

2014年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2014

〔1〕 研究・開発

2012年7月に開始された固定価格買取制度によって、日本の再生可能エネルギー、特に太陽光発電システムの導入量は急激に増加している。当社は、1979年に太陽光発電用パワーコンディショナ（以下「パワコン」）の開発に着手して以来、30年以上にわたり、太陽光発電事業に関わり、多数のパワコンを納入してきた。しかし、再生可能エネルギーの大量導入にともない、電力系統が不安定になる可能性が顕在化し、電力各社が次々と接続回答を保留する事態となった。これに対し、当社は、この問題に対応するための機能を搭載したパワコンの開発を行っている。

一方、当社は、1917年の創立以来、受変電設備を主力製品として、日本あるいは世界の電力供給に貢献してきた。これまでに当社が納入した受変電設備は、納入後30年以上経過した高経年設備も多い。これらの高経年設備を、お客様に少しでも長くご使用いただくためには、設備に使用している電力機器や部材の劣化診断が重要である。そのため、当社は、受変電設備の開発・製造だけでなく、劣化診断技術・劣化診断装置の開発も行っている。

また、当社は、受変電設備、劣化診断技術やパワコンの開発の他に、ICT（Information and Communication Technology）の基盤となる、半導体や機能材料の製造装置・プロセス技術などのビーム・真空応用分野にも注力している。近年では、4Kや8Kと言われる高解像度のモバイル機器や大型テレビの登場に対応するため、これらに使用する薄膜トランジスタ（TFT）用の製造装置の開発も行っている。

以下に電力機器、エネルギー、ビーム真空応用、ライフサイクルエンジニアリングの各ドメインにおける2014年の研究成果を紹介する。

1. 1 太陽光発電の大量導入に対応した高機能化パワコンの開発

再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）の施行により、太陽光発電の導入が急速に拡大した結果、電力の安定供給への影響が懸念され、電力系統への接続が制限される事態が発生している。表1に太陽光発電の導入拡大に伴う課題と当社が開発している高機能化パワコンの対応技術を示す。これまでに、当社では、一斉解列^{※1}による広域停電の防止、電圧の安定化、周波数の安定化という3つの課題に対して、パワコンのFRT（事故時運転継続）機能、定力率運転機能を製品搭載、及び出力抑制機能の実証試験（経済産業省の補助事業に参画）により対応を進めてきた。

2014年度は、残る4つ目の課題、単独運転^{※2}の継続による電気災害に対する対応技術の開発を行った。単独運転を検出する方式として、従来は「無効電力変動方式」が用いられてきたが、太陽光発電の導入拡大に伴い、電圧フリッカの発生や相互干渉による単独運転の不検出の恐れなどの問題が顕在化してきている。当社は、

単独運転検出方法として多数の実績を持つ「次数間高調波注入方式」という独自の技術を有しており、この機能を搭載した高機能化パワコンの開発に着手した。図1に単独運転検出機能の試験回路を、図2にその試験結果例を示す。図2は、次数間高調波注入方式を用いることにより、他のパワコンと相互干渉することなく単独運転の検出が可能であることを示している。

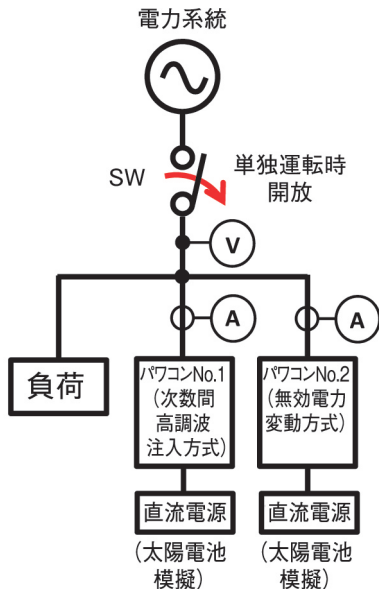
今後は、電力品質に悪影響を及ぼさない能動型の単独運転検出機能を搭載したパワコンの製品化を進めていく。なお、本開発の詳細については、本稿の一般論文「太陽光発電の大量導入に伴う課題に対応する高機能化パワコンの開発」に記載する。

※1) 解列とは、発電設備を系統から切り離すこと。

※2) 単独運転とは、電力系統の事故などによって系統電源が切り離された状態において、太陽光発電などの分散型電源が配電線に接続されたまま運転を継続している状態を言う。その状態では、事故が継続することにより、感電災害などを引き起こす可能性があるため、太陽光発電設備には単独運転検出機能を具備するよう義務付けられている。

