

住友重機械技報

Sumitomo
Heavy Industries
Technical Review

第150号記念 技術の新結合

No.150

2002年12月

< 第150号記念 技術の新結合 >

巻頭言	技術の新結合の時代 総合力(generalize)から総合力(universe)へ 日納義郎	
論文・報告	全電動射出成形機 SE-Dシリーズ 大西祐史	1
論文・報告	射出成形機の制御装置 森脇 晋	5
技術解説	DVD-VIDEO基板射出成形機 澤石裕之	9
技術解説	AMOTEC成形加工技術 間山 勉	11
論文・報告	パッケージ基板穴あけ用高速UVドリル機の開発 常見明良, 遠入尚亮, 首藤和正, 磯 圭二	13
論文・報告	高精度XYステージの開発 山本正之	17
論文・報告	ハイボニック減速機 NEOシリーズ 磯崎哲志	21
技術解説	サーボモータ用ギヤヘッド New-IBシリーズ 石塚正幸	25
論文・報告	4Kパルス管冷凍機の開発 小倉鉄也, 許 名堯, 小山知大, 李 瑞	27
論文・報告	磁場下熱処理炉用ヘリウムフリー超伝導磁石 三上行雄, 山本和人, 三堀仁志	31
論文・報告	偏波面保存光ファイバカプラ偏光波長特性評価装置の開発 藤井雄介, 岡久守一	35
論文・報告	MEMSミラーモジュールの開発 平田 徹, 塚根浩一郎	39
論文・報告	電力卸し供給事業用循環流動層ボイラ発電設備の操業実績 大出賢幸, 伊藤一芳, 西山嘉典	43
論文・報告	メンブレン式超微細気泡散気装置による下水処理反応槽の通気量削減 山村健治, 富田 欣, 多田雅之, 中尾彰夫, 本藤和臣, 小関正信	49
論文・報告	ダブルアクティングタンカーの概要 川井浩生	55
論文・報告	世界最大の冷凍貨物/自動車運搬船『SUNBELT SPIRIT』 舩谷明彦	59
論文・報告	橋梁保全技術の開発 荒居祐基, 鈴木隆久, 池田 茂, 諸隈成幸	63
技術解説	インターネット対応のeWMS 中藤雄策, 森田 勝, 待井紀彦	67
技術解説	アスファルトフィニッシュ新型スクリード 相本眞幸	69
新製品紹介	ハイブリッド射出成形機 SE350HY	71
新製品紹介	全電動式射出成形機 SE18D	72
新製品紹介	コークドラム検査装置	73
新製品紹介	クローラクレーン SCX800HD	74

総目次 75

第141号～第150号

SPECIAL 150th ISSUE

	The Era of Hybrid Technologies Yoshio HINOH	
T/PAPER	All Electrical Injection Molding Machine SE-D Series Masashi OONISHI	1
T/PAPER	Controler of Injection Molding Machine Susumu MORIWAKI	5
T/INVITATION	DVD-VIDEO Injection Molding Machine Hiroyuki SAWAISHI	9
T/INVITATION	Asahi Molding Technology with CO ₂ Tsutomu MAYAMA	11
T/PAPER	Development of High-speed UV-laser Drill System for Package Substrate Processing Akira TSUNEMI, Naoaki ENNYUU, Kazumasa SYUDO, Keiji ISO	13
T/PAPER	Development of High Precision XY Stage Masayuki YAMAMOTO	17
T/PAPER	Hyponic Drive NEO Series Tetsushi ISOZAKI	21
T/INVITATION	Gear-head Servo Motor New-IB Series Masayuki ISHIZUKA	25
T/PAPER	Development of 4K Pulse Tube Cryocooler Tetsuya OGURA, Mingyao XU, Tomohiro KOYAMA, Rui LI	27
T/PAPER	Cryocooled Superconducting Magnet for Magnetic Annealing Oven Yukio MIKAMI, Kazuhito YAMAMOTO, Hitoshi MITSUBORI	31
T/PAPER	Development of Polarization Wavelength Characteristic Evaluation Equipment of Polarization Maintaining Optical Fiber Coupler Yusuke FUJII, Morikazu OKAHISA	35
T/PAPER	Development of MEMS Mirror Module Tohru HIRATA, Koichiro TSUKANE	39
T/PAPER	Operation Results of Circulating Fluidized Bed Boiler Power Plant Utilized as Independent Power Producer Masayoshi OIDE, Kazuyoshi ITOU, Yoshinori NISHIYAMA	43
T/PAPER	Reduction of Aeration Flow Rate in Sewage Treatment Aeration Tank with Ultrafine Air Bubble of Membrane Type Diffuser Kenji YAMAMURA, Yasushi TOMIDA, Masayuki TADA, Akio NAKAO, Kazuomi HONDOU, Masanobu KOSEKI	49
T/PAPER	First Double Acting Tanker in the World Hiroki KAWAI	55
T/PAPER	World's Largest Reefer/Car-carrir " M/V SUNBELT SPIRIT " Akihiko MASUTANI	59
T/PAPER	Development of Bridge Maintenance Technologies Masaki ARAI, Takahisa SUZUKI, Shigeru IKEDA, Shigeyuki MOROKUMA	63
T/INVITATION	Internet-eWMS Yuusaku NAKATOU, Masaru MORITA, Norihiko MACHII	67
T/INVITATION	New Screed of Asphaltfinisher Mayuki AIMOTO	69
NEW PRODUCT	Hybrid-injection Molding Machine SE350HY	71
NEW PRODUCT	Special All Electric Injection Molding Machine SE18D	72
NEW PRODUCT	Inspection Devices for Coke Drum	73
NEW PRODUCT	Crawler Crane SCX800HD	74
	GENERAL TABLE OF CONTENTS No.141 ~ No.150	75

技術の新結合の時代

総合力(generalize)から総合力(universe)へ

社長 日 納 義 郎



このたび住友重機械技報発刊150号を迎えるに当たり、当社の商品と技術に関する経営の考え方についていささか所感を述べさせていただきます。

当社は長い歴史の中で多くの商品を市場に送り出しており、住友重機械グループとして見ると、現在50を越す数の機種を有しています。高度成長期には市場そのものが成長していたために、それぞれの機種がそれなりの地位を確保していましたが、低成長時代からデフレ時代に突入するに至り、競争力を失った弱い事業は、撤退したり、縮小・アライアンス等の生き残り策を模索することとなりました。現在、分社化等一連の生き残り策を経た事業は「自立」に向け鋭意努力中であります。

近年、経営においては「選択と集中」が主流となっており、当社も独自の手法Value Chain（価値連鎖）で事業の選択と集中を実践しています。しかしながら、多様な商品を骨太の商品群に絞り込むと同時に、新商品の発掘・育成が急務ともなっています。そのための基本的な考え方のキーワードが「技術の新結合」です。

当社の50の商品は、自立を目指しているものも含めてそれぞれが確固たる技術によって完成されたものです。その技術のコアの部分を生かして新たに組み合わせしていく、つまり「新結合」していくことが、当社にとって最も効率的で新商品誕生に有効であると考えたのです。

技術の新結合には知恵が必要です。

新技術・新用途の開発

これはまさに創造そのもので、当社における代表的な例としてSRリング「オーロラ」の開発が挙げられます。しかし、新商品誕生の確率は決して高くないため、これに対する投資はミニマムにしていきます。

新技術・旧用途の開発

これは新結合そのものです。いわゆるハイブリッド型を指し、電動射出成形機、シリコン単結晶引き上げ装置(MCZ)、超精密位置決め装置等、多くの成功例があります。これらは現在当社の主力商品となりつつあり、今後とも新商品開発における主要な柱となります。

旧技術・新用途の開発

技術の転進ともいえるもので、技術の普遍化(universe)を指し、一番確実な収益源といえます。PTCの主力商品はほとんどこの世界の成功例といって良いでしょう。

旧技術・旧用途の連関

技術の普遍化の応用であり、さらに魅力ある商品を生み出す可能性を秘めています。その代表例として、リフマグ等の磁場応用技術の展開を大いに期待しています。

現在、当社の新商品は「技術の新結合」の考え方をベースに開発されています。そして、この原石が商品として市場に受け入れられ認知されるために、以下の手順に則って開発を進める仕組みを作りました。すなわち、VOC (Voice of Customer = 顧客の声) を正確に把握し、QFD (Quality Function Deployment = 品質機能展開) によって顧客の要求仕様を様々な項目ごとに分析して、CTQ (Critical to Quality = 重要品質項目) を明確にします。その結果に基づき差別化のための品質・機能を作り込み、さらにトールゲイトレビューによって各項目を厳しくチェックしていきます。また、この過程でさらに新結合の機会を探索します。

当社の主力商品に成長した製品は、開発初期の段階で必ずといっていいほどリーディングカンパニーとの共同開発という手順を踏んでいます。このことから、トップ企業に鍛えられ認められた商品は、順調に発展することが確実視できると考えます。そのためにも、今後は「商品の価値連鎖」と「技術の新結合」を当社の経営の両輪としていきます。

150号を迎えたこの技報の充実も含めて、技術の新結合を追求し、技術のuniverse化を追求する社員の育成に一層努力する所存ですが、技術の研鑽に当たっては顧客との交流はもとより、異分野の技術者とのワイガヤの交流が最も大切なことと考えています。

何卒率直なご意見をお聞かせいただき、今後とも皆様の一層のご指導・ご鞭撻をお願い申し上げます。

全電動射出成形機 SE-Dシリーズ

All Electrical Injection Molding Machine SE-D Series

大西 祐史

Masashi OONISHI



図1 SE-Dシリーズ
SE-D series

1990年代後半から世界的に加速した環境保護・省エネルギー化の流れの中で、射出成形機も油圧式から全電動式への移行が急激に進み、現在では日本で生産される成形機の約70%を全電動式が占める状況となっている。当社は草創期より積極的に電動式射出成形機の開発に取り組み、1998年には画期的なダイレクトドライブ機構を採用したSE-Sシリーズを発表し、全電動射出成形機においてリーディングカンパニーの地位を築いた。

今回、更に高性能化を実現したSE-Dシリーズを開発した。SE-Dシリーズでは、徹底的に低慣性化された第2世代ダイレクトドライブ機構による射出装置、高剛性・ハイサイクルの型締装置及び操作性・信頼性に優れた制御装置を搭載することにより、サーボ弁制御のアキュムレータ式油圧機同等の性能を全電動式射出成形機で実現している。

本報では、SE-Dシリーズの機構的及び制御の特長を報告し、成形安定性を実証する成形事例を紹介する。

Ecology and energy saving accelerate in the latter half of '90s, also hydraulic injection molding machine change to all electrical machine. Now about 70% of injection molding machines, which produced in Japan are electrical. We have been developed electrical injection molding machine at the early days of electrical machine. In '98 we developed full electrical injection molding machine called SE-S series which applied epoch making direct drive mechanism. And now we get the position of leading company of all electrical injection molding machine. At this time we developed SE-D series, which applied extremely low inertia and high stiffness, direct drive mechanism, and also applied new machine controller which easy operation and high reliability. And we achieved almost the same specification as servo valve controlled accumulative hydraulic injection molding machine. This report explains strong points of mechanism, controller, further explains injection molding examples which indicate injection molding stability.

1 まえがき

油圧式射出成形機は、安定性・再現性が劣る、消費電力が大きい、冷却水消費量が多いなどの弱点を持つ。その原因として、以下が挙げられる。

作動油温の変化が制御特性に影響を及ぼす

摩擦力(オイルシール)などの外乱要素が環境に影響される

装置が停止中であっても回路圧を一定に保つ必要がある
作動油の冷却が必要である

これに対して、電動式射出成形機では以下の理由により安定性、再現性と共にエネルギー効率が高いことが特長となる。

摩擦力などの外乱要素が環境に影響されずほぼ一定である

動力の伝達効率が非常に高い

装置の無負荷停止時にはエネルギー消費がほとんどない
冷却水は樹脂ホッパー下の冷却用のみである

一方で、アキュムレータ式油圧成形機は、サーボバルブ制御による高い制御性及び低慣性の駆動部と瞬時高出力による高速高応答・ハイサイクル性などの点で優れている。

電動式射出成形機ではモータを駆動源とするため、機構駆動部に回転部分が存在する。回転運動する物体の慣性は回転直径の4乗に比例するため、同じ構造物を直線運動させる場合に比較して慣性が大きくなる。このことから回転運動を直

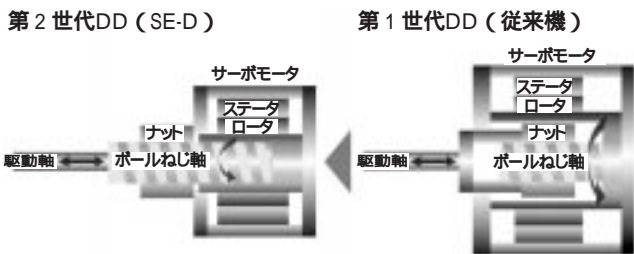


図2 第2世代ダイレクトドライブ機構
2nd generation, direct drive mechanism



図3 型締機構
Mold mechanism

線運動に変換する必要のない、サーボ弁制御によるアキュムレータ式油圧機と同等の速度応答性を得ることは困難であった。この問題を解決するため、SE-Sシリーズで開発したダイレクトドライブ機構を徹底的に低慣性・高剛性化した第2世代ダイレクトドライブ機構を開発した。更に高速高応答を実現する制御技術、精密成形アプリケーション技術及びIT化・グローバル化対応の技術開発に取り組み、SE-Dシリーズとして2001年11月に市場投入した(図1)。

2 SE-Dシリーズの特長

2.1 ダイレクトドライブ機構

電動式射出成形機はベルトによって動力伝達を行う方式が一般的であるが、ベルトドライブ機構はモータ容量や減速比の変更が容易である反面、騒音の問題及びベルト調整などのメンテナンス性、駆動軸への偏荷重及びベルトの伸びによる機械剛性の低下などが問題となる。また、プーリなどの減速機構部も回転運動するため、モータの慣性負荷を増大させる。このため、装置の加減速時間が長くなり、制御的にも速度ループのゲイン低下を招くため、高速高応答を必要とする分野では不利である。

SE-DシリーズではSE-Sシリーズと同様に射出・計量・型締・エジェクタの各装置にダイレクトドライブ機構を採用して減速機構を排除したことに加え、SE-Sシリーズと比較して回転駆動部直径をコンパクト化することにより慣性を徹底的に削減している。図2に、模式図を示す。更に、成形機専用モータの高性能化とモータの能力を最大限に引き出す当社独自の制御方式により、サーボ弁制御によるアキュムレータ

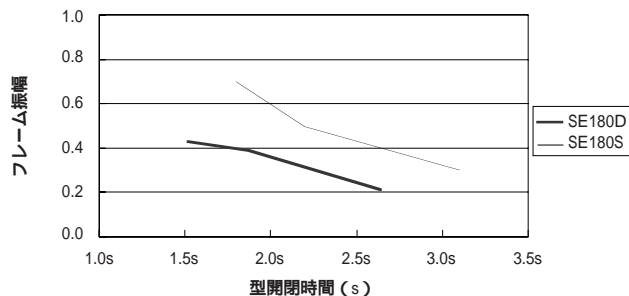


図4 フレーム振幅
Frame amplitude

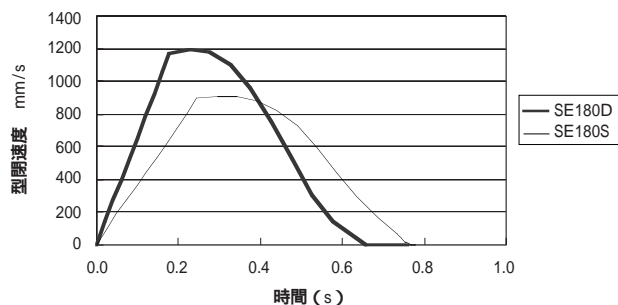


図5 型開閉速度波形
Mold velocity wave form

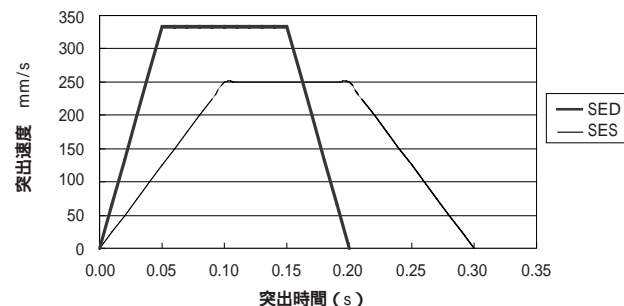


図6 エジェクタ速度波形
Ejector velocity wave form

付き油圧成形機以上の高速・高応答・精密・ハイサイクル成形性能を実現した。

2.2 型締装置

図3に、SE-Dシリーズの型締装置を示す。新設計のトグル機構により、最大速度を従来機比30%以上向上させると共に、最適加減速度制御を行うことにより、低振動(図4)とハイサイクルを両立している(図5)。更に均一な型締力を金型に伝達するため、プラテン形状を最適化し、パリの防止及び金型へのストレス低減を図っている。長年実績のあるトグル技術をベースとして、トグル式と直圧式の長所を併せ持つ型締め装置としている。

また、タイパ間隔を従来機と比べ、水平方向に50mm(290kN機は20mm)拡張し、1クラス上の金型を搭載可能とし金型サイズへの対応力を高めている。

2.3 エジェクタ装置

図6に示すように、エジェクタ装置も突出速度を従来機比30%以上アップすると共に立ち上がり応答性を従来機比2倍



図7 可塑化射出装置
Injection mechanism

に向上させ、小物成形品の飛散防止や成形品のエジェクタピンへの付着防止を実現している。また、エジェクタロッドの締結が容易に行える構造となっており、直結式金型への対応をしている。更にエジェクタを金型に当て止めることにより製品を落下させる用途に対応するため機構部への衝撃力を緩和する緩衝機構を搭載し、幅広い成形品に対応できる。

2.4 可塑化射出装置

可塑化射出装置の外観を、図7に示す。可塑化射出装置は、ダイレクトドライブ機構のコンセプトはそのままに、機構部品の極限までの低慣性化と、高射出馬力を得る成形機専用モータの開発によりアキュムレータ付き油圧機と同等の高速・高応答及び高射出馬力を実現している。

可塑化射出装置はC50～C510までの8モジュール用意しており、最大射出速度は可塑化容量C110までが500mm/s、可塑化容量C160が400mm/s、可塑化容量C250～C510は300mm/sを標準仕様とし、更に立ち上がり応答性も300mm/sまで20msのスペックを標準としている(図8)。また、モータの高性能化により従来機より射出馬力を最大2.5倍アップし負荷圧に対して速度低下の少ないPQ特性を実現している。これらの高性能化によって、レンズ等の厚肉品から狭ピッチコネクタ等の薄肉品まで幅広い成形に対応可能な射出装置となっている。

2.5 制御装置

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高負荷対応サーボドライバにより、低慣性・高剛性機構の能力を最大限に引き出す制御装置を搭載している。表示設定器には12.1inの大型カラー液晶、タッチパネルを採用し操作性・視認性を高め、3カ国語切り替えを標準装備することにより、ユーザフレンドリーなマンマシンインターフェースとなっている。更に成形現場での問題解決に有用な品質管理データの統計解析機能(図9)や8ch波形表示機能、任意のトリガによる波形保存機能など多彩なアプリケーションを標準装備している。またE-ther netインターフェースを標準装備し、当社の生産管理システム(iキューブシステム)との接続が容易である。

2.6 成形アプリケーション

SE-Dシリーズでは高度な成形に便利な以下の機能を準備している。

2.6.1 10モード(標準装備)

射出速度、保圧力の立ち上がり応答性を10段階に切り替え可能とし、金型と成形品にマッチした成形条件の設定が可能

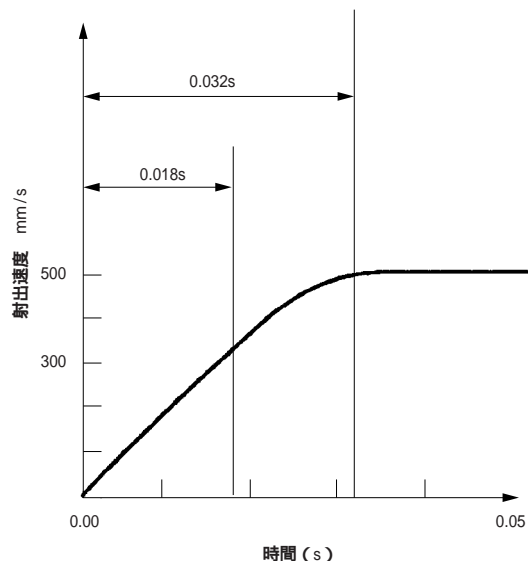


図8 射出速度波形
Injection velocity wave form

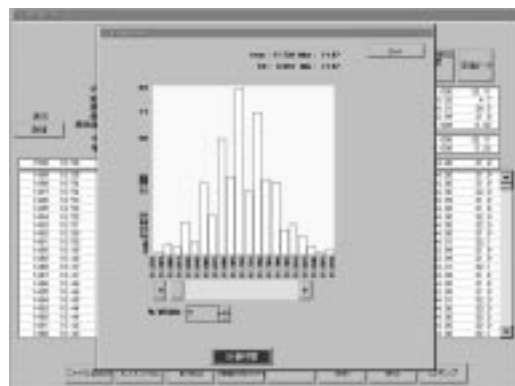


図9 品質管理機能・ヒストグラム
Analysis function histogram

となっている。

2.6.2 フラッシュモード(標準装備)

金型への樹脂の充填性や保圧制御への切り替え時に発生するバリ等の成形不良に対応するため、充填工程中にスクリュを強制後退させ、充填ピーク圧をコントロール可能としている。樹脂の圧縮性を利用した成形や急激な圧抜きを必要とする成形に最適な機能である。

2.6.3 シンクロ計量(オプション)

最適なスクリュ位置及び背圧制御を行うことにより、可塑化の難しい樹脂の計量状態を安定させ、計量時間の安定化に威力を発揮する。

2.6.4 SK 制御(オプション)

粉砕材の使用など計量後の樹脂密度が安定しづらい場合や、より安定した計量、充填を必要とする成形分野に対応するため、当社独自のチェックリング閉鎖機構を採用したSK制御専用の逆流防止機構とセットで使用する。計量完了後にチェックリングを閉鎖した状態で樹脂密度を一定化し、金型に充填される樹脂量の安定化を図っている。

2.7 省エネルギー・省ユーティリティ

SE-Dシリーズと当社油圧機SGシリーズで同一成形品を成形した場合、約70～80%消費電力量が削減され、SE-Dシリ

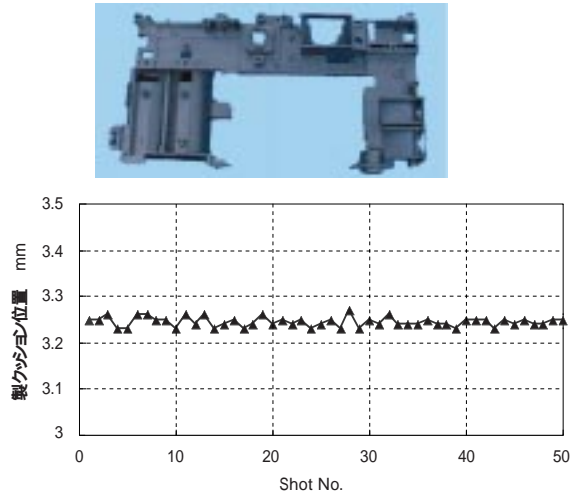
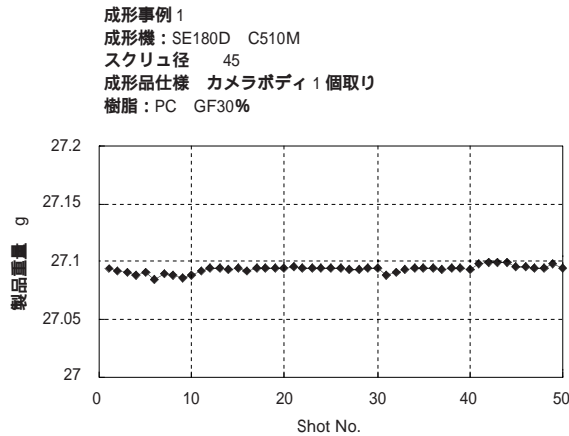


図10 成形事例：カメラボディ
 Molding sample : Camera body

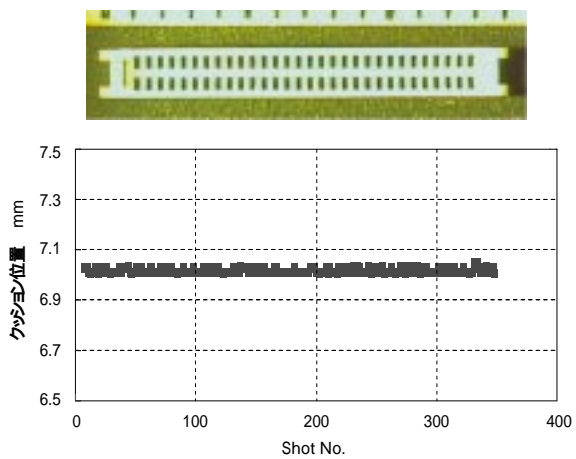
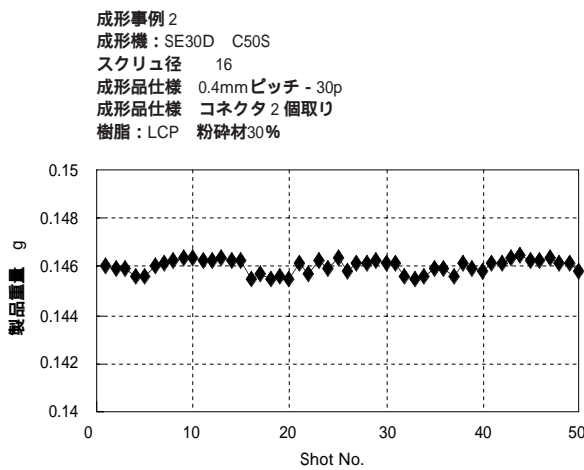


図11 成形事例：狭ピッチコネクタ
 Molding sample : Narrow pitch connector

ーズのエネルギー効率の高さを証明している。冷却水消費量についてもSGシリーズ比95%削減され省ユーティリティ性が証明されている。また、電動式射出成形機では機械から放出される熱量が大幅に削減される。SE-Dシリーズでは当社油圧機SGシリーズ比約50%放出熱量が削減されることから、成形工場の空調費用も大幅に削減できる。

3 成形事例

SE-Dシリーズでの成形事例を、図10及び図11に示す。

事例 1 のカメラボディではクッション位置のばらつき0.04mm、成形品重量のばらつき0.014gとなり高い安定性を実現している。

事例 2 の狭ピッチコネクタでは粉碎材を使用した樹脂においても、フラッシュモードとSK 制御により樹脂充填量が安定化し、クッション位置ばらつき0.04mm、成形品の重量ばらつき0.001gと非常に高い成形安定性を実現しており、成形技術と制御技術が融合した成形アプリケーション機能が効果を発揮している。

いずれの成形事例もダイレクトドライブ機構とクローズドループ制御による優れた成形安定性を証明している。

4 むすび

SE-Dシリーズの開発コンセプトを次に示す。

- サーボ弁制御によるアキュムレータ式油圧機と同等の性能を実現した
- 高速高応答に耐え得る剛性、耐久性を実現した
- 安全規格対応、操作設定系の多国語化などによるグローバルマーケットへ対応した
- 成形現場のIT化へ対応した

電動式成形機はもはや射出成形機の主流となっており、今後更に高機能化・高精度化が進展するものと思われる。当社は今後とも電動式射出成形機の性能向上と共に、次世代の技術革新の研究開発に取り組んでいく所存である。

(参考文献)

江本敦．ダイレクトドライブ方式による住友全電動射出成形機 SE-Sシリーズの開発．合成樹脂，1998．
 大西祐史．第2世代全電動射出成形機．産業機械 619号，Apr.，2002．
 杉本英彦，小山正人，玉井伸三．ACサーボシステムの理論と設計の実際．総合電子出版，1997．
 広住均．成形現場向け品質管理システム「iii-System」．住友重機械技報 149号，Aug.，2002．

射出成形機の制御装置

Controller of Injection Molding Machine

森 脇 晋

Susumu MORIWAKI



図1 N8コントローラ
N8 controller

The control device of an injection molding machine is mainly divided into two modules: HMI (Human Machine Interface) which is used for operating the molding machine and SEQ (Sequence Control) which is used for controlling the operations of the molding machine. In recent years, the HMI demands higher levels of network, high capacity data management, installation of peripherals, and multi-language applications and the SEQ demands higher levels of high cycle, multi-precision, and responsiveness. Moreover, it is important for them to be diverted easily to various special machines to reduce costs and to curtail the period of

射出成形機の制御装置は、成形機を操作するHMI (Human Machine Interface) と、成形機の動作を制御するSEQ (Sequence Control) の2つのモジュールに大別することができる。

近年、HMIにはネットワーク化、大容量データ管理、周辺装置組込み、多国語対応、SEQにはハイサイクル、高精度化及び高応答性の要求が高まっている。更に、個別顧客要求に迅速かつ低コストで対応できるよう、各種専用機への転用が容易であることも重要である。

これら高機能なHMIと、ハイパフォーマンスなSEQを実現するために、WindowsCEを採用した制御装置『N8コントローラ』を開発し、電動射出成形機SE-Dシリーズに搭載した。

N8コントローラは、次の特長を具備している。

大容量データの収集、解析機能による、高度な波形解析、品質管理機能。

万国共通なWindowsの操作性を活用した支援機能の実現。

ネットワーク (LAN) 対応。

development and delivery. In order to realize a reasonable high function HMI and high performance SEQ, a control device “N8 Controller” which adopts Windows CE has been developed and mounted on SED.

The features of the N8 controller are as follows:

- 1) Superior functions of waveform diagram, quality control by the collection and analysis of high capacity data.
- 2) Realization of a support function utilizing the operability of the universally used Windows.
- 3) Application to network (LAN).

1 まえがき

プラスチック成形業界は、台頭する中国に対抗しようと、生き残りをかけた生産性改善や差別化が図られている。技術的には高生産性、低コスト化、精密化、薄肉化、小型化及び複合化などをキーワードとして進化を続けている。これらの技術には樹脂、金型、成形機及び成形加工の4要素があり、それぞれの要素で各キーワードを実現すべく様々な商品が開発されている。

成形機では、高生産性・低コスト化のためのハイサイクル化、精密化のための高応答性、薄肉化のための高速射出性、小型化・複合化のための専用機開発などが代表例である。また、ネットワーク対応や周辺機器組込み及び各種支援機能が

開発され、各キーワードの実現の一助を成してきた。そして、これらを実現するために、制御装置の高性能化も進んでいる。

本報では、こうした高性能化を実現するために、電動射出成形機SE-Dシリーズ用に開発した「N8コントローラ」(図1)に関して報告する。

2 制御装置の構成

射出成形機の制御装置は、成形機を操作するHMI (Human Machine Interface) と、成形機の動作を制御するSEQ (Sequence Control) の2つのモジュールに大別することができる(図2)。

HMIは、文字通り成形機とオペレータを結ぶもので、G

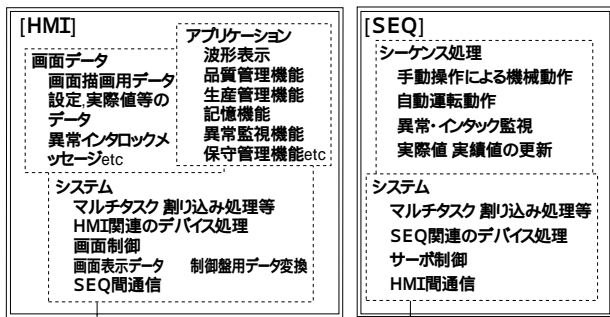


図2 制御装置におけるソフトウェア構成
Software configuration of controller

UI (Graphical User Interface) に代表される画面表示と設定操作の簡易化に主眼が置かれてきた。また、近年ではこうした機械と人の一対一の繋がりだけでなく、イーサネット網による複数台の成形機の集中管理や、ダウンタイム低減による高生産性の維持を狙った各種自己診断機能の拡充、成形する際の設定や成形中の実績・波形データの保持容量の拡大に注力する動きもある。こうしたニーズを具現化するために、HMIには、CeleronやPentium を搭載したPC/AT互換のCPUボードや、RISCチップを搭載したCPUボードが採用され、OSにWindowsを採用するメーカーも増えてきた。

一方SEQでは、ハイサイクル化、高精度化及び高応答性の要求レベルが高まり、 μ sオーダの応答性が要求されるようになってきた。このため、高性能なハードウェアはもとより、高速リアルタイムOSが要求され、Windowsのような高機能なGUIを持ったOSは不向きとされてきた。

以上のような異なった性格の2つのモジュールを共存させるために、制御装置では、ハードウェア的に分離し、分散制御しているものが多い。しかし、射出成形機は24時間操業や東南アジアなどの高温多湿な場所、周辺機器によるノイズ環境など、過酷な環境下で使用されることが多く、通信データの信頼性確保やコストセービングの観点から、当社射出成形機の制御装置では、HMIとSEQの一体化を指向してきた。なお、電動射出成形機においては、SEQから予め目標位置や速度、力をサーボンプ(サーボモータ制御用CPU)に指令してサーボモータを制御している。従って、制御応答性を向上するためには、このサーボンプの制御周期を高速化すると共に、SEQ間との高速通信が必要である。そこで、当社では自社開発したサーボンプとSEQとを高速なバスで接続して、トータルな高速応答性を実現している。

3 SE-Dシリーズの制御装置開発の背景

射出成形機のHMIのトレンドの一つに、一画面中に多くの設定や実績をその国の言語でレイアウトすることが挙げられる。これにより、画面は大画面化と高解像度化の傾向にある。また、ソフトウェアは年々肥大化し、プログラム容量はMS-DOSの上限では収まらず、メモリ管理の手法にも革新的な技術が望まれていた。これらの課題を克服するために、SE-Dシリーズの制御装置開発を始める際、多くのリアルタイムOSを検討し、後述のWindowsCEにリアルタイム性を拡張し、射出成形機の制御装置に求められる高応答性を確保

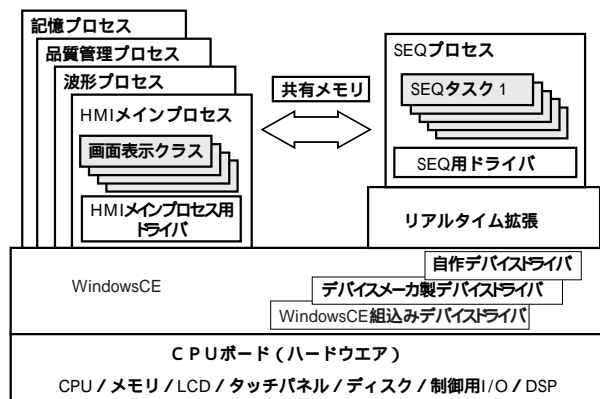


図3 N8コントローラのソフトウェア構成
Software configuration of N8 controller

した上で、HMIとSEQを1つのCPUボード上で動作させることに成功した(図3)。

4 WindowsCEの特長

WindowsCEは、Microsoft社が開発した組み込み機器向けOSで、以下の特長を具備している。

万国共通なWindowsの操作性が実現可能。

世界各地の言語に対応可能。

Windowsの諸機能を小容量な環境で実現可能。

多種多様なCPU環境で動作可能。

Windows系OSの開発環境を踏襲している。

以上のことから、高機能なGUIを具備した制御装置に有効なOSと言える。また、WindowsCE3.0において、リアルタイム割り込み周期も1msが確保され、HMIのOSのみならず、組み込み用途においてSEQソフトをも包括したOSとして活用することが可能となった。

ただし、今日の射出成形機のSEQで求められる応答性にはこれでもまだ不十分で、N8コントローラではリアルタイム性を更に向上する拡張を施している。

なお、本開発を行った時点でもWindowsCEをOSとした産業用の制御装置はいくつかあったが、HMIとSEQを1つのCPUボード上で実現した例はなかった。このため、万一開発したソフトウェアが思い通りに動作しない時、不具合原因が自社開発した部位にあるのか、それともOSの特性に起因するものなのかを特定することに時間を要した。従って、WindowsCEには採用するメリットは大きいものの、こうしたリスクに対応できるだけの技術力が求められる。

5 N8コントローラ開発の目標

N8コントローラは、昨今の顧客の多様化するニーズに迅速に対応すべく、次のコンセプトで開発を行った。

5.1 高付加価値機能対応

顧客の生産性や品質向上に貢献する高付加価値な機能を具備すること、多様化する顧客ニーズへの対応性を向上することを目指す。

5.2 グローバル対応

世界各地へ販売するためには、多国語表示が可能であるこ

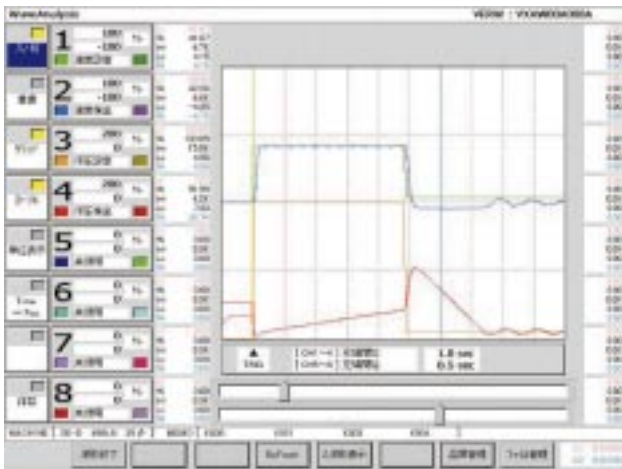


図4 波形画面(モニタ波形)
Analysis screen (Monitoring graphic)

とは重要である。また、世界標準であるWindowsの操作性が望まれる。更に、グローバル企業への対応として、LAN接続による遠隔監視が求められる。

5.3 プラットホーム設計

各種成形機、専用機にも少ない工数で転用可能なように適度なモジュール化がされていて、それらの開発品質、コスト、スピードを満足できることを目指す。

6 N8コントローラ開発の成果

従来の制御装置のソフト開発では、差別化技術となるアプリケーション開発の前に、画面表示やプリンタ印字及び通信処理など、制御装置を構成するデバイスの制御に関する開発に多くの時間を費やしていた。しかし、今回の開発では新たなデバイスを多く採用したにも関わらず、それらのドライバの多くがWindows CEやデバイスメーカで予め用意されており、短期間に対応することができた。これにより、次に述べるような本来の差別化機能の開発に注力することができた。

6.1 高付加価値機能

N8コントローラの他社との圧倒的な優位性は、大容量データの保持及び解析能力にある。例えば、波形は1画面に8chを表示し、最大1000ショットまで保管することができる。品質管理機能では、20項目の実績値を最大過去10万ショット分記憶することができる。これにより、万一週末に成形不良が発生しても、週明けにその時点に遡って原因を究明し、対策案を検討することができる。更に、こうした対策案の検討や成形条件の管理を支援するために、次のような機能も具備した。

6.1.1 波形解析機能(図4)

異常発生時、又はその前後数ショットのみを保管する。基準波形や保管した波形の表示する。

波形画面以外を表示中にも最新波形の重書きが可能である。

1画面中に異なる工程の波形を2分割して表示することが可能である。

カーソル表示による、最大、最小及び積分値表示が可能である。

6.1.2 品質管理機能(図5)

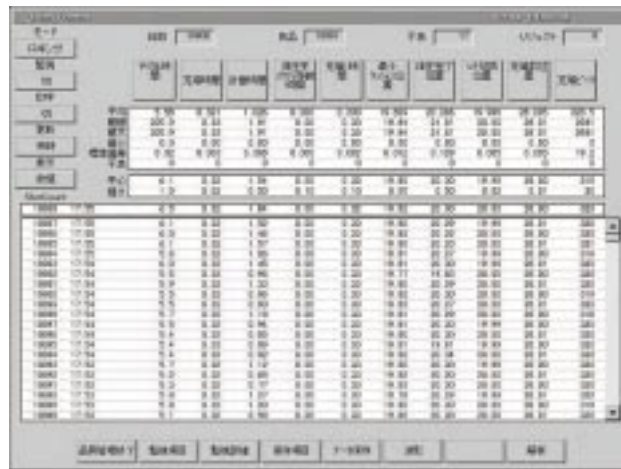


図5 品質管理画面
Quality control screen



図6 記憶画面
Storage screen

10項目、過去500ショットの実績値及び最大、最小、標準偏差値などの統計量の一覧表示が可能である。

トレンドグラフ、散布図及び相関係数行列表示が可能である。

不良ショットのみと全ショットを瞬時に切り換えることが可能である。

過去10万ショットまでのロギング結果をファイル一覧で表示して、選択したものの解析が可能である。

6.1.3 記憶機能(図6)

条件設定の画面を縮小表示し、過去の条件を直感的に比較して、呼び出すことが可能である。

200条件を5つのフォルダに整理しての保管が可能である。

6.2 高解像度化

画素数を640*480dotから800*600dotにし、一覧性を向上した。また、画面の大型化とタッチパネルの搭載により操作性を向上した。

6.3 GUIのグローバル対応

ハングルや中国語の簡体や繁体のような、特殊な文字を有する言語にも対応可能となった。また、成形を支援する観点から大幅な改良を試みた波形表示機能、品質管理機能及び記

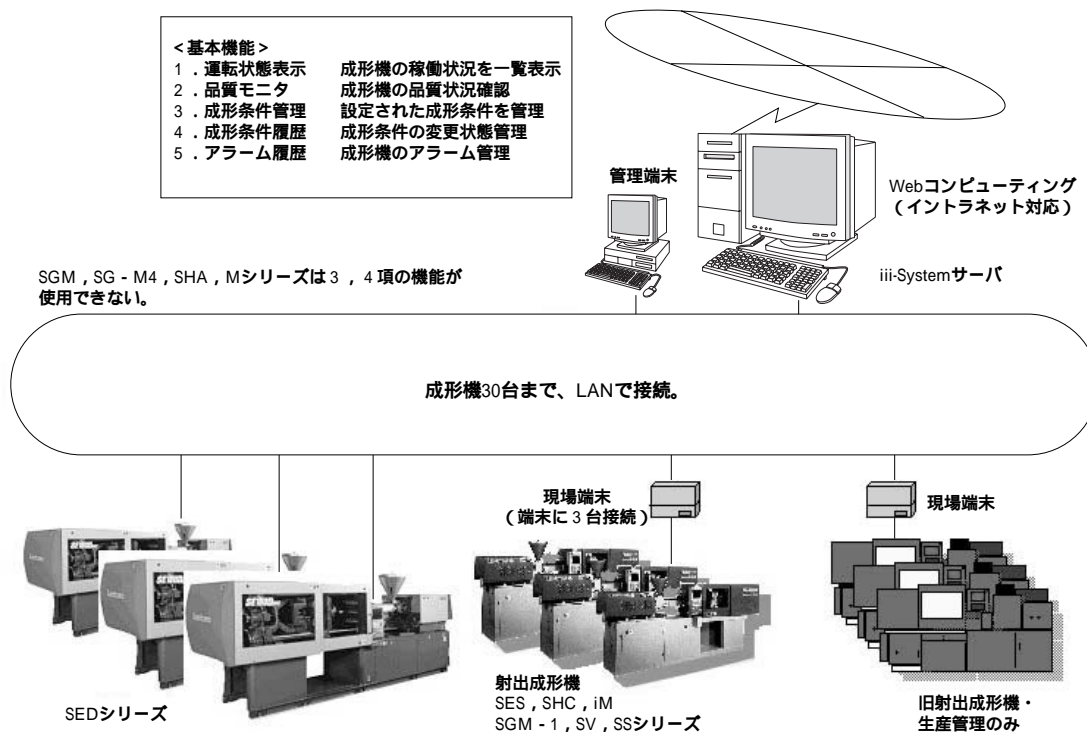


図7 iii-System iii-System

憶機能の3項目に関しては、WindowsライクなGUIにして操作性を向上した。ただし、条件設定に関わる部分に関しては、操作の継続性を重視し、従来の画面レイアウトを踏襲した。

6.4 ネットワーク(LAN)対応

成形現場の監視システム「iii-System」とイーサネットに直接に接続し、成形品質や生産状況を集中監視することを可能とした(図7)。

6.5 プラットホーム設計

従来のソフト開発では、ベテランエンジニアがシステムの根幹のほぼ全てを一人で開発し、複雑に絡み合う機能の調停をしたため、開発されたシステムを開発者以外が理解することは難しかった。しかし、N8コントローラでは、Windowsソフトの多くで採用しているオブジェクト指向型のソフトウェア構造をとり、異なる機能が複雑に絡み合わないよう構成した。これにより、ソフトウェア開発を複数の担当者に分担することが可能となった。また、機種固有な機能のみを別管理すれば良くなったため、専用機の開発品質や開発スピードを向上することが可能となった。

7 今後の展開

今日の射出成形機の顧客を取り巻く環境は、グローバル化による世界的な最適地への工場展開、外国人の従業員の増加及び熟練工の減少など、複雑化している。従って、我々が本来成すべき開発は、こうした複雑化していく顧客環境を支援する機能の創出である。例えば、成形条件の定量評価を推進するために、波形表示機能や品質管理機能の更なる改善に注力する。また、止まらない機械を目指したメンテナンス機能の強化や、高価化する金型を安全に保護する機能のような、顧客価値に直結する開発をしていく。

更に、今後顧客の高付加価値ニーズは増々加速することが予測される。従って、開発スピードの向上とソフトウェアの品質確保の観点から、ソフトウェア開発プロセスの改善に努めていく。

なお、当社では、顧客ニーズに柔軟に対応するために、多くの機種を商品化してきた。これらの機種の制御装置にもこの高機能なシステムを展開し、更なる機能改善を継続的に加えつつ発展させていきたい。

8 むすび

本報では、電動射出成形機SE-Dシリーズで開発した制御装置のソフトウェアに関する部位に焦点を当てて報告した。その特長を次にまとめる。

大容量データの収集・解析機能により、成形品質確保を支援する波形表示・品質管理機能を実現した。

グローバル化に対応するために、多国語への対応及びネットワーク(LAN)による遠隔監視が可能である。

顧客の高付加価値ニーズに迅速に対応するために、専用機を開発する際のプラットフォーム設計を実現した。

今後も、顧客ニーズを実現するために必要な制御装置の開発に邁進すると共に、その上で如何にすれば顧客ロイヤリティが得られるかという視点で、新たなアプリケーション開発をし続けていく所存である。

(参考文献)

- 大西祐史. 第2世代全電動射出成形機. 産業機械, 619号, Apr., 2002.
- John Murray. インサイドMicrosoft Windows CE. 日経BPソフトプレス.
- 広住均. 成形現場向け品質管理システム『iii-System』. 住友重機械技報, 149号, Aug., 2002.

