(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2020-3277
(P2020-3277A)
(43)公開日　令和2年1月9日(2020.1.9)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01R 31/14	(2006.01)	G01R	31/14	2G015
G01R 31/00	(2006.01)	G01R	31/00	2G036

審査請求 未請求　請求項の数 6　ＯＬ　（全 23 頁）

(21)出願番号　特願2018-121508 (P2018-121508)
(22)出願日　平成30年6月27日 (2018.6.27)

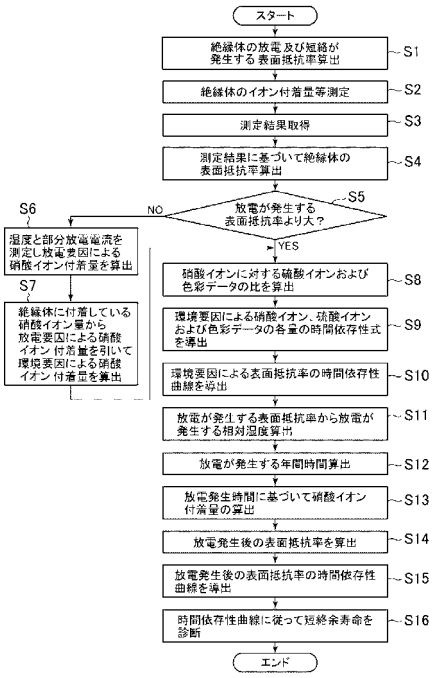
(71)出願人　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(71)出願人　000006655
日本製鉄株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号
(74)代理人　100073759
弁理士　大岩　増雄
(74)代理人　100094916
弁理士　村上　啓吾
(74)代理人　100127672
弁理士　吉澤　憲治
(72)発明者　三木　伸介
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】受配電機器の短絡余寿命診断方法および短絡余寿命診断システム

(57)【要約】
【課題】絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を精度よく診断することができる受配電機器の短絡余寿命診断方法および短絡余寿命診断システムを提供する。
【解決手段】絶縁体の表面抵抗率を算出するステップＳ１～Ｓ４と、表面抵抗率が放電発生値よりも大きい場合に絶縁体の表面抵抗率の環境要因による第１の時間依存性曲線を導出するステップＳ１０と、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電発生時間を算出するステップＳ１２と、前記放電発生時間に基づいて放電要因による硝酸イオン付着量を算出し、絶縁体の表面抵抗率に係る放電要因を含む第２の時間依存性曲線を導出して短絡余寿命を算出するステップＳ１３～Ｓ１６を含む診断方法とし、各ステップの実行手段を備えた診断システムとする。
【選択図】図１

図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を診断する短絡余寿命診断方法であって、
前記絶縁体の表面抵抗率を算出するステップと、
前記表面抵抗率が放電発生値よりも大きい場合に前記絶縁体の硝酸イオン付着量を含む環境要因データに基づいて前記絶縁体の表面抵抗率に係る環境要因による第１の時間依存性を導出するステップと、
前記絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流測定結果により放電発生時間を算出するステップと、
前記放電発生時間に基き放電要因による硝酸イオン付着量を算出し、放電要因による前記硝酸イオン付着量と前記環境要因データとに基づき前記絶縁体の表面抵抗率に係る第２の時間依存性を導出して短絡余寿命を算出するステップ
を含む受配電機器の短絡余寿命診断方法。
【請求項２】
絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を診断する短絡余寿命診断方法であって、
診断対象である受配電機器の使用条件および前記受配電機器の絶縁体のパラメータ条件を入力するステップと、
入力された前記使用条件および前記パラメータ条件に基づいて前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率を算出するステップと、
前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータを測定するステップと、
前記測定の結果に応じて、前記絶縁体の表面抵抗率を算出するステップと、
算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断するステップと、
前記判断するステップにより算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいと判断された場合には、前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに対する時間依存性を導出するステップと、
導出された前記時間依存性に基づいて、環境要因による前記絶縁体の表面抵抗率に係る第１の時間依存性を導出するステップと、
前記絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流の測定結果により放電発生時間を算出するステップと、
算出された前記放電発生時間から放電要因による硝酸イオン付着量を算出するステップと、
算出された放電要因による前記硝酸イオン付着量と環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに基づいて、前記絶縁体の表面抵抗率に係る第２の時間依存性を導出するステップと、
前記第２の時間依存性に基づいて、算出された前記絶縁体の表面抵抗率と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出するステップとを備えたことを特徴とする受配電機器の短絡余寿命診断方法。
【請求項３】
算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率以下の場合には、前記絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流測定結果により放電要因による硝酸イオン付着量を算出して、前記絶縁体に付着している硝酸イオン付着量から放電要因による硝酸イオン付着量を引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求めるステップをさらに備えたことを特徴とする請求項１または請求項２に記載の受配電機器の短絡余寿命診断方法。
【請求項４】
前記絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流測定結果により放電発生時間を算出するステップは、

部分放電を検出する手段として接地線電流を測定するステップと、
接地線電流と電源電圧波形および位相を比較して電源電圧波形の特定の位相範囲内にて発生している接地線電流を部分放電によるものとして抽出するステップと、
設置環境の湿度を測定し、抽出した接地線電流の大小と合わせて比較することで放電の発生を検出するステップを含むことを特徴とする請求項１から請求項３までの何れか１項に記載の受配電機器の短絡余寿命診断方法。
【請求項５】
絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を診断する短絡余寿命診断システムであって、
診断対象である受配電機器の使用条件および前記受配電機器の絶縁体のパラメータ条件および測定された前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータを入力する手段と、短絡余寿命を診断するための制御手段を備え、
前記制御手段は、
入力された使用条件およびパラメータ条件に基づいて前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率を算出する手段と、
測定された前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに応じて、前記絶縁体の表面抵抗率を算出する手段と、
算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断する手段と、
前記判断する手段により、前記算出した前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいと判断された場合には、前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに対する時間依存性を導出する手段と、
導出された前記時間依存性に基づいて、環境要因による前記絶縁体の表面抵抗率の第１の時間依存性を導出する手段と、
絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流測定結果により放電発生時間を算出する手段と、
算出された前記放電発生時間から放電による硝酸イオン付着量を算出する手段と、
算出された放電要因による前記硝酸イオン付着量と環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに基づいて、前記絶縁体の表面抵抗率に係る第２の時間依存性を導出する手段と、
前記第２の時間依存性に基づいて、算出された前記絶縁体の表面抵抗率と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出する手段を含むことを特徴とする受配電機器の短絡余寿命診断システム。
【請求項６】
算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断する手段で、算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率以下と判断された場合には、前記絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電要因による硝酸イオン付着量を算出する手段と、絶縁体に付着している硝酸イオン付着量から放電要因による硝酸イオン付着量を引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求める手段を備えたことを特徴とする請求項５に記載の受配電機器の短絡余寿命診断システム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この出願は、受配電機器に使用する絶縁体の経年劣化や使用環境の影響による絶縁性能低下の状況把握を行うものであり、特に受配電機器として使用可能な時間的な限界すなわち余寿命の診断を行う短絡余寿命診断方法および短絡余寿命診断システムに関するものである。
【背景技術】
【０００２】

受配電設備は、電気エネルギーを工場や建物などへ供給する受配電機器を備える設備であり信頼性と安定性を確保して稼動することが要求される。長期間にわたる使用により、受配電機器が備える絶縁体が劣化し、絶縁劣化による電気的トラブルが発生した場合には、生産損失および設備補修など、工場や建物などに与える影響が大きい。一方、絶縁体の劣化は受配電機器の設置環境（湿度、温度、ガス等の汚染空気、浮遊塵埃等）により大きく影響を受けるため、余寿命診断が容易ではない。そのため、受配電機器が備える絶縁体の絶縁性能の劣化状況について、精度のよい診断技術が望まれている。

【０００３】

絶縁体の劣化プロセスは、一般的に、（１）潮解性物質の付着および生成等による絶縁体表面の抵抗低下、（２）絶縁体表面の抵抗低下による漏れ電流の発生、（３）漏れ電流が原因で発生するジュール熱による局部的な乾燥帯の発生、（４）乾燥帯への電圧集中による部分放電の発生、（５）放電が原因で有機物に発生する炭化導電路の進展による絶縁破壊の順で生じると考えられている。

【０００４】

一方、電気的トラブルを未然に防止するとともに、メンテナンス周期を適正化し、保守コストを削減するためには、電気的な異常が発生する以前から、絶縁体の劣化度を定量的に精度よく把握しておくことが必要であり、このため受配電機器の余寿命診断が望まれている。

