

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6791966号
(P6791966)

(45) 発行日 令和2年11月25日(2020.11.25)

(24) 登録日 令和2年11月9日(2020.11.9)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 27/02 (2006.01)
A 6 1 B 5/05 (2006.01)

GO 1 N 27/02 E
A 6 1 B 5/05 B

請求項の数 20 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2018-531076 (P2018-531076)
(86) (22) 出願日 平成28年12月14日(2016.12.14)
(65) 公表番号 特表2019-505772 (P2019-505772A)
(43) 公表日 平成31年2月28日(2019.2.28)
(86) 国際出願番号 PCT/HU2016/050062
(87) 国際公開番号 W02017/125770
(87) 国際公開日 平成29年7月27日(2017.7.27)
審査請求日 令和1年11月27日(2019.11.27)
(31) 優先権主張番号 P1500616
(32) 優先日 平成27年12月14日(2015.12.14)
(33) 優先権主張国・地域又は機関
ハンガリー (HU)

(73) 特許権者 518110741
ペーチ チュードマニゲエテム
ハンガリー ペーチ ヴァシヴァーリ
パール ユー 4
(74) 代理人 110001210
特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(72) 発明者 ボルバーシュ カーロイ
ハンガリー ペーチ マンデウラ ウ
1 / 1
(72) 発明者 キッシュ ティボル
ハンガリー ペーチ リゴデール ウー
テー 3 1 / 1
(72) 発明者 クリンクスィク ミハーイ
ハンガリー ペーチ ケツェープデイン
ドリ ウーテー 5 0

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ソフト断層撮影調査におけるデータの取得および処理のためのプロセスおよび測定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体(62)のソフトフィールド断層撮影分析におけるデータ取得のための測定システム(100)であって、送信ユニット(63-i)と、受信ユニット(65-j)と、測定ユニット(67-j)と、アライブポイント(「温点」81)および接地点(「冷点」82)を有する励起ユニットと、測定データ取得ユニット(85)と、制御ユニット(90)とを備え、前記測定システム(100)の作動状態において、

前記制御ユニット(90)は、前記励起ユニットおよび前記測定データ取得ユニット(85)に動作可能に接続されて、前記励起ユニットおよび前記測定データ取得ユニット(85)を制御し、

前記励起ユニットは、同時に、その温点(81)および冷点(82)を介して1つずつ前記送信ユニット(63-i)に接続されて、前記送信ユニット(63-i)を駆動し、前記励起ユニットの前記冷点(82)は、電源接地に対応し、

前記励起ユニットに接続された少なくとも前記送信ユニット(63-i)は、調査対象の前記物体(62)に1つ1つ結合されて、前記物体(62)内に励起場を作り出し、

前記受信ユニット(65-j)は、調査対象の前記物体(62)に1つ1つ結合されて前記物体(62)内の前記励起場に対する応答を検出し、

前記受信ユニット(65-j)は、一緒に対に接続されて測定回路を形成し、前記受信ユニット(65-j)によって検出された前記応答を測定データによって定量的に特徴付け、前記測定回路の各々は、前記定量的特徴付けのために少なくとも第1および第2の測

定入力を有する測定ユニット（６７－ｊ）を備え、前記測定回路の前記第１および第２の受信ユニットは、前記測定回路内の前記測定ユニット（６７－ｊ）の前記第１および第２の測定入力それぞれに接続され、前記受信ユニット（６５－ｊ）の各々の電源接地は、前記励起ユニットの前記冷点に接続され、

各測定回路の前記測定ユニット（６７－ｊ）は、前記測定データ取得ユニット（８５）に接続されて前記測定データを取得し、

基準要素（６４）は、前記測定回路の１つ内の、前記励起ユニットの前記冷点（８２）と前記冷点（８２）に接続された前記受信ユニット（６５－ｊ）の１つとの間に挿入されて、前記冷点（８２）に接続された前記それぞれの受信ユニット（６５－ｊ）によって提供された前記それぞれの測定データをオフセット値だけシフトすることを特徴とする、測定システム。

