

I. 研究開発

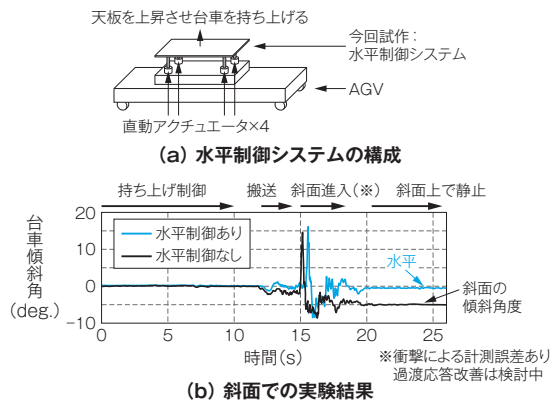
1 パワーエレクトロニクス

1-1 無人搬送車 (AGV) による台車の水平制御システムの基礎開発

台車の下に潜り込み、台車を持ち上げ搬送するリフト式 AGV は、既存の台車をそのまま用いることができる。搬送の際、台車を水平維持できることが望ましい。

そこで、AGV によって台車を水平維持搬送するための水平制御システムを開発した。システムは四つの直動アクチュエータを用いた構造とし、台車の高さ・進行方向傾斜・横方向傾斜の三つの自由度の運動ができる。開発した制御アルゴリズムによって、これらの運動を独立かつ同時に制御できる。

制御システムの試作機を製作・実験し、斜面上で台車を水平に維持した状態で、安定して搬送できることを確認した。

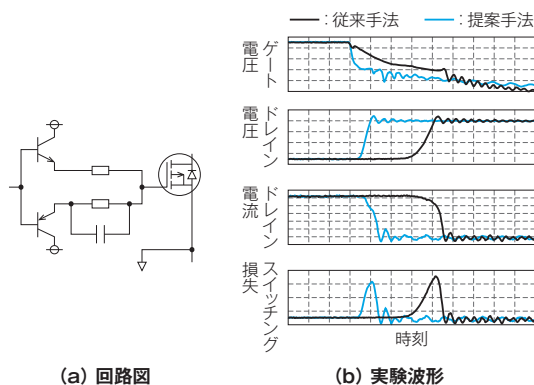


第 1 図 水平制御システムの構成と実験結果

1-2 インバータ効率を向上させるゲート駆動技術の開発

インバータのパワー密度を向上するため、半導体デバイスの低損失化による冷却器の小形化が求められている。そのためには、半導体デバイスのスイッチング損失を低減することが効果的である。一般的にはゲート電荷の放電速度を高速化し、スイッチング速度を速くすることで実現するが、この方法は電磁ノイズが増加する問題がある。

この問題を解決するため、スイッチング中にゲート電荷の放電速度を変化させるゲート駆動技術を検討した。スイッチングの前半期間に放電速度を高速化してスイッチング損失を低減し、後半期間に放電速度を低速化してノイズを抑制できる。従来方式と比較して、ノイズレベルが同等で、スイッチング損失を低減できることを確認した。



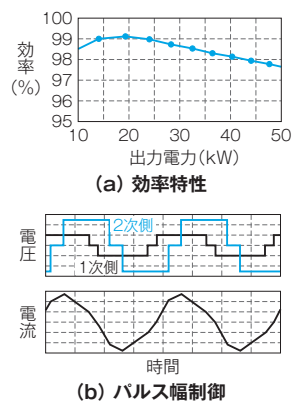
第 2 図 ゲート駆動技術概要

1-3 高周波絶縁 DC/DC 変換器の適用範囲拡大に関する基礎開発

蓄電池や太陽光発電の普及によって、DC/DC 変換器の需要が高まっている。中でも小形・軽量で、絶縁できる高周波絶縁方式を用いた高周波絶縁 DC/DC 変換器の普及が期待されている。