DVD-VIDEO基板射出成形機

DVD-VIDEO Injection Molding Machine

澤石 裕之

Hiroyuki SAWAISHI



図1 DVD-VIDEO基板射出成形機 SD35E
DVD-VIDEO injection molding machine SD35E

1 はじめに

映像記憶媒体であるDVD-VIDEOは、高画質、5.1チャンネルサウンド及び言語切換などの特長を持ち、プレーヤの低価格化も追い風となって、近年急速に普及してきている。当社は光ディスク基板射出成形設備の製造・販売をDVD登場以前より手掛けており、DVD-VIDEO基板射出成形設備市場において高いシェアを得ている。ここでは、DVD-VIDEO基板用射出成形機SD35E（図1）の特長を紹介する。

2 DVD-VIDEO基板射出成形の難しさ

DVD-VIDEO基板の射出成形は、次の3つの点からCD-ROMのそれより難易度が高くなっている。

2.1 ピットがより微細で高密度に分布

DVD-VIDEOでは、映像情報などの信号はピットと呼ばれる微細な凹みとして基板の片面に刻み込まれる。このピットをレーザービームでたどり、ピットの有無を反射光の光路差で読み取ることにより信号を得る。DVD-VIDEO基板とCD-ROM基板表面の原子間力顕微鏡（AFM）による拡大画像を、図2に示す。本図からわかるように、DVD-VIDEOはCD-ROMに比べ、一つ一つのピットが小さい上に、高密度で分布している。このような微細パターンを転写し良好なピット形状を得るためには、射出成形の条件設定として、高樹脂温度、高金型温度及び高型締力が必要である。これらの成形条件は、成形した基板の反りを悪化させるように働くので、ピット転写性と反りその他の特性を両立させるのが難しくなる。

2.2 基板が薄い（厚さ0.6mm）

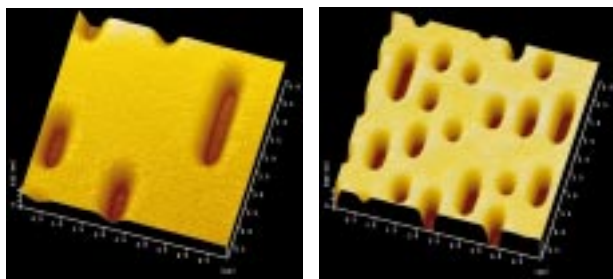
樹脂の流路が狭く流動抵抗が増大し、ゲート近傍と遠方の応力分布を不均一にする。そのため、基板の光学特性（複屈折）や機械特性（反り、面振等）を悪化させる大きな要因となる。

2.3 貼り合せ構造

DVD-VIDEOディスクは、2枚の基板を貼り合わせる構造をとっている。貼り合せ方法及び貼り合せ条件によっては、貼り合せ工程後ディスクの反りが大きく変化する。例えばフラットな基板を2枚貼り合せても、貼り合せたディスクの反りが悪化し不良品となる場合もある。この貼り合せによる反りの変化を見越して基板の反りを調整しなければならない。また貼り合せ方法にもよるが、貼り合せ工程でディスクの反り、特に径方向の反り（Radial Tilt）を自在に制御することは難しい。そこで、基板の反りを変化させ、貼り合せ後ディスクの反りを調整するという方法が取られることもある。このように、DVD-VIDEOは貼り合わせ構造を持つために、基板の反りに関する要求品質許容範囲は狭められる。

3 DVD-VIDEO基板射出成形機SD35E

前章で見てきたように、DVD-VIDEO基板の成形は難易度が高い。基板の光学特性、機械特性、ピットの転写性及びフローマークなどの外観不良、バリという全ての特性を満足する良品基板を得るための成形条件設定幅は極めて狭い。これは、最適化した成形条件設定から成形機の動作が少しでも外れれば、何らかの不良現象が発生することを意味する。従っ



CD-ROM

DVD-VIDEO

図2 原子間力顕微鏡による基板表面拡大画像
Substrate surface image magnified by atomic force microscope

て、高い繰り返し再現性能がDVD-VIDEO基板用射出成形機にとって非常に重要な要求仕様となる。この要求仕様を実現するためにSD35Eは次のような特長を持つ。

3.1 ダイレクトドライブ方式

SD35Eは、型締/型開閉、可塑化、射出及びゲートカットの駆動源として電動サーボモータを使用しており、その最大の特徴はサーボモータとボールネジを直結するダイレクトドライブ方式である。

電動射出成形機には、ベルト駆動方式が一般に使われている。しかし、この方式は、加減速時の慣性力や型締時のクロスヘッド推力によりベルトが伸縮し、動作応答遅れや速度変動を起こす、という短所を持つ。一方、ダイレクトドライブ方式は、モータとボールネジを直結しておりベルトの弾性や劣化の影響を受けないので、繰り返し再現性、位置制御性及び応答性に優れる。また、ベルトを使うと避けられない粉塵、騒音の発生を回避することができる。図3に、ダイレクトドライブ方式とベルト駆動方式の構造を示す。

3.2 型締め装置

型締め装置には5点ダブルトルグル機構を採用し、型開閉高速化と型締め力制御高応答化を実現するトルグル倍率カーブを持つようにリンク設計を行った。また、ボールネジを軸回転方式で使用することによりイナーシャを低くし、型締め力の応答性を高めている。このような設計によりドライサイクル0.6s、型締め力応答性0.1sを達成している。

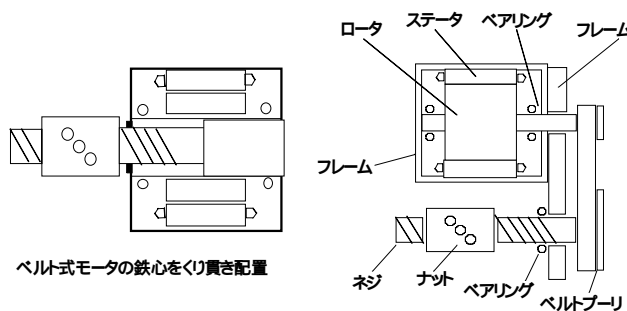
SD35Eは、タイプに設置した軸力センサにより型締め力を検出してフィードバック制御を行っている。よって、設定に対する高い追従性とリニアリティを備え、樹脂圧による型締め力の変動を瞬時に補正するとともに、高い繰り返し再現性も得られるのである。

3.3 射出装置

SD35Eは、0.1sの充填時間を要求されるDVD基板成形に対して十分な応答性と射出率を備えている。また、射出及び可塑化装置ともダイレクトドライブ方式を採用しており、モータトルクを直接ボールネジに伝達できるので、射出速度、保圧、背圧及び計量完了位置の制御性、繰り返し再現性に優れる。

3.4 SD35Eの繰り返し再現性

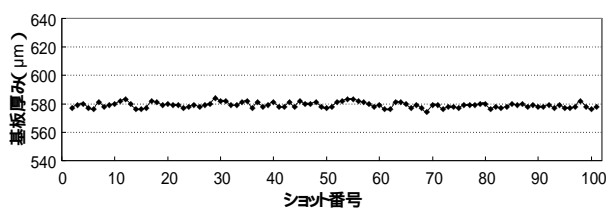
SD35Eの再現性を示す一例として、DVD-VIDEO成形基板厚みのショット間ばらつきデータを図4に示す。100ショットの基板厚み変動レンジは10 μ mである。これは貼り合わせ工程も含めたDVD-VIDEOディスクの生産において、十分高い良品率を得られる性能である。



ダイレクトドライブ方式

ベルト駆動方式

図3 ダイレクトドライブとベルト駆動
Direct drive system and timing belt drive system



最大値 (μ m)	584
最小値 (μ m)	574
平均値 (μ m)	579
最大値 - 最小値 (μ m)	10
標準偏差 (μ m)	1.997
標準偏差 / 平均値 (%)	0.345

図4 DVD-VIDEO基板厚みのショット間ばらつき
Stability of DVD-VIDEO substrate thickness

4 おわりに

以上見てきたように、DVD-VIDEO基板の成形においては基板の薄さ及び貼り合わせ構造による制限が加わるため、良品が得られる成形条件幅はCD-ROM基板の成形に比べて狭くなっている。よって、成形条件の最適化とともに、最適化した条件を繰り返し安定して再現できる成形機の能力が非常に重要である。また、成形品の要求品質特性が厳しくなればなるほど、成形機の性能だけでなく成形技術及び金型を合わせた総合力が不可欠となってくる。

(参考文献)

市原浩一・超精密ディスク専用射出成形機「SD30 () / 40 () , SD35E」の特長、機能とCD-R, DVD-RAM, / -R, 基板成形への対応...成形事例. プラスチック工業技術研究会, 1999年.

AMOTEC成形加工技術

Asahi Molding Technology with CO₂

間山 勉

Tsutomu MAYAMA

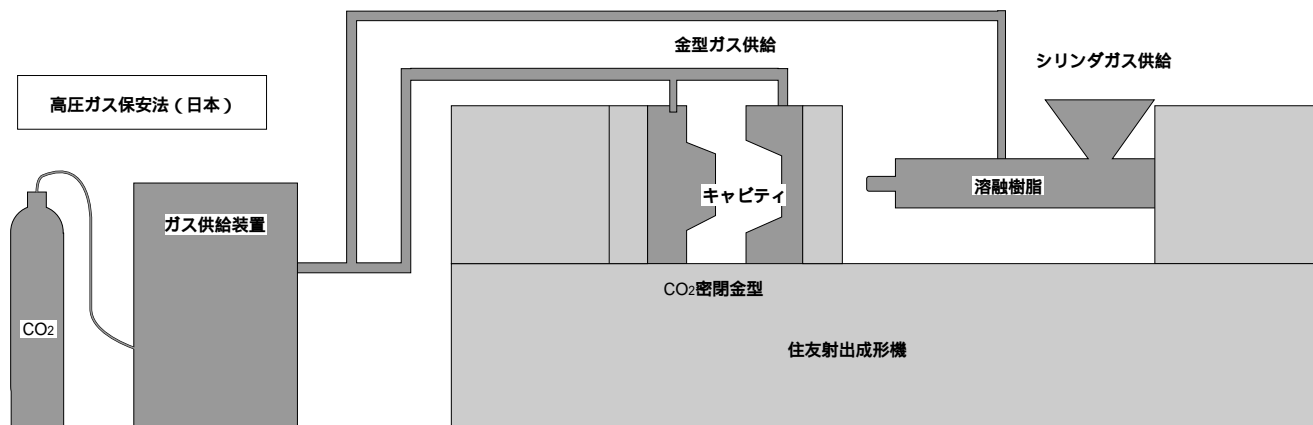


図1 AMOTEC専用射出成形機
Injection molding machine of AMOTEC

1 はじめに

AMOTEC™は、旭化成株式会社が開発した新成形加工技術である。当社は技術実施承諾等契約を2001年1月1日に締結し、用途技術開発を進めている。本技術は、溶融樹脂に炭酸ガスを溶解させ、良好な可塑剤として作用することを利用した技術で樹脂充填時の流動性改善が可能になる。また、射出前に金型キャビティ内を炭酸ガスで充填させ、その後、射出することで高転写性が得られる技術がAMOTEC成形加工技術である。

2 AMOTECの設備概要

AMOTECの設備は、ガス供給装置、専用可塑化シリンダ及び気密金型が必要である（図1）。

2.1 ガス供給装置

可塑剤として使用する炭酸ガスは、炭酸ボンベからガス供給装置に供給され、必要な圧力に調圧して可塑化シリンダと金型に供給される。金型キャビティへの供給は成形機の動作に合わせて樹脂充填前に金型キャビティを炭酸ガスで加圧し、射出後、型開まで炭酸ガスを開放する。

2.2 専用可塑化シリンダ

炭酸ガスを均一溶解させるには、専用スクリュとガス注入口のついたシリンダから炭酸ガスを注入し、飢餓状態で樹脂と均一に溶解される。

2.3 気密金型

ガス供給排出路と圧力保持の気密構造が必要である。

3 AMOTECの成形原理

炭酸ガスは、良好な溶解性を示し溶融樹脂中に溶解した炭酸ガスは可塑剤として作用する。高分子のすきまに小さな分子の可塑剤が入り込み、高分子同士の絡み合いが緩和される。分子が動きやすくなることで、溶融時の粘度が下がることと、固化する温度が低くなることが考えられる（ガラス転移点温度T_gが低下する）。

応用的には、樹脂の流動性を高める以外に、もとの樹脂と同じ流動性を保ったまま、溶融樹脂の温度を低くすることも可能となる。この場合、樹脂温度を20～50℃低くすることができ、樹脂によっては成形中の熱劣化を大幅に抑えられるなど、エンジニアリングプラスチックのように、高温で溶融し加工される樹脂にとっては、加工温度の低下は樹脂の劣化を抑制し物性に強い影響を与える。

4 AMOTECの特徴

4.1 流動性の向上

溶融粘度の低減は、樹脂中に溶け込んだ炭酸ガスの量に比例し、ポリスチレンの場合2.0～2.5wt%程度の炭酸ガス溶解量で粘度が1/2に下がるという事例もある。図2は、平板金型で完全充填時の必要充填圧力を測定したデータを示す。樹脂は、HIPS（ゴム補強ポリスチレン）で、左側は流動性が低い押し機などに使用されるグレード（MFR2.7g/10min）に約1.8wt%の炭酸ガスを溶かすと、最も流動性に優れたグレード（MFR21g/10min）よりも低い圧力で樹脂を充填できるようになる。この結果から、充填圧力180MPaから120MPa

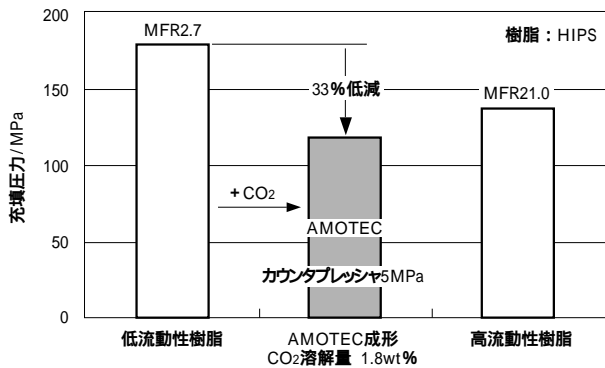


図2 充填圧力の低減
Reduction of filling pressure

となり33%低減したことになる。従来の樹脂改質技術よりも高い流動性向上効果を物性低下なしで得ることができる。

4.2 転写性の向上

炭酸ガスを満たした金型キャビティ中に溶融樹脂を充填すると、炭酸ガスは樹脂と金型の界面に入り込み、金型と接する樹脂表面に吸収される。すると、炭酸ガスを吸収した樹脂表面だけ固化温度が低下する。適切な条件を選ぶと、この時の樹脂固化温度が金型表面温度よりも低くなり、樹脂表面は固化しないまま樹脂を金型キャビティに満たすことができる。樹脂が満たされれば、保圧により金型キャビティ内の樹脂圧力が高まり、固化していない樹脂表面を金型表面に高い圧力で押し付けることができ高度な転写性が得られる。樹脂表面付近に溶けこんだ炭酸ガスは、樹脂の内部に拡散し樹脂表面の炭酸ガス濃度が下がる。すると、樹脂の固化温度が金型温度以上に上昇し樹脂表面も固化する。この炭酸ガスの拡散は速く、通常の成形と同じ冷却時間で成形できる(図3)。

図4は底辺の1辺が120 μ m、高さ60 μ m、板厚0.5mmのピラミッド形状の転写状態を、通常成形、金型キャビティの炭酸ガスのみ、及び可塑化シリンダからも炭酸ガスを供給したものについて示している。樹脂はガラス転移温度約170の非晶性樹脂を用い、シリンダ温度280、金型表面温度105で成形すると、通常成形ではピラミッド形状がほとんど転写されないのに対し(図4)、金型キャビティを6MPaの炭酸ガスで満たすと、ほぼ完全な転写が得られ(図4)、流動性の向上効果を併用するとシリンダ温度を30低くしても通常成形以下の充填圧力で、ほぼ完全な転写が得られる(図4)。

適応できる成形品は、微細パターン、精密形状の転写に効果があり、導光板、レンズ及び光ディスクなどに有効である。また、外観不良である光沢ムラ、ウエルドラインの強化、特に繊維強化樹脂の改善に期待できる。

4.3 炭酸ガスの放散

成形後の炭酸ガスは、離型直後から大気中に放散し完全に抜けるまで2日位かかる樹脂もある。また、炭酸ガスが放散するに従い成形品が等方的に収縮し、炭酸ガス溶解量によっては、成形収縮率が通常成形の2倍程度になる場合もある。

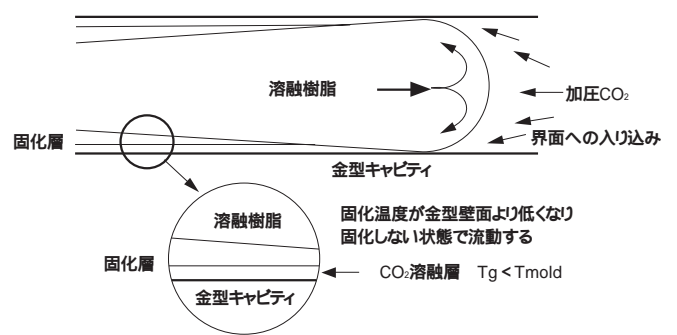


図3 金型キャビティ内の作用
Role of CO2 in mold cavity

微細形状の転写性

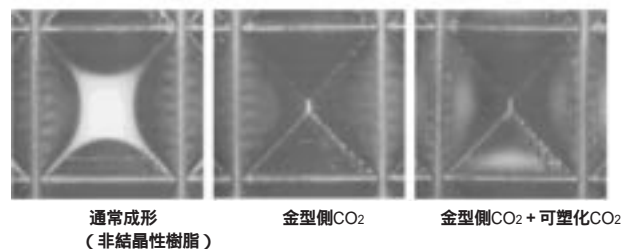
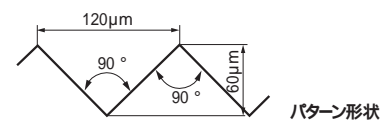


図4 転写性の向上
Transcription of fine shape

5 おわりに

AMOTECは、より厳しい要求品質に応える付加価値の高い成形加工技術である。当該技術の適用商品を見極め、可塑化装置の開発、ガス供給装置の改良、高压ガス設備の安全性確保等、独自の応用技術の開発、商品化を展開している。

(参考文献)

山木宏・炭酸ガスを用いた新規な樹脂加工技術・化学経済、3月号、p.70、2001。

山木宏・炭酸ガスを利用した新しい射出成形技術・プラスチックエージ、47、6、p.136、2001。

パッケージ - ジ基板穴あけ用高速UVドリル機の開発

Development of High-speed UV-laser Drill System for Package Substrate Processing

常見 明良 遠入 尚亮 首藤 和正 磯 圭二

Akira TSUNEMI

Naoaki ENNYUU

Kazumasa SYUDO

Keiji ISO



UV2軸レーザドリルシステム
Two-axis UV laser drill system

当社では、次世代の戦略開発商品として全固体UVレーザを用いたパッケージ基板加工用高速UVレーザドリル機を開発した。本製品は、レーザ光源として半導体励起全固体素子レーザの第3高調波を用いている。レーザから出射したビームは電気光学素子を用いて高速に偏光スイッチを行い、偏光ビームスプリッタを用いて2軸に振り分けることにより、効率的な2軸同時加工を可能とした。その結果、穴径50 μm の0.5mmピッチマトリックス加工において、加工速度1000穴/秒を達成した。また、伝送光学系の最適化を行った結果、穴径ばらつき $\pm 2\mu\text{m}$ 、真円度 $\pm 5\%$ という高品質加工を実現した。また加工穴の位置精度は、スキャンミラーボックスの温度制御等により $\pm 10\mu\text{m}$ を達成した。

High-speed UV-laser drill system has been developed for package substrate processing as a new generation program of the laser system division. As a laser source, diode-pumped all-solid-state laser with third harmonic crystal has been applied. A high-speed-switching electro-optic instrument is placed along the output laser beam axis in order to switch the polarization quickly, which enables the polarization beam splitter to divide the laser beam to the different axis alternatively for the efficient processing. As a result, the throughput reached up to 1000 holes/second for the drilled hole diameter of 50 μm with the pitch of 0.5mm on the substrate. At the same time, the standard deviation of the hole diameter was reduced to $\pm 2\mu\text{m}$ (3 σ) and the roundness was within 5% (3 σ) by optimizing the beam transfer optics system. The hole position deviation on the substrate was decreased within 10 μm by the temperature control system in the scanning mirror box.

1 まえがき

当社は、他社に先駆け高出力パルスレーザをプリント回路の微細穴開けに利用する、いわゆるレーザドリル機を開発し、製品として販売してきた。当初、いわゆるマザーボード基板

の穴開けとして100から200 μm 程度の穴あけに炭酸ガスレーザが利用されてきたが、近年、携帯電話機に代表される精密電子機器の小型化が著しく、それに伴って、回路基板の加工穴も小径化の要求が高まっている。中でもパッケージ基板のインターポーザーに利用されるドリル穴は約50 μm 程度

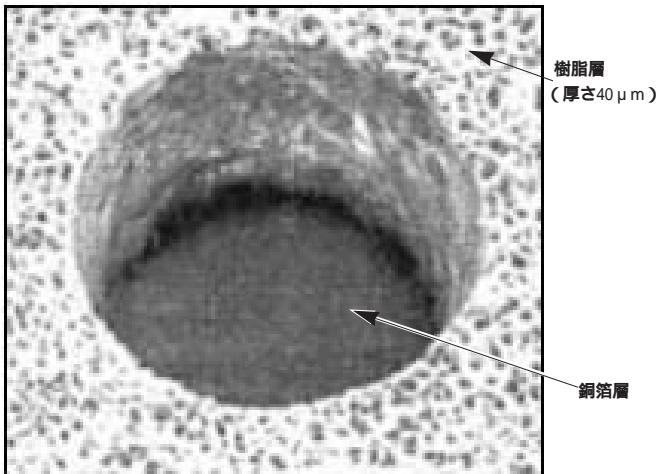


図1 パッケージ用基板とUVドリルによる穴径50 μmの加工穴
Package substrate and drilled hole with diameter of 50 μm

が標準となっており、炭酸ガスレーザーの波長(9 μm)では高品質な加工をすることが難しく、短波長レーザーによるドリル加工装置の開発が急務となっていた。

レーザードリル加工の穴径はレーザー光の波長に大きく依存するため、小径加工では必然的に紫外線レーザーを選択することになるが、固体レーザーの第三高調波は同じ紫外光を発生するエキシマーレーザーと比べ出力は小さいものの、メンテナンス性、コスト及び装置設置面積等で優れている。しかし、従来のフラッシュランプ励起方式は、短ランプ寿命やランプ交換に伴うメンテナンス性及びコストの面で長時間連続の高速穴開け加工を行う産業用途としては、十分な能力を備えているとは言えなかった。これに対し、励起光源として半導体レーザーを用いる全固体UVレーザーは放電を利用しないことから装置の安定性が高く、小型、長寿命で高いメンテナンス性を持っている。近年、励起半導体レーザーの高出力化、低価格化によって、産業用途としての開発がめざましい進展を見せており、高効率発振が可能になっただけでなく、繰り返し周波数も飛躍的に向上し、100kHzまでのQスイッチ発振動作を実現している。出力も数Wレベルに達し、パッケージ基板のドリル加工装置に十分搭載可能な製品が市場に出てきている。

一般的にUVレーザードリルが適用されるパッケージインターポザー基板は硬化性エポキシ樹脂が主流となっており、図1に示すように銅箔の上に厚さ40 μmの樹脂が積層されている。これに穴径20~75 μmの加工を行うが、50 μmの穴加工が標準的となっている。図1は本装置を用いてドリル加工を行い、直径50 μmの穴を作成した電子顕微鏡写真である。

本装置は、この半導体励起全固体UVレーザーを光源として用い、直径50 μm前後の樹脂穴加工を高速にしかも、高品質に行うことを目的として開発されたものである。パッケージ基板加工は前後の処理工程や穴数からドリル加工速度として数1000穴/秒が要求されているが、次章では高速加工のためのレーザー光源及び2軸光学系の開発について述べる。また、第3章では、加工穴品質として穴径ばらつき及び真円度、加工位置精度を取り上げ、設定した目標値に対する達成結果を報告する。

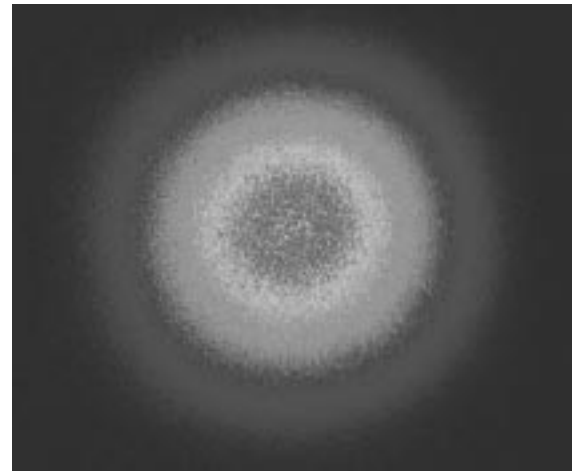


図2 レーザ出射ビームプロファイル
Laser output beam profile

2 高速UVドリルのレーザーと光学系

2.1 半導体励起全固体UVレーザーシステム

レーザー光源は、半導体励起のYAGレーザーを採用し、イントラキャビティ方式で第3高調波を発生させ355nmを得ている。レーザーパルスは音響光学素子を用いてQスイッチ発振させ、ドリル加工時には繰り返し周波数70kHzで動作させている。加工動作時には平均出力で5W程度が得られている。これは一般的な炭酸ガスレーザードリルに比べ低出力であるが、パッケージ基板に通常用いられるエポキシ樹脂に対する波長355nmの吸収特性は、中赤外域に比べ圧倒的に高く、またドリル加工におけるエッチングレートは照射レーザーのエネルギー密度に依存するため、小径の加工ほど低エネルギー化できることから、加工面においてエネルギー密度1J/cm²程度で十分穴加工が可能であることが確かめられている。

Qスイッチは音響光学素子を用いているが、スイッチング速度は100kHzまで対応している。繰り返し10kHz以上の領域では半導体レーザーの励起時間がレーザー出力に対して支配的となるため、繰り返し周波数に反比例して出力は低下する。しかし、パルス当たりのエネルギーが高くなりすぎると樹脂表面における熱の蓄積が顕著となり、加工表面における穴のいわゆる「キレ」に影響を与える。すなわち、樹脂表面の穴の端がレーザーアブレーションとは別の熱変形を起こし、なだらかになってしまう現象が発生してしまう。逆にエネルギーが低ければ当然エッチングレートが低下し、加工速度に影響する。本装置では、このような加工品質と加工速度のトレードオフ関係から厚さ40 μmのエポキシ樹脂に対しては繰り返し速度を70kHzに設定し、約60パルスを照射することとしている。

図2に、レーザーから出射後のビームプロファイルを示す。縦方向、横方向とも強度分布はガウス型となっており、拡がり角は縦横とも2.0mradである。M²値も1.2が得られており、非常に良質なビーム形状といえる。

2.2.2 軸加工機の光学系構成

本装置は当社が培った2軸同時加工方式を採用しているが、ハーフミラーでレーザービームを2分岐するいわゆるエネルギーシェア方式ではなく、電気光学素子による高速偏光制御を用いた、当社独自のいわゆるタイムシェア方式を採用している。

図3に、レーザービーム伝送光学系の概念図を示す。2軸の加工の際加工基板のプリント回路の穴加工位置によって2軸間の距離を調整できるようにしていることが、本装置の大きな特徴の一つである。マスク下流にフィールドレンズを用い、レーザービームの無限遠補正を行うことにより、ビームスプリッタから対物レンズまでの距離を変更してもリレー光学系の縮小率が変化せず、同じ穴径で加工が可能である。この加工軸を「移動軸」、ビームスプリッターから反射する方の軸を「固定軸」と呼んでいる。移動軸はレンズ筐体形状の工夫などにより、固定軸との軸間距離を110mmまで接近させることができ、基板サイズ回路パターン周期に対応した軸間設定が可能である。本構成は、当社独自の技術として特許を取得している。

2軸分岐モジュールはパルスエネルギーの損失がない独自の方式であり、電気光学素子を用い、電圧のon/offによって速軸、遅軸の位相差が となるように印可電圧の微調整を行っている。これにより、レーザーの偏光方向を90度切り替えることができる。印可電圧に対する偏光の応答時間は約20nsと非常に高速なので、加工速度に対する影響はほとんど無視することができる。これに対応し、ビームスプリッターには偏光ビームスプリッターを用いているが、電気光学素子によって偏光の角度を90度曲げられたレーザー光はスプリッタの反射面に対してS偏光で入射するように角度調整を行っている。電気光学素子に電圧印可した際にはレーザービームは固定軸側の加工面に達し、電圧offの際にはレーザー光がス

リッタに対してP偏光となりスプリッタを透過して移動軸側に伝搬する。すなわち、印可電圧のon/offによって2軸を交互に加工することが可能となるため、2軸分岐をハーフミラーで行うエネルギーシェア方式に比べ、倍のエネルギーを加工面に照射することが可能である。また、レーザービームが伝搬していない軸は、その間にスキャンミラーを動かし、次の穴加工位置に移動させている。すなわち、固定軸側にレーザー照射している間は移動軸側のスキャンミラーを動かし、移動軸側にレーザー照射している時には固定軸側のミラーを動かす。従来のレーザードリル加工はエネルギーシェア方式も含めてスキャンミラーの動作中はレーザー発振を停止又はビーム軸を何らかの方法でシフトさせてダンパー照射する必要があったが、本方式ではそのようなインターバル設定をする必要がなく、ほぼ連続的にパルス発振をさせ続けるため、高速な穴加工ができるだけでなく、レーザー自身の熱的安定性も増すことができ、穴径バラつき低減などの高品質加工にも寄与している。

本装置を用い、厚さ40 μm の硬化性エポキシ樹脂を加工する場合、約60パルス程度のレーザー照射を行うため、1穴当たり約1ms弱の時間を要する。またスキャンミラーは0.5mmピッチ程度の加工の場合、約1kHzで動作する。すなわち、ミラー移動時間を含めた1穴当たりの加工時間は約2msとなり、加工速度は毎秒500穴となるが、2軸を交互に加工することが可能であるため、実質的には約1000穴/秒を達成している。

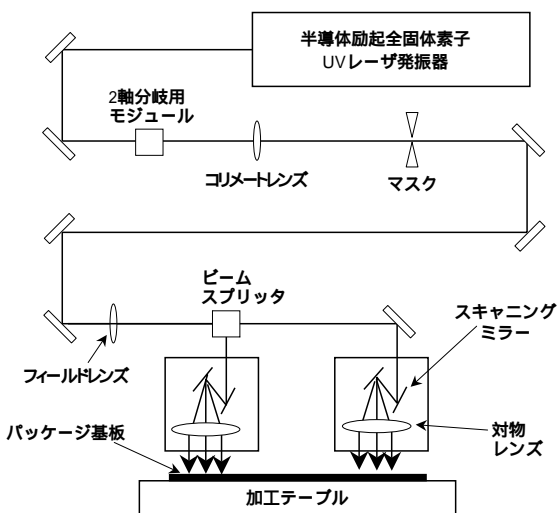


図3 光学系概念図
Conceptual drawing of beam transfer optics system

3 高速加工における加工品質

UVレーザードリルでは従来の炭酸ガスレーザードリルに比べて小径のドリル加工が求められていることに伴い、穴加工品質に対しても厳しい性能が要求されている。

本装置は穴径50 μm の穴を0.5mmピッチで秒速1000穴開けることが可能であるが、回路基板製作工程全体における許容誤差からの要請により、樹脂表面における穴径バラツキはこの加工速度で $\pm 2\mu\text{m}$ (3 σ)内に収めることが求められている。同時に、穴の真円度は $\pm 5\mu\text{m}$ (3 σ)内に入ることが必要条件である。また、加工穴の位置精度は銅箔層のランド径に依存するが、 $\pm 10\mu\text{m}$ (3 σ)以内に納めなければならない。

本開発においては、レーザー伝送光学系を中心に装置構成を見直し、この加工品質を達成した。

穴径バラツキ制御のためには、レーザー伝送光学系上にビー

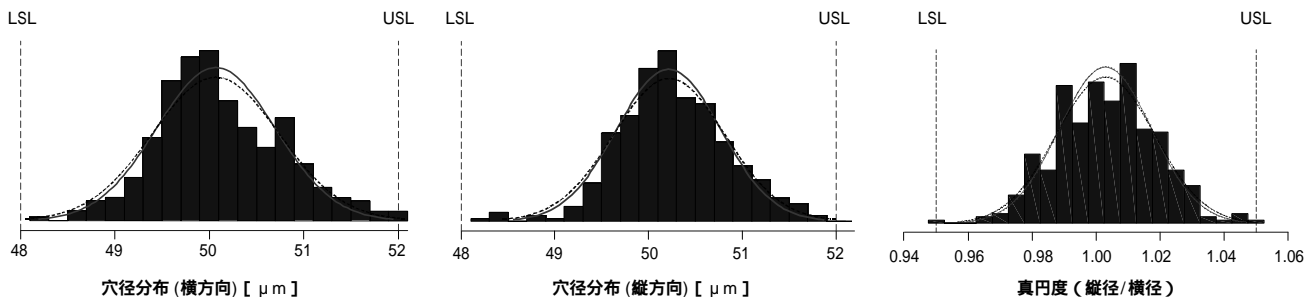


図4 穴径50 μm のドリル加工における穴径及び真円度の度数分布
Histogram of beam diameter and roundness for 50 μm drilling horizontal diameter, vertical diameter and roundness

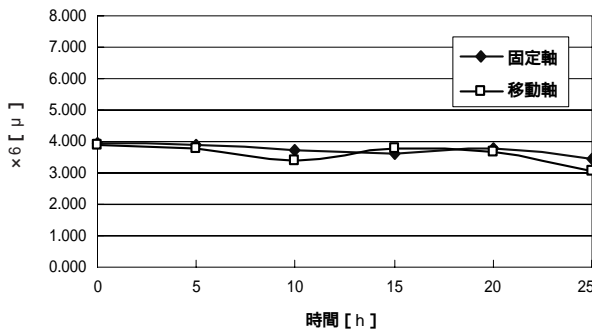


図5 長時間連続運転における加工穴径ばらつきの時間変化
Long-term operation test result for standard deviation (σ_6) of drilled beam diameters

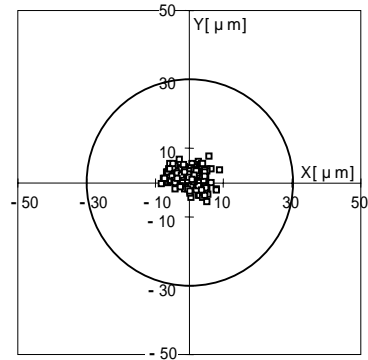


図7 加工穴の位置精度測定結果
Drilled hole position distribution on substrate

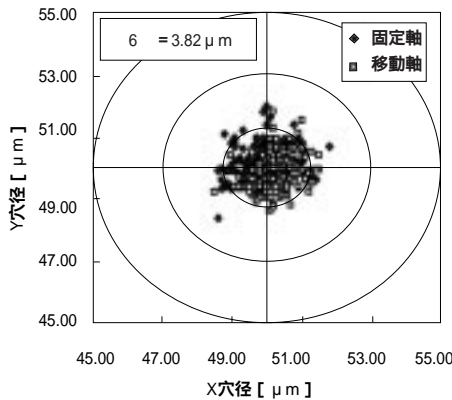
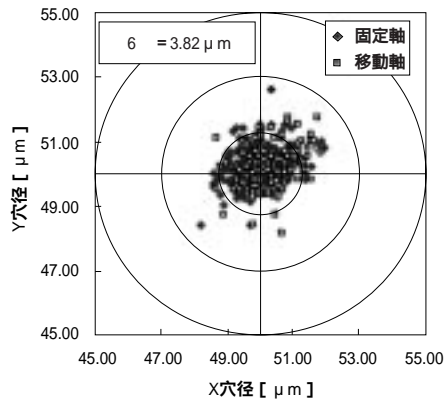


図6 長時間連続試験における穴径の分布 0時間後及び25時間後
Drilled hole diameter distribution at beginning and 25 hours after

ムプロファイルを調整できるモジュールを挿入した。本加工装置では、マスクに円形の穴を開け、ここを通過したレーザー光のプロファイルイメージを加工面上に転写する光学配置を行っているが、このモジュールの設置により、イメージリレー性能と穴径バラツキ抑制を両立させることが可能となり、図4、図4のような穴径ばらつき分布を得ることができた。測定は40mm角のエリアを0.5mmピッチでマトリクス加工した穴の、4隅と中心付近を20穴ずつ計100点測定し、移動軸と固定軸の測定結果を合わせて200個の穴径をプロットした。図4、図4は、穴を上から見てそれぞれ横方向及び縦方向の穴径分布ヒストグラムである。いずれも穴径50μmを中心に上限、下限として設定した $\pm 2 \mu\text{m}$ の範囲内に収束させることが可能となった。また、同時に真円度(縦穴径/横穴径)も測定し、図4のような分布結果が得られ、目

標性能を達成している。

更にこれらの長時間の安定性を確認するため、25時間の連続試験を実施した。穴径のばらつきは5時間おきに測定したが、図5に示すとおり、いずれの時刻においても移動軸、固定軸とも σ_6 値で4μmを越えることはなかった。図6、図6は、連続運転試験開始直後及び25時間後の穴径分布を表したものである。開始直後で σ_6 値は3.82μm、25時間後で3.47μmという優れた安定性が得られている。

レーザドリル加工におけるもう一つの重要品質要素である位置精度は、スキャニングミラーの温度変化による動的安定性変化、加工テーブルの直進再現性の影響を大きく受けることが確認されており、それぞれについて対策を施した。光学室内の温度変化はレーザー発振器及びスキャニングミラーのモータ駆動部からの発熱の影響を受けるが、特に、スキャニングミラーモータは自身の制御における温度依存が高いため、電気的なフィードバック制御機構を取り付けることで解決を図った。加工テーブルの直進再現性は、機械的な工作精度によって $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下に押さえられているが、更に、加工テーブル上の誤差をスキャニングミラー角度の微小補正機構によって修正することとした。これにより、図7に示すような加工穴位置ずれ分布が得られ、 $\pm 10 \mu\text{m}$ (3)という目標値を達成した。

4 むすび

全固体素子UVレーザーを用いたパッケージ向け高速ドリル機の開発を行った。

電気光学素子を用いた偏光スイッチングにより効率的な2軸加工方式を実現し、秒速1000穴/秒の高速加工を可能とした。

伝送光学系の最適化により穴径ばらつきを $\pm 2 \mu\text{m}$ (3)以下に抑えることが可能となった。真円度は $\pm 5\%$ (3)以内に納めることができた。また、加工室内の温度制御により、加工位置精度 $\pm 10 \mu\text{m}$ 以下も同時に実現した。

(参考文献)

たとえば、マイクロピヤ技術とビルドアップ配線板、シーエムシー出版、実用・レーザー加工応用ハンドブック、第7章、オプトロニクス社
磯圭二・UV光を用いたレーザドリルについて、レーザー加工学会誌、vol.9, no.2, p130-133, 2002.

高精度XYステージの開発

Development of High Precision XY Stage

山本正之

Masayuki YAMAMOTO

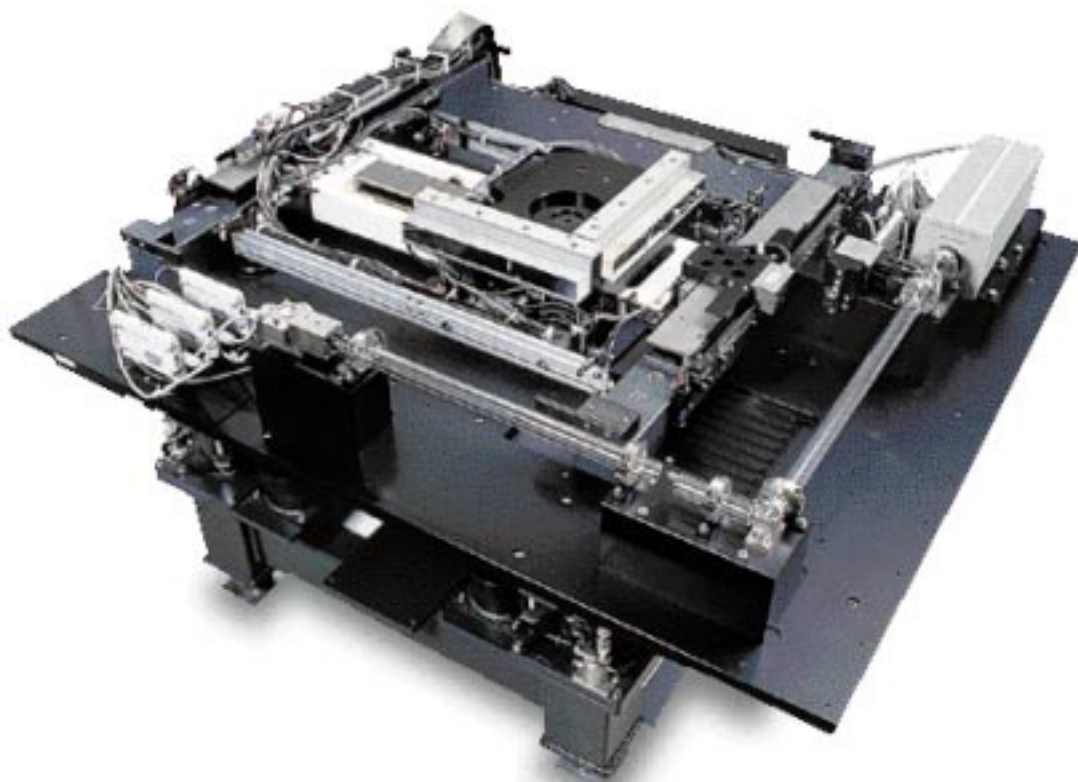


図1 高精度XYステージ
Schematic of high precision XY stage

半導体デバイス、液晶パネル等の高性能化に伴い、XYステージに対する精度要求高速化要求は年々高まっている。

当社では、この要求に答えるべくエアガイド、リニアモータによるダイレクトドライブ機構によるH型構造のステージを基本コンセプトとした各種ステージを開発している。ここでは、このH型ステージを構成する基本技術、要素技術並びに周辺技術を中心に紹介し、更に現在注目されている高速Z機構を概説する。

The high precision and high speed demand for the XY stage has risen along with making to high performance about the semiconductor device and the liquid crystal panel, etc. every year. For this demand, our company has been developing various stages with basic concept of H-figure stage which has direct drive mechanism by air guide and linear motor. This report introduces mainly the basic technique, the element technology which composes this H-figure stage, and the technology in the surrounding here, and the high-speed Z-mechanism being paid attention now is outlined.

