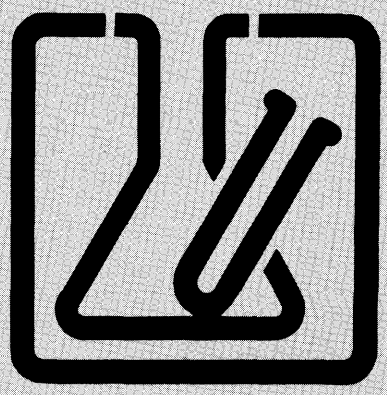
研究



エネルギー
計測・センサ
半導体・エレクトロニクス
解析
材料・基盤
生産技術

展望

昭和61年は円高による製造業界の不況が急速に進展し，しかも今後長期的に継続するとの見通しから，メーカーとしての体質変更を迫られた年といえよう。そのためにも研究開発の重要性はますます強まってきている。

富士電機においても，従来に増して研究開発の推進・効率化を図るため，体制を強化し，重点分野への集中，スピードアップが図られた。

エネルギー分野では，新エネルギーとエレクトロニクス技術を応用したエネルギー変換での合理化・高信頼化が重点課題である。新エネルギー関係では，焦点を太陽光発電と燃料電池の開発にあてている。

太陽光発電では，電力用アモルファスシリコン太陽電池の新エネルギー総合開発機構（NEDO）開発プロジェクトの中で大面積化を引き続き担当し，1,200cm²でモジュール効率7.5%を達成，次の目標9%に向けて挑戦中である。また，太陽電池の需要喚起を目的としたW級のモジュールも開発完了し，サンプル提供を始めている。

燃料電池においては，実用化へ大きく踏み出した。リン酸型では，電力用としてNEDO 1MW発電プラントや，東北電力(株)の50kWプラントが運転を開始し，新しくNEDOの離島用分散形電源の開発に着手した。また，汎用電源としてメタノール改質5kVA級の開発が進んでいる。

電力関係では，原油価格低下による資金の活用，円高不況対策により電力会社の研究開発投資の増加，設備投資の前倒しなどに対応し，積極的な研究開発が行われた。電力機器の予防保全の充実のため，タービンの余寿命の予測法，ラビング診断装置の開発，各種新形センサをベースとした変電機器の総合監視システムの開発などが行われた。現代制御理論を適用した発電機制御TAGECは実系統試験を完了，その有効性が確認された。配電系統は分岐が多く解析は極めて難しいが，EMTPとTNAを駆使して異常電圧を解析し，配電機器の絶縁合理化への足掛かりを作った。架空配電線の活線作業を行うロボットについては実用化の見通しがつき，第二期として高所作業車搭載，実作業を行うこととなっている。

計測・センサ分野では，ビデオセンサの画像処理の高度化が図られ，生産ラインのセンサとして用途の拡大へとつながってきている。

半導体分野では，まず，太陽電池で培ったアモルファスシリコン薄膜の技術が大形液晶表示用アクティブマトリックス基板のTFD・TFTに適用・開発されている。中小形の半導体変換装置に大幅な変革をもたらすと期待されるMOSゲートバイポーラトランジスタの開発も順調に進んでいる。GTOサイリスタでは新たに逆導通形が開発され，装置の小形化・合理化が可能となった。

エレクトロニクス分野では，光間接点弧サイリスタを用いた揚水発電機始動用20MW変換器が高信頼性設計のもとで完成，またGTOサイリスタを用いた低無効電力変換器も試作が完了した。MOS FETによる高周波技術を適用したインバータも50kW級まで開発され，上述のMOSゲートバイポーラトランジスタとともに，今後の変換器の本命になるものと思われる。可変速インバータ制御方式として，磁束制御形PWM方式を開発したが，騒音・回転むらなどに対する性能改善は極めて顕著であり，今後の適用が期待される。

解析技術の分野では，400kV分析電子顕微鏡が導入され，原子レベルでの構造・成分の解析が行われるようになり，アモルファス薄膜や燃料電池電極などの研究開発の加速に大きな力を発揮している。また，スーパーコンピュータVP50の導入により，三次元の詳細解析も可能となり，機器・装置開発の大きな武器となっている。OA機器に必要な小形精密モータにおいても，本格的な解析が行われ，高性能化への道を開いた。

生産技術分野では，FMSシステム間や上位管理システムとの間をLANで結ぶシステムが続々開発され，総合合理化の実をあげてきている。

上述のように61年も活発な研究開発が行われたが，非常な速さで進歩している科学技術を，いかにタイミング良く市場ニーズに結びつけるかにメーカーの将来はかかっている。富士電機としても，今後共研究開発のたゆみなき推進を図ってゆく所存である。

エネルギー

1 電力用アモルファスシリコン(a-Si)太陽電池

○関連論文：富士時報 1986-11 pp.721～725

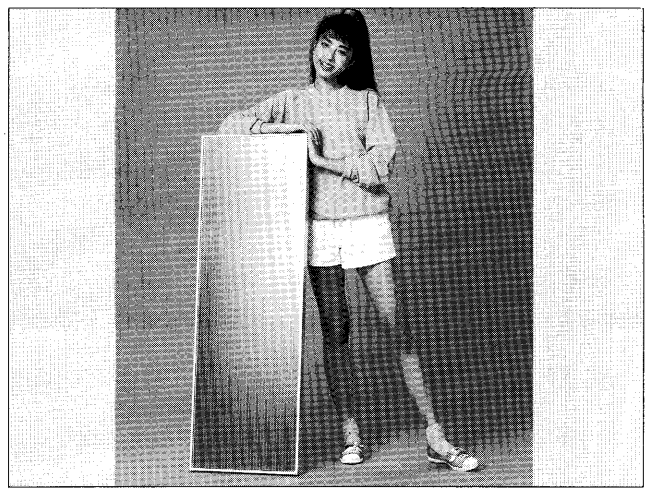
昭和55年度から「サンシャイン計画」に参画し，更に58年度からは新エネルギー総合開発機構からの委託を中心に大面積製造技術の実用化研究を進めている。60年度までの第1段階では，面積1,200cm²の太陽電池で実効効率（太陽電池の全面積に対する効率）7.5%を得るなど委託研究の目標を達成した。61年度からは実用化研究の第2段階に入り，以下の目標を中心に大面積太陽電池の研究を行っている。

(1) 面積1,200cm²の太陽電池で9%以上のモジュール効率を得る。

(2) 面積4,800cm²の太陽電池の試作も含めて電力用太陽電池として最適な面積を決定する。

このため，a-Si成膜技術を中心に面積4,800cm²のセルプロセスを開発中で，試作結果の一例を図に示す。

図1　試作結果の一例

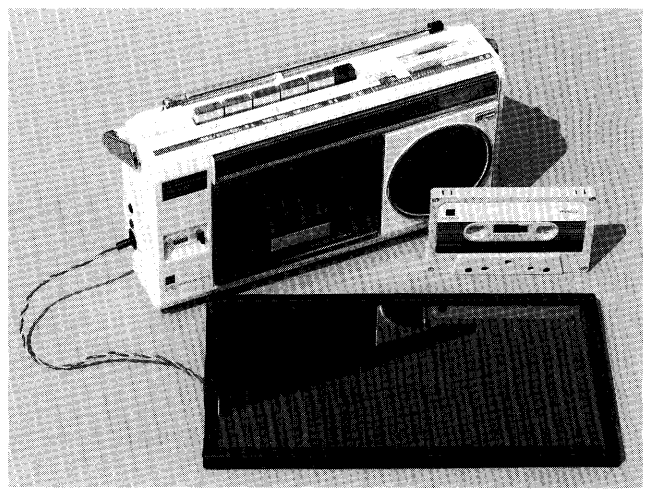


2 W級太陽電池

電卓，時計などの民生用途を中心に製品化を行ってきたアモルファスシリコン（a-Si）太陽電池の次のステップとして，現在小形バッテリーのチャージャなど広い用途を目的とした，出力1 W級の太陽電池の開発を進めている。これは，将来の本格的な電力用途への応用につながる中間的な市場の開拓をねらったものであり，a-Si太陽電池の多様かつ大きな需要を喚起する上で，重要な役割を果たすものと期待される。

昭和61年度は，6V及び12Vバッテリーチャージャ用a-Si太陽電池モジュール（セルサイズ：12cm×22.5cm）の試作研究を通じて，低コスト製造技術を確立するための要素技術の開発を行った。試作されたモジュールは，既にサンプルとして数社に納入されており，営業展開も積極的に進められている。

図2　試作されたW級a-Si太陽電池モジュール



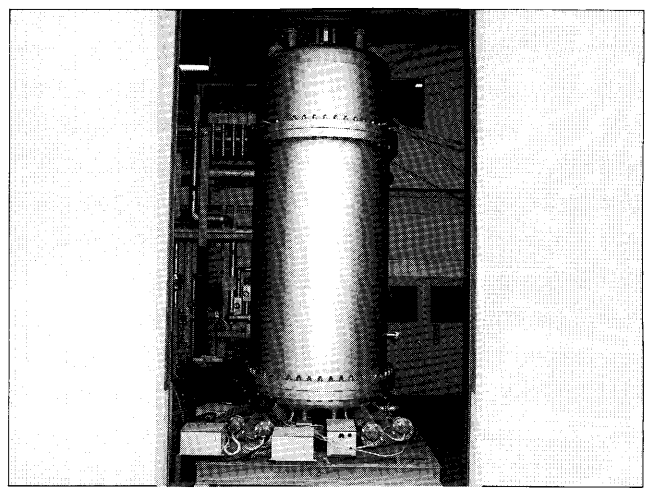
MO 153-1

3 燃料電池

リン酸型については，新エネルギー総合開発機構委託1,000kW発電システム用250kW電池スタック2基，東北電力(株)共同研究用50kW電池スタック1基を製作した（28ページの2項参照）。また，新エネルギー総合開発機構から離島用発電システムの技術開発を受託し，要素技術の開発に着手した。一方，メタノール改質小形燃料電池についても5kVA級の開発を進めている。

溶融炭酸塩型については，大形化の研究を進め，電極面積2,900cm²のセルを試作し，7kW級積層電池開発の見通しを固めている。要素技術の内，電解質板の大形化については新エネルギー総合開発機構の委託を受けている。また，(財)電力中央研究所とは引き続き共同研究を行っている。

