(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3860846号
(P3860846)
(45)発行日　平成18年12月20日(2006.12.20)　(24)登録日　平成18年9月29日(2006.9.29)

(51)Int.Cl.　F I
G01N 21/27 (2006.01)　G01N 21/27 Z

請求項の数 8　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平7-16667
(22)出願日　平成7年2月3日(1995.2.3)
(65)公開番号　特開平7-286956
(43)公開日　平成7年10月31日(1995.10.31)
審査請求日　平成12年2月17日(2000.2.17)
審判番号　不服2003-23451(P2003-23451/J1)
審判請求日　平成15年12月4日(2003.12.4)
(31)優先権主張番号　特願平6-27795
(32)優先日　平成6年2月25日(1994.2.25)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(73)特許権者　000232955
株式会社日立ビルシステム
東京都千代田区神田美土代町７番地
(74)代理人　100100310
弁理士　井上　学
(72)発明者　竹澤　由高
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号
株式会社　日立製作所　日立研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】材料の劣化度測定システムおよび測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

波長が異なる少なくとも２種の波長６６０～８５０ｎｍの単色光を被測定物である有機樹脂表面に照射し、

該有機樹脂表面からの反射光を測定し、

前記反射光に基づいて各波長における反射吸光度を算出し、

各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比を算出し、

予め求められた該有機樹脂の劣化度と各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比とのマスターカーブに基づいて前記有機樹脂の劣化度を判定することを特徴とする有機樹脂材料の劣化度の非破壊測定方法。

【請求項２】

前記算出される各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比は、主として、劣化度の増大に伴って短波長側ほど増加する電子遷移吸収損失に起因するものであることを特徴とする請求項１記載の有機樹脂材料の劣化度の非破壊測定方法。

【請求項３】

ハロゲンランプからの白色連続光を被測定物である有機樹脂表面に照射し、

該有機樹脂表面からの反射光に基づいて任意の各波長における反射吸光度を演算し、

波長６６０～８５０ｎｍの任意の２波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比を演算し、

予め求められた該有機樹脂の劣化度と各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比とのマスターカーブに基づいて前記有機樹脂の劣化度を判定することを特徴とする有機樹脂材料

の劣化度の非破壊測定方法。
【請求項４】
前記演算される波長６６０～８５０ｎｍの任意の２波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比は、主として、劣化度の増大に伴って短波長側ほど増加する電子遷移吸収損失に起因するものであることを特徴とする請求項３記載の有機樹脂材料の劣化度の非破壊測定方法。
【請求項５】
波長が相異なる少なくとも２種の波長６６０～８５０ｎｍの単色光光源と、
該光源の光を光ファイバに導く光結合器と、
前記光源の光を被測定物表面に照射する光ファイバと、
前記各波長における反射光強度を測定する光量測定部と、
該光量測定部の測定結果に基づいて各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比を算出する演算部と、
予め被測定物の劣化度と各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比とのマスターカーブを記憶させた記憶部と、
前記演算部からの出力と前記記憶部におけるマスターカーブの値とを比較演算することによって劣化度を判定する劣化度演算部と、を備えたことを特徴とする有機樹脂材料の劣化度測定装置。
【請求項６】
前記演算部において演算される前記各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比は、主として、劣化度の増大に伴って短波長側ほど増加する電子遷移吸収損失に起因するものであることを特徴とする請求項５に記載の有機樹脂材料の劣化度測定装置。
【請求項７】
白色連続光を照射するハロゲンランプの光源と、
該光源の光を被測定物表面に照射する光ファイバと、
被測定物表面からの反射光を受光し分光器を有する光量測定部に導く光ファイバと、該分光器で分光された各波長における反射光強度を測定する光量測定部と、
該光量測定部からの出力値より波長６６０～８５０ｎｍの任意の２波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比を演算する演算部と、
予め前記被測定物の劣化度と各波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比とのマスターカーブを記憶させた記憶部と、
前記演算部からの出力と前記記憶部におけるマスターカーブの値を比較演算することによって劣化度を判定する劣化度演算部と、を備えたことを特徴とする有機樹脂材料の劣化度測定装置。
【請求項８】
前記演算部において演算される前記２波長間の反射吸光度差又は反射吸光度比は、主として、劣化度の増大に伴って短波長側ほど増加する電子遷移吸収損失に起因するものであることを特徴とする請求項７に記載の有機樹脂材料の劣化度測定装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、稼働中の機器の運転を停止することなく、機器に使用されている絶縁材料や構造材料の劣化度を非破壊で測定できる材料の劣化度測定システムおよび測定装置に関している。
【０００２】
【従来の技術】
回転電機等の絶縁材料や構造材料の劣化度を評価する非破壊測定システムとしては、特開昭64－84162 号公報に開示されているように、白色の標準光源から光ファイバで導いた照射光を絶縁材料と同じ材料で構成されているセンサ部で反射させ、この反射光を受光用光ファイバを通して検出し、Ｌ＊ａ＊ｂ＊表色系に基づいた色度あるいは色度差によって表

色演算を行う診断装置が提案されている。ここでＬ＊は明度指数で明るさを表し、ａ＊及びｂ＊はクロマティック指数と呼び、色度（色相と彩度）を表す。

【０００３】

また、特開平3－226651 号公報に記載されているように、白色の標準光源から光ファイバで導いた照射光を絶縁材料と同じ材料で構成されているセンサ部を透過させ、該透過光を受光用光ファイバを通して検出する透過光方式によるＬ＊ａ＊ｂ＊表色系に基づいた色度あるいは色度差による表色演算診断装置も提案されている。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

