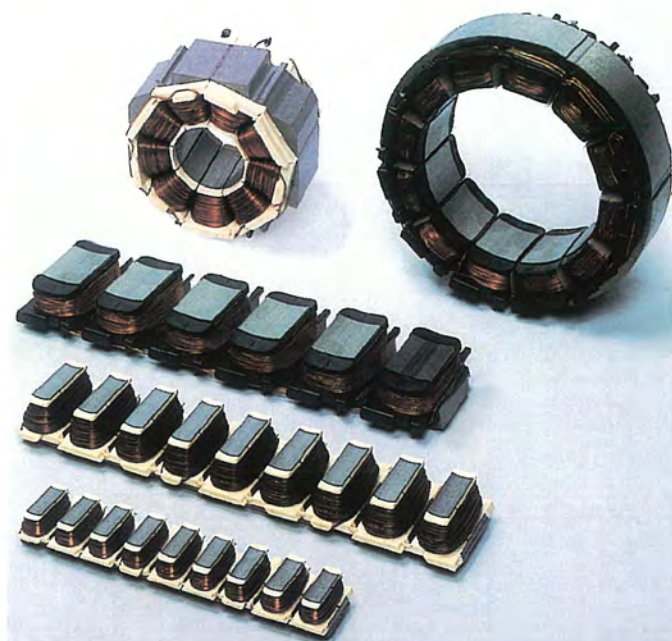


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.72 No.4

特集 “トランスナショナル企業を支える生産技術
／超薄型・超軽量携帯パソコンPedion”

'98 4



特集 “トランスナショナル企業を支える生産技術 ／超薄型・超軽量携帯パソコンPedion”

目次

特集論文(生産技術)

| | |
|--|------|
| 生産技術の原点 | 1 |
| 森脇俊道 | |
| グローバル化時代における生産技術 | 2 |
| 小村宏次 | |
| 半導体工場のワールドワイド展開 | 5 |
| 塚本克博・重富 晃・長田芳裕・岡本龍郎・傳田匡彦・木下繁治 | |
| メモリ半導体の歩留り向上技術 | 11 |
| 大西 寛・櫻井光一・石井宏之・草壁嘉彦・古森秀樹 | |
| 高精細ビルドアップ基板 | 15 |
| 須藤俊英・山路 修・村木健志・山口明彦・河嶋康夫・村井淳一 | |
| パワー回路の小型・低インダクタンス化 | 19 |
| 足立栄之資・砂本昌利 | |
| FA制御機器実装における高密度化への挑戦 | 23 |
| 松尾光恭・坂田哲夫・杉山 徹 | |
| 新形汎用ACサーボモータの生産技術 | 27 |
| 池田洋一・中原裕治・伊藤浩美・斎藤直文 | |
| 高精度・高能率機械加工技術とその応用 | 31 |
| 小寺 直・太田 努・狩山明賢・葛原晃一郎・桧垣文広・大谷真博 | |
| 冷凍空調用ロータリ圧縮機の同心組立技術 | 37 |
| 原 正一郎・岩崎俊明・望月哲哉・浮岡元一・野田博之・富永孝介 | |
| Mitsubishi Electric MalaysiaへのVTRドラム自動組立ての技術移管 | 41 |
| 岩井敏充・加茂範明・神原功泰・井上孝之 | |
| 携帯電話の自動検査と品質情報管理システム | 45 |
| 広兼竜一・山田 剛・広岡邦江・笹井浩之・岩井匡代・増田 隆 | |
| マイコンウェアプロセスの短工期化 | 49 |
| 今井弘志・宮田和明・石本俊司郎・清水孝雄・小林則幸・松井恒一 | |
| 換気扇工場の生産性向上 | 53 |
| 福山二郎・木枝鋼希・伊澤一重・桐 修一・竹腰幸典・中原裕治 | |
| 照明器具の市場即応型生産ライン | 58 |
| 土井清朗・三宅信輔・諏訪正一・郡司正之・佐々木一登志・岡崎雄二 | |
| タイMCP社エアコン生産工場における一貫生産体制の構築 | 62 |
| 大塚哲也・平石康太郎・白瀬洋治 | |
| China Ryoden Co., Ltd.昇降機工場の総合工期短縮 | 66 |
| 横山佳士・水越雅則・野間 務 | |
| 外鉄形変圧器コイル組立て1個流し生産体制の構築 | 70 |
| 徳丸 透・岸下和義 | |
| 特集論文(Pedion) | |
| モバイルコンピューティングの展望と当社の取組 | 75 |
| 武藤達也 | |
| 超薄型・超軽量携帯パソコンPedionの特長 | 76 |
| 平山正治・山田忠利・山本 卓・岡部正志・小野正夫・竹内 哲 | |
| Pedionの筐体一体型LCDモジュール | 82 |
| 梅崎光政・結城昭正・松本貞行・熊谷 隆・愛河 徹・古内浩二 | |
| Pedionの超薄型キーボード | 86 |
| 内澤 学・表野 匡・松山 賢・羽島一夫・石塚健彦 | |
| Pedionのバッテリーシステム | 90 |
| 河田 薫・鬼沢 聡・小林 孝 | |
| Pedionの筐体実装設計 | 94 |
| 川辺 伸・有田直喜・中岡邦夫・福山勝夫・岡本伸一郎・能 弘明 | |
| Pedionの熱設計 | 98 |
| 小林 孝・大串哲朗・藤井雅雄・角 憲明・渡辺寛二 | |
| Pedionのデザインコンセプト | 102 |
| 岩本秀人・酒井正幸・荒井秀文・福山勝夫 | |
| 普通論文 | |
| “中部電力㈱お客さま申込工事支援システム”における 携帯端末“AMITY”の利用 | 106 |
| 山本正明・田中康弘・太田竜児 | |
| 特許と新案 | |
| 「基板装置」「かご形回転子の製造方法」 | 111 |
| 「プロジェクトン溶接方法」 | 112 |
| スポットライト | |
| 700系新幹線電車用主変圧器 | 110 |
| 小規模プラント用監視制御システム“MACTUS300SR” | 74 |
| 三菱モバイルコンピュータ“AMITY CN” | (表3) |

表紙

新形鉄心構造(ボキボキ方式)モータ

この方式は、直線状のコアに巻線し、その後で折り曲げる構造を採用している。

生産容易性の視点から従来の製品構造を見直すことで発想され、大幅な性能と生産性の向上を実現した。

写真は汎用ACサーボモータへの適用事例で、当社のフロッピーディスク、スピンドルモータなどにも適用されている。

なお、この方式は、平成9年度大河内記念賞を受賞した。

超薄型・超軽量携帯パソコンPedion

Pedionは、最先端MMXテクノロジーPentiumプロセッサと12.1インチカラー液晶表示装置を搭載し、A4サイズの携帯パソコンとして世界最薄：18mm、最軽量：1.45kgを実現した超薄型・超軽量かつ高性能な携帯パソコンである。

昨年11月に米国で開催された「COMDEX/Fall'97」において、「ベスト・ポータブル/ハンドヘルド賞」を受賞した。



生産技術の原点

次世代の生産技術に求められることは、ますますグローバル化する生産環境の下で、多様なユーザーニーズに対応して、マーケットが要求する製品を迅速にしかも安定して供給すること、しかも、できることならより高機能・高精度で付加価値の高い製品を安価に提供することにある。さらに今後は、従来にもまして資源の有効利用やリサイクル、環境に配慮した生産の在り方が問われることになる。

こうした厳しい競争の結果、気が付いてみると、韓国経済の破たん(綻)、タイやインドネシアなど東南アジアにおける経済危機、東欧諸国の零落が目につき、その一方で、アメリカの好景気が続き、ドイツなどの一部ヨーロッパ諸国の健闘が目立つ、といった構図が浮かび上がってくる。

それぞれの国の事情は専門家ではないのでよく分からないが、アメリカの製造業が復権した最大の要因として、コンカレントエンジニアリングやCALSに代表される情報化武装が挙げられる。企画設計から製造に至る全生産過程を同時進行化させることによるリードタイムの減少、ネットワークを利用したマーケティング、部品の調達・販売・保守などその威力は大きい。情報化の点で一歩遅れている我が国が今後この分野を強化することが重要であることは十分理解できる。

しかし目を転じてみると、必ずしも情報化された分野だけが良いとは言えない気がする。例えば、一部の高品質素材メーカー、極めて付加価値の高いキーコンポーネントや設備のメーカーなどは余り景気に左右されず、着実に業績を上げている。すなわち、価格と量と納期だけを求めるのではなく、代用の利かない真に付加価値の高い製品を製造

神戸大学工学部

教授 森脇俊道



している分野は、他からその製品が求められるため、世の中の情勢に余り影響を受けない。

こうした分野においては、常に徹底した技術の革新が競争力を生む。情報化ではなく、エンジニアリング、生産技術の絶え間ない向上である。この意味で、基礎となる生産技術の重要性が浮かび上がってくる。私は、最も基盤的で重要な生産技術として高精度化、超精密化、高速化、高能率化などがあり、その基礎として生産プロセス、生産機械、生産システムに関する研究・開発が重要であると考えている。基本的なプロセス、装置や機械、システムに対する深い理解がなければ、技術の進歩は在り得ないと思うからである。

情報化について考えてみよう。現在はある意味では情報がはん(氾)濫している時代であるとも言える。一度作られた情報は、コピーされ、ネットワークを通じて瞬く間に世界中にばらまかれる。我々は常に情報の洪水の中にあると言ってよい。多くの方は、こうした情報を検索し、場合によっては若干の変更又は追加を加えて他に情報を流すことによって、情報を作ったと誤解している。そのことによって、ますます情報の氾濫を助長している。しかしながら、本当に欲しい情報はほとんどないのが現状である。

一番大切なことは、元になる情報をだれがどのように作るかということではなからうか。本質的な情報を作る人は、端末の前に座っている人ではなく、額に汗して研究・開発に従事している人ではなからうか。もう一度生産技術の原点を考えてみたい。

グローバル化時代における生産技術

小村宏次*

1. ま え が き

円対ドルの為替レートが円安方向に推移している状況にあって、企業の海外進出の声はかつてほどの勢いはない。確かに、一時の80円/ドルの時代から見れば、現状は、50%ほどのコスト改善が労せずして実現しているのであるから、再び国内生産や輸出の強化によって企業収益を確保するというのも一理ある。これに加えて、生産拠点の海外シフトに伴って派生する資材や部品の調達をいかにうまくやるか、又は様々な形で現れるカントリーリスクをいかに克服するかなど、生産拠点の海外進出のデメリットともいべき部分を企業は経験的に感受している。

しかしながら、メガコンペティションを前提とした諸々の経済対策の推進とともに、新技術開発を軸とした企業体力の回復がいずれは円安傾向を是正するであろうことなどを想定すると、トランスナショナル企業を目指した長期的な視点での海外進出は避けて通れない道である。

当社は、生産拠点を海外にシフトする判断基準の一つとして、“適地生産”というコンセプトを設けている。このコンセプトには、もちろん、そこに市場があり、事業のグローバル的な拡大・発展が見込まれるということが第一義としてあるが、根底には、対象国の国情をよく吟味し、文化や習慣などを理解しつつその国の経済的繁栄にも寄与するという考えが秘められている。

このような相互繁栄を意図した製造業の海外進出において考慮すべきことは、低コストの労賃を期待した製造ラインや生産システムの移設だけでは不十分であるということである。その国の市場を喚起する製品開発や設計をセットにした生産拠点を確立すべきであると主張したい。

特に、先進国対応では、研究開発や設計業務の現地化などは可能であるし、これを積極的に促進すべきであると考えている。一方、発展途上国については、製品開発や設計業務にかかわる教育や人材育成に関する投資や教師の長期派遣などの施策も準備しておく必要がある。

なお、発展途上国では、製造業を軸とした生産拠点が多くなるという必然性があるが(表1)、これらに対する生産技術について言えば、部品や資材の調達に手間がかかることなどを考慮して、まず、生産設計を十分に行っておくことが肝要である。さらに、付加価値の大きい素材加工設備や金型などの治工具類、製品品質を保証する検査や評価装

置、又は高速高精度な組立装置など、人手では賄いきれない生産設備が今後ますます必要不可欠になってくるものと思われるが、これらの生産技術は、開発も含め、日本国内で準備し調達しておくべきであると考えている。

本稿では、生産技術の革新とコア技術のカスタマイゼーションを主たるミッションとしている当社生産技術センターの活動を紹介しながら、トランスナショナル化の進展に伴って派生すると思われる技術的な課題について述べる。

2. 生産技術センターの活動

トランスナショナル企業を目指す当社は、世界を日本・米国・欧州・東南アジアの4極構造に分割して事業のグローバル展開を推進してきた。米国や欧州などの先進国対応の極では、販売拠点や生産拠点を緩やかに統括管理する親会社が設けられているほか、最近では研究所が新設され、優秀な頭脳集団の確保とともに、グローバル的な視点での研究開発を充実させつつある。他方、東南アジアなど発展途上国対応の極では、安価でかつ豊富な労働力を期待した製造中心の生産拠点が増加している。この背景には、製造インフラである部品や素材の加工メーカーも進出しやすい環境が整いつつあるということが挙げられる。製造中心の拠点の増加に伴い、東南アジア地域をアセアン地域と中国や台湾地域に分けて統括管理するなどの多極化が進行している。より一層のグローバル化の進展とともに、このような経営的統括の多極構造化がますます進むものと考えられる。

以上のような状況認識の下に、革新的な生産技術の開発とコア技術のカスタマイゼーションの発進基地であることを自負し、さらに、IE技術者のOJTの育成の拠点として活動している生産技術センターがグローバル化の視点で推進してきた幾つかの活動実施例を、精機エンジニアリング、スタートアップエンジニアリング、ファインプロセスエンジニアリングに分けてその概略を紹介する。

(1) 精機エンジニアリング

生産設計を、新しい材料やデバイス、日進月歩の加工技

表1. 当社の地域別海外生産拠点数

(1997年7月末現在)

| 地 域 | 北・中米 | 欧 州 | ア ジ ア | 合 計 |
|-------|------|-----|-------|-----|
| 拠 点 数 | 8 | 5 | 32 | 45 |

術、最新のシミュレーション技術などを取り込んだ製品開発のやり直しと定義している。言うまでもなく、材料コストや製造コストの低減がそのねらいである。生産技術センターでは、主にキーパーツなどの量産製品について、このような生産設計から特長のある量産装置の開発及びライン導入までを一貫して手掛けている。

具体例として、フロッピーディスクドライブ(FDD)のコスト低減活動を取り上げる。FDDのキーパーツとしては、スピンドルモータなどのアクチュエータ、読み書き用のヘッド、及び制御用のICなどがあるが、このうち、ミクロンオーダの組立てや検査精度を必要とするヘッドについては、一貫生産ラインを構築した。また、これまでは購入品であったアクチュエータについては、ドラスティックな生産設計から生まれた“ボキボキモータ”と呼んでいる新構造のモータと高速整列巻線機など特長のある量産装置をワンセットで開発し実用化したことによって、内製化とともに大幅なコスト低減を実現した。このようなキーパーツの内製化は、単なるコスト低減にとどまらず、次世代FDDの製品開発において、大きな武器となっていることを強調しておきたい。

現在、FDDはタイにある量産工場で月産約80万台の規模で量産しているが、開発した高速整列巻線機、心振れや面振れの検査機、組立品質の総合評価設備などは、FDDの量産に多大な効果を上げている。

また、FDDの量産装置以外にも、CRT電子銃用の高精度カソード組立機(組立精度 $\pm 5\mu\text{m}$)やディスプレイモニタ用の画質自動計測装置(計測精度 $\pm 5\mu\text{m}$)などを開発し、海外の生産拠点に導入しているが、これら量産装置のメンテナンスや制御ソフトのバージョンアップへの対応が課題となっている。現在は、電子メールや公衆回線を使って技術情報やデータ転送を行っているが、将来は、図面などの大容量のデータ処理も可能な当社専用の通信ネットワークの構築が不可欠であると考えている。

(2) スタートアップエンジニアリング

グローバル化の進展に伴い、発展途上国を中心に、新工場や倉庫の建設が増えている。生産技術センターでは、適正規模のエンジニアリング部隊を保持しながら、所轄の事業本部との密接な連携の下に、事業計画の策定段階から工場や倉庫の立ち上げまでを一貫して支援している。

具体的には、生産規模をにらんだ無駄のない生産方式の策定、資材や製品などの入出庫業務を含む工場全体のレイアウト設計、工程間物流を効率的に行う設備レイアウトの詳細設計、進ちょく(捗)データや品質情報をもリアルタイムで管理するFAシステムの開発、及び営業情報や資材調達から日程計画を作成する生産管理システムの構築などの業務を請負形式で実施している。生産技術センターが実施している海外生産工場の立ち上げ支援実績は、これまでに

9か国、14工場にも及んでいる。支援実績の増加に伴い、国内の工場にもひけをとらない内容を持った提案ができるようになりつつある。

例えば、空調機関連のタイの新鋭工場では、

- (a) 板金、パイプ加工、プラスチック成形など主要部品の内製化と組立ラインとの最適な工場レイアウト設計
- (b) 日程計画に基づく生産指示や部品在庫把握、バーコードによるオンライン進捗管理などの生産管理システム
- (c) 組立部品のキitting供給方式の導入やオーバーヘッドコンベアを活用した工場内物流の最適化

などのフィードショップから組立て・試験・製品倉入れまで、一貫した生産ラインを所轄事業部の生産技術者と協力して構築した。スペースなどの制約を受ける国内工場では、おそらくその実現が困難であっただろうと思われる理想的な生産ラインを構築することができた。

他方、海外での総合的な生産性の向上を図るため、現地人材の育成にも注力している。地域別言語に翻訳したIEやQCなどの生産関連のテキストの作成などにより、現地技術者の教育や生産現場の改善に効果を上げている。

(3) ファインプロセスエンジニアリング

コア技術のカスタマイゼーションの典型的な例として、半導体プロセスの高歩留り化技術を挙げたい。この技術の核は、ウェーハプロセスで生成される極微細異物の検出、この異物発生メカニズムを解明するための物理化学反応モデルの構築と検証、異物を選択的に抑制する反応制御技術の開発、及び主要プロセス装置の改良開発などである。

生産技術センターが実施したインライン解析による極微細異物の種類やサイズの特定、又は異物を抑制する手法などの開発成果は、歩留り向上を阻害していた要因が、デバイスの構造設計にあるのではなく、先端的な生産技術を駆使すればその抑制や制御が可能な異物に起因していることを物語っており、正に、この点に大きな意義があると思っている。

なお、ここで言う先端的な生産技術には、上記のもの以外に、成膜やエッチングなどのプロセス装置の稼働率を向上させるセルフクリーニング技術、又は複雑な工程のシミュレーションをベースに、大幅な工期短縮を実現しつつあるFAシステム化技術なども含まれている。

以上のような生産技術は、まず国内の半導体工場で検証し、ここで培われた技術を海外の半導体工場に水平展開している。16MビットDRAMでは、アジアと欧州の2拠点へ水平展開した結果、初期ロットの段階から驚くべき数字の高歩留りを実現している。もちろん、このような高歩留り化技術は、所轄事業本部の技術者との共同作業で開発されたものであることを付言しておきたい。

3. トランスナショナル化に伴う課題

海外生産拠点の増大と経営統括の多極化が進む中で、企業のトランスナショナル化を推進するに当たっての重要な課題は、“情報通信網の整備”と“資材調達物流システムの構築”であると考えている。

(1) 情報通信網の整備

海外生産拠点と国内の所轄事業本部の間を結ぶ情報通信回線が順次整備されている。さらに、トランスナショナル企業を目指して、情報通信回線の線から網への更新も着実に進められている。このような国際的情報通信網は、経営基幹情報のオンライン処理に欠くことのできないツールであることを今更強調する必要はないが、設計や生産技術の領域で言えば、図面や制御プログラムなどの大量データのリアルタイム処理も可能な太い回線網及び通信システムであることが望ましい。

具体例として、現在タイの量産工場で稼働している、生産技術センターで開発したFDD検査装置における検査項目の追加や修正などへの対応について紹介する(図1)。

検査項目の追加や修正などの要請を受け、生産技術センターで検査プログラムの改良版を開発し、このオブジェクトファイルを社内専用回線を利用した電子メールで国内の製作所に送信する。製作所では検査モデル機を用いてプログラムの動作確認を行い、その有効性の評価が完了すると、やはりオブジェクトファイルでタイの量産工場に電子メールで送信する。

現状では、容量が小さく標準化できる情報の転送に限られているが、将来的には、衛星通信やイントラネットの活用により、CADシステムとリンクした設計・製造図面などの大容量データの転送も可能である。また、海外生産拠点における試験や検査などの製造品質情報を整備更新や機能改善に迅速にフィードバックできるような双方向ネットワークの構築が不可欠になってくるものと考えている。なお、情報ネットワーク化の進展に伴い、ネットワーク上を行き交う情報といえども、輸出管理規制の遵守や企業機密の漏えい(洩)を防止する管理仕組みを自主的に確立しておくことが肝要である。

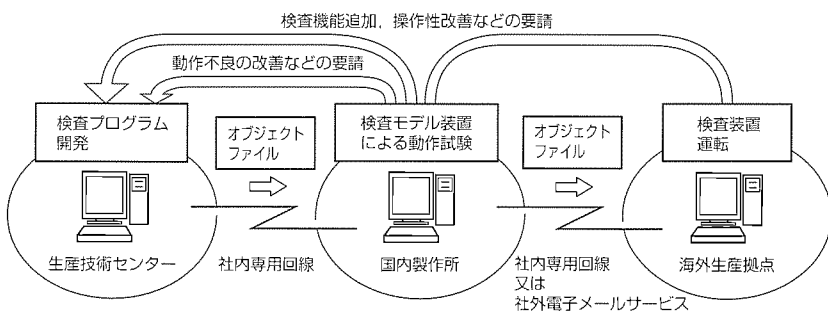


図1. 技術情報の海外拠点への転送事例

(2) 資材調達物流システムの構築

生産拠点のグローバル化が必ず(須)である今日、工場の食料源ともいべき資材の調達に極めて重要な課題である。資材情報と人的コネクションが決め手となる国際的資材調達は、一朝一夕にできるものではないと思っている。その物流システムも含め、安く、早く調達できる仕組み作りが肝要である。

当社の資材調達の例を、昇降機の場合で紹介する。

当社では、生産拠点と同一経済圏内での調達、経済圏をまたがる調達といった資材調達ルートを、徹底したコストシミュレーションで比較検討して決定している。生産拠点と同一経済圏内での調達が有利であるが、特殊部品については同一経済圏を越えた調達先の集約化も行っている。また、部品製造については経済圏内生産を原則としているが、受注規模によっては生産拠点間での国際分業も行っている。例えば、エレベーターの大口物件を受注した場合、どこが最適生産地かを物件対応で、コスト・納期・仕様・操業度など、幅広く評価し、各生産拠点間でエレベーターの各部品生産を分業している。

前述の情報通信ネットワークの拡充と連動して、資材情報の迅速な収集システムの構築と、最適な資材輸送方式の確立が今後の大きな課題である。

4. むすび

本誌編集者から、表題のような亡羊としたテーマで論文を書けと言われて大変苦慮した。三菱電機企業集団として見ると、国内外を合わせた生産拠点は100か所を超える。筆者はほとんどすべての生産拠点を視察訪問しているが、その印象を一言で言えば、国内外を問わず、質の高い生産技術力の強化が不可欠になっているということである。ここで、営業、開発設計、資材手配、製造、製品物流、及び顧客サービスという一連の業務プロセスにおいて、ネックとなっている課題はすべて生産技術の対象であると筆者は考えている。すなわち、質の高いプロセスイノベーションが、企業の国際競争が激化している今日、その事業が生き残れる道であると言いたいのである。

昨今、製造業の自然環境に対する配慮も大きな話題となっているが、当社は、これを経営課題として取り上げ、製品のリサイクルなどに取り組んでいる。生産技術の領域で言えばDFD(Design For Disassembly)を生産設計の一部として推進していることを付記しておきたい。

本稿では、筆者の貧しい状況認識と生産技術に関する思いの幾つかを、おく(臆)面もなく書き下したつもりであるが、少しでも読者の参考になれば幸甚である。

半導体工場のワールドワイド展開

塚本克博* 岡本龍郎*
重富 晃** 傳田匡彦***
長田芳裕** 木下繁治**

要 旨

第三世代16MビットDRAMを始めとする0.4μm以下のデザインルールを持つULSIを対象に、直径200mmウェーハプロセス技術を含む製造技術を開発し、日本国内、台湾、ドイツに量産工場展開を行った。

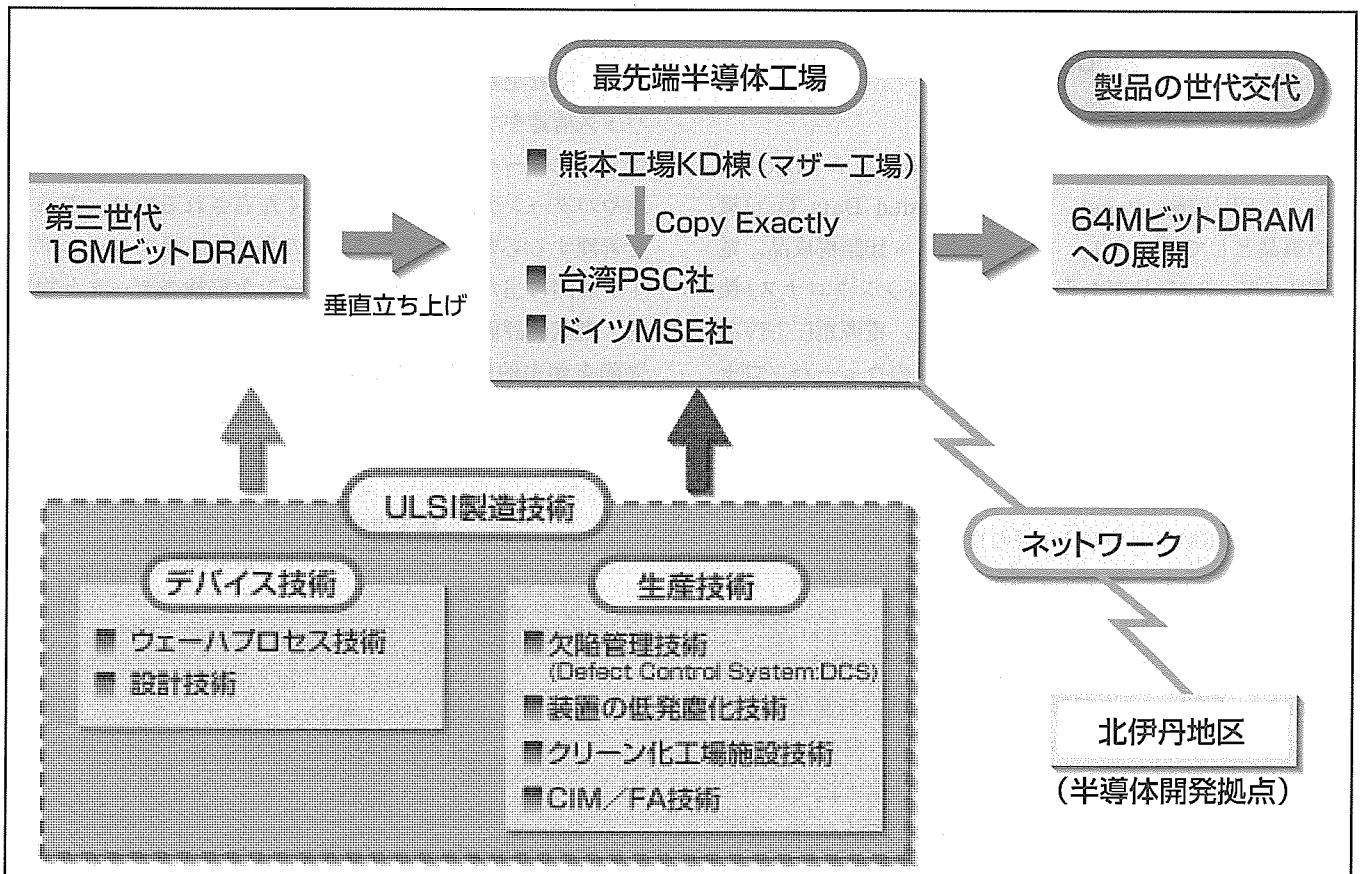
生産性に優れたデバイス/プロセス技術をベースに、低コストのクリーンルーム建設、純水などの動力設備、ファクトリオートメーション(FA)、コンピュータ制御された製造工程(CIM)、北伊丹地区にある三菱電機の半導体開発拠点と各工場間を結ぶ情報ネットワーク、さらに製造装置の徹底した低発じん(塵)化と欠陥管理などに当社の技術を結集して、極めて生産性の高い半導体量産工場をワールドワイドに展開した。

まず、熊本工場最先端半導体ライン(KD棟)を極めて短期間で立ち上げる“垂直立ち上げ”を実現した。次に、熊本

工場KD棟を“マザー工場”として位置付けて、“Copy Exactly”の手法によってこれらの技術をワールドワイドに展開し、台湾における合弁会社であるPSC(Powerchip Semiconductor Corporation)及びドイツにおける生産会社であるMSE(Mitsubishi Semiconductor Europe, GmbH)においても最先端半導体工場の垂直立ち上げに成功した。

これらの工場は0.25μm以降の製品にも対応可能であり、熊本工場KD棟は、64MビットDRAM工場として生まれ変わった。また、PSC社とMSE社も64MビットDRAMへ製品を切り換えつつある。

そして、これらの工場と開発拠点をネットワーク化して、トランスナショナル企業にふさわしいワールドワイドなULSIの量産体制を構築した。



最先端半導体工場の垂直立ち上げ

ULSIを製造する最先端半導体工場の垂直立ち上げに結集した製造技術を示す。熊本工場KD棟をマザー工場として位置付けて、“Copy Exactly”の手法によってこれらの技術をPSC社とMSE社に展開した。

1. ま え が き

半導体製品、とりわけULSI製品は、今後展開される高度情報化社会のキーデバイスとして大きな成長が期待される。現在本格的な普及期に入ろうとしているマルチメディアにとっても、システムの構築にULSI製品は不可欠である。現在のマルチメディア分野及び来るべき高度情報化社会において、総合電機メーカーとして確固たる地位を築くために、当社では半導体事業に積極的に取り組んでいる。特に、ウェーハプロセス部門では、先端技術の開発を行うと同時に、巨額化しつつある設備投資をミニマム化できる製造技術の開発と、投資の早期回収を目指して新工場を短期間で立ち上げることに注力している。

一方、半導体産業は、米国、日本、ヨーロッパに加えて韓国、台湾をも巻き込んだ世界的な競争、メガコンペティションの真つただ(只)中にあり、ワールドワイドな競争も(熾)烈である。当社は、トランスナショナル企業を目指して本格的に半導体事業の適地生産の第一歩を踏み出し、国内はもとより、台湾、ドイツで最先端半導体工場を極めて短期間で立ち上げた。

本稿では、その経緯、成果、及び成功の要因について述べる。

2. ULSI製造技術

2.1 16MビットDRAMプロセス技術

ここで対象とする製品は、第三世代16MビットDRAMである。FP(First Page)/EDO(Extended Data Out)機能の製品としては、 $\times 1/\times 4/\times 8/\times 16$ 語構成、電源電圧5V/3.3V品がある。一方、SD(シンクロナス)機能の製品としては、 $\times 8/\times 16$ 語構成、電源電圧3.3V品がある。これらの製品群はいずれも同一のウェーハプロセス技術によって製造されており、異なるマスクセット、アルミマスタスライス、ボンディング切換えによるオプションによって作り分けられている⁽¹⁾。

第三世代16MビットDRAMのウェーハプロセス技術の仕様を表1に示す。デザインルールは0.4 μ mであり、200mm径のシリコンウェーハを使用している。

素子分離は新規に開発した平坦(坦)化LOCOS(Local Oxidation of Silicon)法で形成し、0.3 μ m以下の素子分離と極めて平坦なデバイス表面を実現している。また、ウェル形成にはMeV領域の高エネルギーイオン注入法を使用し、高温熱処理の削除など工程の簡略化と、ソフトエラー耐性やラッチアップ耐性の強化を図っている。

メモリセルは埋め込みビット線方式の厚膜スタックセルで、ストレージノードの厚膜化とキャパシタ絶縁膜に等価酸化膜厚4nm相当の窒化シリコン膜を使用することによってキャパシタ容量25fFを確保している。

ワードラインとビットラインにはタンゲステンポリサイドを使用し、第一層配線には新規に開発したタンゲステン配線を、第二層配線にはアルミ配線を使用した。タンゲステン配線の適用によってアスペクトの大きなコンタクトホールにもプラグを必要とせず、プロセスが簡略化されている。

保護膜はプラズマ窒化膜と新規に開発した感光性ポリイミドが一体化された2層構造で、従来のポリイミドを使用する場合と比較すると、製品の高信頼性を維持しつつプロセスの簡略化が図られている。

レーザトリミング(LT)はウェーハプロセスが完了してからウェーハテスト(WT)段階で行われ、プリテストを廃止して統合化されたLT/WTとなっている。

このように、第三世代16MビットDRAMは、シンプルなデバイス構造と適切に簡略化されたウェーハプロセス技術、及び200mm径シリコンウェーハの採用とによって高い生産性を示すとともに高信頼性を確保しており、ワールドワイドの量産展開をするにふさわしいデバイスとして仕上がった。

2.2 欠陥管理技術(DCS)

ウェーハプロセスラインにおける最も重要な生産指標の一つに製品の歩留りがある。歩留りは製品の製造コストに直接反映するため、製造ラインでは極限まで歩留りを向上させ、それを安定化させる管理技術が求められている。デバイス構造やプロセス技術が完成の域に達すると、製品歩留りはウェーハプロセス中に発生しウェーハに付着する異物やパターン欠陥によって大きく左右されるので、これらを管理する必要がある⁽²⁾。今回の半導体工場のワールドワイド展開に当たり、異物/パターン欠陥検査データと物理的・電気的評価データを統合的に解析して異物/パターン欠陥を効率的に管理する欠陥管理技術(Defect Control System: DCS)を新たに開発して、歩留りの向上と安定化管理に威力を発揮した。

表1. 第三世代16MビットDRAMのウェーハプロセス技術の仕様

| | |
|--------|--|
| 素子分離 | 平坦化LOCOS |
| ウェル構成 | 高エネルギー注入ツインウェル |
| メモリセル | 埋め込みビット線方式厚膜スタックセル $t_{ox}(eff) = 4.2nm$ |
| トランジスタ | NMOS: 0.55 μ m(LDD) PMOS: 0.55 μ m $t_{ox} = 12nm$ |
| 配線 | 2 Polycide / 2 Poly-Si / 1 W / 1 Al |
| ワード線 | WSi ₂ / Poly-Si, 1 st Metal (W) |
| ビット線 | WSi ₂ / Poly-Si |
| 列選択線 | 2 nd Metal (Al-Cu) |
| 保護膜 | P-SiN, ポリイミド |

(注) デザインルール : 0.4 μ m
シリコンウェーハ : 200mm径

図1にDCSのシステム構成、図2にDCSの機能を示す。クリーンルーム内にインラインモニタとして設置されている各種の異物/パターン欠陥検査装置が、SEM(Scanning Electron Microscope)などのレビューステーションや解析室に設置されているオフラインの物理解析装置、ウェーハテスト及びサブシステムとしての故障解析エキスパートシステム(Fault Isolation Expert System: FLEXS)などと情報ネットワーク(LAN)によってリンクされており、各種データはDCSサーバに蓄えられ、オフィス内のユーザー端末から検索可能である。検査データ、解析データ、ウェーハテストデータはDCSサーバに自動収集され、データベース化されてユーザー端末で以下の解析を迅速に行うことができる。

- 異物/パターン欠陥検査データの解析
- ウェーハテストデータの不良分類と原因推定
- 製品デバイス上の不良位置と異物/パターン欠陥座標照合による不良発生工程の同定

これらの解析結果に基づいて、異物/パターン欠陥の発生原因の早期解明と、これに対する効率的な対策をとることが可能となった。

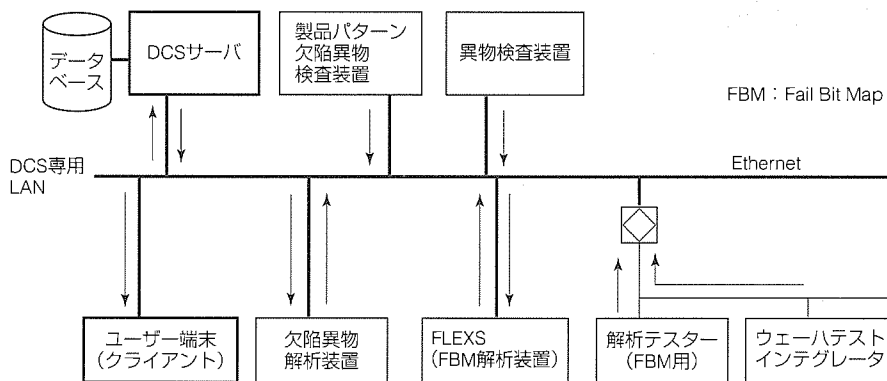


図1. DCSのシステム構成

従来は、ややもすると歩留りの向上と安定化管理は熟練エンジニアの勘と経験に頼る面が強かったが、DCSの開発によってこれらの業務が科学的に体系化され、普遍化されて実施できるようになり、新工場の立ち上げ当初から効率的な歩留りの向上と安定化管理活動が展開できるようになった。

2.3 装置の低発塵化技術

前述したDCSの開発により、異物/パターン欠陥原因の早期解明と、これに対する効率的な対策を立てることが可能となった。しかし、製品歩留り向上の根本対策は、ウェーハプロセス中に発生しウェーハに付着する異物を極力低減することである。ウェーハプロセスの異物低減のために種々の取組をしてきたが、その中で最も威力を発揮したのは、プロセス装置内のウェーハ装着をメカニカルクランプから静電吸着クランプに変更したことであった。この節では、一例として、ドライエッチング装置の静電吸着クランプ技術について述べる。

第三世代16MビットDRAMのウェーハプロセスでは、酸化シリコン膜、ポリシリコン、アルミなどのメタル配線形成などの微細加工にドライエッチングを多用している。

図3にドライエッチング装置の反応室の構造を示す。ウェーハを処理するとき、ウェーハを下部電極に装てん(填)し、反応室内を排気し、減圧した状態でプロセスガスを流しながら平行平板型の上部電極と下部電極の間に高周波電圧(RF)を印加することによってプラズマを発生させ、ウェーハ表面をエッチングする。良好なエッチング形状とエッチング選択比の向上のためには、ウェーハの温度を

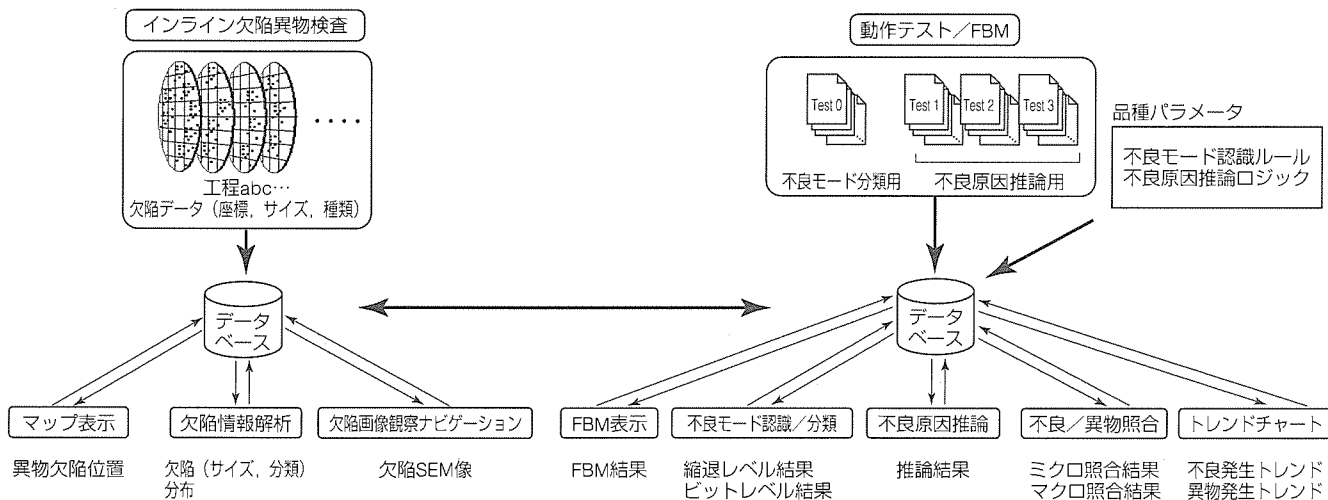


図2. DCSの機能

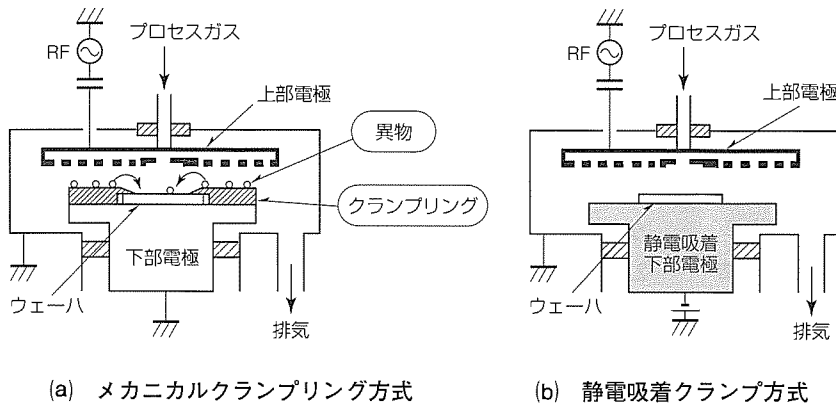


図3. ドライエッチング装置の反応室の構造

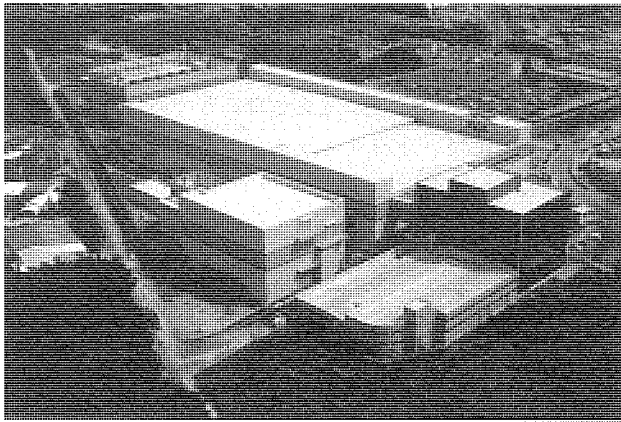


図4. PSC社

精度良く制御する必要があり、温度制御された下部電極にウェーハを密着させなければならない。

ウェーハ面内の温度の均一性と再現性を良くするために、従来は図の(a)に示すメカニカルクランプ方式を採用していた。この方式では、セラミック製のクランプリングでウェーハの外周数mmを固定する。このため、クランプリングの劣化や、クランプリングへのポリマ膜付着とはく(剥)離、クランプリングとウェーハの擦れ等に起因する異物発生が頻発していた。

これらの問題を解決するために、図の(b)に示す静電吸着クランプ方式を開発してウェーハプロセス装置に導入した⁽³⁾。この方式の基本原理は、下部電極上にセラミックやポリイミド等の絶縁層を設け、ウェーハと下部電極の間に電圧を印加し、両者の間に静電気力を発生させてウェーハを下部電極に吸着させることにある。吸着力は印加電圧によって制御可能となる。この方式により、ウェーハ外周部から異物の発生原因となるクランプリングを除去することが可能となり、ウェーハに付着する異物を大幅に減少させ、しかも従来と同等以上のウェーハ温度制御性が得られた。200mm径ウェーハに付着する異物はメカニカルクランプ方式では平均30~50個であったが、静電吸着クランプ方式の採用によって平均5個以下に大幅に低減することができ

た。この異物低減は歩留り向上に大きく寄与している。

3. 最先端半導体工場の垂直立ち上げ

3.1 熊本工場最先端ライン(KD棟)

DRAMの需要の伸びに対応するために、熊本工場に第三世代16MビットDRAMを生産する最先端ウェーハプロセス製造ライン(KD棟)を建設することになった。

製造ライン建設に当たっては、次

の目標を掲げた。

- (1) 当社半導体技術の総力を結集して製造ラインを迅速に立ち上げて生産に寄与させる垂直立ち上げを実現する。
- (2) これに続く半導体工場のワールドワイド展開に際して規範となるマザー工場とする。

製造ラインの立ち上げ遂行においては、当社の半導体基盤技術統括部に所属するプロセス技術部、アセンブリ技術部、テストシステム技術部、生産技術部、装置技術部、半導体情報システム部、ULSI開発研究所、生産技術センター、及び量産工場からエンジニアとテクニシャンが参加し、組織の枠を超えたタスクフォース体制を構築してプロジェクトとして運営した。

製造装置のセットアップに際しては、ウェーハプロセス要素技術のTEG(Test Element Group)を用いるSCF(Short Cycle Feedback)評価手法を活用して事前検証を十分に実施することによって装置の垂直立ち上げを実現した。

一方、製品の製造に対しては、DCSの活用によって異物/パターン欠陥の管理と評価・解析を徹底的に行い、歩留りの垂直立ち上げを実現した。

1995年7月に製造装置の搬入を開始して、9月には最初の製品(1st Si)が完了し、しかも高い歩留りが得られた。信頼性試験の完了後、12月には早くも量産品の出荷が開始された。

この製造ラインは200mm径ウェーハで2万枚/月の生産能力を持っており、月産600万個の16MビットDRAM第三世代品が生産された。

このように、熊本工場KD棟は、当初の目標を達成して成功裏に立ち上がった。

3.2 PSC社

PSC社は、台湾のUMAX社が中心となり当社及び兼松(株)の合弁会社として設立された半導体メモリ製造メーカーであり、工場は台湾の新竹科学工業園区にある(図4)。

'94年12月に、当社からPSC社への16MビットDRAM技術供与契約が締結された。PSC社は、熊本工場KD棟をマ

ザー工場として、クリーンルーム、製造装置、原材料、ウェーハプロセス、製品デバイスをそのまま技術移転するCopy Exactlyを目標にして工場建設活動を開始した。

PSC社は、'95年2月に工場建設工事に着工し、建屋は'96年3月にしゅん(竣)工した。その間、必要に応じて、ウェーハプロセス、アセンブリ、テスト、品質保証、設計、工場施設などほとんどの分野にわたってPSC社の社員が来日し、熊本工場KD棟を中心に第三世代16MビットDRAM技術の供与を受けた。時あたかも熊本工場KD棟は垂直立ち上げの真っ只中にあり、そこで生きた教材によるOJTで修得した知見・技術は、PSC社の立ち上げに際して大きな力となった。また、このときのPSC社と当社の社員の人的交流が、当社社員がPSC社立ち上げのためにタスクフォースとして派遣されたとき、円滑な共同業務遂行を可能にしたことは言うまでもない。

'96年4月に製造装置の搬入を開始して、7月には最初の製品(1st Si)が完了し、驚異的な高歩留りが得られた。信頼性試験の完了後、10月には量産品の出荷が開始された。1st Si以降も高歩留りが維持されており、'97年12月現在、月産500万個の16MビットDRAMが生産されている。

新規参入メーカーであるPSC社の工場が熊本工場KD棟のCopy Exactlyを実施することによって垂直立ち上げに成功し、熊本工場と比べてそん(遜)色のない製品歩留りを達成していることは、当社のULSI製造技術力の高さを実証するものであると同時に、エンジニアやテクニシャンのトレーニングや製造ノウハウの伝授なども含めてPSC社への技術供与が極めて順調に推移したことを示している。

3.3 MSE社

MSE社は、ヨーロッパにおける当社の半導体製造会社で、ドイツのアーヘン近郊のアルスドルフ市にある(図5)。「92年から、4MビットDRAM、16MビットDRAMのアセンブリ、テスト等の後工程製造を行っていた。ヨーロッパ市場では現地生産のDRAM(ヨーロッパでウェーハプロセス工程実施が必要条件)の要求が強く、MSE社に最先端ウ

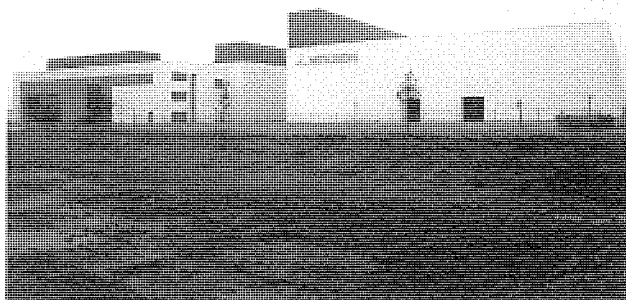


図5. MSE社

ェーハプロセス工場を建設して対応することになった。

工場建設に当たっては、PSC社と同様に熊本工場KD棟をマザー工場としてこれをそのまま技術移転するCopy Exactlyの手法を採った。

事前準備の一環として、ウェーハプロセス、テスト、工場施設などの分野のMSE社の社員が来日し、熊本工場KD棟で第三世代16MビットDRAMの技術修得を行った。

一方、工場立ち上げ時には、熊本工場やPSC社の場合と同様に、当社社員からなるタスクフォースを結成してドイツに派遣し、MSE社の社員と共同で立ち上げ業務を遂行した。

'96年7月に製造装置の搬入を開始して、11月に最初の製品(1st Si)が完了し、高歩留りが得られた。信頼性試験の完了後、'97年3月に量産品の出荷を開始した。1st Si以降も高歩留りが維持されており、'97年12月現在、月産250万個の16MビットDRAMが生産されている。

4. 今後のワールドワイド展開

4.1 DCSネットワーク

DCSは、最先端半導体工場の垂直立ち上げに対して、多大の寄与をしてきた。工場立ち上げ後も各工場ではDCSをフルに活用して、歩留りの向上と安定化管理の阻害要因となる異物/パターン欠陥の原因解明を迅速に行い、これに対して対策をとることを日常的に行っている。

各工場における歩留りの向上と安定化管理に関する技術情報を共有化してシナジー効果を上げるため、当社の半導体開発拠点である北伊丹地区を中心にした各工場のDCSのネットワークを構築した。このDCSネットワークを図6に示す。ここでは、北伊丹地区にあるDCSのユーザー端末から、熊本工場KD棟、PSC社、MSE社のDCSサーバにアクセスして、そのデータを見ることができる。北伊丹地区の技術者はこのネットワークを通して各工場の技術情報にアクセスしてそれらを比較検討し、各工場の技術情報や複数工場のデータを統合的に解析して得られる技術情報を、各工場にフィードバックすることが可能になった。

このように、現状では北伊丹地区開発部門の仲介の下に工場間の横通しをしているが、各工場間にもDCSネットワークを構築してシナジー効果を更に高めることは工場の運営も含めた今後の検討課題である。

4.2 製品の世代交代

ULSI製品の技術革新は急激で日進月歩である。特にDRAMは、これまで3年でメモリ容量が4倍となる世代交代を繰り返してきた。また、近年は多世代同居の様相を呈しており、同じメモリ容量でも世代が進んでいく。熊本工場KD棟では、工場企画の段階から0.25 μ m以降の製造技術に対応できることを念頭に置いて製造ラインの構築を行った。

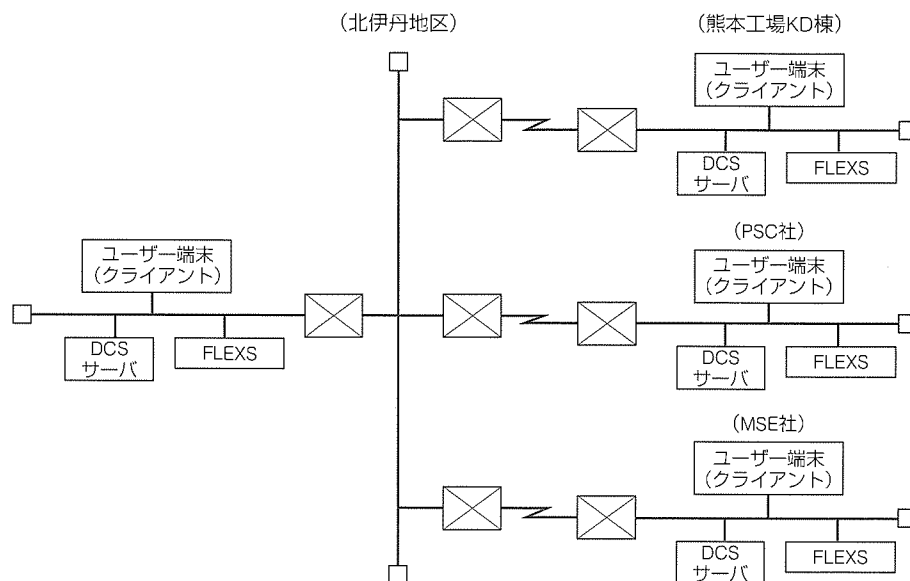


図 6. DCSネットワーク

第三世代16MビットDRAMのマザー工場として立ち上げた熊本工場KD棟は、微細加工を中心とする一部の製造装置をKrFエキシマステッパなどに入れ替えることによって64MビットDRAMの生産が可能となり、現在では64MビットDRAMの主力工場として生まれ変わっている。

熊本工場KD棟のCopy Exactlyによって建設したPSC社、MSE社も同様に製品の世代交代に対応することが可能であり、DRAMマーケットの需給を注視しながら16MビットDRAM第四世代品さらには64MビットDRAMへ製品を切り換えつつある。

5. む す び

生産性の高い第三世代16MビットDRAMの製造技術を開発して、熊本工場KD棟において極めて短時間で最先端半導体工場の“垂直立ち上げ”を実現した。次に、“Copy Exactly”の基本原則に従ってこれらの技術をワールドワイドに展開して、PSC社、MSE社の垂直立ち上げにも成功

した。これらの工場と開発拠点をネットワーク化して、トランスナショナル企業にふさわしいワールドワイドなULSIの量産体制を構築した。

これらの工場は、DRAMばかりでなくSRAMやフラッシュメモリの生産も可能であり、将来はさらにASICなどのロジック製品、DRAM内蔵ASICなどの生産も行う予定である。

参 考 文 献

- (1) 月川靖彦, 平山和俊, 源城英毅, 添田真也: 第三世代16MビットDRAM, 三菱電機技報, 69, No.10, 936~940 (1995)
- (2) 池野昌彦: 異物・パターン欠陥検査によるラインモニタリング技術, 月刊Semiconductor World, No. 8, 83~87 (1996)
- (3) 渡部俊也: セラミック静電チャックの特性と応用, 応用機械工学, No. 5, 128~133 (1989)

メモリ半導体の歩留り向上技術

大西 寛* 草壁嘉彦**
 櫻井光一** 古森秀樹**
 石井宏之**

要 旨

半導体メモリの高集積化に伴い、ウェーハプロセス工程の設備投資が増大し、投資回収のために量産初期からの高歩留り達成が不可欠となっている。この歩留り向上を実現するには、低下要因となる課題を前もって予見するための基盤技術が必要である。この基盤技術には、デバイスデザインに基づいた欠陥発生要因の予測技術と、材料、プロセス、装置にかかわる解析技術がある。

まず、欠陥予測技術として、欠陥分布の統計的解析を取り上げた。すなわち、0.5 μm デバイスの欠陥分布を統計的に解析して0.35 μm の欠陥分布を類推した結果、実際の0.35 μm で発生している欠陥分布と一致することを示した。

次に材料、プロセス、装置に関する解析技術の代表例としては、基板のCOP(Crystal Originated Particle)解析、

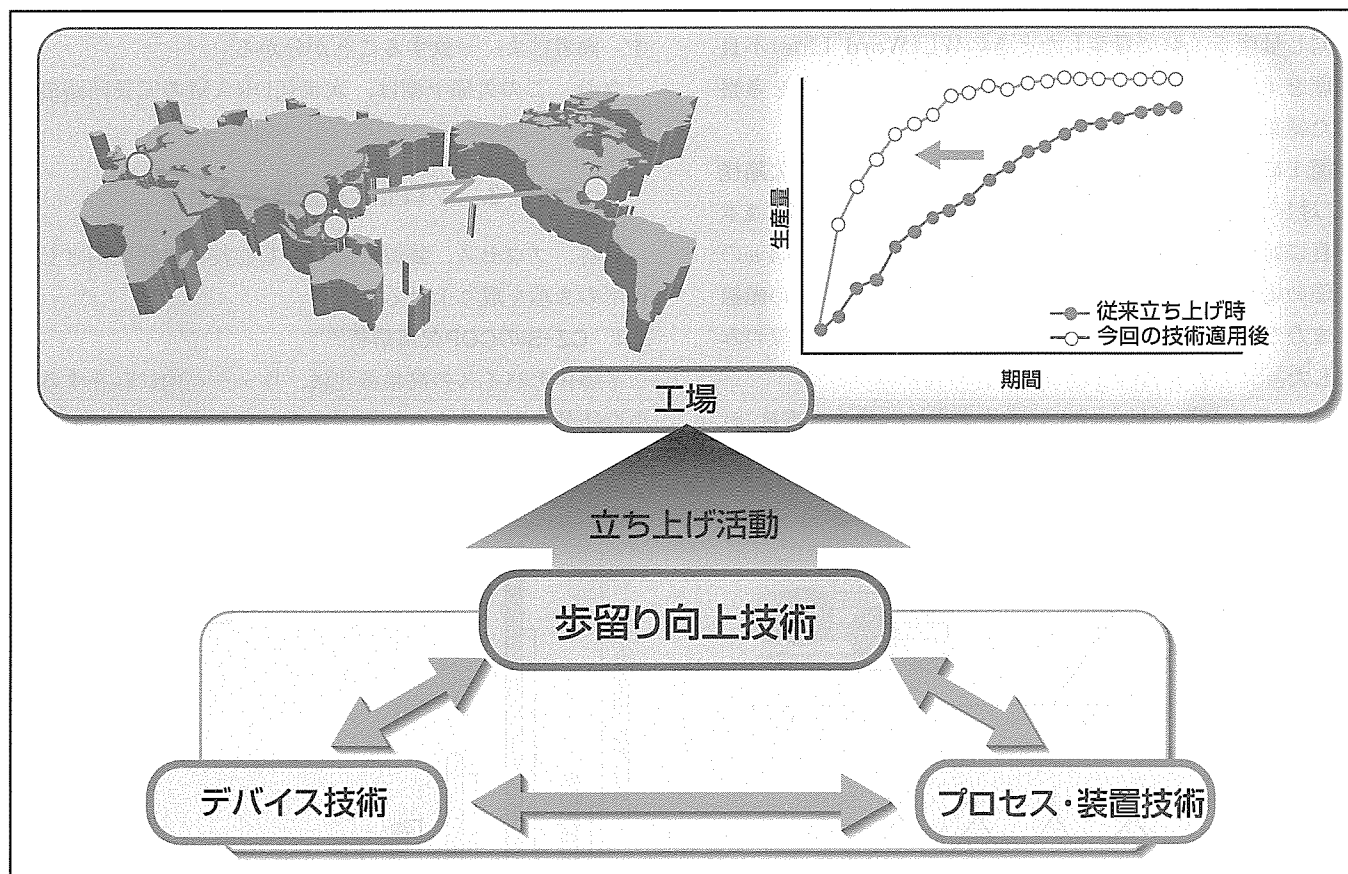
CVD(Chemical Vapor Deposition)成膜プロセスでの前駆体解析、装置構成部材のプラズマ耐性解析を取り上げた。

COP解析では、ベアで発生するピット状欠陥が歩留りに影響することを突き止め、基板のエピ処理がCOP抑制に有効なことを示した。

前駆体解析では、SiN膜形成プロセスにおいてSi-N構造体が原料のSiH₂Cl₂とNH₃の低温混合で生成することを突き止め、ガスクリーニングによる除去の有効性を示した。

プラズマ耐性解析では、Al系部材のふっ素プラズマ耐性を評価し、アルマイト処理が異物源となることを示した。

この基盤技術に基づいた歩留り向上技術は、国内や海外の工場に展開され、デバイスの生産性向上に寄与している。



歩留り向上技術の位置付け

歩留り向上技術を、デバイスやプロセス・装置技術と同じようにとらえたイメージ図である。工場立ち上げにおいて、デバイス技術者やプロセス・装置技術者たちと密に連携をとりながら一緒に活動し、早期の生産立ち上げを実現する。一方、デバイス技術、プロセス・装置技術と同じように、歩留り向上技術にも基礎となる技術を断続的に進化させることが必要である。

1. ま え が き

デバイス、特にDRAMを筆頭にしたメモリの高集積化の進展はとどまるところを知らず、近年、高集積化に必ず(須)の微細加工技術に対する要求はますます厳しくなってきた。その結果、開発された新規技術の量産への導入も加速されつつある。

一方、新技術の導入は、そのまま国内及び海外の工場における設備投資等の増大に直結する。その結果、投資回収のため、量産立ち上げ時からの高歩留り確立は不可欠となってきている。この歩留り向上活動において生産工場における種々の向上活動が中心であることは当然であるが、歩留りの立ち上がりを加速するためには、歩留り低下を引き起こす課題を前もって予見するための基盤技術も必要である。基盤技術は二つに分類できる。一つはデバイスデザインに基づいた欠陥発生要因の予測技術であり、もう一つは材料、プロセス、装置にかかわる解析技術である。ここではこの2点について最近の活動を述べる。

2. Word Line不良の数・大きさ分布の近未来予測⁽¹⁾

ほぼ同じデバイス構造・プロセスを持つ二つのDRAMを同じ量産ラインで量産したときのWL(Word Line)不良状態を比較することにより、不良状態予測の可能性を考察した結果について述べる。

図1に単純化されたLine/Spaceモデルを示す。欠陥径 x に対し 2本不良となる確率($P_2(x)$)を上段に、同様に k 本不良に対する確率($P_k(x)$)を下段に示す。例えば $x = 4w$ の欠陥の場合では、2本の配線にまたがる確率と3本の配線にまたがる確率は半々になる。なお、1本不良は断線のみとした。

k 本不良の個数 C_k は、式(1)に示すように、発生確率 $P_k(x)$ と欠陥の存在確率密度分布関数($D(x)$)の積を欠陥径の範

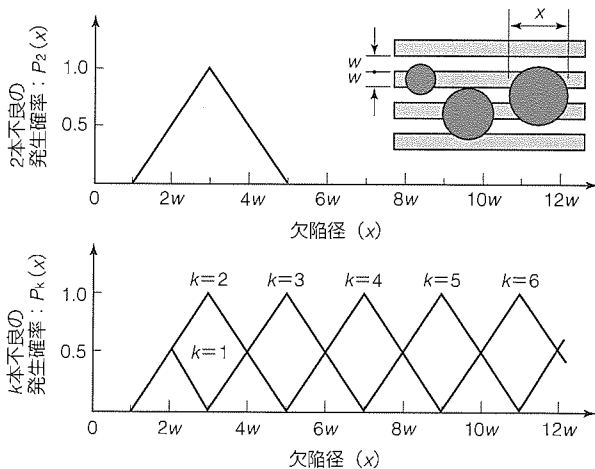


図1. Line/Spaceモデル

囲で積分した値となる。例えば $k = 2$ の場合、積分区間は $x = w$ から $x = 5w$ の区間である。

$$C_k = \int D(x) P_k(x) dx \dots\dots\dots (1)$$

このモデルにおいて、特定デバイスの C_k は実測できる。したがって、式(1)から $D(x)$ を導出できる。そこで、第1メタル配線(1M)が $0.5\mu\text{m}$ のDRAMのWL不良データから $D(x)$ を導出した。計算の具体的工夫は参考文献に記載されているが、1Mが $0.5\mu\text{m}$ のDRAMに対する近似結果は約-1.5乗の関数となった。

$$D(x) = \alpha x^{-1.5} \dots\dots\dots (2)$$

式(2)はあくまで積分区間内での近似であるが、今これを w (この場合は $0.5\mu\text{m}$) 以下の領域に外挿可能と仮定し、同一ラインを用いて微細化の進んだデバイスにおける不良数： C_{sk} を予測する。式(2)を用いれば C_{sk} は式(3)で導出される。

$$C_{sk} = \int D(x) P_{sk}(x) dx \doteq \int \alpha x^{-1.5} P_{sk}(x) dx \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 P_{sk} は微細化後の k 本不良の発生確率である。

具体的に、1M配線の L/S が約 $0.35\mu\text{m}$ のDRAMを選んで、このモデルで C_{sk} を予測した。図2に実際の L/S が約 $0.35\mu\text{m}$ のDRAMのWL不良データの実測値と計算結果を示す。両者はよく一致することが分かる。

なお、この欠陥予測は、次世代DRAMの冗長回路最適化に生かされている。

3. プロセス基盤技術の開発

材料、プロセス、装置に関する基盤技術の代表例として、以下の3項を取り上げる。

3.1 CZ-SiのCOP欠陥解析⁽²⁾

半導体デバイスの高集積化は、ウェーハ内に存在する微小な結晶欠陥でさえも無視できないほど進んできている。中でも16MビットDRAMまで主に使用されていたCZ

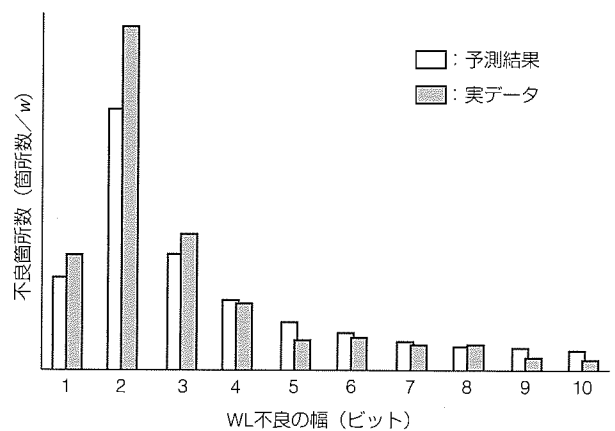


図2. 1M配線の L/S が約 $0.35\mu\text{m}$ のDRAMから推測した同じく約 $0.35\mu\text{m}$ のDRAMのWL不良状態と実データ

(Czochralski)-Siウェーハの表面には、COPと呼ばれるピット状の微小欠陥が存在する。ここでは、上記COPとその上形成されるゲート酸化膜の耐圧特性との相関について、TEG(Test Element Group)を用いた評価を行った。評価には2種類のウェーハ、すなわち、通常のウェーハと、ウェーハ表面に400nmの熱酸化膜を成長させた後にこれを除去したウェーハ(以下“プリ酸化ウェーハ”という。)を用いた。ここでプリ酸化ウェーハを用いた理由は、プリ酸化処理でCOPが成長/増加するとの報告例に基づく。

SEM等の観察によってCOPと確認された欠陥の数(表面密度)は通常ウェーハで 1.38cm^{-2} であったが、400nmのプリ酸化処理でCOPの表面密度は 3.87cm^{-2} と約3倍になっていた。図3に観察された代表的なCOPのSEM像を示す。図の(a), (b)は通常のウェーハ上に観察されたものであり、その形状は、図4の概念図に示すように、逆ピラミッド型の空孔で、一つだけのものと、二つが並んだもの(以下それぞれ“シングルピット”“ペアピット”という。)がある。また、図3の(c), (d)はプリ酸化されたウェーハ上に主に観察されたものであり、プリ酸化処理によって形状がなまったものであると考えられる。ただし、プリ酸化されたウェーハ上には、図3の(a), (b)と同様に、なまっていないCOPも幾つか見られた。

次に、COPを形状別に分類して故障率を算出した。結果を図5に示す。プリ酸化されたウェーハ上のCOP形状を図3の4種類に分け、これらのCOPが存在するチップのうち、TDDB(Time Dependence Dielectric Brakedown)試験中に故障したチップの割合を示したものである。ただし、耐圧特性に影響のないLOCOS(Local Oxidation of Silicon)上のみCOPが存在するチップを除いている。この図から、なまっていないペアピットがシングルピットに

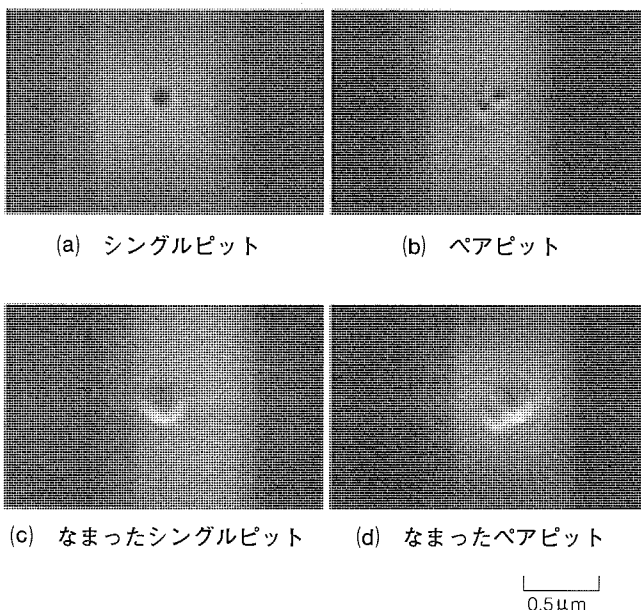


図3. ウェーハ上に観察されたCOPのSEM像

比べて耐圧不良を極めて高い確率で引き起こしていることが分かる。また、これをなまらすことによって不良率を下げることも出来ることも分かる。

したがって、ウェーハ上のCOPによる耐圧不良を低減するためには、表面上のCOPをなまらせることが有効である。そのための有効な手段としてウェーハの水素雰囲気中でのアニール処理があり、現在この処理過程を経て作成されるエピウェーハを使用することによって不良率を低減させている。

3.2 CVD成膜プロセス反応解析⁽³⁾

CVD成膜プロセスの代表例として、DRAMの心臓部の一つであるキャパシタ膜を取り上げる。この膜は、 SiH_2Cl_2 と NH_3 ガスを用いて形成されている。一般的に用いられている Si_3N_4 膜デポ用のCVD装置(バッチ炉)では、均熱帯部分の炉壁にはウェーハ上と同質の膜が、均熱帯から外れたガス導入部と排気配管部には反応副生成物がたい(堆)積される。ところが、従来の SiH_2Cl_2 が高温で分解して反応が始まるという成膜メカニズムでは、ガス導入部(低温部)での反応副生成物の形成は説明できない。排気配管部に堆積される反応副生成物は NH_4Cl のみのはずであるが、付着物にはSiを含有するものが存在する。このSiを含有する付着物は、 NH_4Cl と異なり、加熱しただけでは除去できず、その累積物が発じん(塵)源となり、歩留りを低下させやすい。そこで、低発塵CVD技術の開発を目的とし、発塵源となる上記反応副生成物の形成メカニズム(Si_3N_4 膜形成メカニズム)の解析を、インプロセス計測装置を用いて検討した。

