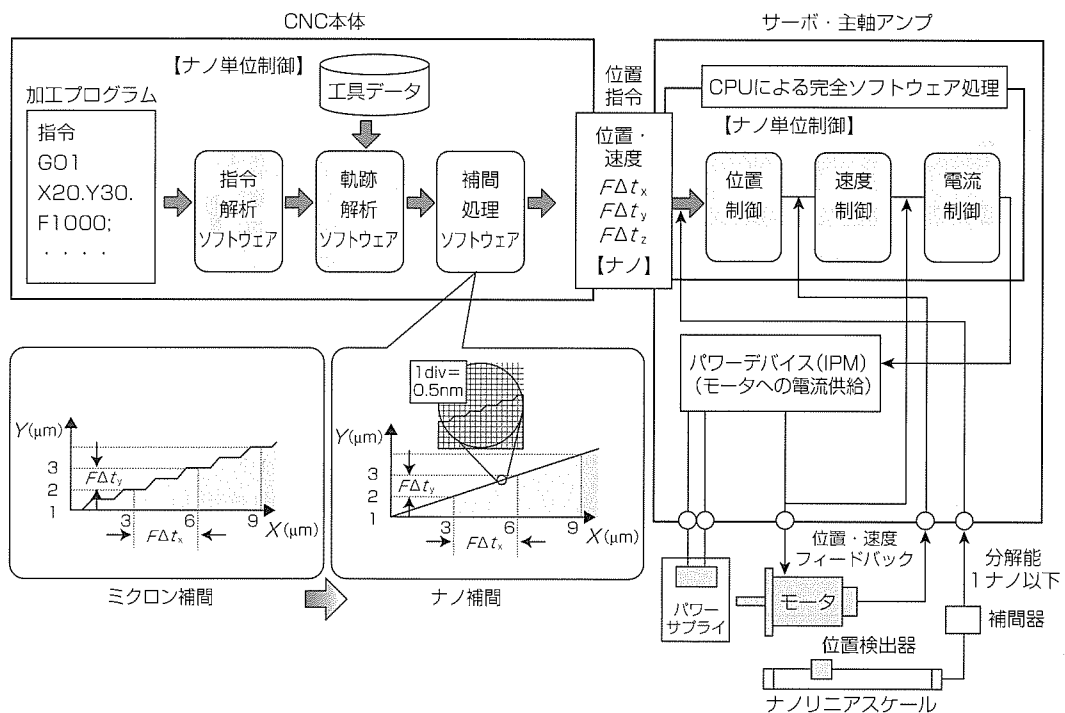


図1. CNCシステムの制御構成

の向上を図り、コンパクトで高性能なハードウェアを実現した。さらに、サーボとの通信性能を飛躍的に向上するため転送速度を従来の10倍に、また、通信の物理層を電気から光にすることで、ナノメートル制御で必要とするCNC-サーボ間の転送周期、データ転送量を十分に確保している。

今回開発したナノメートル制御CNCの主なハードウェア仕様は表1のとおりである。

3.2 ソフトウェア技術

次に、ソフトウェア技術について説明する。

3.2.1 ナノメートル制御機能

ソフトウェアの最大の命題は、NC加工プログラムやパラメータ設定を始めとする入力情報から最終出力であるサーボアンプへの位置・速度データのすべてをナノ単位にすることである。しかも、位置指令や速度指令の最大値をミクロン単位時と同等の範囲までサポートすることである。従来のCNCは最小指令単位が小さくなると最大指令値も連動して小さくなるという欠点があったが、今回開発したナノメートル制御システムは、これを解決し、超微細加工のみならず大型加工にもナノメートル制御を適用することができる。

主な制御機能は、表2のとおりである。

3.2.2 64ビット長ナノ演算

実現のための技術課題は、位置データや速度制御データのビット長問題を解決することであった。最大11けた(整数部5けた+小数部6けた)の指令を処理するためには、従来の32ビット長データでは9けたが限界でありオーバーフローする。そのため、ソフトウェアの位置・速度制御データを全面的に64ビット長に拡張し、64ビット長でのナノ

演算を実現した。これにより、補間処理はもちろんのこと、工具径補正や角度指令での交点演算や座標値計算に指令範囲の制限がないナノメートル制御を実現した。

また、超精密・高精度加工をより高速に滑らかに加工するためには、基本周期を高速にする必要がある。補間周期やサーボ通信周期を当社従来機種種の2倍~4倍の高速化を実現できるソフトウェアを構築した。

3.2.3 ナノメートル制御効果

- (1) 位置指令を、指令単位がミクロンのときと比較して、1/1,000の滑らかさで補間演算する。また、補間中のゆれ幅が小さくなることにより、機械が滑らかに移動し、高品位な加工を実現できる。図2に、実測したミクロン単位とナノ単位の補間経路の比較を示す。
- (2) 補間中の位置指令端数による速度変動が1/1,000になる。加速・減速の変動量が極小になることにより、加速・減速を繰り返すことによるワーク加工表面上の縞目(しまめ)が小さくなる。図3に、実測した補間中の速度変動の比較を示す。
- (3) 直線(円弧)-直線(円弧)間の交点や角度誤差が理論値に限りなく近づき形状精度が格段に向上する。例えば、角度指令時の終点位置精度や高速・高精度制御におけるコーナー角度などの形状判定に誤差がなくなる。

3.3 駆動技術

ナノ精度加工を実現するため、新型高性能サーボアンプMDS-Cnシリーズを開発した。このサーボアンプの特長は次のとおりである。

(1) サーボ制御性能の向上

サーボ制御用に従来の約10倍の性能を持つ高速CPUを

表1. ナノメートル制御CNCのハードウェア仕様

項目	仕様	備考
メインCPU	最新鋭64ビットRISC	
メインメモリ	32Mバイト	
サーボ通信	50Mbps 光通信	システムLSI内蔵
PLC制御	専用プロセッサによる	システムLSI内蔵
機械IO通信	2チャンネル	システムLSI内蔵
パソコンIF	PCIバス	PCI 2.2規格準拠
外形サイズ	175×107(mm)	

表2. ナノメートル制御CNCの基本機能

No.	項目	従来NC	ナノメートル制御NC
1	最小指令単位 1 μ m	○	○
	0.1 μ m	○	○
	0.01 μ m (10ナノ)	×	○
	0.001 μ m (1ナノ)	×	○
2	指令範囲 (mm)	±99999.999	±99999.999999
3	送り速度 (m/min) 1 μ m	最大1,000	最大1,000
4	送り速度 (m/min) 1ナノ	×	最大1,000
5	ナノ補間	×	○

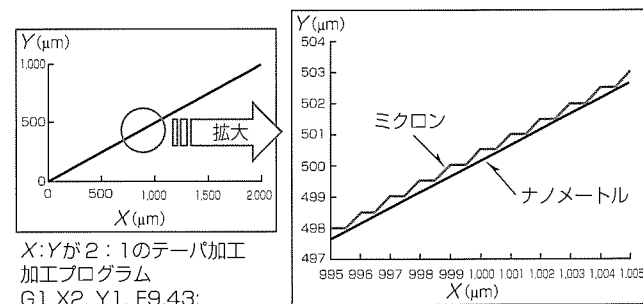


図2. ナノメートル制御の補間経路

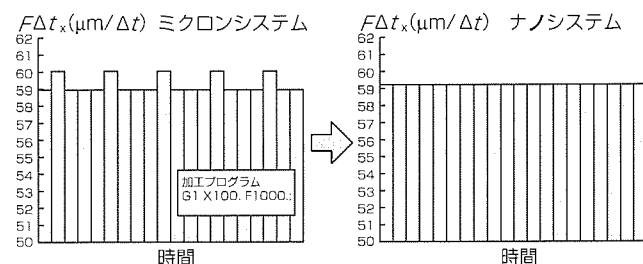


図3. ナノメートル制御の速度変動

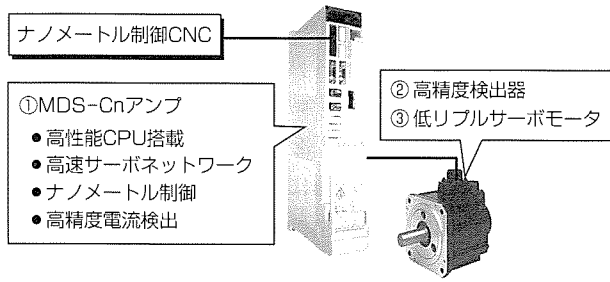


図4. ナノメートル制御駆動システムの構成

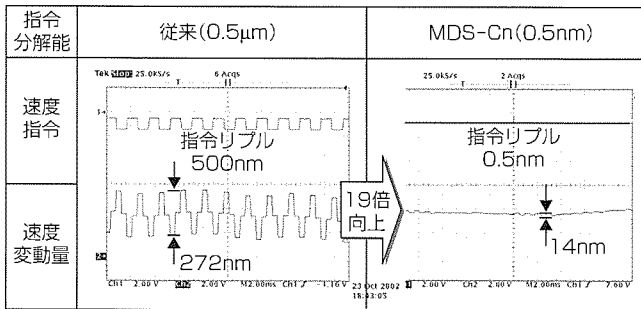


図5. 位置指令分解能の微細化による速度の安定性向上

採用し、制御処理周期及び演算無駄時間の最短化を図り、基本性能を大幅に向上した。

(2) サーボネットワークの高速化

高速サーボ制御を実現するために開発した新ASICには従来比約10倍の高速サーボネットワーク回路が内蔵されており、CNCからの位置指令通信周期の短縮、微細ナノ指令での指令授受を実現し、高速・高精度な加工を支援する。

(3) 電流検出の精度向上

高分解能A/D変換器を新ASICに内蔵し、高速・高精度な電流検出を行い、電流制御の高応答化を実現した。

また、位置・速度検出器は、1回転当たりの分解能が400万パルスの高精度エンコーダを標準採用し、高い軌跡精度と高応答な速度制御を実現した。モータ側についても、コギングトルク、トルクリプルのより少ないモータを開発した。図4にナノメートル制御駆動システムの構成を示す。

4. 評価結果

CNCとMDS-Cnサーボアンプを組み合わせた場合のサーボ性能の向上について、3つの基本性能評価を行った結果を示す。

図5では、CNCからの位置指令分解能の微細化によるモータ実速度の安定性向上を評価するため、CNCからアンプへの一定速度指令(約390mm/min)で送った場合の速度指令(上)と実速度変動(下)を比較した。この速度は、単位時間当たりの位置指令(速度指令)が伝送周期ごとに最小分解能分変動する条件で測定した。従来の0.5 μ m分解能では位置に換算すると272nmの変動が見られるが、位置指令分解能を0.5nmに高めると、14nmまで変動が改善されて

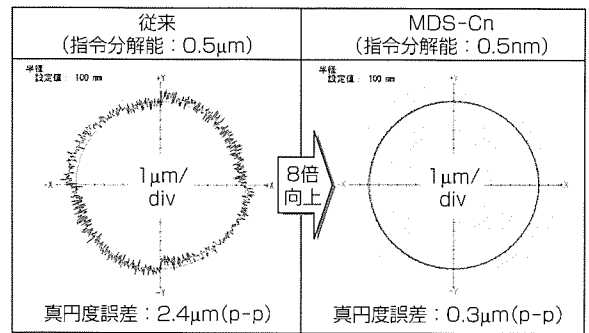


図6. 位置指令の微細化による軌跡精度の向上例

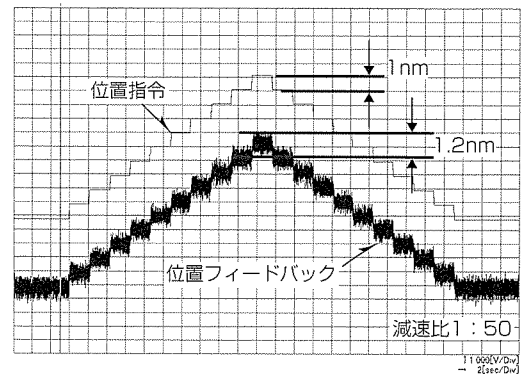


図7. 1 nm微小指令に対する応答性

いることが分かる(ボールねじピッチが4 mmの機械とし距離に換算)。

次に、位置指令の微細化による軌跡精度の向上を示す。図6は、2軸円弧指令(半径100mm, 速度10m/min)で送った場合の、従来(位置指令分解能: 0.5 μ m)と今回のシステム(位置指令分解能: 0.5nm)のモータ軌跡精度の違いである。図は、真円に対する誤差を拡大表示しており1升が1 μ mに相当する。最小指令単位を0.5nmとすることにより、真円度誤差が2.4 μ mから0.3 μ mへと大幅に向上することが分かる。

最後に、モータ単体でのナノ微細指令に対するステップ応答性を評価した。図7の横軸は時間(2秒/div)、縦軸は位置(0.93nm/div)を表し、上側の階段波形は指令位置を示す。1 nmの指令を約2秒ごとに入力し、10nmの往復指令を入力した場合の応答性が下の階段波形である。1 nmの指令に対し、位置フィードバックが応答時間の遅れなく1.2nmのばらつきで確実に追従しているのが分かる。

5. むすび

以上、ナノメートル制御CNCの要素技術を中心に紹介した。加工精度の高度化と加工速度の高速化は、超精密加工機を主としてとどまることはない。今後とも市場のニーズにこたえらるとともに、新たな市場を開拓する技術と製品の開発に全力で取り組んでいく所存である。

高精度金型加工制御機能

佐藤智典*
杉江 弘*

要 旨

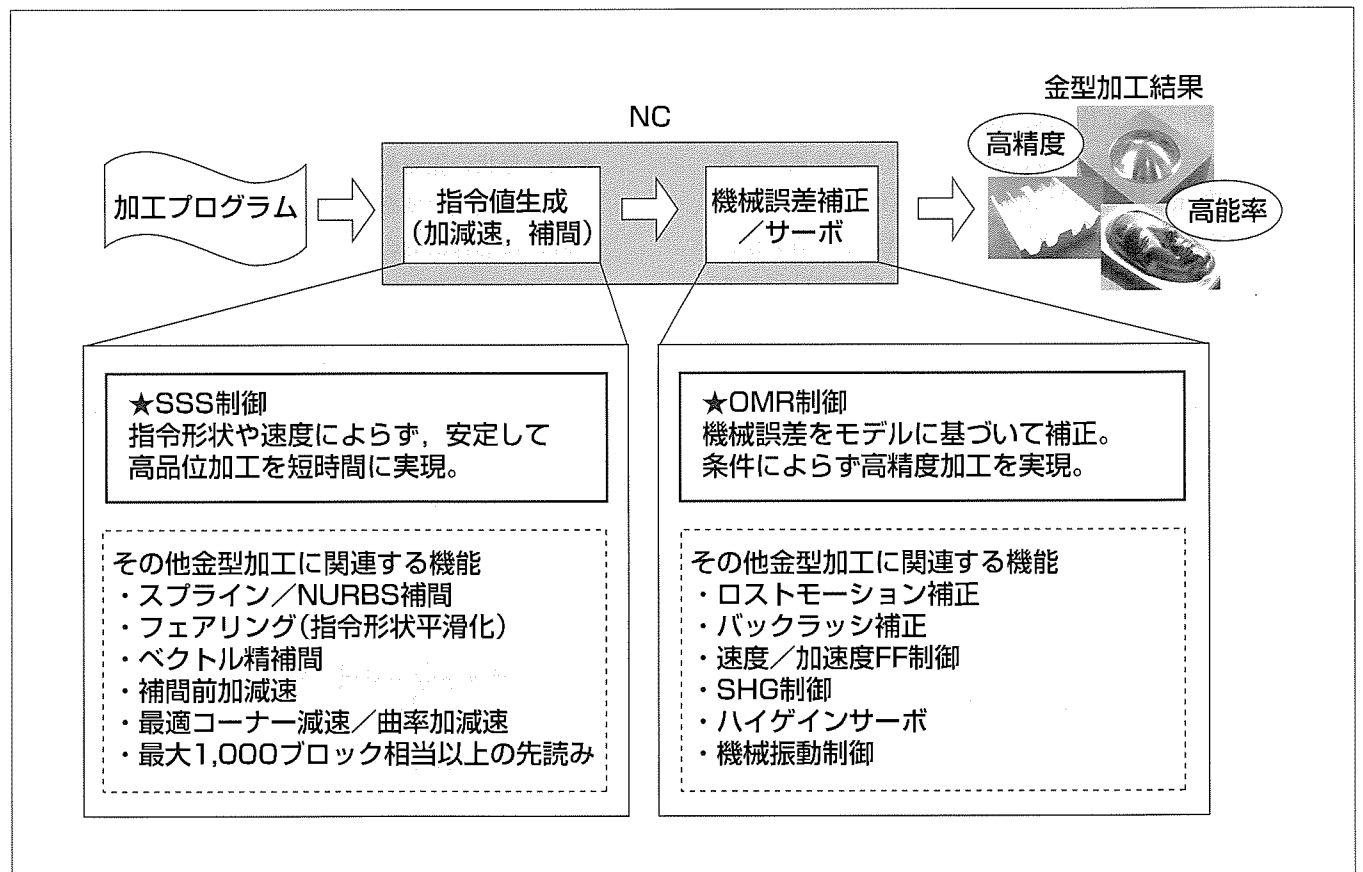
金型加工の高精度化及び加工時間短縮に対する要求は年々高まっている。これに伴い、工作機械の制御装置である数値制御装置(NC)は、指令形状、指令速度又は加工物の位置によらず、高い加工精度を維持しつつより高速に加工する能力が求められている。

このような高速・高精度な軌跡制御を実現するためには、NCのハードウェア(CPU、記憶装置、検出器等)、ソフトウェア(指令値生成方式、機械誤差補正方式、サーボ制御方式)を含め、総合的にNCの能力を高めて対応する必要がある。このうち、本稿では、金型加工において特に有効な機能として、ソフトウェアに関する次の2機能を取り上げ、その特長と効果を紹介する。

- (1) SSS(Super Smooth Surface)制御
- (2) OMR(Optimal Machine Response)制御

SSS制御は、滑らかな加工面を短時間に加工するための最適速度制御機能であり、加工プログラムに記述された指令形状の品質(精度)によらず、安定して高精度な加工を短時間に実現する。SSS制御の特長と、美しい加工面が得られた加工結果を紹介する。

一方、OMR制御は、モデルに基づいて機械の誤差を補正する機能であり、機械の速度や位置などの条件によらず高精度加工を行うことを可能とする。機械の誤差要因に対応して開発したOMR-I、OMR-II、OMR-IIIの各機能の特長と実験結果を紹介する。



高精度で高能率な金型加工を実現するためのNCの機能群

一般に、NCでは、加工プログラムに従い指令値生成(加減速、補間)を行い、さらに機械誤差補正やサーボ制御を行い、加工を行う。金型加工では、これらの総合的な性能が必要とされる。三菱電機のNC(MELDASシリーズ)では、指令値生成部にSSS制御、機械誤差補正にOMR制御をそれぞれ開発し強化に努め、そのほかにも金型加工に必要な種々の機能を開発しており、高精度で高能率な金型加工が実現可能となっている。

1. ま え が き

最近の工業製品のリードタイム短縮や要求精度向上に伴い、工作機械を制御するNCは、高速・高精度に制御する能力が求められている。とりわけ高い精度が要求される金型加工では、指令形状、指令速度又は加工物の位置によらず、高い軌跡精度を保つことが非常に重要となる。

このような高速・高精度な軌跡制御を実現するためには、NCのハードウェア(CPU, 記憶装置, 検出器等), ソフトウェア(指令値生成方式, 機械誤差補正方式, サーボ制御方式)を含め、総合的にNCの能力を高めて対応する必要がある。

このうち、本稿では、金型加工のような軌跡精度が重要となる加工において特に有効な機能として、ソフトウェアに関する次の2機能を取り上げ、その特長と効果を紹介する。

(1) SSS制御

滑らかな加工面を短時間に加工するための金型加工用最適速度制御機能

(2) OMR制御

モデルに基づいて、機械の各種誤差を補正し、高精度化を実現する機能

2. SSS制御

2.1 従来の問題点

三次元形状の金型加工では、加工面の滑らかさ(面精度)が重視される。特に近年では、5m/min以上の高速な送り速度でも、数 μm 以下といった高い面精度が要求されるケースが増えてきた。このとき、しばしば問題となるのが、加工プログラムに記述された指令形状の品質(精度)である。

一般に、加工プログラムを作成するCAMでは、工作物に対する工具の曲線的な動きを、微小線分に近似して計算する。そのため、微小線分データには誤差が多少なりとも含まれる。例えば、図1に示すように、本来加工したい形状に対して、CAM処理上の許容誤差(トレランス)の範囲内で、ジグザグ状や段差状の微小な形状誤差を含むことが多い。

NCでは、軌跡精度を保つために、形状に応じて移動する速度を決定する処理が不可欠である。ここで、指令形状に誤差が含まれると、適切な移動速度を正確に求めることが難しくなる。特に走査線加工において、パス(経路)によ

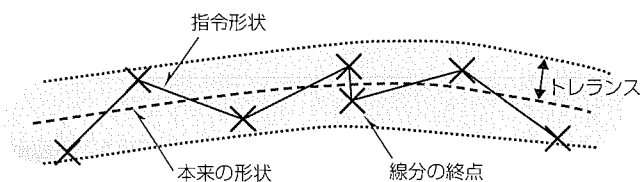


図1. 誤差を含む形状の例

って指令形状に含まれる誤差の大きさが異なると、機械の動く軌跡にばらつきが生じ、加工面に筋状の傷が発生する場合があった。

このような問題に対応するため、従来のNCでは、誤差を低減するように形状を修正する機能(フェアリング機能)が開発され、実際に使用されてきた(図2の(a))。しかし、ジグザク形状や微小段差など一見すると誤差を含むように見える形状が、修正すべきものか、それとも本来加工すべき意味のあるものかをNCが区別することは難しい。特に金型加工用プログラムは何万ブロックもの微小線分から構成されるので、正確に形状を復元できず十分な精度が得られない箇所が少なくとも数箇所は存在してしまう場合が多い。図の(b)に示すように、形状修正を行ったばかりに、かえって本来の形状からずれてしまい、精度が悪化する例もあった(図中のA~D部)。

2.2 SSS制御

このような潜在的なリスクが潜む形状修正とは別の方法を考える。形状に応じて移動速度を決定する処理において、指令形状に含まれる誤差に影響されず安定して最適な速度パターンを生成することができれば、パスによって指令形状に含まれる誤差の大きさやパターンが異なっても、滑らかな加工結果を得ることができる。このような速度制御方式として、SSS制御を開発した。

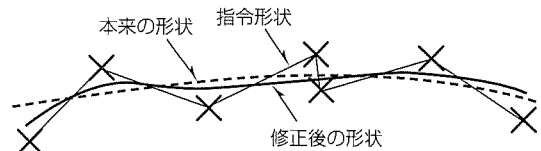
SSS制御では、次のような独自の処理方式を採用している。

- 指令形状の先読みに基づく大域的な形状判断により、最適な送り速度を決定
- 細かな形状においても無駄のない効率的な加減速
- 指令形状や速度によらない統一的な処理

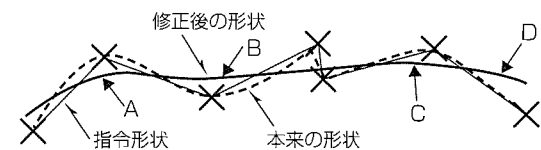
その結果、SSS制御では次のような効果が得られる。

(1) 安定して高品位加工を実現

- 指令形状や速度によらず、安定して高品位加工を実現
- 連続的に変化する指令形状の途中で加工面に筋目なし



(a) 指令形状の修正により精度が改善する例



(b) 指令形状の修正によりかえって精度が悪化する例

図2. 形状修正により精度が改善又は悪化する例

- (2) 加工時間の短縮
 - 従来比5～30%時間短縮(同一精度で比較)
 - 特に送り速度が高くなると効果が顕著
- (3) パラメータ調整が簡単
 - 形状の修正のためのパラメータ調整が不要
 - 精度重視、能率重視などの調整も容易

2.3 加工結果の例

以下、SSS制御による加工例を3例示す。

(1) ドーム型加工サンプル(図3)

半球の上部及び平面部からなる形状の例である。図の左右方向の走査線加工(往復)により加工した。使用した工具は直径4mmのボールエンドミル、送り速度は2m/min、主軸回転数は12,000r/minである。

SSS制御により、半球部、平面部とも、筋目や振動による縞目のない光沢のある美しい加工面が得られている。また、半球部と平面部との境界部でも、筋目も見られず、良好な精度が得られている。

(2) 波板型加工サンプル(図4)

凸部、凹部及び鋭利なエッジ部を含む形状の例である。図の左下から右上の方向の走査線加工(一方向)により加工を行った。使用した工具は直径4mmのボールエンドミル、送り速度は1～8m/min、主軸回転数は20,000r/minである。

指令速度を8m/minまで上げた箇所においても、精度を維持するために必要な速度で適切に制御される。そのた

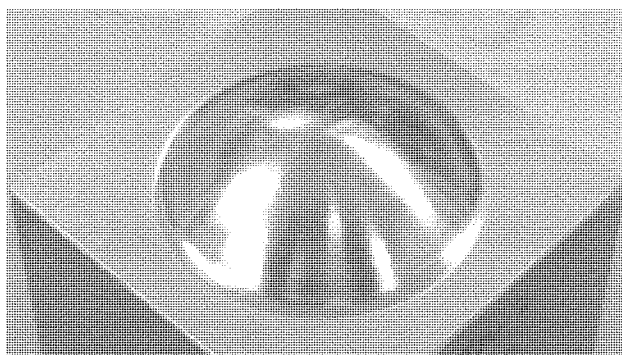


図3. ドーム型加工サンプル

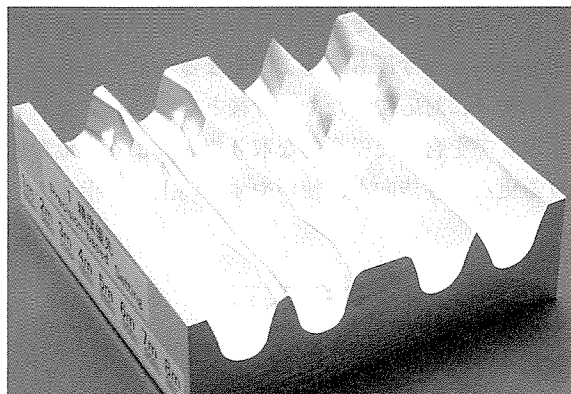


図4. 波板型加工サンプル

め、指令速度が8m/minの箇所であっても、筋のない滑らかな曲面(凹部、凸部)と鋭利なエッジ部が得られている。

また、サンプル中には、プラスチック型で特徴的な形状がわずかずつ連続的に変化する箇所があるが、その途中で形状が不連続的に変化することなく、自然な加工形状が得られた。

