

2008年の技術と成果

Technical Progress and Results in 2008

〔1〕研究・開発

当社は、コンデンサ応用技術を核に、調相設備、受変電設備、監視制御設備へと展開し、更には系統技術、パワーエレクトロニクス技術、高電圧技術を応用した電子線やイオンなどの加速制御、プラズマ制御といったコア技術を獲得してきた。研究開発部門では、それらを更に発展させ、地球環境に配慮した技術・製品群と将来の高度情報社会を支えるナノ材料生成のプロセス開発に注力している。

ナノ材料生成では、当社が独自開発したプラズマ源を用いた低温ポリシリコン製膜の更なる高精度化に向けて開発中である。また、長年の技術蓄積をベースに、高温耐久性能と平滑性に優れたDLC薄膜の製膜プロセスを確立し、超精密加工金型へのコーティングサービスを開始した。カーボンナノ材料も多方面への応用が期待されている素材であり、実用化には至っていないが合成装置・プロセスの開発や応用展開で大きな進展を得た。

更に、SiCデバイスはSi系デバイスの限界を打ち破ると期待されているが、その実用化の阻害要因となっている各種結晶欠陥の伝播を抑制する技術開発を行い、適用の目処を得た。

環境関連では、食品工場などの排水処理高度化を目指して、水透過性・耐薬品性・耐久性に優れた分離膜を使った水処理システムを開発しフィールド検証を開始している。また電気式のフィルタ再生化技術を用いて、ディーゼル車の排気ガス処理（パーティクル除去）装置を開発し、15,000kmの実路走行試験で良好な性能を確認した。

一方、当社は1990年代から太陽光発電用インバータ装置の製品化を行ない実績を上げてきたが、最近のエネルギー、地球環境問題の高まりに対応して、新エネルギー源の発電電力変動を抑制した系統にやさしい（電力品質に配慮した）装置の開発を進めている。同時に分散電源の安全な運用を確保する単独運転検出技術についても着々と成果を挙げている。また、高度経済成長時代に設置された電力設備が更新時期を迎えていること、保守合理化・省力化へのニーズが高いことから、電力機器の異常診断や保守サービスについても要素技術を開発し、実用化段階に達した。このように、高電圧・系統技術、パワーエレクトロニクス技術を核とした新エネルギーから電力機器保全までの幅広い技術開発を行い、電力流通分野での一層の貢献を目指している。

1.1 MSE技術を用いた炭化ケイ素単結晶基板の高品質化

近年、地球温暖化の問題から電気の有効利用（省エネルギー化）が重要となり、パワーデバイスの高性能化の要求が高まっている。そのような背景の中で従来から用いられてきたシリコン（Si）はその物性値の限界から電力損失の低減は限界に達し、それに替わる新しい材料として炭化ケイ素（SiC）に注目が集まっている。しかし

SiCをパワーデバイスとして用いるために必要なSiC単結晶基板には各種の結晶欠陥（貫通螺旋転位、貫通刃状転位、基底面転位）が内在し、それが大きな原因の一つとなってSiCパワーデバイス実用化の足かせとなっている。

我々は準安定溶媒エピタキシー（MSE：Metastable Solvent Epitaxy）技術を用いて各種結晶欠陥のうち、デ

バイスキラーとなる貫通螺旋転位と基底面転位をデバイス特性に悪影響を与えない別の構造に変換することで、デバイス特性を決定する活性層に伝播するのを抑制するバッファ層の実用化開発に取り組んでいる。

