

MITSUBISHI

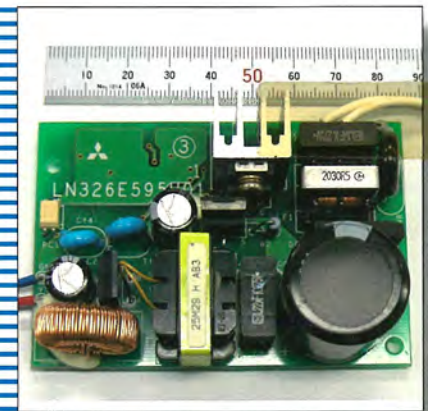
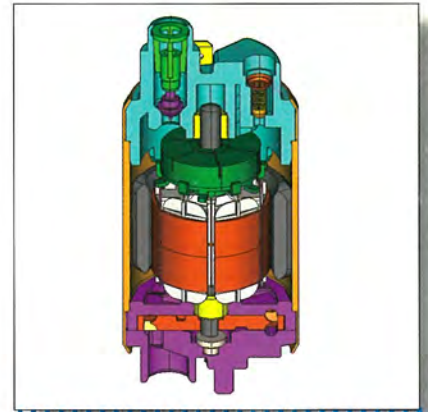
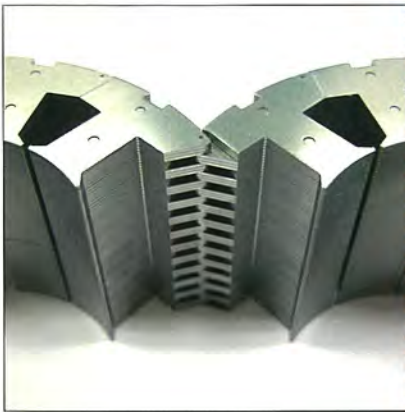
三菱電機技報

Vol.81 No.12

2007

12

特集 「生産技術」



目次

特集「生産技術」

生産技術と企業価値	1
貝原俊也	
革新的製造技術による製品競争力の強化	2
森安雅治	
分割鉄心モータにおけるコギングトルク低減技術	7
秋田裕之・吉岡 孝	
スライド鉄心による燃料ポンプ用DCモータ	11
山本一之・佐武英和・馬場利靖・坂井雄作	
換気扇用小型モータの量産ライン構築	15
木下治雄・三宅展明・山口秀哉・川杉直喜	
スイッチング電源の内製化による製品品質の作り込み	19
熊谷 隆・松原則幸・高田雅樹・村田信二・菅 郁朗	
パワーモジュールの信頼性向上技術	23
中島 泰・杉木昭雄	
高精度射出成形技術の製品への適用	27
今泉 賢・北山二期・田村真史・斎藤浩二	
高周波モジュールの検査技術	31
大野一人・金塚憲彦・高山智生	
電子機器試験工程の生産性改善	35
山田尚道・白石忠道	
グローバル生産における生産管理情報の連携性向上	39
岩田和晃・黒田 晃	
リサイクル工場の生産性向上と作業環境改善	43
小林 実・小笠原 忍・織田昌雄・藪内賢義・坪井伸之	
系統変電システム製作所JIT生産革新活動の推進	47
清家寿洋・北島日出夫・有川真明	
GE-PON装置の生産性向上	51
村上 順・今村浩明・岩藤広美	

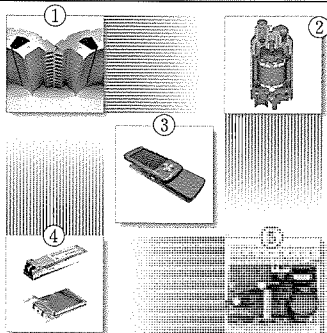
Manufacturing Technologies

Production Technology and Corporate Value	Toshiya Kaihara
Enhancement of Product Competitiveness with the Innovative Manufacturing Technologies	Masaharu Moriyasu
Technology to Decrease Cogging Torque of Motor with Divided Stator Cores	Hiroyuki Akita, Takashi Yoshioka
DC Motor for Fuel Pumps using Slide-type Motor Cores	Kazuyuki Yamamoto, Hidekazu Satake, Toshiyasu Baba, Yusaku Sakai
Construction of Motor Assembly Line for Exhaust Fan	Haruo Kinoshita, Nobuaki Miyake, Hideya Yamaguchi, Naoki Kawasaki
In-House Manufacturing of Built-in Power Supplies for Product Quality Improvement	Takashi Kumagai, Noriyuki Matsubara, Masaki Takata, Shinji Murata, Ikuro Suga
Aluminum Bonding Wire Reliability of Transfer-molded Power Modules	Dai Nakajima, Akio Sugiki
Applications of High-Precision Injection Molding Technologies for Various Products	Masaru Imaizumi, Jiro Kitayama, Masashi Tamura, Koji Saito
Testing Systems for Radio Frequency Modules	Kazuto Ohno, Norihiko Kanazuka, Tomoo Takayama
Test Technology in Production Process	Naomichi Yamada, Tadamichi Shiraishi
Cooperation Improvement for Global Production	Kazuaki Iwata, Akira Kuroda
Improvement of Productivity and Working Environment at Recycling Factory	Minoru Kobayashi, Shinobu Ogasawara, Masao Oda, Kazuyoshi Yabuuchi, Nobuyuki Tsuboi
Total Productivity Improvement Based on Just In Time Production of Transmission & Distribution Systems Center	Toshihiro Seike, Hideo Kitajima, Masaaki Arikawa
Manufacturing and Production for GE-PON Equipment	Jun Murakami, Hiroaki Imamura, Hiromi Iwafuji

三菱電機技報81巻総目次	55
--------------	----

特許と新案

「電力用半導体装置」



表紙：生産技術

- ①はステータ内周形状とコギングトルクとの関係を理論解析と実験をもとに明らかにし、製造工程でのコギングトルク低減技術を確立したポキポキモータ
- ②は磁極が外向きの鉄心構造に適用できる新しい分割鉄心構造「スライド鉄心」を採用した燃料ポンプ用DCモータ(イメージ図)
- ③は収縮異方性や残留応力による変形を抑制する新しい成形技術の開発によって、初めて携帯電話の意匠筐体(きょうたい)を樹脂化した機種
- ④は試験検査工程にモジュール構造化試験ソフトウェアによる自動試験システムを適用した光送受信器
- ⑤は内製化の取り組みによって、品質向上・小型軽量化・コストダウンを実現したスイッチング電源

生産技術と企業価値

Production Technology and Corporate Value



貝原俊也
Toshiya Kaihara

一般に生産技術は、製品企画や設計・開発業務とは異なり、製造業の企業活動における“縁の下の力持ち”として位置付けられることが多い。そして、生産技術と企業収益との直接的な関連性が見えにくいいため、生産技術に関する研究や実践活動への適切な投資の見極めは難しいものとなっている。しかし、日本の工業製品が持つ高品質・短納期・高機能低価格などの一翼を担っているのが優れた生産技術力であることは世界で認められている。そこで本稿では、企業価値を考える上での生産技術の位置付けについて、昨今の生産工学や経営学などで進められている研究動向を踏まえ簡単に整理してみようと思う。

私の専門は生産システム工学であり、ここではまず企業活動をシステム論的にとらえてみたい。システム論の基本は、まず、複雑な対象をいったん抽象化し、システムの入出力関係とシステム内部における変換過程としてモデル化することである。このような目で企業活動を整理してみよう。その際、参考となる考え方の一つに、バランススコアカード(Balanced Score Card : BSC)がある。BSCでは、企業活動を、①成長と学習の視点、②内部の視点、③顧客の視点、④財務の視点、という4つのモジュールに大別し、それぞれのモジュールが、①から②、③、④へのシーケンシャルな流れを基本としながらも、相互のループを含んだ入出力関係で結びついたものとして企業活動を抽象化している。ここで、最終的に市場に見える企業価値は、④の財務の視点に関する部分であるが、それは株主資本利益率(ROE)などに代表される、あくまで瞬間風速的な企業会計における経理上の企業価値に過ぎない。企業のトップ経営者は、短期的にはこの部分をいかにして向上させるかに注力するべきであろうが、特に製造業では、それだけでは一時的な収益を産むだけであり、真の企業価値向上と呼べるものではない。なお最近では、モノづくりの視点から上記の4つのモジュールをそれぞれ、①モノづくりの組織能

力、②裏の競争力、③表の競争力、④収益力、と定義するケースも見受けられる。

さて、このような抽象化の下に生産技術のポジションを考えてみる。生産技術が企業活動で位置する部分は、先の分類で主に①と②に該当していると言える。例えば、日本発のTQC(Total Quality Control)や改善活動などは①に属するものであるし、ジャストインタイム生産というのは②に含まれるものである。しかしこれらの部分は、残念ながら、外見のかつ瞬間風速的な企業価値である④へは直接にはつながらず、また、ブランド力やサービス力などに代表される③の顧客に見える企業競争力とも異なったものとなっている。これらのことが、先に述べた生産技術の持つ“縁の下の力持ち”的な特徴を生む大きな要因となっている。ちなみに、これらの状況打破をめざし、サービス工学という研究領域も提案されつつある。

ここで、日本の製造業の強さの源泉は、伝統的に①や②にあると言ってもよい。これが、欧米企業との比較で、良い製品を製造しているにもかかわらず企業収益が劣る日本企業を特徴付けている。また、日本企業がしばしば“強い現場と弱い本社”と呼ばれるゆえんでもある。もちろん、③や④といった外見的部分を強くすることは企業価値を高める上で重要であるし、日本企業も最近ではかなり戦略的にこの部分へ力を入れ始めている。しかし、日本企業の持つ優位性を保ちながら更なる飛躍を遂げる上では、やはりまず①、②があつての③、④である、という認識に立つべきである。すなわち、表面上の企業価値の追求にとらわれ過ぎることなく、企業価値を生み出す基礎体力とでもいうべき①、②の重要性を、企業の長期的戦略として常に意識すべきであろう。そうすれば、企業価値における生産技術の果たす重要性も自明の理となる。日本の製造業における、生産技術を原動力としたますますの発展を切に願う次第である。



森安雅治*

革新的製造技術による製品競争力の強化

Enhancement of Product Competitiveness with the Innovative Manufacturing Technologies

Masaharu Moriyasu

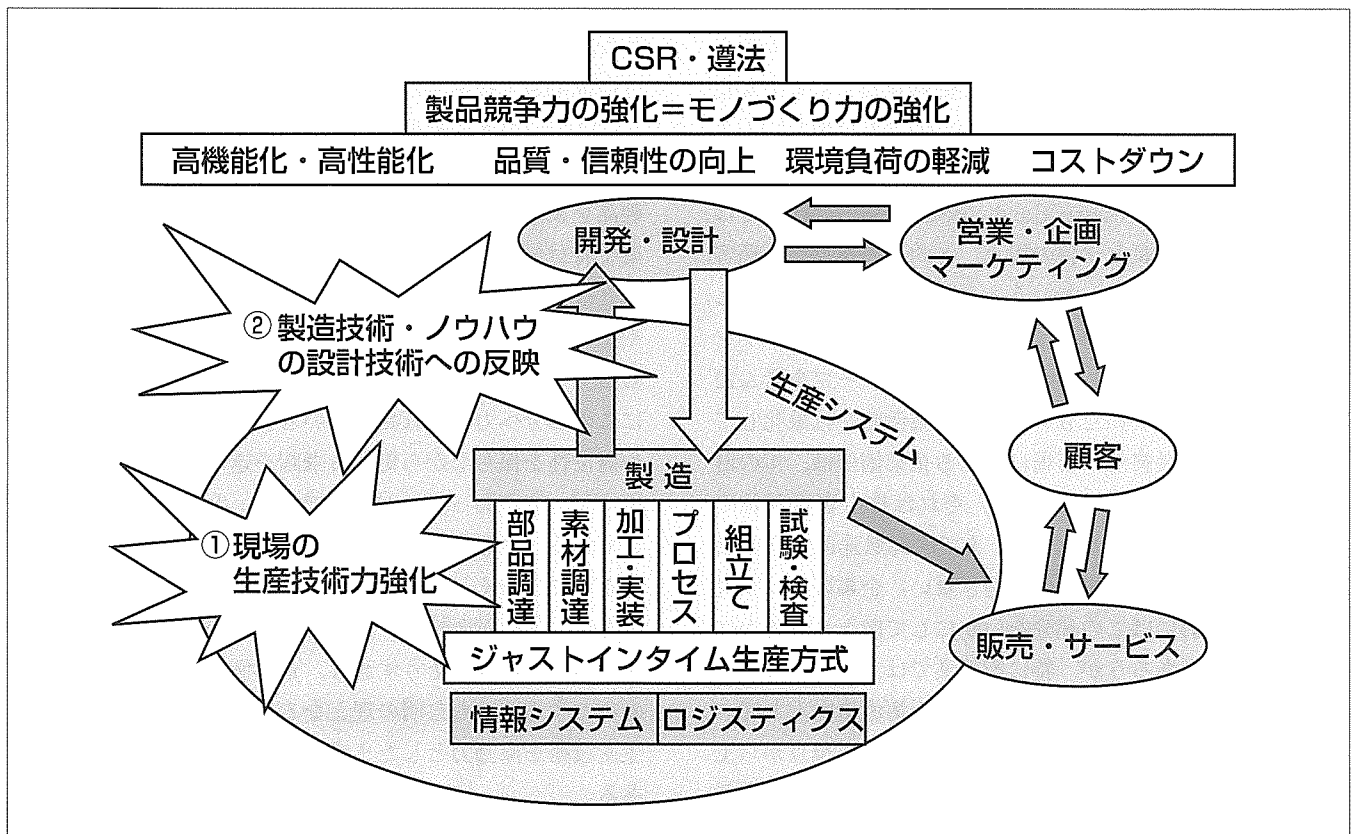
要旨

経済のグローバル化の進展とともに厳しさを増す経営環境のもとで、かつての“モノづくり日本”の復活が叫ばれ、製造業各社が生き残りをかけて、“モノづくり”力の強化に取り組んでいる。

モノづくり力を強化するためには、①現場の生産技術力の強化と、②製造技術・ノウハウの構造設計への反映、の2つの取り組みが重要である。このうち、①現場の生産技術力強化のためには、製造技術の高度化、ムダの排除、資材調達から製造、客先納入までの生産管理の高度化などが求められ、JIT(ジャスト・イン・タイム)活動を核にした施策が展開されている。一方、②製造技術・ノウハウの構造設計への反映では、コストダウンと高品質を追求するた

めに開発された革新的な製造技術を設計にフィードバックし、商品力・競争力のより高い製品を生み出す取り組みが行われている。この取り組みでは、製造技術者が構造設計を生産技術の範疇(はんちゅう)にとらえ、設計者と連携して構造設計を行うのが、一つの理想形であると考えられる。今後の成果が期待される。

さらに、企業の社会的責任(Corporate Social Responsibility: CSR)を果たすため、高い品質・信頼性と環境負荷の低減とがこれまで以上に求められており、これらすべてを視点においたモノづくり力の強化が、企業価値の増大として結実すると考えられる。



モノづくり力の強化と生産技術の位置づけ

モノづくり力の強化のためには、①現場の生産技術力の強化と、②製造技術・ノウハウの設計技術への反映の2つの取り組みが重要である。このうち、①の核となるのは、生産システムの全工程を対象としたJIT活動である。②では、製造技術者が構造設計を生産技術の範疇にとらえ、設計者と連携して製造技術を構造設計にフィードバックすることによって、競争力ある製品を創出する。

1. ま え が き

かつて日本は、欧米の先進国から導入した技術を基礎に、低賃金と勤勉な国民性などを有利な条件として、資源に乏しい国としては前例のない高度経済成長を成し遂げた。その後、技術導入と低賃金に依存する経済成長は、韓国や台湾、シンガポール、また最近では、さらに低賃金のタイ、中国、インドへとその主役の座を移していった。この間、低賃金など高度経済成長期の諸条件を前提とした国内の製造ラインや生産システムの海外移転が進み、技術基盤の沈下、製造技術の空洞化を招いた。

21世紀の今日、グローバル化の進展とともに厳しさを増す経済環境の下で、かつての“モノづくり日本”の復活が叫ばれ、製造業各社がそれぞれの生き残りをかけて、“モノづくり”力の強化に取り組んでいる。

さて、モノづくり力を強くするためには、“現場の生産技術力の強化”と“製造技術・ノウハウの設計技術への反映”が不可欠である。

このうち、現場の生産技術力強化のためには、①製造技術の高度化、②ムダの排除、③資材調達から製造、客先納入までの生産管理の高度化などが求められ、JIT活動を核にした施策が展開されている。

一方、製造技術・ノウハウの設計技術への反映では、厳しいコストダウン、高い品質・信頼性を達成するために開発された革新的な製造技術やノウハウを設計にフィードバックする取り組み、また、開発リードタイムを短縮する仕組みや取り組みが行われている。

さらに、CSRを果たすため、高い品質・信頼性と環境負荷の軽減とがこれまで以上に求められており、これらすべてを視点においた総合的なモノづくり力の強化が、企業価値の増大として結実すると考えられる。

本稿では、モノづくり力強化のための現場の生産技術および設計に反映される製造技術の重要性と、主に生産技術センターを中心とした三菱電機の具体的な取り組みについて述べる。

2. 生産技術センターおよび関連組織の活動

当社の生産技術センターは、生産システム本部に所属し、生産技術の開発、実用化および事業部への展開を担う組織である。1994年、当時の生産技術研究所と生産システム技術センターとが統合して発足した。生産にかかわる全社施策を企画・推進する生産システム本部内の4部(生産技術部、品質保証推進部、環境推進本部、ロジスティクス部)と、生産システム技術の開発・実用化および事業部への展開を担う3センター(情報システム技術センター、設計システム技術センター、生産技術センター)とが連携して、①JIT活動の全社のモノづくり全プロセスへの展開、②全

社生産技術戦略の推進、③品質・信頼性向上活動、④エコプロダクツ・エコプロセス開発による環境負荷軽減への取り組みなどを行っている。

生産技術センターは、特に、①JIT活動および製造プロセス改善による現場の製造技術力の強化、②革新的な製造技術、高度化された現場の製造技術・ノウハウに基づいたインテグレーション(キーパーツおよび応用製品の構造設計)による製品の商品力・競争力の強化、および③生産基盤技術の強化と技術者の育成に注力している。

3. 現場の生産技術力強化

3.1 JIT活動の深化と拡大

当社では、生産システム本部が中心となり、2003年度からJIT活動を全社に展開している。

最初は生産のいろいろな問題が顕在化する工作部門の工程内や工程間の滞留をなくすための“ムダ取り活動”として、ライン内不良率低減や生産性向上、リードタイム短縮につなげるために5S(整理・整頓・清掃・清潔・躰(しつけ))、3定(定位・定品・定量)を行い、問題の見える化で課題を抽出し、真の原因追求、立案および対策実施によって、改善のスパイラルアップをしてきた。

つぎに、工作の前工程である設計や資材調達、営業、さらに、後工程としての試験、梱包(こんぼう)、出荷、物流に至るまで活動を拡大し、すべての工程のムダ取り、高効率化および総合工期短縮のための改善活動を、当社のJIT活動として推進している。

JIT活動推進によって、生産性やリードタイムは飛躍的に改善され、改善指標の棚残回転率が向上した。主にその貢献によって、2001年から2006年の間に、当社の連結借入金比率が1/2まで縮減でき、経営目標である20%以下となった。

生産技術センターは今後も、製作所、関係会社および協力会社のJIT活動の推進支援を継続するとともに、改善レベルアップのための段取り改善や不良率低減のための技術支援を強化し、全社のJIT活動の深化と拡大を牽引(けんいん)していく。これらの支援を通して、自発的継続的改善が進む風土醸成を図る。

3.2 試験検査の高効率化・高信頼性化

電子機器・モジュールの高性能・高機能化とともに、CSRの観点から、より高い品質・信頼性が要求されるようになってきた。それに伴い、試験工数の増大や計測精度確保のために試験検査が長時間化し、製造のネックになっている。

そこで、試験の高効率化を図るため、小型恒温槽を複数配置しマルチタスク処理による並列試験化を実現した温度試験装置を開発した。

一般に、並列試験化は計測機器の制御プログラムを複雑

化させることが多いため、その適用範囲が限定されていた。これに対し、マルチタスク処理の導入と各タスク間の調停機能を持った試験用スクリプト言語を開発することによって、簡単なテキスト文の記述で各試験装置の独立制御と試験条件の変更を可能とし、並列試験の適用範囲を大幅に拡大した。温度試験装置への適用の結果、製品の品質確保のために不可欠な低温・高温での温度試験のスループットが大幅に向上した。

今後、試験検査JIT活動の一環として、全社展開を図る。

3.3 基盤製造技術の強化

溶接技術、板金技術、鋳造技術、めっき技術、塗装技術、装置技術などの基盤製造技術は、外注化が進んだ結果、自社内の技術レベルが低下し、改善が進まない状況に陥っていた。生産技術センターでは、これらの技術の再構築、強化と技術者育成の取り組みを始めている。

技術強化に伴い、改善成果も出ており、現場の製造技術のかさ上げに寄与している。

4. 革新的製造技術に基づくインテグレーション

製品の商品力・競争力を確保するうえで、製造技術やノウハウを上流にフィードバックした構造設計によって、キーパーツや応用製品を具現化すること、すなわち、インテグレーションが極めて重要である。革新的な製造技術によって、圧倒的な商品力や競争力を得ることが可能になり、さらに作り続けることで改善を進め、製品を進化させることができる。

4.1 進化を続けるポキポキモータ

地球環境保護の視点からの省エネルギー化への要求や、銅をはじめとする素材価格高騰の影響を受けて、小型・高効率を特長とするブラシレスDCモータの普及が進んでいる。

当社は1993年に、“ポキポキモータ”という独自のステータ構造と、これに基づく“展開した鉄心に巻線してから丸める”という革新的製造プロセスを考案した。以降、薄肉連結型、逆反り型、間接型、スライド型などのバリエーションを開発し、情報機器、FA機器、家電機器、自動車機器、昇降機器などの高性能化、小型・高効率化を実現してきた。

さらに最新技術として、DCモータのアマチュアに適用できる“スライド鉄心”とよばれる分割鉄心構造を開発した。巻線する磁極を引き出すことで、隣接する磁極や整流子の干渉をなくし、十分な巻線スペースを確保できる。また、シャフトを圧入することによって鉄心の一体化が可能である。

スライド鉄心を採用した新開発の燃料ポンプモータでは、モータコイル密度を従来の2倍以上の80%に高めることができ、燃料ポンプの体積・質量ともに40%減、消費電流35%減を実現した⁽¹⁾。図1に燃料ポンプモータに適用され

たスライド鉄心の外観を示す。

これも最新技術として、ポキポキモータの概念を進化させ、限界に達していたオルタネータ用ステータ巻線の占積率を改善する画期的な製造方法を実現し、高効率・高出力の新世代オルタネータ(9Gオルタネータ)を開発・製品化した⁽²⁾。

図2に9Gオルタネータ用ステータの製造方法を示す。従来は円環状であったステータコアを平らな帯状とし、別途帯状に連続巻線してフォーミングを完了したコイル群をスロットに開口部方向から挿入し、これを環状に成形する方法である。占積率を飛躍的に向上させるとともに、コイルエンド高さを低くすることで、ステータの抵抗を大幅に小さくすることに成功した。図3にステータの外観を示す。

4.2 加工・組立てひずみの制御

射出成形、鋳造、溶接組立て等、モノづくりで広く使われている熱を使うプロセスは、便利である反面、凝固・硬化過程や冷却過程での材料収縮によって、変形や欠陥(ひげ巣)が発生する。このため多くの場合、後仕上げ加工や焼鈍(ひずみ取り・変形矯正)による精度確保が必要であった。

これに対し、ワークの温度分布を制御することによって、ひずみの発生部位を制御する、すなわち、①精度が必要な

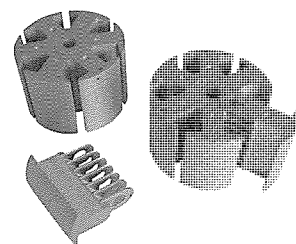


図1. スライド鉄心の外観

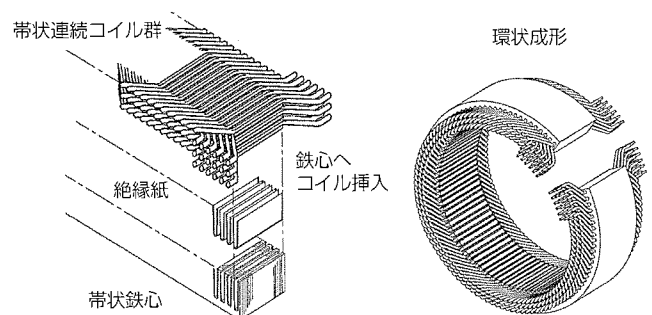


図2. 9Gオルタネータ用ステータの製造方法

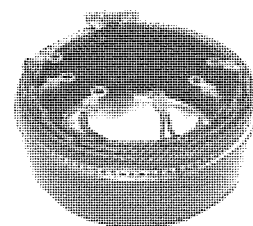


図3. 9Gオルタネータ用ステータの外観

部分は極力変形させず、それ以外の部分を変形させる、②強度が必要な部分には欠陥を発生させず、それ以外の部分に発生させるというコンセプトの革新的な製造技術を開発した。これらの工法をキーパーツや製品構造設計に適用して製品の商品力・競争力強化を実現した例について述べる。

(1) 高精度樹脂成形技術

PPS(ポリフェニレンサルファイド)やPA(ポリアミド)などの高剛性、高耐熱性樹脂成形部品による金属部品の代替が進んでいる。

従来の樹脂成形方法では、収縮異方性や残留応力による変形が原因で高い寸法精度の確保が困難であったが、金属部品と同等の寸法精度を確保できる革新的な成形方法を開発した。仕上げ加工や変形矯正などの後加工レス化、製造コストの低減が可能になり、適用拡大が進んでいる。

高精度成形法の概要を図4に示す。樹脂を充填(じゅうてん)後、金型内で冷却中に型開きし、高い精度が要求される部位を金型に拘束しつつ冷却し、金型形状の転写精度を向上させる。一方、精度を必要としない部分は拘束を解いて成形品内部の残留応力を開放し、必要な寸法精度を確保するというものである。また、従来の成形法と比較して成形品内部の残留応力が少ないため、使用環境下での経時的な変形が抑制され、高い信頼性を確保できる。

図5に高精度樹脂成形技術の適用例を示す。(a)の湯水混

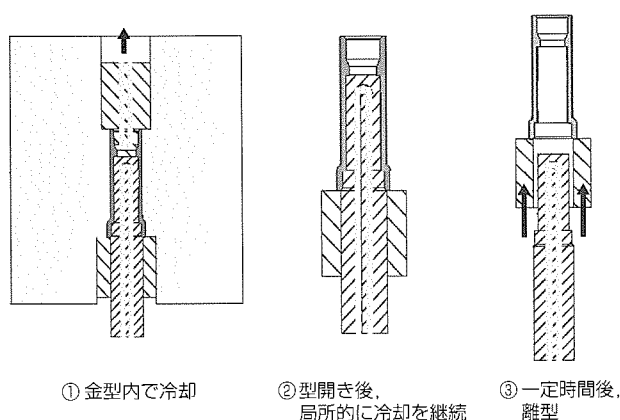


図4. 高精度樹脂成形法の概要

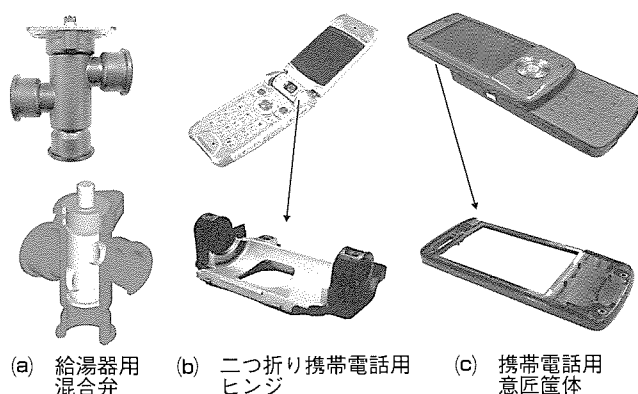


図5. 高精度樹脂成形技術の適用例

合弁は真ちゅう(真鍮)の代替、(b)のヒンジはアルミダイキャストの代替、(c)の意匠筐体(きょうたい)はマグネシウムダイキャストの代替である。高精度成形によって、内径や摺動(しゅうどう)面の仕上げ加工レス化、および筐体の反り矯正レス化を実現した。

(2) アルミダイキャストなどの鍛造技術の高度化

アルミダイキャストはヒートシンクや筐体に用いられる。薄肉高アスペクト成形技術、機械加工箇所の欠陥発生を抑制する高品質成形技術、多数個取りまたは成形機容量の小型化を可能にする低圧射出成形技術、挿入部材の機能低下や変形を防ぐ鑄ぐるみ成形技術などは、当社の全事業分野のキーパーツ並びに応用製品の機能革新、小型化、品質・信頼性向上およびコストダウンに大きく寄与している。

また、鍛造中に高圧力を付加して欠陥発生を抑制する溶湯鍛造技術、および鍛造品質保証のための高精度超音波探傷技術は、高い信頼性が要求される高速主軸モーターロータや圧力部品などの製造に適用されている。

さらに最近では、鉄鑄物の巣の発生抑制にも取り組み、調達部品の品質向上を実現しつつある。

(3) 熱かしめ技術

空調用圧縮機は従来、圧縮機メカ部を外郭筐体にアークスポット溶接で固定しており、①メカ部の変形による性能低下、②アークスポット下穴からの溶接スパッタ侵入、③アークスポット部のリークなどの製造技術課題があった。これに対し、局部加熱した外郭筐体に特殊形状の工具でかしめ固定するスパッタレス、リークレスの新工法を開発した。図6に圧縮機の外観およびかしめ部の形状を示す。

この工法によってメカ部の変形を半減でき、通年エネルギー消費効率が従来比2%向上した。

さらに、メカ部の変形低減効果を構造設計に反映することによって、メカ部の圧縮容量の拡大を実現し、パッケージエアコン用の3馬力クラス圧縮機として世界最軽量(14.0kg→8.6kg)を実現し、他機種へ展開中である⁽³⁾。

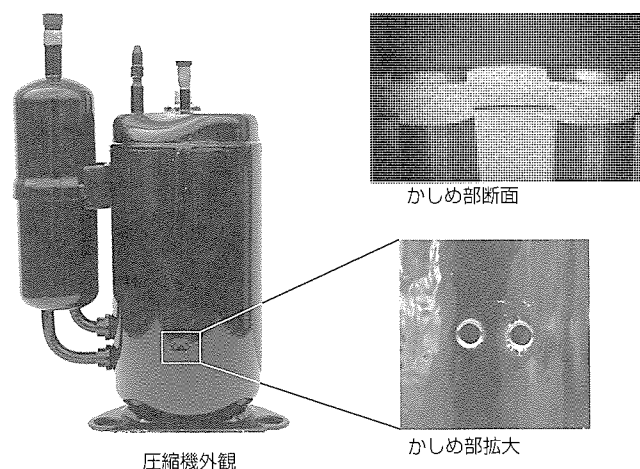


図6. 圧縮機の外観とかしめ部の形状

4.3 コンプライアンス構造

レーザー発振器で、筐体の振動がレーザー切断性能に影響を及ぼさない独自の“コンプライアンス構造”を開発・適用し、業界No.1の切断性能を実現した。

従来、レーザー発振器は自立型が多かったが、最近では高速加工システムの可動部に搭載する方式が増え、加減速時の発振器光学系の過渡振動がレーザー切断性能に与える影響を無視できなくなってきた。

これに対してコンプライアンス構造は、発振器を剛構造とし、光学系の支持構造を耐振動性に優れた柔構造(コンプライアンスミラー保持機構)とすることによって、加工機運動系の過渡振動から共振器を遮断する構造である。この構造の採用によって、従来比で約10倍の耐振動性を得ることができ、高速加工への対応も可能となった。

現在、最新の高速レーザー加工機“NXシリーズ”に、コンプライアンス構造を採用した出力4kWと6kWのレーザー発振器を搭載している⁽⁴⁾。

5. む す び

内外の厳しい経済環境の中で、製造業として勝ち残るためには、JIT活動を核として、工作工程およびその前後の工程における生産技術力を徹底的に強化するとともに、それらを製品の商品力・競争力に結びつけることが重要である。

また、コスト低減を実現するために開発された革新的な製造技術やノウハウを設計に生かし、キーパーツや応用製品の構造設計として具現化する取り組みを拡大することが重要である。製造技術者が構造設計を生産技術の範疇ととらえ、設計者と連携し、製造技術を構造設計に生かす取り組みを着実かつ強力に推進し、着実に実績を上げていきたい。

また、国内生産でも負けない“モノづくり”にこだわり、徹底的に国内製造を改善強化することで、マザー工場としての機能を強化し、グローバル海外生産の強化を図っていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 吉岡 浩, ほか: 中大型二輪車用第三世代燃料ポンプモジュールの開発, 三菱電機技報, **81**, No.9, 598~600 (2007)
- (2) 宮地若木, ほか: 新世代(9G)オルタネータ, 三菱電機技報, **81**, No.9, 577~580 (2007)
- (3) 圧縮機の熱かしめ組立て技術, 三菱電機技報, **81**, No.1, 57 (2007)
- (4) 西田 聡, ほか: CO₂レーザー切断技術, プレス技術, 日刊工業新聞社, **42**, No.2, 24~28 (2003)

分割鉄心モータにおける コギングトルク低減技術

秋田裕之*
吉岡 孝*

Technology to Decrease Cogging Torque of Motor with Divided Stator Cores

Hiroyuki Akita, Takashi Yoshioka

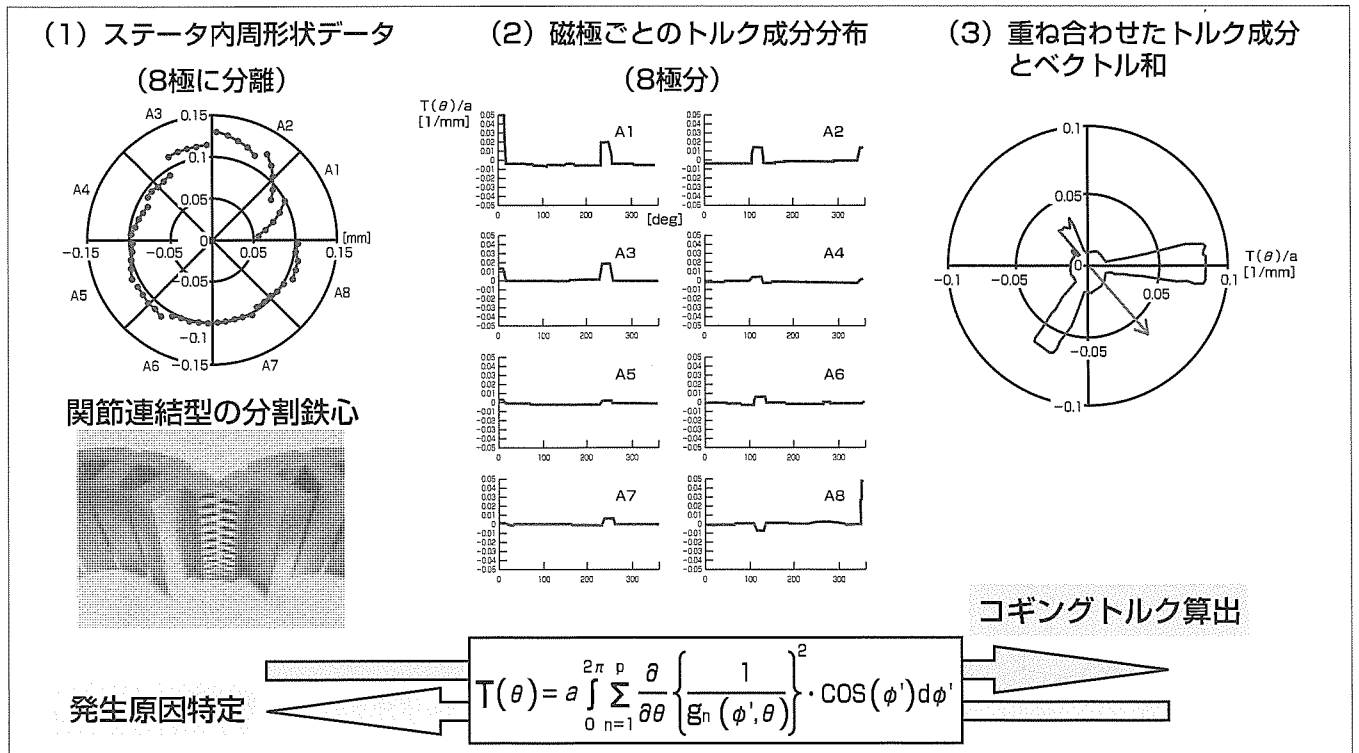
要 旨

車載用、産業用、家電用等のモータは、小型、高出力の要求から、ステータに分割鉄心を使用し高密度コイルを装着することで単位体積あたりの出力を高める技術が広く使用されている。分割鉄心は、一体鉄心に比べ工作誤差が発生しやすいので、わずかな工作誤差によって磁気エネルギーが変化し、トルク脈動として知られるコギングトルクが増大するという問題がある。モータ駆動制御による位置、トルクの精度の高さが要求される場合には、コギングトルクの安定性が製品訴求力として重要である。鉄心の工作誤差を管理する指標としては真円度が用いられることが一般的であるが、コギングトルクとの相関は必ずしも高くない。

本稿では、8極12スロットのモータを例に採り上げ、コギングトルクの発生原理からステータ内周形状との因果関係を表す数式モデルを求め、内周形状の新たな評価指標を

定義した。新評価指標によれば、①ステータ内周形状の周方向変化率、②磁極周期ごとの重ね合わせがコギングトルクに影響する。特に分割鉄心で発生しやすいティース先端の段差がコギングトルクを悪化させることが分かり、実験結果と良好な一致を見た。

三菱電機独自の分割鉄心方式であるポキポキモータは、あらかじめ連結された形態で金型によって打ち抜かれて製造される。高精度な金型加工によってティース間の径方向の位置が拘束されるので、組立て精度に頼った分割鉄心に比べて内周形状の段差を小さく抑制することができる。また、今回導いた評価指標によって、コギングトルクの発生原理をさかのぼって金型精度を調整することで更なる改善が期待できる。



コギングトルクの“見える化”

モータトルクを表す式のうち、ステータ内周形状に起因する要素だけを取り出してロータ回転角度の関数として表現し、トルク変化(つまり、コギングトルク)をベクトル表記した。ステータ内周形状からトルクを算出する際に、先にステータ周方向の各微小要素のトルク成分を計算し、磁極ごとに並べてグラフ化すると磁極ごとの重ね合わせの成り立ちをビジュアル化できる。微小要素のトルク成分を磁極ごとに重ね合わせた後、位相を含めたベクトル和を極座標でグラフ化することでトルクベクトルの成り立ちをビジュアル化できる。このような表現によって、真円度では評価できないトルクベクトルの発生原因をさかのぼることができ、コギングトルクに悪影響を及ぼす内周形状誤差を特定して改善に役立てることができる。

1. ま え が き

車載用、産業用、家電用のモータでは、製品の省エネルギーや機能向上の目的から小型、高出力の要求がますます強くなっている。そこで、ロータに強磁性体のネオジウム磁石を使用し、ステータには分割鉄心によって高密度コイルを装着することで単位体積あたりの出力を高め、発熱によるエネルギーロスを低減する技術が広く使用されている⁽¹⁾⁽²⁾。これに加えてモータ駆動制御による位置、トルクの精度の高さが要求される用途が増えており、例えば、エレベーター駆動用、工作機用、自動車の電動パワーステアリングなどの用途ではモータによる駆動トルクの安定性が、ユーザーの快適性、操作精度向上につながるためモータの製品訴求力として重要である。モータの駆動トルクは、通電時の電磁力によるトルクと、モータの構造に起因するコギングトルクの重ね合わせであり、後者は、ロータ構造、ステータ構造、両者の組み合わせに起因する。ステータ構造で用いられる分割鉄心は高密度巻線の利点がある反面、工作誤差の影響によってコギングトルクを悪化させるという問題がある。

本稿では、分割鉄心の工作誤差がコギングトルクに及ぼす影響を明らかにし、コギングトルクを低くする製造技術について述べる。

2. ステータ内周形状がコギングトルクに及ぼす影響

2.1 対象ワーク

図1にこの研究で対象とする8極12スロットのモータ構造を示す。ステータ外径は80mm、積層高さ40mm、ステータとロータの間のエアギャップは0.6mmとした。ステータは、ティースごとに分割された鉄心を環状に組み合わせて構成され、ティースにコイルが巻装される。ロータは、円筒状の磁性材料の周囲にリング形状のネオジウム焼結磁石が取り付けられて構成される。コイルに無通電の状態でロータを回転させると発生するトルクの脈動がコギングトルクである。

