

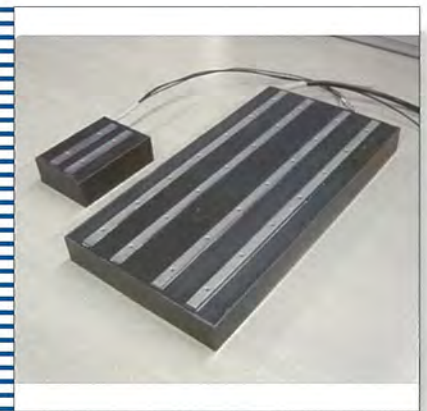
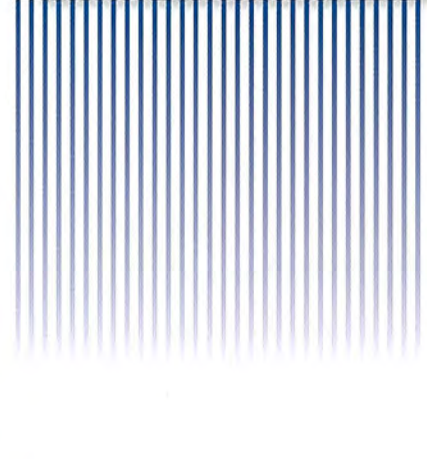
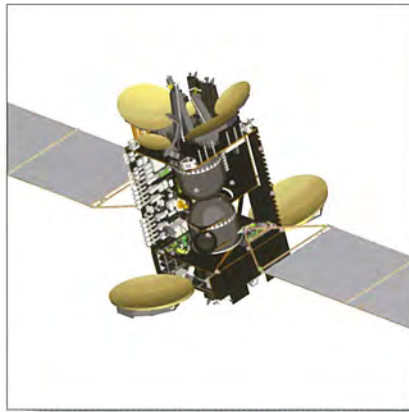
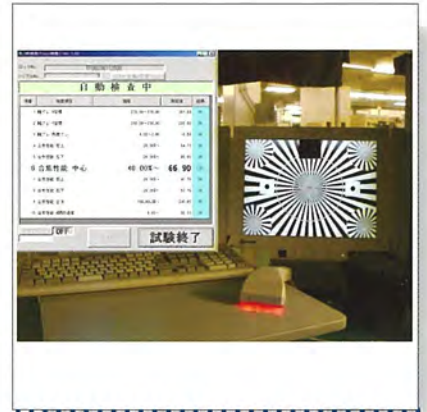
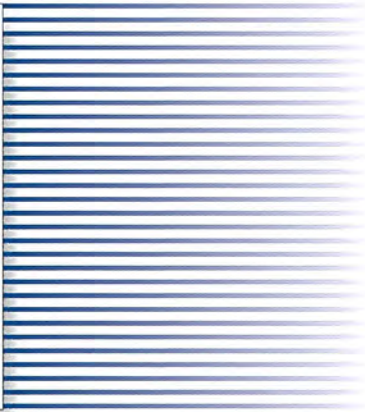
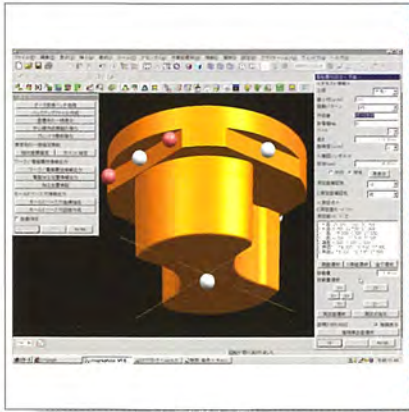
MITSUBISHI

三菱電機技報

Vol.78 No.10

2004 10

特集「モノづくり力の強化」



目次

特集「モノづくり力の強化」

生産競争力の循環 1
新井民夫

生産技術—モノづくり力の抜本的改善— 2
山西健一郎

高放熱樹脂封止型パワーモジュール 7
中島 泰・多田和弘・佐々木太志・鹿野武敏・加柴良裕

光デバイス製造における半導体生産技術の展開 11
岡 一宏・高山智生・梶田直幸・木村達也

LCD業界における小型基板工場の価値と活用 15
小河育夫・大寺 進・吉田和夫・木之下儀美・塚崎 尚

携帯カメラモジュールの量産化技術 21
笹井浩之・今川 剛・美濃部 正・中西隆仁・三宅博之

高速・高応答型リニアサーボモータの生産設計 25
木村康樹・橋本 昭・度會 明・仲 興起

ネオジム系焼結磁石の“イカリング”製造技術 29
石見泰造・鶴飼義一・中原裕治

ACサーボモータ用ロータ Assy の生産技術 33
木村行宏・相馬雄介・原質康介

機械加工ネットワークシステム“e-F@ctoryモデルライン”
構築による高生産性工場の実現 37
大草裕之・加藤義広・大谷真博

放電加工CAD/CAM一貫システムの構築 41
古川浩保・前田明宏・榎本和憲・杉山和永・千代知子・三木昌康

国際競争に比肩する衛星インテグレーション技術
—グローバル衛星メーカーを目指して— 45
永島敬一郎・野村高嗣・横須賀義忠・太田 努・小島光喜・武内景治

鉛フリーはんだのためのリフローセンサ及び
リフローシミュレータ 51
村上政明・出田吾朗・村上光平

換気送風機のSCM構築 55
金子貴幸・大石哲嗣・鈴木信博・梶田正和・町田健次

三菱電機における生産革新活動の推進 59
太田成登・武田光史・佐々木 努・熊谷昌男・前畑純一

Advances in Manufacturing Technologies

Cycle of Competitive Power in Manufacturing
Tamio Arai

Drastic Improvement of Manufacturing
Kenichiro Yamanishi

High Thermal Dissipation Transfer Molded Package for Power Modules
Dai Nakajima, Kazuhiro Tada, Taishi Sasaki, Taketoshi Shikano, Yoshihiro Kashiba

Development of Semiconductor Manufacturing Technology on Optical Device Production
Kazuhiro Oka, Tomoo Takayama, Naoyuki Kajita, Tatsuya Kimura

The Original Retrofitting in the 2.5G TFT-LCD Factory for Making the most of the Small Size Glass
Ikao Ogo, Susumu Ohtera, Kazuo Yoshida, Yoshimi Kinoshita, Hisashi Tsukazaki

Production Engineering of Mobile Camera Module
Hiroshi Sasai, Tsuyoshi Imagawa, Tadashi Minobe, Takahito Nakanishi, Hiroyuki Miyake

Product Design for High Speed and High Response Linear Servo Motor
Yasuki Kimura, Akira Hashimoto, Akira Watarai, Kouki Naka

Manufacturing Technology of Nd-Fe-B Sintered Magnets
Taizo Iwami, Yoshikazu Ugai, Yuji Nakahara

Production Technology of Rotor Assy for AC Servo Motor
Yukihiko Kimura, Yusuke Soma, Kosuke Haraga

Realization of a High Productivity Factory by Machining Network System “e-F@ctory Model Line” Construction
Hiroyuki Ookusa, Yoshihiro Katou, Masahiro Ootani

Development of Speedy EDM System—Seamless Integration from Design to Actual Machining—
Hiroyasu Furukawa, Akihiro Maeda, Kazunori Tarumoto, Kazuhisa Sugiyama, Tomoko Sendai, Masayasu Miki

Satellite Integration Technology for International Competition—Growing into a Global Satellite Maker—
Keiichiro Eishima, Takatsugu Nomura, Yoshitada Yokosuka, Tsutomu Ohta, Mitsuyoshi Kojima, Keiji Takeuchi

The Development of Reflow Sensor and Reflow Simulator for Pb-free Soldering
Masaaki Murakami, Goro Izuta, Kohei Murakami

Build up Supply Chain Management Systems of Ventilation Fan
Takayuki Kaneko, Tetsuji Oishi, Nobuhiro Suzuki, Masakazu Kajita, Kenji Machida

Production Innovation for Flexible Manufacturing System in Mitsubishi Electric Corp.
Naruto Ohta, Mitsufumi Takeda, Tsutomu Sasaki, Masao Kumagai, Junichi Maehata

特許と新案

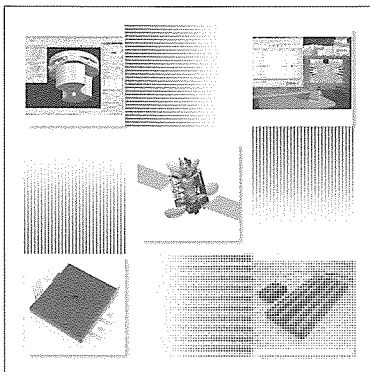
「ステータの製造方法」

「コアならびに積層コアおよびその製造方法」 65

「マーク認識装置およびマーク認識方法」 66

スポットライト

三菱FA統合ソリューション “e-F@ctory”



表紙

モノづくり力の強化

モノづくり力の強化のため、①現場の製造技術力強化と無駄の排除、生産管理力の高度化、②生産技術者が現場の幅広い製造技術・ノウハウをタイムリーに設計に生かすための流れを作ることに取り組んでいる。表紙写真にはその事例を示す。

現場の製造技術力強化では、商用衛星の工期短縮(中央)、放電加工機CAD/CAM一貫システム構築(左上)、カメラモジュールの画質検査装置(右上)などがある。

一方、製造技術・ノウハウを設計に生かした例として、モールド型パワーモジュール(左下)、串(くし)カツ方式リニアサーボモータ(右下)があり、独自のキーパーツを実現している。

いずれも、起点を製造現場、製造技術に置いた取り組みで課題を解決している。

生産競争力の循環

Cycle of Competitive Power in Manufacturing



新井民夫
Tamio Arai

日本の製造業は“CQFDの循環”で動いているという仮説を私は提案している。ここにCQFDはそれぞれCost, Quality, FlexibilityそしてDeliveryを中心とする競争力を意味しており、10年ごとに変化する。第2次大戦後の製造業は“安かろう・悪かろう”であった1950年代のコスト競争の時代から始まり、その反省で品質管理を小集団活動で頑張った1960年代。ここで日本経済の高品質体質ができた。経済成長の変化から1970年代は多品種生産へ移行し、数値制御機械やロボットが一般化した。設計・生産・販売の連結が重要視された1980年代には高付加価値製品を顧客へ届けることが重要視された。

この流れに日本の特徴であるボトムアップの生産技術が重なる。つまり、QとFとの競争力は共に小集団活動によって支えられてきた。品質管理を徹底するだけなら大量生産の方が絶対的に有利である。しかし、現場的にはすぐに飽きる。だが、多様な製品を作らざるを得ない場合には、品質管理手法の適用を現場の小集団が考えることで小集団活動も継続し、そして力となる。つまり、QとFとが相互に刺激し合いながら進展してきたと思える。

1980年代は“欲しいものを所有する”時代で、製造業から見れば顧客の要求をいかにつかむかの時代、つまり、Dの時代であった。そしてバブルが弾(はじ)けた。その後の1990年代は製造業のGlobal化という形でコスト競争が始まり、安いことだけが競争力と言われた。それもやっと終わり、2000年ごろからは高品質のデジタル製品が競争力を持っている。では次は何か。もちろんCQFDの次はFlexibilityが競争力となる時代のはずである。

“CQFDの循環”仮説は単純に循環が繰り返すことを示しているわけではない。この40年間に製造業を取り巻く環境は大きく変化した。Globalな競争、地球環境問題、高齢社

会の到達。それらは製造業にとって追い風と向かい風の両方になって吹き荒れる。いまの考え方は、大量生産は中国に任せて、日本は高品質・高機能製品を短期間に生産準備し、変種変量生産することであるとされる。そのとおりであろうが、これでは焦点が絞れない。“CQFDの循環”仮説が示す2010年のFlexibilityを探ってみよう。

日本は2005年に高齢化率(65歳以上の比率)が20%となり、2015年には25%も超える(出典 高齢化白書)。同時に高齢者に可処分資産も集中することも事実である。高齢者は身体能力・好みの個人差が大きいので、大量生産的製品では対応しにくい。それ故、新しい中少量生産方式が求められる。それを私の所属する人工物工学研究センターでは次のように考えている。今までの大量生産方式とは、大衆の平均値を測定して、その多くをカバーする組合せを選択し、それを“モノ所有型商品”として生産する。消費者は製品を低価格で購入するというメリットを得る。これに対してこれからの生産方式は、個人の特性に合わせた製品を多種類設計し、その中で必要なものを必要なときに“サービス消費型商品”として生産する。これを時宜生産方式と呼ぼう。ここで求められるFlexibilityとは、製品購入時に個の要求を満足させるだけでなく、その製品の消費過程においてもあたかも対面サービスを提供するかのよう個へ適応する。情報技術がこのような“個のケア”を可能とする。結果、個は高い満足度というメリットを得る。

高齢社会でかつ高い技術嗜好(しこう)を有する日本はこのような生産方式を育てるためには大変よい環境である。個に合わせるFlexibilityと時宜を得たDeliveryとが結び付き、かつ、ちょうど40年前のQとFとが相互に刺激しあって進展したように、FとDとが刺激しあって進むはずである。ここに競争力の源泉があると信じている。



山西健一郎*

生産技術—モノづくり力の抜本的改善—

Drastic Improvement of Manufacturing

Kenichiro Yamanishi

要 旨

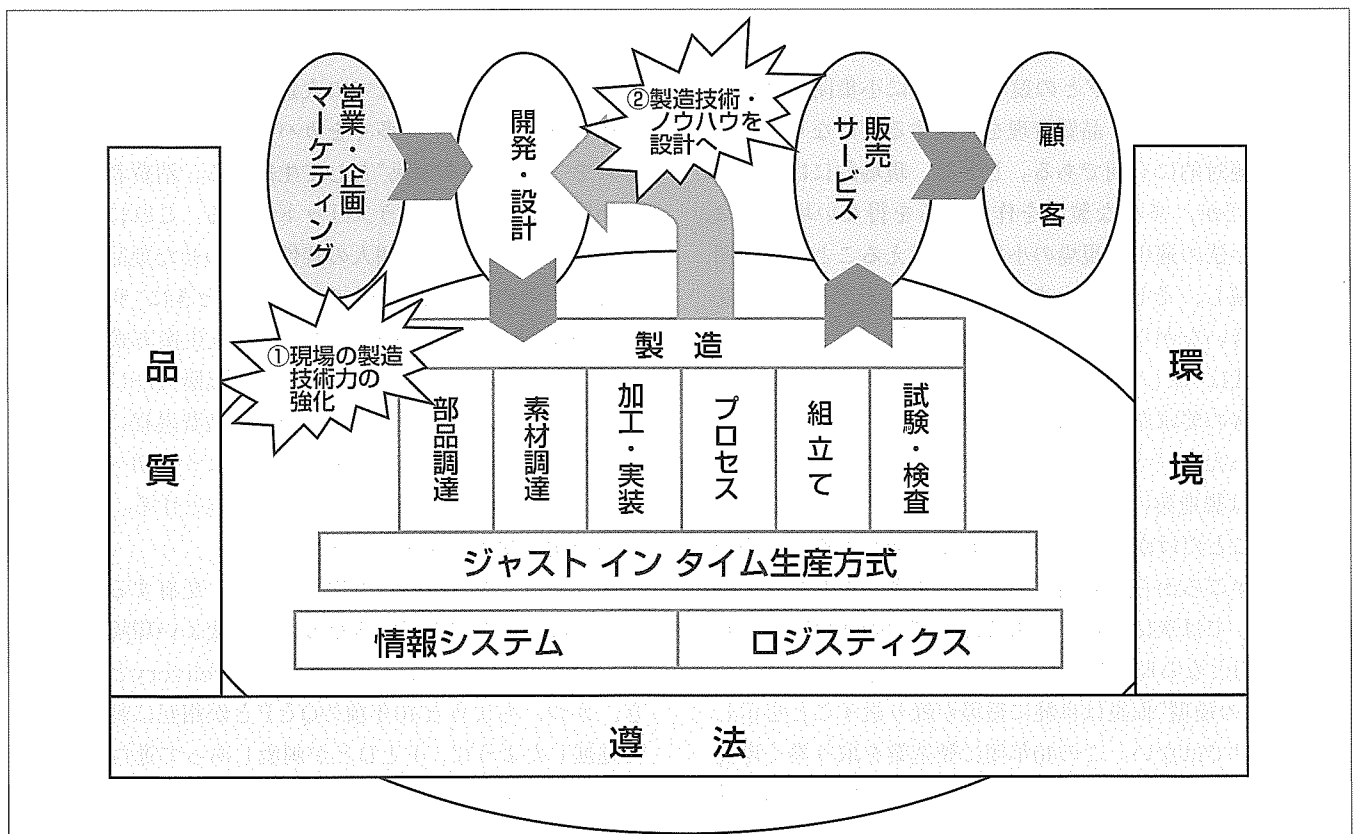
かつては、日本を始めとし、韓国、台湾、香港、シンガポールなどが先進国から導入した技術と生産性に低賃金を組み合わせることによって経済発展を実現した。だが、もはやそのようなことが不可能になったこの十数年、三菱電機は、日本が再び“モノづくり日本”として復活するためには何が必要となるのかを模索してきた。

1994年からは、当社の生産システム本部が中心となり、モノづくり力を抜本的に改善するための施策を導入し、特にここ数年は、①現場の製造技術力の高度化と製造ラインでの徹底した無駄の排除、及び資材調達から客先納入まで含めた生産管理力の高度化、②現場の幅広い製造技術・ノウハウをタイムリーに設計に生かすための流れを作ること、③構造設計によるあるべき姿の追求と、これを具現化でき

る革新的製造技術開発による独自のキーパーツの実現、の3項目を推進してきた。

現在、これらの施策が徐々に実を結びつつあり、①ジャストインタイム生産方式の全社展開による棚残縮減、②極微細欠陥解析技術をベースとした半導体デバイスの歩留り向上、③ポキポキモータに代表される独自のキーパーツの製品化、④エコプロダクツの実現による環境負荷の低減、等の成果を全事業部へ展開している。

この特集号では、三菱電機グループの生産技術への取り組みの一端を紹介するとともに、筆者の思いも含めて、モノづくり力を抜本的に改善するために、今後の生産技術が果たす役割の重要性について述べる。



生産技術者の活躍分野

モノづくり力の強化のためには、①現場の製造技術力強化と無駄の排除、生産管理力の高度化、②生産技術者が現場の幅広い製造技術・ノウハウをタイムリーに設計に生かすための流れを作ることが必要である。

1. ま え が き

“モノづくり”という言葉が至る所で聞かれるようになって久しい。かつては、日本を始めとし、韓国、台湾、香港、シンガポールなどが先進国から導入した技術と生産性に低賃金を組み合わせることによって経済発展を実現した。だが、もはやそのようなことが不可能な今、再び“モノづくり日本”として復活するためには何が必要なのであろうか。

まず必要なのは、現場の製造技術力の高度化と製造ラインでの徹底した無駄の排除、及び資材調達から客先納入までを含めた生産管理力の高度化である。この点については、各社とも“トヨタ生産方式”“セル生産”等を取り入れることによって、①リードタイムを短縮し市場の変化に追従できる生産体制の構築、②人的生産性向上、設備能力向上による原価低減、③製造現場改善力向上による製造品質の向上、④仕掛け削減による棚残縮減、等の施策を積極的に推進している。

もう一つ必要なのは、現場の幅広い製造技術・ノウハウをタイムリーに設計に生かすための流れを作ることである。近年の製品は、年々低コストでかつ高度な機能・性能が求められるため、製造サイドは、高度な製造技術・ノウハウを開発し、何とかこれに追従している。しかし残念なのは、この開発された高度な製造技術・ノウハウが、タイムリーに設計に生かされていないことである。

本稿では、筆者の思いも含めて、モノづくり力を抜本的に改善するために生産技術が果たす役割の重要性について述べる。

2. 生産技術に関する全社的施策

当社の生産技術は、1993年に発足した生産システム本部が統括している。生産システム本部は、全社の生産にかかわる施策の企画・推進をつかさどる4部(生産技術部、品質保証推進部、環境推進本部、ロジスティック部)と、生産システム技術の開発・実用化及び事業部への展開を担当する3センター(情報システム技術センター、設計システム技術センター、生産技術センター)から構成されており、製造生産性向上、設計生産性向上、情報・生産システム構築、品質保証、環境問題、ロジスティック戦略、情報インフラ管理等を担当している。

近年は4部、3センターが連携して、特に①ジャストインタイム生産方式の全社展開による棚残縮減、②品質工学の全社展開による品質向上、③環境マネジメントシステム構築やエコプロダクツの実現による環境負荷の低減、等の項目を中心に全事業部への展開を推進している。

3. 生産技術センターの活動

生産技術センターは、1994年に生産技術研究所と生産シ

ステム技術センターを統合して組織化され、生産システム本部の施策を三菱電機本体及び関係会社を含む三菱電機グループに展開するとともに、各事業部の生産にかかわる技術課題を解決する活動を10年間継続してきた。

ここ数年は特に、①現場の製造技術力強化とこれをベースとしたジャストインタイム生産方式の導入、②革新的な製造技術開発とこれを前提とした新規構造設計、及び②を一步進めた③構造設計によるあるべき姿の追求と、これを具現化できる革新的製造技術の開発による独自のキーパーツの実現、の3項目に注力している。

ここでは、これらの項目を中心に、発足当時から最近に至る活動の一例を紹介するとともに、これらの活動が今後どのように発展継続されていくのかについて述べる。

3.1 現場の製造技術力強化

(1) ジャストインタイム生産方式の全社展開

当社では、過去にトヨタ生産方式を導入し生産性改善を試みたが、継続的改善につながらず挫折(ごせつ)した経緯がある。しかし、昨今の大きな環境変化に追従できる経営体質・製造体質を構築するための全社施策の一貫として、生産システム本部が2003年度から無駄取りのためのジャストインタイム生産方式の意義を見直すとともに、全社的取り組みの推進を開始した。図1に当社のジャストインタイム生産方式に対する取り組みを示す。

この取り組みをいち早く推進したのが、重電部門である社会インフラ事業本部である。

社会インフラ事業本部の製品は、タービン発電機、制御盤、車両用推進制御装置、水処理等のプラント建設等である。これらの製品の特徴は、一品一様の個産品が主体でありかつ重量物であること、製造現場ではクレーン等の付帯設備のレイアウト変更が困難であること、製造工期が3～24か月と非常に長いことなどが挙げられる。これらの難題に対してもモノづくりの原点に立ち返って現場を見直し、

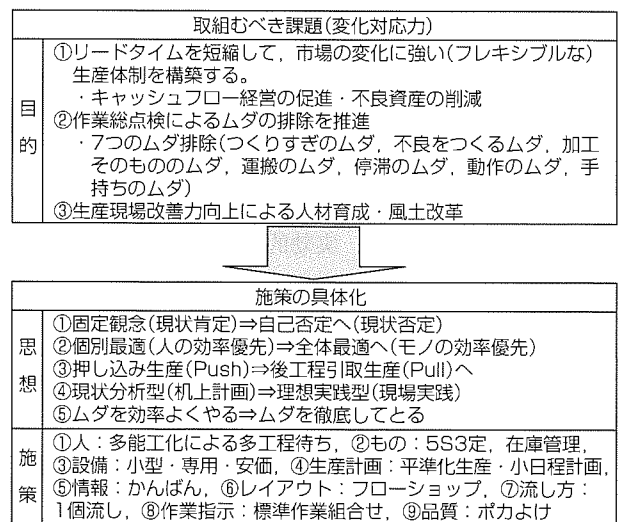


図1. ジャストインタイム生産方式の課題と施策

図に示すような取り組みを現場中心に展開し、生産の全プロセスをとらえた全体最適化をねらった無駄取りを行う活動を推進した。この取り組みの結果、全社の棚卸資産回転率を1年間で大幅に改善することができた。

現在、資材調達から客先納入まで含めた生産管理力の高度化も並行して進めており、三菱電機グループの関係会社も含めた全事業分野でのジャスト イン タイム生産方式確立に向けて、活動を加速して推進中である。

(2) デバイス製造技術開発

半導体を始めとする電子デバイスの製造では、工期短縮と品質向上が極めて重要な課題である。当社の半導体ウェーハプロセスラインでは、①上記ジャスト イン タイム生産方式の導入、②製造ラインの製品仕掛かりをコントロールするための生産管理システムの導入、③写真製版、成膜、エッチング等の微細加工プロセス装置における微細異物の低減と安定稼働、の3項目に重点を置いて工期短縮を進めており、デバイスの種類により多少のばらつきはあるものの、従来の約半分のマスク間工期を実現している。

一方、品質については、微細異物、静電気を対象としたクリーンルームの管理が重要であるのは言うまでもない。しかし、より重要なのは、極微細欠陥解析技術の開発と得られた欠陥情報(欠陥のサイズ、数、発生工程等)に基づく、①プロセス・装置改善、②構造設計及び回路設計の適正化である。この点については、次節で詳細に述べる。

3.2 高度な製造技術開発と新規構造設計

(1) 極微細欠陥解析技術⁽¹⁾

欠陥解析の前提条件となる欠陥検査、特にデバイスのデザインルールと大きな相関がある実効検出感度を向上させる技術について紹介する。

システムLSI等で多用されるメタル配線に対する実効検出感度が低い問題に対する解決策として、飽和効果を利用した手法を開発した。飽和効果とは、CCD(Charge Coupled Device)画像をA/D変換する際に、検出してほしくない欠陥に対する被検査画素と参照画素のグレーレベルの差分値(欠陥信号)をほぼ0にする手法である。照射光量を適正化することによって飽和効果を利用することができ、誤検出の原因であるグレインからの欠陥信号を選択的に低減し、タングステン残等の実欠陥のみを検出できることを明らかにした。この結果、実効的な検出感度が約2倍向上した。図2に飽和効果の一例を示す。

この手法は、膨大な追加投資を必要とせず、また、検査時間も従来法と全く変わらず、検査精度が大幅に向上するという特長がある。

生産技術センターでは、この技術を始め数多くの極微細欠陥解析技術を開発している。これらの技術を用いることによって検出された欠陥情報に基づき、各種電子デバイス製造プロセス・装置の改善を進め、大幅な品質向上を実現

している。

さらに一方で、これらの膨大な欠陥情報に基づき新規デバイスの量産時の不良率を予測する手法を確立し、デバイス不良率設計ツールとして設計サイドが利用できるシステムを構築した。このツールを利用すれば、設計サイドは、新規デバイス不良率を目標値以下で量産するためのデバイスのサイズ、デザインルール、デバイス構造、冗長回路の本数を極めて短時間で決定することができる。

生産技術サイドが現場の幅広い製造技術・ノウハウを設計に生かすための流れを、デバイス不良率設計ツールを介して構築した例である。

(2) 圧縮機の精密加工・組立技術

開発された高度な製造技術・ノウハウがタイムリーに設計に生かされているもう一つの例として、空調機器の圧縮機がある。

空調機器の省エネルギー・高効率化の要求に対応するため、そのキーパーツである圧縮機の部品加工の高精度化が不可欠である。従来の加工方式ではCOP(Coefficient of Performance)に限界があったが、加工時の工具変形を補正する工具変形補正制御研削技術を開発し、スクロール部品の高能率・高精度加工を実現した。この結果、スクロール圧縮機でCOP1.6%向上を実現した。

また、従来の組立方式では、圧縮機の品質・信頼性を向上させるためには、高精度に加工された軸受部品を数多く使用することを余儀なくされていた。そこで、①軸受内面基準で高精度に計測・位置決め固定できる軸受調心溶接組立技術、②熱ひずみ制御による軸ずれ修正技術を開発し、軸受組立精度を改善するとともに軸受部の設計を大幅に見直した。

その結果、軸受部品点数を大幅に削減でき、かつ、部品加工精度も従来ほどの高精度を必要としなくなり、品質・信頼性の更なる向上を実現した。

3.3 革新的製造技術の開発とキーパーツの実現

(1) ポキポキモータと磁石⁽²⁾

地球環境保護の観点から、モータの省エネルギー化のニーズが旺盛であり、小型・高効率を特長とするブラシレス

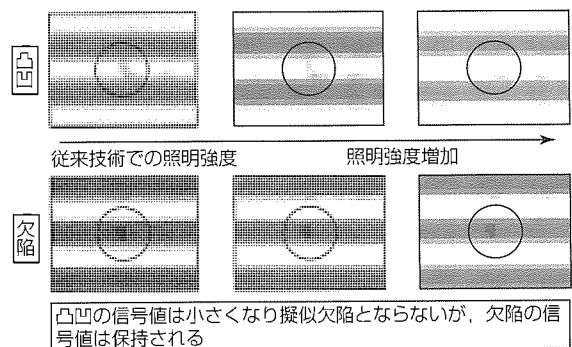


図2. 照明強度の適正化による飽和効果

DC(Direct Current)モータが普及している。

当社では、1993年に通称“ポキポキモータ”という独自のステータ構造と、これに基づく“展開した鉄心に巻線してから丸める”という製造プロセスを考案した。ポキポキモータは、この10年間にブロック薄肉連結型、薄肉連結型、逆反り型、関節型、関節円弧型、提灯(ちょうちん)型というバリエーションを開発し、情報機器、FA機器、家電機器、自動車機器、昇降機等の高性能化、軽薄短小化、高効率化のニーズにこたえてきた。図3に関節円弧型ポキポキとそれを適用したエレベーター用の薄型巻上機を示す。

また、一方で、ロータに使用する高性能希土類磁石の成形コストを大幅に削減できる加工方法を開発した。これは、リング状のネオジウム・鉄・ボロン系焼結磁石の成形体を一つ一つ加工した後、その成形体を金型から取り出して複数重ねていき、形状精度が高い円筒状の磁石の成形体を製作するもので、専用の装置“イカリリング磁場中成形装置”を考案し開発した。当社は、今後、新しい装置で作る磁石を自社のモータに搭載し、モータの付加価値向上をねらう。

(2) 成形部品

製品を組み立てる上で、ネットシェーブパーツ化はコスト低減のために極めて有効な手段である。パーツの機能を革新させかつネットシェーブで仕上げるためには、製造技術開発と構造設計とを同時に行うのはもちろんのこと、これに加えて、材料開発にまで踏み込むことによってより独創的な技術が確立できる。

ここでは、自動給湯機能を持つ電気給湯器で使用される樹脂製湯水混合弁を紹介する。

図4に示す湯水混合弁は、当社独自の超高精度樹脂成形技術を適用して、円筒形状を持つPPS樹脂製の筐体(きょうたい)と弁体の真円度を、従来の10倍の精度でネットシェーブ成形した。この技術により、回転する弁体と筐体との隙間(すきま)を極めて精度良く適正寸法に保つことができるとともに、従来のスプール式混合弁に比べて3倍の応答速度を実現した。この結果、湯温を精度良く、安定に保つことが可能になるとともに、水道水中の異物による動作不良を皆無にした。

このような超高精度樹脂成形技術のほか、高アスペクト比のダイカスト技術、高精度溶湯鍛造技術は、当社の全事業分野のキーパーツひいては製品の機能革新、原低、品質

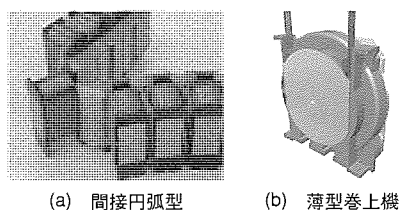


図3. 進化するポキポキモータと適用事例

向上に大きく寄与している。

(3) 高放熱トランスファモールド型パッケージ

材料開発にも踏み込んだ製造技術が重要な役割を果たした例として、パワーモジュール用高放熱トランスファモールド型パッケージがある。

従来のトランスファモールド型のパッケージ構造における決定的な問題点は、モールド樹脂の熱伝導率の低さに起因する放熱性の悪さである。新規に開発したパッケージは、図5に示すように、パワー素子が銅のヒートスプレッド上に鉛フリーはんだで固定される。銅の下部には、新規に当社の先端技術総合研究所で開発された有機の高熱伝導性の絶縁シートを配置する。この構造により、トランスファモールド型パワーモジュールの放熱性が約4倍と大幅に改善され、このモジュールの適用可能範囲を数百Aにまで拡大できた。また、モールド封止によりはんだ層の信頼性は確保できており、パワーモジュールの大幅な小型化が実現できた。

このパッケージ構造の実現が、現在市場からの要求がますます強くなっている低ロスパワーモジュールの安定供給を可能にした。

上記ポキポキモータ、磁石、成形部品、パワーモジュール用パッケージは、特許やノウハウで抑えられた革新的な技術をベースにしたキーパーツであり、今後更に多くのキーパーツを開発し、当社製品の更なる機能向上、品質向上を実現したいと考えている。

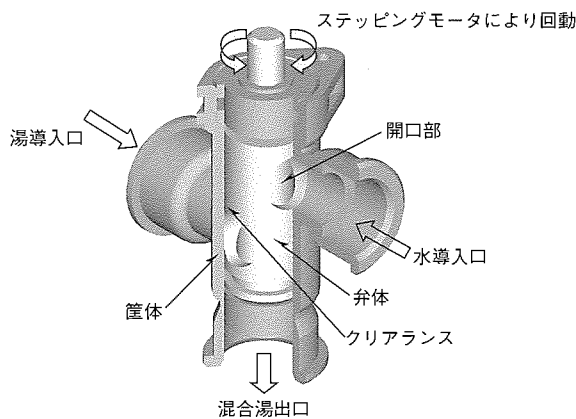


図4. 樹脂製湯水混合弁

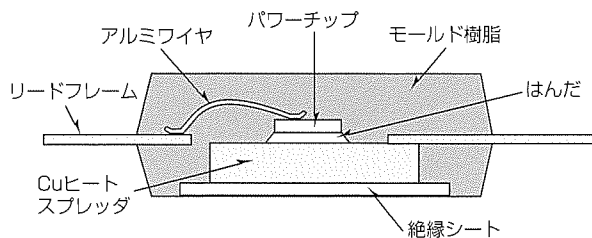


図5. 新構造トランスファモールド型パッケージ

4. む す び

これからの10年、モノづくり力の抜本的改善に向けて、①現場の製造技術力強化とこれをベースとしたジャストイン タイム生産方式の導入、②革新的な製造技術開発とこれを前提とした新規構造設計、③構造設計によるあるべき姿の追求と、これを具現化できる革新的製造技術の開発による独自のキーパーツの実現、を強力に推進したい。

これらの推進項目の起点はすべて製造現場、製造技術であり、実現すべき内容は、製造技術を設計に生かす流れを作ることに尽きる。

設計者がこの流れを作ることも必要であるが、ここは正に生産技術者の出番であり、生産技術者が、設計者とのキャッチボール等あらゆる手段を駆使して、製造技術を設計に生かす流れを作ることが重要である。

今後はさらに、グローバル生産、特に市場としての魅力

が大きい中国における生産と国内生産をどのように切り分けていくか、また、これから迎える少子高齢化社会において、高度な生産技術、技能を持つ高齢者の活用と若年層の高度教育をどのように進めるか、などの課題についても正面から取り組んでいく必要がある。

これらの課題を解決していく場合にも、起点を製造現場、製造技術に置いた取り組みを推進したいと考えている。

参 考 文 献

- (1) Sakurai, K., et al.: Solution of Pattern Matching Inspection Problem for Grainy Metal Layers, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, **15**, No.1, 118~126 (2002)
- (2) 三宅展明: 最新のモータ製造技術, 三菱電機技報, **76**, No.6, 426~430 (2002)

高放熱樹脂封止型パワーモジュール

中島 泰* 鹿野武敏+
 多田和弘** 加柴良裕++
 佐々木太志***

High Thermal Dissipation Transfer Molded Package for Power Modules

Dai Nakajima, Kazuhiro Tada, Taishi Sasaki, Taketoshi Shikano, Yoshihiro Kashiba

要 旨

近年、省資源、省エネルギーやCO₂ガス排出量削減などの社会的要請を背景に、モータのインバータ制御化が進んでいる。そこに用いられるパワーモジュールは、複数のスイッチング素子を一体化した半導体パッケージであり、放熱と絶縁を兼ね備え、高い信頼性を要求されるキーパーツである。

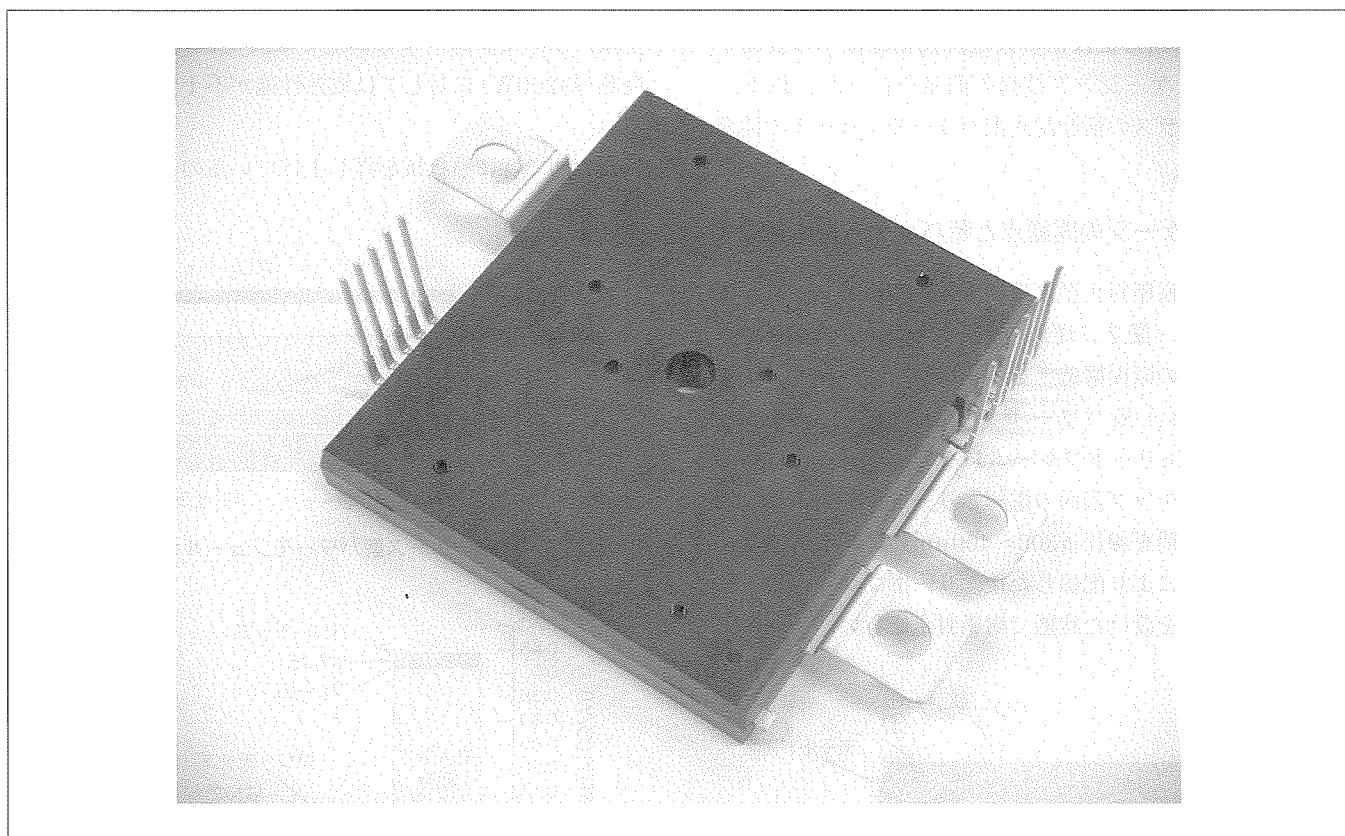
三菱電機はこれまで600V/50A以下の小容量分野にDIP-IPM(Dual In-line Package Intelligent Power Module)と呼ばれるICパッケージの技術に応用した樹脂封止型パワーモジュールを送り出し、その小型軽量のコンセプトが民生向け用途で受け入れられてきた。

しかしながら、75Aを超える製品群では、放熱性の制約から、あらかじめ樹脂成形したケースとAlNセラミック基

板を備えたケース構造を用いた製品群を生産しており、サイズ、質量が大きいことや生産性が悪いことが問題であった。

今回、新たに高放熱絶縁樹脂を用いたパッケージ構造を開発することで、600V/300Aまでに適用可能な樹脂封止型パワーモジュールを実現し、小型軽量化に成功した。また、従来のパワーモジュールでは水質を汚染する元素として使用制限が進んでいる鉛を含んだはんだを用いていたが、鉛はんだに比べ信頼性の劣る鉛フリーはんだを用いて目標耐久性をクリアし、完全鉛フリーのパワーモジュールを実現した。

このような小型軽量、低環境負荷という特長を持つ高放熱樹脂封止型パワーモジュールの開発について述べる。



600V/300A 2 in 1 パワーモジュールの外観

3本の主端子は、手前側がP端子とN端子、奥が出力端子である。中央の穴はねじ止め用で貫通しており、押さえ板をモジュールの上に配置してボルトでヒートシンクに固定することで、3つ並べたときの無駄面積を最小限にしている。

1. ま え が き

省エネルギーやCO₂の排出量削減などの要請を背景に、パワーエレクトロニクスは今後も堅調な需要が期待できる製品分野である。三菱電機は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) などのパワー半導体素子をパッケージングしたパワーモジュールと呼ばれる製品群で、産業モータなどへの市場ニーズにこたえてきた。

パワーモジュールは、大電流・高電圧で用いられるため、絶縁性能と放熱性能を両立させたパッケージ構造へと進化してきた。これまで、50A以下の比較的電流容量が小さく主に家電製品向けの製品群に対しては、DIP-IPMで、そのコンパクトさと高信頼性により顧客ニーズにこたえてきた⁽¹⁾。そのキーとなる技術が、ICパッケージの生産で培われた、リードフレームを用いた樹脂封止技術である。この技術には以下のような特長がある。

- (1) リードフレームを用いるため、位置決めや搬送の自動化が容易で、生産性が高い。
- (2) 金型内に樹脂を流し込み硬化させて筐体(きょうたい)の外形を形成するため、ケースや樹脂封止、蓋(ふた)の取付けなどが簡素化される。
- (3) 樹脂封止工程では多数個を同時に生産するため生産性が高い。

