

住友重機械技報

第152号 制御システム小特集 平成15年8月

巻頭言 制御システム小特集の発刊に当たって 中村吉伸

制御システム小特集

論文・報告	超精密ステージ用コントローラ MC-55シリーズ	天野正道, 長谷川諭伴, 沖智浩, 羽角信義	1
	リニアモータ ドライバ シリーズ	堀井敏夫, 鳴海隆, 伊東匠, 川津光弘	5
	リニア駆動方式ドライバの低損失化	伊東匠, 松本好広	9
	リニアモータ用センサレス位相検出方式	白石貴司	13
	モーションプラットフォーム MPシリーズ	池本雅俊, 鳴海隆	17
	完全同期多軸制御ドライバ System MX	濱田慎哉, 山地克俊, 小林浩二, 上滝謙二郎	21
	IPMインバータ AF-330の開発	千々岩敏彦	25
	キセノンランプ用電源 XPDシリーズ	下川部博幸	29
	フォークリフト用急速バッテリー充電器の開発	小島宏志, 古賀敏明, 星野正司, 林克彦, 寺本貴之	33
	大規模機械式駐車場の上位制御システム	谷崎直昭, 仲摩行弘, 吉本高啓, 山田学	37
新製品紹介	有機EL素子エージング装置		41
	有機EL発光特性評価装置		42
	タイム オブ フライト測定装置		43
	分光感度測定装置		44
	CO ₂ レーザ型光ファイバカブラ製造装置		45
	新FDG合成装置コントローラ		46

論文・報告

全電動式 2 材成形機	齋藤泰史	47
光学部品における射出圧縮成形	平野智裕	51
DOEによるSPMモータの形状最適化	山本章	55
大川橋の耐風設計と施工	鹿島主央, 斉藤善昭, 山岡崇男, 室塚直人	59

新製品紹介

全電動型ロータリー射出成形機 SR75		63
電動ディスク成形機 SD40E		64
サイクロ 減速機 低減速比6000SKシリーズ		65
クリーンルーム仕様サイクロ 減速機		66
ハイボニック減速機 NEOシリーズ 高減速比		67
アスファルトフィニッシャ HA50W		68
アスファルトフィニッシャ HA60W-5		69
バッテリー式リーチフォークリフト FBR09~18E		70
金型移載アタッチメント付きフォークリフト		71

On Publishing Special Section of Control Systems Yoshinobu NAKAMURA

Special Section of Control Systems

T/PAPER	MC-55 Series Controller for Ultraprecision Stage	Masamichi AMANO, Tsugutomo HASEGAWA, Tomohiro OKI, Nobuyoshi HASUMI	1
	Linear Motor Driver Series	Toshio HORII, Takashi NARUMI, Takumi ITO, Mitsuhiko KAWATSU	5
	Reduction in Power Loss of Linear Amplifier Drivers	Takumi ITO, Yoshihiro MATSUMOTO	9
	Sensor-less Phase Detection System for Linear Motors	Takashi SHIRAISHI	13
	“MP Series” as Motion Platform	Masatoshi IKEMOTO, Takashi NARUMI	17
	Complete Synchronized Multi Axis Control Driver System MX	Shinya HAMADA, Katsutoshi YAMAJI, Kouji KOBAYASHI, Kenjiro JYOTAKI	21
	Development of IPM Inverter AF-330	Toshihiko CHIJIWA	25
	Xenon Lamp Power Supplies XPD Series	Hiroyuki SHIMOKAWABE	29
	Development of Quick Battery Charger for Forklift Truck	Hiroshi KOJIMA, Toshiharu KOGA, Masashi HOSHINO, Katsuhiko HAYASHI, Takayuki TERAMOTO	33
	Control System for Large Volume Mechanical Parking Systems	Naoaki TANIZAKI, Yukihiko NAKAMA, Takahiro YOSHIMOTO, Manabu YAMADA	37
NEW PRODUCT	OLED Aging System for Device and Panel		41
	Evaluation System of OLED Emission		42
	Time of Flight Measurement Equipment		43
	Spectral Responsivity Measurement Equipment		44
	Optical Fiber Coupler Manufacturing Machine CO2 Laser Type		45
	New Controller for FDG Synthesizer		46
T/PAPER			
	Fully Electric Double-shot Injection Molding Machine	Yasushi SAITO	47
	Injection-Compression Molding for Optical Elements	Tomohiro HIRANO	51
	Study of Optimal Design of Surface Permanent Magnet Motors	Akira YAMAMOTO	55
	Wind Resistance Design and Construction of Okawa Bridge	Kazuteru KASHIMA, Yoshiaki SAITOU, Takao YAMAOKA, Naohito MUROZUKA	59
NEW PRODUCT			
	All Electric Rotary Injection Molding Machine SR75		63
	Electric Injection Molding Machine for Optical Discs SD40E		64
	Cyclo Drive 6000SK Low Ratio Series		65
	Cyclo Drive for Clean Room Used		66
	Hyponic Gearmotor Neo Series High Ratio Type		67
	Asphalt Finisher HA50W		68
	Asphalt Finisher HA60W-5		69
	Battery Type Reach Forklift Truck FBR09 ~ 18E		70
	Forklift Truck with Metallic Mold Handling Attachment		71

制御システム小特集の発刊に当たって

常務執行役員

精密機械事業本部長 中村吉伸



昨今のグローバルな経済環境の変化の中で、当社は21世紀の時代を見据えた先端型ビジネスに注力すべく事業構造の変革を進めており、その戦略的業務分野の一つが半導体や液晶などの先端ディスプレイ、医療、宇宙物理、メカトロニクス、ナノテク、光応用、および精密加工分野などを主な対象市場とした精密制御機械コンポーネント事業群であります。当社では以前より電子機械制御システム技術を重要な全社的基盤技術として注目、これを長らく育成活用してきており、その結果として多くのユニークな制御システム製品を産み出してまいりました。精密制御機械コンポーネント事業群ではこれらを集め、基幹製品として今後も注力、発展させて行くべきものと位置付けております。

ここにご紹介する技術や製品は、当社が長年培ってきたモーション制御やパワーエレクトロニクス、オプトエレクトロニクスなどのファインメカトロ技術の研究開発成果を製品化してきたものですが、機械装置に組み込まれて販売するばかりでなく、同時に制御コンポーネント商品として単体での販売も致しております。

モーション制御分野での基幹製品としては、高速・高精度な機械制御を実現するSystem MXがあります。超精密XYステージ用の多軸制御装置では、超高精度リニアモータ用ドライバとの組み合わせで、半導体や液晶製造装置で要望されるナノメートルレベルの位置決めを実現しております。また、ライン制御用の多軸制御装置では、高い同期制御性能を生かしたグラビア印刷機のセクショナル制御やコンペンレス制御で高い評価を戴いております。

また、パワーエレクトロニクス分野では、長年培ってきた誘導電動機のインバータ制御技術の応用展開から、超精密リニアモータ用ドライバや高輝度ランプ用の高安定電源、フォークリフト用急速バッテリー充電器など、高速、高精度な電気駆動実現へと製品群を広げてきております。

さらに、オプトエレクトロニクス分野では、電気と光を融合した各種検査、測定装置の開発に取り組み、次世代ディスプレイとして注目される有機ELの研究開発用途に多数ご採用戴いております。

今回、「制御システム小特集」に掲載している各テーマは、当社製品にコンポーネントとして埋め込まれ、お客様のニーズの実現に必ずお答えできるものと確信しております。今後とも当社製品をご愛顧頂き、ご支援を賜りますよう心よりお願い申し上げます。

超精密ステージ用コントローラ MC-55シリーズ

MC-55 Series Controller for Ultraprecision Stage

天野正道

Masamichi AMANO

長谷川 諭 伴

Tsugutomo HASEGAWA

沖 智 浩

Tomohiro OKI

羽 角 信 義

Nobuyoshi HASUMI



モーションコントロールユニット
Motion Control Unit

精密ステージのさらなる高性能化ニーズに対応するために、位置・速度・推力制御を高速に集中処理する、独自のマルチプロセッシング・アーキテクチャを持ったステージコントローラを開発した。コントローラ本体に、モーション制御用プロセッサと推力制御用プロセッサを搭載し、それらを専用バスで接続している。これによって、プロセッサ間で任意の制御情報を双方向で高分解能かつ高速に伝達できるようになり、ステージ特有の軸間補償制御処理や外乱補償制御処理などを、ハードウェアの制約なくソフトウェアで実装可能とした。さらに、バス上にプロセッサ間同期用のタイミング信号を入れることで、制御無駄時間を最小化した高速なサーボ処理を実現している。また、システム全体でデジタル制御回路とパワー回路を分離することにより、インターフェースのフルデジタル化とも相まって、ノイズ混入によるステージ性能の悪化をも抑止した。

本報では、コントローラの技術的特徴を報告し、モジュール化したコンポーネント体系と調整支援システムについて紹介する。

SHI Control Systems, Ltd. has developed the MC-55 stage controller, which has a fully synchronous multi-processing architecture that can meet demands at the ultraprecision stage. The controller has a motion control processor and thrust control processors, and all of the processors are connected with the bus in order to centralize control of position, velocity, and thrust processing. The centralized control software enables implementation of multi-axis coordinated control and the disturbance observer, which are required at the ultraprecision stage. The power units are separated from the control units in order to prevent noise that deteriorates positioning accuracy. Synchronously operated high speed processors enable a high-speed servo cycle and minimized delay time. This paper presents an overview of the interesting features of the MC-55 controller, the modular system design, and the support system for adjustment and maintenance.

1 まえがき

リニアモータを使用した精密ステージは、半導体やフラットパネルディスプレイ (FPD) 用の製造・検査装置に広く使用されている。そこに使用されるステージ制御システムは、ステージ本体の性能を安定的に引き出す重要な役割を担っている。ステージ制御システムの構成方法には、2種類の代表的なものがある。その1つは、コントローラ部がステージの軌道生成から位置・速度制御処理まで担い、ドライバ部が電流制御を行う方法である。この方法は機械構造的に干渉する軸を制御で補償することが可能であり、H型サーフェイスステージなどに適用される「アクティブYawコントロール」を組み込むためには必須と言える。もう1つは、コントローラ部が軌道生成を行い、ドライバ部が位置・速度・電流

制御を行う方法である。これはサーボ制御を軸ごとに独立して行うもので、プログラマブルロジックコントローラ (PLC) などの汎用コントローラとサーボドライバの組み合わせで比較的容易に制御システムを構築することができる。この制御システム構成は、比較的精度を必要としない、軸間の協調制御が不要な小型のFPD用ステージなどに適用される。

精密ステージに対する高精度化・高速化の要求は、年々高まってきている。半導体分野ではデザインルールの微細化対応と装置の高スループット化実現に向けた装置開発が継続的に進められ、これまでの制御システムではその要求性能を達成できなくなりつつある。またFPD分野においても、テレビ用パネル製造ライン向けの2mを超えるガラス基板を対象とした大型ステージが新たに必要とされており、半導体分野と同等の状況となってきている。本報では、これら精密ステー

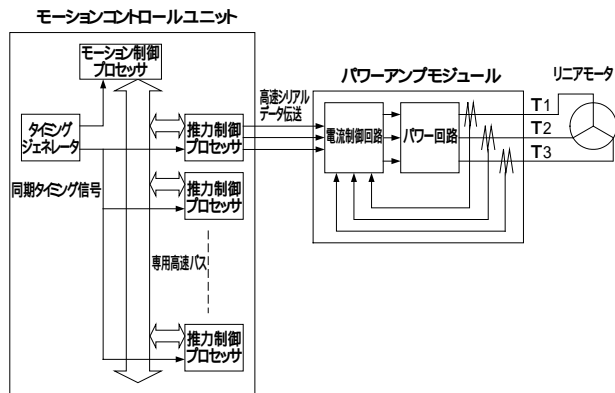


図1 基本アーキテクチャ Architecture

ジの高性能化ニーズを満足するために開発・製品化した超精密ステージコントローラMC-55シリーズの技術的特徴を報告する。また、短時間で高信頼の装置開発が要求される半導体・FPD業界特性にこたえるための、モジュール化されたコンポーネント体系と調整支援システムについても紹介する。

2 従来型の制御システム構成と性能限界

H型の軸構成を持つサーフェイス型の半導体用超精密ステージや、ガントリ移動型のFPD用大型ステージでは、1つの並進動作を2軸のリニアモータで駆動している。このような軸間の干渉が無視できない機械構造を持つステージにおいては、コントローラ部でこれらの軸の協調制御を行う必要があり、軌道生成から位置・速度制御までの制御機能をコントローラ部で集中処理している。ドライバ部は、コントローラ部からの推力指令をリニアモータ各相への電流指令値に分解し、電流制御を行っている。コントローラ部から出力する推力指令値の情報伝達手段にはアナログ信号(±10V信号など)を使用することが一般的である。この方式では、データ分解能の整合性や処理の同期性を要求しないことで、多くのメーカーや製品群から最適なコントローラとドライバを選択できるというメリットがある。反面、電気的ノイズの影響を受けやすくデータ分解能に限界があること、コントローラ部とドライバ部の処理が非同期になることからデータ伝送にむだ時間が発生すること、というデメリットがある。これらのデメリットはこれまであまり問題とされることはなかったが、ステージの高速化に伴う高応答化要求や、大型化に伴う高分解能化要求が高まるにつれ、それらを実現する際のボトルネックとして顕在化してきている。また、コントローラ部とドライバ部の高い独立性は、多入力多出力系で表されるような高度な制御アルゴリズムを組み込む際の障害にもなっている。

3 高性能化のための技術的特徴

MC-55では、これまで独立した制御コンポーネントとしてデザインされていたコントローラ部とドライバ部を統合して設計し、最適なモジュール分割とインターフェースの定義を実現している。MC-55の基本アーキテクチャを図1に、従来型とMC-55の比較を図2に示す。その特徴を、次に示す。

制御機能の集中処理化

完全同期したマルチプロセッサ構成

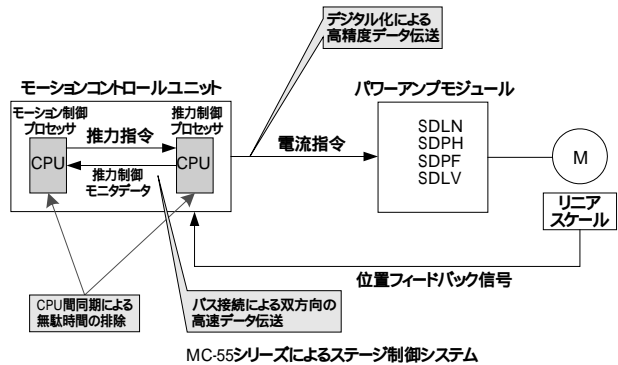
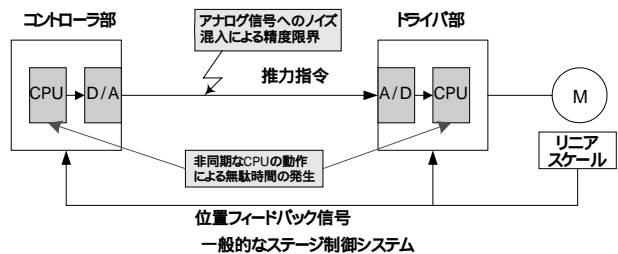


図2 システム比較 System comparison

デジタル制御回路とパワー回路の分離

制御コンポーネントのデジタルインターフェース化

3.1 制御機能の集中処理化

これまでの制御システムでは制御機能がコントローラ部とドライバ部に分割されていたが、MC-55ではドライバ部の制御機能をモーションコントロールユニットに統合した。このため、モーションコントロールユニット内部には、軌道生成処理と位置・速度制御処理を行うモーション制御プロセッサと推力(電流)制御処理を行う推力制御プロセッサを搭載し、それらがバスで接続された構成となっている。この構成は、モーション制御プロセッサで推力制御プロセッサにあるすべての制御情報を任意に取り込むことを可能とし、ステージに固有の非干渉制御などを制約なく実装できる環境を提供した。

3.2 完全同期したマルチプロセッサ構成

マルチプロセッサ化は各CPUの負荷を低減させるものの、その性能を最大限発揮させるためには、処理の最適スケジューリングが必要となる。モーション制御プロセッサと推力制御プロセッサをつなぐ専用バスには、各プロセッサ用のタイマ割り込み信号が含まれており、各プロセッサをタイマ割り込みレベルで完全に同期させパイプライン的動作をさせることができる。ゆえに、マルチプロセッサ構成でありながら正確な処理タイミング設計が可能で、高性能なRISC型CPUの採用と相まって、シングルプロセッサでは不可能な高速なサーボ処理を実現した。これら一連の特長により、制御演算部でのむだ時間要素を最小化し、ステージの位置安定性や速度安定性の向上と、特に整定時間の短縮に大きく寄与できた。

3.3 デジタル制御回路とパワー回路の分離

センサ信号やドライバ部の電流検出回路に混入する電気的ノイズは、ステージの精度を悪化させる要因となる。MC-55では、モーションコントロールユニットに推力制御処理を統合化したことで、従来のドライバ部からデジタル制御回路を

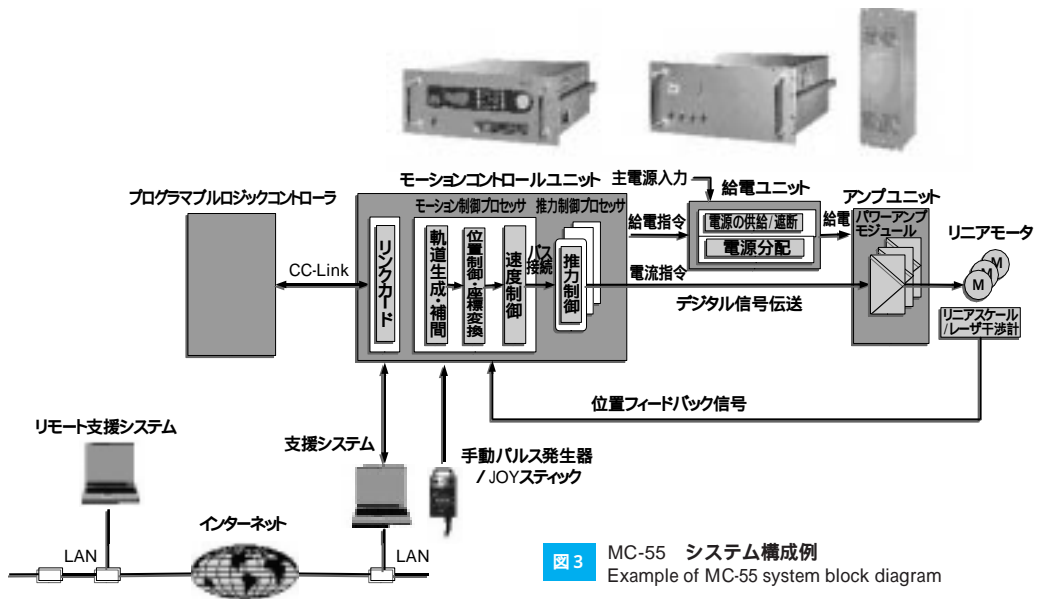


図3 MC-55 システム構成例
Example of MC-55 system block diagram

表1 MC-55内部機能
Function of MC-55

項目	機能	
軸数	完全制御同期軸数	8軸
	協調制御グループ数	8グループ
	1グループ当たりの協調制御軸数	6軸
軌道生成	直線補間, 連続移動, 円弧補間, 加速度一定加減速パターン生成, PVT動作	
手動運転	手動パルス発生器, JOYスティックによる移動	
補正	二次元ピッチ誤差テーブル補正(直交度・真直度・平面度補正), 環境センサ補正, ならい補正	
座標変換	ワーク座標系	8系統
	ワーク座標系のオフセット機能, ワーク座標系のローテート(回転)機能	
異常検出	位置偏差過大, 位置偏差警報, 速度偏差過大, 速度過大, 加速度過大, パラレルデータ変化量過大, フィードバック位置不整合(同じ軸に2個以上の位置フィードバックセンサ搭載時), ソフトウェアポジションリミット, 動作禁止エリア進入, 電子サーマル, コマンド異常(範囲, 速度チェック)	
サーボ制御	位置比例積分, 速度比例, 速度・加速度フィードフォワード補償, 外乱オブザーバ補償, アクティブYawコントロール, ノッチ(およびローパス)フィルタ(3段), 不感帯補償, フルクロズドエンコーダ対応	

表2 パワーアンプモジュールのシリーズと特長
Comparison of power amplifier modules

名称	特長
SDLNシリーズ	超精密位置決め用途向けリニアアンプ 大出力時はPWMモードに切り替わり, 高精度位置決めと高加減速を両立
SDPHシリーズ / SDPFシリーズ	精密位置決め用途向け 高キャリア周波数のPWM制御方式
SDLVシリーズ	ボイスコイルモータ用の高速リニアアンプ

分離した。これによって、制御システム全体でデジタル制御回路とパワー回路を完全に分離するハードウェア構成を実現しており、それぞれで発生するノイズが相互に影響を及ぼすことによる精度悪化を抑制した。

3.4 制御コンポーネント間のデジタルインターフェース化

MC-55専用のパワーアンプモジュール(一般のドライブ部に含まれているパワー回路に相当する制御コンポーネント)は、機能的には単なる電流アンプであり、モーションコントロールユニットの推力制御プロセッサから指示される電流指令値に従ってモータへ電流を出力する。電流指令値の伝達には高速のシリアル信号またはPWM信号を使用しており、前記のモーション制御プロセッサと推力制御プロセッサ間のバス接続と合わせて、すべての制御コンポーネント間のデジタルインターフェース化を行っている。これにより、ノイズに影響されにくい高分解能のデータ伝達を可能とし、高精度化を達成した。

4 制御システム構成

半導体・FPD用製造・検査装置分野は装置開発競争が激しく、常に短期間での装置実用化が要求され、初号機が生産機となる場合も少なくない。ステージ制御システムにも、高い信頼性や安全性を確保した上での、短納期対応が求められる。MC-55では、数種類のユニットの組み合わせで制御システム

を構成するモジュール化構成を採用し、これらの要求に対応した。各ユニットとも標準化されているので、事前にノイズ試験や温度試験などの環境試験を実施済みである。これによって、設計品質の作り込まれた、ハードウェア的にも信頼性の高いシステムの提供を可能とした。

4.1 標準ユニット構成

MC-55は、モーションコントロールユニット、アンプユニット、および給電ユニットで構成している。MC-55のシステム構成例を、図3に示す。各ユニットの形状は、19インチラック用および制御盤取付け用の2種類がある。

モーションコントロールユニットは、モーション制御プロセッサと推力制御プロセッサを内蔵するとともに、各種の信号入出力回路を備えた、ステージ制御システムのコアとなるユニットである。その機能を、表1に示す。推力制御プロセッサの個数は軸数に応じて変更でき、最大8個(8軸)まで搭載することができる。ステージ制御システムのすべての信号はモーションコントロールユニットに集中しており、安全のためのハードウェアによるインターロック回路も、この中で構成している。

アンプユニットは、内部にパワーアンプモジュールを実装する。パワーアンプモジュールのシリーズと特長を、表2に示す。各パワーアンプモジュールの外形寸法は規格化されており、ステージの軸数や可動部質量および必要精度に応じて、適切なものを選定し収納することができる。

給電ユニットは、外部からの受電と各ユニットへの給電を行う。なお、パワーアンプモジュールやサーボドライバへの給電は、モーションコントロールユニットから制御することが可能で、モーションコントロールユニット内部のインターロック回

表3 調整支援ツールの機能
Function of support tool

目的	機能	
ステージ 制御系調整	リアルタイムモニタ	データグラフ表示
		データ数値表示(表形式)
		メモリ表示
	サーボデータ収集/解析	サーボ周期毎の高速データ収集
		収集データのオンラインFFT解析
	オンライン設定	制御パラメータのリアルタイム変更
		ピッチ誤差補正
		メモリ設定
	オフライン設定	コンフィグレーションテーブル編集・設定
		センサパラメータ設定
状態解析	リアルタイムモニタ	センサ状態モニタ
保守・管理	ファイル操作	ソフトウェアの書込み
		パラメータの読出し・書込み
	エラー解析	アラーム履歴の読出し
		トリガ条件設定による自動データ収集
		稼働時間表示
		ローカルモード運転

路との組み合わせで、異常時の主電源遮断機能を構成できる。

4.2 上位コントローラとのインターフェース機能

上位システムの接続には、標準で用意しているシリアルインターフェースと接点信号の他に、プログラマブルロジックコントローラ(PLC)との接続用のCC-Linkインターフェースと、パソコンとの接続用の共有メモリインターフェースもオプションで用意している。また手動運転用のオプションとして、手動パルス発生器やJOYスティック用のインターフェースも準備した。

4.3 周辺装置とのインターフェース機能

精密ステージは上位コントローラからの指示に基づいて動作するだけでなく、周辺装置と同期を必要とする場合も多い。MC-55では周辺装置に対する同期信号出力を備えている。モーションコントロールユニットには、ソフトウェアによる同期信号出力機能を実装した。処理の高速性を生かした時間分解能の高い信号出力が可能であるだけでなく、リニアスケールの非直線性誤差も補償することも可能とした。そのほかオプションとして100ns以下の時間分解能をもった、ハードウェア処理による信号処理ユニットも用意した。

5 調整支援ツール

調整支援ツールは、モーションコントロールユニットとシリアル通信ポート(RS-232C)で接続したPC-AT互換機上で動作する、MC-55専用のソフトウェアである。日本語と英語の表示切替え機能を持つとともに、インターネットなどのネットワーク環境を利用したりリモートモニタリングも可能で、海外での使用にも対応している。調整支援ツールの機能を表3に、画面例を、図4に示す。

5.1 ステージ制御系調整機能

サーボ調整用に、サーボ処理周期で高速にデータ収集を行うサーボデータ収集機能と、収集したサーボデータを解析するための時系列グラフ表示機能および周波数解析(FFT)機能をもっている。時系列グラフ表示画面とFFT画面は瞬時に切り替えることができ、制御ゲインやノッチフィルタなどのパラメータ調整と、その結果としての停止安定性や速度安定

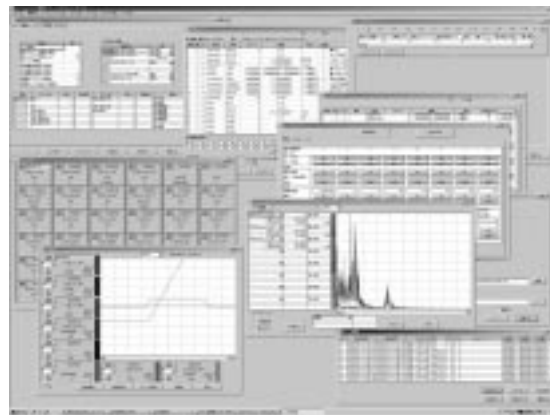


図4 調整支援ツール画面
Screen of support tool

性などの確認が効率よく行える。サーボデータ収集機能は、全軸の任意の制御データを同時サンプリングできるだけでなく、汎用アナログ入力ポートのデータも収集可能となっている。たとえば評価用に静電容量センサなどを外付けし、リニアスケールなどの内界センサによる計測データと合わせて、ステージ各部の振動状態を位相差まで含めて正確に計測することができる。

5.2 システム立ち上げ・試運転用のサポート機能

モーションコントロールユニットに入力されるリミットセンサや原点センサなどの状態を、軸単位にグループ化された視認性の高い画面で表示する機能を持っており、単なる数値表示形式などの画面表示に比べ、確実にかつ効率的に機能確認作業を行うことができる。そのほか試運転用のローカル運転機能も持ってあり、上位システムがない状態でもステージの運転が可能で、出荷調整時や現地立ち上げ時など、周辺環境が整わない時にも効率的に検査作業が実施できる。

6 むすび

これまで独立して開発・高性能化されることが多かったコントローラとドライバであるが、本開発ではそれをトータルシステムとして最適化し、独自のアーキテクチャを持つ制御システムとしてデザインした。

高速なサーボ処理能力と、制約なく制御アルゴリズムを実装できるソフトウェア環境を実現し、メカニクスのもつ本来の性能をこれまで以上に引き出す環境を提供できた。

精密ステージは、半導体の微細化や新しいプロセスへの対応や、液晶パネルの生産性向上などを実現するためのキーコンポーネントであり、市場からはさらなる高精度化・高速化および大型化が常に要求されている。

今後は、より高性能化するための技術開発を継続することはもちろんであるが、さらに装置全体まで含めたより広範囲の最適化を目指したシステム開発にも積極的に取り組んで行く所存である。

(参考文献)

- 山本正之. 高精度XYステージの開発. 住友重機械技報, no. 150, Dec., 2002.
富田良幸, 小梁川靖, 牧野健一, 杉峰正信, 内海和晴. サーフェイスモータXYステージの開発. 住友重機械技報, vol. 48, no.143, Aug., 2000.

リニアモータ ドライバ シリーズ

Linear Motor Driver Series

堀井敏夫

Toshio HORII

鳴海隆

Takashi NARUMI

伊東匠

Takumi ITO

川津光弘

Mitsuhiro KAWATSU



図1 リニアモータ用ドライバ SDLN / SDPF / SDPI
Drivers for linear motors

SDLN

SDPF

SDPI

住重制御システム株式会社のリニアモータ用ドライバは、半導体・液晶製造装置向けの超高精度位置決め用途を中心に開発・製品化を行っている。現在、これらの市場が求める高精度化・高推力化開発を進めている。一方、この開発で養った技術を従来製品に展開し、リニアモータの適用範囲を広げている。

SHI Control Systems, Ltd. (SCS) develops and commercializes drivers for linear motors used in applications such as ultra-high precision positioning for the semiconductor and liquid crystal manufacturing industries. SCS is currently focusing on the development of even more accurate, greater-thrust drivers required by these industries. In the meantime, SCS is expanding the scope of applications of linear motors by introducing our technology fostered through the development of these drivers to conventional products.

1 まえがき

リニアモータは鉄道用車輛や工場内搬送装置のように高速・大型のものから半導体製造装置関係のナノメートル位置決め制御まで幅広く使われるようになってきている。リニアモータは回転型モータと同様古い歴史を持つが、小さな推力および難しい制御により、あまり普及していなかった。しかし近年のパワー素子、永久磁石、および制御装置の進歩により実用化が可能となってきている。さらに、回転型モータでは回転を直線へ変換する機械要素の制限により高速化や高精度化が限界に達しているが、リニアモータでは機械構造が単純ゆえ回転型モータ以上の性能を出せることが普及の原動力となっている。

住重制御システム株式会社（SCS）では、精密位置決め用に永久磁石形リニア同期モータ用サーボドライバを2000年に製品化した。本報では精密位置決め用リニアモータの動向を述べ、超精密位置決め用SDLNシリーズと小型高効率のSDPFシリーズ、ローコストSDPIなどについて技術内容と特徴を紹介する（図1）。

2 リニアモータの動向

ボールネジによる減速機構にかわり、リニアモータを採用することによりバックラッシュ、ピッチ誤差、および機械振動による精度悪化を避けることができる。また機械機構の簡素化による信頼性向上、ひいてはコストダウンが可能となる。したがって、これまでボールネジが使われていた多くの分野においてもリニアモータが使われ始めている。位置決め用リニアモータの用途を、次に示す。

半導体およびFPD製造装置向け

位置決め精度は、数nmから数十nmが要求される。位置決め精度だけではなく、停止時の振動および一定速時の速度リップルの抑制も重要である。推力は数百ニュートンから千ニュートンクラスが中心となる。

最近の傾向として、半導体露光関係では微細化が130nmから90、60nmと進んでおり、駆動機構の精度も10nm以下まで要求されるようになってきている。液晶ではガラス基板大型化が世代交代ごとに面積2倍のペースで進み、次の第6世代1.4m×1.8mの大型ガラス基板

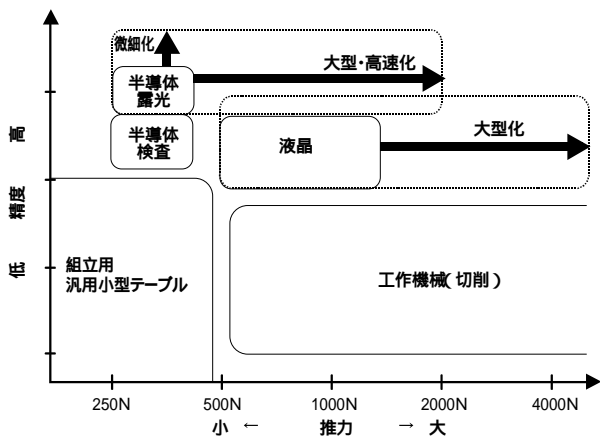


図2 応用分野と要求精度 / 推力
Applications and motor specifications

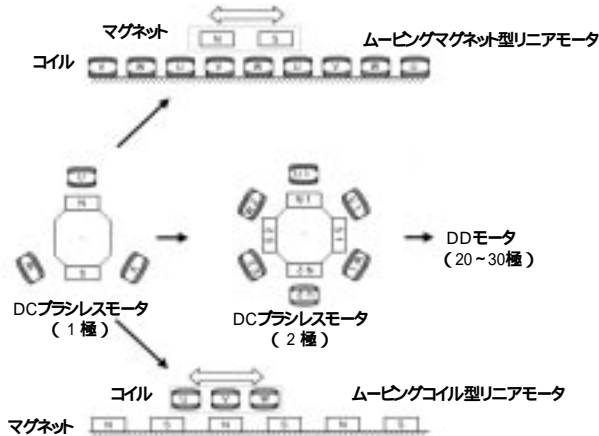


図4 モータ構造
Structure of motors

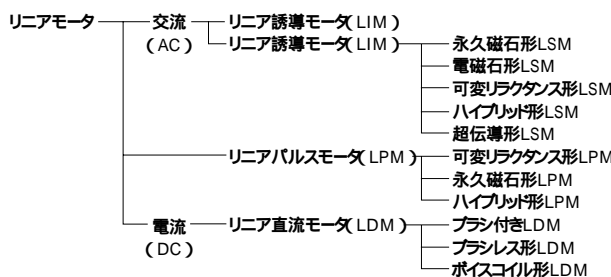


図3 リニアモータの分類
Grouping of linear motors

ではモータ推力2000ニュートンを超えるものが必要となってくる。

工作機械

光通信部品やマイクロマシンなどの分野では10nm単位での加工が行われている。このような精密加工用途での推力は数百ニュートンまでのものが多いが、切削加工用向けで1万ニュートンクラスのもの開発が進められている。

簡易型リニアテーブル (ボールネジ代替)

組立などの用途に使われているリニアテーブルでは精度数μmと比較的ゆるやかであるが、コストは安価なボールネジの置き換えになるレベルが要求される。この分野では、数十~数百ニュートンのものが市販されている。

リニアモータの用途/精度/推力マップを、図2に示す。

3 リニアモータ用ドライバ

リニアモータは構造上自由度が大きく動作原理、電源別、形状などで多くの分類がされる (図3)。機械の高精度位置決めで使用されるのは永久磁石形リニア同期モータが多い。

位置決め用に用いられているLSMは図4に示すように、基本はDCブラシレスモータを直線状に展開したものであり、制御はDCブラシレスモータやダイレクトドライブモータと同一である。しかし、リニアモータ用として設計されたドライバは、次のような特徴を持つ。

相検知機能

本機能は、コイルに電流を与え若干動かすことによりコイルと磁石の位相関係を割出す機能である。回転型では磁極位置を検出できるコミュテーションセンサや絶対

位置ロータリーエンコーダが市販されているが、リニアモータでは適当な磁極位置検出器を入手できない。しかし、相検知機能を利用することにより簡単に磁極位置を検出しリニアモータを動かすことができる。相検知機能の問題点としては重力などの外力が加わっている場合や摩擦が大きい場合に正しく動作しないこと、そして動作前に機械を振動させることがある。なお、SCSのリニアモータ用ドライバでは、本報別稿の『リニアモータ用センサレス位相検出方式』(p.13~16)で紹介する相検知方式を採用し、ほとんど振動なく検出ができる方式を採用した。

高精度制御

リニアモータは高精度位置決め用途が多いので、ドライバもそれに対応した高精度化が要求される。高精度化に使用される技術として代表的なものを、以下に挙げる。

- ・リニア方式アンブ
- ・主電源の安定化
- ・高速PWM
- ・高精度アナログフィードバック制御

高分解能位置検出器対応

位置検出の分解能は、位置決め精度の10倍程度は必要となる。従来のドライバでは、ラインドライバによる2相位相差 (AB相) 方式の数メガカウント/sが一般的である。これでは分解能 1 nmで数mm/sの動作速度にしか対応できない。高精度用リニアモータ用ドライバでは、次の方法が用いられている。

- ・回路の最適化による高速化 (40メガカウント/s)
- ・アナログ (正弦波) 伝送 (数百メガカウント/s)
- ・データ通信 (通信/データバス)

4 SCSのリニアモータ用ドライバ

リニアモータ用ドライバとして、最初に超高精度用途のリニアPWM切替え方式のSDLNを開発した。さらに、高効率のPWMタイプSDPF、ローコストのSDPI開発、そして既存コントローラのリニアモータ対応を推進した。

4.1 SDLNシリーズ

SDLNは、超精密位置決め用として開発された。本アンブは、リニアPWM切替え方式、PWM時の振動を減らすデッドタイムレスPWM、およびドライバ内組込み安定化電源に

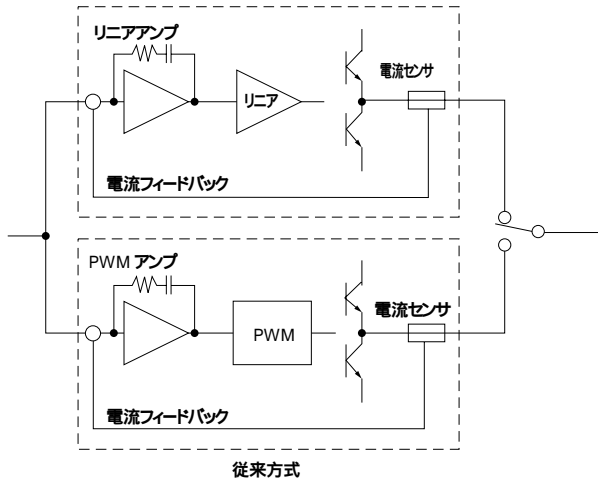


図5 リニア/PWM切替え方式
Linear/PWM changeover

より、高い精度を持ちながら小型化を達成した。

リニア / PWM切換え

PWMのスイッチングはモータ電流のリプルとなるだけでなく、発生するノイズがドライバへの推力/速度指令、さらには位置フィードバック系センサへ悪影響を与え精度を悪化させる。このためナノメートルの位置決めが難しくなる。これに対しリニア増幅器方式は安定した出力とノイズ発生がないという特徴をもつものの、アンプの効率が悪いとため推力200N以上のモータ駆動は困難である。

高精度を要求されるのは停止と低速移動時であり、大推力を必要とする高速移動や加速時にはそれほどの精度は要求されないことより、SDLNでは大推力時にPWM方式、小推力時にはリニア方式と制御方式の切替えを行っている。リニアPWM切替え方式は従来よりあったが、2つの独立したアンプを切り換えて実現することが多い。この方式では、移動中の切替え時に振動が出やすいという問題があった。SDLNでは、制御回路をリニアとPWMで共有化することで解決した(図5)。

デッドタイムレスPWM

一般的なPWMアンプでは、出力素子保護のためデッドタイムが必要である。SDLNでは、本報別稿の『リニア駆動方式ドライバの低損失化』(p.9~12)で紹介する、デッドタイムなしで安定に動作する回路方式を採用している。