前記従来技術では、回転電機等の機器製造時に機器の絶縁層中に、予め照射用光ファイバ，受光用光ファイバ及びセンサ部をそれぞれ埋設しておく必要があり、これらを埋設していない既存の機器には適用できないという本質的な問題があった。

【０００５】

さらにＬ＊ａ＊ｂ＊表色系に基づいた色度あるいは色度差による反射光に基づく表色演算方法では、表面が塵芥等で汚損した被測定物、あるいは凹凸を有する被測定物の場合には絶対反射光量の変動の影響が大きいため、正確な値を求められない等の問題点を有していた。

【０００６】

本発明の目的は、上記の課題を解決し、稼働中の機器の運転を特に停止することなく、機器に使用されている絶縁材料や構造材料の劣化度を非破壊で測定できる材料の劣化度測定システムおよび測定装置を提供することにある。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、樹脂やオイル等の劣化度と光学物性との関係を検討した結果、熱劣化に伴う樹脂やオイル等の表面反射光強度の変化から劣化度を判定でき、かつ、表面が塵芥等で汚損した被測定物、あるいは凹凸を有する被測定物、あるいは半透明性を有する被測定物の場合に対しても適用し得る劣化度測定システムを見出し本発明に到達した。即ち、本発明の要旨は次のとおりである。

【０００８】

（１）　波長が相異なる少なくとも２種の単色光光源からの照射光を照射用光ファイバで導き被測定物表面に照射し、該被測定物表面からの反射光を受光用光ファイバを用いて光量測定部に導き、劣化度演算部において該光量測定部からの出力より各波長における反射吸光度（A_λ）を（１）式で算出後、各波長間の反射吸光度差（ΔA_λ）あるいは反射吸光度比（A_λ'）を（２）式あるいは（３）式で演算するのが好ましく、さらに予め被測定物の劣化度と各波長間の反射吸光度差あるいは反射吸光度比との関係を記憶させた関数発生部からの出力とを比較演算することによって劣化度を判定することを特徴とする材料の劣化度測定システムにある。

【０００９】

【数１０】

$$A_\lambda = -\log(R_\lambda / 100) \quad \cdots (1)$$

$$\Delta A_\lambda = A_{\lambda 1} - A_{\lambda 2} \text{（ただし、}\lambda 1 < \lambda 2\text{）} \quad \cdots (2)$$

$$A_\lambda' = A_{\lambda 1} / A_{\lambda 2} \text{（ただし、}\lambda 1 < \lambda 2\text{）} \quad \cdots (3)$$

（波長λ（ｎｍ）における被測定物の反射率をR_λ（％）とする）

（２）　波長が相異なる少なくとも２種の単色光光源と，該光源光を照射用光ファイバに導く光結合器と，該光源光を被測定物表面に照射する照射用光ファイバと，該被測定物表面からの反射光を受光して光量測定部に導く受光用光ファイバと，前記各波長における反射光強度を検出して測定値を電気信号として外部出力できる光量測定部と，該光量測定部からの出力値より各波長における反射吸光度（A_λ）を前記（１）式で算出後、各波長間の反射吸光度差（ΔA_λ）あるいは反射吸光度比（A_λ'）を前記（２）式あるいは（３）式で演算するのが好ましく、さらに予め被測定物の劣化度と各波長間の反射吸光度差あ

るいは反射吸光度比との関係を記憶させた関数発生部からの出力とを比較演算することによって劣化度を判定する劣化度演算部を備えたことを特徴とする材料の劣化度測定装置にある。

【００１０】

なお、光源として使用する単色光は、波長６６０～８５０ｎｍにピーク波長を有するＬＥＤが入手容易で、寿命も長く性能も安定しており好適である。特に、６６０，７８０，８００，８２０，８３０，８５０ｎｍ等のＬＥＤ光源が好適である。上記領域以外の波長の光源では、被測定物の劣化の程度が比較的小さいうちに検出器(光量測定部)がオーバーレンジとなり、測光不能となる場合がある。被測定物がもともと透明性の高いアクリル樹脂，ポリカーボネート樹脂等である場合には、６６０，７８０，８００ｎｍ等の８００ｎｍ以下の波長の光を用いることがより好ましい。一方、被測定物がもともと着色しているアルキッド樹脂，不飽和ポリエステル樹脂、あるいはすぐに黒く変色してしまうエポキシ樹脂、あるいは顔料等を含む不透明な樹脂等については、７８０，８００,８２０,８３０，８５０ｎｍ等の近赤外領域の波長を用いることがより好ましい。

【００１１】

本発明においては、照射用光ファイバおよび受光用光ファイバを機器中に予め埋設しておく必要がないので、これら光ファイバもそれ自身の耐熱性を特に要求されないために、光ファイバとして口径の大きなプラスチック光ファイバの使用が可能であり、受光能を向上する上で有利である。

【００１２】

（３）　白色連続光を照射するハロゲンランプからの照射光を照射用光ファイバで導き被測定物表面に照射し、該被測定物表面からの反射光を受光用光ファイバを用いて分光器を有する光量測定部に導き、劣化度演算部において該光量測定部からの出力より各波長における反射吸光度（A_λ）を（１）式で算出後、任意の２波長間の反射吸光度差（ΔA_λ）あるいは反射吸光度比（A_λ'）を（２）式あるいは（３）式で演算するのが好ましく、さらに予め被測定物の劣化度と各波長間の反射吸光度差あるいは反射吸光度比との関係を記憶させた関数発生部からの出力とを比較演算することによって劣化度を判定することを特徴とする材料の劣化度測定システムにある。