今回、この樹脂封止技術の大電流容量機種への展開を行うためのパッケージング技術の開発を行った。以下、600V/300Aクラスの樹脂封止型パワーモジュールの開発について述べる。

2. 従来パッケージの問題点と新パッケージの構造

図1に従来の樹脂封止型構造による10A級パワーモジュールの断面構造、図2に従来のケースを用いた300A級パワーモジュールの断面構造⁽²⁾を示す。

従来の樹脂封止型パワーモジュールは、厚み0.5～0.7mm程度のCuリードフレームにパワーチップをはんだ付けし、パワーチップ表面の電極とリードフレームに設けられた内部電極間を線径φ300～400μmのアルミ線でワイヤボンディングにより配線した後、リードフレームの下に空隙(くうげき)を設けた状態で樹脂封止を行い、モールド

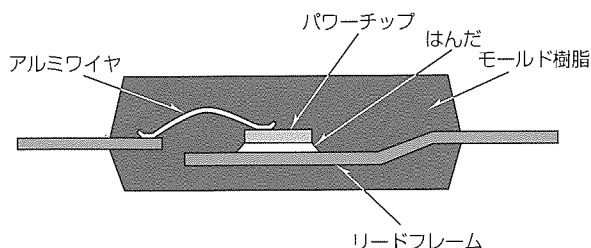


図1. 従来の樹脂封止型パワーモジュールの断面構造

樹脂が硬化した後、リード加工を行って外部電極を形成する。パワーチップの発熱は、リードフレームで広げられ、リードフレームの下に形成されたモールド樹脂層を通して放熱される。

図2は従来の300A級のケース型パワーモジュールの断面構造である。パワーチップは両面にCu箔(はく)が積層されたAlNセラミック基板に配置され、セラミック基板は厚み3～4mmのCu合金のベースプレート上に配置され、それぞれがはんだ付けされている。次に、電極が一体成形されたインサートケースとベースプレートを接着などで固定し、同じくアルミ線のワイヤボンディングでインサートケースの電極とパワーチップの電極間の配線を行う。絶縁性ゲルをケース内に充填(じゅうてん)し硬化させ、最後に蓋を取り付ける。この構造では放熱性が高いというメリットがあるものの、大型で重いことから搬送の自動化が困難など生産性に問題があった。

図3に、従来の樹脂封止型パワーモジュールとケース型パワーモジュールの熱抵抗を比較した結果を示す。これは、300A相当のチップサイズで計算により求めたものである。熱抵抗が大きいほど発熱量に対するパワーチップの温度上昇が大きいことを意味し、パワーチップが動作可能な安全温度範囲が限られることから、大きな電流値では利用できないことになる。この図に見られるように、従来の樹脂封止型パワーモジュールの構造では300Aのパワーチップの発熱(約200W)に対しては放熱性能が不十分であると言える。

この図で特に熱抵抗を押し上げているのはモールド樹脂

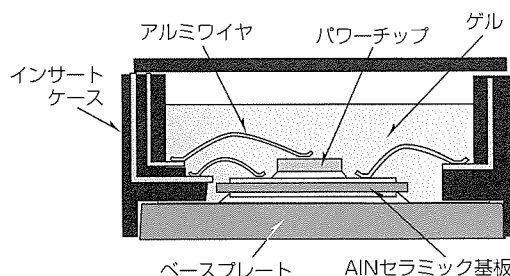


図2. 従来のケース型パワーモジュールの断面構造

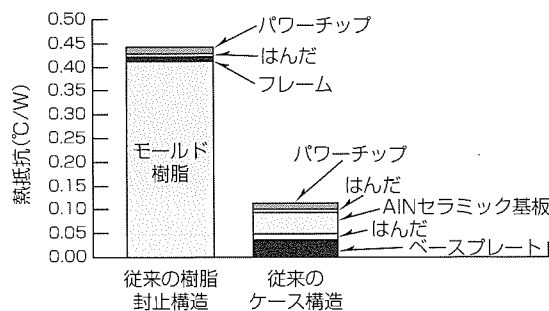


図3. 従来の樹脂封止型パワーモジュールとケース型パワーモジュールの熱抵抗の比較

である。これは、モールド樹脂の熱伝導率が最大でも 3 W/mK と、例えば AlN セラミック基板の $130 \sim 170 \text{ W/mK}$ に比べて非常に小さく、厚みも絶縁性を保つために約 0.5 mm 程度必要となっていることが影響している。熱伝導率はモールド樹脂の流動性と相反関係にあり、熱伝導率を改善しようとする必要とすると絶縁性を確保するために必要なモールド樹脂厚みが大きくなるため、モールド樹脂による絶縁層の形成では熱抵抗の目標値を達成できない結果となった。

そこで、今回開発した樹脂封止型パワーモジュールでは、放熱性を改善するために以下の手法を用いた。

- (1) 絶縁層をモールド樹脂とは異なる熱伝導率の大きな第二の樹脂に代え、流動性という制約を受けなくする。
- (2) パワーチップはリードフレームより板厚の大きな別部材に搭載し、熱を横方向に可能な限り広げた後に絶縁層を通す。

図4に新構造の断面図を示す。パワーチップは 3 mm の板厚のヒートスプレッドにはんだ付けされる。そして、フレームとヒートスプレッドを接合し、フレームの電極とパワーチップの電極をワイヤボンディングにより配線する。ヒートスプレッドの下に新たに開発した絶縁樹脂シートを接着し、樹脂封止する。

絶縁樹脂層の熱伝導率がモールド樹脂に比べ約2倍のものを開発した。所定の絶縁性確保に必要な厚みは、モールド樹脂の場合の約半分となった。これらにより、熱抵抗の抑制が可能となった。

図5に、従来の樹脂封止型モジュールと新構造の熱抵抗の比較を示す。熱抵抗はケース構造と同等まで改善した。

このような構造をとることにより、 $600 \text{ V}/300 \text{ A}$ 級のパワーモジュールの小型軽量化が可能となり、従来比 $1/5$ の小型化と、 $1/3$ 以下の質量比を実現できた。

3. 鉛フリーはんだの信頼性

環境に対する鉛の悪影響が指摘され、近年、急速に鉛フリーはんだへの切り替えが進んでいる。パワーモジュールでは放熱性を確保するために接合材料にはんだを用いているが、材料間の線膨張率のミスマッチングが大きいことと自身の温度変化が大きいことに起因してはんだ層に亀裂(きれつ)が発生進展し、放熱性を阻害するという現象が発生

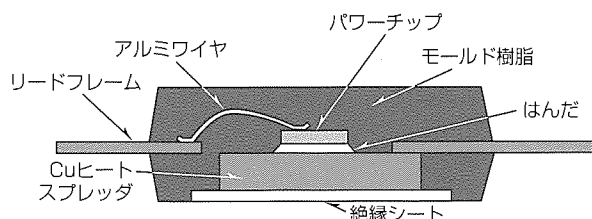


図4. 新たに開発した樹脂封止型パワーモジュールの断面構造

する。このため、はんだ層の寿命確保が課題となる。今回、鉛フリーはんだを用い、モジュールで要求される信頼性レベルを確保する構造を実現した。亀裂進展に対する寿命ははんだのひずみ量と強い相関があり、図6のようなコフィンマンソンプロットで寿命予測が可能である⁽³⁾。図のように鉛フリーはんだは、ひずみが大きい領域では、鉛はんだに比べ、同じひずみ量での寿命が短いことが分かる。大半のモジュールの必要な寿命を満たす信頼性試験寿命は $233 \sim 398 \text{ K}$ 、 $1,000$ サイクルであり⁽⁴⁾、この目標値を十分なマージンを持ってクリアするためには、鉛フリーはんだのひずみ量を 0.015 以下にする必要があると言える。

図7に、この構造と従来構造におけるはんだ部のひずみ量の解析結果を示す。

図のように、モールド樹脂で封止されていることで、は

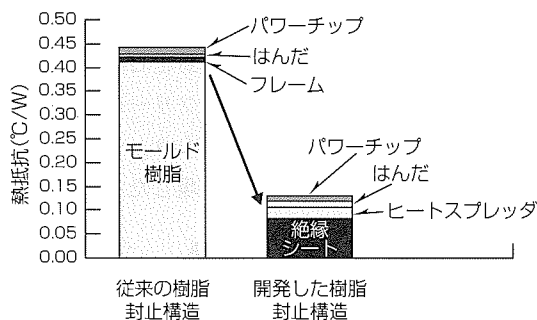


図5. 従来の樹脂封止型構造と新たに開発した構造の熱抵抗の比較

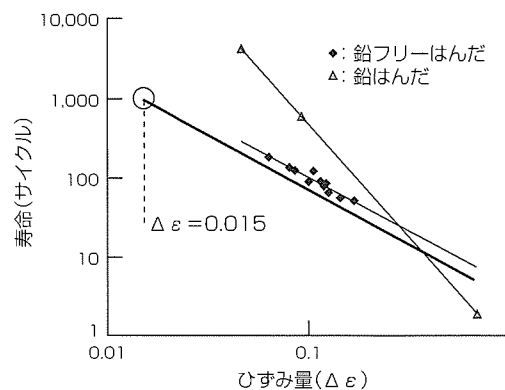


図6. 鉛はんだと鉛フリーはんだのコフィンマンソンプロット

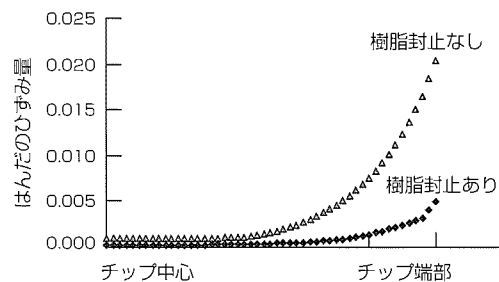


図7. 樹脂封止の有無によるはんだのひずみ量の比較

んだのひずみ量を1/4に抑制できていることが分かる。これは、パワーチップとCuヒートスプレッタの線膨張率差を、はんだだけでなく、モールド樹脂がパワーチップを支えることで緩和するという作用によるものである。また、ひずみ量は目標値を大幅に下回っていることが分かる。

図8に信頼性の検証結果を示す。図のように1,000サイクル後もはんだ層に亀裂の発生は見られず、所望の信頼性を満たしていると言える。図中、ヒートスプレッタ表面に見られる模様は、モールド樹脂とヒートスプレッタの密着を確保するためにヒートスプレッタ表面に形成したディンプルである。図9の断面模式図に示すように、ヒートスプレッタ表面を凹凸にして得られるアンカー効果で密着性を確保している。

なお、図10に、ディンプルがない場合の信頼性試験結果を示す。図のように、モールド樹脂が剥離(はくり)した領域ではんだ層に亀裂が進展していることが分かる。

このように、モールド樹脂による封止とヒートスプレッタ表面のディンプル加工により、鉛フリーはんだを適用したときに必要な信頼性を確保可能となり、世界で初めて完全鉛フリーのパワーモジュールを実現した。

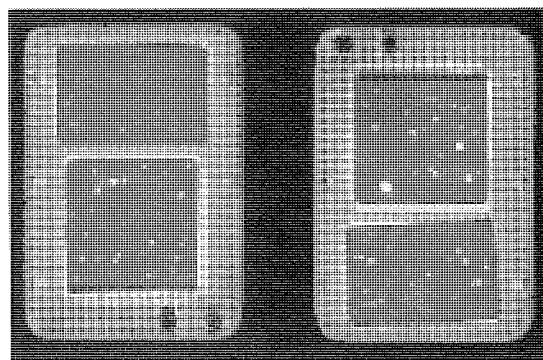
4. む す び

今回、リードフレームを用い、かつ小型軽量で生産性が高いという特長のある、ICパッケージの技術を用いた600V/300Aクラスの樹脂封止型パワーモジュールを実現できる構造を開発した。この構造においては、新規の絶縁放熱樹脂を用いた熱抵抗低減により、高放熱化を実現した。また、樹脂封止とディンプル加工により、はんだのひずみ量を抑制することで完全鉛フリー化を達成した。

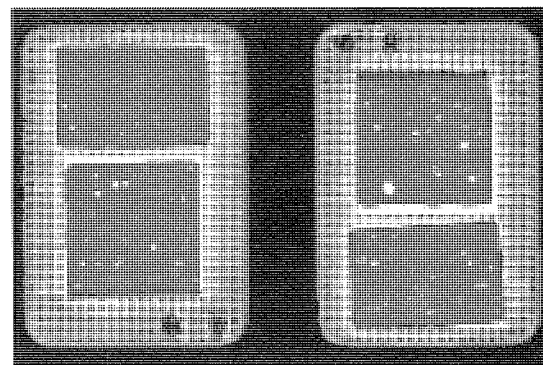
この高放熱樹脂封止型パワーモジュールが、今後、インバータを支えるキーパーツとして更に発展・進化していくものと確信している。

参 考 文 献

- (1) 岩崎光孝, ほか: 小容量モータ駆動用トランスファモールドIPM, 三菱電機技報, 75, No.6, 397~400 (2001)
- (2) 篠原利彰, ほか: パワーモジュールパッケージの技術動向, 三菱電機技報, 75, No.6, 421~424 (2001)
- (3) 竹本 正, ほか: 高信頼度マイクロソルダリング技術, 日刊工業新聞社 (1986)
- (4) 深田雅一, ほか: HEV用IPMの技術展開, 三菱電機技報, 75, No.6, 409~412 (2001)



(a) ヒートサイクル前



(b) ヒートサイクル1,000サイクル後

図8. ヒートサイクル前後のはんだ付け界面の超音波顕微鏡による観察結果

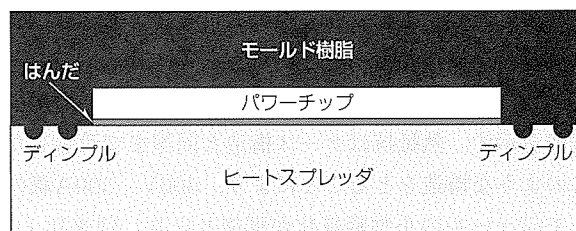


図9. ヒートスプレッタのパワーチップ周辺に設けたディンプル

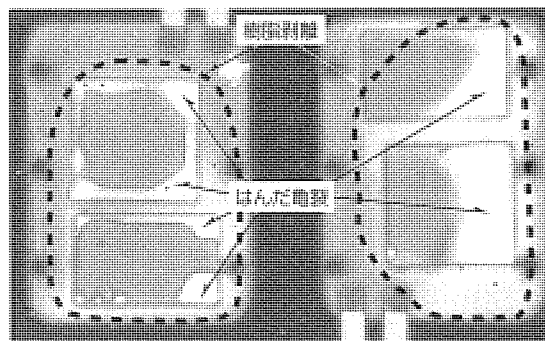


図10. ヒートサイクル1,000サイクル後のはんだ付け界面の超音波顕微鏡による観察結果(ディンプルがない場合)

光デバイス製造における 半導体生産技術の展開

岡 一宏* 木村達也**
高山智生*
梶田直幸*

Development of Semiconductor Manufacturing Technology on Optical Device Production

Kazuhiro Oka, Tomoo Takayama, Naoyuki Kajita, Tatsuya Kimura

要 旨

近年、光通信技術の急速な普及拡大やパソコン等での光情報機器の技術進歩に対応し、そのキーパーツである半導体レーザなどの光デバイスの需要は拡大の方向にある。

光デバイスは、サブミクロンオーダーの微細な構造を基板上に作り込むことでその機能を発現させる点では、メモリやシステムLSIなどのシリコン半導体とその製造工程が多くの点で類似している。

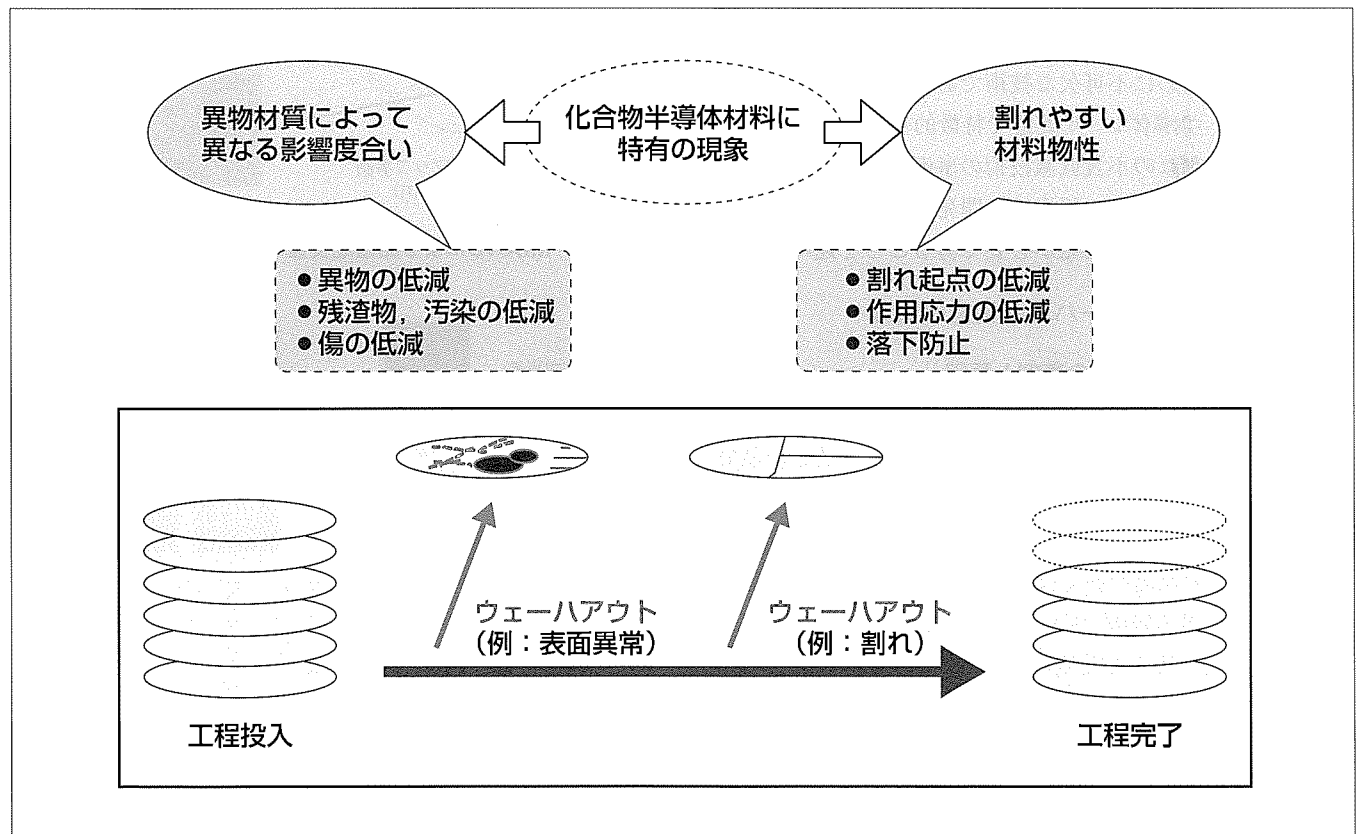
このため、光デバイス製造の生産性向上には、その事業規模の点で先行して進歩を遂げてきたシリコン半導体でのウェーハプロセス・装置技術を展開することが有効である。

しかし、光デバイスで用いられる材料はGaAs系やInP系などの化合物半導体であり、材料物性的な違いによってシリコン半導体とは異なった生産技術も必要である。

この違いは、デバイス構造を作り込む製造プロセスにだけではなく、ウェーハの表面異常や割れといったデバイス構造にはよらない加工不良の低減技術にも存在する。

本稿では、その具体的事例として、半導体レーザ製造のウェーハ工程において特徴的な“付着異物材質によって発生状態が異なるウェーハ表面異常の低減技術”と“ウェーハが工程中に割れる原因とその低減技術”を詳述することにより、光デバイス製造ならではの生産技術の特異性を紹介する。

これらの技術を始めとしてここ数年のたゆまぬ技術開発により、三菱電機の半導体レーザ製造では、表面異常や割れといったウェーハ加工不良は飛躍的に低減した。



ウェーハ工程における不良原因と光デバイス製造における低減方法

ウェーハ工程における不良原因には、デバイス構造の作り込みの出来映えによってデバイス特性に影響するもの以外に、ウェーハ表面異常やウェーハ割れといったデバイス構造によらないものも多く存在する。光デバイス製造では、化合物半導体という材料を用いるために、シリコン半導体では起きないような不良原因があり、これらの低減技術がウェーハ工程の生産性向上に向けたキー技術の一つとなっている。

1. ま え が き

情報化技術の進展に伴い、その多大な情報量を取り扱うために、光を用いた伝送や記録の技術は今後ますます進展していく方向にある。そのキーパーツである光デバイスでは、半導体レーザやフォトダイオードなどの光半導体素子の高性能化が必要であり、それらの発光特性向上や高出力化などが市場からも強く求められ、その性能開発は近年すさまじいスピードで進んできている。

これらの光デバイスにはGaAs系やInP系などの化合物半導体を用いられており、100 μm オーダーのサイズの素子を化合物半導体のウェーハ基板上に作り込むことで製造される。そのデバイス機能を決める素子構造やその出来映えは、シリコン半導体と同様、ウェーハプロセス・装置技術によって決まる。例えば、エピタキシャル結晶成長やドライエッチングなどはサブミクロンレベルの加工精度が要求される先端技術⁽¹⁾⁽²⁾であり、その生産技術力の優劣によってデバイス特性レベルや製造不良発生率は大きく左右される。

一方、ウェーハ表面異常やウェーハ割れといったデバイス構造によらず発生する加工不良の低減も、シリコン半導体製造と同様に光デバイス製造でも大きな課題になる。これらの不良要因を低減することは、高性能化により加工制御がますます困難になってきている光デバイスの生産効率を向上させるために不可欠な技術である。

本稿では、半導体レーザ製造で特徴的なウェーハ表面異常やウェーハ割れの不良低減技術の事例を詳述することにより、シリコン半導体の製造技術開発とは異なる視点での光デバイスの製造技術開発が必要であることを述べる。

2. ウェーハ表面異常の低減

2.1 ウェーハ表面異常の事例と原因

半導体レーザ製造で発生するウェーハ表面異常の事例としては、発光特性を決める化合物結晶層を作り込む結晶成長、光導波路の微細形状加工のためのエッチング、電極形成のための絶縁膜や導体膜の成膜など、様々な工程で認められるが、その原因の多くは装置、治工具などから付着した異物や前工程の残渣(ざんさ)物(写真製版工程のレジスト、洗浄不足で残った前処理液など)である。これらの不良原因は、プロセス開発段階から明確なために量産段階では対策されている場合もあるが、発生してもウェーハ上の一部のデバイスしか不良にならない、量産する製造ラインによってその発生頻度が左右されるといった場合も多く、その原因究明や対策の技術追求が不十分な事例も多い。

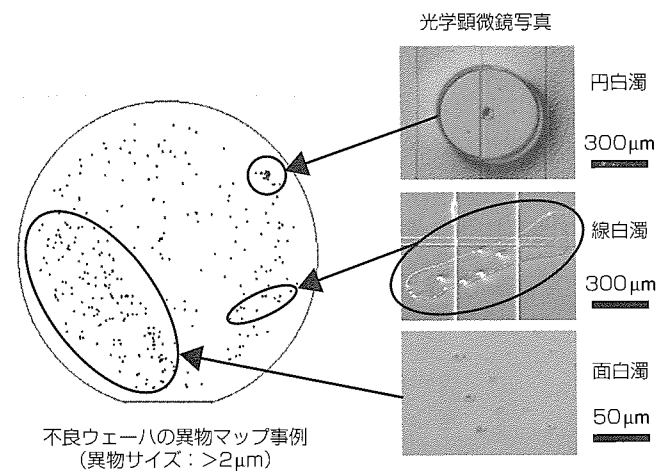
シリコン半導体の製造プロセスでも、残渣物や異物による表面異常での加工不良を低減するため、ウェット処理装置でのミスト付着低減や装置内外の異物発塵(はつじん)低

減、及びそれらの除去といった技術が進んでおり、その対策方法は半導体レーザの製造にも数多く取り入れられている。しかし、異物起因のウェーハ表面異常低減技術開発の中には、化合物半導体の製造プロセスに特徴的な事例もある。

2.2 結晶成長工程でのウェーハ表面異常

半導体レーザのデバイス構造を作り込むエピタキシャル結晶成長プロセスとして有機金属気相成長(Metalorganic Chemical Vapor Deposition : MOCVD)法⁽²⁾を用いた場合、発生するウェーハ表面異常には、図1に示すような幾つの特徴的な種類がある。原因解析によりこれらの原因は異物やミストの付着によることが分かっているが、その異常範囲は付着部位のみだけでなく、異物によっては広い範囲に広がる場合がある。

図2にその事例を示す。ウェーハ上に無機系(金属系、



不良ウェーハの異物マップ事例
(異物サイズ: >2 μm)

図1. MOCVDによる結晶成長後のウェーハ表面異常事例

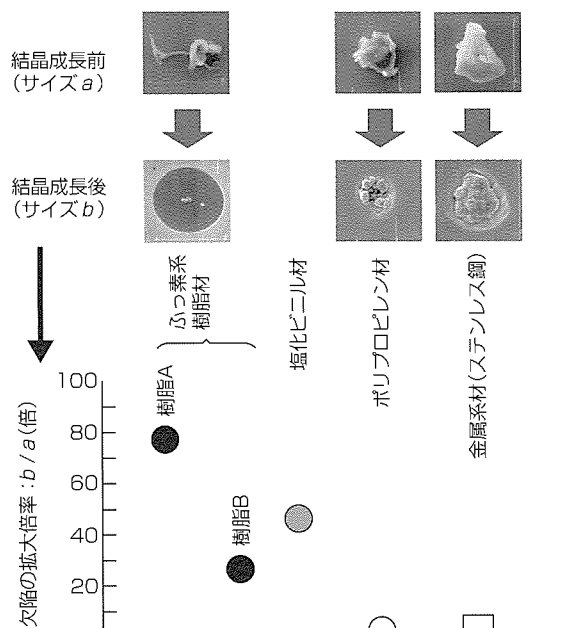


図2. 結晶成長前の異物と成長後のウェーハ表面異常

酸化物系など)異物が付いた場合は、その異物の付着部位だけが異常になる。また、樹脂などの有機系異物でも、半導体プロセスで治工具などに多用されているポリプロピレン材の場合には、その影響範囲は異物サイズの数倍以内である。ところが、有機系異物でも、同じく半導体プロセスの治工具などで多用されているふっ素系樹脂や塩化ビニルなどの場合には、その影響範囲は異物サイズの数十倍にも広がってしまう。シリコン半導体の製造プロセスでは、これらの有機系異物が付着してもその影響範囲は広くても異物サイズの数倍程度であることから、半導体レーザ製造でのMOCVD結晶成長に特徴的な事例である。

そこで、結晶成長の前処理から結晶成長までの工程で、カセットや搬送保持具などウェーハが接触して異物が付着する可能性がある治工具類の材質を調査し、変更が可能な場合には、無機材やポリプロピレン材に変更してきている。特に、前処理工程については、シリコン半導体で薬品に対する耐食性や耐磨耗性などの観点から多用されているふっ素系樹脂材の使用を可能な範囲で控えるため、例えばポリプロピレン材などでの耐用の範囲や回数を詳しく調べるなど、副作用がないことを確認して対策を実施した。その結果、これらのウェーハ表面異常は撲滅できている。

図1の事例以外にも、ウェーハプロセス装置で新規交換した真空部品からの放出ガスによる表面汚染で結晶成長後に表面異常が起きるなど、シリコン半導体では起きないような表面異常が異物や残渣物の影響でウェーハの広範囲に発生する事例がある。これら半導体レーザ製造プロセスに特有の表面異常も、ここ数年で飛躍的に低減できている。

3. ウェーハ割れの低減

3.1 ウェーハ割れの事例と原因

ウェーハが工程中に割れる不良は、シリコン半導体でも発生している課題で、搬送やハンドリングでの落下破壊や傷などを起点とした破断など、原因は化合物半導体でも同様である。

しかし、化合物半導体の方がシリコン半導体よりもウェーハ割れは起こりやすい。その理由を図3に示す。ウェーハの端部などに傷などの欠陥があった場合、そこを起点として破断が生じる条件範囲は材料によって大きく異なる⁽³⁾。例えば、同じ欠陥深さで比較すると、GaAsウェーハはSiウェーハの約1/2の作用応力で破断が生じることが分かる。このため、速度を含めた装置上でのウェーハハンドリング条件をウェーハへの作用応力が減るように調整することで、ウェーハ割れ発生率が低減することは確認できている。

ここではGaAsウェーハについて説明したが、InPウェーハなど、他の化合物半導体材料でもウェーハ割れはシリコン半導体よりも起きやすい。

3.2 ウェーハ割れ起点の低減

ウェーハ割れを低減する方法として、ウェーハにかかる作用応力を低減するのは別の考え方として、同じ作用応力がかかってもウェーハを割れにくくするために、図3で示した欠陥の深さを小さくし、かつ欠陥数も減らすなど、割れの起点を低減する方法がある。

ウェーハ割れ発生の状況や傾向を詳細に解析すると、図4に示すように、ウェーハのある一定位置が起点となって発生している場合が多い。この場合、ウェーハが治工具や装置内の特定のパーツと繰り返し接触することで発生する欠けや傷なども原因として挙げられるが、定常的に加工形成しているウェーハ上の印字などの部位がウェーハ割れの起点になる場合もある。

印字はレーザや薬液を用いたエッチング加工で施されるが、印字の融通性が高い、必要面積が小さい、視認性を高めるため深くエッチングすることが容易などの理由からレーザ加工による印字方法が広く使われている。

しかし、視認性や印字部の面積を重視するあまり、図5(a)のような狭く深いエッチングをレーザ加工で行うと、図3に示すように低い作用応力でも簡単に割れが発生してしまう。これに対し、例えば図5(b)に示すように、浅くかつ広幅で半円形状になるようにレーザのパワー密度を下げるなどの条件で印字をドット状に形成すれば、視認性を確保した上で、ウェーハ破断の起点にもなりにくい。実際、このような改善によって、図4に示すような一定位置でのウェーハ割れの発生率が低減することは確認できている。

レーザ加工による印字部の改善は、シリコン半導体では、そのエッチング部に形成された膜の残存物や堆積(たいせき)した残渣物がその後のエッチング工程で流れ出て異物を多発させたり、ウェーハ面内の温度均一性が熱容量的に印字部周辺で変わるなどの理由で対策がなされている事例はある。しかし、このような割れの起点の低減という観点での対策は、材料的に破断強度が弱い化合物半導体で特に求められるといっても過言ではない。

ウェーハ割れが発生した場合、割れが発生した工程での原因探索に目が行きがちであるが、ここで示した事例のよ

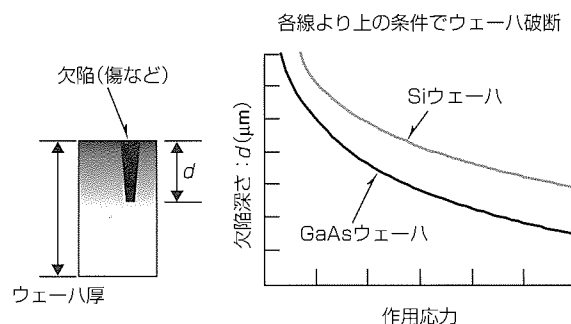


図3. ウェーハ破断が発生する作用応力と欠陥深さの関係

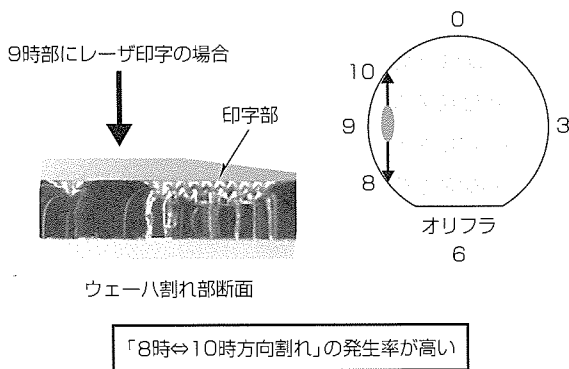


図4. ウェーハ割れの起点とレーザー印字との関係

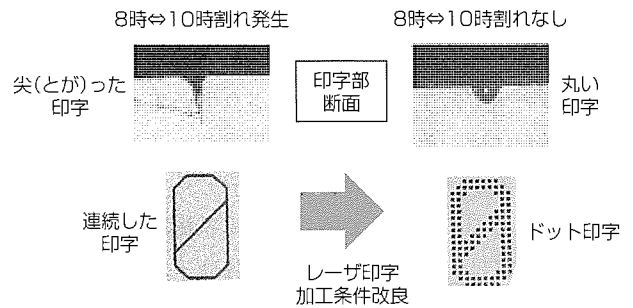
うに、ウェーハ自体に問題がある点も考慮した対策を進めることも、併せて有効かつ必要である。

4. む す び

化合物半導体を用いる半導体レーザーなどの光デバイスの製造では、用いる材料や製造プロセスがシリコン半導体とは異なることもあり、ウェーハの表面異常や割れといった加工不良において特徴的な事例も多く、その対策には特有の視点や技術開発が必要であることを述べてきた。

このように、材料的な差異を通じて構築した加工不良低減の技術的な知見は、逆にシリコン半導体に対してはもとより、ガラスを基板に用いた液晶半導体といった他のデバイスでの加工不良の原因や対策を進める上でも参考になる。

光デバイスは、今後の情報化社会の発展の中でますます重要な電子部品として、そのデバイス機能の向上とともに、安定かつ低価格での供給が求められていくことは間違いな



(a) レーザパワー密度：大 (b) レーザパワー密度：小

図5. レーザ印字の加工条件と印字部の断面構造

い。そのためにも、デバイス構造によらない表面異常や割れといったウェーハ加工不良を出さずに安定に製造するデバイス生産技術の開発に、当社は、今後も引き続き取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 西口晴美, ほか: 記録型DVD装置用赤色高出力半導体レーザー, 三菱電機技報, 78, No.3, 187~190 (2004)
- (2) 竹見政義, ほか: 記録型DVD用赤色レーザー対応エピタキシャル成長量産化技術, 三菱電機技報, 78, No.3, 191~194 (2004)
- (3) Margevicius, R. W., et al.: Influence of crack propagation direction on {110} fracture toughness of gallium arsenide, Philosophical Magazine A, 78, No.3, 567~581 (1998)

LCD業界における小型基板工場の 価値と活用

小河育夫* 木之下儀美+
大寺進** 塚崎尚+
吉田和夫***

The Original Retrofitting in the 2.5G TFT-LCD Factory for Making the most of the Small Size Glass
Ikuro Ogo, Susumu Ohtera, Kazuo Yoshida, Yoshimi Kinoshita, Hisashi Tsukazaki

要旨

メルコ・ディスプレイ・テクノロジー(株)(MDTI)(旧(株)アドバンスト・ディスプレイ：ADI)の泗水工場は、TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)の高性能・低コスト化に対応するため、当時ノート型パソコンの主流であった12.1インチ型パネルを“最小の投資で、最も効率良く生産できる完全自動化ライン”をコンセプトに、1996年6月に稼働開始した基板サイズ410mm×520mmのいわゆる第2.5世代のTFT-LCD一貫生産ラインである。稼働開始から丸8年が経過した今日までたゆまぬ生産性向上の努力を続け、稼働開始当初は20kシート/月であった投入能力を65kシート/月まで拡大し、業

界の大型基板化に対抗してきた。現在も、海外を中心とした液晶TV、大型モニタをねらったガラス基板の大型化競争が激烈であるが、我々は、第2.5世代の基板サイズを活用し、更なる生産性の追求と少量多品種生産への対応力強化を推し進め、大型基板工場では実現困難な製品の生産に特化することにより、小型基板工場の新たな価値を創造した。

本稿では、小型基板と大型基板における得失を、製品に要求される仕様をベースに比較し、泗水工場のライン改善を例にLCD業界における小型基板工場の価値と活用について述べる。



MDTI泗水工場のセル組立工程における高架コンベア

MDTI泗水工場のセル組立工程は、各装置をコンベアで連結したいわゆるライン方式となっている。この方式ではクラスタ方式と比較すると段取替えでのロスが大きいと言われているが、コンベアをうまく運用することで、ロスを最小限にしている。写真はトランスファ電極形成工程での2層コンベアで、7台の装置をロスなくコントロールしている。

1. ま え が き

TFT-LCD生産におけるガラス基板サイズは、生産コストの低減を目指し、大型化の一途をたどっている。特に近年、フラットパネルテレビへのLCDパネルの適用を目指し、この傾向はますます強くなっており、現時点では韓国、台湾を中心に第5世代(1,100×1,250~1,300(mm))の工場が稼働を開始し、第7世代と言われる基板サイズ1,870×2,200~1,880×2,150(mm)の工場が建設に入っている。これらの大型基板工場が安定稼働に入れば、テレビを中心とした大型LCDの生産コストは大幅に低減し、TFT-LCDの市場が更に拡大することは間違いない。

このような状況下にあつて、第1世代から第4世代までの比較的小型基板を主とする日本のLCDメーカーは、大型/汎用パネルの生産を縮小し、中小型パネル及びLTPS (Low Temperature Poly Silicon : 低温ポリシリコン)、有機EL (Electro Luminescence) 等の付加価値の高い製品へのシフトを進めている。本稿では、ガラス基板の大型化が進む中であつて第2.5世代基板が優位である分野を明確にして、小型の基板工場の価値と活用方法について考察する。

2. LCD業界のトレンド

2.1 製品のトレンド

TFT-LCDは、その表示品位の高さから、ノート型パソコンの表示画面への使用を皮切りにデスクトップ型パソコンの表示装置としてその市場規模を確実に伸ばしてきたが、近年は、ガラス基板サイズの大型化と動画表示特性の大幅な向上により、薄型テレビへの応用が始まっている。一方、携帯電話のカメラ機能搭載、動画表示機能付加等により、小型パネルへの用途も広がり、1インチクラスの小型から30インチを超える大型パネルまでが製品化されている。今後も、図1に示すとおり、本来の特長である薄型、低消費電力、表示品位の高さを武器にその用途の幅を広げていくことが予想される。

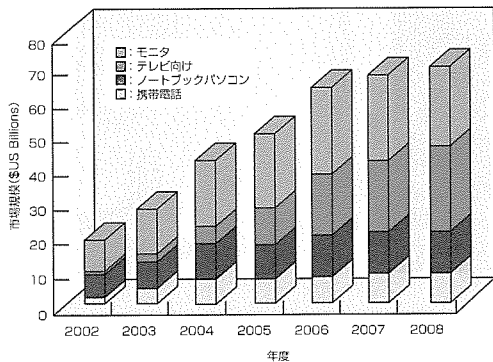


図1. TFT-LCDの市場規模トレンド予想 (ディスプレイサーチ社データに基づく)

2.2 ガラス基板サイズのトレンド

ガラス基板サイズと稼働時期から見たワールドワイドのTFT-LCD生産ラインの動向を図2に示す。1990年代始めのTFT-LCDの黎明(れいめい)期から年を追うごとにガラス基板サイズが大型化し、韓国勢、台湾勢の参入により、そのスピードが加速されている。ガラス基板の大型化はLCDの表示画面サイズの大型化にも対応するものであり、特に20インチを超えるテレビ向けのパネルを生産する場合には、図3に示すとおり、第4世代と第5世代の工場ではその生産効率には大きな差が出てくる。これに加えて、生産規模が増加することによって、カラーフィルタ(CF)、ドライバIC、回路基板、バックライト等の部材購入単価が下がり製品の総合的なコスト低減につながる。

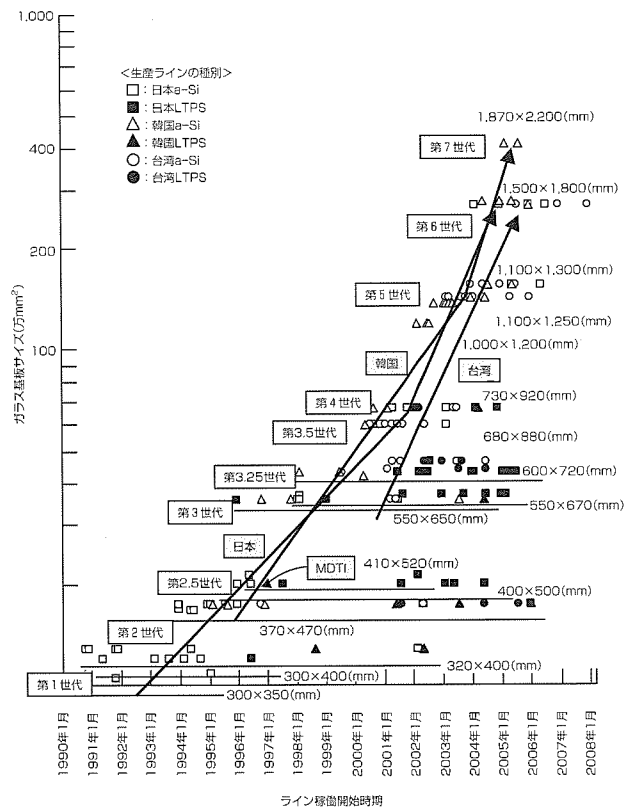


図2. TFT-LCD生産ラインの動向—基板サイズと稼働時期—

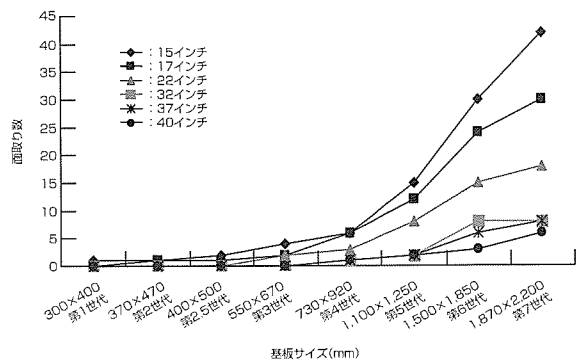


図3. ガラス基板サイズと製品の取れ数比較

図4に、各基板サイズの工場で生産した15インチパネルのコスト試算結果を示す。この試算は、ディスプレイサーチ社の情報に加え、弊社独自の情報と予想に基づいて行ったものであり、工場の投入能力はすべて60kシート/月を仮定している。償却費の算出方法、開発費等の間接費のコストへの振り分け方法、及び直材の購入価格により一概に比較は難しいが、一般に、基板サイズが大きくなれば製造コストは下がる傾向にあることは理解できるであろう。