(3) 能面型加工サンプル(図5)

凸部、凹部、エッジ部、平坦(へいたん)部など多様な形状部分を含むサンプルの例である。図の左下から右上の方向の走査線加工(往復)により加工した。使用した工具は直径6mmのボールエンドミル、送り速度は2m/min、主軸回転数は20,000r/minである。

このような複雑な形状においても、SSS制御により、全体的に光沢のある美しい加工面が得られていることが分かる。

3. OMR制御

従来のサーボではモータの軌跡が指令に一致するように制御が行われていたが、近年では、モータの軌跡と機械の軌跡の間のわずかな差が問題視されるようになってきた。そこで、加工の高速・高精度化に向けて、従来のモータではなく、加工に直結する機械の運動に着目したOMR制御と呼ぶ一連の技術開発を進めている。図6にOMR制御の概念を示す。モデルに基づいて機械の状態を推定し、モータではなく機械の位置が指令に一致するように補正を加えながらモータを制御する。

図7に工作機械駆動系の模式図を示す。モータの回転運動をボールねじで直動運動に変換してテーブルを駆動する。ボールねじや軸受などの駆動力伝達要素の弾性変形が高精度位置決めの主な阻害要因である。OMR制御では、高加速度運動時には慣性力による弾性変形を補正し、超高速加工においても高精度に動作する。低速運動時には、動摩擦による弾性変形(ロストモーション)を補正し、高品位加工を実現する。



図5. 能面型加工サンプル

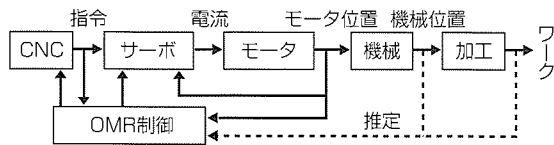


図 6. OMR制御の概念

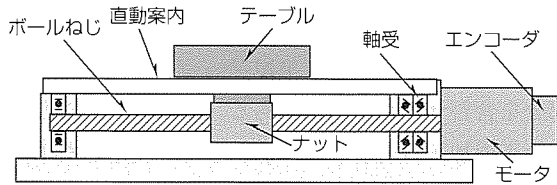


図 7. 工作機械駆動系の模式図

3.1 OMR-I (機械端補正+最適フィードフォワード)

高加速度運動時の慣性力による弾性変形を補正する機械端補正とサーボ系応答遅れを改善するためのパラメータ自動調整機能を含む最適フィードフォワードとを組み合わせたOMR-Iを開発した。

図8はマシニングセンタで半径25mmの円を速度10,000mm/minで運動させた場合の機械端の軌跡を計測したものである。この機械はY軸に比べてX軸の剛性が低いため、左図に示すOMR-Iを適用しない場合には軌跡がX軸方向に約13 μ m膨らんでいるが、右図に示すOMR-Iを適用した場合には弾性変形が補正され真円度(最大径と最小径の差)が約5 μ mに改善されている。

3.2 OMR-II (漸増型バックラッシュ補正)⁽¹⁾

滑り案内を採用した工作機械では、大きな摩擦のために移動方向反転後の弾性変形量が徐々に増加する場合があります。従来のステップ状に変化するバックラッシュ補正では過剰補正による食い込み現象を生じていた。非線形ばねと非線形ダンパを含む2慣性系で現象をモデル化し、このモデルに基づく補正法OMR-IIにより問題を解決した。

図9は、マシニングセンタで半径80mmの円を速度1,000mm/minで運動させた場合の機械端の軌跡を計測したものである。左図に示す従来制御ではX軸及びY軸の方向反転時に食い込みが生じているが、右図に示すOMR-II適用時には食い込みが解消している。

3.3 OMR-III (位置変動バックラッシュ補正)

動作範囲の広い工作機械では、位置によって弾性変形量が変動する場合があります。従来の固定値によるバックラッシュ補正では高精度な補正が困難であった。位置により変動する動摩擦と位置により変動するばね要素の剛性で現象をモデル化し、位置に応じて連続的に補正量に変化する補正法OMR-IIIを開発した。

図10は、マシニングセンタで半径105mmの円を速度1,000mm/minで運動させた場合の機械端の軌跡を計測したものである。左図に示す従来制御ではY軸の負方向で大きな段差が生じているが、右図に示すOMR-III適用時には段差が解消されている。

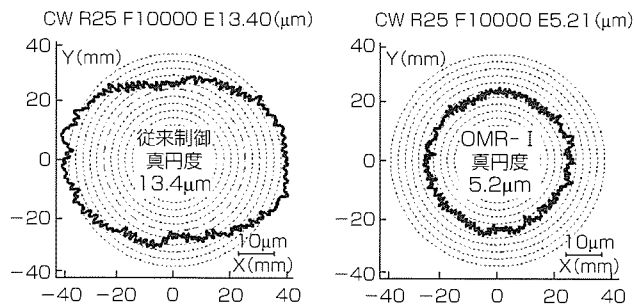


図 8. OMR-Iの効果

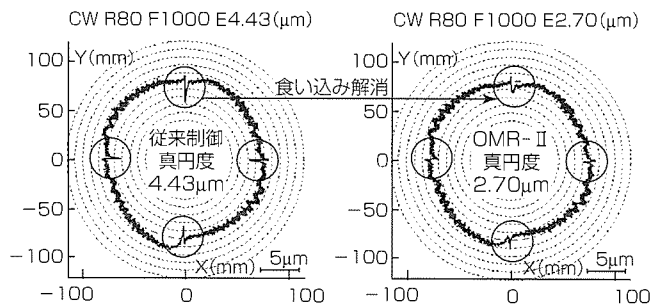


図 9. OMR-IIの効果

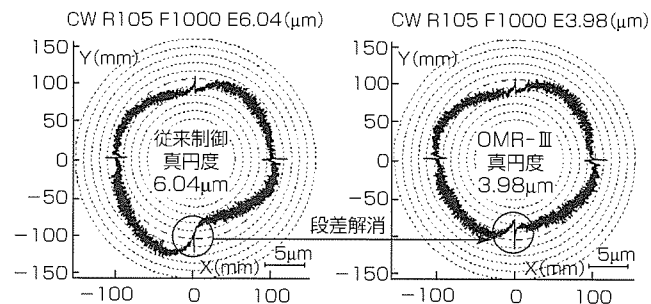


図10. OMR-IIIの効果

大きな段差が生じているが、右図に示すOMR-III適用時には段差が解消されている。

4. む す び

本稿では、金型加工のような軌跡精度が重要となる加工において有効な機能として、SSS制御とOMR制御を取り上げ、その特長と効果を紹介した。金型加工の高精度化・高能率化の要求は今後もますます強まると思われる。このようなニーズに対応するため、今後とも、ハードウェア、ソフトウェアを含めた総合的な取り組みにより、金型加工における更なる性能向上、使いやすさ向上を目指す所存である。

参考文献

- (1) 杉江 弘, ほか: 工作機械における漸増型ロストモーションのモデル化と補償, システム制御情報学会誌, 45, No.3, 117~123 (2001)



松井信行*

サーボコントローラの新しい試み

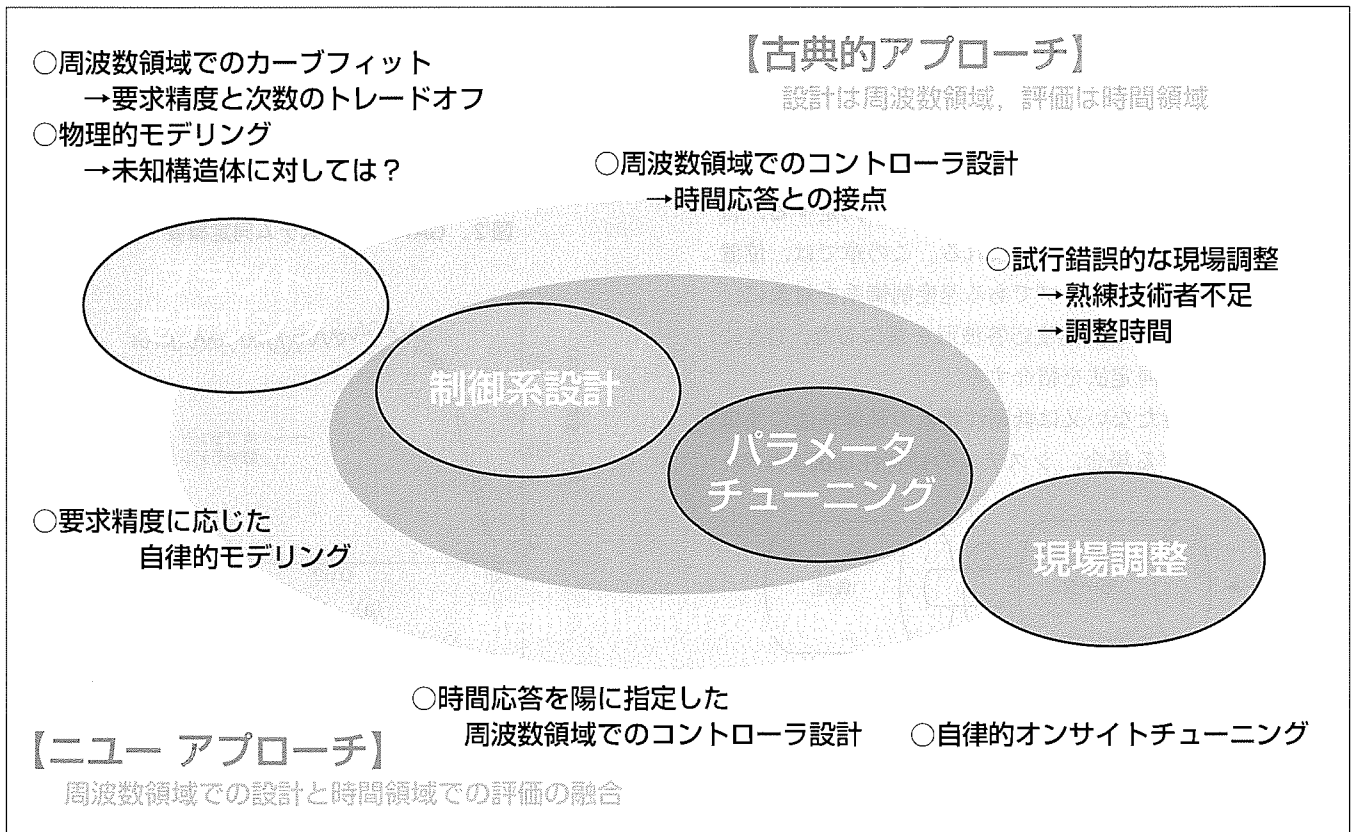
要旨

サーボコントローラは今までその対象が主として生産設備にあり、そこに要求される高速・高精度性、サーボ帯域拡大、外乱圧縮、ロバスト安定性などの基本機能向上に向けての努力がなされてきた。また、昨今は、機械系との連成課題への対処が求められ、機構振動抑制、非線形要素のモデリングと補償、自動チューニング機能などに向けての努力が払われてきている。

一方、サーボ技術の広範化とともにその対象が単に生産設備にとどまらず、例えば福祉機器、介護機器、オーディオ・ビジュアル機器、アメニティ機器、操舵機器のように、広く人間の日常生活に触れる対象にまで拡大するに及び、

従来求められていなかった感覚への適合性や快適性、又は対環境性が併せて求められるようになってきている。

これらを支える周辺技術ツールとして、信号・情報処理技術、アクチュエータ・センサ技術、制御系CAD、最適化アルゴリズムなどが急速に進展したこととあいまって、サーボコントローラは新しい時代を迎えていると言えよう。従来の制御理論による個別の特性向上はもとより、ソフトコンピューティング技法の自在性や自律性又は汎化能力を活用することによって、知能を持ったサーボコントローラ的设计と運用を統合した新しい世界に大きな期待が寄せられている。



GAを核とするサーボコントローラの新しい試み

要求精度に応じた自律的なモデリング技法によって得られた制御対象に対して、時間応答を陽に指定した周波数領域における制御系の構造とパラメータの自動設計が行われる。実現されたサーボコントローラは、最終的には実機応答特性に応じて、人手を介さずに最終的なチューニングを実行する。経時変化も補償される。ソフトコンピューティング技法、なかでも遺伝的アルゴリズム(GA)の広域解空間における最適解探索能力の有効な活用に大きな期待が持てよう。

1. ま え が き

従来のサーボコントローラでは主としてPID制御やロバスト制御理論が用いられていたが、前者にあつては様々の駆動環境下での仕様実現の困難性、後者では設計段階での時間応答の直接指定が困難などの問題があつた。また、制御仕様が高度化するにつれシステムが高次となり、CPUの演算能力の観点からは次数と精度がトレードオフの関係になる。

生体の情報処理の工学的具現とも言えるソフトコンピューティング技法は、その自在性や広域探索能力に優れ、計算機負荷も軽減できる。特に、遺伝的アルゴリズム(GA)の広域探索能力は、適切な評価方法との組合せによって、制御対象のモデリング、システムの設計、チューニングなどに大きな力を発揮できる可能性を持っている。

筆者の研究室では、ファジー推論⁽¹⁾、ニューラルネット⁽²⁾、GMDH⁽³⁾、GAなどのソフトコンピューティング技法を、モデリングやシステム同定、制御系設計、チューニングなどに適用し、その効果を検証してきている⁽⁴⁾。

本稿では、特にGAに的を絞る、最近の幾つかの適用例を紹介する。

2. GAによる未知構造体のシステム同定⁽⁵⁾

対象システムが低剛性要素を含むか否かをサーボ機器が自ら判断できれば、サーボ機器は対象システムに応じた制御アルゴリズムを選択可能となり、制御性能の向上につながる。この場合、より低次でシステムの時間応答を必要精度で模擬できるモデルをコントローラ自らが同定する、自律同定アルゴリズムの実現が望まれる。この章では、位置決め制御系のマイナーループである速度制御系を対象に、モータ速度指令波形と実速度応答波形を基にした、GAによる自律システム同定法を紹介する。

低剛性要素を持たない又は低剛性要素の制御性能に及ばず影響が無視できる場合、システムの動特性は図1(a)の1

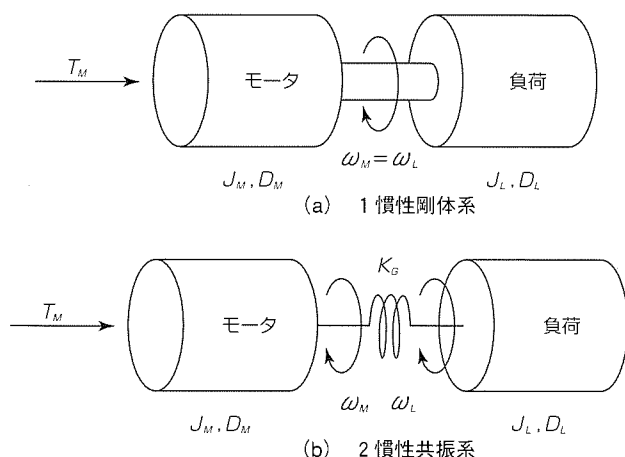


図1. メカトロニクス機器の典型例

慣性剛体系で模擬できる。一方、低剛性要素を持つシステムは、多くの場合、第一次振動モードのみを持つ図(b)の2慣性共振系モデルで模擬できる。両者に対する伝達関数は一般的に、式(1)で示すように、ゲインK、p個の極のみを持つモジュール、q個の極と零点を持つモジュールの組合せで表現できる。

$$G(s) = K \times \prod_{i=1}^p \frac{1}{s + A_{1i}} \times \prod_{j=1}^q \frac{s + B_{2j}}{s + A_{2j}} \dots\dots\dots(1)$$

図2はGAによる自律システム同定の概要図である。図中、モータ速度指令 $\omega_M^*(n)$ に対して得られた実機出力時系列データ $\omega_M(n)$ とモデル出力時系列データ $\omega_{Mm}(n)$ が一致するよう、K、p、q、極 A_{1i} 、 A_{2j} 、零点 B_{2j} をGAにより自律最適設計する。式(2)はGA処理で用いる評価関数 F_{fit} である。第1項で実機出力とモデル出力の誤差二乗積分値を評価し、第2項でモデル次数を評価することで、より低次のモデルで必要精度を確保できるモデルが得られる。

$$F_{fit} = \sum_{n=1}^s \left\{ W_{f1} (\omega_M(n) - \omega_{Mm}(n))^2 + W_{f2} k \right\} \dots\dots\dots(2)$$

図3は同一アルゴリズムの下で、(a)1慣性剛体系、(b)2

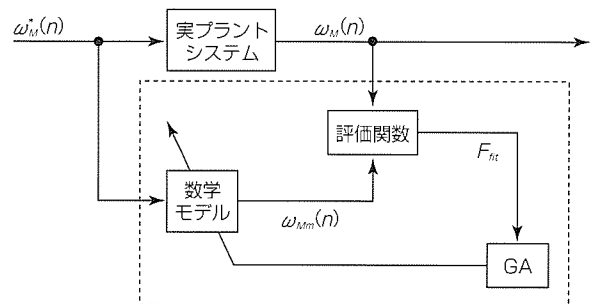
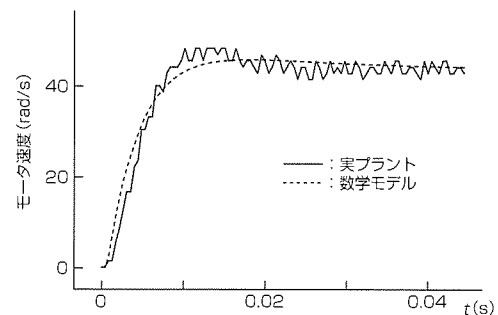
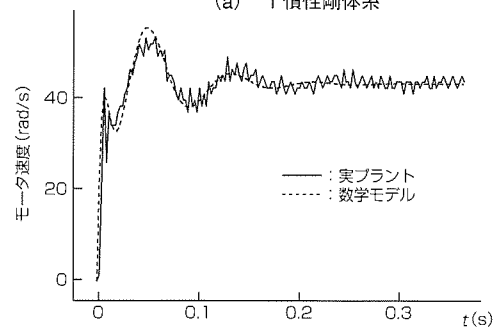


図2. GAによるシステム同定概要



(a) 1 慣性剛体系



(b) 2 慣性共振系

図3. GAによるシステム同定結果

慣性共振系のそれぞれに対し、GAによる自律システム同定を行った結果である。図中、実線は実機速度応答波形、破線はGAにより得られたモデル出力波形である。事前にモデル次数を与えることなく、自律的に必要精度のモデルを得ていることが理解できよう。

3. GAによる2自由度位置決め制御系の自律設計⁽⁶⁾

高速・高精度な位置／速度制御性能が必要な機器では、外乱抑圧性能、共振振動抑制性能、パラメータ変動に対するロバスト安定性をフィードバック補償で実現し、高速・高精度な目標値追従性能をプラントモデルベースのフィードフォワード補償で実現する2自由度制御の適用が有望である。図4は、2慣性共振系システムを対象に構成した2自由度位置決め制御系ブロック図である。図中、 $C(s)$ はフィードバック補償器、 $K(s)$ は前置補償器、 $D(s)$ 、 $N(s)$ は、後述するようにプラント伝達特性 $P(s)$ の既約分解項である。

パラメータ変動を持つシステムでは、システムの変動を構造化摂動とした上で μ 設計を用いたフィードバック補償器設計を行えば、フィードバック性能の向上が期待できる。しかし、この方法は周波数領域の重み関数設計でのフィードバック補償器設計であるため、時間領域での仕様を満足することが重要なシステムでは、周波数領域と時間領域との関係が明白でないため試行錯誤的な重み関数設計を要するという問題がある。そこで、重み関数は周波数領域での仕様を与えるにとどめ、周波数領域と時間領域での仕様を同時に満足するフィードバック補償器をGAにより最適設計する新しい試みを取り入れる。

一方、フィードフォワード補償器設計では、システムの伝達特性を組み込むことで、高速・高精度な目標値追従性能を実現できる。この場合、パラメータ変動に対してロバストな目標値追従性能を実現するためには、モデル中ノミナル定数の決定が極めて重要である。

ここでは、負荷慣性値がノミナル値に対して0.6倍から2.6倍に変動するシステムに対し、振幅 360° のS字状位置指令に対して $\pm 3^\circ$ 以内の精度に100msで整定する負荷位置決めを実現するため、GAによるフィードバック／フィードフォワード補償器の同時最適設計を実施する。

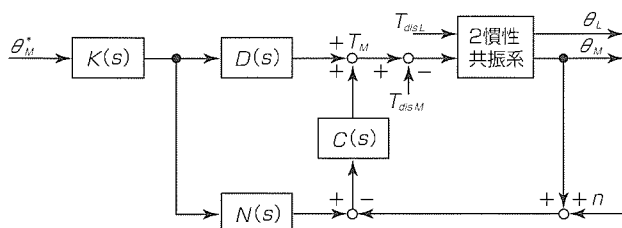


図4. 2自由度位置決め制御系ブロック図

3.1 フィードバック補償器最適設計指針

図5は、負荷慣性値変動を構造化摂動として与えた上で構成した一般化プラントである。 $W_S(s)$ は外乱に対する低感度特性を規定する重み関数、 $W_T(s)$ は高周波雑音に対するロバスト安定性を規定する重み関数である。この場合、システムの感度関数 S と相補感度関数 T が式(3)を満足すれば、求めたフィードバック補償器 $C(s)$ は、 W_T と W_S で与えた外乱抑圧性能と制振性能、及びパラメータ変動に対するロバスト安定性を満足できる。

$$\left\| \frac{W_T(s) T(s)}{W_S(s) S(s)} \right\|_{\infty} < 1 \dots\dots\dots (3)$$

そこで、式(3)のロバスト制御性能条件を満足する中で、所望の位置決め制御性能を満足するフィードバック補償器の次数と係数をGAにより最適設計する。

3.2 フィードフォワード補償器設計指針

フィードフォワード補償器設計では、プラント伝達特性 $P(s)$ に対して、式(4)で示す既約分解を行う。 $A(s)$ は4次多項式、 $B(s)$ は2次多項式であるので、 $D(s)$ 、 $N(s)$ をプロパとする必要性から4次多項式フィルタ $F(s)$ を付加する。

$$P(s) = \frac{N(s)}{D(s)}, D(s) = \frac{A(s)}{F(s)}, N(s) = \frac{B(s)}{F(s)} \dots\dots\dots (4)$$

この場合、システムの見目標値追従特性伝達関数は $K(s)$ と $F(s)$ で一意に決定できるが、負荷慣性値変動が生ずると、実機とモデルの動特性の相違により、目標値追従性能は式(5)のように劣化する。ここで、 $A(s)$ 、 $B(s)$ はモデルの動特性、 $A_r(s)$ 、 $B_r(s)$ は実機の動特性である。

$$\frac{\theta_L}{\theta_M^*} = K(s) \frac{K_G}{F(s)} \left\{ \frac{A(s) + B(s)C(s)}{A_r(s) + B_r(s)C(s)} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

したがって、あらかじめ想定される負荷慣性値の変動範囲内で常に所望の位置決め制御性能を実現するためには、 $A(s)$ 、 $B(s)$ に含まれる負荷慣性ノミナル値の決定が極めて重要となるので、フィードフォワード補償器設計に当たり $K(s)$ の次数と係数、4次多項式フィルタ $F(s)$ の係数、及び補償器中の負荷慣性ノミナル値 J_L をGAにより最適設計する。

3.3 GAによるフィードバック／フィードフォワード補償器の同時最適設計

GAによるフィードバック／フィードフォワード補償器

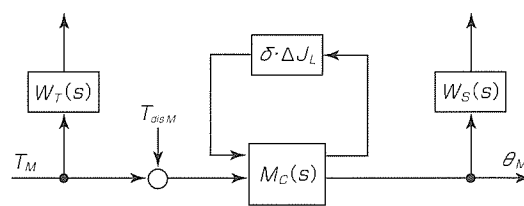


図5. 一般化プラント

の同時最適設計処理では、S字状位置指令に対する負荷位置応答波形 θ_L に対し、図6の評価区分の下、式(6)の評価関数 F_{fit} に基づく最適化評価を実施する。

$$F_{fit} = W_1 \sum_{n=180}^N \left\{ \theta_L(n) - \theta \right\}^2 + W_2 \sum_{n=300}^N \dot{\theta}_L(n) + W_3 \sum_{n=0}^N \left| \theta_L(n) - \theta_M(n) \right| + W_4 \cdot T_{set} + W_5 \cdot ord \quad \dots(6)$$

ここで、図中の2本の水平点線は目標位置 θ に対する $\pm 3^\circ$ の要求位置決め仕様、 n は位置制御サンプリング時間 $T_s (=0.5\text{ms})$ のサンプル番号、 $N (=800)$ は負荷位置応答波形時系列データのサンプル総数である。

式(6)第1項では、区間(A)で目標値 θ と負荷位置 θ_L の誤差二乗積分値をペナルティとし、より高精度な負荷位置決めの実現を図る。第2項では、区間(B)で負荷速度の絶対値積分値をペナルティとし、残留振動の抑制を図る。第3項では、区間(C)で負荷位置とモータ位置の誤差絶対値積分値をペナルティとし、ねじり位置誤差の抑制を図る。第4項では、整定時間 T_{set} が目標整定時間100msを超過した場合にペナルティを与える。第5項では補償器次数に対するペナルティを与え、同等の位置決め制御性能を持つ中でより低次の補償器を実現する。

