

MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.73 No.9

特集 “設計業務を革新する設計システム技術”
“進展するFA駆動制御技術”

'99 **9**



特集“設計業務を革新する設計システム技術”

“進展するFA駆動制御技術”

目次

特集論文

設計業務を革新する設計システム技術

設計業務を革新する設計システム技術 1
藤井雅雄

設計プロセス革新への取組 2
清尾克彦

システムレベル協調設計・検証技術
——組み込みソフトウェアとハードウェアの協調設計検証—— 7
安田光宏・鍋田芳則・楠原崇史

システムLSI応用製品の品質向上をねらいとした検証・テスト技術 11
橋田光弘・中野 哲・君島達也

オブジェクト指向組み込みソフトウェア設計技術 15
原島忠雄・松井聡一・森 重文

タービン発電機への三次元設計適用 19
庄山高央・岡本紘一・玉木政守

プリント基板設計PDMシステム 23
赤坂広樹・脇田次郎・西野義典・齋藤光司

スイッチギヤ設計システムの統合化 27
勝山恒吉・仁志真由美・大津智弘・野口敬介・岩本直子

ファミリーツリー中心設計システム 31
花村輝之・佐藤尚之・前川宗久

進展するFA駆動制御技術

コンポーネントとシステム 35
松井信行

FAを取り巻く駆動制御技術の動向と展望 36
松本圭二・瀬戸 誠・竹垣盛一

ファン、ポンプ用省エネルギーインバータ“FREQROL-F500シリーズ” 41
桜井寿夫・木全政弘・永瀧美博

小型高機能汎用インバータ“FREQROL-E500シリーズ” 45
池下 互・朝長慎三・市川広樹

次世代汎用サーボアンプ“MELSERVO-J2 Superシリーズ” 49
井川 康・長野鉄明・池田英俊

インテリジェントサーボモータ“HSシリーズ” 55
堤下洋治・佐野修也

高応答・高精度リニアサーボシステム 59
加知光康・筒井和彦・加藤和彦

省エネルギー機器としての誘導電動機 64
吉野 裕・中本道夫

埋め込み磁石型同期モータと駆動技術 68
貝谷敏之・松原浩樹・度会 明

特許と新案

「生産計画作成装置」「情報処理システム」 73

「神経回路網河川出水量予測装置」 74

スポットライト

汎用電気系CAD“Rschemer” 72

高性能汎用インバータ“FREQROL-A500/A500Lシリーズ” (表3)

表紙

FA駆動製品の連携と広がり

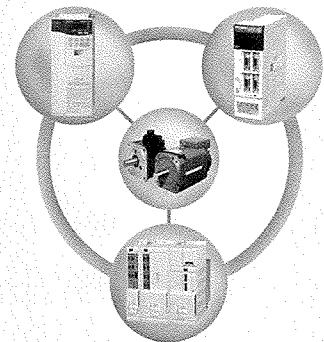
インバータ、サーボ、NC駆動装置は、FA駆動装置の代表的製品である。三菱電機におけるこれらの製品は、特に要素技術の面において密接に連携を保ちながら製品開発が進められ、市場ニーズに正確にこたえて大きく発展を遂げてきた。今後も、用途の拡大とともに、ますます発展が期待されている。また、モータは各駆動装置にとって重要なコンポーネントであり、機種間の連携した開発がなされている。

写真は、各製品を代表する最新の機種である。

(左上)インバータ : FR-A500シリーズ

(右上)サーボ : MR-J2Sシリーズ

(下)NC駆動装置 : MDS-Bシリーズ



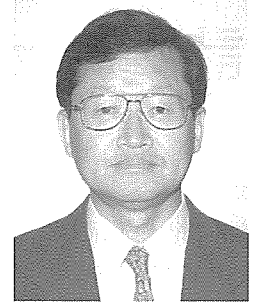
設計業務を革新する設計システム技術

あいまい(曖昧)な顧客情報を迅速に収集し(営業),次に確かな正の製品化情報を迅速に作り(設計),その製品化情報から具体的な製品を迅速に作り出し(生産),顧客に製品を迅速に手渡す(販売)。この一連の業務フローの中で,設計は,曖昧な情報も含めてすべての製品化のための情報を集約し,顧客満足を実現する確かな正の製品化情報を発信する“迅速な物作りのかなめ(要)”となる業務である。

設計システム技術とは,迅速な物作りを実現するための技術で,様々な情報をデジタル化し,いつでも設計に必要な情報が入手でき,物作りに必要な情報が発信できると同時に,必要な計算・解析・試験ができる環境を作る技術である。言い換えれば,設計生産性向上のキーとなる技術である。また,デジタル化とは,様々な情報やノウハウをコンピュータ上に固定化し製品を創出する道具としてだれもがどこでも利用できるようにすることである。そして,設計システム技術が目指すのは,顧客が満足するQCD(Q:Quality品質,C:Cost価格,D:Deliveryお届け期間)を備えた製品を迅速に作り出すことである。例えば,できる限り実試作品を作らずに,コンピュータ上で意匠・機能・構造などを検証(シミュレーションベースデザイン)ができることである。現実には実試作品を用いた試験で設計定数などを決める場合が多くあるが,結果は,コンピュータ上に固定化され,設計システム技術の高機能化と

設計システム技術センター長
工学博士

藤井雅雄



高精度化(進化)につながる。

当社では,コンカレントエンジニアリングによる確かな正の製品化情報を迅速に創出するために,機械系では三次元設計,電子系ではシステムレベル設計,組み込みソフトウェア系ではオブジェクト指向設計という新設計手法を着実に設計の現場に根付かせてきた。この特集でこの進展状況を垣間見ることができるが,これらの新しい設計手法は,いずれも再利用可能な製品化情報の創出による設計生産性向上を目的としたものでもある。また,創出された製品化情報の共用化と設計に必要な情報の入手を円滑にするために,CALS(Commerce At Light Speed)/PPDM(Process & Product Data Management)システムを構築してきた。これは,業務の流れをコンピュータ上でビジュアライズし,シームレスなデータの流れとコンカレントな業務の流れを実現すると同時に,企業間で,協同で価値を創出(協創)するためのCALSに準拠したシステムでもある。当社では,これらの新しい設計手法とCALS/PPDMシステムを設計システム技術として統合・活用することで設計業務の革新を図っている。

設計システム技術は,企業固有の技術の伝承・蓄積・再利用と創出の促進を図り,企業間競争を勝ち抜く技術として,また企業間協創を実現するための技術として進化させ続けねばならない。

設計プロセス革新への取組

清尾克彦*

要旨

半導体技術の飛躍的な進歩とデジタル化の進展により、マルチメディアに象徴されるような情報・通信・映像／音声・制御分野を中心にシステムLSI化とソフトウェア化が促され、高機能な新しい電子機器・制御機器製品の開発競争は、し(熾)烈となってきた。

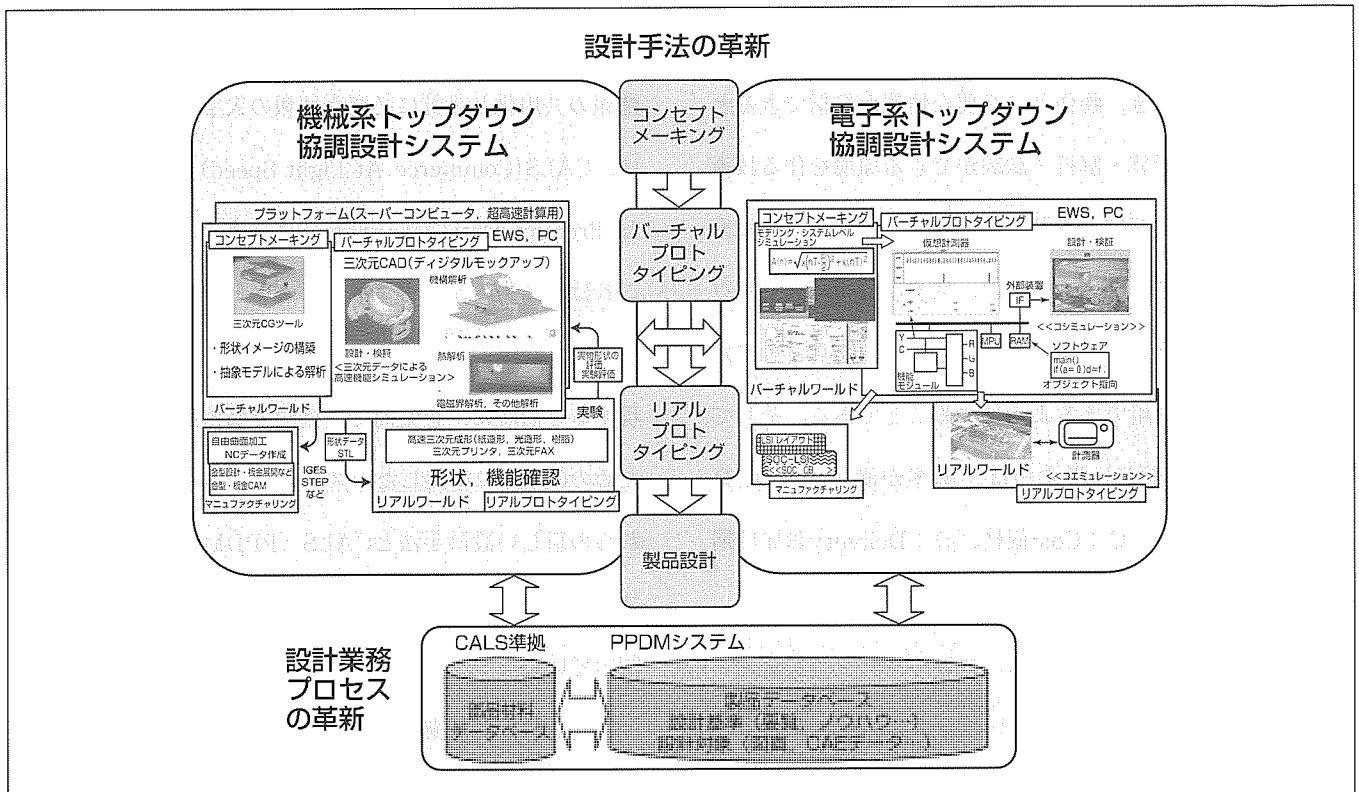
顧客が満足する製品をいかに早く市場に投入し、評価を受け、他社に先行し差別化するかが重要となる。

三菱電機的设计システム技術センターでは、全社的な設計生産性向上の観点から、コンカレントエンジニアリングを最新の情報技術を用いて仕組みとして実現する“トップダウン協調設計システム”の開発に取り組んでいる。共通インフラであるCALS(Commerce At Light Speed)／PPDM(Process and Product Data Management)システムによる業務プロセスの革新とともに、ハードウェア製品を構成する機械系、電子系ハードウェア及び組み込みソフトウェア系開発における設計プロセスの革新を進めている。

トップダウン協調設計とは、製品開発の上流から製品のライフサイクルにかかわるすべての業務間と関連する設計部門間で製品化のための情報とビジネス目標を共有してコンカレントに設計業務を進める手法であり、設計業務プロセスを改善するBPR(Business Process Reengineering)を実現するものである。

その中で製品のライフサイクルの中で最上位に位置する設計部門が製品開発に必要な情報を作り出す発信源であり、製品のライフサイクルコストの大半を決定することから、設計手法の革新を図るDPR(Design Process Reengineering)による設計の生産性向上は極めて重要である。

本稿では、主に、設計プロセスの革新への取組アプローチ、電子系トップダウン協調設計システム、機械系トップダウン協調設計システム、CALS／PPDMシステムの概要を紹介する。



設計プロセスの革新

製品開発の上流から製品のライフサイクルに関するすべての業務間と設計部門間で製品化のための情報とビジネス目標を共有してコンカレントに設計業務を推進し、設計生産性の向上を図る。

1. まえがき

半導体技術の飛躍的な進展(Deep Sub Micron時代)により、製品の高集積化・高性能化・低電力化が大幅に向上し、あらゆる分野でデジタル化が急速に進んでいる。デジタル化は、マルチメディアに象徴されるように情報・通信・映像／音声・制御の複合化とソフトウェア化を促し、高機能な新しい電子機器や制御機器製品の開発競争は、熾烈となってきた。

顧客が満足する製品をいかに早く市場に投入し、評価を受け、他社に先行し差別化するかが重要となる。

特に、システムの大規模化・複雑化に対応して、設計生産性の飛躍的な向上と、設計上流でのトレードオフ設計による満足解と目標品質の確保が急務である。

また、高速化・高密度化に伴う実装設計技術と、部品調達／製造組立て／環境問題等の観点からの製品生産設計技術が、製品化を左右する重要な技術となってきた。

このように、電子機器や制御機器の新製品開発は、オープン化による大競争時代の幕開けの中で、大きな変革を迫られている。

この変革に対応して、設計システム技術センターでは、全社的な設計生産性向上の観点から、コンカレントエンジニアリングを最新の情報技術を用いて仕組みとして実現する“トップダウン協調設計システム”の開発に取り組んでいる。共通インフラであるCALS／PPDMシステムによる業務プロセスの革新とともに、電子機器や制御機器製品を構成する機械系、電子系及び組み込みソフトウェア系開発における設計プロセスの革新を進めている。

本稿では、設計プロセスの革新への取組アプローチと、電子機器・制御機器製品における電子系トップダウン協調設計システム、及び機械系トップダウン協調設計システムとCALS／PPDMシステムの概要を紹介する。

2. トップダウン協調設計システム

当社において取り組んでいる製品のライフサイクルに対応したトップダウン協調設計システムの概要を図1に、実現すべき設計業務革新のねらいを図2に示す。

製品のライフサイクルは、マーケティングによる製品企画から、設計／製造・調達／販売・運用／保守・廃棄／再利用の業務で構成される。

トップダウン協調設計とは、製品開発の上流から製品のライフサイクルにかかわるすべての業務間と関連する設計部門間で製品化のための情報とビジネス目標を共有してコンカレントに設計業務を進める手法であり、設計業務プロセスの改善を図るBPRを実現するものである。

BPRを実現するインフラとして、製品に関する情報のデジタル化・標準化・共有化を図り、製品開発にかかわる

すべての関係者が製品化情報、製品イメージ、目標、業務の推進状況を製品開発の初期から共有できる“PPDMシステム”がベースとなる。

製品のライフサイクルの中で最上位に位置する設計部門が製品開発に必要な情報を作り出す発信源であり製品のライフサイクルコストの大半を決定することから、設計手法の革新を図るDPRによる設計の生産性向上は極めて重要である。

DPRは、開発段階を迅速に進め、次の製造段階に正確な情報を早く渡すことであり、その取組は以下のとおりである。

- (1) 製品開発の設計上流工程で、顧客満足を実現する製品イメージや仕様を固めるためのモデル化と評価によってトレードオフを行う(コンセプトメイキング)。
- (2) その結果に基づいて、製品として実現できるかをラピッドプロトタイピングによって早期に実証する。ラピッドプロトタイピングとして、コンピュータ上で対象をモデル化してビジュアルな画面を通じて評価・検証を行うバーチャルラピッドプロトタイピングと、実際の形をした立体モデルの作成や実機に近い形で等価な動作を行うことによって評価・検証を行うリアルプロトタイピングがある。このような仕組みにより、顧客やシステム部門に実物に近いものを早期に提示できることから、早期に問題点をフィードバックでき、関係部門間で見通しよく手戻りを最小にして製品化を進めることが可能となる。

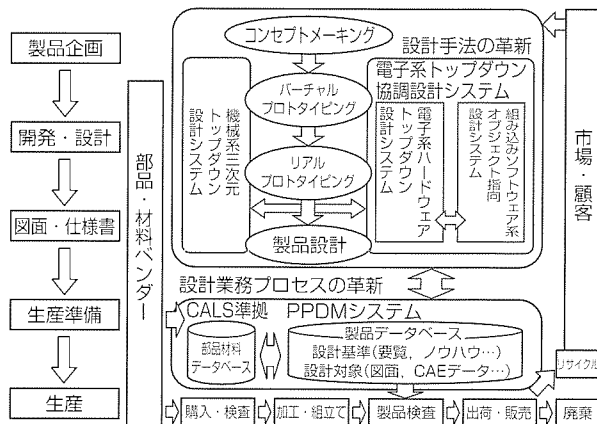


図1. トップダウン協調設計システムの概要

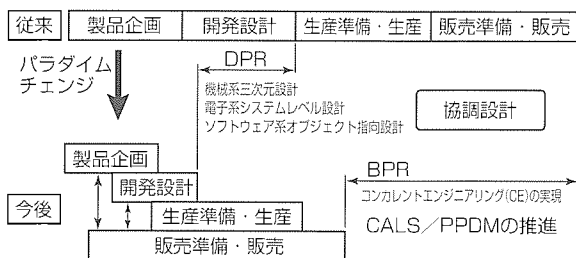


図2. 設計業務革新のねらい

このようなBPR/DPRの取組は、設計のQCD(設計品質:Quality, 設計コスト:Cost, 設計期間:Delivery)を飛躍的に改善し、結果として製品のQCD(高機能・多機能・多品種な製品品質の向上, 低価格製品の実現, 市場への迅速な対応)の飛躍的な改善を図ることにある。

3. 電子系トップダウン協調設計システム

3.1 電子系設計プロセス革新への取組

半導体技術の急速な進歩に対応して、電子機器や制御機器の電子回路の開発は、二つの手法を組み合わせる方向にある。

(1) 大規模システムLSI化

移動体通信機器・通信伝送系機器・デジタル情報家電等の分野では、システムLSIが製品の付加価値を左右するキーデバイスである。

(2) プロセッサをベースとしたソフトウェア化

プロセッサ性能の向上により、従来ハードウェアで実現していたものがソフトウェアで実現可能となってきた。変化への対応が容易なことから、あらゆる分野でソフトウェア化が進み、製品開発における組み込みソフトウェアの比重が年々増加してきている。

(3) 大規模FPGA(Field Programmable Gate Array)/CPLD(Complex Programmable Logic Device)化

大規模化・高速化が進み、従来の試作機への適用から、少量多品種の製品開発で活用が進んでいる。

対象システムは、大規模化し、機能の複合化と実現方法の多様化によってますます複雑になってきている。特にシステムLSIでは、半導体で実現できる規模に対して設計が追いつかない状況になりつつある。このような設計生産性の危機(設計の危機, 検証の危機, 検査の危機, 管理の危機を内在)に対処するために、以下のキーワードで設計プロセスのパラダイムチェンジの実現に向けて取組を進めて

いる。

- (a) コデザイン/コンカレントデザイン/コラボレーション
 - マルチメディアに象徴される機能の複合化(映像/音声・制御・情報・通信技術の融合)への対応
 - プロセッサ技術(マイクロプロセッサ, デジタル信号処理プロセッサ, メディアプロセッサ等)の発展によるソフトウェアとハードウェアのバランスのとれた設計
 - ハードウェア/ソフトウェアの並行開発と協調検証
 - 異なる集団・個人の集合体による協調開発
- (b) ラピッドプロトタイピング
 - ユーザーニーズの多様化と変化への迅速な対応
 - システムレベルでの早期評価・検証
 - 顧客への試作機の早期提示によるフィードバック
- (c) リユースデザイン
 - 再利用可能な機能ブロックであるIP(Intellectual Property)の開発・調達と蓄積・流用による設計効率化
 - オブジェクト指向技術による見通しのよい設計と、ソフトウェアの部品化・再利用化による設計効率化
 - 再利用設計ルールの策定と登録・活用の仕組みの構築

3.2 電子系トップダウン協調設計システムの概要

電子系トップダウン協調設計システムを概念を図3に、システムの構成を図4に示す。

(1) システムレベルデザイン

システム仕様を実現するためのアルゴリズムやアーキテクチャをモデル化によって評価し、各種制約事項の中で満足解を早期に確定する階層(コンセプトメイキング)である。現状では、制御分野や通信分野等で、応用分野対応のパッケージソフトやC言語により、アルゴリズムの評価を中心としたシステムレベルシミュレーションを中心に展開している。ハードウェアと組み込みソフトウェアへの

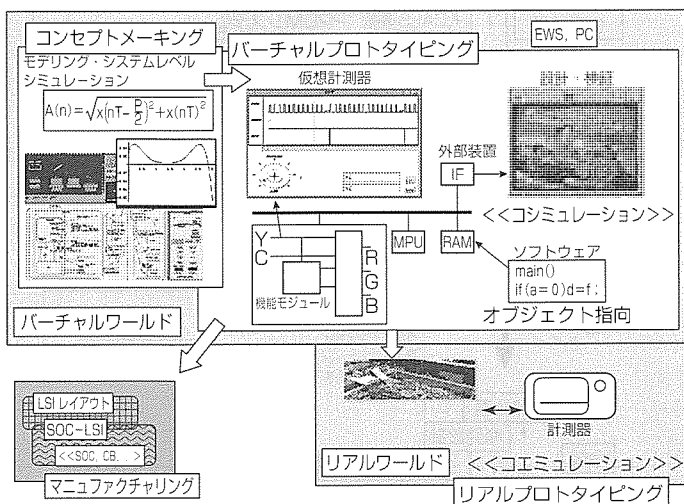


図3. 電子系トップダウン協調設計システム概念

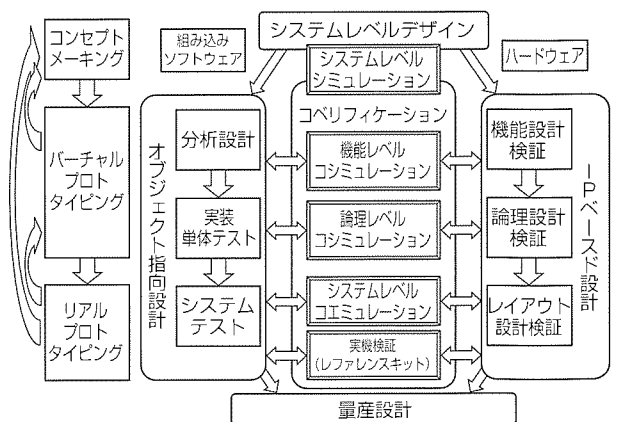


図4. 電子系トップダウン協調設計システム構成

分割は、システム設計者の経験に基づいて人手で行われている。将来的には、検討が進められているシステムレベルデザイン言語等の適用を図っていく。

これ以降、ハードウェアについては機能ブロックであるIPを組み合わせたIPベース設計により、組み込みソフトウェアについてはオブジェクト指向設計により、コンカレントに設計/検証を進めていく。

(2) IPベースハードウェア設計

ハードウェアの設計は、規模の拡大及びAV/通信/情報/制御機能や各種インタフェースの統合化に対応して、再利用可能な機能ブロック(IP)の組合せによる設計手法に移行している。論理合成可能なソフトウェアIPと当社プロセス技術を生かしたハードウェアIPの品ぞろえ強化(開発/調達)と、IPの品質向上をねらいとした検証及びテスト技術の充実を進めている。また、FPGA/CPLD設計において、少量多品種の展開での設計生産性向上をねらいとして、IPによる再利用設計を展開していく。

(3) オブジェクト指向組み込みソフトウェア設計

最先端のデジタル情報家電や移動体通信機器から家庭電化製品、産業用機器、自動車用電装品等に至るまで、マイクロプロセッサを内蔵した組み込みシステムが多くなり、ソフトウェア化の進展が著しい。組み込みシステム開発において、新機能の織り込みと短期開発を両立させるためには、ハードウェアとソフトウェアの共通表現による早期仕様フィックスと、システム分析からプログラミング/テストまでの一貫した展開が必要である。システム全体として見通しのよい設計と、派生展開の多い組み込みシステムとして再利用を図る部品化をねらいとして、オブジェクト指向技術による展開を進めている。

(4) コベリフィケーション

コシミュレーション技術によるバーチャルプロトタイプリングとコエミュレーション技術によるリアルプロトタイプリングをサポートしている。

(a) コシミュレーション

高性能なコンピュータ上で、ハードウェア回路部分とソフトウェアを実行するプロセッサをモデル化して、ソフトウェアとハードウェアの動作を模擬する。IP(主にプロセッサ)対応でC言語による機能モデルとRTLモデルを提供することにより、精度と実行スピードのいずれを重視するかで使い分けていくことが可能である。現状では、性能的な制約を踏まえた上で、検証の目的に応じた最適な効果ができるように進めている。

(b) コエミュレーション

画像や音声のように実機に近い形での評価、チップができる前におけるソフトウェアのデバッグ、顧客への実際に近い形で動作する評価機の早期提示の

ために、プログラム可能な論理素子と接続素子を組み合わせ、実機に近い環境で動作できるようにしている。数百万ゲート対応の大規模論理エミュレータからプロセッサ等の実チップを手軽に搭載できるシステムエミュレータまで、使用目的に応じて最適な効果ができるように設計部門と協調して進めている。

3.3 適用事例

電子系の設計プロセス革新の代表的な適用事例として、この小特集では3件を紹介している。

最初の論文は、“システムレベル協調設計・検証技術”と題して、組み込みソフトウェアとハードウェアのシステムレベルでの協調設計・検証を実現するための設計システム技術と画像符号化システムへの適用事例を紹介する。

次の“システムLSI応用製品の品質向上をねらいとした検証・テスト技術”は、検証の危機や検査の危機に対応して、IPベースが進んでいるシステムLSI、及びシステムLSIが組み込まれたハードウェア製品の設計品質・製造品質向上のための機能検証技術とテスト技術の展開について紹介する。

最後の論文は、“オブジェクト指向組み込みソフトウェア設計技術”と題して、オブジェクト指向の動的モデルによる設計上流での仕様検証、ソフトウェア単体試験の自動化等についてルームエアコンへの適用事例を基に紹介する。

4. 機械系トップダウン協調設計システム

PC(Personal Computer)/EWS(Engineering Work Station)の性能の向上と三次元設計ツール機能の充実に伴い、機械系における設計上流から下流のCAM(Computer Aided Manufacturing)までの設計プロセスの革新を実現するため、設計生産性向上をねらいとした三次元設計への転換を進めている。

設計方式を三次元CAD(Computer Aided Design)化する

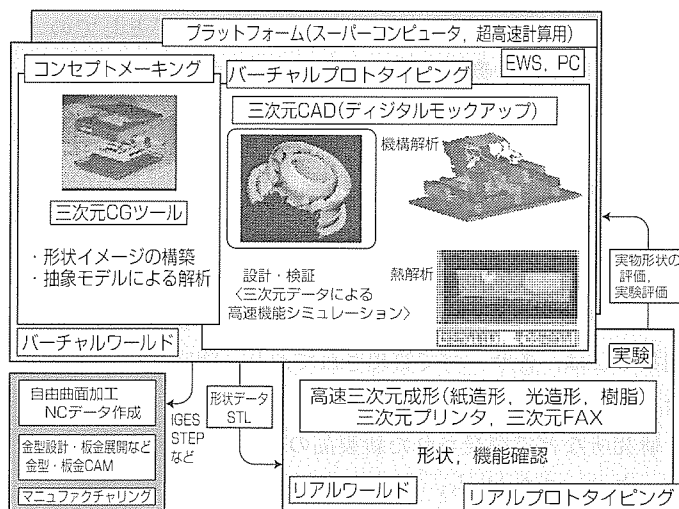


図5. 機械系トップダウン協調設計システムの概念

ることによる主なメリットは次のとおりである。

- 製品の立体モデルがデジタルデータとして保存できる。
- 立体モデルを活用した解析や高速造形装置によるラピッドプロトタイピングが可能となる。
- デジタルデータを共用することによってコンカレントエンジニアリング等が可能となる。

図5に、現在展開している機械系トップダウン協調設計システムの概念を示す。

三次元設計では、意匠設計部門、機能設計部門、機構設計部門、構造設計部門、金型設計部門、機械加工設計部門などの各設計部門が同じ三次元モデルを共有して、概念設計、詳細設計をトップダウン協調設計で行うことができる。同じ三次元モデルを共有して業務を推進することから、早い段階でラピッドプロトタイピングを行って事前検討を十分にし、下流での手戻りを最小限にできる。また、三次元モデルは、二次元図面と異なり、だれでもがその製品イメージを理解することができる。そのため、開発、生産、販売、回収、資材、経理などすべての部門でコンカレントエンジニアリングを実現することができ、BPRを加速することになる。

三次元モデルを作れば三次元造形機による高速成型が可能となり、最終製品のリアルモデルが高速で実現でき、実機評価や、顧客への早期提示が可能となる。

機械系三次元トップダウン協調設計の詳細な取組については別の機会にゆずるとして、この小特集では、“タービン発電機への三次元設計適用”と題して、パワーエレクトロニクス機器への三次元設計の適用による限られた空間への機器実装・干渉チェック、CADデータの解析への適用による品質向上、質量低減による原価低減と最適化設計の事例を紹介する。

5. トップダウン協調設計を支える情報システム

21世紀を目指した設計環境“情報化オフィス”としてのCAL S/PPDMの概念を図6に示す。設計者は、コンピュータを利用して仕様書作成、電気・電子設計、機械設計、ソフトウェア設計を行い、製造・組立てのシミュレーション及び管理、部品・材料手配、出荷状況の把握、在庫管理などを行う。必要なデータ、すなわち、製作所又はビジネスユニットごとに必要な図面情報、技術データ、文書/資料類、管理データや企業全体に必要な設計・製造要覧、規則集などは、各サーバで管理されており、随時利用可能となっている。

研究所などで開発された新製品の技術情報(解析手法、データベースなど)も、専用のサーバに蓄積されており、各事業所で新製品開発時に利用できる環境が整備されている(バーチャル数値実験室⁽¹⁾)。また、社外ネットワーク

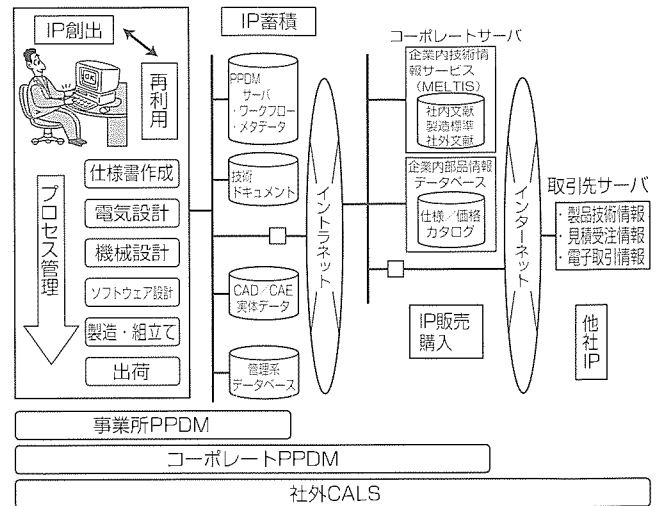


図6. CALS/PPDMの概念

を介して、部品や材料ベンダーなどからの技術情報、カタログ情報が入手できる。企業間での情報交換は、CAL Sの浸透によって促進される。

CAL S/PPDMによる設計革新については既に紹介済⁽²⁾であるので、この小特集では、その後の展開である3件を紹介する。

最初の論文は、“プリント基板設計PDMシステム”の開発について紹介し、次に、“スイッチギア設計システムの統合化”と題して、スケルトン図からデータを自動抽出し、下流展開の自動化を図った事例を紹介する。最後の論文は、“ファミリーツリー中心設計システム”と題して、製品設計プロセスにおいて、まだ図面がない設計の上流工程から確実にQCDを作り込む新たな設計支援の仕組みとしてのファミリーツリーをフルに活用した設計システムのコンセプトと取組事例を紹介する。

6. む す び

以上、当社における設計プロセスの革新への取組について述べた。このような変革を伴う取組には、①トップダウンでの実践、②チャレンジャブルな実践部隊、③しっかりしたサポート部隊、④十分なトレーニング、⑤導入しやすいパイロットモデルの選択があって始めて成功し定着するものである。

事業部門及び開発部門との連携の下に、設計生産性向上による事業への貢献に向けて取り組んでいく所存である。

参 考 文 献

- (1) 特集“バーチャル数値実験室”，三菱電機技報，73，No.4，285～314（1999）
- (2) 片岡正俊，斎藤美邦，川上真二：CAL S/PPDMによる設計革新，三菱電機技報，72，No.11，894～897（1998）

システムレベル協調設計・検証技術 — 組み込みソフトウェアとハードウェアの協調設計検証 —

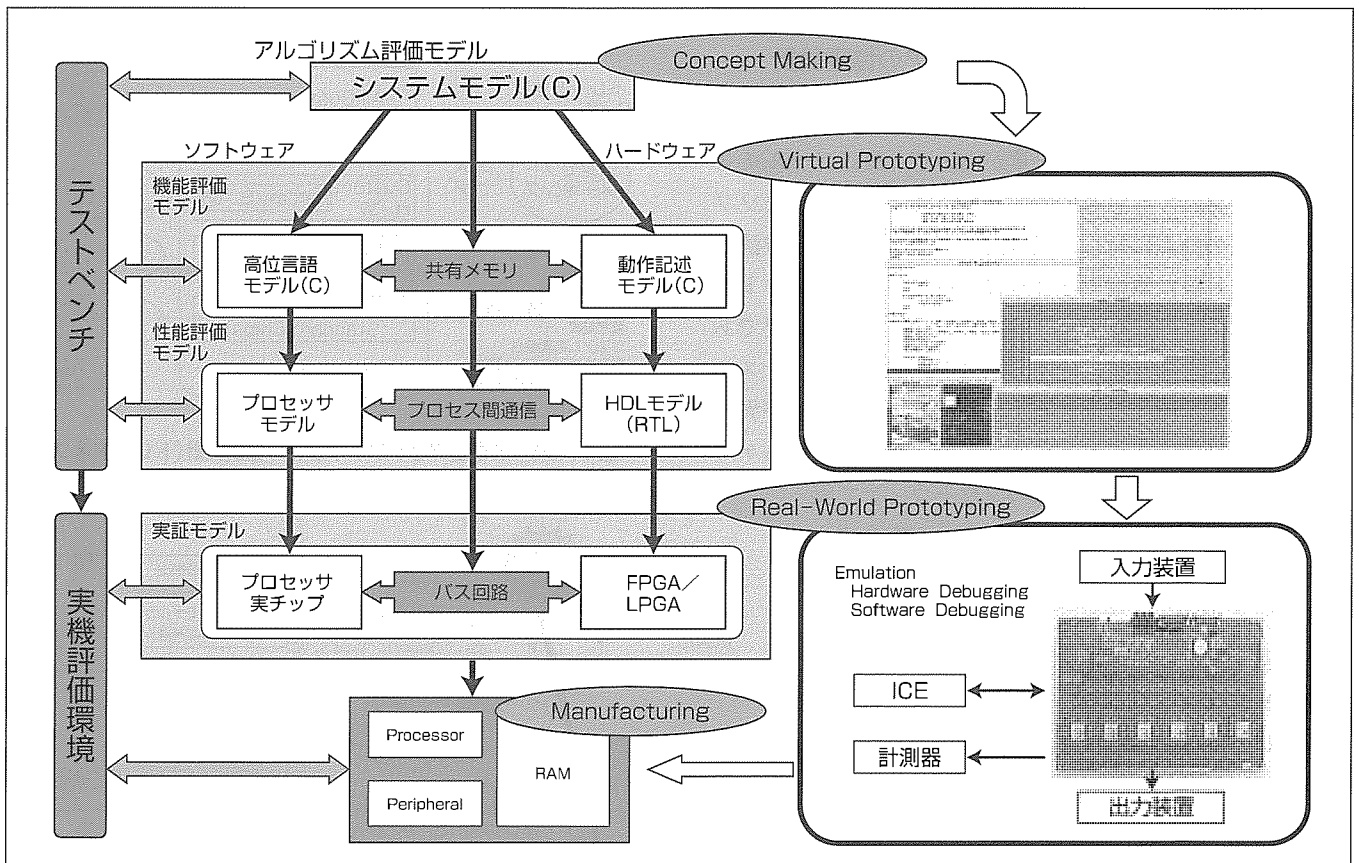
安田光宏*
鍋田芳則*
楠原崇史*

要旨

半導体技術の急速な発展により、その高集積化・高性能化・低消費電力化が飛躍的に進み、従来アナログ処理でしか実現できなかった分野においてもデジタル信号処理が可能となってきた。また、マイクロプロセッサの高性能化とメモリ容量の増大/低価格化により、ソフトウェア化による柔軟性のあるシステムの実現が可能になってきた。しかし、実現に当たっては一つのチップにシステム機能が実現できる100万ゲート規模のSOC(System On Chips)化時代を迎え、設計規模は急速に膨らみ、かつ複合技術の組合せによってシステムはますます複雑化してきている。この時代の要求に呼応するため、三菱電機的设计システム技術センターでは、現在、以下のキーワードで当社電子機器製品における設計システムのパラダイムシフトを実現するための取組を進めている。

- (1) バーチャルプロトタイピング
 - プロセッサ技術(マイクロプロセッサ, DSP, メディアプロセッサ等)の発展によるソフトウェアとハードウェアのバランスのとれた設計
 - ハードウェア/ソフトウェアの並行開発と協調検証
- (2) リアルワールドプロトタイピング
 - 高速な検証
 - 実動作環境での評価
 - 顧客(ユーザー)への試作機の早期提示

本稿では、上記二つのプロトタイピング技術を指向した組み込みソフトウェアとハードウェアのトップダウン協調設計手法について解説し、具体的な適用事例について紹介する。



トップダウン協調設計・検証システム

組み込みソフトウェアとハードウェアで実現されるシステムを、機能・性能・コスト・品質面で顧客満足を得られるようにTime To Marketで開発する必要がある。これを実現するために、より上流でシステムレベルの評価を行うことで、速やかにフィードバックを行い実装につなげていく手法を実現するシステムである。

1. ま え が き

マイクロプロセッサの急速な進歩と機能の複合化によるシステムの複雑化への対応、ユーザーニーズや新規格への柔軟性のある対応のため、組み込みシステムの実現方法としてソフトウェア化の傾向が著しい。また、従来性能的にハードウェアで実現するしかなかった機能がソフトウェアで実現できるようになってきた。このようなソフトウェア開発への比重の移行によって設計期間短縮や容易な改良開発が可能となってきたが、その反面新たな問題が生じてきている。

ソフトウェア設計とハードウェア設計が別々に行われた場合、通常、開発途上でのシステム検証が困難であり、仕様の取り違えといったミスが実機検証段階で発生し、不具合が発生した場合の手戻りは非常に大きい。

そのため、上流設計から下流設計まで一環した設計検証環境を用いてハードウェアとソフトウェアの協調設計を行う必要がある。

本稿では、協調設計検証手法として、設計上流でのパッチャルプロトタイピングと、設計下流でのリアルワールドプロトタイピングについて述べ、その適用事例も併せて述べる。

2. ハードウェアとソフトウェアの協調設計

従来から制御機器分野ではプロセッサベース設計による組み込みソフトウェアの比重が高いが、最近ではマルチメディア系においても急速に増加している。このようなソフトウェア化の動向に対し、組み込みシステムの実現方法として、開発対象に適合するようにハードウェアとソフトウェアのバランスのとれた組合せで実現することが必要である。図1に示すように、性能、コスト、開発期間、システムの柔軟性など何に重点を置くかによって実現方法が異なってくる。性能重視ですべてハードウェアで実現するケースから、すべてプロセッサ上のソフトウェアで実現するケースまで、いろいろな組合せが存在する。設計上流でハードウェアとソフトウェアの最適なバランスを考慮したトレードオフ設計(すなわち協調設計)が、組み込みシステムのコスト、品質、開発期間を決めてしまうことから、非常に重要な位置付けにある。

さらに、設計の上流(Concept Making)でのアルゴリズムやアーキテクチャの評価を行うシステムレベル検証、ハードウェアとソフトウェアへの分割が確定した後のコンカレントデザインとコシミュレーションによる早期検証、実機に近い環境でのエミュレーションによるシステム動作レベル検証、及び試作キットによるアプリケーション開

発検証まで、体系的な取組が必要となる。

3. 電子系トップダウン協調設計・検証システム

ハードウェアと組み込みソフトウェアの組合せで実現されるシステム製品を、市場ニーズの変化に対応しながら機能・性能・コスト・品質・開発期間等の面で顧客満足を得られるように、Time To Marketで開発する必要がある。これを実現するために、電子系トップダウン協調設計システムとして、図2に示すように、以下の三つの階層でトップダウンに取り組んでいく必要がある。より上流の階層でシステムレベルの評価を行うことにより、速やかにフィードバックをかけることが重要である。

(1) コンセプトメイキング

システム仕様を実現するためのキーとなるアルゴリズムやアーキテクチャを事前に評価・検証する階層である。個々の機能ブロック(IP)とそれらの組合せをどのようにすれば目標を実現できるかがポイントとなる。対象のアプリケーションを容易にモデル化し、高速なシミュレーションにより、結果をビジュアルに表示しながら、設計の上流でトレードオフ評価(デザインレビュー)ができることが重要である。将来的にはシステムレベルデザイン(SLD)としてモデリング方法(記述方法)等が必ず(須)であり、現在はいろ

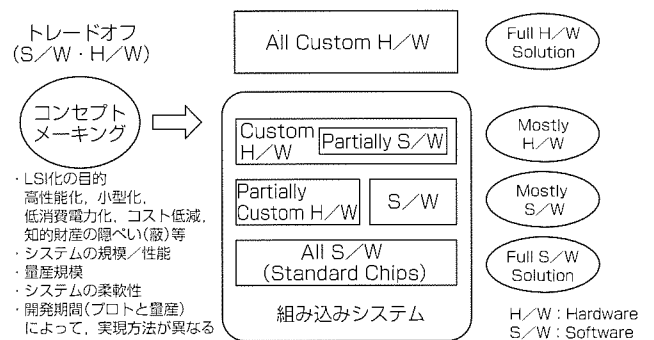


図1. ハードウェアとソフトウェアの協調設計(トレードオフ)

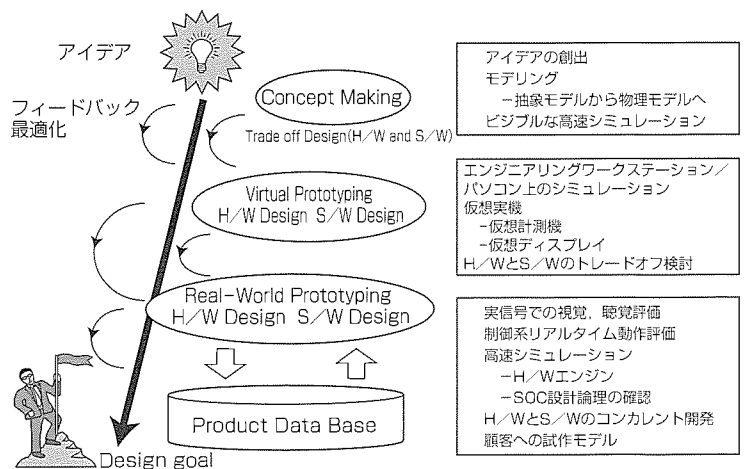


図2. 電子系トップダウン協調設計・検証システム

いる検討され始めた段階にある。

(2) パーチャルプロトタイピング

コンセプトメイキングの結果、仕様がある程度決まった段階でハードウェアとソフトウェアによる分担を決める。分割を自動化する研究は行われているが、現実的には専門家の経験と過去からの継続で決まることが多い。

パーチャルプロトタイピングでは、高性能なパソコンやワークステーション上で組み込みシステム(ハードウェア+組み込みソフトウェアから構成)をモデル化して、ハードウェアとソフトウェアのコシミュレーションにより、機能検証とシステム的な性能評価を行う。ソフトウェアを動作させてハードウェア部分主体に検証する場合、ハードウェア動作を模擬しながら組み込みソフトウェア部分を主体に検証する場合、及び新たに命令セットを追加するときにハードウェアとソフトウェアのトレードオフを行うために使用される。

