

発電機の余寿命診断と更新技術

日下 肇(くさか はじめ)

中山 昭伸(なかやま あきのぶ)

白石 明(しらいし あきら)

1 まえがき

現在、富士電機が納めた火力発電設備は20年以上経過した経年火力が6割以上を占めている。その既存設備に対する安定運用、信頼性確保、メンテナンスコスト低減などを図ることが、ユーザー側の大きな課題であり、プラントの寿命をあらかじめ予想し、長期保守計画を立てて設備の信頼性向上を図ることが求められている。

主機の一部である発電機においても、定期検査時の非破壊絶縁診断により絶縁寿命を把握し、適正な予防保全計画を図る必要がある。このような観点から、いかに既存設備の現状を把握し、効果的な対策を施して信頼性を向上させ、かつ電力の安定供給につなげていくかが最も大きな課題である。

その課題を克服する手法として、以下に余寿命診断技術と更新技術について紹介する。

2 絶縁診断技術

2.1 精密絶縁診断

富士電機は1958年からエポキシレジン絶縁を実用化してきている。およそ20~30年が経過し、老朽化したエポキシレジン絶縁方式の発電機において、事故の未然防止、機器の効率的かつ経済的な運用などの観点から発電機の絶縁診断技術の高度化が要求されている。

このような背景から、発電機を停止した状態で行う非破壊の精密絶縁診断やオンラインの部分放電測定が行われている。この精密絶縁診断は数年おきに行われる発電設備の定期検査時などに継続的に実施され、その測定値およびその経時変化の推移から、現状の絶縁状態の把握と更新時期を予測するものである。

この精密絶縁診断が効率的かつ経済的にできるように、専用の回転機絶縁診断車が使用されている。富士電機は1979年に巡回用回転機診断車を製作し、約20年間で4,700ケースを超える発電機および電動機の診断実績を上げている。現在の富士電機の回転機絶縁診断車の外観を図1に示

す。この診断車は精密な測定、評価および診断時間の短縮を目的として自動計測、自動記録、自動特性値計算、さらには多数の蓄積データを基に自動評価が行えるシステムで構成されている。また現地で測定された絶縁診断データは回転機履歴管理システムを用いてホストコンピュータのデータベースシステムに登録し、一元的に管理運用している。

2.2 絶縁余寿命予測

富士電機は絶縁診断測定値を用いて、直接的に発電機固定子コイルの残存破壊電圧(BDV)が推定できる方法を完成させた⁽¹⁾⁽²⁾。これは実際に運転していた発電機から多数の劣化コイルを抜き取り絶縁特性を調査し、統計処理することによって求めたものである。

具体的には絶縁診断測定値($\tan \delta$, q_{max} , I_{12})と重回帰式、補正式などを用いて、平均レベルのBDVと3のばらつきを考慮した下限レベルのBDVを算出する。そしてこれらBDVの経時変化から今後の残存BDVを予測するものであり、より具体的な巻線の更新時期を決定できる利点がある。この予測方法を用いて、現在まで数多くの発電機の余寿命予測を行ってきている。この予測方法による計算例を図2と図3に示す。図2はBDVと運転年数の関係であり、運転年数の経過とともにBDVが低下して

図1 回転機診断車の外観



N89-6542-7



日下 肇

火力発電設備のプラントサービスエンジニアリングに従事。現在、電機システムカンパニー火力事業部プラントサービス部長。



中山 昭伸

回転機絶縁技術の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所電機技術研究所。電気学会会員。



白石 明

タービン発電機の構造設計に従事。現在、エネルギー製作所回転機設計部課長補佐。

図2 予測BDVと運転年数の関係

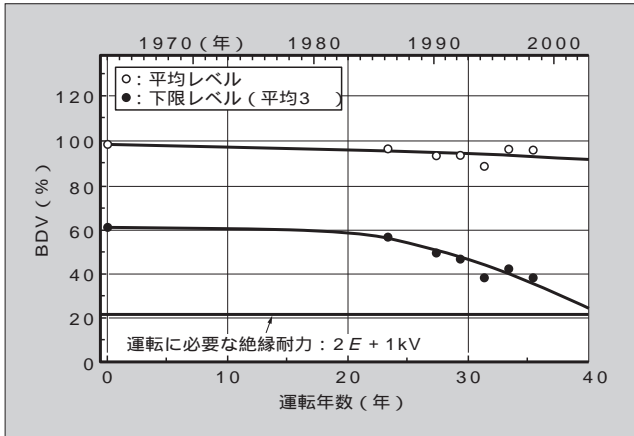
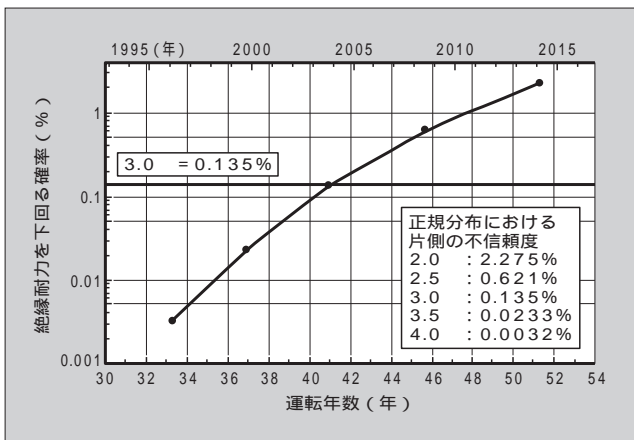