図7は、この手法で得られたフィードバック補償器の外乱抑圧性能、制振性能、パラメータ変動に対するロバスト安定性を見るために求めたシステムの感度関数 S と相補感度関数 T である。いずれの負荷慣性値条件下においても、式(3)を満足するロバストなフィードバック性能が得られている。

図8は、外乱抑圧性能を見るために求めた、ステップ状モータトルク外乱に対する負荷位置応答波形のシミュレーション結果である。図7中に併記した重み関数 W_T 、 W_S の条件下で、 μ 設計により求めたフィードバック補償器 $C_\mu(s)$ を用いた場合の図8(a)に比べ、この手法によるフィードバック補償器 $C(s)$ を用いた場合の図8(b)は、すべての負荷慣性値条件下で優れたフィードバック性能を持っている。

図9は、この手法による2自由度位置決め制御系の高速・高精度性能を見るために行ったS字状位置指令に対する位置決め制御実験結果である。図中、ノミナル値に対する

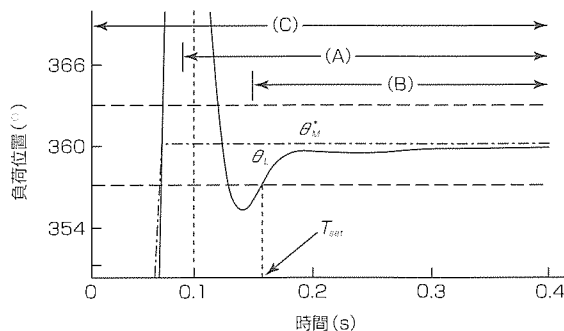


図6. 時間応答に対する評価区分

る0.6倍から2.6倍までの負荷慣性値変動において、 360° の位置指令に対して $\pm 3^\circ$ 以内の精度に100msで整定する優れた高速・高精度位置決め制御が実現できている。

4. 補償器パラメータのオンサイトチューニング⁽⁷⁾

コントローラ実装時にモデル化が困難な非線形摩擦や高周波域でのモデル化誤差の影響による制御性能劣化が問題となる場合、煩雑で試行錯誤的な現場調整作業が必要不可欠である。この場合、システムが所望の時間応答を満足するようにコントローラ自らが自動的に補償器パラメータを調整できれば、熟練技術者不足の解消、調整作業の短時間化、機器製造コストの低減につながる。ここでは、位置決め制御系のマイナーループである速度制御系を対象に、実機出力を直接に評価できるGAによる補償器パラメータのオンサイトチューニングについて述べる。

図10は、2自由度速度制御系ブロック図である。この場合、設計対象パラメータは、前置補償器 $K(s)$ 、フィー

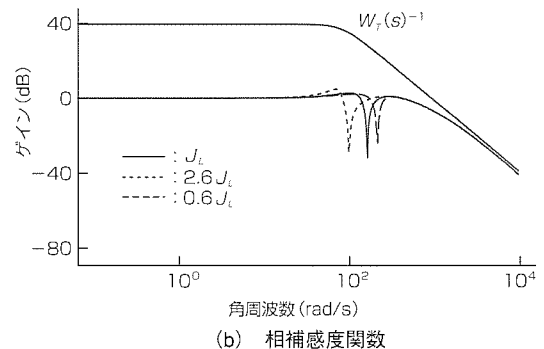
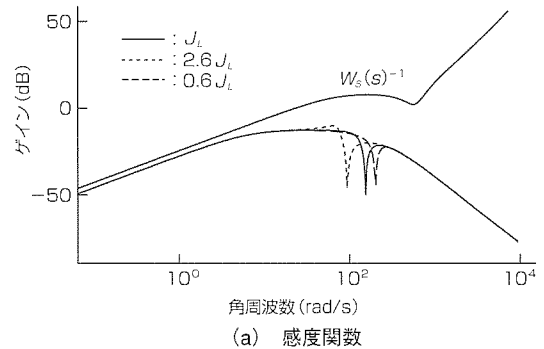


図7. 負荷慣性値変動に対するシステムの感度関数と相補感度関数

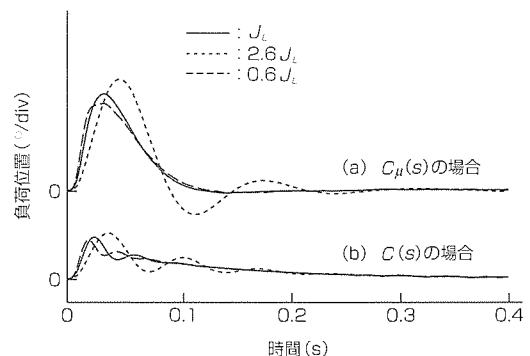
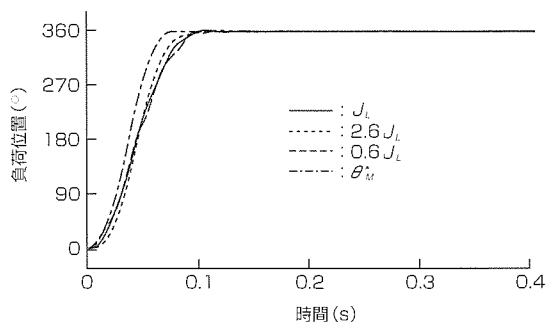
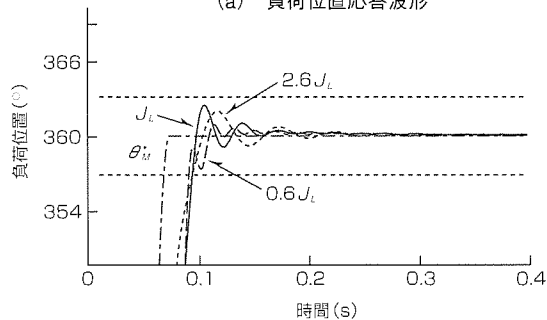


図8. ステップ状モータトルク外乱に対する負荷位置応答波形



(a) 負荷位置応答波形



(b) 目標値近傍の拡大図

図9. S字状位置指令に対する負荷位置応答波形

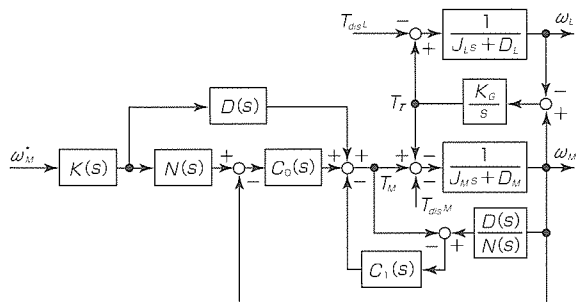


図10. 2自由度速度制御系ブロック図

ドバック補償器 $C_0(s)$ 、オブザーバフィルタ $C_1(s)$ であり、負荷速度の制振制御を実現するよう、理論的に次式で与えられる。

$$\begin{cases} K(s) = \frac{J_M s + D_M}{\tau s + 1} \\ C_0(s) = K_{sp} \\ C_1(s) = \frac{(J_M s + D_M)s + K_G + K_0(s)s}{(a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1)K_G} \end{cases} \dots\dots\dots(7)$$

式(7)中、 $K(s)$ の時定数 τ 、 $C_0(s)$ のゲイン K_{sp} 、 $C_1(s)$ のフィルタ係数 a_1 、 a_2 、 a_3 をGAによりオンサイトパラメータチューニングする。

実機出力を直接用いるオンサイトチューニングのみでは、最適化処理中の解候補が不安定解となる可能性を否定できないため、数学プラントモデルを設計対象とするオフラインチューニングを併用する。

図11は、GAによるオフライン／オンサイトチューニング処理概要図である。図中、オフラインチューニング時には、数学プラントモデル出力 ω_{Lm} を最適化対象に、時間応答に対する評価とシステムのロバスト安定性評価を実施す

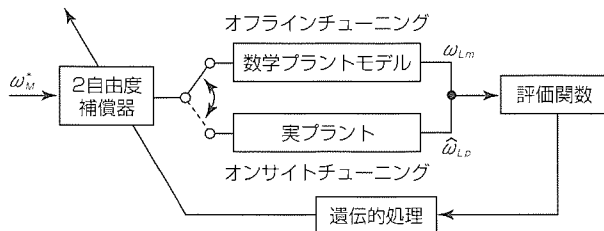


図11. GAによるオフライン／オンサイトチューニング処理概要

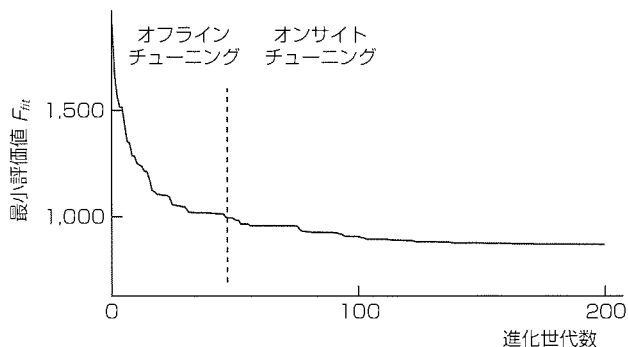


図12. 進化世代に対する最終評価値推移

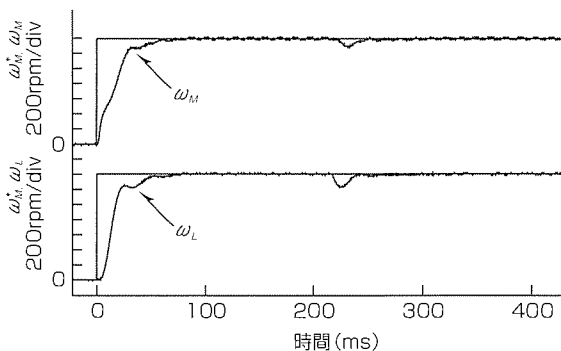


図13. オンサイトチューニング後の速度応答波形

る。あらかじめ指定した評価を得た解候補に対してのみ、実プラント出力 $\hat{\omega}_{Lp}$ を最適化対象とするオンサイトチューニングを実施する。

図12は、200世代のGA処理での最小評価値推移を示す。図中、評価値が1,000を下回った47世代目を境に、オフラインチューニングからオンサイトチューニングへと移行している。移行後も評価値の減少が見られることから、実機特性を加味した補償器パラメータチューニングが実現できている。

図13は、オンサイトパラメータチューニング後のシステムの速度応答波形を示す。共振振動は見られず、外乱抑圧性能を見るため擬似的に印加した負荷トルク外乱に対しても速やかに目標速度に収束する優れた制振性能と外乱抑圧性能が実現できている。

5. む す び

本稿では、GAという同一ユーザーインタフェースの下、システム同定から2自由度位置決め制御系設計、補償器パ

ラメータのオンサイトチューニングに至るまでの、制御系設計にかかわるすべての自律最適化手法について述べた。紙面の都合上概略を述べるのみとなったが、関連する発表論文を参考にされたい。

参考文献

- (1) Iwasaki, M., et al.: Fuzzy Inference-Based On-Line Control Gain Tuning for Servo Drive System, Conference Record of 1997 IEEE Industry Applications Conference Annual Meeting, 593~598 (1997)
- (2) Iwasaki, M., et al.: Analysis and Compensation for Dynamic Nonlinear Friction using Neural Network, Proc. of International Power Electronics Conference IPEC-Tokyo 2000, 1, 584~589 (2000)
- (3) 岩崎 誠, ほか: テーブル駆動系におけるGMDHによる非線形摩擦の自律モデリングと補償, 電気学会論文誌C, 120-C, No.1, 20~26 (2000)
- (4) Matsui, N.: Applications of Soft Computing to Motion Control, Proc. of 5th International Workshop on Advanced Motion Control, 272~281 (1998)
- (5) Iwasaki, M., et al.: Autonomous Identification of Motion Control System using Genetic Algorithms, Proc. of International Workshop on Soft Computing in Industry, 377~382 (1999)
- (6) 伊藤和晃, ほか: 既約分解表現に基づく2自由度位置決め制御系のGAによる自律設計, 電気学会論文誌D, 投稿中
- (7) 伊藤和晃, ほか: 遺伝的アルゴリズムによるロバスト制振補償器の自律設計, 精密工学会誌, 66, No.10, 1558~1563 (2000)



汎用ACサーボの制振制御機能

松本浩輝* 磯田隆司*
 長野鉄明*
 寺田 啓*

要 旨

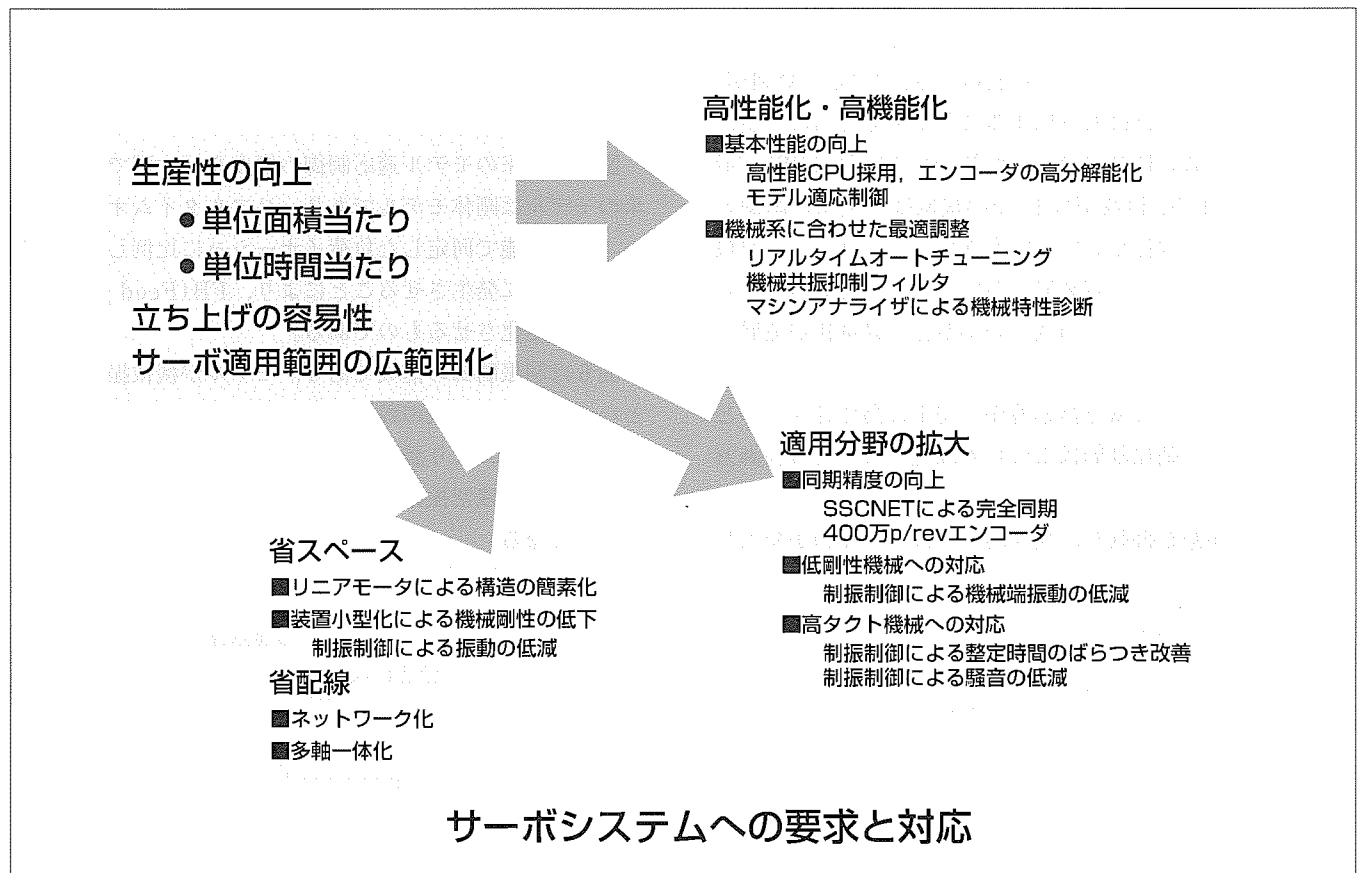
汎用ACサーボは現在様々な装置に適用されており、顧客装置の製品力向上に向けて様々な開発を実施してきた。

- サーボアンプの高性能化・高機能化
 - 高性能CPUの採用
 - モデル適応制御
 - リアルタイムオートチューニング機能
 - 機械共振抑制フィルタ
 - マシンアナライザによる機械周波数特性診断
- サーボモータの高性能化
 - 13万p/rev絶対位置検出器標準対応
 - 400万p/rev検出器対応
- 省スペース化を実現するリニアサーボシステム
- 高機能モーションコントローラ

SSCNETによる省配線システム、同期運転精度の向上

- 汎用バスシステムに対応したポジションボード
 - 用途・装置の特徴に応じたサーボ制御方式
- 近年、顧客装置の高性能化や小型化、低剛性化が進展している。制振制御はこれに対応した制御方式であり、以下の特長を持っている。
- 移動した後の残留振動を低減する。
 - 移動距離による整定時間のばらつきを低減する。
 - 移動時の騒音を低減する。

制振制御は、顧客装置の性能向上に大きく貢献し、高い評価を得たサーボ制御方式である。



サーボシステムへの要求と対応

サーボシステムは、顧客から、生産性の向上、立ち上げの容易性が求められ、また、性能面の特徴から適用範囲も様々な分野に広がってきた。単位時間当たりの生産性向上としてサーボシステムの基本性能の向上、単位面積当たりの生産性として省スペース、省配線に取り組んできた。制振制御は、低剛性機械へと適用分野を拡大するために開発した制御方式であり、機械端の振動低減に大きく貢献する。

1. ま え が き

汎用ACサーボは現在様々な装置に適用されており、代表的な用途として半導体製造装置や検査装置、部品実装装置、ロボット、印刷機、射出成形機などがある。いずれの用途においても各装置メーカーの生き残りをかけた性能アップ、機能アップが急速であり、機械の高性能化のためにACサーボにも高性能・高機能が要求されている。ACサーボの高応答性については要素技術として継続して開発されてきており、速度周波数応答で500Hzを超える機種も一般的になり、モータの制御性能の高応答化にはある程度目処がついてきた。

また、機械系の考慮した制御として“モデル適応制御”や“リアルタイムオートチューニング機能”があり、負荷慣性モーメントを同定し適正なゲインを設定することにより、装置性能を引き出す調整を容易にした。さらに“機械共振抑制フィルタ”や“アダプティブ制振制御”により150Hz以上の固有振動数を持つ機械についても安定に制御する方式を他社に先駆けて投入してきた。

装置全体の性能を見たとき、機械の特徴に応じて適用する制御方式を選択し最大の性能を引き出すことも重要である。

図1に機械の特徴と制御方式について示す。機械の特性として機械の剛性と外乱の大きさを用いている。例えば、機械の剛性が高く外乱の少ない装置では、“整定ゼロ制御”により整定時間をほぼゼロにすることが可能である。逆に、機械の剛性が低い機械には、今回紹介する“制振制御”が最適である。固有振動数が数十Hzの機械は、従来の制御方式ではモータ端は停止していても機械端は揺れている現象が発生する。また、顧客装置においても、単位面積当たりの生産性をアップするため装置の小型化・軽量化が進展し、更に機械の剛性が低下する傾向がある。このような市場環境の中、低剛性の機械を高応答かつ安定に動作させることが課題であり、制振制御はこれらの課題にこたえる制御方式である。

機械端の振動を抑制し、従来制御では残留振動が発生し

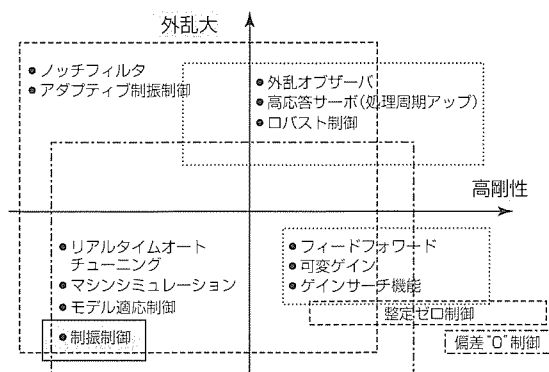


図1. 機械系とサーボ制御

停止しなかった機械も安定に動作させることを可能にする。さらに、高応答な装置でも移動距離による整定特性のばらつきが発生し制御パラメータの調整に時間がかかるという課題に対し、制振制御の適用により整定時間のばらつきを低減しトータル性能の向上に貢献する。

2. 制振制御の概要

制振制御は、移動完了時の残留振動を抑制し、整定特性を向上する制御方式である。

図2は実験に使用した低剛性機械の例である。機械端と架台がバネ支持された構成であり、サーボモータを駆動しテーブルを駆動すると、移動完了時に機械端と架台に同時に振動が発生する。

図3は従来制御の場合の移動完了時の残留振動波形、図4は制振制御を適用した場合の移動完了時の残留振動波形である。従来制御では、移動完了時に機械端及び架台で発生した残留振動が制振制御により低減されると同時に、整定時間の短縮にも効果があることが分かる。

顧客装置においても同様に、装置を構成する機械に様々な振動モードがあり、固有振動数が存在する。また、サーボモータを駆動する指令には様々な周波数成分が含まれ、その周波数成分が機械の固有振動数を加振することにより共振現象が発生し、移動完了後も残留振動となって現れる。制振制御の基本原理は、機械を共振させる周波数成分を遮断し機械を振動させないことにある。

図5は従来のモデル適応制御の構成を示す図である。従来のモデルは剛体モデルであり、リアルタイムオートチューニング機能で同定した負荷イナーシャに比例したトルクを加減速時に発生させることにより、FB(Feed Back)制御部を安定化させるものである。

図6は制振制御の構成であり、モデルが機械振動モデルとなっている。機械の残留振動は指令に含まれる機械の固有振動数成分により誘発されるが、この機械振動モデルの適用により、残留振動を誘発させずに機械を駆動することが可能となる。

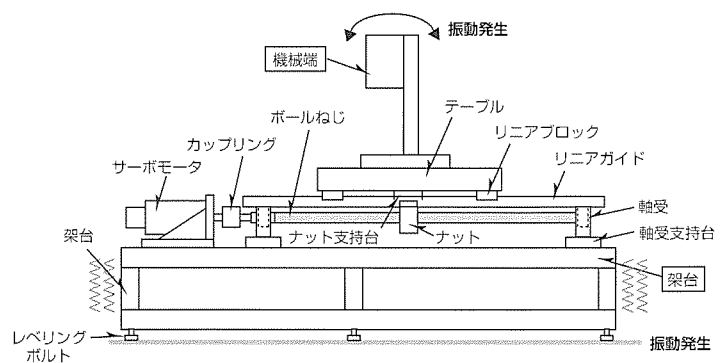


図2. 低剛性機械の例

3. 制振制御の効果

図4では、機械端の残留振動が抑制されていると同時に、架台の機械振動も抑制されていることが分かる。

機械端の残留振動の抑制は、装置の位置決め精度の向上や整定時間の短縮に寄与し、装置としてのタクトアップに貢献する。

架台の機械振動の抑制は、架台に取り付けられた装置の他の部分における振動の発生抑制に効果があるとともに、床を通じた他の装置への振動伝達の抑制にも効果がある。

図7に、移動距離によるばらつきの低減効果を示す。

従来制御の場合には、移動距離により、残留振動や整定時間が大きく影響を受ける。例えば、移動時の加速時間と減速時間が機械の固有振動数と一致した場合に、移動指令に含まれる機械を振動させる周波数の振幅が最大になり大きな残留振動を誘発し、整定特性が最悪となる。逆に、この最悪の条件から移動距離を変更したり加減速時間を変更すると、整定特性は改善されていく。

図7は、機械の固有振動数と移動指令に含まれる基本周波数が一致した場合の整定波形である。図の(a)は従来制御であり、機械の固有振動数と移動指令に含まれる基本周波数が一致し大きな残留振動が発生し、整定時間への影響が大きい。一方、図の(b)は制振制御を適用した場合であり、残留振動もほとんどなく整定していることが分かる。

高頻度の位置決めが必要な装置では、整定時間が装置性能に大きく影響する。前述のように移動指令に含まれる基本周波数と機械の固有振動数が一致した場合に特性が悪化する等の課題があり、指令パターンを変更したりして調整に大きな時間を要していたが、制振制御の適用によりばら

