

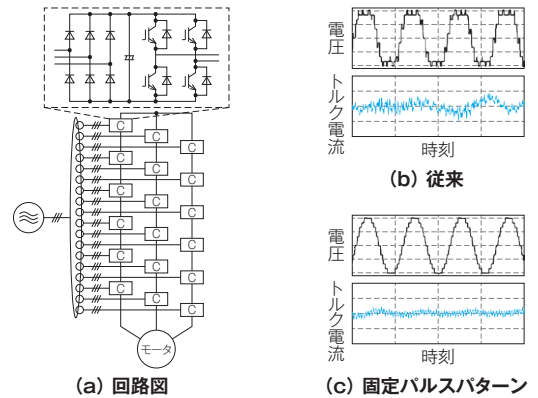
# I. 研究開発

## 1 パワーエレクトロニクス

### 1-1 高圧インバータのパルス変調方式に関する基礎開発

従来、高圧インバータは三角波と指令電圧の比較によるパルス変調を行い、三角波1周期平均で指令電圧を出力している。しかし、この方式では高周波数の電圧を制御する場合など、出力電圧1周期のパルス数が少ないときに指令電圧どおりの出力ができず、電流高調波が増大してしまう。

この課題に対し、出力電圧振幅ごとに固定のパルスパターンテーブルでパルス生成を行う固定パルスパターン方式を検討した。高調波を打ち消すパルスパターンを事前設計することで、少ないパルス数でも電流高調波の増大を防ぐことができる。従来方式とのシミュレーション比較を行い、従来方式よりも少ないスイッチング回数で電流高調波が減少していることを確認した。

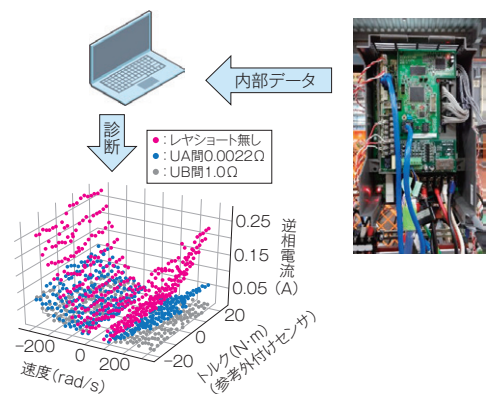


第1図 検討した高圧インバータ

### 1-2 インバータ内部データを用いた電動機故障診断システムの開発

電動機の絶縁故障は、層間短絡から相間短絡・地絡など、より大きな故障へ発展する。稼働中の電動機をオンライン診断し、層間短絡の段階で装置を停止できれば、被害を最小限に食い止められる。診断にインバータの内部データを用いることで、追加のセンサを設ける必要がない故障診断システムを開発した。

本システムでは、稼働中のインバータの電流制御器内部データ（電流検出値・電流指令値・電圧指令値・周波数指令値・位相指令値・速度検出値）をスイッチング周波数に同期して上位コンピュータへ送信する。上位コンピュータでは、逆相電流や電圧振幅などの特徴量から故障の有無を判定する。層間短絡を模擬するモータを作成し、故障検出の有効性を確認した。



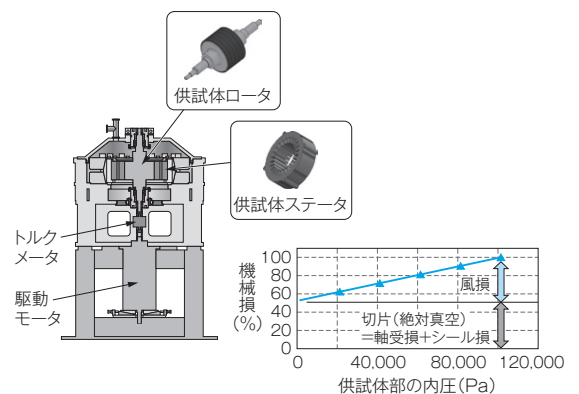
第2図 故障検出システム概要

### 1-3 モータ高効率化に向けた損失分離測定技術

モータの高効率・低損失化を達成するには、モータで生じる損失を発生要因ごとに正確に把握することが重要である。そこで、当社はモータ損失分離測定装置を製作し、モータコア部を模擬した供試体の損失を測定し分離する手法を確立した。