ステータ内周形状の誤差に起因して発生するコギングトルクの成分は、ロータの回転に伴い極数と同じ周期の成分として現れることが知られており、フーリエ変換によって

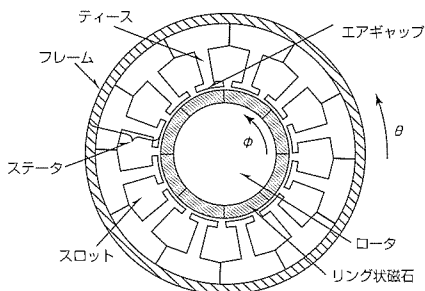


図1. 対象ワーク

分離できる。本稿では極数と同じ周期のコギングトルクの成分をコギングトルク2f成分と呼ぶ。

2.2 内周形状の真円度

分割鉄心の内周形状の精度は、真円度で評価されることが一般的である。実際に分割鉄心を組み立てて製造したステータの内径を三次元計測器で計測した真円度の例を、基準円からの変位として図2に示す。真円度は44.7 μm であり、金型加工によって一体鉄心を製造した場合と同等の高い値が得られた。真円度形状の特徴として、曲線が急激に変化する20~30 μm の複数の段差が見受けられる。段差は、ステータのティースの間に発生しており、図3の L_d に示すように分割されたティースが径方向にずれることに起因すると考えられる。段差は、分割鉄心の内周形状の特徴といえる。

18台のステータについて、共通のロータを組み合わせた場合のコギングトルク2f成分と、ステータ内径の真円度を測定し、両者の関係を示したのが図4である。コギングトルク2f成分は定格トルクとの比で、真円度はステータ内径との比で示す。真円度とコギングトルク2f成分の相関係数は0.48と低く、真円度の高いステータのコギングトルク2f成分が必ずしも低いとはいえないことが分かる。つまり、真円度はコギングトルク2f成分を評価する指標として適当とはいえない。コギングトルク2f成分を低減するためには、内周形状との因果関係を明確にする必要がある。

2.3 内周形状の評価指標の導入

ステータの内周形状とコギングトルク2f成分の関係を示す数式モデルを求める。内周形状の影響を抽出するために、ロータ形状、鉄心の磁気特性にばらつきがなく、磁石は起磁力が周方向に正弦波分布となるように着磁されているものとする。図1に示すロータ上の極座標のある角度 ϕ に、微小角度 $d\phi$ をとり、ロータがステータに対して回転角度

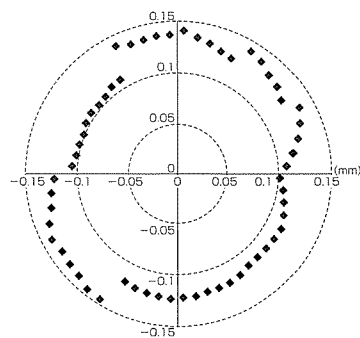


図2. 分割コアの内周形状例

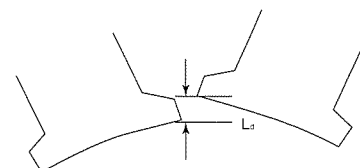


図3. ティース先端の段差

θ の位置にあるとき、 ϕ の位置に発生する $d\phi$ あたりのトルク $dT(\phi, \theta)$ はエアギャップに蓄えられた磁気エネルギー $dE(\phi, \theta)$ が変化することによって生じ、次式で表される。

$$dT(\phi, \theta) = \frac{\partial}{\partial \theta} \{dE(\phi, \theta)\} \dots\dots\dots(1)$$

磁気エネルギー $dE(\phi, \theta)$ は、ロータ起磁力 $F(\phi)$ と、パーミアンス (磁気抵抗の逆数) $P(\phi, \theta)$ の積の二乗に比例し、次式で表される。

$$dE(\phi, \theta) = \frac{k}{2\mu_0} \cdot \{F(\phi)\}^2 \{P(\phi, \theta)\}^2 d\phi \dots\dots(2)$$

μ_0 は真空の透磁率、 k は微小角度 $d\phi$ のエアギャップ体積を $d\phi$ で除した値である。式(2)を式(1)に代入し、 ϕ について一周積分すると、トルク $T(\theta)$ は次式で得られる。

$$T(\theta) = \int_0^{2\pi} \frac{k}{2\mu_0} \cdot \{F(\phi)\}^2 \frac{\partial \{P(\phi, \theta)\}^2}{\partial \theta} d\phi \dots\dots(3)$$

鉄心の磁気特性にばらつきがないとすれば、パーミアンス $P(\phi, \theta)$ はエアギャップ量 $g(\phi, \theta)$ を用いて次式で表される。

$$P(\phi, \theta) = \mu_0 / g(\phi, \theta) \dots\dots\dots(4)$$

ロータの起磁力は、磁石の極周期 $2\pi/p$ (p は極数) を 1 周期とした角度座標 $\phi' (=p\phi)$ によって次式で表される。

$$\{F(\phi)\}^2 = F^2 \cos(p \cdot \phi) = F^2 \cos(\phi') \dots\dots\dots(5)$$

式(4)、式(5)を式(3)に代入し、積分の順序を入れ替えることで次式を得る。 a は定数である。

$$T(\theta) = a \int_0^{2\pi} \sum_{n=1}^p \frac{\partial}{\partial \theta} \left\{ \frac{1}{g_n(\phi', \theta)} \right\}^2 \cos(\phi') d\phi' \dots\dots(6)$$

式(6)で、ロータの回転角 θ を変化させたときのトルク変化の振幅がコギングトルクの大きさを示し、ここでは Y 値と定義する。 Y 値は、ロータの起磁力のばらつきや鉄心の磁気特性のばらつきの影響を含まず、ステータの内周形状の影響のみを表現する値となる。

2.4 評価指標の検証

前述の図4に示すサンプルについて Y 値を計算しコギングトルク2f成分との関係を図5に示す。 Y 値とコギングトルク2f成分は0.96という高い相関値を示したことから、 Y 値は、内周形状がコギングトルク2f成分に及ぼす影響を示す指標として適当と考えられる。

式(6)から内周形状がコギングトルク2f成分に及ぼす影響として次のことがいえる。

- ①内周形状の周方向変化率がコギングトルク2f成分を増大させる。
- ②内周形状の影響は磁極周期ごとに重ね合わされる。

①、②を検証するために、次の(a)、(b)、(c)の形状について振幅を変えてワイヤカット加工でサンプルを製作し、それぞれのコギングトルク2f成分の測定結果を図6に示す。

- (a) ティース間に段差のあるモード (段差モード)

(b) 一周に3回の正弦波を配置したモード (3次モード)
 (c) 一周に4回の正弦波を配置したモード (4次モード)
 コギングトルク2f成分は、モードごとに振幅と比例関係になり、傾きは段差モード、4次モード、3次モードの順に小さい値を示した。段差モードは、周方向の変化が大きいためコギングトルク2f成分が大きく現れたと考えられる。4次モードは、起磁力の周期に一致しているため傾きが大きく、3次モードは、起磁力の周期と不一致であるため振幅が大きい場合も、コギングトルク2f成分は低い値を示したと考えられる。各モードは、振幅が同じ場合でも重ね合わせの効果が異なるためにコギングトルク2f成分の現れ方に差が生じたといえる。

一方、真円度は、段差やその他の内周形状の振幅だけを表現する値であり、周方向変化率や磁極周期ごとの重ね合わせを表現できないために、コギングトルク2f成分との相関が低い値を示したと考えられる。分割鉄心でコギングトルク2f成分を低減するには、①、②を考慮した製造方法が必要となる。

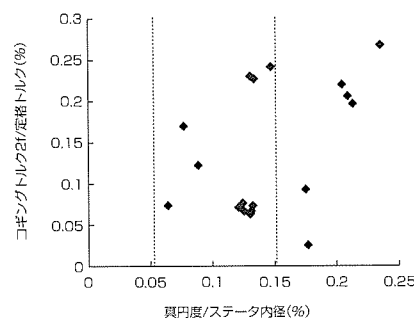


図4. 真円度とコギングトルク2f成分の関係

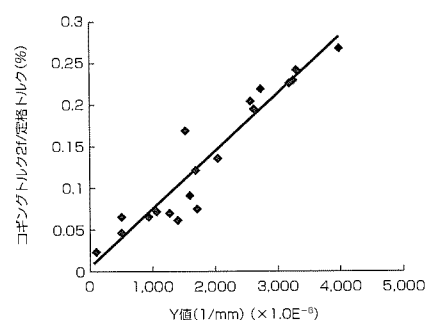


図5. Y値とコギングトルク2f成分の関係

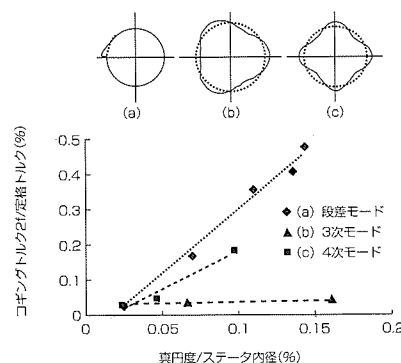


図6. 内周形状モードの影響

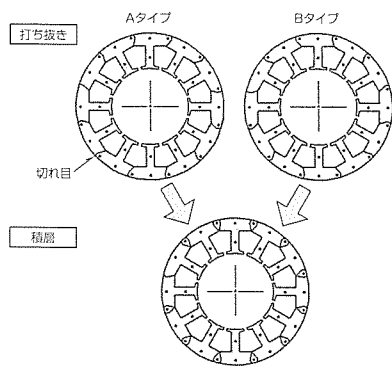


図7. 関節連結型鉄心

3. ポキポキモータのコギングトルク低減技術

当社独自のステータ製造方法に“ポキポキモータ”と呼ぶ技術がある⁽¹⁾⁽²⁾。ポキポキモータを構成する関節連結型鉄心についてコギングトルク2f成分への影響を述べる。

3.1 関節連結型鉄心

関節連結型鉄心は図7、図8に示す構造であり、円形状に打ち抜かれたAタイプとBタイプの電磁鋼板が交互に積層されて製造される。積層された電磁鋼板はカシメによって固定されている。ティース間は隙間(すきま)のない切れ目で分割され、切れ目の向きがAタイプとBタイプで反対向きに形成されているので連結部が重なり合う。重なった部分の中央に円柱状の突起が形成され左右の積層体が連結される。円柱状の突起を回転軸としてティース間を回転して展開できるので巻線が容易となり高密度巻線が可能となる。ティースの形状の加工、切れ目の加工、円柱状の突起の加工、積層、積層固定はすべて順送プレスと呼ぶ金型によって高速、連続、自動的に行われる。関節連結型鉄心には次の特徴がある。

- (1) 内周形状は真円度の高い円形金型で加工される。
- (2) ティース間は隙間なく切り離される。
- (3) 切り離された相手が入り替わることなく連結される。
- (4) 円柱状の突起によってティース間の位置が拘束される。

以上の特徴によって関節連結型鉄心の内周は金型で打ち抜かれた形状を再現するので、ティース先端の段差が低く抑制される。

3.2 真円度とコギングトルク2f成分の評価

図4で評価した分割鉄心と同じ寸法で製作した関節連結型鉄心によるステータ各20台の内周真円度とコギングトルク2f成分の計測結果を図9に示す。内周形状の段差は分割鉄心の約1/2に低減でき、コギングトルク2f成分が低く安定した結果が得られた。

鉄心材料は圧延によって製造された板状部材であり、圧延による内部応力、金型による打ち抜きによって発生する内部応力の影響によって、金型で打ち抜かれた形状はわず

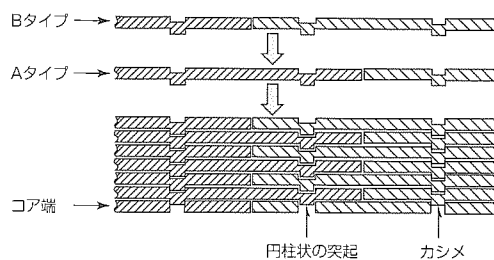


図8. 関節連結型鉄心の連結部断面

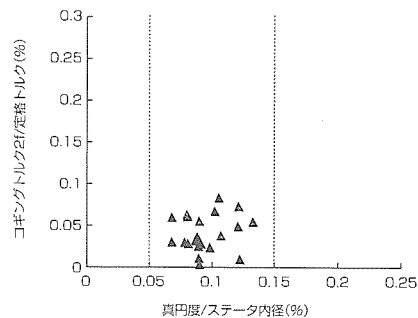


図9. 関節連結型鉄心のコギングトルク2f成分

かに歪(ひず)む傾向がある。打ち抜かれた製品を所定の形状とするためには、金型形状が微修正されることが一般的である。関節連結型鉄心は分割されたティースが円周状に並んだ状態で内周を打ち抜くのでパンチ形状を修正することで、内周形状の微調整が可能である。磁極周期ごとの重ね合わせの影響を考慮した形状に修正することで、段差の低減に加えて、更にコギングトルク2f成分の改善が可能である。

4. むすび

分割鉄心を対象に、ステータの内周形状がコギングトルク2f成分に及ぼす影響について数式モデルと検証実験によって検討した。その結果、内周形状の周方向変化がコギングトルク2f成分を増大させること、また、内周形状の影響が磁極角ごとに重ね合わされることが判明し、とりわけ分割鉄心で発生しやすい段差の影響が大きいことが分かった。

関節連結型鉄心のようにあらかじめ連結された形態で金型によって打ち抜く鉄心製造方法によれば、金型加工の精度でティース間の径方向の位置が拘束されるので組立て精度に頼った鉄心構造に比べて内周形状の段差を小さく抑制することができる。今回導いた内周形状の評価指標が示す原理を考慮することで、コギングトルク2f成分を低減する製造技術が得られた。

参考文献

- (1) Akita, H., et al.: A new core, IEEE-IAS Magazine, 11, No.6, 38~43 (2005)
- (2) 秋田裕之, ほか: エアコン用圧縮機モータの省エネルギー・高効率化, 三菱電機技報, 75, No.10, 655~658 (2001)

スライド鉄心による 燃料ポンプ用DCモータ

山本一之* 坂井雄作**
佐武英和*
馬場利靖**

DC Motor for Fuel Pumps using Slide-type Motor Cores

Kazuyuki Yamamoto, Hidekazu Satake, Toshiyasu Baba, Yusaku Sakai

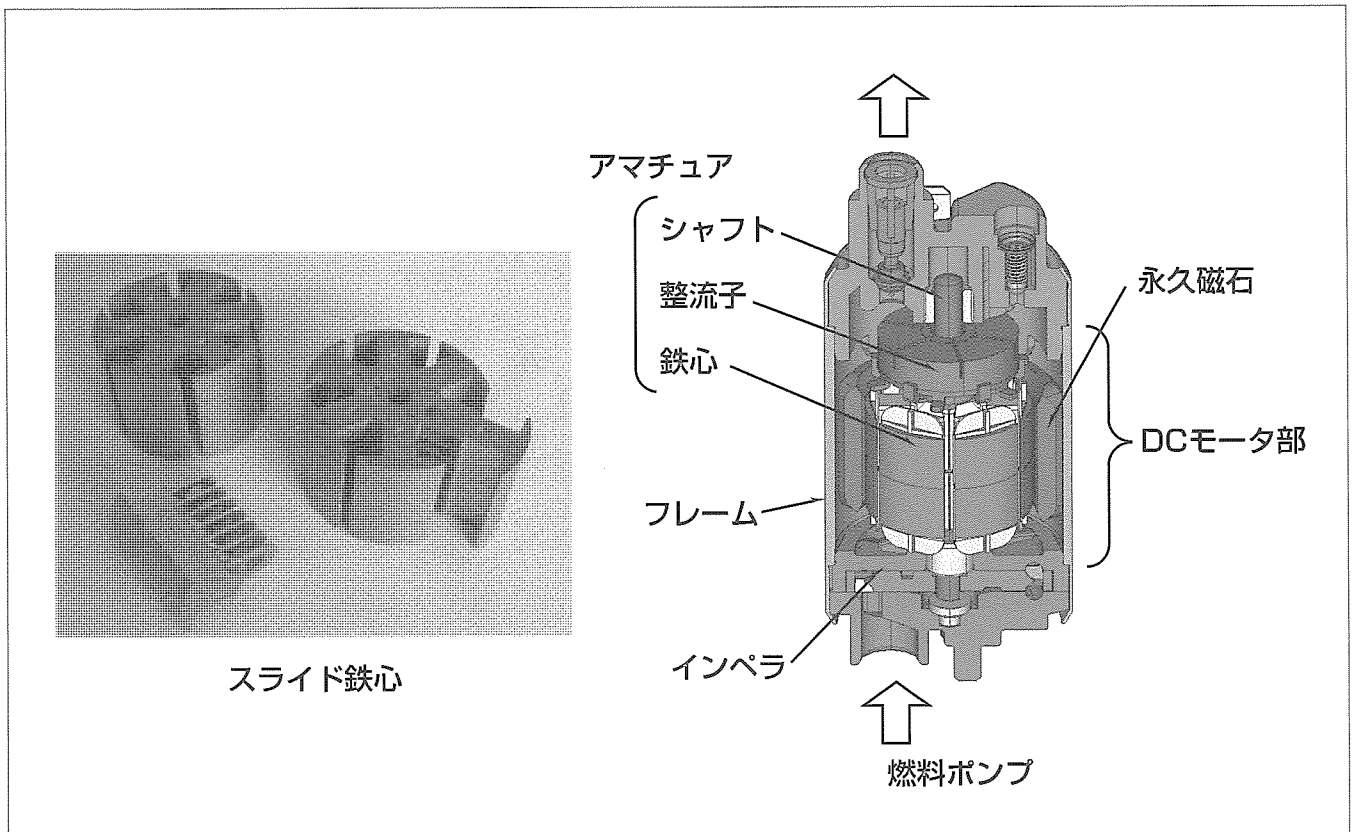
要 旨

自動車の燃費改善や環境性能の向上、高機能化のために、車両に搭載される電子制御機器が増えており、モータの果たす役割もますます重要になっている。自動車用モータは、大出力の機器でブラシレスモータの普及が進むものの、多くはDCモータである。DCモータを小型軽量、低電流化するためには、コイル線の占積率を高められる集中巻きの巻線方式を採用することが有効である⁽¹⁾。

ブラシレスモータの集中巻き化に対して、三菱電機では“ポキポキ鉄心”と呼ぶ分割鉄心構造を開発している⁽²⁾。ポキポキ鉄心は、鉄心を直線状に展開して、高密度に、かつ渡り線を切ることなくコイルを連続に巻線できる。この利

点を、DCモータのアマチュアのように磁極が外向きの鉄心構造に対しても適用できる“スライド鉄心”と呼ぶ新しい分割鉄心構造を考案した。スライド鉄心は、巻線する磁極を引き出すことで、隣接の磁極や整流子の干渉をなくし、十分な巻線スペースを確保でき、またシャフトを圧入するだけで、分割鉄心の一体化が可能である。

スライド鉄心を燃料ポンプのDCモータに採用し、整流子への接続も含めて連続巻線できる自動巻線機を開発するなど、アマチュアの製造工程を確立した。そして、新規開発したDCモータによって、体積・質量ともに40%減、消費電流35%減の新型燃料ポンプ⁽³⁾を実現した。



燃料ポンプに採用されたスライド鉄心

燃料ポンプは車両の燃料タンク内に設置され、エンジン作動中に常時燃料をエンジンに圧送する車載機器である。ポンプ内にDCモータが内蔵され、アマチュアに連結したインペラが回転し燃料を吐出する。アマチュアは、コイルが巻かれた鉄心と整流子、それらを圧入固定したシャフトからなり、新規開発した燃料ポンプはアマチュアにスライド鉄心を採用し、高密度集中巻線の生産技術課題を解決して、小型軽量、低電流化を実現した。

1. ま え が き

自動車の燃費改善や環境性能の向上、高機能化のために、車両に搭載される電子制御機器が増えており、モータの果たす役割もますます重要になっている。1台の自動車に搭載されるモータの数は高級車では50台以上にもなり、モータの小型軽量、低電流化の要求が強くなっている。

自動車用モータは、大出力の機器ではブラシレスモータの普及が進むものの、まだ多くは安価な回路で駆動できるDCモータが主流である。DCモータの性能を向上させるには、コイル線の占積率を高められる集中巻きの巻線方式を採用することが有効である⁽¹⁾。そのためには、従来の分布巻きのアマチュアを新たに集中巻きに適した構造に生産設計する必要がある。

本稿では、燃料ポンプ用に新規開発したDCモータを取り上げ、性能向上に貢献したアマチュアの集中巻き構造とその巻線技術について述べる。

2. 集中巻き構造のDCモータ

2.1 DCモータの巻線構造

図1にDCモータの動作原理を示す。ブラシと整流子を介して通電されるコイル電流と、固定された永久磁石が発生する静磁界の間との電磁力によって、アマチュアが回転する。回転する整流子がコイル電流の向きを順次切り換え、アマチュアは回転を続ける。

図2に燃料ポンプ用DCモータを例に、アマチュアに採

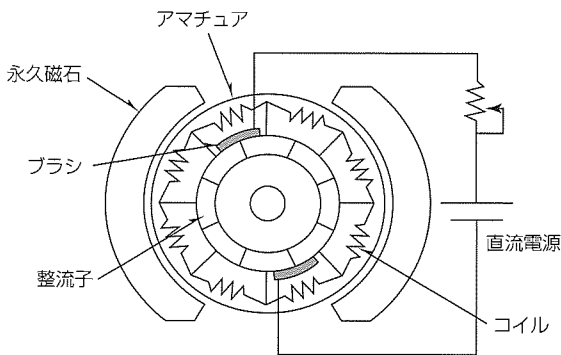


図1. DCモータの動作原理

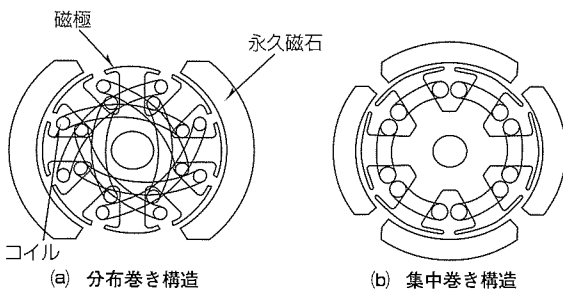


図2. モータ構造の比較

用される巻線構造の違いを示す。DCモータのアマチュアにはコイル同士を重ねて巻く分布巻き構造を採用するケースが多いが、この開発では、各磁極に直接巻きつける集中巻き構造を採用した。集中巻きによって、コイル線の占積率を高め、コイルエンドの重なりをなくして、DCモータの小型軽量、低電流化を図っている。

2.2 集中巻きの課題

一体型鉄心のアマチュアに集中巻きを施している様子を図3に示す。磁極間の隙間(すきま)から差し込んだ巻線ノズルを磁極周りに回転させてコイル線を巻回する。この方法では、スロットの奥まで巻線ノズルを差し込むスペースが必要であるため、そのスペースにコイル線を巻くことができず、高密度の巻線ができない。また、巻線ノズルの動作が複雑な軌跡を通るために、巻線を高速化できない。

当社ではブラシレスモータの高密度集中巻きを実現する“ポキポキ鉄心”と呼ぶ分割鉄心を開発している⁽²⁾。巻線する磁極周辺の巻線スペースを十分に確保するためにステータ鉄心を直線状に展開する手法である。しかしこの手法は、磁極の先端が外向きのアマチュアの鉄心には不向きである。

3. スライド鉄心による高密度巻線技術

3.1 スライド鉄心

2.2節で述べた課題を解決するため、DCモータのアマチュアに対して、磁極周辺の巻線スペースを十分に確保できる鉄心分割構造である図4に示す“スライド鉄心”を考案した。

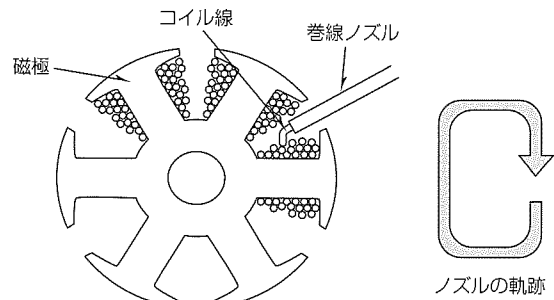


図3. 一体型鉄心への巻線方法

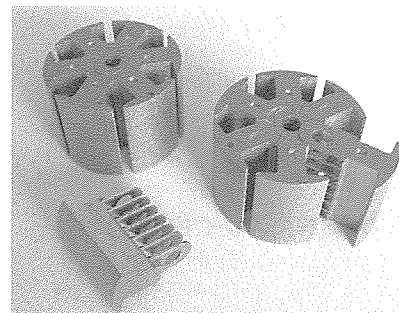


図4. スライド鉄心

スライド鉄心は、各磁極を隣接の磁極や整流子と干渉しない位置まで引き出すことができる。そのため図5に示すように、引き出した磁極周りに巻線機のフライヤームを回転させ、整列化した高密度の巻線を高速に行うことが可能になる。

スライド鉄心の特長として、図6に示すようにシャフトを鉄心に圧入するだけで、分割した磁極を一体化することができる。そのため、従来の分割鉄心の一体化で必要であった溶接工程を省略できるため、鉄心の高精度化と、高い生産性を実現できる。

スライド鉄心は、順送金型内で従来の一体型鉄心と同様の打ち抜き速度で積層される。図7にスライド鉄心の順送金型レイアウトを示す。積層間のカシメを行うカット工程⑦、バンド工程⑧の工程以外に、6つのトリム工程①～⑥をパンチコントローラで間欠的に動作させ、層ごとの鉄心

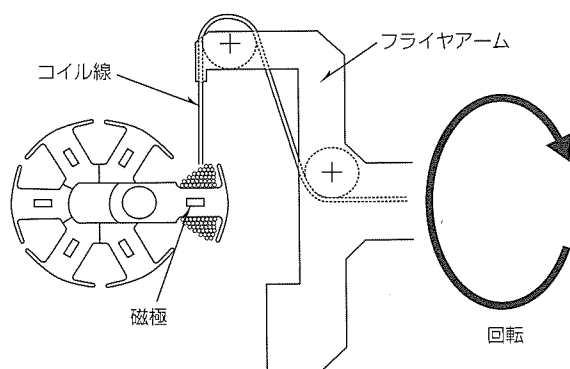


図5. スライド鉄心への巻線方法

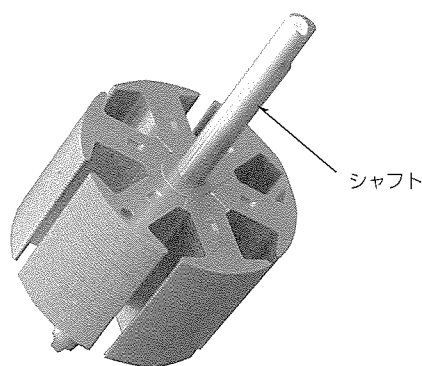


図6. スライド鉄心の一体化(コイル未装着)

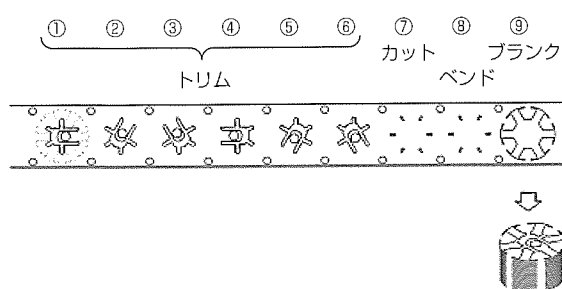


図7. スライド鉄心の金型レイアウト

形状を形成する。ブランク工程⑨からは、各磁極のシャフト周辺部が重なり一体化した状態の鉄心が取り出される。

3.2 スライド鉄心の巻線

スライド鉄心をDCモータのアマチュアに適用する場合、磁極に巻かれたコイルと整流子を接続しなければならない。そこで、連続的に整流子の接続端子にコイル線を絡げながら、スライド鉄心に巻線する巻線機を開発した。

図8に開発した巻線機の写真を、図9にスライド鉄心の巻線工程を示す。巻線機には、シャフトを挿入していないスライド鉄心と整流子がセットされる。整流子はスライド鉄心の軸方向近傍に配置し、スライド鉄心と同期して回転する。フライヤームを回転させて巻線を行う際に磁極を引き出すが、このとき他の磁極とシャフト周辺部の重なりを保つ程度に引き出すことで、引き出した磁極の再挿入を可能にしている。磁極の再挿入後、接続端子に絡げる動作を実施し、引き続き隣の磁極の巻線を続けることで、コイル渡り線を切らずに連続した一筆書きの巻線を実現している。巻線完了後は、コイルと接続端子間のコイル線のゆるみをなくすために、整流子を回転させて鉄心に着座させた後、シャフトを圧入して一体化する。

このようにスライド鉄心は、シャフト圧入の工程を巻線後に実施する点だけが従来のモータと異なり、鉄心分割構造でありながら、新たな工程の追加はない。

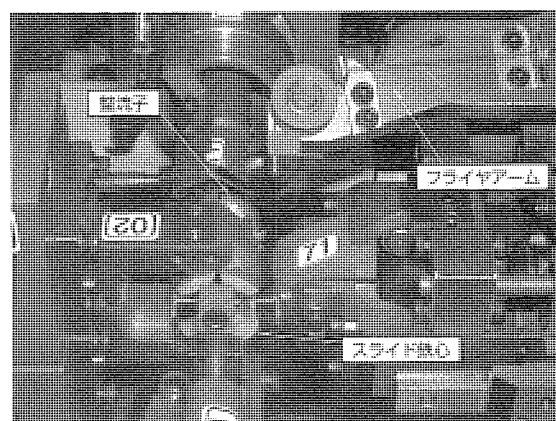


図8. 自動巻線機

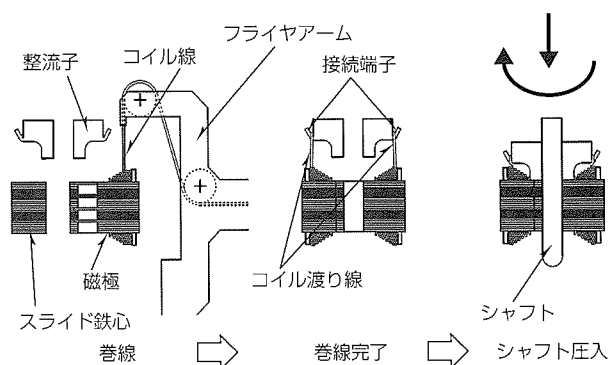


図9. 巻線工程

4. 新開発の燃料ポンプ用DCモータ

燃料ポンプ用に新規開発した集中巻き構造のアマチュアを、従来の分布巻き構造のアマチュアと比較して図10に示す。

集中巻きを採用した新モータは、スロット内のコイル線の占積率が高く、コイルエンド部のコイルの重なりがなくなるため、アマチュアの軸方向寸法が約40%短くなった。なお、コイル密度は、従来のモータの35%に対し、新モータでは、80%を実現している。スライド鉄心を用いたDCモータによって、体積・質量ともに40%減、消費電流35%減の新型燃料ポンプを実現した⁽³⁾。

5. む す び

スライド鉄心はDCモータのアマチュアだけでなく、アウトロータ型のステータにも適用が可能である。今後、車載機器だけでなく、家電機器や、FA機器等のモータとして、適用を拡大する予定である。

当社では、モータは多くの製品のキーパーツとなっており、モータ開発は重要なテーマである。モータの生産技術開発を通じて、多くの製品の競争力を強化するとともに、モータの高性能化、高効率化を追求して、省エネルギー化に貢献していきたい。

参 考 文 献

- (1) 中原裕治, ほか: ポキポキモータの車載機への応用, 三菱電機技報, 74, No.9, 579~582 (2000)
- (2) 秋田裕之, ほか: エアコン用圧縮機モータの省エネルギー・高効率化, 三菱電機技報, 75, No.10, 655~658 (2001)

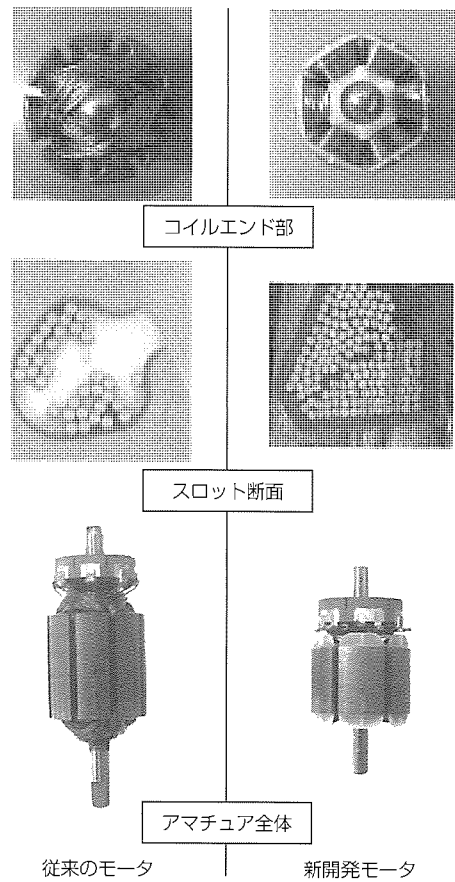


図10. 開発した燃料ポンプ用アマチュア

- (3) 吉岡 浩, ほか: 中大型二輪車用第三世代燃料ポンプモジュール, 三菱電機技報, 81, No.9, 598~600 (2007)

木下治雄* 川杉直喜*
三宅展明**
山口秀哉*

換気扇用小型モータの量産ライン構築

Construction of Motor Assembly Line for Exhaust Fan

Haruo Kinoshita, Nobuaki Miyake, Hideya Yamaguchi, Naoki Kawasaki

要旨

近年、住宅の高気密・断熱化におけるシックハウス対策としての常時換気の義務化に伴い、換気扇には、居室の意匠性を損なわない小型・薄型化、長時間運転下での省エネルギー性・静音性・耐久性が求められている。一方、昨今の素材価格高騰が製品価格へ及ぼす影響は大きく、換気扇用小型モータに使用される銅材等の一層の省資源化が望まれている。

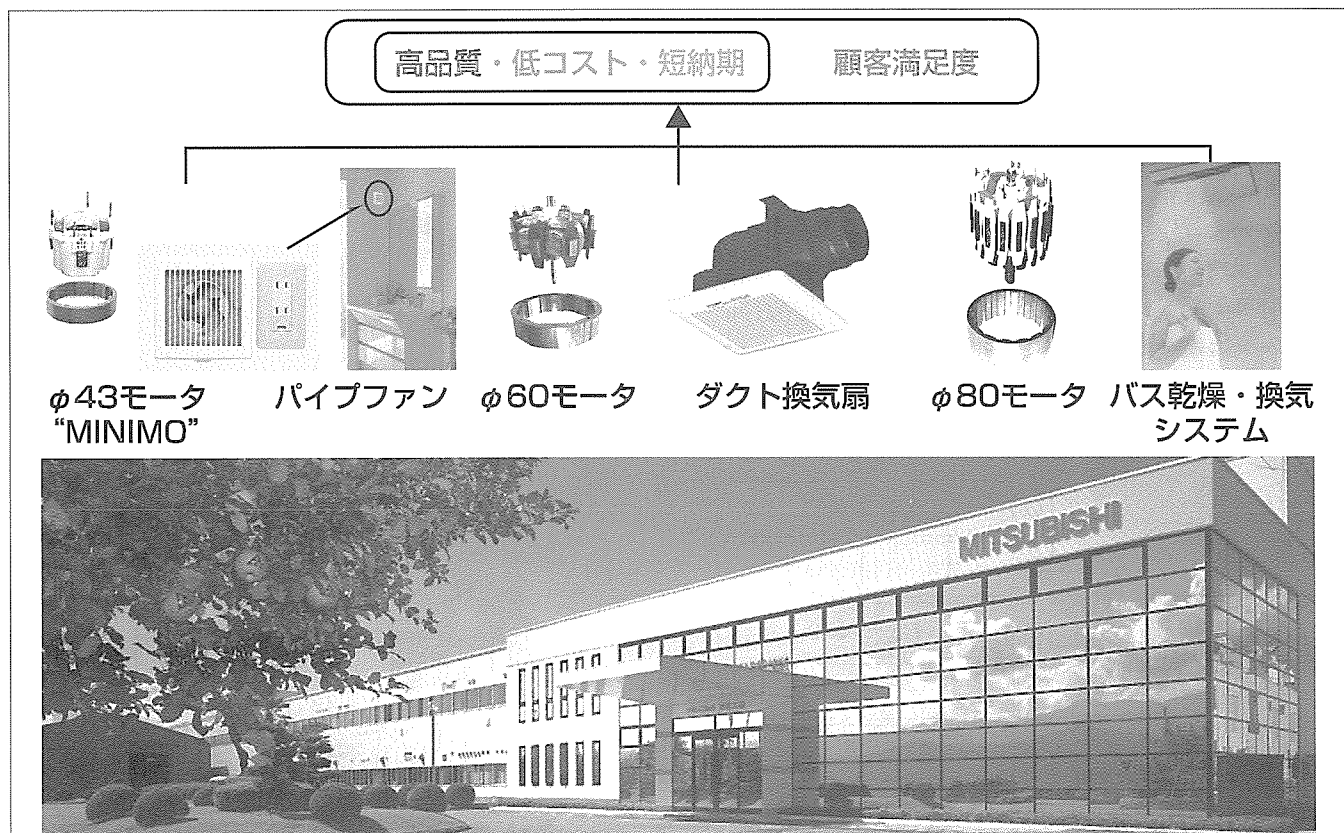
三菱電機では、換気扇専用工場を長野県飯田市に1974年に設立以来、換気扇製品と換気扇用小型モータを生産してきた。換気扇工場の製造コンセプトは、高品質・低コスト・短納期を基本とする顧客満足度向上をねらいとしている。製品の構想設計段階では、従来構造を作りやすさの観点から見直す、いわゆる“生産設計”を行い、独自の自動機を内製化しながら一貫生産自動化ラインを導入している。

換気扇用小型モータを生産設計するための着眼点は、ス

テータコイルの巻線とコイル端末の結線自動化である。ステータ鉄心を分割することで、鉄心にコイル直巻きが可能となり、さらに、ロータを巻き込む製法でコイル周長を大幅に低減できる。

この製法は、換気扇用小型モータの主力機種(ステータ径φ80, 60)に適用し、当社従来比でモータ効率が11~15%向上し、コイル銅量が22~45%削減できている。また、より小型・薄型化が望まれるパイプファン向けに、ステータ径φ43のモータ“MINIMO”を製品化し、当社従来比でモータ効率が最大30%向上するとともに、モータ質量が73%削減でき、省エネルギー・省資源化を実現している。

いずれのモータも国内工場生産しており、当社工場の製造コンセプトの強みを生かしながら、顧客満足度の向上を日々図っていく所存である。



換気扇専用工場と換気扇用小型モータの量産ラインアップ

当社では、1974年に換気扇専用工場を長野県飯田市に設立以来、換気扇と小型モータを生産し、2006年10月には換気扇・送風機群は生産累計1億台を突破した。工場の製造コンセプトに基づき、モータの“生産設計”を行い、当社独自のモータ構造と製法を換気扇用小型モータへ展開するとともに一貫生産自動化ラインを構築し、省エネルギー・省資源の換気扇ニーズにこたえている。

*中津川製作所 **生産技術センター

1. ま え が き

近年、住宅の省エネルギー化と快適性向上を目的とした高気密・高断熱住宅の増加に伴い、2003年7月に建築基準法が改正され、シックハウス対策としてほぼすべての居室で常時換気設備の設置が義務付けられた。換気扇は、台所や浴室に限らず、居間や寝室にも設置されるため、居室の意匠性を損なわない小型・薄型化が求められるとともに、24時間運転されることから、省エネルギー性・静音性・耐久性が求められている。

換気扇に用いられる小型ファンモータは、商用電源に直結して使用できるという利便性とコストパフォーマンスの観点から、コンデンサ誘導モータが主流である。昨今の素材価格高騰が製品価格に及ぼす影響は換気扇でも例外ではなく、マグネットワイヤや電磁鋼板の使用量を低減できる小型・省資源のモータが望まれている。

当社では、従来のモータ構造を見直し、ステータ鉄心を分割する構造を適用し、換気扇用小型モータへの展開と量産ラインの導入を進め、省エネルギー・省資源の換気扇ニーズにこたえてきた。

本稿では、換気扇工場の製造コンセプトと、換気扇用小型モータ(ステータ径φ80, 60, 43)の生産設計事例と量産ライン構築について述べる。

2. 換気扇工場の製造コンセプト

当社は、1974年に換気扇専用工場を長野県飯田市に設立し、以来換気扇製品及び換気扇用小型モータを生産している。

換気扇工場では、図1に示すような製造コンセプトの下で生産活動を行い、高品質・低コスト・短納期を基本とする顧客満足度向上を図っている。構想設計段階では、従来製品を作りやすさの観点から見直し、いわゆる“生産設計”を行い、省資源で作りやすい製品構造を確立している。これに並行して製造技術の要(かなめ)となる独自の自動機を