1 まえがき

半導体デバイス及び液晶パネル等の高性能化に伴い、その製造装置及び検査装置に要求される精度要求は年々高まっている。この精度はXYステージに大きく依存し、例えば現在提案されている次世代露光装置のステージに対する精度要

求は10nm以下が目標である。更に、スループット向上のため、更なる高速化並びに高加速化が要求されている。

当社では、1987年にX線露光装置用縦型高精度ステージを独自開発した。ステージへの要求精度は当時約30nmであり、摩擦要因のないエアガイド及びリニアモータによるダイレクトドライブ機構を基本に構成した。以来、リニアモ

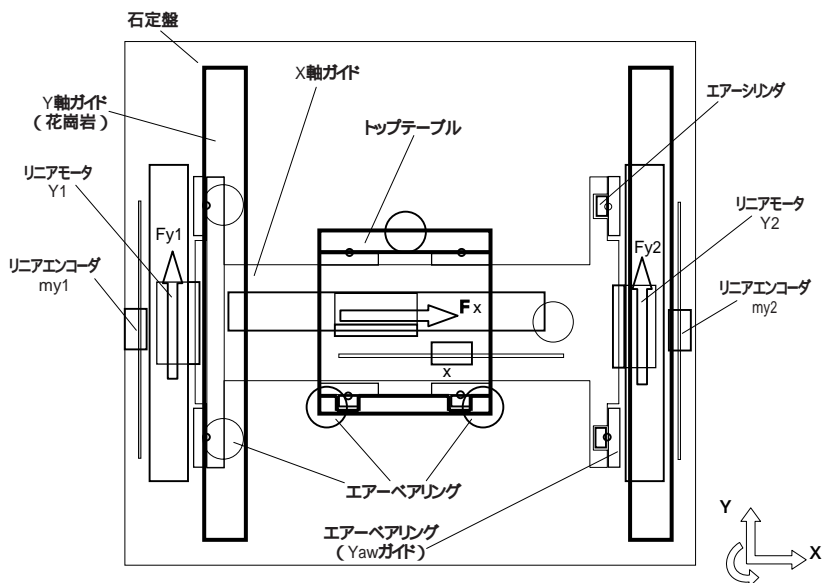


図2 ステージの概略の構成
Schematic of high precision XY stage

ータによるダイレクトドライブ駆動方式と静圧案内方式エアガイドを基本コンセプトとした高精度ステージの開発を進め、1996年より市場への本格的参入を計っている。

2 ステージ基本性能

顧客要求は、まず高精度化とスループット向上のための高速性（高加速性）の2点に集約される。露光装置等は10nm前後の位置精度が要求されるが、駆動系、ガイド構造、また高い制御性能を実現するための高い機械剛性を持つステージ構造、材料選定並びに制御アルゴリズムと高分解高速の位置計測装置がステージの技術ポイントとなる。

高速化については、移動速度を高める事と併せ、目標位置到達後の整定時間短縮が重要である。更に、露光、塗布及び検査装置等では基板上の無駄になる領域を最小限に抑えるため、高加速での短時間移動整定が求められる。

また、運転動作パターンは従来ステップ&リピートが主流で主に加速減速時間短縮がポイントであったが、近年基板サイズ拡大と共にスキャン方式が増加した事から、加減速時間要求に加え定速走行性も強く要望されている。露光装置等ではマスクステージとウエハステージが同期して移動露光するため、この定速安定性は露光品質向上のための重要な要因の1つである。検査装置も同様の考え方である。

これらの課題と共にステージ本体振動、外部振動等の外乱を除去する除振技術並びに環境設定が必要とされる。

3 高精度ステージ

従来型のステージは回転型モータとボールねじによる駆動系及び転がりガイドから構成されており、高トルク高剛性で外乱特性、コスト面でも有利な事から広く加工、搬送関係中心に使用されている。しかし、機械的接触部に起因するヒステリシスと低い駆動部機械共振点が原因となり、0.1μmを切る高精度領域では十分な性能が発揮されない。しかも、積

表1 高精度ステージ主要仕様
Major specification of high precision XY stage

項目	仕様 (XY)	仕様 (Z)
ストローク	330 × 310	1.5mm
最高速度	100mm/s	10mm/s
停止安定性	± 20nm	± 30nm
位置決め分解能	8.6nm	5nm
速度安定性	0.6%at50mm/s	-
真直度	0.5 μm / 150mm	-
ピッチング	1arcsec/330mm	-
ヨーイング	1arcsec/330mm	-

重ね型ステージ構造に起因するストローク端部での撓みの問題が避けられなかった。

今回、リニアモータとエアガイドによる摩擦要素のない非接触ダイレクト駆動を基本に可能な限り低重心化を図り、特に高剛性と高機械共振点に留意しH型構造のステージ（H型ステージ）を開発した。

3.1 ステージ構成

H型ステージの外観を図1に、概略構成を図2に、主要仕様を表1に示す。ステージは、石定盤を基準としエアガイドで支持されたワークテーブルが直接石定盤上を滑空する構造である。この構造から重心が低く抑えられるためアッペ誤差による精度劣化を抑える事ができ、しかも石定盤の平面度に沿った走り精度が維持できるため、ストローク端部での平面度低下の問題は解決される。また、ワークテーブルの駆動はエアガイドでサポートされたX軸Y軸（Y1、Y2軸）によって駆動される。X軸はワークテーブルの直下に、Y軸は両サイドそれぞれに駆動系を持ち双方バランスを取りながら協調動作で駆動される。各要素部材は剛性、温度依存性を考慮しセラミックを基本とし、FEM解析（ANSYS）により機械共振点が制御帯域に入らないよう構造形状を設計している。なお、エアガイドは真空予圧方式を用い、剛性が最大になるように圧力、ギャップ調整を行いシステム剛性を高めている。

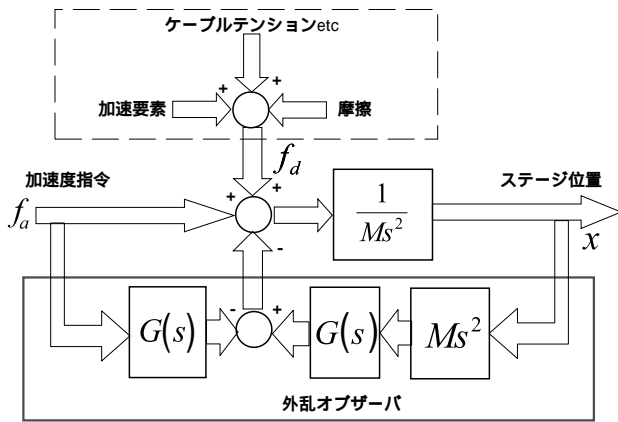


図3 外乱オブザーバの構成
Schematic of disturbance observer

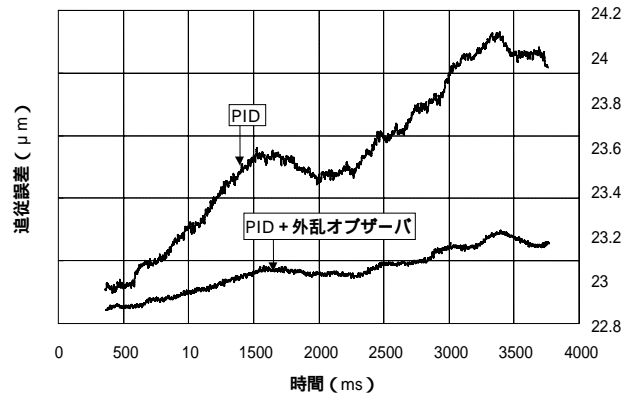


図4 外乱オブザーバの効果
Performance of disturbance observer

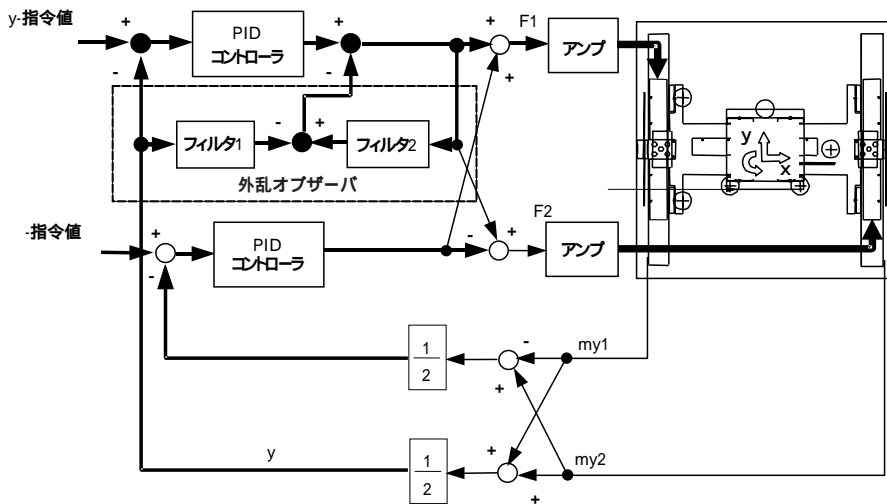


図5 Yaw コントロール
Schematic of Yaw control

位置計測はレーザ干渉計が理想的な性能を持ち、制御対象（例えばウエハチャック等）を直接計測できる優位性があるため、精度要求の厳しい用途には不可欠である。一方、光学式リニアエンコーダは制御の安定性から原則制御対象と離れた位置にある駆動部と同位置に取り付ける必要がある。このため離れた計測点と制御対象の間を高剛性化する必要があるが、コスト及び安定性の面から広く用いられている。なお、ステージの大型化に伴いミラー又はスケールが長尺化、高価格化する問題があるが、分割した計測系の組み合わせでこれを補完する方策も試行されている。

3.2 ステージ制御

ダイレクト駆動方式では比較的外乱の影響を受けやすく、特に可動部に繋がるケーブルのテンションの影響、リニアモータのコギング、又はステージ移動時の反力等により精度劣化が生じ易い。このため、従来のPID制御に加え外乱オブザーバ制御を加えることで外乱補償を図り、精度向上、速度安定性及び整定時間短縮を実現している。

外乱オブザーバの構成を、図3に示す。ステージの等価モデル（ Ms^2 ）を持ち、位置情報（ X エンコーダ計測値）からステージに加えられたと推定される加速度指令推定

値（ \hat{f}_a ）を逆演算する。これと実際に与えられた加速度指令値（ f_a ）との差を求める事で、加速度外乱推定値（ \hat{f}_d ）が求まる。よって、これを加速度指令値から差し引く事で外乱を補償する。ポイントとなる専用高速プロセッサの効果と併せ、低周波成分の外乱には約1/10程度の抑圧効果が確認されて（図4参照）、移動後の整定時間も約1/5短縮されている。

一方Y軸のように2組の駆動系が協調して動く装置では、互いの干渉を排除した非干渉制御が必要である。これをYawコントロールと呼び、構成を図5に示す。更にこれを発展させ、X軸にヒンジ機構を持たせ2~3°の回転を与えることも試作している。別途 軸ステージを必要としない点は、低重心化及び高精度化の点でも有効である。

アクチュエータは独自の低リップルリニアモータを使用しているが、効率の点から通常はPWM駆動が用いられる。しかし精密な位置決めでは、低効率ではあっても線形性の優れたリニア駆動方式が有効である。よって、リニア駆動方式とPWM駆動方式を複合したPWM/リニア・ハイブリッド駆動方式を開発した。これはある条件を設定し、精度が必要な領域ではリニア駆動、加速時等パワーが必要な領域ではPWM

駆動に切り替えることで安定性と加速性の両立を図った方式である。

3.3 ステージコントローラ

ステージ制御性能の向上には、制御周期の短縮化が基本となる。当社ではグループ会社と協力し高速な信号処理プロセッサを基本に高精度ステージ用高速コントローラを開発し、外乱オブザーバを始め様々な制御ソフトをコントローラの特性に融合させ組み込んでいる。これにより、約100msを上回る制御周期が得られ、各種制御アルゴリズムの効果を有効に引出す事が可能となった。更に上位マシンとのインターフェース、デバッグ環境を含めた高度なヒューマンインターフェース、グラフィック機能の搭載により組立工程及び顧客調整段階を含めたシステムの完成度を高めている。

4 Z 機構

半導体検査装置では画像処理光学系が処理の中心となるが、一般的に焦点深度が浅い。このため、ステージは数10nmの精度を持つZ軸機構が必要になる。しかもスループット向上の点から検査対象物は高速にスキャンされるため、Z軸もこれに追従できる高速な応答性が求められる。従来は画像処理系性能の限界から高速性はさほど必要ではなかったが、技術革新と共に画像処理高速化は装置差別化要因として注目され始めている。平面度等様々な要因を含めると数mmのストロークも必要となるため、従来のPZT方式に代わるリニアモータ及びエアガイド方式の高速Z機構を開発した。現在100Hzの応答性が実現され、ウエハ表面の求められる領域に焦点に合わせることが可能な状況である。今後は検査対象レイヤの増大並びに画像処理系の高速化に対応すべく、更なる高速化を進める予定である。

5 リニアモータ

リニアモータは高精度ステージの基本要素技術の一つであるが、高い線形性と高分解能、更に高効率 (= 低発熱) である事がポイントとなる。

このためコイルは磁気的なヒステリシスの少ない空芯型コイルを使用し、鞍型コイルを工夫した低リップルタイプを開発した。ヨークは推力リップルを最小に抑えるため、磁束密度分布が正弦波となるようマグネットの配置、ヨーク形状の選定を行っている。マグネットはネオジウム系を使用し、0.5T以上の磁束密度を実現している。

一方、発熱は直接外部観測系に影響を与える。例えば、レーザ干渉計測系では、その熱による大気揺らぎから0.1 μ m以上の位置誤差を発生する場合がある。従って、フロリナート等の非導電性液体で直接コイルを冷却する直接液冷方式を用い発熱を抑えている。

6 むすび

高精度ステージに対するこれまでの経緯、並びに技術的ポイントと特徴を概説した。

基本コンセプトであるリニアモータとエアガイドを

用いた低重心H型構造をベースに、外乱オブザーバ、Yawコントロール制御等を付加した独自のXYステージシステムを開発した。

市場の要求は次世代露光装置に象徴されるように益々高精度化高速化、加えて大型化が加速している。これには個々の要素技術の向上に加え除振、制振技術が果たす役割が大きく、特に加速時の反力処理及び床等外部振動低減を加味したステージの振動制御技術の確立が今後の課題である。

(参考文献)

Y.Tomita, et al. Study on a Surface-Motor Driven Precision Positioning System. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, September 1995, Vol117, pp.311-319.

F.Satoh, et al. Synchrotron Radiation Stepper with New alignment System. Journal of Vacuum Science & Technology, Vol.B10, No.6, pp.3235-3238.

牧野健一, 富田良幸. 位置制御方式及び速度制御方式. 特開平11-31014.

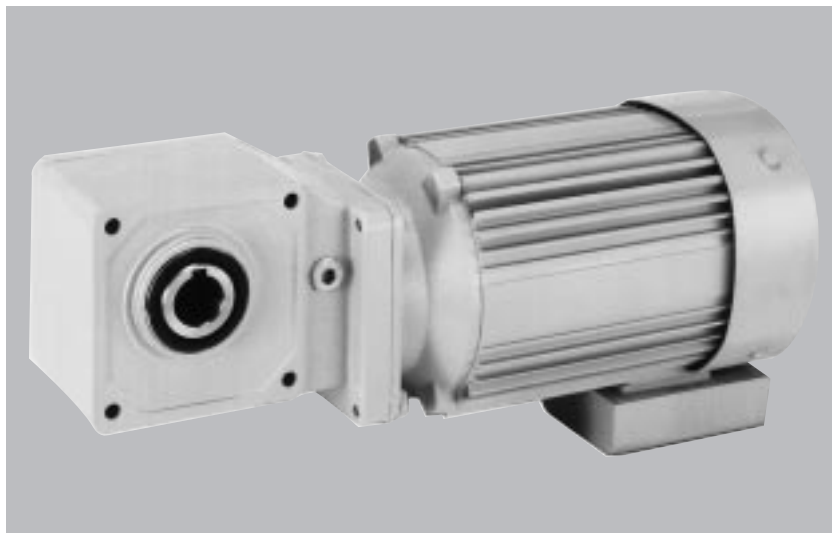
富田良幸. 外乱オブザーバを用いたリニアモータステージの制御. 日本能率協会, 2002モーションエンジニアリングシンポジウム, 2000-1-2-1.

ハイポニック減速機 NEOシリーズ

Hyponic Drive NEO Series

磯崎 哲志

Tetsushi ISOZAKI



ハイポニック減速機 NEOシリーズ
Hyponic drive NEO series

1991年発売のハイポニック減速機 ホローシャフトタイプの、フルモデルチェンジとして、2001年1月にNEOシリーズを発売した。この特徴は、

軽量・コンパクト

出力トルクに適合したケースの、サイズと段数を選定して、最大約30%の質量削減を可能とした。

世界商品化

モータと、減速機部を分離構造として、在庫量の削減（海外拠点考えた場合、最大35%削減）及び、業界ではじめて、SF対応のラインアップ化を可能とした。

等であるが、本報では、ハイポニック減速機 NEOシリーズの設計コンセプトについて報告し、また、特徴について記載する。

In January, 2001, SHI has unveiled the NEO series, the redesign of the 1991 released Hyponic drive hollow shaft type.

Features include:

1. Light weight & Compact

(Corresponding to the output torque, various sized casings and number of stage are available.)

2. Global commercialization

(Separated construction between motor and reducer unit achieves reduction in stock and SF-capable lineup.)

This report covers the design concept of the Hyponic drive NEO series and its features.

1 まえがき

ギヤードモータは、モータの回転数を下げる代わりに、高トルクを得るために使用される。このギヤードモータは、モータ軸と出力軸が、平行な平行軸タイプ、及びモータ軸と出力軸が直交する直交軸タイプの2種類に大別できる(図1)。

平行軸タイプは、直交軸タイプと比較すると製造コストが低いという特長があるが、近年、ギヤードモータが使用される装置の省スペース化要求の増加に伴ない、直交軸タイプギヤードモータの需要が伸びてきている。また、直交の場合、取付け方法の容易さから出力軸中空タイプ(ホロー)が、半分以上を占めている(図2)。

この直交軸タイプギヤードモータであるハイポニック減速機は、1988年発売開始以来、物流・搬送設備等に多く利用され、生産台数を延ばしてきている。今回このフルモデルチェンジとして、軽量コンパクト・世界商品化をコンセプトとして、2002年1月に、ハイポニック減速機 NEOシリーズを開発、発売した。次に、この概要を報告する。

2 ハイポニック減速機

直交減速方式として、一般的に、下記3方式が使用される(図3)。

ベベルギヤ

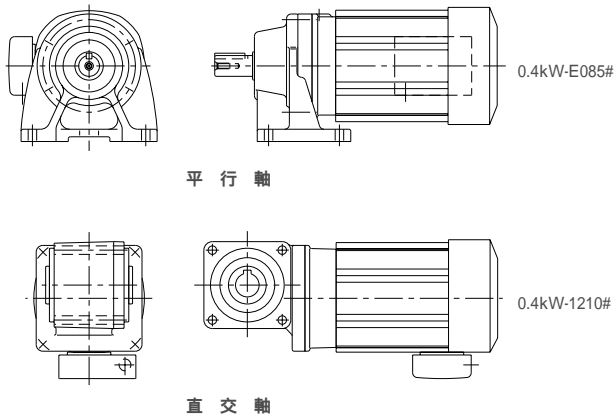


図1 平行軸，直交軸ギヤモータの例
Example of inline & right-angle gear motor

- ・取付け部品(取付けベース、カップリング、チェーン及び安全カバー)が不要
- ・取付け工数(芯出し及びチェーン張り)が不要
- ・メンテナンス(チェーン給脂及びチェーン張力調整)が不要
- ・騒音(チェーン音)が低減

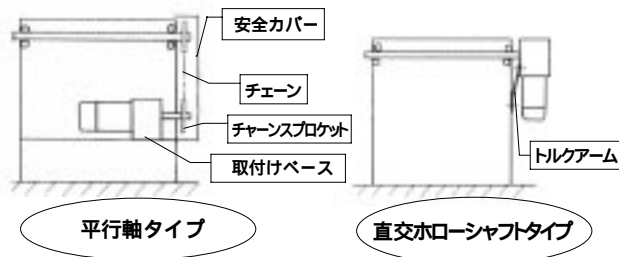


図2 軸上取付け(ホローシャフト方式)のメリット
Merit of shaftmount type

ウォームギヤ
ハイポイドギヤ

ハイボニック減速機は、ベベルギヤよりも、1段で高減速比(通常減速比10程度)が取れ(コンパクト設計が可能)また、ウォームよりも効率が優れているハイポイドギヤを、直交減速方式として採用している。このハイボニック減速機の構造を図4に示す。

通常ギヤードモータは、スピード(出力回転数)・出力トルクから、適切な減速比・モータ容量が選定される。この際、選定された減速比・モータ容量に対して、最適な減速機が使用できれば良いのだが、販売しているすべての減速比・モータ容量に対して最適設計を実施した場合、莫大な数量の部品点数が必要になる。そこで部品の共用化を行い、客先ニーズにできる限り合わせたギヤードモータを供給するように設計する。

ハイボニック減速機の場合、

モータ容量 : 0.1, 0.2, 0.4, 0.75kW

減速比 : 10~120

の構成で、モータ容量0.4kWの場合、表1のような減速機の構成となっていた。

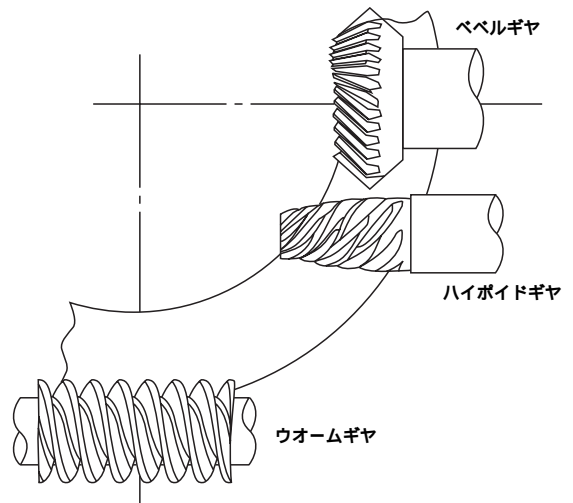


図3 直交減速方式
Method of right-angle reduction

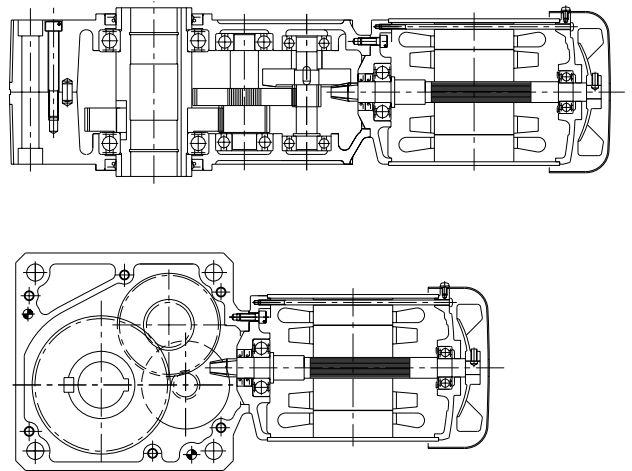




図4 ハイボニック減速機
Hyponic drive

表1 0.4kW 入力1800RPM ハイボニック減速機
枠番構成(1993年以降)
Construction of Hyponic drive series input
0.4kW 1800rpm (after 1993)





減速比	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
出力トルク N・m	18.6	27.9	37.2	55.7	74.3	92.9	111	149	186	223
ギヤ	段数	2	2	2	2	2	2	3	3	3
減速機	枠番	33#	33#	33#	33#	33#	33#	40#	40#	40#
	形状	 154 x 154						 178 x 178		

つまり、減速比10~60迄同一の減速機を使用していた。このため、減速比60の場合は、出力トルク111N・mで減速機の許容トルク一杯の設計(経済的)となっていたが、減速比10では出力トルクが18.6N・mのため、余裕のある(不経済)な設計となっていた。しかし、近年、ギヤードモータが使用される物流・搬送設備の高速化が進み、特に低減速比領域の軽量・コンパクト化の要求が高まってきた。また、海外では、現在直交方式のギヤードモータは、ウォーム方式が主流であるが、この置換えをするためには、海外拠点での在庫量削減方法の

表2 従来型
Construction of old Hyponic drive series

減速比		5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
出力トルク N・m		18.6	27.9	18.6	27.9	37.2	55.7	74.3	92.9	111	149	186	223
ギヤ	段数	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3
減速機	枠番			33#	33#	33#	33#	33#	33#	33#	40#	40#	40#
	形状	 154 × 154						 178 × 178					

0.4kW 入力1800RPM ハイボニック減速機 NEOシリーズ 枠番構成
Construction of Hyponic NEO series input 0.4kW 1800rpm

減速比		5	7	10	15	20	30	40	50	60	80	100	120
出力トルク N・m		18.6	27.9	18.6	27.9	37.2	55.7	74.3	92.9	111	149	186	223
ギヤ	段数	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
減速機	枠番	1210#			1220#			1320#			1430#		
	形状	 92 × 92			 115 × 113			 132 × 130			 178 × 178		

実施。また、サービスファクタ対応の実施が、必要であった。このニーズに対応するため、ハイボニック減速機 NEOシリーズを開発発売することになった。次に、NEOシリーズの開発コンセプト及び特長について報告する。

3 ハイボニック減速機 NEOシリーズ

3.1 主要仕様

- 入力容量 0.1～2.2kW
- 減速比 5～240
- 出力軸 ホローシャフト

3.2 特長

3.2.1 軽量・コンパクト

従来、減速機部は、減速比に関係なく3段型のケーシングを流用していたが、NEOシリーズでは、1段型・2段型専用ケーシングを作製し、出力トルクに合わせたケーシングのサイズ&段数を設計することで、低減速比の領域では特に、軽量コンパクトを実現した。表2に示す通り、減速比5～10は、1段型ケーシング、減速比15～60は、2段型ケーシングを採用している。

軽量コンパクト化の例として、表2に示す通り、例えば、0.4kW減速比10の場合、減速機の大きさは154×154mmであったのが、92×92となり、格段にコンパクトにすることが可能となった。実際の大きさの比較を、図5に示す。

ハイボニック減速機 NEOシリーズは、減速比5～10迄ハイボイドギヤ1段減速構造を採用している。ハイボイドギヤは、大歯車の中心と小歯車の中心に違いがあり、減速比を変える場合、同一減速機に組込むことは難しいが、今回、減速機の寸法を低減速比5に合わせることで統一することができた。

以上により、質量比で、最大30%削減することができた。

3.2.2 世界商品化

ギヤモータを海外で販売する場合、顧客要求納期に対応するため、海外販売拠点での在庫が必要となる。この在庫を減

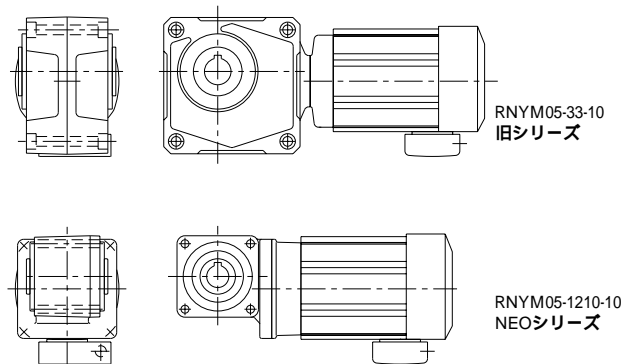


図5 ハイボニック減速機 NEOシリーズと旧シリーズ比較
Comparison with Neo series and old series size

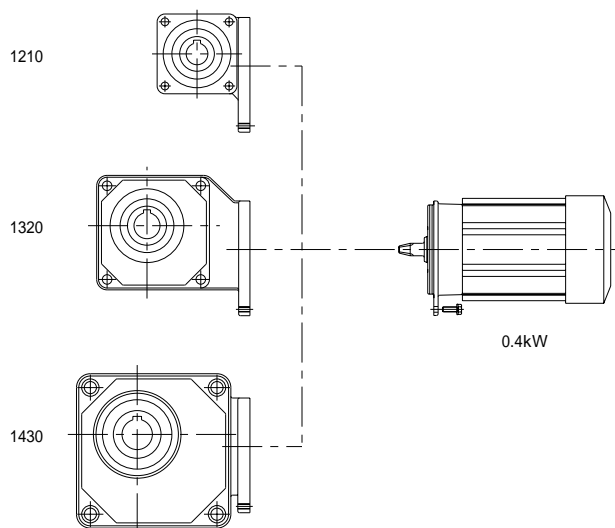


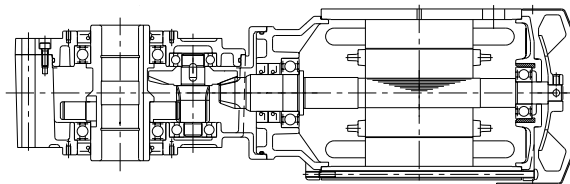
図6 モータ共用化の例
Example of common motor flange

らすため、ハイボニック減速機 NEOシリーズでは、モータ部と減速機部を分離構造に設計を実施し、海外拠点の在庫削減を可能にした。また、海外ではサービスファクタ対応の要求も強く、このラインナップも実施した。次に、上記に關し説明する。

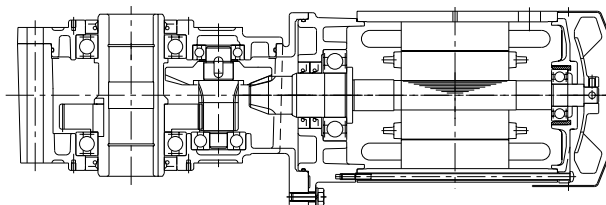
モータ部減速機部分離構造化

海外拠点では、顧客の要求納期に対応するため、ある数量の在庫が必要となる。旧ハイボニック減速機の場合、モータ部と減速部が一体構造であったので、完成品で在庫を持つ必要があった。例えば、0.4kW 1台の需要に短納期で対応しようとした場合を考えると、0.4kWには、減速比の種類が10～120まで10種類あり、顧客はどの減速比を要求してくるかわからない。このため、10個の完成品の在庫が必要であった。

この問題を解決するため、ハイボニック減速機 NEOシリーズではモータ部と減速機部を分離し、それぞれ単独で在庫することを可能にした。また、この際モータ部と減速部の結合部の共用性を考慮し、この結合部を共通取合いとして、モータ部の共用化を実施した。図6に示すように、0.4kWのモータに対して、3種類の減速機を取り付けることを可能とした。この結果、0.4kW 1台の需要に短納期対応するために、10台の完製品在庫が必要



RNYM05-1220-20
(サービスファクタ1.0)



RNYM05-1320-20
(サービスファクタ2.0)

図7 0.4kW 30:1 選定例
Example of selection 0.4kW 30:1

表3 サービスファクタ（負荷係数）
Service factor

負荷条件	運転時間	
	10h以下 / 日	10 ~ 24h / 日
均一荷重	1	1.25
軽い衝撃荷重	1.25	1.5
激しい衝撃荷重	1.75	2

であったものが、モータ部3台、減速部10台で対応可能となり、約35%の在庫量の削減が可能となった。（モータ部と、減速部の価格が同一と仮定： $(20 - 13) / 20 = 35\%$ ）

サービスファクタ対応

ギヤードモータの場合、モータ容量に対する減速機の安全率に相当するサービスファクタという数字がある。AGMAの規格を参考に、ハイボニック減速機では表3の様な値を推奨している。日本の需要はサービスファクタ1の要求が主流だが、海外では1以上の要求があった。

ハイポイドギヤを使用した日本のギヤードモータは、今まで、上記サービスファクタの値を一種類しか選定できなかった。例えば、モータ0.4kW減速比20の場合、ハイボニック減速機では形式RNYM05-33-20（サービスファクタ1.0）1種類しか選定できなかった。NEOシリーズでは、減速機部の取合いとモータ部の取合いを共用化することによって、あるモータ容量に対して、複数の減速機形式を選定できるようにした。

例えば、0.4kW 減速比20の場合、

- a. RNYM05 - 1220 - 20（サービスファクタ1.0）
- b. RNYM05 - 1320 - 20（サービスファクタ2.0）

の2種類のギヤードモータが選定可能となる。

上記の例を、図7に示す。

オプションシリーズ

ハイボニック減速機 NEOシリーズでは、海外拠点で小在庫量でさまざまな要求に対応すべく、基本減速機を流用したオプション製品として、下記シリーズも設計し品揃えを充実させている。

- a. 汎用モータ取付け可能アダプタ付きタイプ
- b. 中実出力軸脚付きタイプ
- c. 中実フランジ取付けタイプ
- d. 防水構造
- e. 軽負荷タイプ（サービスファクタ0.5）

4 むすび

ハイボニック減速機 NEOシリーズの特長を、次に述べる。

1段、2段型専用ケーシング採用により、軽量コンパクト（当社質量比 30%削減）である。

モータ部減速機部分離構造の採用により海外拠点の在庫量を削減している。

サービスファクタ対応が可能である。（一つのモータ容量に対して、複数の減速機を選択が可能）
多種のオプションシリーズを品揃えしている。

（参考文献）

近畿歯車懇話会編．かさ歯車とウオームギヤ．
AGMA規格460.05-Feb.. 1971．

サーボモータ用ギヤヘッド New-IBシリーズ

Gear-head for Servo Motor New-IB Series

石塚 正幸

Masayuki ISHIZUKA



図1 New-IBシリーズ
New-IB Series

1 はじめに

各種産業機械において近年、更なる高速、高精度化の要求が高まりつつある。例えば、ロボットアームの様に正逆動作を繰り返し所定の絶対位置に確実に位置決めすることが要求される用途に対しては、その性質上駆動源におけるバックラッシがしばしば問題として存在する。このような問題に対しサーボモータを直結した小バックラッシ減速機を使用すれば高速、高精度位置決めが可能となるため、各種産業機械には精密制御用としてこれらが幅広く用いられている。

当社では、上記の様な精密制御用途の減速機として、MC (Motion Control) ドライブという製品群を用意している。

MCドライブ製品群は、

バックラッシが1分以内の

F (Fine) シリーズ...ファインサイクロ 減速機

バックラッシが6分以内の

LB (Low Backlash) シリーズ...サーボ用サイクロ 減速機

バックラッシが3分から10分以内の

IB (Intermediate Backlash) シリーズ...IB遊星減速機の3製品で構成され、様々な市場のニーズに応えている。

この度、上記シリーズ3製品のうちIBシリーズについて新たな小バックラッシ設定機構を採用し、性能及び伝達容量共に向上を図ったNew-IBシリーズ(図1)を発売した。

2 New-IBシリーズの仕様

枠番 P10, P15, P20, P25, P30, P35 (6枠番)

減速比 5, 9, 15, 21, 33, 45 (6減速比)

入力容量 0.05kW ~ 1.5 kW

出力取出し フランジ又は軸取出しの2タイプ

3 設計の特徴

小バックラッシ設定は、従来から加工精度による方式、遊星歯車の角度配分をずらし設定する方式(シザーズ方式)、及び内歯歯車の弾性変形を利用する方式等がある。今回、New-IBシリーズでは、新たに偏心ピン機構を考案、採用した。偏心ピン機構とは、遊星ピンに偏心量を与えることにより、遊星歯車を支持センター中心に選動可能にする構造である。これにより、遊星歯車と太陽歯車及び内歯歯車の中心間距離が調整可能となり、太陽歯車のまたぎ歯厚の異なる物を複数用意しておくことで、目標のバックラッシが設定できる。

4 目標バックラッシ設定方法

偏心ピン機構による目標バックラッシ設定方法について、遊星歯車が適正で内歯歯車の寸法(オーバピン寸法)が小さい場合(図2のa.実線)を例に説明する。

この時遊星歯車は、遊星ピンの偏心方向が接線方向より内周方向へ移動した位置で組付けられる。従って、目標バックラッシを得るためには、適正またぎ歯厚より小さい太陽歯車を選択し組付けることで成立する。

この様に、遊星歯車、内歯歯車の何れかに大、小があっても、遊星ピンの偏心方向を選動させることにより最後に組付ける太陽歯車のまたぎ歯厚のみの選定で、目標バックラッシの設定が可能となる。

このことから、次の3点のメリットが挙げられる。

部品在庫数の削減

バックラッシ設定のための調整部品は太陽歯車のみ。

性能の向上

偏心ピンによる自動調心機能で等配性が向上。

高生産性

最終組付け品の太陽歯車の選定でバックラッシが設定可能。

5 解析による検証

5.1 誤差解析

遊星機構に於いては、歯車のピッチ誤差/歯溝の振れ/歯形誤差、又はキャリア遊星ピンのPCD/位置度等、様々な誤差が考えられる。ここではその一例として内歯歯車、遊星歯車の歯溝の振れが減速機の回転性能に及ぼす影響について遊星ローラモデルを用い誤差解析を行ったので以下に紹介する。尚、解析にはADAMS (3D CAEソフト)を用いた。

5.1.1 解析パターン

内歯歯車の歯溝の振れに対する解析

遊星歯車が適正で
内歯歯車の寸法が異なる場合

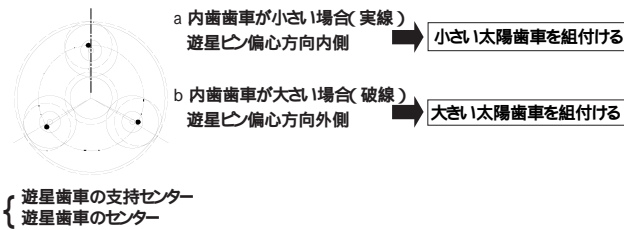


図2 バックラッシュ設定法
Backlash setting-up method

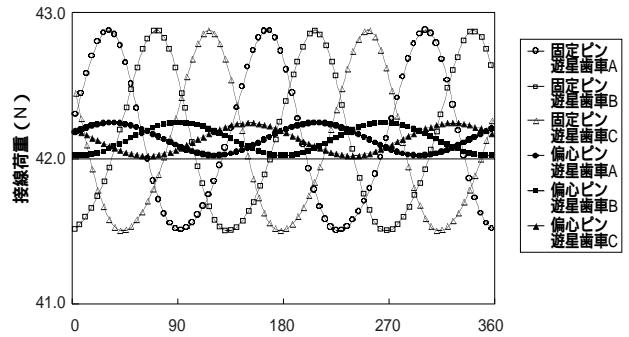


図4 接線荷重変化
Change of tangent load

遊星歯車の歯溝の振れ - 3つとも同方向に振れた場合

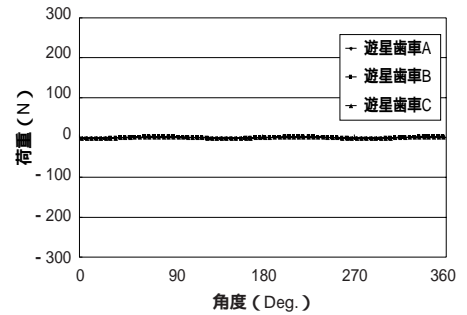
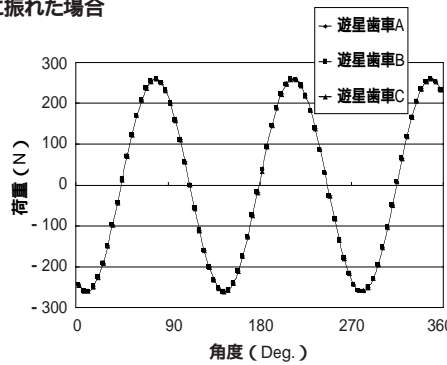
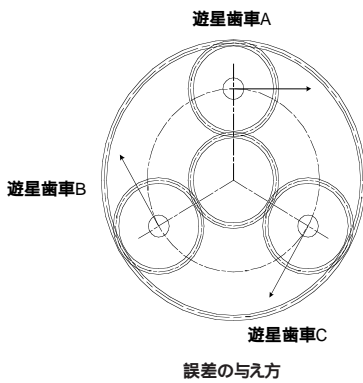


図3 解析結果
Result of analysis

キャリア（遊星ピン）のPCDを内歯歯車の歯溝の振れ製作誤差相当分だけ中心に対してずらし、その影響を解析した。

遊星歯車の歯溝の振れに対する解析

遊星歯車の歯溝の振れも 同様製作誤差相当分として下記の様に3通りの条件で解析を行った。

遊星歯車ひとつが振れた場合

遊星歯車が同一方向に振れた場合

遊星歯車がバラバラに振れた場合

それぞれの条件における遊星ピンのラジアル荷重変動を、偏心ピンと従来機構の平行ピンについて調べ、違いを考察した。

5.2 解析結果

内歯歯車の歯溝の振れに対する影響

偏心ピンの場合、内歯歯車の歯溝の振れを偏心ピンが運動することで吸収し、その時の運動角度分だけ微少なラジアル荷重が発生する。平行ピンでは歯溝の振れが常に遊星歯車と内歯歯車の間に存在し、一定の荷重が発生する。

遊星歯車の歯溝の振れに対する影響（図3）

3通りの解析を行ったが偏心ピンの場合、何れも遊星歯車の歯溝の振れを偏心ピンの運動運動が吸収し、発生する荷重は平行ピンの場合に比べ非常に小さくなっている。また、遊星歯車が同一方向に振れた場合は3つの遊星歯車が同位相で自転するので発生するラジアル荷重の発生周期も同一となる。平行ピンの場合、条件により最大値が異なるのに対し、偏心ピンの場合は一定となっている。この結果から偏心ピンによる本機構は様々な誤

差に対して性能が常に安定するといえる。

接線荷重に対する影響

次に接線荷重の変化について解析を行った。遊星歯車がバラバラに振れた時の結果を、図4に示す。接線荷重はラジアル荷重の変化に伴って変動し、受持ち比が変化している。平行ピンの場合その変動も大きい偏心ピンの場合は変化も少なく3等配を保ちバランスよく回転している。

以上のことより、本機構では偏心ピンが噛合い条件に合わせて刻々誤差に追従して偏心方向を変え回転する「自動調心機能」が働き、等配性が向上し性能が安定することが解る。

6 おわりに

本報では、この度開発したNew-IBシリーズについて次の点を報告した。

新技术・偏心ピン機構の採用により、従来品に比べ部品在庫数の削減、性能の向上、高生産性が得られた。

遊星ローラモデルで3次元解析を行い、偏心ピンによる等配性向上を確認した。

今後とも、世界の多種多様なニーズに対応できるように、New-IBシリーズ、IBシリーズの改良と新機種・新技术の開発に努め、シリーズの充実に努める所存である。

(参考文献)

畠中貴志・サーボモータ用ギヤヘッド New-IBシリーズ・住友重機械技報, no.147, p56, Dec., 2001.

