

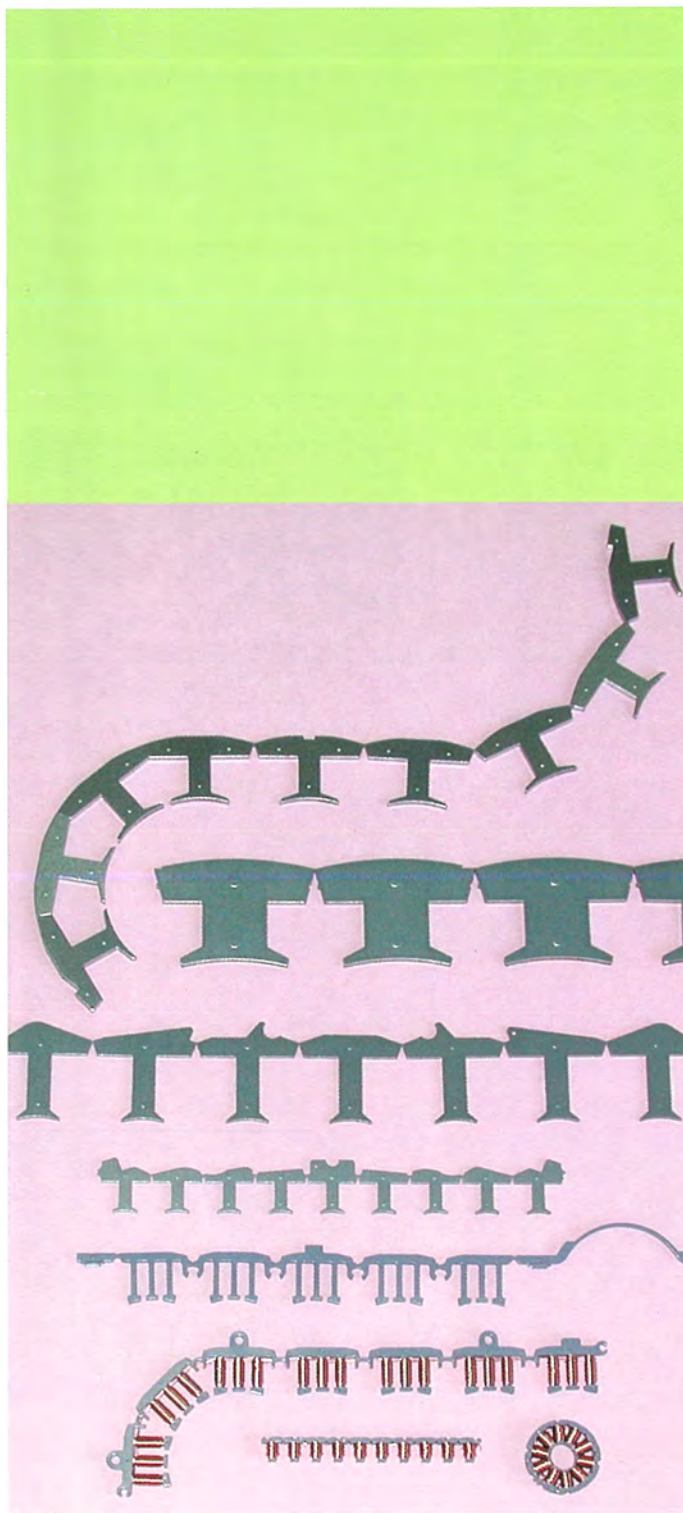
# MITSUBISHI

## 三菱電機技報

Vol.75 No.10

特集「生産技術」

# 2001 10



## 目次

### 特集「生産技術」

21世紀における生産技術への視点 .....	1
岩田一明	
生産技術への拘り——生産技術の復権—— .....	2
東健一	
携帯電話用フリップチップCSP .....	5
濱口恒夫・新井 等	
環境に優しい無鉛はんだの開発と実用化 .....	9
出田吾朗・村井淳一・梅村敏夫・清水克則・東野義喜	
半導体配線工程の欠陥検査における実効感度向上 .....	13
櫻井光一・小野山 歩・藤井達也	
先端LSI量産化スピードの向上 .....	17
有本一郎・大西 寛・小澤英彦・小林平治・田村勝彦	
電子デバイス製造装置の性能向上 .....	21
織田昌雄・村田貴則・井坂久夫・木之下儀美・吉田和夫	
エアコン用圧縮機モータの省エネルギー・高効率化 .....	25
秋田裕之・平井義典・川口 進・川口 仁	
低欠陥溶湯鍛造によるスピンドルモータの高速化 .....	29
伊田英紀・前川滋樹・川島和之・八木元啓・山下幹生	
ベーン溝加工の高精度化によるロータリ圧縮機の高効率化 .....	33
中筋智明・横田浩仁・平井義典・朴木雅雄・橋本 武	
磁気軸受主軸による超高速加工とその応用 .....	37
大谷真博・原田勝広・大草裕之・嶋田明広	
冷熱機器生産システム革新への取組 .....	41
金子友保・南山新二・武田安史・佐藤公紀	
自動車機器製造工場におけるIT活用 .....	45
伊佐地秀樹・市原武志・松崎武久・富田 拓・坂田和繁	
電子ビームろう付装置の開発とその応用 .....	49
野口 洋・村上和之・吉川利率・菊池正雄・竹野祥瑞	
携帯電話のソフトウェア機能試験システム .....	53
笹井浩之・今川 剛・岡庭一浩・岩井匡代・橋 大志	
漏電遮断器用零相変流器の生産設計 .....	57
秋田裕之・平川哲真・塚本龍幸	
リサイクル工場の立ち上げとシステム構築 ——リサイクル率向上とコスト低減への取組—— .....	61
大野悦男・小原嘉昭・堀 聡・藤崎克己・井関康人	

### 特許と新案

「電線用マークチューブの装着方法および装着装置」「化学気相成長装置」 .....	65
「加熱用ツール」 .....	66

### スポットライト

新冷媒氷蓄熱パッケージエアコン（鉛フリーはんだ使用） .....	(表3)
----------------------------------	------

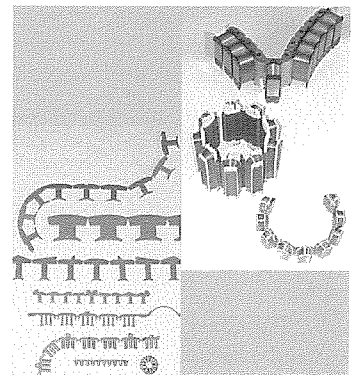
### 表紙

#### 進化を続ける“ポキポキモータ”

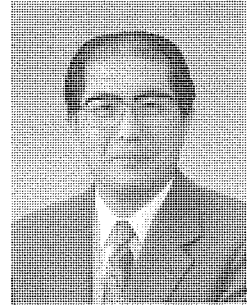
“モータは丸いステータコアから作る”という固定観念を打破した三菱電機独自のポキポキモータが、更なる進化を遂げている。

初期のポキポキモータでは、直線状に展開されたコアに巻線していた。

進化したポキポキモータでは、チェーンのように連結できるコア構造を新たに発明し、さらに高密度・高速巻線を可能とした。モータ性能向上と生産性向上が両立し、当社製品(家電、産業機器、車載機器等)に広く適用され、製品の省エネルギーと小型・軽量化に貢献している。



## 21世紀における生産技術への視点



大阪大学／神戸大学 名誉教授

工学博士 岩田一明

近年、製造業のみならず、あらゆる事業が激しい変化の渦中にある。また、自然界も社会も人間の価値観も、あらゆる事象が絶え間なく変化しつづけている。変化には、一般的に漸進的／改良的なものと画期的／破壊的／革新的なものを含む。この両者は組織の生存にとって共に欠かすことができないが、時代や環境によって、時に陽に、時に陰に現れる。昨今の製造業を見ていると、破壊的な変化が陽に表出しているとの感が深い。例えば、競争力を持った事業システムとしてのデルモデル(デルコンピュータ社のビジネスモデル)などの提案と実証、研究・開発と生産との分離から誕生したソレクトロン社のような生産専門企業(EMS)の急成長、これに追従する国内電気・情報関連工場のEMSへの転換、さらに中国・東南アジア地域における生産量の世界市場に占める比率の急増などの動きである。

このような変革の進む中で、製造業各社は生存をかけた戦略や戦術を模索し、競争優位を維持しつづければならない。ここでは、主として生産分野を対象に、今後の競争優位の企業戦略を構築する上での留意事項を考えてみたい。

筆者の独断と偏見によれば、

- (1) 生産技術、広くは製造技術(MT)と情報通信技術(IT)との技術統合又は技術融合
- (2) 生産プロセス又は要素技術の革新と先端的要素技術の融合
- (3) 技能、スキルなど暗黙知の価値認識とスキルの技術化の3点が最小限の緊要な視点である。

一番目の生産技術／生産システム(MT)と情報通信技術(IT)の技術融合は、従来の時間、地域、分野の壁を越えて画期的な変化を誘導し、新しいサービスやビジネスモデルを生み出した。ここで、特に注目したいことは、事業プロセスやビジネスモデルの各構成要素間のインタラクション・コストに及ぼすIT技術の影響である。インタラクション・コストは、組織や人間が財、サービス、知識などを交換するに要するコストを意味するが、IT化によってこのコストは一般に低減する。このコストが高い場合には、構成要素はすべて一つの組織として構成するのが望ましい。反面、コストが低減して、場合によってはゼロに近づくと、

構成要素を分割してアウトソーシングするメリットが生まれてくる。例えば、生産のアウトソーシングであるEMSやSyndication(企業連合)などである。

同時に、アウトソーシングの具現化環境としての標準的なインタフェース技術(ソフトウェア、ハードウェア)が準備されねばならない。標準化に関して留意したいことは、欧州自動車工業会が推進するASAM(Association for Standardization of Automation and Measuring Systems)の動きである。そこでは、工場を一つのクローズドシステムとした標準化から工場と商品(自動車など)を共通の対象と考えた標準メカニズムのコンセプトが発芽しはじめたことによる。

二番目の生産プロセス又は要素技術の革新と先端的要素技術の融合に関する研究・開発は従来にも増して絶え間なく継続させたい。この際、新プロセスや要素技術は新事業システムを生み出す契機につながるとの認識が必要である。例えば、試作金型の製作を可能にした光造形技術の開発はコストやリードタイム面で画期的な事業の創出を導いた。また、要素技術や機械などの開発では、ハードウェアを支えるソフトウェア、最先端のソフトウェアを生かす要素や機械といった、いわゆるメテムシコーシス(Metempsychosis)な考え方が求められる。

三番目の技能やスキルなど暗黙知の価値認識とスキルの技術化は、製造業の競争力強化の面で看過できない問題である。近年、“デジタルマイスター”と呼ばれる国家的プロジェクトが誕生し、暗黙知やノウハウの抽出手法、暗黙知の定式化手法、獲得した知識用データベースシステム、知識活用共通プラットフォーム、技能のモデル化などの諸項目が研究・開発の対象となっている。企業の実務に直結し真の効用を発揮する枠組みとなることが期待される。

終わりに、物作りに対する最近の筆者の思いをまとめれば、“生物の生存環境を保持しつつ物の創出とそれらの自然還元を導く力は、その国や企業の生存と繁栄の根源”となる。この実現には、物作りに取り組み、また支える人々が情熱を発揮するかどうにかかっていると云えるのではないだろうか。

# 生産技術への拘り —生産技術の復権—



東 健一\*

## 1. ま え が き

1960年代後半から'70年代前半に、日本の大手製造業は、生産技術研究所を開設し、もの作りに関する研究・開発機能を整備した。

この結果、'70年代後半から'80年代は、著しい生産性向上を達成することができた。日本の驚異的な進化は欧米の注目するところとなり、調査団が続々と来日した。

'90年代に入り、生産管理面において、カンバン方式やTQC活動が、サプライチェーンマネジメントやシックスシグマ活動に昇華され業績を伸ばした。最近では、これらを日本が逆輸入する形になり、日本が遅れをとったような形になっている。

一方、実際のもの作りは、'80年代後半から猛烈な勢いで東南アジアに流れた。かつて日本がアメリカより安い賃金で、かつ、勤勉に働くことによって確立した地位は、韓国、台湾に取って替われ、さらに、もの作りはもっと賃金の安いタイ、マレーシアへ、ついには中国へと移りつつあり、これらの国々のGDPは急激な伸びを示している。

## 2. 日本の製造業についての考察

世界の国々は、上記の如く、それぞれの特性を生かした活動によって利益拡大を図ってきた。一方、日本の製造業はニアザマーケットの考え方とより安い労働力を求めて東南アジア、メキシコなどに進出し、技術・技能を海外に持ち出し、結果的に国内の空洞化を引き起こした。あわせて、3K作業というキーワードが世の中に広まり、若者の製造業離れを誘発したのはよく知られた事実である。これが、下町産業の人手不足や後継者不在を引き起こし、拘りのもの作り屋を廃業に追い込むことにつながっている。ここで再認識すべきは、日本は資源に乏しく、食糧は輸入に頼らざるを得ないという現実であり、昔から言われている加工貿易でしか生き残れないということである。アメリカ経済を活性化させた生産効率の向上策としてのITの活用は不可欠であるが、ITのコンテンツとしての製造技術、もの作りの高度化が、グローバル化における今の日本に課せられた急務である。これが技術立国、もの作り立国が叫ばれている根幹ではなかろうか。

## 3. 三菱電機の生産技術への取組

### 3.1 全社的な施策

ここ10年から15年の間に、当社を取り巻く事業環境は大きく変化した。社会ニーズの変化に伴い製品系列は拡大し、設計工数はハードウェアからソフトウェアへ大きく比重が移ったが、ハードウェアの開発工数は減らず、結果的に設計工数が増大した。

このような変化の中では、一連の業務の流れに支障をきたさない施策が必要になる。以下に、もの作りの観点から、当社が展開している施策を示した。

#### (1) 設計

ニーズの多様化に対応するには、多様化の内容をしっかりと見据えた製品構想が重要である。これが結局、製品の標準化とモジュール化に結び付き、ソフトウェア、ハードウェアに拘らず、部品が再利用できる開発コンセプトをしっかりと固めることになり、設計工数の削減を図っている。

#### (2) 技術者・技能者教育

増大する設計工数を補うための設計外部委託は、技術者と製造現場の力を衰えさせるとともに、現場へ行かない技術者を増すことになる。現場にはあらゆる情報が集約されており、生産の混乱が何に起因しているかを見極める最善の場所であると再認識させ、“現場・現物・現実”の3現主義に基づいた技術者教育の見直しを推進している。

また、技能者に刺激と仕事の張りを与え、自分の存在を実感させる仕掛けも再構築している。技能者と技術者の垣根を取り除き、対話の機会を増やすことによって技能者の持つ暗黙知を設計者も共有する形式知化し、技能者の知恵を設計に反映させることで双方を活性化している。

#### (3) 現場管理

生産管理及び現場の管理にも時代の変化が忍び寄っている。昔から現場に定着している管理手法は、揺らぎ、変動の少ないラインの運用である。社員外作業が増加した現場でこのように運用するために、管理基準の明文化と基準を守らせる職場文化の再構築を推進している。また、強い現場を実現するために、もの作りに誇りが持てる風土作り、すなわち、強い責任と権限を持った怖い班長の再来を促す施策を展開している。

#### (4) 製品設計と製造技術の融合

製品設計者と製造技術者の現場回帰と強い現場の復活及び両者の融合でモデル化、シミュレーション、試作評価などを系統的に実施することで、より強い製造業への転身を図っている。

いかにCAD/CAEツールが発達しようとも、所詮、ツ

ールであることに違いはなく、これを使いこなす技術者の高い能力と深い知識がなければただの道具にすぎない。ツールをツールとして認識させ、原理・原則に立ち返って、より効果的に使う風土作りを加速している。

### 3.2 生産技術センターの活動

当社の生産技術センターは、'94年に生産技術研究所を発展的に改称してできた組織であり、5げん主義(現場, 現物, 現実と原理, 原則)と研究所時代に培った技術をベースに、三菱電機グループの全事業分野を支援する部門である。具体的な活動の一例を以下に紹介する。

#### (1) 製品設計を融合した製造部門の改善活動

生産技術研究所の時代から取り組んでいる加工・組立てや検査・調整工程の自動化・無人化は、人件費の削減効果のみならず、品質の安定化効果も大きく、生産技術センターの活動の柱である。しかし、最近では単なる自動化だけでなく、他社の追随を許さない部品・製品の設計と融合した取組を推進している。これが設計を根本的に見直す生産設計・構造設計活動である。代表的な事例として、ポキポキモータと空冷ヒートシンクを紹介する。

当社独自の構造であるポキポキモータは、平成9年度の大河内記念賞を受賞したFDD用スピンドルモータ、ACサーボモータを始めとして、エアコン用コンプレッサモータ、機械室レスエレベーター用モータ、電装品モータなどに適用が拡大している。

従来、円形に打ち抜かれていたステータコアを直線状に展開(図1)することによって鉄心材料の歩留り向上と鉄心構造の最適化を実現し、巻線占積率の向上によってモータの高性能化を達成した。また、鉄心構造の特長を生かした多軸自動巻線機は、従来の機械に比べ15~20倍の生産性を向上させた。

ポキポキモータの開発当初は、鉄心を切断すると磁束が漏れ、効率低下と騒音の増大につながると言われていた。しかし、シミュレーションの結果は当初の懸念を打ち消すことになり、試作の結果は通説を覆した。固定概念を打破することによって革新が起きることを実証した例である。

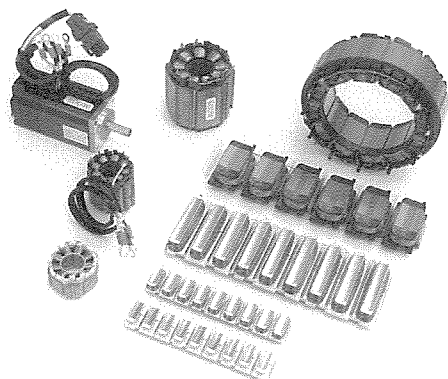


図1. 丸から直線への発想の転換(ACサーボモータの例)

次に紹介するNC用インバータの空冷ヒートシンクも、高アスペクト比(フィンの高さとの比)のアルミダイカスト品で、常識の2倍のアスペクト比を達成し、モータ同様の革新をもたらした(図2)。従来のアルミ押出し材を組み合わせたヒートシンクは、低騒音で高効率の渦巻きダイカスト構造に生まれ変わり、ヒートシンクの体積を1/5に、結果的に制御盤の体積を1/2にした。これも、流体力学・熱力学とシミュレーション技術を駆使して完成したもので、高アスペクト比のダイカスト技術開発への挑戦は、正に技術者の拘りと言うべきものである。

このような発想の転換を図る活動は全社全製品を対象に展開しており、携帯電話や光通信機器、人工衛星などのIT関連製品の新品開発、競争力強化にもつながっている。

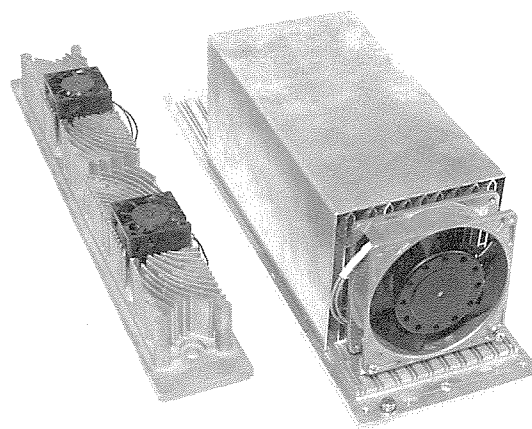
このように、まねのできないノウハウや技能又は特許に守られた部品(キーパーツ)や製品を生み出すとともに、その生産性を追及した自動化を継続することが、東南アジア、中国などの追随を許さない強い製造業・製造技術国であり続ける道と確信している。

#### (2) 製造プロセス改善

半導体の製造プロセスは、装置メーカーに基本機能を依存するところが多く、不良発生も確率論的に取り扱われる。このような半導体製造プロセスに5げん主義の考え方を持ち込み、徹底的な分析・解析によって不良発生のメカニズムを解明する歩留り改善活動がある。

歩留り改善活動の当初は、数 $\mu\text{m}$ の巨大異物と呼ばれるプロセス起因の反応生成物を抑制することから始まったが、現在では、0.1 $\mu\text{m}$ 以下の微小異物を解析するほどのノウハウを確立した。空中に浮遊する微小金属やウエットプロセス中に付着する異物は電子顕微鏡の世界であり、これがどのプロセスでチップのどこに不良を発生させているのかを見極めるのは、正に神業に近いものである。

この実績の背景には、現場を預かる技能者・技術者の持



(a) ダイカスト品

(b) 従来品

図2. 技術者の拘りによるヒートシンク

つ経験則と現状を細かく観察・分析する技術者の物理化学的な高い見識がうまく融合していることが挙げられる。この結果、他に類を見ない新デバイスの短期間量産立ち上げ、いわゆる垂直立ち上げができるようになり、IT関連デバイスの短期開発や急激な需要要求にも対応が可能となった。

最近では、多層化する配線構造を最適化し、プロセス起因の不良を事前に防止する構造設計技術やレーザ波長を選択し不良セルをトリミングする技術も実用化しており、半導体事業の大きな支えになっている。

また、改善活動を通じてプロセス装置に直接触れることにより、専門業者任せであったメンテナンス作業や装置改造にも取り組めるようになり、メンテナンス作業の費用削減や期間短縮、装置の安定稼働、旧世代装置のリニューアルによる設備投資の抑制などの効果を得ている。

ここでも、歩留りは確率問題とかメンテナンスは業者依存という文化を打破したところに改善の糸口がある。

### (3) 管理改善活動

生産面から見た管理活動には、工場内の諸管理(部品手配、進ちょく(捗)管理、品質管理等)、出荷計画、物流制御、フィールドサービス、リサイクル等があり、これらのあらゆる局面で革新が必要になる。あわせて、グローバル化が進展すると、設計情報の共有化や部品の共用化のための情報システム・管理システムが不可欠になる。

生産技術センターはこれらの生産全般を管理するシステムを開発しているが、開発に当たっては徹底的に現状分析・業務分析を行い、ユーザーの業務にマッチしたシステムを開発することによって業務の効率化を支援している。

管理システムの事例には、板金のFAやCAD/CAMシステム、製造履歴を管理するトレーサビリティシステムなどがある。トレーサビリティシステムは、工程内不良の撲滅や製品の品質保証のために不可欠なシステムであり、不良流出防止や不良原因の短期解明に効果がある。

また、最近開発した空調機の“座席予約システム”は、インターネット上から製品の種類・台数・納期を予約できるシステムで、この情報から生産計画を立て、特注品を短納期でお客様に納入することで、サプライチェーンマネジメントを実現しつつある。

物流分野では、荷さば(捌)きの合理化と誤配送を防止する倉庫管理システムや工場からジャストインタイムで直接客先へ納入するネットワークシステムを構築し、仕掛り・物流費と保管費用を削減している。

このように、国内で開発したシステムと幾多の実践によって確立したノウハウは、海外進出する事業の各種管理システムを短期間に立ち上げる原動力になっている。

また、海外の多拠点で生産する携帯電話などの生産支援システムの構築にも取り組んでおり、設計情報の共有化、部品コードの統一、資材の一括発注などのシステム開発によってグローバル化を推進している。

これらの活動は、派手さはないが、地道な努力の積み重ねと実績によって全社から非常に厚い信頼を得ており、生産技術センターの一つの看板になっている。

## 4. む す び

日本にしかできない、三菱電機にしかできない、高い付加価値をどのように作り上げるかを、生産技術の復権に視点を置いて考察した。

アメリカは、日本が築いてきた生産管理手法を普遍化・体系化し、ITを活用することでもの作りを変えた。最近の日本ではこの手法を逆輸入する企業が増えたが、アメリカ流にアレンジされたこれらの管理手法の原形は日本にあり、再度日本が世界をリードする仕組みを提案できるものと考えている。

前章で述べた幾つかの事例は、日本の復権を実現する一つの指針であると考えており、三菱電機は、今後とも、5げん主義に基づいた活動を通じ、物事の本質を問いながら、生産の仕組みや製品構造は“シンプル イズ ベスト”を念頭に置いて、更なる革新を展開していく。

最後に、企業の発展は、結局、個人の努力に支えられていることをしっかり認識し、これからも個人の意欲・能力・着想を大切に大きく育てる自由な組織を維持していく所存である。

本稿は、生産技術への拘りと題して筆者の思いを綴ったものとなったが、読者の皆様のこれから進むべき道筋の参考になれば幸いである。

# 携帯電話用フリップチップCSP

濱口恒夫\*  
新井 等\*\*

## 要 旨

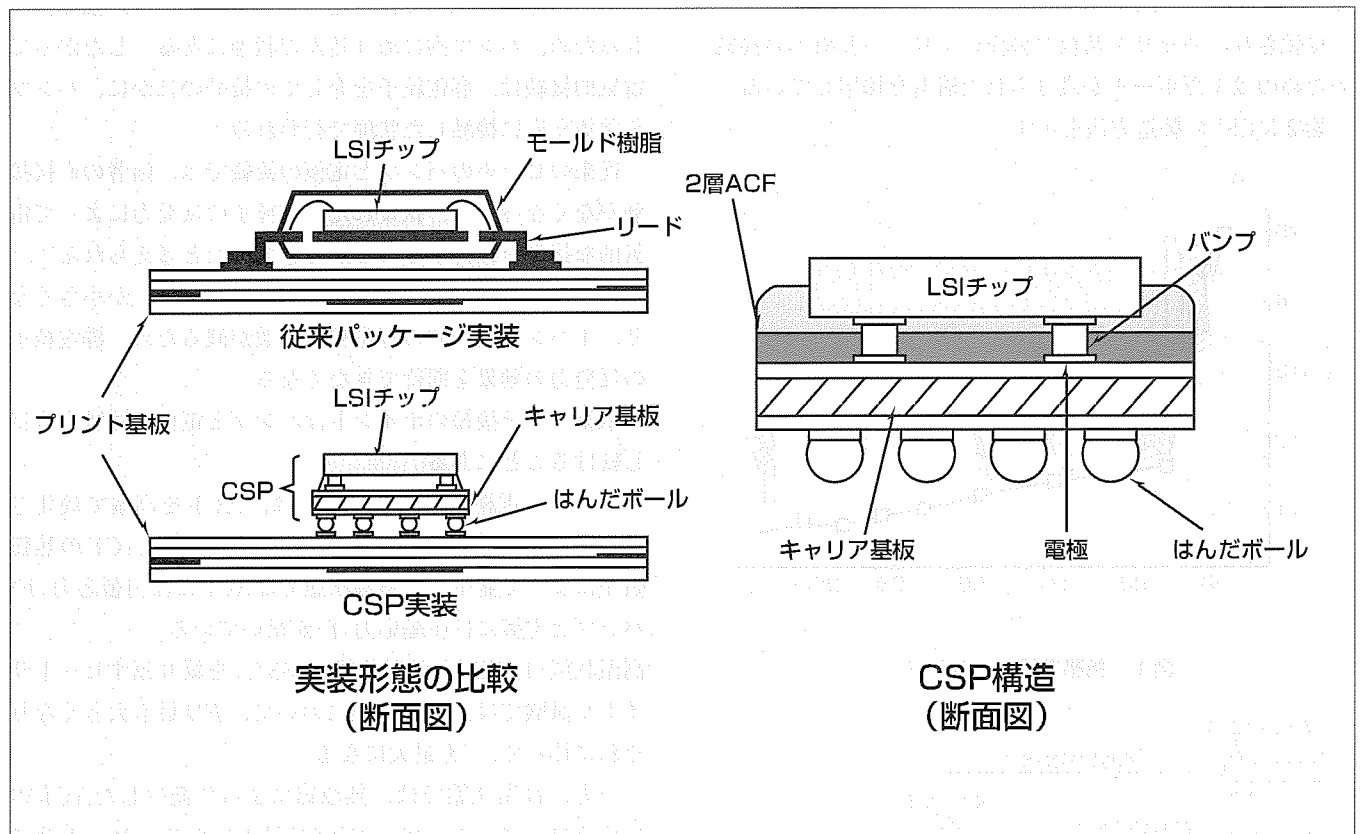
三菱電機では、微細な配線を形成したキャリア基板上に異方性導電接着フィルム (Anisotropic Conductive Film : ACF) を用い、LSIチップを搭載するチップスケールパッケージ (CSP) を1997年に開発した。翌'98年から携帯電話への適用を開始し、現在までに累積生産量約2,000万個を達成した。

最近の携帯電話は、文字伝送機能や画像伝送機能などの多機能化が一層進み、LSIの集積化が著しい。これに伴って、狭ピッチで多数の微細電極を持つLSIチップをCSP化する技術が必要になってきた。

そこで、フィラー含有量の異なる2層構成のACFを新

規に開発し、80 $\mu$ m以下の電極ピッチのLSIのCSP化を実現した。

この新しい2層ACFは、キャリア基板側にフィラー含有量の多い層とLSIチップ側にフィラー含有量の少ない層で構成される。フィラー含有量の多い層は、バンプと電極の接続部を硬い樹脂で覆うことによってひずみを小さくする。フィラー含有量の少ない層は、流動性を高めてLSIチップ周辺部を樹脂で覆うことによってLSIチップのはく(剥)離を防止する。これによって、1バンプ当たりの導電粒子の数が少なくても、接続信頼性の高いフリップチップ接続が可能になった。



## 実装形態の比較とCSP構造

CSPは、LSIチップをキャリア基板にフリップチップ接続し、キャリア基板の裏面にはんだボールを設けた構造のパッケージである。従来のリード付きパッケージに比べて、実装面積を約1/6に縮小できる。

## 1. ま え が き

携帯電話の小型化は図1に示すとおり年々進んできており、最近では、LSIチップとほぼ同じ大きさで実装することができるCSPは不可欠となっている。そこで、三菱電機では、キャリア基板(ビルドアップ基板)上にACFを用いてLSIチップをフリップチップ接続して構成するCSPを1997年に開発し<sup>(1)</sup>、携帯電話の小型化に適用している。

近年、携帯電話は、音声通信端末から文字伝送や画像伝送ができる情報通信端末に変わりつつある。そのため、LSIの集積化が進み、LSIの入出力電極数も増加の傾向にある。'98年には200ピン程度であったものが、2000年には350ピンクラスのものも登場している。その中において、実装面積を大きくすることは携帯電話が大きくなることにつながるため、多数の微細電極を持つLSIチップをCSPにすることが必要になってきた。

そこで、当社独自のACFを開発することによって、従来の150 $\mu\text{m}$ ピッチに対し、80 $\mu\text{m}$ ピッチ以下の微細な電極を持つLSIチップのフリップチップ接続が可能になった。

## 2. フリップチップCSPの開発

CSPにはいろいろな構造が提案されている<sup>(2)</sup>。当社で開発したCSPは、LSIチップがキャリア基板にフリップチップ接続され、キャリア基板の裏面にプリント基板への接続のためのはんだボールが設けられた構造を採用している。

図2にCSPの製造方法を示す。

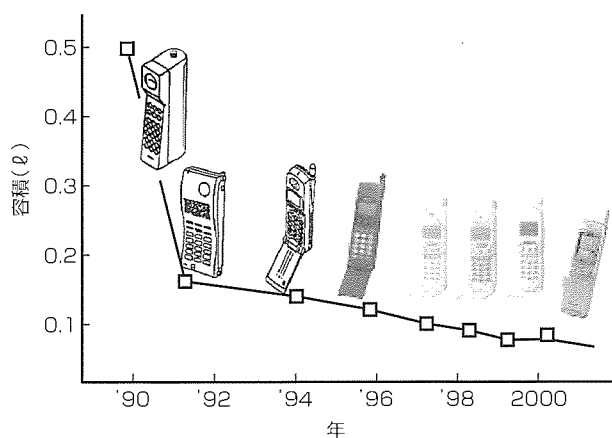


図1. 携帯電話のトレンド

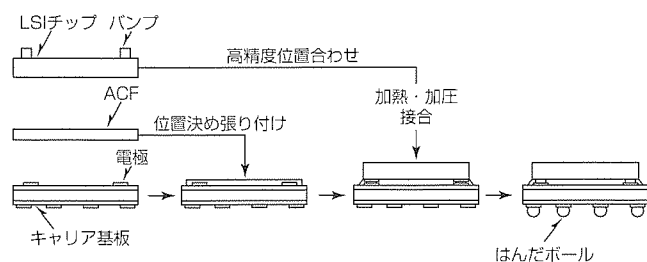


図2. CSPの製造方法

(1) バンプをLSIチップの電極上に形成する。

ボールボンダを用いて金の突起をAI電極上に直に形成した後、突起表面をフラットニングすることによって得られる。

(2) キャリア基板にACFを張り付ける。

(3) 加熱したLSIチップのバンプとキャリア基板との位置合わせを行った後、LSIチップをキャリア基板に押し付け、バンプと電極の接触をとると同時に、ACFを硬化させる。

(4) キャリア基板の裏面にはんだボールを形成する。

## 3. フリップチップ接続技術の開発

ACFは、直径数 $\mu\text{m}$ の導電粒子を熱硬化型のエポキシ樹脂接着フィルム中に分散させたものである。電気的接続は、導電粒子をバンプと基板の電極で挟み込み、導電粒子を変形させることによって得られ、従来から、高平坦(坦)なガラス基板上にLSIチップを接続する方法として用いられてきた。

これに対し、当社では、ガラス基板よりも表面うねりの大きなキャリア基板にLSIチップを接続する技術を開発した<sup>(3)</sup>。この技術は、LSIチップを強く押し付け、基板の絶縁層を形成する樹脂を変形させることでうねりに伴う高さ変動分をなくし、バンプと電極の電気的接続をとる方法である。バンプと電極で挟み込まれた導電粒子は、強く押されるため、バンプ内にめり込んだ状態にある。したがって、電気的接続は、導電粒子を介しての接続のほかに、バンプと電極が直に接触した状態で行われる<sup>(4)</sup>。

従来のピッチのバンプと電極の接続では、両者の直接接合がなくなっても、挟まれた導電粒子の反発力によって電気的な接続を維持することができていたと考えられる<sup>(5)</sup>。ところが、微細ピッチ接続になると、バンプ径が小さくなり、1バンプ当たりの導電粒子の数が減るため、導電粒子の反発力の効果を期待できなくなる。

微細ピッチ接続のポイントはバンプと電極の接触を維持し続けることにある。

バンプと電極を接触させる力は、ACFを高温で硬化させた後に室温まで冷却させたときのバンプとACFの熱膨張差によって発生し、室温状態ではACFには引張応力( $F$ )、バンプと電極には圧縮応力( $f$ )が働いている。

高温状態(125 $^{\circ}\text{C}$ )と低温状態(-65 $^{\circ}\text{C}$ )を繰り返すヒートサイクル試験では、低温状態において、 $F$ は最も大きくなり、それに伴って、 $f$ も最大になる。

一方、高温状態では、熱収縮によって発生したACFのひずみは小さくなって、 $F$ と $f$ は最小になる。ヒートサイクル試験の高温状態においてバンプと電極が接触を維持するためには、低温状態でACFに発生するひずみが弾性限度内であることが必要である。そのためには、ひずみを小さくすることが必要である<sup>(6)</sup>。具体的には、バンプとの熱



膨張差を小さくするために、ACFの線膨張係数( $\alpha$ )を小さくする。

一方、ひずみを小さくすることで $f$ が小さくならないように、ACFのヤング率( $E$ )は逆に大きくする必要がある。

低 $\alpha$ と高 $E$ を併せ持つACFは、含有している無機フィラー量を多くすることで実現する。ところが、このようなACFは粘度が高くLSIチップの端面をACFで覆うことができなくなることで、LSIチップとACFの接着力が低下することにより、ヒートサイクル試験でチップとACF界面で剥離が発生しやすくなるという問題が生じる。

そこで、 bumps と電極との接触を確実にしLSIチップとの剥離を生じないように、フィラー含有量の異なる2層のACF(図3)を開発した。

2層ACFは、基板側の層(第1層)のフィラー含有量を多くし、低 $\alpha$ で高 $E$ の層を設け、LSIチップ側の層(第2層)のフィラー含有量を少なくし、粘度の低い層を設けた2層構造である。そのため、接続部のひずみを小さくし、接続の信頼性を高めるとともに、LSIチップの端面を $E$ の小さなACF樹脂で覆うことにより、LSIチップ剥離を防止することができる。

図4に、2層ACFを用いた場合(a)と、従来の1層のACFを用いた場合(b)のヒートサイクル試験結果を示す。

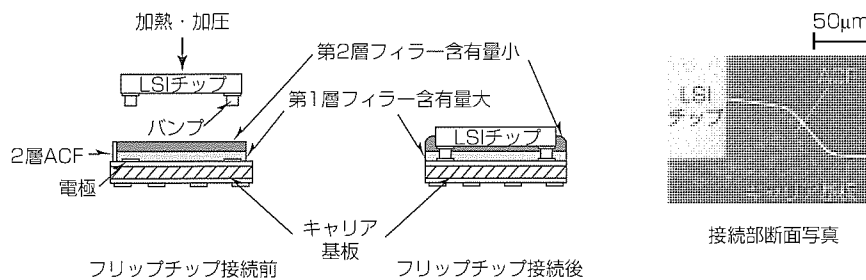
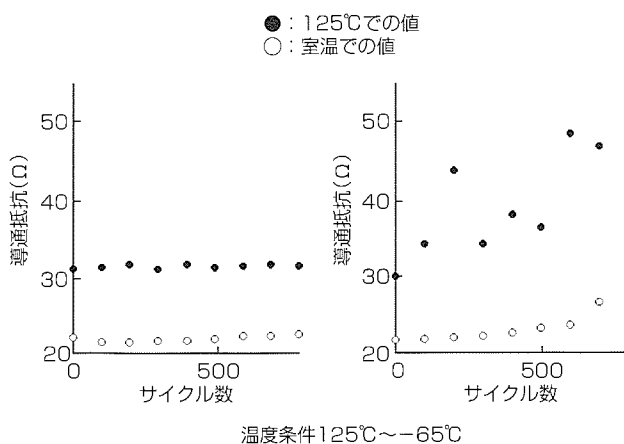


図3. 2層ACFのフリップチップ接続



(a) 2層ACFの場合(開発品) (b) 1層ACFの場合(従来品)

図4. ヒートサイクル試験における導通抵抗の変化

試験に用いたLSIチップは76 $\mu$ mピッチで、364ピンのダイジーチェーンが設けてある。この試験のCSPサンプルは、30 $^{\circ}$ C/60%に192時間保持し、最高温度240 $^{\circ}$ Cのリフロー処理を3回施したものをを用いた。ヒートサイクル試験において、100サイクルごとに、室温状態と高温状態(125 $^{\circ}$ C)で導通抵抗の測定を実施した。導通抵抗はダイジーチェーンの配線抵抗も含んだ値であるため、図にあるように、高温状態では導通抵抗は室温状態よりも高い値を示す。2層ACFを用いた場合は、高温状態でも室温状態と同様に導通抵抗が一定であり、高温状態でも接続が安定していることを示している。それに対し、1層ACFを用いた場合は、高温状態での導通抵抗が変動し、接続が不安定であることを示している。

2層ACFでは800サイクルまで実施したが、導通抵抗は一定で、携帯用電子機器に適用する基準を十分に満たしている。

図5に高温高湿バイアス試験の結果を示す。1,000時間まで絶縁抵抗値が $10^9\Omega$ 以上あり、良好な絶縁抵抗を示している。

これらのことから、2層ACFは微細接続に有効であることが検証された。

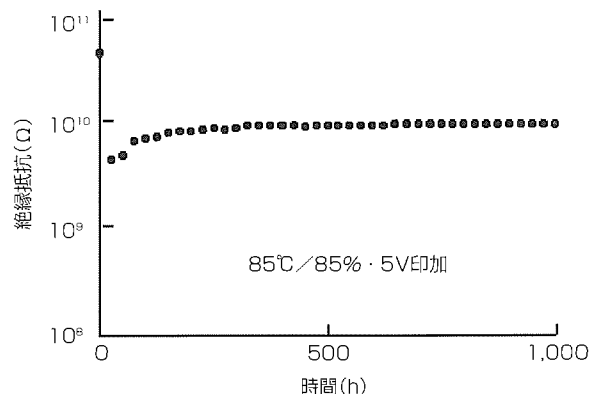


図5. 高温高湿バイアス試験における bumps 間絶縁抵抗の変化

#### 4. パッケージサイズの比較

図6に、'97年に開発したフリップチップCSPと今回開発したフリップチップCSPの外観を示す。

'97年の製品は、150 $\mu$ mピッチで240ピンのLSIチップをフリップチップ接続し、はんだボールの間隔は0.8mmであった。今回の開発品は、76 $\mu$ mピッチで364ピンのLSIチップをフリップチップ接続し、はんだボールピッチは0.5mmである。

微細ピッチのフリップチップ接続を実現することによって、ピン数が1.5倍に増加しているにもかかわらず、チップ面積を約半分に小さくすることができた。

また、はんだボール間隔を0.8mmから0.5mmに縮小することにより、キャリア基板面積も約30%低減することができ、実装面積の低減を図ることができた。

#### 5. む す び

以上述べたように、携帯電話の多機能化に伴い、多数の微細な電極を持つLSIチップをCSPにすることが必要になってきた。このため、フィラー含有量の異なる2層構成のACFを新規に開発することによって、80 $\mu$ mピッチ以下の電極を持つLSIチップをキャリア基板にフリップチップ接続したCSPを実現することができた。

#### 参 考 文 献

(1) 濱口恒夫：異方性導電接着フィルムを用いたフリップチップCSP，エレクトロニクス実装学会誌，1，No.5，351～355(1998)

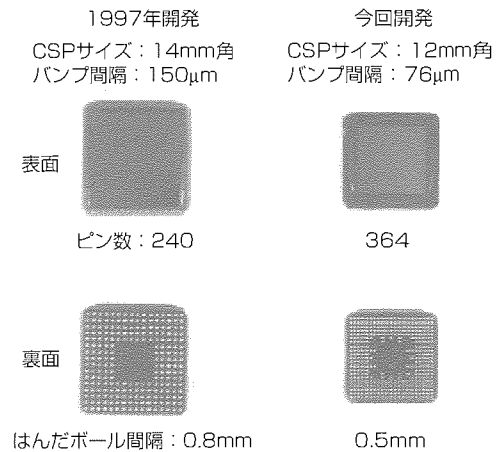


図6. CSPの外観

(2) 山口盛司：携帯情報通信機器のCSP実装技術，エレクトロニクス実装学会誌，1，No.5，346～350(1998)

(3) 濱口恒夫，鶴田明三，石崎光範，利田賢二：異方性導電接着フィルムを用いたフリップチップ実装，信学技報，97，No.433，7～14(1997)

(4) 藤原伸一，原田正英，藤田祐治，八矢登志広，村松盛生：異方性導電フィルムを用いたフリップチップ接続の劣化機構と接続信頼性設計技術，Mate2001，179～184(2001)

(5) 鈴木崇敏，吉野利枝佳，船田佳嗣：異方性導電フィルム(ACF)を用いたCOB接続信頼性評価，Mate2000，159～162(2000)

(6) 岡村誠三：高分子化学序論(第2版)，(株)化学同人，149～155(1988)