【００１３】

【数１１】

$$A_\lambda = -\log(R_\lambda / 100) \quad \cdots (1)$$

$$\Delta A_\lambda = A_{\lambda 1} - A_{\lambda 2} \text{（ただし、}\lambda 1 < \lambda 2\text{）} \quad \cdots (2)$$

$$A_\lambda' = A_{\lambda 1} / A_{\lambda 2} \text{（ただし、}\lambda 1 < \lambda 2\text{）} \quad \cdots (3)$$

（波長λ（ｎｍ）における被測定物の反射率をR_λ（％）とする）

（４）　白色連続光を照射するハロゲンランプの光源と，該光源光を被測定物表面に照射する照射用光ファイバと，被測定物表面からの反射光を受光し分光器を有する光量測定部に導く受光用光ファイバと，該分光器で分光された各波長における反射光強度を検出して測定値を電気信号として外部出力できる光量測定部と，該光量測定部からの出力値より各波長における反射吸光度（A_λ）を前記(１)式で算出後、任意の２波長間の反射吸光度差（ΔA_λ）あるいは反射吸光度比（A_λ'）を前記（２）式あるいは（３）式で演算するのが好ましく、さらに予め被測定物の劣化度と各波長間の反射吸光度差あるいは反射吸光度比との関係を記憶させた関数発生部からの出力とを比較演算することによって劣化度を判定する劣化度演算部を備えたことを特徴とする材料の劣化度測定装置にある。

【００１４】

（５）　被測定物の厚さ（ｔ，ｍｍ）の入力を受け付ける入力手段を有し、波長が相異なる少なくとも２種の単色光光源からの照射光を照射用光ファイバで導き被測定物表面に照射し、該被測定物表面からの反射光を受光用光ファイバを用いて光量測定部に導き、劣化度演算部において該光量測定部からの出力より各波長における反射損失（L_λ，ｄＢ／ｍｍ）を（４）式で算出後、各波長間の反射損失差（ΔL_λ，ｄＢ／ｍｍ）を（５）式で演算する

のが好ましく、さらに予め被測定物の劣化度と各波長間の反射損失差との関係を記憶させた関数発生部からの出力とを比較演算することによって劣化度を判定することを特徴とする材料の劣化度測定システムにある。

【００１５】

【数１２】

$L_{\lambda}=-(10/t)\log(R_{\lambda}/100)$ …（４）

$\Delta L_{\lambda}=L_{\lambda 1}-L_{\lambda 2}$（ただし、$\lambda 1<\lambda 2$） …（５）

（波長λ（ｎｍ）における被測定物の反射率をR_{λ}（％）とする）

なお、前記厚さの入力を受け付ける入力手段は、さらに、被測定物の光線透過率、または厚さ補正の有無の入力を受け付けるものであり、

該入力手段の受け付けた光線透過率が５０％以上である場合、あるいは厚み補正“有”の指示を受けている場合には、（４）式における厚さｔとして該入力手段の受け付けた厚さの値を採用し、

該入力手段の受け付けた光線透過率が５０％未満である場合、あるいは厚み補正“無”の指示を受けている場合には、（４）式における厚さｔとして１０を採用する。即ち、実質的に（１）式と等価となる。

【００１６】

【作用】

一般に、単一材料からなる有機材料の熱劣化に伴う反射吸光度スペクトルの変化は、図３で示されるような変化で代表される。該図のように劣化に伴って可視領域の短波長側で反射吸光度は著しい増加を示すので、検出器（光量測定部）の測定レンジ上の制約から６６０ｎｍ未満の波長領域では機器の寿命点まで、使用されている材料の反射吸光度を測定し続けることが実質的に困難となってしまう。この短波長側での反射吸光度の増加は、主に材料の熱酸化劣化反応による電子遷移吸収損失の増大に起因するものである。

【００１７】

また、劣化度の増大に伴って反射吸光度A_{λ}は短波長側ほど増加するようになるので、任意の２波長間の反射吸光度差ΔA_{λ}（$=A_{\lambda 1}-A_{\lambda 2}$）あるいは反射吸光度比$A_{\lambda}'$（$=A_{\lambda 1}/A_{\lambda 2}$）も同様に増加する。ここで、$\lambda 1<\lambda 2$である。例えば図３において、波長λ１(ｎｍ）と波長λ２(ｎｍ）間の反射吸光度差ΔA_{λ}を、劣化度の大きい材料から順にα１，α２，α３とすれば、α１＞α２＞α３の関係が成立する。反射吸光度比A_{λ}'に対しても同様のことが言える。図５には、表面汚損の無い絶縁材料表面上で測定した場合の反射吸光度スペクトルと、同じ劣化度で表面汚損の有る絶縁材料表面上で測定した場合の反射吸光度スペクトルを示す。波長λ１及び波長λ２間における反射吸光度差ΔA_{λ}を表面汚損が無いとき$\Delta\alpha$，表面汚損が有るとき$\Delta\alpha'$とすれば、絶縁材料が同じ劣化度であれば汚損の有無に関係なく$\Delta\alpha$　$\Delta\alpha'$となる。表面の汚損は反射光の絶対強度を変化（増大させる場合も低下させる場合もある）させるが、一般に波長依存性が小さく、特に本発明の測定波長領域では波長に依らず一定であると考えてよい。同様のことは、凹凸を有する表面における測定に対しても言える。このように、本発明で定義したように２波長間の反射吸光度差ΔA_{λ}を用いれば、被測定物の表面の汚損並びに形状の影響をほとんど受けないで劣化度を測定することができる。上記の効果は、反射吸光度比A_{λ}'に対しても同様のことが言える。