【０００５】

これに対し、絶縁体の診断方法として、これまで、特許文献１～３に記載されているような方法が実施されてきた。

【０００６】

特許文献１に記載されている絶縁抵抗測定による方法では、初期時における絶縁特性と相対湿度との関係に基づく初期特性曲線と、限界時における限界特性曲線とを寿命推定の基準曲線とし、基準曲線に基づいて対象となる機器の絶縁特性と相対湿度との特性点を通る現特性曲線を算出することで、その現特性曲線と使用年数、汚損速度に基づいて対象機器の絶縁体の余寿命を推定している。

【０００７】

特許文献２に記載されている部分放電測定による方法では、最大放電電荷量と放電パラメータを含んだ演算式によって残存破壊電圧を求める。絶縁層内部の剥離状態および化学劣化状態を検査し、その検査結果に応じて最大放電電荷量と放電パラメータを補正し、補正後の最大放電電荷量と放電パラメータを用いて残存破壊電圧を求めることにより、対象機器の絶縁体の余寿命を推定している。

【０００８】

特許文献３に記載されているイオン、色彩、湿度データによる方法では、イオン、色彩データから絶縁物の劣化度を推定し、予め取得していた絶縁物の劣化度および湿度データ、ならびに放電による劣化の進展データから、絶縁抵抗特性曲線と使用年数との関係を求め、対象機器の絶縁体の短絡余寿命を推定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】特開２００４－１７７３８３号公報
【特許文献２】特開平９－８００２９号公報
【特許文献３】ＷＯ２０１７/００２７２８/Ａ１号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

一方、実際に機器が設置されている現場での絶縁体の劣化は、放電が発生するまでは大気中のＮＯｘ，ＳＯｘ，塵埃と汚染物などからの影響を受け、放電の発生後はこれらの要因と放電で発生したオゾンおよび硝酸からの影響を受けて、放電に伴う炭化導電路が進展

し絶縁破壊に至る。
つまり、絶縁体の劣化は環境要因と放電要因により進展し、放電発生以後は劣化速度が増加する。
【００１１】
しかしながら、特許文献１に記載の絶縁抵抗測定による方法では、環境要因による劣化しか対応できないため、放電発生から短絡までのように劣化速度が変化する場合の絶縁診断を行うことができないという問題がある。
また、特許文献２に記載の部分放電測定による方法では、放電の発生を対象としているが放電の発生は湿度の影響を大きく受け、一度放電しても湿度が低下すると放電が停止することもあるため、診断結果がばらつくという問題があり、さらに、放電が発生しない段階での適用はできないという問題もある。
【００１２】
さらに、特許文献３に記載の方法を実現するには、放電開始時点から絶縁破壊時点までの間、診断対象電気機器の絶縁物表面抵抗値等の各種データを採取するための停電作業が必要となり、異常の早期発見のためには、頻繁な停電計画を組まなければならない。また、通常の運転状態とは異なる一定の環境条件下（湿度等）で診断を行っているため、運転状態の異常を間接的に診断しているに過ぎない、という問題があった。更に放電現象は、課電による電界強度が異常箇所の放電限界点（部分放電開始の電界強度）を超えた時に発生するものであり、この放電限界点は異常箇所の状態で大きく異なるうえ、部分放電が発生すると、その放電エネルギーで周辺の絶縁物を破壊することになるが、この時、異常箇所の状態が変化することになるため、放電限界点は刻々と変化する。従って、停電時のスポット的な診断を行っても、通常運転時と同一とは言えず、利用価値の高い診断精度とは言い難い（診断結果のバラつきが大きい）問題点があった。
【００１３】
この出願は、上記のような問題を解決するためになされたものであって、絶縁体を含む受配電機器の短絡余寿命（絶縁体で短絡を生じるまでの残り時間）を精度よく診断することができる受配電機器の短絡余寿命診断方法および短絡余寿命診断システムを提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【００１４】
この出願に開示される受配電機器の短絡余寿命診断方法は、絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を診断する短絡余寿命診断方法であって、前記絶縁体の表面抵抗率を算出するステップと、前記表面抵抗率が放電発生値よりも大きい場合に前記絶縁体の硝酸イオン付着量を含む環境要因データに基づいて前記絶縁体の表面抵抗率に係る環境要因による第１の時間依存性を導出するステップと、前記絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流測定結果により放電発生時間を算出するステップと、前記放電発生時間に基き放電要因による硝酸イオン付着量を算出し、放電要因による前記硝酸イオン付着量と前記環境要因データとに基づき前記絶縁体の表面抵抗率に係る第２の時間依存性を導出して短絡余寿命を算出するステップを含むものである。
【００１５】
この出願に開示される受配電機器の短絡余寿命診断システムは、診断対象である受配電機器の使用条件および受配電機器の絶縁体のパラメータ条件および測定された絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータを入力する手段と、短絡余寿命を診断するための制御手段を備え、前記制御手段は、入力された使用条件およびパラメータ条件に基づいて絶縁体の放電が発生する表面抵抗率を算出する手段と、測定された絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに絶縁体の色パラメータに応じて、絶縁体の表面抵抗率を算出する手段と、算出された絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断する手段と、前記判断する手段により、算出した絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいと判断した場合には、絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに

絶縁体の色パラメータに対する時間依存性を導出する手段と、導出された時間依存性に基づいて、環境要因による絶縁体の表面抵抗率に係る第１の時間依存性を導出する手段と、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電発生時間を算出する手段と、算出された放電発生時間から放電による硝酸イオン付着量を算出する手段と、算出された放電要因による硝酸イオン付着量と環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに絶縁体の色パラメータに基づいて、絶縁体の表面抵抗率に係る放電要因および環境要因による第２の時間依存性を導出する手段と、第２の時間依存性に基づいて、算出された絶縁体の表面抵抗率と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出する手段を備える。

【発明の効果】

【００１６】

この出願に開示される受配電機器の短絡余寿命診断方法および短絡余寿命診断システムによれば、放電電流測定結果と湿度データを用いることで放電要因による絶縁体の硝酸イオン付着量を算出し、硝酸イオン付着量を含む環境要因データと放電要因による硝酸イオン付着量とに基づき、短絡余寿命を算出するため、環境要因と放電要因との両者による絶縁劣化を考慮しているので、短絡余寿命を精度よく診断することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【００１７】

【図１】実施の形態１における受配電機器の短絡余寿命診断方法を示すフロー図である。

【図２】実施の形態１に係るマハラノビスの距離と表面抵抗率との相関関係を説明する線図である。

【図３】実施の形態１に係る硝酸イオン付着量の時間依存性式を導出するための実験装置を説明する斜視図である。

【図４】実施の形態１に係る環境要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を説明する線図である。

【図５】実施の形態１に係る相対湿度（ＲＨ％）と表面抵抗率との関係を説明する線図である。

【図６】実施の形態１における受配電機器の短絡余寿命診断方法に係る短絡加速試験装置を説明するブロック図である。

【図７】図６に示す短絡加速試験装置の恒温・恒湿槽内における絶縁体の取付け状態を示す断面図である。

【図８】実施の形態１に係る放電による絶縁体に付着する硝酸イオン付着量の時間変化を説明する線図である。

【図９】実施の形態１に係る環境要因および放電要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を説明する線図である。

【図１０】図９と同様の、環境要因および放電要因（放電実測有り）による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を説明する線図である。

【図１１】図９と同様の、環境要因および放電要因（放電実測有り）による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を説明する線図である。

【図１２】実施の形態１における放電検出器及び診断装置の構成概要図である。

【図１３】実施の形態１における放電検出機能部分の処理フロー概要図である。

【図１４】実施の形態２における受配電機器の短絡余寿命診断システムを示す概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【００１８】

以下、実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付し、その説明は繰返さない。

【００１９】

実施の形態１．

実施の形態１を図１から図１３までに基づいて説明する。本実施の形態１に係る短絡余

寿命診断方法は、絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を診断する方法である。
ここでいう診断対象の絶縁体とは、受配電機器が備える絶縁体（例えば、電圧が印加される主回路の支持物など）のうち、絶縁劣化を診断したい絶縁体、例えば、絶縁劣化の進行が早く、受配電機器の寿命において重要となる絶縁体である。絶縁体の一例として、不飽和ポリエステル絶縁物、フェノール絶縁物、エポキシ絶縁物等があるが、これらに限定されるものでない。

【００２０】

図１は、本実施の形態１における受配電機器の短絡余寿命診断方法のフロー図である。
まず、診断対象である受配電機器の使用条件および受配電機器の絶縁体のパラメータ条件に基づいて、絶縁体の放電及び短絡が発生する表面抵抗率を求める（ステップＳ１）。
具体的には、診断対象である受配電機器の定格電圧、使用周波数および受配電機器に含まれている絶縁体の厚さ、沿面距離、誘電率の条件に基づいて、予め定められた所定の演算式に基づいて、放電が発生する表面抵抗率を求める。

