

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6271336号
(P6271336)

(45) 発行日 平成30年1月31日 (2018. 1. 31)

(24) 登録日 平成30年1月12日 (2018. 1. 12)

(51) Int. Cl.

G O 1 N 27/90 (2006.01)

F I

G O 1 N 27/90

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2014-106150 (P2014-106150)	(73) 特許権者	507250427
(22) 出願日	平成26年5月22日 (2014. 5. 22)		日立GEニュークリア・エナジー株式会社
(65) 公開番号	特開2015-222194 (P2015-222194A)		茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(43) 公開日	平成27年12月10日 (2015. 12. 10)	(74) 代理人	110001829
審査請求日	平成28年11月4日 (2016. 11. 4)		特許業務法人開知国際特許事務所
		(72) 発明者	長沼 潤一郎
			茨城県日立市幸町三丁目1番1号
			日立GEニュークリ
			ア・エナジー株式会社内
		(72) 発明者	小池 正浩
			茨城県日立市幸町三丁目1番1号
			日立GEニュークリ
			ア・エナジー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 渦電流検査装置及び渦電流検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

パルス信号で励磁された励磁コイルによって被検査体に渦電流を誘起し、前記被検査体に誘起された渦電流の変化を検出センサで検出して、前記被検査体の特性を取得する渦電流検査装置において、

前記検出センサの検出信号に対し、ノイズ以外の変化があるとみなす時間範囲を含む第1の積分範囲にて第1の積分量を演算するとともに、ノイズ以外の変化がないとみなす時間範囲である第2の積分範囲にて第2の積分量を演算し、さらに前記第1の積分量と前記第2の積分量との差分若しくは比率を演算する演算部と、

前記第1の積分量と前記第2の積分量との差分若しくは比率に対し、相関データに基づいて前記被検査体の特性を取得する特性取得部とを備えたことを特徴とする渦電流検査装置。

【請求項 2】

請求項1記載の渦電流検査装置において、

前記演算部は、前記第1の積分範囲の長さと前記第2の積分範囲の長さが異なる場合に、前記第1の積分範囲の長さと前記第2の積分範囲の長さとの比率を乗じて前記第2の積分量を補正し、前記第1の積分量と前記補正後の第2の積分量との差分若しくは比率を演算することを特徴とする渦電流検査装置。

【請求項 3】

請求項1記載の渦電流検査装置において、

10

20

サンプルデータとして前記被検査体の特性毎に予め取得された前記検出センサの検出信号を記憶する記憶部と、

前記積分範囲を設定する積分範囲設定部と、

前記記憶部で記憶されたサンプルデータ及び前記積分範囲設定部で設定された積分範囲に基づき、前記関連データを作成する関連データ作成部とを備えたことを特徴とする渦電流検査装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載の渦電流検査装置において、

前記特性取得部は、前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率に対し、関連データに基づいて前記被検査体の厚さを取得することを特徴とする渦電流検査装置。

10

【請求項 5】

パルス信号で励磁された励磁コイルによって被検査体に渦電流を誘起し、前記被検査体に誘起された渦電流の変化を検出センサで検出して、前記被検査体の特性を取得する渦電流検査方法において、

前記検出センサの検出信号に対し、ノイズ以外の変化があるとみなす時間範囲を含む第 1 の積分範囲にて第 1 の積分量を演算するとともに、ノイズ以外の変化がないとみなす時間範囲である第 2 の積分範囲にて第 2 の積分量を演算し、さらに前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率を演算する第 1 の手順と、

前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率に対し、関連データに基づいて前記被検査体の特性を取得する第 2 の手順とを有することを特徴とする渦電流検査方法。

20

【請求項 6】

請求項 5 記載の渦電流検査方法において、

前記第 1 の手順は、前記第 1 の積分範囲の長さ L_1 と前記第 2 の積分範囲の長さ L_2 が異なる場合に、前記第 1 の積分範囲の長さ L_1 と前記第 2 の積分範囲の長さ L_2 との比率 $R = L_1/L_2$ を乗じて前記第 2 の積分量を補正し、前記第 1 の積分量と前記補正後の第 2 の積分量との差分若しくは比率を演算することを特徴とする渦電流検査方法。

【請求項 7】

請求項 5 記載の渦電流検査方法において、

前記積分範囲を設定する第 3 の手順と、

サンプルデータとして前記被検査体の特性毎に予め取得された前記検出センサの検出信号と前記第 3 の手順で設定された積分範囲に基づき、前記関連データを作成する第 4 の手順とを有することを特徴とする渦電流検査方法。

30

【請求項 8】

請求項 5 記載の渦電流検査方法において、

前記第 2 の手順は、前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率に対し、関連データに基づいて前記被検査体の厚さを取得することを特徴とする渦電流検査方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

本発明は、パルス励磁型の渦電流検査装置及び渦電流検査方法に関する。

【背景技術】

【0002】

パルス励磁型の渦電流検査方法は、磁性材料からなる被検査体の検査や、被検体とプローブとの距離を大きくとる検査などに適している。この渦電流検査方法では、プローブの励磁コイルにパルス信号を印加して、励磁コイルを励磁し、電磁誘導によって被検査体に渦電流を誘起する。そして、パルス信号の変化に起因して発生した渦電流の変化（若しくはそれに伴う磁束密度の変化）をプローブの検出センサで検出し、これに基づいて被検査