安定化電源内蔵

高効率安定化電源装置の内蔵により、従来のリニア増幅器と外部電源装置という組み合わせに対し半分以下の大きさ重量にすることができただけでなく、動作状況に応じた電源電圧の調整による高効率化を可能にした。

SDLNのブロック図を、図6に示す。

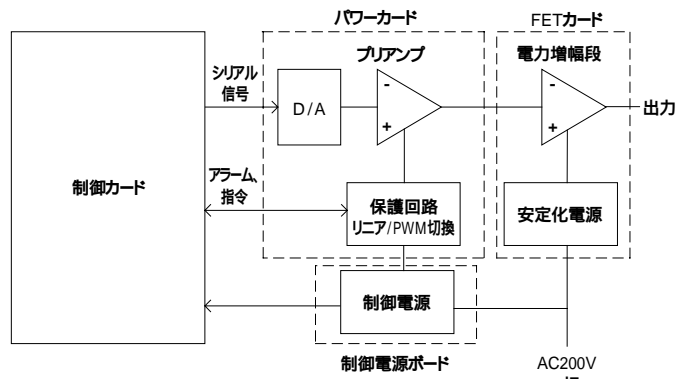


図6 SDLNブロック図
SDLN block diagram

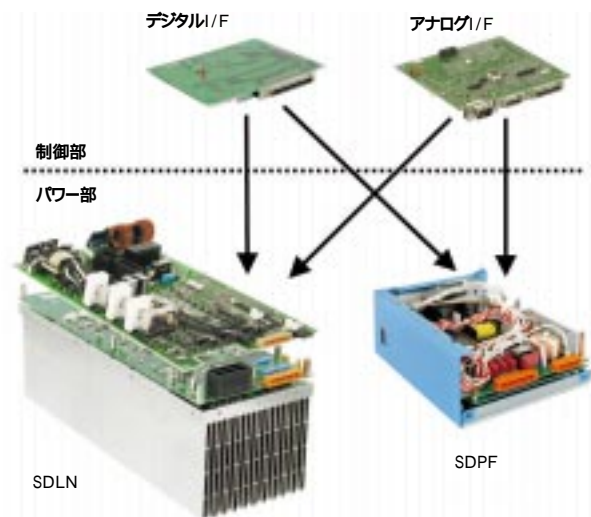


図7 SDLNとSDPF構成
System configuration of SDLN/SDPF

4.2 SDPFシリーズ

SDPFは、デジタル制御PWM方式ドライバの中で最高の性能を目標に設計された。

SDPFはSDLNと異なり、アンプはリニア方式に対してPWM方式、サーボループはアナログ方式に対してデジタル方式とした。この方式は効率は良いが、サーボ性能は基本的にアナログ方式に劣る。デジタルPWM制御方式での性能を向上させるには次の項目がサーボ性能改善に有効である。

- PWM周波数を上げる。
- PWM分解能を上げる。
- PWMデッドタイムを短縮する。
- サーボ演算周期を短縮する。
- 補償要素、フィルタを使用する。

これらの項目は、互いにトレードオフの関係にある。SDPFでは、出力素子および演算素子に高速、高性能のものを用い、この能力を各項に最適に配分することにより高性能を実現した。

また、制御部とパワー部のインターフェースをSDLNとSDPFで共通化(図6、図7)したことで、これら2種類のドライバは常に同一の外部接続仕様を提供できるようになった。これは、SDLNとSDPF混在システムを簡単に構成できるだけでなく、同一設計で要求精度に応じたドライバの使い分けを可能にしている。

表 1 SDシリーズ仕様概要
SD series specifications

型式	SDLN-004/008/014/025	SDLN-050	SDPF-005/010	SDPI-015	SDPI-030
出力方式	リニア/PWM切換			PWM	
指令入力	推力/速度/位置 (パルス列)*			位置 (パルス列)	
主電源電圧	3相AC170V~242V (200V-15%~220V+10%)			単相AC85V~110V	
制御電源電圧	単相AC85V~242V (100V-15%~220V+10%)				
線間出力電圧	最大97Vrms以下		140Vrms	67.5Vrms	
リニア時定格電流 (Arms)	0.9/2.0/2.0/2.0	4.0	-	-	
リニア時瞬時最大電流 (Arms)	2.8/6.0/6.0/6.0	12.0	-	-	
PWM時定格電流 (Arms)	0.9/2.0/3.3/6.2	12.4	1.5/2.3	3.2	6.4
PWM時瞬時最大電流 (Arms)	2.8/5.9/9.9/18.7	37.3	3.2/6.8	9.5	19.0
PWM時瞬時最大電流 (Apeak)	4.0 / 8.4 / 14.0 / 26.4	52.8	5.0/9.6	13.5	27.0
寸法 H x W x D (mm)*	415 x 140 x 190	415 x 280 x 190	180 x 68.5 x 140	151 x 72 x 140	151 x 62 x 140

* 他にSCS製System MXおよびDELTA TAU社製PMAC対応可能オプションあり。

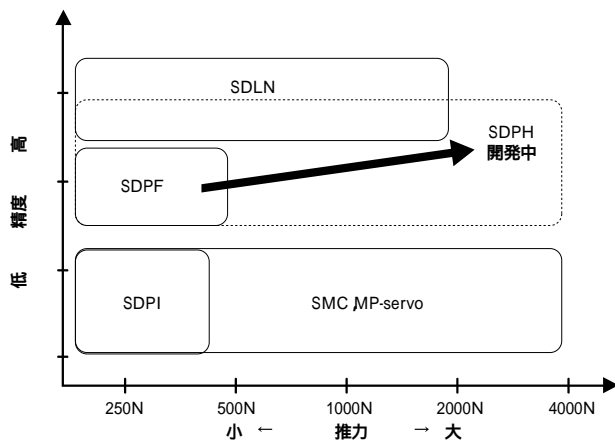


図 8 SCSリニアドライバマップ
Coverage of SCS's drivers

現在用意されている制御部を、次に示す。

汎用コントローラ接続用

市販のドライバと同様のアナログ推力・速度指令/位相差パルスエンコーダフィードバックを持つ。

PMAC用シリアル指令接続

高機能パソコン用サーボカードであるDELTA TAU社製PMACと高速シリアル通信で接続する。デジタルデータ転送のためアナログ接続に対し、より高い位置決め精度を得ることができる。

SCS製コントローラ System MX接続用

上位コントローラでサーボ処理を行い、高速シリアル通信でドライバへ指令を与えることで、多軸間同期や干渉キャンセルによる高精度制御が可能となった。

バス接続

高速パラレルバス接続により、推力/速度指令および位置フィードバックが可能である。

4.3 SDPI

パルス列指令による位置指令で動作する、簡易タイプのリニアモータ用ドライバである。既存のモータードライバにリニアモータ用ソフトウェアをインプリメントした安価なタイプで、精度 1 μm程度までのボールネジ置換えのリニアモータに使用される。

4.4 汎用コントローラでのリニアモータ対応

これまで紹介したドライバ以外に、モーションコントローラ

の従来機種へもリニアモータ対応を広げている。オールインワンタイプコントローラMPシリーズおよびパソコンコントローラSMCシリーズへのリニアモータ対応ソフトウェアのインプリメントを終えた。これらの機種では従来の回転型モータも同時に使用可能であり、従来のシステムの一部をリニアモータに置き換えるなどの応用が可能である。

SCSでのリニアモータ対応ドライブシステムをマッピングしたものを、図8に示す。また、仕様概要を、表1示す。

5 今後の課題と開発

次世代の半導体・液晶製造装置では、より高精度・高推力のリニアモータが求められている。

SDLNはリニア増幅器を使用することで、これまででない高精度を達成した。しかし、効率はリニアPWM切替え方式を採用しているとはいえPWM方式に比べて劣るため、高推力化は困難である。現在、本報別稿『リニア駆動方式ドライバの低損失化』(p.9~12)で紹介する方法により効率を改良し、より大出力化を目指している。

SDPFはPWM方式の高効率を活かし大出力化を進めるとともに、回路方式の見直しによりリニア増幅器並みの高精度ドライバ開発を進めているところである。

6 むすび

リニアモータは、近年急速に普及してきている。特に、精密位置決め分野では欠かせないものとなっている。

半導体・液晶製造装置では、次世代に向け高精度化・大出力化が求められている。

SCSでは、超高精度位置決め用にリニアPWM切替え方式およびデッドタイムレスPWM等の技術を投入したSDLNを開発した。また、小型軽量のリニアモータドライバとしてSDPFを開発した。

リニアモータ専用ドライバで開発した技術を既存ドライバとモーションコントローラへの移植を進めることにより、SCSのモーション系製品のほとんどがリニアモータ対応となった。

(参考文献)

山田一編・リニアモータハンドブック・p.14~20.
http://www.eml.ee.musashi-tech.ac.jp/LM/ (武蔵工業大学工学部)。

リニア駆動方式ドライバの低損失化

Reduction in Power Loss of Linear Amplifier Drivers

伊 東 匠 松 本 好 広

Takumi ITO

Yoshihiro MATSUMOTO



図1 試作ドライバ
Experimental motor amplifier

高精度制御用に、エアガイドとリニアモータを組み合わせた駆動機構が用いられる。これらの制御用ドライバの代表的な駆動方式として、従来からPWM駆動およびリニア駆動が用いられてきたが、精度、出力容量、および損失などに得失があり、装置を大型化および高精度化する上での障害となっていた。

住重制御システム株式会社では、この問題を解決するため、精度と高出力を同時に得ることができるリニア/PWM切替え方式ドライバの開発を行ってきた。今回、この方式に動的な電源電圧制御を組み合わせることにより、常時リニア駆動としながらPWM並みの低損失化を実現する駆動方式を開発した。

Drive mechanisms combining air guides and linear motors are widely used in precision positioning systems. PWM drives and linear drives have conventionally been used as representative drive methods for controlling these devices. However, these drive mechanisms have fluctuations in accuracy, output capacity and loss, and the fluctuations have been an obstacle to increasing the size and accuracy of equipment. To solve this problem, SHI Control Systems, Ltd. (SCS) has developed a driver system that provides both high precision and high output by switching between linear and PWM. By combining this driver system with a dynamic supply voltage control, SCS recently developed a drive mechanism that achieves a low loss comparable to PWM despite being a full-time linear drive.

1 まえがき

半導体や液晶の製造・検査装置は、高精度化の要求が高まってきており、装置の大型化も同時に進んでいるため広いダイナミックレンジを備えた、大出力の制御装置が求められている。アクチュエータには3相リニアモータやボイスコイルモータが用いられることが多く、精度の要求が高いことから駆動ドライバに対しても一般的な産業用のものと比べ10倍以上も細かい電流制御精度を要求されている。このような背景から、ドライバの駆動方式として出力段をリニア駆動させる方式が従来から用いられてきたが、出力部の損失が大きく大容量化

に適さないという問題点があった。一方、広く用いられているPWM駆動方式は電圧サージが大きく、原理上電流リップルがあるなど、高精度用途に対して性能面での問題を抱えている。

これらの問題を解決し高精度かつ大容量のアプリケーションに対応するため、住重制御システム株式会社（SCS）ではリニア/PWM切替え方式を採用したSDLNシリーズを開発し市場投入してきた。今回、この方式をベースに、常時リニア駆動のまま切替え方式と同等の低損失化を図ることができ駆動方式を開発した（図1）。本報では、従来の駆動方式について整理した後、本駆動方式について説明し、動作例を紹介する。

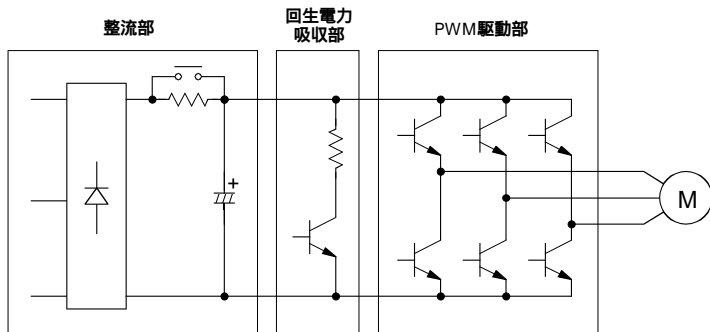


図2 PWM駆動方式ブロック図
Block diagram of typical PWM drive method

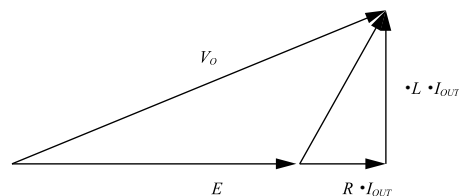


図4 永久磁石型同期ACモータのベクトル図
Vector diagram of synchronous AC servo motor

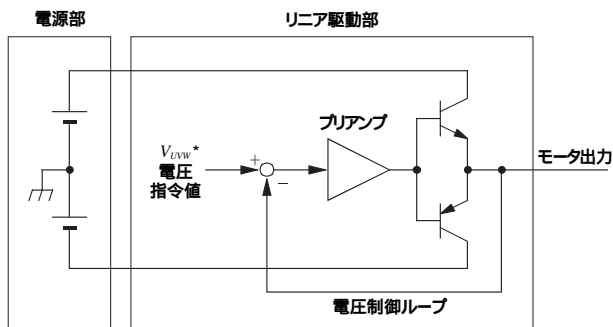


図3 リニア駆動方式ブロック図
Block diagram of typical linear drive method

ここで、 V_{DC} は電源電圧、 V_o は出力電圧、 I_{OUT} は出力電流を示す。

また、一般的にリニア駆動方式のドライバは電源を内蔵していないため、外部にDC電源を用意する必要がある。

2.3 リニア/PWM切替え方式

式より、リニア駆動の損失は出力電流に比例することがわかる。そこで、出力電流が小さいときはリニア方式で駆動し、大きいときはPWM方式に切り替えて駆動する方法が考えられる。この方法は、負荷電流が大きい加減速時の挙動が重要でなく、電流が比較的小さい静止時や一定速時に重要となるという、一般的なアプリケーション側からの要求と一致している。

切り替える方式には各種あるが、SCSのSDLNシリーズではリニア駆動回路の電圧指令に矩形波を与えて出力アンプ部を飽和動作させることでPWM駆動を行う方式を採用している。(本報別稿の『リニアモータ ドライバ シリーズ』p.5~8参照)

この方式の場合、モータ動作中の動的な切替えが容易であり、このときの電流不連続が極めて小さく、PWM駆動した場合でも原理上デットタイムがないため、電流リップルやノイズが小さいなど、高精度用途に適した特長を兼ね備えている。

2.4 電源電圧制御型リニア駆動

リニア/PWM切替え方式では 式の損失が電流に依存していることに着目しているが、もう一方の電圧差を常に低く抑えることができれば、やはり損失を低く抑えることができる。本方式は電源電圧を可変する回路を実装し、 $V_{DC} - V_o$ を一定に制御する方式である。この方式の特長としては、出力段を常時リニア駆動とすることで高精度を維持しながら、同時に低損失化できる点にある。

2.4.1 制御概要

同期型ACサーボモータは無効電力が0になるように誘起電圧ベクトルの位相に合わせて電流ベクトルが制御されるので、瞬時ベクトルは図4で表すことができる。このときのドライバの出力電圧は次式で表される。

$$V_o = \sqrt{(R \cdot I_{OUT} + E)^2 + (\omega L \cdot I_{OUT})^2} \dots\dots\dots$$

ここで、 R 、 L 、 E は、各々、モータの抵抗、インダクタンス、誘起電圧、および出力電流の角周波数を示す。

このうち、 R 、 L 、 E については、モータに固有の定数であり、 ω はモータ速度から知ることができるので、 V_o は容易に演算可能である。したがって、式により計算された

2 各種駆動方式の概要

2.1 PWM駆動方式

PWM駆動方式のパワー部ブロック図を、図2に示す。本方式は一般産業用インバータとして広く普及しており、低損失で安価であるという特徴がある。出力段は、6個のトランジスタを飽和動作させて使用する。トランジスタのON/OFFを切り替える際に上下間の短絡を防止するため、両方をいったんOFFにする操作が必要となる。この操作により生じる時間はデットバンドと呼ばれ、微小電流の制御性を悪化させる。また、モータが減速するときにドライバ側へ返還される回生エネルギーを吸収する必要がある。

SCSでは本方式のドライバとして、極力デットバンドの影響を小さくしたSDPFシリーズを開発した。(本報別稿の『リニアモータ ドライバ シリーズ』p.5~8参照)

2.2 リニア駆動方式

リニア駆動方式のパワー部ブロック図を、図3に示す。本方式の特徴は、ドライバ出力段を非飽和動作させることにある。DC電源を使用した場合、スイッチングする回路がなくなるので、微小電流の制御性が非常に優れている。また、回生電力は出力素子で熱に変換され、PWM駆動の場合に必要な吸収回路は不要である。しかしながら、出力段を非飽和動作させており、大きな損失が発生するという欠点がある。回路がDC領域で動作しているとすると、損失は次式で表される。

$$P_{LIN} = (V_{DC} - V_o) \cdot I_{OUT} \dots\dots\dots$$

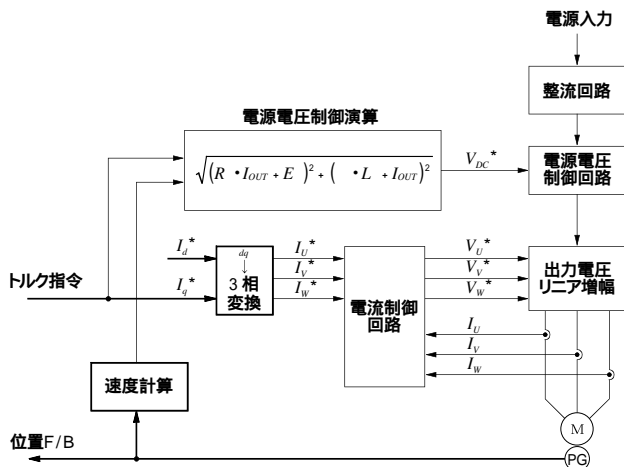


図5 電源電圧制御型リニア駆動ブロック図
Block diagram of power source voltage controlled linear drive method

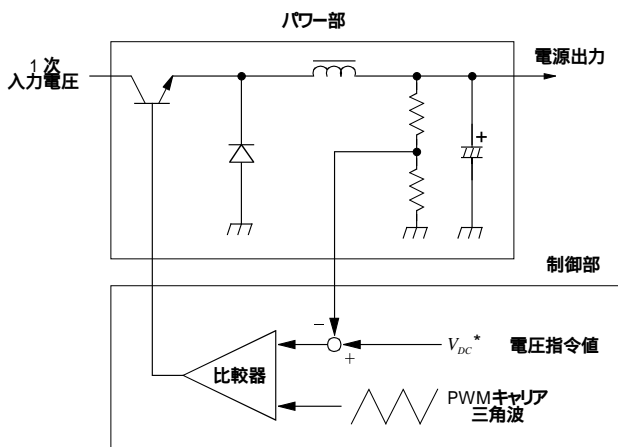


図6 電源電圧制御回路ブロック図
Block diagram of power source voltage controller

瞬時出力電圧にリニア駆動出力段の電圧ロス分を加算した値となるよう電源電圧を制御すればよい。ただし、実際の回路ではモータ停止時など V_0 が極端に小さくなった場合、出力のリニア駆動部を誤動作させないため、 V_{DC} を一定の値以下にならないようにクランプする処理が必要である。図5に、本方式の制御回路ブロック図を示す。

2.4.2 電源電圧制御回路

電源電圧の制御方法にも、出力段と同様にリニア方式とPWM方式が考えられる。しかしながら電源部と出力部の両方をリニア方式とすると、発熱が分散するだけで全体での損失は変わらない。そこで、電源部をスイッチング方式および出力部をリニア方式とすることで全体の損失を低く抑えた。

図6に、本方式で採用した電源電圧制御回路のブロック図を示す。この方式は一般的な降圧型DC/DCコンバータとして知られており、低損失で出力電圧の制御性が良好である。

2.5 駆動方式のまとめ

本方式を含め、これまで説明した方式の特徴を表1にまとめる。

表1 駆動方式比較
Comparison of driving methods

駆動方式	精度	損失	コスト	体積	その他
リニア駆動		×	×	×	外部電源が必要 回生電力吸収回路不要
PWM駆動	×				電流リップルが大きい 駆動部から大きなサージノイズを発生する 回生電力吸収回路が必要
リニア/PWM					切換え時に微小な不連続を生じる 回生電力吸収回路が必要
電圧制御型 リニア駆動					回生電力吸収回路不要

3 損失比較

以下では、各方式による損失の差を比較する。計算を簡素化するため、モータの誘起電圧とインダクタンスによる影響を無視することとしたが、高精度の用途で使用されるリニアモータでは磁極ピッチが比較的大きく、出力電流の周波数が回転モータほど高くないので、この前提でじゅうぶんである。

3.1 リニア駆動方式の損失

リニア駆動方式の損失は 式で表されると説明したが、同期型ACモータの場合、出力には正弦波交流が流れるため、正確には以下の式となる。

$$P_{LIN} = \frac{1}{2} (V_{DC} - V_0 \sin d) \cdot I_{OUT} \sin d$$

$$= \frac{1}{2} \left(2V_{DC} - \frac{2}{2} V_0 \right) \cdot I_{OUT} \dots \dots \dots$$

一方、 V_0 は 式で表されるが、仮定より、 $L = E = 0$ とおき、 式に代入すると、最終的に以下の式を得る。

$$P_{LIN} = \frac{1}{2} V_{DC} \cdot I_{OUT} - \frac{1}{4} R \cdot I_{OUT}^2 \dots \dots \dots$$

3.2 PWM駆動方式の損失

PWM駆動方式の損失計算方法には各種ある が、ここでは以下の式で表すこととした。

$$P_{SS} = I_{CP}^2 \cdot R_{DS(ON)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3} \cos \right)$$

$$P_{SW} = (E_{SW(ON)} + E_{SW(OFF)}) \cdot f_{SW} \cdot \frac{1}{2}$$

$$P_D = I_{EP} \cdot V_{EC} \cdot \left(\frac{1}{8} - \frac{D}{3} \cos \right)$$

$$P_{PWM} = P_{SS} + P_{SW} + P_D$$

ここで、 P_{SS} は出力FETの静的損失、 P_{SW} は出力FETの動的損失、 P_D は還流ダイオードの静的損失、 $E_{SW(ON)}$ はPWM1パルス当たりのターンオンスイッチング損失、 $E_{SW(OFF)}$ はPWM1パルス当たりのターンオフスイッチング損失、 f_{SW} はPWMキャリア周波数、 I_{CP} は出力電流、 $R_{DS(ON)}$ は出力FETのON抵抗、 V_{EC} は還流ダイオードの順電圧降下、 D はデューティ、 \cos は出力正弦波の力率を表す。

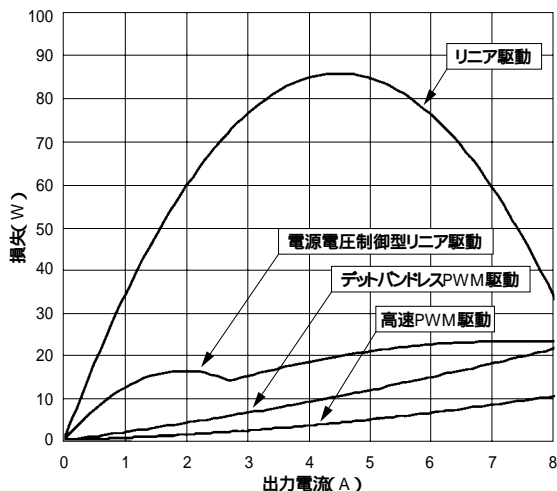


図7 駆動方式による損失比較
Power loss comparison of each driving method

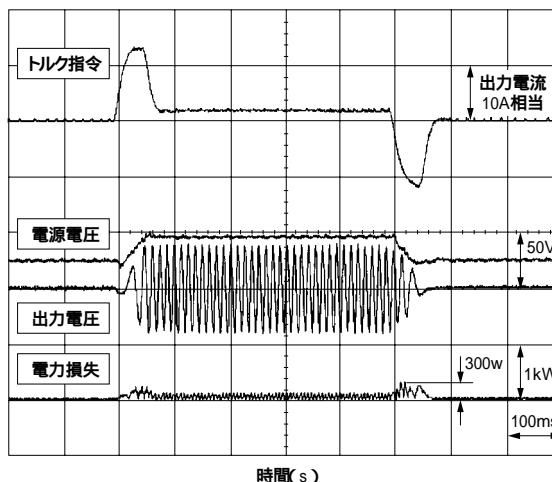


図9 電源電圧制御時動作波形
Enable power source voltage control

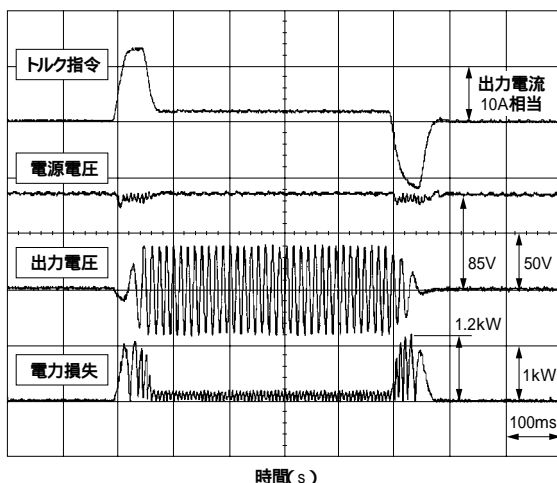


図8 電源電圧固定時動作波形
Disable power source voltage control

3.3 電源電圧制御型リニア駆動方式の損失

本方式の損失は、式(1)の V_{DC} に $V_o + V$ を代入すれば求めることができる。 V は、電源電圧と出力電圧の電圧差を表す。また、前述のとおり出力電圧が低い場合、 V_{DC} を回路が動作する最低電圧でクランプする必要があるため、この領域では V を大きくして評価する必要がある。

3.4 損失の比較結果

式(1)および式(2)をもとに、各駆動方式での損失を比較した結果を図7に示す。ただし、 $V_{DC} = 85V$ 、 $R = 8.5 \Omega$ 、 $f_{sw} = 15kHz$ とし、電源電圧制御型リニア駆動については、 $V = 7V$ 、最低電圧30Vとして比較を行った。PWM駆動方式のパラメータについては、SCSのSDLNおよびSDPFシリーズドライバで実際に使用している値を使った。

図より、リニア駆動の電力損失が他の方式に比べて、いかに大きいかがわかる。電源電圧制御型リニア駆動は、低出力領域ではPWM駆動方式に比べ大き目の損失であるが、出力が大きくなるにつれてその差は小さくなり、大出力領域ではデットバンドレスPWMと同等となる。

4 実機への適用

電源電圧制御型リニア駆動方式をSCSのSDLNドライバに組み込んだ試作品を作成し、試験モータを駆動する実験を行った。

図8は、出力段を常時リニア駆動とし電源電圧を固定した場合の動作波形である。加減速時に大きな損失が発生していることがわかる。

図9は、本方式による制御を行った場合の動作波形である。電源電圧が出力電圧に合わせて適切に制御されており、良好な動特性であることが確認された。また、損失は常時リニア駆動の場合に比べ、全体で約1/4程度に軽減されていることが確認された。

5 むすび

ここで紹介した電源電圧制御型リニア駆動方式の特徴を、次に示す。

常時リニア駆動と同等の高精度制御が可能である。

常時リニア駆動と比べ大幅に損失が軽減されるため、小型、軽量化が可能である。

リニア/PWM駆動にあった切替え時の継ぎ目がない。

本方式は、SCSのSDLNシリーズに組み込み、製品化を行うべく開発を継続中である。今後も高精度化および低損失化に取り組み、市場の要求に応える開発を行っていく所存である。

(参考文献)

見城尚志, 赤城泰文, 川村昭, 三上亘. ACサーボモータとマイコン制御. 総合電子出版社.

松本敏雄, 関岡賢一, 中尾隆義, 平井淳之. マルチファンクションパワーデバイスの応用. 半導体電力変換研究会, SPC-95-113.

柳川賢二, 佐藤隆之, 松瀬真規, 三留光雄. IPMインバータによるPMモータセンサレス制御系の特性改善. 半導体電力変換研究会, SPC-98-32.

三菱電機株式会社. 三菱 DIP-IPM 活用の手引き. 4.7, p.34.

リニアモータ用センサレス位相検出方式

Sensor-less Phase Detection System for Linear Motors

白石 貴司

Takashi SHIRAISHI



リニアモータ

リニアモータとリニアモータ用ドライバ
Linear motor and driver



リニアモータ用ドライバ

近年、半導体デバイスおよび液晶パネル製造装置の直動ステージにおいて同期型ACリニアモータが多く採用されている。従来、ACリニアモータの位相角検出にはポールセンサを使用する機会が多かった。ポールセンサを使用せずに位相角を検出する方式もあるが、方形波状の検出用推力指令により機械系が振動する、および検出中の機械移動量が規定できないなどの問題を有する。本報では、住重制御システム株式会社製高精度リニアモータ制御用ドライバSDLN/SDPFシリーズに採用されている新しいポールセンサレス位相角検出制御方式について、同期型ACサーボモータの動作原理の説明をもとに紹介する。本方式では検出の際に発生する振動を抑え（低騒音）、移動量をほぼゼロにすることを可能とした。さらに加速度による位相角判定によって、移動中の機械でも精度良く位相を検出することが可能となった。特に、エアベアリングによる低摩擦の精密機械系に使用されるリニアモータに有効な制御方式である。

In recent years, an increasing number of synchronous AC linear motors have been applied in linear stages of manufacturing machines for semiconductor devices and liquid crystal panels. Formerly, pole sensors were used in detecting phase angles of AC linear motors in most cases. Although there is a method for detecting phase angles without using a pole sensor, the method has disadvantages such as vibrations of the mechanical system caused by the thrust command for detecting phase angles and the inability to specify travel distance of the machine being detected. In this report, SHI Control Systems, Ltd. (SCS) describes a new control system without pole sensor for detecting phase angles used in SCS's SDLN/SDPF series high-precision driver for controlling linear motors, based on an explanation of the operating principle of synchronous AC servomotors. This control system reduces vibrations generated in detection (low noise) and achieves near-zero travel distance. In addition, the system is capable of accurately detecting the phase of a traveling machine by judging the phase angle according to the acceleration. The control system is especially effective for linear motors that are used in precision mechanical systems with low frictions achieved with air bearings.

1 まえがき

近年、半導体デバイスおよび液晶パネル製造装置など高精度を要求される直動ステージにおいて同期型ACリニアモータが多く採用されている。同期型ACリニアモータを駆動するにはその電気的な位相角を何らかの方法で検出する必要があるが、従来は位相角を検出するためにホール素子を利用した磁極位置検出装置を取り付けた方式が主流であった。しかしながら、センサ配線の増加やセンサ取付け場所の問題からセンサレス位相検出方式が望まれている。

今回、特にエアベアリングによる低摩擦の精密機械系に使用されるリニアモータステージに有効なセンサレス位相検出方式を開発したので紹介する。

2 同期型ACリニアモータの動作原理

図1に、相検知制御部を持った同期型ACリニアモータの制御ブロック図を示す。図中の θ は可動子位置から算出した電気角、 θ_c がその位相角を示している。 θ_c を操作することで、3相電流指令の位相が変化するように制御される。相検知制御部を除けば、一般的な制御ブロックである。

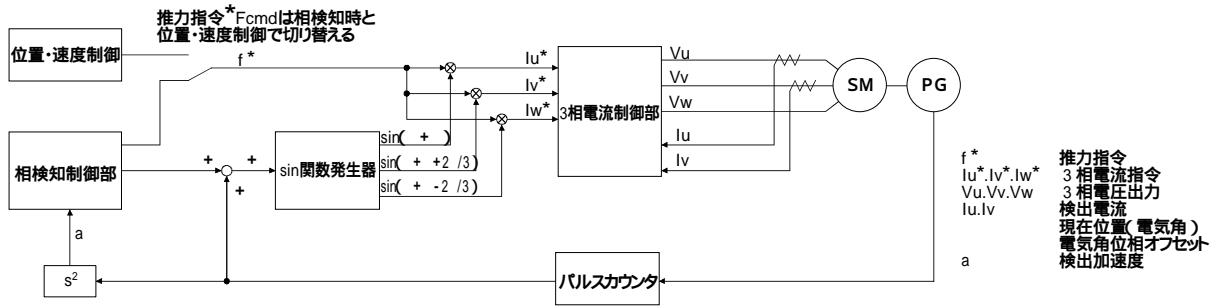


図1 同期型ACリニアモータの制御ブロック図
Control block diagram of synchronous AC linear motor

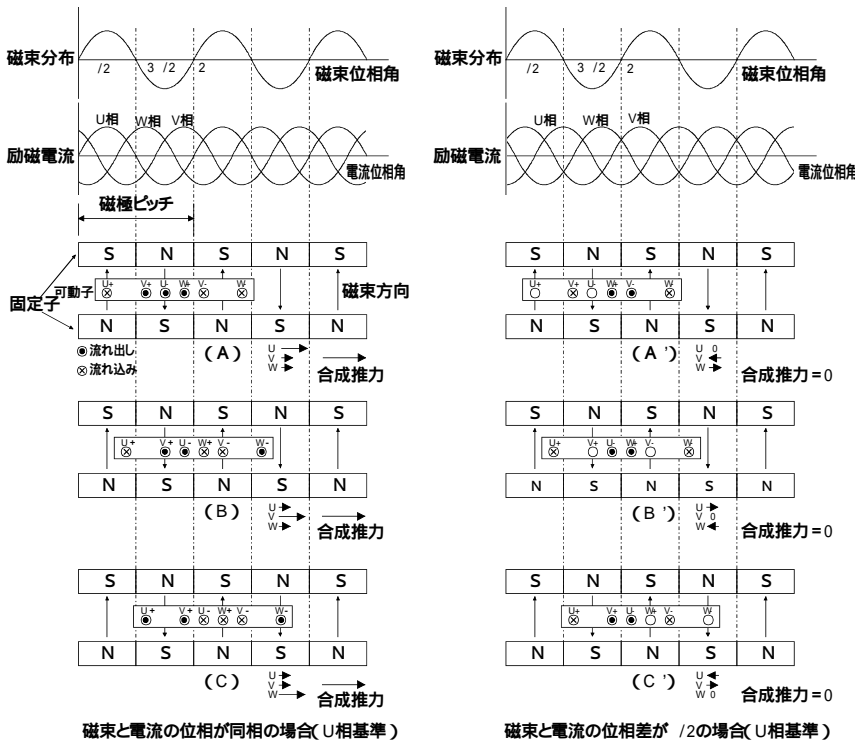
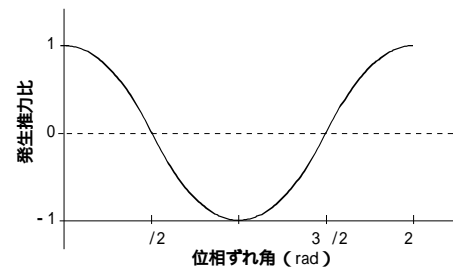


図2 同期型ACリニアモータの推力発生原理
Principles of synchronous AC linear motor force generation

図2に、固定子側を永久磁石、可動子側を巻線コイルとした同期型ACリニアモータの動作原理を示す。固定子には図のように永久磁石が交互に配置され界磁束を形成している。可動子動作方向に対するN-S極ペアの距離を磁極ピッチと呼ぶ。固定子で作る磁束の分布は正弦波状になっており(磁石の着磁により正弦波ではない場合もある)、その周期は磁極ピッチと一致する。一方、可動子には3相(U,V,W)のコイルがあり、各相は磁極ピッチを2としたときに2/3ごとに配置されている。U+はU相コイルの巻き始めを、またU-は巻き終わりを示している。V,W相についても同様である。この条件下で、コイルに流れる電流を磁束分布と同周期の3相正弦波で流した状況を示すのが図2である。図2の～ではU相電流と磁束分布の位相は同一となるようにしており、このとき各相電流は磁束の分布に対してフレミングの左手法則を適用することにより、可動子に右側方向への推力を発生していることがわかる。各相で発生する推力ベクトルの合成値が、可動子に発生する全推力となる。

一方、図2の(A)-(C)ではU相電流の位相を磁束分布に対して1/2遅らせた正弦波を与えた状態を示している。この

図3 位相ずれ角と発生推力の関係
Phase error angle vs force generation



場合、図に示すように各相で発生する推力はその他の相と相殺するようになり、合成推力は常に0となってしまう。図3に、固定子磁束分布と励磁電流の位相ずれ角と発生推力の関係を示す。横軸に位相ずれ角、縦軸に位相ずれ角がゼロの点での発生推力を1とした場合の比を示している。図のとおり、発生推力は位相ずれ角に対する余弦関数となる。

このように同期型ACリニアモータでは最大の推力を発生させるためには、可動子コイル各相に流れる電流の位相を固定子の磁束分布に対して最適な角度に制御する必要があることがわかる。

3 従来のセンサレス位相検出方式

前章で説明した原理により、同期型ACリニアモータは相電流の位相を操作することにより電流を流しても推力を発生しなくなる点が存在する。また、ある直流電流で励磁することにより特定の位相へ落ち着く性質もある。このような特徴を利用し、磁束分布を直接検出するセンサを用意することなく励磁電流位相を検出する方法を、センサレス位相検出と呼んでいる。ここでは、従来から行われているいくつかのセンサレス位相検出方式について説明する。

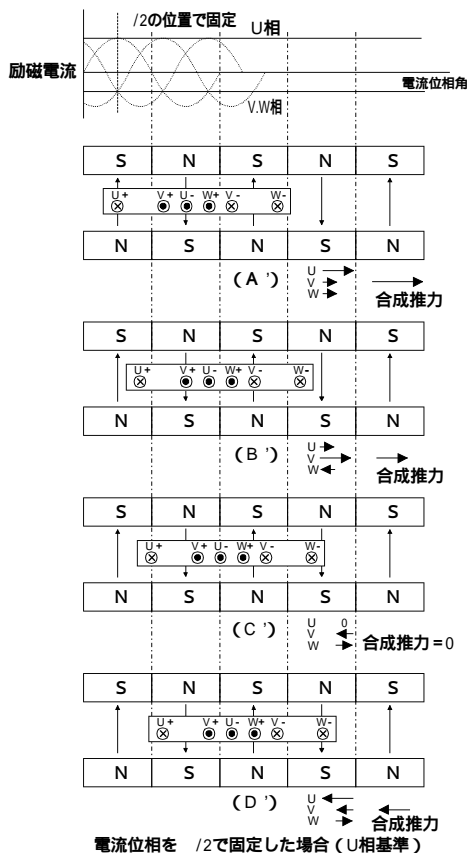


図4 直流励磁時の推力発生
Force of DC driving

3.1 直流励磁方式

図4に、直流励磁を行った場合に発生する推力の様子を示す。図では、励磁電流の位相角を可動子の位置にかかわらず $1/2$ 固定としている。このときのU相電流を 1 とすると、V相とW相にはそれぞれ $-1/2$ の電流を流すことになる。界磁束に対してU相巻き線が図4の位置にある場合、右側方向へ推力を発生する。この電流によって可動子が動作しても励磁電流の位相角は固定しているので各相電流は上記電流値を維持して直流となっている。発生した推力により固定子は右方向へ動作するが、磁束分布の位相角が $1/2$ に近づくにつれ発生推力はゼロに近づいていく(図4の(C))。位相角が $1/2$ よりも大きい領域では推力を発生するが、方向が左向きとなる。この状態で十分長い時間放置すれば固定子の動作はやがて停止し、図4の(C)の場所で落ち着くことになる。本方式は、この点を位相角 $1/2$ とみなし、そこから $1/2$ だけ位相を進めた点を正しい励磁位置とするものである。

