高圧回転機余寿命推定技術

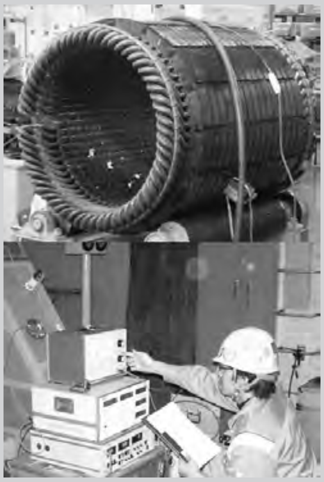
回転機，絶縁診断，余寿命推定

*明石康行　Yasuyuki Akashi

概　　要

多くの電気設備は20年以上の使用を経て更新時期を迎えているが，設備投資は抑制される傾向にある。近年では設備稼働率の向上など，設備への負荷も大きくなっており，電気設備の保守・点検に対するニーズはますます大きくなっている。

当社では，電気設備の余寿命推定技術開発に注力している。その一環として，高圧・特別高圧の発電機・電動機などでは絶縁診断及びコイル破壊試験を実施，データを収集している。これらのデータを統計的に処理することで余寿命の推定精度向上が期待される。



回転機絶縁診断

1.　ま　え　が　き

1970年代以降の経済の高度成長期に製造された電気設備には，30年以上経過した現在でも稼働しているものが多数存在するが，設備投資は抑制される傾向にある。近年では設備稼働率の上昇など，機器に対する負荷はますます増大している。このような社会情勢にあり，電気設備の保守・点検に対するニーズはますます拡大している。

高圧・特別高圧の発電機や電動機（以下，回転機）は故障が発生した場合，工場の停止にとどまらず，ライフラインに影響を及ぼす重要な電気設備の一つである。これら回転機においても20年，30年以上の経年期間を経ているものが多くあり，お客様からは延命化や更新の見極めが求められている。

本稿では6.6kV級回転機の固定子巻線を対象とした，当社の回転機絶縁診断（余寿命推定）技術開発の取り組みについて紹介する。

2.　回転機巻線絶縁

2.1　絶縁診断

回転機に関する故障は，その多くが巻線に関するものである。巻線絶縁が劣化し絶縁破壊した場合，社会的・経済的損失は極めて大きい。このため巻線絶縁の劣化状態を把握し，適切な処理を行うことが重要である。

当社では巻線絶縁劣化の早期発見のため，**第 1 表**に示す試験を行い，回転機巻線の吸湿・汚損・劣化状態の診断を行っている。**第 1 図**に当社保有の絶縁診断車を示す。

2.2　絶縁の劣化要因

絶縁の劣化要因には，熱的要因・電気的要因・機械的要因・環境的要因，さらにこれらが組み合

*材料技術研究所

第 1 表　絶縁診断項目
一般的な回転機の絶縁診断項目である試験項目と診断内容を示す。各診断項目は対応する診断内容の評価に効果があることを示す。

試験項目		主な診断内容
直流吸収試験	絶縁抵抗1分値（MΩ）	汚損・吸湿
	成極指数	
誘電正接試験	tan δ_0（ベースの誘電正接）	汚損・吸湿
	C_0（ベースの静電容量）	
	Δtan δ	ボイド・剥離
	$\Delta C/C_0$	
交流電流試験	ΔI	ボイド・剥離
	P_{i1}（第一次電流急増点）	
	P_{i2}（第二次電流急増点）	
部分放電試験	Q_m（最大放電電荷量）	局所的劣化
	V_i（放電開始電圧）	

第 1 図　当社絶縁診断車
当社保有の絶縁診断車を示す。診断車には絶縁診断装置が一式配備されており，1台で現地診断が可能である。

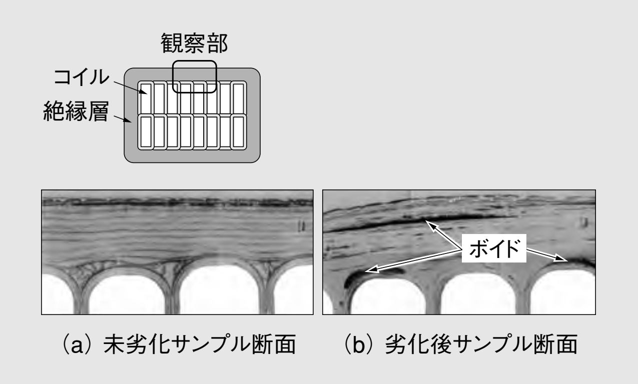
わさった複合的要因が挙げられる。これらの要因により，コイル絶縁層内にボイド・クラックなどが発生する。このような劣化が生じた箇所では部分放電が発生し，絶縁層を更に侵食し，やがて絶縁破壊に至る。

