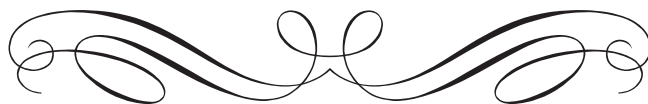


I. 研究開発

1 パワーエレクトロニクス

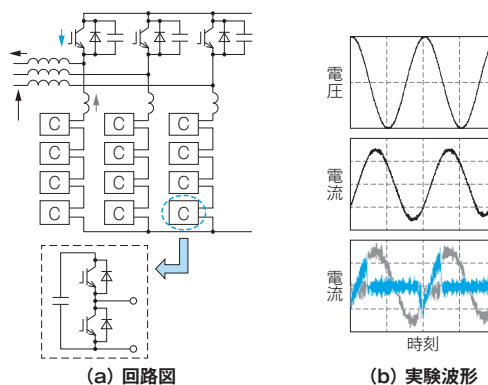
1-1 高パワー密度EV用インバータの開発



1-2 導通損を低減したモジュラーマルチレベル変換器の基礎開発

モジュラーマルチレベル変換器には、チョップセルの増加によってトランスレスでの高電圧出力及び高調波やスイッチング損失の低減が容易に実現できるという特長がある。その反面、部品点数や導通損の低減が課題となる。

今回考案した変換器の回路構成では、従来方式に対して上アームセルモジュールを高耐圧IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）に置換することでセル台数を半減した。1/3周期で高耐圧IGBTをオンすることで電流を上アームに迂回させ、導通損を低減する。また下アームセルモジュールの制御で、高耐圧IGBTのスイッチングは零電流で行い損失増加を抑える。シミュレーションによって従来回路に比べ損失を30%低減し、ミニモデル実験で動作原理及び基本動作の検証を完了した。



第2図 検証したモジュラーマルチレベル変換器

1-3 太陽光発電用PCS（Power Conditioning Subsystem） SP1000-500

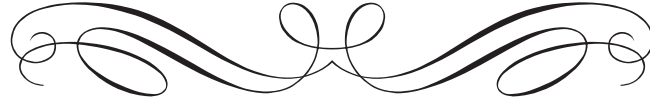
再生可能エネルギー事業ではシステム全体の高効率化や初期コスト、ランニングコストの低減など、更なる経済性が求められている。これらの要望に対応するため、新形太陽光発電用PCS SP1000-500を開発し、販売を開始した。本機器の主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 出力電力を従来機の250kWから500kWとすることで、発電所内PCSの台数を削減し、保守コストを削減
- (2) 最大入力直流電圧を1000Vに高電圧化することで、直流配線を削減し、工事費削減及び工期短縮を実現
- (3) 高効率3レベルインバータを採用することで、最高効率98.7%以上と国内最高クラスの効率を達成



第3図 太陽光発電用PCS SP1000-500

1-4 新形デッドタイム補償によるインバータ出力電流ひずみの改善

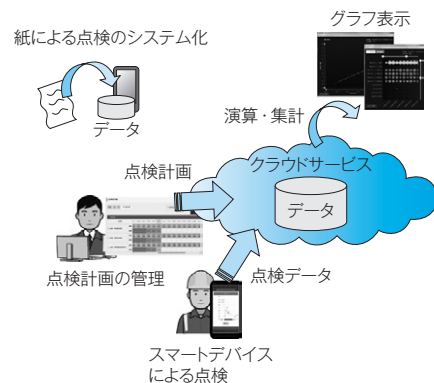


2 ICT

2-1 クラウドサービスの技術開発 見える化・点検支援機能の開発

クラウドサービスによって、データの見える化や点検業務を支援するための技術を開発した。機能・特長は、以下のとおりである。

- (1) 時系列データを用いた任意の四則演算や、指定時間範囲の最大値・最小値・二乗平均値・合計値などを算出
- (2) (1)の算出値を含む任意の計測値間の相関関係や、機器の運転状況、故障要因別の発生頻度を各種グラフで見える化
- (3) 紙媒体の点検業務をクラウドサービス環境下で実現
- (4) オフライン環境下でのスマートデバイスを用いた過去の点検状況の参照や点検結果の入力