まず、 SiH_2Cl_2 と NH_3 を混合し、その反応性を調べた。そ

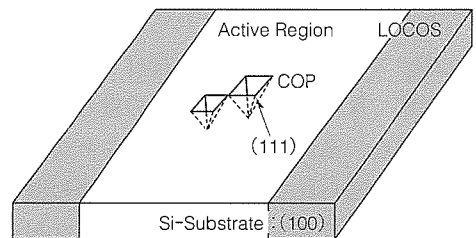


図4. ウェーハ上に観察されたCOPの概念図

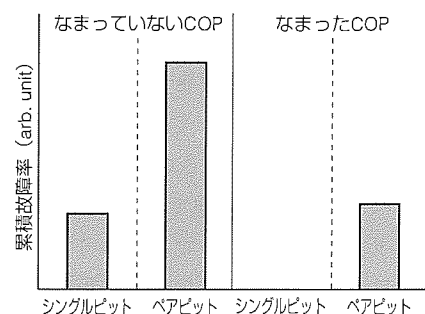


図5. COPの形状別累積故障率

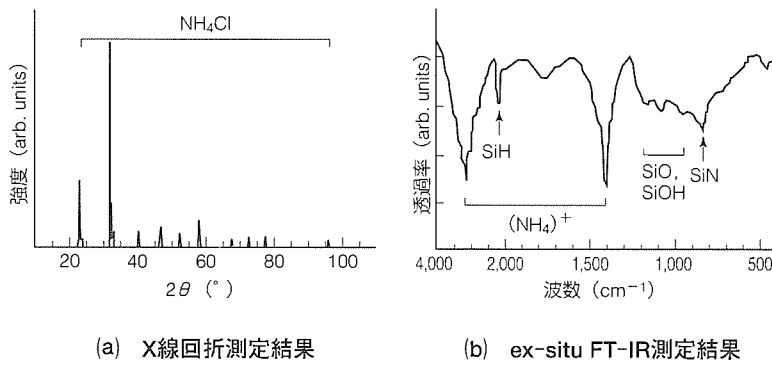


図6. SiH₂Cl₂/NH₃混合部における白色生成物の分析結果

の結果、SiH₂Cl₂はNH₃と室温で反応し、混合部に白色の物質が形成されることが明らかとなった。次に、この物質をX線回折(XRD)とFT-IRによって測定した。その結果を図6に示す。XRDの結果からはこの物質の結晶性成分はNH₄Clのみであることが、またFT-IRの結果からはこの物質内にSi-N結合を持った化合物を含有することが読み取られた。以上のことから、NH₃は、SiH₂Cl₂と混合するだけで、SiH₂Cl₂からCl原子を奪って結晶性のNH₄Clを生成するとともに、Si原子とも反応し、Si-N結合を持ったSi化合物も同時に生成することが明らかとなった。従来バッチ炉で経験してきたガス導入部(低温部)での発塵源(反応副生成物)堆積には、この反応メカニズムが関与していると考えられる。この解析結果に基づいて、Si₃N₄膜とSiを含有する付着物を積極的に除去するガスクリーニング技術を開発し、量産ラインに導入した。

3.3 装置構成材に対するプラズマダメージの評価⁽⁴⁾

エッチングやクリーニングに用いられる反応ガスとしては、F系、Cl系等のハロゲン元素を含んだ極めて活性なガスが用いられる。したがって、これら反応ガスを用いる装置では、反応ガスと装置を構成する部材との反応が起きる。例えば、高温部で反応ガスが反応容器の壁と接すると、いわゆる腐食が進む。腐食に伴って発生するガス状の反応生成物は、低温部に送られてくると、反応容器の壁に付着して発塵源となる。プラズマ放電を用いて反応を起こす場合、活性なラジカルやイオンによる反応が更に加わるため、現象はより複雑化する。実際には何が生成し得るかという解析を実施する必要がある。

このような観点から我々は、プラズマ暴露による各種装置構成材料のダメージ評価を実施している。ここでは、代表的な装置構成材料であるアルミ部材とSUS部材を取り上げ、SF₆プラズマに暴露したときの質量変化を調べた。その結果を図7に示す。この実験では、-250V程度のかなり高バイアス下での暴露を行った。アルミむく部材は、F系プラズマに暴露したとき、質量減少の程度が小さい。これは、AlF不動態が生成するからと考えられる。一方アルマイト処理は、耐ハロゲンプラズマという観点では、耐食

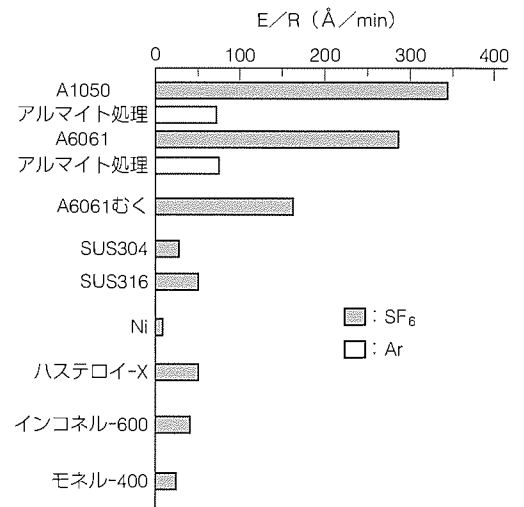


図7. アルミ系部材とSUS系部材のプラズマ暴露評価

表面処理としての効果を期待できない。F系プラズマに対しては、Al単体よりも腐食が進んでいることが分かる。また、金属の中では、Niが最も優れたプラズマ耐性を示す。ただしNiは、デバイスが最も嫌う金属の一つであるため、安易に装置構成材には選択できず、使用に際しては温度やバイアスの程度などに注意を払う必要がある。これらの知見を基に、量産に使用されているプラズマ装置構成部材の適正化を進めている。

4. むすび

歩留り向上活動を支える基盤技術について最近の活動を紹介した。ここで紹介したWL系欠陥の統計的予測、基板の微小ピット解析、SiN膜形成のCVD反応解析、代表的装置部材のプラズマ暴露解析を実際の工場における歩留り向上活動に応用し、多大な成果を上げている。この技術は、ドイツ、台湾等の海外工場へも展開され、デバイス生産の早期立ち上げの実現に大きく寄与している。

参考文献

- (1) Sakurai, K., Shimada, Y., Yamanishi, K. : Proc. of the 6th Int. Symp. on Semicond. Manufact. (ISSM'97), Sanfrancisco, E-43-46 (1997)
- (2) Ishii, H., Shiratake, S., Oka, K., Motonami, K., Koyama, T., Izumitani, J. : Jpn. J. Appl. Phys., **35**, L1385 (1996)
- (3) Kusakabe, K., Hanaoka, K., Komori, H., Ohnishi, H., Yamanishi, K. : Jpn. J. Appl. Phys., **36**, 6 (1997)
- (4) 大西 寛, 古森秀樹, 平松健司, 豊田正人, 山西健一郎 : 第42回VLSI FORUM, (株)プレスジャーナル, 43 (1996)

高精細ビルドアップ基板

須藤俊英* 山口明彦*
 山路 修* 河嶋康夫**
 村木健志* 村井淳一**

要 旨

近年、電子機器特に携帯情報機器は小型・軽量・薄型・高速化が急速に進み、それに伴って、キーパーツであるプリント基板においても、

- ビアホールの小径化
- 導体パターンの微細化

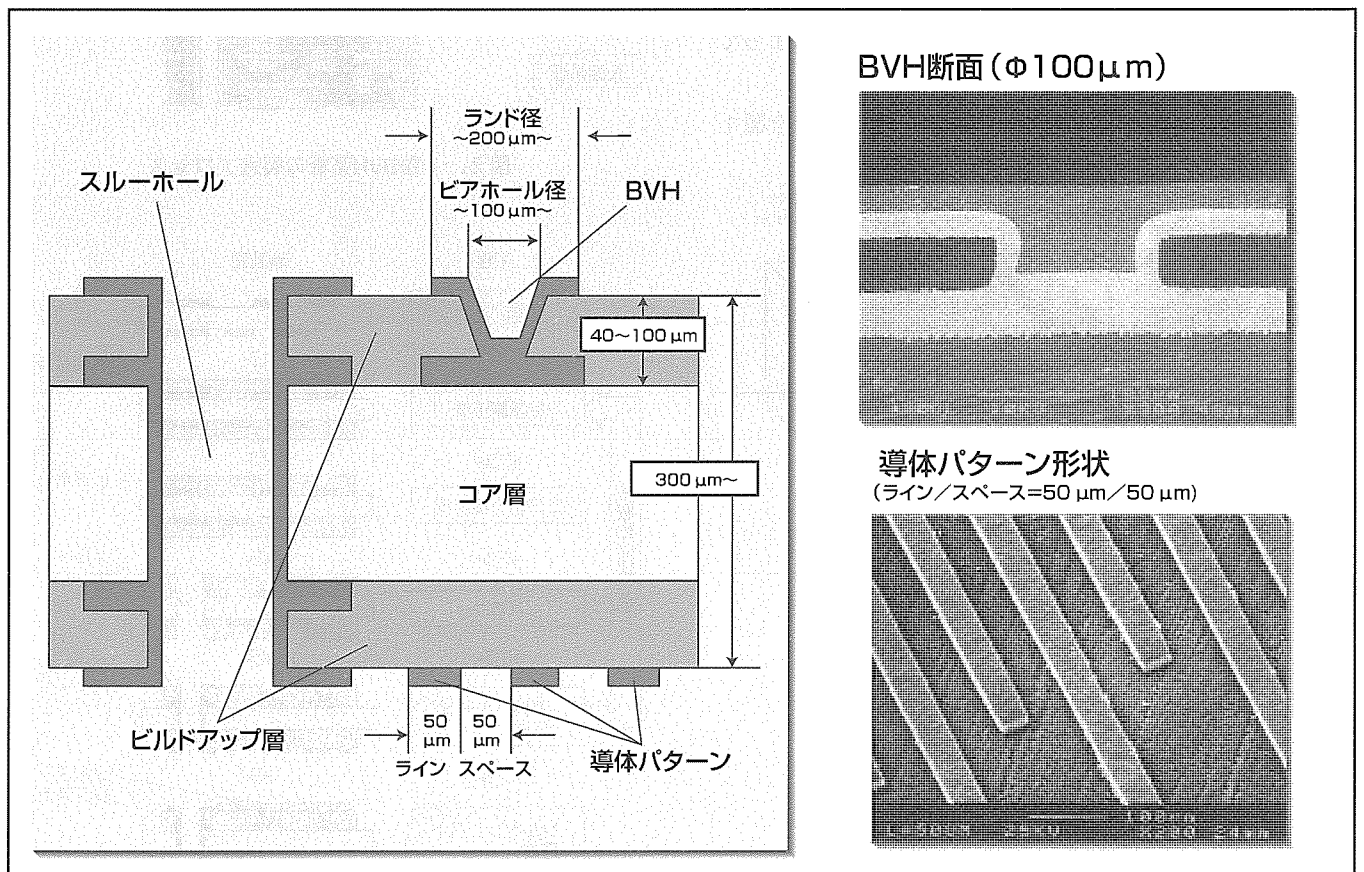
が強く望まれている。

三菱電機では1997年から、こうした要望にこたえるため、ガラスエポキシ基材にレーザでビアホールを形成するレーザビア方式と、低誘電率の感光性絶縁材料を用いて写真製版でビアホールを形成するフォトビア方式の2種類の新しい

製法による高精細基板（ビルドアップ基板）を提供しており、ライン/スペースで $50\mu\text{m}/50\mu\text{m}$ 、ビアホール径 $100\mu\text{m}$ を実現している。

この製法では、導体パターン形成はセミアディティブ法を用いて微細化に対応している。

レーザビア基板は主に高信頼性・高付加価値を要求される製品に、フォトビア基板は主に低コストが要求される製品や軽量化・高速化が求められる製品にターゲットを設定している。



ビルドアップ基板の構造

コア層をベースとして表と裏にビルドアップ層を設け、BVH(Blind Via Hole)を形成する。BVHは、従来のスルーホールに比べて省スペース化が可能である。また、導体パターンはセミアディティブ法で形成している。この製法によって高精細化・高密度化が実現でき、機器やシステムの小型・軽量・薄型化と高機能化に大きく貢献できる。

1. ま え が き

近年、電子機器特にマルチメディア関連機器は信号処理の高速化や小型・軽量化が著しく進展しており、そのため、主要構成部品である電子回路実装基板の薄型・高密度化への要請が強くなっている。そこで、半導体素子の分野では、外部端子数増加に加えて、実装では、CSP(Chip Size Package), BGA(Ball Grid Array)等の小型パッケージの採用や、マザーボードへのベアチップ実装が急速に進展している。こうしたCSP, BGA, ベアチップを搭載するプリント基板やCSP, BGA等のインタポーザ基板では、高速化・小型化を実現するために、従来製法の基板に比べてビアホール、配線の微細加工が可能な新製法が必ず(須)である。

上記の課題に対して、当社ではビルドアップ製法を開発して高精細ビルドアップ基板(以下“ビルドアップ基板”という。)の生産を開始した。

2. 当社のビルドアップ基板の特長

ビルドアップ基板は、コア層(通常の両面又は多層基板)に絶縁層と導体層を順次形成して製造するもので、BVHやIVH(Inner Via Hole)を簡便に小径化することができる。また、絶縁層と導体層の積み上げを繰り返すことによって多層化することも可能である。

従来のBVH基板とビルドアップ基板の断面構造を図1

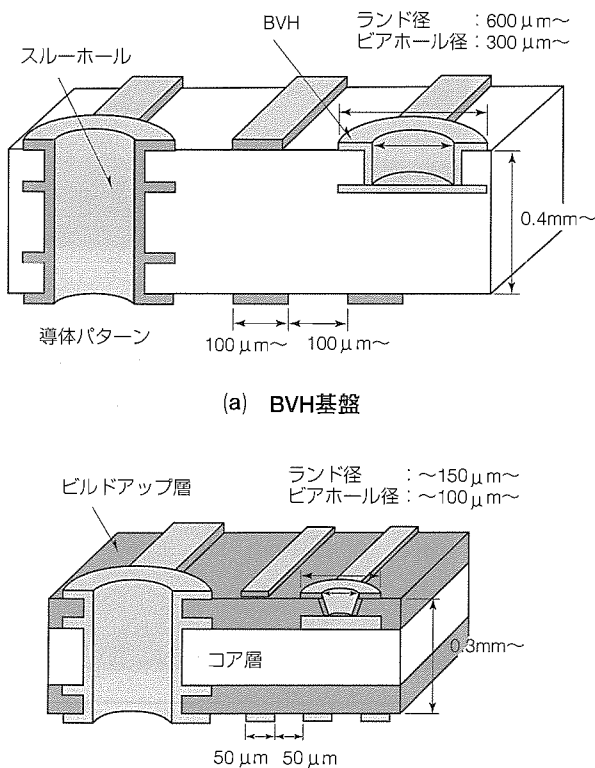


図1. プリント基板の断面構造

に、従来のBVH基板とビルドアップ基板の製造プロセスを図2, 図3にそれぞれ示す。従来のBVH基板では、ド

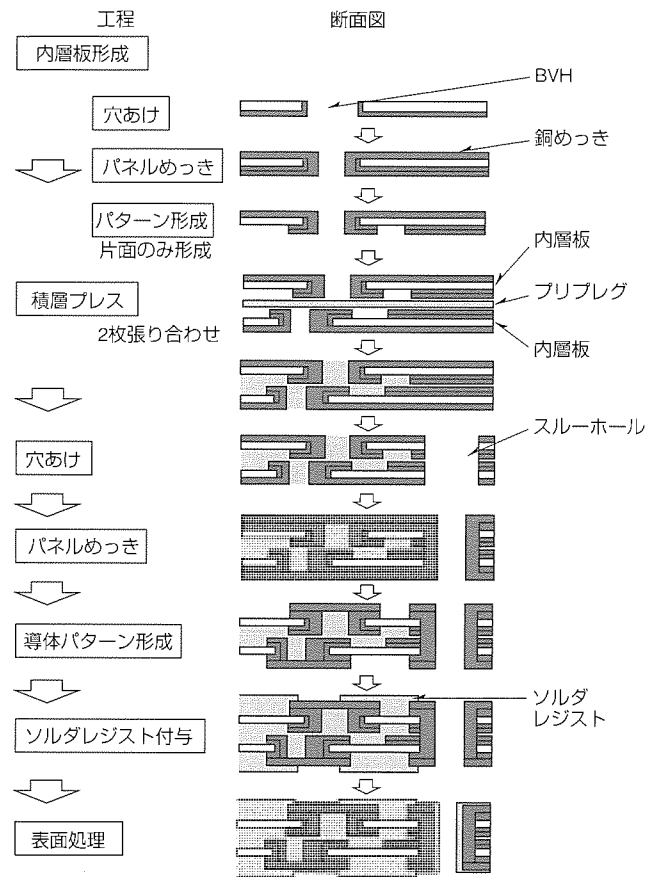


図2. 4層BVH基板の製造プロセス

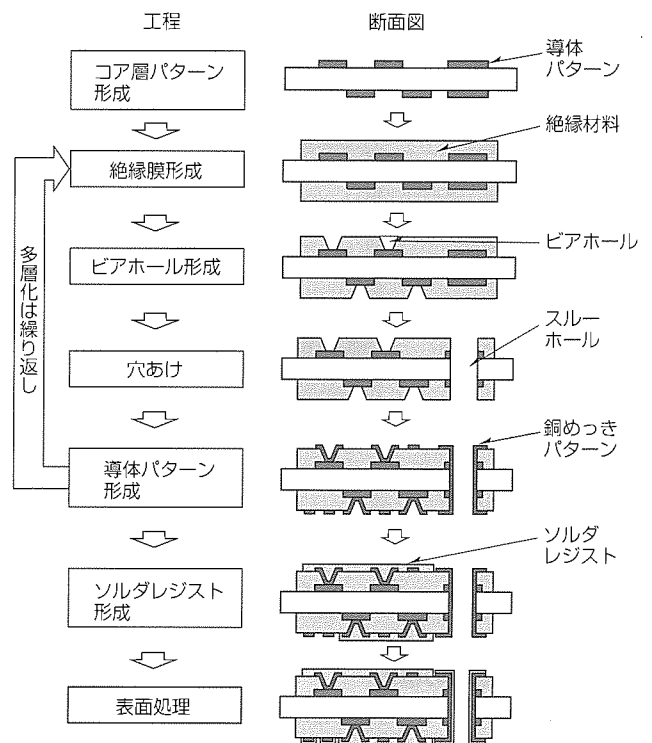


図3. 4層ビルドアップ基板の製造プロセス

リルで穴あけし、めっきでスルーホールや導体パターンなどを形成した2枚の基板をプレスで積層して1枚にした後、穴あけ、めっきを繰り返す複雑なプロセスであった。

一方、ビルドアップ基板は、導体パターンを形成したコア層に、絶縁膜形成、ビアホール形成、穴あけ、導体パターン形成を行うもので、製作プロセスは比較的シンプルである。また、ドリル加工では直径300 μm 程度が量産限界であるが、ビルドアップ基板では150 μm 径以下のビアホールが形成できる。

当社は、非感光性絶縁材料を用いレーザーでビアホールを形成するレーザービア基板と、感光性絶縁材料を用い写真製版でビアホールを形成するフォトビア基板の2種類の基板を、用途に応じて生産している。レーザービア基板は、剛性・耐湿性等に優れた絶縁材料を使用するため、高信頼性が期待できる。フォトビア基板は、ガラス繊維のない絶縁材料を使用するため、軽量化等が期待でき、かつビアホールの一括形成が可能で量産性に優れている。

当社では既に最小ライン/スペースが50 μm /50 μm 、最小ビア径が100 μm を実現している(要旨のページの写真参照)。この仕様で同一機能の基板を製作した場合、従来製法の基板に比べて20~50%の面積削減が可能であることを確認している。

3. レーザビア基板

3.1 製造プロセス

レーザービア基板の製造プロセスを図3で説明する。この製法では、絶縁材料にプリプレグ(ガラス繊維含浸半硬化エポキシ樹脂)を用い、絶縁膜形成を真空積層プレスで行い、ビアホール形成を炭酸ガスレーザーで行う。導体パターン形成は、後述(4.2節(3))のセミアディティブ法と、銅はく(箔)を用いる従来のサブトラクティブ法の2種類を採用している。

3.2 特長

図4に示すように、レーザー加工ではガラスエポキシ樹脂への穴あけが可能のため、絶縁材料にプリプレグを使用できる。また、FR-4のほか、ガラス転移温度(T_g)が186 $^{\circ}\text{C}$ の高耐熱HHR(Hybrid Heat Resistant Resin)基材もレーザー加工が可能である。表1に当社HHR基材とFR-4の特性比較を示す。当社レーザービア基板の特長は次のとおりである。

- (a) ガラス繊維が絶縁層にあるため高い剛性が得られる。
- (b) プリプレグを使用するため耐湿性が高い。
- (c) 高いピール強度が実現できる。特にサブトラクティブ法を選択した場合、1.8kg/cm以上の優れた値が確認されている。

4. フォトビア基板

4.1 製造プロセス

フォトビア基板の製造プロセスを図3で説明する。この製法では、絶縁材料に液状の感光性樹脂を用い、ビアホール形成は露光と現像による写真製版で行う。導体パターン形成にはセミアディティブ法を用いる。この製法は、多数のビアホールを一括・同時形成できるためスループットが高く、そのため、ドリルやレーザによるビアホール形成プロセスに比べて低コスト化が可能である。

4.2 特長

(1) 絶縁樹脂材料

フォトビア用の絶縁樹脂は、①絶縁性、②感光性、③接着性等で優れた特性が必要である。使用した樹脂とガラスエポキシ樹脂(FR-4)の特性比較を表2に示す。このフォトビア基板は次の優れた特長を持っている。

- (a) 絶縁樹脂が高 T_g (従来のガラスエポキシ樹脂に対して40 $^{\circ}\text{C}$ 高い。)であるため耐熱性・耐リペア性に優れる。
- (b) 低誘電率のため高速信号特性に優れる。
- (c) 低密度のため軽量化に有利である。
- (d) 高解像度のため微小ビアホール形成が可能で高密度化に有利である。
- (e) 表面粗化によって導体とのピール強度を1kg/cm以上にできる。

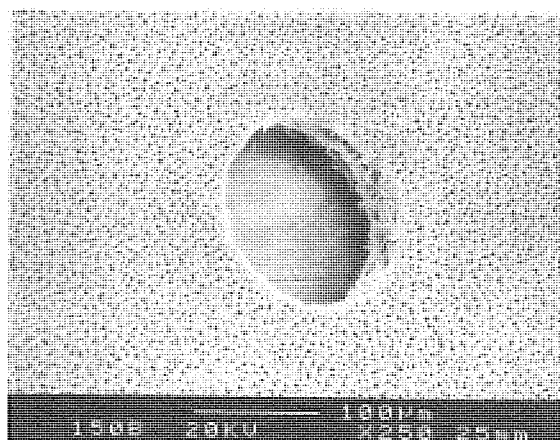


図4. ガラスエポキシ樹脂に形成したレーザービア

表1. HHR基材とFR-4の特性比較

| 項目 | 試験条件 | HHR特性値 | FR-4特性値 |
|------------------|--|------------------------|------------------------|
| ガラス転移温度(T_g) | TMA法* | 186 $^{\circ}\text{C}$ | 135 $^{\circ}\text{C}$ |
| 銅箔ピール強度 | 200 $^{\circ}\text{C}$ | 1.5kg/cm | 0.5kg/cm |
| 吸水率 | 121 $^{\circ}\text{C}$ /95%RH/2気圧 150時間 | 0.5% | 1.0% |
| 絶縁抵抗 | 121 $^{\circ}\text{C}$ /95%RH/2気圧 250V印加, 400時間 | $9 \times 10^9 \Omega$ | $5 \times 10^7 \Omega$ |

注 *TMA: Thermo-mechanical Analysis

(2) 絶縁層形成プロセス

絶縁層形成プロセスはフォトビア基板のかなめ(要)である。このプロセスでは、新しい塗布方式を採用して、絶縁膜厚ばらつきを±5%以内にするるとともに、樹脂内気泡の

表2. 絶縁樹脂の特性

| 項目 | 特性 | |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | 絶縁樹脂 | FR-4 |
| ガラス転移温度 (T _g) | 175℃ (TMA法) | 135℃ (TMA法) |
| 密度 | 1.22g/cm ³ | 1.97g/cm ³ |
| 比誘電率 | 3.2 (1 MHz) | 4.9 (1 MHz) |
| 誘電正接 | 0.015 (1 MHz) | 0.018 (1 MHz) |
| 体積抵抗率 | 1.2×10 ¹⁶ Ω・cm | 5×10 ¹⁴ Ω・cm |
| 表面抵抗率 | 2.0×10 ¹³ Ω | 4.0×10 ¹³ Ω |
| 導体密着力 (ピール強度) | 1 kg/cm (室温) 0.8kg/cm (110℃) | 1.8kg/cm (室温) 1.2kg/cm (110℃) |
| 解像度 | 80μm径 膜厚50μm | — |

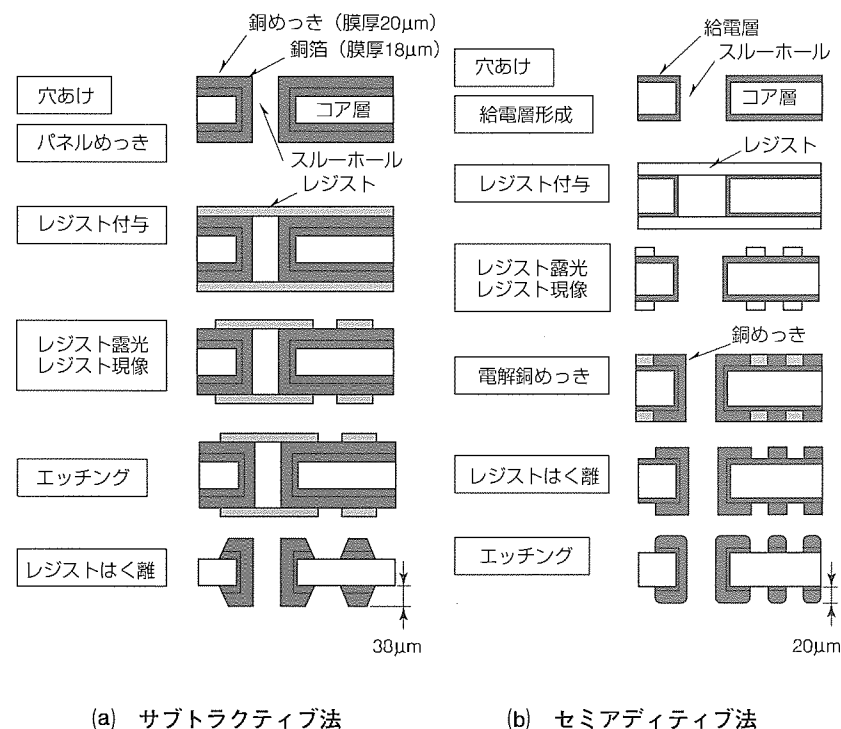


図5. パターニング法比較(断面図)

表3. フォトビア基板の信頼性評価結果

| 項目 | 試験条件 | 判定基準 | 結果 |
|---------------------------------|--|-------------------------------|------------------------------------|
| ホットオイル試験 | 260℃↔20℃, 100サイクル | 導通抵抗変化率 10%以下 | 合格 100サイクル: 5% |
| はんだ耐熱性試験 | 260℃/20秒, 10回 | 異常なきこと | 合格 10回: 異常なし |
| ヒートサイクル試験 | -65℃↔125℃, 1,000サイクル | 導通抵抗変化率 10%以下 | 合格 1,000サイクル: 5% |
| 高温高湿バイアス試験 | 85℃/85%RH, 50V印加, 500時間 (ライン/スペース=50μm/50μm< 1形電極) | 絶縁抵抗 1×10 ⁹ Ω以上 | 合格 500時間: 1×10 ⁹ Ω |
| PCT試験 (Pressure Cooker Test) | 121℃/95%RH/2気圧/DC50V, 96時間 (ライン/スペース=50μm/50μm< 1形電極) | 絶縁抵抗 1×10 ⁹ Ω以上 | 合格 96時間: 1.6×10 ¹⁰ Ω |
| 層間耐電圧 | DC500V, 1分間 | 異常なきこと | 合格 1分間: 異常なし |

発生と異物混入を抑制した。また、高精度露光機を採用し、高精細パターンを実現した。さらに、クリーンルームを新設するとともに、低発じん(塵)のマテハン方式を新たに導入して、パターン欠陥の発生を大幅に低減した。

(3) 導体パターン形成プロセス

パターン形成にはセミアディティブ法を採用した。セミアディティブ法は、エッチングする銅の膜厚が薄いため、寸法の制御性に優れている。サブトラクティブ法とセミアディティブ法のプロセスの比較を図5に示す。また、セミアディティブ法は、銅の膜厚が薄いため、基板の軽量化にも貢献できる。さらに、電気銅めっきパターンが低抵抗であるため、高速信号伝送に優れている。

4.3 信頼性評価

表裏各1層のビルドアップ層で構成された評価基板を作製して信頼性評価を行った結果、表3に示した判定基準をすべてクリアできることを確認した。これらの結果は、このビルドアップ基板が民生品レベルで十分使用可能であることを示すものである。

5. むすび

これまで当社は、主にレーザビア基板を、BGAとCSPのインターポーザ用、携帯電話用、カード用に展開してきた。また、フォトビア基板の量産も本格的にスタートした。今後は、ビアの小径化と配線パターンの高精細化を更に進めるとともに、信頼性をより一層向上させ、民生用と産業用の双方に対応できるようプロセス及び材料の改良を進めていく予定である。

参考文献

- (1) 榎本 亮: 無電解銅めっきを用いたビルドアップ配線基板, サーキットテクノロジー, 5, No.2, 90~93 (1990)
- (2) 佐々木雄一, 村木健志, 浅川忠隆: ビルドアッププリント配線板電気特性シミュレーション解析, 電子材料, 36, No.10, 11~17 (1997)

パワー回路の小型・低インダクタンス化

足立栄之資*
砂本昌利*

要旨

電気機器の省スペース・省エネルギーに効果が大きいパワー回路の小型化と高性能化を図るため、パワー配線路に着目して実装面から開発を進めてきた。ここでは、バスバーを基板に装着できかつ高い接続信頼性が得られる独自構造のファスナと、半導体素子に加わるサージを抑えるために素子とコンデンサを低インダクタンスで接続する大容量基板を紹介する。

(1) ファスナ

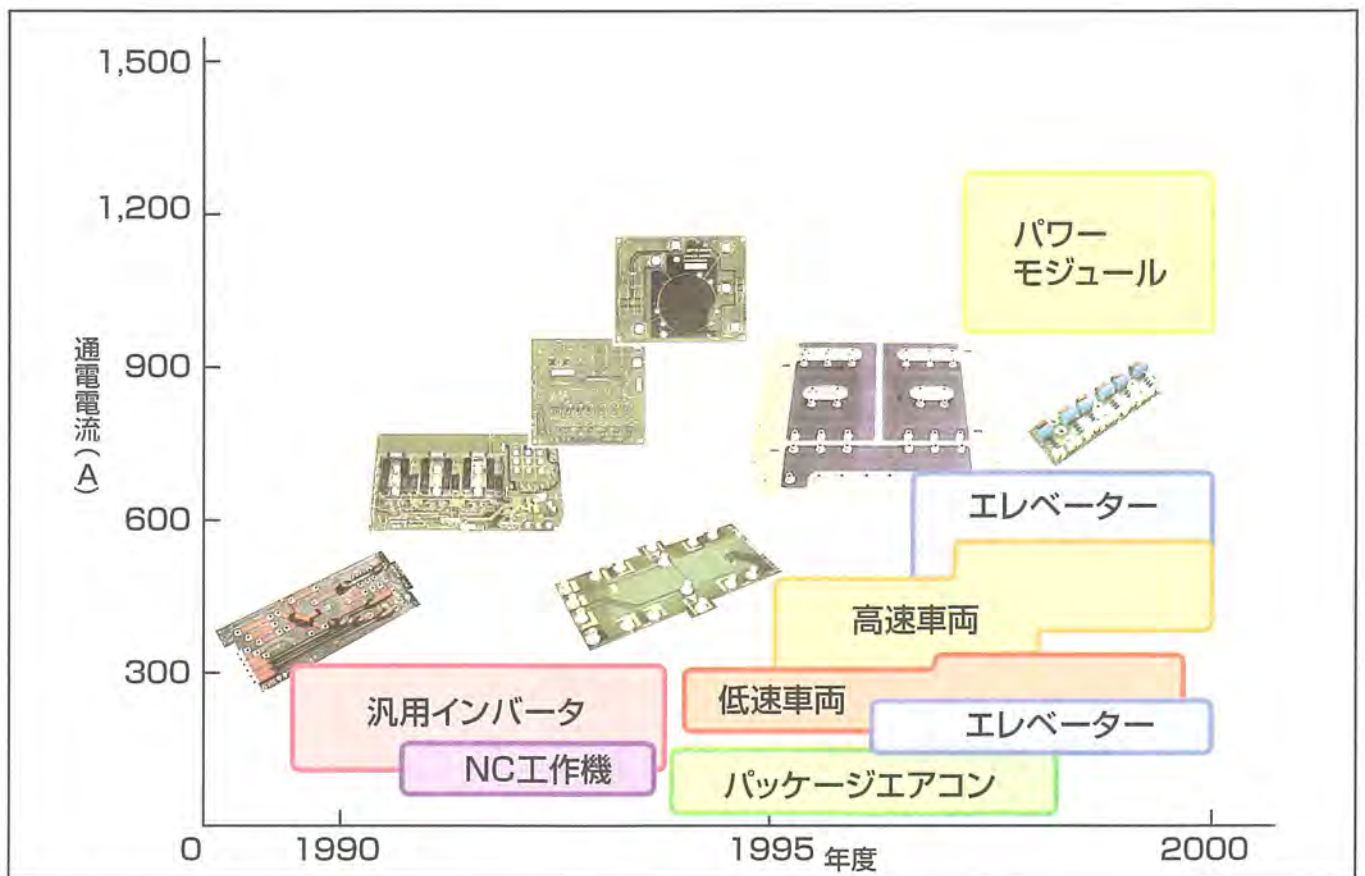
基板のスルーホールに挿入し、かしめて固定する接続用端子である。ファスナを介して信号回路を実装した基板にバスバーやパワー素子を直結できるため、パワーと信号の両回路をコンパクトに実装することができた。また、ワイ

ヤハーネスを省略でき、組立性を改善できた。

(2) 大容量・低インダクタンス基板

特に大電流容量を要求される用途には埋め込み導体基板を開発した。バスバーに代わる平板導体をは(嵌)め込んだ絶縁板を真空雰囲気中で積層化することで優れた絶縁性を確保した。また、特に低いインダクタンスを要請される用途にはラミネート基板を開発した。耐電圧性に優れた樹脂フィルムと平板導体を接着フィルムを介して多層化した。

これらパワー回路のコンパクト・低インダクタンス実装技術は、汎用インバータから車両用制御器まで幅広く適用され、その小型・軽量化に貢献している。



ファスナと各種パワー回路基板の適用分野

各種産業機器やパワー機器の省スペース・省エネルギーの視点から独自構造のファスナ及び各種パワー回路基板を継続的に開発しており、その適用分野は年々広がっている。

1. ま え が き

当社は、汎用インバータからパッケージエアコン、エレベーター、車両機器まで、各種電気機器を提供している。これらの機器の進歩は制御器の革新に負うところが多く、制御器の高機能化に加え、省スペース・省エネルギーの視点から小型化と高効率化を図ってきた。特に、出力の大きな機器では、パワー回路の小型化と高性能化が重要となる。

そこで、パワー配線路に着目して、実装性と性能面から開発を進めてきた。実装面では、バスバーを基板に装着できかつ高い接続信頼性が得られる独自構造のファスナを開発した。一方、性能面では、制御器内のパワーモジュールを構成する半導体スイッチング素子の高速・高耐圧・大電流化が進んでおり、また、パワーモジュールに過電流・短絡保護機能等を付加したり過電圧クランプ回路を内蔵させたりするIPM(Intelligent Power Module)化が推進され、実装性を含めて性能は飛躍的に向上した⁽¹⁾。

しかし、素子の機能を十分に発揮させ適用範囲を広げるには、素子のスイッチング動作に伴って発生するサージを抑えることが必要になる。これにこたえるものとして、素子及びフィルタコンデンサ間を低インダクタンスで接続する大容量基板を開発した。

本稿では、ファスナ及び各種の大容量・低インダクタンス基板とその適用例について述べる。

2. パワー回路配線への要求事項

(1) コンパクト実装

機器を構成する部品のうち、信号回路は既に高密度化が進展したが、これに比較して、パワー回路は従来のみであった。パワー回路を含めてコンパクト化を図るためには、半導体素子やフィルタコンデンサ等の各構成部品の小型化のみならず、大きな実装空間を占めるワイヤハーネスを用いずに配線路を形成するなど、総合的な取組が必要である。

(2) 組立ての容易化

機器の生産工程においては、手間がかかり高コストなワイヤハーネスに代わる配線路の部品化やモジュール化、ね

じ等の接続部品点数の削減による作業工程の簡略化、及び一方向組立てが可能化などが必要である。

(3) インダクタンスの低減化

機器に組み込まれる半導体スイッチング素子には、スイッチング動作に伴って配線路のインダクタンスに起因するサージが印加される。サージを吸収するためにスナバ回路等が設けられたりするが、サージを根本的に抑制するためには、配線路のインダクタンスを低減するほかない。配線路のインダクタンスは、配線路の長さを短くし、配線路を平行平板状とし、それらの間げき(隙)を短くすることによって低減できる。しかし、平行平板間の間隙を短くすると配線間の絶縁層の厚さも減少するため、低インダクタンス化には配線間の絶縁特性の向上が不可欠の要素となる。

3. パワー回路基板への反映

3.1 ファスナ

3.1.1 ファスナの構造と機能

パワー配線路の結線合理化による機器の省スペース化と組立ての容易化をねらい、バスバーの接続端子として独自の構造を持つファスナを開発した⁽²⁾⁽³⁾。ファスナは、信号回路を実装した基板のスルーホールにパイプ状の金属を挿入してかしたものである。図1はそのファスナ取付け部の断面構造を示すもので、表裏に形成した配線パターンは、このファスナによって電気的に接続されている。バスバーとトランジスタ、ダイオード、コンデンサ等の電気部品とは、ファスナ中央部を貫通したねじによって固定される。

ファスナをかきめる際の圧縮応力によって、基板には厚み方向にクリープが生ずる。ファスナの接続端子としての信頼性を確認するために、その締め付け力の指標として、回転トルク耐力とファスナ取付け部の導通抵抗の経時変化を実測した。図2はその結果を示すもので、加速評価のために高温において測定したデータである。

ファスナが基板のスルーホール部の径方向にも応力を与えるため、長時間経過しても安定した締め付け力が保持さ

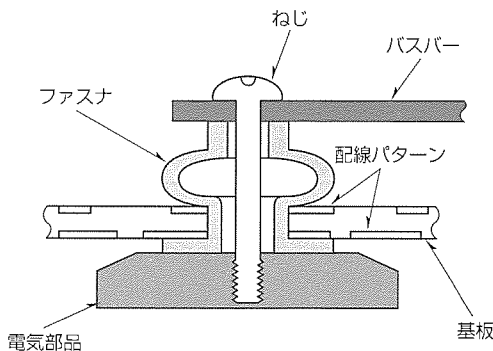


図1. ファスナ取付け部の断面構造

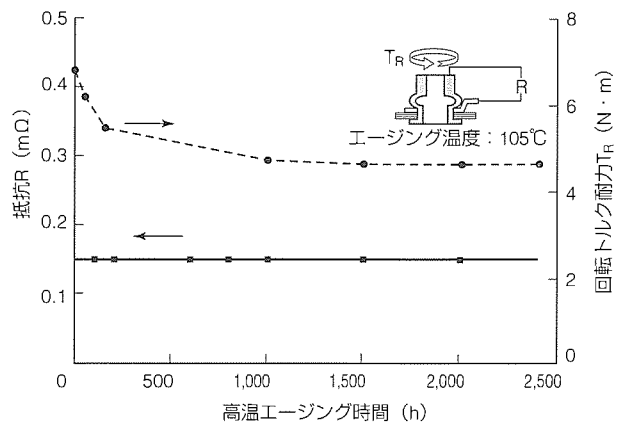


図2. 導通抵抗と回転トルク耐力の経時変化

れている。その結果、導通抵抗は、2,000時間に及ぶ高温エージング中、 $0.15\text{m}\Omega$ という小さな値が維持された。

3.1.2 ファスナの応用

(1) コンパクト実装化

信号回路部品やサージ吸収回路が実装された汎用のガラスエポキシ基板にファスナを装着し、モジュールなどの大型パワー部品に基板を直付けすることで、信号回路とパワー回路との一体化が可能になった。図3に示すパッケージエアコン用基板やエレベーター用基板はその例である。また、ファスナを用いて、パワー部品間をつなぐバスバーと実装基板とをあらかじめ一体化しておくこともできる。図のNC工作機用基板はその例である。

この結果、放熱フィンなどを基盤にしてトランジスタ、ダイオード、コンデンサなどのパワー部品を固定し、その上からファスナ付き基板を組み付けることにより、一方向組立てが可能になった。また、ワイヤハーネスがなくなり、実装に要する空間を大幅に削減できた。

(2) パワー配線路のモジュール化

鉄道車両の制御器など大きな電流容量を必要とするパワー回路では、配線路の低インダクタンス化が課題となる。そこで、配線路間の間隙を狭くするためバスバーの代わりに基板の導体層をパワー配線に用い、接続端子としてファ

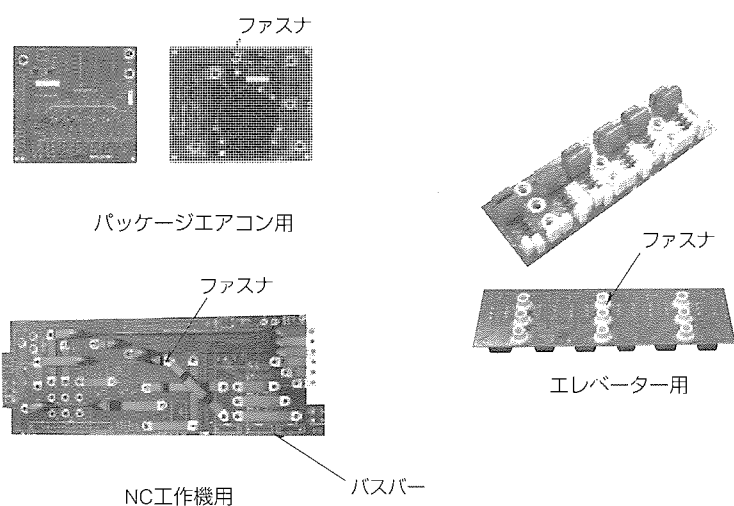


図3. ファスナのバスバー併用基板への適用例

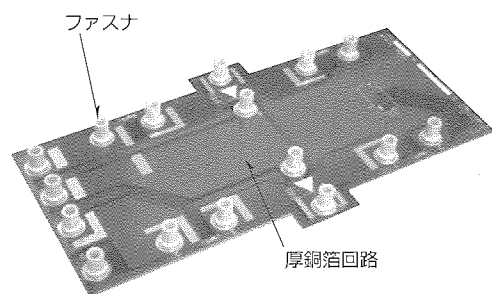


図4. パワー配線路のモジュール化例(1,500V, 160A)

スナを装着することで、パワー配線路のモジュール化を図った。配線路モジュールを介してトランジスタ、コンデンサ等のパワー部品を接続することで、部品間の配線距離も短くできた。図4に示す例の場合、配線路のインダクタンスは、バスバーで結線した場合に比べて1/3となった。なお、パワー配線路のモジュール化には基板の大容量化が前提となる。図の場合、基板の厚さを1.6mm、銅はく(箔)の厚さを $175\mu\text{m}$ とし、絶縁層にはガラス転移温度が高く耐クリープ性に優れた高耐熱ガラスエポキシ積層板“HHR*”を採用した。

3.2 大容量・低インダクタンス基板

汎用のガラスエポキシ基板を用いて銅箔を厚くし耐熱性を改善するだけでは大容量化の要請には応じきれない。そこで、新たな構造や工法を開発することによって、更なる大電流対応の基板や低インダクタンス可能な基板を実現した。

3.2.1 埋め込み導体基板

鉄道車両の制御器の中でも特に電流の大きな用途に向けて、バスバーに代わる複数の平板導体を基板絶縁層に埋め込んだ導体基板を開発した。この埋め込み導体基板の例を図5に示す。絶縁層であるガラスエポキシ積層板のうち、導体が埋め込まれる部分をあらかじめくり抜き、そこに平板導体を嵌め込んで真空雰囲気中で積層化し、導体と絶縁層との間のボイド発生を抑えて絶縁性能を確保した。

図の基板の定格電圧は3,300V、基板1枚当たりの定格電流は420Aである。導体をすべて平行平板状に配置し、絶縁性能を維持しながら導体の重なり合う面積はできる限り大きく、導体間の間隙はできる限り狭くした。この基板を適用することにより、大容量パワー配線路が多層配線構造となり、コンパクト実装を図ることが

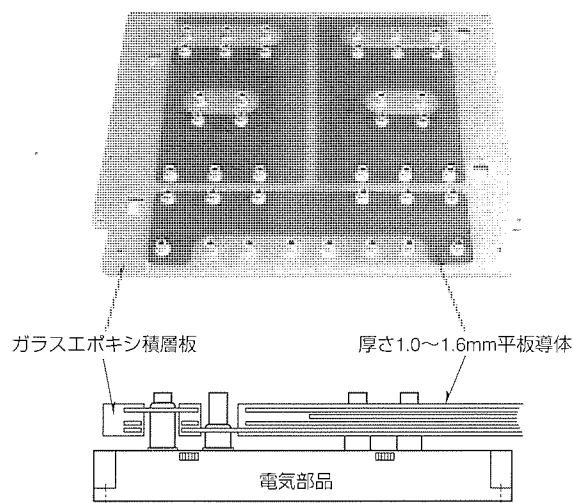


図5. 埋め込み導体基板(3,300V, 420A)

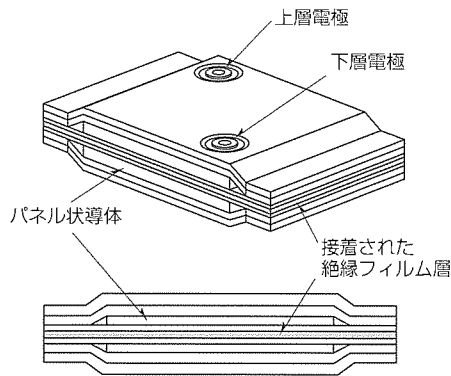


図6. ラミネート基板の構成

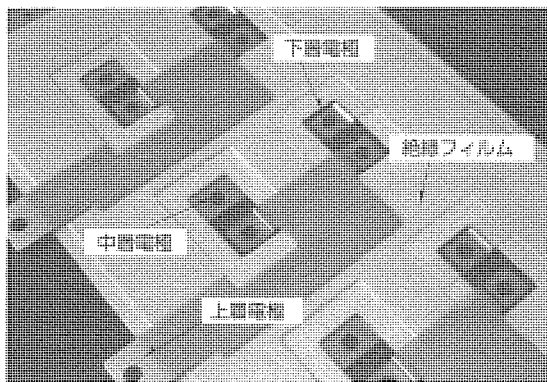


図7. ラミネート基板の一例

できるとともに、回路のインダクタンスは従来のバスバー配線方式に比べて1/10以下に低減できた。

3.2.2 ラミネート基板

パワー配線路の更なる低インダクタンス化を図るため、耐電圧性に優れた樹脂フィルムとパネル状の導体を接着フィルムを介して一体成形したラミネート基板を開発した。

ラミネート基板の構成を図6に示す。配線路間の間隙を小さくするには絶縁性能の向上が不可欠となる。従来のガラスエポキシ基板に代え、ポリエステル系等の絶縁特性の優れたフィルムをパネル状の導体に複数枚重ねて加熱圧着し、一体成形した。

ラミネート基板の一例を図7に示す。前述の埋め込み導体基板に比べ、インダクタンスは1/10に低減できた。ラミネート構造基板は薄型・軽量であり、また、可とう性の優れた接着剤を使用することによってガラスエポキシ基材では不可能な曲げ加工も可能となるため、配線の設計自由度を大幅に向上できた。接着剤としては、エポキシ、合成ゴム、ウレタン等を採用した。これらの絶縁フィルムと接着剤は、要求される絶縁性能とインダクタンス値により、

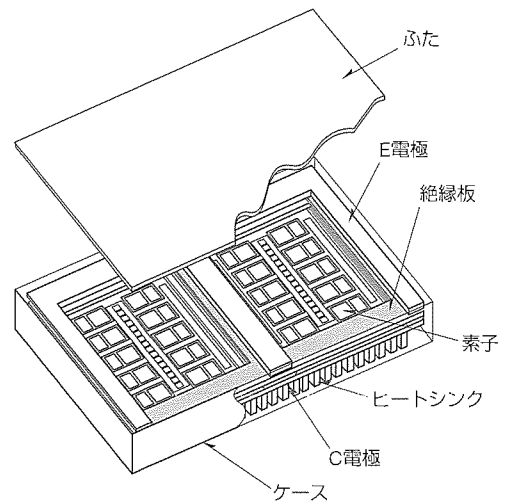


図8. ラミネート構造を適用したパワーモジュール例

組合せ方を選択した。

図8に、パワーモジュールの内部電極にラミネート構造を適用した例を示す。外部取り出し用電極(E電極、C電極)は絶縁板を介して交互に積層されている。従来方式のモジュールに比べ、回路の平行平板部分の面積が増大するため、モジュール内のインダクタンスは大幅に削減できた。

4. む す び

パワー制御機器の大容量化、小型・軽量化への要請はとどまることがない。また、機器の構造、回路構成は多岐にわたっている。

今後とも、構造、電気特性等の機器仕様に合わせ、独自の回路実装技術を開発し、制御機器の進歩を支えていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 森 敏, マジウムダール ゴーラブ, 白澤敬昭, 田中 毅, 丸茂高志: アクティブクランプ内蔵高圧, 大容量IPM, 三菱電機技報, 70, No. 3, 312~316 (1996)
- (2) 大電流回路基板, 三菱電機技報, 64, No. 1, 82 (1990)
- (3) Sunamoto, M., Adachi, E., Kitamura, Y., Nishikawa, T., Hatanaka, Y.: New Approach to Large Current Printed Circuit Boards(LC-PCB) with Attaching Bus-Bars by Caulking Fasteners, 1st 1997 IEMT/IMC Symposium, 86~91 (1997)

FA制御機器実装における 高密度化への挑戦

松尾光恭*
坂田哲夫*
杉山 徹*

要 旨

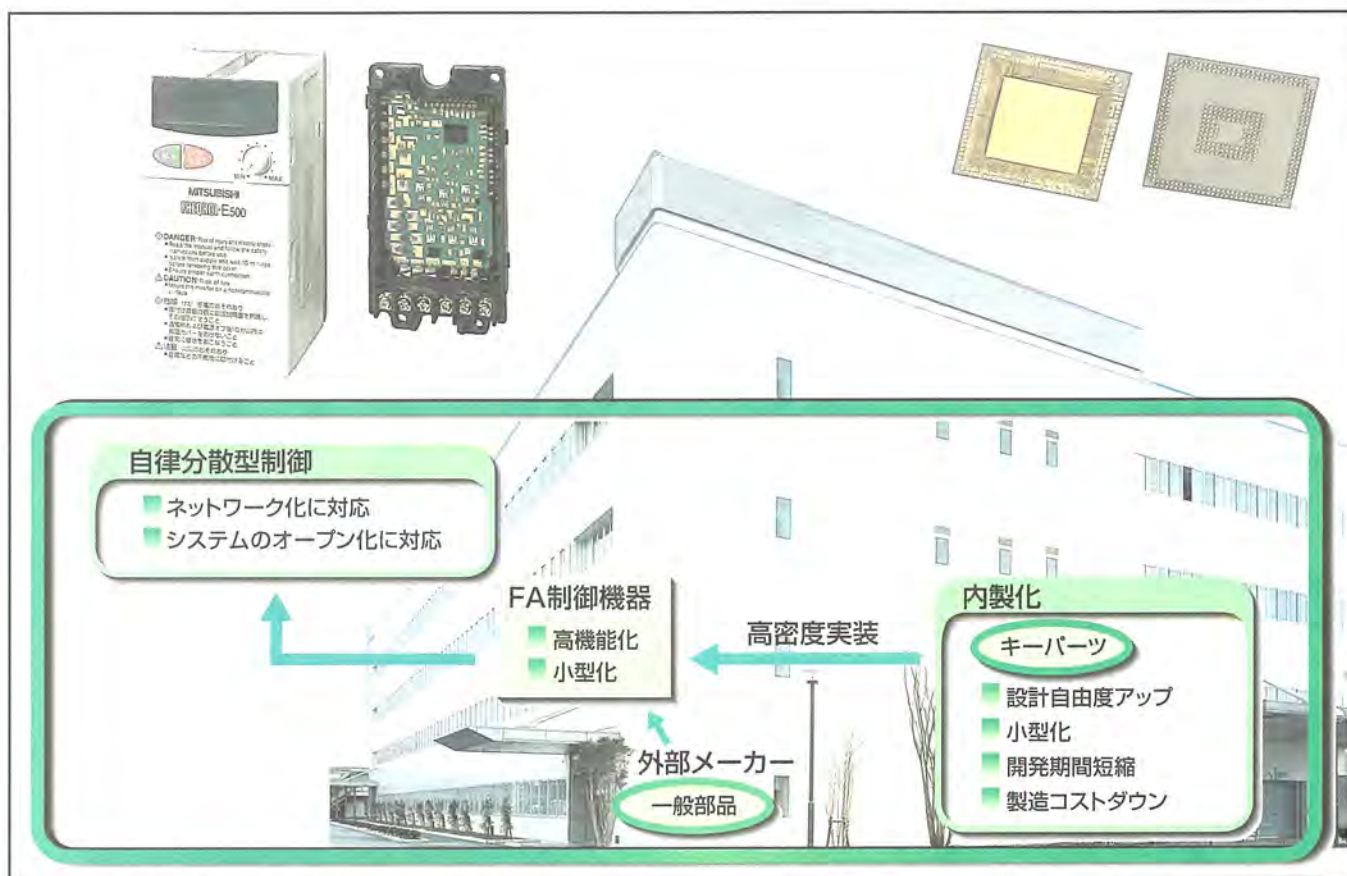
三菱電機は、1997年8月にFA事業の中核である名古屋製作所に新生産棟をしゅん(竣)工した。新生産棟では製品の開発から生産までを一貫して行い、効率的な開発・生産体制の構築を図っている。また、新生産棟はクラス1,000のクリーンルームを備え、ベアチップ実装など最先端の高密度実装技術に則した環境を提供している。

FA制御機器では、制御方式が自律分散型に移行するなどを背景に、高機能化と小型化に対する強い要求が市場にある。このような要求に短期間で、しかも低価格でこたえるために、当社では製品の核となる部品、すなわちキーパーツの内製化を積極的に進めている。現在、新生産棟では、

ベアチップ実装など最先端技術を駆使して、パワーモジュールと独自のCSP(Chip Scale/Size Package)などに注力し、キーパーツ内製化を行っている。

パワーモジュールは、小型インバータ組込み用に、連続自動一貫ラインなど高いモジュール製造技術で生産される。また、日常の製造ライン内での厳しい品質管理により、高信頼性と高品質が達成されている。

一方、CSPについては、テストやリペアなどが容易なため、論理制御機器全般の小型化を目的として、フリップチップ接続など、最新の高密度実装技術を独自に展開し生産している。



高機能・小型化を支える高密度実装技術とキーパーツ

近年のFA制御機器に対する高機能・小型化の要求に低価格でタイムリーにこたえるためには、キーパーツを独自に設計し、ベアチップ実装など高密度実装技術を駆使した生産技術を確認する必要がある。新たな生産体制を構築した。現在、インバータ用パワーモジュールと独自のCSPに注力した生産活動と、次世代生産技術の開発を同時に行っている。

1. ま え が き

電子機器産業において“軽薄短小化の時代”と言われて久しい。一見、重厚長大なFA産業においても、電子機器の集積であるFA制御機器では、高機能化とともに小型化に対する強い要求がある。このような要求にこたえるため、当社のFA機器では、高機能化・小型化の核となる部品、すなわち、キーパーツの内製化を推進している。

本稿では、ベアチップ実装など高密度実装技術を駆使したキーパーツ内製化の取組を紹介する。適用例として、①インバータに用いるパワーモジュール、②論理制御機器に用いるために独自に開発したCSPの内製化について述べる。

2. キーパーツ内製化の背景

FA機器は、モータなどを駆動するパワー回路と、通信も含めた信号処理及び計測制御などの論理回路で構成される。FA機器では、近年、制御方式が従来の一括集中方式から自律分散型方式に移行しつつある。そのため、パワー回路・論理回路それぞれに対して、高機能化とともに小型化を同時に実現できる独自の実装技術が必要となっている。

以上のような状況を背景に、当社FA機器では、キーパーツの内製化を積極的に進め、高性能・小型・低価格製品をタイムリーに市場提供する取組を行っている(図1)。

3. インバータ用パワーモジュールの実装技術

インバータは、主にモータを可変速制御させるモータコントローラとして使用される。特に小容量対応の機種では、モータを使用するあらゆる機器で位置制御など可変速制御以外への用途が広がってきているため、小型・低価格化の要求がますます激しくなっている。

3.1 インバータ小型化の歴史

当社製汎用小型インバータの小型化の推移を図2に示す。10年間に、体積で1/10以下にまで小型化を推し進めてきた。1989年と'93年には、実装技術の進歩により、それぞれ、体積が対前年比でおよそ50%及び40%に小型化した。前者は両面実装導入によるもので、後者はベアチップ実装を導入し、キーパーツであるパワーモジュールを内製化することによって成し得たものである。

図3に、当社の最新小型インバータ“E500”と、同製品

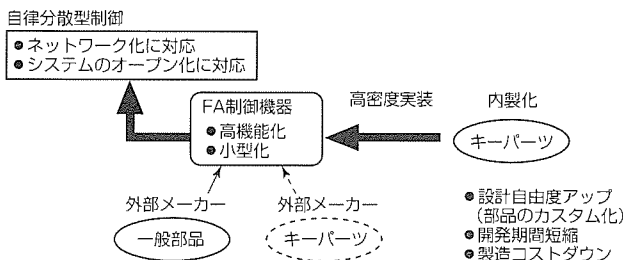


図1. キーパーツ内製化の概念

に組み込まれている内製パワーモジュールの外観を示す。

3.2 パワーモジュールの特長

パワーモジュールは、複数個の半導体チップを用途・目的に合わせて結線し、1個のパッケージに納めた電子部品である。現在製造しているパワーモジュールには、大別して2種類のチップが実装されている。主体はスイッチング素子とダイオード等の“パワーIC”で、一部にスイッチング素子駆動に用いる“駆動用IC”などが使用されている。

パワーモジュールは高電圧・大電流で使用されるため、回路基板には、高耐圧・高放熱性が要求される。これに対し、当社FA機器用インバータでは、アルミニウムをベース材とした金属基板を内製モジュール用として採用した。

3.3 パワーモジュールの製造フロー

パワーモジュールの製造フローを以下に概説する(図4)。駆動用ICは、一般によく知られるCOB(Chip On Board)技術で、金属基板に実装される。一方、パワーICは、大電流による熱を放散するために、ヒートスプレッドと呼ばれる放熱板にあらかじめダイボンドされる。

駆動用ICが実装された金属基板に対して、①はんだ印刷、②パワーICを含む電子部品のマウント、③一括リフロー、④フラックス洗浄が施される。その後、パワーICがワイヤボンドされ、最後にモジュール全体が封止され、製品が完成する。

新生産棟では、これらの工程を連続自動一貫ラインを含むパワーモジュール専用の生産ラインとして構築し、高歩

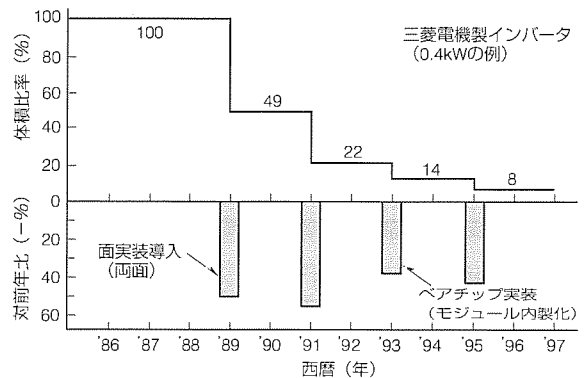


図2. インバータ小型化の推移

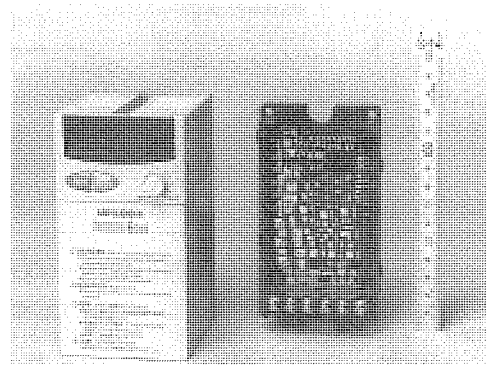


図3. インバータ及びパワーモジュールの外観(E500, 0.4kW)

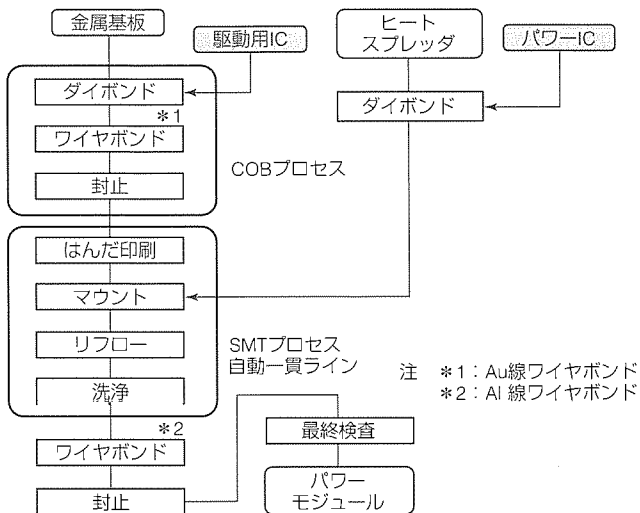


図4. パワーモジュールの製造フロー

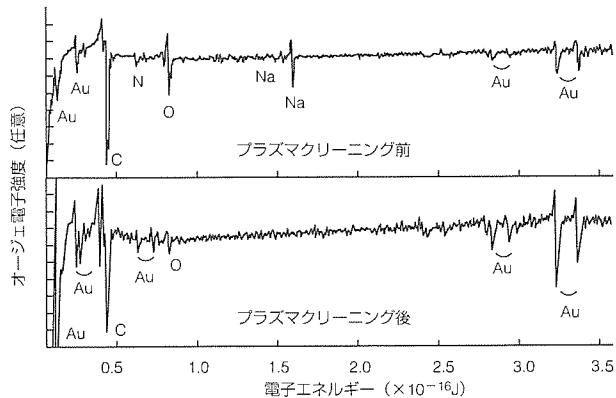


図6. オージェ電子分光による分析結果

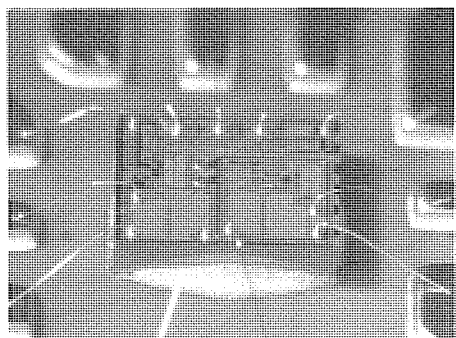


図5. Au線ワイヤボンドの例

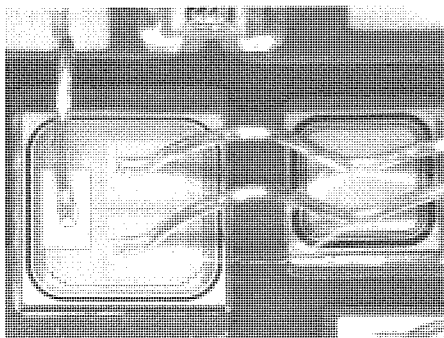


図7. Al線ワイヤボンドの例

留りと高生産性を実現した。

3.4 パワーモジュールのワイヤボンド技術

駆動用ICでは、25 μ m径のAu線でICと基板のそれぞれのパッドが接続される(図5)。ワイヤボンド工程では、ワイヤボンド直前にプラズマクリーニングを施し、IC及び基板のパッド部を浄化する方式を採用している。図6に、オージェ電子分光による基板パッド部の分析結果を示す。ナトリウムなど不純物元素が除去されており、これによってワイヤボンドの工程歩留り向上と接続信頼性向上を実現できた。

パワーICでは、駆動用ICと異なり大電流が流れるため、基板との電気的接続を線径300~400 μ mのAl線ワイヤボンドで行う(図7)。Al線ワイヤボンドでは、ループ形状のコントロールや超音波発振方式に独自の技術を盛り込むなどして、高品質を実現した。

ワイヤボンド技術の一例として、パワーモジュールの生産技術と信頼性向上への取組を紹介した。このようなモジュール製造技術の確立とともに、クリーンルーム内に設置した製造ラインでの日常の厳しい品質管理によって、高信頼性を実現している。パワーモジュールの高品質・高信頼性により、当社インバータ製品は長期間の品質保証を成し得ている。

3.5 パワーモジュール実装技術の課題

パワーモジュールでは、モジュール内部を大電流が流れるため、電気的ノイズに相対的に弱い汎用半導体などは、そのままでは実装することができない。このことは、パワーモジュールの更なる高密度・小型化への障害となっている。今後は、電気的なノイズを低減する回路設計技術とともに、

ノイズを遮へい(蔽)する新たな実装技術を構築することにより、高密度・小型化を目指していく。

4. 論理制御機器における実装技術

FA機器に用いられる論理回路でも、パワー回路と同様に小型化・低価格化が求められる。論理回路では、更にシステムのオープン化とネットワーク化への対応が要求される。そのため、OA機器などの標準規格に準拠した、例えばメモ리카ードのような超小型制御機器が望まれている。

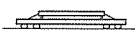
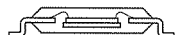
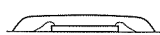

制御機器でカード製品のような超小型化を実現するためには、最先端の高密度実装技術導入が必ず(須)となる。

4.1 実装方式の検討

パワーモジュールと同様にワイヤボンドを用いたCOB(WB方式)、フリップチップ接続を用いたCOB(FC方式)、及びフリップチップ接続を用いて独自に開発したCSPを用いた方式の比較・検討結果を表1に示す。FC方式を用いた場合、実装面積は最小となる。しかしながらFC方式では、高度な実装技術が必要な上に、高価な回路基板を用いるため、相当の高コストとなる。

独自に開発したCSPでは、フリップチップ接続を用いるため、実装面積はWB方式と同等以下となる。CSPに用いるキャリア基板はサイズが小さく、FC方式に比べて基板

表1. 実装方式の比較

| 実装方式 | パッケージ | | COB | |
|-------|---|---|---|--|
| | CSP(FCタイプ) | QFP ^{*1} | WB方式 | FC方式 |
| 項目 |  |  |  |  |
| 実装面積 | 小 | 大 | 小 | 最小 |
| 技術難易度 | 難 | 比較的容易 ^{*2} | 比較的容易 | 難 |
| 製造コスト | やや高価 | 安価 ^{*2} | 比較的安価 | 高価(基板コスト大) |
| テスト性 | 良(バーイン可能) | 良 ^{*2} | やや難 | やや難 |
| 信頼性 | 良 | 優 | 可 | 可 |
| リペア性 | 良 | 良 | 難 | 難 |

注 *1 参考。パッケージ製品の購入を前提とする。
*2 購入品につき推定

表2. CSPの主な仕様

| | |
|------------|------------|
| チップサイズ(mm) | 9.5×10 |
| パッドピッチ(μm) | 85 |
| CSPサイズ(mm) | 15×16 |
| ボールピッチ(μm) | 0.5(326ピン) |

す。試作には、実装技術の確立が確実に見極められるように、メーカー供給段階でKGDが保証された外形サイズ約9mm×10mm、パッドピッチ85μmのPentium^(注1)チップ(133MHz)を用いた。

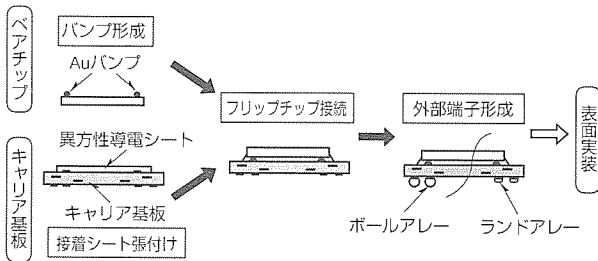


図8. CSPの構造と組立フロー

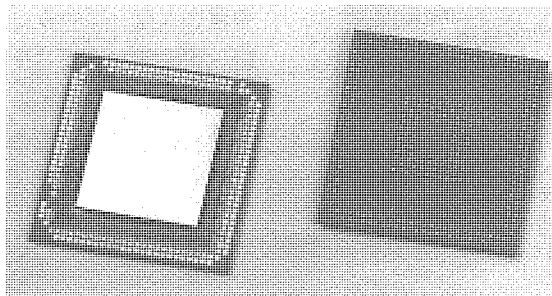


図9. CSPの外観

層数が少ないので、基板コストを抑えられる。さらに、CSPでは、通常のパッケージと同様に、機能検査が可能であり、かつWB方式とFC方式では困難な実装後のリペアが容易なため、トータルコストを抑制できる。また、必要に応じてバーインが可能のため、現在ベアチップ実装で課題となっているKGD(Known Good Die)の問題が解決でき、FA機器で求められる高信頼性の確保も可能となる。