第 2 図に熱加速劣化前後のモデルコイル断面を示す。これは当社が回転機劣化メカニズム究明の一環として実施したものである。大きなボイドが確認でき，これを起点として部分放電が発生し，絶縁層が侵食される。

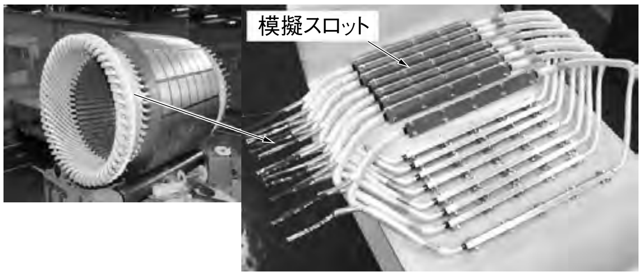
3.　余寿命推定手法の検討

3.1　余寿命推定の取り組み

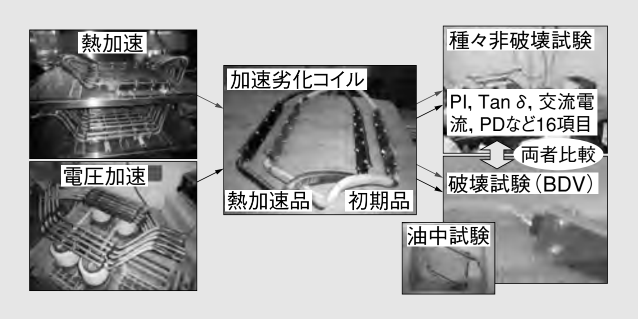
残存破壊電圧推定式の検討について紹介する。ここで残存破壊電圧とは，高圧回転機コイル劣化後の絶縁破壊電圧のことである。コイルの破壊電圧は，長期間の運転に十分な性能を有しながら，



第 2 図　回転機コイル断面
回転機コイルの断面観察を示す。未劣化品に比べ熱劣化後のサンプルには絶縁層にボイドが確認され，劣化が進行したことが分かる。

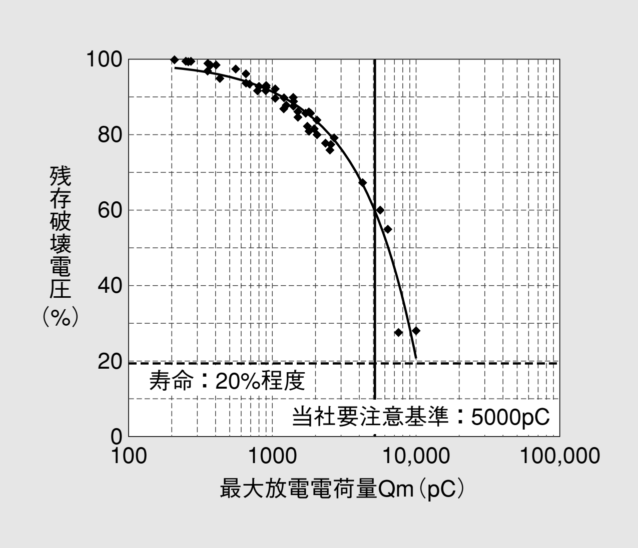


第 3 図　モデルコイル
試験に用いたモデルコイルの外観を示す。実機コイルと同様の製造方法で製作されており，より実機に近づけるため模擬鉄心スロットを取り付けている。