図3 運転に必要な絶縁耐力を下回る確率と運転年数の関係



いるのが把握できる。図3は運転に必要な絶縁耐力(2E+1kV)を下回る確率と運転年数の関係を示すものであり、運転年数の経過と絶縁が不良をきたす確率が明確に把握できる。

2.3 物理化学診断

現在一般的に行われている電氣的絶縁試験は、鉄心スロット部の主絶縁層の診断が主であり、コイルエンドの間隔片や縛りひもといった補強部材や回転子絶縁の構造部材の機械的強度の低下や摩耗、加熱による変質などは評価できない。したがって、発電機全体として絶縁診断するのに電氣的、機械的、熱的劣化について総合的に評価する必要がある。

このような背景から、富士電機は電気絶縁診断に加え、熱重量分析(TG分析)と赤外線分光分析(IR分析)を利用した物理化学的劣化診断手法を1988年に確立し、現在まで多数実施してきている。この物理化学的劣化分析の主な特長としては以下のものがある。

- (1) 使用されている個々の材料の熱劣化度が直接判定できる。
- (2) 数百mgのサンプル量で診断できる。
- (3) 電気診断と合わせることで、巻線全体としての劣化度が判定できる。

図4 サンプル採取箇所(タービン発電機の例)

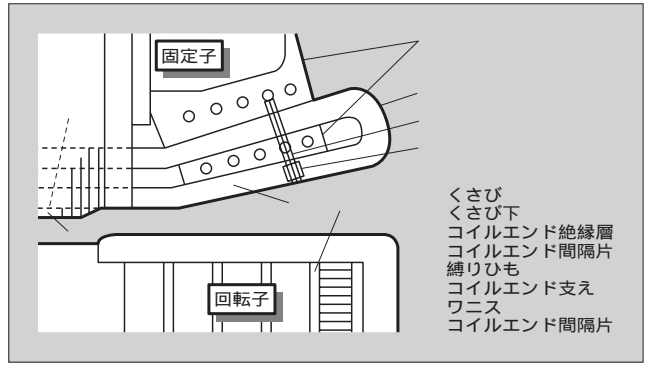
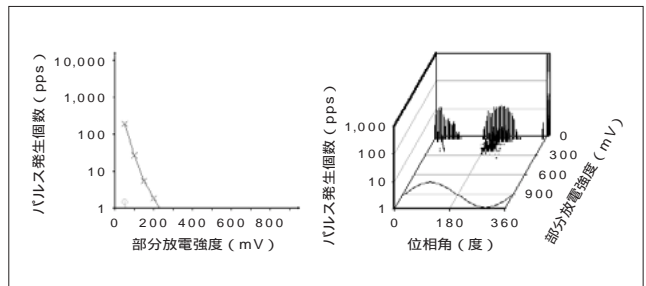


図5 オンライン部分放電測定器での出力例



(4) 界磁巻線, 直流機巻線にも適用できる。

一般に絶縁材料に使用されるエポキシ樹脂をはじめとする高分子材料の熱劣化を示す酸化、分解の進行具合は、一次減量開始温度のシフトや二次減量/一次減量比率の上昇として、IR分析ではカルボニル基による吸収強度の増大として定量的にとらえることができる。そしてこれらの劣化パラメータから相関性のある残存機械強度や加熱減量を求め、材料の熱劣化判定を行うものである。図4にタービン発電機のサンプリング箇所の一例を示す。

2.4 オンライン部分放電試験

絶縁診断の高度化と省力化が可能となるのがオンラインでの部分放電測定である。この主な特長として以下の項目があげられる。

- (1) 運転中に発生する実際の部分放電が把握できる。
- (2) くさびのゆるみや振動によるスロット放電が検出できる。
- (3) 放電検出器とその配線が完了していれば測定はいつでも可能である。
- (4) 運転停止に伴うコストや絶縁診断測定のコストが抑えられる。
- (5) 測定を継続することにより、絶縁劣化の経年変化が把握できる。