表 1 太陽光発電の導入拡大に伴う課題と高機能化パワコンの対応技術

電力の安定供給へ向けた課題		発電事業者様への要求	高機能化パワコンの対応技術
電力品質	単独運転の継続による電気災害の防止	「無効電力変動方式」による単独運転検出機能を用いる場合は次の検討が必要 ・電圧フリッカの発生有無 ・相互干渉による不検出の有無	電圧フリッカの発生と相互干渉による不検出のない「次数間高調波注入方式」の単独運転検出機能を搭載 (製品化対応中)
	一斉解列による広域停電の防止	FRT*機能の具備 ※ Fault Ride Through (事故時運転継続)	FRT 機能を搭載 (製品対応済み)
	電圧の安定化	定力率運転機能の具備	定力率運転機能を搭載 (製品対応済み)
	周波数の安定化	出力抑制機能の具備 (規制化の見通し)	双方向通信による出力抑制機能を搭載 (経産省補助事業で実証試験中)



SW:開閉器 V:電圧計 A:電流計

図1 単独運転検出機能の相互干渉試験回路

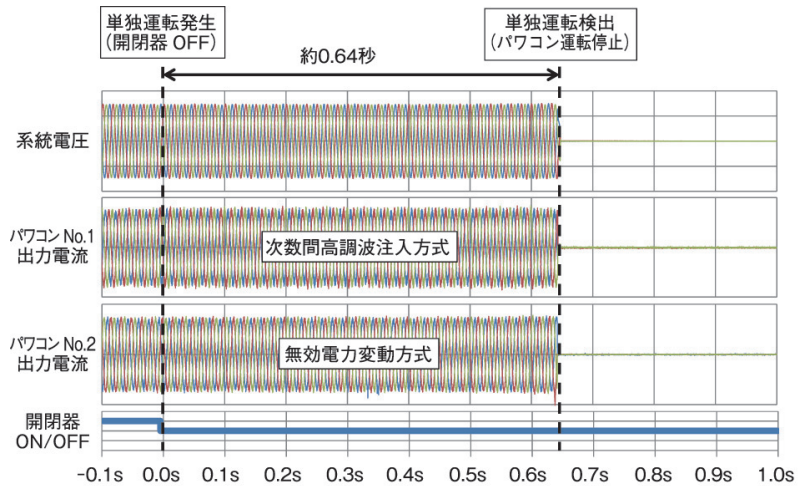


図2 単独運転検出機能の相互干渉試験結果例

1. 2 保守支援ツールの開発

ガス絶縁開閉装置（GIS）や変圧器、スイッチギヤなどの電力機器は、30年以上経過した高経年機器が国内において増大しつつある。近年では、設備投資の抑制傾向があるため、このような高経年機器を少しでも長く使い続けることが期待されている。継続して使用することが可能か、更新しなければならないかを判断する

ため、さまざまな劣化診断手法が試みられているが、判断基準の構築に大きな課題が残っている。

当社は、電力機器の専門メーカーとして、劣化要因や劣化メカニズムの究明を行なうとともに、現場で迅速に機器の劣化状態を判断する事が可能な保守支援ツールの開発に取り組んでいる。これまでに開発した検出

器及び診断装置について、以下に紹介する。

(1) ハンディ型過熱検出器 (図3)

小型・軽量・簡単操作を特長とし、赤外線式コンパクトセンサにより、活線状態においても保護板を外すことなくスイッチギヤ内部の面的な温度分布を安全・迅速に診断する事が可能。

(2) 可搬型電線被覆劣化診断装置 (図4)

現場での低圧制御電線被覆の劣化度について、光を用いた非破壊測定により簡単に診断・数値化が可能。

(3) グリース劣化検出器 (図5)

小型・軽量・簡単操作を特長とし、現地にて短時間の診断が可能。開閉機器不動作などの重大な障害を引き起こすグリースの劣化状態を、現地採取グリースの基油量を電氣的に測定し、数値化が可能。

今後も電力機器に用いられている部材の劣化メカニズムの分析、保守支援ツールの有効性や劣化判定指標の妥当性検証を進めながら、「見える化」による顧客への安心を確保する技術開発を進めていく予定である。



