

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5406468号  
(P5406468)

(45) 発行日 平成26年2月5日(2014.2.5)

(24) 登録日 平成25年11月8日(2013.11.8)

(51) Int.Cl.

F I

G O 1 N 27/90 (2006.01)

G O 1 N 27/90

請求項の数 7 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2008-151156 (P2008-151156)	(73) 特許権者	508173646
(22) 出願日	平成20年6月10日 (2008.6.10)		ジーイー・インスペクション・テクノロジー・リミテッド
(65) 公開番号	特開2009-2945 (P2009-2945A)		GE Inspection Technologies, Ltd.
(43) 公開日	平成21年1月8日 (2009.1.8)		英国、ウエスト・ミッドランズ、コヴェントリー シーヴィー4・8エイエフ、カンリー、チャーター・アベニュー、892番
審査請求日	平成23年5月31日 (2011.5.31)		
(31) 優先権主張番号	0711349.1	(74) 代理人	100137545
(32) 優先日	平成19年6月12日 (2007.6.12)		弁理士 荒川 聡志
(33) 優先権主張国	英国 (GB)	(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博
		(74) 代理人	100129779
			弁理士 黒川 俊久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パルス式うず電流検査のための自動リフトオフ補償

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

うず電流探触子とテスト対象の導電性試料の表面の間の分離の影響を補償するための方法であって、

前記うず電流探触子を実質的に無欠陥エリアでかつ前記試料の表面から既知の基準分離で配置することによって基準データ組を取得する工程であって、前記うず電流探触子を励起して前記試料にうず電流を発生させ、該うず電流によって生ずる時間変動する基準信号を検知し、前記基準データ組が1回以上の前記基準信号の振幅を含む、工程と、

前記基準信号の最大規模傾斜値を決定する工程と、

前記うず電流探触子を前記試料の表面から未知の分離に配置することによってテストデータ組を取得する工程であって、前記うず電流探触子を励起して前記試料にうず電流を発生させ、該うず電流によって生ずる時間変動するテスト信号を検知し、前記テストデータ組が1回以上の前記テスト信号の振幅を含む、工程と、

前記テスト信号の最大規模傾斜値を決定する工程と、

前記テスト信号の最大規模傾斜値を前記基準信号の最大規模傾斜値で除した補償比を算出する工程と、

前記テスト信号の振幅から前記基準信号の振幅に前記補償比を乗じた値を差し引くことにより、前記基準データ組および前記テストデータ組の1以上の対応する回の補償された信号振幅を決定する工程と、

を含む方法。

10

20

**【請求項 2】**

複数の基準信号を検知して対応する複数の基準データ組を取得し、  
各基準信号は前記試料の表面から異なる既知の基準分離に配置された前記探触子を励起することにより発生したうず電流により生成され、  
各基準信号に対する最大規模傾斜値が決定され、  
前記テスト信号の最大規模傾斜値に最も近い前記最大規模傾斜値の前記基準信号が、前記補償比と前記補償された信号振幅を決定するために利用される、  
請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

前記各基準信号に対する最大規模傾斜値が、前記各基準信号の 1 次微分ピークから決定され、

前記テスト信号に対する最大規模傾斜値が、前記テスト信号の 1 次微分ピークから決定される、

請求項 2 に記載の方法。

**【請求項 4】**

前記補償された信号振幅を決定する工程が、保存されたテストデータ組の各回に対する補償された信号振幅を決定して、完全補償済み信号を決定する、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 5】**

基準データ組の少なくとも一部のデータが補間されている、請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 6】**

請求項 1 から 5 のいずれかに記載の方法を実行するように配列させたうず電流探触子及び処理手段を備えるうず電流検査デバイス。

**【請求項 7】**

前記探触子が、コイルまたは電子センサを用いたシングル構成、マルチ構成またはアレイ構成とした、絶対探触子、微分探触子、反射探触子、非遮蔽探触子、遮蔽探触子、あるいはこれらの任意の組み合わせである、請求項 6 に記載のうず電流検査デバイス。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、材料や構造（特に、例えば航空機パネルやパイプラインなどの導電性構造）内で腐食、クラックその他などの欠陥を検出するために使用できる方法及び装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

腐食、クラックその他などの欠陥は材料や構造に関する構造上の完全性を弱体化する。多くの産業において構造の不良は、ガスや石油パイプラインなどのパイプラインや、航空機パネルの構成要素を形成する構造に関する不良など、非常に重大な結果を引き起こす可能性がある。このため、構造上の完全性に悪影響を及ぼしかねない欠陥をその構造が有するまたは獲得しているか否かを判定するための構造検査に対してかなりの努力が向けられている。

**【0003】**

欠陥を検出する試みにおいては構造を視覚的に検査することができる。しかし表面に歪みを生じさせ得るような深刻な腐食などのある種の欠陥は視覚的に検出できるが、構造の外表面から容易には視認できないクラックや腐食などの多くの欠陥は見逃されることがある。さらに多くの構造は塗料、コーティング及び絶縁物の層で覆われており、視覚的検査をさらに困難にさせることになる。