【００２１】

次に、診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データからなる環境要因データを測定する（ステップＳ２）。
そして、測定結果を取得する（ステップＳ３）。
次表１は、硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データ（色パラメータともいう）の測定結果を説明するものである。

【００２２】

【表１】

表１

	イオン量(mg/cm^2)		色彩
実測値	硝酸 3.017×10^{-3}	硫酸 4.399×10^{-2}	0.55350
硝酸に対する比	－	$1.457\times10^{+1}$	$1.833\times10^{+2}$

【００２３】

なお、測定する項目は硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに限定されるものではなく、湿度および電磁波のような外来ノイズの影響を受けず絶縁体の表面抵抗率を求められるものであれば良い。なお、ここで、色彩データは絶縁体を色彩計等で測定し、絶縁体の色彩をＲＧＢ（ＲＧＢカラーモデル）あるいはＬａｂ（Ｌａｂ色空間）などの表色系で数値により表したデータを示す。

【００２４】

次に、ステップＳ３で取得した硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データの測定結果から診断対象である受配電機器における絶縁体の表面抵抗率を算出する（ステップＳ４）。
上述したように、受配電機器の絶縁体の経年劣化による短絡は、表面抵抗率の低下が起因であるので、絶縁体の劣化度として表面抵抗率を求めることは適切である。
本実施の形態１においては、硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データから診断対象である受配電機器の絶縁体の表面抵抗率を以下の如く算出する。

【００２５】

図２は、マハラノビスの距離と表面抵抗率との相関関係を説明する線図である。
図２において、縦軸は、表面抵抗率であり、横軸として、絶縁体の初期状態を基準とした基準からのマハラノビスの距離を劣化の指標とした相関図が示されている。
具体的には、予め、絶縁体の初期状態と所定時間後の状態の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データを測定し、測定のばらつきおよび相関を考慮にいれた

１つの指標、本実施の形態１においてはマハラノビスの距離で絶縁体の劣化度を表し、その指標と表面抵抗率の実測値との相関関係に従って例えば特許第４１２１４３０号公報に示す所定の相関式を算出する。

【００２６】

そして、本実施の形態１においては、測定した診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データから劣化の指標であるマハラノビスの距離を求め、図２で説明した特許第４１２１４３０号公報に示す所定の相関式に基づいて、診断対象である受配電機器の絶縁体の表面抵抗率を算出する。

【００２７】

次に、診断対象である受配電機器の絶縁体について放電が発生する表面抵抗率と、ステップＳ４で算出した表面抵抗率とを比較し、ステップＳ４で算出した表面抵抗率が、放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断する（ステップＳ５）。

ステップＳ５の処理において、放電が発生する表面抵抗率よりも大きい場合には、ステップＳ８に進む。

【００２８】

算出した表面抵抗率が放電の発生する表面抵抗率よりも大きい場合には、硝酸イオンに対する硫酸イオンおよび色彩データの比を算出する（ステップＳ８）。

表１には、一例として、測定した絶縁体の硝酸イオン付着量に対する硫酸イオン付着量および色彩データの比を示している。表１の色彩は絶縁体を色彩計で測定し、ＣＩＥ　１９７６（Ｌ＊、ａ＊、ｂ＊）色空間で表した色彩データの中の色彩ｂ＊である。

受配電機器の交換推奨時期は２５～３０年であり、長期間にわたる環境劣化の結果が硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データの測定値となる。

【００２９】

したがって、短絡までの数年間の間に、環境要因によるこれらの測定値の比は変わらないと考えられる。それゆえ、環境要因による硝酸イオン付着量の時間依存性は、硫酸イオン付着量の時間依存性および色彩データの時間依存性と同様であると考えられる。

すなわち、当該算出した比に基づいて、硝酸イオン付着量の時間依存性から環境要因による硫酸イオン付着量および色彩データの時間依存性を算出することが可能である。

【００３０】

次に、環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データの時間依存性式を導出する（ステップＳ９）。

図３は、硝酸イオン付着量の時間依存性式を導出するための実験装置を説明する斜視図である。

【００３１】

図３では、新品の絶縁体１ａと適当な容器に収容された硝酸２をデシケータ３に入れて、温度６０℃により曝露する実験装置が示されている。そして、一定時間後の硝酸イオン付着量の測定結果を反応速度論により解析して次式（１）に示される時間依存性式が導出される。

【００３２】

【数１】

数１

$$f(t)=2.5\times10^{-5}\times\left(1-\frac{1}{e^{7.80884\times10^{8}\times A^{2}t}}\right)\times164\times1000\times\frac{124}{164}\qquad\cdots式(1)$$

硝酸付着量：$f(t)$　　使用年数：t時間

【００３３】

式（１）中のｔは時間（ｈｒ）、ｆ（ｔ）は機器の設置からｔ時間後の硝酸イオン付着量（ｍｇ／ｃｍ^2）、Ａは見かけの大気中のＮＯｘ濃度を表す。

診断対象である受配電機器の使用年数と硝酸イオン付着量の実測値を上式（１）のｔとｆ（ｔ）にそれぞれ代入することにより、診断対象である受配電機器が設置されている環境の見かけの大気中のＮＯｘ濃度Ａを求めることができる。

【００３４】

そして、求めた環境の見かけの大気中ＮＯｘ濃度Ａを上式（１）に代入した式が診断対象である受配電機器の絶縁体の環境要因による硝酸イオン付着量の時間依存性式として導出することが可能である。

また、環境要因による硝酸イオン付着量の時間依存性式に基づいて、上記算出した硝酸イオン付着量に対する硫酸イオン付着量および色彩データの比を用いて、環境要因による硫酸イオン付着量の時間依存性式および環境要因による色彩データの時間依存性式を導出する。

これにより、放電が発生していない絶縁体について、大気中のＮＯｘ、ＳＯｘ，塵埃および汚染物からの影響を受ける環境要因による劣化度合を診断することが可能である。

【００３５】

再び図１を参照して、次に、環境要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１を導出する（ステップＳ１０）。

図４は、環境要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１を説明する線図である。

図４に示される環境要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線２０１は、上述した硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データの時間依存性式に基づいて、硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データを算出する。そして、算出した硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに基づいて、マハラノビスの距離を算出する。また、図２で説明した表面抵抗率とマハラノビスの距離との所定の相関式に基づいて表面抵抗率を算出することにより環境要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線２０１を導出することが可能である。

【００３６】

次に、放電要因による絶縁体の劣化度合を診断する方法について説明する。

図５は、相対湿度（ＲＨ％）と表面抵抗率との関係を説明する図である。

図５に示されるように表面抵抗率は相対湿度により変化する。複数の曲線を記載しているが、上方の曲線は劣化が少ないもの、下方の曲線は劣化が進展したものを示す。図５から、同じ相対湿度でも劣化が進展したものほど表面抵抗率が低くなることがわかる。

【００３７】

ここで、相対湿度が高くなると表面抵抗率が下がる傾向にある。

例えば、図５で湿度５０％ＲＨ（図５中のＰ）の表面抵抗率は約$1\times10^{+11}\Omega$であるが、湿度が図５中のＱ％ＲＨに上昇すると表面抵抗率は$1\times10^{+9}\Omega$（図５中のR_s）に低下する。したがって、一定湿度以上となって、絶縁体の表面抵抗率が下がり、算出した放電が発生する表面抵抗率以下となった場合に放電が発生し、湿度が低くなると絶縁体の表面抵抗率が上がり、算出した放電が発生する表面抵抗率よりも大きくなり、放電が発生しなくなる。

【００３８】

本実施の形態１においては、相対湿度に応じて設置環境で放電が発生する時間を求めることで、放電による硝酸イオン付着量を求める。

再び、図１に示すフローにおいて、本実施の形態１においては、当該相対湿度（ＲＨ％）と表面抵抗率との所定の関係式に基づいて、上述した放電が発生する表面抵抗率から放電が発生する相対湿度を算出する（ステップＳ１１）。

【００３９】

次に、受配電機器が設けられた環境における湿度データ（相対湿度）と部分放電電流データから放電が発生する時間を算出する（ステップＳ１２）。

なお、放電が発生する時間の算出は次のように行う。対象とする電気機器ＥＭの年間湿

度データ（湿度０％から１００％を横軸とし、縦軸に横軸の各湿度対応の累計時間を表示）により年間の放電発生時間を算出する。具体的には、放電が発生する表面抵抗率の閾値は上記ステップ１１にて算出済みであるため、図５から放電が発生する最低湿度が求まり、この最低湿度以上になる年間の累計時間が求める放電発生時間となる。

