

# 高圧電動機の遠隔絶縁劣化診断システム

Partial Discharge Telemetry System for Insulation Diagnosis of High-Voltage Motors

富沢 幸彦

TOMIZAWA Yukihiko

伊藤 誠

ITO Makoto

星野 勝

HOSHINO Masaru

森 興次

MORI Koji

現在，更新時期が近づいた高圧電動機を安価な費用で維持，管理していくことは急務で，絶縁劣化の兆候がある機種を確実に見つけ出し，重点的に保守していくことが必要になっている。今まで高圧電動機の絶縁劣化状態を運転中に精度良く，人を介することなく遠隔診断する方法は実現できていなかった。

東芝は，新しい診断手法を応用した遠隔絶縁劣化診断システムを確立し，温度でコロナ特性が変化する高圧電動機を対象にフィールドテストを開始した。自動的に測定される温度，電流及びコロナデータから分析される位相特性，最大放電電荷量及び温度特性を基に絶縁劣化の進行度合いを継続診断中である。

A major concern of users is how to preserve the reliability of high-voltage motors that are close to the renewal stage, while also saving maintenance costs. In order to achieve this, it is important to accurately identify motors with deteriorated coil insulation.

Toshiba has established a telemetry system for diagnosing the coil insulation of motors using a new measuring method. A field test has begun on high-voltage motors operating under load, whose partial discharge level changes with temperature. Deteriorated coil insulation is diagnosed by analyzing the phase distribution and partial discharge magnitudes under operation.

## 1 まえがき

一般的に据付け後 15 ~ 20 年を経過した電動機は，補修の検討対象としてその絶縁劣化状態に注意を払う必要がある。しかし，各電動機の絶縁劣化状態は用途，負荷率，運用形態などの違いにより必ずしも経年順にはならない。合理的な補修計画を立案するためには，適切な絶縁診断によって補修検討対象機の絶縁劣化度合いを順位付けする必要がある。図 1 に示すように補修検討対象機は，時間の推移とともに増加し，診断業務を後送りにすると，保全費の急激な増加や診断そのものが追いつかなくなるおそれがある。

だが，従来の絶縁診断法では，絶縁劣化状態の全体を検出することが十分ではなかった。

2002 年，温度でコロナ特性が変化する高圧電動機が検出されたので，その電動機の絶縁劣化状態を傾向監視するために，遠隔絶縁劣化診断システムを設置し，一年間の継続診断を開始した。ここでは，新しい絶縁診断手法とこの電動機の診断結果の事例について述べる。

## 2 従来の絶縁診断法とその課題

従来の絶縁診断法(オフライン診断)では，まず三相電源に接続されている高圧電動機の運転を停止させ，接続端子部を電源から切り離す必要があった。その場所に，診断装置

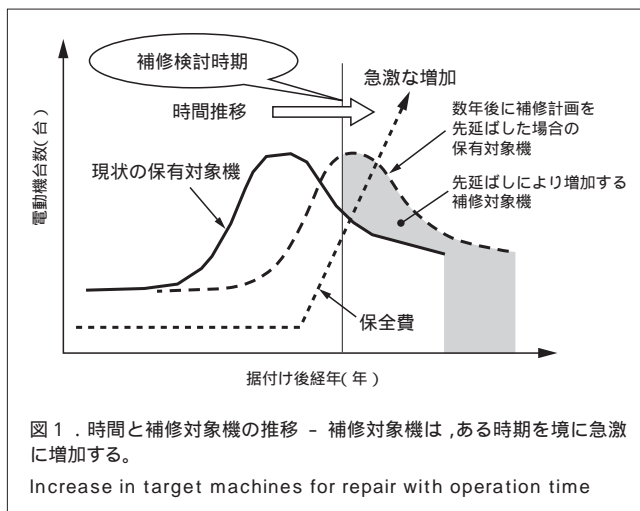
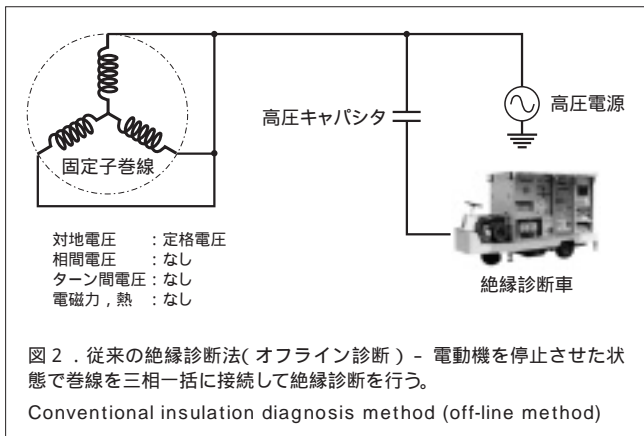