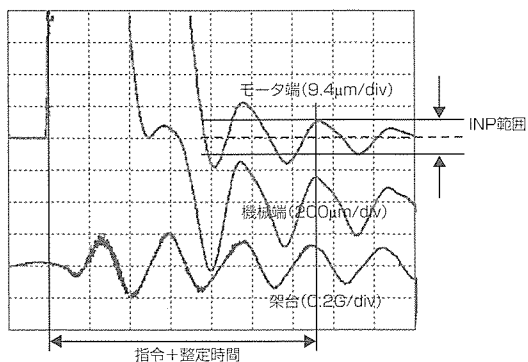


図3. 従来制御の場合の整定波形

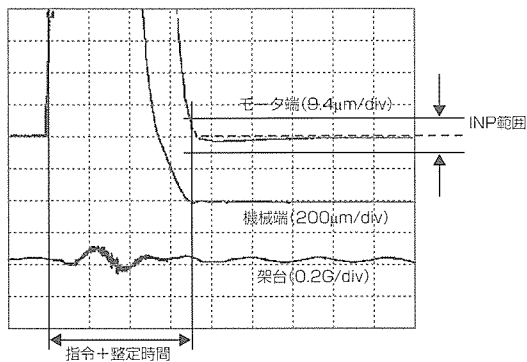


図4. 制振制御の場合の整定波形

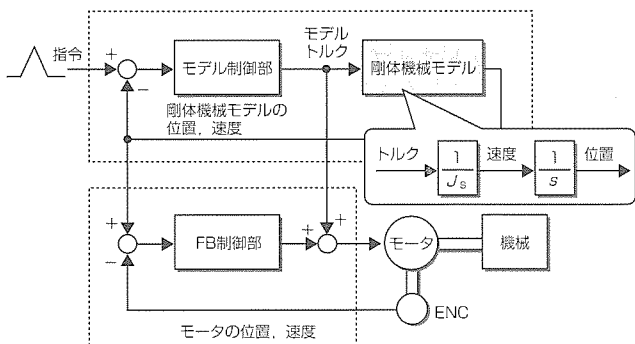


図5. 従来のモデル適応制御の構成

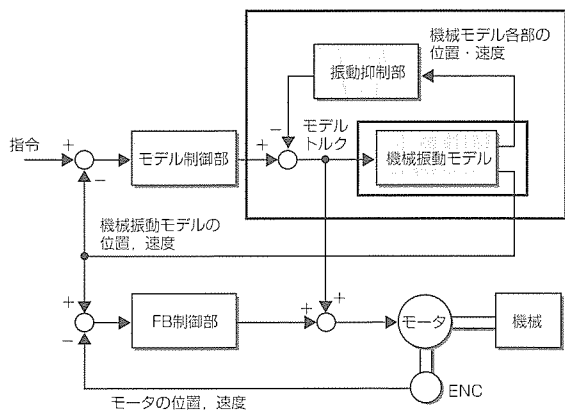
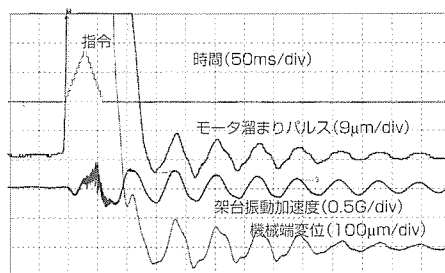
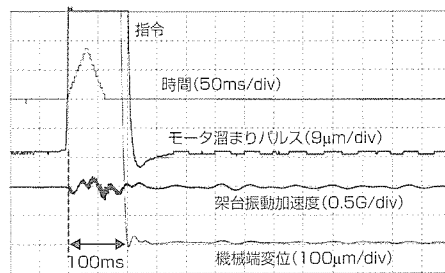


図6. 制振制御の構成



(a) 従来制御



(b) 制振制御

図7. 移動距離による整定ばらつきの低減

つきが少なくなり調整が容易になるという効果がある。

また、図1では制振制御は低剛性の機械に最適な制御方式と述べたが、移動距離によるばらつきの低減という意味では、高剛性の機械にも有効な制御方法である。高剛性なXYテーブルにおいても振動は発生し、その振動が装置の性能に影響する場合がある。振動の原因としては、移動にかかる力の作用点と移動物の重心が一致していないことである。力の作用点と重心の不一致はXYテーブルの位置が変化すれば必ず発生し、移動によりモーメント力が発生しピッチングがヨーイング等の振動の原因となる。振動の周波数自体は高いが、残留振動の発生の度合いにより移動距離により整定時間のばらつきが大きいという課題は同様である。

制振制御では200Hzを超えるような振動についても適応可能な制御方式である。

ロボットアームへの適用事例で別の効果を紹介する。

図8はロボットアームのモデルである。ロボットアームは通常アーム長が長く、アームの支持部とアームの重心までの距離が長いので、機械の固有振動数が低いという特徴がある。また、アーム移動時の駆動力の作用点はアームの支持部付近であり、駆動するための力の作用点とアーム重心との距離が離れているため、移動により必ずモーメント力が働き、これが振動の原因となる。移動により必ず発生するモーメント力と低い固有振動数がアームを大きく振動させる要因である。

図9はロボットアームを移動させたときの整定特性を従来制御と制振制御で比較したものである。

従来制御ではモータが停止した後もアームの先端が揺れていたものが、制振制御の適用により振動の抑制ができています。これに加えて、この波形の特徴としては、従来制御でもモータ端が振動していないにもかかわらずアームの先端が揺れるような振動モード、つまりアームの先端の揺

れがモータに伝わらないような振動モードがこのような機械では存在し、振動がモータまで伝達されないため、いったん機械端が揺れ始めたときにはモータを制御することでは振動を止めることができないことを意味する。制振制御では、このような振動モードでも機械端の振動抑制が可能であることを意味している。

4. 制振制御の調整方法

制振制御は振動系を含んだモデルを決定することが重要であるが、これを表現する方法として、質量/剛性の組合せで表現する方法と、モータから見たイナーシャ/周波数の組合せで表現する方法がある。今回は、イナーシャがサーボアンプに内蔵しているリアルタイムオートチューニング機能により同定できることと、機械端の振動の周波数を観測することが容易であることから、後者の組合せを採用した。

以下に、制振制御の設定方法について述べる(図10、図11)。

制振制御は、現在、制振制御専用サーボアンプにより実現し、パラメータ設定は制振制御専用のセットアップソフトウェアにより実施する。

機械端の振動周波数は加速度ピックアップやレーザ変位計等で測定を実施し、残留振動の周波数を特定する。

さらに、マシンアナライザ機能を実施することにより、モータから見た機械特性を測定する。マシンアナライザ機能は標準のセットアップソフトウェアにも標準搭載された機能であり、モータにより機械を加振し、モータ速度を検出することにより、機械の周波数特性を解析するものである。機械端の残留振動と一致するマシンアナライザの波形から反共振点を探し、また、反共振点に近い共振点をマシンアナライザの波形から測定する。

これにリアルタイムオートチューニングで同定した負荷

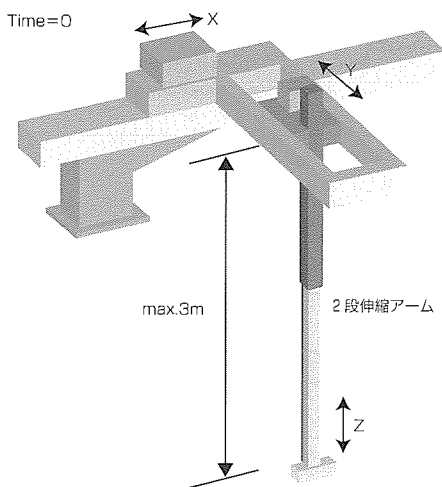


図8. ロボットアームのモデル

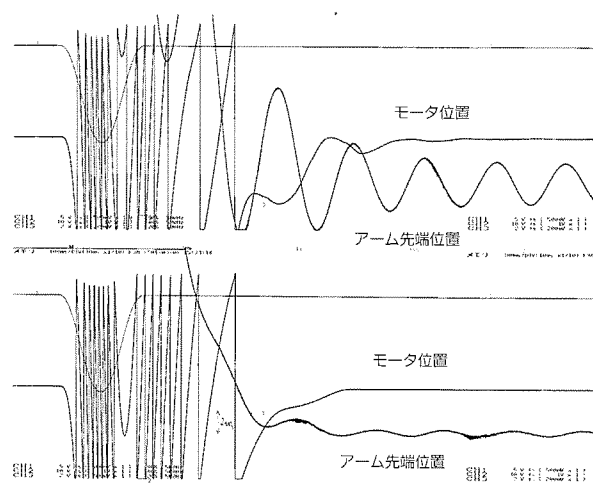


図9. ロボットアームの整定特性例

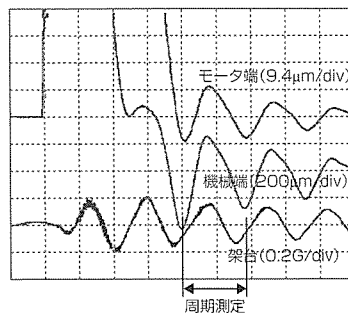
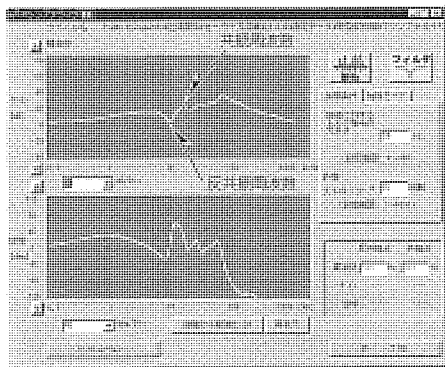


図10. 制振制御の調整, 振動成分の測定

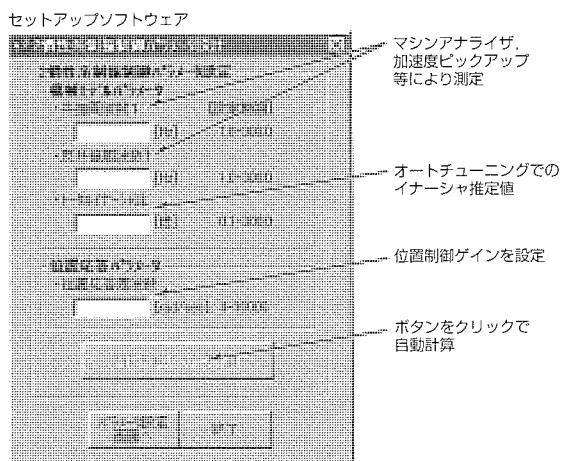


図11. 制振制御の設定方法

イナーシャ比と位置制御ゲインを設定する。以上をセットアップソフトウェアに設定することにより、制振制御用のパラメータを自動計算し、これをサーボアンプに書き込む。

5. む す び

機械の残留振動を低減し装置全体の性能向上に貢献する制御方式として制振制御を開発し、その概要を紹介した。

この制御は“MR-J2-Super”の特殊品として展開し、ユーザーからも高い評価を得ている。今後、更に高性能化・高機能化した制振制御を開発し装置の性能向上に努めていく予定である。

印刷機対応制御機能

西村 眞*
上田浩一郎**

要 旨

従来機械的にシャフトとギヤで連結されていた印刷軸を個別の印刷軸に直接モータを接続して各モータを高精度に同期制御する技術が注目を浴びるようになった。

その理由としては、機械部品の削減、精度の向上、印刷のフレキシブル性などが挙げられる。

高精度同期を実現するための課題は、“高負荷イナーシャ低剛性機械の外乱抑制”である。

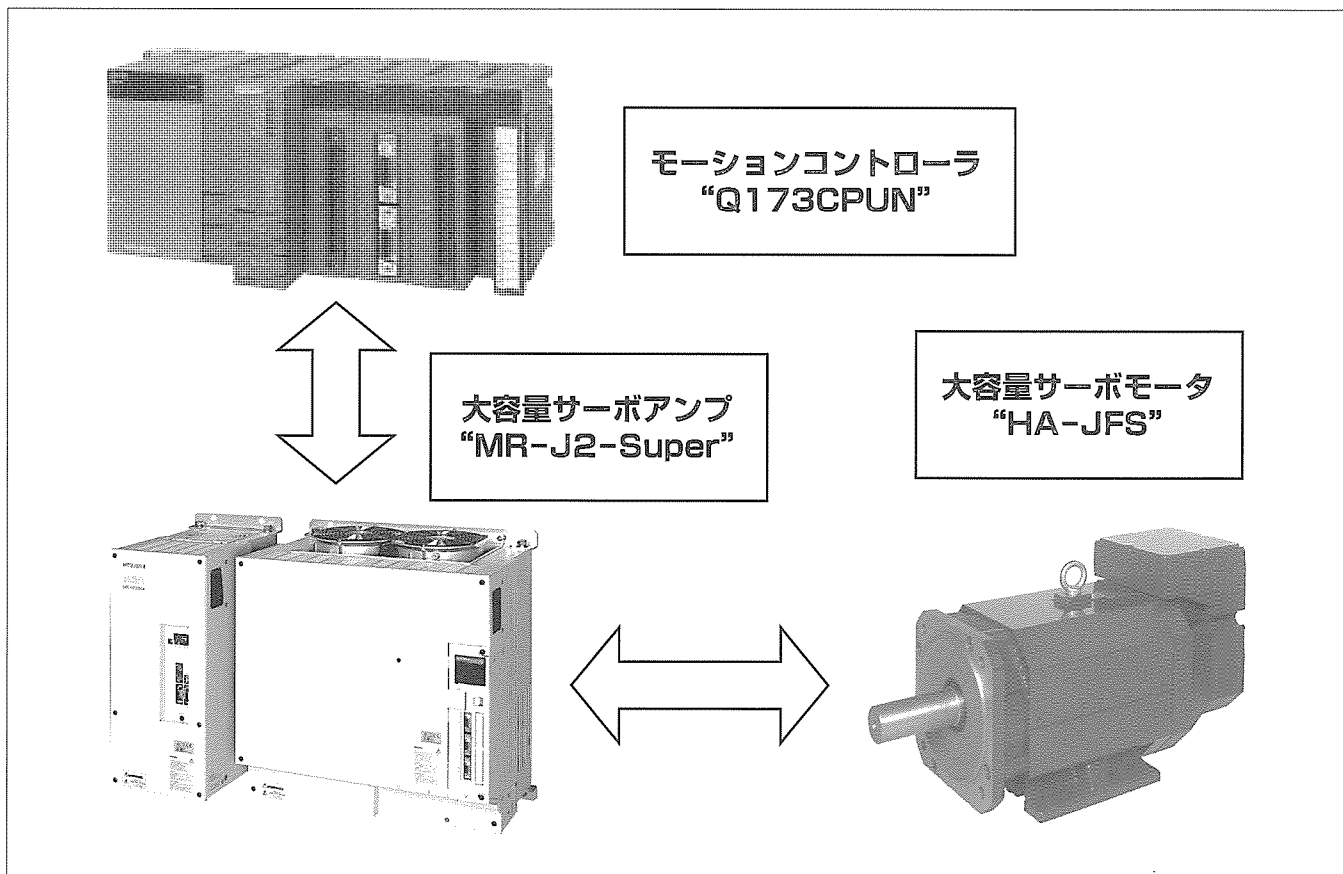
その課題に対して、以下の4項目の開発を実施した。

- (1) 大容量サーボアンプの高性能化
- (2) エンコーダの高分解能化

- (3) 大容量サーボモータの高イナーシャ化
- (4) 外乱抑制制御アルゴリズムの確立

また、印刷機特有の制御機能に対応するためにメカサボート言語の改良を行い、さらに、保守、メンテナンスの面でも改良を行った。

本稿では、シャフトレス新聞輪転機を例として高精度同期に適用するためにモーションコントローラ(Q173 CPUN)、大容量サーボアンプ(MR-J2-Super)、大容量サーボモータ(HA-JFS)で実施した開発内容について、その概要を紹介する。



モーションコントローラ“Q173CPUN”と大容量ACサーボアンプ“MR-J2-Super”及び大容量ACサーボモータ“HA-JFS”

セクショナル新聞輪転機において、高精度同期という課題に対してモーションコントローラ、サーボアンプ、サーボモータそれぞれで改良を行い、エンドユーザーで本稼働を開始した。

1. ま え が き

印刷機械は、今まで、1台のモータの動力を1本のシャフトからギヤ、クラッチを介して版胴やインク元、折機を駆動させていた。最近になって、そのシャフトを排除して個々の駆動部分にモータを分散配置するシャフトレス化のための高精度同期制御が注目を浴びるようになった。

セクショナル化によるメリットを以下に示す。

- フレキシブルな印刷が可能
- シャフトねじれに起因する印刷ずれの解消
- 機械設置作業の簡単化
- 機械部品の削減
- 印刷速度の高速化

また、以下のドライブ技術の進歩により要求精度を実現できる性能がそろってきた。

- サーボアンプの処理速度の向上
- エンコーダの高分解能化
- 多軸同期通信技術

また駆動製品の信頼性も向上し、サービスも充実してきた。本稿では、シャフトレス新聞輪転機に適用できるモ-

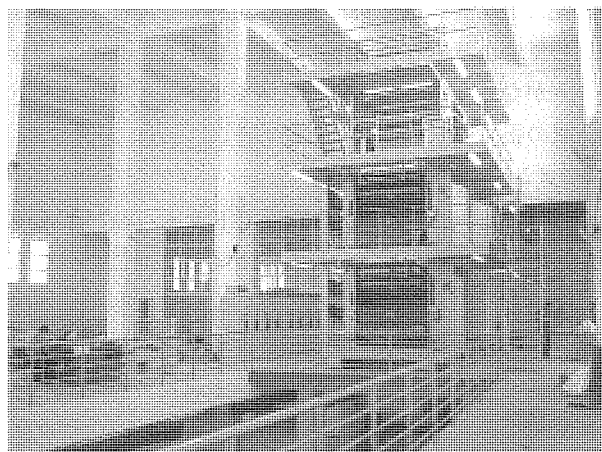


図1. セクショナル新聞輪転機の外観

ションコントローラ(Q173CPUN)、大容量サーボアンプ(MELSERVO-J2-Super)及び大容量サーボモータ(HA-JFS)を開発し、エンドユーザーで本稼働を開始したのでその概要を紹介する。

2. 機 械 構 成

図1はセクショナル新聞輪転機の外観を示し、図2は機械構成を示す。この輪転機は、1タワー当たり4色の表裏印刷を行うために4台の印刷軸用サーボを使用する(ユニットドライブ方式)。

印刷物によってタワーの数が変化し、1~8タワーで構成される。各印刷軸には、版胴を上下/左右方向に微調整できるように4台のサーボを使用している。

3. システム構成

図3に制御系のシステム構成を示す。

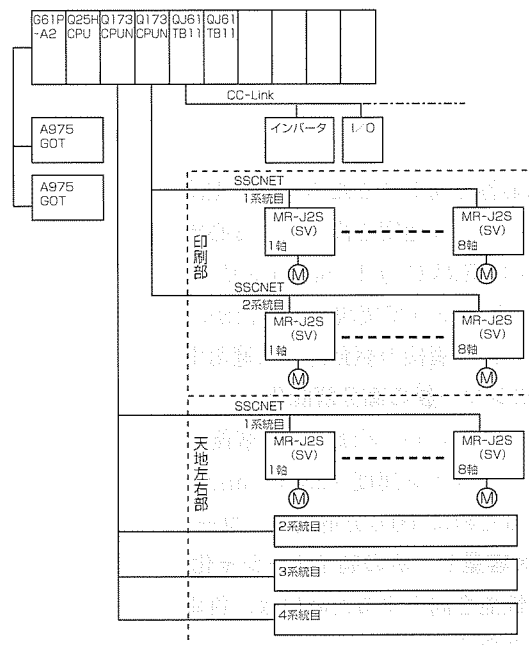


図3. システム構成

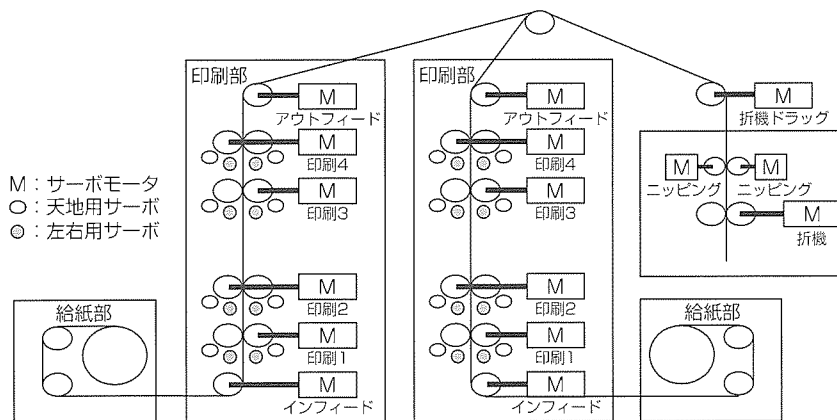


図2. 機械構成

トータル48軸のサーボを同期運転するために、モーションコントローラQ173CPUN 2台とMELSEC-QシリーズシーケンサQ25HCPUのマルチCPU構成である。Q173CPUNにはサーボネットワークであるSSCNET (Servo System Controller NETWORK)で1台当たり最大32軸のサーボが接続されている。2台のQ173CPUNは、Qバスにより同期制御専用信号で接続されている。

サーボのほかにCC-Linkでインバータや入出力ユニットを接続し、操作盤にはA975GOT 2台をQバス接続している。

4. 課題と解決方法

シャフトレス新聞輪転機では、負荷イナーシャ比が数十倍でかつ版のギャップが外乱となるため、ドライブ技術としては“高負荷イナーシャ低剛性機械の外乱抑制制御”が課題となっていた。また、印刷機特有の制御機能の追加やメンテナンス性の向上も必要であった。

その課題に対する解決方法について説明する。

4.1 サーボアンプの高性能化

32ビットRISCマイコンにより従来の4倍の高速処理を実現した大容量サーボアンプを開発した。

外乱応答を向上するためには、電流制御ループ、速度制御ループの処理速度を高速化する必要がある。3.5kW以下ではMELSERVO-J 2-Superシリーズ(以下“MR-J 2Sシリーズ”という。)で実現していたが、今回容量を55kWまで拡大し、印刷機の駆動部分に適用することができた。

4.2 エンコーダの高分解能化

MR-J 2Sシリーズは13万分分解能エンコーダを標準としているが、ライン速度=680m/min、印刷精度=20 μ mを実現するために400万分分解能エンコーダを開発した。

4.3 大容量サーボの高イナーシャ化

制御性能を向上するためには、負荷イナーシャ比が重要な要素となる。

実質の速度応答は速度制御ゲイン/負荷イナーシャ比によって決定されるため、負荷イナーシャ比を下げる必要がある。

また、印刷軸では、直径300mm×幅2,000mmのローラを数本駆動する必要があるため、負荷イナーシャは大きくなる。

そこで、従来のサーボモータよりも高イナーシャのモータを開発した。ただし、モータ寸法は同一で高イナーシャ化を実現したため、機械への取り付けスペースは従来どおりとした。

4.4 外乱抑制制御

高負荷イナーシャ低剛性機械の外乱抑制制御をサーボアンプに搭載したので、無理にゲインを上げなくても外乱を十分抑制できるようになった。詳細については次節で説明する。

4.5 印刷機特有の制御機能追加

コントローラとしては同期運転に適したメカサポート言語を搭載したSSC(サーボシステムコントローラ)があるが、印刷機械に対応させるために以下の改良を行った。

(1) 高速処理が可能なモーションコントローラの開発

MELSEC-QシリーズシーケンサのマルチCPUの一つとして機能するモーションコントローラを開発することにより、0.8ms演算周期を可能とした。また、マルチCPUのため、1CPU当たりの制御軸数は32軸であるが、モーションCPUを3台搭載することにより、最大96軸の同期制御を可能とした。印刷機械では、50軸以上の同期制御が必要とされている。

(2) 駆動部の切り離し

印刷物の仕様によっては、ある駆動部を休止させるためにその部分だけ電源を切る。その場合でも残りの軸で同期運転ができるように改良した。また、同期運転中であってもこの機能を可能とした。

(3) 速度制御/トルク制御機能

印刷部は位置制御であるが、紙のテンションを一定に維持するためのインフィード、アウトフィード部は速度制御とトルク制御が必要である。そのため、メカサポート言語に速度/トルク制御モジュールを追加した。従来アナログ制御していた部分をデジタル制御に変更したため、指令ドリフトがなくなりかつ指令分解能を上げることができたので、紙の張力変動の抑制に貢献した。

4.6 メンテナンス性の向上

SSCNETでは、コントローラでドライブのパラメータを一括管理し、電源投入時に各ドライブに通信でパラメータを転送しているため、ドライブの交換時でもドライブ側でのパラメータ設定は一切必要がなかった。

今回は、コントローラの交換時にも設定データやパラメータを簡単にダウンロードできるように、FLASHカードへのアップロード、FLASHカードからのダウンロードを可能とした。これらの機能により、エンドユーザーでユニットを交換するときに、パソコンを準備しなくてもデータの転送が可能になった。また、コントローラのプログラムやパラメータの変更時にも、機械メーカーからFLASHカードをエンドユーザーに送れば簡単に変更ができるようになった。

5. 外乱抑制制御

色ずれの少ない高精度な多色印刷を行うためには、運転時に複数軸の動作を一致させる同期制御技術が必要である。特に、一定速度運転時における溜(ため)パルス(位置偏差)を軸間で一致させておくことが重要である。同期精度を向上させるためには、各軸に生じる溜パルス変動をなるべく小さく保たなければならない。

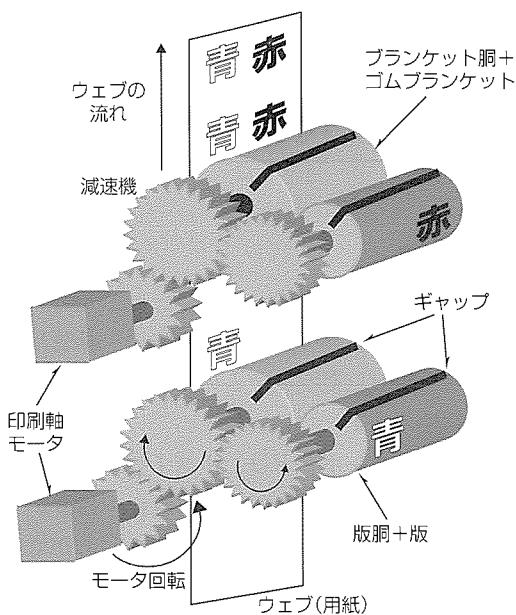


図4. 印刷軸サーボ機構(表印刷部のみ)

図4は、図2の印刷部・印刷軸部分を表す図(表印刷部分のみ表示)である。版胴及びブランケット胴と呼ばれるローラに、それぞれ版とゴムブランケットが巻き付けてある。版のインキをいったんゴムブランケットに転写し、それをさらにウェブ(用紙)に転写することにより、印刷を行う(オフセット方式)。版とゴムブランケットをローラに巻き付ける際、ローラに設けてあるギャップに、版とゴムブランケットの両端を埋め込む構造となっている。しかし、このギャップは、ローラー回転につき一回の周期的な外乱となって溜パルス変動を発生させる大きな要因となる。溜パルス変動により色ずれや印刷精度の劣化が生じるため、印刷機械におけるモータ制御には、このような外乱を十分に除去する機能が求められる。

