

# 技術開発・生産技術

電子デバイス  
 パワーエレクトロニクス  
 メカトロニクス・センサ  
 情報・通信制御  
 環境・新エネルギー  
 材料技術  
 解析技術  
 生産技術



## 展 望

富士電機グループにおける研究開発は、2003年度に設立した富士電機アドバンステクノロジー株式会社を中心として運営されている。富士電機アドバンステクノロジー株式会社では、富士電機グループが得意とする分野における商品の競争力を高めるためのコア技術の強化と、新たな商品の市場投入を加速するべく、中期的な視野に立った技術ロードマップをもとに研究開発を進めている。

電子デバイス分野では、現在、開発中の電子デバイスの商品化開発を主な業務として進めてきた。トレンチ型MOSの開発では、ハイサイド型を用いて、オン抵抗を従来の50%に低減することができた。また、水素アニールの半導体表面の効果について、UHV-STMを用いた観察技術を確認した。マイクロ電源については、携帯機器向けにさまざまな電圧に対応した分散電源システムを開発した。一方、パワー半導体分野においては、パワーデバイスの冷却性能を向上し、組立容易なチップ表面への面接合配線方法を開発し、将来へ向けた技術としてSiCを用いたMOSFETの開発に取り組んでいる。また、磁気ディスクでの磁化記録方式として、従来の水平記録方式に代わる垂直記録方式に取り組んでいる。表示デバイスとしては、色変換方式を用いた有機ELの開発を進めた。

パワーエレクトロニクス分野では、高効率・高機能なパワーエレクトロニクス分野の開発を進めた。逆素子IGBTにおいては、パワーエレクトロニクスで特に配慮が必要な、熱・損失シミュレーション技術を構築した。一方、商品開発においては、高効率DC-DC変換回路方式を開発し、車両駆動のための多機能駆動装置を開発した。

メカトロニクス・センサ分野では、高効率なパルスチューブ冷凍機を開発し、半導体装置向けのコールドトラップ装置として用いようとしている。パワーエレクトロニクス装置の応用においては、CADと連携した熱冷却シミュレーション技術を適用し、小型化のための設計技術を構築することができた。センサ分野では、バイオアッセイ技術を用いた環境関連のセンサ技術について、基礎的な検討を行い、めどをつけることができた。

情報・通信制御分野では、主に省エネルギーを目的とし

て、非線形システム安定性理論を用いた最適制御手法の開発を進めることができた。

環境・新エネルギー分野では、食品の残渣(ごんさ)を用いたメタン発酵プラントの開発を進め、日野市クリーンセンターでのパイロットプラントの実証試験を進め、順調に評価を進めることができた。また、新しい水処理技術として、従来の方式に代わる膜ろ過方式について、各地での実証試験を進め、現場における膜ろ過方式の適用技術を構築してきた。一方、新しい技術である固体高分子形燃料電池の開発と同時に従来から進めてきたりん酸形燃料電池について、商品化をにらんだ信頼性の実証を進め、4万時間以上の寿命について実証することができた。アモルファスシリコン太陽電池では、軽量・柔軟性を利用した特徴を生かした応用開発を進め、商品化に大きく前進することができた。

材料技術分野では、特徴のある技術として、高透磁率材料であるパーマロイにナノレベルオーダーのフェライト薄膜の被覆を施したフェライトナノ皮膜磁性体を開発することができた。急速加熱アニールを適用することにより透磁率を増大し、印加磁場の周波数2MHzにおいて透磁率170を得ることができ、インダクタ材料としての適用について、大きく前進することができた。

解析技術分野では、X線構造解析によるSiCの内部欠陥解析について独自の解析技術により、表面部の微小欠陥をとらえ、解析できる技術を確立した。また、解析のために必要な試料サンプルの断面加工技術として、イオンビームを用いた加工技術を開発し、解析技術を高めることができた。一方、電機装置の内部欠陥の測定方法として超音波を用いた探傷手法の開発および統計的解析手法を用いた騒音分析などの手法も構築している。

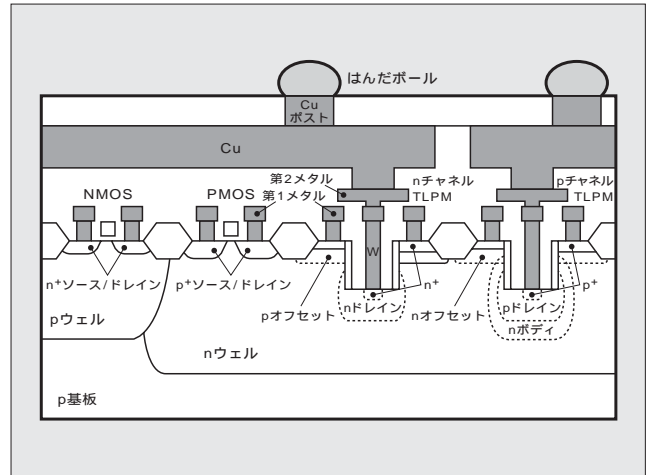
生産技術分野では、環境を考慮した鉛フリーはんだ技術を開発し、現在、富士電機グループ内の商品への適用、展開を進めている。この動きと連携してグリーン調達のための有害物質の微量解析技術の開発を進めてきた。また、従来から進めてきたトータル電子回路設計システムの構築においても、同様に個別部品について、その環境対応性をデータベース化したシステムを構築した。

電子デバイス

① ハイサイドトレンチ横型 MOS

シリコン基板表面に設けたトレンチ（溝）構造を利用して出力オン抵抗を従来の 50 % にできるトレンチ横型パワー MOS（TLPM）のハイサイド化を実現した。高効率が可能でスイッチング電源には高電位側スイッチング素子（ハイサイドスイッチ）が必要であるが、今回ハイサイドスイッチとして新たに p チャネル TLPM およびハイサイド n チャネル TLPM を開発した。トレンチ底面ドレインの不純物濃度などを最適化することで基本的な他の低電圧素子構造を変えずに TLPM のハイサイド化を実現した。これによりローサイド・ハイサイドの両スイッチを低抵抗な TLPM に置き換えられるため、電源の効率向上と小型軽量化が可能になる。