4Kパルス管冷凍機の開発

Development of 4K Pulse Tube Cryocooler

小倉 鉄也

Tetsuya OGURA

許名 堯

Mingyao XU

小山 知大

Tomohiro KOYAMA

李 瑞

Rui LI

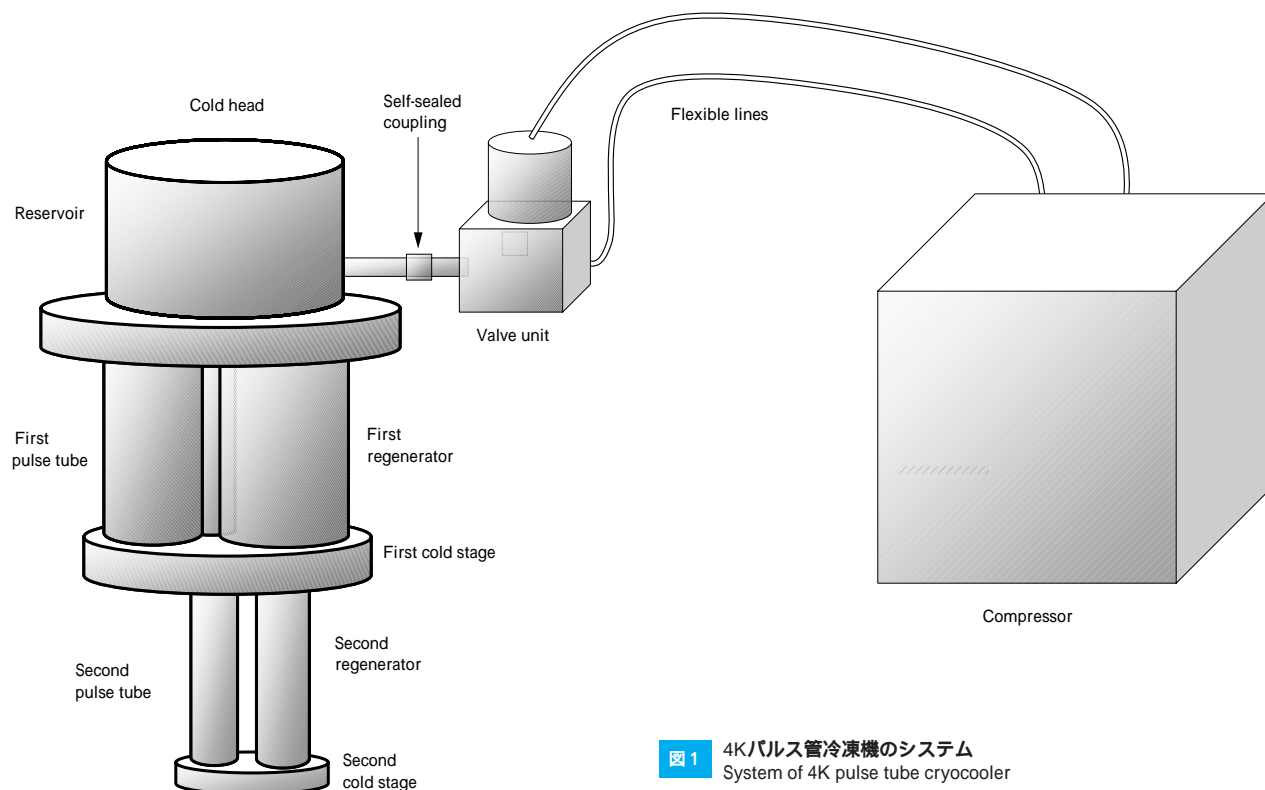


図1 4Kパルス管冷凍機システム
System of 4K pulse tube cryocooler

当社は、1999年以来、MRIマグネット、小型超電導マグネット及びX線検出器等の冷却用途として、4Kパルス管冷凍機を開発してきた。当社のパルス管冷凍機は、バルブユニットとコールドヘッドの両者を切離すことが可能という特長がある。この構造により、メンテナンスの時間が短縮でき、また、簡便に実施できる利点がある。更に、バルブユニット或いは圧縮機からの振動を簡単な技術で低減できる可能性もある。本パルス管冷凍機で得られた代表的な冷凍能力は、1段能力が40W@45.9K、2段能力が0.9W@4.23Kである。

本報では、1段及び2段冷凍能力に対する圧縮機封入圧力及び運転周波数の影響の試験結果を報告するとともに、レーザ変位計を用いたコールドヘッド部の振動測定結果についても報告する。

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. has been developing 4K pulse tube cryocooler for cooling MRI Magnet Systems, Small Superconducting Magnets, SQUIDS, X-ray Detectors, etc. The valve unit of the cryocooler is separated from the cold head by a self-sealed coupling. With this configuration, the maintenance for the valve unit becomes much easier and faster than that with a unified one since it is not necessary to warm up the cold head and cool down again. The vibration from the compressor and valve unit can be reduced by this configuration with some simple techniques. Typical cooling capacities are of 0.9W@4.23K at the second stage and 40W@45.9K at the first stage, simultaneously. The results of the influence on the performance by filling pressure, operating frequency are reported. The vibration of the 4K pulse tube cryocooler measured with a laser displacement sensor, is also reported.

1 まえがき

10数年来、世界中でパルス管冷凍機の研究・開発及び商品化が盛んに行われ、多くの成果が得られている。その主な理由として、パルス管冷凍機は、G-M冷凍機やスターリン

グ冷凍機と比べ構造が簡単で、低温部に機械的可動部を持たないため、高い信頼性を期待されているからである。1994年に松原氏らにより、パルス管冷凍機で4K以下に到達して以来、4Kパルス管冷凍機の能力は絶えず向上されてきている。

当社においても、MRIマグネット、小型超伝導マグネット、SQUID及びX線検出器等の冷却用途として、4 Kパルス管冷凍機を開発してきた。当社パルス管冷凍機の特徴は、バルブユニットとコールドヘッドとの両者をセルフシールカップリングで切り離すことが可能である。この構造により、バルブユニットのメンテナンス時に、冷凍機温度を常温まで上昇させる必要がないため、バルブユニットがパルス管冷凍機一体となっているタイプに比べ、メンテナンスが非常に簡便に実施できる利点がある。また、バルブユニット或いは圧縮機からの振動を簡単な技術で低減できる可能性もある。上記パルス管冷凍機で得られた代表的な冷凍能力は1段が40W@45.9K、2段が0.9W@4.23Kである。

本報では、1段及び2段冷凍能力に対する圧縮機封入圧力及び運転周波数の影響の試験結果を報告するとともに、レーザ変位計を用いてのコールドステージ部振動測定結果についても報告する。

2 装置構成

図1に、2段4 Kパルス管冷凍機構成図を示す。図1より、本冷凍装置では、バルブユニットがエアロクイップによりコールドヘッドから分離できる構造となっている。この構造により、連結部を長い配管にすることや、振動抑制機構を追加するなどの簡単な技術で、バルブユニット及び圧縮機から発生する振動を低減することが可能である。また、冷凍機を昇温することなくバルブユニットの交換が可能となるため、パ

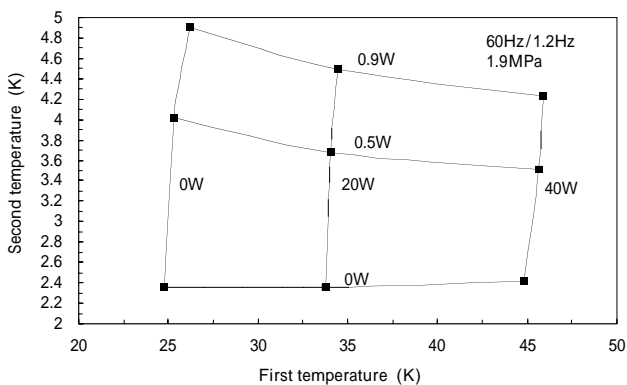


図2 4Kパルス管冷凍機の能力特性
Typical load map of 4K pulse tube cryocooler

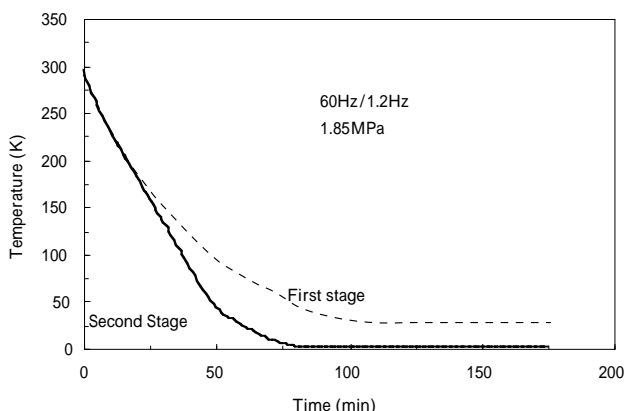


図3 4Kパルス管冷凍機の冷却曲線
Cooling down curves of 4K pulse tube cryocooler

ルブユニットがコールドヘッドと一体型の冷凍機と比べ、メンテナンスの際にバルブユニットの交換時間が大幅に短縮できる。

コールドヘッドは、パルス管、蓄冷器、リザーバ及び熱交換器により構成される。1段蓄冷器には、鉛とステンレス製のメッシュが充填されており、2段蓄冷器には、鉛と磁性蓄冷材が充填されている。1及び2段のパルス管はステンレス製であり、その両端には、整流や熱交換のための銅メッシュや銅プレートが積層されている。

3 冷凍機の特性

3.1 能力特性図

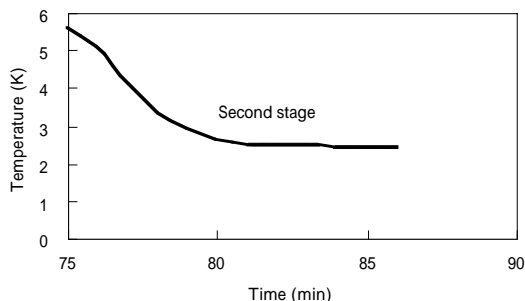
4 Kパルス管冷凍機の冷凍能力は、圧縮機の運転周波数、封入圧力、パルス管及び蓄冷器の寸法などいくつかの要因の影響を受ける。

図2に、4 Kパルス管冷凍機の代表的な能力特性図を示す。図2より、1段及び2段の冷凍能力はそれぞれ40W@45.9K及び0.9W@4.23Kが同時に得られている。運転条件は、圧縮機の運転周波数は60Hz、コールドヘッドの運転周波数は1.2Hz、封入圧力は1.9MPaである。なお、室温部にある位相制御用バルブの開度（以下、流量インピーダンス）は、1段及び2段の冷凍能力が最大となるように最適化している。また、1段及び2段に、それぞれ40W及び0.9Wの熱負荷を同時に投入した時の圧縮機の入力電力は、約8.5kWであった。測定系は、1段温度は、白金コバルト測温抵抗体（株式会社チノー）、2段温度は、ゲルマニウム温度センサ（Scientific Instrument, Inc.）を用いた。また、1段及び2段の熱負荷はコールドステージに取り付けたマンガン線に直流電圧を印加し、その電圧及び電流値から算出した。

3.2 冷却曲線

図3に、4 Kパルス管冷凍機の冷却曲線を示す。運転条件は、圧縮機の運転周波数は60Hz、コールドヘッドの運転周波数は1.2Hz、封入圧力は1.85MPaである。

図3より、2段の冷却時間は、4 K到達まで約77分であり、最低到達温度の2.4Kまでは85分である。一方、1段の冷却時間は、40Kまで約84分であり、最低到達温度の26.3Kまでは145分である。2段に比べ1段の冷却時間の方が長いのは、コールドステージの銅ブロック熱容量が2段よりも1段の方が大きいためである。



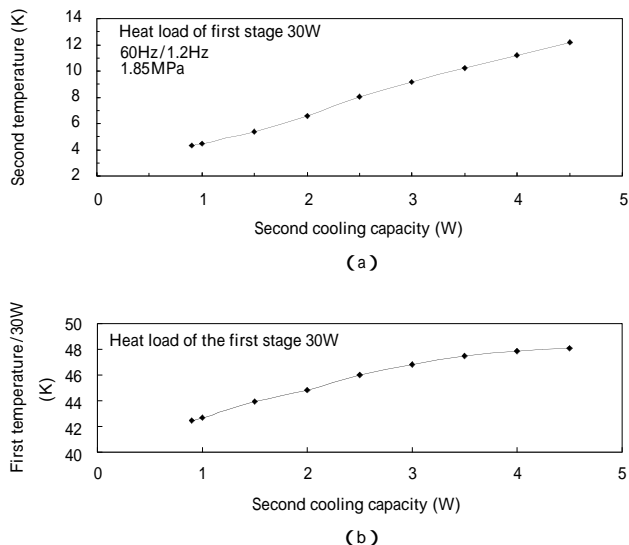


図4 2段冷凍能力と1段及び2段温度との関係
Temperature of second and first stage vs. cooling capacity at second stage

3.3 2段冷凍能力と1段及び2段温度との関係

図4に、2段の熱負荷を増加させた時の1段及び2段温度の変化を示す。運転条件は、圧縮機の運転周波数は60Hz、コールドヘッドの運転周波数は1.2Hz、封入圧力は1.85MPaである。また、1段には、30Wの一定熱負荷が投入されている。

図4より、2段の冷凍能力は、1.0W@4.4K、4W@11Kであり、冷凍能力と到達温度はほぼ比例している。図4より、30W負荷投入状態の1段温度も2段の負荷が増加するに従い上昇している。これは、2段温度が上昇することにより、2段蓄冷材の損失が大きくなるためである。しかしながら、図4より、2段の熱負荷が3W以上になると、1段温度の上昇は小さくなる傾向がある。

3.4 封入圧力の影響

図5に、1段及び2段冷凍能力に対する封入圧力の影響結果を示す。なお、流量インピータンスは、圧縮機の運転周波数が60Hz、コールドヘッドの運転周波数が1.2Hz、封入圧力が1.9MPaの条件で最適化されている。

図5及び図5より、封入圧力が減少するにつれて1段及び2段温度はともに上昇しており、冷凍能力が低下していることが分かる。これは、封入圧力が減少するとコールドヘッド内部のガス流量が減少することに起因する。また、図5及び図5を比べると、図5の1段冷凍能力の方が封入圧力低下による影響が大きく、圧縮比あるいは封入圧力に敏感であるといえる。一方、2段冷凍能力は、1段冷凍能力と比べ封入圧力にそれほど敏感ではないことが分かる。しかし、封入圧力が1.6Mpaまでに低下すると2段温度は急激に上昇する場合もある。

3.5 運転周波数の影響

図5より、同一の封入圧力条件においても、圧縮機の運転周波数及びコールドヘッドの運転周波数がそれぞれ60Hz/1.2Hz及び50Hz/1.0Hzと異なる条件であると、1段冷凍能力に大きな差が生じていることがわかる。これは、流量インピータンスの設定が50Hz/1.0Hzよりも60Hz/1.2Hz条件で最適化していることが原因である可能性がある。

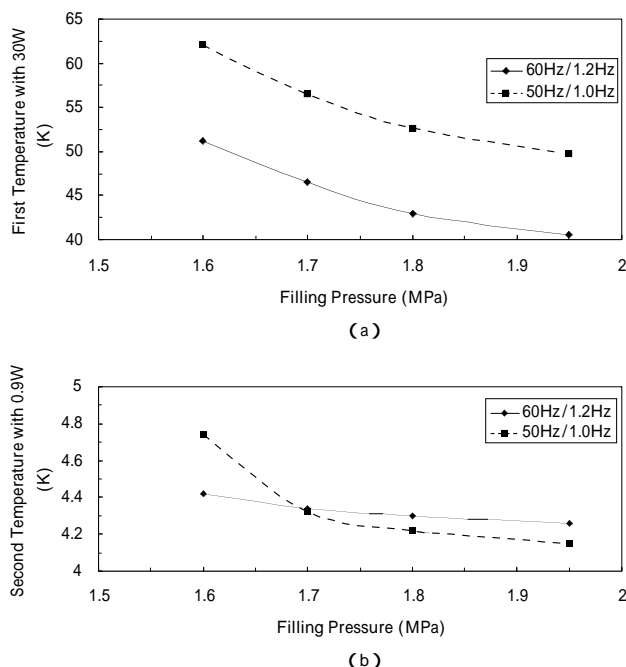


図5 1段及び2段温度に対する封入圧力の影響結果
Effect of filling pressure on temperatures of first and second stage

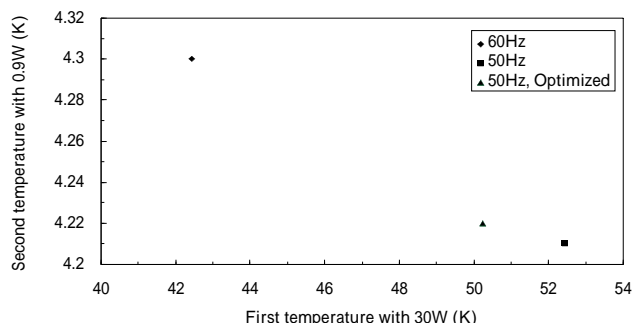


図6 1段及び2段温度の運転周波数依存性
Temperatures of first and second stage with different operating frequency

そのため、同じ装置条件で、封入圧力は1.85MPaで一定とし、運転周波数の違いによる性能差を調査する試験を実施した。その結果を図6に示す。

はじめに、流量インピータンスは、運転周波数が60Hz/1.2Hzの条件で最適化を行った。その場合の冷凍能力は1段が30W@42.4K、2段が0.9W@4.3Kであった。次に、流量インピータンスはそのままの条件で、運転周波数のみ50Hz/1.0Hzとした。その場合の冷凍能力は、1段が30W@52.4K、2段が0.9W@4.21Kであった。この結果から、1段の冷凍能力が大幅に低減していることが分かる。しかし、2段の冷凍能力は逆に若干増加している。最終的に、流量インピータンスを50Hz/1.0Hzの条件で最適化をはかった場合の冷凍能力は、1段が30W@50.2K、2段が0.9W@4.22Kとなった。この結果から、1段の冷凍能力は多少増加したが、60Hz/1.2Hzの条件での1段冷凍能力に比べまだ大きな差がある。

これらの結果から、1段の冷凍能力は流量インピータンスよりもガス流量に敏感であることが明らかになった。その理由として、圧縮機の運転周波数が高い程、ガス流量は多くな

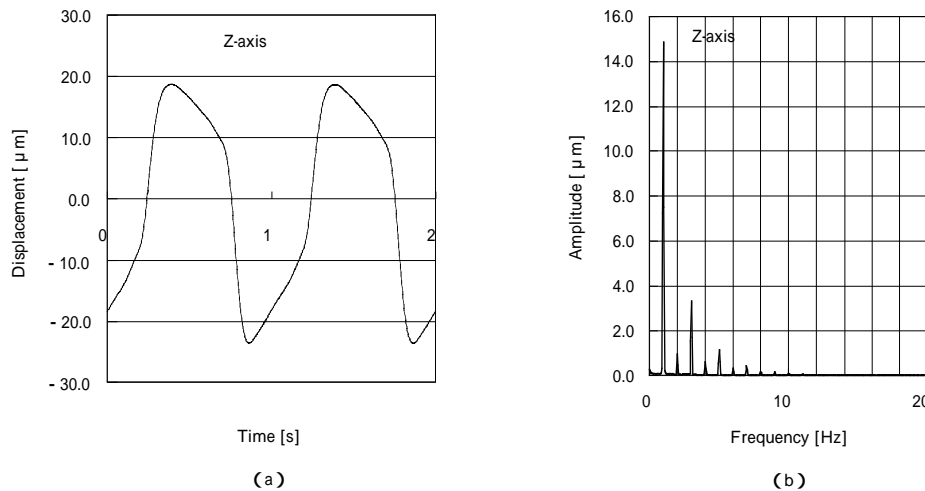


図7 振動測定結果
Vibration data of 4K pulse tube cryocooler

るからと考えられる。

3.6 振動測定結果

図7に、2段コールドステージ部の変位測定結果を示す。測定条件は、圧縮機の運転周波数は50Hz、コールドヘッドの運転周波数は1.0Hzにて運転し、測定雰囲気は大気である。また、冷凍機の設置方向は、コールドステージが鉛直下向きである。

図7は、鉛直方向のコールドステージ部の変位を示す。そのピーク値はおよそ23μmである。また、図7の周波数分析結果から、最大となる周波数成分は1.0Hz付近であり、これはコールドヘッドの運転周波数に一致する。更に、図7より、周波数成分は、ほぼ10Hz以下の低周波にのみ存在し、高周波成分はほとんど無視できることが明らかとなった。

4 むすび

当社は、MRIや他の冷却用途として、4Kパルス管冷凍機を開発している。その特徴は、パルスユニットをコールドヘッドから分離した構造であり、この構造によりメンテナンスや振動低減において有利である。今回その特性を実験的に調査した結果次のことが明らかとなった。

代表的な冷凍能力は、1段が40W@45.9K、2段が0.9W@4.23Kを同時に達成した。この場合の入力電力は、約8.5kWであった。

1段の冷凍能力は、流量インピーダンスよりも封入圧力または流量比に敏感であった。

4Kパルス管冷凍機2段コールドステージ部鉛直方向での変位の振幅ピーク値は23μm程度であり、周波数成分の最大値はコールドヘッドの運転周波数である1.0Hz付近にあった。

(参考文献)

- E.I. Mikulin, A.A. Tarasow, M.P. Shkrebyonock, Low temperature expansion pulse tube. *Advances in Cryogenic Engineering*, vol. 29, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York(1984), pp. 629.
- R. Radebaugh, Development of the pulse tube refrigerator as an efficient and reliable cryocooler. *Proc. Inst. of Refrig. (London)*, 1999-2000.
- S. Zhu, and P. Wu, Double inlet pulse tube refrigerators: an important improvement. *Cryogenics*, vol. 30(1999), pp.514.
- Y. Matsubara, and J.L. Gao, Novel configuration of three-stage pulse tube refrigerator for temperature below 4K. *Cryogenics*, vol.34, no.4(1994), pp. 256-262.
- C.Wang, G. Thummes, and C. Heiden, A two-stage pulse tube cooler operating below 4K. *Cryogenics*, vol. 37, no.3(1997), pp. 159-164.
- M.Y. Xu, A.T.A.M. De Waele, and Y.L. Ju, A pulse tube refrigerator below 2K. *Cryogenics*, vol.39(1999), pp. 865-869.
- C. Wang, and P.E. Gifford, 0.5W class two-stage 4K pulse tube cryorefrigerator. *Advances in Cryogenic Engineering*, vol. 45A, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York(1984), pp. 1-7.
- J.L. Gao, IGC-APD advanced two-stage pulse tube cryocoolers. *Proc. of CEC-ICMC Conference, Madison, WI(2001)*.
- S. Zhu, M. Ichikawa, M. Nogawa, and T. Inoue, 4K pulse tube refrigerator and excess cooling power. *Proc. of CEC-ICMC Conference, Madison, WI(2001)*.

磁場下熱処理炉用ヘリウムフリー超伝導磁石

Cryocooled Superconducting Magnet for Magnetic Annealing Oven

三 上 行 雄 山 本 和 人 三 堀 仁 志
Yukio MIKAMI Kazuhito YAMAMOTO Hitoshi MITSUBORI



磁場下熱処理炉用ヘリウムフリー超伝導磁石
Cryocooled superconducting magnet for magnetic annealing oven

GMR膜，TMR膜の熱処理工程において0.5Tから2T程度の磁場を印加することが行われている。この磁場印加には，従来は通常の電磁石が使用されてきたが，1.5Tの電磁石では，重量8tを越え，消費電力が100kW，冷却水は140 /min.を消費する。そこで，装置を軽量化することと，ランニングコストの低減が望まれていたが，当社は超伝導磁石を採用することにより重量を従来に比べて半減，消費電力，冷却水をそれぞれ従来の10分の1に低減したマグネットを開発した。

In annealing process for GMR/TMR thin film, the magnetic field of 0.5 - 2.0 tesla is applied. Until now, conventional water-cooled resistive magnets were used for this purpose. The weight of the magnet for 1.5 tesla was up to 8 tons, the consumption of electricity for the magnet was up to 100KW and 140 liter per minutes of the cooling water was required,

therefore a lightweight and less running cost magnet is desirable. For this purpose, we have developed the cryocooled superconducting magnet of a half weight of the conventional magnet. It was confirmed that the superconducting magnet reduces the electricity and water consumption to one-tenth of conventional one.

1 まえがき

近年，ハードディスクの記録密度の急速な向上のために，再生用ヘッド用の磁性薄膜は従来のMR膜，GMR膜からTMR膜への移行が進むと考えられている。一方，将来はDRAMを置き換える潜在能力があると言われていたMRAM用のTMR膜も実用化へ向けて急速に開発が進められている。

これら磁性薄膜の製造工程において0.5Tから2T程度の磁場を印加しつつ，約300 の温度で熱処理する必要があるといわれている。この熱処理工程における磁場印加は，従来は通常の電磁石が使用されている。例えば，1.5Tの電磁石では，重量8tを越え，消費電力が100kW，冷却水は140 /minを消費する。熱処理炉を設置する工場の床強度の点から装置を軽量化することと，ランニングコストの低減が望まれているが，この磁石を超伝導磁石化することにより重量を半減，消費電力，冷却水をそれぞれ10分の1に低減することが可能と考えられる。当社は，いままで培ってきた超伝導コイル，4K-GM冷凍機，酸化物高温電流リード，クライオスタット技術を活かし，磁性薄膜の磁場下熱処理用を目的とした，ヘリウムフリー超伝導磁石を開発した。

本報では，超伝導磁石装置全体の構造と設計，冷却試験，

励磁試験の結果について報告するとともに，磁場下熱処理用磁石に必要なとされる磁場の高均一化，磁場方向の偏りの低減（低スキュー角化），漏洩磁場の低減について解説する。

2 磁場特性

磁性薄膜の磁場下熱処理用磁石に期待される磁場特性を，次に示す。

磁束密度がウェハを含む空間内で均一で，磁場の方向が一方向に揃っていること

外部への漏洩磁場が小さい

消磁したときに残留磁束密度が小さいこと

このなかで は主にコイル形状に支配されており，いかに設計どおりの寸法精度を実現するかということが問題になる。

は磁気シールドの設計，特に軽量化設計が問題となっており，磁気シールドの形状を工夫することにより改善が図られている。は磁気シールドの残留磁化が問題であり，磁気シールド材料の適切な選定と，超伝導コイル用電源の残留磁化消磁機によって実現した。

2.1 均一磁場，低スキュー角磁場の実現

磁場中心での磁場方向に対して，磁場利用空間周辺部での

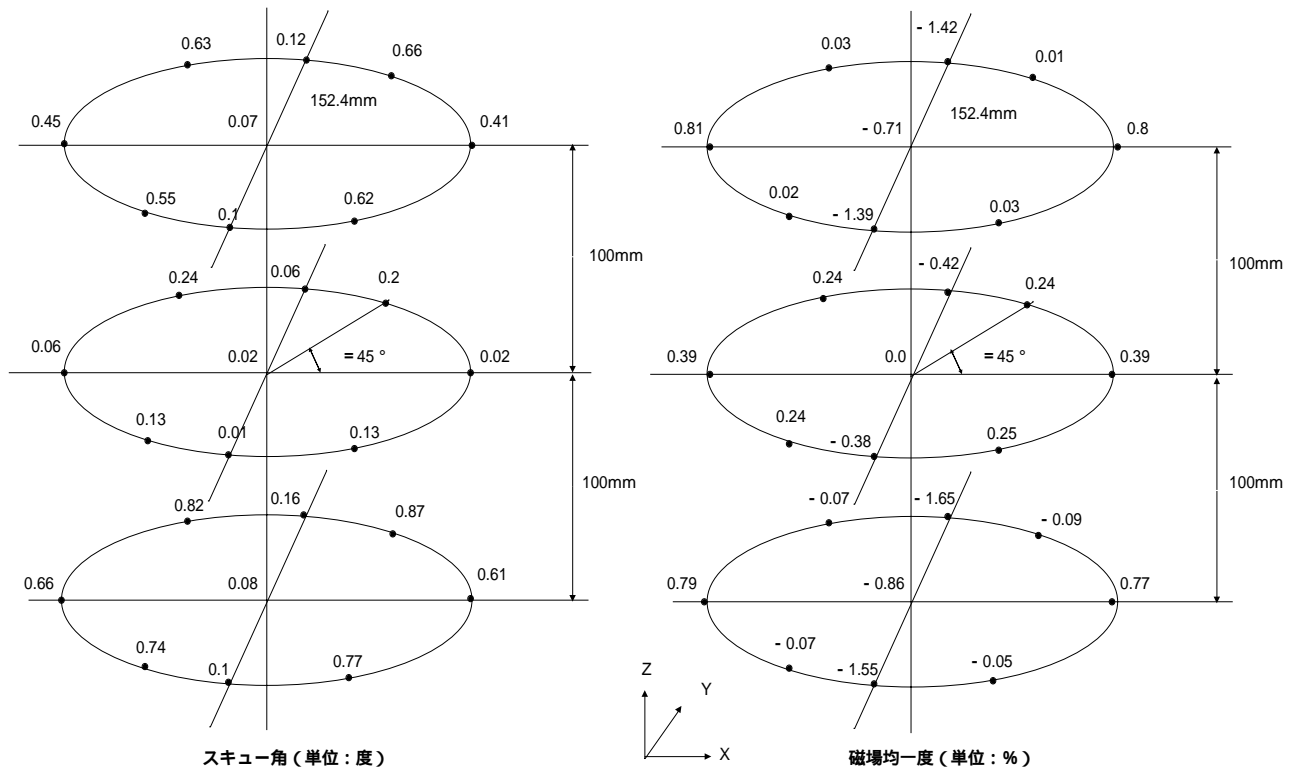


図1 スキュー角と磁場均一度
Skew angle and field uniformity

磁場方向が、完全に平行にならずに、ある角度を持つとき、その角度をスキュー角と呼んでいる。中心磁場方向をX軸、水平面内でX軸と直交する方向にY軸をとり、垂直方向をZ軸とする座標系を考える。磁場空間内のある点Pでのスキュー角 (ρ) は次式で表わされる。

$$(\rho) = \arctan \left(\frac{\sqrt{By^2(\rho) + Bz^2(\rho)}}{Bx(\rho)} \right)$$

$Bx(\rho)$; 点Pでの磁束密度のX成分

$By(\rho)$; 点Pでの磁束密度のY成分

$Bz(\rho)$; 点Pでの磁束密度のZ成分

磁性薄膜ウェハの熱処理用磁石にはこのスキュー角を低減することがきわめて重要であり、そのため本装置ではコイルの内外径、コイル対のギャップを最適に配置することにより、 $\pm 2^\circ$ 以内をすることを目標とした。具体的な設計では、コイルの各材料の熱収縮率を考慮して、冷却時のコイル寸法を想定したシミュレーションを行なった。更に、組立公差、巻線の乱れ等の製造上の誤差要因がスキュー角に与える影響が許容範囲内になるようにコイル寸法を決めていった。

図1 に本装置のスキュー角測定結果を示した。磁場利用空間は直径152.4mm高さ200mmの円筒状で、この範囲内を上下方向には磁場中心面とその上下100mmの3層の面内に対して、直径152.4mmの円周上を45°間隔で8点測定し、更に円の中心の1点を測定した。測定時の中心磁束密度は1.5Tである。この測定によって、スキュー角が0.9°未満であることが確認され、この値は、設計値の0.73°に対して非常に良く一致している。

磁場中心での磁束密度に対して、磁場利用空間周辺部での磁束密度の偏差を磁場均一度と呼んでいる。前記座標系にお

いて、点Pにおける磁場均一度 (ρ) は次式にて表わされる。

$$(\rho) = \frac{Babs(\rho) - B_0}{B_0}$$

$$Babs(\rho) = \sqrt{Bx^2(\rho) + By^2(\rho) + Bz^2(\rho)}$$

B_0 ; 磁場中心における磁束密度

磁場均一度もウェハの品質に影響するため、 $\pm 3\%$ 以内を目標とした。

図1 に本装置の磁場均一度測定結果を示した。磁場利用空間内をスキュー角測定の時と同じポイントで測定した。この時の中心磁束密度も1.5Tである。この測定によって、磁場均一度が+0.8%から-1.65%の範囲内であることが確認されたが、この値は設計値の+0.8%から-1.6%に良く一致している。

2.2 漏洩磁場の低減

磁性薄膜ウェハの磁場下熱処理装置には磁場に影響されるモータ、機械部品及びセンサなどが多数使用されているので、漏洩磁場を低減することは実用的な装置とするためには必須の条件である。本装置では装置筐体表面から1m離れた位置で1mT以下に低減し、かつ磁気シールド重量を3000kg以下とすることを目標においた。当初、通常の鉄より高透磁率の磁性材料を用いて軽量化できるか検討したが、磁気シールドが非常に強い磁場下に配置されるので、透磁率が飽和してしまい、結局高透磁率のメリットが生かせないことが分かった。そこで、通常の鉄鋼材料のなかから飽和磁束密度の高いものを採用することとし、飽和を防ぐために磁気シールド内部の磁束密度分布が局所的に高くないように各部のシールドの板厚さを決定した。この方法で設計したことにより、結果的にシールド効果の小さい部分の磁気シールドを薄く、シー

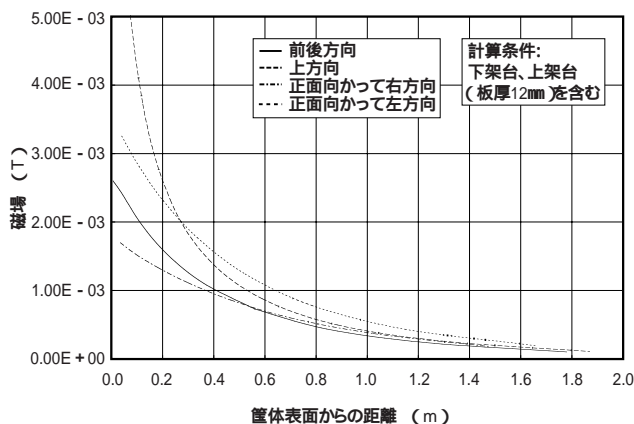


図2 漏洩磁場分析
Stray magnetic field distribution

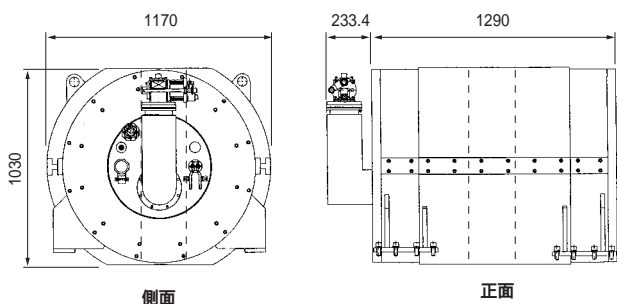


図3 概略
Schematic drawing

ルド効果の大きい部分の磁気シールドが厚くなり、軽量化が可能となった。シールド板厚さ一定にしたモデルでは、シールド重量が4200kgだったものが、シールド板厚さを変えたモデルでは3100kgまで軽量化できた。

図2に筐体表面からの距離と漏洩磁場計算値をプロットしたグラフを示した。

2.3 残留磁場

コイルへの通電を止めた後にウェハ近辺に残留している磁場が大きいと、ウェハへの品質に影響がでるので、磁気シールドに使う鉄鋼材料は、残留磁化の少ないものを選定した。その結果、中心磁束密度1.5T発生後の残留磁束密度は、0.8mTに抑えることができた。更に残留磁束密度を低減するために、励磁電源には出力の極性を逆転できる機能を付加している。消磁後に逆方向の微小電流を通電し、残留磁化を打ち消す方向に磁場を発生させ、残留磁束密度を0.4mTまで低減させた。

3 構造

本マグネットの概略図を図3に、本マグネットの主要諸元を表1に示す。

3.1 クライオスタット

中心軸が水平方向を向いた円筒形の真空容器内部に超伝導コイル、酸化物高温超伝導電流リード、荷重支持体、熱ふく射シールドを配置し、真空容器端面片側に4K-GM冷凍機を縦向きに設置している。真空容器の外側には、真空容器と同

表1 主要仕様
Principal parameters

マグネット本体	
発生磁場	1.5T
定格電流	143A
スキュー角	±2°以内
磁場均一度	±3.0%以内
残留磁場	1 mT以下
漏洩磁場	装置表面から1 mで1 mT以下
初期冷却時間	170時間以内
励磁掃引時間	25分以内
寸法	
幅	1525mm
奥行	1170mm
高さ	1030mm
重量	4000kg
冷凍機	SRDK408 1台
超伝導コイル用電源	
入力	AC3相200V
受電容量	10KVA
出力	DC ±30V, ±160A
寸法	
幅	700mm
奥行	800mm
高さ	1702mm
重量	400kg

軸の円筒形磁気シールドを配置している。真空容器には磁場中心へアクセスできるように上下方向に貫通し、磁場方向に幅245mm、磁場と垂直方向に幅295mmの矩形断面の常温ボアを持つ。2個の超伝導コイルは、GM冷凍機の2段ステージにボルト締結された銅製伝熱体を介して、両方の超伝導コイルを冷却する構造となっている。熱輻射シールドは、超伝導コイルへの熱輻射を低減させるためのもので、GM冷凍機の1段ステージに銅製伝熱体を介して冷却される。この熱輻射シールド板には、超伝導コイルがクエンチした時に渦電流による強大な電磁力が作用するので、その電磁力対策として、熱輻射シールド板の円筒部にスリットを設けて渦電流を遮断している。

3.2 電流リード

電流リードは、酸化物高温超伝導体のBi2223を用いた直径23mm長さ120mmの円筒状のものである。液体窒素中、零磁場下で1000A以上の臨界電流を持つ超伝導体である。この電流リードの高温端での臨界電流は約300Aあり、定格電流143Aに比べて十分大きく、余裕をもって使用できると考えられる。熱応力による電流リードの損傷を防ぐため、電流リードの両端は薄い銅板にて接続している。

3.3 冷凍機

冷却には、当社製2段GM冷凍機SRDK408を使用した。1台当たりの冷凍能力は、1段温度が40K、2段温度が4.2Kの時、1段ステージで37W、2段ステージで1.0Wである。

3.4 瞬時停電対策

瞬時停電が生じた場合、冷凍機は一時的に停止するが、コイル温度はさほど上昇しないため、問題が生じない。しかし、超伝導コイル用電源の給電が一瞬も停止すると、超伝導コイルへの直流出力の電流が急激に減少することにより、超伝導コイルの超伝導状態が常伝導状態に転移するクエンチ現象が発生する。クエンチが発生すると、コイル温度が数十Kまで

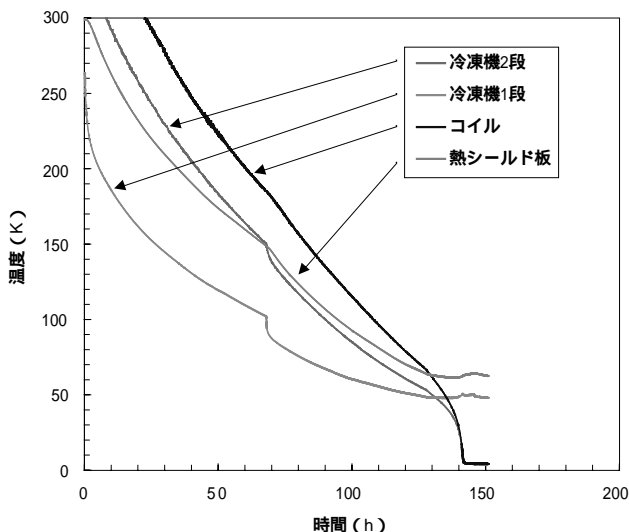


図4 初期冷却特性
Measured temperature of coil, shield and cryocooler in initial cooling process

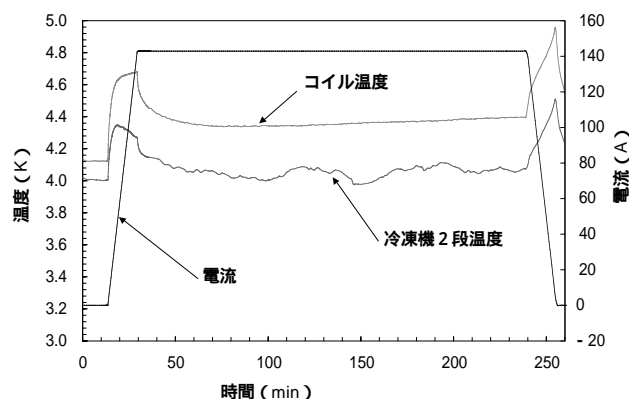


図5 励消磁特性
Measured temperature and current of coil during excitation

上昇し、次回の通電が可能になるまで約1日の時間を要する。この現象を回避するため、超伝導コイル用電源には2秒まで対応できる瞬時停電対策を施した。超伝導コイル用電源の制御系にはUPSにて駆動し、入力200Vの瞬時停電を検出すると、直流出力部をショートする。出力部のショートにより、超伝導コイルの電流は保持され、クエンチが発生しない。復電時には、制御系が復電を検出し、ショートを解除するシステムとなっている。

4 冷却，励磁試験結果

4.1 初期冷却

図4に初期冷却中の超伝導コイルと熱輻射シールド板の温度を示す。熱輻射シールド板は、冷却開始後約155時間で約60Kに到達し、超伝導コイルの温度は、155時間で定常温度の4.1Kに到達した。

4.2 励消磁試験

電流スイープ速度0.15A/sにて定格電流の143Aまで励磁した。図5にコイル温度と通電の時間変化を示す。励磁中のコイル温度は、0Aでは4.1Kであったが、電流スイープ中に最高温度の4.7Kまで上昇した。定格電流に到達した後は、コイ

ル温度は徐々に下がり、4.4K付近で落ち着いている。励磁開始から定格電流の143Aに到達するまでの所要時間は16分であった。その後、定格電流にて210分間、通電を維持したが、コイル温度に変化は見られず、安定していることが確認できた。

4.3 瞬時停電試験

超伝導コイル用電源に施した瞬時停電対策の動作確認試験を実施した。定格143A通電中に200V入力を遮断し、約2秒に復電した。200V遮断時には瞬時停電対策のショート回路により超伝導コイルの電流が維持され、復電時にクエンチすることなく電源駆動に復帰した。

5 むすび

磁性薄膜の磁場下熱処理用を目的とした、ヘリウムフリー超伝導磁石を開発した。本マグネットの性能試験を実施し、次の結果を得た。

磁場利用空間である直径152.4mm高さ200mmの円筒状の範囲内で、磁場のスキュー角が0.9°未満、磁場均一度が+0.8%から-1.65%の範囲内であることを確認した。

装置外周に磁気シールドを設置し、漏洩磁場を装置表面から1m離れた位置で1mT以下であることを確認した。磁気シールドは厚さを一定にせず、必要に応じて厚さを調節した結果、シールド重量を3100kgに抑えることができた。

コイルへの通電を止めた後の残留磁束密度は0.8mTであった。更に、超伝導コイル用電源の出力逆転機能により残留磁束密度は0.4mTまで低減できた。

冷却開始後約155時間で通電可能な温度に到達した。定格磁場1.5Tの発生に要する電流スイープ時間は約16分であった。また、通電中のコイル温度は4.1K付近で安定し、長時間の運転ができることを確認した。

超伝導コイル用電源に瞬時停電対策を施し、2秒以下の停電が発生しても、クエンチすることなく磁場発生を維持しつづけることを確認した。

(参考文献)

- 山田豊，渡辺和雄，櫻庭順二，石原守，森弘之．Bi系高温超伝導電流リードとその応用．電気学会論文誌A, Trans. IEE of Japan, Vol.115, No.3, 1995, p.302~307.
- 渡澤恵一，三堀仁志，櫻庭順二，山本和人，MCZ単結晶引上げ装置用ヘリウムフリー超伝導マグネット．住友重機械技報，Vol.48, No.143, 2000, p.22~25.

偏波面保存光ファイバカプラ偏光波長特性評価装置の開発

Developmint of Polarization Wavelength Characteristic Evaluation Equipment of Polarization Maintaining Optical Fiber Coupler

藤井 雄介 岡久守 一

Yusuke FUJII

Morikazu OKAHISA



PMF5001
PMF5001

近年、通信速度の高速化や通信容量の大容量化のニーズに対応して、偏波面保存（PM Polarization-Maintaining）光ファイバ・偏波面保存光ファイバカプラは、WDM・DWDMなどの波長多重システムの中で偏波多重伝送方式等の構成要素として注目されている。

しかし、現在それらの特性の評価は、各社が既存の計測器を組み合わせで行っているのが現状であり、その結果非常に複雑で熟練を要する作業となっている。

そこで今回当社では、それら偏波面保存光ファイバカプラ等の様々な特性の評価を、正確に短時間で再現性よく行うことができる専用の計測装置の開発を行った。

In the recent surge of needs for high-speed and high-volume data transmission, polarization-maintaining optical fibers (PM fibers) along with polarization maintaining optical fiber couplers (PM fiber couplers) are drawing attention as component devices to be used in the wavelength division multiplexing (WDM) systems especially based on the polarization division multiplexing technique. While the characterization of these devices becoming urgent issue, most of the work, typically done by combining individual measurement equipments, remains very complicated and skill-demanding task. In this report is presented the novel measurement system that enables various characterizations of PM fiber couplers with high throughput and reproducibility, eliminating the complexity involved in handling the separate equipment.