# 環境に優しい無鉛はんだの開発と実用化

出田吾朗\* 清水克則\*\*\*  
 村井淳一\* 東野義喜†  
 梅村敏夫\*\*

## 要旨

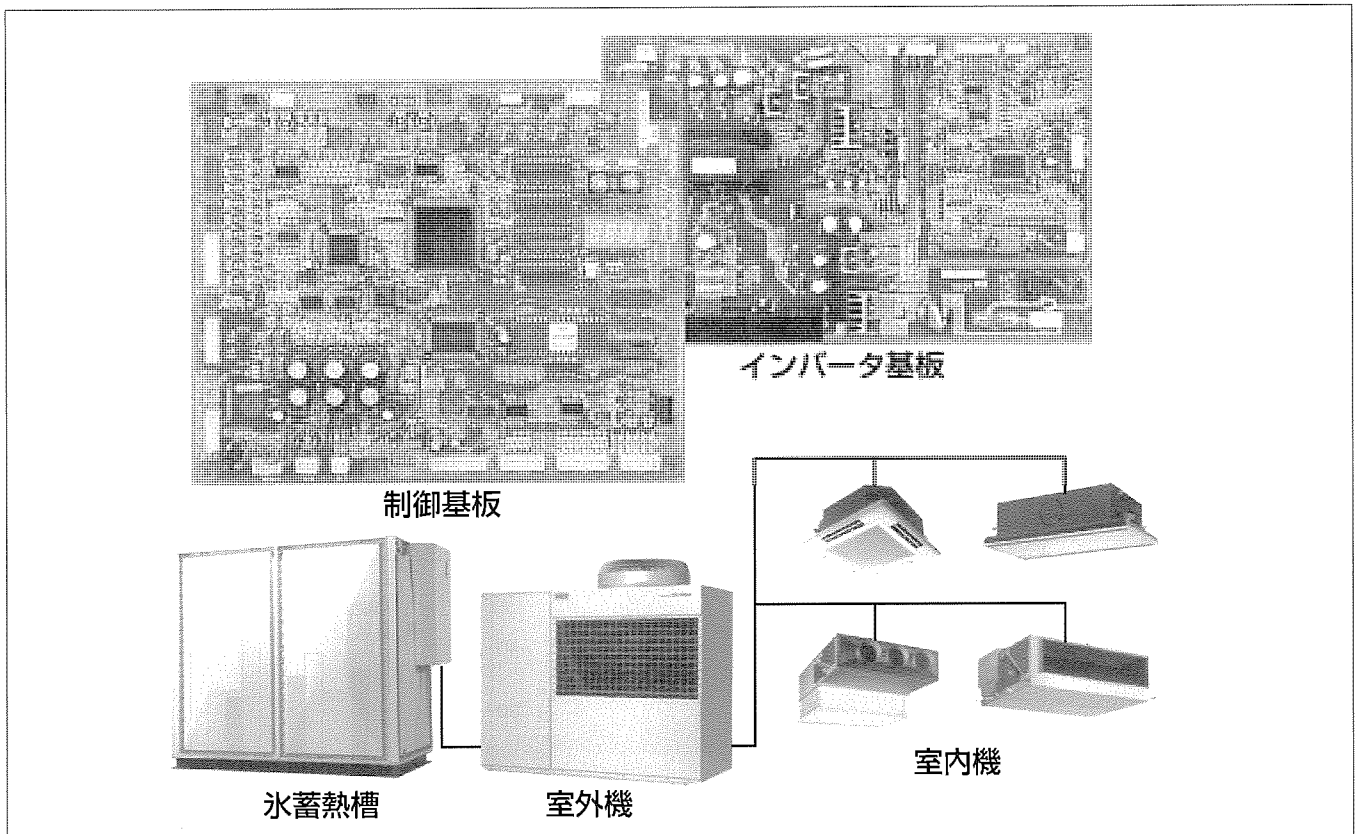
地球環境に配慮した製品の技術開発が活発であるが、その中で、地下水汚染原因の一つとして有害性が指摘されている鉛の使用に終止符を打つための技術開発も急がれている。

そこで、新しいはんだ合金の開発を含む基板実装の無鉛化技術を確立し、本格的な適用を始めた。

無鉛はんだ材としてはAg, Bi, Cu, In, Znなどを添加したSn基合金が候補に挙げられるが、従来の鉛含有はんだに匹敵する接合特性を持つ無鉛はんだ合金の実現は困難で、機械的信頼性と製造品質を両立させることが最大の課題であった。そこで、従来のはんだと同等の優れた機械的特性を持つSn-Ag-Cu系合金を選定し、そのデメリット

である高い融点(従来比: +36℃)という問題に対しては、はんだ付装置の加熱性能改善を始めとするプロセス・装置技術の開発によって解決し、多種の製品基板のリフローはんだ付への適用を可能にした。一方、フローはんだ付においては製造品質の向上(ブリッジや未接合などの初期不良低減)が大きな課題であったが、独自組成のSn-2.5Ag-0.5Cu-0.5Bi合金を開発し、高い機械的信頼性と製造品質とを両立させることを可能にした。

以上により、極めて高い信頼性が要求される電力・鉄道・自動車・通信・産業機器などから量産民生機器に至る三菱電機の多様な製品群をカバーできる無鉛化技術を確立し実用化した。



## 無鉛はんだを適用した氷蓄熱利用ビル用空調機“シティマルチICE Ypシリーズ”

オゾン層破壊係数ゼロの新冷媒を採用し業界トップクラスの省エネルギー性と低騒音化を実現させた環境対応型新製品シティマルチICE Ypシリーズの基板実装のはんだ付部に、すべてSn-Ag-Cu系無鉛はんだを採用した。

1. ま え が き

地球環境保全の一環として環境にリスクのある物質の使用削減を進めており、その代表として実装基板に用いられるはんだ中の鉛を排除するため、新しいはんだ合金の開発を含め、基板実装の無鉛化を実現した。

2. リフローはんだ付用無鉛はんだ組成の選定

2.1 各合金系の基本特性

電子回路基板の実装接合用として用いられる従来の鉛含有はんだの代替となる合金は、はんだ付温度、継ぎ手の機械的特性、金属元素の入手性、毒性などの観点からSn合金に限定される。中でも、Sn-Ag(-Cu)系、Sn-Bi(-Ag)系、Sn-Cu系、又はこれらに第三、第四の元素を添加した合金が有力候補となる<sup>(1)</sup>。これまで提案されている合金の代表的な機械特性とはんだ付性に関する諸特性の比較を図1に示す。

いずれの無鉛はんだ合金も従来の代表的な鉛含有はんだであるSn-37Pb共晶合金と同等の特性レベルに達しないが、Sn-Ag(-Cu)系合金が、融点を除く項目では相対的に優れ、継ぎ手の機械的信頼性を優先すると代替はんだ候補として最有力と言える。一方、その他の合金は、三菱電機のように製品が多岐にわたる場合には、共通解とはなり得ない。すなわち、Sn-Bi系では低温における延性などの機械的特性が、Sn-Cu系では強さや融点(227℃と高い)が問題となることが予想される。したがって、これらの合金を候補から外し、Sn-Ag-Cu系合金を中心に検討を進めた。

2.2 Sn-Ag-Cu系合金における組成比の適正化

Sn-Ag-Cu系合金においても、それぞれの構成元素の配合比によって機械的特性、はんだぬ(濡)れ性など基本物性が異なる。一般に三元共晶組成はSn-3.5Ag-0.7Cuで、その融点は217℃であると報告されている<sup>(2)</sup>。図2に、上

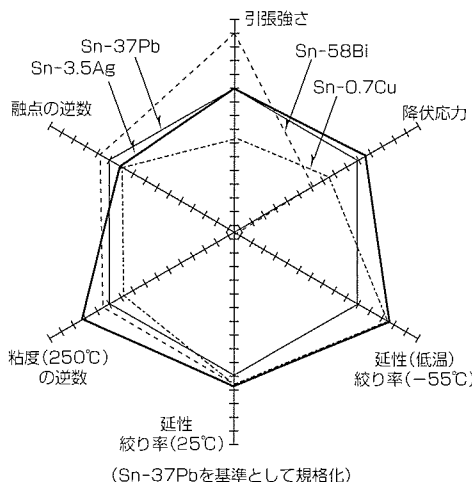


図1. 鉛はんだ代替合金の基本物性比較

記共晶組成近傍においてCu添加量を変化させた場合における融点の実測値(固相線：DSC，液相線：熱分析)を示す。固相線はCuを少しでも添加すると約217℃に低下し、更に添加量を増大させてもほとんど変化していないが、液相線は、共晶点と考えられる0.7%前後で最低値を示した後、Cu添加量が1%を超えると急しゅん(峻)に高温側になる。したがって、はんだ付性の観点から、Cu添加量は1%を超えない範囲にとどめるべきであり、被接合物である電極から溶解反応によって供給されるCu濃度の増加も勘案すれば、0.5%程度を選択するのが得策であると言える。

図3にAg添加量を変化させた場合の融点の変化と静的機械的特性を示す。Ag添加は、融点の低下には効果があり、3.5%の共晶点近傍が有力であると考えられるが、一方では延性の低下をもたらす。従来のSn-Pb共晶合金に匹敵する延性を確保しながら融点などはんだ付性に影響する特性などから総合的に判断し、Sn-3.0Ag-0.5Cuを選定した。

従来のSn-Pb共晶合金に対して36℃上昇する融点に関しては、新たに開発したリフロー炉診断システムによって加熱特性の最適化を図り、はんだ付ピーク温度を従来並み

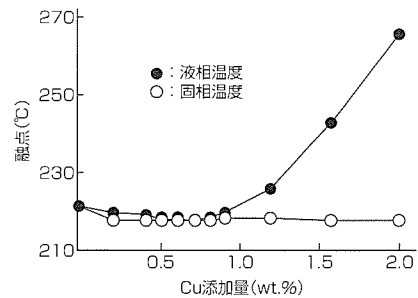


図2. Sn-3.5Ag-Cu系合金の融点

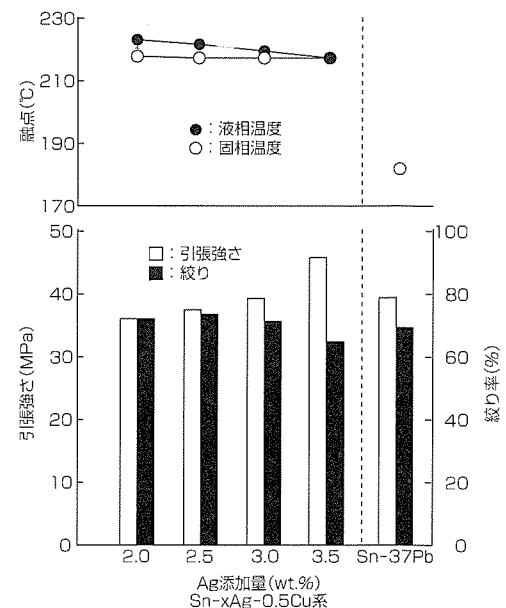


図3. Sn-Ag-Cu系合金の融点と機械的特性

に抑制することで克服した。

図4に上記Sn-Ag-Cu無鉛はんだ実装テスト基板の一例を示す。BGA, QFP, PLCCなどのパッケージ, 1005~7563サイズの角チップ, 電解コンデンサなど数種の面実装部品を搭載しているが, こうした多岐にわたる部品に対してもリフロー工法による実装が可能である。図5に, 温度サイクル試験(-40℃⇔125℃/1,000サイクル)後の0.4mmピッチ/120ピンQFPのリード接合部の断面を示す。接合部に劣化は見られず, 疲労寿命の点でも問題ないものと判断された。

### 3. フローはんだ付用無鉛はんだ材の開発

前述のSn-Ag-Cu無鉛はんだをフローはんだ付に用いたところ, 基板の種類によってはブリッジ不良が多発する傾向が見られた。そこで, はんだ切れ性を向上させる目的で, 第四元素としてBiを添加したSn-Ag-Cu-Bi系合金を検討した。

Bi添加の効果や問題点に関しては既に広く知られており, はんだ付性を改善できるメリットがある一方で, 延性の低下やフィレットリフティング現象を発生することが指摘されている<sup>(3)</sup>。そこで, Biの効果が見られる最低添加量と, 悪影響が出現し始める添加量を明確化することで, フローはんだ付に適した四元系はんだ合金を開発した。

#### 3.1 はんだ付性に対するBi添加効果

Bi添加効果を定量化するため, 小型の噴流はんだ槽を用いた実験用フローはんだ付装置を作製し, 1.27mmピッチ,

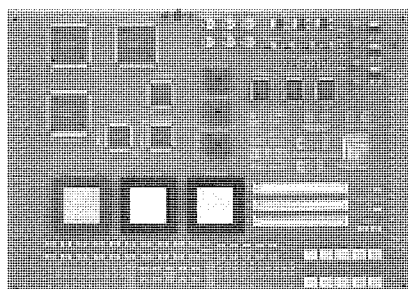
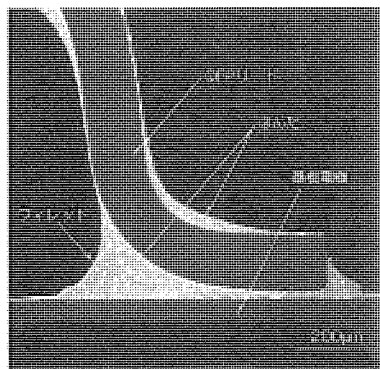


図4. テスト基板の外観



0.4mmピッチ/120ピンQFP  
(-40⇔125℃/1,000サイクル)

図5. 温度サイクル試験後のはんだ接合部断面

1mmピッチ/60ピンのコネクタを搭載したテスト基板を用いてブリッジの発生率を比較した。また, 連続操作を想定して, 一定時間はんだを噴流させた後のドロス(酸化物)発生量を測定した。その結果を図6に示す。図において○はドロス発生量, ■はブリッジ発生率を表し, Sn-2.5Ag-0.5CuにBiを0~2%の範囲で添加した場合について, Sn-3Ag-0.5Cu, Sn-37Pbと比較して示している。

測定結果から明らかなように, 0%Biの場合は, Ag濃度にかかわらず, ドロス発生量, ブリッジ発生率ともに高い値を示しているが, 0.3%Bi以上の範囲では急激に低減され, 従来のSn-37Pbに近い値が得られている。一方, ここで発生したブリッジの断面には, 図7に示すとおり, ドロスの存在が認められる。したがって, Bi添加によるブリッジ発生率低下はドロス発生が抑制されたことに起因するものと考えられる。わずかなBi添加量でも十分な効果が得られるのは, BiがSnよりも酸化されやすい(酸化物生成自由エネルギーが低い)<sup>(4)</sup>ため, 熔融はんだ表面においてBiが犠牲的に酸化して膜を形成し, はんだ内部への酸素の侵入を抑制してSnの酸化を遅らせるためではないかと推察される。

#### 3.2 Bi添加による機械的特性への影響

図8に上記で用いたはんだ材の絞り率(延性)を示す。0.5%のBi添加ではSn-Ag-Cu系や従来のSn-37Pbと同等以上の延性を示し優れた疲労特性が期待できるのに対し, 0.7%Bi以上の範囲では添加量の増加に従って延性が低下している。

この延性低下の原因を探るために行った0.5%Bi, 0.7%

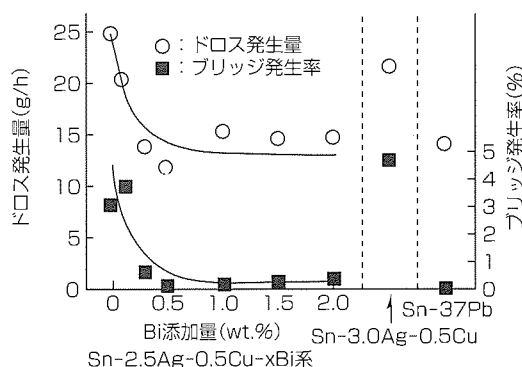


図6. フローはんだ付性に対するBi添加効果

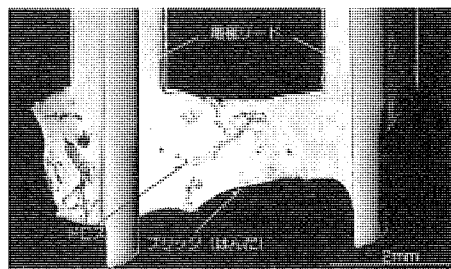


図7. ドロス起因ブリッジ部の断面

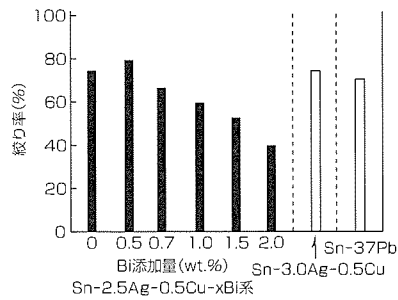


図8. 機械的特性に対するBi濃度の影響

Bi添加合金の結晶組織の走査電子顕微鏡による観察結果を図9に示す。0.5%Bi添加合金の場合は、Snマトリックス中に $Ag_3Sn$ と $Cu_6Sn_5$ 金属間化合物が晶出した組織を呈しており、BiはSn中に固溶しているものと判断できる。一方、0.7%Bi合金の場合は、上記同様の組織中にBi単独相が晶出していることが分かる。このBi単独相の晶出量はBi添加量の増大に従って増加していることから、延性の低下は、Bi晶出に起因するのではないかと推察される。

以上の結果より、はんだ付性を向上させかつ機械的特性に悪影響を与えないBi添加範囲は $0.3\% \leq Bi < 0.7\%$ であると言え、実用における合金組成の変動を勘案し、Sn-2.5Ag-0.5Cu-0.5Biが最適な組成比であることを見いだした。

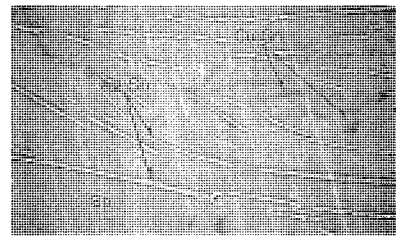
#### 4. 疲労寿命に対するBi添加の影響

当社では、基板実装用はんだ材の無鉛化を推進する一方で電子部品やプリント配線板も鉛を含まない製品への切替えを進めているが、現時点ではすべての部品供給メーカーの無鉛化への移行を望める状況ではなく、購入部品によっては電極からはんだ付部への鉛混入が不可避である。これを勘案し、鉛混入を前提としたはんだ継手の機械的信頼性の評価を実施した。図10に、温度サイクル試験における挿入実装リード部品の引き抜き強度の変化を示す。極端な例として鉛が3%(量産ラインで推定される年間混入量の3倍)混入した場合について評価したものであるが、2%Bi添加合金で顕著な強度低下が見られ、1%Bi合金の場合も強度低下の傾向が見られる。これに対して、当社が開発し開発したBi無添加のSn-Ag-Cu系と0.5%Bi添加合金ではこのような強度低下は起きず、従来のはんだと同等以上の特性を持っていることが証明された。

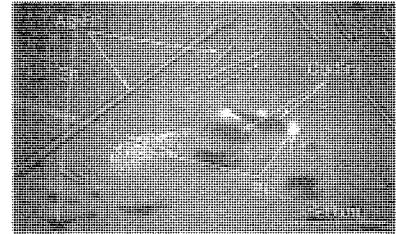
#### 5. む す び

以上のように、無鉛はんだ材としてSn-3Ag-0.5Cu合金を選定しリフロー工法を中心として採用するとともに、フローはんだ付においてはSn-2.5Ag-0.5Cu-0.5Bi合金を開発し適用することで従来の鉛含有はんだに近いはんだ付性と機械的信頼性を確保できた。

本稿では無鉛はんだ合金の開発を中心に紹介したが、は



(a) Sn-2.5Ag-0.5Cu-0.5Bi



(b) Sn-2.5Ag-0.5Cu-0.7Bi

図9. Sn-Ag-Cu-Bi系合金の結晶組織

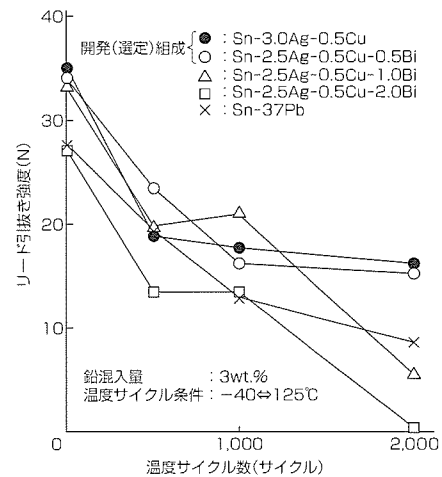


図10. 疲労寿命に対するBi濃度の影響

んだ付装置とプロセス面での開発成果と併せ、当社環境目標達成に向けて製品への適用を進めている。

#### 参考文献

- (1) 鉛フリーはんだ規格化のための研究開発プロジェクト成果報告発表会資料, (社)日本溶接協会, 176~179 (2000)
- (2) 鉛フリーはんだ規格化のための研究開発プロジェクト成果報告発表会資料, (社)日本溶接協会, 19~22 (2000)
- (3) 鉛フリーはんだ規格化のための研究開発プロジェクト成果報告発表会資料, (社)日本溶接協会, 135~138 (2000)
- (4) 竹本 正, 朱 淵俊, 西村哲郎, 大木政策, 藤本公三: 鉛フリーはんだのウエーブソルダリングにおけるドロス形成低減化, 第7回エレクトロニクスにおけるマイクロ接合・実装技術シンポジウム (Mate2001) 予稿集, (社)溶接学会マイクロ接合研究委員会, 491~496 (2001)

# 半導体配線工程の欠陥検査における実効感度向上

櫻井光一\*  
小野山 歩\*  
藤井達也\*

## 要 旨

半導体デバイスに対する光学画像比較式のパターン欠陥検査は、ウェーハプロセス中の不良発生工程の特定を行うための有力なツールであり、生産性向上のために各量産ラインで活用されている。

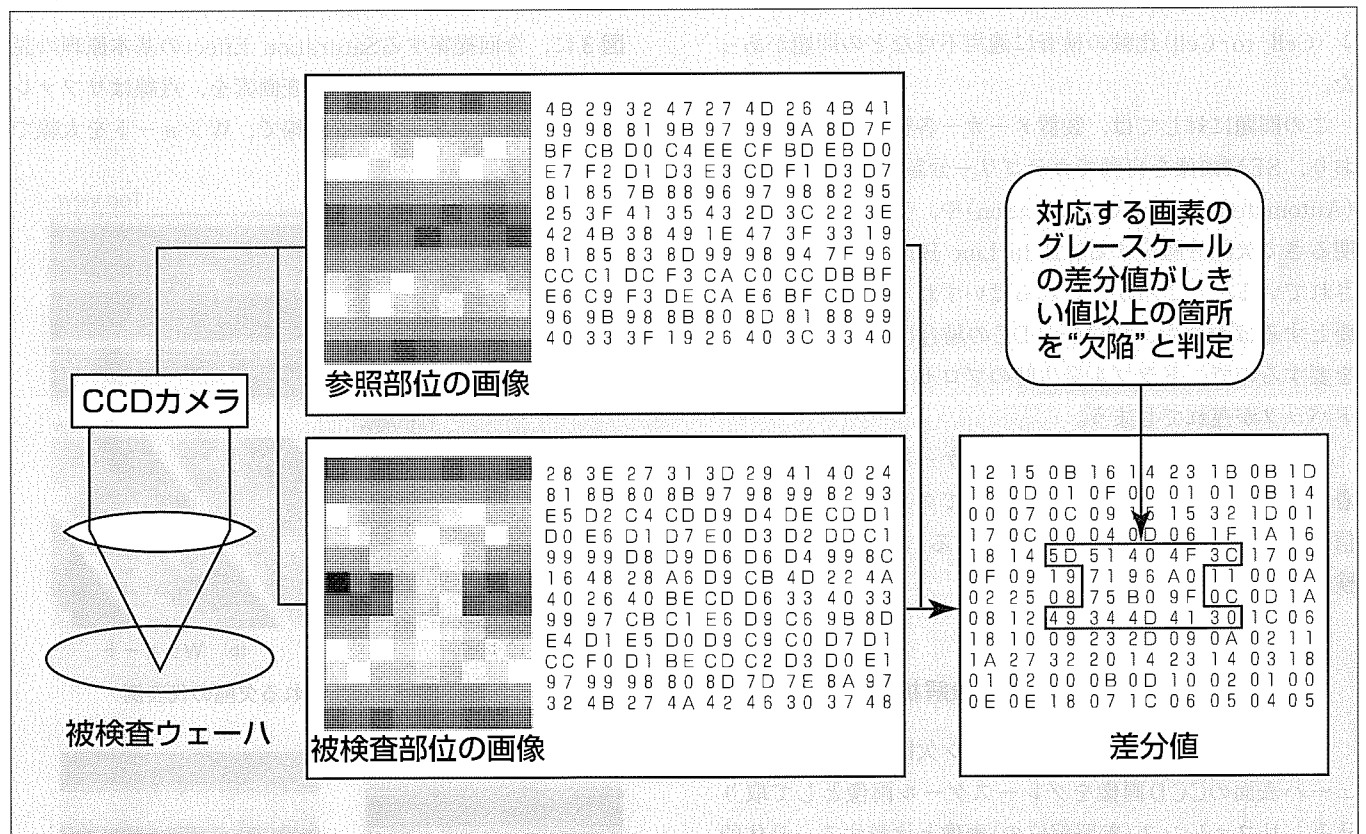
ところが、システムLSIのメタル配線で用いられるリフローAl-Cuなどに対するパターン欠陥検査の実効感度は、素子分離などの他工程に対する感度よりも低かった。その理由は、配線の結晶粒界面に析出するグレインを検査装置が欠陥と誤認識してしまうため、それらを検出しないように検査条件の感度設定を意図的に低く設定せざるを得なかったからである。

今回、この問題点に対し、A/D変換時のグレースケールの飽和現象(例えば分解能が8ビットの場合に上限の255

以上にはならない現象、“Saturation Effect”と命名)によってグレインを検出しにくくし、配線ショートなどの電氣的欠陥の検出感度向上を試みた。今回提案したこの方法は、従来方法と比較すると、高感度な繰り返しパターンでの検査での感度向上に適用できるなどの特長がある。

実験では、ウェーハ表面への照明強度を最適化することによって、実効検出限界を約0.8μmから約0.4μmに微細化できることを確認した。先端デバイス量産ラインでは、この手法の適用によって欠陥の検出率が飛躍的に向上し、新たに判明した問題工程に対策を講じることによって製品の品質向上を図ることができた。

本稿では、従来法の問題点、Saturation Effectの原理、実験結果などについて述べる。



## 光学画像比較式パターン欠陥検査の原理

ウェーハ表面の光学顕微鏡像をCCD等を用いて画像メモリに取り込む。その際、同一パターンの画像を参照画像として同時にメモリに記憶する。各画素はグレースケールにA/D変換される。上図に8ビット(255階調)変換の模式図を示す。同一箇所とみなされる画素間でグレースケール値の差を計算し、差の絶対値が設定しきい値以上の画素に対応するウェーハ上の部位を“欠陥”と認識する。この際、いかにして画像のゆらぎ等に起因する“擬似欠陥”を検出せず、かつ電氣的不良につながる“欠陥”を確実に検出するかが、品質管理上、重要となる。

### 1. ま え が き

半導体デバイスに対する光学式のパターン欠陥検査装置は、ウェーハプロセス途中で不良発生工程の特定を行うための有力なツールであり、各生産ラインで多用されている。一方、先端システムLSIにおいては、メタル配線の多層化が進んでおり、5層を超えるものも市販されるようになった。

ところが、多層配線で用いられるリフローAl-Cuなどのメタル配線に対する欠陥検査の感度は、素子分離などの他工程のそれと比較して低かった。その理由は、配線の結晶粒界に析出するグレインを検査装置が欠陥と誤認識してしまうためである。グレインは電氣的不良にならないため、検出されないことが望ましいので、検査の感度を意図的に低く設定せざるを得なかった。グレインを検出しないように感度設定した場合の検出欠陥最小径は約0.8 $\mu\text{m}$ であり、これは先端デバイスに対しては明らかに感度不足であった。仮に意図的に感度を高く設定すると画像ノイズである無数のグレインを検出してしまい、検査の意味がなくなってしまう場合が多かった。従来のパターン欠陥検査装置にも画像ノイズ低減のために平均化フィルタやその改良型が装備されているが、これらは、平均化による原理的な感度低下、チップ比較(Die-to-Die)よりも高感度な繰り返しパターン(Cell-to-Cell)比較の検査に適用不可などの問題があった。

この問題に対しては、装置メーカー各社も対策を講じており、SEM画像を自動でカテゴリー分類するSEM-ADC(Automated Defect Classification)や、光学欠陥検査時の明るさで欠陥分離をするILB(In Line Binning)などが提案されている。ところが、これらはいずれも多大な投資を必要とするばかりか、SEM-ADCの場合は欠陥分類に時間を要するので、トラブル発生時のプロセス装置へのフィードバックが遅れてしまう。

今回、この問題に対し、グレースケール値の飽和現象に着目した“Saturation Effect”によってグレインからの画像信号を減少させる(検出されにくくする)ことにより、実効検出感度の向上を試みた。

本稿ではこの内容について述べる。

### 2. 欠陥のCCD画像解析

一般的なウェーハの(外観)パターン欠陥検査装置は、ウェーハ表面のCCD画像をグレースケール画像として取り込み、リファレンス(参照部位の)画像と比較する。具体的には、各画素のグレースケール値の差分値を計算し、所定のしきい値以上の画素(Pixel)を欠陥として認識する。本稿では、この差分値を“欠陥信号”と呼ぶことにする<sup>(1)</sup>。

図1の(a)と(b)は、リフローAl-Cu配線におけるグレイ

ンとWショート欠陥のSEM写真の例である。W-Etch/Back プロセスではWショートは原理的に発生しやすい欠陥であるので、代表例として取り上げた。図(a)のSEM写真でも分かるようにグレインは配線上の微小な突起であり、この場合は結晶粒界に析出したCu粒子である。図2の(a)と(b)は、図1で示した同一箇所のCCD画像である。装置はKLA-Tencor社のKLA2135を用いた。画素の大きさは0.25 $\mu\text{m}$ 、配線ピッチ(メタル配線の中心から中心まで)は約2.4 $\mu\text{m}$ である。メタル配線に相当する画素は白く、配線のない酸化膜に相当する画素は黒く認識されている。50か所以上のグレインのCCD画像を観察したが、グレインに相当する画素のほとんど(95%以上)は灰色であった。

グレインに相当する画素と比較されるリファレンス画素は、グレインが必ず配線上に存在するため白い。したがって、グレインの場合は灰色と白を比較するために欠陥信号が大きくなり、検出されやすくなることが分かる。グレインが多数存在する(ノイズの多い)ような画像に対しては、一般的には平滑化フィルタが用いられる。今回も平滑化フィルタを試みたが、グレインからのノイズは低減できるが同時に実欠陥からの欠陥信号も減少してしまい、グレインと実欠陥を完全には分離できなかった。

### 3. Saturation Effect検査法の提案と適用実験

図3に、今回提案するSaturation Effectの基本原理の説明図を示す。図中、実線は被検査画素を、点線はリファレンス画素を示す。グレインを細線で、Wショートを太線で

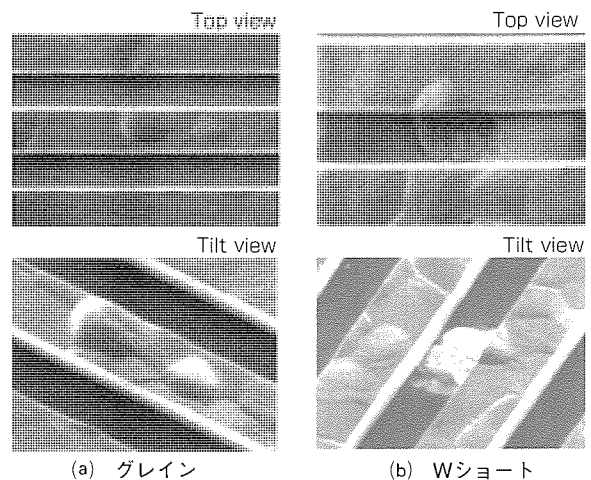


図1. 配線工程で検出される欠陥の代表例

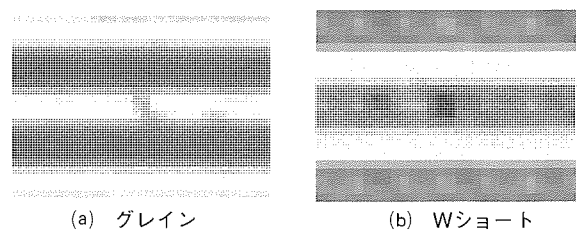


図2. 図1と同一箇所のCCD画像



示した。図中点線と実線の差(距離)を矢印で示したが、これらが欠陥信号となる。

装置に内蔵されている自動条件設定プログラムでは、ウェーハ表面への照明の強さは図中“A”の照明強度に設定される。図2の(a)と(b)はこの照明強度下のCCD画像である。これらの画像では、グレイン、Wショート共に灰色である。ここで照明強度を増大させると、画素のグレースケール値は直線的に増加する。照明強度が“B”になると、グレインのリファレンス画素が白になり、グレースケールの上限値に達する。グレースケールの分解能が8ビットである場合は255となる。これ以上照明強度を増大させても、当該画素のグレースケール値は増大しない。ここで更に照明強度を増大させ照明強度を“C”にすると、グレインの画素のグレースケール値も上限値に達し、欠陥信号はほぼ0になる。一方、Wショートの欠陥信号は、グレースケールの飽和現象がないので、初期状態とほぼ変化はない。したがってこの場合は、適切なしきい値を設定することでグレインとWショートは容易に分離できる。我々はこの効果をSaturation Effectと呼ぶことにする。

図4の(a)と(b)は、照明強度を増大した場合の図2の(a)と(b)と同一箇所のCCD画像である。図2(a)では灰色であったグレインが図4(a)ではほぼ白色になっているのが分かる。

図5に、照明強度を変化させたときの各画素のグレースケールの実測値を示す。照明強度は、装置による自動設定時の値を1とした相対値で示した。図中、グレインのリファレンス画素のグレースケール値(図中、白丸と点線で示した)が255で飽和していること、他の画素のそれらはほぼ

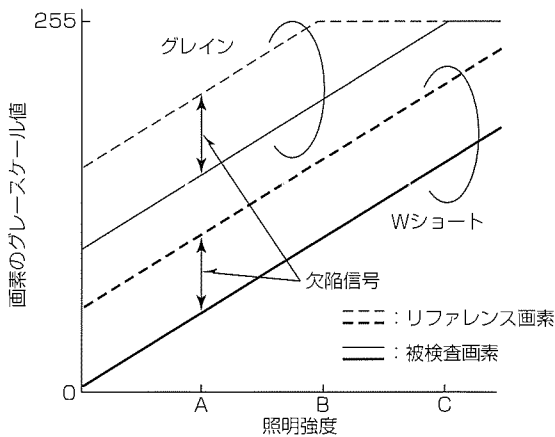


図3. Saturation Effectの基本原理解説明図

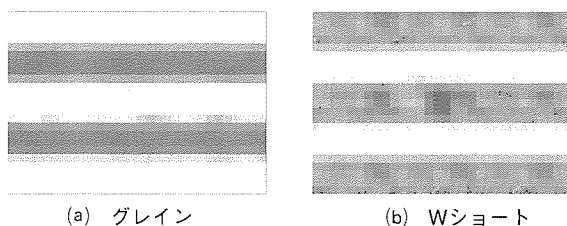


図4. 図2と同一箇所のCCD画像(照明強度大)

一様に増加していることが分かる。

図6は、図5で示した画素の欠陥信号の変化である。照明強度が初期設定(=1)の場合には、グレイン、Wショート共に欠陥信号がほぼ80であるので、同一のしきい値設定で両者を分離することは困難である。しかし、照明強度を増大することによってグレインの欠陥信号が減少するので、例えば照明強度が1.3のとき、しきい値を80に設定すれば両者を容易に分離でき、Wショートのみを検出可能なことが分かる。

メタル配線形成工程後のウェーハ上には、Wショートのほかにも様々な種類の電気的不良となる欠陥が存在する。我々は、種々の欠陥について、照明強度に対する欠陥信号の依存性の調査を行った。ここでは、代表例として、配線間異物とパターンブリッジのデータを紹介する。図7に欠陥のSEM写真と当該箇所CCD画像を示す。図8は照明強度による各欠陥の欠陥信号の変化である。

配線間異物の場合は、欠陥信号が照明強度とともに増大し、Wショートに似た傾向を示す。したがって、グレインとは容易に分離可能である。CCD画像に注目すると、Wショート、配線間異物、両者共に灰色の配線間に欠陥が存在し、欠陥が配線間の酸化膜部分よりも暗く認識されてい

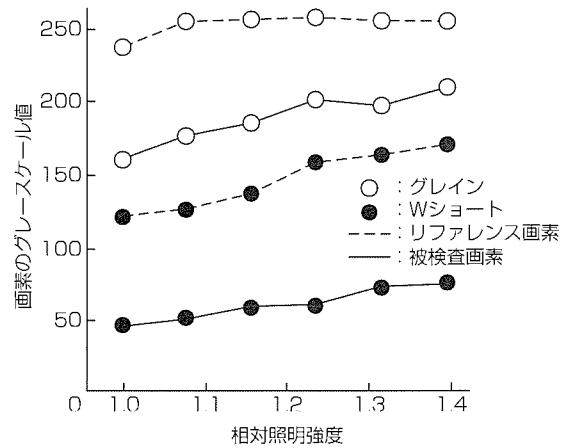


図5. 照明強度によるグレースケール値の変化

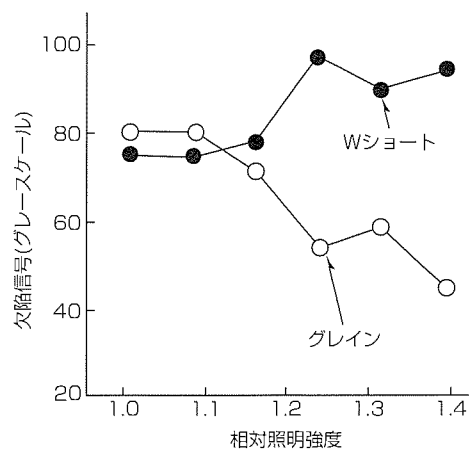


図6. 照明強度による各欠陥の欠陥信号の変化

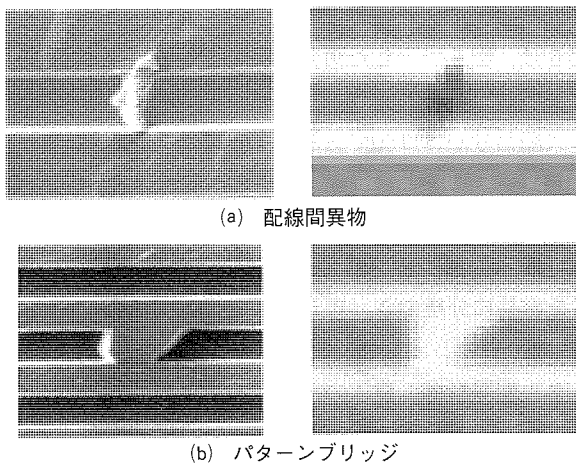


図7. 配線工程におけるその他の欠陥の例

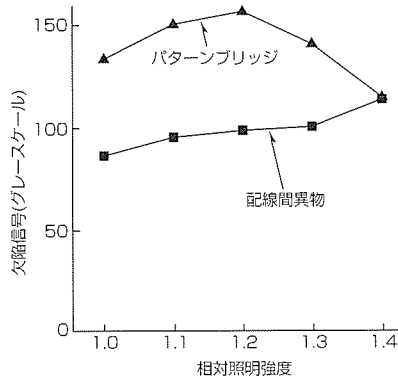


図8. 図7の欠陥における照明強度による欠陥信号の変化

る。これが似た傾向を示す原因であると考えられる。一方、パターンブリッジは、欠陥信号が照明強度に対して極大値を持つ傾向を示す。今回の実験では、照明強度が1.0から1.2のときは増加傾向を、1.2から1.4のときは減少傾向を示した。実験の結果、リファレンス画素(酸化膜部分)のグレースケール値は照明強度の増大につれて一様に増加するが、欠陥画素(AI)のグレースケール値が照明強度1.2で飽和してしまいうため、1.2以上では両者の差である欠陥信号は減少に転ずることが判明した。

照明条件最適化のために欠陥信号の不安定性を調査した結果、増加減少傾向は欠陥ごとにほぼ同じであり、絶対値のばらつきも欠陥信号の約2割以下であることを確認した<sup>(2)</sup>。

#### 4. ウェーハ全面検査での有効性の検証

前述のように、照明強度を変化させたときの各種欠陥の欠陥信号の絶対値とそのばらつきを評価し、グレインと実欠陥を安定に分離できるように照明強度を決定した。そして、Saturation Effectの有効性を、ウェーハ全面検査によって検証した。図9は、ある製品のウェーハに対する従来の検査レシピ作成方法(照明強度=1)による検査結果と、最適照明強度下での検査結果の比較である。両者共にグレインを検出しないようにしきい値を設定し、照明強度以外の検査条件は同一とした。

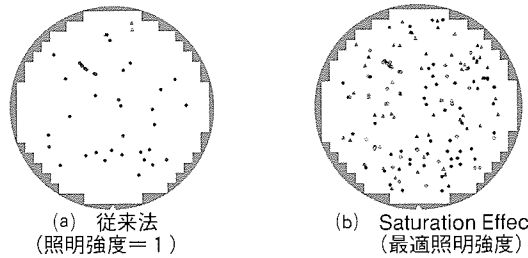


図9. 従来法とSaturation Effectによる方法とのウェーハ全面検査の比較例

検出した実(電氣的)欠陥の数は、従来法の場合は35個であったが、Saturation Effectを適用した場合は約4倍の143個に増加した。検出した欠陥で最小のもの直径は、従来法が約0.8 $\mu\text{m}$ であったのに対し、約0.4 $\mu\text{m}$ に微細化された。冒頭でも述べたが、照明条件の最適化をせずに0.4 $\mu\text{m}$ 級の欠陥を検出するために各種検査条件の最適化を試みたが、いずれの場合も1,000個以上のグレインを(誤)検出してしまいう結果であった。

#### 5. むすび

今回提案したSaturation EffectによってシステムLSIなどのメタル配線工程に対する実効感度を向上できることを明らかにした。従来法では実質的に0.5 $\mu\text{m}$ レベルの欠陥を検出できなかったが、今回の方法によってそれらの欠陥の検出率が飛躍的に増大した。この手法を量産ラインに適用し、判明した問題工程を対策することによって、製品の品質向上を図ることができた。

Saturation Effectは配線パターンが明瞭にCCD画像として認識されることが前提条件である。その理由は、グレインが明るい配線上に存在(CCD画像上で認識)することが必要条件だからである。したがって、LSIのデザインルールが微細化するにつれて、既存のパターン欠陥検査装置では空間分解能が不足し、今回の手法を適用することは困難になるであろう。しかし、その場合においても、より空間分解能の高い(例えば紫外光源を採用した)検査装置を用いれば、本稿と同様の効果が得られると考えられる。

#### 参考文献

- (1) Sakurai, K., Onoyama, A., Ishii, H., Oka, K., Yamanishi, K.: Capture Rate Enhance Method of 0.1  $\mu\text{m}$ -Level Defects by Pattern Matching Inspectors, IEEE Trans. Semicond. Manufact. **13**, No.4, 434 (2000)
- (2) Onoyama, A., Sakurai, K., Fujii, T., Oka, K., Yamanishi, K.: Solution of In-Line Inspection Problem for Grainy Metal Layers by Saturation Effect of Grayscale, Proc. of 9th Int'l Symp. on Semicond., Manufact(ISSM 2000), 203, Makuhari, Japan (2000)