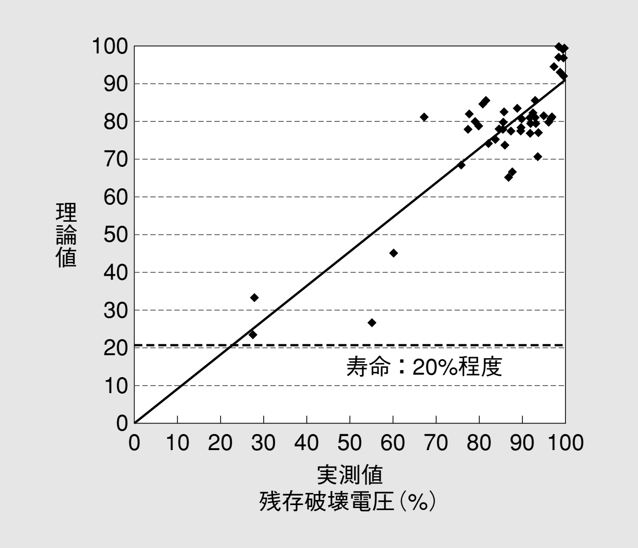


第 4 図　モデルコイル加速劣化試験
モデルコイル加速劣化試験の概要を示す。モデルコイルに熱的ストレスと電気的ストレスを加える。劣化に伴う電気的特性の変化と破壊電圧の変化を調査し，寿命を推定するための試験である。

絶縁構成の違いや仕様によりばらつきが生じる。このため本項では，未劣化時に対する劣化後の破壊電圧の割合として残存破壊電圧を定義する。実機破壊試験データは，入手する機会が少ない。このため実機データ取得に加え，**第 3 図**に示すようなモデルコイルを作製して加速劣化試験を行い，データを取得した。これらのデータを基に重回帰分析及びニューラルネットワーク法などの多変量解析から，残存破壊電圧推定式を求めた。**第 4 図**にモデルコイル加速劣化試験概要を示す。



第 5 図　最大放電電荷量と残存破壊電圧の相関
絶縁診断パラメータの一つである最大放電電荷量と残存破壊電圧の相関を示す。最大放電電荷量が増加するにつれて，残存破壊電圧が低下する傾向があることが分かる。当社要注意基準である最大放電電荷量5000pCを超えると絶縁破壊が起こる可能性が高くなる。



第 6 図　残存破壊電圧推定式導入図
絶縁診断から推定したコイルの破壊電圧と，実際の破壊電圧を比較したものである。

3.2　診断パラメータと残存破壊電圧の相関

第 5 図に常規対地電圧印加時の最大放電電荷量（Qm）と残存破壊電圧の関係を示す。Qmは，コイルの残存破壊電圧と最も関連性があると言われる絶縁診断パラメータである。Qmの増加に伴い残存破壊電圧の低下傾向が確認される。一般に，回転機の運転に必要な破壊電圧値は2E＋1kV（E：定格）であり，これを寿命と定義している。Qmによる診断判定基準は各社様々である。当社では機種によって異なるが，5000pCを一つの判定基準（要注意）としている。**第 5 図**の結果から，Qm＞5000pCの場合，残存破壊電圧が基準値程度にまで低下していることが確認できる。

3.3　高圧回転機残存破壊電圧推定式の検討

取得した各絶縁診断パラメータについて，残存破壊電圧との相関性やニューラルネットワークによる影響度評価を行い，高圧回転機残存破壊電圧推定式を算出した。推定式を用いることで，湿度などの環境要因に左右されず，残存破壊電圧推定が可能となる。また実機データを推定式と比較することによって，余寿命の評価が期待できる。**第 6 図**に推定式の一例を示す。推定式から導かれる理論値と実測値には良い相関が確認できる。

4.　む　す　び

重回帰分析及びニューラルネットワークを用いた回転機余寿命推定プロセスを紹介した。推定式の精度向上は，重要な課題である。そのためにも継続した実機診断データの蓄積と推定式の最適化を検討していく。

回転機には層間短絡（レアショート）・スロット放電・バイブレーションスパーキングなど，特有の課題がある。これらは短時間で巻線の絶縁破壊を引き起こす極めて重要な事象であるが，予兆が確認されず，予防保全が困難である。当社ではこのような課題に対する診断技術開発に取り組んでいる。

今後も診断技術を強化し，より質の高いサービスをお客様へ提供するよう努めていく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは，それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》

明石康行　Yasuyuki Akashi
高圧回転機メンテナンス関連技術の研究開発に従事