2.3 製造プロセスと装置のトレンド

TFT-LCDの基本製造フローを図5に示す。これまでの10年間、アレー工程におけるマスク削減を中心としたプロセスのスリム化は進んでいるが、ガラス基板の大小にかかわらずこの基本フローは変わらない。

アレー工程におけるガラス基板の大型化への対応については、第5世代までの装置の基本コンセプトはほとんど変わらず、スケールアップを中心とした開発が行われてきた。しかしながら、第5世代以降はハード上、及び性能面での課題が大きくなり、一部の装置では基本コンセプトの変更が行われている。特にガラス基板の大型化に伴い投資額、装置のフットプリント/質量の増大、薬液使用量が大幅に増大するため、これらを抑制する対策に重点を置いた装置開発となっている。また、大型化した装置の輸送も大きな課題であり、分割搬入後現地組立てを前提とした設計が必要となっている。

セル工程においても基本的にはアレー工程と同様であるが、第5世代以降の工場では、張り合わせ～液晶注入/注入口封止の工程において滴下注入プロセスを採用する傾向にある。これは、従来用いられてきた真空注入法では、パネルの大型化に伴い、注入不足が発生するだけでなく、注入時間が大幅に増大し、設備投資額及びフットプリントが増大するためである。これに加えて、液晶配向モードがTN(Twist Nematic：ねじれネマティック)、IPS(In Plane Switching：横電界方式)において不可欠であったラビング工程はVA(Vertical Alignment：垂直配向)では不

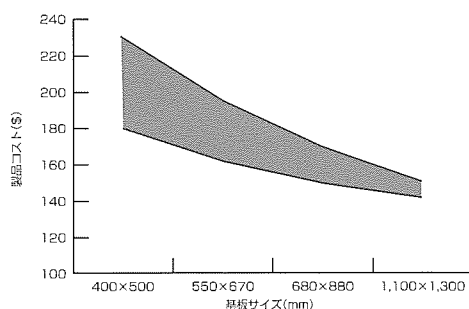


図4. 各ガラス基板サイズでの15インチパネルの製造コスト比較(いずれのガラス基板サイズにおいても、生産能力は60kシート/月を仮定)

要となることから、大型基板工場においては広視野角対応とも兼ねてVAを採用するメーカーが増えている。

3. 小型基板工場の価値と活用の道

以上、TFT-LCD業界のトレンドについて述べてきたが、これらを総合すると、小型のガラス基板工場では生産品種においてもコストにおいても大型ガラス基板の工場に太刀打ちできないという結論になる。実際、この理由により、国内を主とした小型基板工場がモニターを中心とした大型パネルから携帯電話、デジタルカメラ向け等の小型パネルへ生産機種種の切換えを行ってきている。しかし、小型パネル生産において、大型基板と比べ小型基板に優る点がない限り、結果はこれまでの歴史の繰り返しとなるのは明らかである。ここではまず、小型パネル特有の生産課題について述べ、大型基板にはない小型基板の利点と価値、及びその活用について述べたい。

3.1 小型パネル生産上の課題

小型パネルの生産も、アレー工程、セル工程ともに基本的には図5に示す大型パネルの生産と大きな変わりはない。現在、携帯電話を中心に適用されているLTPS製造プロセス、半透過パネル製造プロセスでは、アレー工程において必要装置が一部追加されること、マスク枚数の増加による

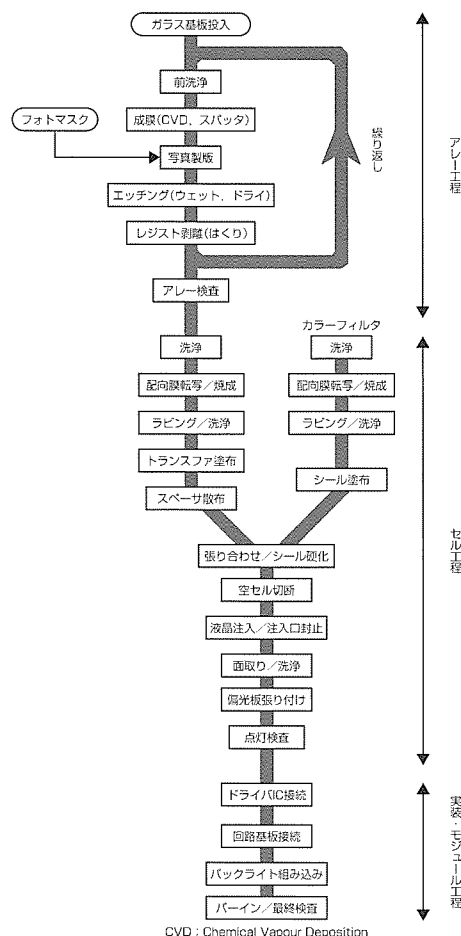


図5. TFT-LCDの基本製造フロー

“繰り返し回数”が増えることを除けば基本プロセスはほぼ共通である。

セル工程においても、制御パラメータが若干異なることがあっても、基本プロセスに大きく変わることはない。しかし、セル工程では、パネルの小型化に伴い面取り数が大幅に増加することから、トランスファ電極形成(アレー基板とカラーフィルタとの電気的なコンタクト形成)、シール塗布、空セル切断を中心に特定装置の負荷が大幅に増加する。これに加えて、反射型、半透過型パネルにおいては、TFT基板及びカラーフィルタに使用される有機膜からの脱ガスの影響で、張り合わせ/シール硬化、いわゆる熱圧着時にシールパンクが起りやすくなるために処理時間が長くなるという大きな問題がある。これは、図6に示すように、パネルの小型化によりシールパターンの総延長が長くなり、排気経路が迷路のようになるため、パネル内の空気の排気コンダクタンスが低下すること、また、反射型、半透過型パネルの場合はセルギャップが小さくなるのも一因となる。基板サイズが大きくなるに従い更に顕著になることは自明である。また、シールパターンをディスプレイで形成する場合、処理時間はシールパターンの長さに比例するので、小型パネルでは処理時間が著しく増加する。このため、小型パネル生産におけるシール塗布はディスプレイ方式ではなく印刷方式が一般的である。しかし、印刷方式によるシール塗布は、印刷版の伸縮等による寸法精度の制約があり、第2世代以前の小型基板を中心に、第3世代でかろうじて適用されているのが現状である。

ディスプレイでは、近年10本以上のマルチヘッド(マルチディスプレイ)で並列処理する装置も登場しているが、後述する面取り数を考慮すると、基板サイズが大きくなるに従い、装置台数を増やすことは避けられず、コスト、フットプリント上効率的であるとは言い難い。張り合わせ/シール硬化については、滴下注入を採用することで真空注入法における処理数(スティック又は個片)増加に伴う処理時間の増大を防止することは可能であるが、小型パネルにおいては、大型パネルのような複数滴下による滴下量の均一化を期待することができず、純粋に個々のディスプレイの滴下量精度に依存することから、適用が難しいのが現状である。これに加えて、シール材をUV光(Ultra Violet rays)照射によって硬化させるので、UV光をBM(Black Matrix)や端子等の配線パターンで可能な限り遮蔽(しゃへい)しないようにしなければならず、パターン設計上の制約が発生し、表示部周辺が大きくなる傾向がある。これは、大型パネルでは余り問題とはならないが、小型パネルでは、パネルサイズのみならず、面取り数の減少に直結するため、生産効率上大きな問題となる。

さらに、基板サイズが大きくなると、アレー基板とカラーフィルタ基板の面付け精度差(長寸法仕上がり精度の差)

による重ね合わせずれが大きくなり、この誤差分を遮光設計に加味する必要から、開口率上、不利になるという問題もある。カラーフィルタの仕上がり寸法データを基にアレー基板の面付け位置にシフトを加えるとの方法も可能であるが、余り効率的な方法とは言い難い。

これまでに述べた装置上、プロセス上の制約に加え、大型基板を用いた小型パネル生産においては、生産効率向上が難しいという点も無視できない。図7に、小型パネルの各基板サイズにおける面取り数を示す。

第5世代以降の基板では、現在携帯電話の主流のサイズである2インチ以下のパネルが、基板当たり1,000パネル程度取れることになる。一枚のガラス基板から一度にたくさんのパネルを生産することができるのは、一見極めて生産効率が高く思えるが、少量多品種を生産する際には、逆に生産効率を落とす可能性がある。例えば2.2インチのパネルを100万台(1,000k)台生産するとした場合の各基板サイズにおける必要基板枚数、ロット数(20枚/ロット)を表1に示す。第4世代以降の工場では必要ロット数が200以下となり、これを1か月で生産するとした場合、1日当たりの必要投入ロット数は5ロット以下(20枚/ロット)、第6世代の工場においては1ロット程度で十分ということになる。携帯電話の販売数量から考えると、月産100万台、期間6か月とみても、第6、7世代の工場では6ロット程度で賄えることになり、アレー工程、CF工程でのマスクコスト、工場の段取替えを考えると生産効率の悪化は避けられない。さらに、小型パネルの場合は、カスタム性が高く、

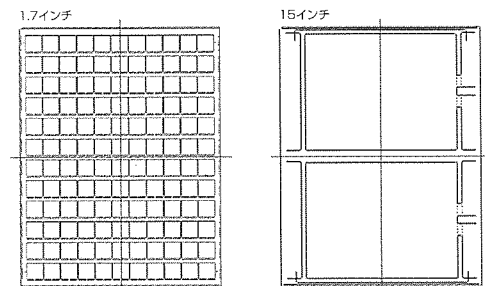


図6. 小型パネルと大型パネルの面取り数/シールパターン比較

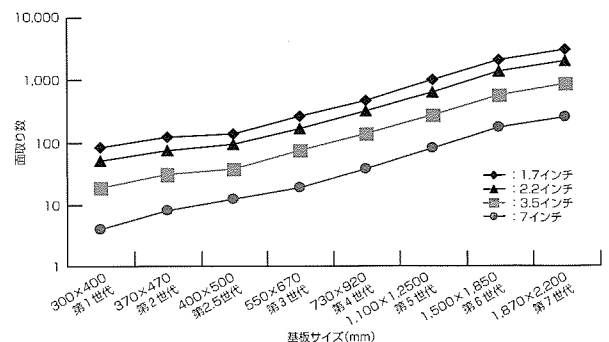


図7. ガラス基板サイズとガラス1枚当たりの製品取れ数(面取り数)の関係

表1. 各世代の基板サイズにおける2.2インチパネル1,000k台を製造するのに必要なシート数

基板サイズ	基板世代	面取り数	シート数	ロット数
300×400	第1世代	50	20,000	1,000
370×470	第2世代	72	13,889	694
400×500	第2.5世代	90	11,111	556
550×670	第3世代	160	6,250	313
730×920	第4世代	306	3,268	163
1,100×1,250	第5世代	621	1,610	81
1,500×1,850	第6世代	1,330	752	38
1,870×2,200	第7世代	1,960	510	26

複数の顧客に対し全く同じ仕様のパネルを供給することは難しいことも考慮する必要がある。

以上のように、小型パネル生産においては、かえって大型基板の方が不利と見積もられ、小型基板工場を活用することで小型パネルを効率良く量産できると判断した。

3.2 MDTI泗水工場の小型機種生産へ向けたレトロフィットの実例

泗水工場は、1996年6月に稼働開始した基板サイズ410mm×520mmのいわゆる第2.5世代のTFT-LCD一貫生産ラインである。稼働開始から今日まで生産性向上の努力を続け、稼働開始当初は20kシート/月であった投入能力を65kシート/月まで改善し、業界の大型基板化に対抗してきた。1999年秋からはアレー工程を中心としたLTPSプロセス対応のライン増強を行い、2002年からはセル工程を中心に小型パネルの生産へ向けた装置増設、及びライン改造を順次行うことで小型パネルの急激な市場ニーズ増大に対応してきた。泗水工場の特長は、アレー工程及びセル工程に当時業界に先駆けて完全自動化ラインを導入したことである⁽¹⁾。

アレー工程は、写真製版、エッチング、洗浄、成膜、検査の各工程をモジュール化し製造フローに沿って配置したフロー型ジョブショップ方式を採用している。これにより、プロセスフローの変更に伴う装置のリプレース、増設に対して柔軟性・適用性の高いラインとなっている。

セル工程は、図8に示すように、工程順に装置を配置し、これらをすべて搬送コンベアで接続した完全ライン方式を採用している。また、稼働開始当初12.1インチが最も効率良く生産できるラインを目指していたので、セル工程での各装置能力もこれに合わせたものであった。

セル工程を一本のラインとして運営するのは、単一機種の生産を行う場合極めて効率的であるが、少量多品種生産に対しては効率が落ちると言われている。これは、段取替えのたびにライン全体をストップさせてしまうからであり、小型パネルの生産ラインでは、一部の関連性の強い装置間のみをコンベアで連結したクラスタ方式が一般的である。これにより、各工程/装置間での処理時間、段取替え時間

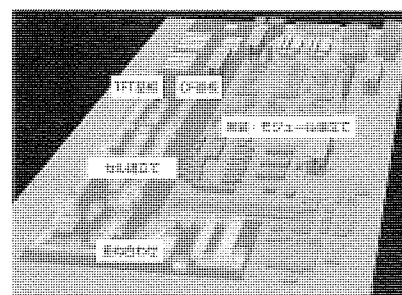


図8. MDTI泗水工場のセル工程レイアウト図

が異なった場合も、ライン全体を止めることなく、各工程間の仕掛けとして調整が可能となるからである。しかし、この方法では、人間が多分に関与することから、歩留り/品質安定上不利であることに加え、各工程間での仕掛けコントロールが難しいという欠点がある。泗水工場では、高歩留り/高品質/仕掛け抑制対策として当初のコンセプトである一貫ラインとしての長所をそのままに、かつ生産効率を下げることなく、少量多品種の生産を行えるラインを目指して、ライン改善に取り組んだ。そして、徹底した内部検討の基に装置の贅肉(ぜいにく)を削ぎ落とし、また、装置仕様に独自の設計を盛り込むことでこの目標を達成した。これに加えて、装置をつなぐコンベアはすべて内作することで、複雑な仕様を実現すると同時に費用の節減も行った。主な工事内容は、

- (1) トランスファ打点装置の増設と複数台の装置をコントロールするロボット及びコンベアの追加・機能向上
 - (2) シール印刷機の増設と既存ディスペンサとの並列処理を可能とするロボット及びコンベアの追加・機能向上
 - (3) 限られたスペースでの熱圧着装置の増設とこれをコントロールするロボット及びコンベアの追加・機能向上
 - (4) 直列されていた2台のラビング装置を直列/並列共に使用できるコンベアのバイパス工事
- の4点である。

トランスファ電極とは、カラーフィルタにコモン電圧を供給するためにアレー基板とカラーフィルタを接続する電極である。電気的な安定性を得るために、10~15インチクラスのパネルで4点程度、2インチクラスの小型パネルの場合は1点で十分であるが、信頼性を考慮すると2点は必要となる。したがって、泗水工場の場合は、12.1インチパネルを生産しているときは1基板当たり16点(4パネル/基板×4点/パネル)の電極形成能力で十分であったが、2インチクラスのパネルを生産する場合は200点(100パネル/基板×2点/パネル)の電極形成能力が必要となる。このため、当初2台であった装置を7台に増設すると同時に、各装置への搬入・搬出時の干渉を防止するために装置をつなぐコンベアを2層化してこれを抑制している。図9にコンベアの写真を示す(要旨の説明参照)。

ラビング工程では、前に述べたように2台のラビング装置を直列のみならず並列にも使えるように、図10に示すバイパスコンベアを導入した。また、熱圧着装置は既存の装置を追加して並べるスペースがないため、標準装置では1列に4炉を積層し、6列ある枚葉式圧着炉を独自のコンパクト設計を行い1列に8段積層して3列に収めることにより、従来約1/3のスペースで増設を成し遂げた。

各装置を一本のラインでつなぐ場合、ラインの処理タクトは一番能力の低い装置で律速される。したがって、一本のラインを設計する際には、このラインに配置される各装置の処理タクトを同じにするように装置台数を決定するのが通常である。しかし、多品種を処理する場合は、機種により各工程の処理タクトに差が発生するので、厳密な意味において処理タクトを合わせることは難しい。また、機種切換えを行う際、全く段取替えの必要のない装置もあれば、これに時間を要する装置もある。このような状況下において各装置の能力を最大限に引き出す方法として、我々は、主要装置群の間に図11に示すバッファステーションを設けるようにした。すなわち、装置群と装置群の間にFA (Factory Automation) 制御された基板の退避/待ち受けスペースを設けることで機種による装置間の処理能力の差、及び段取替え時の待ち時間をラインとして吸収するようになったのである。泗水工場では、限られたスペースに十分な収容能力を持つバッファステーションを効率良く配置すること、コンベア上で600 mmごと(基板間距離80 mm)に基板を停止させる機能を追加し、更にバッファ能力を向上させることで、機種切換え時の生産ロスを最小にし、一本のラインとして編成したセル工程でありながらクラスタ方式のラインとほぼ同等の自由度を持って運用することに成功した。

4. む す び

現在稼働中の第1世代～第2世代の工場は稼働開始から10年程度経過し、装置の老朽化も進んでいる。また、生産能力も30～40kシート/月程度であり、生産性は必ずしも高くはない。これに加えて、装置メーカーも大型基板対応の新規受注に追われ、旧式の装置の面倒を見る余裕がなくなっているのも現実である。しかし、これまで述べてきたように、小型パネルを少量多品種生産するに際しては、大型基板の工場が必ずしも有利とはならず、小型基板工場にも十分勝機がある。今後、積極的にレトロフィットを行い、装置性能の向上と処理能力の向上を図ることにより、付加価値の高い少量多品種生産工場として価値を見いだす

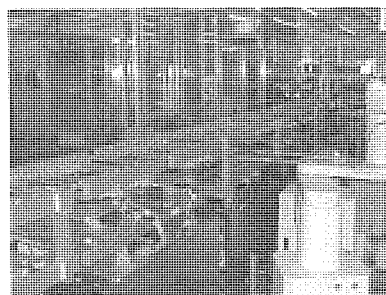


図9. トランスファ電極形成工程の2層コンベア



図10. ラビング工程のバイパスコンベア (TFT基板側)

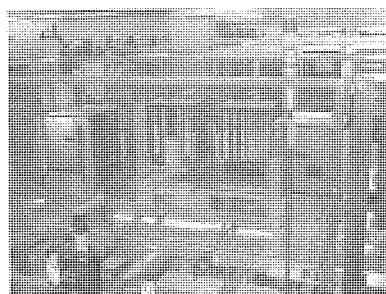


図11. バッファステーション

ことが可能である。

MDTI泗水工場は、生産装置とコンベア内作技術を駆使することで、第2.5世代65kシート/月のラインでありながら生産能力を下げることなく小型パネルの生産が可能となるラインへの改善を行ってきた。引き続き、更なる能力向上に加え、新しいプロセスを積極的に取り入れることで、大型基板工場が真似のできないユニークな工場を目指していく。

参考文献

- (1) 小河育夫, ほか: 泗水工場TFT-LCDラインのコンセプトと垂直立ち上げ, 三菱電機技報, 71, No.12, 1010～1015 (1997)

携帯カメラモジュールの量産化技術

笹井浩之* 中西隆仁**
 今川 剛* 三宅博之**
 美濃部 正**

Production Engineering of Mobile Camera Module

Hiroshi Sasai, Tsuyoshi Imagawa, Tadashi Minobe, Takahito Nakanishi, Hiroyuki Miyake

要 旨

カメラ付き携帯電話は、ビジュアル機能が幅広いユーザー層に受け入れられ、需要が拡大している。最近では、携帯カメラにデジタルカメラ並みの性能が求められ、カメラモジュールは画質や機能の競争に突入している。

三菱電機のカメラモジュールは、精密なレンズユニットと撮像素子、高集積した駆動制御ICと部品実装等により、携帯電話用としてトップクラスの小型化を実現した。一方、製造技術においては、先端デバイスであるカメラモジュールを高品質、低コスト、短納期で供給するために、組立てから検査までの量産体制を構築した。

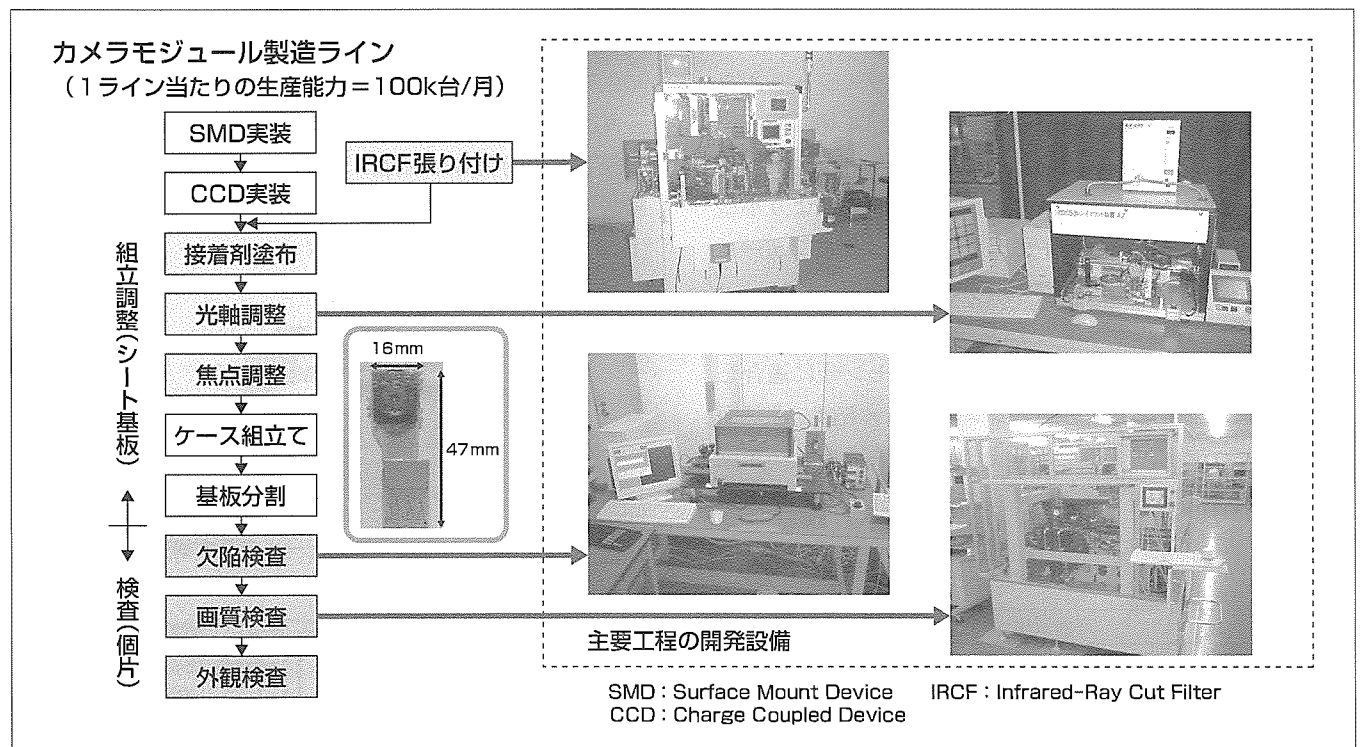
生産技術では、まず量産性を高めるための生産設計を行い、レンズユニットの構造、基板や部品のレイアウト、公差配分を求め、製品設計にフィードバックした。次に、品質とコストの両立をねらった製造工程フローと生産設備を開発するとともに、生産管理システムを導入し、試作から

量産までを短期間に立ち上げた。

生産設備では、モジュールの出力画像(以下“カメラ画像”という。)を用いて組立調整の高精度化を実現した。これにはカメラ画像をリアルタイムで入力、解析することが不可欠であり、専用プローブヘッドとパソコン組み込みボードを開発し、各装置に展開した。検査工程では、異物・汚れなどの欠陥検査や感度・色再現性・解像度などの画質評価を定量化し、品質管理の指標とした。

本稿では、カメラモジュール量産化のキー技術となった下記項目について述べる。

- (1) カメラモジュール組立てや光学調整の容易な製品構造
- (2) カメラ画像を用いた高精度な組立て、調整方法
- (3) 目視検査に勝る画質検査技術
- (4) 生産計画に柔軟に対応できる生産設備と生産管理システム



携帯カメラモジュールの量産ラインと生産管理システム

組立工程は、カメラモジュールを複数搭載したシート基板で流し、レンズマウントとフォーカス調整でレンズユニットと撮像素子を高精度に組み立てる。レンズユニットの接着固定、シールドケースの組立ての後、個片分割して検査工程に入る。検査工程では、異物や汚れ等の欠陥検出と、色や解像度等の画質評価を行い、良否判定する。検査データとカメラ画像は、生産管理システムに渡し、ロットごとの品質や不良要因を分析して製品の流動監視を行う。これらにより、量産初期からの品質安定化と歩留り改善を実現した。

1. ま え が き

携帯電話は、写真やムービーなどのビジュアル機能がヒットし、カメラモジュールが製品の売れ行きを左右するキーデバイスになっている。最近では、携帯カメラの画素数や画質への要求が高まり、デジタルカメラ並みの性能を目指したカメラモジュールの開発が行われている。

一方で、カメラモジュールは、性能向上以外に携帯電話搭載への信頼性や供給能力を確保しなければならない。そこで、製品設計と並行して、生産設計による量産性の向上、生産設備の開発を進めた。量産ラインでは、生産管理システムを導入し、先端デバイスを試作から量産まで短期間に立ち上げた。

生産設備では、カメラ画像を用いた組立調整技術を確立し、各装置に展開した。レンズマウントの高精度な実装技術が光学系の小型化と性能向上に寄与した。検査工程では、欠陥検査や画質評価の項目を定量化し、自動検査を実現した。

以下、カメラモジュール量産化のキー技術となった生産設計、組立検査技術、生産設備と量産ライン、生産管理システムについて述べる。

2. 製品、生産設計

携帯電話の機能向上とともに、カメラモジュールは高画質、高機能、小型薄型に対するニーズが高まっている。当社は、SXGA (Super eXtended Graphics Array) (1,280×960ピクセル)相当の出力画素数を持つカメラモジュールをいち早く製品化し、画質競争の火蓋(ひぶた)を切った。一方、VGA (Video Graphics Array)相当(640×480ピクセル)のカメラモジュールも、レンズユニットの更新により小型化と画質改善を図った。表1に開発したカメラモジュールの概略仕様、図1に基本構造を示す。

カメラモジュールの撮像素子は、高画素・高感度・低ノイズの観点からCCDデバイスを選定し、センサに適合したレンズユニットを製作した。レンズユニットは、非球面レンズ、マウント、バレル等の成形部品からなり、高精度な加工組立てが要求される。光学性能は、VGAクラスに

表1. カメラモジュールの仕様

	高画質用	小型薄型用
出力画素数	SXGA (1,280×960)	VGA (640×480)
撮像素子	CCDイメージセンサ	同左
レンズユニット	非球面 4 枚	非球面 2 枚
フレームレート	10 fps	20 fps
サイズ (D)×(W)×(H)	47×16×11(mm)	40×11×8(mm)
主要機能	AE, AWB, 色調補正	同左

AE : Auto Exposure
AWB : Auto White Balance

においても120lp/mm以上の解像度が要求され、新設計の2枚組レンズを採用した。

生産設計では、レンズユニットの組立性を維持するため、フランジ部の形状や寸法公差を決定し、組立治具を製作した。レンズユニットの基板実装に対し、撮像素子のパッケージとレンズマウント部に高さ基準面を確保して部品傾きを抑制した。また、光軸やフォーカスの調整代を考慮したレンズマウント設計を行った。

カメラ基板は1シートにカメラモジュールを複数搭載し、シート状態のまま電気部品やレンズマウントを実装する。図2にカメラ基板の外観図を示す。モジュール配置や位置決め基準は機種で異なり、設備の制約条件やコスト分析を考慮して決定した。モジュールごとの位置決め基準は、後の検査工程と共通化し、組立精度の安定化を図った。

検査工程は、基板分割した後の個片をJEDEC (Joint Electron Device Engineering Council)トレイに搭載して供給する。欠陥検査と画質検査では撮像チャートが異なるため、工程分割して装置処理能力を改善した。

これらの専用設備を配置した量産ラインは、1ライン当たり月10万台の処理能力を持っている。投入部材や品質情報を管理する生産管理システムで運用する。

3. システム構成

カメラモジュール組立ては、製品のカメラ画像を用いて調整する。外形基準ではなくカメラ画像を用いる方式を採用することにより、組立誤差が20μm以下に低減した。図3に生産設備のシステム構成を示す。

カメラモジュールは、プローブヘッドを介して制御系と接続し、起動制御や画像出力を行う。プローブヘッドは、接続先に応じて、下記2種類を製作した。

- (1) テストパッド接続用ヘッド

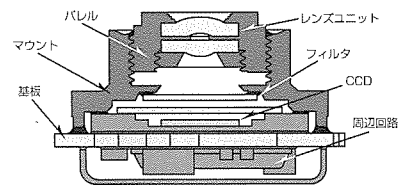


図1. カメラモジュールの基本構造

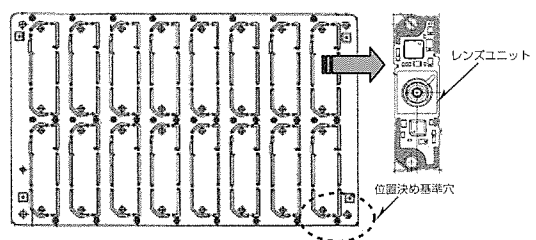


図2. カメラ基板

組立調整工程で使用するもので、カメラ基板の外形基準で位置決めする。テストパッド径やピン配置、ピン先端形状は製品設計の段階で最適化し、アライメント補正なしで位置決めする。

(2) コネクタ接続用ヘッド

最終検査工程で使用するもので、製品の入出力端子となるコネクタ先端に接続する。製品コネクタの端子は、狭ピッチ(0.3~0.5mm)で配置されているので、画像認識による3軸自動アライメント補正を行う。図4に開発した33ピンのプローブヘッドを示す。

カメラモジュールの入出力信号は、ノイズの影響を抑えるため50mm以内の最短配線とし、SUB基板上的DSP(信号処理IC)と電源ICに接続する。SUB基板では、カメラ信号をLVDS(Low Voltage Differential Signaling:低電圧差動通信)に変換して装置制御系に送る。装置制御系は、カメラモジュールの多様な画像フォーマットに対応するため、専用の画像取り込みボードを開発した。DSPの制御に使用するUART(Universal Asynchronous Receiver/Transmitter)通信もこのボードからLVDS変換して行う。

装置制御系は、カメラ画像をリアルタイムでソフトウェア解析し、位置検出や欠陥検査、画質検査に応用する。現状では、SXGA相当の画像を10fpsで表示する。画像サイズをVGAに下げれば、表示速度は20fps以上になり、目視作業に適用できる。

4. 組立ライン

カメラモジュールの組立工程は、①シート基板への電気部品実装、②撮像素子実装、③接着剤塗布、④レンズマウント(LM)位置調整、⑤バックフォーカス(Bf)調整からなる。特に上記④と⑤は光学性能を左右するため、専用設備を開発し、調整の高精度化を図った。

光軸調整とは、撮像素子のセンサ面中心における法線と

レンズユニットの光学中心とを一致させる作業のことを言う。調整精度が悪いと、カメラ画像は、エリア端部での解像度劣化や光量不均一などが発生し、画質低下を招く。このため、レンズ像高方向の性能曲線と組立精度から算出される最小光学設計のバランスが必要となる。

従来の光軸調整は、画像認識で撮像素子のセンサ中心とレンズ外形中心を合わせていた。この方式は、レンズ中心が成形精度に依存し、光学中心と一致しない欠点がある。

そこで、カメラ画像を用いた光軸調整方法を開発した。図5に調整原理、図6にLM装置を示す。LM装置は、専用チャートの撮像結果から光軸検出し、位置補正をかける。装置導入により、光学設計での光軸調整尤度(ゆうど)を小さくでき、光学系の小型化と光軸調整不良の撲滅に寄与した。さらに、光軸精度の安定化は、後工程のBf調整や画質検査の作業を容易にし、製造ライン全体の不良率低減やタクト改善にも効果があった。

次に、Bf調整は、レンズユニットのバレル高さを変えてレンズ焦点を合わせる作業のことを言う。従来は作業者の目視調整に頼っていたが、品質が安定しないため、作業支援システムを開発した(図7)。

このシステムは、専用チャートの撮像結果から解像度をリアルタイムに算出し、調整画面に数値表示する。ワークごとに中央合焦位置を求め、そこから最適調整ポイントに相対移動して総合判定を行う。支援システムの導入により、作業の習熟度や処理能力が増した。

5. 検査ライン

カメラモジュールの検査工程では、出力画像からの下記の欠陥検査、画質検査、電気信号レベルの機能検査を行う。

- (1) 焦点：Bf調整及びレンズ解像度検査
- (2) 色情報：色度、色バランス検査

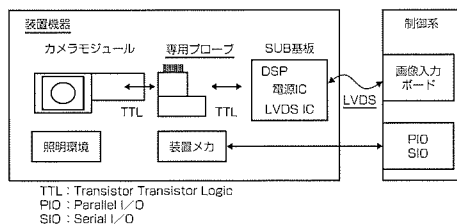


図3. 生産設備のシステム構成

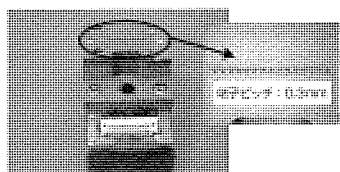


図4. プローブヘッド(コネクタ接続用)

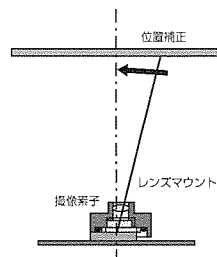


図5. 光軸調整の原理

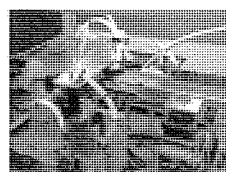


図6. LM装置ヘッド部

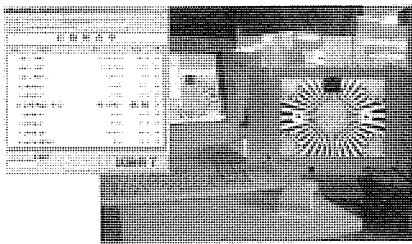
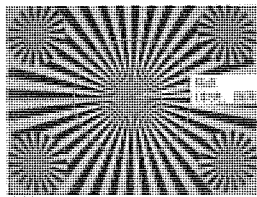
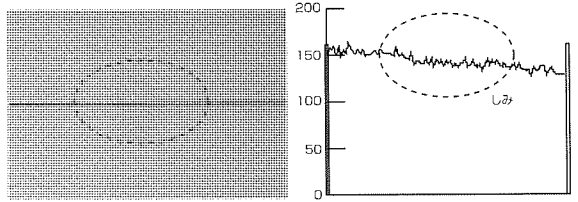


図7. Bf調整支援システム



(a) 焦点検査



(b) しみ検査

図8. 検査画像の例

- (3) 光軸：LM工程での光軸調整
- (4) しみ：レンズ，センサの異物混入，汚れ
- (5) 画素欠陥：センサの画素欠陥
- (6) 感度：光量感度，視野周辺の光量バランス
- (7) ノイズ：ノイズレベル

検査画像の例を図8に示す。(a)では，上記(1)～(3)を実施する。特に焦点検査は，人手による目視との相関性が重要となるため，Bf調整工程と同様の画像で目視確認もできるようにした。(b)では，上記(4)～(7)を実施する。特に“しみ”検査は画像上の数%の輝度変化を検出するアルゴリズムを開発し，目視検出以上の精度を得た。

電気信号レベルの検査は，①部品実装不良：カメラ画像では不具合が発見しにくい箇所の電気特性，②消費電力：電力消費量の電気特性を調べる。

6. 生産管理システム

カメラモジュールの生産管理システムは，棚残削減，直行率改善を目的とし，生産ラインの部材管理・組立て・試験・出荷等に入力端末を配置し，製造進捗(しんちよく)及び品質情報をリアルタイムに収集集計する(図9)。

- (1) 生産性向上
 - 工程間仕掛かりの把握
 - 工程記録の簡素化・試験データ記録自動化
- (2) 品質向上
 - ライン状況の早期把握によるフィードバック
 - 各種情報を電子化し，データ分析を容易化

管理システムから得られる品質情報には，各工程の直行率，不良項目及び特性データ等がある。これらの項目を監視することにより作業状態や部品の変化を読み取ることができ，重大トラブルを未然に防止する。

各部品のロット番号は，管理システムに登録してあり，万一部品のロット不良等が発覚した場合は，即座にデバイス番号を検索し，ラインから排除できるようにしている。

図10に，量産ラインにおける歩留り推移と検査データの分布を示す。1次試作(TS)において部品，生産設備と

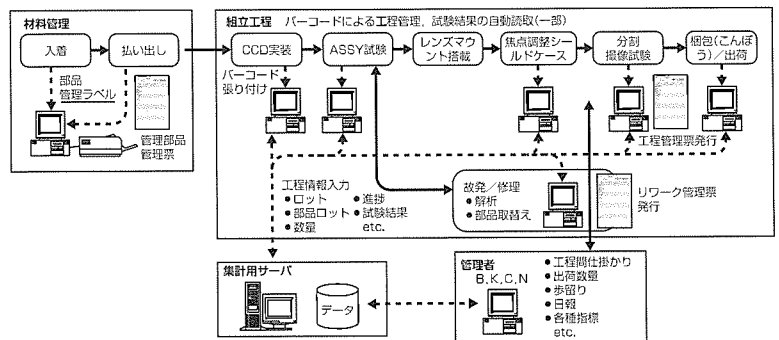


図9. 生産管理システム

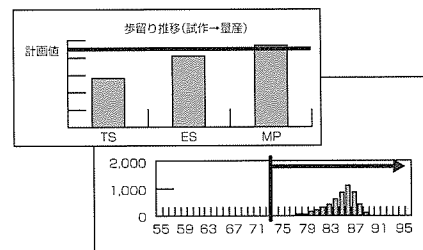


図10. 歩留り推移と検査データの分布

もに課題事項を整理することで，2次試作(ES)以降の歩留りを上げ，量産(MP)投入で計画値を達成している。

7. むすび

携帯カメラモジュールは，携帯電話のキーデバイスとなり，画素数や画質へのニーズが高まっている。当社は，いち早くメガピクセル相当のカメラモジュールを開発するとともに，光学調整や画質検査等の製造技術を確認し，品質の安定化と低コスト化，短納期化を実現した。

カメラモジュールの開発競争は激化の一途をたどっており，デジタルカメラ並みの性能を目指した開発が行われている。製造技術においても更なる精度向上と低コスト化が求められており，光学調整を高精度化するとともに，量産ラインの自動化を推進していく。

参考文献

- (1) 広兼竜一，ほか：携帯電話の自動検査と品質情報管理システム，三菱電機技報，72，No.4，321～324 (1998)

高速・高応答型リニアサーボモータの生産設計

木村康樹* 仲 興起***
橋本 昭*
度會 明**

Product Design for High Speed and High Response Linear Servo Motor

Yasuki Kimura, Akira Hashimoto, Akira Watarai, Kouki Naka

要 旨

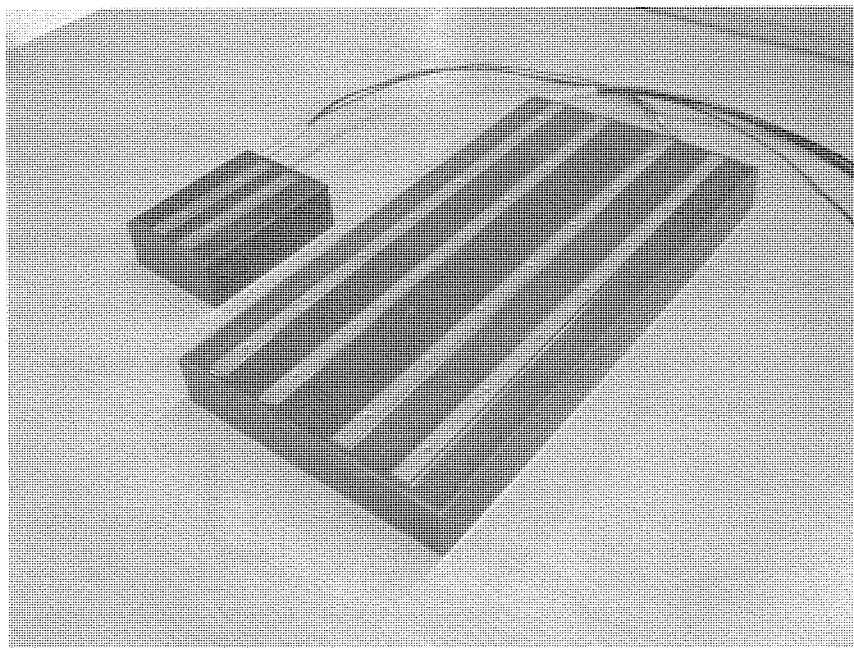
近年、高速・高精度が要求される工作機械などの機械分野では、ボールねじと回転モータによる駆動機構の剛性限界を超えるために、リニアサーボモータを用いたダイレクトドライブ構造を採用する事例が増えてきた。三菱電機では、これまでに工作機械向け及び一般産業用途向けにリニアサーボモータを製品化し、ラインアップを充実させてきたが、リニアモータを採用する機械分野が更に広がってきたため、より多くの顧客仕様に柔軟に対応することが求められてきた。そこで、多品種・変量生産に適した構造の検討を行い、また、従来機種よりも小型・軽量・低発熱を志向した新構造のリニアサーボモータを開発した。