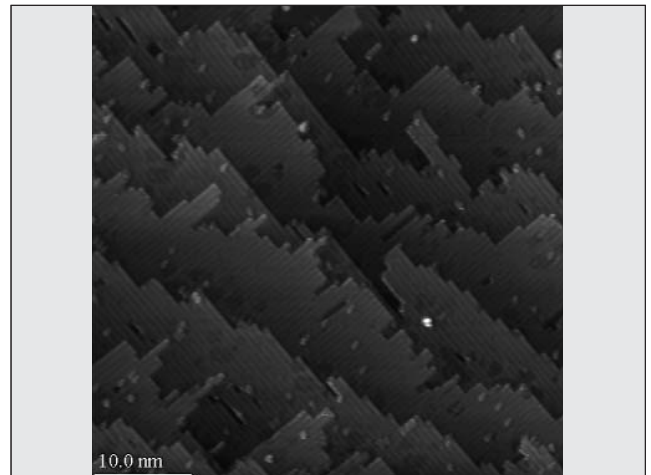
図 1 CMOS と一体化したハイサイド TLPM の断面



② UHV-STM による水素アニール時の Si 表面観察技術

MOS デバイスの微細化・高集積化のため、ゲート酸化膜をトレンチ（溝）内へ形成したり薄膜化を図る際に、下地のシリコン（Si）の表面状態や平坦（へいたん）性がデバイスの性能に大きく影響を及ぼすようになり、その精密制御が求められている。そこで、水素アニールにより Si 表面が平坦化できることに注目し、その表面状態を UHV-STM（超高真空-走査型トンネル顕微鏡）により観察した。実際のウェーハ処理プロセスと同一状況を再現するために、水素アニールは UHV-STM に取り付けられた高圧ガス反応室で行い、大気中にさらすことなく STM 観察を行った。その結果、Si 表面が原子レベルで平坦であること、また水素終端されていることを確認した。

図 2 Si (100) 表面の UHV-STM 像

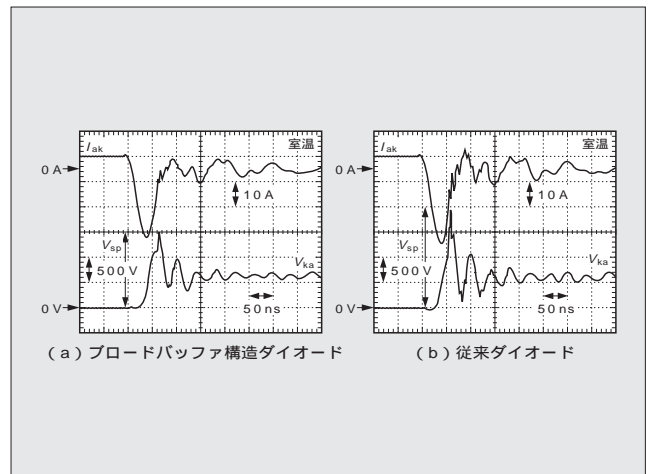


今後、この技術を MOS デバイス製造プロセスに適用し、微細化、高集積化に貢献していく。

③ ブロードバッファ構造高速ダイオード

パワーモジュール、IPM などの IGBT は、高速・低損失化が進んでいる。IGBT のターンオン  $di/dt$  の増加により、還流用ダイオード（FWD）は、発振が生じ、電磁ノイズ源の一つとなる。ダイオードのソフトリカバリー化が強く求められている。

図 3 低電流での逆回復波形



そこで、n-ドリフト層に濃度を高めたバッファ層を設けたブロードバッファ構造高速ダイオードを開発した。このダイオードは、逆回復中の空間電荷領域の拡張を抑制し、余剰キャリアをドリフトによる掃き出しにより抑えて十分多く残すことで、ソフトリカバリー化を達成した。

今後、この技術をパワーモジュール、IPM などに適用することで、電磁ノイズなどの大幅な低減が期待できる。

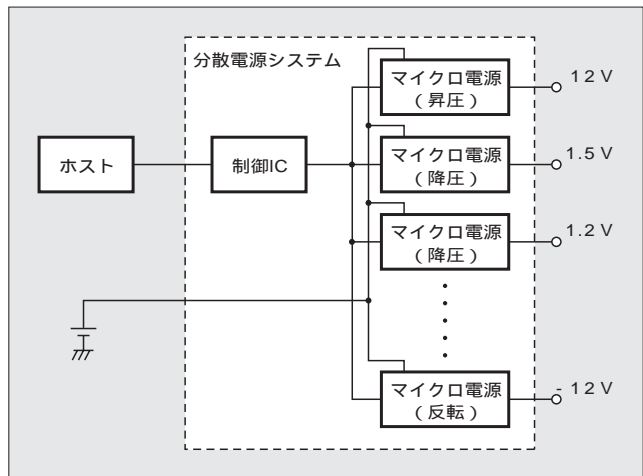
電子デバイス

④ マイクロ電源を用いた携帯機器向け分散電源システム

現在、多くの携帯機器用電源は、装置の多機能化に伴い多電源化しており、これはシステム電源により実現されている。また、LSIの微細化に伴い低電圧化が進みシステム電源もDC-DCコンバータへ移行し、大きなインダクタがシステム電源の周囲に複数配置され小型化を阻害している。すでに開発しているマイクロ電源は小型でポイントオブロード電源として使用可能である。これを用いた携帯機器用分散電源システムを開発した。主な特徴を以下に記す。

- ① 制御ICにより最大14チャンネルのマイクロ電源の電圧設定、起動、停止を制御できる。
- ② 制御ICはマイクロ電源の異常を検知し、システム全体の異常処置を行うことができる。
- ③ 3線式双方向インタフェースを内蔵している。

図4 マイクロ電源を用いた携帯機器向け分散電源システムの構成

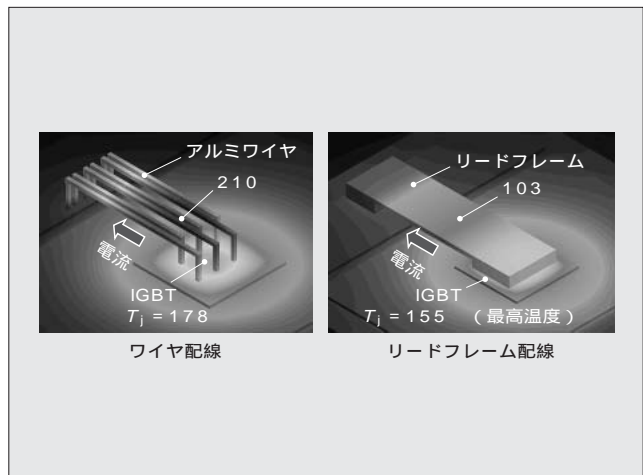


⑤ チップ表面への面接合配線

IGBTに代表されるパワーデバイスは、動作時にチップ損失（発熱）を伴うため熱設計がパッケージ設計で重要な位置を占めている。

現在、チップ表面への電気配線はアルミワイヤの超音波接合が主流であるが、点接合であるため接合部での電流集中や配線抵抗によるジュール熱の発生などの課題を抱えている。このような課題を解決するため、配線抵抗が低く電流密度を均一化でき、さらにチップ表面からの熱移動も期待できるリードフレームによる面接合配線技術の開発を進めている。図はシミュレーションによる温度分布である。リードフレーム配線では配線部でジュール熱による温度上昇もなく、 $T_j$ （チップ接合部温度）が大幅に低減していることが確認できる。