図3 ハンディ型過熱検出器



図4 可搬型電線被覆劣化診断装置

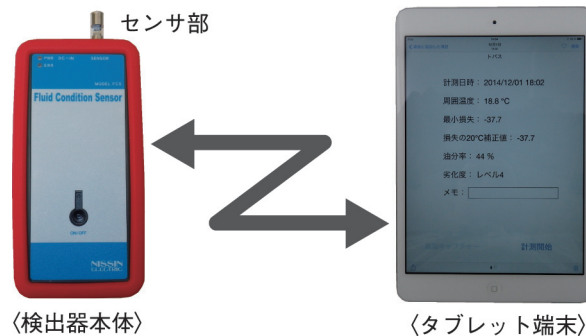


図5 ハンディ型グリース劣化検出器

1. 3 劣化診断技術の開発

電力機器の健全性を維持しながら、継続的に使用するためには、適正な保守と点検が必要である。当社は、長年にわたり培われてきた経験およびノウハウを基にした劣化診断技術によって、これまでに納入した電力機器の性能評価を行い、保守点検計画を提案している。劣化診断のためには、電力機器内部に使用されている各種材料の劣化メカニズム解明、劣化指標となるパラメータの特定、寿命評価のための判断基準の見

極めが重要となる。

2014年度は、遮断器機構部のグリス固着劣化、配電盤内に使用している電線の被覆劣化、モールド部材の表面劣化を対象として検討を進めてきた。図6は、当社が使用しているグリスについて、その構成成分である基油率に対する摩擦係数の変化を測定したものである。図6より、基油率の減少に伴い、摩擦係数が上昇していることが分かる。また、図7は、ビニル製電線

被覆に含まれる可塑剤の残留量（C=O吸光度）と引張破断伸度との関係を測定したものである。図7より、可塑剤の減少に伴い、電線被覆が硬くなり、機械強度が低下していることが分かる。

この様に、劣化要因と対象の機能との関係を多方面

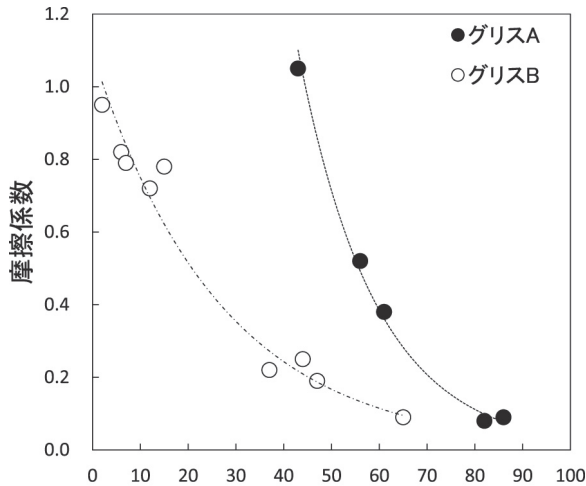


図6 グリス基油減少と摩擦係数

から把握することによって、実際の電力機器で発生している劣化モードを推定し、適切な劣化指標と判断基準を見つけることができる。今後は、得られた知見を基に、より高度な劣化診断技術を確立していく予定である。

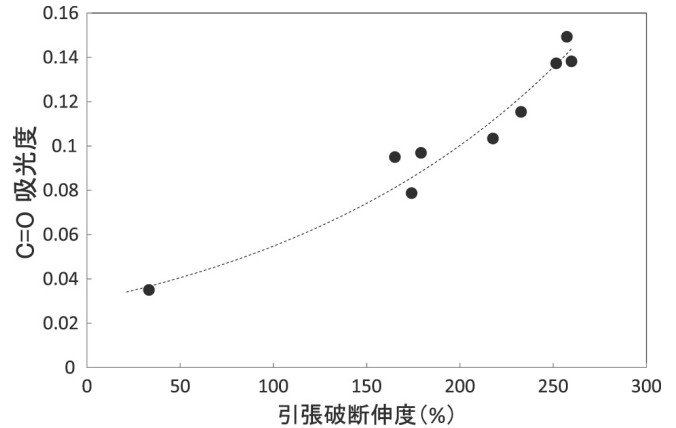
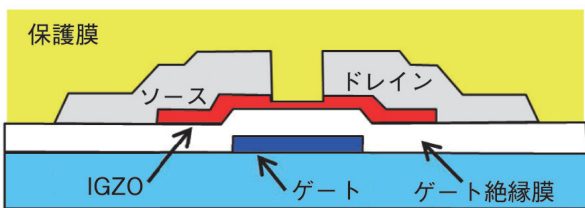