図3　リン酸型250kW燃料電池スタックの外観

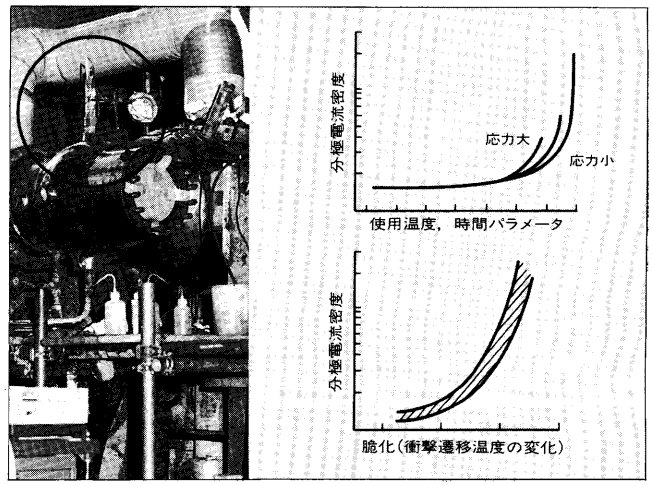


エネルギー

4 火力タービン材料の経年劣化と余寿命予測

老朽機の増加に伴い，それらの劣化状態を正確に把握し，余寿命を予測して適切な対策を講じることは，プラント運用の信頼性を確保する上からますます重要となっている。富士電機は材料分極特性が劣化状態により変化することを利用して劣化を検知するため，実機について簡単に分極特性を計測できる分極セル及び計測器を開発した。特に垂直面にも使えるセルの開発は，この方法の適用範囲を広げた。図に実機についての計測状況を示す。また，実機について金属組織の経年的微小変化をレプリカ法によってとらえて，劣化状態を検知する技術を確立した。更に，長時間使用して不要となった実機材料や人工劣化材について試験して，分極特性や金属組織と使用条件，材料強度との関連を示す多くのデータ（図に一例を示す）を得て余寿命予測を可能とした（写真の円内は分極セル，左下は計測器を示す）。

図4　計測状況並びに分極特性と使用条件，材料強度との関連



5 タービン軸ねじれトルク監視装置の開発

タービン発電設備の軸寿命は，電力系統事故や再閉路などの過激な軸応力変動ばかりでなく，系統投入や負荷遮断などの通常の運用の蓄積によっても影響される。この影響は，発電設備の大容量化によって強くなる傾向にある。

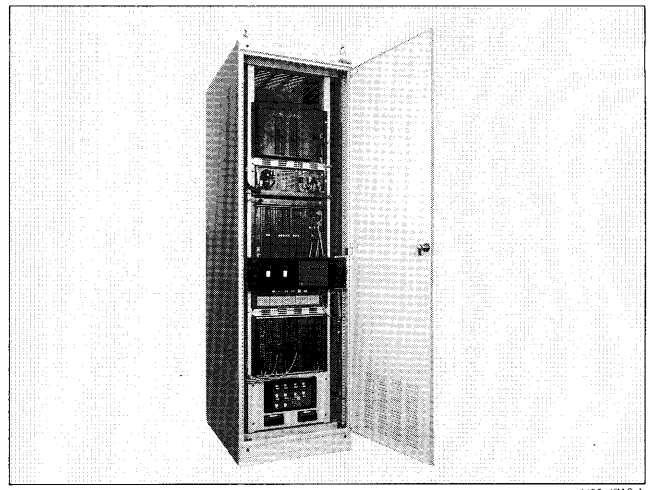
富士電機では，タービン発電設備の大容量化に伴い，信頼性確保や保守の効率化のため，長期的にオンラインで軸の常時監視を行う，軸ねじれトルク監視装置を開発した。

本装置の特長は次のとおりである。

(1) 軸に発生する軸ねじれトルク検出に特別な加工が不必要であり，非接触で検出できる間接検出方式の採用。

(2) FASMIC G500による，軸寿命計算，カップリングの損傷程度の判定，及び発電機固定子コイルエンドの損傷程度の判定のオンライン処理。

図5　軸ねじれトルク監視装置



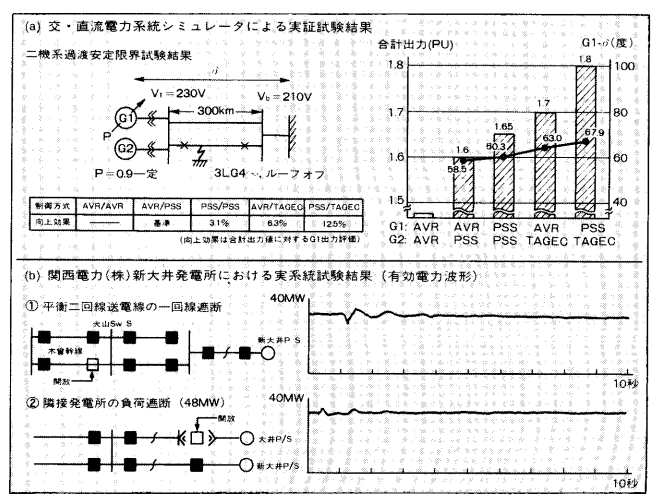
N89-4718-1

6 TAGECのフィールドにおける実証テスト

電力系統の安定度対策において，発電機制御系の高性能化・高信頼度化による安定運用は最も基本的課題である。

富士電機では関西電力(株)と共同で，現代制御理論を発電機の励磁・調速系制御に適用し，かつ連系系統の系統変化や発電機動特性変化に対し適応制御を行う適応形総合発電機制御装置（TAGEC）を開発した。本装置の有効性及び実用性の検証のため，（財）電力中央研究所の共同研究参加を得て同所の交・直流電力系統シミュレータによる実証試験を行った。一機系，二機系，長周期動揺系において種々のじょう乱を与えて検討した結果，動態・過渡のいずれも従来方式以上の安定限界を示し，本装置の有効性を確認した。また，関西電力(株)新大井発電所において実系統試験を実施し，本装置の実機適用性を確認した。図に結果の例を示す。

図6　TAGECの実証テスト結果



エネルギー

7 揚水発電用サイリスタ始動装置

富士電機では，特に信頼性・保守性に優れ，次の特徴を持つ揚水発電用サイリスタ始動装置の開発を完了した。

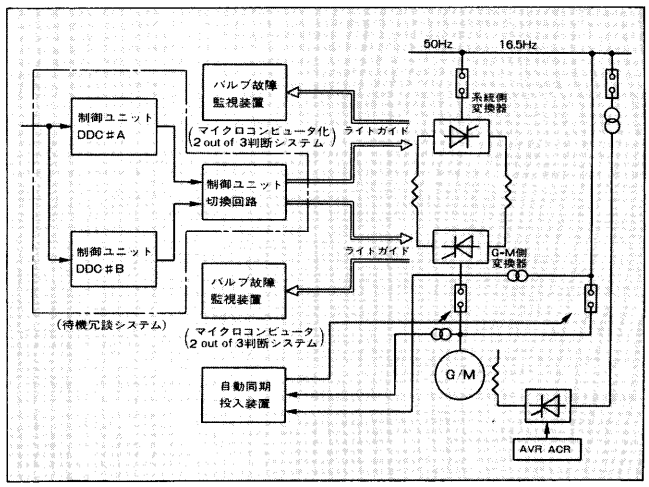
(1) 空気絶縁，直接水冷，光間接点弧式サイリスタバルブを採用。特に点弧系に対しては並列冗長方式を採用。

(2) バルブの故障診断にはマイクロプロセッサを適用。更に故障演算の確実性を高めるために，3台の演算装置を用いた多数決判断（2 out of 3）方式を採用。

(3) 制御にはDDCを採用。また，同一の2台の制御装置を備え，一方を常時待機させ，万一の故障発生に際しては，直ちに待機側装置へ自動的に切り換えて運転継続可能な待機冗長システムを採用。

このシステムは某社向け250MVA揚水発電電動機用20MWサイリスタ始動装置に適用され，製作を完了している。

図7 揚水発電用サイリスタ始動装置



8 変圧器総合監視システム

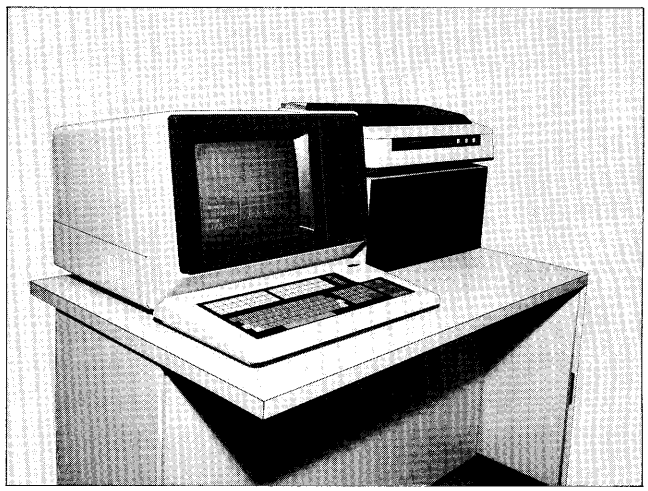
近年，発・変電所の無人化の増大並びに設備の老朽化が進行する中で，保守信頼度レベルの維持，保守の効率化・高度化が強く求められている。

富士電機では，電源開発(株)の委託により(株)技術綜研と共同で変圧器の総合監視システムを開発し，試作装置を電源開発(株)名古屋変電所に設置して昭和61年8月から現地検証試験を進めている。

このシステムは，機器に取り付けられたセンサとコンピュータとの間を光ファイバケーブルで接続し，機器の状態を自動監視するものであり，センサは，油中溶存ガス（水素ガス），部分放電など11種類が取り付けられている。

このシステムの採用により，機器の異常状態の早期発見はもとより，巡視点検の省力化が期待できる。

図8 モニタステーション（PMS200）



9 酸化亜鉛形避雷器の劣化診断方法の開発

●関連論文：富士時報 1986-7 pp.479～483

ガス絶縁開閉装置(GIS)など変電機器を雷から保護する役割として，酸化亜鉛形避雷器(ZnO-LA)が広く使われている。近年，機器の事故を未然に防止する予防保全技術の高度化が強く望まれており，富士電機では無人化変電所の自動監視技術の一つとして，ギャップレスZnO-LAの劣化診断（抵抗分漏れ電流計測法）を三相一括で行う実用的な方法を確立した。