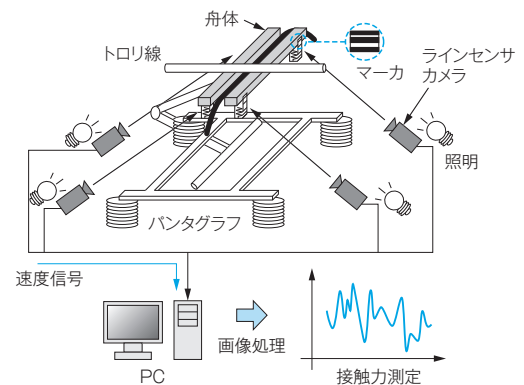


第5図 クラウドサービスへの追加技術概念図

2-2 在来線パンタグラフに対応した接触力測定装置の開発

鉄道分野では、パンタグラフの集電性能を診断するための測定項目の一つとして、パンタグラフとトロリ線間の接触力が注目されている。従来のCATENARY EYE^{カテナリーアイ}には、高速鉄道用パンタグラフに対しての接触力の測定機能が備わっているが、在来線で採用されている二列舟体のパンタグラフは挙動が複雑なため、従来の装置構成では要求精度を満たすことができない。

本装置では、パンタグラフの挙動を正確に捉えるため、ラインセンサカメラを前後に設置した。さらに撮影画像から接触力を求める計算式に新たな要素を加えることで、国際規格 (IEC規格) の原案EN50317:2012の要求事項を満たすことを確認した。これにより、海外の高速鉄道だけではなく在来線にもCATENARY EYEの展開が期待できる。



第6図 接触力測定装置

2-3 エネルギーハーベストSIGFOX センサ端末の開発

IoT (Internet of Things) 社会の通信網として急速な普及が見込まれるLPWA (Low Power Wide Area) に対応したセンサ端末を開発した。フィールドで実証検証を行い、環境エネルギーを収穫して動作する低消費電力性能を確認した。センサ端末の主な特長は、以下のとおりである。

- (1) 間欠動作によって低消費電力を実現
- (2) 電池駆動で、太陽光発電・熱発電などのエネルギーハーベストからポリマーリチウム電池に充電可能。また単4電池のみでの動作も可能
- (3) GPS座標、温度・湿度、加速度を定周期で計測が可能
- (4) 低消費電力で長距離無線通信ができるLPWA通信のSIGFOXを採用し、通信費用が安価



第7図 エネルギーハーベストSIGFOXセンサ端末

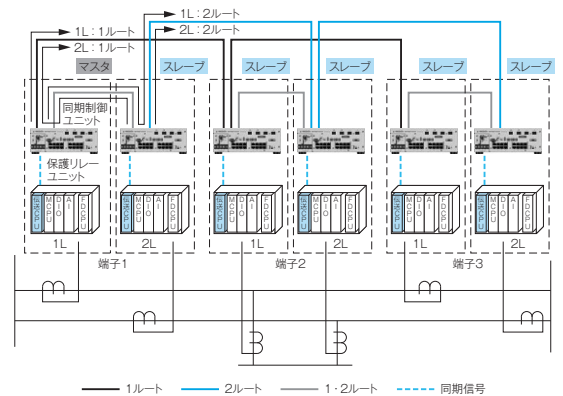
2-4 IP (Internet Protocol) ネットワーク対応PCM (Pulse Code Modulation) リレーの技術開発

Ethernet通信を適用したIP-PCMリレーの技術開発を完了した。

IEEE-1588規格で定義されたPTP (Precision Time Protocol) に対応した同期制御ユニットを製作し、そのユニットが生成した同期信号を保護リレーユニットに取り込むことで、各端子間のサンプリング同期制御を実現した。