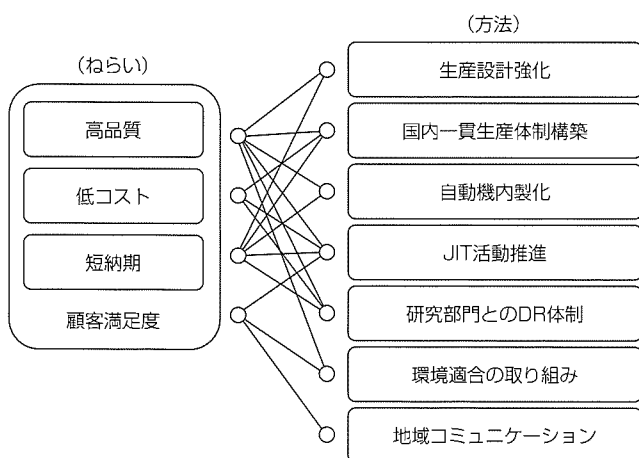


図1. 換気扇工場の製造コンセプト

内製化し、一貫生産自動化ラインを導入している。現場、製品設計、工機設計、研究部門が国内にあるという特長を生かし、JIT(ジャストインタイム)活動やDR(デザインレビュー)、及び使用材料・工場環境適合性チェックを行って日々改善を実施している。また、地域との共生のため、地域活動への参画や工場見学の受け入れ等のコミュニケーションを図っている。

3. 換気扇用小型モータの生産設計

換気扇用小型モータを生産設計するための着眼点は、ステータコイルの巻線とコイル端末の結線自動化である⁽¹⁾。

かつて、換気扇用小型モータは、図2に示すように複数の外巻きしたコイルを一体形鉄心にツールを使って挿入する方式が行われていた。この方式では、コイルをインサートツールに載せ換えるときに、コイルの端末がフリーの状態になるため、端末処理を人手で行っていた。また、コイル形状は、挿入とコイルエンド成形での余裕分を見込んで、必然的に長くなるという課題があった。

この課題を解決するため、ステータ鉄心を図3に示すような外輪鉄心と内輪鉄心に分割する構造を適用した。巻線

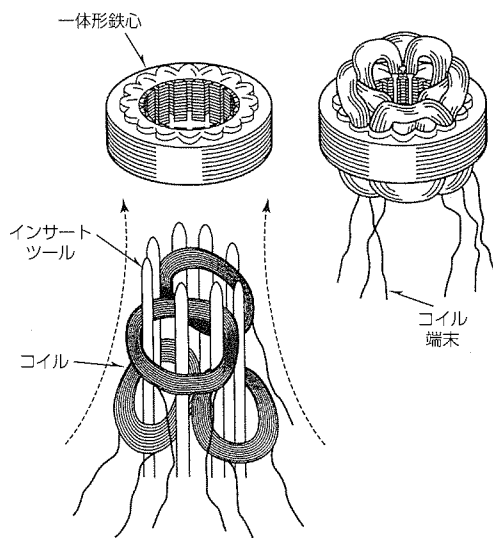


図2. 従来のステータ製造法

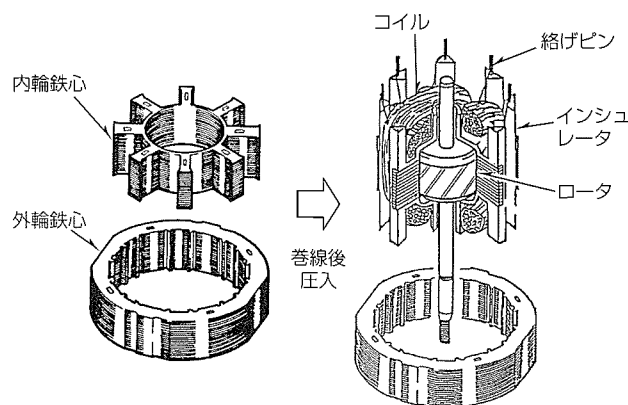


図3. ステータ径φ60モータの製造法

は、ロータをあらかじめ内輪鉄心の内側に入れた状態で、内輪鉄心の外側から巻線機のフライヤを周回させることで行い、コイルはロータ軸心近傍の最短距離を通るように配置される。コイル端末は、図4に示すように、巻線機のフライヤをNC動作して、絡げピンに数回巻付けて固定する。巻線後の内輪鉄心と外輪鉄心を軸方向に圧入すれば、一体形鉄心と同様の磁気回路が得られる。

1990年、この製造法を適用し、パイプファンやダクト換気扇用のステータ径 $\phi 60$ モータを製品化した。現在も一貫生産自動化ラインの更新を重ね、当社従来比でモータ効率15%向上、コイル銅量45%削減の省エネルギー・省資源化を実現している。

4. 換気扇用小型モータの機種拡大

4.1 ステータ径 $\phi 80$ モータ

1992年、分割鉄心による製造法を適用し、ダクト・プロペラ換気扇用のステータ径 $\phi 80$ モータを製品化した。現在は、モータ出力を高出力側に範囲を拡大し、一貫生産自動化ラインの更新を重ね、換気扇用小型モータの主力機種として製造している。

$\phi 80$ モータの基本構造は、図5に示すように、 $\phi 60$ モータと同様、ロータをあらかじめ内輪鉄心の内側に入れた状態で外側から巻線・端末処理を行った後、内輪鉄心と外輪鉄心を圧入する構造である。 $\phi 80$ モータの高出力機種は、

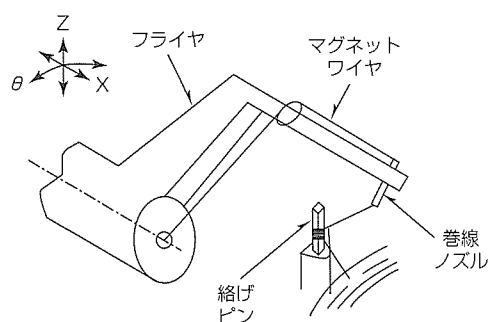


図4. フライヤによる巻線・端末処理

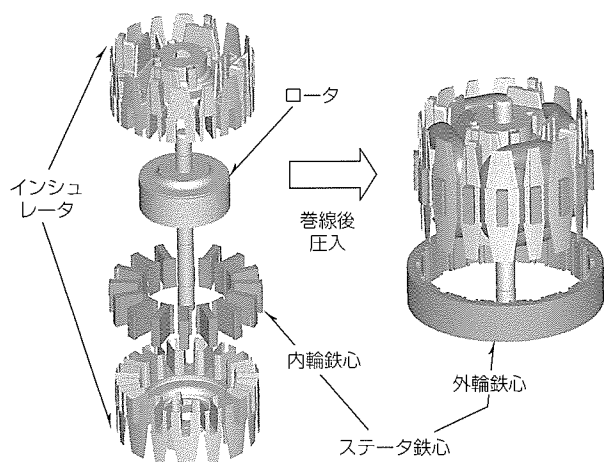


図5. ステータ径 $\phi 80$ モータの製造法

鉄心の積厚が大きいため、図6に示すように内輪鉄心の磁極歯を外輪鉄心へ圧入するとき、増大した圧入力で磁極歯にモーメントが生じて、鉄心同士でかじりを生じる、という課題があった。この課題を解決するため、磁極歯のモーメントを打ち消す独自の機構を考案し、図7に示すような鉄心圧入機を開発した。そして、鉄心圧入機とともに高速巻線機を独自に開発し、2006年、図8に示すような一貫生産自動化ラインを導入した。

ステータ径 $\phi 80$ モータは、当社従来比でモータ効率11%向上、コイル銅量22%削減の省エネルギー・省資源化を実現している。

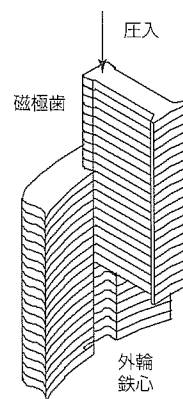


図6. 鉄心圧入部拡大図

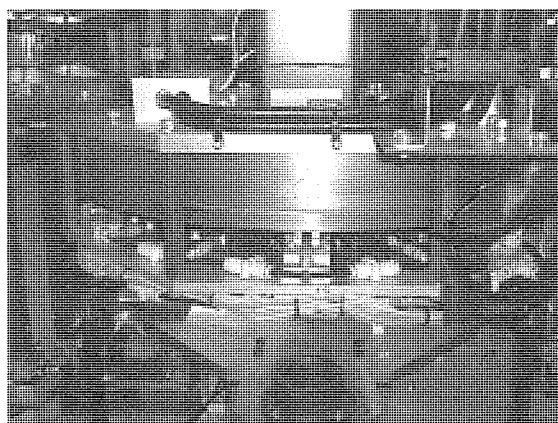


図7. 鉄心圧入機

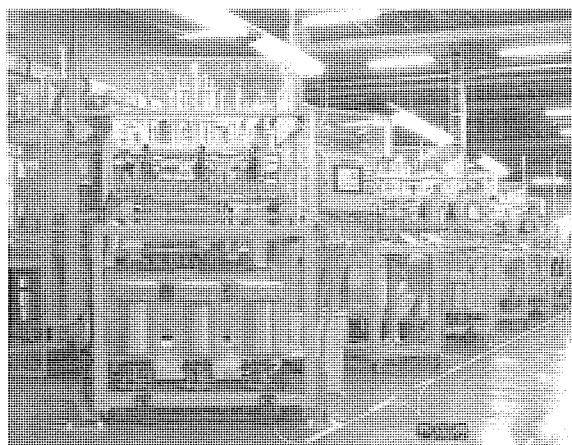


図8. $\phi 80$ モーター一貫生産自動化ライン

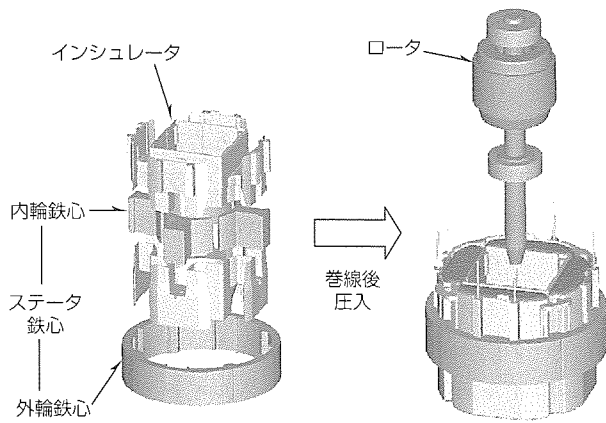


図9. ステータ径φ43モータ“MINIMO”の製造法

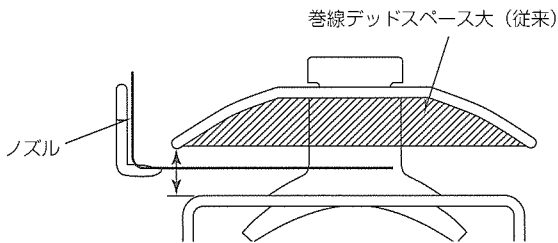


図10. 4スロット集中巻きの従来例

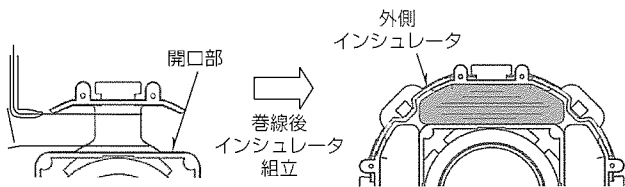


図11. 分割インシュレータ工法

4.2 ステータ径φ43モータ“MINIMO”

より小型・薄型化が望まれるパイプファン向けに、ステータ径φ43モータ“MINIMO”を2006年に製品化した。このモータの製造法は、図9に示すように、分割鉄心を適用し、内輪鉄心の4つの磁極歯に集中巻きした後、外輪鉄心を圧入するものである。

図10は、4スロットの集中巻きの従来例を示している。図中の斜線部は、外輪鉄心との絶縁を取るために設けられたインシュレータによって、巻線できないデッドスペースである。図11は、このデッドスペースをなくすため、インシュレータを分割して開口部を広げ、巻線後に外側インシュレータを挿入・組み立てする工法を示している。この工法によって、高速かつ高密度な巻線を可能としている。

φ43モータの軸受はミニチュアサイズであることから、品質保持のために製造ラインの搬送方式を工夫し、図12に示すような“高速・低ショック搬送コンベア”を開発し、図13に示す一貫生産自動化ラインに導入している。ステータ径φ43モータは、愛称を“MINIMO”としており、居室の意匠性を損なわない小型・薄型の換気扇に搭載されている。当社の同出力従来比でモータ効率30%向上、モータ



図12. 高速・低ショック搬送コンベア

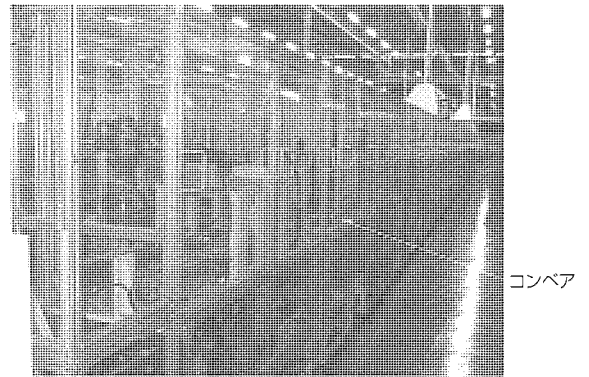


図13. φ43モーター貫生産自動化ライン

重量73%削減の省エネルギー・省資源化を実現している。

5. むすび

換気扇工場の製造コンセプトを踏襲し、分割鉄心による独自の製造法と製造技術の要となる自動機内製化によって、一貫生産自動化ラインを構築してきた。そして、省エネルギー・省資源の換気扇用小型モータ(ステータ径φ80, 60, 43)を製品化することができた。

当社は、本稿で述べた換気扇モータ工場だけでなく、“ポキポキモータ⁽²⁾”と呼称している独自製法によって、エレベータ用巻上機工場やFA機器用ACサーボモータ工場など、国内に10か所以上のモータ工場を展開している。

当社の換気扇・送風機群は、2006年10月に生産累計1億台を突破した。換気扇製品は、快適な居住環境追求の観点から、今後ますます、小型・省エネルギー・省資源・静音・長寿命などのニーズが高まると予想される。当社工場の製造コンセプトの強みを生かして、顧客満足度向上に日々努めながら、このようなニーズにこたえていく所存である。

参考文献

- (1) 福山二郎, ほか: 換気扇工場の生産性向上, 三菱電機技報, 72, No.4, 329~333 (1998)
- (2) 三宅展明: 最新のモータ製造技術, 三菱電機技報, 76, No.6, 426~430 (2002)

スイッチング電源の内製化による 製品品質の作り込み

熊谷 隆* 村田信二*
松原則幸* 菅 郁朗**
高田雅樹*

In-House Manufacturing of Built-in Power Supplies for Product Quality Improvement

Takashi Kumagai, Noriyuki Matsubara, Masaki Takata, Shinji Murata, Ikuro Suga

要 旨

昨今、電気製品の品質不具合による事故を目にすることが多くなり、製品品質に対する社会的関心が高まっている。中でも製品に内蔵されているスイッチング電源は、製品の機能に直接かかわるものであり、製品品質の観点からも重要なキーパーツともいえる。

従来、スイッチング電源は調達容易さから、電源メーカーからの社外調達、又は内製する場合でもトランス設計を社外に依存することがほとんどであった。しかし、このような調達、設計方法の場合、製品に最適なスイッチング電源を得ることは容易ではなく、製品品質の作り込みを推進するうえで課題となることもあった。

三菱電機の生産技術センターでは、スイッチング電源の最適化設計が、製品品質を作り込むうえで重要な要素であるととらえ、1997年頃からスイッチング電源内製化の取り

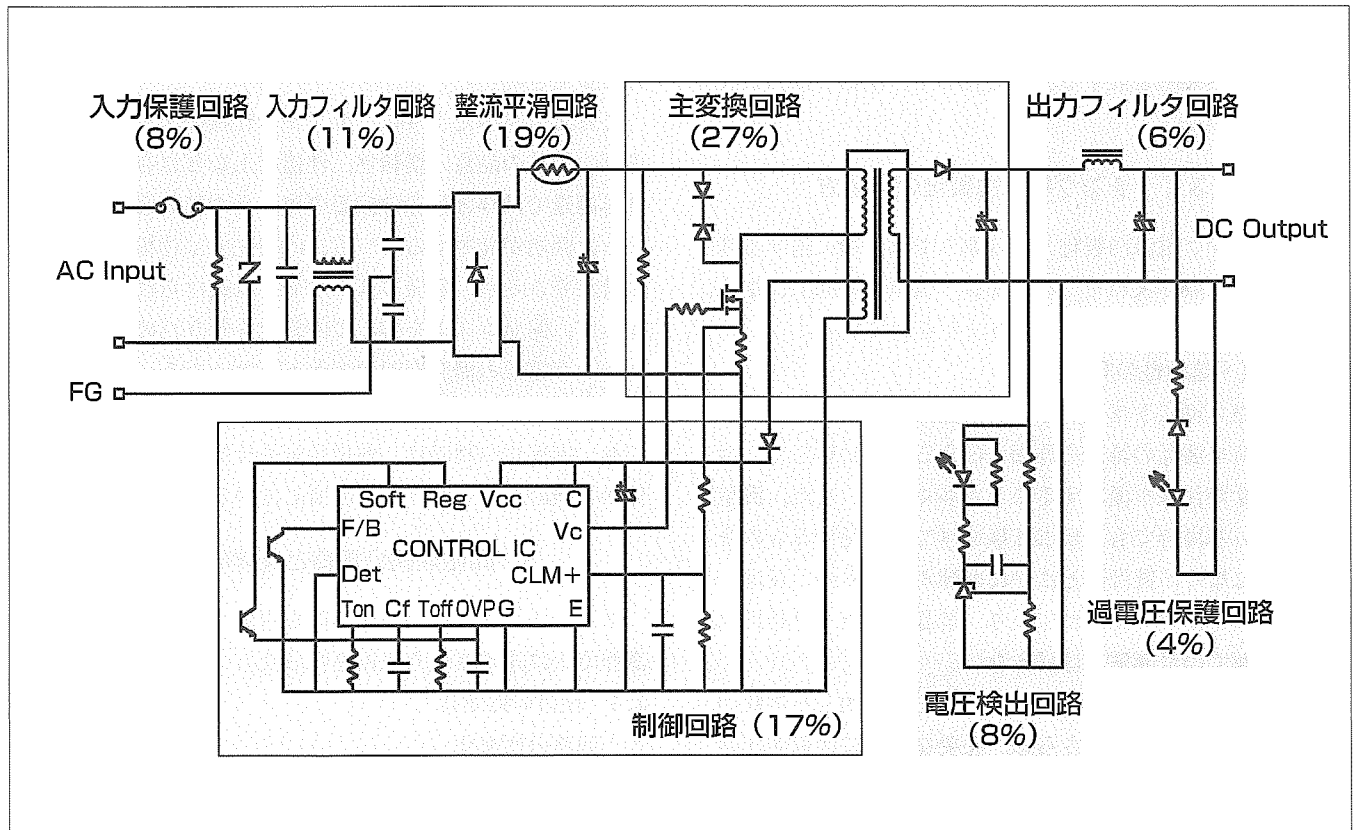
組みを開始した。

この活動によって、製品品質・信頼性向上はもとより、製品の小型化、高付加価値化、原価低減など数多くのメリットが生まれた。

取り組みを進めるにあたっては、スイッチング電源の開発期間を短縮するために、回路の標準化、トランス設計ガイドラインの設定、短期間の試作、評価体制の構築などを実施した。また、スイッチング電源技術の社内保有、維持のため、各製作所のスイッチング電源技術者の育成にも注力した。

この結果、内製化スイッチング電源の量産適用事例も年々増加し、内製化意識が全社的に広がった。

設計開発段階からの品質改善活動の一つとしても定着しつつあり、現在も継続して活動を展開している。



一般的な汎用スイッチング電源の機能ブロック図

スイッチング電源は、幾つかの機能ブロックで構成されている。市販の汎用電源は生産数量を増やすためにすべての機能を網羅した“万能電源”のため、部品点数は多くなってしまふ。しかし、負荷が特定できる場合、仕様によっては部品点数を1/2以下にして信頼性を向上させることが可能である。なお、図中の主変換回路と制御回路の部分が最低限必要な機能ブロックであり、また、各数値は、機能ブロックの部品コストの割合である。

*生産技術センター **先端技術総合研究所

1. ま え が き

当社の生産技術センターが、全社的にスイッチング電源の内製化取り組みを始めてから10年が経過した。当初はスイッチング電源の品質・信頼性向上を目的として始めた取り組みであったが、それ以外にも製品の小型化や、原価低減、さらには、回路技術者の育成など多くの効果が得られた。

スイッチング電源は製品の訴求力向上につながりにくい一部品としてとらえられることが多く、社外調達機会の増加によって、社内におけるスイッチング電源技術者も減少し、スイッチング電源設計力は十分ではなかった。

しかし、さらなる製品品質の作り込みを考えた場合に、その要(かなめ)ともなり得るスイッチング電源の内製化技術を社内に保有することが必要であると考えた。

このような中で活動を進めるにあたって課題となったのは、カスタム仕様のスイッチング電源の短期開発と、スイッチング電源技術者の育成であった。スイッチング電源設計は、仕様によって設計手順が異なるという特徴があり、部材調達条件などの技術的側面以外のパラメータも多い。また、当社は製品の種類が多く、仕様も千差万別なため、CAEシステムなどによる設計効率化は困難であり、電源技術者の育成は避けて通れない。

本稿では、これらの取り組み内容について述べる。なお、スイッチング電源を社内で製造するケースのほか、社内設計後、社外へ製造委託する場合も含めて、本稿では内製化と表現している。

2. スイッチング電源内製化の考え方

スイッチング電源内製化の取り組みでは、次に述べる考え方を同時に取り入れて、製品品質・信頼性の向上に加え、小型化、原価低減など様々なメリットを得ている。

2.1 品質・信頼性の向上

電源回路、特にトランスを社外で設計する場合、設計依頼先に負荷や製品の特徴を詳細に伝えることは難しく、余裕を持たせた仕様を提示することが多くなる。また、汎用電源を用いる場合でも、要求仕様すべてを満足するものを選ぶことになり、電源のどこかに無理ができるか、又は、無駄が生じるかのいずれかになり、製品の品質・信頼性面とコスト面での最適解とは言えない。

しかし、社内設計をすることで、負荷を熟知した無駄のない設計が可能になり、さらに、必要な部分には適切な余裕を持たせた設計もできるため、製品に最適なスイッチング電源を得ることができる。

例えば、長寿命、耐サージ性能を要求される場合には、電解コンデンサの変更や保護回路のアレンジといった簡易な変更で、飛躍的に性能を向上させることもできる。

また、市販の標準汎用電源を使用する場合には、取り付け加工やコネクタによるハーネス接続が必要となるため、接続信頼性、工作信頼性を考慮する必要があり、無駄なコストも発生する。しかし、負荷回路基板に内製化電源をオンボード化すれば、取り付け加工やコネクタ、ハーネスを省略、削減できるため、信頼性の向上が可能となる。

2.2 不要機能の削減

一般的な市販品の標準汎用電源は、より多くのユーザーに対応できる多機能設計となっており、①主変換回路、②制御回路、③電圧検出回路、④過電圧保護回路、⑤整流平滑回路、⑥入力フィルタ回路、⑦入力保護回路、⑧出力フィルタ回路などの複数の要素回路から構成されている。スイッチング電源として最低限必要な要素は、このうち①及び②のみで、全体の構成要素の4割程度を占めるにすぎない。

社内設計であれば、前記構成要素のうち必要な機能のみを選択できるので、最低限の部品で高信頼性のスイッチング電源を構成できる。

2.3 標準外機能の付加

電源部のわずかな機能付加(例えば広動作温度範囲、広入力電圧、長寿命、低ノイズ、瞬時過負荷対応などの仕様変更)が製品の性能向上に貢献する例も多い。しかし、これらの仕様変更は電源メーカーの標準外仕様となるので調達面で様々な問題が生じる。実際には、仕様変更に必要な部品コストは軽微なので、社内設計をすることによって最低限のコスト上昇で必要な機能のスイッチング電源を得ることができる。

これまで述べたように、カスタム仕様のスイッチング電源は、製品の品質、信頼性、性能向上などに有効であるが、社外調達では詳細仕様の伝達の難しさや購入価格の上昇といった問題が発生する。一方、内製化では仕様伝達の問題は解決できるが、開発コストの発生は避けられない。したがって、開発コストを抑えて内製化を行うためには、スイッチング電源の開発期間短縮が不可欠となる。

次章では、開発期間を短縮する仕組みについて述べる。なお、内製化の判断は、使用数量や仕様、コストなどの条件から検討を行ったうえで判断している。

3. 開発期間の短縮と具体的進め方

スイッチング電源の開発期間を短縮するために、設計・試作で次に述べる取り組みを行った。

3.1 設計の効率化

(1) 回路の標準化

スイッチング電源に使用する制御IC、IPD(Intelligent Power Device:制御機能内蔵パワー素子)を各々数種類にとどめるとともに、容量、用途(機能)別に推奨電源回路方式(トポロジ)を設定した。また、設計書を確実に残すことで、回路の流用性を向上させた。

(2) トランスの設計

トランスの設計は、スイッチング電源の主たる設計要素で、回路、部品との複雑なトレードオフを持っている。

初心者は、トランスの各種設計パラメータを導出する際に、繰り返し計算や、試作、実験によって最適ポイントを見出している。一方、熟練技術者は、経験的に最適ポイントを予測、仮決めしてから設計をスタートできるため、初心者と熟練技術者との間では大きな設計時間差が生じるという課題があった。

そこで、このような熟練技術者が持っている経験的指標を設計ガイドラインとして設けることによって、初心者でも比較的短時間でトランス設計が可能で、かつ、試作回数も必要最低限で済むようにした。

例えば、フライバックコンバータの場合には、トランスに必要な設計パラメータのうち、最大磁束密度、フライバック電圧(巻数比)、巻線層構成、巻線電流密度などを、動作モード、動作電圧、出力電力、用途別にガイドラインを定めるとともに、設計用シートを共通化して短時間設計を可能とした。

また、一部では巻線の外部接続の変更だけで多種類の入出力電圧に対応できるユニバーサル仕様のトランスも開発し、標準品として複数の製品に適用している。

(3) 実装設計

スイッチング電源を安定に動作させるためには、実装設計が重要な要素となる。基板上の部品配置のうち、特に重要な主回路配線と制御回路、これらの相互関係について、配線ガイドラインを設け、ブレッドボード試作時やプリント基板設計時の作業効率を改善した。

3.2 試作の効率化

スイッチング電源の開発、特に限界まで最適設計を進めた場合などは複数回の試作が必要となる。

特に時間を要するトランスの試作、評価用ブレッドボードの試作効率を上げるため、次の取り組みを行った。

(1) トランス試作

トランスメーカー数社と連携し、材料(コア、ボビン、線材)の在庫と流通状況を継続的に把握して、簡易仕様書提出後、5日程度で試作品が入手可能な体制とした。また、そのまま量産移行できるように、対象となるトランスの納入先、流通量、目標コストなどから、あらかじめトランス生産地を特定し、条件に合うトランスメーカーを選定している。

(2) ブレッドボードの試作

図1に設計から試作へ至るフローを示す。

評価用ブレッドボードの試作は、あらかじめスイッチング電源の基本技術指導を行った協力会社に試作委託を行う方法をとっている。標準部品の常時在庫と事前教育、標準試作仕様に基づいた作業とすることで、詳細な製作仕様書

の取り交わしを省略し、短期間で評価用ブレッドボードを試作可能とした。また、標準調整作業書によって、動作確認から基本評価までを同じ協力会社内で一貫して実施することで、回路出図から機能検証までを2週間程度で完了できる体制を構築した。基本評価後、社内における詳細評価を経て量産試作を行う。

3.3 量産までの取り組み

生産技術センターでは、製作所からのスイッチング電源開発依頼を受けて、負荷の仕様把握、設計から、評価、FMEA(Failure Mode and Effect Analysis:故障モード影響解析)、EMC(Electro Magnetic Compatibility)対策まで行っており、開発形態によっては、これらの一部、又はすべてを請負っている。

開発したスイッチング電源を製作所へ技術移管する際には、①回路接続図、②部品仕様書、③トランス仕様書、④試作ボード、⑤評価データ、⑥設計書の受け渡しによって行うが、後述するように製作所の技術者を受け入れて、OJT教育による技術移管も行っている。

量産にあたっては、内製化による調達資材増加を抑えるため、試作段階から各製作所で標準登録された部品を考慮して設計を行い、新規調達部品の発生を抑えている。

また、電源試験検査装置を標準化しており、必要に応じて短納期、低コストの試験装置を製作所へ提供できるように体制を整えている。

4. 取り組み成果と具体例

内製化電源の製品適用実績は、生産技術センターで開発したもので60事例を超えた。成果として、①同一コストで最大2倍の設計寿命、信頼性向上、②最大1/3の小型化による製品実装制限緩和、及び製品自体の小型化、③最大で1/5の原価低減を達成した。

これらの実績の中から仕様上特徴のあるものについて述べる。

(1) パワーコンディショナー用電源

太陽電池を電力源とするパワーコンディショナー用の電

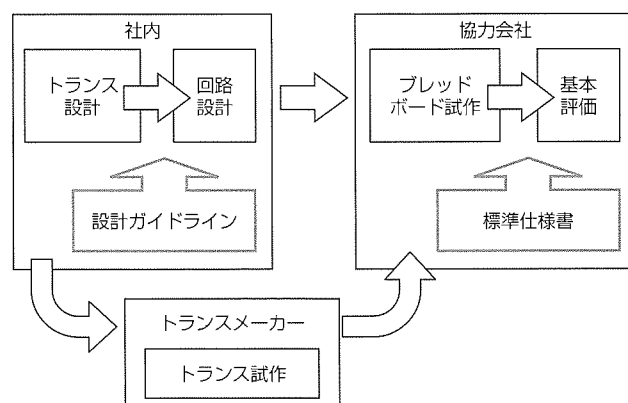


図1. 設計・試作フロー

源で、出力電圧は9種類の電圧出力、欧州規格の絶縁性能を持っており、動作デューティと発振周波数の最適制御によって70~700Vの広範囲の入力電圧に対応した。

(2) 遮断器付属機器用電源

遮断器付属機器に用いる入力85~264VAC、出力24V/20Wの電源で、名刺サイズより小型ながら、AC入力から出力までのシリーズインピーダンス最適化設計によって、短時間最大出力は150Wが可能である。この電源は、使用する負荷の特性上、瞬時過電流では感知せず、連続過電流時のみに感知・動作する電流積分型過電流保護回路を採用したことが特徴である(図2)。

(3) 高周波・高電圧インバータ用ゲート電源

高周波・高電圧インバータのゲート駆動回路用として開発した電源である。トランスの一次、二次間容量を最小限に抑えるために巻線層構成に工夫を凝らし、トランス巻線の層間低容量化と良結合を両立させており、一次、二次間容量は40pF以下である。また、インバータ発振による高周波共通モード電流に最適化したフィルタを備えており、500V/400kHzのインバータに対応可能である。

(4) エレベーター制御回路用薄型電源

エレベーターの制御盤負荷特性に最適化した48V/350Wpeak出力のオフラインコンバータである。薄型化のため、低コストアルミ基板と、専用開発したプレーナ型トランス、二次ダイオードのリカバリロス低減回路によって、厚さ13mm、効率90%を実現している。

このように、市販の汎用電源では調達が困難な仕様のスイッチング電源も、内製化によって入手可能となる。開発したスイッチング電源の出力は、1Wから1,500Wと幅広く、用途も家電機器から産業用、車両用など多岐にわたっている。

5. スイッチング電源技術者の育成と全社展開

スイッチング電源の開発形態として、共通部門で専門的に開発を請け負う仕組みについて述べてきたが、効率的な開発、製品適用を進めるためには各製作所にもスイッチング電源技術者が必要である。各製作所に分散したスイッチング電源技術者を継続的に育成し、ノウハウを共有化して伝承するには、社内の“コミュニティ”が有効であると考え、次に述べる取り組みを行っている。

(1) 社内技術講座

特に適用頻度が高いフライバック電源について、全社、関係会社を対象として、年一回の社内講座を開講しスイッチング電源技術キーマンの育成を図っている。この講座は、

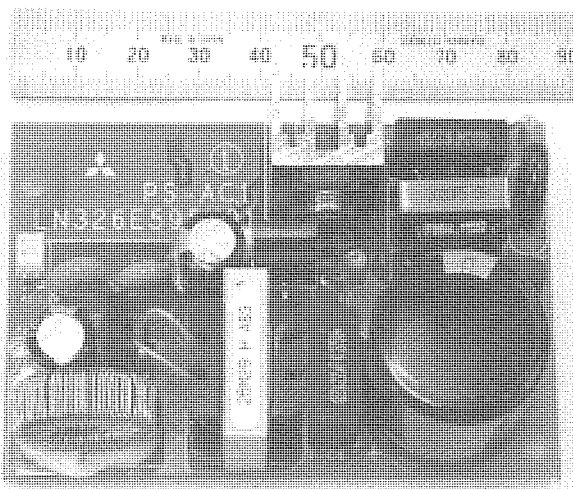


図2. 遮断器付属機器用電源

宿泊形式の集合研修とすることで、技術交流の場としても活用されている。また、この講座で使用しているテキストは、前述の設計ガイドラインの一部やトランスの安全規格などにも触れており、単なる技術解説書ではなく現場で役立つリファレンスブックとしている。

(2) 技術者の受け入れ教育

生産技術センターに製作所の技術者を一定期間受け入れて、OJTによる技術教育を行っている。実際の量産対象アイテムを、熟練設計者とともに設計、試作することでドキュメントでは伝わりにくいノウハウの伝承、共有を行っている。

(3) メーリングリスト

各部門のスイッチング電源技術者、並びに電源関連部門のメンバーで構成された社内メーリングリストを開設、運用している。スイッチング電源技術情報の発信のほか、技術相談にも対応している。

6. む す び

これまで述べてきたように、この数年間で当社内ではスイッチング電源内製化を推進する取り組みが根付いてきた。このような活動は、当社製品の開発設計段階からの品質改善活動の一つとして、製品品質・信頼性向上のほか、製品の小型軽量化、原価低減などに大きく貢献したと認識している。

スイッチング電源は、製品品質を支えるキーパーツであるとの認識の下で、今後も取り組みを継続し、一層の製品品質の作り込みに努める。

パワーモジュールの信頼性向上技術

中島 泰*
杉木昭雄**

Aluminum Bonding Wire Reliability of Transfer-molded Power Modules

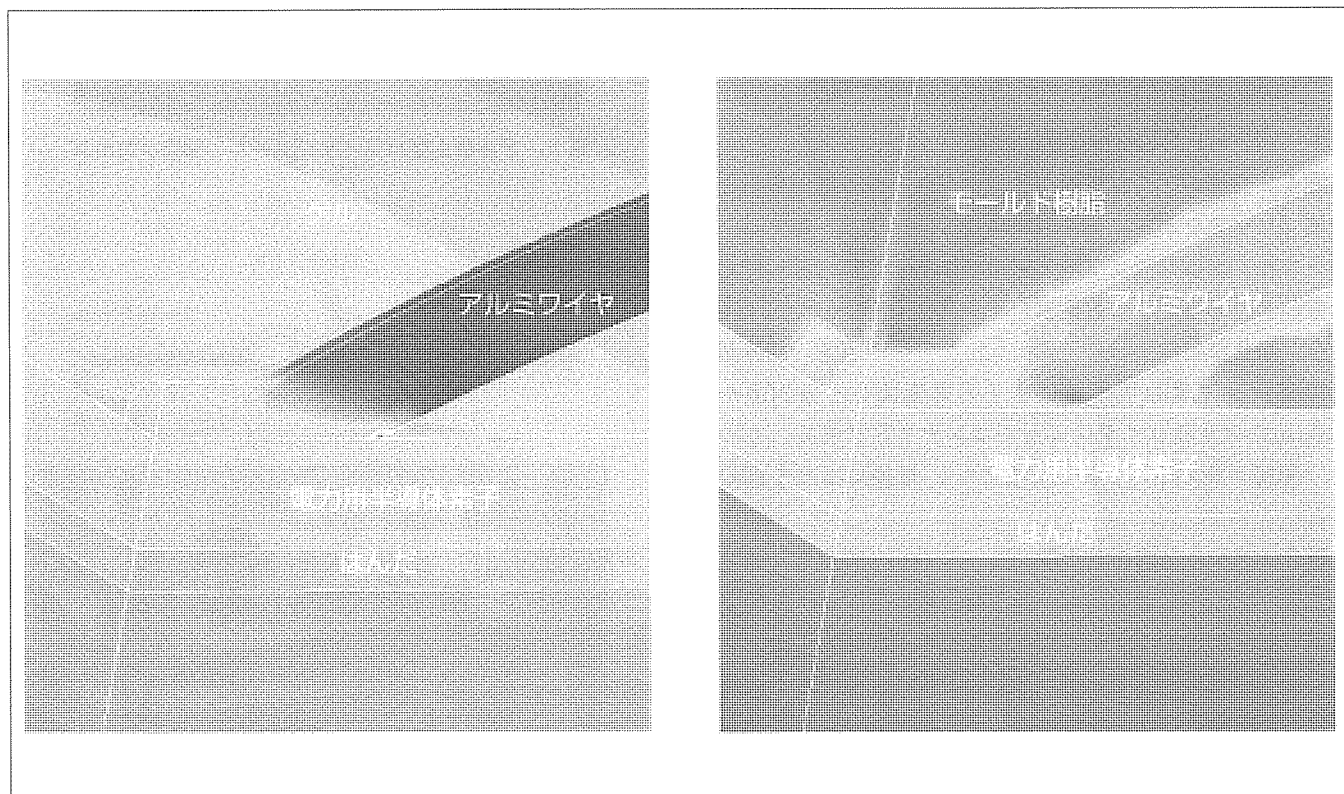
Dai Nakajima, Akio Sugiki

要 旨

三菱電機では、従来のゲル封止型パワーモジュールに比べて小型化が可能な構造として、筐体(きょうたい)の成形及び内部の絶縁樹脂の封入を一括で行うトランスファモールド技術を適用した、モールド樹脂封止型パワーモジュールの製品展開を進めている。数十から数百A以上の大電流を扱うパワーモジュールでは、断続的な負荷の増減によって熱応力が発生する。したがって、パワーモジュールでは電力用半導体素子への配線材料として用いている太線アルミワイヤが接合界面近傍で破断するパワーサイクル寿命と呼ばれる指標と、電力用半導体素子と内部回路とのほんだ接合層内部のき裂進展によって放熱性が損なわれるヒートサイクル寿命と呼ばれる指標とが重要となる。今回、樹脂封止型パワーモジュールにおけるパワーサイクル寿命に関して調査を行った。

パワーサイクルによってアルミワイヤ接合部近傍で破壊する原因は熱疲労である。すなわち、負荷変動によって電力用半導体素子やアルミワイヤの温度が変化し、これにアルミワイヤの線膨張係数がシリコン半導体素子のそれよりも一けた大きいことが要因として加わる結果、アルミワイヤの接合部近傍に繰り返し熱応力が発生し、接合界面近傍で疲労破壊が生じるものである。

ゲル封止ではアルミワイヤの接合界面端部に顕著な応力集中が生じ、接合界面近傍にき裂が進展するのに対し、モールド樹脂で封止することによって応力集中が緩和される。その結果、パワーサイクル寿命が、およそ3倍長くなることを、パワーサイクル試験、破壊形態の観察及び応力解析によって検証した。



ゲル封止構造とモールド樹脂封止構造 パワーサイクル試験時のひずみ分布の比較

ゲル封止構造ではアルミワイヤ接合界面端部に応力集中が顕著であるのに対して、モールド樹脂封止構造では応力集中が緩和されている。この結果、 ΔT_j (ジャンクション温度の変動範囲) が80Kの条件で約3倍のパワーサイクル寿命向上を実現した。

1. ま え が き

省エネルギー、省資源やCO₂排出の削減などの要請を受けて、パワーエレクトロニクス機器の需要は堅調に成長を続けている。パワーエレクトロニクス機器の主要なキーパーツの一つであるパワーモジュールは、複数の電力用半導体素子を複合してモジュール化したものであり、絶縁性、放熱性に加えて、自己発熱によって生じる熱応力に対する耐久性を備える必要がある。