ハードウェアと組み込みソフトウェアが動作するプロセッサのモデリングにおいて、タイミング精度を命令単位にするかクロック単位にするかゲート遅延単位にするかによってシミュレーション時間が大きく変動するので、ねらいを明確にして使い分けことが大事である。設計の上流ではいかに早く仕様上の問題を検証し下流でのテストケースに活用できるようにすることが重要であり、より粗いモデルで高速にシミュレーションし繰り返し評価できるようにすることがポイントとなる。

(3) リアルワールドプロトタイピング

パーチャルプロトタイピングのシミュレーション速度は実機に比べて 10^{-6} から 10^{-4} 程度になり、マルチメディア系や通信系のように人間の五感による評価が必要なものや応用ソフトウェアを含めた組み込みシステムの実動作に近い検証・評価等については、実機評価機(ブレッドボード)を作成して行うのが一般的である。特にLSIができる前に組み込みソフトウェアを動作・検証するときには必須である。また、顧客獲得のためには、実際に動作する試作モデルを見せることがますます重要になってきている。

従来の実機評価機の作成はその都度基板作成を伴うことから基板設計の開発コストや開発期間が必要となること、変更への追従が大変で複数セットの同期をとることが難しくなることから、FPGAやスイッチアレーを活用したエミュレーション技術が注目されている。エミュレーションでは、ワークステーションやパソコン上の設計データをネットワークからこれらのプログラマブル素子にマッピングすることにより、容易に実機に近い形で動作させることが可能となる。

ただし、適用に当たっては、現状のFPGAやスイッチアレー素子等の性能上1MHzから20MHzの速度でしか動作できないことを前提に、使い方を工夫する必要がある。ま

た、実現できる規模に応じて、数億円の設備投入を必要とするケースから自製の数百万円で実現できるケースがあり、対象規模とねらいに応じて使い分けことがポイントとなる。

4. 画像符号化システムへの適用

マルチメディア機器の組み込みシステムとして、画像圧縮・伸長システムを例に、設計の上流から下流までシームレスな協調検証を実現するトップダウン協調設計環境の適用事例⁽¹⁾を紹介する。

この開発では、コスト・性能・消費電力・柔軟性の面でバランスのとれた組み込みシステムを実現するために、図3に示す①、②-1、②-2、③の四つのフェーズからなる評価を実施した。

図の①は、アルゴリズムの実現方式を評価・検討するシステムレベルでのCモデルによるシステムシミュレーションである。

②は、ハードウェアとソフトウェアによるバランスのとれた実現方法の評価・検証のための、機能評価のためのハードウェアとソフトウェアの分割後の命令セットモデル+動作モデルによるコシミュレーションと、性能評価のためのRTLによるサイクル精度のコシミュレーションである。

③は、実機に近い環境でプログラマブルな論理素子とプログラマブルな接続素子によるシステムレベルでのエミュレーションを示す。

画像圧縮伸張システムは、一般に図4のような機能ブロックで構成されている。画像圧縮処理では演算量が多く専用回路によるハードウェア指向で、画像伸張処理は相対的に演算量が少ないことから、プロセッサによるソフトウェア指向で処理される方向にあり、アルゴリズムや製品目標に応じてハードウェアとソフトウェアの最適な組合せが重要になる。これを実現するために、プロセッサと専用信号処理回路との情報の授受をIOアドレス空間を利用した論理バス接続方式⁽²⁾⁽³⁾を適用してモジュール化を図り、ま

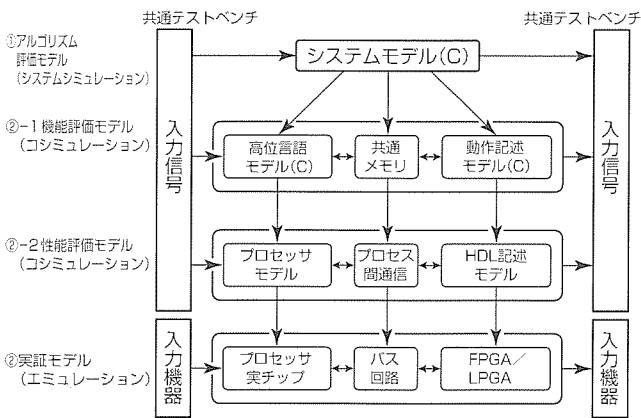


図3. トップダウン協調評価検証システム

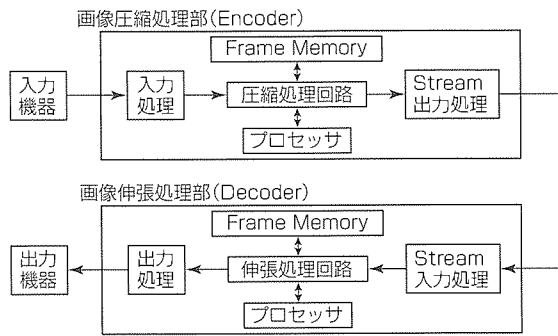


図4. マルチメディア対応組み込みシステムの構成

た、検証データとして共通化したテストベンチを適用した。このモジュール化とテストベンチの共用化により、検証モデルの独立性が保てることになり、各階層においていろいろな組合せで協調検証が可能となった。これにより、上流のシステムレベル検証から下流のシステムエミュレーションまでのシームレスなトップダウン協調検証が可能となる。

このシステムは、プロセッサの制御の下に、アナログ映像信号入力をデジタル信号に変換し、いったんフレームメモリに格納し、映像処理回路によって動き予測を行い映像データの圧縮を行う。この圧縮データを、プロセッサにより、更に符号化によって圧縮し、仕様で規定されたBit Streamの信号列に変換する。プロセッサとしては当社製M32R/Dを利用し、映像処理専用回路としてプロセッサの指示で動作を行う画像プロセッサを開発した。専用回路は約50Kゲートである。

評価は以下の4フェーズで実施した。

(1) Phase 1 : システムレベルシミュレーション

画像圧縮(符号化)のアルゴリズムをすべてC言語で記述し、アルゴリズムによる画像圧縮率と画像品質及び演算量を評価した。

(2) Phase 2 : ハイレベル言語モデルコシミュレーション

このレベルでは主にソフトウェアとハードウェアによる機能的な分担の評価が中心となる。ソフトウェア部とハードウェア部に機能分割し、ソフトウェア部とハードウェア部のインタフェースとして論理バス接続方式を採用した。ソフトウェア部分は、C言語で表現し、プロセッサからの制御によって映像圧縮処理を実現した。ハードウェア部は、動作記述レベルでC言語によってモデル化を行った。IOアドレス空間をソフトウェア部とハードウェア部のCプログラムの各々の共通メモリ空間に割り付けることにより、ソフトウェア部とハードウェア部のデータのやり取りを実現した。すべてCプログラムで表現され、ホストマシンで直接実行できるために高速な検証を行うことができた。

(3) Phase 3 : 命令セットレベル(サイクルベース)

同期設計を前提に、ソフトウェアも含めタイミング的に仕様を満足するかの評価を行った。ターゲットとなるプロ

セッサのキャッシュやパイプライン動作を模擬した命令セットシミュレータを使い、C言語で記述された組み込みソフトウェアをターゲットのプロセッサの機械語にコンパイルし、RTLレベルでモデル化されたハードウェア部と一緒にサイクルベースによるシミュレーションを行った。

(4) Phase 4 : 実チップレベルエミュレーション

システムエミュレータ上に開発したプロセッサ用のアダプタ及びFrame Memory用のアダプタを搭載し、映像圧縮専用回路の論理回路を4石のFPGAにマッピングし、これらの部品間の接続情報をスイッチアレーにマッピングを行った。当初1MHzで動作させ、最終的に4MHzまでチューニングを行い、実機に対して1/5の速度でエミュレーション可能とした。実際の画像を入力しながら、動きを伴った映像処理の評価を可能とした。

5. む す び

組み込みソフトウェアとハードウェアのトップダウン協調設計手法について解説し、画像圧縮・伸長システム開発への具体的な適用を紹介した。

ソフトウェアとハードウェアの協調設計を各設計フェーズで独立して実施するだけでは効果は少なく、各設計フェーズ間でスムーズに移行できるトップダウン設計環境を構築することが重要である。

今回の適用事例では、我々が提唱する論理バス接続方式を組み込みシステムのソフトウェア部とハードウェア部の共通インタフェースとして導入することで、各々の部品は他の部品と独立にモデル化でき、検証ステージ間を短時間で移行できることを確認した。特に高級言語モデルの採用により、プロセッサアーキテクチャを決定する前に高速なシステムシミュレーションを実行することが可能となる。

最後に、上流でのモデリング技術や仕様評価技術の更なる発展を期待する。

参 考 文 献

- (1) 楠原崇史, 木村廣隆, 清尾克彦: 画像圧縮/伸長システム開発におけるH/W・S/Wのコシミュレーションとラビッドプロトタイピング, DAシンポジウム'97論文集, 情報処理学会, 31~32 (1997)
- (2) Yasuda, M., Seo, K., Koizumi, H., Shackelford, B., Suzuki, F.: A Top-down Hardware/Software Co-Simulation Method for Embedded Systems based upon a Component Logical Bus Architecture, Proc. of ASP-DAC'98, 169~175 (1998)
- (3) 安田光宏, 清尾克彦: コンポーネント論理バスアーキテクチャーに基づくトップダウンコ・シミュレーション手法の提案, DAシンポジウム'98論文集, 情報処理学会, 7~12 (1998)

システムLSI応用製品の品質向上を ねらいとした検証・テスト技術

橋田光弘*
中野 哲*
君島達也*

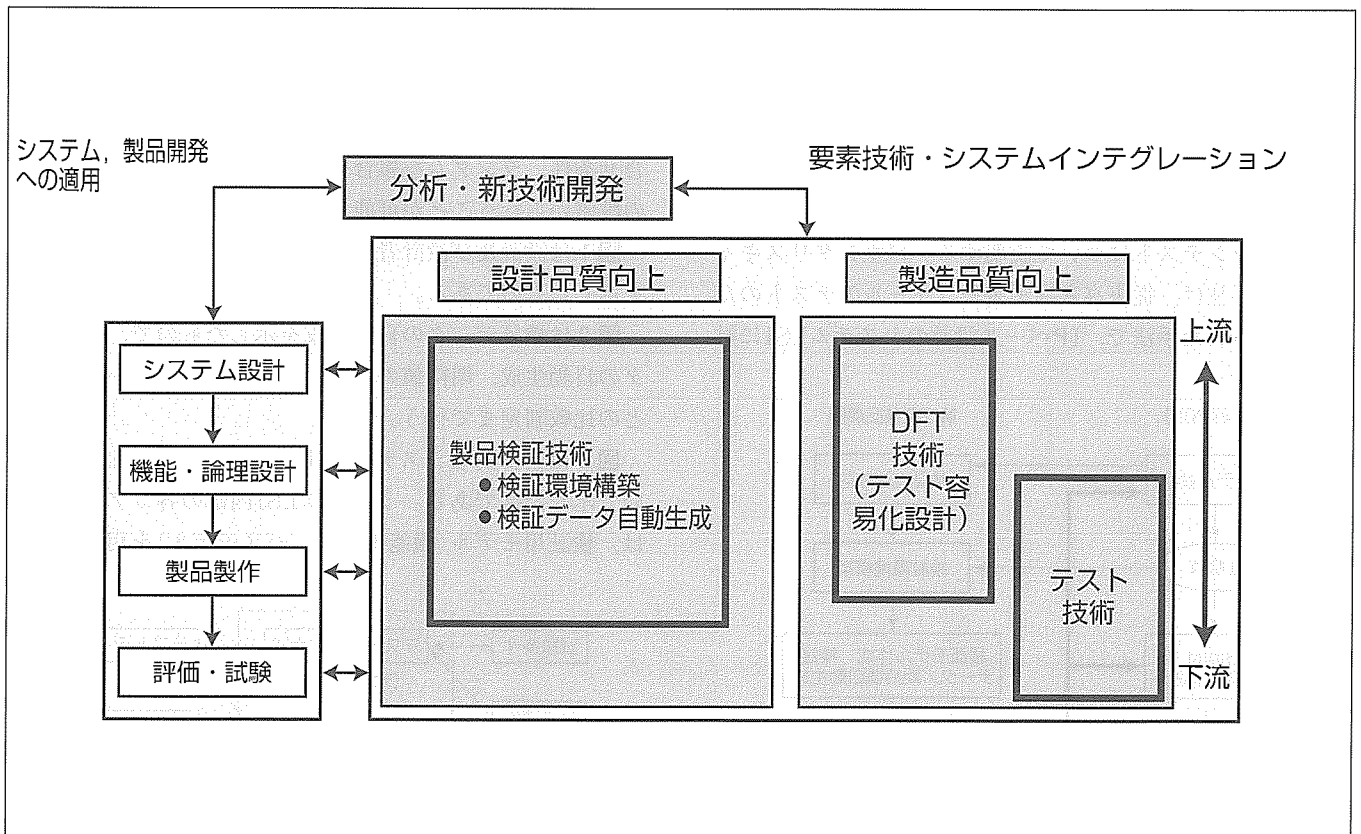
要 旨

微細加工を中心とする半導体技術の進歩に伴い、集積度の増加、及びそれに含まれる機能の複雑化が急速に進んでいる。このため、設計のクライシス(設計、検証、テストのクライシス)が叫ばれており、従来の設計手法ではLSI、及びLSIが組み込まれた製品の開発が困難になってきている。これに対してVSI(Virtual Socket Interface)アライアンスによる設計資産の再利用のための標準化検討が進められており、今後のシステムLSIを中心とする製品開発では、再利用可能なIP(Intellectual Property)コアを用いた設計により、システムLSIの回路の90%以上は再利用設計になると言われている。

この背景の下で、本稿では、今後のシステムLSIとその応用製品の開発において開発期間短縮と製品品質向上のキーとなる検証技術とテスト技術について紹介する。

検証技術に関しては、一つのアプローチとして、テストベンチの作成及び期待値との比較検証までの自動化を行い、設計者とは別の第三者による機能検証を行う“第三者的な検証技術”について紹介する。

テスト技術に関しては、システムLSIのテスト、バウンダリスキャンテストについて紹介する。バウンダリスキャンテスト手法は、従来高密度実装モジュールのテストのために検討された手法で、IPベース設計のシステムLSIに対してもバウンダリスキャンテスト手法が一つの解決策である。バウンダリスキャンテスト手法は、それ単独ではなく、スキャン設計、BIST(Built In Self Test)との組合せ、バスを使つてのテスト、システムのデバッグ、故障診断等にも適用できるものである。



製品の品質向上のためのフロー

製品検証技術：設計者とは別の第三者により、製品仕様を基にして機能の検証を行う。
DFT(Design For Testability)：適用するテスト方式、テストのための設計を盛り込む技術。
テスト技術：各種テスト方式の実現のためのテストデータ生成からテストまでの技術。

1. ま え が き

微細加工を中心とする半導体技術の進歩に伴い、集積度の増加、及びそれに含まれる機能の複雑化が急速に進んでいる。これに対して外部とのインタフェースとなる入出力ピンの数は、実装上の制約等から集積度の増加と比較して抑えられている。また、21世紀の初めには、プロセス技術が0.18 μm 、動作周波数が300MHz以上となり、1,000万素子以上のシステム回路を1 cm^2 程度のシリコンチップ上に実現できるようになると予想されている⁽¹⁾。このため、設計のクライシス(設計、検証、テストのクライシス)が叫ばれており、従来の設計手法のままではシステムLSI、及びシステムLSIが組み込まれた製品の開発が困難になってきている。これに対して、VSIアライアンスによる設計資産の再利用のための標準化の検討等が進められている⁽²⁾。今後のシステムLSIを中心とする製品の開発では、再利用可能なIPコアを用いた設計が進みシステムLSIの中の回路の90%以上は再利用設計になると言われており、IPを組み合わせた大規模な回路の設計、検証、テストが一番のポイントとなる。

本稿では、当社設計システム技術センターにおけるシステムLSI及びその応用製品の検証技術とテスト技術への取組について紹介する。

検証技術に関しては、一つのアプローチとして、検証データの自動生成とテストベンチを含めた期待値との比較検証まで自動化を行い、設計者とは別の第三者による機能検証を行う“第三者検証技術”について紹介する。

テスト技術に関しては、システムLSIのテスト、バウンダリスキャンテストについて説明する。バウンダリスキャンテスト手法は、従来高密度実装モジュールのテストのために検討された手法で、IPベース設計のシステムLSIに対

してもバウンダリスキャンテスト手法がシステムLSIのテストの困難さを解決する一つの解決策である。バウンダリスキャンテスト手法は、それ単独ではなく、スキャン設計、BISTとの組合せ、バスを使ってのテスト、システムのデバッグ、故障診断等にも適用できるものである。

2. 検証技術

第三者検証とは、製品(LSI)開発の早期の段階から以下の取組を行うことにより、設計品質向上と検証期間短縮を図る技術である。

(1) 第三者の立場からの仕様に基づいた検証

LSI/製品の設計者とは別の第三者の立場から、製品仕様・機能仕様を基に機能検証を行い、設計の初期の段階から不具合を検出し設計にフィードバックをかける。

(2) 効率的な検証環境の構築による製品開発期間短縮

設計の仕様検討の段階から製品開発に入り込み、過去の検証環境の再利用を図りながら、効率的な検証のための環境(人手では作成困難な検証パターンの自動生成と検証環境)構築を行い製品開発に適用する。

具体的には、検証データの自動生成が挙げられ、機能仕様を基に、機能検証用のテストパターンの自動生成、期待値の生成、検証結果と期待値との比較を行い、機能が正しく設計されているかどうかの判定とカバレッジの測定を行う。

これにより、CPU(Control Processor Unit)コアを内蔵した製品に対して、人手で作成困難な膨大な各種命令の組合せ条件、ランダムな組合せ条件による検証を設計の早期の段階から行うことが可能となる。

図1は設計及び設計者とは別の第三者による検証の流れを示したものである。

図2は検証データの自動生成を示したもので、検証データの自動生成、期待値の生成、シミュレーション実行結果との比較判定まで行う。

図3は具体的なシステムLSIにおける検証の仕組みについて示した図である。システムLSI内部の各コアに対しては、検証用モデル(機能モデル、バスモデル)を用意し、バ

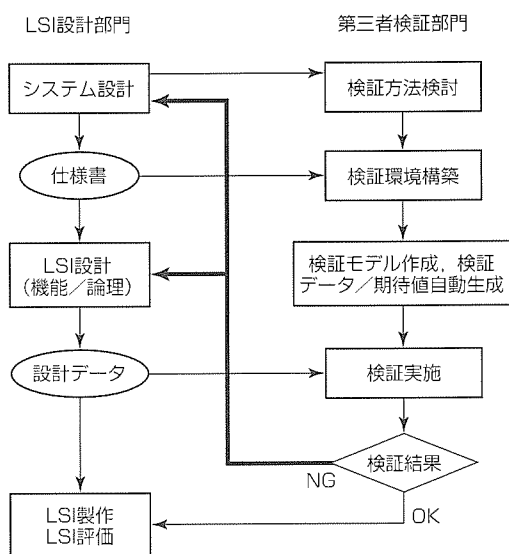


図1. 設計/検証フロー

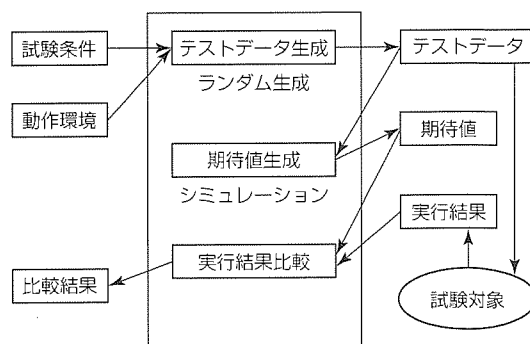


図2. 検証データの自動生成

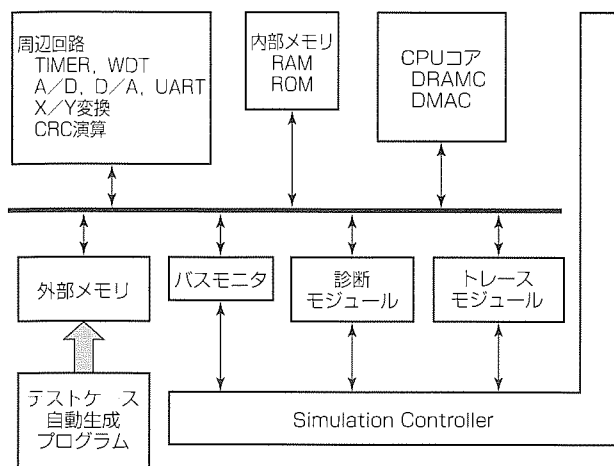


図3. 周辺回路内蔵システムLSIの検証

ス周りの検証用テストケース自動生成プログラム、コアの検証用テストケース自動生成プログラム、シミュレーションコントローラ、テストベンチ等で構成された検証環境を構築し、検証を実施する。

このシステムLSIの検証環境の構築において、CPUコアに対する検証環境、周辺バス周りの検証環境を、再利用可能な検証環境(すべて再利用することは難しいが、流用性を高める。)として構築した。これにより、類似/派生品開発において短期間での検証環境構築が可能となり、製品の品質確保と早期の製品出荷が実践できるようになった。

3. テスト技術

テストの取組としては、従来からLSIの大規模化によってテストが困難になってきたという背景の下で、各種の手法が適用されてきた⁽³⁾。LSIの大規模化によってLSI内部の論理状態の設定及び観測がますます困難になってきており、品質の高いテスト(高い検出率のテスト)が実施できない場合には、後工程にまで不良が入り込み、システムとしての検査コストを引き上げることになる。従来、LSIのコストはチップサイズを主に考えられてきたが、テストコストの増大に伴い、テストコストを含めたトータルコストで判断する必要がでてきた。

そのため、製品(LSI)開発の早期の段階から以下の取組を行うことにより、製造品質向上と設計期間短縮を図っている。

(1) 製品(LSI)へのテスト設計の盛り込み

LSI、モジュール、製品の仕様検討段階からテスト手法/テスト設計(テスト容易化設計)を検討し、その製品に最適なテスト設計を組み込む。さらに、テスト設計の自動生成/自動挿入/検証自動化による設計の効率化を図る。

(2) 品質の高いテストの実現

製品(LSI、モジュール、製品レベル)の故障検出率の高いテストを実現するために、人手では作成困難なテストデ

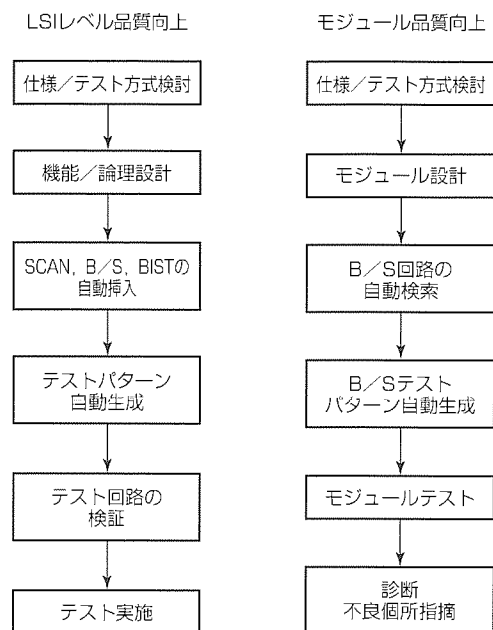


図4. 品質向上のためのテストへの取組

ータの自動生成によるテスト実施、故障診断のできるシステムを実現する。

品質の高いテストの実現のためには、LSIレベルからシステムレベルまでのターゲット製品のための最適なテスト手法の選択、テスト設計の自動化、及び検出率の高いテストデータの自動生成、テストの実現を図ることが必要である。

図4に品質向上のためのテストへの取組を示す。図では、LSIレベルとLSIが搭載されたモジュールレベルでの設計上流からのテスト方式検討、テストのためのテスト容易化設計の組み込み(スキャン設計、バウンダリスキャン(B/S), BIST)、テストデータの自動生成、テスト、故障診断までのフローを示している。ターゲットのLSIや製品に応じて一番適した手法を組み合わせることでテストシステム構築とテストの自動化を図っていくことが、開発期間の短縮と品質の高いテストの実現につながる。

4. テスト容易化設計とテストの自動化

テスト容易化設計とは、設計の段階でテストを考慮した設計を行うことで、回路内にシステムの通常動作のための回路とは別にテスト用の回路を入れてテストが容易に行えるように設計することである。これにより、故障検出率の高いテストの実施、テストコストの削減等のテスト上の問題点の解決を図ろうという考え方である。テスト容易化設計手法としては各種の手法があり、回路規模、回路の種類、製造ボリューム、必要とされる製品の信頼性等により、いずれかの手法又は幾つかの手法を組み合わせるものが一般的である。

これにより、検出率の高いテストデータの自動生成が可

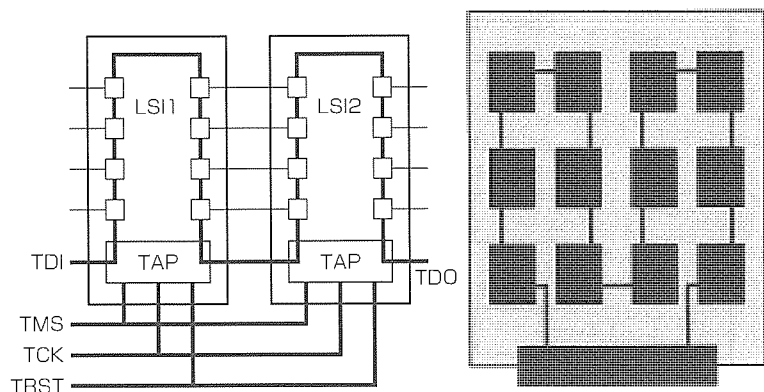


図5. バウンダリスキャンの例

能となり、開発期間の短縮、品質向上が実現できる。

- スキャン設計：フルスキャン設計／パーシャルスキャン設計の自動化、検出率の高いテストデータの自動生成
- BIST：メモリBIST、ロジックBIST、BIST回路の組み込みの自動化
- バウンダリスキャン：モジュールレベルテスト、LSI内のIPコアのテスト、バウンダリスキャン回路のLSI内部への組み込み自動化、テストデータの自動生成

図5の左図はバウンダリスキャン方式のイメージ構成で、右図はバウンダリスキャンLSIが搭載されたモジュールの例を示している。

このモジュールの例では搭載LSIがすべてバウンダリスキャンを採用し、モジュールレベルのテストでは、コネクタからのアクセスだけで検出率の高いテストを行うことができる。

今後のシステムLSIは、IPベースの設計に移行することから、以下のテスト方針で取り組んでいく。

- (1) テストのアプローチとしては、LSIの外部入出力からアクセスすることにより、①LSI内部のIPコアをほかからアイソレーションしてIP単体と同様のテストを行う、②LSI内部のIP間のインタフェースのテストを行う、の両者を実現する。
- (2) テスト手法としては、IP内部ではスキャン及びBIST

を組み合わせ適用する。IP間のテストではバウンダリスキャンを適用する。

(3) システム内のIP間のアイソレーション(システム内のIPを他のIPと切り離し、IP単体と同様のテストを行うため。)は、バス、マルチプレクサ、バウンダリスキャンを使うことによって実現する。

5. むすび

今後、システムLSI及びその応用製品の大規模化による“設計のクライシス”“検証のクライシス”“テストのクライシス”に対して、品質の

高い製品開発(Quality)、設計生産性の向上(Cost)、Time to Market(Delivery)を目指すために、以下のように取り組んでいく。

(1) 設計手法とインフラ

VSIアライアンスで標準化が進んでおり、再利用できるIPの設計方法、設計ルールの明確化、IP間のインタフェースの標準化、及び再利用のための仕組み(IPの登録、利用できるIPバンク)作り

(2) 検証

再利用性を高めた検証環境作り(製品検証IP)、IPを組み込んだシステムレベルでの検証方式の確立、設計上位レベルでのコシミュレーション、エミュレーションによる検証の実施

(3) テスト

IPを組み込んだシステムレベルのテスト手法の確立、バウンダリスキャンのIP/システムLSIへの展開、BIST、各種テスト手法の組合せによるテスト

参考文献

- (1) 日本電子機械工業会(EIAJ)EDA技術委員会EDAビジョン研究会：2002年EDA技術ロードマップ (1998)
- (2) VSI Alliance：VSI Architecture Documents version1.0 (1997)
- (3) 橘田光弘、白井健治、山元浩幸、松尾俊彦、山崎秀誉：大規模ASICのテスト設計手法とバウンダリスキャンテスト支援システム、三菱電機技報、69、No.10、931～935 (1995)

オブジェクト指向組み込みソフトウェア設計技術

要 旨

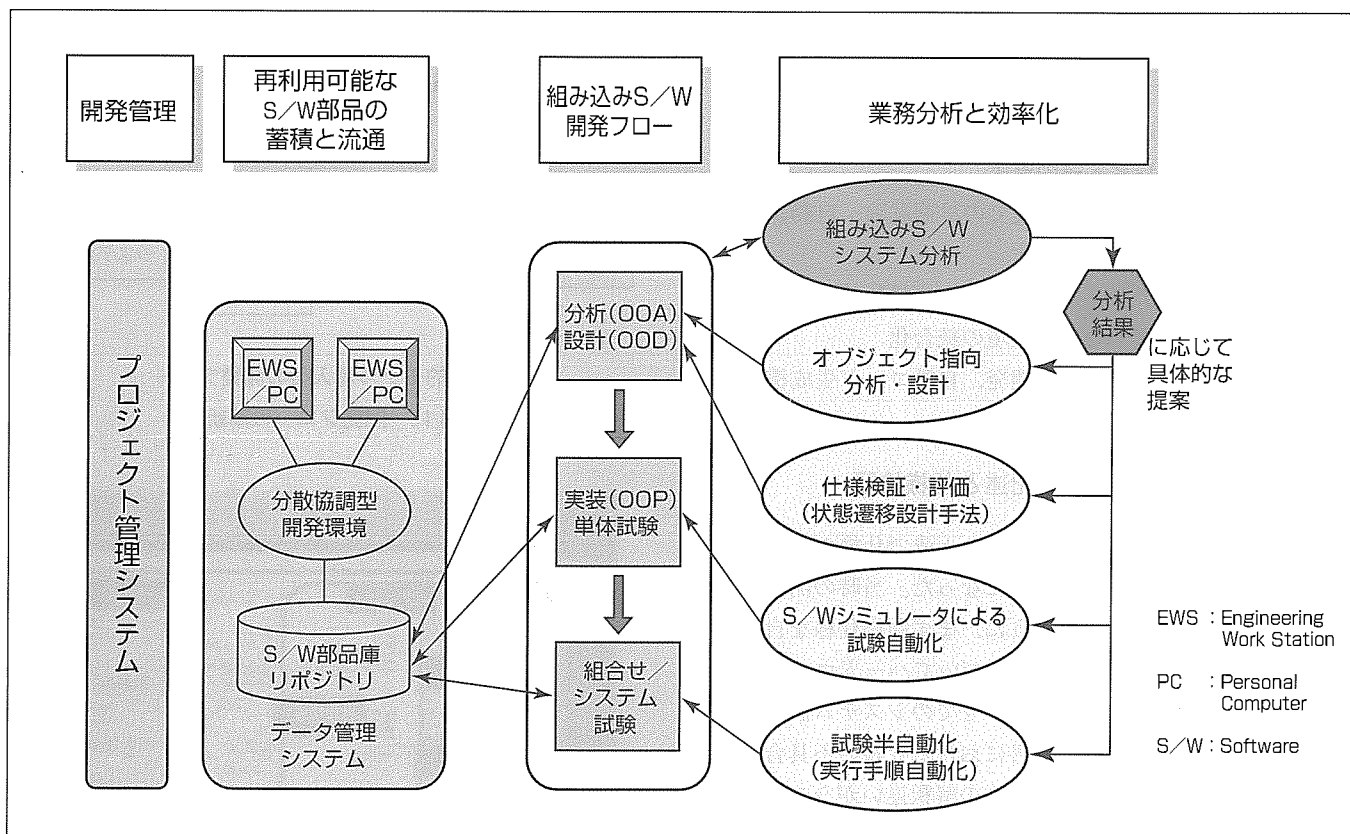
家庭電化製品，産業用機器，自動車用電装品など，電子機器はマイクロプロセッサを内蔵した組み込みシステムが多くなっている。ソフトウェアはハードウェアに比べて変更が容易なので，付加価値の向上に大きな効果を発揮する。特に近年，マイクロプロセッサの処理性能・機能の向上により，システムのソフトウェア指向化が進んでいる。また，機器のインテリジェント化に従って組み込みソフトウェア適用分野が拡大しており，組み込みソフトウェアの重要性が急速に高まるとともに，規模も急速に拡大してきている。

電子機器の典型的な開発フローでは，まず，機器としての概念設計とシステム設計を行う。これが完了すると，ハードウェアとソフトウェアに分かれて設計／製造を行い，

双方が完成した後，実機上でシステムとしての評価を行う。

この組み込みシステム開発において新機能の織り込みと短期開発を両立させるためには，システムとしての早期仕様フィックスと，分析からプログラミング／テストまでの一貫展開が必要である。また，従来型ソフトウェア開発は機能中心であるため，仕様追加／変更を重ねていくたびに仕様とプログラムがかい(乖)離していくという問題がある。

三菱電機的设计システム技術センターでは，これらに対するブレークスルーとして，オブジェクト指向を軸に設計プロセス改善展開を進めている。この一事例として，当社静岡製作所のルームエアコン室内機において，上流での仕様検証とソフトウェア試験の効率化によって開発期間短縮を実現した内容について述べる。



組み込みソフトウェア開発プロセス・環境改善

組み込みソフトウェアの設計生産性向上においては，設計上流から下流までの幅広い範囲において，業務分析に基づいて対象領域に最も適した効率化策を提案し，実行している。

1. まえがき

静岡製作所のルームエアコン開発において、室内機の組み込みソフトウェアの仕様をオブジェクト指向の動的モデルを用いて記述し、それをシミュレーションすることによって設計の上流で仕様の検証を行い、実機検証における大きな手戻りを防ぐ設計手順を確立した。また、併せてソフトウェア単体試験の自動化環境及び仕様検証とソフトウェア組合せ試験の統合化環境を構築し、新規開発時におけるソフトウェア開発期間半減を実現した。

2. 課題とねらい

静岡製作所のルームエアコン室内機開発においては、詳細な制御仕様書を作成し、これに基づいて組み込みソフトウェア作成を行っているが、それでも以下の問題があり、更なる品質向上と開発期間短縮が必要であった。

- ①仕様検討不足(仕様相互の矛盾, 考慮不足)
- ②仕様の誤解
- ③実機評価工程で不具合が検出されるケースがある
- ④評価・品証期間の長期化
- ⑤ボード開発, ソフトウェア試験, 実機評価がシリアルであり, 開発期間が長い

これに対して分析を行い, 下記対策を立案した。

①②に関しては仮想環境で制御モデルを作成して十分な検証を行い, 設計手戻りを減らす。

- 動的モデルによる仕様記述と動作シミュレーションによる設計レビューの充実

③④に関しては仮想試験環境での早期試験, 自動試験を充実し, 実機評価項目を減らす。

- ソフトウェアシミュレータによる単体試験自動化
- 仕様検証と組合せ試験環境の統合化

⑤に関してはコンカレント開発, 自動コード生成機能の活用により, 開発を並行して行う。

3. 動的モデル記述と仕様検証

現状の分析を行った結果, 開発の下流で仕様の問題が顕在化しているという点が明らかになった。当時の開発フローでは, 図1上段(a)に示すように, まず制御仕様を自然言語(日本語)で作成し, それに基づいてハードウェアとソフトウェアを開発し, 両者を合わせてのシステム試験を行っていた。したがって, 仕様書における仕様の不具合及びソフトウェア開発者における仕様の解釈違いがシステム試験の段階で発見され, 大きな手戻りが発生していた。

自然言語による仕様の記述はあいまい(曖昧)性を完全に排除することが困難であり, 仕様書を基にしたのデザインレビューでは仕様の抜け, 誤りが発見しにくい。また, 読み手による解釈違いが発生しやすいという問題点がある。

そこで, これを解決するため, 形式的に制御仕様を記述し, ソフトウェア作成前にこれを検証するという方式を導入して, 開発フローを革新することとした。

形式的記述方法として, オブジェクト指向の代表的手法であるOMT(Object Modeling Technique)法⁽¹⁾の動的モデルを採用した。動的モデルとは, StatechartというHarelの拡張状態遷移図でオブジェクトの動的な動きを状態の移り変わりによって記述したものである。

まず, オブジェクト指向分析を行い, オブジェクトを抽出してオブジェクトごとに動的モデルを作成した⁽²⁾。

図2にルームエアコン室内機制御を記述した動的モデルの一部を示す。隅の丸い四角がそれぞれ状態を表しており, 状態は階層的に表現される。また, それぞれ独立に存在する並行状態も記述できる。

さらに, CASEツールを使用し, 記述した動的モデルを動的にシミュレーションして仕様の検証を行った。このツールは, 検証の入出力をビジュアル化するもので, パネルを作成する機能も持っている。今回の開発においては, この

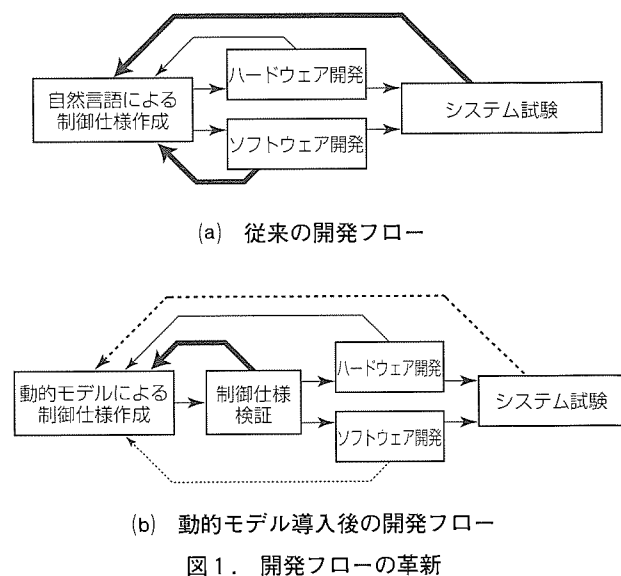


図1. 開発フローの革新

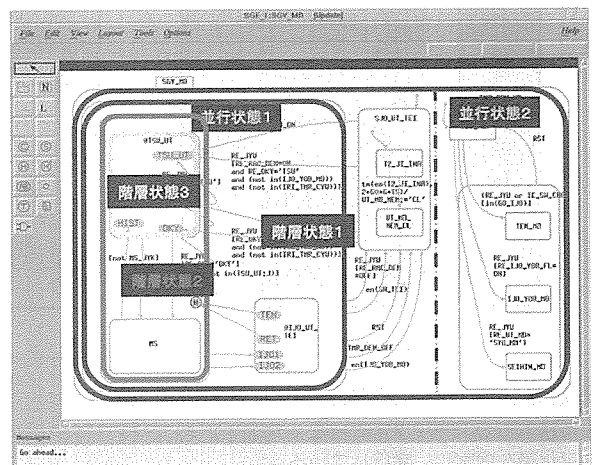


図2. 動的モデルの一部

機能を用いて、室内機に指示を送るリモコン、風速／風向制御のためのファン、フラップ、ベンチレータ、温度／運転表示のためのLED、及びセンサから取り込んだ温度を設定する疑似センサとしての温度パネル等を作成した。

シミュレーションは、リモコンパネルのボタンをマウスでクリックして動的モデル内の状態遷移を起こし、その結果をこれら仮想アクチュエータのパネルの動き等で確認するという形でビジュアルに実行する。この画面例を図3に示す。

このビジュアルで動的な仕様検証によって関連部門を含めたレビューの効率が大幅に向上し、自然言語の仕様書のみでは困難であった質の高いレビューが可能となった。これにより、設計上流で仕様を検証し、正しい仕様をソフトウェア作成者に曖昧さのない形で渡せるようになった。

ルームエアコンの場合は毎年のモデルチェンジによる機能変更が比較的小さく、仕様の継続性が高いため、作成した動的モデルを毎年高い比率で再利用している。

4. コンカレント開発

CASEツールは、記述された動的モデルと等価な動作をするプログラムを自動生成する機能を持っている。このプログラムはサイズ効率が人手で作成したものに対して低いなどの問題があるためそのまま量産製品に載せることはできないが、Rapid Prototypingとして活用することによってプログラム作成前の実機評価を実現した。これは、室内機実機と自動生成した新機種制御モデルを組み合わせ、プログラム作成前に風の出具合などの快適性にかかわる仕様の妥当性検証を行えるようにしたものである。

ここでは、図4に示すように、EWS上で動作している制御モデル(自動生成したプログラム)から出力したファン、フラップ等のアクチュエータへのドライバ指示値をシリアルインタフェース経由で送り出し、これを解釈する小さなボードを間に挿入して、ドライバ指示値を室内機実機につ

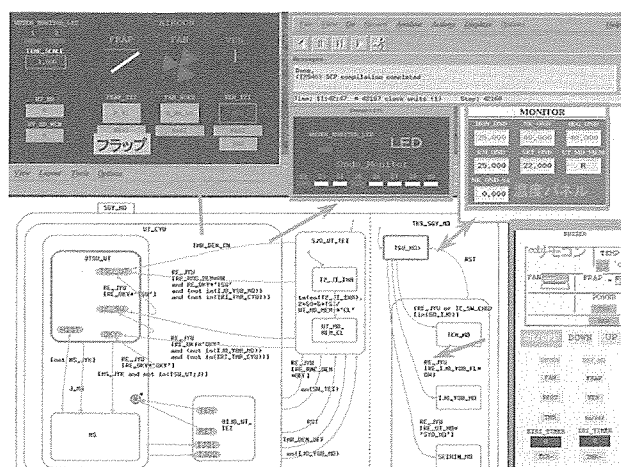


図3. 動的モデルのシミュレーション画面例

なぎ込み、あたかも室内機上のマイコンから指示が出ているようにして室内機を動かしている。

これによって、仮想環境のみでは不可能である仕様妥当性も含めて、設計上流における仕様の評価／検証を可能とした。

5. ソフトウェア単体試験の効率化

従来、ソフトウェアの検証は実機にICE(In Circuit Emulator)を接続して行っていたが、これには、

- 実機及びICEがないと試験ができない
- 繰り返し試験を実施するのに手間が掛かる
- ICEは高価であるため、十分な数量が確保しにくいという問題点があった。

仕様変更や不具合によるソフトウェアの修正工数はわずかであっても、修正のたびに再試験が必要なので、再試験に掛かる工数は修正回数に比例して増大する。したがって、試験方式の改善策として、1回目の試験に要する工数を削減するために試験手順を自動化し、再試験も容易に実行できるようにするため、試験手順再利用を可能とするシステムの開発を行った。

まず、EWS上で機械語を解釈して実行するCPUシミュレータ／デバッグを導入した。

試験手順としては、

- 試験データ作成
- 入力条件の設定
- 被試験ソフトウェアの実行
- 試験結果の判定

があるが、このうち、試験データ作成を半自動化し、残りを自動化した。

試験データ作成は、ソフトウェア内部設計で作成されたHCPチャート(Hierarchical Compact Chart)の処理フローを基に被試験モジュールのプログラムロジックを解析することにより、試験データの基となるテンプレートを作成する。これにユーザーが期待値を追加することによって試験