図4では省略して図示しているが、印刷軸モータはウェブ裏面を印刷するブランケット胴、版胴も駆動する。この結果、多くの減速機が結合される機械系となるため、印刷機械は一般に機械剛性を高くするのが困難である。さらに、前述のように印刷機械は、モータに対する負荷イナーシャ比が大きい。また、減速機のバックラッシュも小さいとは言えない。このような機械系に対し、PI (Proportion Integration) 制御などの従来制御方式では、高い周波数で振動する発振現象を生じやすく、ゲインを十分に大きくできないため外乱を除去することが困難であった。

そこで、低剛性かつバックラッシュが存在する機械に対しても安定に外乱を抑制することができるロバスト外乱抑制制御機能を新たに開発した。この制御方式は、外乱抑制制御器を従来制御器に付加的に用いることを特長としている(図5)。この方式により、従来制御器のゲインをさほど大きくせず安定性を保ったまま溜パルス変動を大幅に低減す

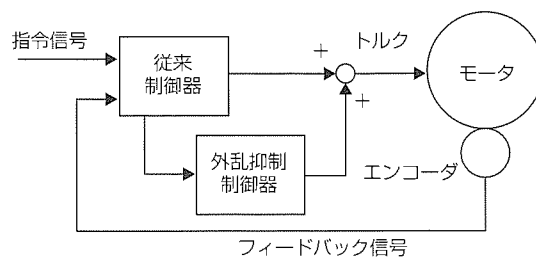


図5. 外乱抑制制御の構成

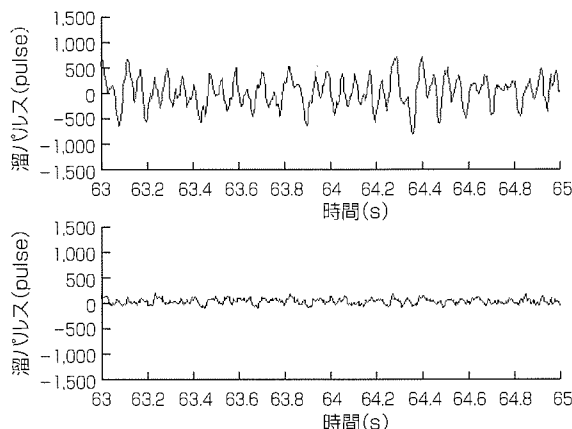


図6. 従来制御(上)と外乱抑制制御(下)の比較

ることが可能になった。

図6に、印刷機運転時(モータは一定回転速度で運転)の従来制御方式を用いた場合と、今回開発した外乱抑制制御方式を用いた場合の溜パルス変動の比較を示す。従来制御方式を用いたときに比べて、今回開発した外乱抑制制御を適用したときは、溜パルス変動幅が大幅に小さくなっていることが分かる。これにより、同期精度を大幅に向上させることが可能となった。

6. む す び

本稿では、当社高精度同期制御技術をセクショナル新聞輪転機に適用した例を紹介し、課題に対する解決方法を説明した。

今後は、新聞輪転機以外の印刷機械にも適用を拡大することにより、当社の同期制御技術を更に一歩進める努力を続けていきたい。最後に、このシステムを完成させるに当たって西研グラフィックス(株)に多大のご協力をいただいたことに感謝する。

参 考 文 献

- (1) 泉 和人：新・印刷機械入門，印刷学会出版部(2001)
- (2) 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.9，661～664(1999)

汎用バス対応コントローラ — SSCNETとポジションボードの特長 —

世木逸雄*
原田保信*

要 旨

液晶製造装置や半導体製造装置を始め各種装置のコントローラは、パソコンやボードコンピュータシステムを活用した汎用バス対応のコントローラが多く、アプリケーション開発にC言語等の汎用プログラム言語を使用している。このような用途に適応したコントローラとして、新たに汎用バス規格の位置決めコントローラ(ポジションボード)を開発した。

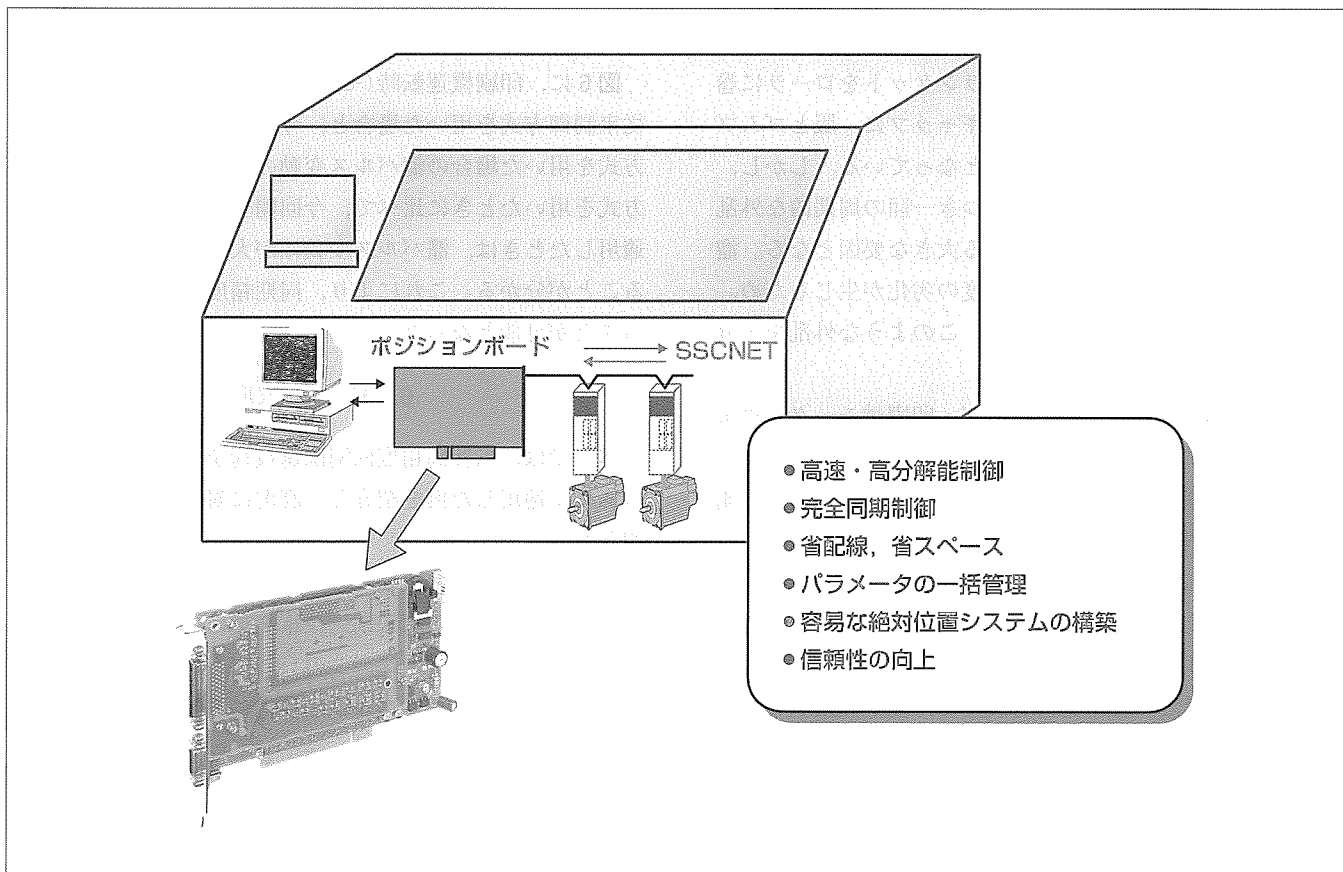
ポジションボードは、三菱電機のリアルタイムの高速モーションネットワーク(SSCNET)により、従来のパルス列方式では実現困難な次の課題を解決している。

- 高速・高分解能制御の実現
- コントローラと各サーボアンプの完全同期制御の実現

- 省配線, 省スペース
- コントローラ側でのパラメータの一括管理
- 容易な絶対位置システムの構築
- 信頼性の向上

また、ポジションボードは、ホストコントローラとのインタフェースに2ポートRAMを使用し、指令データの設定及びステータス取得で容易に位置決め制御ができるようになっている。

さらに、6軸/1チャンネル分の基本的な位置決め機能を1個のCPUでモジュール化し、このモジュールを複数組み合わせることで、軸数及び機能の拡張をフレキシブルに実現できるようにした。



汎用バスコントローラのイメージ

液晶製造装置や半導体製造装置等の機械システムにSSCNET対応のポジションボードを活用することで、装置システムに要求される“高速・高分解能制御”や“完全同期制御”“省配線, 省スペース”等を実現できる。

1. ま え が き

液晶製造装置や半導体製造装置を始め各種装置のコントローラは、パソコンやボードコンピュータシステムを活用した汎用バス対応のコントローラが多く、アプリケーション開発にC言語等のプログラム言語を使用している。このような用途に適応したコントローラとして、新たに汎用バス規格の位置決めコントローラ(ポジションボード)を開発した。

昨今、開発期間の短縮、メンテナンス性の向上、コストダウンのため汎用バスシステムが採用される傾向にあり、ポジションボードも、VME(Versa Module Europe)バス、ISA(Industrial Standard Architecture)バス、PCI(Peripheral Component Interconnect)バス、CompactPCIバスに対応した機種をラインアップした。

ポジションボードは、三菱電機のリアルタイムの高速モーションネットワーク(SSCNET)により従来のパルス列方式では実現困難な機能・性能向上を実現しており、モーション制御を意識せずに簡単にかつ高速・高精度な位置決め制御を実現している。

本稿では、SSCNETとポジションボードについて紹介する。

2. SSCNETとポジションボードの特長

ポジションボードは、図1のように、SSCNETでサーボアンプへ位置指令データと状態データ(フィードバック位置)を一定周期ごとに送受信し、サーボの位置決めをリアルタイムに行う。

また、SSCNETの特長は次のとおりであり、ポジションボードの特長ともなっている。

(1) 高速高分解能の制御が可能

位置指令をデータで送信するため、指令周波数に限界がなく、サーボアンプの性能をそのまま引き出せる。

(2) 各サーボアンプの完全同期制御が可能

ポジションボードと各サーボアンプの制御周期が完全同期しており、精度の高い補間制御や同期制御が可能である。

(3) 省配線、省スペース

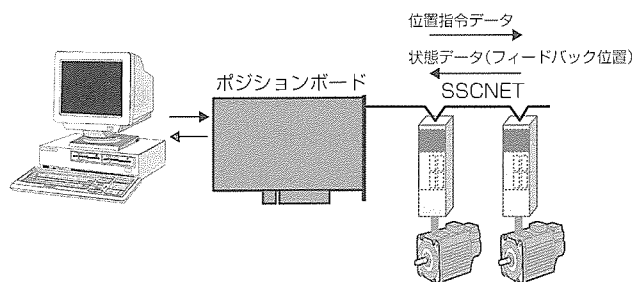


図1. ポジションボードの構成

ボード1枚当たりのサーボアンプの制御軸数がパルス列方式に比べ多く、配線ケーブルもSSCNETでは1本である。

(4) コントローラ側でのパラメータの一括管理が可能

コントローラ、サーボアンプ間の双方向通信により各軸のサーボアンプのパラメータ等を一括管理できる。

(5) 絶対位置システムの構築が容易

コントローラが絶対位置データを管理することで、容易に絶対位置システムを構築できる。

(6) 信頼性の向上

HDLCが持つCRCのエラーチェック機能で通信データの信頼性が向上する。また、常にフィードバック位置情報を管理することで、運転中、急に非常停止状態になっても、非常停止位置からの運転再開が可能である。

3. SSCNET

SSCNETは、物理層にRS-485(メタルケーブル)を使用し、データリンク層はHDLCに準拠した全二重通信の三菱電機独自のモーション用ネットワークである。

SSCNETには、通信周期が3.555msのSSCNET Iと0.888msのSSCNET IIの2種類がある。通信周期が3.555msである既存のSSCNET通信LSIを流用して、通信周期を高速にするため、通信データの構成やデータ量等プロトコルを最適化した。制御軸数はSSCNET IIでは6軸とし、8軸のSSCNET Iと用途に応じて使い分ける。表1にSSCNETの概要を示す。

SSCNETにおけるデータ送信の様子を図2に示す。ポジションボードとサーボアンプ間のデータの送信の手順は次のとおりである。

- ① ポジションボードとサーボアンプの通信クロックを同期させた後、ポジションボード側で位置指令データを生成しSSCNET通信LSIへ書き込む。
- ② SSCNET通信LSIは、SSCNETケーブル上へデータをブロードキャストで送出し、各サーボアンプは自分の位置指令データを取り込む。
- ③ 各サーボアンプは、位置指令データに従って同時に位置制御を行う。

このように、SSCNETは、複数のサーボアンプが必ず

表1. SSCNETの概要

名称 項目	SSCNET I	SSCNET II
伝送速度	5.625Mbps	5.625Mbps
通信周期	3.555ms	0.888ms
制御軸数	8軸/チャンネル×nチャンネル	6軸/チャンネル×nチャンネル
伝送距離	総延長：30m	
物理媒体	メタル	
通信形態	マルチドロップ、全二重通信	

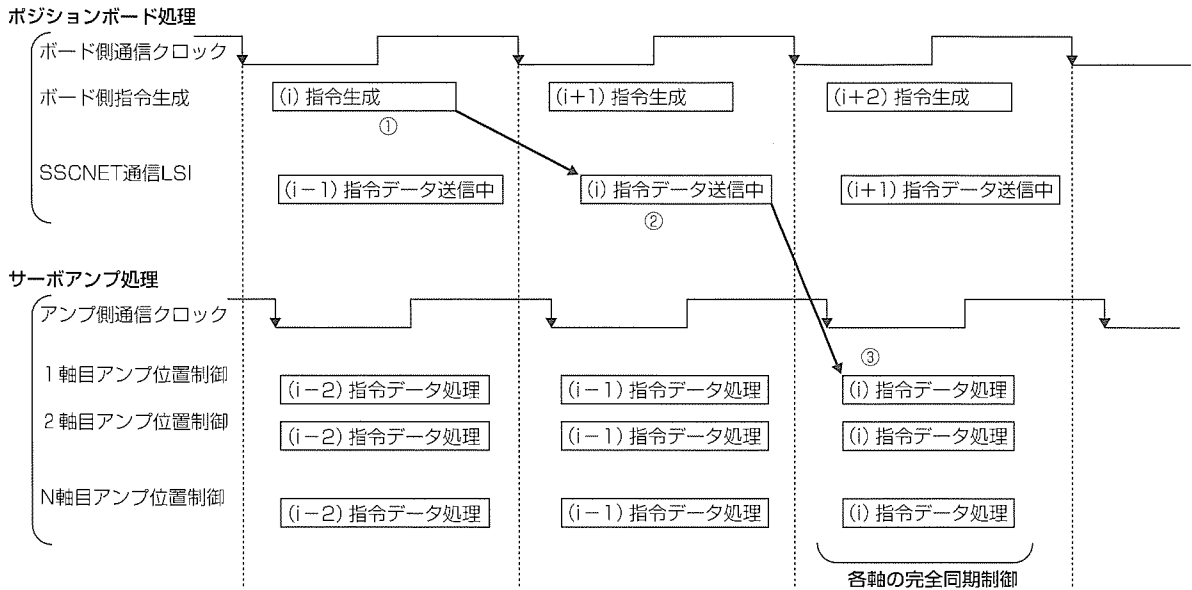


図 2. SSCNETのデータ送信フロー

同じタイミングで位置制御が可能のため、パルス列では困難であった完全同期処理が実現できる。

また、ネットワークにより、位置指令を数値データそのもので送信できるため、指令周波数の制限がなくサーボ性能を最大限に引き出すことが可能である。

さらに、双方向全二重通信により、位置指令送信と同時にサーボアンプのパラメータやステータスを受信し上位で管理することができる。

4. ポジションボード

4.1 ポジションボードの概要

ポジションボードは、パソコン等のホストコントローラのユーザープログラム上からSSCNETを介してサーボアンプを制御するためのボード型コントローラである。表2にポジションボードの機能一覧を示す。

各種汎用バスに対応した機種からなり、バスインタフェースと制御軸数や制御周期(SSCNETのバージョン)が異なるだけで、どれもほぼ同じ機能を持っている。

図3はポジションボードの機能構成図であり、ポジションボードはPoint to Point位置決め機能を内蔵し、ホストコンピュータとは2ポートRAMを介して通信する。ホストコントローラは、あらかじめ2ポートRAM上のポイントテーブルにポイントごとに位置データ、送り速度、加速時定数、減速時定数を設定しておく。その後、2ポートメモリ経由で起動指令を発行すれば、通信周期(0.888ms)ごとに位置指令値を演算し、SSCNET経由でサーボアンプへ送信しサーボモータの位置制御を行う。サーボアンプからのフィードバック位置やステータスもSSCNET及び2ポートメモリを経由してホストコントローラが知ることができる。

このように、ユーザーは、2ポートRAMに対する下記操作でサーボモータのモーション制御(位置決め制御)を容易に実現できる。

- ポイントテーブルの設定
- 各種パラメータの設定
- 起動指令発行
- ステータス等の取得

なお、ユーザーがポジションボードの制御を上位で簡単にプログラムできるよう、API(Application Programming Interface)関数を準備している。

4.2 ポジションボードアーキテクチャ

SSCNET II対応のポジションボードは、0.888msの制御周期の中で複数軸分のサーボアンプの位置指令演算とモニタ処理等を必ず実施する必要があり、ハードリアルタイム処理が要求される。また、カスタム機能の実現や制御軸数の追加等ユーザーごとに様々な要求に対応していく必要がある。

一般に高速処理の実現は二つの方法がある。

- 高速なマイコン1個で最大軸数分を制御する方法
- 中速のマイコンを複数個使用し並列処理する方法

ポジションボードでは、中速マイコンを複数個使用し並列処理する方法を採用した。1個の中速マイコンとメモリ、SSCNET通信LSIで1チャンネル(6軸分)の制御ユニットとしてモジュール化し、位置決め制御に最小限必要な基本的な機能を実装した。ポジションボードではユーザーニーズに応じてこのモーションモジュール(チャンネル)の数を変更し、また上記基本機能にカスタム機能を追加し、フレキシブルに機能拡張できるようにした。

図4はポジションボードの内部ブロック図であり、独立したモーションモジュール(チャンネル)を複数実装し、上位

表 2. ポジションボードの機能一覧

項目	MR-MC10	MR-MC20	MR-MC21	MR-MC30	MR-MC01
バス仕様	PCI	CompactPCI	CompactPCI	ISA	VME
制御軸数	6 軸 × 2 ch		6 軸 × 4 ch	6 軸 × 2 ch	8 軸 × 1 ch
制御周期	0.888ms				3.555ms
位置指令生成方法	テーブルにあらかじめ設定された位置・速度・加減速時間により、ボード側で位置指令を通信周期ごとに自動演算し、SSCNET経由で各サーボアンプへ送信				
指令パターン	台形(MR-MC01は他に変形台形、トラペクロイド、サイクロイド、任意パターンをサポート)				
モーション機能	JOG運転	起動信号ONの間、無限送りを実行			
	インクリメンタル送り	起動信号ごとに一定量の送りを実行			
	自動運転	ポイントテーブルによるシーケンシャル運転方式			
	直線補間	3 軸まで可能(直線補間時、総軸数は 4 軸/ch、MR-MC01は総軸数は 8 軸/chのまま)			
補助機能	指令変更	位置、速度、加減速時定数のオンライン変更可能			—
	電子ギア	可能			
	非常停止	外部非常停止とソフトウェア非常停止の 2 種類			
	リミットスイッチ	外部リミットスイッチとソフトウェアリミットの 2 種類			
	インタロック	可能			
	粗一致出力	指令残距離がパラメータ以下でビットON			—
	トルク制限	パラメータ(トルク制限値)でトルクを制限			
	バックラッシュ補正	機械系の移動方向反転時の誤差(バックラッシュ)を補正			
	ポジションスイッチ	パラメータ範囲内に移動するとON(割り込み通知)			—
	原点復帰	5 種類			
サーボパラメータ	サーボアンプのパラメータリードライト可能				
モニタ	4 項目/軸をモニタリング可能				
割り込み	割り込み要因発生時にホストへ割り込み出力				

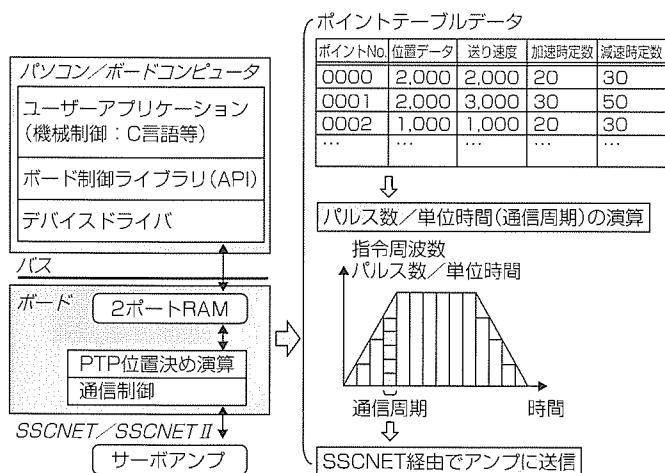


図 3. ポジションボードの機能構成

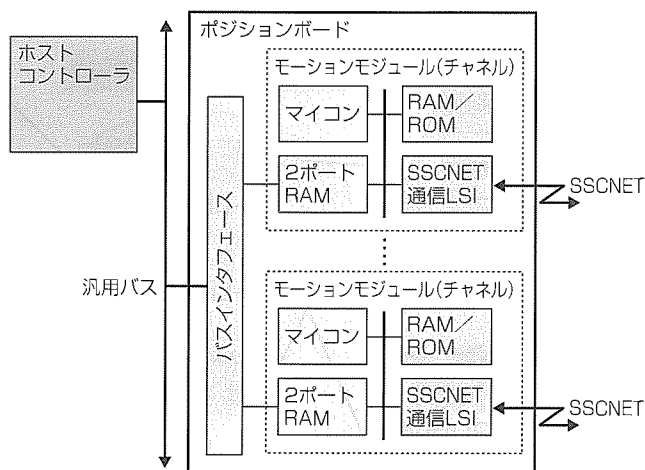


図 4. ポジションボードブロック図

ホストコントローラとは 2ポートRAMを介して通信する。したがって、2ポートRAMと上位ホストコントローラとのインタフェースを変えるだけで、様々な種類のバスに対応できる。

5. む す び

ポジションボードは、種々の汎用バスに対応できる高速モーションネットワーク対応のフレキシブルで付加価値の

高いコントローラであり、市場でも好評を博している。

しかし、ポジションボードの機能向上や軸数の増大、SSCNETの通信速度の高速化等の要求も上がっており、更に高速・高機能を実現するポジションボードが必要となってきている。

今後さらにユーザーニーズに対応した製品作りに努め、ポジションボードの高性能化を図っていく予定である。

オープンフィールドネットワーク “CC-Link”の普及とパートナー製品



原田昭男*

要旨

FA (Factory Automation) システムの最下層を支えるフィールドネットワークCC-Linkは、2000年11月に設立されたその普及促進組織であるCC-Link協会 (CLPA) とともに、21世紀の幕明けから日本“発&初”のオープンネットワークの道を歩んできた。

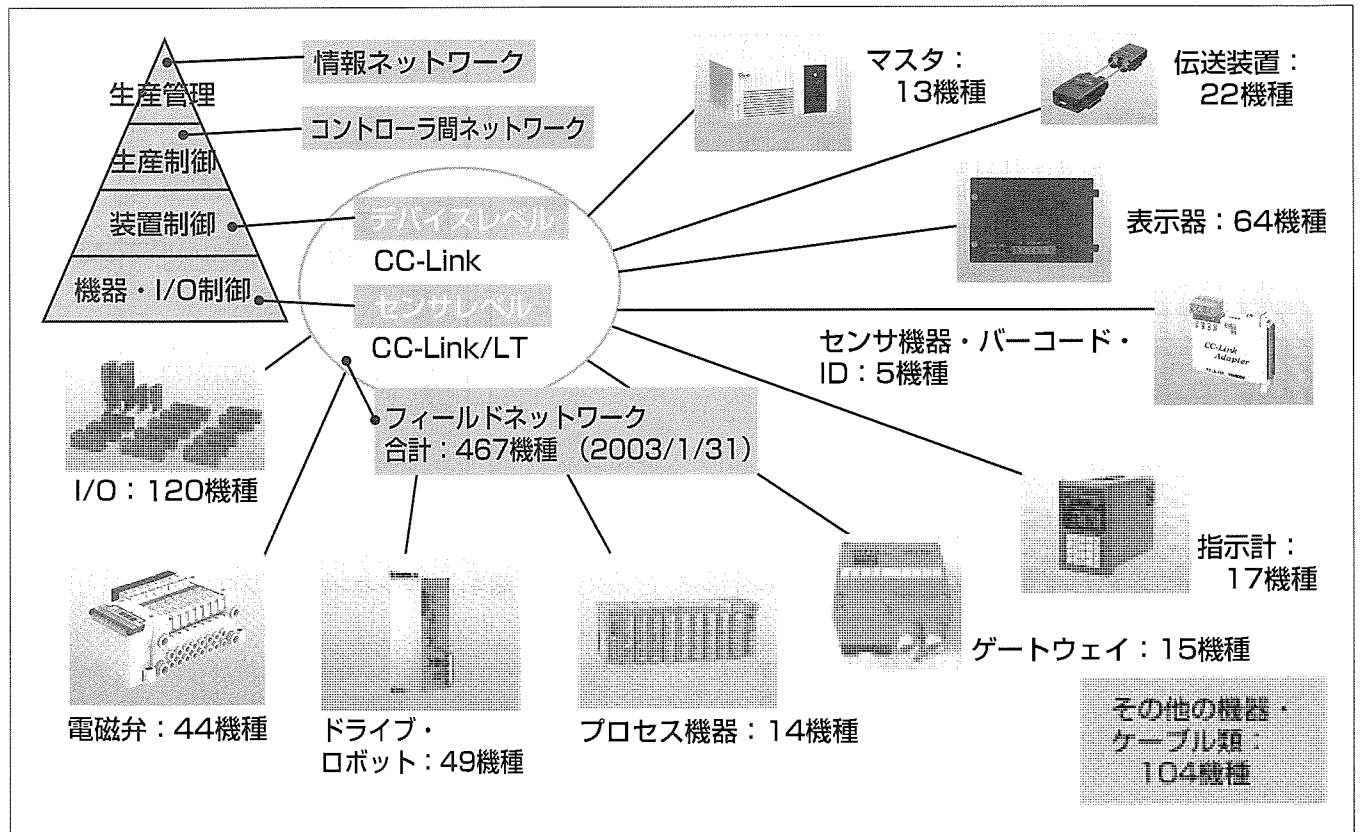
CLPAでは、大学や公的機関との産官学協同体制を構築しつつ、FA関連7社からなる幹事会、マーケティング・テクニカル専門部会、コンフォーマンステスト機関、海外6拠点等を立ち上げ、国内外の主要展示会への出展やセミナー開催、広報活動、CC-Link仕様のパワーアップ等、精力的な活動を展開し成果を上げてきた。