【００１８】

光線透過率５０％以上を有する樹脂等の場合、表面反射光のみでなく樹脂中を透過後、裏表面で反射した光の影響を受ける。そこで樹脂等の厚さ（光路長）で補正する必要がある。光線透過率が５０％未満になると裏表面で反射する光の割合は減少し、裏表面からの反射光の影響はほとんど無視できるようになる。そこで光線透過率が５０％未満の場合には、厚さ補正をすることは不要となる。この場合には、（４）式においてｔ＝１０とおいて適用すればよい。このように、光線透過率５０％以上を有する樹脂等の反射光強度を厚さ（光路長）で補正することにより、より正確な反射光による劣化診断を行うことができる。

【００１９】
また、特開平3－226651 号公報に記載されているように、劣化度は換算時間θで表すことが一般的である。換算時間θで表すことにより、様々な熱履歴を有する材料であっても、θが等しければ同じ劣化程度であることを意味する。換算時間θ(ｈ)は（６）式で定義される。
【００２０】
【数１３】

$$\theta = \int_0^t \exp(-\Delta E / RT)\,dt \qquad \cdots (6)$$

【００２１】
ここで、ΔＥは熱劣化のみかけの活性化エネルギー（Ｊ／mol)、Ｒは気体定数（Ｊ／Ｋ／mol)、Ｔは熱劣化の絶対温度（Ｋ）、ｔは劣化時間（ｈ）である。樹脂やオイル等のΔＥは、数種の劣化温度に対する反射吸光度差$\Delta A_{\lambda 1 \lambda 2}$の変化をアレニウスプロットすることによって容易に算出できる。
【００２２】
さらに、予め求めておいた該樹脂や該オイル等を用いた機器の寿命点における換算時間をθ_0とすれば、実測から求めた換算時間θとの差Δθ(＝θ_0－θ）が余寿命に相当する換算時間となり、劣化度判定の尺度となる。即ち、余寿命Δθ（ｈ）は（７）式で表される。
【００２３】
【数１４】

$$\Delta\theta = \theta_0 - \theta = \int_0^{t_0} \exp(-\Delta E / RT)\,dt \qquad \cdots (7)$$

【００２４】
（７）式より、時間ｔ以降の機器の使用温度条件が定まれば、余寿命の時間　Δｔ(＝t_0－ｔ)を求めることができる。
【００２５】
【実施例】
以下、実施例を用いて本発明を詳細に説明する。
【００２６】
（実施例１）
図１は劣化度測定システムの構成を示すブロック図である。図１において、劣化度演算部１は測定の手順に沿って自動的に切替制御部２に切替部３，４，５の切替命令信号を送信している。まず、各波長に対するレファレンス光量を測定する。レファレンス光ファイバ７は測定用の光ファイバ（照射用光ファイバ９＋受光用光ファイバ１３）と同一長さを有する。光源６から発生したピーク波長λ１の単色光は、切替部３から切替部４を通り、さらにレファレンス光ファイバ７から切替部５を通り光量測定部８に伝送される。光量測定部８では光源６からのピーク波長λ１の単色光のレファレンス光量I_1を計測し、劣化度演算部１に測定値を出力する。劣化度演算部１では光源６のレファレンス光量I_1を記憶する。同様にして、光源１４から発生したλ１とは相異なるピーク波長λ２の単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１において光源１４のレファレンス光量I_2が記憶される。次に、絶縁材料表面の反射光量を測定する。光源６からのピーク波長λ１の単色光は、切替部３から切替部４を通り、さらに照射用光ファイバ９を伝送して反射光測定部１０内で絶縁材料１１の表面に照射される。反射光測定部１０は、図２に示したように外

部の迷光を遮断する構造を有している。絶縁材料１１の表面からの反射光１２を受光用光ファイバ１３が受け、その伝送光は切替部５を通り光量測定部８に送られ、反射光量I_1'が測定され劣化度演算部１に結果I_1'が出力される。劣化度演算部１では、λ１における反射率　$R_{\lambda 1}(=100\times I_1'/I_1)$が算出，記憶される。同様にして、光源１４から発生したλ１とは相異なるピーク波長λ２の単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１においてλ２における反射率$R_{\lambda 2}(=100\times I_2'/I_2)$が算出，記憶される。このようにして、波長λ１と波長λ２における反射率が得られるので、劣化度演算部１において２波長間の反射吸光度差ΔA_λ（$=A_{\lambda 1}-A_{\lambda 2}$）が求められる。関数発生部１５には、図４に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度差がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度差ΔA_λから劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部（図示省略）のプリンタ等に測定結果として出力する。なお、劣化度判定のための演算のフローチャートを図１０に示した。

【００２７】

（実施例２）

図６には３波長（λ１～λ３）を同時に用いた劣化度測定システムの構成図を示す。３波長を１本の光ファイバ中で伝送しても、光には干渉性がないのでシステムは良好に動作する。光量測定部８にはそれぞれの波長に対応したフィルタが組み込まれており、フィルタを時分割で動作させることにより各波長での光量を瞬時に測定できる。それぞれの波長の光は光結合器１６を介して照射用光ファイバ９中に同時に送られる。実施例１と同様に各波長に対するレファレンス光量及び反射光量を測定する。絶縁材料１１の表面からの反射光１２を受光用光ファイバ１３が受け、その伝送光は光量測定部８に送られ、反射光量が測定され劣化度演算部１に結果が出力される。劣化度演算部１では、波長λ１～波長λ３における反射率$R_{\lambda 1}$～$R_{\lambda 3}$が算出，記憶される。このようにして、波長λ１～波長λ３における反射率が得られるので、劣化度演算部１において３波長間のデータのうち任意の２波長間の反射吸光度差ΔA_λ（$=A_\lambda-A_\lambda'$）が求められる。関数発生部１５には、図４に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度差がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度差ΔA_λから劣化度演算部１で劣化度を比較演算して判定し、外部に測定結果として出力する。

