

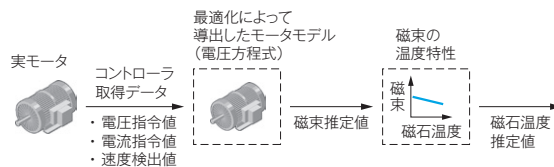
# I. 研究開発

## 1 パワーエレクトロニクス

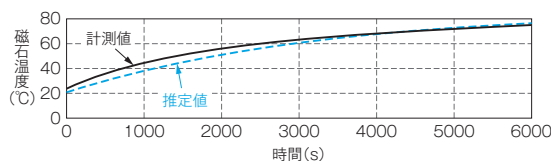
### 1-1 パラメータ最適化を用いた永久磁石同期電動機 (PMモータ) の磁石温度推定技術

PMモータの回転子磁石の温度上昇は、不可逆減磁などの問題を招く。磁石温度の直接の計測は困難であるため、その推定が求められる。磁石温度の推定には、磁石の磁束を電圧方程式から推定し、磁束の温度特性から磁石温度を求める手法が一般的である。電圧方程式のモータパラメータは、運転条件によって変動し、その変動が磁石温度の推定精度に影響する。

そこで、パラメータ最適化による手法を採用した。本手法では、まず磁石温度を計測できる試験機で、運転データと磁石温度をセットで網羅的に取得し、各条件で最も高精度に温度を推定するパラメータを最適化によって算出した。さらに、この算出したパラメータを用いて磁石温度を推定し、試験機での計測値と比較したところ、誤差10℃以内での温度推定を確認した。



第1図 磁石温度推定の概要

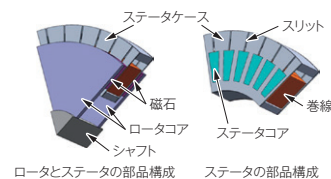


第2図 PMモータ磁石温度推定の実機試験結果

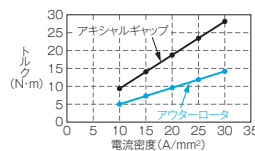
### 1-2 アクシシャルギャップモータの損失低減技術

モビリティを駆動するモータは、小形・軽量化が求められ、その中でも低速・大トルク仕様では、アウターロータ構造とアクシシャルギャップ構造のモータが代表として挙げられる。近年は、薄形でギャップ面積が広いアクシシャルギャップ構造が注目されているが、ステータコアを固定するケース部に金属を用いると、交流磁場によって大きな渦電流損失が発生する課題があった。

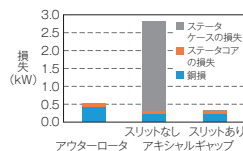
そこで、磁界解析でアウターロータ構造とアクシシャルギャップ構造のモータを比較し、ステータケースにスリットを入れると損失の低減効果が確認できた。その結果、アクシシャルギャップ構造の方がギャップ面積を広く取れることで、2倍のトルクを得ることができた。また、スリットを入れることで、ステータケースで発生する損失を88%低減できることが分かった。



第3図 提案するアクシシャルギャップ構造



第4図 トルク特性の比較

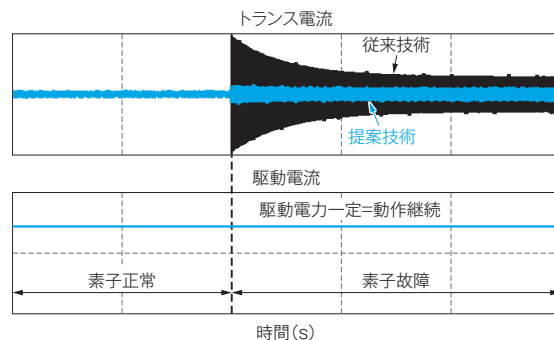


第5図 損失結果の比較

### 1-3 フォルトトレランス機能を実現する高効率な絶縁DC/DC変換器

直流 (DC) 配電システムに接続されるDC/DC変換器には、素子故障時にシステム内の他機器に影響を与えないように動作を継続させるフォルトトレランス機能が要求される。しかし、従来のフォルトトレランス機能を有するDC/DC変換器では、効率が低下するため、冷却器が大形化する課題があった。

