

## 回転機絶縁の展望

### Technical View of Rotary Machine Insulation System

倉持龍一\* Ryoichi Kuramochi

#### I. まえがき

電気エネルギーと回転エネルギーの変換機である回転電気機械（回転機）は、エネルギー使用量の増大とともにその供給面においても、応用面においても著しい発展を遂げてきている。特に近年における機器の大容量化や、広範囲の分野における回転機の進出はめざましいものがある。これらの回転機の実用化は、自然科学、工学のあらゆる分野の技術が結集し、そのうえに立脚しているものであるが、回転機の絶縁技術もその中の重要かつ基本的な技術として発展してきた。こうした絶縁技術の発展は機械の大容量化を可能にし、より高い信頼性をシステムに付与し、また応用分野の拡大に貢献している。

絶縁技術の発展は大きく分けて次の3本の柱によるところが大きい。第一は材料の進歩による使用限界の拡大であり、第二はこうした材料を巻線に応用する絶縁処理技術の進歩であり、第三は要求される機能に対する寿命あるいは信頼性の評価技術の確立である。これらは相まって、今日の回転機絶縁を築きあげているといえる。しかし、工学の中でも絶縁の分野はまだ経験による部分が多く、製作面においても人手に頼るところが多い。こうした意味からは、現在も変化し発展しつつある未完成の分野の一つではないかと思われる。

以下に当社の現在までの歩んできた過程を振り返りつつ将来の絶縁の課題について述べる。

#### II. 発展の過程と現状の展望

絶縁の発展は材料の進歩と強い関連があり、その多くが新しい材料の出現に伴って行われてきている。別な見方をすれば、より良い絶縁への志向が新しい材料を生み出してきたともいえる。ポリエステル、エポキシ樹脂に代表される合成樹脂の接着剤、含浸剤は、高圧コイルの分野でマイカの結合剤として導入され、当社ではいち早く昭和33年にエポキシ樹脂の真空含浸タイプであるフレジン絶縁を開発した。こうした無溶剤タイプの樹脂を使用したコイルは、今日では高圧回転機の主流となり、またその製作法も真空含浸方式、全含浸方式やレジソリッチ絶縁（モールド方式）などに発展し、それらの技術を確立してきている。この結果、耐熱性はF種が可能となり、また機械的な特性、電気的な特性も超大形機といわ

れる大容量機の要求に十分耐えられるものとなった。

薄葉材料では、アラミッド紙やポリイミドフィルムに代表される高耐熱性材料が低圧回転機絶縁に導入され、耐熱性の上昇に伴って機械の小形化に大きく寄与している。マグネットワイヤにおいてもポリイミド、アミドイミド、エステルイミド系のエナメル線が低圧絶縁の耐熱性、信頼性をあげるのに貢献している。こうした一連の高耐熱性材料の出現に伴う絶縁システムへの応用面での対応は、現時点で一応確立したといえる。現在のこうした多くの絶縁材料は、更に種々の組合せを生み出し非常に多様性に富んだ領域を提供してくれる。そのため、巻線に使用される多くの部品や製造処理方法に応用され、コストの低減と信頼性の向上をもたらしている。

上述した変革は、その背景に絶縁の評価技術の確立があったことはいままでのない。絶縁が受けるストレスは、電気的なもの、機械的なもの、熱的なものがあるが、それぞれ単一のストレスに対する評価方法はもちろん、それらを組み合わせたうえでの機能評価試験も広く行われ、絶縁システムの設計がより綿密な裏付けのもとに行われている。

当社においてもV-t試験、モータレット試験はもとより、長尺コイルのヒートサイクル試験、機械応力の繰返し試験、熱と電圧劣化を合わせた素線間耐力試験、あるいは水中試験など数多くの評価試験が常時行われ、単一材料の評価や初期特性の評価と相まって、多くのデータから絶縁システムの設計が十分な検証のもとになされている。評価方法の確立は、新しいシステムの評価という役割と同時に、より高い信頼性を要求する社会のすう勢にも対応できるものである。