【００２８】

（実施例３）

図７には白色光源（ハロゲンランプ）を光源に用いた劣化度測定システムの構成図を示す。白色光源（ハロゲンランプ）を光源に用いても、システムは良好に動作する。光量測定部８には干渉フィルタからなる分光器が組み込まれており、各波長（５００～９００ｎｍ）での光量を瞬時に測定できる。実施例１と同様に各波長（５００～９００ｎｍ）に対するレファレンス光量及び反射光量を測定する。絶縁材料１１の表面からの反射光１２を受光用光ファイバ１３が受け、その伝送光は光量測定部８に送られ、反射光量が測定され劣化度演算部１に結果が出力される。劣化度演算部１では、波長５００～９００ｎｍにおける反射率R_{500}～R_{900}が連続的に算出，記憶される。このようにして、波長５００～９００　ｎｍにおける反射率が得られるので、劣化度演算部１において任意の２波長間の反射吸光度差ΔA_λ（$=A_\lambda-A_\lambda'$）が求められる。関数発生部１５には、図４に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度差がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度差ΔA_λから劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部に測定結果として出力する。

【００２９】

なお、前記各実施例においては、固体の絶縁材料の場合について説明したが、オイル等の液体の材料についても同様にして劣化度を測定することができる。

【００３０】

（実施例４）

図８は劣化度測定装置の機能構成を示すブロック図である。図８において、劣化度演算部１はハードディスクユニット１５が内蔵されたノートブック型パーソナルコンピュータを用いている。まず、各波長に対するレファレンス光量を測定する。レファレンス光量は絶縁材料１１の位置に酸化アルミナ板を設置して測定した。酸化アルミナ板を用いないで白色普通紙やクロームメッキされた金属板等を用いても一向に差し支えない。光源６から発生したピーク波長６６０ｎｍの単色光は、２ヶのプラスチック光結合器１６を通り、照射用光ファイバ９に導かれ、酸化アルミナ板上で反射される。この反射光は受光用光ファイバ１３を通り光量測定部８に伝送される。光量測定部８はフォトダイオードを内蔵した光パワーメータを用いている。光量測定部８では光源６からのピーク波長６６０ｎｍの単色光のレファレンス光量I_1を計測し、劣化度演算部１に測定値をピンジャックから電圧値としてアナログ出力する。劣化度演算部１のパーソナルコンピュータはアナログ出力データを直接入力することはできないので、１２ビットＡ／Ｄ（アナログ／デジタル）変換器１９を拡張コネクタに接続してある。１２ビットＡ／Ｄ変換器１９は５ボルトの電圧値を４０９６（＝2^{12}）分割して取り込む能力を有する。劣化度演算部１では、光源６のレファレンス光量I_1をメモリ上に記憶する。同様にして、光源１４から発生したピーク波長７８０ｎｍの単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１において光源１４のレファレンス光量I_2が記憶される。同様にして、光源１８から発生したピーク波長８５０ｎｍの単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１において光源１８のレファレンス光量I_3が記憶される。次に、絶縁材料表面の反射光量を測定する。光源６からのピーク波長６６０ｎｍの単色光は、２ヶのプラスチック光結合器１６を通り、照射用光ファイバ９に導かれ、反射光測定部１０内で絶縁材料１１の表面に照射される。反射光測定部１０は、図２に示したように外部の迷光を遮断する構造を有している。絶縁材料１１の表面からの反射光を受光用光ファイバ１３が受け、その伝送光は光量測定部８に送られ、反射光量I_1'が測定され劣化度演算部１に結果I_1'が出力される。劣化度演算部１では、６６０ｎｍにおける反射率R_{660}(＝１００×I_1'／I_1）が算出、メモリ上に記憶される。同様にして、光源１４から発生したピーク波長７８０ｎｍの単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１において７８０ｎｍにおける反射率R_{780}(＝１００×I_2'／I_2）が算出、メモリ上に記憶される。同様にして、光源１８から発生したピーク波長８５０ｎｍの単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１において８５０ｎｍにおける反射率R_{850}(＝１００×I_3'／I_3）が算出、メモリ上に記憶される。このようにして、６６０，７８０，８５０ｎｍにおける反射率が得られるので、劣化度演算部１において任意の２波長間の反射吸光度差ΔA_λ（＝$A_{\lambda 1}-A_{\lambda 2}$）が求められる。ハードディスクユニットからなる関数発生部１５には、図４に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度差がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度差ΔA_λの値から劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部（図示省略）のプリンタ等に測定結果として出力する。

【００３１】

なお、本実施例では３波長を用いた材料の劣化度測定装置を説明したが、２波長のみでも測定装置は良好に動作する。

【００３２】

（実施例５）

実施例１と同様の劣化度測定システムを用いて、絶縁材料１１の波長λ１と波長λ２における反射率を得た後、劣化度演算部１において２波長間の反射吸光度比A_λ'（＝$A_{\lambda 1}$／$A_{\lambda 2}$）を求める。関数発生部１５には、図９に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度比がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度比A_λ'から劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部(図示省略)のプリンタ等に測定結果として出力する。