伝送路は二重化で構成し、片系ルートに断線などの不良が生じてても主保護機能はデータが欠落しないため、動作遅延をすることなく保護できるシステムである。

サンプリング同期制御の評価検証を行い、製品化への適用可能な評価結果を得た。



第8図 3端子、1L・2L回線のシステム構成例

2-5 時刻同期PTP (Precision Time Protocol) 対応スイッチングHubの開発

時刻同期PTP対応の産業用ギガビット・レイヤー2スイッチングHub ^{メイスウェイ} MEISWAY SW600Fを開発した。主な特長は、以下のとおりである。

- (1) IEEE-1588規格に準じた時刻同期PTPに対応。同期パルス信号と同期正常信号を専用コネクタで出力
- (2) アクセスリスト・帯域制御による通信路の保護が可能
- (3) 10/100/1000BASE-Tポートを16ポート、光ポート1000BASE-LX (LCコネクタ) を最大4ポート装備
- (4) 電源はDC100V/110V又はAC100/220Vに対応
- (5) ファンレスで動作周囲温度は-10～55℃に対応
- (6) 装置天面を通風口レスとし、じんあいの侵入を低減
- (7) 電力用規格B-402に準拠



第9図 MEISWAY SW600F

2-6 UNISEQUE ADC6000用CPU (Central Processing Unit) モジュールのマイナーチェンジ

プロセスコントロールステーション UNISEQUE ADC6000のCPUモジュールであるAM600/AM610/AM620の性能、信頼性及びメンテナンス性の向上を図ったマイナーチェンジ版として、AM600A/AM610A/AM620Aを開発した。主な特長は、以下のとおりである。

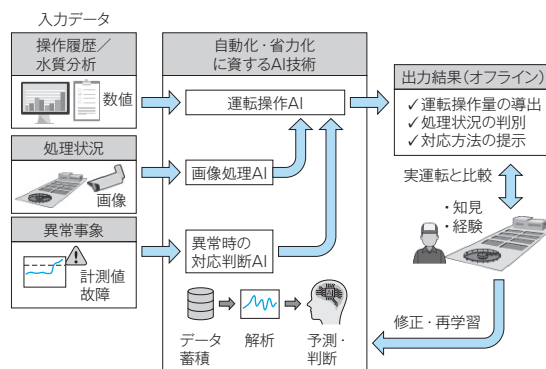
- (1) 従来製品と比較し、約1.7倍の演算性能を実現
- (2) ECC (Error Check and Correct) 機能付きメモリを採用し、更にFPGA (Field Programmable Gate Array) の回路構築用領域 (コンフィギュレーションメモリ) にエラー訂正機能を付加したことでメモリ全般の信頼性を向上
- (3) データを長時間保持するため不揮発性メモリを搭載し、バッテリーレス化することでメンテナンス性を向上



第10図 CPUモジュール AM600A

2-7 人工知能 (AI) による下水処理場運転操作の自動化・省力化技術の開発

(株)NJSと共同で提案した当社の技術が、国土交通省の2018年度下水道革新的技術実証事業 (B-DASH 〈Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology〉プロジェクト) に採択された。今回のテーマは、AIによる下水処理場運転操作の自動化・省力化技術で、この技術に取り組む背景として、熟練技術者減少に伴う技術力低下の懸念が挙げられる。水質分析結果や沈殿池の水面画像、計測器による運転データ、状況を示す様々なデータと、熟練技術者の運転操作履歴とを対比させてAIに学習させることで、熟練技術者と同様の状況判断に基づいた運転操作量や対応方法を自動的に導出する技術を開発した。この技術を導入しデータを蓄積することで、AIによるよりよい運用の実現が期待される。



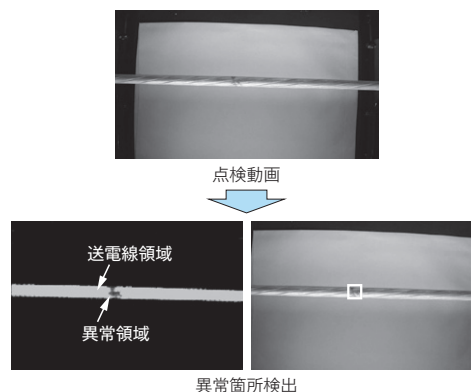
第11図 AIによる下水処理場運転操作の自動化・省力化技術のイメージ

2-8 深層学習を用いた送電線の検査技術の開発

送電線の検査では、点検機によって撮影した電力線や架空地線 (注1) の動画を作業者が目視で異常 (アーク痕や素線切れ) を確認しているが、そこには膨大な労力と時間がかかっており、自動化が求められている。

