

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02006/109382

発行日 平成20年10月9日(2008.10.9)

(43) 国際公開日 平成18年10月19日(2006.10.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 N 27/72 (2006.01)	GO 1 N 27/72	2 G 0 0 5
GO 1 N 27/82 (2006.01)	GO 1 N 27/82	2 G 0 1 7
GO 1 V 3/08 (2006.01)	GO 1 V 3/08 A	2 G 0 5 3
A 6 1 B 5/05 (2006.01)	A 6 1 B 5/05 A	4 C 0 2 7
GO 1 R 33/12 (2006.01)	GO 1 R 33/12 Z	

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 31 頁) 最終頁に続く

出願番号 特願2006-524129 (P2006-524129)	(71) 出願人 504147243 国立大学法人 岡山大学 岡山県岡山市津島中一丁目1番1号
(21) 国際出願番号 PCT/JP2006/304927	
(22) 国際出願日 平成18年3月13日(2006.3.13)	
(11) 特許番号 特許第3987941号 (P3987941)	(74) 代理人 100072051 弁理士 杉村 興作
(45) 特許公報発行日 平成19年10月10日(2007.10.10)	
(31) 優先権主張番号 特願2005-71383 (P2005-71383)	(74) 代理人 100107227 弁理士 藤谷 史朗
(32) 優先日 平成17年3月14日(2005.3.14)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	(74) 代理人 100114292 弁理士 来間 清志
	(74) 代理人 100121119 弁理士 花村 泰伸
	(74) 代理人 100147485 弁理士 杉村 憲司
	(74) 代理人 100143568 弁理士 英 貢

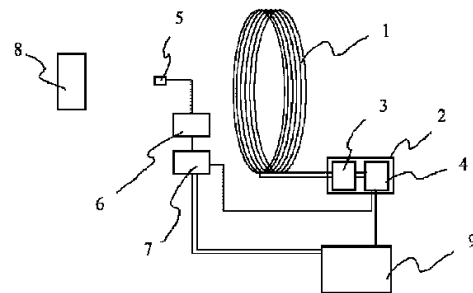
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁氣的インピーダンス計測装置

(57) 【要約】

測定対象物に低周波の交流磁場を印加して発生する誘導電流の分布を計測して、測定対象物のインピーダンス特性の分布を検出する。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置であって、周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと印加コイル用電源とを備え、測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する2つの磁気センサからなる少なくとも一組の磁気センサ手段を設け、前記印加コイル面から離して前記測定対象物に対向して配置され、前記磁気センサ手段の検出信号を計測する磁気センサ用計測手段を備え、この磁気センサ用計測手段の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を備え、この前記ロックインアンプ回路の出力信号により前記磁気センサの出力の強度と位相変化を解析する解析手段を備えたことを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

可変周波数の交流磁場を発生させる印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する励磁電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
を具備したことを特徴とする磁氣的インピーダンス計測装置。

10

## 【請求項 2】

周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する印加コイル用電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に接近できるように可動自在に配設されて、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
前記検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
を具備したことを特徴とする磁氣的インピーダンス計測装置。

20

## 【請求項 3】

周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する印加コイル用電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
前記検出手段で検出された信号を計測する計測手段と、  
該計測手段で計測された計測信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段と、  
を具備したことを特徴とする磁氣的インピーダンス計測装置。

30

## 【請求項 4】

前記計測手段の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を具備したことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項 5】

前記ロックインアンプ回路の出力信号により、前記磁気センサ手段の出力の強度と位相変化を解析する解析手段を具備したことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

40

## 【請求項 6】

前記測定対象物に流れる誘導電流を画像化する画像化手段を具備するとともに、該画像化手段からの出力を表示する表示手段を具備したことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス装置。

## 【請求項 7】

標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具備したことを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス装置。

## 【請求項 8】

前記測定対象物を固定するとともに前記印加コイル面に対して平行或いは平行及び垂直方向に移動できる走査手段を設けたことを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

50

## 【請求項 9】

前記 1 組の磁気センサ手段を複数個設け、それぞれの磁気センサ手段を等距離に配置したことを特徴とする請求項 1 ~ 8 に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項 10】

前記印加コイル用電源により前記印加コイルに複数の周波数の合成磁場を発生させ、これら複数の周波数それぞれに対して前記ロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項 11】

前記印加コイルは、1 対の対向形印加コイルとし、前記測定対象物を前記対向形印加コイルの間に配置することを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

10

## 【請求項 12】

前記磁気センサ手段は、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子であることを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項 13】

可変周波数の交流磁場を発生させる印加コイルと、

該印加コイルを励磁する励磁電源と、

測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分 (X, Y) で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも 1 個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、

20

該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、

該計測手段で計測された出力信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段と、  
を具えたことを特徴とする磁氣的非破壊検査装置。

## 【請求項 14】

標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする請求項 13 に記載の磁氣的非破壊検査装置。

## 【請求項 15】

前記測定対象物が、導電性を有する構造体であることを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の磁氣的非破壊検査装置。

30

## 【請求項 16】

前記測定対象物が、果物であることを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の果物熟成度の磁氣的検査装置。

## 【請求項 17】

前記測定対象物が、人体であることを特徴とする請求項 13 又は 14 に記載の人体疾患の磁氣的検査装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

40

本発明は、測定対象物に交流磁場を印加し、その応答特性を磁気センサ手段で検出する装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

交流磁場を印加して、その応答特性を調べるものとして金属探知機が知られている。金属探知機は、サーチコイルから交流磁場を発生させ測定対象物の金属表面に渦電流が発生し、印加した磁場に反発するように磁場が発生する。この磁場はファラディの電磁誘導法則で表せるようにサーチコイルを貫く磁束変化により起電力を変化させるので、この信号変化を計測して、金属の有無を検知している。金属探知機と同じように渦電流を発生させて、鋼管やワイヤロープなどの欠陥を検査する方法などの非破壊検査なども知られている

50

。金属探知機の応用として、このほか、テロ防止や防犯として危険物をもちこまないようにするための金属探知ゲートなどや、食肉や衣服など商品に製造時に紛れ込んだ針などの金属片を検知するものが提案されている。

【0003】

生体の電気的特性を調べる方法として、皮膚に電極を貼り、微弱な交流電流をしてそのインピーダンスを計測する生体電気インピーダンスがある。この方法を最もよく使われているものに体脂肪計がある。一方、電流を電極からではなく金属探知機のように交流磁場を人体にかけて誘導電流を発生させ、サーチコイルにより検出する方法が「A Noninvasive Electromagnetic Conductivity Sensor for Biomedical Applications」 Lynn W. Hart, et al., IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 35, No. 12 (1988) pp. 1011-1021 (非特許文献1) で磁氣的生体インピーダンス法として報告されている。

10

【0004】

【非特許文献1】「A Noninvasive Electromagnetic Conductivity Sensor for Biomedical Applications」 Lynn W. Hart, et al., IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 35, No. 12 (1988) pp. 1011-1021

【0005】

これらの検出方法は、全て、サーチコイルとして、印加コイル面に垂直な磁場成分をとらえるサーチコイルが用いられている。このため、検出としては、誘導電流の物質特性による変化から生じる磁気特性変化をとらえるだけであった。

特開2003-199723(特許文献1)では、導電体の電流密度あるいは電気伝導率を推定する方法として、磁場により誘導電流を発生させるかあるいは電流を直接流す方法を取り、ベクトルの磁気センサを用いその解析方法が記載されている。

20

【0006】

【特許文献1】特開2003-199723

【0007】

金属材料の欠陥を検査する非破壊検査方法として、渦電流を発生させ、それから発生する磁場を検出コイルによって計測する方法は、渦流探傷試験などとして知られている。この検出コイルの計測する磁場成分は、印加磁場コイルの中心軸に平行成分を検出していた。特開平5-203629(特許文献2)では、検出コイルのインピーダンスが測定対象物の材質や距離などに影響を受けることから、印加コイル内に配置した検出コイルとして中心軸に垂直方向の磁場成分を検出するコイルを用いたものが記載されている。

30

【0008】

【特許文献2】特開平5-203629

【0009】

金属やカーボンファイバによる板材の欠陥を調べるために電流分布をみたものとして「Non-contact SQUID-NDT method using a ferrite core for carbon-fibre composites」 Y. Hatsukade, et al., Superconductor Science and Technology, Vol. 15 (2002) pp. 1728-1732(非特許文献2)がある。この方法では、印加磁場として測定対象物の上で対の極性が少し離れて印加されるようにし、測定対象物にはその両極の間に強く電流が誘起される方法を取り、測定磁場方向としては、印加磁場と同じ方向でそれに垂直な方向での差分を磁気センサとして超伝導量子干渉素子(SQUID)で計測する方法がとられている。これにより、磁気センサの近くだけに誘導電流を発生させて、測定試料の各計測点で計測した電流を合成して画像化している。

40

【0010】

【非特許文献2】「Non-contact SQUID-NDT method using a ferrite core for carbon-fibre composites」 Y. Hatsukade, et al., Superconductor Science and Technology, Vol. 15 (2002) pp. 1728-1732

【0011】

印加コイルではなく、直接生体に電極を取りつけ電流を流し、その電流から発生する磁場をSQUIDで検出する方法が「Two-Dimensional Mapping of Impedance Magnetocardio