50

体の特性（詳細には、例えば厚さ、欠陥、又は材質等）を取得する。

【 0 0 0 3 】

例えば特許文献 1 に記載の従来技術では、検出センサの検出信号の時間変化の勾配（傾き又は変化率）を演算し、この勾配に対し、相関データに基づいて被検査体の特性を取得している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 9 - 7 9 9 8 4 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上記従来技術には次のような改善の余地があった。すなわち、検出信号にノイズ変動（詳細には、例えば磁性ノイズの影響による変動）がある場合は、検出信号の時間変化の勾配も変動する。具体的には、例えば演算時間の前後で正のノイズと負のノイズが生じれば、勾配が変動する。そのため、被検査体の特性も変動し、不安定となる。すなわち、再現性が低下する。

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、検出信号にノイズ変動がある場合でも、被検査体の特性を再現性よく取得することができる渦電流検査装置及び渦電流検査方法を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、本発明は、パルス信号で励磁された励磁コイルによって被検査体に渦電流を誘起し、前記被検査体に誘起された渦電流の変化を検出センサで検出して、前記被検査体の特性を取得する渦電流検査装置において、前記検出センサの検出信号に対し、ノイズ以外の変化があるとみなす時間範囲を含む第 1 の積分範囲にて第 1 の積分量を演算するとともに、ノイズ以外の変化がないとみなす時間範囲である第 2 の積分範囲にて第 2 の積分量を演算し、さらに前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率を演算する演算部と、前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率に対し、相関データに基づいて前記被検査体の特性を取得する特性取得部とを備える。

【 0 0 0 8 】

また、上記目的を達成するために、本発明は、パルス信号で励磁された励磁コイルによって被検査体に渦電流を誘起し、前記被検査体に誘起された渦電流の変化を検出センサで検出して、前記被検査体の特性を取得する渦電流検査方法において、前記検出センサの検出信号に対し、ノイズ以外の変化があるとみなす時間範囲を含む第 1 の積分範囲にて第 1 の積分量を演算するとともに、ノイズ以外の変化がないとみなす時間範囲である第 2 の積分範囲にて第 2 の積分量を演算し、さらに前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率を演算する第 1 の手順と、前記第 1 の積分量と前記第 2 の積分量との差分若しくは比率に対し、相関データに基づいて前記被検査体の特性を取得する第 2 の手順とを有する。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、検出信号にノイズ変動がある場合でも、被検査体の特性を再現性よく取得することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 0 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施形態における渦電流検査装置の構成を表す図である。

【 図 2 】 本発明の第 1 の実施形態におけるパルス信号の一例を表す図である。

【 図 3 】 本発明の第 1 の実施形態における検出信号の積分範囲の一例を表す図である。

【 図 4 】 本発明の第 1 の実施形態におけるマスターカーブの一例を表す図である。

10

20

30

40

50

【図 5】本発明の第 1 の実施形態におけるサンプルデータの具体例を表す図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態における表示画面の一例を表す図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態における動作を説明するためのフローチャートである。

【図 8】本発明の第 2 の実施形態における渦電流検査装置の構成を表す図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態における検出信号の積分範囲の一例を表す図である。

【図 10】本発明の第 2 の実施形態における検出信号の積分範囲の他の例を表す図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施形態における動作を説明するためのフローチャートである。

【図 12】検出信号のバイアスが異なる場合を説明するための図である。

10

【図 13】本発明の第 3 の実施形態における渦電流検査装置の構成を表す図である。

【図 14】本発明の第 3 の実施形態における動作を説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の第 1 の実施形態を、図 1 ~ 図 7 により説明する。

【0012】

図 1 で示すように、渦電流検査装置は、大別して、プローブ 1 と、制御装置 2 とを備えている。

【0013】

20

プローブ 1 は、励磁コイル 3 と、この励磁コイル 3 の中心に設けられたコア 4 と、このコア 4 の下面側（言い換えれば、被検査体 5 側）に設けられた検出センサ 6 とを備えている。コア 4 は、磁束の広がりを抑え、被検査体 5 に大きな磁束を与えるためのものである。

【0014】

制御装置 2 は、機能的構成として、パルス信号発生部 7、パルス信号増幅部 8、検出信号増幅部 9、A / D 変換部 10、演算部 11、特性取得部 12、記憶部 13、表示部 14、積分範囲設定部 15、及び関連データ作成部 16 を有している。

【0015】

パルス信号発生部 7 は、例えば図 2 で示すような矩形波状のパルス信号を出力する。パルス信号増幅部 8 は、パルス信号発生部 7 からパルス信号を増幅して励磁コイル 3 に印加する。これにより、励磁コイル 3 が励磁し、電磁誘導によって被検査体 5 に渦電流が誘起する。そして、パルス信号の変化に起因して発生した渦電流の変化（若しくはそれに伴う磁束密度の変化）が検出センサ 6 で検出され、検出信号として出力される。

30

【0016】

検出センサ 6 の検出信号は、パルス信号の立下り時に（又は立上り時に）時間減衰曲線となる。例えば図 3 で示す検出信号 S A は、被検査体 5 の厚さ t が比較的薄い場合のものであり、比較的早く小さくなっている（すなわち、積分量が比較的小さくなる）。一方、例えば図 3 で示す検出信号 S B は、被検査体 5 の厚さ t が比較的厚い場合のものであり、比較的遅く小さくなっている（すなわち、積分量が比較的大きくなる）。また、検出信号 S A、S B には、ノイズ変動（詳細には、例えば磁性ノイズの影響による変動）が生じている。また、検出信号 S A、S B は、時間の経過とともに、バイアス N（但し、N = 0、又は N > 0）に漸近するようになっている。