1 まえがき

日々進歩する光通信の中で、最近注目されているデバイスに偏波面保存光ファイバが挙げられる（図1）。更に、2本の偏波面保存光ファイバを溶融延伸した偏波面保存光ファイバカプラは、WDM伝送技術の発展において非常に有効なデバイスであると考えられる。そのような中で当社では、偏波面保存光ファイバ及びファイバカプラの特性を自動で測定できる装置の開発を行った。

本報では偏波面保存光ファイバの中でも、特にPANDAファイバ及びPANDAファイバカプラの評価と並行して、本装置の測定原理、測定方法及び測定結果について報告する。本装置の測定原理及び方法は、琉球大学工学部の波平宜敬教授らの論文に基づくものである。

2 偏波面保存光ファイバカプラ偏光波長特性評価装置の開発

2.1 偏波面保存光ファイバ

通常のシングルモード光ファイバでは、偏波モードと呼ばれる直交する2つのモードが存在する。この偏波モードはシングルモード光ファイバ（SMF）内で偏波モード分散（PMD Polarization Mode Dispersion）や偏波依存性損失（PDL Polarization Dependent Loss）を引き起こすことはよく知られている。

これらは、それぞれの偏波モードが結合するために起こる現象であるが、偏波面保存光ファイバとは、偏波モード間に伝播定数差を与えることで、偏波モード間の結合を抑え、偏波面を保存することができる光ファイバのことである。最近ではこの偏波に信号を多重させる偏波多重化（Polarization Multiplex）も注目されてきている。

偏波面保存光ファイバにはいくつかの種類があるが、一般

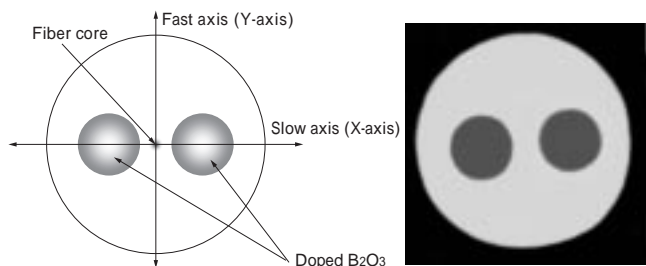


図1 PANDAファイバの構造 PANDA fiber structure
 CCDカメラでの映像 Picture of CCD camera

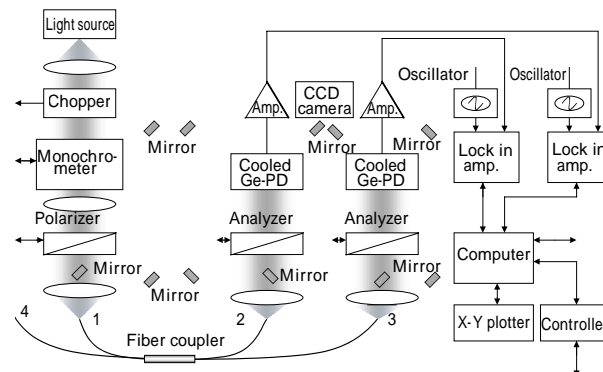


図2 PMF-5001内蔵測定システム PMF-5001 incorporated measurement system

に広く使用されているものとして、図1に示すようなPANDA (Polarization-maintaining AND Absorption-reducing) ファイバがある。これは製造過程で熱膨張率の異なる材料を母材に挿入することによって、線引き過程でコア部に熱応力差により非対称な応力を与えたものである。

またそれ以外の応力付与型偏波面保存光ファイバ (PMファイバ) には、楕円ジャケットファイバやボータイ (bow-tie) ファイバ、楕円コアファイバ、サイドピットファイバ及びサイドトンネルファイバなどが挙げられる。

2.2 特性評価装置概略

図2に、開発した偏波面保存光ファイバカプラ偏波波長特性評価装置の概略図を示す。

本装置 (PMF-5001) は、光源にハロゲンランプを使用することで、広帯域な波長領域での測定に対応している。一方、本装置の構成上、出力光が微弱となるため、光検出器には窒素冷却のGe-フォトディテクタを採用した。

次に、入射側に設置している偏光子 (Polarizer)、出射側の検光子 (Analyzer) について説明する。分光器から出射された光は、無偏光状態であるが、偏光子を通過すると偏光子の結晶軸に対して平行な偏光 (波) 以外が遮断される。その結果、偏光板の結晶軸と同方向の偏光 (波) のみを通過させることが可能である。また検光子も同じように、ある光デバイスを伝播してきた光の偏光状態を特定して計測することができる。

更に、チョッパにより、入射光を任意の周波数でON/OFFさせ、この周波数をロックインアンプと周期検波することで、微弱光を検出している。

また、本装置の大きな特徴として、CCDカメラを搭載することによって、それぞれのPMファイバの端面を観察することができる。これによって、光ファイバ端面のカットによる光ファイバの損傷、応力付与部の角度などを測定の事前に確認することが可能となり、測定の精度を向上させることができる。

本測定装置で測定可能な項目として、PM-ファイバでは、伝送損失波長特性、偏波クロストークの波長特性、複屈折率波長特性及びビート長の4項目、PANDAファイバカプラでは伝送損失波長特性、偏波クロストークの波長特性及び結合度の波長特性の3項目である。

2.2.1 偏波クロストーク

偏波クロストークとは、偏波面保存光ファイバがどれだけ偏波を保存しているかを表す量である。PANDAファイバの入射端からX偏波 (P_{xx})、あるいはY偏波 (P_{yy}) を入射させ、出射端側でそれぞれの入射偏波に対して垂直な軸にどれだけ偏波が漏洩したか (P_{xy} , P_{yx}) を表すパラメータであり、以下の式で表される。

$$C_{xy} = 10 \log \frac{P_{xy}}{P_{xx}}$$

$$C_{yx} = 10 \log \frac{P_{yx}}{P_{yy}}$$

この値が大きいほど、その光デバイスの偏波面保存能力は優れているといえる。

2.2.2 複屈折率B及びビート長LB

次に複屈折率とは、伝送光がslow(X)軸とfast(Y)軸に対してそれぞれ異なる屈折率を持つことに起因するが、これはボロン (B_2O_3) が製造過程において熱膨張係数差で収縮し、コア部に応力が発生することによる光弾性効果 (Photoelastic effect) によっている。

さて、それぞれの軸に対する伝播定数 k_x , k_y の差が大きければそれだけ直線偏光モード間の結合が減少するが、その大きさを示すパラメータとして、モード複屈折率B (Modal birefringence) を次式のように与える。

$$B = \frac{k_x - k_y}{k}$$

ここで、のとき、slow軸に対して45°の直線偏光を入射した場合、伝播光は直線偏光 円偏光 直線偏光を繰り返して伝播する。この周期をビート長 (beat length) と呼び、ビート長 L_B と B には次のような関係がある。

$$L_B = \frac{2}{B} = \frac{1}{B/2}$$

2.2.3 結合度及び伝送損失

出射後の光パワーをそれぞれ $P_{through}$, P_{cross} とすると、結合度CRは以下の式で表される。

$$CR = \frac{P_{cross}}{P_{through} + P_{cross}} \times 100$$

損失波長特性は、カットバック法を用いて算出する。

入射光 (L_{short}) の光強度を P_{in} , 出射光 (L_{long}) の強度を P_{out} とすると、伝送損失は以下の式で表される。

$$Loss = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

3 測定

まず、測定前の作業として以下の手順で行う。

測定物を所定のステージにセットする。

測定する波長範囲及び測定波長間隔を指定する。

CCDカメラによって、PMファイバの端面を観察しながらポラライザ (偏光子) 及びアナライザ (検光子) の軸とPMファイバの軸を手動で調節する。この作業によってX偏波及びY偏波を識別して測定することが可能である。

光を光ファイバに入射させながらポラライザとアナライザを機械的に回転させ、光パワーの最小値を探ることで、偏光板とslow軸を微調整する (Automatic adjustment)。

3.1 クロストーク (Cross-talk)

クロストークの測定は、以下の手順で行う。

X偏波を入射させ、検光子もslow軸に合わせる [P_{xx}]

X偏波を入射させ、検光子はfast軸に合わせる [P_{xy}]

Y偏波を入射させ、検光子もfast軸に合わせる [P_{yy}]

Y偏波を入射させ、検光子はslow軸に合わせる [P_{yx}]

このとき 及び の値を測定する際、非常に微弱光なので、ある程度入射光の強度が必要である。

図3は、PANDAファイバ及びPANDAファイバカプラの出力である。グラフが右下がりになっているのは、Ge-フォトディテクタの感度特性によるものである。ここで測定した値を式 (1) に代入しクロストークを求める。

図4は、それぞれPANDAファイバ及びPANDAファイバカプラのクロストークを表している。多少ばらつきはあるが、PANDAファイバで約30dB、PANDAファイバカプラで約25dBのクロストークが得られていることが確認できる。

3.2 複屈折率 (Modal birefringence) B及びビート長 (beat length) LB

複屈折率B、及びビート長LBの測定手順を以下に示す。

ポラライザをslow軸に対して45°の状態に入射する。

アナライザもslow軸に対して45°の状態に光を計測する [$I(+45)$]

アナライザをslow軸に対して -45° (135°) の状態で光を計測する [$I(-45)$]

ここで求めた値を以下の式に代入し、位相遅れの周期をグラフに表す。

$$I = \frac{I(-45^\circ)}{I(+45^\circ)}$$

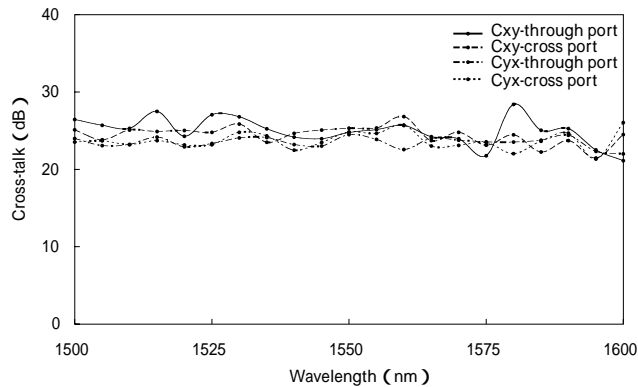
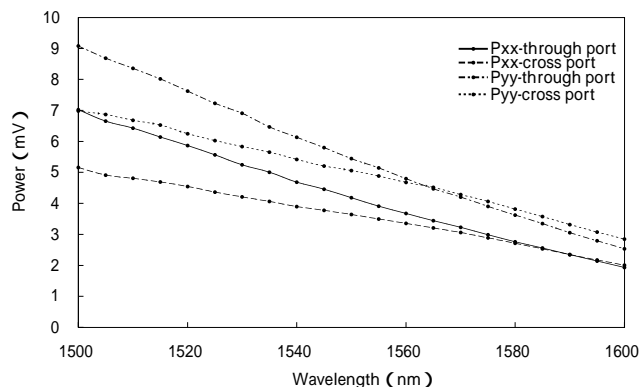
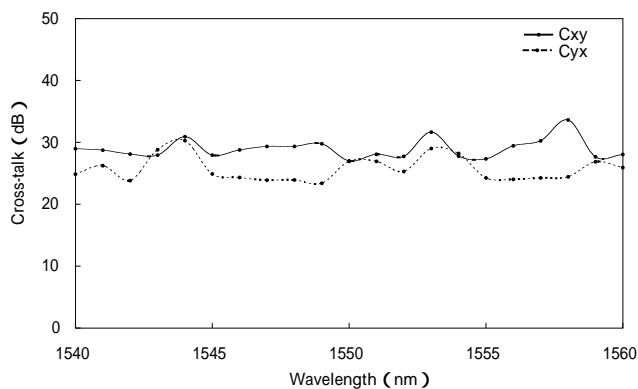
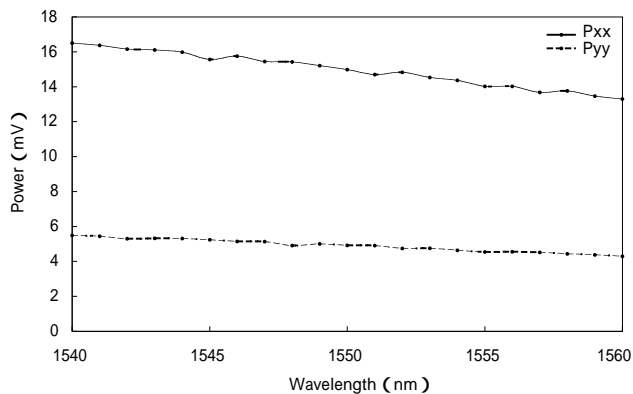


図3 ファイバ長1mのPANDAファイバの出力結果
Output of PANDA fiber with length of 1m
PANDAファイバカプラの出力結果
Output of PANDA fiber coupler

図4 PANDAファイバのクロストーク波長特性
Cross-talk wavelength characteristic of PANDA fiber
PANDAファイバカプラのクロストーク波長特性
Cross-talk wavelength characteristic of PANDA fiber coupler

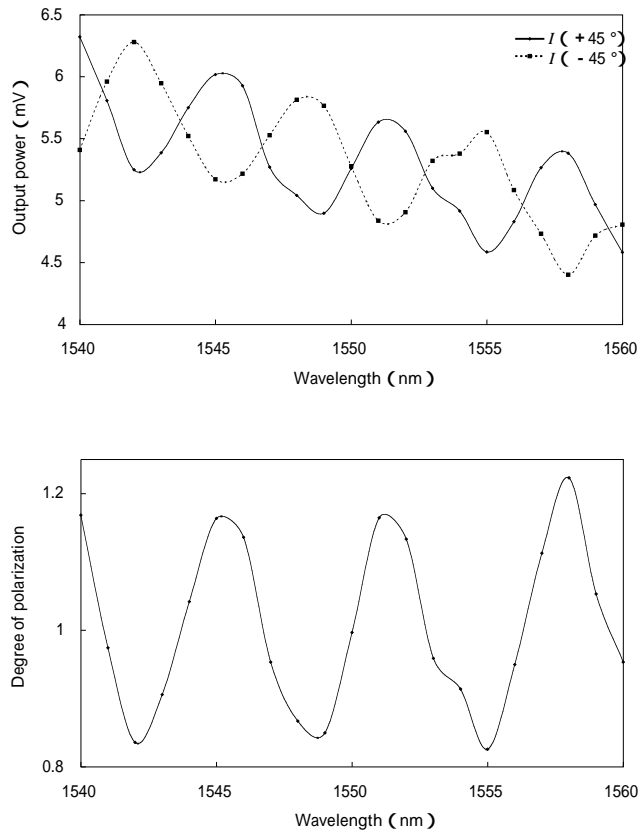


図5 PANDAファイバの位相遅れ波長特性
Wavelength dependent phase delay characteristics of PANDA fiber
の結果より $I(-45^\circ)/I(+45^\circ)$ を計算した結果
Resultant $I(-45^\circ)$ value calculated from data shown in (a)

この結果、ある周期性の見られる正弦波が得られる。そのピーク間の波長をそれぞれ λ_1 、 λ_2 とし、以下の式より複屈折率B及びビート長 L_B を算出する。

$$B = \frac{1}{L} \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2 - 1}$$

$$L_B = \frac{1}{B}$$

ここでLは測定ファイバ長、測定光の波長は $(\lambda_1 + \lambda_2)/2$ とする。

図5は、slow軸より45°及び-45°(135°)傾いた直線偏光を入射した場合の位相遅れを表している。図5は、式の計算結果である。

3.3 モード結合度 (Coupling ratio)

モード結合度は3.1のクロストーク測定の際に得た出力データをもとに算出する。cross port及びthrough portのそれぞれのX偏波、Y偏波を式に代入することで CR_x 及び CR_y を求めることができる。

図6に、算出結果を示す。

3.4 結果

前節で得た結果をもとに、サンプルに添付されているデータシートと比較し以下の表1にまとめる。

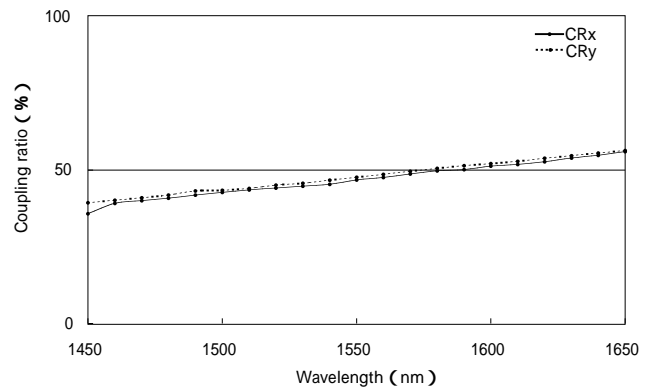


図6 PANDAファイバカプラの結合比波長特性
Wavelength dependent coupling ratio characteristics of PANDA fiber coupler

表1 サンプルの測定結果と添付データ資料との比較結果
Comparison of measurement results and values in attached data sheet

	PANDA fiber		PANDA fiber coupler	
	Measurement results	Data sheet	Measurement results	Data sheet
Cross-talk	24 ~ 34dB (Ave.31dB)	≤ 35dB	21 ~ 28dB (Ave.24dB)	25dB ± 3dB
Coupling ratio	-	-	at 1585(nm)	at 1550(nm)
Birefringence	3.41×10^{-4}	-	-	-

4 むすび

開発要項に基づき偏波面保存光ファイバカプラ偏光波長特性評価装置の開発を行った。

開発した装置を使用し、サンプル測定物を測定した。

の結果とサンプルに添付された校正データを比較し、装置全体としての性能を評価した。

今回、本装置を開発するに当たり有益なアドバイスを頂いた琉球大学工学部の波平宜敬博士をはじめとする関係者に深く感謝の意を表する。

(参考文献)

Y. Namihira, T. Kazawa, and H. Wakabayashi. Incident polarization angle and temperature dependence of polarization and spectral response characteristics in optical fiber couplers. Applied Optics, Vol.30, NO.9, pp.1062-1069, 1991.

Y. Namihira, and H. Wakabayashi. Fiber Length dependence of Polarization mode dispersion measurements in Long-length optical fibers and installed optical submarine cables. J. Opt. Commun, Vol.12, NO.1, pp.1-8, 1991.

Gino Biondini, William L. Kath, and Curtis R. Menyuk. Importance Sampling for Polarization-Mode Dispersion. IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol.14, No.2, p310-312, 2002.

C. R. Menyuk, D. Wang, and A. N. Piliipetskii. Repolarization of Polarization-Scrambled Optical Signals due to Polarization Dependent Loss. IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, Vol.9, No.9, pp.1247-1249, 2002.

川上彰二郎, 白石和男, 大橋正治. 光ファイバとファイバ形デバイス, 培風館, pp131-140, 1996.

長倉三郎, 井口洋夫, 江沢洋, 岩村秀, 佐藤文隆, 久保亮五. 岩波理化学辞典 第5版. 岩波書店, p1167, 1998.

森下克己. 光ファイバ-ファイバ系線形デバイス. 朝倉書店, pp64-68, 1993.

MEMSミラーモジュールの開発

Development of MEMS Mirror Module

平田 徹 塚根 浩一郎
Tohru HIRATA Koichiro TSUKANE

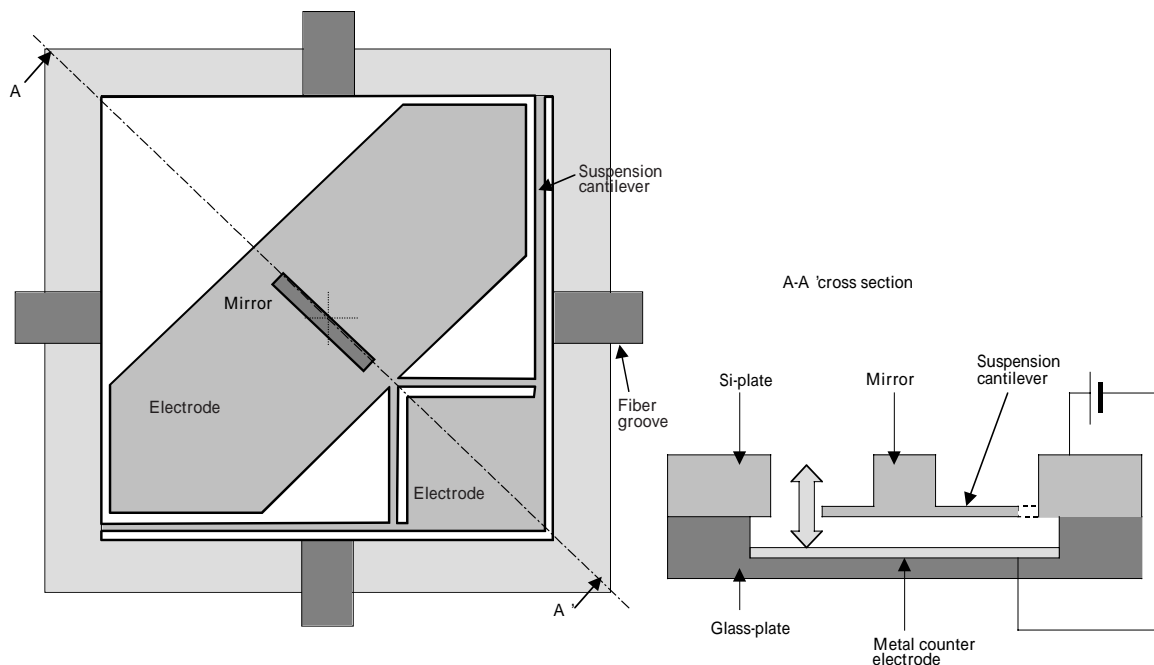


図1 ミラーモジュール素子構造
Mirror actuator module structure

インターネット・トラフィックの増大に伴い、光通信ネットワークの整備が焦眉の急となっている。特にアクセス系においては、トランスパレントな通信形態実現のキーコンポーネントとして光スイッチが注目されている。

光スイッチとしては、機械式、液晶式、導波路式及びMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 方式などが存在する。当社では、MEMS技術による光スイッチ向けミラー・モジュールの開発を実施した。

本報では、独自のSOI-MEMS技術をベースとして得られたミラーモジュールについて、その製造手法、動作特性等を紹介する。

In line with the rapid growth of internet data traffic, crucial has become the urgent realization of all-transparent optical network. Of various key-components to that end, increasing has been the import of optical switches. Among various types of optical switches, for example mechanical, liquid-crystal, planer-light circuit, and MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), MEMS-based approach is thought to be the most fitting for the construction of high-port switch fabric. This time we have developed a MEMS-based mirror-actuator module for the use of the optical switch. In this report will be shown the basic feature of the mirror module as well as some results of actuation tests.

1 まえがき

インターネット・トラフィックの増大に伴い、光通信ネットワークの整備が焦眉の急となっている。現在、幹線系からメトロ系までは、ほぼ全光化が達成され、伝送容量増大への対応が整いつつあるが、アクセス系では未だ光 - 電気 - 光 (OEO) 変換を介した信号配送が一般的となっており、容量増大の阻害要因となっている。同アクセス系においてもトランスパレントな通信形態を実現すべく、そのキーコンポーネントとなる光スイッチの実用化が望まれている。光スイッチ

は機械式、液晶式、導波路式、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 方式等に大別できるが、将来的高密度波長多重通信 (Dense Wavelength Division Multiplexing DWDM) に対応するハイポート数のスイッチ・ファブリックを実現するためには、MEMS方式が適していると考えられている。MEMS技術はSiマイクロマシニングをベースとする微細加工技術の総称であり、近年、光通信、ライフサイエンス等の分野で実用的応用が広がっている。当社では2001年度よりMEMS技術による光スイッチ向けミラー・モジュールの開発を実施している。本報では、独自のSOI-MEMS技

術をベースとして得られたミラー・モジュールにつき、その製造手法、動作特性等を紹介する。

2 ミラー・モジュール素子構造

今回製作したミラー・モジュール素子構造を、図1に示す。素子自体はSi及びガラス基板を接合した2層構造となっており、厚さ150 μm 程度の上側Si層にはミラー、可動電極及びアクチュエータ用片持ち梁構造が搭載されている。一方下側ガラス層は任意の厚さを有しており、Si側構造体対向部にはSi可動電極の上下移動領域を確保するために、深さ50 μm 程度の掘り込みが設けられている。Si基板上には光ファイバ設置用溝も掘り込まれており、ミラー、アクチュエータ及び可動電極等と一体構造を形成している。こうした一体構成は後工程でのミラー/ファイバアセンブル工程を省略ないしは簡略化し、製作プロセス全体の単純化に資する。更にファイバ/ミラー間の位置決め精度をマスク精度で維持することが可能となり、アセンブル時位置決め誤差による挿入損失を低減できる。

図1では1 \times 2のスイッチ構成を示しているが、入力ファイバから挿入された伝送光は、ミラー沈み込み時には対向出力ファイバに送られ、ミラーが光路内に存在する時には、ミラー面での反射を受け、入射ファイバとは直交位置にある出力ファイバに送られる。ミラー上下移動はSi可動電極及びガラス層対向固定電極に電圧印加し、静電駆動によって実現される。可動電極はセル周辺部から伸びる2本の片持ち梁構造によって支持されている。梁構造はコンパクトなセル領域で有効長を稼ぐため、折り返し構造となっている他、鉛直方向以外のアクチュエータ剛性を高めるために、2本の片持ち梁が互いに直交する構成となっている。これによってミラー面の動きを鉛直面内に制約することができ、ビームステアリングの精度が向上する。また、可動ストロークを確保するため、可動電極面積をある程度犠牲にしなが、同電極頂部を切り落としている。静電駆動型デバイスの場合、駆動電圧低

減が課題となるが、本形態の様に対向電極間隔がアクチュエータ可動幅に対応する場合、対向電極間隔狭小化によって駆動電圧低減を図ることは難しい。そこで、本開発では、片持ち梁構造厚みを可能な限り薄肉化することによって対策とした。また薄肉梁構造を形成する手法としては、多結晶シリコンの堆積によるサーフェス・マイクロマシニングによる手法も考えられるが、同手法による多結晶シリコンは単結晶シリコンに比べて機械特性が劣る。従って、本開発では単結晶シリコンからの直接構造切出しに基づくバルク・マイクロマシニングによる製作を試みた。

3 ミラー・モジュール製造手法

深堀プラズマエッチングによるミラー及びファイバ溝を一括形成実施し、尚かつ薄肉電極及びアクチュエータ梁構造との一体化を図る必要性から、本開発ではSOI (Silicon on Insulator) ウェハ上への構造形成を行った。ウェハ構造強度を考慮し、SOIウェハ全体厚みを150 μm 程度としているが、同厚みをウェハ表面からドライエッチングで深堀した場合、電極面積差し渡しで20~30 μm 程度のエッチング深さ分布が現れ、電極及びアクチュエータ梁構造の薄肉化を阻害する。SOIウェハを用いた場合、SOI層下部に埋め込まれたSiO₂ (Buried Oxide:BOX) 層がエッチストップの役割を果たし、深堀時に現れるエッチング深さ分布を吸収、予め規定されたSOI層厚みに応じて電極及びアクチュエータ梁厚を薄肉化できる。

図2に、ミラー・モジュールの製作工程を示す。まず、SOIウェハのハンドリングSi側にミラー及びファイバ溝をパターンニングする。次に、ICP-RIE (Ion-Coupled-Plasma Reactive-Ion-Etching) によるミラー並びにファイバ溝構造形成を行う。エッチングが進行するに連れて掘り込み深さに分布が出現するが、BOX層に到達するとエッチストップが掛かり、BOX及びSOIの2層薄膜構造が残る。更にSOI層側からレジストマスクのパターンニングを行い、再度裏面からのICP-RIEエッチングによって電極及びアクチュエータ梁構造

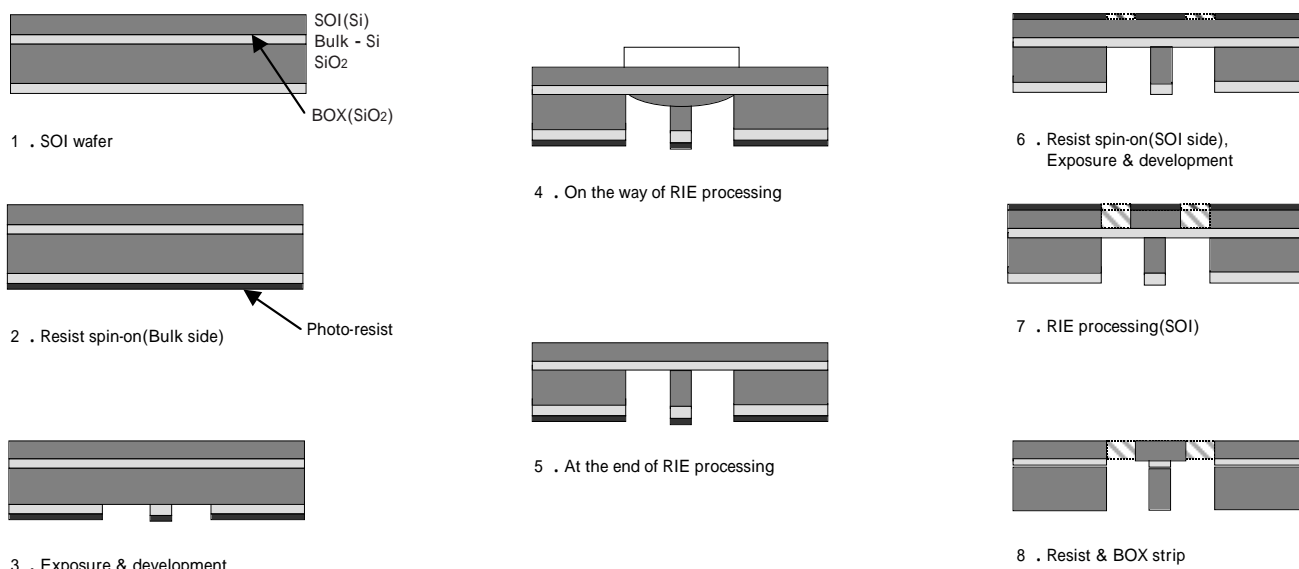


図2 ミラーモジュール製作プロセスフロー
Process flowchart for mirror module fabrication

を製作する。最後にHF中のウェット・エッチングによってBOX層を除去し、SOI層上に製作された構造体をリリースする。Si構造体は対向電極を敷設したガラスプレートと張り合わされるが、同ガラスプレート上にはHFウェットエッチングによってミラー沈み込み用のリセス及び電極パッド引き出し用の配線がなされている。リセスは $50\mu\text{m}$ 程度エッチングされており、底面にはAl蒸着による対向電極並びに電極パッドへの取出し配線が設けられている。

4 試作ミラー・モジュール

3章で述べた製作手法によるミラー・アクチュエータモジュールのSEM写真を、図3に示す。セル全体の大きさは $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ であり、ミラー高さは $150\mu\text{m}$ である。ミラー厚さは $40\mu\text{m}$ 程度となっており、電極及びアクチュエータ梁厚みは $1.5\mu\text{m}$ である。図4に、ミラー表面の拡大写真を示す。同図はミラー頂部 $50\mu\text{m}$ 程度の部分を示しているが、同領域で表面粗さを計測すると、垂直方向で概ね $R_a = 20 \sim 30\text{nm}$ 程度になっていることがわかる。ミラー表面はICP-RIEエッチングによって形成されているが、同プロセスでは所望の方向にエッチングを進めるために、 SF_6 によるSiエッチング及び C_4F_8 による側壁保護（パシベーション）を交互に行っている。このエッチング及びパシベーションの切り替え時間周期に応じて、スキヤロップ（scallop）と呼ばれる縞状パターンが発生し、これが垂直方向のミラー表面粗さを決めている。図5には、レーザ変位計によって計測したミラー動作量の経時変化を示している。駆動電圧は 30V であり、同電圧の周期変化に対応してミラー側は $10\mu\text{m}$ 程度の振幅動作を示している。

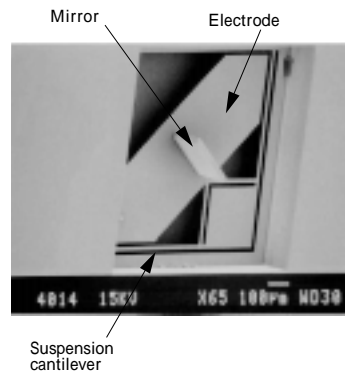
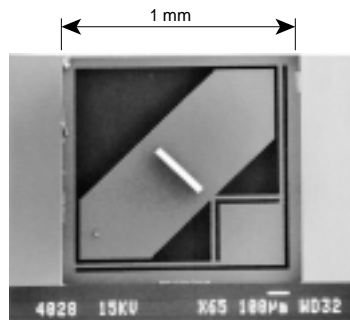


図3 ミラーモジュールのSEMイメージ
SEM image of mirror module

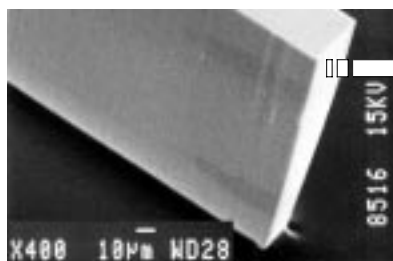


図4 ミラー表面性状計測
Measurement of mirror surface properties

5 ファイバ溝製作及びその評価結果

次に、ファイバ溝を含めたミラー・アクチュエータモジュールの製作プロセスについて説明する。ミラー製作と同一プロセスでファイバ溝も製作するならば、同溝が裏面のSOI層にまで到達してしまい、構造的に極めて脆くなってしまふ。ファイバ溝を挿入しながらSi構造体全体に一定のハンドリングが可能な程度の構造強度を付与するには、ファイバ溝深さをミラー高さとは異なる深さに製作する必要がある。このような段違い構造を実現するために、本開発では SiO_2 及びレジストの2層エッチングマスクを用いた。SOIウェハのハンドリングSi側に、まず SiO_2 マスクを用いてミラー及びファイバ溝のパターニングを行う。更にその上からレジストマスクを塗布し、ミラーより僅かに大きなパターンを残し、SOI層までの打抜きセルをパターニングする。ICP-RIEによってレジストマスクパターンをウェハ厚さの半分程度までドライエッチングする。更にレジストマスクを除去し、 SiO_2 マスク上のミラー並びにファイバ溝パターンを先行掘り込み部分が裏面SOI層に到達するまで引き続きドライエッチングする。最後に裏面のSOI層側に電極並びにアクチュエータ梁構造をパターニングし、ICP-RIEによって打抜き、HFウェット・エッチングによってBOX層を除去すれば、所望のSi構造体が完成する。

製作したファイバ溝の精度評価を行った。結果を、図6及び図7に示す。 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ の領域に 3×3 、合計9個のセルを製作しており、同セル間隣接部並びに周辺部にファイバ溝を設けている。図6は各部分でのファイバ溝幅分布を表しているが、12計測点の平均値として $129.6\mu\text{m}$ 、値として $0.207\mu\text{m}$ を示している。次に図7は各部分でのファイバ溝深

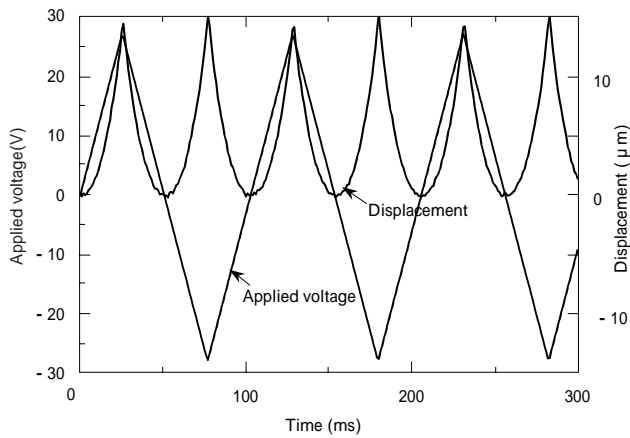


図5 ミラー動作計測
Dynamic measurement of mirror module

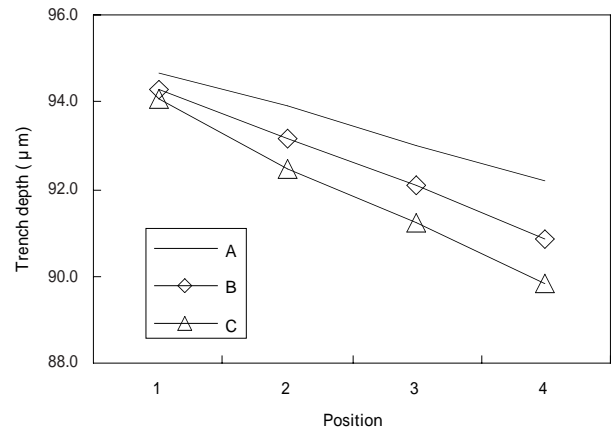


図7 ファイバ溝製作精度評価結果（溝深さ分布）
Evaluation of fabrication preciseness for fiber groove (groove depth)

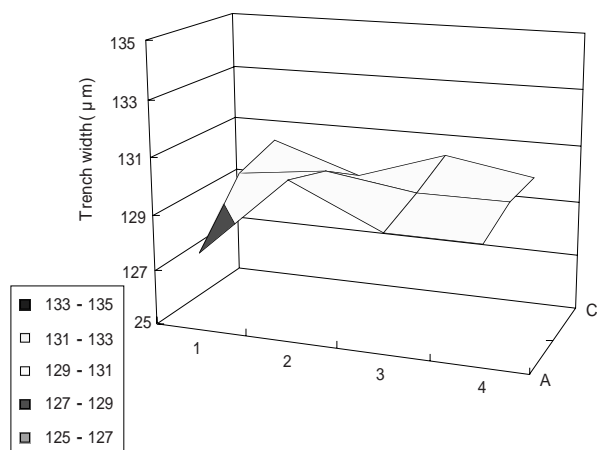


図6 ファイバ溝製作精度評価結果（溝幅分布）
Evaluation of fabrication preciseness for fiber groove (groove width)

さ分布を表しているが、90 μm 程度を掘り込んだ場合、12 計測点の 値として0.41 μmを示しており、溝深さ分布に起因するファイバ出射光の入射時位置ずれは、1 μm程度であることがわかる。

6 むすび

当社独自のSOI-MEMS技術をベースとして光スイッチへの応用を目指したミラーアクチュエータ・モジュールを試作した。

ICP-RIEエッチングによるミラー、電極並びにアクチュエータ構造、ファイバ溝等の一括製作を実施し、後工程アセンブリ等、精度劣化に繋がる工程を廃した他、SOI技術によるアクチュエータ梁の薄肉化を通じ、駆動電圧低減を実現した。結果として、30V印加電圧に対し10 μm程度のミラー動作を確認した。

ファイバ溝製作にはSiO₂並びレジストの2層マスクによる多段エッチング手法を用い、ファイバ溝深さ90 μmとした場合にファイバ芯ずれを1 μm程度に抑制可能であることを確認した。

今後更にこの精度を向上させる取組み並びに実際にファイバ光を挿入し、光学機能に関する性能評価を実施中である。

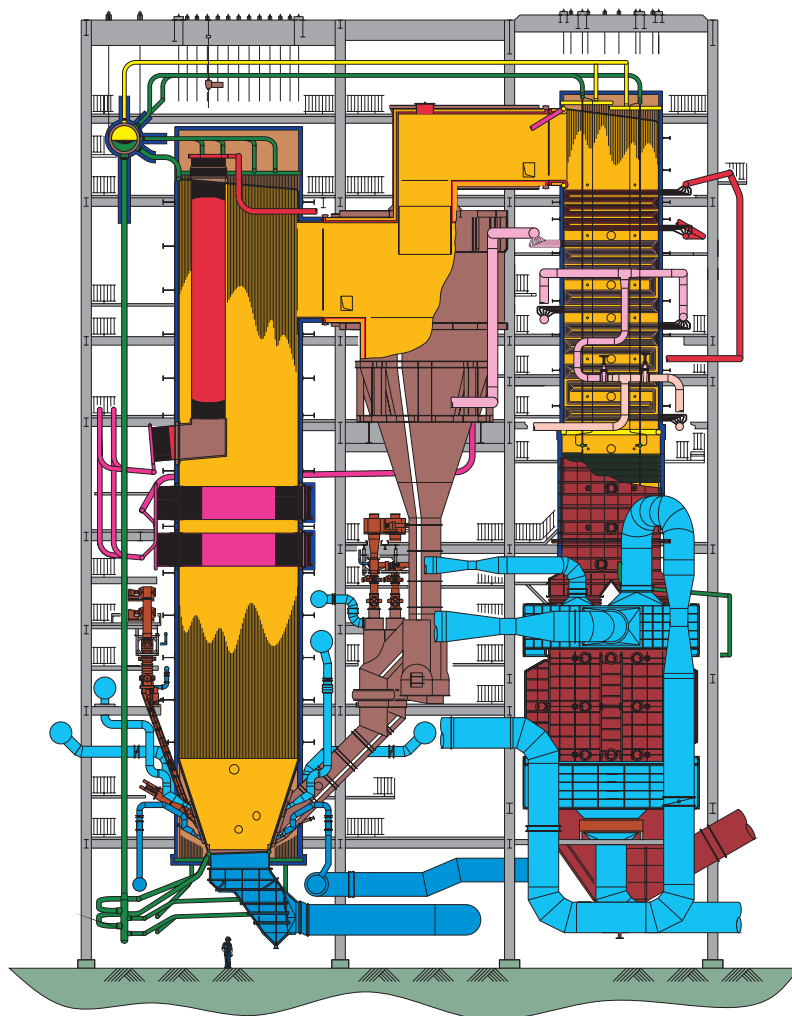
（参考文献）

- K. Hara, K. Hane, et al., Si Micro-mechanical Fiber-Optic Switch with Shape Memory Alloy Microactuator, Proc. Transducers 99, Sendai (1999), pp.790-793.
- A. Ruzzu, J. Mohr, U. Wallrabe et al., Scalable opto-electromechanical switch array with passively aligned free-space optical components, Proc. MOEMS2001, Okinawa (2001), pp.19-20.
- T. Shibata, M. Okuno, et al., Silica-based 16 x 16 optical matrix switch module with integrated driving circuits, Proc. OFC Conference 2001, Anaheim CA (2001), WR1.
- C. Marxer, M.-A. Gretillat, N.F. de Rooil et al., Vertical Mirrors Fabricated by Reactive Ion Etching for Fiber Optical Switching Applications, Proc. MEMS 97, Nagoya (1997), pp.49-54.
- M. Mita, H. Toshiyoshi, H. Fujita et al., Optical and Surface Characterization of Poly-Si Replica Mirrors for an Optical Fiber Switch, Proc. Transducers 99, Sendai (1999), pp.332-335.
- S. Blackstone and T. Brosnihan, SOI MEMS Technologies for Optical Switching, Proc. MOEMS2001, Okinawa (2001), pp.35-36.

電力卸し供給事業用循環流動層ボイラ発電設備の操業実績

Operation Results of Circulating Fluidized Bed Boiler Power Plant Utilized as Independent Power Producer

大出 賢幸 伊藤 一芳 西山 嘉典
Masayoshi OIDE Kazuyoshi ITOU Yoshinori NISHIYAMA



糸魚川発電所 ボイラ側面
Itoigawa Power Station boiler side elevation

当社は、東北電力株式会社向けの電力卸し供給事業（IPP：Independent Power Producer）用発電所である太平洋セメント株式会社糸魚川発電所に149MW石炭焚き循環流動層ボイラ発電設備を納入した。本発電所は2001年7月の営業運転開始後1年以上経つが、この間の運転を通じて電力需要に応え、非常に安定した運転を行っており、循環流動層ボイラの事業用発電設備への適用が十分可能であることが実証された。

本報では、糸魚川発電所における循環流動層ボイラの設計、発電プラント、ボイラの性能及び操業実績について述べる。

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. designed, supplied and constructed a 149MW Coal Fired Circulating Fluidized Bed (CFB) Boiler Power Plant for Taiheiyo Cement Itoigawa Power Station that has been utilized as IPP for Tohoku Electric Power Co., Inc. The plant has started in commercial operation in July 2001 and experienced for more than one (1) year with stable and reliable operation. It was confirmed that the CFB could be utilized for the utility power station through the commercial operation in Itoigawa Power Station. The plant design, plant and boiler performance, and operation results are described in this paper.