50

grams」 A. Kandori, et al., IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 49, No. 7 (2002) pp.721728 (非特許文献3) で報告されている。この計測では、測定対象物に対して垂直方向の磁場成分を検出するコイルがとりつけられており、金属探知や磁氣的生体インピーダンス法と同様の磁場成分を検出していた。ここで、検出コイルには生体からの磁場以外の磁場が多く入るため、検出コイルにキャンセルコイルを取付けられていた。

【0012】

【非特許文献3】「Two-Dimensional Mapping of Impedance Magnetocardiograms」 A. Kandori, et al., IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 49, No. 7 (2002) pp.721728

10

【0013】

また、体の中の電流分布を見る方法としては、「Multichannel SQUID system detecting tangential components of the cardiac magnetic field」 K. Tsukada, et al., Review of Scientific Instruments, Vol. 66, No. 10 (1995) pp. 5085-5091 (非特許文献4) が報告されており、体表面に水平方向を  $x$   $y$  平面としたとき、この水平方向で直交した  $x$  成分と  $y$  成分それぞれの磁場成分を検出することによって電流分布が画像化できる。しかし、これは、心筋の電気生理学的現象によって自発的に流れている電流を計測しているものであって、生体に電流を誘起させるものではなく、生体の電氣的インピーダンスの変化をみるものではない。

【0014】

【非特許文献4】「Multichannel SQUID system detecting tangential components of the cardiac magnetic field」 K. Tsukada, et al., Review of Scientific Instruments, Vol. 66, No. 10 (1995) pp. 5085-5091

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

従来の金属探知機の方式は、金属の有無を検知する方法であり、特に測定対象物での電氣的な特性であるインピーダンスの局所的な変化をとらえるものでなかった。また磁氣的生体インピーダンス法も同様に全体的なインピーダンス変化をとらえていたものであり、インピーダンスの局所的な変化による体のなかの電流分布変化をみることはできなかった。

30

【0016】

またベクトル成分を直接計測して、電流源を推定する方法では、計測における様々な妨害因子の除去がされていないため、印加する磁場の影響や、測定対象物から発生する磁場の局所的なインピーダンス特性による位相変化などをとらえることができなかった。

【0017】

また渦流探傷試験での印加コイル内に水平な成分を検出するコイルを配置したものは、印加コイルと検出コイルが同じ面にあるため、測定対象物に近づいたときは、印加磁場のコイル中心では、磁場強度分布として弱くなるため、渦電流として弱いところだけ計測する問題があった。また、測定対象物全体の電流分布を計測する場合も、印加コイルが検出コイルと同じ面であるため走査して計測すると計測毎に印加している磁場分布が変化する問題があり、測定対象物全体に流れる電流分布を計測することができなかった。

40

【0018】

同様に、磁気センサとして、SQUIDを用いた非破壊検査でも局所的に交流磁場を印加して、その部分だけに電流を発生させることを行なっているので、試料全体に電流を誘起させて、その電流分布をみることはできなかった。また印加磁場の信号が磁気センサに入ってくるため、そのキャンセル方法として微分コイルなどを使う必要があった。

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、可変周波数の交流磁場を発生させる

50

印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する励磁電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと、

該印加コイルを励磁する印加コイル用電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、

前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に接近できるように可動自在に配設されて、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、

前記検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと、

該印加コイルを励磁する印加コイル用電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、

前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、

前記検出手段で検出された信号を計測する計測手段と、

該計測手段で計測された計測信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段と、  
を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記計測手段の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記ロックインアンプ回路の出力信号により、前記磁気センサ手段の出力の強度と位相変化を解析する解析手段を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記測定対象物に流れる誘導電流を画像化する画像化手段を具えるとともに、該画像化手段からの出力を表示する表示手段を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記測定対象物を固定するとともに前記印加コイル面に対して平行或いは平行及び垂直方向に移動できる走査手段を設けたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記1組の磁気センサ手段を複数個設け、それぞれの磁気センサ手段を等距離に配置したことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記印加コイル用電源により前記印加コイルに複数の周波数の合成磁場を発生させ、これら複数の周波数それぞれに対して前記ロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記印加コイルは、1対の対向形印加コイルとし、前記測定対象物を前記対向形印加コイルの間に配置することを特徴とする。

。

10

20

30

40

50

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記磁気センサ手段は、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子であることを特徴とする。

【0020】

本発明は、磁氣的非破壊検査装置において、可変周波数の交流磁場を発生させる印加コイルと、

該印加コイルを励磁する励磁電源と、

測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X,Y)で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、

該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、

該計測手段で計測された出力信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段と、を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的非破壊検査装置において、標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする。

本発明は、磁氣的非破壊検査装置において、前記測定対象物が、導電性を有する構造体であることを特徴とする。

本発明は、磁氣的検査装置において、前記測定対象物が、果物であることを特徴とする果物熟成度の磁氣的検査装置である。

本発明は、磁氣的検査装置において、前記測定対象物が、人体であることを特徴とする人体疾患の磁氣的検査装置である。

【0021】

本発明は、上記課題を解決するために提案されたものであって、本発明の第1の形態は、周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと印加コイル用電源とを備え、測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する2つの磁気センサからなる少なくとも一組の磁気センサ手段を設け、前記印加コイル面から離して前記測定対象物に近づけるように配置し、前記磁気センサ手段の検出信号を計測する磁気センサ用計測回路を備え、この磁気センサ用計測回路の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を備え、この前記ロックインアンプ回路の出力信号により前記磁気センサ手段の出力の強度と位相変化を解析する解析手段を備えた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0022】

本発明の第2の形態は、前記印加コイル又は前記一組の磁気センサ手段と前記測定対象物との距離を計測する距離計測手段を設けた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0023】

本発明の第3の形態は、前記測定対象物を固定するとともに前記印加コイル面に対して平行あるいは平行及び垂直方向に移動できる走査手段を設けた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0024】

本発明の第4の形態は、前記測定対象物を計測した時の前記磁気センサ手段出力の強度と位相を解析する手段として、前記計測対象物の計測前あるいは計測後に前記計測対象物がない時の前記磁気センサ手段の出力の強度と位相を解析し、前記測定対象物による強度と位相からの変化解析する手段を設けた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0025】

本発明の第5の形態は、前記印加コイル又は前記1組の磁気センサ手段を複数個設け、それぞれの磁気センサ手段を等距離に配置した磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0026】

本発明の第6の形態は、前記印加コイル用電源により前記印加コイルに複数の周波数の合成磁場を発生させ、これら複数の周波数それぞれに対して前記ロックインアンプ回路を

10

20

30

40

50

備えた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0027】

本発明の第7の形態は、前記印加コイルとして1対の対向形印加コイルを設け、前記測定対象物を前記対向形印加コイルの間に配置した磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0028】

本発明の第8の形態は、前記磁気センサは、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子である磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0029】

本発明の第9の形態は、第1～8の形態のいずれかの磁氣的インピーダンス装置を用いて、前記測定対象物に流れる誘導電流を画像化し、電流分布の異常を判定する磁氣的インピーダンス変化判定装置である。

10

【発明の効果】

【0030】

本発明の第一の形態によれば、印加コイルにより測定対象物に誘導電流を発生させることができる。ここで、印加コイルの中心軸をz軸とし、コイル面を直交したx、y軸からなるxy平面とする。この誘導電流からさらに発生した磁場の印加コイル面に平行な磁場のxおよびy成分をそれぞれ検知できる磁気センサで計測する。この接線成分の磁場分布を考えると、電流の直上に接線成分の強度は強くなるので、等価的に接線成分の強度分布は電流分布を反映していることになる。また、誘導電流から発生した磁場は電流の位相と等しい。これらのことから、計測した接線成分の磁場強度と位相からは測定対象物の局所的なインピーダンス特性を反映した信号が得られた。また、周波数を可変にすることができるので各種測定対象物での誘電率や導電率などの周波数変化をとらえることができるのでインピーダンスの周波数変化をとらえることができる。また、印加コイルが作る磁場は印加コイル軸に平行な成分つまりz成分が最も強く、逆にx、y成分では最も小さくなる。このため、従来印加コイルによって磁気センサにとびこんでくる磁場が測定対象物から発生する磁場よりも非常に大きいため磁気センサの近くに印加コイル磁場をキャンセルするキャンセルコイルを設ける必要があった。しかし、本発明では印加コイル磁場が最も小さいx、y成分を計測しているので、キャンセルコイルが不要となり簡単な構成とすることができた。

20

30

【0031】

本発明の第2の形態によれば、測定対象物の磁気応答特性を計測する場合、磁気変化はその印加コイルから測定対象物との距離と、磁気センサから測定対象物との距離によって大きく異なってくる。特に電流分布を計測する場合に、各計測点から磁気センサの距離が変化すると、正確な電流分布を解析することができなくなるが、印加コイルと磁気センサの距離を計測する距離計測手段を設けることにより、より精度の高い電流分布が計測できるようになった。