40

【0017】

検出信号増幅部 9 は、検出センサ 6 からの検出信号を増幅する。A / D 変換部 10 は、検出信号増幅部 9 からの検出信号をデジタル化して、演算部 11 に出力するとともに、記憶部 13 に出力して記憶させる。

【0018】

本実施形態の演算部 11 は、積分部 17 で構成されている。積分部 17 は、A / D 変換部 10 からの検出信号（若しくは記憶部 13 から読み込んだ検出信号）に対し、設定され

50

た積分範囲にて積分量を演算する。この積分範囲は、積分開始時間 T_1 から積分終了時間 T_2 までの範囲であり、ノイズ以外の変化（詳細には、例えば 1 % 以上の変化）があるとみなす時間範囲を含むという条件を満たすように、パルス信号の立下り時 T_0 （又は立上り時）を基準として設定されている（図 3 及び図 2 参照）。

【0019】

記憶部 13 は、例えば図 4 で示すような検出信号の積分量と被検査体 5 の厚さ t （特性）との相関データ（マスターカーブ）を記憶している。特性取得部 12 は、演算部 11 で演算された積分量に対し、記憶部 13 で記憶されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さ t を取得する。そして、被検査体 5 の厚さ t 等を表示部 14 に出力して表示させるとともに、記憶部 13 に出力して記憶させる。

10

【0020】

表示部 14 は、例えば図 5 で示すような画面 18 を表示するようになっている。画面 18 は、検出信号表示領域 19、積分範囲表示領域 20、積分量表示領域 21、マスターカーブ表示領域 22、及び特性表示領域 23 を有している。

【0021】

積分範囲表示領域 20 は、設定された積分範囲（詳細には、設定された積分開始時間 T_1 及び積分終了時間 T_2 ）を表示しており、積分範囲設定部 15 によって変更可能としている。具体的には、キーボードやマウス等の入力部の操作に応じて、積分範囲表示領域 20 で表示された積分開始時間 T_1 及び積分終了時間 T_2 を変更して設定可能としている。検出信号表示領域 19 は、記憶部 13 から読み込んだ検出信号の時間変化を図示するとともに、設定された積分開始時間 T_1 及び積分終了時間 T_2 を図示している。これにより、検査者は、検出信号表示領域 19 で表示された検出信号の時間変化を見ながら、積分範囲を設定変更可能としている。

20

【0022】

積分量表示領域 21 は、検出信号表示領域 19 で表示された検出信号の時間変化と積分範囲表示領域 20（及び検出信号表示領域 19）で表示された積分範囲に対応しており、演算部 11 で演算された積分量を表示する。

【0023】

マスターカーブ表示領域 22 は、記憶部 13 で記憶されたマスターカーブを表示するとともに、積分量表示領域 21 で表示された積分量を示す表示線 22a を表示する。なお、マスターカーブは、積分範囲の設定変更に応じて更新されるようになっている。詳しく説明すると、記憶部 13 は、サンプルデータとして、被検査体 5 の厚さ t 毎に予め取得された検出センサ 6 の検出信号を記憶している。すなわち、例えば図 6（a）で示すように、厚さ $t = a$ の試験体を用いて取得された検出センサ 6 の検出信号 DA、厚さ $t = b$ （但し、 $b > a$ ）の試験体を用いて取得された検出センサ 6 の検出信号 DB、厚さ $t = c$ （但し、 $c > b$ ）の試験体を用いて取得された検出センサ 6 の検出信号 DC 等を記憶している。あるいは、例えば図 6（b）で示すように、ノイズを抑える処理が施された検出信号（詳細には、例えば同じ試験体を用いて取得された複数の検出信号を平均化処理したもの）DA、DB、DC 等を記憶している。相関データ作成部 16 は、記憶部 13 で記憶されたサンプルデータと積分範囲設定部 15 で設定変更された積分範囲に基づいてマスターカーブを新たに作成し、記憶部 13 で更新させる。これに伴い、マスターカーブ表示領域 22 で表示されるマスターカーブも更新する。

30

40

【0024】

特性表示領域 23 は、検出信号表示領域 19 で表示された検出信号の時間変化と積分範囲表示領域 20（及び検出信号表示領域 19）で表示された積分範囲と積分量表示領域 21（及びマスターカーブ表示領域 22）で表示された積分量とマスターカーブ表示領域 22 で表示されたマスターカーブに対応しており、特性取得部 12 で取得された被検査体 5 の厚さ t を表示する。

【0025】

次に、本実施形態の渦電流検査装置の動作を、図 7 を用いて説明する。

50

【 0 0 2 6 】

まず、プローブ 1 を被検査体 5 の検査位置に配置し（ステップ 1 0 1 ）、プローブ 1 の励磁コイル 3 にパルス信号を印加して、被検査体 5 に渦電流を誘起する（ステップ 1 0 2 ）。そして、被検査体 5 に誘起した渦電流の変化（若しくはそれに伴う磁束密度の変化）をプローブ 1 の検出センサ 6 で検出する（ステップ 1 0 3 ）。

【 0 0 2 7 】

制御装置 2 の演算部 1 1 は、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定された積分範囲（積分開始時間 T 1 から積分終了時間 T 2 までの範囲）にて積分量を演算する（ステップ 1 0 4 ）。制御装置 2 の特性取得部 1 2 は、演算部 1 1 で演算された積分量に対し、記憶部 1 3 で記憶されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さを取得する（ステップ 1 0 5 ）。