【００３３】

（実施例６）

実施例２と同様の劣化度測定システムを用いて、絶縁材料１１の波長λ１～波長λ３にお

ける反射率を得た後、劣化度演算部１において３波長間のデータのうち任意の２波長間の反射吸光度比A_{λ}'（$=A_{\lambda 1}/A_{\lambda 2}$）を求める。関数発生部１５には、図９に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度比がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度比A_{λ}'から劣化度演算部１で劣化度を比較演算して判定し、外部に測定結果として出力する。

【００３４】

（実施例７）

実施例３と同様の劣化度測定システムを用いて、絶縁材料１１の波長５００～９００ｎｍにおける反射率を得た後、劣化度演算部１において任意の２波長間の反射吸光度比A_{λ}'（$=A_{\lambda 1}/A_{\lambda 2}$）を求める。関数発生部１５には、図９に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度比がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度比A_{λ}'から劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部に測定結果として出力する。

【００３５】

なお、前記各実施例においては、固体の絶縁材料の場合について説明したが、オイル等の液体の材料についても同様にして劣化度を測定することができる。

【００３６】

（実施例８）

実施例４と同様の劣化度測定装置を用いて、絶縁材料１１の６６０，７８０，８５０ｎｍにおける反射率を得た後、劣化度演算部１において任意の２波長間の反射吸光度比A_{λ}'（$=A_{\lambda 1}/A_{\lambda 2}$）を求める。ハードディスクユニットからなる関数発生部１５には、図９に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射吸光度比がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射吸光度比A_{λ}'の値から劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部（図示省略）のプリンタ等に測定結果として出力する。

【００３７】

なお、本実施例では３波長を用いた材料の劣化度測定装置を説明したが、２波長のみでも測定装置は良好に動作する。

【００３８】

（実施例９）

図１１は厚さの入力手段２０を有する劣化度測定システムの構成を示すブロック図である。図１１において、劣化度演算部１は測定の手順に沿って自動的に切替制御部２に切替部３，４，５の切替命令信号を送信している。まず、各波長に対するレファレンス光量を測定する。レファレンス光ファイバ７は測定用の光ファイバ（照射用光ファイバ９＋受光用光ファイバ１３）と同一長さを有する。光源６から発生したピーク波長λ１の単色光は、切替部３から切替部４を通り、さらにレファレンス光ファイバ７から切替部５を通り光量測定部８に伝送される。光量測定部８では光源６からのピーク波長λ１の単色光のレファレンス光量I_1を計測し、劣化度演算部１に測定値を出力する。劣化度演算部１では光源６のレファレンス光量I_1を記憶する。同様にして、光源１４から発生したλ１とは相異なるピーク波長λ２の単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１において光源１４のレファレンス光量I_2が記憶される。次に、絶縁材料表面の反射光量を測定する。光源６からのピーク波長λ１の単色光は、切替部３から切替部４を通り、さらに照射用光ファイバ９を伝送して反射光測定部１０内で絶縁材料１１の表面に照射される。反射光測定部１０は、図２に示したように外部の迷光を遮断する構造を有している。絶縁材料１１の表面からの反射光１２を受光用光ファイバ１３が受け、その伝送光は切替部５を通り光量測定部８に送られ、反射光量I_1'が測定され劣化度演算部１に結果I_1'が出力される。劣化度演算部１では、λ１における反射率$R_{\lambda 1}$（$=100\times I_1'/I_1$）が算出，記憶される。同様にして、光源１４から発生したλ１とは相異なるピーク波長λ２の単色光を用いて同じ操作が行われ、劣化度演算部１においてλ２における反射率$R_{\lambda 2}$（$=100\times I_2'/I_2$）が算出，記憶される。このようにして、波長λ１と波長　λ２における反射率

が得られるので、劣化度演算部１において２波長間の反射損失差ΔＬλ（＝Ｌλ１－Ｌλ２）が求められる。関数発生部１５には、図１２に示したような絶縁材料の劣化度に対応した反射損失差がマスターカーブとして予め記憶されており、劣化度演算部１に出力する。この記憶された関数値と実測の反射損失差ΔＬλから劣化度演算部１で比較演算して劣化度を判定し、外部（図示省略）のプリンタ等に測定結果として出力する。図１３には透過率５０％の絶縁皮膜について、厚さ補正の有無によるデータのバラツキの様子を示すグラフを示した。図１３において、ａは厚さ補正なしのプロット、ｂは厚さ補正ありのプロットを示す。厚さ補正によってデータのバラツキが大幅に低減されたことがわかる。

【００３９】

【発明の効果】

本発明によれば、実働中の機器の運転を停止することなく、機器に使用されている絶縁材料や構造材料の劣化度を非破壊で測定できる。さらに、表面が塵芥等で汚損した被測定物、あるいは凹凸を有する被測定物の場合にも適用できる劣化度測定システムを得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図１】実施例１の劣化度測定システムの構成を示すブロック図。