特徴

単に直流を印可するだけであるので、検出器などの影響による不安定な状態は存在しない。

問題点

極ピッチの $1/2$ 以下の距離を動いてしまう可能性があり、また励磁開始時の動作方向も場所により異なるため、ステージ動作限界付近では相検出できない場合がある。

摩擦の大きい機械の場合、クーロン摩擦に起因するデッドバンドの影響により相検出精度が著しく悪化する。

3.2 パルス状推力指令印可方式

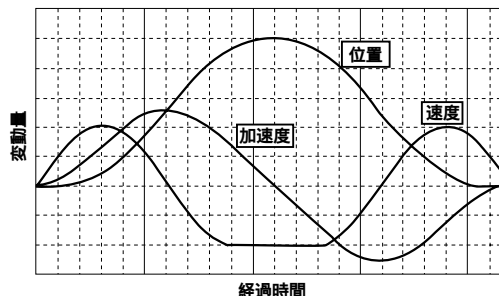


図5 正弦波状推力指令による加速度変動とこれによる位置、速度変動(相対関係)
Acceleration variation by sinusoidal force command and variation of position and velocity

パルス状の推力指令を印可し、この入力に対する速度を検出する。検出された速度の正負によって励磁電流位相を操作し、定格推力指令に達しても速度が検出されなくなる点を検出する。本方式は、この点を位相角 $1/2$ (図2のA'~Cの励磁状態) を発見したこととみなし、そこから $1/2$ だけ位相を進めた点を正しい励磁位置とするものである。

特徴

位相オフセットの操作方法の工夫により、相検出中の位置変動は小さい。

摩擦の大きい機械の場合でも相検出中の矩形波によりディザのような効果があるので、クーロン摩擦のデッドバンドをキャンセルする効果により精度良く検出できる可能性が大である。

問題点

推力指令がパルス状となっていることから、機械系に高調波の推力が加わる。これに起因する振動の影響で位置検出器の誤動作や騒音および機械が共振するなどの問題が発生する場合がある。

速度を判断する方式のため、外力により微小動作中の機械では位相検出が難しい。

4 正弦波状推力指令によるセンサレス相検出方式

エアガイドを使用した低摩擦系ステージでは従来方式の場合、相検知波形に起因する振動により、位置センサ誤作動や機械共振の励起、さらには相検出動作中の可動子移動量が規定できないため機械動作リミット近傍でリミットセンサに達して異常となり検出動作を続行できないなどの問題があった。今回紹介する新しい方式では相検出動作時の、「固定子移動量がほとんどない」および「印可する周波数を任意に設定」できることを特徴とし、安定した相検出を達成している。この方式のキーとなるのが、図5に示す推力指令パターンである。このパターンは正弦波の組み合わせで合成されているため、高調波成分を持たない。また、相検出動作中の固定子移動量に着目し、パターン終了時には開始時の位置に戻るような形状を考案した。(図5の波形はすべて概念図であり、その時間単位および数値単位はすべて相対関係であるため特に記述しない)

まず、任意の初期位相角で推力パターンをある振幅で印可する。推力パターンを印可中の加速度を検出し、その方向によって次のパターン印可時の位相を操作する。検出加速度が一定値以下の場合、次回パターンの振幅を大きくする。こ

表1 各方式の特徴比較表
Comparative diagram of each methods

条件	方式	直流励磁方式	パルス状指令印可方式	正弦波状指令印可方式
微速移動中の検出		強制的に位相角 $\pi/2$ の位置へ落ち着く	× (移動検出を加速度にすることで検出可能)	可能
検出精度		摩擦、外乱の影響を受けやすい	ゼロ点へ収束させるアルゴリズムのため良好	ゼロ点へ収束させるアルゴリズムのため良好
検出中位置変動		× 大 (極ピッチの半分) リミットに達する可能性大	小	微小 (開始位置へ戻る)
検出中の振動及び騒音		直流のためなし	× パルス状波形のため大 (誤検出の可能性有)	正弦波形状パターン波形のため騒音発生小
検出中電流周波数		-	× 規定不可 (検出状態に依存)	規定可能
相検知時間		機械系によっては振動が収まるまでに時間を要する		パターン印可を繰り返すので設定周波数に依存する

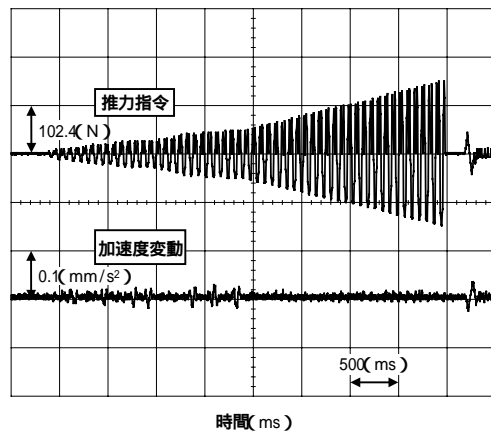


図6 相検知動作中の推力指令と発生加速度
Force command and acceleration while phase-detecting sequence

の操作を繰り返し、指令値が定格推力まで達しても発生する加速度が一定値以下になる点を検出する。本方式は、この点を位相角 $\pi/2$ とみなし、そこから $\pi/2$ だけ位相を進めた点を正しい励磁位置とするものである。

特徴

新規考案の正弦波状推力指令パターンにより、検出中の位置変動は他の方式と比較して非常に小さい。

加速度を判定に使用することから、外力によって固定子が微小動作中でも相検出が可能である。(エアガイドによる機構に好適である)

単一周波数成分のみ印可するので、低騒音である。

位相検出アルゴリズムはゼロ点に追い込む方式を採用しているので、相検出精度が高い。

問題点

パターン印可方式のため検出に時間がかかる。

加速度を判定に使用するためセンサ精度の影響を受けやすい。

従来方式と新方式の特徴を、表1に示す。

5 適用例

適用システムスペックを、次に示す。

モータ：住友重機械工業株式会社製 同期型ACリニアモータ
磁極ピッチ99.6(mm)、最大推力600(N)

位置検出センサ：光学式リニアスケール 分解能0.1(μm)

ドライバ：住重制御システム株式会社製 SDLN-025B 推力指令周波数設定：3(Hz)

図6は、正弦波状推力指令印可方式による相検出動作中の推力指令と加速度を計測した波形である。動作開始時には多少の加速度が発生しているが、位相合わせが進むにつれて推力指令を増加させても加速度が発生していない様子が確認できる。

図7は相検出動作中の推力指令に対する位置変動を計測したもので、検出中に位置変動が発生した最大量の点を拡大している。位置がパターン印可開始点に戻っていることが確認できる。このときの最大変動量は約860パルス(86μm相当)となった。

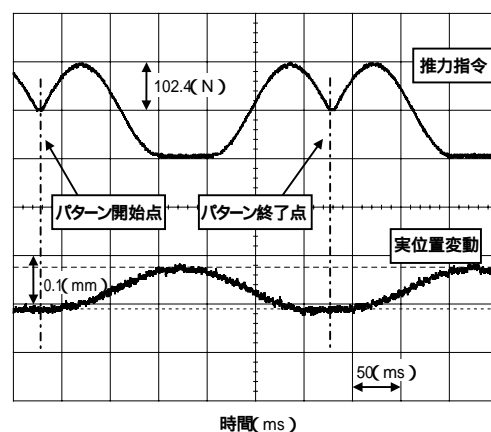


図7 相検知動作中の推力指令と実位置変動
Force command and variation of actual position while phase-detecting sequence

6 むすび

新方式のセンサレス位相検出方式を実用化することで、従来方式で問題の発生していた用途で相検出を行うことができるようになった。なお本方式については、特許出願中である。

センサレス位相検出について、従来方式と新たに考案した方式の動作原理およびその特徴を紹介し、新方式による適用アプリケーション拡大の可能性を示した。

新方式のセンサレス位相検出の適用により86μmの微小変位での相検出を達成した。

今後の課題として、「検出時時間の短縮」および「加速度演算方式の改善によるセンサ精度劣化に対する相検出口バスト性の向上」などが考えられる。

(参考文献)

見城尚志, 赤城泰文, 川村昭, 三上巨. ACサーボモータとマイコン制御. 総合電子出版社, p.101~117, 3055-70034-4285, 1984.
土手康彦, 木下斌. ブラシレスサーボモータの基礎と応用. 総合電子出版社, p.148~157, 3055-70042-4285, 1985.
奈良靖, 細董宏昭. 同期型ACモータの制御方式及びその装置. 特開平2-241388.
平井淳之. ACサーボ制御系の駆動方式. 特開昭63-59783.
白石貴司, 鳴海隆. 同期モータの相検出方法及び同期モータの制御装置. 特開2003-088164.

モーションプラットフォーム MPシリーズ

“ MP Series ” as Motion Platform

池本 雅俊 鳴海 隆
Masatoshi IKEMOTO Takashi NARUMI



図1 モーションコントローラ MP-Servo-H
Motion controller MP-Servo-H

1995年に販売開始したMPシリーズは、さまざまなロボット制御市場に納入してきた。近年の高速・高精度の制御要求にこたえるべく、モデルチェンジを重ねMP-Servo/MP-Pulseへと発展してきた。「オールインワンタイプ ロボットコントローラ」として販売開始されたMPシリーズであるが、その高速・高精度制御により、その制御対象をロボットのみならず、さまざまな機器の「モーションプラットフォーム」として位置付けられ、展開している。

MPシリーズの最新版であるこのMP-Servo/MP-Pulseの標準モーションコントローラとしての機能とその応用事例について紹介する。

SHI Control Systems, Ltd. (SCS) delivered the MP Series launched in 1995 to various robot control markets. The MP series has evolved into "MP-Servo/MP-Pulse" through several model changes in order to respond to the recent demand for faster and more accurate control. Initially sold as an "all-in-one type robot controller", the series is now positioned not only as a robot controller but also as a "motion platform" for various types of equipment due to its fast and high-precision control. SCS describes the functions of MP-Servo/MP-Pulse, which is the latest version of the MP Series, as a "standard motion controller", and then provide examples of applying the platform.

1 まえがき

1995年に、複数のロボット制御を1台のコントローラで制御可能とするマルチプログラミング機能を組み込んだコントローラとして、オールインワンタイプ ロボットコントローラ 95MPを開発した。95MPはその制御対象をロボットとしていたが、それ以外のさまざまな分野へ適用可能とするため、MPシリーズコントローラは98MP、MP-Servo/MP-Pulseとバージョンアップを重ねてきた。

MPシリーズの最新機種であるMP-Servo/MP-Pulseは、ロボットコントローラとしてはもちろんのこと、「モーションプラットフォーム」として位置付けられ、さまざまな機器のモーションコントローラとして展開している。

MPシリーズの最新版であるこの2機種の標準モーション

コントローラとしての機能を紹介し、次にその応用事例について紹介する。

2 MPシリーズの特長

MPシリーズは、サーボモータドライバを内蔵するMP-Servoとパルス列指令出力タイプのMP-Pulseが製品化されている。MPシリーズの仕様概要を、表1に示す。

2.1 MP-Servoの特長

MP-Servoは制御部、I/O、および4軸サーボアンプをコンパクトに内蔵させたオールインワンタイプのモーションコントローラである(図1、図2)。従来製品(95MPおよび98MP)から定評のある当社独自の対話式言語による操作性やマルチジョブ機能はそのままに、高精度軌跡制御、省エネルギー機能、ネットワーク対応機能(Ethernet)、および大

表1 MPシリーズ標準仕様
Standard specification of MP Series

モデル名			MP-Servo-L	MP-Servo-H	MP-Servo-N	MP-Pulse
最大制御軸数 (同時制御)			6 軸			
適用サーボ ドライバ	内蔵 ドライバ	軸数	4 軸 (750W/1軸以下)		-	パルス列指令入力付 サーボライバ パルスモータドライバ
	外付けドライバ サーボエンジン (SSEE)	トータル	1.5kW以下	2.4kW以下	-	
		軸数	2 ~ 6 軸 (最低 1 軸は内蔵アンプが使用される)		1 ~ 6 軸	
		トータル	MAX 6kW/ 1 軸の制限のみ 5A, 15A, 20A, 30A, 50A, 100A, および150Aの7種類の容量別に用意 フルクロード仕様などの特殊対応可能			
適用モータ			同期型ACサーボモータ及びリニアエンコーダ			適応ドライバ用モータ
位置検出器			ゼロパルス付きインクリメンタルエンコーダ (コンピュータセンサ付き) 省線タイプインクリメンタルエンコーダ アブソリュートエンコーダ			
記憶	プログラム数		モーションプログラム、I/Oプログラム 1 本: 各 5 ~ 9999ステップ可変 (トータル細大20000ステップまで対応可能) PLCプログラム: 2000ステップ (ニーモニック換算)			
	同時実行プログラム数		モーションプログラム 4 本 + I/Oプログラム 1 本 + PLC			
	方式		CMOS RAM (バッテリーバックアップ)			
外部入出力			標準入力16点 (増設時48点) 標準出力16点 (増設時48点) フォトアイソレート			標準入力32点 (64点) 標準出力32点 (64点) フォトアイソレート
機能			バスポイント マルチプログラミング機能 直線/円弧補間機能 演算機能 自己診断機能 アラーム履歴機能 省エネ機能 通信機能 (オプション)			
パソコン支援システム			PMT (プログラム作製、パラメータ修正、変数などの編集用ツール) ラダーエディタ (ラダーによるPLCプログラム編集ツール)			
外形寸法			230(W)×260(H)×250(D)	262(W)×260(H)×250(D)	140(W)×260(H)×250(D)	340(W)×110(H)×190(D)
質量			約7.5kg	約8.5kg	約5.5kg	約4kg

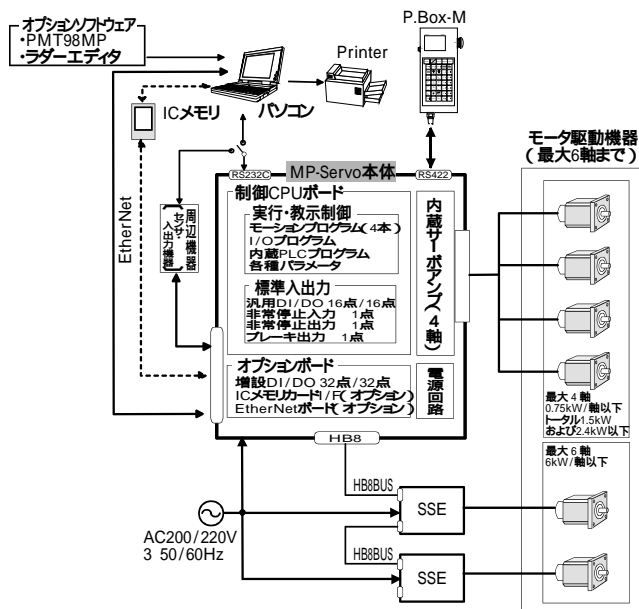


図2 MP-Servo概要
Schematic diagram of MP-Servo

容量モータへの対応など種々の機能が追加された。

パソコン支援ソフトとして、PMT (Program Management Tool) およびラダーエディタが使用できる。

2.2 MP-Pulseの特長

MP-Pulseは、パルス列入力により動作する各社のドライバに対応可能な6軸モーションコントローラである(図3)。パルス列指令タイプのコントローラでありながら、複数軸による補間動作が可能である。また、エンコーダ入力回路を標準で装備しフルクロードループを組むことが可能である。



図3 モーションコントローラ MP-Pulse
Motion controller MP-Pulse

これらの機能により、パルス列入力制御のパルスモータから大容量サーボモータまで混在した、簡便なシステムから高精度の補間制御を必要とする機器まで、幅広い制御を可能としている。

ユーザインターフェースおよび基本機能は、MP-Servoと共通であり、パソコン支援ソフトもMP-Servoと同じものを使用することが可能である。

2.3 共通の特長

2.3.1 各社のモータに対応

MP-Servoは、住重制御システム株式会社(SCS)独自のエンコーダ入力回路により従来のインクリメンタルエンコーダはもちろん、各種のアブソリュートエンコーダおよび省線タイプのインクリメンタルエンコーダに標準対応している。これにより、複数のメーカーのACサーボモータを同時に制御することが可能である。



図4 モーションコントローラ MP-Servo-CE
Motion controller MP-Servo-CE

MP-Pulseは、各社ドライバ経由でステッピングモータやDDモータを回すことができ、特殊なモータへの対応も可能である。また、SCS製「超高精度ドライバSDLNシリーズ」や「高精度ドライバSDPFシリーズ」との接続も可能である。

2.3.2 高速実行処理

98MPではメイン処理CPUとして「Intel製 i960 (16MHz)」を使用していたが、MP-Servoでは「株式会社日立製作所製SH4 (166MHz)」を採用し、対話式言語の処理速度で13.5倍の高速化を実現した(各ファンクションの平均処理速度よりSCSにて計測)。

2.3.3 対話式言語

対話式言語は、1コマンド/1ステップで構成され、LMOV(直線補間)、CMOV(円弧補間)、JUMP(条件分岐)、CALL(条件コール)、HOME(原点復帰)、およびOUT(出力指令)などのコマンド群からなる。ユーザプログラムのデバックは、コマンドをステップ実行させることにより、1コマンドごとに実行されるため、非常にわかりやすく効率よく行うことが可能である。

2.3.4 マルチジョブ機能

MPシリーズは、最大4つのモーションプログラムを並列に実行させることが可能である。例えば1~3軸をグループ1、4~6軸をグループ2へ設定し、それぞれを独立に動かしたり、ある場面では協調させたりすることが可能である。したがって、複数の機械を1台のコントローラでの制御が可能である。また、1台の機械と連動して動作するローダ/アンローダなども1台のコントローラにて制御可能である。

2.3.5 省エネルギー機能

省エネルギー機能とは、ユーザプログラムが起動されていない時サーボOFF状態を保つ機能である。ある一定の停止時間があると、サーボOFFし待機状態となる。ひとたびスタートとなった場合は自動的にサーボONし、ユーザプログラムの実行を再開する。工場における電力削減に貢献する機能である。

2.3.6 ネットワーク対応(Ethernet)

ネットワーク対応とは、MPシリーズに「Ethernetカード」をオプション追加することにより、パソコンなどの上位システムとイーサネットによる接続を実現する機能である。従来品はRS-232Cで行っていた、スタート/ストップなどのコマンド指令、現在位置やアラームなど実行情報の取得、およびプログラム/パラメータ転送などの様々なやり取りがイーサネットでも実現可能である。イーサネットはRS-232Cに比べ下記アドバンテージを持つ。

通信速度が高速。

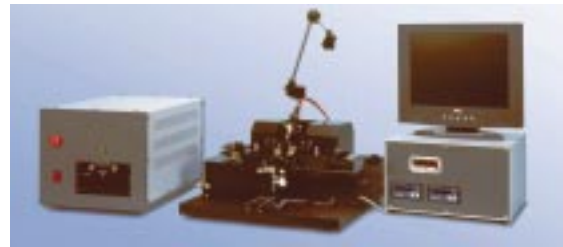


図5 ファイバカプラ製造装置(株式会社 オプテル)
Fiber coupler workstation (Optel Corporation)

RS-232Cコネクタが実装されていないA4/B5クラスNOTEパソコンへの対応が可能。

ハブを介すことにより、1台のパソコンから複数台のMPシリーズをコントロールすることが可能。

既存のネットワークが構築されている環境であれば、MPシリーズのデータを多くのコンピュータで簡単に扱うことが可能。

2.3.7 大容量モータへの対応

従来のMPシリーズでは、内蔵もしくは専用の増設アンプにより制御するから、制御可能なモータが750Wクラスのモータまでという制限があった。

MP-Servoでは、SCSのSMCシリーズのサーボエンジン(SSE)というフルデジタルサーボ機能を持つCPU内蔵アンプを増設することが可能となった。SSEの制御電流容量は、5A、15A、20A、30A、50A、100A、および150Aと広い範囲をカバーしている。これにより、最大で6kW/軸のモータを接続することが可能となった。

MP-Pulseでは、モータ容量にかかわらず、パルス列入力により動作する各社のドライバに対応可能である。

2.3.8 モータ容量に最適の構成

MP-Servoでは、フレキシブルにユーザが必要としている容量のモータが接続可能である。

例えば、内蔵アンプで3軸、外付けされるSSEにて3軸の計6軸という構成が可能であり、内蔵アンプで0軸、SSEで6軸という構成をも可能としている。

筐体は、用途に応じて3種類用意されている。

MP-Servo-L, 750W/軸でトータル1.5kW以下。

MP-Servo-H, 750W/軸でトータル2.4kW以下。

MP-Servo-N, アンプなし筐体。すべてのモータをSSEにて接続する場合に選択。

2.3.9 フルクローズドループへの対応

MPシリーズは、リニアスケールなどを使用してのフルクローズドループへの対応も可能である。

MP-Servoの場合は、モータ容量にかかわらず「外部エンコーダ入力付きピギーボード」が取り付けられている専用筐体のSSEにて対応する。速度フィードバックは、エンコーダ/リニアスケールからの選択が可能である。

また、MP-Pulseは、コントローラに標準装備されているエンコーダ入力回路により対応可能となっている。

2.3.10 パソコン支援ソフト

MPシリーズはP.BOXにてすべての編集操作が可能であるが、操作性においてはパソコンには及ばない。そこでプログ



図6 精密ばね成型機 CLS-10V (オリイメック株式会社)
Extension spring machine CLS-10V (Orii & Mec Corporation)

ラムなどはパソコンで編集し、転送時だけMP-Servoまたは、MP-Pulseへ接続し転送を行うことが可能である。パソコン支援ソフトウェアとして以下の2種類を用意してある。

PMT (Program Management Tool)

パソコン上でP.BOXで操作するよりも簡単にスピーディーに、モーションプログラムの作成、パラメータ修正、および変数などの編集が行えるソフトツールである。

ラダーエディタ

PLCプログラムをラダーにて作成や編集を行うツールである。

3 アプリケーション適用事例

3.1 MP-Servo-CE (CE/UL 対応)

近年、海外向け製品への搭載機器に対する規格対応の要求が高まっており、制御装置においても輸出先国の規格取得済み製品の選定もしくは製品認証のための設計書類提出することを購入条件とするユーザが増加してきた。これらの要求に対応するため、MP-Servoのハードウェアを変更し、CE規格に適合させ、さらにUL/CSA規格の認証を取得したMP-Servo-CEを製品化した(図4)。

海外規格対応は、コントローラのハードウェアを変更したのみでシステムソフトウェアやユーザプログラムについて完全に互換性がある。このため、国内向けで標準品を使用していたユーザもソフトウェアについては同一のものを使用でき、ソフトウェアを再検証する手間がない。また、MP-Servo-CEは規格認証済みのため、MP-Servo搭載製品の客先での規格認証の時間を大幅に軽減させることが可能となった。

適応規格を、次に示す。

CE規格 低電圧指令: IEC61010-1
EMC指令: EN55011, ClassA, Group1
EN61000-6-2

CSA規格 CAN/CSA-C22.2 No.1010.1-92-
CAN/CSA-C22.2 No.1010.1-B97-

UL規格 UL3121-1

3.2 ファイバカブラ製造装置 (AD/DA ボード対応)

ファイバカブラ製造装置(株式会社 オプテル)は、光ファイバを平行クランプし、ガストーチもしくはヒータによりクランプされた2本のファイバを融着および延伸し、光フ

アイバカブラを製造する装置である(図5)。

この装置では、MP-Pulseにアナログ入出力のボードを追加することにより、入力光の分岐比を延伸中に計測しながら延伸ステージ、ガストーチ駆動、およびガス流量などをデータベースに登録されたパラメータに応じて自動制御する。これにより、様々な仕様のカブラに高精度で対応することができる。

また、位置制御されたパッケージステージにより、カブラの基板へのパッケージングが、同一装置で連続工程として容易に実現できる。

3.3 定エネルギー分光照射装置

MPシリーズは、前記のアナログ入出力ボードを使用して計測用のコントローラとしても機能拡張し使用している。株式会社 オプテルの定エネルギー分光照射装置では、

太陽電池評価

光導電材料分光感度測定

光電変換素子分光感度測定

各種感光材感度測定

などを行うために、分光器により波長を変えながらエネルギーを常に一定にコントロールしている。

3.4 コイルフォーマ用コントローラ (タッチパネルI/F)

オリイメック株式会社の精密ばね成型機CLS-10V(図6)では、MP-Servoの高精度同期制御により、従来機での生産速度80個/分を120個/分に向上させることが可能となった。また、従来機ではデジスイッチを使用していたが、MP-Servoにタッチパネルやハンディバルサを接続できるように改良した。これにより、操作性やプログラムの組み易さが向上しユーザフレンドリーなインターフェースを構築することが可能となった。

4 むすび

ここでは、MPシリーズの適用事例の一部について紹介した。その特長を、次に示す。

MPシリーズのハードウェアプラットフォームのみを利用し、言語体系をユーザに特化することにより高性能な専用機となる。

MPシリーズへ特殊動作をするファンクションを追加することにより、「モーションシステム」機器以外の幅広い分野に対応できる。

今後も、システムソフトウェアやハードウェアの追加および改造により、高精度で高機能な用途への専用制御装置として発展させていく所存である。

(参考文献)

鳴海 隆, 白石 貴司. ロボットコントローラ98MPの開発. 住友重機械技報, vol.47, no.140, p.21~24, Aug., 1999.

完全同期多軸制御ドライバ System MX

Complete Synchronized Multi Axis Control Driver System MX

濱田 慎哉
Shinya HAMADA

山地 克俊
Katsutoshi YAMAJI

小林 浩二
Kouji KOBAYASHI

上滝 謙二郎
Kenjiro JYOTAKI



図1 System MX
System MX

完全同期多軸制御ドライバ System MX は、複数軸を完全に同期して制御する新発想のラインシステム用コントローラである。

ベクトルインバータの速度、電流制御用CPUと多軸間制御用CPUを1つに統合し、高速メモリ間通信で通信無駄時間を完全に排除して制御プロセッサ間の完全同期を実現している。さらに、産業用標準バスおよびフィールドネットワークにも対応しており、接続性および拡張性を確保している。システムツールにより、制御ソフトの開発およびメンテナンスなどの豊富な機能も提供している。

これらの特徴を生かし、グラビア印刷業界などにセクショナルドライブ制御システムを投入し、市場の注目を浴びている。

本報においては、完全同期多軸制御ドライバ System MX および優れた同期制御の実現例について紹介する。

“ System MX ”, a complete synchronous multi-axis control driver, is a new-concept controller for line systems that is capable of controlling multiple axes by perfectly synchronizing them. By integrating CPUs for controlling speed and current of the vector inverter with the CPU for multi-axial control and completely eliminating dead time in high-speed communications between memories, System MX achieves perfect synchronization between the control processors. In addition, it supports standard industrial buses and field networks to secure connectivity and scalability. The system tool that SHI Control Systems, Ltd. (SCS) developed offers a variety of useful functions including those allowing development and maintenance of control software. Making the most of these features, SCS introduced sectional drive control systems to gravure printing and other industrial fields, which have attracted significant market attention. In this report, SCS describes the complete synchronous multi-axis control driver “ System MX ” and examples of achieving its excellent synchronous control.

1 まえがき

近年、グラビア印刷機などのラインシステムにおいても生産設備の高度化および複雑化に伴い、システムコントローラの性能向上が求められている。さらに、セクショナル化の定着に伴いモーションコントローラとしての機能も求められるようになってきた。従来のラインコントロールおよびドライ

バコントロールを個別に制御するシステムでは、むだ時間を排除できず同期制御を実現するのは困難であり、上記要求に対応することはできなかった。完全同期多軸制御ドライバ System MX はこれらのニーズにこたえる新発想のラインシステム用コントローラである（図1）。

本報では、System MXのシステム構成や特徴および適用例について報告する。

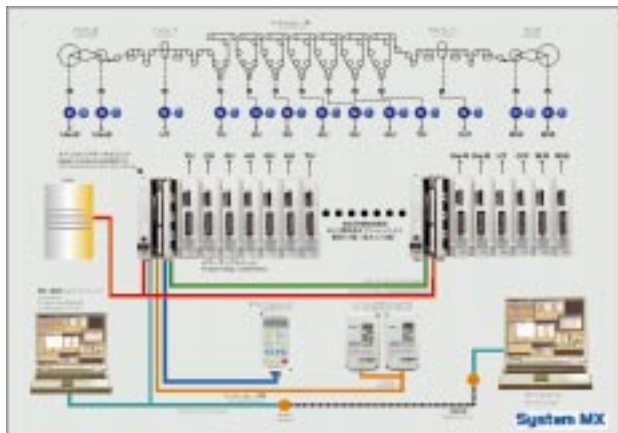


図2 システム構成
System configuration

2 システム構成と特徴

この章では、System MXのシステム構成と特徴について紹介する。

2.1 システム構成

図2にSystem MXのシステム構成、表1および表2に仕様を示す。System MXは、メインコントロールユニット(MCU)とパワーアンプユニット(PAU)によって構成される。MCUはシステム全体の統括制御部からベクトルインバータの速度、電流制御部までをコントロールし、MCU 1台当たり最大8台のPAUが接続可能である。さらに、従来のシステムと同様に、通信型ドライバも接続可能である。

マンマシンI/Fは、パラメータ調整やモニタリングなどが容易なオペレーションユニット、データ収集、およびプログラムの変更も可能なシステムツールを提供している。

2.2 特徴

以下に、System MXの主な特徴を示す。

2.2.1 高速同期制御プラットフォーム

MCUは、統合化された最大9個の高速RISC型CPUを搭載し、システム全体の統括コントロールと各軸のベクトル制御演算を集中処理し、住重制御システム株式会社(SCS)の従来コントローラと比べて約20倍の性能を確保した。各々のCPUは割込信号により協調して動作させることで、MCU 1台に対し8軸の完全同期マルチプロセッシングを実現している。マルチプロセッシング処理で不可欠な各軸間での制御データはすべて高速メモリ間通信を使用し、従来問題であった通信によるむだ時間を完全に排除している。さらに、複数台のMCU間においても同期信号を分配して、サンプリングおよび処理タイミングの同期を実現している。

表1 MCU仕様
Specification of MCU

電源電圧	AC85 ~ 265V (単相)	
消費電力	400VA	
接地方式	D種接地(接地抵抗100以下)	
重量	12kg	
入出力インターフェース	AD入力: 16ch (実装による) DA出力: 16ch	
演算能力	浮動小数点演算内蔵CPU (1.1GFLOPS) RISC CPU搭載 (300MIPS)	
プログラム	言語	BBP (ビルディングブロックプログラミング) ブロックの階層化をサポート 最大31968ブロック
	カレンダー	内蔵
	プログラム記憶	フラッシュメモリ (不揮発性)
	設定データ記憶	PE-ROM (不揮発性)
	演算データ	SD-RAMもしくはバッテリーバックアップメモリに格納

表2 インバータ制御部 (MCU&PAU) 仕様
Specification of inverter control section (MCU and PAU)

制御機能	制御方式	すべり周波数形ベクトル制御 V/F制御
	速度範囲	0 ~ 3600r/min
	速度設定分解能	0.01%
	キャリア周波数	2.5 ~ 10kHz
	速度制御範囲	1 : 1000
	速度変動率	±0.01%以下
	速度周波数応答	40Hz以上
	電流周波数応答	300Hz以上
	トルク制御範囲	0 ~ ±200%
	保護機能	IPMエラー, 出力過電流, 地絡, 不足電圧, 過電圧, PG断線, オーバースピード, およびモータ過負荷など

2.2.2 FAオープンネットワーク対応

FAフィールドで広く用いられているオープンネットワーク(CC-LinkおよびDeviceNet)へ容易に接続できる。CC-Linkにおいては、PLCとメッセージ通信も可能なインテリジェントデバイス局仕様をフルサポートしている。

2.2.3 省スペース

従来、ライン制御用コントローラには標準ベクトルインバータを使用しており、制御盤内実装面積はベクトルインバータの設置面積に依存していた。省スペース化のために、システム品専用アンプ(PAU)を開発した。MCUと高さを揃え、むだとなっていた制御盤奥行きを最大限有効利用できるブックシェルフ構造を採用した。この構造により、制御盤内の高密度実装が可能となり、制御盤内実装面積を1/2(SCS)に縮小することができた。

2.2.4 ソフトウェア

制御プログラムは、用意した演算ブロックを接続していくイメージで開発できるBBP (Building Block Program) 言語にて開発可能である。BBP言語はソフトウェアの構成要素を体系的に整備することが容易であり、作成したソフトウェアはライブラリ登録できる。以降のアプリケーションでの再利用や信頼性を高めることで、生産性や品質の向上に貢献している。

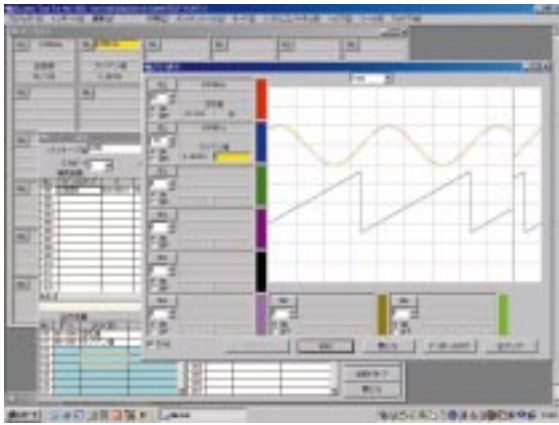


図3 システムツール
System tool

2.2.5 システムツール

実機での調整やソフトウェアの変更を容易に実行できるマシンI/Fを用意している。図3に、システムツールの画面イメージを示す。パソコン1台で、システム全体の状態をデジタルオシロスコープのイメージでモニタリングでき、パラメータ調整、データ収集、およびプログラムの変更もできる環境を提供している。特にパラメータ調整と同時にモニタリングできることで、調整やデバッグが効率的に行える。また、リアルタイムの異常監視、制御データモニタリング機能も従来機種と比較し機能を強化している。さらに、リモートオプションにより、遠く離れたリモートサイトでも電話回線を通じて同様に使用可能である。

遠隔地での予防保全、故障診断、およびリモートメンテナンスを可能とし、システム稼働率の向上に寄与するだけでなく、運転支援などにより高度な品質作り込み環境として利用できる。

3 MCU間同期機能

専用ハードウェア(MMLC, MMSC)により、1台のMCU内部だけでなく複数台のMCU間においても、高速大容量データ通信および完全同期マルチプロセッシングを実現した。9台のMCUを接続(標準)することにより、63軸の同期制御が実現できる。大規模なラインシステムにおいても同一のMCUを複数台使用することで、シンプルな構成で実現できる。

高速大容量データ通信は、MMLC(MM-Link Card)のメモリ間通信機能により実現している。一方MCU間の同期機能は、MMSC(MM-Sync Card)により2系統の同期信号を分配し同期動作を実現している。同期信号は耐ノイズ性を考慮して光ファイバ通信を採用し、安定した同期動作が可能となった。

これらの機能により、システム設計者が制御タイミングを深く意識する必要がなくなる。またシステム全体を集中管理できるため、ライン全体のモデル規範やオブザーバなどの現代制御理論の適用も容易となり、大規模なラインシステム構成も容易に実現できる。

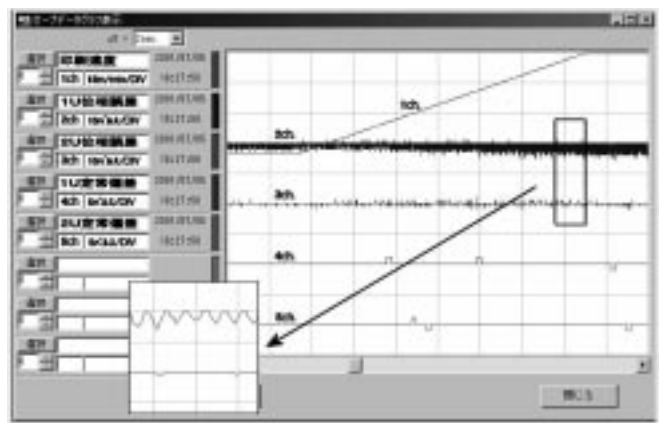


図4 同期精度
Synchronous precision

4 同期制御の適用例

System MXは複数軸の同期制御が容易に実現でき、グラフィカ印刷機などの同期制御分野においても実績を挙げている。ここではグラフィカ印刷機のセクショナルドライブ化の実績について紹介する。

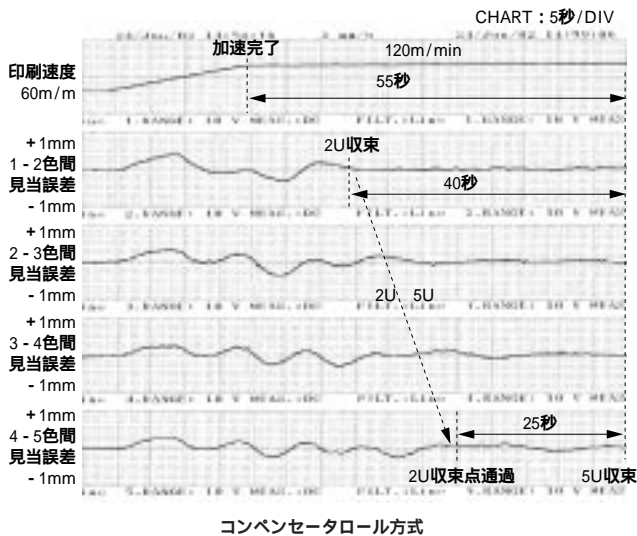
4.1 グラフィカ印刷機のセクショナルドライブ化

近年のグラフィカ印刷業界は多品種、小ロット生産の定着に伴い、版胴を個別に駆動させるセクショナルドライブの要求が高まっている。SCSにおいてもグラフィカ印刷機のセクショナルドライブ化を以前より検討してきたが、System MXの採用により実用化することができた。

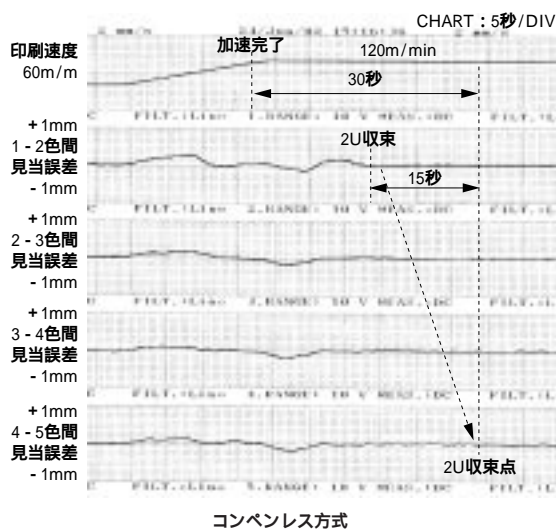
一般的に、同期制御方式は制御目標が回転体の変位であることから、サーボ系の色合いが強い。しかしながら印刷機は機構的に動力伝達の剛性は低く、バックラッシュなどの非線形要素も大きい。速度応答を求めれば結局ダイレクトドライブに行き着き、大枠の低速モータと高分解能の位置検出器が必要で、さらには動力伝達機構にまで高剛性化を求めることになる。SCSのセクショナルドライブは高精度速度制御(定値制御)を基本とした独自の同期制御方式を採用することにより、一般産業用の誘導機と汎用の位置検出器を用いて、機械に対し特に高剛性を求めることなく同期制御を実現できる。

図4に、実機での試運転データを示す。実機は、軟包装用一般機で印刷速度は220m/minである。個々のモータは誘導機を使用し、タイミングベルトとギアにより1/4に減速して動力を伝えている。同期制御の位置検出は、特に高分解能のエンコーダを使用することなくモータに取り付いているインクリメンタルエンコーダ(4096p/r)を使用している。

1chは速度指令、2chと3chは1色目および2色目の各版胴の位置誤差を示している。また、4chと5chはこの誤差をマスタ基準のタイミングでサンプリングしたもので、位置の定常偏差を示している。3chに対し2chの位置誤差が大きいのが、これはモータの回転に同期している。この周期のほとんどが検出器の取付け精度に起因するが、いずれにしる定速度状態で最大 ± 4 パルスの誤差であり、定常偏差が発生していな



コンペンセータロール方式



コンペンレス方式

図5 見当制御 Register control

いので同期精度は問題ないと判断できる。特に注目すべき点は、加速開始および完了時に位置誤差の変化が現れないことで、これはSystem MXの完全同期の特徴を表している。

4.2 グラビア印刷機およびコンペンレス制御の非干渉化

一般的にグラビア印刷機の見当（印刷ずれ）制御は、各版胴の入側にコンペンセータロールを設け、これを上下させパス長を直接変化させることで前段印刷位置との相対位置を操作している。セクショナルの実用化が進み、版胴角の位相を直接操作できるようになったことで、コンペン装置を排除し版胴操作による見当制御（コンペンレス制御）の開発を各社で開始している。

SCSのコンペンレス制御は、非干渉システムを構成することにより実現している。

グラビア印刷機は版胴自体が駆動ロールを兼ねているため、スタティックな張力平衡状態では版胴間の相対位相が直接印刷見当となるが、過渡時においては基材の張力が印刷見当を支配している。

見当制御による版胴角の操作は基材の張力を変化させてしまい、印刷後段へこの張力変動が次々に伝播していく。さらに、この張力変動はフリーロールの慣性モーメントが遅れ要素として働き、複雑に干渉していくことが最大の問題である。

この問題を解決するためにコントローラ内部に仮想の印刷モデルを構成し、版位相の操作や加速度に対して主に張力変動のシミュレーションを行い、フィードフォワードで誤差を未然に防ぐ方法により印刷制御の最適化を図ることとした。

図5に、基材を加速させた時に発生する見当誤差を示す。図5は従来のコンペンセータロール方式、図5はコンペンレス方式で行った結果を示している。コンペンセータロール方式では前段の操作が後段へ次々に干渉し、しばらく安定していない。それに比べコンペンレス方式では加速完了から1 - 2色間の見当が収束するまでの時間は変わらないが、後段への干渉が抑制され5色目までの見当も同時に収束している。さらに、加速中の見当誤差が低減されていることが確認できる。これは印刷モデルで加速度のシミュレーション

を行った効果であり、加速時の張力変動が抑制されていることがわかる。

5 むすび

本報では新発想の制御装置である完全同期多軸制御ドライバ System MX の紹介を行い、完全同期によるグラビア印刷のセクショナル化の実績について報告した。

コントローラとドライバを完全に同期化し、制御タイミングを深く意識せず、同期制御システムを容易に構築可能である。

コントローラ間においても完全同期を実現している。高速で大容量のデータ通信ができるため、ラインシステム全体の最適化が可能である。

CC-LinkおよびDeviceNetなど、他の機器とのコミュニケーションが充実している。

リモートメンテナンスおよびリアルタイムのモニタリングなどの豊富な機能を持つシステムツールを用意している。

最終章で報告したグラビア印刷機のセクショナル化では、完全同期によるSystem MXの実用例を紹介したが、完全同期制御がもたらす高精度な制御性能は適応アプリケーションの幅をさらに広げることが可能であると確信している。今後も完全同期制御機能と高いプロセッシング性能を活用し、多方面へ展開していく所存である。

(参考文献)

- 月刊コンパネック, 加工技術研究会, 2002年8月号, p.88~91.
- 印刷雑誌, 印刷学会出版部, 2002年11月号, p.11~19.