10

【 0 0 2 8 】

そして、制御装置 2 の表示部 1 4 は、検出信号、積分範囲、積分量、マスターカーブ、及び被検査体 5 の厚さを表示する。例えば表示部 1 4 で表示された積分範囲を設定変更した場合には、ステップ 1 0 6 の判定が満たされ、制御装置 2 の相関データ作成部 1 6 は、サンプルデータと設定変更された積分範囲に基づいてマスターカーブを新たに作成し、記憶部 1 3 で更新させる（ステップ 1 0 7 ）。また、演算部 1 1 は、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定変更された積分範囲にて積分量を新たに演算する（ステップ 1 0 4 ）。特性取得部 1 2 は、更新された積分量に対し、更新されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さを新たに取得する（ステップ 1 0 5 ）。表示部 1 4 は、更新されたマスターカーブ、積分量、及び被検査体 5 の厚さを表示する。

20

【 0 0 2 9 】

そして、例えば被検査体 5 に検査すべき他の位置があれば、ステップ 1 0 8 の判定が満たされず、次の検査位置にプローブ 1 を移動し（ステップ 1 0 9 ）、上述したステップ 1 0 2 ~ 1 0 5 （及びステップ 1 0 6 , 1 0 7 ）の手順を繰り返す。一方、被検査体 5 に検査すべき他の位置がなければ、ステップ 1 0 8 の判定が満たされて、検査終了となる。

【 0 0 3 0 】

以上のような本実施形態においては、被検査体 5 の厚さを取得するのに検出信号の積分量を用いるので、例えば検出信号の時間変化の勾配を用いる場合とは異なり、検出信号にノイズ変動があっても、その影響を抑えることができる。したがって、被検査体 5 の厚さを再現性よく取得することができる。また、積分範囲の設定により、所望の分解能を得ることができる。

30

【 0 0 3 1 】

本発明の第 2 の実施形態を、図 8 ~ 図 1 2 により説明する。本実施形態は、検出信号のバイアスによる影響を抑えるための実施形態である。なお、本実施形態において、上記実施形態と同等の部分には同一の符号を付し、適宜、説明を省略する。

【 0 0 3 2 】

図 8 で示すように、本実施形態の演算部 1 1 A は、積分部 1 7、積分部 2 4、及び減算部 2 5 で構成されている。積分部 1 7 は、A / D 変換部 1 0 からの検出信号（若しくは記憶部 1 3 から読み込んだ検出信号）に対し、設定された第 1 の積分範囲にて第 1 の積分量 A R 1 を演算する。この第 1 の積分範囲は、第 1 の実施形態の積分範囲と同様、積分開始時間 T 1 から積分終了時間 T 2 までの範囲であり、ノイズ以外の変化（詳細には、例えば 1 % 以上の変化）があるとみなす時間範囲を含むという条件を満たすように、パルス信号の立下り時 T 0 （又は立上り時）を基準として設定されている（図 9 及び図 1 0 参照）。

40

【 0 0 3 3 】

積分部 2 4 は、A / D 変換部 1 0 からの検出信号（若しくは記憶部 1 3 から読み込んだ検出信号）に対し、設定された第 2 の積分範囲にて第 2 の積分量 A R 2 を演算する。この第 2 の積分範囲は、積分開始時間 T 3 から積分終了時間 T 4 までの範囲であり、ノイズ以外の変化（詳細には、例えば 1 % 以上の変化）がないとみなす時間範囲であるという条件を満たすように、パルス信号の立下り時 T 0 （又は立上り時）を基準として設定されてい

50

る（図 9 及び図 10 参照）。なお、第 2 の積分範囲は、例えば図 9 で示すように第 1 の積分範囲と重なるように設定されてもよいし、あるいは例えば図 10 で示すように第 1 の積分範囲と重ならないように設定されてもよい。

【0034】

そして、通常は、例えば図 9 で示すように、第 1 の積分範囲の長さ（ $T_2 - T_1$ ）と第 2 の積分範囲の長さ（ $T_4 - T_3$ ）が異なるように設定されるので、第 1 の積分範囲の長さ（ $T_2 - T_1$ ）と第 2 の積分範囲の長さ（ $T_4 - T_3$ ）との比率（ $(T_2 - T_1) / (T_4 - T_3)$ ）を第 2 の積分量 AR_2 に乗じて、第 2 の積分量 AR_2 を補正する。これにより、検出信号のバイアスを N としたときに、 $N \times (T_2 - T_1)$ にほぼ相当する積分量を求めることができる。なお、例えば図 10 で示すように、第 1 の積分範囲の長さ（ $T_2 - T_1$ ）と第 2 の積分範囲の長さ（ $T_4 - T_3$ ）が同じとなるように設定されれば、第 2 の積分量 AR_2 を補正する必要がない。

10

【0035】

減算部 25 は、第 1 の積分量からバイアスの分を取り除いたものとして、第 1 の積分量と第 2 の積分量の差分（ $AR_1 - AR_2$ ）を演算する。

【0036】

記憶部 13 は、図示しないが、差分（ $AR_1 - AR_2$ ）と被検査体 5 の厚さ t との相関データ（マスターカーブ）を記憶している。特性取得部 12A は、演算部 11A で演算された差分（ $AR_1 - AR_2$ ）に対し、記憶部 13 で記憶されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さ t を取得する。