特長は、分割コアを用いて高密度集中巻きを行い、コイルエンドサイズの縮小と低損失化・小型・軽量化を図ったことと、多品種に対応可能な構造として、“抜きカシメ”の

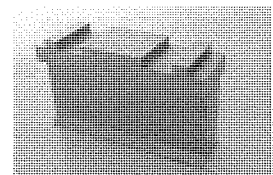
積層で製作した基準コアを複数個連結固定する構造(通称：串(くし)カツ方式)を開発したことである。

また、集中巻きを採用するに当たり、高精度な磁界解析を行って、スロット開口部の形状を工夫することによって、従来の分布巻き構造に対して、コギングが同等となるようにした。

この構造により、推力数十N～数百Nまでの幅広い種類に対して同一の方式で製造可能となり、製造時間短縮と部品共通化により、治工具段取り替えも最小とすることができた。また、小型化として、従来構造のリニアサーボモータに比べて、モータ幅20%短縮を実現し、高密度な集中巻きを実現してコイルの占積率を上げた結果、損失を55%低減することができた。



串カツ方式リニアサーボモータ可動子



基準コア(カツ)

高速・高応答型リニアサーボモータ

抜きカシメで積層した基準コアを必要数だけ直列に並べて巻線し、巻線したコアを並列に必要数並べて、連結棒をコア上面の溝に嵌(は)めて溶接して固定する。基準コアの幅、長さを単位として形状変更を容易にできる。基準コアをカツ、連結棒を串と見立てて“串カツ方式”と呼んでいる。

1. ま え が き

近年、高速・高精度が要求される工作機械などの機械分野では、ボールねじと回転モータによる駆動機構の剛性限界を超えるために、リニアサーボモータを用いたダイレクトドライブ構造を採用する事例が増えてきた。三菱電機でも、工作機械用及び一般産業用途向けのリニアサーボモータを開発し製品供給してきたが、上記以外の装置分野においてもリニアサーボモータ採用の動きが加速してきたため、より多くの顧客要求に柔軟に対応することが必要となってきた。そこで、従来機種よりも小型・軽量・低発熱で多品種かつ変量生産に適した新構造のリニアサーボモータの開発に取り組んできた。

本稿では、新たに通称“串カツ方式”と呼ぶ可動子構造を開発したのでここに述べる。

2. リニアサーボモータの構造

リニアサーボモータを用いた駆動機構は、ボールねじのような減速機構がないため、機械の要求仕様に合わせた推力とサイズの豊富な品ぞろえが求められる。また、高速・高加速度で高頻度運転されることから、可動部分は小型・軽量化が求められる。さらに、機械の高精度な位置決めを実現する上で、モータで発生する熱が機構部に伝わって熱変形しないことが要求されるため、低損失であることが必要である。

図1に、従来のリニアサーボモータの構造を示す。従来のリニアサーボモータは、図2(a)に示すようにコイルを分布巻きする構造をとっているため、図2(b)に示す集中巻き構造に比べてコイルエンドが大きくなり、また、スロット面積に対するコイルの占積率が低いという問題があった。これに対して、集中巻き構造の方がコイルエンドを小さくすることができ、コイルの周長も短くなるため、小型・軽量化と低抵抗化を図ることができる。さらに、コイル占積率を大きくできるため、コイル線径を大きくすることにより、同一推力における抵抗を少なくして銅損を低減することができる。

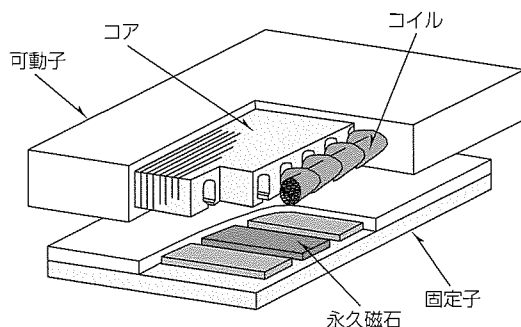


図1. 従来のリニアサーボモータの構造

以上の構造的特徴を比較検討した結果、更なる性能向上・生産性向上を追求して集中巻き構造のリニアサーボモータの開発に着手することにした。

3. 従来の分割コア構造

集中巻き構造は分布巻き構造に比べてコイルを多く巻くことができるが、更に小型・低発熱を実現する上では、より多くのコイルを巻くことが必要となる。図3(a)に示すような一体型コアの場合、スロット開口部と巻線ノズルが干渉するため、コイル占積率を大きくすることができない。そのため、図3(b)のように分割コア構造として、あらかじめコイルをコアのティース部に巻線した後で、コアを相互に固定する方法が用いられる。

巻線したコアの固定方法としては、コア同士を溶接する方式や、コアをベース板にねじ止めする方式があるが、コア同士を溶接する場合は、コアの熱ひずみのために平面度の精度確保が難しい。また、ねじ止めする場合は、ねじの数が多くなるため、締め付け量の管理が難しいという問題がある。

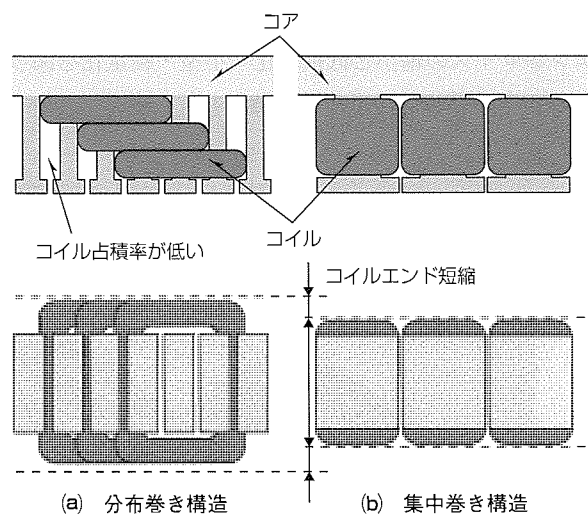


図2. 分布巻きと集中巻きの構造比較

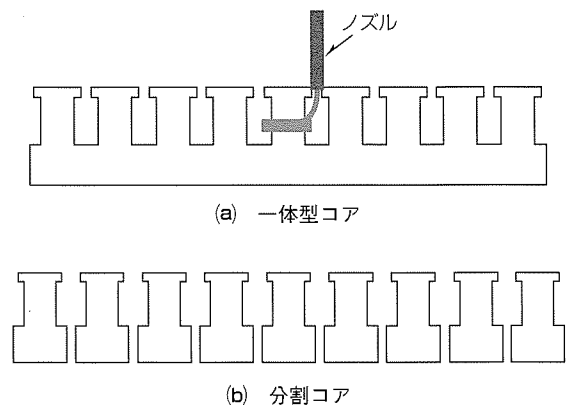


図3. コア構造

これに対して、図4のようにティース部にアリ溝を設けてベース板の突起に挿入する方式があるが、コアの積厚が大きい場合に勘合が難しいという問題がある。コアの積層方法としては、図5に示すような抜きカシメ工法が最も多く用いられているが、図4のような分割コアの積厚を大きくする場合は、細長く積み重ねるため、コアが反ったり、倒れたりする。そのため、巻線したコアをベース板に精度よく勘合することが難しくなる。

4. 串カツ方式

4.1 分割方式の検討

積厚の大きいコアは反り・倒れなどの形状精度を確保することが難しいため、コアを幅方向にも分割することを考えた。コアを長さ方向と幅方向に分割した構造として、図6に示すように、基準コアを仕様に応じて必要な数だけ幅方向、長さ方向に並べる方式とした。

次に、コア同士の固定方法について検討した結果、幅方向は巻線することで固定し、長さ方向には連結棒を用いて溶接で固定する方式、通称“串カツ方式”を考案した。基準となるコアを図7に示す。積厚が少ないため、抜きカシメによって精度良く製作することができる。この基準コアの幅、長さを単位とする組合せで異なるサイズに対応できるようにした。

この構造により、コアサイズが異なっても金型は1種類ですみ、段取り変え・調整もない。また、コアの反り・倒れの問題もなく、連結固定することが可能となる。さらに、従来構造のコアは一体型構造であったため、コアサイズが

大きい品種では、工程間の移動に際して、ハンドリングする専用治具が必要になる場合があった。これに対して今回の構造では、コアサイズが異なっても、巻線・溶接工程までは、特別な治具を用いなくても持ち運びできる大きさであるため、ハンドリングが容易という利点がある。

4.2 組立て工程

この方式の組立て工程は、①基準コアの抜きカシメ、②巻線、③連結棒嵌め込み、④溶接、⑤結線、⑥モールドである。

以下に、この方式の特長である整列巻線と溶接固定について述べる。

(1) 整列巻線

まず、基準コアにインシュレータ及び絶縁紙を取り付けて図8のように巻線機のチャック部に固定してスピンドル巻線する。巻線機のチャック部は、コア幅に応じて基準コアを1個～3個まで取り付けられるようになっている。図8はコア2個を取り付けて一緒に巻く場合を示している。このようにすることによって、図9に示すように、複数種

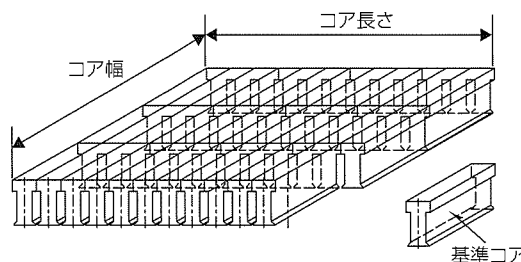


図6. 基準コアによる連結構造“串カツ方式”

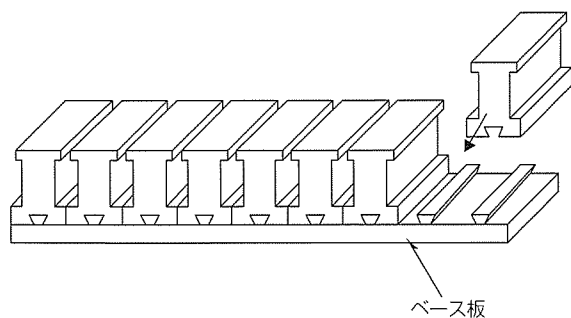


図4. アリ溝式分割コア

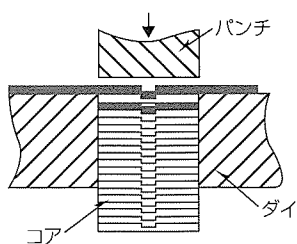


図5. 抜きカシメによる積層

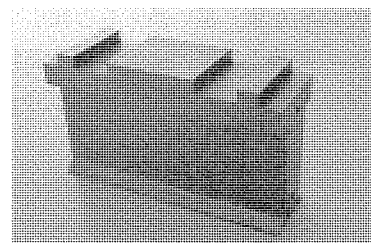


図7. 基準コア (カツ)

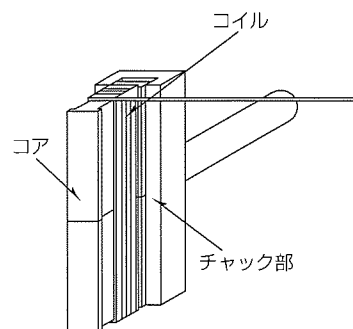


図8. 基準コアの巻線方法

類のコア幅のものを製作することができる。

図8から分かるように、分割コア構造としているため、巻線する際にノズルとコア間の空間的な制約がなく、スロット面積一杯にコイルを巻き付けることができる。特に、コアのティース部の両側にコイルを整列して巻き付け、コイルの層の切り替わり部がコイルエンド部になるように巻線機のプログラムを工夫し、高密度な整列巻きを実現した。図10に整列巻きされたコアのコイルエンド部とスロット断面を示す。

高密度整列巻きを実現したことにより、コイルエンド部の寸法を従来機種に比べて50%削減することができ、モータ幅を20%短縮できた。また、スロット内のコイル占積率を90%以上にすることが可能となり、損失も従来機種に比べて55%低減した。

(2) 溶接固定

次に、巻線したコアの固定方法について述べる。巻線されたコアを必要な数だけ、図6のように並べる。コアの上には溝が設けてあり、連結棒を溝に嵌め込むことができるようになっている。図11に連結棒をコアの溝に嵌め込んだ様子を示す。次に、溝に嵌め込まれた連結棒の側面とコア上面部が接合するように、溶接トーチを配置して、溶接する。溶接による熱ひずみは、連結棒とコアの溝部だけとなるため、通常の溶接固定方式に比べて、平面度が良い。

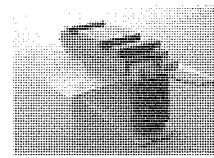
以上のようにして連結固定した後、コイル間を結線しモールドして完成する。

さらに、この組立て方式により、従来の分布巻き構造に比べて、鉄心抜き工程、巻線工程、溶接工程でそれぞれ作業時間が短縮され、生産性が向上した。また、数十N~数百Nまでの幅広い推力品、言い換えると幅広いサイズに対してすべて同一の製造方法で対応でき、多品種に対してフレキシブルに生産できる方式であることが分かる。

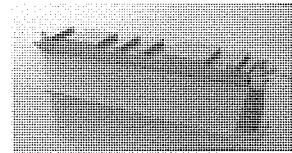
5. む す び

小型・軽量・低発熱(低損失)を志向するとともに、多品種・変量(少ロット)生産に適した構造のリニアサーボモータを開発した。開発のキーは全機種同一の方式で製造可能な方法として、串カツ方式による連結固定を考案したことである。このアイデアにより、分割コアの採用による高密度な集中巻きが実現でき、小型・軽量・低発熱化の達成につながった。また、集中巻きのデメリットであるコギングの増大については、高精度な磁界解析によって抑制することができた。さらに、コアサイズに応じての治工具の段取り変えがミニマムですみ、大幅な設備投資をすることなく、多品種に対応可能な生産方式が実現できた。

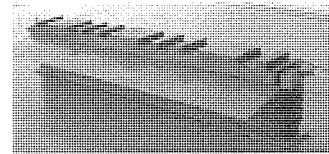
以上、巻線、溶接による連結固定といった製造技術の開発により性能向上と高生産性を両立した事例を紹介した。今後はさらに他機種へ展開していく予定である。



(a) コア1個



(b) コア2個



(c) コア3個

図9. 巻線したコア

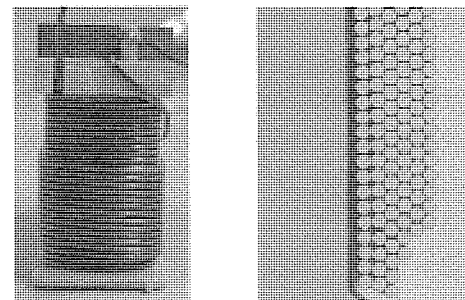


図10. 整列巻きされたコイルエンド部とスロット断面

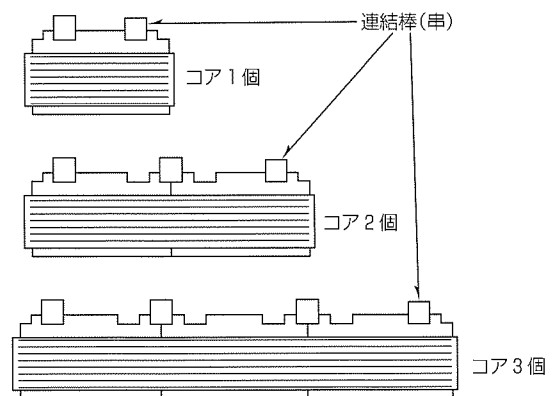


図11. 連結棒の溶接固定

参考文献

- (1) 度會 明：時代の要請に応えるモーター⑨，NC工作機械用リニアサーボモータ，電機，620，No.3，32～33（2000）
- (2) 加知光康，ほか：高応答・高精度リニアサーボシステム，三菱電機技報，73，No.9，671～675（1999）

ネオジム系焼結磁石の “イカリング”製造技術

石見泰造*
鵜飼義一*
中原裕治**

Manufacturing Technology of Nd-Fe-B Sintered Magnets

Taizo Iwami, Yoshikazu Ugai, Yuji Nakahara

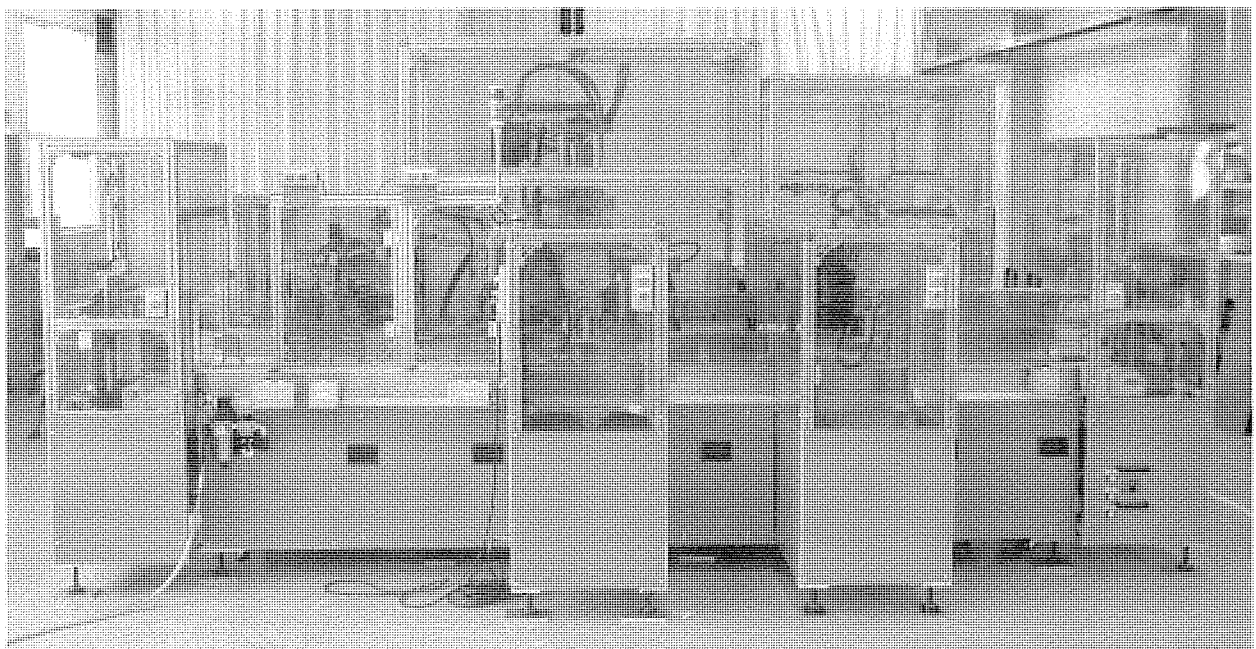
要旨

ネオジム系焼結磁石(Nd₂Fe₁₄B)が佐川真人氏によって発明されて20年が経過した。ネオジム系焼結磁石は、これまで主流であったフェライト系磁石に比べ10倍以上の磁力を持ち、サマコバ系磁石に比べ希土類原料の埋蔵量が多くコストパフォーマンスが良いため、ハードディスクドライブを始め、幅広い分野で活用されている。

三菱電機では、FA機器、家電機器、産業機器、自動車機器のキーパーツとしてモータを生産しており、それら機器の高性能化、高効率化、軽薄短小化ニーズにこたえるため、ブラシレスDCモータの採用が急拡大している。そして、それらモータのロータには、高性能磁石としてネオジム系焼結磁石が多く用いられている。

一般に、ネオジム系焼結磁石の製造プロセスは、合金製造→粗粉碎→微粉碎→磁場中成形→焼結・熱処理→機械加工・表面処理の順である。いずれの工程にも磁石性能を左右するノウハウが存在するが、モータの回転精度に影響が大きい工程が磁場中成形である。

中小型モータに搭載されるリング型磁石の場合、磁場中成形で磁性粉末の結晶粒方位をラジアル方向にそろえることに加え、磁性粉末を均一な密度にプレスすることが重要である。そこで、通称“イカリング”と呼ぶ磁場中成形法を考案し、搬送金型を循環させて連続的に磁場中成形が可能な装置を開発し、モータの回転精度に優位な独自のリング型ネオジム系焼結磁石を実現した。



給粉ステージ

磁場中成形ステージ

脱型ステージ

積層ステージ

イカリング連続磁場中成形装置

給粉ステージで数μmに微粉碎された磁性粉末が搬送金型に供給され、磁場中成形ステージで磁性粉末が強力なラジアル磁場内でプレスされ、脱型ステージで押し固められたリング型成形体が金型から取り出され、積層ステージで複数のリング型成形体が積み重ねられる。積み重ねられた段数に応じて、軸長の長いリング型磁石を製造することができる。

1. ま え が き

1982年、ネオジム系焼結磁石(Nd₂Fe₁₄B)が佐川眞人氏によって発明され⁽¹⁾、優れた磁石特性(最大エネルギー積320~400kJ/m³, 保磁力1,200~1,600kA/m)とコストパフォーマンスの良さからハードディスクのボイスコイルモータを始めとし、MRI(磁気共鳴画像診断装置)、各種モータ等の高性能磁石として幅広く普及している。

当社では、ネオジム系焼結磁石をFA機器、家電機器、産業機器、自動車機器等の高性能ブラシレスDCモータに幅広く採用している。これらモータのステータでは、通称“ポキポキ方式”と呼ぶ高密度コイルが巻線されており、高性能化、高効率化、軽薄短小化が実現されている⁽²⁾。

一方、多くの制御モータでは、コギングトルクやトルクリプルを低減して回転精度を上げることが望まれる。電磁解析での最適設計に加え、ステータ形状精度やロータ着磁精度の向上をねらった製造技術が重要である。

本稿では、モータの低コギングトルク化をねらい、ネオジム系焼結磁石の製造技術を開発した取り組みについて述べる。

2. ロータ磁石の形態と磁石製造工程

ブラシレスDCモータにおける代表的なロータ磁石の形態を図1に示す。表面磁石型ロータの場合、磁石固定の容易さからリング型が好ましいが、磁石製造上の制約から大型モータでは極数と同数に分割されたセグメント型を用いる。また、埋込磁石型ロータの場合、板状の磁石が多く使われている。

ネオジム系焼結磁石の製造工程を図2に示す。基本的な工程は、リング型とセグメント型とも共通している。

- (1) 合金 casting: Nd, Fe, B等の原料を高周波誘導加熱で溶解し合金化する。
- (2) 粉砕: 合金に水素を吸蔵させて脆性(ぜいせい)化し、クラッシャーで粗粉砕, ジェットミルで粒径4μm前後に微粉砕する。
- (3) 磁場中成形: 金型に磁性粉末を充填(じゅうてん)し, 磁場を印加して結晶粒方位をそろえた状態で圧縮し成形体を作る。

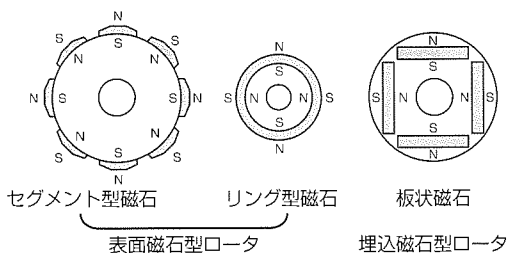


図1. ロータ磁石の形態

- (4) 焼結・熱処理: 成形体を真空又はArガス中で焼結・熱処理する。このとき、焼結により成形体寸法は20%程度収縮する。熱処理により磁気特性が向上する。
- (5) 機械加工・表面処理: 収縮時にひずんだ形状を研削加工する。そして、磁石表面に防錆(ぼうせい)のためのめっきを行う。

3. リング型磁石の磁場中成形法

一般に、リング型磁石を磁場中成形する場合には、図3に示す多段成形法が行われている。図中、ダイとコアの円筒状の隙間(すきま)(キャビティ)に磁性粉末が供給され、磁場発生中に非磁性体パンチで上下にプレスされる。

電磁コイルで発生した磁束は、コア、キャビティ内の磁性粉末、ダイ、再びコアと循環し、キャビティ内での磁場は円筒体のラジアル方向となる。

ここで、キャビティを通る磁束量はコアの断面積に比例して上限があるため、磁性粉末の結晶粒方位をそろえるには円筒体高さに制約が生じる。そのため、軸長の長い成形体は一度に成形できず、給粉・磁場中成形の工程を一つのキャビティの中で繰り返し行う。そして、キャビティ内で複数回積み重ねられた成形体を一括に脱型する。

この成形体の下層では、繰り返し加圧力が加わるため、成形体の密度が軸方向で異なり、焼結時の形状ひずみの原因となる。また、図3中に示すように漏れ磁束が発生するため、配向にばらつきが生じることがある。

4. イカリング製法

4.1 開発コンセプト

イカリング製法の開発コンセプトは、個々のリング成形

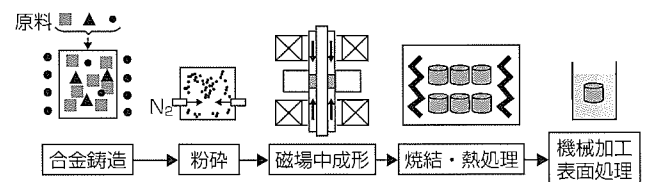


図2. ネオジム系焼結磁石の製造工程

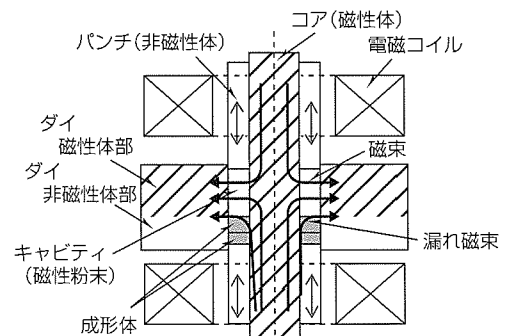


図3. 多段成形法(従来)

体を磁場中成形すれば均一な密度かつ高精度にラジアル配向ができ、個々に磁場中成形されたリング成形体を積み重ねて焼結すれば一体化できることにある。そして、図4に示すように、給粉、磁場中成形、脱型、積層の4つに工程を分割し、それら工程間を図5に示す搬送金型でつなぎ連続的に生産すれば生産効率向上が実現できる。すなわち、イカリング製法とは、モータの回転精度向上を目的とした磁石特性向上と生産性向上の両立をねらい独自に開発したリング型ネオジム系焼結磁石の製造技術である。

4.2 磁場中成形の磁界解析

磁性粉末を均一にラジアル配向するためには、磁場中成形ステージの磁気回路設計が重要となる。搬送金型内のキャビティにラジアル方向の強い磁場を発生させるため、搬送金型や電磁コイルの仕様寸法を磁界解析で求めた。

図6は磁界解析例であり、キャビティには多段成形法で生じていた配向を乱す漏れ磁束は発生しておらず、ラジアル方向にそろった磁束が流れている。

4.3 イカリング製法での工程

搬送金型は、コア、ダイ、下パンチ、ホルダを組み合わせた構造であり、上パンチとともにパレットで搬送される。各ステージは次のように動作する。

- (1) 給粉ステージ：搬送金型の上にガイドが載せられ、磁性粉末が流し込まれる。ガイドが振動することで磁性粉末は凝集せずキャビティに充填される。次に、キャビティに上パンチがはめ込まれる。
- (2) 磁場中成形ステージ：電磁コイルが上下に開閉し、搬送金型が上下の電磁コイルの中央に配置される。電磁コイルが通電され磁場を発生し、磁性粉末がラジアル配向される。同時に、サーボモータ駆動で上パンチを加圧し磁性粉末が圧縮される。
- (3) 脱型ステージ：パンチホルダで上パンチと成形体を押さえながらダイが上方に抜き取られ、続いて、下パンチ

とともに成形体が上方に抜き取られる。

- (4) 積層ステージ：成形体はハンドでつかまれ、テーブルへ搬送される。軸長に応じた段数の成形体がテーブルの上で積層される。

イカリング連続磁場中成形装置で作られた成形体は、焼結・熱処理工程で一体化される。成形体の積層境界は焼結温度で溶融するNdリッチ層を介して結合している。

5. イカリング磁石の評価

5.1 焼結・熱処理後の磁石形状

成形体内部に密度差があると、焼結による収縮量に差が

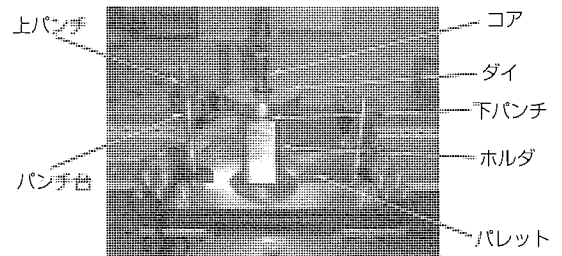


図5. 搬送金型

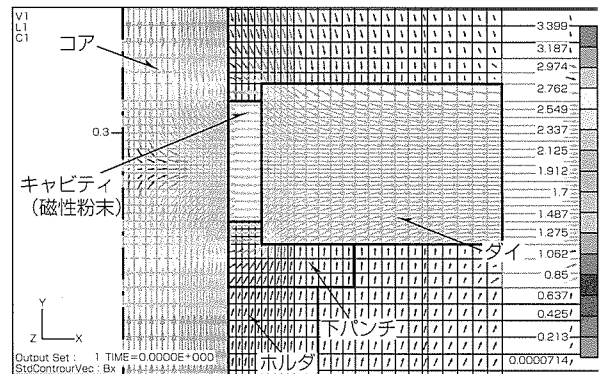


図6. 搬送金型内の磁界解析

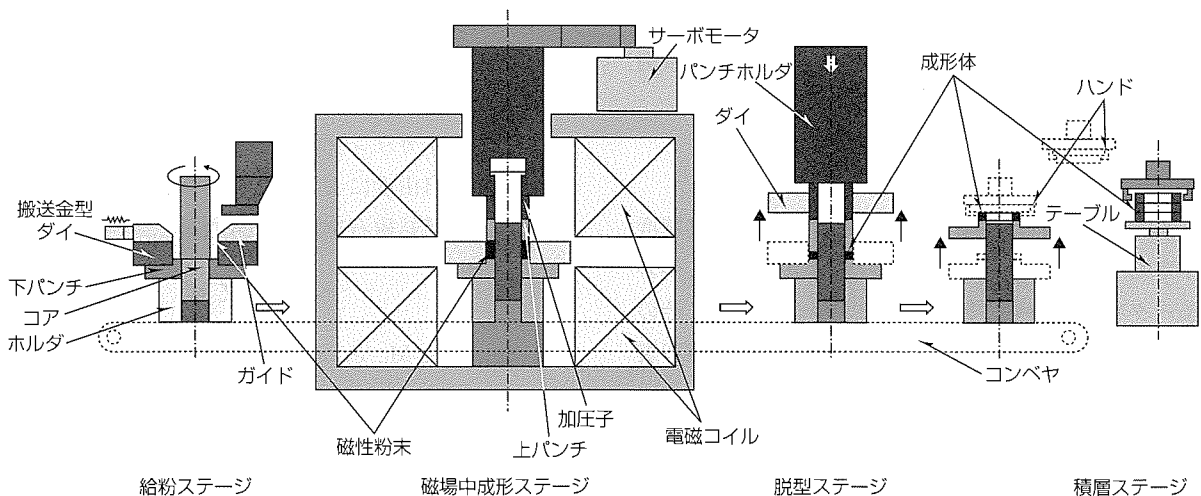


図4. イカリング連続磁場中成形装置の構成

生じ磁石形状がひずむ。そこで、イカリリング磁石と多段成形法によるリング型磁石の焼結・熱処理後の磁石形状を比較した。図7はそれぞれの磁石形状である。

従来のリング型磁石では下層において外径が大きくなっているが、イカリリング磁石ではその傾向は少ない。この違いから、多段成形法に比べイカリリング製法では成形体の密度差が少ないことが分かる。

形状のひずみ自体は研削加工によりなくすことができるが、このひずみによる配向方向のずれは補正できない。したがって、形状にひずみの少ないイカリリング磁石は、磁気特性ばらつきが少ない効果も期待できる。

5.2 積層境界の磁気特性

磁石は配向が乱れると磁気特性にばらつきが生じる。磁石の磁気特性の評価には、ホール素子による表面磁束密度の計測が用いられる。今回は、リング型磁石の表面磁束密度の軸方向分布を評価するため、ホール素子を磁石表面に沿って軸方向移動させながら測定した。

図8に示す測定結果において、2か所で磁束密度が低下している。これは3層を積層した磁石の積層境界に相当する。従来のリング型磁石ではこの磁束密度の低下が大きいたとも、中間層の磁束密度分布の対称性も悪く、配向の乱れが大きいことが分かる。

モータ特性上、磁束密度の軸方向分布はフラットが望ましい。リング型磁石ではコギングトルクの低減のためスキュー着磁されることが多く、軸方向分布が均一なほど低減効果が発揮され、回転精度の向上を図ることができる。

5.3 磁石形状の自由度

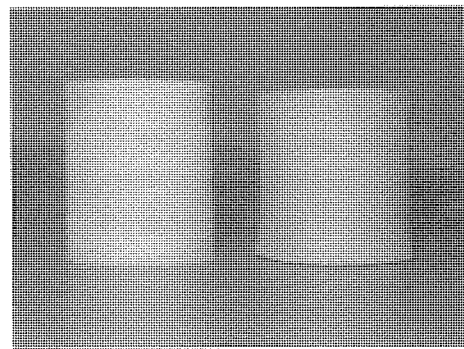
イカリリング製法では、搬送金型の構造が簡単であること、脱型した成形体を自由に積層できることから、自由な形状のリング型磁石を作ることができる。

例えば、搬送金型のキャビティの外径が多角形状であり、積層ステージで成形体を回転方向にずらしながら積むことにより図9のような段スキューイカリリング磁石ができる。段スキューイカリリング磁石によると、従来のリング型磁石に対してコギングトルクを1/2まで低減できた事例がある。

6. む す び

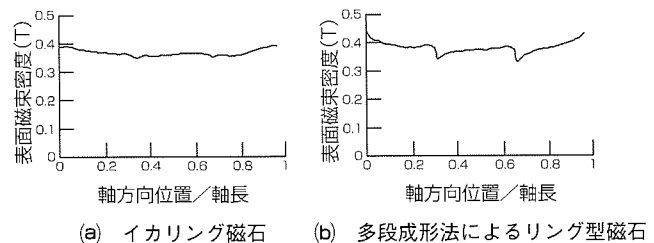
ネオジム系焼結磁石は、強力な磁力を持つ反面、高精度に着磁することが難しく、また、磁石の磁気特性ばらつきに対しモータ特性が敏感に影響を及ぼす場合がある。そのため、モータの最適設計に加え、高精度着磁技術や磁石製造技術への取り組みが重要になっている。

本稿では、リング型ネオジム系焼結磁石の製造技術として開発したイカリリング製法について述べた。この製法では、リング成形体を個々に磁場中成形した後、積み重ねて焼結することで一体化してリング型磁石を作る。そのため、焼



(左：イカリリング製法 右：多段成形法)

図7. 焼結・熱処理後の磁石形状の比較



(a) イカリリング磁石 (b) 多段成形法によるリング型磁石

図8. 表面磁束密度の軸方向分布

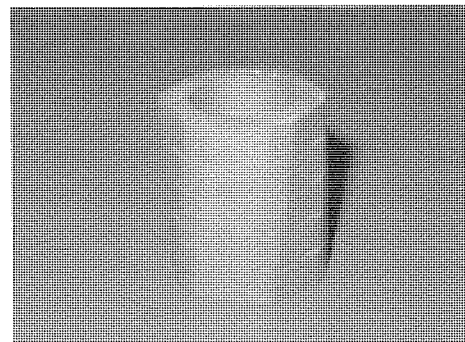


図9. 段スキューイカリリング磁石

結前の密度が均一化されて焼結後のひずみが減少し、表面磁束密度の軸方向分布がフラット化できた。また、搬送金型の構造がシンプルであるため、成形体の形状自由度を増すことができた。

そして、イカリリング製法がもたらす磁石の均一な磁気特性と形状の自由度により、モータ回転精度の高いリング型ネオジム系焼結磁石を実現できた。

参考文献

- (1) Sagawa, M., et al. : New material for permanent magnets on a base of Nd and Fe, J. Appl. Phys., **55**, No.6, 2083~2087 (1984)
- (2) 三宅展明：最新のモータ製造技術，三菱電機技報，**76**，No.6，426~430 (2002)

ACサーボモータ用ロータAssyの生産技術

Production Technology of Rotor Assy for AC Servo Motor

Yukihiro Kimura, Yusuke Soma, Kosuke Haraga

要旨

AC(Alternating Current)サーボモータは、液晶・半導体製造装置、工作機械等の高速・高精度化への要求にマッチして、市場規模はますます拡大する環境にある。三菱電機のACサーボモータは、独自のステータ生産技術を開発し小型化・高性能化を遂げてきたが、ロータ生産技術は、磁石の高性能化以外にはほとんど変化がなく、自動化の適用拡大が課題であった。

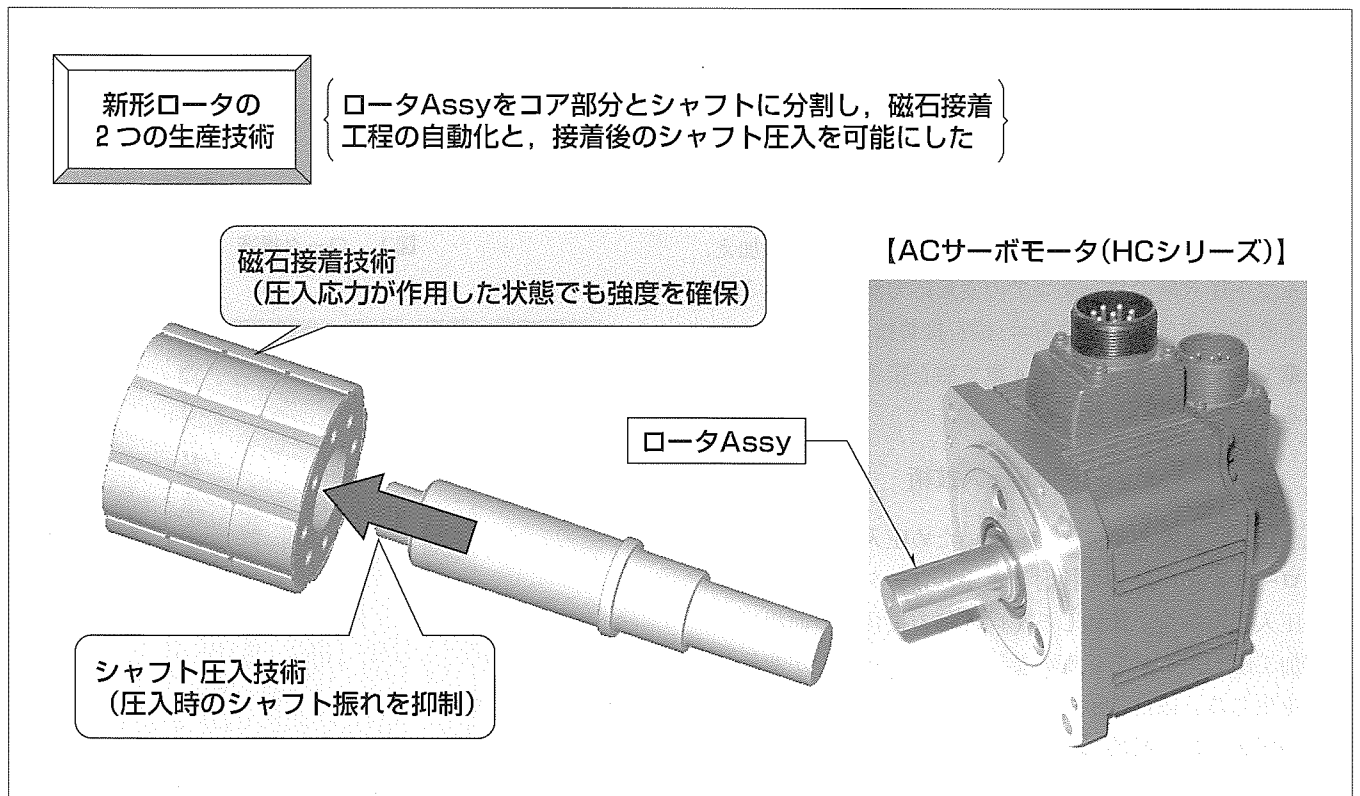
ロータ製造工程において、自動化のネック工程はコアへの磁石接着工程である。当社のサーボモータは特定ユーザー対応の軸端特殊仕様が多く、従来のコア一体シャフトではシャフトの種類が多くなり自動化が困難であった。そこで、コア部分をシャフトから分離・標準化し、コアへの磁石接着工程の自動化を検討したが、そのために、次の2つの生産技術開発が必要であった。

- (1) コアをシャフトへ圧入・組立てる際、シャフトの振れを抑制するシャフト圧入技術
- (2) 接着・硬化後に圧入による応力が作用しても必要な強度が得られる磁石接着技術

シャフト圧入技術では、振れを抑制するため、コア・シャフトの生産設計、及びフレキシブルパレットを備えた圧入機の開発を行った。

磁石接着技術では、接着部にかかる応力を緩和できるように、強度を保ったまま弾性係数を低下させた新接着剤の開発と、その接着剤を量産に適用した磁石接着装置の開発を行った。

上記2つの生産技術開発の達成によりロータ製造工程の自動化が達成され、大幅に生産性を向上させることができた。



新形ロータ生産のための2つの生産技術

ACサーボモータに使用する新形ロータは、外周に磁石が接着されたコアにシャフトを圧入して形成する。これにより、これまでネック工程であった磁石接着工程を自動化した。この生産方法を可能とするため2つの生産技術開発を行った。1つは、シャフトの圧入によって接着部に応力が加わっても必要な接着強度が確保できる磁石接着技術である。2つ目は、圧入によるシャフトの振れを抑制し、ロータの精度を確保するシャフト圧入技術である。