4.2 内製CSPの特長

図8に内製CSPの構造と組立フローを示す。Al電極にAuバンプを形成したベアチップを、キャリア基板に接着層として張り付けた異方性導電シートを介して、フリップチップ接続し、製造する工法を採用した。Auバンプ形状やフリップチップ接続条件等を最適化して、品質と信頼性を確保した。

図9に試作したCSPを示す。また、主な仕様を表2に示す(注1) "Pentium"は、米国Intel Corp.の商標である。

キャリア基板には、①狭パッドピッチ対応、②放熱性と信頼性の確保を目的とし、セラミックス製を採用した。このCSPに対して、汎用のICテストを用いるなどして、機能試験と信頼性評価を繰り返した。これらにより、CSPの生産技術及び信頼性の確立を行った。

FA機器では、前述したように、製品の超小型化が一つの製品メリットとして重要な開発課題となってきた。その一方で、FA機器として高い信頼性を要求されるとともに、タイムリーな製品投入(開発期間の短縮)が求められている。これらの課題を解決する手段として、今回CSP内製化によって小型・高信頼性パッケージを自ら設計・製作できる体制を整え、他社に先駆けた小型化製品のタイムリーな市場投入を可能にした。

4.3 論理制御機器実装の課題

FA分野では、システムのオープン化を背景として、CSPやベアチップを用いた機器の小型化競争がより激化すると予想される。今後の論理制御機器実装では、フリップチップ実装などの単なる実装要素技術にとどまらず、制御共通機能をワンバック化したコアモジュールへの展開など、製品価値を最大限に引き出せる実装構造技術の確立が課題である。

5. むすび

FA制御機器の高密度実装化技術として、ベアチップ実装を駆使した汎用小型インバータに用いるパワーモジュール及び独自に開発したCSPを紹介した。キーパーツ内製化の取組はまだ始まったばかりだが、市場の要求に対して確実にこたえてきている。

三菱電機では、1997年8月に、クラス1,000のクリーンルームを備えた新生産棟をFA事業の中核である名古屋製作所に竣工した。新生産棟では、製品の開発から生産までを一貫して行い、キーパーツ内製化を更に加速していく。

新たな実装技術の開発にチャレンジし、今後、一層低価格で高性能なFA機器を市場に提供していく所存である。

新形汎用ACサーボモータの生産技術

池田洋一* 齊藤直文*
 中原裕治**
 伊藤浩美***

要旨

三菱電機では、EN規格、UL規格など海外規格にグローバルに対応できる汎用ACサーボ“MELSERVO-J2”シリーズを開発し、好評を得ている。

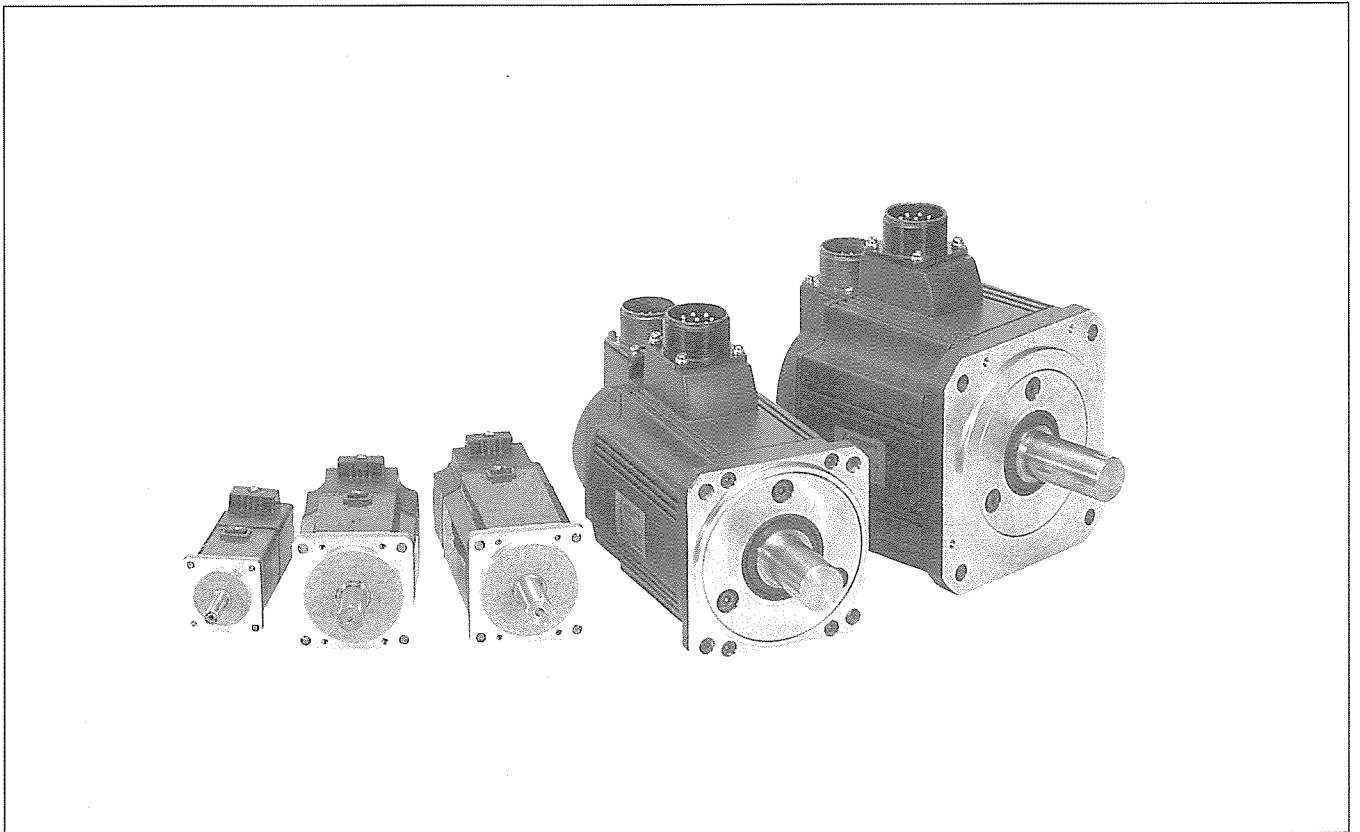
近年、サーボ製品は、その高性能化とともに小型・コンパクト化が目覚しく、今回の新製品においては、生産技術開発によってサーボモータの小型化を実現した。

ステータの製造方式では、各ティースを薄肉で連結した直線状コアを巻線後に折り曲げて、突き合わせ部をYAGレーザーで溶接する方式(“ポキポキ方式”という。)を開発した。この方式はスロット開口部を最適化でき、しかもコイ

ル占積率を高くできるので、低コギングトルク・高トルクの小型モータが実現できた。

また、750W以下の小容量サーボモータにおいては、高熱伝導性・耐クラック性を向上させたエポキシ系モールド樹脂を開発し、当社独自の低圧成形技術と組み合わせて、フレームレス一体モールドを行った。

これら生産技術により、従来容積比2/3の小型化を実現し、新形汎用ACサーボモータ“HCシリーズ”として30W～7kWまでを製品化している。



新形汎用ACサーボモータ“HCシリーズ”

新形鉄心構造による高密度整列巻線を行い、従来容積比2/3小型汎用サーボモータを製品化した。750W以下の小容量モータはモールド一体成形によるフレームレス構造とし、中容量モータはアルミフレーム構造として、30Wから7kWまでのサーボモータをシリーズ化した。

1. ま え が き

近年、サーボの汎用化とともに、産業機械装置の設置面積効率向上、機械の軽量・低コスト化要求や多軸駆動化要求に対応して、サーボ製品の小型・コンパクト化が進められてきた。これまで、サーボモータは、部品材料、特に磁石の高性能化に伴って小型化されてきたが、現在は、生産技術面での小型化技術開発により、小型・高性能化が進められている。

本稿では、新形汎用サーボモータ“HCシリーズ”におけるモータ小型化技術について述べる。

2. サーボモータの小型化技術

モータの小型化では図1に示す四つの要素があり、これらが相互に関連し合っている。主に高性能磁石の採用(サマリウムコバルト→ネオジム鉄)により、モータは容積比で2/3まで小型化が進んだが、更なる小型化のためには、ステータの高密度巻線化と高熱伝導化が必要であった。一方、サーボモータの巻線は、ステータスロットをまたいでコイルを巻く分布巻きからステータのティースごとにコイルを巻く集中巻きへ、また、単にカム式巻線機によるバラ巻きから、ワイヤノズルの軌跡制御による整列巻きが主流となってきている。

新形ACサーボモータの製造方式としては、鉄心構造を従来の円筒状から直線状として整列集中巻き、高密度巻線化を進め、巻線後に円筒状に折り曲げて溶接する方法を採った。また、小容量機種では、ステータをモールド一体成

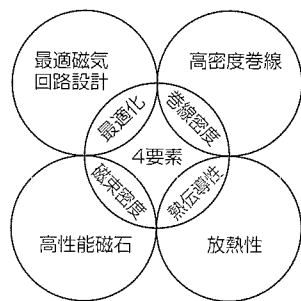


図1. サーボモータの小型化技術

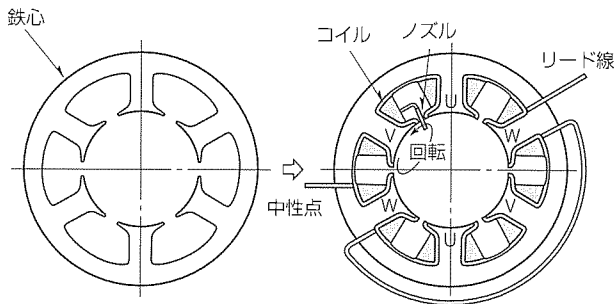


図2. 従来の巻線技術

形することにより、構造強度確保とともに、高熱伝導化を実現した。3章で鉄心構造及び巻線技術、4章でモールド技術について述べる。

3. 鉄心構造及び巻線技術

3.1 従来の巻線技術

従来の一体型ステータは、高速プレスで打ち抜いた鉄板を積み重ねて円筒状コアを作成し、コアとコイル間に絶縁材を装着し、その上から巻線してコイルを成形していた(図2)。

この場合、円筒状コアの内径側から巻線する必要があり、スロット開口部に巻線ノズルの通り道が必要であるとか、整列に巻線できずコイル量を減らすなど、モータの性能に制約を与えていた。

巻線機では、巻線ノズルを複雑な軌跡に駆動させるための機構又は制御が必要となるため、装置コストが高額になっていた。

3.2 新形鉄心構造による巻線技術

HCシリーズに採用された新形鉄心構造及びステータ製造工程を図3に示す。この新形鉄心は、各ティースごとにヨーク部中央で分割し、再び分割部位を薄肉で連結し、直線状に展開したような形状とした。コア積層は、順送金型に抜きかきめ機構を設けることで、高速プレスから所要の積厚で取り出し可能である。

直線状コアは、厚み方向の両端面からコアとコイル間絶縁用の樹脂成形品が装着される。この樹脂成形品には、コイルの形状を保持する巻枠部と、コイル間の渡り線を保持

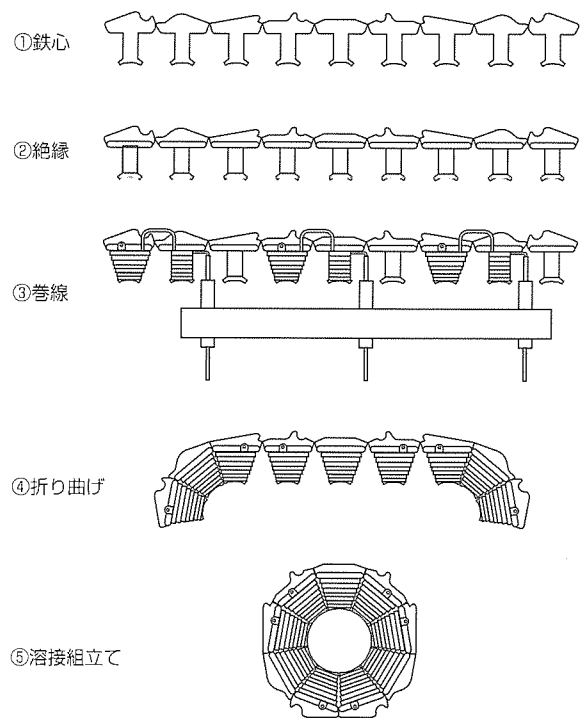


図3. 新形鉄心構造及びステータ製造工程

する突起部が設けられている。また、樹脂成形品には、コイルのワイヤ端末を絡げ固定される角ピンが打ち込まれている。

巻線工程では、直線状コアのヨーク部がチャックされ、巻線機が直線状コアのすべてのティースと対面する位置関係となる。また、ティース間のスロット開口部は開いた状態であり、巻線ノズルがティースを周回するためのスペースが十分に確保されている。このため、整列巻きによる高密度巻線が可能となり、コイル占積率では、従来ステータの約50%に対し80%以上を達成した。

また、UVW相のコイルを一括に巻線できるほか、コイル間の渡り線を自動で引き回し、コイル端末を自動で角ピンに絡げて固定することができるなど、製造上のメリットがある。

巻線が完了した直線状のコアは、薄肉連結部を変形させて折り曲げられることにより、本来の円筒状のステータとなる(ボキボキ方式)。折り曲げ工程では、薄肉連結された部位が均等に変形するための機構が装置に組み込まれてあり、装置がコアの突き合わされた部位を保持した状態でYAGレーザーで接合している。ステータ内径の真円度・同軸度は、従来のステータと同等の精度が得られている。

図4は、従来のステータと新形ステータの断面を模式的に示した図である。新形ステータの場合、巻線ノズルの通り道を必要としないため、スロット開口幅を最適(0.4mm:小容量モータの例)とすることができた。スロット開口部の製造上の形状制約がなくなり、しかも、高密度巻線が達成できるため、低コギング・高トルクのモータ設計が可能となった。

4. モールド技術

4.1 モールドステータ

薄肉連結鉄心は高密度巻線が容易にできるというメリットがあるが、コア剛性が若干低いため、樹脂によるフレームレス一体モールドが必要である(図5)。また、ステータ小型化によって熱容量が小さくなるので、コイルの温度上昇を低減するためには、モータ高効率化とともに、モール

ド樹脂の高熱伝導化が大きな課題になる。これらを実現するために、樹脂モールド技術には次のことが求められる。

- 耐クラック性、高熱伝導性、成形性に優れた樹脂材料
- 生産性を確保できる短時間成形技術

モールドモータに用いられているモールド樹脂としては不飽和ポリエステル樹脂系のBMC(Bulk Molding Compounds)が一般的であるが、成形圧力が高くコイルへの損傷が大きい、高熱伝導化が困難などの欠点がある。

また、ACサーボモータは、各種産業機器として用いられているため、過酷な耐環境性が要求されている。このため、モールド材料としては耐湿性・接着性など耐環境性に優れたエポキシ樹脂を採用し、モールド技術としては当社独自の液状エポキシ樹脂の高速成形方法である低圧成形技

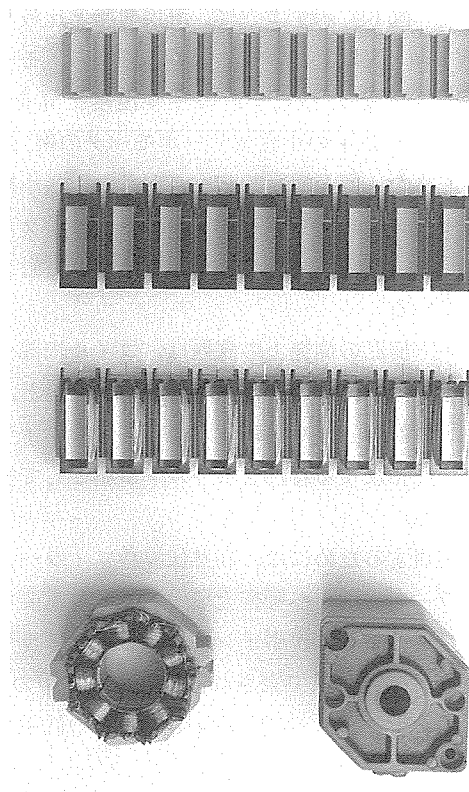


図5. ステータの構造

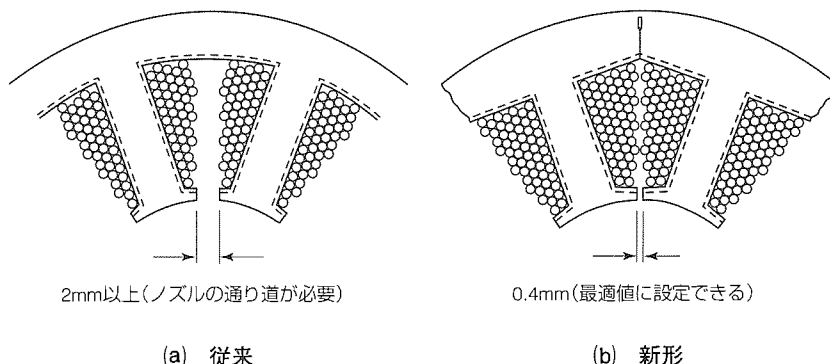


図4. 新旧ステータの模式断面図

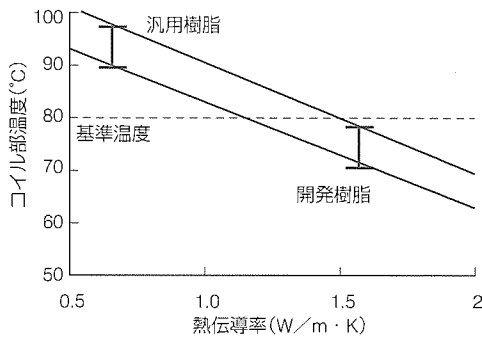


図6. 成形樹脂による放熱効果

術を適用した。

4.2 モールド樹脂材料

モータ特性と信頼性を十分確保し得る高熱伝導性・耐クラック性・成形性に優れた液状エポキシ樹脂系モールド樹脂を開発した。図6に示すように、汎用樹脂と比較して約2倍の1.5W/m・K以上という熱伝導率を持ち、モータの大幅な小型化にもかかわらず、コイル温度上昇を規格値(B種絶縁：750W以下の小容量サーボモータの例)以内に収めている。また、開発樹脂でモールドされた最小樹脂厚み0.6mmのモータは-70℃↔130℃のヒートサイクル試験100サイクル後もクラックフリーであり、優れた耐クラック性を持っている。

このモールド樹脂の開発上の課題は、コイル細部への充てん(填)性を確保するための高流動性(低粘度化)と、更に高熱伝導性・低熱膨張性を実現するための無機フィラーの高充填化という相反する特性をモールド樹脂として実現することであった。

これらを実現するためには、高熱伝導性フィラーと低熱膨張性フィラーを樹脂中へ細密充填することが重要であり、フィラーの粒度分布制御がポイントである。フィラーの粒度分布制御には下記の式で表される粒度分布式中の n を小さくすることにより、 $3 \times 10^4 \text{mPa} \cdot \text{s} / 60^\circ\text{C}$ の低粘度でかつ82wt%という高充填を実現した。

$$R_{(D_p)} = 100 \cdot \exp(-b \cdot D_p^n)$$

ここで、 $R_{(D_p)}$ ：積算ふるい上質量%， D_p ：粒子径，

n ：均等数， b ：定数

さらに、ポリマアロイ化技術を応用してモールド樹脂を強じん(韌)化することにより、優れた耐クラック性を実現させた。

4.3 低圧成形プロセス

図7に示す主剤/触媒分離方式の低圧成形技術は、当社独自の成形技術であり、各種モータや電装品などに適さ

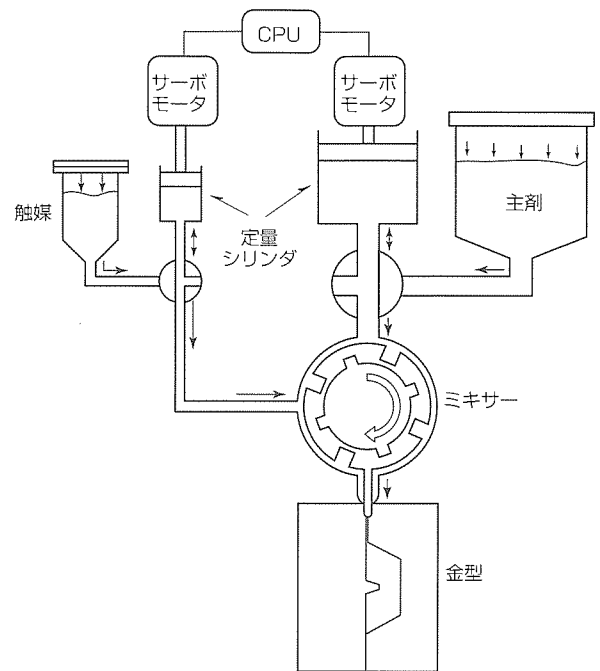


図7. 低圧成形方法の基本構成

れている信頼性の高い生産技術である。この低圧成形技術の特長としては①高速絶縁処理、②アフタキュアレス、③低ダメージ、④インラインが挙げられる。これらの特長は、触媒と主剤(エポキシ樹脂/硬化剤/フィラー)の2液分離方式とし、金型注入の直前に活性の高い触媒を任意の配合比率で均一混合できることによるものであり、樹脂のポットライフを確保しながら高速成形が実現できる。

この低圧成形技術を用いて金型構造や硬化条件を最適化することにより、モータの巻線、組立てなどの他の製造工程のタクトに適合できる高速成形プロセスを実現した。

さらに、前節で述べた低粘度化モールド樹脂を適用し、 30kg/cm^2 以下という低い成形圧力を可能にすることによってコイル損傷を抑制し、また高密度巻線されたコイル細部への充填を可能にしたことで良好なコイルーアース間耐電圧及び相間耐電圧を確保している。

5. むすび

以上紹介した鉄心製造・巻線技術及びモールド技術により、従来の機種に比べて、容積比で2/3の小型化を実現することができた。

これらの技術は、小容量サーボモータのみならず、当社新形ACサーボモータ“HCシリーズ”に広く展開を進めている。

高精度・高能率機械加工技術とその応用

小寺 直* 蔦原晃一郎+
 太田 努** 桧垣文広++
 狩山明賢*** 大谷真博++

要 旨

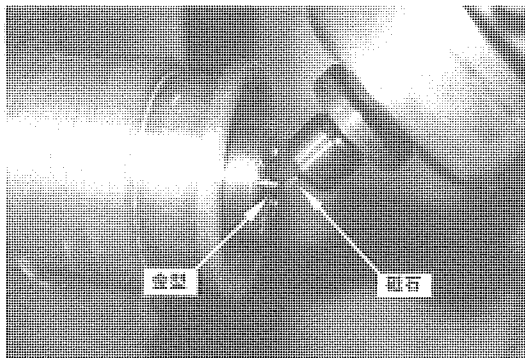
機械加工は、高精度部品加工におけるサブミクロンの絶対精度と、大物部品加工における 10^{-3} レベルの精度比率(精度/寸法)が実現できる唯一の加工法である。したがって、製品の小型化・高機能化及び生産性の向上には、機械加工の高度化が不可欠である。

三菱電機の最近の機械加工技術の高精度化・高能率化の取組と、製品への応用事例を以下の内容で紹介する。

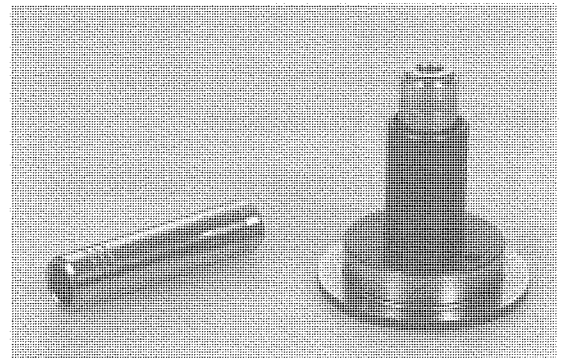
- (1) LDモジュール用ガラスレンズ成形金型の超精密研削加工誤差計測・補正システム構築により、 $0.1\mu\text{m}$ の形状精度を達成した。
- (2) 筒内噴射エンジン用燃料ポンプ部品の高能率研削

サブミクロンの加工精度が要求される部品について、加工方法の適正化と工程設計を実施し、高精度・高能率加工を実現した。

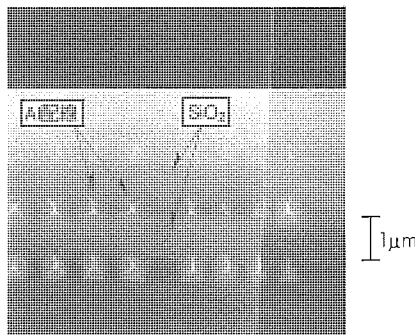
- (3) LSIデバイスの平たん(平坦)化研磨
 ウェーハ全面の均一研磨性と段差低減性($0.3\mu\text{m}$ 以下)を併せ持つ超精密研磨技術を開発した。
- (4) 加工機の大型構造体(鋳鉄材)の高速切削
 大型マシニングセンタでは業界トップクラスの高回転速度($10,000\text{r}/\text{min}$)と高トルク($715\text{N}\cdot\text{m}$)を兼ね備えたスピンドルを開発し、高能率加工を実現(従来比2倍以上)した。



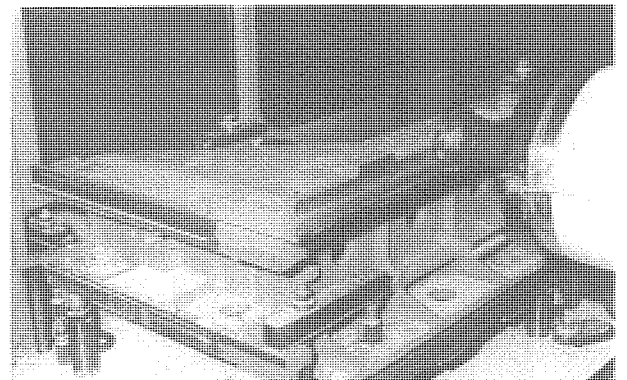
(1)



(2)



(3)



(4)

加工事例

機械加工は他の生産手段では対応できない高精度加工が実現できるため、今後の製品の小型・軽量・高精度化においては、キーテクノロジーに位置付けられ、その高度化が求められる。図は(1)ガラスレンズ成形金型の研削加工図、(2)筒内噴射エンジン用ポンプ部品の外観写真、(3)LSIデバイスの多層配線断面SEM写真、(4)大型構造物(放電加工機のラム、鋳鉄材)の高能率切削加工図である。

1. ま え が き

近年、計算機や情報機器の高速・高記憶容量・コンパクト化に伴い、半導体や光通信用デバイスはより微細で高精度な加工が要求されている。また、一般機器においても、高機能・コンパクト・省エネルギー・省資源化に伴い、使用される部品とデバイスはますます精ち(緻)な構造になってきている。それらの形状と表面粗さの要求精度はサブミクロン以下である。

サブミクロン以下の加工精度が要求される場合は、機械加工が、最も高能率が期待できる手段である。最近、半導体の層間絶縁膜の平坦化に機械加工(研磨)が適用される等、高精度機械加工の適用が拡大している。今後の部品とデバイスの製造において、機械加工技術はキーテクノロジーとして位置付けられていくものと考えられる。

本稿では、当社における機械加工の高精度化と高能率化(生産性の向上)の取組について、次の4例を紹介する。

- (1) 光通信機器のキーパーツであるガラスレンズの成形金型の超精密研削
- (2) 燃費向上を目的とした筒内噴射エンジン用高圧燃料ポンプ部品の高精度・高能率の研削・研磨
- (3) 機械加工の新しい適用分野の典型例である半導体デバイスの平坦化研磨
- (4) 高能率加工の取組の典型例である放電加工機の大物構造物(ラム、鋳鉄材)の高速切削

2. ガラスレンズ成形金型の超精密研削

2.1 概 要

光通信の需要拡大に伴い、機器の量産性向上が求められる。送受信機器であるレーザーダイオード(LD)モジュールでは、鏡筒一体型のマイクロレンズの開発が組立性の改善には有効である。これらレンズは、通常、金型を用いたプレス成形によって製作される。微小なレンズ金型を加工するには、非常に小さい砥石が必要である。しかし、微小砥石では、研削抵抗による変形・摩耗などが発生することから、高精度の加工は実現できていなかった。

そこで、加工後の形状データから加工誤差を分析して補

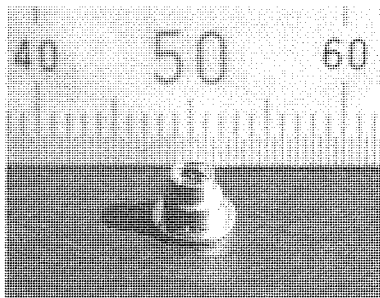


図1. 鏡筒一体成形ガラスレンズ

正研削を行うシステムを開発し⁽¹⁾、曲率半径1.5mmのマイクロレンズ金型について、0.1 μ m以下の形状精度を実現した。

2.2 LDモジュール

LDモジュールは、電気信号を光信号に変換する機能部品であり、電気信号によって発光するLD素子、LD素子から放射された光をファイバ端面に集光するレンズ、それらを締結する部品で構成されている。

レンズの外径及び曲率半径は、それぞれ0.9mm及び1.5mmである。レンズの形状精度は0.2 μ m以下が要求される。成形時の転写誤差0.1 μ mを見込むと、成形金型には0.1 μ m以下の形状精度が要求される。

なお、レンズと鏡筒の組立て誤差を排除するため、前述のように、両者を一体成形した。開発した鏡筒一体成形ガラスレンズを図1に示す。

2.3 レンズ金型の超精密研削

軸対象の球面や非球面形状の金型加工は、加工物(金型)を回転させて砥石(工具)との相対位置を2軸制御して所要の形状を得る。今回、レンズ外径と曲率半径が共に小さいため、図2に示すように棒状の微小砥石を採用し、また、砥石軸と加工対象物外周との干渉を避け、かつ砥石軸を最も太くできるように砥石軸(2mm径)を加工対象物回転軸に対して45°傾けて加工する研削方式を開発した。研削条件を表1に示す。しかし、この方式では、砥石エッジに沿って加工ポイントが移動するため、砥石セッティング誤差、機械の駆動誤差とともに、砥石のエッジ真円度誤差、研削抵抗変動による砥石逃げ量誤差などが発生する。そこで、形状精度0.1 μ mを達成するために、加工ごとの形状計測データから上記誤差を分析し、順次NCプログラムを補正す

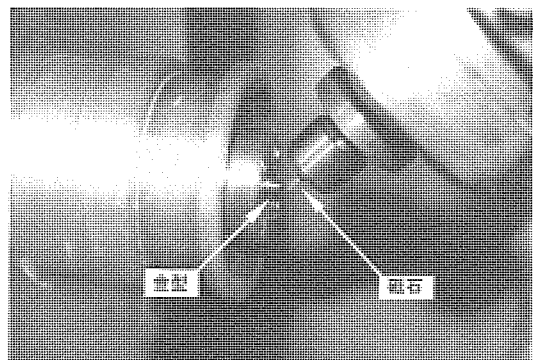


図2. 金型加工状況(金型と砥石)

表1. 金型の研削条件

| 砥石 | レジンボンドSD |
|--------|-------------|
| 砥石径 | 2mm |
| 切込み量 | 0.5 μ m |
| 砥石軸回転数 | 50,000r/min |
| 砥石送り速度 | 0.5mm/min |

る計測・加工システムを開発し、適用した。

上述の取組の結果、マイクロレンズ用金型加工において、図3に示すように、要求精度 $0.1\mu\text{m}$ を実現した。また、成形後のガラスレンズ形状においても要求精度 $0.2\mu\text{m}$ を達成した。

3. 筒内噴射エンジン用燃料ポンプ部品の高エネルギー研削

3.1 概要

筒内噴射エンジンシステムは、圧縮したシリンダ内に直接燃料を噴射し、超希薄燃焼を実現するものである。燃料は、高圧ポンプで昇圧され、シリンダ内へ微粒化噴霧される。高圧燃料ポンプはピストンとシリンダで構成される増圧機であり、燃料シール機能やしゅう(摺)動部の摩擦防止のため、ピストンとシリンダはサブミクロンの形状精度と表面粗さが要求される。

そこで、これらの高精度部品を高エネルギーで加工する量産技術を開発した。

3.2 高エネルギー研削加工

図4にピストン及びシリンダの外観を示す。

両部品は、高速摺動部品であるため耐摩耗性が必要であり、表面の硬化処理を行った後、機械加工で仕上げる。量産性から要求されるタクトタイムを満足するためには、

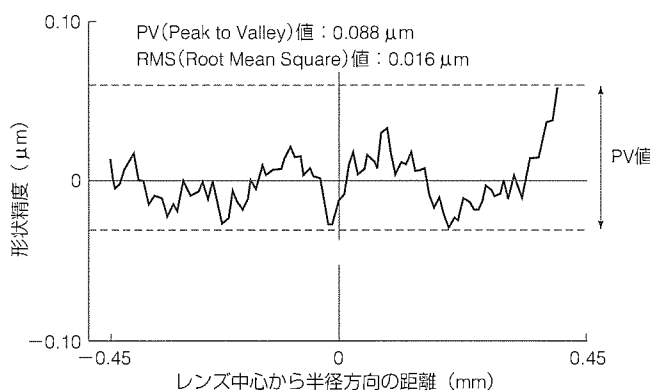


図3. 金型の形状精度

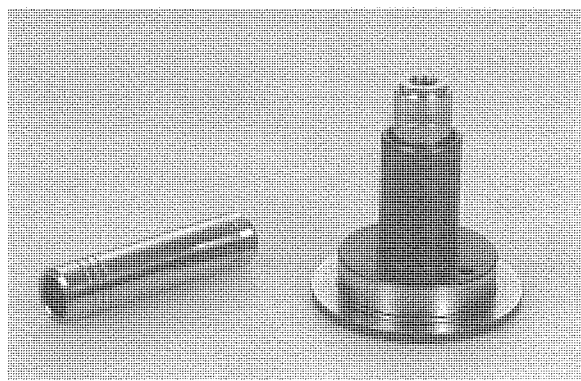


図4. ポンプ部品の外観

加工方法の選定と荒加工から仕上げ加工までのラインバランスを考慮した工程設計がキーとなる。

(1) シリンダの加工工程

シリンダ内面は、研磨加工を用いて仕上げた。この内面研磨加工では、シリンダが細穴であるため、通常の研磨ツールを使用した場合、剛性不足によって形状精度を安定して確保することが困難となる。そこで、曲げ剛性の高い超硬材を研磨ツールとして採用し、量産性を実現した。

(2) ピストンの加工工程

ピストンの加工は、研削と研磨を併用した加工工程によって高精度・高エネルギー加工を実現した。

高精度研削では、砥粒1個にかかる研削抵抗を下げるのがポイントとなる。したがって、切れ刃先端を鋭利にし、かつ砥粒の切れ刃高さを一定にするドレッシング条件(ドレッサ集中度など)が重要である。図5に、ドレッシング条件適正化後の研削加工面のSEM写真を示す。硬質材料表面にもかかわらず、全面一様な塑性流動研削面となっており、良好な研削が実現できていることが確認できる。

4. LSIデバイスの超精密平坦化研磨(CMP)

4.1 概要

LSIデバイスの高集積化には、配線ピッチの微細化と多層配線化が不可欠となる。しかし、配線の微細化に伴い、写真製版時の露光の焦点深度は浅くなる。したがって、層表面の平坦度が低下すると、微細な露光が達成できなくなる。そのため、多層配線化には、層ごとに表面を平坦化する必要がある。

CMP(Chemical Mechanical Polishing)は、ウェーハと研磨布を化学作用のあるスラリーを介してす(摺)り合わせることによって平坦化を行うもので、無ひずみ面と高精度の平坦化が期待できる。

そこで、微細配線化と多層配線化が最も要求されるロジックデバイスの層間絶縁膜平坦化工程に導入した。

4.2 層間膜の平坦化

ウェーハは、直径 200mm で、数十 μm 以上の湾曲と

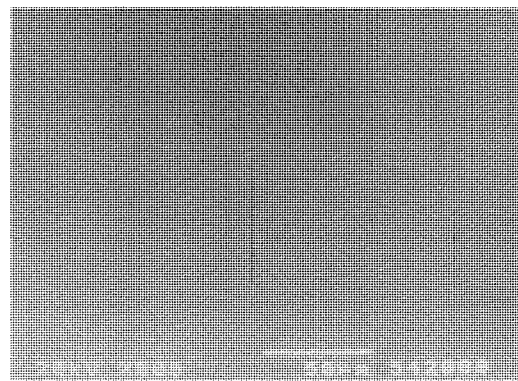


図5. ピストンの研削加工面

10 μm 程度の厚みばらつきがある。層間膜はその湾曲している表面に沿って形成され、その凹凸部の段差は約1 μm である。したがって、CMPには、ウェーハの湾曲になら(倣)って一様にウェーハ面内を研磨する均一研磨性(面内均一性)と、段差を平坦化するための凸部選択研磨性(段差低減性)という、研磨にとっては全く相反する特性を両立させることが要求される⁽²⁾。それぞれの要求精度は、面内均一性(研磨量ばらつき/面内平均研磨量)が $\pm 10\%$ 以下/200mm径、段差が0.3 μm 以下/1チップである。また、量産安定性も重要な開発課題となる。

4.3 CMP技術

スラリには、ヒュームドシリカ(平均粒径30nm)を用いた。これは、加工対象材(SiO₂)と固層で化学反応を起こすもので、低応力での材料除去が行えることから無ひずみ面を創成することができる。

(1) 面内均一性と段差低減性

均一性と段差低減性を達成するためには、長周期(10mm以上)の凹凸に対しては軟らかく、短周期(1mm程度)の凹凸に対しては硬く作用する特性が、研磨布には求められる。そこで、硬質研磨布に軟質のバックング材を張り合わせた2層構造研磨布を採用した。これは、上部の硬質層は段差低減性を確保するものであり、下部の軟質層はウェーハの湾曲に研磨布をスムーズに倣わせ、均一性を確保するものである。

さらに、ウェーハが直径200mmと大きいため、ウェーハ周辺部に比べて中央部はスラリが供給されにくい。したがって、中央部では研磨不足が発生し、均一性を阻害することが明らかとなった。その対策として、ウェーハステージの中央部を膨らませ、周辺部に比べて面圧を上げる凸型ヘッドの採用によって解決した。

これらにより、面内均一性 $\pm 10\%$ 以下を達成するとともに、段差0.3 μm 以下を達成した(図6、図7)。

(2) 安定性の確保

ウェーハの研磨を続けると、研磨布表面が磨減して、研

磨布のスラリ保持力が低下する。これに伴い、研磨レートが低下する。研磨量(残膜厚)の制御は研磨時間によって行うため、研磨レートが低下することにより、研磨量不足が発生する。そこで、研磨レートを安定させるためには、ダイヤモンド粒子を固めたドレッサによる研磨布のドレッシング(目立て)がキーとなる。

当社では、研磨布のスラリ保持力の安定性の向上をねらい、研磨布材料であるポリウレタンが安定して削れ、常に一定の研磨布面状態(スクラッチ深さと数の安定化、及び発泡層の再生)が得られるドレス条件(特にドレッサの砥粒粒径、押し付け荷重の適正化)を求めた。

図8に量産安定性の確認実験結果を示す。研磨レート2,200 $\text{\AA}/\text{min}$ が安定して得られており、ドレッシングの有効性が確認できた。

5. 大物構造体の高能率切削

5.1 概要

放電加工機はプラスチック金型やプレス金型などの精密金型を加工する主要な工作機械であり、当社は各種放電加工機を製品化している。放電加工機を構成するラムなどの大物構造体は、鉄材の鋳造によって概略形状が作られ、その後、面削り、穴あけ、ねじ立てなどの切削加工によって最終形状に仕上げられる。構造体によっては、この切削加工に400分以上費やす場合がある。したがって、大物構造体の生産性の向上には、切削加工の高能率化が要求される。

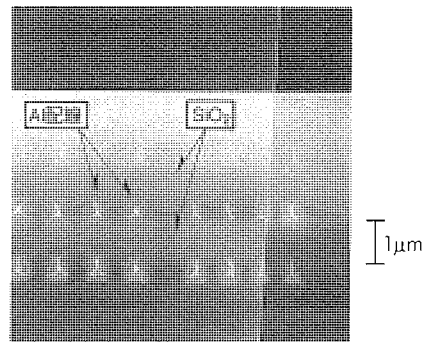


図7. CMPによる平坦化結果

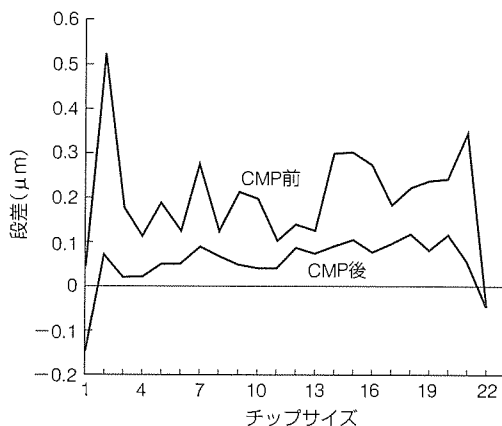


図6. CMPによるチップ内の段差低減

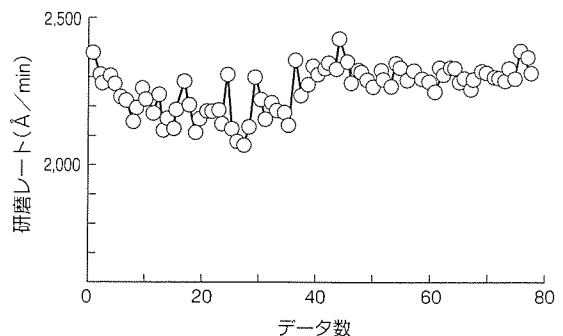


図8. 量産でのCMP安定性

生産性の指標は、単位時間当たりの金属除去量、すなわち①切削幅、②切込み深さ、③工具1回転当たりの送り量、及び④工具回転速度の積で表される。したがって、生産性を向上させるには、①～④をそれぞれ高めればよい。しかし、①～③は、取り代などの関係で幾何学的に最大値が決定されるほか、切削抵抗の増大に伴う加工精度の低下によって一定の制約を受ける。したがって、④の工具回転速度の向上、すなわち高速加工の実現が加工精度を維持したまま生産性を向上させるための最善の策となる。

そこで、大型マシニングセンタとしては、業界トップクラスの高速回転(10,000r/min)スピンドルを開発し、放電加工機のラムの加工に適用し、従来の加工に比べて2倍以上の加工能率を実現した。

5.2 高速マシニングセンタ及び工具の開発

表2に高速マシニングセンタの主軸の仕様を示す。

この主軸の特長は、鋳鉄材の正面フライス高速切削に必要なトルク(715N・m)とドリル高速加工に必要な高速回転速度(10,000r/min)を兼ね備えていることである。これにより、正面フライスでの面削り金属除去量1,000cm³/minの重切削、切削速度2,000m/minの高速加工、及びドリル穴あけでの切削速度130m/min(送り速度2,000mm/min)の高速加工を可能にしている。

なお、このマシニングセンタは、本体構成は三菱重工業(株)広島工機工場が開発され、主軸のビルトインモータの開発は三菱電機(名古屋製作所)が担当した。

また、高能率加工の実現には耐摩耗性・耐久損性に優れた工具の開発・選定も必要であるが、これについては、三菱マテリアル(株)と共同で行った。

5.3 加工対象物

加工対象物は、図9に示す形彫放電加工機の中大物構造物のラムである。大きさは1,000mm角クラス、形状は箱型、材質はねずみ鋳鉄FC300、要求精度は、直角度、真直度共に0.03/1,500mmである。また、加工内容は、面削り、穴あけなどの切削である。

5.4 加工特性

表2. 高速横形マシニングセンタの仕様

| 設備名称 | 横形高速マシニングセンタ |
|-------------|-----------------|
| パレット作業面の大きさ | 1,400×1,600(mm) |
| 主軸回転速度 | 30~10,000r/min |
| 主軸電動機 | AC22/30kW |
| 主軸トルク | 715N・m |
| 早送り速度 | 20,000mm/min |
| 切削送り速度 | 10~10,000mm/min |
| ツールシャンクの形式 | MAS BT50 |
| 自動工具交換装置 | 120本収納 |
| 自動パレット交換装置 | 2面 |
| NCシステム | MELDAS 520 |

(1) 正面フライス荒加工

荒加工では、鋳鉄の黒皮除去など精度よりも能率が優先されるため、加工量を大きくすることが求められる。今回、従来加工に比べて2倍以上の加工量である1,000cm³/minを実現するため、欠損対策として、工具材は従来のAl₂O₃系セラミックスに比べて抗折力が高いSi₃N₄系セラミックスを使用し、カッタはすくい角ネガ刃型のものを使用した。

図10にこの工具の加工後の摩耗状況を示す。1,000cm³/minの切りくず(屑)排出でも、工具は正常な摩耗形態を示しており、チッピングなどの欠損は発生していない。開発した工具が非常に良好であることが分かる。

次に、単位時間当たりの金属除去量一定の条件下で、切削送り速度と切込み量を変化させた場合における切削動力の実測結果を図11に示す。切削送り速度を高めて切込み量を抑制した方が、切削動力すなわち切削抵抗が小さくなる事が分かる。切削抵抗が小さい方が、加工中の工具、加工物の変形が抑制されるため、加工精度に対して有利となる。

(2) 正面フライス仕上げ加工

仕上げ加工においては、表面粗度を良好に仕上げる事が要求されたため、耐摩耗性に優れた工具が必要となる。今回、従来に比べて5~10倍の切削速度2,000m/minを実現

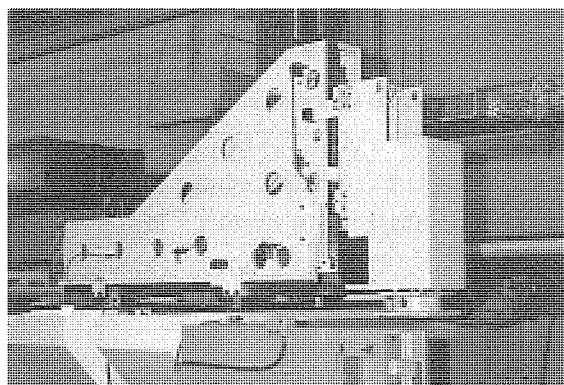
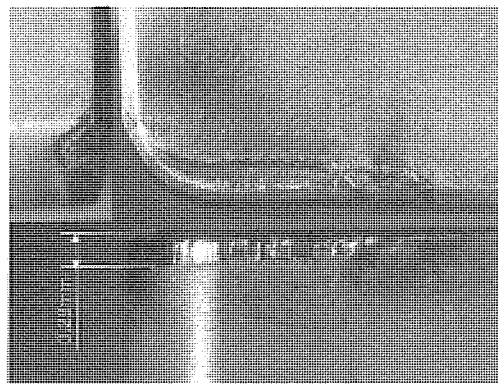
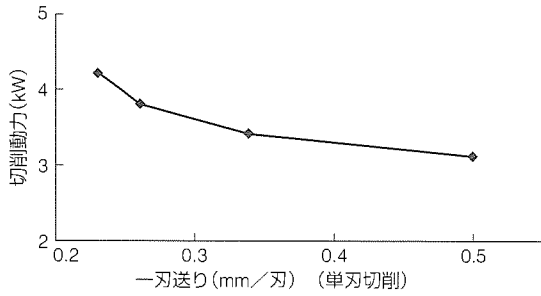


図9. 形彫放電加工機の主要構造物(ラム)



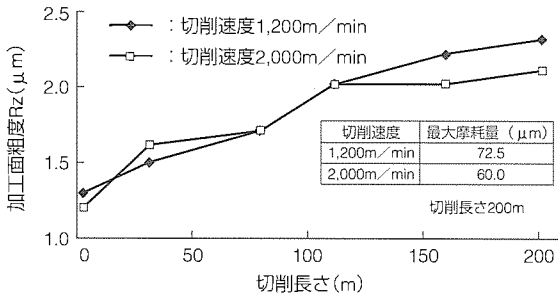
切削速度785m/min、送り0.34mm/刃、切込み2mm、切削長さ50m

図10. 正面フライス荒加工時の工具摩耗状況



被削材：FC300，切削速度：785m/min，切粉排出量：1,000cc/min，乾式切削
使用工具：BN425R0408D，工具材種：Si₃N₄系セラミックス

図11. 切削送り速度と切削動力の関係



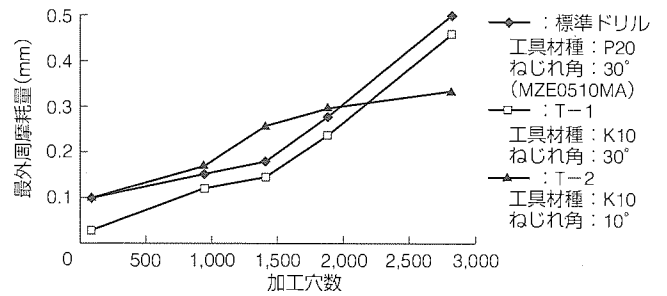
被削材：FC300，切削送り速度：10m/min，切込み：0.3mm，乾式切削
使用工具：AF5000R0408D，工具材種MB730

図12. 正面フライス仕上げ加工の面粗度の推移

するため、鉄系加工用工具材種で最も耐摩耗性に優れているCBN工具を使用した。しかし、CBN工具は硬度Hv4500の高硬度材料で、じん(靱)性に劣る欠点がある。そのため、切削抵抗の変動が大きい断続切削(フライス加工)では、工具欠損が生じやすい。そこで、結合材としてCoを用いたCBN工具を選定した。切削速度2,000m/minと1,200m/minについて、切削長さ(200m)と加工面粗度、最大摩耗量との関係を図12に示す。切削速度2,000m/minにおいても、1,200m/minと同等の加工面粗度(2.5μmRZ)が得られており、高能率化が確認できた。

(3) 穴あけ加工

全加工時間の約30%を占める穴あけ加工に対して従来の2倍以上の切削速度(130m/min)を実現するために、それに適合する工具材料と工具形状の検討を行った。すなわち、回転数を高くすると、切削速度が大きくなるため、工具摩耗の進行が早くなる。したがって、高速化には、耐摩耗性に優れた高硬度工具が必要となる。一方、ドリルの折損を防ぐため、靱性も同時に要求される。



被削材：FC300，切削速度130m/min，回転数8,100r/min，切削送り速度：1.62m/min
工具径5.1mm，コーティング：TiN化合物，加工深さ18mm(止り)，外部給油(1.5MPa)

図13. ドリル加工の最外周摩耗量の推移

そこで、耐摩耗性と靱性を両立するため、靱性に優れた超合金母材に、耐摩耗性を向上させるため高硬度のTi化合物をコーティングした工具を開発した。図13に、今回開発した3種類のコーティングドリルについて、最も切削速度が大きく摩耗の激しい最外周部での摩耗量の推移を示す。従来の約2倍の加工条件(切削速度130m/min，送り速度1,620mm/min)に対しても、摩耗量は少なく(0.5mm)、実用可能であることを示している。中でも工具材料がK種(JIS B 4053)で、ねじれ角を10°と緩くした、すなわち切れ刃とねじれ刃とのなす角度を大きくしたドリルが、最も刃先強度が高く、良好であることが明らかとなった。

6. むすび

今後の部品やデバイスは、多機能化に伴い、各種機能を作り込んだ複雑な三次元形状となることが予想される。これら複雑形状の高精度・高能率加工を実現するためには、多軸加工機の高速・高精度制御技術とともに、微小領域の選択除去技術の開発が課題となるであろう。

参考文献

- (1) 鈴木浩文，小寺直，原成一，桜井英一，庄司克雄，厨川常元，田中克敏，武田弘：マイクロ金型の非球面研削，1995年度精密工学会春期大会學術講演会講演論文集，253～254 (1995)
- (2) 長谷川森，小寺直，林出吉生，坂井祐一，佐々木孝典：LSIデバイスの平坦化(CMP)におけるパターン依存性の検討，砥粒加工学会誌，41，No.9，342～345 (1997)

冷凍空調用ロータリ圧縮機の 同心組立技術

原 正一郎* 浮岡元一**
 岩崎俊明* 野田博之**
 望月哲哉** 富永孝介*

要 旨

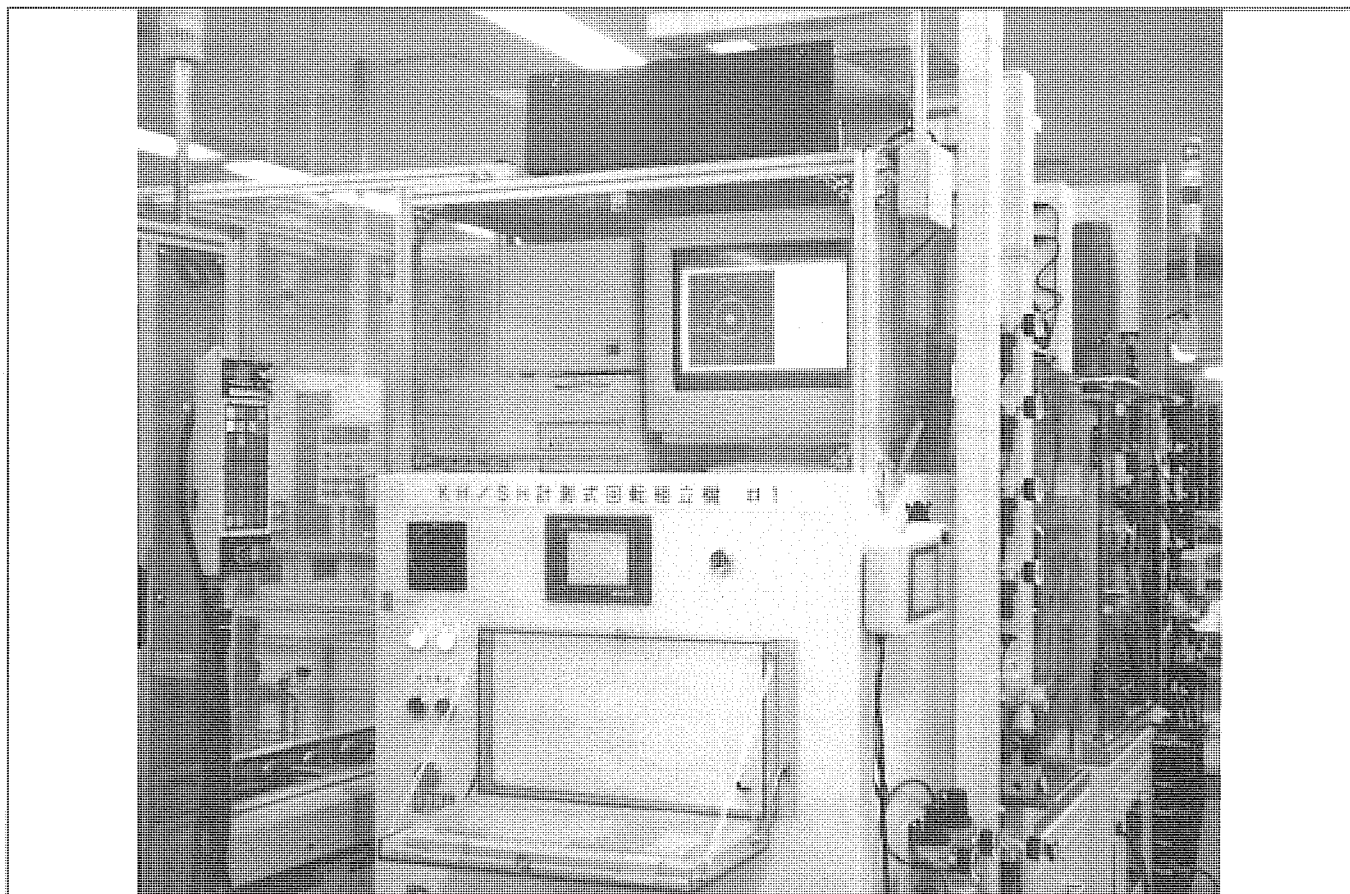
冷凍空調機器の心臓部に当たる圧縮機は、その消費電力が機器全体の中で最も高く、高効率化が強く求められている。圧縮機の高効率化には、圧縮機構部の最適化設計とモータの高効率化に加えて、部品加工精度や組立精度の向上による圧縮機構の機械損失と漏れ損失の改善が有効な手段となる。そこで、圧縮機の代表的機種であるロータリ圧縮機について、最も重要な組立工程の一つである同心組立工程に着目し、組立精度改善による成績係数(Coefficient of Performance : COP)の向上を図った。

同心組立工程は、クランクシャフトを支持する二つの軸受を同心に位置決めしボルト固定する工程で、従来、回転組立てと呼ばれる方式、すなわち片側の軸受部品を未固定状態のままクランクシャフトを回転し、揺動している軸受部品を押さえ付けることによって中心部に位置決めする方

式で行われてきた。しかし、この方式を力学的に解析した結果、精度改善の余地が十分あることが分かった。

新たに開発した計測式回転組立方式は、任意の位置への高精度な調心を可能にしたもので、心ずれ計測技術、カウンタウェイト利用技術、高速調心技術の三つの要素技術開発によって実現した。これにより、同心組立精度は、従来の20 μ mから4 μ mに改善され、ロータリ圧縮機のCOPを、代表的な運転条件である60Hzにおいて、1%以上改善することができた。なお、インバータ駆動による低速領域では、より大きなCOP改善が可能である。

現在、新方式による同心組立装置を順次導入中で、既に約6割の国内ラインで稼働中である。今後、海外生産拠点にも導入を進めていく計画である。



ロータリ圧縮機組立ライン

ロータリ圧縮機の組立精度向上は、COP改善の有効な手段となる。このラインは、同心組立工程に新しく開発した計測式回転組立方式の装置を導入したもので、組立精度向上によってCOP 1%以上の改善を実現している。装置のモニタ画面から、心ずれを計測している様子が伺える。

1. ま え が き

近年、地球環境に対する問題意識が高まる中で、省エネルギー化の取組が活発化してきており、とりわけ冷凍空調機器に対する省エネルギー化の要求は省エネルギー法改正等によってますます厳しくなっている。

ロータリ圧縮機は、冷凍空調機器の心臓部に当たる圧縮機の代表的機種で、当社ではそのCOPの向上に継続的に努力してきた。ここ数年のCOPの大幅な向上は、DCブラシレス化を中心としたモータ効率改善⁽¹⁾によるところが大きいですが、一方では、部品加工精度や組立精度の向上によって圧縮機構の機械損失と漏れ損失を改善する地道な努力が

あったことも見逃してはならない。

本稿では、組立精度の向上によってCOPを改善した技術開発事例について述べる。

2. ロータリ圧縮機の同心組立て

ロータリ圧縮機は、図1に示すように密閉容器内にモータと圧縮機構を収納したもので、偏心させたローリングピストンとシリンダ内壁とで圧縮室を構成している。シリンダの両側にはクランクシャフトを支持するフレーム(上軸受)とシリンダヘッド(下軸受)の二つの軸受が μm オーダーで同心にボルト固定されている。

同心組立工程は、あらかじめフレームを固定したシリンダに、シリンダヘッドを位置決めし、ボルト固定する工程で、従来、図2に示す回転組立てと呼ばれる方式で行ってきた。まず、シリンダヘッドを仮組み状態(未固定状態)でクランクシャフトを高速に回転させる。すると、クランクシャフトが偏心部に作用する遠心力によって振れ回りし、それに伴ってシリンダヘッドが円軌道を描きながら揺動運動をする。この状態でシリンダヘッドを上から徐々に加圧していけば、シリンダヘッドとシリンダ間の摩擦力によってシリンダヘッドは図のように渦巻きを描きながら中心部に寄っていき、停止した所でボルト固定する。

従来の方式は、このように摩擦力という不安定な因子を含んでいるため、高精度化に限界があった。また、非接触式変位センサを用いてシリンダヘッドの揺動軌跡を計測(図3)したところ、きれいな円軌跡にはならず、図4に示すとおり、ある特定の方向に偏心した楕円のような軌跡になることが分かった。

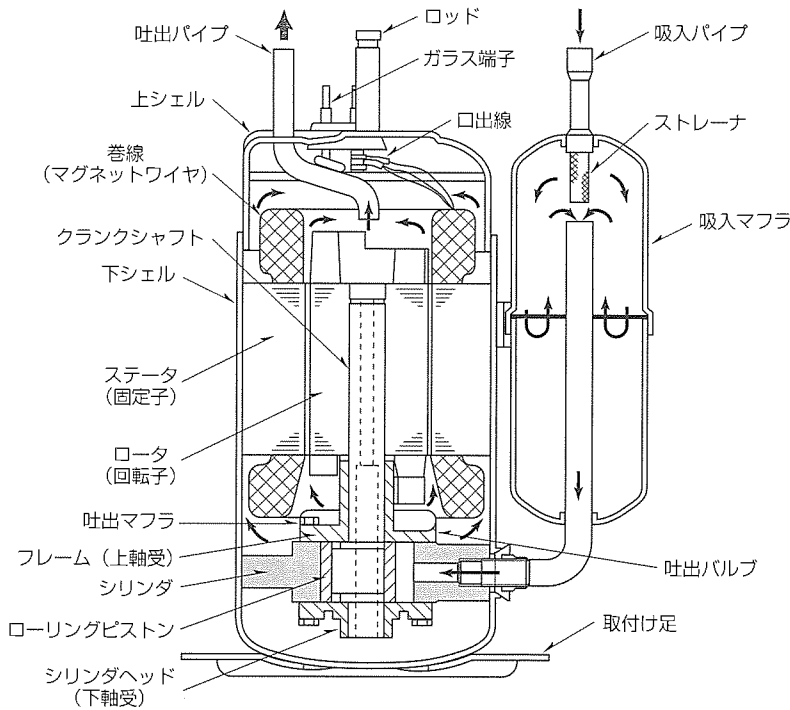


図1. ロータリ圧縮機の構造

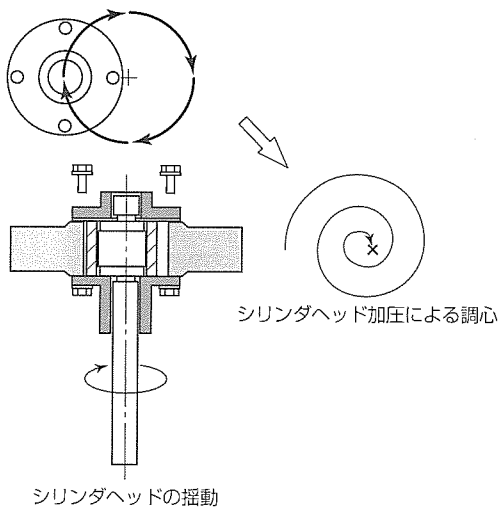


図2. 回転組立方式

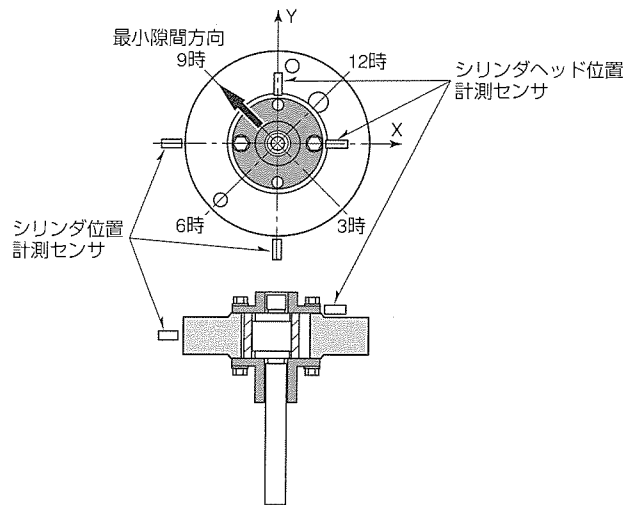


図3. シリンダヘッド揺動軌跡の計測

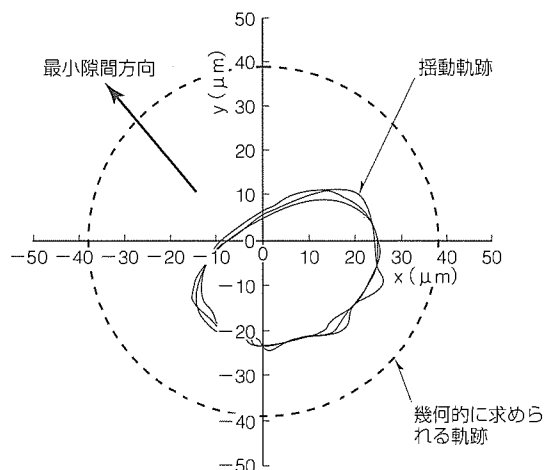


図4. シリンダヘッドの揺動軌跡

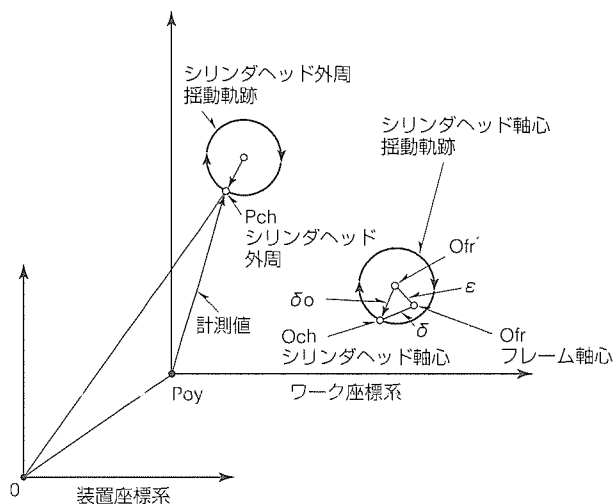


図6. 相対位置計測方式

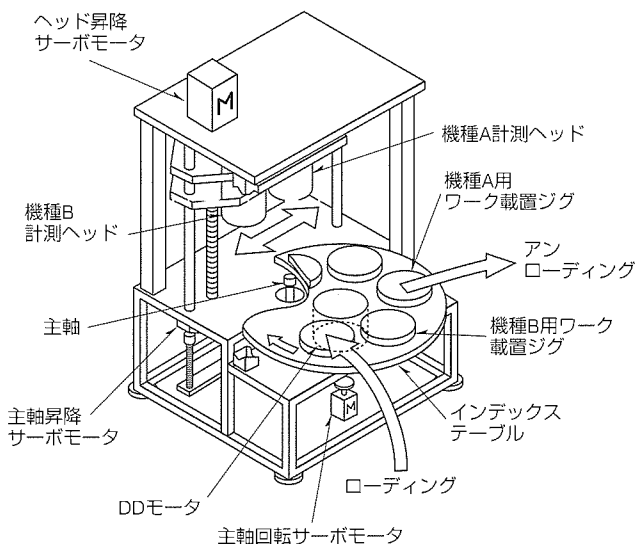


図5. 計測式回転組立方式による同心組立装置

この偏心方向は、反最小すき(隙)間方向、すなわちローリングピストンとシリンダ内壁の隙間が最小になる方向の反対方向と一致する。最小隙間方向は、漏れ損失に最も影響が大きい特定の方向の隙間をシリンダとフレームの組立時に意図的に詰めることによってできるもので、従来の回転組立方式におけるシリンダヘッドの組立位置は、せっかく詰めた重要な隙間を広げる方向にずれるという傾向がある。

3. 計測式回転組立方式の開発

同心組立精度を改善する方策の一つに計測組立方式⁽²⁾がある。これは、あらかじめ各部品を単体で測定し、これらの測定値から計算される位置に部品を位置決めし、固定する方法である。しかし、この方法は、測定精度の集積による誤差及びマシンタクトの問題から実用には至らなかった。

3.1 計測式回転組立方式の概要

計測式回転組立方式⁽³⁾は新たに考案した方式で、あらかじめ各部品を単体で測定することなく、任意の位置への高精度な調心が可能である。処理手順は次のとおりである。

- (1) クランクシャフトの回転(シリンダヘッド揺動)
- (2) シリンダヘッド揺動軌跡の計測
- (3) 調心目標位置の計算
- (4) アクチュエータによるシリンダヘッドの位置決め
- (5) ナットランナによるシリンダヘッドの固定

図5に、この方式による同心組立装置の構成を示す。この装置は、ローディング/アンローディングを含めた全自動機で、マシンタクト14秒、調心精度4μmの性能を持ち、既に量産ラインに導入され、稼働中である。

3.2 要素技術

計測式回転組立方式を実現するに当たって、次の三つの要素技術開発が必要であった。

(1) 心ずれ計測技術

二つの軸受は、いずれもクランクシャフトが挿入されているため、位置を直接計測することはできない。そこで、シリンダヘッド外周部を計測するだけで軸受部の心ずれを推定できる技術を開発した。シリンダヘッドの外周部と軸受部の同軸度は全く保証されていないが、図6に示すとおり、クランクシャフト回転中のシリンダヘッドの外周部と軸受部の揺動軌跡は互いに平行移動の関係にある。したがって、外周部をその揺動軌跡の中心に位置決めすれば、軸受部は軸受部の揺動軌跡の中心、すなわち“心ずれゼロの位置”に位置決めされる。つまり、外周部の揺動軌跡を計測すれば、その中心位置に対する現在位置が求める心ずれにほかならない。なお、シリンダヘッド外周部の計測は、図3で示したのと同様、非接触式変位センサを用いて容易に行える。

(2) カウンタウェイト利用技術

前項で示した相対位置計測方式は、シリンダヘッドの揺

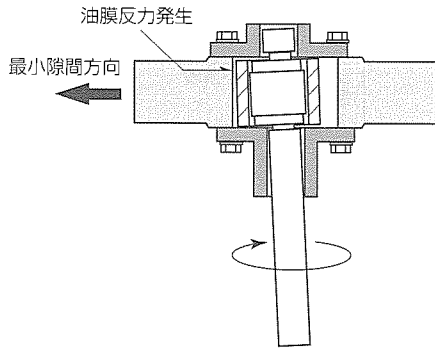


図7. 揺動軌跡偏心のメカニズム

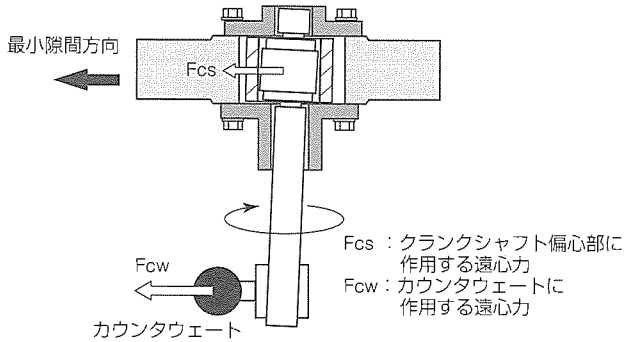


図8. カウンタウエート方式

動軌跡が心ずれゼロの位置を中心とした円軌跡であることを前提としている。従来の回転組立方式においてシリンダヘッドの揺動軌跡が偏心する原因を調べたところ、図7に示すように、ローリングピストンが最小隙間方向の位置でシリンダ内壁に接近し、油膜反力によって反最小隙間方向に無視できない力を受けることが分かった。そこで、図8に示すように、クランクシャフトのドライブ機構にカウンタウエートを配置し、クランクシャフトの回転中の傾斜姿勢が従来の逆向きになるようにした。その結果、ローリングピストンに有害な油膜反力が作用しなくなり、シリンダヘッドの揺動軌跡を高精度化することができた。

