

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4497916号
(P4497916)

(45) 発行日 平成22年7月7日 (2010.7.7)

(24) 登録日 平成22年4月23日 (2010.4.23)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 R 31/12 (2006.01)

GO 1 R 31/06 (2006.01)

HO 2 K 11/00 (2006.01)

GO 1 R 31/12

GO 1 R 31/06

HO 2 K 11/00

M

請求項の数 8 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2003-423594 (P2003-423594)	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成15年12月19日 (2003.12.19)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開2005-148039 (P2005-148039A)		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成17年6月9日 (2005.6.9)	(73) 特許権者	390014568
審査請求日	平成18年5月2日 (2006.5.2)		東芝プラントシステム株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2003-365317 (P2003-365317)		東京都大田区蒲田五丁目3番1号
(32) 優先日	平成15年10月24日 (2003.10.24)	(74) 代理人	100078765
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 波多野 久
		(74) 代理人	100078802
			弁理士 関口 俊三
		(72) 発明者	井上 良之
			神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地
			東芝テクノコンサルティング株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コイルの余寿命推定方法およびコイルの余寿命推定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コイルの導体からの冷却水が絶縁層に漏水しているかどうかを確認し、前記導体冷却水が前記絶縁層に漏水している場合、前記導体に交番電圧を印加し、内部電極の上部の絶縁層の外表面で内部電極電位を測定し、予め作成しておいた絶縁破壊電圧と内部電極電位との相関関係から前記コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程と、

前記コイルの今後の運転条件から前記コイルの温度および印加される電圧を求め、このコイル温度および印加される電圧のうち、少なくともいずれか一方による前記コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求める第2工程と、

第1工程および第2工程から求めたデータを外挿し、絶縁破壊電圧が前記コイルの運転に必要な電圧まで低下する時期を求める第3工程と、を備えることを特徴とするコイルの余寿命推定方法。

【請求項 2】

コイルの導体からの冷却水が絶縁層に漏水しているかどうかを確認し、前記導体冷却水が絶縁層に漏水している場合、前記導体に交番電圧を印加し、内部電極の上部の絶縁層の外表面で内部電極電位の測定を経時的に複数回行い、測定の機会ごとに予め作成しておいた絶縁破壊電圧と内部電極電位との相関関係から前記コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程と、

前記絶縁破壊電圧の経時変化カーブを求めるとともに、前記経時変化カーブを外挿し、今後の絶縁破壊電圧の低下傾向を予測する第2工程と、

前記経時変化カーブがコイルの運転に必要な電圧まで低下する時期を求める第3工程と、を備えることを特徴とするコイルの余寿命推定方法。

【請求項3】

前記相関関係は、内部電極電位に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図であることを特徴とする請求項1または2に記載のコイルの余寿命推定方法。

【請求項4】

前記相関関係は、測定した内部電極電位とこの内部電極電位の初期値または前記導体冷却水の前記絶縁層への漏水がないと判断される前記コイルの内部電極電位のいずれか一方との比を求め、この求めた比に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図であることを特徴とする請求項1または2に記載のコイルの余寿命推定方法。

10

【請求項5】

前記相関関係は、隣接する内部電極電位間の比を求め、この求めた比に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図であることを特徴とする請求項1または2に記載のコイルの余寿命推定方法。

【請求項6】

前記相関関係から絶縁破壊電圧を推定する際、1つの内部電極の電位に対し、2つの絶縁破壊電圧値が得られる場合、以前に測定した電位の推移から2つの絶縁破壊電圧値のうち、どちらであるかを判断することを特徴とする請求項1または2に記載のコイルの余寿命推定方法。

20

【請求項7】

コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第2工程は、クリップ近傍の中空素線に一定の大きさの穴を開けた水漏れを起していない複数本のコイル、または運転中、絶縁層に導体冷却水の漏水が確認されたコイルに対し、2種類以上の温度に設定した水を各温度に対して複数本の導体に一定の水圧に保ちつつ通水、循環させ、各温度において水の浸入程度の異なる複数の時点で絶縁破壊試験を行って絶縁破壊電圧を求め、求めた絶縁破壊電圧と温水循環時間とから絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図を作成するとともに、この絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図から絶縁破壊電圧の低下速度を求め、求めた絶縁破壊電圧の低下速度を基にして循環水の温度との関係を表わしたアレニウスプロット図を作成し、このアレニウスプロット図から循環水の任意の温度に対応する絶縁破壊電圧の低下速度を求めることを特徴とする請求項1に記載のコイルの余寿命推定方法。

30

【請求項8】

コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第2工程は、クリップ近傍の中空素線に一定の大きさの穴を開けた水漏れを起していない複数本のコイル、または運転中、絶縁層に導体冷却水の漏水が確認された複数本のコイルを用い、それらのコイルの導体を接地し、その一部の複数本のコイルの直線部に所定の電圧を課電し、残りの複数本のコイルに対しては課電しない状態で、所定の温度に設定した温水を全コイルの導体に一定の水圧に保ちつつ通水、循環させ、水の浸入程度の異なる複数の時点で絶縁破壊試験を行って絶縁破壊電圧を求め、求めた絶縁破壊電圧と温水循環時間とから絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図を作成し、この絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図から温水循環中に課電したコイルと課電しないコイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求め、さらに、両者の比から課電による絶縁破壊電圧の低下速度の増加率を求めることを特徴とする請求項1に記載のコイルの余寿命推定方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷却水で導体を直接冷却して運転している間に、導体から冷却水が漏水し、絶縁層に浸入した場合、コイルの寿命を予測するコイルの余寿命推定方法およびコイルの余寿命推定装置に関する。

50

【背景技術】

【0002】

回転電機は、容量が大きくなると、固定子コイル（固定子巻線）に流れる電流が大きくなり、これに伴って固定コイルに発生するジュール損失により温度が高くなりすぎて安定運転を行うことが難しくなっている。

【0003】

このため、最近の大容量回転電機では、固定子コイルに冷却水を直接供給して冷却するタイプのものが数多く実施されており、その構成として図33に示すものがある。

【0004】

従来の大容量回転電機は、円筒状に形成する固定子鉄心1の半径方向中心部側に向って溝を設け、各溝に下コイル2bと上コイル2aとを挿通させている。

10

【0005】

上コイル2aおよび下コイル2bは、素線として中空平角銅線単独または中実平角銅線に中空平角線を混ぜたものを用いて導体3a, 3bとし、導体3a, 3bの断面を長方形に形成し、その外側に絶縁層4a, 4bを被覆している。

【0006】

また、上コイル2aおよび下コイル2bは、導体3a, 3bの端部にクリップ5a, 5bをろう付けし、クリップ5a, 5b間を中空接続導体6で接続させ、絶縁接続管7から供給される、例えば脱イオン水等の冷却水で、直接導体3a, 3bを冷却するようになっている。

20

【0007】

ところで、大容量回転電機の長年の運転の際、導体3a, 3bとクリップ5a, 5bとのろう付け部分に腐蝕による劣化が生じて微細な穴があき、冷却水が絶縁層4a, 4bに漏水し、コイル2は絶縁破壊を起すことがある。

【0008】

コイル2の絶縁破壊に対し、導体3a, 3bとクリップ5a, 5bとのろう付け部分が絶縁層4a, 4bで覆われ、目視確認できないため、従来では、冷却水の絶縁層4a, 4bへの漏水確認手段として、絶縁層4a, 4b内に内部電極を備えていないコイル2に対し、例えば、特開平9-331656号公報、特開平9-51658号公報、特開平10-177053号公報に見られる技術が使用され、また、絶縁層4a, 4bに内部電極を備えているコイルに対し、例えば、特願2000-126293号に見られる技術が使用されている。

30

【0009】

これらの技術は、ともに、冷却水の漏水による絶縁層4a, 4bの静電容量が増加する現象を巧みに利用するものであり、コイルに電極を設け、導体3a, 3bと電極との静電容量を測定し、測定した静電容量が高いとき、冷却水が絶縁層4a, 4bに漏出していると判定するものである。

【0010】

また、これらの技術は、操作が簡易であるから、冷却水の絶縁層への漏水測定簡易手段として高く評価、実施されている。

40

【特許文献1】特開平9-331656号公報

【特許文献2】特開平9-51658号公報

【特許文献3】特開平10-177053号公報

【特許文献4】特願2002-126293号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ところで、最近の大容量回転電機では、コイルの絶縁構造として、図33および図34に示すように、絶縁層9, 9a, 9b, 9cに内部電極8a, 8b, 8gを設け、コイル表面の電界を低減させたものが実施されている。

50

【 0 0 1 2 】

なお、コイルの絶縁構造には、内部電極 8 a , 8 b , 8 g の 3 層を 2 層または 4 層以上にすることもできるが、ここでは 3 層の内部電極を例示として説明する。また、内部電極のうち、コイル 2 の導体 3 a , 3 b を基点に外径側に向って第 1 内部電極 8 a 、第 2 内部電極 8 b と付し、最外層のものを第 3 内部電極 8 g と付す。

【 0 0 1 3 】

最近の大容量回転電機に適用されるコイルの絶縁構造は、上コイル 2 a と下コイル 2 b とを一对の組とするコイル 2 (2 a , 2 b) の導体 3 の外側を絶縁層 9 , 9 a ~ 9 c で覆うとともに、絶縁層 9 , 9 a ~ 9 c に第 1 ~ 第 3 内部電極 8 a , 8 b , 8 g の 3 つの電極を設け、第 3 内部電極 8 g をコイル 2 (2 a , 2 b) 直線部分の最外層における低抵抗層 10 に接続させ、第 1 内部電極 8 a 、第 2 内部電極 8 b で絶縁層 9 a ~ 9 c の静電容量を容量分圧し、コイルエンド部の絶縁層の外表面の電界を小さく抑えたものである。

10

【 0 0 1 4 】

また、コイルエンド部の端部は、導体 3 (3 a , 3 b) を冷却水で直接冷却する絶縁接続管 7 を備えたクリップ 5 (5 a , 5 b) を設けている。

【 0 0 1 5 】

このようなコイル絶縁構造を備えた大容量回転電機においては、上述の特許公報に開示された技術を適用すれば、冷却水が絶縁層内に浸入しているかの有無を容易判断できても、現時点 (測定時点) の絶縁破壊電圧、さらには、今後どのくらいの期間の間、使用することができるかの余寿命を知ることが難しい。

20

【 0 0 1 6 】

特に、最近のように、回転電機が大容量化してくると、保修や改造等の準備、施工期間が長くなっているだけに、余寿命技術の重要性が増してくる。

【 0 0 1 7 】

余寿命技術に係る発明は、例えば特開平 9 - 9 3 8 7 3 号公報で提案されている。

【 0 0 1 8 】

この特許公報では、固定子コイルの端部のクリップと導体とをろう付けした部分を切断、採取し、ろう付け状態を調査し、冷却水漏れ開始時期を推定し、その後の絶縁破壊電圧の低下率のデータから余寿命を推定するものである。

【 0 0 1 9 】

しかし、この技術では、コイル間の接続部分の絶縁を除去する必要がある、何本かのコイルを抜き取り、コイル端部を切り取って調査する作業が不可欠となり、復旧に多大な作業時間と費用を費やす等の改善すべき問題がある。

30

【 0 0 2 0 】

このため、より短時間で、より少ない費用でコイルの余寿命を非破壊的に推定できる技術の実現が望まれていた。

【 0 0 2 1 】

本発明は、このような点に鑑みてなされたもので、導体から絶縁層に漏水するコイルにおいて、コイルを取り外すことなく、非破壊的に絶縁層の絶縁破壊電圧を推定し、推定した絶縁破壊電圧に基いて余寿命を推定するコイルの余寿命推定方法およびコイルの余寿命推定装置を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 2 】