IPMインバータ AF-330の開発

Development of IPM Inverter AF-330

千々岩 敏彦

Toshihiko CHIJIWA



図1 IPMインバータ AF-330
IPM inverter AF-330

近年の環境保護の流れとともに、モータドライブ分野でも省エネルギー化のニーズが高まっている。また装置の小型化に伴い、モータ自体の小型化要求も根強い。この要求を実現する手段としてIPMモータ（Interior Permanent Magnet Motor）が注目をあびている。IPMモータは、内部に永久磁石を有しているため、従来型誘導電動機と比較して、高効率であるという特徴がある。また高効率であるため小型化も可能となる。一方、IPMモータは磁極位置がわからなければ駆動できず、磁極位置センサなどを必要とする欠点も有している。

本報においては、このような特徴を持つIPMモータの駆動用インバータとして開発したAF-330について概説する。特にIPMモータの欠点である、磁極位置検出器を省略した駆動方式（センサレス駆動方式）を中心に紹介する。

In conjunction with the recent trend toward environmental protection, the call for energy saving is growing in the field of motor drives. Additionally, the demand for smaller motors is also strong as a reflection of miniaturization of equipment. The IPM motor (Interior Permanent Magnet Motor) is attracting significant attention as a solution to meeting this demand. Since the IPM motor has a permanent magnet inside, it is more efficient than the conventional induction motor. Moreover, because it is highly efficient, it can be downsized. In the meantime, however, the IPM motor is disadvantageous in that it cannot be driven unless the positions of its magnetic poles are identified, and therefore it requires a sensor or the like to detect the polar positions. In this report, SHI Control Systems, Ltd. (SCS) explains "AF-330," an inverter that we developed for driving the IPM motor, which has these characteristics. In particular, SCS focuses on a drive system (sensor-less drive) that eliminates the polar position sensor, which is the IPM motor's drawback.

1 まえがき

地球温暖化防止およびオゾン層破壊防止などの環境保護目的から、エネルギーの効率的利用が求められている。産業分野においては、消費電力の約7割がモータにおいて消費されており、モータの高効率化が強く求められてきている。

一方、省スペース要求から機械装置の小型化が進んできており、駆動源となるモータの小型化要求も根強い。

こうした時代の要求を満たすモータとして、IPMモータ（Interior Permanent Magnet Motor）が注目されている。

IPMモータは内部に永久磁石を持つため、従来型の誘導電動機と比較して、高効率であるという特徴を有する。また高効率であるために、小型化が可能である。しかしながら、IPMモータは磁極位置がわからなければ駆動できず、磁極位置検出器取付けのため、大型化、高コスト化、および信頼性低下を招く欠点がある。このため大学、産業界において位置センサレス化の研究が盛んに行われている。住重制御システム株式会社においても、住友重機械工業株式会社のPTC事業本部および技術本部と共同でIPM駆動用インバータAF-330の開発を行ってきた（図1）。本報においては、今回開発し

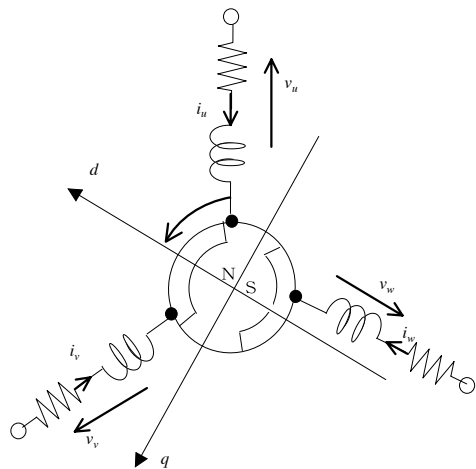


図2 IPMモータの解析モデル
Model of IPM motor

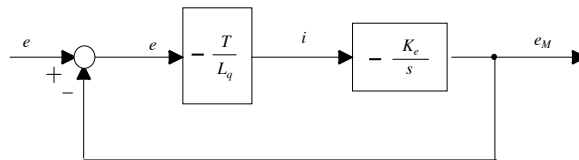


図3 誘起電圧推定ブロック
Block diagram of EMF estimation

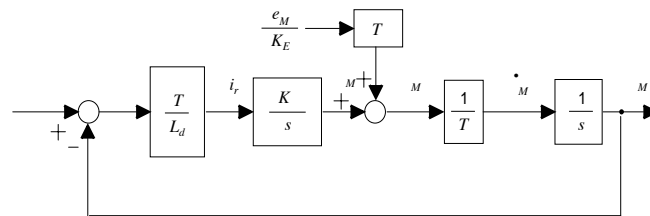


図4 位置・速度推定ブロック
Block diagram of rotor position and speed

たAF-330のセンサレス駆動方式を中心に紹介する。

2 AF-330におけるIPMモータの制御方法

IPMモータをセンサレス運転する方法としては、誘起電圧を利用する方法が基本となる。しかしながら、低速領域・起動領域においては誘起電圧を利用することができず、別の方法が必要となる。このため本章においては、速度領域別にセンサレス制御方法を述べることにする。また最後にAF-330におけるIPMモータの位置センサ付きベクトル制御方法についても触れる。

2.1 IPMモータの制御モデル

IPMモータの解析モデルを、図2に示す。IPMモータの固定子コイルは空間的に120°間隔で配置されており、回転子は突極性を有している。また、回転子の永久磁石は磁束密度が回転子の位置に対して正弦波状に分布するように配置されている。図2のように、回転子の磁束と同期して回転する軸をd軸、d軸に対して90°進んだ方向をq軸とする2相のd-q軸の座標系を定義すると、d-q軸上のIPMの電圧方程式は次式で記せる。

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+pL_d & -\dot{L}_q \\ \dot{L}_d & R+pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + e \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots$$

$$e = K_E \dot{\theta}$$

ここで、 v_d と i_d はd軸の電圧と電流、 v_q と i_q はq軸の電圧と電流である。また、 $p (= d/dt)$ は微分演算子、 R は巻線抵抗、 e は誘起電圧、 K_E は誘起電圧係数、 $\dot{\theta}$ は回転子速度、 L_d 、 L_q はそれぞれd、q軸のインダクタンスである。

2.2 高速領域制御法（誘起電圧の利用）

式をもとに位置センサ付きのベクトル制御を行う場合、コントローラは位置センサによってd-q軸の正確な位置と速度情報 $\dot{\theta}$ が得られ、誘起電圧 e のベクトルはq軸成分のみ現れる。しかし、位置センサレス制御時、コントローラはd-q軸の正確な位置がわからないので、推定位置 M はモータの実位置 θ と一致しなくなる。コントローラで推定された推定位置 M のd-q軸上の推定速度起電力 e_M は実d-q軸の誘起電圧 e とは方向および大きさに差が生じる。そこで、推定

誘起電圧 e_M の方向を θ とする $-$ 軸を定義し、実誘起電圧 e と推定誘起電圧 e_M を一致させる制御を行うことでd-q軸と $-$ 軸を一致させ、正確な位置・速度推定を行うこととする。d-q軸と $-$ 軸の位置誤差を M とすると、 $-$ 軸上の電圧方程式は式(1)を座標変換することで次式で得られる。

$$\begin{bmatrix} v \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix} + e \begin{bmatrix} -\sin \\ \cos \end{bmatrix} \dots\dots\dots$$

ここで、

$$a_{11} = R + p(L_0 + L_2 \cos 2\theta) + \dot{L}_2 \sin 2\theta$$

$$a_{12} = pL_2 \sin 2\theta - \dot{L}_2 \cos 2\theta$$

$$a_{21} = pL_2 \sin 2\theta - \dot{L}_2 \cos 2\theta$$

$$a_{22} = R + p(L_0 - L_2 \cos 2\theta) + \dot{L}_2 \sin 2\theta \dots\dots\dots$$

$$L_0 = \frac{L_d + L_q}{2} \quad L_2 = \frac{L_d - L_q}{2}$$

である。上式の $-$ 軸の電圧方程式は式(2)と複雑に関係しているため、直接に式(2)の推定アルゴリズムを導出することは困難である。そこで、位置・速度推定を簡単に行うために式(2)の近似を行う。式(2)の第1項は電圧降下を表しているが、第2項の起電力に比べて充分に小さいと考えられるので、 $\dot{\theta} \approx 0$ の条件で式を近似すると式(3)は次式で書き改めることができる。

$$\begin{bmatrix} v \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R+pL_d & -\dot{M}L_q \\ \dot{M}L_d & R+pL_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i \end{bmatrix} + e \begin{bmatrix} -\sin \\ \cos \end{bmatrix} \dots\dots\dots$$

式(3)の第1行より、コントローラ内部状態と実際の座標における推定位置誤差 M 、第2行より誘起電圧誤差 e が導出できることがわかる。実際の制御においては、誘起電圧誤差 e により誘起電圧を推定する。この推定誘起電圧から得られた回転速度をフィードフォワード量とし、推定位置誤差 M により磁極位置を推定する。磁極位置推定段階で、推定速度 \dot{M} が得られる。この様子を、図3、図4に示す。

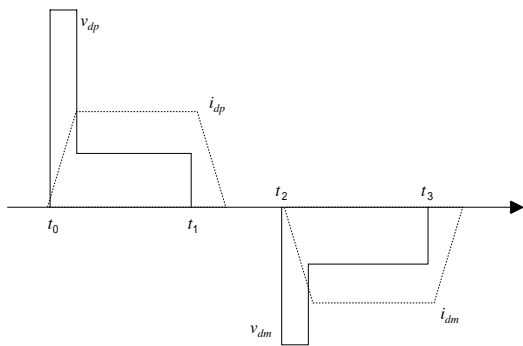


図5 磁極判定方法
Estimation process of pole position

2.3 低速領域制御法

高速領域の制御では誘起電圧 e を推定することで位置・速度推定を行ったが、低速領域では速度の減少とともに誘起電圧が低下するので、同じ方法では正確な位置および速度推定が困難となる。さらに、高速領域での推定方法では速度がゼロの時は誘起電圧もゼロになり、速度起電力による位置および速度推定は不可能となる。そこで、低速領域での位置センサレス制御法が必要となる。

ここでは、 $d-q$ 軸のインダクタンス差を利用する方法を採用することとする。具体的には、 d 軸の指令電圧に正弦波電圧を重畳して与える方法を考える。重畳した正弦波電圧により、モータ電流には正弦波電流が重畳されることとなる。

軸に重畳される電流成分を零にするフィードバックを施すことにより、 $d-q$ 軸と軸を一致させることができる。以下に具体的な方法を示す。

まず、式 (1) を電流の微分項について整理すると次式が得られる。

$$P \begin{bmatrix} \dot{i}_d \\ \dot{i}_q \end{bmatrix} = \frac{1}{L_0^2 - L_2^2} \begin{bmatrix} L_0 - L_2 \cos 2\theta & L_2 \sin 2\theta \\ -L_2 \sin 2\theta & L_0 + L_2 \cos 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R & \omega L_2 \sin 2\theta \\ \omega(L_0 - L_2 \cos 2\theta) & R + L_2 \sin 2\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + K_E \begin{bmatrix} \sin \theta \\ -\cos \theta \end{bmatrix} \dots$$

交流電圧は次のように d 軸のみ印加する。

$$v_d = V \sin \omega t, v_q = 0 \dots \dots \dots$$

ここで、 V と ω はそれぞれ印加する交流電圧の振幅と周波数である。また、低速駆動を行うので速度 $\omega \approx 0$ とし、巻線抵抗 $R \approx 0$ と仮定する。このような条件で式を交流電流 i_c の微分項に対して整理すると次式が得られる。

$$P \begin{bmatrix} \dot{i}_d \\ \dot{i}_q \end{bmatrix} = \frac{1}{L_0^2 - L_2^2} \begin{bmatrix} L_0 - L_2 \cos 2\theta \\ -L_2 \sin 2\theta \end{bmatrix} V \sin \omega t \dots \dots \dots$$

式 (2) をゼロに近い値として仮定すると、 \dot{i}_c の振幅が推定位置誤差 θ に比例することになる。したがって、 i

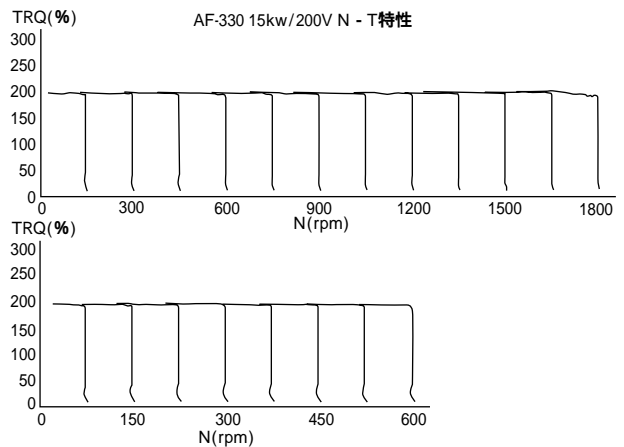


図6 センサレス制御時の速度・トルク特性
Speed vs torque characteristics by sensorless control

の c 周波数成分をゼロになるように制御を行うことで推定位置誤差 θ はゼロになり、低速領域の正確な位置推定が実現できる。

式より、この方法は L_2 が存在しなければ利用できないことがわかる。すなわち、 L_d, L_q に差があることが必要条件である。IPMモータの場合、 L_d, L_q の差が大きいため本制御方法が利用できる。

2.4 起動時制御法

前述した交流電圧の印加による位置推定法は、ゼロ速度や停止の時も正確な位置推定が可能である。しかし、この方法で求めた位置誤差は常に $\pm \theta$ の値が求められ、推定された位置 M は $\pm \theta$ の位置誤差を含む可能性がある。 $\pm \theta$ の位置誤差が存在するとIPMモータの磁極位置とコントローラの推定磁極位置誤差を収束させることができず、正常な起動を行うことができない。IPMのスムーズな起動のためには、何らかの方法を用いて磁極位置を特定する必要がある。ここでは、 d 軸インダクタンスの磁気飽和現象を利用して磁極位置を特定する方法を用いることとした。

図5に、本方法を用いた磁極判定の方法を示す。 d 軸に正負の電流パルス i_{dp} と i_{dm} を印加すると、永久磁石の磁束と同じ方向の磁束を発生させる電流は磁気飽和を引き起こす。その時の電圧は式 (3) で決定される。

$$v_d = Ri_d + L_d p i_d \dots \dots \dots$$

磁気飽和はインダクタンス L_d を小さくさせ、印加電圧を減少させる。したがって、 i_{dp} と i_{dm} による電圧を検出し、比較することで磁極判定が可能である。AF-330においては、電圧検出時のノイズの影響を低減させるために検出電圧 v_{dp} と v_{dm} をそれぞれ t_0 から t_1 まで、 t_2 から t_3 まで積分して比較することとした。補正法を式で表すと式 (4) になる。

$$v = \int_{t_0}^{t_1} v_{dp} dt + \int_{t_2}^{t_3} v_{dm} dt \dots \dots \dots$$

$$\begin{cases} v > 0 : & M = M^0 + \dots \dots \dots \\ v \leq 0 : & M = M^0 \end{cases}$$

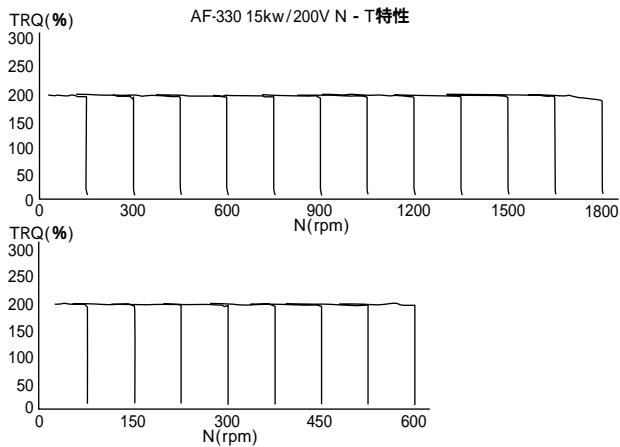


図7 センサ付き制御時の速度トルク特性
Speed vs torque characteristics by vector control

ここで、 θ_{M0} は正弦波電圧印加によって求めた推定位置である。この磁極判定法を用いることで、磁極位置を正確に特定でき、スムーズな起動が可能となった。

2.5 IPMモータの位置センサ付きベクトル制御方法

IPMモータの制御に位置センサを用いる場合には、より簡単な制御が可能となる。位置センサには、絶対位置を検出可能なアブソリュートエンコーダと相対位置が検出可能なインクリメンタルエンコーダがある。アブソリュートエンコーダを用いることができれば検出方法として問題はないが、高コストとなる問題がある。一方、インクリメンタルエンコーダはコスト的問題はクリアできるが、電源投入時に初期磁極位置を特定できない問題が存在する。AF-330においては、インクリメンタルエンコーダを用いて安価に制御する方法を採用した。すなわち、初期状態において2.3節および2.4節で述べた方式において磁極位置を推定する。磁極位置が推定できたあとは、インクリメンタルエンコーダの相対位置にて制御を行う方法を用いることとした。なお、インクリメンタルエンコーダのZ相パルスは磁極位置と一致して取り付けられているため、Z相パルス入力後はアブソリュートエンコーダを取り付けた場合と同様な制御が可能となる。

3 AF-330の制御性能

図6にセンサレス制御、図7にセンサ付き制御の速度・トルク特性を示す。センサレス制御の場合は、過渡的に速度変動を生じているが、定常的には安定した制御が実現できていることがわかる。誘導電動機のセンサレス制御と異なり、磁極位置を直接推定する方式を用いているため、定常的には、ほとんど速度誤差なく制御可能である。

4 むすび

IPMモータ駆動用インバータAF-330に関して概説した。

磁極位置センサレス制御方法に関しては、起動時、低速時、および高速時において、別々の制御を用いて全速度領域において制御可能である。

センサ付き制御においては、インクリメンタルエンコーダを用いても、アブソリュートエンコーダを用いた場合と同様な制御が可能である。

モータに対する省エネルギー要求は、今後とも厳しくなることが予想され、IPMモータの適用先は拡大すると考えられる。IPMモータのさらなる高性能制御方式の開発を行い、適用先の拡大を図ってゆく所存である。

(参考文献)

竹下隆晴, 市川誠, 李宙祐, 松井信行. 速度起電力推定に基づくセンサレス突極形ブラシレスDCモータ制御. 電気学会論文D 117巻 1号, p.98, Jan., 1997.

市川誠, 竹下隆晴, 松井信行. センサレス突極形ブラシレスDCモータの始動法と安定性. 電気学会研究会資料 SPC95-95, p.129, 1995.

竹下隆晴, 白井明, 松井信行. 全速度領域におけるセンサレス突極形PMS同期電動機制御. 電気学会論文D 120巻2号, p.240, Feb., 2002.

キセノンランプ用電源 XPDシリーズ

Xenon Lamp Power Supplies XPD Series

下川部 博 幸

Hiroyuki SHIMOKAWABE



図1 キセノンランプ用電源 XPDシリーズ
Powersource for xenon lamp XPD series

キセノンランプは、赤外から紫外線にわたる滑らかな分光特性そして高い輝度を持つことより測定用光源として使われている。測定器では光量の安定度が測定精度に直結するため、非常に高い安定性が要求される。最近の測定精度の上昇に伴う光源の安定度の要求は、従来の市販品で対応できないレベルになってきている。今回開発した電源装置では、従来製品では得られなかった高い安定性を実現した。

Xenon lamps are used as the light source for measurement since they have smooth spectral characteristics from infrared to ultraviolet, as well as high intensities. Measuring instruments are required to have very high stability since the stability of luminous energy directly affects their measurement accuracy. The recent demand for stable light sources that respond to increased measurement accuracy is so strong that it cannot be met with conventional light source products. The power supply device that SHI Control Systems, Ltd. recently developed achieves a high level of stability, which has been impossible with conventional products.

1 まえがき

キセノンランプは紫外域から赤外域まで連続スペクトルを持ち、可視光の範囲では太陽光に近いスペクトラム分布であるほか、大きな照度および高効率という特徴があり、ソーラーシミュレータや計測機器に使用されている。計測用では照度の安定度が計測精度を決める重要な要素となるため、より高い安定度の光源が求められている。このたび、住重制御システム株式会社が高精度キセノンランプ用電源XPDシリーズ(図1)を開発し、従来機に比べ高い安定度を得ることができた。以下に、XPDシリーズの概要および今後の展開について述べる。

2 キセノンランプの特性

2.1 ランプの始動

キセノンランプは、図2の構造をしており、冷陰極放電管であり、点灯は次の手順で行われる(図3)。

数万Vの高電圧により端子間の絶縁破壊

数百Vのグロー放電

20~30Vのアーク放電

このため始動回路は、定常時の20~30Vの他、数万Vと数百Vの始動用電源を持つ必要がある。始動時は、この3種の電圧を同時に印加し、アークへの移行を確認した後、始動用電源を切り離す。

アーク放電開始直後は、まだ電極温度が低く放電が不安定



図2 キセノンランプ構造
Xenon discharge lamp

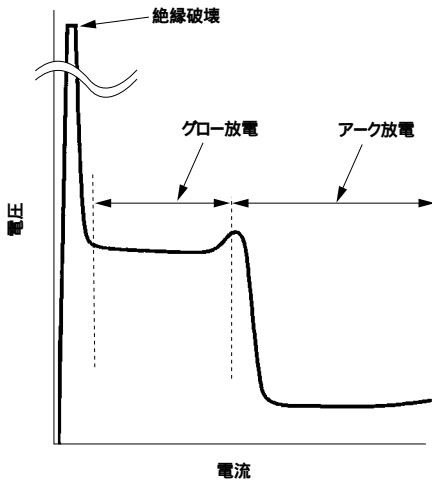


図3 キセノンランプ 電流・電圧特性
Xenon lamp I-V characteristic

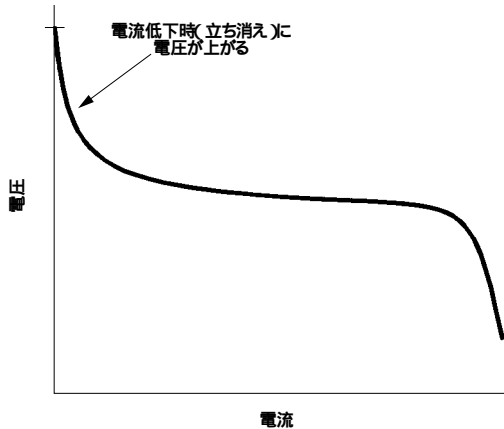


図4 望ましい電源特性
Desired characteristic of power source

である。この時、瞬時でもアーク放電保持電流を下回るとランプは立ち消えを起こしてしまう。図4の特性の電源により、点灯時の立ち消えを防ぐことができる。

2.2 点灯時の特性

キセノンランプは、次の点 that 白熱電球と大きく異なる。

点灯時における20～30Vの定電圧特性

白熱電球は抵抗性であり電流が増えると抵抗が増すので簡単な制御で安定した点灯を行うことができる。これに対し、キセノンランプは定電圧特性を持つので、定電流制御を行う必要がある。

有極性及び輝度の電流に対する高応答性

白熱電球は無極性でフィラメントの熱時定数があり交

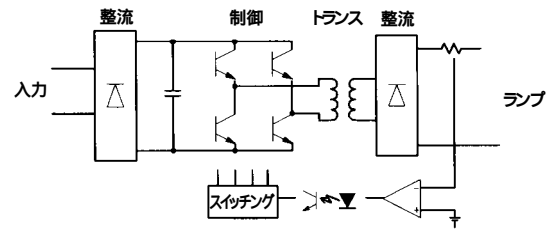
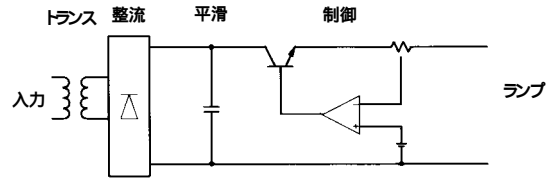


図5 シリーズ制御方式とスイッチング制御方式
Series regulator and switching regulator

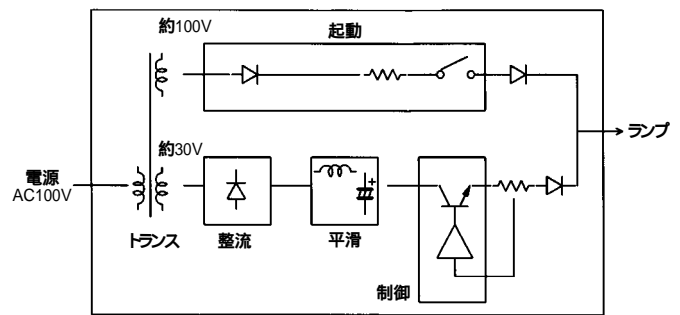


図6 ブロック図
Block diagram

流で点灯可能である。しかし、キセノンランプで安定な発光を行うには直流の非常に安定した電流源を用意する必要がある。

2 キセノンランプの特性

高精度用キセノン電源の主電源回路として、次の2つの制御方式が使われている。

シリーズ方式(図5)

入力電圧とランプ電圧の差をトランジスタで消費して電流制御を行うので、発熱量が大きい。また、スイッチング方式と比較して低い周波数での絶縁トランスが必要であり製品の外形が大きくて重くなる。しかし、高速な電流制御応答および高い電流制御精度、回路から発生する電磁ノイズが少ないなどの利点がある。

スイッチング方式(図5)

スイッチングにより制御を行うので、発熱量を非常に小さくできる。また絶縁はスイッチングによる高い周波数ゆえ、絶縁トランスのサイズを小さくできる。しかしながら、スイッチング方式の欠点として安定度を上げることが困難で1%程度が限界となっている。また、計測用ではスイッチングにより発生するノイズが測定系統に回り込み精度の劣化を招くおそれがある。

計測用をターゲットとするXPDシリーズでは、性能を重視しシリーズ方式を採用した。効率(発熱)および重量につ

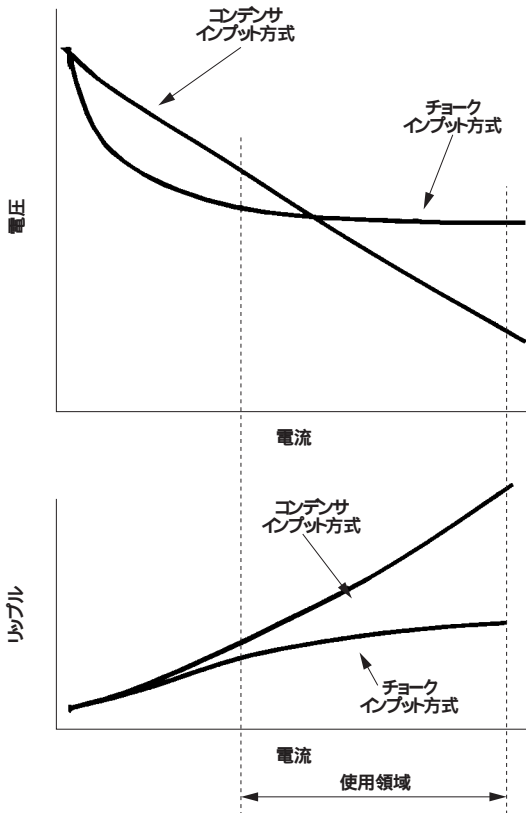


図7 平滑方式と出力特性
Smoothing circuit

いては、回路方式の工夫により可能な限り改善した。

次に、XPDの各ブロック（図6）について説明する。

3.1 コンバータ部

コンバータ部は、整流、平滑および突入電流防止回路より構成される。平滑には、チョークインプット方式を採用した。チョークインプット方式とコンデンサインプット方式の特性を、図7に示す。始動時の立ち消えを防ぐにはコンバータ出力電圧は高いほうが良いが、定常時の制御部発熱を考えるとコンバータ出力電圧を必要最小限とし、リップルも小さくしたい。チョーク入力方式は、次に示すようキセノンランプ用として始動性、リップル、および発熱の面で優れた特性を持っている。

始動性

小電流時に電圧が上昇する特性を持っている。これは、図4に示す「始動性の良いIV特性」と合致する。

発熱

キセノンランプは、定格電流付近の比較的狭い範囲で使用される。この大電流領域での電圧安定度が高く、電源電圧の余裕分を少なくし発熱量を減らすことができる。

リップル

小さなリップルは出力電流のリップル低減につながる。さらに、制御部入力には、リップルを含めた最小電圧で出力電圧以上に保たねばならない。小さなリップルのチョーク入力方式の方が、制御部入力の平均電圧を下げることで制御部損失を減らすことができる。

3.2 制御部

目標安定度を約0.1%未満とした。これは数十Aの電流を扱う回路と数十 μ V以下の精度、リップルを要求する回路が隣り合わせになることを意味し、回路だけではなく部品や配線

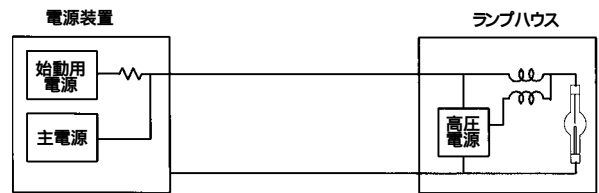


図8 始動回路
Starter

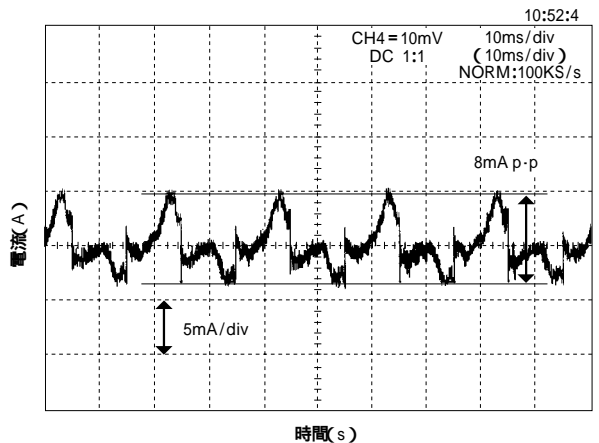


図9 出力電流リップル
Ripple current

を注意深く配置する必要がある。このような大電力中での微小信号を扱う場合、ノイズや電力部との結合、温度変動を補償する方法として回路を追加していく手法と回路を単純化し少ない部品でコンパクトな回路とする手法がある。今回は後者を選択した。

設計に当たり、考慮した点を次にまとめる。

- 短い配線、小さいループで電界、磁界のノイズを避ける。
- 出力トランジスタを1個の電圧駆動型素子IGBTとする。
- 精度に影響する素子の熱バランスに配慮する。

3.3 始動回路

ランプの始動は、次の手順で行われる（図8）

始動回路に数百Vの電圧がかかり高圧発生回路が動作する。

高圧は間欠的に発生し火花放電を起こす。

数百Vの電圧によりグロー放電を起こす。

アーク放電に移行し電圧が低下し高圧発生回路が停止する。（ここでアーク放電が途切れた場合、へ戻る）

アーク発生し安定した後に始動回路電源を遮断する。

前述のとおり、始動には定常時の20~30Vのほか数万V、数百Vの2種類の電圧を用意する必要がある。また、数万Vの電圧発生は安全面とノイズ放射を避ける意味から放電管の近くに配置するのが一般的である。

今回開発の電源では、電源装置とランプ間の配線を減らし、同時に始動回路を簡単にするため、図8の方式を採用した。始動時には、キセノンランプ用の主電源（約20V）に高インピーダンスの数百Vの電圧を重畳する。高圧発生回路は電圧が100Vを超えたときに動作し、放電が開始すると電流が増えランプ電圧は低下する。放電が途切れた場

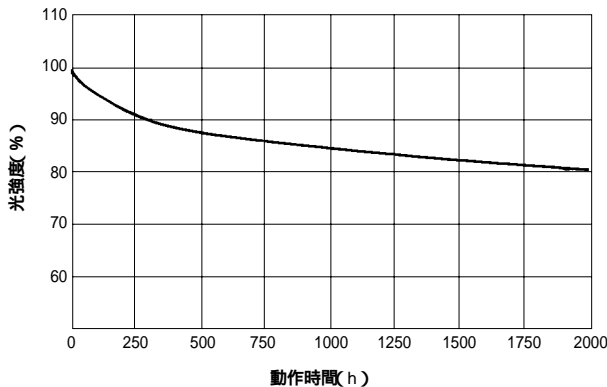


図10 光強度劣化特性
Degradation profile of intensity

合は、電流が減り再び高圧発生回路が動作する。これにより放電が開始時の高圧から数百V、アーク開始に伴う20Vへの切替え、点灯失敗時のリトライが自動的に行われシーケンス制御を簡単にすることができた。

3.4 シーケンス制御

キセノンランプ用電源装置には、始動およびアラーム処理のシーケンス回路を持っている。

この回路は始動時の高圧発生にともなうノイズの影響を避け、アナログ回路とのインターフェースを簡単にするため4000シリーズCMOSで構成した。

アラームは、次の異常を検出し動作を停止させる。

- 負荷短絡
- パワー素子過熱
- ランプハウス異常（過熱等）
- 起動失敗

4 実装

大電流を扱い、コンパクトにまとめた高精度アナログパワー回路では、実装の問題を避けて通ることができない。まず冷却の問題、そして精度の問題がある。

4.1 冷却

シリーズ制御を採用しているため、大きな（最大300W）の発熱を考慮する必要がある。負荷短絡時には内部での発熱は最大2倍まで上昇する。さらに、本装置は実験室内で測定器と並べて使用されるため、大げさな冷却装置を用意することはできない。設計上、冷却に関して次の点を考慮した。

小型で低熱抵抗であるとともに、瞬時熱抵抗が小さい放熱器を採用。

内部発熱が制御部へ影響を与えないエアフロー。

4.2 精度

整流部の30Aをこす100～120Hzの電流が、数μVの制御を行う制御回路より数cmのところと配置されている。このような状況下では、トランスなどの漏れ磁束はもとより、配線よりの磁束までもが精度悪化の原因となる。この影響を排除するために、部品や配線の配置のみならず取付け方向までチューニングを行った。また、熱起電力の影響を避け、電流検出系ケーブル等の単純化を考慮した。

5 特性の評価

今回開発した電源装置XPDによる300Wキセノンランプ駆

表1 仕様概要
Feature Summary

項目	仕様	備考	
電源	電圧	100/110/120V ±10%	内部配線による切替え
	周波数	50/60Hz	
	相数	1	
	突入電流	30A以下 入力100V時	
	入力電流	12A以下 入力100V, 出力500W時	
出力	定格電流	25A 20V (500W) 15A 20V (300W)	
	電流調整範囲	25A～20A (500W) 18A～12A (300W)	
出力安定度	入力変動率	±0.1% 定格入力電圧±10%変動時	点灯後30分経過後測定
	温度変動率	±0.1% 25±10 変動時	
	リップル電流	0.1%以下 定格入力電圧, 定格出力時	
保護回路	1. インターロック入力 接点入力 2. 制御素子過熱保護 3. 出力短絡保護		
動作温度範囲	0～40		
性能保証温度	+5～35		
外形寸法	(W)426mm×(H)122mm×(D)400mm		突起部含まず
重量	27kg		
振動	0.5G (10～55Hz) X,Y,Z方向各1時間		
衝撃	1G (1回)		
使用/保存湿度	20～90%RH (結露なきこと)		
保護構造	IP20		

動時の電流波形を、図9に示す。定格電流15A時に電流変動が8mA_{p-p}、リップル率0.053%を達成した。また、他の対温度、対電源電圧なども目標仕様をクリアすることができた。

XPDの仕様概要を、表1に示す。

6 今後の展開

電源装置としては安定度、リップルとも最高レベルの製品となった。しかし、ランプ自身の経時変化（図10）により定期的な校正作業が必要となること、ランプ状態による放電の不安定さが光強度リップルとして現れる問題がある。また、大容量化へ向けにはシリーズ制御方式での効率の悪さがネックとなっている。

今後は光フィードバックの導入による無調整化、低リップル化と高効率かつ高精度な制御方式を用いた大容量電源を開発していきたい。

7 むすび

ここで紹介したキセノン電源の特徴を、次に示す。

単純化による高精度の達成

いたずらに補償回路を追加するのではなく、精度劣化の原因となる要素を徹底的に排除することで、精度を向上させた。

回路特性を生かした起動特性向上

放電管の特性に合わせた周辺回路の採用により、起動失敗を防ぐことができた。

（参考文献）

- ウシオ電機株式会社・ライトエッジ, 第15号, Nov., 1998.
- 安藤弘平, 西口公之. アーク溶接機器. 産報出版, 1966.