(3) 高速調心技術

シリンダヘッドがシリンダに載置される面と同一の平面内にアクチュエータ及びガイド機構を配置し、調心時のモーメント発生によるスティックスリップを防止することによって、シリンダヘッドを2秒以内で目標位置に位置決め(精度1 μ m)できる高速調心機構を開発した。

4. 組立精度改善による効果

図9に、従来の方式と開発した方式による同心組立精度の比較を示す。プロットしたデータは、軸受間の偏心量と方向を三次元測定機で測定したものである。従来は平均20 μ mの心ずれがあり、しかも、前述のとおり、全体的に反最小隙間方向にずれる傾向があったのに対し、開発した

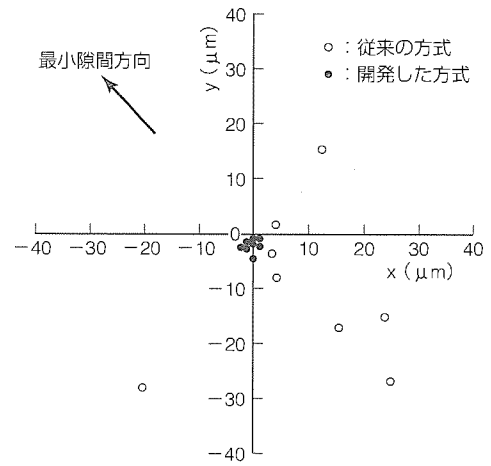


図9. 組立精度評価

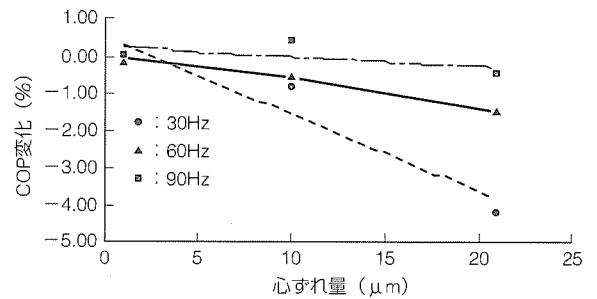


図10. 心ずれ量とCOPの関係

方式では4 μ m以下の心ずれに抑えられていることが分かる。これは、図10に示す心ずれ量とCOPの関係から、代表的な運転条件である60Hzにおいて、COP 1%以上の改善に相当する。また、インバータ駆動による低速領域では、より改善効果が高いと言える。

5. むすび

計測式回転組立方式による同心組立装置は、現在、順次導入中で、既に国内ラインの6割の生産に寄与している。今後は、海外生産拠点にも展開していく計画である。

今後とも、加工精度や組立精度の改善といった生産技術的取組を継続し、圧縮機のCOP改善、ひいては冷凍空調機器の省エネルギー化に貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 鈴木康巨, 及川智明, 米谷晴之, 馬場和彦: 密閉形圧縮機用DCブラシレスモータ“V8 DCモータ”, 三菱電機技報, 70, No.8, 829~833 (1996)
- (2) 小木曾健一, 吉田幸太郎: ロータリ圧縮機および類似機器の調芯装置, 特開昭63-47518
- (3) 岩崎俊明, 原 正一郎, 浮岡元一: 軸受調芯方法及び軸受調芯装置, 特開平9-32773

Mitsubishi Electric Malaysiaへの VTRドラム自動組立ての技術移管

岩井敏充* 井上孝之*
加茂範明*
神原功泰*

要旨

VTRは世界的な大競争時代に入っており、三菱電機もMalaysia工場を戦略的拠点と位置付け、VTRメカデッキの心臓部とも言えるドラムの自動組立ラインを移管した。この自動組立ラインは、自動調整・検査機に加え、ロボットの使用により、一部工程を除き、作業者が介在しない構成になっている。

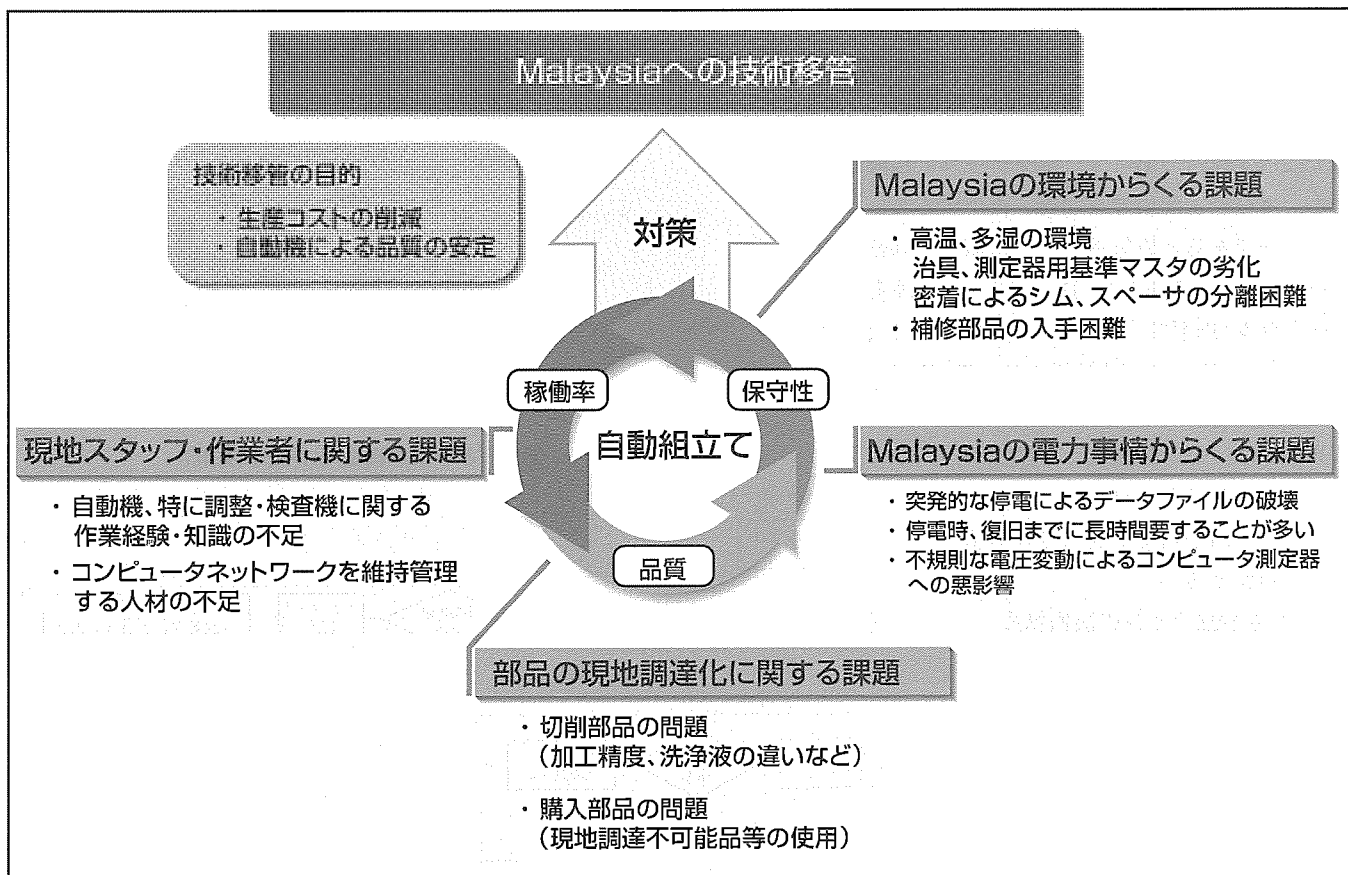
移管のねらいは、コストの削減と自動機生産による安定した品質の確保であって、移管に際して、次のような問題と課題が抽出された。

- (1) 日本で内製・購入していた部品と副資材を、すべて現地調達品に切り換える必要がある。
- (2) Malaysia側スタッフと作業者は、自動機、特に調整・検査機に関する作業経験や知識が十分とは言えない。

(3) Malaysiaの電力事情によって発生する突発的な停電や不規則な電圧変動により、コンピュータや測定器などが誤動作するおそれがある。

(4) 高温・多湿の環境のため、治具、測定器用基準マスタの劣化等が懸念される。

これらについてMalaysia側スタッフと緊密な協力体制の下に対策を行い、ドラムの自動組立ラインの移管を1.5か月の短期間で完了することができた。量産稼働後2か月で、生産台数、現地調達率ともほぼ最終目標を達成できたことで、戦略拠点としての基盤がMalaysiaに整った。Malaysia工場はVTR生産でISO9002を既に取得しており、今後も世界最高品質のVTRを提供していく所存である。



Malaysiaへの技術移管についての課題

Malaysia工場への技術移管の主な目的は、生産コストの削減と自動機による品質の安定化である。移管に当たって解決しなければならない問題や課題が多々あり、これらを自動機の稼働率、保守性の確保、製品の品質維持の面から各々個別に対策していく必要があった。

1. ま え が き

家庭用据置型VTRは、国内メーカーに加え、韓国などの海外メーカーの参入によって製品価格の下落が著しく、大競争時代を迎えている。

当社においては、材料・加工費を大幅に削減した新デッキシリングドラム(以下“Uドラム”という。)を開発するとともに、製造面ではUドラムの自動組立ラインを構築し稼働させてきた。今回、VTR生産のグローバル化戦略の一つとして、Mitsubishi Electric Malaysia(以下“MEM”という。)にUドラムの自動組立ラインを全面移管することになった。Malaysiaは経済成長が著しく、インフラが整備され、部品メーカーなどの進出も盛んで、部品の現地調達が可能である。また、日本と比べて安価な製造コストなど、適地生産の観点から当社VTR生産の最適拠点の一つと位置付けた。

MEMに移管したUドラムの自動組立ラインは高度に自動化された設備であり、移管に当たって対処すべき様々な課題があった。

本稿では、それらについてどう取り組み、解決したかについて述べる。

2. VTRドラムと自動組立ライン

2.1 VTRドラムの構造

VTRメカデッキの心臓部とも言うべきドラムは、図1に示す構造であって、磁気テープと接触してビデオ、オーディオ信号を記録/再生するキーコンポーネントである。磁気ヘッドを搭載した回転側のアップドラム(以下“U/D”という。)と固定側のロアドラム(以下“L/D”という。)の二つに大別され、ロータリトランス(回転側 R/T(R)、固定側 R/T(S))によって信号が伝送される。

ドラムは、その機能上と互換性から、それぞれにミクロンオーダーでの組立て、調整精度が要求される精密部品の塊である。

2.2 自動組立ラインの設備構成

Uドラムは図2に示す組立工程で製造される。自動組立ラインは62ユニットで構成され、次の5ラインに分類される。

- (1) ヘッド高さ測定・シム選択
ライン： 5台(図のA部)
- (2) U/D仮止めライン：
16台(図のB部)
- (3) U/D調整ライン：
17台(図のC部)

- (4) サブドラム組立ライン： 11台(図のD部)
- (5) 調整・検査ライン：
13台(図のE部)

これらのうち、調整・検査機は以下のような24台の設備からなり、全数オンライン測定を行っている。

- 画像処理装置を使用した調整・検査機
 - 高精度プローブ、センサ(1μmオーダー)を使用した寸法測定器
 - コンピュータなどを使用した演算処理、良否判定
- これらに加え、産業用ロボットも11台使用することで、一部の工程を除き、作業者が介在しない組立て、調整、検査までを一貫して行う自動化ラインとなっている。

3. 技術移管に伴う課題と対策

3.1 技術移管に伴う課題

自動ラインを移管した場合、国内生産とMEMでの生産を比較すると、図3に示すように、材料費は約10%、加工費は約60%のコスト削減が可能である。しかも、オンライン調整・検査機をも含めた自動機移管により、国内生産と同等の高品質、かつ低価格の製品供給が可能となる。

一方、移管に当たり、次のような問題と課題が抽出された。

- (1) U/D、L/Dといった内製部品、ロータリトランス、モータといった国内調達部品を現地調達品に変更する必要

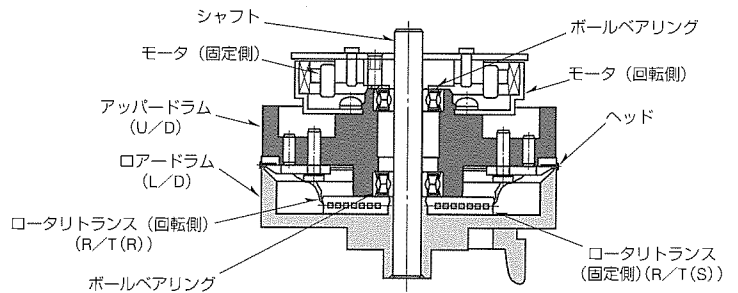


図1. ドラムの構造 (Hi-Fi VTR用)

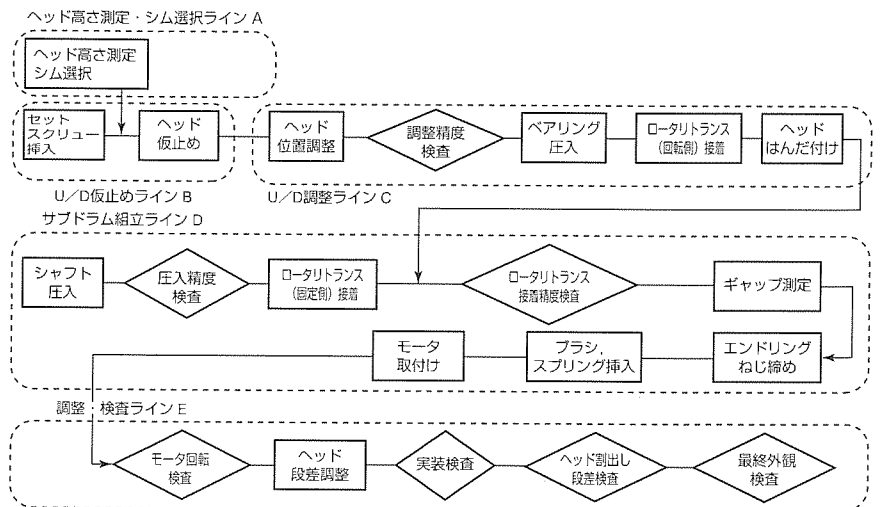
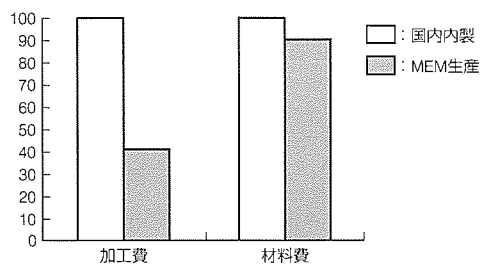


図2. ドラムの組立工程



(注) 加工費、材料費とも国内内製を100として比較

図3. コスト比較

がある。

(2) Malaysia側スタッフと作業者は自動機、特に調整・検査機に関する知識と作業経験が十分とは言えないため、維持・管理に困難が予想される。

(3) Malaysia国内の急激な電力需要に対してインフラ整備が追い付かず、突発的な停電、不規則な電圧変動が起こり、コンピュータ、測定器などに誤動作が発生する場合がある。

(4) 熱帯地方特有の高温・多湿な環境のため、治具と測定器用基準マスタの劣化が懸念される。

これを克服するため、移管前に、十分な現地調査、及びMEM側と緊密な打合せを行い、協力体制を作り上げ、問題に対処していった。

3.2 ライン制御システムの対策

日本で稼働していたUドラムの自動組立ラインは、設備用のほかにライン管理用としてコンピュータを5台使用し、ネットワークを構築している。コンピュータネットワークによってラインの一元管理が可能になった反面、ネットワーク上のトラブルでラインが全面停止してしまうおそれがある。また維持・管理には専門の教育を受けたスタッフが必要であるが、MEMの人員構成を考えた場合、まだ十分な体制がとられていなかった。そのため、現状のままラインを移管した場合、維持・管理ができないおそれがあった。

MEM側と協議を重ねた結果、コンピュータネットワークを廃止することにし、代わりとして以下で対策することにした。

(1) 機種切換えなど生産に直接必要な機能は、設備のシーケンサプログラムの改造で対応する。

(2) ライン管理用の付加機能(良品率、不良内容表示など)についても、個別の設備にその機能を持たせる。

シーケンサは悪条件下での使用に耐え、信頼性も高い。最近では演算機能を持つシーケンサもあり、小規模であればコンピュータからの置き換えが可能である。また、支援する生産技術エンジニアが例外なくシーケンサを扱えるため、保守の面で有利であることなども考慮に入れた。

3.3 電力事情への対策

不規則な電圧変動があると、画像処理装置やコンピュータ機器に、誤動作による測定不能や電子機器が壊れる可能

性がある。また、メモリのデータアクセス中に停電が発生すると、最悪の場合データファイルが破壊され、動作不能となるおそれがある。

これらの保護のために、次のように対処した。

(1) ノイズフィルタと安定化電源を設置して電圧変動に備えた。

(2) 設備のデータ構造を見直し、停電時の影響を少なくするとともに、データファイルの自動チェック機能を追加した。また、リカバリープログラムを作成することで簡単に再復帰可能にした。

これにより、停電時のリカバリー作業を大幅に簡素化できた。Malaysiaでは時折、数時間にわたって停電することがあり、このラインのような大規模な自動化ラインでは、大容量で高額な無停電電源装置を設置するのが一般的な対策である。今回の対策により、停電対策として使われる無停電電源の追加投資を抑制できた。

3.4 ラインの運用、維持・管理

ラインには自動検査・調整機を多く使用しており、品質と稼働率を維持するためには、設備能力・状態を常に把握するとともに、部品の不具合などによる不良品の多発を防止する必要がある。

また一貫ラインのため、1台の設備停止がライン全体に影響を与える。短時間での設備復旧が必要不可欠であるが、補修部品の欠如や現地スタッフの経験不足により、長時間停止を招く可能性がある。そこで、次の対策を行い、現地での稼働率維持と高品質の維持を図った。

(1) 設備面の対策

(a) 設備状態を常に把握するため、調整・検査結果の統計処理機能を個々の設備に組み込み、いつでも取り出せるようにした。

(b) 主要な一部の設備については、連続NGの発生で自動停止させ、警報を発することによって不具合の早期検出を可能にした。

(c) 設備の長時間停止に備えたシミュレーションを実施し、生産に支障を来さないよう手動機によるバックアップ体制を整えた。

(2) 運用面の対策

(a) 移管に先立ち、現地スタッフ合計5名が国内工場に出張し、約3か月にわたり、ラインでのOJTを含め、自動機に関する経験を積み、知識を習得した。

(b) 日々の測定データを所定の位置に掲示し、設備状態を現地スタッフ相互でチェックすることにした。

(c) 品質管理に使用する測定器の校正の正確さを保持するため、実ワークで限度サンプルを作成し、測定値の正しさを検証することにした。

(d) 測定器校正用マスタゲージの劣化に対応するため、校正頻度の多い工程に、現地で製作・検証が容易な実ワ

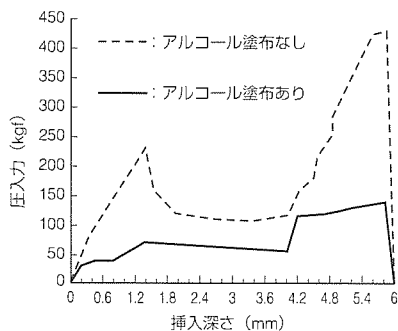


図4. アルコール塗布の有無による圧入力差

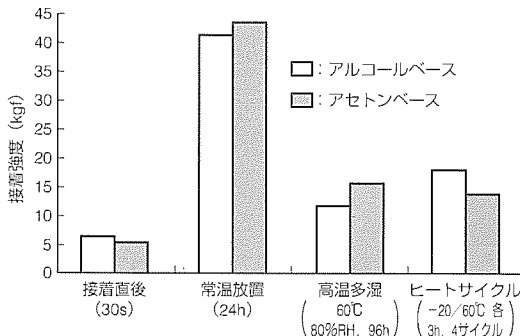


図5. 硬化促進剤の違いによる接着強度差

U/DとR/T(R), L/DとR/T(S)の組立てには嫌気性接着剤と硬化促進剤が使用される。接着後の仕様は、約45秒の加圧で接着強度が0.8kgf以上である。接着強度は硬化時間と温度・湿度に強く影響される。硬化促進剤は硬化時間を短くする作用があり、接着面に硬化促進剤を塗布した後、

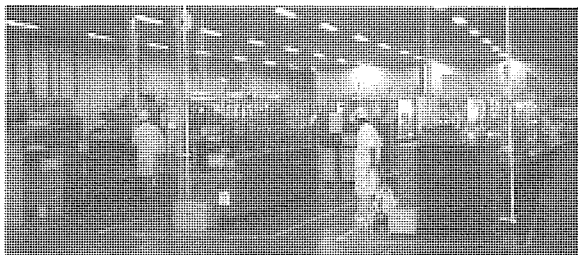


図6. MEMのドラム自動組立ライン

ークマスタ方式を導入した。従来からのマスタは、実ワークマスタの検証用とした。

しかし、現地の立ち上げ時、高い湿度による影響で製品に使用する厚さ数ミクロンのシム、スペーサ同士が密着し、1枚ごとに分離できず、設備の稼働率が低下するという思わぬ事態も発生した。これにはシム、スペーサを設備に供給する前に、乾燥室内でストックごと保管するという現地運用で対策した。このほかにも国内で想定していない問題が多々発生したが、それらについても現地スタッフと協議の上、アイデアを出し合って対策を行った。

3.5 工作技術上の対策

3.5.1 切削部品の現地調達化

内製部品と現地で調達可能な部品を比較した場合、加工の精度は同等のレベルであった。しかし、切削後の洗浄法が、内製品では水洗浄であるのに対し、現地調達品は溶剤洗浄であるため残留油分が少ないことが分かった。Uドラムでは、アルミ製のL/Dにステンレス製のシャフトを高精度に圧入する工程がある。残留油分が少ないと、圧入力が非常に高くなり、圧入精度がばらつくという現象が発生する。圧入力を下げる対策として圧入前に微量の潤滑剤を塗布する方法もあるが、油脂は製品機能に悪影響を与えるため、アルコールを塗布することで解決した。その結果を図4に示す。このアルコールは、他の工程でも使用しているため、新たに購入する必要がない。

アルコール塗布によって圧入力が約1/3に抑えられた結果、圧入精度が安定化し、高い良品率を実現した。

3.5.2 硬化促進剤の変更

乾燥させてから接着しなければ効果が発揮されないものである。国内工場の場合、硬化促進剤は国内でのみ販売されているアルコールベースのものを原液で購入し、工場内で1:39にアルコール希釈の上で使用している。しかし海外では同じものが入手できないため、調達可能品に変更する必要があった。そこで、接着剤メーカーの協力の下、現地入手可能な種類を選定した上で、高温・多湿という環境も考慮した各条件下での接着強度を測定し、比較・検証した。

この結果、図5に示すように、従来とほとんど同等レベルの接着強度が得られ、アセトンベースの硬化促進剤(メーカーでアセトン希釈済み)を現地調達できることが分かった。また、アセトンはアルコールに比較して乾燥速度が速いことから、従来品よりも乾燥時間を短くでき、設備のタクトアップも図れるという有利な点があった。

4. Malaysiaでのライン立ち上げ

MEMにおけるドラム組立ライン立ち上げ工事は、現地スタッフ、部品メーカー等の多大な協力の下に、1.5か月という短期間で完了した(図6)。量産稼働開始後、約2か月で生産能力は計画値の90%にまで上がり、良品率は国内生産時と同じレベルを達成している。部品の現地調達率は立ち上げ時点で97%に達しており、1年後には100%にする予定である。このように、生産台数、品質、現地調達率ともほぼ最終目標を達成できた。

5. むすび

今回、ドラムの自動組立ライン移管により、VTR開発・設計拠点としての国内工場、生産拠点としてのScotland工場(MELL)を含め、MEMと全世界規模の生産体制が整備された。

品質においては、国内工場はISO9001を、MELL、MEMはISO9002をそれぞれ取得済みであり、世界最高水準の品質を確保している。

今後も現地に根ざした、環境に優しい工場作りとともに、高品質、低価格なVTRを提供していく所存である。

携帯電話の自動検査と品質情報管理システム

広兼竜一* 笹井浩之***
 山田 剛* 岩井匡代+
 広岡邦江** 増田 隆+

要 旨

携帯電話市場は、小型軽量化・低価格化が急速に進むとともに、製品のライフサイクルは年々短くなり、要求品質は非常に高くなっている。このような市場環境の中で量産立ち上げを素早く行い、高品質・低価格な製品をタイムリーに供給するため、自動検査ラインと品質情報管理システムを構築した。

自動検査ラインでは、すべての検査が自動化された。自動化実現の前提は生産設計である。ここでは、この生産設計と、これを通して構築された自動検査ライン、及び品質情報管理システムについて述べる。

(1) 生産設計

製品の開発段階から生産設計を行い、自動検査ラインを構築する上で必要なアイテムを製品設計に織り込んだ。

(2) 自動検査ライン

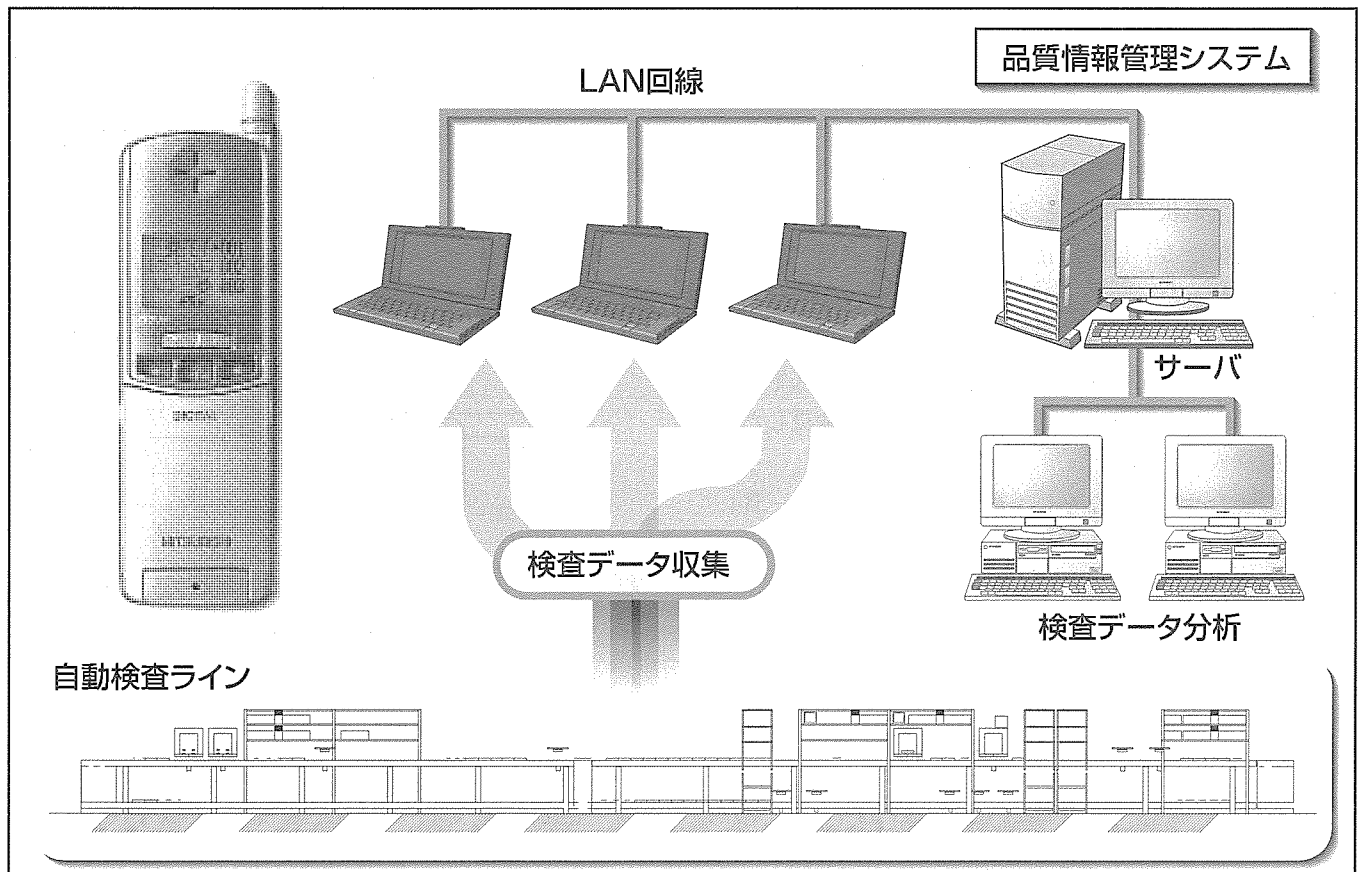
携帯電話の検査には、官能検査を含め全部で6工程の検査がある。この自動化に必要な要素技術開発を行い、自動検査ラインを構築した。

(3) 官能検査の自動化

従来、人の耳や眼によって判定していたキー動作、LCD検査、通話検査(音響びびり、音割れ)を自動化した。

(4) リアルタイム品質情報管理システム

一つのデータベースをクラスタ接続した二つのUNIXサーバがアクセスすることで、検査データをリアルタイムに収集し、即座に分析できる品質情報管理システムを構築した。



携帯電話の自動検査ラインと品質情報管理システム

すべての検査を自動化することで、検査データを定量的に把握し、客観的に合格/不合格の判定が行えるようになってきている。また、こうした検査データを、LAN回線を通してリアルタイムに収集し、直ちに分析することで、常時、製品の品質を監視し、即座に改善アクションに結び付けられる。これにより、量産立ち上げ初期から品質の安定化と品質改善を実現した。

1. ま え が き

携帯電話市場は、端末自由化後、急速に市場が拡大し、小型軽量化・低価格化が進んでいる。また、製品のライフサイクルは年々短くなり、要求品質は非常に高いものになってきている。こうした市場要求にこたえるため、メーカーは、量産立ち上げを素早く行い、高品質・低価格な製品をタイムリーに供給していかねばならない。

一方、多くの機能を備え、最先端の電気部品を使用した精密機器である携帯電話は、現状、組立て後の調整と全数検査が欠かせない。さらに、官能検査など人手によるものがあり、量産立ち上げ初期から品質を安定させることが課題になっていた。

この課題を解決するために、全工程を自動化した検査ラインと、各工程の検査データをリアルタイムで処理し分析する品質情報管理システムを構築した。

自動化は、常にワーク(携帯電話)を対象に構築されるため、対象ワークの仕様が自動化そのものを決定する。そこで、求められるのは生産設計となる。自動化に向けた生産設計と、これを通して構築した自動検査ライン及び品質情報管理システムについて以下に述べる。

2. 生産設計

自動化を行う上で重要なことは、装置とシステムを極力汎用化し、シンプルにすることである。これを実現するには、対象ワーク自身がシンプルであること、また、対象ワークの機能・形状及び装置とシステムの仕様を合致させることが必要になる。自動検査ラインの実現に向け、以下の生産設計を行った。

(1) 完全電子ボリューム化

パソコンによる完全自動調整化を行うために、人手によるメカボリューム調整から電子ボリューム化へ変更した。

(2) 基板構成の1枚化

基板の組合せ検査をなくし、基板から本体までの一貫した検査を可能にするため、基板構成を1枚に集約した。

(3) キー動作・LCD検査のテストモード化

キー動作・LCD検査を自動化するため、キー操作及びLCD表示をパソコンで制御できるように、製品に組み込まれているテストモードを変更した。

(4) RF同軸コネクタの切換え機能の追加

通常、携帯電話の検査は外部接続端子を使用するが、本体のアンテナ検査では、外部接続端子から本体のアンテナに切り換えて行う。この切換え操作を人手からパソコン自動制御に替えるため、RFスイッチを採用した。

3. 自動検査ライン

自動検査ラインは、図1に示すとおり、受信部検査、送信部検査、キー動作・LCD検査、通話検査、アンテナ検査、非電話検査の6工程で構成される。これらは、すべてフリーフローコンベヤ上に配置されている。

この自動検査ラインの構築前は、作業者が直接ワークにコネクタを接続し、パソコンと測定器を操作して検査をしていた。

そこで、自動検査ラインの構築に当たっては、まず自動挿抜コネクタを採用して、コネクタ接続を自動化した。次に、各検査工程の自動化に取り組み、自動化が完了した工程を順次コンベヤ上に展開した。

現在、ラインは24時間稼働しており、1ライン当たり、月産6万台の生産能力を保有している。ラインの全長は、約20mである。

3.1 ワーク搬送方法

作業者は、ワークを図2のパレットへセットする。このパレットは、フリーフローコンベヤによって、6工程ある検査工程へ順次自動搬送される。

ワークアダプタは、電池パックのロック方式を流用した機構で、ワークをパレット上に位置決めし、機種ごとの専

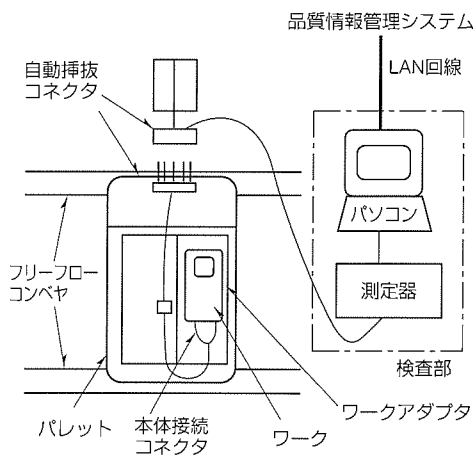


図2. 検査ステージの構成

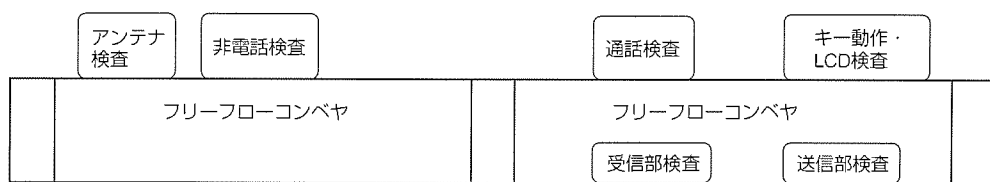


図1. 自動検査ラインの構成

用治具としている。

本体接続コネクタをワークに接続すると、各検査工程において電氣的接続がとれ、パソコンからワークの制御が可能になる。

3.2 検査動作

各検査工程は、検査所要時間に応じた複数のステージで構成されている。パレットがステージへ搬入されると、自動挿抜コネクタでパレットと検査部が接続され、検査を始める。検査完了後、パソコンは、検査結果をLAN回線を使用して品質情報管理システムのデータベースに書き込む。

すべての検査工程を完了したら、最後に全工程の検査結果が読み出される。作業者は、この内容をパソコン画面上で確認し、検査合格／不合格を仕分け、次工程へ送り込む。

3.3 新機種投入準備

立ち上げ期間の短縮と設備投資額削減の方策として、ワークと検査部とのインタフェース仕様を、機構、電気、ソフトウェアの各面にわたって機種間で共通化している。図2中の本体接続コネクタがこのインタフェース部分で、機種切換えがあっても共通で使用できる仕様になっている。

新機種投入時には、機種専用治具であるワークアダプタを製作し、この部分のみを交換する。

4. 官能検査の自動化

操作キーを押してLCDパネルの表示と動作内容を確認するキー動作・LCD表示検査と、シミュレータ(擬似基地局)を使用して通話機能と音質を確認する通話検査は、従来、作業者の官能検査であったため、自動化において特に要素技術開発が必要とされた。

4.1 キー動作・LCD検査

キー動作・LCD検査装置は、キー押し下げ機構、カメラ、コントローラで構成され、キー操作時のLCD表示を画像処理を用いて自動判定する。図3にキー動作・LCD検査装置のハードウェア構成を示す。

電話機の小型・高機能化により、狭小のキーを高速かつ低荷重で操作する必要があるため、小型エアシリンダによる押し下げ方式を採用した。画像処理には2値化パターンマッチング方式を採用し、LCD不良による表示ドットの欠落や本体回路不良による表示漏れ等の検査を高速化した。

キー操作は、次工程である通話検査の本体初期設定も兼ねている。1台当たり50回程度の押し下げ動作を行う。

4.2 通話検査

通話検査装置は、位置登録・待受け・発

呼・着呼・通話・終話等の機能確認とともに、バイブレータ検査と音響検査を行う。これらの検査以外に、従来別工程で行っていた待受け／通話時の電流測定や本体音響部品(マイク、レシーバ、プザー)の検査も併せて行う。図4に通話検査装置のハードウェア構成を示す。

検査ヘッドは、マイクロフォン、加速度ピックアップ、スピーカーで構成され、外部騒音やコンベヤ振動を遮断するため防音箱の中に設置されている。防音箱下部にはシャッター機構があり、パレットの出し入れを行う。防音箱内に位置決めされたパレットは、挿抜コネクタで本体のシリアルデータラインが接続され、検査がスタートする。

コントローラは、バイブレータ振動や音響信号の波形解析を高速化するため、DSPを内蔵している。DSPは、検査内容に応じて計測信号をチャンネル切換えし、計測と同時に波形のパワースペクトルを演算する。

パソコンは、DSPの演算結果を受け取って、所定帯域のスペクトルピーク(周波数、レベル)、高調波レベル(ピーク数、レベル)等を計算し、機種ごとに設定された基準値と比較して、良否判定を行う。

加速度ピックアップは、ウレタンゴム製のホルダに入っており、バイブレータ検査時に接触子をパレットに押し付け、振動周波数やレベルを測定する。同時にバイブレータ音も計測し、バイブレータ取付け不良による異音の有無を調べる。

音響検査は、まず本体をループバックモードにし、スピー

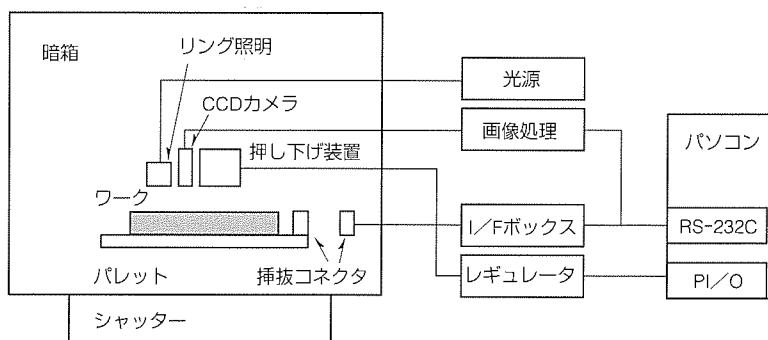
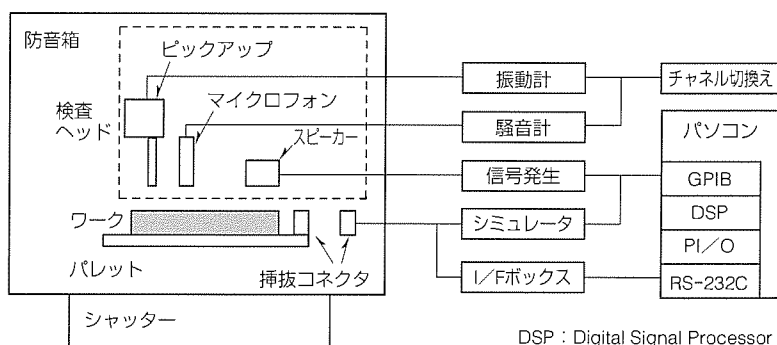


図3. キー動作・LCD検査装置のハードウェア構成



DSP : Digital Signal Processor

図4. 通話検査装置のハードウェア構成

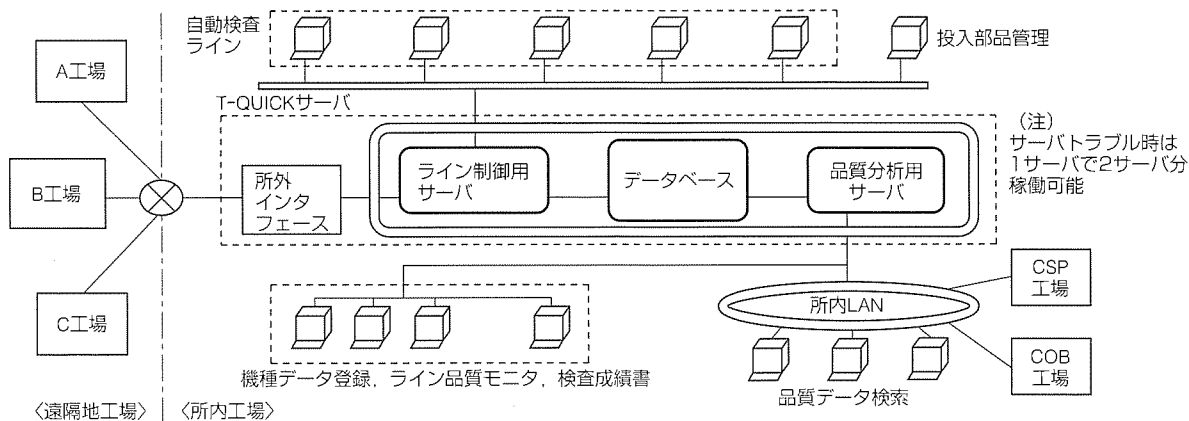


図5. T-QUICKのシステム構成

ーカーの基準音をレシーバで再生させて、音量と周波数ひずみを調べる。次に、シミュレータに接続して、ハンドセット部に基準信号を入力し、同様の検査を行う。音響検査では周波数域を広範囲に調べる必要があるため基準信号に高次成分を持った合成波を用い、高次成分の再生レベルや雑音の有無からびびりや音割れ等の音質不良を判定する。

この装置は1台当たり50秒で処理し、検査結果はパソコンのハードディスクに格納され、一定時間ごとに品質情報管理システムに転送される。

5. リアルタイム品質情報管理システム

品質情報管理システム(愛称:T-QUICK)は、携帯電話の組立てから検査にわたる品質情報を収集し分析する。その構成は、工程履歴管理や検査データをリアルタイムに収集するライン制御部と、収集した検査データを即座に分析する品質分析部からなっている。

5.1 ライン制御と品質分析

図5に示すとおり、T-QUICKのライン制御部は、最終組立作業において、誤った部品構成で組み立てられることを防止するため、投入部品管理を行う。また、自動検査ラインにおいて、工程履歴や検査データをオンラインリアルタイムで収集する。これらは、遠隔地の工場も想定し、統括的に品質管理ができるようになっている。

品質分析部は、収集した検査データを基に、ライン直行率や不良内容の統計処理などを行う。さらに、量産立ち上げ時や設計変更の前後における検査データを直ちに分析することで、変更における効果や他の機能への影響を素早く確認し、製品の品質を管理している。これらを実現するためには、収集データを即座に分析できることが前提になってくる。

5.2 ライン制御と品質分析の両立

生産量が月産50万台規模になると、接続するライン端末は400台以上、検査データや工程履歴データは、1日のトラフィック量にして、100万件以上になる。

ライン制御部は、この膨大なデータを、常時、自動検査ラインと連動して収集する。これに対して、品質分析部が随時100万件以上のデータ分析を実行すると、ライン制御部の処理スピードが不安定になる。これは、ライン制御部と連動した自動検査ラインなどの生産に大きく影響してしまう。

そこで、一つのデータベースをクラスタ接続した二つのUNIXサーバがアクセスすることで、ライン制御部と品質分析部が負荷分散できるようにした。これにより、ライン制御に影響なく品質分析ができるようになり、ラインが24時間稼働しても24時間即座に品質分析ができるようになった。

5.3 主要部品工場の品質管理システムとの連動

さらに、COB(Chip On Board)やCSP(Chip Size Package)といった主要部品は、すべて専用工場で製造され、組立工場に供給されている。この部品工場にも、別システムではあるが、品質情報管理システムを導入し、これとT-QUICKを連動させ、自動検査ラインで発生した不良を、部品の購入ロットはもちろん、製造ロットまで追跡できるようにした。この結果は素早く製造技術へフィードバックされ、早期品質安定化に貢献している。

6. むすび

携帯電話は、今後、更に多機能化し、多品種化していく。メーカーにおいては、よりきめ細かな品質管理が必要になる。そこで、使用する主要部品をロットのレベルまで管理し、より高度な品質を保証できるように、品質情報管理システムを拡張する。また、検査のみならず、組立作業にも自動化を拡大し、均一化された作業が安定して行われるラインを構築していく予定である。

この自動検査と品質情報管理システムは、海外生産拠点においても展開中である。特に、自動検査ラインは、携帯電話を調整・検査するという共通概念の下に、同様のラインが導入されている。

マイコンウェーハプロセスの短工期化

今井弘志* 清水孝雄**
 宮田和明* 小林則幸***
 石本俊司郎* 松井恒一+

要旨

マイコンは新製品開発競争の激しい自動車、携帯電話、テレビ、カメラ、プリンタ等に用いられており、これらの市場から“更なる短納期化”が強く求められている。

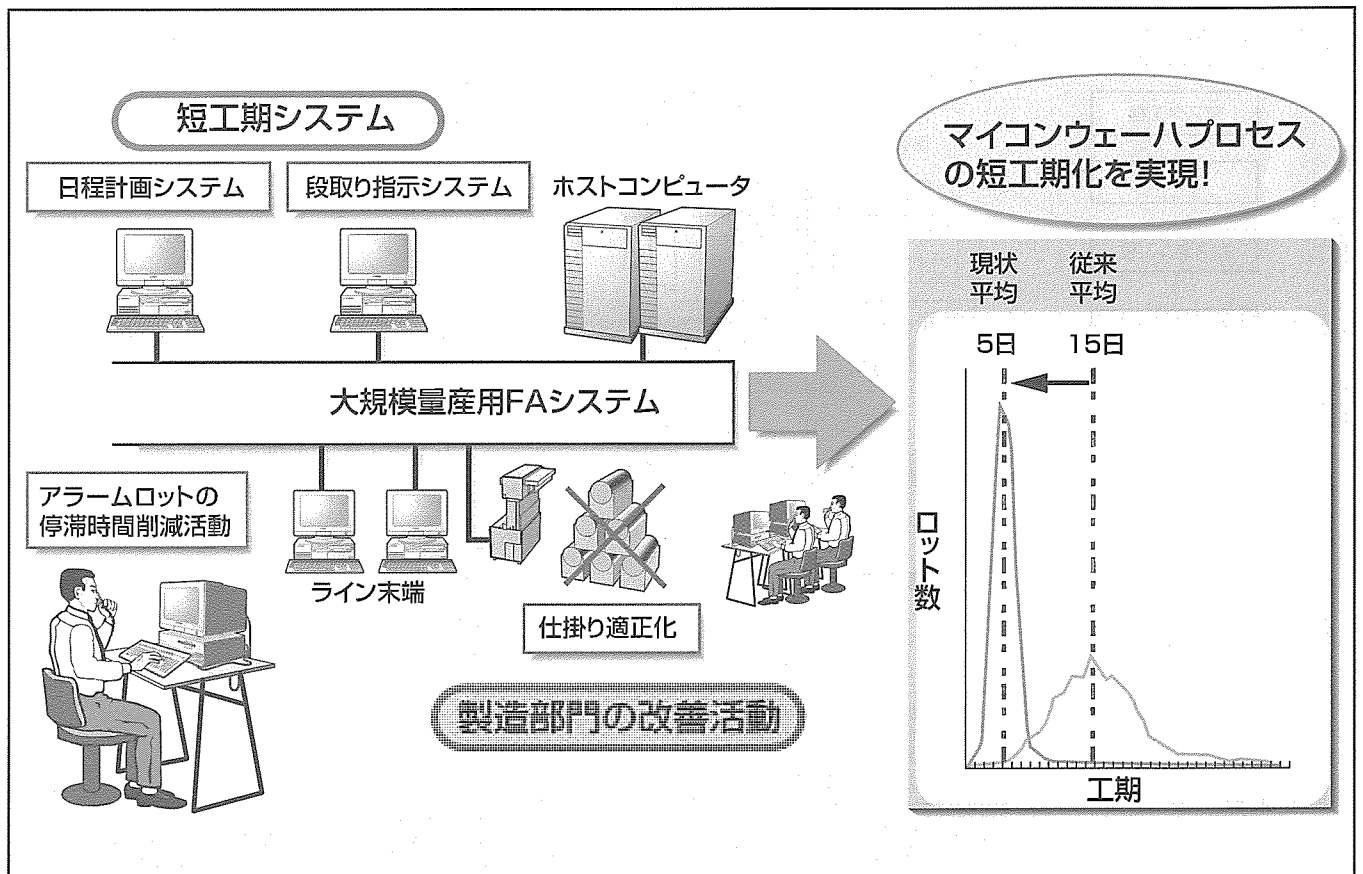
マイコンの製造工程は、ウェーハプロセスと組立検査に大別され、さらに前者は、マスタ工程(標準工程)、バンク(保管庫)、カスタム工程(顧客対応工程)に分けられる。顧客からの注文はバンクにあるウェーハへ割り当てるため、顧客から見た納期はカスタム工程の工期が重要となる。カスタム工期とは、製造工程の処理時間、工程間搬送時間、処理工程での待ち時間が合計されたものだが、ここでは、処理工程での待ち時間の短縮に向けた、製造部門での改善活動とカスタム工程の短工期システムについて述べる。

製造部門での改善活動では、工期を長期化させる要因で

ある仕掛り数を徹底して適正化した。また、技能者のレベルアップによって品質アラーム発生時にも速やかな対応がとれるようにし、ウェーハがスムーズに流れるようにした。

また、製品のコストアップを最小限にするため、既存の大規模量産用FAシステムを活用し、アドオン方式によるカスタム工程の短工期システムを開発導入した。その短工期システムは、ワーク(ロット)の処理優先順や装置の段取りを指示する段取り指示システムと、正確な日程計画立案と進ちょく(捗)管理が可能な日程計画システムで構成される。

これらを導入した結果、ウェーハプロセスのカスタム工程の平均工期を従来比1/3の5日にまで短縮した。



マイコンウェーハプロセスの短工期化

製造部門の改善活動と短工期システムのイメージ図を示す。工期ごとにロット数をプロットしたグラフで比較すると、従来は仕掛り分布が広く、平均工期が15日であったが、今回の活動後では、仕掛り分布が狭くなり、平均工期も従来比1/3の5日となった。

*三菱電機(株)西条工場 *同高知工場 **(株)アドバンスト・ディスプレイ
 ***菱電セミコンダクタシステムエンジニアリング(株)

1. まえがき

西条工場SC棟ラインで、マイコンウェーブプロセスのカスタム工程工期を画期的に短縮し、カスタム工程の平均工期が15日から5日になった。

西条工場SC棟ラインでは1チップマイコンを生産しているが、顧客が新製品を開発する際のマイコンのウェーブは次第に高まってきている。したがって、単に顧客の要求する製品の品質・性能・価格を満たしているだけではビジネスパートナーとは見てくれない。それに加えて、要求された数量を指定の納期で提供するということが極めて大切になっている。

マイコン生産は、メモリの見込み生産と異なり、受注生産形態を採っている。しかし、注文を受けた後一から作り始めるのではなく、標準工程であるマスタ工程までは市場動向を見極めながら作り、バンクと呼ばれるロット保管庫で待機させておく。そして、顧客の詳細仕様が決定すると、カスタム工程へ投入する。その後、ウェーブテスト、アセンブリ工程、最終検査工程へと進み、出荷となる(図1)。そのため、マイコンの納期を画期的に短縮するには、このカスタム工程の工期をいかに短縮するかがポイントとなる。

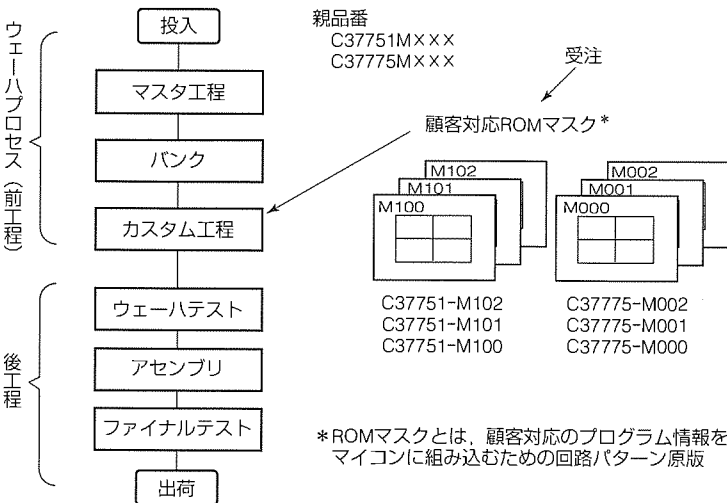


図1. マイコンの生産フロー

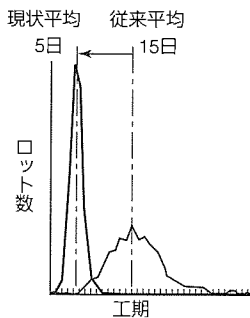


図2. 工期短縮グラフ

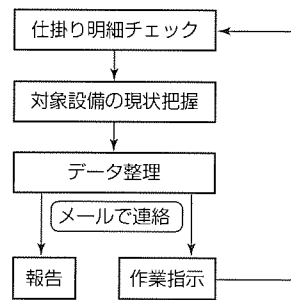


図3. フォロー手順

一般的には、工期を短縮するには、下記の3項の時間を削減しなければならない。

- (1) 製造工程の処理時間(1ロット当たりの加工時間)
- (2) 工程間搬送時間
- (3) 処理工程での待ち時間

このうち(1)項と(2)項については製造装置能力や搬送装置能力に依存することが多く、(3)項についてはロット処理順や段取り替えのタイミングの決め方など、運用方法に依存することが多い。

我々は、こうした工期遅延要因分析に基づき工期改善具体策を決定し、関連全部門一体となって活動した。そして、結果として、図2に示すように、従来の平均カスタム工期15日を5日に、また最短期としては、0.98日(23時間33分)の超短期記録を樹立した。

本稿では、それらの活動の中でも特に(3)項の処理工程での待ち時間削減に向けた、製造部門の改善活動とカスタム工程の短工期システムについて述べる。

2. 製造部門の改善活動

2.1 適正仕掛り運用

仕掛りとはライン内の半製品を指すが、多すぎると工期が長期化する要因となり、少なすぎると設備の稼働率がダウンする。そのため、過剰な仕掛りは削減し、適正な量の仕掛りを持つことが課題となる。

2.1.1 仕掛り削減フォロー手順の確立

毎日、製造部門で仕掛り状況をチェックする。そして、仕掛りが多い原因となっている設備の稼働状況や定期メンテナンスの状況を、関連部門へメールで報告する。このことにより、問題となる設備が関連全部門へ迅速に伝わり、情報の共有化ができ、早期解決へのアクションがとれるようになった(図3)。

2.1.2 かんばん方式の導入

受注情報に基づいて決められた工期で生産するためには“適正仕掛りの保有”と“問題となる工程の顕在化と迅速な改善”が必要であり、かんばん方式を導入した。具体的には、カスタム工程を5ブロックに分割(K01~K05)して各々に上限仕掛

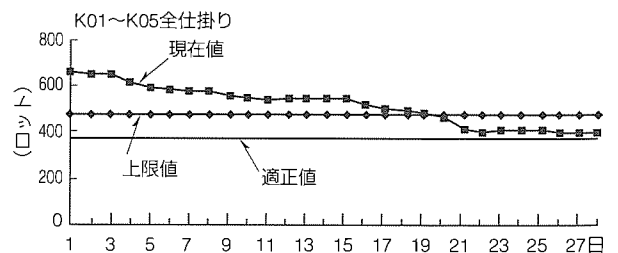


図4. 仕掛り推移グラフ

り数を設定し、各ブロックの仕掛りが上限を超えないようにカスタム投入及び各ブロックの最終工程の完了数をコントロールした(図4)。

2.2 アラームロットの停滞時間削減活動

従来エンジニアが処置していた製品アラーム処置の一部を製造ラインで処置できるように、交替制の“プロダクト技能者”と呼ぶ技能者集団を育成した。これにより、プロセス的に製品不良につながる可能性のある軽微なアラームの判断や処置が、即時に実施できるようになった。プロダクト技能者の呼称は、公募してPIT-IN(Productive Improvement Team for Innovation)グループとし、関係部門にも分かりやすくした。また、運営は毎朝、プロダクト技能者とエンジニアとでミーティングを実施し、前日の工程アラーム発生状況と処置の確認、及び教育の場とするようにした(図5)。

その結果、ライン技能者によるアラームロットの処置比率は80%以上になった。また、アラームによる停滞時間も初期の1/4の5.6時間/件に減少した。さらに、PIT-INのメンバーによるライン技能者へのプロセス教育の実施で、

ライン全体のレベルアップも図れた。

3. カスタム工程の短工期システム

NHKの特集番組“電子立国日本の自叙伝”で紹介されたように、半導体工場では、メモリ生産中心の大規模なFAシステムを構築してきた。それらは仕掛り(工期の長期化要因)を持って出来高が確保できればよかった。一方、マイコンでは納期が受注競争力を左右する。そこで、短工期システムの開発と導入に当たり、設備コストを最小にするため、出来高重視の既設FAシステムにアドオンする方式を前提にした。

そのポイントは、①基準情報とリアルタイム情報を既存FAシステムからデータベースサーバに蓄積、②その情報に基づいてパソコンで短工期のための各種情報を生成、③既存FAシステムへ指示を伝達するというものである。

以下で、①③に関してはシステムインフラ整備、②に関しては段取り指示システムと日程計画システムの開発導入として述べる。

3.1 システムインフラ整備

既存FAシステムと、今回追加構築したシステムについて述べる。

3.1.1 基準情報・リアルタイム情報

基準(フロー)情報が、ホストコンピュータ(ライン全体の管理を行う。)からデータベースサーバ(ME/S)に新規登録時や改訂時ごとに転送される。

ロット進捗データや装置稼働状況などのイベント情報がFAコンピュータ(FA制御を行うコンピュータ)からデータベースサーバにすべて転送され、それを集積することで最新のリアルタイム情報を得ることができる。

3.1.2 指示の伝達

3.2節以下で述べる各種システムで生成された指示を実行するために、技能者用の既存FAシステムの端末操作機能を利用している。

その手順は、①各種システムで生成したデータをサーバに転送し、スイッチ(ファイル)をONする。②スイッチ(ファイル)がONになるのを要求パソコンが検知すると、その要求パソコンが各種システムで生成されたデータをFAコンピュータに伝送する。このとき、マニュアル操作データと同様のルールで伝送する(図6)。

3.2 段取り指示システム

データベースサーバを介して基準情報や

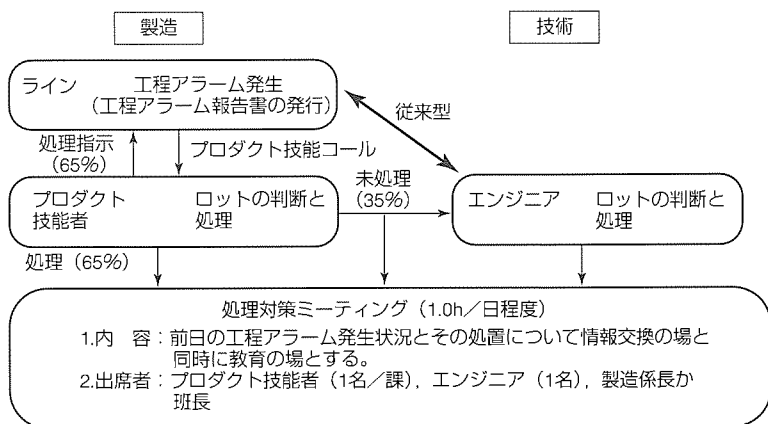


図5. PIT-IN運営方法

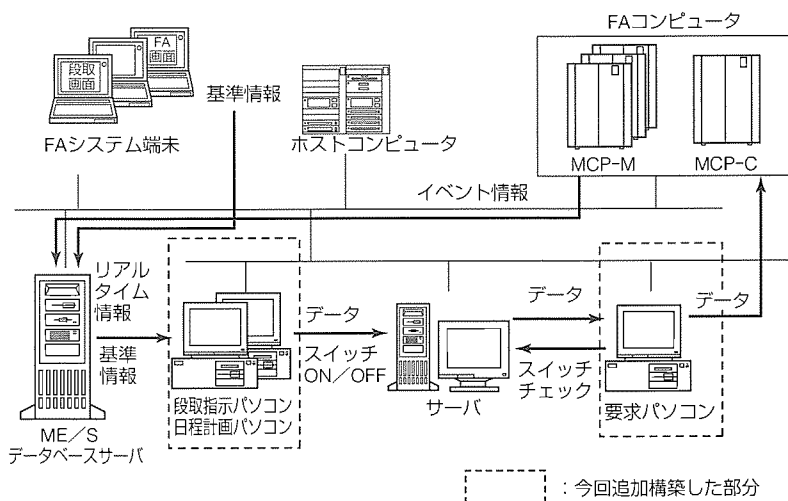


図6. システム構成図

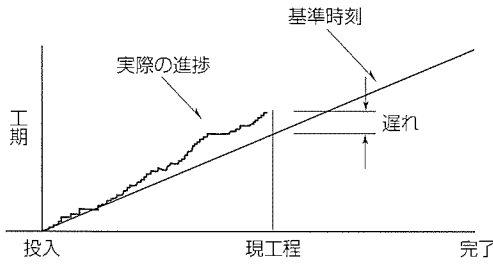


図7. 時刻表制御の考え方

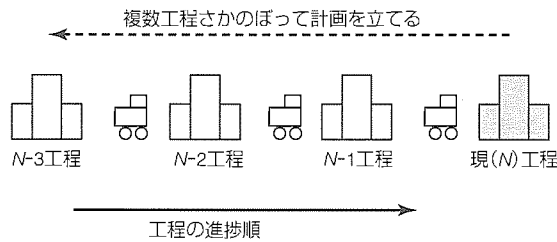


図8. 段取り指示の考え方

リアルタイム情報を得て、短工期のために以下の制御を行う。

(1) 時刻表制御

既存FAでは、先入れ先出しが制御の基本である。しかし、短工期のためには、待ちロットの中からどれを優先して処理するかを明確なルールで決定し、工期ばらつきを最少に抑えることが必要となる。そこで、ラインに投入されてから所定の工程に到着すべき時間を標準時間として各ロットごとに持ち、それに対して、遅れているロットを優先する制御を行う。また早すぎるロットを適正に修正する(図7)。

(2) 段取り指示

既存FAは、押し込み型の生産方式を採用したため、いろいろな工程で仕掛りの山を作っていた。段取り指示システムでは、引っ張り生産を目標とし、複数工程さかのぼった仕掛りまで考慮して段取り替えを行う。そのため、設備の1日当たりの目標処理能力を最大限引き出すことが可能となった。例えば、直前工程に現在処理中のロットと同種類のロットがあるのに、それを知らずに段取り替えを行いロスを引き起こすようなこともなくなる(図8)。

3.3 日程計画システム

設備のメンテナンス時間などを考慮した日程計画を立案すると同時に、その日程計画を達成するための進捗支援を行う。

(1) 日程計画データのメンテナンス

日程計画立案を毎日0時直後に実行する。そのとき、設備のメンテナンス計画を考慮した稼働時間設定や、多品種生産対応のプロセス条件設定ができた設備を追加登録したりする(図9)。

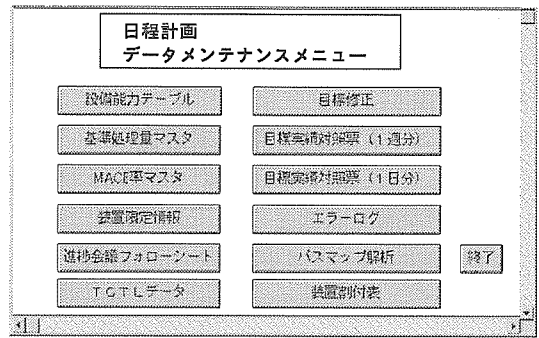


図9. 日程計画データメンテナンス画面

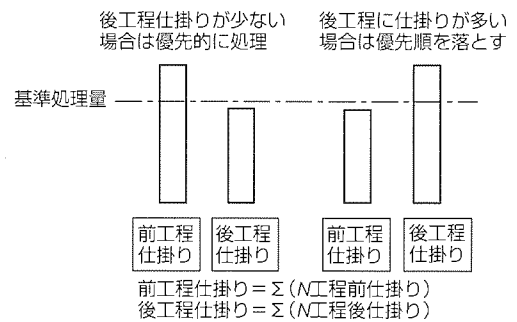


図10. 日程計画ロジック

(2) 日程計画ロジック

日程計画の計算手順は、まず投入実績と基準工期から品種工程ごとの目標基準値を決める。次に、ライン内の仕掛り状態と設備稼働状況から順次ロットを設備に割り付ける。このとき、自工程を境に前後の複数工程の仕掛りバランスを崩さず目標設定を行う。それによって仕掛りが平準化し、安定した生産ができるため、計画した工期でロットを流すことができる(図10)。

(3) 実績フィードバック

毎日の実績は翌日の進捗会議で報告され、その後、メールを用いて、製造・技術の主要な管理者に達成状況と未達成項目に関する状況説明が行われる。そして、問題点に対しては全部門で即応することとしている。

4. むすび

製造部門の改善活動と、カスタム工程の短工期システムの開発と導入を行った。この結果、平均カスタム工期が1/3に短縮され、短納期の要請にこたえられるようになった。今回はウェーハプロセスのカスタム工程を中心として述べたが、今後、マイコンの全生産工程を通した更なる短工期システムを構築し、顧客優先思考に則したサービスの向上を目指したい。

また、このシステムはASICやDRAMのウェーハプロセスの工期短縮にも有効であり、海外工場も含めて適用を拡大していく所存である。

換気扇工場の生産性向上

福山二郎* 桐 修一*
木枝鋼希* 竹腰幸典*
伊澤一重* 中原裕治**

要 旨

長野県の南端に位置する三菱電機の飯田工場は、中津川製作所の分工場として1974年から約四半世紀の時を刻んでいる。また、“市場ニーズに即応する先進工場”として、今や中津川製作所の基幹事業に成長させた換気扇生産の拠点である。

安価な労働力を求めて海外生産に移行することがある種の流行になってきている昨今、常に業界をリードしてきた飯田工場では、事業動向に連動した“組立て自動化”“CIM (Computer Integrated Manufacturing)”“工場内物流自動化”など明解な製造コンセプトの下、“Near the Market Production”を貫くための革新と改善を積み重ねてきた。

特に、換気・送風機群のキーパーツである小型ファンモータは、'90年に、自動化生産設計と製造自動化技術開発に

より、業界初の全自動生産ラインを導入した。この技術の機種展開と更なる技術開発により、継続的な自動化及び品質向上に努め、大幅な生産性向上を達成した。

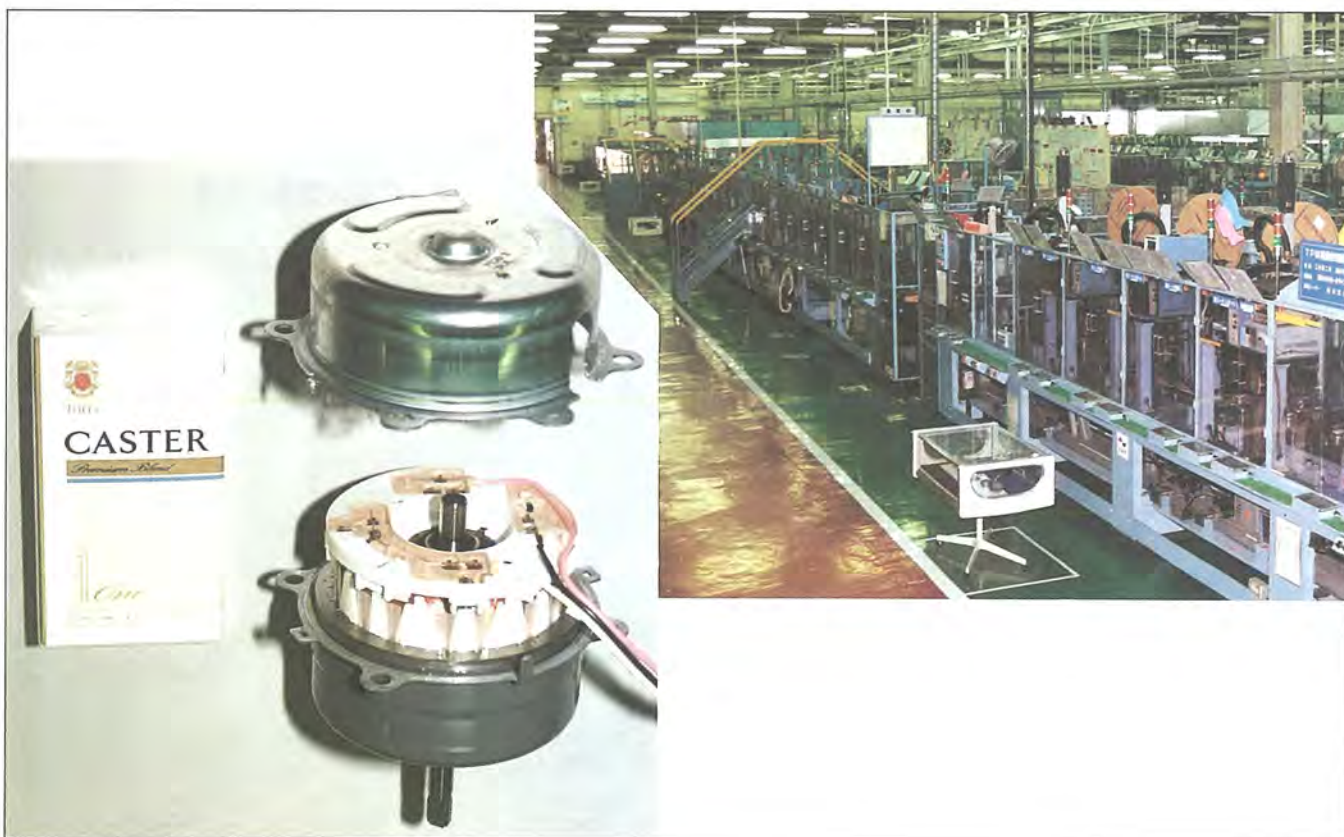
中でも、現在の生産設計、製造方式の基礎となっている新80φ(コア外径80mm)モータは、