10

【請求項２】

請求項１に記載の測定システム（１００）であって、マルチプレクサ（７０）をさらに備え、前記マルチプレクサ（７０）は、前記励起ユニットと前記励起ユニットによって駆動される前記送信ユニット（６３－ｉ）との間、ならびに前記受信ユニット（６５－ｊ）の各々と前記測定データ取得ユニット（８５）との間に挿入され、前記マルチプレクサ（７０）は、前記励起ユニットに接続された送信ユニット（６３－ｉ）を、任意の対になるように各測定回路を形成する前記受信ユニット（６５－ｊ）に動作可能に接続するように構成されることを特徴とする、測定システム。

【請求項３】

20

請求項１または２に記載の測定システム（１００）であって、前記基準要素（６４）は、知られているパラメータの要素によって、好ましくは特定の値の純粋にオーミックな抵抗を有する要素によって提供され、前記オフセット値は、一定の値であることを特徴とする、測定システム。

【請求項４】

請求項１から３のいずれか１項に記載の測定システム（１００）であって、前記測定ユニット（６７－ｊ）の前記測定入力は、差動測定入力であることを特徴とする、測定システム。

【請求項５】

請求項１から４のいずれか１項に記載の測定システム（１００）であって、前記測定ユニット（６７－ｊ）は、高分解能を有する精度測定装置によって、好ましくはロックイン増幅器によって提供されることを特徴とする、測定システム。

30

【請求項６】

請求項１から５のいずれか１項に記載の測定システム（１００）であって、前記励起ユニットは、作動状態において電流生成器または電圧生成器のいずれかとして作動することができる信号生成器（８０）によって提供されることを特徴とする、測定システム。

【請求項７】

請求項１から６のいずれか１項に記載の測定システム（１００）であって、前記送信ユニット（６３－ｉ）は、調査対象の前記物体（６２）の電気励起に合わせて構成されたデバイスによって提供され、前記測定ユニット（６７－ｊ）は、電圧計によって提供されることを特徴とする、測定システム。

40

【請求項８】

請求項１から７のいずれか１項に記載の測定システム（１００）であって、前記送信ユニット（６３－ｉ）および前記受信ユニット（６５－ｊ）は、調査対象の前記物体（６２）の表面上に配置されるのに適したデバイスとして構成されることを特徴とする、測定システム。

【請求項９】

請求項１から７のいずれか１項に記載の測定システム（１００）であって、前記送信ユニット（６３－ｉ）および前記受信ユニット（６５－ｊ）は、調査対象の前記物体（６２）の容積内に少なくとも部分的に配設されるのに適したデバイスとして構成されることを

50

特徴とする、測定システム。

【請求項 1 0】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の測定システム (1 0 0) であって、前記送信ユニット (6 3 - i) および前記受信ユニット (6 5 - j) は、金属電極およびピン電極からなる群から選択されることを特徴とする、測定システム。

【請求項 1 1】

請求項 1 から 1 0 のいずれか 1 項に記載の測定システム (1 0 0) であって、前記送信ユニット (6 3 - i) および / または受信ユニット (6 5 - j) の各々と、調査対象の前記物体 (6 2) との間の結合は、電氣的、静電容量的、ガルバニック式、熱交換式および光の結合からなる群から選択されることを特徴とする、測定システム。

10

【請求項 1 2】

請求項 1 から 1 1 のいずれか 1 項に記載の測定システム (1 0 0) であって、前記送信ユニット (6 3 - i) および前記受信ユニット (6 5 - j) は、前記送信ユニットおよび受信ユニット両方の機能を一体的に備える測定検出器によって提供されることを特徴とする、測定システム。