20

【0037】

次に、本実施形態の渦電流検査装置の動作を、図 11 を用いて説明する。

【0038】

まず、プローブ 1 を被検査体 5 の検査位置に配置し（ステップ 101）、プローブ 1 の励磁コイル 3 にパルス信号を印加して、被検査体 5 に渦電流を誘起する（ステップ 102）。そして、被検査体 5 に誘起した渦電流の変化（若しくはそれに伴う磁束密度の変化）をプローブ 1 の検出センサ 6 で検出する（ステップ 103）。

【0039】

制御装置 2 の演算部 11A は、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定された第 1 の積分範囲（積分開始時間 T_1 から積分終了時間 T_2 までの範囲）にて第 1 の積分量 AR_1 を演算する（ステップ 104）。また、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定された第 2 の積分範囲（積分開始時間 T_3 から積分終了時間 T_4 までの範囲）にて第 2 の積分量 AR_2 を演算し、必要であれば補正する（ステップ 110）。さらに、第 1 の積分量と補正後の第 2 の積分量との差分（ $AR_1 - AR_2$ ）を演算する（ステップ 111）。制御装置 2 の特性取得部 12A は、演算部 11A で演算された差分（ $AR_1 - AR_2$ ）に対し、記憶部 13 で記憶されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さを取得する（ステップ 112）。

30

【0040】

そして、制御装置 2 の表示部 14 は、検出信号、第 1 の積分範囲、第 1 の積分量、第 2 の積分範囲、第 2 の積分量、差分、マスターカーブ、及び被検査体 5 の厚さを表示する。例えば表示部 14 で表示された第 1 の積分範囲及び第 2 の積分範囲のうちの少なくとも一方を設定変更した場合には、ステップ 106 の判定が満たされ、制御装置 2 の相関データ作成部 16 は、サンプルデータと少なくとも一方が設定変更された第 1 の積分範囲及び第 2 の積分範囲に基づいてマスターカーブを新たに作成し、記憶部 13 で更新させる（ステップ 107）。また、演算部 11A は、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定変更された第 1 の積分範囲及び第 2 の積分範囲のうちの少なくとも一方にて積分量を新たに演算し（ステップ 104、110）、さらに第 1 の積分量と第 2 の積分量との差分（ $AR_1 - AR_2$ ）を新たに演算する（ステップ 111）。特性取得部 12A は、更新された差分（ $AR_1 - AR_2$ ）に対し、更新されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さを新たに取得する（ステップ 112）。表示部 14 は、更新された積分量、差分、マスターカーブ、

40

50

及び被検査体 5 の厚さを表示する。

【 0 0 4 1 】

そして、例えば被検査体 5 に検査すべき他の位置があれば、ステップ 1 0 8 の判定が満たされず、次の検査位置にプローブ 1 を移動し（ステップ 1 0 9 ）、上述したステップ 1 0 2 ~ 1 0 4 , 1 1 0 ~ 1 1 2 （及びステップ 1 0 6 , 1 0 7 ）の手順を繰り返す。一方、被検査体 5 に検査すべき他の位置がなければ、ステップ 1 0 8 の判定が満たされて、検査終了となる。

【 0 0 4 2 】

以上のような本実施形態においては、被検査体 5 の厚さを取得するのに検出信号の第 1 の積分量と第 2 の積分量との差分（ $AR1 - AR2$ ）を用いるので、例えば検出信号の時間変化の勾配を用いる場合とは異なり、検出信号にノイズ変動があっても、その影響を抑えることができる。また、検出信号の第 1 の積分量と第 2 の積分量との差分（ $AR1 - AR2$ ）すなわち第 1 の積分量からバイアスの分を取り除いたものを用いるので、バイアスの影響も抑えることができる。具体的に説明すると、例えばパルス信号に起因して発生した検出信号が小さくてバイアスの占める割合が大きい場合でも、その影響を抑えることができる。また、例えばマスターカーブを作成するために予め取得された検出信号のバイアスと検査時に取得された検出信号のバイアスが異なるような場合でも、その影響を抑えることができる。また、例えば図 1 2 で示すように、検出信号 SA のバイアス NA と検出信号 SB のバイアス NB が異なるような場合でも、その影響を抑えることができる。したがって、被検査体 5 の厚さを再現性よく取得することができる。

【 0 0 4 3 】

本発明の第 3 の実施形態を、図 1 3 及び図 1 4 により説明する。本実施形態は、第 2 の実施形態と同様、検出信号のバイアスによる影響を抑えるための実施形態である。なお、本実施形態において、上記実施形態と同等の部分は同一の符号を付し、適宜、説明を省略する。

【 0 0 4 4 】

図 1 3 で示すように、本実施形態の演算部 1 1 B は、積分部 1 7、積分部 2 4、及び除算部 2 6 で構成されている。積分部 1 7 は、A / D 変換部 1 0 からの検出信号（若しくは記憶部 1 3 から読み込んだ検出信号）に対し、設定された第 1 の積分範囲にて第 1 の積分量 $AR1$ を演算する。この第 1 の積分範囲は、第 2 の実施形態と同様、積分開始時間 $T1$ から積分終了時間 $T2$ までの範囲であり、ノイズ以外の変化（詳細には、例えば 1 % 以上の変化）があるとみなす時間範囲を含むという条件を満たすように、パルス信号の立下り時 $T0$ （又は立上り時）を基準として設定されている（上述の図 9 及び図 1 0 参照）。