MSE技術は多結晶SiC板とSiC単結晶基板との間に厚さ100μm以下の極薄のSi融液を介在させ、2000℃近い温度

でエピタキシャル成長させる全く新しい技術である。

MSE技術で成長したバッファ層を早期に実用化することでSiCパワーデバイスの普及を加速し、省エネルギー社会の実現に貢献したいと考えている。

MSE技術は関西学院大学の金子忠昭教授が開発した日本発のオリジナル技術である。

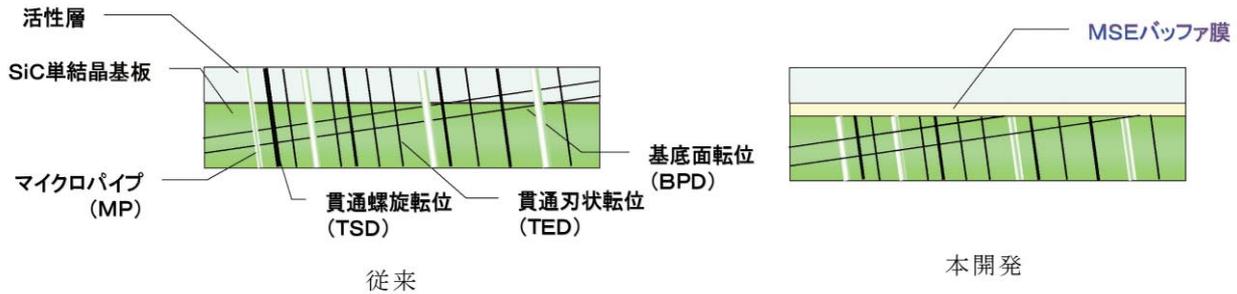


図1 結晶状況全般の対比図

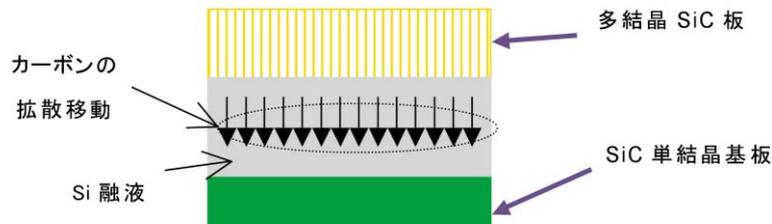


図2 MSE成長概念図

1.2 カーボンナノウォール電子源の開発

ナノカーボン材料は多方面において、応用が期待されている材料であり、当社ではカーボンナノチューブ(CNT)、カーボンナノコイル(CNC)、カーボンナノウォール(CNW)の合成装置とプロセスの開発および応用展開を実施している。

例えば、CNT、CNWは共にアスペクト比が高く、熱伝導性、電気伝導性、耐熱性、機械的強度に優れており、化学的にも安定であるために電界電子放出源に適した材料として期待されている。

我々は、基板上にグラフェンシートが垂直配向成長したナノ構造物であるCNWの電子源開発を実施している。

これまでのCNW電子源の研究において、基板上に金属膜を形成し、その表面にCNWを合成、その後熱処理を施すことで電界電子放出特性が向上することを確認した。

現在は、さらなる電界電子放出特性の向上と実用化に向けた耐久性を目指して検証を進めている。

本研究は、大阪大学 産業科学研究所 阪大複合機能ナノファウンダリとの共同研究、および株式会社NHVコーポレーション委託研究を含む。

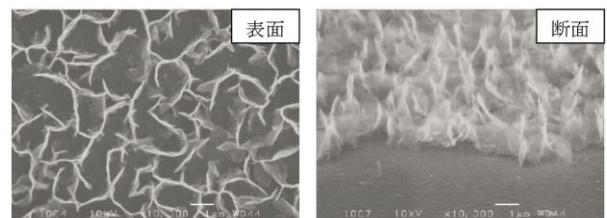


図3 作製したCNW電子源のSEM画像

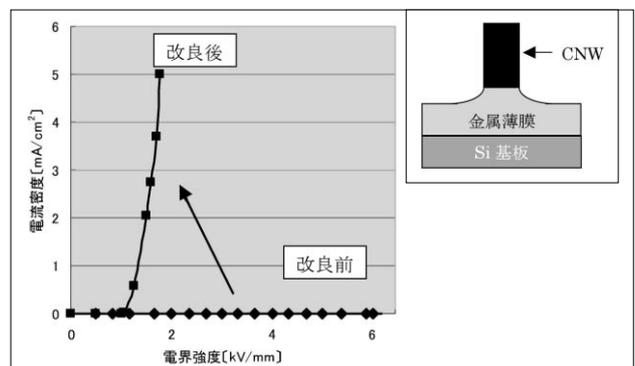


図4 CNW電子源の電界電子放出測定結果とCNW電子源の構造イメージ

1.3 フィルタード・バキューム・アーク (FVA) 成膜技術

当社では数10年に渡り蓄積した真空アーク技術を基盤に、表面平滑性と高温耐久性に優れたDLC (diamond like carbon) 膜を形成可能な偏向磁場型フィルタード・バキューム・アーク (FVA) 成膜装置およびプロセスを開発した。この技術を応用し、各種カメラ用ガラスレンズ成型金型表面の保護膜、離形膜として、FVA-DLC膜の応用展開を進めている。