その結果、CLPA発足から約2年が経過した時点でパートナー会員は当初の3倍を超える420社を突破し、接続製品数も467機種まで拡大する伸展を果たすことができた。

パートナー会員企業からのCC-Link接続製品の出荷数も17万台(1999年度)→33万台(2000年度)→44万台(2001年度)と年々増大しており、累計では2001年度に100万の大台を突破し、106万台を記録した。

CLPAの分析では、製造業での省配線やリモートメンテナンスをねらいとしたフィールドネットワークの導入は75%まで急拡大しており、採用機種も複数回答でCC-Linkの41%をトップにDeviceNetが32%、PROFIBUS-DPが11%と、上位をオープンネットワークで占め、オープン化傾向が顕著になっている。

こうした情勢の中、CLPAは、CC-Linkのグローバルスタンダード化を目指し今後も更に精力的な活動を展開していく。



ネットワーク階層におけるCC-Linkの位置付けとパートナー製品群

FAシステムの最下位層を支えるオープンフィールドネットワークであるCC-Link (デバイスレベル) とCC-Link/LT (センサレベル) には、CLPAパートナー企業から467機種 (2003年1月現在) の接続製品が開発され販売されている。CC-Link及びCC-Link/LTは、三菱電機が開発された後、第三者機関であるCC-Link協会 (CLPA) において、その仕様書のリリース及びオープン化とグローバル化のための運営・普及活動が展開されている。

1. ま え が き

CC-Linkは、1996年11月に開発メーカーの三菱電機によってリリースされ、マルチベンダー化が進められてきた。その結果、2000年9月には対応メーカー：134社、接続製品数：290機種を超えるまでに普及し、日本国内のみならず欧・米等の海外からも高い評価を得るまでに伸展した。

この機をとらえて、更なるオープン化と普及促進を図るため2000年11月1日付けでCC-Link協会(英語名: CC-Link Partner Association/略称: CLPA)が設立された。

その後、幹事会社の和泉電気(株)、ウッドヘッドジャパン(株)、(株)コンテック、(株)デジタル、日本電気(株)、松下電工(株)、三菱電機(株)の7社を中心に、国内・海外ともに活発な普及活動を展開し伸展を遂げてきた。

本稿では、フィールドネットワークの概要、CLPAの設立経緯、その後の活動成果及び伸展について紹介する。

2. フィールドネットワークの概要とオープン化

2.1 FAシステム構成における位置付け

図1は、FAネットワーク三階層をより具体的イメージにした構成図である。現状のFAシステムにおいては、最上層(Ethernet)と最下層(フィールドネットワーク)の二階層でオープン化が定着してきている。

フィールドネットワークのオープン化は、これまで欧州が基盤のPROFIBUS-DPと北米が基盤のDeviceNetが先行していたが、これに日本を基盤とするCC-Linkが参入し、三者が特にアジアにおいて競っているのが現状である。

2.2 ネットワークの導入状況

前回のSCF'01でCLPAブースへの来場者から収集した4,575件ものアンケートの分析結果では、製造業全般におけるネットワークの導入率は75%となっている。

また、SEMICON-J'02における同様のアンケートでも78%となっており、半導体製造業界でもネットワーク化が進んでいることが分かる。

2.3 フィールドネットワーク採用のねらい・メリット

前項と同時に“フィールドネットワーク採用のねらい・

メリット”についてもアンケートを収集したが、“省配線”が70%と圧倒的で、次が“設備データの収集”の19%であった。

これらのことは、FAシステムの現場では、まず“コスト低減”で、次に“リモート監視・メンテナンス、故障診断等”が進められており、従来配線では困難な“省配線”や“データの送受信”というメリットを持つオープンフィールドネットワークがそれを支えていることを裏付けている。

2.4 オープン化のメリット

ネットワークのオープン化は、その開発メーカーにとってはメリットとデメリットの両方があり、入念なりサーチと決断を必要とするが、ユーザーやベンダーにはメリットの方が多く、かつ、自社ビジネス拡大のチャンスでもある。

オープン化は、ユーザー(エンドユーザー、装置メーカー等)にとっては、選択肢が拡大し複数メーカーの製品の中から機能・性能・コスト・地域性等を考慮した最適な選択ができるメリットがある。また、CC-Linkの場合はメモリマップドプロファイルにより機能ごとのアドレスが規定されているので、同一用途でのプログラム流用や故障時等におけるプログラム変更なしでの他メーカー製代替品への交換ができるメリットも出てくる(保守性・操作性の統一)。

ベンダー(機器メーカー、ソフトウェアハウス等)にとっては、ネットワークの共通化によって機器本来の機能の開発にパワー集中ができるようになるメリットに加えて、新分野開拓や既存分野の深掘りに新たなチャンスが発生し自社ビジネスの発展に結び付く可能性も秘めている。

2.5 日本“発”オープンネットコアの必要性

オープンネットワークがデファクトスタンダードまで普及拡大していくためには、オープン性はもちろんのこと経済性・技術性・プロモート性・そして継続性等、いろいろな要素が必要とされようが、その中でも特に人種・言語・地域等の文化性を包含した“サポート力”が決め手になってくる。

先行している欧米のネットワークに異なる文化性を持つ日本・アジアを基盤とするCC-Linkが加わってこそ、欧米並の三極のグローバルニーズにこたえられると言えよう。

日本発オープンネットコア：CC-Link誕生の必然性もここにある。

3. CC-Link協会の設立とその組織

3.1 設立の目的と運営・活動方針

(1) 協会設立の目的

オープンフィールドネットワークであるCC-Link及び関連技術の普及を推進し、対応機器の拡大とこれらの公的機関によるネットワーク適合性試験(コンフォーマンステスト)によって、ユーザーの便宜性向上及び製品の信頼性

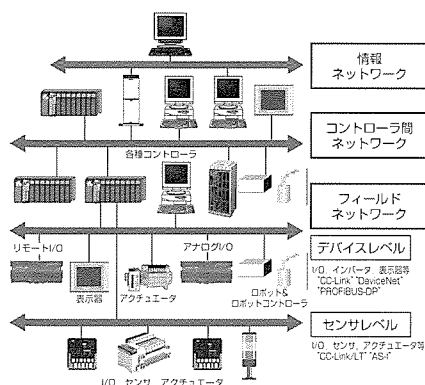


図1. フィールドネットワークの位置付け

の維持・向上を図り、グローバルなFA機器の振興や産業界の発展に広く貢献する。

(2) 協会運営・活動方針

- オープン&グローバルな展開
- ユーザー及び会員ニーズの最優先
- デファクトからスタンダードへ
- 活動における公益性・公共性の向上
- 会員数の拡大

3.2 協会の組織

CLPAの組織を図2に示す。協会会長には横浜国立大学 関口隆 名誉教授を招聘(しょうへい)した。

CLPAの方針である“オープン性や公共性”の向上を図るため、特に日本・アジアにおいては大学や公的機関の協力を仰ぎ、産官学協同体制を構築した。コンフォーマンステストを神奈川・産業技術総合研究所に委託し、オープンネットワークでは日本初となる公設試でのテスト体制を確立した。また、韓国でも同テストは漢陽大学に委託している。

幹事会はボード会員で構成し、協会の最高決議機関に位置付けしている。テクニカルとマーケティング両部会はパートナー会員で参加を希望する20数社の企業で構成した。

3.3 パートナー会員構成と権利・特典

通常レベルの権利・特典を持つ会員を“レギュラー”会員とし、表1に示すような“レジスタード”“エグゼクティブ”“ボード”の4つの会員資格を設定した。

特に、年会費無料のレジスタード会員を設けたのがポイントで、CC-Link接続製品の開発が決まっていない段階のベンダーでも仕様書が無償入手して事前検討ができるよう配慮した。また、商社や公的機関のようにメーカーではない企業・団体でも、CC-Link関連の情報を入手して自社ビジネス拡大に役立てることができる。

4. 協会本部・海外拠点の活動

4.1 CLPAのサポート内容

(□：パートナー対象，■：パートナー&ユーザー対象)

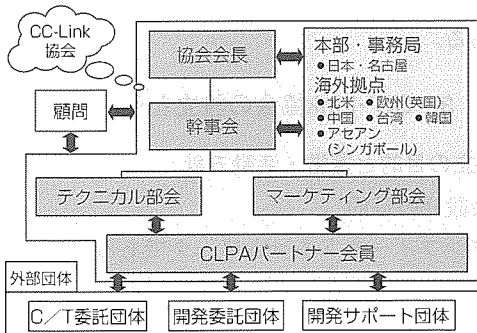


図2. CC-Link協会(CLPA)の組織

□CC-Link協会入会窓口業務

□各種展示会への出展(含む：パートナー製品)

□コンフォーマンステストの実施

□各種セミナーの企画・運営

■インターネットサービスを利用した情報配信

■パートナー製品カタログ、諸資料・マニュアルの配布

4.2 グローバル体制と海外拠点での活動

海外拠点の構築は本部設立準備と並行して進め、体制が整ったところから順次に立ち上げて、2001年4月には予定した6拠点すべての活動を開始した(図3)。

続いて、北米、欧州、韓国、アセアン(シンガポール)、台湾、中国と海外拠点のある6地域の主要な展示会に3~8月まで順次に出展し、“CC-Linkのオープン化”と“CLPAの設立”を世界に向けてアピールした。

以後、各国・各拠点の状況に合わせて主要展示会への出展やセミナーを継続実施しており、海外拠点はCC-Linkのグローバル展開に大きな役割を果たしている。

4.3 SEMIスタンダードの取得とその効果

CC-Linkは、2001年5月に、主に半導体製造装置内に使用されるネットワーク：SAN(Sensor Actuator Network)の通信プロトコルのスタンダード(SEMI E54.12)に認定された。

省配線の観点から、半導体及びFPD(Flat Panel Display)

表1. パートナー会員資格と権利・特典

会員資格		レジスタード	レギュラー	エグゼクティブ	ボード	
費用	入会金		-		100万円	
	年会費	-	10万円	20万円	100万円	
部会	マーケティング・テクニカル部会への参加(※1：部会からの要請で参加可)	- ※1	○			
	CC-Linkプロトコル仕様書の入手		○			
権利・特典	コンフォーマンステスト費用	リモートデバイス・I/O局、ケーブル マスタ・ローカル・インテリジェントデバイス局	-	20万円 30万円	10万円 20万円	年会費に含む
	CC-Link技術の使用/CC-Linkロゴの使用/技術サポート/製品のホームページ掲載/製品のカタログ掲載/展示会出展			○		
	CC-Link News配付/製品カタログ配付/イベント案内/社名のホームページ掲載			○		

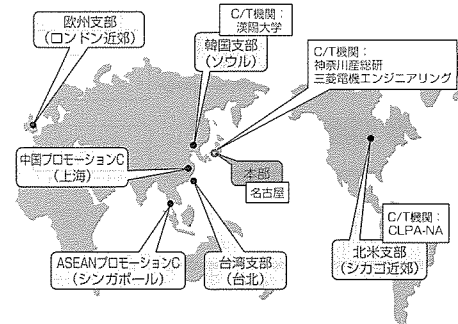


図3. CLPAのグローバル体制(海外拠点)

関連の製造装置メーカーやユーザーに生産性向上やコストダウン等の多大なメリットを提供できるばかりでなく、厳しい条件下で使用されることが多い半導体関連の国際規格であるスタンダードとして認められたことで、半導体関連以外の様々な機械や設備においても十分なアドバンテージを持っていることが証明されたと言える。

5. 専門部会の活動とその成果

次に、CLPA専門部会の活動と成果について紹介する。いずれの部会もパートナーの自主的な参画であるが、展示会来場者情報やCC-Linkのバージョンアップ情報等をいち早く入手し、他社に先駆けた自社ビジネスの拡大を図れる特典を持っているので、両部会ともに30社近くの参加があり、精力的な活動を展開している。

5.1 マーケティング部会での成果

マーケティング部会では、SCF・SEMICON-J等の主要展示会への出展、セミナーの開催、パートナー製品カタログ・CC-Link Newsの発行、ホームページからの情報発信等、CC-Linkの知名度向上及び普及促進に関する活動の立案から運営までを担当し、成果を上げている。

そして、ここで得られたアンケート等のユーザーニーズを分析し、テクニカル部会、幹事会とともにその対応策を検討した上で、素早くユーザーに還元してきている。

次項のテクニカル部会での成果も、マーケティング部会の活動がその源流となっている。

5.2 テクニカル部会での成果

テクニカル部会では、プロファイルの拡充、省配線化技術の研究、CC-Link仕様のバージョンアップ、技術資料・マニュアル類の充実等に取り組んでいる。

“盤内／装置内省配線用途”のユーザーニーズにこたえた“CC-Link/LT”，及びマスフローコントローラ・多チャネルのアナログ制御等、半導体製造装置を中心とした“1台で大量のデータ送受信を必要とする用途”のユーザーニーズにこたえた“CC-Linkバージョン2.0”の2件の極めて重要な仕様策定(CC-Link規格化)とそのリリースは、これまでの専門部会活動の中でも最も大きな成果である。

6. CLPAの発展とCC-Linkの普及状況

6.1 パートナー会員数

パートナー会員数の推移を図4に示す。会員数は421社(2003/1/31現在)となり、CLPA設立時の3倍を超えた。

最近、特に韓国を始めとする海外からの入会が活発で、その数187社は全体の44%にもなる。1年前の同時期では39社(17%)であったことを考えると、グローバル化進展の度合いも理解できよう。

6.2 パートナーでの製品開発(接続製品数)

会員企業による製品開発も活発で、コンフォーマンステ

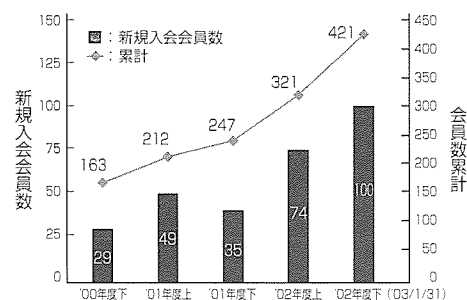


図4. パートナー会員数の推移

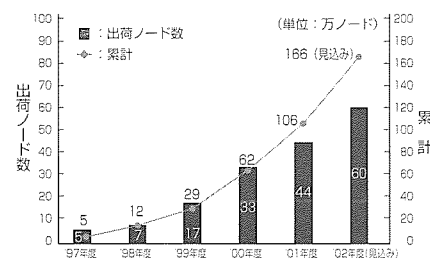


図5. 出荷ノード数の推移

ストに合格し発売に至ったCC-Link接続製品数は累計で467機種(2003/1/31現在)となった。

オープンネットワークであるCC-Linkの“豊富な製品群の中から、ユーザーが最適な機器を選択できる”との特長・利点がますます拡大している。カテゴリー別のパートナー製品とその機種数は、要旨のページの図を参照願いたい。

6.3 出荷ノード数とCC-Linkの採用状況

図5に示すように、パートナー製品の累計出荷ノード数は2001年度で100万の大台を突破し106万台となった。

SCF'01で収集したアンケートで主なフィールドネットワーク別の採用状況を分析すると、CC-Link：41%をトップに、DeviceNet：32%，PROFIBUS-DP：11%，ユニワイヤ：9%と、上位3つをオープンネットワークで占めている。

毎年12月に開催されるSEMICON-Jでも同様のアンケートを実施しているが、半導体製造関連におけるCC-Linkの採用率は、2001年の16.8%から2002年では2倍強の36.4%まで上がっており、この傾向は装置メーカーでのCC-Link採用数が2001年までの32装置から2002年では63装置とほぼ2倍に拡大している実績と合致している。

7. むすび

日本“発&初”のオープンフィールドネットワークとなったCC-Linkは、その後の弛(ゆる)みない仕様のパワーアップと精力的な普及活動によって大幅な伸展を遂げてきた。

CC-Link協会では、これからもパートナー会員とともにユーザーの利便性向上や製品の信頼性の維持・向上を図り、グローバルなFA機器の振興や産業界の発展に広く貢献していく所存である。

オープンフィールドネットワークの位置付けと最新動向

飯田裕一*
石田 誠*

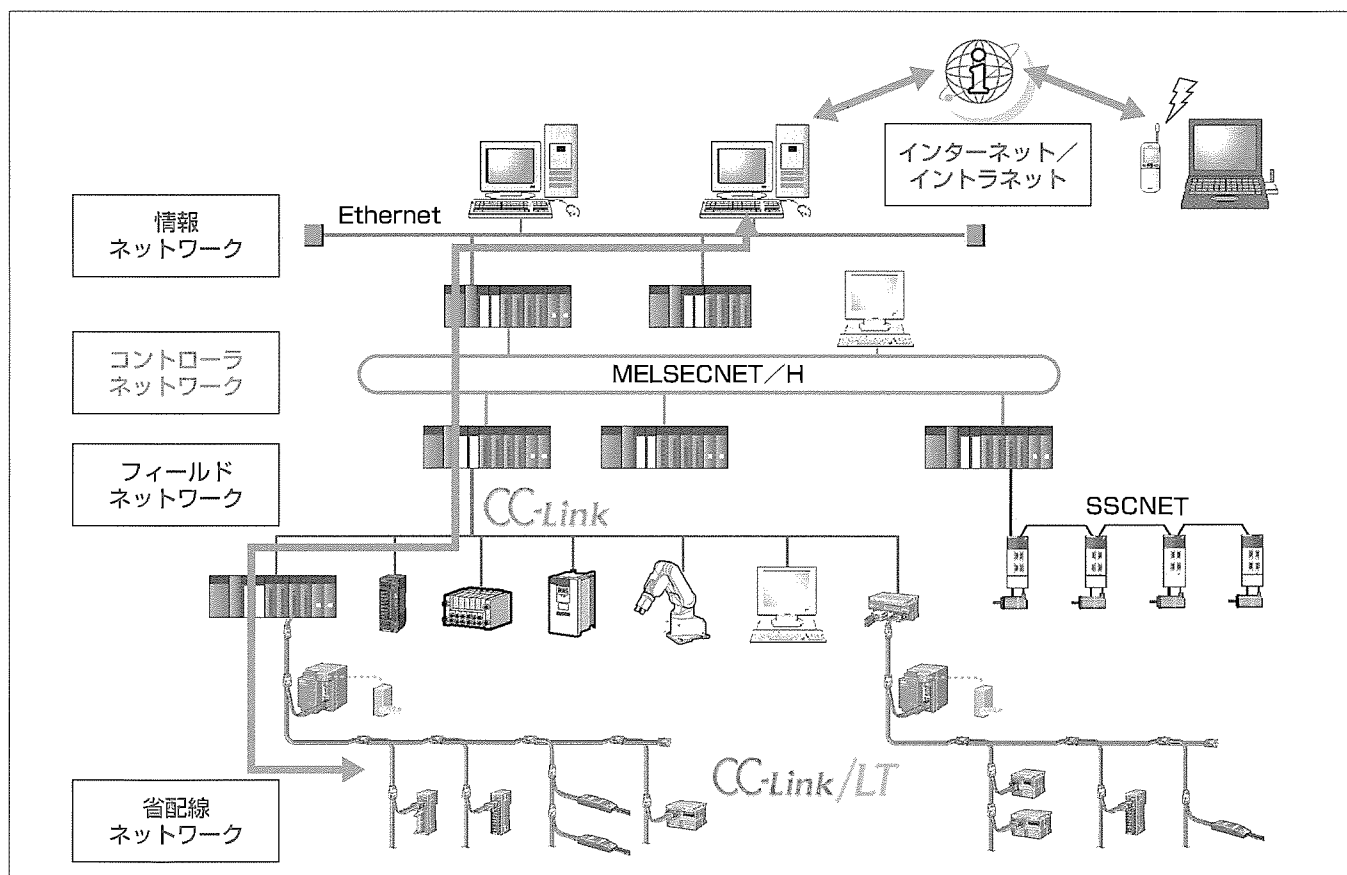
要 旨

市場にオープンを名乗るフィールドネットワークは数多く存在する。

もともと、フィールドネットワークは、生産設備の大型化、制御の複雑化により、シーケンサに代表されるコントローラと各種機器間の配線が急速に増大し、膨大かつ複雑なパラレル配線を簡素化するために各コントローラメーカーが競って開発し市場に提供してきた。さらに、設備構築の自由度向上や容易な異機種/異メーカー機器間の接続などの市場ニーズにこたえる形で多種のオープンフィールドネットワークが出現し、現在に至っている。しかし、オープンフィールドネットワークが普及するにつれ、ネットワ

ークの標準化・規格化が叫ばれ、スタンダードなネットワークに収束し始めているのが現状である。

また近年では、省エネルギーや生産現場の稼働状況を把握するため、情報のデジタル化(いわゆるIT (Information Technology) 化)の要求が高まり、制御末端の情報収集や上位からの生産管理・制御情報伝達や、パソコンなど情報系機器との親和性、シームレスな通信が重要視されている。すなわち、フィールドネットワークは、単に生産設備の制御自動化のみならず、間接業務を含めた総合的な効率化とコスト削減に対し、重要な役割を担うようになってきていると言える。



オープンフィールドネットワークの位置付けと最新動向

フィールドネットワークは、コントローラと制御対象を接続するネットワークで、多種多様な機器を容易に接続するために、オープン化によるマルチベンダー環境が要求される。また、省エネルギーやIT化の要求が高まる中、階層を越えたシームレスな通信が重要視されている。“CC-Link”は、これらの市場ニーズを実現し、間接業務を含めた総合的な効率化とコスト削減に貢献する日本発のグローバルスタンダードネットワークである。

1. ま え が き

市場には数多くのオープンフィールドネットワークが存在するが、世界的な標準化・規格化の流れの中、淘汰(とうた)が進み、現在では、スタンダードなネットワークに収束しつつある。

日本発のオープンフィールドネットワークCC-Linkは1996年に三菱電機が販売及び仕様を開示し、現在では第三者機関のCC-Link協会が普及推進している。欧米のネットワークに比べ後発となったCC-Linkであるが、生産現場の要求を具現化した仕様・性能・品質が高く評価され、自動車、鉄鋼、半導体、搬送、食品など様々な分野・用途に広く普及している。

CC-Link協会会員数は2003年1月現在で400社を超え、接続製品数は450種を超えている。また、2001年5月には、半導体製造装置業界での国際規格であるSEMI(Semiconductor Equipment and Materials International)スタンダードのセンサ・アクチュエータネットワークに、日本のネットワークで初めて認定されている。

本稿では、日本発のグローバルスタンダードネットワークとしての地位を確立したオープンフィールドネットワークCC-Linkについて、その位置付け、概要、市場ニーズと技術動向などについて述べる。

2. オープンフィールドネットワークの位置付け

FA(Factory Automation)システムにおけるネットワーク階層は、図1に示すように、情報ネットワーク、コントローラネットワーク、フィールドネットワーク、省配線ネットワークの4階層に分けられる。

情報ネットワークは、Ethernetが一般的で、最もオープン化が進んだ階層である。コントローラネットワークは、高速大容量・高信頼性などが求められ、各コントローラメーカーのノウハウを生かした固有のネットワークが多いが、近年では、顧客の要求する機器を接続するため、ネットワークの仕様を開示するメーカーもある。当社では、この階層のネットワークとして、MELSECNET/H、MELSECNET/10を提供している。

CC-Linkに代表されるフィールドネットワークは、シーケンサなどコントローラとインバータ、NC、サーボ、

ロボットやI/O、バルブなどの各種機器を接続するネットワークで、4階層の中でオープン化の主流と言える。従来パラレル配線されていたコントローラと各種機器間は、ネットワーク化によるコスト低減、立ち上げ時間短縮、信頼性向上など省配線の効果が大きい。また、接続対象が多様な機器にわたるため、オープン化によるマルチベンダー環境が要求される。これは、顧客にとって、いろいろなメーカーの機器を同一のネットワークに接続できることにより、柔軟な設備構築が可能となるばかりか、複数メーカーの機器から機能・性能・価格において最適な機器を選択できるという大きなメリットがある。

最下位層に位置する省配線ネットワークは、システムの末端部分にある多数のセンサやアクチュエータとコントローラ及び上位ネットワークを接続するネットワークで、施工性や経済性(低コスト)が重視される。従来、センサメーカーなどが提供する固有ネットワークのみであったが、昨年、オープン省配線ネットワークとしてCC-Link/LTが発表された。CC-Link/LTについては後ほど詳しく紹介する。

フィールドレベル、省配線レベルの階層を問わずオープンネットワークでは、プロトコルなどを記載した各種仕様書を第三者機関又はネットワーク開発メーカーが開示し、この仕様書により各メーカーで接続製品を開発する。また、通信用のLSIや制御用ソフトウェアなど各種開発ツールが準備されており、容易に接続製品が開発できる。さらに、各メーカーの開発製品に対しては、第三者機関などがコンフォーマンステストを実施し、異機種/異メーカー機器間の相互接続性を保証していることも大きな特長の一つである。