(1) 貫通形CTセンサ方式のため既設対応が容易である。

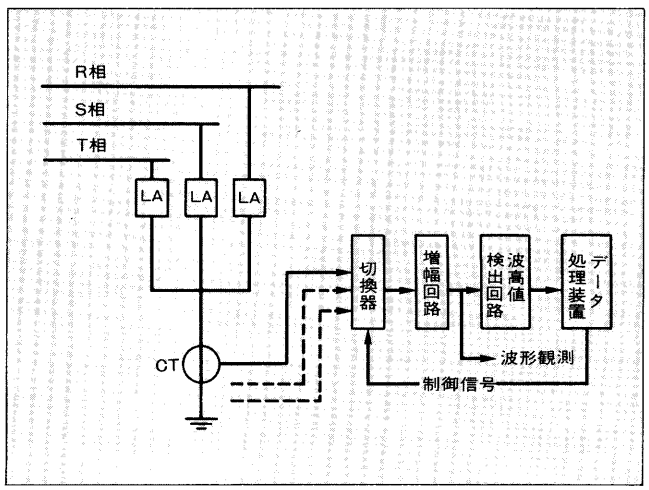
(2) 各相計測方式に比べ，CTの個数を節約できる。

(3) 進み電流成分のキャンセル用電圧入力が不要である。

(4) 波形観測と指示計器による読取りも可能である。

などの特徴があり，GISに収納されたZnO-LAの発熱，放熱特性データから定量的な診断が期待される。

図9 機能ブロック図



エネルギー

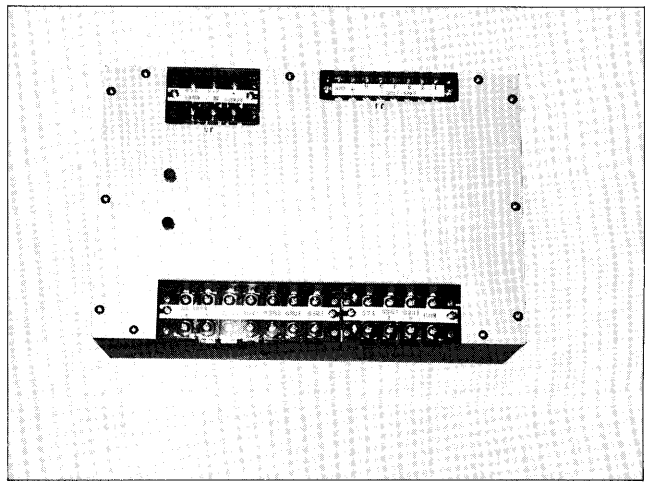
⑩ 遮断器操作制御部の電子化の基礎

遮断器の操作制御部の縮小化・信頼性の向上を目的として制御部の電子化の基礎テストを行った。

電子化した部分としては，引外し・投入制御回路の補助接点及び補助継電器，油圧ポンプの制御回路などの接点部分を電力用半導体に置き換えた。

信頼性テストとしては，遮断器の引外し・投入制御コイルの開閉動作を模擬し，10^4回連続動作試験を実施した。その際，補助接点に変え，電流を遮断するパワーMOS FET，遮断時に発生する過電圧抑制用ゼットラップなどの温度上昇を測定しながら，開閉動作の時間間隔を60秒，30秒と変化させ実験を行い，システム上の問題がないことを確認した。

図10　遮断器制御回路電子化試作器

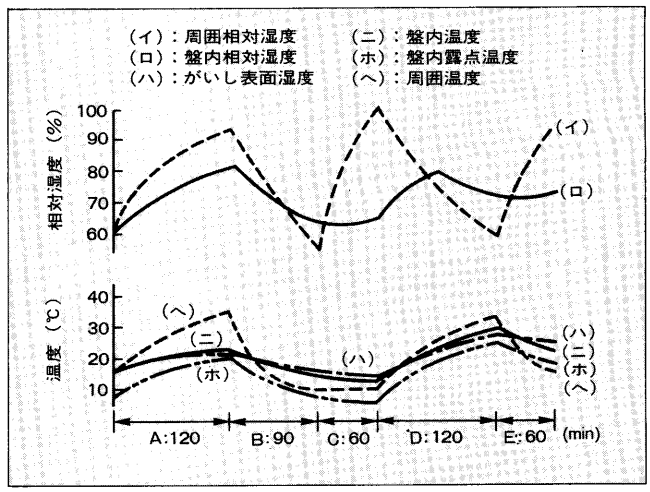


⑪ 配電盤内の温度・湿度特性

33kV以下の空気絶縁を主体とした屋内配電盤は，周囲雰囲気（温度，湿気など）の変化に十分に耐えるように設計されており，ある雰囲気下の絶縁性能を調べるために温度と湿度を模擬的に設定できる環境室内での検証もなされている。最近は，結露発生時の絶縁試験や金属物の腐食状況も含めた配電盤全体の環境試験を実施することが要求されてきた。そのため，大形環境試験室を用いて，絶縁性能や腐食発生状態と密接な関係がある配電盤内部の温度と湿度を実験的に調査している。これによって，盤内部の周囲雰囲気の影響，それに対する絶縁性能や腐食状態を把握することができる。

図は，大形環境室の温度と湿度変化に対する11kV配電盤内の温度，湿度追随性の一実施例を示す。

図11　盤内雰囲気の追随性



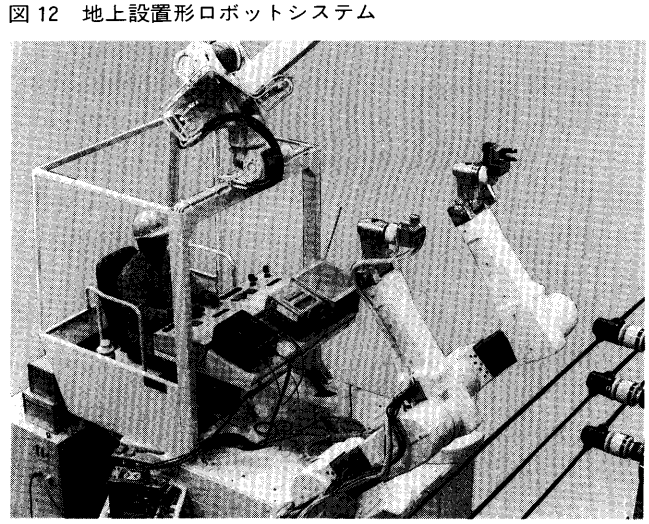
⑫ 配電作業ロボット

架空配電線の活線状態での工事を行う配電作業ロボットの開発を，東京電力(株)，古河電気工業(株)，愛知車輌(株)と共同で進めている。そして，第1期研究（昭和59～60年度）として実験用の地上設置形ロボットシステムを完成した。

このロボットシステムでは，左右2本の6自由度多関節形マニプレータをオペレータがジョイスティックを用いて操縦し，専用工具（電線の皮むき工具など数種）により作業を行う。マニプレータの先端部，外周などには，活線を取り扱えるように絶縁を施してある。

第1期研究では，がいし交換作業をモデル作業としてシステムの検証を行い，配電線工事作業の実施の見通しを得た。第2期研究（61～62年度）では高所作業車に搭載し，実際の装柱での作業を行う予定である。

図12　地上設置形ロボットシステム



計測・センサ

1 汎用ビデオセンサ MWP-3000の開発

汎用ビデオセンサ「マルチウィンドウ」の高機能タイプの新しいシリーズの機種として，MWP-3000を開発した。本機は従来のMW-2000シリーズとは一線を画するもので，以下の特徴を持つ。

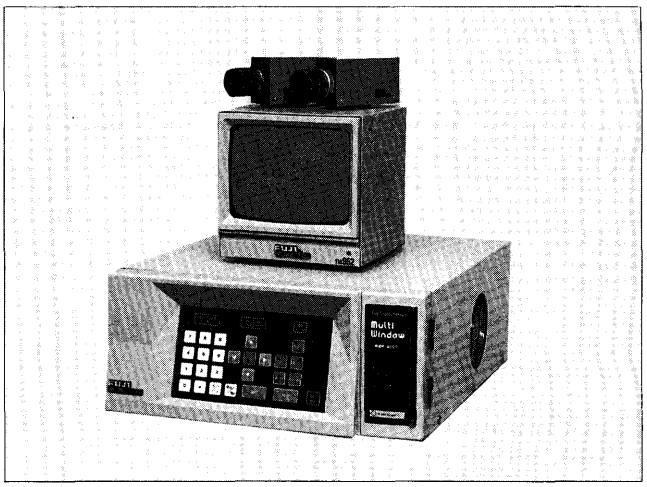
(1) 回転補正機能を持ち，今まで検査不能だった回転ずれのある対象にも適用可能である。

(2) 辞書パターンマッチング法の採用により，文字などの複雑なパターンを持つ対象の検査が容易である。

(3) 2値化しきい値の自動追尾機能を持つため，照明の変動や印刷濃度の変化などがあっても安定した2値画像が得られる。

(4) 回転補正を含めても従来と同等，あるいはそれ以上の高速処理を実現している。

図13 MWP-3000の外観



2 産業用文字読取り装置 VR-1000Z

工場ラインにおける生産管理を目的として，レーザ刻印文字を対象とした産業用文字読取り装置VR-1000Zを開発した。

本機は以下のような特徴を持つ。

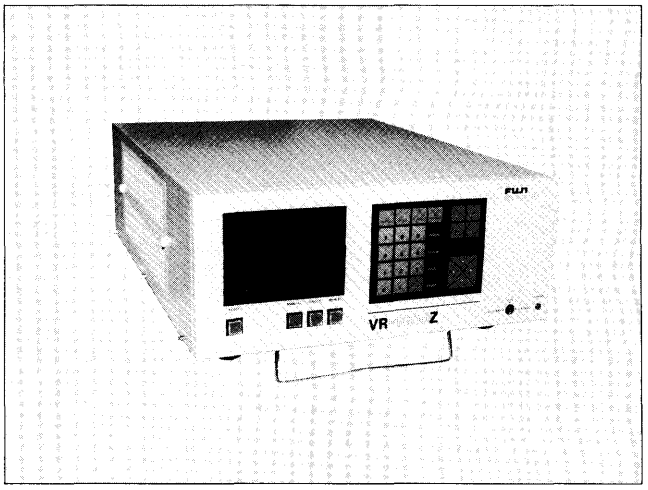
(1) 固体カメラにより刻印面を撮像する非接触文字読取り。最大10けたまで読取り可能である。

(2) 濃淡画像処理ファームウェアの開発により，低コントラストの画像からでも文字領域を選択的に抽出することができる。

(3) 自動的にしきい値を変化させて照明の変動や背景レベルの変化などに対応し，読取り信頼性が向上した。

(4) 識別部は，図形特徴値による文字認識であるが，特にレーザ刻印文字に適するよう強化されている。

図14 VR-1000Zの外観



3 幾何学的推論による形状認識

○関連論文：富士時報 1986-9 pp.585～589

富士ビデオセンサにおいては，2値画像のブロブごとの特徴量を用いた認識方法が確立している。この方法では，物体が接触する場合，これらを分離する何らかの手段が必要となる。そこで，機械的に分離を行うことなく個々の物体を認識する形状認識方法を開発した。