本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項 1 に記載したように、コイルの導体からの冷却水が絶縁層に漏水しているかどうかを確認し、前記導体冷却水が前記絶縁層に漏水している場合、前記導体に交番電圧を印加し、内部電極の上部の絶縁層の外表面で内部電極電位を測定し、予め作成しておいた絶縁破壊電圧と内部電極電位との相関関係から前記コイルの絶縁破壊電圧を推定する第 1 工程と、前記コイルの今後の運転条件から前記コイルの温度および印加される電圧を求め、このコイル温度および印加される電圧のうち、少なくともいずれか一方による前記コイルの絶縁破壊電圧

50

の低下速度を求める第2工程と、第1工程および第2工程から求めたデータを外挿し、絶縁破壊電圧が前記コイルの運転に必要な電圧まで低下する時期を求める第3工程と、を備える方法である。

【0023】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項2に記載したように、コイルの導体からの冷却水が絶縁層に漏水しているかどうかを確認し、前記導体冷却水が絶縁層に漏水している場合、前記導体に交番電圧を印加し、内部電極の上部の絶縁層の外表面で内部電極電位の測定を経時的に複数回行い、測定の機会ごとに予め作成しておいた絶縁破壊電圧と内部電極電位との相関関係から前記コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程と、前記絶縁破壊電圧の経時変化カーブを求めるとともに、前記経時変化カーブを外挿し、今後の絶縁破壊電圧の低下傾向を予測する第2工程と、前記経時変化カーブがコイルの運転に必要な電圧まで低下する時期を求める第3工程と、を備える方法である。

10

【0024】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項3に記載したように、前記相関関係は、内部電極電位に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である方法である。

【0025】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項4に記載したように、前記相関関係は、測定した内部電極電位とこの内部電極電位の初期値または前記導体冷却水の前記絶縁層への漏水がないと判断される前記コイルの内部電極電位のいずれか一方との比を求め、この求めた比に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図である方法である。

20

【0026】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項5に記載したように、前記相関関係は、隣接する内部電極電位間の比を求め、この求めた比に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図である方法である。

【0027】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程は、内部電極を備える絶縁層の外表面および前記内部電極からはずれる部分の絶縁層の外表面に測定電極を装着し、この測定電極と前記内部電極との間およびこの測定電極と前記内部電極からはずれた部分の導体との間のそれぞれの誘電特性を測定し、測定した誘電特性に対する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図から求める方法である。

30

【0028】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程は、内部電極の上部側および前記内部電極からはずれた部分の導体の上部側のそれぞれの絶縁層の外表面に装着する測定電極から誘電特性の周波数依存性を測定し、2つの周波数の誘電特性の比を求め、この求めた比に対応する絶縁破壊電圧を予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化率線図から求める方法である。

40

【0029】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程は、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図、および絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図のうち、いずれか一方を用いて絶縁破壊電圧を求める際、1つの内部電極の電位に対し、2つの絶縁破壊電圧値が得られる場合、絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図を組合せて前記2つの絶縁破壊電圧値のうち、どちらであるかを判断する方法である。

【0030】

50

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項 6 に記載したように、前記相関関係から絶縁破壊電圧を推定する際、1 つの内部電極の電位に対し、2 つの絶縁破壊電圧値が得られる場合、以前に測定した電位の推移から 2 つの絶縁破壊電圧値のうち、どちらであるかを判断する方法である。

【0031】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項 7 に記載したように、コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第 2 工程は、クリップ近傍の中空素線に一定の大きさの穴を開けた水漏れを起していない複数本のコイル、または運転中、絶縁層に導体冷却水の漏水が確認されたコイルに対し、2 種類以上の温度に設定した水を各温度に対して複数本の導体に一定の水圧に保ちつつ通水、循環させ、各温度において水の浸入程度の異なる複数の時点で絶縁破壊試験を行って絶縁破壊電圧を求め、求めた絶縁破壊電圧と温水循環時間とから絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図を作成するとともに、この絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図から絶縁破壊電圧の低下速度を求め、求めた絶縁破壊電圧の低下速度を基にして循環水の温度との関係を表わしたアレニウスプロット図を作成し、このアレニウスプロット図から循環水の任意の温度に対応する絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法である。

【0032】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第 2 工程は、クリップ近傍の中空素線に一定の大きさの小孔を開けた水漏れを起こしていない複数本のコイル、または実運転コイルにおいて絶縁層中に水の浸入が確認されたコイルに対し、予め定められた 1 種類の温度に設定した水を、導体に一定の水圧に保ちつつ循環させ、水の浸入程度の異なる複数の温水循環時点で絶縁破壊試験を行い絶縁破壊電圧を求め、次いで、コイルを解体し、絶縁層をサンプリングし、絶縁層の樹脂中に加水分解により変化する化学的な特定の基 S の含有率 G_a を測定し、 G_a に対する絶縁破壊電圧の変化率 K_a 、さらに、温水循環時間による G_a の変化速度 U_a を求める A 工程と、健全なコイルから切出した絶縁層の試験片を 2 種類以上の温度の温水に接触させ、所定の時間後に取り出し、前記 A 工程で用いたのと同種の特定の基 S の試験片中の含有率 G_b を測定し、温水接触時間による G_b の変化速度 U_b を各温水の温度ごとに求める B 工程と、前記 A 工程で得た絶縁層中の特定の基 S の含有率 G_a の変化速度 U_a と、前記 B 工程で得た複数温度における特定の基 S の含有率 G_b の変化速度 U_b とを一方を対数尺の軸とし、温度を他方の軸とするグラフ上で、前者で得た 1 点を通り後者の回帰直線に平行な線を引き、任意の所定の温度における特定の基 S の含有率の変化速度 U_c を求める C 工程とからなり、前記 A 工程で得た絶縁破壊電圧の変化率 K_a と、前記 C 工程で得た所定の温度における特定の基 S の含有率の変化速度 U_c との積として所定の温度における絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法である。

【0033】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第 2 工程は、クリップ近傍の中空素線に一定の大きさの小孔を開けた水漏れを起こしていない複数本のコイル、または実運転コイルにおいて絶縁層中に水の浸入が確認されたコイルに対し、予め定められた 1 種類の温度に設定した水を、導体に一定の水圧に保ちつつ循環させ、水の浸入程度の異なる複数の温水循環時点で絶縁破壊試験を行い絶縁破壊電圧を求め、次いで、コイルを解体し、絶縁層をサンプリングし、絶縁層の樹脂中に加水分解により変化する化学的な特定の基 S の含有率 G_a と健全な絶縁層中の特定の基 S の含有率 G_{a0} (特定の基 S の含有率の初期値) を測定し、特定の基 S の含有率の初期値からの変化量 ΔG_a ($|G_a - G_{a0}|$) を求め、 ΔG_a に対する絶縁破壊電圧の変化率 K_a 、さらに、温水循環時間による ΔG_a の変化速度 U_a を求める A 工程と、健全なコイルから切出した絶縁層の試験片を 2 種類以上の温度の温水に所定の時間接触させ、その後に取り出し、前記 A 工程で用いたのと同種の特定の基 S の試験片中の含有率の初期値からの変化量 ΔG_b を測定し、温水接触時間による ΔG_b の変化速度 U_b を各温水の温度ごとに求める B 工程と、前記 A 工程で得た絶縁層中の特

定の基Sの含有率の初期値からの変化量 $\Delta G a$ の変化速度 $U a$ と、前記B工程で得た複数温度における特定の基Sの含有率の初期値からの変化量 $\Delta G b$ の変化速度 $U b$ とを一方を対数尺の軸とし、温度を他方の軸とするグラフ上で、前者で得た1点を通り後者の回帰直線に平行な線を引き、任意の所定の温度における特定の基Sの含有率の初期値からの変化量の変化速度 $U c$ を求めるC工程とからなり、前記A工程で得た絶縁破壊電圧の変化率 $K a$ と、前記C工程で得た所定の温度における特定の基Sの含有率の初期値からの変化量の変化速度 $U c$ との積として所定の温度における絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法である。

【0034】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、請求項8に記載したように、コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第2工程は、クリップ近傍の中空素線に一定の大きさの穴を開けた水漏れを起していない複数本のコイル、または運転中、絶縁層に導体冷却水の漏水が確認された複数本のコイルを用い、それらのコイルの導体を接地し、その一部の複数本のコイルの直線部に所定の電圧を課電し、残りの複数本のコイルに対しては課電しない状態で、所定の温度に設定した温水を全コイルの導体に一定の水圧に保ちつつ通水、循環させ、水の浸入程度の異なる複数の時点で絶縁破壊試験を行って絶縁破壊電圧を求め、求めた絶縁破壊電圧と温水循環時間とから絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図を作成し、この絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図から温水循環中に課電したコイルと課電しないコイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求め、さらに、両者の比から課電による絶縁破壊電圧の低下速度の増加率を求める方法である。

【0035】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を推定する第2工程は、実際に運転されている機器のコイルに対し、定期的に内部電極上部の絶縁層外表面から内部電極電位を測定、または、内部電極からはずれた部分のコイル絶縁層外表面に設けた測定電極から導体との間の誘電特性をも測定し、これら測定値の変化から冷却水の絶縁層中への漏水開始時期を把握し、予め定められた時間を経た後に、コイルを抜き取り絶縁破壊電圧を求める一方、冷却水の絶縁層への漏水開始時期から当該コイルを抜き取るまでの運転時間と、前記冷却水の絶縁層への漏水開始時期で、冷却水の漏水がない場合の絶縁破壊電圧の推定値と実際の絶縁破壊電圧の差とからコイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法である。

【0036】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定装置は、上述の目的を達成するために、コイルの絶縁破壊電圧を推定する第1工程は、冷却水が漏出している複数本のコイルに対し、絶縁破壊試験直前に測定した内部電極の上部絶縁層の外表面から測定した内部電極電位と、絶縁層の外表面に設置した測定電極と導体間および内部電極間の誘電特性と、これらの測定後に測定した絶縁破壊電圧から、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図、絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図、絶縁破壊電圧 - 隣接特性線図、絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化率線図を作成し、その後の測定時にこれら特性線図を用いて絶縁破壊電圧を推定するものである。

【0037】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定装置は、上述の目的を達成するために、コイルを被覆する絶縁層内に設けた内部電極の電位を測定する非接触表面電位計と、前記内部電極および導体のうち、少なくともいずれか一方とコイル絶縁層の外表面に装着した測定電極との間の誘電特性を測定する誘電特性測定装置と、測定した電位から推定した絶縁破壊電圧を基にして余寿命を推定するコイルの余寿命推定装置において、前記絶縁層に測定電極を装着する際、前記非接触表面電位計のプロープをコイルに沿って移動させ安定した表面電位が検出される位置に前記測定電極を前記絶縁層表面に装着したものである。

【0038】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定装置は、上述の目的を達成するた

めに、コイルを被覆する絶縁層内に設けた内部電極の電位を測定する非接触表面電位計と、前記内部電極および導体のうち、少なくともいずれか一方とコイル絶縁層の外表面に当てた測定電極との間の誘電特性を測定する誘電特性測定装置と、前記測定した電位から求めた絶縁破壊電圧と前記誘電特性とを基にして余寿命を推定するコイルの余寿命推定装置において、前記誘電特性測定装置は、高圧端子を被測定機器の口出し出力端子および中性点端子のうち、少なくともいずれか一方に接続させるとともに、低圧端子をコイル絶縁層の外表面に装着する測定電極に接続させたものである。