# 先端LSI量産化スピードの向上

有本一郎\* 小林平治\*  
大西 寛\*\* 田村勝彦\*  
小澤英彦\*\*\*

## 要 旨

顧客が求める先端の高性能デバイスの必要量をタイムリーに供給するために、微細化技術によって実現できる高性能製品を既存生産ラインで製造することが求められる。既存ラインでの生産品種切換えでは、設備の入替えや改造、条件設定等のため、一時的に生産が低下する。そこで、顧客へ製品を安定して継続的に供給するために、いかに短時間で品種を切り換えるかがかぎ(鍵)となる。また、高品質を実現するためには、デバイスの微細化に伴ってより微小化する欠陥の発生を早く抑制することが非常に重要である。

そこで、0.25 $\mu\text{m}$ 製品を量産中であった三菱電機熊本工場の既存ラインを0.18 $\mu\text{m}$ 製品へ切り換えるに当たり、以下の施策を開発エンジニア、工場エンジニア、生産技術エンジニアの連携部隊で効率的に推進した。

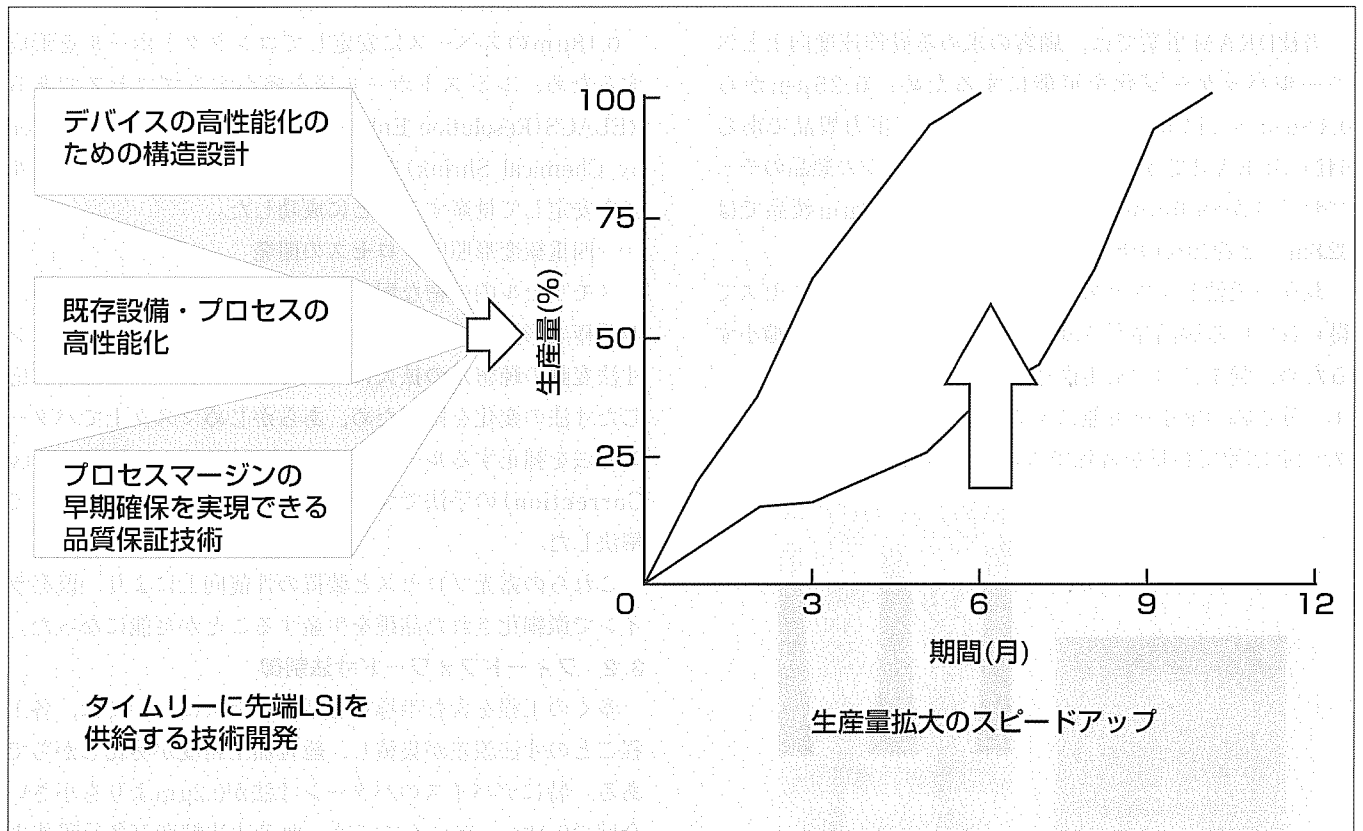
(1) 既存の生産設備を用いることを前提とし、トレンチ素子分離、セルフアラインコンタクト、円筒キャパシタとい

った新規構造の採用によってデバイスの性能を向上させた。

(2) 装置・材料・プロセスの改良、FAシステムを利用したフィードバック、フィードフォワードの活用によってプロセスと既存の製造設備を高性能化し、設備の入替えによる生産低下を抑制した。

(3) プロセス評価TEG(Test Element Group)を用いた0.1 $\mu\text{m}$ レベルの欠陥検出技術を導入し、インプロセスでの高精度な欠陥解析と初期流動管理を行うことによって早期にプロセスマージンの確保を行い、短期に品質向上を実現した。

このような既存ラインで生産を低下させることなく先端製品への切換えをスムーズに行う技術と体制を確立することにより、従来よりも3か月以上早期に生産拡大を実現し、顧客要求にこたえることができた。



## 生産量拡大のスピードアップ

デバイス構造設計における性能向上、プロセス・生産設備の高性能化、及びプロセスマージンの早期確保による品質保証を推進することにより、従来よりも3か月以上早期に、顧客の求める品質と数量を満足した生産を実現した。

## 1. ま え が き

顧客のデバイス高性能化への要求はますます強くなる一方、その高性能製品をタイムリーかつ高品質で、必要な量を安定して供給することが強く求められている。このような要求にこたえるためには、微細化によって性能が向上した製品を既存の生産ラインで迅速に生産することが求められる。

既存ラインにおける微細化品種の生産においては、通常、露光装置やエッチング装置などの微細加工用設備の入替えと既存装置の改造が必要となり、設備の入替え期間中は生産が大幅に低下するという問題がある。したがって、顧客へ製品を安定して継続的に供給するためには、いかに短期間で品種を切り換えるかが鍵となる。また、高品質を実現するためには、デバイスの微細化に伴って微小化する欠陥の発生をできるだけ早く抑制し、高い製品品質を上げることが極めて重要である。

本稿では、0.25 $\mu\text{m}$  DRAM製品を量産中であった熊本工場においてより高性能な0.18 $\mu\text{m}$  DRAM製品の量産に切り換えるに当たり“いいものを早く供給する”ために実施した内容を紹介する。

## 2. デバイスの高性能化

当社DRAM事業では、顧客の求める動作速度向上とモジュールパッケージ化を可能にするため、0.25 $\mu\text{m}$ から0.18 $\mu\text{m}$ へと微細化を行った。例えば、主力製品である64M SDRAMでは、前世代の0.25 $\mu\text{m}$ ルールの製品のチップサイズが89.0 $\text{mm}^2$ であるのに対して0.18 $\mu\text{m}$ 製品では32.8 $\text{mm}^2$ と約40%のチップサイズを実現した。

既存の設備とプロセスを最大限に活用し既存プロセスで得られている製品品質を維持しつつチップサイズを縮小するため、図1に示す新規構造を採用した。

- (1) 分離幅の縮小を可能にするトレンチ素子分離
- (2) SiON膜で容量を確保できる粗面円筒型キャパシタ

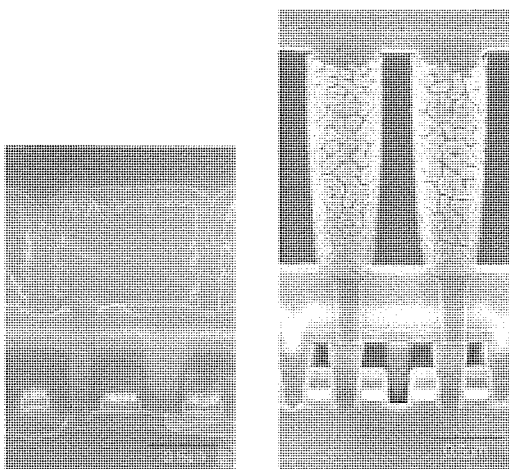


図1. 0.25 $\mu\text{m}$ 製品(左)と0.18 $\mu\text{m}$ 製品(右)の断面

- (3) 重ね合わせ寸法の誤差を許容するセルフアラインコンタクト
- (4) コンタクトホールのアスペクト比を小さくできる2段コンタクト

これらの構造を採用することにより、0.25 $\mu\text{m}$ 製品対応の大部分の製造設備をそのまま継続して使用できた。

## 3. 既存設備・プロセスの高性能化

デバイスの微細化において、寸法精度の向上は不可欠である。ここでは、寸法を決める露光プロセスと装置の性能向上と、FAシステムを活用したプロセスデータフィードフォワード、フィードバックによる寸法精度向上について述べる。

### 3.1 露光プロセス・装置の高性能化

露光プロセスと装置で以下の高性能化を行った。

- (1) レンズ収差の低減  
0.25 $\mu\text{m}$ 製品作製時の統計データを基に、露光装置メーカーの協力も得て、露光レンズの支配的な収差を抑制した。
- (2) 配線対応ネガトーンプロセスの開発  
寸法均一性の最も厳しいゲート工程対応で、露光機の収差による寸法変動の影響を受けにくいネガレジストを使用したネガトーンプロセスを開発した。
- (3) ホール径縮小プロセス“RELACS”の開発  
0.18 $\mu\text{m}$ のスペースに安定してコンタクトホールを形成するため、レジストホール径を縮小するプロセスであるRELACS(Resolution Enhancement Lithography Assisted by Chemical Shrink)を開発し、0.12 $\mu\text{m}$ のレジストホール径を安定して量産することに成功した。
- (4) 四重極変形照明プロセスの開発

メモリセル内の密な配線に対する焦点深度向上のため、四重極変形照明技術を開発した。変形照明によるパターン寸法変動の疎密差の拡大については、パターンの疎密に応じた寸法の変化を防ぐため、あらかじめマスク上でパターン寸法を補正するルールベースOPC(Optical Proximity Correction)の手法でマスク上の補正を行うことによって解決した。

これらの露光プロセスと装置の性能向上により、既存ラインで微細化された品種を生産することが可能になった。

### 3.2 フィードフォワード寸法制御

多くの工程を含む半導体製造プロセスにおいては、各工程ごとの寸法誤差が集積し、総合加工精度が劣化しがちである。特にデバイスのパターン寸法が0.2 $\mu\text{m}$ よりも小さい今回の0.18 $\mu\text{m}$ デバイスでは、要求寸法精度が各装置能力の限界に近づいている。そこで、0.18 $\mu\text{m}$ プロセスの導入に当たっては、このような誤差の集積を防ぐため、工程間のフィードフォワード制御を導入した。

トレンチ素子分離工程に適用した例を以下に示す。

具体的には、図2に示すトレンチ分離形成フローにおいて、CMP研磨後の残膜厚測定結果を基に、最終のウェットエッチング時のエッチング量を調整する方式を取り入れた。

図3に、フィードフォワード制御を導入した前後でトレンチ分離エッジに生じる段差のばらつきを比較した結果を示す。フィードフォワード制御を行うことで、段差量が従来の半分以下に抑制されていることが分かる。

この例のほか、リソグラフィ工程後のレジスト寸法に応じてエッチング時のオーバーエッチ量を変え仕上がり寸法を追い込む方法を導入した。また、重ね合わせずれ量と寸法の整合性を考慮しリソグラフィ工程の可否を自動的に判断する方法等も導入した。

#### 4. プロセスマージンの早期確保による品質保証

製品の電氣的テスト結果を待たずに高品質を確保しながら必要量の生産を行うため、インプロセス評価技術にも工夫を加えた。概要を以下に述べる。

##### (1) プロセス評価TEGの開発

デバイスの微細化に伴い、欠陥の要因の大きさは0.1μmレベルまで微小化してきた。この微小欠陥は現有の光学式欠陥検査装置では検出困難であり、ウェーハテストやアセ

ンプリ後のファイナルテストの結果を待たねばならない。このため、テスト結果を受けてプロセス改善を行う従来からの方法では長い開発期間を要する。そこで、この対策としてプロセス評価TEGの開発を行った。このTEGの評価・改善事例を図4に示す。TEG構造としてはビット線工程までを製品と同様の構造で形成する。次にメモリセルのトランスファゲートとビット線間に製品よりも高い電圧を印加し、この間に流れる電流を測定する。

試験電圧が高すぎると正常な素子が破壊されるため、注目すべき欠陥が検出できるように試験電圧を最適化する必要がある。これがこの技術の重要なポイントである。この評価手法により、セルフアライン型コンタクトホール形成プロセスの改善が短期間で実施でき、プロセスマージン向上が達成できた。

##### (2) 専用評価ウェーハによる光学検査感度の向上

従来から、プロセス変更時のプロセスマージンの確認のために、製品パターンで欠陥評価を行ってきた。しかし、製品パターンでは、下地パターンの反射率変動等によって検出感度が変動し、高感度化が困難である。この施策として、下地の反射率を検査装置対応に最適化した専用評価ウェーハを用いる方式を導入した<sup>11)</sup>。

一例として、この専用評価ウェーハ上で露光装置の露光量とフォーカスを変化させてばらつきの上下限を再現し、これを検査することにより、リソグラフィプロセスの高精度な評価が可能となった。

##### (3) 欠陥解析システムによる体系的な管理

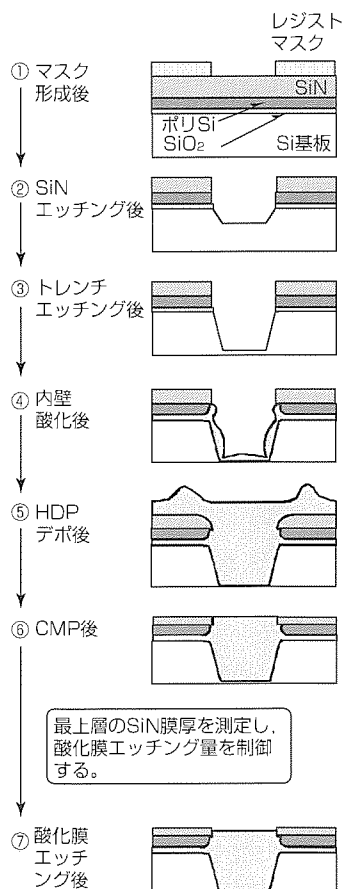


図2. トレンチ分離形成のプロセスフロー

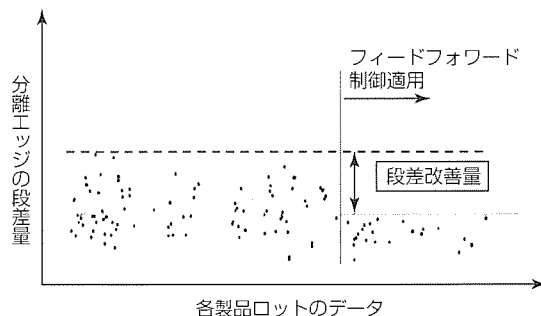


図3. フィードフォワード制御の導入前後のトレンチ分離段差のばらつき比較

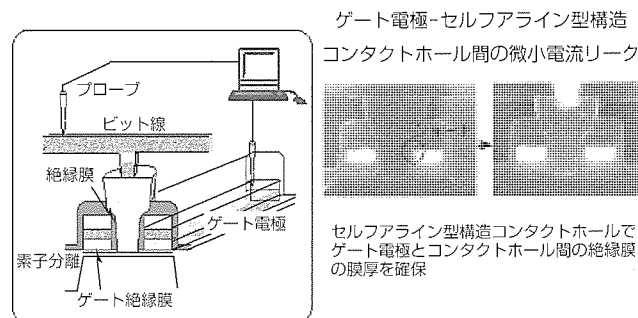


図4. セルフアライン構造コンタクトホールの評価手法

上述した新しい解析に加え、従来の欠陥管理システムも駆使し、迅速な生産量拡大における初期流動の管理を徹底し、不良発生を抑制した。図5にシステムの全体構成を示す。

各種インライン欠陥検査装置及び解析装置で検出された製品及び製造装置に関する欠陥マップ情報と、電気測定によって得られたメモリ部の不良ビットマップ情報を対応させ、さらにはFAシステムから得られる製品ロットごとの使用設備、レシピ、プロセスデータ等のログ情報を一括管理する。これにより、電氣的テストでの不良とインラインで測定された欠陥との相関を迅速に解析し、歩留りに影響のある欠陥の早期発見と発生原因解析が可能となった。

これらの欠陥解析結果を該当プロセスの改善と管理規格適正化へ迅速に反映させることにより、デバイスとしてのテスト結果を待たずに生産拡大が行えるようになった。

以上の施策を開発エンジニア、工場エンジニア、生産技術エンジニアの連携部隊で効率的に遂行することにより、既存ラインで生産を低下させることなく微細製品への切換えをスムーズに行うことを可能にし、従来よりも3か月以上早い生産拡大を実現し、顧客要求にこたえることができた。

### 5. む す び

顧客が求める先端の高性能デバイスの必要量を既存の生産ラインでタイムリーに生産するための技術開発を紹介した。すなわち、既存設備の使用を前提にしたデバイス構造の開発、プロセス・設備高性能化のための要素開発やFAシステムの活用、品質を早く保証するための0.1 $\mu$ m級欠陥検出技術の導入と欠陥解析システムの活用により、従来よりも3か月以上早い生産拡大を実現した。

これらの技術は、DRAMだけでなく、最先端のシステ

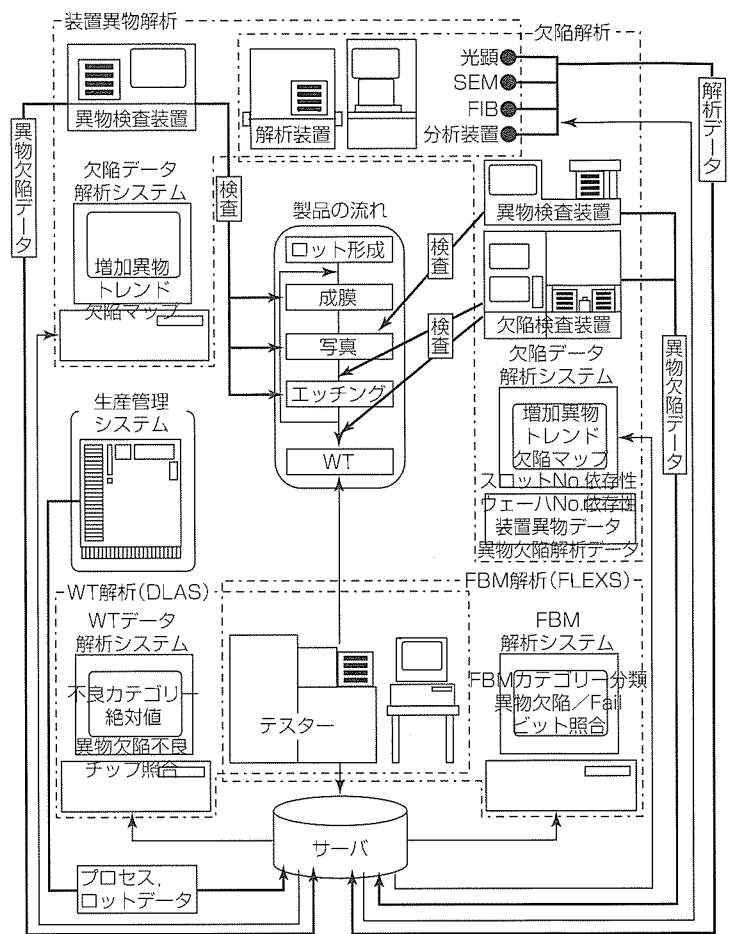


図5. 欠陥解析システムの全体構成

ムLSI量産にも適用されている。今後更に改良を加え、より迅速なデバイス立ち上げを行い、顧客のニーズにこたえていきたい。

### 参考文献

- (1) Sakurai, K., Onoyama, A., Ishii, H., Oka, K., Yamanishi, K.: IEEE Trans. Semiconduct. Manuf., **13**, 434~441 (2000)

# 電子デバイス製造装置の性能向上

織田昌雄\* 木之下儀美\*  
 村田貴則\* 吉田和夫\*  
 井坂久夫\*

## 要旨

半導体や液晶ディスプレイ(LCD)等の電子デバイス事業は代表的な装置産業であり、製造の安定性を保ち製品の高機能・高信頼性を作り込むためには、製造装置の信頼性確保及び性能向上が必ず(須)となっている。また近年では、設備投資の効率化はもとより、環境保全の観点から、既存の製造装置を資源とみなしそれらの有効活用を進めている。

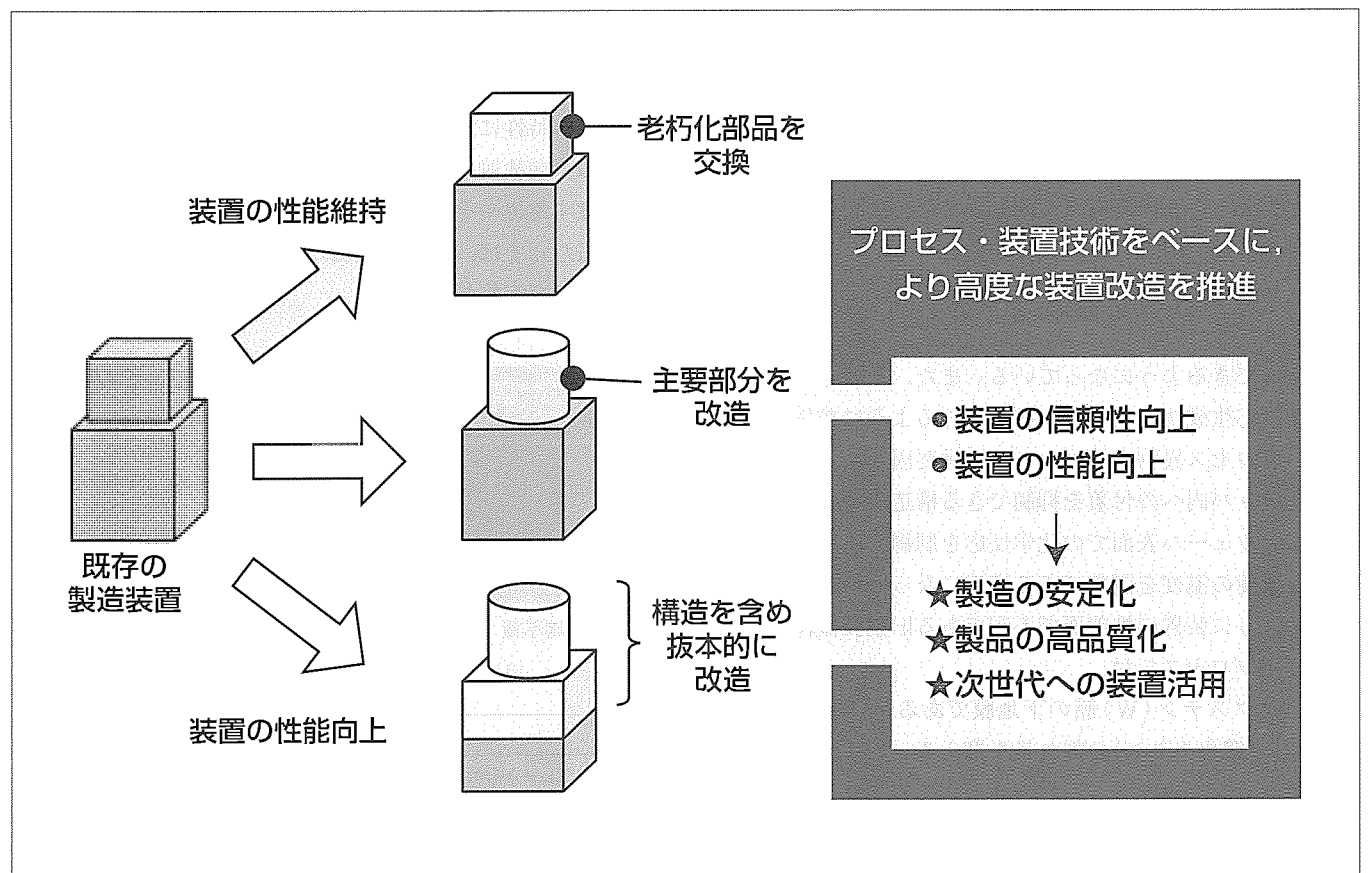
ここでは、三菱電機の半導体及びLCD製造工場において装置の信頼性確保と性能向上を実現した事例を紹介する。

まず、半導体デバイスの微細化によって適用困難となった旧型のポリシリコンエッチング装置に対してウェーハステージの低温化、高周波電源の高出力化、真空排気能力の強化等の改造を施し、新世代デバイス対応のタンゲステン

エッチバック装置として性能を一新させた例を示す。

次に、半導体デバイス製造工程において老朽化した常圧CVD(Chemical Vapor Deposition)装置に対して材料ガス供給部を新規開発した低温化構造とすることによって装置内で発生する異物を低減し、装置の信頼性の確保及び向上を行った例を示す。

最後に、大画面・高精細LCDのTFT(Thin Film Transistor)基板とカラーフィルタの張り合わせ精度に大きな影響を与える熱圧着装置に対して独自の構造を考案し抜本的改造を施すことにより、高い重ね合わせ精度を実現した例を紹介する。



## 装置の性能向上の形態とねらい

電子デバイス製造装置の性能向上を推進する中で、その形態とねらいを示したイメージ図である。装置の保全活動に加えて、プロセス・装置技術をベースに、より高度な装置改造に取り組んでいる。そのねらいは、装置の有効活用はもとより、製品の高品質化を追求することにある。

## 1. ま え が き

半導体や液晶ディスプレイ(LCD)等の電子デバイスは微細化やウェーハ及び基板の大型化が事業の当初から段階的に進展しており、その結果、製造装置もデバイスに合わせて多世代にわたるものとなっている。これら新旧多岐の装置に対して装置の信頼性と性能を維持向上するために、新規導入から廃却に至るまで各ライフサイクルに応じた装置改造を進めている。

ここでは、装置の一部改造による使用用途の変更と、信頼性確保の取組、装置の抜本的改造による性能向上の取組について事例を紹介する。

## 2. ポリシリコンエッチング装置の性能向上

デバイスの微細化によって適用が困難になってきた旧型のポリシリコンエッチング装置を、タングステンプラグを形成するプロセスの一つであるタングステンエッチバック(以下“W-E/B”という。)装置に改造した。

主に配線を形成するポリシリコンエッチングではデバイスの微細化に直結した高い加工精度が求められるのに対し、W-E/Bは、デバイス寸法に対する依存性が比較的低いため、新世代デバイスへの適用が可能となった。

改造装置は、ECR(Electron Cyclotron Resonance)プラズマエッチング装置で、マイクロ波によってプラズマを生成し、ステージ電極へRF(Radio Frequency)を印加することによってウェーハ表面へバイアスを発生させてエッチング処理する。この装置は、同じタイプの最新装置に対して三世代前(約10年前)の装置になる。

最新装置は、チャンバサイズが大きく、プロセスガスの導入形態が改善され、ウェーハ面積に対して均一なプラズマが生成できるようになっている。また、不要なエッチング種や反応生成物を効率良く排気できるように排気溝が大きく、プロセス異物やプロセスの変動要因となる反応生成物のチャンバ内への付着を抑制できる構造になっている。さらに、ウェーハ表面での化学反応を制御するために、ステージ電極の温度を調整できる構造になっている。

このように装置の性能面で不利である旧型装置に対して、W-E/Bプロセスでは、

- (1) タングステン(W)膜の下地膜であるバリアメタル膜(チタン/窒化チタン)の削れ量を抑える。
  - (2) エッチング後のウェーハ表面からのWプラグ表面までの凹み量(以下“Wリセス量”という。)を抑える。
  - (3) ウェーハ表面のW膜を確実に除去する。
- ことが求められる。

そこで、最新装置の長所を参考に、旧型装置に対して主に以下の改造を行った。

- (1)については、ステージ電極の温度を従来の室温からマ

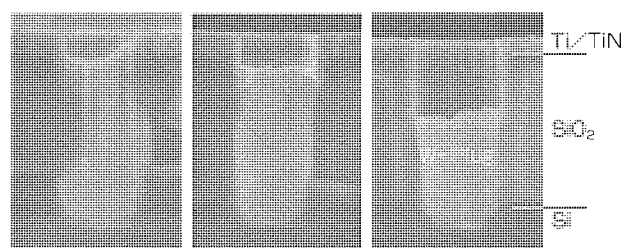
イナスの温度領域まで調整できる構造にした。その理由は、W膜除去後に露出する窒化チタン膜とW-E/Bで用いているF系のエッチング種との反応生成物であるふっ化チタンの蒸気圧がステージ電極の温度に対して強い依存性を持っているためである。この装置の仕様では、ステージ電極温度の設定値で $-10^{\circ}\text{C}$ 以上になると窒化チタン膜のエッチングレートが急激に上昇する。

(2)、(3)については、ウェーハ表面のW膜を均一に除去することが重要である。そこで、エッチングレートのウェーハ面内分布を制御しやすくするためにRF用電源の出力とアース電極形状の適正化を行うと同時に、放電の安定性を得るためにプロセスガスに不活性ガスを添加した。また、ウェーハ周辺部(排気側)で過剰になる不要なエッチング種や反応生成物の排気能力を向上させるため、排気溝面積の拡大や真空ポンプの排気能力の強化を行った。

以上を実施することにより、図1に示すような最新装置と同等のプロセス特性を得ることができた。

これらの装置改造に加え、処理を重ねて行ったときのプロセス変動を考慮したエッチングレートのウェーハ面内分布適正化、高エッチングレート化、高RF出力印加時の放電安定性の向上、及びプロセス異物の低減を行うことによって量産適用を実現した。

今回改造を施した装置では、旧型装置のため、装置メーカーでの事前評価ができなかった。そのため、求められるプロセス特性に対し、経験的な判断で様々な角度から装置仕様の事前検討を行った。また、プロセス特性に直接影響を及ぼす電極やその冷却構造を変更しているため、量産適用に当たっては、処理を重ねたときのプロセス変動についても評価を実施した。



(a) タングステンプラグ断面のSEM写真

	最新装置	旧型装置改造後	旧型装置改造前
エッチングレート(nm/min)	790	780	560
ウェーハ面内均一性(±%)	6	8	18
Wリセス量(nm)	190	220	480
バリアメタル膜削れ量(nm)	20	20	100
W残膜の有無	なし	なし	あり

(b) プロセス特性比較表

図1. 最新装置と旧型装置のプロセス特性比較



### 3. 常圧CVD装置の性能向上

常圧CVD装置は、常圧雰囲気の下で材料ガスを熱分解してウェーハ上に層間絶縁膜を形成する装置である。デバイスの微細化に伴いデバイスに欠陥をもたらす装置に起因するウェーハ上異物を低減するために、異物の発生メカニズムを明らかにした。これに基づき、材料ガス供給部の構造を新たに開発した。

対象装置は連続式常圧CVD装置と呼ばれるもので、導入後15年経過した老朽装置である。この装置のウェーハ処理の流れを次に示す。

- (1) ウェーハが収納カセットからトレイ上に移載される。
- (2) ベルト駆動によってトレイが材料ガス供給部のガスヘッドとヒーターの間を通過する。
- (3) トレイ上のウェーハは下部のヒーターによって300℃を超える膜形成温度にまで昇温される。
- (4) トレイ上のウェーハは温度が均一に保たれた領域を進み、ウェーハに向けてガスヘッドから材料ガスが供給される。
- (5) ウェーハ表面で材料ガスが熱分解反応を起こし、層間絶縁膜が形成される。
- (6) ウェーハはトレイから収納カセットに移載され、処理完了となる。

新旧ガスヘッドの構造比較を図2に示した。旧来のガスヘッドではウェーハに対向する部分に多量の反応生成物が付着しており、この反応生成物がウェーハ上に落下し異物となると推定した。

この異物の発生メカニズムを検証するために、ガスヘッドに付着した反応生成物とウェーハ上異物の形状及び組成をそれぞれ分析し、両者が同一のものであることを確認した。

またウェーハを処理する際のガスヘッド各部の温度測定を行い、ガスヘッドのウェーハに対向する部分の温度が220℃で、材料ガスが熱分解反応する温度に達しているこ

とを確認した。旧来のガスヘッドでは、ガスヘッドの上に水冷板を載せ置く冷却構造となっており、冷却効果が不十分であったと考えた。

そこで、異物源となる反応生成物の発生を抑えるため、ガスヘッドの温度を材料ガスの熱分解反応が起きない100℃以下に保つ構造の“低温化ガスヘッド”を開発した。

新しい構造では、①ガスヘッド内部に水冷管を貫通して配設する、②水冷管内部に高圧を加えて拡張することによってガスヘッドと水冷パイプを密着させることにより、冷却効果を高め、ガスヘッドの温度を低温化した。

対象装置が導入からかなりの年数を経過していたために、新規構造を設計する際に必要な旧来の設計図や部品・材料などの情報入手が不可能であった。また、対象装置は常時稼働状態にあり、部品を取り外しての調査も困難な状況にあった。そこで、廃却となる同型のスクラップ装置を入手し、これを分解して設計に必要な情報を得るようにした。

構造設計に際しては熱流体シミュレーションを行い、ガスヘッドの温度が100℃以下となるよう水冷パイプの形状及び配置などを適正化した。製作・適用した低温化ガスヘッドの温度は97℃で、反応生成物の発生抑制が可能となった。その結果、装置起因の異物数を旧来ヘッドに比べて1/4以下に大幅に低減することができた。

### 4. 熱圧着装置の性能向上

熱圧着装置は、LCD製造ラインにおいてTFT基板とカラーフィルタ(CF)基板を4μm以内の精度で位置決めし、加熱・加圧して熱硬化樹脂で張り合わせる装置である。

従来の装置では加圧板として2枚の薄いステンレス板を用いていた。具体的には、これらのステンレス板の間にTFT基板とCF基板を挟み、真空排気することによって大気圧との圧力差を用い基板間のシール材を加圧し、加熱硬化によって張り合わせる構造であった。このような構造では、2枚の基板を挟むステンレス薄板に徐々にしわが発生して変形するので、重ね合わせ時に2枚の基板間にずれが

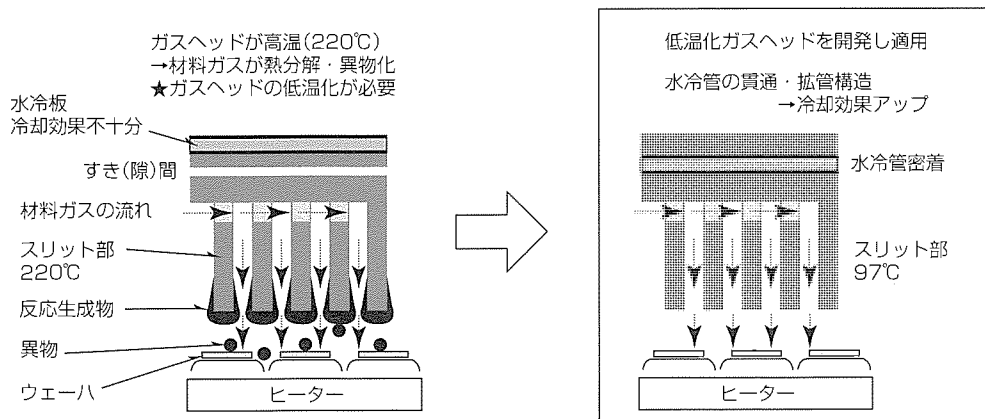


図2. 常圧CVD装置ガスヘッドの新旧構造比較

生じることにより、重ね合わせ精度が劣化した。このため、ステンレス薄板を1か月程度で交換する必要があり装置の稼働率が低いという問題があった。

そこで、高い重ね合わせ精度を長期間維持することをねらい、新規構造の熱圧着装置を開発した。図3に、開発した装置の構造を従来と対比しながら示す。また、開発した熱圧着装置の特長を以下に示す。

- (1) ガラス基板と熱膨張がほぼ等しい高剛性の下加圧板と、フレキシブルな上加圧板を用いている。上下の加圧板の剛性差、すなわち上加圧板は低剛性板であり基板に密着するので、2枚の基板間のギャップ均一性を確保できる。
- (2) 昇温・降温サイクルにおけるガラスと加圧板のずれを最小とするため、下加圧板として黒鉛を、上加圧板としてテフロンシートを選定した。下加圧板の黒鉛とガラス基板の線膨張率がほぼ等しく、加圧中の昇降温(約140℃～60℃)の際にも加圧板とガラス基板の間にずれが生じない。
- (3) 黒鉛板を多層構造とし中空の層間を熱伝導制御層にすることで、大寸法(600mm×700mm程度)の下加圧板全面の熱均一性を確保した。これにより、加熱中のガラス板の温度むらによる局所変形が抑制される。
- (4) 低硬度で削れやすい黒鉛は加圧板に適用不可という常識を破り、黒鉛表面にグラッシーカーボン膜をコーティングし、加圧板の長寿命化、発じん(塵)防止を実現した。
- (5) 下加圧板内部に加熱ヒーターを埋め込むとともに、冷却経路を内蔵することにより、加圧板の加熱・冷却時間を短縮した。

開発した装置の性能としては、位置決め精度3μm以内、加圧板の寿命として従来の10倍以上の寿命6か月以上を実現し、加圧板交換に伴うメンテナンス時間を大幅に短縮できた。また、加圧板の加熱・冷却時間短縮によるタクト時間の短縮(66秒→50秒)も達成した。これらの改造による稼働率アップ、タクト時間短縮、メンテナンス時間短縮などにより、装置能力は約2.4倍となり大幅な投資削減を達成

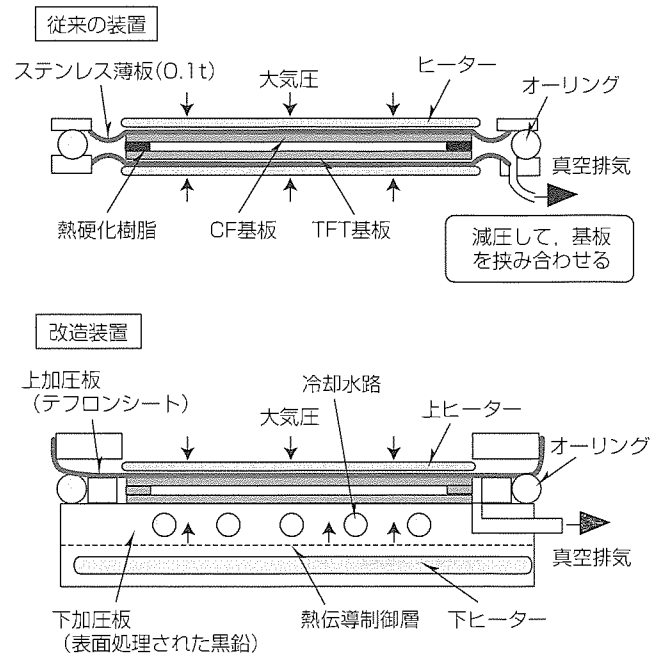


図3. 熱圧着装置の新旧構造比較

した。

また、ネック工程であった熱圧着装置能力の増大により、ライン生産能力拡大が可能となった。

今後、LCDの大画面化・高精細化の進展に伴い、重ね合わせ精度向上が必須であり、高い重ね合わせ精度が得られるこの技術の重要性が高まるものと考えられる。

## 5. む す び

電子デバイス製造装置の性能向上を目的とした改造事例を紹介した。デバイスの微細化は日々進展しており、製造装置に対してもより高度な性能と信頼性が要求されている。適切なタイミングで装置の改造を実施して装置の性能維持と向上に努めることが一層重要性を増すものと考えられる。

# エアコン用圧縮機モータの 省エネルギー・高効率化

秋田裕之\* 川口 仁\*\*\*  
平井義典\*\*  
川口 進\*\*

## 要 旨

近年、地球環境と資源枯渇の問題が世界的に取り上げられ、省エネルギーへの関心が高まっており、各方面で省エネルギー・高効率化に関連した研究開発が活発に実施されている。

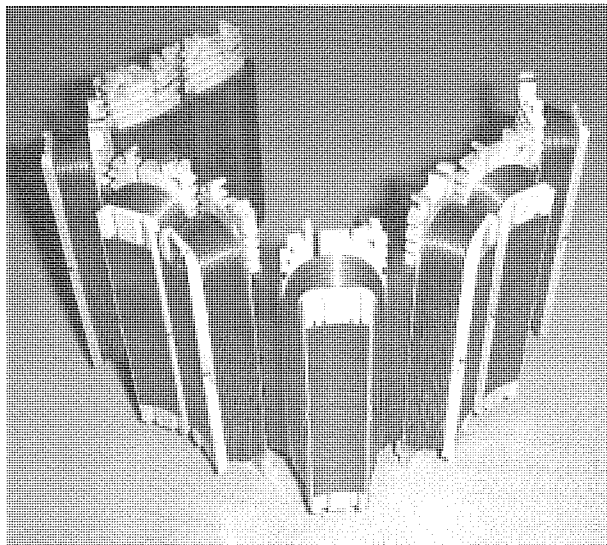
国内では、1999年に省エネルギー法が改正され、消費電力の大きい特定家電機器にトップランナー方式による改善規定が定められた。ルームエアコンは、家庭で使用される電力の2割以上を消費することから、消費者ニーズも併せ省エネルギー化に最も注力すべき製品と言える。

三菱電機では、'95年に通称“ポキポキモータ”（平成9年度大河内記念賞受賞）によってステータコイルの高密度化を容易に達成できる方式を確立し、情報機器、FA機器、車載機器、家電機器モータの高性能化と生産性向上に寄与してきた。

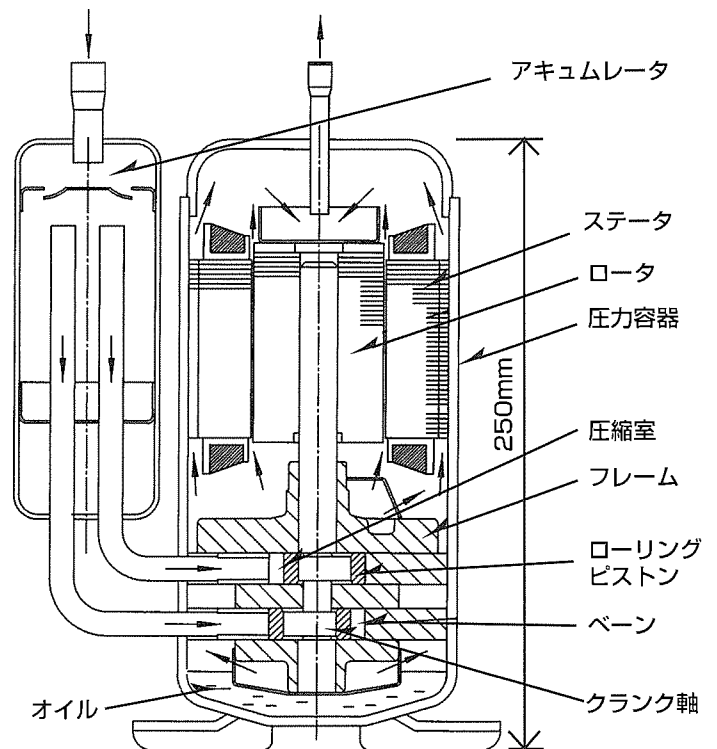
今回、省エネルギー・高効率性において業界一となる圧縮機モータを開発するに当たり、9スロットの集中巻きステータと6極の両円弧形の永久磁石を鉄心に埋め込んだロータを特長とするブラシレスDCモータを基本構造とした。