図5 アルミワイヤ配線とリードフレーム配線の温度分布比較

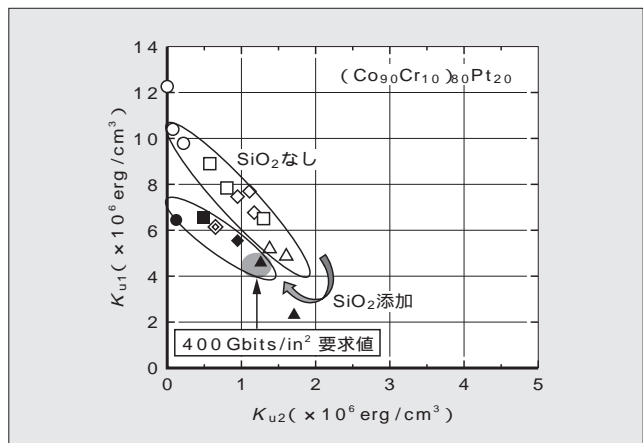


⑥ 400 Gbits/in<sup>2</sup> を目指すグラニューラー垂直磁気記録媒体技術

●関連論文：富士時報 2004.4 p.270-274

高記録密度化のため、熱安定性を維持しながら、書き込みやすい媒体を開発することが重要である。富士電機は、東北大学電気通信研究所が媒体・ドライブメーカーと共同で推進している国家プロジェクトへ参画し、異方性エネルギーの高次項である  $K_{u2}$  を利用した垂直媒体の研究を行っている。 $K_{u2}$  を利用した垂直媒体の概念は、外部磁界を印加した記録媒体において、磁化反転を起こす磁界  $H_k$  は  $K_{u1}$  のみに比例するが、熱安定性を決定づける磁気的エネルギーには  $K_{u1}$  と  $K_{u2}$  の和が寄与するというものである。つまり  $K_{u2}$  の大きさを制御することで、書き込みやすく、熱安定性の増した媒体が可能となる。富士電機では下地層の選択により、CoPtCr-SiO<sub>2</sub> グラニューラー媒体で 400 Gbits/in<sup>2</sup> の達成に必要な  $K_{u2}$  の導出に成功した。

図6 さまざまなシード層材料を用い記録層の構造を変化させた際の  $K_{u1}$ ,  $K_{u2}$  値の変化



電子デバイス

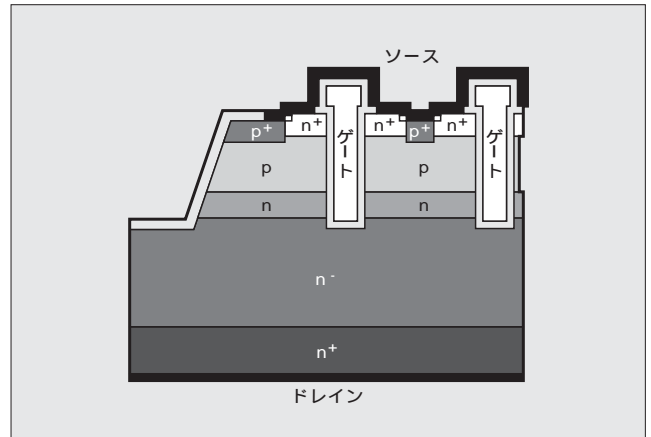
7 エピタキシャル成長を用いた高品質 SiC 結晶

SiC は Si と比較して、3 倍程度のバンドギャップ、約 10 倍の破壊電界強度という優れた物性を有し、高温動作、低オン抵抗を実現する次世代パワーデバイス材料として有望視されている。

富士電機では図に示すような U 溝構造の金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ (UMOSFET) の開発を行っている。製品化に向けての課題の一つとして結晶欠陥による素子特性の劣化が挙げられ、結晶品質の改善が求められている。

これまでに財団法人電力中央研究所と共同でエピタキシャル成長による結晶高品質化に取り組み、結晶品質を表すキャリア寿命の制御要因や、エピタキシャル膜中の大型欠陥の構造などを明らかにした。

図 7 SiC-UMOSFET の断面図



8 色変換方式フルカラー有機 EL

富士電機は、長寿命・高品質な次世代ディスプレイを目指して色変換方式 (CCM) によるフルカラー有機 EL デバイスを開発している。三色塗り分け方式に比べて発光層の形成が容易である CCM 方式の利点を生かし、EL 素子のキャリアバランスの最適化、製造工程での水分除去の改善などにより、フルカラーパッシブマトリクス駆動パネル (全面白色点灯、初期 100 cd/m<sup>2</sup>) で 7,000 時間以上の半減時間を達成している。信頼性を高めるため、耐熱性を向上させた新規 CCM 材料の開発や EL 素子の層構成の改良による低駆動電圧化を進めた。

さらに、大面積化・高精細化に適したアクティブマトリクス駆動方式を可能にするトップエミッション構造デバイスの開発にも取り組んでいる。

図 8 3.1 インチフルカラー有機 EL ディスプレイの画像



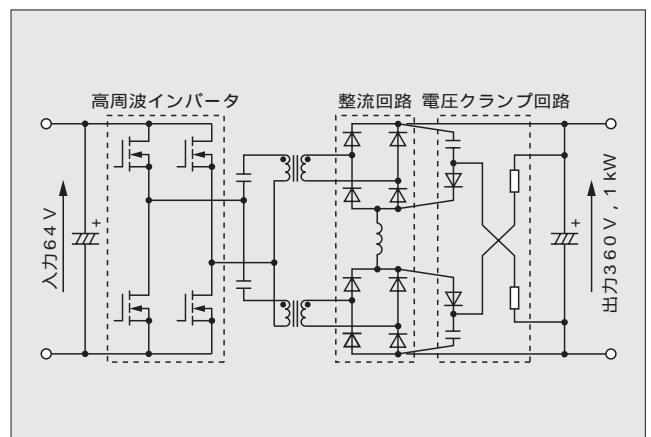
N99-2579-7

パワーエレクトロニクス

1 高効率 DC-DC 変換方式

低圧・直流の分散形電源 (太陽電池、燃料電池など) を 200 V 配電システムに連系する装置において、連系インバータの前段に用いて、連系に必要な電圧への昇圧、入力電圧変動補償、入出力間の絶縁を行う、高効率 DC-DC 変換回路を開発した。入力電圧 64 V、出力電圧 360 V、出力電力 1 kW、スイッチング周波数 60 kHz にて、変換効率 95 % を達成している。高出力電圧の DC-DC 変換回路は、一般的な数十 V クラスのものに比べ、スイッチング損失の大きな高耐圧ダイオードが必要となるため高効率化が困難であった。今回、ダイオードにかかる電圧を抑制する独自の直列クランプ整流方式を採用することで、比較的耐圧の低い低損失ダイオードを適用可能とし、高効率を実現した。