- (1) 機械損評価 供試体部を減圧でき、減圧下の機械損測定によって本供試体の高速回転時の風損を分離
- (2) 鉄損評価 ステータコアの焼きばめ模擬機構を用いた焼きばめ圧縮応力による鉄損劣化や、ステータコアを製作する過程の加工ひずみによる鉄損劣化を比較評価

この成果は、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構の委託事業未来開拓研究プログラム「次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発」から得たものである。

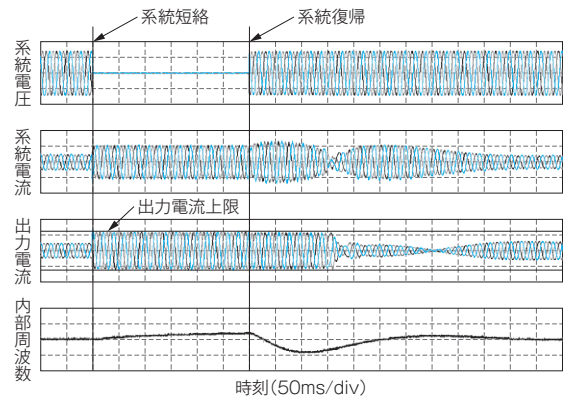


第3図 モータ損失分離装置と機械損分離結果

## 1-4 仮想同期発電機機能付き蓄電池用インバータの基礎開発

再生可能エネルギーの導入が拡大すると、系統内の同期発電機が減少し、系統安定度の維持が困難になる。仮想同期発電機機能付き蓄電池用インバータは、同期発電機と同様に系統を安定させることができるが、インバータには過電流耐量がないため、系統事故時に事故電流を供給できないという課題があった。

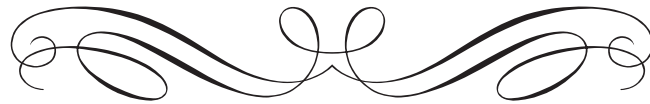
そこで、東京電力パワーグリッド(株)と共同で、事故電流をインバータの過電流耐量内で最大限出力できる制御技術を開発した。本制御技術では、系統事故時に同期発電機の内部インピーダンス相当のパラメータを可変とすることで、電圧制御構成のまま事故電流を制御できる。ミニモデルを用いた実験によって基本動作の検証を完了した。



第4図 三相短絡模擬試験の実験波形

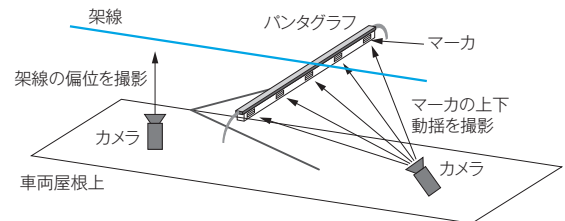
## 2 ICT

### 2-1 変電所設備の自動巡視点検システム



### 2-2 高精度なパンタグラフ加速度計測手法の開発

電気鉄道設備では、架線が金具などで支えられている「硬点」でアークが発生しやすく、架線の摩耗が局所的に進行する。硬点ではパンタグラフの鉛直方向の加速度が急激に変化するため、これを計測することで硬点を検出できる。また、架線はパンタグラフ上で左右に変位することから、架線の偏位箇所のパンタグラフ加速度を検出することが望ましい。本開発では、パンタグラフ上の複数のマーカ位置の加速度と架線の偏位位置を計測することで、架線の偏位位置に沿った加速度を計測した。これにより高精度なパンタグラフの加速度検出ができ、架線の摩耗量や偏位位置と併せて詳細な診断・統計解析が実現できる。



