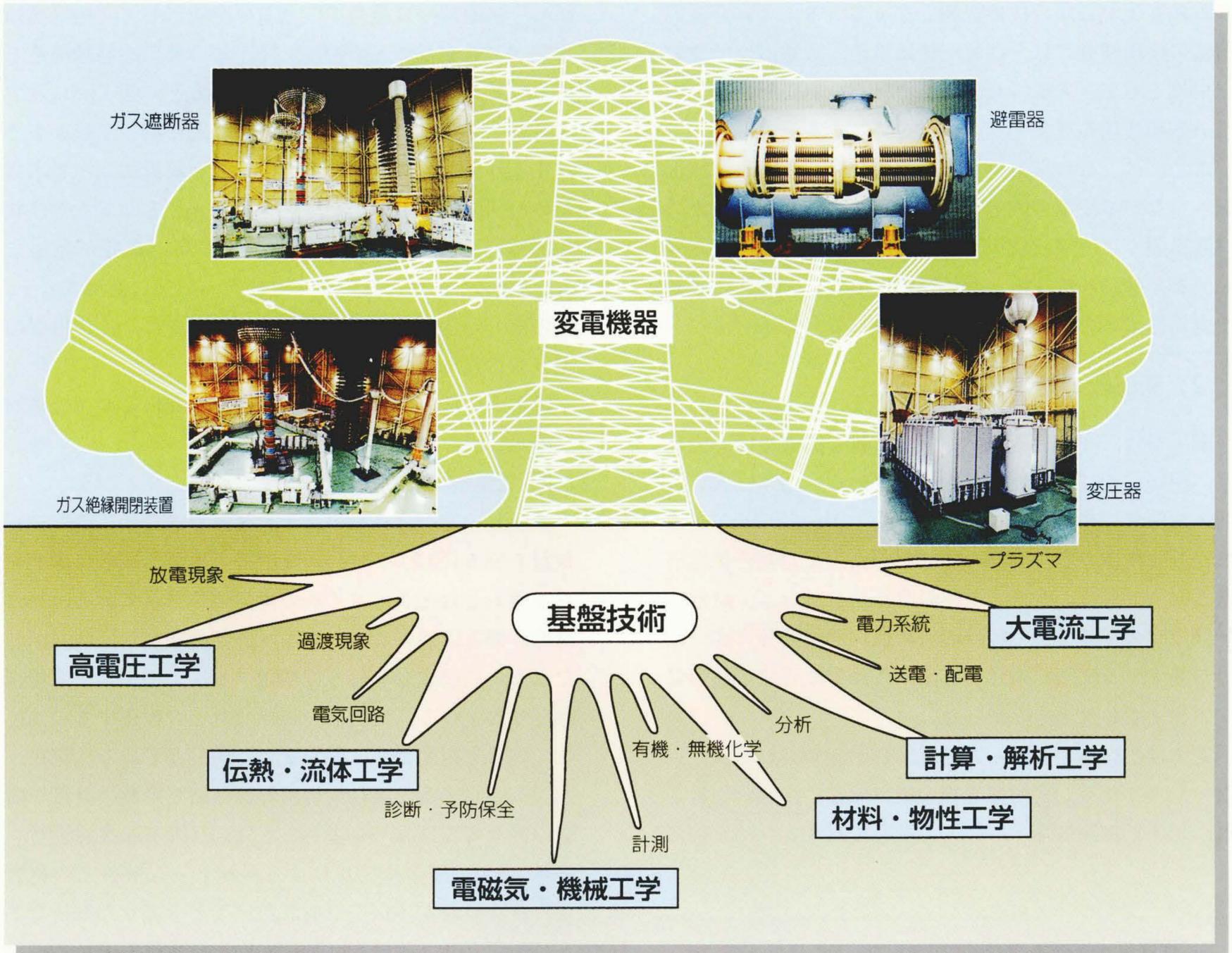


変電機器の高度化・高信頼化技術

Basic Technologies for Advancing Reliable Substation Equipment

夏井健一* Ken'ichi Natsui 鎌田 譲* Yuzuru Kamata
高橋 研** Ken Takahashi 堀 康郎*** Yasurô Hori



充実した基盤技術から醸成される変電機器新技術

変電機器の高度化・高信頼化を図るためには、さまざまな基盤技術が必要である。日立製作所には研究所、開発本部、工場が三位一体となって育成した基盤技術があり、変圧器、遮断器、ガス絶縁開閉装置、避雷器などの新技術を開発している。