【 0 0 3 9 】

また、本発明の実施形態に係るコイルの余寿命推定装置は、上述の目的を達成するために、コイルを被覆する絶縁層内に設けた内部電極の電位を測定する非接触表面電位計と、前記内部電極および導体のうち、少なくともいずれか一方とコイル絶縁層の外表面に装着した測定電極との間の誘電特性を測定する誘電特性測定装置と、前記測定した電位から求めた絶縁破壊電圧と前記誘電特性とを基にして余寿命を推定するコイルの余寿命推定装置において、前記誘電特性測定装置は、高圧端子を前記コイルを収容するケーシングおよび鉄心のうち、いずれか一方に接続させるとともに、低圧端子をコイル絶縁層の外表面に装着する測定電極に接続させたものである。

【発明の効果】

【 0 0 4 0 】

本発明に係るコイルの余寿命推定方法は、導体からの冷却水が絶縁層に漏水しているかどうかを確認し、前記導体冷却水が絶縁層に漏水している場合、コイルの絶縁破壊電圧の推定に必要な測定を行い、コイルの絶縁破壊電圧を非破壊的に推定する第1工程と、前記コイルの今後の運転条件から、コイルの絶縁破壊電圧の今後の低下カーブを非破壊的に推定する第2工程と、第1工程および第2工程から求めたデータを外挿し、絶縁破壊電圧が前記コイルの運転に必要な電圧まで低下する時期を求める第3工程とを備えているので、コイルの今後の余寿命を非破壊的にして簡易かつ容易に推定することができ、コイルの早急な交換、保修等の処置に対し、迅速に対処することができる。

【 0 0 4 1 】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定装置は、絶縁層内に設けた内部電極の位置をコイルの絶縁層の外表面から検出し、絶縁層の外表面の適正位置に設けるとともに、誘電特性測定装置およびその端子をそれぞれ好適な対象部分に接続させる構成にしたので、精度の高い誘電特性を測定することができ、精度の高いコイル余寿命を推定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 4 2 】

以下、本発明に係るコイルの余寿命推定方法およびコイルの余寿命推定装置の実施形態を図面および図面に付した符号を引用して説明する。

【 0 0 4 3 】

なお、本実施形態は、大容量タービン発電機の固定子コイルを例示として説明するが、この例示に限定されることなく、絶縁層中に内部電極を有するすべての直接水冷却コイルに適用される。

【 0 0 4 4 】

本発明に係るコイルの余寿命推定方法の実施形態の説明に先立ち、まず、コイルの絶縁構造を図4～図6を引用して説明する。

【 0 0 4 5 】

本発明に係るコイルの余寿命推定方法に適用されるコイルの絶縁構造は、上コイルおよび下コイルを含めたコイル11の導体12を絶縁層13および第1～第3絶縁層13a, 13b, 13cで覆うとともに、絶縁層13および第1～第3絶縁層13a, 13b, 13c内に第1～第3内部電極14a, 14b, 14gを設け、最外層の第3内部電極14gをコイル11の低抵抗層15に接続させる一方、コイル11の端部の導体12に冷却水を供給する絶縁接続管16を備えたクリップ17を設けて構成されている。

【 0 0 4 6 】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定方法に適用されるコイルの絶縁構造は、図 4 および図 5 に示すように、中央部に位置する導体 1 2 を囲み、その外径側に向って第 1 ~ 第 3 絶縁層 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c 間に、内径側から外径側に向って順に第 1 ~ 第 3 内部電極 1 4 a , 1 4 b , 1 4 g を設けている。なお、冷却水が絶縁層に浸入した場合には、絶縁層の最内層から外層方向に浸入する。例えば絶縁層 1 3 a の途中まで浸入した場合には、第 1 絶縁層 1 3 a は、冷却水浸入部領域 1 8 a と、冷却水の浸入していない乾燥領域 1 8 b とに区別けされる。

【 0 0 4 7 】

最外層に位置する第 3 内部電極 1 4 g は、低抵抗層 1 5 を介して鉄心（図示せず）に接地されている。また、第 3 内部電極 1 4 g と導体 1 2 との間に設けた第 1 内部電極 1 4 a および第 2 内部電極 1 4 b は、その各端部の位置をずらした浮遊電圧の電極であり、静電容量の分圧で電位が決まる。

【 0 0 4 8 】

また、コイルの内部電極の電位を測定する内部電極電位測定装置は、コイル 1 1 の外表面を進退させ、第 1 ~ 第 3 内部電極 1 4 a , 1 4 b , 1 4 g の位置を把握し、各内部電極 1 4 a , 1 4 b の電位を測定する電位測定プローブ 1 9 と、この電位測定プローブ 1 9 からリード線を介してプローブ接続端子 2 0 に接続する非接触表面電位計 2 0 と、この非接触表面電位計 2 0 の波形出力端子 2 1 からリード線を介して接続する、例えば、交流電圧計またはオシロスコープ等の電圧測定装置 2 2 とを備え、交流電源 2 3 から導体 1 2 に印加する交番電圧と非接触表面電位計 2 0 から出力される電位とを電圧測定装置 2 2 で読み取るものである。第 1 ~ 第 3 絶縁層 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c のうち、いずれかに導体冷却水の浸入があれば内部電極電位が上昇する現象を利用して、冷却水の浸入を検知するものである。

【 0 0 4 9 】

また、コイル表面に測定電極を装着し、測定電極と、第 1 ~ 第 2 内部電極 1 4 a , 1 4 b および導体 1 2 との間の誘電特性を測定するに際し、コイル導体に交番電圧を印加し、図 2 6 に示すように、絶縁層 1 3 の表面の軸方向に沿って表面電位を測定し、内部電極の位置を確認し、適正な位置に測定電極 2 4 a , 2 4 b , 2 4 s を設け、誤差の少ない誘電特性を測定できるようにする。

【 0 0 5 0 】

なお、交流電源 2 3 から導体 1 3 に印加される交番電圧は、正弦波であるが、矩形波、三角波でもよい。さらに、交番電圧の周波数は、第 1 ~ 第 3 絶縁層 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c への導体冷却水の漏水に伴う吸湿を考慮すると、低周波が好ましく、例えば、100 Hz 以下が好適である。

【 0 0 5 1 】

図 6 は、第 1 絶縁層 1 3 a から第 3 絶縁層 1 3 c に向って導体冷却水の漏水が順次浸入する場合、第 1 ~ 第 3 内部電極 1 4 a , 1 4 b , 1 4 g の電位を求める等価回路である。

【 0 0 5 2 】

図中、導体 1 2 と第 1 内部電極 1 4 a との静電容量を C_a とし、第 1 内部電極 1 4 a と第 2 内部電極 1 4 b との静電容量を C_b とし、第 2 内部電極 1 4 b と第 3 内部電極 1 4 g との静電容量を C_c とする。

【 0 0 5 3 】

なお、冷却水の浸入範囲が絶縁層 1 3 a 内に留まる場合、導体 1 2 と内部電極 1 4 a との間には、第 1 絶縁層 1 3 a の誘電損失を模擬した等価抵抗 R_a が設けられる。

【 0 0 5 4 】

このような等価回路において、第 1 ~ 第 3 絶縁層 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c への導体冷却水の浸入がなければ、各内部電極 1 4 a , 1 4 b の電位は、印加電圧 E の静電容量 C_a , C_b , C_c による分圧で決まる。

【 0 0 5 5 】

このときの第1内部電極14aおよび第2内部電極14bのそれぞれの電位 V_a 、 V_b は、次式で表される。

【数1】

$$V_a = \frac{1/C_b + 1/C_c}{1/C_a + 1/C_b + 1/C_c} \times E \quad \dots\dots(1)$$

$$V_b = \frac{1/C_c}{1/C_a + 1/C_b + 1/C_c} \times E \quad \dots\dots(2)$$

【0056】

第1絶縁層13aに導体冷却水の漏水があった場合、冷却水の比誘電率が非常に大きいので（冷却水の比誘電率が約80であるのに対し、乾燥した絶縁層の比誘電率が約4.5）、導体冷却水が漏水した第1絶縁層13aの静電容量 C_a が増加する。また、導体冷却水の漏水の電気伝導率は、絶縁層よりも極めて低いので、誘電損が大幅に増加する。この誘電損を模擬するために、導体12と第1内部電極14aとの間には等価抵抗 R_a が設けられる。

10

【0057】

なお、静電容量 C_b 、 C_c にも並列抵抗を必要とするが、導体冷却水の漏水がなければ十分に高いので省略している。

【0058】

各静電容量 C_a 、 C_b 、 C_c を、例えば $C_a = 1200 \text{ pF}$ 、 $C_b = 2000 \text{ pF}$ 、 $C_c = 3000 \text{ pF}$ とし、印加電圧 E を $E = 100 \text{ V rms}$ の50Hz交流とする場合、第1絶縁層13aに導体冷却水の漏水がないとき、その電位 V_a は、式(1)等から $V_a = 50.0 \text{ V}$ である。

20

【0059】

次に、導体冷却水の漏水が第1絶縁層13aに浸入し、静電容量 C_a が、例えば3倍、具体的には $C_a = 3600 \text{ pF}$ に増加し、さらに誘電損失が増加し、誘電正接($\tan \delta$)が0.2に増加した場合（健全な場合、一般に0.01程度以下）、第1内部電極14aの電位 V_a を計算すると（計算式は複雑なため省略）、 $V_a = 75.6 \text{ V}$ になり、健全な場合に較べて51%大きくなる。

【0060】

30

また、第2内部電極14bの電位 V_b も式(2)等に基づいて計算した結果も含めてまとめて表1に示す。

【表1】

コイルの状態	第1内部電極aの電位 V_a (V)	第2内部電極bの電位 V_b (V)	V_b/V_a
正常	50.0	20.0	0.4
冷却水浸入	75.6	30.2	0.4
V (冷却水浸入) / V (正常)	1.51	1.51	—

40

【0061】

表1から、第2内部電極14bの電位も、導体冷却水の漏水により51%増加することがわかる。

【0062】

このように、導体冷却水の漏水があれば、その内部電極の電位が増加し、それと同時に絶縁破壊電圧が低下する。

【0063】

したがって、内部電極の電位の変化と絶縁破壊電圧との間に何らかの相関関係があり、この相関関係を予め求めておけば、内部電極の電位から絶縁破壊電圧を推定することがで

50

きると考えられる。

【 0 0 6 4 】

さて、図 4 ～ 図 6 で示したコイルの絶縁構造および内部電極電位測定装置を用いて導体からの冷却水が絶縁層に漏水した場合のコイル余寿命を推定する本発明に係るコイルの余寿命推定方法の実施形態を説明する。

【 0 0 6 5 】

図 1 は、本発明に係るコイルの余寿命推定方法の実施形態を示すブロック図である。

【 0 0 6 6 】

本実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、導体からの冷却水が絶縁層に漏水しているかどうかを確認し、導体冷却水が絶縁層に漏水している場合、コイルの絶縁破壊電圧を推定する第 1 工程（ステップ 1）と、前記コイルの今後の運転条件から予測されるコイル温度および印加される電圧のうち、少なくともいずれか一方による前記コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求める第 2 工程（ステップ 2）と、第 1 工程および第 2 工程から求めたデータを外挿し、絶縁破壊電圧がコイルの運転に必要な電圧まで低下する時期を求める第 3 工程（ステップ 3）とを備えた構成になっている。