これらの特長を有したオンライン部分放電測定は有効的な絶縁監視手段として注目されている。ただしノイズの分別、検出感度、部分放電パターンの識別などの技術的に困難な課題もある。

現在、富士電機ではSSC(Stator Slot Coupler)法による部分放電測定を実発電機で継続的に実施している。測定

結果の一例を図5に示す。この測定結果から部分放電の正極側と負極側の比較，位相パターンなどの情報が把握できる。

③ 発電機更新技術

3.1 サイリスタ励磁方式からブラシレス励磁方式への更新
最近の標準ブラシレス励磁機は発電機軸と一体構造で，オーバハング部に回転整流装置，交流励磁機回転子および磁石同期発電機（PMG）の回転子が搭載され，コンパクトなものとなっている。このため既設の基礎を流用してサイリスタ励磁方式からブラシレス励磁方式に更新することが可能となった。更新前後の構造を図6に示す。

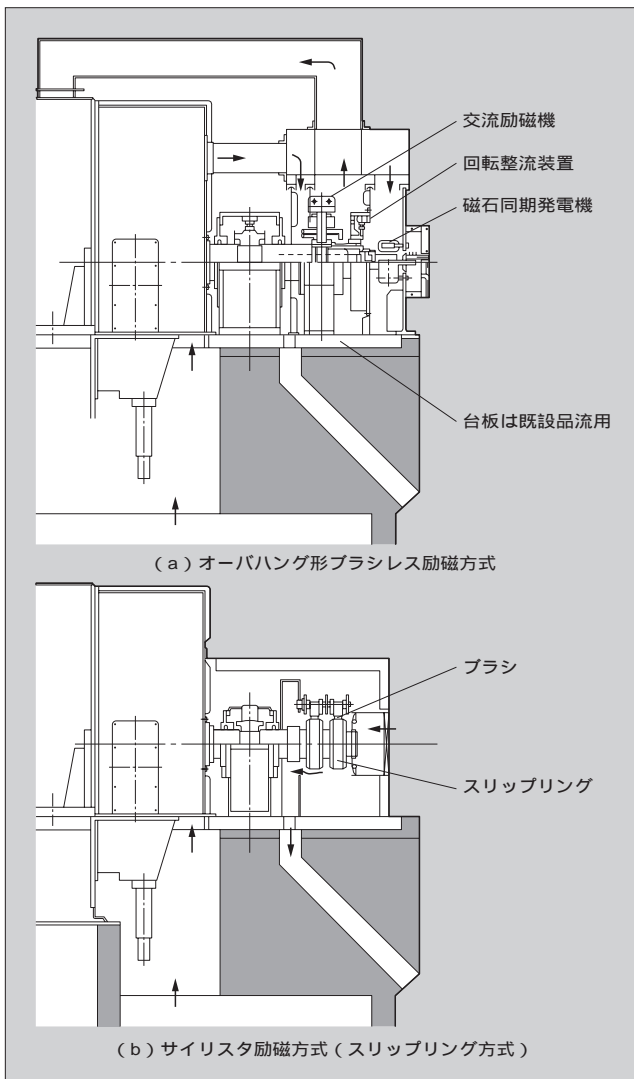
サイリスタ励磁方式からブラシレス励磁方式に更新することにより，

- (1) 日常の保守が不要となる。
- (2) 励磁盤が小さい。
- (3) 信頼性が高い。

がメリットとしてあげられる。

表1に標準オーバハング形ブラシレス励磁方式とサイリ

図6 更新前後の励磁装置の構造



スタ励磁方式の比較を示す。

また，交流励磁機回転子には全含浸絶縁を採用し，信頼性の向上を図っている。

サイリスタ励磁方式をブラシレス励磁方式に更新するタイミングとして，長期間使用のサイリスタ励磁方式発電機において絶縁劣化が進行し，その対策のため回転子一式または発電機一式更新時に，ブラシレス励磁方式への更新を行うことで更新経費は削減できる。

3.2 水素冷却発電機から空気冷却発電機への更新

3.2.1 空気冷却発電機のメリット

空気冷却発電機が水素冷却発電機に比べて有利な点は次のとおりである。

- (1) 発電機の構造が単純となり，保守点検費用が削減できる。
- (2) 水素ガスの供給，水素ガス密封油装置が不要となる。
- (3) 運転操作が簡単である。
- (4) 水素ガスの安全管理および監視が不要となる。
- (5) 水素ガスおよび炭酸ガスの購入が不要となる。