変電機器の基盤技術は、電磁気学、機械工学、高電圧工学、大電流工学を主軸に、計算工学、伝熱工学、流体工学、材料物性工学などを包含する総合科学技術である。

日立製作所は、変電機器の信頼性向上、小型化、低コスト化、大容量化を目的に、研究所、開発本部、工場が三位一体となって、変圧器の絶縁技術を初めとしてガス

遮断器のガス流解析技術、ガス絶縁開閉装置の三次元電磁界解析技術、絶縁協調の合理化に必要な避雷器素子材料などの基盤技術の充実と高度化を図ってきた。これらの技術は、現在実証試験中の100万ボルト変電機器にも生かされている。

*日立製作所 電力・電機開発本部 **日立製作所 日立研究所 理学博士 ***日立製作所 国分工場 工学博士

1. はじめに

電力系統の大規模化・複雑化が進む中で、系統の信頼性向上、電力コストの低減がますます強く求められており、変電機器についても小型化、大容量化、低コスト化、高信頼度化が必須の技術課題となっている。これら変電機器の技術開発には、高電圧絶縁技術、大電流遮断技術を中核として、それらを支える材料、計測、解析など幅広い基盤技術の充実と高度化が必要である。

ここでは、これら基盤技術の高度化から生まれ、21世紀へつながる技術の例として、変圧器の絶縁技術、ガス遮断器のガス流解析技術、ガス絶縁開閉装置における金属異物の挙動解析技術、および絶縁協調の合理化に必要な避雷器素子の材料技術について述べる。

2. 変圧器の絶縁技術

変圧器は、変電機器の中で最も複雑な構造を備えており、絶縁技術に優先性が与えられている。超高压大容量油入変圧器では、油隙(げき)とプレスボードバリアが複数交互に配置され、絶縁と冷却を兼ね備えた複合絶縁構造となっている。しかし電圧の負担から見れば、材料の比誘電率の差によって絶縁耐力の低い油隙部分に高い電界が発生する構造が避けられず、これを改善する技術は実用化までには至らなかった。

電力機器に雷インパルス電圧試験が課せられるようになった当初から、変圧器巻線の電位振動の問題が注目され、変圧器線路側端子への入力波形に対するコイル各部

の電位計算技術の開発が望まれていた。

これらの最近の成果について以下に述べる。

2.1 誘電率整合絶縁

誘電率整合絶縁は、プレスボードの比誘電率をコイル電線の絶縁被覆であるクラフト紙と同一のレベルまで低減し、油隙部分に発生する高電界を緩和して、絶縁信頼性を向上させることにある。変圧器の典型的絶縁構造であるコイル間絶縁について考えてみると、図1(a)に示すように、絶縁破壊は電気力線 P_1 から P_6 に沿って起きようとする。電気力線上での各点の電界を解析によって求めたのが同図(b)である。絶縁破壊の出発点となるくさび状の油隙部分に誘電率の比に相当する高い電界が発生する。絶縁スペーサの比誘電率を4.7から3.5に低減すると、その部分の電界は同図から明らかのように、比誘電率の大きさに比例して低減する¹⁾。

誘電率の低いプレスボード材料の開発により、合理的な絶縁構造を実現した。

2.2 電位振動

変圧器の巻線は多数のコイル導体が渦巻状に直列接続されている〔図2(a)参照〕。変圧器の線路側端子に雷サージが侵入したとき、コイルのインダクタンス分布、相互誘導、静電誘導により、コイル各部の電位が同図に示したように振動成分を持って変化する。この現象を電位振動と呼んでいる。変圧器の絶縁設計を合理化するには、この現象を精度よく模擬することが必要である。現在、同図(b)に示す電位振動解析用等価回路で定数の計算や構造の異なる変圧器への適用、EMTP(汎用過渡解析プログラム)との整合モデルによる系統サージ解析との統合化、さらに誘電体損失や周波数応答を考慮した解析なども可能になり、絶縁設計の精度向上に貢献している²⁾。

3. ガス遮断器のガス流解析技術

現在、系統用遮断器の主流の座を占めているガス遮断器では、高速で開離する接点間に発生するアークに、限られた量の SF_6 ガスを吹きつけていかに効率よくアークを消滅させるかが、性能向上にあたっての課題である。