当社は、既存の画像処理技術と深層学習 (ディープラーニング) を用いた画像認識技術を組み合わせることで、高精度な検査技術を開発した。既存の検査手法では困難だった小さな傷の検出やさび・汚れとアーク痕の判別を実現し、高精度な異常検知ができる。

注1. 主に落雷から送電線を保護することを目的に設置されている設備で、断線しないように定期的に点検されている。

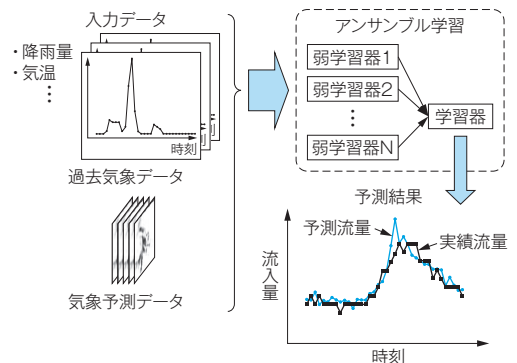


第12図 深層学習による異常検知

2-9 機械学習を用いたダム流入量予測機能の開発

ダム式／ダム水路式の発電所の稼働率向上及び業務の効率化を目的として、過去の気象情報並びに気象予測情報から将来のダム流入量を予測する技術を開発した。

ダム流入量は対象ダム地点及び付近の山に対する降雨・降雪によって決定され、さらに降雨から流入までの時間遅れを考慮する必要があるため、予測が困難である。本開発では機械学習手法、特にアンサンブル学習法を用いることで、地理的・時間的なドメイン知識を必要としない予測モデルを構築した。通常、豪雨時などの流入量が多い条件はデータ数が少なく予測が困難となるが、複数の予測モデルの多数決で予測するアンサンブル学習によって高精度に予測できる。

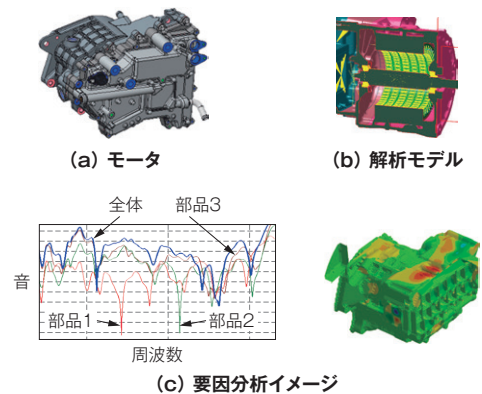


第13図 ダム流入量予測の概略図

3 共通基盤技術

3-1 モータの音振動解析技術の確立

モータの振動や音の要因は、モータのコアで発生する電磁振動である。それらを低減し騒音特性を改善させることは製品に必要であり、これに対応するためには高精度な音振動解析モデルを使用したモデルベース開発が効果的である。計測では、高周波領域まで安定した加振力を与えることで、高周波領域に現れる円環モードなどの振動特性を取得するとともに、解析では、最適化手法を用いて計測結果と合わせ込むことで解析モデルを高精度化した。また、音振動の解析結果から振動や音の要因となっている部品・場所・振動形状を把握することで、要因究明ができる。本技術を開発中のEVモータの音振動対策に適用し、モデルベース開発を進めている。

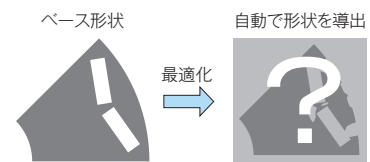


第14図 音振動解析

3-2 モータの形状最適化技術の確立

近年の電磁機器の高性能化の要求に対応するために、設計技術の高度化を図る必要がある。当社では、回転機の形状設計に着目し、近年注目を集めている形状最適化技術を開発した。今回開発した技術は、形状のトポロジーを設計変数として最適化する手法で、形状最適化手法の中では、最も自由度が高い。このため、既存概念にとらわれない設計案が導出される可能性がある。