一方で、軽負荷時や出力電圧変動時に、効率が大幅に低下する問題があった。軽負荷時の効率は、回路定数の最適化、低損失な炭化ケイ素 (SiC) パワーデバイスの適用、及び新開発のゲート駆動回路の適用によって改善した。50kW 試作機による評価で、軽負荷時の高効率を維持しつつ効率 99.1% を達成した。出力電圧変動時の効率は、独自のパルス幅制御方式で改善した。

本方式では、入力電圧に対する出力電圧が 42 ~ 240% の領域で、高周波絶縁トランスの通過電流の抑制に成功し、損失低減と広範囲での動作を両立した。

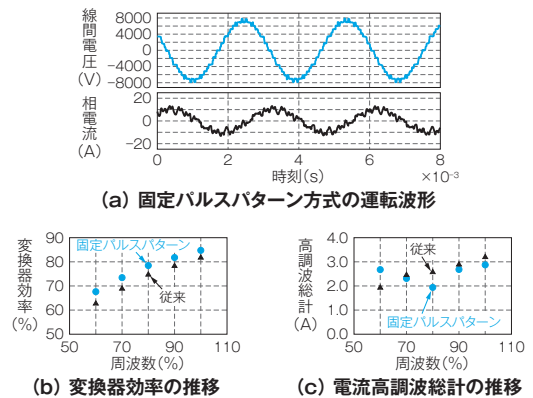


第 3 図 高周波絶縁 DC/DC 変換器評価結果

1-4 固定パルスパターン方式による高圧インバータのモータ無負荷運転評価

従来、高圧インバータのパルス変調では、三角波と指令電圧の比較によってパルス電圧を生成している。従来方式では、出力電圧1周期のパルス数が少ない場合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。これに対して、電圧振幅ごとに固定のパルスを出力する固定パルスパターン方式を検討した。この方式では高調波を打ち消すようにパルスパターンを事前設計するため、少ないパルス数でも高調波が増大しない。これにより、スイッチング損失減による効率改善が期待できる。

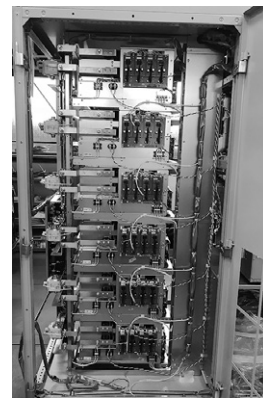
パルス変調方式の基礎評価として、高圧インバータのモータ無負荷運転を行った。出力電圧1周期のパルス数が減少する70%以上の周波数では、固定パルスパターン方式が従来よりも高効率かつ従来以下の電流高調波であることを確認した。



第4図 高圧インバータのモータ無負荷運転結果

1-5 大容量充放電装置の開発

バッテリーの管理や実験評価に利用される試験装置として、大容量・高応答性・高精度の要求に対応した充放電装置を開発した。電流応答速度と電流リップル低減の両立、リアクトルの小形化、スイッチング損失低減の観点から、回路構成はフライングキャパシタ (FC) 形3レベルインバータを採用している。FC電圧の制御には、出力電流の向きを検出する必要がある。しかしながら、本機は低電流から大電流まで出力範囲が広いと、出力電流が小さい場合には誤検出する可能性があった。そこで出力電流が小さい場合には、FC電圧の変化分を利用し制御を切り替えることで、軽負荷時でもFC電圧を安定して制御できるようにした。FC電圧を一定に制御することで、電流量にかかわらず出力波形のひずみを低減した。