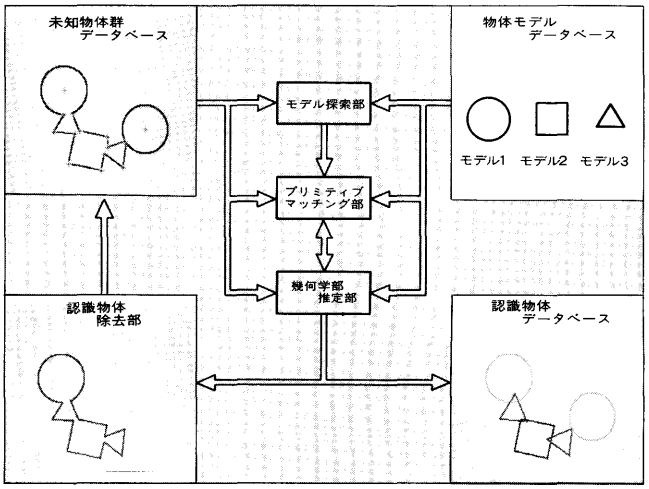
(1) 線分・頂点プリミティブによる輪郭形状の記述機能。

(2) 未知物体上のプリミティブと物体モデル上のプリミティブとのマッチングによる対応付け機能。

(3) 未知物体上で見えていないプリミティブを幾何学的に推論する機能。

これにより，複数個の物体が接触・重複している場合でもそのまま認識を行うことが可能になり，より高度な視覚機能を実現することができた。

図15 幾何学的推論機能を持つ認識アルゴリズムの構成



4 小形振動監視計の開発

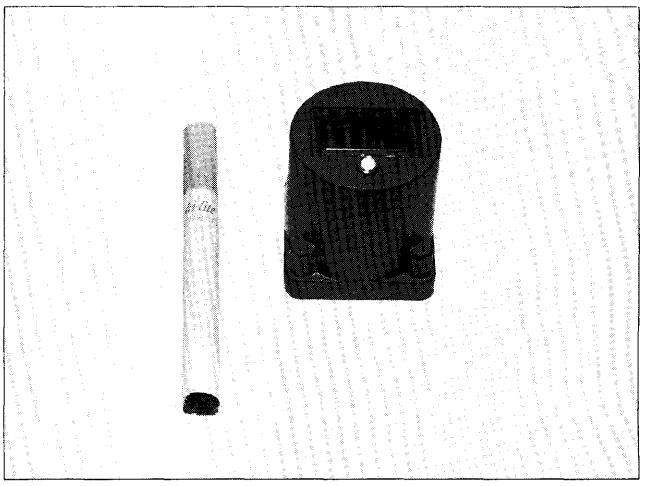
従来の振動計が振動検出部と指示計部が別々に構成されているのに対し，本器は一つのケースの中に振動センサ，アンプ，演算器，レベル表示器など一切が納められている。

低価格と過酷な耐環境性，高信頼性の実現によって「多くの機械を1台の振動計で管理」から「1台の機械を1台以上の振動計で管理」することが可能となった。

以下のような特長によって，振動監視の拡充が図れるとともに，計測の確実性と省力化が大幅に向上する。

(1) 小形，軽量，取付容易のため，設置場所を選ばない。
(2) 使用温度範囲が広く(−10〜70℃)，耐振性能に優れており（10G），広範な機械に設置できる。
(3) 電池内蔵で配線は不要。操作はスイッチを押すだけで振動値を1分間表示した後，電源は自動的に切れる。

図16　小形振動監視計の外観



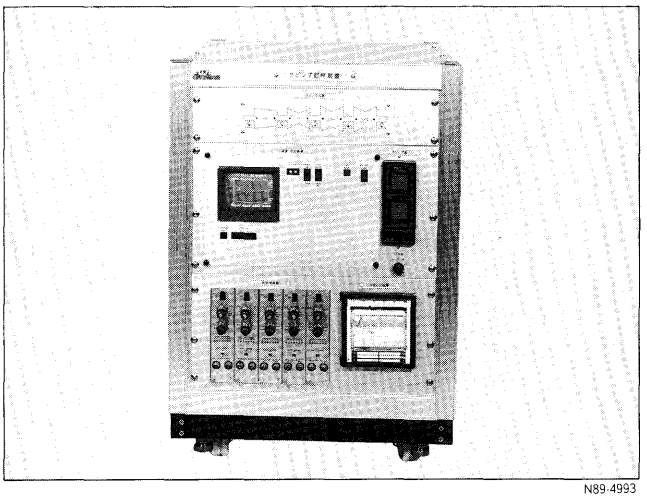
5 ラビング診断装置の開発

蒸気タービンの異常振動発生原因の一つであるラビング現象（回転部と静止部の接触）の有無を運転中に精度よく診断できる装置を開発した。

ラビングによって生ずる音響信号を蒸気流ノイズやタービンブレードの空力的ノイズの中から抽出し，抽出波形の特徴を定量化してラビングの有無を判定する。診断は，低速ターニングから全負荷運転状態まですべての運転条件に対して可能である。診断結果のアウトプットとして，

(1) ラビング有りの場合，警報信号が出力される。
(2) ラビング位置は，タービンロータを描いたパネル面に配したLEDを点灯させることによってモニタできる。
(3) ラビングの相対強度変化を記録計によって監視できる。
(4) ラビング音がスピーカによってモニタできる。

図17　ラビング診断装置の外観



N89-4993

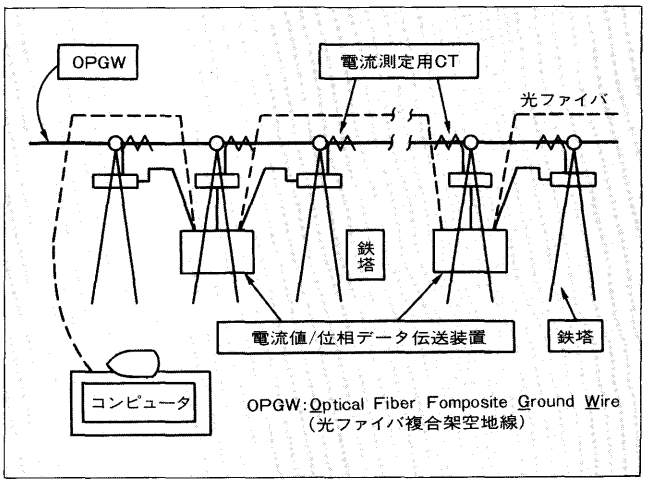
6 OPGW利用送電線監視システム

送電線を落雷から保護するために送電線上部に架空地線が設けられる。最近，この架空地線内部に光ファイバを収納したOPGW線が用いられている。この光ファイバを通信手段に用いて地絡地点を変電所などの電気所へ伝送できる送電線監視システムを古河電気工業(株)と共同で開発した。

本送電線監視システムは架空地線に流れる事故電流を変流器（CT）によって取り出し，隣接したCTの電流値と位相データから事故地点の方向を判定し，コンピュータに集まった方向データなどから総合的に事故地点を特定化する。

これまで，地絡地点を見つけ出すのは山間地を徒歩やヘリコプタで見回るという困難なものであった。送電線監視システムを用いることにより地絡地点に直行できるので，保修時間の短縮など保守管理作業の合理化が期待される。

図18　OPGW利用送電線監視システム

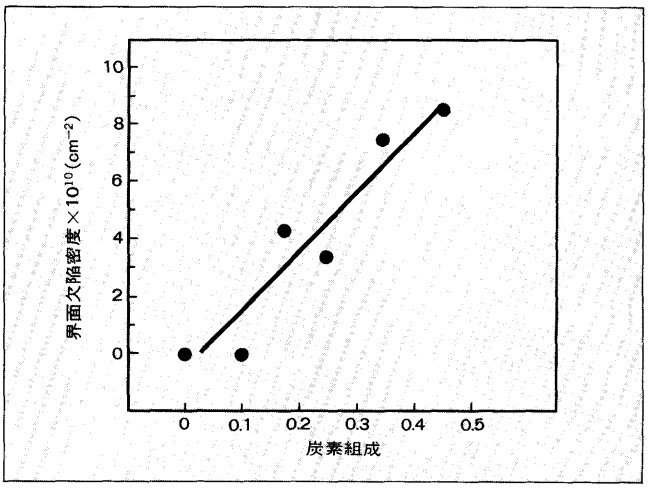


半導体・エレクトロニクス

1 光熱偏向分光法(PDS)によるヘテロ接合の評価

アモルファス半導体デバイスでは，a-SiC や a-SiN などの a-Si 系合金と，a-Si とのヘテロ接合が用いられており，その界面物性の解明が，デバイスの特性を向上させる上で重要である。PDS は光吸収スペクトルを高感度で(0.001%程度まで)測定できるが，これを a-Si 系合金/a-Si 多層膜に適用し，界面欠陥に基づく光吸収から界面欠陥密度を求める方法を開発した。図は a-SiC/a-Si ヘテロ接合の界面欠陥が a-SiC 層の炭素組成とともに増加することを示す。a-Si 太陽電池の場合 p 層の炭素組成は約0.2であり，界面欠陥密度は 3 ～ 5 ×$10^{10}$$cm^{-2}$と見積もられ，単結晶 Si と SiO_2界面のそれと同程度であることがわかった。今後は，本評価法による解析結果を太陽電池などの素子設計に適用し，その性能向上に有効に利用していく予定である。

図 19　界面欠陥と炭素組成の関係

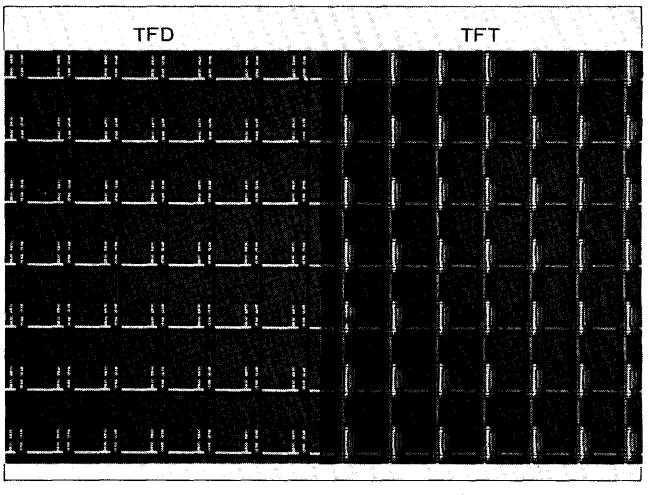


2 液晶表示用アクティブマトリックス基板

液晶表示装置は，CRT に比べ1/10の厚さ及び低消費電力の利点のため急速に普及しつつある。液晶表示の画質改善のため，表示パネル基板上の各画素に半導体素子を付加したアクティブマトリックス方式が提案され，小形カラーテレビなどに実用化され始めている。富士電機は大面積成膜技術の確立しているアモルファスシリコン（a-Si）薄膜による薄膜ダイオード（TFD）マトリックス基板技術を確立した。引き続き，薄膜トランジスタ（TFT）基板の開発を行っている。画面の駆動波形に多少の相違はあるが，両者共に画質改善に有効であることが確認された。試作した基板の一例を次に示す。