【請求項 1 3】

請求項 1 から 1 2 のいずれか 1 項に記載の測定システム (1 0 0) であって、前記物体 (6 2) は、不均質の材料分布を有する、任意選択により、容積上の構造的欠陥も含む物体によって提供されることを特徴とする、測定システム。

【請求項 1 4】

20

物体 (6 2) のソフトフィールド断層撮影分析におけるデータ取得のための方法であって、

(i) 送信ユニット (6 3 - i) および受信ユニット (6 5 - j) を前記物体 (6 2) と特定の幾何学的パターンを有する配置で結合させるステップと、

(i i) 前記物体 (6 2) を、送信ユニット (6 3 - i) の少なくとも 1 つの対によって、送信ユニットの前記対を励起ユニットによって生成された励起信号によって駆動させることによって容積励起にかけ、前記対 (複数可) を形成する前記送信ユニット (6 3 - i) の 1 つの送信ユニットを、前記励起ユニットの温点 (8 1) に接続し、前記他の送信ユニットを前記励起ユニットの冷点 (8 2) に接続するステップであって、前記励起ユニットの前記冷点 (8 2) は、電源接地に対応する、ステップと、

30

(i i i) 受信ユニット (6 5 - j) によって形成された受信ユニット対から作り出された測定回路によって、前記励起に対する前記物体 (6 2) の完全な応答を測定することによって測定データを作り出すステップであって、各測定回路は、少なくとも 1 つの測定ユニット (6 7 - j) をさらに備え、前記測定ユニット (6 7 - j) は、第 1 および第 2 の測定入力に有し、前記測定を実施するとき、前記物体 (6 2) に結合された各受信ユニット対の 1 つの受信ユニット (6 5 - j) は、前記第 1 の測定入力および前記第 2 の測定入力に接続される、作り出すステップと、

(i v) 前記得られた測定データを記憶するステップと、

(v) 前記励起を実行する前記送信ユニット (6 3 - i) の少なくとも 1 つを、前記物体 (6 2) に結合されている前記送信ユニットからの別の送信ユニットに取り替えた後、および / または前記測定を実行する前記測定回路の前記少なくとも 1 つの少なくとも 1 つの受信ユニット (6 5 - j) を、前記物体 (6 2) に結合された前記受信ユニットからの別の受信ユニットに取り替えた後、ステップ (i i) ~ (i v) を反復するステップとを含み、

40

前記方法は、

- 各受信ユニット (6 5 - j) の電源接地を前記励起ユニットの前記冷点に接続するステップであって、それによって共通電位に接続されている間に前記物体 (6 2) を励起し、各測定を実行する、接続するステップと、

- 基準要素 (6 4) を前記測定回路の 1 つ内の、前記励起ユニットの前記冷点 (8 2) と、前記冷点 (8 2) に接続された前記受信ユニット (6 5 - j) の 1 つとの間に挿入し、

50

前記基準要素（６４）上の測定を、前記励起に対する前記物体（６２）の前記完全な応答の前記測定と同時に実行し、それによって系統のおよび共通位相誤差を表すオフセット値だけシフトされた測定データを、前記冷点（８２）に接続された前記それぞれの受信ユニット（６５ - j）上で得るステップであって、前記基準要素上で実行された前記測定の結果もまた記憶される、ステップとをさらに含むことを特徴とする、方法。

【請求項１５】

請求項１４に記載の方法であって、前記送信ユニットの１つの取り替えおよび／または前記測定回路の少なくとも１つの前記受信ユニット（６５ - j）の少なくとも１つの取り替えは、マルチプレクサ（７０）によって制御される方法で、前記送信ユニット（６３ - i）および／または前記受信ユニット（６５ - j）による走査によって実施されることを特徴とする、方法。

10

【請求項１６】

請求項１４または１５に記載の方法であって、前記物体（６２）は、前記測定を開始する前に離散化され、ネットワークモデル近似において得られた有向グラフによって表され、ステップ（i i） - （i v）の反復は、前記有向グラフのブランチによって表される前記インピーダンス値を決定するための方程式の系の過剰決定が達成されるまで継続され、方程式の前記系を形成する前記方程式の未知数は、前記インピーダンス値であり、その係数は、前記励起に対する前記物体（６２）の総応答を測定することによって得られる測定データであることを特徴とする、方法。