**【0004】**

欠陥を検出するために構造を検査する別の方法は超音波に関わるものである。しかし超音波は、連続する層が互いに機械的に結合されていなければ、単に構造の単一の層だけし

10

20

30

40

50

か貫通できない。したがって、多層構造内の欠陥は検出が困難である。

【0005】

構造内で欠陥を検出する別の方法ではうず電流を用いている。うず電流検査は、導電性構造内の傷の検出に重要な恩恵を提供することができると共に、極めて広範な用途を有している。これは、非破壊式であると共に、肉眼で視認不可能な傷を検出することができる。非破壊検査を実現するには、単一の周波数が使用されるのが一般的である。検査能力及び検出信頼度を向上させるために、2つの周波数や複数の周波数が利用されることもある。うず電流は、複数層の材料を貫通し、材料や構造の運用性を脅かしかねない隠れた損傷を発見することができる。しかし、複雑な構造内で欠陥位置を正確に特定することに関しては、従来のうず電流技法では周波数減衰に由来する困難が生じている。パルス式うず電流（PEC）正方形波パルスは（特に、低周波数において）ワイドバンド周波数のエネルギーを提供することができる。したがってこれによって、後続のデータ処理のために欠陥深度及びポテンシャルに関するより多くの情報が提供される。

10

【0006】

探触子リフトオフとは、テスト対象構造の表面の上に探触子を通過させることに関連する問題であり、探触子と検査対象構造の間隔のバラツキによって受信信号内に誤ったバラツキが生じ、これが真の欠陥を示すバラツキをマスクして欠陥の特定に関する誤認につながることがある。リフトオフのバラツキは例えば、塗料及び/またはコーティング厚さなどその上に探触子を通過させる構造表面のバラツキ、リベットなどの表面フィーチャの存在、並びに使用時にオペレータが探触子に加える圧力のバラツキによって生じることがある。

20

【0007】

米国特許第6,344,741号及びカナダ特許第2,312,101号は、パルス式うず電流技法においてリフトオフバラツキを補償する方法を開示している。テスト対象構造から2つ以上の異なるリフトオフ距離で欠陥のない位置において探触子から校正信号が取得される。これらの検出信号が時間領域で交差する点を決定し、時間領域信号の当該時点における「リフトオフ交差点」が確定される。リフトオフを補償するために校正信号がクロスした同じ時点で、後続の時間領域テスト信号の振幅が比較される。

【0008】

しかしこの交差点はあまり正確でないことがあり、また異なるサイズの欠陥が検出されるとドリフトすることがある。さらにリフトオフ補償は受信信号上の単一の点でしか実現できないため、時間領域信号から利用可能な情報量が限られた量だけになり欠陥解析が制約される。

30

【0009】

米国特許第5,391,988号は、うず電流テストを用いて導電性物体内部の傷を検出する方法を開示している。フェライトコアは、1次コイルとその上に巻き付けた2次コイルとを有する。1次コイルには、2次コイル内にパルス波形の電圧を誘導するために矩形波電流が供給される。誘導された電圧のパルス持続時間は、2つの異なるしきい電圧に対応する2つの別々の時点で計測される。フェライトコアと導電性物体の間の距離（リフトオフ）のバラツキの影響はこの2つの計測パルス持続時間の比較を用いて相殺されている。

40

【0010】

米国特許第6,573,712号は、検査探触子の位置を調整し一定のリフトオフを維持するための駆動セクションを有する検査デバイスを開示している。

【特許文献1】米国特許第6,344,741号

【特許文献2】カナダ特許第2,312,101号

【特許文献3】米国特許第5,391,988号

【特許文献4】米国特許第6,573,712号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 1 1 】

リフトオフの発生及び関連するリフトオフ距離に関して正しい判断がなされると、検出信号のうちからリフトオフによって生じる欠陥信号をマスクするような成分の排除が可能となり、これによって信頼性が高い検出結果を提供するように欠陥情報を修復することができる。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 2 】

本発明の第 1 の態様では、うず電流探触子と導電性試料の表面の間の分離（リフトオフ）を補償するための方法であって、

導電性試料内にうず電流を発生させるように励起を受けると共に既知の基準分離（リフトオフ）において導電性試料が生成したうず電流によって発生した基準信号を検知するうず電流探触子を実験領域でかつ試料の表面から既知の基準分離で配置することによって少なくとも 1 つの基準データ組を取得する工程、並びに該検出信号の傾斜値を決定する工程と、

うず電流探触子を励起してうず電流を発生させるように該探触子を試料の表面から未知の分離（リフトオフ）に配置して後続のテスト信号に関する対応する傾斜値を決定することによって後続のテスト計測を実行する工程と、

少なくとも 1 つの基準信号とテスト信号の間の差を決定することによってテスト計測内のうず電流探触子と試料の表面の間の分離（リフトオフ）を補償する工程と、を含む方法を提供する。

## 【 0 0 1 3 】

検出信号の傾斜は探触子とテスト対象の導体材料の表面の間の分離（リフトオフ）を示すことが知られている。本発明の実施形態は、精密でありかつ信頼性が高いリフトオフ補償を提供する能力を有することが分かった。本発明の実施形態はさらに、リフトオフ補償を時間変動する信号に沿った単一の点でのみ提供するような多くの従来方法と異なり、完全なリフトオフ補償信号を提供している。欠陥の性状及び箇所を決定するための後続の信号解析及び処理のためには完全な信号が有用である。パルス式うず電流を発生させることが好ましい。

## 【 0 0 1 4 】

基準テスト信号及びテスト信号を検知する前に、リフトオフのない無欠陥エリア上に探触子を配置して後続の信号のすべてから後で差し引くためのバランス信号を取得することによって、バランス調整を実行することがある。

## 【 0 0 1 5 】

最大規模傾斜（正の傾斜か負の傾斜かによらない）を決定しこれを用いて補償を実行することが好ましい。この最大規模傾斜は、例えば検知された時間変動する信号のピーク微分の決定が可能なプロセッサやコンピュータを含む制御システムによって容易に決定することができる。このため、本発明の方法は容易に自動化することができる。検出信号は、ノイズが生成する誤った結果を排除するために、傾斜の決定前に低域通過フィルタを通過させることなどによって平滑化することが好ましい。