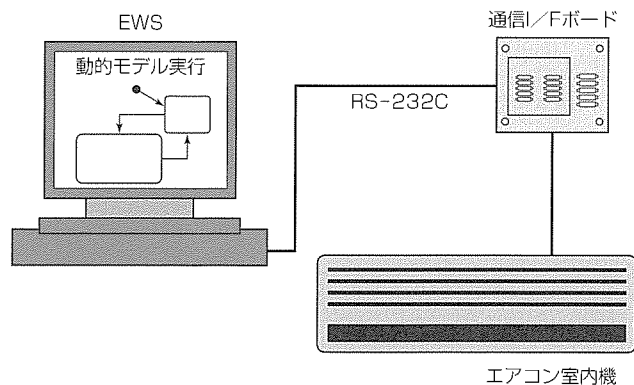


図4. 設計上流での実機評価環境構成

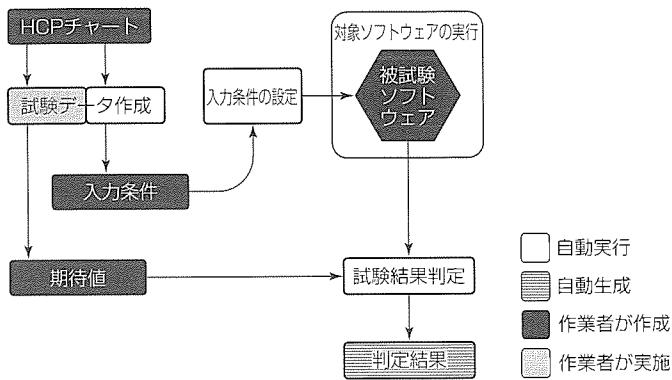


図5. 単体試験自動化環境における作業フロー



図6. 単体試験画面例

データを完成させる方法を採用している。
この自動化環境における作業フローを図5に、シミュレータの画面例を図6に示す。

6. 仕様検証と組合せ試験の統合化環境

人手で作成した量産用プログラムが動的モデルで検証した仕様と等価であることを保証しかつソフトウェア試験を効率化するため、ソフトウェア組合せ試験の自動化環境を構築するとともに、仕様検証環境とソフトウェア組合せ試験環境を統合化した。この環境では、図7に示すように、仕様検証で使用したテストデータをそのままソフトウェア組合せ試験でも使用できる。組合せ試験環境は、試験ボードにマイコンを搭載した実機と等価な環境を構築し、テストデータの蓄積、テスト実行はすべてPCから制御する形態とした。

7. むすび

設計上流での仕様検証実施、ソフトウェア単体試験、組合せ試験の効率化による組み込みソフトウェアの生産性と

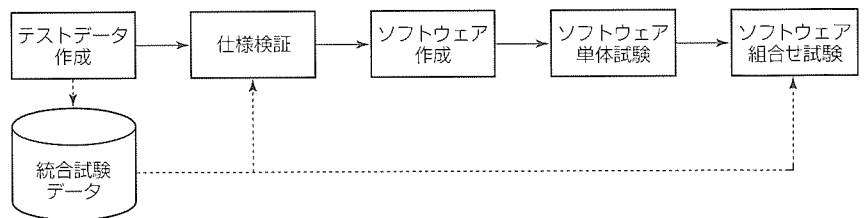


図7. 統合化試験環境

品質向上の事例を紹介した。今後、各手法の水平展開を進めるとともに、各フェーズにおける自動化を推進し、更なる設計生産性と品質向上を推進する。

参考文献

- (1) J.ランボー, M.プラハ, W.プレメラニ, F.エディ, W.ローレンセン: オブジェクト指向方法論OMT, プレンティスホール/トッパン
- (2) 松井聡一, 小泉寿男, 立花幹生, 原島忠雄, 森重文: 仕様の状態遷移図記述による組込みソフトウェア開発手法, 電気学会論文誌C, 232~241 (1998-2)

タービン発電機への三次元設計適用

要旨

近年、更なる競争力の強化を図るために、様々な分野において製品開発プロセスにおける三次元化が取り組まれている。三菱電機の電力・産業システム事業所においても例外ではない。

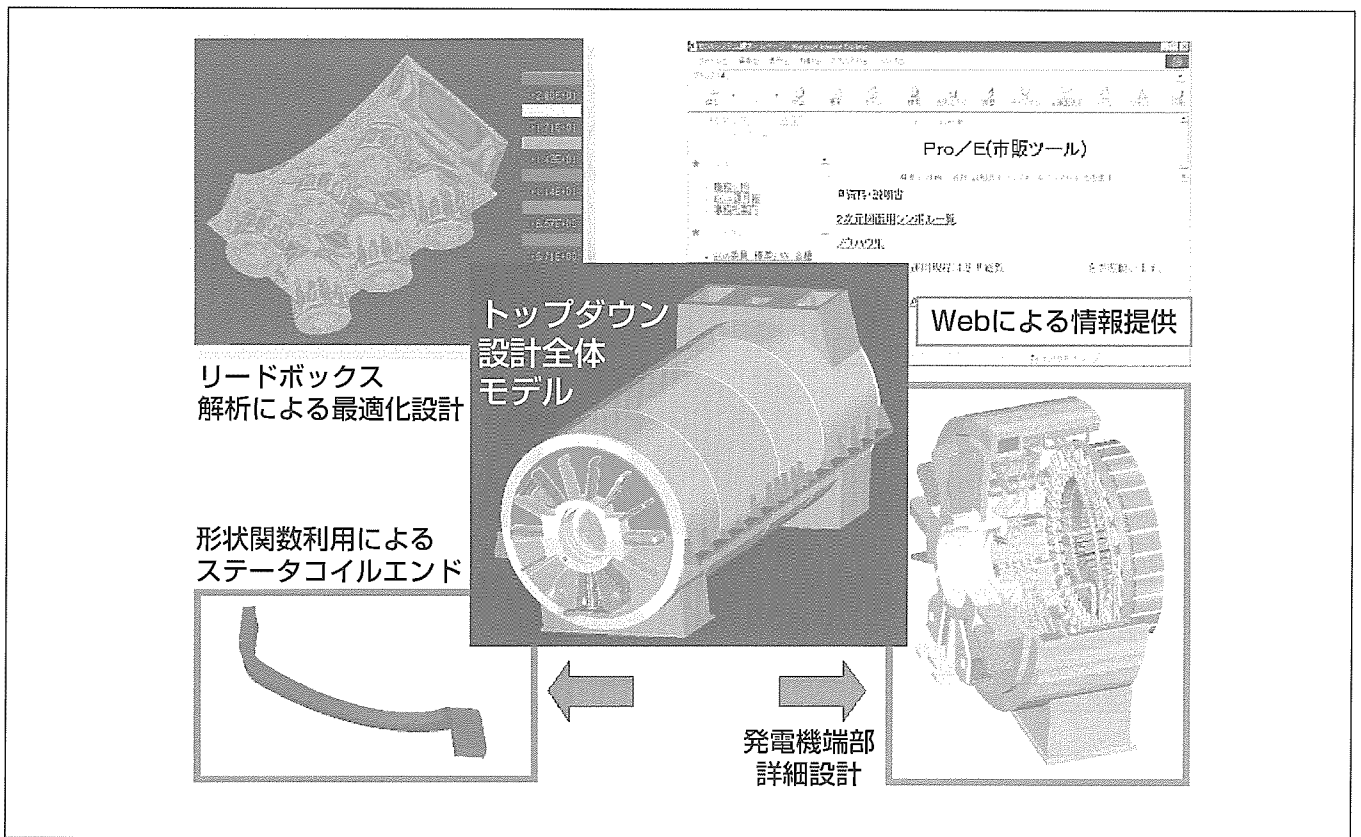
当所において、回転機ではタービン発電機や水車発電機に、パワーエレクトロニクス機器ではUPS(無停電電源装置)やSIV(車両用補助電源装置)に、製造支援部門では治工具設計に三次元設計を適用するなど、三次元データを中心とした製造体制を構築中である。

本稿では、これらの中からタービン発電機を取り上げ、三次元設計適用事例の紹介を行う。

タービン発電機は、長い歴史を持つ機器の一つであり、

顧客からの仕様に応じた設計を行っている。大きな物では900トンクラスの発電機で部品点数が約25万点と多い。また、需要の伸び悩み、グローバルな競争激化など環境の変化が年々厳しくなっており、タービン発電機でも競争力の強化が急務である。課題として構造の最適化、設計期間の短縮、開発力の強化などがあり、これらを実現するために設計部門に三次元設計を適用した。

主な適用内容は、構想設計から構成部品を作り込んでいくトップダウン設計手法、構造設計と解析をコンカレントに行うことによる最適化設計、Webによる情報提供であり、これらを中心に紹介する。



タービン発電機の三次元設計適用マップ

三次元CADを①構想設計から構成部品を作り込んでいくトップダウン設計手法、②解析による最適化設計、③形状関数利用によるステータコイルエンドのモデリング、④Webによる情報提供などに適用した。

1. ま え が き

タービン発電機において、競争力の強化を目的として設計部門に三次元CADを導入した。

三次元CAD導入の主な目的は次のとおりである。

- 構造の最適化(解析, 三次元モデルによるデザインレビュー, 干渉チェックなど)
- 設計期間短縮(計画設計, 構造計画, 強度解析, 製作図作成までをコンカレントに行う。)
- 設計工数削減(自動設計, 図面レス)
- 設計作業の質の向上(創造的・知的作業へ移行)
- 製造間接業務の効率化(図面レス, CADデータ活用)

本稿では、トップダウン設計手法による構造設計、構造設計と解析をコンカレントに行うことによる最適化設計、Webによる情報の共有化などについて紹介する。

なお、三次元CADとしては米国Parametric technology社のPro/ENGINEERを採用した。

2. 構造設計適用事例

タービン発電機は、大きな物では900トンクラス的大型機で部品点数が約25万点と非常に多く、一般的にはラージアセンブリの範ちゅう(矚)に入る。このためトップダウン設計(設計リーダーが作成した計画図を基に複数の担当者が各ユニットを設計する。)を行う必要があり、三次元

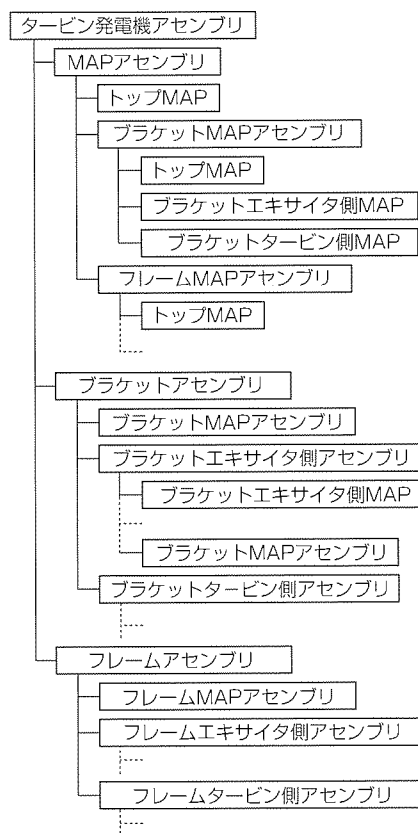


図1. タービン発電機アセンブリツリー

CAD上でそれを実現した。また、作成した三次元モデルを他の枠番に展開するために、レイアウト機能によるパラメータ制御を用いた。

ここでは、三次元トップダウン設計手法とレイアウト機能によるパラメータ制御をメインに紹介する。さらに、タービン発電機の中で複雑な形状をしているステータ(固定子)コイルエンドのモデリングについても併せて紹介する。

2.1 三次元トップダウン設計手法

三次元CAD上でトップダウン設計を実現するために、MAP(マップ)手法を用いた。MAP手法とは、設計リーダーが構想設計を行う際に製品の概略形状及び配置情報をMAPモデルとして持たせておき、ユニット設計の担当者がそれを参照しながら詳細設計を行うといった三次元トップダウン設計手法である。MAP手法を使うことで、構想設計から詳細設計への展開、親子関係の管理、ラージアセンブリに対するハードウェアの負荷軽減、ユニットの流用などが容易にできるメリットがある。

(1) アセンブリツリー作成

モデリングに先立ち、タービン発電機の製品構成を明確にする目的で、アセンブリツリーを作成する(図1)。このときMAPの役割を明確にし、設計を効率的に行う上で各MAPをどこに置けばよいかを検討する。また、アセンブリツリー上にユニット間の位置関係や参照条件を記述しておく。これらをモデリングの前に十分検討することで、後々の設計変更に対し柔軟に対応ができる。

(2) MAPモデル作成

MAPモデルには、トップMAPとユニットMAP(例えばブラケットMAPアセンブリ)がある。前者で製品全体の構想設計を行い、後者でトップMAPを参照しながら、ユニットの構想設計を行う。さらに、ユニットMAPを参照しながら、ユニットの詳細設計を行う。ここでは、MAP手法によるトップダウン設計(トップMAPで全体の構想設計を行い、ユニットの詳細設計まで行う。)の流れを示す。

ユニットとしてブラケットの例を下記に示すが、フレームについても同様に行う(図2)。

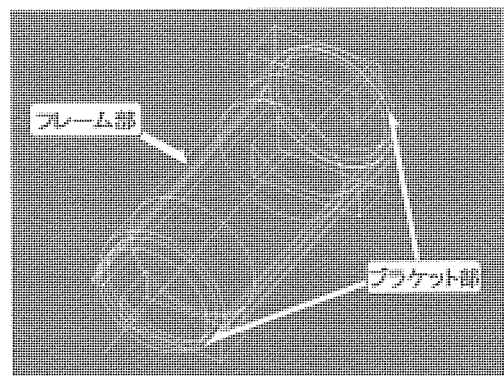


図2. トップMAP

(a) 全ユニットの外形簡略形状をトップMAPとして作成する。このとき、基準平面、基準座標系、サーフェスなどを用いながら製品全体の概略設計を行う。

(b) (a)で作成したトップMAPを各ユニットMAPの下に組み付け、各ユニットMAPの環境下でトップMAPを参照できるようにする。ブラケットMAPの環境下で、トップMAPの形状を参照しながら、ブラケットの構想設計を行う。

(c) ブラケットアセンブリ以下にブラケットMAPを組み付け、これを参照しながら、ブラケットの詳細設計を行う。

図3にブラケットのMAPとサブアセンブリを示す。

2.2 レイアウト機能によるパラメータ制御

タービン発電機は断面の標準化がなされており、出力の変化にはステータコア長を変えて対応している。今回は、三次元モデルが保持する寸法を個々に表示させて修正するのではなく、レイアウト機能(Pro/ENGINEERの機能の一つ)を用い、シート上で一括修正できるようにした。レイアウト機能とは、三次元モデルとシート上で作成

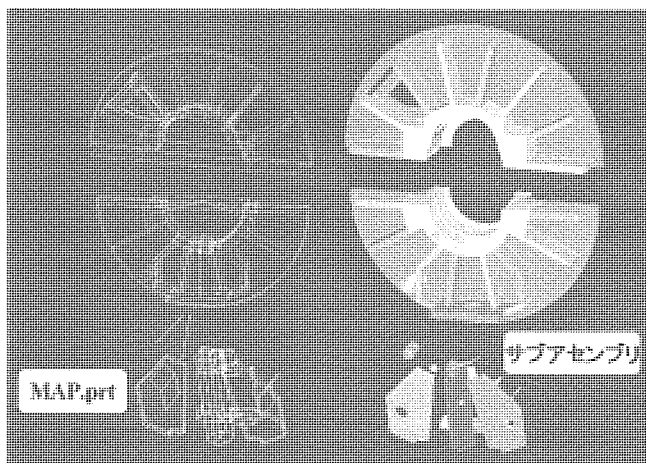


図3. ブラケット(MAP, サブアセンブリ)

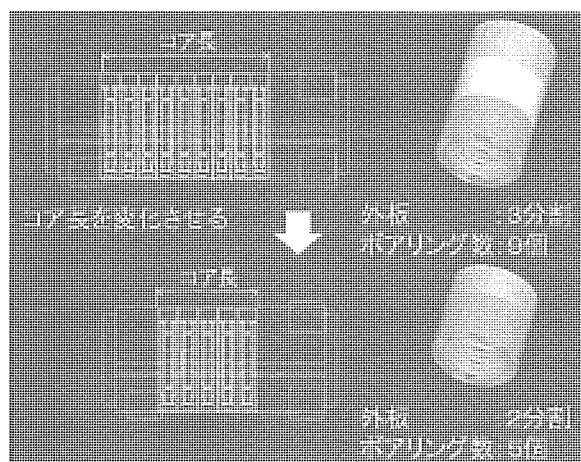


図4. レイアウトによるパラメータ制御

した主要パラメータとの関連付けを行う機能である。例えば、シート上でステータコア長を変えると、外板長さ及びボアリング(コアを支持する部品)の数が自動的に変わる(図4)。

2.3 形状関数利用によるモデリング

ステータコイルエンドは、インボリュート曲線を持つかなり複雑な形状である。二次元図面からの形状把握、干渉チェック及び絶縁距離チェックを行うには、経験豊富な熟練者がそれなりの時間をかけていた。三次元モデルを作成することで、これらを比較的経験の浅い設計者でも確実に行えるようになった。今回、形状関数(インボリュート曲線)を利用して基本形状を作成した後に円すい(錐)面に沿わせてモデリングすることにより、ステータコイルエンドの三次元モデルを作成した(図5)。この三次元モデルを使用して発電機端部設計を実施した。

3. 解析適用事例

設計初期段階で設計者自らが構造設計と解析をコンカレントに行うことで最適化設計を実現した。ここでは、事例として、リードボックスの強度解析を紹介する。

(1) 解析用モデル作成

設計用モデルを解析用モデルとしてそのまま使用すると、板と板の接合部分があるとうまく中立面が生成できない等という問題があり、設計用モデルとは別に解析用モデルを作成した。フィーチャ(立体の形状要素)の種類を限定してモデルを作成することで、中立面が自動生成できるようになった。また、前述のレイアウト機能を用い、主要パラメータを設計用モデルと解析用モデル間で連動させた。

(2) 強度解析

水素冷却タービン発電機は密閉構造をしており、フレーム及びリードボックスに水素ガス圧が加わるため、強度を確認する必要がある。リードボックスは発電機のフレーム下部に位置しており(図6)、従来はリードボックスに6本のシリンダを取り付ける構造となっていたが、構造簡素化を目的に、リードボックスを廃止し、フレームから直接シ

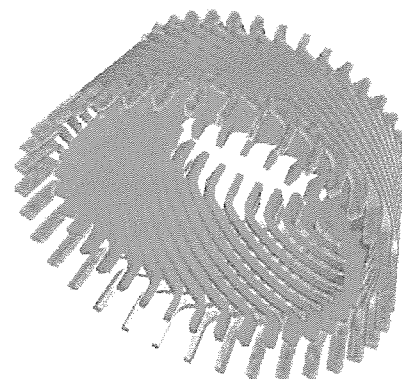


図5. ステータコイルエンドモデル

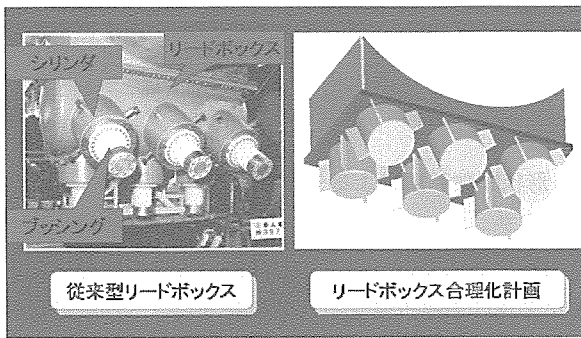


図6. リードボックス形状

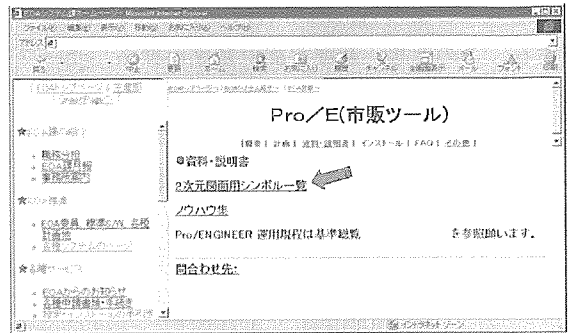


図8. Webによる検索画面例

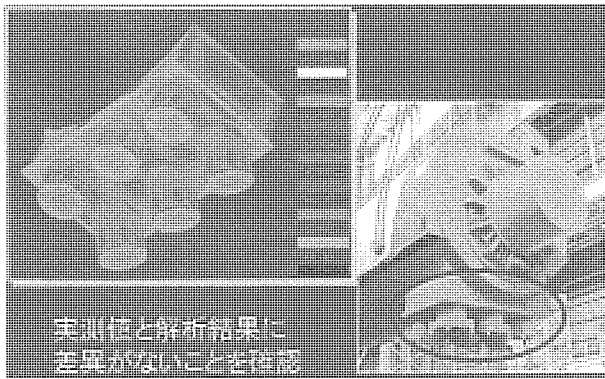


図7. リードボックス強度解析例(新型構造)

リングを出す構造に変更することになった。

今回、Pro/ENGINEERで作成した三次元モデルを利用し、Pro/MECHANICA (Pro/ENGINEERと同じ米国 Parametric technology社の解析ツール)でフレームに加わる内圧に対する強度検討を行った。この結果、新型構造において応力が許容範囲内に入るように最適化設計を行うことができ、大幅な構造簡素化を達成することができた。解析精度の検証は、フレームに加わる最高内圧をかけた水圧試験を行い、解析値と実測値で差異がないことを確認した(図7)。

4. Webによる情報提供

三次元CADに限らず新しいシステムが導入されると、初期段階特有の操作方法での苦勞が多い。試行錯誤をしながら操作テクニックを修得していくわけであるが、その情報を部門内で閉じるのではなく、部門間で共有できれば操作修得の効率を上げることができる。そこで、ホームページに情報を掲載することで設計者のパソコン上で手軽に見られる環境を構築した。掲載内容としては、二次元図面用シンボル一覧及びPro/ENGINEERの操作に関するノウハウ集である。図8にWebの検索画面例を示す。

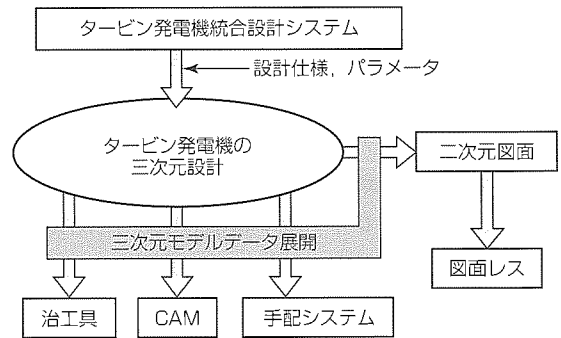


図9. 今後の展開

5. 今後の展開

三次元CADは、設計部門だけでなく、製造部門全体に展開して始めて大きな効果生まれる。現状は構造設計と解析へ適用した段階であるが、今後は更に展開させて、タービン発電機統合設計システムから設計仕様及びパラメータをPro/ENGINEER上に取り込み三次元モデルを自動作成できるシステムの構築、製品三次元モデルを活用した治工具の設計や製造計画、製品三次元モデルからCAMへの展開、製品三次元モデルから手配システムへのデータ活用などを計画している(図9)。現在、図面レスに向けて、三次元モデルと購買仕様書、工作仕様書で購入・製造を行う検討を開始している。

6. むすび

構造の最適化、設計期間の短縮、開発力の強化などの課題を実現するために、タービン発電機に対し三次元設計を適用した。成果として、①三次元構造設計手法の確立、②構造設計と解析をコンカレントに行うことによる最適化設計の実現、などが挙げられる。データ管理も含めて、三次元データを中心とした製造体制を構築し、設計生産性及び設計品質の一層の向上を図る所存である。

1. ま え が き

PDMシステムとは、一般的に製品にかかわる仕様書、図面、構成情報、プロセス情報等のデータを、概念設計から製造までの業務の流れに対応し管理するものである。

市販のPDMシステムは設計のデータ管理やワークフロー管理など多彩な機能を備えているが、導入コスト・運用コストの面で容易に使えるソフトは多くはない。

本稿では、Web上に構築した回路設計からプリント基板設計までを支援する安価なプリント基板設計PDMシステムの構成と実運用の事例を紹介する。

2. システム概要

2.1 目 的

今回のプリント基板設計PDMシステムでは、①製品・ユニットの構成情報(Family Tree：F/T)を骨格にした、個別情報の共有による業務のコンカレント化、②新規設計/改定→検認→登録・出図→手配など、シームレスなワークフローの構築によるステータス把握の容易化と先取り管理、③作業中情報と出図情報(正)の区分が保証された正確な情報による確かな業務の遂行を可能とし、重複入力/管理業務の排除、図面作成の標準化の加速、図面品質向上による工程の安定化、設計出図期間の短縮を図ることを目的とした。

2.2 機 能

このシステムの機能概要を以下に述べる。

(1) 図面管理

図面番号の自動・指定採番機能や、台帳検索・参照機能、CADデータの取り出し等を行う機能である。従来は紙ベースで管理されていたものを、電子データで管理を行うものである。

また併せて、価格計算や質量計算も可能としている。

(2) ワークフロー管理による出図検認

照査・検認等を電子的に管理する。

(3) 品目表による図面作成・出図

“品目表(Combination Parts List：CPL)”とは、従来用いていた“PCA部品表”と“組立図品目欄”を統合した新様式図面である。これを作成・管理する機能である。

図面情報・品目情報の流用や改定も可能であり、既存部品の検索・選択による品目表テンプレート作成機能、Excel(Microsoft社)によって作成・修正されたファイルのアップロード登録機能により、効率的な図面作成が可能である。

(4) 基準情報の自動生成

部品手配や生産管理等に使用するP/N(Parts Nomenclature)やP/S(Parts Structure)等の情報を、図面作成完了時に自動で生成する機能である。

(5) 電子図庫への自動図面登録

既存の図庫システムへのI/Fを持ち、CADデータや図面イメージファイルを登録する機能である。

2.3 特 長

図1に図面番号採番から検認までの業務フローとシステム動作概要を示す。また、以下に機能及び特長を述べる。

(1) 図面台帳機能

従来、図面番号採番は紙の台帳で管理されていたが、電子的に管理を行うことにより、採番・検索・参照等の効率化を図ることができる。また、図面検索結果からCADデータファイルやストレス解析用データ等の容易な取得が可能である。図2に図面台帳画面の例を示す。

(2) 出図検認

ワークフローによってステータス管理を行い、出図の照査・検認を電子的に行う。ワークフローには“パケット”

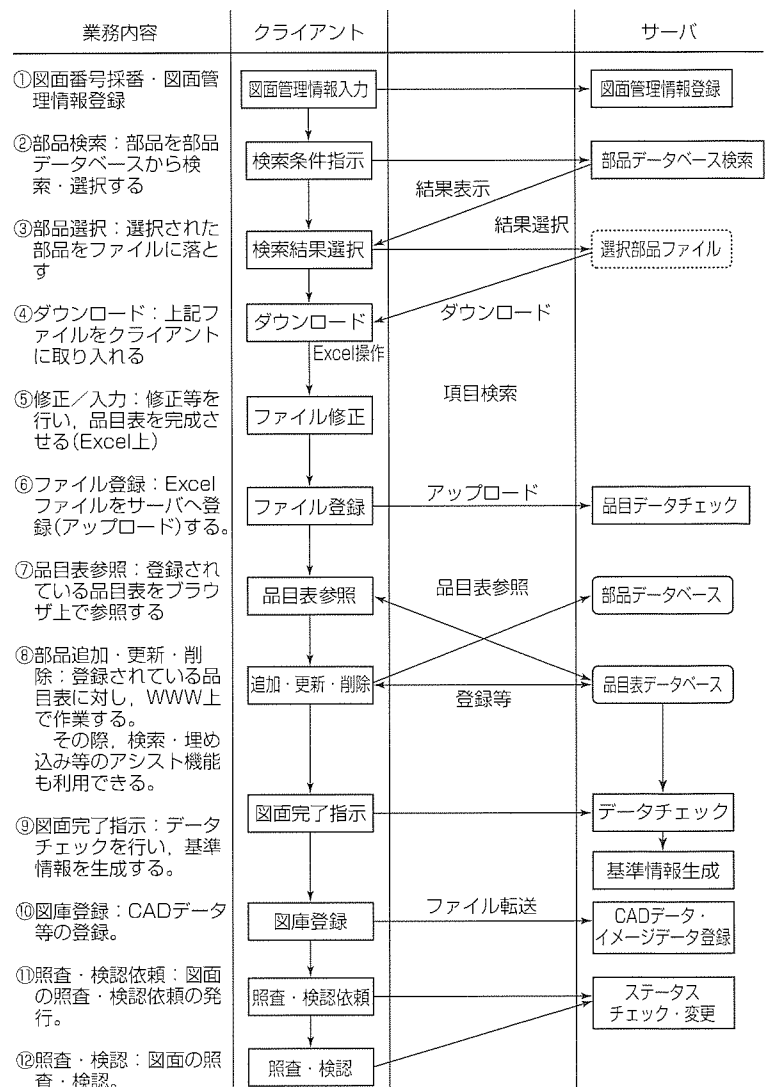


図1. 業務フローとシステム動作概要

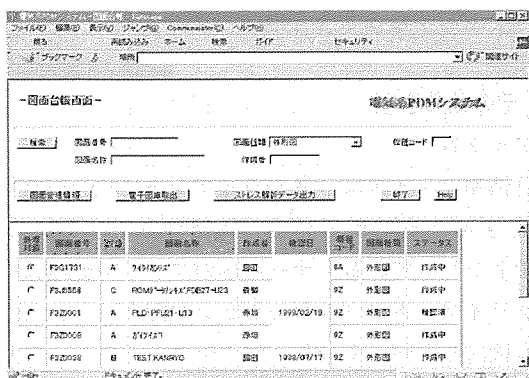


図2. 図面台帳画面の例

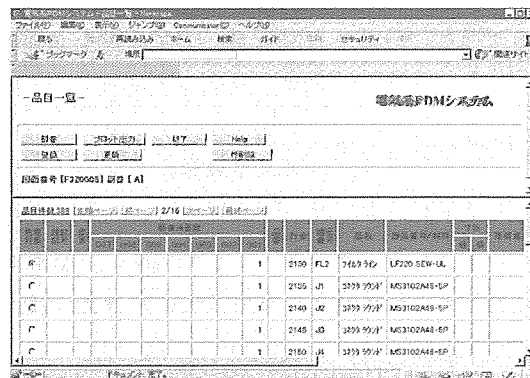


図3. 品目一覧画面の例

という概念を用いている。これは複数図面を工事番号等でグルーピングした概念で、これによって複数図面の一括照査・検認が可能となる。

(3) 図面作成

図面番号の自動・指定採番機能や、上記(1)で述べた管理情報の登録・更新をWWWブラウザ内から行える。これらの情報をデータベースによって電子的に管理する。なお、入力した管理情報は、図面合成や基準情報自動生成(後述)にも使用される。

(4) 品目表作成支援

このシステムでは、以下の機能によって品目表を作成する。

(a) テンプレート自動作成機能

部品データベースへの検索・選択を行うことによって品目表に必要なデータを取得し、それらを基に品目表のテンプレートを自動生成する。また、このテンプレートはファイル(タブ区切り、TEXT形式)として出力し、各クライアント端末にダウンロードした後、Excelを用いて品目表として完成させる。

(b) アップロード機能

Excelによって編集した上記品目表ファイルを、サーバへアップロードする機能である。アップロードされたファイルを解析・展開した上で、各々の項目をデータベースに登録・更新し、データベース上の品目情報を完成させる。

(c) 登録・更新・削除

Excelによる作成以外にも、WWWブラウザ上での登録・更新・削除が可能である。また、その際に、部品情報や型名情報等の検索や、検索結果から自動で登録・更新項目へ埋め込む機能も用意し、入力支援を行うと同時に、必ず(須)項目チェック等も行っている。

(d) チェック機能

図面作成を終了する際に“完了”作業を行うことにより、図面管理情報等の情報と突き合わせ、事業所内部の図面ルールに適合しているかのチェックを行う。

図3に品目情報一覧画面の例を示す。

(5) 基準情報自動生成

このシステムでは、図面を完成させると図面管理情報・品目情報等からP/N・P/S・型名情報等の基準情報を生成する。生成した基準情報は、設計手配・生産管理システムへ渡され、摘要表・手配表等の作成に使用される。

(6) 電子図庫登録

電子図庫はCADデータやイメージデータを保管するサーバである。これは既存のシステムであるが、このシステムでは、これらへの登録・取り出しI/F機能を持っている。

2.4 効果

上記機能等を備えることによって、

- 出図前におけるデータの事前チェックによるミス削減
- 基準情報等の自動生成によるデータ保証
- ワークフロー管理による図面作成作業管理の効率化等を可能とし、後工程からの戻り作業を軽減できた。また、電子的取扱いにより、作業のスピードアップが図れ、より短期間の設計を可能とした。

3. 実現方式

3.1 システム構成

このシステムは、PDMシステムサーバ、データベースサーバ、図庫アプリケーションサーバ、クライアントで構成される。以下、それぞれの構成について述べる。

(1) PDMシステムサーバ

このシステムのCGI(Common Gateway Interface)プログラム群を搭載している、システムの中心の動作を取り扱うサーバである。ハードウェアは“ME/S”シリーズのUNIXマシンである。また、品目表図面イメージ合成のための“電気系CADツールRschemer⁽¹⁾”を搭載している。

(2) データベースサーバ

データベースとして“Oracle 7 Server for UNIX”(Oracle社)を搭載したUNIXサーバである。

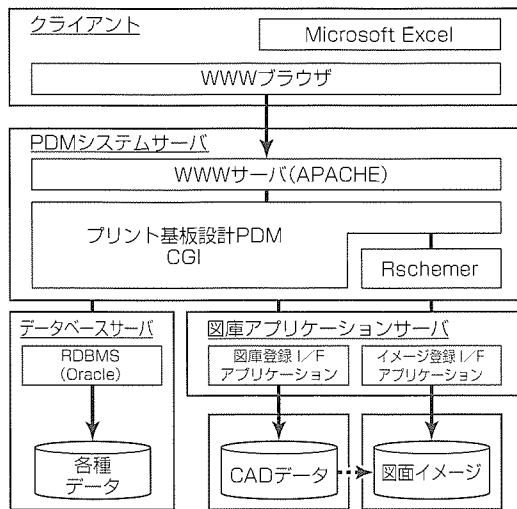


図4. ソフトウェア構成

(3) 図庫アプリケーションサーバ

CADデータファイルを保管する“CAD図庫サーバ”，出図図面のイメージデータを保管する“イメージ図庫サーバ”への登録・取り出しを行うサーバである。

(4) クライアント

ユーザーが使用する端末である。対象OSは，Windows NT Workstation(Microsoft社)，MacOS 7.x以上(Apple社)，Solaris2.5以上(Sun Microsystems社)である。なお，システム使用前提条件として，WWWブラウザ“Netscape Communicator/Navigator”(Netscape社)と“Excel”(パソコンの場合)を搭載していることが必要である。

3.2 ソフトウェア構成

図4にソフトウェア構成を示す。

このシステムは基本的にCGI技術を用いて実現されている。これはWWWサーバが専用プログラムと情報の送受を行うもので，今回の開発においては，対象クライアントのプラットフォーム(=OS)が複数であるため，クライアントOS依存が少ない技術という点で採用した。

また，比較的処理の軽いもの(例えば入力データのフォームチェック等)は，JavaScriptを用いることによってサーバの負荷を軽減している。JavaScriptは，OS/WWWブラウザの組合せやWWWブラウザのバージョン等で動作が異なる場合があるが，今回は，極力共通で使用できるクラス・メソッドを選択してスクリプトを記述した。

CGIからDBMS(Data Base Management System)へのアクセスには“Pro*C/C++”(Oracle社)を用いている。ODBC(Open DataBase Connectivity)やその他のミドルウェア/アプリケーションサーバ・プロダクトも候補に挙げたが，最終的に“実行速度が速い”“CGIであるためライブ

ラリ等を配布することを考慮する必要がない”等の点で採用した。

3.3 その他の事項

(1) アップロード

品目情報ファイルは，各クライアントでExcelを使用して完成させた後，サーバへアップロードする。これはHTTP上で行っている。サーバへのファイル転送については，クライアントアプリケーションの配布やActiveXの利用等も検討したが，やはり，マルチクライアントをサポートするために上記手段を選択した。その後の解析・展開は受け手側のCGIプログラムによって行い，その結果をデータベースへ登録・更新している。

(2) セッション

CGIのネックは，セッション管理が弱いことである。特にデータベースを取り扱う際には，これがネックとなる場合もある。このシステムでは，データベースへの操作を1アクション内でクローズさせるように機能・画面設計を行うことによって上記問題を回避した。これにより，アプリケーションサーバ・プロダクトやクッキー等を使用することなく実現できた。また，その際，アクションごとにデータベースへの接続を行うことになるが，今回のソフトウェア構成ではそれらを短時間でできるため(本番システムにおいて1秒前後)，ボトルネックとなることもなかった。

4. む す び

本稿では，回路設計から基板設計までのプロセスで使用するプリント基板設計PDMシステムの構築事例を紹介した。このシステム構築は，Web技術を利用することによって安価に実現することができた。また，品目表作成，CADデータ管理，ワークフロー等のPDM基本機能を備えているので，設計者に対して図面採番から始まる一連の図面作成フェーズの中で有効に活用される。

PDMシステムは日常的に使用されるものであるため，各機能が設計者に対して使いやすいものを構築することが第一条件である。そのため，更なるブラッシュアップが可能のように，システムに柔軟性を持たせることが重要である。このシステムはできるだけ拡張等に対しても柔軟性を持たせて開発したものであり，今後は機能追加，適用分野拡大等によってより良いものとしていく所存である。

参 考 文 献

(1) 風間由美子，仁志真由美，左向隆一，森 雅克，國立政也：電気系CADツール“Rschemer”，三菱電機技報，72，No.11，915～918 (1998)

スイッチギヤ設計システムの統合化

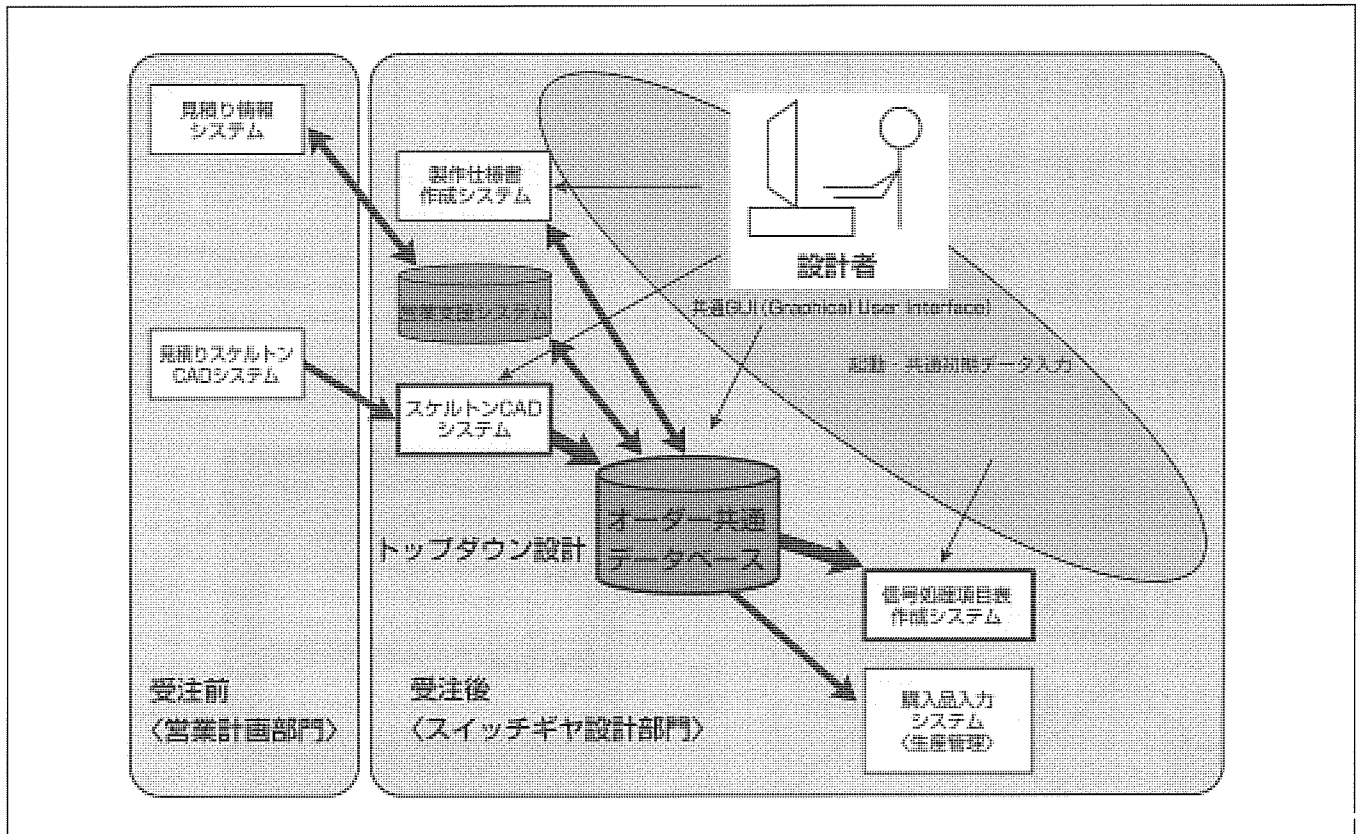
要旨

スイッチギヤを含む受配電設備は三菱電機の主力製品の一つであるが、顧客対応の受注生産形態となっている。設計スタイルは、顧客の仕様に応じて製品ごとのカスタマイズ設計を行い、電気図面を作成し、製造・手配を行うといった作業の繰り返しである。納期短縮とコスト削減を推進するためには、より一層の設計効率化が求められている。

本稿では、データの有効活用によって設計の効率化を図るスイッチギヤの設計統合システムについて紹介する。このシステムは、図面情報を統合データベースで管理し、後工程の帳票作成やCAMデータ生成等の業務へデータを自動的に受け渡す機能を備えた設計一貫システムである。

既に第1段階として、設計の中心となるスケルトン(単線接続図)を作成するCADを構築し、そこからパーツの属性データを抽出し、オーダーごとに共通データを一元管理するデータベースと連携させ、さらに、後工程の信号処理項目表作成システムにその共通データを受け渡すというシームレスなトップダウン設計の仕組みを実現している。

今後の第2段階以降は、この仕組みの上で、適用対象となる図面・帳票類の範囲を更に広げ、また、営業計画部門との連携や生産管理システムと連携することにより、スイッチギヤ設計一貫システムを構築し、更なる効率化を目指す。



スイッチギヤ設計システムの統合化イメージ

オーダーごとに上流から下流へと伝わる共通的な設計パラメータを、オーダー共通データベースで一元管理し、各サブシステム(スケルトンCADシステムや信号処理項目表作成システムなど)間で受け渡す仕組みである。設計者の操作はすべて共通GUI(クライアント端末)で行い、処理は各サブシステムで実施する。設計者は自席の共通GUI(クライアント端末)上ですべてをコントロールする。

1. ま え が き

スイッチギヤの製造は受注生産であり、顧客の仕様に合わせたカスタマイズ設計が大きな設計負荷となっている。今回、この解決のために、スイッチギヤの設計を支援するツールとして、スケルトン図面作成を効率化する機能と、その図面からデータを流用し帳票類を自動生成する機能、及びそのデータを受け渡すための共通データベース機能からなる統合設計システムを開発した。このシステムにより、電子データを活用した設計業務の推進が可能となり、スイッチギヤ設計の工期短縮と品質向上に寄与することが期待できる。

2. スイッチギヤの設計における課題と対策

スイッチギヤの設計では、次に挙げるような課題がある。

- (1) 設計情報をデータベース化することにより、転記ミスや記入漏れなどを防ぎ、かつデータ再入力の手間削減による設計品質の向上と作業効率化
- (2) 標準化拡大に基づく設計システムの自動処理範囲拡大による更なる設計品質の向上と作業効率化
- (3) 各支社に駐在する営業計画部門と工場側の設計部門との密な情報共有と情報提供・取得による協調設計