【請求項１７】

20

請求項１４から１６のいずれか１項に記載の方法であって、前記物体（６２）の前記励起は、方程式の前記系の過剰決定を達成するために種々の励起周波数において実施されることを特徴とする、方法。

【請求項１８】

請求項１４から１６のいずれか１項に記載の方法であって、前記物体（６２）の前記励起はまた、方程式の前記系の前記過剰決定を達成するために前記送信ユニット（６３ - i）上で前記励起ユニットの前記温点（８１）および前記冷点（８２）を交換することによって実施されることを特徴とする、方法。

【請求項１９】

請求項１４から１８のいずれか１項に記載の方法であって、前記基準要素（６４）は、純粋にオーミックな抵抗器であり、前記励起に対する前記物体（６２）の総応答を測定することによって得られた前記測定データは、補償された測定データに変換され、前記補償は、データ取得に使用される請求項１から１３のいずれか１項に記載の前記測定システムの系統のおよび共通位相誤差に対して、前記基準要素（６４）上で前記測定を実行することによって得られたオフセット値だけシフトされた測定データを使用することによって行われることを特徴とする、方法。

30

【請求項２０】

請求項１４から１９のいずれか１項に記載の方法であって、前記記憶された測定データは、前処理ステップにより、ソフトフィールド断層撮影撮像アルゴリズムによって直接的に使用されるのに適したフォーマットにされることを特徴とする、方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、調査対象の物体の非破壊的なソフトフィールド断層撮影分析の補完に関する。特に、本発明の目的は、調査対象の物体、特に不均質な材料分布を有する物体の内部構造のソフトフィールド断層撮影マッピングのためのデータ取得および処理方法ならびに測定システムである。本発明は、特に、ソフトフィールド断層撮影分析および／または撮像方法の基礎として機能する、データ取得／処理方法、ならびに測定システムを提供する。本発明による方法および測定システムは、有利には、種々の材料（たとえば生木）の非破壊的構造分析のための工業断層撮影プロセスおよび医療的診断方法（たとえば、肥満分析

50

、特に肥満度測定、または特に細胞増殖をマッピングするために実行される腫瘍学検査、および他の類似の方法など）において有利に使用され得る。したがって、本明細書ではこれ以後、用語「物体」は、実質的には、工業製品から、自然に見出される構造、人または動物の体の部分を形成する器官／組織に至る範囲の調査対象の任意の材料を指す。

【背景技術】

【0002】

三次元物体の内部構造を破壊せずに分析または視覚化することに関する問題が、数多くの技術的および科学的分野に存在する。前記分析または視覚化は、放射線によって物体を透過照明することによって達成することができ、この放射線は、ほとんどの場合、調査対象の物体によって透過されるだけでなく、その内部構造の「シルエット」を得るのに十分な程度まで吸収される（撮像）。調査対象の物体の内部構造がほぼ二次元である場合、またはそれほど複雑ではない場合、そのようなシルエットは直接的に解釈可能である。しかし、より複雑な場合、数方向でしか取り込まれなかった画像は、内部構造を明らかにするのに十分ではない。物体の内部構造（たとえば、前記物体の材料分布、不均質性、内部欠陥）を二次元シルエットから再構築することは、通常、どちらかと言えば複雑なタスクであり、したがって、いわゆる断層撮影による断面画像を撮ることが一般的な慣例である。これは、三次元物体の平面セクション（断面）を、その平面に沿って異なる方向で一次元画像を取り込み、次いで前記画像から平面構造の再構築を試みることによって調査することを意味する。これに関連して、用語「構造」は、印加された放射の吸収の空間的変動／分布を指し、したがって、断層撮影は、この二次元問題の解決策を示す。そのために、いわゆるハードフィールド断層撮影法、X線放射または音響放射（たとえば超音波）が、一般的には、透過照明放射として使用される。