当社では1993年から、数Aから数十Aの定格電流用として、リードフレームをモールド樹脂で封止するICパッケージの製造技術に応用したモールド樹脂封止型パワーモジュールの製品展開を行っている。このモールド樹脂封止型パワーモジュールは、従来のゲル封止型パワーモジュールに比べ、筐体の成形と内部に封入する絶縁樹脂を一括成形することによって、部品点数を減らし小型化ができるという特長がある。今回、100A以上に対応した大容量モールド樹脂封止型パワーモジュールの開発を行い、製品展開を開始した⁽¹⁾。

パワーモジュールでは自己発熱による接合部の熱疲労が問題となる。とくに、電力用半導体素子表面への配線に用いるアルミワイヤの疲労寿命の指標であるパワーサイクル寿命は重要である⁽²⁾。

本稿では、このパワーサイクル寿命に関して検証した結果について述べる。

2. 樹脂封止型パワーモジュールの構造

2.1 パワーモジュールの構造比較

図1に従来のゲル封止型パワーモジュールの断面構造と製造プロセスを示す。ゲル封止型パワーモジュールでは、ベース板、絶縁基板及び電力用半導体素子をはんだ付けしたものと、あらかじめ電極板をインサート成形したケースとを、接着などによって一体化し、ケースの電極、絶縁基板の電極及び電力用半導体素子の電極間を、φ300~400μmのアルミワイヤによってボンディングする。この後、絶縁ゲルのポッティングを行い、最後にふたを固定する。

図2にモールド樹脂封止型パワーモジュールの断面構造と製造プロセスを示す。モールド樹脂封止型では、リードフレーム、ヒートスプレッド及び電力用半導体素子を一体化したものをワイヤボンディングした後に、モールド成形する。この構造では、成形時にヒートスプレッドを絶縁シートと積層することによって、モールド成形による筐体の成形と同時に絶縁層の接着を行う。したがって、ふたなどの取り付けは不要であり、また電力用半導体素子裏面への配線は、ヒートスプレッド及びリードフレームそのものを用いている。これらによって、モールド樹脂封止構造では

部品点数が少なく、小型化が可能となっている。

大容量モールド樹脂封止型パワーモジュールでは、チップ下にフレームと一体化された厚めの銅板からなるヒートスプレッドを配置し、かつ絶縁放熱には高熱伝導絶縁シートを用いることによって、ゲル封止構造と同程度の放熱特性を得ている⁽³⁾。

2.2 接合部に生じる熱応力

図3に電力用半導体素子上下の積層構造を示す。電力用半導体素子表面のアルミメタライズにアルミワイヤが超音

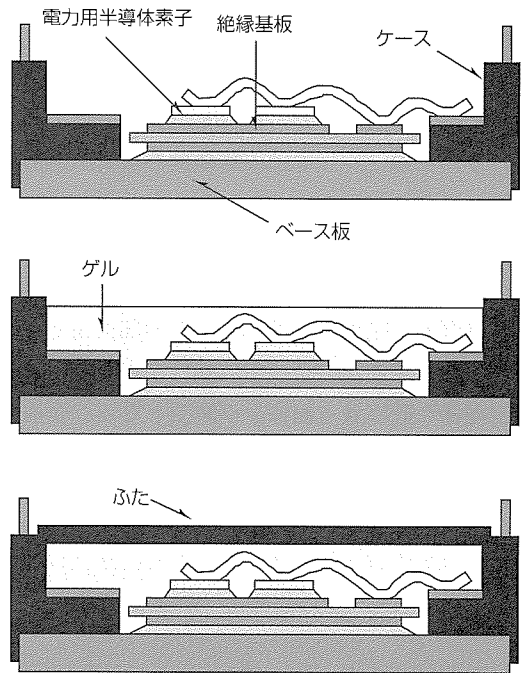


図1. ゲル封止型パワーモジュールの製造プロセス

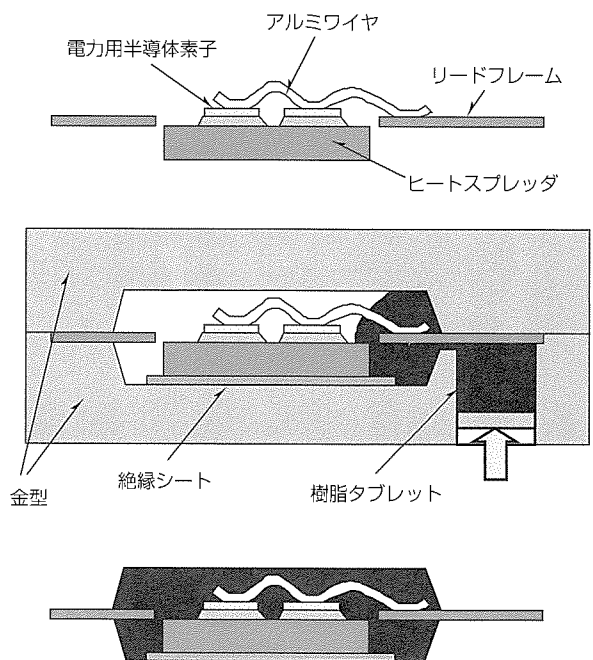


図2. モールド樹脂封止型パワーモジュールの製造プロセス

波接合されている。ここで、シリコン半導体の線膨張係数が $2.3 \times 10^{-6}/K$ であるのに対し、アルミニウムの線膨張係数は $2.3 \times 10^{-5}/K$ であり、両者の差が極めて大きいことから、熱疲労(熱応力による疲労破壊)に対する寿命設計が重要となる。電力用半導体素子には、扱う電力量の数%の熱損失が発生し自己発熱する。一方、使用用途によっては、通常時は低出力で動作し、何らかのイベントに応じて一時的に高出力で動作する。このように負荷が変動する場合には、電力用半導体素子のジャンクション温度は大きく変動し、この温度変化によって、線膨張係数の異なる材料の接合部近傍に熱応力が生じる。

3. 信頼性検証結果

パワーモジュールのパワーサイクルに関する実験結果をワイブル分析し、モジュール構造の違いによる寿命の変化を調べた。パワーサイクル試験では、パワーモジュールを水冷ヒートシンクに固定し、電力用半導体素子は常時オンの状態にして外部からの電流のオンオフを行い、所定のジャンクション温度変化量 ΔT_j になる電流値 I_c 、通電時間 t_{on} 及び冷却時間 t_{off} を設定して、モジュールが機能しなくなるまでのサイクル数を記録した。次に、ワイブルプロットによって、2種類の構造のパワーモジュールの破壊確率が同じになるパワーサイクル寿命を求めた。 $\Delta T_j=80K$ となるときのゲル樹脂封止構造のパワーサイクル寿命を1として、同じ破壊確率になる寿命を相対比較したのが表1及び図4である。

モールド樹脂封止構造はゲル封止構造に比べて、少なくとも約3倍長寿命となっていることが分かる。また、モールド樹脂封止構造では1サイクルあたりのアルミワイヤの発熱量 Q が小さい場合、同じ ΔT_j でも寿命が更に長くなる。

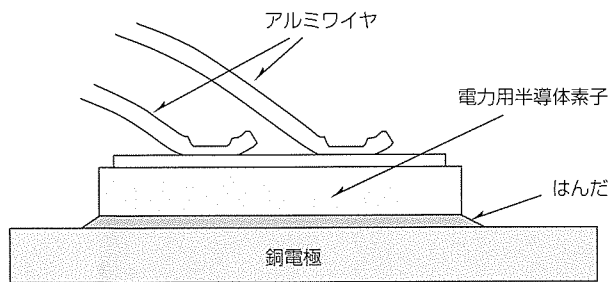


図3. 電力用半導体素子上下の積層構造

表1. 試験条件及びパワーサイクル寿命評価結果

モジュール構造	ΔT_j (K)	I_c (A)	t_{on} (s)	t_{off} (s)	Q (J)	パワーサイクル寿命比
ゲル封止	80	-	5	10	-	1
モールド樹脂封止	80	300	0.5	14.5	450	7.5
	80	245	5	10	3,000	3.1
	110	280	5	10	3,920	1.1

た。このメカニズムについては後に考察する。

次に破壊形態の観察を行い、この長寿命化のメカニズムについて検証した。図5(a)にゲル封止構造における試験後のワイヤの断面観察結果に基づく模式図、図5(b)にモールド樹脂封止構造の場合のそれを示す。図5(a)のように、ゲル封止構造では接合界面近傍に端部からき裂が進展しているのに対し、モールド樹脂封止構造ではアルミワイヤのループが立ち上がる部分にき裂の進展が認められた。

次に、ゲル封止構造とモールド樹脂封止構造の応力解析を行った。それぞれの構造で、 $\Delta T_j=80K$ に対応する電流を流した場合の温度分布を与え、弾塑性解析によって、そのときのアルミワイヤのひずみを計算した。接合界面及びアルミワイヤ表面のひずみ分布の解析結果を図6に示す。また、アルミワイヤの中心から接合界面端部にかけての接合界面及びアルミワイヤ表面のひずみ分布を図7に示す。

ゲル封止の場合は、図6(a)のように接合界面端部に応力集中が生じる。これはアルミワイヤの接合部のうち、長手方向の接合界面端部の形状が鋭角のき裂形状であるため、応力集中が著しく、熱応力によってき裂が開き、き裂先端のひずみが局所的に大きくなるのが原因である。しかし、もともと円柱形のアルミワイヤを平面に固着させる固相接合を用いると必然的にこのような形状となるため、こ

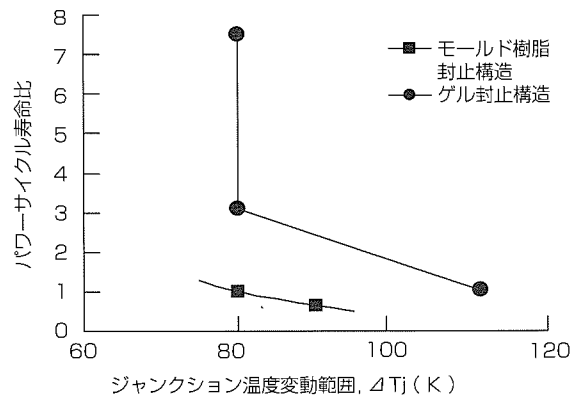
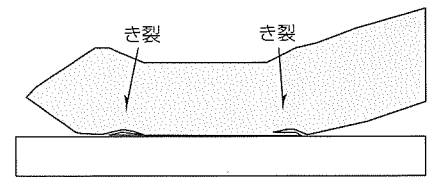
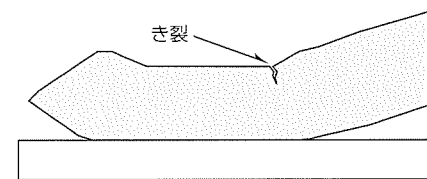


図4. パワーサイクル寿命評価結果



(a) ゲル封止構造



(b) モールド樹脂封止構造

図5. 試験後のアルミワイヤ断面の模式図

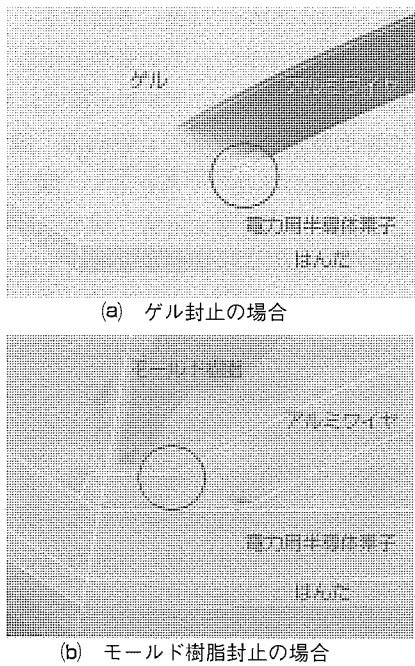


図6. 弾塑性解析によるアルミワイヤ接合部近傍のひずみ分布

の応力集中は避けられない。

一方、図6(b)及び図7に示すように、モールド樹脂封止構造では、当該部分のひずみは著しく抑制されている。その原因は、モールド樹脂でアルミワイヤと電力用半導体素子とが接着されており、接合界面端部のき裂部の開口が防止されるメカニズムによるものと考えられる。ただし、アルミワイヤ表面で、ループが立ち上がる部分に、ひずみの大きい部位があり、破断か所と一致している。この部位の温度は電力用半導体素子のジャンクション温度よりは、アルミワイヤの抵抗発熱に依存すると考えられる。表1から、1サイクルあたりの発熱量 Q が小さい条件で長寿命であることが分かるが、 Q が小さいことによってアルミワイヤの発熱が少なく、ループが立ち上がる部分の熱応力が小さくなるというメカニズムによって、更に長寿命になったものと考えられる。したがって、モールド樹脂封止構造では、電流密度で決まるワイヤの温度を考慮して寿命設計する必要がある。

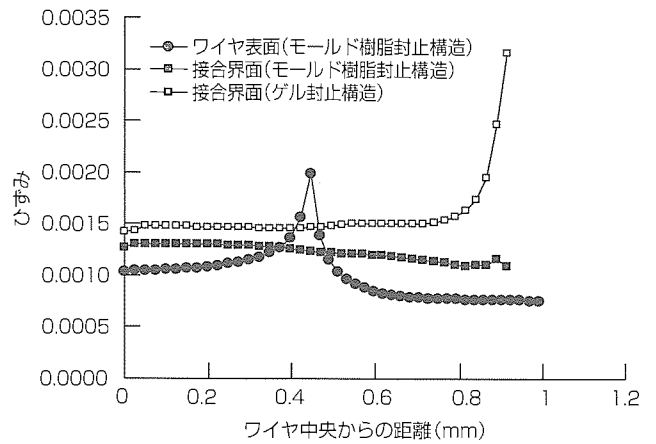


図7. アルミワイヤの接合界面及び表面のひずみ分布

4. む す び

従来のゲル封止構造に比べて部品点数が少なく小型化可能なモールド樹脂封止構造の製品展開を進めている。モールド樹脂封止構造のパワーモジュールは、モールド樹脂封止によってアルミワイヤ接合部近傍の応力集中が抑制された結果、ゲル封止構造のそれに比べ、3倍程度、長寿命化した。

今後のパワーモジュールに要求される特性として、高 T_j 対応が挙げられるが、このようなモールド樹脂封止構造は高 T_j への対応が期待できるため、更に適用範囲が拡大すると確信している。

参 考 文 献

- (1) 中島 泰, ほか: 高放熱樹脂封止型パワーモジュール, 三菱電機技報, 78, No.10, 645~648 (2004)
- (2) 松永俊宏, ほか: パワーモジュールの信頼性評価・接合技術, 三菱電機技報, 79, No.7, 447~450 (2005)
- (3) 菊池 巧, ほか: モールド型パワーモジュール用絶縁シート, 三菱電機技報, 81, No.5, 365~368 (2007)

高精度射出成形技術の製品への適用

今泉 賢* 齋藤浩二+
北山二郎**
田村真史***

Applications of High-Precision Injection Molding Technologies for Various Products

Masaru Imaizumi, Jiro Kitayama, Masashi Tamura, Koji Saito

要 旨

近年、製品の軽量化、低コスト化を目的とし、機械的強度、耐熱性などの点から金属材料が使用されていた部品に対し、PPS(ポリフェニレンサルファイド)などをはじめとする高剛性、高耐熱樹脂への代替が進められている。樹脂化によって後加工レスのネットシェイプ成形が可能になり、製造コストの低減が期待される。

樹脂のネットシェイプ成形では、収縮の異方性や残留応力による変形によって、高い寸法精度を確保することが困難であったが、三菱電機ではこれら寸法精度悪化の要因を極力排除した成形法を開発し、金属部品と同等の寸法精度

を確保することを可能にした。

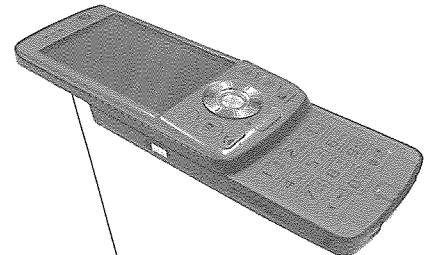
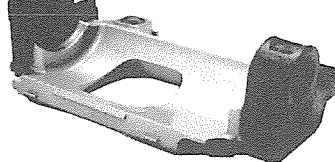
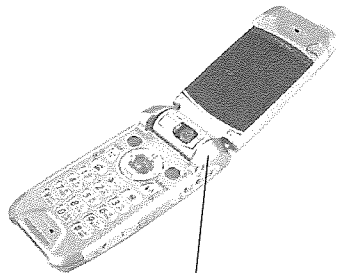
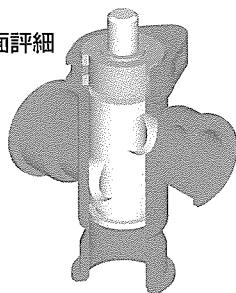
この成形法では、金型内での冷却後、金型を開いてからも高精度が要求される部位を金型に拘束させて冷却し、金型形状の転写精度を向上させる。一方、高精度を必要としない部位では、金型を開くと同時に拘束を外して成形品内部の残留応力を解放し、必要な寸法精度を得るという特徴を持つ。また、通常の成形法で得られた成形品と比較して成形品内部の残留応力が低減されているため、使用環境下における経時的な変形を抑制できる特長も併せ持つ。

高精度射出成形技術を適用した製品例

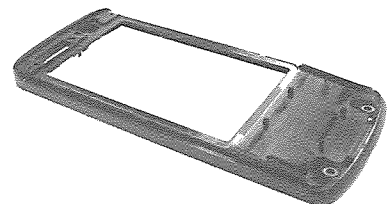
1. 給湯機用ミキシングバルブ (主要部品のオール樹脂化)
2. 二つ折り携帯電話用ヒンジ
3. 携帯電話の意匠筐体(きょうたい)



断面評細



マグネシウム→樹脂化



金属から樹脂への代替を可能にした高精度射出成形品

ネットシェイプ成形を可能にする高精度射出成形技術の開発によって、これまで高強度、耐熱性などが必要とされるため金属で構成されていた部品を樹脂化することが可能となった。この成形法は、結晶性材料又は繊維強化され収縮の異方性を持つ“寸法精度が出しにくい”樹脂材料に対しても有効であり、PPSやPA(ポリアミド)などを用いた部品が当社製品に適用されている。

1. ま え が き

近年、製品の軽量化、低コスト化を目的とし、機械的強度、耐熱性などの点から金属材料が使用されていた部品に対し、PPSなどをはじめとする高剛性、高耐熱樹脂への代替が進められている。樹脂化によって後加工レスのネットシェイプ成形が可能になり製造コストの低減が期待される。

一方、樹脂のネットシェイプ成形では、収縮の異方性や残留応力による変形によって、高い寸法精度を得ることが困難であったが、当社ではこれら寸法精度悪化の要因を排除、抑制した成形法を開発し、金属部品と同等の寸法精度を確保することを可能にした。

本稿では、従来の樹脂成形法では実現できない高い寸法精度を要求される部品に対し、ネットシェイプ成形を可能にした高精度成形技術の概要と、この成形法の適用によって実現した樹脂化の製品適用例として、給湯機のみキシングバルブ及び携帯電話の筐体構成部品について述べる。

2. 高精度射出成形技術

内周面に高い精度が要求される円筒状の成形品を例に採り、新たに開発した高精度射出成形法を概念を図1に示す。射出・保圧工程を経て金型内で冷却された成形品を、金型を開いてからも高精度が要求される部位を金型に拘束させて冷却し、金型形状の転写精度を向上させる。一方、さほど高い精度を必要としない部位では、金型の開きにあわせて拘束を外し、変形を拘束されることによって生ずる成形品内部の残留応力を解放させる。残留応力は、金型温度や保圧をはじめとする通常の成形条件、並びに成形品の局所冷却時間などによって制御可能である。この成形法では、これらの条件を適正化することで所望の部位に対して必要な寸法精度が得られる。

通常の成形法で得られたものと比較して内部の残留応力が低減されているため、高温環境などの外乱要因による残留応力の緩和に起因する変形も最小限に抑えられ、経時的変形を抑制できることが期待される。

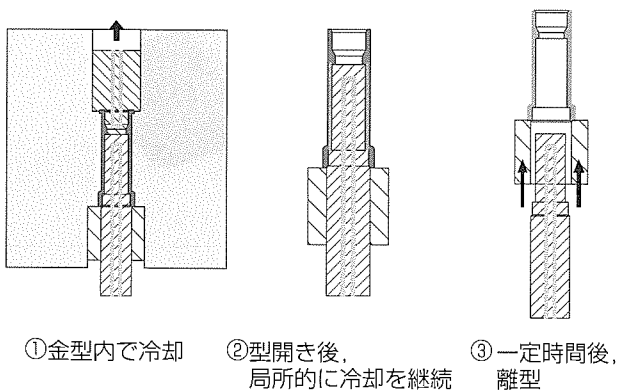


図1. 高精度成形法の概念

3. 当社製品への高精度成形技術の適用

3.1 給湯機のみキシングバルブ

3.1.1 樹脂化実現のための構造設計

電気給湯機は、タンクに貯めた水を安価な深夜電力を利用して沸き上げ、給湯する装置である。ヒータ式電気給湯機の構成を図2に示す。タンク及びヒータのほか多数の弁、配管によって給湯回路が構成される。この中で、給湯温度制御用のみキシングバルブの構造簡素化並びに樹脂化を目的として、新構造の設計とネットシェイプ成形を実現する高精度成形技術を開発した。

図3に従来及び開発したのみキシングバルブの構造を示す。従来ののみキシングバルブは、モータで弁体を上下させ、バイメタル的な機能を果たすワックスサーモの伸縮で湯水混合流量を微調整しており、構造が複雑で、金属部品が多用されていた。開発品は、弁体に接続されたステッピングモータの回転によって弁体と筐体に開けた穴の開口比で湯水の流量を制御する構造とした。これによって部品点数を大幅に削減するとともに、主要構成部品の樹脂化を可能とする構造とした。バルブ内には最高90℃、最大圧力200kPaG程度の熱水が通水されるため、材料には強度、耐熱性に優れたPPSを選定した。

開発したのみキシングバルブの構造で、高い給湯温度制御性の実現と、水道水中の異物による動作不良を回避するため、ボディと弁体の間に形成される適正なクリアランスを高精度に形成することが重要である。これらを満足するクリアランスの適正值の幅は狭く、ボディ及び弁体の双方に

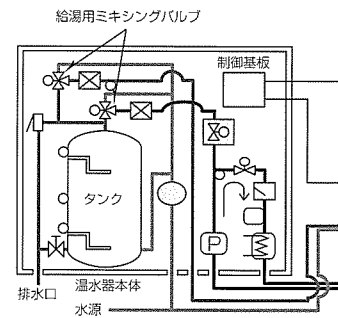


図2. 電気給湯機の構成

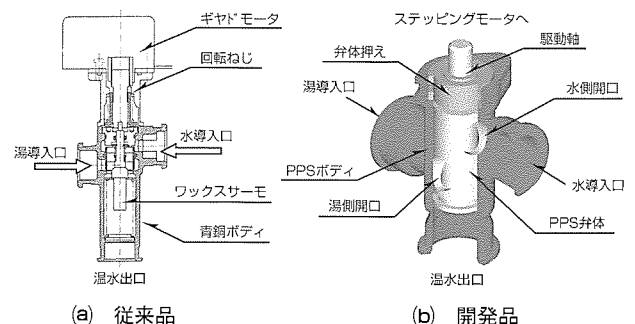


図3. みキシングバルブの構造比較

対して数十 μm レベルの径精度及び真円度を必要とする。これは通常の射出成形では金型補正を繰り返しても実現できない寸法精度であり、新たに開発した成形法を適用することとした。

3.1.2 高精度成形技術の有効性(初期精度)

前述のとおり微小なクリアランスを高精度に形成するために、ボディの内径及び弁体の外径に対して高い寸法精度が必要である。高精度成形技術の有効性を検証するため、通常の成形法によって成形したボディ内径の寸法測定結果とこの成形法によって得られた結果を比較した。

図4にボディの軸方向に対し、湯水導入口が設けられた付近の断面で内径寸法を測定した結果を示す。同図は内径の実測値のねらい径(20mm)からのずれ量を100倍に拡大して示している。従来成形では収縮量が大きく、収縮の異方性が顕著に現れて真円度が悪化しているのに対し、この成形法ではこれらの現象が抑制され、真円に近い形状が得られている。金型を開いた後も、この部位ではコアピンによって変形を拘束し、金型形状の転写精度を向上させた効果によるものである。

3.1.3 高精度成形技術の有効性(経時寸法変化)

一般に、金型に長時間拘束した成形品は、変形を拘束されながらも収縮しようとするため、内部に引張り応力が残留する。このような成形品が高温下に曝(さら)されると、成形品は残留応力の緩和によって収縮変形する。電気給湯機では最高90 $^{\circ}\text{C}$ の湯を使用し、PPSのガラス転移点は90 $^{\circ}\text{C}$ 近傍に存在するため、このような環境下では残留応力の緩和によって初期の寸法精度を維持できない可能性がある。そこで、成形品の経時変形について従来成形法と比較するため、100 $^{\circ}\text{C}$ 、24hrの熱処理後の寸法変化量を測定した。

図5に従来成形とこの成形法によるボディ内径の熱処理前後の寸法測定結果を示す。図4と同様に基準径からのずれ量を100倍に拡大している。これによって、従来成形では熱処理後に内周寸法に収縮が見られているのに対し、この成形法では熱処理後も初期の寸法を維持していることが分かる。ボディ内周面の金型拘束時間と成形条件(主に保圧)を制御することで成形品の残留応力を低減したことによるものである。

このようにこの成形法は、成形品の初期精度を著しく向上させるだけでなく、高温環境下における寸法の経時変形を抑制できることが明らかになった。

3.2 携帯電話の筐体構成部品

3.2.1 高剛性樹脂の適用

携帯電話は、液晶画面の大型化や筐体の薄型化が進んでおり⁽¹⁾、筐体を構成する部品には高剛性、高強度、高じん性といった機械的特性のほかに軽量であることが求められる。これらの特性を満足するマグネシウムダイカスト品が多く用いられているが、アンテナ性能の確保やより意匠性の高い加飾を実現するために、PAやPPSなどの樹脂への代替も進んでいる。しかし、携帯電話の薄型化によって、筐体の構成部品に求められる加工精度はより高まっている。そこで、樹脂成形部品の設計段階から、樹脂流動解析や伝熱解析などのシミュレーションを駆使し、適正な形状設計と金型設計を行ったうえで、高精度成形技術によって携帯電話の筐体構成部品を製造している。

特に携帯電話に用いられる高剛性樹脂は結晶性の樹脂であり、材料中で結晶部分が占める割合(結晶化度)によって、その物性が左右されることが知られている。また、成形時に金型内を流れる材料の流動方向によって樹脂が配向し、材料特性に異方性が生じることがある。特に材料の流動が会合するウエルドライン部では、強度低下を招きやすい⁽²⁾。

したがって、金型内における樹脂成形部品の冷却状況を伝熱解析し、効率的な冷却と結晶化の促進のために部品形状と金型冷却構造を適正化することが重要である。また、携帯電話に機械的負荷が加わったときの樹脂成形部品内部の応力分布を考慮して、樹脂の配向やウエルドラインに起因する強度低下領域が高応力部分を回避するように、樹脂流動解析によってゲート(樹脂注入口)配置を適正化することも重要である。

3.2.2 筐体構成部品の適用例

携帯電話の筐体構成部品への適用事例について述べる。

図6は2つ折り型などで折り畳み部に用いるヒンジ機構の保持部品である。2つ折りの筐体を、ヒンジを介して連

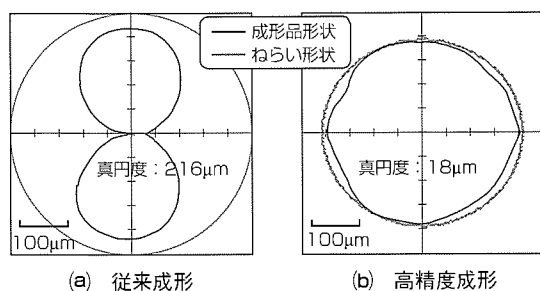


図4. ボディ内径寸法の測定結果

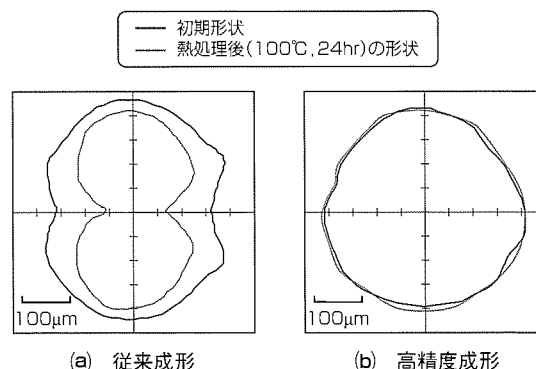


図5. 熱処理後の変形量の比較

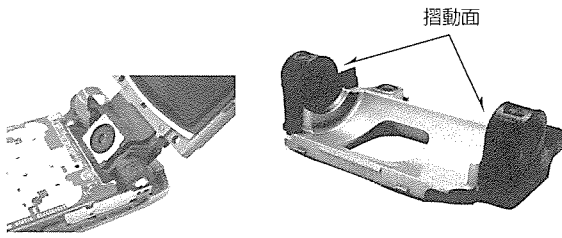


図6. ヒンジ保持部品

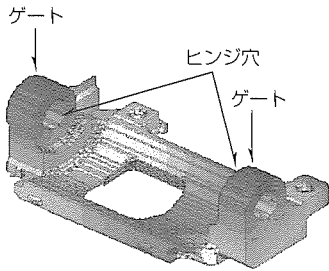
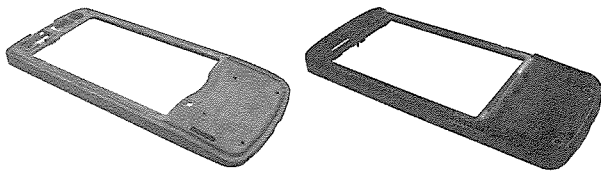


図7. ヒンジ保持部品の流動解析結果

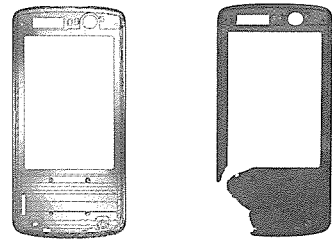


(a) マグネシウムダイカスト (b) PAベースの高剛性樹脂

図8. 携帯電話の意匠筐体

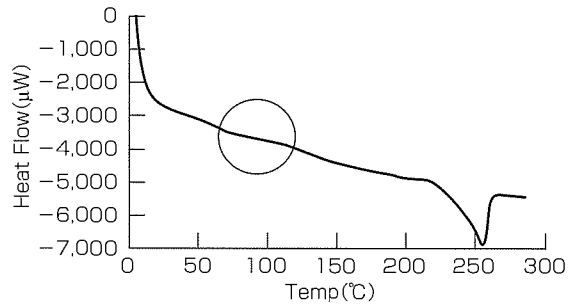
結する要(かなめ)となる部品であり、強度が求められる。また、折り畳みの開閉動作の際に、この部品の内側が摺動(しゅうどう)面になるため、この部分には高い精度が求められる。そこで、図7に示す樹脂流動解析によってゲート配置を適正化し、ヒンジ穴周辺におけるウエルドラインの発生を回避した。材料にPPSを適用し、高精度成形技術によって高強度と高精度を実現している。

図8は携帯電話の意匠筐体である。従来はマグネシウムのダイカスト品が用いられていたが、その代替材としてPAをベースにした高剛性樹脂を適用した例である。この部品は筐体の骨格であり意匠部品でもあるため、高強度と高精度が求められる。そこで、図9に示すように樹脂流動解析によってゲート配置を適正化した。さらに、樹脂成形部品の冷却状況を伝熱解析し、部品形状と金型冷却構造を設計した。高精度成形技術によって樹脂の冷却速度を適正に制御し、結晶化を促進させ、材料物性の確保と部品の寸法安定性を図っている。なお、図10に示すように示差走査熱量分析による結晶化度の測定結果の例を示す。結晶化が進展していない場合は、図10(b)に示すように再結晶化に伴う発熱ピークが現れるが、この部品には図10(a)に示すようにそ

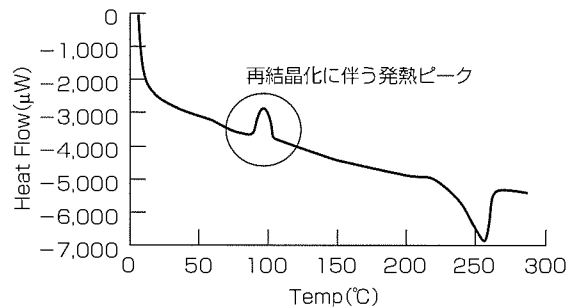


(a) 解析結果 (b) ショートショット成形品

図9. 意匠筐体の流動解析結果



(a) 意匠筐体の結晶化度(完全に結晶化している場合)



(b) 結晶化が進展していない場合の例

図10. 示差走査熱量分析による結晶化度測定結果

のピークは確認されず、完全に結晶化が促進されていることが分かる。

4. む す び

本稿では、ネットシェイプ成形を可能にした高精度成形技術の概要並びにこの技術の当社製品への適用例について述べた。今後もこの成形技術の他製品への適用を図るとともに、新しい高精度成形技術の開発を進めていく。

参 考 文 献

- (1) 岡本 聡, ほか: "D903i"の大画面スライド機薄型化技術, 三菱電機技報, 81, No.2, 137~140 (2007)
- (2) 成形加工におけるプラスチック材料, プラスチック成形加工学会編 (1998)

高周波モジュールの検査技術

大野一人*
金塚憲彦*
高山智生*

Testing Systems for Radio Frequency Modules

Kazuto Ohno, Norihiko Kanazuka, Tomoo Takayama

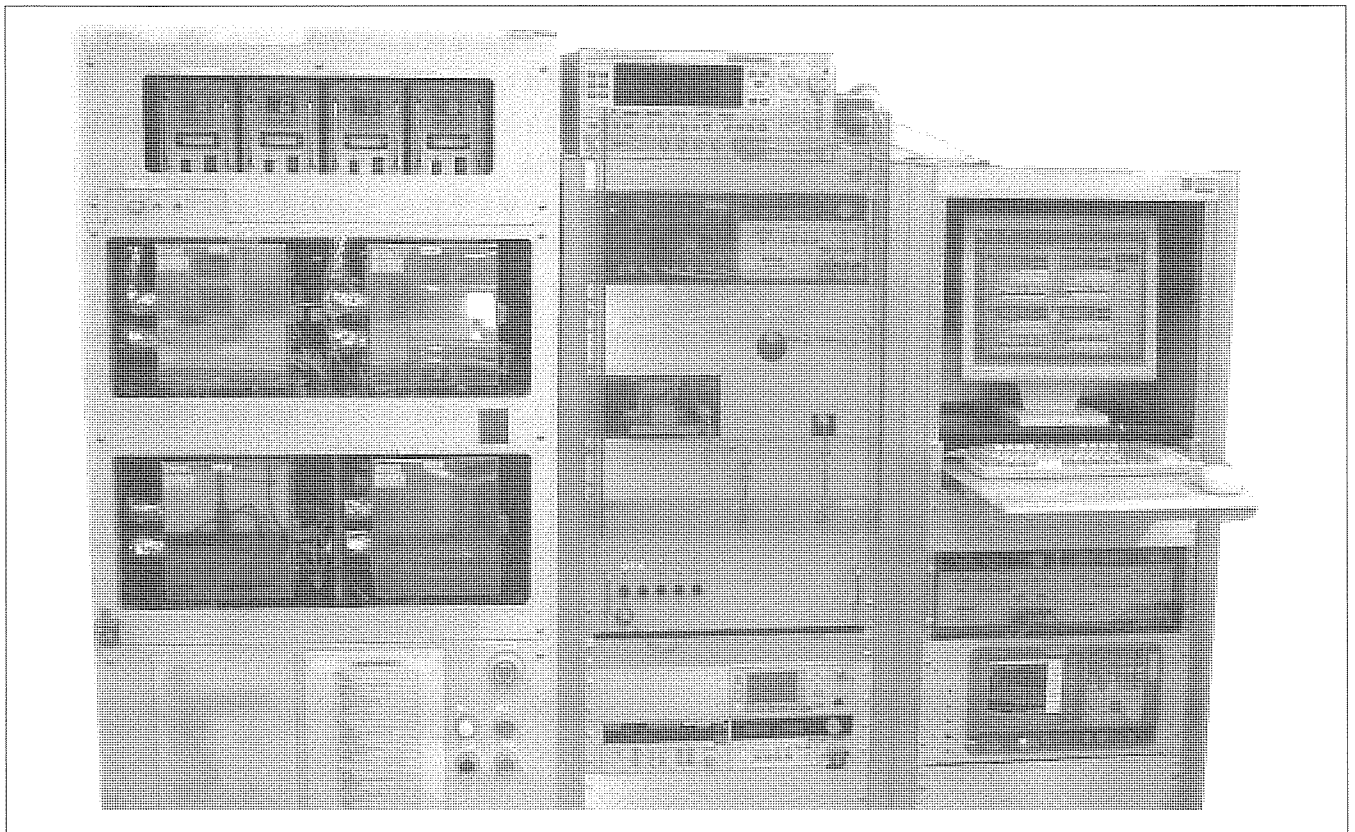
要旨

三菱電機では、マイクロ波、ミリ波の高周波製品を製造している。これらの製品は、高性能・高信頼性が要求され、これを満足させるためには、熟練した作業者の技能を要する長時間の調整が必要となる。また、広い温度範囲での性能を保証するため、高温・低温での温度依存性検査が必要であることから、膨大な調整工程と検査時間がネックとなり、低価格で大量生産することは困難であることが多い。

これらに対して、熟練した作業者の技能に頼っていた調整工程を、新規開発した装置を導入することで、技能を必要としない簡素な作業で、従来よりも高速かつ安定した調

整を実現できるようにした。さらに、検査工程では、温度依存性検査の変温時間を考慮して、計測器1構成に対して小型化した複数の恒温槽を接続して切り替えながら測定する集合恒温槽を開発し、検査効率の大幅な向上を実現した。また、市販装置では高価であったターゲットシミュレータを必要性能に限定して自社開発することで低コスト化を実現し、設備投資の抑制を図った。

今後も、高効率の検査方式の開発を進め、マイクロ波、ミリ波の高周波製品をより低価格で大量に供給できる体制を確立していく。



高周波製品用の温度依存性検査装置

新規開発した小型恒温槽と自動導波管切替スイッチで実現した集合恒温槽及び自社開発したターゲットシミュレータを適用して温度依存性検査装置を構築した。

1. ま え が き

当社は、数多くのマイクロ波やミリ波の通信装置や電波応用装置を製造している。これらの製品は、高性能・高信頼性が要求され、これを満足させるためには、単に購入部品をアセンブリするだけではなく、熟練技能を要する長時間の調整が必要となる。また、広い温度範囲での性能を保証するため、高温・低温での温度依存性検査が必要であることから、膨大な調整工程と検査時間がネックとなり、低価格で大量生産することは困難であることが多い。

このような高周波製品の調整・検査工程の現状を踏まえ、熟練技能を必要としない簡素な調整・高効率な検査を実現する技術と、それらを適用した装置の開発に取り組んできた。

本稿では、高周波製品に必要な調整・検査技術に対し、これまで量産に適用した高周波製品の調整・検査装置について述べる。

2. 自動スタブ調整装置

熟練作業者の技能を必要とした調整工程を自動化することで、作業の簡素化を図り、タクトタイムの削減と品質の向上を実現した一例として、自動スタブ^(注1)調整装置について述べる。

自動スタブ調整装置は、樹脂基板上に実装したディスクリートの高周波ICと基板パターンによって形成された電圧制御発振器VCO(Voltage Controlled Oscillator)の発振周波数を、基板パターンのオープンスタブをカットして調整するものである。

従来、この調整工程は、熟練技能者が顕微鏡をのぞきながらカッターを使用して手作業でスタブをカットしていた。必要な発振周波数範囲に調整するには、数十 μm 単位でカットする高度な技能が必要であった。

そこで、カット作業を自動化する図1に示すスタブカッ

(注1) スタブは、高周波回路においてインピーダンスを整合させるために、枝のように追加された回路パターンである。

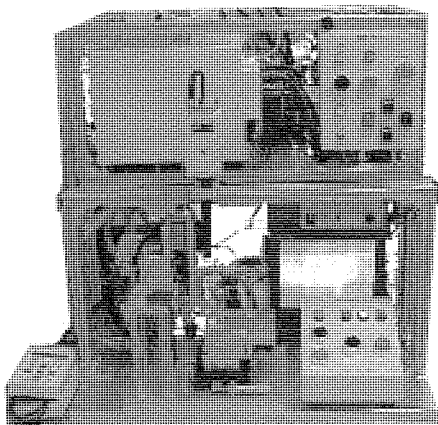


図1. スタブカット装置

ト装置を開発した。自動化にあたっては、まず、カッターによるカット方法の最適化を図った。カッター刃を直線に動かすだけでカット後にスタブ導体パターンが基板から自然剥離(はくり)する最適なカット幅と基板表面から刃先までの深さの範囲を実験的に見出し、カット幅単位を導体パターンが自然剥離する最適値に固定して、カットの繰り返しで目的のカット量を得る方式を採用した。さらに、高価な画像認識装置、センサ等を使用せずに常に刃先が基板表面から最適な深さとなるように制御できる技術を開発した。これによって、これまで高度な熟練技能を必要としたスタブカット作業の自動化を可能とした。