フォークリフト用急速バッテリー充電器の開発

Development of Quick Battery Charger for Forklift Truck

小島 宏志
Hiroshi KOJIMA

古賀 敏明
Toshiharu KOGA

星野 正司
Masashi HOSHINO

林 克彦
Katsuhiko HAYASHI

寺本 貴之
Takayuki TERAMOTO



パワーユニット



ドライバユニット

急速バッテリー充電器
Quick battery charger

近年、環境保護の関心の高まりによりフォークリフト業界の需要もエンジン車より無排気、低騒音のバッテリー車への移行が進んできた。しかしながら、バッテリー車には稼働時間の短さや過放電・過充電によるバッテリーの劣化という、エンジン車にはない弱点を抱えている。このため、市場ではバッテリー式フォークリフトの長時間稼働および長寿命のニーズが益々高まってきている。

このたび、住重制御システム株式会社は、住友ナコマテリアル ハンドリング株式会社と共同でフォークリフト用急速バッテリー充電器を開発した。

本製品により昼休み1時間の補充充電により稼働時間が4時間延長(代表機種1.5t車で50%稼働率の場合)でき、エンジン車並みの稼働時間が可能となった。また、過充電などバッテリーに負荷がかからないようにバッテリー電圧と充電電流をマイコンにより制御する定電流定電圧定電流方式を採用した。

The demand for forklift truck is shifting from engine-driven vehicles to battery-powered vehicles, which produce no exhaust gas and low noise. However, the battery-powered forklift truck has some weaknesses, such as shorter operating time and battery deterioration caused by over discharge and overcharge, which the engine-powered forklift truck does not have. Accordingly, the need to extend the operating time and service life of the battery-powered forklift truck is growing. SHI Control Systems, Ltd. recently developed a quick battery charger for forklift truck in cooperation with Sumitomo-NACCO Materials Handling Industries, Ltd. This charger extends the operating time by 4 hours (at operating rate of 50% with a representative, 1.5-ton vehicle) through a one-hour supplemental charge during lunchtime, thus achieving a long operating time comparable to the engine-powered vehicle. In addition, the new charger uses a constant current-constant voltage-constant current system in which the battery voltage and charging current are controlled by a microcomputer.

1 まえがき

従来、フォークリフト業界では、バッテリーの充電に準定電圧方式(図1)を採用するのが一般的であった。本方式は構成が簡単で安価であるが、充電時間が長いなどの問題点があった。そこで住友ナコマテリアルハンドリング株式会社(住友ナコ)と住重制御システム株式会社(SCS)は他社との差別化を図るべく、IGBTチョップ方式(図1)の急速バッテリー充電器を共同開発し、市場に提供した。

IGBTチョップ方式は高効率および過渡応答特性が優れているなどの長所がある一方、損失が大きく大容量化が難しい。また、高周波ノイズおよび騒音などIGBT特有の欠点があり、さらに構造が複雑ゆえコスト高となる。

したがって、パワー素子にサイリスタモジュール(SCR)を採用した改良型の急速バッテリー充電器をさらに開発した(図1)。

本報では、このSCR方式の急速バッテリー充電器の設計および性能試験結果について報告する。

2 フォークリフト用バッテリーの特性

2.1 寿命

バッテリー式フォークリフトに適用されている鉛蓄電池は、正極版がグラッド式で充放電サイクル寿命が優れており、特に温度が30~40のときに最も長寿命となる。鉛蓄電池の場合、標準起電力は2.04Vであり、水の分解電圧1.23Vより高いので、正極、負極において化学反応により水素および酸素ガス発生(ガassing)を伴う自己放電が生じる。過充電量が少ないとガassingによる電解液の攪拌が不十分で、下部が高比重となる電解液の成層化を解消できず、極板下部の充電が不充分となって硫酸鉛が蓄積する。逆に過充電量が多いと正極の芯金が腐食する。一般的に1サイクル当たりの過充電量は10~20%とするのが寿命には良いと言われている。

2.2 温度依存性

鉛蓄電池の場合、定電圧充電では温度が高いほど充電の受け入れが良く、充電末期には充電電流が大きくなり過充電さ

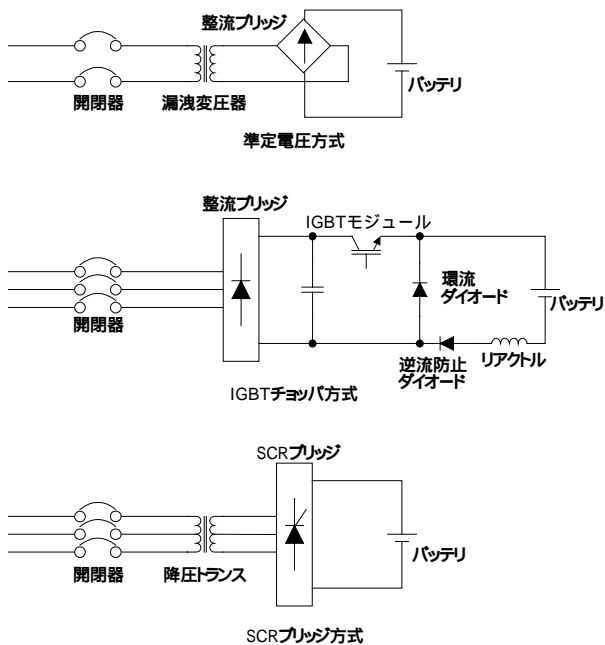


図1 主回路ブロック図
Block diagrams of power main circuits

れやすくなる。したがって、周囲温度に対し、電圧設定値は負の温度係数を持たせる必要がある。具体的には、2.40 ~ 2.475V/セル (25)で温度勾配を -5mV/ ・セルとするのが望ましい。

本製品では周囲温度を常に監視し、定電圧制御、定電流制御の切り替え電圧(転極電圧)を温度に応じて切り替え、温度に依存しない安定した充電を可能とした。

3 充電方式に対する充電特性

3.1 準定電圧方式

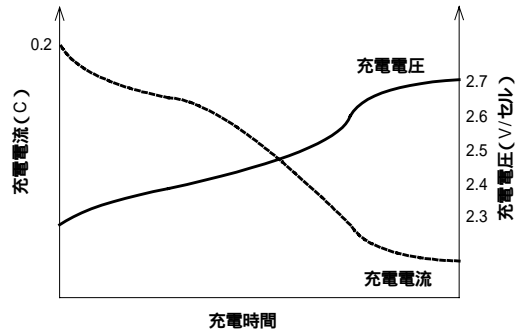
漏洩変圧器により準定電圧を得る方式は安価で取り扱いが簡単ゆえ、タイマと組み合わせて現在でも多く採用されている。バッテリー電圧が低いときは大電流で充電し、電圧の上昇に従って電流を減少させる。本方式は、電源電圧に充電量が依存する、長時間充電が必要という欠点の他、充電末期の過充電量が多いので、ガス発生および電解液の減少が多い。図2 に示すように、セル単位の電圧がガッシング電圧2.5Vに対し、充電末期に2.7Vに達してしまう。

3.2 定電流定電圧定電流方式

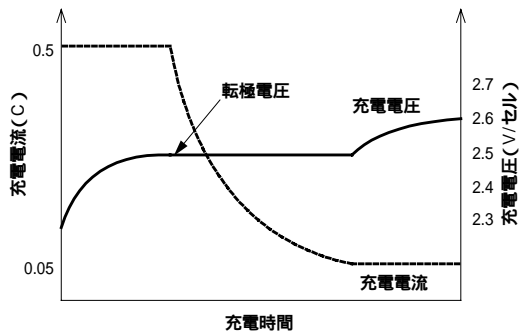
本方式は、図2 に示すように1段目で転極電圧まで定電流にて充電し、転極電圧に到達後、定電圧に切り替える。次に充電電流が設定電流(0.05C)まで低下した時点で2段目の定電流充電に切り替える。本方式の最大の利点は、電源電圧に依存しないことと短時間で完全充電が可能なことである。さらに2.1で紹介したように2段目の定電流充電の時間を適切にコントロールすることで、前述の10~20%の過充電に調整し、ガス発生の抑制、電極の腐食防止によりバッテリーの長寿命化にも貢献できる。

4 充電器の主回路構成

本製品は前述のとおり、主回路デバイスとしてSCRを採用した。SCRデバイスは、IGBTモジュールと比較して次のような長所がある。



準定電圧方式における充電電流及び充電電圧



定電流定電圧定電流方式における充電電流及び充電電圧

図2 充電方式に対する充電特性
Charge characteristics for charging methods

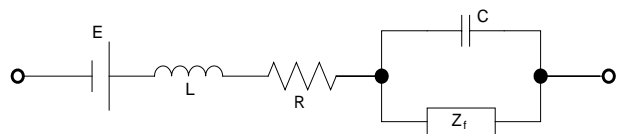


図3 バッテリーの等価回路
Equivalent circuit of battery

過電流に対する耐量が高い。

損失が小さいため放熱が少なく、大容量化が容易である。

電源周波数のスイッチングにより低騒音である。

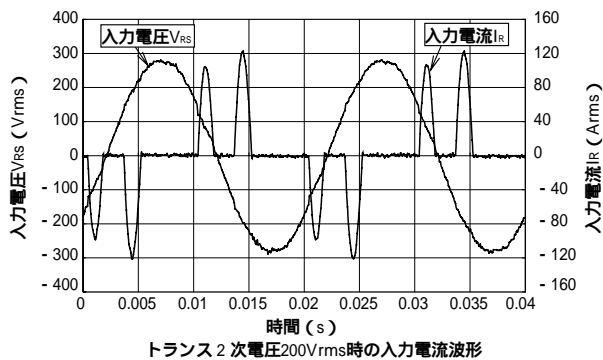
電圧0の消弧によりスナバ回路を簡略化できる。

バッテリーの等価回路を、図3に示す。

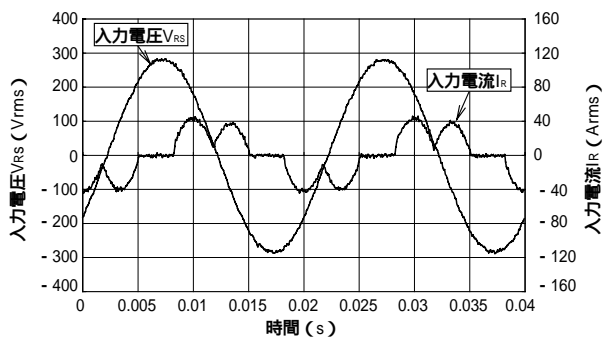
ここでLは導通部分の形状で決まるインダクタンス、Rは極板や電解液の抵抗、Cは電極の活物質と電解液との界面の空間電荷による電気2重層の容量、Ziはファラデーインピーダンスである。このなかでも容量が支配的で、充電器からはほとんど容量負荷として見える。したがって、サイリスタブリッジにて直接ドライブすると、過渡インピーダンスとしては電源インピーダンスのみになるため、電源系統側で電圧降下が発生し、大きな高調波として障害を与えることになる。

また、SCRはゲート信号を取り除いても消弧せず、陽極電圧を逆バイアスまたは通電電流を保持電流以下に保つことによりターンオフするという特性を持つ。したがって、SCRで電流を制御するためには点弧タイミングを遅らせる必要があり、常に遅相電流となる。つまりSCR方式は動作原理上、入力率が悪化する。

これらの対策として充電経路に誘導負荷を与え、かつSCRの導通角を大きくし、無効電力を減らすために降圧トランスを充電器入力部に設置した。この降圧トランスは、高効率で



トランス 2 次電圧200Vrms時の入力電流波形



トランス 2 次電圧100Vrms時の入力電流波形

図4 トランス2次電圧に対する入力電流波形
Input current vs secondary voltage of transformer

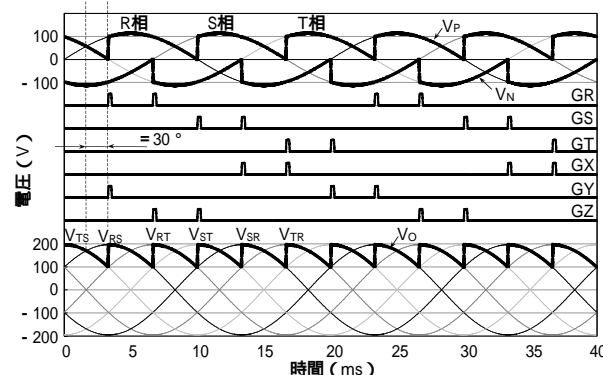


図5 SCRゲートパルスと各相の電圧の関係 (θ = 30°)
SCR module gate pulse vs each phase voltages (θ = 30°)

充電するために市場の電源電圧範囲，トランスの降圧比の公差，バッテリー電圧の上限を考慮して可能な限り降圧比を低く設定しなければならない。

図4，図4 に，トランス 2 次電圧を200Vrms，100Vrmsとした場合の入力電圧および入力電流の実測波形例を示す。

実測では，トランス 2 次電圧を調整することで，200Vrmsでは50%程度しかない力率が 2 次電圧の調整により最大で約80%まで改善された。

5 SCRのゲート駆動手法

R，S，およびTの相電圧（中性点からみた各相電圧）の交点を0°とする，SCRの位相角 θ を定義する。

3 相純ブリッジSCRのゲートパルスとトランス 2 次電圧を80Vrms，位相角 θ = 30°と設定した場合の各部電圧を，図5に示す。ここでX，Y，およびZ相は，各々R，S，およびT相

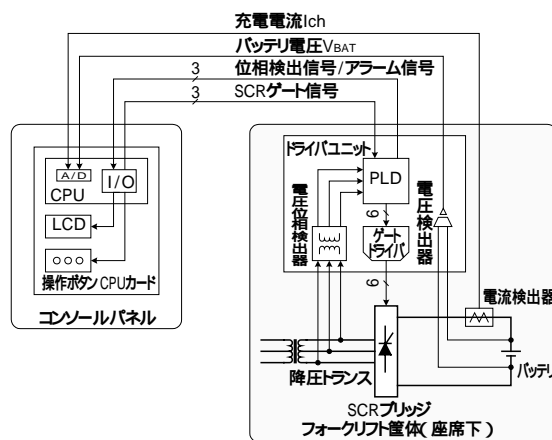


図6 充電器構成ブロック図
Block diagram of charger architecture

SCRのタンデムに接続されるN側SCRを意味する。GR，GS，GT，GX，GY，およびGZは，R～Z相の各々のゲートパルス，VP，およびVNは電源中性点より見た直流出力電圧の各々P，N端子の電圧を意味する。VRS，VRT，VST，VSR，VTR，およびVTSは各線間電圧，Voは出力電圧を意味する。各SCRは，θ = 0～180°まで点呼可能な範囲が存在する。ただし，出力電圧がバッテリー電圧以下の場合充電できないため，実際にはすべての範囲で充電可能という訳ではない。位相角を進めるほど出力電圧は大きくなり，位相角 θ = 0°にて出力最大となる。出力電圧平均値Vo(ave)と位相角 θ の関係は，以下の式で表される。

$$V_{O(ave)} = 1.35V_{in} \cos \theta$$

ここでVinは，トランス 2 次電圧の線間電圧実効値である。各相上下アームのSCRのゲートパルスを180°ごとに交互に配置し，実際に各SCRの点弧タイミングに都度ゲートパルスを出力するダブルパルス方式を採用した。また，ゲートパルス幅は誤動作防止のため，30°を上限とした導通角の半分とした。

6 充電器の全体構成

充電器の全体構成を，図6に示す。操作部および表示部はフォークリフトのコンソールパネルに集中させ，パワーユニットおよびドライバユニットは運転席ステップ下のスペースに納めた。さらに，充電制御用のCPUはコンソールパネル側に設置したため，ドライバユニット間のインターフェースは防水処理を施したケーブルおよびコネクタで接続した。

省配線を目的としてR，S，およびT相のゲートパルスをソフトウェアで生成し，相順に応じてX，Y，およびZ相のゲートパルスをドライバユニット内のPLD (Programmable Logic Device) にて生成する方法を採用した。

7 定電圧/定電流制御モード切替え

各々の制御パラメータを正規化して制御ゲインを揃えるとダイナミックレンジ，すなわち制御精度が損なわれてしまう。本製品では検出分解能を重視したことから，定電圧制御と定電流制御では制御ゲインが大きく異なる。そのまま充電中に制御ループの切替えを実行すると制御が不安定となり，充電電流が大きく振動することとなった。

そこで，本製品では制御モード切替えとして図7に示すよ

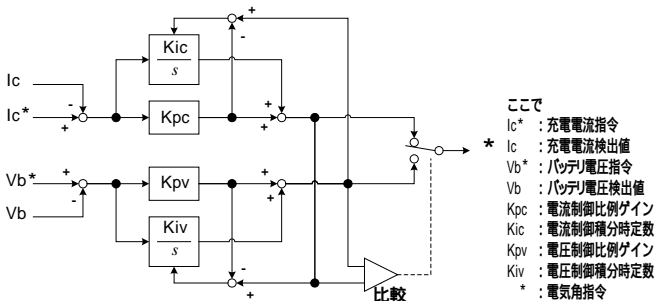


図7 制御モード切替ブロック図
Control mode switching block diagram

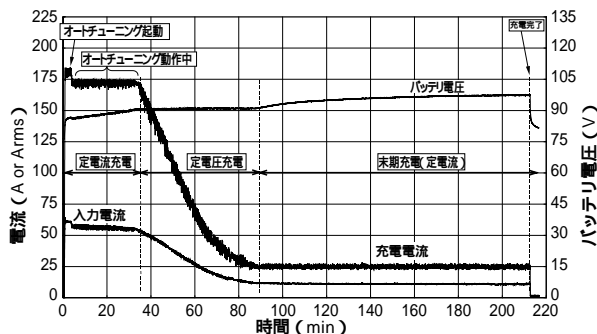


図8 充電動作実測波形
Quick charge operating data

うな制御切替えアルゴリズムを導入した。本手法では、切替え前の比例積分制御器の出力から切替え後の比例制御器の出力の差分を取り、切替え後の積分制御器の積分値として代入した。これにより各々の制御ループのゲインの大きさに依存せず、スムーズな制御切替えが可能となった。

8 急速充電実測

本製品にてバッテリー残量50%程度の放電されたバッテリーを満充電まで充電した、そのときの実測波形を図8に示す。この例では約35分程度で転極電圧に到達している、つまり従来数時間必要としていたのに対し、1時間未満でバッテリー残量約80%までの急速充電が実現できていることがわかる。また定電流/定電圧制御モードも前述のアルゴリズムにより安定してスムーズに切り替わっている様子がわかる。なお、充電開始直後に充電電流が低減しているが、これは後述する充電電流オートチューニング機能によるものである。

9 充電電流オートチューニング機能

急速充電は充電時間の短縮が可能な一方、入力電流の増大も伴う。これは、充電電流は固定であっても、入力電流は電源インピーダンスなどエンドユーザの電源事情に応じて変動するためである。このため急速充電電流設定値は、エンドユーザの電源設備に既設されているノーヒューズ遮断器の定格電流に制約されてしまう。自動遮断しないようにマージンを大きく取り、急速充電電流値を低く設定したのでは、急速充電のメリットを生かせない。そこで、SCR方式充電器では充電電流オートチューニング方式を考案、製品に適用した。

(特開2002 - 94344)

本方式の回路構成を、図9に示す。入力電流をセンサによ

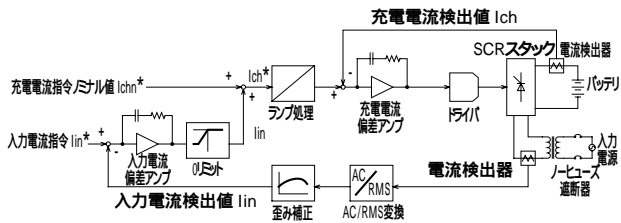


図9 充電電流オートチューニングブロック図
Block diagram of charge current auto tuning

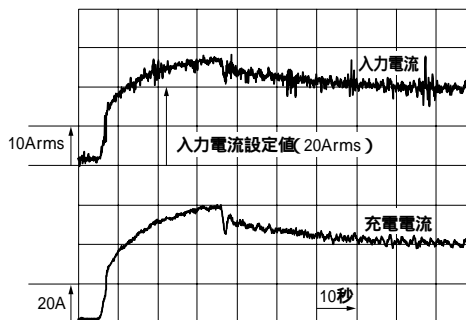


図10 充電電流オートチューニング動作実測
Charge current auto tuning

り検出し、ノーヒューズ遮断器の定格電流を設定値とした入力電流指令との偏差を増幅し、充電電流制御ループの充電電流指令のノミナル値に加算した。充電電流オートチューニングは、その目的がノーヒューズ遮断器の自動遮断防止にあるから、入力電流の検出精度を十分に上げる必要がある。

本来、2相以上の入力電流を高速に同時サンプリングすることにより正確に入力電流を検出できるが、本製品では、CPUのリソースを有効活用してCPU内蔵のA/Dによる低速サンプリングを適用することとした。ただし、これまで述べてきたように、SCR方式の入力電流は高調波成分が多く、歪み率の高い電流波形となってしまふ。力率に応じて入力電流を歪み補正することで制御精度を確保した。

入力電流設定値20Arms、充電電流設定値60Aとした場合のオートチューニング機能動作実測波形を、図10に示す。低速サンプリングによる影響で収束に時間を要するものの、入力電流の変動に応じて充電電流が追従して調整され、最終的に正確に入力電流が20Armsに収束している様子がわかる。

10 むすび

住友ナコとSCSは、SCR方式フォークリフト用急速バッテリー充電器を共同開発し、市場に提供した。

SCR方式により、IGBT方式の欠点であった騒音、コスト、およびメンテナンス性を改善できた。

定電流定電圧定電流方式および温度補正により、バッテリーに負荷を与えずに急速充電を実現した。

充電電流オートチューニング機能により、エンドユーザの受電設備に依存せず、バッテリーに最適な充電電流値を設定することが可能となった。

(参考文献)

最新実用二次電池第2版. 日刊工業新聞社, p. 59, 60, 88, 166, 183, 222.
 太田裕嗣. 三相純ブリッジSCR装置の動作原理. HMC700001A.

大規模機械式駐車場の上位制御システム

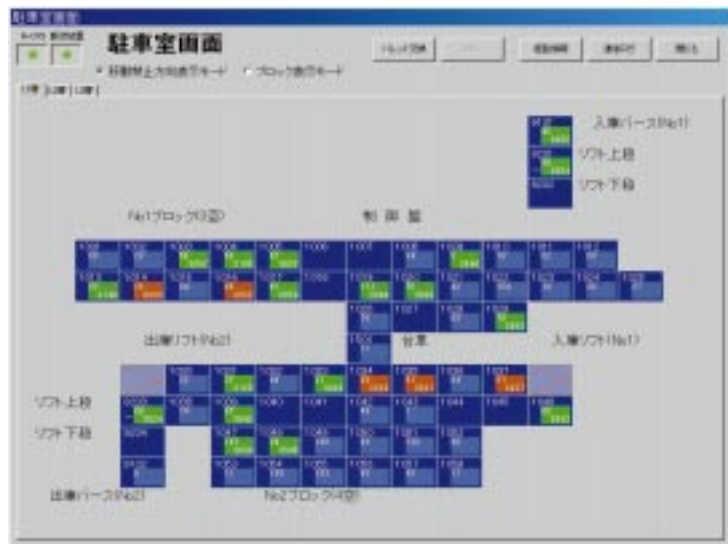
Control System for Large Volume Mechanical Parking Systems

谷崎 直昭
Naoaki TANIZAKI

仲摩 行弘
Yukihiko NAKAMA

吉本 高啓
Takahiro YOSHIMOTO

山田 学
Manabu YAMADA



大規模機械式駐車場の上位制御システム
Control system for large volume mechanical parking systems

大容量機械式駐車場の汎用制御システムを開発した。本システムでは、

リフトや乗降口などを含むレイアウト要求に柔軟に対応できること。

制御システムの信頼性を向上させること。

入出庫スループットを向上させること。

ネットワーク環境への対応を目的としている。

～ 実現するため、入出庫およびリカバリ経路を自動生成するパスジェネレータと、複数入出庫作業の同時実行を制御するタスクアビトラータを、汎用プログラムとして実現した。これらは、MELSECNETドライバプログラムを介して機器コントローラと通信する。また、

を実現するため、制御システム内で管理される作業情報や在車情報、遠隔からの出庫予約情報など通信をネットワークI/Fプログラム経由で行う構成とした。

本システムは、複数の異なるレイアウトの駐車場に適用され、安定稼動中である。

We developed a general-purpose control system for large-volume mechanical parking systems. The purposes of the control system are as follows:

- 1) Flexibly meet layout requirements including lift and platform
- 2) Increase reliability in controlling the parking system
- 3) Increase throughput in loading and unloading cars
- 4) Support connectivity with network environments

To realize purposes 1) to 3), we developed a path generator that automatically generates paths for loading/unloading and recovering cars, and a task arbitrator that controls simultaneous execution of loading/unloading multiple cars, as general purpose programs. These programs interact with an equipment controller via the MELSECNET driver program. To realize purpose 4), we built a structure in which communication of information on tasks administered in the control system, information on inventory and information on reservations for unloading cars is established through the network I/F program. This control system has already been deployed in a number of mechanical parking systems with varied layouts, and is stably operating.

1 まえがき

当社の大容量機械式駐車場システム GPS (Grand Parking System) は、パズル・パレット方式による高い収容効率とレイアウト自由度が特徴である。近年大都市部において大規模駐車場への要求が高く、収容効率の観点から自走式に比べ機械式が有利であるが、機械故障などによるシステム停止が発生する可能性もあり、装置としては高い信頼性と、復旧の容易性が求められる。入出庫時間の観点からは、複数の入出庫タスクを同時に実行させ、入出庫口での待ちを発生さ

せないことが求められる。ビル設計の観点からは、入出庫口数の変更など、装置構成の柔軟な対応も求められる。さらに近年は、ビルオートメーションおよびインテリジェント化の観点から、システムのオープン性が求められている。

当社では、ローカル搬送装置を統括制御する、NCPS (Next generation Car Parking control System) と呼ぶ上位系制御システムを開発し、これらの要求にこたえている。

本報では、NCPS (後出、本システム) の機能と特徴について紹介する。

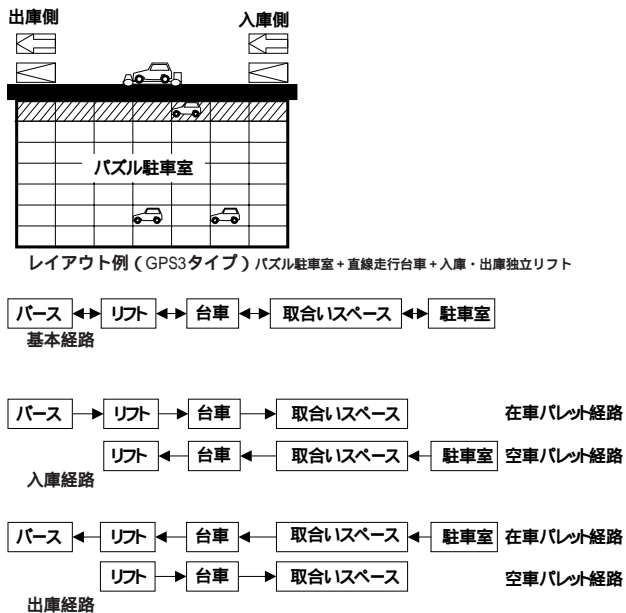


図1 大容量機械式駐車場 (GPSシリーズ) のレイアウトおよび入出庫経路例
Example of parking system layout and corresponding paths

2 大容量機械式駐車場(GPS)の制御システム(要求と実現方針)

まず、制御システムへの要求事項を(1-1)~(1-5)に整理する。すでに述べたように、機械式駐車場は、装置として高い信頼性と復旧の容易性が求められる。そのために、

- (1-1) 制御装置自身としての信頼性が高い。
- (1-2) 機械故障やシステムエラーの影響を最低限にし、復旧時間が短い。

ことが必要である。また、ビル設計および運営の観点から、

- (1-3) 種々のレイアウト構成に柔軟対応できる。

ことが必要である。図1にGPSの標準的なレイアウトと標準的な入出庫経路例を示す。このとき、

- (1-4) 複数の入出庫動作(入出庫タスク)を同時に実行し、入出庫バースにおける待ちを最小にする。
- (1-5) システムがネットワーク化、オープン化に対応することが求められる。

以上の要求を実現するために、本システムでは次に示す方針で開発を行った。

- (2-1) プログラムの変更なく、設定値変更により種々のレイアウトに対応可能とする。

これにより、(1-1)と(1-3)が実現できる。

- (2-1) 制御装置を分散、階層構成とし、ローカル搬送装置制御部にて、通信と駆動制御部のそれぞれにシミュレーション機能を標準で実装する。

これにより、実装置を使用することなく、プログラムのほとんどの機能を事務所内で検証できる。その結果、(1-1)の実現が可能である。

- (2-3) 最適な入出庫経路を決定するパスジェネレータと、同時多数の入出庫タスクの干渉チェックを行うタスクアビトラータを汎用プログラムとして実現する。

これにより(1-2)~(1-4)の実現が可能である。

- (2-4) システム情報のロギングとこれを閲覧する機能を、

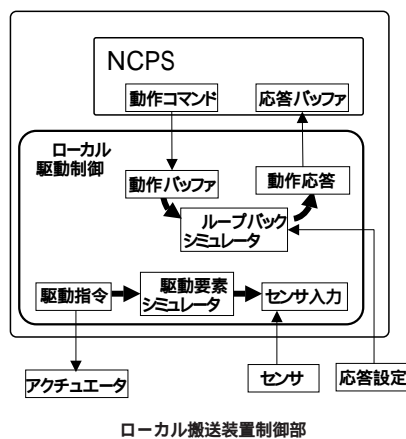
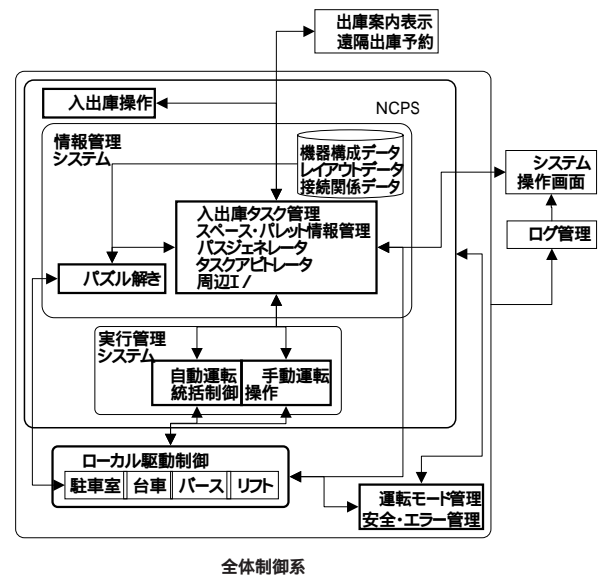


図2 制御系の機能構造
Functional diagram of total control system

Ethernetを介した独立機能として実現する。

ここでは、制御システム内の通信、管理情報の変化、エラーの発生など種々の情報を、制御部に影響を与えることなく収集可能であることが必須であり、閲覧機能では、情報種別ごとの表示、検索機能を持つことにより、障害発生時の状況などの詳細分析を行う。

最後に、

- (2-5) TCP/IPソケットによる装置制御情報I/Fを実現する。

この機能により、(1-5)の実現を容易にする。

以下では、本システムの機能と構成について説明する。

3 実現した機能とシステム構成

図2に、制御系全体の機能概念図を示す。制御系は、システム全体の情報や実行を管理する上位系(NCPS)と、リフトや駐車室などの各装置の制御を行う下位系(搬送装置制御部)の2階層で構成している。これに加え、緊急停止などの安全管理と、自動・手動など各装置の運転モードを統括管理する部分が独立して存在している。上位系の構成については、後で詳しく述べる。図2に搬送装置制御部の機能構成を示すが、およびに示す2つのシミュレータ機能を標準装備することが特徴である。これにより、実システムへの導入前に、駐車場システム全体の動作検証や、入出庫スル

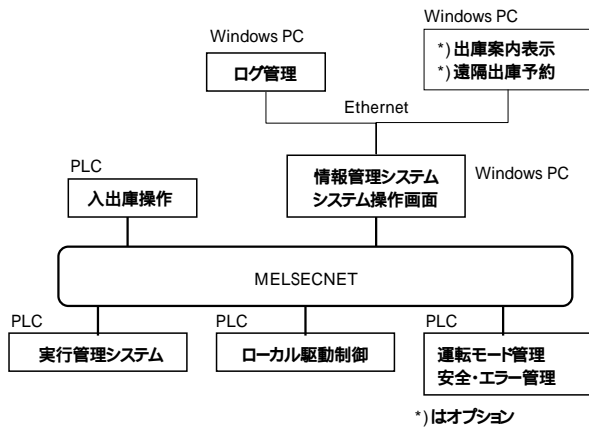


図3 計算機と通信システム構成
System configuration of computers and networks

ーボットのシミュレーションを行うことができる。さらに、入出庫操作部やシステム操作画面は、実システムと全く同じであるため、サービスマンの事前教育をこれで行うことも可能である。

3.1 上位系システム (NCPS) の機能

NCPSは、情報管理システムと実行管理システムの2つのサブシステムで構成される。情報管理システムは、次に示す機能を持つ(図2)。

入出庫タスク管理: 入出庫操作から受けた入出庫タスクの実行順管理を行う。ここでは、タスクの優先順や、入出庫バースの占有の管理も行う。

スペース・パレット情報管理: スペースの在車, 空車などの棚情報を一元的に管理する。

運転モード管理, 安全・エラー管理: 駐車場システム全体および搬送装置個別の運転モード状態や, 実際の動作状態を一元的に管理する。

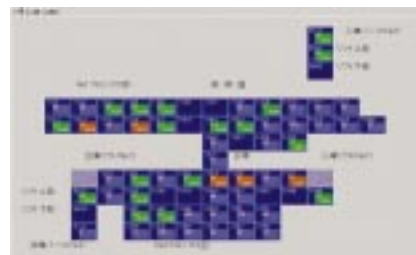
パスジェネレータ: 入出庫および異常発生時のリカバリのための, 最適経路を決定する。

タスクアビトレータ: 実行中作業の進行状況とのデッドロック管理を行う。

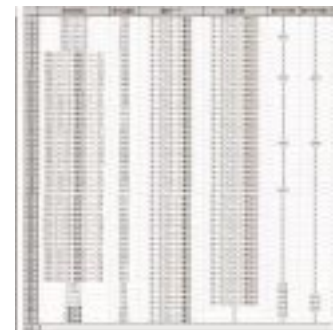
、の機能は、と同期して実行される。と同期して実行することにより、一部搬送装置の運転モード変更や復帰などの状態変化に応じ、入出庫タスクの経路を自動的に決定・変更することができる。と同期して実行することにより、途中でキャンセルされたタスクを再実行する場合などでは、該当するパレットがどこにあっても、これを検索し実行することができる。

周辺 I/F: TCP/IPソケット通信により、の情報を周辺システムとI/Fする。

入出庫タスク情報などの動作情報や、外部からの作業要求は、このI/Fを介して通信する。したがって、出庫案内表示や、遠隔出庫端末などのオプション機能は、このI/Fを介して接続される。またシステム操作画面も、周辺システムの1つとして位置付けており、画面上に表示される情報や画面から設定する情報はこのI/Fを介して通信される。すなわち、駐車場システムのローカルネットワークに接続できれば、どこからでも表示・操作が可能である。駐車場では、設備が広範囲に設置されているため、据え付け・調整時や、メンテナンス時には非常に有効である。



駐車場レイアウト表示画面



登録装置一覧

図4 システムレイアウト例
Example of parking system layout

パズル解き: 当社の特徴であるパズル駐車室の動作指示を作成する。

実行管理システムは、次の2つの機能を持つ。

自動運転統括制御: 複数の入出庫タスク経路を各搬送装置の動作コマンドに展開し、これを実行する。実行前には、タスクアビトレータと通信しデッドロック回避を行い、実行後には、必要に応じて棚情報のトラッキングを行う。

手動運転管理: 自動運転中の装置とのインタロックを取り、手動運転中の装置へ動作指示を出力する。動作実行後は、必要に応じて棚情報のトラッキングを行う。

これにより、一部の装置の手動運転切替え、および自動運転復旧を容易に行うことが可能である。

3.2 上位系システムの装置構成

図3に、システム構成を示す。システムのハードウェアは、WindowsPC (Personal Computer)とシーケンサの2種類を使用している。シーケンサは汎用PCに比べ、信頼性に優れている反面、プログラミングの柔軟性とデータストレージ能力、および情報の表現力と画面操作性では劣っている。そのため、シーケンサで実現困難な機能をPCで実現することとした。その結果PC上で実現した機能は、情報管理、システム操作画面、ログ管理、およびオプション機能である出庫案内表示、遠隔出庫予約機能である。駐車場のシステム構成や規模が異なる場合は、搬送装置制御部のシーケンサの数を必要処理量に応じて変更するが、PC部は共通である。PCとシーケンサは、情報管理システムが動作するPC上において、光リンクを介して通信する。光リンクは約9KWの共有メモリとして動作しており、PCの通信ドライバは、約10mS周期で共有メモリすべてのデータ変化を検出し、情報管理システムと、ログ管理システムに通知する。情報管理からは、任意のタイミングでの書き込みが可能である。共有メモリ上の各データ要素の種類およびアドレスマッピングは標準化されているため、システム構成の変化が各ソフトウェアに及ぼす影響はほとんどなく、初期設定値の変更により、システムが構築できる。

実行番号	作業ID	作業種別	優先度	入庫開始時刻	作業開始時刻	備考	実行ステータス
1	3854	1873	4300	2	2003.05.17 03:00:00	2003.05.17 03:01:29	定常稼働中通過
2	3855	1875	4300	2	2003.05.17 03:00:06	2003.05.17 03:00:35	定常稼働中通過
3	3856	4300	4300	3	2003.05.17 03:00:06	2003.05.17 03:00:35	定常稼働中通過
4	3857	4300	4300	3	2003.05.17 03:00:06	2003.05.17 03:00:35	定常稼働中通過

実行中入庫タスク一覧



実行中タスクの経路とデッドロックチェック

図5 複数同時タスクの実行例
Example of multi task execution

日付	時刻	操作	内容	エラーコード	発生場所	発生原因	対応	発生回数
2003.05.17	03:00:00	入庫	3854	000	入庫用空パレット	正常		1
2003.05.17	03:00:06	入庫	3855	000	入庫用空パレット	正常		1

システムログ

日付	時刻	発生種別	発生コード	発生場所	発生原因	発生回数
2003.05.17	03:00:00	エラー	001	入庫用空パレット	正常	1
2003.05.17	03:00:06	エラー	001	入庫用空パレット	正常	1

エラー情報抽出

図6 システムログとエラー情報表示
Example of system log and error information

4 実施例

操作画面表示を用い、事務所内シミュレーション環境での実施例を説明する。

4.1 システム構成情報

本システムでは、使用する搬送装置の装置名称や、装置タイプなどの属性データを定義すれば、プログラムの変更は不要である。図4に、駐車場レイアウトと、NCPSに登録されている搬送装置一覧表示例を示す。起動時にシステム構成情報を読み込むと、図に示す画面は自動的に表示される。レイアウト画面上には、棚情報、実行中対象パレット情報などがリアルタイムに表示される。

4.2 複数タスクの同時実行

本システムでは、複数の入庫タスクを同時に実行することが可能である。図5に、実行中の入庫タスクの一覧を示す。各タスクは、作業IDと呼ぶタスク番号により区別される。図5に、各タスクのアビトレーション状況例を示す。各タブに付けられた番号がタスク番号を示し、画面内には、実行中入庫タスクの詳細経路と、デッドロックチェックの結果が合わせて表示されている。例では、入庫用空パレット(入庫空P)の搬送が動作可能であり、在車パレット(入庫実P)の搬送は待ちの指示が出されている。

4.3 システムログ

図6に、本システムにおいて収集されるシステムログの例を示す。システムログは、汎用データベースに収集され、ログ番号および日付をキーとするレコードに格納される。各レコードは、収集された時刻(ミリ秒単位)と、6つの数値データフィールドおよび1つの可変長文字列フィールドで構成される。このうち、数値データフィールドに、操作、搬送コマンド、および障害その他などのログ種別情報や、ログデータを格納している。システムログを解析する際には、この6つのフィールドを組み合わせて検索する。文字列フィールドにはコメントなどを格納している。図6に、システムログから、障害情報を抽出し、表示する画面例を示す。障

害に関するシステムログには、エラーコードや発生箇所、発生や解除などのイベント情報が格納されており、この画面ではそれらを検索し、ルックアップテーブルを用いてわかりやすい表示に変換している。

5 むすび

大容量駐車場システム(GPS)を対象とした上位系制御システム(NCPS)を紹介した。本システムの特徴を、次に示す。

設定値の変更のみにより、種々の駐車場レイアウトに対応する汎用システムである。

複数の入出庫タスクを同時に実行することが可能である。このとき、システムの運転状態に応じた最適な実行経路決定およびデッドロック回避を自動的に行うことができる。

制御系とは独立な機能として、システムログの高速な収集と閲覧を行うことができる。

TCP/IPソケット通信により周辺システムとのI/Fを行うため、ビルオートメーションとの親和性が高い。

本システムは既に複数の設備に導入され、安定的に稼働している。また、新規設備については、本システムを用いて出荷テストを実施している。

今後は、シミュレーション機能を利用した設備提案や、システムログの解析による、サービスの効率向上や駐車場システムの品質向上など、本システムの用途を広げていく予定である。

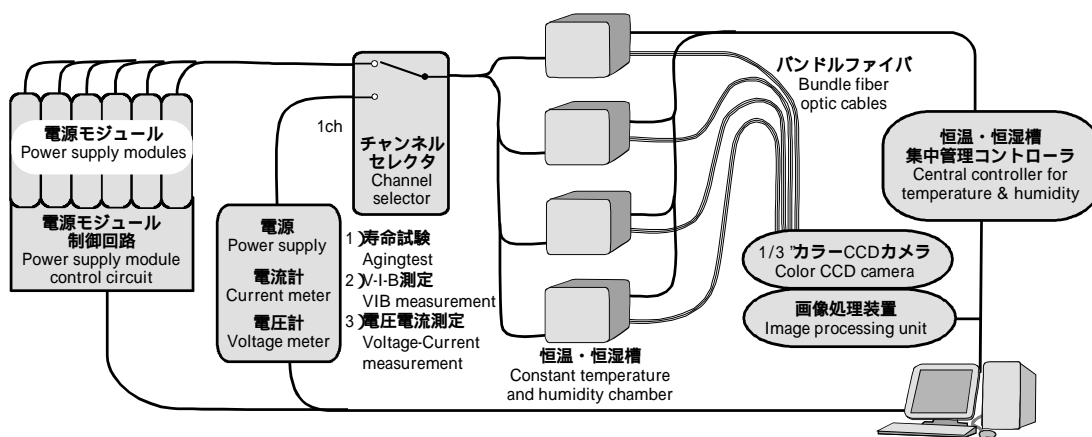
(参考文献)

門多伸治. 15ゲームを応用した人工知能をもつ駐車装置「スミパーク」の概要とその特長. 油空圧技術, vol.31, no.7, p.23~29, 1992.

