

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3987941号

(P3987941)

(45) 発行日 平成19年10月10日(2007.10.10)

(24) 登録日 平成19年7月27日(2007.7.27)

(51) Int. Cl.

G O 1 N 27/72 (2006.01)

F I

G O 1 N 27/72

請求項の数 16 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-524129 (P2006-524129)	(73) 特許権者	504147243
(86) (22) 出願日	平成18年3月13日(2006.3.13)		国立大学法人 岡山大学
(86) 国際出願番号	PCT/JP2006/304927		岡山県岡山市津島中一丁目1番1号
(87) 国際公開番号	W02006/109382	(74) 代理人	100072051
(87) 国際公開日	平成18年10月19日(2006.10.19)		弁理士 杉村 興作
審査請求日	平成18年7月28日(2006.7.28)	(74) 代理人	100107227
(31) 優先権主張番号	特願2005-71383 (P2005-71383)		弁理士 藤谷 史朗
(32) 優先日	平成17年3月14日(2005.3.14)	(74) 代理人	100114292
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 来間 清志
早期審査対象出願		(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) 【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

10

20

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 11】

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 ~ 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。

【請求項 12】

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 13】

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 12 に記載の磁氣的非破壊検査装置。

【請求項 14】

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 12 又は 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、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 16】

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

10

20

30

40

50

の磁氣的検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

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ー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。

10

【0003】

生体の電氣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）。

20

【0004】

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。

【0005】

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を取り、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）。

30

【0006】

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）。

【0007】

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

【0008】

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

50

、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、生体の電氣的インピーダンスの変化をみるものではない。

10

【 0 0 1 0 】

【特許文献1】

特開2003-199723号公報

【特許文献2】

特開平5-203629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-fibre composites」Y. Hatsukade, et al., Superconductor Science and Technology, Vol. 15 (2002) pp. 1728-1732

20

【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

30

【 0 0 1 1 】

【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。

【 0 0 1 2 】

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。

40

【 0 0 1 3 】

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。

【 0 0 1 4 】

50

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。

10

【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。

20

【0018】

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。

【0019】

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。

【0020】

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。

30

【0021】

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。

【0022】

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。

40

【0023】

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。

【0024】

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。

【0025】

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

50

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。

【0026】

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。

【0027】

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。

【0028】

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。

【0029】

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

10

20

30

40

50

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。

10

【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】

20

【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。

30

【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。

40

【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

50

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。

【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、

10

20

30

40

50

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_x 成分と B_y 成分の2つの直交した磁場成分を計測する B_x 用磁気センサ10と B_y 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_x 用磁気センサ10と B_y 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。

10

【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_x 用磁気センサ10および B_y 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。

20

【0055】

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。

【0056】

(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。

30

40

【0057】

(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。

【0058】

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

50

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がずれる。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。

10

【0059】

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。図中の矢印はスキミ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。

20

【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。

30

40

【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)

50

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言うまでもない。

【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。

【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

10

20

30

40

50

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	
12 - 2	ハイパスフィルター	
13 - 1	アンプ	
13 - 2	アンプ	10
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	20
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	
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	30
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	
24	マルチチャンネル用計測回路	
25	マルチチャンネル用ロックインアンプ回路	

【 図 1 】

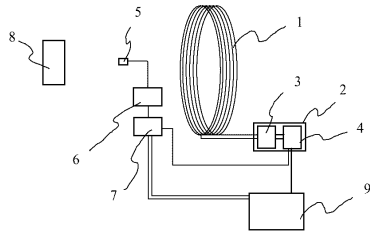


FIG.1

【 図 4 】

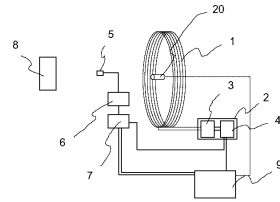


FIG.4

【 図 2 】

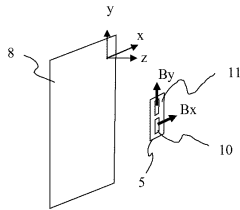


FIG.2

【 図 5 】

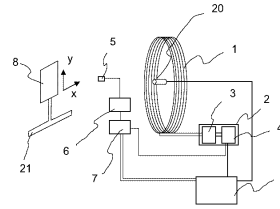


FIG.5

【 図 3 】

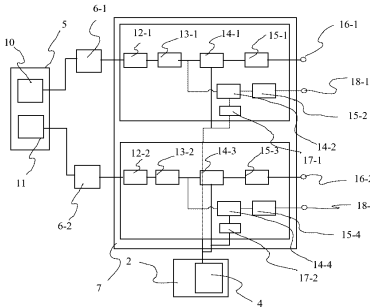


FIG.3

【 図 6 】

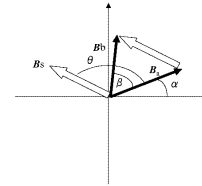


FIG.6

【 図 7 】

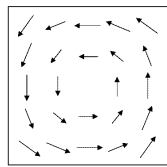


FIG.7

【 図 10 】

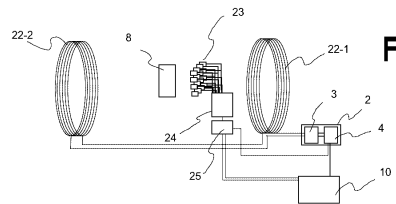


FIG.10

【 図 8 】

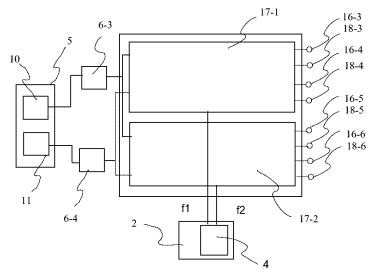


FIG.8

【 図 9 】

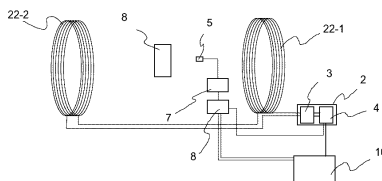


FIG.9

フロントページの続き

- (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

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特表2001-504714(JP,A)
特表平04-503906(JP,A)
特開平07-311251(JP,A)
特開平09-178710(JP,A)
特開平05-203629(JP,A)
特開2003-222664(JP,A)
特開2003-004831(JP,A)
特開2001-013231(JP,A)
特開2003-128590(JP,A)
特公昭46-010635(JP,B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 27/72-27/90
G01R 33/20-33/64
A61B 5/00
G01V 3/08- 3/11
JSTPlus(JDream2)
JST7580(JDream2)