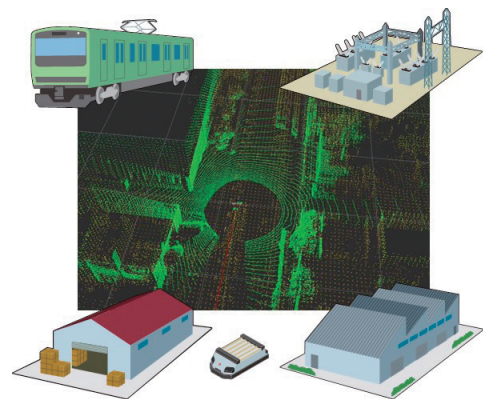
第5図 FC形3レベルインバータユニット

2 ICT

2-1 3D空間認識技術の開発

周辺環境の構造物・障害物などを検出し識別する3D空間認識技術を開発した。これにより周辺環境の地図を作成し、地図を基にした自己位置姿勢推定ができるほか、走行可能領域や障害物を識別し、障害物を回避しつつ目的地まで走行できる。これまで2D測距センサを用いていた当社の自律走行無人搬送車では、工場など周辺環境変化の少ない構内でのみ使用に限られていたが、環境変化の大きな屋外、例えば工場間の搬送などで走行できる。

そのほか周辺設備・構造物・障害物などを識別できることから、変電所などの施設内や鉄道設備などの巡視・点検に運用できる。



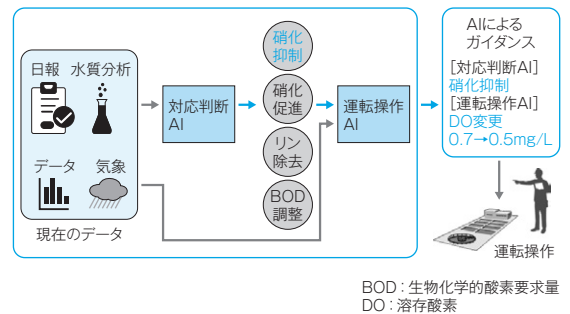
第6図 周辺環境の3D空間認識

2-2 人工知能（AI）による下水処理場運転の高度化

下水処理場における運転操作を導出する技術を広島市・(株)NJSと共同で開発した。

本技術は、運転の大きな方向性を決定する「対応判断AI」と、決定した方向性に従って具体的な操作量を導出する「運転操作AI」の二つのAIから構成される。対応判断AIでは水質などの入力項目と導出した運転の方向性（対応判断）との因果関係を可視化でき、技術継承につなげることができる。運転操作AIではアンサンブル学習法（注1）を用いることで、処理状態や水質などの複雑な関係を反映した運転操作を導出できる。

注1. 単独では精度の低い識別器を多数用いることで結果的に高精度な識別を実現する手法



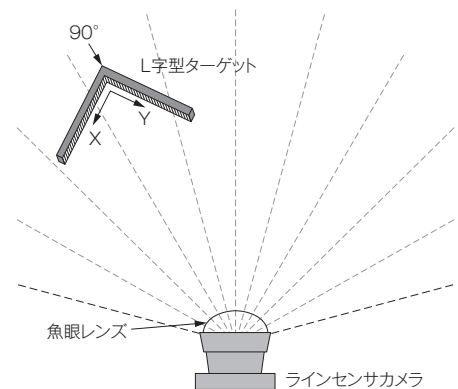
第7図 AIによる下水処理場運転操作の導出技術

2-3 架線検測装置 CATENARY EYEの広視野化開発

近年、鉄道設備の保守分野では自動化の要求が高まり、架線検測装置 CATENARY EYEの広範囲検測が求められている。現在適用しているラインセンサカメラで広範囲な撮影を行うためには、超広角撮影ができる魚眼レンズを適用する必要がある。

しかしながら、魚眼レンズの適用にあたり、「画像の次元情報が少ない」・「ひずみ度合いが非常に大きい」といった既存の校正手法では適用できない課題があった。

そこで当社は、次元情報拡大のための校正機器としてL字型ターゲットを採用し、また魚眼レンズに対応したひずみ補正などを取り入れ、新たな校正手法を開発した。これにより広範囲検測ができるようになり、架線だけでなく架線周辺設備検測への適用拡大が期待できる。