ステータのコイル抵抗を減らせばコイル発熱による銅損が低減しモータ効率を向上できる。そのためには、スロット内のコイル占積率を極限まで増やす必要がある。当社では、新型の分割鉄心である“関節型ポキポキ鉄心”と逆反り姿勢による巻線方法を開発し、整列巻きの実現から従来比約50%の銅損低減効果を得ることができた。

この圧縮機モータは、当社の従来モデルに比べて約2～5%の効率向上となり、高出力運転時では最大効率96%を達成している。2001年モデルの“霧が峰”エアコンSFX、AXシリーズに搭載され、市場で好評を得ている。



巻線後のステータ(逆反り姿勢)



圧縮機の断面構造

## エアコン用圧縮機モータ

圧縮機の外郭には圧力容器があり、その容器内にステータとロータと圧縮室が一体に配置されている。冷媒(R410A)は、気化した状態でアキュムレータに戻り、圧縮室で最大圧力4MPa、120℃の状態に昇圧され、モータ内部を通り、容器上部から熱交換器に流れる。最近、圧縮機の高効率化が強く求められ、従来の誘導モータからブラシレスDCモータに主流が移行している。

## 1. ま え が き

最近、地球環境保護やエネルギー対策が重要視され、一般消費者の省エネルギー機器への関心は高い。ルームエアコンは、家庭内の使用電力の2割以上を占め、電力消費量の最も大きい家電製品である。

三菱電機では、1995年にステータの巻線に着目した生産設計から通称“ポキポキモータ”と呼ぶ独自のステータ構造を開発し、情報機器・FA機器・家電機器・自動車機器用モータの高性能・軽薄短小化を進めている。

本稿では、ルームエアコンの電力の大半を消費する圧縮機モータについて、新たに通称“関節型ポキポキ”と呼ぶステータ構造を開発し、業界一(2000年10月時点)の省エネルギー・高効率化を実現した経緯を述べる。

## 2. 圧縮機モータ

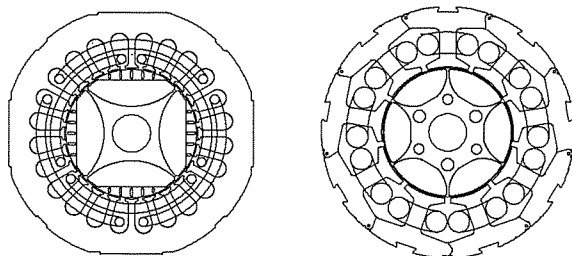
### 2.1 モータの基本構造

現在、圧縮機モータは、高効率を特長とするブラシレスDCモータが主流であり、さらに、磁石をロータ鉄心に埋め込む構造として磁力アップと組立性改善が図られている。

図1に、当社における従来のモータと新型モータの構造を比較して示す。従来のモータは、'98年に採用されたブラシレスDCモータで、4極24スロットの分布巻きステータと4枚のD形状のフェライト磁石をロータに配置している。一方、新型モータは、従来の構造を一新して、6極9スロットの集中巻きステータと6枚の両円弧形状のフェライト磁石をロータに配置している。集中巻きステータは、分布巻きステータに比べて磁束密度が部分的に大きくなり、鉄損が増加する傾向にある。新型モータでは、ロータ磁極の極数を4極から6極に多極化して磁束密度の分散を図り、鉄損増加を抑制している。

### 2.2 一体型鉄心及び分割鉄心への巻線

従来の一体型鉄心に集中巻きを施している状態を図2に示す。コイル線をノズルから引き出しながら磁極の歯周りにノズルを周回させて巻線していた。一体型鉄心の狭あい(隘)な内径側からの巻線作業であるため、スロット内のコイルを高密度に配置できなかった。また、スロット数が増



(a) 従来のモータ (b) 新型モータ

図1. 圧縮機モータの構造

えるに従い、ノズルの通り道となるデッドスペースの比率が増え、コイル密度の低いステータとなっていた。その解決策の一つとして鉄心をばらばらに分割する手法があるが、ばらばらに分割すると部品点数が増え、コイルとコイルの渡り線が分断されるために、後工程での接合個所が増えるなど、生産上の問題があった。

これに対し、当社独自の分割鉄心として図3に示す薄肉部で連結され直線状に展開されたポキポキ鉄心がある。直線状に展開することで巻線スペースが確保され、コイル密度を向上できる上、コイル間の渡り線を切らずに連続巻きできることから、信頼性・生産性とも優れた構造と言える。しかし、コイル線の線径が大きくなるに従い、ノズル出口の曲率を大きくすることが整列巻きにとって有利であることから、さらに展開角度を増やすことが望まれていた。

## 3. 関節型ポキポキ鉄心への整列巻線

### 3.1 関節型ポキポキ鉄心

直線状ポキポキ鉄心をさらに展開し巻線時に磁極の歯周りでフリースペースを得るには、図4に示すように、磁極の歯ごとに自由に屈曲できる構造が必要となる。そこで、屈曲自在の関節部を持つ関節型ポキポキ鉄心を考案した。関節部の拡大写真を図5に示す。連結部の鉄心材が1枚ごとにラップされており、さらに、ラップ部位の回転中心に凹凸のダボが1枚ごとに形成されており、それらが積み重なってちょう(蝶)番のように振る舞うものである。

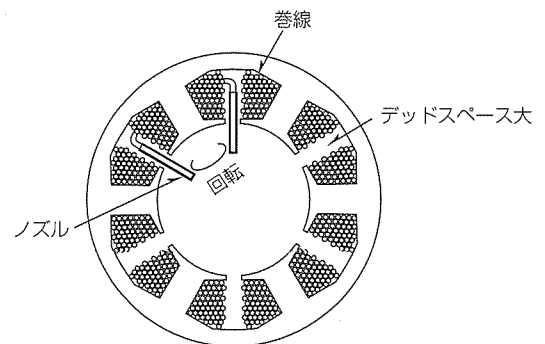


図2. 一体型鉄心への巻線

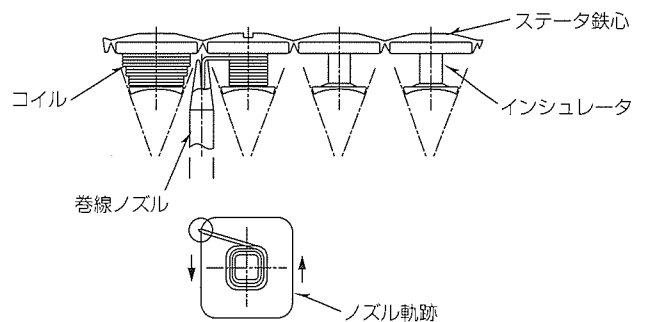


図3. 直線状ポキポキ鉄心への巻線

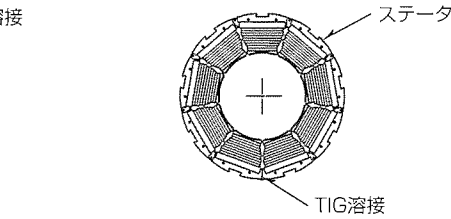
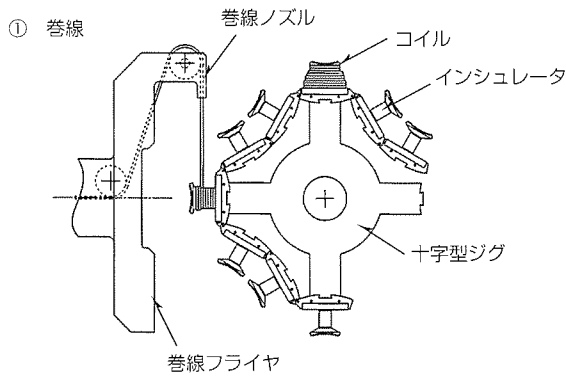


図4. 関節型ボキボキ鉄心への逆反り巻線

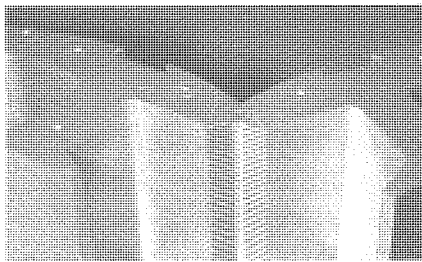


図5. 関節部の拡大写真

この鉄心は、順送金型内で従来の一体型鉄心と同様の打ち抜き速度で積層される。図6にラップ部位のギャップ形成法を示す。コアバックとスロット部に穴を打ち抜き、次にそれら穴の間を斜め形状のパンチで切れ目を入れ、再びギャップ部をは(嵌)め合わせるものである。図7は順送鉄心金型のレイアウトである。図中④⑤はラップ部位のギャップ形成の工程であり、④と⑤はギャップの形状が左右勝手違いであるため、④⑤を間欠動作とすることで鉄心材が一枚ごとにラップされる。

### 3.2 整列巻線

関節型ボキボキ鉄心への巻線では、関節部を屈曲して逆反り姿勢にすることで、磁極の歯周りに円運動する巻線フライヤが使用され、巻線フライヤ先端のローラでコイル線の方向が転換される。そのため、コイル線のひずみが減り、巻線精度が向上する。

新型モータの断面を図8に示す。ステータのコイルは俵積み状態であり、スロット内のコイル占積率(角計算法)を計算すると、従来のモータの75%に対し、新型モータは95%を実現している。

一方、高速整列巻線を実現するには、巻線装置の動剛性と高速制御性が不可欠である。例えば、秒速15ターンの巻

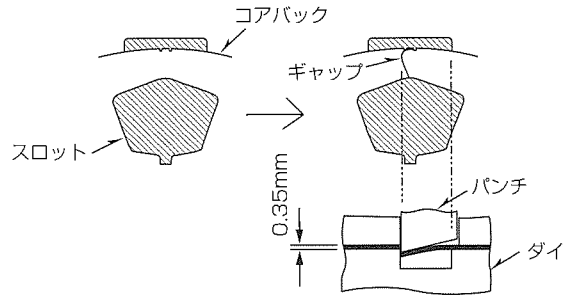


図6. 鉄心材のギャップ形成法

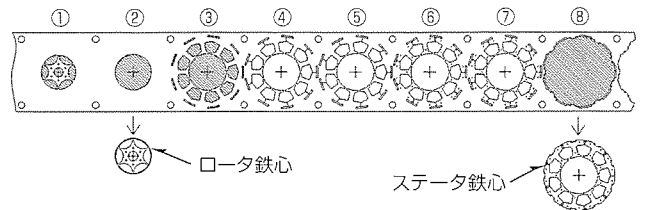


図7. 順送鉄心金型のレイアウト

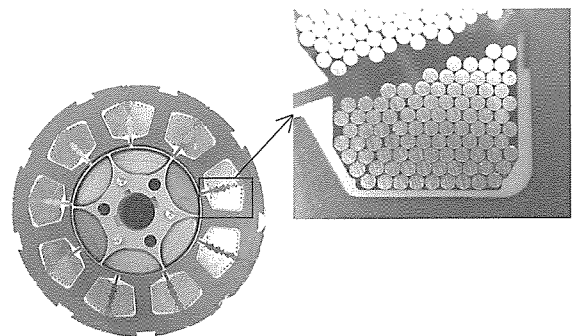


図8. 新型モータの断面

線を行う場合に、巻線フライヤが1/4回転する0.017秒の間にコイル線の1ピッチ分の送りを完了する必要がある。その際には、巻線フライヤの送り軸に $39.2\text{m/s}^2$ 以上の加速度が求められる。また、インシュレータの幅寸法がコイル線の外径の整数倍でない場合においても俵積み崩れないようにプログラミングされている。

## 4. モータ特性

図9は、従来のモータと新型モータのステータの外観である。新型モータのステータは、従来のモータに比べてコイルエンドの高さが低く抑えられていることが分かる。すなわち、整列巻きが実現したことで、コイル占積率が向上しただけでなく、コイル周長が短縮されたと言える。

モータの効率を高めるには、コイルからの無駄な発熱となる銅損を低減することが有効策であり、コイル抵抗を減らすために、コイル周長を短く、コイル線の線径をコイル占積率が許す限り大きくすべきである。新型モータでは、従

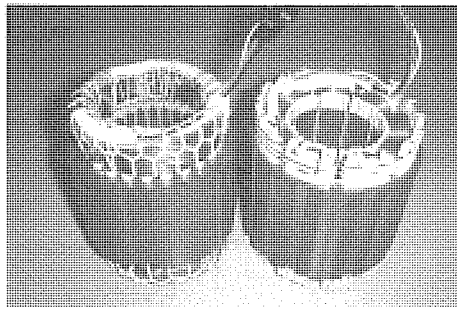


図9. スタータ完成品 (左：従来, 右：新型)

来のモータに比べて約50%の銅損低減を得ている。

図10は、モータ出力とモータ効率の関係を新型モータと従来のモータとで比較した図である。新型モータの場合、冷房軽負荷条件(0.2kW)では約5%, 冷房定格条件(0.6kW)では約3%, 最大出力を必要とする暖房低外気条件(1.2kW)では約2%の効果改善が得られた。また、新型モータの最大効率は、2000年10月時点で、業界トップの96%を達成することができた。

### 5. む す び

ポキポキモータは、“モータは丸いスタータから作る”という固定観念を作りやすさの観点から見直し、展開した鉄心に巻線してから丸くするという基本概念を持っている。

本稿では、さらに展開角度を広げた関節型ポキポキ鉄心を考案し、整列巻線技術を開発することで、コイル密度を極限まで高くし、圧縮機モータの省エネルギー・高効率化を達成したことを述べた。

2001年モデルの“霧が峰”エアコンSFX, AXシリーズに搭載された圧縮機を始め、今後、ポキポキモータは、三菱

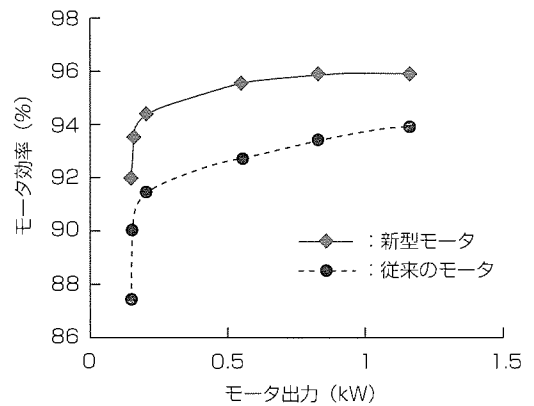


図10. モータ効率

電機モータの高効率化、高性能化、軽薄短小化に寄与し、環境の改善に貢献できるものと考えている。

### 参 考 文 献

- (1) 中原裕治, 秋田裕之, 三宅展明, 川口 仁, 川口 進, 花崎伸作: 分割鉄心による中小型モータ製造技術に関する研究, 精密工学会誌, 67, No.3, 456~460 (2001)
- (2) 馬場和彦, 及川智明, 秋田裕之, 米谷晴之, 川口 仁: ブラシレスDCモータの高性能化検討, 電気学会回転機研究会資料, RM-00-141 (2000)
- (3) 池田洋一, 中原裕治, 伊藤浩美, 斉藤直文: 新形汎用ACサーボモータの生産技術, 三菱電機技報, 72, No.4, 303~306 (1998)
- (4) 中原裕治, 五十榎秀三, 三宅俊彦: ポキポキモータの車載機への応用, 三菱電機技報, 74, No.9, 579~582 (2000)

# 低欠陥溶湯鍛造による スピンドルモータの高速化

伊田英紀\* 八木元啓\*\*  
前川滋樹\* 山下幹生\*\*\*  
川島和之\*\*

## 要旨

NC工作機械システム(マシニングセンタ)では、加工の高能率化を図るため、送り機構の高速化とともにスピンドルの高速化が進められている。スピンドルの高速化は、高速回転時の遠心力に耐え得る高強度モータ用ロータの開発と非接触軸受(磁気軸受)の開発が技術課題となる。

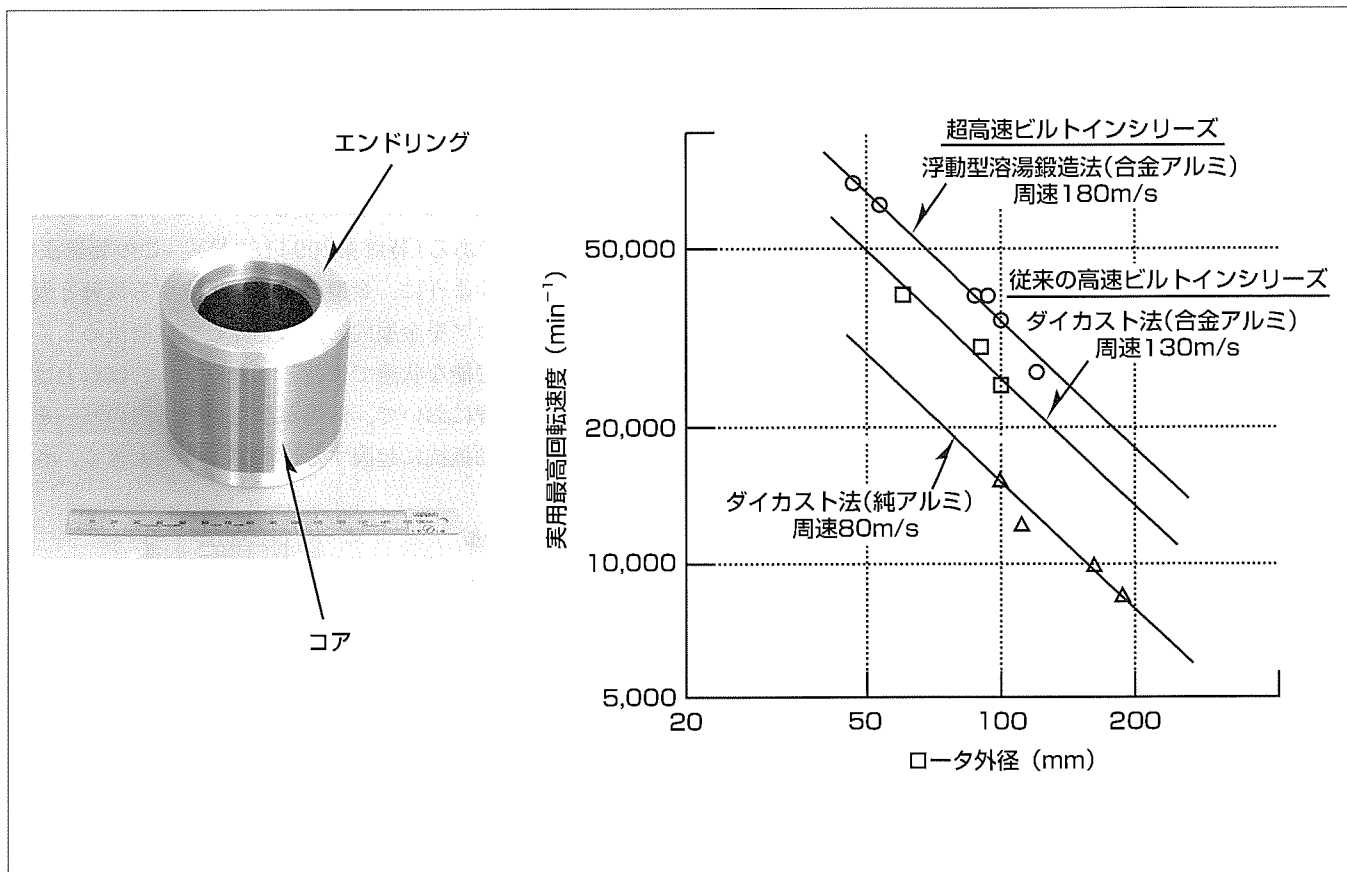
本稿では、ロータの高速化(高強度化)について述べる。

従来の工作機械用スピンドルモータ用ロータは、積層したけい素鋼板のスロット部に形成されるバーと両端のエンドリングをアルミダイカスト法で一体成形している。しかし、ダイカスト法では、凝固時の体積収縮による欠陥(引け巣)や金型内に溶湯を高速充てん(填)するため、ガスの巻き込みによる欠陥(ブローホール)等の铸造欠陥が発生し

やすく、その結果、導体アルミの材料強度が低下し、ロータ外径周速は130m/s程度が実用上の限界であった。

そこで、成形プロセスとして独自の浮動型構造による溶湯鍛造法を開発することによってエンドリング部の引け巣とブローホールの発生を抑制し、従来比1.4倍の周速180m/sの高速化を実現した。また、高周波超音波探傷子を用いた非破壊検査プロセスを適用し、反射エコーから欠陥寸法と欠陥の種類まで評価できるシステムを構築することによって高い信頼性を確保した。

このロータを適用したスピンドルモータは、金型やスクロール圧縮機部品等を加工するNC工作機械に搭載され、加工の高能率化・高精度化に寄与している。



## 超高速ビルトインスピンドルモータ用ロータ

浮動型溶湯鍛造法を適用した超高速ビルトインシリーズのロータの外観を左図に示す。また右図にはロータ外径と実用最高回転速度の関係を示す。浮動型溶湯鍛造プロセスの適用で導体部を形成するアルミ材の強度が向上し、いずれの機種も従来よりロータの内外径を大きくすることが可能となった。これにより、内径(ロータ軸径)で20~30%アップし、さらにコア幅も短縮して高剛性スピンドルを実現した。

1. ま え が き

NC工作機械システム(マシニングセンタ)では、高能率化のため、スピンドル駆動用モータの高速化が図られている。スピンドルモータの高速化では、高速回転時の遠心力に耐え得る高強度モータ用ロータの開発と非接触軸受(磁気軸受)の開発が技術課題となる。

本稿では、スピンドルモータ用ロータの高速化(高強度化)について述べる。

マシニングセンタの高速化を実現するためには、スピンドルの固有振動数を高める必要がある。ロータ内径(スピンドル軸外径)の大口径化が望まれる。その結果、ロータ外径周速が高まり、遠心力に耐え得るロータの機械的強度の確保が技術課題となる。そこで、以下のような製造・検査プロセスを開発することにより、外径周速180m/s(従来比1.4倍)の超高速ビルトインスピンドルモータのシリーズを製品化した。

- 浮動型溶湯鍛造法による低欠陥ロータ製造プロセス
- 反射エコーと欠陥サイズ・種類との関係をデータベース化した微細欠陥超音波非破壊検査プロセス

2. 超高速スピンドル駆動用ビルトインモータのロータの開発

2.1 従来のダイカスト法によるロータ製造プロセス

スピンドルモータ用ロータに用いられるかご型ロータの構造を図1に示す。かご型ロータの導体は、けい素銅板を積層したコアに形成される細い多数のバーを両端のエンドリングで短絡した形状である(図中(b))。従来、導体の成形にはアルミダイカスト法を採用しており、一方のエンド

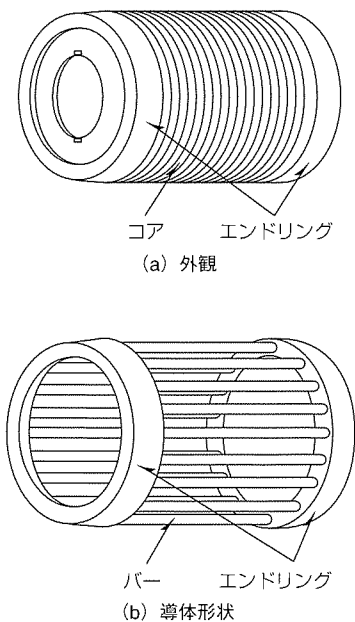


図1. かご型ロータの構造

リングから溶湯(溶融したアルミ)を流し込み、コアのスロット部を介して他方のエンドリングまで充填し、凝固成形している。

なお、ダイカスト法では、凝固時の体積収縮による欠陥(引け巣)や溶湯を数十m/sの高速で金型内へ充填するため金型内空気の巻き込みによる欠陥(ブローホール)が発生しやすく、エンドリング部の強度低下の主要因となっていた。特に起動停止を頻繁に繰り返す運転条件ではアルミ導体内の欠陥がその疲労寿命を劣化させる。したがって、ダイカスト法では、導体材料に高強度アルミ合金を採用しても上記欠陥によって機械的強度の向上が制限され、ロータ外径周速は130m/sが実用上の限界であった。

2.2 浮動型溶湯鍛造法によるロータ製造プロセス

溶湯鍛造法は、溶湯を金型に充填する速度を遅くして金型内空気の巻き込みを抑制するとともに、凝固完了時まで加圧することで引け巣の発生を防止するという特長を持っている。しかし、この鍛造法をロータ製造プロセスに適用する場合、以下のような特有の技術課題が存在する。

すなわち、かご型ロータの導体は図1の(b)に示したとおり両端のエンドリングを多数のバーで結んだ形状をしており、铸造時には、熱容量の小さいバーの部分がエンドリングよりも先に凝固を開始し、熱容量が大きなエンドリング部は凝固が遅れる。このため、溶湯充填側のエンドリング部に加わる圧力はバー(凝固部)で遮断され反対側のエンドリング部には伝達せず、溶湯鍛造の特長である凝固完了までの加圧効果が期待できなくなる。

この点を改良するために開発したプロセスが“浮動型溶湯鍛造法”<sup>(1)</sup>である(特許第2094188号)。この製造法では、図2に示すように、金型の一部を構成する仮軸と仮軸に保持されたコアを金型内にはばねを介して位置決めし、射出方向に移動可能な状態で保持しておく。このばね力は、溶湯の充填過程において、溶湯が金型やコア内のバーを通過する際の流動抵抗に起因する流体力よりも大きく、さら

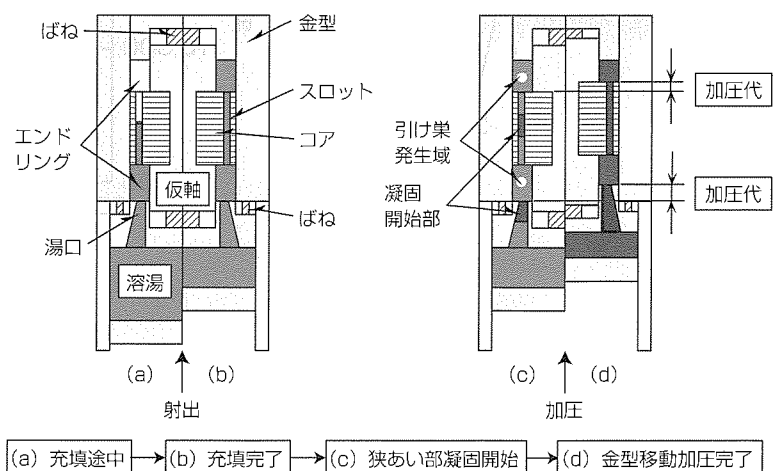


図2. 浮動型溶湯鍛造法によるロータの製造過程



に、溶湯が充填完了した瞬間に立ち上がる射出圧力よりも小さくなるように設定しておく。以上のように成形前に金型の一部を“浮動”状態で保持しておくことにより、溶湯凝固に伴う体積収縮を補うように浮動金型が移動し、凝固が遅れた部分を自動加圧して引け巣の発生を防止することが可能となる。

プロセスの詳細は以下のとおりである。すなわち、図中の(a)工程は、金型の下部にある湯だまりに注湯された溶湯が射出プランジャに押し上げられ、湯口を経て下部エンドリングからコアのスロット内に充填される様子を示している。(b)工程は溶湯が上部エンドリングまで充填されて充填が完了した状態を、(c)工程は熱容量の小さい狭あい部(湯口、バー)が凝固を開始している状態を示している。この状態で凝固が進むと“引け巣発生域”と表示した部分には圧力が加わらず引け巣が生じるが、(d)工程のように金型の一部が加圧代(アルミの体積収縮量)の寸法だけ上側へ移動して引け巣発生域に圧力が伝達する。この加圧作用は、エンドリング部の凝固が完了するまで継続し、引け巣の発生を完全に防止する。

### 2.3 浮動型溶湯鍛造アルミ材の疲労特性

導体材料である高抵抗アルミ材(10%Si, 4%Cu, 0.3%Ti)を用いて、開発プロセスである浮動型溶湯鍛造品と従来プロセスであるダイカスト品の疲労強度(片振り; 20°C)を比較した結果を図3に示す。浮動型溶湯鍛造法を適用することにより、従来のダイカスト法に比べて3.4倍の疲労強度が得られた。

また、図4に、浮動型溶湯鍛造アルミ品の150°C(ロータの設計基準温度)における信頼度99.9%の安全率を考慮した疲労特性線を示す。さらに、人工的な切欠きを設けた試験片の寿命比率の低下から推定される欠陥材の疲労特性線を併せて示す。この設計疲労特性線図からアルミ中の欠陥サイズを特定することにより、ロータ寿命保証が可能となる。

### 2.4 超音波探傷法による非破壊検査プロセス

エンドリング内部の非破壊検査には超音波探傷法による

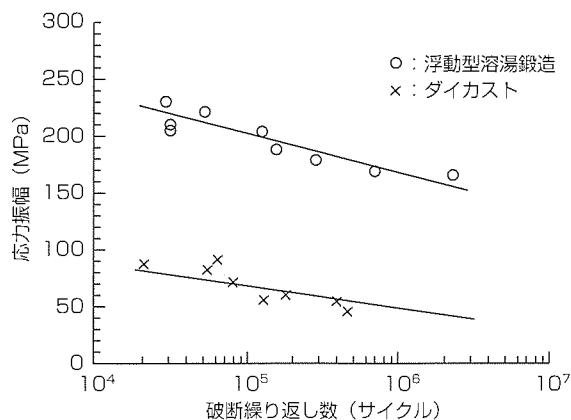


図3. 疲労試験結果

全数検査プロセスを採用した。超音波探傷法の概要を図5に、探傷結果の一例を図6にそれぞれ示す。

検査は水浸法による自動探傷を行っている。水浸法は、探傷子と試験体の間に水を介在させて探傷することにより、反射エコーが試験体表面の影響を受けにくく、探傷の安定性が得られることが特長である。探傷には高周波超音波探

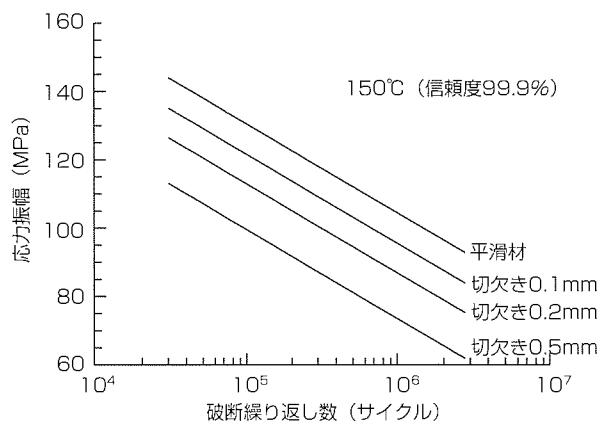


図4. 設計疲労特性線図

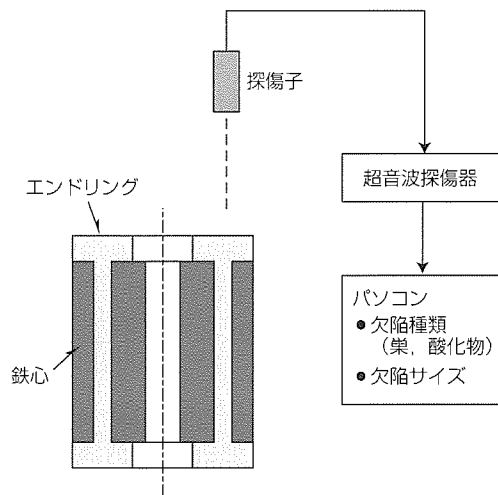


図5. 超音波探傷法の概要

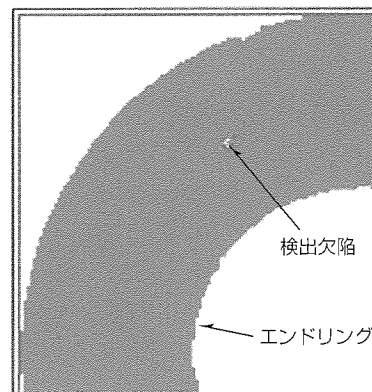


図6. 超音波探傷結果の一例

表1. 超高速ビルトインシリーズの製品仕様

型名	枠番	出力(kW) (連続/30分定格)	回転速度(min <sup>-1</sup> ) (基底/最高)	主要寸法(mm)			
				ステータ外径	ロータ外径	ロータ内径	コア幅
SJ-2B2A04Y	50-50	7.5/11	40,000/70,000	89.5	49.1	28	50
SJ-2B2009Y	63-70	5.5/7.5	30,000/60,000	109.5	57.1	35	70
SJ-2B2210Y	100-60	11/15	30,000/40,000	159.5	86	55	60
SJ-2B2307Y	112-60	15/22	30,000/30,000	179.5	98.9	70	60
SJ-2B2402Y	132-90	22/30	20,000/25,000	209.5	122.8	85	90

傷子を用いており、音響レンズを使ってビームを集束させることによって微細な铸造欠陥まで検出することが可能である。この非破壊検査プロセスでは、欠陥と反射エコーとの関係をデータベース化することにより、欠陥サイズのみだけでなく、欠陥種類まで評価することが可能になった。さらに、各製品に対応した自動探傷/欠陥評価システムの構築と併せて高い信頼性を確保している。

### 2.5 製品の概要

浮動型溶湯鍛造法による製造プロセスと超音波探傷法による非破壊検査プロセスの開発により、連続定格出力11kW(ロータ寸法：外径86mm，内径55mm)において、最高回転速度40,000min<sup>-1</sup>(外径周速180m/s)，起動停止推定寿命200万回(信頼度99.9%)の超高速スピンドルモータ用ロータを実現した。表1に、このプロセスを適用した超高速ビルトインシリーズの製品仕様を示す。いずれの機種も従来の高速ビルトインシリーズよりロータ内径は20～30%程度大きく(当社製品比)，さらにコア幅の短縮によって高剛性なスピンドルを実現した。

### 3. むすび

導体内部の铸造欠陥を大幅に抑制することが可能な浮動型溶湯鍛造法を開発し、スピンドルモータ用ロータの製造プロセスに適用した。その結果、導体強度を高め、従来比1.4倍の高速化を実現できた。また、高周波超音波探傷子を用いた非破壊検査プロセスを採用し、反射エコーから欠陥サイズや種類まで評価でき、さらに各製品に対応した探傷/評価システムを構築することによって高い信頼性を確保した。

この製品のシリーズ化により、種々の客先ニーズに対応することが可能になり、超高速スピンドル市場の一層の拡大に貢献できるものと期待される。

### 参考文献

- (1) 山下幹生，前川滋樹，田島正明：浮動型スクイーズ铸造技術の開発，*鋳物*，66，910 (1994)

# ベーン溝加工の高精度化による ロータリ圧縮機の高効率化

中筋智明\* 朴木継雄\*\*  
横田浩仁\* 橋本 武\*\*  
平井義典\*\*

## 要 旨

近年の環境問題，地球温暖化対策に対応して，冷凍空調機器の省エネルギー化促進を目的に，省エネルギー法が2004年に実施される。省エネルギーを進めるには，特に，冷凍空調機器の心臓部である圧縮機の高効率化が不可避となる。圧縮機の高効率化には，モータの高効率化だけでなく，圧縮機構部の部品加工精度や組立精度の向上によるしゅう(摺)動損失や漏れ損失の改善が有効な手段となる。

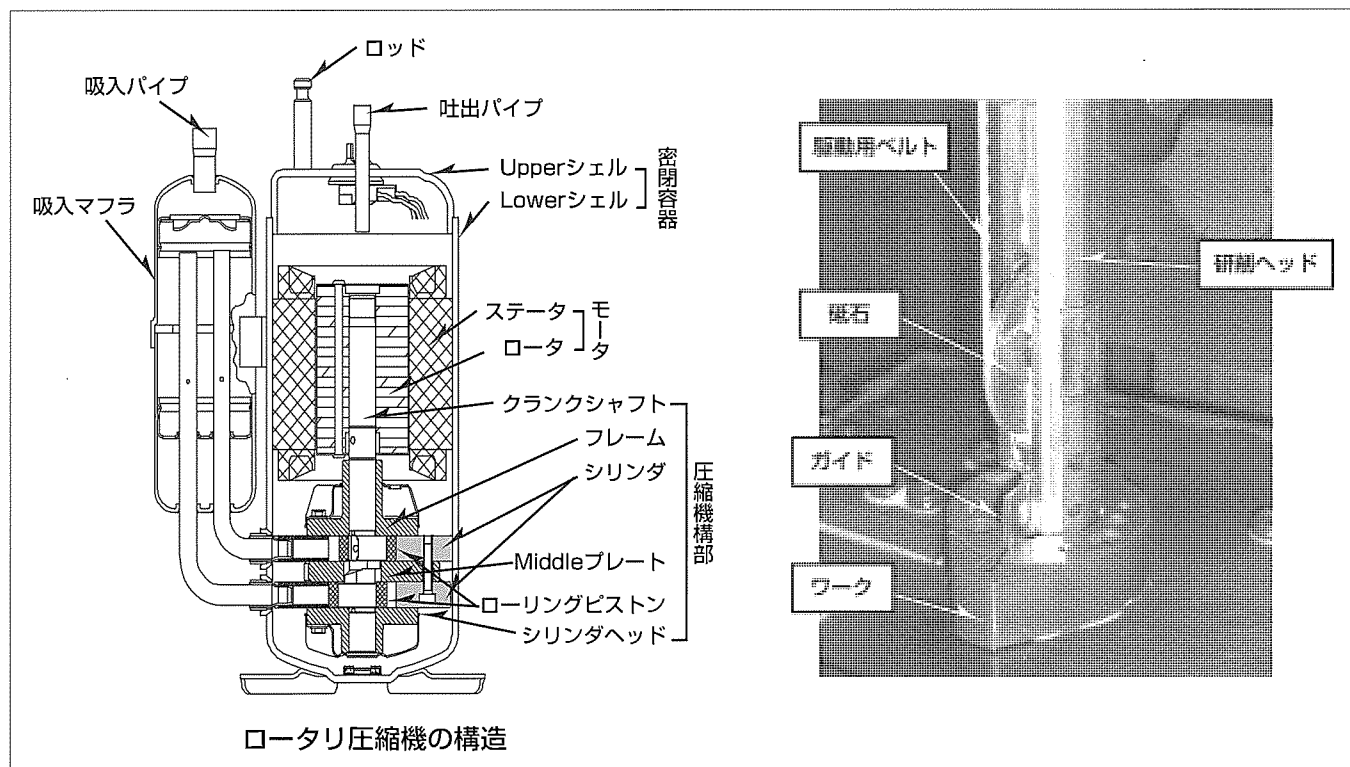
本稿では，圧縮機の代表的機種であるロータリ圧縮機の高精度部品加工，特に加工困難なベーン溝の高精度化による効率改善について述べる。

ロータリ圧縮機はベーンによって高压冷媒と低压冷媒を遮断しており，このベーンの摺動部精度が効率に大きく影響する。なお，ベーン溝はシリンダ内面に配置されており，従来は，ブローチ加工(切削加工)が適用されていた。この工程を研削加工に置き換えることにより，ベーン溝の高精度化を図り，ロータリ圧縮機の効率COP(Coefficient of

Performance：成績係数)を従来比で1%以上向上させた。

研削化への最大の技術課題は，と(砥)石を保持する研削ヘッドの高剛性化である。この研削ヘッドは，シリンダ内径に挿入しながらベーン溝を加工する必要があるため，寸法的に制約のある中で，回転する砥石を保持しつつ，加工負荷に対する砥石変位を抑制できる構造にする必要がある。保持剛性が不足すると，砥石摩耗に伴い研削負荷変動幅が大きくなり，砥石変位量の変動が転写されてベーン溝の形状精度が低下する。そこで，砥石の保持はボールベアリングと研削液利用の静圧軸受を併用し，さらにベアリング配置及び静圧ポケット形状の最適化によって高剛性化を達成した。

現在，ルームエアコン用圧縮機だけでなく，冷蔵庫用の小型圧縮機や大型空調用の大型圧縮機に適用を展開している。また，海外生産拠点でも適用を開始しており，順次拡大していく計画である。



## ロータリ圧縮機の構造とベーン溝研削ヘッド

シリンダ内面にあるベーン溝の加工を円盤状の電着砥石を用いた研削加工に置き換えて高精度化を図った。狭あい(隘)部に挿入するため小型でかつ高剛性な研削ヘッドが要求され，砥石保持剛性をボールベアリングの配置と静圧ポケット形状の最適化によって向上させた。

## 1. ま え が き

地球環境の保護に向けて1999年4月に改正省エネルギー法が施行され、冷凍空調機器関連においても“トップランナー方式”が適用された<sup>(1)</sup>。トップランナー方式とはエネルギー消費効率の最も優れた製品の値を各社とも目標とするもので、冷凍空調機器においては、キーコンポーネントである圧縮機の高効率化が目標達成には不可欠となる<sup>(2)</sup>。

本稿では、代表的な圧縮機であるロータリ圧縮機について、高精度加工技術を開発することで漏れ及び摺動損失を低減させ高効率化を実現した事例について述べる。

## 2. ロータリ圧縮機の圧縮機構

ロータリ圧縮機は、冷媒を圧縮する圧縮機構部とローリングピストンを回転駆動するモータが密閉容器内に収納されている。圧縮機構は、シリンダ、フレーム、Middleプレート、シリンダヘッドによって密閉された空間を、ローリングピストンが偏心回転することで冷媒を圧縮する。この時、ローリングピストンの偏心回転に追従してベーンがベーン溝内を摺動し、高圧部(圧縮冷媒)と低圧部とを遮断する(図1)。ベーンとベーン溝のすき(隙)間を介して高圧側から低圧側への冷媒の漏れが、圧縮機の効率に大きく影響する。理論計算とモデル実験から、この平均隙間を $2\mu\text{m}$ 以下にすれば漏れの影響は少なくなり、効率を1%以上改善できることが確認できた。

## 3. ベーン溝加工機の開発

### 3.1 従来加工法

ベーン溝は狭隘であるため(一例：溝幅 $3.2\text{mm}$ 、高さ $15\text{mm}$ 、長さ $12\text{mm}$ )、従来、図2に示すように、ブローチ工具による切削加工で行われていた。ブローチ工具には荒加工刃と仕上げ加工刃を併用し、この加工刃を下方方向に移動させること(引抜加工)によって加工が行われる。ブローチによる溝精度は、切れ刃りょう(稜)線と工具移動真直度で

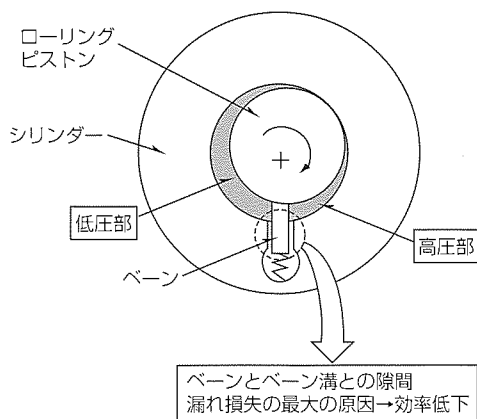


図1. ロータリ圧縮機の圧縮機構

決定される。しかし、高能率化のため切り込み量を大きくすると加工負荷変動が大きくなり工具移動方向の真直度が低下し、量産加工では平面度 $6\mu\text{m}$ が限界であった。この平面度を $4\mu\text{m}$ 以下にすることによってベーンとベーン溝の平均隙間が $2\mu\text{m}$ 以下に確保でき、圧縮機の高効率化が図れることが検討の結果明らかとなった。