3. CC-Linkの概要・特長

CC-Linkは、制御と情報を高いレベルで融合したオープンフィールドネットワークである。概略仕様を表1に示し、CC-Linkの特長を以下に述べる。

(1) 高速応答性と定時性

CC-Linkは、全スレーブ局に対し定期的に通信を行うサイクリック伝送と、特定のスレーブ局にメッセージ送信

表1. CC-Linkの概略仕様

項目	仕様
最大リンク点数	リモート入出力：各2,048点 リモートレジスタ：512ワード
リンク点数/1局	リモート入出力：各32点 リモートレジスタ：8ワード
最大占有局数	4局(スレーブ1台当たり)
サイクリック伝送データサイズ	24バイト/1局
トランジェント伝送データサイズ	960バイト/1局 マスター→スレーブ：150バイト/1フレーム スレーブ→マスター、スレーブ：34バイト/1フレーム
総スレーブ局数	64局
通信速度とケーブル総延長	10Mbps：100m (光リビータ使用時：最大4.3km、T分岐リビータ使用時：最大1.1km) 5 Mbps：160m (光リビータ使用時：最大4.48km、T分岐リビータ使用時：最大1.76km) 2.5Mbps：400m (光リビータ使用時：最大5.2km、T分岐リビータ使用時：最大4.4km) 625k bps：900m (光リビータ使用時：最大6.7km、T分岐リビータ使用時：最大9.9km) 156k bps：1,200m (光リビータ使用時：最大7.6km、T分岐リビータ使用時：最大13.2km)
通信方式	ブロードキャストポーリング方式

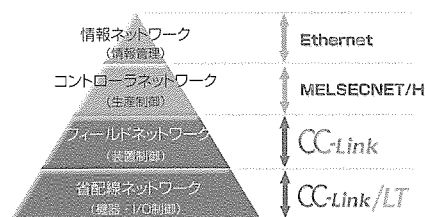


図1. ネットワーク階層図

を行うトランジェント伝送の2つの伝送方式を備えている。

CC-Linkは、10Mbpsという業界最高クラスの通信速度を誇っており、10Mbps時64台のリモートI/O局を接続してもリンクスキヤタイムは約4.0msと優れた応答性を持っている。また、割り込み的に大容量のメッセージ送信が発生しても、リンクスキヤタイムにほとんど影響を与えないため、高速応答性・定時性が求められる制御に適している。通信の定時性が確保できるということは、システム設計段階の期待値(計算値)と据付け後の実値が合致することとなり、応答性による現場でのミスマッチを未然に防ぐことができる。

(2) ケーブル総延長と施工性の向上

CC-Linkのケーブル総延長は、最大1,200m(156kbps時)まで延ばすことができ、大規模なシステムにも十分対応できる。ケーブル敷設は、マルチドロップ配線、T分岐配線が可能であり、また、各種リピータやロータリジョイントなどを使用すれば、総延長距離の更なる延長はもちろんのこと、機械・制御盤の配線経路上の制約にとらわれない柔軟性の高い敷設ができる。

CC-Linkは、通信用の別電源を必要としないため、ケーブル長や接続機器数などによる電圧降下や消費電流を計算する必要はなく、使いやすいネットワークである。

(3) 容易な分散制御システム構築

CC-Linkの局種別には、ネットワークを制御するマスタ局、ビットデータのみ使用可能なリモートI/O局、ビットデータとワードデータが取り扱えるリモートデバイス局、ビット・ワードデータに加えトランジェント伝送ができるインテリジェントデバイス局、ローカル局が存在する。このうちローカル局は、マスタ局と同じ通信データを共有し、他局のデータを自局に保有できるため、分散制御を共有メモリ方式で実現できる。分散制御は、比較的規模の大きなシステムの立ち上げ時に効果的であり、立ち上げトラブル軽減、時間短縮に役立つ。CC-Linkの通信データ共有(コントローラ間通信)により、通常、コントローラネットワークとフィールドネットワークの2種類が必要なシステムをCC-Link単独で構築することが可能となる。

また、マスタ局とローカル局が通信データを共有できるという特長を利用し、マスタ局のシステム制御に負担をかけることなく、システムの制御とは独立した形でローカル局によるシステムの監視・モニタが可能である。

(4) 高信頼性

CC-Linkは、子局切離し機能、自動復列機能、リンク状態の確認及び診断機能、待機マスタ局機能など、冗長性の高い機能を標準的に備えており、信頼性・保守性が高いシステムを実現できる。

また、CC-Link接続製品は、CC-Link協会によるコンフォーマンステストが義務付けられており、例えば耐ノイ

ズ性などすべてのCC-Link接続製品は同一基準で保証され、安心して使用することができる。

(5) マルチベンダー環境の実現

パートナーメーカー数・接続製品数が多いこともCC-Linkの特長である。冒頭で紹介したように400社を超えるメーカーから450種以上のCC-Link接続製品が提供されており、顧客は、求められる機能、性能や価格に応じて、豊富な品ぞろえの中から最適な機器を選択することができる。

ネットワークを構成する機器に対する制御プログラムは、形式が統一されたプログラムであることが望ましく、CC-Linkでは、マスタ局とスレーブ局におけるビットデータ及びワードデータについて、初期化・起動・完了・ハンドシェイク信号・データ設定・状態取得など、機器を制御するために必要な情報をメモリマップドプロファイル(図2)として定義している。したがって、同じカテゴリーの機器は、マスタ局から見れば同じようにデータが並んでおり、たとえメーカーが異なっても制御プログラムは共通化することができる。

(6) 通信機能の専用LSI化

CC-Linkでは、通信回路やプロトコルを専用通信LSI(Mitsubishi Field-network Processor: MFP)に内蔵しており、接続機器のハードウェア及びソフトウェアの構成をシンプルにでき、さらに開発期間の短縮を図ることができる。また、プロトコルをLSIで実現していることは、各メーカー間におけるCC-Link通信の性能・品質が一定に保たれ、CC-Linkシステムの品質安定、信頼性向上に大きく寄与している。プロトコル構成(OSIモデル)を図3に示す。

4. 市場ニーズと技術動向

(1) オープン省配線ネットワーク

工場の上位システムなどから制御の末端部分の情報把握と更なる省配線・省コストを実現するため、シームレスな通信の実現とフィールドネットワーク機器からのパラレル配線部分のネットワーク化のニーズが広がりつつある。

CC-Linkにおいても、少点数分散への対応や施工性の更なる向上として、フィールドレベルの下位に位置する省配線ネットワークへの対応が求められてきた。この市場ニ

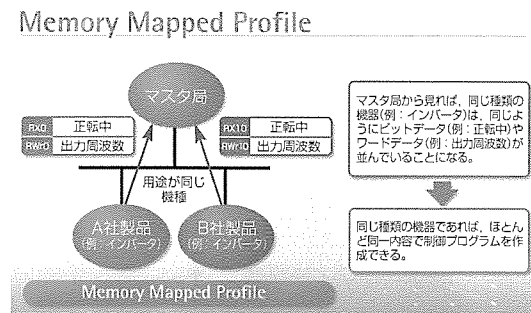


図2. メモリマップドプロファイル

ーズを受け、CC-Linkの省配線仕様である新規格“CC-Link/LT”がCC-Link協会から2002年4月に発表された。

CC-Link/LTは、CC-Linkの末端、支線用ネットワークの位置付けで施工性とビットデータ通信に特化したネットワークである。また、CC-Link/LTでは通信部のワンタッチコネクタ採用により配線作業効率を高め、中小規模機

械設備などにおける装置内/盤内省配線を容易にし、かつ、CC-Linkのコンセプトであるオープン性・高速応答性を継承している。さらに、CC-Linkとの透過性も確立でき、上位からはCC-Link経由でシームレスな通信が可能となっている。

CC-Linkは、従来からのFA分野に加え、中小規模機械設備などの装置内/盤内省配線用途までの広範囲を一貫したコンセプトでカバーでき、顧客の利便性向上とコスト低減に更に貢献することが可能となる。

(2) 通信データの大容量化

CC-Linkは、様々な分野に広く普及しており、その機能・性能・品質に高い評価が得られている。その一方で、プロセス制御の多点アナログ機器に代表されるように1台で大量のデータが必要な制御にも対応可能なようデータ量の拡張要望が寄せられていた。

また、昨今では、サプライチェーン・マネジメントなどを見据え、業務・計画システムと生産設備の制御システムをつなぐMES(Manufacturing Execution System: 製造実行システム)の実現が大きな課題となっている。フィールドネットワークに対しても、MESに必要なデータを大量かつ高速に収集する必要性が高まっている。

CC-Link協会は、これら要望にこたえるために、CC-Link通信仕様のバージョンアップ検討と審議を進め、先ごろ(2002年12月)“CC-Link Ver.2”を発表した。

CC-Link Ver.2では、サイクリック伝送のデータ量を拡張した“拡張サイクリック伝送”により、従来比最大約8倍のデータ送受信が可能となった。従来、1台のスレーブ局が取り扱える最大のデータ量は、ビットデータ256点、ワードデータ32ワード(送受信データ合計)であったが、CC-Link Ver.2では、ビットデータ1,792点、ワードデータ256ワードまで使用できる。また、CC-Link Ver.2システムでは、従来バージョンとの互換性も確保されており、Ver.2対応のマスタ局使用時には、Ver.1対応スレーブ局とVer.2対応スレーブ局の混在使用を可能としている。

今回のバージョンアップにより、CC-Linkは、特に計装/プロセス制御など、大容量のデータ通信が要求される

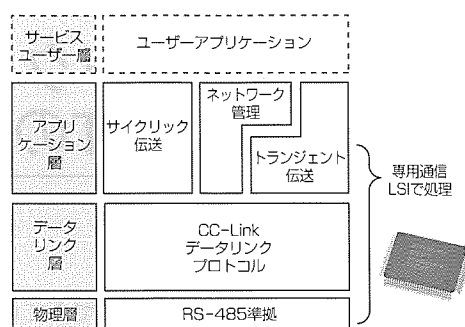


図3. プロトコル構成 (OSIモデル)

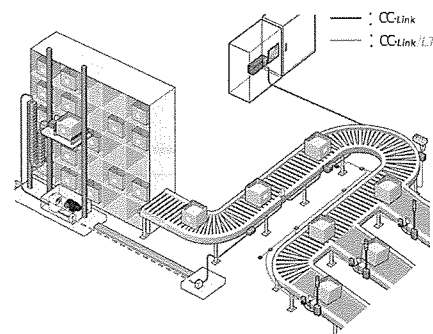


図4. 自動倉庫システムへの適応例

分野にまで適応範囲が広がり、国内外の産業界に更に普及していくと考えられる。

5. CC-Link適応例

図4は、CC-LinkとCC-Link/LTを組み合わせ、自動倉庫システムに採用した例である。CC-Linkを使用することで、表示器やインバータなどの各種フィールド機器を容易に接続でき、必要な性能・価格などからメーカーを問わず採用機器を選択できる。各種センサや表示ランプなど末端部分にはCC-Linkからブリッジユニットを介したCC-Link/LTを使用することで、配線コストや配線工数の大幅な削減が可能である。さらに、CC-Link/LTのワンタッチコネクタは、故障時などのユニット交換も容易であり、装置の復旧時間を最小限にできるとともに、ユニットの追加・増設にも柔軟に対応できる。また、シーケンサのCPUからは、CC-Link経由で末端のCC-Link/LTのI/Oまでシームレスにデータ送受信ができるばかりか、GX Developerでのモニタ・診断など保守性も向上する。

6. む す び

以上、オープンフィールドネットワークCC-Linkの概要、技術動向などについて述べた。

システムの構築においては、多種多様な機器の接続を目的に使用されるフィールドネットワークの選定が重要であり、システムの柔軟性・拡張性・機能・性能・品質の向上・工期短縮・コスト低減などを実現する。オープンフィールドネットワークに求められるのは、機能・性能・信頼性はもちろんのこと、パートナーメーカー数、接続製品数、容易な敷設・プログラミング、開発環境の充実が挙げられ、これらがオープンネットワークの実力を測る指標と言える。

当社は、CC-Link/LTを含むCC-Linkが製造業界におけるネットワークの共通プラットフォームとなるために、当社CC-Link接続製品の品ぞろえを充実させるとともに、CC-Link協会幹事会社として、新規分野開拓、パートナーメーカー発掘、パートナーメーカーへの製品開発支援、及びCC-Linkの普及促進に努めていく所存である。

オープンフィールドネットワーク CC-Link及びCC-Link/LTの開発技術

可知祐紀*

要旨

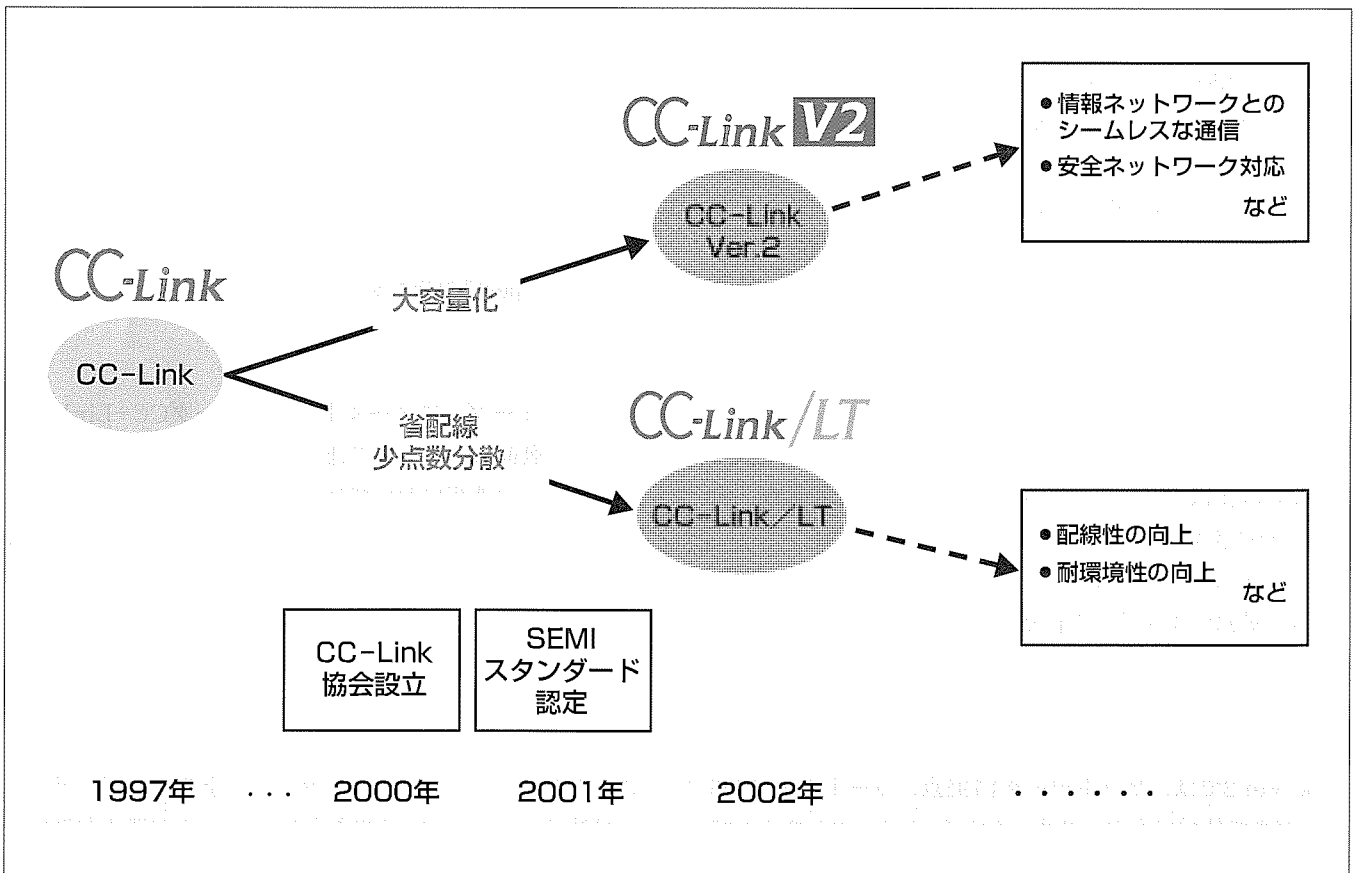
オープンフィールドネットワーク“CC-Link”は、リリース後6年が経過した。その間、2000年11月にCC-Link協会を設立し、2001年5月にはSEMI(Semiconductor Equipment and Materials International)スタンダードにも認定されるなど、オープン化・グローバル化を推進してきた。その結果、自動車、半導体液晶、搬送、食品など各種FA(Factory Automation)分野で省配線を目的とした用途に広く普及してきた。

その一方で、オープンフィールドネットワークとして更なる小規模分散領域や、盤内/装置内省配線対応への要求や、半導体製造工程のIn-Siteモニタ用に代表されるような“1台で大量のデータの送受信を必要とする用途”の装置・機器にも対応できるようにデータ量を拡張してほしいとの

要望が増えてきていた。

これらの要望にこたえるため、CC-Link協会の主導によりCC-Linkの末端、支線用ネットワークの位置付けで省配線と少点数分散制御をメインとした“CC-Link/LT”と、大容量でしかも定時性のあるデータ送受信が必要とされる用途・分野対応とした“CC-Link Ver.2”が新規格として規格化された。

これにより、従来のFA分野での用途に加え、半導体製造工程におけるIn-SiteモニタやAPC(Advanced Process Control)用、計装制御における多チャネルのアナログ/デジタル変換データの送受信から小規模分散制御領域や機械設備などの盤内/装置内省配線用途まで、一貫したコンセプトでの対応が可能となった。



CC-Linkロードマップ

オープンフィールドネットワークCC-Linkは、一貫したコンセプトでフィールドネットワークから省配線ネットワーク領域までをカバーし、大量のデータ(ビット、ワード、メッセージ)から少点数分散に適したデータを高速に送受信可能である。

1. ま え が き

CC-Linkは、制御と情報を高いレベルで融合したオープンフィールドネットワークとして、自動車、半導体、搬送、食品など様々な分野に広く普及しており、その機能・性能・品質に高い評価を得ている。

その一方で、オープンフィールドネットワークとして、更なる小規模分散領域や、盤内/装置内省配線対応への要求や、半導体製造工程のIn-Siteモニタ用に代表されるような“1台で大量のデータの送受信を必要とする用途”が多くなってきており、このような装置・機器にも対応できるようにデータ量を拡張してほしいとの要望が増えてきている。

これらの要望にこたえるために、CC-Linkの思想は、そのまま継承した新たなオープン省配線ネットワークと、大容量でしかも定時性のあるデータ送受信が必要とされる用途・分野対応のフィールドネットワークが、CC-Link協会のテクニカル部会及び省配線ワーキンググループにより審議を重ねられた。2002年4月に省配線仕様“CC-Link/LT”，2002年12月に“CC-Link Ver.2”がそれぞれCC-Link協会から発表された。

本稿では、これら新仕様の特長・機能・性能等について説明し、それぞれにおける開発技術要素について紹介する。

2. CC-Link/LT

CC-Link/LTは、CC-Linkの末端、支線用ネットワークの位置付けで省配線性とビットデータ通信に特化したネットワークである。

CC-Link/LTでは、リモートユニット用の電源(DC24V)ラインと伝送信号ラインを一本の専用フラットケーブルで接続でき、配線工数を大幅に削減できる。フラットケーブルを接続する通信部にはワンタッチコネクタを採用し、配線作業の効率を高め、中小規模設備などにおける装置内/盤内配線を容易にできるようにしている。CC-Link/LTは、CC-Linkのコンセプトであるオープン性・高速応答性など優れた性能を継承しているばかりか、CC-Linkとの透過性も確立できており、上位からはCC-Link経由でシームレスな通信が可能である。

CC-Link/LTにより、中小規模設備のネットワーク化、省配線を容易に実現できるのはもちろんのこと、CC-Linkと組み合わせることにより大規模なシステムにおいても、その末端部分までを一貫したコンセプトでカバーでき、ユーザーシステムの利便性向上とコスト低減に大きく貢献できる。CC-Link/LTのシステム構成例を図1に示す。

以下にCC-Link/LTの特長及び開発技術要素を示す。

(1) ネットワーク配線仕様

表1にCC-Link/LTの配線仕様を示す。CC-Link/LT

のケーブル総延長は最大700m(幹線長500m+総支線長200m:156kbps時)まで延ばすことが可能であり、機械内・装置内の配線のみならず、中小規模の生産設備にも十分対応できる。また、局間距離やT分岐間隔などの制約がないため、自由度の高い敷設が可能である。

CC-Link/LTの伝送路形式は敷設の容易なT分岐方式を採用しており、機械や制御盤の配線経路上の制約にとらわれず柔軟性の高い敷設ができる。また、T分岐による配線は設備構築後のユニット交換など保守性が高く、さらに、設備の拡張・増設も容易である利便性の高い方式と言える。

(2) 配線性の向上

CC-Link/LT伝送路への接続は、ケーブルの被覆剥(は)ぎや圧着端子取付け、ねじ締めなど面倒な作業が不要な圧接タイプのワンタッチコネクタを採用し、従来の配線方式に比べ格段に作業効率を向上することができる。

CC-Link/LTのワンタッチコネクタと専用フラットケーブルは、容易な配線性を実現するとともに、使い勝手や誤配線防止にも考慮している。まず、ワンタッチコネクタは、おす/めすの区別がない雌雄同一形状であり、幹線側に取り付けるT分岐用と支線側で同じコネクタが使用できる。また、専用のフラットケーブルは、片側に溝がない表

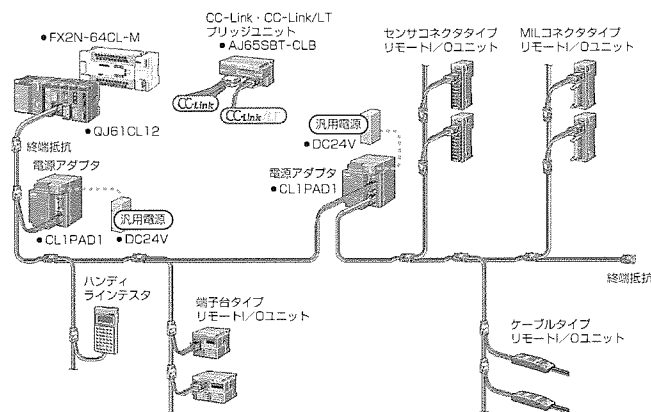


図1. CC-Link/LTのシステム構成例

表1. CC-Link/LTの配線仕様

項目	仕様			備考
	(透過速度)	2.5Mbps	625kbps	
局間距離		制限なし		-
支線最大接続台数(1分岐当たり)		8台		-
幹線長	35m	100m	500m	終端抵抗用のケーブル長
T分岐間隔		制限なし		
最大支線長	4m	16m	60m	1分岐当たりのケーブル長
総支線長	15m	50m	200m	支線長の合計

裏非対称の形状にすることによりコネクタが閉じにくくなる構造としている。さらに、逆に配線した場合には、コネクタの配線確認用の窓からオレンジ色のケーブルが見えるため、誤配線を容易に検出でき、誤配線によるトラブル防止に役立つ(正常に取り付けている場合には、コネクタと同色の水色が見える構造となっている。)(図2)。

(3) 高速応答性

配線性を高めるために応答性能が犠牲となっている省配線ネットワークは数多く存在する。

CC-Link/LTは、最高2.5Mbpsという省配線ネットワークとしては業界最高速度の伝送速度を誇っており、省配線性を高めながら高速性も同時に実現している。この2.5Mbpsという伝送速度はCC-Linkなどの上位のフィールドネットワークと比較した場合には遅い印象を受けるが、伝送速度2.5Mbps、4点モードで64局接続時のリンクスキャンタイムは1.2msと、高い応答性能を持っている。

この高速応答性は、CC-Link/LTの通信方式(プロトコル)が伝送効率の向上に大きく寄与しているとともに、後に説明する専用通信LSIによる高速な通信処理により実現している。

CC-Link/LTの通信プロトコルは、BITR(Broadcast Polling+Interval Timed Response)方式である。BITR方式のデータ伝送方式の仕組みを図3に示す。

まず、マスタ局から全リモート局へのリフレッシュデータ①(リモート出力データ)を一括で送信する。

次に、リモート局はマスタ局から送信されたリフレッシュフレームを受信後、各局番号に対応した時分割時間を設け、局番1から最終局まで順次、応答送信②(リモート入力データ)を行う。マスタ局のリフレッシュデータ送信からリモート局の最終局の応

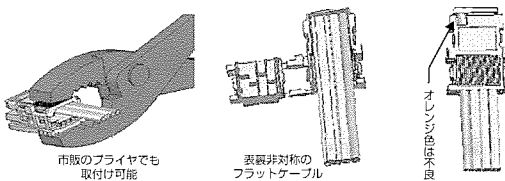


図2. CC-Link/LT専用フラットケーブルとワンタッチコネクタ

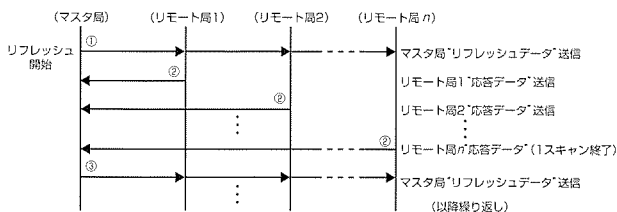


図3. CC-Link/LTの通信手順概略

答完了までを1リンクスキャンと言い、1リンクスキャン終了後、マスタ局は次のリフレッシュデータ③を送信する。

すなわち、CC-Link/LTの通信は、CC-Linkの通信プロトコルであるブロードキャストポーリング(Broadcast Polling)に時分割応答(Interval Timed Response)を加えた通信方式である。この通信方式の特長は、通信処理が比較的単純なため、通信コントローラなどによるハードウェア化が容易なことや安定したリンクスキャン時間が得られることなどが挙げられる。