以上の課題に対して電子データフローを前提とした業務見直しや標準化活動の加速を実施し、さらにその標準を組み込み、設計データを共有することによって大きな効果が得られる。

3. システム構成

このシステムの構成イメージを図1

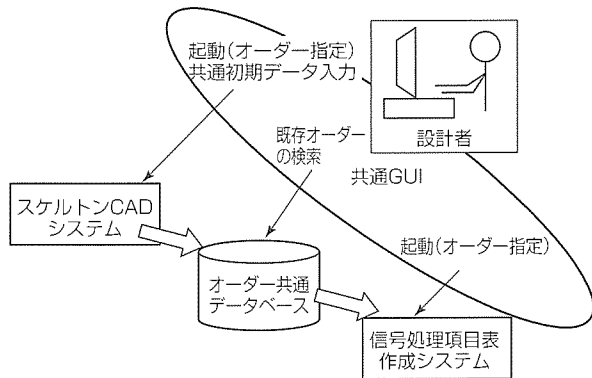


図1. システム構成イメージ

に示す。図にあるように、設計の中心となる“スケルトン(単線接続図)CADシステム”とそのスケルトンを構成するパーツの属性データを抽出しオーダーごとに一元管理する“オーダー共通データベース”と、プラントの制御信号をマトリックスで表記する“信号処理項目表作成システム”、及び設計者が自席の端末から上記の各サブシステムを起動したり既存オーダーの検索を行う“共通GUI”で構成される。

また、このシステムはクライアント/サーバ方式で構成されており、図2に示すように、クライアントパソコン上で“共通GUI”“スケルトンCAD”“信号処理項目表作成システム”が動作する。クライアントパソコンは設計者ごとに1台ずつ自席に配備されている。一方、サーバは、オーダーごと、設計者ごとにクライアント側から要求のあった図面データ抽出処理、データベース登録処理、データ加工・変換処理などを集中的にバックエンドで実施する。

4. 共通GUI

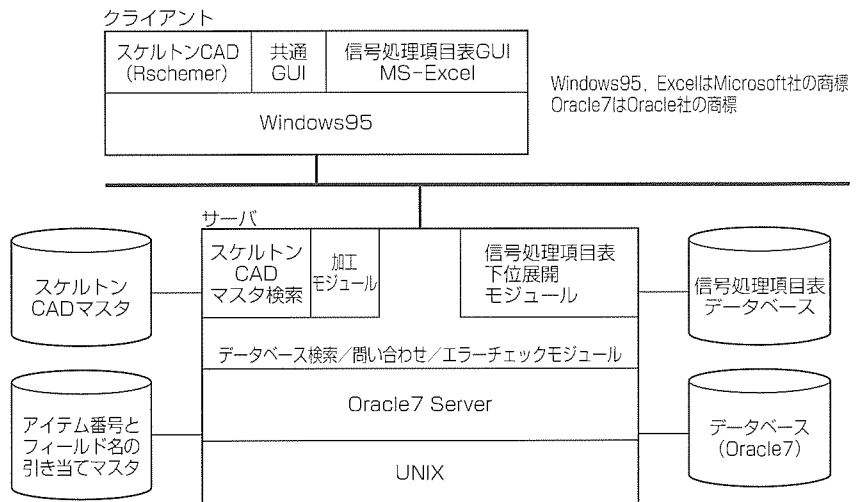


図2. システム構成

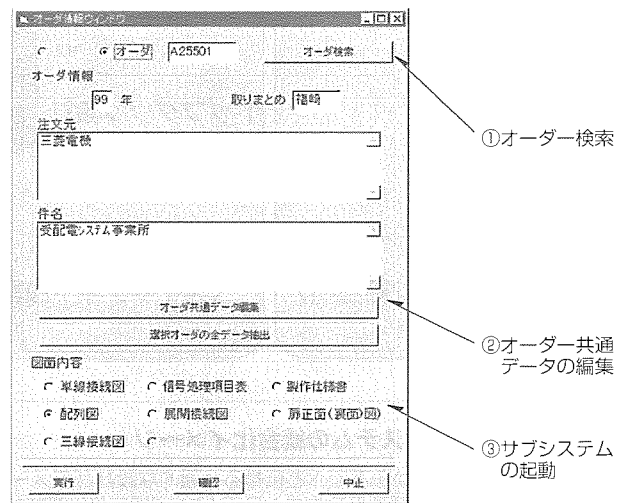


図3. 共通GUIメイン画面

共通GUIは、オーダーに関する管理・共通データ(オーダー番号、受電方式、周波数など数十項目)の入力・編集・参照や、サブシステム(スケルトンCADシステム、信号処理項目表、製作仕様書作成プログラム)の起動を行うGUIである。

図3にそのメイン画面を示す。

“オーダー検索”機能(①)は、共通データベースに保持されている過去のオーダーの検索を行う。検索キーは、オーダー番号だけでなく、客先名、オーダー担当者、受電方式、周波数などの管理・共通データで検索可能である。検索結果はオーダー一覧リストで表示され、要求に応じて、データベース内のすべてのデータを参照することができる。

また、“オーダー共通データ編集”機能(②)は、図4に示す画面によってオーダーの管理データや共通データを入力・編集・参照することができる。

また、メイン画面において、各サブシステム起動は対象図面を選択し(③)、実行ボタンを押す。サブシステム起動後は個々のサブシステムの画面(CAD編集画面、MS-Excelなど)が立ち上がる。

5. スケルトンCADシステム

スケルトン図面は、スイッチギヤ設計の工程で最初に作成するドキュメントである。従来のCADでは、パーツを

配置して、属性値を一つ一つキーボードからキーインして作成していた。今回のスケルトンCADの特長の一つとして、例えば遮断器や変成器、変圧器では、オーダーと電圧区分(特高/高圧/低圧の区分)が決まればそのデフォルト値がおおよそ決まるため、あらかじめ共通GUIで入力したオーダー共通データからデフォルト値を生成し、各パーツを配置する時点で、パーツにその値を設定する方式とした。

図面上の属性値は、属性種別に応じて選択候補値からの選択で決まるものが多い。また、ある属性が決まると、それによって関連属性の選択肢や候補値が変更されるというルールもある。これらのルールをまとめてMS-Excelで入力可能とした(表1“Excelによるルール定義例”参照。変換器に関する定義例の一部で、この表から図5“スケルトンCAD属性入力”下のダイアログを作成し要素名にAを選択すると、形名の選択肢はT-51HAA, T-101SAAとなる。)。このルールに沿った属性の選択を行うことで、入力ミスを

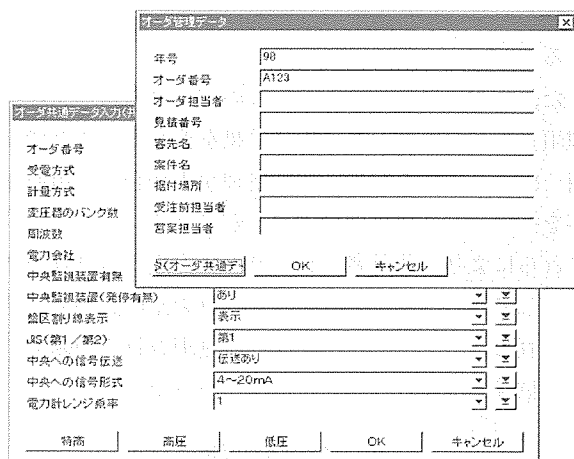


図4. 共通データ等入力のサブメニュー

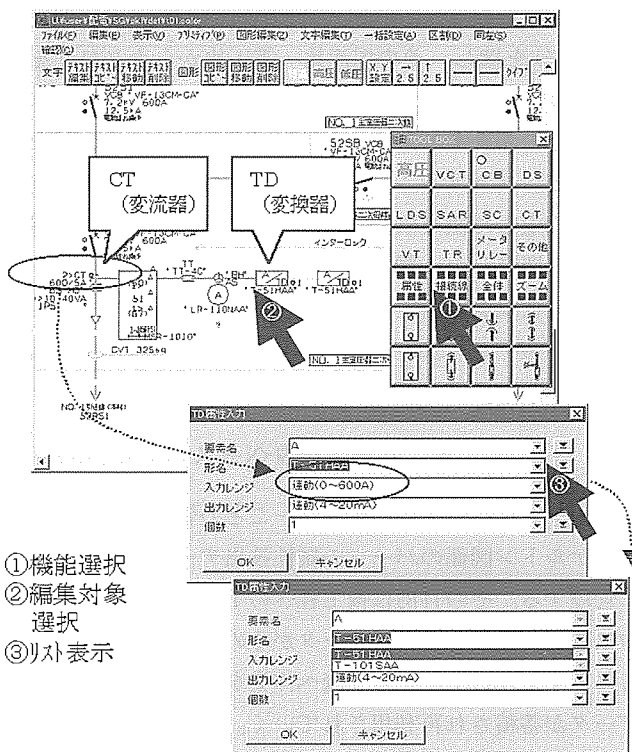


図5. スケルトンCAD属性入力

表1. Excelによるルール定義例

キー項目	タイトル	アイテム番号	ラベル	比較アイテム番号	比較条件	比較値	項目(ボタン)1	項目(ボタン)2	項目(ボタン)3
SKTD	TD属性入力						OK	キャンセル	
		217	要素名			A	A	V	W
		103	形名	217	=	A	T-51HAA	T-101SAA	
				217	=	V	T-51HAV	T-101SAV	
				217	=	W	T-101HW		

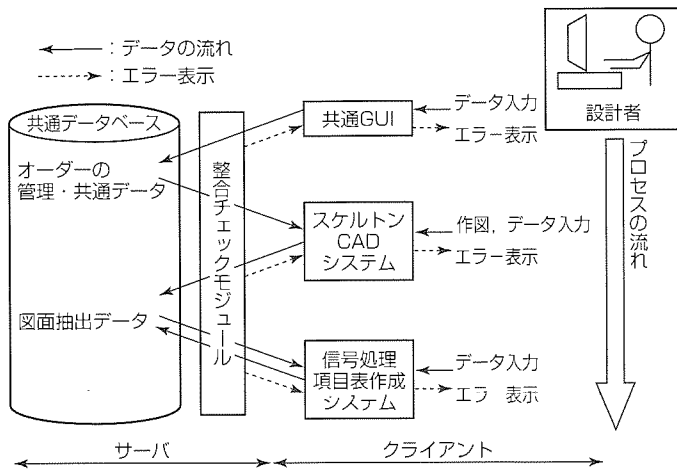


図6. 共通データベースのイメージ

防ぎ、ひいては図面の作成ミスによる出荷間際の緊急対策時間を削減できる。

また、従来、信号処理項目表作成時に、スケルトン図面上で、TD(変換器)に接続しているCT(変流器)やVT(計器用変圧器)を探し、その電流比・電圧比からカタログを参照したり、机上で計算し、電力変換器等の計測範囲を求めていた。このカタログ情報や計算式をパソコン上に持たせることで、スケルトンCAD上で、計測範囲を自動設定したり、設定した値を取り出し、共通データベースに登録する機能を開発した。図5は、当社製CAD“Rschemer”⁽¹⁾上で電流変換器の測定範囲“0~600A”を左側のCTの電流比“600/5A”から求めて、ダイアログ表示し、形名の選択肢を表示した例である。

6. 共通データベース

共通データベースは、オーダーごとの管理・共通データやスケルトン図面のパーツの属性抽出データなどを一元的に管理する。その目的は後工程への下位展開であり、図面や帳票間に重複する共通データがその管理対象である。図6に示すように上流から下流へ作業を進めるに従い、共通データが蓄積され再利用されていく。

実際は、複数ユーザーによって複数のオーダーが扱われ、場合によっては、同一オーダーを複数のユーザーが同時に利用しようとする場合もある。したがって、だれかがあるオーダーデータを利用中(改定中)の場合は、ロックがかかるなどの排他制御を行っている。

また、あるオーダーデータがどの作業まで実施済みのデータなのかを知らせるため、下位展開済み情報などを共通GUIを通じてユーザーに通知する。

また、共通データベースに登録しようとするデータが明らかに不正で登録済みのデータと不整合を起こす場合は、エラーとして登録要求を拒否する。

	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	項目名	7/バス番号	操作	状態表示	故障表示	計測	信号形式(入力)	信号形式(単位)	信号形式(出力)	信号形式(単位)
1										
2	特高回路操作	43R	○	○			面接でON		無電圧a接点	
3										
4	受電自動切換 常用選択	R43J	○	○			2号でON		無電圧a接点	
5	受電自動切換	R43A	○	○			手動でON		無電圧a接点	
6										
7	ループ切換	43LP	○	○			使用でON		無電圧a接点	
8										
9	受電断路器操作機構ロック	L89R11	○	○			解除でON		無電圧a接点	
10	受電断路器操作機構ロック	L89R21	○	○			解除でON		無電圧a接点	
11										
12	ES投入中	ES		○			入りでON		無電圧a接点	
13										
14	遠方一面接	43M	○	○			直接でON		無電圧a接点	
15										
16	受電断路器	89R11E	○	○			入でON		無電圧a接点	
17	受電断路器	89R12E	○	○			入でON		無電圧a接点	
18	受電断路器	89R21E	○	○			入でON		無電圧a接点	
19	受電断路器	89R22E	○	○			入でON		無電圧a接点	
20										
21	変圧器1次断路器	89P11E	○	○			入でON		無電圧a接点	
22	変圧器1次断路器	89P21E	○	○			入でON		無電圧a接点	

図7. 信号処理項目表編集画面

7. 信号処理項目表作成システム

信号処理項目表作成作業は、従来、設計者がスケルトン図面を見ながら手作業でパーツを抽出し、用途に応じて項目名や処理の割付けを行っていた。これらの作業は、作成に時間がかかるだけでなく、熟練を要するためミスが生じやすかった。

この機能は、スケルトンCADで入力されオーダー共通データベースに登録されているスケルトン図面のパーツの属性データから信号処理項目表に必要なパーツの抽出や、用途に応じた項目名や信号処理を作成ルールマスタを基にして各パーツに項目名や信号処理の割当てなどの処理を支援する(図7)。

また、作成した信号処理項目表のデータを管理する信号処理項目表データベースに編集結果を保存することで、次回同一図番の図面を編集・改定処理する場合に、前回編集内容を抽出し、作業再開することができる。

これらにより、設計者はシステムで作成支援された結果を基にしてページ分割や改行などの見栄えの調整や、項目名の手直し、チェックなどの簡単な処理を行うのみで、効率良い信号処理項目表作成が可能となった。

8. むすび

本稿で紹介したスイッチギヤ設計統合化システムは受配電設備の設計部門で活用されており、効果を上げている。

今後は、見積り情報との接続や製造手配との接続など共通データベースを核としてリンク機能を強化していく所存である。

参考文献

- (1) 風間由美子, 仁志真由美, 左向隆一, 森 雅克, 國立政也: 電気系CADツール“Rschemer”, 三菱電機技報, 72, No.11, 915~918 (1998)

ファミリーツリー中心設計システム

要旨

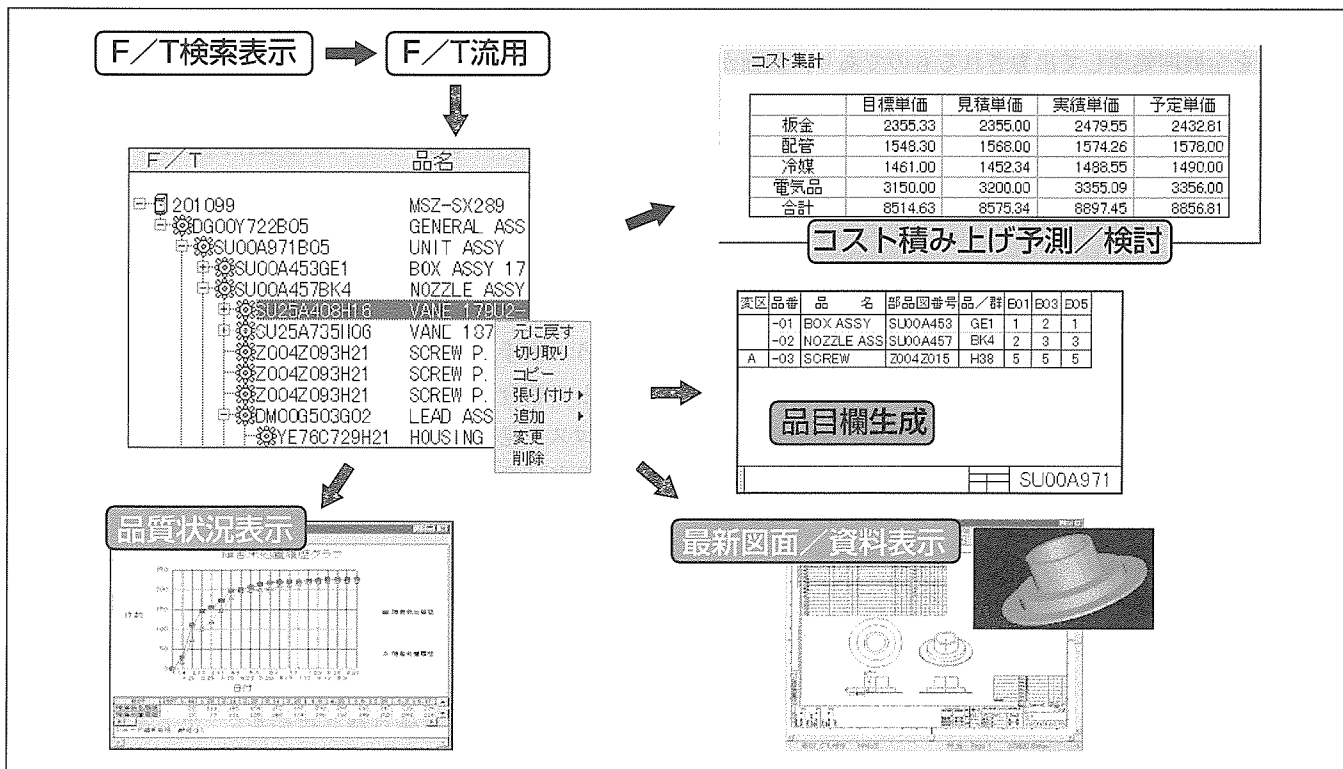
製品の品質Q, コストC, 工期D(開発~量産, 受注~出荷までの期間)は, 製品ライフサイクルの源流, つまり設計で作り込まれるものである。しかし, 設計でのQCD作り込みに不可欠な多様な膨大な製品情報群は設計/資材/原価などの個別システムに点在し, それらのアクセスは, 部分的又は個人的ツールとしての利用に限られ, 総合的な手法の確立ができていなかった。また, PPDM(Process & Product Data Management System)化によって各種情報の一元的なデジタル化は一部で進行しつつあるが, まだこれらを設計ツールにまで昇華したQCD作り込みの具体手法が確立されていないのが現状である。

ファミリーツリー(以下“F/T”という。)中心設計システムは, 図面のない設計源流からF/Tをデータベースとして直接生成し, 既存の製品情報群をF/Tにリンクして, 新たな製品情報に加工・検討・発信できる仕組みである。

特長は次のとおりである。

- (1) 図面のない上流設計からF/Tを流用・編集して製品構成のシミュレーションができる。
- (2) F/T上で図面/資料/コスト/品質情報の最新版と作業進度が閲覧できる。
- (3) 作成したF/Tから図面(部品表)や設計基準情報が自動生成できる。
- (4) F/T上でコスト見積りシミュレーションや単価見積り依頼ができる。
- (5) F/T上から部品手配がシームレスに行え, 工程進ちょく(捗)情報もビジュアルに把握できる。

本稿では, F/T中心設計システムを設計上流からQCDを体系的に作り込む手法としてとらえ, その主要な機能とシステム構成について述べる。また, 実際の設計現場にF/T中心設計システムを実装しているケースとして, 量産設計と個産設計の二つの側面で代表的な事例を紹介する。



ファミリーツリー中心設計システムの主な特長

ファミリーツリー中心設計システムは, 流用・編集したF/Tをベースとして, そのF/T上で個々の部品の図面や関連情報を取り込みながら各種設計検討を行う。F/Tを基に製品コストシミュレーションや図面品目欄の生成等によって設計検討・図面作成間でのシームレスな環境も提供し, 設計上流段階での最適なQCDを実現するシステムである。

1. ま え が き

製品の品質Q, コストC, 工期D(開発期間, 受注納期)は, 製品ライフサイクルの源流, つまり設計で作り込まれる。設計でのQCD作り込みに不可欠な多様で膨大な製品情報群を製品の部品構成(F/T)を軸に統合的にアクセスし新たな製品情報に加工・検討・発信できる仕組み“F/T中心設計システム”に取り組んだので, 社内での事例を中心に述べる。

2. F/T中心設計システムとは

新規に製品を設計する場合でも, 設計の手元に何もない状態からスタートすることはない。多くの場合, 現状モデルや類似製品の図面/仕様書・規格/試験報告/コスト/品質情報類をかき集めて検討を開始する。

しかし, これらの情報は, デジタル化が進んだ工場内部でも, それぞれのデータベースが島宇宙的な個別システムに存在して総合的な利用の手法がなく, 設計者が限られた時間の中で最小限の情報を“足で稼ぐ”しかなかった。

近年, 社内で急速に浸透しつつあるPPDMは, 各種製品情報をシームレスに連携する仕組みとして, この問題の解決方向を与えてくれるものである。ここにF/Tを軸に各種情報を統合的に閲覧する機能は存在する。

一方, F/Tは, 図面の部品表を設計基準情報システムに入力し, 部品構成情報(PS)と部品情報(PN)から部品の親子関係を全展開処理して出力されるものであり, 図面がないと得られない情報である。このため設計者は, 図面がない設計源流段階で新機種や改定モデルのF/TができないためPPDMの恩恵に浴することは少なく, F/Tそのものを切り張りの手作業で作成していたのが実態であった。

F/T中心設計システムは, F/Tから情報閲覧するだけの道具ではなく, 図面がまだない設計源流から既存F/Tの流用・編集で新規F/Tを直接作成するとともに, そのF/T上で, 必要な製品情報を取り込みながら各種設計検討を行い, かつ必要な設計情報をF/Tからダイレクトに発信することをねらいにしている。つまり, 製品源流段階からF/Tを極限まで積極的な設計ツールとして使い切り, その中で最適なQCDを実現するシステムである。

量産品の開発設計のケースでF/T中心設計システムがカバーする範囲を図1に示す。生産のための量産設計段階では図面が完備されるため, ここでのF/Tは図面情報を

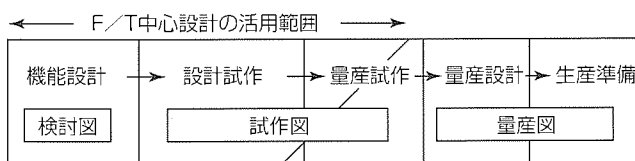


図1. F/T中心設計システムのカバー範囲

展開して作成し, 生産準備側へ受け渡す。F/T中心設計はそこに至るまでの上流工程での設計作業を支援する。

3. 主要な機能

F/T中心設計システムの主要な機能を次に示す。

(1) 図面のない上流設計でF/Tを直接生成

製品設計の初期検討は, F/Tの検討から始まる。しかし現状では, 図面上で親子部品がすべて決定され出図されないとF/Tが作成できない。

このシステムでは, 既存製品のF/Tを検索して全体又は部分的に流用したり, そのF/Tを設計者が自由に編集することができる。これにより, 最新で確かな既存の図面情報データベースを背景にしながら, 図面化できない上流設計段階からの構成検討を可能としている。

(2) 図面など各種関連情報の検索表示

F/T上での設計検討では, 図面やその組立品・部品に関連する各種情報を参照しながら作業を進めていくことになる。このシステムでは, F/T上で製品や部品を選択・指示することにより, 個別データベースに格納されている図面やコスト等のデータをダイレクトに閲覧することができる。

このとき, 使用制限部品・未認定部品・長納期部品などの情報を取得して, 品質や調達面で注意を要するものに警告表示することも可能である。

(3) 図面情報の自動生成

F/T上で製品の構成を仮決定して部品手配する場合に, 製作の正となる図面へ製造情報を定義する必要がある。

このシステムでは, F/Tから製作図としての必要な図面情報を逆生成することができる。ここで言う図面情報とは図番などの表題欄情報・部品構成/材料情報などの部品表を言い, 後はCADで幾何情報を付加するだけで済む。これにより, F/Tを参照しながら図面を作成・改定するという二度手間を省くとともに, 独自に生成したF/Tと図面との整合性を保つ仕組みを実現している。

(4) コスト見積り

設計者は常にコスト意識を持って製品の設計を行っているが, 部品や素材の価格は日々変化している。

このシステムでは, 原価・資材・生産技術データベースとの連携を図ることで, F/T上に部品の最新価格を取り込んで常にコストシミュレーションしながらミニマムコストを追求した製品設計ができる機能を提供している。

また, 新部品の単価見積り依頼をF/T上から電子的に行って, 結果を迅速にF/Tに反映することができる。

(5) 手配システム/工程管理との連携

このシステムでは, F/T上で試作手配や先行手配したい部品を指定することでシームレスに手配が実行できる。

また, F/Tを構成する主要ブロックの図面情報や関連

情報のステータスをウォッチすることで、全体の工程進捗を把握することができる。こうした機能を駆使することで、設計者の付随的作業を大きく低減することが期待できる。

4. 適用事例

前述の機能を現実の設計業務に実装する例を、量産製品設計と個産製品設計の二つの代表的なケースで紹介する。

4.1 コスト設計への適用事例

従来、量産事業所では、新機種の開発や既存製品の原低活動を行う際には、母体となる機種の現状F/Tをホスト系情報システムから取得するとともに、各部品の最新単価は資材・生産技術・原価などの個別部門からデータを入手し、設計者が手作業でExcelなどに入力して構成検討やコスト検討を行っていた。

しかし、設計者が手間をかけて取得した情報の鮮度は時間とともに劣化し、開発序盤と終盤では大きくコスト見込みにかい(乖)離が発生するなど、コスト精度が悪い状況にあった。

そこで、上記問題を解消し製品源流からのコスト低減活動を支援するために、F/T中心設計システムを構築した。

業務フローを図2に示し、以下に業務フローを紹介する。

- ① 既存製品のF/Tは日常の設計活動の中で設計基準情報サーバで蓄積・生成される。
- ② 開発設計時に、母体や参考となる既存製品のF/Tを検索・流用し編集を加える(部品の追加/変更/削除)。
- ③ 編集時のF/Tは、最新のコストがリンクされ、設計結果のコスト評価がリアルタイムに実施できる。
- ④ 新部品・変更部品の単価は、単価見積り依頼機能で電子的に依頼書を生成し見積り部門へ送付して結果を得る。

このシステム導入により、設計者は所望のF/Tやコストデータをジャストインで入手が可能となり、設計検討に要する付随業務をなくしてコスト低減の設計・検討に専念し、精度の高いコストシミュレーションができるようになった。また、設計者の目標コストを設定することで目標との原価差異を明確にして原低努力を加速するとともに、横

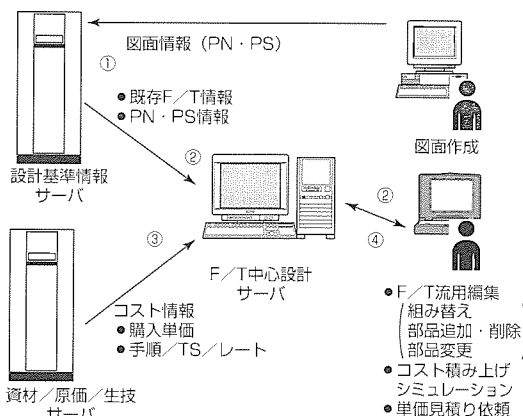


図2. コスト設計支援システムの業務フロー

断的なVAプロジェクトテーマとの関係も定義できるようにしたことでVAプロジェクトの成果評価も可能にしている。

図3に、このシステムでのF/T編集画面例と、コスト積み上げ例を示す。

単価見積り依頼では、設計者がF/T上で見積り依頼部品をセレクトした上で依頼書を自動生成し、これを電子データとともに見積り依頼部門へ送付して、結果をF/T上に取得する方式とした(図4)。

4.2 トップダウン設計での適用事例

受注オーダー設計業務の全スパンを革新するために取り組んでいるトップダウン設計におけるF/T中心設計システムの活用事例を紹介する。

(1) 設計期間短縮へのアプローチ

従来の設計業務は、受注オーダーごとに複数の設計者を担当として割り付けし、上流の機能設計から生産設計・手配まで一貫して担当させていた。このため、業務フローは直列となり、設計期間短縮が困難な状況にあった。

新方式では、ベテラン設計者が上流段階で総合検討を実施し主要部品構造(製品モデル)を決めて、構造設計・手配を別メンバーで平行に行うトップダウン設計方式とした。これにより、設計で分業・並行作業が可能となり、設計期間が短縮する(図5)。

その中で、F/T中心設計は総合検討段階の業務を支援する仕組みとした。

すなわち、製品の標準F/T又は類似オーダーの既存F/Tを利用してユニット部品の取捨選択/組合せ/変更を自由に行うことで、総合検討でのユニット構成の検討を支援する。また生成したF/Tは、そのまま詳細設計者が

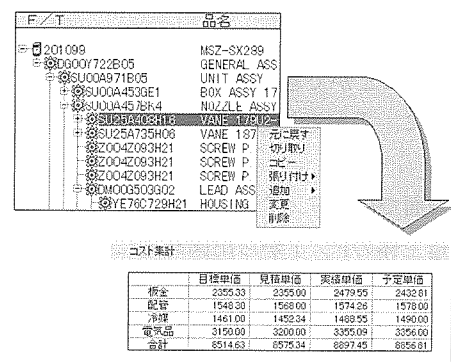


図3. F/T編集画面とコスト積み上げ例

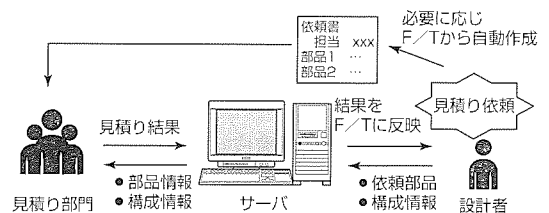


図4. 単価見積り依頼の業務フロー

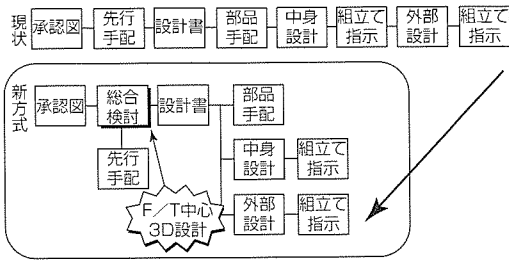


図5. トップダウン設計による設計期間の短縮

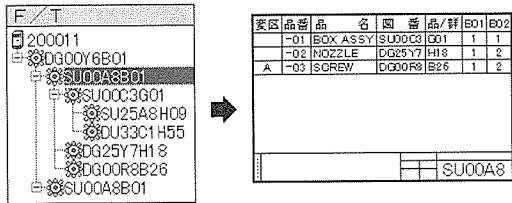


図6. F/Tからの図面情報逆生成

引き継ぎ、構造設計や手配に利用する。このとき、F/Tから製作・手配に必要な図面情報を逆生成することができ、図面作成の省力化が図れる(図6)。

(2) 生産準備効率化へのアプローチ

従来からある手配部品を一覧にした摘要表(手配部品リスト)は、図面の部品表から生成されるのではなく、組立ラインへの投入部品群単位(例えば複数図面にわたる板金部品をまとめて一覧にする。)に生成されていたため、図面の部品表を参考に個別に生成していた。したがって、図面と摘要表では重複記述があり、手配数量も不一致が発生するなどミスも多い状況であった。新方式では、F/Tから投入部品群単位の摘要表を設計者の指示で自動生成することとした。当然、F/Tは図面とは整合性が維持されているので、今までのような重複や不一致は解消できる。また、F/T上の部品選択で手配情報登録画面を呼び出し、手配指示が行えるようにした。これにより、手配指示はF/Tから直接行うことができるようになり、手配ミス減少が図れるとともに、手配進捗もF/T上で確認できるようになる(図7)。

出図の側面では、F/Tから図面が逆生成できたり、摘要表が構造主体のF/Tから出図時期に合わせて自在に生成できることで、図期に合わせた余裕のある出図が可能になる。さらに、図期目標を事前にF/T上に登録することで、F/T中心設計システムから電子図庫側のステータスを取得して、出図状況や図期の遵守状況を確認することができる。

5. システム構成

F/T中心設計システムの構成は、目的・実装環境によって多様な形態を採る。例えば、4.2節のトップダウン設計システムの場合は図8のようになる。

ツリー	手配状況	注文先	納期	注文数
又0-13-867201				
又0-13-867201B				
UNIT00101				
SW26944G01	手配中	興國工業	11/10	1234
SH36911G01	総取済	コア工業	11/20	5678
S203206G01	受入済	大白本	10/30	9012
SW26461G11	設計中	興國工業	10/20	3456
SW26462G02	未確認	北化学		
SG50776G11				

図7. 手配進捗画面

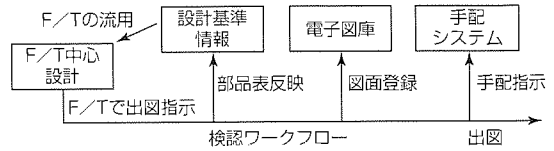


図8. トップダウン設計でのシステム構成

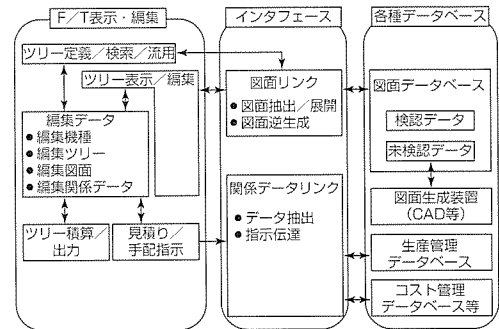


図9. F/T中心設計システムのシステム構成

ここで、設計基準情報、電子図庫、手配システムは、既存のデータベースである。図のように、F/T中心設計システムは、それだけで自己完結するシステムとはなり得ない。強いて言えば、F/T中心設計システムの中核は、各種の既存データベース群にリンクしたF/Tブラウザ&エディタである。ただし、この部分は、F/T中心設計システムをどこの製品群のどの目的に適用しても共通的に活用することができる。後は、F/Tの表示・編集機能がリンクする各種データベースとのインターフェース機能が、個別にカスタマイズを要する開発部分となる(図9)。

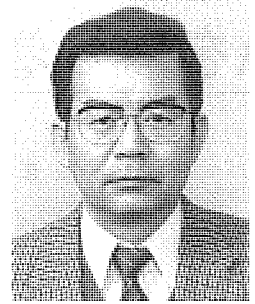
6. むすび

社内共通の設計ルールの中に“設計は、まずF/Tをベースに検討を進めよ”とあり、大昔から、設計はF/T中心で進めるものとされてきた。しかしながら設計の上流は混とん(沌)とした世界であり、使える・頼れるデータベースがないものとして、さしたる設計支援もないまま年を経てきた。

F/T中心設計システムは、三次元設計とともに、この領域での設計革新を実現する切り口として、社内での一層の浸透が期待される。

今後の課題にはF/T状のアセンブリ構造を内包する三次元モデルとの共存や各種市販PPDMツールとの効率的なインターフェースが挙げられるが、今回のシステムを更に加速する側面として積極的に取り組んでいきたい。

コンポーネントとシステム



名古屋工業大学
電気情報工学科

教授 松井信行

大学教授をやっていてよかったなあと思うことはそれほど多くはないが、国際会議での論文発表の機会をとらえて、比較的気軽に外国に出掛けられるのは大変ありがたい。しかし、経費は極力制限されているから、企業の方々のように空港からすぐタクシーで一流ホテルへというわけにはいかず、路線バスや地下鉄を乗り継いで安いホテルを探すということになり、いきおい、失敗を含めて多種多様な経験を積むことになる。

子供のころから、日本を含めアジアは過密と教えられ、信じてきた。鉄道や地下鉄の乗換え改札口での人と人のぶつかり合いも、日本は過密さ！と慣れっこになっていた。しかし、諸外国のダウンタウンを見ればどこも人でごった返していて、過密は何も日本の代表現象でないことを知った。例えばロンドンの地下鉄のトンネルや車両の小ささ、ホームの狭さ等、過密さは東京の比ではないが、我が国のどこでも体験するあのすさ(凄)まじい人と人とのぶつかり合いの記憶は残っていない。車両やホーム、照明、エレベーターと、個々の物を取り上げてみると必ずしも完璧ではないが、それらが人の輸送と流れの制御というシステムの中で完全に生かされ、機能している。

一方、我々が周辺で目にする事例はどうだ。Y形交差点を直交形にし、植木や信号、歩道を付し整備する。しかし、それで車や人の流れはどうなったのか？別の例を挙げれば、たった2車線の道路の中央に見事な植栽を施し、そのせん(剪)定に一車線をつぶして交通渋滞を起こすとすれば、植栽は道路機能を殺しているのではないか？コンポーネントの完成度とシステムの完成度のミスマッチが見えようと言うものだ。

卑近な車の例を見てみよう。もともと車の運転台の前面は、わずかな計器がばらばらに置かれていたが、今はインパネとして計器自体の機能も向上するとともに、使いやすさが格段に向上した。システムキッチン、しか(然)りである。それにしては、電車の床下は一体どうなっているのか？

何年前から、用途志向型電動機(Applications Specific Electric Motors : ASEM)という考え方を提唱している。従来のモータの概念にとらわれることなく、特定用途の要求性能にこたえるべく構造と特性を特化させたモータを指す。種類と容量に関してのマトリックスだけをもってしてこれからのモータの製品展開や開発は考えられないのではないかという、素朴な疑問から出た発想であった。パワーエレクトロニクス技術の一般化、設計ソフトの普及、エンドユーザーの高い技術と要求、などがバックにあった。この考え方は、いわば、既存の要素技術(コンポーネント)の合目的な総合技術(システム化)であるから、そこでは、多様な要求に対する設計の自在性とリードタイムの短縮こそがキーであり、計算機的能力を十二分に生かした設計法の確立が肝要である。本誌に特集されているFA駆動制御技術は、正に用途志向型電動機とそれを支える基幹技術である。この場合、コンポーネントは特化した構造と性能を持つモータ及びインバータとその周辺エレクトロニクス、システムはそこに搭載されるソフトウェアということになる。いたずらにオーバースペックになっていないコンポーネントと、ユーザーニーズを的確にとらえた使いやすいソフトウェアこそが今後の製品展開のかぎ(鍵)になってこよう。

FAを取り巻く駆動制御技術の動向と展望

松本圭二*
 瀬戸 誠**
 竹垣盛一***

1. ま え が き

インバータ、サーボに代表されるモータ駆動装置は、効率の良いクリーンな動力の制御・変換要素として大いに発展し、FAに大きく貢献している。これらの発展は、パワーエレクトロニクスやマイクロエレクトロニクス等の技術の進歩によるところが大きいが、市場ニーズとそれにこたえる製品開発・要素技術開発がうまくかみあって製品提供と需要拡大(需要創出)が繰り返された結果であり、今後もますます発展が期待されている。

本稿では、当社におけるFA駆動製品の歩みと技術動向、及び今後の展望について述べる。

2. 市場動向と当社FA駆動製品の歩み

汎用インバータ、汎用サーボという名の下に製品化が行われたのは1980年以後のことであるが、モータ駆動装置は、それまでも特定用途を中心に使われてきた。その中でも工作機械用駆動装置は、モータ可変速装置としての特長がよく生かされたものの代表例である。インバータ、サーボとも、機械の生産性を上げるためのキーコンポーネントとして活用されてきた。ここでは、これら代表製品について、市場の要求に対しどのようにこたえてきたかを簡単に振り返る。表1に、'70年代以降の産業界のニーズと駆動系の

動向及び製品開発の概要を示す。

2.1 インバータ

'70年代まではサイリスタ式インバータが主流で、交流電動機の可変速用電源として大型・高価な装置であった。パワートランジスタが開発され、その応用技術も進む中、'81年には、交流電動機の可変速運転を主目的とした汎用インバータFR-Eシリーズが製品化された。これは、折からのオイルショックに伴う省エネルギーニーズ、省力化と自動化ニーズに支えられ市場に受け入れられた。その普及の中で顕在化した主な要求は、高信頼化、高機能・高性能化、小型・低価格化であり、これにこたえたのがオールデジタル制御インバータFR-Zシリーズである。制御をCPUを中心としてオールデジタル化することにより、ドリフトが排除され、性能のリピータビリティが向上するとともに、集積化技術の進歩とあいまって信頼性の向上、小型化、多機能化が一挙に図られ、FR-Eに比べて容積もほぼ1/3になった。

用途を拡大していく中、一方では更なる機能・性能の向上が、他方では一層の小型・低価格化が求められた。これら両者の要求は一般的には相反する関係にあるが、機能・性能の向上を図りつつも、特に小容量(3.7kW以下)に的を絞って小型化を追求したZ024シリーズが開発されて、一般産業機械への採用が大いに進み、小型インバータの重要

表1. FA駆動製品の歩み

年代	1970	1980	1990	2000
産業界のニーズ	<ul style="list-style-type: none"> ●省エネルギー ●省力化・自動化 ●生産性向上 	<ul style="list-style-type: none"> ●メンテナンスフリー、高信頼化 ●高性能化、高速・高精度化 ●小型化 	<ul style="list-style-type: none"> ●環境適合(ノイズ低減、高調波低減) ●小型化、高性能化 ●使いやすさ ●グローバル化 	
パワーデバイス	サイリスタ	パワートランジスタ	パワートランジスタモジュール/IGBT	IPM(インテリジェント化)
制御デバイス	アナログ回路	アナログ・デジタル混合	オールデジタル(全CPU制御)	インテリジェント化
制御技術	●PAM制御	●PWM制御	●高周波キャリアPWM	●速度センサレス高性能制御
モータ用磁石	フェライト	サマ・コバ(Sm・Co)	ネオジ鉄(Nd・Fe・B)	●アドバンスト制御(モデル適応、オブザーバ)
汎用インバータ	(サイリスタインバータ) (トランジスタインバータ)	●初世代汎用インバータFR-E ●ファン用FR-F2	●オールデジタルFR-Z ●小型FR-Z024	●インテリジェントFR-A ●環境適合FR-A500 ●小型高性能FR-E500 ●超小型FR-U
汎用サーボ	(サイリスタ式DCサーボ) (トランジスタ式DCサーボ)	●初世代汎用サーボMR-A ●オールデジタルMR-SA	●小型MR-J ●高性能MR-H	●MR-J2 ●小型高性能MR-J2S ●超小型MR-C
NC 駆動 装置	サーボ軸駆動	サイリスタ式DCサーボ	●トランジスタ式DCサーボ	●リニアサーボB-V14L
	主軸駆動	サイリスタ式DC主軸	●オールデジタルACサーボMR-S ●トランジスタ式AC主軸 ●ベクトル制御AC主軸FR-SE ●オールデジタルAC主軸FR-SF	●インテリジェントモータHS ●サーボ・主軸統合システムMDS-A/MDS-B ●IPM主軸B-SPM ●磁気軸受B-MBC/MB

性が明確になった。以後、高機能・高性能を追及し小～大容量までを取りそろえた高級シリーズと、小容量帯的を絞り小型・低価格化を追求した小容量シリーズの2極化が定着し、この基本思想の中で製品開発が進められた。

そのような中で、要求が強くなってきたモータ励磁音の低減は、FR-Aシリーズにおける高周波キャリアPWM制御の実用化によって解決をみたが、反面、ノイズの増加を招くことになった。'97年に開発されたFR-A500シリーズは、ノイズ発生をも抑制することにより、真の環境に優しい、人に優しい製品に取り組んだものである。