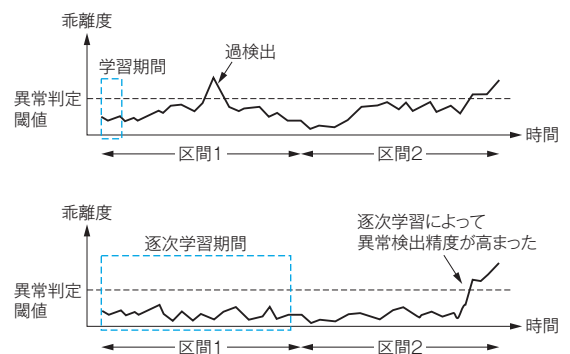


第8図 装置構成図

2-4 設備診断エンジンにおける逐次学習機能の開発

当社は、インフラ設備を対象とした保全サービスに診断エンジンを提供している。対象設備は季節性や稼働状況によって計測データに変動が起こり、診断性能に大きく影響する。長期的に蓄積された学習データセットが必要であるが、事前に蓄積することは困難である。

そこで、当社では逐次学習機能を開発した。対象設備の診断開始直後から駆動し、一定時間ごとに診断と追加の学習（逐次学習）を行う。この機能によって、学習データの品質・量を継続的に高めることができる。機能を追加した診断エンジンは、季節性や稼働状況の変動に対応でき、過検出抑制や異常検知の精度向上を実現した。



第9図 年間変動抑制のイメージ図

2-5 スマート固体絶縁開閉装置（SIS）用保護制御装置の開発

東京電力パワーグリッド(株)に新形6kV SIS（スマートSIS）用保護制御装置を開発・納入した。主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 遠方監視制御装置（TC）間の情報通信に国際標準規格のIEC 61850を採用したデジタル伝送を適用。マルチベンダ対応によって他社TCとの接続が可能
- (2) 遮断器・負荷開閉器・断路器・接地開閉器の操作条件にソフトインタロック方式を適用
- (3) 保護制御対象機器の劣化診断機能として、トリップや投入、選択制御出力から機器応動までの時間を計測
- (4) 電源は、劣化部品である封口ゴムを使用しない電解コンデンサとセラミックコンデンサで構成



第10図 スマートSIS用保護制御装置

2-6 WhiteShield機能向上

本製品は、ホワイトリスト方式によるアクセス制御を実現したセキュリティ対策ソフトウェアである。インターネット経由のパターンファイルのアップデートを使用することなく、ウイルスやワームなどの脅威から産業用コントローラや組み込み装置を保護する。

今回、対応OSにWindows 10 Enterprise 2019 LTSC, Windows 10 Professionalを追加した。また、特定用途の追加機能を取り込むことで、管理・運用が容易になる仕組みを追加した。

マネージャとエージェントのインターフェースは、従来製品と互換性があり相互運用ができる。



第11図 Windows 10対応マネージャ画面

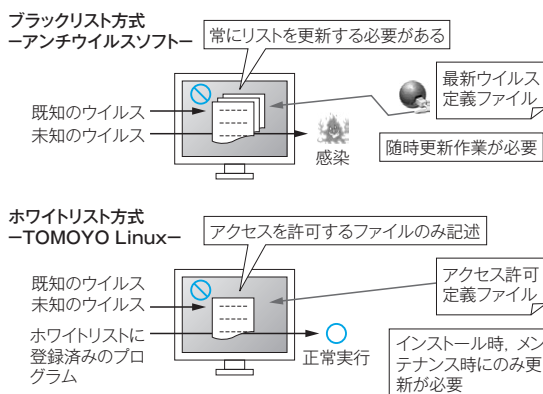
2-7 Linux向けホワイトリスト方式セキュリティソフト

製造現場などで使用されているコンピュータでは、インターネットに接続されていないファイルスキャンの負荷がシステムに悪影響を及ぼすなどの理由によって、一般的なブラックリスト方式のアンチウイルスソフトを適用できない場合がある。