【0003】

上記で論じた方法に加えて、いわゆるソフトフィールド断層撮影法もまた知られている。そのようなソフトフィールド断層撮影法は、すべてではないが、とりわけ、電気抵抗断層撮影（ERT）、静電容量断層撮影（ECT）、電気インピーダンス断層撮影（EIT）および音響インピーダンス断層撮影（AIT）であり、これらの検査方法は、調査対象の物体の内部特性、たとえば具体的には、物体の内部構造を規定する材料の導電性または誘電性または密度などの電氣的／誘電的または機械的特性などの空間的変動を、たとえば磁氣的もしくは電氣的インピーダンス／アドミッタンス、または音響インピーダンス測定を実行することによってマッピングおよび測定することを対象とする。この目的のために、最初に、調査対象の物体は、その1つ以上の地点から励起にかけられ、次いで、その励起に対する物体の材料の応答が、物体の1つ以上の地点において測定される。この励起および／または応答の測定は、1つ以上の周波数および／または時点において実行することができる。調査される物体の画像は、その後、こうして得られた測定データに基づく画像再構築方法によって作り出される。

【0004】

撮像によって作り出された画像のさらなる（たとえば検査または診断のための）使用に関わるとき、データ取得中に測定データに組み込まれるさまざまな誤差を最大限補償することが極めて重要である。測定誤差源は、たとえば、励起および／またはデータ取得に使用される測定システム、測定システムに使用される個々の励起ユニットおよび／または測定ユニット、すなわちこれらの系統的誤差、または測定中、励起ユニットおよび／または測定ユニットによって占有される幾何学的位置から生じる誤差になり得る。ソフトフィールド断層撮影システムのこれらの誤差の中でもとりわけ、前記系統的誤差は、特に重要であると考えられ、その理由は、物体のシステムおよび測定システム内に存在する非線形性により、調査対象の物体もまた、測定システム、したがってその1つ以上の部分に影響を与えるため、分析に使用される測定システムの予備較正によって測定できないためである。

【0005】

米国特許出願公開第2010/0127705号は、磁気誘導に基づく断層撮影分析を

10

20

30

40

50

実施するための方法およびシステムを開示する。分析を実行するために、調査対象の物体は、物体の周りに配置された励起コイルによって生成された交番磁場に向けられ、次いで、物体の導電性および前記導電性の空間的分布に特化した情報を運ぶ交流信号が、物体を取り囲む位置に配置された適切な受信ユニットによって取り込まれる。データ取得は、少なくとも2つの異なる周波数において実施される。こうして記録された測定データ、特にその虚数部を使用することにより、補正係数が複雑な数学的アルゴリズムによって導出され、この補正係数は次いで、励起コイルおよび/または受信ユニットの幾何学的位置における変化によって生じる誤差(散乱信号)を補正するために使用され得る。この方法の欠点は、記録されたデータの虚数部のみを使用して補正係数を導出することにより、データ損失を引き起こすことである。さらに、この方法はまた、装置、その部材、特に励起コイルおよび/または受信ユニットの系統的誤差を管理することができない。

10

【0006】

米国特許出願公開第2013/0013239号は、ソフトフィールド断層撮影法において一般的な、位相変調された、または位相および振幅変調された励起を使用してデータ取得/撮像の分解能を強化することを論じている。