【 0 0 6 7 】

このような工程を備える本実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、先ず、第 1 工程（ステップ 1 の具体例は後述）で、導体から絶縁層へ冷却水の漏水の有無を表面電位測定プローブを介して内部電極の電位を測定し、導体冷却水の漏水がある場合、導体冷却水が漏水したコイルの絶縁破壊電圧を予め求めておいた内部電極の電位と絶縁破壊電圧の関係を示す図を用いて推定し、この推定値を図 2 上に A 点としてプロットする。

【 0 0 6 8 】

次に、第 2 工程では、まず、コイルの今後の運転条件から予測されるコイル温度およびコイルの接続位置から印加される電圧を求める。次にそのコイルの運転条件における絶縁破壊電圧の低下速度を求める。

【 0 0 6 9 】

最後に、第 3 工程では、図 2 の A 点を通り、第 2 工程で求めた絶縁破壊電圧の低下速度の線 L を引き（外挿し）、コイルの運転に必要な電圧 E_0 まで低下する時期、つまり寿命に達する時期 B 点を求める。そして、現時点（測定時点）から B 点までの時間を余寿命として推定する。

【 0 0 7 0 】

なお、本実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、導体冷却水が漏水したコイルの絶縁破壊電圧を推定し、推定した一つのデータを基に余寿命を求めたが、この例に限らず、例えば、図 3 に示すように第 1 工程で、冷却水が漏水したコイルの絶縁破壊電圧を定期的に $A_1, A_2, \dots, A_6, \dots$ として求め、第 2 工程で、絶縁破壊電圧の経時変化カーブを求め、さらに、その経時変化カーブを外挿し、今後の絶縁破壊電圧の低下傾向を予測し、第 3 工程で、その経時変化カーブがコイルの運転に必要な電圧 E_0 まで低下する時期 B 点を求めて、コイルの余寿命を推定してもよい。

【 0 0 7 1 】

このように、本実施形態に係るコイルの余寿命推定方法は、第 1 工程（ステップ 1）で、絶縁破壊電圧を推定し、第 2 工程（ステップ 2）で、絶縁破壊電圧の低下速度を求め、第 3 工程（ステップ 3）で、第 1 工程および第 2 工程から求めたデータを外挿し、絶縁破壊電圧がコイルの運転に必要な電圧まで低下する余寿命（時期）を求めるので、コイルの余寿命を非破壊的にして簡易かつ容易に推定することができる。

【 0 0 7 2 】

次に、図 1 で示した本発明に係るコイルの余寿命推定方法における第 1 工程（ステップ 1）および第 2 工程（ステップ 2）を順を追って詳述する。

【 0 0 7 3 】

図 7 および図 8 は、第 1 工程（ステップ 1）における絶縁破壊電圧を推定する際、第 1 実施形態に適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である。

【 0 0 7 4 】

なお、図 7 は、絶縁層内に 2 つ（2 層）の内部電極を設けた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である。また、図 8 は、絶縁層内に 3 つ（3 層）の内部電極を設けた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である。

【 0 0 7 5 】

図 7 および図 8 中、絶縁破壊電圧の初期値は、コイルの定格電圧や絶縁材料の種類等によって変る。以後、絶縁破壊電圧は、初期値に対する比をパーセントで表示する。

【 0 0 7 6 】

第 1 工程（ステップ 1）では、図 4 で示した電位測定プローブ 19 を絶縁層 13 の外表面を進退させるか、あるいは図 26 に示した測定電極 24a, 24b, 24s に電位測定

10

【 0 0 7 7 】

測定した電位 V_a （2 層内部電極）、 V_b （3 層内部電極）のそれぞれの加えた電圧 E に対する比 V_a / E 、 V_b / E を基に、予め作成しておいた絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図から絶縁破壊電圧が求められる。

【 0 0 7 8 】

このように、本実施形態は、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図を実験データ等で予め作成しているので、測定した電位 V_a 、 V_b から絶縁破壊電圧を容易に求めることができる。

【 0 0 7 9 】

20

なお、内部電極の電位は、直接には測定できず、絶縁層の外表面の電位を測定するものであるが、両者は近い値であるので、説明を簡単にするために、以後、「内部電極電位を測定する」あるいは「内部電極電位」などと記す。

【 0 0 8 0 】

図 9 および図 10 は、第 1 工程（ステップ 1）における第 2 実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図である。

【 0 0 8 1 】

本実施形態は、内部電極電位を測定するとき、導体に供給される冷却水の絶縁層への漏水により電位が上昇するが、その上昇変化率が重要であることに鑑み、各内部電極電位の初期値に対する比と絶縁破壊電圧の関係を予め求めておけば、絶縁破壊電圧を容易に推定

30

【 0 0 8 2 】

図 9 は、2 つ（2 層）の内部電極を備えるコイルの内部電極 a の電位 V_{14a} の初期値に対する比と、絶縁破壊電圧の関係を示した絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図である。

【 0 0 8 3 】

また、図 10 は、3 つ（3 層）の内部電極を備えるコイルの内部電極 14a, 14b の電位 V_a 、 V_b の初期値（それぞれ V_{a0} 、 V_{b0} ）に対する比と絶縁破壊電圧の関係を示した絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図である。

【 0 0 8 4 】

40

ここで、初期値 V_{a0} 、 V_{b0} は、コイルの製造時または運転時の初期段階に測定するか、あるいは電位 V_a 、 V_b の測定時、多数のコイルを測定し、測定値の分布の中で正常と判断される値を求める。後者の具体例として、最も簡単な方法は、全測定データの中央値を採ればよい。

【 0 0 8 5 】

以上のように、図 9 および図 10 で示した絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図を実験等で予め作成しておけば、内部電極電位を測定し、初期値に対する上昇率を求めることができ、絶縁破壊電圧を推定することができる。

【 0 0 8 6 】

図 11 は、第 1 工程（ステップ 1）における第 3 実施形態として適用される絶縁破壊電

50

圧 - 隣接内部電極電位比特性線図である。

【 0 0 8 7 】

本実施形態は、内部電極を 3 つ (3 層) 以上備えるコイル、つまり浮遊電位の内部電極を 2 層以上備えるコイルの層状配置のうち、隣接する 2 つの内部電極電位の比 (浮遊電位の内部電極を 2 層にする場合、 V_b / V_a) は、その 2 つの内部電極間に導体冷却水の漏水が浸入しなければ一定値であり (表 1 参照)、導体冷却水の漏水が浸入すれば増加する。

【 0 0 8 8 】

この 2 つの内部電極電位の比と絶縁破壊電圧との関係を実験等で予め求めておき、測定したコイルの隣接する 2 つの内部電極電位の比から絶縁破壊電圧を推定するものである。

10

【 0 0 8 9 】

このように、本実施形態は、絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図を求めておけば、絶縁破壊電圧を容易に推定することができる。

【 0 0 9 0 】

図 1 2 は、第 1 工程 (ステップ 1) における第 4 実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図である。

【 0 0 9 1 】

導体に供給される導体冷却水の漏水が絶縁層内に浸入すると、絶縁層の誘電特性は変化する。

【 0 0 9 2 】

20

誘電特性には、静電容量、誘電損率、誘電損失角、誘電正接 ($\tan \delta$)、力率などがある。これらは、漏水が絶縁層内に浸入してもすべて利用できる。

【 0 0 9 3 】

しかし、前 2 者 (静電容量、誘電損率) は内部電極の大きさ、絶縁層の厚さが変ると変化するに対し、後ろ 3 者 (誘電損失角、誘電正接、力率) は内部電極の大きさ、絶縁層の厚さの変化に影響を受けない。

【 0 0 9 4 】

一方、コイルエンド部のクリップの周辺は、作業者が手作業で絶縁テープを導体に巻き付けるため、絶縁層の厚みが一定しない。また、コイルエンド部には、コイルを固定するための固定部材が設けられており、コイルによって同じ大きさの測定電極を設けることができない場合がある。

30

【 0 0 9 5 】

以下の実施例は、このような点を勘案して後ろ 3 者のうち、例えば誘電正接 ($\tan \delta$) を選択した。

【 0 0 9 6 】

図 1 2 に示す絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図は、3 つ (3 層) の内部電極を備えるコイルに適用するもので、導体から絶縁層に冷却水の漏水があった後の、導体上の誘電正接 $\tan \delta_0$ 、第 1 内部電極 a 上の誘電正接 $\tan \delta_a$ 、第 2 内部電極 b 上の誘電正接 $\tan \delta_b$ のそれぞれを線図化したものである。

【 0 0 9 7 】

40

本実施形態は、構造上の制約があって、同じ大きさの測定電極を絶縁層に装着できない場合でも、絶縁層への導体冷却水の漏水を容易にして確実に把握することができる。

【 0 0 9 8 】

次に、図 1 3 から図 1 6 を引用して第 1 工程 (ステップ 1) における絶縁層への導体冷却水の漏水確認手段としての第 5 実施形態を説明する。

【 0 0 9 9 】

本実施形態は、絶縁層へ導体冷却水の漏水があると、誘電特性が導体冷却水の漏水量に応じて周波数依存性が高くなるとに着目したものであり、3 つ (3 層) の内部電極と測定電極との間の静電容量の周波数特性を図 1 3 に示し、静電容量と静電正接の積の周波数特性を図 1 4 に示す。

50

【 0 1 0 0 】

これら図 1 3、図 1 4 において、実線は乾燥した絶縁層の特性、点線は約 3 3 % の絶縁層厚さまで導体冷却水の浸入があった場合、破線は約 7 0 % の絶縁層厚さまで導体冷却水の浸入があった場合のそれぞれを示す。

【 0 1 0 1 】

これら図 1 3、1 4 から、絶縁層への導体冷却水の漏水がない場合、誘電特性は周波数依存性が非常に小さいのに対し、絶縁層への導体冷却水の漏水がある場合、誘電特性は周波数依存性が高くなっている。

【 0 1 0 2 】

例えば、1 k H z の誘電特性 / 1 0 k H z の誘電特性と導体冷却水の絶縁層への浸入割合の関係を、図 1 5 に示す絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化線図で表す。

10

【 0 1 0 3 】

この絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化線図から、誘電特性の周波数依存性は、絶縁破壊電圧と強い関係になっていることがわかる。

【 0 1 0 4 】

一方、2 つ (2 層) の内部電極を備えたコイルの絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化線図を図 1 6 に示す。

【 0 1 0 5 】

この図 1 6 において、実線は内部電極を持たないクリップに近い導体上の絶縁層表面に装着した測定電極と導体間の静電容量と誘電正接との積の 1 k H z と 1 0 k H z の測定値比、破線は内部電極上の絶縁層外表面に装着した測定電極と導体間の静電容量と誘電正接との積の 1 k H z と 1 0 k H z の測定値の比を示す。

20

【 0 1 0 6 】

図 1 6 に示した絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化率線図は、同一電極を用い、同一個所で周波数だけを変化させて測定するため、データにばらつきが少なく、内部電極の大きさ、絶縁層厚さに測定結果が依存しない点で測定精度が高い。

【 0 1 0 7 】

このように、本実施形態は、実験等で予め絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化率線図を取得しておけば、少なくとも 2 つの周波数で誘電特性を測定し、その比をとれば絶縁破壊電圧を簡単にして容易に推定することができる。

30

【 0 1 0 8 】

図 1 7 および図 1 8 は、第 1 工程 (ステップ 1) における第 6 実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である。