#### III. 絶縁技術における課題と方向

絶縁技術は、物質の絶縁性能を取り扱うものであるが、絶縁物の破壊するメカニズムは、マクロ的にはある程度解明されているが、更に細かい点についてはまだ未解決の分野が多い。例えば、マイカ積層構造における長時間電圧印加での破壊に至るまでの現象は、どのように形成され、温度、電界、材料構成などの要因がどう影響するかについても、経験的なデータの積み重ねはあるにしても、学理的には明確になっていない。絶縁工学が経験的な面

\* 川崎工場

から、より脱却して行くにはこうした基礎的な面での充実が必要である。

固体絶縁物の中でも構成として比較的複雑な形をとる回転機絶縁は、この面でもまだ顕著な成果は現れていないが、単一材料の固体絶縁の破壊メカニズムに対する研究は、近年盛んに行われ、成果をあげつつある。絶縁の飛躍的な発展を促すために、この方面の研究は不可欠であろう。これに関連して、絶縁の状態を判定する予知技術の発展が期待される。

ある状態におかれた絶縁物の破壊に至るまでの現象に明らかな前駆現象があれば、これを把握することにより予知が可能となる。現在までこうした前駆現象は幾つか紹介されているが、現象の把握はまだマクロなものであり経験的な面が強い。こうした経験的なデータを実験室あるいは実際のフィールドで積み上げると同時に、予知に関しての知見を確立していくことは大きな課題の一つである。こうした分野は、我々製造に携わる者と機械を使う立場にある人々との協力が必要である。我々は更に一層の努力を傾注していく所存であるが、ユーザ各位の御協力を是非お願いしたい。

一方、今までの開発方向をより推し進めていく分野においては、経験的なデータを豊富に積み重ねてそれらを解析し、限界に近づけるといった方法がとられている。例えば、高圧コイルの絶縁厚さを一つとってもかなりの安

全率を見込んでおり、改良の余地がないとはいきれない。これを追求していくためには各種のストレスのレベル、その長期にわたる影響、相乗効果などをより詳細に把握し、実際的な検証を行っていかねばならない。こうした方法は地味な活動ではあるが、絶縁技術の発展に不可欠である。また、これらの解明には計算機による電界計算、応力解析、温度解析も有力な武器になっている。

製造技術という面から考えたときに、現在まだ人手を多く要している事実からみて、その将来の発展性は多大なものがある。テーピング、コイル入れ、結束作業などの複雑なムーブメントやプロセスのコントロールが、将来より容易にできるという展望からみれば、この分野は大きな可能性を持っている。特に巻線に関する製作機械は、汎用性の点で限定されるので電気機器メーカーの独自の努力が必要である。

#### IV. あとがき

絶縁技術は評価方式を確立しながら新しい材料を使いこなす、ある意味では一つの段階を越えてなだらかな発展段階に入りつつある。一方、回転機に対する要求は今後共ますます増大していくであろう。より一層の飛躍的な絶縁技術の発展が必要であり、当社は中央研究所、各工場を中心として努力を傾注していく所存である。

### 技術論文社外公表一覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
シーケンスをプログラムする図面	システム技術部	若江谷新治	電気計算 昭和53年1月号 電気書院
事故はこう拡大する 第1回 変圧器・絶縁劣化から事故へ	千葉工場 "	高田 久加 貞川 郁夫	" " "
シーケンスを組んでみよう 最終回：始運転をしてみよう	吹上工場	塚田袈裟夫	" " "
富士電子式デマンド監視装置	工業・機電事業部	稲垣 邦彦	オートメーション 昭和53年1月号 日刊工業新聞社
プレス用ロボットによるプレス作業の省力・自動化実例	工業・機電事業部	入江 善朗	省力と自動化 昭和52年11月号 オーム社
テレビカメラを使用した青果物サイザ	工業・機電事業部	小平 俊実	" " "
ガソリンスタンド用 POS ターミナルの制御	技術企画本部	三次 正宏	" 昭和53年1月号 "
継手の組立作業時に発生する振動	品質管理部	鷺沢 忍	応用機械工学 昭和52年11月号 大河出版
エポキシ樹脂がいしおよびエポキシ樹脂ブッシング	技術企画本部	大森 豊明	電気学会雑誌 昭和52年12月号 電気学会
ディーゼル発電読本	工業・機電事業部 "	岩満 田富 井上 皓右	新電気 昭和52年11月号別冊付録 オーム社



\*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。