(4) 点数モード

CC-Link/LTでは、占有する入出力点数の有効活用と伝送効率の向上を目的に、図4に示す“点数モード”という仕組みを導入した。

点数モードとは、リモート局1局当たりの占有する入出力点数をシステムの制御点数や構成(分散度合い)に合わせて、4点/1局、8点/1局、16点/1局から選択するというものである(CC-Linkは32点/1局固定)。この仕組みにより、システムの空き点数及びネットワーク上に流れる不要なデータを削減できる。

(5) リモートI/Oユニット

CC-Link/LTでは、16点、8点リモートI/Oユニットに加え、4点、2点の少点数ユニットを品ぞろえしている(図5)。これらユニットを使用することで、少点数分散システムを容易に構築できる。また、ユニットのサイズもCC-Linkの同点数ユニットに比べ70%の体積に小型化さ

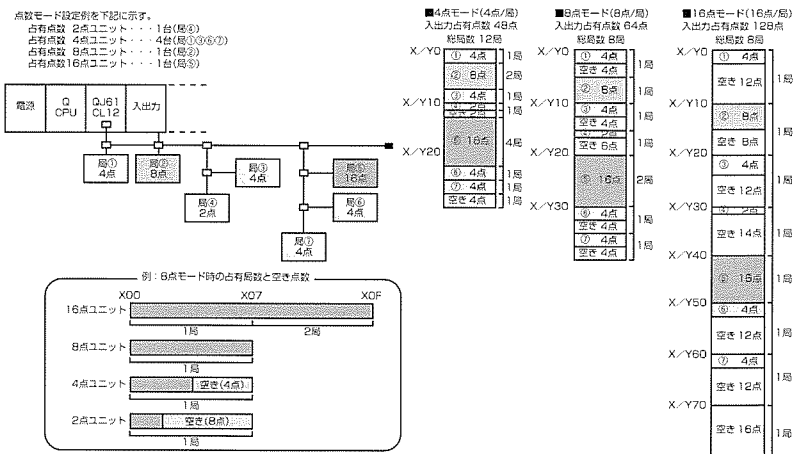


図4. 点数モードの仕組み

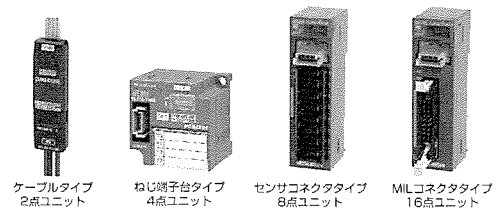


図5. CC-Link/LT対応リモートI/Oユニット

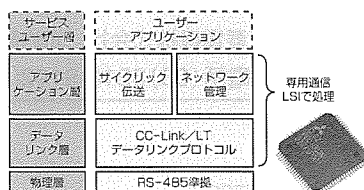


図 6. プロトコル構成 (OSIモデル)

表 2. CC-Link Ver.2の通信仕様

項目	新バージョン Ver.2の仕様	現バージョン Ver.1.10の仕様	備考 (V.2/V.1.10)
最大リンク点数	RX/RY : 8,192ビット RWw/RWr : 各2,048ワード	RX/RY : 2,048ビット RWw/RWr : 各256ワード	4倍 8倍
1台当たりのリンク点数 (データ量)	1局占有時 RX/RY : 32~128ビット RWw/RWr : 各8~32ワード	RX/RY : 32ビット RWw/RWr : 各4ワード	4倍 8倍
	4局占有時 RX/RY : 128~896ビット RWw/RWr : 各16~128ワード	RX/RY : 128ビット RWw/RWr : 各16ワード	7倍 8倍
1台当たりの占有局数	1~4	同左	
拡張サイクル設定	1, 2, 4, 8倍	なし	

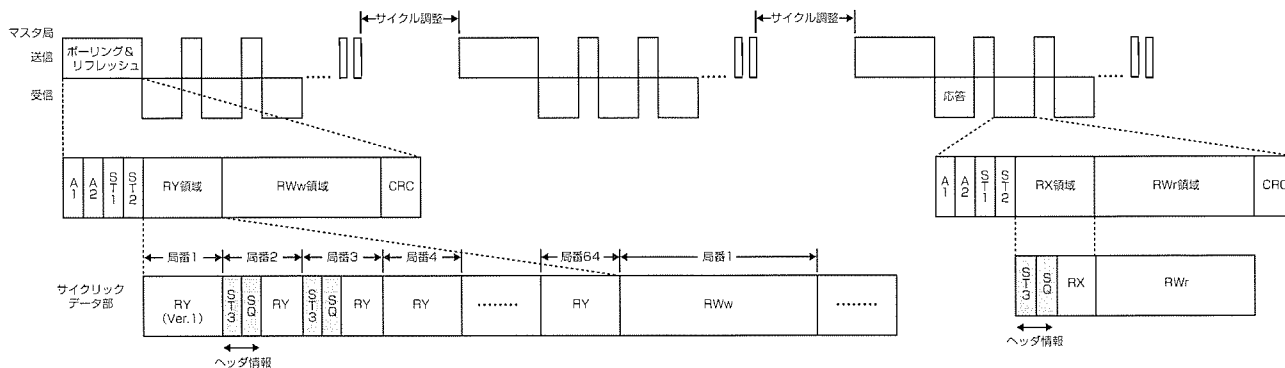


図 7. CC-Link Ver.2フレーム構成概略

れており、装置・制御盤の小型化、コスト低減が可能である。また、リモート局側ではネットワークを流れる通信フレームから自動的に伝送速度を設定するため、個々のリモートユニットで伝送速度の設定をする必要がなく、ケアレスミスによる立ち上げトラブルを軽減できる。

(6) 専用通信LSI

CC-Link/LTでは、通信プロトコルを内蔵した専用通信LSI(CC-Link/LT Controller : CLC)により通信処理を行っている(図6)。通信処理をハードウェアで実現することにより、通信の高速化が可能になるとともに、通信処理の安定性・定時性が実現できる。

また、CC-Link/LT対応製品のハードウェア及びソフトウェアの構成をシンプルにでき、パートナーメーカーでの開発期間の短縮を図ることができる利点がある。

プロトコルを専用LSIで実現することにより、様々な機器や複数のメーカー製品が組み合わせられて構築されるオープンネットワークにおいて、システムの品質安定、信頼性向上に大きく寄与できる。

3. CC-Link Ver.2

CC-Link Ver.2は、従来からの自動車、半導体、搬送、食品など各種FA分野での省配線を目的とした用途に加えて、半導体製造工程におけるIn-SiteモニタやAPC用、計装制御における多チャネルのアナログ/デジタル変換データの送受信など、大容量でしかも定時性のあるデータ送受信が必要とされる用途・分野でのニーズにこたえたもので、送受信データを現行CC-Linkの最大8倍まで拡張している。

CC-Link Ver.2の通信仕様を表2に示す。

(1) CC-Link Ver.2プロトコル仕様

CC-Link Ver.2プロトコルは、サイクルデータの点数を拡張するためのプロトコルであり、CC-Link Ver.1.10プロトコルの上に実装される。

図7に示すように通常サイクルデータにVer.2仕様のヘッダ情報(ST 3, SQ)を2バイト追加し、数サイクルにデータを分割伝送することにより、1局当たりのサイクルデータを拡張することができるプロトコルである。

(2) 互換性

CC-Link Ver.2はVer.1.10プロトコル上に実装されるため、スレーブ局としては現バージョン(Ver.1.10)対応品のみ構成、新バージョン(Ver.2)対応品のみ構成、及び現バージョンと新バージョン対応品とが混在した構成でも使用することができ、新バージョン対応スレーブ局、現バージョン対応スレーブ局を組み合わせ、最適なシステム構成が可能となる。

4. む す び

以上、CC-Link/LT、CC-Link Ver.2の機能・性能・技術要素について述べた。

ネットワークに対するニーズがますます多様化しつつある昨今、CC-Linkは省配線エリア対応、大容量のデータ送受信対応でユーザーの要望にこたえた。今後も、CC-Link協会とともに、情報ネットワークとのシームレスな通信、安全ネットワーク対応、配線性の向上など、信頼性が高く一層使いやすいオープンフィールドネットワークシステムCC-Linkの構築を図っていく所存である。



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

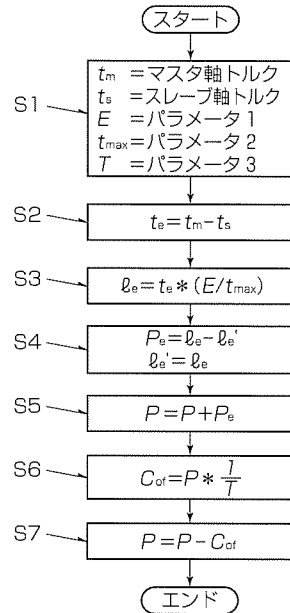
有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

施盤の送り軸同期連動方法 特許第2518457号(特開平4-65701)

発明者 岡田 潔

主軸移動型で対向主軸を持つ構成の旋盤において、メイン主軸とサブ主軸の両方で1つのワークを保持しながら移動させる場合、2つの送り軸は一般に位置誤差を基準として同期連動制御される。しかしながら、加工精度を確保するためには、ワークの変位(引き伸ばしや圧縮)がないように軸間のトルク差を一定としたい。この発明では、軸間のトルク差を基準として同期連動制御するようにしたので、軸間のトルク差を一定にしながらの軸移動が可能となる。

(a)第一の送り軸と第二の送り軸のトルク差から機械又はワークの変位を検出するとともに、この機械又はワークの変位を検出したときその変位量に応じた送り軸に対する位置の補正量を演算して求め、(b)この求めた補正量に基づいて第一の送り軸の位置指令データ及び第二の送り軸の位置指令データの少なくとも一方を補正することを特徴とする旋盤の送り軸同期連動方法。



電動機の位置制御装置 特許第3084928号(特開平4-65701)

発明者 小山正人, 長野鉄明

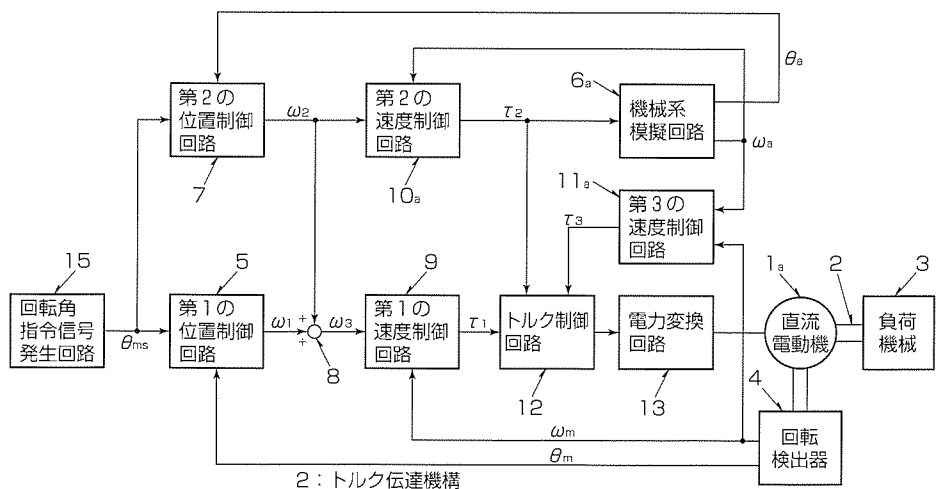
この発明は、例えば、工作機械におけるテーブルや電動式産業用ロボットのアームのような負荷機械を駆動する電動機(直流電動機、誘導電動機、同期電動機など)の位置制御装置に関するものである。

従来の電動機の位置制御装置では、フィードフォワード速度信号を用いて位置応答を向上させる場合に回転角指令 θ_{ms} の微分演算によってフィードフォワード速度信号を求めているため、回転角指令の変化が滑らかでないとき急峻(きゅうしゅん)な発生トルクの変化が生じ機械振動や機械音が発生するという問題があった。

また、ボールねじの剛性が低い場合や減速機にバックラッシュがある場合には、速度制御ループの応答周波数を下げる必要があった。

この発明では第2の位置・速度制御回路(7)、(10a)及び機械系模擬回路(6a)を持ったフィードフォワード型の制御系を用いることで、機械共振による振動を避けるためにフィードバック側の第1の速度制御回路(9)の応答周波数を下げた場合でも駆

動するために必要なトルクは第2のトルク信号 τ_2 によって与えられるので高速応答の速度制御が実現できる。同様に第2の速度信号 ω_2 により位置制御の応答周波数も上げることができ、結果として剛性が低い機械においても高速応答性を持ちかつ機械振動を生じない電動機の位置制御装置を得ることができる。また第3の速度制御回路(11a)を付加することにより、産業用ロボットアームのようなアームの慣性モーメントが変化するような機械に対しても位置制御の応答性を改善できる。





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)

プログラマブルコントローラ(PC)およびそのプログラム容量変更方法 特許第3251414号(特開平7-210217)

発明者 森田英昭

この発明は、プログラムメモリをファイルごとに分割してPCのCPUユニット(以下、CPU)へ格納可能とし、プログラムに追加・変更が生じた場合でも、他のファイルを意識することなく操作を可能とするPCおよびそのプログラム容量変更方法に関するものである。

従来のPCでは、プログラムメモリ全体がユーザー割付情報で管理されているため、プログラムの容量を増やしたりする場合は、格納場所の絶対アドレスが変化するため容易に変更できないという問題があった。

この発明は、上記の問題点を解決するためになされたもので、プログラムを機能ごとに複数人で設計することを可能とし、機能ごとのプログラムの読み書きを任意に実行可能とする手段が、追加又は変更が必要となったブロックに対してのみCPU本体からの読み書きを行うようにしたので、プログラムの生産性向上を図ることができる。

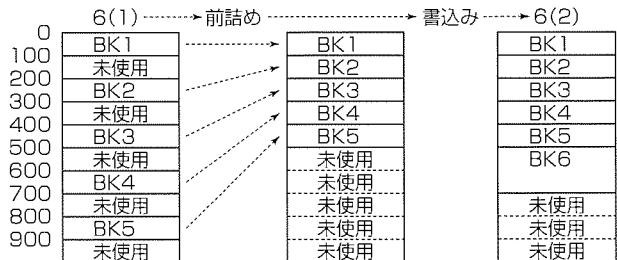
図11は、PCのCPUのユーザーメモリを示す。

①11aは、周辺機器(パソコン)から、200の容量を持つ新規プログラムBK6をCPUに追加書き込みを行う場合を示す。6(1)のように、BK1~BK5のプログラムを分割して格納可能としており、点在している。容量200のBK6を追加する場合、空きエリアがあるかを判断し、ない場合は6(2)のようにBK1~BK5を前詰め移動し

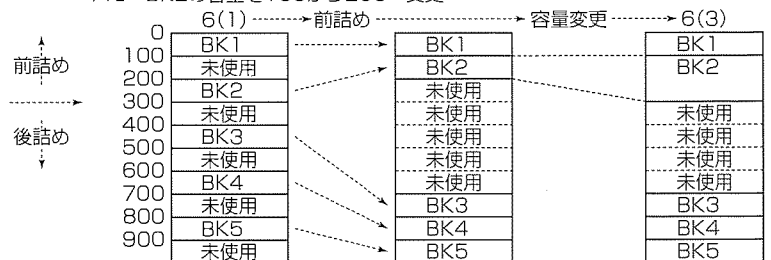
てからBK6を書き込む。

②11bは、周辺機器から100の容量を持つBK2を200の容量に変更を行う場合を示す。変更するBK2の後ろに空きエリアが存在し、かつ、変更容量200の空きエリアがあるかを判断し、ない場合は、6(3)のようにBK1~BK2を前詰め、BK3~BK5を後ろ詰めに移動させた後に、BK2の容量を200に変更する。

11a: 200の容量をもつBK6を追加



11b: BK2の容量を100から200へ変更



<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.77 No.7 特集「ソフトウェア開発プロセス・手法の革新」

三菱電機技報編集委員	三菱電機技報 77巻6号	2003年6月22日 印刷
委員長 井手 清	(無断転載・複製を禁ず)	2003年6月25日 発行
委員 高橋 大 長谷川 裕 堤 清英	編 集 人 井手 清	
栗原 幸志 村松 洋 松本 修	発 行 人 福本 紀久男	
浜 敬三 石野 禎将 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	
中島 克人 部谷 文伸	〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号	
黒畑 幸雄 山木 比呂志	秀和芝パークビルA館9階 電話 (03) 3437局2692	
事務局 松本 敬之	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 池田 睦	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735円(本体700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	

ご好評いただいております“MELSERVO-J2-Super”に400V電源対応シリーズが加わりましたので紹介します。

特長

1. 高分解能エンコーダを標準採用

131,072p/rev(17ビット)高分解能エンコーダの標準採用により低速での安定性が実現できます。

同一定格のサーボモータでは、200Vシリーズと同一サイズとなります。

2. アブソリュートエンコーダが標準装備

サーボモータを交換することなくサーボアンプにバッテリーを装着するだけで、原点復帰の必要がないアブソリュート方式に変更できます。

3. SSCNET(高速シリアルバス)に対応(7kW以下開発中)

当社SSCNET対応コントローラと組み合わせることにより多軸完全同期システムが構成できますので、高度な補間制御、同時起動制御が可能となります。

上位コントローラでモニタ、パラメータを始めサーボ情報の一元管理が可能となります。

4. オートチューニング

ハイレベルリアルタイムオートチューニング機能とモデル適応制御によりゲイン調整が簡単にできます。

オートチューニング機能により負荷慣性モーメントを自動的に推定します。

モデル適応制御により推定した理想モデルに従い安定した制御を行います。

5. マシナナライザ機能

セットアップソフトウェア(別売オプション)によりサーボモータを自動的に加振し、機械系の周波数特性を解析します。その結果に基づいて、簡単に“機械共振抑制フィルタ”を設定できます。

6. マシンシミュレーション機能

マシンアナライザの結果をシミュレーションモデルに読み込むことができ、機械系の応答をシミュレーションすることができます。

7. モニタ・診断機能

モータの回転速度やトルクなどモータ状態を表示するグラフ機能があり、アラーム発生時にモータ状態を診断することができます。

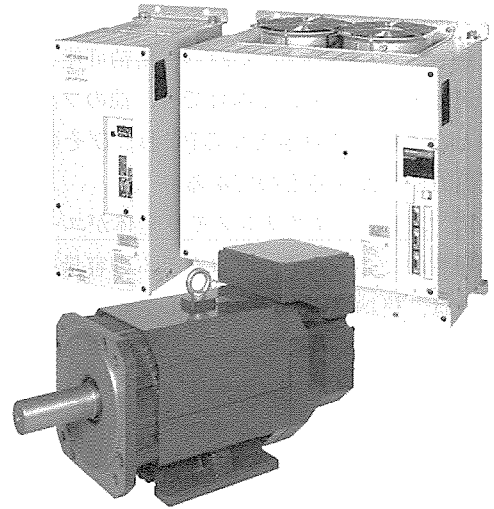


図1. サーボアンプとサーボモータの外観(55kW)

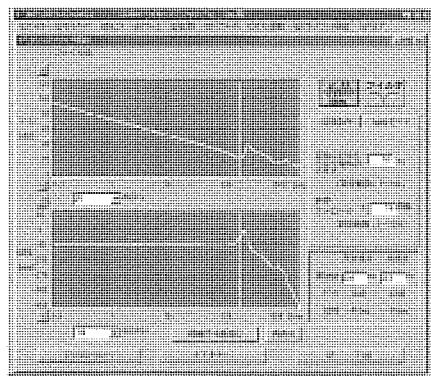


図2. マシナナライザ機能

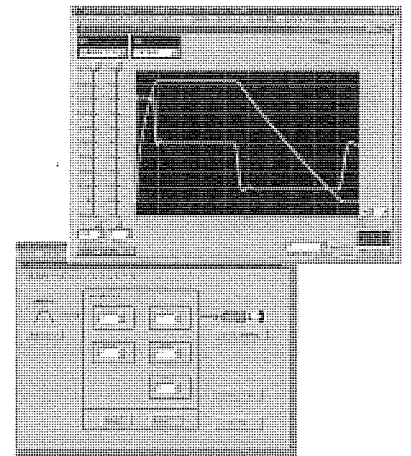


図3. マシンシミュレーション機能

表1. MELSERVO-J2-Super 400Vシリーズ概略仕様

項目	仕様												
	0.5*	1.0*	2.0*	3.5*	5.0*	7.0*	11	15	22	30	37	45	55
容量(kW)	0.5*	1.0*	2.0*	3.5*	5.0*	7.0*	11	15	22	30	37	45	55
コンバータ	内蔵						分離						
制御電源	DC24V						単相AC380~480V/50, 60Hz						
主回路	三相AC380V~480V/50, 60Hz												
制御方式	正弦波PWM制御・電流制御方式												
ダイナミックブレーキ	内蔵						外付けオプション						
回生抵抗	内蔵						外付け		外付けオプション				
保護機能	過電流遮断, 回生過電圧遮断, 過負荷遮断(電子サーマル), サーボモータ過熱保護 検出器異常保護, 回生異常保護, 不足電圧, 瞬時停電保護, 過速度保護, 誤差過大保護												
構造	強冷, 開放(IP00)												

*開発中

住所: 〒104-6215 東京都中央区晴海1-8-12 (オフィスタワーZ)

会社名: 三菱電機株式会社 FAシステム事業本部 お問い合わせ先: 機器営業第二部 サーボシステム課 TEL 03-6221-2170

スポットライト MELSEC-Qシリーズ用Webサーバユニット

三菱シーケンサ“MELSEC-Qシリーズ”用Webサーバユニット“QJ71WS96”は、シーケンサのスロットに装着し、インターネット／イントラネット経由で接続したパソコンから市販のWebブラウザを使用して、シーケンサへの遠隔アクセスを容易に実現するユニットです。インターネット技術や携帯電話などのモバイル通信機器の技術を活用し、設備・装置における遠隔アクセスによる情報監視・保全業務の支援システムが容易に構築できます(図1)。

以下に主な特長を挙げます。

(1) 多彩な接続方法

Webサーバユニットは10BASE-T/100BASE-TXのEthernet I/F及びRS-232CシリアルI/Fを持ち、インターネット／イントラネットへの接続は接続環境・用途・通信インフラ・コスト等に応じてADSL、アナログモデム/PHSモデム、LAN接続、DoPa端末など最適な接続方法を選択できます。

(2) ネットワーク階層を越えたシームレスアクセス

Ethernet、MELSECNET/10(H)、CC-Linkなどのネットワークで構築されたシステムでは、シームレスな通信により、1台のWebサーバユニットですべてのシーケンサの情報を収集でき、既設のシーケンサを統括する情報監視システムも容易に構築できます(図2)。

(3) WebブラウザによるWebサーバ構築

Webサーバユニットを使うためにシーケンサプログラムを書く必要はありません。WebブラウザでWebサーバユニットにアクセスし、標準搭載されている“管理メニュー”により簡単操作で設定ができます。また、すぐに使用可能な各種“モニタ画面”も標準搭載しており、小規模なシステムの情報監視であればこれで十分対応できます。さらに、シーケンサアクセス用部品(Javaアプレット)により、ユーザーの設備・装置に適した独自のWeb画面の作成も可能です。

(4) タグデータによる監視・ロギング

複数のデバイスデータを1つのタグとして登録すれば、デバイス名を意識することなく一括監視できます。また、タグデータをWebサーバユニットの内蔵メモリ(5Mバイト)又は市販コンパクトフラッシュカードに

時系列でファイル(ロギングデータ)として保存でき、Webブラウザでリスト形式やグラフ形式で表示できます(図3、図4)。

(5) イベント監視/履歴

シーケンサCPUの動作状態、デバイス値、時刻の条件で監視し、発生したイベント履歴をWebサーバユニットに保存できます。イベント履歴をWebブラウザで読み出し、解析することで、設備・装置の稼働状況や異常動作等を把握することができます。

(6) 電子メールによるデータ送信/アラーム通知

プログラムでの専用命令によるメール送信のほか、イベント監視機能による自動メール送信が可能です。メールにはタグデータやロギングデータを添付でき、設備・装置の異常解析等にいち早く対応できます。

(7) FTPによるファイルの読み出し/書き込み

FTPサーバ/クライアント機能により、Webサーバユニット内のロギングデータ・イベント履歴・ユーザーHTMLファイルなどの読み出し/書き込みが容易にできます。

以上のような特長を持つWebサーバユニットQJ71WS96による情報監視システム構築は、データ収集業務や保全業務の効率化、設備の小型化やコスト低減だけでなく、タイムリーな情報収集・解析による設備・装置の稼働率向上や機会損失の低減にも大きく寄与することができます。

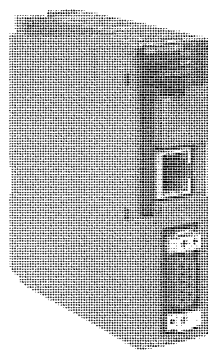


図1. 三菱シーケンサMELSEC-Qシリーズ用WebサーバユニットQJ71WS96

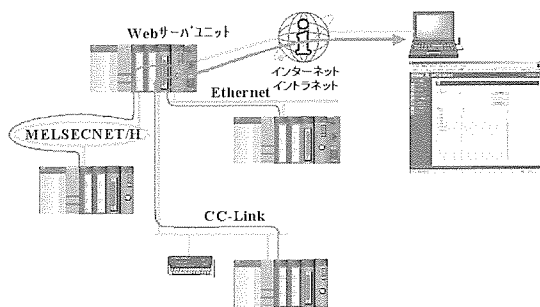


図2. システム構成



図3. タグデータの登録画面

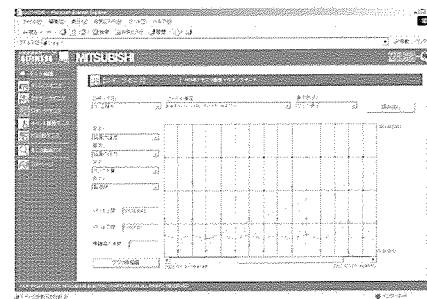


図4. タグデータのロギング結果の表示画面