【0032】

本発明の第3の形態によれば、測定対象物を移動させることができるので一組の磁気センサでも、測定対象物の電流分布を計測することができる。

40

【0033】

本発明の第4の形態によれば、測定対象物の誘導電流から発生する磁場強度が小さい場合でも、精度が高く計測できる。測定対象物がない場合でも磁気センサには環境の磁気雑音や印加磁場が入ってくる。このため、測定対象物からの信号が弱く、雑音と同程度あるいは小さい場合は、大きな誤差が生じる。しかし、あらかじめ計測前あるいは後で測定対象物がないときの磁気センサの出力を計測しておき、測定対象物を測定した磁気センサの出力から得られた磁場ベクトルからないときの磁場ベクトルを差し引くことにより真の磁場ベクトル変化を解析することができる。

【0034】

さらに本発明の第5の形態によれば、一組の磁気センサ手段を複数個設け、等間隔に配

50



置ることによって、測定対象物を移動させることなく、一度に各計測点を同時計測することができるので電流分布の高速計測ができる。

【0035】

本発明の第6の形態によれば、印加磁場の周波数を変化させて計測せずに複数の周波数の合成磁場を発生させ、磁気センサの出力を複数の周波数で位相検波するから、周波数を切り替えずに2つの周波数に対する測定対象物の磁気応答を同時に計測できる。従って、インピーダンスの周波数特性の計測が格段に高速化できる。

【0036】

本発明の第7の形態によれば、印加コイルとして1対の対向形印加コイルを設けることにより、測定対象物に対して広い領域で均一な印加磁場分布を与えることができる。従って、測定対象物が大きな面積である場合も均一な磁気信号を得ることができ、測定対象物のインピーダンス特性の局所的な変化を高精度に計測することができる。

10

【0037】

さらに本発明の第8の形態によれば、磁気センサとして、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲージ又は超伝導量子干渉素子を用いることにより、低周波の交流磁場を印加して磁気応答を検知することができる。好ましくは、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲージ又は超伝導量子干渉素子を用いれば、周波数が1kHz以下から数Hz以下までの低周波の交流磁場を印加して測定対象物のインピーダンス特性の局所的な変化を検知することができる。

【0038】

本発明の第9の形態によれば、第1～8の形態の磁気検知装置を用いて測定対象物のインピーダンス特性の局所的な変化を高感度で測定できるから、測定対象物に構造欠陥や、疾患による生体組織のインピーダンス変化や、農作物の熟成度や密度の変化などを高精度に判定することができる。

20

【0039】

本発明によれば、測定対象物を走査して計測することにより、測定対象物の誘導電流によって発生した磁場の分布を計測し、さらに磁場分布より、誘導電流の分布を解析することができる。

さらに本発明によれば、磁氣的インピーダンス装置により、測定対象物に流れる誘導電流を画像化し、電流分布の異常を判定することができる。

30

【0040】

また本発明によれば、印加した磁場と垂直な磁場を計測することによって、電流分布を画像化できるので、欠陥部分で生じた局所的な電流分布の変化まで解析でき、欠陥が何処に、どのくらいの大きさであるかを判定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1】本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の基本構成を示す概略図である。

【図2】本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例1の一組の磁気センサ手段の計測磁場成分を示す概略図である。

【図3】本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例1のロックインアンプ部の構成を示す概略図である。

40

【図4】本発明に係る磁気検知装置の実施例2の基本構成を示す概略図である。

【図5】本発明に係る磁気検知装置の実施例3の基本構成を示す概略図である。

【図6】実施例3の計測結果における測定対象物がないときの磁場ベクトルと測定対象物を計測したときの磁場ベクトルの関係図である。

【図7】実施例3の解析結果による測定対象物での電流分布図である。

【図8】2つの周波数を合成した印加磁場を用いた磁氣的インピーダンス計測装置の実施例4のロックインアンプ部の構成を示す概略図である。

【図9】本発明に係る対向形印加コイルを用いた第5実施例形態の基本構成を示す概略図である。

50

【図10】本発明に係る対向形印加コイルと多数個の磁気センサを用いた実施例6の基本構成を示す概略図である。

【符号の説明】

【0042】

1	印加コイル	
2	印加コイル用電源	
3	電流原	
4	発信器	
5	一組の磁気センサ手段	
6	磁気センサ用計測回路	10
6 - 1	磁気センサ用計測回路	
6 - 2	磁気センサ用計測回路	
6 - 3	磁気センサ用計測回路	
6 - 4	磁気センサ用計測回路	
7	ロックインアンプ回路	
8	測定対象物	
9	解析手段	
10	B x 用磁気センサ	
11	B y 用磁気センサ	
12 - 1	ハイパスフィルター	20
12 - 2	ハイパスフィルター	
13 - 1	アンプ	
13 - 2	アンプ	
14 - 1	位相検波回路	
14 - 2	位相検波回路	
14 - 3	位相検波回路	
14 - 4	位相検波回路	
15 - 1	ローパスフィルター	
15 - 2	ローパスフィルター	
15 - 3	ローパスフィルター	30
15 - 4	ローパスフィルター	
16 - 1	同相出力端子	
16 - 2	同相出力端子	
16 - 3	同相出力端子	
16 - 4	同相出力端子	
16 - 5	同相出力端子	
16 - 6	同相出力端子	
17 - 1	90度位相シフト	
17 - 2	90度位相シフト	
18 - 1	90度位相出力端子	40
18 - 2	90度位相出力端子	
18 - 3	90度位相出力端子	
18 - 4	90度位相出力端子	
18 - 5	90度位相出力端子	
18 - 6	90度位相出力端子	
20	距離計測手段	
21	スキャンニング手段	
22 - 1	対向形印加コイル	
22 - 2	対向形印加コイル	
23	マルチチャンネル磁気センサアレイ	50

2 4 マルチチャンネル用計測回路

2 5 マルチチャンネル用ロックインアンプ回路

【発明を実施するための最良の形態】

【0043】

以下、本発明の実施形態を添付する図面を参照して詳細に説明する。

【実施例1】

【0044】

図1は、本発明による磁氣的インピーダンス計測装置の基本構成を示す概略図である。測定対象物8に、印加コイル1によって磁場が印加される。印加コイル用電源2は発信器4によって印加磁場の周波数を変えることができる。この信号で電流源3を駆動し、印加コイル1に交流電流を流す。測定対象物8に印加磁場によって生じた誘導電流が発生し、その誘導電流による磁場が新たに発生する。この誘導電流による磁場を磁気抵抗素子からなる一組の磁気センサ手段5で検出する。ここで、印加コイルのコイル面をx y平面とし、コイルの中心軸をz軸とする。一組の磁気センサ手段5には図2に示すようにx y平面に平行な磁場成分B<sub>x</sub>成分とB<sub>y</sub>成分の2つの直交した磁場成分を計測するB<sub>x</sub>用磁気センサ10とB<sub>y</sub>用磁気センサ11を設ける。もちろん、磁気センサとして他の磁気インピーダンス効果センサや、フラックスゲート、超伝導量子干渉素子等いずれかを使用することができる。ここで、B<sub>x</sub>用磁気センサ10とB<sub>y</sub>用磁気センサ11それぞれには測定対象物8からの磁場だけでなく地磁気などの環境の磁気雑音が入っており、また印加磁場が磁気センサのところにも入っている。このため、印加磁場の周波数に同期した信号だけをとりだすロックイン検波方式をとることにより、測定対象物8からの磁場だけを検出できるようなる。

【0045】

図3は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置のロックインアンプ部の構成を示す概略図である。各B<sub>x</sub>用磁気センサ10およびB<sub>y</sub>用磁気センサ11は図3に示すように、それぞれの磁気センサ用計測回路6-1及び磁気センサ用計測回路6-2で駆動し、その出力は、ロックインアンプ回路7により検波される。ロックインアンプ回路7では、印加コイルにかけた発信器4に同期した信号だけ検出する。発信器4の信号に対して同相の信号と、90度位相がずれている信号の2つに分離して検出される。磁気センサ用計測回路6-1の出力は、ロックインアンプ回路7の初段にあるハイパスフィルター12-1により直流成分をカットした後、アンプ13-1により増幅される。この後、2つの経路に分岐され、一つは発信器4の信号と同相の信号が位相検波回路14-1によって検波され、ローパスフィルター15-1を通り同相出力端子16-1に出力される。

【0046】

また、分岐されたもう一つの信号は、発信器からの信号が90度位相シフト17-1により位相が90度ずれた位相検波回路14-2を通り、ローパスフィルター15-2を通り90度位相シフト出力端子18-1に出力される。このようにして測定対象物8の磁気応答信号を同相の信号と90度ずれた信号に分離される。この90度位相の異なる信号に分離することにより、測定対象物のインピーダンス特性の変化による誘導電流の信号の強度と位相変化を読み取ることができる。

【実施例2】

【0047】

図4は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例2の基本構成を示す概略図である。実施例2は、測定対象物8と印加コイル1の位置を判定するために、距離計測手段20を設けている。この距離計測手段20の設置場所は印加コイル1の近くでも一組の磁気センサ手段5の近くでも、それぞれに対する距離計測手段8の相対距離が分かれば、設置場所はどこでもよい。ここで、距離計測手段としては、レーザ光を用いた距離計を用いた。印加磁場に対する測定対象物8の磁気応答特性は印加コイル1との距離で異なり、またそれを検出する一組の磁気センサ手段5との距離でも信号強度が大きく異なってくる。このため、距離計測手段20を設けることにより再現性のある計測が実現でき