図 9 DC-DC 変換回路の構成



パワーエレクトロニクス

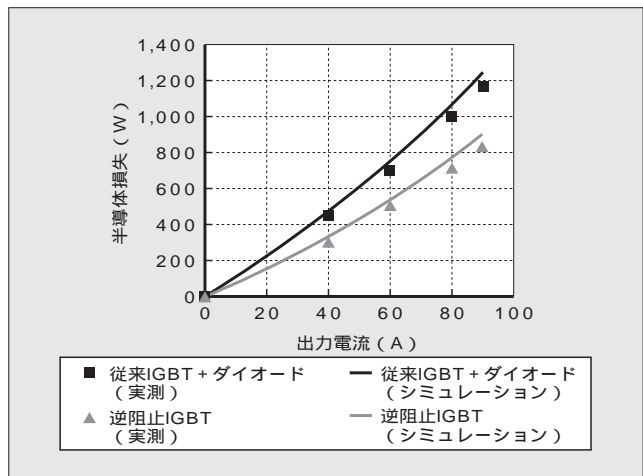
② 逆阻止 IGBT の熱・損失シミュレーション技術

●関連論文：富士時報 2004.2 p.142-145

マトリクスコンバータのより最適な主回路設計を行うために、逆阻止 IGBT で発生する損失および熱シミュレーション技術を開発した。

マトリクスコンバータは動作が複雑なため、これまで、逆阻止 IGBT で発生する損失や熱をシミュレーションすることが非常に困難であった。そこで今回、逆阻止 IGBT の損失特性を近似式化し、また過渡熱抵抗特性を電気回路でモデル化することにより、複雑な半導体モデルを用いることなく、汎用の電気回路シミュレータで発生損失や瞬時温度を簡単にシミュレーションすることを可能とした。また本方式を用いることで、マトリクスコンバータのパルスパターンによる発生損失の差異や、他の電力変換装置の発生損失を検討することも容易に可能となる。

図 10 マトリクスコンバータの半導体発生損失

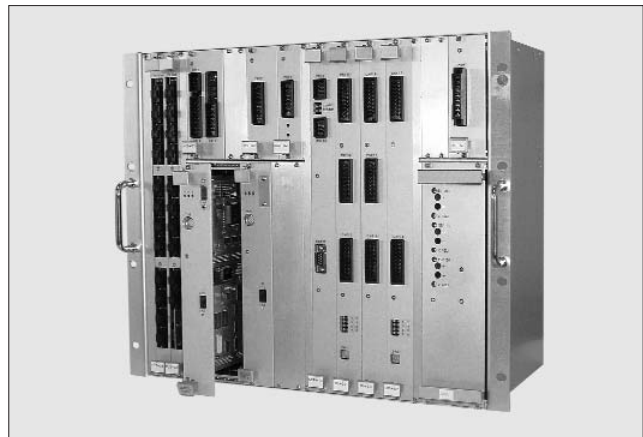


③ 車両駆動用多機能制御装置

さまざまな鉄道車両駆動の用途・ニーズに対応可能な車両駆動用多機能制御装置のハードウェア・制御アルゴリズムを開発した。ハードウェアは、64ビットCPUをコアとしたマルチプロセッサ構成とし、多岐にわたる制御演算処理を高速・高精度で実行可能としている。また、データ通信技術・回路集積化技術を駆使し、多機能化・高信頼性化を図っている。さらに、運転指令・運転状態のモニタなど複数系統の車上伝送にも対応可能としている。

駆動機能としては、乗り心地感向上・加速性能確保を可能とする新開発の複数台モータ用ベクトル制御（トルク誤差5%以下）・空転再粘着制御を搭載している。また、モータの電磁音を低減するために、キャリア周波数変調機能を付加した低ひずみPWM方式を新たに採用している。

図 11 車両駆動用多機能制御装置



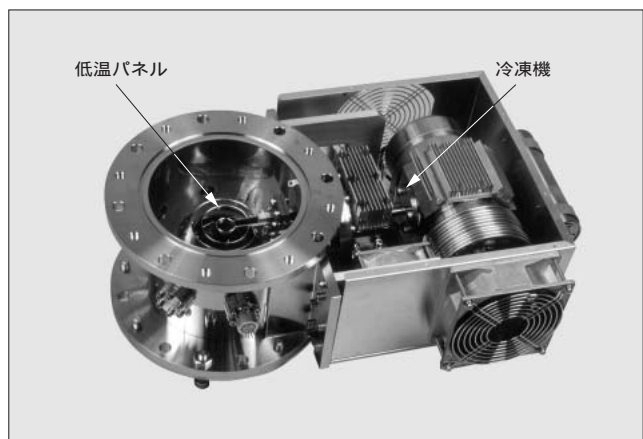
メカトロニクス・センサ

① 高真空排気向けコールドトラップ装置

半導体製造設備に適用する高真空排気向けに、水分を吸着するコールドトラップ装置を開発した。主な特徴は、コールドパネルを冷却する冷凍機に小型で高効率・長寿命のリターン型パルスチューブ冷凍機を採用したため、大きな圧縮機を持つGM方式と比較して質量で約1/3、消費電力で約1/5を達成した。一体型構成でコンパクトなため、真空配管に直接取り付けることができる。低温パネルの温度を70K±1Kから150K±1Kまでの範囲で制御することができるため、真空中の水分除去だけでなく、有機ガスなどを選択的に吸着することも可能である。主な仕様は、

口径：150mm（6インチ）、排気速度（H<sub>2</sub>O）：2,500L/s、再生時間：10分以下、消費電力：150W、設計寿命：5万時間、質量：25kgである。

図 12 高真空排気向けコールドトラップ装置

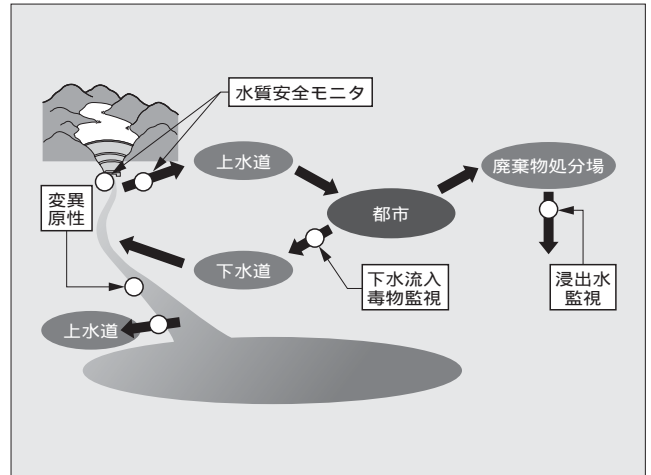


メカトロニクス・センサ

② 環境計測のためのバイオアッセイ技術

簡便かつ迅速に水の安全・安心を提供するセンシング技術として生物材料の機能を利用するバイオアッセイ技術が注目されている。富士電機グループは、硝化細菌を利用したバイオセンサを用いて、シアンに代表される急性毒物による突発性的な水質汚染を高感度かつ連続的に監視可能な新型水質安全モニタを製品化した。河川などの水源および水道取水水質の監視をはじめ、今後下水処理場の生物処理機能を阻害する物質の監視への適用が可能となる。また、廃棄物処分場浸出処理水や環境水のリスク管理手段の一つとして、簡単な操作で変異原性試験が可能なレポーターゼーンを利用した発光 umu バイオセンサも開発した。これらのセンサ技術を核に、今後も水環境保全に有用な計測技術としてバイオアッセイ技術の拡充を図っていく。