- 16スロット2分割ステータコア構造
- ロータ先入れ巻線

等の特長を持ち、生産ラインは、

- 全自動化
- 巻線ラインの2機種混流生産
- 組立ラインの完全1個流し、自動段取り

を実現し、小ロット多サイクル生産に対応している。



新モータと製造ライン

新モータは、高品質・全自動化対応をねらいとして開発した2分割コア方式のコンデンサモータである。製造ラインは全自動一貫生産と小ロット多サイクル運転を実現したモータ組立ラインである。

1. ま え が き

飯田工場は、換気扇及びモータの専門工場として1974年に設立され、相次ぐ新製品の投入、FA化の推進、新生産システム導入等により、国内生産の優位性を保ち、常に業界のトップを維持してきた。

工場内は、近年、“モータ組立ての全自動一貫生産ライン”“部品・完成品を運ぶモノレール”“生産指示に連動した品ぞろえと払い出しを行う自動倉庫”など、顧客のニーズに合わせ大きな変革を続けてきた。

本稿では、換気扇事業環境の変化に連動して事業体質を強化してきた具体的な施策と、換気扇のキーパーツであるモータの革新的生産設計及び新生産方式について概要を紹介する。

2. 換気扇事業の環境

換気扇事業は住宅着工数によって大きく影響を受ける事業であり、国内全需は現在800万台と言われている。

市場環境は'80年代以降、顧客の多様化するニーズの中で、従来よりも増して高品質化・低価格化が求められてきた。また、工事店からは、工事進ちょく(捗)に合わせた厳格な納期要求が強まってきた。

こうした環境下において、当社の事業活動は、規模の拡大だけでなく、製品の質の向上及び顧客ニーズに合致した需要創造にも取組を拡大してきた。

また今後は、居住環境の更なる質的向上要求の高まりに対応する低騒音化、空気清浄、吸気、及び地球環境との共生を目指した省資源化・省エネルギー化等の追求、また高気密・高断熱住宅対応の通風を含めた換気システム化、空調機器との連動によるシステム化・複合化が進展すると予想される。

3. 事業の展開と工場作り

換気扇事業の展開においては、お客様の“満足”と“感動”を念頭に、一貫して顧客指向を目指してきた。これを具現化するために、工場は将来あるべき姿を目指し、以下の事業推進コンセプトの下に活動を強化してきた。

3.1 提案形商品の開発

信頼性・静音性の向上、及び薄形化による快適居住空間の追求、並びに取付け構造変更による簡易施工の追求をするとともに、製品開発と同期した自動化生産設計、及び製造要素技術開発による短期開発と量産垂直立ち上げを実現してきた。

3.2 納期対応力の強化

市場変化に即応し、必要なときに必要な商品を供給できる弾力的生産体制を生産・販売が一体となって追求し、販売情報と生産・出荷までをマーケットイン思想でシステム統合したことにより、お客様への納期の厳守、納期回答時間の短縮等のサービス向上に寄与してきた。

3.3 生産・製造技術の強化

当社独自の製造技術、自前の設備設計・製作、キーパーツの内製化等によって全自動一貫生産体制を追求するとともに、高効率、高信頼性設計による省資源・省エネルギー化の推進によって製品の高付加価値化を実現してきた。また、高度な設備オペレータの育成、及び設備・金型の保全技術力向上による設備総合効率の向上をねらいとした工場の体質強化策“TPM活動”を実施してきた。

4. 工場の変遷と概要

図1に、上記コンセプトの下に具現化してきた工場の主な変遷を示す。工場では、製品及びモータのモデルチェンジと合わせた自動組立ライン、市場即応形生産体制の確立を目的とした換気扇CIM、工場内物流システムを順次導入

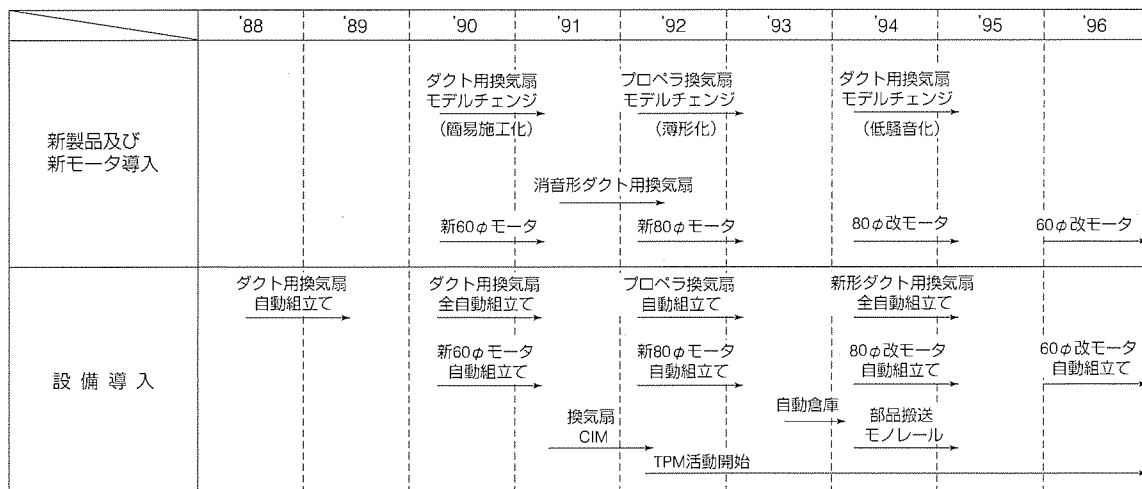


図1. 工場の変遷

するとともに、TPM活動を実施してきた。

以下、これらの概要を述べるとともに、5章で、工場の変革のかなめ(要)を担う革新的なモータ構造及び生産ラインを紹介する。

4.1 換気扇全自動組立ライン

工場では、シロッコファンを用いたダクト用換気扇と、プロペラファンを用いた標準換気扇の組立てを行っている。これらの組立ラインの先頭には板金きょう(筐)体加工機(製缶機)を設置し、鋼板コイル材から完成品こん(梱)包までを直結した一貫生産ラインとした。ラインの部品供給にキitting方式を採用し、生産量変動に対して作業人数を自由に変動させ、作業効率を向上した。

4.2 換気扇CIM

市場の売行きや在庫状況を正確に把握し、迅速に生産や在庫のコントロールに反映する、販売から生産までの一貫した情報システムの構築と生産設備の段取り改善、製品・部品の物流改善及び協力工場改善を実施することにより、生産期間を40日から5日に短縮するという生産体制を実現した。この結果、換気扇の即納率は95%、納期遵守率はほぼ100%となり、品切れなどの市場対応力を大幅に改善するとともに、製品在庫の縮減を実現した。

4.3 工場内物流

CIM生産の小ロット多サイクル生産により、品ぞろえ、マテハン作業が増加した。これが作業者の負担増となり、稼働率の阻害要因となってきた。この解決策として、自動倉庫と天井走行モノレールによる一貫物流システムを導入した。この物流システムは、生産指示パソコンLANシステムと連動し、後工程の進捗に応じた自動払い出しと前工程へのタイムリーな補充指示を行うことで仕掛り量を削減し、CIM完成度を高めた。

4.4 TPM活動

工場は'90年以降、急激な労働装備率の上昇に伴い、設備の効率的運用が重要な課題となってきた。このため、工場の体質強化を目的としたTPM活動“人と設備の体質改善”を進めることとし、'93年から“個別改善”“品質保全”“自主保全”等の活動の10本柱を置いて、TPMサークル活動によって“ロスゼロ”に全員が取り組んできた。

現在のところ、設備の勉強、現象分析、改善計画作成、改善工事等のサイクルを繰り返すことにより、従来と比較して設備総合効率は29%向上でき、設備故障回数は68%低減できた。

5. 小型ファンモータの全自動化ライン

5.1 モータ開発の経緯

工場では設立時から換気扇・空調機器等に使用する小型モータの生産を行っており、'90年に従来のモータ構造と全く異なる2分割コアモータを開発した。以降、このモータ

の設計・製造技術を更に難度の高い大型モータへ横展開するとともに、新技術を開発してきた。

従来のモータの製造方式は一体コア方式であり、巻線方式は、一般に、ステータコア内側の開口部からコイルを挿入する巻き落とし/インサート方式を採用している(図2)。

この方式は、コイル末端が遊離するため、コイル末端処理やリード線との接続工程等は人手に頼った製造方式であり、自動化が困難であった。ラインの機種切換え時においても、人手に頼るため、長い切換え時間を要していた。

このため当社では、換気扇CIMに対応した全自動小ロット多サイクル運転に適したモータ及び製造技術開発を推進した。

5.2 モータの構造

モータ革新のひな(雛)形である新60φモータ⁽¹⁾は、サニタリー用途も多いことから、製品の安全化・高品質化にも主眼を置いて開発したもので、電気絶縁性・耐湿性などの信頼性の向上、及び万が一の場合に備えた温度ヒューズの内蔵化によって安全性を強化したものであった。

これをベースに、新80φなど、新モータの設計と新生産ラインへ展開した。その中の代表例として、新80φモータの特長を以下に述べる。

5.2.1 2分割コア構造

(1) 磁界解析を活用した最適コア設計によってコアのティース部とバックヨーク部を分割した、16スロットの2分割コアである(図3)。巻線後にティース部をバックヨーク部にかん(嵌)合することにより、ステータコアとして完成する。

(2) ティース部は耐熱性樹脂で一体成形し、スロット絶縁と端子台を形成している。この構造により、インナーコア部の外側からじか(直)巻きでき、さらに、巻線後の末端処理の自動化を実現できた。

(3) 巻線直前でインナーコアにロータを挿入し、その上か

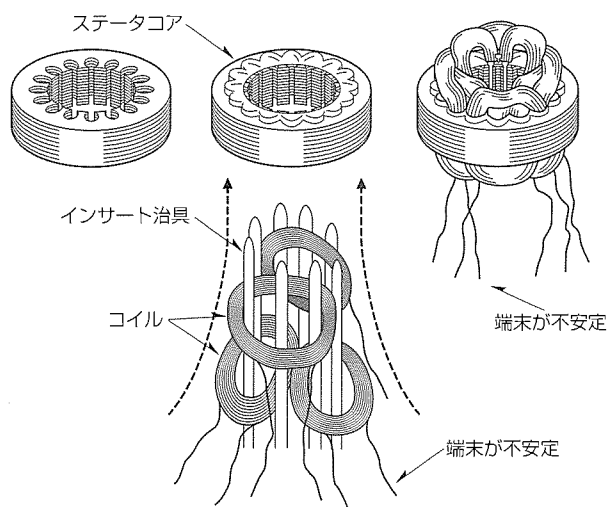
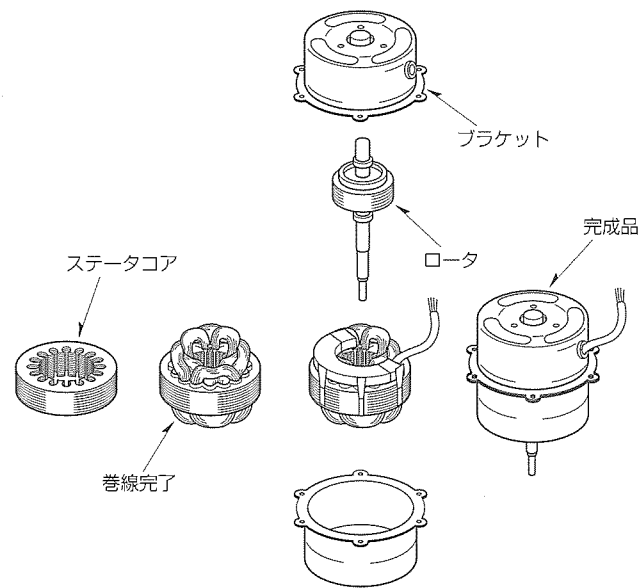
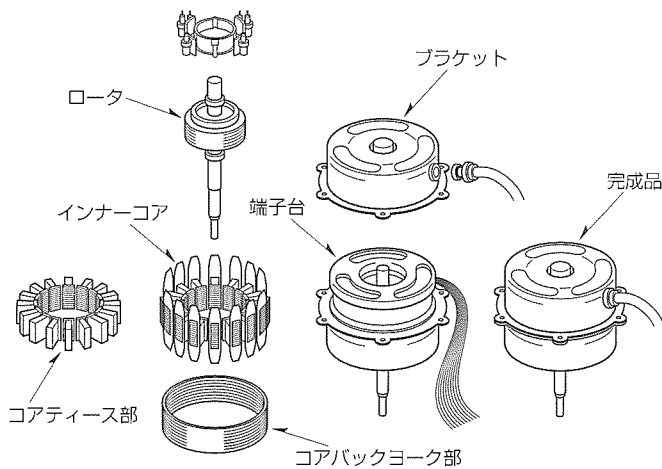


図2. 従来の巻線工程

ら巻線を行う構造としたことにより、大幅な銅量減を達成するとともに、モータの効率改善を実現した。



(a) 旧モータ



(b) 新モータ

図3. モータの構造

5.2.2 端子台方式

(1) 温度ヒューズや電源リード線接続部等を収納する樹脂製端子台プレートをブラケット内に設け、組立ての自動化に適した構造にした。

(2) 結線部はポッティング剤によって完全モールドし、製品の信頼性を高めた。

5.3 生産ライン

新80φモータの生産ラインは、図4に示すように、コア一体成形-巻線-組立てまでの全自動一貫生産ラインであり、主要設備は内部で開発し製作した。特に巻線ラインと組立ラインでは、段取り回数が従来比5倍の全自動小ロット多サイクル運転を実現した。これにより、モータの在庫量は従来比半減を達成した。

主な特長は以下のとおりである。

- (1) 高精度一体成形技術を開発し、インナーコアとアウターコアの精密嵌合を実現した。
- (2) 全自動直巻線機を開発し、コイル端末処理の自動化を実現した。また、直巻きすることにより、コイルの加工劣化、漏れ等の品質を大幅に改善した。
- (3) 巻線ラインと組立ラインでは、段取り情報をメモリカードで各ユニットに伝達する自動段取り指示方式を開発し、機種切換え時間を90%削減するとともに、機種の混入防止技術を確立した。
- (4) 巻線ラインでは、2機種混流生産方式を開発し、機種切換え頻度を半減した。
- (5) 融着電線の高速巻線技術を開発するとともに、コイル通電加熱固着技術を開発した。これにより、従来のワニス処理を廃止し、工場環境の改善、製造期間短縮を図った。
- (6) リード線の自動端末加工装着機を開発し、段取りの自動化も実現した。

以上に示すようなモータの生産設計・製造技術等の革新及び改善を積み重ね、他のモータへの横展開を図ってきた結果、現在では、工場生産されるモータの93%が新生産方式に切り替わり、この8年間で直接工一人当たりの生産

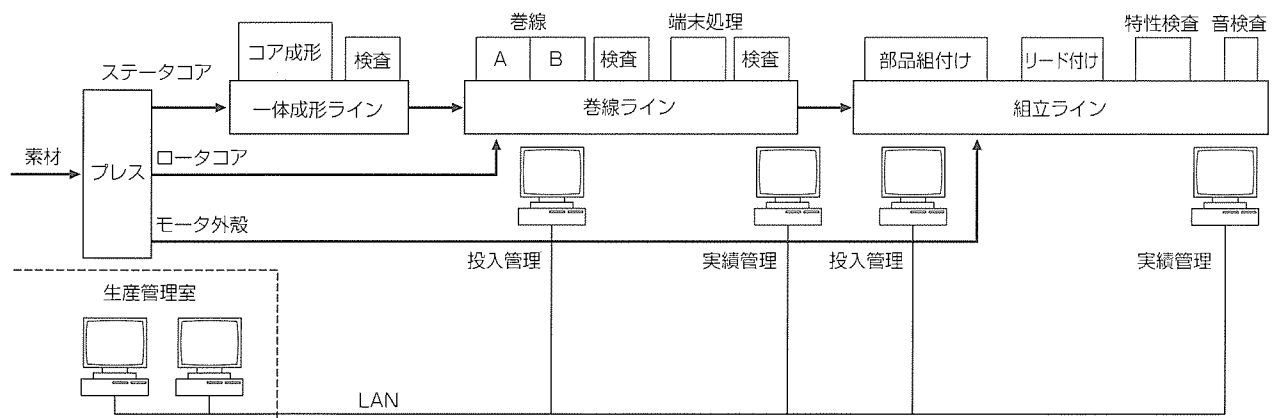


図4. 新生産ラインの構成

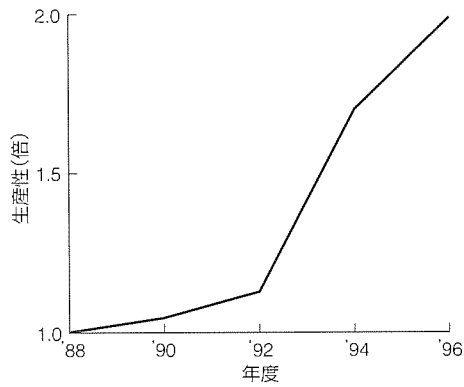


図5. モータの生産性

性を倍増できた(図5)。

6. むすび

以上、当社中津川製作所が行ってきた製品開発、製造技

術開発、工場の体質強化等により、国内生産の優位性を保ち、換気扇事業を発展できた。

今後も国内に市場がある限り、顧客の動向や多様化するニーズにこたえていくため、“新製品開発による用途拡大と需要創造”“新設計技術及び新製造技術による省資源・省エネルギー”“市場即応形生産方式の拡大”等にまい(邁)進するとともに工場に投入された設備を極限まで働かせ、設備に強い人作りを通し、真の量産モデル工場を目指す所存である。

参考文献

- (1) 後藤在利, 竹節 敏, 木村哲夫, 目賀田正宏, 三木昌康: 換気扇工場CIM化, 三菱電機技報, 66, No.3, 277~280 (1992)



照明器具の市場即応型生産ライン

土井清朗* 郡司正之**
三宅信輔* 佐々木一登志**
諏訪正一** 岡崎雄二**

要 旨

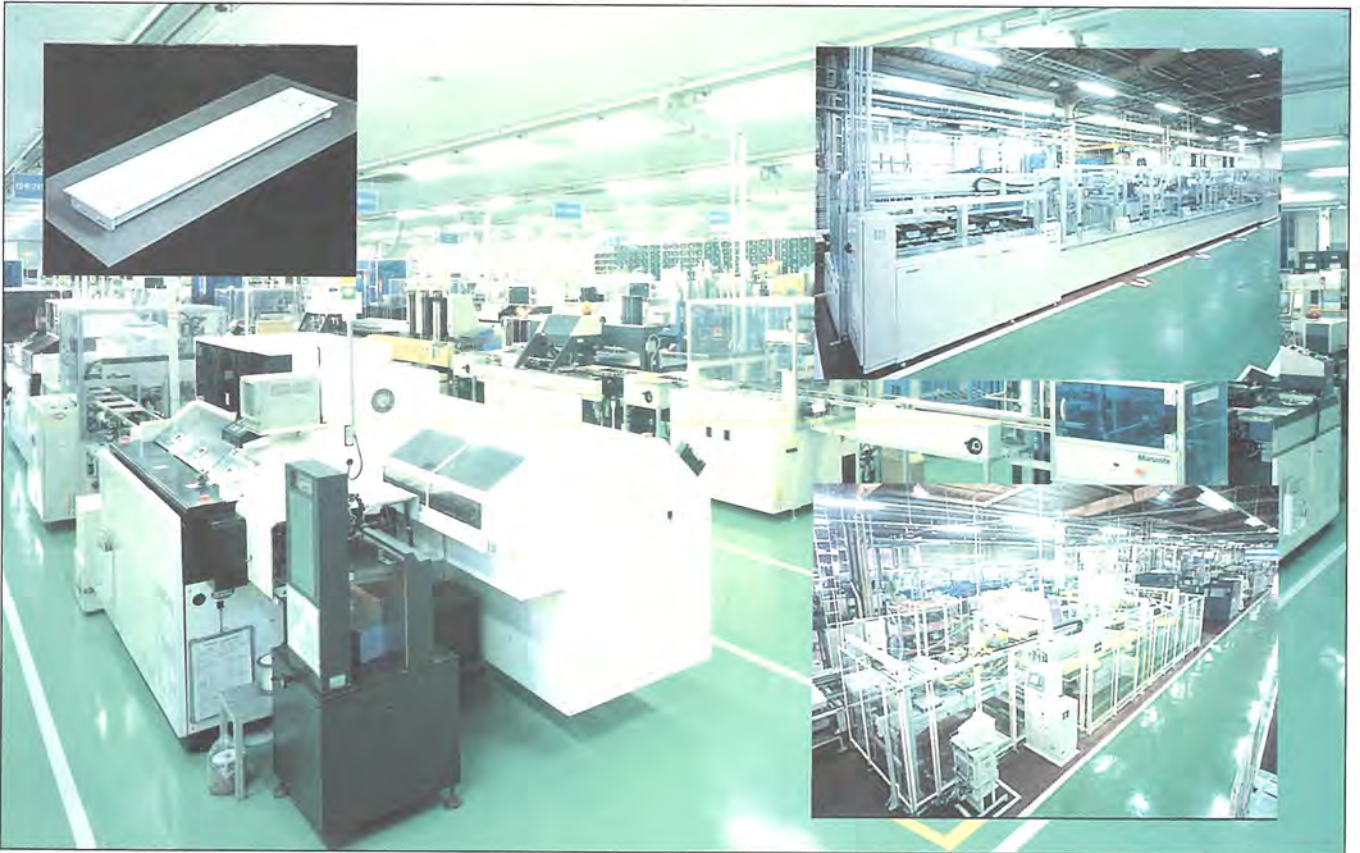
照明器具の市場では、市場に即応した製品供給のため、短工期・多サイクル生産が重要となってきた。三菱電機照明(株)では、その取組として生産管理システムの構築、生産ラインの一貫化などを行っている。

生産管理システムでは、大口受注情報の活用や顧客満足を指向した受注管理区分に基づく生産を実現する生産計画・指示などが行えるようにした。生産ラインの一貫化では、生産構造を見直し、社内外で“板金～組立て”の一貫生産化による短工期化を図った。そのモデルである社内の埋め込み器具のラインで、素材投入から完成品までの一貫生産による短工期を実現した。多機種・小ロットに対応したライン構成やFAシステムなどによって機種切換えロス削

減を図り、1台でも生産できるフレキシブルなラインを構築した。

一貫ライン構築と併せて生産設計を行い、金型レス化、工程の簡素化、素材の標準化などによって、小ロット多サイクル生産に適した製品を開発した。PCM(塗装鋼板)化による塗装工程の廃止はその代表例である。

キーデバイスである電子式安定器(インバータ)一貫ラインでは、ライン導入に合わせた基板の再設計と特殊異形部品挿入ユニットの開発・導入で全自動挿入を可能にした。実装/検査工程の充実と品質情報システムにより、市場不良発生時の迅速な対応が行えるようにした。



三菱電機照明(株)における市場即応の取組

機種数が多く、電源定格(100/200V, 50/60Hz)の違いを特徴とする照明器具において、短工期が求められる製造の各段階で市場対応の取組を行っている。生産ラインの事例として、埋め込み器具やインバータの一貫ライン化を紹介する。

1. ま え が き

照明器具は、多様な機能と意匠の要求にこたえ、さらに電源の電圧と周波数の違いも加わり、機種数が非常に多い(形名数で13,000機種)。近年では、流通側における徹底した在庫縮減と、それに伴う多頻度少量発注の増加が進んできている。多くの照明器具は建築工事に合わせて発注されるため短納期要求が厳しく、製品供給の円滑化は、顧客満足度向上を図るためのメーカーとしての重要課題である。市場の要求に即応しタイムリーに製品を供給するロジスティックスの活動の一環として、生産の短工期・多サイクル化は重要である。

本稿では、三菱電機照明(株)における生産の短工期・多サイクル化への取組の中で、生産管理システム、フレキシブルな一貫ラインの構築事例などについて紹介する。

2. 市場即応の生産管理システム

2.1 製品の管理区分の導入

需要規模、特性、製造オーダー発令パターンなどに応じた製品の管理区分(表1)を設定し、それぞれの製品特性に最適な管理と物作りを展開している。

2.2 大口受注情報の活用

施設用照明器具の売上げ構成比の8割は大口受注が占めている。大口受注情報を事前に把握し、顧客の要求納期に円滑に対応するために、大口受注予約システムを営業情報システム“MOLDIS”(Mitsubishi On Line Distribution Information System)の事前登録機能を利用して構築した。予約情報に基づき、材料の前倒し発注や能力・負荷調整による生産の平準化を行えるようにした。

2.3 生産計画

製品の管理区分に応じた生産方式を実現するため、目標とする即納率を確保できる最適在庫量の設定、及び生産出荷計画立案の自動化と精度アップを図った。計画に影響する新製品、製品・景気動向、季節性、同業他社との競合といった要素を、計画者が付加できるパラメータとして取り入れた。

変動の大きい負荷に対して一定の生産能力で顧客の要求を満たすために、在庫状況に応じた生産優先順位付けを行い、生産指示を出すようにした。さらに、生産指示の弾力

化・最適化を実現するために、図1に示す順次確定生産方式⁽¹⁾の導入を推進中である。

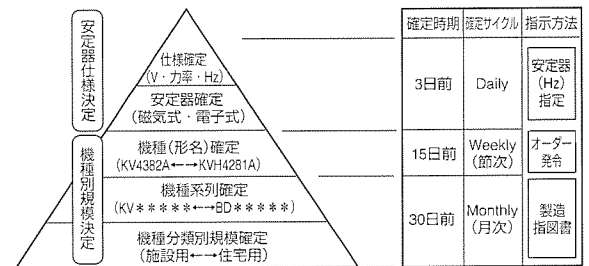
3. 短工期・多サイクル生産対応のライン構築

市場対応の短工期・多サイクル生産を実現するため、機種系列別に生産構造を見直し、再構築を実施した。製品形状(構造)に基づく機種系列別に“板金～組立て”の一貫生産化を図った。社内は一貫ライン化し、主要協力工場は板金設備の移管と技術指導で一貫生産工場として育成し、静岡地区照明企業集団を確立した。これにより、素材投入から完成までの製造工期短縮を達成した(表2)。

一貫ラインの代表的な例として、埋め込み器具(図2)のライン導入事例を中心に紹介する。

3.1 埋め込み器具一貫ラインの基本概念

多種多様な照明器具に対する市場要求に即応するためには、少量から中量にわたる多機種を短工期でフレキシブルに効率良く生産できるラインでなければならない。また、新分野や新光源対応の新製品をタイムリーに市場投入できるように、開発期間の短縮と開発コストの削減を図ることも求められている。従来は、製品ごとに専用の板金金型を使用してきた。このため、生産量の少ない機種は、コストが高くなるとともに、生産準備に手間取り、顧客要求にこたえることが困難であった。



〈順次確定生産の考え方〉
毎月初めに立案される月単位の機種別生産計画(先12か月)から翌月の規模確定と翌々月の長納期共通部品手配のため、負荷調整を実施して機種系列別規模を確定する。機種系列を施設/住宅用などの分類でまとめた機種分類別の生産規模も、この時点で確定となる。機種(形名)の確定は2節先の1節分を毎節オーダー発令していくことにより行う。従来の1回/月サイクルを4回/月とし、多サイクル化を実現。

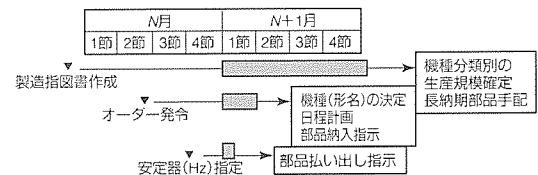


図1. 照明器具における順次確定生産方式

表1. 製品の管理区分

| 区分 | 顧客満足(CS)方針 | 基準 | 生産方式 |
|------|-----------------------------|------------------|---------------------------|
| A | いつでも在庫がある | 即納率95% | 計画生産・短納期対応 |
| B | 単品分は在庫がある (大口分は予約が必要) | 即納率95% (納期厳守) | 多サイクル化 (予約による前倒し材料調達) |
| C | 注文品なので納期がかかる (物件分は予約が必要) | | 受注生産・短納期対応 (予約による材料調達) |
| D, E | 特殊品なので納期がかかる | | 受注生産・短納期対応 |

表2. 器具の一貫生産化による製造工期の短縮

| 器具機種群 | 製造工期 |
|-------|---------|
| ①埋め込み | 5日→12分 |
| ②機種A | 5日→6分 |
| ③機種B | 90日→3日 |
| ④機種C | 45日→30分 |

そこで新ラインでは、新製品を含め1台ロットでも効率良く短工期で生産することを基本概念とし、以下の取組を行った。

- 生産設計による素材と金型の標準化
- 変化部分のユニット化と自動化(ケース、電装ユニット)
- 板金から組立てまでの一貫FAライン

3.1.1 生産設計と製造方式の開発

最新の加工技術・自動化技術を駆使してフレキシブルな一貫ラインを実現するために、設計者と製造技術者が一体となり、以下の生産設計と製造方式の開発を進めた。

(1) PCM化

製造工期短縮のために従来あった塗装工程の排除は必ず(須)であり、PCMを用いた製品設計を行う必要があった。しかし、これを実現するには、二つの課題をクリアしなければならなかった。

一つはケースと端板の接合方法である。従来のスポット溶接の代替として、強度と意匠性を両立できるかしめ技術を導入した。

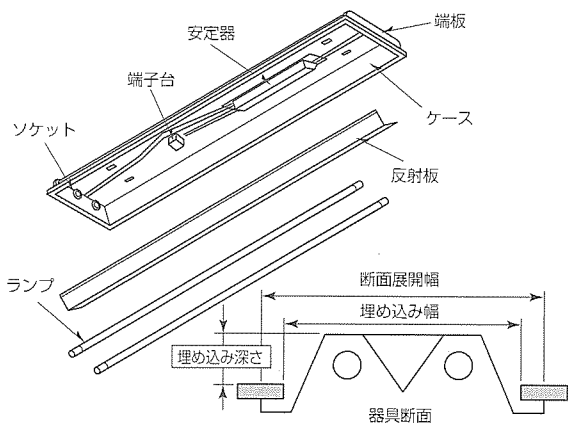


図2. 埋め込み器具の構成

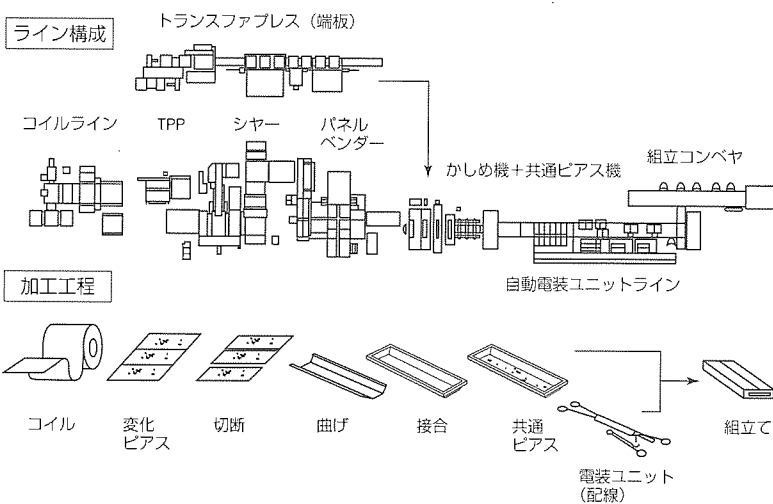


図3. 埋め込み器具ラインの構成と加工工程

もう一つの課題は、安全対策としての鋼板のエッジ(ばり)処理方法である。これに対しては、パネルベンダーを用いて指が鋼板のエッジ部分に触れることのない端部曲げ形状を採用し、安全性を確保した。

(2) 素材の標準化

調達期間の短縮、入着材料の管理業務削減、生産時の素材段取り削減のため、素材を標準化した。従来のケース、反射板の素材は各器具の幅に合わせたスリットコイルを用いていたため、種類も多く、納入までの期間もかかっていた。今回は、ランプ長の幅のマスタコイルを用いるようにし、種類を大幅に削減した。鋼板メーカーでも、スリット加工工程を排除でき、コスト削減と製造工期を短縮できた。また、素材交換回数の削減により、ラインの稼働率向上にも効果があった。端板の素材も同様に埋め込み深さ幅を改め、埋め込み幅のコイルに変更し、素材の標準化を行った。

(3) ケース金型の標準化

タレットパンチングプレス(以下“TPP”という。)で機種切換えをプログラム変更のみで行うためには、打ち抜き用の工具(以下“ツール”という。)を収納しているタレット内の配置の固定化が必要である。従来の製品設計のままではツール総数が60必要で、固定化できなかった。製品の加工要素を個々に機能別に分析し、必要な加工形状を見直し、ツール総数を44まで削減するとともに、TPP側も44ツールが収まるような特殊タレットにすることで固定化し、TPPの段取りレスを実現した。

TPP加工は、汎用性が高い反面、大きく複雑な形状は複数回の打ち抜きが必要であり、加工時間が長くなる問題がある。そこで、製品の加工形状を分析し、TPPは機種固有の形状を加工し、機種間で共通な加工はプレスでピアス加工を行う構成とした。これにより、加工の柔軟性とタクトの両立を実現できた。さらに、TPPでは、多数個取りによって材料供給(セット)時間とツールの交換時間を削減し、製品当たりの加工時間を短くした。

端板の加工についても、従来品では器具断面ごとに専用の金型が必要な製品形状であったため、5セットの金型が必要であった。今回は、1セットの金型ですべての複数の断面に対応できるように製品形状を見直した。これにより、金型費用を抑制でき、段取りをなくすことができた。

(4) 電装部品の標準化

従来は機種対応で種類の多かった電装部品のうち、ソケットを3種類に、端子台を1種類に集約した。併せて、電装部品の取付け位置を標準化し、配線長及びケース金型も標準化した。

3.1.2 ライン構成

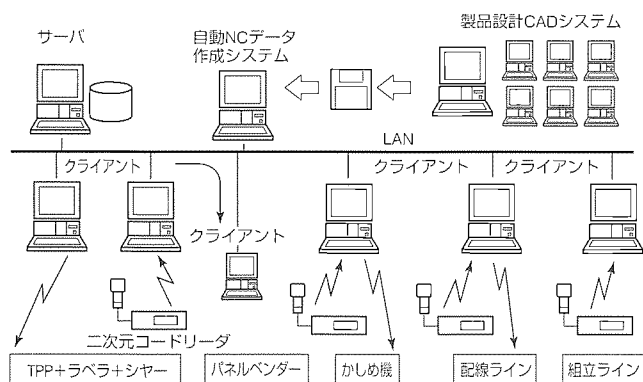


図4. FAシステム

埋め込み器具のラインは、図3に示すとおり、板金から組立てまでの一貫ラインとした。大きく分けて、板金加工、電装ユニット、組立てである。一貫ラインの課題である機種切換え時のロスを最小にするため、板金加工は、設備をTPPとパネルベンダーなどの汎用NC(数値制御)機で構成した。電装ユニットラインは、新規に開発・導入して、板金加工と同様に瞬時機種切換えを可能とした。

3.1.3 自動電装ユニットライン

電装部品間の配線作業は、従来から自動で行っているが、機種ごとに動作が異なり、段取りに時間がかかっていた。電装部品をケースに取り付けた後で配線していた方式を改め、パレット上に配置した電装部品間を先に配線し、電装ユニット化して、最終組立てで電装部品をケースに取り付ける方式に変更し、新たに設備を開発した。これにより、配線動作手順を一定にでき、機種切換えは部品種類や配線長など図面パラメータの変更のみで行え、設備をシンプルにできた。流れてくるケースに合わせて機種に依存する電装部品を選択し、汎用パレット上で配線することで電装ユニットを自動で生産する。ケースと電装ユニットを組立コンベヤと一緒に供給することにより、ラインの作業者は機種切換えを意識せずに標準化された取付け作業に専念できる。

3.1.4 FAシステム

設備をラインとして効率良く稼働させるために、パソコンベースのFAシステムを開発し、段取りレスの1個流し自動化ラインを実現した。図4にFAシステムの概要を示す。ラインに敷設したLAN上にサーバを配置し、各自動化設備ごとにクライアントとパネルベンダー以降の工程用二次元コードリーダーを配置し、シヤア(板金切断機)にラベラ(ラベル印字・張付機)を組み込んだ。

まず、製品のCAD情報を自動NCデータ作成システムに入力し、各設備に必要なNCデータを作成して、機種情報としてサーバ上のデータベースに登録しておく。生産時は、

(注1) トランジスタとサーマルプロテクタを熱収縮チューブで一体化したサブ組立品

入力されたスケジュールに従ってTPP、シヤア、ラベラに必要なデータをダウンロードする。TPP、シヤアはそれによって材料を加工する。ラベラは製品情報・ワーク識別情報を二次元コードとしてラベルに印刷し、これをワークに張り付ける。パネルベンダー以降の設備はすべて二次元コードリーダーで加工直前にラベルのコードを読み込み、必要なデータをサーバからダウンロードし、それによって加工を行う。さらに、各設備で読み込んだコードの通過情報をモニタして集計することにより、稼働状況、進捗よく(捗)状況、生産実績のリアルタイムな把握を実現した。

3.2 電子式安定器一貫ライン

省エネルギー対応の照明器具のキーデバイスである電子式安定器(以下“インバータ”という。)においては、器具の生産に対応した短工期・多サイクル生産とともに、従来の磁気式安定器との対抗上、低コスト化が求められている。製造工期短縮と省力を目的に自動化一貫ラインを構築した。

3.2.1 インバータ基板の全自動実装化

ライン構想と連携した自動化対応の基板再設計、特殊異形挿入ユニットの開発により、合理化対象基板において100%の自動挿入を可能にした。自動挿入が困難であった特殊異形部品(トランジスタAss'y^(注1)、プルスイッチなど)の挿入ユニット開発により、高信頼の自動挿入を実現した。

3.2.2 検査・試験の全自動化

実装工程内での作り込み品質向上をねらい、実装工程では各種チェックを強化した。また、はんだ付け外観検査、インサーキットテスト、ファンクションテストなど何重にも自動検査することで、万が一の不良の流出を防止するとともに、迅速なアクションによる100%良品化を推進している。さらに、一層の品質安定化のため、検査データをリアルタイムで収集・分析する品質情報システムを構築中である。

4. むすび

製品設計と生産技術のコンカレントな活動により、埋め込み器具などにおいて、製造工期を短縮することができ、当初のねらいである少ロット多サイクル短工期の生産と自動化を実現できた。このように、情報システム、生産構造、設備などで市場即応型のインフラを整備してきた。

市場即応を実現するには、これらインフラ整備とともに、運用面も一層充実しなければならない。市場や製品の変化に迅速に対応して変更が容易に行えるラインの構築を進めていく。

参考文献

- (1) 秋山雄一, 二見真人, 岡本尚郎, 小山克巳: 市場対応型生産システムの構築, 三菱電機技報, 66, No. 3, 293~297 (1992)

タイMCP社エアコン生産工場における 一貫生産体制の構築

大塚哲也*
平石康太郎**
白瀬洋治**

要旨

三菱電機では、このたび東南アジアの一大空調機器生産拠点として、事業方針である“消費地立地生産”を基本に、当社を代表する海外工場を建設し、ルームエアコン、パッケージエアコン(Mr.SLIM, 大型パッケージエアコン シティマルチ)を1997年9月から生産開始した。

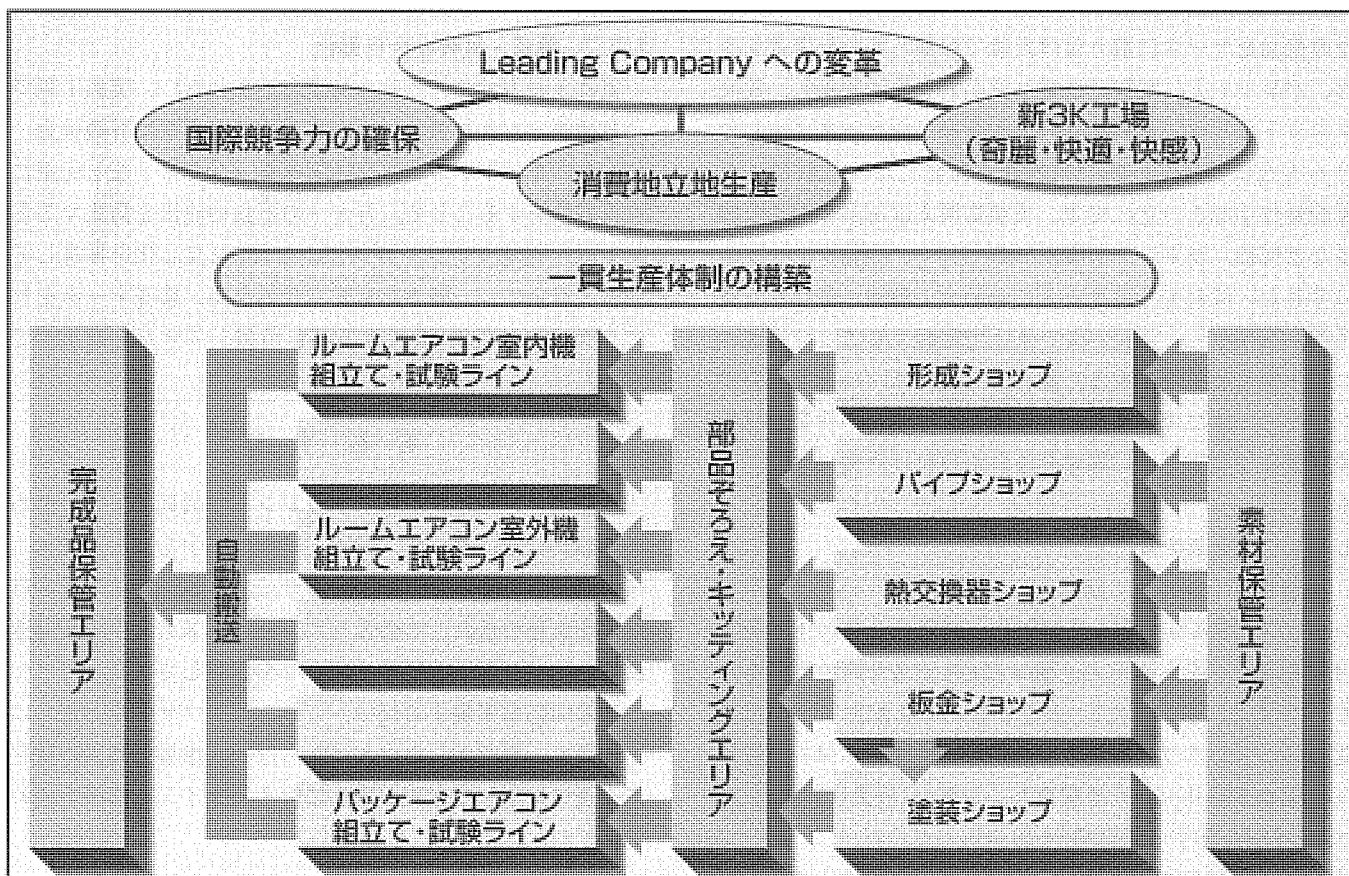
新工場建設に当たり設定したコンセプトと特長は次のとおりである。

- 消費地に立地した空調機器生産拠点
- 地域社会と融和した新3K工場(奇麗・快適・快感)
- 国際競争力の確保

これらを実現するため、MELCO Consumer Products

(Thailand) Co., Ltd.(タイMCP社)は、消費地に適した製品を開発・設計し、現地で生産・販売する方式を目指した。さらに、国際競争力確保のため、品質、コスト、サービスの向上を図り、部品を生産するフィードショップから組立て・試験ラインを同期生産させる一貫生産体制を構築した。これらは、生産設備の整備・強化、工場内物流の効率化による短納期生産体制を確立するとともに、各ショップを有機的に結び付けコントロール可能とする生産管理システムの導入によって実現した。

本稿では、これらの取組について述べる。



タイMCP社新工場における一貫生産体制

新工場建設に際し“Leading Company”への変革を目標に、消費地立地生産、新3K工場、さらに国際競争力の確保を基本コンセプトとして、その実現へ向け一貫生産体制を構築した。

1. ま え が き

世界的に今後とも空調需要は高い伸長が見込まれる中、三菱電機(以下、当社)は東南アジアの一大空調機器生産拠点としてタイMCP社においてルームエアコン、パッケージエアコン(Mr.SLIM、大型パッケージエアコン シティマルチ)を供給する新工場を建設し、1997年9月から生産を開始した。

当社の事業方針である“消費地立地生産”を基本に、広大な敷地を利用し、開発から主要部品の内製、組立て・試験、出荷処理と一貫生産体制をねらった新工場を構築した。

本稿では、まず新工場建設に当たって設定したコンセプトと特長を紹介し、これを実現するためのレイアウト設計、生産ライン設計、生産方式、及びこれらを有機的に結び付ける生産管理システムについて紹介する。

2. 新工場概要とコンセプト

(1) 新工場の概要

所在地 : タイ国チョンブリー市バンパゴン工業団地
バンコク市から南東約80km(図1)

敷地面積 : 178,400m²

新工場建物: 工場棟 51,600m²

(1階260m×120m, 2階170m×120m)

事務棟 2,400m²

食堂 2,000m²

その他 工場ユーティリティ設備

生産機種 : ルームエアコン, パッケージエアコン

(Mr.SLIM, 大型パッケージエアコン シティマルチ)

生産規模 : 50万台/年

従業員数 : 約1,100人

供給先 : タイ国内, 東南アジア諸国を始め, 日本, アメリカ, 豪州, 中国, 中東, 欧州, ほか

(2) 経営理念

タイMCP社は、経営理念として、“国際的な視野に立ち、協調の精神を尊び、クリエイティブな製造システムによって最良の製品と最高の品質を目指し、世界のお客様生活文

化の向上に寄与する。”を掲げた。

(3) 新工場基本コンセプト

東南アジアの一大生産・供給基地として“Leading Company”への変革を目指し、次の新工場の基本コンセプトを設定した。(図2)

- 消費地に立地した空調機器生産拠点
- 地域社会と融和した新3K工場(奇麗・快適・快感)
- 国際競争力の確保

3. コンセプトの実現

(1) 消費地に立地した空調機器生産拠点

消費地に適した製品の開発と生産を目指し、開発試作、量産試作の段階からタイで行う体制を採った。従来は日本で開発、設計、試作をし、量産を行った機種を、タイMCP社に持ち込んで量産を横展開する方式を採っていた。今回、消費地に適した製品を現地で開発・設計し、生産、販売する方式を目指している。現段階では基本設計を日本で行っているが、量産試作から量産までは現地技術者が中心となって行っている。

素材、部品の調達も現地調達化を進め、素材投入、部品加工から組立て・試験、出荷までの一貫生産体制を構築した。一貫生産体制については、後ほど詳しく紹介する。

(2) 地域社会と融和した新3K工場

タイは一年を通して高温・多湿で、建物の中でも最高気温は40℃を超える。この環境で日本と同じような生産効率を目指すことは不可能である。またタイにおいても冷房の文化は着実に浸透しており、ビルはもとより、レストランなども冷房を完備した施設が着実に増えている。

タイMCP社は、トランスナショナル企業として、工場環境・作業環境の革新を図るとともに、タイ国での一流企業を目指している。新工場では、事務棟、2階の組立て・試験ラインのフロア及び食堂を完全空調し、1階の部品加工ショップにはスポットクーラを全作業ポジションに配し、奇麗・快適・快感の3K工場を実現した。

さらに、熱交換機の洗浄レス化、プラスチック成形時に発生する端材の再生処理、簡易こん(梱)包や梱包材の再利用など、地球環境に優しい工場を目指して取り組んでいる。

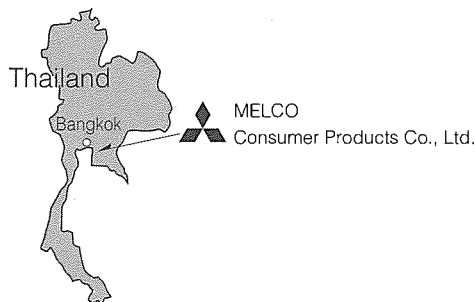


図1. タイMCP社のロケーション

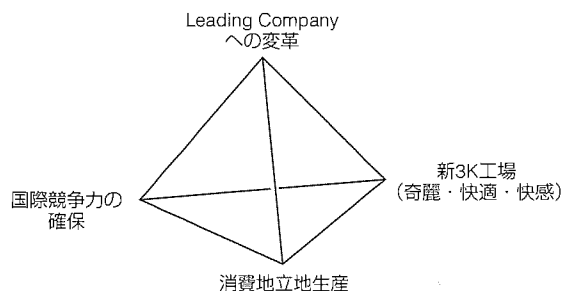


図2. 工場基本コンセプト

(3) 国際競争力の確保

世界市場で事業活動を展開するには、国際競争力の確保が重要となる。タイMCP社では、品質、コスト、サービスの各方面に対し、お客様のニーズに合った良い品をより安く、しかもタイムリーに届けられるように次の体制を採っている。

- 消費地ニーズに合った製品開発力の強化
- 内製化、現地調達化、VAによるコストダウンの推進
- 生産体制整備強化による短納期体制の確立
- 製品保管、出荷を含めた一貫した物流の効率化
- 営業、サービス体制の強化
- ISO9002による品質保証システムの確立

4. 工場レイアウト、新生産方式による製造工期短縮、生産性向上

素材の投入、部品加工、組立て、試験、出荷までの一貫した製造フローを実現し、製造工期短縮と生産性向上を実現した。

ルームエアコンの主要部品は、熱交換器、パイプ、板金、塗装及びプラスチック成形の各ショップで生産される(図

3)。これらショップの生産を、組立ラインの生産計画を基に同期生産させる。各ショップの設備能力の増強と能力バランスを適正化し、組立ラインで使用する量を極力引き付けて生産することを基本に、工程間の部品仕掛りの削減と製造工期短縮を図った。

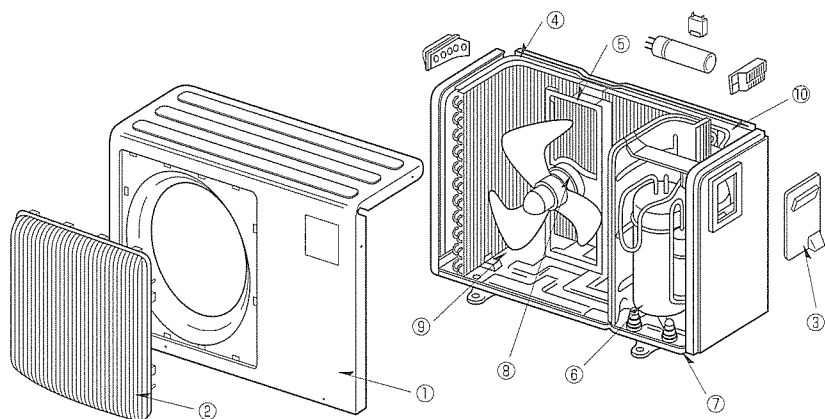
(1) レイアウト設計思想

- 事務部門、福利厚生エリアと生産エリアとを分離配置
- 安全、防災、保守管理を考慮し、動力源などのユーティリティ設備を集約
- 重量設備である部品加工フィーダショップは1階に、軽量設備である組立ラインは2階に配置
- 物の流れ、工程順に各ショップを配置
- 素材保管エリアは部品加工ショップに隣接配置、購入部品は部品キッティングエリアに隣接配置
- 各ショップからの完成部品置場をフィーダショップ最終端に配置し、一括した内製部品管理
- 成形、熱交換器、板金ショップ近傍に金型、治工具保全エリアを設置
- 部品サブ組立てとキッティングエリアを隣接配置
- 組立て・試験ラインは2階に直線配置

- 部品保管エリアと組立ラインをキッティングコンベアで直結
- 組立て完了後、即倉入れを実現(製品保管エリアを組立ライン最終端に配置)

(2) 生産能力整備強化による短納期体制の確立

- 熱交換器ショップ：洗浄レス化によるプレス、ヘアピン挿入、拡管からHeリークテストまでの一貫ライン化
- 板金ショップ：大型プレス機のライン化、能力増強による小ロット生産化
- 塗装ショップ：オートカラーチ



①グリル(成形) ②キャビネット(板金) ③サービスパネル(成形) ④熱交換器(熱交換器)
 ⑤モータサポート(板金) ⑥コンプレッサ(購入) ⑦ベース(板金) ⑧ファンモータ(購入)
 ⑨プロペラファン(成形) ⑩パイプ(パイプ) 注:()は内作ショップ名

図3. ルームエアコン室外機の主要部品構成



図4. パイプショップNCベンダー機



図5. 室内機組立ライン

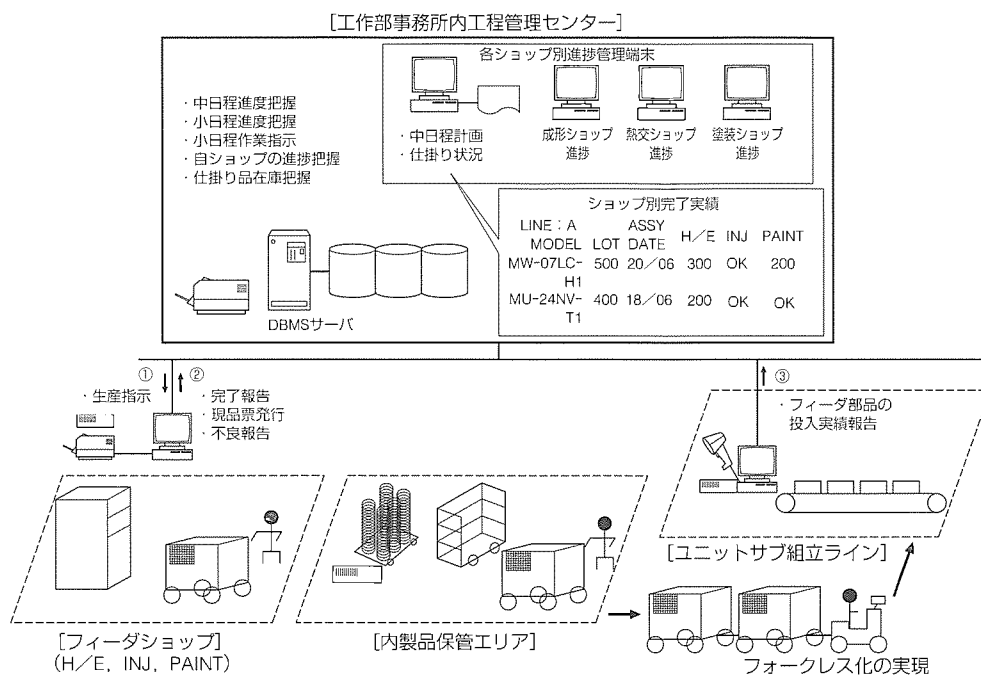


図6. 同期生産をねらった生産管理システム

エンジャ導入による小ロット生産，及び塗装前処理，乾燥炉の屋外化による作業環境改善

- 成形ショップ：フレコンバック方式による材料の自動供給及び端材自動回収
- パイプショップ：組立ロットに合わせたパイプ切断からNCベンダー，ろー付けまでの小ロット生産(図4)
- 組立て・試験ライン：ルームエアコン室内機組立て2ライン，室外機3ライン，及びパッケージエアコン室内外組立て1ラインで構成(図5)

(3) 工場内物流の効率化

- キitting供給方式の全面導入による組立て・試験ラインへの部品供給の効率化
- けん(牽)引車による組立エリアのフォークリフトレス化
- 荷姿，部品ごとの入数の基準を明確化したビジュアル管理
- 供給先別保管エリアを取り決め，後工程引取り方式の導入
- 立体保管によるスペース効率の向上

5. 同期生産を実現する生産管理システム

5.1 導入目的とシステム概要

熱交換器，成形，塗装ショップから組立ラインを中心とする大規模生産工場に対して，フィーダショップと組立ラインを有機的に結んだ同期生産を実現するため，フィーダショップ生産管理システムを導入し，高度にコントロールした一貫生産工場を実現した(図6)。

(1) 組立ライン生産計画を基に，フィーダショップのネック工程(熱交換器，塗装，成形)の加工計画を生成し(対話形式で生成)，タイムリーな各ショップへのオンライン指示を行う。

(2) バーコード付き現品票発行と加工完了を連動することで，フィーダショップの生産実績をオンラインで収集する。

(3) 組立て投入時点でバーコード付き現品票を読み取り内製部品の組立て投入実績をオンラインで収集する。

(4) 内製部品の在庫先行状況をオンラインで管理する。

(5) 組立てラインへの生産

進ちよく(捗)度をオンラインで把握する。

(6) 工場内ネットワークを構築し，工程管理センターに上記フィーダショップの進捗，在庫先行状況，組立て進捗を集結し監視する。

5.2 生産管理システム導入効果

(1) 定量効果

- 内製部品仕掛り保管量の削減
- 現品票作成，回収作業の省力化
- 生産実績把握作業の省力化(工程進捗会議の効率化)
- 現品在庫チェック作業の省力化

(2) 定性効果

- 主要部品一貫生産ライン化による管理ポイントの削減と管理システムの簡素化
- 生産状況のビジュアル化と指示，アクションの迅速適正化(欠品防止，仕掛り量適正化・同期化，設備稼働監視レベルの向上)
- 見学してもらえる工場

6. むすび

新工場建設に当たり，まっさらなキャンバスに理想工場を描くところから始めたが，新工場の規範となるコンセプトと特長を最初に明確化したことで，当社を代表する海外生産拠点を構築することができた。

当社はグローバル化企業から，更に各国の地域社会に根ざした企業集団トランスナショナル企業を目指している。本稿で紹介したタイMCP社の活動は，正にトランスナショナルな企業造りと言える。

China Ryoden Co., Ltd. 昇降機工場の総合工期短縮

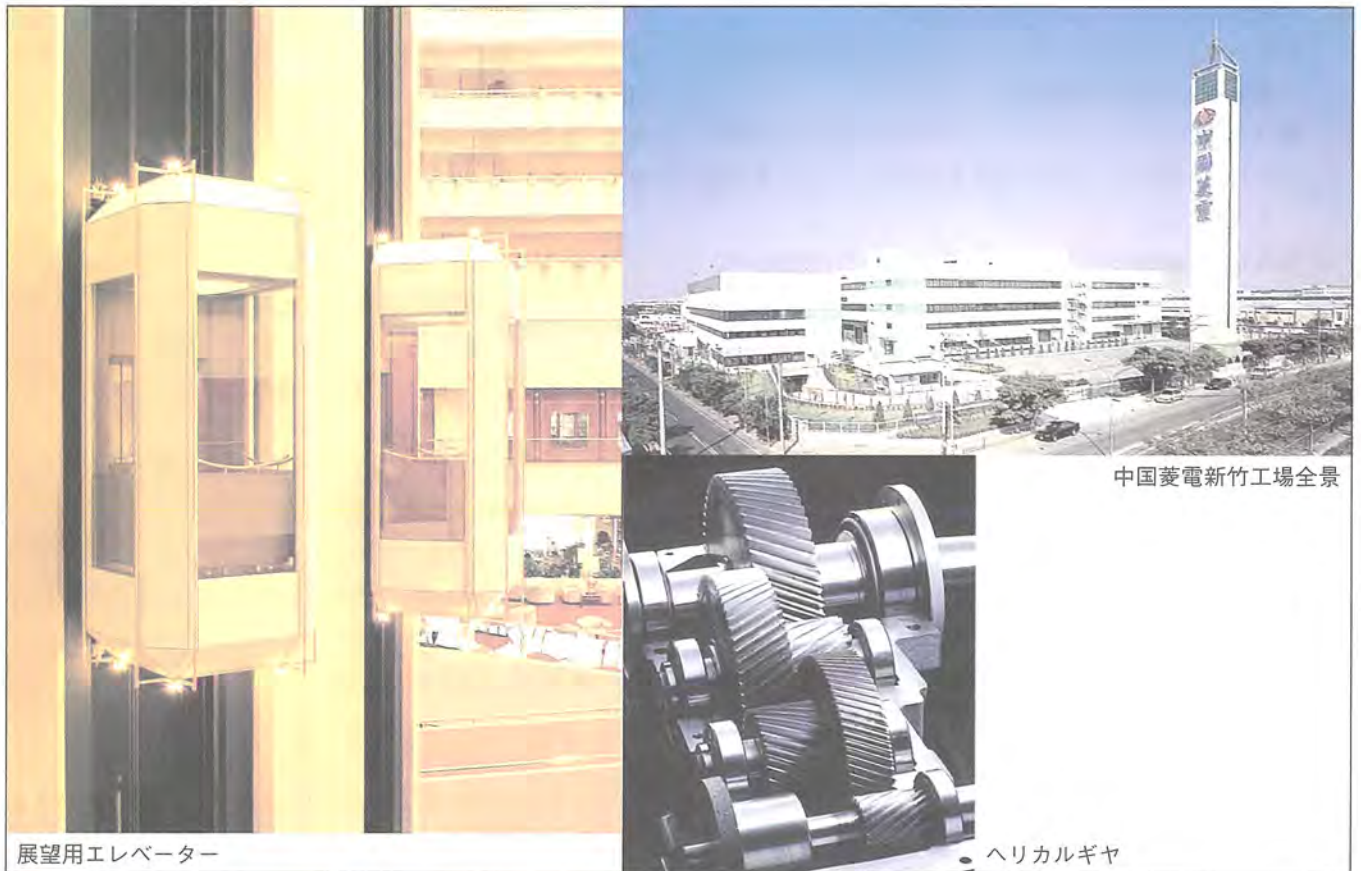
横山佳士*
水越雅則*
野間 務**

要 旨

エレベーターは、日常生活の中で、比較的一般的な移動用設備になってきた。通常、目にすることができるのはエレベーターの乗り場扉や内壁などの意匠品と言われる板金パネル類だけであるが、構成する部品は数万点に上る。エレベーターを上下させるモータ、それらの機器を正確に制御して目的階に停止させる制御装置、又は緊急時にエレベーターを停止させる安全装置など、意匠品以外にもエレベーターを駆動させたり乗り心地、安全性を向上させるための機器があり、数多くの部品(装置)で成り立っている。これらの部品の最終組立は、工場ではなく建物の建設現場で行われる。

そのため、エレベーターは部品単位で出荷まで工場で保管されることになるが、その出荷日は建築スケジュールの変更によって左右され、計画どおりに生産するほど、工場内に多くの部品在庫を抱えることになる。

今般、三菱電機昇降機事業の海外拠点の一つである中国菱電(台湾)では、天候などによって左右される建築現場の進捗よく(捗)状況を的確に把握し、生産部門にフィードバックする方式を導入するとともに、生産着手から据付け現場搬入までの工程に対し総合的な改善を行うことにより、大幅な総合工期短縮、仕掛り低減を実現した。



展望用エレベーター

中国菱電新竹工場全景

ヘリカルギヤ

中国菱電 新竹工場

台湾新竹県にある三菱電機の台湾向け昇降機生産工場である。新製品の国産化に合わせて1996年に新工場を建設し、生産を集約化した。右側に見える試験塔は、高さが84mあり、内部に四つの昇降路を持っている。試験塔は、据付けスタッフの教育や保守技術の訓練だけでなく、今後開発される新製品のシステム総合テストを行うなど、開発・設計技術力向上の場となっている。展望用エレベーターは高級ホテルや百貨店などで見られる特注エレベーターで、顧客の多種多様な要求を満足できる。同ヘリカルギヤは従来のウォームギヤに比べて省エネルギー化を図っており、乗り心地などの品質面においても優れている。

1. ま え が き

China Ryoden Co., Ltd.(以下“中国菱電”という。)は、台湾島内向けに昇降機を供給する三菱電機昇降機事業の重要な海外拠点の一つである。その業務範囲は、エレベーターを中心とした営業・製造・据付け・保守全般にわたっている。

1968年10月設立以来、台湾省台北県に隣接する桃園市にある桃園工場でエレベーターの生産を行ってきた。台湾昇降機市場は急速な経済成長に支えられ、桃園工場において生産合理化及び設備投資などによって増産体制を強化してきた。しかし桃園工場は、ライン化、自動化等の合理化設備投資が建物の制約で困難であった。そこで新工場(新竹工場)を建設し、生産の集約化を図った。また同時に、新技術であるヘリカル巻上機を組み込んだ新機種の生産を開始し、主要部品の内製化率の向上を図った。さらに新竹工場内に試験塔を建設し、台湾での機種開発の技術力アップと据付け技術向上のための教育と訓練を行えるようにし、製品の品質向上を図った。

本稿では、中国菱電の最近数年間にわたって進められてきた短納期生産を目指した生産方式改善プロジェクトの概要を説明し、短納期生産を具体化するための多品種少量生産体制整備及び生産能力増強を可能とする自動化・FMS化ライン構築についての取組を紹介する。

2. 中国菱電の近況

2.1 新工場建設

エレベーターの短納期生産を目的とした生産能力増強及び内製化率拡大のスペース確保のため、'95年11月に新竹県に新工場を建設し、生産力の集約化を図った(表1)。併せて物流センター機能を桃園工場に集約し、機能を充実することで出荷物流の効率化を行い、顧客へのサービス向上を図った。

2.2 高品質化への取組

中国菱電では“顧客第一”“品質優先”“技術優先”がモットーである。中でも品質においては、エレベーター構成部品の設計・製造段階での高品質化への取組から据付け・サービスの高品質化まで広範囲にサポートしている。

2.2.1 設計・製造の高品質化

製造段階における高品質化の取組の一つに、新機種シリーズとして発表した高性能なヘリカル巻上機がある。ヘリ

カル巻上機は、従来の主流であったウォーム巻上機に比べて、省エネルギー、乗り心地などの品質面で優れており、この生産を可能にしたのは台湾では中国菱電だけが持つ高い設計・加工技術である。

2.2.2 据付け・サービスの高品質化

据付けは、工場で製造されたエレベーター部品を建築現場で組み立てるいわば最終工程である。このため、据付け技術の向上は、エレベーターそのものの品質向上につながる。しかし、これまで技術者に据付け技術の教育や訓練を総合的に行える環境が少なかった。そこで、新工場建設に合わせて試験塔を建設し、据付けの総合教育の場として据付け教育センターを開設した。試験塔は、地上84mの高さで、内部に四つの昇降路を持っている。試験塔の用途としては、据付けスタッフの教育だけではなく、保守技術の訓練、及び今後開発される新製品のシステム総合テストを行うなど、開発・設計技術力向上の場となっている。

3. 生産方式改善プロジェクト

中国菱電における生産力の増強、合理化を目的とした最近の取組である生産方式改善プロジェクトの活動概要を紹介する。このプロジェクトは中国菱電と三菱電機が共同で進め、多大な成果を上げてきた。

物作りの上で顧客に満足してもらうには、前章で述べた品質の向上だけでなく、決められた納期を守ることが重要である。そのためには、生産を効率良く行えるような生産体制作りや情報技術の導入が必要となってきた。

3.1 エレベーター生産の特殊性

日ごろ街中に見掛けるエレベーターは、その内外装や大きさ、速度が様々であり、同じ仕様のエレベーターを見付けるのは困難である。これは、エレベーターが建物の一部である要素が強く、デザインも建物の設計に合わせるためにオーダーごとにすべて寸法・仕様が異なるためである。エレベーターを構成する部品点数は30,000~70,000点あり、工場では、これらをどれだけうまく同期生産し、出荷時にどのように部品そろえを行うかが課題である。

このような製品の性格上、建築現場の状況つまり出荷できるタイミングに合わせて生産を開始し、必要な物を必要な時に製造するのが大切である。

3.2 建築状況に同期した生産体制

従来は、設計完了後、すぐに製造に着手し、生産していた。これは、短納期で生産することは不可能であると考えられていたため不必要な物も含めて早くから生産を開始し、この結果として、多くの製品仕掛りを持っていた。これでは完成品置き場の保管スペースが多く必要であり、その管理に多大な時間を要するなどのロスが発生するだけでなく、製品品質維持にも問題があった。そこで、このような問題を解決するため、次のような取組を進めた(図1)。

表1. 新竹工場の概要

| | | |
|---------|--------------|------------------------|
| (1)土地面積 | | : 29,000m ² |
| (2)建屋面積 | (a)意匠板金工場 | : 5,500m ² |
| | (b)機械電機総合工場 | : 19,000m ² |
| | (c)構造板金・倉庫など | : 6,000m ² |

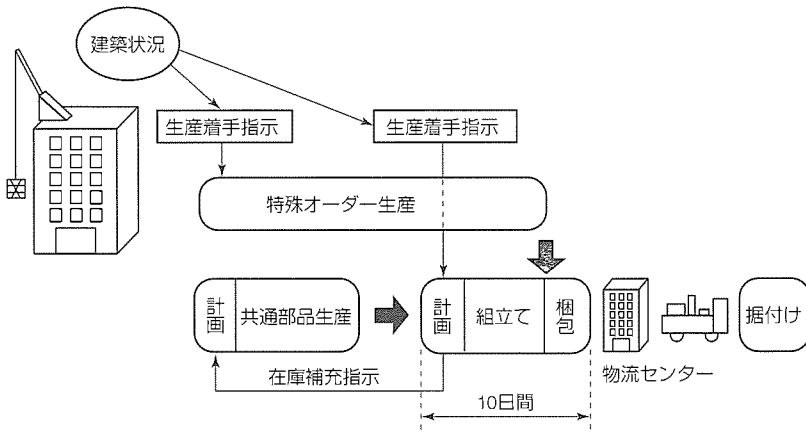


図1. 建築状況による生産指示

(1) 生産着手の引き付け

出荷予定に対し標準製造工期まで引き付けて生産を開始するようにした。また、標準工期で生産に着手しても建築現場の進捗は天候等によって左右され工期が延びるケースが多いことが分かり、建築現場の状況をタイムリーにフィードバックさせ、顧客の指定納期に間に合うまで引き付け(据付け予定日の10日前着手)てから生産する方式に変えた。これによって生産着手後の仕様変更や仕様確定までの生産保留を大幅に減らすことができ、生産の効率化とともに製品品質を向上させることができた。