## 【 0 0 1 6 】

テスト計測の補償には、探触子と試料の表面の間をそれぞれ異なる既知の分離とした複数組の基準データを取得することを含むことがある。次いで、テスト信号に最も近い傾斜をもつ基準データ組を選択し、この選択した基準信号とテスト信号の間の差を決定することがある。別法としてまたは追加として、1 つまたは複数の基準データ組から基準データを補間することもできる。基準信号やテスト信号に関連するデータに対して、テスト信号と基準信号のサイズの比に依存する係数を乗算することがある。

## 【 0 0 1 7 】

本発明の第 2 の態様では、うず電流探触子を備えるうず電流検査デバイス並びに本発明の第 1 の態様の方法を実行するように配列させた処理手段が提供される。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 1 8 】

ここで、添付の図面を参照しながら単に一例として本発明について説明することにする。

## 【 0 0 1 9 】

図 1 は、探触子 1 と検査対象の試料 2 の表面の間のリフトオフと呼ばれる分離を図示している。

## 【 0 0 2 0 】

図 2 は、本発明を実行する方法の一例を表した流れ図 1 0 である。この流れ図は、基準データを作成するための第 1 の部分 2 0 並びに補償済みテストデータを作成するための第 2 の部分 3 0 からなる。

10

## 【 0 0 2 1 】

図 2 に示すように工程 2 1 では、後続の信号のすべてから差し引くためのバランス信号の取得のためにリフトオフがない無欠陥エリア上に探触子を配置させることによって探触子をバランス調整することが好ましい。工程 2 2 では探触子は、サンプルの表面から既知の基準分離（リフトオフ）で配置させている。探触子は、サンプルのうち実質的に欠陥がない部分の上に配置させることが好ましい。コイルや電子センサを用いたシングル構成、マルチ構成またはアレイ構成とした、絶対探触子、微分探触子、反射探触子、非遮蔽探触子、遮蔽探触子、あるいはこれらの組み合わせなど、当技術分野でよく知られた適当な任意のうず電流探触子を用いることができる。この例では、一体型の送信コイルと受信器アレイを備えた探触子が使用される。当技術分野でよく知られているように、受信器アレイは典型的には 1 6 または 3 2 個のセンサを有する。しかし所望により、別々の送信器と受信器を備えた探触子が使用されることもある。探触子とサンプルの非欠陥部分の間に既知の厚さをもつシム（通常は、非導電性）を配置することによって試料の表面から既知のリフトオフ位置に探触子を配置させることがある。

20

## 【 0 0 2 2 】

工程 2 3 では、探触子を励起させてサンプルの表面にうず電流を発生させ、このうず電流が発生させた基準信号を探触子によって検出する。送信コイルは、例えば試料内の多くの深度位置にある欠陥を検出できるようにワイドバンドの周波数を発生させる方形波電流によって励起される。

## 【 0 0 2 3 】

工程 2 4 では、基準信号の傾斜が決定される。基準信号の最大傾斜（傾斜が正であるか負であるかによらない）を決定することが好ましい。本発明によるうず電流検査デバイスは、基準信号の 1 次微分を計算することによる傾斜の決定が可能なマイクロプロセッサなどの処理手段を有することになる。テスト信号の傾斜の最大規模は、1 次微分のピーク値となる。検出した基準信号と決定した傾斜または微分のうちの少なくとも一方は、ノイズにより生じることがありかつ異常値を生成する可能性があるような任意のスパイクを排除するために、例えばガウス型スムージングによる低域通過フィルタを通過させることによって平滑化される。検出した基準信号並びにこれに関連するピーク傾斜または微分は、プロセッサに関連付けられた記憶手段内に一緒に保存される。

30

## 【 0 0 2 4 】

基準信号及び関連する傾斜が何組必要となるかに応じて、工程 2 1 ~ 2 4 を必要な回数だけ反復させる。より多数組の基準信号を使用すればより精細な結果が提供されることが知られている。工程 2 1 ~ 2 4 を反復する場合、探触子とサンプルの非欠陥部分の間に別の既知の厚さをもつ異なるシム（通常は、非導電性）を配置させ、この第 2 の既知リフトオフで計測を実施する。複数組の基準信号を発生させる場合、発生させた基準信号の各々に対する傾斜は、各基準信号を取得した後で個別に決定することが可能であり、また基準信号のすべてを検出し終えた後で傾斜のすべてを一緒に決定することも可能である。

40

## 【 0 0 2 5 】

適当な数の基準信号及び関連する傾斜が決定された後、本方法を使用して欠陥検出のためのテストデータが作成される。このテストデータはリフトオフに関して補償することが

50

できる。工程 3 1 では、試料の上に探触子を配置させることがある。しかし上述の工程 2 1 ~ 2 4 のように基準データを作成するために探触子を用いるのと異なり、この場合ではサンプルと探触子の間に存在する分離のレベルがどれだけかは問題とならない。実際に、探触子は航空機パネルやパイプライン構成要素などテスト対象構造のセクションを覆うように通過する可能性があり、また探触子が構造の上を通過するに連れてそのリフトオフは変動する可能性がある（例えば塗料ワーク、コーティング及び絶縁の厚さのバラツキによる、探触子がリベットその他の表面フィーチャに遭遇することによる、並びにオペレータにより探触子に加えられる圧力のバラツキによる）。

【 0 0 2 6 】

工程 3 2 では、試料内のうず電流が発生させる信号が探触子内の受信器を用いて検知される。

10

【 0 0 2 7 】

工程 3 3 では、テスト信号の傾斜が（この例では、1 次微分を計算しその微分ピークを決定することによって）決定される。基準データが作成する際の上記の工程 2 3 の場合と同様に、テスト信号のピーク微分の計算によってテスト信号の最大規模傾斜が決定されることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