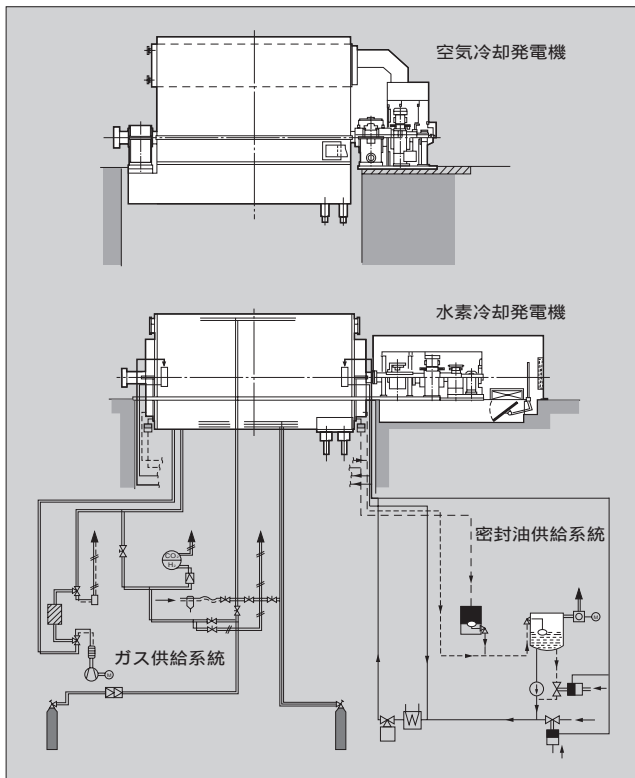
3.2.2 空気冷却発電機の出力範囲の拡大と小型化

過去においては，出力が50MVA以上の発電機は絶縁材料および冷却技術の点から水素冷却方式が採用されていた。また，たとえ同出力の空気冷却発電機が製作できた

表1 励磁方式の比較

励磁方式		ブラシレス励磁方式	サイリスタ励磁方式
主励磁機	電源機器	同期発電機（回転電機子）	変圧器
	整流器	シリコン整流ダイオード	サイリスタ
励磁電源		磁石同期発電機	所内電源
制御装置		AVR	AVR
結線図		<p>EX : 主交流励磁機 GRBS : 回転整流装置 PEX : 磁石同期発電機 R : スリップリング PPT : 励磁電源用変圧器</p>	
保守		スリップリングやブラシがないので日常の保守が不要である。	スリップリングの修正加工やブラシの日常の保守が必要である。また，ブラシや予備品も必要となり，ランニングコストが高くなる。
励磁盤寸法		励磁機の励磁容量が小さいので励磁盤は小さい。	励磁電源用変圧器，大電流用サイリスタのため寸法が大きい。
電源の信頼性		信頼性がサイリスタ方式より高い。外部の電源から完全に独立した磁石同期発電機により給電されるので，系統故障時にも確実な励磁の供給が行える。	信頼性がブラシレス方式より低い。系統故障中は所定の励磁電源が得られない。バックアップ装置が必要となる。
発電機寸法		励磁機が主発電機にオーバハングされるので軸長が若干長い。	励磁機が直結されないため軸長は短い。

図7 空気冷却発電設備と水素冷却発電設備の構成



しても水素冷却発電機より大型となるため、既設の水素冷却発電機の基礎を流用して空気冷却発電機に置き換えることができなかった。しかし近年では冷却技術と絶縁技術の向上により空気冷却発電機の出力範囲は 300 MVA まで可能となり、小型軽量化が図られたことにより、水素冷却発電

機を空気冷却発電機へ置き換えることが可能となった。

既設の水素冷却発電機を空気冷却発電機に更新するときには考慮すべきは、既設基礎の流用を可能とすることである。

この条件を満たすには、既設の水素冷却発電機の質量・寸法と更新する空気冷却発電機のそれとをほぼ同一にすることが必要である。

3.2.3 水素冷却発電機から空気冷却発電機への置換え

図7に置換の具体例を示す。

既設基礎の流用が可能となるとともに、潤滑油設備も既存設備が流用でき、配管は発電機との接続部分を一部変更することで流用可能である。一方、オーバハング形ブラシレス励磁機は軸受がないため潤滑油配管は不要となる。

4 あとがき

経年設備に対する安定運用・信頼性確保を図るためには長期保守計画を立て、設備の劣化度を把握し、修繕・更新などを見極めることが今後ますます重要な課題であると考ええる。今回紹介した余寿命診断と更新技術が、ライフプランを立てるうえでの一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) 中山昭伸ほか：回転機固定子コイルの余寿命診断，富士時報，Vol.72，No.5，p.292-295（1999）
- (2) 中山昭伸ほか：発電機固定子コイル余寿命診断，電気学会誘電・絶縁材料研究会，DEI-00-21，p.1-6（2000）
- (3) 飯島九十九ほか：回転機絶縁の熱劣化診断技術，富士時報，Vol.69，No.2，p.118-121（1996）



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。