【 0 1 0 9 】

コイル絶縁層の絶縁破壊電圧を推定する方法は、すでに図 7 ~ 図 1 1 に示した絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図、絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図のそれぞれを用い、測定した内部電極電位、内部電極電位の対初期値比、隣接内部電極電位比のそれぞれに対応する絶縁破壊電圧値を求めていた。

【 0 1 1 0 】

この場合、1 つの測定値に対し、2 の絶縁破壊電圧値が求まることがある。

40

【 0 1 1 1 】

このようなケースに対する絶縁破壊電圧値を求め方を、図 1 7 を引用して説明する。

【 0 1 1 2 】

図 1 7 は、すでに示した図 8 の内部電極を 3 つ (3 層) 備えたコイルの内部電極 a の電位 V a と絶縁破壊電圧との関係を示す絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である。

【 0 1 1 3 】

図中、電位 V a が 8 3 % の場合、絶縁破壊電圧は 5 9 % (B 点)、1 7 % (C 点) の 2 つの値が得られる。

【 0 1 1 4 】

50

一方、内部電極 a 上の絶縁層の誘電正接 $\tan \delta a$ は、図 18 に示すように、1.8% (B' 領域) である。この誘電正接 $\tan \delta a = 1.8\%$ は、急激に上昇する前段階 (B') であり、絶縁破壊電圧が約 50% 以上と考えられる。

【0115】

この誘電正接 $\tan \delta a = 1.8\%$ のとき、絶縁破壊電圧が約 50% 以上であることを勘案すると、上述電位 V_a が 83% のとき、絶縁破壊電圧は 59% (図 17 の B 点) と推定される。

【0116】

ちなみに、もし絶縁破壊電圧が 17% (図 17 の C 点) まで低下しているとすれば、図 18 から誘電正接 $\tan \delta a = 69\%$ (C' 点) と読み取れ、いくら測定精度が悪いとしても、誘電正接 $\tan \delta a = 2\%$ のものを誘電正接 $\tan \delta a = 69\%$ と測定することはあり得ない。

【0117】

したがって、絶縁破壊電圧は、17% まで低下することはあり得ず、59% と推定される。

【0118】

このように、本実施形態は、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図から絶縁破壊電圧を求める場合、絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図を組合せて絶縁破壊電圧を判定するので、適正な絶縁破壊電圧値を求めることができる。

【0119】

図 19 は、第 1 工程 (ステップ 1) における第 7 実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図である。

【0120】

コイル絶縁層の絶縁破壊電圧を推定する際、上述第 6 実施形態では、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図等と絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図とを組み合わせ、求めた 2 つの絶縁破壊電圧値のうち、適正值を判定したが、本実施形態では、求めた 2 つの絶縁破壊電圧値のうち、適正值の判定を、絶縁破壊電圧値の経時的変化から行うものである。

【0121】

図 19 は、その一例である。

【0122】

例えば、1 年前に測定した電位 V_a が 65% の場合、上述の誘電正接 $\tan \delta a$ の測定結果と併用すると、絶縁破壊電圧は 71% (A 点) と推定される。

【0123】

一方、今回測定した電位 V_a が 83% の場合、導体冷却水の絶縁層への漏水浸入速度から絶縁破壊電圧は、1 年間で 17% (C 点) まで一気に低下することは考えられず、59% (B 点) と推定される。

【0124】

このように、本実施形態は、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図から求めた 2 つの絶縁破壊電圧値に対し、測定した電位の経時的変化を考慮するので、適正な絶縁破壊電圧値を選択することができる。

【0125】

次に、コイルの余寿命推定方法の第 1 実施形態の第 2 工程 (ステップ 2) における第 1 実施形態として適用される絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法を説明する。

【0126】

本実施形態は、導体冷却水の絶縁層への浸入のない 6 本のコイルのクリップを被覆する絶縁層の一部を除去するとともに、1 本の中空素線に、例えば、直径 0.3 mm の穴を開け、中空素線から漏水の流出を阻止しないように穴の周囲に隙間を確保させ、再絶縁を行ったコイルを使用した。

【0127】

試験の際、コイル 2 本ずつに、例えば、温度 95、80、70 のそれぞれに制御

10

20

30

40

50

したイオン交換水を循環させた。

【0128】

そして、定期的に内部電極電位を測定し、漏水の絶縁層への浸入程度、および絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図を用いて、絶縁破壊電圧を推定した。また、各温度（95，80，70）のイオン交換水を循環させたコイル2本を異なる時期に、左右のコイルエンド部を別々に絶縁破壊させた。

【0129】

絶縁破壊後、イオン交換水の温水循環時間と絶縁破壊電圧との関係を図20に示すように、絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図として作成した。

【0130】

次に、循環水の温度と絶縁破壊電圧の低下速度との関係を求めるために、本実施形態では、図20に示される勾配（傾き）に基づいて図21で示される縦軸を絶縁破壊電圧の低下速度の対数にし、横軸に絶対温度の逆数を採った線図（アレニウスプロット図と称す）を作成した。

【0131】

このように、本実施形態は、図21に示す絶縁破壊電圧低下速度 - 温度線図を予め作成しておくので、任意の温度における絶縁破壊電圧の低下速度を容易に求めることができる。

【0132】

なお、ろう付け部分の欠陥の程度やろう付け部分の腐食状況は、種々変化する。このため、上述の中空素線に開ける穴の大きさや数を変えてテストを行えば、絶縁層に浸入する漏水量の違いから漏水浸入速度、絶縁破壊電圧の低下速度におよぼす影響を把握することができる。

【0133】

また、上記実施例では、素線に人工的に中空素線に穴をあけ水を漏出させたが、発電機の運転中に水漏れを起こしたコイルを発電機から抜取り、温水循環試験の試料として用いてもよい。この場合は、ばらつきが大きくなるが、現実に近い条件で試験できる利点がある。

【0134】

図22、図23および図24は、コイルの余寿命推定方法の第1実施形態の第2工程（ステップ2）における第2および第3実施形態として適用される絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法を説明するための線図である。

【0135】

本実施形態は、1温度によるコイルの温水循環試験と絶縁層の切出し試験片の複数温度による湿熱劣化試験とを併用して任意の温度における絶縁破壊電圧の低下速度を求めたものである。

【0136】

すなわち、水と温度による絶縁層の劣化（湿熱劣化と称する）が進むにつれ、絶縁層の中の樹脂、例えばエポキシ樹脂の化学結合が加水分解により変質し、特定の基の含有率が変化する。この特定の基の代表的なものがエステル基である。樹脂中にエステル基が存在する場合、エステル基が加水分解により切断され、有機酸と水酸基に変化する。

【0137】

したがって、湿熱劣化の進展度合とエステル基の減少度合、あるいは有機酸または水酸基の増加度合との間には相関関係がある。

【0138】

本実施形態は、このような現象を利用し、湿熱劣化の進展速度の温度依存性を絶縁層の試験サンプル（切出し試験片）で試験し、実コイルに用いる一つの温度の劣化試験結果と合わせて、任意の温度の絶縁破壊電圧の低下速度を求めるものである。

【0139】

ここで求めたい絶縁破壊電圧の低下速度（ $-d(BDV)/dt$ ，BDV：絶縁破壊電

10

20

30

40

50

圧、 t ：時間）は、以下のように変形される。

【数 2】

$$-\frac{d(BDV)}{dt} = \frac{d(BDV)}{d(\text{エステル基含有量})} \times \frac{d(\text{エステル基含有量})}{dt} \quad \dots\dots(3)$$

【0140】

式(3)の右辺の第1項は、実コイルの温水循環試験または実運転コイルから求め、第2項は絶縁層の切出し試験片の湿熱劣化試験において求める。

【0141】

以下に、湿熱劣化の進展速度の温度依存性に基づく絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法を詳述する。

10

【0142】

本実施形態において、先ずA工程において、1温度によるコイルの温水循環試験では、コイルの余寿命推定方法の第1実施形態の第2工程(ステップ2)における第1実施形態で述べた温水循環試験と全く同様な試験を1温度だけで行なう。試験温度は、試験期間により決めればよいが、高い温度の方が試験期間を短くすることができる。一例として95

の温度のイオン交換水を複数本の導体に循環させ、2ヶ月後と5ヶ月後にコイルの絶縁破壊試験を行い、絶縁破壊電圧を求めた。試験結果から絶縁破壊電圧-温水循環時間線図(図20の95のプロット)を作成し、その傾きとしてコイルの95 1温度における絶縁破壊電圧の低下速度が求められる。

20

【0143】

コイルの絶縁破壊試験後、本実施形態は絶縁層を解体し、絶縁層をサンプリングし、絶縁層に含まれる特定の基Sとしてエステル基の含有率Gaを赤外吸収スペクトルで測定する。

【0144】

次いでB工程において、導体冷却水の漏水がない場合の絶縁層は、例えば40mm×50mmの長方形形状にした切出し試験片として切り出し、導体冷却水温度を、例えば、95、80、70に制御したイオン交換水に浸漬し、予め定められた時間ごとに取り出し、絶縁層に含まれるエステル基含有率Gbを赤外吸収スペクトルで測定する。

【0145】

30

なお、ここで、エステル基の含有率Ga、Gbはその絶対値より、初期状態(未劣化状態)の絶縁層中のエステル基含有率Ga₀、Gb₀からの変化が重要であるので、両者の差ΔGa、ΔGb(ΔG=|G-G₀|)を用いてもよい。以下のデータ処理においてはエステル基含有率Ga、Gbの代わりに、ΔGa、ΔGbを用いて説明することにする。Ga、Gbを用いれば、以下の説明で用いる線形尺度のグラフ図22と図23がGa₀、Gb₀だけ平行移動したグラフとなる。これらのグラフの傾きを用いるので最終的な結果は同じとなる。

【0146】

このようにして得られたエステル基含有率の初期値からの変化ΔGaおよびΔGbと劣化時間との関係を図22に示す。また、コイルの絶縁破壊電圧とそのコイルの絶縁層中のエステル基含有率Gaの初期値からの変化量ΔGaとの関係を図23に示す。図23で示した線図のプロットの回帰直線の勾配(傾き)が、コイルの絶縁破壊電圧のエステル含有率依存性Kaであり、式(3)の右辺第1項に対応する。

40

【0147】

次にC工程において、図22で示した線図の勾配(傾き)から得られるエステル含有率の変化速度(コイルに対してはUa、切出し試験片に対してはUb)と劣化温度との関係をアレニウスプロットし、図24に示す。

【0148】

図24において、絶縁層の切出し片による3つの温度(95、80、70)のプロット点の回帰直線Xを引き、さらに、実コイルのエステル含有率の時間変化速度のプロ

50

ット点を通り回帰直線 X に平行な実コイルのエステル含有率の変化速度の温度依存性を示す推定直線 Y を描く。この推定直線 Y から任意温度におけるコイル絶縁層中のエステルの含有率の時間変化速度 U_c が求められる。例えば、発電機の運転時のコイル導体温度が 70 の場合は、図 24 からエステルの含有率の時間変化速度 U_c が 0.08 / 年と求められる（推定される）。この所定温度におけるエステルの含有率の時間変化速度 U_c が式 (3) の右辺の第 2 項に対応する。

【0149】

このようにして求めた（コイルの絶縁破壊電圧のエステル含有率依存性 K_a ）と（コイルの運転温度におけるエステルの含有率の時間変化速度 U_c ）の積がコイルの運転温度における絶縁破壊電圧の低下速度である。