そこで、DC/DC変換器内の半導体素子の故障状況に応じて、正常な素子の動作を切り替える新たな技術を開発した。内部故障を模擬した評価を行い、素子故障時における動作の継続と効率低下の原因であるトランス電流増加が抑制できることを確認した。この成果は、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP14004) の結果得られたものである。



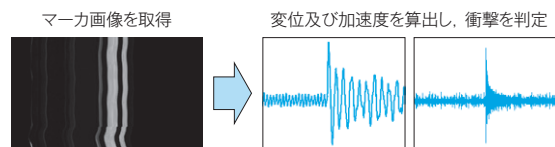
第6図 内部故障を再現したDC/DC変換器の動作波形

## 2 知能情報技術

### 2-1 衝撃検出機能の技術開発

パンタグラフに飛来物や電車設備が衝突することでパンタグラフが損傷し、運転見合わせや緊急停車、輸送障害が発生する可能性がある。パンタグラフの異常を迅速に発見するため、パンタグラフに対する物体衝突の有無を判断する衝撃検出機能を開発した。

衝撃検出機能では、列車の屋根上にラインセンサカメラを、パンタグラフ舟体にマーカを設置する。ラインセンサカメラでマーカ画像を取得し、パンタグラフの列車進行方向に生じる変位及び加速度を算出する。算出した変位及び加速度を用い、パンタグラフに対する物体衝突の有無を判断する。これにより、パンタグラフの異常を早期に発見でき、鉄道の安全性・信頼性の向上につながる。

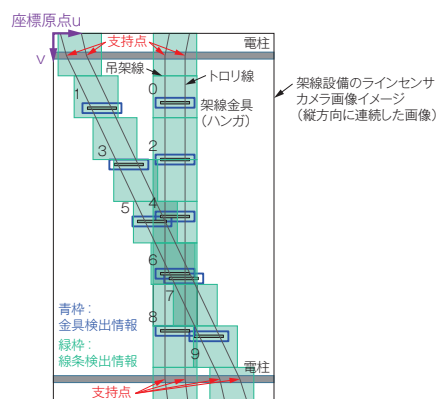


第7図 衝撃検出機能の概要

### 2-2 異常検知に向けた架線金具検出情報を用いた線条検出手法の開発

鉄道事業者の点検業務省力化のため、当社は画像処理を用いた架線周辺設備の自動点検システムの開発を進めている。システム処理フローは大別して、画像取得・設備検出・異常検知の三つから構成される。

設備検出には深層学習による物体検出手法が有効で、対象設備のうち架線金具に対して適用している。しかし、今回対象となる吊架線・トロリ線などの線条は画像を縦断するように存在し、深層学習手法では適切に抽出することが難しい。この課題を解決するため、架線金具検出情報を用いて線条を検出手法を開発した。本手法は、線条に対してほぼ等間隔で存在する架線金具に着目し、同一架線上にあると判定したものを追跡することで線条位置を特定する。これにより、線条の検出ができる。



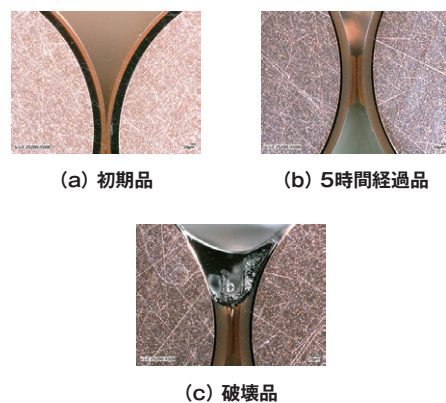
第8図 線条検出の概要

## 3 材料技術

### 3-1 インバータ高周波化に対するエナメル被覆銅線の基礎評価

近年の高速スイッチング化で、モータコイルは従来と比較して、より急峻な立ち上がりの繰り返しインパルス電圧を有するインバータサージに対して、絶縁信頼性の確保が重要となっている。そこで、耐サージ特性が付与されたエナメル線の標準的なツイストペア法による繰り返しサージ課電評価及び絶縁破壊の様態観察を実施した。

様態観察は、エナメルの層状構造を顕在化させる前処理の後に光学顕微鏡で断面観察した。初期は銅体周りに2層のエナメル被覆が存在するが、課電時間の経過とともに表層のエナメルが侵食されていた。また絶縁破壊は、ツイストペアの線間の微小な空間ギャップ箇所でもより顕著であることを確認した。本手法によって、寿命や破壊点予測の精度向上が見込まれる。