第6図 装置構成図

## 2-3 拡張現実 (AR) を活用した保守支援機能の開発

AR技術を活用し、クラウドサービスとも連携した保守支援機能を開発した。現場とメンテナンス拠点をリアルタイムでつなぎ、クラウド上にある様々なデータを表示しながら現場の状況を共有できる。日常点検では、点検対象設備に点検箇所とその順番、確認すべき内容などを重ね合わせて表示する。これにより、専門家ではない運転員でもメンテナンス熟練者と同等の精度で点検できる。定期点検時には、稼働データ・図面・点検履歴などを設備に重ね合わせて表示することで、稼働状況を実際に把握しながらメンテナンスできる。異常発生時には、現場で運転員が対象設備にタブレットをかざし、遠隔地にいる各種の専門家と状況を共有しながら、安全かつ効率的に異常原因を特定する。



第7図 3DアイウェアによるAR点検

## 2-4 中部電力(株)分路リアクトル保護継電装置の開発

中部電力(株)に当社最新のAMRX2シリーズを適用したデジタル形分路リアクトル (ShR: Shunt Reactor) 保護継電装置を開発・納入した。主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 保護機能に加え、タイムスケジュールによって分路リアクトルの自動運転 (プログラム制御) が可能
- (2) プログラム監視機能でプログラムとShRの状態が一致していることを監視し、不適切な制御を防止
- (3) 保護制御対象の分路リアクトルは、ソフトウェア整定で可変容量-ShR, 固定容量-ShRを適用
- (4) お客様設備に合わせ、インターフェース画面の表示名称を任意に変更



第8図 分路リアクトル保護継電装置

## 2-5 2Uラックマウントコントローラの開発

2Uサイズ19インチラックマウント型産業用コントローラPS7000を開発した。主な特長は、以下のとおりである。

- (1) インテルプロセッサXeon E3-1505M v6 (2GHz, 4コア) を搭載
- (2) PCI Expressスロットを3スロット (x8スロットを1スロット, x4スロットを2スロット) 搭載することで拡張性を向上し、様々な用途に適用可能
- (3) PCI Expressのx8スロットには、GPU (Graphics Processing Unit) などのハイスpek的なPCI Express Cardを搭載可能
- (4) Windows10・Windows Server・Linux OSをラインアップし、システムの用途に合わせたアプリケーションを実装可能
- (5) 現行機のPS6000に比べ容積を78%削減、質量を32%削減し、小形化・軽量化を実現



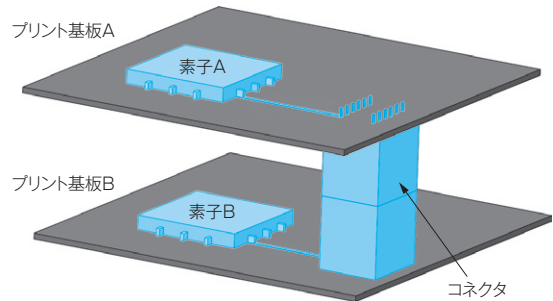
第9図 2Uラックマウントコントローラ PS7000

### 3 共通基盤技術ほか

#### 3-1 プリント板のマルチボードSI (Signal Integrity) 解析技術の確立

近年、デバイスの高速化及び低電圧化に伴い、SIが問題となってきた。さらにコネクタやケーブルを介した複数基板(マルチボード)間の伝送線路では、高速・高周波化によって信号劣化が深刻となり、開発の上流段階での対策が必要不可欠となった。

従来のSI解析では、信号品質を基板単体で確認できたが、マルチボードのかん合状態では解析できないため実測で確認する必要があった。これに対し、今回、開発の上流段階におけるコネクタモデリング手法及びコネクタ特性解析手法を確立した。これにより、マルチボードにおけるSIに起因する手戻りを防ぎ、高品質な製品を早期に市場へ提供できる。