これに対してホワイトリスト方式のセキュリティソフトは、ウイルス定義ファイルの随時更新やファイルスキャンが不要となり、制約が厳しい製造現場などに適用できる。

このため当社では、Windows向けホワイトリスト方式セキュリティソフトとして、WhiteShieldを提供してきた。

今回、新たにLinuxを対象として、ホワイトリスト方式セキュリティソフトTOMOYO Linuxの製品適用を進めている。



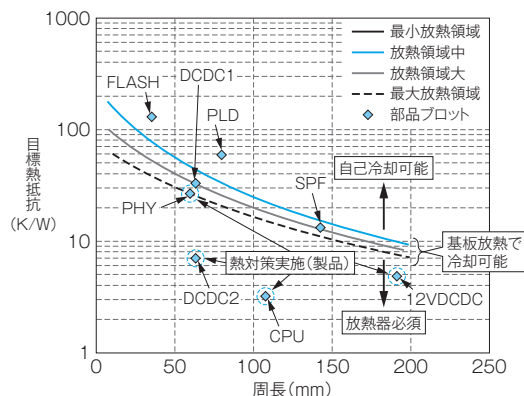
第12図 ブラックリスト方式とホワイトリスト方式

3 共通基盤技術ほか

3-1 情報通信技術（ICT）製品の設計初期段階における熱設計技術の向上

電子機器製品の小型・高性能化の要求が高まり、熱に起因する課題が多くなってきた。しかし、従来では設計末期で熱解析を実施していたため、問題が発生した際には大きな手戻りとなり開発遅延の要因となっている。

そこで、開発初期段階で部品選定及び配置検討ができるツール「Thermocalc」を導入した。本ツールの温度マージン一括計算機能によって、熱対策の指針を得られる。筐体内部温度・部品サイズ・発熱量などをインプットとし、ニュートンの冷却法則から「自己冷却可能」・「基板冷却可能」・「放熱器必須」に仕分ける。従来機種に対して試用し、仕分け結果と実際の傾向がおおむね一致することを確認した。これにより、熱に起因する不具合を開発初期段階で撲滅し、開発期間の短縮が期待できる。



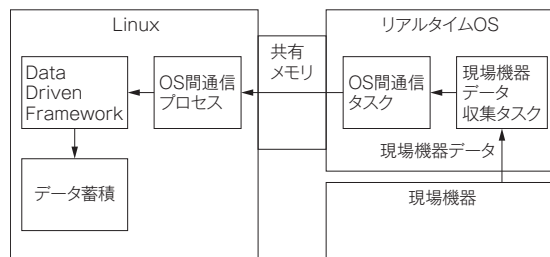
第13図 Thermocalcによる仕分け結果例

3-2 現場機器データ蓄積のためのOS（Operating System）間協調制御技術

次世代コントローラは、マルチOS（Linux・リアルタイムOS）で構成される。次世代コントローラは、プラントで動作中の機器データを収集・蓄積し、蓄積したデータを解析することで、現場機器の状態監視及び安定した制御を実現する。

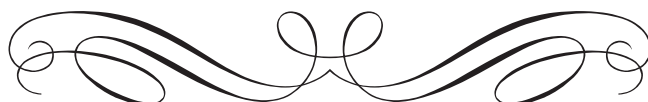
現場機器データ収集機能は応答性が必要となるため、リアルタイムOSに実装する。データ蓄積及び解析機能は情報処理用OSで処理する必要があるため、Linuxに実装する。

データ収集・蓄積機能を実現するには、各OSのデータをOS間で共有するための技術が必要となる。そこで、共有メモリ空間に仮想LAN（Local Area Network）を形成し、コントローラ内部でUDP（User Datagram Protocol）/IP（Internet Protocol）通信を実装することで、OS間のデータ共有を実現した。



第14図 OS間協調制御ブロック図

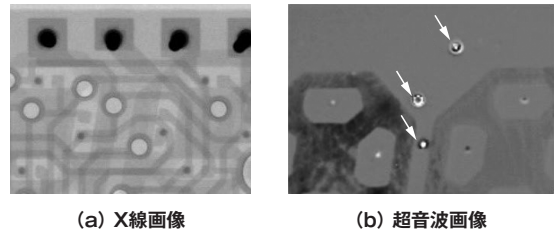
3-3 PLC（Programmable Logic Controller）二重化機能の高速化