10

20

30

40

50

る。

【実施例 3】

【0048】

図5は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例3の基本構成を示す概略図である。実施例2の装置に、測定対象物用のスキャンニング手段21をとりつけた構成をしており、距離計測手段により、一組の磁気センサ手段と測定対象物との距離を一定に保ち、測定対象物を走査して計測することができる。この機構により測定対象物の誘導電流によって発生した磁場の分布を計測することができる。さらに磁場分布より誘導電流の分布を解析することができるようになった。

【0049】

図6はロックイン検波した磁気センサからの出力の基礎的な処理方法を模式化したものである。測定対象物8がないときの磁場センサからの出力を $B_a$ とする。印加コイル1にはインダクタンスがあるため、周波数によって電流源の発信器からの信号から位相ずれる。測定対象物8を計測するとそのインピーダンス特性よりさらに位相がだけずれる。このときの信号ベクトルを $B_b$ とすると、測定対象物8の誘導電流から発生した磁場信号ベクトルは $B_s = B_b - B_a$ である。このベクトルを原点に平行移動すると位相角が分かる。ここで、これらの、などの位相角は周波数により変化する。このため、測定前あるいは測定後に測定対象物8がないときの磁場ベクトル強度 $|B_a|$ と位相角とを計測しておく。測定対象物がないときの磁場ベクトル強度と位相角と、測定対象物を計測した結果の磁場ベクトル強度 $|B_b|$ と位相角とから最終的に誘導電流によって発生した磁場信号ベクトル強度 $|B_s|$ と位相角を算出することができる。従来は、キャンセルコイルを用いて測定対象物8がないときに検出する磁場ベクトルは非常に小さくして測定対象物8だけの信号を解析していた。しかし、本解析方法では、測定対象物がないときの磁場ベクトルの情報を得ることにより、キャンセルコイルなしでも測定対象物8の信号が解析できるようになっている。

【0050】

図7は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例3を用い、また前述した図4の解析方法を用いて厚さ1mmで10cm×10cmの銅板を計測し解析した結果を示す。図7は、銅板に流れた誘導電流の電流分布を示している。図中の矢印はスキャンニング装置で測定対象物である銅板を動かして、各点で計測し、解析した結果から電流ベクトルを解析した結果を示している。銅板の信号ベクトルを $x$ 、 $y$ 成分に分解すると $B_s = |B_x| e_x + |B_y| e_y$ と書き表すことができる。ここで $e_x$ と $e_y$ は、それぞれ $x$ 方向および $y$ 方向の単位ベクトルとする。この信号ベクトルから電流は $I_s = |B_x| e_y - |B_y| e_x$ で表せる。この電流ベクトル $I_s$ を図7は示している。この図より、銅板での誘導電流の各計測点での電流の向きと大きさを知ることができるようになった。このように解析し、画像化し、表示することができる。

【実施例 4】

【0051】

図8は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例4を示す。実施例1～3では、周波数を切り替えて測定したが、実施例4では、図8に示すように印加コイル用電源2の発信器4で2つの周波数 $f_1$ と $f_2$ を同時に発生させ合成した電流波形を印加コイルに供給している。このため、各磁気センサに接続された磁気センサ用計測回路6-3および磁気センサ用計測回路6-4からの出力を2つに分岐させ、周波数 $f_1$ と $f_2$ 用のロックインアンプ回路をそれぞれ設けている。このため、出力端子としては周波数 $f_1$ に対して、同相出力端子16-3と同相出力端子16-4と90度位相シフト出力端子16-5と90度位相シフト出力端子16-6の合計4つの信号が同時に得られる。従って、 $x$ 成分用磁気センサ10および $y$ 成分用磁気センサ11からなる一組の磁気センサ手段からは合計8つの信号が得られる。これにより周波数を切り替えなくても、測定対象物の周波数変化によるインピーダンス特性変化を計測できる。

【0052】

10

20

30

40

50

実施例 1 ~ 4 においては、印加コイルを一つ用いた検知器を説明したが、測定対象物が大きい場合や、測定対象物に均一な磁場を印加したい場合は、印加磁場のより広い範囲での均一性が求められ、以下に均一な交流磁場を印加可能な実施例を示す。

【実施例 5】

【0053】

図 9 は、本発明に係る対向形印加コイルを用いた第 5 実施例形態の基本構成を示す概略図である。実施例 5 では印加コイルを対向形印加コイル 2 2 - 1 と対向形印加コイル 2 2 - 2 の 2 つを設け、お互いのコイル面が対向するように配置している。これはヘルツホルツコイルとしてよく知られたコイルの組み合わせであるが、これを用いることにより、より大きい測定対象物 8 を計測することができる。

10

【実施例 6】

【0054】

図 10 は、本発明に係る対向形印加コイルと一組の磁気センサ手段が多数個なるマルチチャンネル磁気センサアレイ 2 3 を用いた実施例 6 の基本構成を示す概略図である。実施例 5 では、一組の磁気センサ手段を用いて、スキャンニング装置により測定点を変えていった。しかし、実施例 6 では一組の磁気センサ手段 5 を多数個配置することにより測定対象物の各部分での磁気応答が同時計測できるように構成されている。このため、多数の一組の磁気センサ手段 5 を駆動するためマルチチャンネル用計測回路 2 4 とマルチチャンネル用ロックインアンプ回路 2 5 を設け、同時計測できるようにしている。このように磁気センサ数は、多く配置することによって、測定時間を大幅に短縮できるとともに、過渡的な現象も観察することができるようになった。

20

【0055】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲における種々の変形例、設計変更などをその技術的範囲内に包含することは云うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【0056】

本発明は、測定対象物に交流磁場を印加しそのインピーダンス特性を検出するとともに、誘導電流の分布を画像化する装置に関する。

本発明は、測定対象物に交流磁場を印加しそのインピーダンス特性を磁気センサで検出できる装置に関する。このため、導電性のある構造物での欠陥を検出する非破壊検査装置や、果物等の熟成度や密度を検査する装置や、疾患による人の体の内部のインピーダンス変化などを検査する生体インピーダンス検査装置などとして利用できる。

30

【 図 1 】

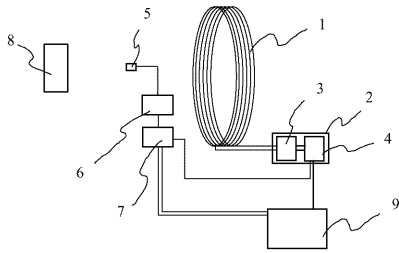


FIG.1

【 図 2 】

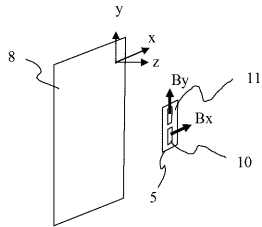


FIG.2

【 図 3 】

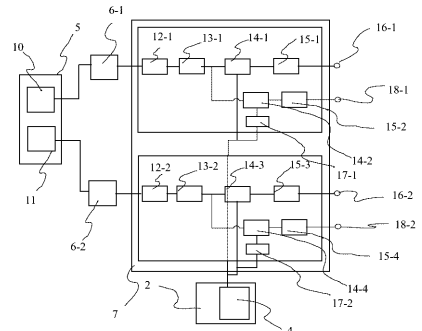


FIG.3

【 図 4 】

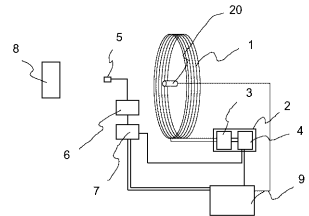


FIG.4

【 図 5 】

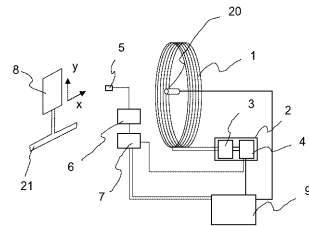


FIG.5

【 図 6 】

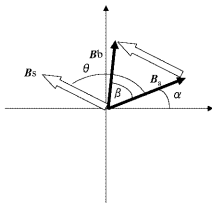


FIG.6

【 図 9 】

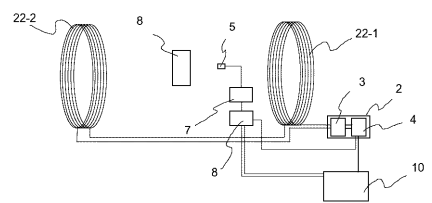


FIG.9

【 図 7 】

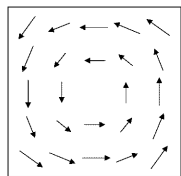


FIG.7

【 図 10 】

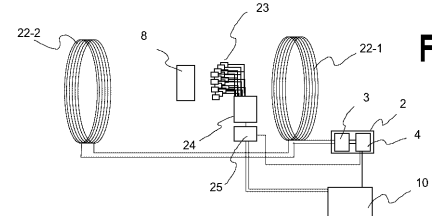


FIG.10

【 図 8 】

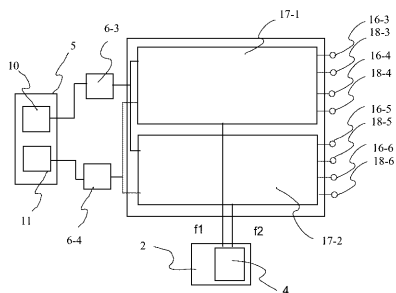


FIG.8

## 【手続補正書】

【提出日】平成19年5月2日(2007.5.2)