柴崎幹雄, 平井睦男, 荒井晋, 小倉俊一, 大柴茂. 高速・大容量機械式駐車システムGPS. 住友重機械技報, vol.43, no.129, p.31~34, 1995.

有機EL素子エージング装置

OLED Aging System for Device and Panel



本装置は、一定の環境下（恒温・恒湿）において有機EL素子の発光強度と色度の経時変化および適宜な時間間隔でのVIB（色度を含む）特性の精密測定を行う。

特長

測定環境条件の高信頼性

産業用環境試験機として設計された恒温恒湿槽を装備している。

安定した光学計測システム

恒温恒湿槽の観測窓を介さずEL素子の光を直接光ファイバにて受光し、槽外で輝度および色度を計測する。

機械稼働部のない高信頼設計

光ファイバからの出力光をカラーカメラで撮像・画像処理する。

将来の新しい要求にも柔軟に対応

将来の増設にも容易に対応でき、デバイスからパネルまで幅広く対応する。

各パネルごとに独立した制御が可能

電流および電圧パルスパターンを選択、繰返し周波数、パルス幅、およびピーク値の設定が可能である。

恒温恒湿槽の必要台数選択による異なる環境での同時進行計測が可能である。

大がかりな機械構造がなく、コンパクトであり、恒温恒湿槽および画像処理装置をはじめシンプルな構成である。

試験項目

連続試験（寿命試験）として、所定の時間タイミングで素子の相対的な発光強度、色度、およびその時の負荷パルス電圧のピーク値、負荷パルス電流のピーク値を計測する。

VIB測定として、連続試験（寿命試験）の途中の所定の時間タイミングで、ある素子の相対的な発光強度、色度、および負荷DC電圧値、負荷DC電流値を計測する。

（株式会社 オプテル 小林 裕二）

制御システム小特集

新製品紹介

有機EL発光特性評価装置

Evaluation System of OLED Emission



有機ELパネルの発光特性を評価する装置を開発し、2003年4月に第1号機を納入した。有機ELは薄型・低消費電力の特性を持つ自発光型の表示デバイスである。次世代の標準ディスプレイを目指して現在多数の企業・機関において研究開発が進められている段階であり、今後の幅広い利用が期待できる。本装置は有機ELデバイスの分光スペクトルの測定を行うと同時に、外部量子効率、視感効率、および色度の各値を瞬時に演算し表示することができる。

主要仕様

測定波長域	350～780nm
波長分解能	2nm
測定可能輝度	10Cd/m ² 以上
ポリクロメータ仕様	
焦点距離	100mm
同 F値	3.0
同 回折格子刻線数	300本/mm
同 ブレーズ波長	500nm
同 逆分散	28nm/mm

なお、測定項目を次に示す。

分光スペクトル、電流 - 電圧特性、外部量子効率、視感効率、および色度

特長

ディテクタとして裏面入射型CCDエリアイメージセンサを採用し、紫外線領域を含む広い波長域に渡り高感度・高分解能を実現した。またこのセンサは電子冷却機能を持ち、広いダイナミックレンジを有する。

有機EL試料から外部放射された光は直径100mmの積分球に入り、集光光学系を通してポリクロメータ(分光器)に入射する。ポリクロメータは波長走査なしで計測範囲全体の分光スペクトルが得られるよう設計しており、短時間で計測を終えることができる。

スペクトルデータの取込み後、外部量子効率、視感効率、および色度について演算を行う。これらの値は制御用PCの画面上で、試料に通電した電流値を横軸とするグラフとして即座に表示される。

自動的に電流値をステップアップしながら測定を連続して行う機能を設けており、デバイス評価のスピードアップに効果をもたらすものとなっている。

(株式会社 オプテル 永當 博章)

制御システム小特集

新製品紹介

タイム オブ フライト測定装置

Time of Flight Measurement Equipment



高品質膜質評価のためN2レーザ（337nm）およびダイレーザ（357～710 nm）光を照射し、電子移動度、ホール移動度（ $10^{-7} \sim 10^{-1} \text{cm}^2/\text{Vs}$ ）、および平均結合寿命（10ns以上）の評価を行う装置である。

特長

ナノ秒レベルの測定を可能にする高S/Nであり、ノイズを極力小さくするハードウェア構成でデータを処理する。

サブミクロンレベル（0.1 μm ）からの超薄膜の計測が可能である。

分散型伝導と非分散型伝導の両方に対応可能である。

励起光電流の過渡電流波形から走行時間とキャリア移動度を計算、分散型伝導および非分散型伝導の両方の計測が可能である。

光強度に対する励起光電流を計測、プロットし最小2乗直線を当てはめる。

光強度一定の条件のもとで電圧対励起光電流を計測、プロットし最小2乗直線を当てはめる。このデータを、光強度を変えて計測する。

 μ の計算

過渡電流波形の積分値から得られる誘起電荷量と電界強度との関係をプロットし、それにHecht曲線を当てはめる。これから μ を計算する。

(株式会社 オプテル 岡久 守一)

制御システム小特集

新製品紹介

分光感度測定装置

Spectral Responsivity Measurement Equipment



本装置は、太陽電池等素子のバイアス光（擬似太陽光）照射時の分光感度特性および電圧 - 電流特性を測定する装置である。

システム構成を、次に示す。

定エネルギー照射部（光源、分光器、および定エネルギー制御装置）、測定部（擬似太陽光照射装置、自動試料移動装置、および計測装置）、および制御装置（パソコン、制御ソフト、およびデータ処理ソフト）

応用測定項目を、次に示す。

光導電材料分光感度測定、光電変換素子分光感度測定、各種感光剤分光感度特性、および太陽電池の評価

主要仕様

1. 定エネルギー照射部

波長範囲 350nm ~ 1100nm
 光源 キセノンランプおよびW - ハロゲンランプ
 分光器 焦点距離 250mm
 グレーティング 600 / mm, 500nm
 600 / mm, 1000nm

定エネルギー制御 ND - 110A

制御モード 定エネルギー / 定フォトン

照射強度 < 照射エネルギー >
 全波長領域 $10 \mu\text{W} / \text{cm}^2$
 (350 ~ 1100nm)
 350 ~ 700nm $40 \mu\text{W} / \text{cm}^2$

2. 分光感度測定部

バイアス光照射装置

光源 ショートアークキセノンランプ

エアマスフィルタ AM1.5G付き

照射強度 $100\text{mW} / \text{cm}^2$

照射面積 30mm以上

照射強度均一性 $\pm 5\%$ (照射面 15mm以内)

バイアス光フィルタ2種類実装可能 (切替え 手動)

試料ステージ・プローブ

ステージ移動範囲 110mm x 110mm, プログラム制御

試料サイズ 100mm x 100mm以内

プローブ 背面プローブ 上下移動 プログラム制御 (上面プローブ設定 手動 オプション)

分光感度測定部

a. バイアス電源 電圧 $\pm 200\text{V}$ 20W (最大電流 1A)

分解能 2Vレンジ $50\mu\text{V}$, 20Vレンジ $500\mu\text{V}$

電流測定レンジ

最小レンジ $1\mu\text{A}$ (分解能 10pA)

b. 分光感度測定

直流特性 デジタルマルチメータ, 電流測定モード

最小測定レンジ $2000\mu\text{A}$

交流特性 2位相ロックインアンプ, 最小測定レンジ 1nA 以下

プリアンプ 初段 電流電圧変換型 (変換インピーダンス 100), 2段 交流電圧増幅 (電圧利得 $\times 2$, フィルタ付き)

(株式会社 オプテル 渋谷 胖)

制御システム小特集

新製品紹介

CO₂レーザー型光ファイバカプラ製造装置Optical Fiber Coupler Manufacturing Machine CO₂ Laser Type

光通信網において、光信号を分波または合波させる基幹部品として光ファイバカプラがある。光ファイバカプラは2本以上のファイバを平行に並べ加熱し、そして溶融延伸して製造する。現状加熱する熱源としては、ガスバーナ（プロパンあるいは水素）、あるいはセラミック電気ヒータによる製造方法しかない。しかしガス溶融方式の最大の欠陥は、ガス燃焼時に発生する水分がファイバ内に吸収され、特定波長において著しい減衰を生じることである。また、セラミック電気ヒータ溶融方式は水分影響はないが、ファイバ近傍でセラミックを加熱するため不純物が飛散しファイバに含浸したり、また温度がバーナに比較して低いため製造時間が長くなるなどの問題点がある。そこで、熱源としてCO₂レーザー光を用いることにより、従来の方法では実現できなかった水分、あるいは不純物の含浸を起さない信頼性のある小型カプラを製造することが研究されている。海外においては英国のパーズ大学などで研究開発が行われており、国内においては茨城大学システム工学科の佐々木豊教授が研究を行っている。今回、茨城大学の佐々木教授、トヨクニ電線株式会社、および株式会社 オプテルでCO₂レーザー型ファイバカプラ製造装置の共同開発を行い、世界初の商品化ベースまでの開発に成功した。

特長

25Wガス封入RF励起型空冷式CO₂レーザーの採用により、小型、軽量、低騒音、およびメンテナンスフリーを達成している。

CO₂レーザーを熱源としていることにより、カプ

ラに不純物がなく特定波長における減衰のない信頼性の高いカプラが生産可能である。

レーザー光をファイバに照射する方法はガルバノ方式も研究されているが、今回開発した装置はシリンドリカルレンズ2枚を使用（佐々木教授提唱方式）し、レーザー光断面を長円形の形状に成形して光を固定してファイバに照射している。そのためファイバの溶融している位置が安定しており、製造過程での損失率の変動が少なく歩留まりが良い。

CO₂レーザーによるカプラの生産過程は、ファイバに対してレーザーのエネルギーを徐々に増加させ完了するまで増加させる。このため、レーザーの最大出力である25Wでは不足する場合、延伸の結果ファイバの径が細くなる特長を生かしレンズを移動させ照射面積を減少させる。これにより、25W出射後も単位面積当たりのエネルギー値を増加させる機構を採用している。

製造時間に対して出力増加カーブをあらかじめ設定するが、25W超過後も25Wまでと同様にワット数指定により出力増加カーブを設定できる。レンズの移動量は、ワット数指定によりコントローラ内で自動演算処理される。

レーザービームの一部をディテクタで受け出力のフィードバックを行っているため、あらかじめ設定した出力増加カーブをほぼ忠実に再現できる。

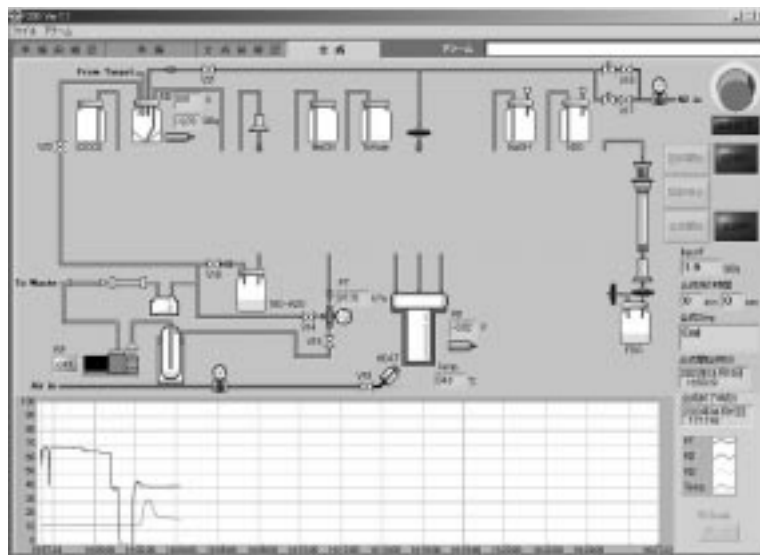
（株式会社 オプテル 近藤 祐充）

制御システム小特集

新製品紹介

新FDG合成装置コントローラ

New Controller for FDG Synthesizer



当社の放射性薬剤合成装置用のコントローラは、『CUPID』と呼ばれ、現在まで多くの納入実績を有している。CUPIDは、全体コントローラとRIローカルコントローラに機能分けされた、2台以上のDOS/Vパソコンで構成されている。RIローカルコントローラは、合成する薬剤の種類に応じて台数が追加でき、全体コントローラは、サーバクライアント方式により同時操作可能な端末を増やすことができる拡張性を持っている。

また、CUPIDは、合成手順を簡易に作成・編集できる機能を持ち、大学病院や国公立の研究所における新薬剤の開発などの研究用途にも対応できる汎用性も持っている。

一方では、2002年4月から $2\text{-}[^{18}\text{F}]\text{フルオロ}\text{-}2\text{-デオキシ}\text{-D}\text{-グルコース}$ (FDG) 薬剤によるポジトロン診断が保険適用になったのを契機に、一般病院向けにも、FDG薬剤を主としたポジトロン断層撮影 (PET) システムの需要が急増している。CUPIDをFDG薬剤合成の用途に限定して、これらの一般病院向け需要に対応することは、CUPIDの持つ多機能ゆえに使わない機能が冗長な部分となり、複雑な操作系が誤操作を引き起こす恐れも生じてくる。

この問題を解決するために、FDG薬剤合成に限った、単体の合成装置専用のコントローラを、今回新たに開発した。

その構成は、ユーザインターフェースとローカルコントローラが1対1で対応するシンプルなものである。

ユーザインターフェース部分は、合成手順の作成・編集等の不要な機能を省略し、画面上のON/OFFボ

タンを押すだけの単純操作で駆動し、誤操作を防止することに重点を置いたグラフィカルなWindowsアプリケーションを、プログラミング言語であるLabVIEWで作成している。このアプリケーションには、医薬品メーカーや医療機関で使用する際に、その製造管理及び品質管理基準のバリエーションにも対応できるように、合成過程のデータを保存・印刷する機能も追加している。一方のローカルコントローラには、FDG薬剤用に確定した合成手順を固定のプログラムとして格納できるシーケンサ (PLC) を採用している。これによりハードウェアの保守性と信頼性および価格面でDOS/Vパソコンより優位にすることができた。

この新コントローラはJIS規格である医用電気機器の安全規格 (JIS T 0601-1) だけでなく、近年特に注目され、2004年から実施予定となっている、電磁両立性 (EMC) 規格 (JIS T 0601-1-2) にも適合できるように設計されている。医療現場での電磁波に関して、本装置が発生する使用者や周囲に対する電磁波の影響を最小限に抑えるとともに、本装置に誤作動を引き起こす可能性がある外部からの電磁妨害に対しても健全性を確保している。

現在医療用具申請中の装置にも本制御装置が組み込まれており、今後とも、新コントローラによる優れた操作性や安全性をアピールできるシステムを顧客に提案していく予定である。

(量子先端機器事業センター 森本 博文)

全電動式 2 材成形機

Fully Electric Double-shot Injection Molding Machine

齋藤 泰史

Yasushi SAITO



図1 全電動 2 材成形機
Fully electric double-shot injection molding machine

ダイレクトドライブ全電動機 S E-D シリーズをプラットフォームマシンとして開発した 2 材成形機 SE-D-CI シリーズは、型締、射出、および可塑化など各部の動作が高精度であることはいまでもない。さらに 2 材成形では最も重要な性能評価ポイントである反転盤回転機構も、サーボモータによる駆動装置を新たに開発、あわせてメカニカルな位置保持機構により、極めて高い精度を誇っている。要求が多様化する精密・薄肉の 2 材成形の分野で威力を発揮する、優れた成形機として開発した。反転盤動作時間は同クラスの他社機に比べ半分以下、最高射出速度は 300mm/s の能力を持ち、成形サイクルが大幅に短縮され、生産性と品質の向上に大きく寄与している。

All moving parts of the SE-D-CI series double-shot molding machines, which have been developed based on the SE-D series direct-drive fully electric molding machines, demonstrate high precision in clamping, injection and plasticization. In addition, the rotating mechanism for the reverse platen also achieves extremely high precision, which is the most important factor for performance evaluation of double-shot molding machines, through the development of a new servomotor-based drive as well as a mechanical position-retaining device. The SE-D-CI series has been developed as an excellent molding machine, which is highly useful in the field of high-precision, thin-walled double-shot molding where requirements are diversifying. The series has made a significant contribution to improvement of productivity and quality since it shortens the rotation cycle time of the reverse platen by more than half that of competitors' machines of the same class, has the maximum injection speed of 300 mm/s and drastically shortens the molding cycle.

1 まえがき

近年プラスチックの射出成形品の多くが中国を始めとした海外での生産にシフトしている。

国内では生き残りを賭けて、新しい生産システム、高付加価値製品の開発に重点が置かれるとともに、低コストの量産製造技術のニーズがますます増大している。

また、生産性の高さや高性能だけではなく省エネルギー、クリーン、および低騒音など環境に優しいことも当然の要求品質となっている。

2 材射出成形機は、2 組の射出装置を持ち、複数の材料や色で構成される成形品を 1 サイクルの工程で成形でき、組立工程を省いた生産工程の省力化。

デザイン、触感を向上させるなどの高付加価値化。

シール性、透過性、および密着性を組み合わせた複合化と高機能化。

などを実現している。本報では多様化する樹脂や製品に応じ、高精度および高生産性を兼ね備えた全電動式 2 材射出成形機 SE-D-CI シリーズ について、その特長と成形品事例を紹介する。

図 1 に、シリーズの 1 つ SE130D-CI の外観を示す。

2 2 材射出成形機の概要

2.2.1 成形機の種類

2 材成形をする場合、1 次側の半製品を 2 次側へ移動する方法として、



図2 全電動型 2材成形機
Fully electric vertical double-shot injection molding machine

コア金型を反転させたり，回転させたりするロータリー方式

コア金型を左右や，上下にスライドさせるスライド方式

金型に内蔵したシリンダを前後に動かすコアバック方式

が一般的に採用されている。

また，2組ある射出装置の配置も数種類存在している。

2組の射出ユニットを中心線上に対称に平行に配置する。

金型を挟んで直線上に対向して配置する。

1組を金型の中心に置き，もう1組を斜め横，または斜め上に配置する。

1組を中心に置き，もう1組を成形機の固定プラテン上面や，反操作側に配置する。

射出装置を縦に2組配置する（図2）。

それぞれに一長一短があるが，コア金型の移動方式や射出装置の配置が異なると金型の互換性がなく，ユーザは最初に選定した方式に拘束されることになる。そのため，ユーザ側はその製品形状，生産形態，および取出し方式に応じて成形機を慎重に選定している。

SE-D-CIシリーズで採用した金型反転タイプおよび射出装置平行配置タイプの成形機は製品形状への制約が少なく，金型の製作も比較的容易で汎用性があることから日本では最も多く使用されている方式である。

2.2.2 SE-D-CIシリーズの特長

汎用の成形機は油圧駆動式から環境に優しい電動駆動式へ急速に移行しており，2材成形機も同様に電動駆動式に移行すると予想される。当社では，市場で高い評価を得ている汎用の全電動成形機SE-Dシリーズの特長を継承したSE130D-CIおよびSE200D-CIの2機種 of 2材成形機を開発した。



図3 反転装置
Mold rotary device

以下に，各装置の特長を述べる。

高機能と幅広い対応を実現した反転装置

反転タイプの2材成形機ではコア金型を移動させるための反転装置の性能が成形品品質に与える影響が極めて大きい。

その中でも特に反転精度，反転装置の剛性，反転速度，および搭載金型への対応性が重要である。

反転の精度が悪く，反転した後の位置が不安定になると，2次材料がうまく入らず良品が得られないばかりでなく金型にも悪影響がある。

SE-D-CIシリーズでは180度の反転位置決めは信頼性の高いメカニカルストップ方式を採用している。さらにそのストップは最終仕上げ工程で研削加工を行い，高精度を確保している。またメカニカルストップ方式は位置決めシリンダによる方式に比べ，成形サイクルを短縮できる。

反転装置の剛性が不足すると，成形品にバリが出やすく，また金型の重量で装置自体が傾いて，型締時にガイドピンを摩耗させるなどの不具合が生じる。SE-D-CIシリーズでは装置単体での剛性を維持するために反転テーブルの厚さをじゅうぶん確保している。

また，反転速度は成形サイクルに影響するだけでなく，反転速度が速ければ，1次側成形品が外気に触れる時間を短縮でき2材の密着性を向上することができる。

本シリーズでは，最適なサーボモータを搭載することにより，質量1000kgの金型を約2秒で安定的に反転させ（SE200D-CIの例）成形品の品質の向上と成形サイクル短縮を可能としている。

また図3に示すとおり，広い反転テーブルにより金型寸法の制約が少なく，幅広い金型への対応を可能としている。

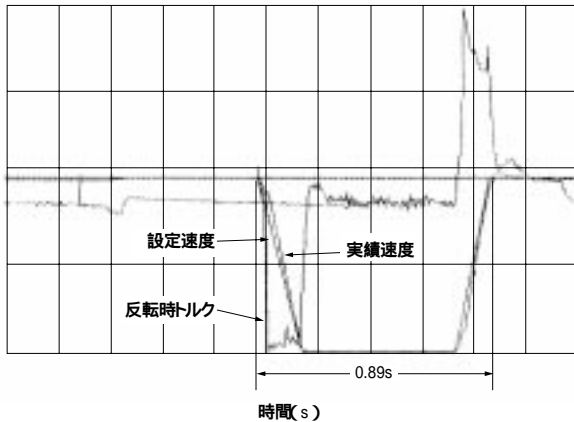


図4 反転時間表示波形
Rotation cycle time profile

図4は、SE130D-CIにおける反転速度の波形を示したものである。最大反転速度設定時(テストブロック搭載)に0.89秒で反転を完了している。

優れた金型温調配管のメンテナンス性

本シリーズでは毎ショット180度反転する金型への冷却水の供給方法を改善した。

従来多くの成形機では、反転装置の中心軸から供給する方式を採用している。しかし、この方式ではシール部分のメンテナンスに手間が掛かり、さらに2つに分かれた金型の場合は配管接続の作業性が悪く、多くの段取り時間を要していた。

本シリーズではそれらの問題点を解決するため、反転装置の周囲にホースを巻き取る構造を採用している。

本方式を採用する事により型開閉時や反転時にホースが邪魔にならず、また寿命によるホース交換も短時間で容易に可能となった。これにより機械の停止時間を大幅に短縮し、稼働率を向上することが可能になった。

高精度精密安定成形を実現した射出装置

本シリーズには、汎用の全電動成形機SE-Dシリーズで実績のある第2世代ダイレクトドライブ機構を採用している。極限までコンパクト化を図ることにより、慣性モーメントを低減し、射出の高応答・高速化による超薄肉および超精密成形への対応を向上している。

また、電動駆動制御の特性を生かした「SK 制御」を組み込むことが可能になっている。

SK 制御は、スクリームの先端に組み込まれた特殊な逆流防止機構によりシール工程での樹脂の逆流を完全に防止するとともに、計量中の樹脂密度変化が発生しても自動補正機能で樹脂密度を一定にするもので精密安定成形および再生材の使用時に特に効果を発揮する。

スクリームのメンテナンス性と選択範囲

図5に示す2組の射出装置はそれぞれ単独に旋回可能で、スクリームのメンテナンスが容易に行える構造となっている。

また2材成形においては、1次側部品と2次側部品の製品質量が大きく異なることも多いが、SE200-D-CIでは大小2つの射出装置とそれぞれ3種類のスクリーサイズから選択できるため、多様な成形品に対応することが



図5 射出装置
Injection unit



図6 成形品事例 1
Product sample 1

可能である。

使いやすさと高機能を両立した制御装置

12.1インチの大画面タッチパネルLCD搭載のコントローラを採用した。設定の多い2材成形機の成形条件も視認性の良さと操作を融合した制御システムによって簡単に設定できる。

特に2組ある射出装置の設定、表示項目も一画面上に表示し、操作側および反操作側の表示は画面上で色分けして視認性を高めている。

また、品質管理、管理機能(ロギング、一覧表示、およびトレンドグラフ表示)、および波形表示・解析機能(8Ch入力、波形保存、2分割、重ね書き機能、およびカーソル位置表示)などの高機能を有している。

3 2材成形の動向

2材を一体で成形する機械は1960年代から存在しており、パソコンおよび電話機のキートップの文字やオーディオ用カセットテープのシェル成形などで成形機の需要が急激に伸びた時期があった。

その後は金型の設計・製造のコア技術を有するユーザの中でニッチな市場として根強く一体成形技術は進化し続けてきた。近年では自動車、医療器具、IT関連機器、家電、事務機器、建材、工具、玩具、および日用雑貨などに応用範囲が拡大してきている。現在一体同時成形の事例としては、熱可



図7 成形品事例 2
Product sample 2

塑性樹脂と熱可塑性エラストマ(TPE)の組み合わせが多く、数百種類以上に及んでおり、さらに拡大傾向にある。

SE-D-CIシリーズはそれらの熱可塑性樹脂とTPEの組み合わせ成形に適した成形機を提供することに注力している。

TPE以外の熱可塑性樹脂同士の組み合わせではメッキの乗る材料と乗らない材料の組み合わせや光透過性材料と非透過性材料との組み合わせなど、製品の高付加価値化が進んでいる。

4 熱可塑性エラストマ(TPE)

TPEは、1960年代Shell Chemicalsのスチレン/ブタジエン/スチレン(SBS)ブロックコポリマの紹介から始まった。プラスチックと同じ成形加工性を有し、ゴム状弾性を具備した高分子材料である。しかし当初は加硫ゴムと比較して弾性や熱安定性の面で特性が劣っていたので、その用途は限定されていた。

その後、主成分(スチレンブロックコポリマ、ポリウレタン、プラスチック/エラストマブレンド、コポリアミド、およびコポリエステルなど)、コンパウンディングの方法を改良した新しいタイプのポリマの導入によってTPEの性質は飛躍的に向上した。現在、加硫ゴムの代替とまったく新しい用途向けで急成長している。

代表的なTPEとしては、スチレンブタジエン系(TPS)、オレフィン系(TPO)、ポリエステル系(TPEE)、およびポリウレタン系(TPU)、の4大TPEと呼ばれるものや、塩化ビニール系(TPVC)、ポリアミド系(TPEA)、およびフッ素ゴム系などがある。

世界のエラストマ系消費量は1960年以降、平均年率3.4%で成長を続け、2001年には1739万tに達し、1960年の442万tの4倍に達している。しかし1990年代に入って、消費はこの長期的成長傾向を下回り、2000年になって回復した。

自動車や電気・電子部品でのリサイクルに関する規制、環境的な理由から可塑性PVCの代替やその他の用途として、触感(グリップ感)、シール性、緩衝性、柔軟性、および耐衝撃性が求められる部品やスイッチ類など多岐にわたっている。

5 成形品事例

以下に熱可塑性樹脂とTPEの組み合わせ事例として、2つ

の成形品を紹介する。

5.1 成形品事例 1

図6はボールペン軸の熱可塑性樹脂+TPEの事例である。この成形品は多数個成形の例であるが、優れた射出性能と剛性の優れた型締装置(反転装置)により、安定した品質の製品が得られた事例である。

5.2 成形品事例 2

図7は電動工具のボディで、熱可塑性樹脂(PA6)+TPEの組み合わせで、従来は3900kNクラスの成形機で成形していたものをワイドな反転装置の特徴を生かし、半分の型締力の成形機で成形できた製品の事例である。

6 むすび

SE-D-CIシリーズは、2種類の樹脂(または2色)を1サイクルの工程の中で製造するための成形機として開発した。

SE-D-CIシリーズは、環境に優しい全電動式で高精度、高生産性を実現している。

SE-D-CIシリーズは、現存する多くの金型が搭載可能な汎用性に優れている。

今後も新たな市場要求に対応し、さらなる高付加価値化、生産性、および品質安定性に優れた成形機を開発していく所存である。

(参考文献)

齋藤泰史・全電動式2材射出成形機・産業機械, no.631, p.53~56, Apr., 2003.

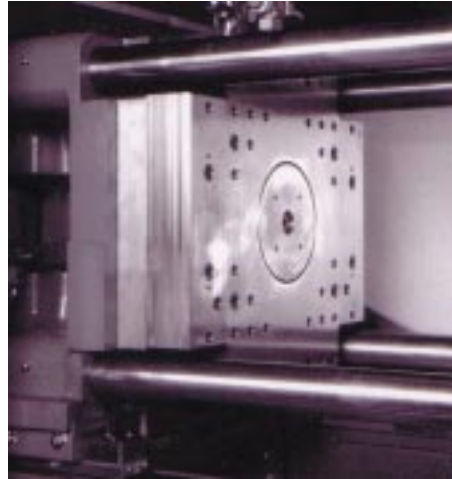
新用途開拓加速する熱可塑性エラストマー・Plastics info World, vol.5, no.1, p.26~27, Jan., 2003.

光学部品における射出圧縮成形

Injection-Compression Molding for Optical Elements

平野 智裕

Tomohiro HIRANO



射出圧縮装置
Core compression device

射出圧縮成形は従来から研究されている成形法であるが、その効果の度合いや金型構造の複雑化などの理由によって採用されない場合が多く存在した。しかし、成形品質の要求が高まるにつれて、近年は導光板、ディスク、およびレンズなどの光学部品での適用事例が増加している。

射出圧縮成形の効果としては、

光学レンズにおける形状精度の向上および凹レンズのウエルド防止

導光板およびディスクにおける微細パターンの転写性の向上

が挙げられる。

本報では、導光板およびレンズの射出圧縮成形での樹脂の挙動をPVT線図を用いて以下の現象について考察した。

導光板成形における微細パターンの転写に関する圧縮の効果、圧縮の立ち上がり依存性および最適圧縮時間の存在

レンズ成形におけるレンズ形状と圧縮の効果の関係

Although injection-compression molding has long been studied, this method has not been used because of the unsatisfactory levels of its effects and the complex structure of the metal mold. However, as the demand for molding quality becomes stronger, the injection-compression molding method is being used in a growing number of applications for optical elements such as optical waveguide, disc and lens.

Injection-compression molding has the following effects:

- 1) Increases dimensional accuracy of the optical lens and prevents a concave lens from being welded.
- 2) Increases transferability of fine patterns on the optical waveguide and disc.

In this report, we discuss the following phenomena by using a PVT diagram to identify the behavior of resin in the injection-compression molding of an optical waveguide and lens.