(1)　画面サイズ：3.5インチ
(2)　画素数：85,800
(3)　電流オンオフ比：10^5以上

図 20　試作基板の例



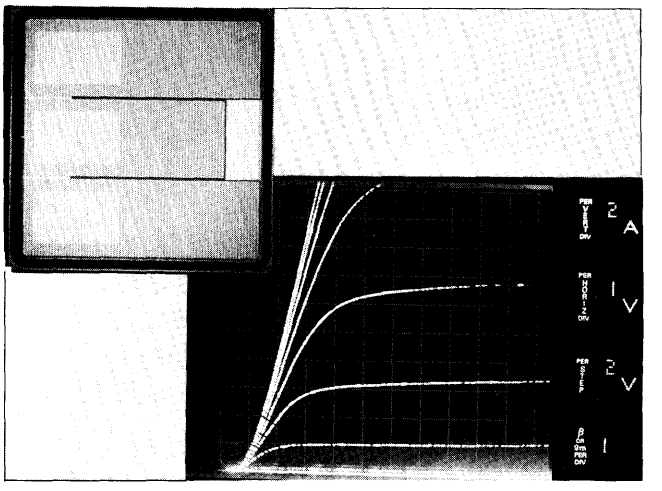
3 MOS ゲートバイポーラトランジスタ

電源機器の小形化，低騒音化などのニーズにより，スイッチング素子の高速化が望まれている。しかし，高速動作が可能な MOS トランジスタは，耐圧500V 以上の素子では急激にオン電圧が増加し電流密度を高くすることができない。そこで，高耐圧領域で高速動作可能な素子として，MOS トランジスタとバイポーラトランジスタを同一チップ上に複合化した MOS ゲートバイポーラトランジスタ（MBT）の開発を行った。

MBT はバイポーラトランジスタの低オン電圧の特長と MOS トランジスタの高速性，低駆動電力（電圧駆動）の特長を合わせ持ち，今後の展開が期待される。

今回試作した素子は500V 及び1,000V 耐圧の素子で，その外観及び静特性の一例を図に示す。

図 21　MBT（500V/25A 素子）の外観と静特性



半導体・エレクトロニクス

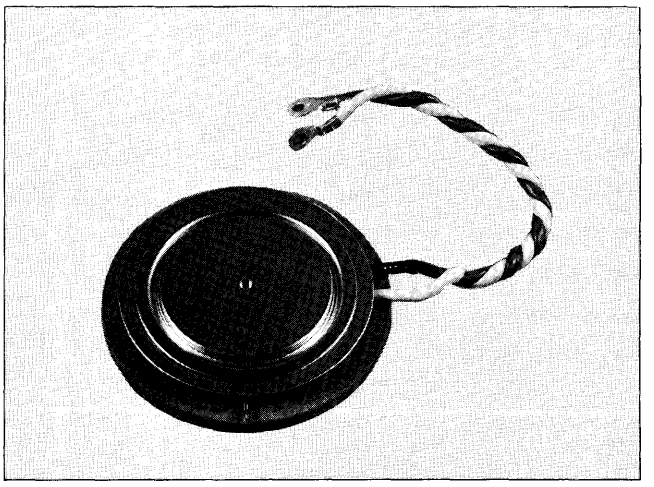
4 電力用半導体素子

インバータ，チョッパなどに適用される世界最大容量の2.5kV 2,000A 逆導通形 GTO サイリスタを開発した。本素子では，GTO と同一ウェーハ内に高速ダイオードが複合化されており，装置の小形化，軽量化，コストの低減が期待できる。

以下に主な定格特性を示す。

(1) オフ電圧　V_{DRM}：2,500V
(2) 可制御電流　I_{TGQM}：2,000A
(3) オン電圧　V_{TM}：2.5V
(4) 逆電圧　V_{RM}：2.5V
(5) 逆回復電流　I_{rr}：250A
(6) 接合温度　T_j：−40～125℃

図 22　2.5kV 2,000A 逆導通形 GTO サイリスタ

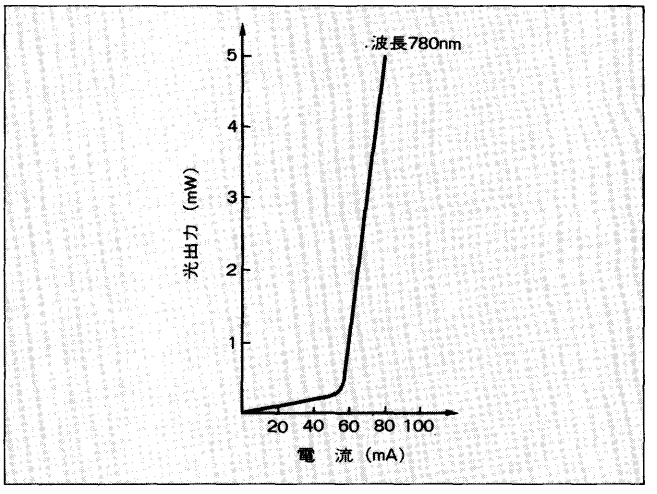


5 レーザダイオードの開発

GaAs を基板とする化合物半導体は，①発光効率が高く，②高速動作が可能である。この特長を生かして LED，半導体レーザ(以下，LD と略記)，超高速 IC などの応用分野でその実用化が図られている。

富士電機では，MOCVD 法による GaAs/Al GaAs 系のエピタキシャル結晶成長，LD 用ウェーハプロセス，アセンブリ並びに各種評価技術開発に取り組み，波長810nm 及び780nm のダブルヘテロ LD の発振（図）を確認した。更に，各種機器への応用を目指し，LD の開発を進めている。基礎技術の一つとして，GaAs への新しいドーパントガスとして Si_2H_6 を用いると，結晶成長の際に温度依存性がないため，SiH_4 に比べて有利であり，また，Si ドナーが幾つかの複合欠陥を形成するため，適当なドーピング濃度と成長温度が存在することを明らかにした。

図23　試作レーザダイオードの特性



6 ZnO バリスタ・アレスタ

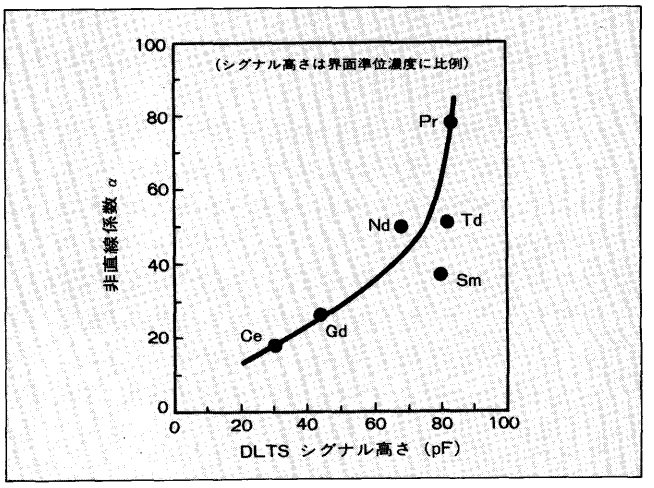
ZnO バリスタの研究は，IC などの半導体保護用低電圧バリスタ，電力用アレスタを中心に推進されている。

低電圧バリスタでは，新添加物の採用，焼結体－電極界面の解析などにより，より劣化の少ない素子開発に成功した。

アレスタにおいては，素子の電流分布に伴う熱応力分布を解析し，サージによる破壊モードを明らかとした。この結果，サージ耐量及び評価技術の向上が達成された。

一方，基礎研究面では DLTS（Deep Level Transient Spectroscopy）法により粒界近傍の電子構造の解析を推進し，界面準位は単一であること，DLTS シグナル高さ，すなわち界面準位濃度は高いほど電圧－電流非直線係数 α が大きい（図）ことなどを明らかにした。

図 24　DLTS シグナル高さと非直線係数 α の関係



半導体・エレクトロニクス

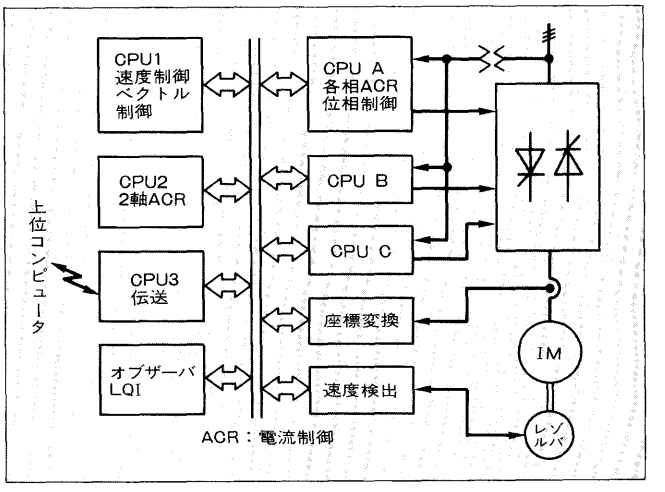
7 全ディジタル制御サイクロコンバータ

低速大容量交流可変速駆動用に，サイクロコンバータ給電・誘導電動機駆動の全ディジタル制御装置を開発した。本装置はベクトル制御による高応答・高精度な制御性能を達成しており，更に充実した故障診断機能や高速なデータ伝送機能も備え，鉄鋼圧延主機駆動などに適用できる。本装置は次のような特長を有する。

①コンバータの縦続非対称制御と台形波状出力電圧による電源力率の改善(従来比で約15%改善)。②レゾルバ方式の高性能速度制御(速度制御範囲1：500)。③負荷オブザーバ及びLQI制御による軸ねじり振動の抑制と速度制御応答の改善。