工程 3 4 では、リフトオフの影響を低減または排除するようにテスト信号が補償を受ける。この補償は、発生させた基準信号に関する重み付け済みのリフトオフ基準データをそのテスト信号に対するデータから差し引くことによって実行される。複数の基準信号を発生させた場合は、最も類似の傾斜ピークまたはテスト信号のものに最も近いピーク微分をもつ基準信号が特定されて目下のリフトオフ様相として指標付けされると共に、対応する重み付け済みの特定基準信号がテスト信号から差し引かれる信号として使用される。最大傾斜またはピーク微分は、当業者よく知られているような最接近距離法則（*nearest distance rule*）などの適当な任意の方法によって比較することができる。別法としてまたは追加として、基準信号に関するデータは、テスト信号のデータから差し引くためのより適当な基準データ組を生成するように補間を受けることがある。補間は、例えばテスト信号の傾斜が 2 つの基準信号の傾斜の間の実質的に中間に来ることが分かった場合や単一の基準信号だけが利用可能である場合に有用となる。テスト信号と対応する基準信号の比から導かれた補償比を基準信号に乗算してテスト信号と基準信号のサイズの差を補償することがある。この例では、工程 3 4 の前に、生成した信号についてリフトオフ現象が存在するか否かを判定し、もし存在する場合に補償機能をオンに切り替えて基準信号を選択するための一連の工程 3 4 a ~ 3 4 d を置いている。所望であれば、工程 3 4 e でリフトオフ補償をオフに切り替えることができる。補償手順は工程 3 4 f においてデータがすべて補償済みになるまで反復させると共に、次いで工程 3 4 g でデータの撮像が実行される。

20

30

【 0 0 2 9 】

図 3 は、本発明の実行に使用するのに適したパルス式うず電流検査デバイスを表している。このデバイスは、上述のような探触子 4 0 を含む。探触子 4 0 はこの例では、アレイ状のセンサを有する。探触子 4 0 はコネクタ 4 1 を介して処理 / 表示デバイス 4 2 に接続されている。処理 / 表示デバイス 4 2 は、信号を保存すること、並びにピーク微分の決定、補償の実行及び関連するピーク微分をもつ信号の保存などの適当な処理を実行するためにマイクロプロセッサなどのプロセッサとメモリとを有する。デバイス 4 2 はユーザに対して結果を表示するための表示手段 4 3 を有する。

40

【 0 0 3 0 】

デバイス 4 2 は自動微分リフトオフ補償処理を以下に記載するようにして実行することができる。

【 0 0 3 1 】

1 ) 先ず、探触子 4 0 のサンプルからの事前決定のリフトオフの各々について多数個（ $K$  個）のリフトオフ基準信号  $L o \_ R e f ( k )$  が収集される。これが基準信号組であ

50

る。

【0032】

$Lift - Off \ Reference \ Set : \{ Lo\_Ref(k) \} \quad k = 1, 2, \dots, K$

例えば、リフトオフ距離：5ミル(0.127mm)、10ミル(0.254mm)、15ミル(0.381mm)及び20ミル(0.508mm)を用いて4つのリフトオフ基準信号( $K = 1, 2, 3, 4$ )が作成される。

【0033】

2)この後で、既知のリフトオフ基準信号1次微分のすべてを計算してそのピーク値  $DPv\_Lo\_Ref(k)$  (ここで、 $k = 1, 2, \dots, K$ )を見出す。

10

【0034】

この例では、微分演算子は1次微分であり、平滑化演算子はガウス型平滑化であり、かつ微分ピーク値を  $DPv\_Lo\_Ref \ Set$  と書く。

【0035】

3)次に、リフトオフ基準信号  $Lo\_Ref(k)$  とその対応する微分ピーク値  $DPv\_Lo\_Ref(k)$  (ここで、 $k = 1, 2, \dots, K$ )から構成されたリフトオフ基準ブック組を規定する。

【0036】

$Lo\_Ref\_Book = \{ Lift - Off \ Reference \ Set \ DPv\_Lo\_Ref \ Set \}$

20

$= \{ Lo\_Ref(k), DPv\_Lo\_Ref(k) \}$

$k = 1, 2, \dots, K$

4)次いで、未知の欠陥及び未知のリフトオフタイプをもつ個々の各テスト信号ごとに以下の処理を実行する。

【0037】

a)テスト信号に関する微分ピーク値 -  $DPv\_test$  を計算する。

【0038】

b)最接近距離法則によって目下の  $DPv\_test$  を  $DPv\_Lo\_Ref \ Set$  と比較して、最も類似した  $DPv\_Lo\_Ref(k)$  を見出しリフトオフクラス指標  $k$  を取得する。

30

【0039】

c)リフトオフクラス指標  $k$  に従って、テスト信号内に埋め込まれたリフトオフのタイプを知り、後続の補償手順で正しい対応するリフトオフ基準信号  $Lo\_Ref(k)$  を選択することができる。

【0040】

5)最後に  $Lo\_Ref(k)$  について補償式を用いた自動リフトオフ補償が実現される。この補償式は適当な基準信号とテスト信号の間の差を決定することを含む。

【0041】

補償比は次式に従って計算することが好ましい。

【0042】

$Ratio = DPv\_test / DPv\_Lo\_Ref$

40

次いでこの補償比を次の補償式内に含めることができる。

【0043】

$Auto\_Comp = Sig\_test - Ratio * Sig\_Lo\_Ref(k)$   
上式において、 $Sig\_test$  はテスト信号であり、また  $Sig\_Lo\_Ref(k)$  は適当な基準信号である。