3-4 超音波顕微鏡による品質評価技術

電子部品の非破壊検査に使用するX線検査装置は、内部構造や欠陥を画像化することができるが、X線を透過しやすい材質や厚みの薄い物の欠陥の検出には課題がある。

これらの課題を解決するため、超音波顕微鏡を導入した。本装置は水中のトランスデューサから試料内部の深さ位置に対して発振した超音波の反射波を画像化し、試料内部を可視化できる。X線検査装置とは異なり、空気界面での反射が大きいという特長があるため、パワーデバイスや樹脂のボイド解析など、半導体部品・絶縁材料などの欠陥解析精度が向上した。また、試料を水没させる水槽を大形化することで、高さのある絶縁物などの観察に対応でき、さらに最大100断面まで画像を同時に取得でき、迅速な検査対応を実現した。

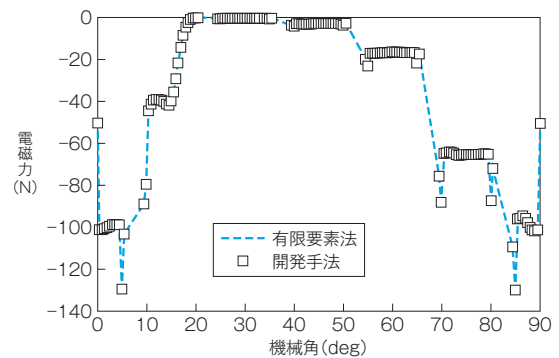


第16図 画像比較

3-5 モデル縮約を用いた回転機の電磁振動解析技術

モータ開発で特に重要である静粛性を向上させるためには、構造への加振力の発生要因である電磁力を高速かつ高精度に計算することが必要である。当社は計算時間を削減するため、注目されているモデル縮約を電磁界解析に適用し、補間形モデル縮約法を開発した。

この手法は、場の分布を縮退化してデータに保存し、縮退化した変数で補間し、補間された縮退変数から場の分布を計算する。電磁力の計算結果を有限要素法と比較すると、高精度に計算できていることが分かる。また、計算時間は100倍程度高速化したため、本手法の有効性を確認できた。当社は、回転機の電磁振動に関する技術開発を行い、製品の静粛性向上へとつなげていく。

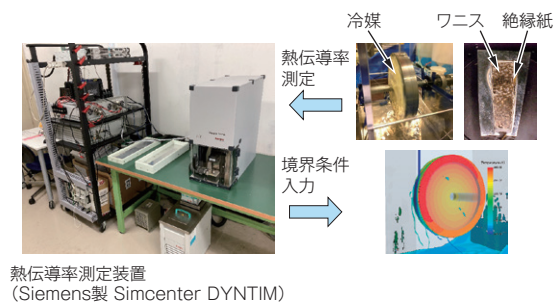


第17図 電磁力の比較

3-6 熱流体解析精度向上のための熱伝導率測定システムの構築

製品の温度上昇は性能・寿命・信頼性に直接作用するため、冷却設計・温度計算は製品開発の最重要事項となっている。しかし、製品を構成する材料は複合材・積層体・混合液体・形状や圧力によって熱特性が変化する粘弾性材などがあり、それらの熱伝導率が不明なため、熱流体解析を用いた温度計算結果と実測値の乖離が生じることがある。

この課題を解決するため、定常法による熱伝導率測定装置を導入した。本装置と実機の一部を模擬した試料を用いることで、モータの積層体・ワニス・絶縁紙を組み合わせた構造物や冷媒など、これまで測定が難しかった熱伝導率を測定し、これらを境界条件として入力することで、より高精度な熱流体解析を行い、高性能・高品質・高信頼製品の開発を実現する。



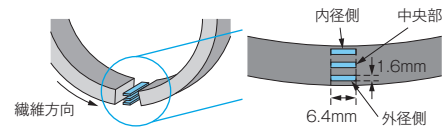
熱伝導率測定装置
(Siemens製 Simcenter DYNTIM)