カット量の求め方は、初期の発振周波数を測定し、目標周波数の差からカット量を算出する方式としているが、カット量の超過によって発振周波数が調整規格値から外れる、いわゆる切り過ぎが発生すると、再調整不可能な廃却不良品となるので、カット量の算出には、正確な発振周波数を高精度に安定して測定できる治具が必要となる。これに対し、図2のような摺動(しゅうどう)プローブピンを使用した、簡単な機構でありながら安定した周波数測定が可能な高周波プローブ治具を開発した。この治具の開発にあたっては、プローブをパターンに接触させることで発生する発振周波数の変化を、測定精度に影響を与えないように十分小さくする工夫が必要であった。具体的には、摺動プローブピンは市販品を選定して使用しているが、その性能を十分引き出せるようにするための製品へのコンタクト方法や部品追加などを検討した。このように、高周波製品の特性の測定では、調整・検査装置の影響を受けないように配慮することが重要である。この治具によって、簡便かつ正確な発振周波数の測定が可能となり、自動スタブ調整装置全体の精度向上を図ることができた。

スタブカット装置と高周波プローブ治具とを組み合わせた自動スタブ調整装置の導入によって、従来の熟練者の作業と比較して、調整のタクトと周波数の調整ばらつきをほぼ半減させ、不良率も改善することができた。

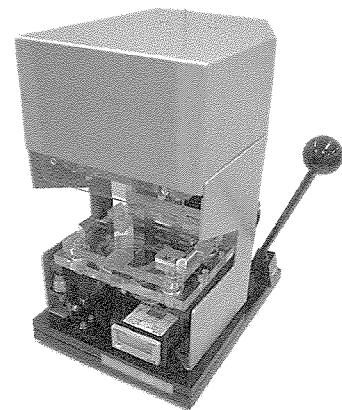


図2. 高周波プローブ治具

3. 小型集合恒温槽

高信頼性を求められる高周波製品では、広い温度範囲での特性保証が要求される。そのため、常温に加えて、低温・高温での特性検査が必要となる。これらの温度依存性検査では、各温度での検査時間に加えて、製品を規定温度に安定させるための変温時間が必要となる。この変温中に特性を測定することはないため、変温時間は検査用の計測器にとっては、計測動作をしていない無駄な時間となる。また、一部の製品では、性能の温度依存性が大きく、各温度での検査だけでなく、補償データの作成も必要であることから、恒温槽には高い温度変化に対する安定性と均熱性も要求された。そのため、変温時間には長い温度安定時間が含まれており、検査の長時間化を招いていた。

検査に必要な計測器1構成を製品1台に接続した従来の検査装置では、この変温時間が存在するため、計測器の稼働率が下がり、検査効率が悪かった。特に、高周波の計測器は高価であるため、このような構成では設備投資もかさみ、製品の低コスト化も困難となる。

そこで、計測器1構成に対して、複数の恒温槽を接続し、変温を完了した製品に切り替えて検査する集合化した検査装置を構築することにした。ここで、各温度での検査時間を T_m 、変温時間を T_d とすると、集合化する恒温槽の数 N は、

$$N \geq T_d / T_m + 1$$

を満足する最小の整数値とすることで、いずれかの製品が常に変温を完了して計測器による検査待ちの状態になり、一つの製品の検査が完了すると、別の製品に計測器を切り替えて検査することで計測器を待機時間なく稼働させながら、1製品あたりの検査時間も最小にすることができる(図3)。

集合化にあたっては、まずは装置規模を抑制するための恒温槽の小型化、計測する槽への信号切替の高速化、さらに高周波製品に発生しやすい測定槽以外の製品との信号の干渉によるノイズの低減が課題となる。

これらに対して、専用装置構築の利点を生かし、製品の形状に適合したプレートに接触させて、加熱・冷却する方式とすることで小型化を図り、かつ変温時間を常温から低

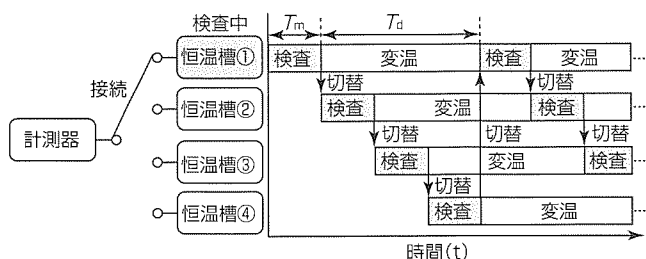


図3. 集合化した場合の検査タイムチャート

温への降温、常温から高温への昇温、ともに大幅な高速化を図った図4のような小型恒温槽を開発した。

さらに、この製品では、送信・受信信号を導波管で伝送しており、集合化するためには、導波路を高速に切り替えられる導波管切替スイッチが必要であった。市販品として、例えば、ロータリー式の導波管切替スイッチが存在するが、一つのスイッチで切り替えられる経路数に制限があり、切替チャンネル数が多い場合、多数のロータリースイッチを組み合わせて使用することが必要になり、装置の複雑化・大型化を招く。そこで、図5に示すような1台で多数の導波管経路を切り替えられる自動の直動式導波管切替スイッチを開発した。開発にあたっては、各槽の製品の信号間や、製品の送信・受信チャンネル間が干渉しないようにするため、検査設備にも高いアイソレーションが要求された。今回開発した導波管切替スイッチは、導波管の加工精度や対向する二つの導波管の位置決め精度を入念に検討して、固定導波管と可動導波管の構造を最適化することによって、高いチャンネル間アイソレーションと切り替えの繰返し再現性を確保できた。また、スイッチがコンパクトであるため経路が短くなり、スイッチでの信号の減衰を低く抑えることも可能となった。

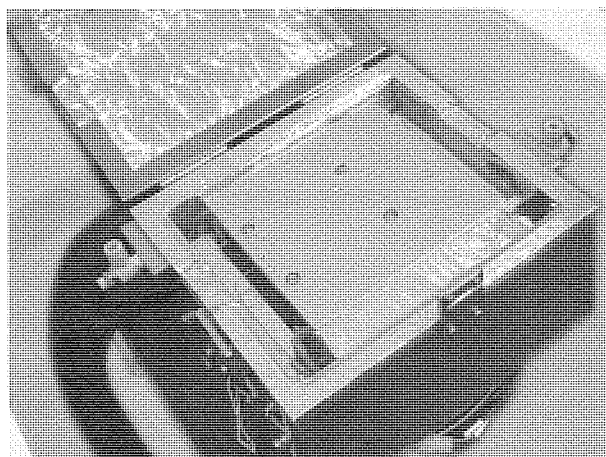


図4. 小型恒温槽

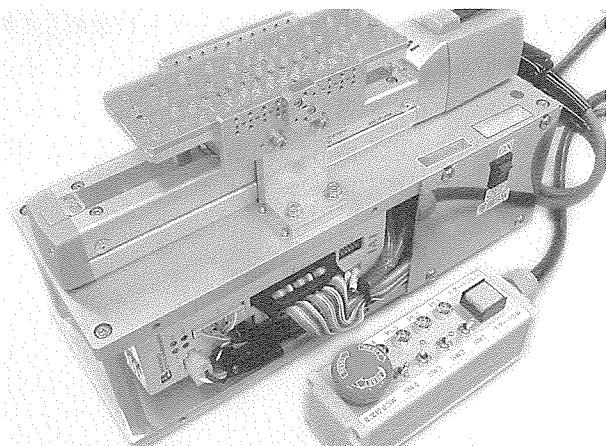


図5. 直動式導波管切替スイッチ

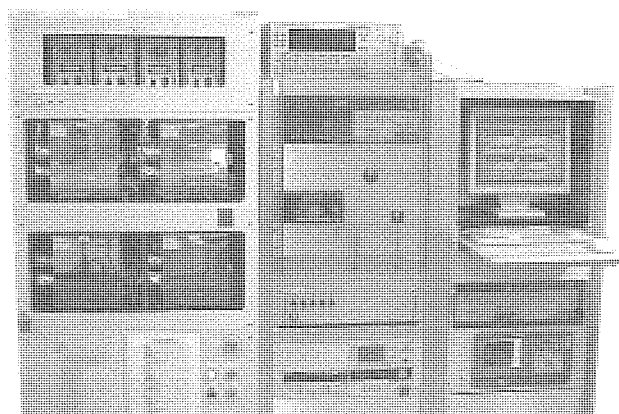


図 6. 温度依存性検査装置

開発した小型恒温槽と導波管切替スイッチを集合恒温槽に適用することで、従来にない大幅な小型化と高効率化を図った温度依存性検査装置を実現した(図 6)。

また、集合恒温槽化を図るためには、これら構成装置の開発だけでなく、ノイズの少ない電氣的にクリーンな環境を構築するために、外部ノイズの混入対策とノイズ発生の少ない構成機器を選定することも重要であった。

4. ターゲットシミュレータ

必要機能に限定した専用装置を開発して適用することで、検査装置の投資抑制を図った例として、レーダ製品用に開発したターゲットシミュレータについて述べる。ターゲットシミュレータとは、レーダ製品の検査で製品が発する送信信号が目標物に反射して戻ってくる信号を模擬する装置であり、送受信の総合特性を検査するために必要な装置である。ターゲットシミュレータを使用しない場合、実際にフィールドでの検査が必要となるため、効率のよい検査を実施するためにターゲットシミュレータは不可欠な装置である。

近年、製品によっては、ターゲットシミュレータの市販装置が存在するが、必ずしも製品の検査に必要な機能を備えているものではなく、製品の用途も特殊であることが多いため、一般的には、製品に合わせた専用装置を製作することになる。このような場合、装置メーカーに依頼して製作すると、カスタム対応となり、非常に高価となる。そこで、対象製品の検査に最適な専用のターゲットシミュレータを当社の高周波技術を活用して独自に開発することで低コストに装置を製作し、設備投資の抑制を図った。

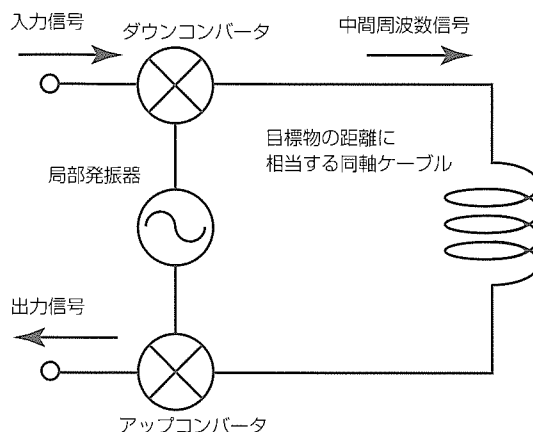


図 7. ターゲットシミュレータの構成

今回開発したターゲットシミュレータは、入力であるレーダ製品が発する送信信号を装置に入力すると、まず、入力信号をミキサによってダウンコンバートして中間周波数信号に変換し、中間周波数信号を同軸ケーブルで目標物の距離に相当する信号の遅延を発生させてから、再びミキサによってアップコンバートして装置から出力し、製品の受信信号として入力する装置である(図 7)。模擬できる目標物は距離固定で一つ、相対速度も設定しないもので、装置として最も単純なものである。

装置構成部品の中で、市販品では安価に要求性能が満たせる部品の入手が困難であったミキサに関しては、自社で設計・開発、製作・調整までを行った。このように自社で装置を開発・製作することで製品に必要な性能を満足でき、かつ、市販のものと比較して低コストの装置を実現して設備投資も抑制した。さらに、自社開発したことによって、メンテナンスもすべて社内ですべて迅速に対応することができる。

5. む す び

高周波製品では、複雑で膨大な調整・検査工程が必要であり、従来は低価格で大量生産することは困難であった。これに対して、調整の自動化と検査の高効率化のために必要な検査要素技術を自社開発し、これを装置として実現することによって、低コストで高効率な調整・検査工程を実現してきた。

今後も、投資ミニマム・高効率の検査方式の開発を進め、マイクロ波やミリ波の高周波製品をより低価格で大量に供給できる体制を確立していく。

電子機器試験工程の生産性改善

山田尚道*
白石忠道*

Test Technology in Production Process

Naomichi Yamada, Tadamichi Shiraiishi

要旨

近年、電子機器の高機能化・複雑化が進み、量産ラインの試験検査工程で、試験項目の増加や計測精度の確保のため、試験の長時間化、試験設備費増大などの問題が発生している。このため、品質を維持・向上させつつ、試験の高効率化が求められており、この課題に対する解決策として、次の取り組みを行っている。

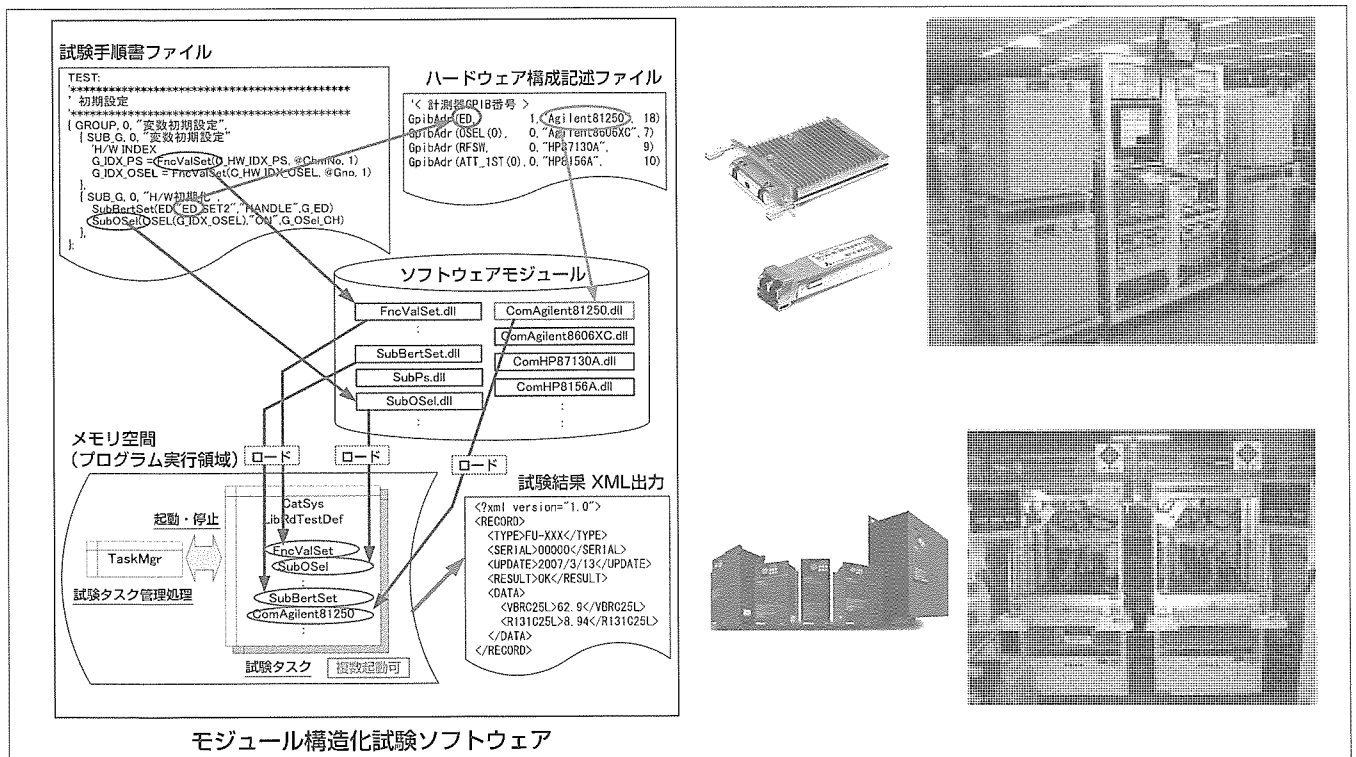
- (1) 試験設備のスループット向上
- (2) 試験ソフトウェアのモジュール化・ツール化推進
- (3) IE (Industrial Engineering) 手法を活用した最適試験ライン設計・構築

具体的な取り組みとして、光通信におけるキーデバイスである光送受信器の生産性改善に対し、三菱電機が開発したモジュール構造化試験ソフトウェアによる並列試験を適用した自動試験システムを下図に示す。このシステムでは、試験手順の作成とプログラム開発とが分離可能となっており、さらにマルチタスク処理によって並列処理化が容易で

あることから、専門のプログラマを介することなく、試験技術者自身で並列試験システムを構築可能とした。この結果、小型恒温槽の導入と合わせて、試験設備のスループットは、従来と比較して約50%向上した。

また、当社のFA機器の一つである汎用インバータ“FREQROL”の生産性改善として、作業性改善を中心とした最適試験ライン構築の取り組みを行った。この改善では、試験設備の設置スペースの50%削減、作業員一人あたりの試験能力2.4倍化を達成した。

同様の取り組みとして、過去3年間で10品目22種類の試験設備の導入・改善を実施した。モジュール構造化試験ソフトウェアにおけるソフトウェアモジュールの蓄積数は約180個に達し、試験設備の開発リードタイム短縮という効果も得られている。今後、更なる適用領域の拡大を図っていく予定である。



モジュール構造化試験ソフトウェアの動作説明図と試験設備

テキストファイルである“試験手順書ファイル”と“ハードウェア構成記述ファイル”を作成することによって、矢印で示すように記述内容に沿って対応するソフトウェアモジュールが選択され、試験タスクを管理する仕組みによって、メモリ空間へロードされ実行される。右上の写真が光送受信器用試験設備で、右下の写真は汎用インバータ“FREQROL”用試験設備である。

1. ま え が き

近年、電子機器の高機能化・複雑化が進み、量産ラインの試験検査工程で試験時間が長くなり、量産時のネックとなることが、しばしば発生している。試験工程は品質を維持するために不可欠なものであり、品質を低下させずに、いかに効率よく試験を実施し、生産性を向上させるかが大きな課題となっている。この課題に対し、次の3つの取り組みを推進している。

(1) 試験設備のスループット向上

試験設備(特に汎用計測機器類)は高価なものが多く、設備投資を抑えるためには、試験設備の単位時間あたりの試験処理能力(以下“スループット”という。)を向上させる必要がある。この解決策の一つとして、複数の試験項目を同時に並列して実行する方法がある。並列試験化によって、計測機器の稼働率を大幅に向上させることが可能となる。この並列試験化を容易にする仕組みを導入し、適用拡大を推進する。

(2) 試験ソフトウェアのモジュール化・ツール化推進

試験設備で、計測制御、高速通信、良否判定、試験ログ収集、計測データ解析、ネットワーク/データベースアクセスなど、ソフトウェアに実装される機能が多様化している。この試験ソフトウェアには、試験ノウハウ(例えば、計測精度を維持しながら高速計測を実現するための計測機器の制御方法など)が含まれ、個別に開発しては、実行時のロスが大きく、開発期間も長くなる。この試験ソフトウェアをモジュール化し、機能別にツール化することで再利用を可能にし、試験ノウハウの蓄積と有効利用を推進する。

(3) IE手法を活用した最適試験ライン設計

製品・設備・製造現場に精通した上で、製品個々の試験内容に深く踏み込み、製品の特質に合わせて、作業性と試験設備費をバランスさせた最適な試験ライン設計を実施する。

本稿では、当社の主力製品の一つである光送受信器(光→電気、電気→光の変換器)とFA製品の汎用インバータFREQROLを例として、具体的な取り組み内容について述べる。

2. 試験設備のスループット向上と試験ソフトウェアのモジュール化・ツール化推進

2.1 光送受信器試験スループット向上の背景

光通信におけるキーデバイスである光送受信器(図1)は、2000年ごろからデジタル化の流れが加速して、シリアル通信によって光デバイスの状態がモニタできる機能の搭載など、多機能化が進み、試験項目が大幅に増加した。さらに基幹系ネットワークで使用される製品では、高い信頼性が要求されており、全数温度試験を実施している。この

光送受信器の試験では、高価な計測器を使用する必要があり、スループットの向上が不可欠であった。

2.2 生産性改善のねらいと課題

光送受信器の試験項目の例を表1にまとめる。表1で、各試験項目は異なる計測機器を用いており、同時並列に計測を実行することで、試験時間を短縮し、スループットを向上させることが可能である。

しかし実際の試験では、制約条件(例えば受信特性試験は、送信を実行しながら行う必要があるなど)があり、試験内容を熟知した人(以下“試験技術者”という。)が試験手順を作成する必要がある。一方、この制約条件を満たし、並列処理化を実現するためには、試験ソフトウェアが複雑化して専門のプログラマが必要になると同時に、開発の長期間化、メンテナンス性の悪化、試験手順変更の困難化などの問題が発生する。

2.3 解決策

試験技術者が、試験手順をテキスト形式で記述することで、試験ソフトウェアが自動的に構築され、実行できる仕組みを提供する。この際、並列試験化したい部分は、それぞれ別の試験手順として記述し、システム側がそれを同時に処理実行することで並列化を実現する。つまり、シンプルな試験手順書を複数作成すれば、それだけで並列試験が実現できる。このような機能を実現したモジュール構造化試験ソフトウェアを開発した。詳細について次に述べる。

2.4 モジュール構造化試験ソフトウェア

開発したモジュール構造化試験ソフトウェアの構成及び動作原理を図2に示す。試験技術者が、テキストファイルである“試験手順書ファイル”と“ハードウェア構成記述ファイル”を作成すると、矢印で示すように、記述内容に沿って対応するソフトウェアモジュールが選択され、試験タスクを管理する仕組みによって、メモリ空間へロードされ、実行される。この試験ソフトウェアの特徴を下記にまとめる。

(1) 動的リンクの実現

試験手順及びハードウェア構成記述から必要なソフトウェアモジュールを動的にロードする機構を採用した。これ

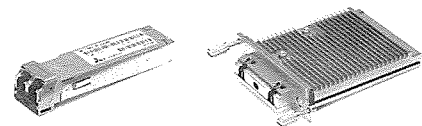


図1. 光送受信器

表1. 光送受信器の試験項目の例

試験項目	計測機器
電源電圧設定	マルチメータ
光パワー測定	光パワーメータ
光波長測定	光スペアナ
エラーフリー確認	ビットエラー測定器
消費電流測定	マルチメータ

によって、新規機能を単純な手続きで組み込み可能とするアドイン化を実現した。この結果、試験手順の作成とプログラム開発とを分離でき、試験技術者による試験ソフトウェアの構築及びハードウェア構成の変更に対する適用力向上(新規計測器の導入は、対応するソフトウェアモジュールを用意することで、その他の処理に影響を与えず実施可能)を実現した。

(2) マルチタスク処理の採用

図2に示す計測・判定を実行する処理である試験タスクを、複数個同時に起動可能とした。この結果、単純な処理である試験タスクを複数用意するだけで、並列試験を実現することが可能となった。この各並列動作タスク間には、タスク間の状態を通知する仕組みを組み込んだ。この結果、専門のプログラマを介することなく、試験技術者自身による並列試験化が可能となった。

(3) 試験結果のXML出力の採用

試験結果をXML(eXtensible Markup Language)形式で出力するように標準化した。このXMLデータに対し、成績書作成、試験結果の集計、特性データ解析ができるツール群を用意し、試験結果の有効活用を推進した。

(4) デバッグ性、メンテナンス性の向上

ソフトウェアモジュールの再利用に加え、試験処理が試験手順書の一行ごとに実行される構造としたことによって、デバッグが容易になり、開発効率が大幅に向上した。これは、他人が開発したプログラムをデバッグするとき、特に有効である。

(5) 試験のノウハウの蓄積

ソフトウェアモジュール自身が試験ノウハウを包含した

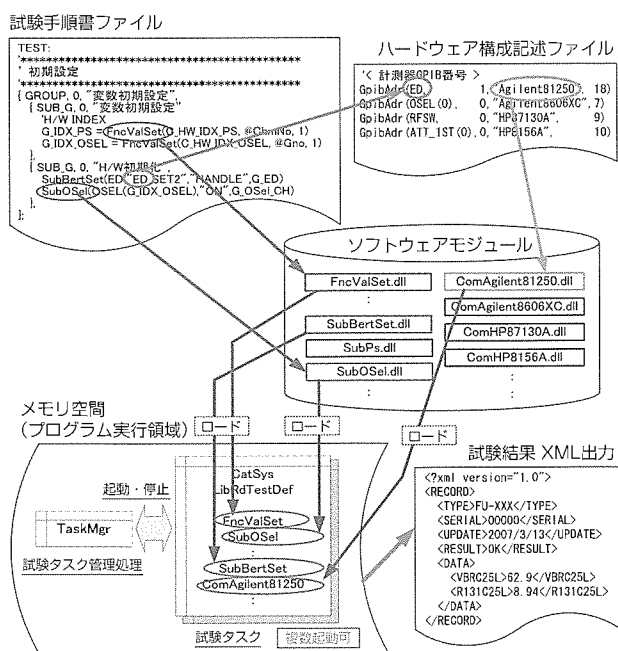


図2. モジュール構造化試験ソフトウェアの構成

ものとなり、処理内容をドキュメント化してソフトウェアモジュールを管理することによって、試験ノウハウの蓄積を実現した。

2.5 導入設備と効果

モジュール構造化試験ソフトウェアを採用した、小型恒温槽を4台配置した集合恒温槽方式の自動試験システム(図3)を開発し導入した。

この設備では、4台の小型恒温槽を採用して温度遷移時間の短縮を図ると同時に、表1に示した試験項目に対し、計測機器を最大限稼働させることに注力した並列試験を実現した。具体的なマルチタスク処理として、表2に示す9つのタスクが同時実行される。

この設備は、4つの恒温槽を持ち、一見、複雑な制御を実行しているように見えるが、個々のタスク処理は単純な制御や計測処理であり、温度条件や試験内容の変更にも柔軟に対応できるものとなっている。この自動試験システムの導入によって、図4に示すように、試験設備のスループットは、従来と比較して約50%向上した。

3. IE手法を活用した最適試験ライン設計

3.1 汎用インバータ試験最適化の背景

汎用インバータFREQROL(図5)は、FA機器として高い信頼性が要求されており、実負荷を用いた動作試験を全数実施している。実負荷試験には、機種ごとの性能に合わせた複数の負荷が必要になるため、試験設備が大型となる。



図3. 光送受信器用自動試験システム

表2. 集合恒温槽方式自動試験システムの同時実行タスクリスト

タスク項目	内容
タスク管理	タスク管理
恒温槽1の制御	温度制御
恒温槽2の制御	温度制御
恒温槽3の制御	温度制御
恒温槽4の制御	温度制御
送信側の試験	光パワー, 波長計測他
受信側の試験1	エラーフリー他
受信側の試験2(電気特性)	消費電流他
GPIB通信	GPIB通信機能

GPIB: General Purpose Interface Bus

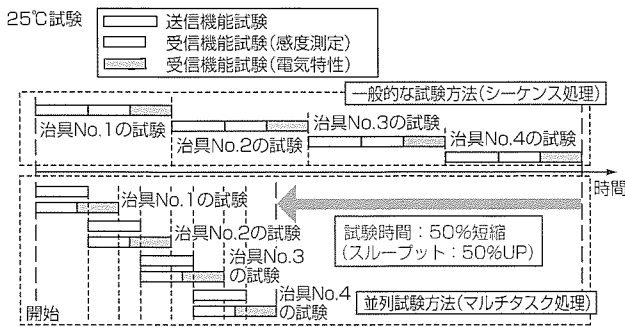


図4. 並列試験の導入効果

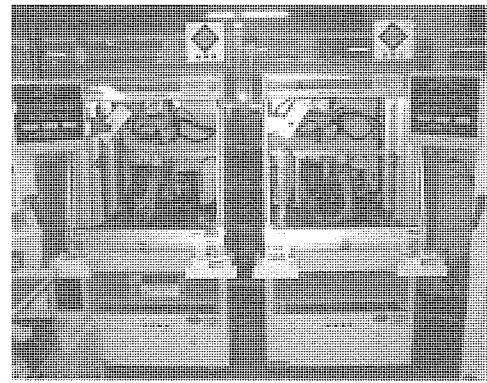


図7. 汎用インバータ複合試験設備

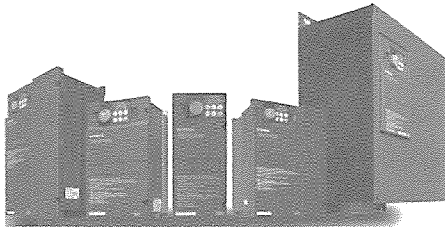


図5. 汎用インバータFREQROL

表3. ソフトウェアモジュール蓄積数

タイプ	個数
計測機器制御	約70
汎用処理	約50
計測処理	約60

この作業ロスを改善し、作業者あたりの試験能力を拡大するには、試験設備を2台設置することが考えられるが、設置面積に制約があり実施できなかった。

3.3 解決策

試験内容の詳細分析の結果、大型の実負荷と安定化電源が必要な試験は、試験時間全体の3分の1程度に集約可能なことが分かった。そこで、図6に示すように、機能試験と耐圧試験を統合した試験機2台をペアとして、安定化電源、実負荷と耐圧テストを共用化した試験設備を開発し導入した。機能試験と耐圧試験の一体化にあたっては、両試験のための接続切り替えが課題となったが、高電圧、高電流を扱うことから、この設備ではコンタクトプローブを用いた接続切替方式を採用した。

3.4 導入設備と効果

開発導入した設備を図7に示す。この試験設備の導入によって、設備費抑制に加え、設備の設置スペース50%削減、作業者一人あたりの試験能力2.4倍化を実現できた。

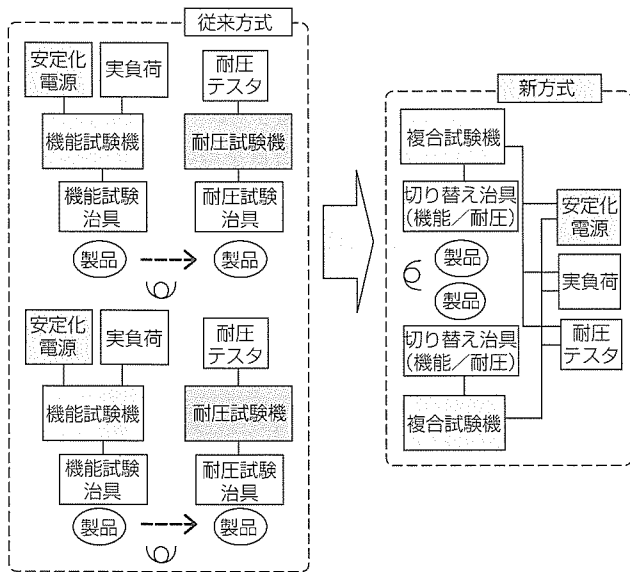


図6. 汎用インバータ試験工程の改善

また、最新の製品は、多機能、かつ、多種多様な外部インターフェースの装備が特長であるが、従来機種に比べ、試験時間が長く、試験時の治具着脱に工数を要するという問題があった。

3.2 ねらいと課題

汎用インバータ組み立て後の試験工程は、耐圧試験と機能試験の2工程があり、それぞれに治具への着脱作業が発生していた。作業性改善に着目すると、試験工程を集約し、治具への着脱を1回にすることが有効であるが、単純な工程集約では、自動試験と作業時間とがアンバランスになり、作業ロスが多くなる。

4. むすび

電子機器試験工程の生産性改善として、3つの取り組みを推進し、過去3年間で10品目22の試験設備の導入・改善を実施している。これまでに蓄積したソフトウェアモジュールは約180個(表3)に達しており、試験設備の開発リードタイム約50%短縮という効果も得られている。

品質の維持・向上がメーカーとしてますます重要となっているが、試験コストの抑制も製品競争力を向上するためには不可欠である。今後も、上記3つの取り組みを推進し試験工程の生産性改善活動を、全社に展開していく所存である。

グローバル生産における生産管理情報の連携性向上

岩田和晃*
黒田 晃*

Cooperation Improvement for Global Production

Kazuaki Iwata, Akira Kuroda

要 旨

三菱電機の事業では中国を中心にアジア地区の需要が拡大している。これに対応するため、海外の消費地近傍に生産工場を設け、増産体制の整備、製品供給力の向上を推進している。

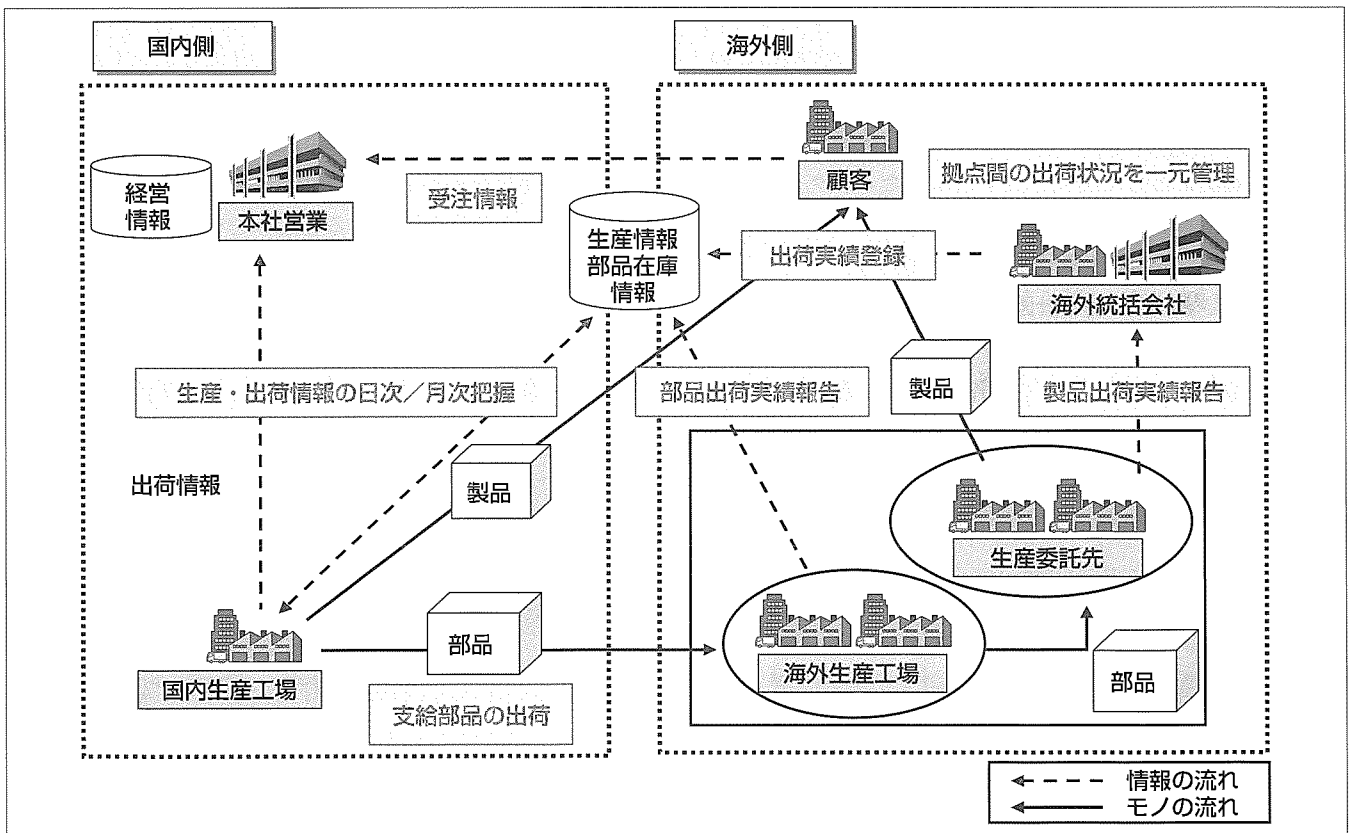
上記生産体制下では、製品力の維持、製品品質の安定化の観点から、製品に組み込む主要部品は引続き、国内マザー工場で生産、又は調達し、海外工場へ供給する形態をとっている。

海外工場における生産台数、生産機種数の増加に伴い、国内マザー工場と海外工場との間でやり取りする生産管理情報も増加し、さらに、近年は国内マザー工場が担当する海外向け部品の生産比率も高まっている。このため両生産工場の生産運営を安定化させるためには、海外工場立ち上

げ当初の小規模生産時の人手に依存した管理・運営では限界がきている。

そこで当社ではITを活用しながら、生産計画、在庫情報及び手配・出荷進捗(しんちよく)といった生産管理情報のタイムリーな集約、各工場間での情報共有化によって、国内と海外との連携性を高め、生産管理にかかわる業務負荷の軽減を図るとともに、情報管理メッシュの見直し、既存生産管理業務との整合性向上といった業務改善も図り、事業運営力の維持・強化を推し進めている。

今回、海外での伸張が著しい自動車電装品、車両機器について、業務の改善と支援ITツールの整備を行い、国内、海外工場の事業強化を図った。



国内・海外工場におけるグローバルオペレーションモデル

海外工場の生産情報をタイムリーに取り込み、国内工場の生産システム(生産指示、出荷指示)へ反映させ、海外での生産を遅欠品なく円滑に行えるよう部品供給を行っていく。

1. ま え が き

中国・東南アジアを中心とした海外成長市場における事業競争力の強化が求められる中、各事業の製品戦略の軸となるキーパーツ部品では、国内マザー工場での供給体制強化が鍵(かぎ)となっている。したがって、従来の海外工場単独の体制強化だけでなく、国内マザー工場を含む事業全体で連携がとれた生産体制の構築が急務となっている。当社ではその一例として、以下を改善ポイントとした業務の改善と、支援ITツールの整備を行い、国内、海外工場の事業強化を図った。

- 海外工場の生産管理情報のタイムリーな把握
- 国内マザー工場の生産システムへの反映と、生産、出荷の優先順位付け

本稿では、自動車電装品、車両機器事業で実施した具体的な施策について述べる。

2. 自動車電装品事業における取り組み

2.1 自動車電装品事業における現状

自動車電装品事業は、海外自動車メーカー対応や国内自動車メーカーのグローバル展開に伴い、海外での需要が増加している。これに対応するため、製品組立てを顧客の近く(海外工場)で行い、組立てに供給する一部の主要部品の加工は技術力のある国内工場で行う生産体制をとっている。

近年、海外工場数の増加、海外工場での組立て機種数の拡大に伴い、国内工場から海外工場へ供給する部品(以下“ロックダウン部品”という。)の出荷管理が複雑化してきた。この課題解決策として補充方式を活用したロックダウン部品用の出荷指示新方式を構築し、海外工場の生産計画変動に追従できる部品供給体制を整備した(図1)。

2.2 海外工場の部品使用計画・在庫数の把握

どのタイミングにいくつのロックダウン部品を出荷すればよいかは海外工場側の部品使用計画、在庫数、及び輸送

中の在庫数を把握していないと的確に判断できない。そこで、海外工場から毎日電子メールで、全ロックダウン部品の下記データを国内工場に自動送信する仕組みを構築した。

- 部品使用計画
- 在庫数(ライン内の仕掛数も含む)
- 入着実績、払出実績

データの形式は全海外工場で統一し、また、受信したデータは自動でデータベースに蓄積し、国内工場の出荷管理担当者が照会できるようにした。なお、輸送中の部品在庫数は国内工場の出荷実績から海外工場の入着実績を引き去ることで求められるようにした。

2.3 補充方式の考え方

海外工場の在庫数と輸送中の在庫数の合計値をロックダウン部品総在庫と定義し、このロックダウン部品総在庫が在庫基準に対して不足したとき、不足分を国内工場から出荷する考えとした。

在庫基準は出荷する週ごとに設け、ラインへ供給できるまでの間の部品使用計画に安全在庫数を加えた値とした。例えば輸送期間が2週間の場合、今週の出荷に対応する在庫基準は3週間までの部品使用計画+安全在庫となる。なお、安全在庫は払出実績の変動(ばらつき)に基づき設定している(図2)。

2.4 国内工場側の出荷計画策定方法の変更

海外工場の部品使用計画が毎週変更されることから、出荷計画を週次サイクルで一括見直しすることにした。

毎週末に海外工場から送信されてきた部品使用計画、在庫数、及び在庫基準をもとに、先行き数週間における毎週の出荷必要数を海外工場単位、部品単位に自動計算し、出荷計画データを自動更新する仕組みを構築した。

なお、出荷計画データには優先度を設け、優先度の高いものから出荷する仕組みにした。例えば、ある海外工場から今週の出荷期限で1,000台の注文を受けていた場合でも、出荷必要数の自動計算で今週は600台の出荷でよいと計算された場合には、600台分を高優先度、残りの400台分を低