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

可変周波数の交流磁場を発生させる1個の印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する励磁電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X, Y)で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する、前記印加コイル面と測定対象物の間に位置している、一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
を具えたことを特徴とする磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項2】

前記検出手段は、前記測定対象物に接近できるように可動自在に配設されていることを特徴とする請求項1に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項3】

前記計測手段で計測された計測信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段を更に具えたことを特徴とする請求項1又は2に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項4】

前記計測手段の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項5】

前記ロックインアンプ回路の出力信号により、前記磁気センサ手段の出力の強度と位相変化を解析する解析手段を具えたことを特徴とする請求項4に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項6】

前記測定対象物に流れる誘導電流を画像化する画像化手段を具えるとともに、該画像化手段からの出力を表示する表示手段を具えたことを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の磁氣的インピーダンス装置。

## 【請求項7】

標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の磁氣的インピーダンス装置。

## 【請求項8】

前記測定対象物を固定するとともに前記印加コイル面に対して平行或いは平行及び垂直方向に移動できる走査手段を設けたことを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項9】

前記1組の磁気センサ手段を複数個設け、それぞれの磁気センサ手段を等距離に配置したことを特徴とする請求項1～8に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項10】

前記印加コイル用電源により前記印加コイルに複数の周波数の合成磁場を発生させ、これら複数の周波数それぞれに対して前記ロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする請求項1～9のいずれか1項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項 1 1】

前記磁気センサ手段は、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子であることを特徴とする請求項 1 ~ 1 0 のいずれか 1 項に記載の磁氣的インピーダンス計測装置。

## 【請求項 1 2】

可変周波数の交流磁場を発生させる 1 個の印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する励磁電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分 ( X , Y ) で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する、前記印加コイル面と測定対象物の間に位置している、一組の磁気センサからなる少なくとも 1 個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
該計測手段で計測された出力信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段と、  
を具えたことを特徴とする磁氣的非破壊検査装置。

## 【請求項 1 3】

標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする請求項 1 2 に記載の磁氣的非破壊検査装置。

## 【請求項 1 4】

前記測定対象物が、導電性を有する構造体であることを特徴とする請求項 1 2 又は 1 3 に記載の磁氣的非破壊検査装置。

## 【請求項 1 5】

前記測定対象物が、果物であることを特徴とする請求項 1 3 又は 1 4 に記載の果物熟成度の磁氣的検査装置。

## 【請求項 1 6】

前記測定対象物が、人体であることを特徴とする請求項 1 3 又は 1 4 に記載の人体疾患の磁氣的検査装置。

## 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】磁氣的インピーダンス計測装置

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、測定対象物に交流磁場を印加し、その応答特性を磁気センサ手段で検出する装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

交流磁場を印加して、その応答特性を調べるものとして金属探知機が知られている。金属探知機は、サーチコイルから交流磁場を発生させ測定対象物の金属表面に渦電流が発生し、印加した磁場に反発するように磁場が発生する。この磁場はファラディの電磁誘導法則で表せるようにサーチコイルを貫く磁束変化により起電力を変化させるので、この信号変化を計測して、金属の有無を検知している。金属探知機と同じように渦電流を発生させて、鋼管やワイヤロープなどの欠陥を検査する方法などの非破壊検査なども知られている。金属探知機の応用として、このほか、テロ防止や防犯として危険物をもちこまないようにするための金属探知ゲートなどや、食肉や衣服など商品に製造時に紛れ込んだ針などの金属片を検知するものが提案されている。



## 【 0 0 0 3 】

生体の電気的特性を調べる方法として、皮膚に電極を貼り、微弱な交流電流をしてそのインピーダンスを計測する生体電気インピーダンスがある。この方法を最もよく使われているものに体脂肪計がある。一方、電流を電極からではなく金属探知機のように交流磁場を人体にかけて誘導電流を発生させ、サーチコイルにより検出する方法が磁氣的生体インピーダンス法として開示されている（例えば、非特許文献 1 参照）。

## 【 0 0 0 4 】

これらの検出方法は、全て、サーチコイルとして、印加コイル面に垂直な磁場成分をとらえるサーチコイルが用いられている。このため、検出としては、誘導電流の物質特性による変化から生じる磁気の特長変化をとらえるだけであった。

## 【 0 0 0 5 】

導電体の電流密度あるいは電気導率を推定する方法として、磁場により誘導電流を発生させるかあるいは電流を直接流す方法と取り、ベクトルの磁気センサを用いその解析方法が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。

## 【 0 0 0 6 】

金属材料の欠陥を検査する非破壊検査方法として、渦電流を発生させ、それから発生する磁場を検出コイルによって計測する方法は、渦流探傷試験などとして知られている。この検出コイルの計測する磁場成分は、印加磁場コイルの中心軸に平行成分を検出していた。検出コイルのインピーダンスが測定対象物の材質や距離などに影響を受けることから、印加コイル内に配置した検出コイルとして中心軸に垂直方向の磁場成分を検出するコイルを用いたものが開示されている（例えば、特許文献 2 参照）。

## 【 0 0 0 7 】

金属やカーボンファイバによる板材の欠陥を調べるために電流分布をみたものが開示されている（例えば、非特許文献 2 参照）。この方法では、印加磁場として測定対象物の上で対の極性が少し離れて印加されるようにし、測定対象物にはその両極の間に強く電流が誘起される方法と取り、測定磁場方向としては、印加磁場と同じ方向でそれに垂直な方向での差分を磁気センサとして超伝導量子干渉素子（SQUID）で計測する方法がとられている。これにより、磁気センサの近くだけに誘導電流を発生させて、測定試料の各計測点で計測した電流を合成して画像化している。

## 【 0 0 0 8 】

印加コイルではなく、直接生体に電極をとりつけ電流を流し、その電流から発生する磁場を SQUID で検出する方法が開示されている（例えば、非特許文献 3 参照）。この計測では、測定対象物に対して垂直方向の磁場成分を検出するコイルがとりつけられており、金属探知や磁氣的生体インピーダンス法と同様の磁場成分を検出していた。ここで、検出コイルには生体からの磁場以外の磁場が多く入るため、検出コイルにキャンセルコイルを取付けられていた。

## 【 0 0 0 9 】

また、体の中の電流分布を見る方法が開示されており（例えば、非特許文献 4 参照）、体表面に水平方向を  $x$   $y$  平面としたとき、この水平方向で直交した  $x$  成分と  $y$  成分それぞれの磁場成分を検出することによって電流分布が画像化できる。しかし、これは、心筋の電気生理学的現象によって自発的に流れている電流を計測しているものであって、生体に電流を誘起させるものではなく、生体の電気的インピーダンスの変化をみるものではない。

## 【 0 0 1 0 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 1 9 9 7 2 3 号公報

【特許文献 2】特開平 5 - 2 0 3 6 2 9 号公報

【非特許文献 1】「A Noninvasive Electromagnetic Conductivity Sensor for Biomedical Applications」Lynn W. Hart, et al., IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 35, No. 12 (1988) pp. 1011 1021

【非特許文献 2】「Non-contact SQUID-NDT method using a ferrite core for carbon-f

ibre composites」Y. Hatsukade, et al., Superconductor Science and Technology, Vol. 15 (2002) pp. 1728-1732

【非特許文献3】「Two Dimensional Mapping of Impedance Magnetocardiograms」A. Kandori, et al., IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 49, No. 7 (2002) pp. 721728

【非特許文献4】「Multichannel SQUID system detecting tangential components of the cardiac magnetic field」K. Tsukada, et al., Review of Scientific Instruments, Vol. 66, No. 10 (1995) pp. 5085-5091

【0011】

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

従来の金属探知機の方式は、金属の有無を検知する方法であり、特に測定対象物での電氣的な特性であるインピーダンスの局所的な変化をとらえるものでなかった。また磁氣的な生体インピーダンス法も同様に全体的なインピーダンス変化をとらえていたものであり、インピーダンスの局所的な変化による体のなかの電流分布変化をみることはできなかった。

【0012】

またベクトル成分を直接計測して、電流源を推定する方法では、計測における様々な妨害因子の除去がされていないため、印加する磁場の影響や、測定対象物から発生する磁場の局所的なインピーダンス特性による位相変化などをとらえることができなかった。

【0013】

また渦流探傷試験での印加コイル内に水平な成分を検出するコイルを配置したものは、印加コイルと検出コイルが同じ面にあるため、測定対象物に近づいたときは、印加磁場のコイル中心では、磁場強度分布として弱くなるため、渦電流として弱いところだけ計測する問題があった。また、測定対象物全体の電流分布を計測する場合も、印加コイルが検出コイルと同じ面であるため走査して計測すると計測毎に印加している磁場分布が変化するという問題があり、測定対象物全体に流れる電流分布を計測することができなかった。