この技術を回転機鉄心の形状設計に適用し、既存の設計の解析値と比較した。その結果、特性が向上した形状を得ることができ、開発手法の有効性を確認した。更に設計技術の高度化に関する技術開発を行い、製品の高性能化に取り組んでいく。



第15図 最適化イメージ

第1表 特性比較

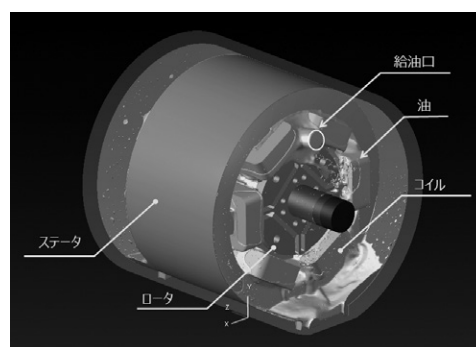
特性値	最適化形状
平均トルク	1.1
トルクリプル	0.4
損失	0.9

単位 (p.u.) : 元形状特性値との比

3-3 粒子法による油冷IPM (Interior Permanent Magnet) モータの熱流体解析技術の構築

高効率・高出力モータでは、冷却効率がよい油冷の利用が求められる。冷却効率向上のための油量や冷却箇所最適化では、解析技術は高精度予測及び試作実験回数削減の手段として不可欠である。計算格子を用いた従来の解析手法では、回転する部品の間を複雑に流れる油の解析が難しく、また計算時間が非常に長いという問題がある。そこで、回転体表面の複雑な流れ解析に適した手法である粒子法を導入した。

一方、開発では部品の温度予測が重要であるが、市販されている粒子法ツールでは部品の熱解析までは現在行えない。そこで伝熱解析ツールと連携させ、モータ内部部品の温度予測まで行える技術を構築した。

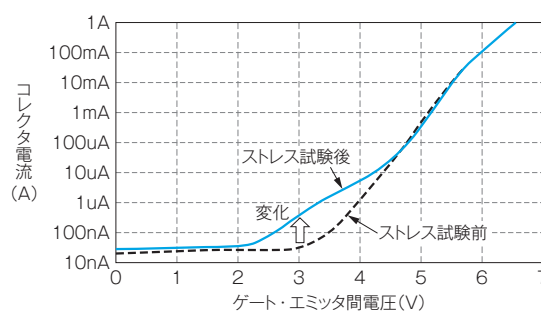


出典：モデルデータ：JMAGアプリケーションカタログNo.018
<http://www.jmag-international.com/jp/catalog/>

第16図 粒子法によるIPMモータ内の油流れ解析結果

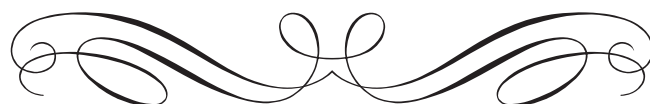
3-4 半導体購入部品の品質評価技術

当社では品質の高い製品を提供するため、購入部品の品質・信頼性評価技術の向上に取り組んでいる。成果の一例として、インバータの主要な半導体購入部品であるIGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) の評価例を記す。購入部品の選定として、製品開発段階にて電気や熱などのストレス試験に対する影響を調査している。IGBTはゲート・エミッタ間電圧でコレクタ電流を制御するが、今回ストレス試験前後で高精度な評価を行い、図示したような特性の変化を検知した。このような結果を供給メーカへフィードバックし、改善に向けたアクションにつなげる活動を推進している。その他不具合の原因究明も含め、評価技術及び評価精度の向上に取り組む、製品に適用する部品の品質・信頼性を供給メーカとともに高めている。