【0044】

図4aは、リフトオフを伴わないもの(グループA)、0.05mmのリフトオフにある探触子によるもの(グループB)、0.25mmのリフトオフを伴うもの(グループC)並びに0.5mmのリフトオフを伴うもの(グループD)という試料から得られた検出

50

した一連のパルス式うず電流信号を表している。グループ A、B、C 及び D のそれぞれは、全体試料厚さに対する材料ロスが約 5 %、10 % 及び 20 % であるような欠陥に対する信号を包含している。図 4 a から明瞭に分かるように、パルス式うず電流信号の傾斜はリフトオフ距離によって主に影響を受けており、一方個々の各グループ内における欠陥サイズのバラツキはその有する影響が遥かに小さい。したがって図 4 a では、欠陥サイズが異なるがリフトオフ距離が同じであるパルス式うず電流信号は、リフトオフ距離により主に決定されるパルス式うず電流信号の同じグループ内に区分けした。

【0045】

図 4 b は、図 4 a に示した信号の微分を表している。欠陥が異なるがリフトオフ距離が同じパルス式うず電流信号の微分はリフトオフ距離に従って同じグループに区分けされるだけでなく、非常に近い微分ピーク値を提供していた。このことから微分ピーク値が当該パルス式うず電流信号内に存在するリフトオフを明瞭に示すことを確認することができる。リフトオフフィーチャを抽出してこれを用い、補償比パラメータを計算して自動リフトオフ補償が実行される。

10

【0046】

図 4 c は、本発明の一実施形態による可変リフトオフパルス式うず電流補償の効果を表している。探触子と試料の表面の間にリフトオフが存在しないように慎重に位置決めされた探触子を用いて全体試料厚さの材料ロス 20 % の欠陥を有する試料に関する理想的なパルス式うず電流信号を図 4 c において太線で表している。これが、リフトオフの影響を受けない場合に取得される理想的信号である。図 4 c には、0.05 mm、0.25 mm 及び 0.5 mm のリフトオフ距離で試料の 20 % 欠陥から取得したパルス式うず電流信号もそれぞれを示す破線で表している。対応するリフトオフ補償済みパルス式うず電流信号は、リフトオフがないときに取得した理想的信号とその一部で重複している点線で表している。本発明の実施形態のリフトオフ補償が有効であることは、図 4 c においてリフトオフ補償済み信号がリフトオフがないときに取得した理想的信号のより近くに追随している（さらには、重なりあっている）ことから分かる。

20

【0047】

図 5 a、5 b 及び 5 c は、パルス式うず電流 C 走査画像上で実行される本発明の一実施形態のリフトオフ補償を表している。

【0048】

30

図 5 a は、パルス式うず電流 C 走査におけるリフトオフ距離とその箇所を表している。図 5 a のモノクロ画像内では異なるリフトオフ距離（すなわち、0 mm、0.127 mm、0.254 mm、0.381 mm 及び 0.508 mm）を異なる陰付けで表しているが、異なる色相によって表すことも可能である。

【0049】

図 5 b は、図 3 に示したデバイス 42 の表示手段 43 上で見ることができる検査走査のパルス式うず電流画像を表している。この走査画像は、異なる陰付けまたは色相によって材料ロスのレベルが異なることを示すようにしたパルス式うず電流画像を示している。具体的な陰付けまたは色相によって示した材料ロスのレベルの百分率を指示したチャートを、パルス式うず電流 C 走査画像に近傍に提供することができる。このパルス式うず電流 C 走査画像は、テスト対象の構造内の欠陥の実際の箇所に対応する C 走査画像上の位置において異なる陰付けまたは色相として提示した材料ロスからなるようにして欠陥の箇所を示している。図 5 b に示した画像は、探触子 40 を図 3 に示すようにしてテスト対象構造の表面の上を通過させることによって得ることができる典型的なデータを示している。図 5 a で示すように使用中に当該の点における計測で探触子 40 のリフトオフに由来するような多数の「パッチ」を表している。図 5 a の走査画像から分かるように、これらの点で生じたリフトオフに起因するパッチによって、実際の欠陥が明瞭に特定することが困難となる程に C 走査画像がかなり不明瞭となっている。

40

【0050】

これと異なり図 5 c は、図 5 b のパルス式うず電流 C 走査画像に対して本発明の一実施

50

形態によるリフトオフ補償を適用した後の画像を表している。これから分かるように、x軸上の位置20及び90にある欠陥は図5bのC走査画像内におけるよりかなり明瞭に確認することができる。このため欠陥は欠陥の形状に関する情報が明瞭に識別可能となる程に明瞭となっている。リフトオフの影響を排除した後では、欠陥の存在及び箇所が明瞭に確認される。ここまで来るとより精細な欠陥情報を取得することができる。

【0051】

上述した例に対して多くの変形形態が可能であるが、これらは依然として本発明の趣旨の域内にある。例えば適当な任意のうず電流探触子を使用することができる。探触子は探触子体部内に一緒に内蔵して設けた送信器及び受信器を有することがあり、また送信器と受信器は別々に設けられることもある。受信器は1つまたは複数のコイルまたはセンサを備えることがある。

10

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】探触子とサンプル表面の間の分離（リフトオフ）を表した図である。