【 0 0 4 5 】

積分部 2 4 は、A / D 変換部 1 0 からの検出信号（若しくは記憶部 1 3 から読み込んだ検出信号）に対し、設定された第 2 の積分範囲にて第 2 の積分量 $AR2$ （但し、 $AR2 < AR1$ ）を演算する。この第 2 の積分範囲は、第 2 の実施形態と同様、積分開始時間 $T3$ から積分終了時間 $T4$ までの範囲であり、ノイズ以外の変化（詳細には、例えば 1 % 以上の変化）がないとみなす時間範囲であるという条件を満たすように、パルス信号の立下り時 $T0$ （又は立上り時）を基準として設定されている（上述の図 9 及び図 1 0 参照）。なお、第 2 の積分範囲は、第 1 の積分範囲と重なるように設定されてもよいし、あるいは第 1 の積分範囲と重ならないように設定されてもよい。

【 0 0 4 6 】

そして、通常は、第 1 の積分範囲の長さ（ $T2 - T1$ ）と第 2 の積分範囲の長さ（ $T4 - T3$ ）が異なるように設定されるので、第 1 の積分範囲の長さ（ $T2 - T1$ ）と第 2 の積分範囲の長さ（ $T4 - T3$ ）との比率（ $(T2 - T1) / (T4 - T3)$ ）を乗じて第 2 の積分量 $AR2$ を補正する。これにより、検出信号のバイアスを N としたときに、 $N \times (T2 - T1)$ にほぼ相当する積分量を求めることができる。なお、第 1 の積分範囲の長さ（ $T2 - T1$ ）と第 2 の積分範囲の長さ（ $T4 - T3$ ）が同じとなるように設定されれば、第 2 の積分量 $AR2$ を補正する必要がない。

【 0 0 4 7 】

除算部 2 6 は、第 1 の積分量からバイアスの影響を取り除いたものとして、第 1 の積分量と第 2 の積分量の比率 $AR1 / AR2$ を演算する。

【 0 0 4 8 】

記憶部 1 3 は、図示しないが、比率 $AR1 / AR2$ と被検査体 5 の厚さ t との相関データ（マスターカーブ）を記憶している。特性取得部 1 2 B は、演算部 1 1 B で演算された比率 $AR1 / AR2$ に対し、記憶部 1 3 で記憶されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さ t を取得する。

【 0 0 4 9 】

次に、本実施形態の渦電流検査装置の動作を、図 1 4 を用いて説明する。

10

【 0 0 5 0 】

まず、プローブ 1 を被検査体 5 の検査位置に配置し（ステップ 1 0 1 ）、プローブ 1 の励磁コイル 3 にパルス信号を印加して、被検査体 5 に渦電流を誘起する（ステップ 1 0 2 ）。そして、被検査体 5 に誘起した渦電流の変化（若しくはそれに伴う磁束密度の変化）をプローブ 1 の検出センサ 6 で検出する（ステップ 1 0 3 ）。

【 0 0 5 1 】

制御装置 2 の演算部 1 1 B は、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定された第 1 の積分範囲（積分開始時間 $T1$ から積分終了時間 $T2$ までの範囲）にて第 1 の積分量 $AR1$ を演算する（ステップ 1 0 4 ）。また、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定された第 2 の積分範囲（積分開始時間 $T3$ から積分終了時間 $T4$ までの範囲）にて第 2 の積分量 $AR2$ を演算し、必要であれば補正する（ステップ 1 1 0 ）。さらに、第 1 の積分量と補正後の第 2 の積分量との比率 $AR1 / AR2$ を演算する（ステップ 1 1 3 ）。制御装置 2 の特性取得部 1 2 B は、演算部 1 1 B で演算された比率 $AR1 / AR2$ に対し、記憶部 1 3 で記憶されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さを取得する（ステップ 1 1 4 ）。

20

【 0 0 5 2 】

そして、制御装置 2 の表示部 1 4 は、検出信号、第 1 の積分範囲、第 1 の積分量、第 2 の積分範囲、第 2 の積分量、比率、マスターカーブ、及び被検査体 5 の厚さを表示する。例えば表示部 1 4 で表示された第 1 の積分範囲及び第 2 の積分範囲のうちの少なくとも一方を設定変更した場合には、ステップ 1 0 6 の判定が満たされ、制御装置 2 の相関データ作成部 1 6 は、サンプルデータと少なくとも一方が設定変更された第 1 の積分範囲及び第 2 の積分範囲に基づいてマスターカーブを新たに作成し、記憶部 1 3 で更新させる（ステップ 1 0 7 ）。また、演算部 1 1 B は、検出センサ 6 の検出信号に対し、設定変更された第 1 の積分範囲及び第 2 の積分範囲のうちの少なくとも一方にて積分量を新たに演算し（ステップ 1 0 4 , 1 1 0 ）、さらに第 1 の積分量と第 2 の積分量との比率 $AR1 / AR2$ を新たに演算する（ステップ 1 1 3 ）。特性取得部 1 2 B は、更新された比率 $AR1 / AR2$ に対し、更新されたマスターカーブに基づいて被検査体 5 の厚さを新たに取得する（ステップ 1 1 4 ）。表示部 1 4 は、更新された積分量、比率、マスターカーブ、及び被検査体 5 の厚さを表示する。