10

【0150】

なお、本実施例では、劣化量としてエステルの含有率を用いたが、これに限らず、有機酸の含有率の増加を化学的分析機器を用いて分析し、式 (3) のエステル基の代わりに用いてもよい。また、樹脂の種類によっては加水分解により、この他の基がより感度よく変化することが分かっている場合、その特定の基を分析して用いればよい。

【0151】

また、上記の実施例では、健全コイルから切り出した切出し試験片は、 95 、 80 、 70 に制御したイオン交換水に浸漬したが、この場合は試験片の全ての表面が水に接触する。一方、実際のコイルでは導体からのみ水が浸入してくるので、切出し試験片より劣化がかなり遅くなると考えられる。従って、切出し試験片の温水による劣化を実際に近づけるために、6 面の内 5 面を金属板または耐湿性エポキシ樹脂などシールして 1 面だけが温水に接触するようにしたり、水を満たした容器の開口部に切出し試験片を押し付け、切出し試験片の 1 面のみが温水に接触するようにして湿熱劣化試験をすれば、劣化条件を実コイルに近づけることができる。

20

【0152】

このように、本実施形態は、コイルを用いる大規模な試験を 1 温度だけに限定し、湿熱劣化速度の温度依存性は、実験室において、切出し試験片を用い湿熱劣化による特徴的な化学的に特定な基の含有率を分析的に測定するので、比較的短時間でかつ、前記の第 1 実施形態で述べた温水循環試験だけで絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法より、小規模な試験で絶縁破壊電圧の低下速度を求めることができるという利点がある。

30

【0153】

次に、コイルの余寿命推定方法の第 1 実施形態の第 2 工程（ステップ 2）における絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法の第 4 実施形態を説明する。

【0154】

絶縁破壊電圧の低下速度を求める場合、上述の第 2 工程（ステップ 2）の第 1 実施形態および第 2 実施形態におけるコイルを用いた試験では、イオン交換水の循環試験時に高電圧を印加していない。

【0155】

しかし、絶縁層に電圧が印加されると、高電界のかかった絶縁層中には、高誘電率の物質が侵入する力（マックスウェル応力）が作用し、無電界の場合よりイオン交換水の浸入速度が速くなる。

40

【0156】

また、イオン交換水の浸入が進んだ段階において、イオン交換水の浸入していない絶縁層には、より高い電界がかかり、電氣的劣化も速くなる。このため、電圧の影響を把握しておく必要がある。

【0157】

本実施形態は、このような点を考慮したもので、所定の温度に制御したイオン交換水をコイル導体に循環させる際、導体とコイル直線部分の表面の半導電層間に高電圧を課電する場合と、課電しない場合の両者について劣化試験をし、両者の試験結果と比較し、イオン交換水の温度以外に課電による絶縁破壊電圧の低下速度の影響を求めるものである。

50

【 0 1 5 8 】

以下にもう少し具体的に説明する。上述の第2工程（ステップ2）の第1実施形態乃至第3実施形態の内の1実施形態のコイルを用いた試験をまず実施する。その試験により無課電状態の水漏れによる絶縁破壊電圧の低下速度 $DRBDV$ （無課電）が得られる。その試験と同時でもよく、また別の機会でも良いが、それらの試験と全く同様の複数本の供試コイルを用い、所定の温度に制御したイオン交換水を一定の水圧に保ちつつコイル導体に循環させる。その際、それらのコイルの導体を接地し、コイルの直線部の低抵抗層に所定の電圧を課電する。水の浸入程度の異なる複数の時点で絶縁破壊試験を行って絶縁破壊電圧を求め、絶縁破壊電圧 - 温水循環時間線図を作成し、その傾きから課電状態の水漏れによる絶縁破壊電圧の低下速度 $DRBDV$ （課電）を得る。この場合の課電による加速係数は、 $DRBDV$ （課電）/ $DRBDV$ （無課電）で得られる。

10

【 0 1 5 9 】

図2において、今後の絶縁破壊電圧の低下速度の推定線 L を引く際に、電圧の影響が無視できない線路側のコイルに対しては、上記 $DRBDV$ （課電）を用いる。

【 0 1 6 0 】

なお、印加電圧は、一般的には、定格電圧（線間電圧）と定格電圧/ $\sqrt{3}$ （対地電圧）の間の電圧であるが、試験期間、温水温度による劣化の加速度を勘案して他の電圧を用いてもよい。

【 0 1 6 1 】

また、複数の課電電圧を用いて試験すれば、課電による劣化の加速係数をより明確にすることができ、印加される電圧の異なるコイルに対する絶縁破壊電圧の低下速度をより正確に推定することができる。

20

【 0 1 6 2 】

このように、本実施形態は、イオン交換水を導体に循環させる際、コイルに電圧を印加させるので、より運転状態に近い条件での絶縁破壊電圧の低下速度を求めることができる。

【 0 1 6 3 】

図25は、コイルの余寿命推定方法の第1実施形態の第2工程（ステップ2）における第4実施形態として適用される絶縁破壊電圧の低下速度を求める方法を説明するためのコイルの絶縁破壊電圧 - 運転時間線図である。

30

【 0 1 6 4 】

絶縁破壊電圧の低下速度を求める場合、上記第1～第3実施形態では実験室における試験データから絶縁破壊電圧の低下速度を求めていたが、本実施形態は、実運転のコイルをメンテナンスする中で絶縁破壊電圧の低下速度を求めるものである。

【 0 1 6 5 】

すなわち、本実施形態は、実際に運転しているコイルに対し、定期的に内部電極電位、または内部電極の存在範囲よりクリップ側絶縁層の絶縁層外表面に測定電極を装着し、導体と測定電極との間の誘電特性を測定し、測定値の変化から導体冷却水の絶縁層への浸入開始時期（図中、 S ）を把握し、例えば2年間等定めておいた時間（図中、 Δt ）を経過後、コイルを抜き取り絶縁破壊電圧を求め、導体冷却水の絶縁層への浸入開始時期 S からコイルを抜き取るまでの運転時間 Δt （例えば、2年）と、コイルを抜き取る時点で、導体冷却水の漏入がない場合の絶縁破壊電圧の推定値（例えば図中、88%）と現在の絶縁破壊電圧（例えば57%）の差 ΔV とからコイルの絶縁破壊電圧の低下速度 $\Delta V / \Delta t$ （図では31% / 2年 = 15.5% / 年）を求めるものである。

40

【 0 1 6 6 】

本実施形態は、コイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求めるまで時間がかかるものの、絶縁層の劣化状態、コイルの実運転条件を十分に反映させているので、精度のより一層高いコイルの絶縁破壊電圧の低下速度を求めることができる。

【 0 1 6 7 】

なお、上述の絶縁破壊電圧の低下速度を求める第2工程（ステップ2）の第1実施形態

50

～第4実施形態の試験において、絶縁層の内部電極電位の測定および絶縁層に装着した表面電極と、その下方に位置する導体または内部電極との間の誘電特性を測定後、絶縁破壊電圧を求めるので、その試験結果から、絶縁破壊電圧と各種測定結果との関係を整理すれば、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図、絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図、絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図、絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図、絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化率線図を得ることができる。これらの線図は、第1工程における絶縁破壊電圧を推定する方法の第1乃至第7実施形態で用いられる。

【0168】

次に、本発明に係るコイルの余寿命推定装置の第1実施形態を説明する。

【0169】

図26は、本発明に係るコイルの余寿命推定装置のうち、絶縁層の誘電特性を測定するためにコイルの絶縁層外表面に測定電極を設けた概念図である。

【0170】

コイルの絶縁構造には、導体12およびクリップ17を被覆する絶縁層13および第1～第3絶縁層13a, 13b, 13cに第1～第3内部電極14a, 14b, 14gが設けられるとともに、絶縁層の外表面に測定電極24a, 24b, 24sが装着され、第1内部電極14a、第2内部電極14b、導体12との間に電圧が印加され、誘電特性が測定される。

【0171】

しかし、各内部電極14a, 14b, 14gの位置は、外部から見ることができず、測定電極24a, 24b, 24sの設置如何によっては測定誤差等不具合が生ずる場合がある。

【0172】

このため、本実施形態は、コイルの軸方向に測定電極24a, 24b, 24sを設置する際、まず、表面電位測定プローブ（図示せず）を絶縁層の外表面に進退移動させ、図示のように表面電位が測定され、安定した表面電位の位置に測定電極24a, 24b, 24sを装着したものである。

【0173】

本実施形態は、このようにして各測定電極24a, 24b, 24sを絶縁層の外表面に装着したので、各測定電極24a, 24b, 24sの位置ずれがなく、測定誤差を少なくすることができる。

【0174】

また、本発明に係るコイルの余寿命推定装置の第2実施形態を説明する。

【0175】

内部電極と絶縁層外表面に装着した測定電極との間の静電容量と測定するには、直接内部電極に測定装置を接続することができないので、工夫策が必要である。

【0176】

図27は、例えば、タービン発電機コイルのエンド部絶縁層の誘電特性を測定する際に適用されるコイルと誘電測定装置との接続を示す概念図である。

【0177】

図27では、コイルが多数直列または並列に接続された巻線28を単に1相ごとに長方形で表わしている。

【0178】

実際には、個々のコイル25（25a, 25b）の直線部は切欠き部分断面図で示すように、鉄心26の溝に挿入される。コイルエンド部の所定の個所に、測定電極24（24a, 24b, 24s）を装着し、誘電特性測定装置27の低圧端子29に同軸ケーブル30の一端に接続し、他端を測定電極24（24a, 24b, 24s）に接続する。

【0179】

また、誘電特性測定装置27の高圧端子31に同軸ケーブル32の一端を接続し、他端を発電機の口出し出力端子33および中性点端子34のうち、少なくともいずれか一方に

10

20

30

40

50

接続する。

【0180】

誘電特性測定装置27の接地端子またはガード端子35は接地しない。

【0181】

このような接続構造で、静電特性（静電容量、誘電損率、誘電正接、誘電損角、力率）を測定すると、浮遊電位の内部電極は内部電極と導体間の大きな静電容量により、両者はほぼ同電位になり、実質的に誘電特性測定装置27からの発生電圧が全て内部電極と測定電極24（24a, 24b, 24s）との間に印加され、精度の高い誘電特性を測定することができる。

【0182】

なお、本実施形態は、誘電特性測定装置27の高圧端子31を口出し出力端子33および中性点端子34に接続しているが、この例に限らず、例えば図28に示すように、誘電特性測定装置27の高圧端子31をコイルを収容する発電機のケーシング36に接続させてもよい。

【0183】

このような接続構造で、静電特性（静電容量、誘電損率、誘電正接、誘電損角、力率）を測定すると、本実施形態は、浮遊電位の内部電極の電位が大地電位である最外層の内部電極14g（図示せず）と内部電極との間の大きな静電容量により、ほぼ大地電位、すなわちケーシング36とほぼ同じ電位になる。

【0184】

したがって、本実施形態によれば、実質的に誘電特性測定装置27の発生電圧が全て内部電極と測定電極24（24a, 24b, 24s）の間に印加され、精度の高い誘電正接を測定することができる。

【0185】

なお、同軸ケーブル32の接続個所は、発電機のケーシング36の代りに、ケーシング36に収容する鉄心26と同電位の部分であればどこに接続してもよく、例えば、鉄心26の一部に直接接続してもよい。