また、図１２及び図１３に示すように、受配電機器としての電気機器ＥＭが収納される電気機器盤１１の内部環境における湿度データは湿度検出器１４により測定される。部分放電電流データは電源電圧位相検出器（ＶＴ）１２および変成器（ＨＦＣＴ）１３からなる放電検出手段ＣＤにより検出される。

ここで、部分放電電流とは、受配電機器としての電気機器ＥＭに設けられた絶縁体の表面に発生する部分放電により、絶縁体の課電部位から接地部位としての接地線へ絶縁体の表面に沿って流れる漏れ電流であって、接地線電流ＥＣに相当する。

【００４０】

電気機器ＥＭの絶縁物において、部分放電が発生することで、絶縁物にストレスを与え絶縁物が損傷するが、その損傷程度は一定時間内における接地電流面積（＝接地電流値×時間；時間積分）が大きいほど、また発生頻度が多いほど、絶縁物は激しく損傷する。

放電検出手段ＣＤの検出信号を処理する信号処理部１５では、電気機器（診断対象）ＥＭで発生し変成器（ＨＦＣＴ）で検出された部分放電による接地線電流ＥＣの検出波形について、電源電圧位相検出器（ＶＴ）１２で検出する電源電圧波形と位相比較し、この比較結果から同定・評価部１６は部分放電の発生を同定・評価する。すなわち、部分放電は電気機器ＥＭの電源電圧波形の振幅が上昇するタイミング（電源電圧波形の位相が０～９０°及び１８０～２７０°）で発生し易いことに着目し、計測された電気機器ＥＭの接地線電流ＥＣと、電源電圧波形および位相を比較して、電源電圧波形の特定の位相範囲内の接地線電流ＥＣを部分放電によるものと同定・評価する。

【００４１】

なお、電源電圧波形との比較においては、部分放電波形が持つ基本周期は電源電圧周波数、例えば５０Hzの倍の周波数１００Hz成分になることから、１００Hz成分のフーリエ係数を求めることによって、部分放電発生の大きさを評価できるため、部分放電検出の確度を更に高めることができる。

【００４２】

放電検出手段ＣＤの出力を受ける同定・評価部１６では、信号処理部１５で処理・抽出した結果としての部分放電電流波形より、一定時間内における接地電流面積(＝接地線電流値×時間；時間積分)を算出する。また、診断対象の電気機器ＥＭの近傍に設置した湿度検出器１４により、機器周辺環境の湿度値を検出する。これらのオンライン(リアルタイム)データを用いて、部分放電の発生有無およびその同定・評価に必要な情報を提供する。

【００４３】

具体的には、上記方法によって得られたデータより下記４パターンに分類し、パターンに応じて予め決定される相関係数(絶縁劣化程度を示す指標)：Ｋ１～Ｋ４を、下記の通り決定する。

（１）「接地電流面積：大」＆「湿度：低」⇒Ｋ１
（２）「接地電流面積：大」＆「湿度：高」⇒Ｋ２
（３）「接地電流面積：小」＆「湿度：低」⇒Ｋ３
（４）「接地電流面積：小」＆「湿度：高」⇒Ｋ４

ここで、Ｋ１は劣化末期に近く、Ｋ４は劣化初期に近いものであり、寿命診断の観点から優先度の高い順に並べると、Ｋ１＞Ｋ２＞Ｋ３＞Ｋ４の関係になる。

なお、接地電流面積：大／小、湿度：高／低の、各判定基準(数値による区分)については、診断対象毎の実績に基づく経験値より決定する。

【００４４】

そして、放電検出の都度、上記にて決定される相関係数Ｋ（Ｋ１～Ｋ４のいずれか）を診断装置１０へ入力する。時間経過とともに、一定時間内において放電発生及び湿度の状

態が変化した場合は、
・放電未検出となった場合：Ｋ４
・パターン変更となった場合：Ｋ＝Ｋｔ-1(変更前)⇒Ｋ＝Ｋｔ(変更後)
　このようにして、オンライン(リアルタイム)監視にて相関係数Ｋ１～Ｋ４を用いることで、注意が必要な電気機器ＥＭを特定して監視することができる。
　相関係数Ｋ１～Ｋ４は、監視者に対して注意すべき度合いを示すものであり、短絡余寿命診断の計算式に影響するものではない。
　ただし、Ｋ１～Ｋ４の状況にあるということは絶縁体の表面で部分放電が発生している可能性が高いため、Ｋ１～Ｋ４の状況では無い電気機器ＥＭに比べて注意が必要な状態であるとみなして特に注意して監視を行うことになる。必要があれば、Ｋ１～Ｋ４の状態になった場合は、監視員に対してＫ１～Ｋ４の区分を含めたアラームを発することも有効である。
　なお、ここでは接地電流面積：大／小ならびに湿度：高／低として評価し、相関係数：Ｋ１～Ｋ４(４パターン)を当てはめるようにしているが、これは一例であり、更に細分化(ｎパターン：Ｋ１～Ｋｎ)した形態であってもよい。
【００４５】
　また、部分放電発生時に現れる接地線電流値は微小であるため、設置環境によっては、接地線電流検出値が、外部ノイズとの区別が難しい場合がある。このような場合に対し、前述の通り電源電圧波形の振幅が上昇するタイミング（電源電圧波形の位相が０～９０°、及び１８０～２７０°）において、ある一定時間当たりに計測された接地電流面積の大／小で、放電を検出したものと同定・評価するが、これに加えて、接地電流面積が一定レベル以上の面積値を持つ波形として発生する回数の多さで、放電を検出したものと同定・評価する形態であってもよい。
　以上のようにして放電の発生の有無を検知し、放電発生時間を求める。
【００４６】
　なお、診断対象の電気機器ＥＭは、単独で接地された状態において、電気機器ＥＭと接地部間を接地線で接続した接地線電流ＥＣを測定することが望ましい。これは、該機器を収容している盤筐体において、盤内の他の機器が接地された状態あるいは、盤筐体自体が大地と接地された状態にて、接地線電流ＥＣを測定する場合は、診断対象の電気機器ＥＭからの接地線電流ＥＣがこれらに分流し、該機器のみに発生した部分放電による接地電流かを、判別しにくくなるためである。
【００４７】
　再び図１に示すフローにおいて、次に、算出した放電発生時間に基づいて硝酸イオン付着量を算出する（ステップＳ１３）。
　図６は、本実施の形態１における短絡加速試験装置を説明するブロック図である。
　図６に示されるように、本実施の形態１における短絡加速試験装置は、トランス４と、デジタルオシロスコープ５と、恒温・恒湿槽６とで構成される。そして、恒温・恒湿槽６に絶縁体１ｂが配置され、絶縁体１ｂに電圧を印加することにより放電が発生するように構成される。
【００４８】
　図７は、恒温・恒湿槽６内に設けられた絶縁体１ｂを説明する断面図である。
　図７に示すように、ここでは、予め劣化させたポリエステルの絶縁体１ｂが設けられ、トランス４により変圧された電圧が印加される高電圧電極７が絶縁体１ｂに取り付けられる。また、接地電極８が絶縁体１ｂに取り付けられ、トランス４を介して高電圧を印加することで放電が発生するように構成されている。
【００４９】
　そして、劣化させた絶縁体１ｂに定格電圧、湿度６０～９０％、温度６０℃の条件で放電を発生させ、短絡までの硝酸イオン付着量の変化を測定した。
　硝酸イオン付着量の測定は、純水を含ませたろ紙を絶縁体１ｂに押し当てることによりイオンを回収し、その回収したイオンをイオンクロマトグラフで測定した。

【００５０】
図８は、放電による絶縁体に付着する硝酸イオン付着量の時間変化を説明する線図である。
図８に示すように、本実施の形態１においては、湿度９０％、８０％、６０％の３種類の湿度で実験した場合の硝酸イオン付着量の時間変化が示されている。
ここで、いずれの湿度でも試験時間が増加するとともにイオン付着量が増加した。イオン付着量は試験時の湿度の影響を受け、湿度が高いほど増加した。
【００５１】
放電により絶縁体に付着する硝酸イオン付着量Ｐ（ｔ）は、時間と湿度との関数として次式（２）の如く表される。
【００５２】
【数２】
数２

$$P(t)=a\times 125.59\times h^{-2.77}\times t^{0.24\times e^{0.022h}}+0.0015-125.59\times h^{-2.77} \quad \cdots式(2)$$