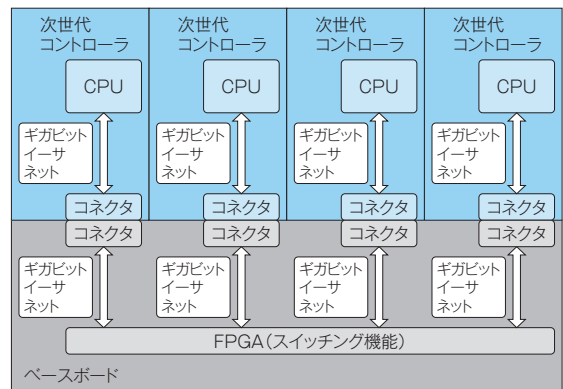


第10図 マルチボード解析事例

#### 3-2 高速システムバス技術の確立

次世代コントローラ間で大容量データを伝送するとき、従来のシステムバスは伝送速度50Mbpsと比較的低速なため、データ伝送に時間がかかる。この課題を解決するため、次世代コントローラ用の高速システムバス技術を開発した。主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 伝送速度1Gbpsのギガビットイーサネットを採用
- (2) 最大4台の次世代コントローラ間で、1対1又は1対Nでデータ伝送できるスイッチング機能をFPGA (Field Programmable Gate Array) で構成
- (3) (1)と(2)をベースボードに内蔵し、ベースボードに次世代コントローラを実装するだけで高速システムバスの伝送が可能

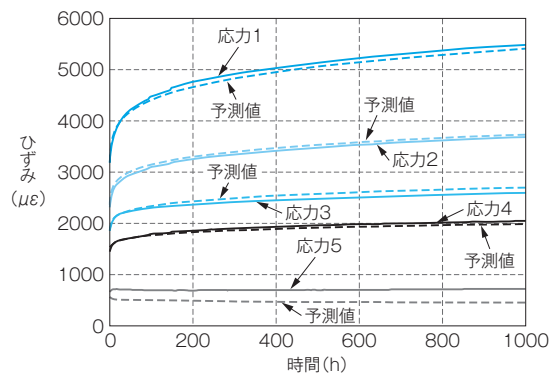


第11図 高速システムバス ブロック図

#### 3-3 エポキシ樹脂製品 長期信頼性設計技術の高度化

電力製品の絶縁物に適用されるエポキシ樹脂は高温環境かつ負荷応力が常にかかる環境で、時間経過に伴い材料のひずみが増加する現象(クリープ)が起こる。そのため製品の長期信頼性には、長期クリープ特性を加味した絶縁物の設計が必要となる。そこで、試験片による短時間のクリープ特性から長時間のクリープ特性を推測する手法を確立した。この手法は任意応力条件下の100時間クリープ試験からひずみ速度を求め、ノートン則を用いて長時間特性を推測するもので、1000時間実測値との比較では、製品に適用される応力領域でおおむね合致した特性を立証した。

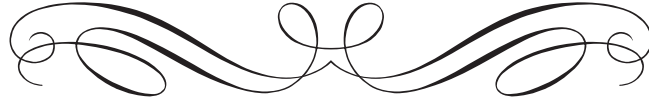
長期信頼性設計基準や応力解析へ応用し、信頼性向上や開発期間短縮に役立てていく。



第12図 エポキシ樹脂60°Cクリープ

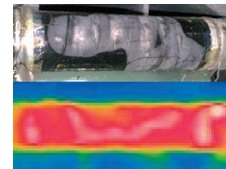


### 3-4 一方向性炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の長期信頼性評価



### 3-5 高周波高電圧回転機のコイル絶縁

地球温暖化防止や高効率化を背景に、3kV以上の高圧回転機でも大容量化のため10,000min<sup>-1</sup>以上の高速回転が求められるようになった。高速回転に伴う電源周波数の高周波化は、従来の商用周波数では発生しなかった固定子コイル巻線端部の局所的な電界集中による放電や発熱による絶縁の早期劣化が課題となっている。そこで、回転機固定子コイル巻線の電界緩和構造及び材料を見直し、6kV・15,000min<sup>-1</sup>の過酷な電気的ストレスに対応する絶縁システムを新たに開発した。本絶縁システムで試作したコイルを用いて長期高周波課電・ヒートサイクルなどの検証試験を行い、所定の寿命に相当する性能を有することを確認した。