【0007】

米国特許第8,593,154号は、ソフトフィールド断層撮影調査において生じるアーチファクトを抑制するための方法および装置を開示する。使用されるデータ取得システム20が、図1に示される。それにしたがって、調査対象の物体22の材料の電気特性、特にその導電性および導電性の空間的分布が、EIT方法によって分析される。この目的のために、複数の変換器が、物体22の表面上またはその近くに配置される。変換器は、最初に所望の方法で(ここでは電氣的に)物体22の材料を励起し、次にこの励起に対する物体の材料の応答を取り込み、これを電気信号に変換するために使用される。したがって、変換器は、最初に駆動をもたらす励起ユニット26に、次に、応答を表す信号を取り込むための応答検出器28に電氣的に接続される。応答検出器28の信号は、応答検出器28に接続されたソフトフィールド断層撮影モジュール30に渡され、ソフトフィールド断層撮影モジュールのタスクは、励起に対する物体22の応答を算出/評価し、任意選択により、物体内の応答、励起、および導電性分布をつなぐ、いわゆる逆問題を解くことである。データ取得システム20の補正操作は、励起ユニット26およびモジュール30に接続された制御ユニット33によってもたらされる。開示された解決策によれば、物体は、複数の周波数および/または時間の成分を含む励起パターンにしたがって変換器24によって励起に向けられ、次いで、撮像の1つまたは複数のアーチファクト、特に、変換器の幾何学的配置から、およびこの中で使用される電極をモジュール30内に使用される将来予測されるモデルに当てはめられないことから生じる誤差が、成分にしたがって応答を分離することによって解消されるよう望まれる。しかし、詳細に説明する励起およびデータ取得スキームは、データ取得システム20およびそのサブアセンブリによって引き起こされる系統的誤差を軽減せず、さらに、これらは言及さえもされていない。

20

30

【0008】

ソフトフィールド断層撮影法では、したがって特にEITおよびAIT測定においても、(任意選択により構造的欠陥/変形を含む)連続的(不均質、異方性)媒体は、インピーダンス(または複雑な伝導性)ネットワークに簡易化され、それにより、これは、数多くの数学的ツールセットによって管理され得る。この目的を達成するために、

40

- 調査対象の物体の材料は、解かれて、多かれ少なかれ良好に管理可能である数学的記述を有する線形ネットワークによってモデル化され、

- 逆問題は、ネットワークのブランチ上のインピーダンス値の算出に限定され(方程式系を生成することが明白であり、したがって逆問題をより安全性を高めて解くことができる)、

- ネットワークの各ブランチ上のインピーダンスは、電気抵抗器、キャパシタ、およびインダクタの接続として別々にモデル化することができるため、調査対象の物体の材料の周波数依存性をより正確に推定することができる。

50

【 0 0 0 9 】

「IEEE Transactions on Biomedical Engineering」と題する雑誌の57巻、9版、2257～2266頁内の、2009年に公開された「A Resistive Mesh Phantom for Assessing the Performance of EIT Systems」と題するエイチ・ガグノン(H. Gagnon)らの出版物において、EITシステムの評価、比較、および較正に使用することができるいわゆるファントムの設計に関する考察が、論じられている。電気回路を解くのに一般的に使用されるマトリクス方法および有限要素法もまた論じられ、調査対象の物体の測定可能なパラメータと、有向ネットワークグラフによって説明される、物体をモデル化するインピーダンスネットワークとの間に十分に正確な対応を確立するための方法もまた、説明される。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

その結果、本発明の目的は、主にソフトフィールド断層撮影による材料分析/撮像法のためのデータ取得/処理方法および測定システムであって、ソフトフィールド断層撮影法を実施するために使用されるユニット、特に励起ユニットの系統적および共通位相誤差を考慮に入れ、記録された測定データ内のその誤差を抑制するのにも適した、データ取得/処理方法および測定システムを提供することである。測定データからの前記系統적誤差を解消した結果、撮像の基礎として機能するデータの正確性が改良され、それによって調査対象の物体の内部構造のより正確な撮像を可能にする。