【0014】

同様に、磁気センサとして、SQUIDを用いた非破壊検査でも局所的に交流磁場を印加して、その部分だけに電流を発生させることを行なっているため、試料全体に電流を誘起させて、その電流分布をみることはできなかった。また印加磁場の信号が磁気センサに入ってくるため、そのキャンセル方法として微分コイルなどを使う必要があった。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、可変周波数の交流磁場を発生させる1個の印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する励磁電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分(X, Y)で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する、前記印加コイル面と測定対象物の間に位置している、一組の磁気センサからなる少なくとも1個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
を具えたことを特徴とする。

【0016】

本発明は、前記検出手段は、前記測定対象物に接近できるように可動自在に配設されていることを特徴とする。

【0017】

本発明は、前記計測手段で計測された計測信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段を更に具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 1 8 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記計測手段の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 1 9 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記ロックインアンプ回路の出力信号により、前記磁気センサ手段の出力の強度と位相変化を解析する解析手段を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 0 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記測定対象物に流れる誘導電流を画像化する画像化手段を具えるとともに、該画像化手段からの出力を表示する表示手段を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 1 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 2 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記測定対象物を固定するとともに前記印加コイル面に対して平行或いは平行及び垂直方向に移動できる走査手段を設けたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 3 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記 1 組の磁気センサ手段を複数個設け、それぞれの磁気センサ手段を等距離に配置したことを特徴とする。

## 【 0 0 2 4 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記印加コイル用電源により前記印加コイルに複数の周波数の合成磁場を発生させ、これら複数の周波数それぞれに対して前記ロックインアンプ回路を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 5 】

尚、本発明の磁氣的インピーダンス計測装置において、前記印加コイルとともに 1 対の対向形印加コイルを構成する印加コイルを更に具えてもよく、その場合、1 対の対向形印加コイルは、前記測定対象物を前記対向形印加コイルの間に配置する。

## 【 0 0 2 6 】

本発明は、磁氣的インピーダンス計測装置において、前記磁気センサ手段は、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子であることを特徴とする。

## 【 0 0 2 7 】

本発明は、磁氣的非破壊検査装置において、可変周波数の交流磁場を発生させる 1 個の印加コイルと、  
該印加コイルを励磁する励磁電源と、  
測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分 ( X , Y ) で印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する、前記印加コイル面と測定対象物の間に位置している、一組の磁気センサからなる少なくとも 1 個の磁気センサ手段と、  
前記印加コイル面から離間して、前記測定対象物に近接して配置され、前記磁気センサ手段の信号を検出する検出手段と、  
該検出手段で検出された検出信号を計測する計測手段と、  
該計測手段で計測された出力信号を解析し、これを画像処理して、表示する表示手段と、  
を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 8 】

本発明は、磁氣的非破壊検査装置において、標準電流分布に対する異常電流であることを判定する異常判定手段を具えたことを特徴とする。

## 【 0 0 2 9 】

本発明は、磁氣的非破壊検査装置において、前記測定対象物が、導電性を有する構造体

であることを特徴とする。

【0030】

本発明は、磁氣的検査装置において、前記測定対象物が、果物であることを特徴とする果物熟成度の磁氣的検査装置である。

【0031】

本発明は、磁氣的検査装置において、前記測定対象物が、人体であることを特徴とする人体疾患の磁氣的検査装置である。

【0032】

本発明は、上記課題を解決するために提案されたものであって、本発明の第1の形態は、周波数が可変の交流磁場を発生させる印加コイルと印加コイル用電源とを備え、測定対象物によって生じた磁場の直交したベクトル成分で前記印加コイル面に平行なベクトル成分を検知する2つの磁気センサからなる少なくとも一組の磁気センサ手段を設け、前記印加コイル面から離して前記測定対象物に近づけるように配置し、前記磁気センサ手段の検出信号を計測する磁気センサ用計測回路を備え、この磁気センサ用計測回路の出力から前記印加コイルと同じ周波数の信号を検波するロックインアンプ回路を備え、この前記ロックインアンプ回路の出力信号により前記磁気センサ手段の出力の強度と位相変化を解析する解析手段を備えた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0033】

本発明の第2の形態は、前記印加コイル又は前記一組の磁気センサ手段と前記測定対象物との距離を計測する距離計測手段を設けた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0034】

本発明の第3の形態は、前記測定対象物を固定するとともに前記印加コイル面に対して平行あるいは平行及び垂直方向に移動できる走査手段を設けた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0035】

本発明の第4の形態は、前記測定対象物を計測した時の前記磁気センサ手段出力の強度と位相を解析する手段として、前記計測対象物の計測前あるいは計測後に前記計測対象物がないときの前記磁気センサ手段の出力の強度と位相を解析し、前記測定対象物による強度と位相からの変化解析する手段を設けた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0036】

本発明の第5の形態は、前記印加コイル又は前記1組の磁気センサ手段を複数個設け、それぞれの磁気センサ手段を等距離に配置した磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0037】

本発明の第6の形態は、前記印加コイル用電源により前記印加コイルに複数の周波数の合成磁場を発生させ、これら複数の周波数それぞれに対して前記ロックインアンプ回路を備えた磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0038】

本発明の第7の形態は、前記印加コイルとして1対の対向形印加コイルを設け、前記測定対象物を前記対向形印加コイルの間に配置した磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0039】

本発明の第8の形態は、前記磁気センサは、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子である磁氣的インピーダンス計測装置である。

【0040】

本発明の第9の形態は、第1～8の形態のいずれかの磁氣的インピーダンス装置を用いて、前記測定対象物に流れる誘導電流を画像化し、電流分布の異常を判定する磁氣的インピーダンス変化判定装置である。

【0041】

【発明の効果】

本発明の第1の形態によれば、印加コイルにより測定対象物に誘導電流を発生させるこ

とができる。ここで、印加コイルの中心軸を $z$ 軸とし、コイル面を直交した $x$ 、 $y$ 軸からなる $x$   $y$ 平面とする。この誘導電流からさらに発生した磁場の印加コイル面に平行な磁場の $x$ および $y$ 成分をそれぞれ検知できる磁気センサで計測する。この接線成分の磁場分布を考えると、電流の直上に接線成分の強度は強くなるので、等価的に接線成分の強度分布は電流分布を反映していることになる。また、誘導電流から発生した磁場は電流の位相と等しい。これらのことから、計測した接線成分の磁場強度と位相からは測定対象物の局所的なインピーダンス特性を反映した信号が得られた。また、周波数を可変にすることができるので各種測定対象物での誘電率や導電率などの周波数変化をとらえることができるのでインピーダンスの周波数変化をとらえることができる。また、印加コイルが作る磁場は印加コイル軸に平行な成分つまり $z$ 成分が最も強く、逆に $x$ 、 $y$ 成分では最も小さくなる。このため、従来印加コイルによって磁気センサにとびこんでくる磁場が測定対象物から発生する磁場よりも非常に大きいため磁気センサの近くに印加コイル磁場をキャンセルするキャンセルコイルを設ける必要があった。しかし、本発明では印加コイル磁場が最も小さい $x$ 、 $y$ 成分を計測しているので、キャンセルコイルが不要となり簡単な構成とすることができた。

#### 【0042】

本発明の第2の形態によれば、測定対象物の磁気応答特性を計測する場合、磁気変化はその印加コイルから測定対象物との距離と、磁気センサから測定対象物との距離によって大きく異なってくる。特に電流分布を計測する場合に、各計測点から磁気センサの距離が変化すると、正確な電流分布を解析することができなくなるが、印加コイルと磁気センサの距離を計測する距離計測手段を設けることにより、より精度の高い電流分布が計測できるようになった。

#### 【0043】

本発明の第3の形態によれば、測定対象物を移動させることができるので一組の磁気センサでも、測定対象物の電流分布を計測することができる。

#### 【0044】

本発明の第4の形態によれば、測定対象物の誘導電流から発生する磁場強度が小さい場合でも、精度が高く計測できる。測定対象物がない場合でも磁気センサには環境の磁気雑音や印加磁場が入ってくる。このため、測定対象物からの信号が弱く、雑音と同程度あるいは小さい場合は、大きな誤差が生じる。しかし、あらかじめ計測前あるいは後で測定対象物がないときの磁気センサの出力を計測しておき、測定対象物を測定した磁気センサの出力から得られた磁場ベクトルからないときの磁場ベクトルを差し引くことにより真の磁場ベクトル変化を解析することができる。

#### 【0045】

さらに本発明の第5の形態によれば、一組の磁気センサ手段を複数個設け、等間隔に配置することによって、測定対象物を移動させることなく、一度に各計測点を同時計測することができるので電流分布の高速計測ができる。

#### 【0046】

本発明の第6の形態によれば、印加磁場の周波数を変化させて計測せずに複数の周波数の合成磁場を発生させ、磁気センサの出力を複数の周波数で位相検波するから、周波数を切り替えずに2つの周波数に対する測定対象物の磁気応答を同時に計測できる。従って、インピーダンスの周波数特性の計測が格段に高速化できる。

#### 【0047】

本発明の第7の形態によれば、印加コイルとして1対の対向形印加コイルを設けることにより、測定対象物に対して広い領域で均一な印加磁場分布を与えることができる。従って、測定対象物が大きな面積である場合も均一な磁気信号を得ることができ、測定対象物のインピーダンス特性の局所的な変化を高精度に計測することができる。

#### 【0048】

さらに本発明の第8の形態によれば、磁気センサとして、ホール素子、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子を用いること