1 まえがき

「国内最大の循環流動層（CFB：Circulating Fluidized Bed）ボイラ」を使用した太平洋セメント株式会社糸魚川発電所の営業運転が開始され、2002年7月で1年が経過した。糸魚

川発電所は国内最大のCFBボイラというだけでなく、IPPとしては国内で初めて電力系統に接続して電力需要に対応した運転を行っている発電プラントでもある。

運転は通常、東北電力株式会社より光通信を介して送信される送電指令に自動追従して夜間は低負荷40%運転、昼間は

高負荷100% (DPC + AFC + GF運転) の幅広いターンダウンでのスイング運転を行い、安定した運用実績を積み上げており、CFBボイラの柔軟性と安定性を実証している。急激な負荷変動への追従性に関しては、当社で制御システムを開発し、全領域で 2 %/min以上の負荷応答性を実現することができた。

次に、糸魚川発電所における循環流動層ボイラの設計、操業運転を通して得られた発電プラント、ボイラの性能、及び操業実績について述べる。

2 糸魚川発電設備の概要

糸魚川発電所は、太平洋セメント株式会社のグループ会社である明星セメント株式会社糸魚川工場（新潟県糸魚川市）に隣接する区域に建設された電力卸し供給事業用発電所で、発電した電気は東北電力株式会社を經由して各ユーザへ供給される。発電所の計画に際しては、蒸気条件について150MW級では最高レベルを採用し、高効率発電設備として計画した。また、環境への影響に十分配慮して、セメント工場とのインダストリアルクラスタによる産業廃棄物ゼロ（ゼロエミッション）を実現したプラントとなっている。主要機器である循環流動層ボイラ設備は米国のフォスターウイラ社が、タービン発電機設備は富士電機株式会社が供給し、その他の機器の供給と発電プラント全体のエンジニアリングを当社が担当した。

表1に、発電プラントの主要諸元及び主要設備の概要を示す。本発電設備の最大の特徴はミドルロード火力（電力のピーク負荷とベース負荷の中間負荷帯を分担する発電所で、高頻度の起動停止と負荷変動が要求される）の電力卸し供給事業用発電所であることで、そのために、これまでの産業用自

表1 発電プラント主要諸元
Power plant design data

設備容量	発電端出力 149000kW 送電端出力 134000kW	
年間運転日数	365/年	
負荷運用	標準利用率 40% ミドルロード	
	負荷パターン 昼 (6~8h) 送電端出力 134000kW (100%) 夜 (18~16h) 送電端出力 53600kW (40%)	
	週末起動停止 1回/月 年間7回程度	
	最低出力 送電端出力 53600kW (40%)	
主要機器	ボイラ 形式 住友/フォスターウイラ循環流動層ボイラ 再熱水管式自然循環型 屋外式 蒸発量 475 t/h 主蒸気圧力 16.97MPaG 蒸気温度 主蒸気温度 569 再熱蒸気温度 541 通風方式 平衡通風 燃料 石炭	
	蒸気タービン 形式 1軸形反動2流排気式再熱再生復水形 出力 149000kW 蒸気圧力 主蒸気止め弁入口 16.67MPaG x 566 及び温度 再熱蒸気止め弁入口3.367MPaG x 538	
	発電機 形式 横軸回転界磁3相交流同期発電機 容量 165600kVA	
	環境設備	窒素酸化物対策 形式 低温・2段燃焼及び炉内還元による生成抑制
		硫黄酸化物対策 形式 石灰石による炉内脱硫
煤塵対策 形式 バグフィルタによる集塵		

家発電設備には無い要求事項を設計に考慮し実現した設備となっている。特に、国内最大規模（CFBボイラ容量実績の約2倍）で初めての再熱式CFBを建設、負荷運用に対する高度な要求、即ち、40~100%デイリースイング運転、WSS (Weekly Start/Stop: 週末起動・停止) 運用、40%最低負荷運転を制御システムも含めて達成している点が挙げられる。

3 住友/フォスターウイラ循環流動層(CFB)ボイラの特徴

本循環流動層ボイラは日本国内で14基（建設中の3基を含む）の実績を有しており、世界中では約200基が運転または建設中で、また、米国では300MWの事業用CFBボイラが試運転を開始している。

住友/フォスターウイラ循環流動層ボイラの特徴を、図1に示す。

多炭種及び広範囲な燃料に対する高い適合性

循環流動層ボイラはベッド材の炉内での活発な流動により反応装置として優位性があり、また、サイクロンで捕集した飛び出し粒子を循環して長い滞留時間を確保できるため、通常の燃焼装置では効率の良い燃焼が難しい燃料を使用することが可能である。従って、無煙炭や低品位炭（高灰分炭・高水分炭）だけではなくスラッジ、廃タイヤ、ゴミ、木屑及び廃プラスチックなどの廃棄物を燃料として使用することもできる。

低公害性/石灰石による炉内脱硫

循環流動層ボイラは、炉内に石灰石を供給することで燃焼により発生する硫黄酸化物(SOx)を除去することが可能である。このため、脱硫装置が不要となり、設備設置スペースの低減及びプラント建設費の低減ができる。

低公害性/低NOx燃焼

800~900の燃焼温度と2段燃焼の採用によりサーマルNOx及びフューエルNOxの発生を抑制できる。このため、触媒式脱硝装置が不要となり、設備設置スペース

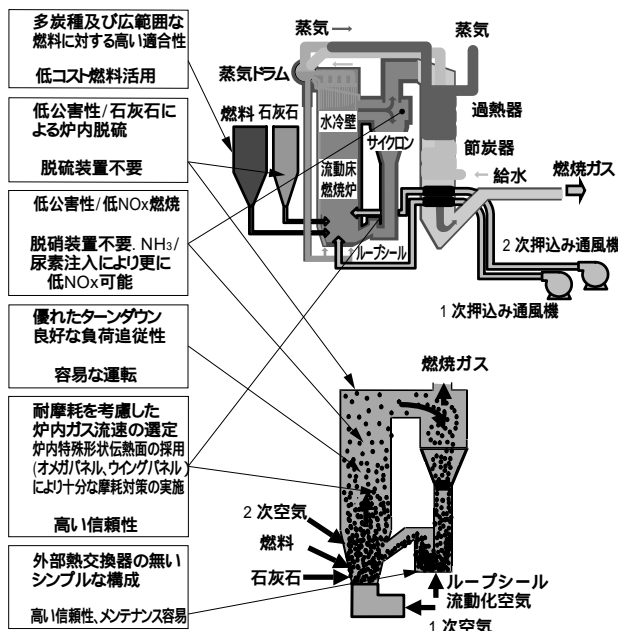


図1 住友/フォスターウイラ循環流動層(CFB)ボイラの特徴
Sumitomo/Foster Wheeler CFB boiler technology

の低減、及びプラント建設費の低減が可能となる。また、サイクロン内部の乱流域を利用し、この部分にアンモニアまたは尿素を注入することにより触媒を必要としない簡易脱硝が可能となり、低コストで低NO_x運転を行うことができる。

優れたターンダウン・良好な負荷追従性

微粉炭ボイラでは必要なミルの切替操作がCFBボイラでは不要であり、燃料と空気の増減操作だけで負荷変化を行うため非常に容易でかつ良好な負荷変化特性を有する。このため、シンプルな燃焼装置と制御システムが可能となり運転員の負荷を減らすことができる。

摩耗対策

200基に及び実績と多種多様な燃料の使用経験から摩耗対策は確立しており、信頼性の高い装置となっている。

シンプルな構造

他の循環流動層ボイラに比べて粒子循環系統がシンプルで、信頼性が高く、かつメンテナンスが容易な構造となっている。

4 発電プラントのシステム構成

糸魚川発電所のプラント全体のシステム構成を、図2に示す。発電プラントは大きく分けて、石炭受入供給設備、ボイラ起動時に用いられる重油供給設備、発生する硫黄酸化物を除去するために脱硫材として火炉内へ供給する石灰石の供給設備、本体である循環流動層ボイラ設備、燃焼により発生する灰を搬送貯蔵する灰処理設備、及びタービン発電機設備から構成される。

4.1 石炭受入供給設備

石炭ヤードに貯蔵された約50mmサイズの石炭は、2基のハンマ式破砕機で10mm程度に破砕された後、ボイラ鉄骨内に設置されている2基の石炭サージタンクに貯蔵される。タンクから切出された石炭はベルト式定量供給機で供給量を計測した後、チェーンコンベヤ、ロータリーフィーダを介して火炉内へ供給される。火炉への燃料供給口は前壁に2箇所（シュート給炭）、後壁に4箇所（ループシール給炭）の計6箇所である。

4.2 脱硫用石灰石供給設備

石灰石は25mm程度のものを破砕機で1mm以下に破砕し、石灰石タンクに貯蔵する。石灰石はタンクからロータリーバルブで切出し、空気輸送にて炉内へ供給する。供給量はSO_x排出濃度を計測して、これによりロータリーバルブの回転数を変化させて調整する。

4.3 循環流動層ボイラ設備

2基のサイクロンを有する再熱式自然循環型ボイラを採用している。燃焼用空気は、高压の1次押し込み通風機（火炉底部風箱へ供給）と低压の2次押し込み通風機（火炉側壁空気ノズルへ供給）から供給される。火炉からの燃焼ガスは、サイクロンで粒子を分離された後、後部の対流伝熱部に入る。燃焼ガスはそこで130~140℃に冷却された後バグフィルタに入り、ガス中のフライアッシュが除去され、誘引通風機を通じて煙突から排出される。

4.4 灰処理設備

バグフィルタで捕集されたフライアッシュは、空気輸送装置によりフライアッシュタンクへ搬送され貯蔵される。なお、フライアッシュの一部を火炉内へ戻して（リサイクルシステ

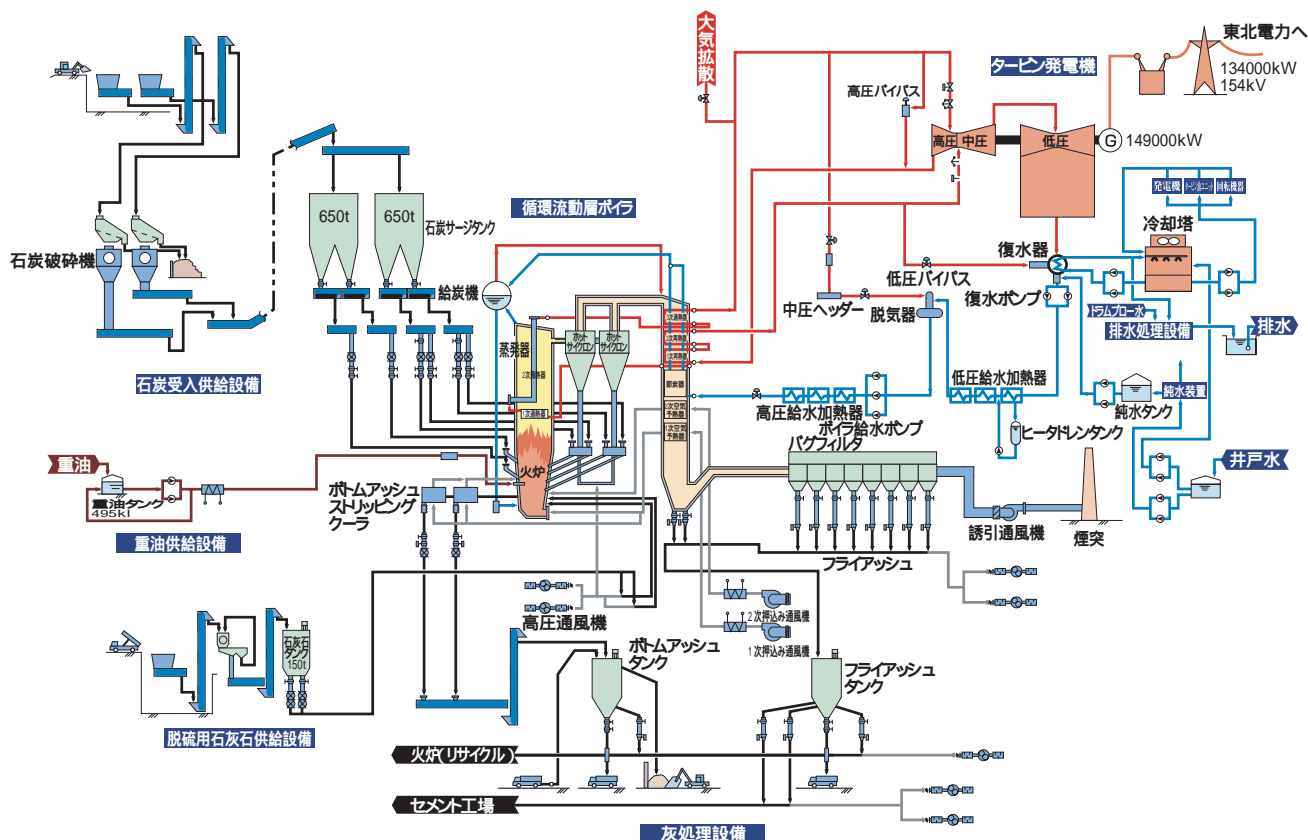


図2 糸魚川発電所 全体系統
Itoigawa Power Station plant flow

ム)、灰中の未燃カーボンを低減することで燃焼効率を向上させることができる。火炉底部から排出されるボトムアッシュは、空冷式ボトムアッシュクーラ(ストリップクーラ)で約250 まで冷却された後、機械式コンベヤでボトムアッシュタンクへ搬送され貯蔵される。

5 循環流動層ボイラ設備の概要

本ボイラはCFBとしては国内最大規模のボイラであり、また、この規模では最初の再熱式CFBボイラである。従って、海外での大型CFBの実績と国内で蓄積した経験を十分に設計へ反映することで、製品の品質および性能の向上を図った。設計炭は表2に示すように燃料比3.36の半無煙炭で、100%専焼が設計点である。石油コークスは設計炭との混焼(設計炭80%+石油コークス20%、入熱ベース)を計画のベースとした。ボイラの基本機器構成、伝熱面構成については、大型CFBボイラの実績を数多く有するフォスターウイラ社での設計例を基に1 火炉+2 サイクロンを採用し、更に本プラントでの燃料条件、蒸気条件を考慮して決定した。図3に、今回のボイラ設計計画における主な配慮点を示す。

炉内過熱器2 段構成

本ボイラは高効率発電プラントを目指し、569 とい

表2 燃料性状
Fuel data

燃 料		設計炭	石油コークス	計画炭A	計画炭B	
全水分	%	7.40	9.20	11.30	8.20	
工業分析	気乾水分	%	3.50	0.10	3.40	1.50
	灰分	%	12.70	0.10	15.20	14.30
	揮発分	%	19.20	10.49	25.60	12.40
	固定炭素	%	64.60	89.31	55.80	71.80
燃料比	-	3.36	8.51	2.18	5.79	
高位発熱量	kJ/kg	28260	35960	27670	30230	
全硫黄	%	0.20	6.20	0.30	0.40	
元素分析	炭素	%	86.87	86.99	78.29	92.84
	水素	%	4.49	3.30	5.39	4.50
	窒素	%	0.69	2.00	2.49	1.70
	酸素	%	7.71	1.50	13.46	0.49
	硫黄	%	0.24	6.21	0.37	0.47
粉碎性	H.G.I.	96	69	45	95	

う高い主蒸気温度の採用と最低負荷40%運転を常用とすることから、低負荷時の蒸気温度を可能な限り高く維持する必要があり、このために1 次過熱器と2 次過熱器を炉内に併設する設計を採用した。炉内過熱器管は、オメガ型(1 次過熱器)とウイング型(2 次過熱器)の併用とした。

蒸気バイパスによる再熱蒸気温度制御

ボイラの再熱蒸気温度制御には、ガス側制御の平行ガスダンパ方式と蒸気側制御の蒸気バイパス方式が従来使われてきたが、本ボイラではCFBとして多くの実績がある蒸気バイパス方式を採用した。蒸気バイパス方式は、ガスダンパ方式に比べて機器のメンテナンスが不要であり、設備の信頼性が向上するとともに設備の簡素化が図れる。

空気冷却式ボトムアッシュ冷却器(ストリップクーラ)

設計炭のサンプル評価を行ったところ、灰の粉化性が低く炉底部に沈降、堆積して流動阻害を引起したり、また炉内伝熱性能の低下を招く等の問題を生じることが懸念された。このため、運転中に粗粒のボトムアッシュを大量処理できるようにボトムアッシュの冷却器にはフォスターウイラ社がCFBボイラ用に開発したストリップクーラを採用した。ストリップクーラは、空気冷却式であり、冷却に使用した空気は2 次燃焼空気として炉内に戻されるため大量のボトムアッシュを処理した場合でもその顕熱が有効回収でき、ボイラ効率及びプラント効率の大幅な低下がないという利点がある。また、ストリップクーラ内は分級室と冷却室に分割されており、循環媒体として再利用できる小粒径のアッシュは分級され炉内に戻される。従って、大量のボトムアッシュ処理に伴うベッド材の過剰投棄がなくベッド維持が容易であり、また循環材の補充が不要となるなどの優れた特徴を有する。

空気加速式給炭シュート(エアスウェプトシュート)の採用

設計炭の微粉割合が高く燃料シュートへの付着が懸念されたため、これを防ぐためにフォスターウイラ社が開発したエアスウェプトシュートを採用した。この方式は、高水分炭・高灰分炭などの付着性の強い燃料用に開発されたものであり、シュート各部からアシストエアを吹き込むことによりシュート内の燃料の付着・成長を防止できる構造となっている。

分割式ループシール

ボイラ大型化に伴い特に注意すべき点として、火炉内での燃料とベッド材の良好な拡散を確保し燃焼反応、脱硫反応の均一性を得る必要がある。このため、十分な燃料供給点を配置する必要があり、今回は前壁/後壁両側燃料供給方式と分割式ループシールを採用した。

炉内伝熱管の摩耗対策

摩耗対策としては、これまでの数多くの実績を基に以下のものを採用した。a.摩耗が予想される領域(火炉下部、火炉出口、ウイングパネル下部)を耐火材で保護、b.耐火材と伝熱管の境界に耐摩耗構造を採用(キックアウト方式)、c.摩耗環境を避けた伝熱管の配置、d.耐摩耗伝熱面形状(オメガパネル)+プロテクタの採用、である。

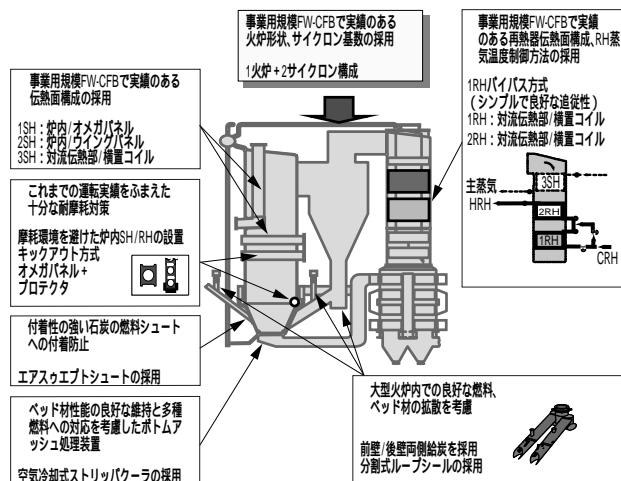


図3 糸魚川発電所CFBボイラにおける設計配慮点
Itoigawa Power Station CFB boiler design features

表3 発電プラント性能 計画と実績
Power plant performance test data

項目		計画値	実績値 (設計炭専焼時)
発電端効率%	at ECR	42.8	43.5
送電端効率%	at ECR	38.6	39.2
送電最低負荷%		40	40
負荷変化速度%/min		2	2~3
コールド起動h	点火~定格	12	12
ウォーム起動h	点火~定格	8	8
ボイラ効率%	at ECR, LHV基準	91.6	92.1
ボイラ最大負荷試験結果			
蒸発量 t/h	at MCR	475	478.7
主蒸気圧力MPaG	at MCR	16.97	16.8
主蒸気温度	at MCR	569	569.3
再熱蒸気温度	at MCR	541	542.7
火炉下部温度	at MCR	870	867
ボイラ性能			
項目		計画値	実績値 (設計炭専焼時)
主蒸気圧力MPaG	at ECR	16.97	16.8
主蒸気温度	at ECR	569	568.9
再熱蒸気温度	at ECR	541	542.3
O ₂ %	節炭器出口, at ECR	3.5	3.3
SO ₂ ppm	6%O ₂ 換算値, at ECR	90以下	59
NO _x ppm	6%O ₂ 換算値, at ECR	120以下	61
煤塵 mg/Nm ³	6%O ₂ 換算値, at ECR	30以下	5

6 プラント性能と操業実績

6.1 発電プラント性能実績

表3に、試運転時及び性能試験時に確認したプラント性能を示す。同表には計画値と設計炭専焼での実績値を示すが、いずれも計画値以上の性能を達成しており、電力卸し供給事業用発電所として十分満足の行く設備であることを確認した。起動時間についても計画値の達成を確認し、点火から定格負荷到達までコールド起動で12時間、ウォーム起動で8時間である。また、今まで循環流動層ボイラでは難しいと思われていた最低負荷運転も、一切の助燃を必要とせず石炭だけの燃焼で安定した40%負荷運転が持続可能なことを確認した。これにより、発電所として計画どおり40~100%負荷での負荷変動運転(デイリースイング運転)への対応が実現できることとなった。

また、設計炭を用いたボイラ最大負荷試験を実施した結果、計画の蒸気圧力、温度で最大連続蒸発量475t/h以上が得られ、良好なボイラ性能であることを確認した。

6.2 ボイラ性能

性能試験時のボイラ性能を、表3に示す。同表には計画値と実績値を示すが、ボイラ性能試験は設計炭専焼の場合と設計炭と石油コークスの混焼(20%混焼, 入熱ベース)の場合、それぞれに対してタービン負荷100%運転(ECR)点で実施した。石油コークスは石炭に比べ燃焼性が低く、また、表2に示すように6~7%と高い硫黄分を含むために通常の燃焼技術では対応が難しい燃料である。今回の20%混焼においても高S分にも拘らず高い脱硫効率が要求される運転であった。

蒸気条件

設計炭専焼及び石油コークス混焼いずれも定格蒸気圧力及び温度での安定した運転を確認した。本蒸気条件は

表4 負荷変化試験結果
Load following performance test data

送電負荷帯 %	負荷変化幅 MW		負荷変化速度 %/min	送電負荷偏差 MW (基準: ±4.02)
100~80	107	134	3.4	+0.4/ -0.6
	134	107	3.3	+0.4/ -0.3
80~70	94	107	2.1	+0.4/ -0.5
	107	94	2.1	+0.4/ -0.4
70~50	67	94	2.2	+0.2/ -0.6
	94	67	2.2	+0.5/ -0.2
50~40	51	67	2.0	+0.3/ -0.5
	67	51	2.0	+0.1/ -0.2

注 上記試験は設計炭専焼にて実施

表5 緊急時対応試験結果
Test data of operation for emergency

ランバック試験結果

ランバック条件	項目	ランバック前	ボイラ負荷低下完了	偏差
冷却水循環ポンプ1台停止 100% 50%	時間 min	0	10	
	負荷変化幅 MW	134	61	
	ボイラ蒸発量 t/h	440	200	
	真空度 kPa	-96	-97	+2/ -1
	主蒸気圧力 MPa	16	15.3	+0.4/ -1.3
	主蒸気温度	569	548	+5/ -11

FCB (Fast Cut Back) 試験結果

FCB条件	項目	FCB前	ボイラ負荷低下完了	系統並列	偏差
系統遮断器(52R)開放 ボイラ負荷急落	時間 min	0	5	6	
	負荷変化幅 MW	134	7	7	
	ボイラ蒸発量 t/h	440	165	125	
	主蒸気圧力 MPa	16	15.1	15.2	+0/ -2.1

注 上記試験は設計炭専焼にて実施

150MWクラスIPP発電設備としては最高レベルであり、フォスターウイラCFBボイラの中でも最も高い蒸気条件であった。

燃焼特性

設計炭専焼及び石油コークス混焼のいずれにおいてもSO_x, NO_x排出濃度は計画値に対して十分に低いレベルの達成が確認され、CFBボイラの多様な燃料に対する適合性の高さを検証することができた。

6.3 負荷変化特性

表4に、負荷変化試験の結果を示す。負荷変化試験は糸魚川発電所における実際の運用負荷パターンを想定して、40~100%負荷帯で実施した。その結果、いずれの負荷帯においても2%/min以上の良好な負荷変化特性を確認した。

6.4 緊急時対応運転試験

ランバック (Run Back) 試験

ランバック試験とは、プラントを構成する重要機器に万一故障等が発生した場合にボイラ負荷を目標負荷まで急落させてプラントの安定運転を継続させる試験である。表5に、タービン復水器冷却水循環ポンプの1台が停止した場合を想定したランバック試験結果を示す。ランバック開始によりボイラ負荷が100%から50%へ自動急落し、タービン制御が前圧制御モードへ自動切換えされ、その後、自動追従負荷低下のもとで、蒸気圧力、温度等

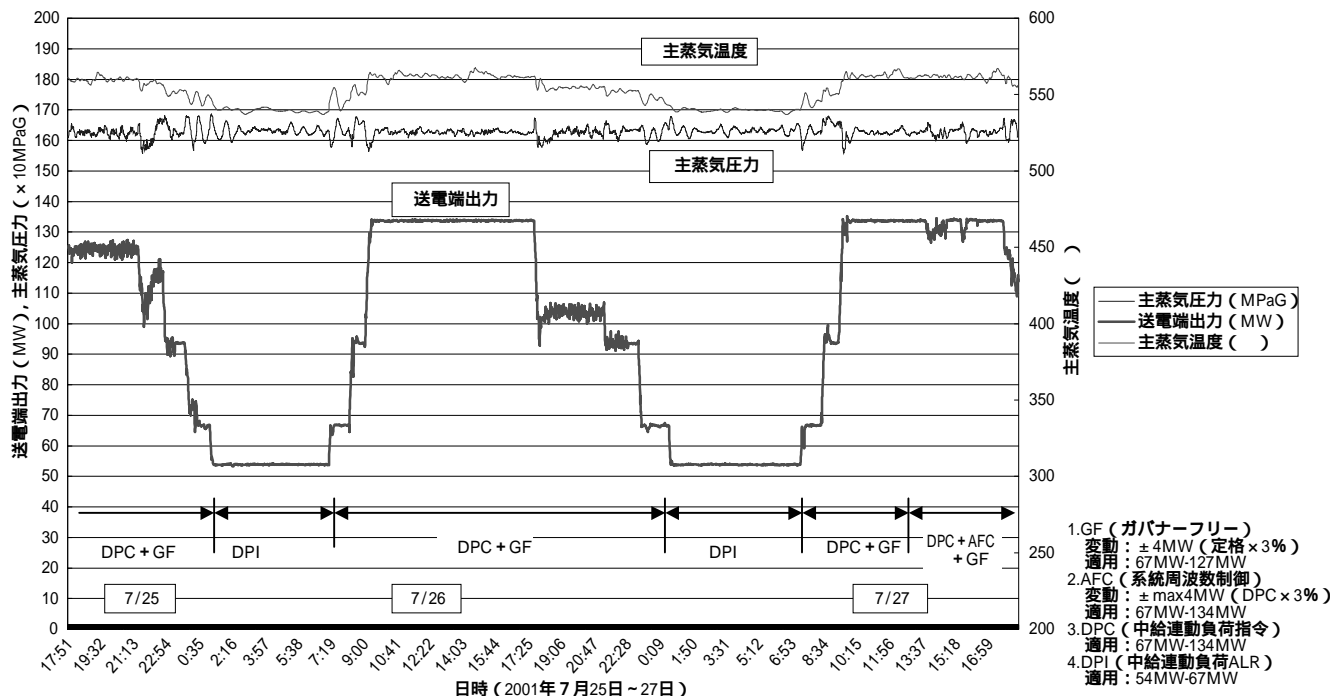


図4 系魚川発電所運転データ
Itoigawa Power Station operating data

が大きく変動することなく目標負荷50%到達を確認した。

FCB (Fast Cut Back) 試験

電力系統側に事故が発生した場合に、発電所内負荷まで出力を急落 (FCB) させて所内単独運転にすみやかに移行させる試験である。ボイラからの余剰蒸気は、タービンバイパス系統からダンピングさせて対応する。表5に示すように、100%負荷運転状態でFCBを開始し、開始後5分で負荷急落を完了した。タービン及びボイラ共良好な制御が行われ、所内単独運転への移行と運転継続を確認した。

6.5 発電所操業実績

2001年7月の商業運転開始以降、運転は当初計画の通り昼間100%負荷、夜間40%負荷のスイング運転を毎日行っており、それに加えて月1回の週末起動停止を実施している。毎日の運転実績の一例を、図4に示す。同図に示すいずれの運転モードにおいても、その間の負荷変化を含めて安定した運転が行われている。

生かして更なる経済性の向上を図りたいと考えている。

近年、地球環境保全の要求の高まりから、CO₂排出量削減のため、バイオマス (木屑)、廃棄物 (廃プラスチック、廃タイヤ、スラッジ) 等を新たな燃料として活用することが求められている。この分野においても、当社の循環流動層燃焼技術を適用すればこれらの燃料を用いた高効率発電が実現可能であると考えている。なお、フォスターウイラ社は既に欧州を中心にこれらの燃焼技術の先進的実績を多数有しており、また、日本国内においてもRDF専焼のCFBボイラが試運転を開始している。

以上の実績と今回得られた成果を基に、今後とも循環流動層ボイラを核として、市場のニーズに合致した経済性を追求し、また、地球環境の保全面からも優れた発電設備の開発、実用化を推進していく考えである。

(参考文献)

西山明雄. 日本における循環流動層ボイラの現状. 第7回FBCシンポジウム講演論文集, Dec., 2000.

7 むすび

国内初の、循環流動層ボイラを用いた電力卸し供給事業用発電所である系魚川発電所の操業実績について紹介した。

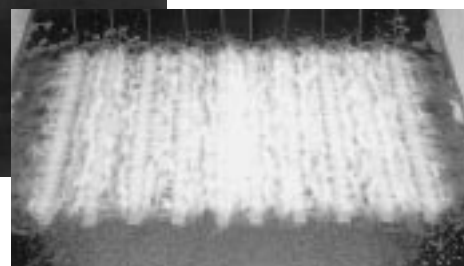
これまで循環流動層ボイラの主な適用対象であった産業用自家発電設備だけに限らず、本ボイラが事業用発電設備としても十分にその機能を発揮できることが今回実証できた。現在、電力卸し供給事業用発電所として新たに3基 (150MWクラス2基, 60MWクラス1基) のプラントを受注し設計中であるが、より高性能で信頼性の高い設備の実現を目指している。

この1年以上にわたる運転によって安定運転の確認はほぼできたと考えており、今後はCFBの燃料の多様性を

メンブレン式超微細気泡散気装置による下水処理反応槽の通気量削減

Reduction of Aeration Flow Rate in Sewage Treatment Aeration Tank with Ultrafine Air Bubble of Membrane Type Diffuser

山村健治 富田 欣 多田雅之 中尾彰夫 本藤和臣 小関正信
Kenji YAMAMURA Yasushi TOMIDA Masayuki TADA Akio NAKAO Kazuomi HONDOU Masanobu KOSEKI



メンブレン式超微細気泡散気装置『エアレボ』
Membrane type ultra-fine bubble diffuser "AEREVO"

メンブレン式超微細気泡散気装置『エアレボ』は、下水処理反応槽への通気に用いられる装置である。エアレボは微細な気泡を発生させて反応槽に供給することができ、高い酸素移動効率が得られるために通気量の大幅な削減が可能となる。水槽及び実設備で測定した結果、エアレボの酸素移動効率は、処理場で多く採用されている旋回流方式について従来の散気装置に比べて2倍近い効率を有することが分かった。また、エアレボを実設備に適用して通気量の削減効果を調べた結果、既往設備に比較して24～54%の削減効果が認められた。既存の下水処理設備の更新などで散気装置にエアレボを導入することにより電力消費量の大幅な削減が期待できる。

The membrane type diffuser "AEREVO" is for an oxygen diffusion to an aeration tank in a sewage treatment. AEREVO has the ability of generating fine air bubbles and supplying them effectively into an aeration tank. A large reduction of air flow rate will be expected by using AEREVO because of the high oxygen transfer efficiency. According to the test results in water tank and sewage treatment plant, it is proved that the oxygen transfer efficiency of AEREVO is nearly two times of conventional one for the circular flow aeration tank. Actually, AEREVO has been applied to several practical sewage plants. As a result, 24～54% of reduction of air flow rate compared with existing diffuser has been achieved. On the occasion of replace of existing facilities of sewage treatment plant, a large reduction of power consumption for aeration will be expected by applying of AEREVO instead of a conventional type diffuser.

1 まえがき

近年、二酸化炭素排出量の削減など、設備の建設や運転に当たっては、環境への負荷低減を考慮することが重要な社会的課題となっている。下水処理設備は日本の総電力消費量の

約1%を占める電力多消費型の設備であり、下水処理分野においても消費電力削減などの省エネルギーが緊急の課題となっている。なかでも生物反応槽への酸素供給（通気）のために用いられる電力は、下水処理設備全体の使用電力の約40%を占めるので、酸素供給の高効率化（通気量の削減）

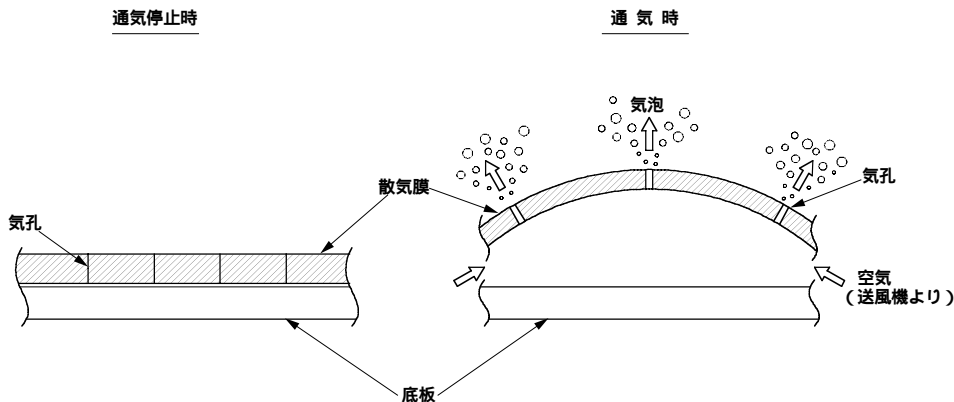


図1 エアレボの散気原理
Principle of aeration by AEREVO

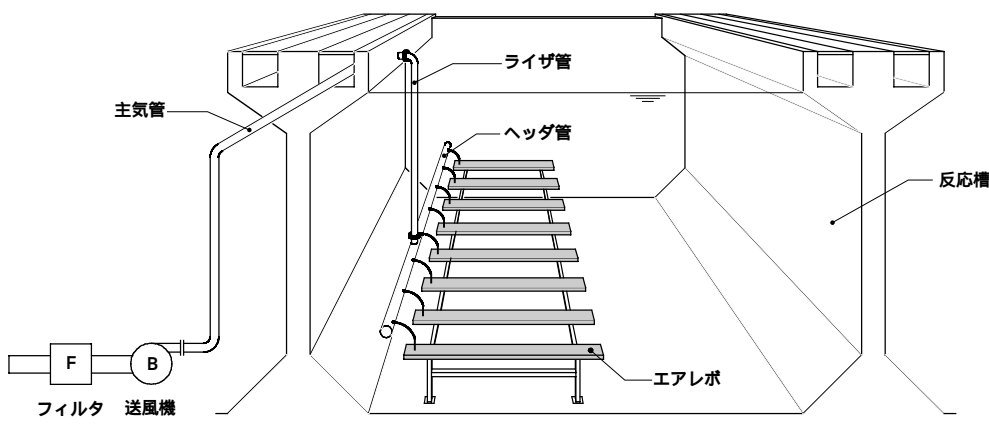


図2 散気装置全体構成例
Components of aeration system

ができれば消費電力を大幅に削減できることになる。

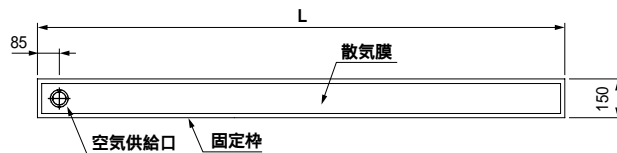
メンブレン式超微細気泡散気装置は、下水処理反応槽への酸素供給に用いられる散気装置である。微細な気泡を発生させて反応槽混合液に供給することができ、また、気泡径が小さいほど高い酸素移動効率を得られるために通気量の大幅な削減が期待できる。本報文では、メンブレン式超微細気泡散気装置（商品名：エアレボ，以下エアレボ）の酸素移動効率を明らかにし、また下水処理実設備に本散気装置を適用して通気量の削減効果を実証したので、その結果について述べる。

2 エアレボの概要

2.1 原理と特長

エアレボは、多数の特殊な細孔（気孔）を開けた特殊ポリウレタン製の散気膜をステンレス製の底板に固定枠で周囲を固定して、気密を保つようにした散気装置である。図1に示すように、散気膜と底板の間に空気を供給すると散気膜は空気圧で膨張し、気孔が開いて微細な気泡が発生する。この微細気泡は径が約1mmと小さく、単位通気量当たりの気泡の表面積（比表面積）が大きい。また、径が小さいと気泡の汚水中での滞留時間が長くなるため、反応槽混合液への高い酸素移動効率を得られる。

更に、空気の供給を止めると散気膜は水圧により底板と密着して気孔が閉じるため、混合液の逆流による膜の目詰まり



型番	L mm	散気面積 m ²	重量 kg
T2	2005	0.290	5.3
T2.5	2505	0.363	6.6
T3	3005	0.435	7.9
T3.5	3505	0.508	9.2
T4	4005	0.580	10.5

図3 エアレボ仕様
Specification of AEREVO

が生じにくいという、従来の散気装置にはない優れた特長を有する。

2.2 装置の構成

全体構成の一例を図2に示すが、本装置は送風機、送気管、散気装置から成る。送風機は従来と同型式のものが適用でき、また、フィルタも適用粒径5μm程度の標準的なものでよい。従来方式からエアレボへの改造も容易である。送気管は主気管、ライザ管、ヘッダ管で構成され、従来の構成と変わらない。エアレボは図3に示すように幅150mm、長さは2.0から4.0mまで0.5m間隔で5種類があり、反応槽の形状、

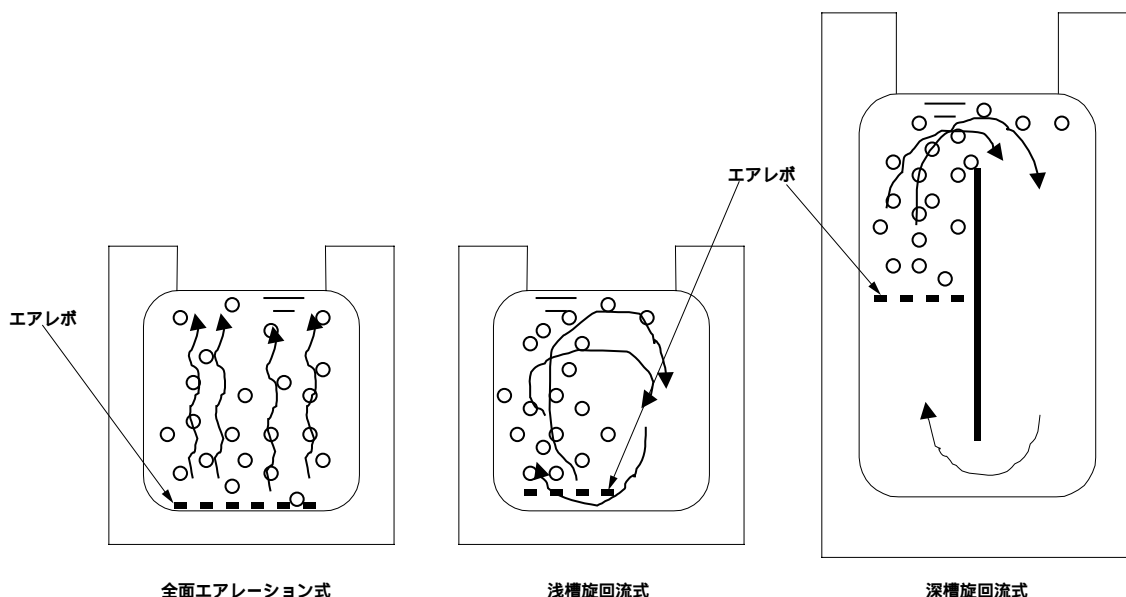


図4 散気方式
Aeration pattern

表1 エアレボの酸素移動効率
Oxygen transfer efficiency of AEREVO

散気方式	散気水深 m	発泡面積比 %	清水での酸素移動効率 ¹ %		
			エアレボ		従来型散気装置 ²
			試験結果	水深5m換算	
全面エアレーション式	5.5	10	33~38	30~35	20~32
浅槽旋回流式	4.5	10	23~28	26~31	14~16
深槽旋回流式	5.0	13	27~32	27~32	15~17

1 通気量：25~26Nm³/m²/h (設計通気量範囲)
酸素移動効率：基準条件 (20℃, DO濃度0mg/l) における効率
2 下水道施設計画・設計指針と解説 (後編, 2001年版, 日本下水道協会)

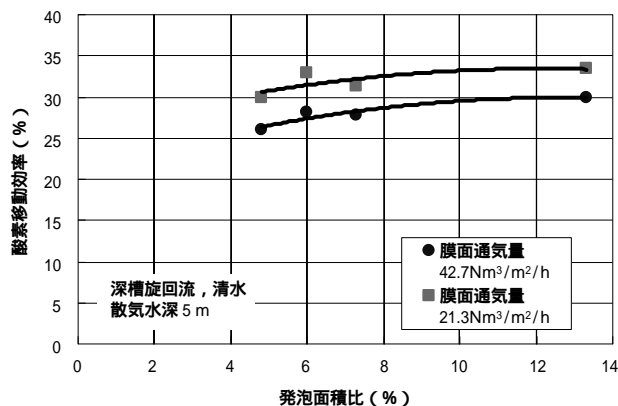


図5 発泡面積比と酸素移動効率の関係
Membrane area ratio vs oxygen transfer efficiency

ならびに散気方式の違いなど状況に応じてフレキシブルに配置することができる。

3 酸素移動効率

まず、大型試験水槽を用いて清水におけるエアレボの酸素移動効率を測定した。散気方式としては図4に示す全面エアレーション式、標準浅槽(水深5m前後)旋回流式、及び東京都などで多く採用されている深層(水深10m前後)旋回流式の3種類について検討した。このため、試験水槽は、有効水深5.5m(浅槽)及び11m(深槽)のものを用いた。酸素移動効率は総括酸素移動容量係数 K_{La} を非定常法により求め、得られた K_{La} を用いて酸素移動効率 E_A を式により計算した。

$$E_A = (K_{La(20)} \cdot C_{s(20)} \cdot V \cdot 10^{-3}) / G_s \cdot O_w \dots$$

$K_{La(20)}$: 20℃における総括酸素移動容量係数 /h
 $C_{s(20)}$: 20℃における液相の飽和溶存酸素濃度 mg/l
 V : 反応槽容積 m³

$$G_s: \text{空気流量 Nm}^3/\text{h}$$

$$\rho_a: \text{空気密度 kg/Nm}^3 (= 1.293)$$

$$O_w: \text{空気中の酸素含有重量 kg-O}_2/\text{kg-air} (= 0.233)$$

大型試験水槽を用いた清水でのエアレボの酸素移動効率の測定結果を、表1に示す。また、同表に示す発泡面積比は反応槽底部面積に対する散気膜面積の比を表す。発泡面積比は、小さい方が散気膜の使用量が少なく済みインシヤルコストを抑えることができるが、逆に、図5に示すように発泡面積比が大きい方が酸素移動効率は大きくなるので、適切な発泡面積比を設定する必要がある。水槽での酸素移動効率の測定結果に対して、式により散気水深5mに水深補正を行うと、エアレボの酸素移動効率は全面エアレーション式で30~35%、浅槽旋回流式で26~31%、深槽旋回流式では27~32%であった。

$$H = 5.42 \times (H - h) + h \dots$$

H : 想定水深Hに補正後の酸素移動効率 %

h : 試験水深hでの酸素移動効率 %

H, h : 散気水深 m

表2 エアレボ適用施設の概要と通気量削減
AEREVO application site & reduction rate of air flow

施設	計画水量 m ³ /d	処理方式	散気方式	運転期間	散気水深 m	膜面積 通気量 Nm ³ /m ² /h	発泡 面積比 %	通気倍率 ¹ m ³ /m ³		通気量 削減率 %
								既設	エアレボ	
A処理場	3500	循環脱窒法	深槽旋回流	2000.12~	4.4	57.4	11.0	5.1	3.9	24
B処理場	3500	循環脱窒法	浅槽旋回流	2000.11~2002.5	4.3	44.2	7.5	8.5	4.5	47
C処理場	5000	嫌気好気法	浅槽旋回流	2000.10~	3.9	16.1	8.5	3.8	2.5	34
D処理場	4500	嫌気好気法	浅槽旋回流	2001.10~2002.3	3.0	18.7	12.2	10.4	4.8	54
E処理場	26500	循環脱窒法	浅槽旋回流	2002.4~	4.0	15.3	8.3	4.1	2.0	51

1 通気倍率：流入汚水量に対する通気量の比率

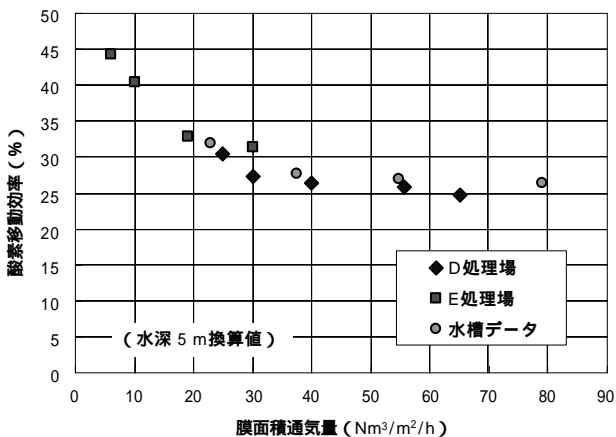


図6 膜面積通気量と酸素移動効率の関係
Air flow rate vs oxygen transfer efficiency

表1には、合わせて従来型散気装置（散気板、散気筒）の酸素移動効率を示すが、エアレボの酸素移動効率は従来型散気装置に対して、現在多用されている旋回流式では1.8~1.9倍の酸素移動効率が見られることが明らかになった。