【図2】本発明の一実施形態を実行する方法を表した流れ図である。

【図3】パルス式うず電流検査デバイスの図である。

【図4a】リフトオフがない場合及び多数の異なるリフトオフの場合に試料から得られた一連の検出パルス式うず電流信号を表した図である。

【図4b】図4aに示した信号の微分を表した図である。

【図4c】リフトオフを補償する前及び後における20%欠陥からのパルス式うず電流信号を表した図である。

20

【図5a】パルス式うず電流テスト走査で使用した可変のリフトオフ距離及び箇所を表した図である。

【図5b】リフトオフ補償がない場合の検査C走査のパルス式うず電流画像を表した図である

【図5c】図5bの検査C走査に対して本発明の一実施形態によるリフトオフ補償を適用したときの図である。

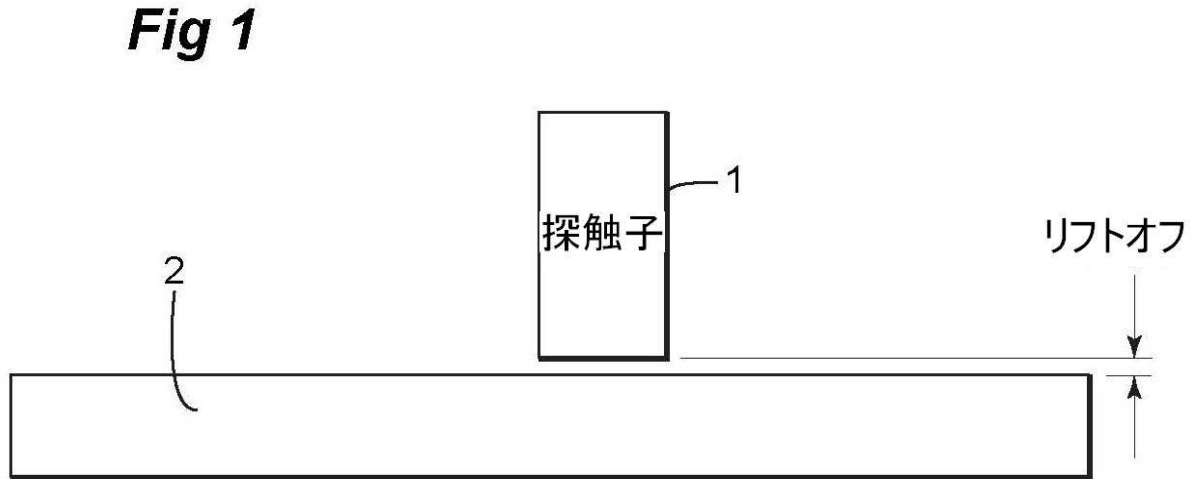
【符号の説明】

【0053】

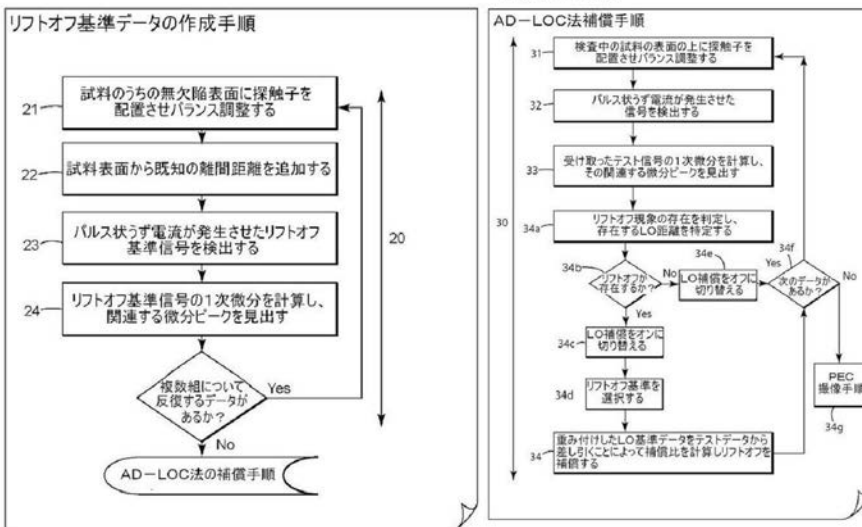
- 1 探触子
- 2 試料
- 20 基準データ作成部分
- 30 補償テストデータ作成部分
- 40 探触子
- 41 コネクタ
- 42 処理/表示デバイス
- 43 表示手段