### 3.2 研削ヘッドの構成

ベーン溝平面度の高精度化を実現するには、加工負荷及び負荷変動が小さい研削加工が有利となる。なお、研削加工では砥石を回転させる駆動系が必要となり、シリンダ内径に挿入できる小型研削ヘッドを実現する上の制約事項となる。その解決策として、図3の模式図に示すように、砥石回転部と駆動部を分離した研削ヘッド<sup>(3)</sup>を開発した。すなわち、砥石回転部は溝幅以下の厚みを持つ円盤状の薄刃砥石、薄刃砥石のラジアル方向とスラスト方向の力を支えるボールベアリング及び静圧軸受、駆動部は駆動モータとプーリで構成し、モータ動力はベルトを介して砥石回転部に伝達される。この研削ヘッドを2軸(X, Z)の移動軸を持つベースマシンに取り付けることにより、シリンダ内面の狭隘部に切り込み(X軸)と送り(Z軸)を与えることができる。X軸の切り込みをNCで制御することによって溝

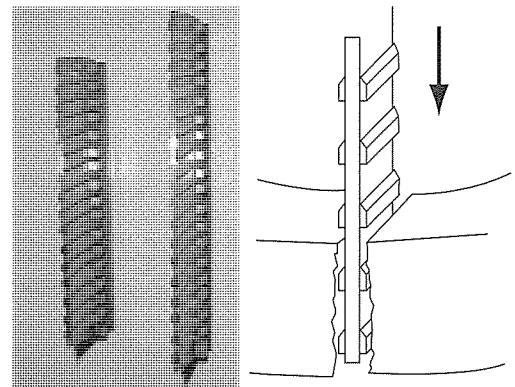


図2. ブローチ工具とブローチ加工法

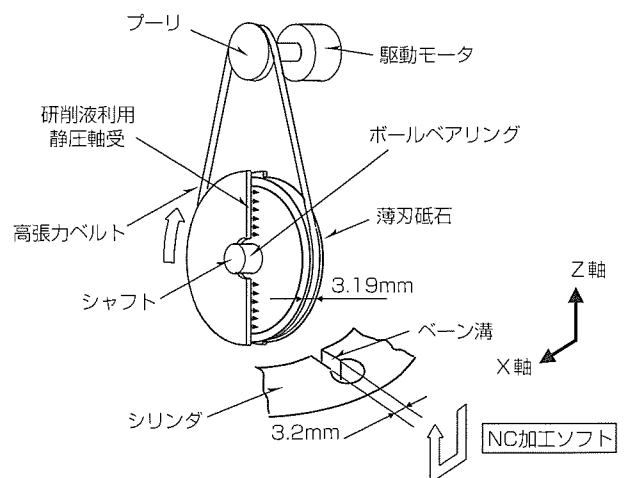


図3. 研削ヘッドの構成

幅寸法を安定させる。なお、ベースマシンは光洋機械工業(株)の溝研削加工機を使用した。

### 3.3 研削ヘッドの高剛性化

この研削ヘッドはベルト駆動のため薄刃砥石のラジアル方向にはベルト張力が作用し、また、薄刃砥石の側面を使用するためスラスト方向には研削負荷が作用する。このラジアル及びスラスト負荷に対する薄刃砥石の保持は、図4に示すように、ボールベアリングと研削液利用の静圧軸受を併用した。砥石姿勢がワーク形状に転写されるため、研削ヘッドの高剛性化が加工の高精度化に最も重要となる。

研削ヘッドの高剛性化を図るには、ボールベアリングの大口径化と静圧軸受面積の拡大が望まれるが、前述のように寸法的制約があり、以下の構造的工夫を施した。すなわち、ボールベアリングについては図4に示すように複数個(要求仕様によって2個又は4個)採用し、静圧軸受面を砥石両側に配置し、かつ、図5に示すように複数面(ポケット形状)に分割することによって高剛性化を達成した。

#### (1) ボールベアリングの高剛性化と寿命

従来は寸法的制約から砥石中央にボールベアリングを1個配置していたが、上述のように、薄刃砥石の両側に配置することで、ボールベアリングに働く荷重が小さくなり、ボールベアリングでの変形量を抑え、ラジアル方向の剛性を向上させた。また、砥石台金と砥石回転軸を一体構造とし、砥石自体の剛性の向上も図った。

もう一つの問題点であるボールベアリングの寿命についても、この両側配置によって解決した。一般にボールベアリング寿命は次式のように示される<sup>(4)</sup>。

$$L_h = a \times 10^6 / (60 \times N) \times (C/P)^3 \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $L_h$ : 寿命(h),  $a$ : 信頼度係数,  $N$ : 回転数(r/min)

$C$ : 基本動定格荷重(N),  $P$ : 実荷重(N)

信頼度係数  $a$  は使用環境によって決定されるため、ボールベアリングの寿命  $L_h$  を長くするには、回転数  $N$  を小さくするか実荷重  $P$  に対する基本動定格荷重  $C$  (ボールベアリング固有値) の比率を大きくするしかない。ところが、量産加工で高精度化を達成するためには、1回転当たりの取り代を少なくし(反力の低減)、かつ、高能率化のため、砥石の高速回転が要求される。したがって、上記比率を大きくするしか方法がなく、ボールベアリングの両側配置で長寿命化が達成できた。表1に示すように、外径が1ランク上のボールベアリングを1個使用するより長い寿命が得られ、かつ1日以上(砥石寿命と同等)の寿命が確保できた。

#### (2) 静圧軸受の高剛性化

静圧軸受のポケットには外部ポンプから研削液が小口径のオリフィスを介して供給される。ポケットを囲む土手部と砥石台金とのギャップが拡大すると、研削液流量が増大し、オリフィスでの圧

力降下により、ポケット静圧が低下する。ギャップが縮小すると、逆の現象でポケット静圧が上昇する。上記砥石の両面に配置された静圧軸受と砥石台金とのそれぞれのギャップが不均一となると、不均一を是正するようにポケット静圧が作用し、砥石の傾きを自己抑制する。静圧軸受の剛性は、ポンプ元圧、オリフィス径、土手幅、土手と砥石台金とのギャップなどで決定される。ギャップと剛性の関係を表す一例を図6に示す。静圧軸受の剛性は土手と砥石台金とのギャップに依存し、最大剛性を得る最適なギャップ値が存在する。図から、ギャップ  $8 \mu\text{m}$  前後に設定するといずれのポケット形状においても剛性最大値(約  $100\text{N}/\mu\text{m}$ ) が得られることが分かる。

さらに、ポケットを複数個に分割すると、砥石の傾きを修正するモーメント力が働き、砥石姿勢が維持できる。そこで、流体力計算から求めた各静圧ポケットの剛性と、砥石に作用する研削反力との力の釣合い計算から、最も砥石変位量の小さいポケット形状を最終設計仕様とした。ポケットを分割しているため、図7に示すように、研削負荷荷

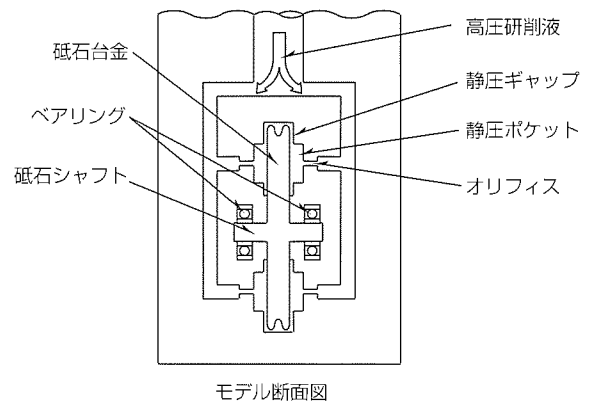


図4. 開発ヘッドの特長

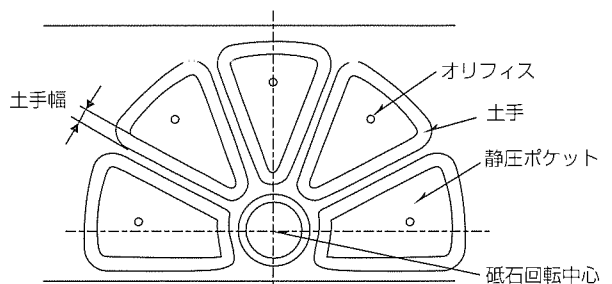


図5. ポケット形状(5分割)

表1. ボールベアリングの寿命の一例

呼び記号	内径(mm)	外径(mm)	基本動定格荷重(N)	使用個数	寿命(h)
686	6	13	1,080	2	28.9
686	6	13	1,080	1	3.6
696	6	15	1,730	1	14.9
606	6	17	2,260	1	33.1

$a = 0.21 \times 0.2$  (信頼度99%, 低粘度潤滑油),  $N = 15,600\text{r/min}$ ,  $P = 250\text{N}$

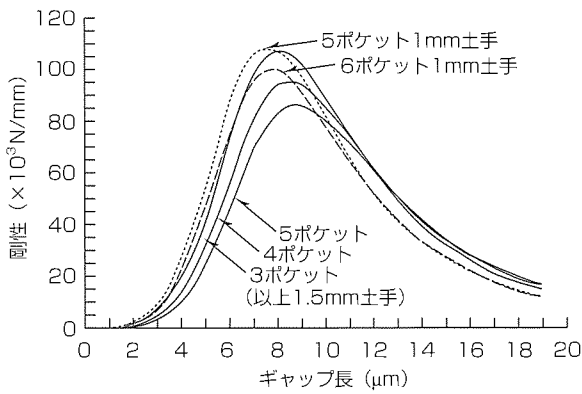


図6. ギャップと剛性の関係

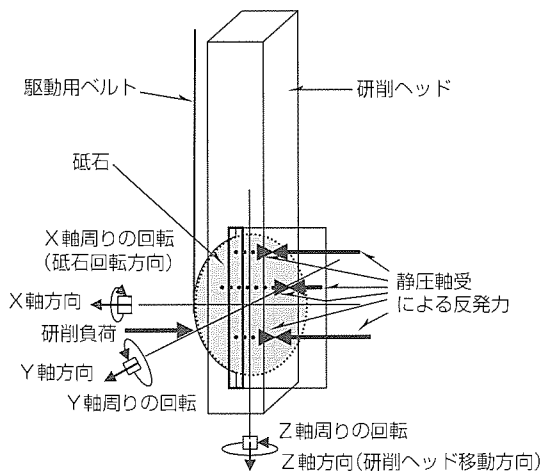


図7. 砥石に作用する力

重点と静圧軸受の作用点が分布しており、砥石が安定する姿勢位置を収束計算で求めた。その結果の一例を表2に示す。これにより、ポケット形状・個数の異なる場合について、薄刃砥石の三次元的に傾く姿勢(Y軸, Z軸周りの回転)が計算でき、ワークに転写された形状精度の予測が可能となった。このシミュレーションを基に、最適な静圧ポケット形状・個数及び静圧軸受のギャップを決定した。

### 3.4 加工結果

高剛性化した研削ヘッドを用いて実ワーク2,000個での量産加工テストを行ったところ、平面度が4μm以下になることが確認できた。また、工具費についても、従来のブローチ加工と同等以下であることを確認しており、量産加工に適用できることが明らかとなった。

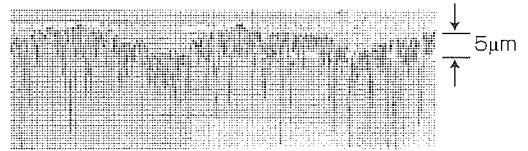
## 4. ベーン溝の研削化による効果

ブローチ加工後と研削加工後のベーン溝断面形状を図8に示す。ブローチ加工品はうねり成分が大きいのに対し、研削品は、周辺の“だれ”はあるものの、全体の平面度(断面形状の粗さ成分を除く)が向上しているのが分かる。ブローチ加工品を使用した圧縮機と研削加工品を使用した圧縮機との性能比較を図9に示す。横軸に運転条件(周波数)

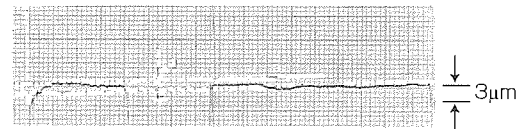
表2. 砥石先端の変位量の一例

ポケット数	3ポケット	4ポケット	5ポケット	5ポケット
土手幅	1.5mm	1.5mm	1.5mm	1mm
先端変位	5.4μm	4.4μm	4.3μm	3.4μm

研削負荷: 20N



(a) ブローチ加工品



(b) 研削加工品

図8. ベーン溝断面形状の違い

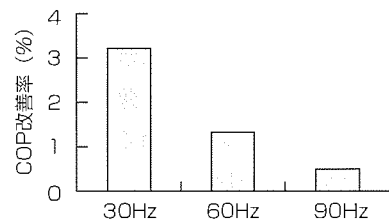


図9. ベーン溝研削品評価データ

を示し、縦軸にブローチ加工品を基準としたCOP改善率を示している。図から、30~90HzのすべてにおいてCOPの改善が確認できる。特に低速回転ほど漏れ損失の影響が大きく、通常よく使用される30~60Hzの低速運転条件では、COP改善率1%以上の大幅改善を達成した。

## 5. むすび

開発した研削ヘッドは、現在、冷蔵庫用の小型圧縮機や店舗用空調機の大型圧縮機にも使用している。また、海外生産拠点でも順次適用を開始している。今後さらに、ベーン溝の寸法安定化を図り、圧縮機性能を向上させていく予定である。

## 参考文献

- (1) 桜井敬三：省エネ大作戦，日経メカニカル，No.537，36~47 (1999)
- (2) 原 正一郎，岩崎俊明，望月哲哉，浮岡元一，野田博之，富永孝介：冷凍空調用ロータリ圧縮機の同心組立技術，三菱電機技報，72，No.4，313~316 (1998)
- (3) 朴木継雄，橋本 武，酒井正敏，横田浩仁，中筋智明：研削装置，圧縮機，特開平10-109260
- (4) 日本機械学会編：機械工学便覧，B1，128~141

# 磁気軸受主軸による 超高速加工とその応用

大谷真博\* 嶋田明広\*  
原田勝広\*  
大草裕之\*

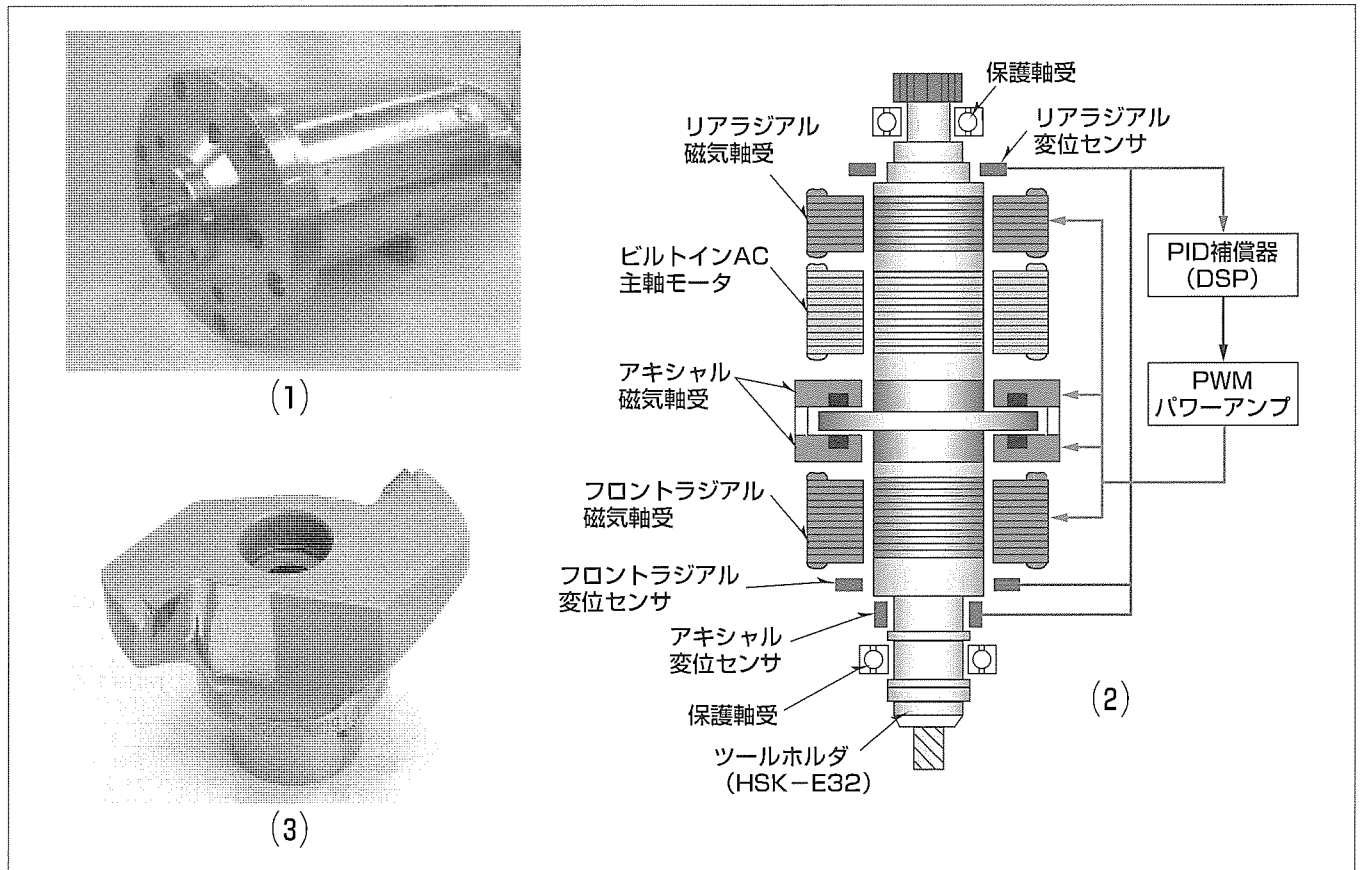
## 要旨

近年、高生産性を旨した工作機械の高速化に伴い、主軸の高速化がより一層求められている。三菱電機では、ラジアル軸受部外径49.1mmで最高回転速度70,000r/minを実現する磁気軸受主軸ユニットを開発した。これは、当社の磁気浮上技術を応用したもので、ロータの完全非接触化によって超高速回転、メンテナンスフリー、低騒音、低振動の特長を持っている。

本稿では、この磁気軸受主軸ユニットを用いた超高速加工技術開発について紹介する。耐遠心力に優れた工具径50mmの正面フライス工具を開発し、超高速回転によって

最高速クラスである切削速度10,000m/minの加工を実現した。また、エンドミル加工において従来の鋳鉄の加工領域である主軸回転速度5,000r/minの切削と比較すると、回転速度60,000r/minでは切削抵抗が75%低減されることが明らかになった。

さらに、低抵抗切削技術の応用として、当社製レーザー加工機の薄肉形状精密部品(ステンレス材)に対し、従来の切削加工では高精度な仕上げができなかった部位にこの高速切削法を適用して高能率・高精度加工を実現した。



## 磁気軸受主軸と超高速回転用工具

磁気軸受主軸は磁気浮上技術を応用したもので、ロータの完全非接触化によって超高速回転、メンテナンスフリー、低騒音、低振動の特長を持っている。

図の(1)に磁気軸受主軸ユニット、(2)に磁気軸受主軸ユニットのシステム構成、(3)に超高速回転用正面フライス工具を示す。

## 1. ま え が き

近年、高速切削の技術は高能率・高精度を実現するものとして注目されており、それを旨とした工作機械の高速化が進んでいる。これに伴い、送りの高速化とともに主軸の高速化がより一層求められている。

三菱電機では、ラジアル軸受部外径49.1mmで最高回転速度70,000r/minを実現する磁気軸受主軸ユニットを開発した。これは、当社の磁気浮上技術を応用したもので、ロータの完全非接触化によって超高速回転、メンテナンスフリー、低騒音、低振動の特長を持っている。

本稿では、この磁気軸受主軸ユニットを用いた超高速加工技術開発について、切削速度10,000m/minの超高速切削の実現とエンドミル加工の切削抵抗の低減事例、さらに、その応用としての精密部品加工への適用事例を紹介する。

## 2. 磁気軸受主軸の開発

磁気軸受は、完全非接触支持であるがゆえの特長である超高速回転、メンテナンスフリー、低振動、低騒音等の理由で、近年、工作機械用の主軸に採用されつつある。そこに注目し、衛星姿勢制御フライホイールやターボ分子真空ポンプ等で培った当社の磁気浮上技術を応用し、“5軸能動制御型磁気軸受搭載主軸ユニット”を開発した。

当社製磁気軸受主軸ユニットの仕様を表1に示す。この主軸ユニットはラジアル軸受径49.1mmであり、従来の転がり軸受では実現困難であった回転速度70,000r/minを実現し、最高出力は11kWである。また、70,000r/minを10秒の加減速時間で達成する。さらに、高速ツーリングの主流になりつつある2面拘束ツールホルダが装着可能である。

磁気軸受主軸ユニットの外観を図1に、その構造を図2に示す。この主軸ユニットは主軸上下部にラジアル軸受、主軸中央部にアキシャル軸受を配置した構成を採っており、軸回りの回転を除く5自由度(X、Y、Z方向の位置とX、Y軸回りの姿勢)を能動制御し、主軸の完全非接触支持を実現している。万が一、磁気軸受部が故障などで制御不能に陥った場合には、保護軸受が主軸を支持し、磁気軸受を保護する構造となっている。

表1. 磁気軸受主軸ユニットの仕様

項目	仕様	
最高回転速度	70,000 r/min	
推奨回転速度範囲	20,000～70,000 r/min	
出力	連続定格	7.5kW
	短時間定格	11kW
軸受許容負荷	フロント	500N
	リア	250N
	アキシャル	600N
ツールフォルダ	HSK-E32	

主軸は本体の固有振動数を高くする等の高速運転の設計に基づいて製作されており、ツール取付け時の一次曲げモード固有振動数は1,616Hz(約96,960r/min)であるため、磁気軸受の制御は主軸を剛性ロータとみなして行っている<sup>(1)</sup>。

磁気軸受の制御は、主軸の位置と姿勢の変化を渦電流変位センサで計測し、センサからの変位信号をA/D変換した後、DSPで構成したPID制御補償器を経てPWMパワーアンプを駆動することで達成している。制御対象は本来非線形であるが、制御系内部で平方根演算を行っており、系の線形化を図っている<sup>(2)</sup>。

## 3. 超高速加工への適用

### 3.1 概要

機械加工における生産性は単位時間当たりの金属除去量で表されるが、これを向上させるためには工具1刃当たりの除去量に限界があるため、工具の回転速度の向上すなわち高速加工の実現が生産性向上のための最善策となる<sup>(3)</sup>。磁気軸受主軸の特長である超高速回転と高剛性を生かした超高速加工技術開発の事例を紹介する。

### 3.2 正面フライス加工

超高速加工の実現のためには高速・高剛性の主軸と耐遠心力に優れた工具が必要であり、今回、当社製の磁気軸受主軸ユニットを用いて切削速度としては現時点で最高速クラス<sup>(4)</sup>とされる10,000m/minの超高速切削の実現を試みた。目標とする切削条件は、工具径50mmで回転速度64,000r/min

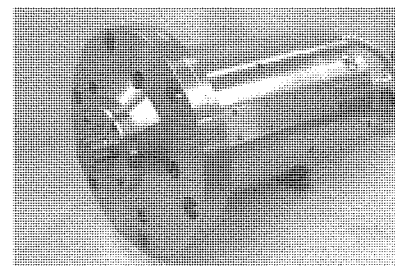


図1. 磁気軸受主軸ユニットの外観

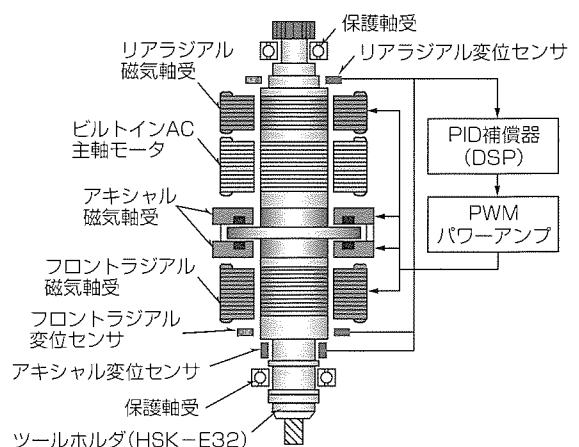


図2. 磁気軸受主軸ユニットのシステム構成



である。

超高速回転に工具が対応するためには、①遠心力、②工具質量とダイナミックバランス、③工具摩耗、④風切り音など四つの課題の解決が必要であり、工具メーカーの三菱マテリアル<sup>(株)</sup>と共同で工具を開発した。

図3に開発した正面フライス工具を示す。工具径50mmで64,000r/minの回転を加えた場合、チップには4,000Nを超える遠心力が加わり、くさびやクランプねじによる締結やろう付などによる通常の固定方法ではチップのがたつきや飛散を抑制することができない。そこで、チップの外周側にも取付け座を形成し遠心力をカッタボディで支える構造とし、さらに、チップの細部形状に工夫を加えてろう付接合した。また、カッタボディについては、CAEによって応力集中を避ける形状設計とした。工具質量とダイナミックバランスは、高速回転において安定状態を得るために非常に重要な要素である。そこで、カッタボディとツールシャンクを一体構造とし必要最小限の体積とすることで、締結誤差による不つりあいの発生を抑制するとともに199gという軽量カッタを実現し、主軸の固有振動数低下を抑制した。工具材は最も耐摩耗性に優れているダイヤモンド焼結体を使用した。ダイヤモンド焼結体はHv9,000を超える高硬度材料である。なお今回は実験段階でもあり、上記三つの対応策を優先することから風切り音への対策は見送りとした。

加工を実施する前に、まず上述の工具径50mmの開発工具を取り付け、インパクトハンマ加振法によるコンプライアンス評価を実施した。測定の結果、主軸の一次曲げ固有振動数は1,495Hz(危険速度89,700r/min)である。さらに、無負荷回転評価として、回転速度を徐々に上昇させ、64,000r/minの状態でも固有振動数変動の確認を行った。64,000r/min定常回転時の固有振動数は1,417Hz(危険速度85,020r/min)の結果が得られ、振動特性も良好であり、安定状態で回転していることを確認した。

切削条件は、送り速度0.1mm/刃、径方向切り込み(Ae)22mm、軸方向切り込み(Ap)0.1mm、被削材はアルミ材(A5052)、乾式切削である。回転速度を20,000r/minから徐々に変化させ、64,000r/minにおいても主軸リサージュ

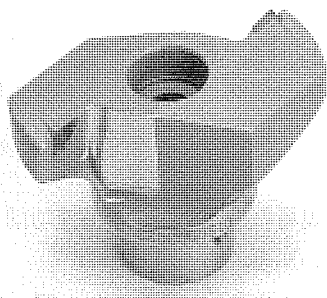


図3. 開発した正面フライス工具

は乱れることなく安定して回転し切削できた。また、切削長10mを切削した後の工具逃げ面摩耗量は18 $\mu$ mであり、正常摩耗状態であった。以上の結果から、高剛性の磁気軸受主軸と耐遠心力に優れた正面フライス工具により、最高速クラスである切削速度10,000m/minの加工を実現した。

なお、今回開発した工具を更に実用レベルまで改良し、風切り音、チップ交換、工具刃数、ダイナミックバランスの課題をクリアする工具の開発を継続中である。

### 3.3 エンドミル加工

エンドミル加工は最も一般的な機械加工の一つであり高速化についての研究も盛んに行われているが、アルミ材を中心とした非鉄金属の被削材への研究や金型加工をターゲットとしてボールエンドミルの先端部分での高速回転における研究が多い。今回は、3.2節と同様に磁気軸受主軸の高剛性を生かし、鉄系被削材である鋳鉄材へのフラットエンドミルによる加工についての評価を行った。

工具は鉄系加工用工具材種で最も耐摩耗性に優れているCBN工具を使用し、超硬材ボディにろう付接合した工具径10mm、3枚刃(アキシヤルレーキ0 $^{\circ}$ 、ラジアルレーキ0 $^{\circ}$ )のフラットエンドミルで焼きば(嵌)め方式で工具を保持し固定した。被削材はねずみ鋳鉄(FC250)である。切削条件は、送り速度0.1mm/刃で、径方向切り込み(Ae)と軸方向切り込み(Ap)の比を固定した上で単位時間当たりの金属除去量を一定とし、乾式切削で、回転速度を5,000r/minから60,000r/minまで変化させ、加工時の切削抵抗を観察した。

加工テスト状況を図4に、切削抵抗の測定結果を図5に示す。切削抵抗は3成分動力計で測定した。なお、5,000r/minから20,000r/minまでは、加工設備は転がり軸受主軸を、工具は超硬コーティングエンドミル(アキシヤルレーキ45 $^{\circ}$ 、ラジアルレーキ5 $^{\circ}$ )を使用している。縦軸の切削抵抗は3方向分力の合力を示す。回転速度すなわち切削速度が上がるにつれて切削抵抗が減少することは他の文献でも報告<sup>(5)</sup>があるが、今回は、従来の高速切削領域である5,000r/min辺りに比べて更に高速の60,000r/minにおいては切削抵抗が75%も低減されることが分かった。これは、高速加工が高効率切削を実現するとともに、薄肉形

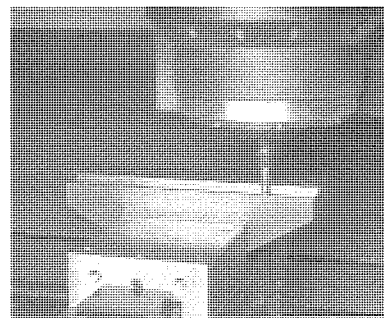
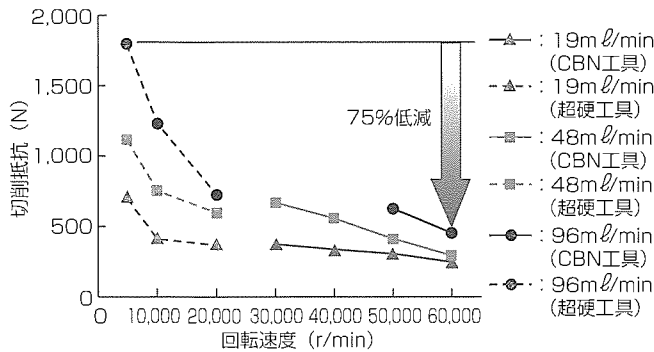


図4. エンドミル工具による加工テスト



被削材 FC250, 送り速度 0.1mm/刃, 乾式切削, 工具径 10mm,  
CBN工具: 刃数3枚・工具材種 MB730,  
超硬工具: 刃数4枚・工具材種 超硬コーティングSZE4100SG

図5. 回転速度と切削抵抗の関係

状などの低剛性部品や加工素材の保持・固定に制約がある被削材に対して小さな切削力で高精度加工が実現できることを示唆している。

#### 4. 精密部品加工への応用

今回開発した超高速加工技術を精密部品に適用し検証した事例を述べる。

##### 4.1 対象部品

対象部品であるレーザ加工機の精密部品を図6に示す。この部品はレーザの重要部品であり品質的にも厳しい管理が必要とされている。材質はステンレス材(SUS303)で、部品寸法は105mm×33.5mm×5mmと薄肉形状である。要求精度は平面度が15μmである。さらに中抜き構造であることから、切削の際の切削抵抗及び部品の把持力によるひずみが発生しやすい。そこで、従来は、中抜き加工されていない状態(ワーク剛性の高い状態)で平面切削加工を行い、その後中抜き部分のみワイヤ放電加工という2段階加工で平面度を確保していた。

##### 4.2 切削速度向上による平面度への影響

3.3節で述べたとおり、切削速度を向上させることによって切削抵抗が減少することが確認されている。そこで、従来はワイヤ放電加工で実施していた中抜き加工を切削で実施した後、平面仕上げ加工の切削速度を上げることによって平面度を確保し、すべてを切削加工化することによる生産性の向上を図った。

使用する工具は、耐磨耗性と耐熱衝撃性に優れたTiAlNコーティングしたものを使用し、低抵抗刃形を持ち高速送り可能な4枚刃超硬エンドミルを選定した。図7に、平面仕上げ加工の切屑排出量を一定にした場合の切削速度と平面度の関係を示す。これによると、切削速度が上がるにつれて平面度が向上しており、切削速度200m/minにおいて要求精度である平面度15μmを満足できることが分かった。

なお、工具メーカーのカタログ等によればステンレス材に対する超硬コーティングエンドミルの切削速度は50～

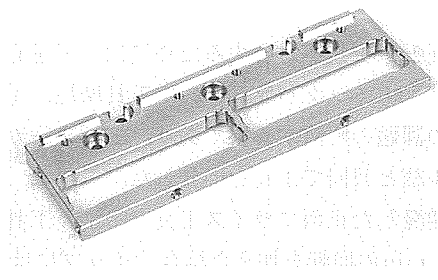
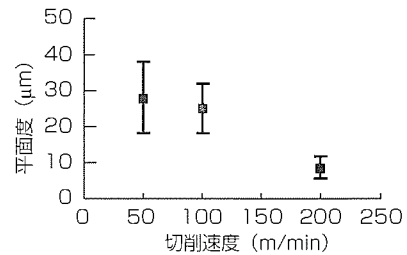


図6. レーザ加工機精密部品



被削材 SUS303, 送り速度 0.1mm/刃, 切屑排出量 0.7cc/min, 湿式切削, 工具径 16mm, 工具材種: 超硬コーティング(TiAlN), 刃数4枚, SZE4160SG

図7. 切削速度と加工精度の関係

100m/min程度が一般的と示されているが、工具寿命評価を行ったところ、切削速度100～200m/minの間では工具摩耗量に大きな変化がないことが確認され、切削速度200m/minの加工条件で生産現場での適用が可能であると判断された。

#### 5. むすび

磁気軸受主軸を用いた超高速加工技術の事例を紹介した。近年主軸の高速化とともに送りの高速化も進められており、これらを統合化したシステムを目指して工具やツールパス等の加工技術開発を進め、今後、高速加工の優位性を更に追求する所存である。

#### 参考文献

- (1) (社)日本機械学会編: 磁気軸受の基礎と応用, 養賢堂 (1995)
- (2) Shimada, A., Horiuchi, Y., Shamoto, K.: A Study on Active Magnetic Bearings for Machine Tool's High Speed Spindle, 2nd. Int. Symp. on Magnetic Bearings, Zurich, 183~188 (1999- 8)
- (3) 桧垣文広, 大谷真博: FA製品における機械加工生産性向上への取り組み, ツールエンジニア, 40, No.1, 88~95 (1999)
- (4) 新井 実: 現場の動向から見る高速切削の現状と課題, 機械と工具, No.6, 15~19 (2000)
- (5) 嶽岡悦雄: 超高速加工, 機械技術, 48, No.1, 28~32 (2000)

# 冷熱機器生産システム革新への取組

## 要旨

パッケージエアコンなどの業務用冷熱機器の市場では、オフィスビルや店舗への新規掘付け需要に対し更新需要の比率が高まってきており、お客様が注文したものを要求納期どおりに届けるため、短納期生産化、物流サービス向上への対応が不可欠となっている。

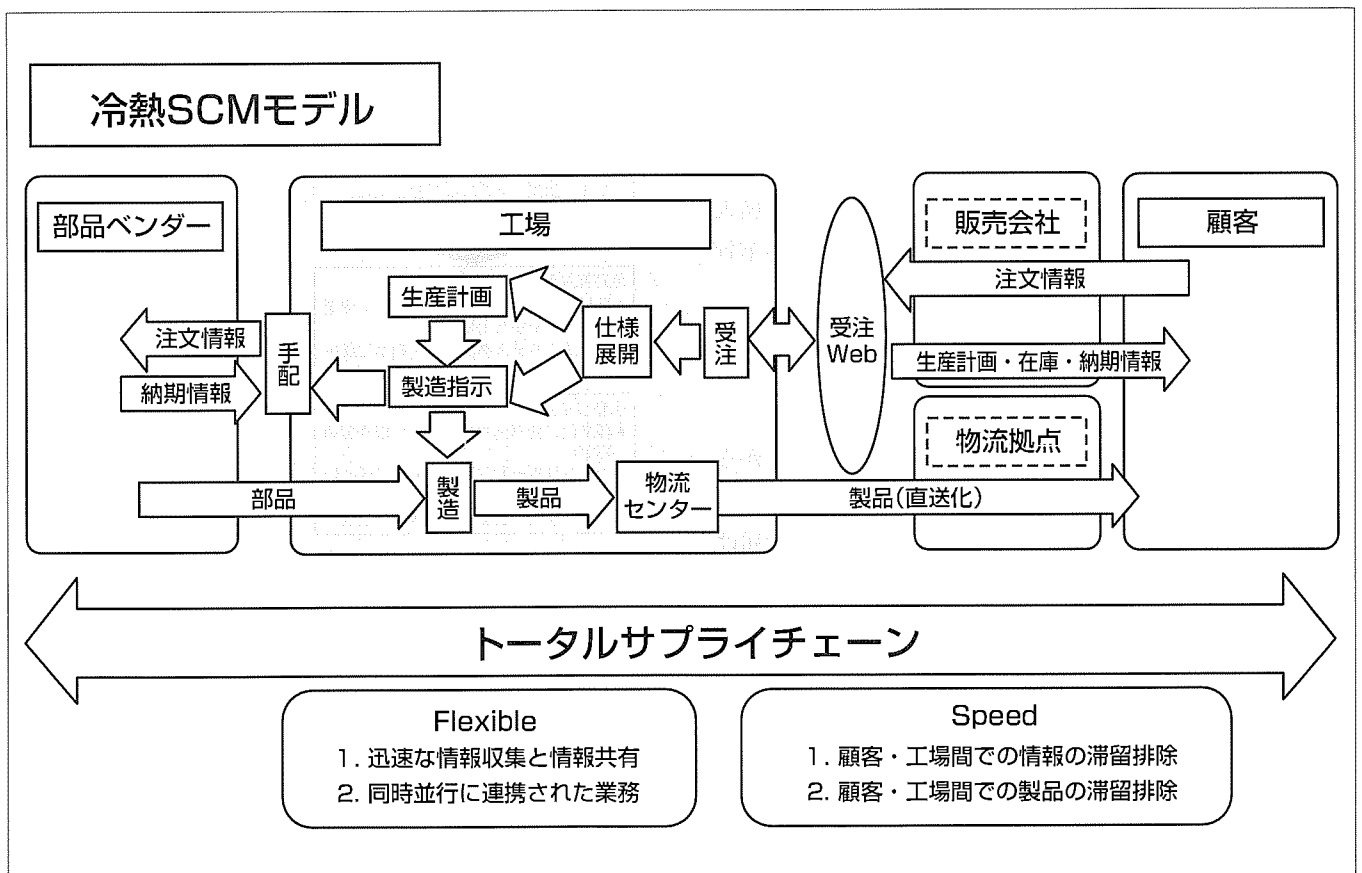
これらを実現するため、業務用冷熱機器の生産拠点である三菱電機の冷熱システム製作所と静岡製作所では、ロジスティックセンター構築、製品直送化による流通在庫削減、物流コスト削減、要求納期遵守等の物流革新を実施するとともに、日々の受注状況に合わせた製造指示や生産計画引き当てを行う生産管理システムを構築し、生産システム革新を実施した。

冷熱システム製作所では、業務用空調機の事業強化の一

環として、物流効率化及び製品直送化をねらったロジスティックセンターを構築し、さらに従来の見込み生産から受注生産へと生産システムを根本的に見直し、ファンコイルユニットの主要機種を10日間で納品する受注短納期対応の新生産管理システムを構築した。

また静岡製作所では、従来の見込み生産を基本に、製品ラインアップの見直し、部品の標準化・内作化の推進により、日々の受注状況に合わせて2週間先の生産計画を毎日見直せる生産システムを構築した。

本稿では、各製作所で展開している物流革新、生産システム構築の取組について紹介するとともに、冷熱機器事業におけるトータルのサプライチェーン構築に対する今後の展望について述べる。



## 冷熱機器SCM(Supply Chain Management)モデル

受注情報を工場にダイレクトに取り込み、受注対応生産指示、生産計画引き当て、製品直送化など顧客と工場とを直結化させると同時に、工場内各管理業務が同時並行的に連携して機能するよう、トータルサプライチェーンの構築を進めている。

1. ま え が き

冷熱機器市場では、全体の60%を占める更新需要の拡大、建設工期短縮による顧客要求の短納期化、さらには仕様の多様化・低価格化が強く求められている。これらに対応するため、三菱電機の各製作所では、以下のコンセプトによって生産システム革新と物流革新を実施し、顧客満足度向上を図った。

- 受注情報に対応した短納期生産化と顧客要求納期の遵守
- 製品在庫量の最適化による即納対応強化
- 在庫集約化と客先直送化による物流コスト削減

本稿では、冷熱システム製作所、静岡製作所で行った具体的な施策と実施内容について述べる。

2. 冷熱システム製作所の取組

主に生産対応の柔軟性向上と物流サービスの向上について以下に述べる。

2.1 活動概要

冷熱システム製作所では、ロジスティックセンターの建設(1998年9月稼働)を契機として、ファンコイルユニット(水方式のセントラル空調機器)を対象とした生産対応の柔軟性向上(見込み生産から受注生産への切り替え、製品を短納期で客先に配送)、代理店費用も含めたトータル物流費用の削減(在庫集約化、倉庫管理支援システム拡充による効率的な倉庫運営、客先直送化推進)、納入リードタイム短縮による物流サービス向上など、生産～保管～客先納入の各ステージにわたる生産システムと物流システムの革新を推進してきた。

この活動は、2000年度ロジスティクス大賞を受賞し、社外からも高い評価を得たものである。

2.2 活動の展開・施策及び成果

業務用空調機の事業強化の一環として、見込み生産から受注生産への切り替えを基本方針に、ファンコイルユニットの主要機種(全体の80%)を対象とした受注後10日間で届ける生産対応の柔軟性ある受注生産システムを'99年10月から導入し、顧客満足度の向上を図った。実施内容を以下に紹介する(図1、図2)。

(1) 見込み生産から受注生産体制への切り替え

従来の見込み生産から受注生産体制への切り替え、部品の標準化・内製化による短納期生産を実現し、顧客要求納期を満足しながら、一方で、滞留在庫を最小とした運営を可能とした。

(2) メニュー化による幅広い顧客要求仕様に対応

製品仕様(機種シリーズ、容量など)とオプション部品を選択するメニュー受注方式を開発した。メニュー上の仕様組合せにより、多くの顧客ニーズへの対応が可能となった。

メニュー化の仕様は次のとおりである。

- (a) 10日間メニュー対象機種シリーズ
    - 2方向カセット：LH-CRシリーズ
    - 4方向カセット：LH-ARシリーズ
    - 床置き／床置き埋め込み／天つ(吊)り／天吊り埋め込み
    - 天井カセット用化粧パネル
  - (b) 官公庁仕様を標準メニュー化
  - (c) 客先要望の高いオプション部品のメニュー化
- 受注メニュー化と併せて次の部品仕様の標準化を実施した。

- 熱交換器： 531種類 ⇒ 87種類
- 板金部品、断熱材： 76種類 ⇒ 41種類
- こん(梱)包ダンボール：81種類 ⇒ 27種類
- ドレンパン： 24種類 ⇒ 17種類