【0186】

また、測定電極24（24a, 24b, 24s）は、例えば、図29および図30に示すように、絶縁板37に柔らかいゴムまたはスポンジなどの絶縁性に富む柔軟性部材38を貼付し、その上に電極部39とガード電極40を配置するか、または、例えば、図31および図32に示すように、電極部39とガード電極40との間に絶縁シート41を介装するとともに、電極部39およびガード電極40に同軸ケーブル30の心線およびシール部をそれぞれ接続すれば、電極部39およびガード部40がコイル表面に密着するとともに、ガード電極40により、電極部39の周囲に発生する誤差要因となる電界の乱れを少なくすることができ、精度の高い測定をすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0187】

【図1】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の実施形態を示すブロック図。

【図2】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1実施形態に適用するコイルの運転時間とコイルの絶縁破壊電圧との関係を示す線図。

【図3】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2実施形態に適用するコイルの運転時間とコイルの絶縁破壊電圧との関係を示す線図。

【図4】本発明に係るコイルの余寿命推定方法において、コイルの絶縁破壊電圧を推定する際に適用する絶縁破壊電圧測定装置を示す概念図。

【図5】図4に示したコイルのA-A矢視方向切斷断面図。

【図6】図4に示した内部電極の電位を計算するための電氣的等価回路図。

【図7】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第1実施形態として適用される絶縁破壊電圧-内部電極電位特性線図。

【図8】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定す

10

20

30

40

50

る際の第1実施形態として適用される他の絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図。

【図9】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第2実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図。

【図10】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第2実施形態として適用される他の絶縁破壊電圧 - 内部電極電位の対初期値比特性線図。

【図11】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第3実施形態として適用される他の絶縁破壊電圧 - 隣接内部電極電位比特性線図。

【図12】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第4実施形態として適用される他の絶縁破壊電圧 - 誘電特性線図。

【図13】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第5実施形態として適用される絶縁層の静電容量の周波数特性線図。

【図14】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第5実施形態として適用される絶縁層の静電容量と静電正接の積の周波数特性線図。

【図15】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第5実施形態として適用される絶縁層の3種類の誘電特性の1kHzと10kHzとの比と絶縁層への導体冷却水の漏水浸入割合との関係を示す図。

【図16】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第5実施形態として適用される2層の内部電極を備えたコイルの絶縁破壊電圧 - 誘電特性の周波数変化率線図。

【図17】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第6実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図。

【図18】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第6実施形態として適用される絶縁破壊電圧誘電正接線図。

【図19】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第1工程における絶縁破壊電圧を推定する際の第7実施形態として適用される絶縁破壊電圧 - 内部電極電位特性線図。

【図20】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2工程における絶縁破壊電圧の低下速度を求める際の第1実施形態として適用されるコイルへの温水循環時間と絶縁破壊電圧との関係を示す線図。

【図21】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2工程における絶縁破壊電圧の低下速度を求める際の第1実施形態として適用されるコイルに循環させる温水の温度と絶縁破壊電圧の低下速度との関係を示す線図。

【図22】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2工程における絶縁破壊電圧の低下速度を求める際の第2実施形態として適用される絶縁層中のエステル基含有率の初期値からの変化と劣化時間との関係を示す線図。

【図23】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2工程における絶縁破壊電圧の低下速度を求める際の第2実施形態として適用される絶縁層中のエステル基含有率の初期値からの変化と絶縁破壊電圧との関係を示す線図。

【図24】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2工程における絶縁破壊電圧の低下速度を求める際の第2実施形態として適用される絶縁層中のエステル基含有率の変化速度との関係を示す線図。

【図25】本発明に係るコイルの余寿命推定方法の第2工程における絶縁破壊電圧の低下速度を求める際の第3実施形態として適用されるコイルの運転時間 - コイルの絶縁破壊電圧線図。

【図26】本発明に係るコイルの余寿命推定装置の第1実施形態を示す概念図。

【図27】本発明に係るコイルの余寿命推定装置の第2実施形態を示す概念図。

【図28】本発明に係るコイルの余寿命推定装置の第3実施形態を示す概念図。

10

20

30

40

50

【図 29】本発明に係るコイルの余寿命推定装置に適用される測定電極の概念図。

【図 30】図 29 の B - B 矢視方向から見た測定電極の正面図。

【図 31】本発明に係るコイルの余寿命推定装置に適用される他の測定電極の概念図。

【図 32】図 31 の C - C 矢視方向から見た測定電極の正面図。

【図 33】従来の発電機における固定子コイルの一部を示す概念図。

【図 34】従来の発電機における絶縁層中に内部電極を備えたコイルエンド部の一部を示す概念図。

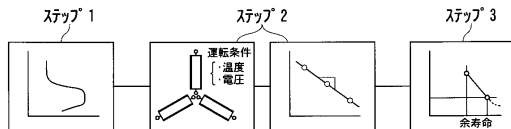
【符号の説明】

【 0 1 8 8 】

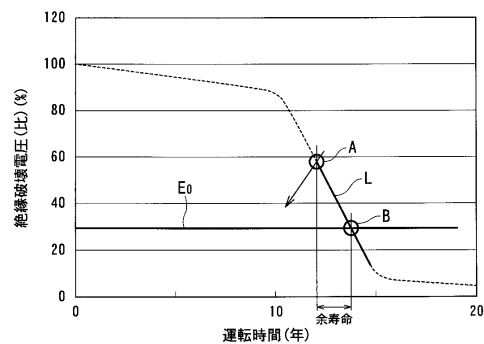
1	固定子鉄心	10
2 a	上コイル	
2 b	下コイル	
3 a , 3 b	導体	
4 a , 4 b	絶縁層	
5	クリップ	
6	中空接続導体	
7	絶縁接続管	
8 a	第 1 内部電極	
8 b	第 2 内部電極	
8 g	第 3 内部電極	20
9 , 9 a , 9 b , 9 c	絶縁層	
10	低抵抗層	
11	コイル	
12	導体	
13	絶縁層	
13 a	第 1 絶縁層	
13 b	第 2 絶縁層	
13 c	第 3 絶縁層	
14 a	第 1 内部電極	
14 b	第 2 内部電極	30
14 g	第 3 内部電極	
15	低抵抗層	
16	冷却水用絶縁接続管	
17	クリップ	
18 a	浸入部領域	
18 a d	乾燥領域	
19	電位測定プローブ	
20	非接触表面電位計	
21	波形出力端子	
22	電圧測定装置	40
23	交流電源	
24 , 24 a , 24 b , 24 s	測定電極	
25 , 25 a , 25 b	コイル	
26	鉄心	
27	誘電特性測定装置	
28	巻線	
29	低圧端子	
30	同軸ケーブル	
31	高圧端子	
32	同軸ケーブル	50

- 3 3 口出し出力端子
- 3 4 中性点端子
- 3 5 ガード端子
- 3 6 ケーシング
- 3 7 絶縁板
- 3 8 柔軟性部材
- 3 9 電極部
- 4 0 ガード電極
- 4 1 絶縁シート