【００５３】
ここで、ａは定数であり以下の値をとる。ｔは放電発生時間、ｈは湿度を表す。５０≦ｈ≦６０；ａ＝５、６０＜ｈ≦７０；ａ＝１０、７０≦ｈ；ａ＝１５。
上式（２）で表される硝酸イオン付着量は常時放電が発生しているときに付着する量であるが、前述のとおり実際の機器の設置環境では常に湿度が変化しているため、一定湿度以上になると放電が発生し、湿度が低くなると放電が発生しなくなる。
したがって、上記の式（２）に従って、受配電機器の設置現場での放電による硝酸イオン付着量を求めることができる。
【００５４】
再び図１に示すフローにおいて、次に、放電発生後の表面抵抗率を算出する（ステップＳ１４）。具体的には、環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データと、放電要因による硝酸イオン付着量とに基づいて、放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率を算出する。
【００５５】
そして、放電発生後の表面抵抗率の時間依存性曲線を導出する（ステップＳ１５）。
図９は、環境要因および放電要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を説明する図である。
図９においては、環境要因による絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線２０１が点線で示され、放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線２０２が実線で示されている。
具体的には、上式に基づく年毎の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データからマハラノビスの距離を算出する。そして、図２で説明した表面抵抗率とマハラノビスの距離との所定の相関式に基づいて表面抵抗率を算出することにより環境要因および放電要因による受配電機器に含まれる放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率に係る時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２を導出することが可能である。
【００５６】
そして、再び図１に示すフローにおいて、導出した絶縁体の表面抵抗率に係る時間依存性曲線に従って、短絡余寿命を診断する（ステップＳ１６）。
具体的には、図９において、放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を判断する。
短絡閾値は、短絡加速試験により短絡時の表面抵抗率を実測した値を用いることとした。一例として、湿度９０％での短絡加速試験において、短絡時の硝酸イオン付着量は１．５ｍｇ／ｃｍ^{2}であった。
【００５７】
上述したように、環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色

彩データと、放電による硝酸イオン付着量とに基づいてマハラノビスの距離を算出して、図２で説明した所定の相関式に基づいて絶縁体の表面抵抗率を算出した結果、湿度９０％での表面抵抗率は２．５×１０^{4}Ωであり、湿度５０％では２．５×１０^{6}Ωであった。よって、短絡閾値となる表面抵抗率は２．５×１０^{6}Ωとした。上記はあくまでも一例であり、実際には絶縁体の形状および現地の環境調査結果によって閾値は決定される。

【００５８】

再び図９を参照して、当該短絡閾値に従って、放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２から短絡寿命を算出することにより、受配電機器に含まれる絶縁体の短絡余寿命を精度よく診断することが可能である。

【００５９】

前記ステップＳ５で、算出した表面抵抗率が、放電が発生する表面抵抗率よりも小さいと判断した場合は、ステップＳ６に進む。前記ステップＳ１２及びＳ１３で説明したものと同様に絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を算出し放電要因による硝酸イオン付着量を算出する（ステップＳ６）。

前記ステップＳ３により得た絶縁体に付着している硝酸イオン付着量から、前記ステップＳ６により算出した放電要因による硝酸イオン付着量を引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求める（ステップＳ７）。

ステップＳ７で上記のような操作を行う理由は、図９の「放電発生」時点を把握するためである。すなわち、ステップＳ５において「表面抵抗率が、放電が発生する表面抵抗率よりも小さいと判断」した場合には、その時点で既に過去に何回かの放電が発生しているため、短絡余寿命診断の実施時点では、図９の「放電発生」時点の位置から右下に伸びる放電要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２上のどこかに位置していることになる。このため、ステップＳ６で放電要因による硝酸イオン付着量を求め、ステップＳ７で絶縁体に付着している硝酸イオン付着量から前記放電要因による硝酸イオン付着量を差引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求めることで、まずは、環境要因による絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１を求める。次いで、ステップＳ６にて算出した放電要因による硝酸イオン付着量と放電要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２を用いて、図９の「放電発生」時点から現在位置までの経過時間を逆算して、図９の「放電発生」時点を特定する。このようにして図９に示すような環境要因による絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１と放電要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２を確定する。

以下、前記ステップＳ８～Ｓ１６と同様に、第１の時間依存性曲線２０１および第２の時間依存性曲線２０２を導出し、短絡余寿命を算出する。

なお、ステップＳ６及びステップＳ７を経由しない場合、すなわち、ステップＳ５において「放電が発生する表面抵抗率より大」と判断した場合は、診断実施時から放電が発生するまでの期間は環境要因のみを用いて表面抵抗率を算出し、放電発生以降は環境要因と放電要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存曲線）２０２だけを用いて短絡余寿命を算出することになる。

【００６０】

また、図９の説明においては、診断実施時点（Ａ）において、診断対象である受配電機器の設置場所における診断対象の絶縁体表面の汚損状況の測定データ及び湿度環境の測定データ（年間の季節別・時間別の湿度測定データ）を元に、環境要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１及び放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２を算出し、第１の時間依存性曲線２０１及び第２の時間依存性曲線２０２を用いて短絡閾値に至るまでの残存時間（短絡余寿命）を算出していた。

この場合、図９における放電発生の時期は、あらかじめ算出された放電が発生する表面抵抗率（Ｒｓ）と第１の時間依存性曲線２０１から算出した予測値であり、さらに第２の時間依存性曲線２０２は、診断実施時点（Ａ）であらかじめ予測した放電開始時の表面抵

抗率（予測値）と、診断実施時点（Ａ）に測定した湿度環境の測定データ（年間の季節別・時間別の湿度測定データ）とから算出したものである、こちらも予測値である。このように、図９における放電発生時期、短絡閾値への到達時期は、すべて診断実施時点（Ａ）の測定に基づく予測値であり、診断対象である受配電機器の設置場所における汚損環境や湿度環境の変化により、短絡余寿命診断の誤差の可能性を伴うものである。

【００６１】

受配電機器は工場などの重要な生産設備の運転継続の可否に直接影響するものであるため、余寿命診断の精度向上は重要な課題である。この観点から、短絡余寿命の中間段階である部分放電の発生時点を実測で把握することは、図９のように全て予測値である２つの表面抵抗率（部分放電発生段階、短絡閾値）を用いて短絡余寿命診断するものに比べて、部分放電発生時点を実測値で補正することで、図９のものに比べて短絡余寿命診断の精度を向上させることができる。

図１０及び図１１は、部分放電を実測することで部分放電の開始時点を正確に把握し、その結果を用いて、環境要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１及び放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２を補正し、短絡余寿命の診断精度を向上するものである。

【００６２】

図１０は、部分放電の開始時点「×」が図９で予測した放電開始時点よりも遅れた場合を示す。当初の診断実施時点（Ａ）と実際の部分放電発生時点「×」との時間経過から環境要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１が、上述の図１の各ステップに沿って、当初の予測よりも長寿命化（破線２０１の傾きが小）した第１の時間依存性曲線２０１ａの形に補正され、さらに、上述の図１の各ステップに沿って、実際の部分放電発生時点「×」の表面抵抗率のデータを用いて新たな放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２ａも補正される。この補正された第２の時間依存性曲線２０２ａを用いて、実測された放電発生（実測）時点「×」から新たな短絡閾値到達時点（Ｃ）迄の時間が短絡余寿命として算出される。このように、短絡閾値到達迄の中間時点である部分放電開始時点を実測して新たに第１の時間依存性曲線２０１ａ及び第２の時間依存性曲線２０２ａを得ることで、図９のものに比べて、短絡閾値到達迄の短絡余寿命診断の精度を向上することが可能になる。

【００６３】

図１１は、部分放電の開始時点「×」が図９で予測した放電開始時点よりも早くなった場合を示す。当初の診断実施時点（Ａ）と実際の部分放電発生時点「×」との時間経過から環境要因による表面抵抗率の時間依存性曲線（第１の時間依存性曲線）２０１が、上述の図１の各ステップに沿って、当初の予測よりも短命化（破線２０１の傾きが大）した第１の時間依存性曲線２０１ａの形に補正され、さらに、上述の図１の各ステップに沿って、実際の部分放電発生時点「×」の表面抵抗率のデータを用いて新たな放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２ａも補正される。この補正された第２の時間依存性曲線２０２ａを用いて、実測された放電発生（実測）時点「×」から新たな短絡閾値到達時点（Ｃ）迄の時間が短絡余寿命として算出される。このように、短絡閾値到達迄の中間時点である部分放電開始時点を実測して新たに第１の時間依存性曲線２０１ａ及び第２の時間依存性曲線２０２ａを得ることで、図９のものに比べて、短絡閾値到達迄の短絡余寿命診断の精度を向上することが可能になる。この結果、受配電機器の保守・更新などを確実に実施することで絶縁劣化に伴う事故を回避することが可能となり、工場などの重要な生産設備の運転継続の信頼性を向上させることが可能となる。