- 1) Compression effect related to transfer of fine patterns in molding an optical waveguide, rising dependence of compression and existence of optimal compression time
- 2) Relation between the shape of a lens and the compression effect in lens molding

1 まえがき

近年、デジタルカメラ、携帯電話、およびDVDなどIT関連の各種製品に使用される機構部品、レンズ、および導光板、さらにディスクといったプラスチック成形品も高精度・高性能化し成形品への要求も年々レベルが高くなりつつある。このような成形品に対して射出成形だけでは十分な精度が得られない場合に射出圧縮成形法が生産に採用されることが多くなっている。

射出圧縮成形法は、金型内に樹脂が充填される工程もしくは冷却工程において、金型のキャビティの体積を強制的に変化させる成形法である。射出圧縮成形法の効果として、

機構部品における真円度の向上

レンズにおける形状精度の向上やウエルドの防止

導光板やディスクにおける転写性の向上

が挙げられる。

本報では、光学部品（レンズ・導光板）に射出圧縮成形法を適用した場合の成形現象の解明、および射出圧縮成形法の現状と効果事例について報告する。

2 射出圧縮装置

射出圧縮成形法は様々な方式が考案されていて、それぞれに特徴を有している。ここではマイクロモルダ法と呼ばれる金型のキャビティを構成するコアに圧縮力を加え、キャビティ容積を変化させる方式の射出圧縮成形法の装置であるコア圧縮装置およびエジェクタ圧縮装置について説明する。

図1に、コア圧縮装置の断面図を示す。圧縮力は別置き

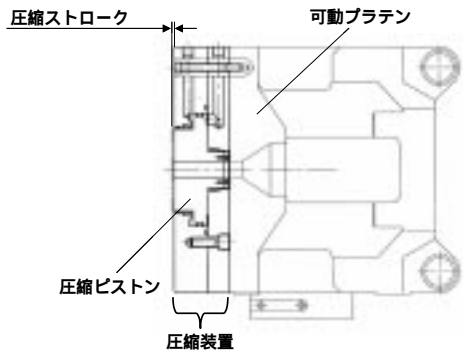


図1 コア圧縮装置断面
Cross section of core compression device

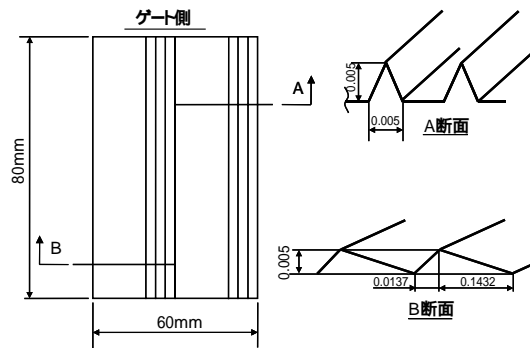


図3 成形品形状
Sample product

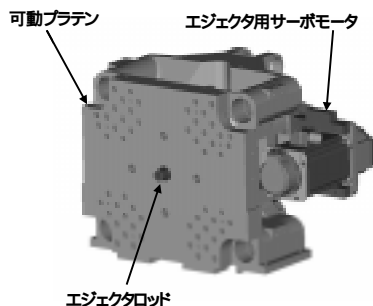


図2 エジェクタ圧縮装置
Ejector compression

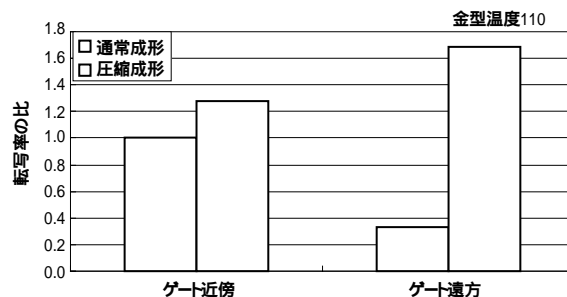


図4 圧縮の効果
Comparison with normal and compression

動作させ、その力を金型のコアに伝える方式になっている。

この圧縮装置の特徴は、

大きい圧縮力を発生することができる。(成形機の型締力の1/2 ~ 3/3)

圧縮行程の圧力制御にサーボバルブを使用しているので圧力の応答性を高めることができる。また、その再現性が高い。

圧縮力を制御する方式のため、圧縮ストロークの制御は成形機から行うことができない。ただし、圧縮ストロークのモニターは1 μm単位で行うことができる。

という点が挙げられる。この方式は大きい圧縮力を発生することができるので、投影面積の大きい導光板やプロジェクタレンズの射出圧縮成形で採用されている。

図2に、エジェクタ圧縮装置の外観図を示す。圧縮力はエジェクタロッドによって金型のエジェクタプレートを進ませ、コアに伝達される構造になっている。

特徴としては、

サーボモータとボールネジを使用しているので圧縮ストロークを成形機から制御することができる。

圧縮ストロークを大きくとることができる。

圧縮力が比較的小さい(成形機の型締力の1/15 ~ 1/10)という点を挙げる事ができる。用途としては主に小径のレンズ(ピックアップレンズ)の射出圧縮成形に用いられている。

3 射出圧縮成形法における樹脂の挙動

3.1 平板(二次元)の射出圧縮成形

3.1.1 実験結果

実験概要を、次に示す。

成形機: SE100D - C360M - 32 (最大射出圧217MPa)

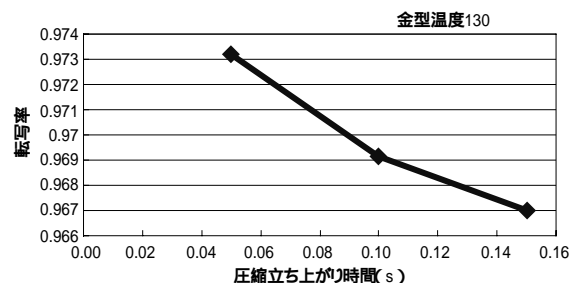


図5 圧縮立ち上がり時間と転写率の関係
Relationship between acceleration of compress and transcription ratio

樹脂: ポリカーボネイト

圧縮装置: コア圧縮装置 (最大圧縮力727.7kN 圧縮ストローク5mm)

成形品: 導光板 2個取り 圧縮量0.2mm (形状図3)

実験は、圧縮の有無、金型温度、および圧縮の応答時間を変化させて行った。成形品の評価は、図3のA断面に示されるV溝について金型のV溝形状と成形品のV溝形状を比較する。成形品のピット高さ/金型のピット高さを転写率と定義し、評価を行った。

3.1.1.1 圧縮の影響

圧縮の有無での転写率の変化を通常成形を1とした場合の比率を、図4に示す。転写率はゲート近傍では大きく変化しない。ただし、ゲート遠方では圧縮を行うことによって5倍の転写率を得ることができた。また、圧縮によってゲート遠方の転写率がゲート近傍の転写率を上回る結果となった。

3.1.1.2 圧縮力立ち上がり時間の影響

圧縮の立ち上がり時間を変化させたときの転写率の変化を、図5に示す。図5より、圧縮の立ち上がり時間が短い方が転写率が高いことがわかる。

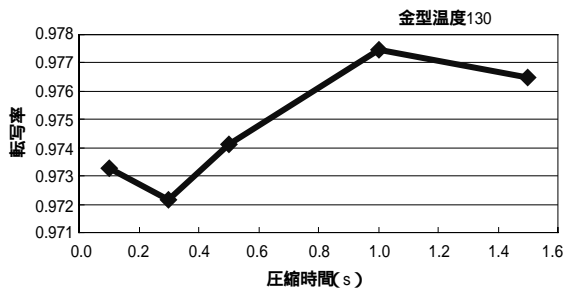


図6 圧縮時間と転写率の関係
Relationship between compression time and transcription

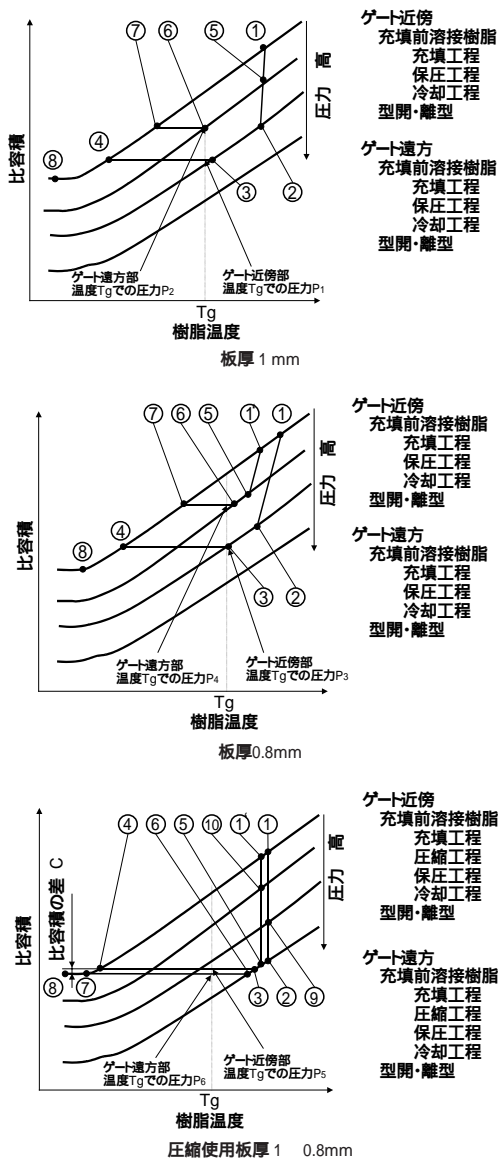


図7 平板のPVT線図
PVT diagram (plate)

3.1.1.3 圧縮時間の影響

圧縮時間を変化させたときの転写率の変化を 図6 に示す。図6より、最適な圧縮時間があることがわかる。

3.1.2 平板形状のPVT線図

実験によって得られた結果について、PVT線図を用いて考察を行う。まず、平板形状のPVT線図を板厚1.0mm・0.8mm・圧縮によって板厚0.8mmとする場合について、図7に示す。

PVT線図は樹脂の温度、比容積、圧力の関係を示している。図7の4本の曲線は、ある圧力下での比容積と温度の

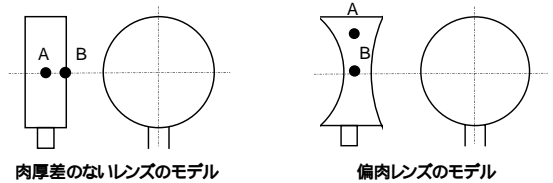


図8 レンズモデル
Model of lens

関係を表し、圧力が高いほど比容積は小さい曲線となる。図7と図7を比較すると、板厚の差はゲート遠方の充填前樹脂の温度差(と'), 充填工程中の樹脂温度低下()および保圧工程()に顕著に現れる。充填前樹脂の温度低下および充填工程中の樹脂温度低下は、板厚が薄くなるにつれて成形品内部のスキン層の形成が急速に行われることにより樹脂温度が低下する。また、保圧工程において板厚1mmの場合は圧力が一定で推移する領域の範囲が大きいですが、板厚0.8mm場合はその範囲が極めて小さくなる。転写は樹脂温 T_g (ガラス転移点)における圧力がゲート近傍部において $P_1 > P_3$ 、ゲート遠方で $P_2 > P_4$ となるので、板厚が厚い方が転写が良くなる。したがって通常成形において板厚が薄い場合に金型形状を転写させるためには樹脂温度を下げない、かつ樹脂温 T_g での圧力を上げる必要があるため高速・高圧が必要となる。

圧縮なしと圧縮ありを比較し、図7と図7で実験結果を考察する。

3.1.2.1 圧縮の影響

転写率の向上は、圧縮を行うことによって樹脂温 T_g での成形品の圧力が高くなることに依存する。また、ゲート遠方において転写率の向上が起こる現象は圧縮によってゲート遠方の圧力が上昇し冷却工程での圧力がゲート近傍の圧力よりも大きくなったために起こる現象である。

3.1.2.2 圧縮力の立ち上がりの影響

圧縮行程に入る前には、成形品の板厚よりも板厚が厚い状態でゲート遠方まで樹脂が流動する。圧縮力の立ち上がりが遅い場合、圧縮力によって所定の板厚まで圧縮できなくなることがあるため圧縮を早く始める必要があり、圧縮の効果が出にくくなる。

3.1.2.3 圧縮時間の影響

前に述べたように、転写率は樹脂温 T_g での樹脂の圧力によって決定される。圧縮時間が短い場合は、樹脂に圧力が伝達されない。また、圧縮時間が長くなるとすでに固化した樹脂にさらに圧力をかけてしまうので転写が崩れてしまう。したがって、圧縮時間には最適時間が存在する。さらに、圧縮開始が早い場合には成形品が充填されない状態で圧縮動作が始まり、ゲート遠方の樹脂の流動が図7の場合と同様になってしまうため圧縮の効果が出ない。また、圧縮動作が遅い場合にはゲート遠方が冷却工程に移行してしまうので圧縮の効果が出ない。

3.2 レンズ(三次元)の射出圧縮成形

3.2.1 レンズ成形におけるPVT線図

図8に、肉厚差のないレンズおよび偏肉レンズのモデルを示す。また、図9にアクリル樹脂での肉厚差のないレンズの成形、肉厚差のないレンズの射出圧縮成形および偏肉レンズの射出圧縮成形のPVT線図を示す。

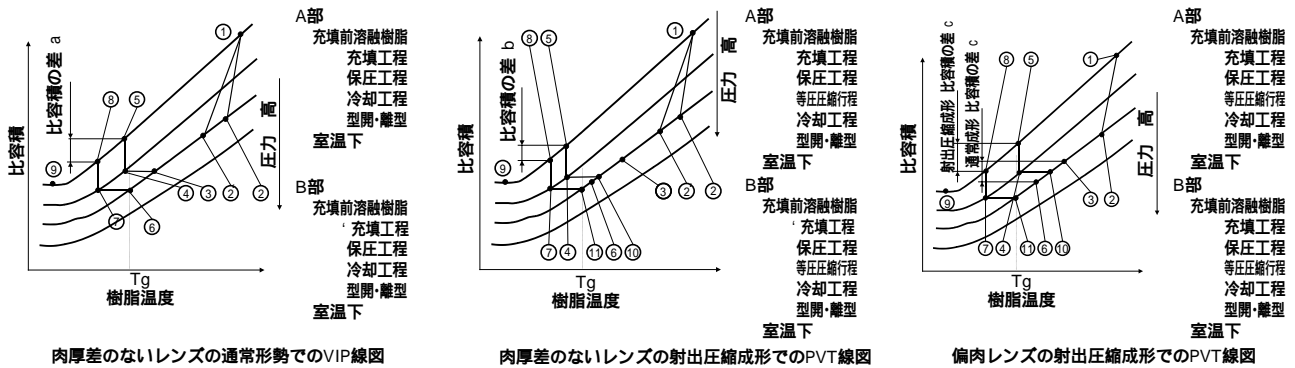


図9 レンズ成形におけるPVT線図
PVT diagram (lens molding)

図9 よりレンズ成形では離型したときの成形品温度は金型温度よりも高く、A部とB部で大きな差ができる。また、圧力が残っているために成形品はキャピティ寸法よりも大きくなり、離型時のA部とB部の比容積の差aが存在する。常温まで冷却される時、A部とB部の比容積が同じになると考えると比容積差aは成形品内における収縮差となる。

成形品が離型してから常温まで冷却される間の収縮量は金型表面からの距離が各部で異なり、成形品内において均一ではないので面精度が変化することとなる。さらに、成形品離型時の比容積の差aと収縮は存在するのでレンズの肉厚が厚いほど、また肉厚差が大きいくほど比容積の差aと収縮量が大きくなり成形品の面精度を悪化させる。

次に、射出圧縮成形を行った場合のPVT線図(図9)について考察する。射出圧縮成形を行った場合、

の等圧圧縮行程が加わることで成形品取出し時の比容積の差bが図9の比容積の差aよりも小さくなりかつ収縮量も小さくなるので面精度を向上させることができる。

また、図8のような偏肉レンズを射出圧縮成形した場合のPVT線図(図9)から偏肉レンズを射出圧縮成形することによって、B部(肉厚部)にのみ圧縮の影響が現れるので、比容積の差Cが射出圧縮成形をしない場合のCよりも大きくなってしまふことがわかる。さらに肉厚差が大きくなると薄肉部に過大な圧力を加えてしまうか、厚肉部に全く圧力が伝わらないかのどちらかとなってしまふので、射出圧縮成形の効果はない。

3.2.2 レンズ形状による圧縮効果

光学レンズにはさまざまな種類があり、射出圧縮成形を適用した場合の効果はレンズの形状に依存する。光学レンズの形状、肉厚、肉厚差、および口径により射出圧縮の効果を実験的に表現したものを図10に示す。

3.2.2.1 形状

平面形状が射出圧縮の効果をもっとも出やすく、凸、凹の度合いが大きくなると効果が出にくくなる。凸レンズにおいてもレンズに縁がついている場合は若干効果が現れる。凹レンズの場合は効果がほとんどないか、かえって面精度を悪くする原因となる。凹レンズに射出圧縮を用いる場合はウエルドの解消が主な目的である。

理由は、凸レンズおよび凹レンズでは肉厚差が存在し、比容積の差が大きくなることによる。

3.2.2.2 肉厚差

肉厚差のない形状がもっとも効果的である。肉厚差が大きくなるほど効果が小さくなる。

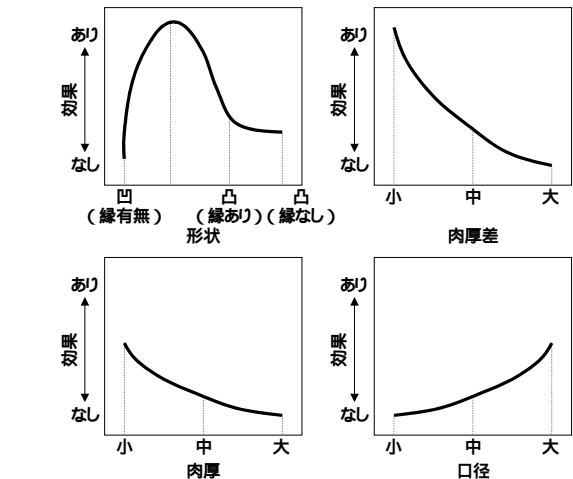


図10 レンズ形状による圧縮効果
Effects of compression depending on shapes of lens

理由は、肉厚差が大きくなると比容積の差が大きくなることによる。

3.2.2.3 肉厚

肉厚の絶対値が小さいほど、効果が現れる。

理由は、肉厚の絶対値が小さいほど収縮量が小さいことによる。

3.2.2.4 口径

口径は、精度によって大きく変わってくる。例としては同じ精度を大きさの異なる口径で成形する場合、口径の大きい方が成形の難易度は上昇する。したがって、口径の大きい方が射出圧縮の効果が出る。

理由は、口径の大きいレンズの場合ゲート近傍とゲート遠方の温度差が大きくなることによる。

4 むすび

本報では、光学部品に射出圧縮成形を適用した場合について樹脂の挙動をPVT線図を基に論じた。

薄肉品(導光板)の射出圧縮成形

圧縮によって、ゲート遠方の転写率が向上する。圧縮の立ち上がり時間が早いほど、転写率が向上する。最適圧縮時間が存在する。

レンズの射出圧縮成形

平面形状がもっとも圧縮によって、面精度が向上する。肉厚の絶対値が大きく、偏肉が大きいものは射出圧縮成形の効果が出ない。

(参考文献)

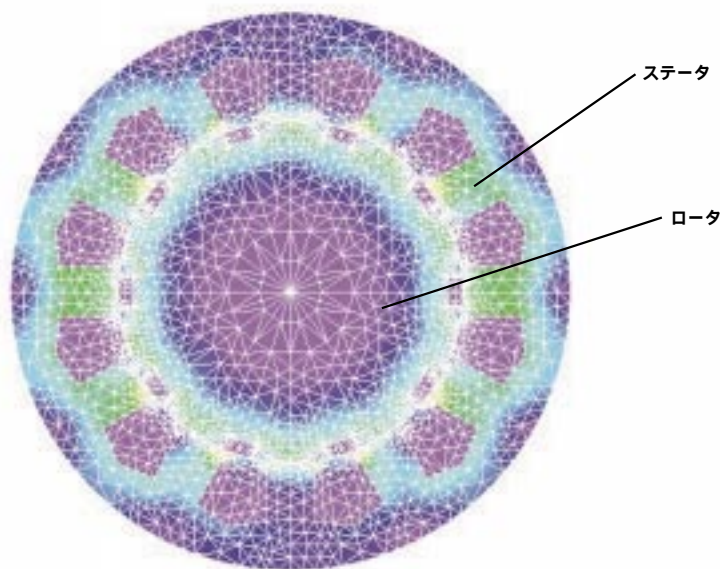
今富芳幸, 平野智裕. 全電動レンズ専用射出成形機への応用. プラスチックス, 第51巻, 第8号, p.54~58.

DOEによるSPMモータの形状最適化

Study of Optimal Design of Surface Permanent Magnet Motors

山本章

Akira YAMAMOTO



FEM解析を用いた形状最適化
Analysis by FEM for optimization of shape

永久磁石モータは、その高い性能とコンパクト性から幅広く用いられているが、使用される用途により要求される性能は少しずつ異なり、また複数の性能項目を同時に満足することが求められる。これらの性能項目に対してモータ設計を最適化する試みはいくつか報告されているが、設計の基本となるステータ・ロータ（磁石）形状が、要求される複数の項目に対してどのような効果を与えるかについて、基本的な指針を示したものは少ない。一方で永久磁石モータの性能はFEM解析技術の進歩により比較的容易に推定が可能となってきた。

本報では、ステータ・ロータ（磁石）の基本形状を因子として、実験計画法（DOE）に基づいてFEM解析条件を設定し、これらの因子が複数の性能項目にどのような影響を与えるか評価した。これにより永久磁石モータを設計する際の基本的な指針が得られ、用途に応じた設計の最適化が容易に可能となる。

Permanent magnet motors are used for various purposes because of their high performance and compactness. However, the performance that is required of them is different for each application, and there are times when they must simultaneously serve in multiple capacities. While there are some reports on the optimization of a motor's design for its required performance, it is necessary to demonstrate the basic principles of motor design, and particularly the effect of the stator and the rotor shape on performance. In this report, we shall set the basic dimensions of the rotor and the stator as factors of Design of Examination (DOE) and analyze them by FEM. As a result, we shall present the effects of each factor on performance and optimal design.

1 まえがき

当社は1986年に誘導型サーボモータAC200を市場へ投入して以来、サーボモータ、サーボドライバ、およびコントローラの開発、商品化を進めてきた。特に1992年に市場へ投入したオールデジタル誘導型サーボモータSS6100は市場でも数少ないサイクロ減速機直結型サーボモータとして好評を得たが、サーボモータ市場ではさらにコンパクト化が進み、現状では一部用途を除いて誘導型サーボモータから永久磁石型同期サーボモータへの移行が進んでいる。磁石技術および巻

線技術などの革新により永久磁石型同期サーボモータの小型化は一気に進歩しつつあるが、誘導型では問題とならなかった性能上の課題（コギングトルク）も生み出している。設計面での工夫によりこれらを解決する手法については多数報告されているが、性能を左右する複数の評価項目に対して設計パラメータとなりうるステータおよびロータ（磁石）形状がどのような影響を与えるのかを包括的に示したものは少ない。

本論文は、表面磁石形同期サーボモータの設計において、ステータ/ロータ（磁石）形状がモータ特性に与える基本的な傾向を把握しようと試みたものである。あくまでも形状の

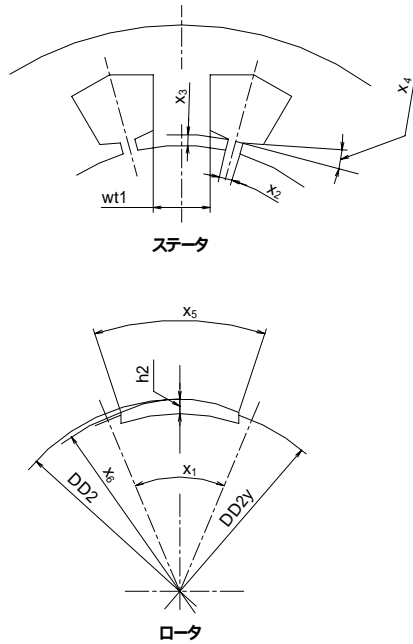


図1 因子と形状
Design factors and shapes

変化による基本的な性能特性の変化をつかむために、電気磁気学的なアプローチを避け、実験計画法により単純に形状の変化の影響を見た。また、設計指標を得るための基本データとしての位置付けから実用上問題となる磁石形状およびスロット形状の製造面での制約は考慮していない。

2 実験計画の概要

本報では、制御因子として以下の設計パラメータを設定した(図1)。

磁石極数に関する因子

x₁: ステータスロット数に対する極数 (2水準)

ステータ形状寸法に関する因子

x₂: ステータスロット開口度 (3水準)

x₃: ステータティース厚 (3水準)

x₄: ステータティース角 (3水準)

ロータ(磁石)形状に関する因子

x₅: 磁石極弧率 (3水準)

x₆: 磁石表面曲率半径 (3水準)

これらを直交表L18に割り付け、FEMによる磁場解析を行った。また目的特性には以下の3点を取り上げた。

y₁: コギングトルクの大きさ (望小特性)

y₂: 誘起電圧波形の全高調波歪率 (望小特性)

y₃: 誘起電圧の最大値 (望大特性)

これらの目的特性に対して、FEM解析から得られたデータで分散分析を行い、実験計画法におけるSN比で各々の制御因子の目的特性に対する効果を評価した(表1)。ここで、SN比は次式により算出している。

望小特性のとき、

$$SN比 = -10 \cdot \log \sigma^2$$

望大特性のとき、

$$SN比 = -10 \cdot \log (1/\bar{y})$$

ここで、σ²: 各条件における解析結果。

3 FEM解析の概要

FEM解析には市販の磁場解析ソフトJMAGver7.0を用いて、二次元モデルによりロータを強制的に一定速回転させて上記y₁~y₃の目的特性評価値を得た。解析はアダプティブメッシュによる自動要素分割を用い、フルモデルにおける要素数は約10000要素であり、解析誤差は5%以下としてステータ~ロータ間の空気層は境界要素を用いている。本報ではコンパクトな設計を目的としているため、コイル巻線はすべて集中巻きとして、純粋に形状の影響を知ることを目的にすべ

表1 直交表L18と解析結果
L18 orthogonal array for DOE

水準1
水準2
水準3

解析 No.	因子						結果						
	x ₁ pole(tp)	x ₂ w10	x ₃ D10	x ₄ theta	x ₅ dw	x ₆ OD2d	y ₁ : コギングトルク			y ₂ : 全高調波歪率(誘起電圧)		y ₃ : 誘起電圧	
							MAX(Nm)	定格トルク比	SN比(dB)	DISTORTION	SN比(dB)	MAX(volt)	SN比(dB)
1	8P	0.000	0.510	0.000	27.000	93.939	4.199	54.96%	5.2	5.49%	25.2	23.01	27.2
2	8P	0.000	1.275	22.500	33.750	98.870	0.046	0.60%	44.4	7.86%	22.1	30.46	29.7
3	8P	0.000	2.040	45.000	40.500	103.800	0.325						31.8
4	10P	0.000	0.510	0.000	21.600	93.939	0.915	101.67%	-0.1	23.13%	12.7	35.46	31.0
5	10P	0.000	1.275	22.500	32.400	93.939	0.798	11.97%	18.4	1.34%	37.5	30.87	29.8
6	10P	0.000	2.040	45.000	40.500	103.800	0.798	18.4%	19.6	1.84%	34.7	38.98	31.8
7	10P	4.500	0.510	22.500	32.400	93.939	1.371	10.44%	19.6	9.62%	20.3	32.90	30.3
8	10P	4.500	1.275	45.000	21.600	98.870	0.175	17.95%	14.9	3.41%	29.3	21.38	26.6
9	10P	4.500	2.040	45.000	21.600	98.870	0.282	2.29%	32.8				26.6
10	10P	9.000	0.510	22.500	21.600	98.870	0.981	5.31%	29.1	1.55%	36.2	36.33	30.2
11	10P	9.000	1.275	45.000	21.600	98.870	0.981	12.83%	17.8	1.73%	35.3	32.41	30.2

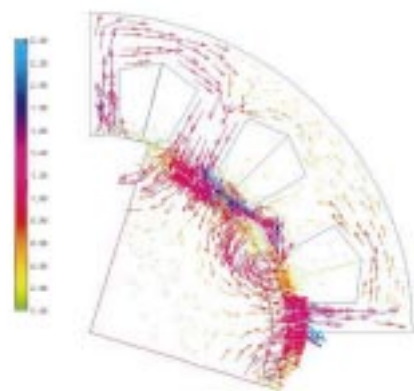


図2 8Pモータの解析モデル
Example of FEM analysis for 8 pole motor

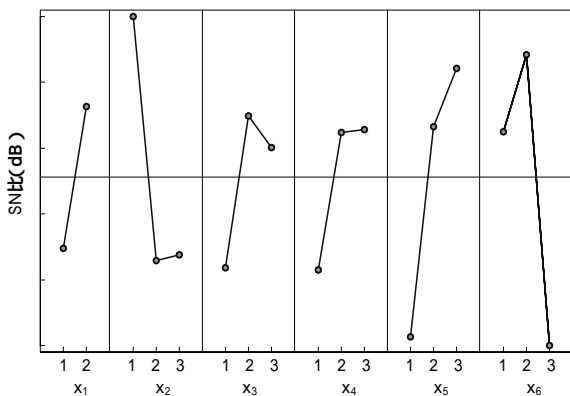


図3 特性 y_1 (コギングトルク) に対する各因子の効果
Effect of factors for cogging ; y_1

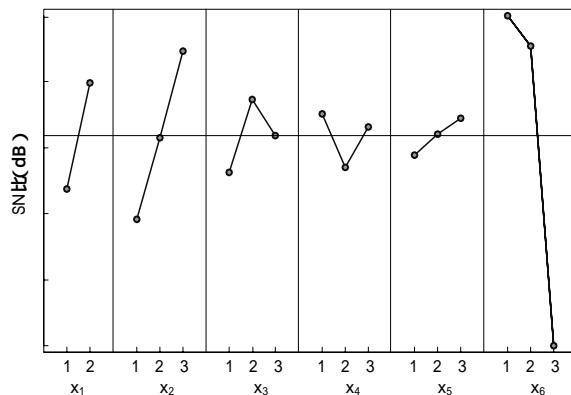


図4 特性 y_2 (全高調波歪率) に対する各因子の効果
Effect of factors for distortion of exciting voltage ; y_2

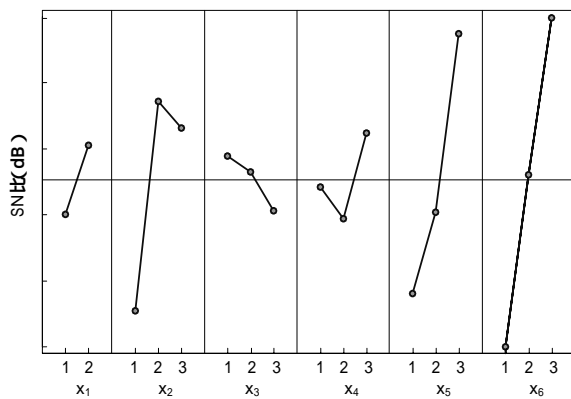


図5 特性 y_3 (誘起電圧) に対する各因子の効果
Effect of factors for exciting voltage ; y_3

てのステータ形状においてターン数を同一にしている。解析に用いたモデルの例を、図2に示す。

4 解析結果

4.1 コギングトルクへの各因子の影響

図3、図4、図5に、実験計画法による解析結果のまとめを示す。個別の目的特性に対する分散分析結果から、特性 y_1 (コギングトルク) 単独に対してもっとも効果が大いのは因子 x_6 (磁石表面曲率半径) であり、ついで因子 x_5 (磁石極弧比率)、因子 x_2 (ステータスロット開口度) の順となり磁石形状の影響が支配的であることがわかる。コギングトルクの発生原因は種々論じられているが、因子 x_6 のSN比は水準2がもっとも大きく、特に水準3で大きく低下していることから最適値が水準2近辺に存在することが示唆される。因子 x_5 のSN比は極弧比率の増加(水準1→3)とともに単調増加の傾向を示しているが、今回の解析は無負荷時のものであり、負荷時には逆の傾向を示す可能性がある。

因子 x_2 の効果は水準1において突出して高く、水準2、3では著しく低下する。水準1はステータスロット開口度がゼロであり、いわゆるクローズスロット形状であるが、コギングトルクの低減にはこのクローズスロット形状の効果が非常に大きいことがわかる。

4.2 誘起電圧波形への各因子の影響

特性 y_2 (誘起電圧波形の全高調波歪率) 単独に対して、分散分析結果から最も効果が大いのはコギングトルクと同様

に因子 x_6 (磁石表面曲率半径) であり、ついで因子 x_1 (極数)、因子 x_2 (ステータスロット開口度) の順となる。誘起電圧波形に基本波以外の高調波を多く含む場合には制御特性が著しく悪化するが、特に因子 x_2 の効果が4.1のコギングトルクと逆の相関となり、設計上トレードオフの関係となっていることがわかる。つまり、コギングトルクを抑えるためにステータスロット開口度をできるだけ小さく(ゼロ=クローズスロット)しようとする、誘起電圧波形の全高調波歪率が増加して制御特性としては悪化する方向となる。

4.3 誘起電圧への各因子の影響

分散分析結果から、誘起電圧の大きさ単独に対して最も効果が大いのは4.1、4.2と同様に因子 x_6 (磁石表面曲率半径) であり、ついで因子 x_5 (磁石極弧比率)、因子 x_2 (ステータスロット開口度) の順となり、やはり磁石形状の影響が支配的であることがわかる。しかし、因子 x_6 の効果はコギングトルクに対する場合とは逆の相関となり、ここでも設計上のトレードオフの関係が生じる。つまり誘起電圧を大きくとるためにはできるだけリング磁石形状(因子 x_6 を水準1に近づける)ことが望ましいが、これによりコギングトルクは悪化する方向に変化することになる。

5 3つの目的特性から見た総合特性評価

5.1 調整因子

第4章で見たとおり、各目的特性単独で見た場合に最も効果が大い因子はいずれの特性に対しても x_6 であり、磁石

表2 最適設計品の性能予測値比較
Estimated performance of optimized SPM motor

No.	内容	コギングトルク	誘起電圧波形の高調波歪率	誘起電圧	総合性能	備考	
		SN比 (dB)	SN比 (dB)	SN比 (dB)	SN比 (dB)	P/S	スロット形状
1	コギングトルク最小となる組み合わせ	27.6	31.5	31.7	90.9	10P/12S	クローズ
2	高調波歪率最小となる組み合わせ	7.2	40.4	31.3	78.9	10P/12S	オープン
3	誘起電圧最大となる組み合わせ	-3.2	19.3	35.0	51.1	10P/12S	オープン
4	ベースモデル	8.7	27.0	31.8	67.5	8P/12S	クローズ
5	モデルA (オープンスロットでの最適化)	10.5	34.2	32.7	77.4	8P/12S	オープン
6	モデルB (クローズスロットでの最適化)	21.2	27.1	31.1	79.5	8P/12S	クローズ

形状の影響が大きいといえるが、複数の目的特性に対してプラスに作用する場合とマイナスに作用する場合があります、トレードオフが生じている。これに対して、因子 x_1 、 x_5 は $y_1 \sim y_3$ のいずれの目的特性に対しても同じ正の相関（水準1～3の変化に対してSN比が増加）となっている。つまり、今回の解析範囲においてはすべての目的特性に対して8P/12スロットよりも10P/12スロットのほうが、極弧比率については0.6よりも0.9の方が優れていることになる。このような因子 x_1 、 x_5 はSN比に無関係に平均値や感度を調整することが可能であり、他の因子を調整した後ですべての目的特性を同時に改善可能な調整因子として有効であることを示している。これに対して他の因子では各目的特性に対して各水準でのSN比の変化がプラスとマイナスに振れるため、設計に当たってはどの目的特性に重点を置くかを決め、他の目的特性についてはどのレベルまで妥協できるかを見極める必要がある。

5.2 総合評価

モータ特性としては第4章で見た $y_1 \sim y_3$ の特性を総合的に評価する必要がある。ここで、分散分析における各特性のSN比（ s_1 、 s_2 、 s_3 ）の和をモータ特性の総合指標として考えると表2のようになる。

ここではモータ特性の総合指標を各特性に対するSN比の単純和としているため、各指標に対する重み付けはされていないことになるが、今回の解析範囲ではコギングトルクを最小とする組み合わせが総合指標においても最も高いSN比を示しており、このような設計が望ましいといえる。しかしながら、各目的特性に対する要求値のバランスは、使用される用途に応じて変化し、必ずしも等しくならないことが予想される。このような場合には各目的特性の設計目標値から必要なSN比を求め、重み付けを行う必要がある。

5.3 設計例

前述の総合評価から、ここでは具体的な設計例を3例示す。表2のNo.4（ベースモデル）は本報の解析を実施する前に設計されたプロトタイプであり、コギングトルクと誘起電圧波形の全高調波歪率を改善する必要がある。No.5（モデルA）では制御しやすさを重点特性に置き、ステータ形状をオープンスロットとして誘起電圧波形の全高調波歪率を極力抑えた結果、コギングトルクはあまり改善されていない。No.6（モデルB）はコギングトルクを最重点特性としてステ

ータ形状はクローズスロットを採用し、その分電圧波形の全高調波歪率を妥協した設計例である。

これらのモデルはベースモデルと同じ8P/12Sを採用しているが、No.1の組み合わせでは、5.1で述べた調整因子である因子 x_1 （極数）を水準2（10P/12スロット）とすることで、クローズスロットのコギングトルク低減効果を生かしたまま誘起電圧波形の全高調波歪率をも低く抑えることが可能であることを示している。

7 むすび

本研究では、表面磁石形同期サーボモータの形状設計を最適化するため、FEM解析による実験計画法を適用して3つの目的特性と設計形状の基本的な関係を把握した。

コギングトルク低減にはステータ形状をクローズスロットにすることが効果的であるが、誘起電圧波形の全高調波歪率との間にトレードオフの関係がある。

出力トルクを最大化（誘起電圧を最大化）するにはリング磁石形状（磁石外表面の曲率半径をステータ内径と同心とする）とすることが効果的であるが、誘起電圧波形の全高調波歪率との間にトレードオフの関係がある。

本報で取り上げたすべての目的特性に対して、極/スロット組み合わせ（因子 x_1 ）は8P/12スロットよりも10P/12スロットが、また極弧比率（因子 x_5 ）は0.9が優れており、調整因子として活用することが可能である。

今後は誤差因子を含む解析を行ってロバスト設計を進めると同時に、実用上問題となる製造面の制限項目も考慮に入れながら最適設計手法の確立を目指す所存である。

（参考文献）

- 大西和夫．永久磁石ブラシレスモータのコギングトルク低減．T.IEEE Japan, vol. 122-D, no. 4, 2002.
- 秋山勇治．磁極集中巻BLDCモータのコギングトルクシミュレーションとその抑制対策の検討．RM-01-163, 2001.
- 谷本茂也，野口聡，山下英生，谷本茂也．永久磁石形モータの磁石形状とコギングトルクについて．RM-96-20, 1996.
- 松友真哉，野口聡，山下英生，谷本茂也．永久磁石モータの最適化設計に関する考察．RM-02-83, 2002.
- 田口玄一．品質設計のための実験計画法．日本規格協会，1991.
- 大畷見裕，橋口直樹，三宅展明，池島宏行，井上健二，安江正徳，小松孝教．機械室レス・エレベータ巻上機用永久磁石式薄形モータの開発．RM-01-113, 200.

大川橋の耐風設計と施工

Wind Resistance Design and Construction of Okawa Bridge

鹿島 主央
Kazuteru KASHIMA

斉藤 善昭
Yoshiaki SAITOU

山岡 崇男
Takao YAMAOKA

室塚 直人
Naohito MUROZUKA

図1 大川橋
Okawa Bridge



大川橋は、橋長209mの2径間連続鋼斜張橋である。本橋は、国道5号と積丹半島を結ぶ道道3・3・2大川橋線の余市川に位置し、2002年に開通した。当社は、本橋の耐風性の検討、製作、および架設工事に参画した。本報では、大川橋建設における当社の活動を報告する。当社の活動として、特筆される事項を次に示す。

耐風検討：地形模型風洞試験と主桁、主塔の風洞試験を実施して、主塔の渦励振が問題になることが

Okawa Bridge is a 209-m long cable-stayed bridge with a 2-span continuous steel box girder. Opened in 2002, the bridge carries "3-3-2 Okawa Line," a prefectural road that connects Route 5 with the Shakotan Peninsula, over the Yoichi River. Our company participated in the study of wind resistance design of the bridge, and the manufacture and erection of the bridge. In this report, we describe our activities in the construction of Okawa Bridge. The following are particularly notable.

1) Study of wind resistance design:

We conducted wind tunnel tests of a topographical model and the main girder and the main tower, and found that the vortex-induced oscillations of the main tower would be problematic. We succeeded in reduc-

ing the oscillations by changing the main tower's shape. 判明したが、主塔の形状変更により制振することができた。

架設：複雑な構造や発注形態の関係で架設難度の高い工事であったが、綿密な施工計画と施工管理により精度よく架設を完了することができた。

精度管理：精度管理システムを駆使して、架設途上の形状管理およびケーブル張力管理を行い、高精度の施工を実現した。

2) Erection:

Although the erection work faced many difficulties due to the complex structure and the form of ordering, we completed the erection work with precision through scrupulous execution planning and administration.

3) Accuracy control:

We full used most of our accuracy control system in controlling the shape of the bridge under construction and controlling the cable tension to execute the work with high precision.