図 13 バイオアッセイ技術による水環境計測システム



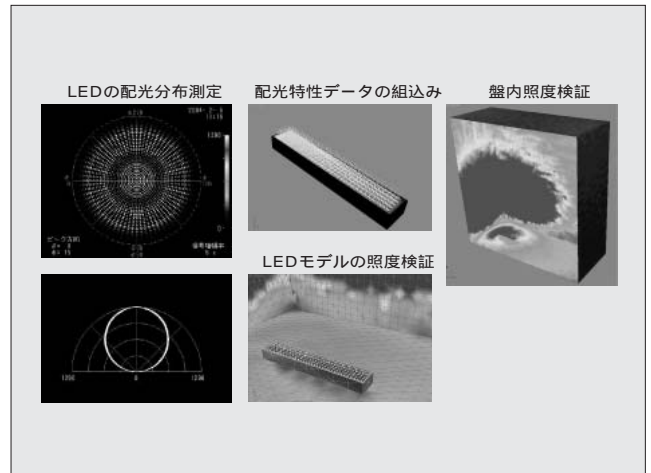
③ 配電盤の照明シミュレーション技術

配電盤装置において、近年の環境対応の一環として、省エネルギーを目的とした LED 照明器具の適用のため、制御室などにおける配電盤装置に、最適な照度（JIS 照度基準）を得るための照明シミュレーション手法を確立した。

LED 部品単体を一つの照明装置と仮定し、配光特性データを三次元計測して、一般的な配光特性データである IES( Illuminating Engineering Society of North America ) ファイル形式とする方式を独自に開発した。また、配電盤内部の板金などの反射率を光学測定器により測定し、照明シミュレーションのパラメータを決定した。

この照明シミュレーションにより、配電盤装置の大きさや内部実装の状態に応じて、最適な照度が短期間に検証できる設計環境を構築した。

図 14 LED 照明を配置した配電盤内部の照明シミュレーション

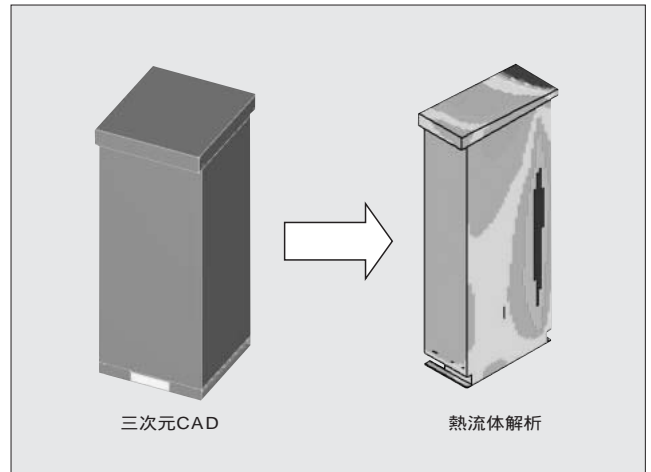


④ 設計ツールと連係した熱流体連成解析技術

パワーデバイスの高発熱密度化により、パワーエレクトロニクス機器の冷却設計の重要度が増加している。設計の品質向上とスピードアップのために、三次元 CAD と熱流体解析を連係した熱流体連成解析の確立を進めている。

設計部門で作成した三次元 CAD データと連係して解析を実施する際には、解析モデルの作成作業において解析に不要な微細形状や穴やリブといった構造物を解析者の判断で削除・簡易化する必要がある。これらの修正作業を三次元 CAD 上で実施し、修正作業の手順の標準化と適正化を進めることにより、熱流体解析のプリプロセッサによる解析用モデルの作成およびメッシュ生成の作業にかかる時間を短縮し、短納期における最適化設計環境の構築を進めている。

図 15 設計ツールと熱流体解析のデータ連係



メカトロニクス・センサ

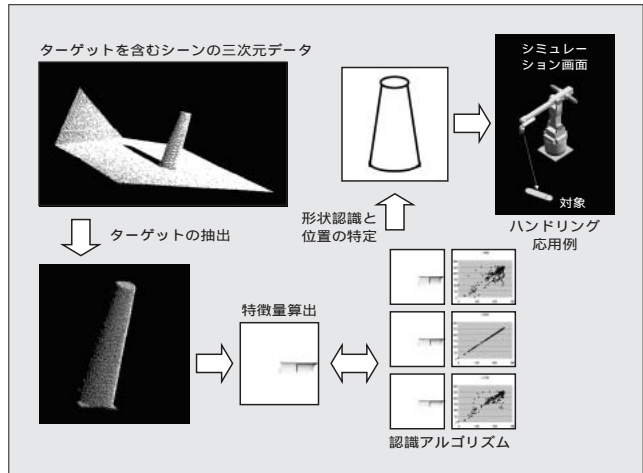
⑤ 三次元形状認識技術

ロボットビジョン（画像処理・認識）による物体認識の一手法として、対象物の姿勢に依存せず、また障害物や埋没などの影響により対象物の一部分だけが検出可能な条件下において、対象物を登録したパターンと比較・照合して認識し（パターンマッチ）、位置・姿勢を特定するアルゴリズムを開発した。

対象物は、一般的なレーザスキャナやステレオビジョンシステム（2台のカメラ）により、1視点から三次元点群データとして測定され、認識される。

本アルゴリズムは、汎用のパソコンにて実行可能であり、ハンドリングシステムと組み合わせることにより、人間が入ることのできない区域におけるロボットハンドリング作業を支援するなどの応用を想定している。

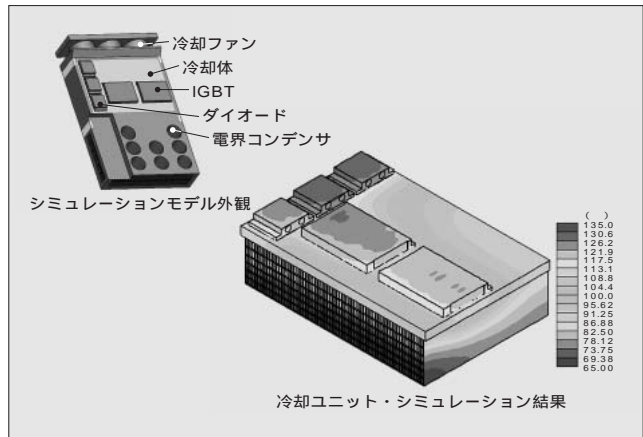
図 16 形状認識アルゴリズムの流れと応用例



⑥ 熱流体シミュレーション技術

汎用インバータの中大容量機では、使用する IGBT 素子の高集積化により発熱密度が高くなり、熱的な設計が厳しくなっている。また、小型化・低コスト化の要求も強い。これに対応するため、富士電機では、冷却ユニットの設計に、有限体積法の熱流体シミュレーション技術を適用し、熱設計技術を確立した。シミュレーションでは、発熱源の半導体チップから素子、冷却体への熱伝導現象と、冷却体から冷却風への熱伝達現象を実機運転モードに従い計算することで、検証実験との IGBT 素子の温度レベルを±4度以内に収めることを可能にした。これを用いて行った容量 220 kW のインバータの冷却ユニットは、体積を 33% 小型化することに成功し、同時に大幅なコストダウンを可能とした。今後、小容量機への設計にも適用していく。