【００６４】

本実施の形態１における短絡余寿命診断方法によれば、環境要因と放電要因との両者による劣化を考慮しているので、放電の発生の有無および絶縁体の劣化度に係らず診断が可能であり、湿度の影響を受けないイオン量および色彩データの化学的評価を行っているので高精度な診断が可能になり、受配電機器に含まれる絶縁体の短絡余寿命を精度よく診断

できるようになり、その絶縁体の劣化による電気的トラブルを未然に防ぐことができる。
【００６５】
なお、上記においては、絶縁体の表面抵抗率を求めるための化学的な評価項目として硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データを用いる方式について説明したが、絶縁体の種類と設置環境によっては塩化物イオン，ナトリウムイオン，カルシウムイオン，アンモニウムイオンのようなイオン付着量および色彩データ，光沢およびエステル，フェノール，エポキシ，炭化水素，ケイ酸塩のような絶縁体の成分を用いる方式とすることも可能である。また、上記のステップＳ９では硝酸イオン付着量の時間依存性式を求めたが、用いた評価項目に応じて適切な加速試験を行い、その評価項目の変化を解析することでその評価項目の測定量の時間依存性を求めることも可能である。
【００６６】
実施の形態１における受配電機器の短絡余寿命診断方法は、図１から図１３までに示す通り、次の方法が開示されている。
絶縁体を備えた受配電機器の短絡余寿命を診断する短絡余寿命診断方法であって、前記絶縁体の表面抵抗率を算出するステップＳ１～Ｓ４と、前記表面抵抗率が放電発生値よりも大きい場合に前記絶縁体の硝酸イオン付着量を含む環境要因データに基づいて前記絶縁体の表面抵抗率に係る環境要因による第１の時間依存性曲線を導出するステップＳ１０と、前記絶縁体が設置されている環境の湿度計１４による測定結果としての湿度データと接地線電流ＥＣを測定する変成器（ＨＦＣＴ）と電源電圧位相検出器（ＶＴ）からなる放電検出手段ＣＤによる部分放電電流測定結果により放電発生時間を算出するステップと、前記放電発生時間に基き放電要因による硝酸イオン付着量を算出し、放電要因による前記硝酸イオン付着量と前記環境要因データとに基づき前記絶縁体の表面抵抗率に係る第２の時間依存性曲線を導出するステップＳ１３～Ｓ１５と、前記第２の時間依存性曲線に基づいて、算出された絶縁体の表面抵抗率と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出するステップＳ１６とを含む。
【００６７】
この方法によれば、部分放電による接地線電流ＥＣを測定した放電電流測定結果と湿度検出器１４で検出した前記絶縁体が設置されている環境の湿度データを用いることで放電要因による絶縁体の硝酸イオン付着量を算出し、硝酸イオン付着量を含む環境要因データと放電要因による硝酸イオン付着量とに基づき、短絡余寿命を算出するため、環境要因と放電要因との両者による絶縁劣化を考慮しているので、短絡余寿命を精度よく診断することが可能である。
【００６８】
また、実施の形態１における受配電機器の短絡余寿命診断方法は、図１から図１３までに示す通り、次の方法が開示されている。
診断対象である受配電機器の使用条件および前記受配電機器の絶縁体のパラメータ条件を入力するステップと、入力された前記使用条件および前記パラメータ条件に基づいて前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率を算出するステップＳ１と、前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータを測定するステップＳ２と、ステップＳ３により取得する前記測定の結果に応じて、前記絶縁体の表面抵抗率を算出するステップＳ４と、算出された前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断するステップＳ５と、前記判断するステップＳ５により、前記算出した前記絶縁体の表面抵抗率が前記絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいと判断された場合には、前記絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに対する時間依存性式を導出するステップＳ８，Ｓ９と、ステップＳ９で導出された前記時間依存性式に基づいて、環境要因による前記絶縁体の表面抵抗率の第１の時間依存性曲線を導出するステップＳ１０と、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電発生時間を算出するステップＳ１２と、算出された前記放電発生時間から放電要因による硝酸イオン付着量を算出するステップＳ１３と、算出された放電による前記硝酸イオン付着量と環境による硝酸イオン

付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに基づいて、前記絶縁体の表面抵抗率の第２の時間依存性曲線を導出するステップＳ１５と、前記第２の時間依存性曲線に基づいて、ステップＳ１４で算出された前記絶縁体の表面抵抗率と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出するステップＳ１６を備えたことを特徴とする。

また、前記ステップＳ５で算出した絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも小さいと判断された場合には、以下のようにして環境要因によるイオン付着量と放電要因によるイオン付着量を区別する。つまり、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電要因による硝酸イオン付着量を算出する手段と、絶縁体に付着している硝酸イオン量から放電要因によるイオン付着量を引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求める。以下、前記ステップと同様に、第1の時間依存性曲線および第２の時間依存性曲線を導出し、短絡余寿命を算出する。

短絡余寿命の算出は、具体的には、図９において、診断実施時点（Ａ）と、放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２と予め定められた短絡閾値との交点（Ｂ）との水平距離（時間）から短絡余寿命を判断する。

また、図１０、図１１においては、「放電発生（実測）」時点「×」と放電発生以降の絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線（第２の時間依存性曲線）２０２ａと予め定められた短絡閾値との交点（Ｃ）との水平距離（時間）から短絡余寿命を判断する。

【００６９】

この方法により、放電電流と湿度データを用いることで、環境要因による絶縁体の表面抵抗率の第１の時間依存性曲線と、放電要因による絶縁体の表面抵抗率の第２の時間依存性曲線を精度よく導出し、第１および第２の時間依存性曲線に基づいて、短絡余寿命を算出するため、環境要因と放電要因との両者による劣化を考慮しているので、短絡余寿命を精度よく診断することが可能となるものである。そして、推定に必要な表面抵抗値等の測定が、停電作業等の制約を受けずオンライン（リアルタイム）に可能となり、電気機器の寿命判定が容易かつ高精度に行え、ひいては、電気機器の効率的・経済的な更新を行うことができる。

また、前記ステップＳ５で算出した絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも小さいと判断された場合には、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流の測定結果を用いることにより、環境要因による硝酸イオン付着量を的確に求めることができる。

【００７０】

実施の形態２．

次に、上述した短絡余寿命診断方法を使用して受配電機器の短絡余寿命診断を実現するためのシステムについて説明する。

図１４は、実施の形態２における受配電機器の短絡余寿命診断システムの概略構成図である。

実施の形態２における短絡余寿命診断システムは、受配電機器に含まれる絶縁体を対象として短絡余寿命を診断するものであり、磁気ディスク等の記録媒体に記録されたプログラムによってその動作が制御されるコンピュータによって構成される。

実施の形態２における短絡余寿命診断システムは、前述した実施の形態１における短絡余寿命診断方法の動作を実現するための手段を有する実行装置に関するものであって、それぞれの手段は、実施の形態１における短絡余寿命診断方法の各ステップに相当する。

【００７１】

図１４に示されるように、実施の形態１おける受配電機器の短絡余寿命診断システム１００は、入力部１１１，記憶部１１２，制御部１１３，検出部１１４，出力部１１５を備える。