30

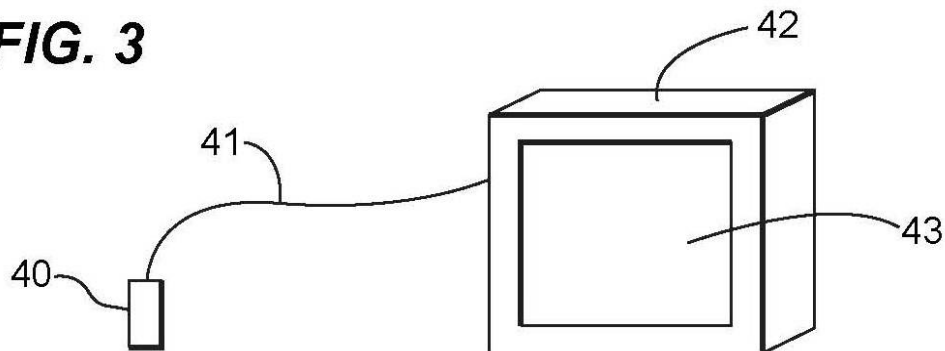
【図 1】



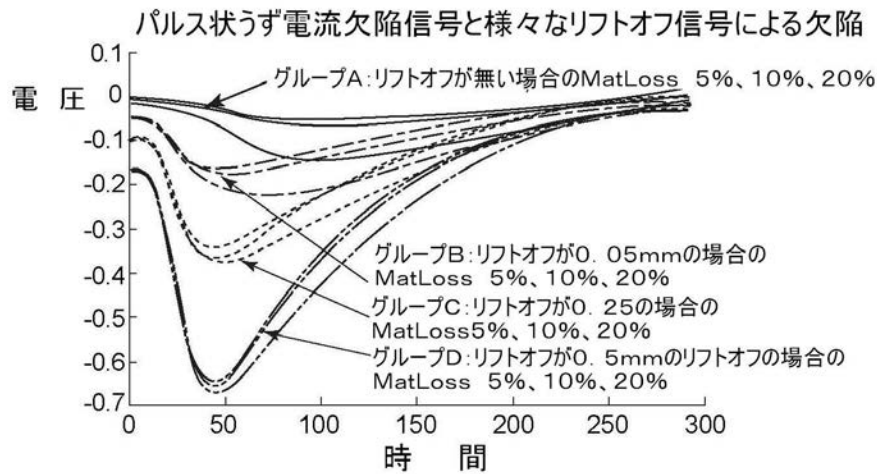
【図 2】

**Fig. 2**

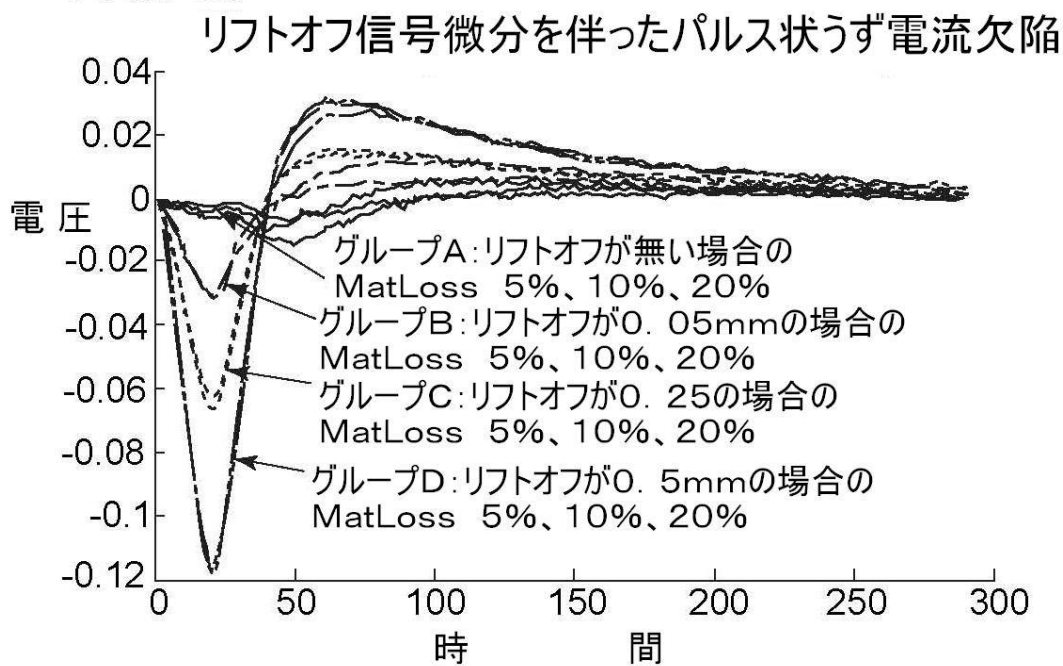
【図 3】

**FIG. 3**

【図 4 a】

**FIG. 4a**

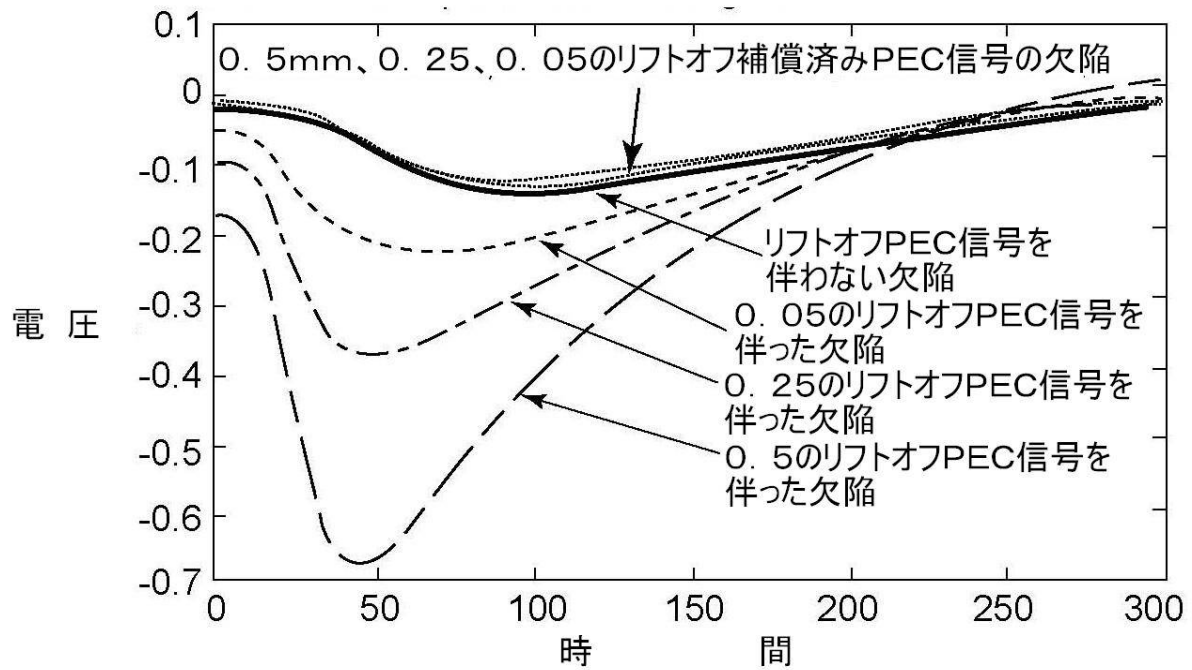
【図 4 b】

**FIG. 4b**

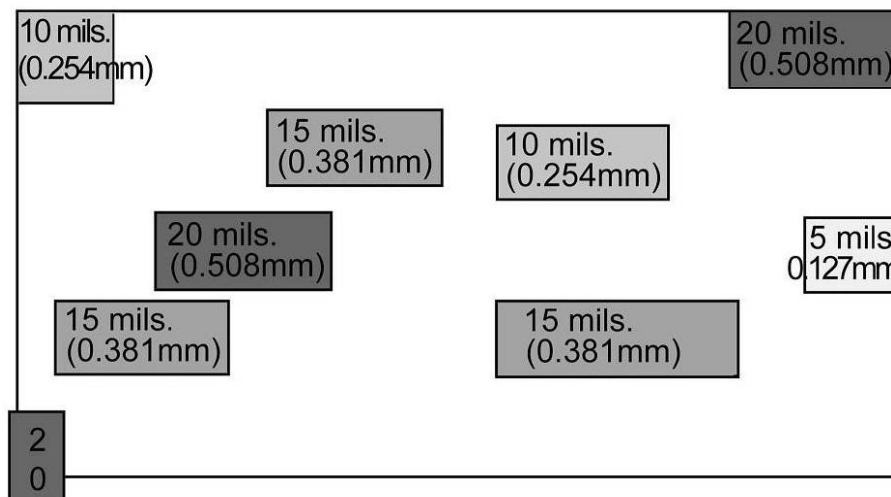
【図 4 c】

**FIG. 4c**

20%の材料ロスでリフトオフPEC信号を伴うもの、  
伴わないもの、並びにリフトオフ補償済みPEC信号



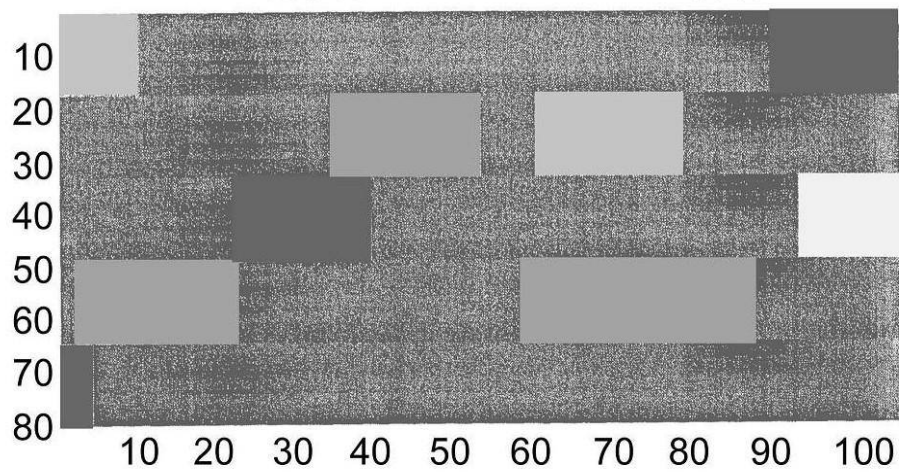
【図 5 a】

**FIG. 5a**

【図 5 b】

**FIG. 5b**

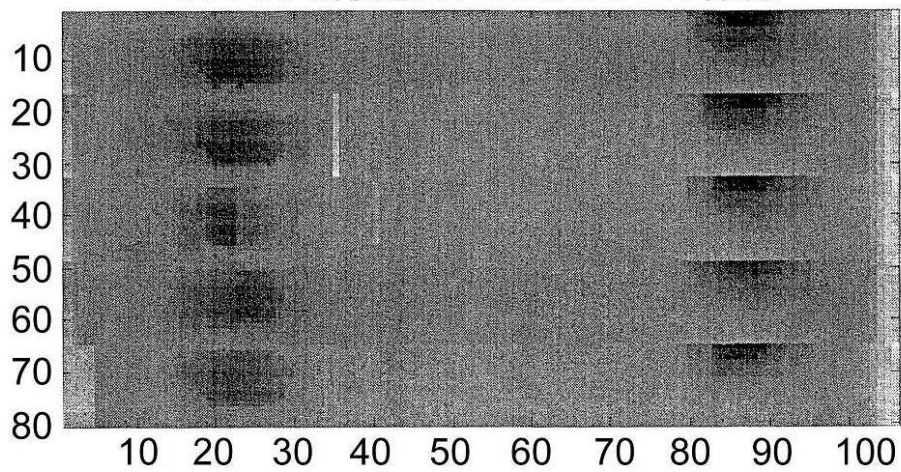
リフトオフ補償を用いないC走査PEC撮像



【図 5 c】

**FIG. 5c**

リフトオフ補償を用いたC走査PEC撮像



---

フロントページの続き

(72)発明者 ジョン・ハンセン

英国、ハートフォードシャー、ハーペンデン、コモン・レーン、29番

(72)発明者 シャオユ・チャオ

英国、ハートフォードシャー、ハットフィールド、カンピオン・レーン、79番

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 特開平01-316655(JP,A)

特表平05-508717(JP,A)

特表2005-518534(JP,A)

特表2004-507721(JP,A)

特表2000-514559(JP,A)

特表2004-507734(JP,A)

特開昭59-126945(JP,A)

特開2005-106823(JP,A)

特開2000-046802(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 27/72 - 27/90

G01B 7/00 - 7/34