(3) 受注から納品までを10日間で実現

ファンコイルユニットの80%を占める主要機種について受注から納品までの生産リードタイム10日間を実現し、従来の30～40日から大幅に短縮した。

(4) 受注情報(オーダー情報)と生産指示情報の直結

■メニュー生産のイメージ

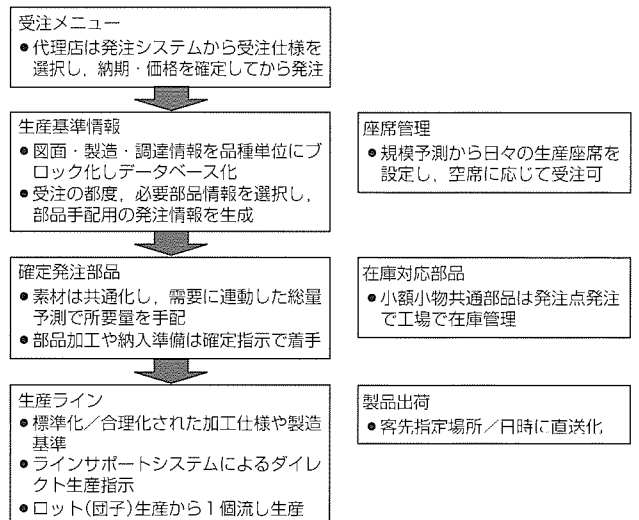


図1. メニュー受注生産の出荷までの流れ

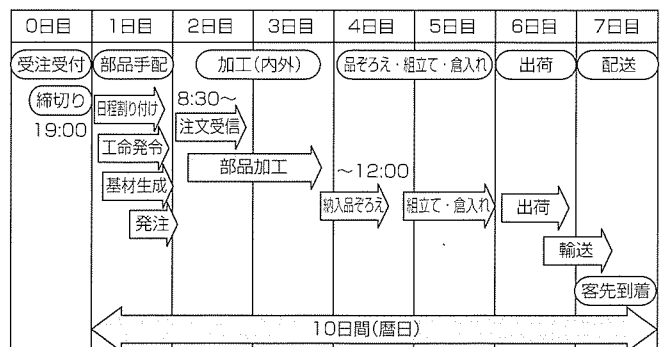


図2. 新生産方式(受注確定～客先到着)リードタイム

営業マンから工場への発注方法は従来はオンラインのコンピュータシステムを活用しており、情報の流れに一部必ず人の手を介していたため、情報伝達に余分な時間が費やされていた。新システムでは、顧客の意向を受けた営業マンの指示が直接生産活動に反映される仕組みを実現した。

改善のポイントは次のとおりである。

(a) 代理店-工場-部品メーカー間で情報共有化を実現  
インターネットとEDI伝送(電子データ交換)を活用した情報ネットワークの再構築と新生産管理システムとの情報共有化を図り、代理店-工場-部品メーカー間の情報伝達のスピードアップを図った(図3)。

(b) 注文を直接生産ラインへ伝える仕組み  
受注から生産・出荷まで人の手を介さず指示するための業務再設計とこれをサポートする情報管理システムを作り、情報伝達リードタイムの短縮と間接管理業務の効率化を図った。

なお、インターネット活用の促進については、冷熱SCM構築で展開する予定で、現在は、生産状況の提供まで実施中である。

### 2.3 物流サービスの向上に対する施策

#### (1) 倉庫内業務のリードタイム短縮

フォークリフトに無線端末を搭載した作業指示システムにより、出庫作業の効率化(出荷伝票と荷札仕分けの廃止、ピッキングメモの廃止)、トラック到着単位のピッキング作業など出荷作業の平準化を図り、倉庫内業務のリードタイム短縮(従来に比べて日々の業務リードタイムを1.5~2h短縮)を行い、少人数運営体制を確立した。

#### (2) 製品直送化の推進

フィールド倉庫での納入予定品の一時保管は流通コストアップにつながっており、この高コスト物流体制から脱却するため、'98年10月から関西・中国地区を対象に客先直送を実施した(2000年5月四国地区導入)。

なお、直送の定義とは、配送センターや一次店倉庫のフィールドに製品を一時保管することなく工場から顧客に直接配送することを言う。

### 2.4 生産システム・物流革新による効果

#### 2.4.1 製品在庫の削減

受発注・生産管理システムを構築し見込生産から受注生産を実現したことにより、売れたものだけを短納期(10日間)で生産し、製品在庫を60%削減した。

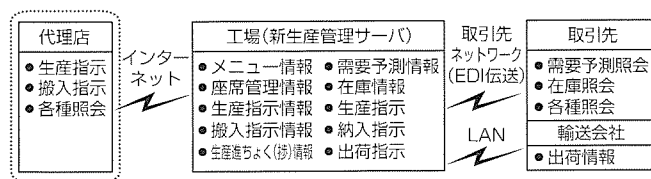


図3. 情報システムの概要

### 2.4.2 物流サービスの向上

#### (1) 納入リードタイムの短縮

倉庫内業務のリードタイム短縮により、当日締め当日出荷体制(従来は、当日締め翌日出荷)を構築し、納入リードタイムを短縮した。

#### (2) 関西・中国・四国地区客先への直送化推進

当社輸送拠点である配送センターへの前出し在庫削減(関西地区：導入前に比べ60%減)と代理店在庫の削減が進み、配送条件確認等の前広な物流情報管理によって無駄のない輸送が実現できた。

また、直送化拡大・定着により、営業マンの物流コストに対する意識、搬入日管理などのオーダー管理精度が向上した。

### 3. 静岡製作所の取組

主として2週間生産システムの構築について以下に述べる。

#### 3.1 市場からの要求

静岡製作所で生産しているパッケージエアコンの室内機において、約20%の機種が出荷台数の80%以上を占め(図4)、また、大量出荷機種は在庫月数が小さく、少量出荷機種は在庫月数が大きいといった2極化の傾向が見られる(図5)。

また、客先要求納期については1週間以内が40%、2週間以内が60%、3週間以内が80%と、非常に厳しい短納期要求となっており、特に日々発生する引き当て不可受注残(B/O)については、即時に追従できる仕組みを構築する必要があった。

#### 3.2 部品調達上の課題

主要機種とその構成部品には以下の特徴がある。

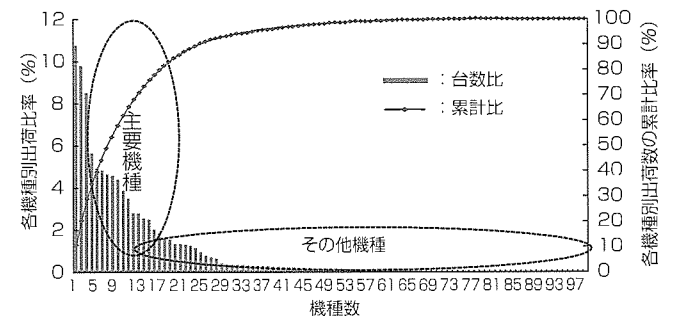


図4. 機種別出荷状況

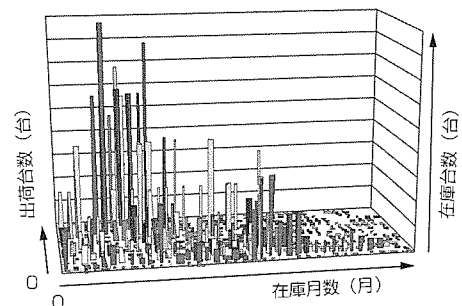


図5. 出荷と在庫月数

- (1) きょう(筐)体部品及びファンモータは、機種グループ間での共通度が高い。
- (2) 主要機能部品である熱交換器においては、子部品の分配管と毛細管の仕様のみが異なる。
- (3) 製造番号銘板は製品仕様の数値が異なるのみで、銘板自体の版は同一のものである。

生産リードタイム短縮上問題となる部品は、共通部品のファンモータと、個別仕様部品の分配管・毛細管、及び製品番号銘板等の印刷ラベル類である。

### 3.3 2週間生産システムの生産方式設計

2週間以内の客先要求納期が60%を占め、調達期間も一部の部品以外は2週間以内でほぼ調達可能なことが分かった。そこで、2週間先1週間分の生産計画を確定する生産方式を設計し確立した。

- (1) 部品共通度と調達期間を考慮し、筐体部品とファンモータを中心とした機種グループを構成した。
- (2) 納期2週間以内の受注変動には製品在庫で、また納期2週間以上の受注変動には機種グループ内の部品在庫で対応するように仕掛かり構造を再設計した。
- (3) 共通部品は機種グループを基に、個別仕様部品は機種別確定数を基に手配する方式を採用した。
- (4) 日々発生するB/Oに対応するため、生産計画を振り替える“日次業務”と、毎週末適正在庫になるよう2週間先1週間分の生産計画を振り替える“週次業務”を設計した(図6)。

### 3.4 2週間生産システムの構築

- (1) 製造プロセス改善によるリードタイム短縮事例

熱交換器の製造工期30日中、その子部品である分配管の調達に15日要していた。今回、分配管加工工程を熱交換器メーカーに集約して製造プロセスを短縮化し、長納期部品の調達リードタイムを短縮した(図7)。

- (2) 2週間先1週間生産振替確定システムの開発

このシステムは、①受注・納期回答システム(既存)、②2週間先1週間生産振替確定システム(新規)、③生産計画策定システム(既存)という三つの独立したシステムで構築されている(図8)。業務分析とシステム分析結果から、既存システムに対して、②の2週間先1週間生産振替確定システムの新規追加のみで実現可能と判断した。これにより、4か月間という短期間で構築することができた。

- (3) 2週間先1週間生産振替確定システムの特長

- (a) 受注情報を毎日受信して、日々の未引き当て在庫が確認できる。これにより、毎日生産計画の振替ができ、顧客要求への即応が可能となる。
- (b) 毎週末に在庫過不足を確認しながら在庫回転率の低い機種の生産計画を減らす一方、在庫回転率の高い機種の生産計画を増やすことができ、総在庫の圧縮が可能となる。

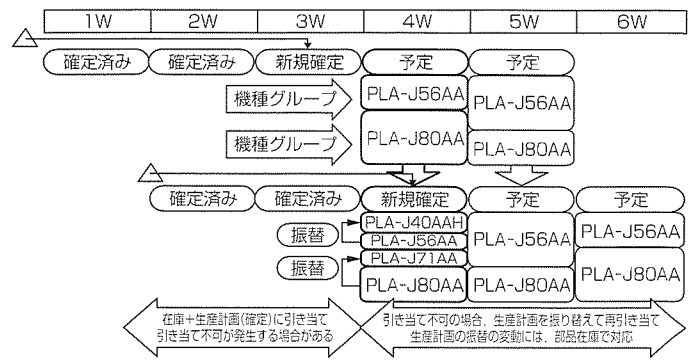


図6. 生産計画確定方式

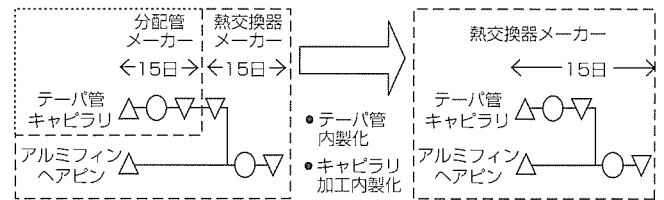


図7. 分配管製造フロー集約化の事例

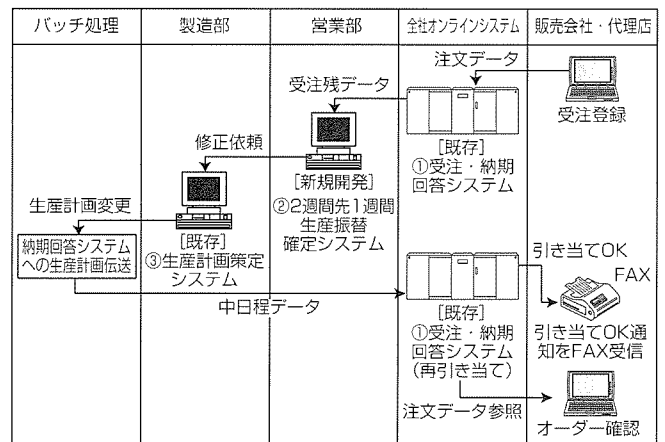


図8. システム全体の関連

### 3.5 2週間生産システム導入後の成果

このシステム導入により、次の成果が達成できた。

- (1) 顧客満足度向上を図るためB/Oに対し日々生産振替を行い、即納期回答を可能とした。
- (2) 毎週在庫量を監視しながら2週間前まで引き付けた時点で生産計画の変更ができるため、在庫削減ができた(20%削減)。

## 4. む す び

今回、冷熱システム製作所、静岡製作所が行った生産システム革新と物流革新により、受注対応での短納期生産、製品在庫の削減、及び物流サービス向上を実現した。

今後は、工場内の改革にとどまらず、更なる顧客満足度向上と生産性向上のために、代理店での受注業務革新を含めた受注～生産指示～資材調達～製造～配送までの全体最適化へと展開を進めていく所存である。

# 自動車機器製造工場におけるIT活用

伊佐地秀樹\* 富田 拓\*\*\*  
市原武志\* 坂田和繁\*\*\*  
松崎武久\*\*

## 要 旨

三菱電機は、自動車の筒内噴射型ガソリンエンジンに搭載される高圧燃料ポンプの生産において、“世界に通用する品質・コストを実現する生産の仕組み作り”をねらい、製造ラインの自動化を図るとともに、ITを活用した品質管理システム(愛称：SPEED)を構築した。このシステムでは、機械加工から組立て・試験まで生産実績や設備稼働実績、品質情報などの製造現場情報をリアルタイムに収集することで、きめ細かな品質管理を行い、より高い品質保証を実現している。

### (1) スピーディな品質改善や設備改善

製造現場情報を設備から自動収集しデータベースで一元管理することで、生産技術部門、工作技術部門、品質管理部門、製造部門の各部門は、ラインの実態を瞬時に把握で

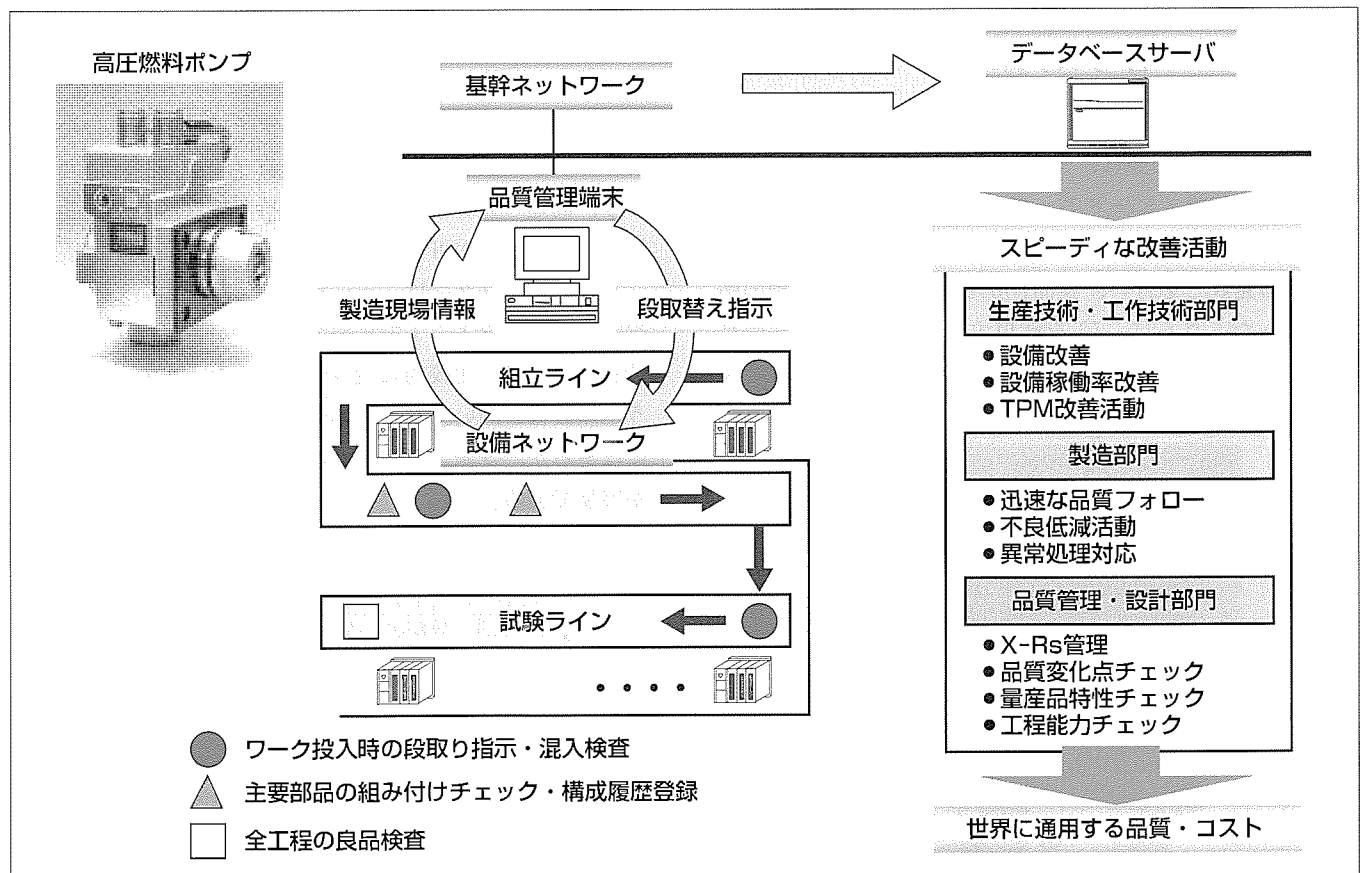
き、迅速な品質改善や設備改善を可能にした。

### (2) 製品個別の製造履歴管理の実現

主要部品に識別コードをマーキングし、製品に組み付けた部品構成を設備から収集し、品質情報とともに製造履歴として管理することで、製造トレーサビリティを向上させた。

### (3) 生産性向上と品質保証の確立

品質管理と製造ラインの自動化を連携させ、①各設備の段取替えの自動化、②品質情報を次工程へ送り加工・組立ての製造条件を決めるフィードフォワード管理、③投入時の異常を自動検知することなどによって生産性の向上と品質保証を確立した。



## 高圧燃料ポンプの自動組立ラインと品質管理システム“SPEED”

自動組立ラインでは、ライン制御も兼ねた品質管理システムで段取替え指示と異常検知を行い、かつ、リアルタイムな製造現場情報の収集を実現している。データベースサーバに蓄積された情報は生産に携わる各部門がスピーディな改善活動を行うための共有情報として活用され、“世界に通用する品質・コスト”を可能にする生産の仕組みを確立した。

## 1. ま え が き

筒内噴射型ガソリンエンジンシステムにおいて、燃料を高圧化させエンジンへ供給する高圧燃料ポンプ(以下“高圧ポンプ”という。)は、更なる高圧化・低コスト化が求められている。

この高圧ポンプ(図1)は、エンジン内のカムからの回転運動をピストン直線運動へ変換し、そのしゅう(摺)動・往復運動によって燃料を0.3MPaから5MPaまで高圧化している。この摺動面は0.1 $\mu$ mオーダーの極めて高い寸法精度と形状精度が要求され、これらの加工組立精度は製品機能上、品質管理上の重要管理項目となっている。

また、車載部品としての安全面において、シール性という人命にかかわる重要管理項目である。

このような高精度の加工組立てと高品質を必要とする製品の製造品質のトレーサビリティ管理について、従来の生産ラインでは多くの労力を要してきた。今回、生産ライン構築に際して、“世界に通用する品質・コスト”を実現するために、生産ライン全体の自動化の実現及び製品完成までの製造履歴管理の仕組み作りは必要不可欠なものであった。

本稿では、高圧ポンプ生産ラインの高品質・低コスト化の核となった品質管理システム“SPEED”について述べる。

## 2. システムの構成

### 2.1 システムの概念

SPEEDの基本思想は、“良品100%の品質保証”のための品質管理と改善スピードアップである。

この基本思想を満たすため、全機種の品質管理項目と管理基準の見直しを行い、良品100%のための品質管理の強化を図った。さらに、ITを活用することで、これらの品質情報を高速に伝達し処理することを可能にした。リアル

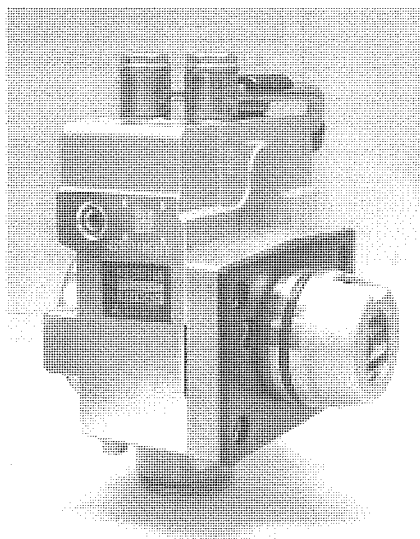


図1. 高圧ポンプ完成品の外観

タイムに設備から計上される製造現場情報(生産実績、設備稼働実績、品質情報)をデータベースで一元管理し、各部門(生産技術、工作技術、品質管理、製造部門)が瞬時にラインの実態把握を行うことで、品質改善や設備改善のスピードアップを実現した。

### 2.2 システム構成

システム構成を図2に示す。SPEEDは、製造現場情報を収集しデータベースへ登録するとともに製造ラインへ段取り指示等を行う“データ収集・制御モジュール”と、生産に携わる各部門へ情報開示する“アウトプットモジュール”で構成される。これにより、スピーディなラインの実態把握と製造現場への的確な生産指示を可能にした。

さらに、アウトプットモジュールの共通化により、各部門が共通プラットフォーム(操作画面、帳票出力等)で運営することで、部門間のスムーズな業務連携(品質評価、トラブル対策等)を実現した。

### 2.3 設備通信インタフェース

設備からダイレクトに情報収集を行うための設備と品質管理端末の通信インタフェース(I/F)は、このシステム導入時の効率化と導入後のメンテナンス性や拡張性を考慮してライン形態に合わせて2タイプに標準化した。図3に各タイプの通信I/Fの構成を示す。

タイプ1では、主に組立ラインにおいてMELSEC-NET/10と呼ばれる三菱電機製PLC(Programmable Logic Controller)専用ネットワークを適用した。特長としては、多数の設備で構成された一貫ラインの制御に向いており、高速・大容量の通信能力を持ち、設備間で製品個別情報の高速伝達が可能である。

次に、タイプ2では、主に加工ラインにおいて品質管理端末と各設備を1:1で接続するシリアル通信を適用した。特長としては、比較的設備台数が少なく小容量通信を行う生産設備に向いており、通信速度・容量ともにタイプ1には劣るが、安価にシステム構築ができ、設備追加・移転が容易である。

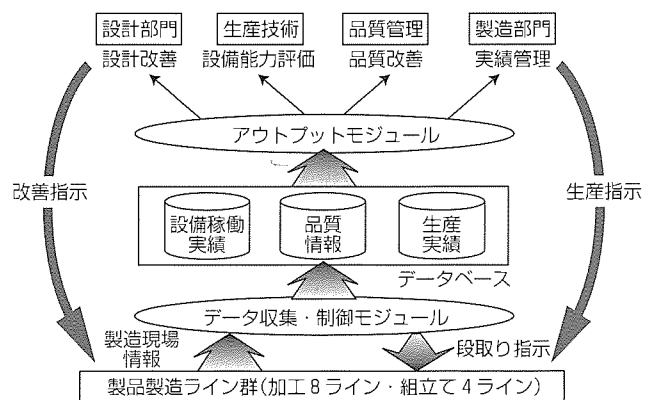


図2. SPEEDの構成



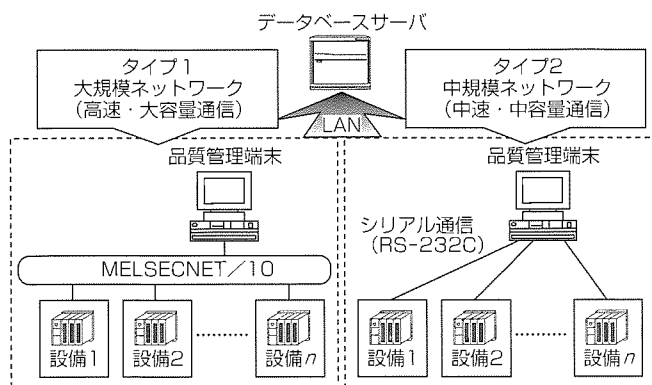


図3. 通信I/Fの構成

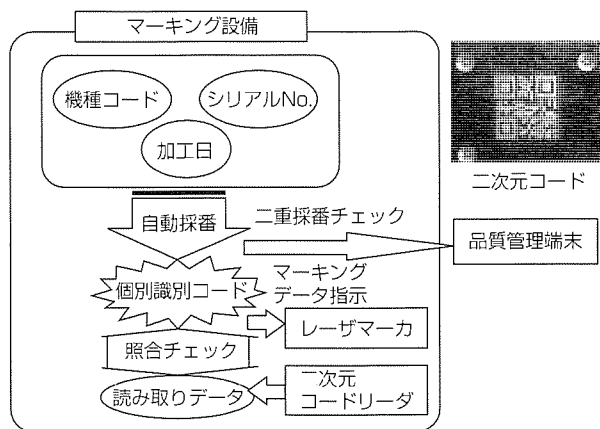


図4. マーキングシステムの構成

## 2.4 マーキングシステム

高圧ポンプの基本性能及び安全性を決める主要部品の製造履歴管理を実現するには、1部品を特定できる識別コードを設け個々に管理する必要があります。そこで、すべての主要部品に二次元コードによる個別識別コードを直接印字（ダイレクトマーキング）し、製造履歴管理の自動化を達成した。図4はマーキングシステムの構成であり、以下にその機能を示す。

### 2.4.1 個別識別コードの自動採番

マーキング設備は、機種コード、加工日、シリアルNo.をユニークとなるように自動採番する。その自動採番された個別識別コードは、品質管理端末で旧採番データとの比較によって二重採番チェックされる。

### 2.4.2 マーキング後の照合チェック

マーキング設備は、マーキング直後にマーキングデータと二次元コードリーダの読み取りデータを照合チェックし、個別識別コードの読み取り確認を行う。

## 3. システムの特長

### 3.1 品質改善や設備改善のスピードアップ

製造に携わる各部門が製造現場情報を共通情報としてリアルタイムに得ることで、生産工程の把握が容易になった。これにより、製造現場情報を活用した品質管理や設備管理の運用業務を確立し、改善の調査・分析時間を大幅に削減することで（システム導入前の1/10）、製品品質や製造設備のスピーディな改善活動を実現した。

#### 3.1.1 迅速な不良予防対策

製造現場及び管理スタッフ部門では、最新の数値化された品質推移をX-Rs管理図によって把握し傾向データとして評価することで、迅速な不良予防を可能にした。

特に重要な品質管理項目については、複数のX-Rs管理図を一覧で確認し、常に品質の傾向把握を行っている。傾向管理による不良予防事例を図5に示す。

#### 3.1.2 個別製造履歴管理

主要部品の品質情報と部品構成情報は個別識別コードご

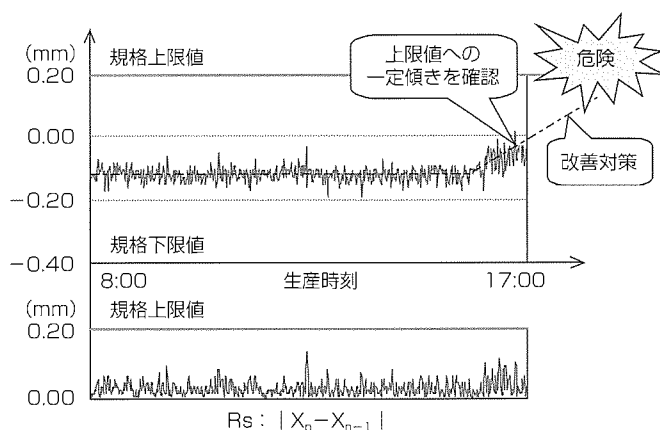


図5. 傾向管理による不良予防事例（ねじ締め時のねじ高さ）

とに管理され、製品の状態を問わず（製造中、一時保管中、出荷後）、いつでも、どの部品でも、その個別識別コードから瞬時に製品を特定し、その製品の品質情報と部品構成の確認が容易になった。また、異常発生時には確実な異常対象物の所在把握と仕分けができる体制を確立した。さらに、その品質履歴から迅速に原因究明を行い、的確な対策が実現できた。

製造履歴の収集時には、同時に組み付け検査（異部品混入検査、良否検査等）による不良予防も実施している。特に、クリアランス精度が厳しい部品の選択かん（嵌）合では、嵌合ランク（嵌合部品の一定寸法範囲ごとの分類）の組合せ確認も行っている。製造履歴管理と組み付け検査を図6に示す。

#### 3.1.3 安定した設備稼働の維持

設備の稼働情報をリアルタイムに収集し、現場と事務所で設備状態（運転状態、異常理由、生産実績等）を把握することにより、異常発生時の迅速な対応を可能にした。

収集された設備履歴から自動作成される工程能力評価表を活用し、効率的なTPM活動（設備改善・メンテナンス計画）が可能となった。

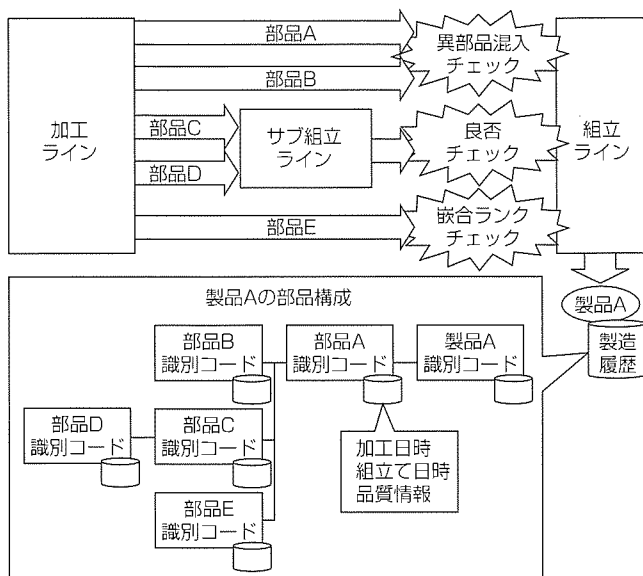


図 6. 製造履歴管理と組み付け検査

### 3.2 品質の作り込み

品質情報の活用により、単に一設備での品質保証のみでなく、その前後の設備に情報を伝達し、適切な製造条件を選択して、より高いレベルの品質保証を実現した。

#### 3.2.1 フィードバック生産指示

選択嵌合管理の重要な点は、最少限の在庫で必要な嵌合ランクの部品を補充することである。そこで、嵌合部品のランクごとの在庫情報から必要ランクをねらった加工指示を行うことで“最少在庫による選択嵌合”を実現した。最新の在庫情報による加工指示を図 7 に示す。

#### 3.2.2 フィードフォワード生産指示

自動組立ラインでは、各設備の段取替えの自動化に加え、製品と一緒にその品質情報も次工程設備に送り品質履歴から製造条件を決定するフィードフォワード生産指示を確立した。具体的には、ライン投入時の異常検知、前設備の良品チェック、個々の品質履歴に合わせた設備選択を可能にした。自動組立ラインのフィードフォワード生産指示を図 8 に示す。

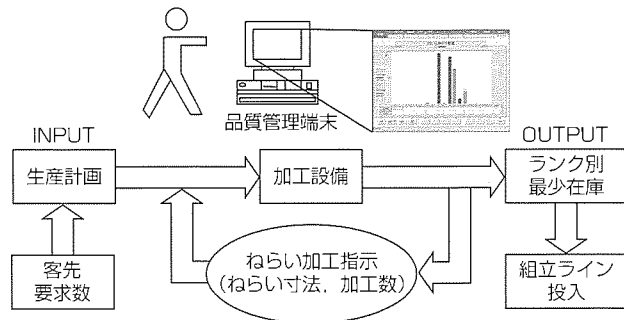


図 7. 最新の在庫情報による加工指示

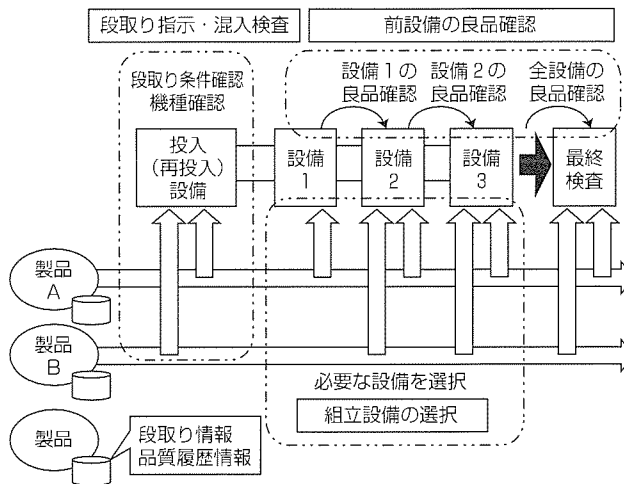


図 8. 自動組立ラインのフィードフォワード生産指示

## 4. む す び

今回、品質情報を製造ラインからダイレクトに収集する品質管理システムにより、製品個別の製造履歴管理や製造ラインへのフィードフォワード、フィードバックが実現でき、高度な品質保証が確立できた。今後もラインの自動化レベルの向上及びシステムの適用範囲の拡大と機能の強化を図り、このシステムを活用するノウハウを蓄積し成長させていく所存である。

# 電子ビームろう付装置の開発とその応用

野口 洋\* 菊池正雄\*\*  
 村上和之\* 竹野祥瑞\*\*  
 吉川利幸\*

## 要 旨

電気・電子部品の微細化に伴い、接合加工に対する要求も次のように高度になってきている。

- 接合領域の微細化
- 熱影響(熱ひずみ, 熱損傷)の抑制
- 接合品質(信頼性)の向上
- 生産性の向上

このほかにも、適用材料の多様化、コスト低減なども重要である。

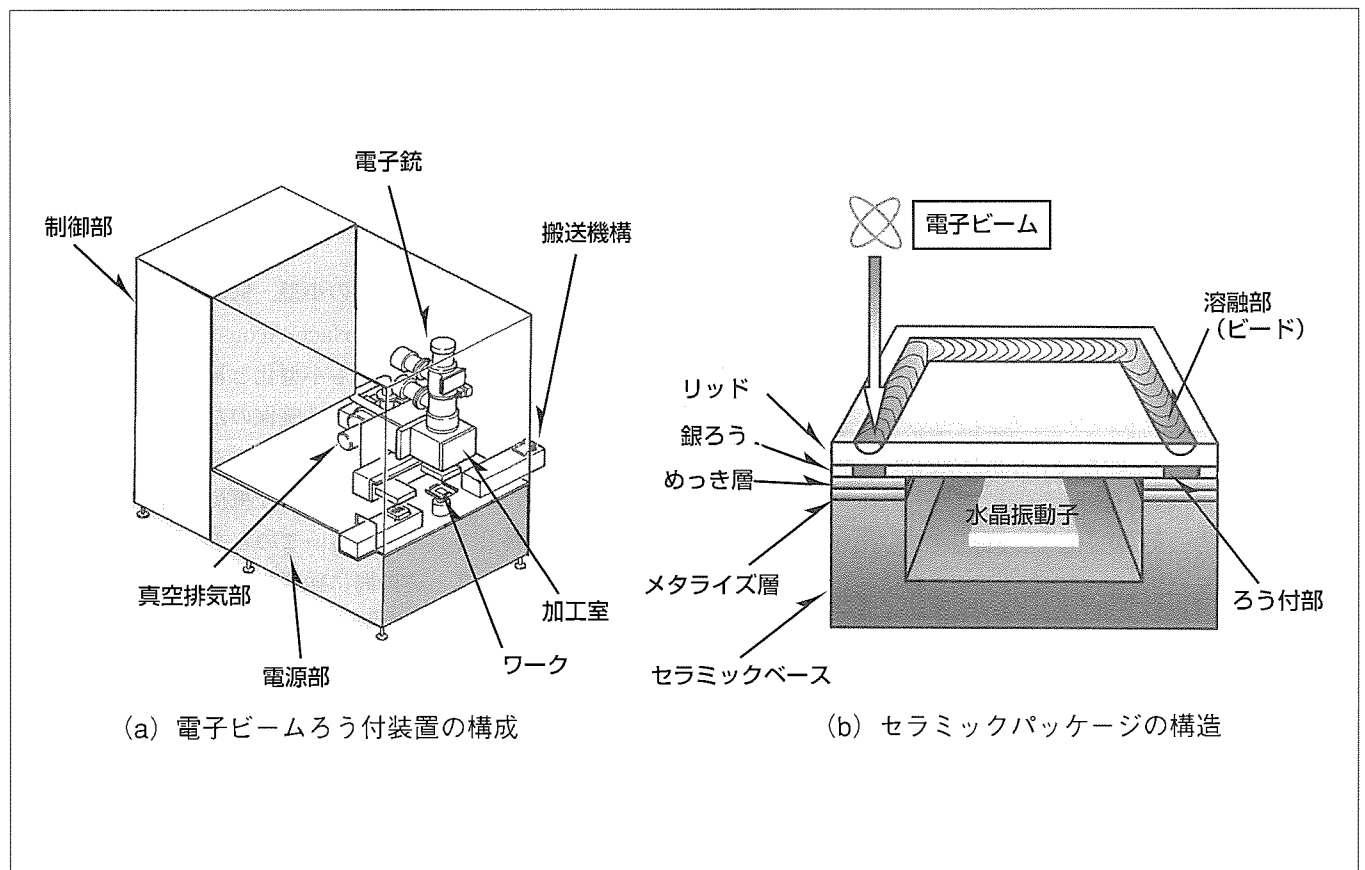
しかし、従来の抵抗熱源応用の溶接やろう付加工法でこれらの要求にこたえるには限界にきている。三菱電機は、電子ビームの熱源としての優れた特性を生かし、これら困難な課題を解決できる新しい加工技術として電子ビームろう付法を開発し、その装置を製品化した。

本稿では、電子ビームろう付法の特長について概説する

とともに、小型情報家電機器に搭載される水晶振動子のパッケージ封止と自動車用二次電池における正・負極板の接合プロセスに電子ビーム加工を適用した事例を紹介する。

水晶振動子のパッケージ封止では、電子ビームろう付法の適用により、従来のシーム溶接では困難なパッケージの小型化・高性能化・低価格化を実現し、生産性も従来法の2～3倍に向上できた。現在、電子ビーム加工機で封止した3.2mm×2.5mmサイズの小型パッケージが発売されている。

一方、自動車用二次電池組立てにも電子ビームろう付法を適用することにより、ごく薄い正・負極板と薄い集電板を高品位に接合することが可能となって、従来品に比べて小型(容積40%減)・軽量化(質量20%減)・高効率化(出力密度70%増)が実現された。この新しい電池モジュールは2000年5月から製品化されている。



## 電子ビームろう付装置の構成とセラミックパッケージの構造

電子ビームろう付装置は、電子銃、高電圧電源・制御システム、加工室真空排気システムなどで構成される。装置1台で、水晶振動子パッケージ100万個/月以上の高い生産性を持っている。Fe-Ni-Co合金板に銀ろうをクラッドしたリッドをセラミックベースに密着させ、リッド表面から電子ビームを照射し溶融させることによって熱伝導で銀ろうを溶融し、リッドとセラミックベースをろう付する。

1. ま え が き

電子機器の小型・高性能化が進む中で、搭載される電子部品も微細・高機能化しており、微小なパッケージの気密封止や薄板導体の接続などに対応できる発じん(塵)レスで母材や周辺部品への熱影響が少なくかつ生産性に優れた接合法が求められている。

本稿では、これらの要求にこたえる品質と生産性を両立可能な電子ビーム熱源を用いた新しいろう付法を紹介する。

2. 電子ビームろう付法の特長

表1に電子ビームろう付法と各種ろう付法の比較を示す。電子ビームろう付法は、真空中、局所・ごく短時間加熱、超高速熱源制御という特長がある。これによって得られる効果について以下に述べる。

2.1 微細、低ひずみ、高品質接合

電子ビームは容易に微小径に絞り込むことが可能である。例えば、数百Wクラスでは、そのビーム径がレーザと並んで約0.1mmである<sup>(1)</sup>。このため、エネルギー密度が他のアーク熱源や抵抗熱源と比較すると1~10MW/cm<sup>2</sup>と極めて高く(表2)、加熱領域が微小かつ短時間であっても、接合に必要なエネルギーを非接触で投入することが可能である。その結果、アーク熱源や抵抗熱源では困難なひずみ極小の接合が可能となる。しかも、レーザのように被接合材料の種類や表面状態、表面温度などによって反射率が大きく変化することがないため、あらゆる金属材料に対し、照射エネルギーに応じた安定な入熱投与が可能である。このような熱源的長所を利用することにより、従来は困難であった微細、低ひずみのろう付が可能となった。

表1. 各種ろう付方法の比較

方 法	雰 囲 気	加 熱	熱源制御速度
電子ビーム	真空	局所的 ごく短時間	超高速
加熱炉	不活性ガス	全体的 長時間	低速 (全体加熱)
	真空		
抵抗加熱	不活性ガス	局所的 短時間	高速
誘導加熱	不活性ガス	局所的 長時間	中速

表2. 各種熱源の比較

熱 源		エネルギー密度 (W/cm <sup>2</sup> )
電子ビーム	パルス	10 <sup>7</sup> 以上
	連続	10 <sup>6</sup> 以上
レーザ	パルス	10 <sup>7</sup> 以上
	連続	10 <sup>5</sup> 以上
抵抗発熱		10 <sup>4</sup> 程度
プラズマアーク		10 <sup>5</sup> 程度

電子ビームは、電磁力で電氣的に偏向することができるため、レーザビームの偏向に用いられるガルバノミラー等の機械的な操作方法に比べ、ビーム走査速度は最大10,000m/min、オシレーションで最大5kHzと極めて高くできる<sup>(2)</sup>(表3)。したがって、電子ビームを用いるろう付法では、被接合物への熱影響を従来に比べて著しく抑制することが可能となる。また、ビームの走査パターンは偏向コイルへの電気信号で任意に設定できるため、寸法形状の異なる被接合物の段取替えが容易である。さらに、ビーム移動時に機械的な偏向法のように慣性の影響を受けないため、任意にビーム移動速度が制御できるので、加熱領域の入熱分布を随意に制御できる。このことにより、熱容量の不均一な部品に対しても加熱温度分布を均一にして、安定なろう付が可能となる。

2.2 高い信頼性と生産性

電子ビーム加工は真空中で行う。すなわち、他の接合加工と比べてより清浄な環境で行うため、異物の影響がない接合品質が得られる。ただし、真空排気が必要なので一般に電子ビーム加工は生産性が低いと考えられていた。しかし、多数個一括加工方式やロードロック方式の採用による連続排気のカセット式電子ビーム加工機を開発し、従来に比べて格段に高い生産性を実現できた。溶接加工などで既に量産ラインでの実用実績も多い。

これらの特長は電子ビームをろう付法に適用した場合にも大いに発揮され得る。

3. セラミックパッケージの真空封止への適用

3.1 従来法における課題

携帯電話などの通信機器の小型・低価格化に対応して、これに搭載されるSAW(Surface Acoustic Wave)フィルタや水晶振動子などの部品にも小型化と量産性が要求されている。これらの素子は、信頼性確保のためセラミックベースに収納し、リッドと呼ばれる金属のふた(蓋)を対向したローラ電極によって不活性ガス中で抵抗熱源応用の平行シーム溶接して封止される。このとき、図1及び図2に示すようにベースと蓋の間に緩衝材として金属製のシールリングと称する溶接用の棒をあらかじめベース上にろう付しておくことが必要だが、これが低コスト化や小型化(薄型化)の障壁となっている。さらに、対向したローラ電極がぶつかってしまうので、平行シーム溶接ではパッケ