図1は製品の容積の変遷を描いたものであり、小容量機種においてはこの20年間に1/15までになっている。この小型化技術はインバータが先行し、サーボなど他製品の発展に与えた影響は大きい。

2.2 サーボ

汎用インバータに遅れること2年、汎用サーボが製品化された(MR-Aシリーズ)。これは永久磁石式同期モータを使ってAC化されたものであるが、従来のDCサーボに比べて性能面では劣るところもあり、市場への浸透は今一つであった。汎用サーボの用途が拡大したのはオールデジタル化されてからである。CPUの進歩で電流制御をdq軸上で制御することが可能となり、デジタル制御にもかかわらずDCアナログサーボ並みの性能を確保でき、また、デジタル化による性能の安定、及びACモータゆえのメンテナンス面でDCサーボを上回ったことが大きく貢献した。MR-SAシリーズがそれである。

前述の汎用インバータが標準誘導電動機を駆動対象とするのに対し、サーボドライブは速度・位置検出器付きの専用モータを閉ループ駆動することを前提としている。したがって、その性能はサーボアンプ、モータ、検出器の三身一体の結果となる。サーボアンプのパワーアンプ部(主回路部)は、汎用インバータの開発技術を活用しつつ、制御性能、使い勝手の改善と小型化に開発の力が注がれた。こ

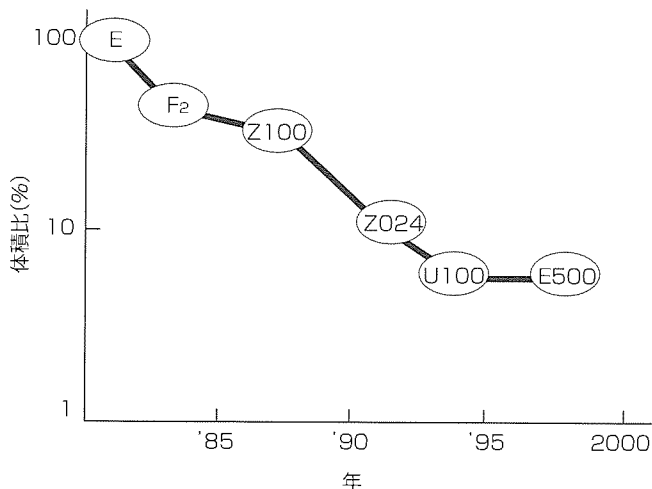


図1. 汎用インバータの小型化の変遷(当社0.75kWでの比較)

の中で、特に小型化を追求した小型小容量シリーズMR-Jと、高性能・高機能化を追求した高級シリーズMR-Hが製品化され、大きく用途を拡大した。特に機械に組み込まれるモータの小型化も大きなテーマとなった⁽¹⁾。また、高性能化を追求する上からCPUの高速化、速度・位置検出器の高精度・高分解能化が果たした役割は大きい。

図2は動特性を表す一つの指標である速度制御の周波数応答の変遷を描いたものであって、初期世代のMR-SAに比べ、現在では5倍程度まで飛躍的な改良がなされている。

2.3 NC駆動装置

駆動装置としてはサーボ軸駆動用と主軸駆動用がある。'70年代は両者ともサイリスタ式アンプによるDCモータ駆動であったが、'80年代になると高速化とメンテナンスフリーへの要求からまず主軸駆動がAC化され、誘導電動機を滑り周波数制御する方式が実用化された。主軸駆動は、次いで負荷変動に対して応答性に優れるベクトル制御方式が開発・実用化され、駆動性能が大きく向上した。一方、サーボ軸駆動のAC化が本格化したのは'84年になってからである。生命線である制御性能がDC並みを達成できたことと、モータのメンテナンスフリーが評価されてのことである。

これら駆動装置は、用途が特定されているがゆえに性能の追求も焦点が絞られ、高速・高精度が開発のキーワードとして進められた。'86年に開発されたMR-SシリーズとFR-SFシリーズは、高速CPUを用いたオールデジタル化された製品である。サーボ、主軸の駆動性能の向上とともにサーボ軸と主軸の同期運転も可能となり、工作機械の加工方法そのものの変革ももたらした。同期タッピング加工、C軸加工、ポリゴン加工等は、従来専用のサーボモータを用いていたものを、専用サーボを用いずに可能とした代表例である。駆動装置の性能向上は、工作機械そのものの構成・構造をも簡単にするとともに、付加価値を高め、'80~'90年代のNC工作機械の飛躍に大いに貢献した。

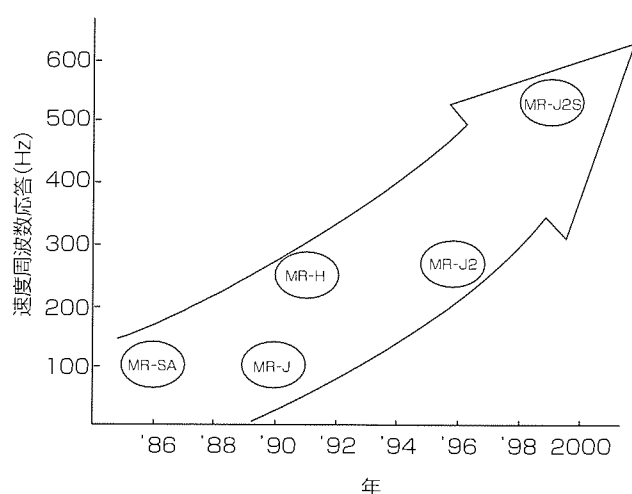


図2. 汎用サーボの高応答化の変遷

'92年に製品化されたMDS-Aシリーズは、主軸もサーボ軸の一つとの観点から開発されたもので、工作機械用高速・高精度加工対応の集大成的な存在である。

高生産性を実現するためには主軸の高速化も非常に重要であり、現在では、モータ製造技術、磁気浮上技術の活用によってロータ外径50mmで7万r/minも実用化されている。この磁気浮上軸受け制御は、従来のサーボ制御に比べて一けた高い制御力が必要であり、高速主軸の実現だけでなく将来のサーボ技術を培う上で重要である。また小型・高効率を目指したIPM主軸モータ、サーボアンプを内蔵したインテリジェントサーボモータ、送り軸の高速化を実現するためのリニアサーボシステムが開発されており、この特集でもその一端を紹介している。

このように最近では、高速・高精度だけでなく様々な局面からユーザーニーズをとらえた製品開発が行われており、NC駆動は21世紀に向けた駆動制御技術の先導役として期待されている。

3. 技術動向と今後の展望

3.1 インバータの小型化技術

インバータの小型化は、制御回路部とパワー回路部の小型化によって実現されている。制御回路部の小型化は、機能のソフトウェア化、CPUやLSI等の電子部品の小型・高集積化、プリント基板の高密度実装技術の進歩によって実現されてきた。一方、パワー回路部の小型化は、パワーエレクトロニクス関連技術の進歩によって実現されてきた。以下、主要技術について述べる。

(1) 主回路素子の進歩と放熱構造、駆動回路の小型化

半導体素子で電力変換すると変換損失が発熱となるため、放熱機構が必要となる。汎用インバータは、電力変換を主目的とした装置であるため、放熱構造の占める割合が高い。したがって、製品の小型化には、損失の低減、放熱構造の高性能化が必要である。損失低減のためには、主回路素子であるIGBTのオン電圧やスイッチング特性の改良によるところが大きい。また、放熱構造の高性能化実現のため、狭ピッチフィンの開発や、CADを活用した熱解析による最適放熱設計を取り入れている。

最近では、第四世代と言われる微細化が進んだIGBTが登場している。これより、20%程度損失の低減が図れ、一層の小型化が可能となっている。

駆動回路については、電圧駆動型素子であるIGBTの特長を生かし、回路の簡素化と小型化を図っている。また、高耐圧IC(HVIC)を用いることによってフォトカプラの数を削減し、さらにそのICに駆動部、保護回路も内蔵することで小型化を実現している。

(2) 主回路周辺回路の高集積化、ワンパック化

市販のパワーモジュールの組合せでは小型化に限界があ

る。一歩進んだ小型化のためには、必要な機能と性能を取り込み、さらにはきょう(筐)体と一体構造となった専用のパワーモジュールが必要である。このため、当社では、モジュールの製造ができる専用ラインを構築し、専用モジュールとインバータを一貫生産している。これにより、以下が可能となった。

- (a) 高放熱絶縁基板への発熱部品の実装による集積化と放熱構造の統合、削除
 - (b) ベアチップ等の小型部品の採用による高集積化
 - (c) 専用樹脂ケースによる部品や筐体との複合化
 - (d) 絶縁性の樹脂材の注型による絶縁距離の最適化
- (3) 樹脂筐体部品、樹脂配線部品の採用拡大

板金筐体では、絶縁距離の確保が困難なため、小型化には限界がある。そこで、筐体を樹脂化し、絶縁距離の最適化を行ってきた。現在では、小容量のみならず、22kWまで樹脂構造筐体を採用し、さらに大容量への適用拡大を目指している。

また、主回路導体と端子台などの筐体を樹脂材で一体成形することにより、絶縁距離の最適化を実現するとともに部品点数の削減も図っている。

小型化は製品にとって永遠のテーマである。今後も、後述の主回路の高効率化を軸として、リサイクルも含めた製造面、使いやすさ、耐環境性能との調和を図りながら追求していきたい。

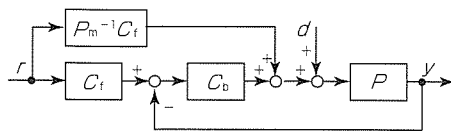
3.2 サーボの高性能化技術

サーボシステム使用の目的は、一般的に言って、モータを駆動して機械を所定の目標位置又は目標軌跡に可能な限り高速で近づけることである。サーボにおける高性能化の目標を列挙すると以下ようになる。

- (a) 指令値に対して可能な範囲で速やかに誤差少なく追従すること(高速入出力応答)
- (b) 外乱の影響が可能な限り出力に現われないこと(外乱抑制性)
- (c) パラメータ設定などが容易であること

これらの目標は、定性的には従来からの要求と同じであるが、定量的には各応用分野で着実に進歩している。(b)項の外乱抑制性は、制御系の安定性とトレードオフのため限界がある。従来の制御手法では、(a)項の高速入出力応答性にも同様に、安定性とのトレードオフがあった。しかし、フィードフォワードを付加するなどの2自由度制御の考え方(図3)⁽²⁾を導入することにより、後者は、安定性とは独立な問題と考えることができるようになった。例えば、理想化した位置制御系で入出力応答を規定し外乱抑制には従来のフィードバック系を用いる手法や、速度とトルクのフィードフォワードによって摩擦特性の補償も含めて入力にほぼ追従する軌跡動作を得る手法⁽³⁾が提案されている。

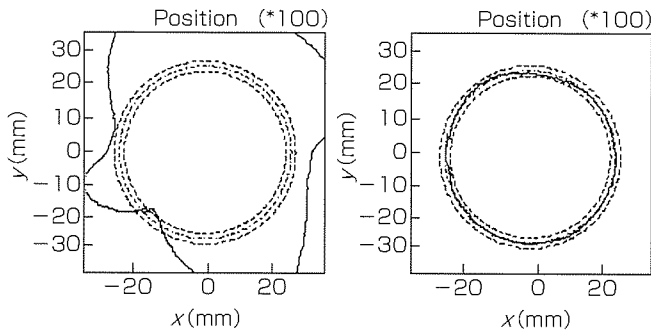
指令値に対してモータ動作が速やかに追従するサーボシ



入出力応答特性: $y/r = C_i$ if $P_m = P$
 外乱抑制特性: $y/d = P/(1+C_bP)$

r : 入力(指令値) P : 制御対象特性
 y : 出力 P_m : 制御対象推定特性
 d : 外乱 C_b : フィードバック補償器
 C_i : 入出力特性補償器

図3. 2自由度制御系



(a) チューニング前 (最大誤差=227 μ m) (b) チューニング後 (最大誤差=9 μ m)

設定速度0.33m/s, 半径25mmの円運動, 誤差を100倍に拡大
 実線: 動作軌跡, 点線(中央): 指令軌跡, 点線(内外): 誤差範囲 $\pm 15\mu$ m

図4. オートチューニング結果(軌跡)

システムを構築しても、実際の機械の動作が良好でなければ目標が達成できたとはいえない。そこで、機械動作まで考慮した最適な指令値を生成することが重要になる。最適な指令値とは、サーボシステムの性能を最大限に引き出し、要求される精度を維持しながら所望の動作を可能な限り高速で実現する指令値と言うことができる。高速動作は一般に機械振動を励起しやすいため、動作高速化と振動抑制をバランスよく満足することも重要である。このため、サーボシステムの制御特性や機械系の振動特性を考慮した最適指令値生成方式が提案されている。また、より高速で高精度の動作を実現するため、高精度動作が要求される部分ではサーボシステムの追従遅れを補償するように指令値を整形し、精度要求が厳しくない部分では高速性を重視した指令値整形を行う指令値生成方式も提案されている⁽⁴⁾。

(c)項の目標に対しては、オートチューニング方式が開発されている。オートチューニングは、機械へのモータ取り付け時に必要なパラメータ調整を自動化するものである。特に、新しい制御システム導入時には、作業者に調整ノウハウがないためより有効となる⁽³⁾。図4は摩擦補償まで含めたフィードフォワード制御のオートチューニング実験結果であるが、高速動作時でも良好な軌跡動作を実現するパラメータが得られていることが分かる。

上記(a), (b), (c)項の目標に対する要求は、今後ますます

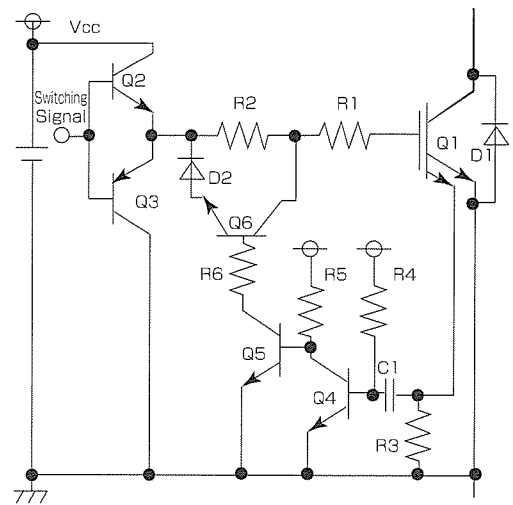


図5. IGBTのインテリジェント駆動回路

す厳しくなる。このためには、

- 非線形要素まで含めた正確なモデリング技術
- 最終目標の機械側運動を念頭に置いた制御技術

などがますます必要になると考える。要求の厳しさに伴い、課題ごとへの個別の解決が増加している。これらの応用例を積み重ねるとともに、これらを支える制御理論の整備、計算機や素子の高速化などの発展にも期待したい。

3.3 環境適合化技術(省エネルギー, 高調波低減, 低ノイズ化)

地球温暖化防止京都会議(COP3)を背景に世界的な省エネルギー政策が推進されつつあり、パワーエレクトロニクス応用機器は、中心的な役割を果たす機器の一つとして注目されている。例えば、一般工業用に普及している誘導電動機の省エネルギーに関しては、従来からインバータを用い負荷の要求に応じて可変速運転することで効率の向上が図られてきた。また最近では、これまで一定に制御していた誘導電動機の励磁電流を最適な値に制御することで、常に最高効率点で動作させる技術が実用化されている。現在はファンやポンプ等の負荷急変の少ないシステム向きではあるが、今後は頻繁な可変速を行う機器への適用も推進されるであろう。

このように、パワーエレクトロニクス応用機器は電気エネルギーの有効利用の点で産業界を中心に普及してきたが、その一方で、電磁波ノイズや電源高調波による周辺機器の誤動作等、予期せぬ環境問題が顕在化してきた。このため、パワーエレクトロニクス応用機器から発生する電磁波ノイズや電源高調波に対する各種の法規制やガイドラインが制定され、規制値を満足するための高効率コンバータやノイズフィルタ等が開発されている。ノイズフィルタを設置する方法には機器のコスト及び寸法増の問題があるため、学会を中心に、電磁ノイズの発生要因である電力素子のスイッチングに着目したノイズ低減技術の報告が盛んになりつつある。図5はその一例で、スイッチングの途上でIGBT

の駆動抵抗を切り換えることによって di/dt を低減し、スナバ回路の削減と併せてノイズ低減を図るものである⁽⁵⁾。また、電源高調波低減のための高効率コンバータに関しては、三相フルブリッジ型のコンバータが主流であるが、より広範囲の普及を目指し、半導体素子の数を減らすなど簡便な回路方式の提案が学会などで続いている⁽⁶⁾。さらに、低オン電圧のIGBTの適用や共振型インバータなど、パワーエレクトロニクス応用機器の効率を上げ、省エネルギーと小型化を図る研究開発も継続的に進められている。以下に、環境問題の改善を推進するための技術課題を概観する。

(1) 電力素子技術

ダイオードやIGBT等、高効率化・低ノイズ化に適した素子特性の検討と開発

(2) 電力素子駆動技術

電力素子のソフト駆動技術など、電力素子駆動技術による高効率化・低ノイズ化の実現

(3) 主回路技術

共振形に代表されるソフトスイッチング技術など主回路面から高効率化・低ノイズ化の実現、及び新規な高効率コンバータの開発

(4) 実装技術

サージ電圧や素子損失を抑制するための主回路インダクタンス最適化など、高効率化・低ノイズ化に有効な実装技術の実現

(5) 制御技術

低周波かつ高応答なPWM方式など、制御技術による高効率化・低ノイズ化の実現

(6) システム技術

接地、シャーシ、フレームの構成やフィルタ等の補助部品も含めて、高効率化・低ノイズ化に有効なシステム構成技術の実現

(7) 解析・評価技術

CAEツールや試験装置など、ノイズや効率を正確に解析・測定する技術や手法の実現

3.4 グローバル化

市場が世界に広がる中、グローバル化への対応が重要となっている。これは、海外においても安心して、かつ容易に、システムコンポーネントとして使用できるようにとの要求と言える。具体的には、電源仕様の整合性を始めとす

る地域仕様への対応、オープンネットワークへの対応、海外規格への対応が挙げられる。オープンネットワークについては、コストパフォーマンス、地域性、業種スタンダード的な要素もあり、これらとの関係から対応が進められている。当社も制御性と親和性に優れたCC-Link(Control & Communication-Link)を提案している。今後ますます適用拡大が期待される。また、グローバルサービスも必然の要求であり、インターネット活用による24時間同時サービスも実用化に近づきつつある。

4. む す び

以上、FA用駆動制御技術の動向と展望について述べた。モータ駆動装置は、今後も工場の生産性向上のキーコンポーネントとして期待はますます大きくなる。これにこたえるためには、機械の性能を限界まで引き出す追求はもとより、環境に優しく、人に優しい高品位な製品の提供が真に重要と考えている。今後とも技術開発を進め、ユーザーの要求に十分こたえられるよう努力していく所存である。

参考文献

- (1) 池田洋一, 中原裕治, 伊藤浩美, 斎藤直文: 新形汎用ACサーボモータの生産技術, 三菱電機技報, 72, No.4, 303~306 (1998)
- (2) 前田 肇, 杉江俊治: アドバンスト制御のためのシステム制御理論, 朝倉書店 (1990)
- (3) Iwasaki, T., Sato, T., Morita, A., Maruyama, H.: Auto-Tuning of Two-Degree-of-Freedom Motor Control for High-Accuracy Trajectory Motion, Control Engineering Practice, 4, No.4, 537~544 (1996)
- (4) Miyazaki, T., Ikeda, M.: Minimum-Time Position Control of Multi-Axes Mechanical System, IEEE CCA '98, 598~605 (1998)
- (5) 山田富久: パワーデバイスの低ノイズ化の動向, 三菱電機技報, 72, No.12, 996~1000 (1998)
- (6) 大島征一, 瀬尾 譲, 市村 徹, 財前紀行, 十河尚宏: エアコン用アクティブフィルタIPM, 三菱電機技報, 72, No.12, 1017~1021 (1998)

ファン，ポンプ用省エネルギーインバータ “FREQROL-F500シリーズ”

桜井寿夫*
木全政弘**
永瀧美博***

要旨

ファン，ポンプ用途対応の省エネルギーインバータとして，特に省エネルギー効果を最大限に追求した“FREQROL F500/F500Lシリーズ”を開発し製品化した。マイコンには32ビットのRISCマイコンを採用して各制御の高速化を図り，主回路制御に専用LSI(スマートドライバ)を開発し，高速・高精度に主回路の制御が可能となった。また，制御方式として“最適励磁制御”を新規開発した。最適励磁制御は，モータの一次電流を検出し，誘導電動機の効率が最大になるように一次電圧を制御する方式であり，従来のV/F制御よりも特にファンやポンプ用途でよく使用する低トルク域においてモータ効率を向上させることができた。

操作性の向上として，パラメータの表示モードをシンプルモードと標準モードに分類し，通常はシンプルモードとして，必要最小限の基本パラメータのみを表示するようにし簡単設定を可能とした。また，標準モード選択することにより，全パラメータを表示できるようにした。8か国表示可能で，LCDバックライト付きパラメータユニットを接続可能とした。

メンテナンスの向上として，脱着端子の採用，冷却ファンのON/OFF制御による長寿命化やカセット方式によるワンタッチ交換を採用した。

グローバル化に対応し，オープンネットワーク，海外規格，240V/480V電源への対応も実施した。



ファン，ポンプ用省エネルギーインバータFREQROL-F500/F500Lシリーズ

最適励磁制御を搭載したファン，ポンプ用省エネルギーインバータFREQROL-F500/F500Lシリーズの外観を示す。従来のV/F制御と比較し，低トルク域において業界最高レベルの省エネルギーを実現した。簡単操作，メンテナンス性の向上，海外規格への対応(UL，cUL，EN)を図ったファン，ポンプ用三菱省エネルギーインバータの最新機種である。

1. ま え が き

汎用インバータは、最新のパワーエレクトロニクス技術とモータコントロール技術を駆使した製品である。

省エネルギーと省力ニーズにこたえて開発された汎用インバータは、近年、幅広く産業分野で使用されるようになり、今や駆動制御装置の中心的位置を占めている。また、地球環境保全、資源の有効活用等の視点から、汎用インバータは省エネルギーの促進に大きく貢献している。このような状況の中、省エネルギーに対するニーズがより一層大きくなっている。

こうした背景の下、ファン、ポンプ用インバータ“FREQROL-F500/F500Lシリーズ”を開発した。

本稿では、その最新技術、及び機能について述べる。

2. FREQROL-F500/F500Lの概要

FREQROL-F500シリーズは、200V/400V系電源に合わせて、それぞれ0.75~55kWの14容量、全28機種、FREQROL-F500Lシリーズは、200V系75kWから110kWまでの3容量、400V系75kWから375kWまでの9容量、全12機種をラインアップしている。

FREQROL-F500/F500Lシリーズは、上位機種であるFREQROL-A500/A500Lシリーズの好評な点を受け継ぎ、ファン、ポンプ用途のための機能を盛り込み、さらに使いやすさを追求した省エネルギーインバータである。

主な特長は次のとおりである。

- (1) 省エネルギー効果の追求(経済性を追求)
- (2) 簡単操作、簡単メンテナンス
- (3) 低騒音、低ノイズ
- (4) 海外仕様・海外規格への標準対応(グローバル化)

なお、FREQROL-F500/F500Lの仕様概要を表1に示す。

3. 省エネルギー効果の追求

3.1 インバータによる省エネルギー(二乗低減トルク)

ファン、ポンプ等の機械の場合、モータを商用電源で駆動している装置では、モータの回転数を変化させることができないため、ダンパ等を用いて流量の調整を行う。この方法では低流量時の損失が大きくなり装置の効率が低下する。これに対して、要求される流量に応じてモータの回転数を変化させれば、ダンパに依存することなく流量制御が可能になり、低流量時の装置の効率が著しく向上する。

こうした背景から、近年インバータを用いて可変速運転を行い効率を向上させている。

ファンの消費電力を商用電源駆動ダンパ制御の場合とインバータ駆動の場合とで比較すると、風量が100%の場合には双方の電力はほぼ等しい。しかしながら、風量が小さくなるに従ってファンが出力するエネルギーは風量の3乗に比例するため、インバータ駆動の場合はモータ消費電力が大幅に減少するのに対して、ダンパ制御の場合はダンパ損失によって流量を制御するので、消費電力が余り減少しない。例えば風量60%の状態ではインバータ駆動とダンパ制御の消費電力の差は定格消費電力時の60%にも及び、省エネルギー効果が大きいことはよく知られている。

また、インバータにおいては、V/F制御で定トルクパターンと二乗低減トルクパターンを選択可能にし、二乗低減トルクパターンではファン特有の二乗低減負荷のパターンで電圧を制御することにより、定トルクパターンよりも電圧を低減することによって省エネルギー効果を得ることが可能であった。

3.2 インテリジェント省エネルギー制御

上記二乗低減トルクパターンよりも更に省エネルギー効果を出すため、消費電力をインバータのマイコンで計算し、その消費電力が最小になるようにインバータの出力電圧を

表1. FR-F500/F500Lの仕様概要

No.	項目	FR-F500/F500L	
1	容量・電圧レンジ	0.75~110kW/200V 0.75~375kW/400V (240V(22kW以下)・480V対応)	
2	周波数範囲	0.5~120Hz	
3	制御方式	高キャリア周波数PWM制御(Soft-PWM制御) V/F制御、最適励磁制御	
4	機能	冷却ファンON/OFF制御	可
		PID制御	あり(PID標準)
		多段速	7速
		シンプルモード	あり
	シンク/ソース切換え	可	
5	PU	構成	FR-DU04標準装備 8か国語PU04(オプション)
		入力方式	上下キー(FR-DU04)/10キー入力(FR-PU04)
		LCD(バックライト)	FR-PU04に装備
		コピー機能	標準で内蔵
6	内蔵オプション	種類・構成	デジタル入力、リレー出力、計算機リンク、アナログ出力、デジタル出力、12ビットデジタル入力、通信
		通信	標準 RS-485×1ch CC-Link, Profibus-DP, DeviceNET*
7	構造	NEMA規格対応	NEMA1(22kW以下)
		制御端子の脱着方式	全容量可
		カセット式冷却ファンの交換	可
		DCL接続	全容量接続可
8	規格	UL/cUL/EN	

注 * "DeviceNET"は、米国ODVA(Open DeviceNet Vender Association, Inc.)の商標である。

低減する制御が、1990年代初めごろから採用され始めた。当社FREQROL-A100シリーズに採用した、いわゆるインテリジェント省エネルギー制御である。インバータが出力する電圧及びモータに流れる電流を検出し、その電圧と検出した電流から“電力”を求め、その電力が最小になるように出力電圧を下げる制御をインバータが自動で実施する方式を採用していた。

しかしながらこの制御方式では、消費電力を下げるため出力電圧を減少させるため加速/減速時にトルク不足が発生し、逆に電流が増える場合があった。このため加速/減速中では出力電圧を大幅に低減することができないので、省エネルギー効果は余り期待できず、一定速において特に省エネルギー効果があった。

最近の省エネルギーニーズの強まりからこのインテリジェント省エネルギー制御よりも更なる省エネルギーへの強い市場要求があり、今回、その要求にこたえるため“最適励磁制御”を開発した。

3.3 最適励磁制御

誘導電動機の駆動方法の一つであるV/F制御をベースに、高効率となる制御方法“最適励磁制御”を開発した。この制御方式は、モータの電流を検出し、誘導電動機の“効率”が常に最大になるように出力電圧を制御する方式である。この制御により、特にファン、ポンプ用途の駆動でよく使用する低トルク域における効率を従来のV/F制御での二乗低減トルクパターン、インテリジェント省エネルギー制御よりも向上させることができた。

以下に最適励磁制御の原理について説明する。図1は、最適励磁制御のブロック図である。

誘導電動機において、一次磁束が一定に保たれているという条件下では、一次電流の有効電流 i_q の損失と、無効電流 i_d の損失が等しいときにモータ効率が最大になる。

誘導電動機から検出される一次電流を三相→二相変換して得られるd軸(励磁相)電流成分 i_d 、q軸(トルク相)電流成分 i_q を用いて、出力周波数 ω_1 に対して、モータに印加する一次電圧 V_{1d} 、 V_{1q} を次式によって制御する。

$$V_{1d} = K_1 \times i_d \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$V_{1q} = K_2 \times i_q + K_3 \times \omega_1 \times I_0^* \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 K_1 : d軸成分一次抵抗補正ゲイン

K_2 : q軸成分一次抵抗補正ゲイン

K_3 : 励磁電圧ゲイン

I_0^* : 励磁電流指令

式(2)の第2項は、励磁電圧に相当する成分で、V/f一定制御の電圧に相当する。すなわちV/f一定制御の場合、電圧は、

$$V_{1d} = 0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$V_{1q} = K_3 \times \omega_1 \times I_0^* \quad \dots\dots\dots(4)$$

で制御できる。

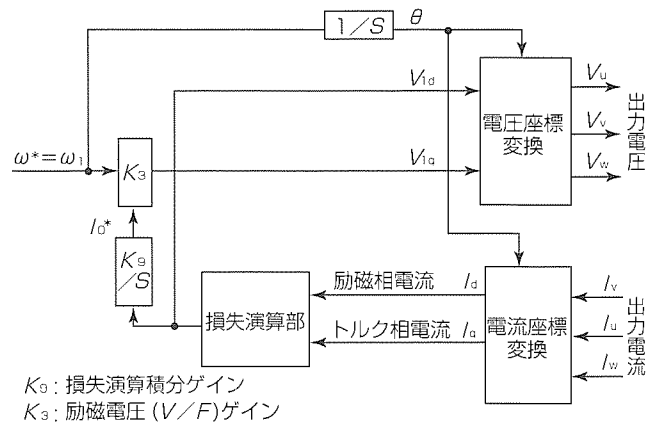


図1. 最適励磁制御ブロック図

また、誘導電動機の入力電力 P は、

$$P = V \times I$$

$$= V_{1d} \times i_d + V_{1q} \times i_q \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$= K_1 \times i_d^2 + K_2 \times i_q^2 + K_3 \times \omega_1 \times I_0^* \times i_q$$

となる。

また一次角周波数 ω_1 は、目標角周波数 ω_r^* 、滑り角周波数 ω_s から次式で表される。

$$\omega_1 = \omega_r^* + \omega_s \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\omega_s = K_4 \times i_q \quad \dots\dots\dots(7)$$

K_4 : 滑り角周波数補正係数

式(6)と式(7)を式(5)に代入することにより、d軸(励磁相)電流成分 i_d による損失 P_{1d} とq軸(トルク相)電流成分 i_q による損失 P_{1q} は下記式となる。

$$P_{1d} = K_5 \times i_d^2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$P_{1q} = (K_6 + K_7 \times I_0^*) \times i_q^2 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$= K_8 \times i_q^2$$

K_5 : d軸分損失補正係数

$K_6 \sim K_8$: q軸分損失補正係数

この演算されたd軸電流成分及びq軸電流成分の損失 P_{1d} 、 P_{1q} とが等しくなるように式(10)によって励磁電流指令 I_0^* を演算する。

$$I_0^* = (K_9 / S) \times (P_q - P_d) \quad \dots\dots\dots(10)$$

K_9 : 積分ゲイン

S : 積分時定数

d軸成分の損失とq軸成分の損失は式(8)と式(9)で与えられ、励磁電流指令 I_0^* は式(10)で与えられる。式(8)と式(9)の各損失が等しくなるように式(10)で励磁電流指令 I_0^* を制御する。その結果、モータの効率が最大となり、省エネルギー効果を向上させることができた。

3.4 性能・試験結果

図2に、最適励磁制御時と従来のV/F制御、インテリジェント省エネルギー制御時のモータ効率の比較例を示す。この例から、特に低トルク域において、“最適励磁制御”が最もモータ効率が良くなっており、省エネルギー効果の

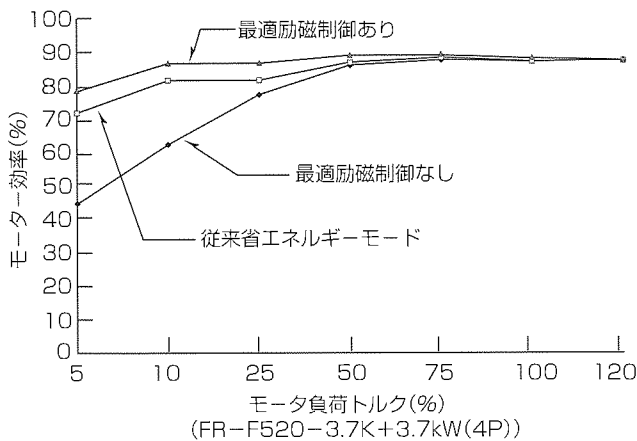


図2. モータ効率特性(60Hz運転時)

あることが分かる。

4. 簡単操作, 簡単メンテナンス

4.1 パラメータユニット

簡単操作のため, パラメータの設定表示方法として“シンプルモード”と“標準モード”を選択可能とし, 通常“シンプルモード”として必要最小限の基本パラメータのみを表示することとし, パラメータ管理を更に簡単にした(また, “標準モード”の選択でPID制御, 多段速, 通信機能などの高機能のパラメータを含む全パラメータの表示設定ができるようにした)。

操作パネル及びオプションのパラメータユニットには, パラメータコピー機能を標準装備した。万一インバータが破損した場合に, 本体を交換後, 操作パネル(又はパラメータユニット)に記憶しておいたパラメータ情報をインバータに通信で書き込むことにより, パラメータの復旧が迅速にでき, インバータを素早く立ち上げることができる。

4.2 端子台の脱着方式, 冷却ファンのカセット交換

制御端子を脱着方式とすることにより, 配線を外すことなくメンテナンスが可能となり, 客先での作業性を向上させることが可能となった。

インバータは種々の電子部品で構成されているが, 冷却ファンについては, 機構部品のため, 寿命があり, メンテナンスが必要となる。このため, 主回路素子の温度を検出し, 運転停止中に一定温度以下の場合は冷却ファンを停止させる制御を行い, 冷却ファンの長寿命化を図っている。また, 冷却ファンをカセット方式とし, メンテナンス時には簡単に冷却ファン交換ができるような構造とした。

4.3 セットアップソフトウェア

パソコンで立ち上げ設定が可能なセットアップソフトウェアを準備し, 短時間での立ち上げを可能とした。

5. 低騒音, 低ノイズ

FREQROL-A500/A500Lシリーズで好評の“Soft-PWM制御方式”を標準採用した。インバータでモータを駆動すると, キャリア周波数の成分に起因する音がモータから発生する。キャリア周波数が1kHz程度と低い場合には, モータから金属質の耳障りな磁気騒音がした。この磁気騒音を低減するため, 従来機種ではキャリア周波数を14.5kHzとし, 磁気騒音を人の耳に聞こえない周波数域に移すことで低騒音化を図った。しかし, 高キャリア周波数化は騒音という面では良い効果が得られたが, 発生ノイズが増加し, 課題として他の機器への悪影響, 漏れ電流の増加の副作用が残った。そこで, Soft-PWM制御を採用し, モータの磁気騒音成分を超低周波から高周波までの全体に分散させることで人に優しい音にした。

6. 海外仕様・海外規格への対応(グローバル化)

6.1 オープンネットワーク

世界の主要オープンネットワークCC-Link, Device Net, Profibus-DPに接続可能とした。これらの内蔵オプションはFREQROL-A500/A500Lシリーズとの共用化を可能とした。

6.2 海外仕様・海外規格への標準対応

240V/480V電源, 入出力端子のシンク/ソース切換え, 海外規格(UL, cUL, EN)にも標準品で対応可能とした。

7. むすび

このような特長を持ったFREQROL-F500/F500Lシリーズが, ユーザーの省エネルギー活動へ一層貢献するとともに, 地球の温暖化を防止し, 地球環境を保護することを切に望んでいる。当社では, 需要家各位の指導と協力を得ながら, 今後とも省エネルギーインバータの“省エネルギー”“機能”“使いやすさ”の向上と“環境適合”“グローバル”への対応, 高信頼性の追求を図るため, より一層技術開発に取り組んでいく所存である。

参考文献

- (1) 桜井寿夫, 栗山茂三, 今中 晶, 貝谷敏之, 奥山美保: 次世代汎用インバータ“FREQROL-A500シリーズ”, 三菱電機技報, 72, No.5, 464~471 (1998)

小型高機能汎用インバータ “FREQROL-E500シリーズ”

池下 亙*
朝長慎三*
市川広樹**

要 旨

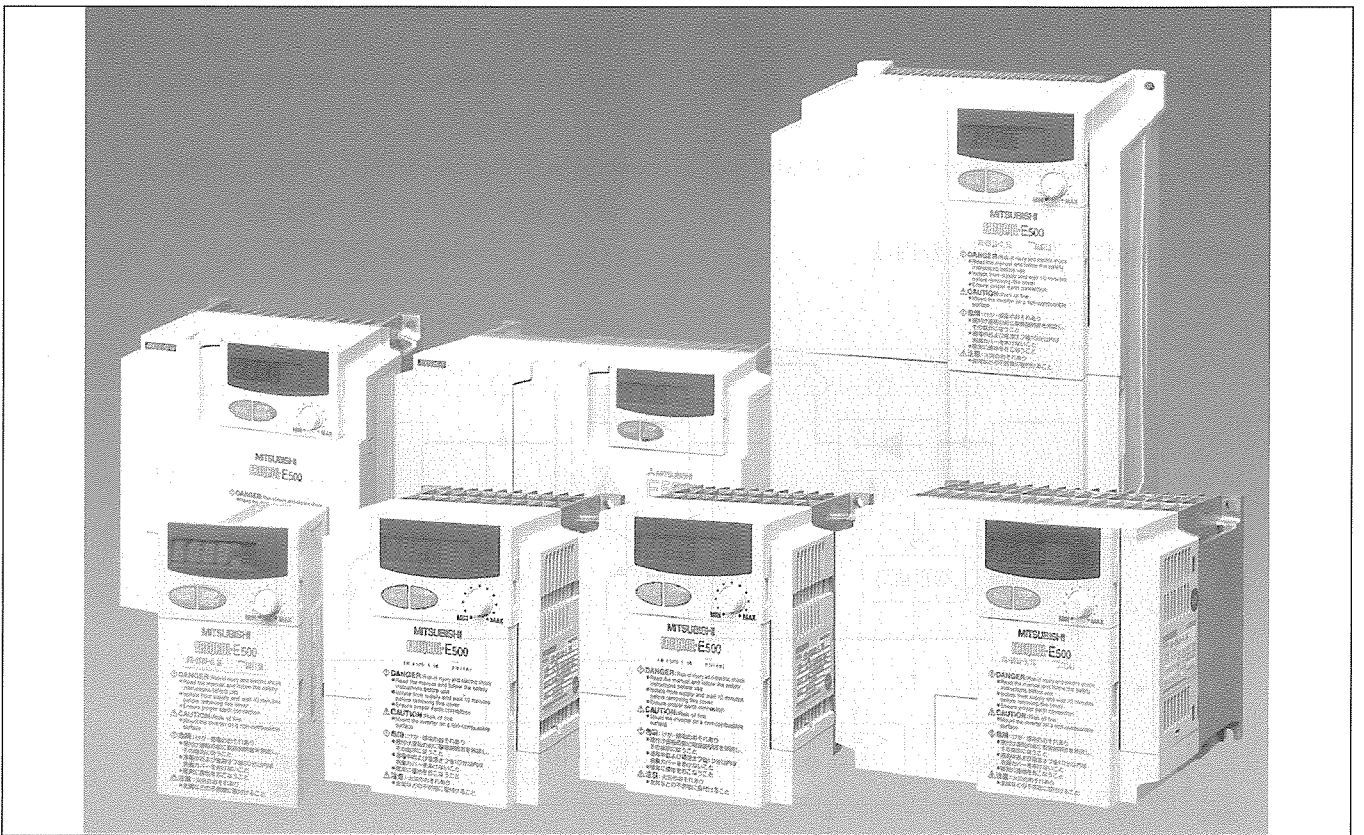
小型で業界トップレベルの高機能・高性能を兼ね備えさらにオープンネットワークへの対応を可能とした、小型インバータの標準機となる“FREQROL-E500シリーズ”を開発し製品化した。

小型化のポイントは、パワー・制御・構造の3点をシステム的に最適化した三菱電機独自の複合モジュール技術にある。この複合モジュールは、電源回路、ゲート駆動回路、母線電圧／出力電流検出回路、さらにモータ制御・保護等を行う駆動部マイコンまで含めて取り込んでいる。駆動性能向上のために、シャント抵抗によって非絶縁で出力電流を検出し、検出遅れを短縮し、駆動部マイコンで高速独立制御した。

インバータ制御を制御部マイコン、駆動部マイコン、ネ

ットワークマイコンに3分割し、各々独立制御し、また制御部マイコンとネットワークマイコンはDual Port RAMで接続し、ネットワークマイコンのソフトウェア変更で世界の主要オープンネットワークに接続可能となる。

操作性改善のために、周波数設定ボリュームを標準装備し、簡単操作を実現した。また、操作パネルは脱着可能とし、インバータ本体とRS-485で接続することで客先コントローラとの親和性を向上した。メンテナンス性改善のために冷却ファンのカセット方式を採用し、また、ON/OFF制御による長寿命化を図った。グローバル化への対応として、北米や欧州の安全規格への対応、240V／480V電源への対応も標準品で実施した。



小型高機能インバータ“FREQROL-E500シリーズ”

高機能標準インバータに匹敵する高機能・高性能を備えながら業界トップレベルの小型化を実現し、さらにオープンネットワークへの対応を可能とした。操作性改善、保守性の改善、海外規格への対応などの特長を持つ小型インバータの標準機である。

1. ま え が き

インバータ市場の近年の傾向として、従来のDCモータに置き換わる高性能化と小型・軽量、経済性の追求の2極分化が挙げられる。その中でも、この10年間で小型機械の付加価値を高める経済性に優れた小型インバータが市場を大きく拡大した。世の中で使用される汎用インバータ台数の80%は3.7kW以下であり、三菱電機では“FREQROL-Z024シリーズ”“FREQROL-U100シリーズ”“FREQROL-A024/A044シリーズ”と製品群を順次発売し、多様化しつつあるユーザーニーズにこたえてきた。

今回、更に付加価値を高めるため、小型で経済性に優れた業界トップレベルの高機能・高性能を兼ね備えさらにオープンネットワークへの対応を可能とした小型インバータの標準機としてFREQROL-E500シリーズを製品化した。FREQROL-E500シリーズは、従来の高機能標準インバータに匹敵する高機能・高性能を備えながら業界トップレベルの小型化を実現しており、汎用インバータの新たな適用範囲拡大に寄与するものと期待している。

本稿では、FREQROL-E500シリーズの特長である小型化技術、駆動性能の向上、制御技術、操作性・メンテナンス性の向上など技術アイテムを中心に述べる。

2. 小型化技術のトレンド

従来、小型化技術は次の3点で取組が行われてきた。

(1) パワーデバイス

素子の低 V_{CE} ・低損失化、複合パッケージ化、IPM化

(2) 制御デバイス

マイコン制御、LSI化による部品点数削減

(3) 冷却技術・構造技術

薄肉フィン、高効率フィン、高性能ファン

3. FREQROL-E500シリーズの小型化技術

今回のFREQROL-E500シリーズの小型化技術開発の最大のポイントは、上記のパワー、制御、冷却・構造の3点を系統的に最適化した複合モジュール技術にある。パワーデバイスの進歩に依存した市販モジュールの組合せの小型化技術には限界がある。そこで、独自の複合モジュールを開発し、インバータ製造ラインに付属した自社のモジュール製造工場で生産し、小型化と高信頼性化を実現した。