一般に、散気装置では気泡径の小さい方が酸素移動効率は向上するが、気泡径を小さくしようとすると散気装置の圧力損失が増大して、結局、エネルギー効率が低下する。今までは、気泡径2mm程度の散気装置が気泡径縮減による散気効率改善の限界と考えられていたが、エアレボでは膜の目詰まりが起こりにくく、圧力損失の増加も低く抑えられるため気泡径を約1mmまで小さくすることが可能である。そのため、単位通気量当たりの気液の接触面積を飛躍的に大きくでき、また反応槽混合液中での気泡の滞留時間が長くなるため酸素移動効率が大幅に向上したものと考えられる。

4 下水処理実設備への適用

4.1 適用施設の概要

下水処理実設備でのエアレボの通気量削減効果を実証するため国内5ヶ所の下水処理場にエアレボを適用し、通気量の削減効果などについて調べた。

適用施設の概要及び通気量削減結果を表2にまとめた。

4.2 実設備への適用結果

4.2.1 酸素移動効率

D及びE処理場における膜面積当たりの通気量と酸素移動効率の関係を図6に示す。図6における両処理場の値は、各処理場の処理水を用いて非常法でK_{La}を測定し、清水に対する処理水のK_{La}の水質補正値（値；清水でのK_{La}値に対

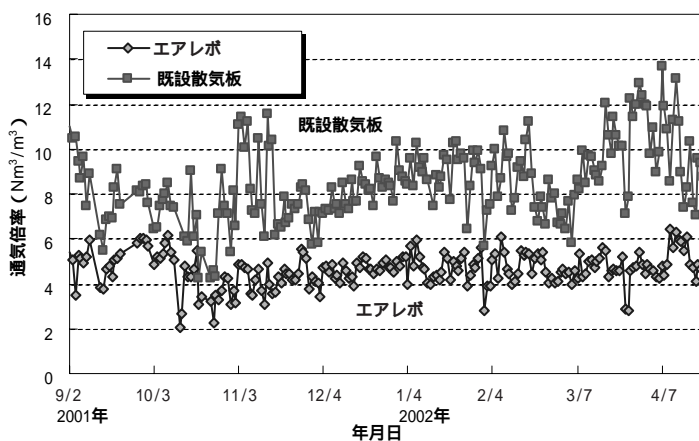


図7 エアレボと既設散気板の通気倍率の比較
Comparison of air flow rate
(AEREVO vs conventional type diffuser)

する処理水でのK_{La}値の比率)を予め求めておき、その値を用いて清水での酸素移動効率に換算して示したものである。

D、E処理場は表2に示したように、いずれも浅槽旋回流式で散気水深はそれぞれ3.0m、4.0m、また、発泡面積比は12%、8%である。一方、大型試験水槽における浅槽旋回流式、清水系でのエアレボの酸素移動効率は23~28%（散気水深4.5m）であり、これを散気水深5mに水深換算して図6に水槽（清水系）データとして示した。水槽での酸素移動効率の測定結果は実設備での結果と良く一致しており、このことから試験水槽で得られた種々の条件でのデータは、実設備設計に適用できることが分かった。

4.2.2 通気量削減効果

各処理場において、既設装置とエアレボについて通気倍率の比較を行ったところ、エアレボによる通気量の削減率は表2に示すように24~54%であった。膜面積通気量の小さい処理場で通気量の削減効果が高い傾向が見られる。このうちB処理場における従来型散気装置とエアレボの通気量の比較を、図7に示す。通気量は通気倍率（流入汚水量に対する通気量の比率）で表し、流入汚水量の変動の影響を除いている。表2に示すように、B処理場における通気量の削減効果は平均47%である。各処理場で通気量削減率にばらつきがあるのは、処理方式や設備の設計条件が各処理場により異なっており、また、処理場それぞれの事情もあって必ずしも最適な条件下でのエアレボの適用ができなかったためでもある。条件が整えば、既存設備の更新などで散気装置にエアレボを導入することにより50%以上の通気量を削減することが可能である。

4.2.3 消費動力

エアレボは従来型散気板より散気膜自体の圧力損失が少し

高く、前記の通気量削減率がそのまま散気装置の消費動力の削減率とはならないため、両者の相違について以下に検討する。

送風機の断熱空気動力 L_1 (kW) は 式で表される。

$$L_1 = \{ (Q_1 \times P_1) / 6120 \times (\dots) \} \{ (P_2 / P_1)^{\gamma} - 1 \}$$

- Q_1 : 送風機吸込空気量 m^3/min
- P_1 : 送風機吸込絶対圧力 $mmAq$
- P_2 : 送風機吐出絶対圧力 $mmAq$
- γ : 空気の比熱比 $\gamma = 1.4$

吸込絶対圧力 P_1 は、散気装置にはかわりなく送風機の吸込圧力で決まるため、通気動力は吸込空気量 Q_1 (即ち、通気量) と吐出絶対圧力 P_2 によって決まる。

いま、散気水深を5m、従来型散気板の圧力損失を350mmAq、エアレボの圧力損失を800mmAq、吸込圧力を200mmAqと仮定すると、式右辺の $\{ (P_2 / P_1)^{\gamma} - 1 \}$ は従来型散気板とエアレボでそれぞれ、0.133, 0.142であり、エアレボの従来型散気板に対する同項の比は1.07となる。従って計算上は、従来型散気板に対するエアレボの通気量 (吸込空気量 Q_1) の削減率が50%であるとする、通気動力の削減率は46.5%となり、通気量削減率に対して3.5%低い通気動力の削減効果となる。以上のことから、エアレボの通気動力削減効果に関しては、エアレボの従来型散気装置に対する通気量削減率とほぼ同等の動力削減効果が得られると考えられる。

即ち、適切な設計を行えばエアレボの導入により通気量を50%程度に削減でき、この結果、消費動力を従来の散気装置に比較して1/2程度に削減することが可能となる。

4.2.4 攪拌性能

攪拌性能は、反応槽内の流速、MLSS濃度分布により評価した。機械式曝気装置の性能基準である槽底部流速0.1m/s以上を評価基準とした。これは污泥が沈積しない最低流速である。A, C, D処理場における流速測定結果と水槽試験での測定結果を、図8に示す。

流速は反応槽内のエアレボ下部、エアレボ非設置例の複数箇所でも測定したが、図8には污泥沈積の有無を最も評価し易い反応槽底部より0.1m上の部分における流速を示した。図8より明らかなように旋回流方式では反応槽容積当たりの通気量を0.2Nm³/m³/h以上とすれば槽底部の流速を0.1m/s以上に保てることが分かった。また、反応槽底部では散気装置の下部で流速が小さく、この部分の流速が攪拌性能の評価には重要である。

またMLSS濃度の分布について調べた結果、污泥の沈積は認められなかった。エアレボを適用した反応槽では十分な攪拌性能が得られていると考えられる。

4.2.5 散気膜の圧力損失

実設備での運転における散気膜の圧力損失の経時変化について調べ、膜への目詰まりの影響について検討した。

A処理場における1年4ヶ月にわたる圧力損失の経時変化を図9に示す。図9に見られるように長期的には圧力損失は膜面積通気量 (散気膜単位面積当たりの通気量) の変化に連

	エアレボ非設置例	エアレボ下部
深槽	水槽データ A処理場	水槽データ A処理場
浅槽	D処理場 C処理場	D処理場

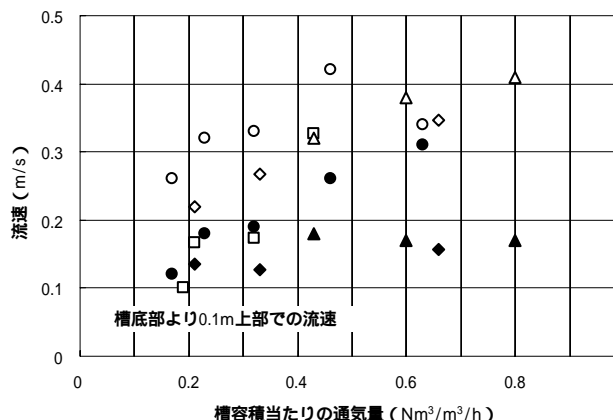


図8 反応槽底部の流速
Flow velocity at bottom of aeration tank

動して変動し、また、夏場には圧力損失が大きくなる傾向があり、季節変動のあることが分かる。また、短期的には、一時的な圧力損失の変動が生じる。この一時的な圧力損失上昇の対応策として、空気を断続的に送ることによって散気膜を収縮させて膜表面に付着したスライムなどを取り除くブローダウン操作がある。これにより圧力損失の上昇分を元に戻すことができ、短時間での圧力損失変動はブローダウン操作により平準化が可能である。図9から分かるように、A処理場では短時間での圧力損失の変動は1kPa程度の範囲内に抑えることができた。

以上のことから、エアレボは通気を停止しても反応槽混合液の逆流による散気膜の目詰まりが生じにくく、ブローダウン操作などにより一時的な圧力損失の変動を抑えることができることが分かった。

実際の運転では流入水量や水質等の変化により通気量を変化させる必要があるため、水量や水質の年間変動を考慮して圧力損失を想定し、膜面積通気量などの設計値を決める必要がある。

4.2.6 処理水水質

エアレボについては、実設備に適用して既に2年近くを経過したものもあり、安定した運転が行われている。処理水の水質については、いずれの処理場においても既存設備と同等以上の水質が得られている。

4.3 既往設備の高度処理への移行

現在、下水処理では窒素除去を目的とした高度処理への対応が急務となっている処理場が数多い。BOD除去を目的として作られた処理設備を窒素除去も可能な高度処理設備に改造しようとする場合、硝化のための空気 (酸素) 供給量を増やす必要がある。一般に、高度処理に移行しようとする場合、BOD処理のみの場合に比較して2倍程度の供給空気量が必要であるとされている。エアレボは、通気量を50%以上削減する設計は可能であり、既存の送風機能力で硝化に必要な酸素量を供給できる場合が多いと考えられる。つまり、エア

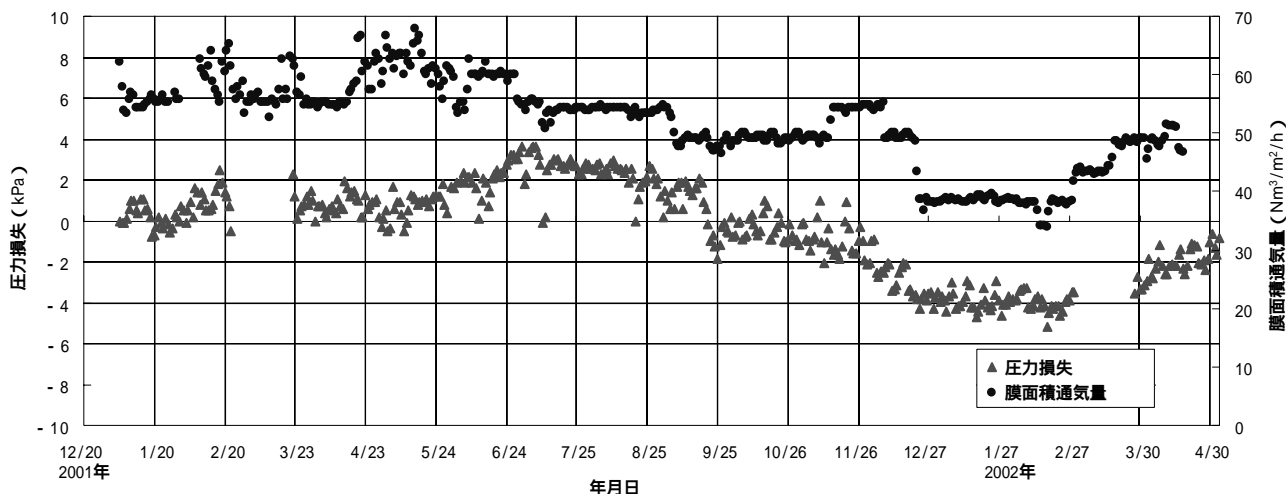


図9 圧力損失の経時変化 (A処理場)
Trend of pressure loss of AEREVO

レボを適用すれば送風機設備の増設等の余分な負担なしで高度処理に対応できる場合も多いと思われる。

5 むすび

メンブレン式超微細気泡散気装置『エアレボ』を下水処理実設備に適用して通気量の削減効果などについて調べ、以下のことを明らかにした。

エアレボの酸素移動効率、従来よく用いられている散気方式である浅槽旋回流式、深槽旋回流式において従来型散気装置に比較して1.8～1.9倍であった。また、水槽試験結果と実設備での酸素移動効率の測定結果は良く一致した。

エアレボを下水処理実設備に適用した結果、既往設備に比較して通気量を24～54%削減することができた。エアレボ導入により通気動力の大幅削減が可能である。

汚泥が沈積しないための反応槽底部流速0.1m/sを確保するための必要最低通気量は約0.2Nm³/m³/hであった。

散気膜の短時間での圧力損失の変動に対しては、プローダウン操作により平準化できる。しかし、長期的には水質や水量の変化に合わせて通気量を変える必要があり、年間の圧力損失の変動を考慮して設計を行う必要がある。

処理水質は既設の処理水質と同等であり、エアレボ導入による処理水質への影響は認められなかった。

なお、本試験結果の一部は、三機工業株式会社、株式会社荏原製作所及び日本ガイシ株式会社と共同で行った試験で得られたものであり、関係各位に感謝の意を表する。

(参考文献)

益崎敏一．超微細気泡散気装置．環境技術，vol.29，p236-239，2000．
 早野克雄，中里卓治，小松崎俊男．実施設における全面配置エアレーション設備の評価．下水道協会誌，vol.24，p52-61，1987．
 本藤和臣，真鍋教一，原 正．高効率酸素移動散気パネルについて．第37回下水道研究発表会講演集，p464-466，2000．
 財団法人下水道新技術推進機構．建設技術審査証明報告メンブレン式超微細気泡散気装置．p13，20，2002．
 下水道施設計画・設計指針と解説 後編．2001年版，日本下水道協会，p96．
 武田幸雄，鈴木信広．超微細気泡型散気装置による省エネルギー効果について．PPM，no.4，p46-58，1985．
 日本下水道事業団．設計指針（機械設備編）．p4-11，Apr.，1999．
 日本下水道事業団．機械設備・標準仕様書．p6-17，2002．
 日本下水道事業団．標準活性汚泥法設計指針（案）．p20，Jan.，1995．

ダブルアクティングタンカーの概要

First Double Acting Tanker in the World

川井 浩生

Hiroki KAWAI



図1 ダブルアクティングタンカー『TEMPERA』
Double acting tanker "TEMPERA"

当社は、フィンランドのFORTUM OIL & GAS社より、氷海航行能力を持った氷海仕様のアフラマックス型オイルタンカー2隻を受注した。本船は通常のアフラマックス型タンカーと異なり、大型の商用タンカーとして世界で初めてDAT（ダブルアクティングタンカー）方式を採用し、360度旋回可能なポッド型推進器を船尾に装備することにより、通常航海は従来通り前向きに航行し、氷海中では推進器を先頭に船尾方向に航行することで優れた氷海・操縦性能を発揮する。

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. has delivered an innovative Aframax tanker "TEMPERA" to Finnish energy group Fortum Oil and Gas Oy incorporating the following distinguished features. This vessel is the first new-building in the world to be operated in the commercial trades utilizing the Double Acting Tanker (DAT) concept developed by Kvaerner Masa-Yards in Helsinki, Finland. TEMPERA is operated by an azimuthing podded propulsion unit installed at stern of the vessel and is designed to navigate stern first in severe ice conditions utilizing bow propeller effect and to sail with bow ahead in open water and in moderate ice conditions.

1 まえがき

近年、世界の石油資源開発はより環境の厳しい地域へも進められている。冬季には厚い氷で閉ざされる海域においても数多くの石油やガスのプロジェクトが存在している。また、年間の1/3弱を氷で覆われるような地域へのエネルギーの安定供給もその重要性は増すばかりである。そしてこのような海域では、氷海航行能力が高く氷海域でも自由に航行でき、大型で経済的であり、かつ安全性を十分に考慮したタンカー

が求められるようになってきた。

一般的に氷海商船は、その氷海航行能力を高めるために氷海に適した船首形状として氷海バウを採用している。しかし、この氷海バウは氷の張った海域では素晴らしい性能を発揮するが、いったん氷の存在しない海域になると船首波を立てて走る高抵抗船となってしまう。通常のタンカーは、船首部にバルバスバウを採用することで抵抗を可能な限り抑えるよう設計されている。従って、通年で航行される一般商船において氷海バウの採用は通常海域での燃費の大幅なロスとなってしまう。

DAT (Double Acting Tanker) 方式は、氷海域と氷のない通常海域のどちらにおいても高い性能を発揮できる構想であり、360度旋回可能なポッド型推進器との結合で実現される画期的な方法である。DAT方式はフィンランドのクパナー・マサ・ヤーズ社がその概念特許を有しているが、当社との長年の協力関係から今回のDAT概念のライセンス供与が実現した。

この概念特許と当社で長年培われてきたアフラマックスタンカーの技術を融合させ、更に氷海試験水槽や大型運動性能水槽を用いて数多くの検討を行い、氷海及び非氷海のいずれの状態においても優れた性能を発揮するDAT方式のアフラマックスタンカーを開発・製造した(図1)。

2 基本計画の概要

本船は、通常のアフラマックス型タンカーと異なる次のような特徴を持っている。

2.1 DAT方式

前述のごとく、大型の商船タンカーとして世界で初めてDAT方式を採用している。DAT方式の船舶は、氷海航行時は船尾方向に、非氷海の通常航海時は船首方向に推進する。船首、船尾の船型を通常航海と氷海航行それぞれに対して最適化できること、氷海航行時は推進器を先頭にして航行する方が有利なため、従来方法に比べて優れた氷海航行性能を持つことが可能である。

2.2 高いレベルでの信頼性と安全性の確保

本船は、フィンランド及びロイド船級協会のアイス1Aスーパー級を採用している。疲労強度は実際の運航期間を遙かに超える40年を設計条件として船体強度の信頼性向上を図っている。操縦性に優れるポッド型推進器は、フィンランド近海の群島海域航行時の安全性確保にも威力を発揮する。また、航海システムや推進システムなどの各機器類はFMEA(故障時影響評価手法)を駆使して設計され十分な多重安全性(redundancy)が確保されている。

2.3 環境汚染防止対策

万一の衝突や座礁に備え燃料タンクを含めた油タンクの二重構造化、中速ディーゼル機関と電気推進方式採用によるNOx低減対策、上甲板上ビルジの船内貯留対策など、環境保護に対して十分な配慮がなされている。

2.4 荷役装置及び推進関連機器などの集中制御化

貨物油及びバラスト注排水関係のポンプ・バルブ類の遠隔制御化、発電機及び関連機器の自動あるいは遠隔制御化が徹底され、操船場所や各制御場所から集中監視制御が可能となっている。また、航海装置に関しても高度な集中制御化が図られている。

3 主要目

本船の主要目を次に示す。

垂線間長	230.0m
型幅	44.0m
型深	22.5m
夏季満載喫水(型)	15.3m

載貨重量	106000MT
総トン数(国際)	64260
貨物油タンク容積	123600m ³
主推進器	1×電動ポッド型推進器
最大出力	16MW
常用出力	15MW
乗組員	29人

4 一般配置

本船は、船首楼なしの平甲板船で船尾に機関室、居住区及び船橋を配置している。貨物区域は船底及び船側ともにダブルハル構造となっており、貨物油タンクは長さ方向に6分割、幅方向に2分割しており、一対のスロップタンクを含めて合計14タンクを有している。また、ダブルハル部分も、貨物タンク同様に分割され、バラストタンクとして使用されている。居住区は6層構造で、操舵室はDAT方式に対応し船尾方向へも視界を確保し操船可能としている。また、船橋は寒冷対策として全包围型となっている。

5 船体構造

本船はLRS ShipRight (SDA, FDA, CM)を適用し、LRS及びFinnish Maritime Administration (FMA)のアイス1Aスーパー級耐氷構造を取得している。貨物油タンクは船体中心線に縦通隔壁を有する二重船殻構造となっており、全体強度上、ローカル強度上ともに十分な構造強度を有している。通常の氷海船と同様に船首部や船体中央船側部のアイスベルトゾーンにはアイス荷重に耐えるための補強が施され、加えて船尾部についても通常船舶の船首部に相当する補強を行っている。また、疲労強度は実際の運航期間を遙かに超える40年を設計条件として船体強度の信頼性向上を図っている。

6 船体艙装

6.1 一般艙装

6.1.1 甲板機械及び諸装置

甲板機械は電動方式を採用し、機側及び船側においても操作可能であるようリモコンスタンドを装備している。

各甲板機の要目を次に示す。

船首部		
揚錨・係船機	429/196kN × 9 / 15m/min.	2台
中央部		
係船機	196kN × 15m/min.	3台
船尾部		
係船機	196kN × 15m/min.	3台

6.2 荷役設備

6.2.1 貨物油・バラスト管装置

貨物ポンプ室には、以下の電動式ポンプを装備している。

貨物油ポンプ	3500m ³ /h × 130 m L.C.	3台
浚油ポンプ	300m ³ /h × 130 m L.C.	1台
バラストポンプ	2500m ³ /h × 35 m T.H	1台
	3000m ³ /h × 70 m T.H.	1台

貨物油配管は3系統で、3の貨物油を同時に積荷、揚荷することが可能で、各系統は異種油の混合を生じさせない様に二重弁で隔離している。各貨物油ポンプにはセルフストリッピングシステムを設備し、揚荷に引き続いて残油のストリッピングがスムーズに移行できる。

バラスト配管はリングメイン方式であり、メンテナンスを考慮し、GRP製のパイプを採用している。

6.2.2 貨物ベーパー放出制御システム

USCG規則(46CFR第1章パート39)に適合するベーパーエミッションコントロールシステム(VECS)を設け、貨物油タンク通気管を利用して貨物油積荷作業で発生するベーパーを陸上基地に返送するための還流管を装備している。

6.2.3 遠隔荷役監視装置/制御装置

貨物油管系及びバラスト管系ともに、タンク内の弁、ポンプ内の弁で荷役中切り換えを必要とする弁については、すべて荷役制御室から遠隔制御ができるようになっている。

遠隔監視装置として、貨物油ポンプの運転状態、弁の開閉表示は勿論のこと、レーダ式液面計による貨物油タンクの液面表示、船体喫水表示等、荷役に必要な情報はすべて表示されるようになっている。

6.3 居住区配置

居住区は6層からなり、DAT方式での船尾航行に備え操舵室では船尾方向視界確保のための工夫がなされており、操舵設備についても船尾側へ二重装備している。乗組員の居室は全てプライベートトイレ付きの一人部屋であり、共有のサウナ室を2室装備するなど、厳しい冬の環境化でも快適な船上生活ができるよう十分な配慮がなされている。

また、船橋は全包围型を採用し、操舵室の主要な窓には熱線入りガラスを採用、居室や各部の防熱材を増厚、居室にはエアコン設備とは別途に小型電気ヒーターを各々装備するなど、各所に渡り寒冷対策を施している(図2、図3、図4)。

6.4 塗装・防食

本船は氷海域を航行することから、船体外板の船底部及び船側の没水部に氷海域用の特殊なノンソルベント型塗料を塗布している。氷海用塗料には堅固かつ剥離しにくい塗膜を形成する特性と、氷と船体との間の摩擦低減が求められるためである。

貨物油タンクは腐食環境の厳しいタンク底部及び頂部にピュアエポキシ塗料を2回塗りとし、バラストタンクは変性エポキシ塗料を3回塗装し、更にバックアップアノードを設置して万全な配慮を加えている。



図2 上甲板と居住区
Upperdeck and accommodation



図4 クラブルーム
Club room



図3 船長公室
Captain's day room



図5 電動ポッド型推進器
Azimuthing podded propulsion unit

7 機関/電気機装・制御部

本船は中速の主発電機関4基から構成され、その発電機から得られる電力により電動ポッド型推進器1基を駆動するディーゼル電気推進船である。この他、電動貨物油ポンプ、バラストポンプ及びバウスラストへ供給される。氷海域航行に備え、冷却海水取入口が氷で閉塞されないようアイスシーチェストを装備している。

7.1 電動ポッド型推進器

電動ポッド型推進器(図5)は、推進器駆動モータを内蔵するポッドとプロペラから構成され、ストラットにより船体船尾に取付けられている。推進器駆動モータの固定子巻線は二重化構造となっており、片方の巻線事故による運行停止を回避することが可能である。

通常の船舶のようにエンジン、シャフト、プロペラ及び舵という構成ではなく、プロペラとモータが一体化し、舵はなく、ポッドとストラットは一体で旋回し舵の機能を果たす。電気推進方式は、通常のディーゼル主機直結の推進方式と異なり、氷海航行時にたとえプロペラ回転が停止しても定格のトルクをプロペラに与えることができるメリットがある。本船は、特に船速ゼロでの推力(ボラードプル)時のトルクを重視した電動機の計画を行った。更にプロペラ材質はステンレスを採用、耐氷性能を向上させている。

7.2 機関部主要目

本船の機関部主要機器を次に示す。

主ディーゼル発電機	2 × 6000kW + 2 × 4000kW
補助ディーゼル発電機	1 × 1700kW
主推進器	1 × 16000kW (電動ポッド型推進器), FPP
補助ボイラ	2 × 12.5t/h
排ガスエコノマイザ	2 × 1.05t/h + 2 × 0.7t/h
バウスラスト	2 × 1750kW, CPP
イナートガス発生装置	1 × 16800m ³ /h

7.3 電源装置

本船は、主電源装置として計4台の主発電機を搭載しており、高圧(6600V)、低圧(440V/230V)の各々の主母線を分割することにより電源設備の完全二重化をはかり、システ

ムの安全性を向上させている。

7.4 IBS (Integrated bridge system)

航海士の一人当直を可能とした集中船橋設備(IFS)を装備し運航時の安全性及び作業性の向上をはかっている(図6)。

7.5 IAMCS (Integrated alarm, monitoring and control system)

貨物油及びバラスト注排水関係のポンプ・バルブ類、発電機、関連機器の遠隔制御を徹底し、高度集中監視制御システム(IAMCS)として行っている。

8 むすび

世界初のDAT方式による大型氷海タンカーを紹介した。

40年疲労強度を設計条件とした船体強度の信頼性向上やFMEAによる多重安全性設計など、高いレベルでの信頼性と安全性を確保している。

油タンクの二重化、電気推進方式採用によるNOx低減対策などの環境汚染防止対策を十分に施している。

ポンプ・バルブ類の遠隔制御化、航海装置の集中制御化など、高度な集中制御化が図られている。

本船は、バルト海及び北海航路の通年サービスへの投入が予定されている。2003年の冬には本船がその氷海性能をいかに発揮し、氷海商船の歴史に新たな1ページを刻むことであろう。本船の安全な航海と大いなる活躍を期待したい。



図6 操舵室
Wheel house

世界最大の冷凍貨物/自動車運搬船『SUNBELT SPIRIT』

World's Largest Reefer/Car-carrier " M/V SUNBELT SPIRIT "

舩谷明彦

Akihiko MASUTANI



図1 処女航海に向けて横須賀製造所を離岸する『SUNBELT SPIRIT』
SUNBELT SPIRIT leaving Yokosuka Yard for her maiden voyage

当社は、特徴ある船種である冷凍貨物/自動車運搬船(RCC: Reefer/Car-Carrier)『SUNBELT SPIRIT』を設計/建造し、2002年3月に船主であるGreat American Lines Inc.に引渡した。

この冷凍貨物/自動車運搬船(RCC)という船種は、従来の自動車専用船が持っていた経済的な無駄を、冷凍船機能の付加によって解消する事を目的に開発されたものである。即ち、ある航路の往航で自動車をまた復航で冷蔵荷物を輸送することによって双方向貿易を可能とし、利益を生まないバラスト航海を排除することを意図したものである。

『SUNBELT SPIRIT』は、冷凍貨物/自動車運搬船(RCC)として最大かつ最高速のものであり、北太平洋航路に投入されてその能力を遺憾無く発揮している。

本報では、本船の基本計画上の特徴について報告する。

Sumitomo Heavy Industries, Ltd. designed, constructed and delivered a reefer /car carrier (RCC) SUNBELT SPIRIT, a very unique ocean carrier, to Great American Lines, Inc., in March, 2002. The RCC was developed to compensate the economical handicap of ordinary pure car carrier (PCC) by adding the function of reefer vessel and earning the revenue from reefer cargoes. Namely, non-profitable ballast voyage can be eliminated by "Two-Way Trade", which transports both automotive and refrigerated cargoes in opposite directions on the same vessel. SUNBELT SPIRIT is the world's largest and fastest vessel of this type. She entered in the North Pacific service of the owner and has been displaying her unique performance. This report shows her characteristics in respect of initial design.

1 まえがき

この数十年における貨物輸送船の進化は、主として輸送される貨物の性状に合わせた専用船化及び大型化による効率の追求によるところが大きかった。自動車輸送船もこの例にもれず、1950年代の自動車/撒積貨物兼用船から、1970年前後に出現した自動車専用船(PCC: Pure Car Carrier)へと進化を遂げ、更には可動甲板の採用によって大型トラックや重車輛の積載を可能にしたPCTC(Pure Car/Truck Carrier)を生むに至っている。

この自動車専用船の建造と運航は、1980年代にそのピークに達した日本の自動車輸出を下支えし、かなりの成果を収めたといえる。しかしながら一方でこの自動車輸送船の専用船

化は、日本への復航時に輸送可能な貨物が限られてしまい、経済的に見た場合にはある種の無駄を含んでいた。最初の自動車専用船の成立には、その片道輸送による経済的不利を補うための纏まった量のカーゴロットが必要であった。

この経済的な無駄を排除する解の一つが、冷凍貨物/自動車運搬船(RCC: Reefer/Car-Carrier)である。例えば、北米航路に投入した場合、復航時に柑橘類等(代表的な例ではフロリダ産のグレープフルーツ)の輸送を行う「双方向貿易」が可能となり、経済的に無駄の無い運航が可能である。

当社では、この特徴ある船種であるRCC 1隻を米国の船主であるGreat American Lines, Inc.から2000年5月に受注し、約2年を掛けた設計・建造を経て2002年3月に引き渡した。本船『SUNBELT SPIRIT』(図1)は、約6200台分の

自動車積台数と約9600m²分の冷蔵艙床面積を有し、通常の自動車運搬専用船と比較しても、また冷凍専用船と比較しても、世界最大級の積高を誇る。もちろんRCCとしては世界最大である。また速力についても、この種の船としては最高速の部類に入る21ノットを達成し、自動車/冷凍貨物の高速/大量輸送を可能としている。

本報では、本船の基本計画上の特徴について報告する。

2 基本計画概要

前述のように本船には、自動車輸送船としての機能と冷凍/冷蔵貨物輸送船として機能が付与されているが、一方の機能が他方の機能に悪影響を及ぼさないように細心の注意が払われている。例えば配置計画においては、冷蔵艙のエアークラススペースや冷蔵貨物荷役装置が自動車走行/旋回の妨げとならないように工夫して配置されている。

実際の基本計画作業は、冷凍艙面積の占める割合が全船艙(自動車艙)面積の2割弱程である事から、最新の自動車専用船(PCC)に冷凍/冷蔵機能を追加する手法が取られたが、これは結果的に冷凍艙内の障害物を減らして荷役を容易にする効果を生んでいる。ちなみに本船の外観は、上記の理由により通常のPCCと全く見分けがつかないものとなっている。

2.1 主要目

本船の主要目は、「高速/大量輸送能力の確保」と「港湾での荷役時間の短縮」を達成するため、以下の具体的な性能目標値を基に計画されている。

輸送能力

自動車積台数 約6200台 (Corona RT43換算)

冷蔵艙床面積 約9600m²

航海速力 21knots

荷役性能

各自動車甲板に2条の自動車走行路を確保

冷蔵貨物用の高速トローリーホイストを4基装備

またこれら要求性能とは別に、港湾条件/安全性の観点から以下の制約条件を満足させる事が必要で、両者をバランスさせて要目/配置を確定させるまでには、数種類の試案を作成し検討を重ねることが必要であった。

制約条件

パナマ運河を通行可能な船幅

冷蔵貨物(果物)積出し港における最大許容船長

十分な復原性の確保(荒天時及び損傷時)

上記の検討の結果、以下に示す主要目が選ばれ、設計展開が進められた。喫水については、高速力発揮のために大直径の推進器を没水させる必要があることから、船体肥大度を意識的に抑えて通常より喫水を大きめに設定してある。また荷役時の静的復原性確保のため、船底傾斜を大きく取って浮心位置の上昇を図っている。

全 長 212.08m

型 幅 32.26m

型 深 33.95m

喫 水 9.80m

載貨重量 17950t

総 噸 数 60587 (国際)

主 機 1 set × DU-Sulzer, 8RTA62U

主機出力 17760kW (最大) / 15980kW (常用)

速 力 21.0knots

発 電 機 3 × ディーゼル発電機

2.2 全体配置

全体配置については、最新の自動車専用船(PCC)のものを踏襲している。約6200台の自動車積載のために必要な甲板面積は約54000m²に及び、甲板総数は13層に達する。これら13層の甲板のうち9層は、近年の輸出車の多くを占めるSUV (Sports Utility Vehicle) の積載に対応して、2.1m以上の甲板高さが確保されている。

自動車艙面積のうち2割弱が冷凍/冷蔵艙として使用可能であり、8個の区画に分割され、それぞれが独立して防熱が施されている。この冷凍/冷蔵艙は、想定された冷蔵貨物荷役の主要港湾の岸壁高さと同様高さとなる甲板に集中的に配置されており、貨物の受け渡し容易かつ短時間に行えるように配慮されている。

3 荷役装置

3.1 自動車荷役装置 (Roll-On / Roll-Off 装置)

自動車荷役設備として、船内の13層の自動車甲板には各2条のランプウェイ(走行路)が設けられており、その内の1条は直線状に配置されている。この直線状ランプウェイは、ジャンピングランプ(2層の甲板を貫通するランプウェイ)を多用している事と、車が乗込み口から最上層の甲板まで1回のみ折り返しして到達が可能な事から、カバーする層数の割には総行程が短く抑えられている。本船の自動車艙は、船体没水部がファインな形状である事から船体上部に偏って分布しているため、この船体上部へ通じる直線状ランプは荷役時間の短縮に寄与している。

岸壁からの車の乗り入れ装置としては、ショアランプ(開閉式の棧橋状の装置)を右舷船尾部と同中央部に各1基設けている。特に船尾のスターンショアランプ(図2)は全長30mの大型のものを採用しており、走行面の緩やかな勾配と曲率が確保されているため、自動車がある程度速度で船内に乗り入れても自動車底面と走行面の接触事故が起こり難いものとなっている。



図2 スターンショアランプ
Stern shore ramp



図3 サイドドアと冷蔵パレットカーゴ(グレープフルーツ)
Side doors and palletized refrigerated cargoes (grapefruit)
(Picture courtesy of Canaveral Port Authority)

また自動車走行に関係する配置上の配慮として、機関ケーシングを右舷側に寄せて配置している事が挙げられるが、これは自動車乗り入れ時に運転手に次の経路目標である船内ランプウェイが視認されやすくなる効果を狙ったものである。そのほか、作業性/安全性の向上を狙って、自動車倉内の塗装は白色系のもので統一されている。

これらの配慮の結果、豊橋での最初の荷役において全甲板への自動車搭載に所要する時間は、固縛作業の時間を含めてたったの十数時間(1日)であった。

3.2 冷凍/冷蔵貨物荷役装置 (Lift-On / Lift-Off 装置)

冷凍/冷蔵貨物の荷役設備としては、高速トロリーホイストを4基設けており、それぞれが理論荷役周期約1分で連続的に荷役可能である。このトロリーホイスト用に舷側に設けられたサイドドア(図3)は、ヒンジ跳ね上げ式で2個のパネルからなり先端側のパネルを下に折って雨避けの庇代わりとして使用できるため、高温多雨地帯での荷役では特に有用である。

そのほか、本船-岸壁間でのフォークリフトによる貨物の受け渡しを簡単に行えるようにするため、着脱可能なプラットフォームを3基装備しており、これも荷役時間の短縮に寄与している。なお、倉内での冷凍/冷蔵貨物の分配は、本船に搭載された電動フォークリフトによって行われる。

3.3 船体傾斜自動制御装置

荷役時の貨物の偏在によって生じる船体横傾斜を自動的に補正するため、電気式傾度計とバラスト配管系を利用した傾斜制御装置を装備しており、安全な荷役が可能である。この装置は、使い方によっては船体を或る一定の角度で傾斜させて保持する事も可能であり、船体を岸壁側に傾斜させて岸壁と荷約口の距離を縮めるといった目的でも使用可能である。

4 冷凍/防熱装置

4.1 冷凍装置

冷凍装置は直接膨張式を採用しており、4基の圧縮機(図4)、1基の凝縮機及び各冷凍倉に設置されたエアクーラ等で構成されている。冷媒には、オゾン破壊係数(ODP)=0のHFC冷媒であるR404Aを採用している。



図4 冷凍圧縮機
Refrigerating compressor



図5 冷凍倉内部とパレットカーゴ
Refrigerated cargo hold and palletized cargoes

本装置は、-25(冷凍魚肉)から+13(バナナ)の温度に対応しており、温度は ± 0.15 の範囲内に保持する事が可能である。

4.2 防熱装置

8区画の冷凍倉は、それぞれがグラスウールと発泡ポリウレタンによって防熱され、防熱表面はアルミニウム材仕上としている。防熱のうち甲板裏ガーダ(突出部)の周りには、エアクーラ側に還流する冷気の抵抗とならないように整形されているが、これは新しい試みである。

この冷凍倉の閉鎖装置の全てには、雰囲気制御装置使用時に投入される窒素の漏洩を防ぐためシール材が設けられている。

4.3 グレーティング(床材)

グレーティング(床材)には合板が用いられており、冷凍貨物パレットの一樣荷重とフォークリフトの軸重に耐えられるだけの厚さとしている。グレーティング表面は自動車走行時の滑り止めとしてシリコンチップが塗布され、更に車が旋回するランプウェイの周囲にはノンスリップテープを施行している。また、グレーティングには自動車固縛用金物が格子状に埋め込まれているが、これによって自動車固縛時にグレーティングの孔を使用しないで済むので、グレーティングの損傷防止と耐久性向上に寄与している。

グレーティング表面には白色系の塗料が使用されており、

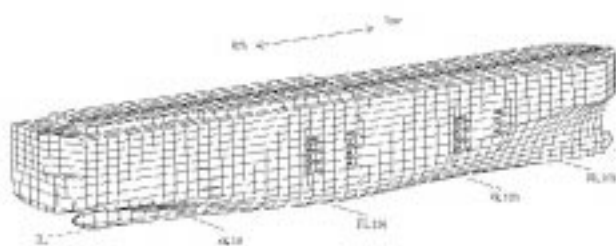


図6 熱応力解析モデル
Model for thermal stress analysis

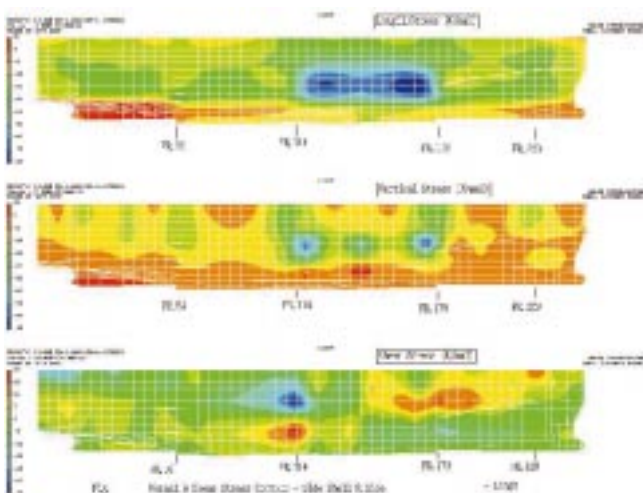


図7 熱応力解析例
Result of thermal stress analysis

防熱材表面のアルミニウム材の効果とあいまって、艙内(図5)は明るい衛生的な質感を持つ仕上がりとなっている。この明るい環境は、作業性の向上にも寄与している。

5 船体構造

船体構造については、最新の自動車運搬船の構造様式を踏襲しており、荷役時の貨物損傷の防止や不積みスペースの排除を狙って1本ピラー方式が採用されている。ピラー間隔は12m程度が確保されており、自動車の取り回しには十分な量となっている。

本船の8区画の冷凍/冷蔵艙は、異なった温度設定での使用が可能のため、船体の各部に温度差による熱応力が発生する。このため熱応力の解析(図6, 図7)を行いその結果に基づいて、応力集中箇所には適宜補強/増厚を実施している。冷凍艙では構造材が防熱下に隠れてしまうため損傷が発見され難く、またポリウレタンは可燃性で溶接での修理作業が困難なため、この損傷防止のため措置は非常に重要である。

6 推進プラント

21ノットという高速を達成するために、最大17760kW(常用15980kW)というこの種の船としては大出力のスルザー型低速ディーゼル機関1基が搭載されている。

推進器には独自に開発した特殊な断面のプロペラ(図8)が採用されており、単位面積当たりの推力を増加させながら



図8 プロペラ
Propeller

キャビテーションを抑え、振動を低減する事に成功している。この新断面プロペラは、自動車運搬船のように喫水が小さくプロペラ直径が制限される船において、所要の推進性能と振動抑制を同時に達成するためには特に有効である。

7 環境保護への取り組み

貨物用冷凍機だけでなく、居住区用空調装置及び糧食冷凍機にもオゾン破壊係数の小さい新冷媒が採用されている。また、ソーラパネルを使ったバッテリー充電装置、錫を含まない船底防汚塗料等も使用され、環境へ配慮された船に仕上がっている。

8 むすび

以下の特徴をもつ冷凍貨物/自動車運搬船を開発した。

自動車/冷凍貨物の大量/高速輸送が可能である。

(この種の船としては世界最大)

港湾での短時間での荷役が可能である。

本船は2002年3月の引渡直後の処女航海では、往航では豊橋から自動車を、また復航ではフロリダ州カナベラルからグレープフルーツを輸送し、その持てる能力を遺憾無く発揮した。その後も引き続き北米航路に就航し、順調に航海を重ねている。

最後に本船の計画、設計及び建造に当たり、多大なる指導と協力を頂いたGreat American Lines, Inc.社、日本海事協会、並びに関係各位に深く感謝の意を表する。

橋梁保全技術の開発

Development of Bridge Maintenance Technologies

荒居 祐基

Masaki ARAI

鈴木 隆久

Takahisa SUZUKI

池田 茂

Shigeru IKEDA

諸隈 成幸

Shigeyuki MOROKUMA



図1 桁下診断システム
Under-deck inspection system

社会資本の維持管理への関心の高まりからニーズが増している橋梁保全について、当社が開発し又は高度な施工能力を有する次の新しい橋梁保全技術を紹介する。

目視に代わるデジタル画像を活用した簡易桁下診断システム

実績の少ない鋼橋に適用する外ケーブル補強工法に関して、設計法の提案と各種実験による検証

支取替えを含む桁連続化工法における高精度な反力管理、短時間一括ジャッキアップなどの綿密な施工管理

従来技術で取替え困難であったコンクリート接触部の高力ボルト取替え工法

Recently, People are concerned with maintenance management of infrastructure. This report shows following some maintenance technologies of bridges which we developed and had high execution technique.

- (1) New under-deck inspection system using digitized image processing instead of visual inspection.
- (2) Investigation of design method for steel girder rehabilitation with outer cables.
- (3) High execution management in continuous girders remade from simple girders.
- (4) New exchanging method of high-strength bolt in reinforced concrete deck.