ここでは、流体工学での計測・解析技術の進展によるガス流解析の高精度化についての成果を述べる。

一遮断点当たりの電圧仕様が高くなるにしたがって、進み小電流遮断が重要な課題になる。遮断動作過程での各部の過渡的な電界とガス密度が耐電圧を決定するため、ガス密度を正確に把握することが必須である。アークからの熱を考慮しないコールドガス流の解析は早くか

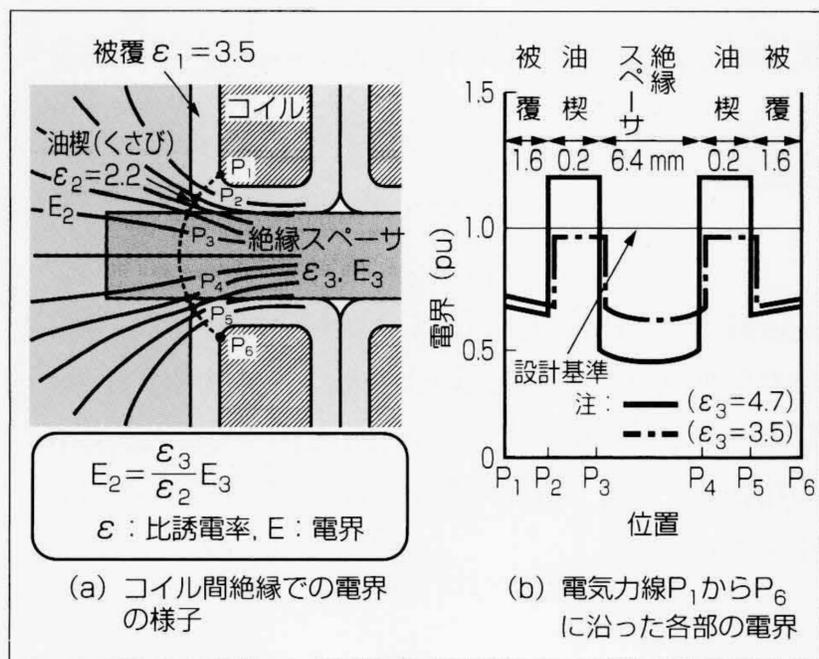


図1 変圧器における誘電率整合絶縁

低誘電率プレスボード材料の開発により、油隙部分に発生する局所的な高電界を低減し、変圧器絶縁信頼性の向上を図る。

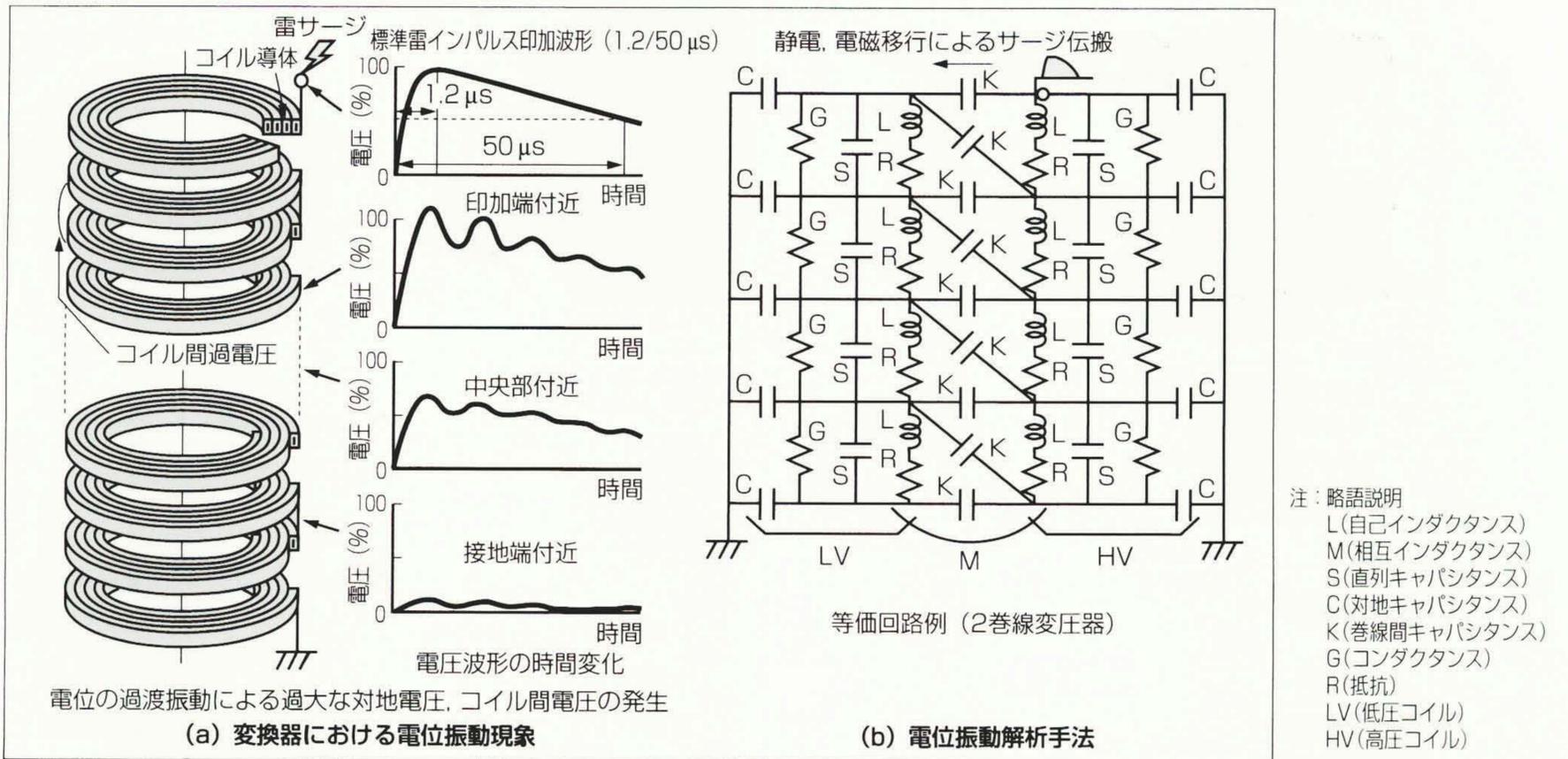


図2 変圧器巻線における電位振動とその解析モデル

実際の系統で発生する雷サージに対し、変圧器内部で巻線の電位がどのように分布するかを系統条件と統合して解析することが可能となった。

ら着手してきたが、より精度の高い解析が必要となり、ガス流の実測結果の数値処理との突合せによる解析精度向上を実現した³⁾。

解析によるコールドガス流の密度こう配分布を図3(a)に示す。また、シュリーレン法によって得られた画像を数値処理したガス密度こう配の実測結果を同図(b)に示す。これらの結果から、過渡的な圧力変動が細部にわたって比較できるので、解析手法へのフィードバックが可能となり、これまでよりも精度の高い解析ができることとなった。進み小電流遮断時の絶縁破壊は密度こう配の大きい領域から発生することがわかっており、新しい解析によって構造の最適化をより精度よく推定することが可能となった。

4. GIS(ガス絶縁開閉装置)内の異物挙動解析技術

GIS内に長さ数ミリメートル程度の金属異物が存在すると、高圧導体の作る電界によって異物は浮上・落下を繰り返し、万が一、絶縁物や高電位導体の表面に付着すると絶縁破壊の原因となる。この異物挙動を予測するため、三次元の電界解析と異物の運動方程式を組み合わせた解析技術を開発した(図4参照)。異物挙動の解析結果を同図(a)に示す。異物は電界が弱い二つのシールドの中間部分に滞留しやすいことがわかる。GIS内に設置した異物トラップ周りの異物の軌跡と電界強度を同図(b)に示