3.1 複合モジュール回路構成

汎用インバータの回路構成上の課題として、主回路とユーザーインタフェースとの絶縁技術が挙げられる。近年のグローバル化に伴い、北米・欧州安全規格に標準品での適合を図ることが必ず(須)となっており、小型化する上で不可避の技術課題である。今回、主回路駆動部とユーザーインタフェースをマイコン間の絶縁された高速シリアル通信で接続することで、主回路部の非絶縁化と複合モジュール化を実現した。図1にFREQROL-E500シリーズの主回路構成を示す。主回路は、コンバータ部とインバータ部さらにブレーキ部からなる。この主回路に加え、電源回路、ゲート駆動回路、母線電圧/出力電流検出回路、さらにPWM制御を行うモータ制御・保護、制御回路部インタフェースを行う駆動部マイコンまで複合モジュールに取り込み、パワー部回路が独立したモジュールインバータともいえるべき複合モジュール(図の点線部)を開発した。

図2に複合モジュールの外観を示す。コネクタがユーザーインタフェース基板との接続部である。

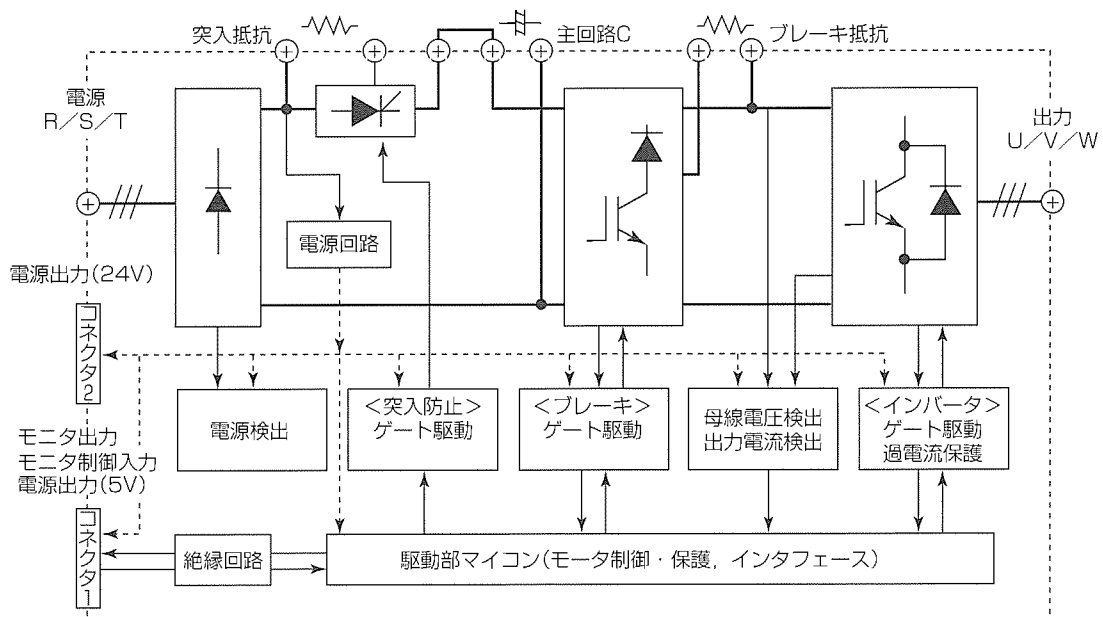


図1. FREQROL-E500シリーズの主回路構成

3.2 複合モジュール小型化技術

複合モジュールを小型化する上でもう一つの課題となるのが、パワーチップの放熱設計とパワー部の絶縁距離の確保である。今回は、以下の3点から小型化技術を確立した。

(1) パワーチップの放熱最適設計

製品の小型化に伴い信頼性を確保するためには、高放熱絶縁基板上にベアチップや周辺駆動回路を搭載したときのパワーチップのジャンクション温度を正確に把握することが必要である。今回、放熱特性に優れた高放熱絶縁基板を採用し、パワーチップの熱分布シミュレーションを実施することで、放熱フィンのベース厚、フィンピッチの最適設計はもとより、高放熱絶縁基板上のパワーチップ部品配置、高放熱絶縁基板のベース厚まで一歩踏み込んだ最適設計を行った。

(2) エポキシ樹脂による発熱の均一化

主回路及び駆動回路部の発熱は、発熱部品が集中するため熱が均一化しておらず、冷却設計からみると最適設計と言えない側面があった。今回、全体をエポキシ樹脂で固めることで発熱の均一化を図ることに成功した。この発熱の均一化により、高発熱部品の温度上昇を最大30%低減し、小型化と高信頼性を両立させている。

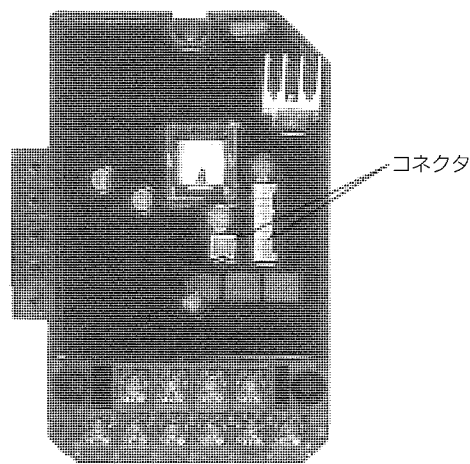


図2. 複合モジュールの外観

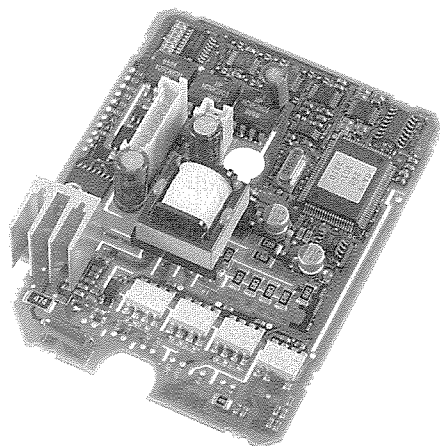


図3. パワー部基板の外観

(3) 基板絶縁距離の最適設計

小型化と絶縁距離の確保は従来トレードオフの関係にあり設計上の大きな障害となっていたが、今回は、絶縁距離が必要な箇所に基板スリットを設け、そのスリット間にエポキシ樹脂を封入することで絶縁距離の最適設計に成功し、パワー部基板の小型化(30%減)を達成した。

パワー部基板の外観を図3に示す。

4. 駆動性能の向上

FREQROL E500シリーズでは、モータ駆動性能を大幅に改善している。モータのトルク特性や低速での回転むら等は、出力電圧の制御性能及び出力電流検出性能に依存する。図4にFREQROL-E500シリーズの電流検出方式を示す。従来はモータ出力電流をホール素子を使ったDCCTで検出していたが、今回は、シャント抵抗によって非絶縁で検出し、検出遅延時間を短縮し、さらに駆動部マイコンで高速独立制御している。出力電圧は出力パワー素子の上下アーム短絡防止時間(デッドタイム)が誤差電圧要因となる。そこで出力電流をより高速により高精度に検出し、駆動部マイコンで処理・制御することで、出力電圧の制御性能を大幅に改善している。図5にキャリア周波数14.5kHz、出力周波数3Hzでの出力電流波形を示す。図の(a)は開発機で用いたモジュールの出力電流波形で、(b)は一般に市販されているモジュールの出力電流波形である。

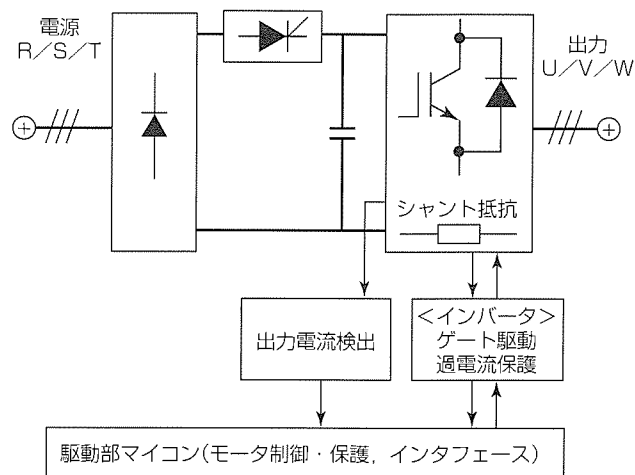
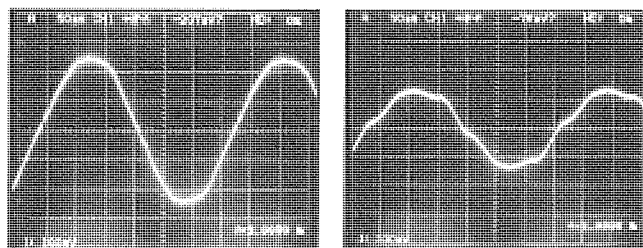


図4. FREQROL-E500シリーズの電流検出方式



(a) 開発モジュールの出力電流波形 (b) 市販品モジュールの出力電流波形

図5. 出力電流波形

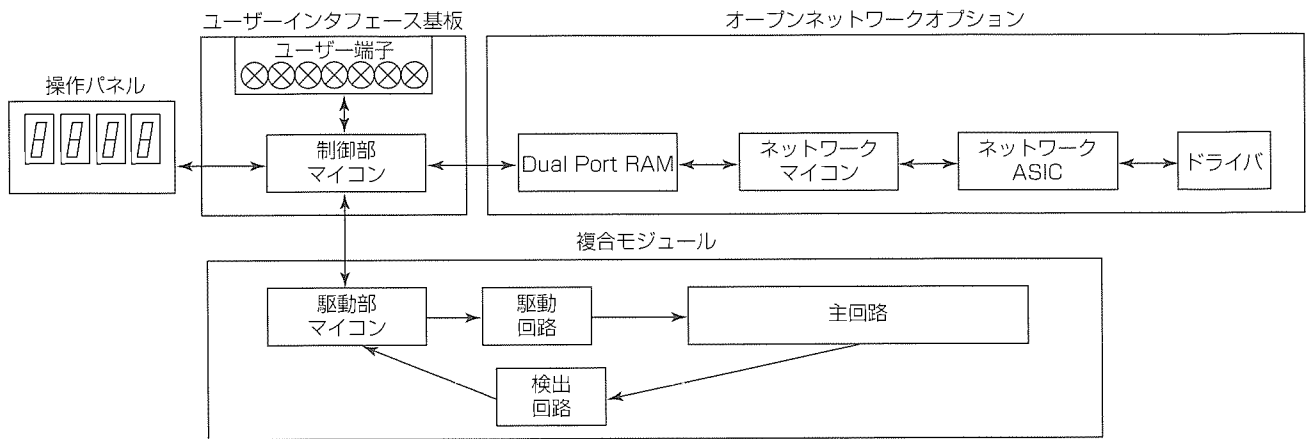


図6. FREQROL-E500シリーズのインバータ制御構成

以上の出力電圧／出力電流制御性能の向上で、モータトルクアップや低速での回転むら改善など、モータ駆動性能を大幅に向上した。具体的には、汎用磁束ベクトル制御と滑り補正の組合せで、低速1Hzで150%以上の高トルクを発生可能であり、さらに、今回オフラインオートチューニング機能を新規追加することで、モータ配線長が長い場合や他社モータとの組み合わせでも容易に汎用磁束ベクトル運転を可能とした。

5. 制御技術

図6にFREQROL-E500シリーズのインバータ制御構成を示す。ユーザーとのインタフェースを行う制御部マイコン、主回路素子の駆動・保護を行う駆動部マイコン、オープンネットワークへの接続を行うネットワークマイコンに3分割し、各々独立制御している。また、制御ブロックを分割化したことで、機能アップに伴い増加するマイコンの責務軽減が図れ、駆動性能の向上にも寄与している。制御部マイコンとネットワークマイコンはDual Port RAMで接続されるので、オープンネットワークに対応するには、ネットワークマイコンの処理内容(ソフトウェア)を変更することで、世界の主要オープンネットワーク(Profibus-DP, DeviceNet^(注), CC-Link)に容易に接続可能となる。

6. 操作性・メンテナンス性改善

(1) 操作性改善

簡単操作のため周波数設定ボリュームを標準装備した。この操作パネルは脱着可能であり、インバータ本体とRS-

(注) “DeviceNet”は、米国ODVA(Open DeviceNet Vender Association, Inc.)の商標である。

485で接続しているのも、FREQROL-A500シリーズ同様、パラメータユニットFR-PU04や客先コントローラとの親和性が向上した。また、パラメータユニットのコピー機能を利用することで、セットメーカーでのパラメータ工場設定をより簡単にした。

(2) メンテナンス性向上

FREQROL-A500シリーズ同様、冷却ファンカセット方式の採用で保守部品の簡単交換を実現し、また、冷却ファンのON/OFF制御による長寿命化を図った。

7. グローバル化

オープンネットワークへの対応、安全規格(UL, cUL, EN)への対応、また240V/480V電源への対応も標準品で実施した。

8. むすび

以上FREQROL-E500シリーズの構成技術の一端を紹介したが、三菱電機では、需要家各位のご指導とご協力を得ながら、今後とも汎用インバータの“性能”“機能”“使いやすさ”の向上と、高信頼性の追求を図るため、より一層技術開発に取り組んでいく所存である。

最後に、以上のような特長を持ったFREQROL-E500シリーズが汎用インバータの適用範囲を広げていくことを切に望んでいる。

参考文献

(1) 桜井寿夫, 栗山茂三, 今中 晶, 貝谷敏之, 奥山美保: 次世代汎用インバータ“FREQROL-A500シリーズ”, 三菱電機技報, 72, No.5, 464~471 (1998)

次世代汎用サーボアンプ “MELSERVO-J2 Superシリーズ”

井川 康*
長野鉄明*
池田英俊**

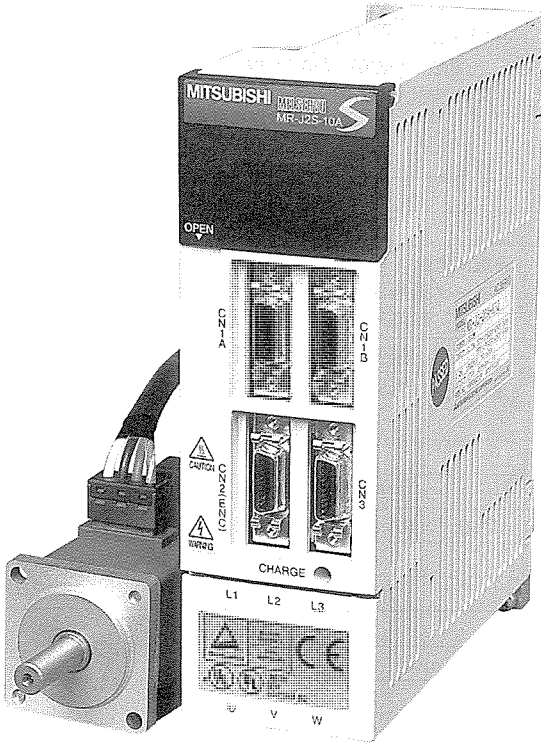
要 旨

近年、産業機械の高性能化に伴って汎用ACサーボの高性能化・高機能化が進みつつある。また、従来サーボ化していなかった軸のサーボ化も進みつつあり、汎用ACサーボのすそ野は広がりつつある。

従来から好評を得ているMR-J2シリーズと高い互換性を保ちながら、高応答化、オートチューニングの性能向上による使いやすさの向上、さらにマシンアナライザ機能などを標準搭載して機械系も含めた最適調整が可能なMR-J2-Superシリーズを開発した。

MR-J2-Superシリーズの主な特長を以下に示す。

- (1) 速度周波数応答550Hz
- (2) 131,072p/revの絶対位置検出器を標準装備
- (3) 超小型ながらイナーシャの大きいHC-KFSシリーズもラインアップし、機械イナーシャが大きい用途や低剛性機械にも有利
- (4) MR-J2シリーズとインタフェース互換
- (5) リアルタイムオートチューニングの性能向上
- (6) 適応制振制御機能による機械振動の抑制
- (7) マシンアナライザ機能搭載によって機械特性をサーボ側から解析でき、共振系に対しても適正なゲインを自動設定可能
- (8) マシンシミュレーション機能により、マシンアナライザによって得られた機械特性を基に位置決めシミュレーションがパソコン上で可能
- (9) 整定特性が短くなるようなゲインを自動的に探索するゲインサーチ機能を搭載し、整定特性を短くするゲインを簡便に得ることが可能



基本性能の向上

- 550Hz速度周波数応答
- エンコーダ高分解能化

使いやすさの向上

- ハイレベルリアルタイムオートチューニング
- ノッチフィルタと適応制振制御
- 超小型低慣性HC-KFSシリーズモータ

機械系も含めた最適調整

- マシンアナライザ
- マシンシミュレーション
- ゲインサーチ

汎用ACサーボアンプ“MR-J2-Super”と汎用ACサーボモータ“HC-KFS”

MR-J2-Superシリーズは、従来から好評を得ているMR-J2シリーズと高い互換性を保ちながら、高応答化とオートチューニングの性能向上などによる使いやすさの向上を実現した。さらに、マシンアナライザ機能やゲインサーチ機能などを標準装備することにより、機械系も含めた最適調整が可能となった。

1. ま え が き

汎用ACサーボは、現在、様々な機械の精密位置決めや速度制御又は張力制御に用いられている。代表的な用途として半導体製造装置、インサータ・マウンタ、工作機械などがあるが、いずれの用途においても、機械の高性能化のために、ACサーボにも高性能・高機能が要求されつつある。また、従来サーボ化されていなかった軸も機械の高性能化を目的としてサーボ化されるなど、サーボの用途自体が広がりつつある。そして、これに伴ってサーボに対する要求も多様化してきている。

これらの中の主な市場要求を下記に示す。

- 機械のタクトタイム短縮を目的とした高応答化(整定時間短縮)
- 調整レス化(オートチューニング化)
- 機械の小型化及び多軸化に対応したサーボアンプとサーボモータの小型化
- 海外規格対応
- 省エネルギー、環境保護

これに対応して、当社では、1992年に発売した

MELSERVO-Hシリーズから、サーボアンプ内部に負荷モデルを備えたモデル追従型制御の一種である“モデル適応制御”を採用し、これによって位置決め整定時間の短縮を図ってきた。また、常時負荷慣性モーメントを同定しリアルタイムに適正ゲインを設定する“リアルタイムオートチューニング機能”も業界に先駆けて開発することにより、従来面倒であったゲイン調整の手間を軽減し、初めてのユーザーでも容易に扱えるように配慮した。

また'95年に発売したMELSERVO-J2シリーズでは、“モデル適応制御”及び“リアルタイムオートチューニング機能”を継承しながら、海外規格を標準で対応しサーボアンプ/サーボモータと

も超小型化を実現し、好評を得ている。

今回さらに、J2シリーズと高い互換性を保ちながら高応答化とオートチューニングの性能向上などによる使いやすさを追求したMELSERVO-J2-Superシリーズ(以下“J2-Superシリーズ”という。)を開発したのでここに紹介する。

2. 製品概要

MR-J2-Superシリーズのサーボアンプ及びサーボモータの製品概要を表1に示す。

インタフェース及び外形寸法は従来のMR-J2シリーズと互換性を保ち、MR-J2シリーズを使用しているユーザーに対してもそのまま置き換えができるように配慮している。

3. 基本性能の向上

3.1 高 応 答 化

位置決め整定時間を短縮するためには、速度周波数応答を高めることが最も有効である。従来から当社では、位置、速度、電流各制御をすべてソフトウェアによって行う“オールデジタル制御”を採用しているが、J2-Superシリ

表1. MR-J2-Superシリーズの製品概要

<サーボアンプ>

型名	MR-J2S-	10A	20A	40A	60A	100A	200A	350A
出力		100W	200W	400W	600W	1 kW	2 kW	3.5kW
電源	電圧・周波数	三相200~230V/50, 60Hz 又は単相AC230V/50, 60Hz				三相200~230V/ 50, 60Hz		
制御方式		電流制御：正弦波PWM制御 位置・速度制御：モデル適応制御						
速度周波数応答		550Hz						
オートチューニング		リアルタイムオートチューニング						
保護機能		過電流遮断、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、不足電圧保護、瞬時停電保護、過速度保護、誤差過大保護						
制御モード		位置、速度、トルク及び各制御方式の切換えモード						
位置制御仕様	最大入力パルス周波数	500kpps(差動レシーバ時)、200kpps(オープンコレクタ時)						
	位置決め帰還パルス	131.072 p/rev						
	位置決め完了幅	0 ± 10,000パルス(指令単位)						
速度制御仕様	速度制御範囲	アナログ1:2,000、内部速度1:5,000						
	アナログ速度指令入力	DC0 ± 10V/定格回転速度(パラメータによって変更可)						
トルク制御仕様	アナログトルク指令入力	DC0 ± 8 V/最大トルク						
構造		自冷、開放(IP00)						強冷、開放(IP00)

<サーボモータ>

シリーズ	特 長	定格回転数(r/min)	出力容量
HC-MFS	小容量超低慣性	3,000	50~750W
HC-KFS	小容量低慣性	3,000	50~750W
HC-SFS	中容量中慣性	1,000	0.8~3kW
		2,000	0.5~3.5kW
		3,000	0.5~3.5kW
HC-RFS	中容量超低慣性	3,000	1~2 kW
HC-UFS	中容量フラットタイプ	2,000	750W~2kW
	小容量フラットタイプ	3,000	100~750W

ズでは、高速な32ビットRISCマイコンを用いることによって各演算周期を従来品の1/4にし、さらに、各演算処理の無駄時間を大幅に短縮することによって高応答化を実現した。

図1に速度周波数応答のデータを示す。速度周波数応答550Hzが得られていることが分かる。

図2にスライダに取り付けた状態での位置決め整定特性の実測波形を示す。±10μm整定幅に対して1ms以下の整定特性が得られている。

3.2 エンコーダの高分解能化

一般的に、速度制御周期を短くするとそれに比例して速度フィードバックの分解能は低下する。また、低速時の安定性はエンコーダ分解能が高いほど良くなる。そのため、J2-Superシリーズでは、従来品(8,192p/rev)に対して16倍分解能を高めた13万パルス(131,072p/rev)分解能の絶対位置エンコーダを新規開発し、それをすべてのモータシリーズにおいて標準対応とした。

一般的なAB相パルスをカウントする方式では、高分解能化によって高速回転時のパルス信号の減衰による信頼性の低下、組立てと調整の複雑化という課題がある。開発したエンコーダは、マイコンを搭載し、演算によって電気内挿を行うことで、高分解能化を実現した。また、演算によって組立てと調整時に発生する誤差の補正も可能とした。

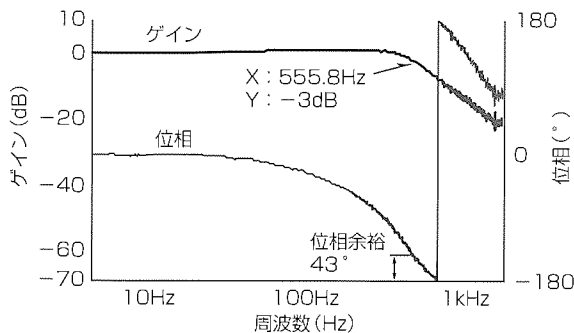


図1. 速度周波数応答

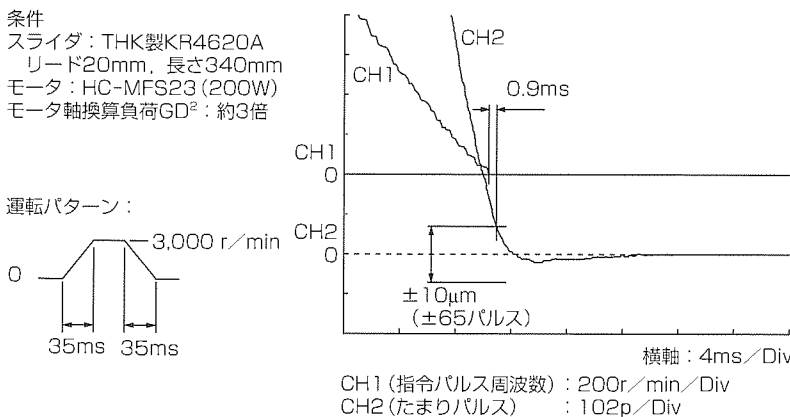


図2. 位置決め整定特性

このように、マイコンによって角度分割データを算出することにより、現行品と同一サイズで13万パルスを達成した。図3にそのパルス円盤及び基板の外観を示す。

4. 使いやすきの向上

4.1 ハイレベルリアルタイムオートチューニング

高速高精度なサーボを実現するためには、負荷機械の特性、特にイナーシャに合わせて制御パラメータを調整することが不可欠であり、それを自動的に行うオートチューニングの機能が強く望まれている。また、様々な機械システムに対して簡単にオートチューニングを実現するため、さらに運転中のイナーシャ変化にも適応する目的から、実際の運転状態でリアルタイムかつ高精度にイナーシャ推定を行うことが望まれる。しかしながら、摩擦などの外乱が存在したり加減速度が小さい運転条件の場合には、信号のS/N比の劣化から原理的にイナーシャ推定が困難となる。当社では従来からリアルタイムオートチューニングを実現していたが、上述の悪条件下ではイナーシャ推定が良好に動作しない場合があり、より幅広い機械システムに対して、ロバストかつ高精度なイナーシャ推定を実現することが望まれていた。

そこで今回、低加減速運転や垂直軸負荷、摩擦外乱に対して、ロバストかつ高性能なリアルタイムオートチューニング方式を開発した。この方式の概念を図4に示す。この方式では、統計的最適化を行う適応同定アルゴリズムに基づき、さらに独自の改良を行うことによって、広範囲な機械系・運転条件で高精度にイナーシャ推定を行うことが可能となる。図5に、摩擦トルクが定格の15%程度存在するボールねじを用いて垂直に負荷を駆動した場合の試験結果を示す。図の(a)は加減速に用いるトルクが55%で、比較的條件の良い高加減速運転を行う場合であり、オートチューニング以前に存在する速度のオーバーシュートがオートチューニング以降はなくなり、高精度な制御が実現されてい

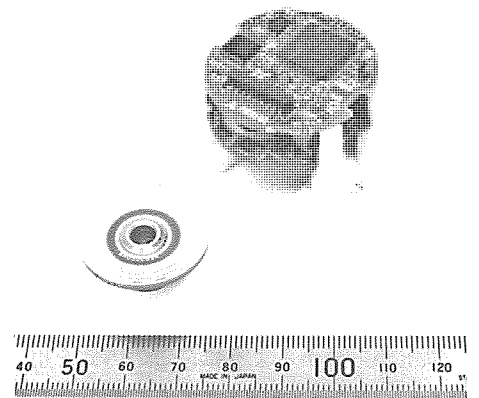


図3. 131,072p/revエンコーダのパルス円盤と基板

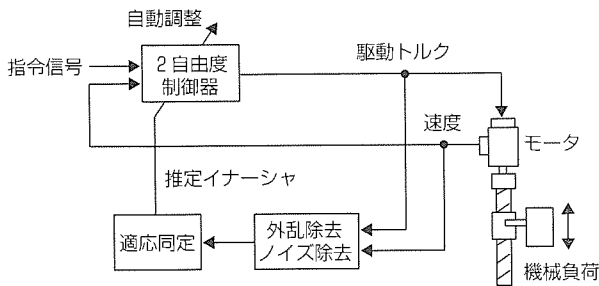
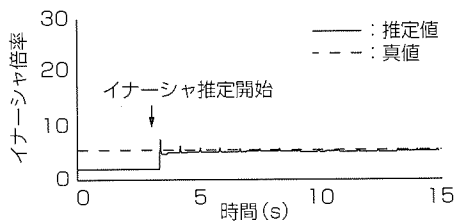
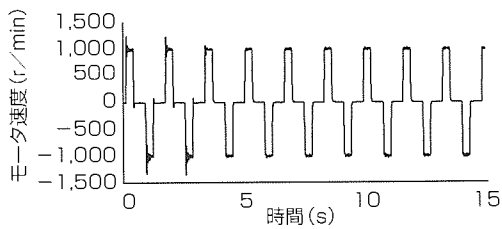
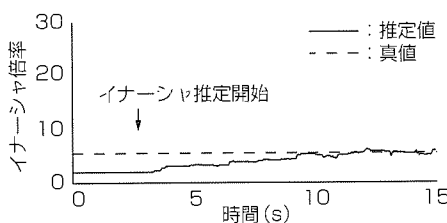
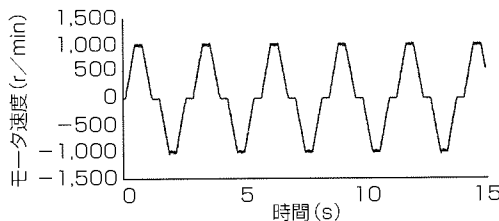


図4. ハイレベルリアルタイムオートチューニングの構成



(a) 高加減速駆動時



(b) 低加減速駆動時

図5. ハイレベルリアルタイムオートチューニングの応答

ることが分かる。図の(b)は加減速に用いるトルクが1.5%程度で、摩擦と比較しても極めて条件の悪い場合であるが、安定かつ高精度にイナーシャ推定を行っていることが分かる。

以上から分かるように、この方式を用いることにより、広範囲な機械システムに対して信頼性高く、プラグ&プレーによる高精度サーボの実現が可能になる。

4.2 ノッチフィルタと適応(アダプティブ)制振制御

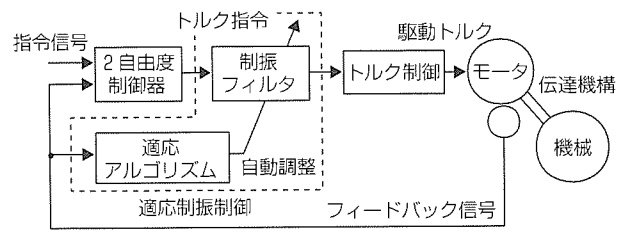
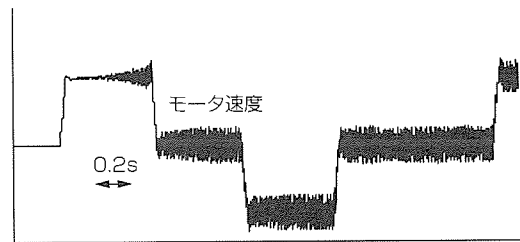
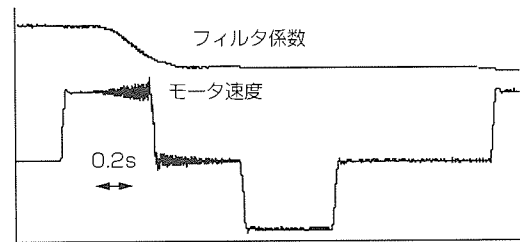


図6. 適応制振制御の構成



(a) 適応制振制御なし



(b) 適応制振制御あり

図7. 適応制振制御の効果

一般的に機械には伝達機構などの剛性に起因する機械共振点があるため、ゲインを上げると振動が発生し仕様を満足する応答性能が確保できない場合がある。J2-Superシリーズでは、当社独自のノッチフィルタと適応制振制御を開発し振動抑制機能の大幅な向上を実現した。

図6に適応制振制御の構成を示す。この方式は、フィードバック信号に含まれる振動成分が減少するように適応アルゴリズムによって制振フィルタの特性をリアルタイムで自動調整する先進的な制御方式である。また、機械の経年変化や負荷条件による共振周波数の変化、又は機台ごとの共振周波数のばらつきに伴う調整作業も不要となる。

図7に適応制振制御の振動抑制効果を示す。ボールねじ駆動のテーブルを駆動したときの応答を示している。適応制振制御がある場合は、振動が発生するとフィルタ係数が修正され振動が抑制されていることが分かる。

一方、ノッチフィルタは、対応可能な共振周波数範囲を拡大するとともに、フィルタ効果の強さの調整機能を付加した。これと後述のマシナナライザによって機械共振点をあらかじめ把握することにより、更に適切な設定が可能

となる。

4.3 低慣性(HC-KFS)シリーズのラインアップ

従来から機械対応によって各種モータを取りそろえているが、今回新たにHC-KFSシリーズをラインアップした。HC-KFSシリーズは、超小型・超低慣性シリーズのHC-MFSモータと外形寸法が同じながらモータイナーシャが3~5倍大きいため、機械の負荷イナーシャが大きい場合やベルト駆動のようにゲインが上げにくい機械に有利である。HC-KFSシリーズは50, 100, 200, 400Wの4機種を品ぞろえしており、超低慣性のHC-MFSシリーズとのイナーシャの比較を図8に示す。

5. 機械系も含めた最適調整

5.1 マシナナライザ

汎用サーボの制御対象である機械システムでは、機械共振が問題になる場合が多く、また、振動モードも複数存在して高い周波数の振動モードが制御系の不安定現象を引き起こす場合もある。このような機械系に対して振動を抑制しながら高速高精度な制御を実現するためには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が、従来は、FFTアナライザなどの計測器を必要とし、また時間も多にかかるため、一般的には余り行われていなかった。そこで、従来からパソコン上で動作するセットアップソフトウェアを当社では用意しているが、ここに機械特性の解析機能を付加し、ワンタッチで自動的に広帯域にわたる詳細な機械特性を解析することを可能にした。図9にこのシ

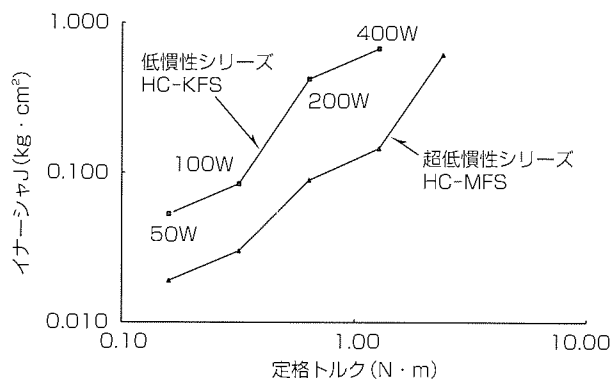


図8. モータイナーシャ比較

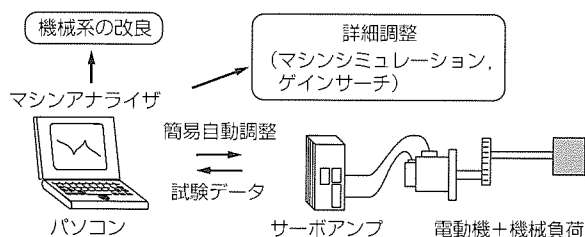


図9. マシナナライザの構成

ステムの構成概念を示す。

このシステムでは、最初にランダム信号をトルク指令として用いた駆動試験を数秒間行い、そのときの速度信号に基づいて詳細な機械モデルの同定を行う。この際、不安定化の要因となるモータと負荷のカップリングなどの高周波数機械共振も測定可能なよう、1 kHzまでの広帯域にわたる同定を可能としている。次に、得られた詳細な機械特性から機械系のイナーシャや最も低い共振周波数などの特徴量を抽出し、安定限界を見極めた上で、様々な用途に対して最適である制御ゲインの計算も行っている。図10に、マシナナライザを用いて実機械の特性を同定した結果を示す。図から、広い周波数帯域にわたって機械特性を良好に同定していることが分かる。

このシステムを用いることにより、広帯域にわたる詳細な機械特性の解析が短時間で可能になり、機械特性に応じた最適なゲイン設定を短時間で自動的に得ることも可能である。またさらに、得られた詳細な機械モデルを基に、実際の仕様に応じた詳細なゲイン解析を行ったり、機械システムの改良に役立たせることも可能となる。

5.2 マシンシミュレーション

マシンシミュレーションは、振動特性を含む機械モデルを使って指令に対する応答をパソコン上でシミュレーションするツールである。この画面例を図11に示す。機械モデルとしては、ユーザーが定義する二慣性共振モデル又は前述のマシナナライザで同定した機械モデルが選択できる。

図12に、マシナナライザで同定した機械モデルを使った場合のシミュレーション結果と実測波形を示す。実機に近い応答が得られていることが分かる。このツールを用いることにより、実際に機械を運転しなくても指令パターンやゲインの変更に対する応答をパソコン上で評価検討することが可能である。

5.3 ゲインサーチ

ゲインサーチは、ゲインを変化させながら位置決め制御

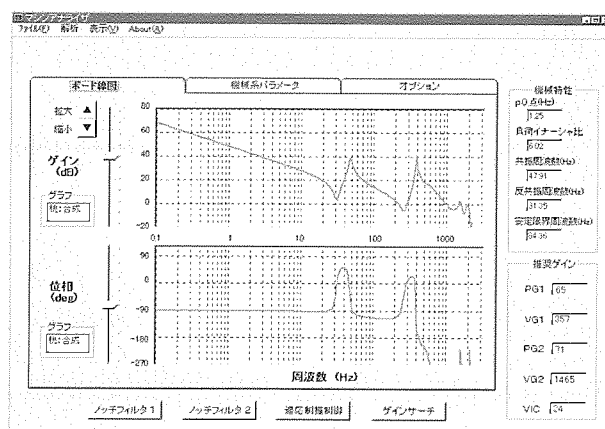


図10. マシナナライザの実測例

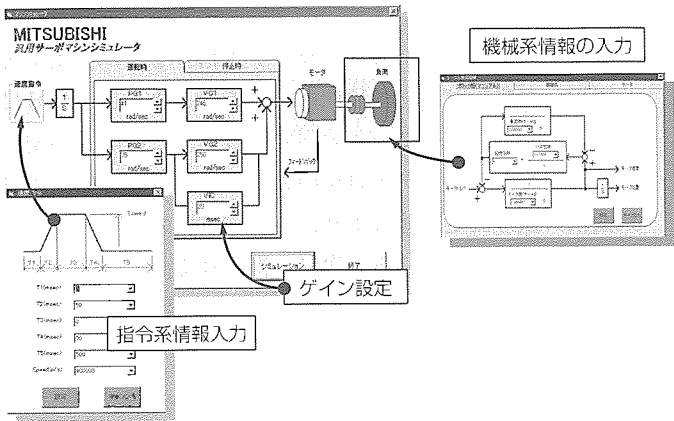


図11. マシンシミュレータの構成

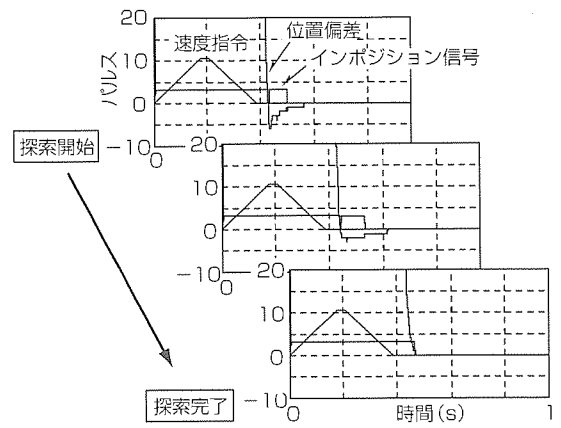
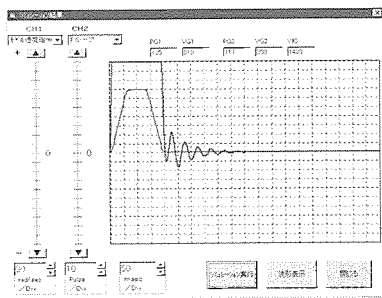
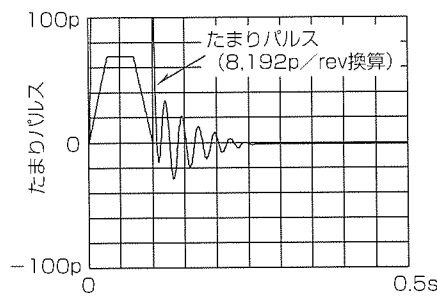


図13. ゲインサーチによる調整結果



(a) シミュレーション



(b) 実測波形

図12. 応答波形の比較

を繰り返し、指定された整定幅を超えない範囲で整定時間が最短となるゲインを探索する機能である。探索アルゴリズムは、応答波形の評価関数を最小にするゲインを探索する手法を用いており、また、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なるようにしている。ゲイン探索時の運転は特別なテスト運転パターンは不要で実際のユ

ーザーの運転パターンで行えばよく、またマシンアナライザの結果とリンクしたゲイン探索範囲の自動絞り込み機能を備えたので、実際の使用用途により適したゲインを短時間で容易に求めることができる。

図13にゲインサーチによる調整結果を示す。最終的にオーバーシュートのない良好な応答が得られている。

6. むすび

機械のトータルシステムとしての性能向上に貢献するサーボとしてMR-J2-Superシリーズを紹介した。今後更に市場のニーズに対応した製品作りに努め、MR-J2-Superシリーズのシリーズ拡充を図っていく所存である。

インテリジェントサーボモータ“HSシリーズ”

堤下洋治*
佐野修也*

要 旨

現状の機械システムでは、サーボを使用するケースが増加しているが、動力として油圧やエア等を用いた機構部分も依然として多い。今後は、環境や省エネルギーを考慮して機械の電動化が更に進展することが予想される。そのときに問題になるのがサーボアンプの設置スペースの増大である。

この問題を解決するため、アンプを内蔵したインテリジェントサーボモータを開発した。現在、数値制御装置MELDAS用として、0.2～2kWまでを製品ラインアップしている。

インテリジェントサーボモータは次のような特長を持っている。

(1) 省スペース

アンプを強電盤に収納する必要がないため、機械や強電盤の小型化が図れる。

(2) 省配線

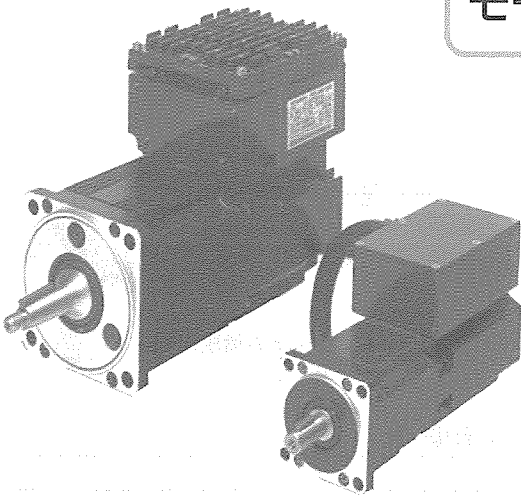
電源と信号ケーブルをまとめ、モータへの配線は1本のみとした。

(3) フレキシビリティ化

強電盤変更なしでオプション軸の追加可能のため、機械のバリエーション構築が容易になり、油圧／空圧装置のサーボ化に最適である。

本稿では、開発に当たって行った温度上昇低減、耐ノイズ向上策など、インテリジェントサーボモータのシステム構成、内部構成について述べる。

モータ，アンプ，エンコーダを一体化



- **機械や強電盤の小型化**

強電盤にアンプ設置スペース不要
- **省配線**

配線はNCからモータへの1本のみ
- **フレキシビリティ**

オプション軸追加に強電盤変更不要

インテリジェントサーボモータの外観と特長

サーボアンプの設置スペース削減、省配線、フレキシビリティ化をねらい、アンプを内蔵したインテリジェントサーボモータを開発した。左が750W、右が200Wである。

1. ま え が き

ACサーボシステムは、1986年にオールデジタル化されて以来、飛躍的に性能向上を遂げると同時に小型化が進んだ。

しかし、小型化に関しては、特に小容量のアンプでは、アンプの設置面積はコネクタ、端子台、設定スイッチ等の面積に左右され、ほぼ限界に近づいていると思われる。

また、現状の機械システムでは、サーボを使用するケースが増加しているが、動力として油圧やエア等を用いた機構部分は依然として多い。今後は、環境や省エネルギーを考慮し、機械の電動化が更に進展することが予想される。そのときに問題になるのがサーボアンプの設置スペースの増大である。

このような状況を打破するため、アンプを内蔵したインテリジェントサーボモータを開発した。現在、数値制御装置MELDAS用として0.2～2kWまで8機種を製品ラインアップしている。