第15図 未対応材料の高周波高電圧による発熱と劣化

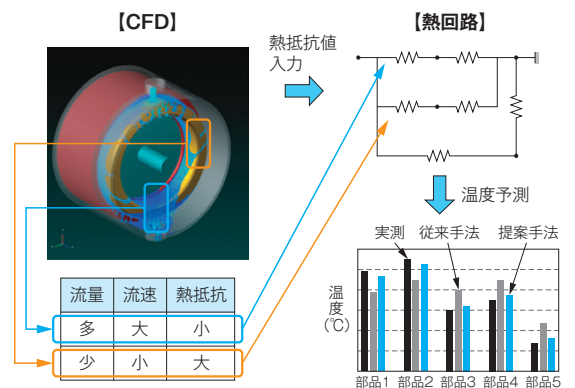


第16図 実機大コイル絶縁検証試験

### 3-6 CFD（Computational Fluid Dynamics）と熱回路網連携による油冷回転機の熱解析技術の構築

高出力密度化したモータでは、高い冷却効率が求められることから、油を噴射して発熱部の温度を下げる冷却方式を採用する必要がある。冷却効率向上のためには、高精度な熱解析技術による油量冷却箇所の最適化が不可欠である。複雑な油の流れに対して流体解析と熱解析を一度に行う場合、三次元CFD解析は計算時間に、熱回路網解析は精度にそれぞれ課題があった。

この課題を低減するため、三次元CFD解析と熱回路網解析を連携する技術を構築した。熱回路網は必要最小限の規模とし、熱抵抗は三次元CFD解析による詳細な検討結果を適用する。このように両方の解析手法を連携することで、温度予測精度と熱解析の計算時間短縮を両立した温度予測技術を構築した。



第17図 CFDと熱回路網連携イメージ

### 3-7 電気導体（純銅）の疲労寿命に及ぼす実働荷重の影響

金属を長期間利用していると、金属疲労という破壊を生じることがある。この金属疲労は材料の種類や使われ方によって寿命に大きく影響する。そこで、多くの製品の導体に用いられる純銅について荷重が大きく変動した場合の疲労試験を行い、寿命を検討した。その結果、荷重が大荷重から小荷重に変わる場合と、小荷重から大荷重に変わる場合で疲労寿命に二倍程度の差が生じることが分かった。この理由を検討するため、応力と材料内部のひずみの関係を解析した。その結果、大荷重の前歴があると小荷重のひずみは変化し、定常に至るまでに多数の繰り返しを要し、この間に損傷が大きく累積されることが分かった。これにより、寿命に対する影響度は実験と解析でほぼ一致し、任意の荷重や繰り返し数での寿命推定ができるようになった。

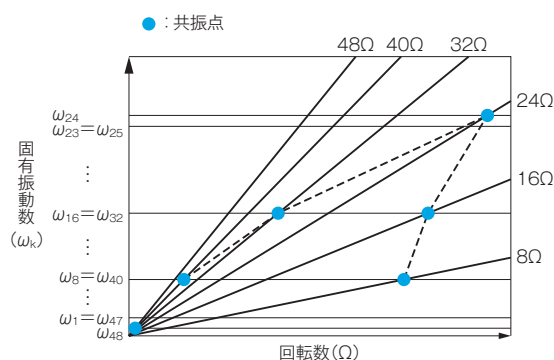
第 1 表 荷重変動疲労試験

	荷重一定 (小のみ)	荷重前歴有り (荷重変動パターン)
条件 (荷重)		
寿命 (実験値 / 理論値)	1	0.5
ひずみ変化 (各小荷重の ヒステリシス 比較)		