第17図 IGBTの電気的特性変化事例

3-5 真空インタラプタ (VI) 電極のアークエネルギー及び表面温度の測定技術



3-6 600MVA 短絡試験用発電機の増設

大電力試験所では、変電機器の開発試験・形式試験のために1000MVAの短絡試験用発電機を保有しているが、1963年の稼働から55年が経過したことから、発電機の突然の故障による開発試験中断を避けるため、段階的な更新に着手した。今回は、600MVAの新発電機を増設し既設の1000MVAと新設600MVAの2台体制とした。新発電機は電動機をインバータ駆動としたことで、50/60Hz両方の商用周波数の短絡試験に対応している。

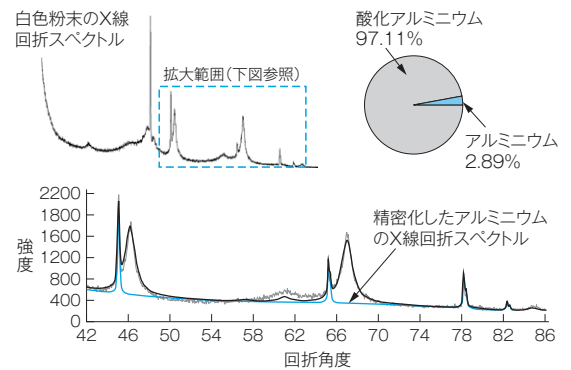
将来は、既設1000MVA発電機を撤去して600MVA発電機に入れ替え、600MVAの2台の並列運転によって1200MVAの短絡容量を確保する計画である。新発電機は、出力特性の確認調整試験を経て、昨年から各種短絡試験へ適用を開始している。



第19図 短絡試験用発電機

3-7 X線回折装置の応用技術

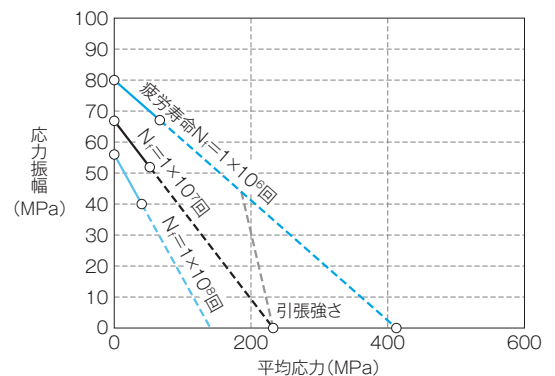
当社では故障の原因調査及び再発防止対応の一環として、材質や付着物質の結晶構造を分析している。従来機よりも検出感度が100倍以上向上したX線回折装置を導入することで、数mgの微量物質や微小部(φ1mm)を分析できるようになり、全調査数の約55%にとどまっていた材質特定の割合を大幅に増やした。また、試料表面に残存する結晶のひずみに起因するピークシフト量を基にした残留応力の算出手法や、リートベルト解析による結晶性物質の定量化手法を確立した。金属アルミニウムや酸化アルミニウムが混在する粉末の分析例では、大半が酸化アルミニウム(97.1%)と同定し、発生源の特定に寄与した。



第20図 白色粉末のX線回折スペクトル及びリートベルト解析

3-8 銅材料の長期信頼性に関する設計基準の構築

環境負荷対応や品質向上を実現するために、設計時点で適正な材料選択と製品寿命の予測技術が重要となる。そこで、電気抵抗が低く損失が少ない純銅を用いた製品の疲労寿命を予測するため、試験速度が1000Hzの超高速油圧サーボ式疲労試験機を用いた超長寿命域の研究を進めている。この研究の成果として、長寿命域における寿命低下要因となる自重や熱応力などに由来する平均応力と使用温度の影響度を明らかにした。平均応力の影響は、超高サイクル領域では修正グッドマン線図と呼ばれる汎用的な評価法が不成立となることが判明した。そのため、独自の疲労限度線図を設計基準に適用することにした。また、環境温度と強度の関係を定量化することで、長寿命域の設計精度が高くなり、製品の信頼性が向上した。