FVA装置の概略構造を図5に示す。無機質で水素をほとんど含まないグラファイト製カソードのアーク放電により発生したカーボンプラズマを電磁コイルによりL字型ダクト内で曲げ、基板にDLCを形成している。膜中の水素量は数%以下となり、高温下における水素抜け現象による膜の劣化が抑制され、剥離無く非常に高温耐久性に優れたDLC膜となる。また、アーク放電によりカソードから発生したマクロパーティクルは電気的に中性な粒子であるため、磁場偏向の影響を受けることなく、L字型ダクト内壁面に衝突、捕集され、カーボンイオン流のみが基板に到達するため、ナノメートルオーダーの表面平滑性 (Ra=1nm以下) を誇るDLC膜となる。このFVA-DLC膜と他の成膜手法で形成したDLC膜の耐熱性および平滑性について比較評価した結果を表1に示す。

最近の一般的なガラスレンズ成型工程の概略を図6(a)に、レンズ成型用超精密金型の一例を図6(b)に示す。成型されるレンズが光学的特性を失わない様に超精密な面精度に研削加工されたレンズ成型面を持つ上下一対の金型を、500~700 (窒素ガス雰囲気) に保持してガラス材をホットプレスすることによりレンズが成型される。この時、金型のレンズ成型面には、ガラスと金型間の離形性を良くするために、また、成型面の保護のために、一般に金属系薄膜がコーティングされる。しかし近年、レンズの高精度化、高屈折率化、量産化がより一層進み、金属膜では対応しきれないという問題点が浮上し、以下の様な利点からFVA-DLC膜に期待が集まっている。

離形性に優れ、特殊なガラス成分とも反応しない膜質であること。

摩擦係数が小さく、ガラスとの擦れに強いこと。

アッシング (灰化) 処理により容易に除膜でき、金型再生性 (リサイクル性) に富むこと。

今後、レンズ用ガラス材成分、成型温度、金型サイズや形状など、いろいろな組み合わせで行われる限りないレンズ成型プロセスに幅広く対応できるよう、成膜プロセスや装置機構などを開発して行きたい。また、FVA法により形成できる平滑性および高温耐久性に優れた水素フリー・ナノフラットDLC膜を半導体や超精密加工など幅広い産業分野に応用展開して行く所存である。

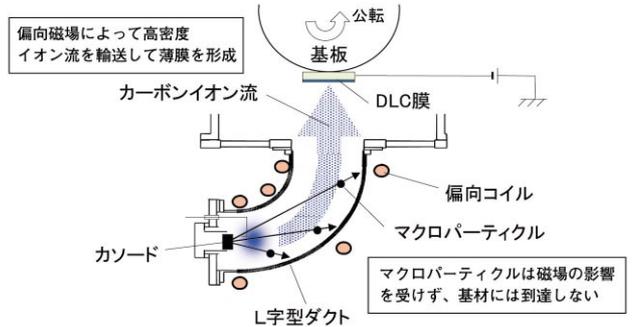


図5 FVA装置の概略構造

表1 手法別DLC膜の性能比較表

	プラズマCDV法	スパッタ法	真空アーク法	FVA法
表面平滑性	nmオーダー	nmオーダー	μmオーダー	nmオーダー
高温耐久性	× 低温短時間変質 H量数10%以上	高温不可 Ar, N2等不純物を内包	H等不純物 数%以下	H等不純物 数%以下