表3. 高速偏向の比較

	電子ビーム	レーザビーム
原 理	電磁界 (電気式)	ガルバノミラー (機械式)
最大周波数	5kHz	500Hz
最大移動速度	10,000m/min	3,000m/min

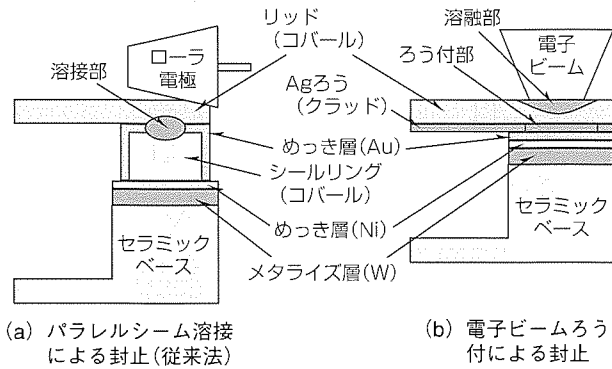


図1. セラミックパッケージ封止法の比較

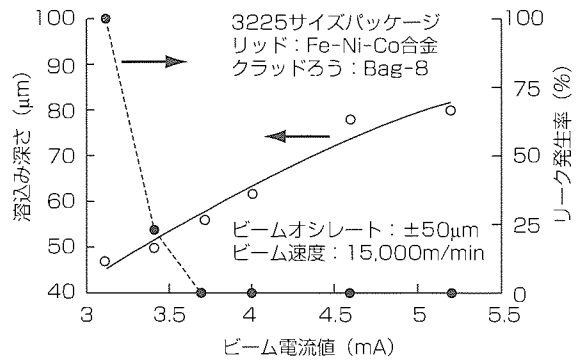


図3. リッドの溶込み量と封止接合性の関係

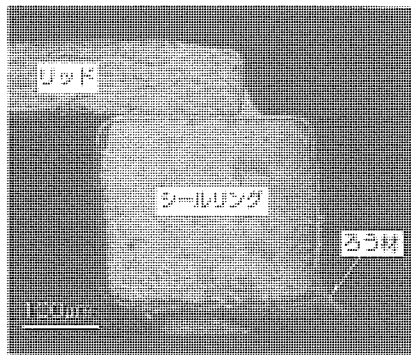


図2. パラレルシーム溶接法による封止部断面

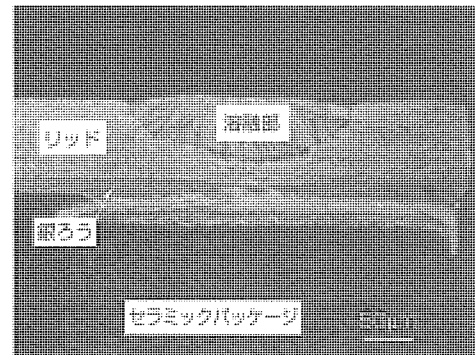


図4. 電子ビームろう付法による封止部断面

ージ幅の小型化には限界がある。そこで、封止接合に電子ビームろう付法を適用することによって、上記課題を解決できる新しい封止技術を確立した。

### 3.2 電子ビームろう付の適用効果

#### 3.2.1 低コスト化, 小型化, 品質向上

電子ビーム熱源では、図3のように、10μmオーダーで溶込み深さが制御できる精密な入熱コントロールが可能となる。これを利用して、図4のようにリッドの溶融を内部に止めながら裏面にクラッド又はめっき供給したろう材を熱伝導で溶融させ、封止パスを低温で形成することによってシールリングレスでかつ熱衝撃によるダメージなしに封止することが可能となった。シールリングレスにより、低コスト化と厚さ方向の小型化(薄型化)が実現された。また、従来のようなローラ電極が不要となるため、狭幅のパッケージにも対応でき、今後のパッケージの小型化にも適用し得る。

図5に5032(5mm×3.2mm)サイズパッケージへの適用例を示す。図の(a)に示すように、リッド上には幅0.25mm程度の安定な微細ビードが形成され、図の(b)のようにパッケージの全周にわたって安定した封止パスが形成されていることが分かる。

このほかに、真空中で接合するこの方法では従来の不活性ガス封入方式のパッケージに比べて水晶振動子の発振特性が向上することも確認されており、真空封止によって製

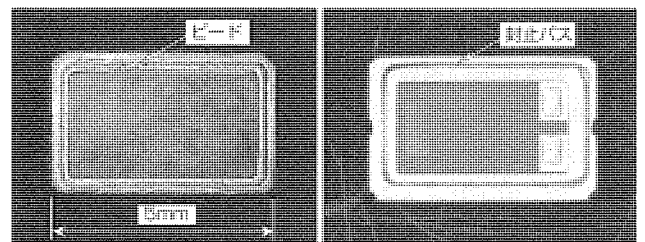


図5. 封止したセラミックパッケージの外観

品性能の向上が図れた。

#### 3.2.2 高速偏向による生産性向上

セラミックパッケージのような小型部品の大量生産に対しては、電子ビーム加工の特長である高速偏向による熱源移動で高い生産性を実現できる。

図6に模式的に示すように、パレット上にマトリクス配置した多数のパッケージにビームを走査して封止を完了した後、隣接するパッケージにビームを止めることなく高速移動できる。封止時間約50msに対して移動時間はわずか0.1msであり、移動中の熱影響と移動時間はほとんど無視できる。タクトタイムは0.7~1秒/個以下であり、シーム溶接法の1~3秒と比較して格段に短縮できる。三菱電機製電子ビーム加工機は一括封止可能領域が30mm角で、現在、量産されている3225サイズのパッケージの場合、28個のパッケージが1パレットで一括封止できる。

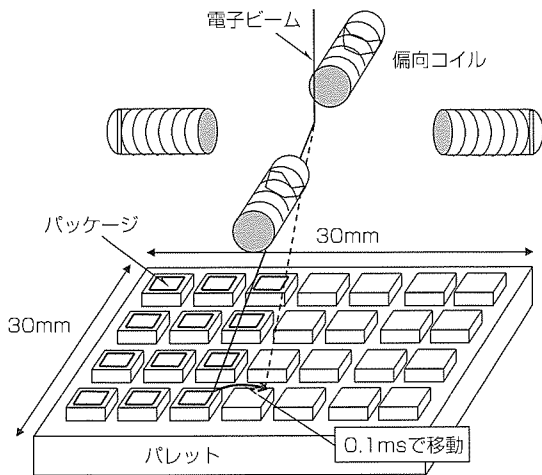


図6. 高速偏向による多数個取りの概念図

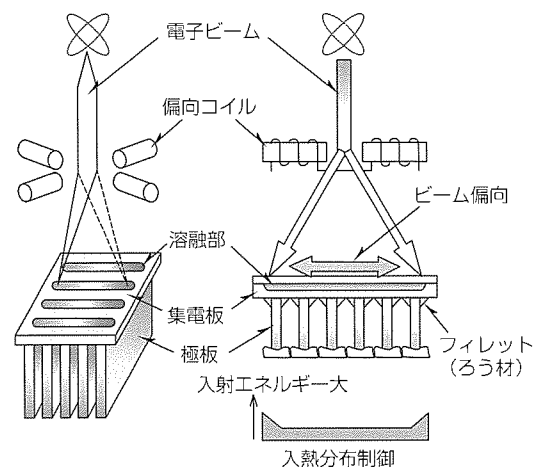


図7. ニッケル水素電池の極板接合概念図

#### 4. ニッケル水素電池の正・負極板接合への適用

##### 4.1 従来法における課題

従来のニッケル水素電池は、正・負極板(以下“極板”という。)ごとにリード状の導体を取り付け、それらを束ねた構造であった。これに対し、小型化・高出力化を目的に、複数の極板及び紙状の絶縁部材を積層し、極板群の端面をそれぞれ集電板の表面に対し直立させた姿勢、すなわちT型継手で突合せ接合した新しい構造(図7)が提案された。この端面集電構造は電池の体積効率を高くできる利点を持つが、構成部品の集積度が高いため、従来の抵抗熱源応用の溶接や炉中ろう付法では接合部近傍の絶縁部材に熱損傷を与えずに接合することが困難である。

そこで、電子ビームろう付法による極板の低入熱接合技術を確立し、電池の小型化・高出力化・高効率化を実現した。

##### 4.2 自動車用ニッケル水素電池の極板接合

図7は、ニッケル水素電池の極板の端部に集電板をT型継手形状でリード状の導体を取り付けることなく直接接合する場合の概念模式図である。

今回開発した電子ビームろう付法では、4kWを超える高集束の電子ビームを100ms程度の短時間照射することによって接合部表面を局所加熱してろう材を溶融させ、正極板と集電板をろう付するものである。加熱された集電板からの熱伝導によってろう材が溶融してT型継手部にフィレット(隅肉)を形成するので、熱ひずみが発生することなく大きな接合面積を短時間で得ることができる。また、集電板の表面のみを溶融し溶融部が裏側まで貫通しないので、極板側にスパッタを飛散させることがない。しかも、従来の炉中ろう付などに対し、加熱が局所的でかつ短時間のた

め、接合部近傍の絶縁物への熱損傷がほとんどない。

さらに、ビーム照射位置を高速で偏向させる高速偏向装置によって入熱分布を容易に制御できるため、接合領域に均一な温度分布を確保でき、安定した接合が得られる。

この方法の適用により、電池モジュールの小型(容積40%減)・軽量化(質量20%減)・高効率化(出力密度70%増)を実現し、2000年5月から新製品が発売されている。

#### 5. むすび

ろう付用熱源として電子ビームの特長を生かした電子ビームろう付法と装置を開発した。この新しいろう付法によれば、

- 高エネルギー密度ビームで微細接合が可能
- 接合部のみを短時間で加熱するため、加工対象物への入熱量を抑制でき、熱影響が少ない
- 真空中の加工なので接合の信頼性が高い
- 高速ビーム偏向によって高い生産性が実現できる
- 高速ビーム偏向によって入熱分布の制御が可能であるため、熱容量が不均一な部品でも安定に接合できる

などの効果が得られる。今後、種々の電子デバイスの気密封止や薄板の接合などに、ますます適用が拡大していくものと期待される。

#### 参考文献

- (1) 石見泰三, ほか: 電子ビームの高機能化と加工への応用, 三菱電機技報, 67, No.8, 760~764 (1993)
- (2) 荒川及蔵, ほか: 微細接合用電子ビーム加工機, 三菱電機技報, 71, No.4, 413~416 (1997)

# 携帯電話のソフトウェア機能試験システム

笹井浩之\* 岩井匡代\*\*\*  
 今川 剛\* 橋 大志\*\*\*  
 岡庭一浩\*\*

## 要 旨

携帯電話は、小型情報端末として多機能化が進み、搭載されるソフトウェア量が大幅に増加している。それに伴って、動作検証を行う機能試験は複雑になり、試験期間の長期化やコストの増大を招いている。製品のライフサイクルが短くなる中で、熟練を要する機能試験は人的補強にも限界があり、機械化が望まれている。

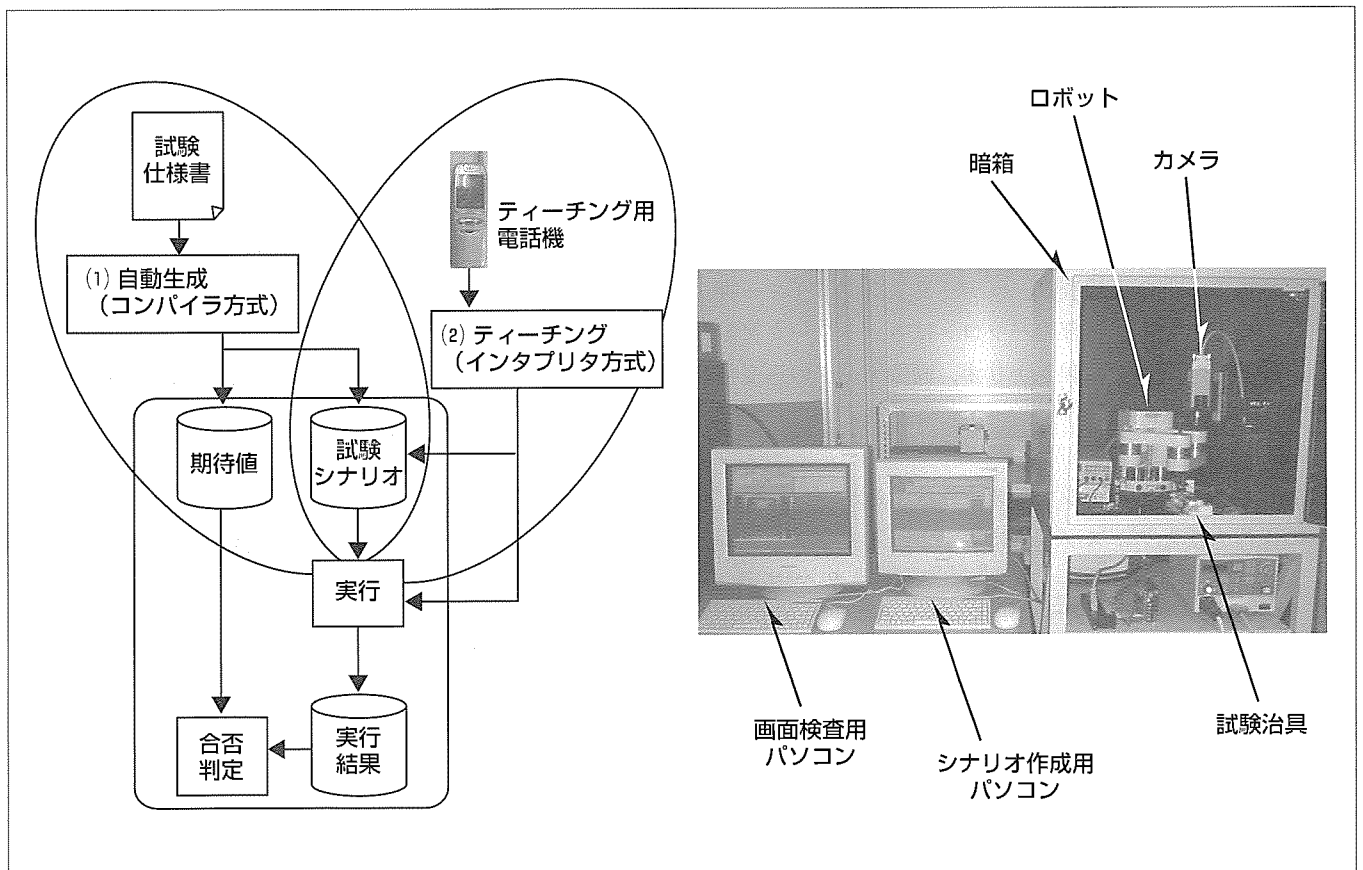
開発した機能試験システムは、シナリオ作成、画面検査、データ集計用の各パソコンとカメラ及びロボットで構成され、作業者の負担が大きいキー操作とディスプレイの表示検査を自動的に行う。電話機を治具に設置した後、シナリオ作成パソコンを操作して、実行ログと試験結果、異常発生時の画面等を順次記録していく。

試験には、膨大な操作手順とテスト項目を必要とするため、試験シナリオを試験仕様書から自動生成する機能と、

想定外操作も加味して、本体のキー操作をシナリオに反映させる機能を持っている。

電話機の操作キーは、機種ごとに形状や配置が異なる上、スクロールキーでは方向選択と確定動作が加わるため、キー操作機構に三菱電機製マイクロ作業用ロボットを導入することにより、機種変更時の段取り作業も大幅に削減した。

ディスプレイの表示内容は、文字や背景等の静止画以外にカーソル点滅やアニメーション等の動画も含まれるため、カメラで連続取り込みした画像から安定画像のみを自動抽出する機能を開発した。画面検査はディスプレイの画素単位で異常を検知する必要があり、位置補正やフィルタ補正で計測誤差を抑え、濃淡画像処理でパターン比較の高精度化を図った。この技術の応用により、ソフトウェア改訂に伴う動作不具合を自動検出する試験システムを実現した。



## 携帯電話のソフトウェア機能試験システム

マイクロ作業ロボットで携帯電話のキー操作を行い、液晶画面の表示状態を上部に配置したカメラで撮像する。試験シナリオに沿って画像データを順次入力し、あらかじめ設定されている期待画像と比較検査し、実行記録を残していく。設定画面と異なる場合は、画像データを保存しているので、不良解析やソフトウェア改善に即座に結び付けられる。このシステムを応用し、ソフトウェア改訂前後の電話機の画面を同時比較して想定外異常を自動検出するシステムも開発している。

## 1. ま え が き

携帯電話は、インターネットや電子メール等の通信機能が付加され、小型情報端末として多機能化・高性能化が進んでいる。これに加えて、製品のライフサイクルが年々短くなる中で、顧客ニーズに合わせた高品質・低価格な製品をタイムリーに供給することが重要であり、設計評価の効率化と質的向上を追求しなければならない。

一方、機能増加に伴ってソフトウェアの開発量が大幅に増え、動作検証を行う機能試験の負荷が従来の3倍以上に増大している。現行は人手作業で対応しているが、評価期間の短縮が困難な上、作業自体に熟練を要するので、人員補強にも限界がある。

これらの問題を解決するために、ソフトウェア機能試験システムを開発した。このシステムは、ロボットによるキー操作、カメラによるディスプレイ表示画面の取り込みと自動判定、これらの機器を制御し試験結果を蓄積するパソコンからなる。

本稿では、試験システムの構成、シナリオの作成方法、表示画面の検査方法、機能試験の具体例について述べる。

## 2. システム構成

携帯電話の機能試験は、試験仕様書に従って操作キーを押し、各種機能の動作状態を調べるものである。作業自体はメモリ登録や電卓演算などのようにデータ入力とディスプレイの表示確認を繰り返すことが多いため、キー操作と画面検査を機械化し機能試験の効率アップを図った。

開発した機能試験システムは、図1に示すとおり、①シナリオ作成部、②画面検査部、③データ集計部、④キー押し下げ機構からなる。各部のパソコンはネットワーク接続され、操作コマンド、試験シナリオ、画像データの送受信を行う。

### 2.1 シナリオ作成部

機能試験の手順となるシナリオを作成するパソコンで、キーの操作方法とディスプレイに表示される文字列や画面

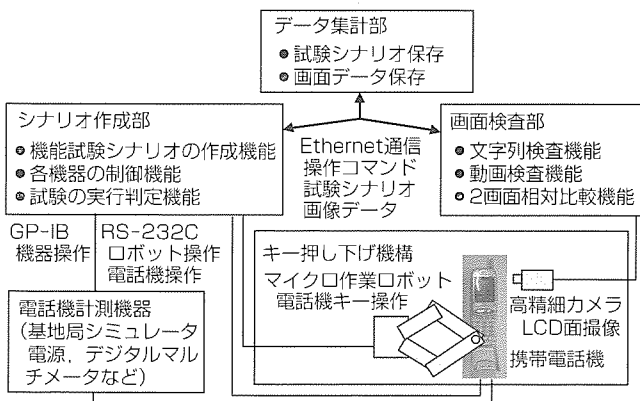


図1. 機能試験システム

の期待値を設定する。これら以外に、電話機やロボットの制御も担当し、このシステムの中核部となっている。試験シナリオの中には24時間以上の連続運転を行うものもあるため、信頼性の高いFA用パソコンを用いている。

### 2.2 画面検査部

ディスプレイの上部に配置したCCDカメラで表示画面を撮像し、文字列や図形を期待値と比較する。ディスプレイは大型化し表示文字数が増えているので、カメラは白黒高精細タイプを使用し、濃淡画像処理で表示漏れや文字化けなどの異常を画素レベルで検査する。

### 2.3 データ集計部

試験シナリオや画面データを保存するサーバで、大容量のハードディスクを備えている。保存されたデータは再度読み出して実行状態を確認することができる。

### 2.4 キー押し下げ機構

操作キーは機種ごとに配置が異なる上に狭小ピッチを高速かつ低荷重で操作する必要があるため、三菱電機製マイクロ作業用ロボットにペン型シリンダを搭載し、押し下げ動作を行う。このロボットは高速高精度を特長としているので、スクロールキーなどの方向選択と確定動作の組合せに対しても、0.2s/回で操作することができる。

## 3. シナリオ作成

試験シナリオは、キー操作に対応したロボット制御コマンドと確認ポイントでの画面取り込みコマンドで構成される。自動試験は、各項目を順次実行して、試験結果を合否判定する。

膨大なキー操作手順とテスト項目を設定するため、このシステムでは、2種類のシナリオ作成方法を提供している。通常は試験仕様書から自動生成するが、意地悪試験のような想定外動作を盛り込む場合は、実機操作によるティーチングで修正を加える。

### 3.1 自動生成

試験仕様書に記載された試験パターンからコンパイラ方式で試験シナリオ及び実行結果の期待値を自動的に生成する。期待値はディスプレイの所定領域に表示される文字列や図形を指定したテキストであり、画面取り込みコマンドで取得した画像を検査して期待値との比較判定を行う。この方法は、一定の操作手順で繰り返し作業が多いワールドウォッチや電卓などの機能に対して有効である。

図2にワールドウォッチ試験での自動生成例を示す。ワールドウォッチは現在時刻を地域ごとに表示するものであり、うるう(閏)年やサマータイムなどの切り替わりにおいて誤りを起こしやすいため、時刻設定と地域選択、時刻確認を8,000通り以上繰り返し実行する。

### 3.2 ティーチング

実際に人が電話機のキーを操作し、シリアル接続された



地域、サマータイム

1	東京	ニューヨーク	ニューヨーク
2	設定時刻	通常	サマー
3	2000/01/01 09:30	1999/12/31 19:30	1999/12/31 11:30
4	2099/12/31 23:30	2099/12/31 09:30	2099/12/31 10:30
5	2000/02/28 23:30	2000/02/28 09:30	2000/02/28 10:30
6	2000/02/29 00:30	2000/02/28 10:30	2000/02/28 11:30
7	2000/02/29 23:30	2000/02/29 09:30	2000/02/29 10:30
8	2000/03/01 00:30	2000/02/29 10:30	2000/02/29 11:30
9	2004/02/28 23:30	2004/02/28 09:30	2004/02/28 10:30

図2. シナリオ自動生成例(ワールドウォッチ)

シナリオ作成用パソコンを用い、実行手順をインタプリタ方式で試験シナリオとして記録する。この方法は、入力項目が多く複雑な操作を伴うスケジューラや電話帳などの機能に有効である。電話機のキー操作以外に、図3に示すシナリオ作成画面のキー操作部を用いて記録することもできる。

操作キーの押し下げ時間は短押/長押で個別に設定し、同一シナリオでも時間を変えて反応を調べることができる。また、作成されたシナリオはテキストエディタで追加修正できるので、シナリオ作成用パソコンに計測機器を接続して専用コマンドを付加することにより、電流値を計測したり、低電圧にしてバッテリー切れを想定した状態で試験することもできる。

#### 4. 表示画面の検査

ディスプレイの表示不良には画素単位の欠陥など目視検査では判定困難な異常が含まれるため、高精度なパターン認識が必要となる。このシステムでは、認識精度の劣化要因となるディスプレイの位置ずれや画面のちらつき、輝度むら等をソフトウェア処理で補正した後、パターン認識を行う。パターン認識には文字列の自動検査とイメージの相対比較の2種類があり、期待値と計測値の比較結果をシナリオ作成用パソコンに送信する。

##### 4.1 動画対応

画面表示は、文字や背景などの静止画以外に、カーソル点滅やアニメーション表示などの動画も含まれる。動画は複数の静止画で構成されるが、動画を任意に入力すると図4の(b)のように過渡状態の画像となり、画面検査を行うことができない。このシステムでは、画像を連続取り込みしてフレーム間の変化量を調べ、動きが最も少ない状態の安定画像のみを自動抽出する(図4の(a)(c))。カーソル点滅では、抽出画像の繰り返しを検出し、試験ログに残す。図5はアニメーション表示の例であり、1回のキー操作で画面表示が連続的に変化する場合でも、安定した画像を抽出し、画面検査を行うことができる。

##### 4.2 文字列検査

文字列検査は、表示画像内に含まれる文字(英数字、アイコンなど)を認識し、期待値の文字列と一致しているか

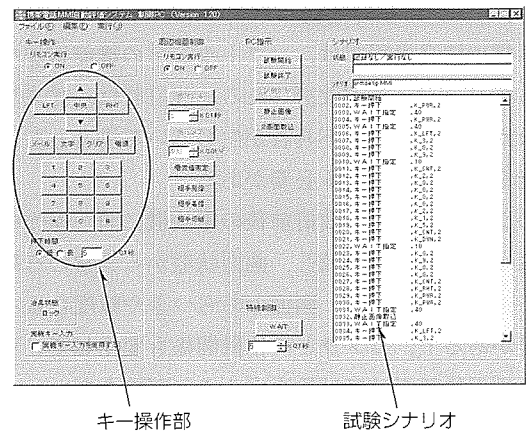


図3. シナリオ作成画面

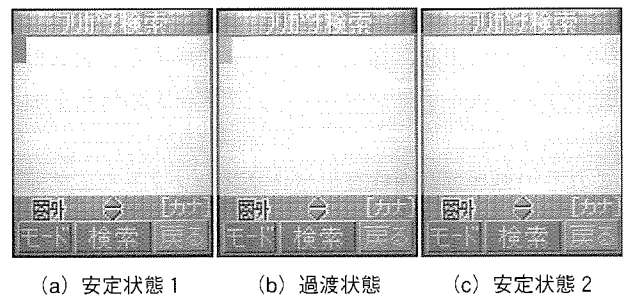


図4. 動画変化(カーソル点滅)

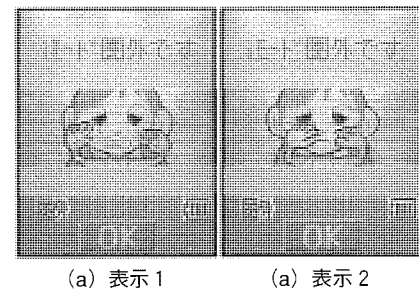


図5. 動画(アニメーション抽出例)

否かを検査するものである。認識する文字は、事前に登録作業を行い、サイズやフォントをカテゴリーごとに分類しておく。

補正処理した画像の設定範囲から文字を順次切り出して、位置情報を基に同一行の文字列に変換していく。一行内に空白部がある場合は、スペースが挿入されたものとして処理する。例えば、電話帳に名前を登録した場合は、“三菱太郎”は、“三菱”“SP”“太郎”“CR”が出力され、“三菱”と“太郎”の文字列が期待値と比較される(SP:スペース, CR:キャリッジリターン)。

この機能を活用して、同一行内で左詰めにアイコン、右詰めに文字が表示されている場合でも、文字列を区分して検査することができる。さらに文字は、フォントやサイズを指定すれば、カテゴリーの誤りも検出できる。

### 4.3 イメージの相対比較

電話機の開発過程では、ソフトウェアの機能追加や修正に伴ってバージョンが改訂される。改訂時は、従来全く問題のなかったところに不具合が生じている場合もあるので、全機能を一通り確認する必要がある。

このシステムでは、改訂前後の電話機に同一操作を行って、表示画面を相対比較し、画面状態から異常の有無を調べる。ディスプレイは、画面のちらつきや輝度むらなどの固体差がある上、カメラとの位置関係も変化しているので、単純な画面比較だけでは検査することができない。

そこで、同一状態の画像を複数撮像し、平均化・正規化処理を加え、入力画像を安定化させる。治具取付け時の姿勢変化に対しては、試験開始時にディスプレイ有効エリアを確定させるパターンを表示して、位置(XYθ)と大きさ(スケール)を検出し、補正テーブルを作成する。画面の相対比較では、補正テーブルを基に画像データの修正を加える。

これらの処理は画面検査用パソコンのソフトウェアで実現しており、高速CPUを用いて約1s/画面(入力0.3s, 検査0.7s)で検査している。比較結果でNGとなった場合は、試験ログと画像データを見れば不具合の再現確認とソフトウェアのデバッグ作業に即座に取り掛かることができる。

この機能は、ソフトウェア改訂前に動作検証を終えていれば試験シナリオに期待値を設定する必要がないので、最終段階における機能試験を効率的に行うことができる。

## 5. 動作検証例

### 5.1 ワールドウォッチ

図6のとおり、各都市の時刻を読み取り、期待値の文字列と比較する。画面内で認識した文字は青線で囲まれ、位置情報から同一行の文字列を抽出し、時刻とする。検査時間は1s/都市以下である。

### 5.2 スケジューラ

図7のとおり、2台の電話機に同一スケジュールを設定し、登録内容の確認や修正・削除などの操作を行う。設定項目が所定の容量を超えるとアラームを出す。障害が発生しやすい状態でもあるので、全項目の入力確認が必ず(須)である。

## 6. む す び

携帯電話は、多様な市場要求にこたえるため、今後更に多機能化・高性能化が進んでいく。メーカーにおいては、巨大化するソフトウェアに対して、品質管理と機能試験を

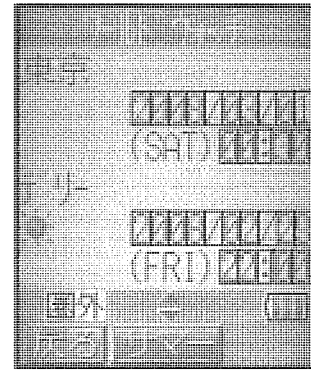


図6. ワールドウォッチの動作検証

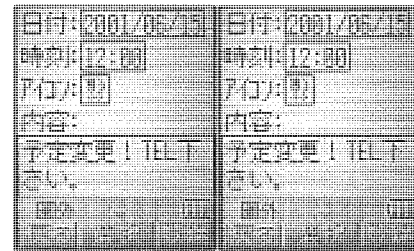


図7. スケジューラの動作検証

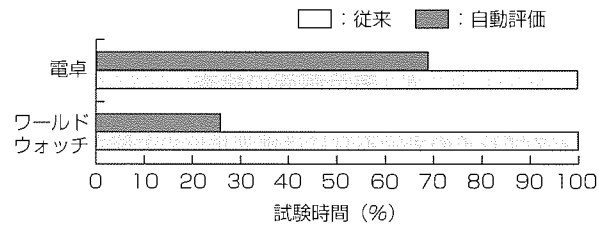


図8. 導入効果

強化し開発効率を高めていく必要がある。

このシステムでは、作業者の負担が大きく人為的なミスを起こしやすい項目を重点的に実施し、図8のように時間短縮を実現した。また、判定の自動化によって見落としや判断ミスが未然に防止でき、設計評価の品質向上や開発効率化に貢献している。

今後は試験シナリオを順次追加し、通話やメールなどの機能試験にも対応できるよう拡張していく予定である。

## 参考文献

- (1) 広兼竜一, 山田 剛, 広岡邦江, 笹井浩一, 岩井匡代, 増田 隆: 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, No4, 321~324 (1998)

# 漏電遮断器用零相変流器の生産設計

秋田裕之\*  
平川哲真\*\*  
塚本龍幸\*\*\*

## 要旨

漏電遮断器は、感電や火災などの事故から人命や財産を守るために不可欠な機器であり、一般家屋、ビル、工場等に幅広く利用されている。過電流時に電流を遮断する一般のノーヒューズ遮断器に加えて、漏電検出のための零相変流器(ZCT)が搭載されている。

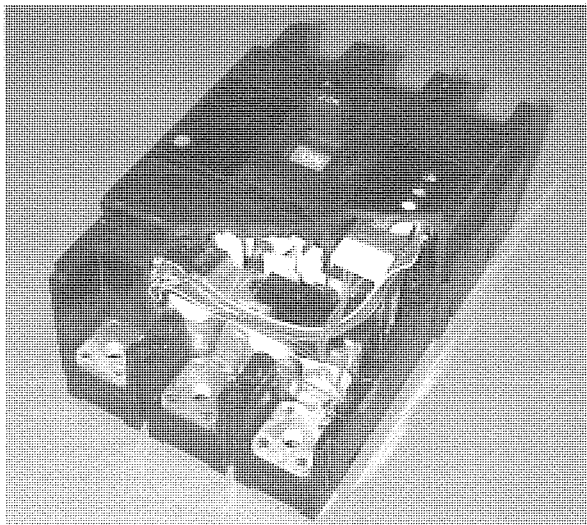
ZCTは、モータ負荷等の起動突入電流(定格電流の約6倍、例えば1.350A)を含む一次電流のベクトル和から微弱な漏電電流(30mA)を検出しなければならない。すなわち、ZCTの基本特性として、高感度な出力特性とS/N比で数万倍の平衡特性が要求される。

従来、これら特性を得るために、リングコアの胴部分に検出用コイルの細線が幾何学的に均一となるように巻線されていた。この巻線は、トロイダル巻きと呼ばれ、自動化

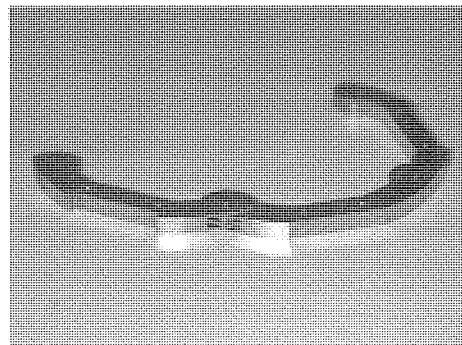
が困難なために多くの人手を要していた。

そこで、これまでの既成観念を打破し、作りやすさの観点からZCTの基本原理にさかのぼ(遡)った生産設計を行い、リングコアに代わる独自の関節型連結コアを考案した。この構造によれば、コアの磁気特性を損なうことなく、高感度な出力特性と平衡特性を満足するとともに、巻線工程の完全自動化が実現でき、更なる品質安定化に寄与することができる。

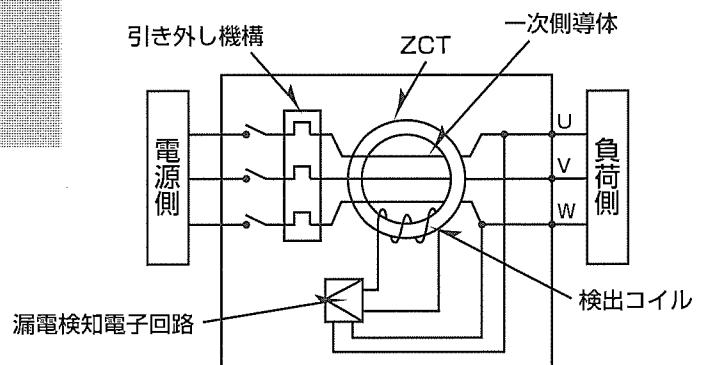
関節型連結コアによる新型ZCTは、三菱電機遮断器の主力製品であるPSシリーズの漏電遮断タイプの機種に展開中である。なお、この関節型連結コアの技術は、コイルの整列巻きが可能となるため、三菱電機の省エネルギー・高効率モータにも適用されている。



漏電遮断器(カットモデル)



関節型連結コア



漏電遮断器の電気回路

## 漏電遮断器用零相変流器

零相変流器(Zero Phase Current Transformer : ZCT)は、一次側導体の地絡を検出するセンサである。ZCTでは、一次側導体の各相電流によって発生する磁束がコア内でベクトル合成される。地絡が起きると漏電電流が励磁電流として作用してリングコアに磁束が発生し、検出コイルに漏電電流に比例した電圧が生じ電子回路への信号となる。電子回路が信号を地絡事故と判別し、遮断器の引き外し機構部を動作させ接点を開く。

### 1. ま え が き

漏電遮断器は、感電や火災などの漏電事故から人命や財産を守るために不可欠な機器であり、一般家屋、ビル、工場等に幅広く利用されている。わずかな漏えい(洩)電流に感度良く動作し外部ノイズに対して誤動作しないためには、漏電遮断器の検出機能部であるZCTの出力特性と平衡特性が良くなければならない。従来、これら特性を確保するためにZCTの幾何学的形状を均一にすることを最優先に設計していたため、作りやすさの観点からの構造検討が長年なされていなかった。

本稿では、ZCTの基本原理に遡って作りやすさと検出機能が両立する構造を考案し、分割コア方式での製品化を実現した経緯について述べる。

### 2. 従来構造及び巻線方法

従来のZCTは、図1に示すように、リングコアの胴部に検出コイルが全周にわたって均一に巻線されている。この巻線はトロイダル巻きと呼ばれ、その工程は、①ばね性のある貯線ツールの切り目を広げてリングコアを通し、②製品1台分のコイル線を貯線ツールに巻き取り、③コイル線末端をリングコアに固定し、④ $\psi$ 方向の貯線ツールの回転と $\theta$ 方向のリングコアの回転を同期させてリングコア胴部にコイル線をらせん状に巻線し、最後に⑤貯線ツールの切り目を広げて製品を取り出すものである。

貯線ツールからのリングコア着脱やコイル線末端のつなぎ替えに人手作業が不可欠であり、巻線自動化の課題となっていた。また、トロイダル巻きは、内外周での巻線ピッチが異なるため多層に巻線する場合は俵積み状とならず、巻き乱れが生じるために、後述の平衡特性に悪影響を及ぼしていた。

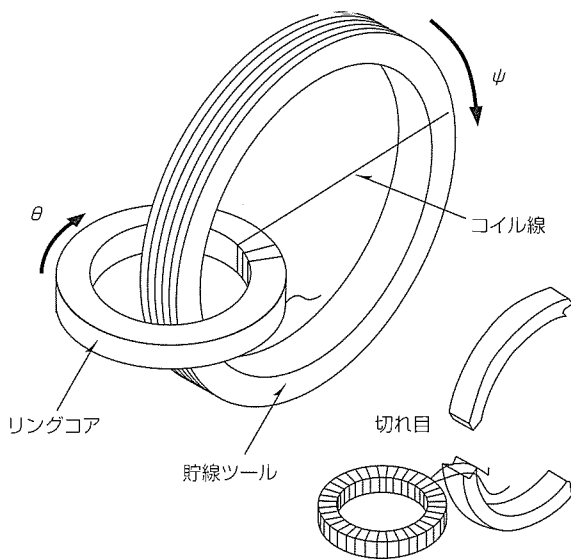


図1. トロイダル巻き

### 3. 新型ZCTの生産設計

#### 3.1 コアの分割

モータの場合、分割コア方式と称し、分割されたコアに巻線した後、コア同志を組み立てるという事例が数多い。ZCTも同様に図2に示すような半円状コアに分割すると、貯線ツールを必要とせず、巻線の自動化が可能となる。

しかしながら、モータの磁束が固定子と回転子との空隙を通過するのに対し、ZCTの磁束がリングコア内だけに流れることから、ZCTではコア分割による磁気的影響がモータに比べて甚大であると懸念される。

ZCTのコア分割面の形態を図3に示す。図の(a)は、コア積層方向に分割面が同一であり、磁束がコア分割面を通過している。コア分割面には微少なすき(隙)間があり、コア材(パーマロイ)の透磁率が空気に比べて約20万倍であることから、磁気抵抗増加が無視できないレベルとなり、ZCTの出力特性が低下する。また、図の(b)は、コア材を井げた(桁)状に組み合わせており、コア材端部の重なり部の接触面積を広げることで磁気抵抗増加が抑制されるが、製品厚さを一定とすれば、コア枚数が減りZCTの出力特

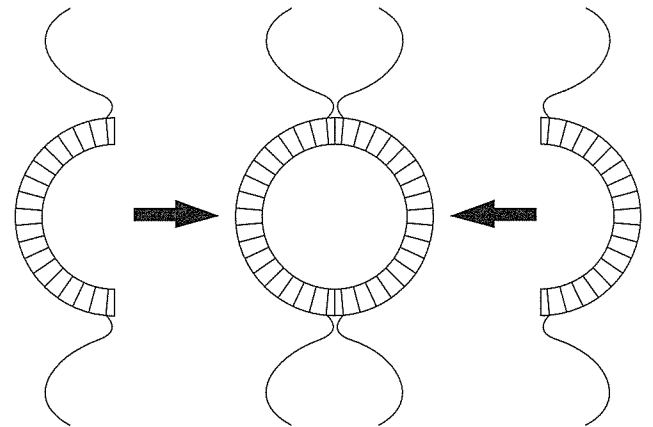


図2. 分割コア

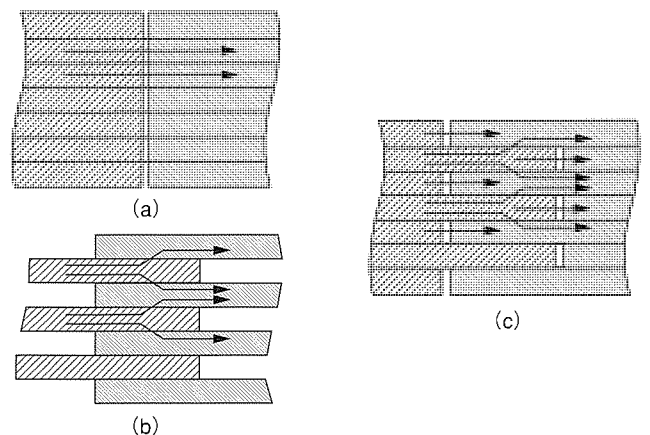


図3. コア分割面の形態

性が低下する。

図の(c)は、ZCTの分割コアを実現する形態として考えたもので、コア材を1枚重ねるごとに分割面の位置を交互に変えて積層しており、製品厚さを増やすことなくZCTの所望の出力特性を得ることができる。

### 3.2 2極集中コイル方式

従来のZCTのようにコイルが全周に配置されていると、コアをハンドリングする箇所やコイル線末端を固定する箇所がなくなり、自動化が極めて困難となる。そこで、図4に示すように、全周に配置されていたコイルを2か所に集中的に配置する2極集中コイル方式を考案した。

コアはU字型コアとI字型コアに分割されており、U字型コアの線対称な位置に直列に結線された二つのコイルが配置される。U字型コアには樹脂成形ポピンが装着され、コアとコイル間の絶縁、コイル線末端の端子接続、コイル間の渡り線の保持がなされる。また、樹脂成形ポピンの巻線部分は直線形状としており、コイルを多層に巻線しても巻き崩れのない整列巻きを実現している。

## 4. 新型ZCTの特性

漏電遮断器内の導体に流れる一次電流とZCTの検出コイルに流れる二次電流のモデルを図5に示す。一次電流の平衡状態にアンバランスが生じた場合にZCTの検出コイルの負担抵抗に電圧が発生し、その出力電圧の値によって漏電状態か否かを判断している。検出すべき漏洩電流の大きさは、人命保護の観点から30mA以上である。一方、地絡のない三相平衡状態においては、定格電流の6倍（例えば定格が225Aの製品では1,350A）の一次電流がZCT内を通過しても、検出コイルに発生する誤差出力を事故と判断して回路を開いてはならない。すなわち、ZCTの基本特性として、高感度な出力特性とS/N比で数万倍の平衡特性が要求される。

図6に、新型ZCTにおける漏洩電流に対する出力電圧の関係を示す。検出すべき30mA付近を含む広い範囲で漏洩電流と出力電圧との線形性が認められており、新型ZCTが微弱な漏洩電流を十分に検出できることが分かる。

また、新型ZCTでは、コアが分割構造であるために磁気的影響が懸念されていたが、2極集中コイル方式によって樹脂成形ポピンを用いた整列巻線が実現でき、検出コイルの起電力の誤差ノイズを低減することで十分なS/N比を確保することが可能となった。