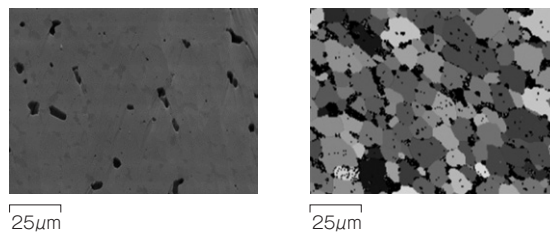
第21図 純銅の疲労限度線図

3-9 酸化亜鉛素子微構造評価技術

避雷器の小形化に向けた酸化亜鉛素子の高抵抗化が求められている。素子抵抗は結晶粒界数に比例するため、高抵抗化に向けた性能把握には、微構造中の結晶粒界を明確化する必要がある。

今回、結晶粒界が識別できない平板状組織を持つセラミックスの粒界強調技術として、新たに電子線回折法（EBSD）を適用した。EBSDでは電子線後方散乱から得られる回折図形を基に、任意結晶の結晶方位解析を行う。EBSDによって、微構造中の各結晶粒子を方位軸差異で区別することで、酸化亜鉛素子の結晶粒界を明確化できた。

EBSDでは結晶粒子ごとの結晶方位が得られることから、結晶配向性評価にも用いられる。ファインセラミックスの飛躍的性能向上の鍵である異方性制御にもつながる技術である。



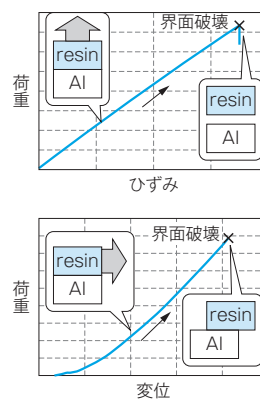
(a) 走査型電子顕微鏡 (SEM) 画像 (平板状組織) (b) EBSD解析像

第22図 EBSDによる平板状組織の粒界強調

3-10 解析技術高度化のための異種材料界面評価

製品・部品には複数の材料が使用されている。異なる材料が接着されている界面は強度が相対的に低くなるのが一般的であるため、接着部の強度を把握することは機器を設計・解析する上で重要である。しかし、その界面強度は材料の組み合わせや接着方法によって大きく異なるため、「一般に知られている値」は無く、実試験によってのみ得られる。

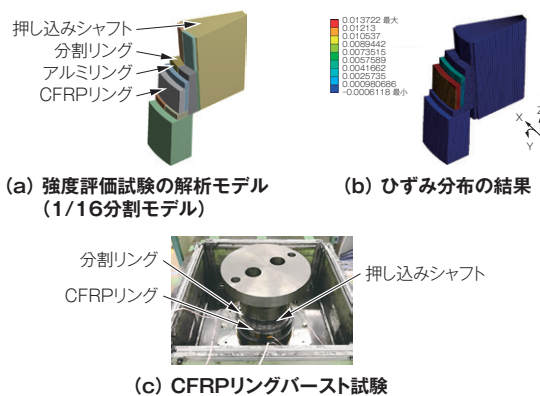
当社では製品の信頼性向上のために、解析による破壊予測の精度向上を目指しており、解析に必要な金属/樹脂接着界面の接着（破壊）強度を求める実試験を実施し、界面結着の強さを明らかにした。現在は破壊の方向を種々模擬するとともに、実使用環境に近い温度条件での試験に取り組んでいる。



第23図 界面破壊試験の一例

3-11 異方性材料の物性評価技術

高効率・高出力の回転機を実現するためには、回転子の磁石飛散を防止する強度部材が必要で高強度かつ軽量であることが求められる。その候補として、異方性材料であるリング形状の一方向性炭素繊維強化プラスチック (CFRP) が挙げられる。これを回転機へ適用するには、応力解析によって運転中にCFRPに生じる応力を詳細に把握する必要がある。そこで解析用の基礎物性値を取得するために、CFRPの平板状試験片を製作し、引張試験を実施した。その結果、繊維に対する各方向の「縦弾性係数」、「せん断弾性係数」及び「ポアソン比」を取得した。また、得られたデータからCFRPリングの強度評価試験を応力解析で再現したところ、実験結果とおおむね一致した結果が得られることを確認した。



第24図 CFRP応力解析