(b) レンズ成型用超精密金型の一例

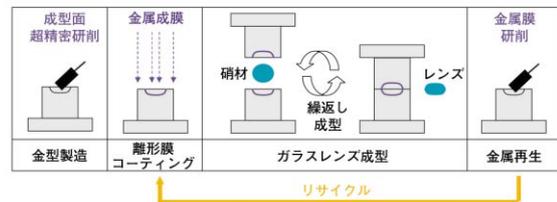


図6(a) ガラスレンズ成型工程の概略

1.4 ディーゼル排ガス浄化装置（微粒子フィルタ）の開発

ディーゼル車の排ガス中に含まれる微粒子は大気中の浮遊粒子濃度に大きな影響を与え、都市部の大気汚染問題と密接に関わっている。日本など一部の国では、微粒子排出量の少ない新式ディーゼル車の普及が進んでいるが、他の国々では燃料品質や経済的事情の問題もあって旧式ディーゼル車への依存度の高い状態が続いている。

新式ディーゼル車に搭載されている微粒子フィルタは、高い微粒子除去率と酸化触媒を利用したフィルタ再生機能を実現しているが、最新の燃料噴射装置が不可欠であり、また車両のECU（電子制御ユニット）との複雑な連携による排気温度制御が必要なため、旧式ディーゼル車への適用には多くの困難を伴う。

当社では、海外の旧式ディーゼル車向けとして、燃料噴射装置やECUとの連携・調整を必要としない微粒子フィルタの開発を行っている。図7、8に開発装置の概要と基本構造例を示す。主な構成要素は、微粒子を捕集するための繊維フィルタ、繊維フィルタに捕集した微粒子を加熱燃焼除去（フィルタ再生）するための電気ヒータと遮断弁、及びこれらの動作を制御するコントローラである。微粒子の約70%を占めるカーボン粒子（黒煙）は、繊維フィルタで効果的に捕集できるが、微粒子の残り約30%を占める油分（白煙）は十分に捕集できないため、80%以上の微粒子除去率が必要な場合は油分を酸化分解するための酸化触媒を配置する。

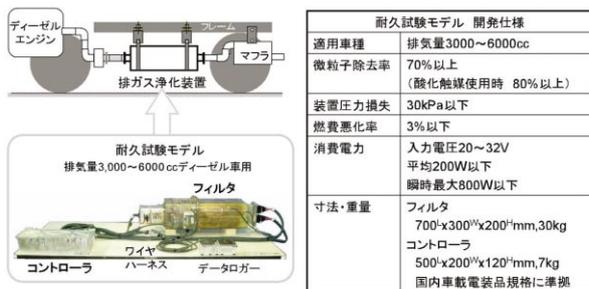


図7 開発装置の概要

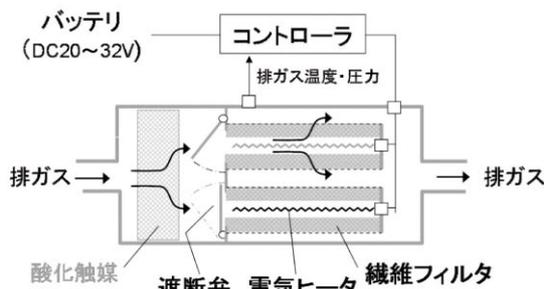


図8 開発装置の基本構造例（2並列交互再生方式）

繊維フィルタの加熱再生には700 以上の温度を数分間維持する必要がある。当社は、熱容量と断熱性の観点から繊維フィルタの材質選定と電気ヒータ・遮断弁の配置に独自の工夫を施すことで、繊維フィルタの加熱再生に必要な電気ヒータの電力を格段に低減することに成功した（特許第4023514号）。この技術により、エンジン運転条件や排気温度に関係なく、例えば排気温度が50 程度と低温であっても、通常車載バッテリー・発電機からの供給電力で繊維フィルタを確実に加熱再生できるという特徴をもっている。