(2) 共通部品の仕込み生産

単純に製造着手を出荷に合わせるだけでは、工期の長い部品は、製造工期が十分でないため、納期に間に合わなかった。そこで、比較的オーダー間で共通性の高い部品でかつ製造工期を要する部品については、“かんぱん方式”等で定量を仕込んでおくようにし、短納期化を図った。

(3) 顧客仕様部品の生産

特殊な加工を必要とする部品や顧客仕様の部品については、出荷日が決まった時点で製造着手しても生産できるだけの能力とフレキシブル性を持つ設備の導入を行った。自動化しにくい部分(組立工程など)は、共通加工工程と顧客仕様加工工程に分け、共通部分を先行加工しておき、顧客仕様部分はオーダーが付いた時点で追加加工を行うようにし、製品仕掛りを半減した。

3.3 市場対応型生産体制の確立

エレベーターをタイムリーに供給するためには、建物の状況をフィードバックさせるだけでなく、顧客要求(例えば仕様変更)をどのように生産に同期化させていくか、据付けと営業・製造・物流の各部門を有機的に結び付けるトータルの生産管理システムの強化が必要である。そのためには、まず各部門が正しく情報収集し、有効に生産活動に結び付けることが必要であった(図2)。

(1) 物流センターの整備

先に述べたようにエレベーターの出荷は、建物状況に

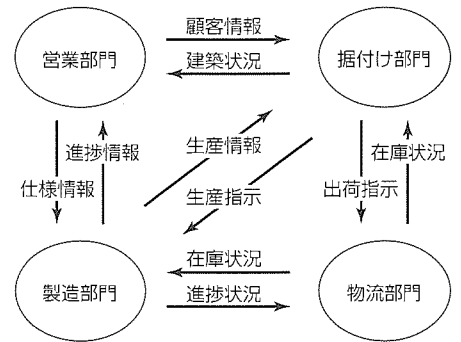


図2. 各部門の連携

大きく左右され、工事が遅れるとそれだけ出荷できない製品が倉庫に滞留することになる。また、早まった場合には据付けの手待ちロスになる。出荷を含めた物流は製造と据付けの間にあり、両者を補完する重要な役割がある。

そこで、桃園工場に物流機能を集約化し、物流センターとしての機能を持たせるようにした。物流センターとは、単に製品を保管し供給するところではなく、製品と同様に情報も持つところであると考え、据付け部門から出荷要求があった場合は、迅速に保管されている物を品ぞろえして出荷するようにした。もしも出荷要求に対して欠品等の理由で出荷できないときは、いつ出荷できるかという情報を据付け部門に通知し、工場に対しては欠品の補充を督促する。これらの部品を、EDP上の情報だけでなく、現品として管理していくようにした。これにより、出荷指示を受けてから品ぞろえ、こん(梱)包、出荷まで3日間以内で行えるようになった。

(2) 据付け開始日の予測精度向上

建築状況調査部門担当者は、据付け開始まで何度も建築現場の進捗状況確認を行うとともに、顧客や建築現場監督者との打合せによって据付け開始日を決める。据付け開始日の決定により、工場に対しては生産指示が出され、物流センターに対しては品ぞろえや出荷準備が指示される。このため、建築状況調査部門の役割は大変重要で、建築状況をいかに正確に把握するかが大切である。正確な建築状況を把握するために、調査用のチェックシートを改良した。

月数回の調査時にこれを正しく運用することにより、建築状況が正確に把握できるようになり、生産着手精度や据付け着工精度などが飛躍的に向上した。また、エレベーター室の上下する通路の寸法やコンクリート壁の厚さなど、建物の不具合も素早く把握できるようになり、仕様変更情報を生産に対して迅速にフィードバックできるようになった。

4. 生産ラインの自動化

前述のような生産方式や情報面の改善だけでなく、総合

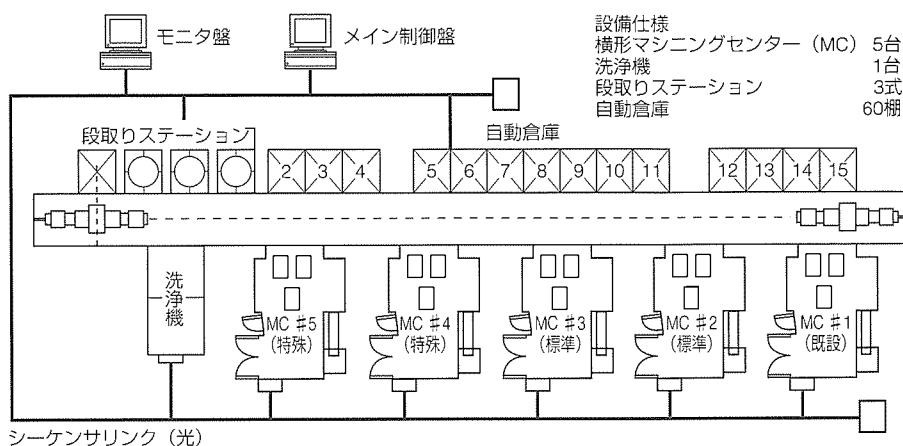


図 3. 機械加工FMSのシステム構成

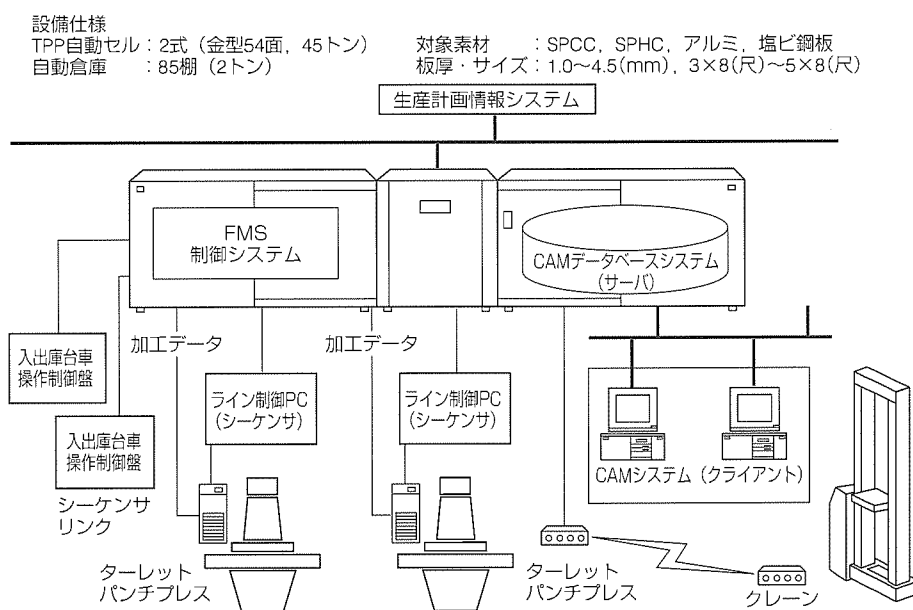


図 4. 板金加工FMSのシステム構成

工期短縮を実現するための生産力増強及びフレキシブル化のため、板金FMS、機械FMS、塗装ラインなどの設備投資を行った。これにより、市場(顧客)要求に対して柔軟に対応できる生産体制が構築することができた。

4.1 巻上機機械加工FMS

新機種内製化体制整備の一環として、ヘリカル巻上機の機械加工FMSの開発と導入を行った。

4.1.1 システム構成

巻上機の機械加工FMSのシステム構成を図3に示す。

4.1.2 システムの特長

(1) 長時間無人運転

自動倉庫システムのバッファリング機能、マシニングセンターの工具折損検知と代替ツール交換機能、トラッキング異常パレットの一時待避機能によって長時間無人運転を可能とした。

(2) 段取り作業の効率化

二つ以上のワークを組み合わせて最終加工を行う場合、前加工ワークと最終加工ワークのパレットを、順次、段取りステーションへ搬送し、ワークの一時取り置きを排除することでスムーズな段取り作業を可能にした。

4.2 板金加工FMS

4.2.1 システム構成

板金加工FMSのシステム構成を図4に示す。

4.2.2 システムの特長

(1) エレベーター板金部品の多くが加工できるように設備面での制限を極限まで少なくし、加工対象部品を広げ、設備能力に見合った量が確保できる汎用自動セル化をねらった。

(2) 故障時の生産障害を最少にするため、完全な2セル化と専用部品使用を最少にした。

(3) 長時間無人運転化を図ることを前提に、日本において連続運転の安定性で実績のある部品切出し方式の自動化セルを採用した。また、オーダー・品目対応でのセット生産を可能にし、リードタイムの短縮を図った。

4.3 その他のFMSライン

上記のFMSラインのほかにも、'92年度には上塗りラインを、'93年度には特殊意匠品ライン、及び新竹工場移転に合わせてプリント基板の自動挿入・装着ラインを稼働させ、短納期体制を実現するための体制整備を行った。

5. むすび

以上、中国菱電における総合工期短縮への取組を紹介した。従来、生産技術の活動分野は、物作りをする現場への改善・設備投資が主であった。しかし、生産を取り巻く部門、例えば営業、出荷、資材などとの連携が重要である。今後さらに、営業から出荷まで一貫した業務の流れを作る必要がある。

外鉄形変圧器コイル組立て 1 個流し生産体制の構築

徳丸 透*
岸下和義*

要 旨

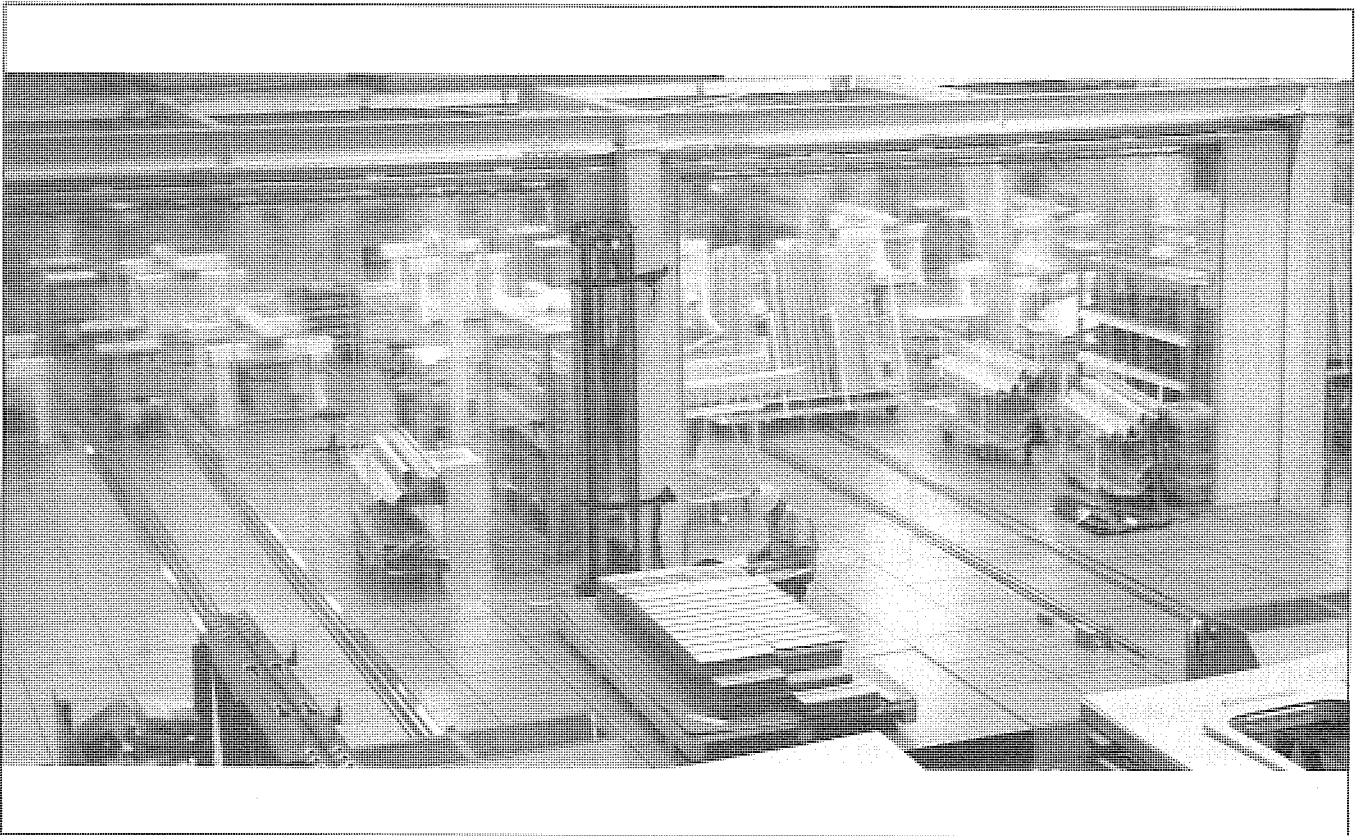
従来、電力会社向け大型変圧器(外鉄形変圧器)の生産方式は、オーダーごとの個別受注生産方式を採っており、高度の習熟技能が要求される典型的な労働集約的作業であった。特にコイル組立工程に供給されるコイル及び絶縁物(部品)は、その種類や加工工程、及び絶対量の多さから、同一形状の物をまとめて作るまとめ生産方式を採用していた。まとめ生産されたコイルや絶縁物は、部品仕掛りとして作業域を圧迫し、さらには仮置き、仕分けといった無駄な作業を発生させ、時間及び製造工期を大きく膨らませていた。今回、この外鉄形変圧器の巻線・コイル組立工程に“1 個流し生産方式”を適用し、工程全体の生産効率の向上、

併せてクリーン化による製品品質のより一層の向上を図った。

この活動を展開するに至った経緯、取組、結果について述べる。なお、今回の1 個流し生産方式導入のコンセプトは、

- 次工程が必要とする順番に部品製作
- 部品仕掛り削減、省スペース
- 製品仕様に対する設備制約の排除
- ライン化によるクレーンレス
- クリーン化推進による製品品質の向上

である。



コイル組立ライン

温度と湿度を管理した空調室内に、長さ50m、幅20mの組立ライン(U、V、W相の3ライン)を配置している。なお、コイルグループ内部への異物混入防止のため、組立てはクリーンルーム内で行われている。

1. ま え が き

三菱電機は、1972年に変圧器事業を兵庫県赤穂市に展開し、常に変圧器の大容量化・高電圧化といった市場のニーズに合わせた技術開発と品質保証に注力し、信頼性の高い変圧器の製造に努めるとともに、生産性向上活動にも積極的に取り組んできた。大型変圧器は1台ずつ仕様が異なるため、従来は、各工程単位で最大効率を追求する改善が主であった。

今回、製造工程全体の効率化に視点を置き、製造工期短縮、部品仕掛り低減などの改善活動を展開し、併せて製品品質の向上を図り大きな成果を得た。

2. 新しい仕組み

2.1 製造工程

図1に示すように、変圧器の製造工程は、平角裸銅線の紙巻き(以下“紙巻き”という。)から始まり製品出荷までの一連の工程からなる。この改善では、その中の紙巻工程～コイル組立工程を対象に取り組んだ。コイル組立てとは、個別に製作した平板状の長方形コイルを絶縁部品と組み合わせながら一つのコイル群に積み上げる工程である。対象工程は変圧器製造全工期の約4割、加工時間では全作業時間の約6割を占め、変圧器製造の核と言うべき重要な工程である。

図2は、32日間にわたりコイルの保管量(仕掛り)を調査した結果である。1.5～2台分の変圧器に相当する数量のコイルが、毎日作業されずに仕掛りとして保管され、また

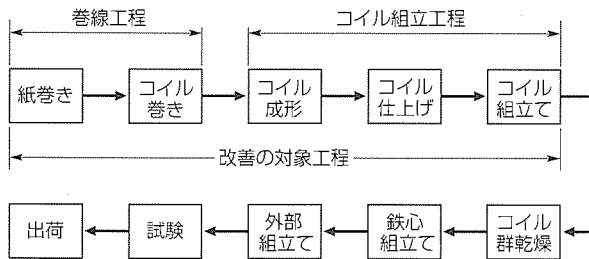


図1. 大型電力用変圧器の製造工程

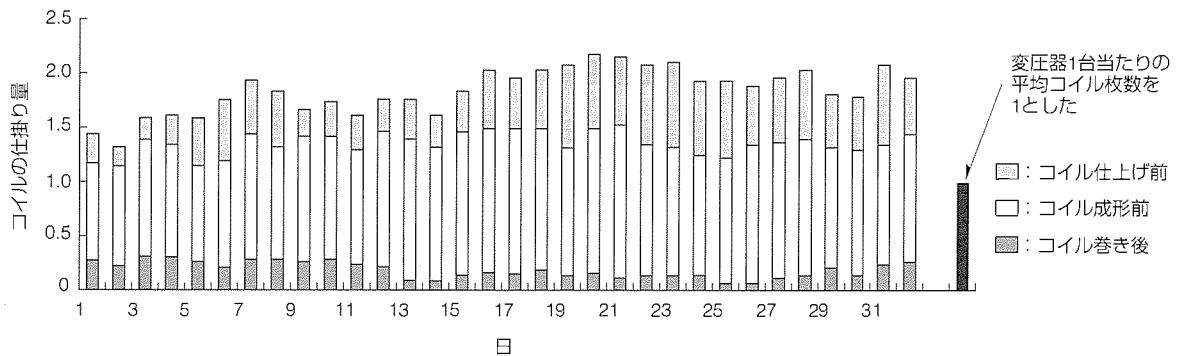
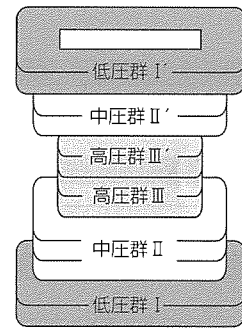


図2. コイルの中間仕掛り量の変化

保管のために必要な面積は、対象工程全作業域の20%近くに及ぶものであった。これは、図3に示すように、コイル群が上下対称構成であることに起因するものである。すなわち、最初の工程である紙巻きとコイル巻き作業が次工程(組立て)で必要とする順番を配慮せず、自工程の効率化(段取り回数低減)のみをねらい、上下の同じコイル(図中IとI', IIとII', IIIとIII')を連続して製作するため、これらの仕掛りが生じたものである。この結果、次工程では無秩序に積み上げられたコイルを組立て順に選別し、仕分けするという無駄な作業が発生していた。さらに、この仕分けによって微妙に変形したコイルを組立てで元に修正するなどの作業も発生していた。

2.2 1個流し生産方式

この部品仕掛りをなくすための新しい生産方式を検討した結果、1個流し生産方式の導入が最適であるという結論を得た。もちろん1個流しにすることによって紙巻きとコイル巻き工程の段取り作業は増加するが、それ以上に仕掛りが低減でき、さらに、1個ずつ順番に製作するため流れがジグザグとなり、後々の改善につながると考えたからである。



| | 製作順 | 仕掛り |
|---------|------------------------------------|---------------|
| まとめ生産 | I → I' → II → II' → III → III' (注) | I', II', III' |
| 1個流し生産 | I → II → III → III' → II' → I' | 仕掛りなし |
| 後工程組立て順 | 下から上へ (I → I') | |

(注) I, I', II, II', III, III' はそれぞれ同一仕様のためロット生産が可能(段取り回数が少なくて済む)

図3. コイル群の構造とコイル製作順序比較

2.3 試 行

1個流し生産方式の効果把握、課題顕在化、さらには優れた点を皆が体験することを目的とし、巻線・コイル組立ラインで試行した。同じ仕様の変圧器2台を、一方は従来のまとめ生産方式、他方は試行製品のみを1個流し生産方式で製作し、図4の結果を得た。

(1) 製造工期

従来のまとめ生産方式では複数の変圧器(製品)を並行して製造していたのに対し、今回試行の1個流し生産方式では、1台の変圧器を集中的に生産した結果、大幅な工期短縮を確認できた。今後の短納期受注(製作)にも対応できる良い自信となった(55%工期短縮)。

(2) 作業時間

作業時間については、作業内容を変えていないにもかかわらず、20%弱の低減が図れた。これは、1個流しによって段取り回数(時間)が増加する反面、コイルの仕分け作業といった無駄な時間が解消されたためである。また、1個流し生産という一貫した一本のルール及び明確なタイムスケジュールが、作業者の動きを一段と効率良くし、自然と作業ペースを向上させたものと考えられる。

(3) 部品仕掛り量

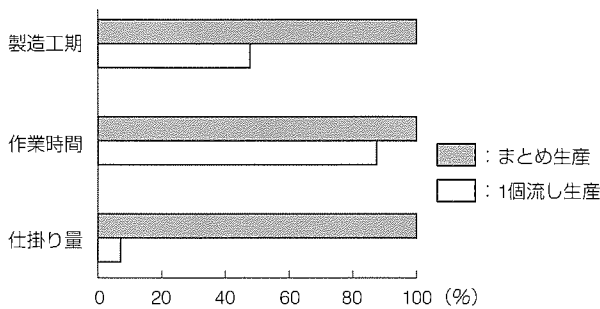


図4. まとめ生産と1個流し生産試行結果

今回試行した1個流し生産方式では他の製品の仕掛りが含まれないため、部品仕掛り量は従来のまとめ生産方式に比べて90%の大幅減という結果となった。スタッフ、管理者は、今までつかみづらかった物の流れがビジブルとなり、また表面に現れにくかった工程内の問題が顕在化するため、その後のアクションが取りやすくなるといった効果が確認できた。

3. 1個流し生産方式導入

3.1 課題の抽出

試行に際しては、比較的構造の単純な変圧器を選び、他の生産を止めて行ったため、工程管理上の問題は顕在しなかった。しかし、構造が複雑な機種、又は作業工数が特別に多い機種まですべての変圧器を1個流し生産するには、設備やラインバランスなど多くの問題を解決する必要があった。例えば、コイル巻工程で異なる仕様のコイル群を連続して生産する場合に、設備間で負荷のアンバランスが生じてしまう。このため、各設備の稼働率を高めることと、後工程が必要な順番どおりにコイル群を生産することとを両立できないことが予測された。1個流し生産方式を導入するには、物(変圧器)の作り方とともに、人や設備の効率を高める改善が不可欠であった。そこで、1個流し生産を阻害する要因を洗い出し、以下のワーキンググループ(WG)を編成して、改善を行った。

- WG1 : 1個流し生産の基本構想及び設備検討
- WG2 : 設計部門を中心とした生産設計の見直し
- WG3~5 : 担当職場の諸改善(作業方法など)

3.2 改善活動

WG改善活動の成果例を述べる。

3.2.1 設備仕様の統一

従来の物作りでは、各工程単位の最大効率の追求から、その時々設備改善が繰り返されていた。その結果、同一工程に設置された複数の設備はそれぞれの仕様が異なり互換性がないなどの問題があり、特にその状況はコイル巻工程において顕著に見られた。

図5に示すように、改善前では、後工程のコイル必要順①→⑩とは関係なく、コイル巻工程には巻線機A、B、C・・・といった仕様の異なる設備を配置していた。これは、段取り回数を最少限にするために、同じコイル①⑩は巻線機A、②③⑧⑨は巻線機B、④⑤⑥⑦は巻線機Cというように、設備仕様をそれぞれコイルの種類に合わせてきたためである。この方式は各設備の作業割

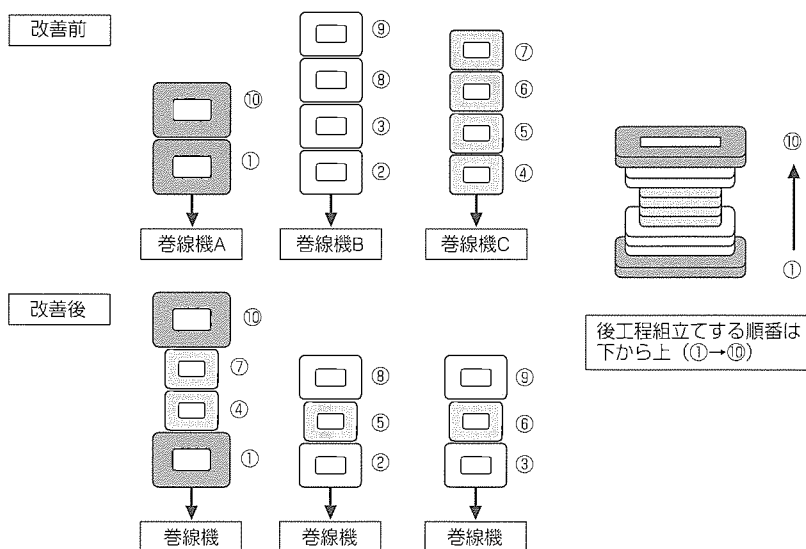
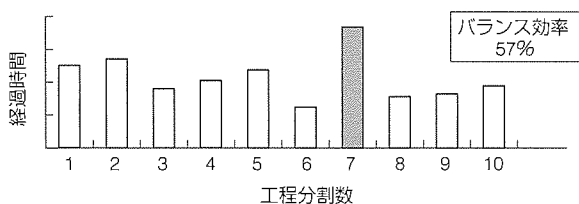
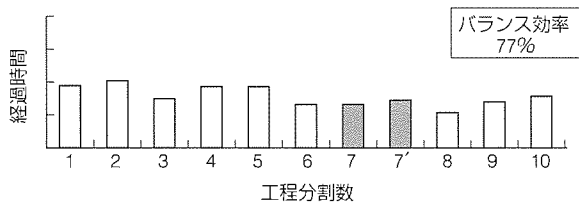


図5. 設備仕様の統一



(a) 改善前



(b) 改善後

図6. ラインバランスの改善

り付けが単純で、かつ段取りを少なくできるという利点があったが、一つの設備(例えば巻線機A)へ負荷を集中させる、また1個流し生産の基本である順番作りの原則を破り、仕掛りを発生させるなどの原因になっていた。

そこで、図の“改善後”に示すように、必要なコイルを順番に制約なく割り付けられるように、設備仕様の統一を図った。具体的には、各巻線機回転トルクの統一、付帯設備(ドラム架台、導線の整線装置など)の統一などの改善を行うとともに、導線幅仕様の統一(種類削減)などの設計改善も進めた。

3.2.2 ラインバランスの改善

コイル組立工程は加工工程数が多く、1個流し生産を行った場合に、そのラインバランスを改善する必要があった。図6に示すように、改善前のバランス効率は57%と極めて低かった。この原因は第7工程にあった。ここでの障害要因は、1人の作業者がすべての作業を実施していたこと、またそれによって設備も1人分の配置となっていたことであった。また、第7工程の前後工程にも影響が及んでいた。例えば、前工程作業が早く終了した場合、第7工程が作業中のため、完成品を中間仕掛りとしていったん保管するだけでなく、手待ちを防ぐために次の製品を製作し、新たな仕掛りを作っていた。このラインバランスを改善するため、各工程での作業時間(タクト)分析を行い、第7工程の後に7'行程を追加した(図(b)改善後)。このために必要なスペ

ースには、1個流しによって得られた部品仕掛り削減のスペースを当てた。また、この追設工事に合わせて組立工程のクリーンルーム範囲を拡張し、防じん(塵)対策を一段と向上させた。さらに、各工程ごとの作業時間も改善し、バランス効率は77%に改善できた。

3.3 日程計画システム

設備や段取り、設計改善などと並行し、1個流し生産方式に対応した日程計画システムを構築した。従来のまとめ生産方式における日程計画は、コイルがロットごとにまとめて加工されることを前提とした“日”単位のかかなり大まかなものであった。しかしながら1個流し生産では、コイル一つ一つが各工程で順番に“時間”単位で加工されていくため、今までのようなラフな計画では対応できなくなる。

こうしたことから、実際のライン(工程)を計算機上に再現し、その上をコイルが順番に流れていく様子を事前シミュレーションできる新しい計画システムを作成した。なお、スケジューリングは、コイル組立工程の次工程作業着手日を基準日として、前工程に向かって計画していくバックワード方式を採用した。これは必要なものを必要な時期にというJIT(Just In Time)の考えをより重視し、部品仕掛りを少なくしようとの意図である。

このシステムにより、作業計画精度を向上でき、人と設備の効率も高めることができた。

4. む す び

以上のほかにも多くの改善を進め、検討着手から1年6か月後に1個流し生産を開始した。現時点までに得られた効果は次のとおりである。

- 作業時間：25%減
- 作業人員：14%減
- 製造工期：21%減
- 仕掛り量：30%減
- 製品品質：クリーンルーム拡張、組立寸法精度向上

これらの効果は、各部門ごとの効率を追求した従来の改善では得られない大きな効果である。これらに加え、各部門にまたがる物作りの仕組みを全員参加で変えられたこと、長年培われてきた人の意識を変革できたことが大きな収穫であった。

今後は、1個流し生産方式の仕組みをうまく活用して、生産効率を更に向上させ、大形変圧器の高品質化と価格競争力の強化を図っていきたい。

小規模プラント用監視制御システム

スポットライト

“MACTUS300SR”

小規模公共プラント用監視制御システム“MACTUS300SR”の基本システムは、制御用システムバス“MELSEC-NET/10”上に、監視装置“MACTUS350SR/360SR/370SR”と制御装置“MACTUS330SR/330A”や遠隔通信装置“MACTUS-DAS”を接続したシステムです。

オープンアーキテクチャを採用し、容易なデータ解析と維持管理の更なる向上を追求し、場内・場外設備の効率的な情報収集が可能な伝送広域化システムにも対応しています。これにより、従来の監視制御の枠を超えたアプローチが容易に行えるシステムとなっています。

特長

1. コストパフォーマンスの良さ

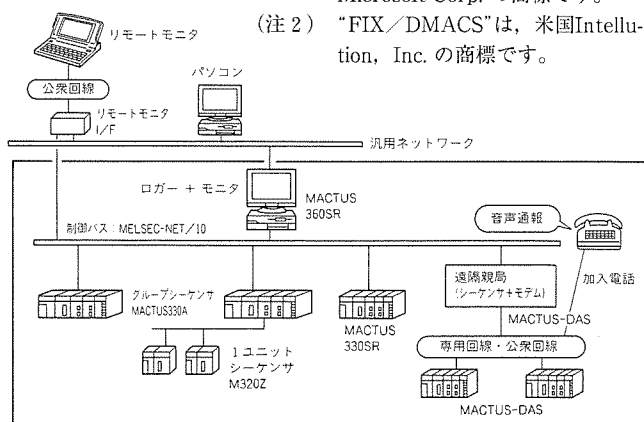
- 工業用パソコンとグループシーケンサの使用により、規模に応じた安価なシステム構築が可能となっています。
- グループコントローラMACTUS330SRでは、従来別の装置で実現してきたシーケンス制御とループ制御を、1台のコントローラで実現しました。

2. 使いやすく拡張性に優れた操作環境

- 監視装置はWindowsNT^(注1)をベースに構築しているため、市販ソフトウェアとのリンクも容易です。
- グラフィック画面にはFIX/DMACS^(注2)を採用してお

(注1) “Windows NT”“Excel”は、米国Microsoft Corp. の商標です。

(注2) “FIX/DMACS”は、米国Intellution, Inc. の商標です。



MACTUS300SR システム構築

り、従来の監視装置では表現できなかった複雑な図形や多彩な色、アニメーション効果や三次元表現を可能としています。

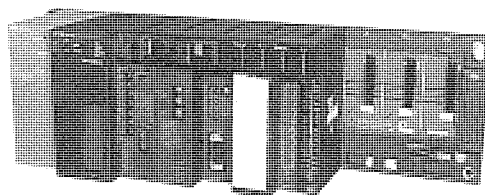
- また、帳票はExcel^(注1)をベースに構築し、複雑な操作を覚えることなく操作できる環境が実現されています。
- 監視装置をサーバとして、情報系のLAN経由で事務所等のパソコンとの間でクライアント/サーバシステムを構築することも可能です。

3. 高信頼性・高速性を実現

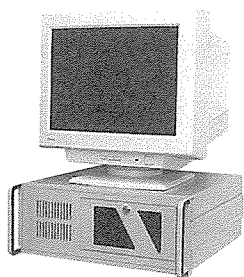
- 高信頼性を実現するために、監視装置、制御装置のハードウェアを強化しております。
- MACTUS330SRでは、ネットワーク、CPU、電源の二重化が可能です。また、CPUには、シーケンス制御用のメインプロセッサに加えて、演算制御用のプロセッサを実装しました。

4. 遠隔監視

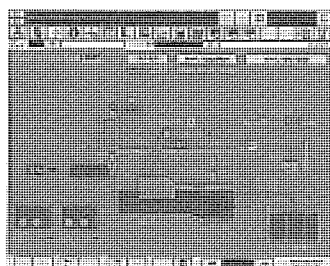
- プラントの省力化や夜間無人化等を支援する様々な広域監視制御装置と接続可能です。
- モデム内蔵シーケンサであるMACTUS-DASでは、専用回線や公衆回線を利用して、処理場とは離れたポンプ場の監視制御を行うことができ、音声通報機能を追加することも可能です。
- また、リモートモニタ装置では、遠隔地から公衆回線を利用してプラントに電話回線接続を行い、プロセスデータ等をグラフィカルな画面で監視することができます。
- MACTUS-DASの音声通報装置とリモートモニタ装置の併用で、効果的なりモート監視を行うことが可能です。



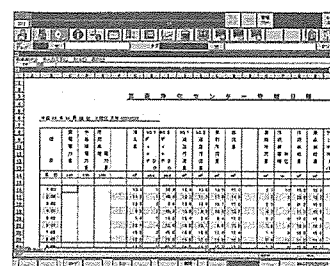
MACTUS330A



MACTUS360SR本体



MACTUS360SRのグラフィック画面



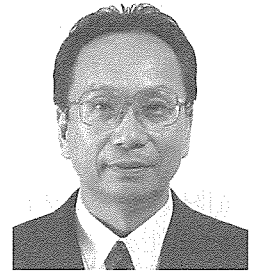
MACTUS360SRの帳票データ表示画面

モバイルコンピューティングの展望と 当社の取組

携帯電話・PHSなど移動体通信端末の飛躍的な需要拡大とノートパソコンの小型化・軽量化等を背景として、モバイルコンピューティングの環境が整いつつあります。従来は、スケジュールや住所録等の個人情報管理や、セールスマンによる特定用途向け業務端末などの利用形態が主でした。しかし、データ通信サービスなど移動体通信インフラの整備やインターネットの爆発的な普及に伴って、最近では、外出先や移動中に電子メールを利用したり、社内のデータベースにアクセスして最新の情報を瞬時に入手する等、業務での幅広い利用が注目を集めています。

当社は、ペン入力ベース携帯パソコンを企業の業務用途専用端末として事業を開始しました。1996年3月には、一般的な用途にも使用できる新たなモバイルコンピュータとして“AMITY SP”を製品化し、そのざん(斬)新なデザインとコンセプトが高い評価を得ました。その後も、キーボード入力ベースの“AMITY CN”を投入するなど、積極的な事業展開を推進しています。今回、この特集号でご紹介するように、当社の研究所及び技術センターの先端技術と当事業本部の実装技術を結集して、新しいコンセプトに基づく超薄型・超軽量モバイルコンピュータ“Pediton”を開発し、製品化しました。携帯性を重視し、A4サイズのノートパソコンとして18mmという極限の薄さを追求したもので、ビジネス用のかばん(鞆)に入れても違和感なく、常に持ち運びできることがPeditonの最大の特長です。この実現のため、液晶表示装置、キーボード、バッテリー、放熱構造等、パソコンの主要構成要素を自主開発した成果として誕生したものであり、必ずや皆様のご期待に沿えるものと確信しております。

常務取締役
情報システム事業本部長
武藤達也



モバイルコンピューティングは様々な可能性を秘め、今後普及していくことは確実と思われませんが、克服すべき課題も多々あります。移動に伴う携帯性・省資源性・省電力性の問題のほかに、通信品質・速度・コスト等の無線にかかわる問題、オフィスの情報システム環境との連続性の問題、安全性・モラル・セキュリティ・プライバシー等の運用の問題を解決する必要があります。当社は、社内と社外をシームレスに接続するオフィス／モバイル連携ミドルウェアや、最先端の暗号技術を適用したモバイルセキュリティシステム等の開発と製品化を行っています。これらを通じて上記の課題に取り組み、真に利便性の高いモバイルコンピューティング環境の実現を目指しています。

従来のアプリケーションをモバイルコンピューティングで実現しようとする、情報機器の携帯や無線通信はハンディキャップとなります。しかし、その一方で、モバイルの特性を生かした新しいアプリケーションの可能性もあります。プッシュ型サービスにより、街中でイベントや商品などの情報を提供できるなど、モバイルコンピューティングならではの利用形態がいろいろと考えられます。また、パーソナル化の進展とともに、家庭生活・社会生活をサポートするアプリケーションも今後急速に発展することが期待されます。

モバイルコンピューティングには幅広いベンダーが関係していますが、情報機器メーカー、通信キャリア、ソフトウェア会社が協力して、課題の解決や新しいアプリケーションの開発に当たる必要があります。当社もその一翼を担って、モバイルコンピューティングの推進と普及に向けて努力していく所存です。

超薄型・超軽量携帯パソコン Pedionの特長

平山正治* 岡部正志**
山田忠利* 小野正夫***
山本 卓* 竹内 哲*

要 旨

三菱電機は、最先端技術を駆使して携帯性、機能・性能、操作性を追求した三菱モバイルコンピュータ“Pedion”を1997年9月に発表した。Pedionは、“持ち運べるオフィス環境”というざん(斬)新な製品コンセプトの実現を目指して、普通のかばんにすっぽり入る雑誌1冊程度の携帯性と、デスクトップ型パソコンに匹敵する高機能・高性能の両方を兼ね備えた、これまでの携帯パソコンの概念を打ち破る全く新しいジャンルの製品である。

Pedionは、きょう(筐)体込みで薄さ6.2mmの液晶表示装置、薄さ3.6mmのキーボード、薄さ4.2mmのバッテリー、肉厚1.0~1.2mmのマグネシウム筐体、及びこの筐体による薄型放熱構造等の世界最高水準の独自技術を含み、A4

サイズの携帯パソコンとして世界最薄：18mm、最軽量：1.45kgを実現している。また、最先端MMXテクノロジーPentiumプロセッサ(200/233MHz)を搭載し、12.1インチの大型TFTカラー液晶ディスプレイを含む高性能・高機能携帯パソコンである。

携帯性と高性能が両立したPedionを常時持ち歩き、オフィス、出張先、移動中、家庭等の様々なシーンで利用することにより、従来のノートパソコンの枠にとらわれない、あらゆる方面での大きな発展が期待できる。Pedionは、今後のビジネス形態、ひいては情報社会全般をも創造・革新する戦略的メディアである。

(注) “MMX”“Pentium”は、米国Intel Corp.の商標である。



超薄型・超軽量携帯パソコン Pedion

Pedionは、最先端MMXテクノロジーPentiumプロセッサ(200/233MHz)と12.1インチカラー液晶表示装置を搭載し、A4サイズのノートパソコンとして世界最薄：18mm、最軽量：1.45kgを実現した超薄型・超軽量かつ高性能な携帯パソコンである。

1. ま え が き

三菱電機は、最先端技術を駆使して携帯性、機能・性能、操作性を追求した三菱モバイルコンピュータ“Pedion”を1997年9月に発表した。Pedionは最先端MMXテクノロジーPentiumプロセッサ(200/233MHz)を搭載し、A4サイズの携帯パソコンとして世界最薄：18mm，最軽量：1.45kgを実現している。さらに、これまでの携帯パソコンの概念を打ち破って，“持ち運べるオフィス環境”という製品コンセプトを実現した全く新しいジャンルの製品である。

本稿では、モバイルコンピュータの技術動向、超薄型・超軽量携帯パソコンPedionの製品コンセプト、特長、及びPedionに適用された最先端の薄型化技術について概説する。

2. 技術動向

最近までに発表されている各種ノートパソコンや携帯情報機器の質量と性能(CPUの動作周波数)の相関を図1に示す。高性能なノートパソコンは質量が3kg以上あって、持ち運びするという観点からはほとんど役に立たず、省スペース型デスクトップパソコンという位置付けであった。一方、小型・軽量のPDA(Personal Digital Assistants)やサブノートパソコンではプロセッサの性能が低く、表示画面やキーボードが小さいため操作性に難があり、各種応用プログラムの機能を十分に発揮できないのが現実である。

このような現況において、オフィスで使われる高性能なデスクトップパソコンと同程度の機能と性能を維持しながら質量を大幅に削減して携帯性を飛躍的に高めた“真の携帯パソコン”の実現が望まれていた。

ノートパソコンでよく使われるインテル社製Pentiumプロセッサの動作周波数と消費電力の変遷を図2に示す。ここ数年のノートパソコン用Pentiumプロセッサの性能は3年で3倍と急速に向上しているが、消費電力の問題から、デスクトップパソコンに使われるPentiumプロセッサに比べると、1世代低い性能に甘んじなければならなかった。しかし、'97年

9月に発表されたMMXテクノロジーPentiumプロセッサは、動作周波数が200/233MHzとデスクトップ型と同程度に高速でありながら、消費電力を従来のノートパソコン用Pentiumの半分程度に低減した画期的なプロセッサである。このような高性能・低消費電力プロセッサの出現により、携帯性の優れた高性能携帯パソコンが容易に実現可能になってきた。

一方、ノートパソコンやPDA等の携帯情報機器では、

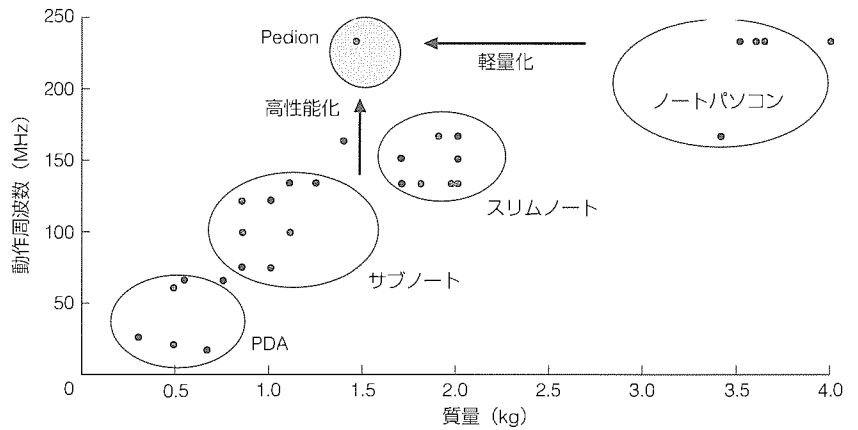


図1. 携帯情報機器の質量と性能の傾向

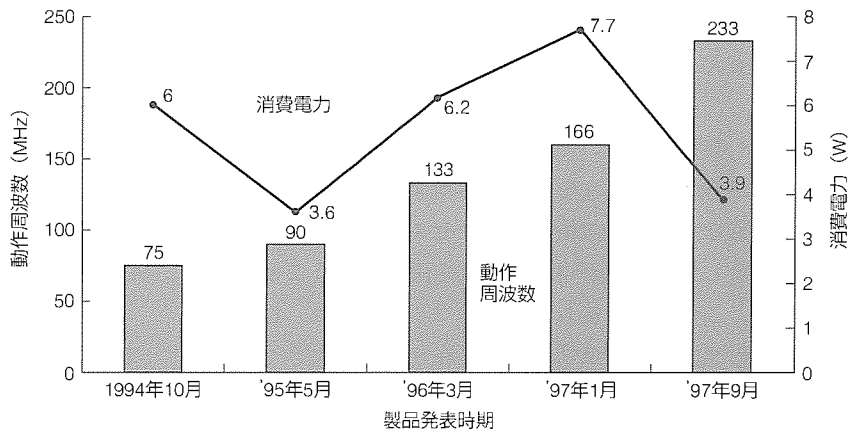


図2. Pentiumプロセッサの動作周波数と消費電力の変遷

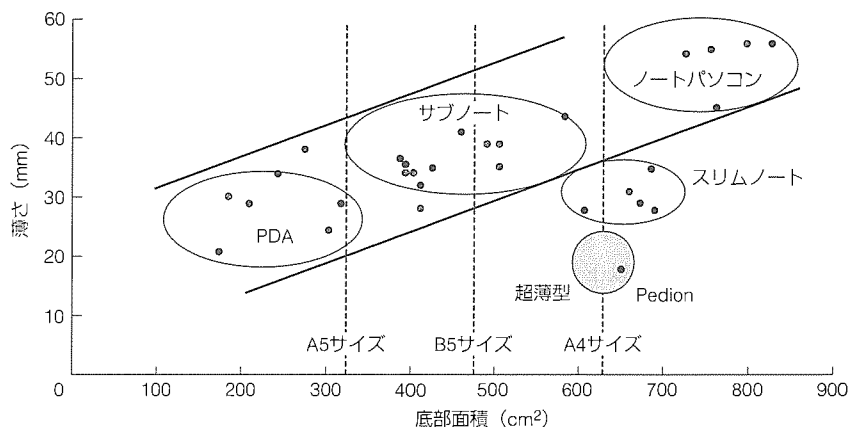


図3. 携帯情報機器の底表面積と薄さの相関

その筐体の底部面積(フットプリント)と薄さに大まかな相関がある。携帯情報機器の底部面積と薄さの相関を図3に示す。これまでのA4サイズのノートパソコンの薄さは40~60mmであり、“スリムノート”と呼ばれる薄型A4サイズのノートパソコンでも30mm程度であった。しかしながら、30mmもの厚味のあるパソコンでは携帯性が著しく制限され、常時持ち運びすることはほとんど困難であった。理想的な携帯パソコンとしては、雑誌1冊程度の薄さで、通常のかばんの中にすっぽりと納まる程度のものが望まれる。すなわち、超薄型への大きな期待があった。

3. 製品コンセプト

これまでのノートパソコンは性能と携帯性が両立していなかったため、多くのビジネスマンはオフィスでは高性能なデスクトップパソコンを使い、外出時には重たいノートパソコンを持ち歩くという2種類のパソコンを使い分けるのが常であった。さらに、自宅にもう1台のデスクトップパソコンを保有し、3台のパソコンを使い分けるケースも多々あった。

このように似て非なる複数のパソコンを使い分けるのは非常に煩雑であるばかりでなく、データやファイルの一貫性を維持することは大変困難であった。さらに、各アプリケーションソフトをそれぞれのパソコンにインストールすることは膨大な投資を必要とするという大きな問題もあった。

このような状況において、高性能かつ携帯性の高い携帯パソコンがあれば、これを常に持ち歩き、オフィスでも外出先でも家でも、最新の情報にアクセスし、素早く分析/処理/判断して、迅速かつ的確な意志決定を行うことが可能である。このような持ち運べるオフィス環境は、将来のビジネス形態、ひいては情報社会の在り方をも大きく革新すると考えられる。

三菱電機では、上記の持ち運べるオフィス環境という新しい製品コンセプトの実現を目指して、普通のかばんにすっぽり入る雑誌1冊程度の携帯性と、最高の機能と性能の両方を兼ね備えた“理想の携帯パソコン”の実現を目指して研究と開発を推進してきた。

このような携帯パソコンとして、以下に示す目標仕様を設定した。

- (1) 雑誌1冊程度の携帯性
 - 質量：1.5kg以下
 - 薄さ：20mm以下
- (2) デスクトップ型並みの機能と性能
 - CPU性能：200MHz以上
 - A4サイズの高画質な液晶表示装置
 - 19mmピッチのキーボード

このように斬新な製品コンセプトと携帯パソコンの実現

のために、従来は市販の部品を組み立てるだけであったパソコンの開発過程を根本から見直し、どのような新規開発が必要かを詳細に検討した。この結果、上記のコンセプトを実現するためには、ほとんどの主要コンポーネントを自主開発する必要性が認められた。具体的には、キーボード、液晶表示装置、バッテリー、筐体等の各コンポーネント、及び放熱技術、省電力技術等の広範な基盤技術の開発が必要であった。

このために、各主要コンポーネントや基盤技術の開発、及び製品プロトタイプを試作を三菱電機の開発本部(先端技術総合研究所、情報技術総合研究所、デザイン研究所)と生産システム本部(設計システム技術センター、生産技術センター)が中心となって推進し、実際の製品化に際しては情報通信システム事業本部(情報システム製作所)が担当するという、全社の総力を挙げた開発推進体制が採られた。

この結果、各主要コンポーネントに関して世界最高水準の薄型化技術を開発し、筐体込みで薄さ6.2mmの液晶表示装置、薄さ3.6mmのキーボード、薄さ4.2mmのバッテリーを実現した。また、肉厚1.0~1.2mmのマグネシウム筐体の薄型放熱構造を開発した。これらの新技術により、最新の高速Pentiumプロセッサと12.1インチ65,000色表示の大画面TFT(Thin-Film Transistor)カラー液晶ディスプレイを備えながら、装置全体で薄さ18mm、重さ1.45kgと、A4サイズで世界最薄・最軽量の携帯パソコンPedionを実現した。

4. 特長と仕様

4.1 世界最薄・最軽量の携帯パソコン

Pedionの最大の特長は優れた携帯性である。A4サイズで厚み18mm、重さ1.45kgであり、その薄さと軽さは世界最高水準である。さらに、ビジネス用途として高い性能を備えている。

このような画期的な薄型化と軽量化は、既存のデバイスを組み合わせるだけでは達成できない。デバイスの大きさが目標とするパソコン外形寸法を既に超えている場合もある。そのため、Pedionの開発においては、ノートパソコンの構成要素を根本から見直し、薄型化と軽量化にかかわりが強いキーデバイスを自主開発することにした。

図4にPedionの構造を示す。表示装置については、従来の表示装置の構造と製造工程を大幅に変更し、液晶パネルを組み込んだ表示部全体で6.2mmの薄さの筐体一体型液晶モジュールを開発した。キーボードについても薄くて使いやすい構造を検討し、ベースの補強板を含めて高さ3.6mmに薄型化している。バッテリーは、携帯性を向上させるため、超薄型リチウムイオンポリマバッテリーを採用した。筐体には1.0~1.2mm厚のマグネシウム合金を使用

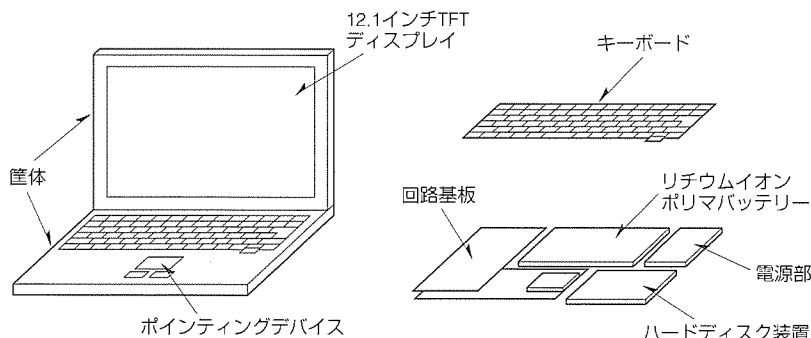


図4. Pedionの構造

し、構造設計と熱設計を活用した薄型構造としている。

性能面では、MMXテクノロジーPentiumプロセッサ(200/233MHz)、大容量メモリ(32/64Mバイト)、128ビット高速ビデオアクセラレータ(Nemagic Graph128)の搭載により、デスクトップパソコンに匹敵する高性能を実現している。バッテリーでの駆動時間は、内蔵バッテリーで約1.8時間であり、増設バッテリーを使用すれば合計7.2時間の長時間駆動が可能になる。増設バッテリーは本体の底部に装着するが、この状態でもA4のサイズで厚さは30mm、重さは2.4kgである。外部インタフェースに関しては、TYPE IIのPCカードスロット2個のほか、多彩なニーズに対応できる構成としている。これらのハードウェアは、高密度実装設計により、薄い筐体内にコンパクトに収納されている。

キーデバイスの自主開発は、個々の薄型化を実現するだけでなく、システム全体の薄型化を考慮して、他のデバイス、実装基板、コネクタ、インタフェース部品等との最適な位置関係が得られる形状・寸法を自由に選べるという効果がある。このことも超薄型、超軽量、高性能を併せ持ったPedionの実現に貢献している。

4.2 仕様

Pedionの仕様を表1に示す。CPUは、長時間のバッテリー駆動と高速処理を両立させるため、省電力タイプの200/233MHzプロセッサを採用した。メインメモリは、標準仕様で32Mバイト、二次キャッシュは256Kバイト、ハードディスクの記憶容量は1Gバイトである。表示装置は、最大65,536色表示の12.1インチSVGA(Super Video Graphics Array: 800×600ドット)TFT液晶ディスプレイである。拡張ユニット経由で外部ディスプレイとの同時表示も可能である。入力部は、Microsoft Windows95対応の85キーの薄型キーボード、及び2ボタンのタッチパッドで構成している。外部インタフェースとしてPCカードスロットが本体の側面に横一列に2個配置されており、各種ネットワークへのアクセスが行える。これに加えて、USB(Universal Serial Bus)コネクタと赤外線通信ポート(IrDA 1.1準拠)を装備している。本体内蔵のバッテリーは

表1. Pedionの仕様

| 本体 | | |
|-------------|--|-----------|
| C P U | MMXテクノロジーPentiumプロセッサ200/233MHz | |
| メ モ リ | RAM: 32/64Mバイト 二次キャッシュ: 256Kバイト | |
| H D D | 1Gバイト | |
| ディスプレイ | 方式: 12.1インチTFTカラー液晶 表示色: 65,536色 解像度: SVGA(800×600ドット) 外部ディスプレイとの同時表示: 可 | |
| キーボード | OADG準拠85キー | |
| ポインティングデバイス | タッチパッド 2ボタン | |
| インタフェース | USB: 1チャンネル PCカード: TYPE II×2 赤外線通信: IrDA1.1準拠 ヘッドフォン出力: ミニジャック | |
| サウンド(内蔵) | モノラルスピーカー, モノラルマイク | |
| 電 源 | バッテリー: リチウムポリマバッテリー バッテリー駆動時間: 約1.8時間 バッテリー充電時間: 約3時間 ACアダプタ: AC100~240V±10% 50/60Hz | |
| 消費電力 | 最大42W | |
| 外形寸法 | 幅297×奥行き218×高さ18(mm) | |
| 質 量 | 1.45kg(内蔵バッテリーを含む) | |
| 拡張ユニット | | |
| ドッキング方式 | ウォームドック(サスペンド状態で本体と着脱可) | |
| CD-ROM | 最大20倍速 | |
| F D D | 3.5インチ×1 | |
| スピーカー | ステレオ | |
| インタフェース | USB, ディスプレイ, キーボード, マウス, RS-232C, パラレル, オーディオ(入力, 出力) | |
| 外形寸法 | 幅297×奥行き228×高さ22(mm) | |
| 質 量 | 1.2kg | |
| 増設バッテリー | | |
| 電 流 容 量 | 5,100mA・h | 1,700mA・h |
| 出力電圧 | 11.1V | |
| 充電器 | 内蔵 | |
| インジケータ | Charge status×1, Level×4 | |
| 外形寸法 | 幅297×奥行き228×高さ11(mm) | |
| 質 量 | 0.9kg | 0.6kg |

約3時間の充電で約1.8時間の駆動が可能である。折り畳んだときの全体の外形寸法は幅297mm、奥行き218mm、高さ18mmである。

拡張ユニットは、最大20倍速のCD-ROM装置、FDD、ステレオスピーカーを内蔵している。また、外部ディスプレイ、プリンタ、RS-232C、USB、オーディオ入出力、マウス、キーボードのインタフェースを持ち、種々の外部周辺機器との接続が行える。

増設バッテリーは2種類あり、5,100mA・hの大容量タイプでは約9時間の充電でバッテリー駆動時間が5.4時間、1,700mA・hの軽量タイプでは約3時間の充電でバッテリー駆動時間が1.8時間増加する。いずれの増設バッテリーも充電器を内蔵しており、単独でも充電できる。

5. 薄型化技術

5.1 表示装置

従来のノートパソコンの表示部は、液晶パネル、駆動回路、及びバックライトユニットを組み合わせたモジュールを製作し、これをバックライトの蛍光灯用電源のインバータ等とともに筐体に組み入れて全体を構成する。Pedionでは、光学シミュレーション技術の適用によるバックライト系の最適化や、薄型インバータの開発など個々の部品の薄型化を図った。

さらに、表示部全体の製造過程を見直し、液晶パネルと筐体を一体化する新しい構造と製造プロセスとした。この変革により、液晶モジュールに使われる構造部品が削除でき、厚さ6.2mmの超薄型液晶ディスプレイが実現した。

このように、部品単体の薄型化だけでなく、部品の組み合わせ方によっても薄型化を図るという方法は、液晶ディスプレイ以外にも随所に適用している。

5.2 キーボード

キーボードの使いやすさは、キーのストローク長、適切な静的・動的反力、クリック感、キーとキーの間隔(キーピッチ)に大きく依存している。

Pedionのキーピッチは、軽快な入力操作に必要なかつ十分な19mmとしている。しかし、ストローク長、反力、クリック感に関してはキーボードが薄くなるとともに一般には不利になり、通常は、キーボードの高さが10mm以上になっている。そこで、構造と操作性の解析及び試作・評価を繰り返し、キー本体と機構部を一体成形したラバーキーの開発と構成部品の徹底的な薄型化によって超薄型のキーボードを実現した。ラバータイプのキーボードは、キーの端部を押さえると、斜めにキーが押し込まれ、キーの下にある接点がON状態にならない場合がある。これを解決するため、一つのキーに対して複数の接点を設置し、キーが斜めに押された場合でも確実にON状態になるようにした。ラバータイプのキーボードは機構部がすべてラバーである

ので、静かなキー操作が軽快に行えるという特長もある。

ラバータイプのほかに、キートップ(キーの表面)の1辺をヒンジ構造にした、キーと反力用のラバーを組み合わせたヒンジタイプのキーボードを開発した。全体のキー及びラバーはそれぞれ一体成形している。ヒンジ型は、キーの1辺が固定されているので、キー操作に安定感があるという長所がある。

キーの形/材質/接触感/色、キーボードとパッド等のポインティングデバイスとの位置関係、キー全体の配置などに関しても、数多くの試行を経て、寸法上の制約の中で最大限の操作性が得られる仕様とした。

完成したラバータイプ及びヒンジタイプのキーボードは、ベース板を含めて高さ3.6mmという超薄型であり、従来の1/3程度である。ストローク長は1mmでありながら、十分な操作性と使用感が得られている。

5.3 バッテリー

携帯パソコンは、軽量・薄型であるとともに、移動中での動作時間が長いことが要求される。そのため、バッテリーは、エネルギー密度(単位体積又は単位質量に充電できる電気エネルギー)が大きいことが必要である。

Pedionに搭載したリチウムイオンポリマバッテリーは、体積エネルギー密度が235W・h/l、質量エネルギー密度が120W・h/kgである。この値は、従来の角形リチウムイオンバッテリーに比べて、体積エネルギー密度は同等で、質量エネルギー密度は大きい。質量エネルギー密度が大きい理由は、電気エネルギーを蓄えるための部材の充てん(填)密度が高く、また、原理的に、丈夫な金属ケースで密閉する必要がないためである。同じ充電容量の場合、リチウムイオンポリマバッテリーは、軽量になるという長所があり、薄型・軽量の携帯パソコンに適したバッテリーである。

リチウムイオンポリマバッテリーは、液体の電解質(電解液)を持たない構造であり、液漏れによるトラブルの発生がない。さらに、くぎ(釘)刺しや切断など外部からの機械的な損傷に対しても個体ポリマ電解質自身による保護機能が高く、安全面においても優れた性能を持っている。

5.4 筐体

筐体材料には、軽くて剛性の高いマグネシウム合金を採用した。マグネシウム合金は、プラスチックと比較して密度は約1.5倍であるが弾性率は10倍程度あるため、薄型化に適している。ただし、肉厚を薄くすると、筐体に荷重がかかったときのたわみ量が急激に増えるので、材料強度と構造を考慮して最適な肉厚にする必要がある。そのため、肉厚の決定に際しては、有限要素法による構造解析を行って荷重に対する各部のたわみ量を計算し、筐体自体の厚みと荷重に対するたわみの合計が最小になるときの厚みを最適値とした。

筐体は、部品を保持する容器であると同時に、放熱媒体でもある。ファンやヒートパイプで発熱部品の放熱を行う方法もあるが、薄型化には適しない。そこで熱解析技術を適用し、筐体による自然放熱構造の最適設計を行った。最も発熱の密度が高いプロセッサチップの熱は、熱伝導ラバーを介してアルミ板でいったん拡散し、筐体表面で外部に放散する。その他の部品に関しては、分散配置することによって筐体から有効に放熱させている。また、熱の伝達・拡散に他の部品の補強材料を利用するなど、システム全体の熱設計によって高密度実装に伴う熱の問題を解決している。

放熱面である筐体に人が触れた場合、金属筐体はプラスチック筐体に比べて体感温度が高い。そのため、発泡材を混入した塗料で筐体表面をコーティングし、体感温度を低減させている。

6. むすび

以上、超薄型・超軽量携帯パソコン“Pedion”の製品コンセプトと特長、及びPedionに適用された最先端の薄型化技術について述べた。Pedionは、単に薄い・軽いというハードウェア上の特長だけでなく、“持ち運べるオフィス環境”という斬新な製品コンセプトを実現した全く新しいジャンルの製品である。Pedionは、従来のノートパソコンの枠にとらわれない、あらゆる方面への発展が期待できる“創造・革新のための戦略的メディア”である。

今後も更に携帯性の高い携帯パソコンの開発を進めていくとともに、斬新な使い方、応用分野への展開も積極的に推進し、モバイルコンピューティングの発展に取り組んでいく所存である。

Pedionの筐体一体型LCDモジュール

梅崎光政* 熊谷 隆**
 結城昭正* 爰河 徹***
 松本貞行* 古内浩二+

要 旨

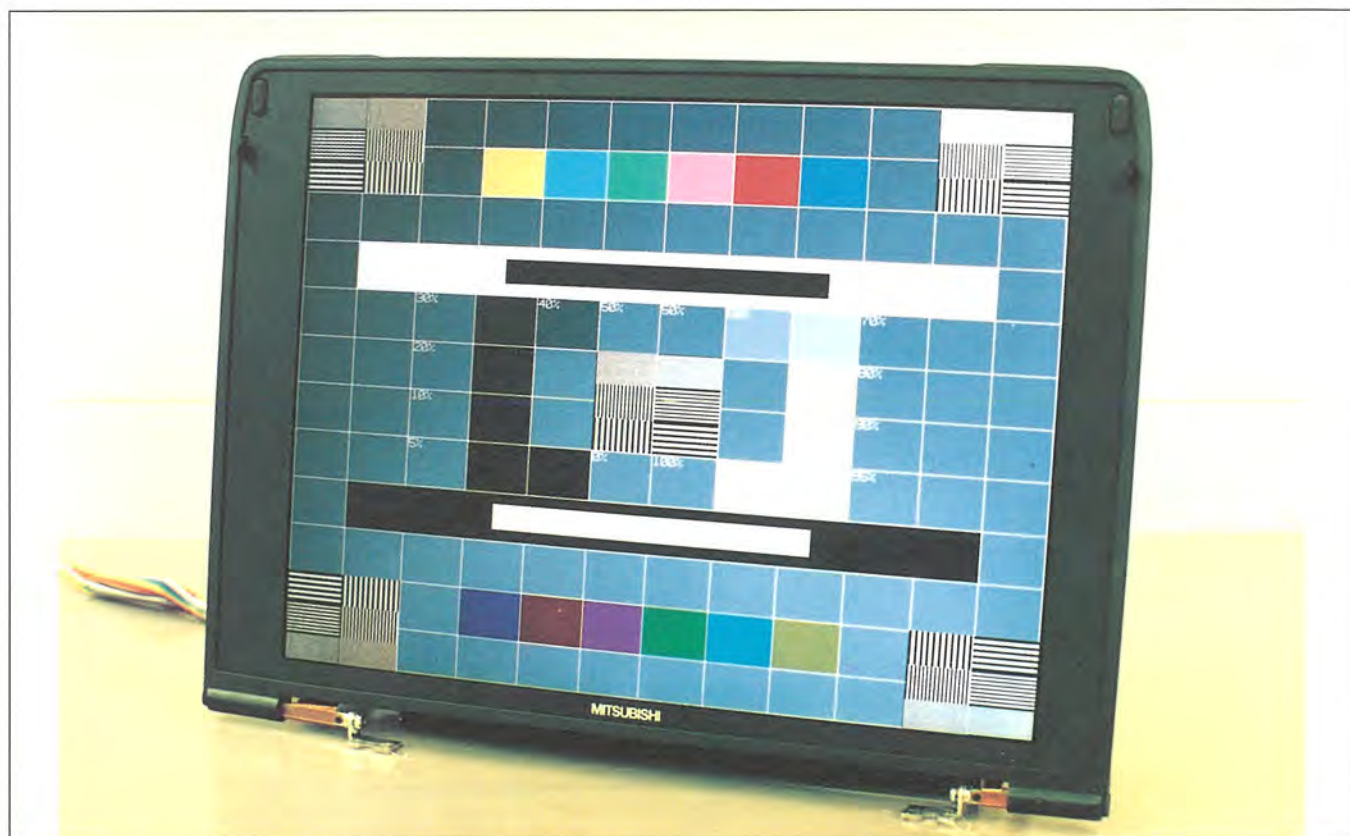
超薄型モバイルコンピュータ“Pedion”に搭載する12.1インチ高精細TFT(Thin-Film Transistor)カラー液晶モジュールを開発した。

この開発では、画期的な薄型化を実現するため、従来のノートパソコンの液晶モジュールのコンセプトを打破し、パソコンの意匠きょう(筐)体へ、液晶パネル、制御回路、バックライト、及びバックライトへ電力を供給するインバータを直接組み込む方式を取り入れた。モジュール自体がそのままパソコンのふた(蓋)になるというざん(斬)新な発想に基づくもので、筐体一体型モジュールと呼んでいく。

薄型化を実現するためのキーテクノロジーとして、次の課題に取り組んだ。

- モジュールの実装技術、筐体材料
- バックライトの薄型・高効率化
- 圧電インバータの適用
- 回路基板の薄型化

これらのキーテクノロジーの集積により、世界で最も薄い(厚さ6.2mm)12.1インチ筐体一体型のTFTカラー液晶モジュールを実現した。なお、解像度は800×600画素、可能な表示色数は約26万色である。



モバイルコンピュータ“Pedion”の筐体一体型LCDモジュール

厚さ6.2mmの超薄型筐体一体型LCDモジュールの外観と、テストパターンによる表示である。

1. ま え が き

モバイルコンピュータを含めてノートパソコンの薄型・軽量化が進む中、構成部品では、この目的に沿った開発が絶え間なく続けられている。TFTカラー液晶モジュールにおいても、薄型・軽量化は、大画面、高解像度、高輝度、低消費電力化とともに重要な技術課題である。

しかし、モジュール厚さは制御回路、バックライト、実装等の技術開発によって極限に近い状態まで薄型化が進められており、パソコンの薄型化を進める上で、更なる技術のブレークスルーが必要であった。

モバイルコンピュータ“Pedian”の開発に際して、表示品質に影響を与えることなく、画期的な薄型化を図ることを基本方針として進めた。従来のモジュールは、インバータ等の他の部品とともにパソコンの意匠筐体へ組み込まれており、筐体が二重三重の構造となっている。今回の開発では、筐体の重複を見直す中で新しいモジュールのコンセプトを創生し、また、薄型化を図る上で必要な項目として、バックライト、インバータや制御回路を課題とした。

本稿では、モジュールの薄型化への手法と、その結果について述べる。

2. モジュールの薄型化及び構成

TFTカラー液晶モジュールの薄型化を進めるため、開発に際して次の課題に取り組んだ。

- モジュールの実装技術、筐体材料
- バックライトの薄型・高効率化
- 圧電インバータの適用
- 回路基板の薄型化

この章では、これらについて述べる。

2.1 モジュールの実装技術、筐体材料

従来のノートパソコン用のTFTカラー液晶モジュールでは、バックライトの構成部材、TFTパネル、制御回路基板等は、プラベースで固定され、モジュールのフレームに組み込まれていた。パソコンではさらに意匠筐体へ組み込まれ、フレームや筐体等の保持構造が重複し、ノートパソコン薄型化を進める上での課題であった。

Pedianの開発では、画期的な薄型化を実現するために、従来のノートパソコンの液晶モジュールの概念を打破して、パソコンの意匠筐体へ液晶パネル、制御回路、バックライトユニット、インバータなどを直接組み込んだ筐体一体型モジュールを採用した。

図1に今回開発した筐体一体型のTFTカラー液晶モジュールの全体構造を示す。意匠筐体には、薄型化・軽量化を図りながら強度

を保つために、マグネシウム合金を採用した。また、流動解析等により、意匠筐体の平均肉厚1mmを達成した。

マグネシウム筐体には位置決め用のリブを設け、フロントフレームによる押さえと併せて、意匠筐体の中で液晶パネルやバックライトを所定の位置に固定できる構造とした。従来0.5mm程度としてきたバックライトとパネル間のスペースは、光学的な影響を検証の上、0.1mm以下にして薄型化に反映させた。屋外の厳しい環境下で使用されるモバイルコンピュータであることを十二分に配慮し、薄さのみならず、衝撃・振動及び温度変化にも十分に対応できるように、構造面でも細部にわたって検討を加えている。

2.2 薄型バックライト

バックライトの薄型化は、導光板の厚さ、ランプ径、ランプリフレクタ形状の検討から進めた。

まず、パネル全体の厚さを左右する導光板の入光端厚さは2.0mmに設定し、これに合わせて冷陰極管は、量産性も考慮して、外径2.0mmの細径管を選定した。

ランプリフレクタには①高い光の利用効率、②小さい冷陰極管との電気容量、③低い熱ロスが望ましい。光の利用効率は、冷陰極管から出た光の導光板への入射率であり、高いほど、低い消費電力で高い輝度を実現することができる。冷陰極管との電気容量は、冷陰極管からリフレクタへのリーク電流に影響を与える。大きいと、発振周波数の高いインバータでは、リーク電流が増大し、冷陰極管発光量に軸方向の勾配が生じる。リフレクタからの熱ロスは省電力点灯時の冷陰極管温度に影響し、大きいと、冷陰極管温度が下がり、発光効率が低下する。

以上を勘案し、リフレクタには、反射率の高い銀薄膜を内面にコートした大型の多角形金属リフレクタを採用した。

リフレクタ形状の決定には、独自に開発した光粒子軌跡シミュレータを用いた。このシミュレータはMonteCalro法を基本原理とし、光粒子の冷陰極管ガラスの内外表面における角度依存のある反射と屈折、蛍光体層における散乱