1 まえがき

大川橋は、国道5号と積丹半島を結ぶ道道3・3・2大川橋線の余市川に架かる橋長209mの斜張橋である(図1)。本橋は余市町の市街地再開発におけるシンボリック性格を持ち、地域のランドマークとして期待されている橋梁である。当社は株式会社長大からの委託で、本橋の計画段階から耐風性の検討に参画し、その後、北海道より製作および架設工事を受注して、2002年に無事工事を完成させた。ここでは、大川橋建設における当社の活動を報告する。

2 橋梁の特徴

本橋の一般図を図2に示すとともに、主要諸元を以下に示す。

形式 2径間連続鋼斜張橋

路線名 3・3・2大川橋線

道路規格 第4種 第1級

橋長 209m (117.5m + 91.5m)

幅員 23m (5.5m × 2 + 4.0m × 3)

本橋の上部構造の特徴を、以下に示す。

主桁は鋼床版を有する総幅員24m、桁高2.7mの偏平な

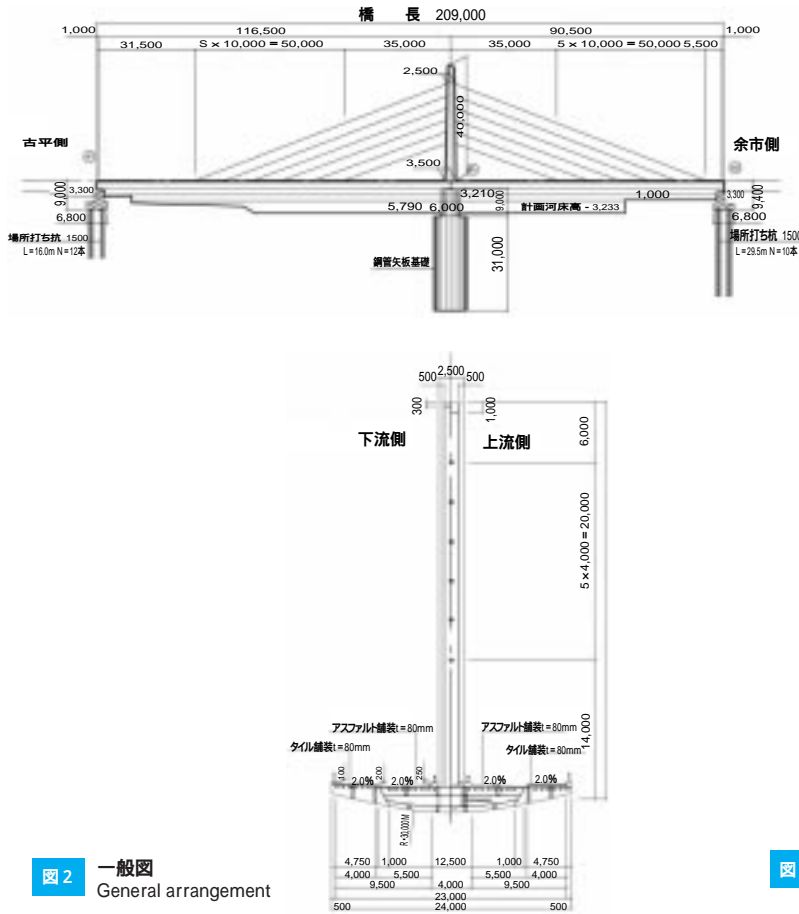


図2 一般図
General arrangement

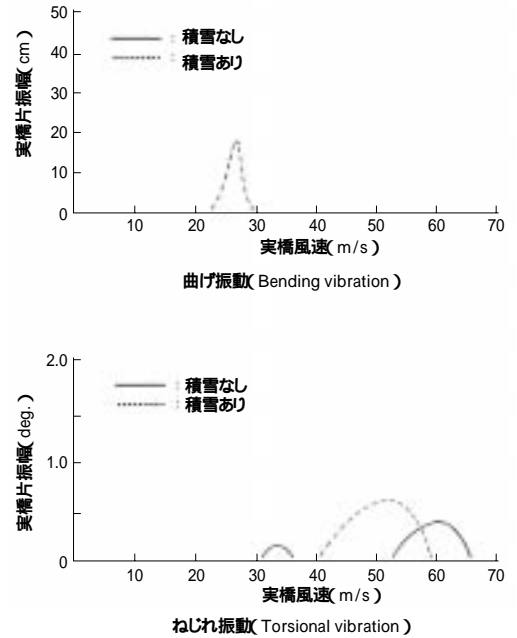


図4 主桁の耐風性に対する積雪の影響（一様流， $\alpha = +3^\circ$ ）
Effect of snow accumulation on aerodynamic instability of girder (In smooth flow, $\alpha = +3^\circ$)

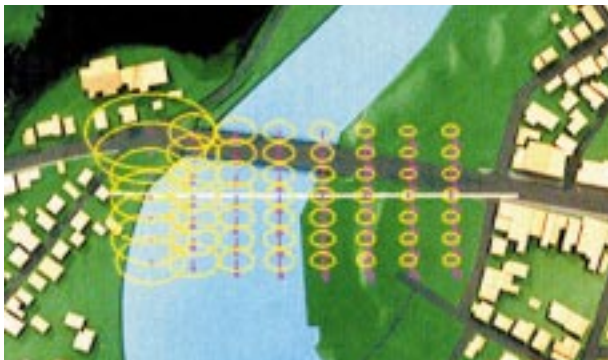


図3 地形模型風洞試験結果（モイレ山が風上側）
Wind characteristics around bridge ($\alpha = 75^\circ$)

3室1箱桁で、耐風安定性や景観を考慮し、主桁下面は曲面になっている。

主塔は単柱形式で、耐風安定性を向上させるため八角形断面となっている。

A2支承における負反力対策として、側径間の主桁内および主桁上にコンクリートを充填し、カウンタウエイトとしている。

架橋地点が寒冷な北海道ゆえ、低温時の鋼材のぜい性破壊に対する安全性を考慮して、板厚および材質を決定している。

ケーブルの吊り形式は、ハープ型マルチケーブルシステムの6段1面吊りである。

3 耐風安定性の検討

3.1 架橋地点の風環境調査

本橋の架橋地点近傍には標高65.4mのモイレ山があり、局

所的な風速の増減や風向の変化などの複雑な風環境が予測された。一般に風環境の変化は橋梁の耐風性に大きく影響することから、事前に風環境調査を実施して、耐風性検討時の風条件に反映することとした。調査では2年間の現地風観測データとの整合性を確認しながら、縮尺1/500の地形模型を使用した風洞試験を実施した。図3は、試験結果より得られたモイレ山が風上側となる場合の、風向・風速ベクトル（矢印）と乱れ強さの分布（楕円の大きさ）を示している。モイレ山の downstream 側では主流方向の乱れ強さ I_u が最大で30%以上となり、気流傾斜角は橋軸方向について吹き上げ+8から吹き下げ-11に変化することが判明した。したがって本橋の主桁耐風性検討時の風条件としては、気流傾斜角を $\pm 7^\circ$ の範囲とし、乱流条件の主流方向乱れ強さ I_u を20%程度（20%以上は同じと判断）とした。なお、乱れ強さ I_u とは風速の標準偏差と平均値との比のことで、風速変動の強さを表す。

また、主塔の耐風性検討時の風条件は、道路橋耐風設計便覧の地表粗度区分 ~ から、安全側に1ランク下げた区分 ~ の特性（粗度がより小さい）を持つ境界層乱流とした。

3.2 主桁の耐風性調査

本橋の架橋地点は積雪地域であり、除雪および着雪の影響で高欄が閉塞され、耐風性が著しく悪化することが予測された。縮尺1/45の二次元模型を使用した風洞試験を実施し、耐風性の調査を行った。試験結果より得られた風速-応答図を図4に示すが、積雪のない状態ではねじれの渦励振のみが発生し、橋面上に積雪のある状態（高欄部と中央分離帯に積雪させ、路面上は除雪した状態）では、鉛直曲げとねじれの渦励振が発生することが確認できた。しかし、これらの振動は $I_u = 17\%$ の乱れ強さの大きな乱流試験では消滅することが

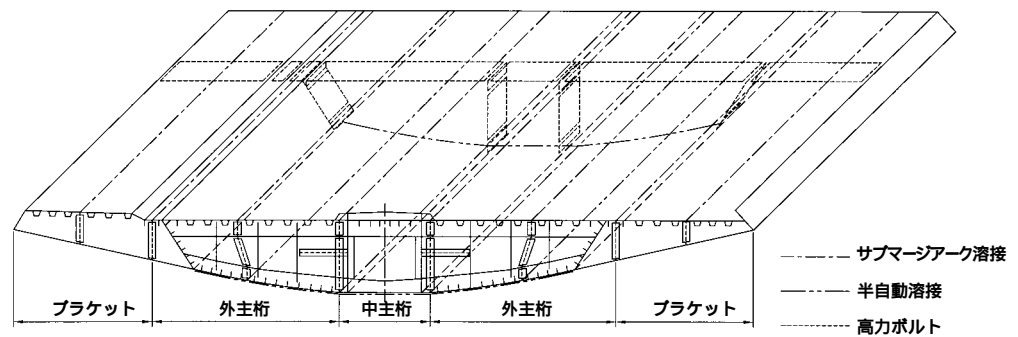


図5 主桁の現場継手
Field joints of girder

ら、架橋地点の自然風の乱れ強さを考慮すれば耐風性に問題はないと判断した。

3.3 主塔の耐風性調査

本橋の主塔は八角形断面で、橋軸直角面にテ - パが付き、塔頂部は非対称な形状となっている。主塔の耐風上の問題としては、以下の2点が予測された。

- 橋梁完成時の渦励振と発散振動（ギャロッピング）
- 主塔架設時（独立時）の架設足場設置による耐風性悪化。

したがって、縮尺1/125の3次元弾性模型を使用した風洞実験を実施し、耐風性の調査を行った。

3.3.1 橋梁完成時の基本断面および対策断面の応答特性

主塔基本断面の風洞試験では、橋軸方向からの風によって、比較的低風速域（実橋換算風速 $V = 14 \sim 17 \text{m/s}$ ）で大振幅（塔頂片振幅が実橋換算で約33cm）の渦励振が発現した。この振幅レベルは塔基部の応力上問題があるゆえ、振幅低減を目指して断面形状の変更を検討した。具体的には、基本断面に対する以下の2つの対策について、風洞実験で制振効果を検証した。

- コ - ナ部の形状変更（隅欠き形状）

変更コーナ部の設置長を高さ方向に変化。

試験結果より、コーナ部の形状変更による効果で応答振幅は半減（約18cm）し、さらに設置長を塔頂から41%とすることで応答振幅が約1/3（約5cm）となることが判明した。このときの渦励振は、実橋換算風速で $V = 10 \sim 13 \text{m/s}$ の低風速域で発生するが、振幅レベルは塔基部の応力から判断して問題のないものであった。また、現地自然風を相似した境界層乱流中（塔高の65%高度で乱れ強さ $lu = 12\%$ ）の風洞試験では、この渦励振は消滅することから、橋梁完成時の主塔耐風性に問題はないと判断した。最終的には、この対策断面が実橋の主塔断面に採用されている。

3.3.2 主塔架設時の耐風性

主塔架設時の塔付き足場（継手用と塗装用の2ケース）を設置した断面を対象に、風洞試験により耐風性を調査した。試験結果より、継手用足場設置断面では橋軸および橋軸直角方向の渦励振が発生したが、発生風速の実橋換算風速30m/sは、架橋地点近傍の小樽測候所観測データで、再現期間150年という発生確率の極めて低い高風速域であることから、耐風性に問題はないと判断した。また、塗装用足場設置断面では、架設作業が中止となる高風速域で渦励振が発生するが、発生振幅が架設設備の許容振幅（300gal）以下であったため耐風性に問題はないと判断した。

4 架設

4.1 概要

本橋の製作工事は、主桁22ブロック、主塔9ブロック、ケーブル6組からなる橋体が6分割されて発注され、当社を含む7社が単独および共同企業体の形式で参画した。また、架設工事は当社を含む3社の共同企業体が一括して施工し、1期工事と2期工事の2期に分けて行われた。

4.2 1期工事

1期工事では、側径間の主桁11ブロック（J11～A2）と主塔9ブロックの架設を行った。主桁の架設工法は、側径間部が水路外であったため、160t吊りトラッククレーンによるトラッククレーン・ベント工法を採用した。架設手順としては、初めにP1橋脚上の横梁を架設し、その後A2側に向かって順次桁ブロックの架設を行う方法とした。

主桁の架設では、以下に示す条件から高度な施工技術が必要とされた。

主桁が曲面を有する製作難度の高い構造である。

主桁断面が9つのブロックから構成されている。

ブロック継手は図5に示すように、溶接継手と高力ボルト継手が併用されている。

主桁の両端に72°の斜角がついており、J18からA2の桁では、ねじりキャンバが考慮されている。

桁製作工事が複数社に分割発注されているため、一括した仮組立が行われていない。

実際の架設作業では、主桁形状誤差と溶接継手の開先寸法誤差の調整でトレードオフが発生していたが、ここでは主桁形状誤差の許容値が比較的大きいことから、開先調整を優先して施工することとした。最終的な施工高は、後述のとおり許容値内に収めることができた。

溶接作業は冬期の施工であったため、鋼床版上に枠組み足場とベニヤ板およびシートで上屋を設置し、風防および積雪対策を施した。また、氷点下での溶接作業が予想され、上屋内にジェットヒータを12台設置して、内部の温度を5℃以上に保つ対策を採った。

主塔の架設は、主桁の溶接作業完了後に360t吊りトラッククレーンを使用して行った。主塔ブロックは輸送の制約から横倒し状態で現地搬入された。荷卸時に360t吊りトラッククレーンと45t吊りラフタクレーンの相吊りでブロックの立て起こしを行い、その後1ブロックずつ架設を行った。主塔の形状管理は、1ブロック架設ごとに2軸の倒れを確認



図6 形状保持設備
Hanging device

しながら行い、1期工事では橋軸方向の設計値に対する誤差が数mmの精度で完了することができた。

4.3 2期工事

2期工事では主径間の主桁11ブロック(A1-J11)とケーブル6組の架設を行った。架設工法は斜張橋の構造特性を活かし、河川への影響が最小限となるトラベラクレーンによる張出し工法を採用した。トラベラクレーンの組立スペースとなるJ10-J11ブロックおよびA1-J2間ブロックについては、トラッククレーン・ベント工法で架設した。

架設順序はP1からA1に向かって順次張り出し、1ブロックの作業は、中主桁架設 外主桁架設 ブラケット架設の順で行った。外主桁およびブラケットの架設は、中主桁上に設置した形状保持設備(図6)のセンターホールジャッキで、たわんだ形状を調整しながら行った。外主桁およびブラケットの出来形は、初めに架設する中主桁の出来形に左右されることから、中主桁のみを架設した状態の施工高を重視して出来形管理を行った。その際、日照による温度変化で主桁張出し部の上下方向の変位(主桁先端で最大200mm)が生じるため、主桁の施工高は温度による影響の小さい夜間に測定した。

ケーブルの架設は、主桁上のトラベラクレーンと45t吊りラフタクレーンを使用して行った。ケーブルの展開は鋼床版上でケーブルリールをアンリーラにセットし、ケーブル先端をウインチにて引き出して行った。展開作業完了後、45t吊りラフタクレーンでケーブルを吊り上げ、主塔側を定着後、主桁側の定着、仮緊張を行った。主塔を挟んだ両側のケーブルを定着後、800tセンターホールジャッキで張力を導入し、設計厚のシムプレートを取り付けた。

5 精度管理

本橋のようなマルチケーブルの斜張橋は、高次の不静定構造物で、かつ柔な構造であるため、通常の桁橋と比べて形状誤差が生じやすい。特に本橋は1面吊りケーブルで支間長も異なるという構造上の条件と、2径間をそれぞれ別時期に異なる工法で架設するという架設上の条件から、各架設ステップにおける精度管理が重要であった。また、架設時に完成時を超えるケーブル張力が作用する状態が存在し、各ステップの張力バランスを確認しておく必要もあった。

斜張橋の精度管理は、ケーブル張力を調整すると主桁および主塔の形状も変化することから、張力管理と形状管理を併

表1 シム調整結果
Result of cable adjustments

計測位置		主桁キャンパ														主塔倒れ
		A1	C7	C9	C11	C13	C15	C17	P1	C34	C36	C38	C40	C42	C44	
許容値(mm)		±75	±75	±75	±75	±75	±75		±75	±75	±75	±75	±75	±75	±75	±40
計測値	上流側	-1	6	20	31	56	60		0	-6	-3	2	11	16		
	下流側	4	0	-7	12	35	46		-13	-21	-17	-20	-21	-19	0	

ケーブルの張力誤差																
ケーブル		A1	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6	P1	CR6	CR5	CR4	CR3	CR2	CR1	A2
許容値(%)		±10	±10	±10	±10	±10	±10	±10		±10	±10	±10	±10	±10	±10	
計測値(%)		1.0	5.3	-4.1	-7.8	-5.0	-8.0			-8.3	-6.1	5.7	1.0	-4.3	-1.3	

せて行う必要がある。本工事では当社の精度管理システム を使用して、以下の計測項目を許容値内に収める管理を行った。

ケーブル張力：設計張力の±10%

主桁高さ： $\pm\{25 + (L / 1000 - 40)\} = 75\text{mm}$
(L：支間長)

主塔倒れ： $H / 1000 = 40\text{mm}$ (H：主塔高さ)

主桁高さはレベル、主塔倒れはトランシットを使用して計測し、ケーブル張力は振動法により計測した。

計測作業は主桁の上下面および主塔4面に温度差がないことが必要ゆえ、温度差のなくなる夜間に行った。

シム厚の変更による張力調整および形状調整は、各架設ステップで計測値と管理値との乖離が小さかったので、架設(閉合)完了後の管理作業時に行った。最終架設ステップの計測の結果、CL6およびCR6のケーブル張力が管理値に対し15%程度小さいので、施工高への影響を考慮した計算によって、CL6とCR6で+9mm、CL1で-16mmのシム厚を変更し調整を行った。最終調整後の計測結果を、表1に示す。ケーブル張力は12本中半数が5%以内の誤差となり、主桁の施工高はややプラス側であったが許容値内に収まった。また、主塔倒れは管理値どおりであった。

6 むすび

本報では、大川橋の耐風検討、架設および精度管理について詳述した。

耐風検討

地形模型風洞試験と主桁、主塔の風洞試験を実施した。その結果、主塔の渦励振が問題になることが判明したが、主塔の形状変更により制振することができた。

架設

複雑な構造や発注形態の関係で架設難度の高い工事であったが、綿密な施工計画と施工管理により精度よく架設を完了することができた。

精度管理

精度管理システムを駆使して、架設途上の形状管理およびケーブル張力管理を行い、高精度の施工を実現した。

(参考文献)

社団法人日本道路協会．道路橋耐風設計便覧．1991．
田口俊彦，伊藤博之，高橋守，宮崎正男．斜張橋の架設時制度管理システムについて．住友重機械技報，vol. 39, no. 117, p.17~23, Dec., 1991．

新製品紹介

全電動縦型ロータリー射出成形機 SR75

All Electric Rotary Injection Molding Machine SR75



環境への関心の高まりに伴い、油圧式に比べて省エネルギー、低騒音、クリーンかつ成形安定性にも優れた電動式射出成形機の要求が高まってきている。

当社においても、ハイサイクル、精密成形安定性、および高信頼性を特長とした電動式横型射出成形機SE-S・SE-Dシリーズを販売しており、その技術をベースに設置面積の少なさや自動化対応性などの利点を持つ電動式縦型射出成形機SVシリーズを販売してきた。

近年、プラスチック部品の用途が広がり、金属部品などを組み合わせた複合成形品が多くなってきており、インサート成形に適した縦型成形機への要望が高まってきている。また、製品の低価格化に伴いさらなる生産性の向上が求められており、その要求に応えるべくロータリーテーブルを装備して下金型を2面設置し、成形作業とインサート・成形品取出し作業を別の位置で行うことにより生産効率の向上を図ることができる電動式縦型ロータリー射出成形機SRシリーズを開発した。

今回開発した電動式縦型ロータリー射出成形機SR75は、当社の横型電動式射出成形機SE-Dシリーズにて採用している最新型のコントローラを搭載しており、タッチパネル式大型液晶画面により、画面の見易さが向上し優れた操作性を実現しているとともに、豊富なSE-Dシリーズのアプリケーションが使用可能である。

主要仕様

最大型締力	735kN
型開閉ストローク	250mm
デールライト	570mm
金型厚さ	220 ~ 320mm
最大搭載金型サイズ	420mm x 420mm
最大射出速度	300mm/s
スクリュウ最高回転速度	400rpm

特長

機械操作側にエアセンサを標準装備し、安全性・操作性の向上を図っている。

装置の設置面積を小さくし、業界でもトップクラスの省スペースを実現している。

ロータリーテーブルの駆動にサーボモータ制御を採用し、高速かつ低振動のスムーズな動作を実現している。

型締装置は3本タイパー方式を採用し、ロータリーテーブルサイズを充分確保することにより、1クラス上の金型の搭載が可能である。

当社の技術蓄積を活用した縦型機専用スクリュウアッセンブリを搭載している。

(プラスチック機械事業部 西平 圭一)

新製品紹介

電動ディスク成形機 SD40E

Electric Injection Molding Machine for Optical Discs SD40E



光ディスク成形に要求される精密性や省エネルギー・クリーンな環境に対応するため、電動式ディスク成形機を他社に先駆けて市場投入した。電動ならではの制御性の良さと高精度型締力フィードバック制御などにより、当社の成形システム（特にDVDにおいて）はグローバルスタンダードの地位を確立することができた。

現在市場で生産されている光ディスクにおいては、さらに生産性を高めてコストを下げようとする動きと、また高密度化に対応するためのさらなる高精度化の要求がある。

これらの要求にこたえるため、当社は、高精度・ハイサイクルに対応可能な進化型電動ディスク成形機『SD40E』を開発、市場投入した。

主要仕様

型締装置 電動ダイレクト駆動・ダブルトグル式
型締力 390kN

射出装置 C160S電動ダイレクト駆動式
スクリュー径 28、32選択

特長

型開閉高速化のためディスク成形用に開発したトグルリンクと、1000台を超える実績をベースとした主要部品により、高い応答性と信頼性を確保している。

また型締力フィードバック制御やプラテン冷却、それに伴う調整ノウハウを踏襲することで、高精度で安定した成形性能が得られる。

ディスクの充填工程においては、高い立上り性能と繰り返し再現性が求められる。これに対応するため、装置の回転イナーシャを極限まで低減させた高応答射出機構を搭載している。これにより300mm/sまでの立上り応答速度33ms（10～90%）を達成している。

最新鋭のマンマシンコントローラ・自社開発の成形機専用サーボドライバを搭載、表示設定器には12.1インチの大型カラー液晶・タッチパネルを採用し、操作互換性を確保しながら操作性・視認性を高めたユーザフレンドリーなマンマシンインターフェースとしている。

高精度・ハイサイクル技術とノウハウを踏襲した金型を同時に開発、新開発金型と成形機の組み合わせにより2.5秒を切る成形が可能となった。

今回紹介した『SD40E』は、全電動成形機SEDシリーズをプラットフォームとし、それをディスク用に進化させた最先端技術が踏襲されている。本システムをベースに、時代のニーズに沿った形での差別化技術を追求め、継続的にそれを提供して行く所存である。

（プラスチック機械事業部 鷹紫 龍一）

新製品紹介

サイクロ 減速機 低減速比6000SKシリーズ

Cyclo Drive 6000SK Low Ratio Series



本シリーズは、サイクロ 減速機の低減速比領域の品揃えの強化を可能にした商品であり、2003年4月に販売開始した。当社のサイクロ の技術と株式会社植田歯車精機工業所のヘリカル技術の融合により生まれた商品である。

構造は、2段形の外接式インポリュート歯車減速機であるが、サイクロ 減速機と同等な強度を実現しており、きめ細かい減速比選定と強度とを両立させた。

高出力回転速度や、高い位置決め精度、回転ムラ精度を求められる、変動負荷の多いポンプおよび攪拌機など、高速仕分け機やコンベアなどの物流市場およびサーボモータ駆動による簡易位置決め装置市場などの用途に適している。今後、さらに新しい付加価値を生かした、新たな市場に採用されることも期待されている。

主要仕様

入力容量 0.4~3.7kW
 公称減速比 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10
 枠番 6070SK~6115SK 全10機種
 出力トルク 5.18~311N・m
 取付け方式 脚取付け, フランジ取付け
 潤滑方式 グリース潤滑

特長

取り合い

出力軸寸法や据付け寸法、芯高の主要客先取り合い寸法がサイクロ 減速機と同じである。

コンパクト

サイクロ 減速機6000#シリーズと同じ減速比では、1 枠サイズダウンが可能となるコンパクトな設計となっている。

豊富なモータバリエーションとグローバルな対応
 サイクロ 減速機6000#シリーズと同様に、屋外形、内蔵形ブレーキ付き、安全増防爆形、耐圧防爆形、インバータ用モータ付き、さらにはUL規格、CSA規格などの海外規格モータにも対応している。

豊富な応用製品対応

両軸形、架台付き立形、汎用フランジ付き（入力軸ホロー）、およびサーボモータ用などの豊富なサイクロ 応用製品の共用が可能である。

低騒音

適正なねじれ角の採用ならびに最適な歯形、歯すじクラウニング形状を採用しており、それらを実現する高精度の加工、仕上げ技術によって理想的な噛み合い面を形成している。さらに加工組立工程管理により徹底的な低騒音化を実現している。

FEM解析の導入

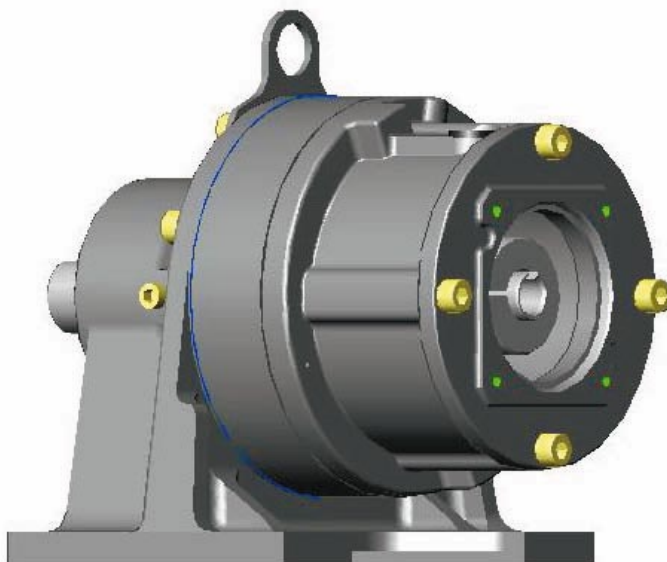
ケーシング設計にFEM解析を導入し、強度面と油漏れなどの品質面の信頼性を向上させた。

(株式会社 植田歯車精機工業所 浅野 恭史)

新製品紹介

クリーンルーム仕様サイクロ 減速機

Cyclo Drive for Clean Room Used



技術の進歩による部品の高精度化に伴い、従来は通常の環境で作られていた製品をクリーンルーム内で製造するニーズが増えている。

また、液晶モニタの大型化などによるクリーンFA工場で扱われる製品も大型化し、従来のFA工場内で使用されていたFA機器をクリーンルーム内で使用することが必要となってきた。それに伴い、サイクロ 減速機もクリーンルーム内で使用される機会が増えている。

そこで、クリーンルーム内で使用する減速機として必要とされる仕様をまとめた、「クリーンルーム仕様サイクロ 減速機」を設定した。

主要仕様

低発塵への対応

防錆仕様（発錆による発塵防止）

SUS部品の使用（ボルト類など）

めっき部品の使用（ボルト類、軸など）

特殊表面処理（超薄膜表面処理）

防蝕仕様の塗装（エポキシ系塗装）

キーレス連結方式（連結部のキーの摩耗による発塵防止）

キーレス入・出力軸

キーレス軸タイプのサーボモータを連結可能なサーボモータ用サイクロ 減速機シリーズも取り揃えている。

油脂分の漏れ防止（油脂分の蒸発によるミスト状の発塵の防止）

キャップ付きグリースニップル

グリースニップルを付属出荷（給脂時にグリースニップルを取り付け、運転中はグリースニップルを取り外しプラグで栓をする）

ブレーキ摩耗粉の防止

ブレーキ部を密閉構造

サーボモータを使用、制動にブレーキを使用しない制御を推奨している。

長寿命・メンテナンス長期化対応

クリーンFA工場のラインに使用される減速機には、ライン寿命に耐えうる耐久性や消耗部品の交換などのメンテナンス周期の長期化が要求される。

減速機の長寿命化対応の枠番選定

負荷パターン、要求寿命、および稼動時間を考慮した最適枠番の選定している。

消耗部品の長寿命化

オイルシールの材質の変更

クリーンルーム用グリース封入軸受の使用

これらの使用の要否は、クリーンルームの仕様およびクリーンルーム内の減速機の設置位置などによってすべての仕様が必要とは限らない。上記仕様は、クリーンルームの仕様や減速機の使用条件に応じてユーザと協議しながら最適な仕様を選択している。

（PTC事業本部 液邊 重雄）

新製品紹介

ハイポニック減速機 NEOシリーズ 高減速比

Hyponic Gearmotor Neo Series Hight Ratio Type



ハイポニック減速機は、1988年の発売以来、軽量、コンパクト、低騒音、高効率、およびメンテナンスフリーなどの特長を生かし、産業分野を中心に、搬送、物流機器等の動力伝達装置として、好評を得ている。

2001年12月には、グローバル商品と位置付け、中空軸タイプのデザインを一新、NEOシリーズとして世界に向け発売開始した。

本機は、低速回転用の高減速比機種として、静音化およびコンパクト化などのニーズに応えるため、NEOシリーズに追加発売した製品である。

主要仕様

形式	中空軸 (RNYM) タイプ	
モータ	3相モータ付き	40W ~ 0.4kW
	単相モータ付き	40W ~ 0.2kW
	インバータ用モータ付き	0.1, 0.2kW
	標準、ブレーキ付き	
減速比	300 ~ 1440	

特長

静音、コンパクト、および低価格

ハイポイドギヤを入力段に採用、4段型ケーシングの専用一体設計化により、静音、コンパクト、および低コスト化を実現した。

ギヤヘッドの選択が可能

NEOシリーズの設計を引き継ぎ、同一容量、減速比で2種類のギヤヘッドを用意、選択を可能とした。これにより、従来品と同じ組み合わせに加え、最大2倍のトルクを伝達可能とする組合せを可能とした。

オプション対応

次のようなオプション対応が可能である。

中実軸フランジ取付け (RNFM) タイプ

中実軸脚取付け (RNHM) タイプ

防水 (IP65) 型

海外規格モータ

トルクアーム

主な用途を、次に示す。

生ゴミ処理機、メッキ機械、チップコンベア、マグネットセパレータ、食品加工機械、半導体製造装置、天窓開閉器、舞台装置、および印刷機械。

新製品紹介

アスファルトフィニッシャ HA50W

Asphalt Finisher HA50W



近年、安全性の向上および作業の容易化の観点から舗装幅拡大の際の省力化、さらなる利便性の要求が高まり、それに対応するため新型スクリードJ・paver2360を発売し好評を得ている。

そのシリーズ化としてJ・paver2350を開発し、本スクリードを搭載したHA50Wを開発した。

主要仕様

舗装幅員（伸縮幅）	2.3～5.0m（無段階）
舗装能力	舗装厚 10～150mm
	舗装速度 2～12m/min（無段階）
本 体	質量 10800kg（TV）
	全長 5890mm
	全幅 2490mm
	全高 2555mm
	ホイールベース 2500mm
スクリード	スクリードプレート幅
	主部 280mm
	伸縮部 280mm
	ストライクオフ幅 TV仕様 36mm
	加熱装置 自動着火式プロアバーナ（4基）
	伸縮機構形式 1段パイプ2本×2
走行装置	形式 ホイール式
	走行駆動方式 前輪油圧モータ・後輪HST
	移動速度 0～15km/h

エンジン	メーカー・型式	いすゞ4JG1T
	総排気量	3059cc
	定格出力	55.9kW/2150min ⁻¹
	最大トルク	260N・m/1800min ⁻¹

特 長

環境に配慮して国土交通省 排出ガス2次規制対応の型式指定エンジンを搭載している。

開閉、収納をワンタッチで行える折りたたみ式リテイニングプレートを採用している。（特許申請中）

スクリードは、上下に配置した大径のガイドパイプの採用により剛性を高め仕上げ性、平坦性、および締固め性が均一な舗装を可能とした。（特許第3383908号）

スクリードの加熱には4個の自動着火式プロアバーナを採用し、短時間で均一な加熱を可能にした。高効率のプロアバーナと温度センサによる温度管理方式によりプロパンガスの消費量を節約でき、また加熱ムラがないのでスクリードプレートの偏摩耗を防止することができる。

アタッチメント付きで本体幅を2.5m以内とすることで、輸送時及び舗装時のアタッチメントの脱着作業をなくし作業準備時間を軽減した。

（住友建機製造株式会社 相本 眞幸）

新製品紹介

アスファルトフィニッシャー HA60W-5

Asphalt Finisher HA60W-5



本機は、1995年から発売し好評を得ている国内主要機種種のHA60W（最大舗装幅6.0m）のフルモデルチェンジとして開発された機械である。また同機に搭載されている、6.0m用スクリーン、J・Paver2360もモデルチェンジとして新規に開発した。（特許第3383908号）本機の開発コンセプトは、以下の3項目である。

高い舗装品質と高い舗装能力及び輸送性のよい機械

高い安全性

環境に優しい機械

主要仕様

舗装復員（伸縮幅）	2.3～6.0m（無段階）
舗装能力	舗装厚 10～300mm
	舗装速度 0～12m/min（無段階）
本体	質量 13490kg（TV）
	全長 6375mm
	全幅 2490mm
	全高 2615mm
	ホイールベース 2700mm
スクリーン	スクリーンプレート幅 主部 280mm 伸縮部 280mm
	ストライクオフ幅 TV仕様 56mm
加熱装置	自動着火式プロアバーナ（4基）
伸縮機構	形式 1段パイプ4本×2
走行装置	形式 ホイール式
	走行駆動方式 前輪油圧モータ・後輪HST
	移動速度 前進 0～15km/h 後進 0～8km/h
エンジン	メーカー・型式 三菱S6S-E4DT

総排気量	4996cc
定格出力	81KW/2000min ⁻¹
最大トルク	400N・m/1500min ⁻¹

特長

クラス最高出力のエンジン搭載により余裕ある作業能力を発揮し、また環境に配慮して排出ガス2次規制に対応している。

走行モータは、左右ホイールに内蔵されているホイールインモータによるダイレクトHST駆動を採用している。走行チェーンが不要なためチェーン切断によるトラブルがなく、また張り調整も不要になり安全性・メンテナンス性を向上している。（特許申請中）

ミッションレバー操作によるギヤ選択を廃止し、スイッチ操作のみで2WD・4WD選択とミッション選択を行う。これにより、不用意にニュートラルポジションに入ってしまうことがなく、操作性・安全性を向上している。

ブLOWER加熱による熱風によりスクリーンプレートを均等に加熱し、舗装面の均一性を狙っている。また、高効率のブLOWER方式と温度センサによる温度管理方式によりプロパンガスの消費量を節約することができる。

液晶モニター搭載により、機械の状態表示およびエラー表示を行い、オペレータに各種情報を提供する。

（住友建機製造株式会社 美濃 寿保）

新製品紹介

バッテリー式リーチフォークリフト FBR09 ~ 18E

Battery Type Reach Forklift Truck FBR09 ~ 18E



近年、環境に優しく運転のし易さからバッテリー式フォークリフトの需要が増えている。

その中で約半数を占めるリーチフォークリフトはコンパクトではあるが立ち運転であるため居住性や安定性の向上が要求されている。

本機は、これらの要望にこたえ、新しいコンセプトと新開発のコンポーネントにより、長時間稼働でも快適に作業できる居住性・操作性と多様なニーズに合わせた経済性・安全性を実現し標準車体幅車、幅狭車、幅広車、および低床車など41車種を開発・商品化した。

なお、本機は国内では住友、シンコー、海外ではハイスター、エールの4ブランドで活用され、国内ではマーケットシェア10%以上の販売を期待されている戦略機種である。

また、企画から営業展開までをQFD展開から始まりダッシュ販売戦略まで実施し、製品開発から販売までのプロセスを改善している。

主要仕様

機種	FBR10S	FBR15S	FBR18S
最大荷重	1000kg	1500kg	1800kg
全長	1870mm	2105mm	2105mm
走行速度(無負荷)	11km/h	10.5km/h	10.5km/h
上昇速度(無負荷)	560mm/s	560mm/s	560mm/s

特長

居住性・操作性

業界初となるアジャスタブルヒップサポートを標準装備しオペレータの疲労を大幅に軽減している。

新フロアマットの採用によりオペレータに伝わ

る振動を低減、運転席の拡大、小径ハンドルの採用、アクセル/荷役レバー配置の最適化により居住性・操作性の向上を図っている。

走行系へのACモータ及びインバータの採用により微速操作性の向上を図っている。

経済性

メンテナンス情報、車両管理情報の一元管理が可能なフルドットLCD搭載ディスプレイを採用し管理費の削減に貢献している。

走行系へのACモータの採用によるメンテナンスフリー化やトラクションコントロール(オプション)によるタイヤ摩耗の低減で大幅にメンテナンスコストを削減している。

安全性

新サスペンション機構の採用により、旋回安定性と荷役作業時の安定性を改善し標準車で揚高4.3m、高積車で5.0mまで荷重低減なしを実現している。

トラクションコントロールと前輪アンチスキッドコントロール(オプション)の採用で、滑りやすい路面でのスムーズな発進と安定した制動を実現している。

マスト幅の拡大と配管ルートの改良で前方視界を大幅に向上させるとともに、フォーク広がり幅を拡大し荷の安定性向上を図っている。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 伊東 忠則)

新製品紹介

金型移載アタッチメント付きフォークリフト

Forklift Truck with Metallic Mold Handling Attachment



本機は、プラスチック射出成形機の金型交換作業の安全確保と50%効率化を目標として開発したアタッチメント付きリーチ・フォークリフトである。

金型の運搬から脱着・回収に至る一連の作業を本機1台で行うことができるので、クレーンなどの固定設備が不要となるほか、リモコン機能を搭載することにより一人作業を可能にした。

主要仕様

機種	61-FBR18SLX
マスト種類	2STG-SFL
許容荷重	1000kg
荷重中心(最大)	980mm
最大揚高(フック部)	3520mm
マスト最下降時フック高	1120mm
昇降ストローク	2400mm
アーム伸縮ストローク	500mm
左右サイドシフト量	各150mm
全幅	1090mm
全長(リーチ、アーム最縮時)	1980mm
全高(オーバヘッドガード)	1995mm

特長

アタッチメント及びマストの機能により、金型の上下/前後/左右の移動を可能とし、加えて左右サイドシフト量を各150mm(計300mm)と大きくすることにより、固定プラテンへの金型の位置決めが容易にできるようにした。

アーム先端フックの最大張出し量を1105mm(アウトリガ前面より)とし、マストと成形機操作側安全ドアとのスペースを十分確保できるようにした。これにより車輛を移動せずに安全ドアを閉じたままで金型前後進動作をさせることができるなど、より安全な作業を行うことができる。

アームの作動にリモコン操作機能を搭載し、手動操作とのモード切替え式とした。これにより、大まかな位置決めを手動操作で行った後、リモコン操作で微調整を行うことができるので、微調整のためにいちいち手動レバーの所まで戻る必要がなくなるなど、大幅な作業効率アップが期待できる。

リモコンモード時は、手動レバー操作及び走行ができなくなるようにするとともに、回転灯により周囲にリモコン操作中であることを注意喚起している。

安全のため、リモコン操作時のアタッチメント速度は微速度になるよう制限している。

走行時の全高を1995mmと低く抑え、工場内の天井を走行するレールやパイプとの干渉を避けるようにした。

金型を運搬および走行する時に金型を吊ったまま走行して不安定とならないように、運搬用台座を設置した。

(住友ナコ マテリアル ハンドリング株式会社 若尾 直人)

住友重機械技報第152号発行に当たり

住友重機械技報第152号をお届け致します。

本誌は、当社が常々ご指導頂いている方々へ、最近の新製品、新技術をご紹介申し上げ、より一層のご理解とご協力を頂くよう編集したものです。

本誌の内容につきましては、更に充実するよう努めたいと考えますが、なにとぞご批判賜りたく、今後ともよろしくご支援下さるよう、お願い致します。

なお、貴組織名、ご担当部署などについては正確を期していますが、それらの変更がございましたら裏面の用紙にご記入の上、FAXでお知らせ頂きたくお願い申し上げます。また、読後感や不備な点を簡単に裏面用紙にご記入願えれば幸いに存じます。

2003年8月

〒141-8686 東京都品川区北品川5丁目9番11号

住友重機械工業株式会社

技術本部 技報編集事務局

宛先

住友重機械工業株式会社
技術本部 技報編集事務局 行
FAX 横須賀(046)869-2355

発信元

貴組織名
担当部署
氏名
TEL No.
FAX No.

住友重機械技報第152号の送付先の確認と読后感などの件

送付先変更

(旧送付先)

送付番号
組織名称
担当部署
所在地
〒

(新送付先)

送付番号
組織名称
担当部署
所在地
〒

新規送付先

新しい部署ができた場合ご記入下さい。

組織名称
担当部署
所在地
〒 必要部数 部

本号の読后感について

1. 本号で、一番関心を持たれた記事は、
論文・報告の中では、
新製品紹介の中では、
2. 本号を読まれたご感想をお知らせ下さい。(印でご記入下さい。)
1 興味深かった 2 特に興味なし
その理由をお聞かせ下さい。