今年度は、排気量3000~6000ccの旧式ディーゼル車向け耐久試験モデルを開発し、耐久性能の評価を行った。成果と今後の課題を以下にまとめる。

- (1) 海外の公的研究機関において200時間のエンジンベンチ耐久試験を実施した（適用ディーゼルエンジン：排気量3900cc、2000年式ターボ）。開発装置の特徴を検証するため、酸化触媒は使用していない。エンジン運転条件は排気温度の低い都市走行モード（最高排気温度250 以下）とした。結果を図9に示す。微粒子除去率は酸化触媒無しで70%以上を維持しており、微粒子フィルタの圧力損失も長期的な上昇はなく、確実に再生処理できることを実証した。また、電力消費による燃費悪化率も2%であり、十分な実用性をもっていることを実証した。
- (2) 海外の公的研究機関において、旧式ディーゼルトラック（排気量3900cc、2000年式ターボ）に耐久試験モデルを装着し、15,000kmの実路走行試験を実施した。車両装着状況を図10に示す。故障等はなく、車載（振動・耐環境）用途に適用できることを実証した。
- (3) 実用化に向けて更なる長期耐久性の検証に取り組んでいる。特に、潤滑油中に含まれる不燃物の影響（繊維フィルタへの蓄積）低減とメンテナンス技術の確立が重要である。これと併せて、軽量コンパクト化・量産設計を進め、2009年度内の商品化を目指したいと考えている。

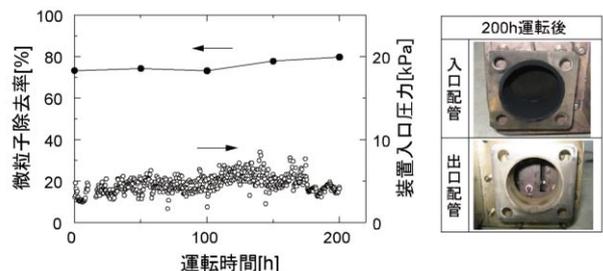


図9 エンジンベンチ耐久試験結果

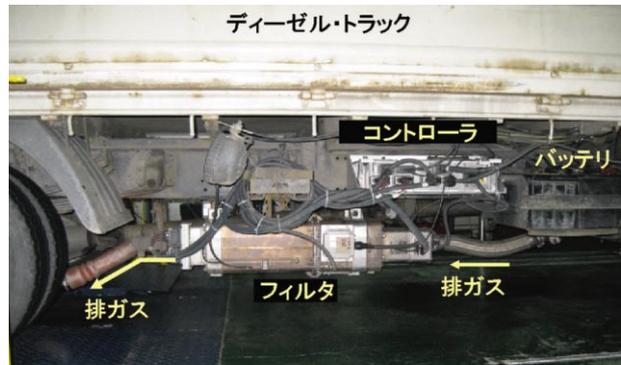


図10 車載走行試験（装置装着状況）

1.5 分離膜適用型ハイキューブシステムの開発

当社が販売している火山灰担体を活用した水処理システム（ハイキューブシステム、以下HCSと略す）は、汚泥発生量が、通常の活性汚泥法に比べて少なく、優れた浄化性能を有している。



図11 実証実験プラント

このHCSと、水透過性・耐薬品性・耐久性に優れたポアフロン^(注)膜（住友電気工業製、図12）を、組み合わせる事により、更に「コンパクト」で「高性能」な、水処理システムの開発を進めており、現在、食品工場の実排水を用いた実証試験を行っている。（図11）

本システムで得られた処理水は、浮遊物等が極めて少なく、水の有効利用・再利用に、大きく役立つものと期待している。

（注）「ポアフロン」は、住友電気工業株式会社の登録商標です。



図12 ポアフロン分離膜モジュール

1.6 太陽光・蓄電ハイブリッドパワーコンディショナシステムの技術開発

近年、地球環境問題への意識が高まる中、新エネルギーの利用が進められている。なかでも太陽光発電システムの普及はめざましい。

今後、太陽光発電システムをはじめとした分散電源が集中的に連系された場合、配電システムの電力品質に様々な悪影響を及ぼすことが懸念される。その解決法として、システム内部に蓄電機能をもたせることが、最も効果的な対策であると考えられる。しかし、蓄電機能を付加す

ることはコストアップの要因となり、システム設置者にとってメリットが出にくいシステムとなる。

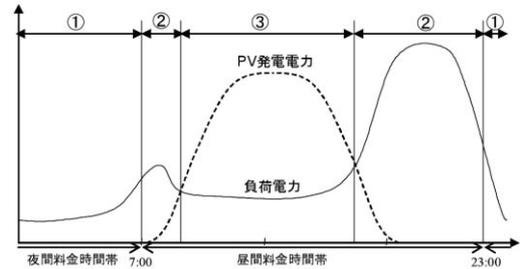
そこで当社は、フジプレアム株式会社殿と共同でシステム設置者および電力会社双方にとってメリットのある「太陽光・蓄電池ハイブリッドシステム」を構築し、基本性能検証を行った。