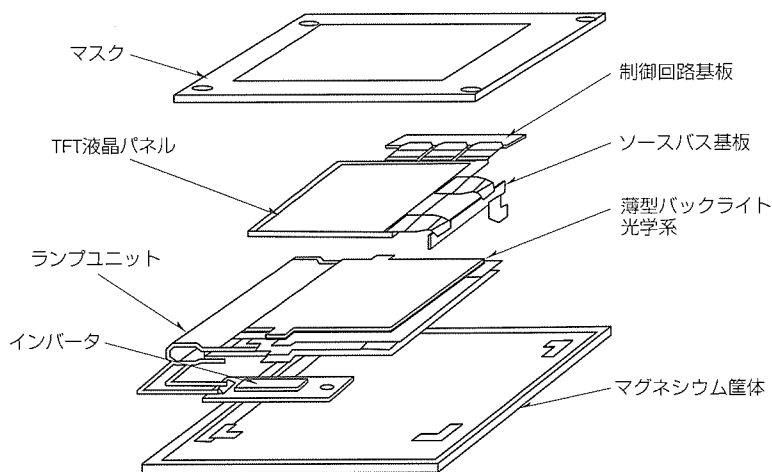


図1. 筐体一体型TFT液晶カラーモジュールの構造

透過と散乱反射と吸収，金属表面における反射と吸収が考慮されている。計算モデルと計算に用いた物性値の妥当性は，図2に示すように，導光板厚さと光利用効率の関係に関する計算結果が球面光束計による実測値と一致することから確認されている。

図3は，この多角形リフレクタと一般的な円形リフレクタにおける，冷陰極管の位置と光入射効率の関係を示す計算結果である。多角形リフレクタは，円形リフレクタと比べて平均的な光の利用効率が高く，しかも，ランプ位置のずれによる光の利用効率の変動が小さい。この原因は，円形リフレクタの場合，リフレクタの中心と冷陰極管の中心が重なった場合に，冷陰極管から出た光が反射されて再度冷陰極管に戻り蛍光体に吸収される確率が増大するのに対し，多角形リフレクタでは，吸収率が増大する特異点がな

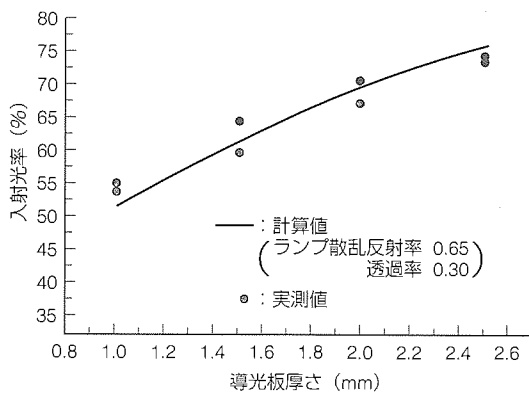


図2. 導光板厚さと光利用効率の関係

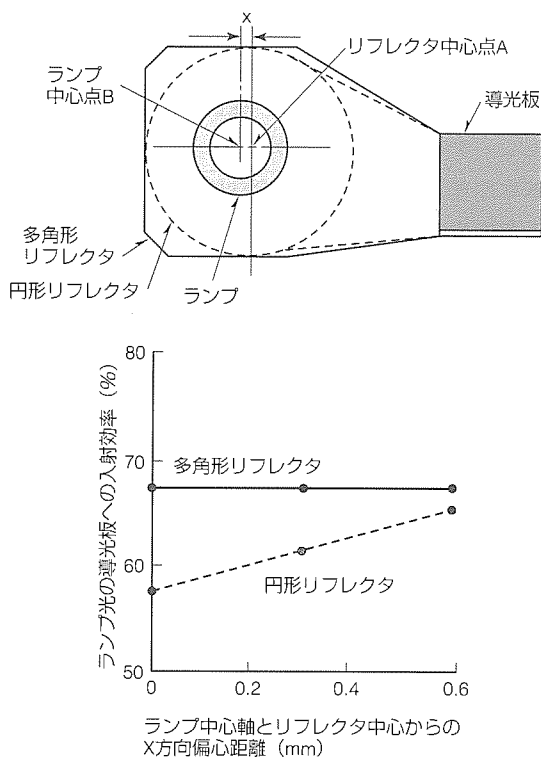


図3. 冷陰極管中心位置と光利用効率の関係

いたためである。このため，組立てのばらつきによるバックライトの光利用効率の個体差が小さく，量産に適した構造と期待される。

この大型多角形リフレクタはリーク電流も少ない。発振周波数120kHzの圧電トランス型インバータを用いた場合の，このバックライトと従来のバックライトの面内輝度分布の比較を図4に示す。従来のバックライトに比べ，リーク電流による軸方向輝度分布が大幅に改善されているのが分かる。これにより，圧電型インバータと銀コートリフレクタの組合せが可能になった。さらに，大型リフレクタは，空気層の断熱効果もあるため，断熱の条件にも適している。

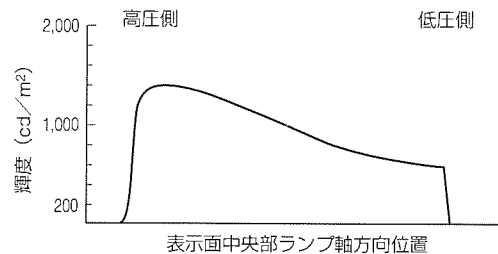
2.3 圧電トランス型インバータ

従来TFT液晶モジュールの外側に配置されていたインバータは，筐体一体型モジュールではモジュール内に収納される。超薄型のTFTモジュールを実現する上で，インバータの薄型化は不可欠である。また，インピーダンスの高い2mm径の冷陰極管を効率良く使う上で，高い昇圧比と変換効率が求められる。今回の開発では，これらの条件を満たすため，セラミックの圧電効果を利用した圧電トランス型インバータ⁽¹⁾を検討した。長期信頼性，耐衝撃・耐振動性，温度特性等を検証の上，次に示す圧電トランス型インバータを搭載した。

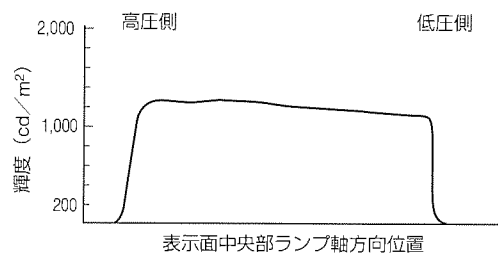
厚 さ：4.3mm

入力電圧：8～16V

図5に薄型バックライトとの組合せによる入力電圧とバックライト輝度との関係を示す。入力電圧範囲を広くし，電池又は交流電源アダプタのいずれのモードにも適用できる設計とした。



(a) 従来品



(b) 開発品

図4. バックライト面内輝度分布の比較

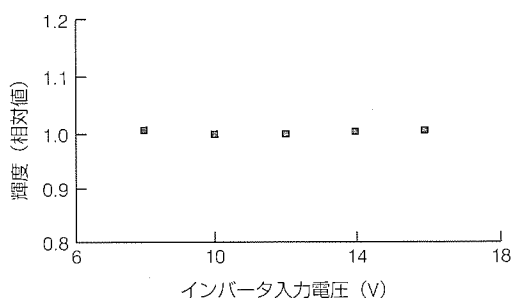


図5. インバータ入力電圧と輝度

2.4 制御回路

モジュールの薄型化を実現するため、ゲート部の基板枚数の削減と実装高さの低減を行った。

ゲートバス基板と制御基板(電源回路を含む。)を1枚構造にして厚みを抑えた。また、コネクタを含め低背部品を選定することで、実装高さ最大2.55mmを実現した。

3. 製品の特性

3.1 特長

Pedion用に開発したTFTカラー液晶モジュールの特長を以下に示す。

(1) 筐体一体型

TFTカラー液晶モジュールがそのままモバイルコンピュータの表示部となる。パソコンの意匠筐体内への組み込みが必要であった従来のモジュールと異なり、パソコン本体とヒンジで固定し、ケーブルを接続するのみである。

(2) 超薄型

筐体一体型のコンセプトによって、モジュールのフレーム部、バックライトのプラベース部等の構造保持部品の重複を避けた。また、部品の見直しで、12.1インチ筐体一体

型の、世界で最も薄い(厚さ6.2mm)TFTカラー液晶モジュールを実現し、モバイルコンピュータの大幅な薄型化を可能にした。

(3) 軽量化

導光板の薄型化によってモジュールの軽量化を実現した。

(4) 強じん(靱)な筐体

筐体にマグネシウム合金を採用し、薄型化・軽量化の実現に加えて、筐体の機械的強度を向上させた。

3.2 製品の仕様

以下に、この製品の主な仕様を示す。

| | |
|--------------------------|---------------------------|
| 表示面積(mm) | : 246.0×184.5(対角12.1インチ型) |
| 画素数 | : (横)800×(縦)600 |
| 可能表示色数 | : 262,144(RGB各6ビット) |
| 画面輝度(cd/m ²) | : 70 |
| 外形寸法(mm) | : 297×218×6.2 |
| 質量(g) | : 640 |

4. むすび

この製品は、筐体一体型という新しいコンセプトに基づいた12.1インチクラスで、世界で最も薄型のTFTカラー液晶モジュールである。今回、モバイルコンピュータ“Pedion”用として開発した。

モバイルコンピュータという新しいパソコンの分野を支えるキーデバイスとして、今後とも一層の性能の向上を図っていく所存である。

参考文献

- (1) Rosen, C.A.: Proc.Electronic Component Symp., 205 (1957)

Pedionの超薄型キーボード

内澤 学* 羽島一夫*
 表野 匡** 石塚健彦†
 松山 賢***

要 旨

パソコンの小型化・軽量化は急速に進展し、デスクトップタイプからノートタイプへ、最近では更に携帯性を強化したモバイルコンピュータへの期待が高まっている。

モバイルコンピュータに適用されるキーボードは、徹底した薄型化と良好な操作性の維持といった互いに相反する要求事項を満たさなければならない。

その実現のために、従来のキートップガイド機構を見直すことにより、ラバータイプキーボードとヒンジタイプキーボードの、2方式のキーボードを新たに開発した。両方式ともデスクトップパソコン用キーボードと同程度のキーピッチ19mmでありながら、全体の厚さは3.6mmという超

薄型キーボードである。

ラバータイプキーボードはクリックラバーだけでキートップを保持するシンプルな構造、ヒンジタイプキーボードはヒンジでキートップを支持する構造とすることにより、超薄型化を実現した。

快適な操作性を実現するために、操作感に関するモニタ試験を実施し、その結果を設計にフィードバックした。

モバイルコンピュータ“Pedion”用に開発したこのキーボードの構造は従来のパソコン用キーボードと大きく異なり、今後のモバイルコンピュータ向けの新方式のキーボードとして提案する。



モバイルコンピュータPedion用キーボード

モバイルコンピュータPedion用に開発した超薄型キーボード(ラバータイプ)である。全体の厚みは3.6mm、重さは100g、キーピッチは19mmであり、新構造によって超薄型、軽量化を実現した。

1. ま え が き

パソコンの小型化・軽量化は急速に進展し、デスクトップタイプからノートタイプへ、最近では更に携帯性を強化したモバイルコンピュータへの期待が高まっている。

モバイルコンピュータの実現に向けてはキーデバイスの徹底した薄型化が必要であるが、キーボードは、単に薄くするだけではなく、マンマシンインタフェースとして十分な操作性を満足するものでなければならない。

そこで、薄型化と操作性の維持といった相反する要求を実現する方法として、ラバータイプとヒンジタイプの二つの方式のキーボードを開発した。両方式ともデスクトップパソコン用キーボードと同程度のキーピッチでありながら、全体の厚みは3.6mmという超薄型のキーボードである。

本稿では、Pedion用に開発した超薄型キーボードの薄型化技術、操作性検討の概要について述べる。

2. キーボードの薄型化

キーボードの携帯性強化に対しては、操作性を犠牲にせずに、薄型化することが必要である。

キーピッチは操作性の観点から19mm程度が望ましく、Pedion用キーボードもキーピッチを19mmとした。

従来のキーボード構造で厚みが大きくなる主な要因はキートップガイド機構である。キートップガイド機構とは、キートップの傾きを抑え、入力性・操作性を維持するために設けられている機械的なガイド機構で、薄型ノートパソコン用キーボードでは、スライド機構やパンタグラフのようなガイド機構が用いられることが多い。キーボードの大幅な薄型化実現のためには、このガイド機構の見直しが必要である。

従来のガイド機構に代わる方式として、ラバータイプキーボードとヒンジタイプキーボードについて検討を行った。ラバータイプキーボードには、クリックラバーにクリック感を生じさせる基本機能に付け加えて、キートップを保持



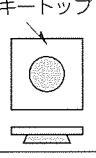
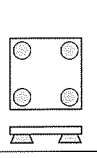
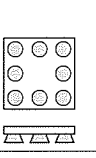
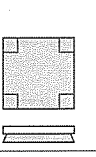
| | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|
| クリックラバー形状 |  |  | | |
| ドーム型 | | 箱型 | | |
| キートップとクリックラバーの位置関係 |  |  |  |  |
| 接点数 ラバー数 | 1 1 | 4 4 | 8 8 | 4 1 |
| 入力性 | × | ○ | ○ | ○ |

図1. クリックラバーと入力性

する機能も持たせた。そのため、従来のキートップガイド機構がなくなり、薄型化が実現できた。ヒンジタイプキーボードは、キートップの支持をヒンジ構造とすることにより、キートップガイド機構の厚みが大幅に削減でき、薄型化が実現できた。

両方式とも、キートップのどの位置を押した場合でも確実に入力され、十分な操作性が得られている。以下に、両方式の要素技術、構造、特長について述べる。

3. ラバータイプキーボード

薄型化のためにクリックラバーだけでキートップを保持する構造を適用する場合、従来のキーボードのようにキートップ裏面中央にドーム形状のクリックラバーを1個配置するだけでは、キートップの端を押した場合に、キートップが傾くだけで入力されないという問題が生じる。

その解決策としては、クリックラバーの数をキートップ周囲に増やすことが有効である(図1)。しかしながら、製造コスト、生産性の観点からクリックラバーの数は減らす方が望ましい。そこで、クリックラバーを図に示す箱形にし、その天面をキートップとほぼ同形状にした。この構造ではキートップ外周にラバーが配置されるため、キートップを安定に保持できる。また、クリックラバー天面裏側の4隅にメンブレンシートを押す突起を設けてあるため、キートップの端を押した場合でも確実に入力できる。

ラバータイプキーボードの基本構造(断面図)を図2に、基本性能を表1に示す。組立てはキートップ一体型ラバー、メンブレンシート、補強板をそれぞれ接着するだけであり、生産性においても優れている。このようなラバータイプキーボードは、メカニカルなガイド機構を設けていないため、静かなキー操作が軽快に行えるということが特長である。

4. ヒンジタイプキーボード

ヒンジタイプキーボードの基本構造(断面図)を図3に示

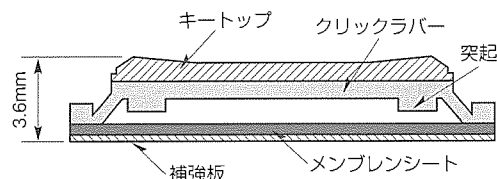


図2. ラバータイプキーボードの構造

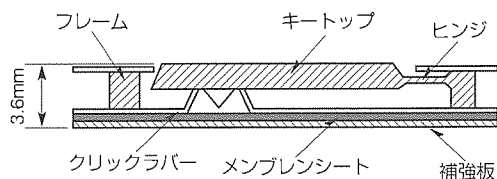


図3. ヒンジタイプキーボードの構造

す。キートップを押すとヒンジを支点にキートップが斜めに傾き、クリックラバーが座屈し、その天面裏にある突起がメンブレンシートを押し、スイッチが入力される。基本性能は表1に示すラバータイプと同様である。図に示すように、ヒンジ構造はキートップと同一高さに配置可能であり、薄型化に適したガイド機構である。

ヒンジをパソコン用キートップの支持機構として適用する場合の課題には、以下のようなことが挙げられる。

- ヒンジがキートップの押し下げ動作に伴う繰り返し曲げ疲労に耐えること。
- ヒンジの反力が操作感に悪影響を与えないこと。
- キートップを安定に保持するためにねじり剛性を大きくすること。

また、キートップをヒンジ部と同一材料とし、それらを一体成形することとしたため、キートップとしての剛性も考慮した。

以上のような課題を解決するために、構造解析、耐久性試験、試作などを繰り返し行い、構造、材料の最適化を図った。例えば、材料に関しては材質を変えたヒンジタイプキーボードを試作し、ヒンジの耐久性を調べるための打鍵(鍵)試験を行った。その結果を図4に示す。試験における荷重は190gf、打鍵の間隔は3回/秒である。同図に示すように、ナイロン系樹脂は、ABS系樹脂に比較して、耐久性が良好であるという結果であった。しかし、一般にナイロン系樹脂は剛性が低く、薄型キートップ材料に用いるにはふさわしくない。そこで、ナイロン系樹脂よりも剛性の高いABS系樹脂とナイロン系樹脂のアロイ材料を検討した結果、耐久性、キートップ剛性とも良好な結果となり、ヒンジ、キートップ材料としてABS/ナイロンのア

表1. 基本性能

| | |
|-------|---------|
| ストローク | 1 mm |
| キーピッチ | 19mm |
| 質量 | 100g |
| 寿命 | 500万回以上 |

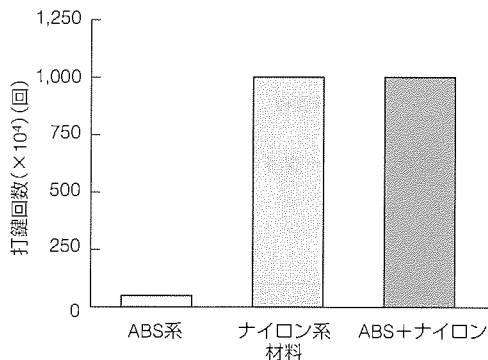


図4. ヒンジ材料の違いによる打鍵耐久性の比較 (10⁷回で打切り)

ロイ材料を採用した。

キートップ、ヒンジ、フレームはほぼ平面的に連続して配置可能なため、これらを一体成形できる。このキートップ一体成形品と、クリックラバーシート、メンブレンシート、補強板を熱かしめ又は接着等で組み立てる。ヒンジタイプキーボードも、ラバータイプキーボード同様、生産性に優れている。

以上のようにヒンジ機構をキートップガイドとして適用することにより、操作性・生産性に優れた超薄型キーボードが実現できた。

5. 操作性の検討

快適なヒューマンインタフェースが求められるキーボードは、使用者の感覚的欲求を満たすことが重要である。そこで、操作性に視点を置いた人間工学的アプローチによって操作性を検討し、設計にフィードバックした。

5.1 キートップ表面形状

キートップ表面の凹凸は、指先のフィット感を左右し、使用者の操作性に影響を与える重要な要因の一つである。

キートップ表面形状の評価では、数種類の表面形状のキートップを試作し、被験者にタッチしてもらい、その操作感を記述するというアンケートを実施した。その結果、図5に示すように、二次曲面凹のキー形状が最も評価が高かった。キートップ表面形状は、このような検討を基に、キートップの機械的強度、デザイン性を考慮に入れながらデザインした。

5.2 操作性総合評価

試作キーボードの操作性を評価するため、モニタ試験を行った。試験は実際に例文をタイプしてもらい、入力の実感、疲れにくさ、キーの硬さなどの操作感をアンケート方式で収集した。このような主観評価と、それに基づく改良を繰り返し行うことにより、操作性の最適化を行った。

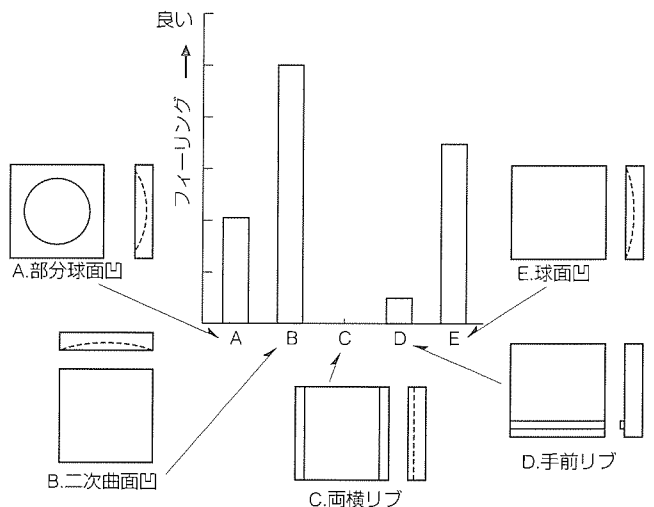


図5. キートップ表面形状評価

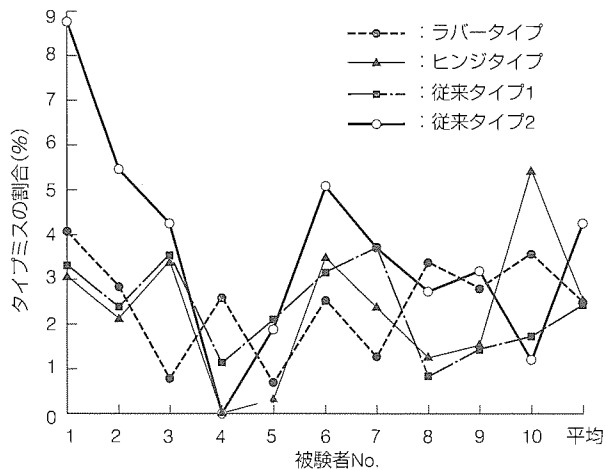


図6. タイプミスの割合

操作感評価結果において、ラバータイプキーボードとヒンジタイプキーボードを比較した場合、ソフトなタッチを好む人はラバータイプキーボードを、ハードなタッチを好む人はヒンジタイプキーボードを好む傾向があったが、両タイプにおける著しい差異は見られなかった。

図6にタイプミスの割合の比較を示す。この試験には、比較のために市販のノートパソコンも加えた。タイプミス

の割合はタイプ履歴収集ソフトを用いて分析した。同図が示すように、今回開発したラバータイプキーボードとヒンジタイプキーボードのタイプミスの割合は、市販のノートパソコンと同レベルである。主観評価に基づく改良も行うことにより、使用者にとって快適な操作性を実現できた。

6. むすび

モバイルコンピュータ用として徹底した薄型化と操作性を追求することにより、新しい二つの方式の超薄型キーボードを開発した。薄型化の実現方法として、ラバータイプキーボードはクリックラバーとキートップを直接接着させたシンプルな構造、ヒンジタイプキーボードはヒンジでキートップを支持した構造とした。これらのキーボードの開発では操作性の最適化のために感覚評価試験も実施し、その結果を設計にフィードバックした。

モバイルコンピュータ“Pedion”用に開発したキーボードの構造は従来のパソコン用キーボードと大きく異なり、今後のモバイルコンピューティングに向けた入力装置としての新たな試みである。今後は更に携帯性・操作性を追求し、より使いやすいキーボードを提案していきたい。

Pedionのバッテリーシステム

河田 薫*
鬼沢 聡**
小林 孝***

要 旨

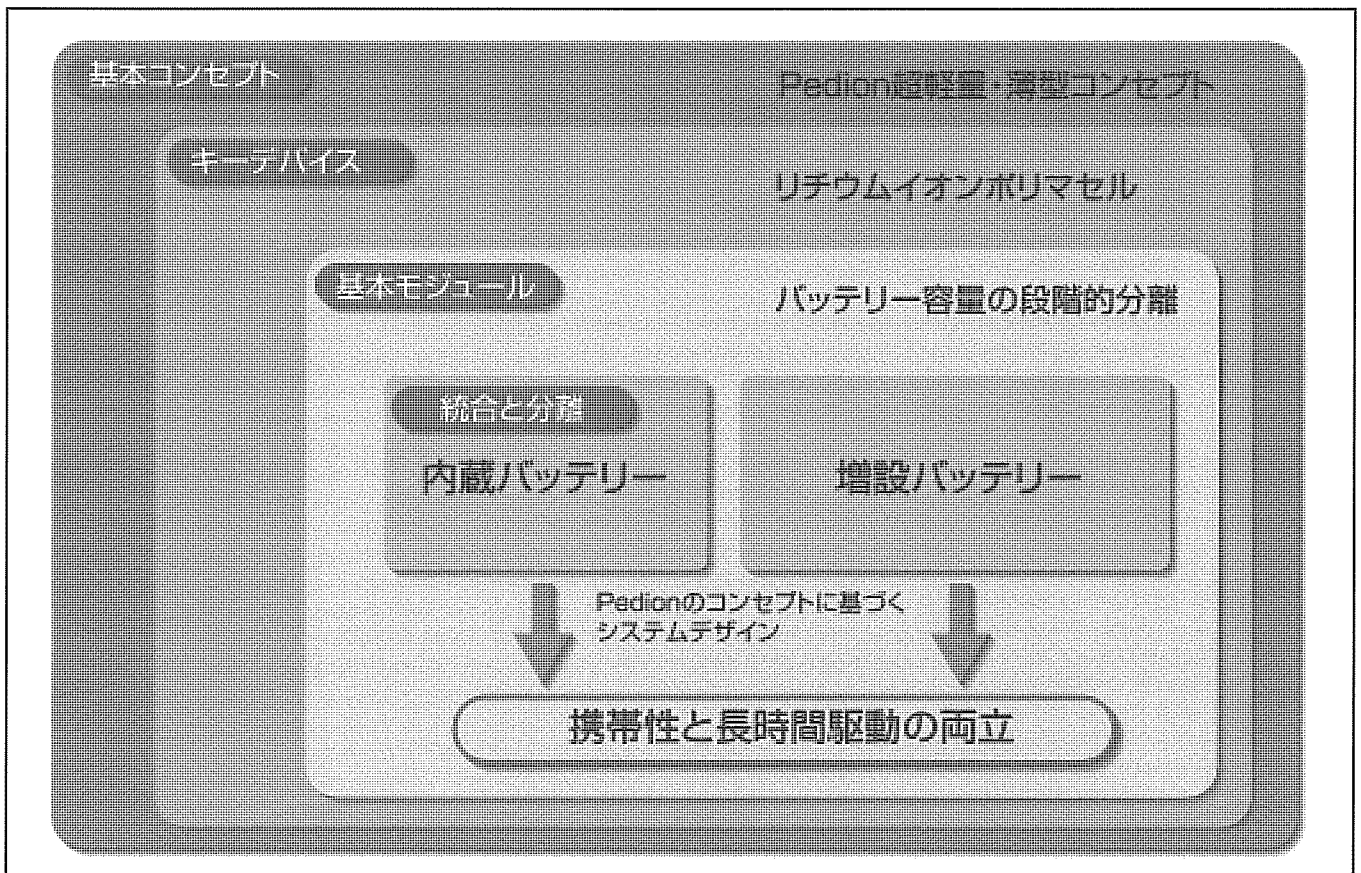
パソコン市場に携帯情報機器としての新しいカテゴリーの創出を目指す“Pedion”は、超薄型・軽量の実現に際し、このコンセプトに基づいた新規デバイスが必要である。同時に、システムモジュールとしての機能が求められ、単なる個別デバイス開発だけでなく、システムとしてのトータルなコンセプトを実現するためのモジュールが必要である。

リチウムイオンポリマセルは、軽量・薄型バッテリーモジュールを実現する上での基本デバイスである。優れた電気化学特性と機械特性に高い安全性が加わることで、携帯情報機器に適したバッテリーとしての使用が可能となった。

このキーデバイスを元に、Pedionの利用形態を想定す

ることによって全体のバッテリーシステムが構築される。バッテリー容量の段階的分離が図られることにより、内蔵バッテリーと増設バッテリーがシステムの基本キジュールとなる。それぞれのシステムへの電気的な結合形態が定義され、さらに増設バッテリーについては、携帯性を考慮した形状設計、そして単体での充電機能を始めとした独立機能の提供がなされている。

内蔵バッテリーのみで2時間程度のPedionの駆動が可能であり、増設バッテリーを装着した場合には、既存の薄型ノートパソコンのシステム厚み以下(約26mm)で、最大約7時間の長時間駆動が実現される。



バッテリーシステムのデザインコンセプト

Pedion全体としての超薄型・軽量コンセプトを基本とし、加えてキーデバイスとしてのリチウムポリマセルを採用することにより、携帯性と長時間駆動の両立を目指す。

1. ま え が き

超薄型・軽量をそのコンセプトとしてパソコン市場に新たなカテゴリーを提案するノートパソコン“Pedion”は、A4サイズの外形の中に搭載される最先端CPU、12.1インチ大画面液晶表示装置、そしてフルサイズキーボードが与える先進の処理性能と、薄さ18mm、軽量1.45kgがもたらす優れた携帯性を併せ持つモバイルコンピュータである。すなわち、携帯情報機器としてのノートパソコンの近未来像を提案するものであり、同時にその電源システムは、新概念に基づくパソコンが要求する将来の仕様に対する一つの答えを提示するものである。

本稿では、携帯情報機器のキーとなるバッテリーシステムについて基本的な考え方を中心としてその概要を示すとともに、Pedionにおいて新規に採用したりチウムイオンポリマバッテリーセルについてその基本特性を紹介する。

2. バッテリーシステムの概要

2.1 基本的なコンセプト

Pedionにおけるバッテリーシステムの基本コンセプトは、やはりシステムとしてのPedionの基本コンセプトを継承するものであり、超薄型・軽量がもたらす優れた携帯性を損なうことのないものであることが必ず(須)である。

バッテリーは言うまでもなくシステムへのエネルギー供給源であり、特に長時間駆動が切望される携帯情報機器においては、大容量であることが望まれる。しかし一方では、携帯性を高める観点から、小型・軽量化の要求が強い。この相反する二つの要求は、限られたシステムスペース内への質量、体積いずれの点においても高密度でのエネルギー貯蔵の実現を求めるものととらえることができるが、以下に記す三つの基本的なアプローチにより、Pedionのコンセプトに深く融合したバッテリーシステムが提案されている。

- リチウムイオンポリマバッテリーセルの適用
- メインバッテリーとしての内蔵バッテリー

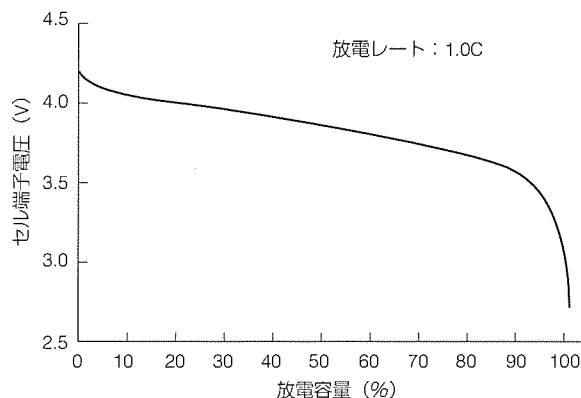


図1. ポリマセルの放電特性

- 携帯性と長時間駆動を提供する増設バッテリー

2.2 リチウムイオンポリマバッテリーセル

携帯情報機器用バッテリーセルに求められる特性は、前節において示した高エネルギー密度を始めとした電気化学的な特性を基本とし、セルサイズ、質量などの機械的特性、そしてエネルギー貯蔵デバイスとして欠かすことのできない安全性の三つに大別される。

Pedion用バッテリーセルには、上述の三つの特性すべてにおいて優れた特性を示すリチウムイオンポリマバッテリーセル(以下“ポリマセル”という。)が採用された。

(1) 電気化学的特性

Pedionに搭載されるポリマセルは、セル当たりの外形寸法(W)34mm×(L)148mm×(H)5.5mm、容積27.7cc、質量52g、電流容量1,700mA・hである。また体積エネルギー密度及び質量エネルギー密度はそれぞれ235W・h/ℓ、120W・h/kgである。現在の6.0mm厚程度の薄型角形リチウムイオンバッテリーセル(以下“角形セル”という。)における体積エネルギー密度は240W・h/ℓ、質量エネルギー密度は100W・h/kg程度であることから、体積エネルギー密度でほぼ同程度、さらに質量エネルギー密度においては角形セルを上回る値を示し、優れたエネルギー貯蔵能力を持っていることが分かる。これに加えて、負荷特性についても、Pedionが必要とする電力範囲において問題のない放電能力を呈する(図1、図2)。

(2) 機械的特性

前節において示されたポリマセルと現行の角形セルの質量エネルギー密度の差は、それぞれのセルの内部構造の相違に起因する部分が多い。ポリマセルの場合、実際のエネルギー貯蔵にかかわる電極部材等が高い充てん(填)効率でセル内に格納されていることに加え、金属ケースを必要としない構造であるため、高い質量エネルギー密度を実現することができる。金属ケースの代わりに軽量のアルミラミネートフィルムを用いることで、セル自身の軽量化を図ることができる。この特長は、携帯性を重視するPedionには必要不可欠な特性である。

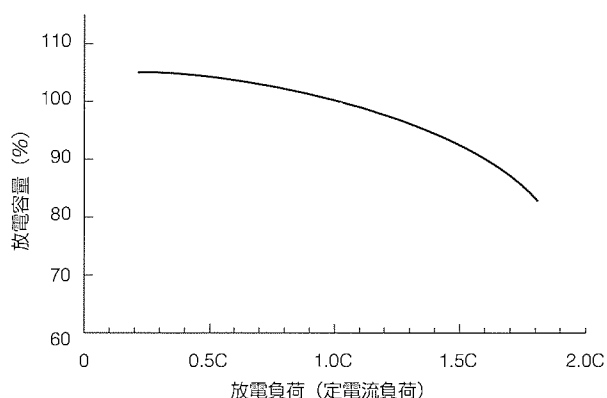


図2. ポリマセルの定電流負荷特性

また、ポリマセルの場合、セル厚みの薄型化に伴うセル当たりの貯蔵可能エネルギー量の制限がない。角形セルにおいては、金属ケースが、その機械加工の可否、そして機械強度の点でセルサイズを決定する重要な構成部品であり、特に薄型セルに対しては、その大きさ(面積)を制限する。したがって、1セル当たりの体積が制限され、薄型・大容量セルの実現は本質的に困難である。

バッテリーからパソコンへの電力供給を考えた場合、放電電流負荷はセル電流容量よりも小さく設計されることが望ましい。ポリマセルにおいては、本質的にセルの薄型化と大容量化の両立に何ら問題点を持たないことから、この要求に対して、Pedionに最適なセル形状を設計することによって解を求めることが可能である。したがって、バッテリー形状がパソコン全体の形状を決定してしまう状況を回避することができる。

(3) 安全性

ポリマセルは、内部に液体の電解液を持たない構造であり、液漏れによるトラブルの発生を懸念する必要がない。また、外力による強制的な内部短絡、例えばき(釘)刺し、はさみ(鋏)による切断などの発生に対しては、ポリマ固体電解質自身が持つ安全機構を期待することができる。したがって、ポリマセルは、各種の保護回路を始めとした電気的な安全機構による保護が及ばないトラブル領域においても、セル自身の高い安全性により、発火等の発生を抑制する機能を持っていると言える。この機能は、システムと同時に大量の電気エネルギーの携行を余儀なくされる携帯情報機器用バッテリーに必要不可欠の機能である。

2.3 内蔵バッテリーと増設バッテリー

携帯性をコンセプトとするPedionに搭載されるバッテリーにおいて、システム駆動時間長時間化の要請にこたえるためには、システム全体としての視点に立ち、Pedionの特長を生かした次のデザインコンセプトの提示が必要である。

- バッテリー容量の段階的分離
- 実用上必要最低限のエネルギー量搭載
- 電気系統の分離と統合
- 携帯性と長時間駆動の両立
- 独立機能の提供

内蔵バッテリーと増設バッテリーは、ここに示した五つのデザインコンセプトに基づいて実現された一つのバッテリーシステムである(図3)。

(1) バッテリー容量の段階的分離

搭載すべきバッテリー容量を、必要と考えられるシステム駆動時間を複数想定することにより、それぞれが必要とするバッテリー容量に段階的に分類することが可能である。具体的には、一般的な書類作成作業に要する1.5時間程度のシステム駆動に要するバッテリー容量が基準単位となる。携帯性を重視するPedionでは、この基準単位に相当するバッテリー容量を本体に内蔵バッテリーで供給し、これを超える容量については増設バッテリーで供給する。

(2) 実用上必要最低限のエネルギー量搭載

Pedionの内蔵バッテリーは、必要最低限のエネルギー量として電力容量19W・hを持っており、前述の一般的な書類作成作業に要するバッテリー容量に加え、その前後での準備や保存作業等を可能とするバッテリー容量を提供する。約1.8時間の連続動作が可能である。

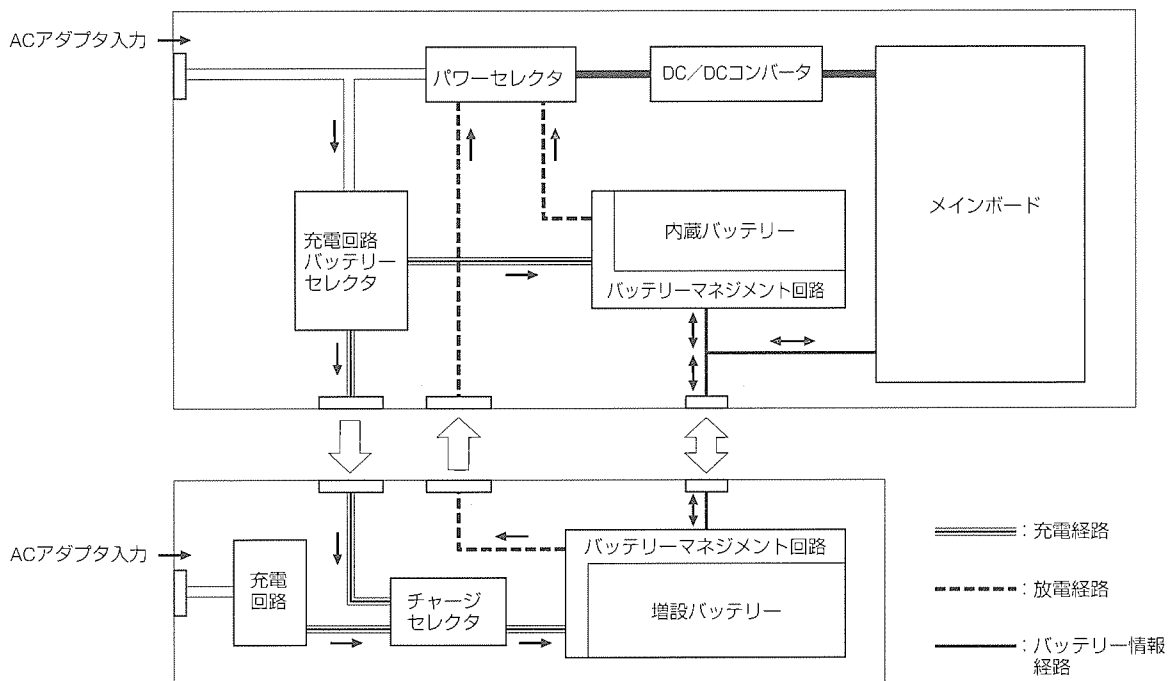


図3. Pedionにおけるバッテリーシステム系統

内蔵バッテリーは、既述のポリマセルを3直列に接続の後、バッテリーマネジメント回路を接続した構造よりなる。他の構成モジュールを支持するための機能を付与するために、全体をケースによって覆う構造とし、薄型内蔵バッテリーパックを形成する。

(3) 電気系統の分離と統合

内蔵バッテリーと増設バッテリーのシステムへの電力供給(放電)及びシステムからの充電電力供給の電気系統はそれぞれ基本的に分離されており、二つのバッテリーに対して同時に動作することはない。これは、内蔵バッテリーをメインバッテリーとして位置付けていることに起因し、充電に際しては、内蔵バッテリーが先に充電され、その後、増設バッテリーが充電される。一方、放電に際しては、増設バッテリーが先に放電され、その後、内蔵バッテリーが放電される。したがって、増設バッテリーとともに使用される際の内蔵バッテリーは、リザーバタンク(予備タンク)としての機能を担うこととなる。

バッテリーの放電負荷特性のみから考えた場合、一般論として、内蔵と増設の二つのバッテリーを並列接続した上で同時に放電させることが好ましく思われるが、Pedionの電力消費形態に最適化されたポリマセルの負荷特性から判断して、この操作による駆動時間の改善効果は少ない。むしろ、増設バッテリー駆動による内蔵バッテリー温存効果がもたらす機能がPedionの特長である。

電力系統については分離されている二つのバッテリーではあるが、バッテリー情報を与える信号系統については統合されている。いずれのバッテリーもインテリジェント化されたバッテリーであり、同一のバス上に配置されることで残量等の情報をオペレーティングシステムに順次通知する機能を持つ。システムは通知された情報を基にディスプレイ上にそれぞれのバッテリーの残量を表示する機能を持っている。

(4) 携帯性と長時間駆動の両立

増設バッテリーにおける課題は、携帯性と長時間駆動の

両立である。したがって、長時間駆動のために必要となるバッテリーパックの大型化を携帯性・収納性を考慮した上で実現する必要がある。

Pedionは超薄型ノートパソコンであり、この超薄型のメリットを最大限活用し、さらに薄型のポリマセルを利用することによって携帯性と収納性に優れた増設バッテリーの構築が実現した。増設バッテリーはPedionとほぼ同じフットプリントで厚みが11mmであり、増設バッテリーを装着した状態でのPedionの厚みは既存の薄型ノートパソコン並みの約26mmである。増設バッテリーが装着された状態でのPedionの携帯性をも損なわない上、さらに、かばん等への収納性にも優れる。本体内蔵バッテリーと併用することで、最大約7時間の連続駆動を実現する。

(5) 独立機能の提供

増設バッテリーには二つの独立機能が用意されている。一つは単独での充電機能であり、内部に専用の充電器を内蔵している。Pedion本体からの充電も可能であるが、この内蔵専用充電器により、Pedion本体に装着することなく単独での充電が可能である。いま一つは、残量表示機能である。サイドに設けられた4段階のLEDにより、25%単位での残量確認が可能である。いずれも携帯情報機器用バッテリーパックに求められる基本機能であり、実用的機能として付与された。

3. む す び

Pedion用に新規開発されたバッテリーシステムの概要について紹介した。このバッテリーシステムは、Pedionの超薄型・超軽量コンセプトに基づくモジュールとして専用設計されたデバイスの一つであるが、バッテリーがシステム設計全体に及ぼす影響の大きさを改めて提示するものである。今後の製品展開の中で、その位置付けに変化を生じるものと考えられるが、エネルギー貯蔵という極めて基本的な機能の重要性は変わらない。

Pedionの筐体実装設計

川辺 伸* 福山勝夫**
 有田直喜* 岡本伸一郎***
 中岡邦夫* 能 弘明***

要 旨

1997年前半において、A4サイズのノートパソコンが到達していた小型・軽量機は、製品厚さ30mm弱、重さ2.0kg弱であった。

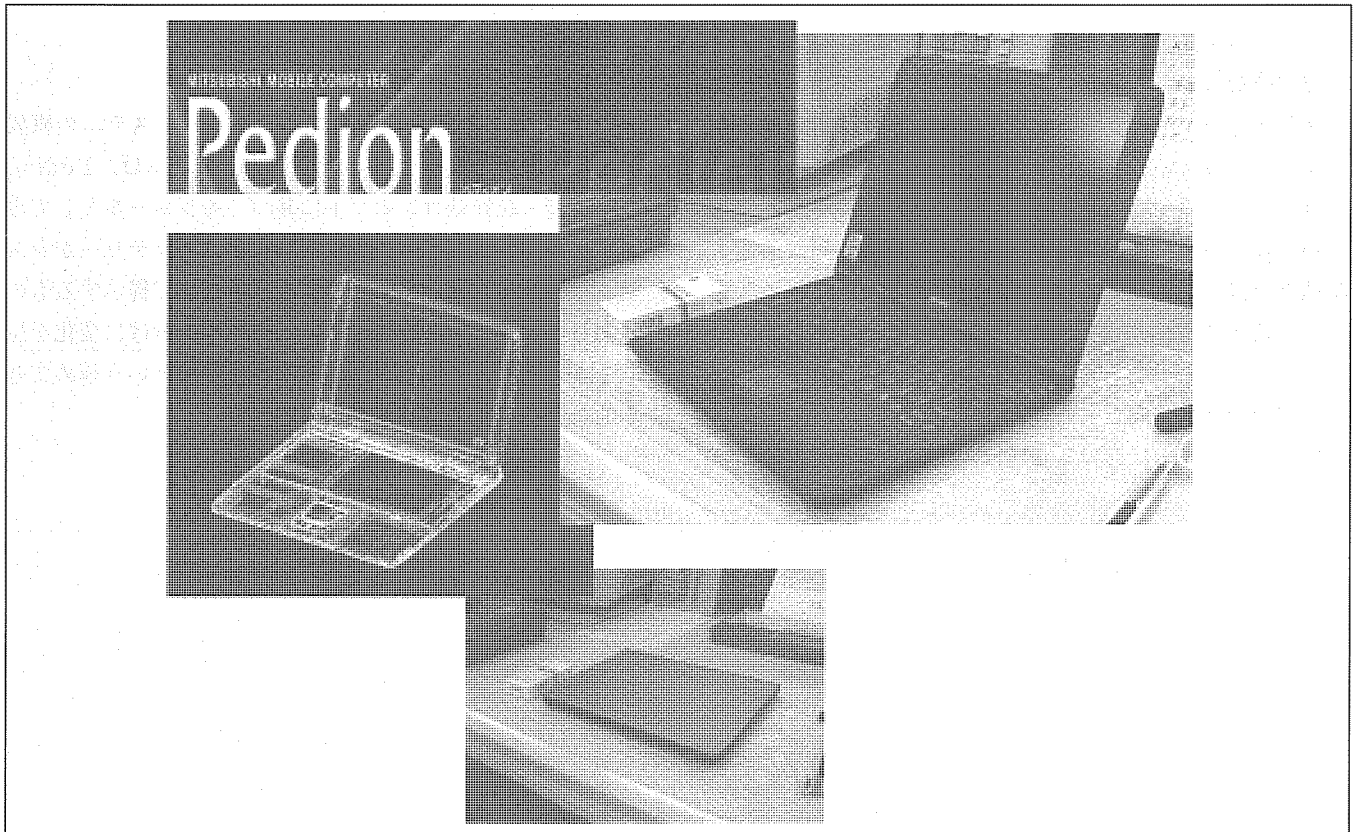
こうした市場に新たな超薄型ノートパソコンの 카테고리を作るために、新携帯型パソコンの開発をスタートし、製品厚さ18mm、重さ1.45kgという世界最薄型パソコン“Pedion”を開発した。

Pedionでは、キーボードを始めとするデバイスの薄型化開発と、それらを実装するきょう(筐)体の薄型化実装技術によってこの仕様を実現している。

本稿では、三菱電機のパソコンとしては初めて採用したマグネシウムダイキャスト筐体を中心に、Pedionの超薄型化のための筐体実装設計について述べる。

狭い空間に部品を詰め込むPedionの実装設計には三次元CADが不可欠であった。筐体肉厚の最適化等には三次元CADのデータを利用したCAEを用い、試作の短期化のためにはソリッドモデルからの三次元造形を活用した。

また、今回の開発は、多くの事業所にまたがって進行していたために、ネットワークを介した協調設計が不可欠であった。このネットワーク利用開発環境も併せて述べる。



Pedionの外観と三次元CAD図

Pedionは、幅297mm、奥行き218mm、厚さ18mmのサイズで、1.45kgの超薄型・軽量ノートパソコンである。薄型ながら最新鋭のCPUを搭載し、PCカード(TYPE II × 2)、USB(Universal Serial Bus)、赤外線通信ポート等のインタフェースを持たせた。

1. ま え が き

Pedionの筐体実装設計で18mmという薄さをどう実現するかは非常に大きな問題であった。当時の市販液晶モジュールとハードディスクドライブの厚さを単純に合計するだけでもその程度の寸法になってしまう状況下で、どのようなアプローチで筐体実装設計を進めたかについて本稿で述べる。

2. 筐体構造と材料

2.1 筐体材料

製品の薄型化には、内蔵デバイスと筐体とのすき(隙)間を小さくし、筐体肉厚も薄くする必要がある。内蔵物を守るためには、それに対抗し得る筐体剛性を与えなくてはならない。

従来の実装では内蔵物との隙間は1.5mm以上はとれていたが、Pedionではその1/2以下にする必要があった。また、筐体肉厚についても、従来プラスチック材料を使用して1.2~1.5mmの厚さで作っていたが、1mm以下にする必要があった。

筐体の荷重に対してのたわみ量は材料の弾性率の一乗及び肉厚の三乗に反比例するので、Pedionの筐体に必要な弾性率は、これまでの樹脂の5~10倍であることが推定できた。

表1に主な材料の物性を示す。これらの材料の中から、

表1. 主な材料の物性

| | 樹脂* | Mg ダイカスト | Al ダイカスト | Ti合金 | ステンレス (伸張材) |
|-----------------|---------|-------------|-------------|-------|----------------|
| 弾性率 (GPa) | 3.4 | 44 | 69 | 98 | 206 |
| 比重 | 1.2~1.3 | 1.82 | 2.7 | 4.4 | 7.8 |
| 熱伝導率 (W/m・K) | 0.2~0.3 | 72~79 | 90~180 | 10~20 | 35~50 |

注 *フィラー等によって強化した樹脂

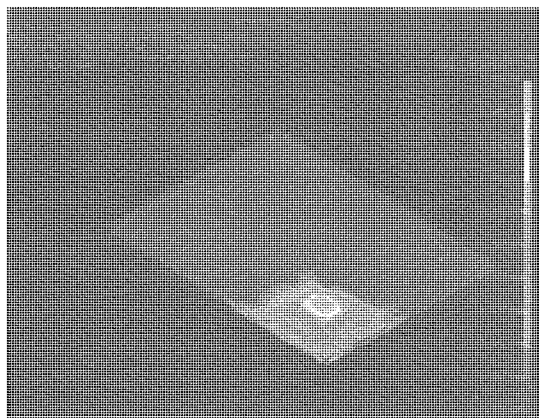


図1. ボトム筐体の剛性解析例

樹脂の10倍近い弾性率を持ち、かつ比重が樹脂に近い材料として、マグネシウムを最終的に選定した。溶融すれば材料としてリサイクルできる点も重要であった。

2.2 肉厚の最適化

肉厚を減らせば一見製品を薄くできそうだが、上述のようにその三乗に逆比例して荷重時のたわみが大きくなることから、内蔵物との干渉を防ぐために隙間を大きくしなくてはならなくなり、製品は薄くならない。

そこで必要隙間と筐体肉厚を合計して最小になる条件を有限要素解析で調べた(図1, 図2)。必要隙間と筐体肉厚の合計を必要寸法としてプロットしたものが図2であるが、肉厚0.8~1.0mm付近に最適点があることが分かった。

マグネシウムの成形に関して当初ホットチャンバ方式を用いた通常のダイカストを考えたが、A4サイズでは最小肉厚1.2mmが限界であり、チクソモールド法^(注1)による成形を肉厚1mmで行うことにした。

チクソモールド法による成形ではコア側の型にもスライドを付けることができる等、ホットチャンバよりも実現できる形状に自由度があり、従来樹脂で作ってきた筐体をマグネシウムに置き換える上ではメリットが大きかった。

まだ歴史の浅い新しい技術であるため完成度から言えばホットチャンバを駆使するメーカーのノウハウに及ばない点も多いが、メーカーと協力していけば、今後更に優れた筐体を生み出せる技術である。

2.3 筐体構造

ノートパソコンの筐体の大物部品は、キーボードのある本体部の上下筐体と、液晶モジュールを実装する表示部の上下筐体の4種類である。

(注1) チクソモールド法: マグネシウムを樹脂のようにインジェクション成形する技術。

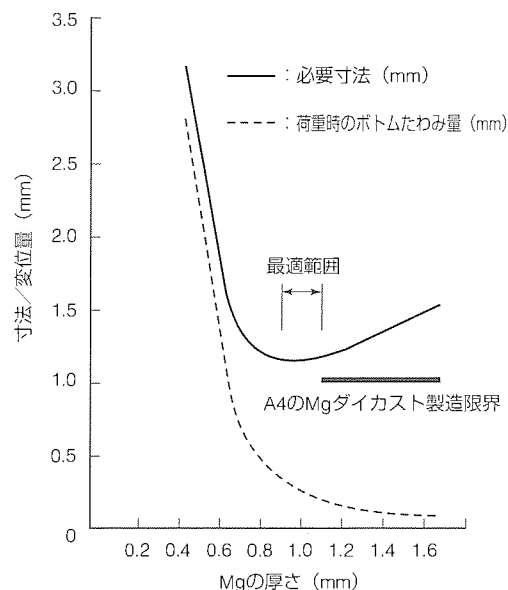


図2. 筐体肉厚と必要寸法

マグネシウムチクソモールド部品は通常のダイカストに比べれば形状自由度は大きいですが、樹脂のインジェクション成形には劣る。細かい部品を巧みにはめ込んだりする構造を作るためと全体の軽量化のために、本体側の上面筐体は樹脂で設計した。

硬いマグネシウムは外側に用い、柔らかい樹脂は内側に用いた(図3)。

マグネシウム筐体は強度があるが振動伝達が大きく、内蔵物に高い周波数の加速度が伝わる可能性が高い。そこで、製品の側面にはバンパー状に樹脂部品を露出させ、角(辺)落下における衝撃を緩和できる構造にした(図3)。

角(辺)落下時に受ける加速度は、これによって半減できた。内蔵物の支持にもゴム部品を配置し、従来製品と同等の耐衝撃性が得られた。

なお、内部構成を図4に示す。

3. 設計ツールと設計環境

3.1 三次元CADの活用

製品の体積で製品質量を割った密度を仮に製品の平均比重と表現した場合、ノートパソコンでは水よりも少し軽い0.8~0.9が普通である。携帯電話では、更にち(緻)密な実装がされており、0.9~1.0程度になっている。

Pedionの平均比重は1.2である。これだけ高密度な設計を行うためには、三次元CADによるチームデザインが不可欠であった。三次元CADとしてはPro/Engineer^(注2)を

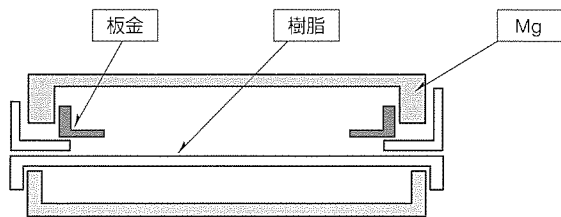


図3. Pedionの基本断面(LCDを閉じた状態)

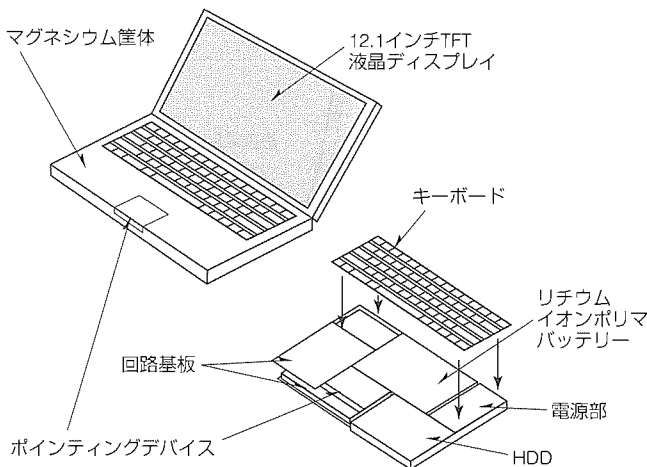


図4. 内部構成

用いた。

主な効果を次に示す。

- (1) 部品間の干渉を効率的にチェックでき、隙間設計精度が向上した。
- (2) 部品質量の把握が容易で、高精度な質量管理ができた。試作機では予想値に対して0.5%以下の誤差という高い精度であった。
- (3) 各種解析に三次元データの利用が可能で、解析による事前検討が短時間でできた。
- (4) 従来削り加工を中心としていたため1か月近くかかっていた試作期間を、三次元造形機を活用して10日以内に短縮した。

干渉チェックは三次元CAD上で設計した部品の干渉に関しては極めて有効な手段であったが、基板上の電子部品と筐体との干渉が試作段階で散見された。500を超える電子部品を搭載した基板を手で三次元モデルにするのは非現実的であるため、量産設計段階では、基板CADのデータから基板三次元モデルを自動生成し、三次元CAD上で筐体に組み込んで確認した(図5)。

質量管理については、個々の部品に関して数%の誤差が認められたが、全体としては誤差が相殺し、予測値とよく一致する結果となった。

設計段階で本来の質量を把握できているため、成形品の肉厚精度等の問題を型トライのその場ですぐに判断でき、対応できるメリットもあった。

解析については、Pro/Engineerのデータから必要部分を切り出してPro/Mesh^(注3)を用いて解析要素を作り、それをI-DEAS^(注4)に送って境界条件を付与する方法を使った。ソルバ、ポスト処理もI-DEASを用いている(図6)。

(注2) “Pro/Engineer”は、米国Parametric Technology Corp.の商標である。

(注3) “Pro/Mesh”は、米国Parametric Technology Corp.の商標で、Pro/Engineerのデータから解析用モデルを作る専用プリポストプロセッサである。

(注4) “I-DEAS”は、米国Structural Dynamics Research Corp.の商標で、三次元CAD/CAM/CAEのツールである。

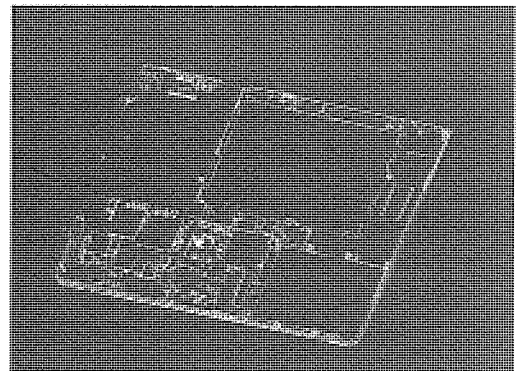


図5. 基板を組み込んだ三次元モデル

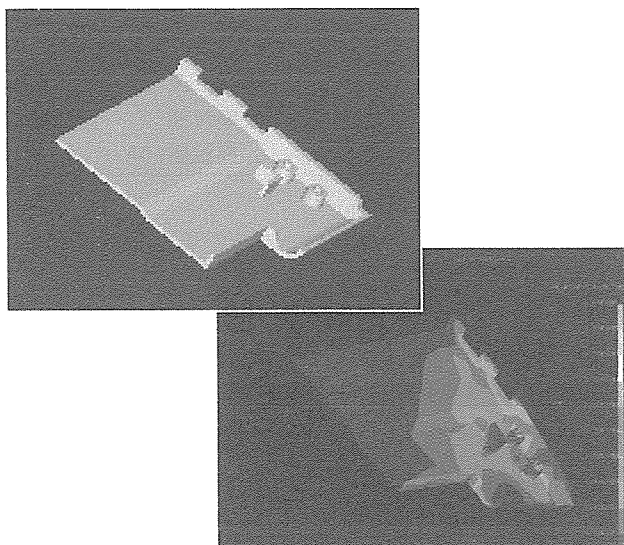


図6. Pro/Engineerモデル(上)とI-DEASによる応力解析結果(下)

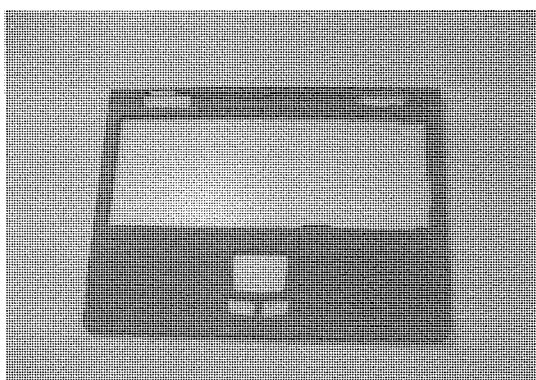


図7. 光造形で作った検証用筐体

部品の試作に関しては、1個しか作らないような検証用部品では光造形を、複数個作る試作機部品では紙造形をマスタにした真空注型を用いて試作期間の短縮を図った(図7)。

3.2 ネットワーク活用設計環境

今回のプロジェクトでは関連事業所が多く、尼崎市(三菱電機(株)先端技術総合研究所ほか)／横浜市(設計システム技術センター)／鎌倉市(情報システム製作所ほか)にそれぞれ実装設計者がいて開発が同時進行した。このため、

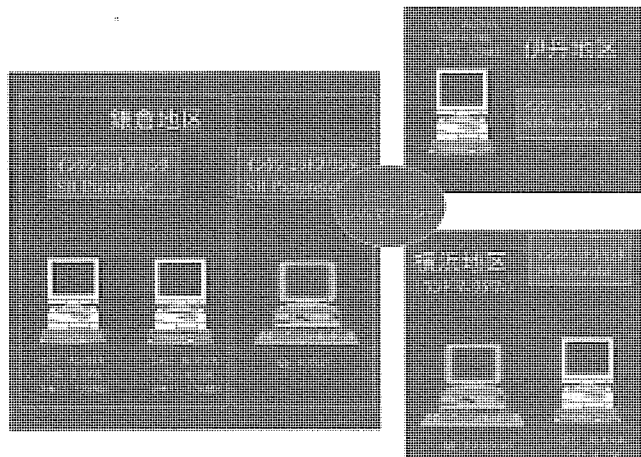


図8. ネットワーク設計環境

相互の情報交換とデータの交換は重要であった(図8)。

プロジェクト開始当初は各担当者がftpコマンドで情報を送付しあっていたが、操作が面倒で、流通する情報が少なくなる傾向が出た。最終的には、各拠点にサーバを配置してGUI環境でやり取りできるように整備し、CADデータを始め各種文書データ、デジタル画像データ等を日常的に交換して開発を進めた。デジタルカメラによる画像は特に便利な情報伝達手段であった。

4. むすび

環境への影響まで配慮した製品が求められる時代であり、電子機器筐体へのマグネシウム利用は今後増加することが予想される。

薄型成形技術もさることながら、現在マグネシウム部品コストの少なからぬ部分を占める表面処理コストの低減がかぎ(鍵)になってくると思われる。更なる薄型化や軽量化に材料ベースの技術開発が必要であると同時に、より自由な発想で三次元空間を描く創造力が求められている。

参考文献

樋口 和夫：マグネシウム製PCハウジング，電気・電子部品のマグネ化のための設計と製造に関するシンポジウムテキスト，日本マグネシウム協会 (1996-10)

Pedionの熱設計

小林 孝* 角 憲明*
大串哲朗** 渡辺寛二*
藤井雅雄***

要 旨

1997年9月に発表した“Pedion”では、18mmという超薄型ボディの中にMMXテクノロジーPentiumプロセッサ233MHzを搭載し、デスクトップ並みの高機能を実現している。

熱設計においては、きょう(筐)体内の発熱密度が高いため各デバイスの冷却が重要となり、携帯性を向上させるために密閉空冷化を目指す必要があった。特に筐体サイズの超薄型・軽量化を実現する上では、ヒートパイプやファンが設置できないため、省スペースで高効率な自然空冷構造の開発が必要となった。

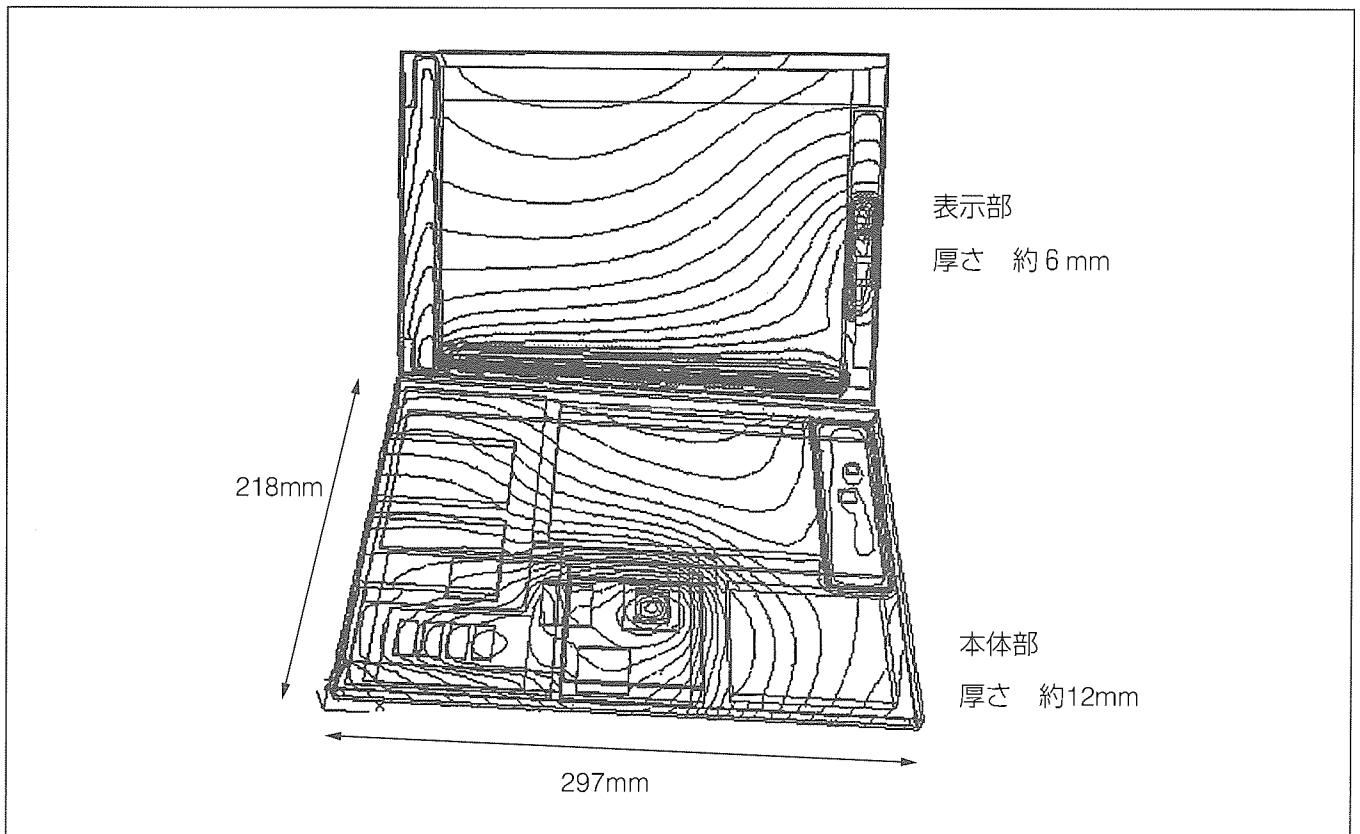
これらの課題を解決するために以下に示す熱設計技術を

適用し、ファンレスの密閉薄型筐体を実現した。

- (1) 初期段階からシミュレーション熱設計手法を適用し、冷却構造の最適化、試作回数の削減を実現した。
- (2) 筐体底面のMgダイカストを熱拡散板として有効利用する薄型冷却構造を開発した。
- (3) 金属筐体特有の体感温度を緩和するための特殊塗装法を開発した。

本稿では、Pedionの設計プロセスを通じて適用したシミュレーションを主体とした熱設計手法、及び超薄型化を可能としたファンレス冷却技術を紹介する。

“MMX” “Pentium” は、米国Intel Corp.の商標である。



熱解析結果 (温度分布図)

Pedionの開発では設計構想段階から筐体レベルでの熱解析(温度シミュレーション)を実施し、本体試作前に冷却対策仕様を決定した。実機による温度確認試験は量産試作機ができた段階で行ったが、測定結果は設計予測とよく一致し、開発期間短縮と試作コストの削減が実現できた。

1. ま え が き

近年の携帯型パソコンでは、デスクトップ機に匹敵する高速CPUを搭載しており、筐体内熱密度は増大している。一方、携帯性を向上させる上では筐体の薄型・軽量化、高信頼性への要求も強く、ファンレスの密閉構造化が望まれている。つまり、携帯型パソコンの開発トレンドである高性能化と小型化を両立させる上では冷却技術の重要性が高まっており、製品実現性を左右するキーテクノロジーの一つとなっている。

今回、Pedionの超薄型筐体サイズを実現する上で、従来の手段であるヒートパイプやファン等が設置できないため、省スペースな高効率冷却構造の開発が必ず(須)となった。

本稿では、Pedionの設計プロセスを通じて適用したシミュレーションを主体とした熱設計手法、及び超薄型化を可能としたファンレス冷却技術を紹介する。

2. シミュレーション熱設計技術

2.1 携帯型パソコンの熱設計課題

コンピュータの開発では、製品の早期市場投入と差別化を図るために、低コストで最適な冷却対策構造を短期間に設計する必要がある。特に、携帯型パソコンでは、薄型化に伴う部品実装スペースが減少するため、試作後の冷却改善が難しく、設計初期段階から最適な冷却対策構造を盛り込む必要がある。つまり、設計者の勘や経験に依存した従来の“熱対策”から理論的裏付けに基づく事前の“最適化熱設計”への転換が必要であり、その上では、シミュレーションを駆使した熱設計手法が有効である。シミュレーション熱設計手法(Simulation Based Thermal Design)では、試作機での対策検討の代わりに、コンピュータ中に仮想試作(Virtual Prototyping)した製品モデル上でパラメトリックに対策構造を検討する。その結果、開発期間の短縮と試作回数削減による開発コスト低減が実現できる。また、解析結果のビジュアル分析から得られる豊富な設計データと知見を基に冷却構造/形状等を最適化でき、熱問題を高度

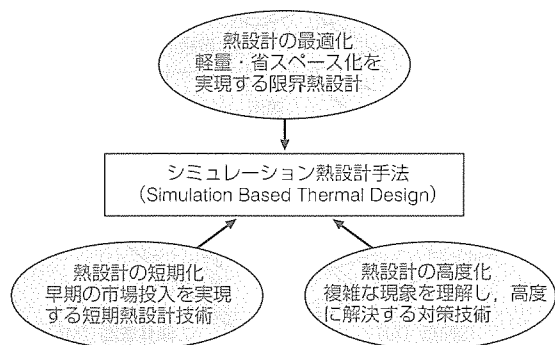


図1. 携帯型パソコン開発に求められる熱設計技術課題

に解決することができる(図1)。

今回、Pedionの開発では、設計構想段階からシミュレーション熱設計手法を徹底的に活用し、本体試作前に冷却対策仕様を決定した。実機による温度確認試験は量産試作機ができた段階で行ったが、測定結果は設計予測とよく一致し、開発期間短縮と試作コストの削減に役立った。