【図２】実施例１の光ファイバ測定端部を示す模式斜視図。

【図３】絶縁材料の反射吸光度スペクトルの例。

【図４】劣化度判定の基準となる反射吸光度差マスターカーブの一例。

【図５】表面汚損の有無と反射吸光度スペクトルの関係を示すグラフ。

【図６】実施例２の劣化度測定システムの構成を示すブロック図。

【図７】実施例３の劣化度測定システムの構成を示すブロック図。

【図８】実施例４の劣化度測定装置の構成を示すブロック図。

【図９】劣化度判定の基準となる反射吸光度比マスターカーブの一例。

【図１０】劣化度判定のための演算のフローチャート図。

【図１１】実施例９の劣化度測定システムの構成を示すブロック図。

【図１２】劣化度判定の基準となる反射損失差マスターカーブの一例。

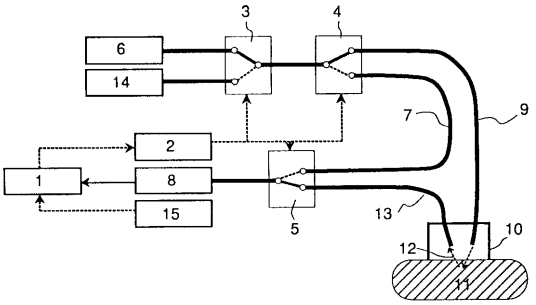
【図１３】透過率５０％の絶縁皮膜についての厚さ補正の有無を示すグラフ。

【符号の説明】

１…劣化度演算部、２…切替制御部、３，４，５…切替部、６…光源（波長　λ１）、７…レファレンス光ファイバ、８…光量測定部、９…照射用光ファイバ、１０…反射光測定部、１１…絶縁材料、１２…反射光、１３…受光用光ファイバ、１４…光源（波長λ２）、１５…関数発生部、１６…光結合器、１７…光源（ハロゲンランプ）、１８…光源（８５０ｎｍ）、１９…１２ビットＡ／Ｄ変換器、２０…厚さの入力手段。

【図１】

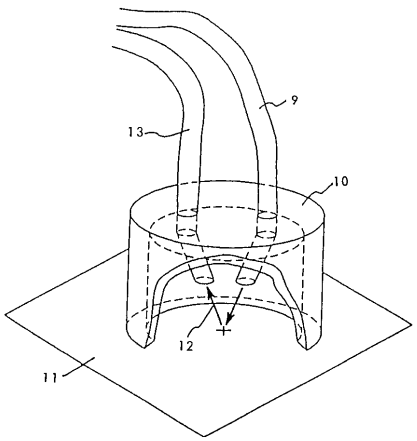
図 1



1…劣化度演算部，2…切替制御部，3,4,5…切替部，6…光源(波長λ1)，
7…レファレンス光ファイバ，8…光量測定部，9…照射用光ファイバ，
10…反射光測定部，11…絶縁材料，12…反射光，13…受光用光ファイバ，
14…光源(波長λ2)，15…関数発生部

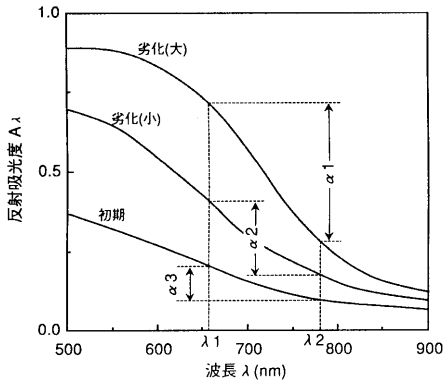
【図２】

図 2



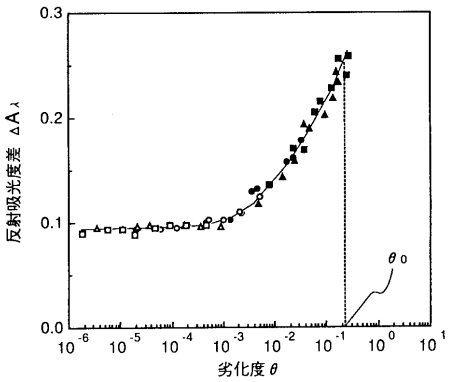
【図３】

図 3



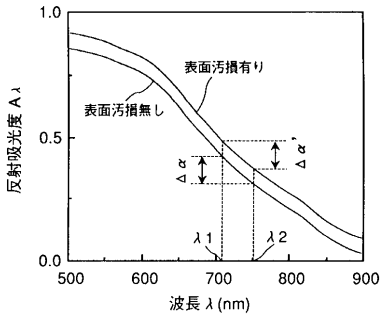
【図４】

図 4



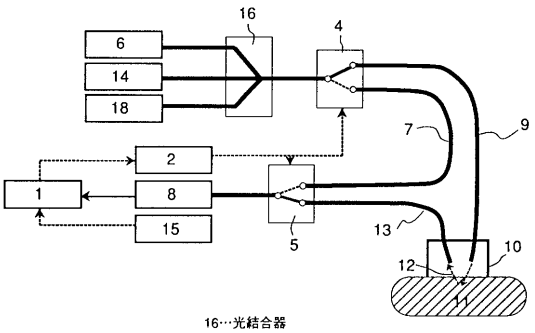
【図５】

図 5



【図６】

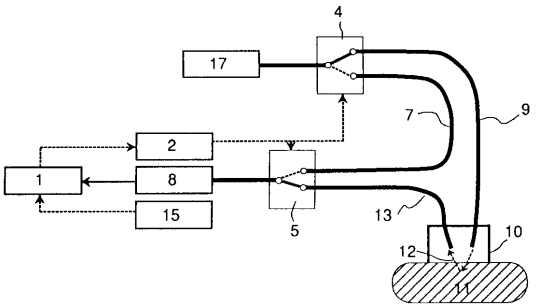
図 6



16…光結合器

【図７】

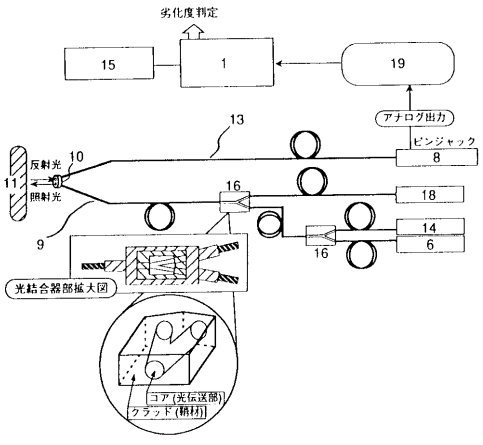
図 7



17…光源(ハロゲンランプ)