す。この解析技術は、トラップの位置や形状の最適化に貢献している。

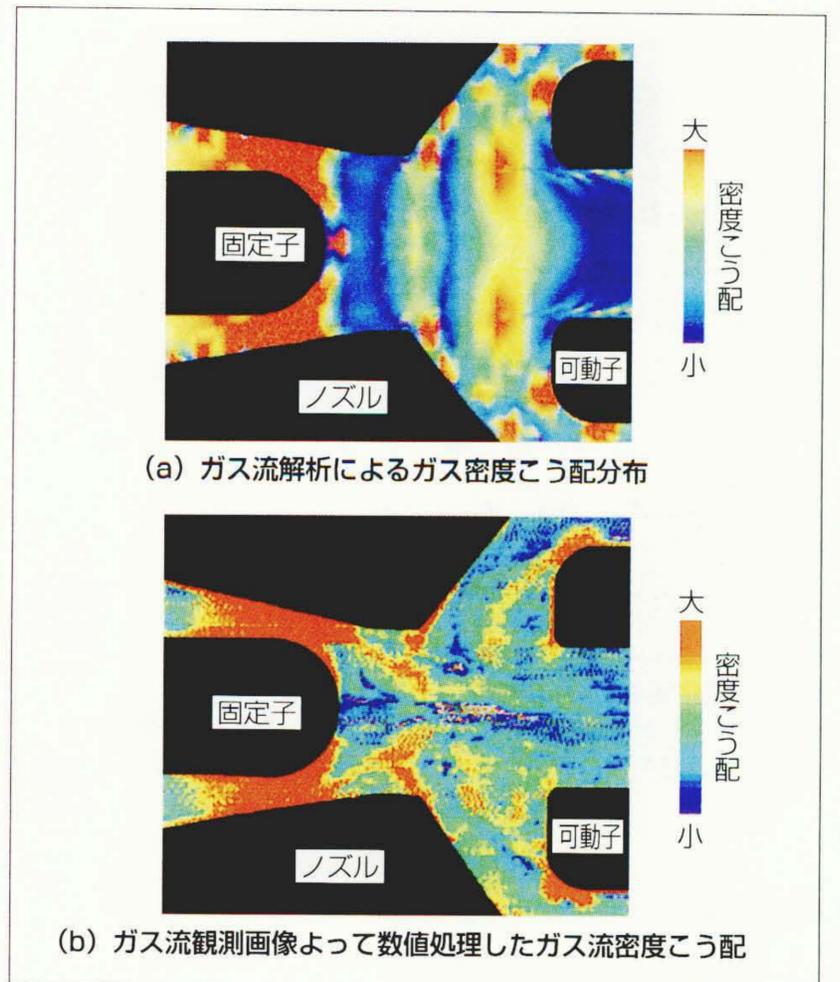


図3 ガス遮断器のガス流解析精度の向上

ガス流計測技術の高度化によって解析精度の向上を図り、遮断部構造の最適化と信頼性向上を図った。

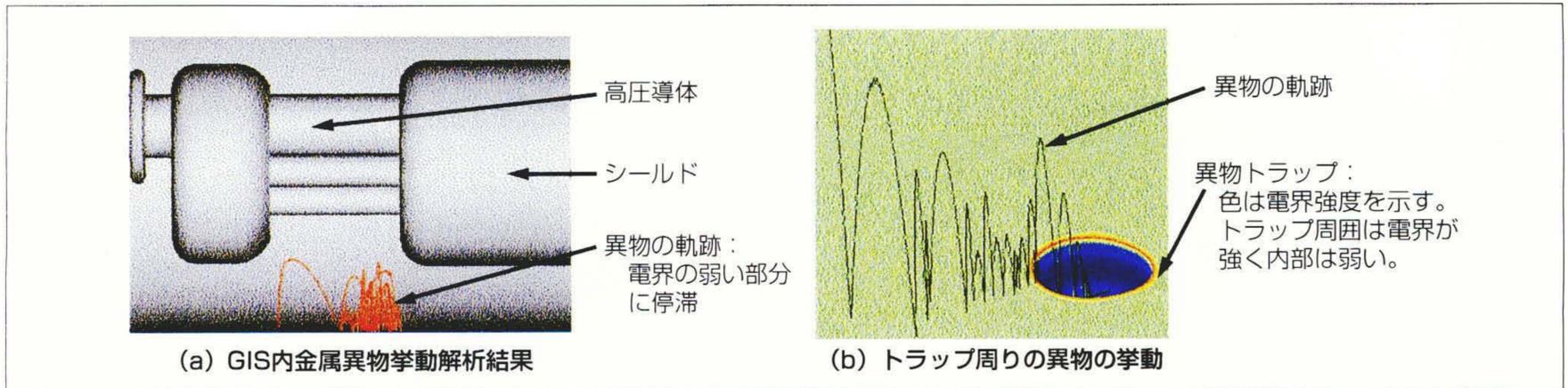


図4 GIS内の金属異物挙動

GIS内の三次元電界分布を解析したあと、電界中の異物(導体)の挙動を調べることで、絶縁信頼性に優れた製品を設計することができる。ここでは異物トラップの位置、形状の最適化を実現している。

5. 酸化亜鉛避雷器の材料技術

避雷器による保護レベルを低く抑制できれば、電力システム全体の絶縁合理化、コストダウンに直接つながる。避雷器の特性改善には素子の材料技術面からの開発が必要で、長年蓄積された研究成果が生かされている。