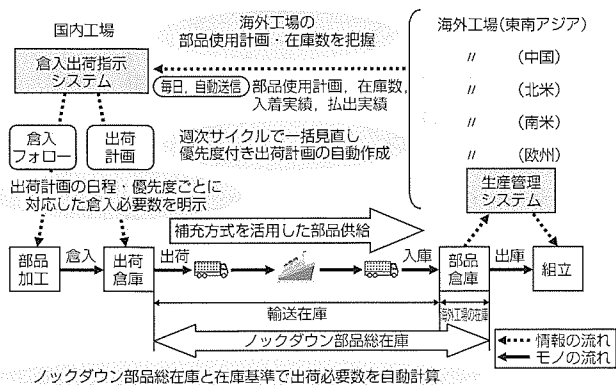


図1. ロックダウン部品出荷指示方式

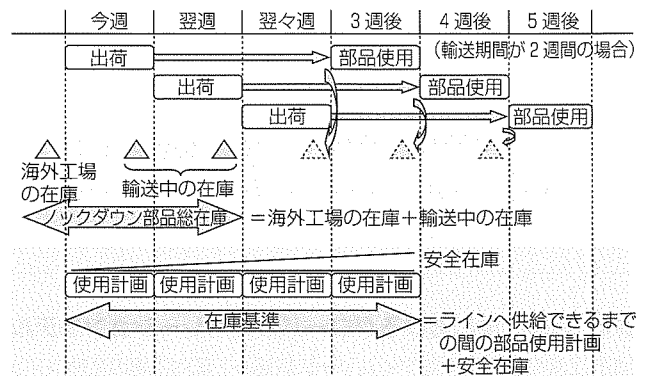


図2. 補充方式の考え方

優先度の出荷計画データとして作成する。また逆に、2週間後出荷期限で1,000台の注文しか受けていない場合でも、出荷必要数の自動計算で今週は300台の出荷が必要と計算された場合には、300台分を高優先度の出荷計画データとして作成する。このように出荷計画データに優先度を設けることによって、どの海外工場への出荷を優先するか、最低いくつ出荷すればよいかを容易に判断することができ、海外工場の生産計画変動に追従できる出荷計画の立案を可能にした。

また、自動作成された出荷計画データは、出荷管理担当者が照会できるようになっており、必要に応じて変更できる仕組みとした。

2.5 ノックダウン部品の倉入フォロー

毎週末に出荷計画を一括見直しする際に、出荷計画に対して在庫がないものでは、国内工場の部品生産部門向けに倉入フォロー表を発行する運用とした。

倉入フォロー表には、出荷計画の日程・優先度ごとに対応した倉入必要数を明示した。これによって、生産部門では、どの部品を優先して生産すればよいか、いつまでにいくつのノックダウン部品を倉入すればよいか明確に分かるようになり、日程計画の調整に活用している。

3. 車両機器事業における取り組み

車両機器事業でも、海外案件の割合が年々増加傾向にあり、当社伊丹製作所を国内マザー工場として各海外工場へ部品を供給しているが、事業形態の特性から、供給するもののレベル(製品/ユニット/部品)や顧客、供給先の関係が多様化しており、納期フォローをはじめとした生産管理業務が複雑化している。

3.1 車両機器事業の特徴

(1) 階層的な商流

車両機器事業では、契約案件・機種ごとに商流が異なる。例えば図3で示すように機種Xは海外のA社、B社という複数の海外工場や生産委託先で加工され、機種Yは別の海外工場や生産委託先で加工され、最終顧客へ納品されると

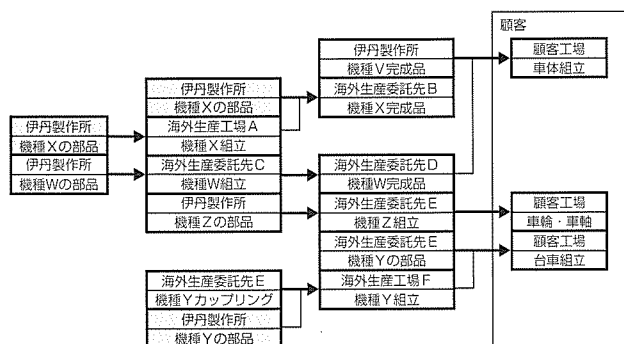


図3. 車両機器事業の商流

いうものである。このため、各生産工場からの生産管理・実績情報の収集負荷は高まり、情報伝達に要する時間も長くなる。

(2) 管理体系

①個別オーダー管理

車両機器事業では、顧客からの受注内容に応じて機器を個別に設計、製作し、納品するケースがほとんどであり、管理上、これら受注内容に対して各生産工場内で工事発令(オーダー発令)を行い、生産活動を遂行する。

従来は工場間で生産管理情報の体系、管理項目に差異があったため、顧客からの納期問い合わせに対して、その受注内容と各生産工場側のオーダーとの紐(ひも)付けに時間を要していた。

②編成単位での出荷

車両機器事業では、図4で示すように車両編成(例えば日本の新幹線では16車両/編成)単位で機器の台数が決められ、また、その単位で出荷されていく。したがって①項の個別オーダー管理に加え、車両編成単位での管理も必要である。

3.2 日程管理項目の定義と管理KEYの整理

国内・海外工場間、さらに各工場内の部門間では、日程計画の体系や管理すべき情報が異なっていたために、計画の種類(大日程、中日程、小日程)に応じて各計画内の管理項目を再定義した。また、国内・海外工場間、各部門で使用している管理KEYの整理と関連付けを行い、顧客の変更要求(納期等)に対して、組織横断的な指示を、負荷少なく迅速に行える運用・体制を現在整備中である。

3.3 出荷状況一覧システムの構築

海外工場の生産計画と国内工場からの出荷計画/実績情報を連携させ、機種・編成単位で進捗状況が確認できる仕組みを構築した。また、国内工場での出荷情報、出港情報、海外工場での受入情報をノックダウン部品単位に紐付けて横並びに表示できる仕組みも導入し(図5)、海外からの進捗状況等の問い合わせに対して迅速な対応を可能とするとともに、進捗管理ポイントで予定に対する進捗アラームを自動表示させ、国内工場へのフォローとアクションをタイムリーに行えるようにした。

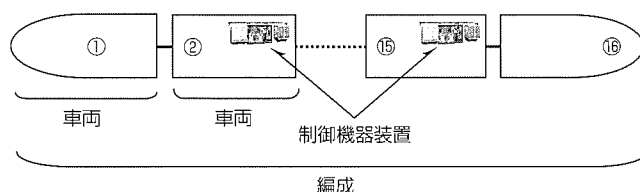


図4. 車両編成ごとの管理

荷渡/出荷情報		拠点：中国 案件：STEP2										日付：2005/5/23					
計画日	実績日	編成番号：#21				客先納期		2006/10/15		編成番号：#22				客先納期		2006/10/25	
2005/5/15	2005/5/15	現地入着期日		2006/6/15		現地入着期日		2006/6/15		出港予定日		2006/5/25		出港予定日		2006/5/25	
2005/5/15	2005/5/15	出港予定日		2006/5/20		出港予定日		2006/5/20		出港予定日		2006/5/25		出港予定日		2006/5/25	
出港情報		出荷			出港日	港到着日 (予定日)	現地情報		荷渡 予定日	出荷		出港日	港到着日 (予定日)	現地情報			
出港日	現地到着日	予定日	実績日	受入日			受入数量	予定日		実績日	受入日			受入数量			
2005/5/20	2005/5/22	A	2005/5/12	2005/5/15	2005/5/14	2005/5/20	2005/5/22	2005/6/20	4	2005/5/15	2005/5/20	2005/5/19					
2005/5/20	2005/5/22	B	2005/5/12	2005/5/15	2005/5/17	2005/5/20	2005/5/22	2005/6/20	8	2005/5/15	2005/5/20	2005/5/20					
2005/5/20	2005/5/22	C	2005/5/12	2005/5/15	2005/5/15	2005/5/20	2005/5/22	2005/6/20	2	2005/5/15	2005/5/20	2005/5/21					
2005/5/20	2005/5/22	D	2005/5/12	2005/5/15	2005/5/18	2005/5/20	2005/5/22	2005/6/20	3	2005/5/15	2005/5/20	2005/5/20					
2005/5/20	2005/5/22	E	2005/5/12	2005/5/15	2005/5/15	2005/5/20	2005/5/22	2005/6/20	3	2005/5/15	2005/5/20						

現地情報	
受入日	受入数量
2005/5/20	4
2005/5/20	8
2005/5/20	2

図5. 出荷状況一覧システム

4. 今後の展開予定

車両機器事業における業務改善例での考え方を今後は昇降機事業へ展開予定である。昇降機事業は、当社稲沢製作所を国内マザー工場とし、現在タイ、中国をはじめとした複数の海外拠点への部品供給を実施している。特に中国新工場の立ち上げに伴い、日本から供給するノックダウン部品が急増する予定であり、昇降機事業でも国内外業務で連携が取れたグローバルオペレーションを実現することが必要となっている。

まずは、海外工場からの注文予測情報に基づいた国内工場のノックダウン部品の手配業務における運用ルールの整備から着手し、ノックダウン部品の生産進捗状況の見える

化、海外工場の手配システムと国内工場のノックダウン部品管理システムとの連携強化へと改善活動を展開していく計画である。

5. むすび

今回、自動車電装品事業及び車両機器事業を対象に、海外工場からの生産管理情報のタイムリーな集約と国内・海外工場間での情報共有化によって連携性を高め、生産管理業務の業務改善を図り、事業運営力の維持・強化を実現した。

今後、昇降機事業をはじめとする当社他事業への展開を図り、国内外事業全体で連携がとれている生産体制の構築を進めていく所存である。

リサイクル工場の 生産性向上と作業環境改善

小林 実* 藪内賀義*
小笠原 忍** 坪井伸之†
織田昌雄***

Improvement of Productivity and Working Environment at Recycling Factory

Minoru Kobayashi, Shinobu Ogasawara, Masao Oda, Kazuyoshi Yabuuchi, Nobuyuki Tsuboi

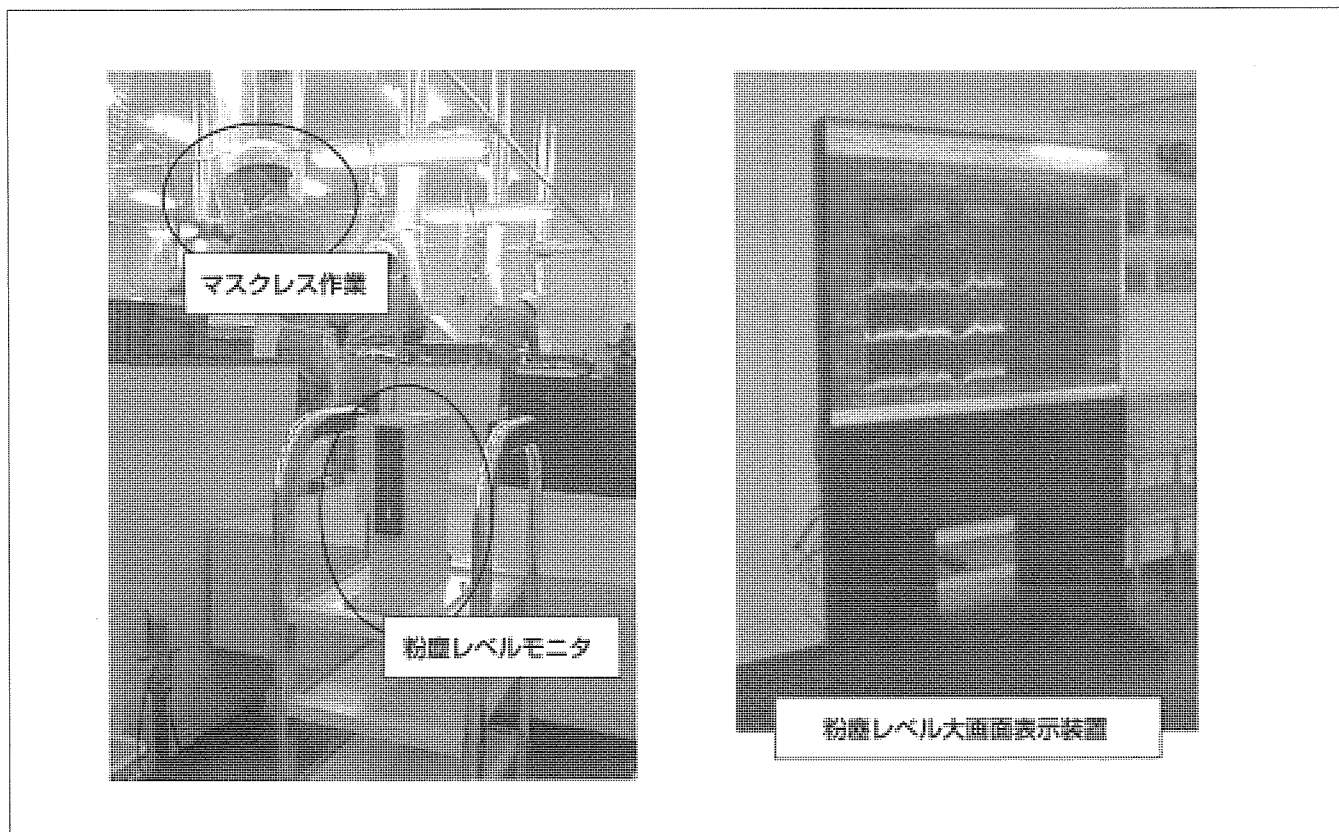
要 旨

三菱電機では家電リサイクル法の施行に先駆け、リサイクルプラントとして㈱ハイパーサイクルシステムズ(以下“HCS”という。)を立ち上げ、1999年4月から業界で初めて操業を開始した。HCSでは冷蔵庫や洗濯機などの大型家電製品に加えてOA機器やパソコンなどのリサイクルも手がけ、創業以来2007年3月までの実績で29万トン以上の処理を行っている。

HCSでは“質の高いリサイクル”を目指し、環境リスク物質の拡散防止に最大限の注意を払うことはもちろんのこと、単なる“使用済み家電品処理工場”ではなく、新たな資源を生み出す“再生素材生産工場”となることを理念として

掲げている。

家電製品は複雑かつ大小様々な部品で構成されており、その処理プロセスは、まず手解体工程で、分類・取り出し可能な特定の部品が取り外された後、破碎選別工程で破碎処理後、材質ごとに回収される。リサイクル事業で生産性を向上するためには、手解体工程での作業性改善と選別工程での効率向上が重要であり、また併せて、暑熱や粉塵(ふんじん)等に曝(さら)される手解体作業職場の環境改善が不可欠である。さらに“質の高いリサイクル”には選別精度の向上が不可欠であり、そのための技術開発が着々と進められている。



手解体ラインの作業環境改善

集塵(しゅうじん)機による風の流れを考慮したライン設計と作業員の配置を行うとともに、発生した粉塵を各箇所測定し、大画面表示で監視・管理を行っている。管理基準は、当社の環境基準値を十分満たすもので、通常の組立て加工と同レベルの作業環境を維持している。

1. ま え が き

家電リサイクル法の施行に先駆け、1999年にリサイクルプラントとして設立されたHCSでは、新たな資源を生み出す“再生素材生産工場”となるよう、“質の高いリサイクル”を目指し、プラスチック・金属等のマテリアルリサイクルが進められている⁽¹⁾。

HCSで取り扱われる家電製品やOA機器は複雑かつ大小様々な部品で構成されているため、まず“手解体”で、再利用部品と有害物・難破碎部品などを分けて取り外される。次にそれらは破碎工程から選別工程を経て、後に高品質の金属類が回収される。プラスチック類はさらに微破碎・選別工程を経てリサイクル材料として再利用される。

リサイクル事業における生産性向上のためには、手解体工程での作業性改善と選別工程での効率向上が重要と考えられ、また併せて暑熱や粉塵等に曝される手解体作業職場の環境改善が不可欠とされている。

さらに質の高いリサイクルを実現するためには選別精度の向上が不可欠であり、そのための技術開発が着々と進められている。

本稿では、循環型社会の構築に向けたリサイクル技術の開発の中で、生産性向上と作業環境改善に関する実施例について述べる。

2. 生産性向上の取り組み

2.1 解体作業効率の改善

手解体工程における部品の取り外しは、本体への取り付けが特殊な場合もあり、作業員はその都度新たな工具を用いての作業を余儀なくされる。これに対して、取り付け形態の分析を行い、共通の工具を考案することによって、作業効率を改善するとともに作業員の負荷緩和を図った。図1には、圧縮機部品取り外しのための解体工具の例を示した。

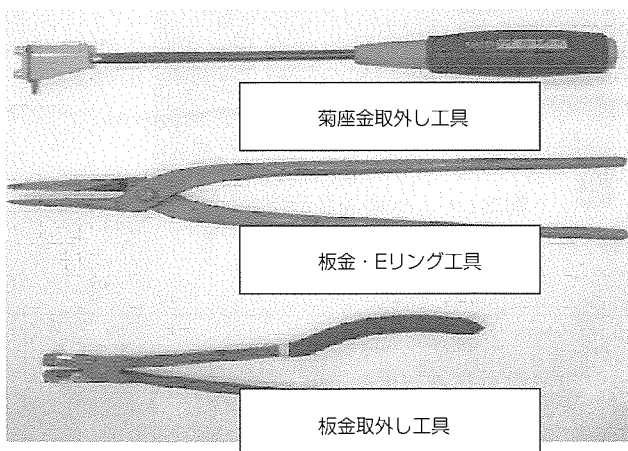


図1. 圧縮機部品取り外し用工具の例

菊座金取り外し工具は軸先端にスナッピングプライヤーのビットを付けたもの、板金・Eリング工具は挟み面を平面にして刻みをつけたもの、板金取り外し工具は挟み部に磁石を取り付けた物である。このように、対象に合わせて複数の既存品を組み合わせ、使いやすい専用工具とした。

2.2 冷媒回収効率の改善

冷蔵庫からの冷媒回収作業では、本体の配管部をピアシングして、そこから負圧に設定された回収タンクに冷媒が吸引される。ここで、回収タンクには複数の冷蔵庫から並列で同時に冷媒回収が行われるが、冷蔵庫ごとに残存量がばらつくため、回収完了時点が明確でなかった。そのため作業員が判断を誤ると冷蔵庫からのフロン回収残りを生ずる恐れがあった。

そこで冷媒回収時の冷媒吸引圧力をビジブル化して、冷蔵庫ごとに回収の作業終了時点を正確に作業員へ明示することを目的に、①ピアシングプライヤー引き口部の圧力と回収タンクの圧力をモニタリングする圧力センサ、②圧力値を表示するパネル、③設定圧力値以下で点灯する検知ランプからなる圧力モニタリングシステムを設置した。ここでは、吸引中の非定常状態の圧力変化を正確に検出するため、吸引部の口金近傍に圧力センサを設置するとともに、圧力変動を抑制するため、大容量の回収タンクを使用している。これによって、作業員は作業終了時点を的確に判断できるようになり、大きく作業効率が向上した。

一方、回収された冷凍機油には、微量ながらフロンが溶け込んでいる。フロン回収率の更なる向上のため、高度回収技術の開発を進めた。図2にはこの冷凍機油中に残存するフロンを回収するための浄油機の外観を示す。これは、貯蔵タンクの冷凍機油を循環ポンプによって減圧雰囲気処理槽中に噴霧状で取り込み、フロンを加熱脱気してガスとして分離し、取り出すものである。これらのプロセスを経ることによって、処理後の冷凍機油は残留塩素濃度を大幅に低下させることができるとともに、冷媒回収量の増加

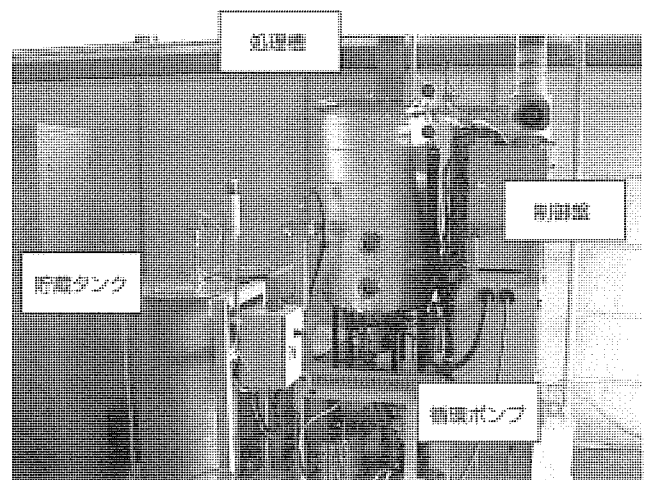


図2. 回収した冷凍機油の浄油機外観

とあいまって燃料としてのリサイクルが可能になった。

2.3 プラスチック選別の高精度化

リサイクル技術の中でも、プラスチックの選別技術の開発では、家電リサイクル事業開始当初から積極的に取り組んでいる。

当社ではプラスチックを回収する対象部品やリサイクル技術の難易度を基に、図3のように“レベル”という用語で分類しており⁽²⁾、レベル2のプラスチックリサイクルを展開しつつ、より技術難易度の高いレベル4の選別技術開発を推進してきている。

レベル2の事例としては、冷蔵庫野菜ケース(ポリプロピレン:PP)、洗濯機水槽(PP)、エアコン室内機クロスフローファン(ガラス繊維強化AS(アクリロニトリル・スチレン)樹脂)などがあり、いずれも当社家電製品に再利用されている。しかし、手解体で回収できるプラスチックは限られており、現状のHCSでは1,000トン/年程度が限界と推定される。これに対し、破碎選別工程から排出されるプラスチック残渣(ごんざ)は10,000トン/年近くにもものぼる。

HCSではこれらのプラスチック残渣を再利用するために“微破碎技術”の開発を行ってきた。

おおむね50mm程度の破碎物であるプラスチック残渣には、金属回収工程では回収しきれない電線や小さな金属片などが含まれる。このプラスチック残渣を再度8mm程度にまで破碎し、乾式比重選別、静電選別によって金属分0.1%以下の高品位混合プラスチックとするものである。

微破碎工程で得られる混合プラスチックのおおよその成分構成を図4に示す⁽³⁾。

当社では、この微破碎技術を基に、プラスチックの種類をより高精度に自動選別するレベル4の選別技術を開発し、約1,000トン/年規模の実証設備によって、本格的な量産化のための検証を進めている。

混合プラスチックの選別フローを図5に示す。湿式サイクロンによって、プラスチックは比重1.0を境に大きく選

別される。比重1.0以下のプラスチックは浮沈選別、異物除去工程を経て、極めて純度の高いPPを回収することができている。一方、比重1.0以上のプラスチックは、高度比重選別によって、比重が同じPS(ポリスチレン)、ABS(アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン)の混合物を回収し、その後、静電選別によってPSとABSとに選別することができる。

これらはいずれも選別対象となる材料固有の物性を最大限利用したもので、独自の選別技術と設備技術の開発によって実現されている。

これまでは、例えば冷蔵庫筐体(きょうたい)のようにプラスチックが発泡ウレタンと接着している構造体からは、手解体によってプラスチックを回収できないため、結果として混合プラスチックとなり、家電製品で再利用できるような質の高いリサイクルは実施できなかった。

しかし、レベル4選別技術を適用することによって、このようなプラスチック製品からでも質の高いリサイクルを実現できる可能性が高まっている。

レベル4選別技術については、実証設備での実績を経て、選別精度を更に高度化するとともに処理量の拡大を計画している。

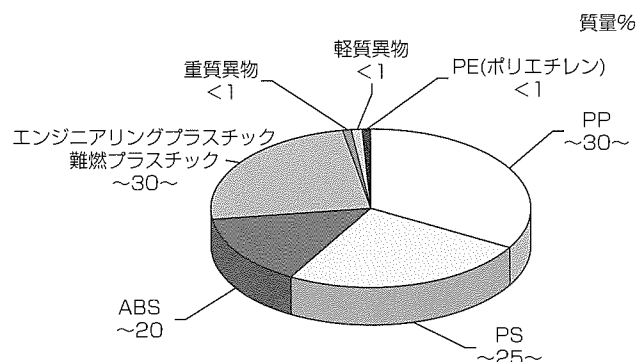


図4. 微破碎プラスチックの成分構成

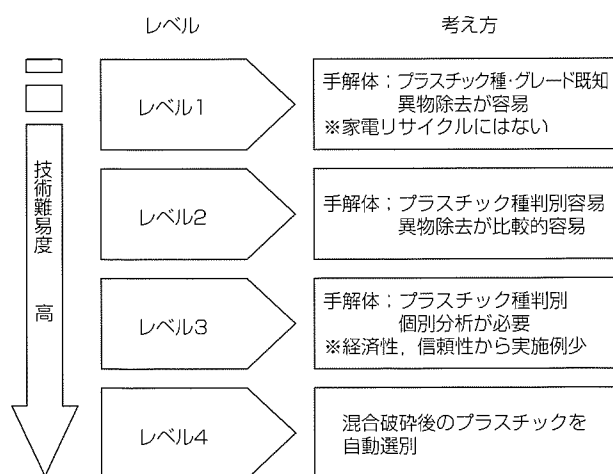


図3. プラスチックリサイクルのレベル分類

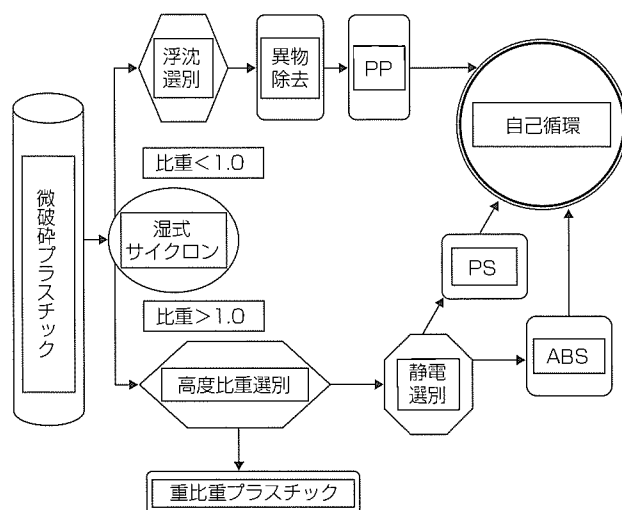


図5. 微破碎プラスチックの選別フロー

3. 作業環境改善への取り組み

リサイクルプラントに回収されてくる使用済み家電製品は、10年以上の間様々な環境で使用されたものであり、長期間に堆積(たいせき)した大量の埃(ほこり)が付着している。この製品を分解処理する際には、この埃などが基となって多量の粉塵(ふんじん)が発生するため、リサイクルプラントの作業員は粉塵マスクを使用しなければならず、また排気装置などによって風通しを確保しなければならぬため、十分な空調ができない環境での作業を余儀なくされていた。

そこでHCSでは、エアブローや吸引による解体前除塵(じょじん)の実施や、循環型除塵装置の導入、気流制御による作業員への直接的な粉塵曝露(ばくろ)の抑制などを進め、一般の組立て工場と同等レベルの作業環境を実現している。

さらに、独自に開発を行った粉塵レベルモニタを設置し、粉塵量を可視化することによって、安全な作業環境の維持に努めている。この装置はセンサ近傍の粉塵数をカウントし逐次発光表示することができるもので、作業環境と集塵設備の維持及び改善目標の設定のために有効に活用されている。これらの環境作りによって空調設備の導入が可能になり、全館空調が実現できた。

明確な意思を持ってマスクレスを実現する取り組みは、全国47箇所の家電リサイクル工場で初めてである。

4. むすび

今後リサイクル技術は、再商品化率向上のための高精度選別技術の開発、処理容量拡大のための生産技術の開発、作業環境の一層の改善が進められるものと考えられる。また、リサイクル技術の進展とあいまって、今後DfE(Design for Environment:環境適合設計)における具体的な対応項目も変化してくると思われる。

循環型社会の構築は製品設計におけるDfEの展開と、リサイクル技術の両輪で推し進めることが不可欠である。

さらに、耐久消費財である家電製品は、DfEによる効果がリサイクル処理に反映されるには10年以上の期間が必要であり、これに耐え得るDfE及びリサイクル技術の向上も必要不可欠である。

参考文献

- (1) ㈱ハイパーサイクルシステムズ ホームページ <http://www.h-rc.co.jp/>
- (2) 品川丈晴, ほか: 家電製品リサイクル最新動向, 電気と工事(2005-6)
- (3) 小笠原忍, ほか: 家電混合破碎プラスチックのリサイクル技術開発, エコデザイン2006アジアパシフィックシンポジウム予稿集, RJ-4(2006-12)

系統変電システム製作所 JIT生産革新活動の推進

清家寿洋*
北島日出夫*
有川真明**

Total Productivity Improvement Based on Just In Time Production of Transmission & Distribution Systems Center
Toshihiro Seike, Hideo Kitajima, Masaaki Arikawa

要旨

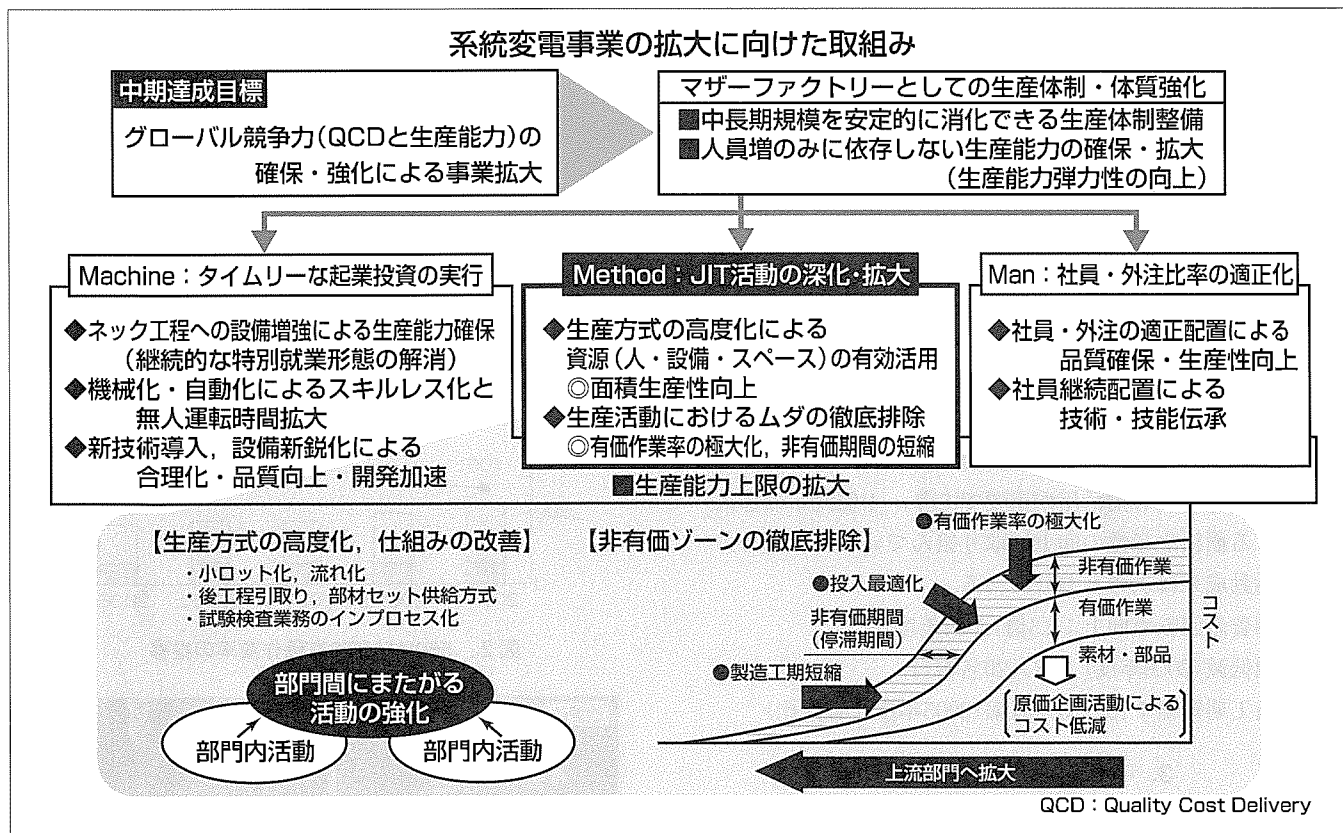
系統変電システム製作所は、三菱電機の系統変電ビジネスを担当する製作所として2005年5月に発足した。厳しい経営環境の中、生産体質強化に向けた諸施策の一つとして、全社展開中であったJIT(ジャスト・イン・タイム)活動を2005年7月から開始した。まず、開閉機器及び変圧器製造部でモデル職場を設定し、JIT活動の基本である“5S・3定”“見える化”を修得した後、全工作品管部門に拡大してきた。

当所の製品は、工場内製造部品・製造工程が多く、受注から出荷までの製造期間が長いという特徴を持っており、あらゆるところにムダが発生しやすい。したがって、活動のポイントは、これらムダの徹底排除と、生産の仕組み改善による資源(人・設備・スペース)の有効活用である。

ムダの徹底排除は、付加価値を生まない非有価作業とモ

ノが停滞している非有価期間を徹底的に排除する活動である。非有価作業の排除(有価作業率の極大化)として、部品運搬作業の削減、移動距離の短縮、準備作業の改善などを実施した。非有価期間の短縮として、日程計画に含まれる余裕日数のミニマム化及び流れ化による製造工期短縮、手配の小ロット化及び工程間/部門間JIT化などによる投入最適化を実施した。生産方式の改善として、1個流し、後工程引取り、部材のセット供給などに取り組んでいる。

当所のJIT活動は、開始から2年が経過し、対象部門の拡大、活動内容の深化によって着実に成果を上げている。2006年度末の棚卸資産回転率は2004年度比で2.5倍の改善を達成した。また、代表機種の製造工期を15~35%短縮することができた。



系統変電事業拡大に向けた生産体制整備とJIT活動の展開

グローバル競争力の確保・強化による系統変電事業の拡大を図るためには、マザーファクトリーとして生産体制・体質を強化する必要がある。Machine(設備能力)、Man(人員規模・構成)、Method(生産方式)について諸改善を推進中である。Methodでは、JIT活動の深化・拡大によるムダの徹底排除、生産の仕組み改善による資源の有効活用に取り組んでいる。

1. ま え が き

系統変電システム製作所は当社の系統変電ビジネスを担当する製作所として2005年5月に発足した。厳しい経営環境の中、生産体質強化に向けて、受注規模の拡大、体格の適正化、体質の強化を図るべくプロジェクト活動をスタートさせた。その一環として、全社展開中であったJIT活動を2005年7月から開始した。

まず、開閉機器及び変圧器製造部にモデル職場を設定し、JIT活動の基礎知識・活動の進め方について修得した後、全工作品管部門に順次拡大してきた。改善内容も“5S・3定”“見える化”による部門内のムダ取りから小ロット化・流れ化、後工程引取り・部材セット供給方式の導入へと部門をまたがる改善・仕組みの改善へと深化してきた。本稿では、JIT活動の取り組みについて、先進部門である開閉機器製造部の改善事例を基に述べる。

2. JIT活動の取り組み

当所のモノ作り力強化における基本理念は、生産規模変動に対応できる生産能力弾力性を向上させることである。生産能力弾力性の向上とは、社員ほか所内リソースを所与として最大生産規模を拡大させることである。

一方、当所の製品は、工場内製造部品・製造工程が多く、受注から出荷までの製造期間が長いという特徴を持っているため、付加価値を生まないムダな作業(非有価作業)、工程内/工程間のモノの停滞(非有価期間)が発生しやすい。

したがって、生産能力弾力性の向上を図るため、次の点をねらいとしてJIT活動を展開している。

- ムダ(非有価作業, 非有価期間)の徹底排除
- 資源(人, 設備, スペース)の有効活用

ムダの徹底排除として“有価作業率の極大化”を推進している。非有価期間の排除としては、日程計画に含まれる余裕日数のミニマム化などによる“製造工期短縮”, 手配の小ロット化及び工程間/部門間JIT化などによる“投入最適化”を推進している。また、大型製品のため、生産規模拡大にはスペースの有効活用が重要であり、1個流しの導入などによる面積生産性の向上に取り組んでいる。これまでの主な活動成果は次のとおりである。

- 棚卸資産回転率向上: 2.5倍(2004年度比)
- 工数低減(2006年度): 省人20名相当
- 製造工期短縮: 15~35%短縮(2005年度改善前比)

3. 有価作業率の極大化

有価作業率の極大化では、対象職場の作業を有価作業と非有価作業に分類し、付加価値を生まないムダな作業を明確にして、その排除のための改善策を検討・実施している。その際、現状を是認しない、制約条件にとらわれないこと

が大きな成果を実現するためのポイントである(図1)。

3.1 組立て工場の有価作業率の極大化

開閉機器組立て工場は他職場に先駆けて活動を開始し、部品のセット供給, レイアウト変更, 治工具製作などによって、550kV MITS(Mitsubishi Information Technology Switchgear)組立てで有価作業率を32%向上(2004年度比)させた(図2)。

(1) 組立て部品自動搬送車(AGV)荷受台の改造

キッティングセンターから組立て工場内への中小部品搬送をAGVで行っているが、荷受台が固定式のため、パレットの載せ降ろしのムダが発生していた。荷受台を移動式に変更し、運搬作業を削減した(図3)。

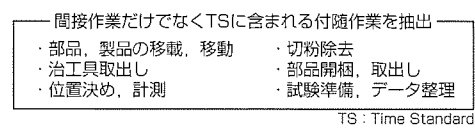
(2) 部品移動距離の短縮・専用台車による供給

550kV MITS油圧ハウジング組立ての部品搬入口を組立てエリア近傍に設置し、部品搬入距離を短縮した。また、専用台車による部品供給方法に変更し組立て時間を5%削減した(図4)。

(3) 部品セット供給方式の導入

550kV MITSの駆動ユニット部品は、従来、パレット上に3相分の部品を混載して組立て工場に供給しており、必要な部品を探すムダが発生していた。専用台車による1相単位のセット供給方式に変更し、さらに部品を袋から出して供給することによって、組立て時間を削減した(図5)。

◆有価作業/非有価作業の分類



◆有価作業率の把握/目標設定

◆非有価作業の徹底排除

- ・部品供給方法改善
 - ・移動距離の短縮
 - ・重複作業の削減
- ★現状を是認しない
★制約条件にとらわれない

図1. 有価作業率極大化のポイント

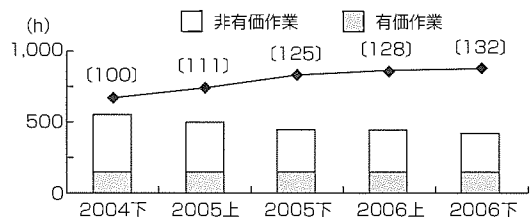


図2. 550kV MITS有価作業率の推移

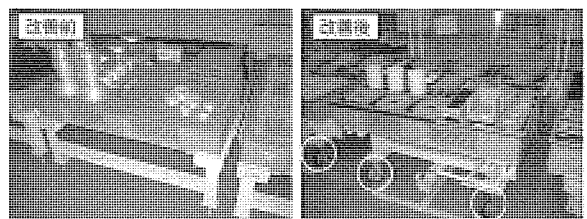


図3. AGV荷受台の改造

(4) 付随作業の排除

ボルトとシールワッシャはキittingセンターから別々に袋詰め、供給され、作業者が組み合わせを行っていた。組み合わせ工具を導入し、キittingセンターで組み合わせ、供給することによって組立て作業者の付随作業を排除した(図6)。

3.2 部品工場の有価作業率の極大化

部品製造工場でも段取り改善、物流改善、治工具の開発などによる有価作業率の極大化を推進している。

(1) 大物アルミフランジの物流改善【機械工場】

大物アルミフランジは、機械加工完了後、酸洗処理のため鍍金(めっき)工場に運搬している。従来は、パレット上に嚙(か)ませ木を間に挟んで積み重ね、バンド緊縛しており、鍍金工場で酸洗処理かごに1個ずつ載せ替える必要があった。酸洗処理かご兼用運搬かごを製作し、運搬作業のムダを排除した(図7)。

(2) 中小絶縁物仕上げ作業の改善【絶縁物工場】

絶縁物工場の仕上げ作業は、当所外注工が担当しており、素人工化、能率向上を目的に次の改善を実施した。

- ①作業ツール(サンダー、専用治工具等)の整備
- ②作業標準整備(写真で視覚的に表現)
- ③セル作業台整備(一人作業台とし、専用工具を整備)
- ④出来高管理(作業日報に実績を記入)