以下に、高精度・高速なシミュレーション熱設計を可能とした解析手法を述べる。

2.2 解析内容

近年、コンピュータのCPUパワーの向上は著しく、EWS(Engineering Work Station)等の小型計算機でも大規模な三次元熱流体解析を実行できる段階を迎えている。しかし、携帯型パソコンの設計フェーズに実用可能なターンアラウンドタイムと精度を実現する上では、モデル化技術を始めとした解析手法開発が必要となる。以下に、今回適用した解析手法を紹介する。

今回の数値解析では、有限体積法(Finite Volume Method)を用い、EWS上で実施した。なお、本体部と表示部は熱的に相互影響が小さいためそれぞれ個別に解析した(図2, 図3)。なお、超薄型の筐体内では高密度実装化に伴って浮力による自然対流が抑制されるため、筐体内部は伝導場と仮定できる。そこで、筐体内の空気流動を扱う運動方程式を解かず、エネルギー方程式(式(1))のみを計算した。

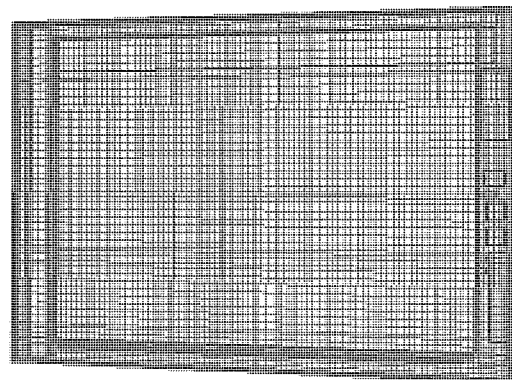


図2. 表示部の有限体積メッシュ分割

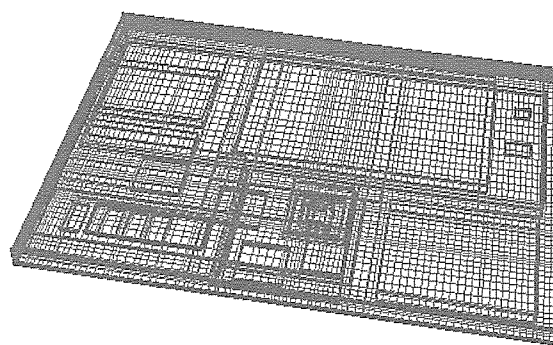


図3. 本体部の有限体積メッシュ分割

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + S = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 T ：温度(K)

λ ：熱伝導率(W/m・K)

S ：ソース項(W)

また、筐体外表面からの対流と放射熱伝達の効果については、水平・垂直平板での自然対流簡易式と放射熱伝達式を合成した式(2)及び式(3)で筐体外表面を境界規定することで周囲空間メッシュ分割を省略し、計算規模を最小化した。

水平面表面：

$$h_H = 1.31(\Delta T/L)^{0.25} + 4 \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_m^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

垂直面表面：

$$h_V = 1.36(\Delta T/L)^{0.25} + 4 \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_m^3 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 h ：熱伝達率(W/m²・K)

ε ：筐体表面の放射率(実測値に基づき0.92を設定)

σ ：ステファン・ボルツマン定数 5.67×10^{-8} W / (m²・K⁴)

L ：特徴長さ(m)

ΔT ：筐体表面と周囲空気間の温度差(K)

T_m ：筐体表面と周囲空気の間平均温度(K)

また、筐体内部の放射については、温度差が小さく実質的に無視できる範囲であるため、解析上扱わなかった。なお、マトリクス解法にはILUCGS法(Incomplete LU decomposition CG Squared)を用い、係数行列計算の安定性を高めた。

これらの手法を用いた結果、計算時間の大幅短縮と高精度化が可能となった。解析メッシュ数規模は本体部、表示部それぞれで15万程度だが、1ケース当たりの計算時間はEWSで約10分である。この手法の適用により、設計期間の短縮と、高精度予測に基づく冷却対策構造の設計最適化が実現できた。

3. 冷却構造

Pedion開発では、設計初期段階から通算50ケース以上の熱シミュレーションを実施し、冷却構造のコンパクト化を徹底的に検討した。熱設計構想段階では、発熱部品の最適配置をシミュレーションで検討し、部品配置に反映させた(図4)。詳細設計段階では、筐体や発熱体近傍の補強板金の材料/形状等を工夫することで、冷却効果を兼ねさせる構造を模索した。また、設計最終段階では、冷却部材の板厚/サイズの最適化検討を行い、軽量・省スペース化を図った。これらの検討結果から実現したコンパクトな冷却構造を、以下に説明する。

3.1 Mg 筐体を使った冷却構造

密閉化されたファンレス機器では、筐体外表面からの自

然対流と放射熱伝達が唯一の放熱手段となるため、筐体表面積を有効に使った放熱を行うことが有効である。今回筐体の底面材料として採用したMgダイカストは、厚さが0.9~1.2mm、熱伝導率が70W/m・K程度あるため、従来の樹脂筐体(熱伝導率は1W/m・K以下)に比べて熱拡散性能が著しく向上する。したがって、Mg筐体底面の熱拡散効果を最大限に活用した対策構造を採ることを基本冷却方針とした。

3.1.1 CPUの冷却

筐体内で最も熱密度が高いCPU(MMXテクノロジーPentiumプロセッサ233MHz：消費電力は約3.9W)については、筐体までの熱伝導パスを増やすため、上下2系統の放熱経路を確保した。

第一の経路として、CPU表面から出た熱は、Al伝熱板で一度拡散した後にMg筐体底面に伝え、放散させる。なお、CPUとAl板との間には、接触熱抵抗を低減させるために、シリコンラバーを介在させている。

第二の経路として、CPU背面から出た熱は、基板内に設けた熱伝導用のサーマルビアを通してシリコンラバーとAl熱拡散板に伝える。大型のAl熱拡散板で拡散された熱は、最終的には樹脂筐体カバーを介して筐体外へ放出させる(図5)。なお、Al熱拡散板は0.3mmの厚さであり、タッチパッドの補強支持部材も兼ねさせているため、実質的なスペース増とはなっていない。

この構造では、CPU基板裏面に実装されたCPUの熱は

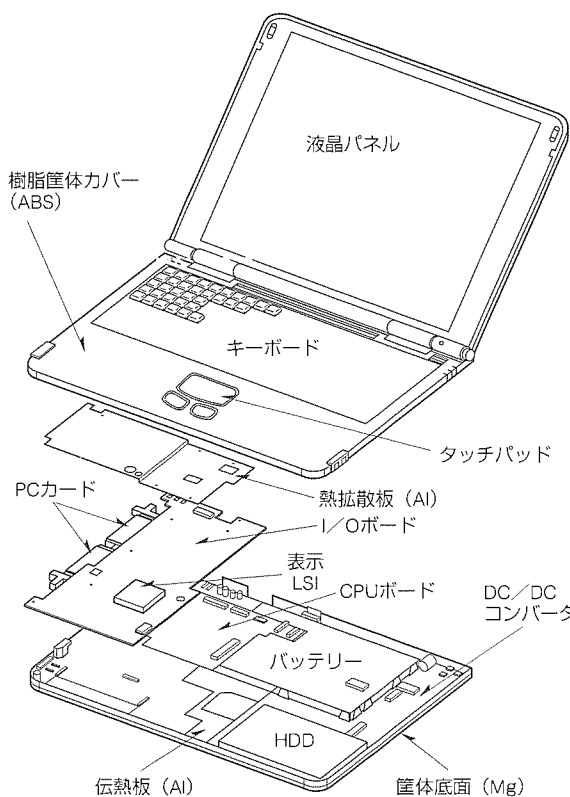


図4. Pedionの内部冷却構造

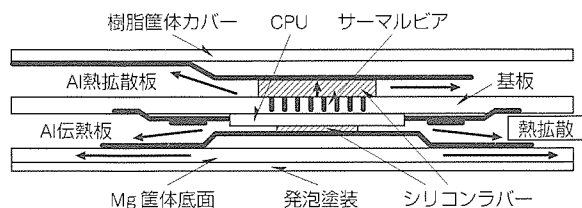


図5. CPU部の冷却構造断面図

主にMg筐体底面で拡散し放熱されるため、人間が手を置く筐体上面カバーの温度は底面に比べて低く維持できる。

3.1.2 その他のデバイスの冷却

ハードディスクやPCカードといった発熱部品は、一か所に集中しないよう分散配置した上で、Mg筐体底面で拡散放熱させている。また、DC/DCコンバータについては、Mg筐体底面での熱拡散に加え、キーボードの補強板である0.5mm厚さのAl板も利用して冷却している。

3.1.3 製品検証

量産試作後に実測評価を行い、製品の温度検証を実施した結果を図6に示す。最高温度であるCPU表面温度は70℃以下(室温35℃環境下)で、その他のデバイスも許容温度以内に入っており、シミュレーション予測値とよく一致していた。

3.2 Mg筐体の感熱温度緩和手段の検討

最近の携帯型パソコンでは、発熱密度増大に伴う筐体表面の高温化緩和も設計課題の一つとなっている。Pedionでは、Mgダイカストの採用により、筐体底面のヒートスポットを緩和し、高温化を抑制している。

一方、Mg等の金属筐体では、高温面を人が触った場合、その熱伝導性から集熱効果が増し、同一温度の樹脂筐体に触った場合よりも熱く感じる特性がある。この特性を緩和する上では、手に流れ込む熱流を抑制するために金属表面にコーティングを行うことが有効である。コーティング層の熱通過率は式(4)で計算され、塗膜の熱伝導率の低減と厚膜化が手への直接的な熱流を抑制する上で有効である。

$$U = \lambda / d \dots\dots\dots (4)$$

ここで、U:塗膜の熱通過率(W/m²・K)

d:塗膜の厚さ(m)

従来、金属材の感熱温度の緩和手段として、こたつやプリンターのサーマルヘッド部での植毛や樹脂シート接着等の事例がある。しかし、携帯型パソコンへの適用に際しては、形状追従性・生産性・意匠性などの課題が多い。そこで、PedionのMg筐体底面では、意匠性・量産性に優れる感熱温度緩和法を塗装の応用で検討した。

各種塗装サンプルを実験評価した結果、塗料の中に発泡材を混入させる方法を採用した。発泡材として使用したの

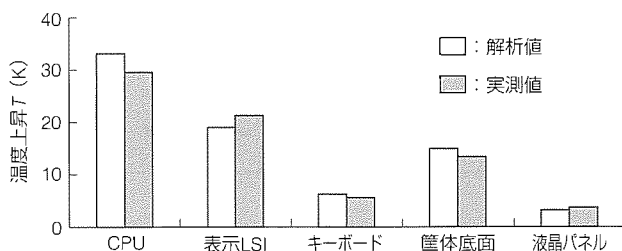


図6. 実測と解析結果

は低沸点炭化水素を内包した熱膨脹性マイクロカプセルである。このコーティング法では焼き付け塗装時に塗膜が発泡膨脹して多孔空気泡が内包できるため、塗膜内の有効熱伝導率が低下する。さらに、発泡膨脹により、通常塗装に比べて塗膜を5倍程度に厚くできる効果もある。これ以外にも、発泡に伴う塗膜表面の凸凹化によって指との実接触面積が減り、手への伝熱が低減される効果もある。なお、発泡皮膜の追加による断熱効果は筐体表面からの自然空冷熱伝達のオーダーに比べて無視できる程度であり、筐体内部の部品温度上昇にはつなげていない。

4. むすび

以下に示す冷却技術開発により、Pedionのファンレス密閉薄型構造を実現した。

- (1) 初期段階からシミュレーション熱設計手法を適用し、冷却構造の最適化、試作回数の削減を実現した。
- (2) 筐体底面のMgダイカストを熱拡散板として有効利用する薄型冷却構造を開発した。
- (3) 金属筐体特有の体感温度を緩和するための特殊塗装法を開発した。

参考文献

- (1) 小林 孝, 高田潤二, 木村育雄, 木村広隆, 大串哲朗: ノートパソコンの熱設計, 第29回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 493~494 (1992)
- (2) 久野勝美, 岩崎秀夫, 石塚 勝: 小型きょう体の熱解析, 日本機械学会論文集, 62-601, B, 225~230 (1996-9)
- (3) 小林 孝: 電子機器開発におけるCFD応用熱設計手法, 日本機械学会 関西支部第224回講習会テキスト, 7~13 (1997)
- (4) 小林 孝, 大串哲朗, 藤井雅雄, 藤田篤与: 特殊塗装による金属筐体表面の感熱温度低減法, 日本機械学会熱工学シンポジウム講演論文集, 75~76 (1997)
- (5) Matusi, I., Kasai, Y.: The First Symposium on Thermophysical Properties 1980, 121~124 (1980)

Pedionのデザインコンセプト

要旨

モバイルコンピュータ“Pedion”は、“持ち運べるオフィス”を製品コンセプトとしたノートパソコンである。

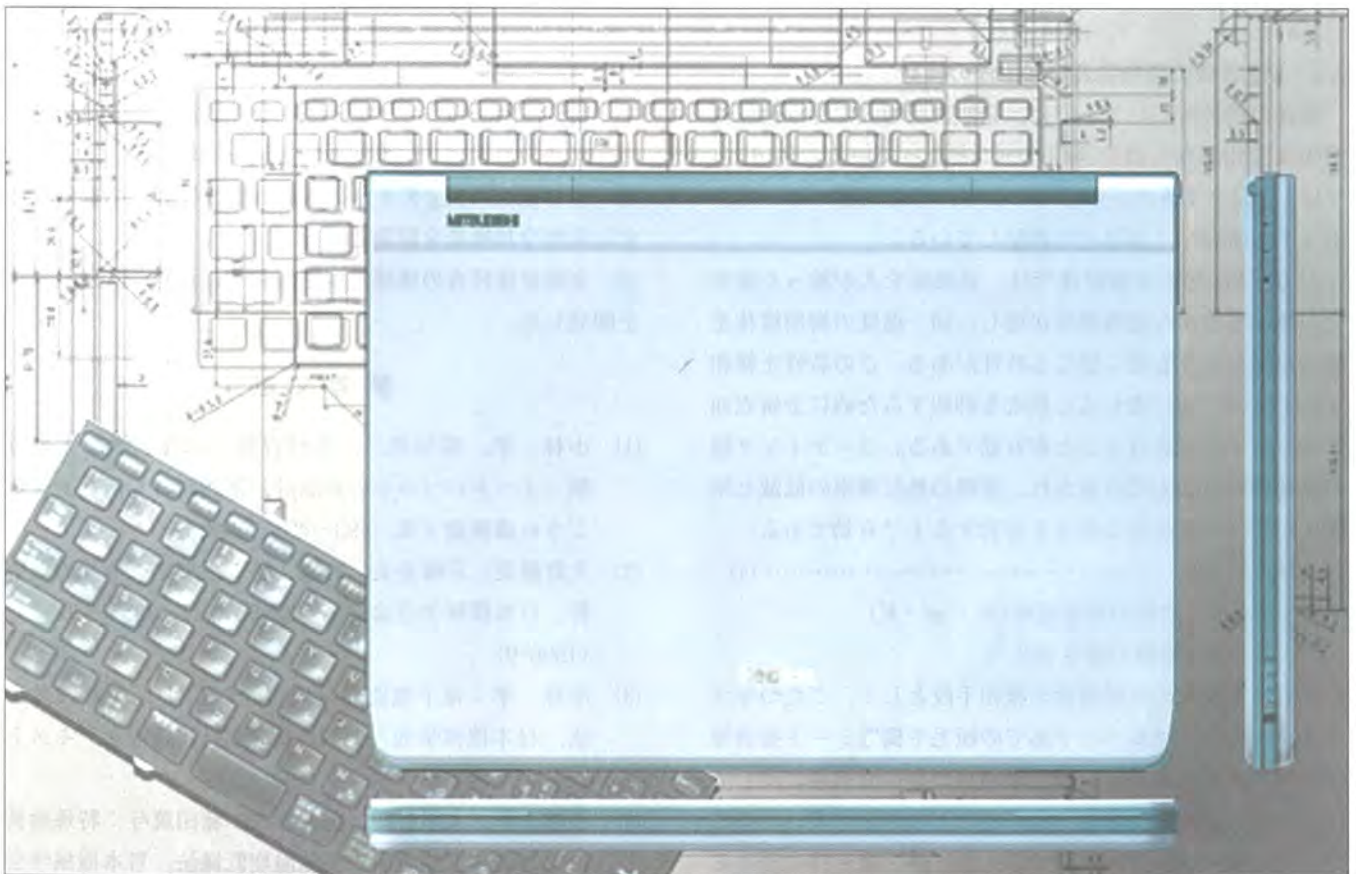
このデザインコンセプトを構築するに当たり、モバイルコンピュータ市場の分析、グループインタビュー(ユーザーを集めた座談会)によるユーザーニーズの探索を行った。

これらを基に、アイデア展開を行い、現状のパソコン使用環境で要求される製品仕様と、技術的な実現性の検討を繰り返し、以下の開発目標を設定した。

- (1) 薄さによる携帯性の追求と堅ろう(牢)性の両立
- (2) デスクトップパソコンと同等のキーピッチと操作性を実現したキーボードの開発
- (3) 可能な限り大きく高精細な表示画面
- (4) 高い拡張性
- (5) 高級文具感覚の、従来のパソコンにはない新たな製品イメージの創出

また、薄さを追求する一方で、キーボードの操作性評価や標準使用モード調査を行い、基本的な使い勝手を向上させた。

量産デザインでは、周辺機器を含めたスタイリングとともに、堅牢性の高い部品構成、生産段階での加工条件や組立て性、放熱対策を考慮した塗装色の検討等、開発課題に対処した細部のデザイン検討を行った。



初期段階の製品イメージスケッチとキーボードプロトタイプ

Pedionの外周には1mmのバンパー状の張り出し部分があり、A4サイズ・厚さ18mmのプロポーションを更に薄く見せている。初期段階の本体色はシルバーとグリーンの組合せで知的な高品位イメージをねらった。

1. ま え が き

モバイルコンピュータ“Pedion”は、“持ち運べるオフィス”を製品コンセプトとしたノートパソコンである。

高性能デスクトップパソコンに匹敵した操作性と文具並みの携帯性を両立させることを目標にデザインを行った。

この結果として、現行で最速のCPUと12.1インチの大画面TFT液晶表示装置を備え、現市場のA4サイズのノートパソコンの中で最薄(厚さ18mm)、最軽量(1.45kg)を実現することができた。

本稿では、Pedionのデザイン開発における製品コンセプトの立案、製品イメージの創出と量産デザイン、ヒューマンインタフェースデザインについて、その概要を述べる。

2. 製品コンセプトの立案

2.1 市場分析

図1にノートパソコン市場の製品動向を示す。

Pedionが市場投入される以前は、携帯性よりも設置時の省スペース化を目的としたマルチメディアノートタイプが主流であった。その一方で、通信インフラの充実を背景に、携帯性を重視し極力小型化したミニノートタイプと、周辺機器を充実させることで携帯性と操作性の折り合いを図った薄型のサブノートタイプが始め、モバイルコンピュータ市場を形成しつつあった。しかし、前者はキーピッチが狭いため操作性が悪く、後者はまだ実用的な携帯性が実現されていなかった。

こうした市場に対し、三菱電機は、小型化を追求したモバイルコンピュータ“AMITY CN”を開発し、市場に投入した。その上で、デスクトップの代替として十分な性能を持ち、同時に画期的な携帯性を実現した“本当のモバイルコンピュータ”としてPedionを市場投入することは、ノートパソコン市場に多大なインパクトを与えるものと予想された。

2.2 グループインタビュー

モバイルコンピュータのコンセプトを構築するに当たり、ユーザーの生の声から潜在的なニーズを探るためにグループインタビュー(ユーザーを集めた座談会)を行い、使用実態の調査とノートパソコンに望まれるハードウェアのサイズについて意見を聴取した。

インタビューは、ノートパソコンの熟練ユーザーを対象として行った。使用実態調査結果の概要は次のとおりである。

- (1) 所持しているノートパソコンはA4サイズが多い。
- (2) 使用しているアプリケーションソフトは、ワープロと電子メールが最も多く、次に表計算とプレゼンテーションが多い。

- (3) 使用場所は、自宅とオフィスに次いで出張先が多く、移動中の使用は少ない。
- (4) 現状のノートパソコンに対する不満は、重さと価格と拡張性である。
- (5) ノートパソコンを持ち歩く場合にいつも気になる点は、バッテリーの動作時間と不慮の破損である。

対象者の中にはノートパソコンのほかに電子メールとスケジュール管理用の携帯情報端末を利用している者もいたが、携帯性さえ改善されれば、ノートパソコンに一本化できることが望ましいようである。

サイズに関する質問では、大きさや重さを変えた複数のモデルを使用し、実際に手で持って評価させた。モデルは、A4サイズで重さを変えたモデル群、A4サイズで厚さを変えたモデル群、平面サイズを変えたモデル群の3パターンを作成した。評価結果の概要は次のとおりである。

- (a) 重さは、軽ければ軽い方が良いという意見もあったが、1.5kg前後でも許容範囲であることが分かった。
- (b) 厚さは、20mmで十分薄い印象を与えた。逆に、薄過ぎることが壊れそうな不安につながるとの指摘があった。
- (c) 平面サイズは、コンパクトなA5サイズも良いが、薄ければA4サイズの方が実用的との声が多かった。

以上の結果から、目標値をA4サイズ、厚さ20mm以下、重さ約1.5kgと定めた。また、モバイルコンピュータでは、実質的な堅牢性に加え、視覚的な安心感も重要であることが分かった。

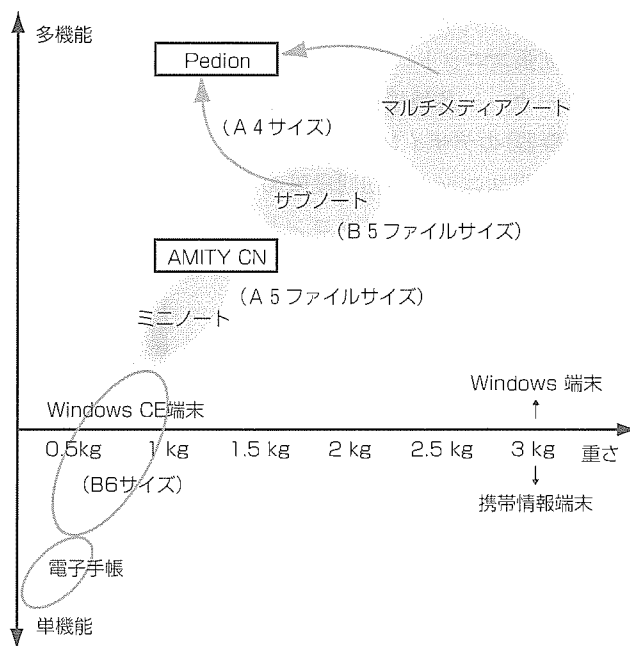


図1. ノートパソコン市場の分析マップ

3. 製品イメージの創出と量産デザイン

3.1 コンセプトデザイン

“持ち運べるオフィス”としてのモバイルコンピュータの製品イメージを創出するに当たり、スケッチによるアイデア展開を行った(図2)。初めは技術的な制約を設けず、用途展開に重点を置いた自由な発想を行った。

これらのアイデアに対して、現状のパソコン使用環境で要求される製品仕様と技術的な実現性の検討を繰り返し、次の条件を設定した。

- (1) 薄さによる携帯性の追求と堅牢性の両立
- (2) デスクトップパソコンと同等のキーピッチと操作を実現したキーボードの開発
- (3) 可能な限り大きく高精細な表示画面
- (4) 高い拡張性
- (5) 高級文具感覚の、従来のパソコンにはない新たな製品イメージの創出

3.2 量産デザイン

“持ち運べるオフィス”“高級文具感覚”をコンセプトとした製品イメージの具体化検討を行った。

図3は初期段階のイメージモデルである。これらの中から最終的にC案を採用した。C案は、バンパー状の張り出し部分で薄さを強調し、端正なラインで構成された外観には丸みを帯びた適度な柔らかさがあり、コンセプトのねらいを最も的確に表現している。本体色は、ツートーンの塗り分けによって薄さを更に強調し、メタリック色を用いることで先進的なパソコンイメージの創出をねらった。

また、パソコン本体のデザインと同時に、拡張ユニット(CD-ROM装置、スピーカー、各種接続端子を備えた周辺機器)のデザインを行った。

図4は拡張ユニットの初期段階のイメージモデルである。パソコンとの接続方法の簡便性に配慮したスタイリングを検討した。

次に、堅牢性の高い部品構成、生産段階での加工条件や組立て性、拡張ユニットや増設バッテリーとの接続方法など、量産化に向けた検討を行った。特に、表示部の開閉ヒンジは、実質的な強度の確保だけでなく、ユーザーに不安感を与えることのないよう太く丈夫に見える形状とし、堅牢性を視覚的にアピールした。

図5は最終デザインである。

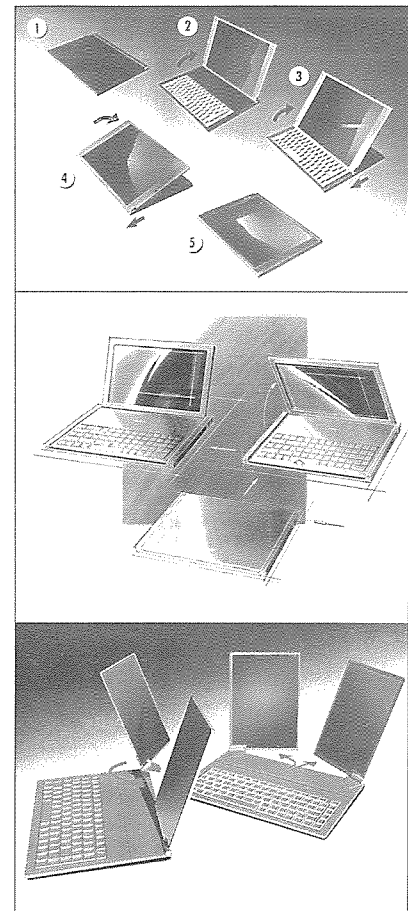
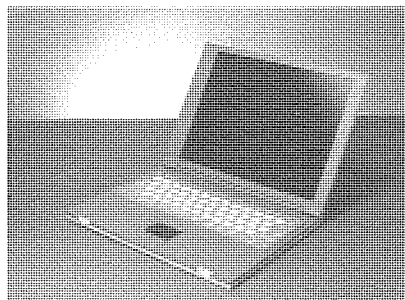
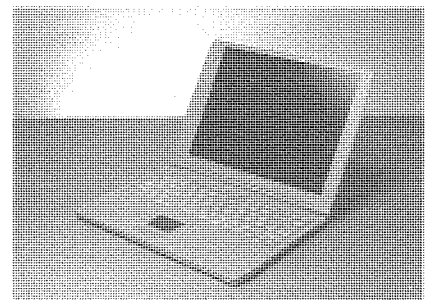


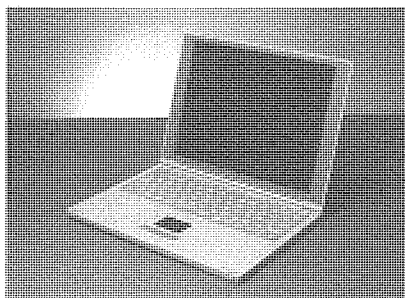
図2. アイデアスケッチの抜粋



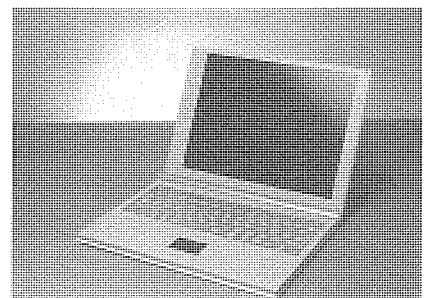
A案：平面的で簡素な部品構成によって板状の外観イメージを強調。



C案：綾線を極力カットした本体と細めのバンパー形状によって薄さを強調。



B案：外周を取り巻いたためのバンパー形状によって堅牢性を視覚的に表現。



D案：特徴的な円筒形のヒンジ部によってファイルのイメージを表現。

図3. 初期段階のイメージモデル

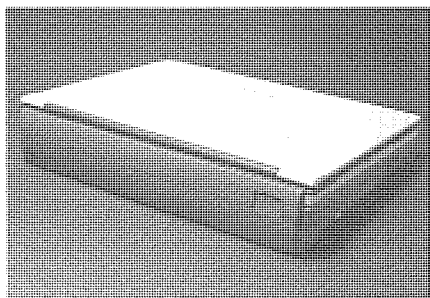
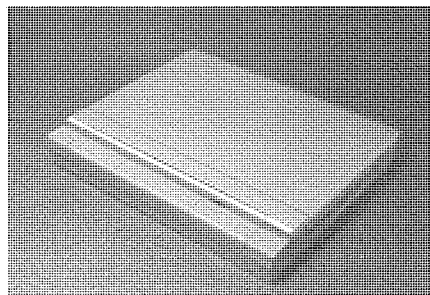


図4. 拡張ユニットのイメージモデル



A案：机上での使用を重視。装着時にはタイピングを考慮した傾斜がつく。

B案：携帯性を重視。本体を装着した状態で凹凸の少ない外形となる。

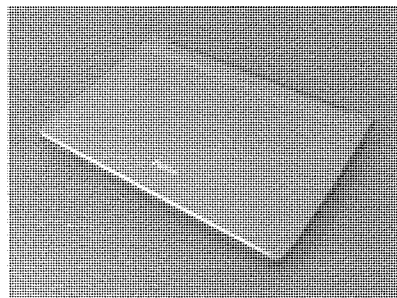


図5. 最終デザイン



図6. キーボードの操作性評価

3.3 放熱を考慮したカラーデザイン

量産設計において、内部に発生する熱を外部へ逃がし、手で触れても熱さを感じさせないように、発泡塗料を採用した。放熱効果上、明度の低い色が効果的であるとの条件を考慮するとともに、ソフトな質感を持つ発泡塗料の特性を生かした本体と周辺機器のカラーリングの再検討を行った。

最終的に、周辺機器も含めたシステム全体を黒を基調とすることで、飽きのこない高級感をねらった。表示部の外側には落ち着いた色合いのメタリック色を用いることで、薄さを強調するとともに、高級感と市場における登場感をねらった。

4. ヒューマンインタフェースデザイン

4.1 操作性評価に基づくキーボードデザイン

薄型キーボードの開発において、実使用に耐えるプロトタイプを製作し、操作性評価を繰り返し行った(図6)。

その結果、操作性を損なうことなく、キーストローク1mmの超薄型キーボードを実現することができた。また、評価結果から、キートップの表面形状が操作性に与える影響も少なくないため、キートップに指触りの良い微妙な凹凸を持たせた。

4.2 実使用実験に基づく標準仕様モードの推定

ユーザーの使用実態に適合するシステム設計を行うため、16人のノートパソコンユーザーにワープロと表計算ソフトを使ったタスクを与え、打けん(鍵)頻度、マウスのクリック頻度、ハードディスクドライブのアクセス頻度、操作休止の頻度と時間を測定した。これらの分析結果からユーザーの標準的な使用状況を推定し、パワーマネジメントシステムの設計等に反映させた。

5. むすび

“Pedion”は、A4サイズで最薄・最軽量の高機能モバイルコンピュータとして市場導入され、大きな反響を与えた。今後は、更なる携帯性の強化と、より快適な操作性の追求が課題である。また、モバイルコンピュータ市場は、これから本格的に活性化するにつれて、様々なユーザーニーズが表出し、新たな製品群が形成されていくと思われる。今回は、潜在するユーザーニーズの探索と製品コンセプトの創出、そして、ユーザーによる評価検証を通じた製品イメージの具体化というステップでデザイン開発を実施した。

この開発で培ったデザイン開発技術を適用し、次世代機の開発に貢献していく所存である。

中部電力(株)お客さま申込工事支援システム における携帯端末“AMITY”の利用

山本正明*
田中康弘*
太田電児**

要 旨

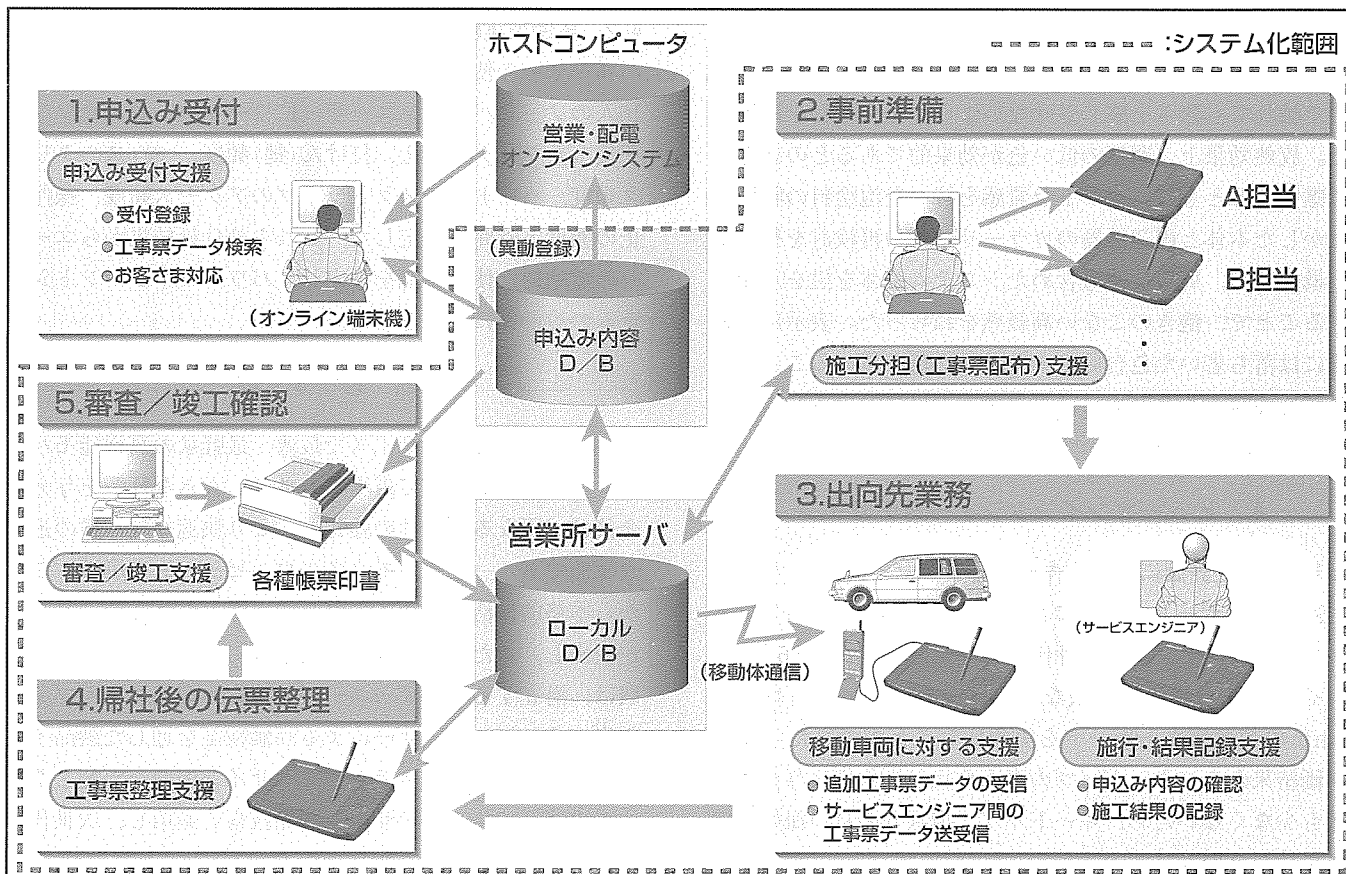
中部電力(株)では、1997年7月に、営業・配電業務を支援する“お客さま申込工事支援システム”の導入を開始した。このシステムは、工事票の配布から審査・しゅん(竣)工確認までを一貫して機械化するものであり、モバイルコンピュータ“AMITY”を現場端末として利用している。'97年12月からはこのシステムの機能に移動体通信機能も追加され、順次導入事業場が拡大されており、2000年ごろまでには全社に展開する計画である。

営業・配電業務とは、需要家(お客さま)の転居などによる電気の使用開始/廃止や契約容量変更などの申込みへの対応であり、その件数は中部電力(株)全体で年間およそ210万件にも達する膨大なものとなる。これまで同社では、工

事の手配から工事施工結果の反映、工事票の保管までの業務すべてを手作業で実施しており、その人的コストは無視できないものとなっていた。この営業・配電業務(通称、お客さまサービス)にモバイルコンピュータを取り入れたのは電力会社では初めてであり、次の導入効果をねらいとしている。

- 作業指示票(工事票)のペーパーレス化
- 書類整理などの業務省力化
- 問い合わせ応答の迅速化
- 処理データ記録の分析/活用による業務効率化
- 急な申込み工事に対するサービスの強化

ここでは、このシステムの概要と特長を紹介する。



お客さま申込工事支援システムの業務の流れ

従来工事票で運用されていた紙ベースの業務にAMITYを導入したことにより、事前準備から審査・竣工確認までの業務が効率化された。また、移動体通信機能の追加により、急な申込み工事にも対応できるようになり、お客さまへのサービスも強化されている。移動体通信機能は、現場のAMITY同士での工事票の送受信にも利用されている。

1. ま え が き

中部電力(株)は愛知・岐阜・三重・長野・静岡(富士川以西)の中部5県へ電力を供給しており、952.5万口の契約口数を持っている。その営業窓口業務のうち大きなウェートを占めているのが、需要家(お客さま)の転居などによる電気の使用開始/廃止や契約容量変更などの申込みへの対応である。中部電力(株)は全社で89か所の営業所で申込みに対応しているが、繁忙期となる毎年三月下旬から四月初旬にかけての引越しシーズンなどでは業務が一定期間内に集中し、通常時の数倍の業務量となるため、業務の改善が望まれていた。

このため中部電力(株)では、1997年7月、モバイルコンピュータ“AMITY”を現場端末として、窓口での受付から現場での処理と施工結果のオンライン反映までの一連業務を行う“お客さま申込工事支援システム”を開発し、名古屋支店熱田営業所での運用を開始した。同社では2000年ごろまでに約1千台のAMITYを全社(78営業所)に展開する計画である。

本稿では、お客さま申込工事支援システムにおけるAMITYの利用事例について紹介する。

2. システムの概要

2.1 システムの全体構成

システムの全体構成を図1に示す。このシステムでは、

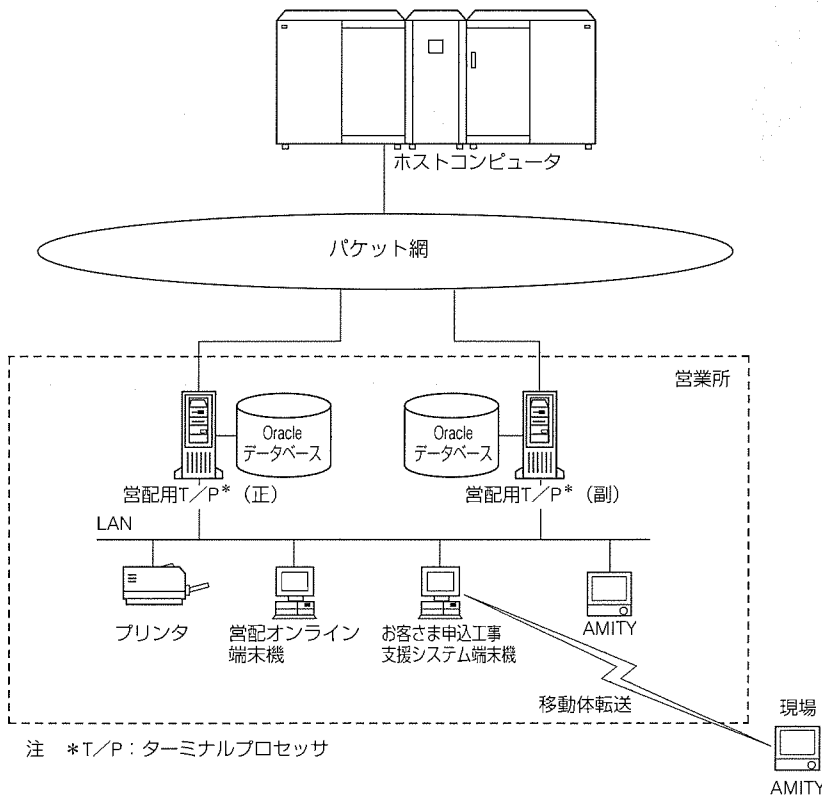


図1. システムの全体構成

まず、需要家からの申込みがあると申込み内容がホスト側データベースにオンラインで登録される。工事票データは、バッチ転送によってサーバ側データベースに反映された後、サービスエンジニアの担当区域別に自動的に振り分けられる。

サービスエンジニアは、AMITYをLANに接続し、各自に振り分けられた工事票データをAMITY内にダウンロードし、作業内容の確認後現場へ出向き、作業を実施する。作業終了後に、施工結果や特記事項に関するメモや現場周辺のスケッチなどをAMITYに入力し、次の現場に移動する。

すべての現場での作業が終了し営業所に戻った後は、施工結果をAMITYから端末上にアップロードするとともに、必要となる場合にメモやスケッチを印刷する。

2.2 システムの特長

2.2.1 移動体通信機能

このシステムの大きな特長は“移動体通信機能”である。急な申込み工事のデータを営業所と連携した現場のAMITYで受信するか、又は現場間でデータを送受信することができる。また、営業所内のLAN障害時を考慮し、営業所端末以外にも、営業所サーバへの接続も可能としている。

つまり、移動体通信機能では、次の接続形態があり、状況に応じて使い分けられている。

- 営業所端末-AMITY間(急な申込み工事対応)
- 営業所サーバ-AMITY間(急な申込み工事対応で、営業所LANに障害が発生している場合)
- AMITY-AMITY間(同一営業所内で工事データの送受信を行う場合)

サービスエンジニアは図2のように工

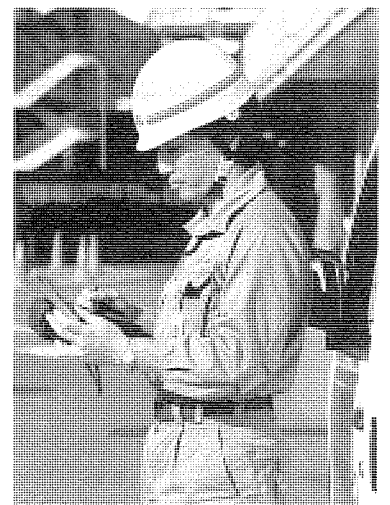


図2. 現場での使用風景

事現場でPHS(アステル中部)又は携帯電話(IDO)を利用してデータの送受信を行う。PHS/携帯電話の選択は通信業者のサービスエリアを考慮して営業所単位で統一されており、PHSを採用している営業所では、高速データ伝送サービスPIAFS (PHS Internet Access Forum Standard)を採用することにより、32kbpsの高速データ通信を実現している。ただし、PIAFSを採用する場合、営業所側にはPIAFSに対応したターミナルアダプタ(TA-P(TA for PIAFS))が必要となる。

2.2.2 赤外線通信機能

AMITY同士のデータの送受信ではIrDA1.1による赤外線通信も可能であり、現場や営業所内でのデータの交換/統合に使用される。また、営業所内でのサーバからのデータダウンロード、サーバへのアップロードには、図3に示す赤外線LANアダプタ装置JetEye Net(Extended Systems社製)を利用することにより、非接触LAN接続で行う。これにより、機器を接続する煩わしさから解放される上に、接続時の破損による物理的なハードウェア故障を回避することができる。赤外線LAN接続は、4Mbpsの高速通信により、AMITYへのメンテナンス(リソース転送)にも使用される。

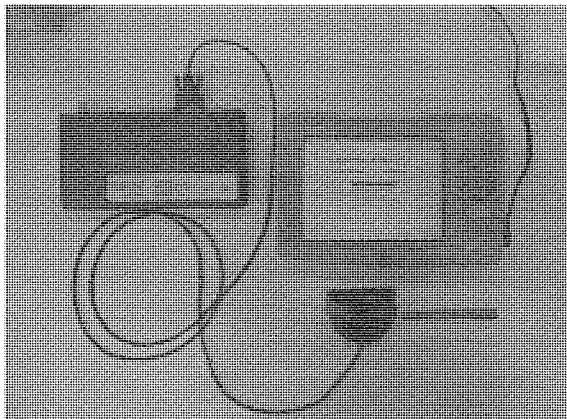


図3. LAN接続形態

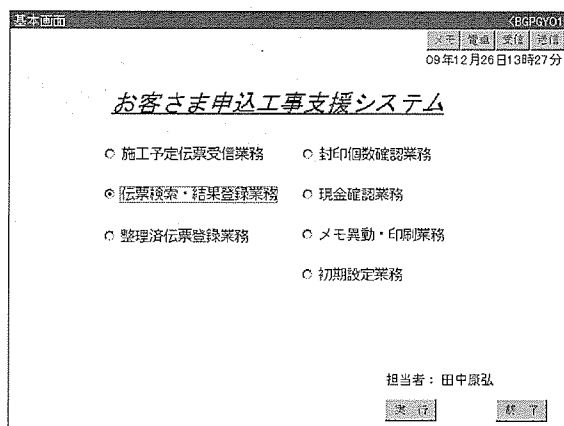


図4. 業務選択画面

2.3 業務支援機能の概要

このシステムでは、AMITY起動後に社員番号を入力すると図4の業務選択画面となる。そのうちの主な業務支援機能について以下に示す。

(1) 伝票受信・登録業務

データのダウンロード、アップロードは“施工予定伝票受信業務”及び“整理済伝票登録業務”で行う。このダウンロード、アップロードは、前述の移動体通信機能、赤外線通信機能で行う。

(2) 検索・登録業務

サービスエンジニアは、現場で足順が設定された伝票一覧を基に、一件一件工事現場に回り、その工事種別に応じた施工結果を入力していく。伝票一覧画面を図5に、施工結果入力画面例を図6に示す。

(3) メモ入力業務

図7に示すメモ入力画面は、現場工事の際に必要なに応じてメモやスケッチを入力するために用意されている。スケッチには工事現場に必要な記号があらかじめ用意されており、ドラッグ&ドロップでメモエリアに描写することができる。

2.4 導入効果



図5. 伝票一覧画面

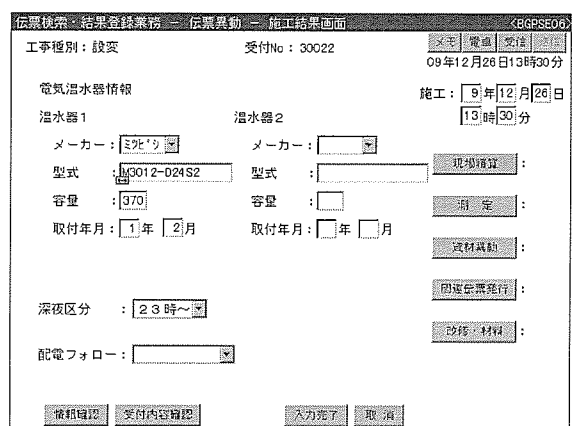


図6. 施工結果入力画面例

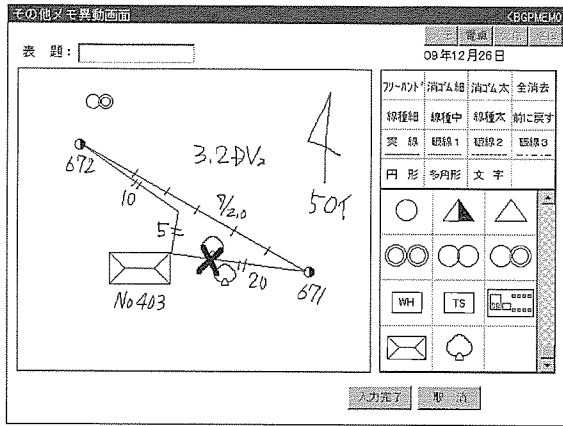


図7. メモ入力画面

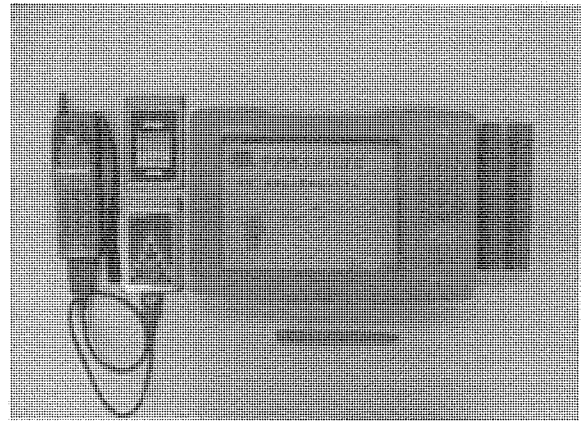


図8. 現場携帯時の機器構成

このシステムの導入効果を以下に示す。

(1) 業務の省力化

施工結果の自動落成処理(審査・竣工確認)によるインプット・照合業務の省力化, 施工結果の機械内データチェックによる伝票及び審査業務の省力化ができた。

(2) お客さまサービスの向上

申込み内容情報の機械内管理, 現場出向後の申込み内容に対する対応の迅速化により, お客さまへの対応が強化された。

(3) 管理業務の精度向上

施工結果情報を一元管理することによって管理業務の精度が向上した。

(4) 用紙の省資源化

工事票廃止によって用紙の省資源化ができた。

3. AMITY採用の要因

このシステムのモバイルコンピュータにAMITYが採用された主な要因を以下に示す。

3.1 要求仕様の満足

(1) 本体仕様

図8に現場携帯時の機器構成を示す。PCカードスロット数や赤外線通信デバイス(4Mbpsサポート)など, インタフェース部分の要求仕様を満足している。

(2) 液晶画面の視認性

このシステムの運用は屋外で行われるため, 直射日光を受けた場合の視認性の良否が問われる。AMITY VPに採用されている液晶ディスプレイ“DFPassive”液晶は, 屋外での使用に適している。

(3) 長時間のバッテリー駆動

このシステムでは, 半日単位で3~4時間の連続運用が行われる。AMITY VPでは, バッテリーを2本内蔵し, 省電力技術の向上と省電力モードの有効活用により, 連続

3~4時間の運用が可能となる。

(4) テンキーの装備

現場での入力作業には数値の入力が数多く, 本体にテンキーを内蔵したAMITY VPで迅速に入力作業が行える。

3.2 検証試験の実施

このシステムでは, モバイルコンピュータに特有な運用問題につき, 開発段階や運用試験時に十分な検証試験を実施している。以下にその内容を示す。

(1) バッテリー持続時間検証試験

バッテリー持続時間は, モバイルコンピュータの運用方法に大きく左右される。バッテリー消費を最小限に抑えるために省電力モードのチューニングを検証し, 3日間にわたって試運用開始営業所での調査を実施し, 省電力モードの適性を評価した。

(2) 寒冷地動作試験

このシステムは屋外で使用するため, 冬期寒冷地では氷点下での運用になる。スキー場頂上でAMITYの基本動作を検証するとともに, リチウムイオンバッテリーの放電温度特性から持続時間の差異を評価した。

(3) 耐熱試験

上記とは逆に, 夏期炎天下(高温下)での使用に対しても同様に, 基本動作とバッテリー持続時間の評価を行った。

4. むすび

以上, “お客さま申込工事支援システム”の概要について述べた。このシステムを'97年7月から運用開始している熱田営業所では, 導入当初戸惑いが見られたものの, 数箇月で操作にも慣れ, 期待した効果が現れている。

中部電力(株)では2000年までに1,057台設置する計画であるが, 移動体通信の新技術やシステムの拡張機能についてもAMITYの適性を評価していきたい。

スポットライト 700系新幹線電車用主変圧器

東海旅客鉄道(株)(JR東海)は新形新幹線電車700系の量産先行試作車両16両×1編成を完成し、1999年の営業運転開始に向けて、現在、東海道・山陽新幹線区間で各種性能試験を実施中です。この車両は、300系“のぞみ”の後継車両として、更に快適性・保守性の向上を追求したものであり、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)素子を使用した最新の推進制御システムが採用されています。

三菱電機は、推進制御システムの重要機器である主変圧器の設計・製作を担当し、このたび大容量かつ軽量の主変圧器を完成しました。主変圧器は車両床下に搭載され、パンタグラフで受けた電力を、車両を駆動するための主回路と、空調装置などを駆動するための補助回路とに供給します。

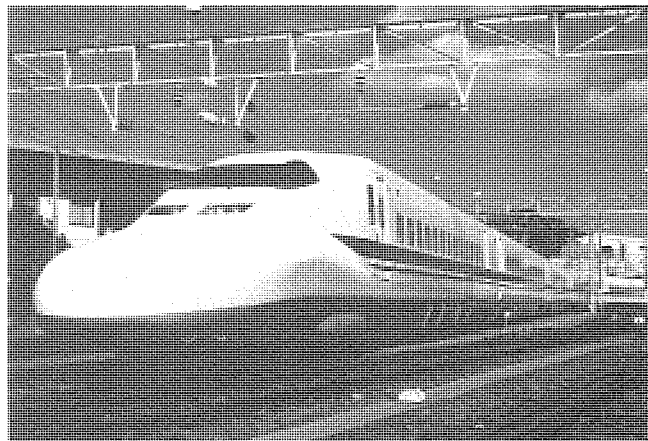
300系“のぞみ”の編成出力が12,000kWであるのに対し、700系では13,200kWに増えており、さらに、その電力を供給する主変圧器は1編成当たり5台から4台に集約されたため、主変圧器容量は約1.4倍に増加していますが、最新の小型・軽量化技術を駆使し、質量を300系の主変圧器と同等に抑えています。

特長

- IGBT使用3レベルPWMコンバータ制御方式に適した特性(高インピーダンス、巻線間疎結合)を実現し、半導体素子のスイッチングによって発生する高調波電流を抑制するとともに、主変圧器の電磁騒音を低減。
- 高速試験車両300Xでの開発成果に基づくコイル、絶縁物、

冷却装置を中心とした軽量化技術を適用し、単位容量当たりの質量で30%の軽量化を達成。

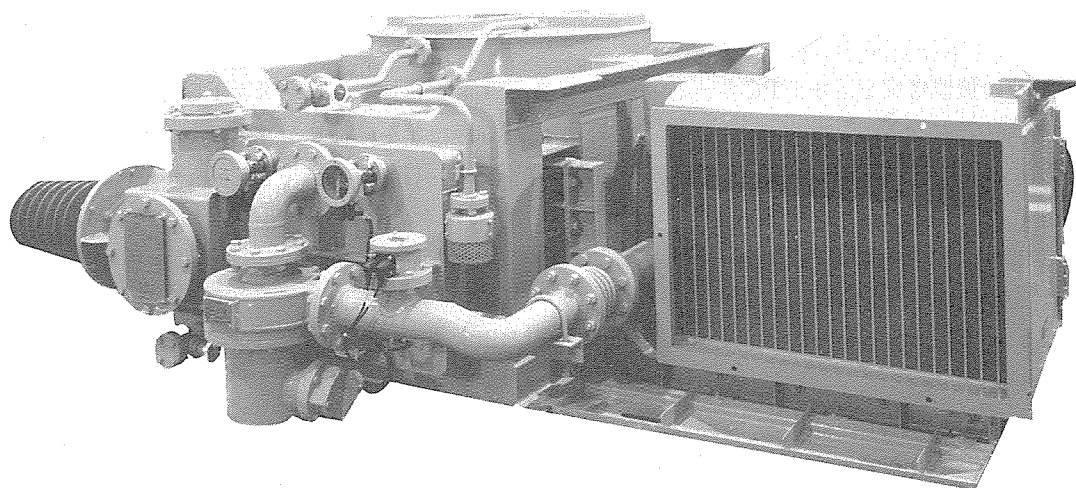
300系：3,080kg/2,900kVA(1.06kg/kVA)
→700系：3,097kg/4,160kVA(0.74kg/kVA)



700系新幹線車両

仕様

| | | | |
|-------|--|--|--|
| 形名 | TTM 3形主変圧器 | | |
| 方式 | 外鉄形、送油風冷式、シリコン油入 IGBT使用3レベルPWMコンバータ制御方式対応 | | |
| 定格 | 単相、60Hz、連続定格 1次：4,160kVA 25,000V 166A 2次：3,660kVA 1,220V 1,000A×3巻線 3次：500kVA 430V 1,163A | | |
| 質量・寸法 | 3,097kg (W) 2,423×(L) 2,609×(H) 816 (mm) | | |



主変圧器外観



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 特許センター

0120-787-200

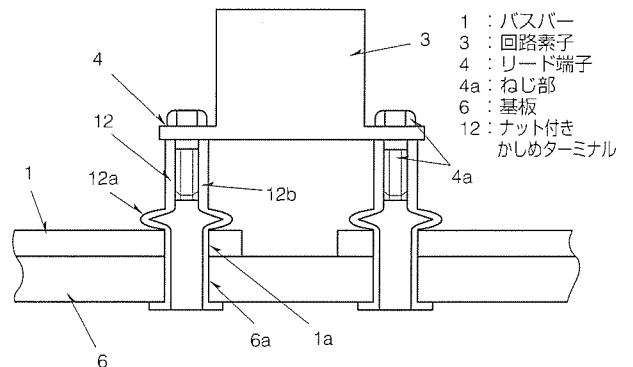
基板装置 (特許 第2033670号, 特公平7-60915号)

この発明は、基板とバスバーとを積層して、当該バスバーに回路素子を電気的に接続した基板装置に関するものである。

従来の基板装置は、バスバーとリード端子をはんだで接続しているので、溶融はんだの浸せき(漬)が必要となり、その結果、製造工程が増えるのみならず、溶融はんだで加熱されるので、基板とバスバーの膨張係数の違いによってひずみ発生のおそれがある。また、バスバーのパーリング加工には非常に工数が増えるとともに、その加工には特殊な設備が必要であった。

この発明は、上記の問題点を解消するためになされたものである。図にこの発明による実施例を示す。基板(6)とバスバー(1)とが、それらの透孔(6a, 1a)を貫通した導電性かしめターミナル(12)のかしめ部(12a)でかしめ止めされている。ターミナルの雌ねじ部(12b)には、回路素子(3)のリー

ド端子(4)が締め付け固定されている。この構成により、はんだ付けや接着剤及びパーリング加工用の特殊設備を一切必要とせずに、かしめターミナルと締め付けねじだけで、基板とバスバー相互の締め付け固定及び回路素子とバスバーの電気的接続を簡単かつ確実に行うことができる。



かご形回転子の製造方法 (特許 第2094188号, 特公平8-17557号)

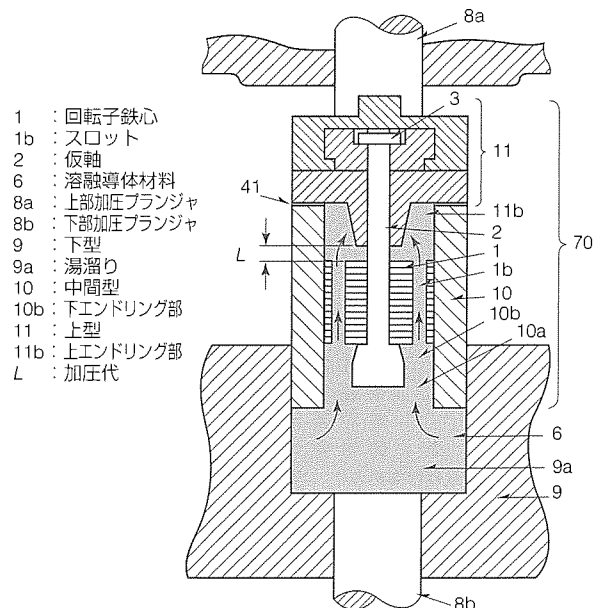
この発明は、回転子鉄心に溶融した導体材料を加圧充てん(填)して回転子導体を形成する方法に関するものである。

従来の溶湯鍛造法では、溶融導体材料の凝固にばらつきが生じるため、収縮巣が発生し、電気導通の低下を来して、モータのトルク、効率に悪影響を及ぼす問題があった。

この発明は、この問題を解消するためになされたものである。図に製造装置の断面構成を示す。仮軸(2)に回転子鉄心(1)をはめ込み、ナット(3)によって上型(11)に固定し、中間型(10)にかん(嵌)合挿入する。これら組み合わせた金型全体を上部可動金型(70)として、上部プランジャ(8a)に固定する。下型(9)の湯だ(溜)まり(9a)に溶融したアルミニウム導体材料(6)を注ぎ、上部プランジャ(8a)を降下させ、上部可動金型(70)を湯溜まり(9a)に挿入し、加圧する。回転子鉄心(1)は、スロット(10)内の導体材料(6)が凝固することによって発生する両端間の差圧で軸方向上方へ移動し(加圧代L)、上エンドリング部(11b)を高圧力で加圧する。

この発明により、両方のエンドリングを加圧できるので、収縮巣のない健全な回転子導体が得られ、遠心力などによ

る破損が防止できるとともに、電気抵抗が減少し、モータの効率及びトルク特性が向上する。





特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 特許センター

☎0120-787-200

プロジェクション溶接方法 (特許 第1816772号, 特公平5-27516号)

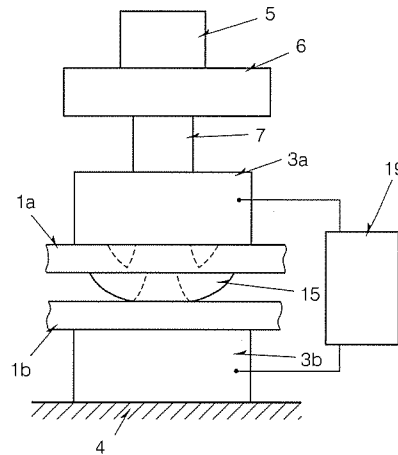
発明者 町田 一 道, 加柴良裕, 出口吾朗

この発明は、金属板材を重ね合わせて接続するプロジェクション溶接方法、特に板表面に発生する圧こん(痕)の防止に関するものである。

従来のプロジェクション溶接方法では、通電時間が数十ミリ秒から数百ミリ秒と長いため、溶接部周辺にも過剰の熱が与えられ、圧痕深さが数十ミクロンに達し、外観を損ねることがあった。

この発明は、この問題を考慮してなされたもので、図に実施例を示す。第1の金属板材(1a)と第2の金属板材(2a)を重ね合わせてエアシリンダ(5)で所定の圧力を加えながら、一定の電流を一定時間、溶接電源(19)から上部電極(3a)と下部電極(3b)に通電する。第1の金属板材(1a)に設けた輪状突起(15)の径方向断面の頂点位置は、径方向断面の中央位置よりも内側とし、かつ頂点で形成する閉曲線に変曲点を設けないようにしている。この構成で、通電電流を輪状突起の内側に集中するとともに、ごく短時間で通電を行うよ

うにすることにより、伝導熱がほとんど発生しない間に輪状突起に起因する集中抵抗による発熱のみで接合界面を接合できるようにしたので、第2の金属板の表面に圧痕が発生することを防止することができる。



- 1a: 第1の金属板材
- 1b: 第2の金属板材
- 3a: 上部電極
- 3b: 下部電極
- 5: エアシリンダ
- 15: 輪状突起
- 19: 溶接電源

<次号予定> 三菱電機技報 Vol.72 No.5 特集“暗号・セキュリティ技術及びその応用”

特集論文

- 情報社会の自由と安全
- 暗号・セキュリティ技術の現状と展望
- 暗号解読・強度評価技術
- ブロック暗号アルゴリズム“MISTY”
- 公開鍵暗号
- 三菱情報セキュリティアーキテクチャ
- 共通鍵暗号“MISTY”評価用LSI
- ネットワークセキュリティ“MELWALL”
- 公開鍵インフラストラクチャ構築技術

- デジタルコンテンツ流通技術
- 指紋判別装置
- オンライン筆者照合技術
- アクセスマネジメントシステム
- 監視カメラシステム
- 誤報を低減した侵入監視装置
- 統合ビルセキュリティシステム
- JapanNet認証サービスを利用した社内情報システム
- ノンストップ自動料金収受システム

| | |
|--|--|
| <p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 鈴木 新</p> <p>委員 永田 譲蔵 井上 誠也</p> <p>宇治 資正 河内 浩明</p> <p>岩泉 和巳 内藤 明彦</p> <p>門田 光司 山本 延夫</p> <p>小林 保雄 前田 信吾</p> <p>畑谷 正雄 才田 敏和</p> <p>野沢 俊治 猪熊 章</p> <p>幹事 鈴木 隆二</p> <p>4月号特集担当 安永 政司</p> <p>井手 清</p> <p>平山 正治</p> | <p>三菱電機技報 72巻4号 1998年4月22日 印刷</p> <p>(無断転載・複製禁ず) 1998年4月25日 発行</p> <p>編集人 鈴木 新</p> <p>発行人 鈴木 隆二</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社</p> <p>ドキュメント事業部</p> <p>〒105-0004</p> <p>東京都港区新橋六丁目4番地9号 北海ビル新橋</p> <p>電話 (03) 3437局2692</p> <p>印刷所 菱電印刷株式会社</p> <p>発売元 株式会社 オーム社</p> <p>〒101-0054</p> <p>東京都千代田区神田錦町三丁目1番地</p> <p>電話 (03) 3233局0641</p> <p>定 価 1部735円(本体700円) 送料別</p> |
| | <p>お問い合わせ先 giho@hon.melco.co.jp</p> |

スポットライト

三菱モバイルコンピュータ “AMITY CN”

三菱モバイルコンピュータ“AMITY CN”は、A5ファイルサイズ、質量1.1kgでモバイル用途に適したスペックと優れたデザインで好評を得ていますが、このたび新たに外観・質量はそのままに、8.4インチTFT液晶、SVGA(800×600ドット)の大画面と、高性能CPU MMXテクノロジーPentiumプロセッサ166MHzを搭載したモデルを発表しました。

特長

●コンパクトボディに鮮やかな大画面8.4インチ、SVGA、TFT (DFActive^(注1))カラー液晶

ディスプレイは従来のTFTよりも更に鮮やかな新開発TFT8.4インチ、SVGA、DFActiveカラー液晶を採用しており、800×600ドット高精細画面で65,536色表示が可能です。

●高性能CPU MMX Pentium 166MHz

モバイル用として最適な低消費電力型高速CPU MMXテクノロジーPentiumプロセッサ166MHzを搭載し、このクラス最高の性能を実現しており、表計算やデータベース操作はもちろん、マルチメディアなどの高度なデータ処理も一段とスピーディに処理できます。さらにSDRAM 32Mバイトのメインメモリに加え、256Kバイトの2次キャッシュメモリを装備するなど高性能化を実現しました。

●クラス最大のキーピッチ16mm

コンパクトなボディでありながら、Windows95が動作するA5ファイルサイズのモバイルコンピュータの中で最大のキーピッチ16mm、キーストローク2mmを確保しています。緩やかに傾斜した広いパームレストデザインと併せ、キー入力がスムーズに行えます。またポインティングデバイスにはTrackPoint IIIを採用し、キー入力とマウスカーソル移動の連携操作も、ホームポジションから手を離さずに行えます。

●内蔵バッテリーは交換可能。オプションバッテリーで最長7.8時間駆動

従来固定式だった内蔵バッテリーを交換可能としました。内蔵バッテリー(交換可能)で1.8時間^(注2)、大容量バッテリーを併用すれば7.8時間^(注2)の長時間駆動が可能となります。

●大容量2.1GバイトHDD

本体内蔵のハードディスクは2.1Gバ

イトの大容量ハードディスクです。外出先でのデータ保存や大規模アプリケーションの動作も余裕で対応します。

(注1) Diamond Fine Activeの略、三菱電機株の商標(登録中)

(注2) バッテリー駆動時間は使用環境によって変動します。

(注) 会社名及び製品名は各社の商標又は登録商標です。



三菱モバイルコンピュータ “AMITY CN”

本体仕様(本体には、ACアダプタ、FDDを添付)

| | | |
|----------------|--|---|
| 機種名(モデル名) | 三菱モバイルコンピュータ AMITY CN | |
| 型番(タイプ名) | M3031-L47S 1 | |
| C P U | MMX [®] テクノロジーPentium [®] プロセッサ166MHz | |
| 2次キャッシュ | 256Kバイト | |
| R A M | 32Mバイト SDRAM(最大96Mバイト) | |
| 補助記憶装置 | HDD 2.1Gバイト(サスペンド領域として約100Mバイト使用) 外部FDD 3モード3.5インチ(1.44Mバイト)・1.2Mバイト/720Kバイト×1(パラレルI/F接続) | |
| ディスプレイ | 表示方式 8.4インチTFTカラー液晶 表示色 65,536色 解像度 SVGA(800×600ドット) LCDと外部ディスプレイと(オプション)の同時表示 | |
| キーボード | OADG準拠85キー | |
| ポインティングデバイス | TrackPoint III [®] | |
| PCカードスロット | TYPE II × 2 又はTYPE III × 1 (JEIDA42 PCMCIA2.1準拠) CardBus、ZVポート対応 | |
| サウンド | Sound Blaster Pro準拠、スピーカー、マイク内蔵 | |
| 赤外線通信機能 | 赤外線通信ポート標準装備(IrDA1.1準拠・4Mbps) | |
| インタフェース | マウス/キーボード×1、RS-232C×1、パラレル×1、ディスプレイ×1、USB×1、オーディオ(外部スピーカー、マイク)、DC IN | |
| 電源 | バッテリー | リチウムイオンバッテリー標準内蔵(着脱可能) |
| | バッテリー駆動時間 | 約1.8時間 |
| | バッテリー充電時間 | 約3時間(本体装置によって充電、本体動作中の充電可能) |
| | 大容量バッテリー | 大容量バッテリーは本体にドッキングでき、本体内蔵バッテリーと合わせて、約7.8時間のバッテリー駆動が可能。 |
| | ACアダプタ | AC100~240V ±10% 50/60Hz |
| | 消費電力 | 最大27W |
| | エネルギー消費効率 | 8.0W |
| 外形寸法 | (幅)235×(奥行き)170×(高さ)35(mm) | |
| 本体質量 | 1.1kg(内蔵バッテリーを含む) | |
| 環境条件 | 温度10~35℃ 湿度20~80%(ただし、結露しないこと) | |
| プリインストールソフトウェア | Microsoft [®] Windows [®] 95、Microsoft [®] Internet Explorer4.0 | |