表1に仕様一覧を示す。

2. 製品の特長

インテリジェントサーボモータは次のような特長を持っている。

(1) 省スペース

アンプを強電盤に収納する必要がないため、機械や強電盤の小型化が図れる。

(2) 省配線

盤内の配線が大きく削減される。さらに省配線を進めるために、電源と信号ケーブルを1本化した複合ケーブルと、電力線と信号線の混在が可能でかつ安全規格に適合したキャノンプラグを採用し、モータへの配線は1本のみとした。

(3) フレキシビリティ化

強電盤変更なしでオプション軸の追加が可能のため、機械のバリエーション構築が容易になり、油圧/空圧装置のサーボ化に最適である。

3. システム構成

インテリジェントサーボモータを用いたNCシステムと従来のNCシステムの構成比較を図1に示す。従来に比較し、制御盤スペースの減少と省配線が実現される。

従来のシステムにおけるNC-サーボアンプ間の通信回路とアンプ送信信号を図2に示す。その接続をそのままインテリジェントサーボモータに適用すると、次の理由によって信頼性上の問題点を生じる。①配線長の増大、②アンプ送信信号の最終軸からの反射、③ハイインピーダンスが存在するため束線されるAC電源からのノイズ。

そこで、インテリジェントサーボシステムでは、NC制御装置とインテリジェントサーボモータ間にインタフェース基板を設置した。その回路と送信信号を図3に示す。インテリジェントサーボモータとインタフェース基板間は各々1対1で送受信を行う。また、全インテリジェントサーボモータからの送信信号のANDをNCへ送信することにより、通信ラインにハイインピーダンス状態を作らないようにした。また、I/F基板上にモータの軸番号を設定する機能も併せて持たせた。

4. インテリジェントサーボモータ構造

インテリジェントサーボモータの内部構成の概略を図4

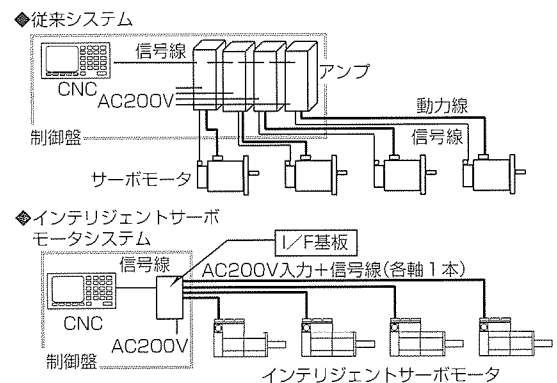


図1. システム構成比較

表1. インテリジェントサーボモータの仕様一覧

型名	低慣性				中慣性			
	HS-MF23	HS-RF43	HS-RF73	HS-SF52	HS-SF53	HS-SF102	HS-SF103	HS-SF202
定格出力(kW)	0.2	0.4	0.75	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0
定格回転数(min ⁻¹)	3,000	3,000	3,000	2,000	3,000	2,000	3,000	2,000
最大トルク(N・m)	1.92	3.18	5.67	11.8	8.82	21.6	16.7	41.7
慣性モーメント(kg・cm ²)	0.089	0.8	1.5	6.6	6.6	13.6	13.6	42.5
検出器分解能(p/rev)	8,000	100,000						
検出器方式	絶対位置検出							
電源	三相AC200～230V (HS-MF23は単相AC200～230V)							
取付角×全長×全高	□60× 178×101	□100× 204×174	□100× 222×174	□130× 232×216	□130× 232×216	□130× 257×216	□130× 257×216	□176× 277×267
構造	全閉自冷：保護構造IP65 (HS-MF23コネクタを除く。他の機種のコネクタはかん(嵌)合時IP65)							

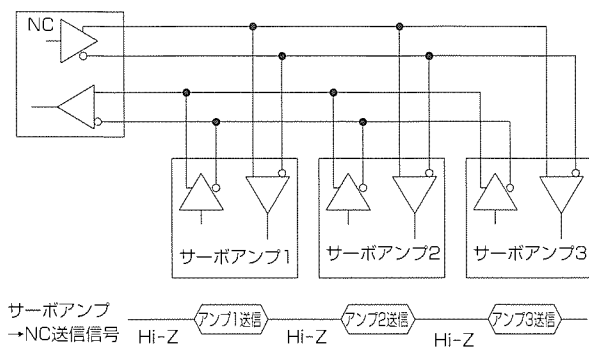


図 2. 従来システムのNC-サーボ間通信

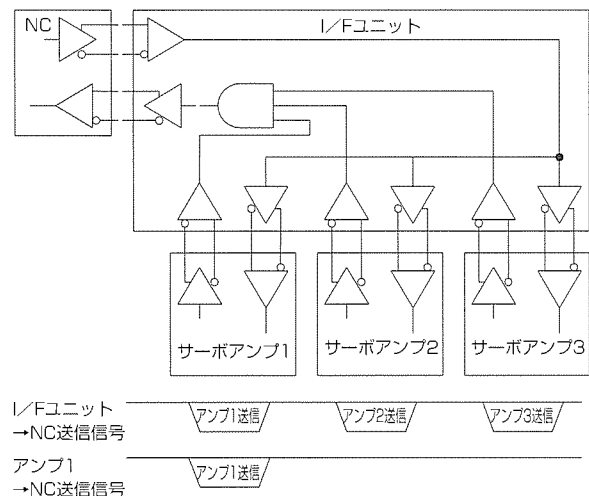


図 3. インテリジェントサーボシステムのNC通信

に示す。

モータには当社独自の高密度巻線技術と高性能磁石を採用し、また従来に比べて大幅な小型化を達成した新型サーボモータHCシリーズのロータとステータを流用して開発した。

エンコーダとアンプは一つのユニットとして形成され、モータとはオルダム継ぎ手によって結合され、保守時のエンコーダ/アンプの取り外し、取り付けを容易にした。

アンプ/エンコーダユニット内は、2枚のプリント基板とパワーモジュールで構成される。プリント基板のうち一枚はアンプの制御回路とエンコーダ回路を一枚の基板上に実装したものである。もう一枚はアンプの主回路と電源回路基板である。

(1) 温度上昇の低減

通常のサーボアンプであれば、パワーモジュール用の放熱フィン設計と、空気の流れを考慮し熱がこもらないような部品実装設計ができていればよかった。しかし、インテリジェントサーボモータは密閉きょう(筐)体であるため、熱がこもる構造であり、筐体内部の放熱が大きな課題となった。

アンプ/エンコーダ部の温度上昇を熱流体シミュレーション

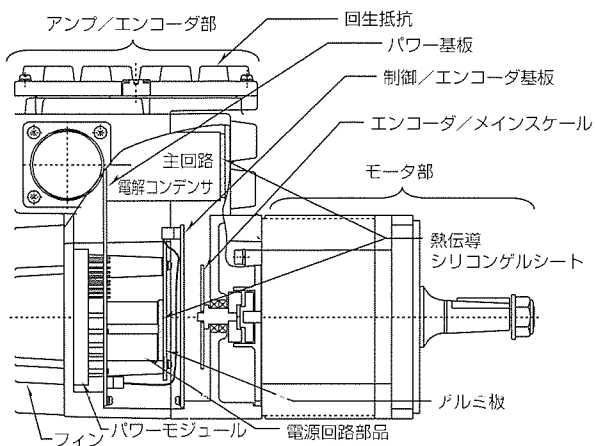


図 4. 概略構造

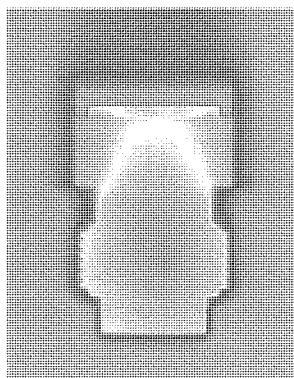


図 5. シミュレーション結果 (フィンベース)

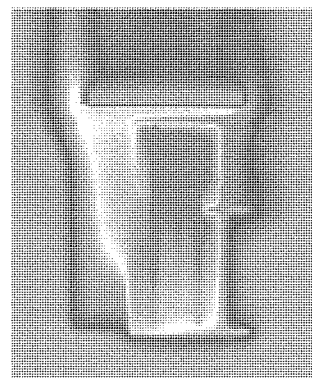


図 6. シミュレーション結果 (内気)

ョンツールFLOTHERMを用いて解析したので、その結果を図5及び図6に示す。シミュレーション条件として、プリント基板上から発生する発熱はパワー基板と制御基板各々の表面から一様に発熱するものとし、プリント基板上の部品形状は考慮されていない。図5はパワーモジュールを取り付けるフィンベース温度、図6は筐体内の内気温度のシミュレーション結果である。実機による評価においてもほぼ同様の結果が得られた。ただし、シミュレーション上は筐体内の上部と下部における温度差が大きいですが、実機では温度差が余り現れなかった。これは、シミュレーションでは基板上の部品形状を考慮していないため空気の対流が起きているのに対し、実機では部品によって対流が起きにくいことによると推定される。

シミュレーション及び評価結果から分かるように、アンプ/エンコーダ部での発熱は部品→内気→シャーシ→外気の経路で放熱されることになるため、外気→シャーシ→内気→部品の順に温度が高くなる。対策として基板上の部品からシャーシへの温度勾配(熱抵抗)を小さくする方法を検討し、実機評価した。

ヒートレーン、熱伝導シリコンゲルシート、熱伝導性の

シリコンボンド、アルミ板、内部ファン設置、筐体内部の黒色塗装、グラファイトシート、ペルチェ素子などを検討し、一部実機評価をした。最終的には、効果、コスト、作業性を総合的に考慮し、アルミ板+シリコンゲルシートを採用した。図4のように、主回路の電解コンデンサはシリコンゲルシートを介してシャーシ内壁に接触させた。また、スイッチング電源回路及びCPU等の制御回路は、シャーシに取り付けたアルミ板と部品間にシリコンゲルシートを挟み、部品とシャーシ間の熱抵抗を低減した。また、この方法をより有効に機能させるため、発熱の大きい部品は極力シャーシ壁面近くに配置する、部品の高さを極力そろえる、筐体内の空間を必要最小限に狭める等を考慮して実装設計を行った。

これらの対策を施すことにより、内気を介した熱伝導のみの場合と比べ、部品-シャーシ間の温度差を約6割低減させることができた。

(2) ノイズ耐量の向上

NC制御装置-インテリジェントサーボモータ間の通信は、3章で述べたように、I/F基板を設置することによって信頼性を向上させた。

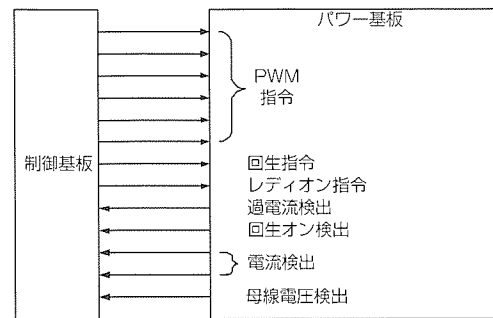
アンプ/エンコーダ内部において最もノイズの影響を受けやすいのは、微弱なアナログ信号を扱うエンコーダ回路である。インテリジェントサーボモータでは、エンコーダ基板とアンプパワー基板が向かい合う構造となっている。温度上昇低減用のアルミ板をパワー回路と制御/エンコーダ回路分離のためのシールド板として利用した。また、このシールド板は、筐体内配線の固定、電源配線と信号配線の分離という役目も負っている。

(3) 省配線

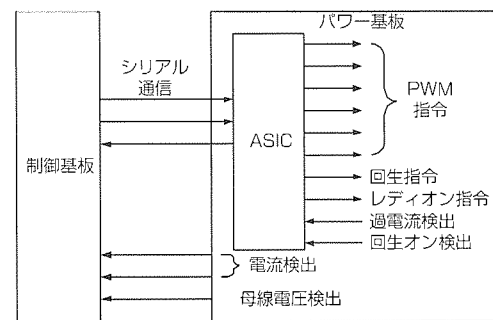
筐体内部の配線削減も、信頼性向上とコスト低減の上から重要な課題であった。制御/エンコーダ基板はエンコーダのメインスケールやLED等の位置に従って位置決めし固定され、パワー基板はパワーモジュールを取り付けたフィン側に取り付けられることになる。そのため、パワー基板と制御/エンコーダ基板の接続にはXYZθ方向に自由度が必要で、基板対基板のコネクタで接続することはできず、電線やFPCによる接続を行うこととなる。また、入力のカノンプラグからの配線やモータへの配線も電線による配線となるため、通常のアンプに比べると配線数が増加してしまう。

この配線を削減するために、配線を極力まとめ、ハーネス、コネクタ本数を減らすとともに、回路上からも配線本数を削減できる方式を採った。

図7のように、通常の方式では、PWM信号6相分、回生制御、過電流検出など、制御基板-パワー基板間には十数本の信号を必要とする。インテリジェントサーボモータ



(a) 通常の回路方式



(b) インテリジェントサーボモータの回路方式

図7. 制御回路-パワー回路間接続

では、パワー基板にPWM信号生成などの機能を持ったASICを配置し、制御回路とASIC間をシリアル通信で接続することによって配線数の大幅削減を行った。

5. むすび

アンプ内蔵型のインテリジェントサーボモータはまだ歴史も浅くユーザーへの浸透はまだこれからであるが、市場には潜在的にインテリジェントサーボモータへのニーズが多く存在すると確信する。しかし、今後この機種を市場に浸透させ三菱のNC、サーボを伸ばしていくに当たって課題もまだ多くあることも事実である。以下にその主要なポイントを挙げる。

- (1) モータ、エンコーダ、アンプを、回路的・構造的にも、より一層融合させ部品点数を削減する(低コスト化、高信頼性化)。
- (2) 現在NC用で先行しているが、汎用サーボとしての投入、NC用でも周辺軸として使いやすいコントローラ内蔵型の投入を図る(製品バリエーションの拡大、ターゲット市場の拡大、ボリューム拡大によるコストダウン)。
- (3) 低損失と高効率放熱技術の追求を行う(容量バリエーションの拡大、高信頼性化)。
- (4) 機械内部にアンプ(制御装置)があることのメリットを生かした付加的な機能を創出する。

今後、これらの課題をクリアにし、インテリジェントサーボモータをより完成度の高い製品としていく所存である。

高応答・高精度リニアサーボシステム

要旨

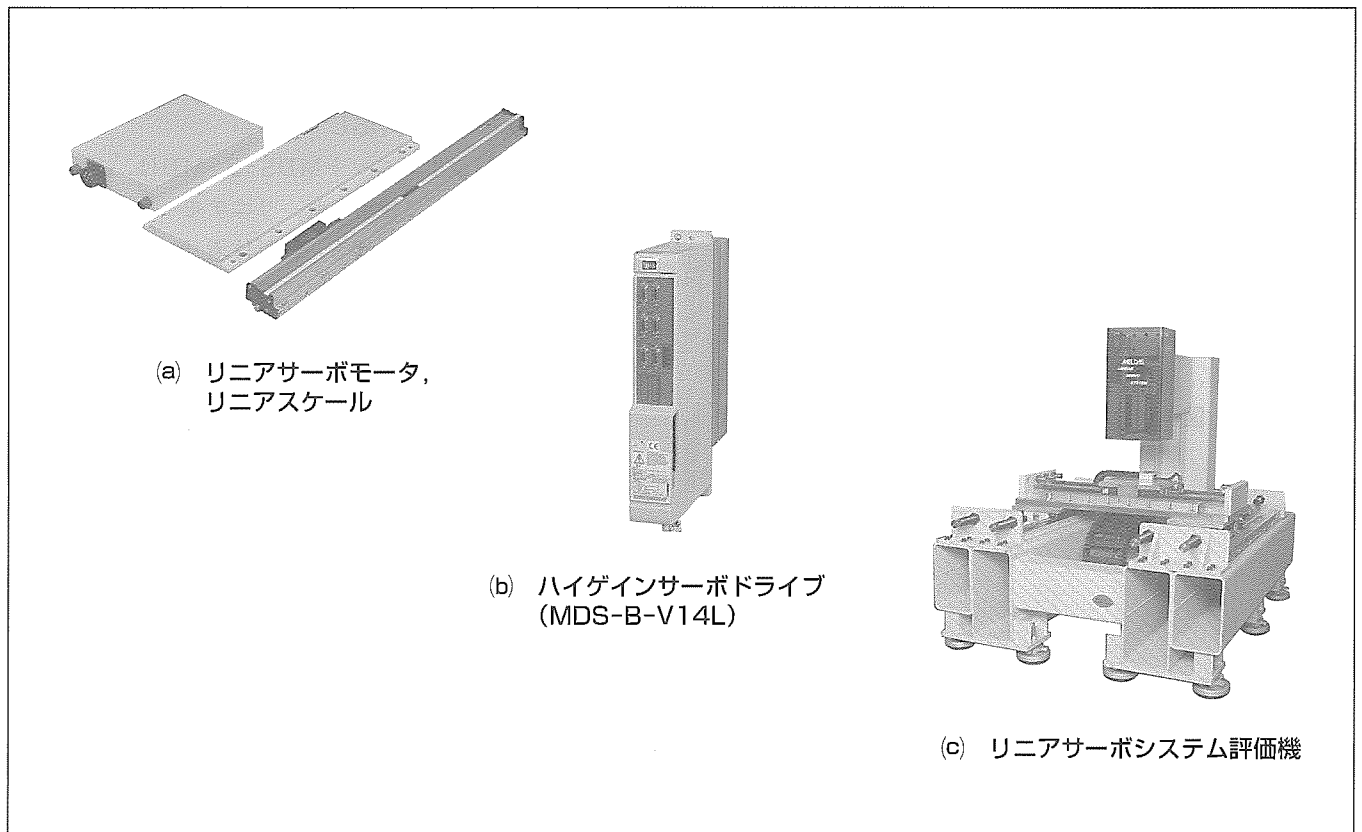
工作機械の送り系においては、ボールねじ駆動が主流となって久しく、この延長上で高速化が追求されてきた。しかし、21世紀を見据えた高速送りとしては、リニアモータ駆動による高速化が次世代新技術として有望視されている。

三菱電機でも、リニアサーボシステムを開発し、その技術により、高速ヘリカル穴あけ加工や1ツール高速ボーリング加工等の実現や、高頻度での往復運動が必要なカム等の非円切削への適用など高速高精度加工機への強力な支援を提言している。

リニアサーボ用ハイゲインサーボドライブでは、独自の高速ハードウェア及び最適ソフトウェアプロトコルの開発により、従来の標準サーボドライブに比べて4倍の電流処

理能力を持ち電流・速度・位置制御の特性を大幅に向上させることに成功した。この結果、位置ゲインは従来のボールねじ機に対し2～3倍の設定が可能となり、高速での精度を飛躍的に改善した。この高速精度向上は、仕上げ加工レス等生産時間の短縮に大きく貢献するものである。

また、リニアモータは、機械と一体化しているため、高速加工を行うとモータの発熱が機械の熱膨脹を誘発し逆に精度劣化の原因となっていた。当社では、独自の冷却方式を用いたリニアサーボモータを開発し、従来と同一の大きさで定格運転時の温度上昇を約50%低減することに成功した。



リニアサーボモータとリニアサーボドライブ

高速・高精度加工機を強力に支援するMELDASリニアサーボシステムを開発した。上記写真は、リニアサーボモータLM-NP4S-10M(一次側)、LM-NS40-540(二次側)、サーボドライブMDS-B-V14L-35、及び評価機の外観を示す。

1. ま え が き

工作機械の分野では、生産性の向上はもちろんのこと、最近では、省エネルギーの目的でも駆動部の高速・高加速度性能に対する要求が一段と強まってきている。

機械工場におけるエネルギー源は約90%が電力であり、例えば、省電力の観点からも、工作機械における加工時間・非加工時間の短縮は重要な課題として挙げられている。機械加工時間の短縮は、切削速度の高速化によって達成できるが、一般に、高速切削になればなるほど工作機械としての加工精度を維持するのは難しくなる。また、非加工時間の一つとしては早送り位置決め時間があるが、機械加工における早送り時間では短距離の位置決めが占める割合が高い。つまり、早送り位置決め時間の短縮においては、送り速度の高速化とともに最高速度への立ち上がり時間の短縮(高加速度性能)が重要となる。さらに、これらの加工時間・非加工時間の短縮の手段として高速ヘリカル穴あけ加工や1ツール高速ボーリング加工といった超高速加工が提案されているが、高速・高精度・高加速度性能の実現は、これらの加工も可能とする。

このような高速・高精度・高加速度性能の要求を満足する手段として、リニアモータ駆動による工作機械の研究・開発が近年活発化している。リニアモータを使用したリニアサーボシステムでは、従来のボールねじを用いた駆動システムと比較して、以下のような利点がある。

- (1) 高速・高加速度の駆動が可能となる。
- (2) モータからダイレクトにテーブルを直線駆動できるため、伝達機構をシンプルにできる。
- (3) ボールねじのようなバックラッシュがなく、摩擦力も少ないため、切削方向反転時の誤差が少ない。
- (4) ボールねじのように摩擦による摩耗がないため、精度の劣化がなく、高信頼性を維持できる。

当社でも、図1のようにリニアサーボシステムを次世代

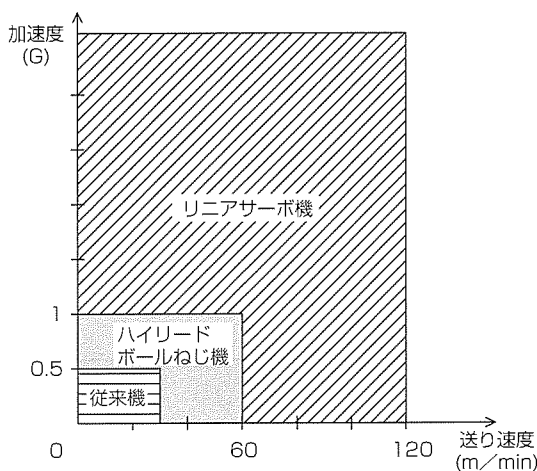


図1. リニアサーボシステムの位置付け

の高速駆動システムとして位置付けて、数年前からリニアサーボシステムの開発を進めてきており、1998年のJIMTOFでは、工作機械メーカーのマシニングセンタに搭載して実加工を実演するまでになった。

本稿では、当社において開発したリニアサーボシステムについて、その特長を中心に述べる。

2. リニアサーボシステムの構成

当社のリニアサーボシステムの基本構成を図2に示す。

リニアサーボモータは、回転型のモータと違い機械側にとってビルトインモータの形をとるため品ぞろえの豊富さは重要であり、当社では、LM-□□シリーズとして最大推力1,500Nから12,000Nまで7機種をラインアップしている。

そして、CNCからの位置指令に基づいてモータを制御するサーボドライブとして、MDS-B-V14Lをリニアサーボモータ用として開発した。その技術は回転型サーボモータ制御にも展開しており、MDS-B-V14, V24サーボドライブとして製品化している。

またリニアモータ駆動の場合、その位置・速度のフィードバックデータの検出には、リニアスケールが使用される。当社のリニアサーボシステムでは、ハイデンハイン(株)製、(株)ミットヨ製絶対位置リニアスケールを始め高分解能スケールインタフェースユニットMDS-B-HR及び磁極検出ユニットMDS-B-MDと組み合わせることで、各種相対位置リニアスケールにも対応している。

ここで、磁極検出ユニットMDS-B-MDは、相対位置検出システムの場合に使用され、リニアモータの磁極位置を検出するために使用される。絶対位置リニアスケールを用いる絶対位置検出システムの場合には、磁極位置は絶対位置としてNCシステムに記憶されるため、このユニットは必要ない。

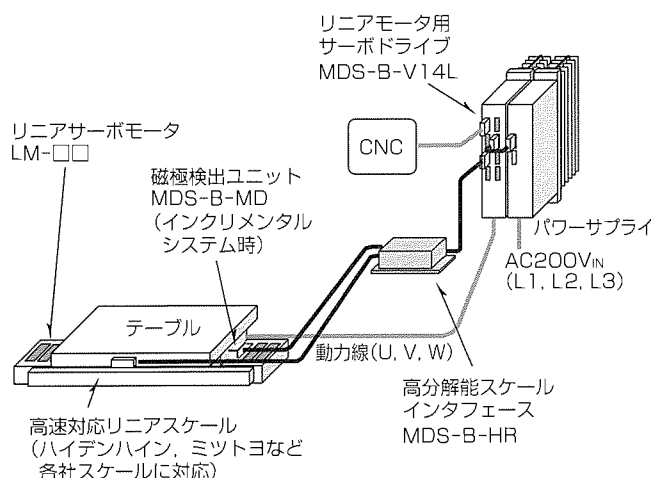


図2. リニアサーボシステムの基本構成

3. 技術的課題

リニアサーボシステムの開発において明らかになった技術的課題の主なものは以下のとおりである。

(1) 動剛性の向上

リニアサーボシステムでは、ボールねじ駆動システムのように回転運動を直線運動に変換するといった伝達機構がなくシンプルな構成であるがために、逆に、機械加工における切削反力などの影響を直接モータが受けてしまい、動剛性を得ることが難しい。したがって、サーボ系のハイゲイン化によるサーボ剛性の向上が、動剛性向上のために必要であった。

(2) 機械共振の抑制

リニアサーボシステムでは、構造がシンプルであることから意外と見落とされがちであるが、従来システムと比較して高速・高加速度な運転を要求されること、また、位置フィードバックだけでなく速度フィードバックまでも機械端での検出となるため機械の振動を拾いやすいこと、ダイレクトドライブであるため機械反力による影響を受けやすいことなどの理由で、機械共振を受けやすいシステムとなっている。これは、上記(1)の対策であるサーボ系のハイゲイン化の妨げにもなり、いかに機械共振を抑制するかが課題であった。

(3) 高速切削における軌跡精度の向上

リニアシステムに要求される高速切削においては、CNCからの位置指令に対するモータの追従精度の向上は難しくなる。この対策としては、(1)の動剛性の向上と同様に、サーボ系のハイゲイン化が必要であった。

(4) リニアモータの冷却能力の向上

リニアサーボシステムの場合、モータは機械のテーブルそのものに直接取り付けられる。このことは、モータの発熱が直接テーブルやワークの温度変化に影響を与えやすいことを意味し、加工物の精度にも影響を与える可能性が高い。そのため、リニアモータの冷却能力の向上が必要であった。

これらの課題を解決するために行った対策について以下に述べる。

4. サーボ系のハイゲイン化

4.1 ハイゲインサーボドライブ

サーボ系のハイゲイン化を行うために、今回開発したサーボドライブMDS-B-V14L(回転モータ対応としてはMDS-B-V14/V24)では、ハードウェア(以下“H/W”という。)とソフトウェア(以下“S/W”という。)の両側からのアプローチを行った。

(1) サーボ処理周期の高速化(H/W)

サーボ制御は、電流ループ制御、速度ループ制御、位置

ループ制御で構成され、電流、速度、位置ループ制御の順に高速処理が要求される。ここで、従来は一つのCPUによってこれらのすべての処理を実行していたのに対し、MDS-B-V14Lサーボドライブでは、最も高速処理を必要とする電流ループの制御や機械共振抑制制御を専門に行わせる処理部をASIC内に内蔵した。これにより、電流ループ制御では従来の4倍の制御処理を実現し、電流制御処理周期で55 μ sという業界最高レベルに高めた。これにより、速度・位置ループもまた、それぞれに処理周期を高めることが可能となった。

(2) サーボ処理周期の高速化(S/W)

また、S/W的にも電流制御におけるPWMへの電圧指令作成処理を見直し、高速電流ループ制御に最適な処理を導入した。これは、電流検出用のA/D変換の高速化や自動変換H/W回路を効率良く使用し、また、電流制御の中でも高速性を必要とする処理と低速でも問題ない処理を分類して、電流検出からPWM出力までの無駄時間を10 μ sと大幅に短縮した。さらに、電流ループなどの各制御ループの処理内だけでなく、速度フィードバック信号や位置フィードバック信号のサンプリングからPWMへの電圧指令出力までの処理も同様に無駄時間を大幅に削除する形で構成し、H/Wによって向上した制御能力を最大限に生かす工夫を施した。

これら(1)及び(2)の開発により、各制御ループにおける無駄時間が短縮され、電流ループの応答帯域としては従来の約3倍に、これに伴い速度ループと位置ループの応答帯域も、モータ単体の駆動においては、それぞれ約2~3倍に上げることが可能となった。

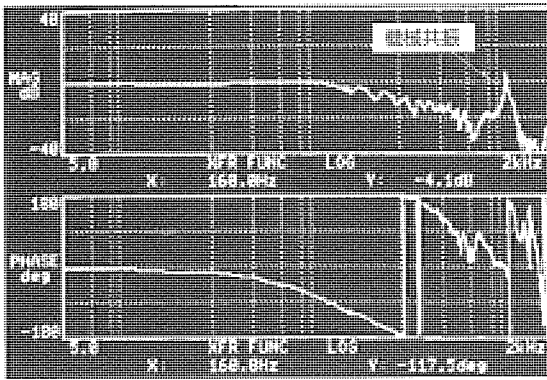
(3) 機械共振の抑制

上記のサーボ制御処理における無駄時間の短縮は、機械共振を持つシステムにおいても効果を発揮する。図3は約1kHz付近に機械共振を持つリニアサーボシステムの速度ループの周波数応答を示す。図の(a)はS/Wの最適化を行う前、(b)はS/Wの最適化を行い無駄時間を短縮したときの周波数応答である。無駄時間を短縮したS/Wにより、ピークで約4dBあった機械共振が約-4dBに抑えられていることが確認できる。

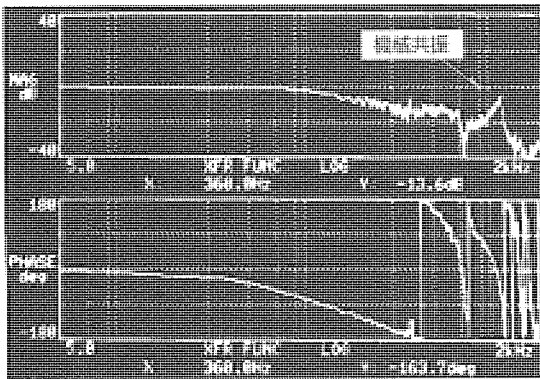
また、機械共振抑制フィルタにも改良を加えた。従来の機械共振抑制フィルタでは、設定した周波数における減衰率は $-\infty$ となり、それに伴う位相の遅れも大きく、速度制御帯域に悪影響を与える場合があった。今回、機械共振フィルタの減衰率を機械共振系に合わせて設定できるようにし、必要以上の位相遅れを生じさせない構成を採った。

(4) ハイゲインサーボドライブの効果

ハイゲインサーボドライブの効果を示す一つの例として、円弧運転時の真円精度を図4に示す。電流・速度・位置ループ応答帯域の向上に伴い、低速時の面精度で約3倍(面



(a) S/W最適化前



(b) S/W最適化後

図3. サーボ制御処理の無駄時間が機械共振に与える影響

粗さ約 $1/3$), 高速時の軌跡精度においては約4倍(形状崩れ約 $1/4$)の精度が得られており, リニアサーボシステムの高速・高精度化を実現できる性能が得られていることが確認できる。

4.2 高速対応リニアスケール・高分解能スケールインタフェースユニット

サーボドライブの制御処理の高速化を図る上で, 位置・速度データのフィードバックデータの高分解能化が必要となる。つまり, 制御処理周期が短くなると, その間にフィードバックされるデータ数も減少し, 高速処理の効果が発揮されなくなる。そこで今回, スケールフィードバックのアナログデータを内挿し, デジタルデータとしてサーボドライブへ高速シリアル転送するスケールインタフェースユニットMDS-B-HRを開発した。これにより, 例えば一般的な工作機械で標準的に使われるインクリメンタルスケールにおいて, 最高送り速度 $240\text{m}/\text{min}$ では分解能が $0.5\mu\text{m}$ ($0.1\mu\text{m}$ の分解能では最高送り速度 $48\text{m}/\text{min}$)であったものが, 送り速度 $240\text{m}/\text{min}$ で分解能 $0.04\mu\text{m}$ を得ることが可能となった。また, 当社独自の高速シリアルインタフェースにより, ノイズ等の耐環境性に強く, かつサーボドライブの高速処理にも十分に対応できるものとなった。

	従来アンプ: MDS-B-V1 (位置ループゲイン $47\text{rad}/\text{s}$)	ハイゲインアンプ: MDS-B-V14 (位置ループゲイン $100\text{rad}/\text{s}$)
F $3\text{m}/\text{min}$ R 100mm ($1\mu\text{m}/\text{div}$)	精度: $1.7\mu\text{m}$ 突起: $2.3\mu\text{m}$ $1\mu\text{m}/\text{div}$	精度: $0.5\mu\text{m}$ 突起: $0.5\mu\text{m}$ $1\mu\text{m}/\text{div}$
F $50\text{m}/\text{min}$ R 100mm ($2\mu\text{m}/\text{div}$)	精度: $4.9\mu\text{m}$ $2\mu\text{m}/\text{div}$	精度: $1.1\mu\text{m}$ $2\mu\text{m}/\text{div}$

図4. ハイゲインサーボドライブによる真円精度の向上

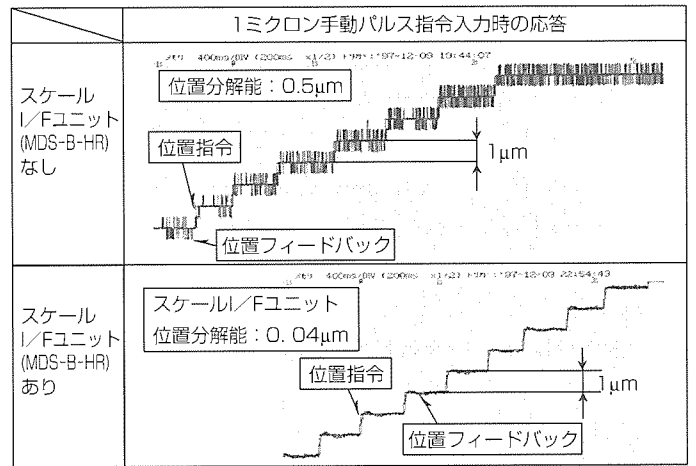


図5. 位置データの高分解能化の効果

図5に位置データの高分解能化の効果を示す。

5. 高冷却リニアサーボモータ

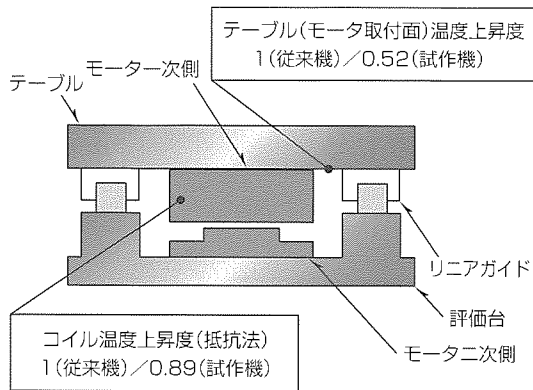
5.1 工作機械用リニアサーボモータに求められる性能

高精度かつ高生産性を追求するNC工作機械に適用されるリニアサーボモータには, 次のような性能が要求される。

- (1) 高速・高加減速性
- (2) 低推力リップル性(滑らかな送り)
- (3) 高効率性
- (4) 低発熱性

これらの要求に対しこれまでに述べたような高精度技術によって(1)及び(2)の解決を図ってきた結果, 工作機械メーカー数社で採用されており, 実機搭載への具体的な検証が進められている。このような状況の中で, 現在では, モータ発熱による加工精度への影響が懸念され始め, モータの低発熱化の必要性が明らかとなってきた。

そこで今回は, モータ発熱の低減を目的として冷却構造の強化を行った高冷却タイプリニアサーボモータの試作機



注 温度上昇度は、従来機を1とした場合の相対値を示す。

図6. リニアサーボモータの温度試験

評価を実施した。

5.2 高冷却リニアサーボモータ試作機

当社製リニアサーボモータは、モータ一次側に埋設された冷却パイプに冷媒(クーラントオイル等)を流通させてモータを冷却する構造を採っている。従来機における温度試験のデータを解析した結果、熱の主な発生源である巻線部から冷却パイプに至る伝熱経路全体の熱抵抗が大きいため、モータ内部で温度差が生じ、これがモータ温度上昇の主要因であることが明らかとなった。

そこで今回の試作機では、伝熱経路における熱抵抗の低下を目的とし、モータと冷却パイプとの接触面積を拡大することにより、冷却パイプの冷却効率の向上を図るとともに、モータ内部の伝熱経路における熱抵抗を低減することによってモータの温度上昇を抑えるような構造とした。

図6に、従来機及び試作機について行った温度試験の概略を示す。通電条件は、モータ定格推力時の電流値で連続通電とし、冷却媒体は水を用い、流量を5 l/minとした。

表1. 技術的課題に対する対策と効果

項目	対策	効果
(1) 動剛性の向上	①サーボ制御処理の高速化, 無駄時間短縮 ②位置・速度フィードバックデータの高分解能化	○動剛性 約2倍向上 ○電流ループ帯域 約3倍向上 ○速度・位置ループ帯域 約2~3倍向上
(2) 機械共振の抑制	③サーボ制御処理における無駄時間の短縮 ④機械共振フィルタの改良	○位置・速度フィードバックデータの高分解能化 12.5倍向上
(3) 高速送り時の軌跡精度向上	①~④によるサーボ系のハイゲイン化によって対処	○面精度: 3倍(面粗さ: 1/3) ○高速時の軌跡精度: 4倍(形状崩れ: 1/4)
(4) リニアモータの冷却能力の向上	放熱面積の拡大, 伝熱経路見直し等冷却構造の改善	○モータ取付面温度上昇: 1/2

この試験結果から、試作機の冷却効率の向上が確認され、特に、加工精度への影響が大きいモータ取付面での温度上昇は従来機の約50%に低減されることが確認できた。

今後は、更なる冷却効率の向上とモータの電気特性の改善を行うことにより、小型・高効率かつ低発熱のリニアサーボモータの開発を実施する予定である。

6. むすび

開発当初の技術的課題に対する対策と効果を表1に示す。このように、これまでの課題に対しては、サーボ系のハイゲイン化を中心に取り組み、効果を上げることができた。この結果、このシステムが搭載された豊田工機(株)のリニアマシンLineaMが日刊工業新聞社の'98年度10大製品賞を受賞するなど目覚ましい功績を上げるに至ったが、工作機械への実用化という面ではようやくスタート地点に立ったばかりである。更に今後の普及を目指し、製品のローコスト化・高性能化を推進していく所存である。

省エネルギー機器としての誘導電動機

吉野 裕*
中本道夫*

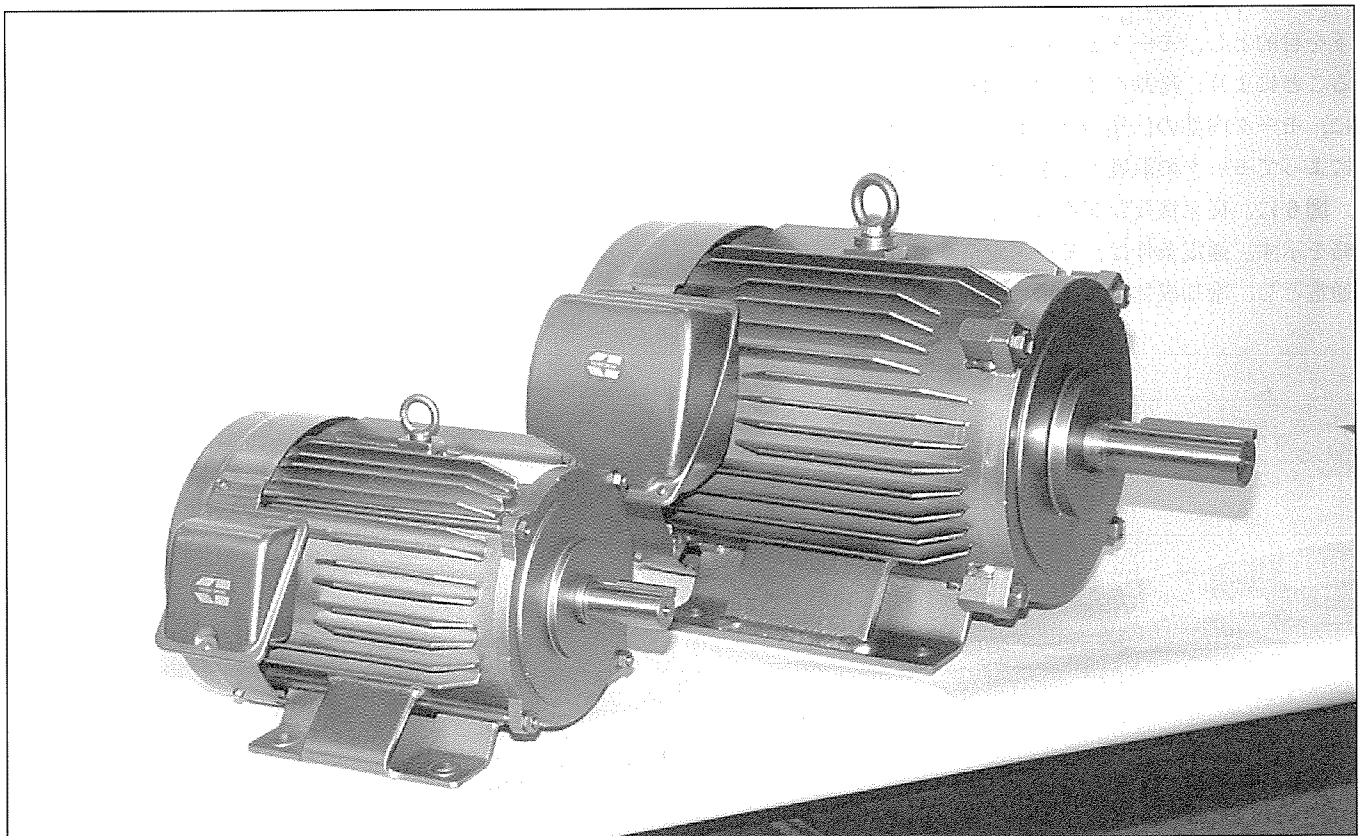
要 旨

誘導電動機は、設計技術、解析技術、材料(コア、マグネットワイヤ、絶縁材料など)、製造技術等の開発により、特性の向上、小型・軽量化、低騒音・低振動化、コストダウン等を図ってきた。しかし、近年、地球環境保護やエネルギー資源枯渇の危機感から省エネルギーと高効率化の動きが加速しており、誘導電動機に対しても、更に高効率化の要求が高まっている。米国やカナダでは規格や法律による誘導電動機の効率規制が開始されており、ヨーロッパや日本でもこれに追随する方向である。このような要求にこたえるため、新シリーズの高機能・省エネルギーモータ“スーパーラインエコシリーズ”を開発した。

スーパーラインエコシリーズは、巻線・スロットの設計最適化、高磁束密度・低鉄損の鉄心材の開発、スロット組

合せの最適化等により、銅損・鉄損・漂遊損等の損失を低減するとともに、高性能ワニスの開発、軸受グリース、軸受ハウジング材料の改良等によって以下の特長を持っている。

- (1) 業界トップクラスの高効率
国内JEMA基準値と米国EPA基準値を満足した業界トップクラスの高効率・省エネルギーモータ
- (2) インバータ駆動に最適な特性・性能
- (3) 耐環境性の強化、長寿命化
湿度100%RH。軸受の長期メンテナンスフリー化
- (4) 低振動・低騒音
- (5) 当社標準モータと同一取付寸法



高機能・省エネルギーモータ“スーパーラインエコシリーズ”