図 17 インバータ熱流体シミュレーション結果

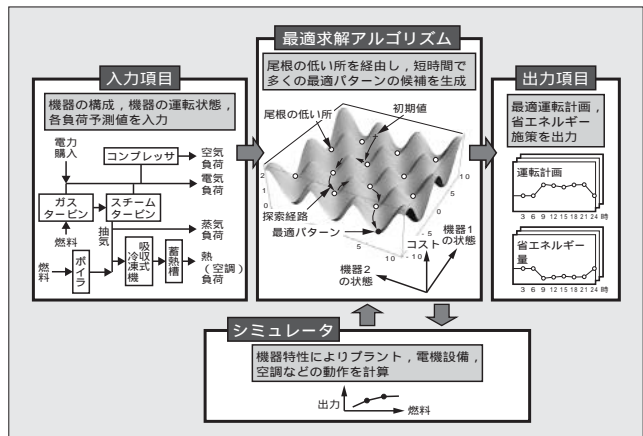


情報・通信制御

① 非線形システム安定性理論を用いた新しい最適化手法

企業活動においては、さまざまな業務において目標を立て、その目標を達成するような活動が行われる。最適化手法は、対象とする問題に対して立てた目標にできるだけ近づくような手段を求める方法である。これにより、例えば省エネルギーを実現する機器の最適運転、製品の品質を最良に保つ制御方法の決定、機器最適設計値の導出などが実現できる。富士電機グループは、短時間で多くの最適パターンの候補を生成するため、非線形システム安定性理論を応用した独自の最適求解アルゴリズムを開発している。本手法は、従来の最適化手法よりも大規模問題に対し、よりよい解を見いだせることを確認しており、今後、機器最適運転など、省エネルギー分野を中心とした幅広い分野に適用していく予定である。

図 18 新しい最適化手法の概要（機器の最適運転の例）



環境・新エネルギー

① 100 kW リン酸形燃料電池の病院への適用

燃料電池は、水の電気分解の逆反応を利用するクリーンな発電方式であり、その環境性の高さから 21 世紀のエネルギー供給の一翼を担うことが期待されている。富士電機グループでは、1998 年から 100 kW リン酸形燃料電池の商品機の販売を開始し、納入した装置はいずれも高い稼働率を誇っている。中には、計画どおりのオーバーホールを経て、2004 年度中に累積発電時間が 5 万時間に達する装置もあり、その信頼性・耐久性への評価を揺るぎないものとしつつある。2004 年 7 月には、病院に設置した商品機が運転を開始した。病院へ設置した商品機は、これで 3 台目となる。電力需要と熱需要の両方を有する病院は、コージェネレーション機器である燃料電池の適用先として、今後最も期待される施設の一つである。

図 19 100 kW リン酸形燃料電池



② 食品廃棄物メタン発酵発電システム

食品廃棄物からメタンガスを取り出し燃料電池などで発電するメタン発酵発電システムを開発した。メタン発酵技術においては、担体を充てんした高速発酵技術を確立し、槽容積を従来の約 50 % に小型化した。発酵廃液処理は、ばっ気槽内の pH 変化をとらえ、ばっ気時間を制御する亜硝酸型間欠ばっ気処理を実用化することができた。また、ばっ気槽の汚泥と処理水を発酵槽に循環することにより余剰汚泥の減量化と発酵槽内のアンモニア濃度低減を両立させる安定発酵技術を確立した。

図 20 食品廃棄物メタン発酵ミニプラント



このシステムはミニプラントによる評価試験を経て、東京都日野市クリーンセンター内にて 0.5 t/日規模での実証運転を行っている。

③ 膜ろ過システム

●関連論文：富士時報 2004.3 p.212-215

河川水、地下水を対象とした浄水用膜ろ過システムを開発した。オランダ NORIT/X-Flow 社から導入した膜技術（中空系 MF 膜、公称孔径 0.025 ~ 0.030 μm）に、富士電機のプラントエンジニアリング技術、計測制御技術を融合させ、富士膜ろ過システムを提供する。

図 21 膜ろ過システム実証実験装置



河川水を対象とした実証実験では、処理水量 100 m<sup>3</sup>/日、流束 1.5 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・日) の条件において 6 か月間の安定運転を達成し、財団法人水道技術研究センターにおいて装置認定を取得した。処理水質は常に良好で、濁質、細菌を 100 % 除去することができた。さらに、地下水などを対象とした実証実験を進めている。

本システムは安全な上水を安定して提供することができる。

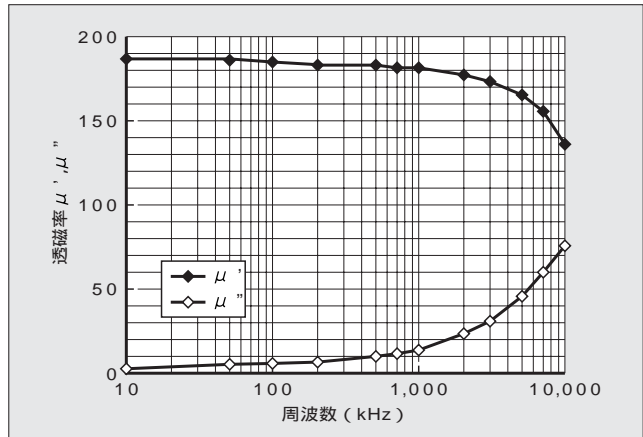


材料技術

1 フェライトナノ被覆磁性体

携帯機器などの市場拡大に伴い電子部品の小型化・高性能化が求められ、高い飽和磁束密度と優れた高周波磁気特性を併せ持つ軟磁性材料が小型電源部品のインダクタとして必要である。パーマロイ粒子に膜厚数十 nm のフェライトめっきを施し成形した圧粉磁心は、優れた磁気特性が可能と期待されているが、従来手法では透磁率が約 60 と小さい。高透磁率化のためにパーマロイ粉末、フェライトめっき、プレス成形方法、アニール方法などの開発を行い、高透磁率を得るメカニズムを明らかにした。特に急速加熱アニールを適用することにより透磁率を大幅に増大できることを見いだした。印加磁場の周波数 2 MHz において透磁率 170 を得ることができ、インダクタ材料として高い特性を得ることができた。

図 22 フェライトナノ被覆磁性体の透磁率 - 周波数特性



解析技術

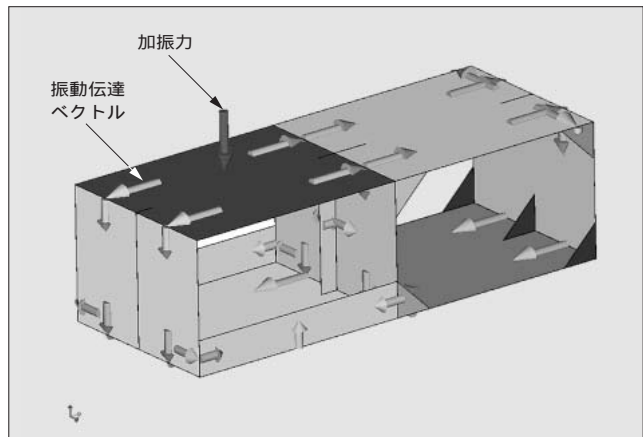
1 SEA 法による振動騒音解析技術

構造物の振動騒音解析法として FEM (有限要素法) が一般的に用いられているが、数 kHz 以上の高周波領域の解析では詳細なモデル分割が必要となり、計算時間が膨大となるため実用的でない。これに対応するため、高周波領域の解析に適した SEA (統計的エネルギー解析) 法による振動騒音解析技術を確立した。