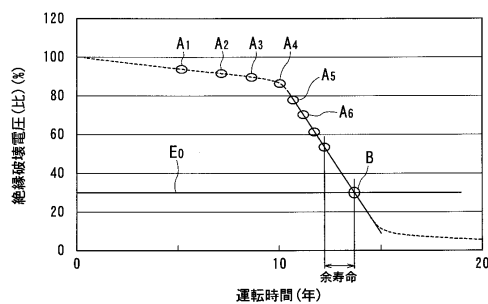
【図 1】



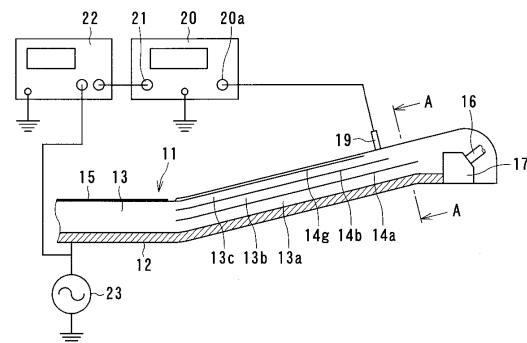
【図 2】



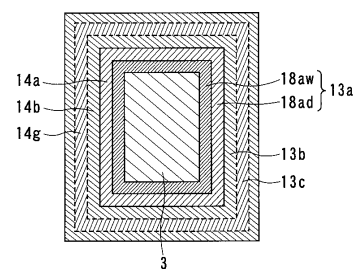
【図 3】



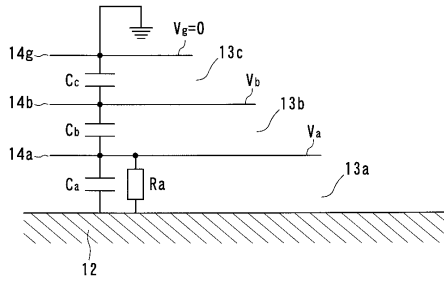
【図 4】



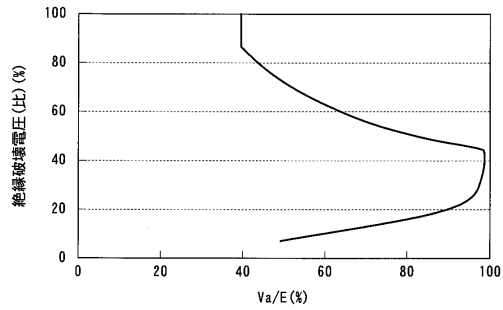
【図 5】



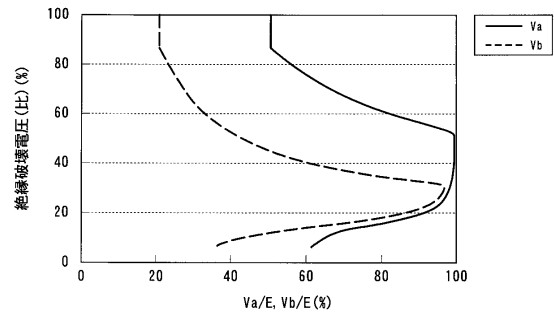
【図 6】



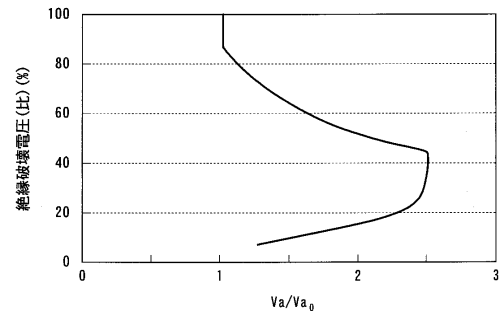
【図 7】



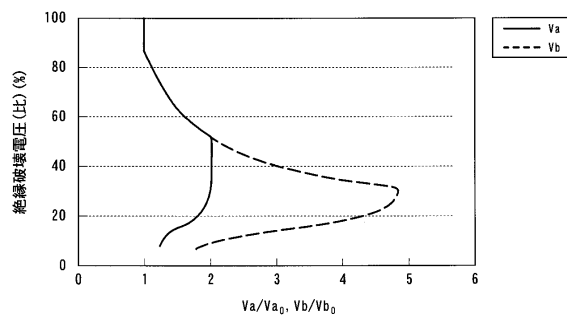
【図 8】



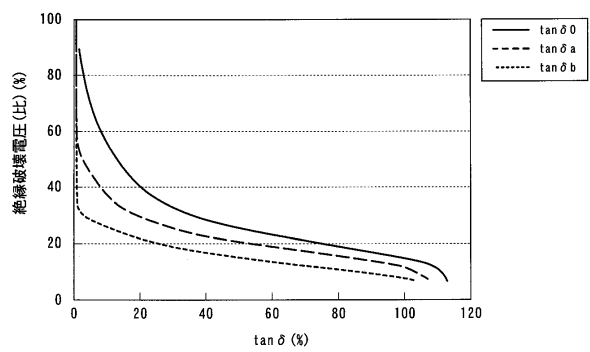
【図 9】



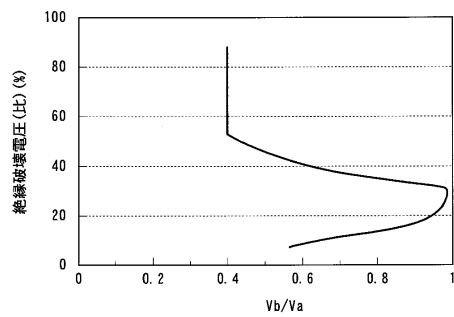
【図 10】



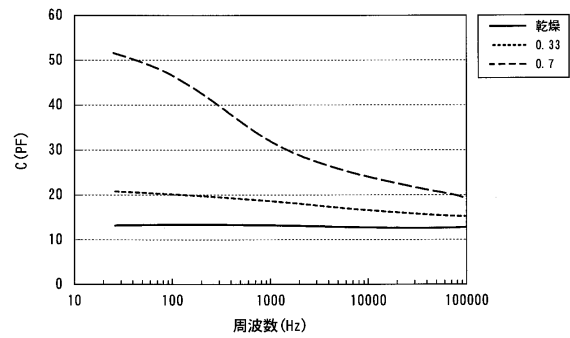
【図 12】



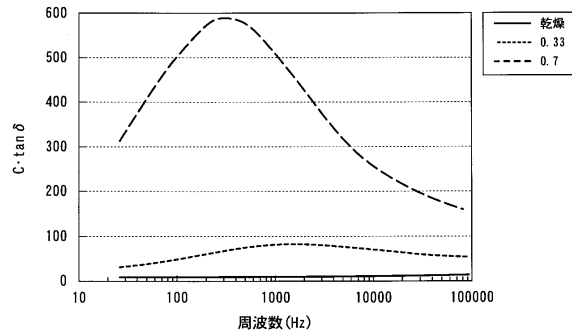
【図 11】



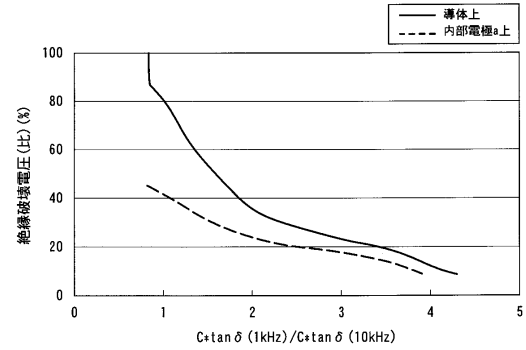
【図 13】



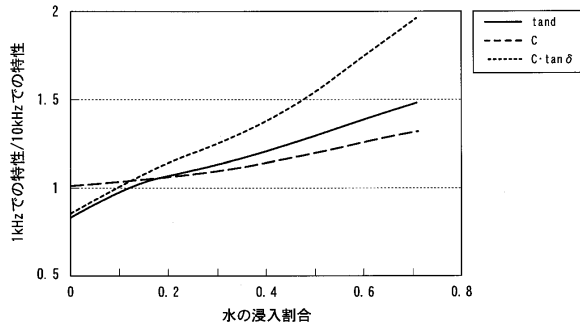
【図 14】



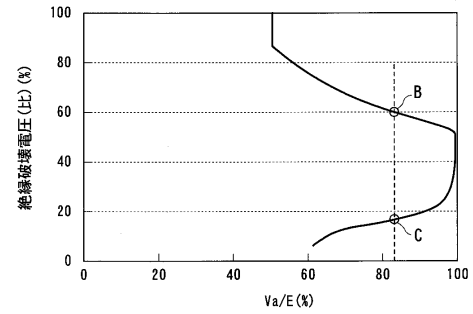
【図 16】



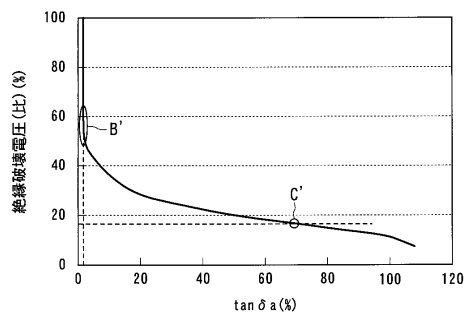
【図 15】



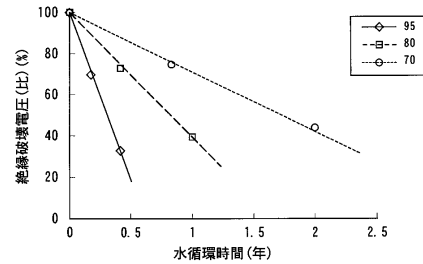
【図 17】



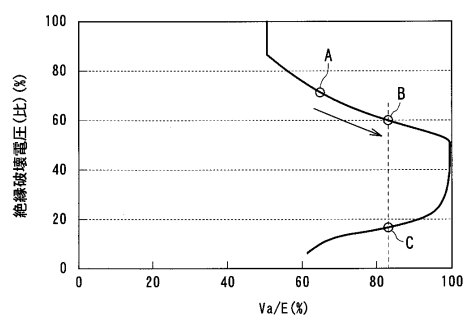
【図 18】



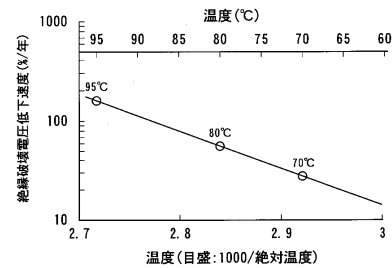
【図 20】



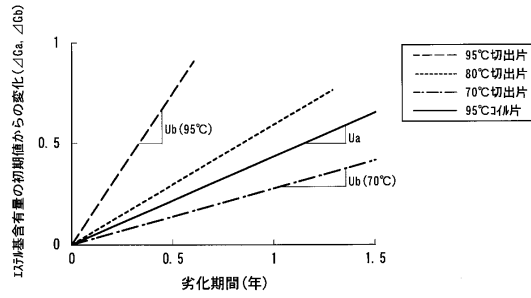
【図 19】



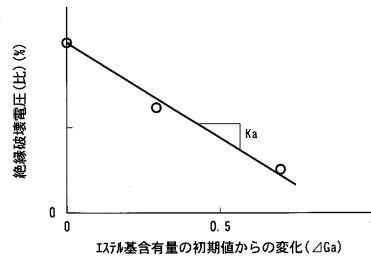
【図 21】



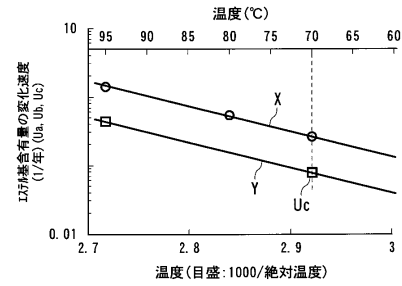
【図 22】



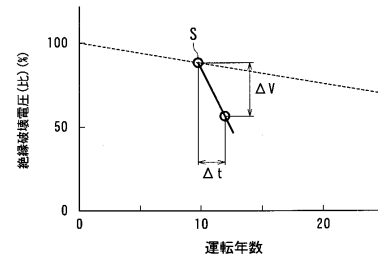
【図 23】



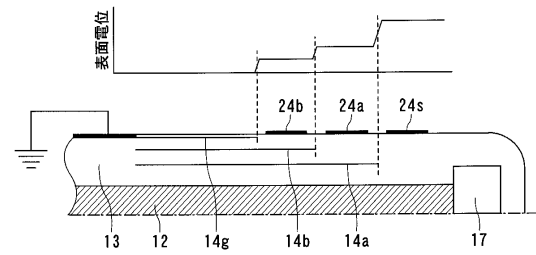
【図 24】



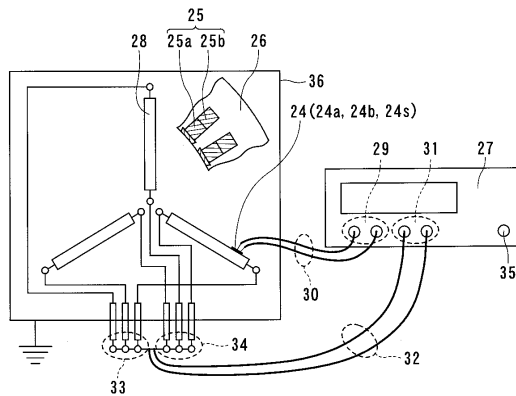
【図 25】



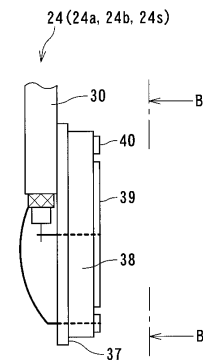
【図 26】



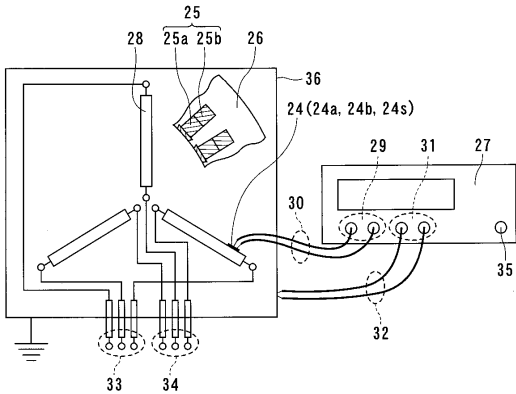
【図 27】



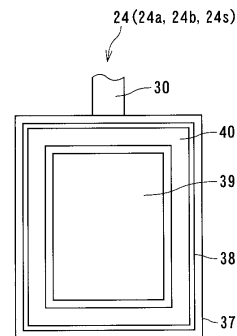
【図 29】



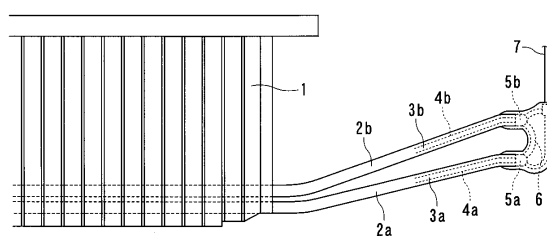
【図 28】



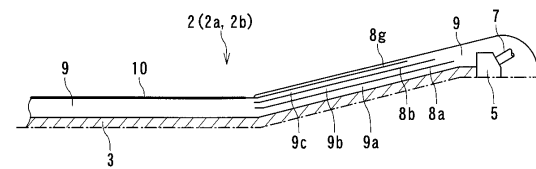
【図 30】



【 図 3 3 】



【 図 3 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 関戸 忍
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内
- (72)発明者 島田 秀行
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝 本社事務所内
- (72)発明者 長谷川 博
神奈川県川崎市幸区堀川町6番地2 東芝エンジニアリングサービス株式会社内
- (72)発明者 小山 充彦
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内
- (72)発明者 金岩 浩志
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内
- (72)発明者 大野 伸二
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地 株式会社東芝 京浜事業所内
- (72)発明者 外崎 信之
神奈川県川崎市幸区堀川町6番地2 東芝エンジニアリング株式会社内

審査官 武田 知晋

(56)参考文献 特開平09-093873(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 31/12

G01R 31/06

H02K 11/00