地球環境保護やエネルギー資源枯渇の危機感から省エネルギーや高効率化の動きが加速しており、誘導電動機に対しても、更に高効率化の要求が高まっている。

このような要求にこたえるため、新シリーズの高機能・省エネルギーモータ“スーパーラインエコシリーズ”を開発した。

1. ま え が き

誘導電動機は発明されて100年以上の歴史を持ち、この間に特性の向上、小型・軽量化、低騒音・低振動化、コストダウン等が図られ、性能・コスト・サイズ面でバランスのとれた最も使いやすいモータとなった。このため今日では、家庭用から産業用まであらゆる用途の駆動源として広く使用されている。しかし近年、省エネルギーと高効率化の需要が加速しており、三相モータに対しても今まで以上に高効率化の要求が高まっている。このような要求にこたえるため高機能・省エネルギーモータ“スーパーラインエコシリーズ”を開発し発売したので、その内容について紹介する。

2. モータに対する市場動向

2.1 ユーザー動向調査

図1は日本電機工業会(JEMA)が1996年度と'98年度に実施したモータに対する要望のユーザー調査結果である。この調査結果では、要望の大きなものから、低価格化、小型化、短納期化、高効率化、高始動トルク化の順となっている。モータの特性面では高効率化の要望がトップで、'96年度の調査では第5位であったが、'98年度は第4位に順位が上がっており、この要望が増加していることが分かる。

2.2 省エネルギー・高効率化の動き

近年は、地球温暖化対策に代表される地球規模の省エネルギー政策が推進されている。国内においては、「エネルギー使用の合理化に関する法律」による規制強化やISO14001取得工場のエネルギー使用の合理化計画の推進などにより、省エネルギー機器のニーズが急速に増加している。また、工場で使用される電力量の約70%はモータで消費されていると言われており、モータの高効率化は電力

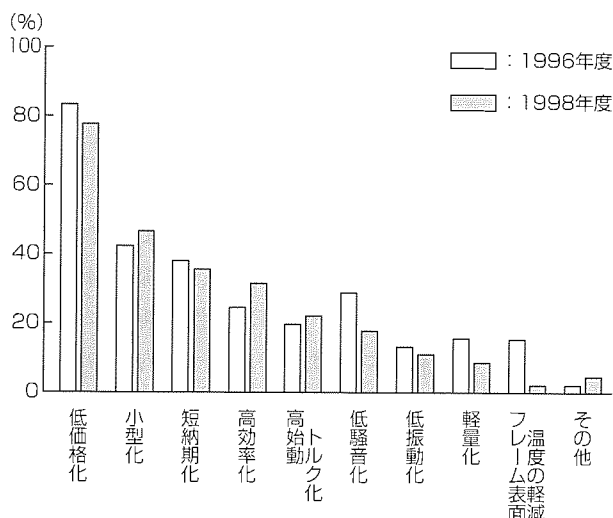


図1. モータに対する選定ニーズ(日本電機工業会調査)

消費の削減に大きな効果があるので、各国で高効率モータに関する規格化・法制化が進められている(米国とカナダは法制化済み、ヨーロッパと日本は検討中)。

したがって、国内においても高効率モータの需要が今後大きく伸びると考えられており、環境保護の観点から、低騒音・低振動、長寿命化等の要求も高まっている。

2.3 インバータ駆動の拡大

高効率モータはモータ内部に発生する損失を削減したものであるのに対し、インバータ運転は、回転数を変えることによって軸動力そのものを減少させ省エネルギー化を図るもので、省エネルギー効果が大きいため需要は拡大し続けている。

インバータの装着率は現在はモータ台数の10~15%程度と推定されているが、エネルギー消費の削減とともに、機械の性能・機能の向上等も図れるため、装着率は今後も増加していくと考えられている。

3. 高機能・省エネルギーモータ“スーパーラインエコシリーズ”

以上のような動向にこたえるため、このたび、高効率モータの新シリーズとして“スーパーラインエコシリーズ”を開発し発売した。以下、その概要について述べる。

3.1 シリーズ化範囲

- (1) 外被構造：全閉外扇形
- (2) わく番号：63M~225Sフレーム
- (3) 極数：2, 4, 6P
- (4) 出力：0.2~55kW(6Pは45kWまで)

3.2 特 長

- (1) 国内JEMAと米国EPAの両方の基準値を満足した業界トップクラスの高効率・省エネルギーモータ
- (2) 当社製インバータFR-A500のアドバンストベクトル制御によって1:10の定トルク連続運転が可能
- (3) 耐環境性を強化し、湿度100%RH(ただし結露がないこと)、熱帯処理、周囲温度-30~40℃などに対応可能。また、軸受の長寿命化を実現(当社比：軸受グリースの計算寿命約2.5倍、耐クリープ性能約4倍)
- (4) 当社標準モータよりも平均3dB(A)静かな低騒音設計。振動はV10又はV15の低振動
- (5) 標準モータと同一取付寸法

3.3 スーパーラインエコシリーズの高効率化技術

三相モータの損失は一次・二次銅損、鉄損、漂遊損、機械損に大別され、各損失の一例を示すと、図2に示す割合を占めている。高効率モータは、これらの合計損失を標準モータよりも20~30%低減する必要がある。このモータでは、以下のような損失低減技術によって高効率化を実現した。

- (1) 一次・二次銅損

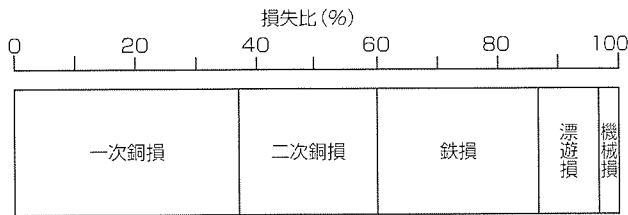


図2. 汎用モータの損失例(全閉外扇形3.7kW 4P 200V 50Hzの場合)

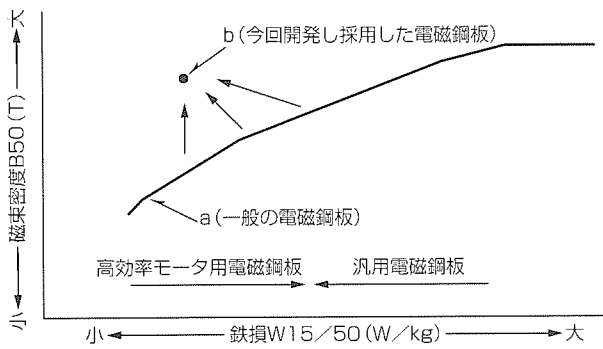


図3. 電磁鋼板の鉄損と磁束密度

銅損は、導体に電流が流れることによって発生する I^2R 損(I = 電流, R = 抵抗)である。したがって、銅損を低減するには、導体抵抗の低減が最大のポイントとなる。このモータでは①電線の巻数減と断面積増, ②巻線方式の変更(巻線ピッチの短縮)による電線長とコイルエンド長の短縮, ③ロータスロット形状の変更による二次導体の断面積増, ④エンドリングの断面積増, などによって導体抵抗の低減を図った(当社標準モータとの損失比: 10~30%減)。

(2) 鉄損

鉄損とは、電磁鋼板を積層したステータ鉄心に回転磁界を加えることによって発生する損失(ヒステリシス損と渦電流損)である。通常、電磁鋼板は鉄損が低く、磁束密度が高いほどモータの効率などの特性は良くなる。しかし通常の鉄心材の鉄損と磁束密度の関係は、図3のaのように、低鉄損材ほど磁束密度が低くなる(モータとしては力率が低下し電流が増加する)。このモータでは、図のbの特性の材料を開発し採用することにより、高磁束密度で低鉄損のモータ、言い換えると小型で効率の高いモータを実現した。

(3) 漂遊損

漂遊損とは{モータ入力 - (出力 + 一次・二次銅損 + 鉄損 + 機械損)}と定義され、主なものは、負荷時の高調波銅損, 高調波磁束による鉄損, 積層鉄心間の絶縁不足による導通損, ロータスロットの絶縁不足によるバー間の渦電流損などがあり、これらが複合した損失である。今日ではこれらの要因の多くはまだ十分な解明がされていないのが実情であるが、このモータでは、最新の解析と実機による検

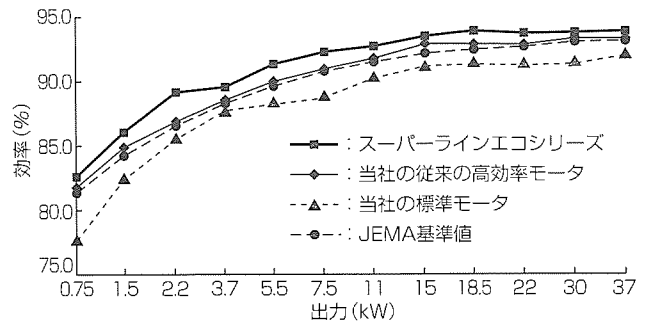


図4. 効率の比較(200V 50Hz円線図値)

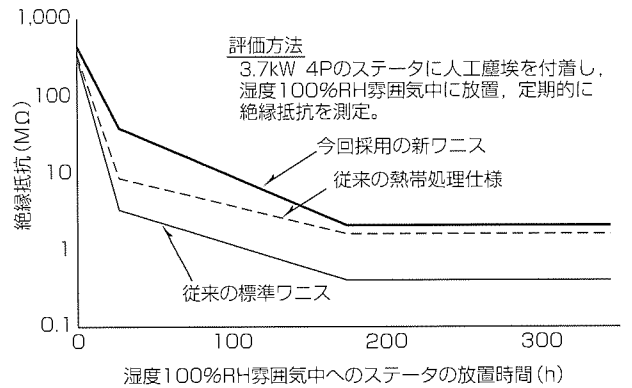


図5. 耐環境性評価結果

証を基に、①ステータとロータの溝数比の最適化, ②ステータ-ロータ間のギャップ長, ロータのスキュー量, ロータスロットのブリッジ厚さ, などの改善によって漂遊損の低減を図った(当社比: 漂遊損約50%低減)。

(4) 機械損

機械損とは、モータ運転中の軸受の摩擦損, 冷却ファンの風損などによって発生する損失である。このモータでは、摩擦損失の小さい新グリースの採用と、標準モータと比べ風損の小さなファンの採用などによって機械損の低減を図った。

(5) 効率

以上のような技術により、業界トップクラスの高効率モータを実現した。図4に4極モータの効率の比較例を示す。

3.4 巻線の耐環境性の向上と軸受の長寿命化

(1) 巻線の耐環境性強化

モータの巻線はワニス処理を施すことによって湿度やじんあい(塵埃)に対する絶縁性能の向上, 電線の固着などを図っている。今回、このモータ用に高性能新ワニスを開発し採用した。この新ワニスは、①スロット内への浸透性が良く、固着力が高い, ②耐熱性能が高い, ③耐湿性能が良い, ④硬化時間が短い, などの特長がある。この新ワニスの採用により、標準仕様で湿度100%RH, 熱帯処理などに対応が可能になった。図5に耐環境性評価結果の一例を示す。

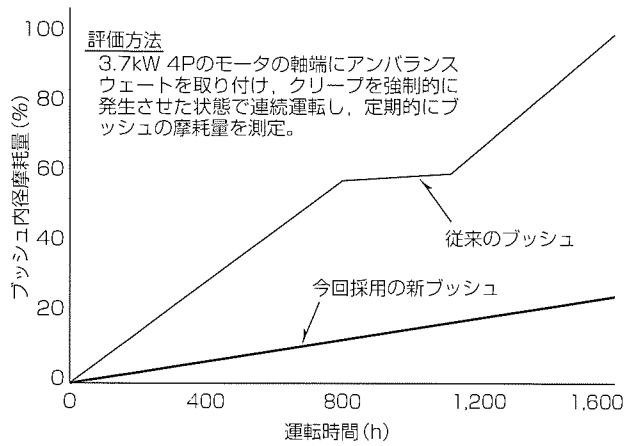


図6. ブラケットブッシュの耐クリープ性評価結果

(2) 軸受の長寿命化

軸受の寿命は、グリースの耐熱寿命特性と軸受の温度上昇によって決まる場合が多い。このモータでは、より耐熱寿命特性が高く音響・摩擦トルクが小さな新グリースを開発して採用し、かつ軸受の温度上昇を低くすることによって軸受グリースの長寿命化を図った(当社比：寿命2.5倍以上)。

また、ブラケットの軸受挿入部のブッシュを従来の鋳鉄

製から新開発材料とすることにより、耐クリープ性能の向上を図った。図6に耐クリープ試験結果の一例を示す(当社比：クリープによるブッシュの摩耗速度約1/4)。

4. むすび

以上三相モータにおける市場動向と当社の高機能・省エネルギーモータ“スーパーラインエコシリーズ”の紹介をしたが、今後ますます、モータに対しては高効率化が求められると考えられる。最近ではIPMモータ、リラクタンスモータ、DCブラシレスモータなど三相モータとは異なる方式でより高効率化と小型化をねらった製品の研究と実用化がされているが、堅ろう(牢)、安価、商用電源で手軽に使用できる使いやすさなどにより、三相モータは今後も駆動源の主力を担うと考えられる。産業用モータメーカーとしては、より高性能・高効率な三相モータの追求を目指すとともに、新しい方式のモータについてもより完成度を高め、世の中の省エネルギー化に貢献していきたい。

参考文献

- (1) 電動機に関するユーザ調査, (株)日本電機工業会, 平成8年度版, 平成11年度版

埋め込み磁石型同期モータと駆動技術

要 旨

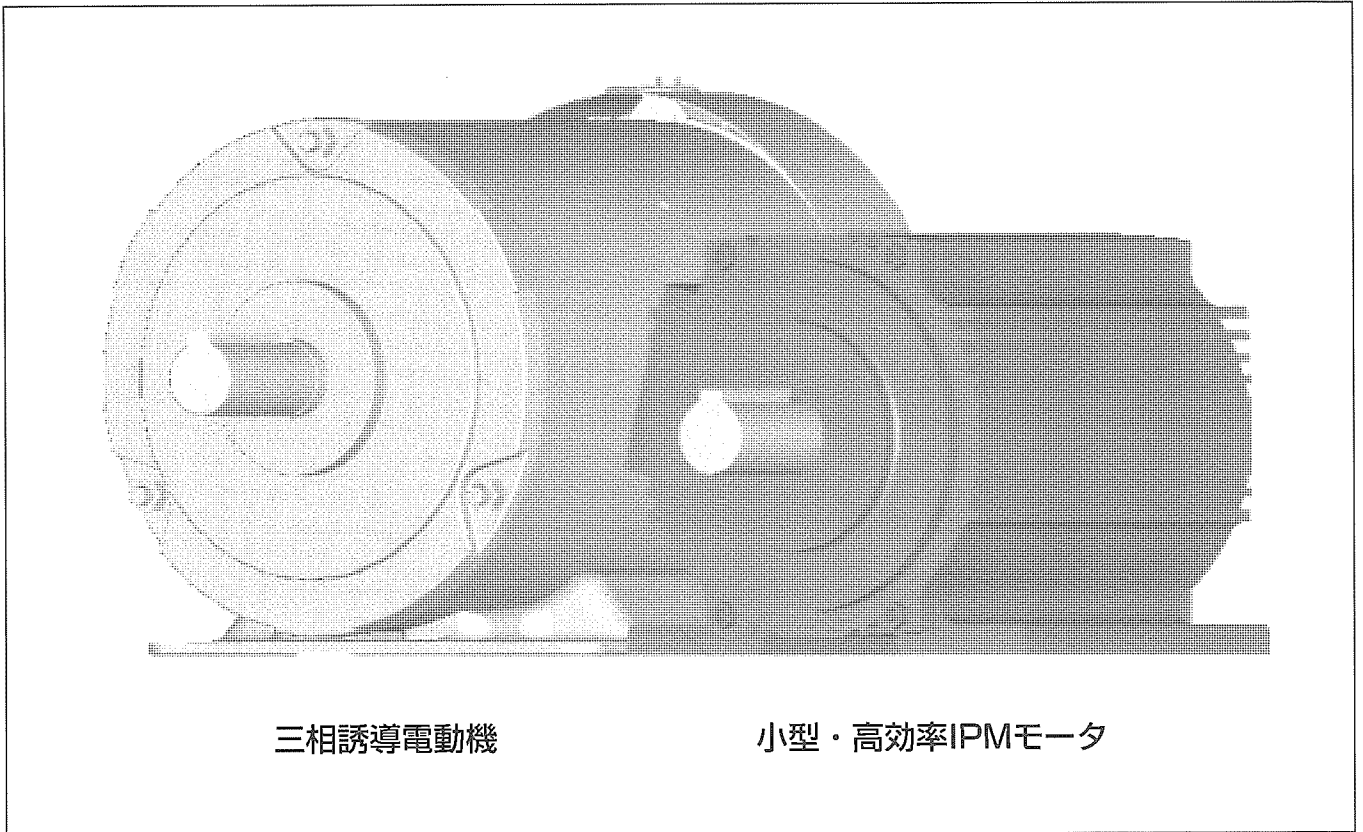
現在、産業分野で利用されている電気エネルギーの多くがモータを駆動するために消費されており、モータの高効率化の果たす役割が非常に重要である。アメリカではEP法が施行され、日本でも省エネルギー法が改正され、市場では高効率モータの要求が高まっている。また、モータに対する小型・軽量化への要求も大きい。このような市場ニーズにこたえるものとして、埋め込み磁石型同期モータ(以下“IPMモータ”(Interior Permanent Magnet Motor)という。)がある。

このIPMモータの設計技術として、電磁界解析と構造解析を併用し、強度と磁気のトレードオフによる最適設計手

法を確立した。

IPMモータをセンサレスで駆動する方法として、三菱電機独自の電圧形正弦波PWM制御を紹介する。このセンサレス制御は、定格回転数7,200r/minのIPMモータで良好なトルク特性と負荷トルク応答を可能とした。

また、工作機械向け主軸モータ用途の回転位置センサ付きIPMモータは、20,000r/minまで、約220msで加速し、従来の誘導モータに比べて加速時間が約50%短縮できた。これに加えて、誘導モータと同じ外形寸法で出力3.7倍、トルク2.2倍の特性を得られ、IPMモータの工作機械への適応を実現した。



三相誘導電動機

小型・高効率IPMモータ

小型・高効率IPMモータ

IPMモータは、三相誘導電動機に比べ、大幅な小型化が可能となった。また、効率についても、JEMA及びNEMAが定める高効率基準を上回る高効率を達成した。

1. まえがき

現在、産業分野で利用されている電気エネルギーの多くがモータを駆動するために消費されており、モータの高効率化の果たす役割が非常に重要である。また、モータに対する小型・軽量化への要求も大きい。このような市場ニーズにこたえるものとして、埋め込み磁石型同期モータ(IPMモータ)がある。

本稿では、このIPMモータの設計技術、センサレス駆動技術を述べ、IPMモータの工作機械向け主軸モータへの適応事例について紹介する。

2. IPMモータ設計技術

2.1 IPMモータとは

図1に代表的なIPMモータの回転子構造を示す。 d_q 軸変換軸におけるトルク方程式を式(1)に示す。

$$T = P \{ \Phi_a \cdot i_q + (L_d - L_q) i_d \cdot i_q \} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 P : 極対数、 Φ_a : 鎖交磁束

i_d, i_q : d 軸及び q 軸電流

L_d, L_q : d 軸及び q 軸インダクタンス

第1項は磁石トルクを示し、第2項はインダクタンスの差によって生じるリラクタンストルクを示す。このリラクタンストルクを有効に活用することで、小型・軽量化、高効率化が達成できる。

2.2 IPMモータの特長

誘導モータと比較して、次の特長を持っている。

(1) 省エネルギー(高効率)

回転子側の損失がほとんど発生しないため、モータの総損失が減少し、効率が向上する。また、リラクタンストルクを有効に利用することで、低速から高速まで広い速度範囲での高効率化が可能となる。

(2) モータの小型化

損失の減少により、モータの熱容量を小さくできるため、小型・軽量化が可能となる。

(3) 高性能化

小型化により、慣性モーメントも小さくなり、高頻度運転が可能となる。また、突極性を利用し、弱め励磁を行うことで、広い定出力範囲の確保が可能となる。

また、表面磁石式同期モータと比較して、次の特長がある。

(4) センサレス

IPMモータの場合、その突極性を利用することでセンサレスでの制御が可能であり、耐環境性・信頼性・保守性の向上が可能となる。

(5) 回転子構造の簡略化

磁石を回転子鉄心に埋め込む構造であるため、単純な構造で強い磁石固定強度を得ることができ、高速化が可能となる。

2.3 モータ設計に必要な要素技術

IPMモータの設計には、図2に示すような要素技術が必要となる。

IPMモータは、磁性材料である鉄心に磁石を埋め込む構造上、磁石間に漏れ磁束が生じる。この漏れ磁束を最小にするために、磁石間の鉄心を薄くし、意図的に磁気飽和を発生させる。

一方、構造的には、磁性材料である鉄心を磁石を保持する構造体としても使用するため、その強度を確保する必要がある。

したがって、最適設計を実現するためには、構造と磁気の両方の特性を正確に把握し、両面のトレードオフによる設計が必要である。そのため、電磁界解析と構造解析を用いた最適設計技術を確立した。

2.4 電磁界解析

モータ設計技術の一つである電磁界解析の実施例を以下に示す。

図3に代表的なIPMモータの磁束分布を示す。電磁界解析によって形状(磁気回路)の最適化を行い、高価な磁石の使用量を最小限とし、さらに、コギングトルクの低減を実現した。

図4に誘起電圧の実測値と解析結果の比較を示す。解析によって正確な誘起電圧波形を求めることが可能となった。これにより、誘起電圧波形を理想である正弦波とし、損失の低減を実現した。

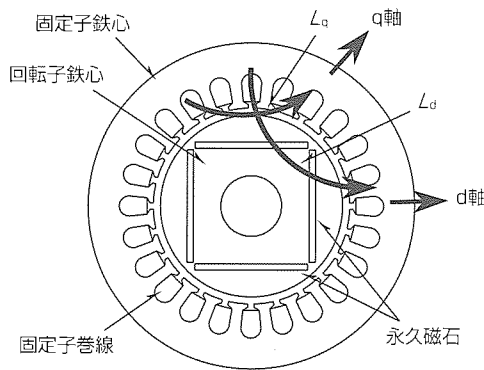


図1. 代表的なIPMモータの回転子構造

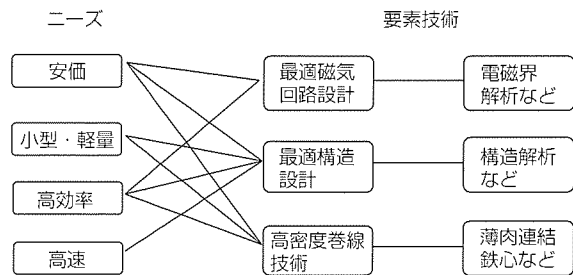


図2. IPMモータ設計に必要な主要な要素技術

3. センサレス駆動技術

通常、同期モータは、磁極位置に応じた制御を行う必要があるため、回転位置センサを付けて駆動する。同期モータであるIPMモータを以下に紹介するセンサレスで駆動することで、誘導モータの汎用インバータ駆動と同じ手軽さで可変速運転が可能となる。

3.1 センサレス制御方法

IPMモータの電圧方程式は式(2)のようになる。

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pL_d & -\omega L_q \\ \omega L_d & R + pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \Phi_a \end{bmatrix} \quad \dots(2)$$

ここで、 V_d 、 V_q ：電機子電圧のd軸及びq軸成分

ω ：ロータ回転電気角速度

R ：電機子抵抗

p ：微分演算子(=d/dt)

上記式(2)より、必要な電圧 V_d 、 V_q は電流に比例する項と速度に比例する項から計算できることが分かる。

センサレス制御においては、この考えの下、次のようにモータに印加する電圧 V_d 、 V_q を制御する。

$$\left. \begin{aligned} V_d &= K_d \cdot i_d + V_{cd} \\ V_q &= K_q \cdot i_q + K_v \cdot \omega_1 + V_{cq} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

ここで、 K_d 、 K_q ：d軸及びq軸抵抗補正ゲイン

K_v ：誘起電圧補正ゲイン

V_{cd} 、 V_{cq} ：安定化補償電圧

ω_1 ：出力周波数

上記式(3)の ω_1 は、速度指令 ω^* が与えられた場合、トル

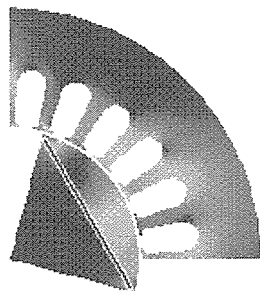
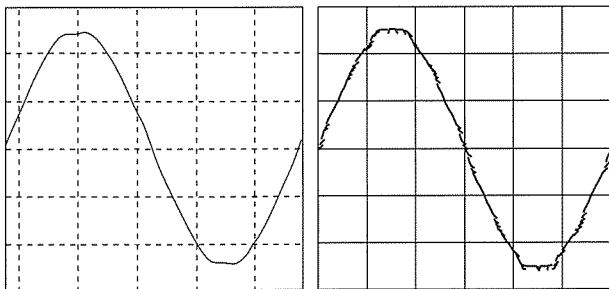


図3. 磁束分布



(a) 実験結果(実機)

(b) 解析結果

図4. 誘起電圧

クの過渡変化によって補正される速度安定化項 ω_T を加算することで式(4)のように求められ、脱調や乱調等の現象を防いでいる。

$$\omega_1 = \omega^* + \omega_T \quad \dots\dots(4)$$

もともと同期モータは、定常的には出力周波数と同期して回転すること、及びこの ω_T は定常的にはゼロとなるように与えることにより、定常的な速度変動率は0で制御できる。

3.2 初期磁極位置検出

磁石を持った同期モータでは、始動時にモータが滑らかに加速するためには、初期の磁極位置をある程度正確に検出する必要がある。そこで、始動前の短時間に磁極位置を検出する方法を開発した。

図5に示すように、良好な検出結果が得られた。

3.3 性能評価結果

(1) 速度-トルク特性

図6にこの制御での速度-トルク特性例を示す。使用したモータは定格回転速度7,200r/minのIPMモータで、720から7,200r/minまで(1:10)の範囲で良好な特性が得られている。

(2) 負荷トルク応答

図7に7,200r/minでの100%ステップ負荷トルク応答の波形を示す。負荷変動に対してもこの制御で良好な運転が実現できている。

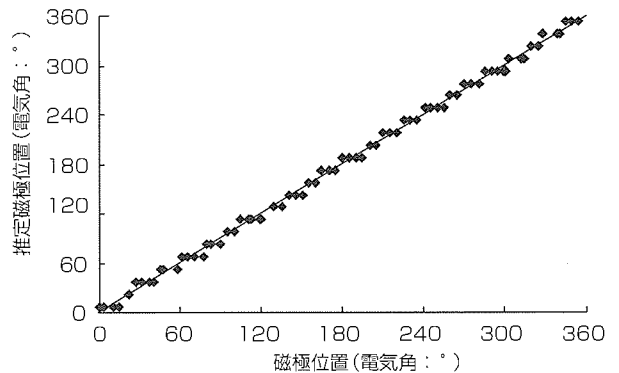


図5. 初期磁極位置検出結果

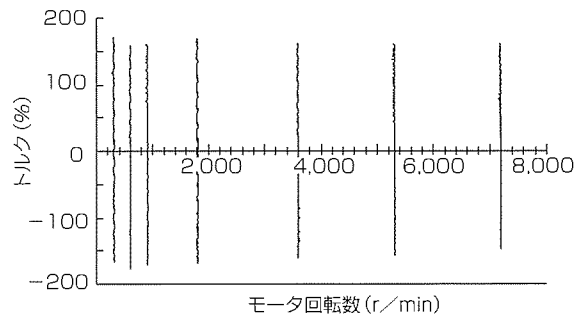


図6. 速度-トルク特性

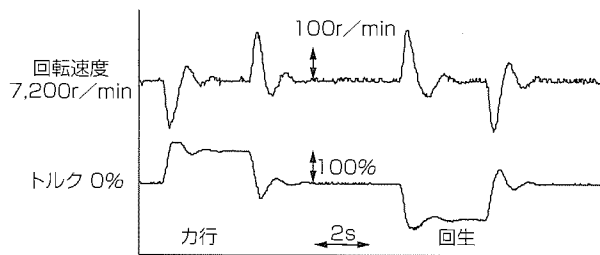


図7. 負荷トルク応答

表1. 主軸モータ試作機 (IPM) の仕様

		試作機	従来機
出力 (kW)	連続定格	5.5	1.5
	加速時	13.2	13.2
回転数 (r/min)	ベース	10,000	6,000
	最高	20,000	20,000
寸法 (mm)	フランジ	130角	130角
	全長	375	375
冷却構造		強制空冷	強制空冷

4. 工作機械 (主軸モータ) への適応事例

4.1 開発の経緯

工作機械分野では、高生産性を目指した駆動部の高速化、小型・高効率化の要求が一段と高まっており、その流れの中で、加工ツール、又は加工ワークを回転駆動する主軸モータに対しても、小型・高効率化、低発熱化、高加減速などモータの特性向上が求められている。

主軸モータは、誘導モータをベースに材質や構造等の改良が加えられ小型・高効率化が図られてきたが、現段階でほぼ確立された技術となっているため、今後大幅な性能アップは期待できない。

そこで、高効率化が可能で、かつ高速運転に適した構造を持つIPM主軸モータ (回転位置センサ付き) を開発した。

4.2 IPM主軸モータを用いた工作機械の特長

IPM主軸モータの主な特長としては小型・高効率、高加減速化 (加減速時間の短縮)、ロータ発熱の低減等が挙げられるが、これらの特長は、工作機械に適応した場合、多くのメリットがある。

- (1) モータの小型化によって主軸ヘッド及び機械の小型化が可能となる。
- (2) 誘導モータと同一寸法で出力とトルクアップが可能のため、現状の機械にIPM主軸モータを置換することによって容易に能力アップが可能となる。
- (3) 使用上加減速頻度の高い主軸についてはモータ加減速時間が短縮化され、加工タクトが短縮化されて高生産性が

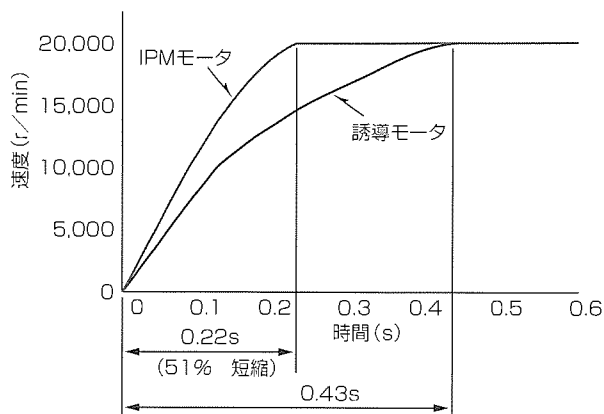


図8. 主軸モータ加速試験

可能となる。

(4) モータの冷却構造を液冷から空冷への変換ができるため、機械構造の簡素化、コストダウンが可能となる。

(5) IPMモータは発熱のほとんどがステータで発生するため、ステータを冷却すれば軸の熱膨張を抑制でき、加工精度の向上が可能となる。特にロータが中空形状をしているビルトインタイプの場合は、その中空部に加工ワークを通すため、ロータの発熱低減は著しい加工精度向上が期待できる。

4.3 高速IPM主軸モータ

タッピングマシンをターゲットして開発した高速IPM主軸モータについて紹介する。高速IPM主軸モータの特長として、加減速時間の短縮化のためにロータイナーシャの低減を図った。また、高速回転時の機械強度確保とロータ内径寸法を誘導モータと同等以上に確保するため (ビルトインタイプ時の工作機への適応の条件)、高速回転には不利ではあるが磁石配置を分散させた多極構造とした。

今回開発した高速IPM主軸モータの仕様を表1に、加減速特性を図8に示す。従来機 (誘導モータ) と比較するため、従来機の仕様を併記する。

高速IPM主軸モータの加速時間は停止から20,000r/minまで約220msとなり、従来機の約50%という大幅な短縮を実現した。

また、表から、IPMモータは、連続定格を比較すると、同一寸法で連続定格が出力で約3.7倍、トルクで約2.2倍の特性が得られ、大幅な特性向上を実現した。

5. む す び

今後更に高効率、小型化、高性能化を追求するとともに、これらの技術をモータ駆動製品へ応用展開し、ユーザーメリットの追求に努めていく所存である。

スポットライト 汎用電気系CAD“Rschemer”

概要

電気系CAD“Rschemer”は、制御盤、配電盤のハードウェアを対象とした電気設計システムの核となる汎用ツールです。

電気設計のシステム設計から組立てまでの各工程で作成する単線結線図、シーケンス図を始めとする多種多様な図面の編集、上流の図面から下流の図面の自動生成、シーケンス図から部品情報・接続情報(from to情報)抽出機能により、電気設計の効率化を実現しています。

特長

1. 図面編集の効率化

パーツの移動に伴い、パーツとつながる接続線が伸び縮みします。長方形領域を指定し移動した場合も同様です。これによって図面の修正作業が効率的に行えます。

2. 接続情報のチェックが簡単

パーツの配置/削除、接続線の追加/削除に応じ、接続線を自動的に分断・合成しますので、人間が見たとおりの接続状態になっています。そのため、接続情報のチェックと、チェックに基づく再編集の手間が不要です。

3. 図面改定情報確認

新旧図面を比較して改定箇所を強調表示することにより、改定箇所を容易に確認できます。

4. カスタマイズ機能

メニュー、パーツメニューのカスタマイズが可能のため、電気設計で扱う図面はもちろん、オブジェクト指向設計ツールなどへのカスタマイズも可能です。

5. データ交換

DXF入出力、TIFF出力、HPGL出力が可能です。

6. 他プログラムとの連動機能

OLEによってExcelやWordにRschemer図面の埋め込みが可能です。埋め込んだ領域をクリックするとRschemerが立ち上がり、Rschemerでの編集が可能です。

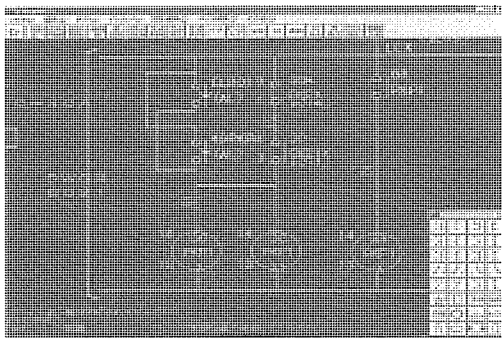
7. Rschemer図面の情報抽出

Rschemer図面から部品情報・接続情報(from to情報)の抽出が可能です。

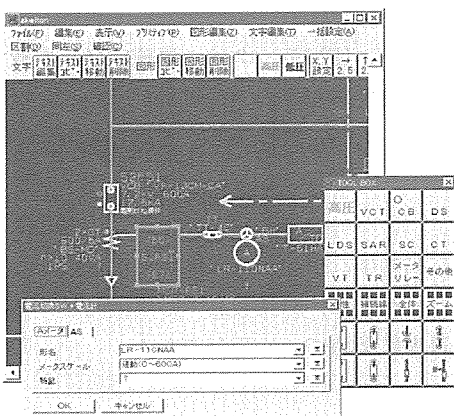
8. Rschemer図面の自動作成機能

Rschemerの図面作成用の簡易言語を利用し、上流の図面から下流の図面の展開ツールを容易に作成可能です。

(注) Word, Excelは、米国Microsoft Corp.の登録商標です。



<サンプル1>シーケンスCAD



<サンプル2>単線結線図CADとExcel信号処理項目表

システム構成

	名称	形名, 推奨環境
ソフトウェア	Rschemer	Ver3.7
	OS	Windows95 日本語版, WindowsNT4.0日本語版
ハードウェア	CPU	Pentium133MHz以上
	パソコン本体	PC/AT互換機
	メモリ	最低32Mバイト以上
	ハードディスク	最低50Mバイト以上の空きがあること
	解像度	1,280×1,024, 1,024×768を推奨, 640×480でも利用可能。256色以上
	プリンタ	Windows 標準プリンタドライバ
プロッタ	HP-GLインタフェース	



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)

生産計画作成装置 (特許 第2885406号, 特開平2-095549号)

発明者 森 一之, 築山 誠, 福田豊生

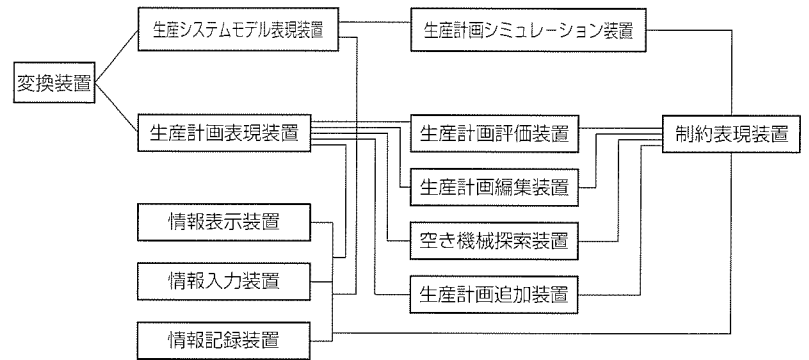
この発明は、この装置とユーザーとの共同作業によって生産計画を作成するための生産計画作成装置に関するものである。

従来の生産計画装置は、計画の変更/追加が難しく、計画を初めから立て直さなければならないという問題があった。また、作成された生産計画がユーザーの要求(納期を守る計画など)に合うとは限ら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ある。この装置は、①この装置に対するユーザーの指示情報と生産システムの情報を入力する手段と、②この情報入力手段の出力に基づいて生産システムのモデルと計画及びその制約を所定の形式で表現する表現手段と、③この表現手段によって表現された生産システムのモデルに基づいて計画をシミュレートする手段と、④作成した計画を生産における制約を満足しつつ計画を編集

する手段、及び、⑤この計画に計画における機械の空き時間及びプロセスの空き時間の前向き又は後ろ向き探索を行って新たな計画を追加計画する手段を備える。

このような構成により、生産計画の編集/追加を簡単に行うことができ、その結果、特急生産の納期が確定した場合のロットの投入時期、さらにロットを投入した場合の製品の完成時期の明確化を図ることができる。



情報処理システム (特許 第2715626号, 特開平3-296853号)

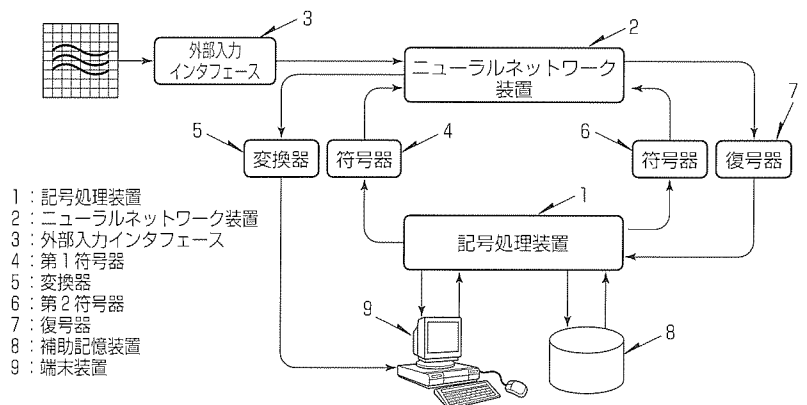
発明者 小中裕喜

この発明は、記号処理システムにおいて画像やセンシングデータなどのパターンを柔軟に取り扱えるようにするとともに、記号処理、特にルール処理の一般化・高速化を可能とするシステムに関するものである。

従来の記号処理システムでそのようなパターンを扱うためには、人間が判断・分類して入力したり、分類過程をモデル化してプログラムに組み込んだりする必要があった。一方、パターン処理に適したニューラルネットワークでは、手続き的な処理の記述が困難であった。

上記の問題点を解決するこの発明の実施例を図に示す。帰納的学習能力を持ち入力パターンに対して出力パターンを演算できるニューラルネットワークと記号処理を行う記号処理装置が、記号とパターンを相互変換するための符号器と復号器を介して接続されている。

ニューラルネットワークによってパターンと記号の変換を学習しておくことにより、記号処理による入力パターンの取り扱いが実現される。また、対象システムにおける動作やルール処理における前提部の照合などの入出力パターンの組合せを学習しておくことにより、処理の一般化・高速化が可能となる。





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)

神経回路網河川出水量予測装置 (特許 第2697233号, 特開平3-274031号)

発明者 泉井良夫

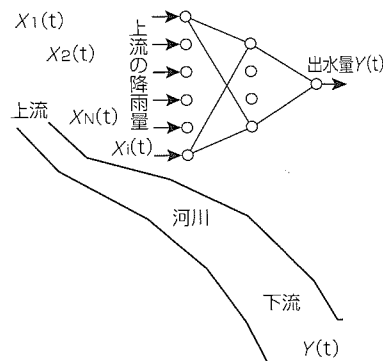
この発明は、過去の複数場所と複数時点の降雨量を入力として、河川の将来の出水量を予測する河川出水量予測装置に関するものである。

従来の主たる手法として、合理式法、単位図法、貯留関数法、タンクモデル法、等価祖度法、状態推定法などが考案されている。しかし、例えば、タンクモデル法では、貯留水深に比例して流出する幾つかの線形の側面出孔及び下段への浸透孔を持ったタンクを直列に並べて各側面の流出孔からの流出量の和で河川流量を表すため、また状態推定法では、流出系の簡単なモデル、例えば伝達関数を設定し、時々刻々与えられる降雨と流出量の情報からモデルの中に含まれる各パラメータを最適化し、これを用いて将来の流出量を予測するため、本質的に線形予測を行っており、予測精度が十分とは言い難いという問題があった。

この発明は、このような問題を解決するためになされたものである。図はこの発明による実施例を示す。この発明にかかわる神経回路網河川出水量予測装置は、入力層・中間層・出力層を構成し、生体の神経細胞を模した複数の神経素子及び神経素子の出力の各々に結合重みを乗じて次層の神経素子へ出力することによって、シナプスを模した結合素子を備え、入力層の神経素子に過去の複数場所や

複数時点の降雨量、その神経素子に降雨量に対応して計測した過去の河川出水量をあらかじめ設定し、結合重みを学習方程式に基づいて演算し、入力層の神経素子に予測希望の降雨量を入力して結合重みを用いて演算し、出力層の神経素子によって河川出水量の予測値を得るようにしたものである。

以上のように、河川出水量予測装置を神経回路網を用いて構成したので、結合重みが過去の降雨量と河川出水量の具体例から学習方程式によって計算され、現在よりも以前の降雨量等を入力することによって河川の出水量を予測するようにし神経回路網の入力変数から出力変数への非線形関数近似機能を用いているので、モデルの構築が容易であり、非線形予測が実現されているので、予測精度が高いという効果がある。



<次号予定> 三菱電機技報 Vol.73 No.10 “動き出したITS”

特集論文

- 21世紀を先導する高度交通システム(ITS)
- ITSの最近動向と当社の取組
- ITSのインフラ系要素技術
- ITSの車載系要素技術
- ITSの広域移動通信技術

- 車載ナビゲーションシステム
- ノンストップ自動料金収受システム
- AHS:走行支援道路システム
- 新物流情報システム
- ISO/TC204の現状
- 欧米における道路通信の標準化動向

- システムアーキテクチャ
- ITS評価シミュレータ
- 複合センサシステム
- 自動車用小型スキャンレーザレーダ

三菱電機技報編集委員

委員長 鈴木 新
委員 中村 治樹 永峰 隆
宇治 資正 河内 浩明
奥山 雅和 茅嶋 宏
小林 保雄 石川 孝治
畑谷 正雄 津金 常夫
村松 洋 才田 敏和
大坪 道夫 猪熊 章
本庄 正司
幹事 鈴木 隆二
9月号特集担当 木村 富蔵
岡知 広明

三菱電機技報 73巻9号

(無断転載・複製を禁ず)

編集人 鈴木 新

発行人 鈴木 隆二

発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部

〒105-0011

東京都港区芝公園二丁目4番1号

秀和芝パークビルA館9階

電話 (03) 3437局2692

印刷所 菱電印刷株式会社

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

お問い合わせ先 giho@hon.melco.co.jp

1999年9月22日 印刷

1999年9月25日 発行