入力部１１１は、例えばキーボードおよびマウス，タブレットなどを含む入力デバイスからなり、絶縁体の短絡余寿命の診断に必要な各種データの入力を行う。

【００７２】

記憶部１１２は、例えばＲＯＭ，ＲＡＭなどを含むメモリデバイスからなり、この実施

の形態２による構成を実現するためのプログラムの他、短絡余寿命の診断に必要な各種データを記憶する。
制御部１１３は、マイクロプロセッサ（ＣＰＵ）からなり、記憶部１１２に記憶されたプログラムを読み込むことにより、そのプログラムに記述された手順に従って短絡余寿命の診断に関する処理を実行する。
検出部１１４は相対湿度と部分放電電流を検出して、前記の部分放電電流に関するデータ処理を行う。
出力部１１５は、例えば表示デバイスからなり、短絡余寿命の診断結果を出力する。
【００７３】
このような構成において、記憶部１１２には、図２で説明した表面抵抗率とマハラビノスの距離との所定の相関式が格納されているものとする。
また、記憶部１１２には、マハラビノスの距離を算出演算する式も格納されているものとする。
また、記憶部１１２には、図３の実験装置の説明において説明した、環境要因による硝酸イオン付着量の時間依存性式である式（１）、図５の相対湿度と表面抵抗率との所定の相関式、図７で説明した短絡加速試験装置による試験にて得られた図８の測定データに基づく放電による硝酸イオン付着量算出の式（２）の、演算処理が可能なデータが格納されているものとする。
【００７４】
まず、診断対象である受配電機器の定格電圧、使用周波数および受配電機器に含まれている絶縁体の厚さ、沿面距離、誘電率の設定条件を入力部１１１により入力する。
また、受配電機器の絶縁体に関する各パラメータとして、診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データの実測データを入力部１１１により入力する。そして、受配電機器の使用年数を入力部１１１により入力する。また、受配電機器に使用されている絶縁体の予め定められた短絡閾値を入力部１１１により入力する。
【００７５】
これらのデータが記憶部１１２に保持された後、前述した実施の形態１におけるステップＳ１～Ｓ１６による処理を行うため、制御部１１３によって以下のような手順で受配電機器の短絡余寿命診断が実行される。
（１）まず、入力部１１１によりデータ入力された、診断対象である受配電機器の定格電圧、使用周波数および受配電機器に含まれている絶縁体の厚さ、沿面距離、誘電率に基づいて、放電及び短絡が発生する表面抵抗率を算出する（ステップＳ１に相当）。
（２）次に、入力部１１１によりパラメータとして入力された、診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに基づいてマハラノビスの距離が演算されて、図２で説明した表面抵抗率とマハラビノスの距離との所定の相関式に基づいて表面抵抗率を算出する（ステップＳ２～Ｓ４に相当）。
【００７６】
（３）そして、次に、放電が発生する表面抵抗率と、診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに基づいて算出された表面抵抗率とを比較演算して、診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに基づいて算出された表面抵抗率の方が、放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断する（ステップＳ５に相当）。
（４）比較演算結果に従って、診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに基づいて算出された表面抵抗率の方が、放電が発生する表面抵抗率よりも大きい場合には、硝酸イオン付着量に対する硫酸イオン付着量、色彩データの比を算出する（ステップＳ８に相当）。
【００７７】
（５）そして、次に、入力部１１１によりパラメータとして入力された診断対象である受配電機器の使用年数と硝酸イオン付着量の実測データとに基づいて、硝酸イオン付着量の

時間依存性式である式（１）を用いて、診断対象である受配電機器が設置されている環境の見かけの大気中のＮＯｘ濃度Ａを算出する。
（６）そして、算出した環境の見かけの大気中ＮＯｘ濃度Ａを式（１）に代入した受配電機器の絶縁体の環境要因による硝酸イオン付着量の時間依存性式を導出する（ステップＳ９に相当）。
【００７８】
（７）環境要因による硝酸イオン付着量の時間依存性式に基づいて、上記算出した硝酸イオン付着量に対する硫酸イオン付着量および色彩データの比を用いて、環境要因による硫酸イオン付着量の時間依存性式および環境要因による色彩データの時間依存性式を導出する（ステップＳ９に相当）。
（８）そして、次に、上述した硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データの時間依存性式に基づいて、図４で説明したように環境要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を導出する（ステップＳ１０に相当）。
【００７９】
（９）そして、次に、図５で説明した相対湿度と表面抵抗率との所定の相関式に基づいて、算出した放電が発生する表面抵抗率から放電が発生する相対湿度を算出する（ステップＳ１１に相当）。
（１０）そして、次に、電気室の湿度モニター結果と放電電流モニター結果に基づいて、放電発生時間を算出する（ステップＳ１２に相当）。
【００８０】
（１１）そして、次に、図７で説明した短絡加速試験装置による試験により取得された図８の測定データに基づく式（２）に従って、年間の放電発生時間に基づく受配電機器の設置現場での放電による硝酸イオン付着量を算出する（ステップＳ１３に相当）。
（１２）そして、次に、前述した手順に従って、環境要因による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データと、放電による硝酸イオン付着量とに基づいて、放電発生後の表面抵抗率を算出する（ステップＳ１４に相当）。
【００８１】
（１３）そして、前述した手順に従って、環境要因および放電要因による受配電機器に含まれる絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線を導出する（ステップＳ１５に相当）。
（１４）そして、導出した絶縁体の表面抵抗率の時間依存性曲線と入力部１１１により入力データとして入力された予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出する（ステップＳ１６に相当）。
（１５）そして、算出結果を例えば表示デバイスである出力部１１４に出力する。
【００８２】
診断対象である受配電機器の絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに色彩データに基づく算出された表面抵抗率の方が、放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断する手段で算出した表面抵抗率が、放電が発生する表面抵抗率よりも小さいと判断した場合は、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電要因による硝酸イオン付着量を算出する。
【００８３】
絶縁体に付着している硝酸イオン付着量から放電要因による硝酸イオン付着量を引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求める。以下、前記ステップと同様に、第１の時間依存性曲線および第２の時間依存性曲線を導出し、短絡余寿命を算出する。
【００８４】
即ち、本実施の形態２における受配電機器の短絡余寿命を診断する短絡余寿命診断システムにあっては、診断対象である受配電機器の使用条件および受配電機器の絶縁体のパラメータ条件および測定された絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに絶縁体の色パラメータを入力する手段と、短絡余寿命を診断するための制御手段を備え、制御手段は、入力された使用条件およびパラメータ条件に基づいて絶縁体の放電が発生する表面抵抗率を算出するステップＳ１の実行手段と、測定された絶縁体の硝酸イオン付着

量および硫酸イオン付着量ならびに絶縁体の色パラメータに応じて、絶縁体の表面抵抗率を算出するステップＳ２～４の実行手段と、ステップＳ２～４の実行手段により算出された絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断するステップＳ５の実行手段と、判断するステップＳ５の実行手段により、算出した絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいと判断した場合には、絶縁体の硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに前記絶縁体の色パラメータに対する時間依存性式を導出するステップＳ８，Ｓ９の実行手段と、ステップＳ９の実行手段で導出された前記時間依存性式に基づいて、環境要因による絶縁体の表面抵抗率の第１の時間依存性曲線を導出するＳ１０の実行手段と、湿度データおよび放電電流データから放電発生時間を算出するステップＳ１２の実行手段と、ステップＳ１２の実行手段で算出された放電発生時間から放電による硝酸イオン付着量を算出するステップＳ１３の実行手段と、ステップＳ１３の実行手段で算出された放電による硝酸イオン付着量と環境による硝酸イオン付着量および硫酸イオン付着量ならびに絶縁体の色パラメータに基づいて、絶縁体の表面抵抗率の第２の時間依存性曲線を導出するステップＳ１４，Ｓ１５の実行手段と、第２の時間依存性曲線に基づいて、算出された絶縁体の表面抵抗率と予め定められた短絡閾値とから短絡余寿命を算出する手段とにより構成される。

【００８５】

また、絶縁体の表面抵抗率が絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも大きいか否かを判断するステップＳ５の実行手段で算出した絶縁体の表面抵抗率が、絶縁体の放電が発生する表面抵抗率よりも小さいと判断された場合には、以下のようにして環境要因によるイオン付着量と放電要因によるイオン付着量を区別する手段を含んでいる。つまり、絶縁体が設置されている環境の湿度データと部分放電電流を測定し放電要因による硝酸イオン付着量を算出するステップＳ６の実行手段と、絶縁体に付着している硝酸イオン量から放電要因による硝酸イオン付着量を引いて環境要因による硝酸イオン付着量を求めるステップＳ７の実行手段を含んでいる。

【００８６】

本実施の形態２で示した受配電機器の短絡余寿命診断システムによれば、データを持ち帰らずに機器の設置現場で迅速に診断結果が得られるため、絶縁体のメンテナンスおよび更新計画をより容易に迅速に実施することができる。また、精度の高い診断が可能であるため、信頼性、安定性を確保しつつ受配電機器の長期間の使用が可能となる。

【００８７】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではないと考えられるべきである。この出願における技術思想としての開示事項は、その技術範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することができる。この出願における技術範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

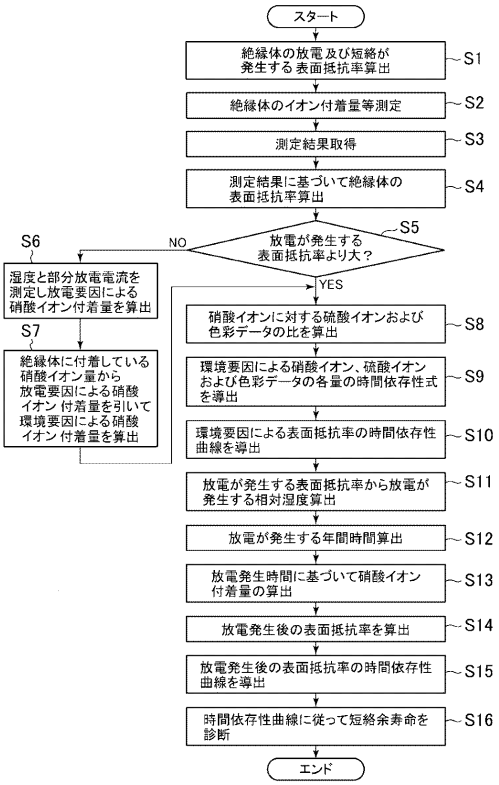
【符号の説明】

【００８８】

１ａ，１ｂ　絶縁体、２　硝酸、３　デシケータ、４　トランス、５　デジタルオシロスコープ、６　恒温・恒湿槽、７　高電圧電極、８　接地電極、１０　診断装置、１１　電気機器盤、１２　電源電圧位相検出器（ＶＴ）、１３　変成器（ＨＦＣＴ）、１４　湿度検出器、１５　信号処理部、１６　同定・評価部、１００　短絡余寿命診断システム、１１１　入力部、１１２　記憶部、１１３　制御部、１１４　検出部、１１５　出力部、２０１，２０１ａ　第１の時間依存性曲線、２０２，２０２ａ　第２の時間依存性曲線、ＣＤ　放電検出手段、ＥＣ　接地線電流、ＥＭ　電気機器。