既に，中高速大容量用途には，全ディジタル制御サイリスタモータ装置を製品化しており，上記開発により高性能全ディジタル制御大容量交流可変速システムが充実された。

図25　DDCシステム構成図

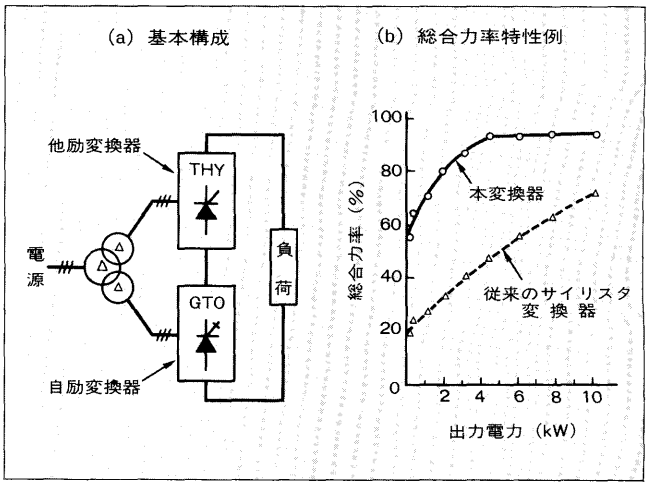


8 GTO適用ハイブリッド形低無効電力変換器

サイリスタ変換器が発生する無効電力は，電源電圧変動などの原因となるため，これを低減する要求が高まっている。そのニーズに応じ，GTOを適用して，主回路の簡素化を図った自励変換器と，他励変換器とを組み合わせた図(a)の構成の低無効電力形変換器を開発した。本変換器は，自励変換器を進み位相角，他励変換器を遅れ位相角で制御し，両者のとる進みと遅れの無効電力を打ち消し合うことで，低無効電力化を実現している。本方式は，高周波スイッチングを必要とせず，大容量化が比較的容易という特長がある。

今回，20kVAの試作装置を製作して，必要となる主回路技術などの開発と力率改善効果の検証実験を行った。図(b)に示すように，本変換器は従来の変換器に比べ，全出力電力領域で大幅に力率を改善できることを実証した。

図26　基本構成と総合力率特性例

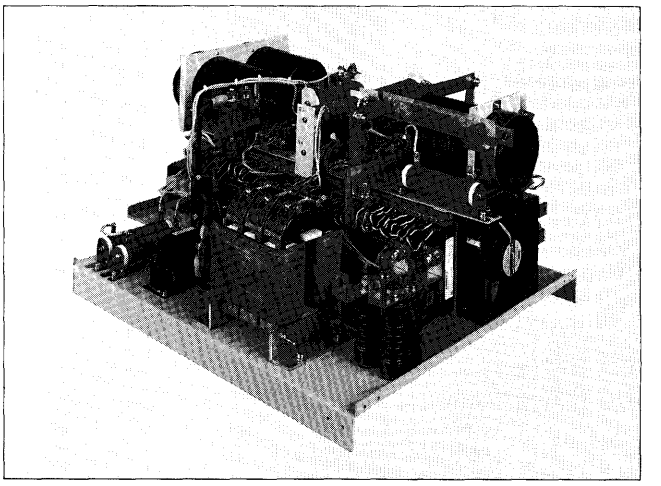


9 50kW級MOS FETインバータ

電源装置の小形・高性能化を図るため，高周波技術が大容量機へも適用され始めている。一方，大容量高周波スイッチング素子として，MOS FETモジュールやIGBTなどが開発・実用化されつつある。

今回，500V 50Aクラスの MOS FETモジュールを並列接続し，大容量化を図った50kW級MOS FETインバータを開発した。本装置は，容量性負荷への適用を目的としたチョッパ制御による電流形インバータである。パルストランスを用いた高速ゲート駆動回路，電圧抑制能力の優れたスナバ回路，インダクタンス低減のための配線技術などの採用により，高周波化（チョッパ：40kHz，インバータ：20kHz）による小形化に加え，高効率化を実現している。

図27　MOS FETインバータ



半導体・エレクトロニクス

10 磁束制御形 PWM インバータ

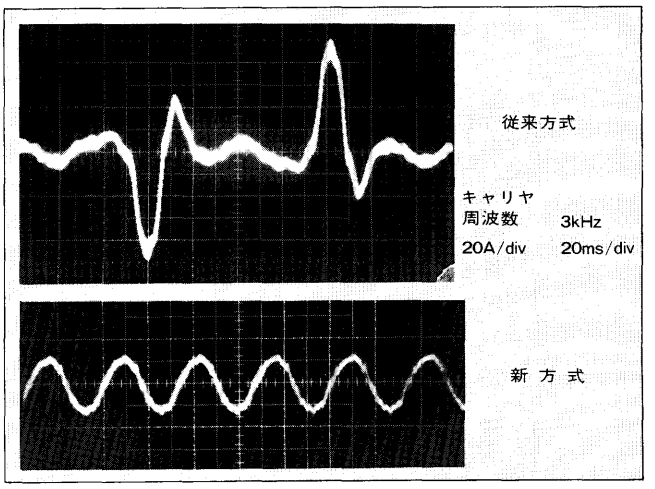
関連論文：富士時報 1986-10 pp.645～651

汎用インバータの新しい制御方式として磁束制御形PWM方式を開発した。本方式は，インバータの出力電圧を積分して求めた磁束信号を帰還量とし，閉ループ制御を行うことにより出力電圧の安定化を図ったものである。

従来のPWM制御方式では，上下アームの短絡防止用に設けた待ち時間の影響により出力電圧が変動し，このことが電動機を駆動したときの回転むらや，キャリヤ周波数を高くしたときに発生する電流不安定現象の原因となっていた。

新しいPWM制御方式では，このような出力電圧の変動を瞬時に制御し安定化できるため，回転むらの大幅低減を図ることが可能となった。また，電流不安定現象の発生抑制効果を有するため，キャリヤ周波数を増大し，電動機の電磁騒音を低減することができる。

図28　誘導電動機駆動時の電流波形

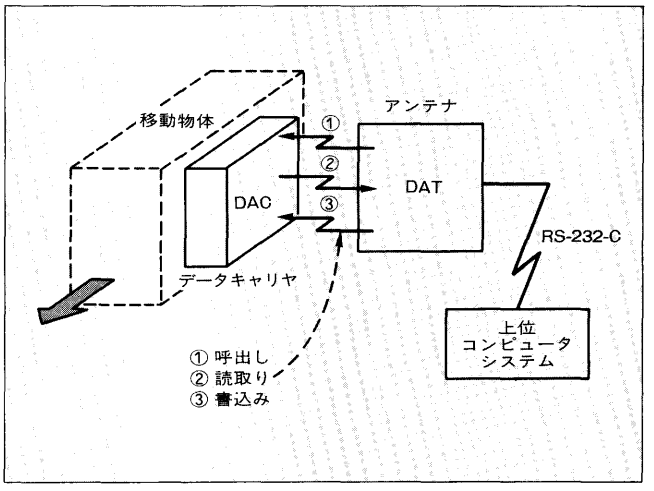


11 移動データ記憶システム

製品，パケット，台車などの移動物体に取り付けたデータキャリヤ（DAC）と固定されたアンテナ（DAT）間でデータキャリヤ内のメモリをリード/ライトできる移動データ記憶システムを開発した。

アンテナとデータキャリヤ間は中波帯の電磁波により，1 m程度の距離からリード/ライトできる。例えば，FAでは製品ごとの加工・組立データを読み出し，加工・試験データを書き込むことができる。また，物流では移動台車ごとにあらかじめ書き込まれた集荷データを読み出し，必要な商品を自動的に集めるシステムを実現できる。移動物管理において個々にリード/ライト可能な記憶システムを適用すると，情報システムは全体を対象とした複雑で集中的なコンピュータシステムから単純で柔軟性に富んだシステムとなる。

図29　移動データ記憶システム構成図



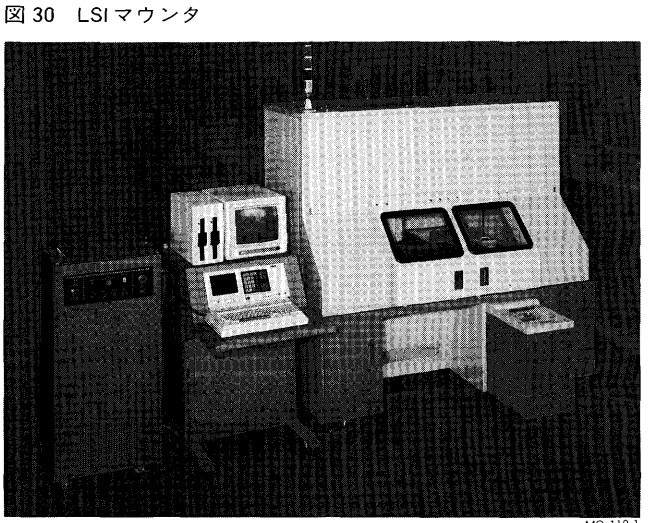
12 LSI マウンタの開発

関連論文：富士時報 1986-12 pp. 763～767

産業用ロボットの高度化に伴い，視覚付ロボットの必要性はますます高まってきており，プリント基板部品実装ラインにおいても，一段と正確に位置決め搭載できる自動実装機が望まれている。この要望にこたえるべくピングリッドアレイ形LSIをプリント基板に自動的に表面実装するLSIマウンタを開発した。特徴は次のとおりである。

(1) 富士ロボットコントローラ，視覚センサモジュールを使用し，すべての動作をロボット言語FRLで処理できる。
(2) LSI端子とプリント基板パターンの両方の位置を計測し，相互補正を行って正確に搭載できる。
(3) 特殊照明法の採用で2値ディジタル画像が検出できる。
(4) LSIを4画面分割撮像して，計測精度を高めている。
(5) ピン配列を検査するピンチェック機能を備えている。

図30　LSIマウンタ



MO 110-1

解析

1 SiへのGaイオン注入層のTEM解析

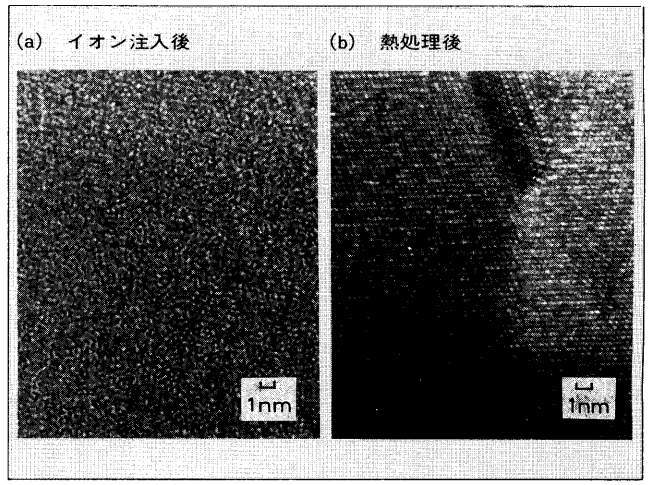
GaはSi中での拡散速度が大きく，半導体デバイス製作上有力なIII族元素である。SiへのGaイオン注入プロセスを400kV分析電子顕微鏡による断面TEM観察で解析した。