1 まえがき

公共投資抑制・新設路線の凍結又は道路規格の見直し等、新規道路整備に関する我が国の環境は厳しい状況にある。一方、これまでに施工した道路は確実に老朽化しており、我々に関係する橋梁構造物においても、点検・調査から診断、維持補修・補強を総合的に網羅できる橋梁保全技術への要求は高い。このニーズに対応するためには、各種の技術開発（調査診断技術、補修補強技術及び総合評価技術など）が必要である。

現在当社では橋梁保全技術に関して、点検・調査関係は桁下診断システムや各種非破壊検査技術（コンクリート関係及び土木構造物を対象）を、補修・補強技術は鋼桁の耐荷力・耐久性向上のための外ケーブル補強工法・桁連続化工法、遅れ破壊に対応したコンクリート接触部高力ボルト取替え工法及び鉄筋コンクリート床版の急速補強工法等の技術開発に取り組んでいる。本報では、そのうち重要度の高い技術を中心

に技術的特色や施工事例を紹介する。

2 調査・診断技術

2.1 調査・診断へ要求

橋梁のストックは年々老朽化しているが、これまでのような新規建設投資が期待できないことから、既存のものをより長く使いたいという社会的要求がある。既存橋梁の長期使用には、日常の点検や損傷劣化の早期発見が欠かせないが、現在の橋梁点検の実態は人力による目視調査が主体となっており、今後の少子高齢化時代の到来を考慮すると、こうした各種点検、調査技術の省力化及び自動化が大きな課題となってくる。

当社では目視に代わる点検・調査手法として、デジタル写真を活用した画像診断システムと橋梁下面を簡易に撮影する装置を組み合わせた桁下診断システムを開発し実用化して

いる。その概要について以下に紹介する。

2.2 桁下診断システム

従来の橋梁下面点検は桁下からの遠望目視や、足場や専用点検車を用いた近接目視、写真撮影等によって行われているが、これらの手法には桁下へのアクセス性や足場費用及び点検車使用料等のコスト的な問題があった。

本システムは、桁下が河川や渓谷のようにアクセス困難な箇所においても、橋上から桁下の状況を簡易に、安く、早く、安全に、かつ確実に点検・調査することを可能にした診断システムである。

本システムは橋上から桁下の状況をデジタルカメラで撮影する点検装置と、撮影したデジタル画像を解析する画像診断システムから構成されている。

点検装置は人力で組立・解体を行うため、部材をすべてアルミニウム製として軽量化を図っている。撮影は橋の横断方向に伸びた水平アーム上を撮影ユニットが移動して連続的に行うが、撮影装置にデジタルビデオカメラを用いているため、橋上でモニタしながら撮影範囲を決定することができる。また撮影ユニットの四隅にはレーザポイントを一定間隔で配置し、撮影画像にレーザ点を写し込むことによって、画角のサイズ確認や画面の平行度が確認できるようになっている。本装置の適用可能な橋梁の条件は、幅員12m以内、主桁高2.5m以内、高欄高さ1.2m以内である。

画像診断システムは撮影した複数のデジタル画像をパソコン上で正対画像に変換しパノラマ合成する機能と、画像上のコンクリートのひび割れ長さや分布を自動計測して損傷状況を定量的に表示する機能を有している。

本装置の実橋適用状況を図1に示す。装置の設置はわずかな道路占有幅で、大規模な交通規制が不要であること、また歩道があれば規制なしで調査可能であることを、実橋への適用により確認することができた。なお橋上での台車方式による移動も問題なく行うことができた。

本装置で撮影したデジタル写真を画像解析した一例を、図2に示す。解析図では鉄筋コンクリート（以下、RC）床版に発生しているひび割れや遊離石灰の分布等を、合成写真上に強調表示して損傷状況を表している。ひび割れ幅に関しては、撮影装置の精度試験によって0.1～0.2mmの補修要否判定レベルのひび割れ幅を十分に捕捉できることを検証済みである。またRC床版のひび割れ以外の損傷として、鋼桁の塗装劣化や添接部の高力ボルト脱落なども橋上から確認することができた。

本システムのような診断手法は、調査結果をデジタル画像データとして記録・保管し、損傷の経年変化を視覚的、定量的に把握することを可能にするため、今後の橋梁維持管理において、診断評価の客観性確保や省力化を進める上で有効な

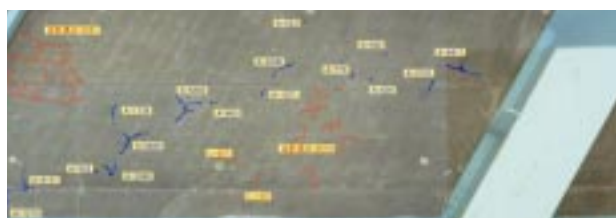


図2 床版下面損傷解析図
Result of digitized image analysis

手法になると確信している。

3 補修補強技術

3.1 補修・補強への要求

物流の発展に伴う交通量の増大と車輛大型化を反映した道路法や道路橋示方書（以下、道示）の改訂に基づき、設計における活荷重が増大した。また高欄改修や隣接環境へ配慮した遮音壁設置による死荷重も増大し、それに伴う主桁や床組構造の補強への要求がある。特に1960年代から1970年代の高度経済成長期に建設された数多くの単純活荷重合成桁に対して、近年桁連続化、増桁補強及び外ケーブル補強などの工事が行われ、施工実績も増加しつつある。

これら既設橋梁の補修・補強においては、施工の結果に対して強度向上や耐久性改善の確認及び工法の妥当性確認が、橋梁の管理上重要であり、当社では工事の一部として取り組んでいる。

3.2 外ケーブル補強工法

鋼橋の補強において、死荷重状態の応力改善を行う方法は少ない。外ケーブル補強工法（図3）は単純合成桁に対して、プレストレスの導入により主桁の死荷重曲げ応力度を低減する補強方法であり、経済性、施工性の上で期待が大きい。

鋼桁への外ケーブル補強工法には、ケーブルの配置方法により下フランジ定着型と腹板高の範囲でケーブルを曲げ上げるクイーンポスト型などがある（図4）。



図3 外ケーブル補強工法
Girder rehabilitation with outer cables

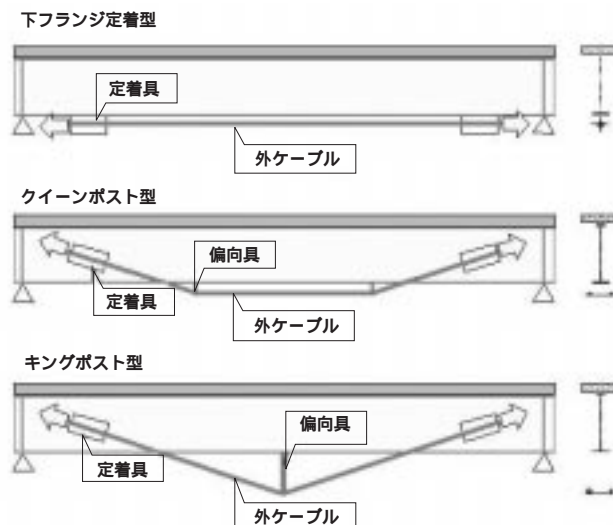


図4 外ケーブルの配置形式
Type of outer cable arrangement

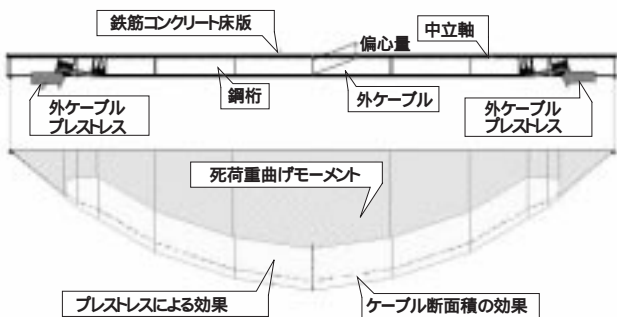


図5 外ケーブル補強の応力改善概念図
Stress improvement of girder with outer cables

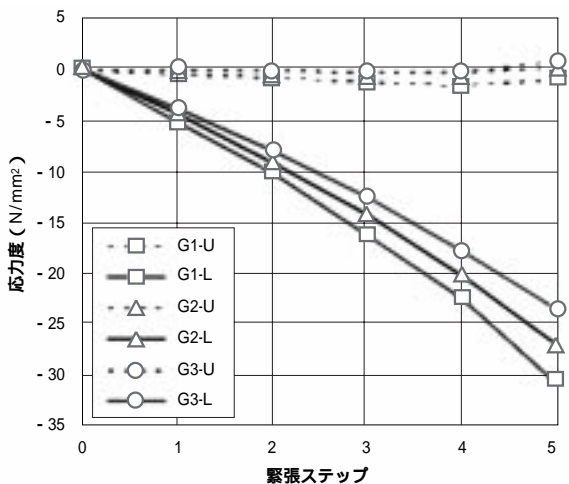


図6 軸力導入ステップごとの主桁応力変動
Girder stress with every cable tension step

当社では鋼橋での施工実績が少なく、設計法が十分に確立されていない本工法について、ケーブルの強度特性試験から耐久性の検証と設計法の提案を行うとともに、実橋試験によって補強前後の挙動・効果確認を行い、外ケーブル工法の技術を確立した。

図5は、外ケーブルによる主桁の死荷重曲げモーメント改善の概念を示す。曲げに対する効果は、 $(\text{ケーブル軸力}) \times (\text{桁断面の中立軸との偏心量})$ で表すことができる。図6は当社で施工した橋梁の応力度改善を示しているが、本橋では補強により約3割の死荷重応力度を改善することができた。また、図7に示す補強前後の荷重車載荷試験結果により、活荷重に対しても下フランジの応力度の低減から有効であることを確認することができた。

補強に用いる外ケーブルは主にPCケーブルが用いられ、その指針もPC橋を対象に想定されている。従って鋼橋への適用に際しては、次の点に留意する必要がある。

PC橋に比べて死荷重に対する活荷重（応力振幅）の比率が大きく、更に過積載の存在がある。

PC橋を想定したPC鋼線の安全率を採用することの可否。

そこで耐力（降伏点）付近の繰返し荷重の作用によってケーブルの残留伸びが蓄積し、導入軸力の減少が懸念されたため、以下の終局状態を想定した2種類の繰返し引張試験を実施した。

〔試験〕 ミルシート上の降伏荷重まで載荷したところ、0.7%もの大きな残留伸びが生じた。このことは降伏を基準

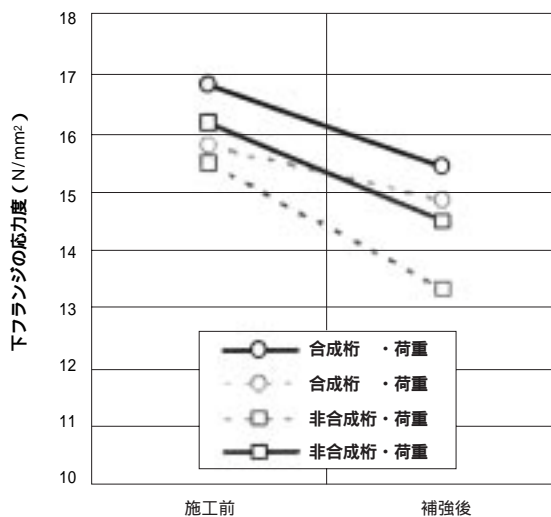


図7 補強前後の荷重車による主桁応力度
Girder live load stress before and after reinforcing



図8 桁連続化工法
Girder-connected continuous bridge system

に設計した場合、終局状態の載荷後に導入軸力が無くなる程の伸びが生じて、補強効果が消滅することを示す。

〔試験〕 ケーブルに対する終局状態を比例限界で制限することとし、道示の合成桁に関する「降伏に対する安全度の照査」を想定して、最小荷重を $1.3 \times (\text{死荷重} + \text{プレストレス})$ 、荷重振幅を $(2.0 \text{及び} 3.0) \times (\text{活荷重})$ とした10000回繰返し引張試験を行った。ここで活荷重の荷重係数3.0の応力振幅（変動荷重）は疲労強度に相当するが、荷重係数2.0のケースと合わせて共に破断や累積する残留伸びなどの問題はなかった。また10000回繰返し試験後に実施した破断までの引張試験では、パーজন材と同程度の強度と伸びを有し、劣化のないことを確認した。

3.3 桁連続化工法

桁連続化工法（図8）は連続する単純合成桁の主桁を補強材で連結し、連結部のRC床版も局部的に撤去・再構築する補強工法である。床版を再構築する連続化は、走行性の向上、低騒音化、伸縮装置からの漏水防止などの利点が多い。

本工法はほぼ同形式・同規模の連続する単純合成桁を連続桁化し、多くの場合、連結後の支承に負反力が生じないようにゴム支承を用いて弾性支持状態とする工法である。従って

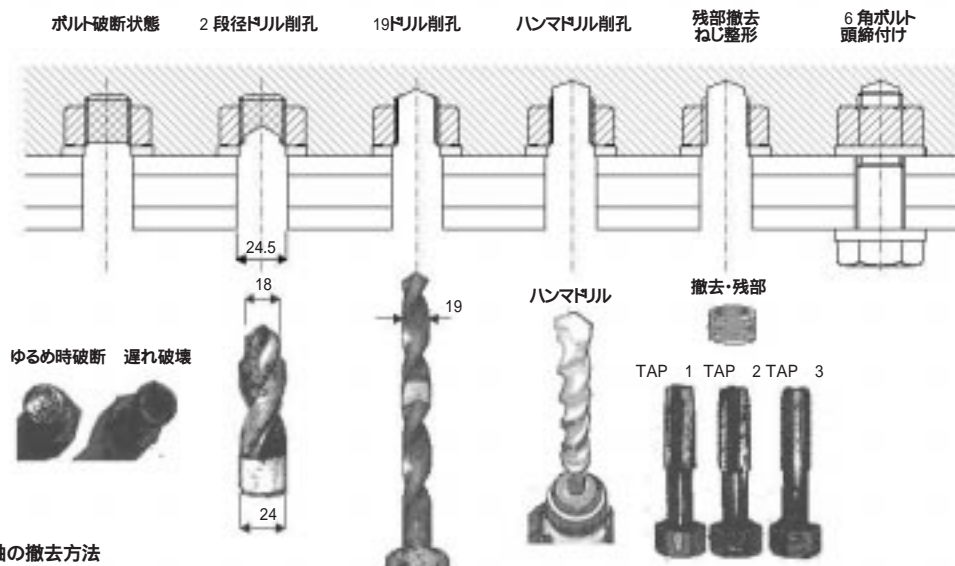


図9 残留ボルト軸の撤去方法
Removing process of remaining bolt

支保交換によって反力バランスが悪化しないような施工方法及び管理が重要となり、 $\pm 1\text{mm}$ 精度の施工技術が必要とされる。

当社で施工した5径間単純活荷重合成桁橋の連続化に伴う支保交換工事では、一夜間で160mmにも及ぶ橋体のジャッキアップを、綿密な計画により約2時間で完了させるとともに、交換する支承にねじ式の高さ調整金具を取り付けて、高精度な据付けに成功した。

また連結部には活荷重による負曲げが作用するため、一体化させたRC床版には引張応力が発生する。引張応力を受ける床版の必要構造特性を解明するため、各種解析や実験等の基礎技術開発についても取り組んでいる。

3.4 上フランジの添接部の高力ボルト取替え工法

1960年代後半、それまでリベット接合であった現場継手は高力ボルト摩擦接合に取って代った。その後軸力変動のない高力ボルトが突然脆性的に破断する遅れ破壊が顕在化した。1979年のF13Tの規格抹消とF11Tの遅れ破壊懸念がJISに記述されるまで、多くの橋梁でF11Tの高力ボルトが使用されていた。材料の硬さや炭素含有量などにより遅れ破壊感受性は異なるものの、現在多くの橋梁でボルトの破断や落下が見られ、橋の重要度に応じて取替えが行われている。

遅れ破壊懸念のある高力ボルトの交換は、腹板や下フランジに対して、塗装剥離 F11Tボルト撤去 F10Tボルト締付け 塗装という手順で行われる。しかし上フランジでは、上面のナットがRC床版内に埋込まれているため、ボルト撤去後に床版内にナットが残留し、これを再利用しなければならない。また、ボルト軸が破断しているものや緩める際に破断したものは、ナットにボルト軸が残ってしまうため、ボルトの交換が困難となる場合があった。

このボルト撤去は現場作業での実践技術を要し、当社ではボルトとコンクリートとの付着状態により、2ケースの撤去方法(図9 付着性が高いケース)を行っている。この場合の締付け管理は、F10Tボルトの弾性域内回転角法により行うが、キャリブレーションと高精度な角度管理が要求される。締付け後の導入軸力は、一部のボルトに対して機械仕上げし、超音波軸力計測で確認した。

また、当社は現在製造されていないウィットねじへの対応

や共回りするナットの固定方法など独自の施工技術も開発済みで、これまで不可能とされてきたケースの高力ボルト交換を可能にした。

4 むすび

本報では、当社が開発し又は高度な施工能力を有する橋梁保全技術について詳述した。

目視に代わるデジタル画像を活用した簡易桁下診断システム

実績の少ない鋼橋の外ケーブル補強工法に関して、設計法の提案と各種実験による検証

支保取替えを含む桁連続化工法における高精度な反力管理、短時間一括ジャッキアップなどの綿密な施工管理
従来技術で取替え困難であったコンクリート接触部の高力ボルト取替え工法

当社では橋梁に限らず老朽化する貴重な社会資本の保全に対して、グループによる総合技術力を挙げて対応中であり、今後も保全技術の向上を図ることで社会へ貢献していくことを目指す。

(参考文献)

- 荒居祐基, 諸隈成幸, 池田茂, 秦扶士雄. 桁下診断システムの開発. 土木学会第57回年次学術講演会概要集, Sep.2002.
- 中島隆二, 服部宏, 池田茂, 藤本朗. 新白川橋の外ケーブル工法による桁補強工事. 橋梁と基礎, Vol.36 No.9, 2002.
- 日本道路協会. 道路橋示方書・同解説. 1996.
- 池田茂, 鈴木隆久, 青田昇, 町田篤彦. 桁連続化に伴う床版打換え部の鉄筋比と構造特性. 第9回鋼構造シンポジウム, 鋼構造年次論文報告集, Nov.2001.

インターネット対応のeWMS

Internet-eWMS

中 藤 雄 策 森 田 勝 待 井 紀 彦
Yuusaku NAKATOU Masaru MORITA Norihiko MACHII

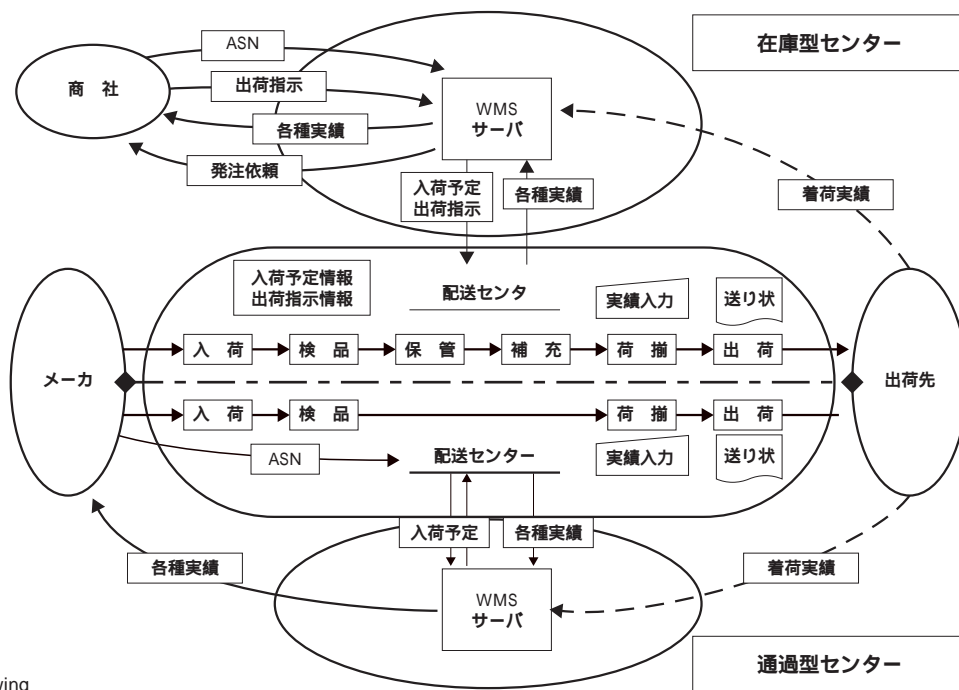


図1 WMSイメージ
WMS image drawing

1 はじめに

近年、「物流」「ロジスティクス」「サプライチェーンマネージメント(SCM)」へと企業を取巻く環境が劇的に変化している。一企業内だけの効率化ではなく、流通を構成する複数の企業を連携した効率化の実現=SCM連鎖への結合が企業存続の必須条件となってきた。一方では「IT」というキーワードで情報の「量」「スピード」が飛躍的に向上している。

この2つのキーワード(「SCM」&「IT」)に対応したWMS(Warehouse Management System 倉庫管理システム)を開発したので、ここに紹介する。(システム名称 eWMS)

2 WMSとは

WMSを配送センターを例にした基本イメージを、図1に示す。配送センターでの業務は、メーカー(他配送センター)から入荷した商品を検品し、方面別に荷揃作業を行い、次の出荷先(他配送センター・最終顧客)に荷積みし配送する事である。配送センターは、クロスドッキングシステム(商品を保管する事なく方面別に荷揃/出荷を行う事 小売業のセンターに多い)を通過型センター(TC Transfer Center)、逆に保管を行う場合を在庫型センター(DC Distribution Center)と大きく2種類に分類される。

WMSの役割は、入荷/検品から荷揃/出荷までの一連のワークフローを効率的に管理し、SCM連鎖の中で他システムとの連携・情報の共有化/オープン化のシステムを提供するものである。

この配送センターでは、入荷予定情報:ASN(Advanced Shipping Notice 事前出荷明細通知)をメーカー(商社)から事前に受信し入荷検品作業の効率化を果たし、また通過型センターでは出荷指示情報の役割を果たし荷揃作業に利用される。在庫型センターでは、出荷指示情報を元に商品在庫の引当を行いピッキング・荷揃・出荷の管理が行われる。WMSサーバは、一連の管理を行いながら各種実績を収集し次のSCM連鎖につなげていく。

3 システム概要

3.1 eWMSのユーザインタフェースとしてブラウザを採用

イントラネット/インターネットを問わず、ユーザインタフェースをすべてブラウザに統一させた。WMSへのアクセスは、どこにいても同一の環境でシステムにアクセスすることが可能である(図2にシステム構成,図3にブラウザ画面を示す)。

しかしながらWMS情報には重要なリソースが多く含まれるため、適切なオープン化が必要である。このため、システムセキュリティには細心の注意を払うことが重要である。WMSサーバへのアクセスはすべてWEBサーバ経由としており、WEBサーバへの接続認証によりハード的なセキュリティを確保している。インターネット/公衆回線網等の外部のアクセスに対しては、ルータでセキュリティ(FireWall)をかけることが必須であり、また当該WMSへアクセスするWEBサーバ接続に対しても認証をとっている。また、WEBサーバが直接WMSサーバのデータをアクセスする方式は採用せず、WEBサーバとWMSサーバ間では当社固有のプロト

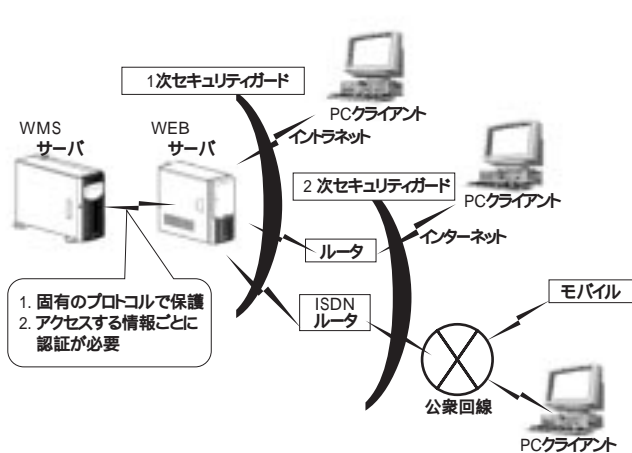


図2 システム構成
System configuration

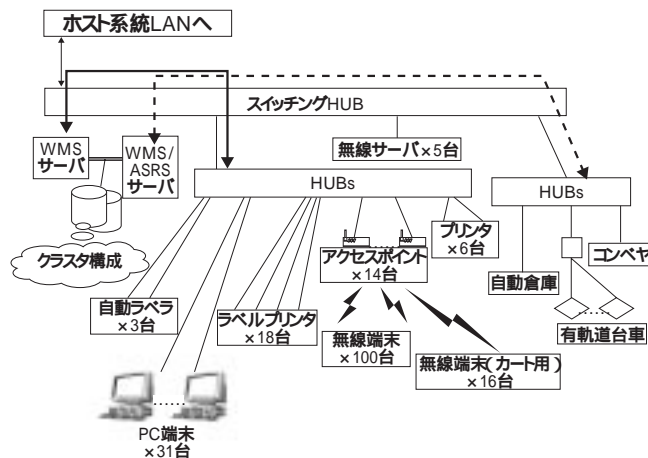


図4 WMS事例
Model of WMS



図3 ブラウザの採用
Display by web browser

コルを用いることにより、WMS情報を保護している。つまり、WEBサーバはWMS情報に対してアクセス権を持っているわけではなく、WMSサーバの所定のプロセスに対する通信の権利を持っているに過ぎない。ただし、eWMSの情報管理にはOracle等のデータベースを採用し、WMSサーバに直接アクセス可能なシステム管理者の方へはオープンに情報を提供している。以上の方法を用いて、インターネットの最大のメリットであるオープン性を保った上でのセキュリティの確保を図っている。

3.2 eWMSの情報管理の仕組み

WMS情報として、以下の情報を基幹として管理する構造にしている。

3.2.1 商品マスタ情報

SKU (Stock Keeping Unit 在庫管理の商品最小単位) 単位の情報を基本としているが、商品単位にカテゴリを定義することができ、カテゴリ単位での認証が可能である。

3.2.2 配送先マスタ情報

入荷元/出荷先/在庫管理場所等を管理する情報であり、この単位でもカテゴリの定義を行い、入荷/出荷等の荷物の出し入れに関する情報に対する認証が可能である。

3.3 商品のロット管理

商品の製造日・賞味期限等のロット管理情報は在庫管理を行う上で不可欠な情報である。この情報をWMSでは、ASN

情報として取り込みを行う。入荷検品時のデータチェックにも、製造日等のロット逆転をどこまで許容するかというロジックが組み込まれており、無駄なピッキング作業の低減を図っている。

3.4 出荷リードタイム短縮

受注から出荷までのリードタイムを短縮するために、次の3点に着目し機能を盛り込んでいる。

3.4.1 フェイスからピックする時間を最小に

フェイス在庫ごとに基準在庫量を設定し、その値を下回った場合に補充指示を行うという定点観測のみならず、当日のピッキング作業でどれくらいの速度で在庫が無くなっているかという予測を行う。

3.4.2 優先する出荷と、余裕のある出荷のメリハリを

出荷先・届け日により作業の指示順序を決定する。

3.4.3 荷揃え検品時間を短く

ピッキングフェーズの精度を上げるためにDP (Digital Picking)、無線端末及びピッキングカートなどの有用な手法を適材適所に組み込む事が有効であり、eWMSはあらゆる機器に対応可能である。

4 システム構成事例

eWMSの適応事例として自動化設備を結合した配送センターモデル(図4)を紹介する。

この事例は、eWMSを中核にして上位システムと連携し、配下の多様な端末(PC・無線ハンディ・車載等)との接続を可能にしている。また、自動倉庫・コンベヤ・有軌道台車等の物流設備をリアルタイムかつ最適な搬送制御を行っている。

5 おわりに

当社が従来から保有していた物流管理システム(搬送制御・在庫管理・工場FA):Sシリーズに加えて、SCMとの連携機能を備えたeSシリーズ(eWMSのシリーズ名)を商品ラインナップに加えられた。このeSシリーズにより、従来の物流・FAの分野から流通・商品物流といったサプライチェーンロジスティクスの範疇まで対応可能となり顧客対応力の強化につながっている。

アスファルトフィニッシャ新型スクリード

New Screenshot of Asphaltfinisher

相本 眞幸

Mayuki AIMOTO



アスファルトフィニッシャ新型スクリード JP2350
New screenshot of asphaltfinisher JP2350

1 はじめに

道路舗装工事に使用されるアスファルトフィニッシャは、道路の舗装幅に合わせて敷きならすスクリード装置の幅を拡大又は縮小させることが必要である。

このスクリード装置は、これまで一本物のスクリードで舗装幅を拡大するためにエクステンションスクリードをボルト取付するタイプに始まり、次にメインスクリードとその後部に左右1ヶずつスクリードを設置させ、油圧にて伸縮させる構成のタイプ、更に舗装幅を拡大するために伸縮スクリード端部にエクステンションスクリードをボルト取付する構成のタイプへと変わり、舗装作業の効率化、省力化が進んできている。

住友建機製造株式会社では、このエクステンションスクリードを伸縮スクリードの後部に取付し、油圧シリンダにて振り出すことによってボルト取付け作業を無くしたニュースイング式スクリードで更に省力化を実現している。

しかしながら近年、安全性の向上及び作業の容易化の観点から舗装幅拡大の際のスクリード装置部分の省力化、更なる利便性の要求が一層高くなってきている。

今回、新型スクリードを開発したのでその概要を報告する。

2 新型スクリード開発の背景

ニュースイング式スクリードはエクステンションスクリードの振り出しを油圧シリンダにて行ってはいるものの、舗装幅の拡大作業においては多少時間を要し利便性に難点がある。

その反面、舗装品質においては優れている。

スクリード装置にはもう1タイプ、簡易式ワイドナススクリードというものがある。メインスクリードの後部に伸縮スクリード、そのまた後部にワイドナススクリードというスクリード3段構成となっている。簡易式ワイドナススクリードは、舗装中に油圧シリンダにてワイドナススクリードを伸縮するだけで舗装幅の拡大が簡単にでき利便性に優れている。反面、最後部のワイドナススクリードはあまり重くできず剛性も高くできない。従って、破損しやすくワイドナススクリードの下面プレートとの摩擦寿命が短い等々、舗装品質に難点がある。

そこで、今回開発した新型スクリードは、世界中で類のない全く新しい構造であり、ニュースイング式スクリードのような舗装前の準備不要で、簡易式ワイドナススクリードのように油圧シリンダで無段階で舗装幅の拡大が出来るという利便性と高い舗装品質を兼ね備えたスクリードである。

この新型スクリードは、J・paver2360という商標名で発売しており、好評を得ている。また、その姉妹機としてJ・paver2350を開発した。

図1に、新型スクリードの上面から見た最縮時と最伸時の状態を示す。

3 新型スクリードの機能と特長

この新型スクリードJ・paverの機能と特長について次に説明する。

3.1 仕上げ性、平坦性、締め固め性が均一な舗装

上下に配置した大径のガイドパイプ採用により剛性を高め、

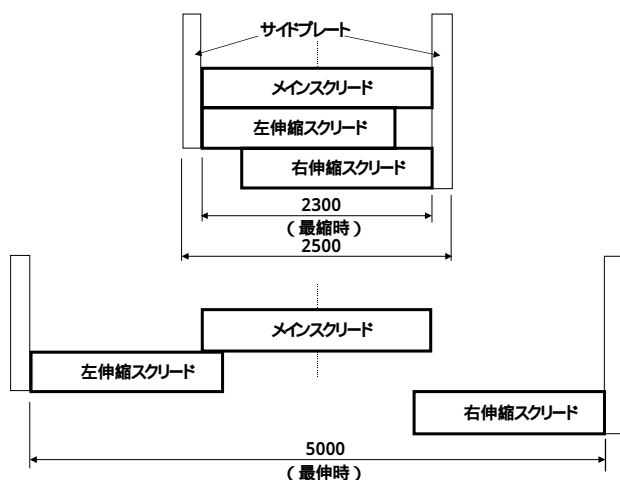


図1 新型スクリードの配置
Arrangement of new screed

メインスクリード、左右の伸縮スクリードに同寸法のスクリードプレートを装備しているため、メインスクリードから伸縮スクリードの端部まで仕上げ性、平坦性及び締め固め性が均一な舗装を可能にした。

図2に、締め固め度を示す。実際にアスファルト合材を舗装しコア抜き密度測定したものである。スクリード全域にわたりほぼ均一な締め固めが得られている。

3.2 省エネ、スクリードプレートの偏摩耗を防止

4個の熱風式プロアパーナを採用し短時間で均一なスクリードプレートの加熱を可能にし、加熱ムラが無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。加熱温度として合材がプレートに付着しない温度100 から合材が焼損しない温度200 の範囲を目標とした。また、プロアパーナの火炎が直接当たるダクトの溶融温度700 以下となる様、プロアパーナの送風量、及びプロパンガス量を設定した。また、加熱しすぎを防止するため、温度センサを取付け設定温度に達したらプロパンガスの供給を止める加熱システムとし、省エネを実現した。

図3に、スクリードプレートの幅方向の加熱温度分布を示す。本図は、JP2360のデータであるが、JP2350でも同様の傾向であり、加熱開始から30分で目標である100 から200 までの間に分布している。

3.3 各種合材に対応した舗装

近年、アスファルト合材も再生合材が主流となってきており合材の質が悪くなっている。この合材を舗装しても舗装の仕上げ面はきれいでなければならない。骨材の細かい合材、粗い合材、骨材だけの排水性合材等々、各種合材に対応するためスクリード前端部の合材の入り込むストライクオフを角度調整可能式としている。

このストライクオフは、スクリード装置の命ともいえるべき部品であり、舗装の良し悪しを決定づけるものである。

3.4 安全性、操作性、メンテ性の向上

スクリードの拡幅と同調して拡がるステップ(スクリード後部に設置)により、スクリード端部での作業者の容易な乗り降りや良好な視界を確保し、安全性を向上している。また、最外部に取付けたスクリード操作スイッチにより常に気を使

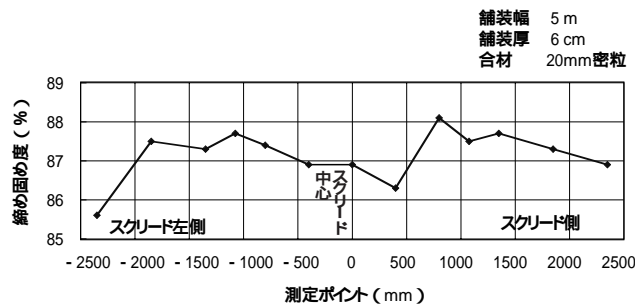


図2 締め固め度
Compacting ratio

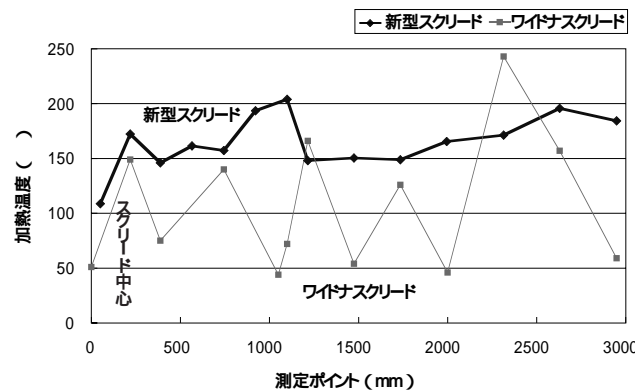


図3 スクリードプレートの加熱温度
Temperature on screed plate surface

う舗装の端部を見ながらの作業も容易になった。

伸縮スクリードの段差調整装置には油圧駆動を採用し、作業者の手動操作箇所を削減することにより操作性を向上させている。更に、スクリードを振動させて舗装帯を締め固めるためのパイプ装置を無給脂にすること、及びその他の給脂箇所を大幅削減してメンテナンス性を向上させている。

4 おわりに

J・paver2360を発売して以来、ユーザの意見を取り入れ改良もされて現在に至っている。J・paver2350も同様の改良を追加している。また、アスファルトフィニッシャの4mクラスにおいても同シリーズの品揃えを進めていく。

今後ともより一層ユーザの立場に立った、より良い製品開発と改良に努める所存である。

(参考文献)

特願平10-155974. 道路舗設機械のスクリード装置.
 特願平11-168175. アスファルトフィニッシャ等の道路舗設車両のスクリード装置.
 特願平11-166576. スクリードの加熱装置.
 特願平11-192288. 道路舗設車両のスクリード装置.
 特願平11-183164. アスファルトフィニッシャ等の道路舗設車両のスクリード装置.

新製品紹介

ハイブリッド射出成形機 SE350HY

Hybrid-injection Molding Machine SE350HY



本射出成形機は電動式の特長である高精度、省エネルギー性と、油圧式の特長である高馬力を射出部に組み合わせたハイブリッド式で、「ハイサイクル成形」、「高速射出成形」、「高負荷成形」及び「スタック成形」が必要な薄肉容器、クロージャ成形をメインターゲットに開発した成形機である。

主要仕様

型締装置	ダブルトルク式、電動駆動、型締力3430kN
射出装置	C2500L、射出油圧駆動、計量電動駆動
搭載スクリュー径	71, 80
可塑化能力	440 kg/h (= 122g/s)
最高射出速度	800mm/s、射出率：4021cm ³ /s

(射出率は搭載可能な最大の 80スクリューでのエアershoot値)

特長

型締に大容量サーボモータを搭載しクラス最短の型開閉時間、高速でも振動が少ない型開閉動作、及び高可塑化能力による計量時間短縮、ハイサイクル性を実現し、高生産性を達成している。

アキュムレータ+サーボ弁が生み出す高速・高応答により、超薄肉成形品の充填を可能にしている。

射出制御に住重独自の“デジタルサーボ制御”を採用しV-P切換位置、充填ピーク圧のばらつきの最少化を図り、金型に対して型締め力を均一に

伝達する独自の可動プラテン形状を採用している。(高剛性型締装置採用)

型締装置のプッシュやボールネジ等の駆動部にハイサイクル使用条件でも十分な耐久性を確保できる部品を使用すると共に当社独自の潤滑システムを採用し、信頼性を高めている。

消費電力は油圧機に比較して40%削減を可能にし、省エネ化を実現している。

アキュムレータの油源を使って型内油圧エジェクタの高速動作を可能にし、型システム対応性を高めた。

新開発サーボモータによりスクリューをダイレクト駆動するため、大型機でも低騒音を実現している。

油圧機に対して作動油使用量を大幅に削減している。SE350HY：200 (油圧機：500, 当社比較)

コントローラを操作性の良い固定プラテン横に配置し、見易い大型カラー液晶画面を採用、電動成形機ならではの高精度分解能設定を可能にし、操作性を高めている。

(プラスチック機械事業部 寺田眞司)

新製品紹介

全電動式射出成形機 SE18D

Special All Electric Injection Molding Machine SE18D



近年、IT関連製品に代表されるように、成形品にも小型・精密の要求が高まっている。このような高精度要求、また環境問題からくる省エネ要求等を受けて、射出成形機業界各社は小型機から中大型機まで、精密性、省エネ性に優れた電動式射出成形機を市場投入している。当社は、動力伝達にベルトを用いない独自のダイレクトドライブ機構を採用したSE-Dシリーズ（290～1760kN）を市場投入し、その精密性、省エネ性、ハイサイクル性が評価されている。

本機は、SE-Dシリーズに新たにラインナップした小型機種である。

主要仕様

最大型締力	170kN
最大型厚	250mm
型開閉ストローク	160mm
最大射出速度	500mm/s

特長

ダイレクトドライブ機構をさらに進化させた第2世代ダイレクトドライブ機構を採用することにより、電動式射出成形機の持つ精密性、省エネ性と同時にアキュムレータ付油圧機以上の射出馬力、射出速度を実現している。

型締機構に、トグル機と直圧機の機能を融合させたセンタープレスプラテン方式を採用し、従来機以上の高精度・高剛性を実現している。また、タイバー間隔を横方向に拡張し、より大型の金型の搭載を可能にしている。

ダイレクトドライブ方式のエジェクタ装置を採用し高速・高応答のエジェクタ動作を実現している。エジェクタ衝撃緩衝機能を標準装備し、成形品の付着防止や金型への負担の軽減化を実現している。

制御装置に12.1インチタッチパネルLCDを採用し操作性を向上させている。また、新コントローラの採用により、品質管理機能、波形表示機能、FA対応性を向上させている。

（プラスチック機械事業部 伊藤 晃）

新製品紹介

コークドラム検査装置

Inspection Devices for Coke Drum



コークドラム検査サービスを目的とした次の2装置を開発し、検査サービスを開始した。ユーザとのコンタクトを密なるものとして、劣化・損傷等に依るコークドラム本体取り替え案件の早期発掘も目的としている。

レーザスキャン・ビデオインスペクション装置

AUT(自動超音波試験)装置

特長

コークドラムは、高温(平均約440℃)加圧状態/常温大気圧状態を14~24時間毎のサイクルにて繰り返し運転される。冷却過程において部分的に過冷却されることにより、本体胴部がバルジング変形する。また、この時に発生する引張り応力により、溶接部の熱影響部等に割れが発生する。

レーザスキャン・ビデオインスペクション装置

レーザスキャンは、レーザ距離測定器により、長手方向25mm、周方向0.5°ピッチ(測定点数:75万点~100万点)にて半径データを計測する。計測データをコンタ図等にプログラム処理して、本体胴部のバルジング変形の進行状況をモニタリングする。計測時間短縮を目的として、レーザ距離測定器2個による同時計測システムとしている。

レーザスキャンと同時に、内面溶接部の割れ等、内面の異常の有無を確認するために、ビデオインスペクションを行う。

レーザ距離測定器2個とビデオカメラ及び照明装置を、その回転部に搭載したセンサユニットが、上部マンホールに設置した制御装置にて、本体軸中心と平行に取り付けた4本のガイドケーブルに沿って正確に上下する機構を有している。

センサユニットは、その回転部を制御するため

の制御モータも搭載している。客先にて本検査実施のための準備が不要。本装置の本体への取り付け・取り外し時間を含め、検査時間は約8~10時間/1基、内計測時間は平均3.5時間を要する。

バルジング変形部に発生する応力を求めるために、実計測データを使用したFEMモデル自動作成プログラムも有する。

AUT(自動超音波試験)装置

当社独自のフェイズドアレイ法(PA法)+2-TOFD法同時探傷システムとしている。PA法は、内面肉盛り溶接部に発生する傷検出を主目的とする。また、検出傷の3次元情報を把握する。TOFD法は、検出傷の正確なサイジングを行うことを目的とする。1回の探傷にて、傷検出可能範囲を広範囲とするため、探傷条件の異なるTOFD法を同時に行う。即ち、PA法と合わせて3種類のAUTを同時に行う。

探傷作業を容易に行うため、スキャナ部は、マグネットキャタピラによる自走式としている。外面から探傷を原則としているため、検査部位の保温材撤去・検査足場の設置が必要である。

周継ぎ手(溶接線長:平均約25m)を約2~3時間にて探傷可能である。

AUT画像は電子データとして収録し、検査期間毎の検出傷進展モニタリングを行う。

本装置は、工場製作時の放射線透過試験(RT)代替として、製品溶接部検査にも適用実績がある。

(鉄構・機器事業本部 岡 正明)

新製品紹介

クローラクレーン SCX800HD

Crawler Crane SCX800HD

油圧式クローラクレーンの基礎土木工事向にヘビードューティ仕様機を開発し、その第二弾として最大吊上能力80tのSCX800HDを2002年5月に発売を開始した。

SCX800HDは、クラストップの仕様と性能を備えた基礎・土木専用機で、開発のコンセプトは以下の3項目となっている。

ハイパワー、ハイラインプル及びハイスピードで作業能率をアップさせ、輸送性及び操作性に優れたクレーンである。

安全を配慮し、安全機能を充実させたクレーンである。

低騒音及び排出ガス2次規制に対応した、環境に配慮したクレーンである。

主要仕様

最大吊上げ能力	80.0t × 3.8m
基本ブーム長さ	12.85m
最長ブーム長さ	55.50m
ブーム+ジブ最長	43.30m + 18.30m 46.35m + 13.70m
フロント・リアドラム 巻上げ/下げ速度	120 ~ 2.0m/min
エンジン型式	三菱 6D24-TLE2A ディーゼルエンジン
定格出力	184kW/2000min ⁻¹

特長

クラス最高出力のエンジン搭載により、ハイラインプルが必要な基礎作業にも対応できる様になっている。また、ウインチに可変容量モータを採用することで、最高ドラム速度120m/minを達成し、作業時間の短縮に大きく貢献している。減速機内蔵のワイドドラムの採用で、クラムシェル、ハンマグラブ等の作業でワイヤーロープ寿命の延長を実現している。

フットブレーキには油圧式ブレーキを採用し、クラムシェル、ハンマグラブ等の作業では、オペレータの疲労を大きく軽減している。また、従来機同様に安心して作業が出来る自動ブレーキも装備している。

メッセージ表示機能付き過負荷防止装置の採用により、メッセージに従って操作することで、モーメントリミッタの設定作業の容易化を図っている。また、機械の異常を音声警報により即座に耳で確認する事ができ、安全性を向上させている。

カウンタウエイトの組立方法を従来までのマウント方式から引っ掛け方式へ変更することで、組



立・分解が容易になり、時間短縮を図っている。

逆積み可能な水平3分割カウンタウエイトの採用で、取り扱いが容易になっている。また、エクステンションブームとの相積みが可能になり、輸送性を向上させている。

従来のフロアレバー操作方式からアームチェアレバー操作方式への変更により、前方視界および足下の広さを向上させ、楽な姿勢での操作が可能となっている。

輸送時の本体幅を3200mmのコンパクトボディとし、3200mmのトレーラ幅に収まり、輸送性が向上している。

エンジンの排出ガス2次規制と低騒音型建設機械の基準をクリアし、環境問題に充分配慮した機械になっている。

(住友重機械建機クレーン株式会社 吉本哲郎)