図 1 . 時間と補修対象機の推移 - 補修対象機は，ある時期を境に急激に増加する。

Increase in target machines for repair with operation time

を搭載した絶縁診断車を搬入し，高圧の試験電圧を一括印加して診断するのが一般的である(図 2)。

診断内容は絶縁抵抗，成極指数(PI)，電流急増電圧(Pi1)，電流増加率(I)，誘電正接(tan δ)，部分放電などの電氣的診断だけの場合が多かった。この方式では，コイルや楔(くさび)の緩み，異相コイル間で発生する絶縁劣化などは分解点検しないと診断できず，真の劣化状態を把握することが難しかった。また，診断するのに非常に手間がかかるという問題があった。おおむね一日 2 台の診断が限度であるため，仮に 300 台の高圧電動機の絶縁診断を実施しようとした場



合,150日必要となる。実際には電動機停止の運転調整が必要であるため,3年間以上の年月が必要と考えられる。

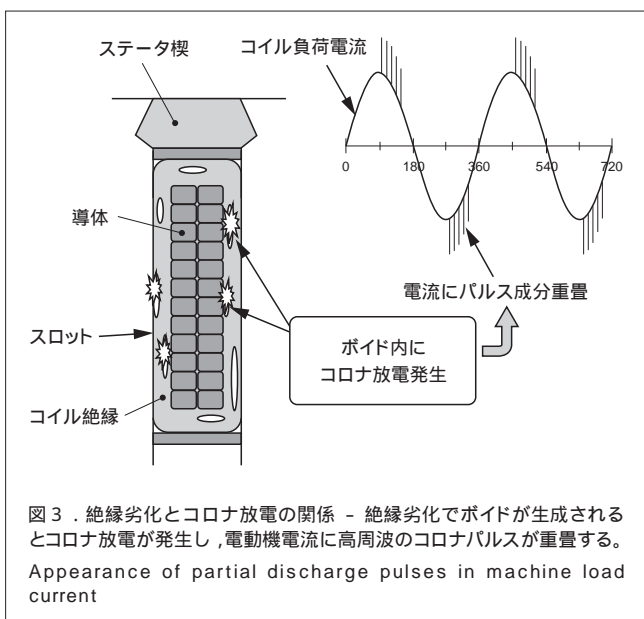
### 3 新しい絶縁診断法

#### 3.1 原理

図3は高圧電動機固定子鉄心のスロット内に収められたコイルの断面を示す。導体の周囲はレジンとマイカで構成された絶縁層で覆われ,その部分が劣化すると絶縁強度の低いボイド(空げき)が生成され,有害な部分放電(以下,コロナ放電と言う)が生じる。コロナ放電が発生するとコイルに流れる負荷電流に高周波のパルス成分(コロナパルス)電流が重畳する。このパルス電流を検出し,その大小,発生数,極性,位相などを分析することにより,絶縁の劣化程度,劣化の部位などを診断することができる。

#### 3.2 構成と有効性

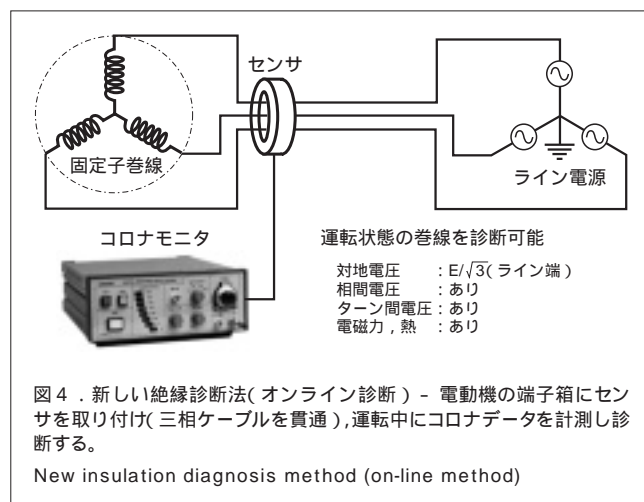
新しい絶縁診断法(オンライン診断)は,上記の原理に



目し,図4に示すように,センサ(高周波変流器(CT))は電動機の端子箱の中で口出し線(三相分)を貫通させて固定し,コンパクトなコロナモニタに接続してコロナデータを計測する構成となっている。そのため,運転中の高圧電動機の絶縁劣化状態を高圧電源と非接触で安全に診断することができる。また,従来手法では分解調査しないとできなかった次のような検出が高圧電動機を運転した状態で診断することが可能になる。