(1) 単結晶Siに Gaイオンを60kVで1×10^{16}atoms/cm²ドーズすると，イオン注入領域は非晶質化する〔図(a)〕。非晶質領域は約100nmの深さまで達している。

(2) 高温熱処理でこのイオン注入層は再結晶化するが，顕著な結晶欠陥が残留する〔図(b)〕。

(3) この傾向はドーズ量に依存し，1×10^{14}atoms/cm²ではイオン注入損傷は軽微であり，高温熱処理後はほぼ完全に結晶性を回復する。

図31　Gaイオン注入層の断面TEM写真



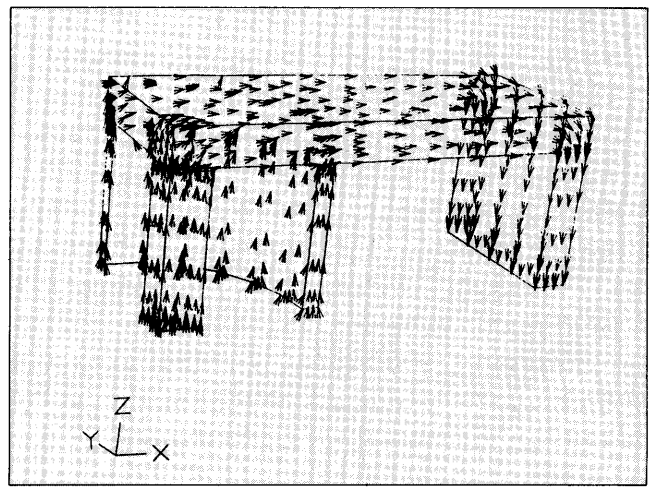
2 スーパーコンピュータVP50による三次元解析

○関連論文：富士時報 1986-8 pp.563～567

近年，スーパーコンピュータの民間企業における導入が盛んになってきたが，富士電機では昭和61年1月VP50の1号機を導入し，技術計算分野においてベクトル処理の有効利用を行っている。特に大規模な行列演算を必要とする有限要素法による三次元流体，磁界，構造解析で，通常のスカラ処理の4～8倍の高速処理を可能にした。例えば，社内開発プログラムBP3によるクリーンルームの三次元気流（非圧縮性粘性流）解析では，二万元近い連立一次方程式を解く際に，スカラ処理の8倍以上の高速化を実現した。

このような高速効果は従来までは実質上不可能であった三次元の詳細解析を可能にし，設計業務の迅速化，製品の信頼性向上，低価格化などに寄与することが期待される。図に三次元静磁界解析の計算例を示す。

図32　三次元静磁界解析例



3 交番界有限要素法の開発

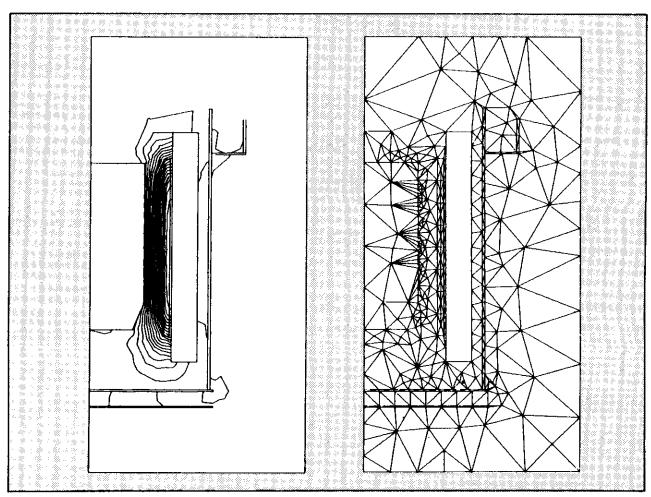
完全自動分割機能を持つ二次元電界磁界解析有限要素法プログラム（FEMT）は，静界だけが完成していたが，今回交番界FEMTの開発を完了した。

従来の静界FEMTの特長である，①入力データが少ない ②完全自動分割である ③部分拡大機能を持っている——などの機能を踏襲しているのはもちろんであるが，今回開発の交番界FEMTは更に次の特長を盛り込み，実用性の高いシステムとしている。

(1) 複素汎関数の停留条件を基礎として計算領域を分割する「最適完全自動分割法（EDIM2）」を実現している。

(2) 交番磁界の場合に表皮効果の著しい導体に対して，その特長を利用して導体内電流を表面電流で近似することにより，分割数を節約する方法を採用している。

図33　誘導炉磁束線図と計算領域分割図



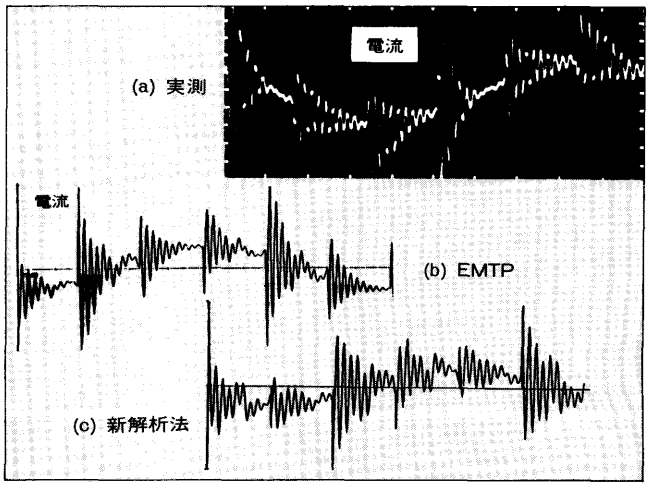
解析

④ 配電系高調波共振現象の新解析法の開発

整流器負荷の増加に伴い，転流時の電圧陥没（ノッチング電圧）により，配電系統の力率改善用コンデンサに数kHzにも及ぶ共振高調波が発生する新たな高調波問題が重要な課題となっている。

富士電機では東京電力(株)の研究委託を受け，その御指導の下に，本現象を解明すべく研究を行ってきたが，今回，新たにクラーク座標法と固有値法を併用した解析法を開発した。同法により，汎用プログラムEMTPに比べ，大幅に計算時間と入力データが低減されるとともに，転流条件や系統構成の影響が明確に把握できる。更に，実系統に適用し実測値との比較により計算精度が高いことを確認するとともに，複雑な系統構成を持つ配電系での共振高調波の発生分布パターンが容易に把握できるようになった。

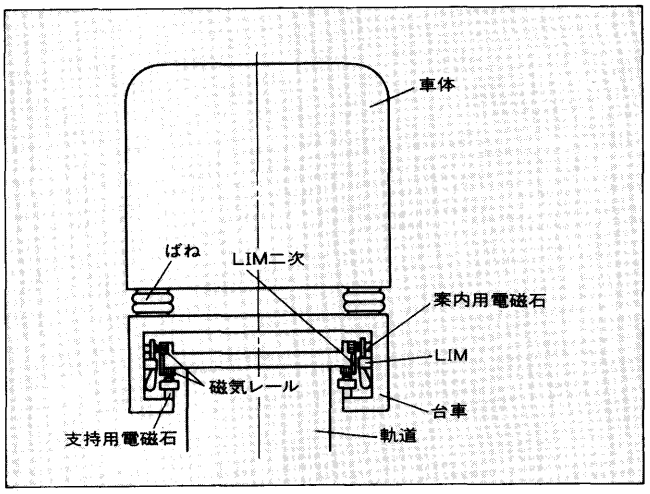
図34　コンデンサ電流波形



⑤ 吸引形磁気浮上車の特性解析

吸引形磁気浮上列車の電磁石の吸引力特性を，有限要素法を用いて磁界解析し，マクスウェルの応力テンソルにより吸引力を求め検討した。検討モデルは支持及び案内に個別の凸極形電磁石を使用し，それらに対応する磁気レールは積層形とするものである。磁極幅が広く全長の短い凸極形電磁石と積層形磁気レールの採用により，漏れ磁束が少なくできるので，インダクタンス，励磁損失が小さく，支持案内兼用の場合より軽い電磁石となり，吸引力は速度によらず一定で，磁気抗力も極めて小さい。小形の電磁石に関する実験結果と解析結果は良く一致することを確認した。また，鉄心を積層することの効果も有限要素法により検討した。積層することで，速くかつ大きな吸引力変化が可能であることが定量的に把握できた。

図35　吸引形磁気浮上車の断面図

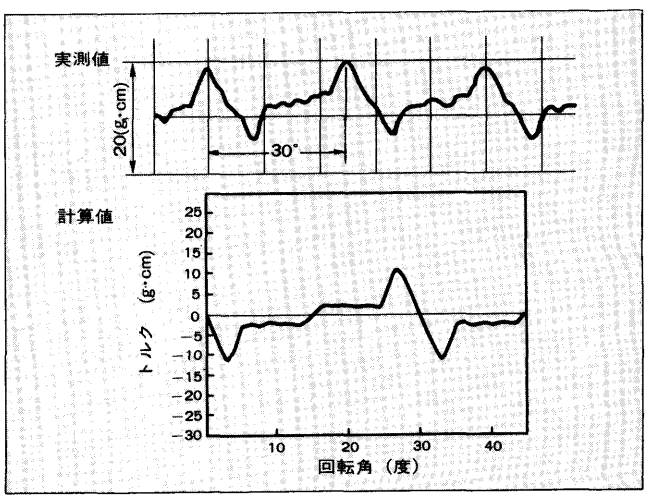


⑥ 小形精密モータのコギングトルク解析

昨今の精密モータは応用機器の小形化の要請から，ますます小形・高出力化される傾向にある。このため界磁側に強力な希土類磁石を採用する例が増えているが，その高磁界ゆえにトルクむらや回転むらの原因となるコギングトルクが無視できない大きさになってくる。コギングトルクの低減策としては，従来からスキューや着磁パターンの調整などが行われているが，今回これら対策法の効果を統一的に見直し，新しい低減策の検討を行うため，磁石形状，溝形状，起磁力分布など多くのパラメータを入力できるコギングトルク解析法を開発した。