解析に必要な構造物要素ごとの内部損失係数および結合損失係数のデータベースを構築し、このデータを用いた解析が良好な計算精度であることを確認した。

SEA 法では振動騒音のレベルを予測するほかに、エネルギーの伝達経路と大きさを解析することができ、効果的な振動対策部位を見いだすことが可能となる。今後、数多くの製品に適用し、振動騒音の低減に貢献していく。

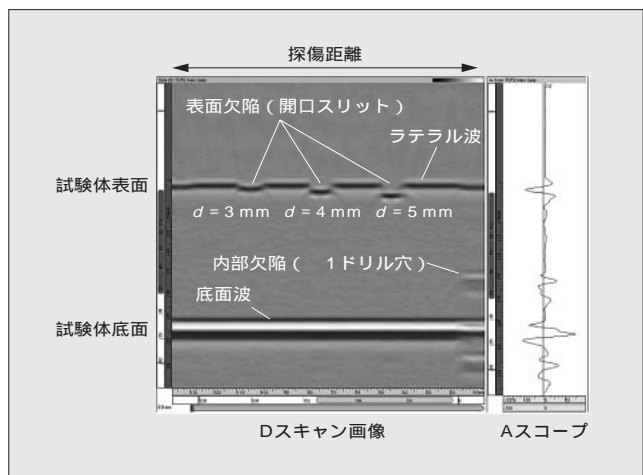
図 23 電源筐体 (きょうたい) における振動解析例



2 超音波微小内部欠陥解析技術

構造物に発生する内部欠陥の位置と寸法を、高精度に検出する手法に超音波 TOFD (Time of Flight Diffraction) 法がある。TOFD 法は、一般的な超音波探傷法であるパルス反射法のように欠陥反射波の音圧レベルと探触子移動距離から欠陥位置・寸法を求めるのではなく、欠陥上端および下端回折波の伝搬時間から欠陥位置・寸法を算出する手法である。富士電機では検出欠陥深さに応じた TOFD 法の探傷条件の最適化を行うとともに、パルス反射法との併用により、1 回の探傷で検査対象範囲全域を網羅する評価技術の確立に取り組み、表面開口スリットによる評価では、±0.3 mm の精度で欠陥寸法の評価が可能となった。今後は、構造部材における時系列的なきずの発生、進展のモニタリング技術として適用化を進める。

図 24 TOFD 法による欠陥部評価画像例

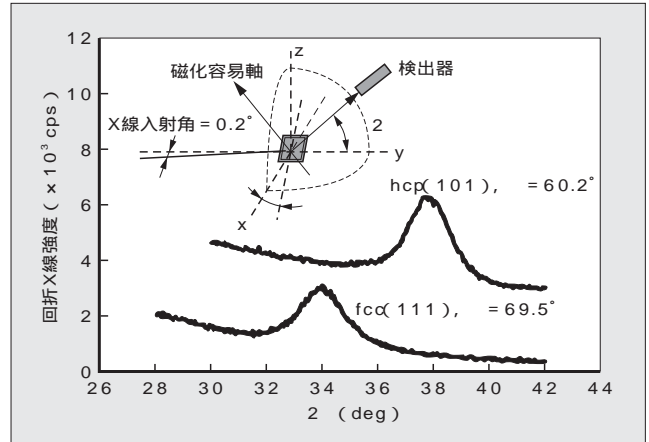


解析技術

③ 媒体磁性層の微細構造解析

磁気記録媒体は、複数の多結晶薄膜（厚さ：数～20nm）が積層した構造をしている。記録情報の熱安定性や書込み容易性などの媒体品質が設計どおりにできているか評価するためには、積層した個々の膜を独立に測定する技術が重要である。富士電機では、放射光施設 SPring-8 を利用して、個々の膜を独立に評価し、さらに個々の膜中に存在する結晶構造の異なる結晶粒を分離して測定することに成功した。図は X 線を薄膜表面に平行に近い浅い角度で入射させる配置を示しており、図中の二つのスペクトルから記録層（20nm）中に存在する六方晶（hcp）と立方晶（fcc）の独立した構造情報が得られる。これまでは、極薄膜中の立方晶（fcc）相を分離して測定する手段はなかったが、この技術開発によって媒体のさらなる記録密度向上が可能になった。

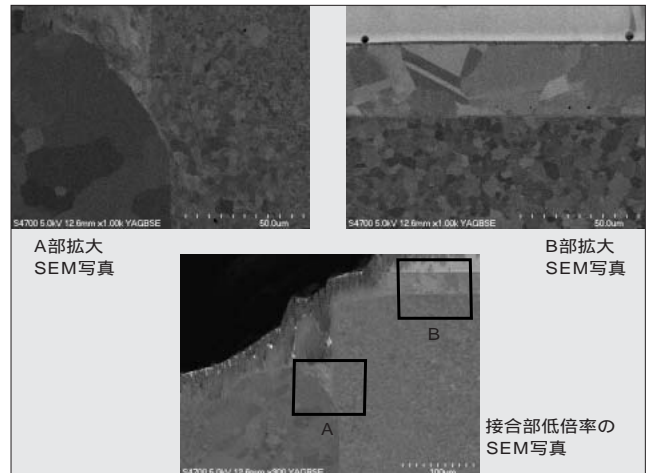
図 25 X 線面内回折法の測定配置と CoPtCr-SiO<sub>2</sub> の回折スペクトル



④ イオン研磨を用いた SEM 断面マクロ観察技術

半導体デバイスの開発においては、デバイス全体の断面構造をより広範囲にかつ精細に観察したいという要求が高まってきている。従来は、機械研磨を行い、断面構造を観察する方法が一般的に行われてきた。これに対して、機械的研磨を用いず、Ar イオンビームを照射し、イオン研磨する試料作成技術を開発した。この技術の特徴は、従来の機械研磨方式と比較して、観察する試料の断面の破損がないことにある。これにより、デバイス全体の構造が走査電子顕微鏡（SEM）の分解能で明瞭（めいりょう）にとらえられるようにすることができた。この技術により、微細な構造とデバイス特性との関係を明確に把握することができ、開発の効率向上に寄与している。