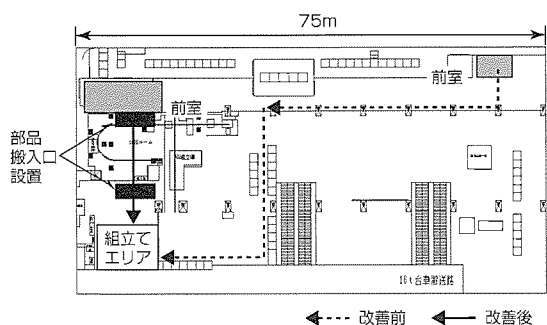


図4. 部品移動距離の短縮

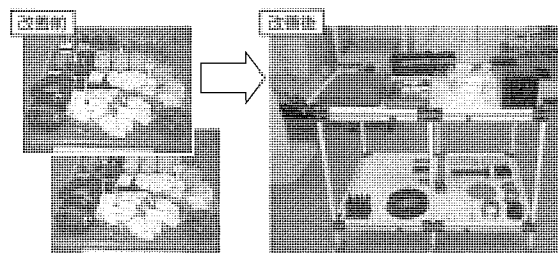


図5. 駆動ユニット部品のセット供給

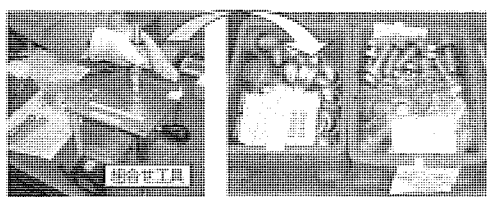


図6. ボルト・シールワッシャ組合せ作業の改善

4. 製造工期(DS)短縮

製造工期(DS)短縮は、図8の改善のサイクルにしたがって推進している。実質DS短縮成果をDSマスターにタイムリーに反映して、常に余裕をミニマム化し、新たな課題が見えるようにすることがポイントである。

4.1 計画日程の余裕のミニマム化

開閉機器部品の小日程は生産管理システム上のDSマスターを基に計算されている。マスターの中には、加工時間と関係ない固定日数(経路間、手順間)があり、板金タンクのような多工程部品は、余裕を持ち過ぎた日程となるため、実力に合わせて経路間固定日数をミニマム化した。これによって550kV MITSの遮断器タンク(3本)の計画日程を約30%短縮した。次ステップとして手順間固定日数のミニマム化を検討中である(図9)。

4.2 1個流しによるDS短縮

組立て工場では、550kV MITSの1相流し、145kV ガス絶縁開閉装置(GIS)の1ユニット流しを実施し、内部組立てから解体までのDSを20%短縮するとともに、生産スペースを63%削減した。420kV GIS(輸出向け)では、試験形態のコンパクト化によって、組立て・試験期間を3日短縮するとともに面積生産性を向上させた。

また、機械工場でも、550kV-MITS油圧部品(代表:排油弁ブロック)の1個流しを実施し、DSを半減するとともに動線距離を80%短縮した。板金工場では、海外調達タンクを対象に組立て単位のセット流し化を実施した(図10)。

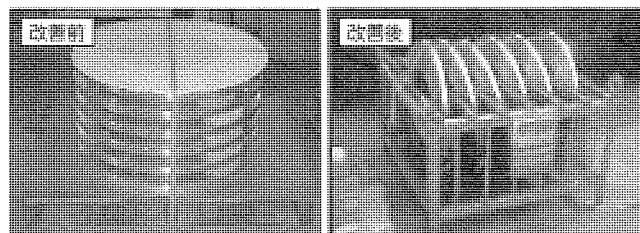


図7. 大物アルミフランジの物流改善

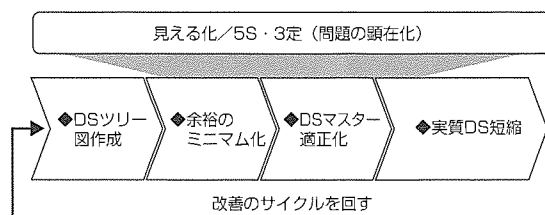


図8. DS短縮の改善のサイクル

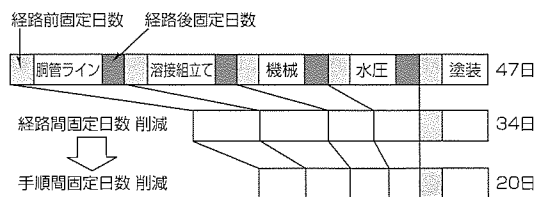


図9. 遮断器タンクの計画日程

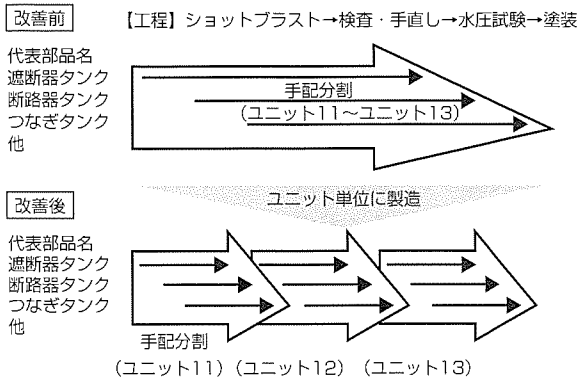


図10. 海外調達タンクのユニット流し

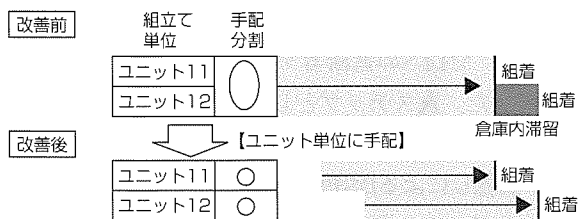


図11. 550kV MITSの手配の小ロット化

5. 投入最適化

投入最適化による仕掛り削減として、手配の小ロット化、工程間／部門間JIT化、素材／部品の投入抑制を推進している。

5.1 手配の小ロット化

手配単位が組立て単位より大きいため、キッティングセンター(K/C)で組立て待ち滞留、仕分け作業が発生していた。また、先頭ユニットの部品完了日に合わせて複数ユニットの部品をまとめて加工するため、中間仕掛りの増加及び日程遵守の阻害要因にもなっていた。

手配単位を小ロット化し、仕分け作業を廃止するとともに、中間仕掛りを削減した(図11)。

5.2 工程間／部門間JIT化

開閉機器は工場内製造部品・製造工程が多いため、中間仕掛りが発生しやすい。そこで、中間仕掛り削減のため、図12に示す改善を実施した。この中から⑤鍍金-絶縁物工場間、⑥絶縁物工場-K/C間の改善事例について述べる。

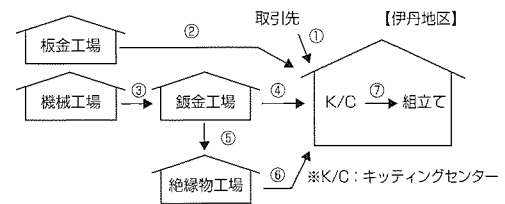
(1) 鍍金-絶縁物工場間での後工程引取り方式の導入

注型絶縁物に埋め込まれる中心導体は、従来、前工程(機械・鍍金)からの押込み生産であった。そのため、注型絶縁物の製造計画とタイミング(数量・時期)が合わず、工場内に着手待ち滞留品が多く発生していた。

絶縁物工場での最大在庫量を3箱(18個)に設定し、1箱単位の後工程引取り方式を導入した。これによって絶縁物工場での滞留量を半減した(図13)。

また、製造ロットを6個と小さくしたため、鍍金工場内仕掛り量も削減できた。

(2) 絶縁物工場からK/Cへのセット供給



工場間	改善事例
① 取引先⇄K/C	ロット組立て部品のセット納入
② 板金⇄K/C	海外調達タンクのユニット流し、供給
③ 機械⇄鍍金	油圧部品の鍍金仕様別セット発送
④ 鍍金⇄K/C	油ポンプ部品の後工程引取り方式
⑤ 鍍金⇄絶縁	注型絶縁物用中心導体の後工程引取り方式
⑥ 絶縁⇄K/C	遮断器用注型絶縁物のセット供給
⑦ K/C⇄組立て	組立て1相/1ユニット流しに対応した部品のセット供給

図12. 後工程引取り／セット供給の拡大

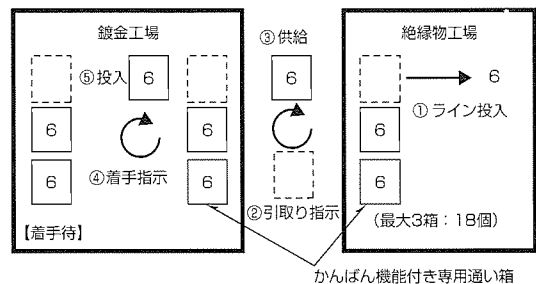


図13. 絶縁-鍍金工場間での後工程引取り方式

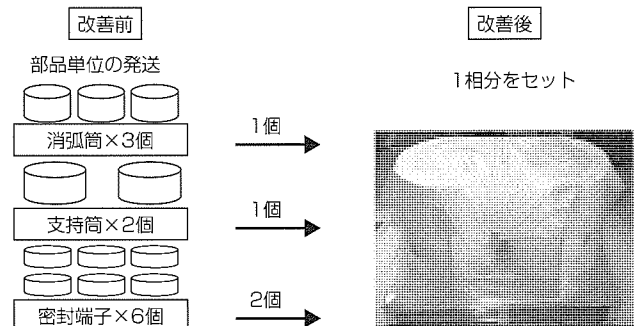


図14. 注型絶縁物のセット供給

550kV MITSの遮断器用注型絶縁物は、従来、部品単位に組立て工場(倉庫)へ発送していた。遮断器1相分を1パレットにセットして発送する方式に改善し、K/Cでの部品供給業務を簡素化した(図14)。

6. むすび

当所のJIT活動は、開始から2年が経過し、対象部門の拡大、活動内容の深化によって着実に成果を上げている。2006年度末の棚卸資産回転率は2004年度比2.5倍の改善を達成した。また、代表機種種の製造工期を15~35%短縮することができ、重電機器を個別受注生産する系電でもJIT活動が生産体質強化に有効であることを再認識した。今後、事業の更なる発展・拡大のために、先進職場をトップランナーにして各部門バランスのとれた改善活動を推進するとともに、上流部門の活動を加速し、更なる深化を図る。

GE-PON装置の生産性向上

Manufacturing and Production for GE-PON Equipment

Jun Murakami, Hiroaki Imamura, Hiromi Iwafuji

要 旨

日本のブロードバンドサービスは、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) に代わりFTTH (Fiber To The Home) が新たな牽引(けんいん)役を担っている。

FTTHサービスの契約者数は、四半期ごとに80万加入以上増加し、2007年3月には880万加入に達した。GE-PON (Gigabit Ethernet-Passive Optical Network) システムは、現在、FTTHサービス用インフラ設備として、国内の主要キャリアに導入されている。FTTHの普及・拡大のためには、特に各家庭に設置されるONU (Optical Network Unit) の量産製造で、①安定品質の確保、②需要変動に対応可能な生産体制、③生産性の向上、が課題である。

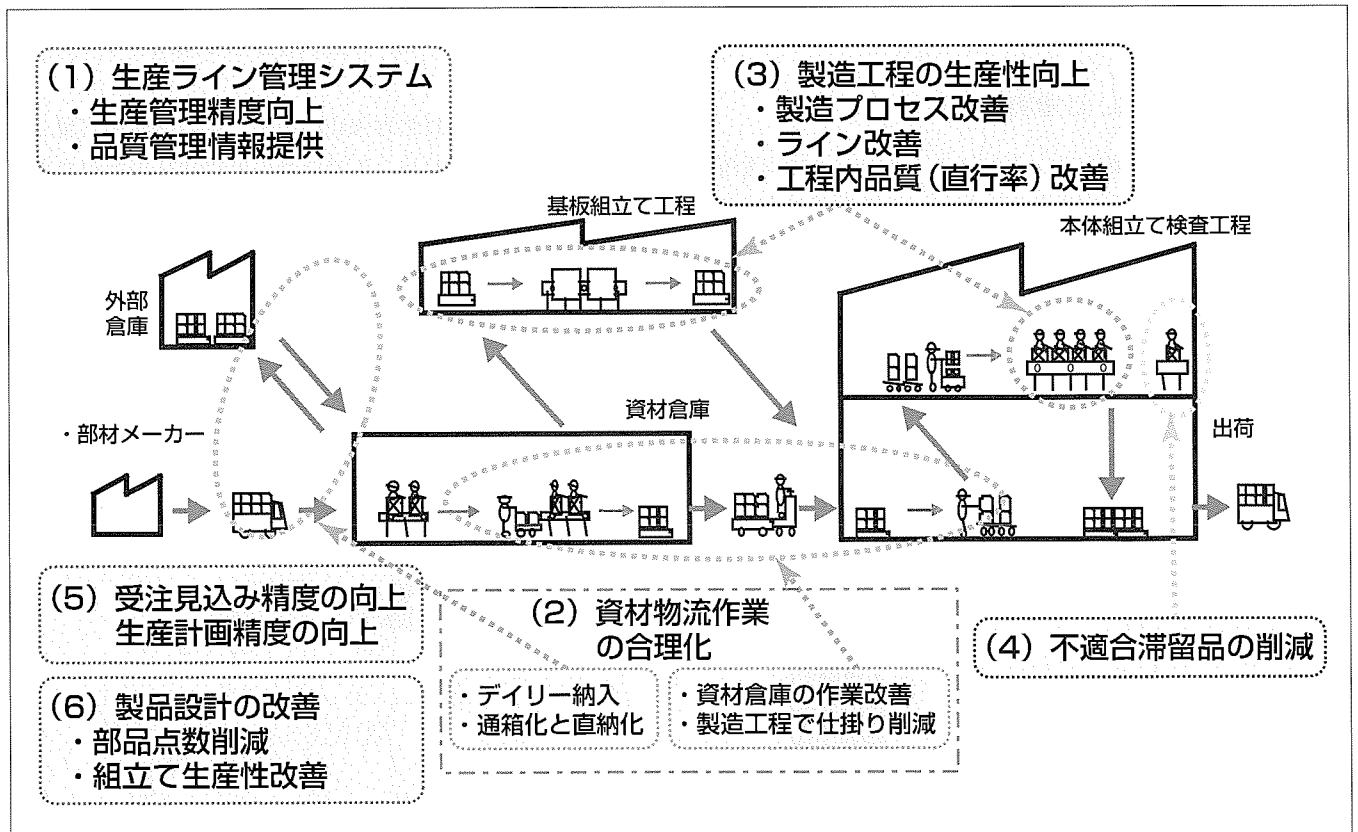
これらの課題解決のために、製造工期短縮や生産性向上活動などの製造を中心とした部分最適化ではなく、活動範囲を拡大して、設計～受注～資材調達～製造～出荷に至る

全体工程の最適化を目指して改善に取り組んだ。

具体的な取組みは次のとおりである。

- (1) 生産ライン管理システムの構築(生産技術部門)
生産管理精度向上、品質管理情報の提供
- (2) 資材物流作業の合理化(資材部門)
- (3) 製造工程の生産性向上(製造部門、品質部門)
製造プロセス/ライン改善、工程内品質改善
- (4) 作業改善による不適合滞留品の削減(品質部門)
- (5) 受注見込み精度、生産計画精度の向上(営業部門)
- (6) 組立て性向上を考慮した製品設計(設計部門)

このように、ジャスト・イン・タイム生産に向けて、関係部門が協力して取り組み、GE-PONの安定品質を確保し、需要変動に対応できる生産体制と生産性の向上を実現した。



GE-PON ONUの生産性改善活動概要

①安定品質の確保、②需要変動に対応可能な生産体制、③生産性の向上を実現するため、設計～受注～資材調達～製造～出荷に至る全体工程の最適化を目指した改善活動が不可欠である。各部門が解決すべき課題に取り組み、最終的に品質向上、需要変動に対応できる生産体制、生産性向上を実現した。

1. ま え が き

GE-PONは、局装置のOLT(Optical Line Terminal)と宅内装置のONUから構成され、光ファイバを用いてインターネットやIP(Internet Protocol)電話のサービスを提供するシステムである(図1)。特にONUは、①安定品質の確保、②市場拡大に追従した量産ライン構築と需要変動への対応、③生産性向上による経済化を達成する必要があった。そこで、GE-PON ONUの生産にあたり、三菱電機が2003年度から展開してきたジャスト・イン・タイム生産を適用し改善活動を開始した。

2. 生産性向上に向けた取り組み

生産規模が大きいGE-PON ONUを安定した品質で生産するためには、管理者が生産と品質の状況を監視し、変動がある場合には早期に製造ラインにフィードバックする仕組みを構築する必要があった。

また、需要変動に対応して安定生産するためには、製造工期を短縮し、仕掛りの少ない生産体制の確立が重要である。全体仕掛りの大半は、資材物流と製造工程間で発生する。この仕掛りを徹底的に削減するために、製造工程だけでなく、設計～受注～資材調達～製造～出荷に至る全工程の最適化が必要である。そこで、受注や調達、品質管理などを含めた、関係全部門の意識向上と改善手法の修得、実践に取り組んだ。

3. 改善実施内容

改善に取り組むにあたり、ジャスト・イン・タイム生産方式の教育と現場診断を繰り返し行い、改善意識の向上と定着を図った。次に主な改善の取り組み事例について述べる。

3.1 生産ライン管理システムの構築

生産管理精度の向上と、品質状況を把握して早期に生産ラインにフィードバックすることを目的に、生産ライン管理システム(図2、以下“管理システム”という。)を構築し、

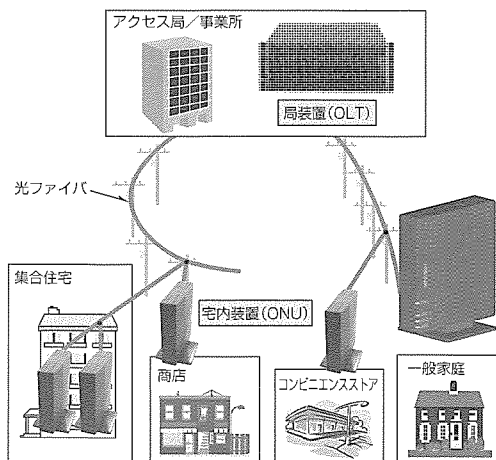


図1. GE-PONシステム

基板組立て工程と本体組立て検査工程に適用した。

両工程の管理システムは、製造番号をキーに情報をリンクさせることによって、部品のロット番号・製造番号と、製品の製造番号の双方からトレーサビリティ管理を可能とし、①不具合発生時の波及範囲、②原因となったロット、を早期に特定できるようにした。

3.1.1 基板組立て工程の管理システム

基板組立て工程の製造ラインは、数台の表面実装部品自動装着装置(以下自装機)で構成されている。基板製造番号から搭載部品のロット番号を特定し、逆に部品ロット番号から搭載した基板製造番号を特定する双方向のトレーサビリティを実現するためには、自装機ごとに装着中の基板製造番号と搭載部品のロット番号を記録する必要がある。そこで、次の仕組みを導入した。

- (1) 各自装機にバーコードリーダを設置し、基板製造番号を読み取る。
- (2) 部品リールやトレイ交換時、リール/トレイに貼り付けられた部品ロット番号バーコードを読み取る。
- (3) 基板製造番号と部品ロット番号を管理サーバに記録する。

3.1.2 本体組立て検査工程の管理システム

本体組立て検査工程の製造ラインでは、組立てと検査の各ステージをLAN(Local Area Network)で接続し、ステージごとに設置したバーコードリーダで対象品の製造番号を読み取り、生産情報/自動検査結果を記録する仕組みを構築した。

また、生産/品質管理強化のため、次の機能を実現した。

- (1) 生産/仕掛り状況、不適合品の原因別発生状況を集計する。
- (2) 最終工程である本体組立て/梱包ステージで製造/検査履歴を自動確認し、全工程正常完了を条件に銘板/梱

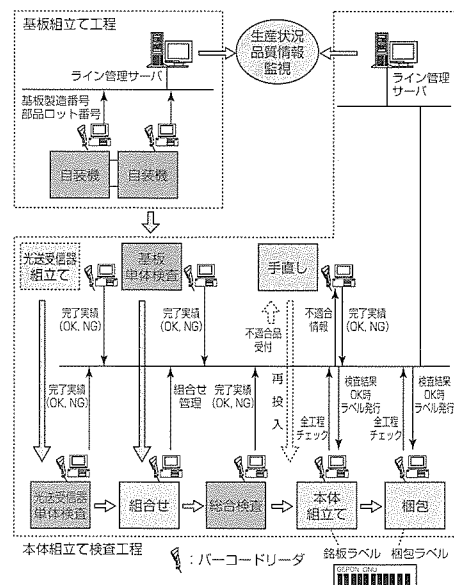


図2. 生産ライン管理システムの概要

包ラベルを発行するようにし、不適合品流出を防止する。

3.2 資材物流の合理化

部材発注単位ごとの一括納入では、仕掛りが増加し、外部倉庫での保管が必要となるなど、物流でのロスが発生する(図3・改善前)。

そこで、部材ごとに物積や納入方法を分析し、モノの移動を簡素化することによって次の改善を図った。

- (1) 成形品などの大型部材のデリー納入
- (2) 通箱によるライン直納，詰替え作業の廃止(図4)

また、資材倉庫内の作業改善と、製造工程での仕掛り削減のため、次の改善を実施した。

- (1) GE-PON用の部品キッティングエリアを独立させ、定位置保管を実現した。
- (2) 製造工程との部材の受渡しにカンバン方式を導入して投入数量を管理し、必要数量のみの供給を実現した。
- (3) 立ち作業化によって移動時間のロスを削減した。

その結果、仕掛り発生箇所の削減、保管スペースの半減、作業人員削減がなされ、図3・改善後に示すようにモノの流れを簡素化して、50%の物流費削減を実現した。

3.3 製造工程の生産性向上

製造工程では、工期短縮と仕掛り削減のため、製造プロセスの簡素化と、本体組立て検査工程の改善を行い、製造工期の25%短縮を実現した。次に生産性向上の取組みについて述べる。

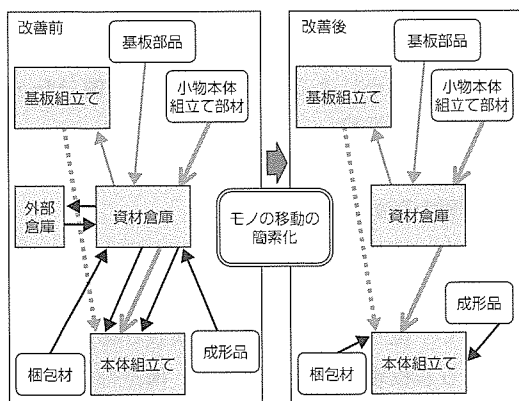


図3. 資材物流の流れ図

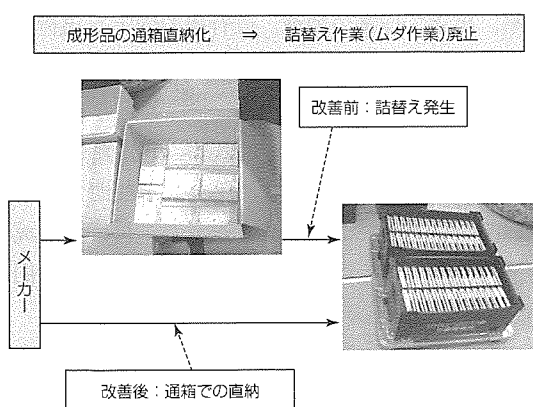


図4. 改善事例：成形品の通箱直納化

3.3.1 製造プロセスの簡素化

工期短縮の取組みとして、基板組立て工程と本体組立て検査工程のムダを洗い出し、工程の統合を実施した(図5)。

- (1) ROM(Read Only Memory)書込みを独立した工程にしていたため、ROM梱包箱の開梱と再梱包作業が発生していたが、書込み作業を基板組立ての前工程としてインライン化することによってムダ作業を廃止した。
- (2) 電子部品の吸湿除去のためのベーキング作業は、開封後の時間と湿度環境を管理することによって廃止した。
- (3) 表面実装部品自装後に別ラインで実施していたコネクタ類のフローはんだ付け工程を、本体組立て検査工程に統合してインライン化し、基板組立て工程のフロー工程を廃止した。

3.3.2 本体組立て検査工程のライン改善

本体組立て検査工程は、①手はんだ付け作業による光送受信器組立て部(前工程，図6)と、②自動検査装置と組立て・梱包ステージによる本体組立て検査部(後工程，図7)とで構成される。各工程の特徴にあわせて現状分析を実施し、モノの流れに着目したムダ取りを推進した。

- (1) 前工程での課題・施策
 - (a) 10台ごとのまとめ生産のため、仕掛りが多く、作業管理メッシュも粗い。作業者ごとにマイペース作業となり、目標作業時間と作業実績の乖離(かいり)が大きい。
 - (b) 前加工、はんだ付けと目視検査の間に多くの仕掛りができるため、不適合の発見が遅れる。
 - (c) ラインバランスが悪く、仕掛りスペースが大きい。
 施策として、作業の手元化などの作業改善、各ステージを連結することによる1個流し化、ファイバ取付けの後工程化を実施した。また、作業者と管理者が進捗(しんちよく)状況を一目で把握できる目標管理板を掲示し、目標達成意識の向上を図った。

その結果、工程内仕掛り・スペースの削減と生産性の25%向上を達成した。

(2) 後工程での課題・施策

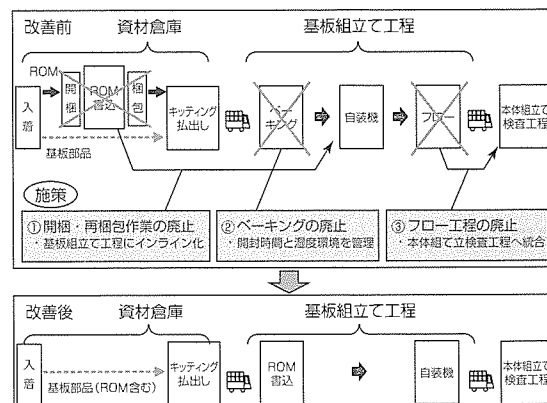


図5. 製造プロセスの簡素化

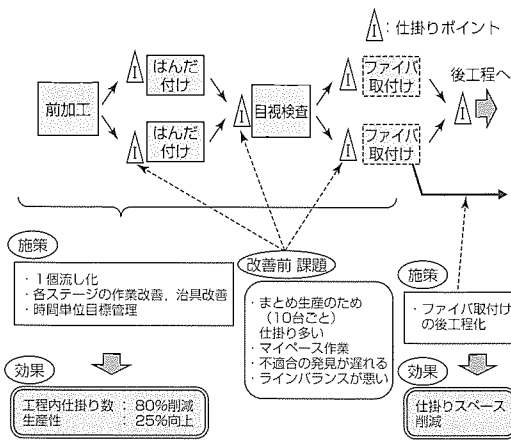


図6. 本体組立て検査工程の前工程ライン改善

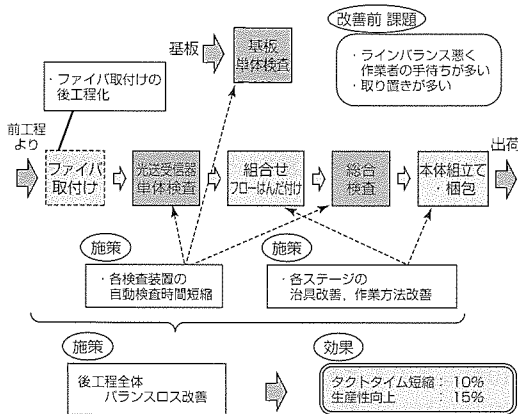


図7. 本体組立て検査工程の後工程ライン改善

- (a) 人手作業の組立て作業ステージと、自動検査装置やフローはんだ付け装置などのマシンタイムに支配されるステージが混在しており、作業者に手待ち時間が発生する。
- (b) 各ステージの作業に取り置きなどのムダが多い。

施策として、検査項目の統合と自動検査プログラムの改善による自動検査時間の短縮、組立て用治具と作業方法の改善、工程全体のバランスロス改善を実施した。また、ライン停止時の復旧時間を改善するために、装置停止後の復旧手順を見直し、マニュアル整備を行った。

その結果、タクトタイムの10%短縮(図8)と生産性の15%向上を達成した。

3.3.3 工程内品質(直行率)の改善

本体組立て検査工程の生産性は、ラインバランスロス以外に、直行率の良否が大きく影響する。そこで、管理システムの情報の活用と毎朝のフォロー会議を行い、日々の生産/品質状況の共有、部品不具合品の要因解析と改善等を継続的に実施した。

具体的な改善実施内容として、

- (1) 部品故障は、メーカーに不具合情報をフィードバック。メーカーと協力して対策完了までフォローする品質改善
- (2) 検査装置のプロブピン接触不良を改善し再検査削減
- (3) 作業ミスの発生原因を分析、作業指導によるミス削減

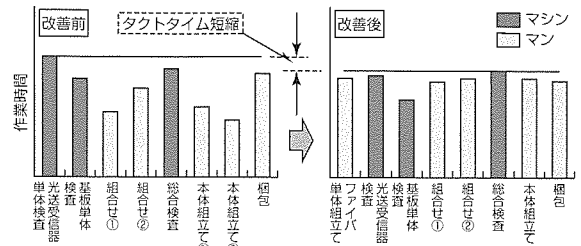


図8. 本体組立て検査工程の後工程 バランスロス改善

などを実施して、安定的に99%以上の直行率を実現した。

3.4 不適合滞留品の削減

量産ラインでは、不適合品の手直し作業の迅速化も重要な課題である。そこで、組立て工程で実施した改善手法を手直し工程にも水平展開し作業を改善した。また、作業者の多能工化、部品交換の傾向を分析し、必要部材の在庫管理による改善を行い、滞留品を1/10に削減した。

3.5 生産計画の精度向上

受注見込みに基づく生産計画に対して、実生産数の変動が大きく、3M(Man, Machine, Material)の確保に負荷がかかっていた。そこで、3か月先の受注見込み適合率を指標として、受注見込みの精度向上に取り組んだ。

客先からの情報(納入実績・客先工事予定など)を定期的に入手して、営業部門で継続的に分析することによって、適合率90%以上を実現し、生産計画の精度が向上できた。その結果、

- (1) 部材メーカーに提示するフォーキャスト精度の向上による調達リードタイムの短縮(Material)
- (2) 生産変動幅縮小による人員(Man)と設備(Machine)の計画的な事前準備が可能となった。

3.6 製品設計の改善

設計部門も、製造/ライン検査部門と協力して工程内品質改善に取り組んだ。また、製造/ライン検査部門の要望を取り入れて、電子部品の点数・種類及びはんだ付け箇所削減による基板組立て工程の改善、構造部材の廃止・統合や、ねじレス化による部品点数の削減、梱包箱の小型化や内箱廃止などによる本体組立て検査の改善を実施した。その結果、組立て作業の削減、直行率の向上、出荷物流の改善と生産性の向上が実現できた。

4. む す び

GE-PONの生産性向上にあたり、製造部門だけでなく関係全部門が協力して改善を繰り返した結果、この成果が得られた。また、この活動を通じて、“改善”に目を向ける風土が定着してきた。

今後は、需要変動や仕様変更など、生産阻害要因の多い機種へ“ジャスト・イン・タイム改善”の適用を拡大し、更なる生産性向上活動を推進する所存である。

三菱電機技報 (2007年 第81巻) 総目次

1号 技術の進歩	4号 「統合プラットフォームと最新のFA機器・産業加工機」	9号 「新時代のカーライフを実現する先進技術」
2号 「進化する携帯電話」 —利用シーンの多様化を支える要素技術—	5号 「新世代パワーデバイス」	10号 「人と環境にやさしい交通システム」 「発電プラントの最新技術と応用展開」
3号 「自然冷媒CO ₂ ヒートポンプ」 「品質・信頼性向上—開発・設計段階での品質・信頼性作りこみ」	6号 「進む環境経営・先端技術とシステム拡充」	11号 「昇降機・ビルシステム」
	7号 「企業・社会の発展を支えるITソリューション」	12号 「生産技術」
	8号 「先端技術が生み出す安全・安心な社会」	

技術の進歩特集

	号	ページ
巻頭言・カラートピックス	1	3
1. 研究・開発	1	39
2. 社会環境・交通システム	1	59
3. 発電・系統変電・産業・電力情報システム	1	64
4. 昇降機及びビル設備	1	69
5. 宇宙・衛星及び電子応用	1	73
6. 通信	1	75
7. 情報	1	79
8. 映像情報	1	87
9. 住環境	1	89
10. FA及び産業メカトロニクス	1	94
11. 自動車機器	1	99
12. 半導体・電子デバイス	1	103
社外技術表彰・詳細目次	1	106

Advance of Technology

Foreword・Colored Topics
Research & Development
Public-use Systems and Transportation Systems
Energy & Industrial Systems
Elevator, Escalator & Facilities for Building
Space Systems and Electronic Systems
Communication
Information Systems and Network Service
Visual Information
Living Environment
Industrial Automation Systems
Automotive Equipment
Semiconductors & Devices
Technological Commendation List from Outside Corporation・Detailed Table of Contents

特集論文

特集「進化する携帯電話—利用シーンの多様化を支える要素技術—」 進化する携帯電話—利用シーンの多様化を支える要素技術— 特集に寄せて	2	119
室田和昭		
進化する携帯電話—利用シーンの多様化を支える要素技術—	2	120
広瀬健二・入野悦郎・佐田耕一		
第三世代携帯電話“FOMA D903i”	2	125
高田政宏		
“D903i”アプリケーション	2	129
井上将志・福井伸一		
“D903i”のデザイン技術	2	133
荒井秀文・山崎 聡		
“D903i”の大画面スライド機薄型化技術	2	137
岡本 聡・栗山一成・坂本博夫・谷口貴也・今泉 賢		
“D903i”の大画面LCD・大画面アプリケーション技術	2	141
中谷英彦・菅原直人・木下真樹・難波隆広		
“D903i”のカメラ・画像処理技術	2	145
幡野喜子・大塚 功・久野徹也・的場成浩・水島達彦		
端末小型化に向けた小型高性能アンテナ技術	2	149
牧野 滋・大塚昌孝・伊東健治・深沢 徹		
W-CDMA用小型切替式電力増幅モジュール	2	153
太田 彰・森脇孝雄・辻 将典		
2画面携帯電話におけるUDの取り組み	2	157
沢田久美子・富森健史・石原 豊		
ワンセグ・映像受信技術	2	161
木野茂徳・中山裕之・浅井光太郎・高橋真哉・田中功一		

Mobile Phone : How Mitsubishi Changes the Technologies—A Wide Variety of Applications by Mobile Communications in Everyday Life—
Foreword to the Special Issue on Mobile Phone Technologies Kazuaki Murota
Mobile Phone : How Mitsubishi Changes the Technologies—A Wide Variety of Applications by Mobile Communications in Everyday Life— Kenji Hirose, Etsuro Irino, Koichi Sada
Third Generation Mobile Phone “FOMA D903i” Masahiro Takada
“D903i” Application Masashi Inoue, Shinichi Fukui
Design Development Technology for “D903i” Hidebumi Arai, Satoshi Yamazaki
Mechanical Technologies for Small-sized Mobile Phone Satoshi Okamoto, Kazumari Kuriyama, Hiroo Sakamoto, Takaya Taniguchi, Masaru Imaizumi
Wide Screen LCD Technologies and Applications for “D903i” Hidehiko Nakatani, Naoto Sugawara, Masaki Kinoshita, Takahiro Nanba
Camera and Image Processing Technology for Mobile Phone “D903i” Yoshiko Hatano, Isao Otsuka, Tetsuya Kuno, Narihito Matoba, Tatsuhiko Mizushima
Antenna Technologies for Reducing Portable Telephone Size Shigeru Makino, Masataka Otsuka, Kenji Ito, Toru Fukasawa
A Switchable Power Amplifier Module for W-CDMA Akira Ohta, Takao Moriwaki, Masanori Tsuji
Universal Design of Double Screen Mobile Phone Kumiko Sawada, Takeshi Tomimori, Yutaka Ishihara
Signal Receiving and Transport Stream Reproduction of Digital Broadcasting on Mobile Phones Shigenori Kino, Hiroyuki Nakayama, Kotaro Asai, Shinya Takahashi, Koichi Tanaka

指操作入力インタフェース技術 2 ...165
川又武典

User Interface Technology by Finger Touches and Tracing Actions
Takenori Kawamata

音声入力インタフェース技術 2 ...169
石井 純・井上将志

Speech Input Interface Technology
Jun Ishii, Masashi Inoue

3G無線ネットワークの高度化に向けた標準化動向及び
3Gパテントプラットフォーム動向 2 ...173
渋谷昭宏・矢野安宏・福井範行・岩根 靖・吉井浩三

Trends in Standardization for Evolution of 3G Telecommunications Network and in 3G Patent Platform
Akihiro Shibuya, Yasuhiro Yano, Noriyuki Fukui, Yasushi Iwane, Kojo Yoshii

特集「自然冷媒CO₂ヒートポンプ」

Heat Pump with Natural Refrigerants

自然冷媒ヒートポンプ特集号に寄せて 3 ...179
片岡 勲

A Preface to the Special Issue on Heat Pump Using Natural Working Fluid
Isao Kataoka

自然冷媒ヒートポンプ技術の現状と展望 3 ...180
田中直樹・古藤 悟・榎本寿彦

Current Status and Future Trends of Heat Pump Technologies with Natural Refrigerant
Naoki Tanaka, Satoru Koto, Toshihiko Enomoto

CO₂冷媒ヒートポンプ給湯機“エコキュート” 3 ...185
岡田哲治

CO₂ Heat Pump Hot Water System “ECOCUTE”
Tetsuji Okada

CO₂ヒートポンプ給湯機用ロータリ圧縮機 3 ...189
前山英明・坂本英司・高橋真一・横山哲英

Rotary Compressor for CO₂ Heat Pump Water Heater
Hideaki Maeyama, Eiji Sakamoto, Shinichi Takahashi, Tetsuhide Yokoyama

CO₂冷媒ロータリ圧縮機ベーン先端部の摩耗抑制技術 3 ...193
中尾英人・高山智生・服部直隆

Wear-Reducing Technologies for Rotary Compressors Using CO₂ Refrigerant
Hideo Nakao, Tomoo Takayama, Naotaka Hattori

CO₂冷媒対応スクロール圧縮機の性能解析 3 ...197
下地美保子・佐々木辰也・松木哲三・矢野賢司・中村利之

Performance Analysis of Scroll Compressors with CO₂ Refrigerant
Mihoko Shimoji, Tatsuya Sasaki, Tetsuzo Matsuki, Kenji Yano, Toshiyuki Nakamura

積層型マイクロチャネル式冷媒-冷媒熱交換器の試作と
性能評価 3 ...201
吉村寿守務・若本慎一・幸田利秀

Prototype and Performance Evaluation of Refrigerant-Refrigerant Microchannel Heat Exchanger
Susumu Yoshimura, Shinichi Wakamoto, Toshihide Kouda

CO₂を用いる冷媒自然循環型冷却機の性能解析と
逆循環防止法 3 ...205
岡崎多佳志・野浪啓司・山田俊成

Performance Analysis and Control Method of the Reverse Circulation of Cooling Systems with Natural-Circulation Loop using CO₂ Refrigerant
Takashi Okazaki, Keiji Nonami, Toshinari Yamada

特集「品質・信頼性向上-開発・設計段階での品質・信頼性作りこみ」

Improvement of Quality and Reliability from Development and Design Stage

品質・信頼性向上技術において見過ごされていること 3 ...209
村上敬宜

Factors Ignored in Engineering for Quality and Reliability
Yukitaka Murakami

品質・信頼性向上に向けた取り組み 3 ...210
藤山孝次・山田直志

Activities of Quality and Reliability Improvement, Including Built-in Quality from Development and Design Stage
Takashi Fujiyama, Naoshi Yamada

新型直交軸ギヤードモータ“スーパーヘリクロス”の
ロバスト設計 3 ...215
鶴田明三・濱走和人・村井正俊

Robust Design of New-type Orthogonal Axis Geared Motor “Super-Helicross”
Hirozoh Tsuruta, Kazuto Hamabashiri, Masatoshi Murai

品質工学とシミュレーションの融合による
新形スクルー圧縮機“MS-E”のロバスト設計 3 ...219
白石聡一・春名一志・清水映吾・中西 武・小原和世

Robust Design of Single Screw Compressor “MS-E” Using Taguchi Method and CAE
Soichi Shiraiishi, Kazushi Haruna, Eigo Shimizu, Takeshi Nakanishi, Kazuyo Obara

静電気ノイズに対する機器信頼性設計技術 3 ...223
村田雄一郎・築島千尋・西沢昭則・高橋啓介

Reliable Equipment Design for Electro-Static Discharge Noise
Yuichiro Murata, Chihiro Tukishima, Akinori Nishizawa, Keisuke Takahashi

人工衛星搭載機構要素の潤滑評価技術 3 ...227
三好淳之・田中直也・春名正樹・川村俊一

Lubrication Evaluation Technology for Satellite Onboard Equipments
Atsushi Miyoshi, Naoya Tanaka, Masaki Haruna, Shunichi Kawanuma

パッケージの気密信頼性評価技術 3 ...231
衣川 勝・黒川博志・高木晋一・川田浩司

Evaluation Technology of Airtight Packages
Masaru Kinugawa, Hiroshi Kurokawa, Shinichi Takagi, Hiroshi Kawata