- (1) コイルの固定緩み
- (2) 導体からの絶縁層剥離
- (3) コイルエンド部の汚損による沿面放電
- (4) 異相間コイルエンド部の損傷
- (5) 絶縁層内のボイド生成

また,診断方法が簡単なので多数台の電動機の絶縁劣化状態を短期間に診断できるようになる。



#### 3.3 診断事例

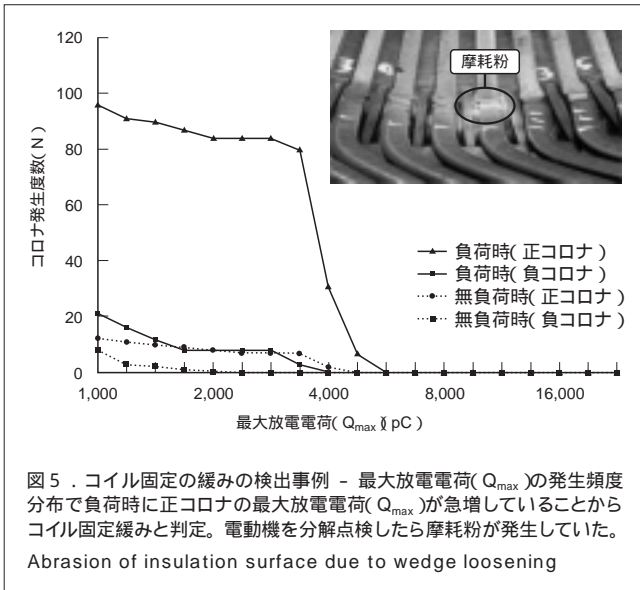
従来手法では検出できなかった項目の一つであるコイル固定の緩みを検出した事例を紹介する。

図5は,電源周波数(50 Hz)で20周期分連続測定したコロナデータを位相10°ごとのウィンドウに分割し,各ウィンドウ内の正/負コロナの最大放電電荷( $Q_{max}$ )を抽出して,その発生頻度特性を示したものである。

横軸は最大放電電荷( $Q_{max}$ )を,縦軸はその発生頻度を正/負の極性別に表す。

無負荷運転時(電流が小さい)には,正/負極性とも発生するコロナはわずかであるが,負荷運転時(電流が増加)になると,正極性側だけコロナの最大放電電荷( $Q_{max}$ )と発生数が増大していた。

実際に電動機を分解点検したところ,図5のようにステータ楔が緩み,コイルが大きな電流により電磁振動して絶縁表面のコロナ防止層が摩耗していた。



このことは、コイルの電磁振動と関連した絶縁表面の放電に特有の現象で、負荷時と無負荷時(又は軽負荷時)のコロナデータを測定することによりコイルの固定状態を診断できることが実証された。

#### 4 遠隔絶縁劣化診断システム

新しい試みとして、某ポンプ場に新しい絶縁診断手法を応用した遠隔絶縁劣化診断システムを設置し、運転時の電動機温度でコロナ特性が変化する高圧電動機の継続監視を開始した。