30

【 0 0 5 3 】

そして、例えば被検査体 5 に検査すべき他の位置があれば、ステップ 1 0 8 の判定が満たされず、次の検査位置にプローブ 1 を移動し（ステップ 1 0 9 ）、上述したステップ 1 0 2 ~ 1 0 4 , 1 1 0 , 1 1 3 , 1 1 4 （及びステップ 1 0 6 , 1 0 7 ）の手順を繰り返す。一方、被検査体 5 に検査すべき他の位置がなければ、ステップ 1 0 8 の判定が満たされて、検査終了となる。

40

【 0 0 5 4 】

以上のような本実施形態においては、被検査体 5 の厚さを取得するのに検出信号の第 1 の積分量と第 2 の積分量との比率 $AR1 / AR2$ を用いるので、例えば検出信号の時間変化の勾配を用いる場合とは異なり、検出信号にノイズ変動があっても、その影響を抑えることができる。また、検出信号の第 1 の積分量と第 2 の積分量との比率 $AR1 / AR2$ すなわち第 1 の積分量からバイアスの影響を取り除いたものを用いるので、バイアスの影響

50

も抑えることができる。したがって、被検査体 5 の厚さを再現性よく取得することができる。

【 0 0 5 5 】

なお、上記第 1 ～ 第 3 の実施形態において、検出センサ 6 は、励磁コイル 3 と別体のものとして構成された場合を例にとって説明したが、これに限られない。すなわち、励磁コイルと同心に巻かれた検出コイルであってもよい。この場合も、上記同様の効果を得ることができる。

【 0 0 5 6 】

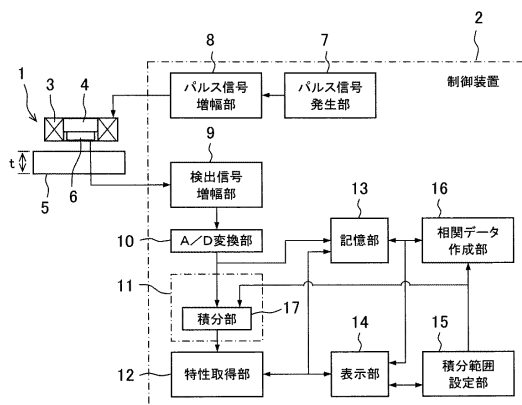
また、被検査体 5 の特性として厚さ t を取得する場合を例にとって説明したが、これに限られない。すなわち、例えば材質（導電率や透磁率）等を取得する場合に適用してもよい。この場合も、上記同様の効果を得ることができる。

【符号の説明】

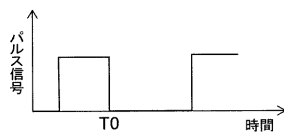
【 0 0 5 7 】

- 3 励磁コイル
- 5 被検査体
- 6 検出センサ
- 11, 11A, 11B 演算部
- 12, 12A, 12B 特性取得部
- 13 記憶部
- 15 積分範囲設定部
- 16 相関データ作成部