特集「統合プラットフォームと最新のFA機器・産業加工機」

Integrated Platform and Latest Factory Automation(FA) Devices/Mechatronics

“ものづくり”の現場要求にこたえるFA統合ソリューション 4 ...237
杉山 彰

FA Integrated Platform for the Improvement of “Monozukuri”
Akira Sugiyama

FA機器, メカトロニクス製品の開発動向 4 ...238
田中健一・古藤 悟

R&D Activities Related to Factory-Automation and Mechatronics Equipment
Kenichi Tanaka, Satoru Koto

FA統合ソリューション“e-F@ctory”と“iQ Platform” 4 ...243
斎藤公美雄・三田善郁・吉川 勉・二瓶貴行

Factory Automation Integrated Solution “e-F@ctory” and “iQ Platform”
Kimio Saito, Yoshifumi Mita, Tsutomu Yoshikawa, Takayuki Nihei

高速シーケンサ“QnUシリーズ” 4 ...249
石田 浩・千波保彦・鈴木孝幸・竹山治彦・明石憲彦

High-speed Programmable Controllers “QnU Series”
Hiroshi Ishida, Yasuhiko Chiba, Takayuki Suzuki, Haruhiko Takeyama, Norihiko Akashi

高速モーションコントローラ“Q17nDシリーズ” 4 ...253
鎌田高広・富田祐子

High Speed Motion Controller “Q17nD Series”
Takahiro Kamada, Yuuko Tomita

ライン向けCNC“C70”	4	257
福谷武都志・岩井文雄・藤島光城		
シーケンサエンジニアリング環境“GX Developer2”	4	261
平田真弘・濱田慶一・菊田宏和		
モーションコントローラエンジニアリング環境“MT Developer2”	4	265
松本英彦・末松圭司		
表示器“GOT1000”とエンジニアリング環境“GT Designer2”	4	269
宇佐美哲之		
コントローラネットワーク“MELSECNET/G”	4	273
藤田智之		
安全シーケンサ“MELSEC Safety”	4	277
神余浩夫・茂木 剛		
MELSEC計装	4	281
市岡裕嗣		
三菱CNC“70シリーズ”	4	285
田中貴久		
簡単・パワフル小型インバータ“FREQROL-E700シリーズ”	4	289
梶浦吾一・江口 清・河野雅樹		
3D対応CNC搭載ワイヤ放電加工機“FA Advanceシリーズ”	4	293
林 英明・渡辺浩太郎・山田 久・千代知子		
新中型形彫放電加工機“EA28V”	4	297
塩谷利弘・浅井巖慶・今城昭彦		
新型炭酸ガス二次元レーザ加工機“NXシリーズ”	4	301
宇野航史・迎 友則・武藤和明		

特集「新世代パワーデバイス」

パワーデバイス特集号に寄せて	5	307
赵 争鸣		
新デバイスで拓くパワーエレクトロニクス	5	308
片岡正行・マジウムダール ゴーラプ		
モータ制御用RC-IGBT	5	313
高橋英樹・金田 充・友松佳史		
HVIC技術開発と将来展望	5	317
寺島知秀・幡手一成・清水和宏		
SiCパワーデバイスの開発動向	5	321
今泉昌之・三浦成久		
トランスファーモールド形大容量パワーモジュール	5	325
篠原利彰・中島 泰・木本信義・吉松直樹		
新世代3.3kV高耐圧IGBTモジュール	5	329
井浦真一		
高絶縁耐圧HVIGBTシリーズ	5	333
梅峯 勲・川口安人・林田幸貞		
新世代IGBTモジュール“NXシリーズ”	5	337
松本 学		
“NXシリーズ”用梱包箱	5	343
磐浅辰哉		
新チップ内蔵IPM“L1/S1シリーズ”	5	345
井上貴公・岡部浩之・米山 玲		
DIP-IPM Ver.4シリーズ展開	5	349
長原輝明・岩上 徹・川藤 寿		
シングルチップインバータ	5	353
渡部毅代登・坂田浩司・街道佳和		
インバータ照明用HVIC	5	357
坂田浩司・田中良和・吉田 寛		
パワーデバイスの損失・温度上昇シミュレータ	5	361
為谷典孝		

CNC“C70” for Machining Line	
Mutoshi Fukutani, Fumio Iwai, Mitsushiro Fujishima	
Engineering Environment for Programmable Controllers “GX Developer2”	
Masahiro Hirata, Keiichi Hamada, Hirokazu Kikuta	
Engineering Environment “MT Developer2” for Motion Controllers	
Hidehiko Matsumoto, Keiji Suematsu	
“GOT1000” Series and Engineering Environment “GT Designer 2”	
Tetsuyuki Usami	
Controller Network “MELSECNET/G”	
Tomoyuki Fujita	
Safety Programmable Controller “MELSEC Safety”	
Hiroo Kanamaru, Tsuyoshi Mogi	
MELSEC Process Control System	
Yuji Ichioka	
MITSUBISHI CNC “70 Series”	
Takahisa Tanaka	
Easy to Operate, Powerful and Small-size Inverter “FREQROL-E700 Series”	
Goichi Kajiwara, Kiyoshi Eguchi, Masaki Kono	
Wire-EDM FA Advance Series with New CNC Handling 3D Data	
Hideaki Hayashi, Koutarou Watanabe, Hisashi Yamada, Tomoko Sendai	
A New Middle-size CNC Sinker EDM “EA28V”	
Toshihiro Enya, Yoshinori Asai, Akihiko Imagi	
New CO2 Laser Processing Machine “NX Series”	
Koji Uno, Tomonori Mukae, Kazuaki Muto	

New Generation Power Devices

Overview for Special Issue on Power Device	
Zhengming Zhao	
Expanding Power Electronics Application Frontier by New Power Devices	
Masayuki Kataoka, Gourab Majumdar	
RC-IGBT for Motor Control	
Hideki Takahashi, Mitsuru Kaneda, Yoshifumi Tomomatsu	
HVIC Development and Its Future Prospects	
Tomohide Terashima, Kazumari Hatada, Kazuhiro Shimizu	
Development of SiC Power Devices	
Masayuki Imaizumi, Naruhisa Miura	
High Current Transfer-molded Power Module	
Toshiaki Shinohara, Yasushi Nakajima, Nobuyoshi Kimoto, Naoki Yoshimatsu	
New Generation of 3.3kV High Voltage IGBT Modules	
Shinichi Iura	
HVIGBT Series	
Isao Umezaki, Yasuto Kawaguchi, Yukimasa Hayashida	
Next Generation IGBT Module “NX Series” with New Package Concept	
Manabu Matsumoto	
“NX Series” Packing Box	
Tatsuya Iwasa	
New IPM “L1/S1 Series”	
Takahiro Inoue, Hiroyuki Okabe, Rei Yoneyama	
Deployment of DIP-IPM Ver.4 Series	
Teruaki Nagahara, Toru Iwagami, Hisashi Kawafuji	
Single Chip Inverter	
Kiyoto Watabe, Hiroshi Sakata, Yoshikazu Kaido	
HVIC for Inverter Lighting	
Hiroshi Sakata, Yoshikazu Tanaka, Hiroshi Yoshida	
Simulation Software of Power loss & Temperature of Power device	
Fumitaka Tametani	

モールド型パワーモジュール用絶縁シート 5 ...365
菊池 巧・鹿野武敏・川藤 寿・上田哲也・多田和弘・塩田裕基

Insulating Resin Sheet for Power Modules of Transfer-Molded Type Package
Takumi Kikuchi, Taketoshi Shikano, Hisashi Kawafuji, Tetsuya Ueda, Kazuhiro Tada, Hiroki Shiota

特集「進む環境経営—先端技術とシステム拡充」

Progress in Environmental Management-Based on Advanced Technologies & System Establishment

省エネルギー・温暖化対策推進における企業の役割と期待 ... 6 ...371
石谷 久

The Role of Manufacturers in Energy Conservation and CO₂ Emission Reduction, and its Expectation
Hisashi Ishitani

技術が支える第5次環境計画 6 ...372
蛭田道夫

Mitsubishi Electric's 5th Environmental Plan Supported by Technology
Michio Hirata

エコファクトリー・エコオフィスの推進 6 ...377
池邨善満・高木正弘・川西秀夫・北川雅晴・屋部光利

Establishment of "Eco-factory and Eco-office" Guideline
Yoshimitsu Ikemura, Masahiro Takagi, Hideo Kawanishi, Masaharu Kitagawa, Mitsutoshi Yabe

三菱電機の製品環境配慮施策 6 ...381
田中基寛

Mitsubishi Electric's Product Policy for Eco-Conscious Design
Motohiro Tanaka

M: Material—資源の有効活用

M: Material

使用済み家電混合プラスチックのリサイクル技術 6 ...385
遠藤康博・広瀬悦子・小笠原 忍・藤崎克己・井関康人

Recycling Technology for Mixture of Residual Plastics from Waste Household Appliances
Yasuhiro Endo, Etsuko Hirose, Shinobu Ogasawara, Katsumi Fujisaki, Yasuto Iseki

EMC技術による省資源・省エネルギーの実現 6 ...389
小根森章雄・宮崎千春

Realization of Saving Resources and Energy by EMC Technology
Akio Konemori, Chiharu Miyazaki

放電加工スライスによる次世代多結晶シリコン太陽電池 6 ...393
今井祥人・佐藤達志・松野 繁

Electrical Discharge Slicing of Multi-crystalline Silicon for Next Generation Solar Cells
Yoshihito Imai, Tatsushi Sato, Shigeru Matsuno

E: Energy—エネルギーの効率利用

E: Energy

新エネルギー・マイクログリッド制御技術 6 ...396
高野富裕・山本隆也・小島康弘

Control Technology for Renewable Energy and Micro-Grid
Tomohiro Takano, Takaya Yamamoto, Yasuhiro Kojima

環境モニタリングとデータ分析技術 6 ...401
平岡精一・稲坂朋義・石井 篤・高田雄二・松下正太郎

Environmental Monitoring and Data Mining Technology
Seiichi Hiraoka, Tomoyoshi Inasaka, Atsushi Ishii, Yuji Takata, Shotaro Matsushita

使用実態を踏まえた省エネルギー技術を投入した
ルームエアコン霧ヶ峰“人感ムーブアイ” 6 ...405
田邊義浩・日高 彰・中川英知

The Room Air-conditioner Adopting Energy Saving Technology Based on Its Actual Use
Yoshihiro Tanabe, Akira Hidaka, Hidetomo Nakagawa

コンビニエンスストア向け
冷凍・空調複合システムの省エネルギー 6 ...409
田中航祐・山下浩司

Energy Saving Refrigerator and Air-Conditioner Combined System for Convenience Store
Kosuke Tanaka, Koji Yamashita

物流におけるCO₂削減活動(エコロジス) 6 ...413
林田一徳

CO₂ Reduction Activity in Logistics (Economy & Ecology Logistics)
Kazumori Hayashida

T: Toxicity—環境負荷物質の排出回避

T: Toxicity

三菱電機グループの化学物質管理 6 ...417
宇佐美 亮・河嶋康夫

Chemical Substances Management in Mitsubishi Electric Group
Ryo Usami, Yasuo Kawashima

三菱電機のサプライチェーンにおける
製品含有化学物質の情報管理とグリーン認定 6 ...421
樋熊弘子

Mitsubishi Electric Company's Information Management of Chemical Substances Contained in Products in Supply Chain and Green Accreditation
Hiroko Higuma

マイクロバブルによる低環境負荷・低コスト洗浄技術 6 ...425
宮本 誠・上山智嗣・樋野本宣秀・広辻淳二

Non-chemical Cleaning Technology by Utilizing Microbubble
Makoto Miyamoto, Satoshi Ueyama, Nobuhide Hinomoto, Junji Hirotsuji

円筒多管式短ギャップ高濃度オゾン発生器 6 ...429
和田 昇・谷村泰宏・廣辻淳二・中谷 元・葛本昌樹

High Density Tubular Type Ozone Generator by Narrow Gap Discharge
Noboru Wada, Yasuhiro Tanimura, Junji Hirotsuji, Hajime Nakatani, Masaki Kurumoto

特集「企業・社会の発展を支えるITソリューション」

IT Solutions for the Progress of Enterprises and Society

企業・社会の発展を支えるITソリューション特集に寄せて 7 ...435
市川照久

Foreword to Special Issue on IT Solutions for the Progress of Enterprises and Society.
Teruhisa Ichikawa

インフォメーションシステム事業のねらいと展望 7 ...436
高木正博・菅 隆志

Scope and Vision of Mitsubishi Electric Group's Information Systems and Network Services
Masahiro Takagi, Takashi Kan

情報システムアカウントの統合管理を実現する
大規模企業向けID管理ソリューション 7 ...441
玉田 純・白木宏明

Identity Management Solution, Which Manages Integrated Information System's Accounts, for Large Companies.
Jun Tamada, Hiroaki Shiraki

ATM向け映像監視・保管システム 7 ...445
西村達夫・内村誠之・坂本顕男・中館穂積

A Surveillance Camera Recording System for ATM Booth
Tatsuo Nishimura, Seishi Uchimura, Akio Sakamoto, Hozumi Nakadate

金融商品取引法における内部統制の
整備/評価支援システム“TOOLMASTER/IC” 7 ...449
中村伊知郎・岡村博之・渋谷雅志・原田忠尚・中村倫子

TOOLMASTER/IC: Internal Control Management and Evaluation System for Japanese Version of SOX Act
Ichiro Nakamura, Hiroyuki Okamura, Masashi Shibuya, Tadahisa Harada, Michiko Nakamura

消費者発信型メディア(CGM)を担うインターネット
事業者向けWWWサービスプラットフォーム 7 ...453
小林 敦・倉持 晃・山口能一・佐藤慎太郎

Internet Service Providers' Server Platform for Commercial Home Page Service.
Atsushi Kobayashi, Akira Kuramochi, Yoshikazu Yamaguchi, Shintaro Sato

設計品質向上・開発力強化のための設計書チェック技術と
その応用ソリューション“naviQ” 7 ...457
岡田康裕・谷垣宏一・平野 敬・岡村博之

薬局業務をトータルに効率化する
三菱保険薬局システム“Melphin/Neo” 7 ...461
近内 誠・大見由紀人・大森智美・寺内直久

オブジェクト指向技術で変化に対応する
“ALIVE Solutionシリーズ”就業システム 7 ...465
田中隆治・大和田政嗣・加藤嘉之・安川武史

既存IT資産を活用し全体最適化を実現する
“SOAプラットフォーム ESB” 7 ...469
堂野重実・藤田英司・伊藤正裕

企業情報システムの新たな基盤となる
“Entrance DS2000V” 7 ...473
山永康昌・小山晋護

メタデータ管理で広がるデータ統合ソリューション 7 ...477
高山茂伸・東 辰輔・安藤隆朗・赤嶺耕司

企業ICTシステムを支える安全安心なシステム運用サービス 7 ...481
神代トシコ・藤戸元樹・石川栄子・小林 智・魚住光成

高カスタマイズ性・高信頼性を実現した
ジャパンネット認証局運用システムソリューション 7 ...485
神田 明・角野章之・中村克己・村木克己・森 晃平

オープン環境のシステム構築を高品質・短納期で
実現するWebシステム開発標準“MIWESTA” 7 ...489
川口正高・佐藤啓紀・浅見可津志・塩尻綾子・原田雅史

ワンストップ型広域Web認証技術 7 ...493
竹田義聡・北山泰英・茂木 強・福士豊世・長坂和俊

特集「先端技術が生み出す安全・安心な社会」

先端技術が生み出す安全・安心な社会 8 ...499
安井正彰

安全・安心な社会を支える先端技術 8 ...500
臼井澄夫

高精度GPS測位サービス“FKP方式PAS”の
最新状況と今後の展開 8 ...505
佐藤雄一郎・西川啓一・村上牧子

高精度GPS受信機“AQLOC”を用いた車両位置管理システム 8 ...509
雲井一成

モバイルマッピングシステム 8 ...513
吉田光伸・角谷卓磨・石原隆一・川瀬俊樹・瀧口純一

マルチパス誤差低減アルゴリズム 8 ...517
永野隆文・岩本貴司

干渉型合成開口レーダによる三次元地図作成 8 ...521
岡田 祐・堀内健志・大石 昇・Ali Azarbayejani・岩間 清

防災業務の迅速化を実現する高精度三次元地形図表示技術 8 ...525
櫻井満将・清水 聡・藤本仁志・菅沼優子・森川 豊

災害対策・危機管理での衛星通信利用 8 ...529
坂戸美朝・尾崎 裕・今井 徹

市町村防災向け戸別受信機 8 ...533
岡 智広・池邊 洋・前田将伸

光ファイバ侵入検知システム 8 ...537
池邊 洋・吉村 修

車両入退場管理システム 8 ...541
増岡裕昭・河木理一・井尻 守

クリーンな地球環境の実現に貢献する
最適な廃棄物処理管理システム 8 ...545
師岡 優・田口安広・山岡憲一・田嶋伸幸・小山幸春

食品の安全と消費者の信頼確保を目指す
食品トレーサビリティシステム 8 ...549
大野次彦・宇都宮国光・植松雅男・伊藤正人・白坂時雄

naviQ : Push-Style Guidance System for Technical Document Writing
Yasuhiro Okada, Koichi Tanigaki, Takashi Hirano, Hiroyuki Okamura

“Melphin/Neo” : Pharmacy System Improving Business Efficiency
Makoto Konnai, Yukito Oomi, Tomomi Oomori, Naohisa Terauchi

ALIVE Solution Series : Working Information System
Ryuji Tanaka, Masatsugu Oowada, Yoshiyuki Katou, Takeshi Yasukawa

“SOA Platform ESB” for Realizing Total Optimization with Existing IT Resources
Shigemi Kayano, Eiji Fujita, Masahiro Ito

Enterprise Information Systems Platform “Entrance DS2000V”
Yasumasa Yamanaga, Shingo Koyama

Broader Data Integration Solutions with Metadata Management
Shigenobu Takayama, Shinsuke Azuma, Takaaki Ando, Kouji Akamine

Secure and Durable System Operation Service for Corporate ICT Systems
Toshiko Kajiro, Motoki Fujito, Eiko Ishikawa, Satoshi Kobayashi, Mitsuari Uozumi

JapanNet Certificate Authority Operational System Solution
Akira Kanda, Akiyuki Sumino, Katsumi Nakamura, Katsumi Muraki, Kohei Mori

Implementation of Web System Development Standard “MIWESTA” for High Quality and High Productivity
Masataka Kawaguchi, Hiroki Satou, Katsushi Asami, Ayako Shiojiri, Masafumi Harada

One-Stop Authentication Technology for Web-based Distributed Systems
Yoshitomo Takeda, Yasuhide Kitayama, Tsuyoshi Motegi, Hoseni Fukushi, Kazutoshi Nagasaka

The Safe and Secure Society built up by Advanced Underlying Technologies

The Safe and Secure Society Built up by Advanced Underlying Technologies
Masaaki Yasui

The Advanced Underlying Technologies Behind a Safe and Secure Society
Sumio Usui

Present Situation and Future Prospects about High Accuracy GPS Positioning Augmentation Services “FKP-PAS”
Yuichiro Sato, Keiichi Nishikawa, Makiko Murakami

Automatic Vehicle Monitoring System Assisted by Highly Accurate GPS Receiver “AQLOC”
Kazumari Kumoi

Mobile Mapping System
Mitsunobu Yoshida, Takuma Kadoya, Ryuichi Ishihara, Toshiaki Kawase, Junichi Takiguchi

A Method for Multipath Mitigation of GPS Signals
Takafumi Nagano, Takashi Iwamoto

3-Dimensional Map Reconstruction by Ku-Band Interferometric SAR
Yu Okada, Takeshi Horinuchi, Noboru Oishi, Ali Azarbayejani, Kiyoshi Iwama

3D Topographic Visualization Technology for Disaster-Prevention
Mitsumasa Sakurai, Satoshi Shimizu, Hitoshi Fujimoto, Yuko Suganuma, Yutaka Morikawa

Satellite Communications for Disaster Prevention and Crisis Management
Yoshitomo Sakato, Yutaka Ozaki, Tooru Imai

Personal Receiver for Disaster Prevention Radio System
Tomohiro Oka, Yo Ikebe, Masanobu Maeda

Optical-Fiber Intrusion Detection System
Yo Ikebe, Osamu Yoshimura

Vehicle Admission Management System
Hiroaki Masuoka, Motokazu Kawaki, Mamoru Ijiri

Waste Disposal Management System for a Clean Global Environment
Masaru Morooka, Yasuhiro Taguchi, Kenichi Yamaoka, Nobuyuki Tajima, Yukiharu Koyama

Food Traceability Systems
Tsuguhiko Ono, Kumimitsu Utsunomiya, Masao Uematsu, Masato Ito, Tokio Usuzaka

UHF帯RFIDデバイス 8 ...553
中谷崇史・宝来憲次・池邊 洋・亀丸敏久

UHF帯RFID応用システム 8 ...557
岩橋 努・亀丸敏久・太田一史・宝来憲次・會田一男

ドップラーライダー装置 8 ...561
古田 匡・浅香公雄・長嶋正浩

特集「新時代のカーライフを実現する先進技術」

新時代のカーライフを実現する先進技術特集に寄せて 9 ...571
上田 敦

自動車機器技術の動向と将来展望 9 ...572
西村幸信

新世代(9G)オルタネータ 9 ...577
宮地若木・中尾乾次・大橋篤志

HEV用第二世代IPU 9 ...581
蔵本祐司・石井隆一・福 優

トルクベース制御システム 9 ...585
兼狩秀樹・松嶋裕平

特機車両用エンジンマネジメントシステム 9 ...589
関本泰司・入江太津治・奥田浩司

GMR回転センサの応用展開 9 ...594
川野裕司・坂之上 浩・平岡直樹

中・大型二輪車用第三世代燃料ポンプモジュール 9 ...598
吉岡 浩・光藤英雄・坂井雄作・山本一之

高出力ブラシ付きEPSシステム 9 ...601
山本雅祥・和久 撰・岩見英司

電動パワーステアリングのアクティブステア技術 9 ...605
田中英之・松永隆徳・中島健治

水銀フリーバルブ対応HIDバラスト 9 ...609
長谷部弘之・河野靖彦・丸尾直人

自動車用電子キーシステム 9 ...613
岡村茂一・浦野忠彦

ETC車載器からITS車載器への発展 9 ...617
瀧北 守・岡 賢一郎・後藤幸夫

ETC車載器用SiGe送受信システムMMIC 9 ...621
新庄真太郎・堤 恒次・末松憲治

周辺機器連携が進むカーナビゲーション 9 ...625
渡部秀雄・三次達也

車載情報機器のユーザーインタフェース提案 9 ...629
松原 勉・相川真実

車載ハンズフリー通話システム 9 ...633
西川 源・小谷 豊・矢野敦仁・松岡文啓

MOSTを用いた映像伝送システム 9 ...637
中井良弘・福田智教・三井武史

車載デジタルTVへのUI設計ツール“NINA”の適用 9 ...641
豊岡 明・小中裕喜・大久保忠俊・奥村信義

車載デジタルTVにおける受信技術 9 ...645
竹内 満・長浜浩之・有田栄治・井戸 純

第二世代6枚CD/DVDチェンジャメカニズム 9 ...649
佐々木栄二・森本隆雄・伊東成浩

特集 I「人と環境にやさしい交通システム」

“交通システム技術”特集に寄せて 10 ...655
水間 毅

人と環境に優しい交通システムへの取り組み 10 ...656
小尾秀夫

Device for UHF-Band RFID
Takashi Nakatani, Kenji Horai, Yo Ikebe, Toshihisa Kamemaru

Application Systems Using UHF-Band RFID
Tsutomu Iwahashi, Toshihisa Kamemaru, Kazushi Ota, Kenji Horai, Kazuo Aita

Coherent Doppler LIDAR Systems
Masashi Furuta, Kimio Asaka, Masahiro Nagashima

Advanced Technologies for New Modern Automobile Lifestyle

The Contribution to the Special Issue on Advanced Technologies for New Modern Automobile Lifestyle
Atsushi Ueda

Engineering Trends and Prospective Stories in Automotive Equipment
Yukinobu Nishimura

New Generation (9G) Alternator
Wakaki Miyaji, Kenji Nakao, Atsushi Oohashi

2nd Generation IPU for HEV
Yuji Kuramoto, Ryuichi Ishii, Masaru Fuku

Torque-based Control System
Hideki Hagari, Yuhei Matsushima

Engine Management System for Recreational Vehicles
Yasuji Sekimoto, Tatsuji Irie, Hiroshi Okuda

Development of GMR (Giant Magnetoresistance) Revolution Sensor
Yuji Kawano, Hiroshi Sakanoue, Naoki Hiraoka

Third Generation Fuel Pump Module for Middle & Large-sized Motorcycle
Hiroshi Yoshioka, Hideo Mitsudo, Yusaku Sakai, Kazuyuki Yamamoto

High Power Brushed EPS System
Masayoshi Yamamoto, Osamu Waku, Eiji Iwami

Torque Controlled Active Steer for EPS
Hideyuki Tanaka, Takamori Matsunaga, Kenji Nakajima

Electronic Ballast for Mercury Free Xenon Lamp
Hiroyuki Hasebe, Yasuhiko Kono, Naoto Maruo

Electronic Key System for Automobile
Shigekazu Okamura, Tadahiko Urano

Evolution of ITS On-Board Unit from ETC On-Board Unit
Mamoru Takikita, Kenichiro Oka, Yukio Goto

SiGe-MMIC Transceiver for ETC Terminals
Shintaro Shinjo, Koji Tsutsumi, Noriharu Suematsu

Progress of Car Navigation in Cooperation with In-Car Peripherals
Hideo Watanabe, Tatsuya Mitsugi

Advance Concept of User Interface for On-Board Information Systems
Tsutomu Matsubara, Masami Aikawa

Car Hands Free Telephone System
Gen Nishikawa, Yutaka Kotani, Atsuyoshi Yano, Bunkei Matsuoka

Video Transport System with MOST
Yoshihiro Nakai, Tomonori Fukuta, Takeshi Mitsui

Application of UI Design Tool “NINA” to In-Car Digital TV
Akira Toyooka, Hiroki Konaka, Tadatoshi Okubo, Nobuyoshi Okumura

Reception Technology for In-Car Digital-TV Receiver
Mitsuru Takeuchi, Hiroyuki Nagahama, Eiji Arita, Jun Ido

CD/DVD Changer Mechanism Available Six Discs
Eiji Sasaki, Takao Morimoto, Shigehiro Ito

Passenger and Environment Friendly Transportation System

In Expectation of Transport Technology
Takeshi Mizuma

Passenger and Environment Friendly Transportation System
Hideo Obi

人にやさしい旅客案内システム	10	661
高木大史・重枝哲也		
環境を支える車両動態監視システム	10	665
福田司朗・永尾俊繁・出口生滋・藤野友也		
環境にやさしい車両駆動システム	10	669
根来秀人・寺澤英男・坂根正道・西川武志・広瀬悦子		
交通分野における情報ユニバーサルデザイン	10	677
金子達史		
車内環境向上を目指した空調システム	10	681
白石和彦・酒井 修		

特集Ⅱ「発電プラントの最新技術と応用展開」

21世紀のニーズに応える新たな発電技術	10	685
吉川榮和		
高速・大容量ネットワーク適用による 原子力発電プラント向け総合デジタル設備の実現	10	686
佐久間智英・北村一雄・松本 等・岡本浩希		
国内コンバインドサイクル発電プラントへの 取り組みと適用技術	10	690
松本匡史・柳川茂幸・門田成悟・若林 聖		
最新の水力発電技術	10	696
町野 毅・大川雅博・藤本路典・寺山雄一郎・矢倉武宣		
大容量水素冷却発電機の最新技術動向	10	700
田中賢治・増永 顕・古賀清訓		
タービン発電機への最新電磁界解析技術の適用	10	704
前田 進・米谷晴之		
発電プラントにおける監視制御用ネットワーク	10	708
増濱和生		
大容量複合形発電主回路用開閉装置	10	712
岸田良二・山下 透・松田大二		

特集「昇降機・ビルシステム」

昇降機・ビルシステム特集に寄せて	11	717
橋口直樹		
エレベーターの最新技術動向	11	718
山本 哲		
海外向け昇降機の営業情報システム	11	723
湊 徹郎・長谷 充・俵 一裕		
三菱新オーダーメイドエレベーター “NEXCUBE(ネクキューブ)”機械室レスタイプ	11	727
久保田猛彦・倉岡尚生・宮本浩成		
新たなエレベーター地震対応システム	11	731
毛利一成・東中恒裕・渡辺誠治・福井大樹・西山秀樹		
新群管理システム“Σ AI-2200C”	11	735
山下桜子・武島功児・小堀真吾・鈴木直彦		
エレベーターかご内環境快適化技術	11	739
垂石圭悟・古橋拓也・竹内史朗		
エスカレーター“Zシリーズ”の新技術	11	743
松山二郎・酒井大輔・白附晶英・橋丘 豊		
ミッドランドスクエア向け 展望用ダブルデッキエレベーター	11	747
下宮浩志・早川和利・植田和夫・國立政也		
最近の昇降機納入事例	11	751
藤田 薫		
オフィスビルにおけるセキュリティシステムの動向	11	755
天野真利		
火災時のエレベーター利用避難	11	759
河合清司・小西正彦・岩田雅史・林 和博・豊岡俊一郎・秋山啓一		

Passenger-Friendly Information Systems	
Daiji Takagi, Tetsuya Shigeeda	
Environmentally-Significant Diagnostic and Monitoring System	
Shiro Fukuta, Toshishige Nagao, Seiji Deguchi, Tomoya Fujino	
Environment-Friendly Propulsion Systems	
Hidetō Negoro, Hideo Terasawa, Masamichi Sakane, Takeshi Nishikawa, Etsuko Hirose	
Universal Design for the Information System in the Field of Public Transportation	
Tatsuji Kaneko	
Air Conditioning System for Advancement of Amenity in the Train	
Kazuhiko Shiraiishi, Osamu Sakai	
Advanced Technology for Power Plants and its Applications	
New Electric Power Technologies for the Needs of the 21st Century	
Hidekazu Yoshikawa	
Development of Full-Digital I&C System Applying High-speed and Large-capacity Network for Nuclear Power Plant	
Tomohide Sakuma, Kazuo Kitamura, Hitoshi Matsumoto, Hiroki Okamoto	
Solutions and Technologies for Domestic Combined Cycle Power Plants	
Tadafumi Matsumoto, Shigeyuki Yanagawa, Seigo Kadota, Masaru Wakabayashi	
The Latest Hydraulic Power Generation Technology	
Takeshi Machino, Masahiro Okawa, Rooku Fujimoto, Yuichiro Terayama, Takenori Yagura	
Advanced Technology of Large Hydrogen Indirectly Cooled Generator	
Kenji Tanaka, Ken Masunaga, Kiyonori Koga	
Advanced Electro-magnetic Field Analysis Technology for Turbine Generators	
Susumu Maeda, Haruyuki Kometani	
Highly-Reliable Control Network for Power Plant	
Kazuo Masuhama	
Large Capacity Switchgear for Generator Main Circuit	
Ryoji Kishida, Toru Yamashita, Daiji Matsuda	
Elevator, Escalator & Building System	
Invitation for Mitsubishi Elevator, Escalator & Building System	
Naoki Hashiguchi	
Current Technology Trends of Elevator	
Tetsu Yamamoto	
Sales Information System for Global Mitsubishi Elevators	
Tetsuro Numa, Mitsuru Hase, Kazuhiro Tawara	
Mitsubishi New Custom-Made Machine-Room-Less Elevator “NEXCUBE”	
Takehiko Kubota, Hisao Kuraoka, Kosei Miyamoto	
New Anti-Earthquake Technology for Elevator System	
Kazunari Mori, Tsunehiro Higashinaka, Seiji Watanabe, Daiki Fukui, Hideki Nishiyama	
New Elevator Group Control System “Σ AI-2200C”	
Sakurako Yamashita, Koji Takeshima, Shingo Kobori, Naohiko Suzuki	
Technologies for Comfortable Elevator Cage	
Keigo Taruishi, Takuya Furuhashi, Shiro Takeuchi	
New Technology for Escalator “Z series”	
Jiro Matsuyama, Daisuke Sakai, Akihide Shiratsuki, Yutaka Hashioka	
Panoramic Double Deck Elevator for MIDLAND SQUARE	
Koji Shitamiya, Kazutoshi Hayakawa, Kazuo Ueda, Masaya Kunitachi	
Latest Supply Record of Mitsubishi Elevator and Escalator	
Kaoru Fujita	
The Trend of Security System in the Office Building	
Masatoshi Amano	
Fire Evacuation by Elevator	
Kiyoji Kawai, Masahiko Konishi, Masafumi Iwata, Kazuhiro Hayashi, Shunichiro Toyooka, Yoichi Akiyama	

中高層ビル向け据付工法	11	763
中根道雄		
三菱顔・指認証装置	11	767
大橋岳洋・石田晃三・羽島一夫・三輪祥太郎		
三菱統合ビルセキュリティシステム“MELSAFETY-G”	11	771
水沼一郎・柴 昇司		

特集「生産技術」

生産技術と企業価値	12	777
貝原俊也		
革新的製造技術による製品競争力の強化	12	778
森安雅治		
分割鉄心モータにおけるコギングトルク低減技術	12	783
秋田裕之・吉岡 孝		
スライド鉄心による燃料ポンプ用DCモータ	12	787
山本一之・佐武英和・馬場利靖・坂井雄作		
換気扇用小型モータの量産ライン構築	12	791
木下治雄・三宅展明・山口秀哉・川杉直喜		
スイッチング電源の内製化による製品品質の作り込み	12	795
熊谷 隆・松原則幸・高田雅樹・村田信二・菅 郁朗		
パワーモジュールの信頼性向上技術	12	799
中島 泰・杉木昭雄		
高精度射出成形技術の製品への適用	12	803
今泉 賢・北山二郎・田村真史・斎藤浩二		
高周波モジュールの検査技術	12	807
大野一人・金塚憲彦・高山智生		
電子機器試験工程の生産性改善	12	811
山田尚道・白石忠道		
グローバル生産における生産管理情報の連携性向上	12	815
岩田和晃・黒田 晃		
リサイクル工場の生産性向上と作業環境改善	12	819
小林 実・小笠原 忍・織田昌雄・藪内賀義・坪井伸之		
系統変電システム製作所JIT生産革新活動の推進	12	823
清家寿洋・北島日出夫・有川真明		
GE-PON装置の生産性向上	12	827
村上 順・今村浩明・岩藤広美		

普通論文

密着型イメージセンサ	8	565
太田 章・富田法行・長谷川 洋・宮地 稔		

Elevator Installation Method for Medium and High-Rise Building
Michio Nakane

Face and Finger Recognition Device
Takehiro Ohashi, Kouzou Ishida, Kazuo Hashima, Syotaro Miwa

“MELSAFETY-G” : Mitsubishi Integrated Building Security System
Ichiro Mizutuma, Shoji Shiba

Manufacturing Technologies

Production Technology and Corporate Value
Toshiya Kaihara

Enhancement of Product Competitiveness with the Innovative Manufacturing Technologies
Masaharu Moriyasu

Technology to Decrease Cogging Torque of Motor with Divided Stator Cores
Hiroyuki Akita, Takashi Yoshioka

DC Motor for Fuel Pumps using Slide-type Motor Cores
Kazuyuki Yamamoto, Hidekazu Satake, Toshiyasu Baba, Yusaku Sakai

Construction of Motor Assembly Line for Exhaust Fan
Haruo Kinoshita, Nobuaki Miyake, Hideya Yamaguchi, Naoki Kawasugi

In-House Manufacturing of Built-in Power Supplies for Product Quality Improvement
Takashi Kumaagai, Noriyuki Matsubara, Masaki Takata, Shinji Murata, Ikuro Suga

Aluminum Bonding Wire Reliability of Transfer-molded Power Modules
Dai Nakajima, Akio Sugiki

Applications of High-Precision Injection Molding Technologies for Various Products
Masaru Imaizumi, Jiro Kitayama, Masashi Tamura, Koji Saito

Testing Systems for Radio Frequency Modules
Kazuo Ohno, Norihiko Kanazuka, Tomoo Takayama

Test Technology in Production Process
Naomichi Yamada, Tadamichi Shiraiishi

Cooperation Improvement for Global Production
Kazuaki Iwata, Akira Kuroda

Improvement of Productivity and Working Environment at Recycling Factory
Minoru Kobayashi, Shinobu Ogasawara, Masao Oda, Kazuyoshi Yabuuchi, Nobuyuki Tsuboi

Total Productivity Improvement Based on Just In Time Production of Transmission & Distribution Systems Center
Toshihiro Seike, Hideo Kitajima, Masaaki Arikawa

Manufacturing and Production for GE-PON Equipment
Jun Murakami, Hiroaki Imamura, Hiromi Iwafuji

Contact Image Sensor
Akira Ota, Noriyuki Tomita, Hiroshi Hasegawa, Minoru Miyaji



特許と新案***

三菱電機は特許及び新案を有償開放しております

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

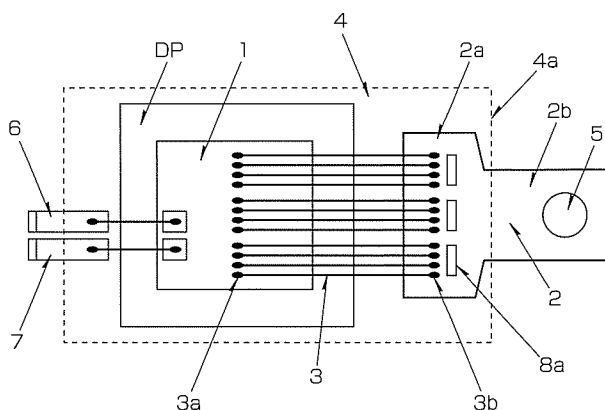
電力用半導体装置 特許第3975181号(特開2005-5416)

この発明は、モールド樹脂で封止する電力用半導体装置に関するものである。電力用半導体素子(1)とインナーリード(2a)の電極部との間には、大電流に対応するために、複数のボンディングワイヤ(3)を並列に配置し、モールド樹脂(4)で封止している。インナーリードはモールド樹脂外部に露出し、アウターリード(2b)を構成する。

一方、温度変化による熱応力がモールド樹脂(4)とインナーリード(2b)との接着面に生じ、モールド樹脂外周端面(4b)から内側に向かって剥離(はくり)が進展するという問題があった。この剥離がボンディングワイヤ(3)がインナーリード(2a)に接合されているワイヤボンド部(3b)を横切ると断線が生じる。インナーリードの幅が広いほど熱応力が高くなる関係があり、大電流に対応すると長期信頼性を保証できなかった。

この発明では、インナーリード(2a)のワイヤボンド部(3b)とアウターリードの間に、複数の貫通孔(8a)をワイヤボンド部(3b)の配列方向と平行に配置した。また、アウター

発明者 菊池正雄, 中島 泰, 鶴迫浩一, 吉原邦裕
リード(2b)のモールド樹脂外周端面(4b)における幅を、ボンディングワイヤが固着するインナーリード(2b)よりも幅を狭く構成した。これらによって、最小限のサイズ増で密着性を高め、熱応力を低減し、モールド樹脂外周端面(4b)から剥離が進展しても貫通孔(8a)でせき止められ、ボンディングワイヤ(3)の断線を防止できる。



<本号記載の商標について>

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

<次号予定> 三菱電機技報 Vol.82 No.1 特集「技術の進歩」

<p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 山口隆一</p> <p>委員 小林智里 増田正幸 滝田英徳 佐野康之 糸田 敬 世木逸雄 江頭 誠 河合清司 長谷勝弘 木槻純一 逸見和久 光永一正 河内浩明 橋高大造</p> <p>事務局 園田克己</p> <p>本号取りまとめ委員 山田 晃</p>	<p>三菱電機技報 81巻12号 2007年12月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2007年12月25日 発行</p> <p>編集人 山口隆一</p> <p>発行人 園田克己</p> <p>発行所 三菱電機エンジニアリング株式会社 e-ソリューション&サービス事業部 〒102-0073 東京都千代田区九段北一丁目13番5号 日本地所第一ビル 電話 (03)3288局1847</p> <p>印刷所 株式会社 三菱電機ドキュメンテクス</p> <p>発売元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03)3233局0641</p> <p>定 価 1部945円(本体900円) 送料別</p>
<p>三菱電機技報 URL</p> <p>三菱電機技報に関するお問い合わせ先</p> <p>英文季刊誌「MITSUBISHI ELECTRIC ADVANCE」がご覧いただけます</p>	<p>URL http://www.mitsubishielectric.co.jp/corporate/giho/</p> <p>URL http://www.mitsubishielectric.co.jp/support/corporate/giho.html</p> <p>URL http://global.mitsubishielectric.com/company/rd/advance/</p>