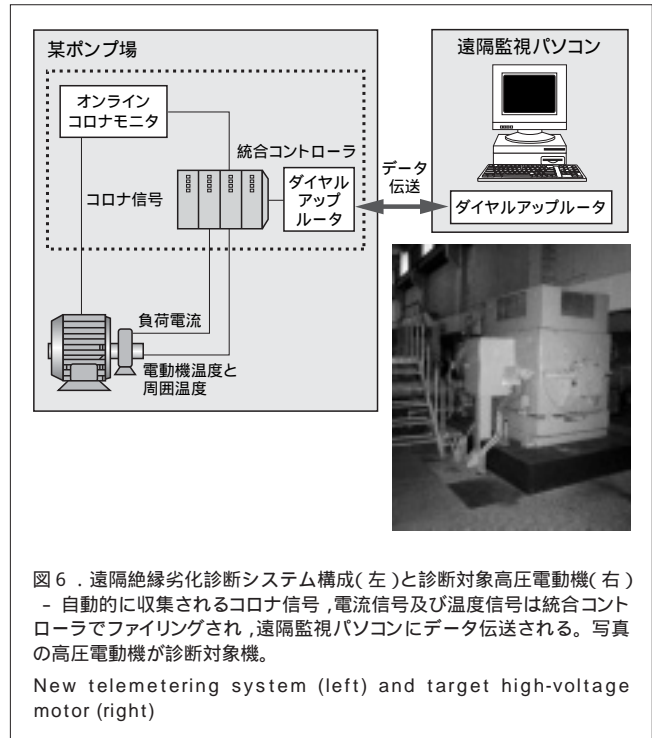
##### 4.1 診断対象機の選定経緯

2002年2月に、新しい手法(オンライン診断)で絶縁診断された高圧電動機の中でコイル温度の上昇に伴いコロナの発生頻度が減少することと、そのコロナレベル(最大放電電荷( $Q_{max}$ ))が大きいことから“要監視”と判定された電動機があった。この高圧電動機の外観を図6(右)に示す。

絶縁が劣化する現象の一つに絶縁層内のボイドの発生があり、コロナ放電の発生要因となる。運転により電動機温度が上昇するとボイドの壁面抵抗が低下するので、ボイドでの分担電圧は低減する。そのため、一般的に温度上昇とともに発生するコロナレベル(最大放電電荷( $Q_{max}$ ))は小さくなる傾向にある。また、ボイド内の大きなコロナ放電は、絶縁劣化を早めると考えられている。そこで、この高圧電動機を対象に温度及び負荷電流などによりコロナ発生様相がどのように変化し、絶縁劣化がどのように進行していくのかを継続監視することにした。

##### 4.2 システム構成

新しい絶縁診断法を応用した高圧電動機の遠隔絶縁劣化診断システムのシステム構成を図6(左)示す。システムを組



もうえで考慮した点は、人の手を介することなく遠隔にて診断することである。測定するタイミングは、始動後5分(冷時)、45分(中間温度)、90分(熱時)の3回、オンラインコロナモニタ(CM2000)によるコロナ信号と運転時の電動機温度、電流及び周囲温度が自動測定され、それらのデータの収集とファイリングが行われている。また、診断対象電動機は、常に運転されるとは限らないので、電動機に流れ始める電流を監視して運転開始を検出した。

測定された各データは、公衆回線を利用して遠隔地に設置された絶縁劣化診断用パソコンにデータ伝送され、絶縁診断される。

##### 4.3 遠隔絶縁劣化診断システムによる診断結果

以下が上記システムにより“要監視”と判定された電動機の自動診断結果の一例である。図7にコロナの位相特性、

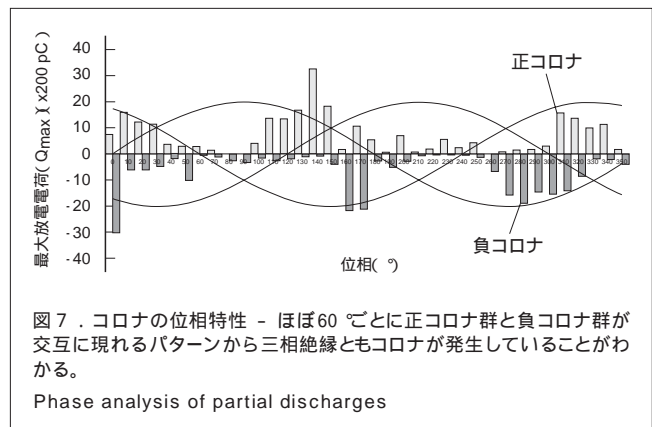


図8に最大放電電荷( $Q_{max}$ )の発生頻度分布,図9にコロナレベルの推移を示す。

図7のコロナの位相特性から,正コロナと負コロナが,ほぼ60°ごとに交互に発生しているので,三相ともコロナを発生していることがわかる。

図8の最大放電電荷( $Q_{max}$ )の発生頻度分布から,正コロナ及び負コロナとも極性差は少ないが,数値として11,000 pC程度もあり“要監視”の判定になる。

図9に初期データ(2002年2月)と2002年11月,12月のデータを記し,コロナレベルの推移を示した。これによると,数値として大きな増減は見受けられないが,2002年2月に診断された温度上昇とともにコロナレベルが減少するという特性は相変わらず同じ傾向にある。