図7 電線被覆可塑剤減少と引張破断伸度

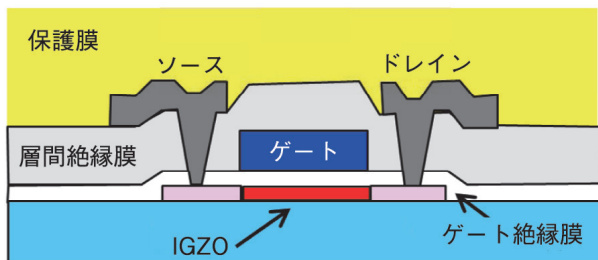
1. 4 IGZOパネル向け製造装置の開発

In-Ga-Zn-O4 (IGZO) に代表される酸化物半導体は、スイッチング速度が速い、オフ時の漏れ電流が小さい、透明であるなどの特徴から、次世代フラットパネルディスプレイ (FPD) に用いられる薄膜トランジスタ (TFT) への適用が期待されている。図8に示すように、IGZO膜を使用したTFT (IGZO-TFT) は、IGZO膜の周辺に、保護膜、ゲート絶縁膜、層間絶縁膜等の各種の絶縁膜が形成されている。これらの周辺絶縁膜に

は、一般的に高密度で高絶縁性を有した窒化シリコン (SiNx) 膜が使用されている。しかし、IGZO-TFTは、外部からの水や水素の混入によって、その電気特性が変化することが知られており、周辺絶縁膜中の水素濃度を低くすることが要求されている。これまで当社では、内部アンテナ方式による誘導結合型プラズマ源を用いたIGZOパネル向け製造装置およびSiF4ガスを用いた絶縁膜製膜方法を開発してきた。その結果、高速で、膜中水素濃度1at%以下 (従来10at%以上) のSiNx膜の製膜が可能となった。さらに、この低水素SiNx膜をIGZO-TFTに適用することにより、高い信頼性 ($\Delta V_{th} < 0.1V$) が得られることを確認した⁽¹⁾。



ボトムゲート型 TFT (エッチストップ無: BCE)



トップゲート型 TFT

図8 IGZO-TFTの断面構造

表2 第6世代サイズ対応量産装置仕様

基板サイズ (mm)	1500×1850×t0.7~0.5
ロードロック室	2室
成膜室	3室 (アニール室がある場合2室)
搬送室	1室 (六角形)
真空排気系 ・ロードロック室 ・成膜室	ドライポンプ + MBP ドライポンプ + TMP
主要な使用ガス	SiF4, N2, O2, (N2O: オプション)
対応膜種	SiNx, SiON, (ゲート絶縁膜, 保護膜)
生産性 (目標)	70枚/時 (当社標準条件 SiNx 200nm 単層)

2014年度は、ガラス基板サイズの大型化に対応したアンテナの開発を行い、アンテナインピーダンスの増加を抑制し、2m以上の長さのアンテナを用いても、高速で、低水素濃度のSiNx膜製膜が可能となった。現在、このアンテナ技術を利用した第6世代ガラス基板サイズ

対応のIGZOパネル向け製造装置を開発中であり、2015年度の装置販売を目指している。

参考文献

- (1) 日新電機技報 Vol.58 No.1 p.6 (2013.4)

1. 5 計算化学へのアプローチ

当社では、電力系統、電磁界、熱、応力、流体、プラズマ現象についての、理解や応用製品の開発にコンピュータシミュレーションを広く活用している。近年、コンピュータシミュレーションの活用が材料開発の分野でも活発化してきている。当社でも計算化学ソフトウェアとして『Gaussian』^(注)を導入し、基盤技術として計算化学の技術開発と材料開発への応用に着手した。『Gaussian』を選択した理由は、世界中で広く用いられている分子軌道の計算ソフトウェアであり、さまざまな材料開発に広く応用が可能のためである。

分子軌道の計算に必要なパラメータは、①計算対象の分子やイオンの電荷と、②スピン多重度と、③計算を開始する際の初期位置としての原子座標の3つである。『Gaussian』を使用してシミュレーションを行うことで、①分子やイオンの安定構造、②自由エネルギー、③IRスペクトル・Ramanスペクトル、④NMRスペクトル、⑤UV-Visスペクトル、⑥HOMO（最高被占軌道）、LUMO（最低空軌道）等の情報を得ることが