第18図 熱伝導率測定システムと利用イメージ

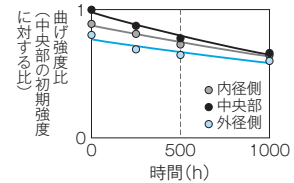
3-7 一方向性炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の長期強度特性評価

CFRPは、高強度・軽量が実現できるため、航空機や自動車などの構造部材として実用化されている。CFRPを構造部材に適用するために、これまで疲労やクリープといった物理的な要因による長期特性変化の予測が多く報告されている。しかし、構造部材の場合、それらの物性値を用いて均質材として評価されることがしばしばあり、CFRP構造部材が大形になるに伴い、部材内部の特性がばらつくことが懸念される。

そこで、構造部材から切り出した曲げ試験片を180℃ 1000時間まで長期熱暴露し、曲げ強度と切り出し位置の関係を調査した。その結果、切り出し位置によって強度低下速度が異なることが分かった。そのため、CFRP内部の劣化挙動を詳細に把握することで、精度よく長期寿命を把握できるようになった。



(a) 曲げ試験片の切り出し位置



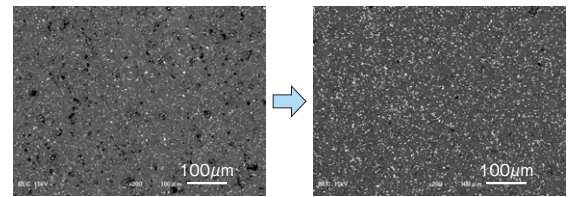
(b) 各切り出し位置における曲げ強度比

第19図 試験片の切り出し位置と強度比

3-8 避雷器用酸化亜鉛素子の高性能低コスト化

避雷器小形化の需要拡大に伴う避雷器熱暴走抑制の対策に、避雷器用酸化亜鉛素子のサージ後の熱安定性の向上が求められている。そこで、従来素子と同等以上の機器保護性能を持ち、さらにサージ負荷後の漏れ電流が従来素子の1/3以下という特長を持つ新配合素子を開発した。

本開発素子は、高価な酸化物元素を低減させる一方、微量添加物を選定・最適化することで、従来素子に対し良好な熱安定性と、原料の低コスト化を達成し、両立した。また焼成を含む製造条件の最適化で、開発素子は従来素子に対して内部空隙の少ない緻密かつ均質な微細組織を有している。空隙低減による素子強度の向上のみならず、電気性能バラツキの安定化にも期待できる。



(a) 従来配合

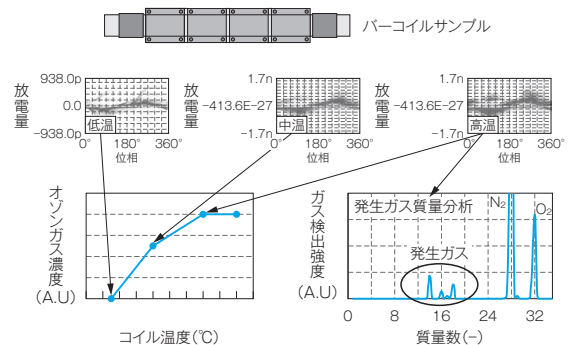
(b) 新規配合

第20図 空隙低減と微細組織均質化

3-9 高電圧回転機絶縁の劣化予兆診断技術

運転中の高電圧回転機は、常に固定子コイルから部分放電が発生し、放電を起因とするオゾンやその他ガスが生成されると言われている。

劣化バーコイルを使用して、運転状態を模擬した課電中の部分放電と生成ガスの関係性を評価した。部分放電パターンは温度依存性が大きく、部分放電の増大に応じてオゾン発生量が増加した。また、そのほかの生成ガスも種類や発生量が増加した。同様に、運転中の高圧回転機も放電及びガス生成の温度依存性をモニタリングすることで、固定子コイル絶縁劣化状態を推定することができる。



第21図 バーコイルによる部分放電-発生ガスの温度依存性