これらのデータを基に総合判定すると,コロナ特性は初期データと同様な傾向から大きな絶縁劣化の進行は認められない。温度によるコロナの最大放電電荷( $Q_{max}$ )の変化については,冷時に比べ熱時が小さくなっていることから,絶縁

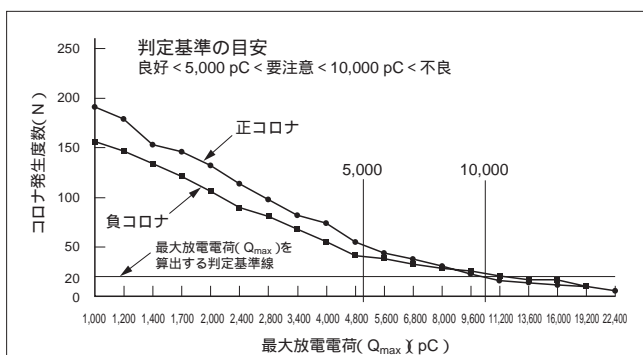


図8. 最大放電電荷( $Q_{max}$ )の発生頻度分布 - 正負コロナの極性差が小さいことから絶縁層内のボイドの発生が考えられる。

Distribution range of maximum partial discharge magnitudes ( $Q_{max}$ )

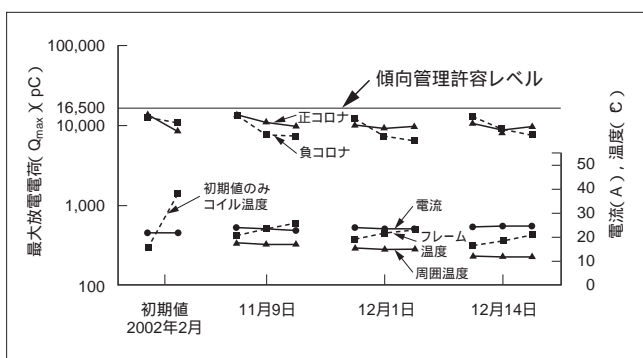


図9. 最大放電電荷( $Q_{max}$ )の推移 - 最大放電電荷( $Q_{max}$ )の増減を温度,電流及び時間の要素から傾向管理し,絶縁劣化の進行具合を診断した。現状では,大きな変化が見受けられない。

Change in maximum partial discharge magnitudes ( $Q_{max}$ ) over several months

物の内部にボイドがあると推定できる。また,熱時に負コロナより正コロナ側の最大放電電荷( $Q_{max}$ )が大きくなることから,コロナ防止層の劣化の兆候もあると考えられる。

長期間にわたる高圧電動機の絶縁劣化状態を連続的に監視するのは初めてであり,今後,冬季と夏季の周囲温度差により,コロナの極性差に大きな変化が現れるのかどうか注目していきたい。

## 5 あとがき

従来の手法では検出できなかった絶縁層内のボイド生成やコイルの固定緩みなどが新しい絶縁診断法により,電動機を分解することなく確実にしかも安価な費用で検出できるようになる。

また,今回,確立した遠隔絶縁劣化診断システムにより要監視と判定された電動機の絶縁劣化の進行度合いを継続診断していくことによって,予想できない突発事故を事前に検出できるようになると考えている。

## 文献

- (1) 森田 登,ほか. 高圧電動機絶縁劣化傾向管理を支援するオンライン部分放電監視装置の開発. 電気学会論文誌. 120-D, 1, 2000, p.148 - 155.
- (2) 武田 偉彦,ほか. レジンコイル絶縁の劣化診断技術の現状. 金属産業研究会資料. MID-89, 1, 1989, p.1 - 10.
- (3) 金川 晃夫,ほか. 大型電動機の検査・診断技術. 東芝レビュー. 46, 6, 1991, p.503 - 506.



富沢 幸彦 TOMIZAWA Yukihiko

社会インフラシステム社 社会・産業システム事業部 関西社会システム技術部主務。公共システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会会員。  
Public & Industrial Systems Div.



伊藤 誠 ITO Makoto

社会インフラシステム社 フィールド事業推進室 フィールドサービス企画担当参事。アフターサービスの企画運営に従事。電気学会会員。  
Field Business Planning Dep.



星野 勝 HOSHINO Masaru

東芝電機サービス(株) 京浜事業所 サービス第一担当参事。電動機補修技術に従事。  
Toshiba Electric Service Corp.



森 興次 MORI Koji

ティーエムエレクトリック(株) 東部事業所 大形回転機部参事。電動機の生産技術に従事。  
TMA Electric Corp.