できる。図9は、電力機器に使用される合成絶縁油の立体構造の解析例である。

今後は、シミュレーションによって得られた情報を利用して、劣化診断技術や絶縁材料技術や電池材料の研究開発への応用等に広げていきたいと考えている。

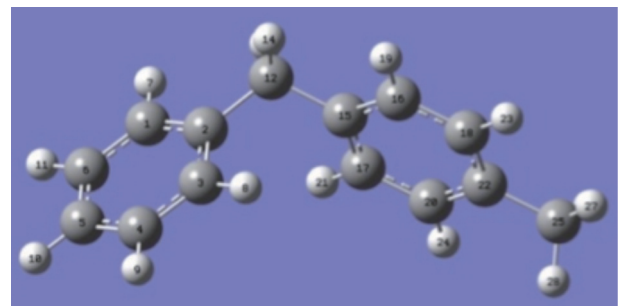


図9 合成絶縁油の立体構造解析の例

(注) Gaussian (ガウシアン) は、米国 Gaussian, Inc. の登録商標です。

1. 6 物性評価・解析技術の充実 (有機・熱分析関連)

製品の品質は、完成品の出荷試験だけで保証されるのではなく、主要構成部材の一つひとつの材料特性まで把握(管理)された上で、保証されていることが重要である。2014年は、高分子材料の物性や劣化状態を評価する装置としてガスクロマトグラフ質量分析装置(GC-MS)および熱分析装置(熱重量測定装置(TG/DTA)、示差走査熱量計(DSC)、熱機械測定装置(TMA))を更新し、運用を開始した。GC-MSは材料中に含まれる微量成分(有機化合物)の定性・定量評価が、熱分析装置は耐熱性(融点、熱安定性、膨張率など)の評価ができる装置である。GC-MSには熱分解装置を付加し、従来実施できなかった発生ガス分析を可能にした。また、熱分解装置内で試料に紫外線を照射し、光・熱による加速劣化試験ができるよう、機能

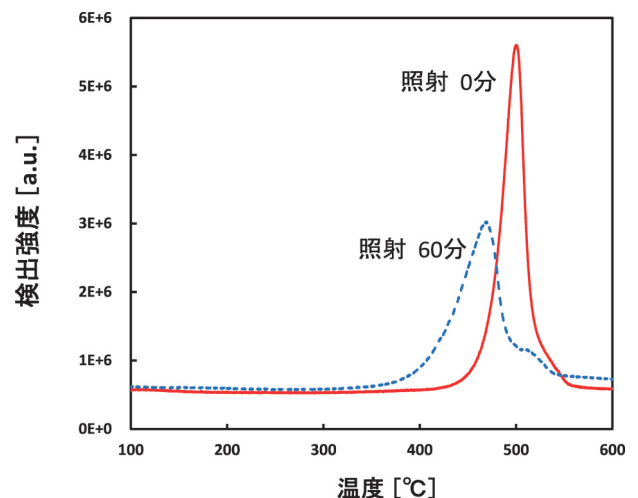


図10 熱分解温度の分析結果

の充実を図った。図10はGC-MSを用いてポリプロピレンの加速劣化試験を実施した事例である。紫外線を60分間照射すると、主ピーク（分解温度）が低温側へシフトし、基材の分解に伴う分子量低下が示唆された。図11はDSCを用いてポリプロピレンの酸化誘導時間を測定した事例である。各加熱温度においてDSCの立ち上がっている時間が酸化時間を示す。この加熱温度と酸化時間との関係を、アレニウスプロットを用いて整理することにより、基材の寿命推定が可能である。今後、更なる材料評価ニーズへの対応を強化し、製品の品質向上に貢献していく。

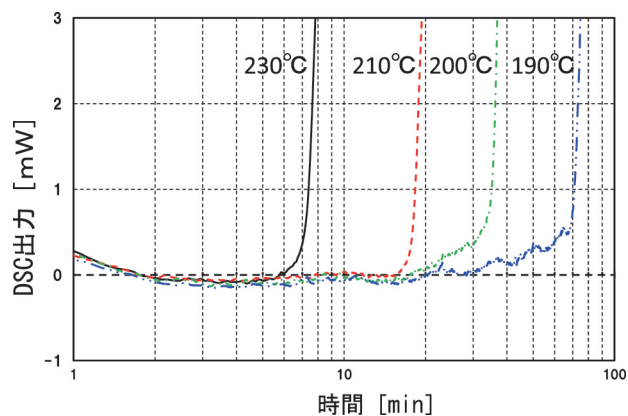


図11 酸化誘導時間の分析結果