20

【 0 0 1 1 】

本発明のさらなる目的は、主にソフトフィールド断層撮影材料分析/撮像法のためのデータ取得/処理方法および測定システムであって、線形ネットワークモデル近似において得られた方程式系の解に関して、すなわち分析された物体の材料特性に対応する未知のインピーダンス値の決定に関して、すなわち実際には逆問題の解に関して現在使用されている他の類似の方法より信頼高い、データ取得/処理方法および測定システムを提供することである。逆問題の解が信頼高くなるほど、ソフトフィールド断層撮影撮像の正確性および分解能の改良も容易になる。

【 0 0 1 2 】

30

本発明のさらなる目的は、改良されたデータ取得プロトコルを提供して逆問題の解に必要とされる方程式系を導出する、データ取得/処理方法および測定システムを提供することによって、ソフトフィールド断層撮影撮像方法を全体的に改良することである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明者の調査では、(電気接続に使用されるケーブルを含む)データ取得測定システムのサブアセンブリの系統적および共通位相測定誤差は、各測定データに影響を与える単一の共通測定誤差として起こり、したがってその抑制および補償は、データ取得測定システムの一部である測定ユニットおよび調査対象の物体の励起をもたらす励起ユニット、すなわち測定システム内で使用される信号生成器が、共通の電位、たとえば接地電位に接続され、信号生成器の接地に対する、励起に対する物体の応答の測定、すなわち測定ユニットによるデータの取得もまた、信号生成器の接地に対して実施される場合に簡易化されるという結論に達した。特に、好ましくは、既知の純粋なオーミック抵抗を有する単一の基準要素が、前記共通電位上の信号生成器の側にある測定回路に挿入される場合、基準要素上で起こる測定可能な位相シフトは、共通測定誤差の結果であり、したがってその範囲は、基準要素上で実施される位相シフト測定のみによって決定することができ、測定データは、その知られている値によって補償され得る。

40

【 0 0 1 4 】

本発明者らの調査では、さらに、逆問題を解くために、調査される物体の材料の離散化の特定レベルにおいて、すなわちデータ取得の所与の分解能において、対応する有向ネッ

50

トワークグラフのブランチに属するインピーダンス / アドミッタンス値を決定するのに必要とされるいくつかの方程式が、前記方程式内の未知数の数を確実に超えることを確実にするようにデータ取得を実施することが好ましいというさらなる結論に達した。別の言い方をすれば、データ取得は、好ましくは、逆問題を解くための導出された方程式系が過剰決定されることを確実にするように実施される。本発明者らの調査では、この要件に則して実施されるデータ取得はまた、調査対象の物体の励起が、所与の励起 / 応答検出構成において、2つ以上の周波数で同時にまたは順次実施される場合、比較的簡単な励起スキームを適用することによって確実にすることができることも見出した。そのようなデータ取得の詳細は、例示的な実施形態に関連して後続で詳細に説明される。

【0015】

10

その結果、非破壊的調査対象の物体のソフトフィールド断層撮影調査におけるデータ取得のための測定システムの態様に関連する本発明の目的は、請求項1による測定システムをさらに練り上げることによって達成される。本発明による測定システムの好ましい例示的な実施形態は、請求項2から13に記載される。物体のソフトフィールド断層撮影調査に使用されるデータ取得および処理方法の態様に関連する目的は、請求項14によって達成される。本発明による方法のさらなる好ましい例示的な実装は、請求項15から20に記載される。

【0016】

以下では、本発明は、添付の図を参照して詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

20

【0017】

【図1】データ取得システムによって引き起こされる、系統的小および共通位相誤差と共に共通測定誤差に関して補償されない、ソフトフィールド断層撮影データ取得のための従来技術システムのブロック図である。

【図2A】本発明によるソフトフィールド断層撮影データ取得方法のベースを形成する離散化に対応する有向グラフの簡単な例である。

【図2B】本発明によるソフトフィールド断層撮影データ取得方法のベースを形成する離散化に対応する有向グラフの簡単な例である。

【図3A】ソフトフィールド断層撮影データ取得に適し、共通測定誤差に関して補償される、本発明による測定システムのブロック図である。

30

【図3B】所与の数の送信ユニット / 受信ユニット (変換器) を使用する、図3Aによるソフトフィールド断層撮影データ取得システムの例示的な接続図である。

【図4】流れ図の形態の、データ取得中、信号生成器によって実施される励起の系統的小の例示的な実装を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