本開発システムの特長は、

- (1) 電力料金の安価な夜間電力を蓄電池に蓄え、昼

間料金時間帯に使用可能である。

- (2) 夜間電力蓄電装置を機械的スイッチで切り離すことにより、太陽光発電余剰電力の逆潮流（売電）が可能である。
- (3) 夜間電力蓄電用とは別に蓄電装置を設置することで、太陽光発電の出力変動抑制が可能である。
- (4) 夜間電力を昼間時間帯に使用する事により、昼夜電力需要の平準化が可能である。
- (5) DC/DCコンバータにおいて、補助回路を一切付加しないソフトスイッチング方式の開発により、変換効率97.8%の高効率を実現した。



MODE	①	②	③	④	⑤
PV	停止	運転	運転	運転→停止	停止
Batt2	充電	放電	停止(機械SW1:OFF)	放電	充電
受電電力	買電	買電	売電	買電	買電

図14 1日における運用パターン

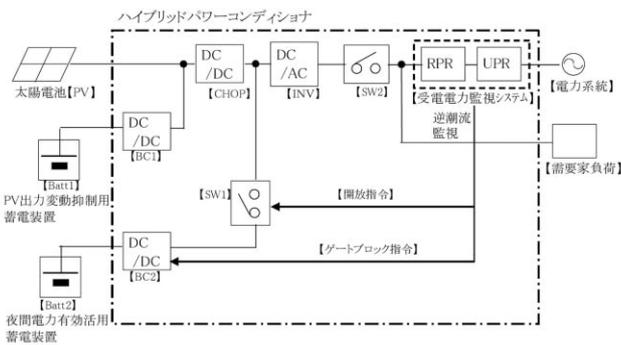


図13 ハイブリッドパワーコンディショナ (HPC) 構成図

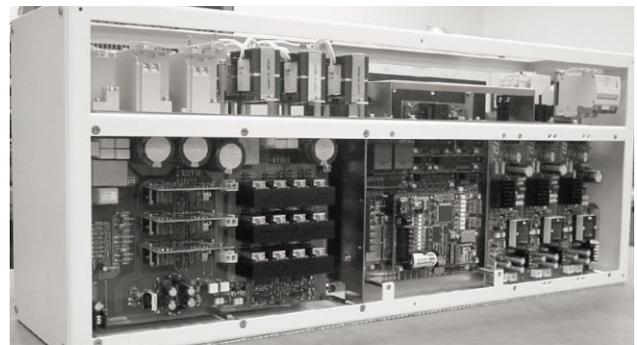


図15 HPC試作器

1.7 電力設備診断技術の開発

電力設備は電力を安定的に供給するために重要な役割を担っているが、近年では変圧器やガス絶縁開閉装置 (GIS : Gas Insulated Switchgear) などの高経年機器増加に伴い、機器の信頼性・安全性を確認することが大きな課題となっている。更に、電力設備の効率的運用を図るため、これらの高経年機器を限界まで使用することが求められている。このような背景から、保守の合理化、機器信頼性確保、事故・障害の未然防止をはかる診断技術・監視技術が重要となっている。

当社では、機器信頼性の維持に極めて重要な絶縁診断技術を高度化し、更にオンラインで監視可能な新たな診断技術の開発を行った。併せてこれらの診断技術を統合した保守支援システムや効率的運用の仕組みづくりを進めてきた。開発した診断技術の内容・特長を以下に示す。

- (1) 電磁波法による絶縁診断技術の高度化（時間 - 周波数解析法）：部分放電（PD : partial discharge）

による電磁波を周波数毎に印加電圧同期取得し、PD発生状況を視覚的に現すと共に耐ノイズ性能を向上。

- (2) グリースの劣化診断技術：劣化原因となる基油の蒸発状態を常時監視し、グリースの劣化状況を把握。
- (3) 変圧器異音診断技術：変圧器騒音の信号処理により、基礎ボルトや内部締結ボルトの緩み等を把握
今後、絶縁診断技術に関しては、検出センサの特性向上、GIS以外の電力設備診断への応用展開、可搬型絶縁診断装置への展開などを進めていく。更に保守支援システムおよび開発した診断技術のフィールド検証を行い、その有効性を確認していくと共に、各診断技術の劣化判定指標のテーブル化、余寿命評価技術への展開など、更なる診断技術の高度化を推進していく所存である。