## 5. 新型ZCTの製造技術

新型ZCTの構成を図7に示す。従来のトロイダル巻きされたリングコアに対し、新型ZCTでは、巻線が施されたU字型コアとI字型コアが端部同志では(嵌)め合わされて図中のコアユニットが形成される。コアユニットは、内

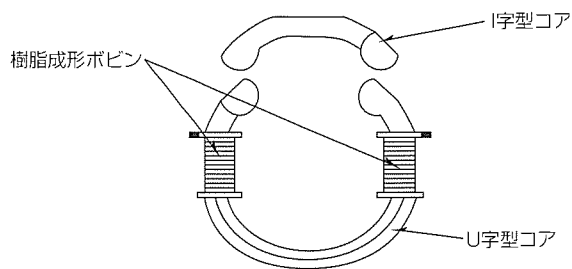


図4. 2極集中コイル方式

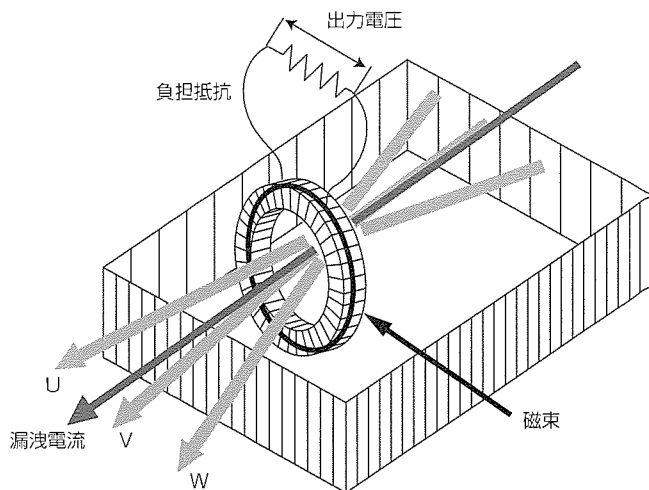


図5. ZCTの回路モデル

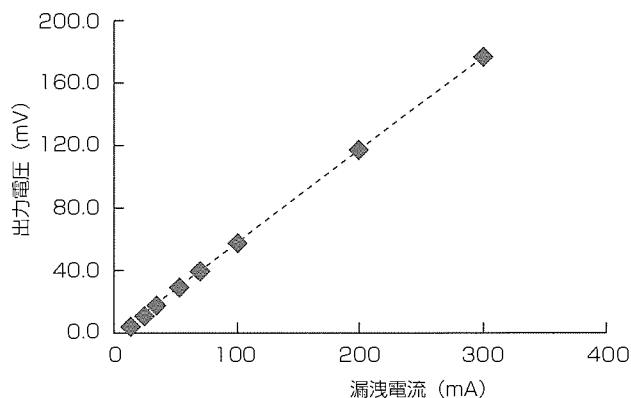


図6. 漏洩電流に対する出力電圧

外周と両端面の全周をけい素鋼板の積層体で形成されたシールドで覆われた状態で樹脂製ケースに収納され、ケース内を熱硬化性樹脂で封入される。樹脂封入によって、構成部品が固定されるとともに、外界の腐食雰囲気と遮へい(蔽)される。

図8は、樹脂成形ポピンが装着されたU字型コアにフライヤ巻きしている状態を示している。コイル線の巻き始めと巻き終わりの末端は、フライヤ先端に取り付けられた細かいノズルによって樹脂成形ポピンに取り付けられた端子に自動でからげられる。巻線中の回転速度は従来のトロイダ

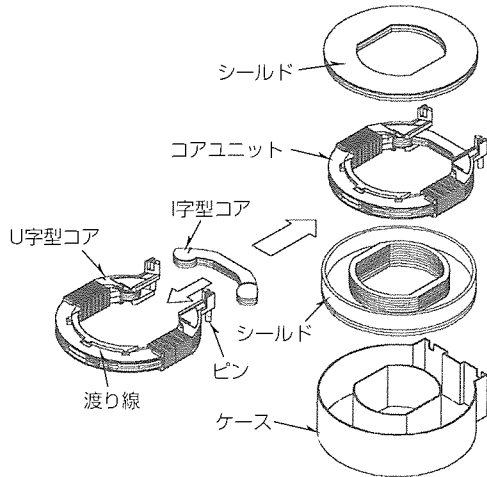


図7. 新型ZCTの構成



図8. フライヤ巻線

ル巻きに比べて約5倍であり、貯線時間やコイル線端末処理時間を含めると約10倍の生産性向上が達成されている。

新型ZCTのU字型コアとI字型コアは、図9に示す関節型連結コアの技術を採用している。関節型連結コアとは、分割されたコアの端部同志でコア材が一枚ごとに重なり合い、重なり部の中央に凹凸のダボが一枚ごとに形成され、それらが積層方向にはま(嵌)り合うことで回転自在にコアが連結されるものである。U字型コアとI字型コアの連結部には凹凸のダボが形成されておらず、脱着自在となっている。

図10は、コアが打ち抜き積層される順送金型のレイアウトを示している。図の(b)のようにU字型コアの形状を直線状に展開した状態で打ち抜けば、リング状に打ち抜く場合に比べ、コア材(パーマロイ)の材料歩留りが約40%向上している。直線状の関節型連結コアは、連結部が回転自在である特長を生かし、U字型コアを形成することができる。

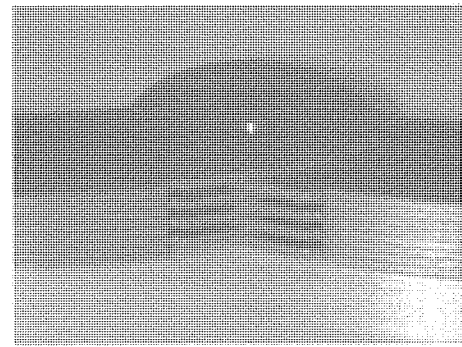


図9. 関節型連結コア

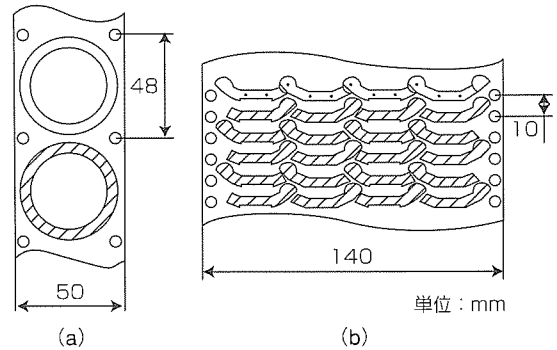


図10. 順送金型レイアウト

## 6. むすび

“リングコアに均一に巻線する”という既存概念を打破し、ZCTの基本原理に遡った生産設計を行い、独自に関節型連結コアと2極集中コイルを考案した。この構造により、磁気特性を損なうことなく、高感度な出力特性と平衡特性を満足するとともに、巻線工程の完全自動化が実現できた。完全自動化によって巻線の整列性が向上し、品質の安定化に寄与することができた。

この新型ZCTは、三菱電機遮断器の主力製品であるPS (Progressive Super) シリーズの漏電遮断タイプに展開中である。なお、この関節型連結コアの技術は、コイルの整列巻きが可能となるため、三菱電機の省エネルギー・高効率モータにも適用されている。

## 参考文献

- (1) 前田信吾, 佐藤栄一, 藤井 洋, 松本良明, 細貝節夫, 杉原和義, 畠山善博: 新形漏電遮断器 New Super NV, 三菱電機技報, 65, No.6, 586~593 (1991)

# リサイクル工場の立ち上げとシステム構築 —リサイクル率向上とコスト低減への取組—

大野悦男\* 藤崎克己\*\*\*  
小原嘉昭\* 井関康人\*\*\*  
堀 聡\*\*

## 要 旨

三菱電機は、1999年5月、千葉県市川市東浜に、“特定家庭用機器再商品化法（通称：家電リサイクル法）”に対応するための国内初の電気製品リサイクルプラントを稼働させた。このプラントでは、総合電機メーカーとしての特長を生かし、燃焼を伴わない徹底したマテリアルリサイクル、水を使わない完全乾式による素材への分離・分別を実現した。最大の特長は、手作業による部分分解と機械分解（破砕による素材分離）を、リサイクル率、経済性、環境負荷性の三つの視点でバランスさせていることである。

本稿では、リサイクルプラントの概要を紹介し、リサイクル率向上とリサイクル処理コスト低減のために取り組んできた次の3項目について述べる。

### (1) プラスチック残さリサイクル設備の開発

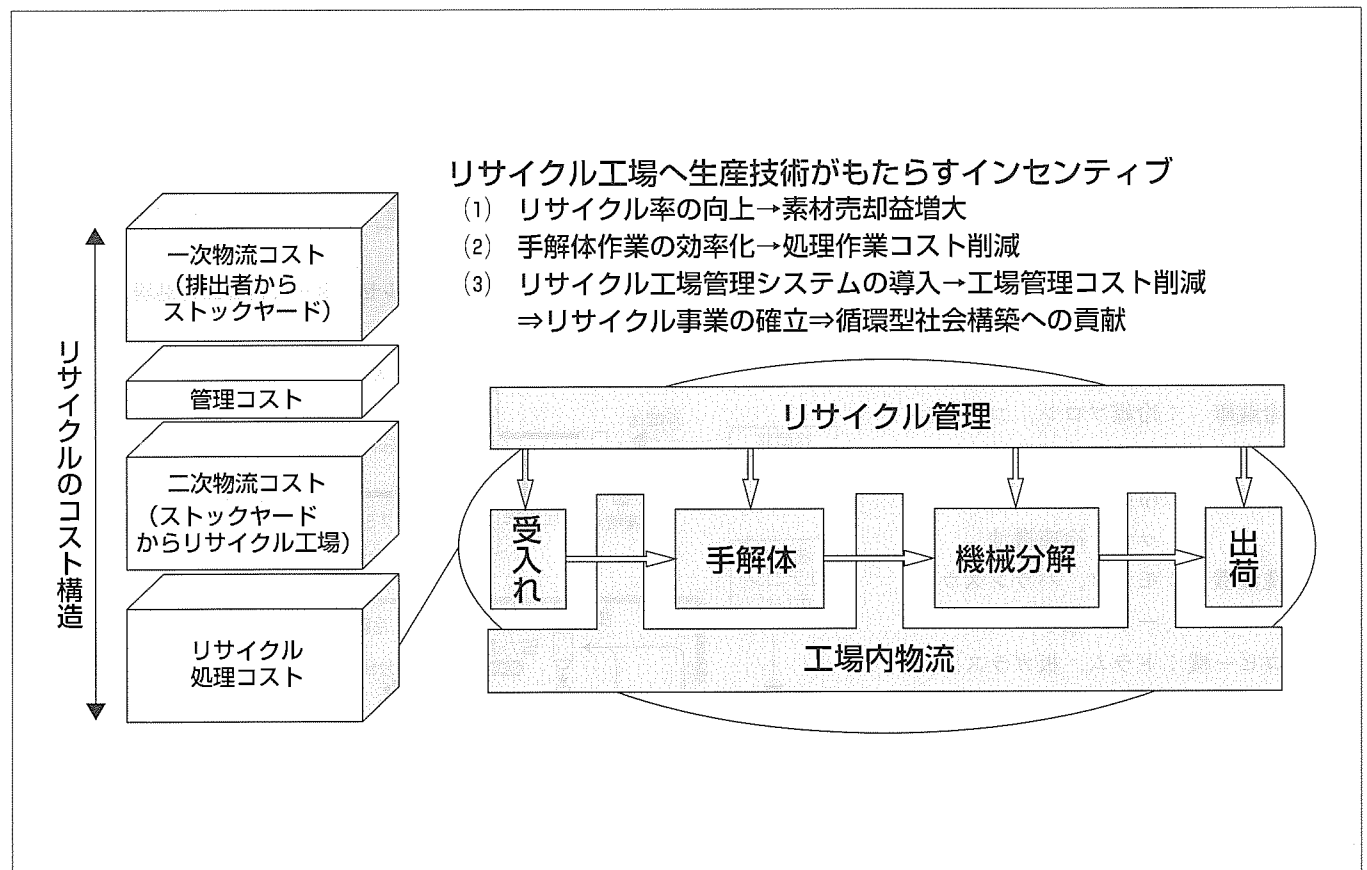
主破砕分別プロセスから排出される金属と塩化ビニルを含んだプラスチック残さを処理し、プラスチックを高炉還元材として有効活用できるようにした。

### (2) 効率的な物流レイアウト及び手解体方式の設計

工場内の廃製品・分別物に対する保管スペース、搬送手段・経路の最適設計を行い、処理コストを要する手解体を効率的に行えるように業務手順を設計した。

### (3) リサイクル工場管理システムの構築

工場管理の効率化、排出者へのリサイクル情報開示を目的として、リサイクル工場管理システムを開発し導入した。



## リサイクルのコスト構造及び生産技術による改善に向けた取組

リサイクルコストを大別すると、リサイクル工場における処理コスト以外に、排出者-工場間の物流コスト及びその管理コストに分けることができる。また、リサイクル処理コストも、リサイクルのための解体作業コストと工場内の物流コスト及び工場全体の管理コストに分けることができる。今回、リサイクル工場の立ち上げにおいて、リサイクル率向上とコスト低減に取り組んだ。

1. ま え が き

家電リサイクル法が、2001年4月、本格的に施行された。日本国内の家電製品メーカー各社は、同法が求める再商品化の義務を果たすため、全国各地にリサイクルプラントを建設した。

三菱電機は、これらに先駆けて、1999年5月、千葉県市川市東浜に、同法に対応することを目的とした国内初のリサイクルプラント“東浜リサイクルセンター”を稼働させた。このセンターは二つの会社で構成されており、それぞれ使用済み家電製品、OA機器のリサイクル事業を実施している。

このプラントは、徹底した高効率・高品位でのマテリアルリサイクルを可能にしたばかりでなく、その工程に洗浄水等を使用しない完全乾式による各素材への分離・分別を実現し、二次処理コストを最小限にしている。最大の特長は、手作業による部分分解と機械分解(破碎による素材分離)を、リサイクル率、経済性、環境負荷性の三つの視点でバランスさせているところである。

2. 東浜リサイクルセンターの概要

東浜リサイクルセンターにおける処理フローを図1に示す。

ここで手解体によって選別される対象部分は、

- (1) 有害物を多く含む専門の処理を必要とする部分
- (2) 比較的価値の高い部分、メーカーが機能として再利用可能な部分
- (3) 後工程(機械分解)に悪影響を及ぼす部分を基準にして選択している。

家電4品目(家電リサイクル法対象製品)及び主なOA機器における手解体部位は次のようなものである。

- テレビ : ブラウン管, 回路基板, 電子銃, 偏向ヨーク
- 冷蔵庫 : 冷媒フロン, コンプレッサ, 冷凍機油
- エアコン : 冷媒フロン, コンプレッサ, 冷凍機油
- 洗濯機 : モータ, バランスウェート, 塩水
- コピー機 : ドラム, 板ガラス, 回路基板
- パソコン : 回路基板, ドライブ類 (HDD, FDD, CD-ROM等)

このプラントの機械分解フローを図2に示す。冷蔵庫の場合、断熱材を破碎し、ウレタンフォーム中の気泡からフロンを開放させ、これを活性炭に吸着させて回収している。

ウレタン及びフロンを除去した後の冷蔵庫の破砕片、手解体工程を経た後の他の家電製品とOA機器は、衝撃式破碎機で適切なサイズ以下に破碎し、金属とプラスチックに分離する。大部分の鉄を磁力選別機によって選別した後は、破砕片を大きさによって4ランクに分級し、ランクごとに渦電流を利用した非鉄金属選別機、比重差を利用した比重選別機等を最適に組み合わせたシステムによって各種非鉄金属を高精度に回収している。

こうして回収した各種金属を製鋼メーカー及び非鉄精練業者等それぞれの金属を扱う業者に売却し、原材料として再利用化を図っている。

3. プラスチック残さリサイクル設備

手解体で分別できず金属と一緒に破碎し、大部分の金属を回収した後のプラスチック残さを図3に示す。これらには多種のプラスチック片が混合されており、さらに、被覆電線、銅細線くず及び未回収の金属片が残存している。

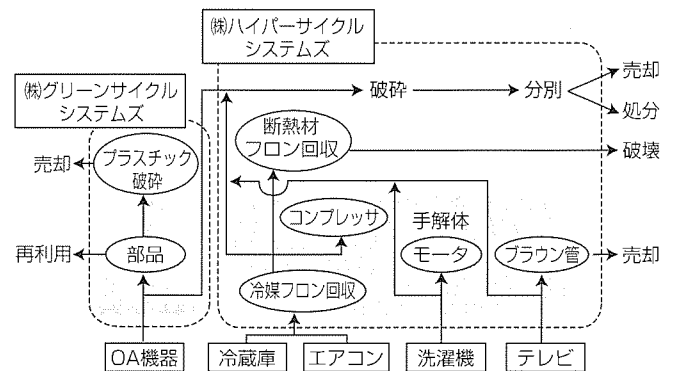


図1. 東浜リサイクルセンターの再商品化処理フロー

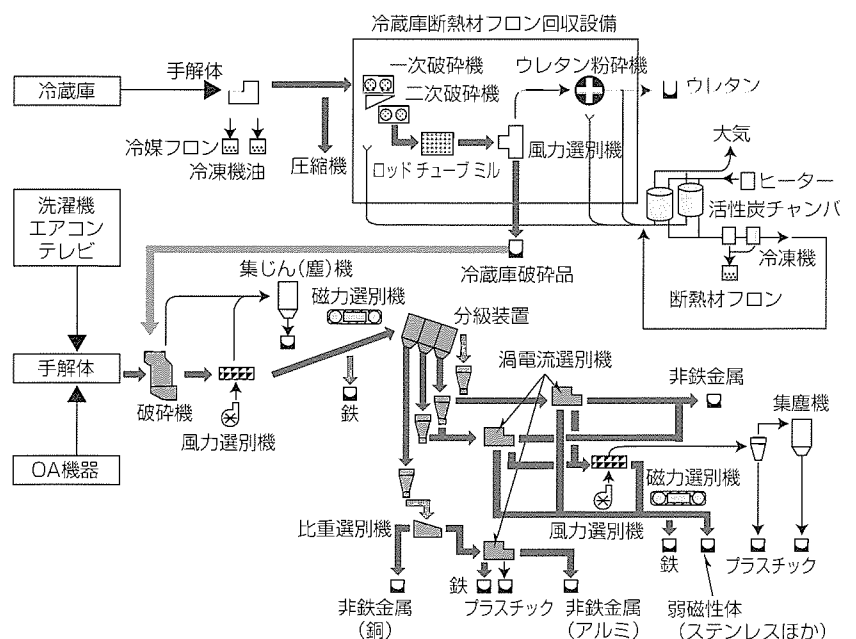


図2. プラントの機械分解フロー



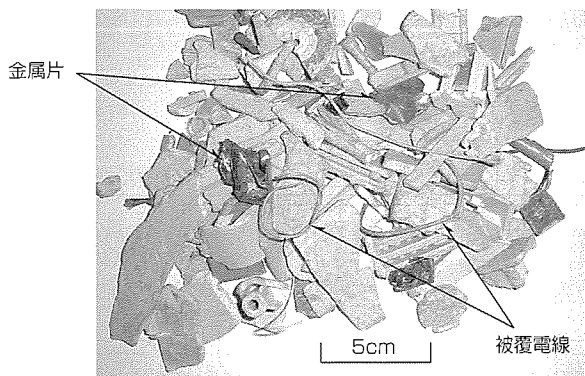


図3. 金属回収後のプラスチック残さ

上記のような複数種類のプラスチック混合物のリサイクル方法として高炉還元法がある。しかし、高炉還元剤としての利用も被覆電線内の銅や電線被覆に含まれる塩化ビニルが混入するため鋼に対して品質的影響を与え、また、ダイオキシン発生への危ぐ(惧)があることなどから困難であり、従来は埋立て処理としていた。

当社は、平成10年度の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が公募した産業技術研究開発成果実用化技術開発費助成事業に応募し、パソコンの金属分離・分別後のプラスチック残さの高炉還元剤、RDF(Refuse Derived Fuel)への利用技術を開発した。そのシステムのフローを図4に示す。

金属回収後のプラスチック残さを数mm程度に再破碎し、粒度分布を小さくした上で、比重選別によって主として電線等の金属を除去する。さらに、この比重選別で除去できない極細銅線と被覆電線の塩化ビニルを静電選別によって除去する。これら破碎・選別処理により、プラスチック残さに混入していた銅と塩素の量を高炉還元剤として直接高炉に吹き込めるレベルまで除去することに成功した。

この技術は当初パソコンのリサイクル技術として開発したが、後に家電製品にも適用可能なことを確認した。現在、東浜リサイクルセンターにおける家電4品目のプラスチック残さの70~80%程度を高炉還元剤として再利用している。これらは分解前の質量比で10~20%程度を占める。

#### 4. 効率的な物流レイアウトと手解体方式

リサイクル工場における効率的な物流方式を設計するために、まず、リサイクル工場への回収が予想される廃OA機器及び廃家電製品を分類し、それぞれの収集量を推定した。次に、分類した廃製品に対して実際に手解体及び機械設備による破碎・分別を行い、分別品ごとの形状、回収量、及び解体分別に要する時間を測定し、基礎データとした。

基礎データに基づき、保管形態は廃製品、解体分別品ごとに選定することとし(例えば、プラスチックボックス、メッシュパレット、フレキシブルコンテナ、アームローダ等)、工場内におけるそれぞれの保管スペースを算出した。

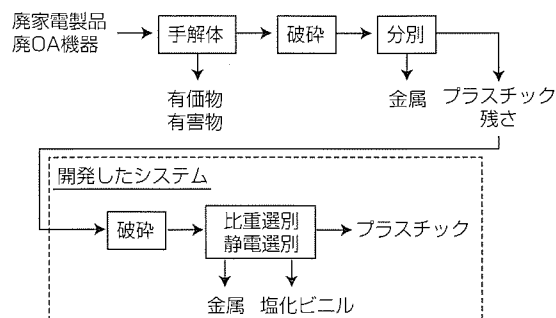


図4. 高炉還元剤へのプラスチック残さ処理システムフロー

場内搬送については、廃製品、解体分別品の種類、形状及び量の変動を想定し、リサイクル工場の立ち上げ当初はコンベアといった固定的な搬送手段の導入を見送り、ハンドリフト及びフォークリフトを使用することとした。

リサイクル工場内の搬送経路については工場の敷地及び建屋形状の制約を受けるが、搬送物の発生頻度及び質量を考慮し、物流の整流化を基本目標として設計した。

廃製品ごとに解体分別品の形状、取り外し位置が多様で標準化が困難なことから、手作業の工程も残している。こうした環境下において少しでも効率的な手解体分別を行うため、解体分別品の種類と物量に基づいて設計を行った。

- (1) 廃製品の形状が比較的一定で物量が多いと推定できるものについては、ライン形態とし複数の作業者が手解体部位を分担しながら解体する方式とした。
- (2) 逆に、物量が少なく形状が多岐にわたる廃製品については、作業者一人ですべての手解体を行う方式とした。
- (3) 各解体エリアは、解体分別品の発生量及び工場内外への搬送先を考慮し、また搬送経路長の最短化を基本目標として、工場内における最適な配置・場所を設定した。

手解体作業においても固定化設備の使用を避け、将来は廃製品の種類と量の変動に応じて解体方式の見直しを行うことにしており、各解体エリアもフレキシブルに移動・増設できるようにしている。

#### 5. リサイクル工場の管理システム

東浜リサイクルセンターでは、工場の管理効率向上、排出者へのリサイクル情報開示を目的とした管理システムを導入した。リサイクル工場の管理システムへの要求は以下のとおりである。

- (1) 解体分別工程拡張への対応  
リサイクル率向上のために行う解体分別工程の変更・拡張に対して、情報システムの変更が容易な構造が求められる。
- (2) リサイクル率の算出管理  
リサイクル率の実績をできるだけ正確に把握・管理し、メーカーからのリサイクル業務委託を確実に実施する。さらに、リサイクル性の良い製品開発及びリサイクル手法の

開発・導入・評価を加速させる。

(3) 電子マニフェスト、メーカーとの連携

単に一工場の管理システムにとどめるのではなく、家電マニフェストとの連携が容易なシステムでなければならない。また、分別した部品を再利用する動きがますます盛んになってきた場合、リサイクル工場はメーカー工場に対する部品供給の役割を果たすので、メーカー側の生産管理システムとの連携機能も必要となってくる。

このシステムの概要を図5に示す。

Webサーバ、データベースサーバ、クライアントパソコン及びトラックスケールで構成しており、次のような機能を持っている。

- 廃製品の受入れ  
排出者からの受入れ、マニフェスト処理
- 分別結果記録・リサイクル率計算  
解体ロットごとの分別物の質量記録、処理品目ごとのリサイクル率計算
- 分別物倉入れ、出荷  
分別した鉄、非鉄金属、プラスチックの売却、リユース部品のメーカーへの返却

このシステムでは、リサイクル率の計算を可能とするため、ロットの概念を導入し、リサイクル対象物及び解体分別工程における処理行為をロットで区別する。廃製品の受入れ時、処理品目ごとに入庫ロットを編成し、各解体分別工程では、図6に示すように、処理待ちロットから処理ロットを編成する。このとき、ロットまとめは行いが、ロット分割は許可していない。

6. むすび

廃家電製品のリサイクル工場立ち上げは、国内では初の大規模な試みであり、手探りの中での取組であった。通常の生産工場と異なり取扱い対象物及びその量を特定することが難しい状況において、法の遵守を念頭に、経済性を追求するため基礎データを収集・分析し、1999年5月の稼働開始に至った。

家電メーカー各社は、当面、既に市場に存在する製品の処理を安全かつ経済的に行うことに注力することになる。そして、これらの活動から得られる情報を有効に今後の製品の素材選択、加工方法及び設計思想に盛り込んでいくことが大切な課題となっている。リサイクル工場も回収物の特性に合わせて変ぼう(貌)させ、循環型社会の一翼を担う

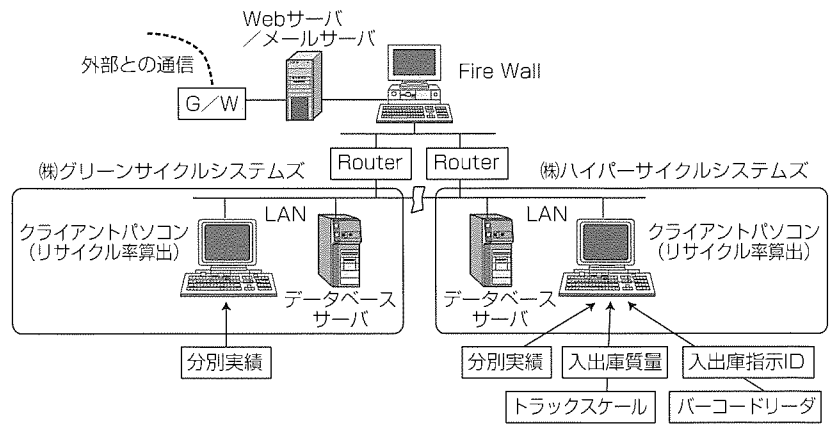


図5. 東浜リサイクルセンター工場管理システム構成

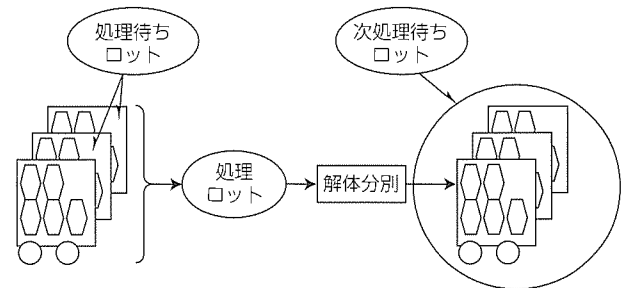


図6. 解体分別におけるロット編成

ため、低コストかつ高リサイクル率の実現と維持に努めていきたい。

最後にプラスチック残さリサイクルシステムの開発においてご指導いただいたNEDO環境技術開発室に深く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 藤崎克己, 藪 重洋, 花田雅人, 堀 聡: 電気・電子機器のリサイクル工場管理システム, 平成11年電気学会 電子・情報システム部門大会予稿集, 429~430 (1999)
- (2) 永田勝也, 上野 潔, 寺崎政男, 岩崎勇次: 家電リサイクルリング, 工業調査会 (1999)
- (3) (財)家電製品協会: 通産省補助事業「廃家電一貫処理リサイクルシステム開発」成果報告書 (1999)
- (4) 藤田嘉久: 産業廃棄物の静電選別技術, リサイクル技術百科 (1994)
- (5) 村田雄司: リサイクルへの静電分離の利用, Eco Industry, シーエムシー (1998)
- (6) 上野 潔, 藪 重洋: 家電リサイクルにおける再商品化率向上について, 台湾発展基金招待講演前刷 (2000)



# 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)

## 電線用マークチューブの装着方法および装着装置 (特許 第3085013号, 特開平6-275150号)

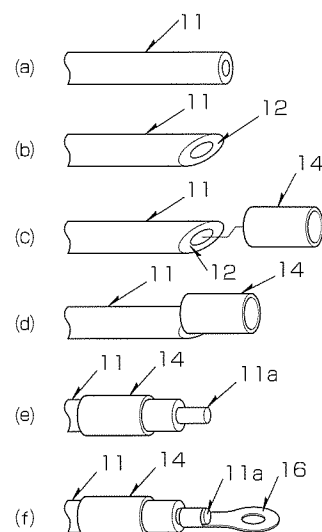
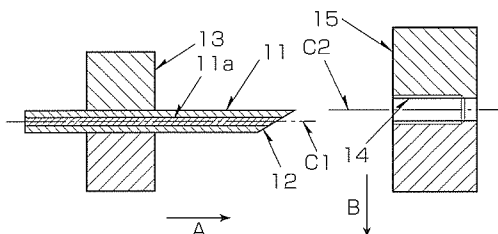
この発明は、電気機械装置や制御盤等を製造するときに用いられる電線マークチューブの装着方法及び装着装置に関するものである。

従来、接続先の線番が印字されたマークチューブを電線に挿入する場合、所定の長さに寸断された電線の両端部に各々のマークチューブを手で取り付けていた。

この発明は、マークチューブを電線に自動で挿入するために考案されたもので、図に実施例を示す。電線(11)の先端部に先端へ向かうに従って電線幅が次第に狭くなる傾斜面(12)を形成して電線先端部を先細り状に形成する。この電線(11)をマークチューブ(14)とは軸線が平行となるようにマークチューブ(14)の開開口部に対向させ、次いで、前記先細り部の最も細い部分をマークチューブ(14)の軸線上に位置付けた状態で電線先端部をマークチューブ(14)の開開口部に臨ませ、その後、電線(11)とマ

発明者 西中大之, 中原裕治, 松下勝美, 水口尊敬  
ークチューブ(14)とを同一軸線上に位置付けた状態で電線(11)をマークチューブ(14)に貫通させるものである。

この発明により、図面情報を基に自動装置がマークチューブへの印字から電線の寸断、圧着端子(16)のかしめまでの一連の製造工程を人手作業なしに行うことができる。



## 化学気相成長装置 (特許 第3098093号, 特開平5-234986)

発明者 織田昌雄, 山西健一郎, 佐々木茂雄, 草壁嘉彦, 神立信一, 岡本佳彦, 高橋広成

この発明は、半導体製造工程でウェーハ(1)上に絶縁膜等の薄膜を形成する化学気相成長装置において、装置内部を清浄な雰囲気中に維持できる装置構造を提供するものである。

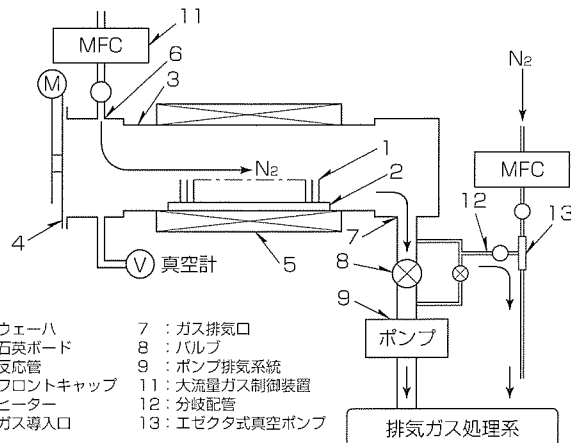
化学気相成長装置は、材料ガスを減圧雰囲気においてウェーハ(1)上で熱分解反応させて薄膜を形成する装置で、材料ガスの熱分解反応に伴い、ガス排気口(7)やガス排気配管周辺には多量の反応生成物が付着する。従来の装置では、この付着物がはく(剥)離して反応管(3)内のウェーハ(1)上に移動して異物化し、デバイス不良をもたらすという課題があった。

この発明では、図に示すように、材料ガス供給系に大流量のガスを供給する制御装置(11)と既設のポンプ排気系統(9)に加えて、分岐配管(12)とエゼクタ式真空ポンプ(13)からなる排気系統を設けた。これらの構成により、

① 大流量ガス制御装置(11)から不活性ガス(例えばN<sub>2</sub>)を反応管(3)内に供給しエゼクタ式真空ポンプ(13)によって排気することにより、反応管(3)及び排気配管内に付着した反

応生成物を、不活性ガスの流れの抗力によって一掃できる。

② 反応管(3)及び排気配管内の圧力を大気圧未満から数百トールの低真空に維持し、ガスが反応管(3)から排気配管に伝える熱量を増して配管温度を高めることにより、付着した反応生成物が容易に剥離しない。





# 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)

## 加熱用ツール (特許 第2616254号, 特開平4-220170号)

発明者 弘田実保, 生田目雅章, 出田吾郎

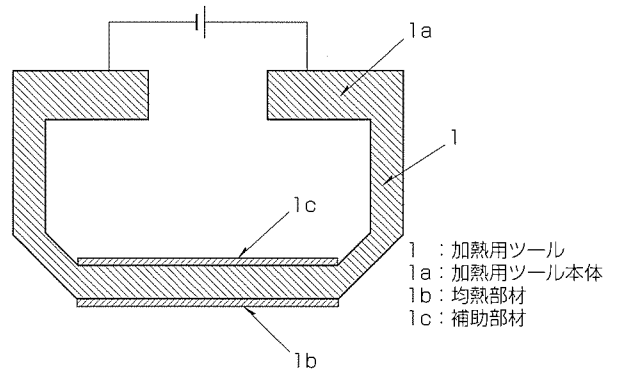
この発明は、通電による発熱で半導体パッケージのリードをプリント基板上のパッドに接合する加熱用ツールに関するものである。

従来の加熱用ツールは、部品が多端子化に対応するためにツールサイズを大きくすると、ツールに温度分布が発生し、均一加熱を阻害するという問題があった。すなわちツールの中央部に比べて端部の温度が低くなるため、中央部のリードは十分にはんだ付けが達成されても、端部では入熱不足のためはんだ付け不良となる。逆に端部に十分に熱を投与するために電流を上げると、中央部において入熱条件過大となり、リード及びはんだの間で異常拡散が発生する。

この発明は、このような問題を解消するためになされたものである。図は、加熱用ツールを示す断面図である。加熱用ツール本体(1a)は、熱伝導率の低い材質、例えば熱伝導率が16W/(m・K)であるTi合金などで形成されている。また、加熱用ツール本体(1a)の加圧面に設けた均熱部材

(1b)は、例えば熱伝導率が600W/(m・K)であるBNで形成されている。加熱用ツール本体(1a)の加圧裏面に設けた補助部材(1c)は、均熱部材(1b)と同様の材料で形成されている。

この発明によれば、ツール本体に低熱伝導率材を用い、その加圧面に高熱伝導率材を設けたことにより、高い均一加熱性が得られ、多端子を有する半導体パッケージのリードをプリント基板上に高品質で接合できる。



〈次号予定〉三菱電機技報 Vol.75 No.11 「広がりゆくマイクロマシン／最新のビルシステム」特集

### 特集論文

- マイクロマシンはまだ黎明期
- 基礎から応用へ広がるマイクロマシン
- マイクロ電磁デバイス
- 新三次元シリコンエッチング技術
- 微小ポリシリコン構造体の強度特性評価
- 超小型光学式距離センサ
- SOIダイオード方式非冷却型赤外線センサ

- 小型ロボット用マイクログリッパ
- ビルシステム特集に寄せて
- ITと環境対応で進化を続けるビルシステム
- 三菱統合ビルシステムMELUNITY/MELSAFETY
- 三菱統合ビルオートメーションシステム“MELBAS-ADシリーズ”
- 三菱ビルマネージメントシステム
- 三菱小型指紋照合装置“FPR-MKⅢシリーズ”
- 次世代マンションインテグレートッドシステム

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 井手 清</p> <p>委員 中村 治樹 畑谷 正雄 吉原 孝夫          栗原 幸志 村松 洋 松本 修          浜 敬三 安福 正樹 西谷 一治          中島 克人 荒木 政敏          河内 浩明 山木 比呂志</p> <p>幹事 名畑健之助</p> <p>10月号特集担当 町田 一道</p>	<p>三菱電機技報 75巻10号 2001年10月22日 印刷          (無断転載・複製を禁ず) 2001年10月25日 発行</p> <p>編集人 井手 清          発行人 名畑 健之助          発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部          〒105-0011          東京都港区芝公園二丁目4番1号          秀和芝パークビルA館9階          電話 (03) 3437局2692</p> <p>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</p> <p>定 価 1部735円(本体700円) 送料別</p>
<p>URL <a href="http://www.melco.co.jp/giho/">http://www.melco.co.jp/giho/</a></p>	<p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp</p>

# スポットライト

# 新冷媒氷蓄熱パッケージエアコン (鉛フリーはんだ使用)

近年、企業や事業所では地球環境保護対策を基準に商品を購入するケースが増えており、氷蓄熱式パッケージエアコンにおいても、年間電気料金の削減効果のほかに、オゾン層を破壊しない冷媒の使用や省エネルギー性(消費電力量削減)の向上、産業廃棄物の削減等が求められるようになってきました。

ビル用マルチエアコン シティマルチICE Ypは、オゾン破壊係数ゼロの新冷媒R407Cを採用し、省エネルギー性向上、年間電気料金の削減、騒音の低下等を達成しました。また、この製品から環境問題に配慮し、鉛を含まないはんだで実装したプリント基板を導入しました。

## 特長

### 1. 省エネルギー性を更に向上

新冷媒R407Cの特性を効果的に活用した独自の制御により、氷蓄熱を利用した冷房運転時のエネルギー消費効率を約24%向上させて6.21とし、さらに夜間の製氷時のエネルギー消費効率も約24%向上させて2.72まで高めました。これらにより、冷房期間の消費電力量を約15%削減しました。

また暖房運転では、蓄熱時のエネルギー消費効率を業界トップの従来品から更に約8%向上させて2.58まで高めました。これにより、暖房期間の消費電力量を約5.5%削減しました。

### 2. 電気料金を大幅低減

(1) 当社非蓄熱式システムと比べて、冷房時の消費電力を約60%低減しました。これにより、冷房による電力を抑え、契約電力の低減が可能です。

(2) 最近の事務所ビルでは冷房期間が長期化し、定格ポイントよりも低い負荷での冷房運転の割合が増えています。そこで、シティマルチICE Ypは、冷房負荷が少なくなれば氷を利用する割合が高くなる制御により、冷房軽負荷時のエネルギー消費効率を向上させました。特に冷房負荷が約半分以下になると氷熱源を100%利用した経済的な冷房運転を行い、エネルギー消費効率が定格値(6.21)よりも29%向上した8.0となります。これにより、期間を通して経済的で高効率な冷房運転を実現しまし

た。

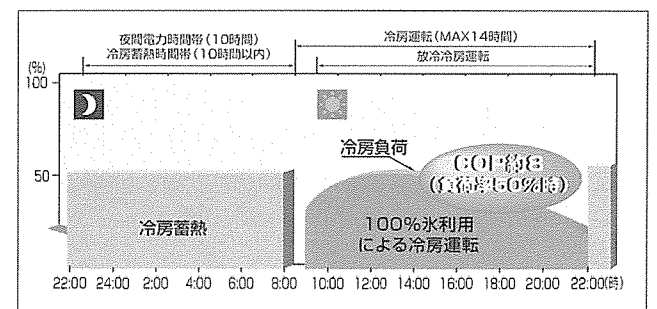
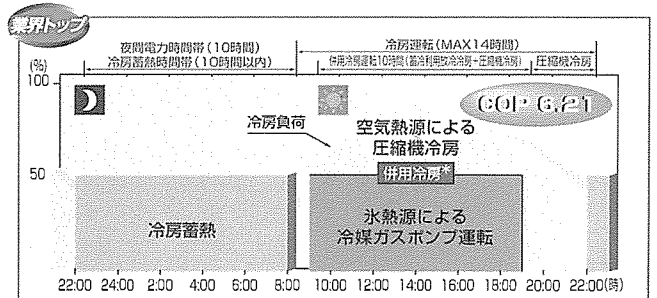
これらにより、年間電気料金では、非蓄熱式(BIG Y)と比べ約46%(約33万円)の低減が可能です(当社試算)。

### 3. 夜間運転音(製氷時)を下げる低騒音モード搭載

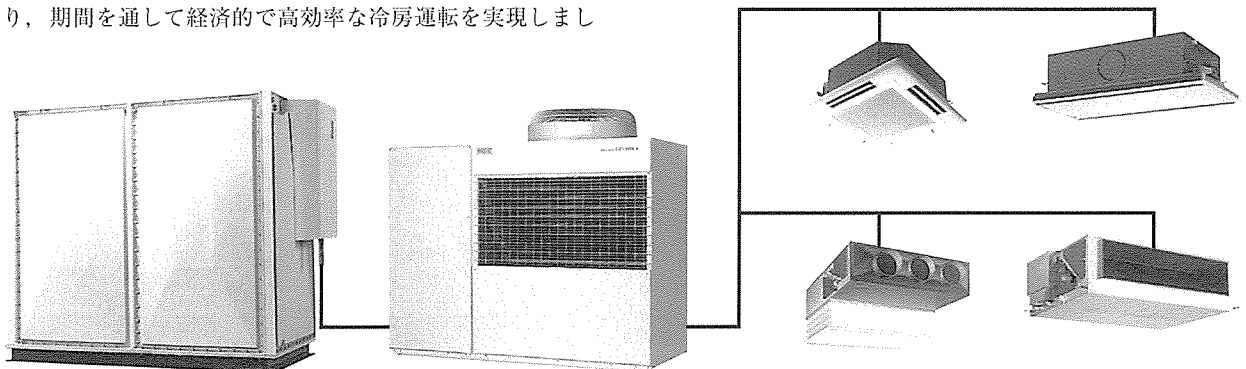
通常モードでは夜間運転音(製氷時)は56dB(16.20馬力)ですが、騒音対策として夜間運転音を4dB下げ、業界トップの52dBとする低騒音モードを設けました。

### 4. プリント基板には無鉛はんだを使用

鉛含有廃棄物から酸性雨によって溶け出した鉛が地下水を汚染し、人体に悪影響を及ぼしていることが分かっています。そこで、シティマルチICE Ypは、鉛を含まないはんだで実装したプリント基板を導入しました。今後、そのほかのビル用マルチエアコンにも順次導入し、最終的には全機種に採用する予定です。



シティマルチICE Yp冷房運転パターン図



シティマルチICE Ypシステム構成図

住 所：〒108-0074 東京都港区高輪3-26-33 (秀和品川ビル)

会社名：三菱電機株式会社 冷熱システム事業部 お問い合わせ先：首都圏冷熱営業部 パッケージエアコングループ TEL 03-5798-2161