図 26 デバイス接合部の断面マクロ写真

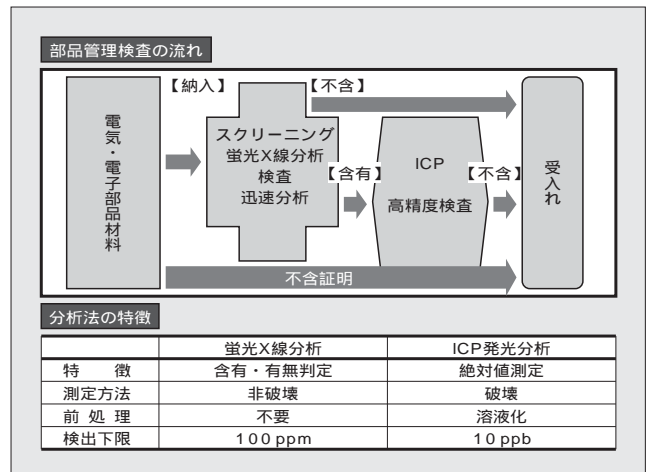


⑤ グリーン調達のための有害物質の微量分析技術

富士電機では、有害物質の不使用や削減を目指したグリーン調達を行い環境配慮型製品を開発し環境負荷を低減するために、プラスチック中などの Cd, Pb, Cr<sup>6+</sup>, Hg, およびポリ臭化ビフェニール（PBB）、ペンタ臭化フェニルエーテル（PBDE）の Br などの有害物質を迅速に分析できるようにした。RoHS の有害物質規制値は Cd が 100 ppm で、他は 1,000 ppm である。これを分析評価する技術として、簡便な評価が可能な蛍光 X 線分析法によるスクリーニング法と、試料の前処理技術と組み合わせる無機元素の微量測定が可能なプラズマ発光分析法による絶対値測定を確立した。また Cr<sup>6+</sup> はジフェニルカルバジド吸光度法により分析している。

これらの技術によって電磁接触器やモータなど製品部品材料の特定有害物質の分析評価を行い貢献している。

図 27 グリーン調達部品管理検査イメージと分析法の特徴



解析技術

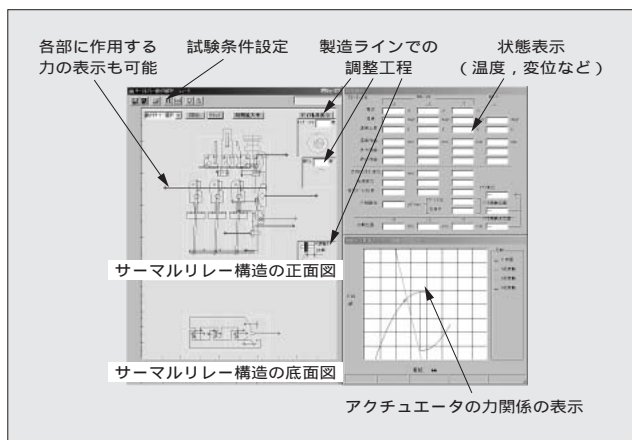
⑥ サーマルリレーの動作解析技術

過電流による温度上昇をバイメタルのたわみに変換し接点を動作させるまでのサーマルリレーの一連の動作を解析するシミュレータを開発した。開発にあたっては、従来困難であった電気 - 熱 - 機構系の連成解析を、機器の形状と動作を適切にモデル化することにより可能とした。

このシミュレータでは、バイメタルのたわみから接点の動作までの各部の動作をパソコンの画面にて再現できるだけでなく、製造ラインでの調整工程や試験条件の設定やそれらが動作や性能に与える影響も画面上で確認可能となっている。

これにより、設計から製造、試験に至るまでの過程をシミュレートでき、より一層の機器の高性能化、開発効率の向上が可能となる。

図 28 サーマルリレーの動作解析 (パソコン画面で入出力)



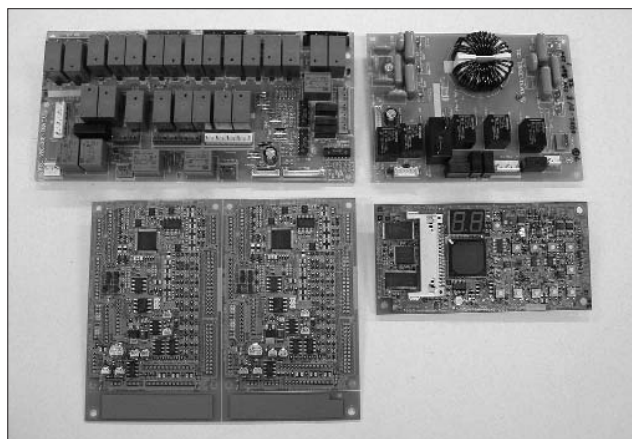
生産技術

① 鉛フリーはんだの製品適用展開

●関連論文：富士時報 2004.2 p.107-111

富士電機グループでは、2005年3月のRoHS指令対応完了を目標に、鉛フリーはんだの製品適用を展開している。適用する鉛フリーはんだは、富士電機が独自に開発したSn3.5Ag0.5CuNiGe（日本、アメリカ、ドイツで特許取得済み）はんだであり、社団法人電子情報技術産業協会（JEITA）推奨のSn3.0Ag0.5Cuはんだに比べ、高温引張強度・高温クリープ強度に優れている、はんだによる部品リードくわれが少ない、はんだフィレットの引け巣が少ない、はんだのドロス（酸化かす）発生量が少ない、などの優れた特徴を持っている。現在、汎用インバータ「FRENIC-Ecoシリーズ」、自動販売機など、事業所と連携し、鉛フリーはんだの製品適用化を推進するとともに、材料物性基礎データの取得、蓄積を加速している。

図 29 鉛フリーはんだ適用製品のプリント基板



② トータル電子回路設計システム

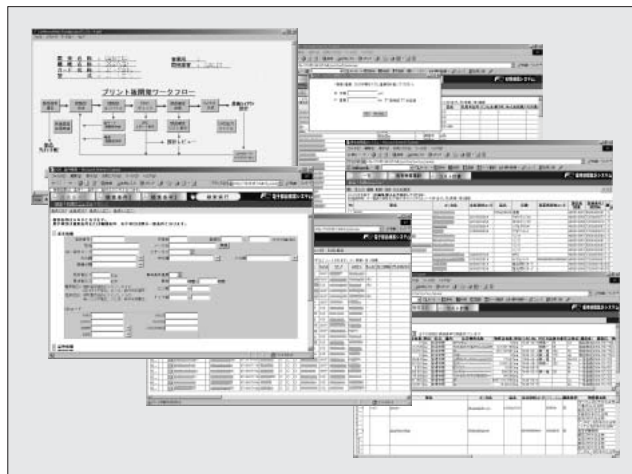
全社統一部品データベースを中核とする電子回路のトータル設計システムを構築している。

電子部品データベースは部品基本情報、品質認定情報、環境情報などをもち、回路図CADとシームレスな連携、設計ルールチェックの自動化により設計段階での完成度の向上、品質向上、環境に配慮した設計が進められるシステムとしている。

これに加え、環境への対応に配慮した材料のデータベース、ファンや構造部品などの電子部品以外のコンポーネントのデータベースも備えている。

現在は、各事業所との連携を強化し、環境負荷の定量化などに用いられている。

図 30 含有物質集計画面例





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。