1. ま え が き

近年、IT関連製造装置及び自動車・精密機器向け機械装置等の需要が増え、サーボモータの市場規模はますます拡大する環境にある。当社のACサーボモータは通称“ポキポキモータ”と呼ぶ独自のステータ構造の開発により小型・高性能化が進められてきたが、ロータはネオジウム系磁石を採用する以外は従来から構造の変更がほとんどなく、製品競争力強化のための自動化が課題であった。

本稿では、新たにロータ構造を見直し、自動化に結び付けた主要な生産技術について述べる。

2. ロータ構造の見直し、及び技術課題

ロータ製造工程の自動化における最大のネック工程は磁石接着工程である。当社のACサーボモータは特定ユーザー向けを中心とした軸端特殊機種が多く、従来のコア一体シャフトを用いた構造では、対象機種が広範囲にわたるため、磁石接着工程の自動化が困難であった。

そこで、図1に示すとおり、従来のコア一体シャフトを積層鋼板化したロータコアとシャフトに分割し、磁石接着後にシャフトを組み立てる(圧入する)構造に変えることで、磁石接着部分であるロータコアを標準化して、磁石接着工程の自動化を可能とした。

しかし、この構造では以下のような課題があるため、その実現に向けて生産技術開発を行った。

- (1) シャフト組立てにおいては、磁石及び接着剤にかけることができる上限温度の制約から、焼きばめは不可能であり、圧入ではシャフトの振れが発生しやすい⇒(シャフト圧入技術の開発)
- (2) 磁石接着においては、接着剤硬化時の収縮応力に加え、シャフト圧入時のロータコアの変形応力が作用することにより接着強度が低下する⇒(磁石接着技術の開発)

3章でシャフト圧入技術、4章で磁石接着技術について述べる。

3. シャフト圧入技術

焼きばめによる組立てができないため圧入によるシャフトとロータコアの締結を検討したが、ロータコアにシャフトを圧入した場合、締めしろや両部材の接合面の面粗度・残留加工応力、形状公差等の要因によりシャフトが変形し振れを生じる。設計指示寸法で製作したシャフトとロータコアの圧入では、必要締結強度は得られるものの、シャフトの振れ量が、従来のコア一体シャフトよりも悪化した。

このため、キー方式など、他の締結方法も含めて再検討した結果、シャフトの振れを抑制する圧入方法を開発することとなり、以下のアプローチを行った。

- (1) 圧入によるシャフトの振れを抑えるロータコア及びシ

ャフトの寸法・形状の検討(生産設計)

- (2) シャフト振れを抑制する圧入機の開発

3.1 生産設計

まず、ロータコアとシャフトの必要締結強度が確保できる最小締めしろを評価試験によって検証した。その後、ロータコア内径及びシャフト外径の各製造工程能力から寸法精度を算出し、その範囲で得られる最大締めしろでのシャフト振れ量を確認する手順とした。

また、ロータコアの倒れ量を抑えるために板厚偏差を規定するとともに、圧入開始時の案内となるようにシャフト先端の面取り形状を鋭角にした。

3.2 シャフト圧入機の開発

図2は新形ロータの組立てに使用している圧入機である。

新形ロータの組立てを可能にするため、この圧入機には次のような特徴を持たせている。

- (1) 圧入によるシャフトの振れを抑制するため、ロータコアの受けにフレキシブルパレットを備える。
- (2) 圧入時に発生する圧入軸の螺旋(らせん)動作を抑制し、剛性・精度を向上させるための4本ポスト構造とする。

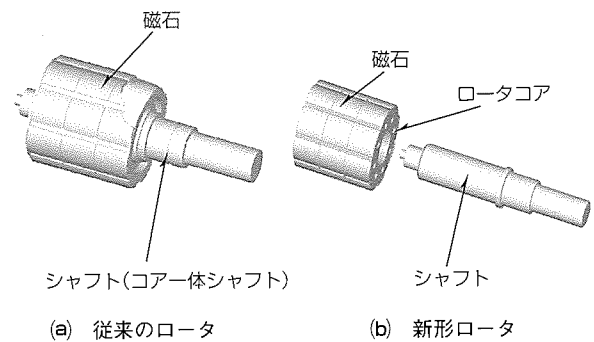


図1. ロータ構造

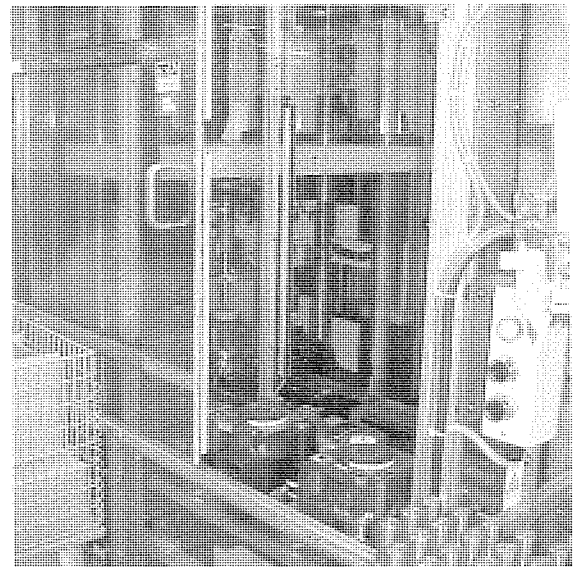


図2. シャフト圧入機

- (3) サーボモータによる2軸同期制御で荷重中心をワーク中心に合わせる。
- (4) 圧入時、シャフトに対するロータコアの位置を検出するセンサを備える。
- (5) 最大・最小締めしろでの圧入荷重値を基に荷重管理を実施する。

シャフトの振れ抑制のために導入したフレキシブルパレットの構造を図3に示す。圧入初期はばねによってロータコア受けがロータコア端面にならって傾斜するため、コアの内径軸が圧入軸に対して平行になる。圧入荷重の増大に伴い、ばねが圧縮されてロータコア受けは球面滑り軸受に押し当てられるが、ロータコア受けの傾斜に球面滑り軸受がならうため、前述の状態を保持したままリジッドに荷重を受ける状態に移行する。このため、シャフトにかかる曲げ応力が緩和されてシャフトの振れが抑制される。

また、ロータコア受けの形状もシャフトの振れが少なくなるよう工夫している。

以上の対策を反映し、3.1節で算出した最大締めしろのロータコアとシャフトの組み合わせで圧入を実施した結果、シャフト振れ量は設計要求仕様値内に抑えられ、従来のコア一体シャフトと同等のレベルになった。また、この新形ロータを使用して組み立てたサーボモータの精度も仕様を達成できた。

4. 磁石接着技術

従来から使用している接着剤は、モータ運転時の温度上昇を考慮した耐熱性の高いものであり、弾性係数が高かった。したがって、シャフト圧入工程のない従来ロータのコア一体シャフトの場合は十分な接着強度が得られていたものの、新形ロータの場合は接着後にシャフトを圧入するこ

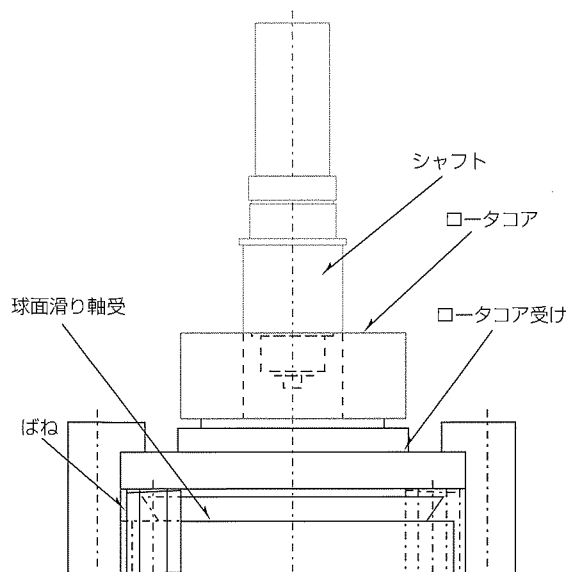


図3. フレキシブルパレット

とから、その際発生する応力により接着強度の低下が顕著であったため適用できなかった。

このため、接着硬化後に圧入時の応力が作用しても十分な接着強度の得られる新接着剤の開発と、その接着剤を量産に適用できる磁石接着装置の開発を行った。

4.1 磁石用新接着剤の開発と寿命評価

新接着剤の開発は、既存の接着剤をベースにして必要なスペックを付加し、後述の寿命評価を実施して必要な強度が得られていることを確認する手順で行った。

ベースとなる既存の接着剤は短時間硬化型の接着剤を選定し、付加するスペックは以下の方針とした。

- (1) 接着部の応力を緩和できるよう、硬化後の弾性係数を低下させる(軟らかくする)。
- (2) 高温強度を保持する(一般的に弾性係数が低下すると高温強度が下がる)。

寿命評価方法は、表1に示す接着強度と各係数によって算出した安全率を指標とする方法を取り入れた。

この評価方法は、初期の接着強度(F_{aR0})に対して、接着条件によるばらつきやシャフト圧入締めしろといったロータ製造条件のばらつき(D_z)と、サーボモータの使用環境や応力等の環境の経年変化に対する強度保持率(n_y)を掛け合わせて算出した実効接着強度(F_y)が最大発生応力(P_{max})を上回っていることを確認する方法である。

この評価によって、開発した新接着剤が、接着硬化後に圧入応力が作用した状態で耐用年数を経過した後も、十分な接着強度を持つことを理論的に確認した。

4.2 磁石接着装置の開発

図4はロータコアに自動で磁石を接着する磁石接着装置である。磁石接着装置は治具パレット・パレットコンベア・磁石供給部・磁石張り付け部から構成されており、ロータコアは治具パレットにセットされて磁石張り付け部で磁石の接着を行った後、パレットコンベア上を周回する。接着剤はロータコアがコンベアを周回する間に硬化し必要な接着強度に達する。

磁石供給部では、専用の磁石パレットに整列収納された

表1. 寿命評価方法

静的な平均接着強度	F_{aR0}
製造条件によるばらつき係数	D_z
環境・経年変化による係数 ($n_y = n_1 \times n_2 \times n_3 \times \dots \times n_n$) n_i : 個別の環境・応力因子における劣化係数	n_y
実効接着強度 ($F_y = F_{aR0} \times D_z \times n_y$)	F_y
最大発生応力 (使用中に接着部に加わる応力の最大値)	P_{max}
耐用年数経過後の安全率 ($S_y = F_y / P_{max}$)	S_y



図4. 磁石接着装置

磁石をロボットが機種に対応した必要数だけ取り出し、磁石張り付け部に供給している。

磁石張り付け部では、4.1節で述べた新接着剤を磁石に塗布後、1列ずつロータコアに接着している。塗布方法、及び塗布条件は接着剤の粘度・広がり性を考慮し、接着した際に塗布面積が一定比率以上となるよう事前に検証した。

また、磁石張り付け部には電子はかりがセットされ、規定間隔で接着剤の吐出量を計量し、接着剤の塗布状態を管理している。

新接着剤は短時間硬化型であるため、一定時間を経過すると急速に硬化が進み接着ができなくなる。このため、磁石接着装置では、設備の異常発生停止時に一定時間が経過すると自動で接着剤を排出する機能を持たせている。

装置構成を検討するに当たり、接着剤の硬化時間と接着強度の関係を検証した。これを基に、ロータコアが装置内を周回する時間内に必要な強度が得られる構成としている。また、硬化中は接着層の厚さを一定に管理するため、磁石を規定荷重で加圧する必要がある。1台のロータには数枚～数十枚の磁石を接着するが、磁石を個別に加圧できる治具パレットを導入した(図5)。

5. むすび

今回取り組んだシャフト圧入技術・磁石接着技術の2つ

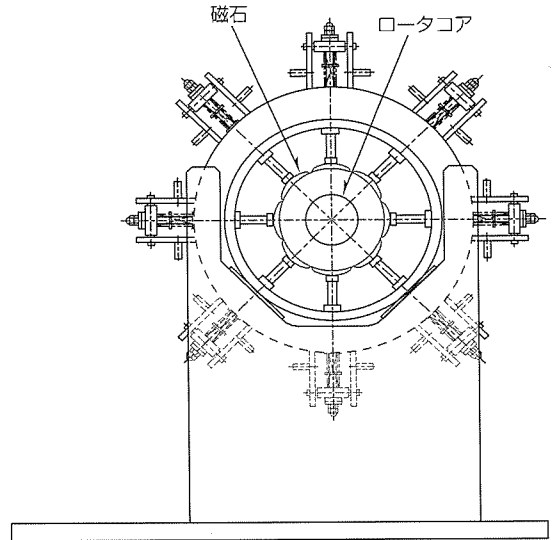


図5. 治具パレットと磁石の加圧

の生産技術開発の達成によって、これまでネック工程だった磁石接着工程の自動化が実現できた。これにより、ACサーボモータ用ロータの生産性が大幅に向上している。

また、これら生産技術と併せて、接着剤の使用環境や応力の荷重状況、経年変化、ロータの製造方法等の因子を加味した接着強度を定量的に算出することができた。今回実施した評価方法を新形ACサーボモータ用のロータで使用する接着剤の開発に適用し、接着強度を評価中である。

今後は、他機種への水平展開を図るとともに、今回得た開発ノウハウを生かし、他工程の自動化達成のため新しい生産技術開発に取り組み、世界一のACサーボモータ工場を目指す所存である。

参考文献

- (1) 原賀康介：耐用年数経過後の安全率の定量化による接着接合の設計品質の創り込み，(財)日本科学技術連盟第33回信頼性・保全性シンポジウム(日本の新しいものづくり-源流からの信頼性の創り込み-)発表報文集，117～122 (2003)

機械加工ネットワークシステム“e-F@ctory モデルライン”構築による高生産性工場の実現

大草裕之*
加藤義広*
大谷真博*

Realization of a High Productivity Factory by Machining Network System “e-F@ctory Model Line” Construction
Hiroyuki Ookusa, Yoshihiro Katou, Masahiro Ootani

要 旨

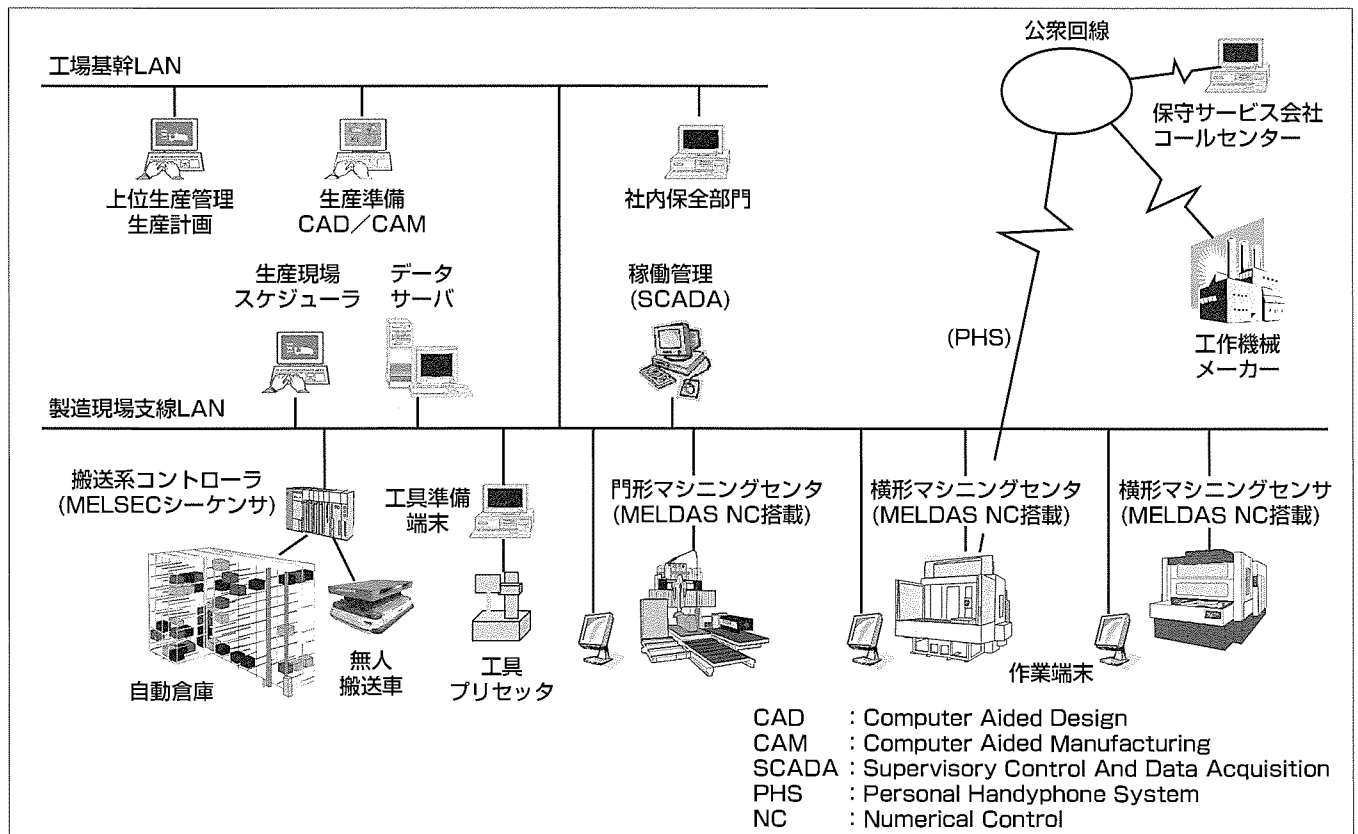
放電加工機はプラスチック成形やプレス加工などの精密金型を加工する主要な工作機械であり、この放電加工機を構成する構造体は、鋳鉄により概略形状が作られた後に機械加工により高精度加工がなされるキーパーツである。

三菱電機では、この主要構造体の機械加工工場を“高速・高精度・高生産性工場”のコンセプトで構築した。本稿では、上記コンセプトを実現するに当たり実施した、機械加工の最新鋭化及びネットワークシステム構築事例について述べる。

機械加工の先鋭化では、まず加工時間の低減目標を設定し、加工時間シミュレーションを行うことにより、必要な設備仕様、加工条件を設定し、加工設備の最新鋭化及び加工技術の先鋭化を実現した。これらの取り組みにより、機

械加工時間の従来比60%低減を実現した。

一方、これら加工設備の全体最適化を実現する手段として、生産管理、稼働管理、無人運転支援の機能を持ったネットワークシステム“e-F@ctoryモデルライン”を構築した。現在、当社では、製造業の現場向けソリューションとして情報システムとネットワークを活用したシステムコンセプトをe-F@ctoryと名付け、これに対応したシーケンサやNCなどのFA機器製品群を開発するとともに、ソフトウェアベンダーとの共同によるe-F@ctoryソリューションの提供を推進中である。そして、この効用を実証するために、当社名古屋製作所内にe-F@ctory導入ラインを構築した。今回、これらシステムの活用による効果として、工期短縮40%、生産性1.9倍を実現した。



機械加工ネットワークシステム

シーケンサで統括制御される自動倉庫とNC装置を搭載した工作機械3台の設備群と、データサーバ、SCADAを搭載するパソコンなどを製造現場支線LAN (Local Area Network) により接続した機械加工ネットワークシステムである。生産管理、稼働管理、無人化運転支援の機能を持っている。

*名古屋製作所

1. ま え が き

放電加工機はプラスチック成形やプレス加工などの精密金型を加工する主要な工作機械であり、当社は、各種放電加工機を製品化している。放電加工機を構成する構造体は、鋳鉄により概略形状が作られた後に機械加工により高精度加工がなされるキーパーツである。

当社では、放電加工機の主要構造体の機械加工工場を、“高速・高精度・高生産性工場”のコンセプトで、協力工場及び海外工場のマザー工場とするため再構築した。

本稿では、“モノづくり”強化への取り組みの一つとして、機械加工の先鋭化と、それを全体最適化するネットワークシステムに融合させてこの工場で高生産性を実現した内容について述べる。

2. 機械加工の先鋭化

加工費低減には高速切削（設備、切削工具、加工条件の三位一体で構成）の導入による加工時間低減が不可欠である。通常、機械加工時間は切削時間と非切削時間の合計で表されるが、前者は切削工具で純粋に除去加工を行う時間であり、後者は工具が切削点まで移動する時間、工具交換時間及び主軸の立ち上げ、立ち下げ時間などである。非切削時間は加工設備の仕様に依存するところが多いが、切削時間は、設備仕様だけでなく、切削工具、加工条件といった加工技術に依存する。

今回、機械加工ネットワークシステムを構築するに当たり、機械加工では設備ごとに従来の加工時間の40~50%低減を目標とし、①加工設備の最新鋭化、②加工技術の先鋭化を行った。

2.1 加工設備の最新鋭化

今回導入した機械加工ネットワークシステムを構成する機械加工設備は、五面加工機1台、8面オートパレットチェンジャ（以下“APC”という。）付き横形マシニングセンタ2台（パレットサイズ□1,000mm、□630mm）である。これら設備の最新鋭化では、図1に示す手順で設備仕様を設定した。

まず、加工時間の低減目標を設定し、加工時間シミュレーションを実施し、合わせて加工条件の検討を行った。そして、このシミュレーションの結果を基に必要な設備仕様を設定した。図に示す五面加工機の設備仕様では3種類の設備について加工時間シミュレーションを実施した結果、仕様③の設備において目標の加工時間低減が可能であることが分かった。そのため、今回は、仕様③の設備をカスタム仕様で製作し導入した。

2.2 加工技術の先鋭化

前述したとおり、切削時間の短縮には、加工設備だけでなく、切削工具、加工条件といった加工技術の先鋭化が不

可欠である。加工技術の先鋭化を実現するに当たっては、加工工程ごとに低減目標を達成するための加工条件を設定し、設備メーカー等でのテストカットを実施し、実際の生産現場での実用可否を確認した。

表1に、各加工工程別の従来機と導入機での加工条件を示す。まず、正面フライス加工については、セラミックス工具の採用により切りくず排出量1,000ml/minを実現した。また、1パスごとに切り込み量を変化させ、境界磨耗の抑制を図った。穴あけ加工では、切削工具に高強度母材、TiCNコーティング、スピンドルスルークーラントの採用を行い、切削速度128m/minを実現した。また、タップ加工では、スピンドルスルー微小ミスト潤滑の採用により切削速度を19m/minとした。これら加工技術の先鋭化により、大幅な切削時間の短縮を実現した。

以上の①加工設備の最新鋭化、②加工技術の先鋭化により、放電加工機主要構造物の平均加工時間の60%低減を実現した。この結果、従来は五面加工機、横形マシニングセンタ（パレットサイズ□1,000mm、□630mm）各2台で運用していたが、各設備とも1台に集約が可能となった。

3. ネットワークシステム構築事例

3.1 構築の考え方

機械加工設備の高速・高精度化、加工技術の先鋭化を推進する一方で、生産現場では顧客ニーズの多様化による変種変量生産に移行しており、生産形態において加工物・工具などの迅速な段取り替えや時点ごとの最適作業指示など

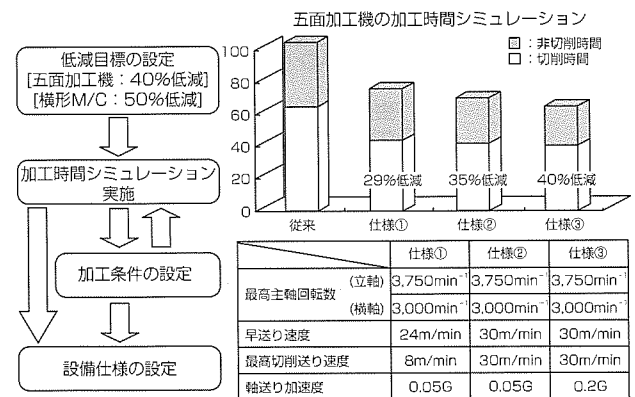


図1. 設備仕様の検討

表1. 加工工程ごとの加工条件の設定

正面フライス加工					
	工具名称	回転速度 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)	理論動力 (kW)	切屑排出量 (ml/min)
従来	φ160正面フライス	300	650	8	282
投資後	φ100正面フライス	2,500	10,000	20	1,000

穴あけ加工					
	工具名称	回転速度 (min ⁻¹)	切削速度 (m/min)	送り速度 (mm/min)	送り速度 (mm/rev)
従来	φ5.0ドリル	1,590	25	175	0.11
投資後	φ5.1ドリル	8,000	128	2,000	0.25

タップ加工				
	工具名称	回転速度 (min ⁻¹)	切削速度 (m/min)	送り速度 (mm/min)
従来	M6タップ	600	11	600
投資後	M6タップ	1,000	19	1,000

による設備の効率的運用が求められている。これら生産現場の変化に対応するために、以下の3機能を持つ機械設備と情報機器のネットワークシステムを構築した。

- 生産管理(計画, 指示, 実績把握)
- 稼働管理(稼働・加工分析, 工具情報管理)
- 無人化運転支援

3.2 概要

構築したネットワークシステムは、シーケンサで統括制御される自動倉庫、NCを搭載した工作機械3台の設備群、稼働実績・加工実績・アラーム情報・素材在庫状況などを蓄積するデータサーバ、生産スケジューラや設備稼働監視(SCADA)を搭載するパソコンなどの情報機器で構成され、製造現場支線LANに接続される(図2)。また、工場基幹LANとも接続し、設計基準情報や日々の生産計画も、工場全体を統括する基幹情報システムで立案され、現場LANに届く。これらの情報を基に効率化を図った内容について、主な機能を基に述べる。

3.3 生産管理

設備の効率的運用には、切削効率、稼働率など設備固有の管理とともに、“だんご生産”による仕掛り増加を抑制するなど高精度な計画と指示、進捗(しんちやく)把握の迅速さが重要である。

以下の機能を、機械加工ショップ全体の運営を支援するために開発した。

(1) 生産スケジューリング

市販スケジューリングソフトウェアの外部カスタマイズ機能を活用し、納期・加工時間・素材在庫・加工進捗などの情報から、各加工設備の稼働計画や設備別負荷グラフなどを作成する。稼働計画には定期的実施される総合計画と進捗実績や計画変更を加味した日々の詳細計画があり、総合計画策定では、点検などの設備計画休止や新製品の試削り計画などを織り込み、素材投入日程・操業形態・人員

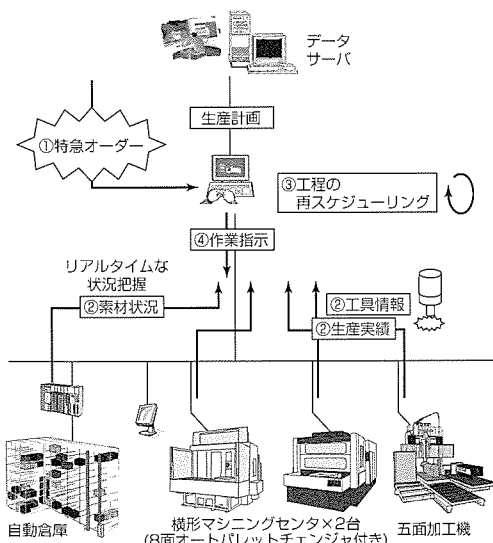


図2. 生産スケジューリング

計画などの策定を支援する。詳細計画では、加工不良や設備故障による遅れから操業度を変更したり、納期変更による加工順変更をタイムリーに実施し、現場への作業指示書を作成する。また、設備負荷グラフは、生産準備スタッフや設計者へ提供され、新機種生産計画時の設備負荷平準化、生産設計指標として活用される。

(2) 作業指示と出来高実績

スケジューラによって作成された作業指示は、設備ごとに配置されている作業端末上に、加工順に、段取り情報(部品番号・名称, 加工工程, NCプログラム番号, 使用治具など)として表示される。作業端末は、加工順指示のほかに、工具交換要否, 段取り着手・完了入力, 加工不良情報入力機能を持ち、出来高の実績管理を可能としている。

3.4 稼働管理

(1) 稼働・加工分析

設備の稼働実績や加工状態の分析は、品質向上や高効率化に重要なアイテムである。例えば、NCプログラム別に工具折損アラームによる停止履歴を統計し主軸負荷の分析をすれば、加工条件の適正化を図るためのプログラムが容易に識別できる。逆に、主軸負荷の少ないNCプログラムを稼働実績から選別できれば、切削効率改善の支援ツールともなる。今回構築したシステムでは、一般的な設備稼働率の月報、週報機能のほか、加工品質を考慮しながら設備能力を最大限に引き出すため、切削時間率、主軸負荷率などをNCプログラム別に使用工具ごとの収集分析が可能であり、生産準備スタッフへ加工方法の改善指標として提供している(図3)。

(2) 工具情報管理

複数の機械設備から構成されるショップ全体で使用する治工具類を一元管理できれば、有効利用が可能になり、不必要な導入も抑制できる。また、所在や状態の確認作業も削減でき、段取り性の向上につながる。このシステムでは、設備ごとにNC装置上で管理された工具情報をショップ専用サーバで一元管理し、設備間で共用する工具の使用効率向上と段取り性を改善した(図4)。

次に、段取り性改善の具体例として、工具寿命事前警告

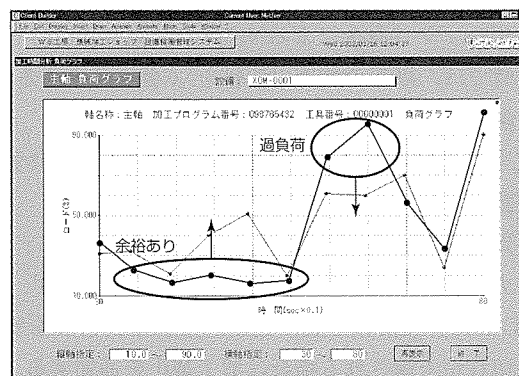


図3. 加工分析

機能について述べる。

マシニングセンタなどに搭載されるNC装置には、使用中工具の寿命値を時間や使用回数でカウントし、折損又は加工不良を予防する工具寿命管理機能がある。

今回構築したシステムでは、NC装置の工具寿命情報をサーバ上に取り込み、事前登録する対象NCプログラムの使用工具別消費時間からAPC上の加工待ちワークも含めた寿命予測を行い、加工開始以前に交換警告をする仕組みを開発した。これにより、従来内段取り作業であった寿命切れ工具の交換が外段取り化され、8面APC付き横形マシニングセンタで無人運転時間を拡大した。

3.5 無人運転支援

前述した工具寿命事前警告は、段取り性改善とともに、無人運転拡大につながる支援機能でもある。ここではさらに、マシニングセンタのセンシング機能を考慮した無人運転化の支援機能について述べる。

対象のマシニングセンタには、工具の折損とワークの形状不良や取付け不良を検知する機能がある。いずれも、NCプログラム上のユーザーマクロ命令で任意に計測動作を制御でき、工具計測の工具交換時、ワーク計測を加工開始時に行い、加工の継続可否を判定する。通常、機械設備単独の運転では、計測結果から加工中断と判断した場合、オペレータによる復旧操作が実施されるまで、APC上のワークは加工されず、無人運転の障害となっている。この対応策として、NC装置のユーザーマクロ命令を応用したNCプログラム及びネットワーク接続された情報機器の活用で、上記のような障害を回避し、無人運転拡大に貢献している。

(1) NCプログラムによる計測異常報告と設備制御

センシング機能による計測結果から加工中断と判断した場合、エラー内容をNC上のマクロ変数へ登録することで、システムへ報告するとともに、有人時間帯は生産スケジュールを優先させ、機械停止後、オペレータコールを発生させる。無人時間帯では、加工中断時点でAPC上へワークを強制排出し、次の加工待ちワークを搬入し、システムからの加工許可を確認後、加工を開始する。

(2) システムによる設備制御情報通知

ユーザーマクロ命令によるNC側の状態報告に対し、システム側では、以下の制御用情報をNC側へ通知する。

(a) 無人時間帯の工具折損時

該当工具の継続使用を禁止するため、NC工具管理情報の該当工具を寿命切れとする。

(b) 次加工開始時

有人・無人の時間帯や測定結果にかかわらず、最新のNC工具管理情報を読み込み、寿命事前計算を実施し、寿命切れが予測される場合は加工禁止を通知する。起動されたNCプログラムの先頭では、(b)の加工禁止通

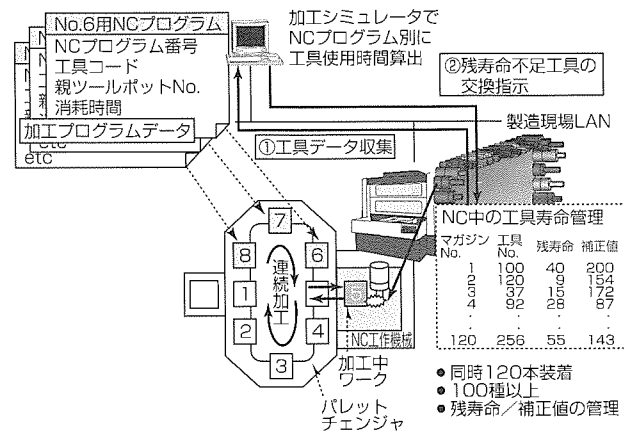


図4. 工具情報管理

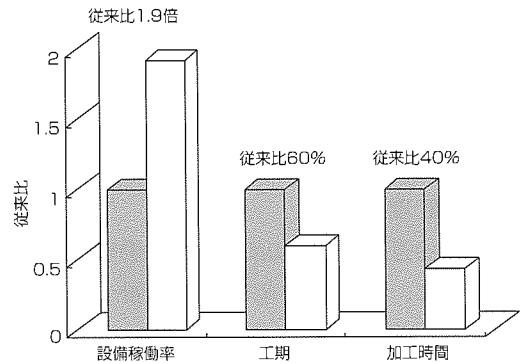


図5. 効果

知を確認すると、有人運転時はオペレータコールを発生し、工具準備待ちで機械を停止する。無人運転時は、センシングエラー同様にAPC上へワークを強制排出し、次加工待ちワークの搬入及び対象NCプログラムの起動を実施する。無人運転時は、APC上に加工待ちワークがなくなるまでこのサイクルを繰り返す、8面APC上の加工待ちワークを可能な限り加工する。

4. む す び

以上に述べた機械加工の先鋭化とネットワークシステムでのライン支援との融合により、図5に示すとおり大幅に生産性を改善した。

ただし、モノづくり強化への取り組みはこれで完了したわけではなく、常に世の中の最先端を追求し、e-F@ctoryビジネスのシステムモデルショップとして、ITの活用から加工技術、技能強化まで創意工夫に努めていきたい。

参考文献

- (1) 加藤義広：機械加工ショップにおけるネットワークシステムの構築，ツールエンジニア，43，No.13，28～33（2002）
- (2) 渡辺裕二：製造現場におけるネットワーク構築とその運用事例，機械と工具，48，No.2，24～28（2004）

放電加工CAD/CAM一貫システムの構築

古川浩保* 杉山和永***
 前田明宏** 千代知子†
 樽本和憲* 三木昌康††

Development of Speedy EDM System—Seamless Integration from Design to Actual Machining—

Hiroyasu Furukawa, Akihiro Maeda, Kazunori Taramoto, Kazuhisa Sugiyama, Tomoko Sendai, Masayasu Miki

要旨

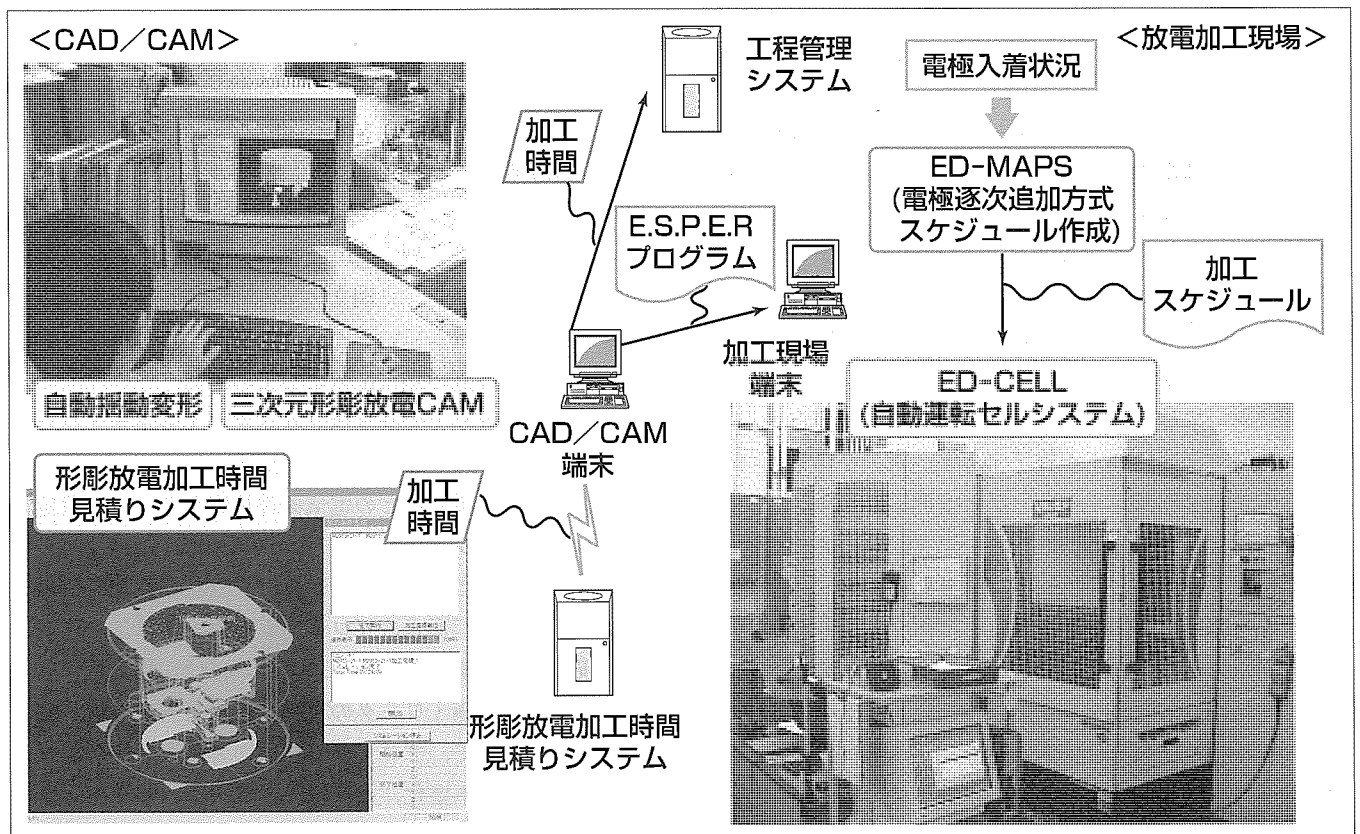
自動車電装品の生産には多数の金型を用いるが、その製作には、切削、研削など複数の工程が必要となる。その中で、形彫放電加工工程は、加工時間がかかる上、CAM (Computer Aided Manufacturing) 化・自動化の遅れや加工時間予測の難しさなどにより、ネック工程となっていた。そこで、自動車電装品を生産する三菱電機姫路製作所内の金型工場において、三次元CAD (Computer Aided Design) / CAMから加工機自動化システムまでの放電加工一貫生産システムを構築することにより、ネック解消を図ってきた。

その結果、三次元CAD上での電極設計過程にある加工位置情報を活用する三次元形彫放電CAMの開発に成功した。さらに、名古屋製作所が販売する形彫放電加工セルシステム“ED-CELL”を導入し、三次元形彫放電CAMと連動した

システムを構築した。これにより、現場手作業負荷を軽減し、加工機停止時間削減、人的ミス削減を実現した。セルシステムの活用では、電極製作工程と並行して加工を進められる仕組みを構築し、リードタイム短縮に貢献している。

この放電加工CAD/CAM一貫生産システムにより、形彫放電加工機の稼働時間は平均で150時間/月以上向上し、最大1か月連続の加工(680時間/月)も可能となった。

更なる機能拡充として、電極設計では揺動量分縮小した形状を自動作成する機能を開発した。また、形彫放電加工の前工程となる切削加工工程のNC (Numerical Control) シミュレーションを行い、得られた形状を用いて形彫放電加工シミュレーションを行うことで、加工時間を精度良く見積り、現場の工程計画に役立てている。



形彫放電CAD/CAM一貫システム

三次元CADにおける電極設計時の加工位置データを利用する三次元形彫放電CAMを開発した。電極・ワークの基準出し自動測定プログラムも含めた加工動作プログラムを作成する。また、形彫放電CAMの加工位置検証機能と形彫放電加工時間見積りシステムとの連動により、プログラム作成と同時に見積り加工時間を得ることができるので、異常加工を事前にチェックできるとともに、能率的な加工工程計画の立案に役立てることが可能である。作成されたプログラムは、電極製作工程と並行して加工を行えるソフトウェア“ED-MAPS”を経由して放電加工セルシステム“ED-CELL”へ分割供給される。

1. ま え が き

三菱電機姫路製作所は、1943年発足以来、自動車電装品や制御機器を生産し、自動車産業の発展とともに成長している。年々短期化する自動車の開発・製造サイクルに対応するため、姫路製作所の各種製品についても短納期化が急務となっており、その製品の生産に不可欠である金型の製造リードタイム短縮が大きな課題となっている。

金型製作において形彫放電加工は不可欠な工程であるが、ほとんどの段取りを現場作業者が手作業で行う必要があり、切削加工工程などに比べ自動化・CAM化が立ち遅れていた。さらに、加工自体に時間がかかる上、その加工時間の予測が困難であったため、ネック工程となる傾向があった。姫路製作所内の金型工場では、三次元形彫放電CAMから連続運転セルシステムによる加工までの一貫生産システムの構築により稼働率向上を実現し、さらに、放電加工時間見積りシステムの活用や電極設計の効率化に取り組んでおり、本稿では、その事例について述べる。