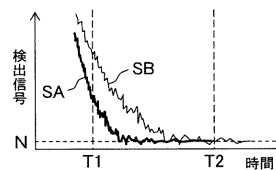
【図 1】



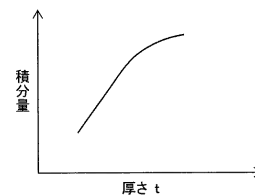
【図 2】



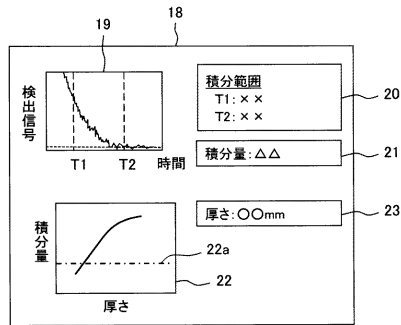
【図 3】



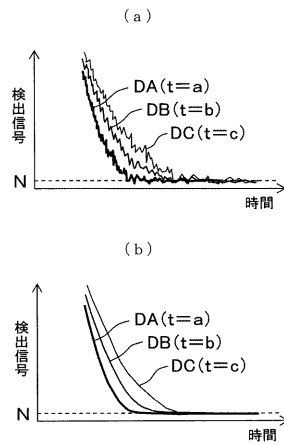
【図 4】



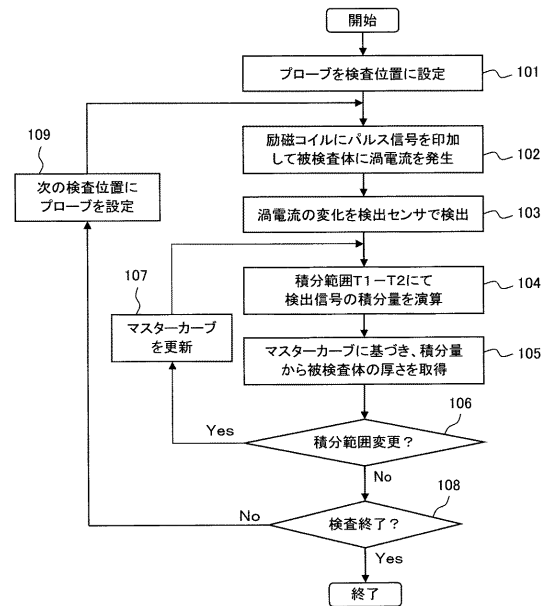
【図 5】



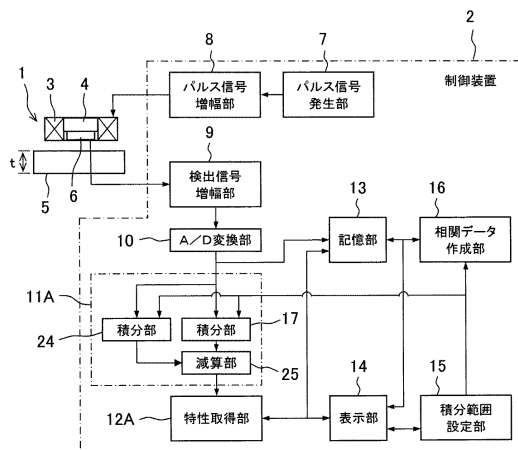
【図 6】



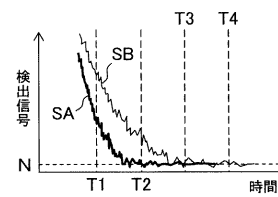
【図 7】



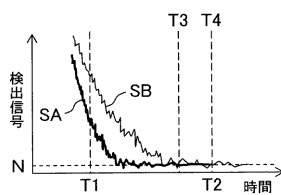
【図 8】



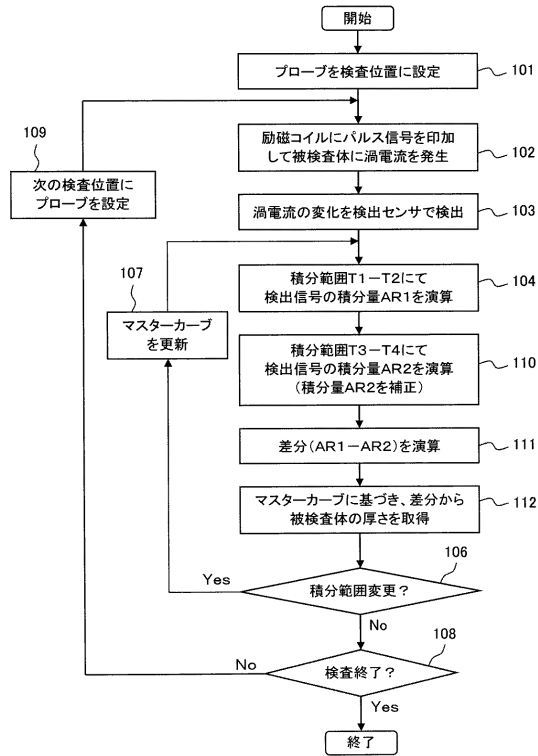
【図 10】



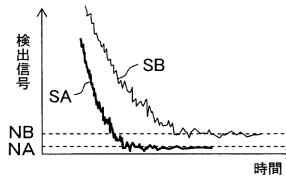
【図 9】



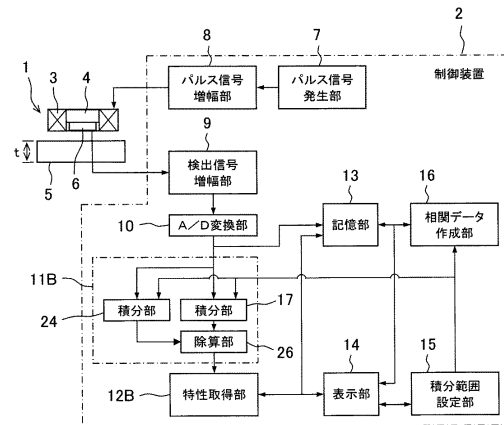
【図 1 1】



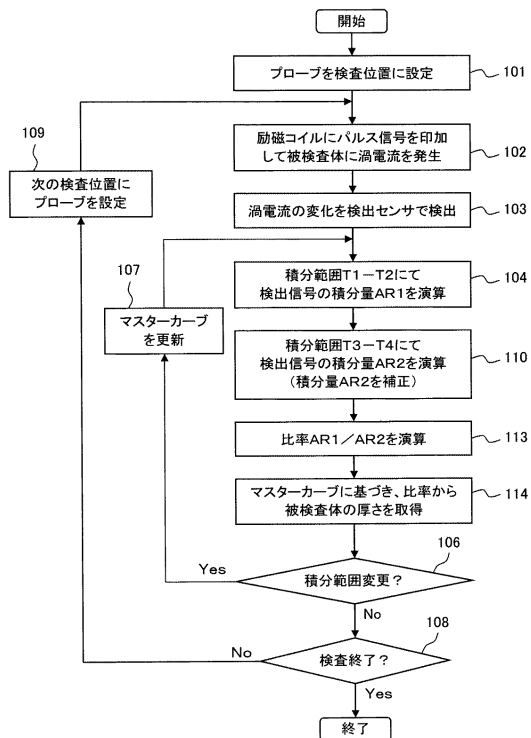
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 福原 良純
茨城県日立市幸町三丁目1番1号
株式会社内
日立GEニュークリア・エナジー
- (72)発明者 西水 亮
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
株式会社日立製作所内
- (72)発明者 橋本 光男
東京都小平市小川西町2-32-1
雇用支援機構 職業能力開発総合大学校内
独立行政法人高齢・障害・求職者
- (72)発明者 小坂 大吾
東京都小平市小川西町2-32-1
雇用支援機構 職業能力開発総合大学校内
独立行政法人高齢・障害・求職者

審査官 藤田 都志行

- (56)参考文献 特表2005-518534(JP, A)
特開2009-079984(JP, A)
米国特許出願公開第2003/0169035(US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 27/90