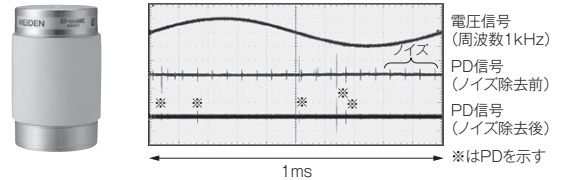


第9図 エナメル線の断面

### 3-2 真空コンデンサを用いた部分放電 (PD) 測定技術

インバータ駆動回転機及びそれを駆動させるインバータやトランスは、より高効率の運転を目指して駆動電圧・周波数の増大、インバータのスイッチング時間の高速化が進んでいく傾向にある。その一方で、インバータから発生するスイッチングノイズの影響が大きく、オンライン絶縁診断が困難になってきている。

この課題を解決するため、当社製品である真空コンデンサの適用及び適切なノイズ除去処理によって、スイッチングノイズの影響が小さいPD測定装置を開発した。出力周波数が1kHzまでの範囲でPDを測定できる。また、実際にインバータサージ電圧を模擬したインバータパルス発生器の動作中、高電圧回転機固定子コイルから生じるPDの検出を実現している。



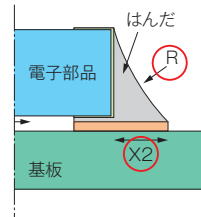
第10図 真空コンデンサ (左) と部分放電測定結果 (右)

## 4 共通基盤技術

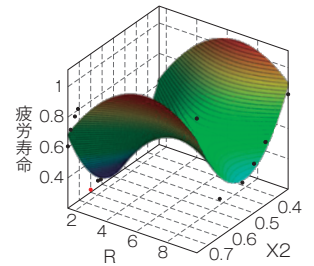
### 4-1 はんだの金属疲労に及ぼすはんだ形状の感度解析

電子部品を固定する役割も担うはんだは、ヒートサイクルによって発生する熱ひずみの繰り返しによって金属疲労を起こすことが知られている。このため、電子部品を実装する基板や筐体の設計では、金属疲労を防止するための構造や冷却の検討が必要になる。ところが、金属疲労の推定にはひずみ解析のピーク値ではなく、全ひずみ幅が必要となるため、構造・形状などの設計要素の検討が煩雑であった。

この課題を解決するため、熱・構造連成解析と疲労寿命の感度解析を組み合わせた解析技術を開発した。これにより、疲労寿命に及ぼす設計要素の感度を求めることができ、設計・試験の効率、製品の信頼性が向上した。



第11図 はんだ形状パラメータ

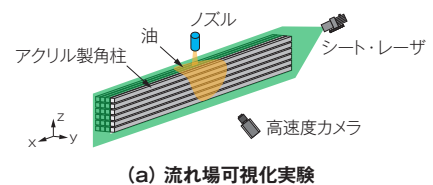


第12図 疲労寿命に及ぼすはんだ形状の感度

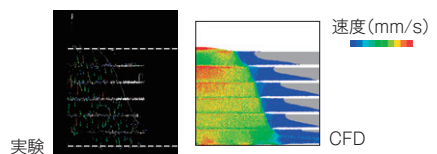
### 4-2 油冷モータコイルエンドにおける油流れ解析の基礎技術開発

油冷モータの熱設計では、コイルエンドへの油のかかり方の見極めや最適化、また作業効率化のため数値流体力学 (CFD) が用いられる。しかし、コイルエンドは銅線を束ね細い隙間を持つ複雑な構造であるため、CFDの設定と結果の妥当性を確認することは難しい。

そこで、CFD技術検証のデータ取得を目的に平角線コイルエンドを模した亚克力製水平角柱群の油流れ速度可視化実験を実施した。さらに、実験の流れ外観及び隙間の流下速度分布との比較からCFDの精度と妥当性を確認した。本検証は、高精度なCFDの実施と高い冷却性能を持つ高性能電気自動車モータなどの迅速な開発に貢献する。本研究は、(学)東京理科大学の山本教授、(学)金沢工業大学の福留講師との共同研究である。



(a) 流れ場可視化実験



(b) 流速分布

第13図 角柱群流れ場可視化実験と結果