【図８】

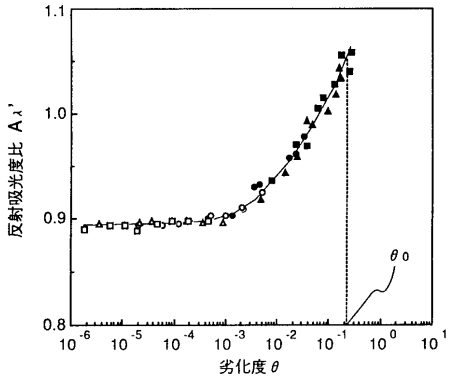
図 8



18…光源(850nm)、19…12ビットA/D変換器

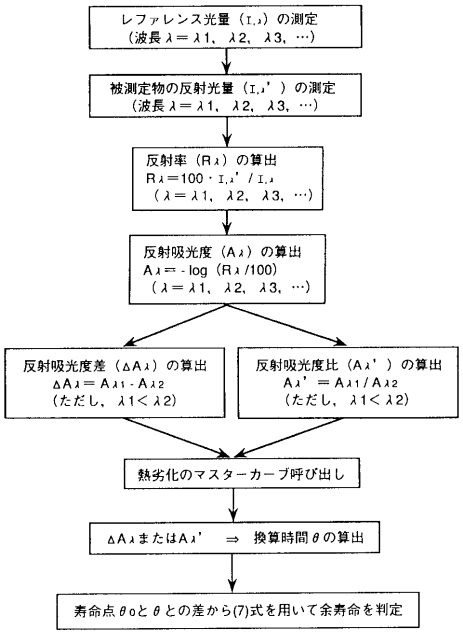
【図９】

図 9



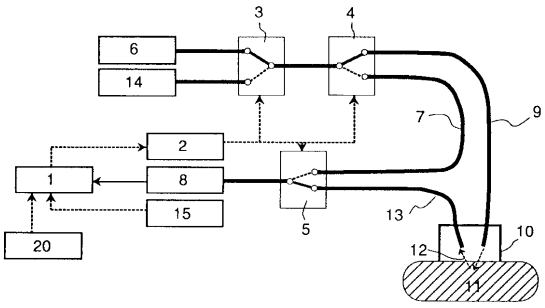
【図１０】

図 10



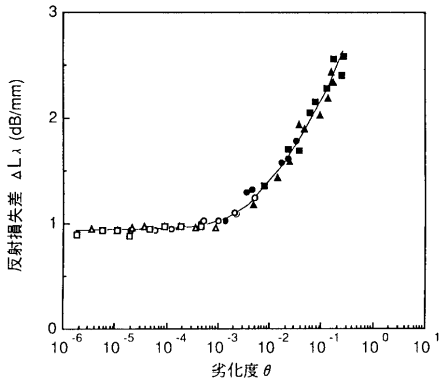
【図１１】

図 11



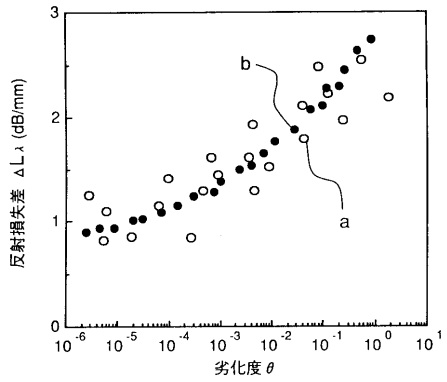
【図１２】

図 12



【図１３】

図 13



フロントページの続き

(72)発明者　小山　　徹
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　　株式会社　日立製作所　日立研究所内
(72)発明者　赤坂　伸一
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　　株式会社　日立製作所　日立研究所内
(72)発明者　下寺　　誠
東京都千代田区神田錦町一丁目６番地　　株式会社　日立ビルシステムサービス内
(72)発明者　宮　　寿一
東京都千代田区神田錦町一丁目６番地　　株式会社　日立ビルシステムサービス内
(72)発明者　三浦　巳之吉
東京都千代田区神田錦町一丁目６番地　　株式会社　日立ビルシステムサービス内

合議体
審判長　高橋　泰史
審判官　▲高▼見　重雄
審判官　菊井　広行

(56)参考文献　特開昭４９－８２９６（ＪＰ，Ａ）
特開昭５３－１５８９０（ＪＰ，Ａ）
特開昭５４－６３７８５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６０－１４０１４２（ＪＰ，Ａ）
特開平１－２６５１３９（ＪＰ，Ａ）
特開平３－１１８０３５（ＪＰ，Ａ）
特開平４－９８０５（ＪＰ，Ａ）
特開平４－２７４７４７（ＪＰ，Ａ）
特開平５－２６８０９（ＪＰ，Ａ）
特公平５－６４２９４（ＪＰ，Ｂ２）
竹沢由高　他５名“耐熱性プラスチック光ファイバーの熱劣化要因の究明”高分子学会予稿集
社団法人高分子学会　３８巻８号　１９８９年９月１２日　ｐ．２６９８～２７００