2. 形彫放電加工工程の問題と対策

2.1 形彫放電加工工程の問題分析

形彫放電加工工程では、プログラムの作成とその動作チェック、電極・ワークの基準出しといったすべての段取りを、現場作業者が加工直前に機上で、手作業で行っていた(以下“手作業段取り”という)。このような手作業段取りが行われていた一因には、CAD/CAM化の立ち遅れがあった。三次元化が進んだ現在では、三次元データから形彫放電加工機へ加工位置などの加工情報を転送するための標準フォーマット(JaDMA EPX)が提案される⁽¹⁾など、CAD/CAM連携が進められているが、開発当初には形彫放電加工のCAMは世の中にほとんど存在しなかった。

このような背景から、手作業段取りを要する形彫放電加工工程においては、①手作業段取り中は加工が停止する、②休み時間や夜間に加工が終了すると、次に手作業段取りを行うまで加工機が停止する、という問題が発生し、加工機稼働率は30~40%と低くなっていた(図1)。また、上記②の根本となる問題として、③加工時間の予測が困難で、作業者の勤務時間に合わせた段取り計画を立てられない、という問題もあった。

2.2 CAD/CAM連動セルシステム

上記①、②の問題を解決するため、姫路製作所を始め、形彫放電加工機及び周辺システムを製作する名古屋製作所、

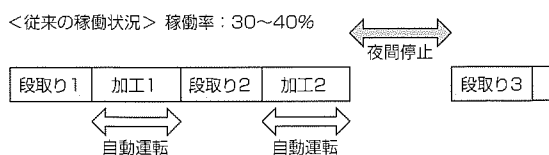


図1. 放電加工機の稼働状況

並びに生産技術センターの共同開発により、三次元形彫放電CAMシステムと形彫放電セルシステム“ED-CELL”とを連動した一貫生産システムを開発した⁽²⁾。この一貫生産システムでは、姫路製作所金型工場において金型及び形彫放電加工用電極の設計に用いている三次元CADシステムのカスタマイズにより、独自の形彫放電CAMシステムを開発した。3章で詳細を説明する。

2.3 形彫放電加工時間見積りシステム

また、上記の問題③を解決するため、先端技術総合研究所、名古屋製作所、姫路製作所、及び生産技術センターの共同により、形彫放電加工時間見積りシステム⁽³⁾を開発し、この形彫放電加工時間見積りシステムと上記形彫放電CAMシステムとの連携の仕組みを構築した。4章で詳細を説明する。

3. 形彫放電CAD/CAM一貫生産システムの開発

3.1 三次元形彫放電CAM開発

4年ほど前から、姫路製作所金型工場でも、三次元CADによる設計が主体となった。三次元設計を前提とすると、形状を利用したプログラム作成にメリットが生まれる。電極設計では、金型の凹形状を三次元的に転写して電極凸形状を作成するため、電極形状を作成した三次元的位置がそのまま加工位置に対応する。したがって、電極設計でこの座標値を出力するだけで間違いのない加工位置設定が可能となる。また、電極・ワークの基準出し測定については、それぞれの三次元ソリッド形状を用いると、測定点の三次元座標を容易に指示でき、また、視覚的にも確認が容易になる。

このような考えから、三次元CAD上で動作する形彫放電CAMを独自開発した(図2)。この形彫放電CAMは以下のような機能を持っている。

- (1) 電極設計位置の加工位置としての出力
- (2) 三次元モデル上の基準面クリックによる電極・ワークの自動基準出し測定点の設定
- (3) 揺動量や面精度などの電気条件検索用データの設定

そして、開発ソフトウェア“AutoMAPS”により、電極ごとに出力された上記の情報から、当社製放電加工機用自動プロ“E.S.P.E.R”形式のプログラムをワーク単位で作成し、加工現場に供給する。このプログラムには、加工動作と電気条件、及び電極・ワークの自動基準出し測定が含まれる。

このようにして、プログラム作成の外段取り化とプログラムチェックの不要化、及び電極・ワークの基準出しプログラムによる段取り自動化を実現した。その結果、手作業段取りがなくなり、2.1節で述べた問題①(手作業段取り中は加工が停止する)が解決された。

3.2 形彫放電加工機の連続自動運転

形彫放電セルシステムED-CELLは、自動ツールチェン

ジャや自動ワークチェンジャを備えた加工機と、加工機にDNC(Direct Numerical Control)又はLAN(Local Area Network)で接続されたパソコン上のスケジュール運転ソフトウェアにより、スケジュールに従ってプログラムや段取りデータの転送とプログラムの起動を行うことで連続加工を行うシステムである。図3に形彫放電加工機MA2000を用いて構築したシステムの外観を示す。このシステムでは、加工機外で段取りを行う方法(外段取り)又は加工機上で測定プログラムによる自動基準出し測定を行う方法(自動内段取り)により、加工終了後に人手を介さずに次の加工を連続実行できる。このシステムの活用により、2.1節で述べた問題②(休み時間や夜間に加工が終了すると次に手作業段取りを行うまで加工機が停止する)が解決された。

3.3 電極逐次追加方式スケジュール作成

ED-CELLによる連続運転では、電極準備が完了していないスケジュールを実行してエラー停止となることを避け

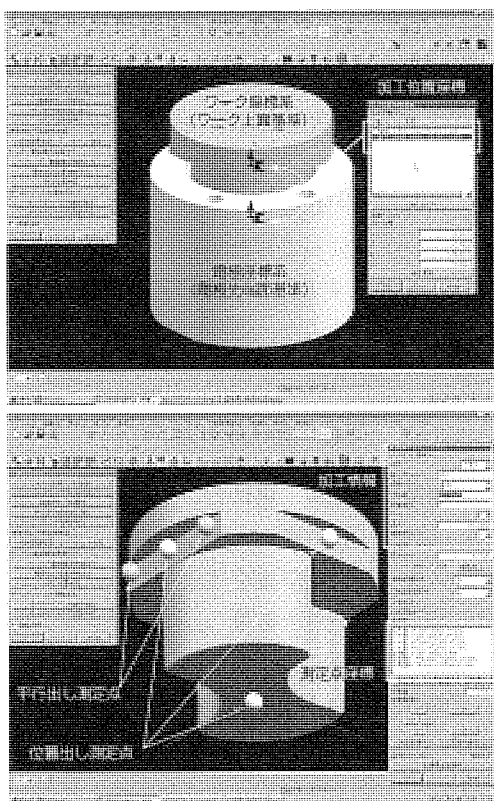


図2. 形彫放電CAM(上:加工位置設定, 下:電極測定点設定)

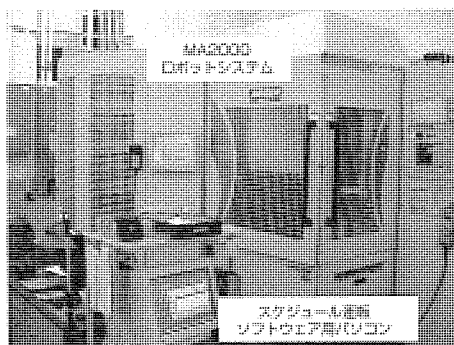


図3. ED-CELLシステム("MA2000")

るため、スケジュールごとに電極準備状況を管理し、準備完了していないスケジュールはスキップされる。そのため、スケジュールで使用する電極の一部に製作遅れが発生すると、急ぎのワークであっても加工を開始できない。そこで、形彫放電CAMで作成したE.S.P.E.Rプログラムから、これを実行するED-CELL用スケジュールを作成する際に電極逐次追加方式のスケジュール作成を行うソフトウェア"ED-MAPS"を開発した。この電極逐次追加方式のコンセプトを図4に示す。

ED-MAPSは、放電CAMで作成したワーク単位のプログラムをマスタとして、放電加工現場に入着済みの電極だけで加工するよう分割されたプログラムを作成する。スケジュールの実行単位がワーク単位のプログラムではなく入着済みの電極のみを加工する分割プログラムになるので、電極がすべてそろっていないワークでも加工を開始できる。また、分割プログラムでの加工中に未入着電極が入着すれば、その追加分だけを加工するスケジュールを逐次作成して追加していくことで、停滞なく加工を進められる。このように、電極製作と放電加工とを並行して進められるようになり、製造リードタイムを短縮できる。

3.4 一貫生産システムの効果

形彫放電CAMからの一貫生産により、プログラムミスによる不良は適用初年度で5.8回/月から1.5回/月に激減し、現在は更に低減されている。また、連続運転システム加工機の稼働時間は平均で150時間/月以上向上し、最大1か月連続の加工(680時間/月)も可能となった(図5)。

4. 形彫放電加工のシミュレーション

4.1 加工位置検証機能

CAM化により加工位置設定にミスがなくなったとしても、電極形状の作成ミスや加工の順序、前工程の加工状態などによっては、思わぬ箇所電極とワークが干渉し不良となることがある。これを事前に確認できるように、形彫放電CAMにおいて加工位置検証機能を設けている。三次元CAD上で、前工程の加工結果を模したテストワーク形状から電極形状を引き算していくことで放電加工をシミュレートし、加工過程の形状を確認できるようになっている。

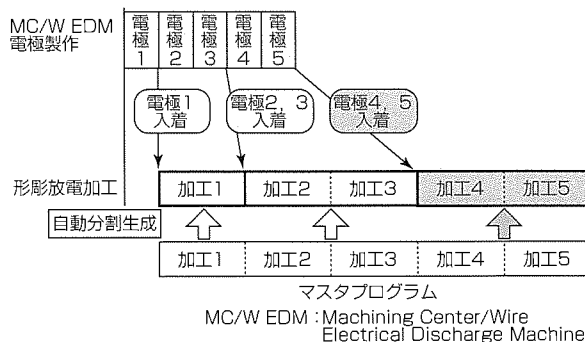


図4. ED-MAPSの電極逐次追加方式スケジュール作成

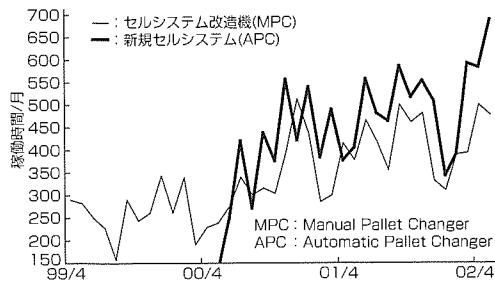


図5. セルシステム加工機の稼働時間推移(2004/4~)

4.2 形彫放電加工時間見積りシステムの開発と連携

形彫放電加工時間見積りシステムは、電極形状モデル、ワーク形状モデル、及び加工位置や電気条件からなる加工情報を入力とし、図6に例示するように、加工の進行に従って加工面積が変化する状況をシミュレートすることで加工時間を予測する。加工時間計算では、リップ形状などの加工形状特徴を認識し、スラッジの排出しにくさなども考慮して時間を見積もる。また、STL(STereo Lithography)形式の形状データをワーク形状の入力とすることができるので、前工程である切削加工を切削シミュレータにかけ、切削後形状を形彫放電加工時間見積りシステムに用いることで、実際の放電加工量を正確に把握し予測精度を高められる。その結果、加工時間を±25%の誤差で算出することができる。

この形彫放電加工時間見積りシステムと上記加工位置検証機能とを連携させ、加工位置検証を行うと同時に、検証を行う電極形状及び加工条件データをネットワーク上のサーバで動作する形彫放電加工時間見積りシステムに引き渡して加工時間見積り計算を実行するようにした。この機能の概念図、及び画面例を図7に示す。これにより、電極設計直後に加工形状・加工時間についてのシミュレーションを同時に行うことができるので、形状の不具合や加工異常を事前に確認できる。

また、この予測時間を工程管理システムへ入力し、現場の工程計画に役立てることで、2.1節で述べた問題③(加工時間の予測が困難で作業者の勤務時間に合わせた段取り計画を立てられない)を解決した。

5. 電極揺動自動変形による設計効率化

形彫放電加工では電極を小さく揺動させながら加工することが一般的であり、その動作パターンには、四角形の四隅の方向に揺動する角揺動、中心から一定距離の平面内、つまり円内で揺動する円揺動、半球内で揺動する球揺動などがある。電極設計では、金型凹形状を転写して電極の基礎となる凸形状を作成した後、この電極基礎形状を揺動パターンと揺動量に従ってオフセット変形して電極形状を作成する。

円揺動や角揺動の場合、形状の一律オフセットでは、変

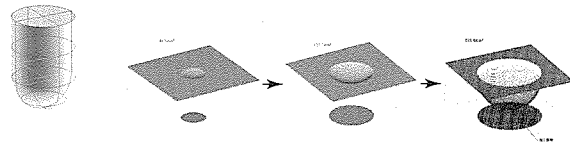


図6. 加工シミュレーション(左端の電極を無垢(むく)ワークへ加工)

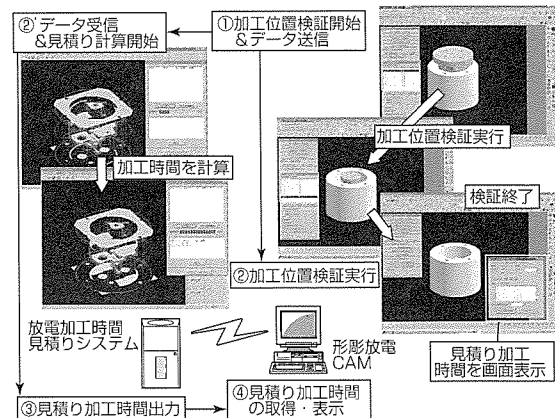


図7. 加工位置検証と形彫放電加工時間見積りシステムの連携

更してはいけな円弧部分の半径なども変更されてしまうため、複雑な変形作業や形状の作り直しが必要となり、設計の手間や計算間違いによる品質悪化が問題となっていた。

そこで、角揺動、円揺動について、電極基礎形状を揺動量と揺動パターンに従って移動複写し、その積形状として電極形状を自動作成する自動揺動変形機能を三次元CAD上で実現した。これにより、電極設計の効率は10%向上し、かつ、電極基礎形状からの形状変更ミスを撲滅できた。

6. む す び

以上、姫路製作所金型工場において構築した形彫放電加工のCAD/CAM一貫生産システムにより、稼働時間向上、ヒューマンエラーの大幅削減を達成した。

今後は、加工ノウハウを蓄積し、加工ナレッジとして利用する提案型加工支援システムの構築が課題である。具体的には、形彫放電加工時間見積りシステムの発展として、加工時間が最短となる電極設計方法を提案するシステムや、切削・形彫放電の加工部位切り分けなどの工程設定を支援するシステムの構築を目指す。

参 考 文 献

- (1) 杉山和永, ほか: 超高精度形彫放電加工機生産システム, 型技術, 19, No.8, 30~31 (2004)
- (2) 杉山和永, ほか: CAD/CAMシステムを活用した放電加工自動化システム, 三菱電機技報, 75, No.7, 481~484 (2001)
- (3) 杉山和永, ほか: 3Dデータ活用高精度形彫放電加工機自動化システム, 電気加工技術, 27, No.87, 7~10 (2003)

国際競争に比肩する衛星インテグレーション技術 —グローバル衛星メーカーを目指して—

永島敬一郎* 太田 努**
野村高嗣** 小島光喜**
横須賀義忠** 武内景治***

Satellite Integration Technology for International Competition—Growing into a Global Satellite Maker—
Keiichiro Eishima, Takatsugu Nomura, Yoshitada Yokosuka, Tsutomu Ohta, Mitsuyoshi Kojima, Keiji Takeuchi

要 旨

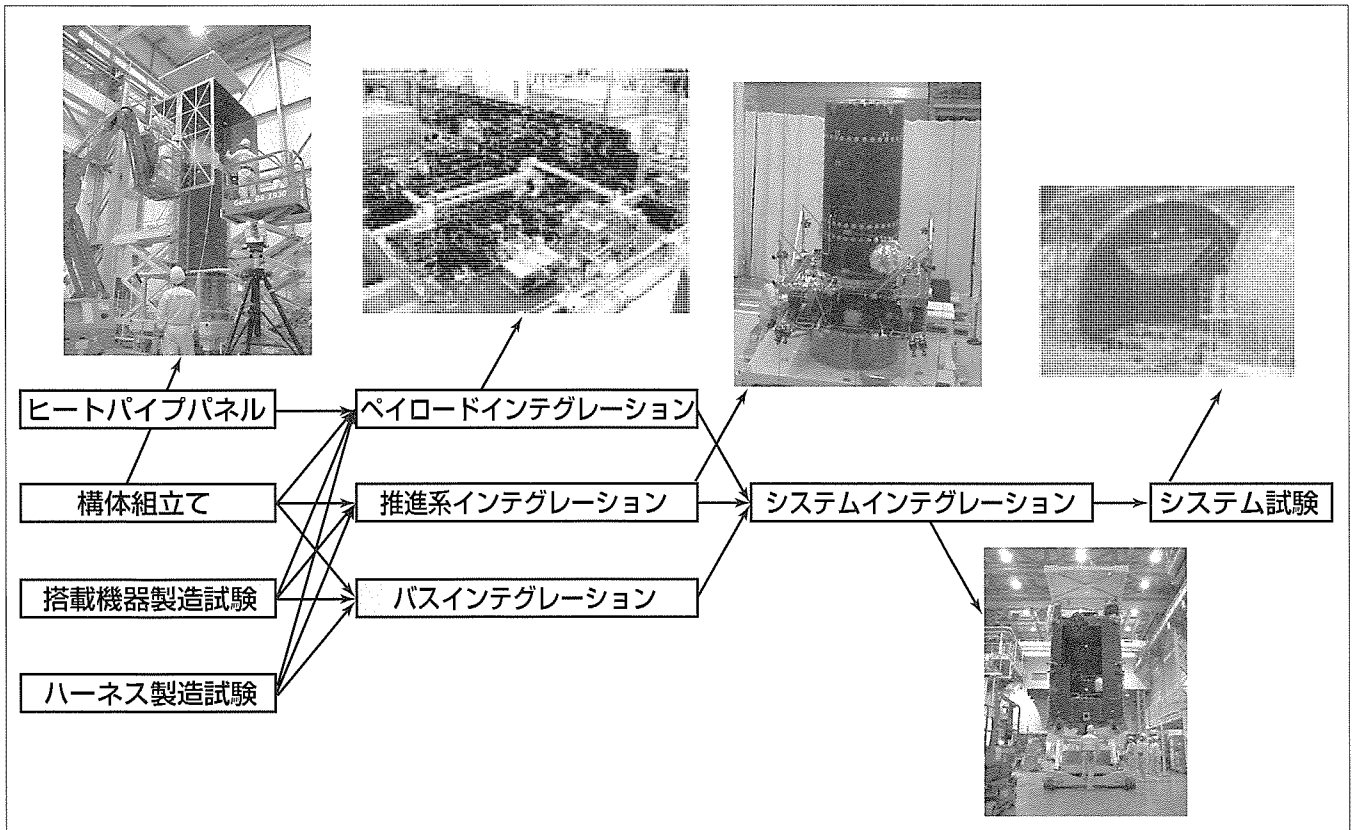
国際市場における静止三軸衛星の競争力強化の一環として、これまで開発してきた衛星プロジェクトの成果を活用して、静止衛星用標準バス“DS2000”のインテグレーション技術を開発した。開発は、下記3項目を目標として設定し、標準化活動を推進することで、所期の改善目標を達成した。

- (1) 衛星の製造期間の短縮(工期短縮)
- (2) 衛星の製造コストの低減(低コスト化)
- (3) 地上での品質検証の容易性(品質検証方法向上)

衛星のインテグレーション技術は上記3項目の改善を実

現させる一つの方策として重要な技術であり、機器の組立て、構体組立て、構体への機器・ワイヤハーネスの組み込み、及び組み込み後の試験に大別される。本稿では、標準衛星バスDS2000の構成、衛星のインテグレーション、及びインテグレーションの要素技術について述べる。特に、従来のシリーズ作業に着目し、生産方式、生産設計面での改善成果を述べる。

当社は、今回開発したインテグレーション技術の成果を準天頂衛星へ採用するとともに、標準衛星バスDS2000を擁し、国際商用衛星市場の中で衛星事業を展開している。



衛星のインテグレーションフローの概要

衛星は通信、観測などの衛星ミッションをつかさどるペイロードモジュール、静止軌道への移動や姿勢制御のためのアクチュエータである推進系モジュール、電源系や制御系機器等からなるバスモジュールの3モジュールから構成され、各インテグレーション(組立て・試験)は並行に進められる。ペイロードモジュールの機器は、熱輸送機能を持つヒートパイプが埋め込まれたパネルに搭載する。衛星の骨格となる構体は、仮組み後、分解し、推進系、バスの各インテグレーションへ供給される。3モジュールをシステムインテグレーションで合体した後、衛星システムの試験を実施する。

*鎌倉製作所(理博) **同製作所 ***生産技術センター

1. ま え が き

静止三軸衛星の国際市場において、欧米の衛星メーカーは独自の標準衛星バスを装備してビジネスを展開している。欧米メーカーに対抗できる競争力を身に付けるために、当社は、欧米衛星メーカーの標準衛星バスと同等レベルの標準衛星バスDS2000のインテグレーション技術を開発した。開発は、これまで当社が主契約企業として開発してきた衛星プロジェクトの成果を活用するとともに、標準化活動を推進して進めた。今回開発したインテグレーション技術は、欧米の衛星メーカーと十分戦えるレベルにある。

本稿では、インテグレーション技術の中核である機器用ライトアングルコネクタの実装、構体組立て(セントラルシリンダの一体化、三次元セオドライトを使用した組立方式、テンプレート組立方式)、ハーネス配線作業及び試験自動化について述べる。

2. 衛星の構成

標準衛星バスDS2000を使用した衛星の外観を図1に示す。衛星の上面及び側面には通信用アンテナを配し、また、別の側面には電力発生源としての太陽電池パネルを配している。衛星は静止軌道高度36,000kmで運用されるが、その時の姿勢から、通常、図の上面を地球指向面、アンテナを搭載する側面を東面及び西面、太陽電池パネルを搭載する面を南面及び北面と呼ぶ。衛星はロケットにより打ち上げられるが、ロケットフェアリングのエンベロープ内に収納させるため、図2に示すように、太陽電池パネル及び東

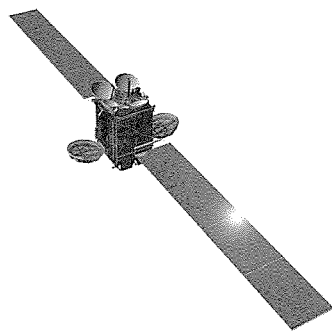


図1. 衛星の外観

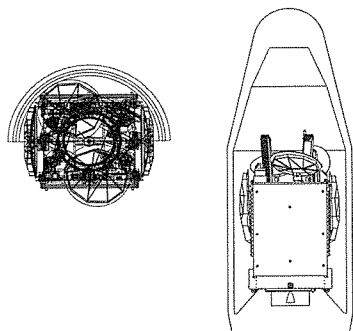


図2. 衛星のフェアリング収納図

西面搭載アンテナは打ち上げ時は折り畳み収納し、打ち上げ後軌道上で展開する。

図3に衛星内部の概観を示す。衛星は、その機能を達成するために、テレメトリ・コマンド系、姿勢制御系、電源系等の各種電子機器、機構系機器、構造系機器、熱制御機器、推進系機器をその内部、外部に搭載している。電子機器は、直方体の衛星構体内に搭載される。衛星を静止軌道へ運ぶための推進系燃料を搭載する大型タンクは衛星中心部に2台搭載し、電子機器は、温度制御の観点から、高発熱機器を衛星南北面パネルに配する。また、通信性能の効率を考慮し、受信アンテナから送信アンテナに至る機器レイアウトを適切なものとしている。

3. 衛星のインテグレーション

3.1 インテグレーション全体

図4に、衛星システムの製造、試験の概略の流れを示す。衛星システムは、上記のように限られたエリアに各種機能を高密度かつ適切に配置していく必要があり、また、システムが適切に製造されたことを確認する試験も行う。衛星市場は、競争がますます激しくなっており、衛星の性能、品質、価格は無論のこと、短工期化も強く求められている。工期に関しては、衛星の受注から約2年での出荷が常識化しており、競争激化の中、更なる短縮化が求められている。標準衛星バスDS2000では、これにこたえるため、複雑なシステムをペイロード、バス、推進系の3つのモジュールに分割し、並行して工程を進めるコンセプトとし、工期短縮化を図っている。さらに、各モジュール内においても、サブモジュール分割による並行化、前作業化を図るなど、生産方式、生産設計面での改善を実施している。

3.2 機器(コンポーネント)製造・試験

バス系の機器は図5に示すようなスライスモジュールで構成し、ペイロードの規模(電力、制御コマンド数など)

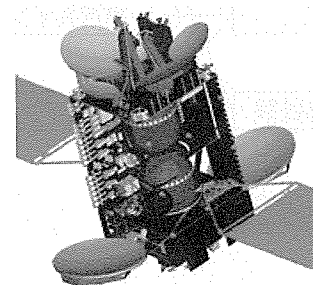


図3. 衛星内部の概観

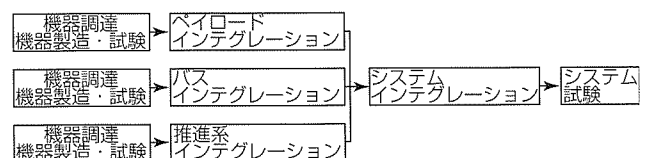


図4. 衛星システム製造・試験の流れ

の変化に対し、スライスモジュールの数を変化させて対応できるようにしている。スライスモジュールのシャーシ寸法は標準化しており、低コスト化を図っている。スライスシャーシには基板が組み込まれ、それぞれのシャーシを串(くし)刺しにして1つのコンポーネントを構成し、このコンポーネントをスライスコンポーネントと称している。スライス同士の接続や外部機器との接続にはライトアングルコネクタを適用し、配線作業の効率化を図っている。詳細は4.1節で述べる。

3.3 構体組立て

構体組立ては、衛星の骨格を構成するセントラルシリンダ/ロアコーン/各種パネル・支持構造材を組み立てる作業である。DS2000は、大幅な工期短縮を実現するために、生産技術面で以下の改善を実施しており、詳細は4.2節で述べる。

- (1) 一体型シリンダの開発による工程集約
- (2) 三次元セオドライトを使用した組立方式
- (3) テンプレート組立方式による並行作業化

3.4 ペイロードインテグレーション

通信用機器、配線ケーブル等の搭載作業(図6)であり、大幅な工期短縮を実現するために、パネル方式インテグレーションを採用し、以下の改善を実施している。

- (1) 東西南北面パネルの並行作業化(組立て・試験)
- (2) 高所作業の低減による作業の効率化

3.5 推進系インテグレーション

推進系インテグレーションは、衛星の姿勢を制御する推進系機器の搭載と試験の作業である。大幅な工期短縮を

現するために、加圧系、推薬系の各モジュール化に加えて、アース面、アンチアース面の配管をモジュール化し、並行作業、前作業を可能にしている(図7)。

3.6 システムインテグレーション

システムインテグレーションは、各種アンテナ、センサ等の機器を搭載するとともに、各機器の位置や姿勢を調整する作業(アラインメント)であり、以下の改善を実施している。

- (1) 搭載機器のモジュール化
- (2) アラインメント技術開発による作業の効率化
- (3) 締結品の標準化
- (4) 並行作業化、高所作業の効率化

3.7 三次元データの有効活用による作業の効率化

衛星設計では三次元CADをフルに利用しており、そのデータは下記の作業指示システムに有効活用し、ミスのない、効率的な作業を実現している。(1)については4.3節で詳述する。(3)は構体組立て、ペイロード/推進系/システムの各インテグレーションに適用している。

- (1) ハーネス配線指示システム
- (2) コネクタ配線指示システム
- (3) 三次元作業要領指示システム

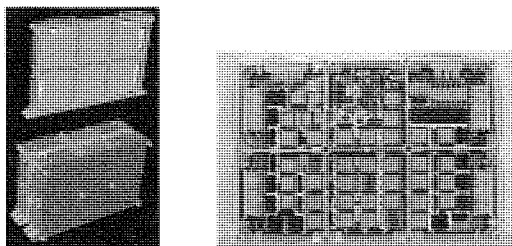
3.8 組立て/試験治工具の標準化

衛星を作業しやすい姿勢で設置し搬送する2軸回転ドリー、熱真空試験/電気試験/振動試験などの各種試験で使用される治工具は、取扱性、作業性を考慮するとともに、衛星とのインタフェースを共通化している。

4. インテグレーションの要素技術

4.1 104心ライトアングルコネクタの実装開発

3.2節で述べたスライスモジュールの構成では、従来に比べ、高密度化が要求され、スライス同士の接続や外部機



(a) スライスシャーシとコンポーネント (b) シャーシに組み込まれた基板

図5. スライスモジュール

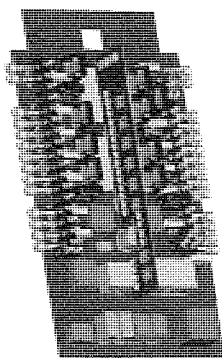


図6. ペイロードインテグレーション

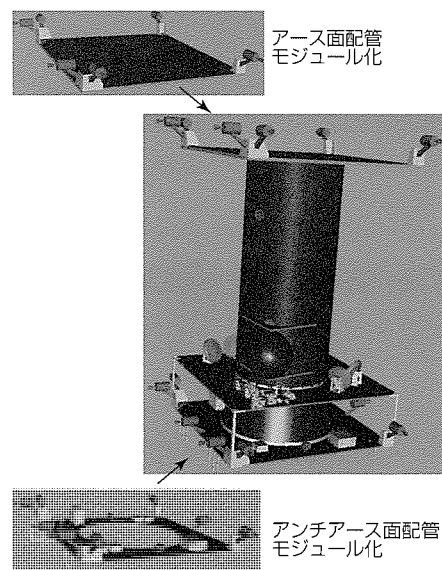


図7. 推進系インテグレーション

器との接続に104心コネクタの使用が不可欠である。一般的に入手できる104心D-subコネクタでは、図8に示すように、コネクタと基板との接続はワイヤ1本1本をはんだ接合しており、104心コネクタの組立てに1個当たり約8時間の工数がかかる。衛星の組立作業の約3分の1はこのコンポーネント内配線が占めている。そこで今回、図9に示すように、衛星搭載に要求される品質を満足する104心ライトアングルコネクタをコネクタメーカーと共同開発し、実装性・信頼性を評価し導入に至った。ワイヤの配線工数を削減し、組立工期約5分の1を実現した。

4.2 衛星構体組立ての工期短縮

4.2.1 セントラルシリンダの一体化

衛星構体の中心部には、骨格を形成するための親柱となる約φ1.3m、高さ約4mの円筒状のセントラルシリンダが存在する。この部品は、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)表皮でアルミニウム製ハニカムコアをサンドイッチし、オートクレーブにより接着した構造となっている。従来、円筒形状でのCFRP表皮とハニカムコアの配置、成形後の脱型成形精度の制約から2分割で成形し、その後、接着で円筒型に組み立てていた。今回、成形治具、プロセス開発により一体成形を実現し、成形と接着回数の削減で5日の工期短縮、接着箇所削減による接合部材削減により約4kgの軽量化を実現した。2分割と一体セントラルシリンダを図10に示す。

4.2.2 三次元セオドライトを使用した組立方式

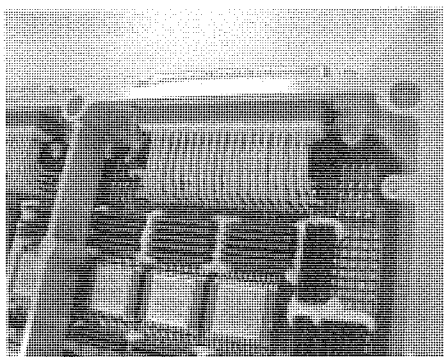


図8. D-subコネクタと基板の配線

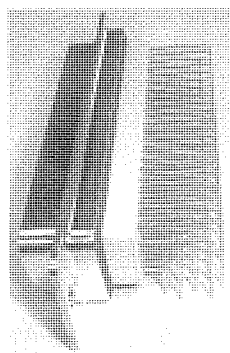


図9. 104心ライトアングルコネクタ

従来の衛星組立てでは図11の(a)のように構体をロータリテーブルに乗せ、その回転角度と、2台のセオドライトで測定した座標値で位置精度を把握しながら組立作業を進めていた。この方式では、ロータリテーブルをシステムインテグレーションや試験の工程でも使用するため、衛星組立てが複数台輻輳(ふくそう)、又は工程の停止が発生した場合、数千万円するロータリテーブルが複数台分必要となる。そこで、テーブルを使わず輻輳作業にも対応できるセオドライト4台を使用した組立方法を導入した(図11の(b))。セオドライト4台を使用することにより、視準の死角をなくし、座標値だけで全方向の測定を可能とした。また、この方式は、測定位置を移動することが可能であり、作業の輻輳状況により組立場所も移動できるメリットもある。

4.2.3 テンプレート組立方式

構体を構成するパネル同士の締結は、パネルに埋め込まれた金具をリーマボルトでねじ止めしている。従来は、いったん構体を仮組みし、形状を形成した上で、現合加工で金具同士にリーマ穴をあけ、その後、再度、パネルごとに分解してコンポーネントの組み込み作業をしていた。この方法では、構体パネルすべてがそろい構体組立てが完了しないと先の工程に進めず、工期短縮も望めない。そこで、穴位置を指示したテンプレート治具により、現合リーマ穴あけ作業のためのパネル仮組立作業を廃止し、衛星組立工期短縮の大前提となっているモジュール組立てにより並行作業化を実現した(図12)。

4.3 ハーネス配線作業の効率向上

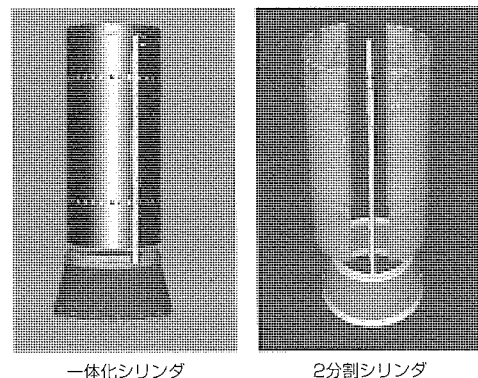


図10. セントラルシリンダ

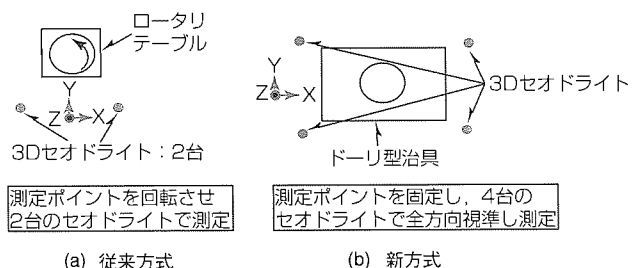


図11. セオドライトを利用した組立て

衛星組立作業でコンポーネント配線に次ぐ約3分の1を占めるハーネス配線作業の効率化も図っている。衛星内の実装密度も昨今増加の一途をたどり、ハーネス配線は数千から1万本の電線を敷設しなければならない。図13のように、これらハーネス配線組立作業のために、作業者は、まず、出先／行先を指示したワイヤリスト、布線経路を指示した組立図を読図し、組立て手順を設定する。その後、設定された手順で作業を行うが、衛星の配線は大きく、立体的なため組立図と実体の対比が難しく、電線の引き回し作業に多大な時間がかかっている。この従来の作業方法に対し、現設計は三次元機械設計が進んでいることから、電気設計(ワイヤリスト)と機械設計を電子データレベルで参照関係を持たせ、情報を一元化することで、三次元的にハーネス配線を視覚的に分かりやすく指示するシステムを構築した。図14に配線ルートを示された例を示す。この

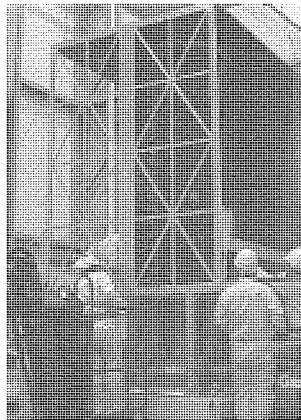


図12. テンプレートを使った構体組立て

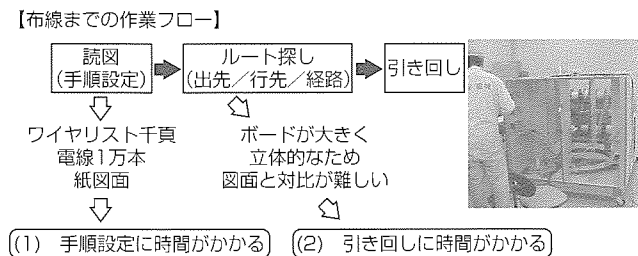


図13. ハーネス配線作業フローと課題

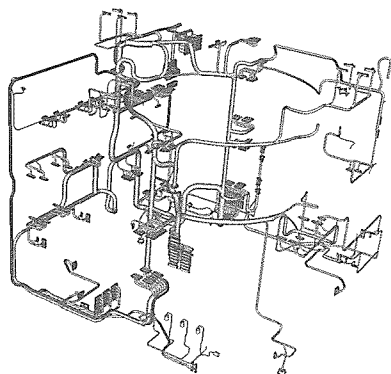


図14. 配線指示システムによるルート指示例

システムの導入により、工数、工期とも約30%の効率化が達成できる。このシステムは配線作業の効率向上を目的として開発したが、電気・機械設計データ一元化による設計作業効率化も相乗効果として得られている。

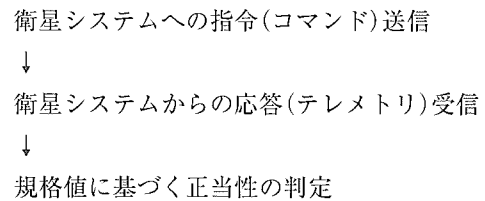
4.4 試験自動化

衛星システムは、そのインテグレーションの過程で、電気的信号ラインやデータラインの確認試験が行われ、インテグレーションが完了した時点で総合的な確認試験を実施し、続いて衛星システム試験フェーズへ移行して電気性能試験が実施される。

ここで、インテグレーションや衛星システム試験における電気系試験では、試験の自動化技術(Computer Aided Testing : CAT)を適用し、試験効率を高めている。以下にその概要を述べる。

4.4.1 自動化システムの構成

電気系試験は、衛星に搭載した機器の電気性能を確認するもので、基本的に以下の手順で行う。



従来は、上記の流れを手順書として作成し、その手順に基づいて試験装置から都度コマンド入力、テレメトリ確認、判定を手作業により繰り返している。

自動化は、コンピュータによる試験装置の自動制御であり、手順書を電子化(“電子手順書”と呼ぶ)し、コマンド、テレメトリをデータベース化して、これをコンピュータ(Computer Aided Testing System : CATS)から衛星システムの試験装置へ入力し、その結果を取得して規格値と照合し、判定に至るまでの手順を自動で行うシステムである(図15)。

さらに、試験規格情報から電子手順書を自動生成する仕組みや、試験結果を自動編集する仕組みまで、試験準備→試験実施→試験結果まとめに至る総合的な自動化への取り組みがなされている。

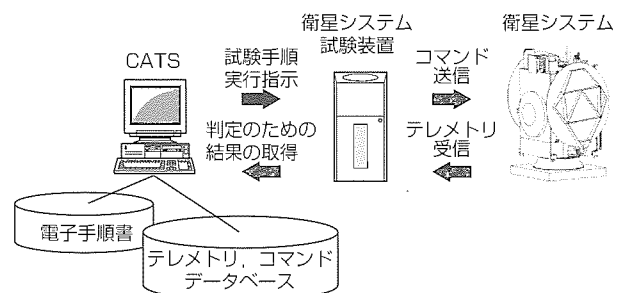


図15. 自動化システム構成概念図

4.4.2 自動化の効果と課題

試験の自動化技術を適用することで、以下の効果を得ることができる。

(1) 試験の効率化

電子手順書により、まとまった単位の試験が自動実行されることで、試験時間を大幅に短縮することができる。

(2) 試験品質の向上

手順の電子化により、ヒューマンエラーの排除や、試験員の熟練度依存の低減、同一試験の繰り返しに対する同一のタイミング確保など、試験の質(試験品質)の向上を図ることができる。

試験自動化は試験品質の向上、工期短縮に有効な手段であり、今後、更に効果を上げるため、以下の課題に取り組んでいる。

(a) 試験自動化の適用拡大

試験自動化をすべての試験手順、すべての衛星に適用していくため、現在の自動化システムの継続的な改良、機能追加への取り組み

(b) 電子手順書の事前検証

試験品質を更に高めていくために、電子手順書の事前検証を可能とするシステム(シミュレータ適用等)構築への取り組み

(c) 標準化

現在衛星ごとに定義されているコマンド、テレメトリの共通化、手順書のライブラリ化等により、どの衛星システムにおいても同様の自動化システムを適用可能とする標準化への取り組み

5. むすび

当社は、今回開発したインテグレーション技術に基づいて生産する標準衛星バスDS2000を擁して、国際商用衛星市場での受注活動を展開している。現在の商用衛星市場は1990年代後半の活況から比べて幾分冷え込んでいるが、航空機・船舶へのインターネット接続、双方向テレビ放送、測位サービス等、衛星を活用した事業が実現されてきており、近い将来には再び活況となる様相を呈している。

このため、今回開発したインテグレーション技術の成果を基に、準天頂衛星への採用を視野に入れ、標準衛星バスDS2000を更に国際競争力のある衛星としていく。

参考文献

- (1) 世古博巳, ほか: 商用衛星システム“DS2000”, 三菱電機技報, 77, No.8, 511~514 (2003)