本手法は永久磁石を使用するモータすべてに共通であるのでモータ磁気回路設計に有効である。

図36　コギングトルクの波形（実測値と計算値）

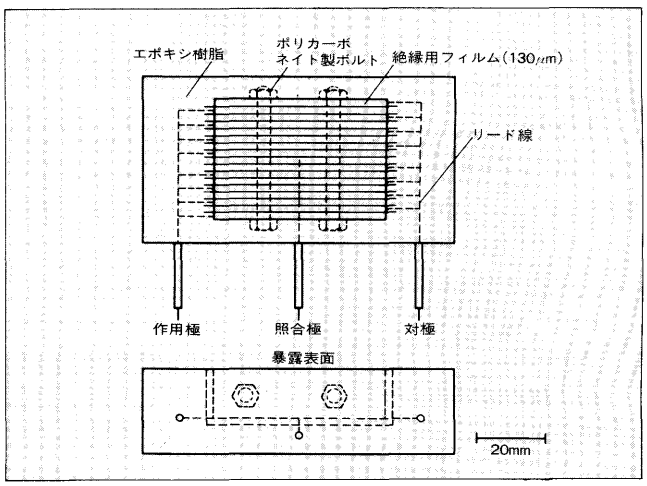


材料・基盤

1 大気腐食に対する配電盤の防食技術

電子部品を搭載し高機能化した配電盤は，従来のものに比べ周囲環境の影響を受けやすい。経済的で信頼性の高い配電盤をつくるための基礎研究として，配電盤の置かれる下水処理場や浄水場の環境分析を長時間行い，同時に試験片の暴露試験，模擬電子化配電盤の環境試験を行って，大気腐食に関する基礎データをとりながら，配電盤の防食技術の体系化を構築している。腐食因子としては下水処理場ではH_2S，浄水場ではCl_2であることが明らかになり，それにじんあい，湿度，盤構造がかかわっている。特にじんあいの定量的な評価法はまだ未開発な分野であったが，図に示すような特殊な試験片を考案し，模擬じんあいを用いて電気化学的手法により腐食量が測定できる見通しを得た。以上の研究成果は配電盤の合理的な設計マニュアルとしてまとめた。

図 37　大気腐食モニタ

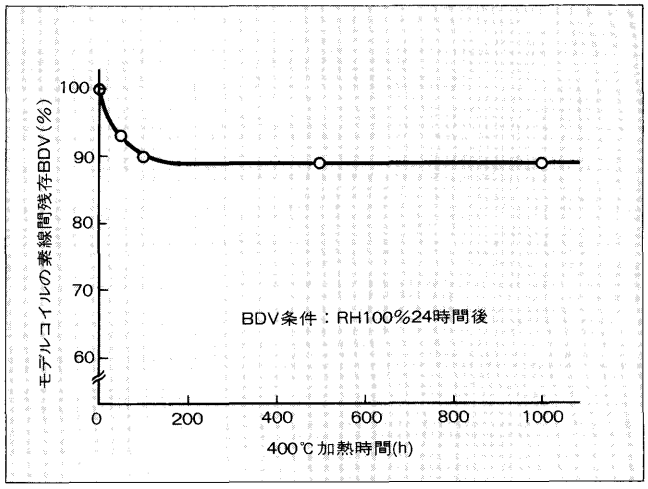


2 超耐熱回転機絶縁の開発

近年，産業界の技術高度化に伴い，特殊環境下で使用される電気機器が増している。中でも超高温に対する要求は鉄鋼，化学産業分野などで多く，富士電機では，かねてから超耐熱絶縁材料の電気機器への適用研究を進めている。

耐熱絶縁材料としては，約250℃まではポリイミド系の有機絶縁材料が用いられるが，更に高温になると無機系絶縁材料が必要となる。そこで，各種無機系ワニス，無機系電線，無機系副材料の評価試験及び耐熱絶縁システム処理法の検討を行い，耐熱温度400℃の超耐熱低圧回転機絶縁システムを確立した。この超耐熱絶縁システムはシロキサン系無機材を主体としたものであり，評価特性の一例を図に示すが，良好な耐熱絶縁特性と耐湿絶縁特性を兼ね備えている。

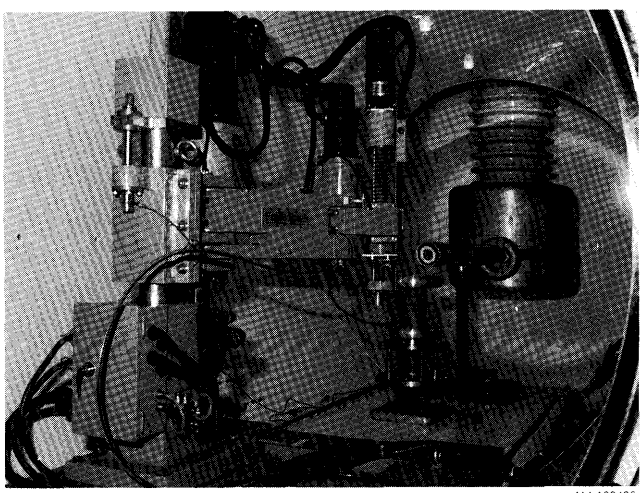
図 38　耐熱経時変化特性例



3 ガス絶縁における直流絶縁の研究

SF_6ガス絶縁用モールド品に直流電圧が印加された場合の現象を解明するためには，モールド品表面帯電電位分布を計測することが必要である。富士電機では，表面電位計測用プローブをロボット駆動で移動させ，SF_6ガスタンク内モールド品の表面電位分布を求めている(図)。ポスト形スペーサの場合，印加極の近傍にはスポット的に逆極性の電位（ヘテロ電荷の帯電）が生じている。その電位の大きさは印加時間とともに増加し，帯電の時定数は十数時間である。電圧遮断後の電荷漏えいによる減衰時定数は50～100時間に及び，帯電時定数に比べ非常に大きい。帯電電荷による最大電界の上昇率は60時間の電圧印加に対し20%程度である。これらの結果から，モールド品沿面部の破壊電界を直流印加時，及び極性反転時について与えることができる。

図 39　ロボットによる表面電位分布の測定



AM 108406

生産技術

1 DDモータのロボット組立ライン

固定ディスク装置の主軸電動機（DDモータと呼称）は，超コンパクト，低騒音，清浄構造（クリーン度100対応）の典型的なファインメカ製品である。今回，DDモータのクリーンルーム内ロボット組立ラインを完成させた。

ラインの特徴は，①しゅう動部分を中心に，発じん防止対策を盛り込んだ設備設計 ②製品の設計変更に迅速に対応できるロボットの活用（10台：富士電機製）③接着剤乾燥のバッチ処理の廃止と急速硬化接着剤の適用による接着工程の一貫ライン化 ④騒音の原因となるベアリング傷の防止のための無衝撃組立——などがあげられる。

本ラインの稼動により，組立工数の75%削減，リードタイムの80%短縮が可能となり，更に，人手作業で発生する品質のばらつきを改善することができた。

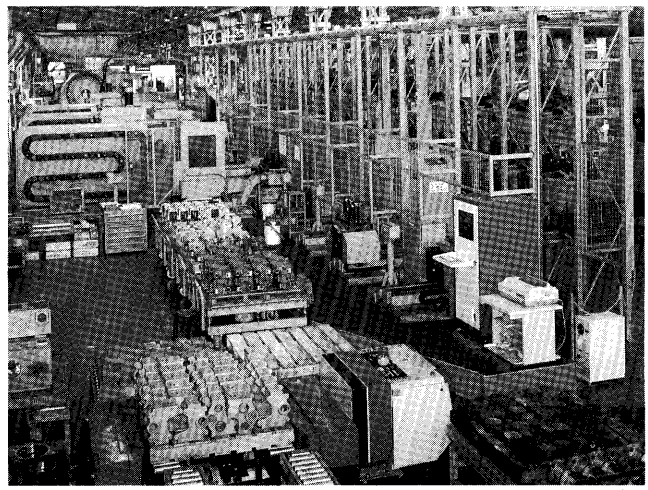
図40　ロボット組立ライン

2 FMSへのLANの応用

富士電機のFAシステムは，工場全体を管理する生産管理システムと部品受入れ，加工，組立，試験などのショップ内を管理する製造管理システム及び自動化ラインを制御するライン制御システムの3階層で構成されている。

製造管理やライン制御のコンピュータと多数の自動化機器を接続するためにLANを採用した。これによって，低価格で高性能・高信頼性のシステムが実現でき，既に機械・板金加工，プリント板組立などの各分野で稼動している。例えば，機械加工FMSでは，製造管理，加工ライン制御（3ライン），倉庫搬送制御及び工具管理などに使用する計7台のコンピュータと立体倉庫（2基），無人搬送車，NC機（15台），自動工具管理棚などの自動化機器がLANで接続され，管理データ・制御データが任意の機器間で送受信されている。

図41　FMSへのLANの応用



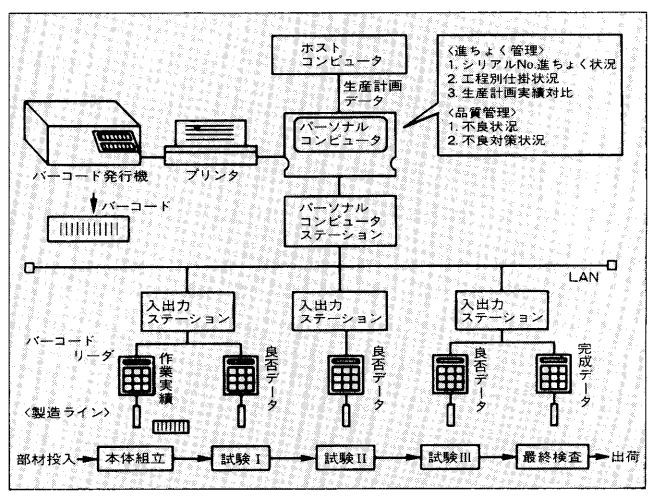
N89-4966-5

3 固定ディスク装置製造管理システム

3.5インチ固定ディスク装置は，高精度を要する製品で，かつ製造工程が複数形式の混流生産であるため，流れが複雑で管理が大変難しい。今回，この製造工程を一貫生産ライン化するとともに，進ちょくや仕掛などの管理を容易にするために，製造管理システムを開発し，稼動させた。

システムの構成は，管理用パーソナルコンピュータ1台とバーコードリーダ12台で，それらをLANで結び付けている。また，システムの機能は，製造ラインへの投入時点で固定ディスク装置1台ごとにシリアルNo.をバーコード化して現品にはり付け，ラインの管理点を通過する度に，バーコードリーダで，シリアルNo.と不良データを読み取り，時々刻々の進ちょく状況，仕掛状況，不良状況を把握できるようにした。また，これにより，間接員3人の省人ができた。

図42　システム構成



＊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。