により、低周波の交流磁場を印加して磁気応答を検知することができる。好ましくは、磁気抵抗素子、磁気インピーダンス効果センサ、フラックスゲート又は超伝導量子干渉素子を用いれば、周波数が1 kHz以下から数Hz以下までの低周波の交流磁場を印加して測定対象物のインピーダンス特性の局所的な変化を検知することができる。

【0049】

本発明の第9の形態によれば、第1～8の形態の磁気検知装置を用いて測定対象物のインピーダンス特性の局所的な変化を高感度で測定できるから、測定対象物に構造欠陥や、疾患による生体組織のインピーダンス変化や、農作物の熟成度や密度の変化などを高精度に判定することができる。

【0050】

本発明によれば、測定対象物を走査して計測することにより、測定対象物の誘導電流によって発生した磁場の分布を計測し、さらに磁場分布より、誘導電流の分布を解析することができる。

さらに本発明によれば、磁氣的インピーダンス装置により、測定対象物に流れる誘導電流を画像化し、電流分布の異常を判定することができる。

【0051】

また本発明によれば、印加した磁場と垂直な磁場を計測することによって、電流分布を画像化できるので、欠陥部分で生じた局所的な電流分布の変化まで解析でき、欠陥が何処に、どのくらいの大きさであるかを判定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0052】

以下、本発明の実施形態を添付する図面を参照して詳細に説明する。

【0053】

(実施例1)

図1は、本発明による磁氣的インピーダンス計測装置の基本構成を示す概略図である。測定対象物8に、印加コイル1によって磁場が印加される。印加コイル用電源2は発信器4によって印加磁場の周波数を変えることができる。この信号で電流源3を駆動し、印加コイル1に交流電流を流す。測定対象物8に印加磁場によって生じた誘導電流が発生し、その誘導電流による磁場が新たに発生する。この誘導電流による磁場を磁気抵抗素子からなる一組の磁気センサ手段5で検出する。ここで、印加コイルのコイル面をx-y平面とし、コイルの中心軸をz軸とする。一組の磁気センサ手段5には図2に示すようにx-y平面に平行な磁場成分B<sub>x</sub>成分とB<sub>y</sub>成分の2つの直交した磁場成分を計測するB<sub>x</sub>用磁気センサ10とB<sub>y</sub>用磁気センサ11を設ける。もちろん、磁気センサとして他の磁気インピーダンス効果センサや、フラックスゲート、超伝導量子干渉素子等いずれかを使用することができる。ここで、B<sub>x</sub>用磁気センサ10とB<sub>y</sub>用磁気センサ11それぞれには測定対象物8からの磁場だけでなく地磁気などの環境の磁気雑音が入っており、また印加磁場が磁気センサのところにも入っている。このため、印加磁場の周波数に同期した信号だけをとりだすロックイン検波方式をとることにより、測定対象物8からの磁場だけを検出できるようになる。

【0054】

図3は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置のロックインアンプ部の構成を示す概略図である。各B<sub>x</sub>用磁気センサ10およびB<sub>y</sub>用磁気センサ11は図3に示すように、それぞれの磁気センサ用計測回路6-1及び磁気センサ用計測回路6-2で駆動し、その出力は、ロックインアンプ回路7により検波される。ロックインアンプ回路7では、印加コイルにかけた発信器4に同期した信号だけ検出する。発信器4の信号に対して同相の信号と、90度位相がずれている信号の2つに分離して検出される。磁気センサ用計測回路6-1の出力は、ロックインアンプ回路7の初段にあるハイパスフィルター12-1により直流成分をカットした後、アンプ13-1により増幅される。この後、2つの経路に分岐され、一つは発信器4の信号と同相の信号が位相検波回路14-1によって検波され、ローパスフィルター15-1を通り同相出力端子16-1に出力される。

## 【 0 0 5 5 】

また、分岐されたもう一つの信号は、発信器からの信号が 90 度位相シフト 17 - 1 により位相が 90 度ずれた位相検波回路 14 - 2 を通り、ローパスフィルタ 15 - 2 を通り 90 度位相シフト出力端子 18 - 1 に出力される。このようにして測定対象物 8 の磁気応答信号を同相の信号と 90 度ずれた信号に分離される。この 90 度位相の異なる信号に分離することにより、測定対象物のインピーダンス特性の変化による誘導電流の信号の強度と位相変化を読み取ることができる。

## 【 0 0 5 6 】

(実施例 2)

図 4 は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 2 の基本構成を示す概略図である。実施例 2 は、測定対象物 8 と印加コイル 1 の位置を判定するために、距離計測手段 20 を設けている。この距離計測手段 20 の設置場所は印加コイル 1 の近くでも一組の磁気センサ手段 5 の近くでも、それぞれに対する距離計測手段 8 の相対距離が分かれば、設置場所はどこでもよい。ここで、距離計測手段としては、レーザ光を用いた距離計を用いた。印加磁場に対する測定対象物 8 の磁気応答特性は印加コイル 1 との距離で異なり、またそれを検出する一組の磁気センサ手段 5 との距離でも信号強度が大きく異なってくる。このため、距離計測手段 20 を設けることにより再現性のある計測が実現できる。

## 【 0 0 5 7 】

(実施例 3)

図 5 は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 3 の基本構成を示す概略図である。実施例 2 の装置に、測定対象物用のスキャンニング手段 21 をとりつけた構成をしており、距離計測手段により、一組の磁気センサ手段と測定対象物との距離を一定に保ち、測定対象物を走査して計測することができる。この機構により測定対象物の誘導電流によって発生した磁場の分布を計測することができる。さらに磁場分布より誘導電流の分布を解析することができるようになった。

## 【 0 0 5 8 】

図 6 はロックイン検波した磁気センサからの出力の基礎的な処理方法を模式化したものである。測定対象物 8 がいないときの磁場センサからの出力を  $B_a$  とする。印加コイル 1 にはインダクタンスがあるため、周波数によって電流源の発信器からの信号から位相ずれる。測定対象物 8 を計測するとそのインピーダンス特性よりさらに位相がだけずれる。このときの信号ベクトルを  $B_b$  とすると、測定対象物 8 の誘導電流から発生した磁場信号ベクトルは  $B_s = B_b - B_a$  である。このベクトルを原点に平行移動すると位相角  $\theta$  が分かる。ここで、これらの  $\theta$ 、 $\theta_0$  などの位相角は周波数により変化する。このため、測定前あるいは測定後に測定対象物 8 がいないときの磁場ベクトル強度  $|B_a|$  と位相角  $\theta_0$  とを計測しておく。測定対象物がないときの磁場ベクトル強度と位相角と、測定対象物を計測した結果の磁場ベクトル強度  $|B_b|$  と位相角  $\theta$  とから最終的に誘導電流によって発生した磁場信号ベクトル強度  $|B_s|$  と位相角  $\theta_s$  を算出することができる。従来は、キャンセルコイルを用いて測定対象物 8 がいないときに検出する磁場ベクトルは非常に小さくして測定対象物 8 だけの信号を解析していた。しかし、本解析方法では、測定対象物がないときの磁場ベクトルの情報を得ることにより、キャンセルコイルなしでも測定対象物 8 の信号が解析できるようになっている。

## 【 0 0 5 9 】

図 7 は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 3 を用い、また前述した図 4 の解析方法を用いて厚さ 1 mm で 10 cm x 10 cm の銅板を計測し解析した結果を示す。図 7 は、銅板に流れた誘導電流の電流分布を示している。図中の矢印はスキャンニング装置で測定対象物である銅板を動かして、各点で計測し、解析した結果から電流ベクトルを解析した結果を示している。銅板の信号ベクトルを  $x$ 、 $y$  成分に分解すると  $B_s = |B_x| e_x + |B_y| e_y$  と書き表すことができる。ここで  $e_x$  と  $e_y$  は、それぞれ  $x$  方向および  $y$  方向の単位ベクトルとする。この信号ベクトルから電流は  $I_s = |B_x| e_y$

-  $|B_y|_{ex}$  で表せる。この電流ベクトル  $I_s$  を図 7 は示している。この図より、銅板での誘導電流の各計測点での電流の向きと大きさを知ることができるようになった。このように解析し、画像化し、表示することができる。

【0058】

(実施例 4)

図 8 は、本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 4 を示す。実施例 1 ~ 3 では、周波数を切り替えて測定したが、実施例 4 では、図 8 に示すように印加コイル用電源 2 の発信器 4 で 2 つの周波数  $f_1$  と  $f_2$  を同時に発生させ合成した電流波形を印加コイルに供給している。このため、各磁気センサに接続された磁気センサ用計測回路 6 - 3 および磁気センサ用計測回路 6 - 4 からの出力を 2 つに分岐させ、周波数  $f_1$  と  $f_2$  用のロックインアンプ回路をそれぞれ設けている。このため、出力端子としては周波数  $f_1$  に対して、同相出力端子 16 - 3 と同相出力端子 16 - 4 と 90 度位相シフト出力端子 16 - 5 と 90 度位相シフト出力端子 16 - 6 の合計 4 つの信号が同時に得られる。従って、 $x$  成分用磁気センサ 10 および  $y$  成分用磁気センサ 11 からなる一組の磁気センサ手段からは合計 8 つの信号が得られる。これにより周波数を切り替えなくても、測定対象物の周波数変化によるインピーダンス特性変化を計測できる。実施例 1 ~ 4 においては、印加コイルを一つ用いた検知器を説明したが、測定対象物が大きい場合や、測定対象物に均一な磁場を印加したい場合は、印加磁場のより広い範囲での均一性が求められ、以下に均一な交流磁場を印加可能な実施例を示す。