### 3-8 IPMSM (Interior Permanent Magnet Synchronous Motor) における電磁共振条件の検討

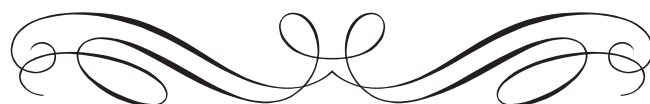
IPMSMは高出力密度かつ高効率であることから、産業機器や電気自動車で広く使用されている。電気自動車は静音性の要求が強く、その主要部品であるIPMSMの音振動特性の改善が必要である。IPMSMの音や振動の主な要因として、固定子鉄心で発生する電磁力と固定子鉄心の共振がある。

そこで、共振条件を明らかにするため、固定子鉄心の解析モデルを導出し、電磁力の特性を詳しく検討した。その結果、今まで報告されていなかった共振条件を明らかにした。さらに実験結果との比較検討によって、本研究で明らかにした共振条件の妥当性を確認した。この研究成果を応用することで、固定子鉄心の共振回避設計を実現でき、IPMSMの音振動特性向上に貢献する。

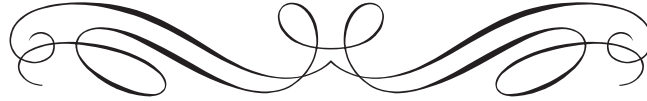


第 18 図 理論による共振点

### 3-9 避雷器用酸化亜鉛素子の高性能化

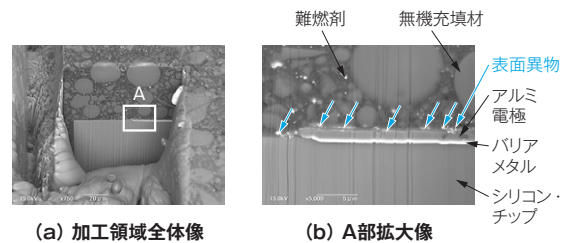


### 3-10 CNT (Carbon Nano Tube) の冷陰極X線管への応用開発



### 3-11 収束イオンビーム (FIB) 法による半導体デバイスの評価技術

樹脂封止の半導体デバイスの故障モードに、シリコンのチップとパッケージの樹脂の剥離やチップ表面の異物が原因となる事象がある。これらの解析は、種々の非破壊検査によって故障原因の位置を特定し、機械研磨などで加工した後、電子顕微鏡で断面又は表面から樹脂接着状態やチップ表面の異物を観察する。故障位置が特定できない場合は、パッケージの樹脂を溶剤などで溶かしてチップの表面を観察する。この段階で異物や樹脂剥離が消失してしまう課題があった。そこで、異物の検出力向上を目的に、パッケージ上から断面加工する新たな技術確立した。発熱解析などで故障原因の位置を推定し、その範囲を電子顕微鏡に装備されたFIBで加工する。加工と断面の成分分析を繰り返すことで、チップ表面の異物を評価できた。



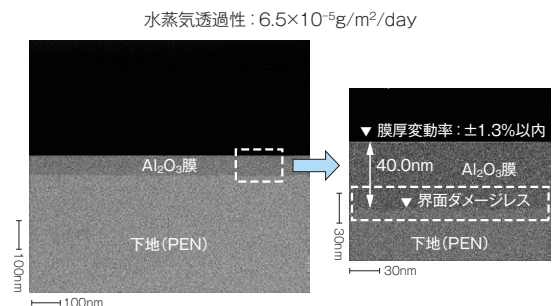
第22図 FIB加工断面像

### 3-12 常温OER (Ozone-Ethylene Radical generation technology)-ALD (Atomic Layer Deposition) 成膜技術の開発

(国研)産業技術総合研究所と共同で、当社のピュアオゾンジェネレータが発生させる純度100%オゾンを使用したOERプロセス技術と、常温環境下のソースガス(酸化膜の材料ガス)を利用した原子レベルの膜を積層する新しいALD成膜技術確立した。

本技術によって、熱ダメージに弱いプラスチックフィルム及び極薄フィルム上に成膜できる。

本技術を用いた常温ALD成膜では、フィルム上にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単層膜で膜厚40nm、水蒸気透過性6.5×10<sup>-5</sup>g/m<sup>2</sup>/dayのハイバリア成膜を確認した。



第23図 常温ALD成膜サンプル断面図