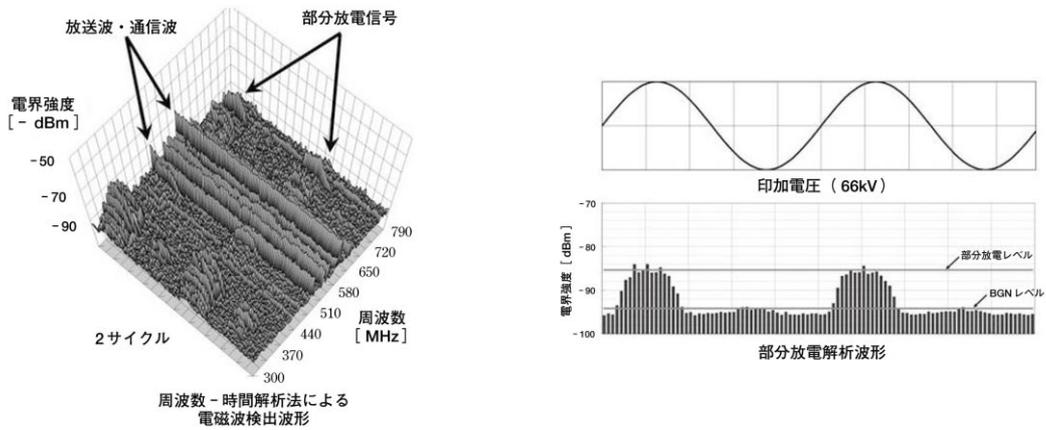


図16 電磁波法によるGIS部分放電解析事例

1.8 系統解析技術と異常現象の再現

系統解析技術は、機器の合理的で信頼性の高い仕様決定は無論のこと、納入後に現地で発生した異常現象の原因解明・対策立案に不可欠で非常に重要な技術である。

電力系統では、雷撃による雷過電圧や遮断器・断路器の開閉による開閉過電圧、地絡故障時の健全相過電圧に代表される短時間過電圧など様々な異常現象が発生する。

異常現象の一例として接地形計器用変圧器（EVT）の鉄共振現象とその解析事例を紹介する。図17は回路図を示す。図は海外の超高压変電所の三次回路であり、非接地系となっている。図の系統において、無負荷で遮断器を投入したところ、表2に実測波形として示したゼロ相電圧（各相に同じ大きさ、同じ位相で含まれる電圧）が発生した。ゼロ相電圧は基本周波数50Hzの1/2調波にあたる25Hzで振動しており、各相の電圧は、基本波成分に1/2調波成分が重畳した波形となっている。

この原因解明のため、系統解析を実施した結果を、表2に示す。表に示すように解析でも、実測波形と同様の1/2調波振動が確認できた。

したがって、現象は非接地系統におけるEVTのL（励磁リアクタンス）と回路のC（静電容量）による鉄共振現象と推定できた。このような鉄共振現象は古くから知られているが、鉄心の非線形性に起因するもので、直感的な把握が困難であり、現象解明には系統解析が非常に有用

である。

以上のように当社では、系統解析の豊富な経験と高い技術力を有しており、これらを活用して合理的で信頼性の高い電力機器の製品化に努めている。

表2 実測波形と解析結果

	実測波形	解析結果
66kV 母線	各相の50Hz電圧波形の振幅が交互に変動（1/2調波振動が発生）	
A相電圧		
B相電圧		
C相電圧		
ゼロ相電圧		
	25Hz振動成分（1/2調波振動）がゼロ相電圧として発生	

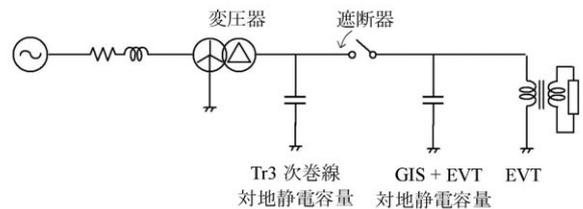


図17 鉄共振発生事例の回路図