【0059】

(実施例 5)

図 9 は、本発明に係る対向形印加コイルを用いた第 5 実施例形態の基本構成を示す概略図である。実施例 5 では印加コイルを対向形印加コイル 22 - 1 と対向形印加コイル 22 - 2 の 2 つを設け、お互いのコイル面が対向するように配置している。これはヘルツホルツコイルとしてよく知られたコイルの組み合わせであるが、これを用いることにより、より大きい測定対象物 8 を計測することができる。

【0060】

(実施例 6)

図 10 は、本発明に係る対向形印加コイルと一組の磁気センサ手段が多数個なるマルチチャンネル磁気センサアレイ 23 を用いた実施例 6 の基本構成を示す概略図である。実施例 5 では、一組の磁気センサ手段を用いて、スキャンニング装置により測定点を変えていった。しかし、実施例 6 では一組の磁気センサ手段 5 を多数個配置することにより測定対象物の各部分での磁気応答が同時計測できるように構成されている。このため、多数の一組の磁気センサ手段 5 を駆動するためマルチチャンネル用計測回路 24 とマルチチャンネル用ロックインアンプ回路 25 を設け、同時計測できるようにしている。このように磁気センサ数は、多く配置することによって、測定時間を大幅に短縮できるとともに、過渡的な現象も観察することができるようになった。

【0061】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲における種々の変形例、設計変更などをその技術的範囲内に包含することは云うまでもない。

【0062】

【産業上の利用可能性】

本発明は、測定対象物に交流磁場を印加しそのインピーダンス特性を検出するとともに、誘導電流の分布を画像化する装置に関する。

本発明は、測定対象物に交流磁場を印加しそのインピーダンス特性を磁気センサで検出できる装置に関している。このため、導電性のある構造物での欠陥を検出する非破壊検査装置や、果物等の熟成度や密度を検査する装置や、疾患による人の体の内部のインピーダンス変化などを検査する生体インピーダンス検査装置などとして利用できる。

【0063】



## 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の基本構成を示す概略図である。

【図 2】本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 1 の一組の磁気センサ手段の計測磁場成分を示す概略図である。

【図 3】本発明に係る磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 1 のロックインアンプ部の構成を示す概略図である。

【図 4】本発明に係る磁気検知装置の実施例 2 の基本構成を示す概略図である。

【図 5】本発明に係る磁気検知装置の実施例 3 の基本構成を示す概略図である。

【図 6】実施例 3 の計測結果における測定対象物がないときの磁場ベクトルと測定対象物を計測したときの磁場ベクトルの関係図である。

【図 7】実施例 3 の解析結果による測定対象物での電流分布図である。

【図 8】2 つの周波数を合成した印加磁場を用いた磁氣的インピーダンス計測装置の実施例 4 のロックインアンプ部の構成を示す概略図である。

【図 9】本発明に係る対向形印加コイルを用いた第 5 実施例形態の基本構成を示す概略図である。

【図 10】本発明に係る対向形印加コイルと多数個の磁気センサを用いた実施例 6 の基本構成を示す概略図である。

## 【0064】

## 【符号の説明】

- 1 印加コイル
- 2 印加コイル用電源
- 3 電流原
- 4 発信器
- 5 一組の磁気センサ手段
- 6 磁気センサ用計測回路
- 6 - 1 磁気センサ用計測回路
- 6 - 2 磁気センサ用計測回路
- 6 - 3 磁気センサ用計測回路
- 6 - 4 磁気センサ用計測回路
- 7 ロックインアンプ回路
- 8 測定対象物
- 9 解析手段
- 10 B<sub>x</sub>用磁気センサ
- 11 B<sub>y</sub>用磁気センサ
- 12 - 1 ハイパスフィルター
- 12 - 2 ハイパスフィルター
- 13 - 1 アンプ
- 13 - 2 アンプ
- 14 - 1 位相検波回路
- 14 - 2 位相検波回路
- 14 - 3 位相検波回路
- 14 - 4 位相検波回路
- 15 - 1 ローパスフィルター
- 15 - 2 ローパスフィルター
- 15 - 3 ローパスフィルター
- 15 - 4 ローパスフィルター
- 16 - 1 同相出力端子
- 16 - 2 同相出力端子
- 16 - 3 同相出力端子
- 16 - 4 同相出力端子

- 1 6 - 5 同相出力端子
- 1 6 - 6 同相出力端子
- 1 7 - 1 9 0 度位相シフト
- 1 7 - 2 9 0 度位相シフト
- 1 8 - 1 9 0 度位相出力端子
- 1 8 - 2 9 0 度位相出力端子
- 1 8 - 3 9 0 度位相出力端子
- 1 8 - 4 9 0 度位相出力端子
- 1 8 - 5 9 0 度位相出力端子
- 1 8 - 6 9 0 度位相出力端子
- 2 0 距離計測手段
- 2 1 スキャンニング手段
- 2 2 - 1 対向形印加コイル
- 2 2 - 2 対向形印加コイル
- 2 3 マルチチャンネル磁気センサアレイ
- 2 4 マルチチャンネル用計測回路
- 2 5 マルチチャンネル用ロックインアンプ回路

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2006/304927
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> G01N27/72(2006.01)i, G01N27/82(2006.01)i, G01R31/302(2006.01)i, G01R33/02(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N27/72-27/90, G01R33/00-33/18, G01V3/08-3/11		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2006 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2006 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2006		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JST7580 (JDream2), JSTPlus (JDream2)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-222664 A (Ryo SUMISHIN), 08 August, 2003 (08.08.03), Full text; all drawings & WO 2003/023424 A1	1-17
A	JP 46-10635 B1 (FW Bell Inc.), 18 March, 1971 (18.03.71), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 7-311251 A (Hitachi, Ltd.), 28 November, 1995 (28.11.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 02 August, 2006 (02.08.06)		Date of mailing of the international search report 15 August, 2006 (15.08.06)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/304927

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 9-178710 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 11 July, 1997 (11.07.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 5-203629 A (Toshiba Corp.), 10 August, 1993 (10.08.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 2003-4831 A (Hitachi Metals, Ltd.), 08 January, 2003 (08.01.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 2001-13231 A (Asulab S.A.), 19 January, 2001 (19.01.01), Full text; all drawings & EP 1052519 A1 & US 6404192 B	1-17

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 0 6 / 3 0 4 9 2 7									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/72(2006.01)i, G01N27/82(2006.01)i, G01R31/302(2006.01)i, G01R33/02(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/72-27/90, G01R33/00-33/18, G01V3/08-3/11											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2006年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2006年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2006年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2006年	日本国実用新案登録公報	1996-2006年	日本国登録実用新案公報	1994-2006年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2006年										
日本国実用新案登録公報	1996-2006年										
日本国登録実用新案公報	1994-2006年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JST7580 (JDream2), JSTPlus (JDream2)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号									
A	JP 2003-222664 A (炭親良) 2003.08.08, 全文、全図 & WO 2003/023424 A1	1-17									
A	JP 46-10635 B1 (エフ・ダブリュー・ベル・インコーポレーテッド) 1971.03.18, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17									
A	JP 7-311251 A (株式会社日立製作所) 1995.11.28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。											
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献									
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの		「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの									
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの									
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの									
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」 同一パテントファミリー文献									
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願											
国際調査を完了した日 02.08.2006		国際調査報告の発送日 15.08.2006									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 田中 洋介	2W 3009								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3292									

国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 2 0 0 6 / 3 0 4 9 2 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 9-178710 A (三菱重工業株式会社) 1997.07.11, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 5-203629 A (株式会社東芝) 1993.08.10, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2003-4831 A (日立金属株式会社) 2003.01.08, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2001-13231 A (アスラブ・エス・アー) 2001.01.19, 全文、全図 & EP 1052519 A1 & US 6404192 B	1-17

様式PCT/ISA/210 (第2ページの続き) (2005年4月)

## フロントページの続き

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**G 0 1 R 33/02 (2006.01)** G 0 1 R 33/02 K

(81) 指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

(72) 発明者 塚田 啓二  
 岡山県岡山市津島中三丁目 1 番 1 号 岡山大学大学院自然科学研究科内

(72) 発明者 紀和 利彦  
 岡山県岡山市津島中三丁目 1 番 1 号 岡山大学大学院自然科学研究科内

F ターム (参考) 2G005 BA03

2G017 AA13 AD01 AD32 AD53 AD55 BA01 BA18

2G053 AA11 AA21 AB27 BA02 BA08 BC14 CA05 CA06 CA10 CA17

CB16 CB21 CB27 CB29 DB02

4C027 AA10 CC00 DD03

(注) この公表は、国際事務局 (W I P O) により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願 (日本語実用新案登録出願) の国際公開の効果は、特許法第 1 8 4 条の 1 0 第 1 項 (実用新案法第 4 8 条の 1 3 第 2 項) により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。