その中で、非線形性の増大とエネルギー耐量の向上には、結晶粒径を小さくそろえることと、粒界相の安定化が重要である。それを実現する手段として、ZnOとSiO₂の直接反応の反応量を制御することにより、平均粒径を11 μm近傍にそろえる技術を開発し、寿命特性の向上を実現した。開発した素子の微構造が観察できる電子顕微鏡写真、およびX線回折分析結果を図5に示す。粒界に析出するBi₂O₃の結晶相のうち、γ相の成分比を高める方法として、熱処理を900℃と800℃の2回に分けるプロセスを開発し、安定な粒界を形成することに成功した。この技術による素子はすでにUHV(超高压)用避雷器に採用され、今後、適用範囲を拡大していく考えである。

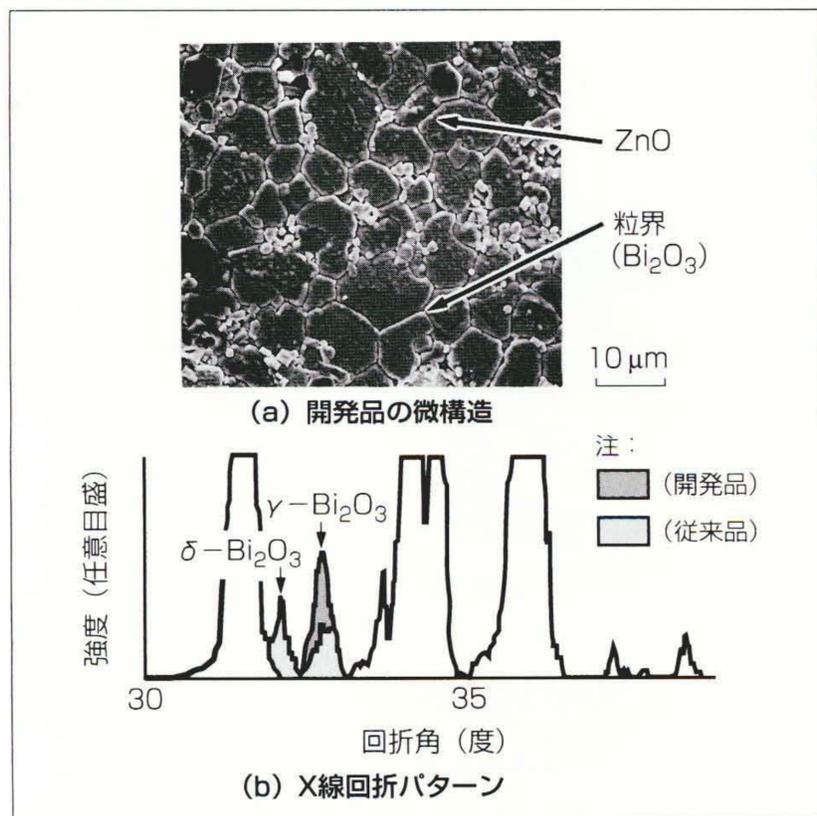


図5 酸化亜鉛素子の特性向上

セラミック材料技術の蓄積により、結晶粒径、粒界制御を実現し、避雷器の非線形性の改善、エネルギー耐量の増大を実現した。

6. おわりに

ここでは、変電機器の基盤技術の蓄積から得られた成果の幾つかの例について述べた。

低誘電率プレスボードや新特性酸化亜鉛素子を生み出した材料技術をはじめとして、変圧器の電位振動、遮断器のガス流、GIS内の異物挙動などでの解析技術、さらにガス流観測などの計測技術は、長年にわたる基盤技術の醸成から、新製品、新技術創生の成果として花開いたものである。

今後も引き続きこれら基盤技術の充実に努め、変電機器の信頼性向上、小型化、低コスト化に向けた実用技術開発に役立てていく考えである。

参考文献

- 1) 鎌田, 外: 油入大容量変圧器の新しい絶縁技術, 電気学会論文誌B, 電力・エネルギー部門誌112巻, 4号(平4-4)
- 2) H. Nishimura, et al.: A High Voltage Power Transformer Model at High Frequency Region for Designers, 平成8年電気学会電力・エネルギー部門全国大会, No.138(平8-8)
- 3) 白石, 外: ガス遮断器の気流観測と解析技術の高度化, 電気学会開閉保護高電圧合同研究会資料, SP-96-38(平8-6)