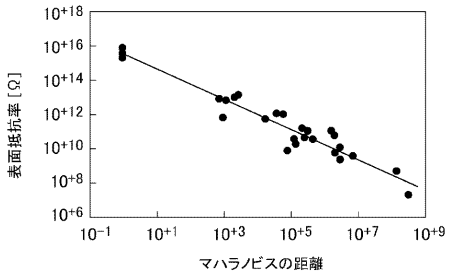
【図１】

図１



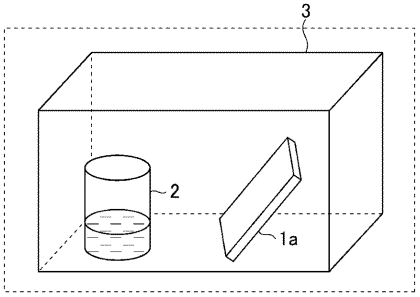
【図２】

図２



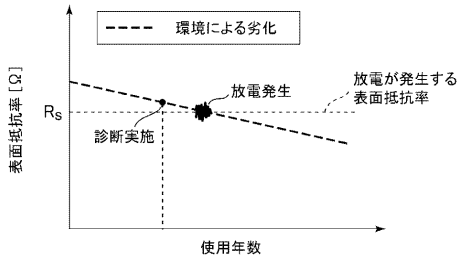
【図３】

図３



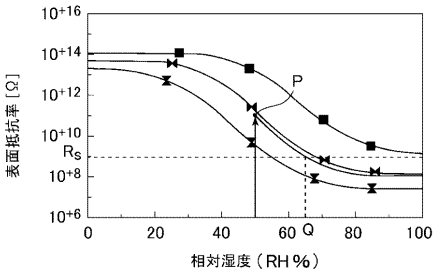
【図４】

図４



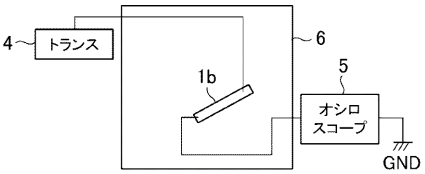
【図５】

図５



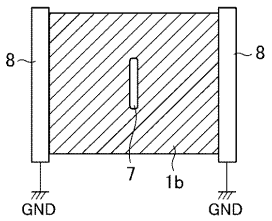
【図６】

図６



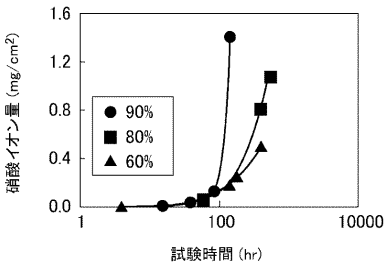
【図７】

図７



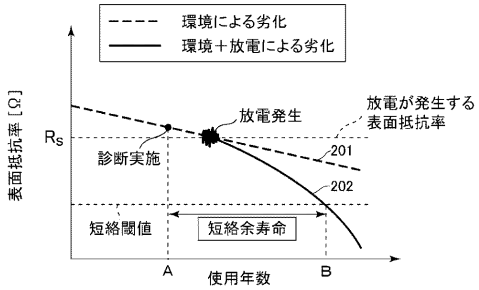
【図８】

図８



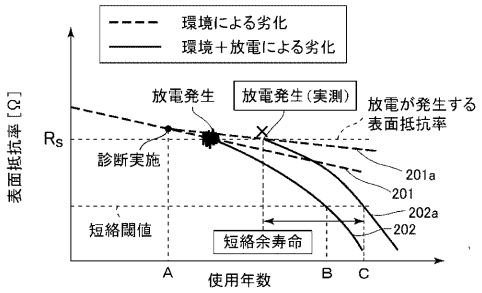
【図９】

図９



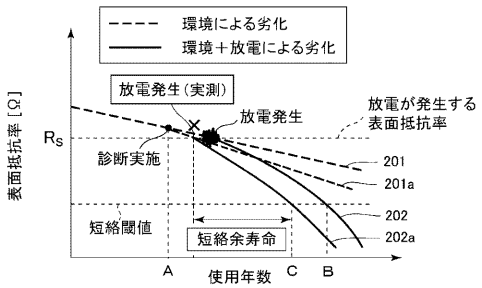
【図１０】

図10



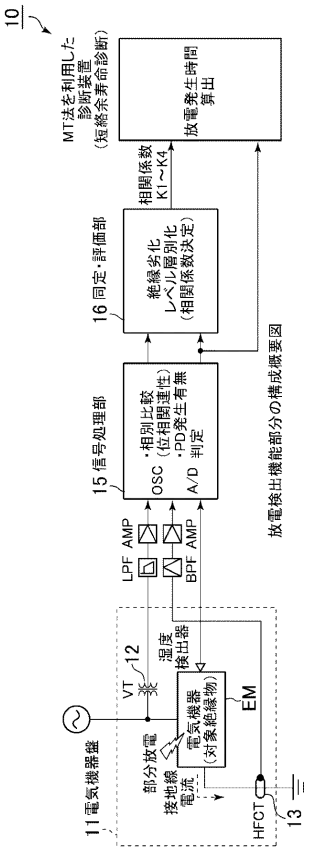
【図１１】

図11



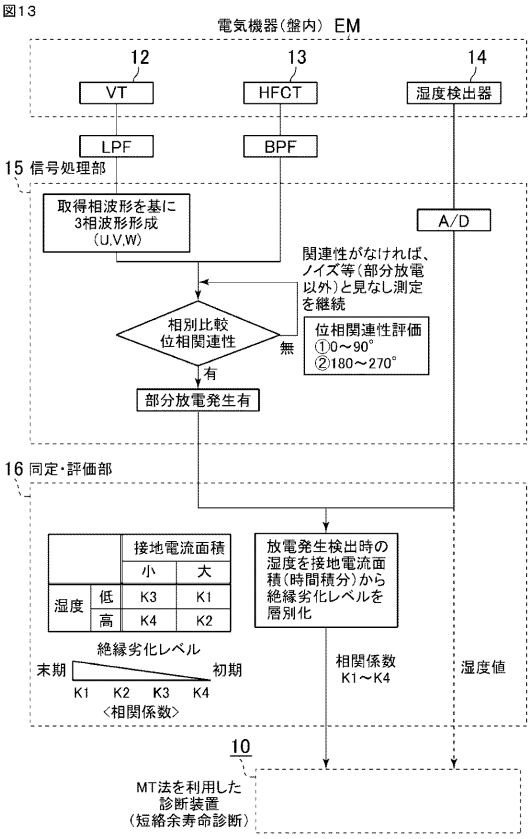
【図１２】

図12



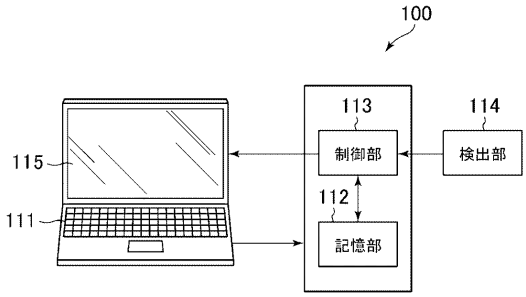
【図１３】

図13



【図１４】

図14



フロントページの続き

(72)発明者　藤原　宗一郎
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　森　武彦
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　西川　哲司
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　塩田　直樹
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号　三菱電機株式会社内
(72)発明者　藤平　幸一
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号　新日鐵住金株式会社内
(72)発明者　上之　俊昭
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号　新日鐵住金株式会社内
(72)発明者　深澤　晴雄
東京都千代田区丸の内二丁目６番１号　新日鐵住金株式会社内

Ｆターム(参考)　2G015 AA15　BA04　BA06　CA01　CA20　CA21
2G036 AA03　AA13　AA20　AA24　AA28　BA08　CA06　CA08　CA10