鉛フリーはんだのためのリフローセンサ及びリフローシミュレータ

村上政明*
出田吾朗*
村上光平**

The Development of Reflow Sensor and Reflow Simulator for Pb-free Soldering

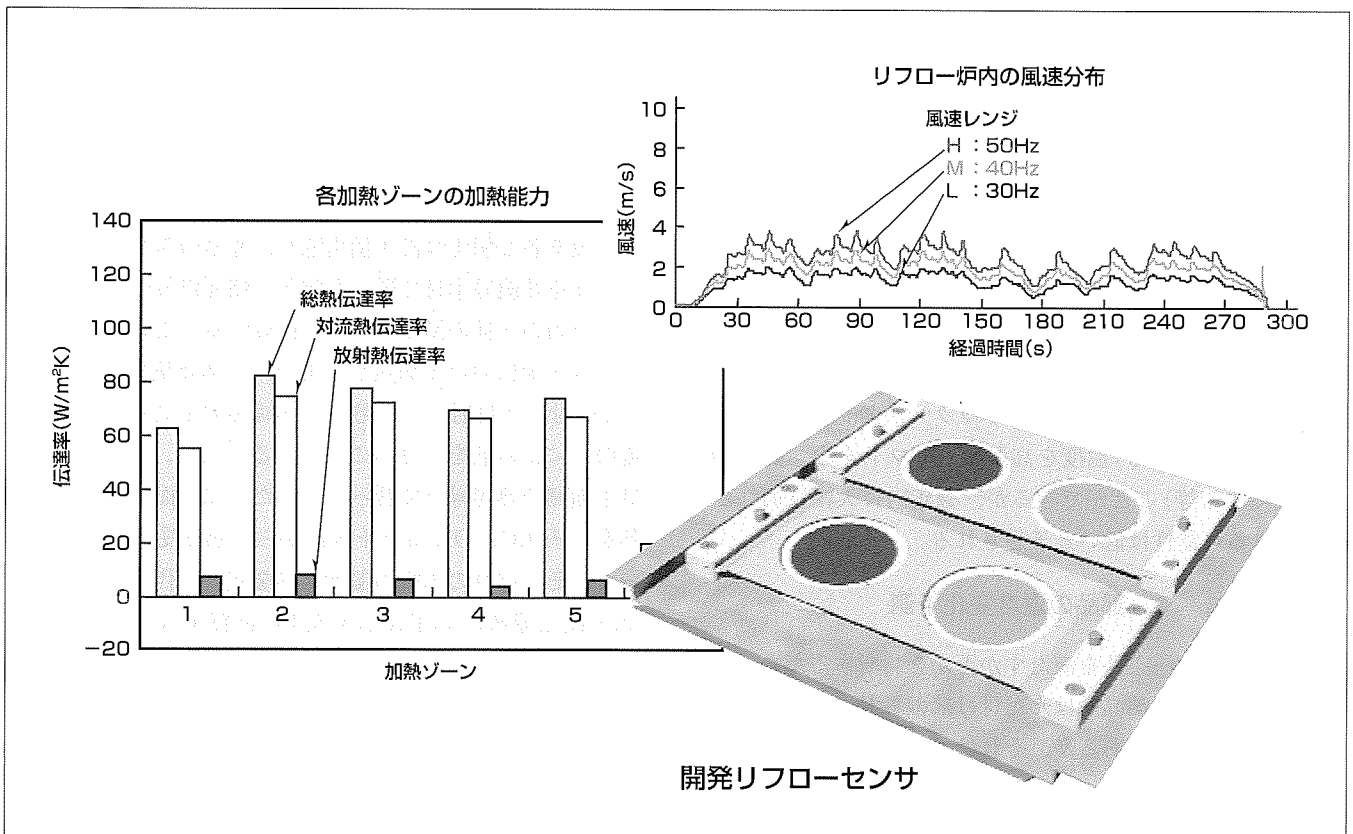
Masaaki Murakami, Goro Izuta, Kohei Murakami

要旨

従来の鉛含有はんだの場合は、はんだの融点と部品の耐熱温度との差が十分確保できるため、比較的加熱能力の小さいリフロー炉であっても支障なくリフローはんだ付けすることが可能であった。しかし、鉛フリーはんだの場合は、融点が183℃から約220℃(Sn-3.0Ag-0.5Cu)へと高くなる結果、コンデンサなど許容温度の低い部品の耐熱温度との差が約15Kと従来の1/3以下になるため、温度変化しやすい部品と、しにくい部品のすべてをはんだ融点以上かつ部品耐熱温度以下の狭い温度範囲に納めることが困難になった。

特に旧型リフロー炉は加熱能力や温度均一性が最新炉に比較して劣っているため、任意基板に対する適用可否判断、又は最適な加熱設定条件を事前に把握することが求められるようになった。

本稿では、リフロー炉の加熱能力を正確に把握することができるリフローセンサと、これによって得られたデータを用いて実装基板全体がリフロー条件に合致する加熱設定条件、又はリフロー炉適用可否を判断できるリフローシミュレータの開発について述べる。



リフロー炉を有効活用するためのリフローセンサ

図の右下がリフローセンサの外観、左図はセンサにより求めた加熱能力のグラフ、右上図はリフロー炉内の風速分布を示す。4つのセンサの温度変化からリフロー炉の上と下の対流・放射熱伝達率(加熱能力)を個別に把握することができる。また、これらのデータを用いて任意基板上の部品の温度プロファイルやリフロー炉の最適設定値を速やかに求めることができるようになった。

1. ま え が き

Sn-Pb共晶はんだの場合には、はんだの融点と電子部品の耐熱温度との差が十分に確保できるため、比較的加熱能力の小さなリフロー炉であっても支障なくはんだ付けすることが可能である。しかし、Sn-Ag-Cu系鉛フリーはんだの場合には、はんだの融点が183℃から約220℃へと高くなる結果、一般的な電子部品の耐熱温度との差が約15Kと従来の1/3以下に小さくなるため、単に設定温度を高くしてもすべての部品温度がリフロー条件温度内に入るわけではない。したがって、鉛フリー化に当たっては、リフロー炉の加熱能力を正確に掌握し、きめ細かな温度設定を行わねばならない。

本稿では、リフロー炉の加熱能力を正確に測定可能なリフローセンサと、これによって得られたデータを用いて適切なリフロー炉設定条件を求めることができるリフローシミュレータの開発について述べる。

2. 鉛フリー対応リフロー炉に要求される条件

鉛フリーはんだ付けにおいてリフロー炉に要求される加熱温度条件は、例えば次のように定義できる。

- (1) 電子部品の耐熱温度から決まる制約条件
 $T_b \leq 235^\circ\text{C}$
- (2) はんだが溶融するための制約条件
 $T_s > 220^\circ\text{C} \quad t \geq 20\text{s}$
- (3) フラックス失活防止のための予熱での制約条件
 $150^\circ\text{C} < T_s < 180^\circ\text{C} \quad 60\text{s} \leq t \leq 90\text{s}$

ここに

- T_b : 部品温度
- T_s : はんだ付け部の温度
- t : 保持時間

高温に長時間耐える部品やフラックスが開発されれば、この条件を緩和する(温度を高温側にシフトする、制限時間を長くする等)ことができるが、数年内に大幅に条件が緩和される可能性は低いと予想される。

3. 部品の温度変化予測

前章のリフロー条件を満たすか否かを判断するためには基板に搭載される部品やはんだ付け部の各温度プロファイルを把握する必要があるが、それは、次のようにして求められる⁽¹⁾。

ある伝熱面積と熱容量からなる部品がリフロー炉内の微小区間を通過する時の温度

$$T_2 = T_1 + h \cdot S(T_a - T_1) \Delta t / C \dots\dots\dots(1)$$

ここに

- T_1 : 初期部品温度(℃)
- T_2 : 微小区間通過後の部品温度(℃)

- T_a : リフロー炉内空気温度(℃)
- Δt : 微小区間の通過時間(s)
- C : 部品の熱容量(J/K)
- S : 部品の伝熱面積(m²)
- h : 熱伝達率(加熱能力)(W/m²K)

リフロー炉内の熱伝達率 h の分布と空気温度が分かるなら、式(1)をリフロー炉の入口から出口に至るまで逐次適用することにより部品の温度プロファイルを求めることができる。

ここで、熱伝達率 h は式(2)から、また、任意の物体が温度変化する場合の熱の授受は式(3)から求めることができる。

$$h = Q / S(T_a - T_1) \dots\dots\dots(2)$$

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot \Delta T \dots\dots\dots(3)$$

ここに

- Q : 伝熱量(W)
- ρ : 密度(kg/m³)
- C_p : 比熱(J/(kg·K))
- V : 体積(m³)
- ($\rho \cdot C_p \cdot V$: 熱容量(J/K))
- ΔT : 温度変化(K/s)

式(2)、式(3)から、物性と形状が明確な物体をリフロー炉に通した場合、物体の温度とその近傍の炉内空気温度を逐次測定することによりリフロー炉内の熱伝達率分布を求められることが分かる。

4. リフローセンサの概念

図1に示すように黒体化処理又は鏡面処理を施した銅製の円板を各2個ずつ計4個用意し、片面のみを露出させ、他の面を熱絶縁素材で覆った物と、側面以外の両面を露出させた物の4種の温度センサを構成する。これらの円板をリフロー炉において加熱した場合、黒体化処理した円板A、Cでは対流と放射による熱を、鏡面処理したB、Dでは対流のみによる熱を受けることになる。また、円板A、Bでは下面側を熱絶縁材で覆っているために上面側からのみの熱を、円板C、Dでは上下両面からの熱を受ける。したがって、それぞれの円板の温度上昇を式(3)に代入して伝熱量 $Q_a \sim Q_d$ を求め、以下に示す式(4)の演算を行うことで、リフロー炉の上下方向からの対流による伝熱量と放射による

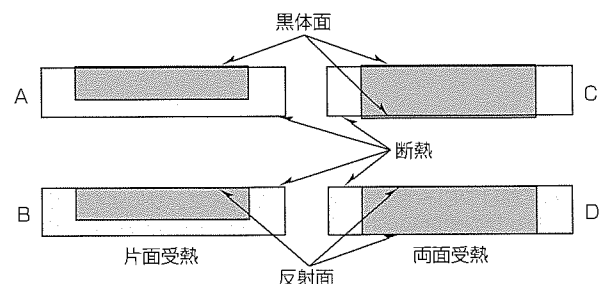


図1. センサの表面処理

伝熱量をそれぞれ分割してとらえることができる。

$$\begin{aligned}
 \text{上面からの対流伝熱量} \quad Q_{\text{conv-up}} &= Q_b \\
 \text{上面からの放射伝熱量} \quad Q_{\text{radi-up}} &= Q_a - Q_b \\
 \text{下面からの対流伝熱量} \quad Q_{\text{conv-low}} &= Q_d - Q_b \\
 \text{下面からの放射伝熱量} \quad Q_{\text{radi-low}} &= (Q_c - Q_a) - (Q_d - Q_b) \\
 &\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

また、式(4)から得られた各伝熱量を式(2)に代入することによって、リフロー炉内の熱伝達率分布を得ることができる。

この方法では、円板と周辺の空気温度の差異と円板の温度上昇によって熱伝達率を求めるため、円板が厚過ぎると測定中の温度上昇幅が小さくなって誤差が大きくなり、反対に円板が薄過ぎると測定の途中で空気温度との差異が小さくなり過ぎて測定が困難になる。したがって、測定しようとするリフロー炉に応じて円板の寸法を決定しなければならないが、現存する大半のリフロー炉が 40~120W/m²K 程度の熱伝達率を持つものと想定されるため、円板の寸法としてはφ50mm、t6mmを採用することにした(予備計算では、空気-円板間温度差を50K以上、円板の温度上昇幅を50K以上にできるものと予想される)。

5. データ処理

図2に示したリフローセンサをリフロー炉に通すと図3の温度プロファイル(時間軸調整済み)が得られる。この測定データを式(2)、式(3)、式(4)に代入することで熱伝達率変

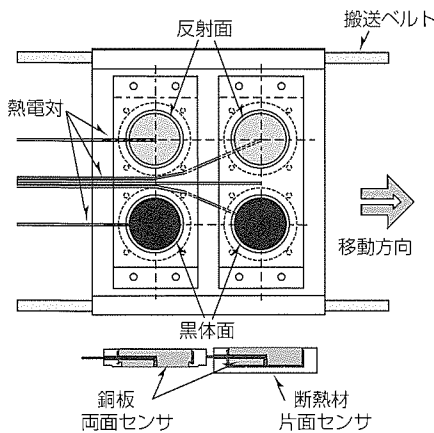


図2. リフローセンサの構成概要

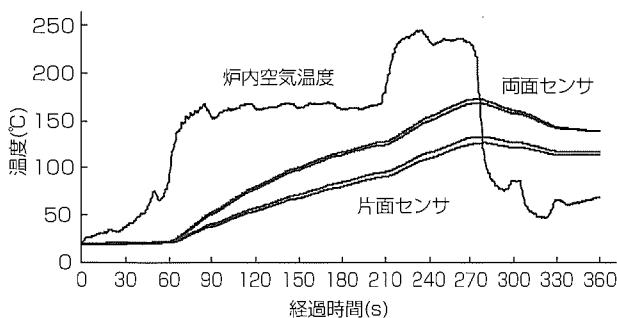


図3. リフローセンサの温度変化

化を求めることができるが、センサの温度変化が小さいこと、また通常のデータロガーはデジタル式で温度分解能が0.1Kと粗いため、短いデータ領域に対して最少二乗法による関数式を求めて微小な温度変化を表現した。結果を図4に示すが、加熱ゾーンごとの熱伝達率変化が明瞭(めいりょう)に示されている。

6. リフローシミュレータ

式(2)、式(3)から、任意部品の熱容量と伝熱面積、それにリフロー炉の熱伝達率分布、空気・ヒーターパネルと部品の温度差が分かれば任意部品の温度変化を予測できる。しかし、例えば、QFP(Quad Flat Package)のリード部の場合、リフロー炉中で熱を受けても、リード材(銅)の熱伝導率が大きいことも影響して熱容量の大きいパッケージボディ部が熱を吸収するため、リード部のみの熱容量を温度変化の計算に用いることはできない。そこで、リフローセンサでの計測条件と同じリフロー炉設定条件で実際に基板に装着したQFPリード部の温度測定を実施する一方、リフローシミュレータによって実測値と同じになるように伝熱面積と熱容量を調整する。以上のようにして求めたQFPリード部の見掛け上の熱容量は、リフロー炉の設定条件を変更した場合や、他のリフロー炉の場合でも問題なく使うことができる。

ある部品搭載基板がリフロー炉に投入された場合、最も急峻(きゅうしゅん)に温度変化するのは熱容量の小さいチップ部品などであるが、これは、基板表面温度とほぼ等しいととらえることができる。逆に、最も温度変化が緩慢なのは大型のQFPやBGA(Ball Grid Array)、コネクタなどであり、両者の温度変化がリフロー条件を満足していれば、それらの中間の熱特性を保つ部品も適当なリフロー条件を満たすことになる。すなわち、基板単体の熱容量を知ることはもちろんであるが、想定される大型部品の見掛け上の熱容量を上記の方法で把握していれば、それだけでリフロー条件を満足する温度プロファイルを求めることができる。

このリフローシミュレータでは、リフローセンサを標準的なリフロー炉設定条件を中心に条件を変化させて測定し、その結果を基に任意のリフロー炉設定条件に対して空気温

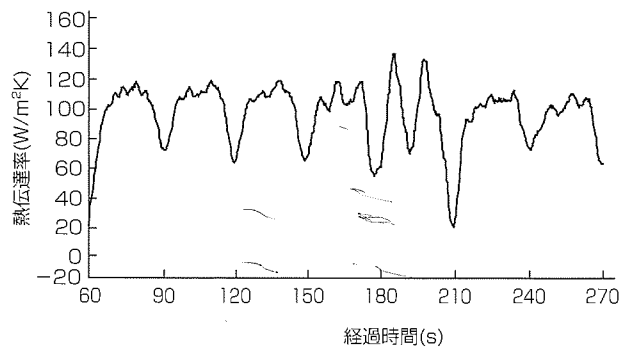


図4. 熱伝達率の変化

度や熱伝達率を内挿近似して部品の温度プロファイルが得られるようにした。

これら一連のデータ処理は、一般的な表計算ソフトウェアで処理できるようにした。図5にその表示画面の一部を示すが、部品データ選択した後、セルに任意のリフロー炉設定条件や搬送速度を入力するだけで温度プロファイルを予測することができるとともに、リフロー温度条件にかかわる各帯域時間を知ることができる。

7. 新旧リフロー炉の能力分布図

リフローシミュレータを用い、30mm角のQFPについて新旧リフロー炉の加熱能力調査を実施した結果、図6に示すような分布図が得られた。図中、熱伝達率が $60\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下の領域に位置するリフロー炉は加熱能力不足で十分な温度上昇が得られず、搬送速度が $0.6\text{m}/\text{min}$ 以下の領域に位置するリフロー炉ではフラックスが失活してはんだ付け不良が発生しやすいことを意味している。おおむね5年以上前に導入された古いリフロー炉では熱容量の小さい部品のみが搭載された基板に限定される結果となっている。

8. むすび

リフローセンサもリフローシミュレータも既に商品として販売されているものもあるが、原理・原則に基づいたセンサや基板搭載部品の見掛け上の熱容量に基づいたシミュレータが見当たらないことから独自のものを開発するに至った。

温度分解能の粗いデジタルデータを微細な温度分解能データとして処理し、リフロー炉の熱伝達率分布をより詳細に表現できることを示した。また、得られた熱伝達率分布を利用して複雑な伝熱構造からなる基板搭載部品の見掛け上の熱容量を得る方法と、その値を用いてリフロー炉設定条件を決定できることを示した。

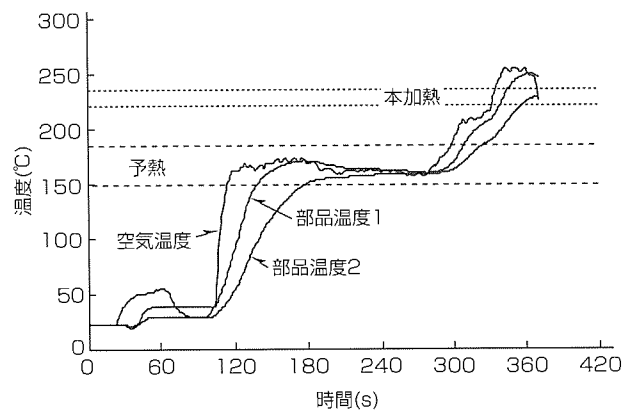


図5. シミュレーションによる温度プロファイル

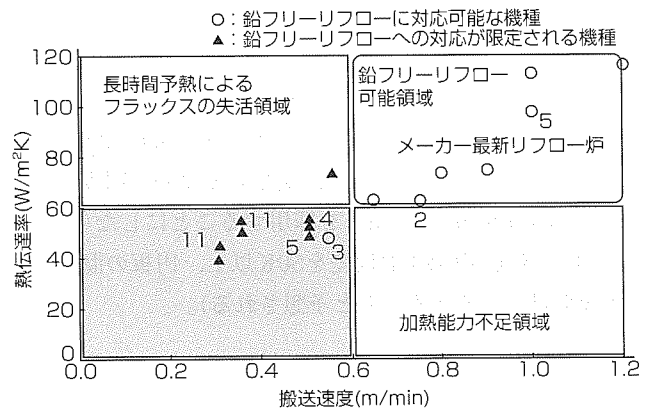


図6. 種々なリフロー炉の能力分布

基板の設計段階で使用予定リフロー炉の適用可否を判断できるとともに、何度も実基板で温度プロファイルを測定することで決定していたリフロー炉の設定条件をわずか数分間で求められるようになった。

参考文献

(1) 千輝淳二：伝熱計算法，214～223，工学図書(株) (1990)

換気送風機のSCM構築

金子貴幸* 梶田正和**
大石哲嗣* 町田健次**
鈴木信博*

Build up Supply Chain Management Systems of Ventilation Fan

Takayuki Kaneko, Tetsuji Oishi, Nobuhiro Suzuki, Masakazu Kajita, Kenji Machida

要旨

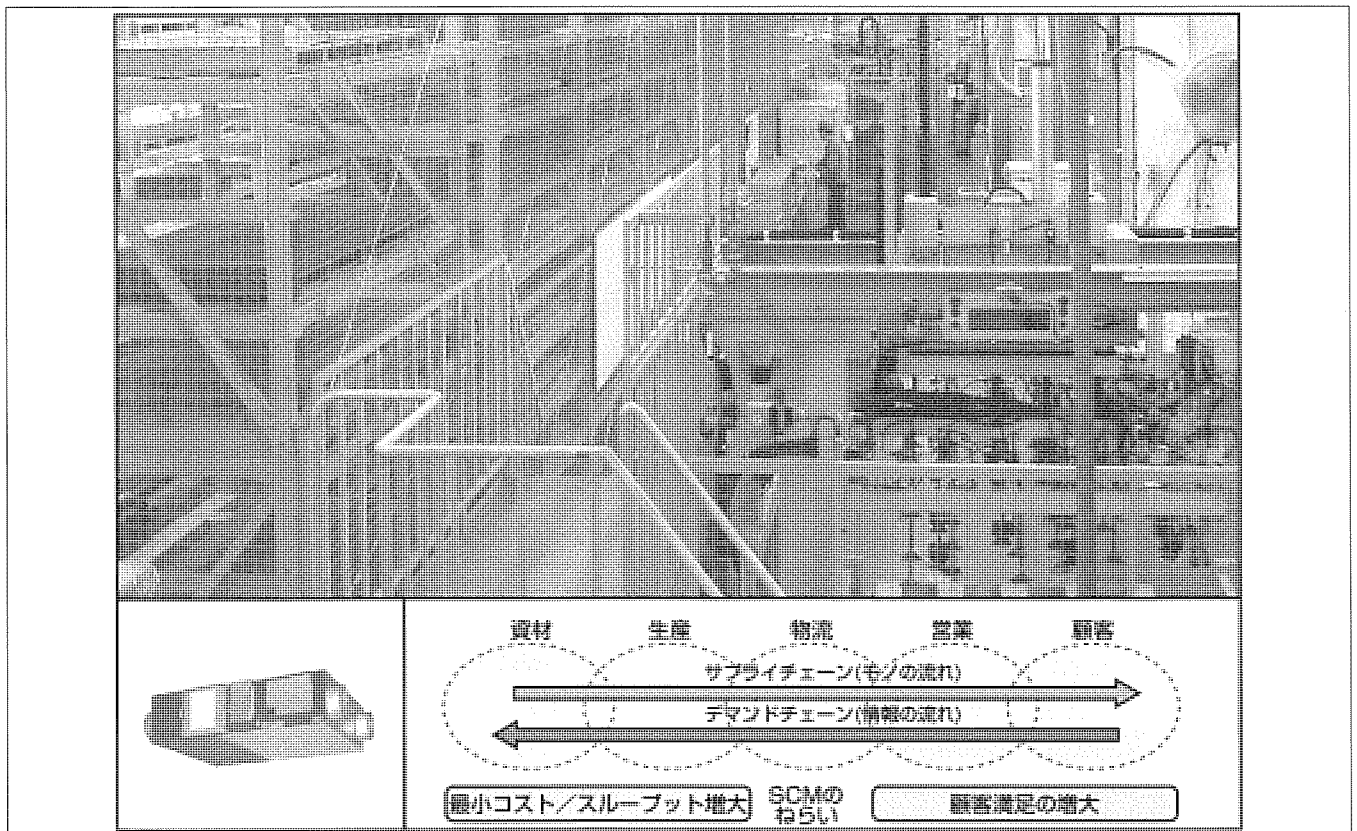
オフィスビルや商業施設などに設置される全熱交換形換気機器“業務用ロスナイ”は三菱電機が初めて世に送り出してからその商品力で業界を常にリードしてきたが、市場ニーズが多様化し、変化のスピードが速く、激化する企業競争の中で、市場要求に即応する供給力が重みを増してきた。そこで今回、業務用ロスナイを始め換気送風機事業における供給力強化を図るため、SCM(Supply Chain Management)の概念を取り入れ、市場に対する即応体制を構築した。

具体的には、商談・受注から生産・納品に至る各業務プロセスのサイクルタイム短縮・ロット最小化、情報機器端末を活用した業務プロセス間のネットワーク化などによりトータルリードタイムの短縮を実現し、必要な物(モノ)を必要な時に必要な量だけ顧客に提供するジャストイン

タイム デリバリーで顧客満足を増大を図った。

[プロセス別施策事項]

- 商談・受注…Webを活用した仕様作成・発注処理支援
- 生産指示…生産確定の引き付け(5～3週間前→1週間前)と確定期間の短縮(月次→週次, 週次→日次)
- 生産…板金FMS(Flexible Manufacturing System)(ネック工程)小ロット対応化及び仕掛在庫化による工期短縮
- 倉入・納品…フォークLAN(Local Area Network)導入による出荷体制強化(注文翌日出荷→当日出荷)



換気送風機事業における短納期化への取り組み

SCM思考により、商談・受発注処理を行う営業業務から完成品を客先に納品する物流業務に至るすべてのプロセスを対象に短納期化を図り、トータルリードタイム短縮を実現した。

1. ま え が き

オフィスビルや商業施設などに設置される業務用換気送風機はその建物の建築工事日程に合わせて発注・出荷指示が出される特徴を持ち、引き付け発注・短納期要求はますます強まる傾向にある。

一方、すべての機種をふんだんな製品在庫で常時賄えるような経営環境ではいられなくなった現在では、市場動向をいち早くつかみ生産・納品する短納期供給体制の構築が必要不可欠である。

本稿では、2000年以降日本でも急速に普及したSCMの概念を当社換気送風機事業に導入し、顧客価値の最大化を実現した“リードタイム短縮”施策について業務プロセス別に述べる。

2. 受発注リードタイム短縮

営業においては、販売会社と工場間の受発注業務について、従来非常に手間と時間がかかっていたTEL/FAXによるマニュアル処理から基幹系システムと連動したインターネットシステムに変更し、販売会社と工場が連携した受注～生産～出荷の一气通貫システムを構築した。

今回開発し導入したシステムの画面例を図1に示す。システムの特長は以下のとおりである。

- インターネットシステムにすることにより、複数企業間での情報の共有とリアルタイムの伝達を実現した。
- 仕様を体系化(コード化, メニュー化)したことで顧客要求仕様をすべて表現できるようになり、発注業務のシステム化がなされた。そして、システムを介して受発注された情報はデータベースに蓄積、共有・再利用を可能とした。
- 基幹システムとリンクさせることで、商談～発注～生産～出荷までをカバーする受発注Webシステムを開発した。
- 業務分担を見直し、機能を整理することにより、販売・製造・物流の各会社で業務効率化を図った。

また、このシステムの導入により、下記の効果を確認し

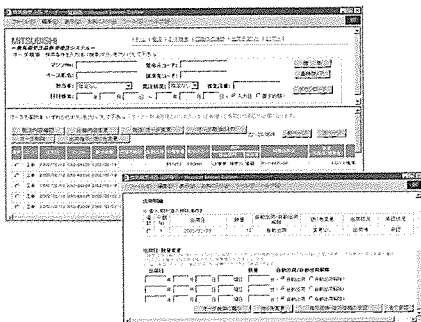


図1. 受発注Web画面

た。

- 仕様情報の明確化、伝達のリアルタイム化等により、図面作成期間が1/3に短縮
- 納期回答、注残確認、出荷指示の迅速化
- 納期達成率の改善
- 情報配信業務の削減
- 受注生産方式の改善(オーダー自動生産指示, 部品引当生産方式)による手配リードタイムの短縮及び在庫加工費用を削減

3. 生産リードタイム短縮

生産面では指示方式及びフィード設備の改善を実施し、図2の変遷を経て生産リードタイムの短縮を図った。以下に詳細を示す。

3.1 生産指示(製品組立て)

製品組立て(完成品)としてのDaily生産指示は、同タイプ・同風量の機種群をグループとし、各グループの枠(生産台数合計)を基準日程で事前に決め、その範囲内で機種ごとの日々の製品在庫と注文状況に応じて生産台数を毎日確定する方式⁽¹⁾を導入した。業務用ロスナイでは、2週間先(実働10日先)の1日分を確定する2 Weeks Daily指示システムを1998年度に導入し、主に短納期対応力向上の効果を得た(それまでの最短確定期間25日に対し半減)。

(1) 2 Weeks Daily生産体制レベルアップのポイント

2000年度から2002年度にかけて、このDaily指示方式を段階的に発展させ、納期対応力向上と製品在庫削減を図った。

- グルーピング方法変更によるDaily指示生産機種拡大(機種数比 50%→80%)
- 製品系列の見直し(機種統合)と標準化設計(基板共通化)
- セット供給とラインレイアウトの見直しで、多品種小ロット生産に対応(最小生産ロットを5台から1台に)
- 出荷規模が小さい機種の製品在庫保有方式変更(在庫月数→固定台数)
- 生産規模の見直しサイクルを月1回から月2回に増やし、負荷変動対応力を向上
- 生産指示期間の短縮に伴い、確定後の発注では調達間が間に合わなくなった部品の発注に在庫補充方式を採用

(2) 1 Week Daily生産体制構築のポイント

2003年度からグループ枠確定期間と機種確定期間を更に短縮し、納期対応力向上と製品在庫削減を図った。

(a) グループ枠確定の期間短縮・多頻度化

従来5～3節先の半月単位だったグループ枠確定を、3節先の1節単位の確定に、そして現在では、2節先の

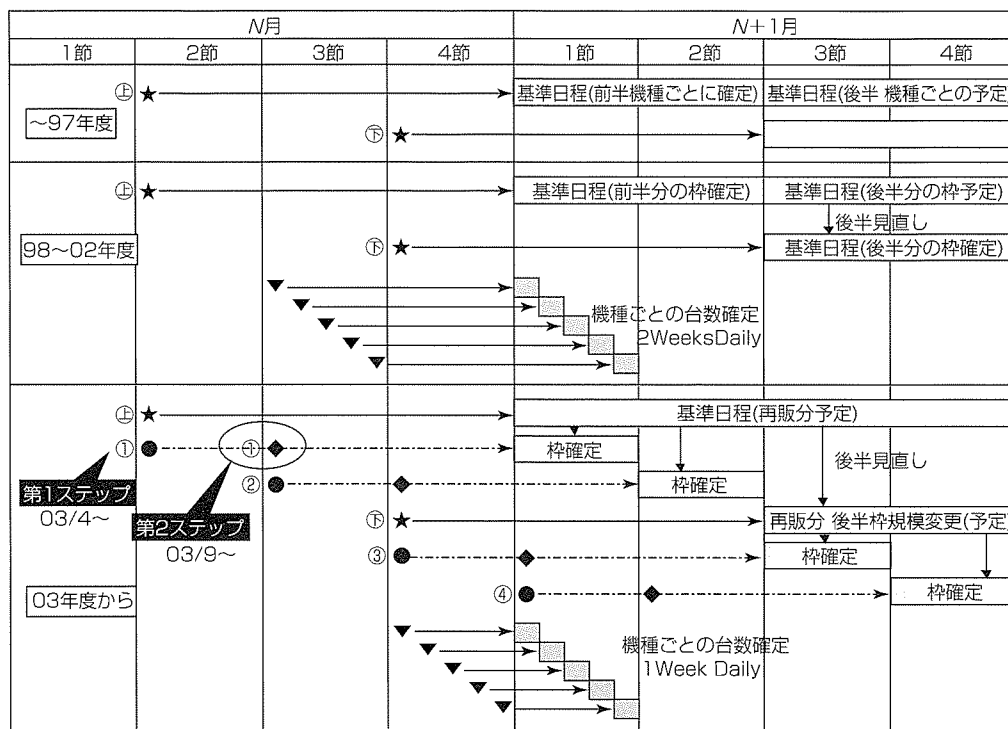


図2. 計画確定多サイクル化・期間短縮の変遷

1 節単位の確定まで期間短縮と多頻度化を実現している。

(注) 1 節=1/4か月

(b) 生産機種確定タイミングの引き付け

機種ごとの生産確定タイミングを1週間(実働5日先)に短縮した。

(c) フィーダ生産体制整備

板金FMSライン更新と自動倉庫設置, FMSライン制御システム導入により, 本体との同期生産, 中間仕掛りの削減を図った。詳細は3.2節で述べる。

(d) 短納期対応の部品調達体制整備

業務用ロスナイの部品製造を担当する協力工場14社に対し, 1 Week Daily(5日先の1日分を生産確定)の製品本体組立てに同期する部品供給体制を整備した。また, 1 Week発注方式の確立と関連システムを開発し導入した。

(e) 出荷規模が小さい機種の受注生産化(製品在庫ゼロ)

200V仕様や加湿機能付きなど販売量が少ない機種は, 見込み在庫運営を廃止し, 2週間以内に客先納入する受注生産化に移行させた。

3.2 板金FMSライン構築

製品本体組立ての確定タイミングを2週間前から1週間先の1日分に引き付けさせる際にネックになった板金工程に対し, 小ロット短工期生産体制として下記の取り組みを実施した。

従来の加工ラインでは生産効率を重視し, 最小段取りの組立てで3日分をまとめて生産していたため, 製造リードタイムが長く, 仕掛品もそれに依りて発生し保管していた。

今回, ロットごとに発生する部品・部材の供給・搬送作業及びターレットパンチプレス機の金型交換など段取り作業の合理化(自動化)やライン制御システムの新規開発を行い, 小ロット(組立て1日分まとめ)・短納期生産でも効率が低下しない生産体制を構築した。

(1) ライン制御システムの導入

(a) 素材供給自動化

加工スケジュールを基に加工可能な素材(鋼板)パレットを自動倉庫からラインへ自動出庫し, 素材を1枚ごとにピッキングして設備への自動供給を可能にした(図3)。

また, 2式の素材ピッキングステーションで次加工素材を事前に待機させパレット交換時間を抑制した。

(b) 設備段取り自動化

ライン内でワーク追跡を行い, ターレットパンチプレス機やレーザ加工機にサーバで一元管理しているNC(Numerical Control)プログラムをオンライン自動転送する方式で段取り自動化を図り, 段取り時間の削減を実現した。

(c) 加工ライン情報の活用

日程計画に対する生産進捗(しんちよく)管理, 出来高管理, 設備稼働実績及び加工タクト管理を行い, ライン安定稼働と更なる生産性向上に活用する。

(d) 生産管理システムとのリンク

従来の紙面(帳票)での加工指示をシステム化し, 製品ロットごとに行っていた投入準備作業をまとめて行えるようにし, 作業効率を向上させた。

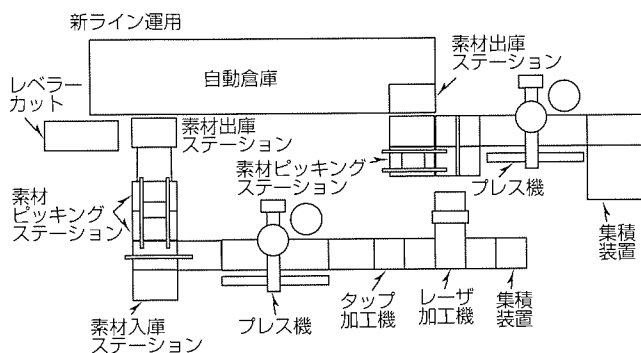


図3. FMSライン構成

(2) 自動倉庫による素材集中管理

従来は分散配置していた平棚から人手作業でライン先頭の加工機に素材を供給していたが、今回、自動倉庫を導入し、素材を集約・一元管理するとともに、ライン制御システムと連動した2ラインへの素材供給自動化を図った。

(3) 自動金型交換付き高速ターレットパンチプレス導入

従来機種よりも加工速度が高速かつ金型自動交換機能及び後工程の作業性を考慮した払出機能(製品ごとの集積が可能)を備えたターレットパンチプレス機を導入し、段取り作業を削減した。

4. 物流リードタイム短縮

組立てが完了しラインアウトされた製品は工場近郊の倉庫にいったん格納された後、国内7地区にある自社配送センターを経由して全国の顧客の元へ納められるが、工場倉庫に出荷指示が掛かってから出荷・着納するまでの所要日数は3日(北海道は4日)掛かっており、生産短納期化とともに物流リードタイムについても短縮する必要性があった。

4.1 在庫計上処理の早期化(モノと情報の同期化)

組立て完了後オンライン上で出荷引当てが可能となる在庫計上の方式は、従来、組立て完了品に添付する倉入伝票の一枚をポストに入れておき、事務員が4回/日各現場のポストから伝票を回収して事務所の端末で計上処理を行っていたが、毎回最大2時間計上が遅れるモノが発生していた。

今回、このモノと情報のタイムラグを埋めるため、この計上業務を現場に移管し、倉入伝票バーコードを組立て完了の都度スキャンすることで在庫計上処理の早期化を図った。

4.2 翌日出荷から当日出荷へ

これまでの工場出荷タイムチャートは、図4のとおり、15時までに受注したオーダーを方面別に物量計算・配車手

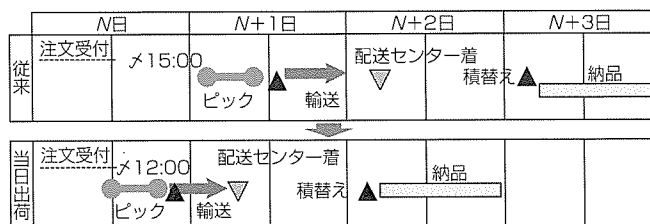


図4. 出荷から納品までの物流タイムチャート

配し、翌日出荷(ピッキング・積み込み作業)していた。

今回の物流リードタイム短縮取り組み施策では、当日受注したオーダーを当日中に出荷させることで1日短縮をねらった。

当日出荷の実現には下記に示す取り組みで課題を克服した。

(1) 配車計画システム

従来は前日締めめの確定情報に基づいたトラック手配が可能であったが、当日出荷においては時間的猶予がないために予測ベースで手配せざるを得なく、今回、新たに翌日出荷予定の注文情報を本社サーバから随時取得して精度の高い物量予測を行う機能を開発した。

また、本締め前からピッキング作業に着手できるよう配車処理を複数回対応可能なものに改訂した(従来は本締め後1回の処理)。

(2) 無線端末による庫内作業指示

配車計画処理された出荷情報を庫内作業者に伝え即座にピッキングできるよう、無線LANと移動体端末(+ラベルプリンター)で構成されたフォークLANシステムを導入し、配車計画からピッキング開始までの時間を短縮させた。

5. むすび

Webや無線端末などを用いた情報のネットワーク化は部門間・企業間の垣根を飛び越え業務プロセスを有機的に結合し、受注から納品までのトータルリードタイムを短縮した。今後は、資材納入メーカーや販売会社の顧客である代理店にこのサプライチェーンを広げ、機能拡充を行いながら更なるリードタイム短縮を図っていく予定である。

そして、最終目的である顧客価値の増大、換気送風機事業で従来から掲げている“お客さまに満足と感動を”を常に提供し続けていく所存である。

参考文献

(1) 土井清朗, ほか: 照明器具の市場即応型生産ライン, 三菱電機技報, 72, No.4, 334~337 (1998)

三菱電機における生産革新活動の推進

太田成登* 熊谷昌男†
 武田光史** 前畑純一††
 佐々木 努***

Production Innovation for Flexible Manufacturing System in Mitsubishi Electric Corp.

Naruto Ohta, Mitsufumi Takeda, Tsutomu Sasaki, Masao Kumagai, Junichi Maehata

要 旨

三菱電機では、過去ジャスト イン タイムを導入して生産性向上を推進した経緯があるが、2003年度から全社施策の一貫として、新たなジャスト イン タイム生産の意義を見直し取り組みを開始した。特に、旧重電部門の社会インフラ事業本部(= 3事業所1統括部)においては、下図に示すように、公共事業の縮小・事業の分社化など経営環境・事業環境は厳しく、危機感を持って取り組んだ結果、製造リードタイムの大幅短縮、在庫の大幅削減を実現できた。これによって変化に追従できる製造体質を構築しつつある。本稿では、この成果を中心に述べる。

当社会インフラ事業本部の製品の特徴は、一品一様の個産品が主体であり、かつ重量物であること、生産職場においてはクレーンなどの付帯設備の変更が困難であること、製造工期が3~24か月など非常に長いことなどが挙げられる。

タービン発電機は、生産台数が毎月1~2台の個産である。大物品加工であるフレーム、固定子、回転子は、機械加工段取り作業の外段取り化、現物合わせ作業の廃止など

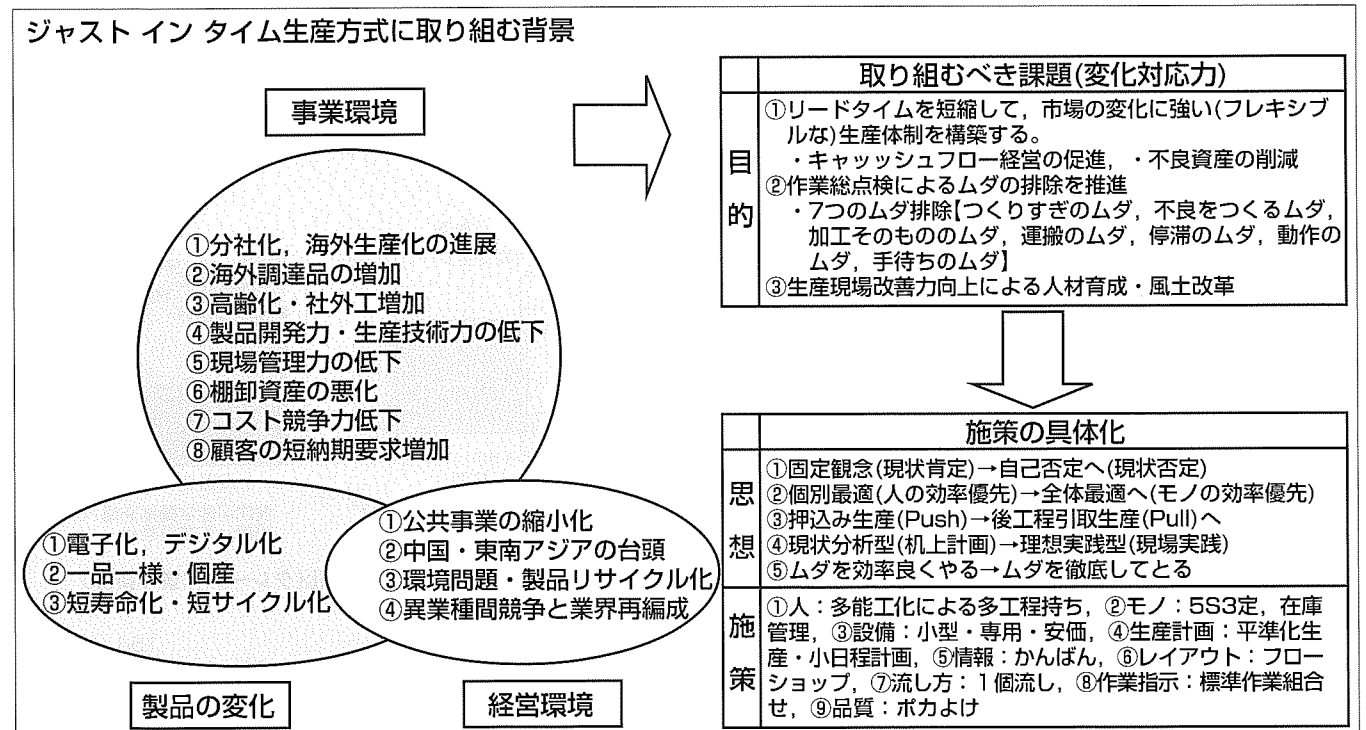
の技術改善、材料・工具などの手元化、出来高管理板による見える化、などを行った。

制御盤製作工場のプリント基板工場では、1ロットが10枚以下の多品種少量生産を行っているが、基板加工の工程ごとの着手管理、部材の投入コントロール、加工工程連結などを行った。手組みラインでは、ジョブショップ型レイアウトからフローショップ型レイアウトに変更した。

車両用推進制御装置や真空遮断器は、多種少量生産であるが、部材管理方法の改善、組立ラインの間締め、組立ラインへの試験工程のインライン化、作業姿勢改善などを行った。

プラント建設部では、水処理プラントにおいて、関係事業所との連携を図って工程リスクの排除、事業所内試験の充実、重複現地試験の廃止、迅速な工程進捗(しんちやく)連絡を行った。

以上のように、当社においては、ジャスト イン タイム生産方式を企業経営の中に取り入れ大きな成果を得ることができた。



経営を取り巻く環境と取り組むべき課題と施策

経営体質を、変化に追従できる製造体質に変革する必要がある。そのためには、リードタイムを削減するジャスト イン タイム生産方式の推進が不可欠である。また、従来の考えや方法にとらわれず、工場管理の原点に立ち戻って仕組みを改革していく必要がある。上図のように、取り組むべき課題と施策の具体化を明確にする必要がある。

1. ま え が き

社会インフラ事業本部では、一品一様で製造されるタービン発電機、多品種少量の車両用電気品の製造、さらには受配電設備や発電プラントなどの据付工事を受け持つ部門からなる。これらの事業は、公共事業縮小の影響を受け、今後とも事業内容の選択と集中を進める必要がある。さらに、他の業種と同様、マーケットのグローバル化に伴う価格競争の渦中にあり、製品や工事のコストダウンがこれまで以上に要求されている。このため、海外生産の進展や輸入品の利用拡大を図り、社外請負工の活用などを進めると同時に、事業所においては生産性向上を推進している。このような状況の中、国内事業所においては、個別最適な改善活動“モノづくり”の原点に立ちかえって現場を見直し、生産の全プロセスをとらえた全体最適化をねらった“ムダ取り”を行うことにした。これらの活動の結果、経営指標が大幅に好転した。その代表例として棚卸資産回転率比の推移を示すと図1のとおりである。

2. 電力・社会システム事業所の取り組み状況

当所は、原子力・火力等の発電プラント、上下水道プラント等の公共性が高い製品を受注生産しているが、顧客独自の設計基準があり、カスタマイズの製品が多い。そのため

- 受注から出荷までの期間が長い
- 小ロット・多品種のバッチ生産
- 上期・下期の負荷バランスが悪い(上：下=1：1.5)

の課題があり、これを解決するためにジャスト イン タイム生産方式を取り入れた生産革新活動を組立て工場、板金工場、基板工場を開始した。改善は、まず5S3定を徹底的に行いながら意識改革を実施した。

まず、この章では、タービン発電機及びプリント基板工場の製造工期短縮活動の事例について述べる。

2.1 タービン発電機製造工期短縮活動

当所で生産しているタービン発電機は、国内外電力会社向けが主体であり、単機容量100～1,500MW、総質量200

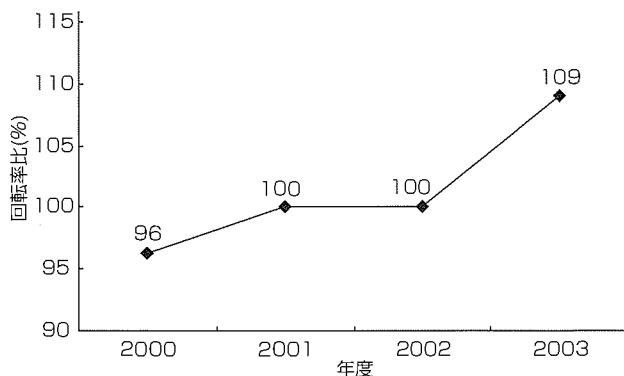


図1. 棚卸資産回転率比の推移

トン以上の大型機を製造している。そのため、生産設備はこの質量に耐える構造となっており、設備のレイアウト変更や間詰め等の改善が困難である。また、製作方法は、フレーム製作(溶接⇒塗装⇒機械加工)、固定子製作(コア積み⇒ステータ巻線)、回転子製作(旋盤⇒スロット加工⇒リード溝加工⇒リード穴加工⇒仕上げ⇒ロータ巻線⇒機械加工⇒振動調整)のそれぞれが完成するタイミングを合わせて別々に製作し、これらを組み合わせ、性能を確認して出荷する。このような物理的制約が大きいタービン発電機の製造工期を短縮するため、5S3定、出来高管理、段取り改善を中心に活動した。

(1) 外段取り化と並行作業化等の作業工程組替え

外段取り化及び直列作業の並行作業化により作業工程組替えを行い、大型ネック設備の占有期間を短縮した。

(2) 現物合わせ作業廃止等の技術改善

養生カバーの共用化及び治工具改善による製品精度の向上を図り、現物合わせ作業を削減した(図2)。

(3) 材料・工具等の手元化

1 か所で集中管理していた大型設備の工具を作業エリアごとに分散配置して、工具の運搬時の移動時間を削減した。

(4) 出来高管理による問題点の見える化

2 時間単位の出来高目標を数値化して、目標をクリアできなかった要因を改善し生産性向上を図った結果、54%の生産性向上を実現できた(図3)。

これらの改善を実施した結果、製造工期を25%短縮できた(図4)。

2.2 プリント基板工場の製造工期短縮活動

電力・社会システム事業所プリント基板工場は、投入から発送まで12工程で構成され、各工程で仕掛りを持ち自工程の効率が最も良くなる方法で投入していたため、製造工

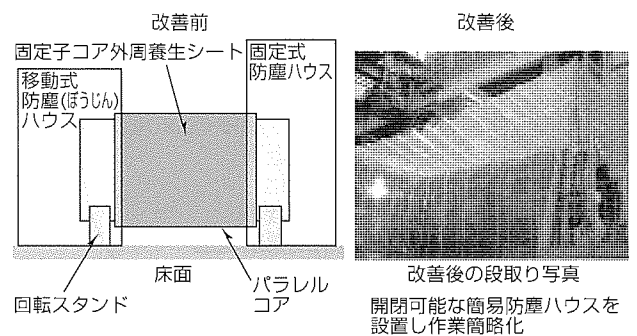


図2. 固定子養生作業合理化(クレーン作業の排除)

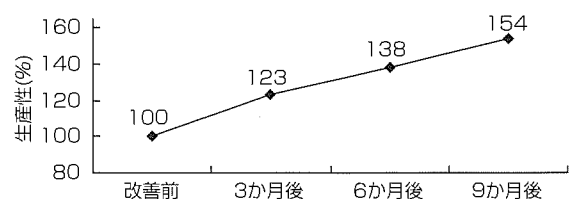


図3. コア積み作業の出来高推移

期のばらつきが大きく、平均製造工期が長くなっていた。そこで、2003年7月から工程ごとの着手管理、投入コントロール、工程の連結を行った。その結果、製造工期を75%短縮できた(図5)。

(1) 停滞(工程間仕掛り)の排除

製品に色カードを添付し、各工程に色カレンダーを掲示し、毎日着手(完了)する製品を明確にして、工程間仕掛りの積み残しを排除した(図6)。

以上により、仕掛りの大幅削減に結び付けることができた(図7)。

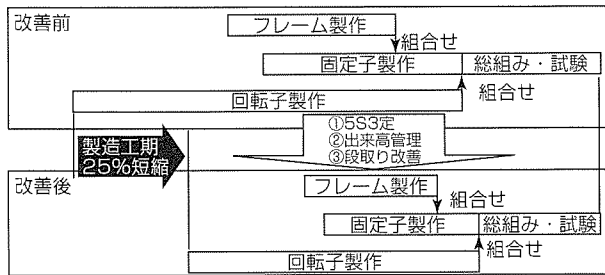


図4. タービン発電機の製造工期短縮

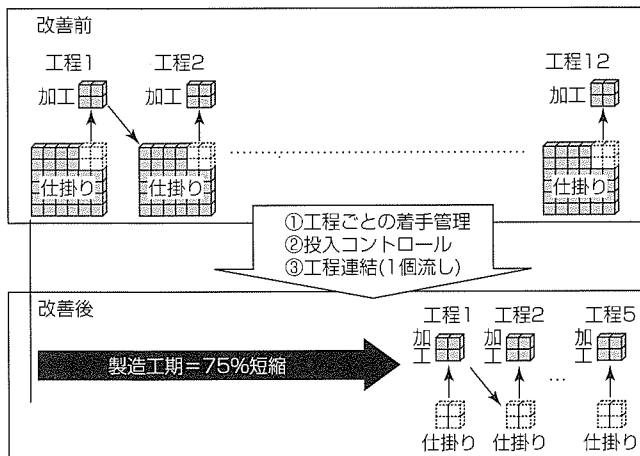


図5. 改善前後の基板工場工程数と製造工期短縮

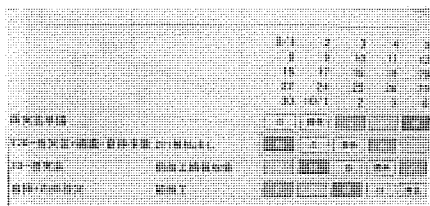


図6. 色カレンダー

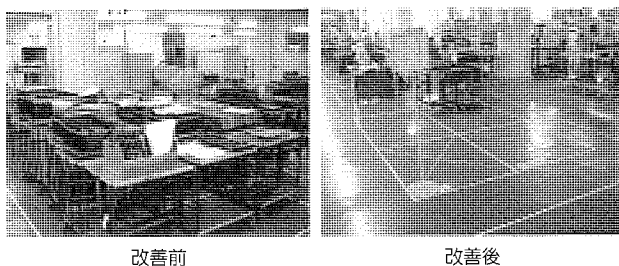


図7. 工程間の仕掛り変化

(2) ネック工程の消化能力に合わせた投入コントロール

手実装工程は、現地改造等の要因で負荷消化能力が変動し、ネック工程となっていた。この手実装工程の能力に合わせて、日々の投入量をコントロールし、負荷消化能力不足による停滞(仕掛り)を排除した(図8)。

(3) 工程連結

先付け~試験の5工程を連結して1枚流しを実現するために、工作作業者の目視検査資格の取得による多能工化、フローパレット作成によるフローはんだの幅調整レス化及びレイアウト変更をした。その結果、各工程間での停滞の排除及び仕掛りを削減できた(図9)。

上記以外にも、面実装・自動挿入等の設備点検(清掃)のルール化による設備の“チョコ停”削減と品質改善による検査・修正時間を削減した結果、基板工場全体の仕掛り金額を75%削減した。

3. 交通システム事業所の取り組み状況

車両用電機品(制御装置、電動機等)を生産する交通システム事業所は、個別受注生産を行っている。工場の改革は、ジャストインタイム生産の思想に基づいて、①意識改革、②5S3定推進、③流れ化、④平準化、⑤標準作業のステップを進めた。まずは、主力製品の制御装置でモデルライ

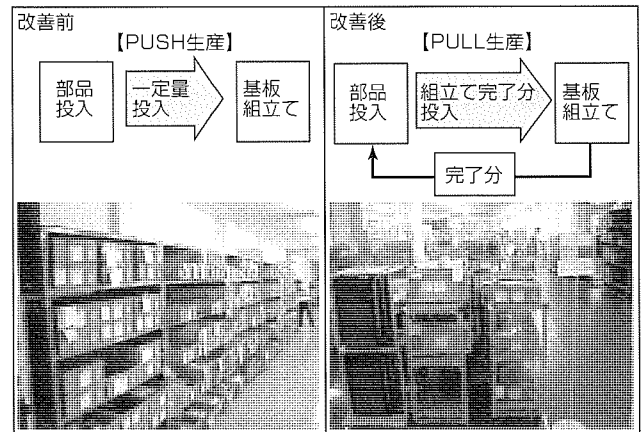


図8. 手実装着手持ち部品

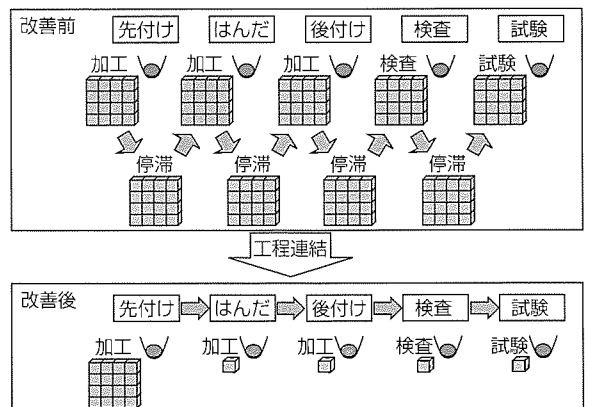


図9. 手実装~試験の1枚流し生産

ンを構築して成功体験を得るため、多品種少量の生産形態の中で比較的一定台数継続して生産する機種を選び、①～③の活動を開始した。その後、④の平準化に向けた小ロット・引付け手配への変更、⑤の標準作業のための設計標準化など、上流部門への活動を拡大しつつある。また、改善成果を確実なものとするため、目で見える管理改善を工場の改革と並行して実施している。現在は、制御装置の組立部門で開始した活動をプリント基板製造、板金加工などの複数部門や他機種に展開中である。

この章では、改革のスタートとなった“パワーユニット組立てモデルラインの構築”，及び“ユニット組立てと総組立ての工程連結”の2事例について述べる。

3.1 パワーユニット組立てモデルラインの構築

従来はロット生産していたため、組立作業エリア近傍に部品があふれ返り、作業者が都度、部品を取りに移動し、多くの部品の中から必要なモノを選び、自作業エリアに供給していた。特にこの機種は、継続して生産する機種でロットサイズが大きかったため、ムダが顕著であった。これらのムダを排除するため、まず、各組立作業エリア近傍に分散配置していた部品保管エリアを工場の入口に統合し、“ミズスマシマン”が1台分をキッティングするよう改善した。併せて、固定設備(重量物組立てのためのエアバランサ)や将来の試験のインライン化を考慮しながら、人とモノの動線が最も効率的な配置となるよう1台流しU字ラインにレイアウトした(図10)。

これに加えて、生産台数の増減に対しては、ラインに投入する人員を増減してタクトタイムを調整した。また、写真を多用した作業要領書の整備、使用する順番に部品を配置してセット供給、工具の手元化を実施した。一方で、生産台数を平準化することにより、作業をサイクリック化して作業ペースを向上させるとともに、日々の生産台数を製造三角図で管理することにより異常時にはすぐに対策がとれるようにした。

これらの活動を1年間継続した結果、スペース67%削減、

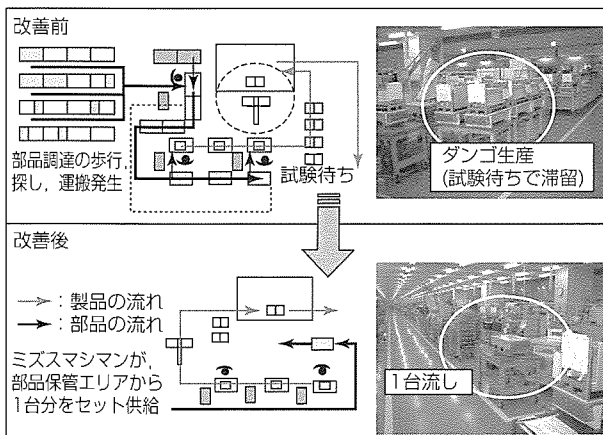


図10. モデルラインの構築

組立作業時間42%削減を達成した。

3.2 ユニット組立てと総組立ての工程連結

制御装置の組立作業は、大きく3つに分けられる。キーパーツで作業工数の大きいパワーユニット組立作業、それ以外の小物ユニットの組立作業、それらユニットを本体箱に組み付ける総組立作業である。現在、これらはジョブショップ型レイアウトであり、それぞれの単位で改善活動も行っている。そのため、各作業班単位では、1台流しでモノがよどみなく流れているが、作業班間ではモノが滞留していた。これを改善するため、フローショップ型レイアウトに改善し、後工程引取りを強化した。また、多能工化を図り、製品1台を早く組立て完了するための助け合いを実現した(図11)。

これらの活動を行った結果、製造工期36%削減、仕掛り台数47%削減、生産性50～70%向上を達成した(図12)。

4. 受配電システム事業所の取り組み状況

受配電システム事業所では、84kV以下の開閉装置として、ガス絶縁開閉装置(C-GIS)、スイッチギヤ、モータコントロールセンタ、真空遮断器等を生産している。ジャストインタイム改善活動を、これら製品の組立試験ラインを対象に“全員参加で仕事のムダ“0”への挑戦”の活動スローガンの下で推進し、製造工期短縮・仕掛り削減を図った。この章では真空遮断器組立試験ラインの改善事例につ

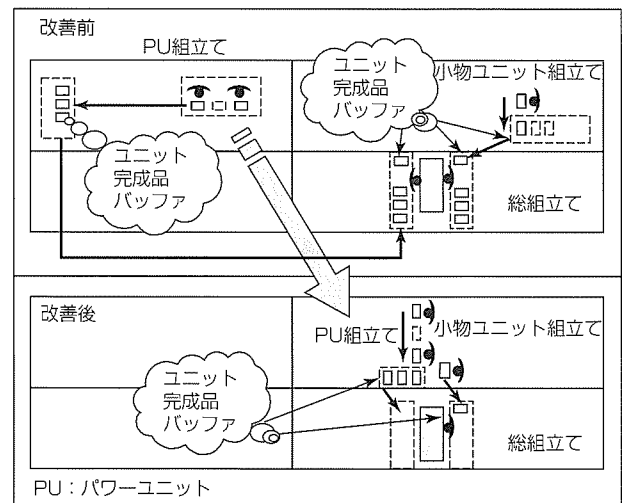


図11. 工程連結

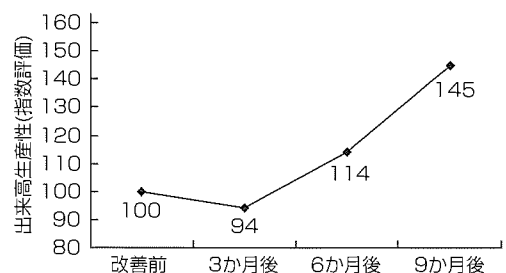


図12. パワーユニット組立作業の出来高生産性推移

いて述べる。

真空遮断器は個別生産(1台流し)の組立試験一貫ラインであり、部品調達後、メカニカル機構を組み立てるサブ組立て・遮断器本体の総組立て・遮断器の耐圧試験を行う試験工程・完成した製品の発送準備をするための発送手入れの各工程より構成されている(図13)。

(1) 真空遮断器組立て方式の改善

製品は台車上で組立を行っており、ライン内工程間仕掛り削減及び作業のムダ排除施策として、以下の活動を実施した。

- ライン内滞留レス化(組立て台車数を生産看板を用いて投入管理)(図14)
- 振り向き作業の廃止(図15)
- 2人作業を1人作業化
- 治具化推進による重筋作業レス化

また、後工程引取りを総組立て・サブ組立て間で実施し、ライン間締めを図ることにより、作業面積を40%削減した。

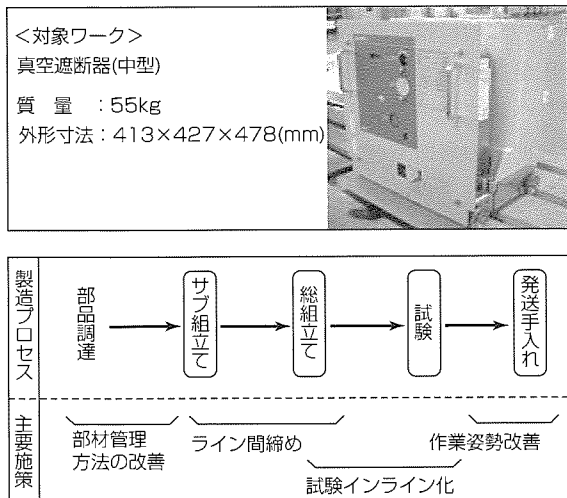


図13. 真空遮断器の製造プロセスと主要施策



図14. ライン内滞留レス化

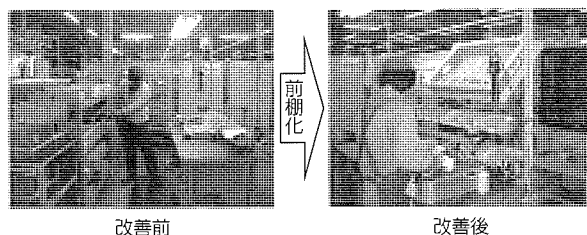


図15. 振り向き作業の廃止

作業面積削減後は、スペースの有効活用を図るため、ライン外にあった部材庫を活スペースに設置した(図16)。さらに、組立て着手指示を組立て着手日の3日前に確定する生産方式の改善を図り、メーカー及びサブ組立て間の後工程引取り方式を実施し、直納部材の仕掛り半減を図った。

(2) 組立工程と試験工程の連結

試験工程においては、組立てとのタクトバランスロスにより発生するライン内工程間仕掛りを削減するために、組立工程への試験インライン化を実施した。

(3) 目で見える管理と改善効果

現場には、診断結果とその改善状況を掲示するとともに、人員配置表・技能マップ・改善ビジョン等を表示して作業者が改善結果を見えるように環境を整備した。以上の活動を推進し、本ラインで製造工期33%短縮・仕掛り35%削減を図った。

5. プラント建設統括部の取り組み状況

プラント建設統括部は、全国8支社に工事計画・施工のプラント建設部(以下“プラ建”)を持ち、主として、前述の3事業所製品の現場搬入、復元組立て・据付け、ケーブル配線工事を受け持っている。この章では、“工事期間短縮活動”と“現地工事のジャストインタイム活動”について述べる。

5.1 工事期間短縮活動

電力・社会システム事業所・公共部との共同活動として、水処理プラントにおいて、試験期間を含む工事期間短縮活動を実施している。主な実施内容は、①機器製作事業所及び機械メーカーとの一体活動による現地への機器のジャストイン搬入、②所内試験の充実と重複現地試験の廃止、③

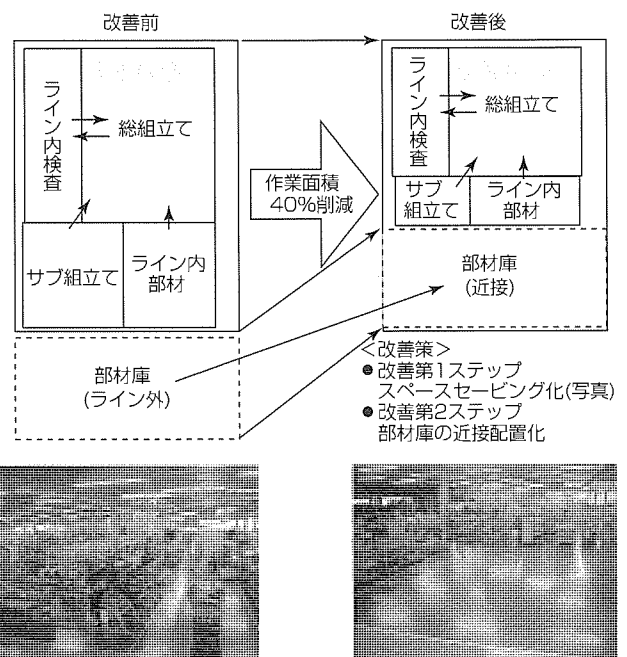


図16. ライン間締めとスペース有効活用

リスク日程の明確化と一括設定, ④プラ建と事業所品質管理部門との迅速な工程進捗連絡・調整による手待ちの排除, ⑤工程作成・管理ソフトウェア(プロジェクトマネジメントツール)の導入による工程情報の一元管理, ⑥工事VA, 工法機材活用の事前検討による効率化, ⑦竣工(しゅんこう)に合わせ引き付けた工事着工などである。これら対策の実施により, 対象工事38プラントでの工事期間短縮は, 平均27%の短縮を達成した(図17)。

今後は, 水処理プラントでの対象プラントの拡大とともに, 土木, 建築, 機械メーカー等との工程調整の実施による工事期間短縮率の拡大を図っていく。また, 水処理プラント以外の他の工事分野への工事期間短縮活動の展開を図っていく。

5.2 現地工事のジャスト イン タイム活動

建設工事へのジャスト イン タイム改善活動を図るため, 当社生産技術センターの指導を受け“ジャスト イン タイム工事”導入マニュアルを作成した。このマニュアルを基に, 各支社プラ建に対し説明会を実施し, 意識改革を行い, 改善活動を実施するプラントの選定を行った。建設部門としてのジャスト イン タイム工事改善活動は, “5S3定”“見える化”の推進による徹底的なムダ取りをスローガンとし, メンバーに各支社プラ建の建設課長を配置した。各支社で1, 2件のターゲットプラントを選定し, 関係者によるジャスト イン タイム工事パトロールを実施することにより, 現場の意識の改革からスタートした。

実工事部隊としての各支社プラ建に改善の眼を持った人材を育成し, 新たな推進者を選定することにより, ジャスト イン タイム工事改善活動の展開拡大・定着を図っている。

6. む す び

我々の事業を取り巻く環境は, 海外生産の拡大, 分社化

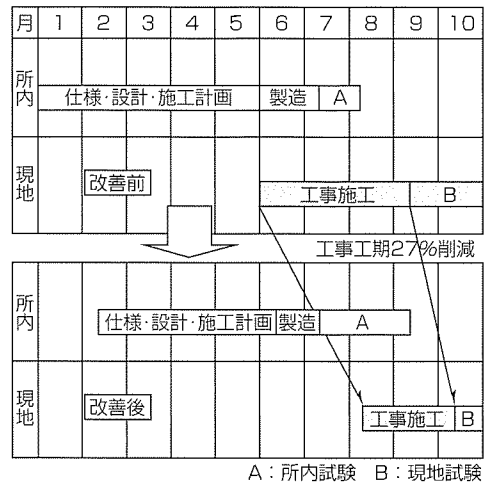


図17. 全体概略工程と工事期間短縮

等ますます厳しさを増してきており, その競争に打ち勝っていくためには, 改善活動を更に推し進めていく必要がある。そのためには, 2003年にモデルラインで展開した活動を, ①全製造ラインへの展開, ②試験調整部門への拡大, ③設計へのフィードバックによる標準化・共通化, ④営業, 資材部門への展開など, 早急に取り組んでいくことが必要である。また, 日々の改善が当たり前の風土を醸成し, 一人一人がジャスト イン タイムのモノづくり思想を持った企業集団を作るため, 現場改革の眼を持ったスタッフ, 管理監督者の養成・育成を行っていく。これにより, 全事業分野でのジャスト イン タイム生産方式確立に向けて, 更なる努力を行っていく。

参考文献

- (1) 平野裕之: ジャスト・イン・タイム生産の実際, 日経文庫 (1990)



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

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

ステータの製造方法 特許第3466435号(特開平11-98774)

発明者 中原裕治, 三宅展明, 東 健一

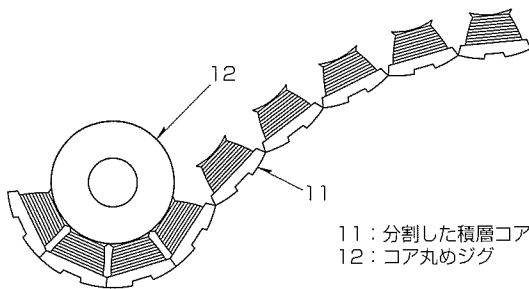
この発明は、高密度にコイル巻線された高性能ブラシレスモータにおいて、巻線装置の構成を簡略化するとともに、ステータを生産性良く得るために考案されたものである。

従来は、モータ1台分に相当するステータコアを個々にプレス打ち抜きするため、巻線装置への着脱や搬送、組立てを個々に扱う等、多くの手間を必要としていた。

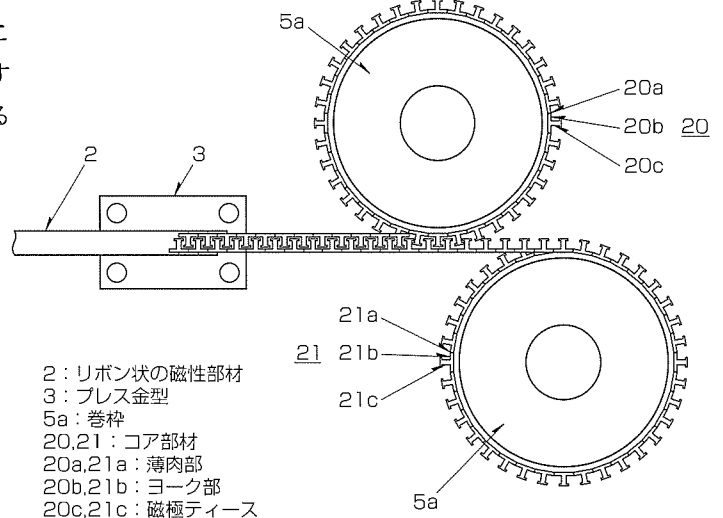
この発明は、リボン状の磁性部材から薄肉部を介してつながった状態のヨーク部とヨーク部から突出した磁極ティースでなるコア部材をプレス抜きする工程と、磁極ティースが外側になるように巻枠に所定回数巻回する工程と、この状態でコア部材を固着一体化して積層コア部材を形成する工程と、この積層コアの各ティースにコイルを巻線する

工程と、積層コア部材を複数に分割する工程と、分割した積層コアを逆反りにして環状のステータを形成する工程を包含したステータ製造方法である。

この製造方法によれば、複数個のステータを一括に取り扱いながらコイルの巻線ができるため、巻線作業の容易化と高密度コイルによるモータ特性向上が得られる。



11: 分割した積層コア
12: コア丸めジグ



2: リボン状の磁性部材
3: プレス金型
5a: 巻枠
20, 21: コア部材
20a, 21a: 薄肉部
20b, 21b: ヨーク部
20c, 21c: 磁極ティース

コアならびに積層コアおよびその製造方法 特許第3361438号(特開平10-178749)

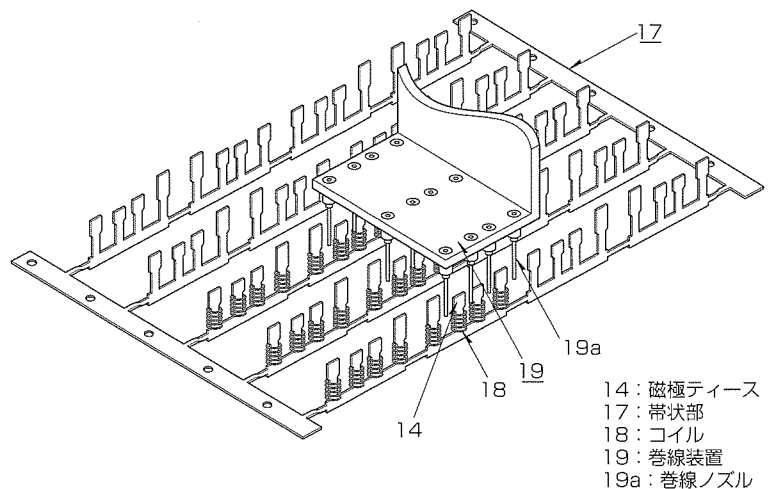
発明者 三宅展明, 中原裕治, 東 健一, 三瓶利正, 阿久津 悟

この発明は、情報機器等で用いられる薄型モータにおいて、整列状態にコイル巻きされたステータを生産性良く得るために考案されたものである。

従来は、モータ1台分に相当するステータコアを個々にプレス打ち抜きするため、巻線装置への着脱や搬送、組立てを個々に扱う等、多くの手間を必要としていた。

この発明は、平行に延在する一対の帯状部と、これらに薄肉部を介して連結されるとともに所定の間隔を介して複数段配設されたヨーク部と、ヨーク部から突出する複数の磁極ティースとを、フープ状の磁性部材をプレス抜きすることで形成し、薄肉部をひねることで磁極ティースを曲げ起こし、巻線ノズルが磁極ティースの周囲を巻回することでコイル形成する工程を包含したステータ製造方法である。

この製造方法によれば、複数個のステータコアをフープ状に並べた状態で一括に巻線することで、巻線作業の容易化と整列コイルによるモータ特性向上が得られる。



14: 磁極ティース
17: 帯状部
18: コイル
19: 巻線装置
19a: 巻線ノズル



特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

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

マーク認識装置およびマーク認識方法 特許第3279099号 (特開平8-122267)

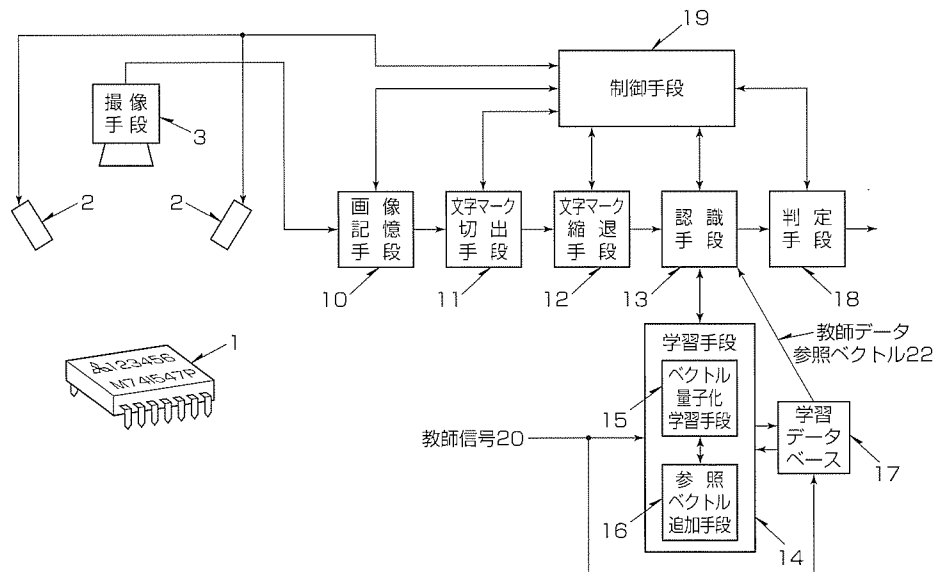
発明者 宇野真彦, 山田尚道, 火原辰則

この発明は、電子部品などに表記された文字や記号等のマークが正しい状態にあるか否かを認識するマーク認識装置及びマーク認識方法に関するものである。

従来のマーク認識装置では、あらかじめ文字や記号等のマークの特徴的な部分について複数の検査エリアを設定し、各検査エリア内で計測される面積などの特徴量としきい値を比較することで、マーク認識を実施していた。このため、十分な認識率を得るためのしきい値を作成し調整するために非常に手間がかかるという問題があった。

この発明は、あらかじめマークの教示画像から得たデータ(参照ベクトル)を保持した学習データベース、検査対象のマークから得たデータ(入力ベクトル)と参照ベクトルの距離を計算する認識手段、その距離としきい値を比較してマークの良否を判定する判定手段、学習データベースを変更する学習手段を備えている。学習手段は、認識手段から得られる距離情報を基に参照ベクトルの調整を行うとともに、学習の進行状況を監視し、進行が遅い場合には新規の参照ベクトルの追加を行うこと

で学習を加速する。これにより、認識精度の良い学習データベースを短時間で構築することができる。判定手段は、距離が小さい(類似度が高い)マークを2つ候補として選出し、第1候補との距離が所定値以下、かつ、第1候補との距離と第2候補との距離の差が所定値以上のときに認識成功となるように構成したため、似通ったマークの誤認識を避けることができる。以上により、認識精度が良く、パラメータの作成・調整が簡単なマーク認識装置を構築することができる。



<本号記載の商標について>

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

<次号予定> 三菱電機技報 Vol.78 No.11 特集「プラスチック成形技術」/「先進モジュール実装技術」

三菱電機技報編集委員 委員長 三嶋吉一 委員 小林智里 長谷川裕 堤清英 楽原幸志 村松洋 松本修 浜敬三 藤原正人 中川博雅 瀬尾和男 部谷文伸 黒畑幸雄 山木比呂志 事務局 松本敬之 本号取りまとめ委員 川口憲治	三菱電機技報 78巻10号 2004年10月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2004年10月25日 発行 編集人 三嶋吉一 発行人 松本敬之 発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847 印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス 発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641 定価 1部945円(本体900円) 送料別
URL http://www.MitsubishiElectric.co.jp/giho/	三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp

製造業を取り巻く環境が著しく変化し、激しい価格競争や顧客満足度向上のニーズが高まる中、生産性向上や品質向上、リードタイム短縮など、生産現場は大きな変革を求められています。

三菱電機は、FA統合ソリューション“e-F@ctory”を展開し、製造システムと情報システム間の連携強化を推進する新たな情報化技術の開発(製品化)と、情報化という新たな切り口で生産の最適化・効率化の実現を推進するソリューションを展開(プロモーション活動)し、FA業界のリーディングカンパニーとして一歩先を行く提案を実施しています。

(1) e-F@ctory取り組みの背景

現在製造業各社は、様々な対応を迫られています。

- 多様化するニーズへの対応
- 短納期での製品投入
- 激しいコスト競争への対応
- 品質の向上
- 安全や廃棄などへの配慮 など

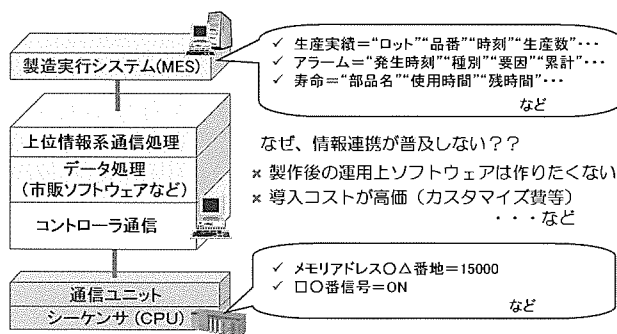
さらに、トレーサビリティ、セキュリティ、バリデーション、FDA 21 CFR Part11、HACCPなど各種業界で情報管理の徹底と実施が急速に進められる中、生産の情報を適切に活用し管理することが求められています。

しかし、設備の持つ情報(生産の実績情報)を計画システム(特に製造実行システム：MES)と連携させ、計画と生産の実態の乖離(かいり)を埋め、真の意味での生産の効率化実現には、まだまだ手間取っているというのが実情です。

この課題解決に向けた市場への提案が、ITを活用し生産設備の情報化による生産性向上を推進するe-F@ctoryなのです。

(2) e-F@ctoryで言う情報化とは

[設備情報化の現状]



生産設備を情報化すること自体は特に新しいことではありませんが、その実現には様々な困難があるため、製造業において設備の情報化が進んでいるとはまだまだ言い切れないのが実情です。

その理由は、設備を制御するシーケンサなどの制御システムと上位の情報システムの管理する情報の形が異なるため、情報の形を一致させて情報連携を実現するために、SCADAや自作アプリケーションなどによるデータの中間処理が必要なためであると考えられます。

三菱電機は、情報化を実現する様々なハードウェア製品やソフトウェア製品を提供していますが、e-F@ctoryでは更に、データの中間処理を不要にし、より簡単に情報化を実現するための製品発売に向けた技術開発を行っています。

(3) e-F@ctoryによる新たな技術的取り組み

FA製品を提供する当社は、上位情報システムが扱いやすい形式で制御システムから情報発信することが情報化推進につながると思われ、設備の情報をすべてタグ化し、しかも、プログラムレスで設備からイベント処理で情報発信する技術を開発し製品化を進めています。

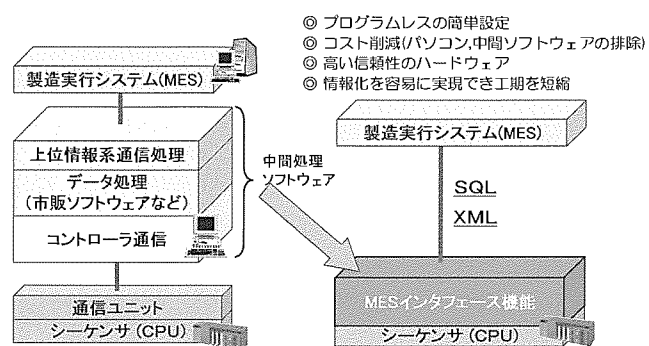
通信形式を情報管理の視点で考えた結果、情報システムが持つデータベースと直接読み書きを行うSQLでの連携に加え、柔軟な情報連携手段であるXMLでの連携を実現する方式としました。

なお、この製品は2004年6月の展示会で参考出品し、当社名古屋製作所工場での試使用も進めています。

(4) e-F@ctoryの目指すもの

当社が進める製造設備の情報化推進による生産の効率化という考えが市場に浸透し、日本の製造業がグローバル競争で勝ちつづける力を今後も堅持することを願い、情報連携製品の強化と情報化ソリューションの展開を今後も続けてまいります。

[設備情報化への今後の提案]



設備情報化の課題と解決策