ソフトフィールド断層撮影分析 / 撮像方法に関連して使用される本発明によるデータ取得 / 処理方法およびシステムは、EIT方法に関連する、そのような実施形態に関連して以下で詳細に説明される。それにしたがって、データ取得 / 処理方法およびシステムは、電気励起およびこれに対する応答の測定に関連して説明される。したがって、ソフトフィールド断層撮影分析にかけられる物体は、本発明のこの実施形態では電気励起にかけられ、電気励起の結果として得られる応答は、線形ネットワークモデル近似 (有向グラフ) 内に確立される方程式の系の解の基礎 (入力値) と考えられる。しかし、以下で詳細に説明するデータ取得方法の実施形態を、使用される励起 / 応答測定のタイプの適切な変更後に異なるタイプのソフトフィールド断層撮影法に関連して使用してもよいことが、当業者には明らかである。

40

【0019】

本発明による解決策の好ましい例示的な実施形態によれば、調査対象の物体は、インピーダンスネットワークによってモデル化され、そのためモデルの数学的表現は、有向 (重みを付けた) グラフである。調査対象の物体を表すグラフの構造は、ソフトフィールド断

50

層撮影のデータ取得のいかなる分解能においても同じ原理をたどる。たとえば分析される物体の表面またはその表面近くに置くことによってその物体を測定するのに使用されることが望ましい測定要素の数 ($e_l = 1, 2, 3$; 正の整数) およびグラフを形成するためのシェルの所望の数 ($s_h = 0, 1, 2, 3$; 正の整数) を所与とした場合、その情報が、調査対象の物体またはその内部構造の調査の所望の分解能と事実上等しい場合、グラフ (すなわち線形ネットワーク) を明白に特徴付ける幾何学的パラメータ、すなわちグラフのノード (n)、ブランチ (b_r) および閉ループ (l) の数は、以下の式によって算出することができる。

- ノードの数: $n = e_l \times (s_h + 1) + 1$
- ブランチの数: $b_r = e_l \times (3 \times s_h + 2)$ 、および
- ループの数: $l = e_l \times (2 \times s_h + 1)$ 。

10

【0020】

調査対象の物体の離散化および線形ネットワークモデル近似によって得られたいくつかのそのような例示的なグラフが、図2Aおよび2Bに示され、ここで図2Aは、 $e_l = 8$ 、 $s_h = 0$ の選択に対応するグラフを示し、図2B((a)、(b)および(c)でマークされたグラフを参照)は、これより高い分解能 (これより多くのシェル) および/またはこれより多い測定要素の場合を示し、測定要素の数および/またはシェルの数は、任意によって選択され得ることは明らかである。

【0021】

調査対象の物体が離散化されるとき、グラフのノードの位置座標は、実際の分析タスクの最適な解にしたがって選択される。各ブランチを表すインピーダンス (またはアドミッタンス) 値が、ソフトフィールド断層撮影による特徴付け (撮像) のために算出される必要がある。

20

【0022】

グラフの極限 (外周囲) 上のノードは測定要素を表すことは、こうして得られたグラフには概ね一般的である。この物理的根拠は、磁場特性が、測定によって決定される、たとえばこれらの点において算出されるものであることである。

【0023】

当業者に知られているように、前述によって得られたグラフを、通常いわゆるノード-ブランチマトリクス ($b_r \times n$ であるサイズ) およびいわゆるループ-ブランチマトリクス ($b_r \times l$ であるサイズ) によるマトリクス表現における定量的特徴付けに関して説明することができ、このマトリクスは、ノード、ブランチ、およびループの相対位置に応じて、-1、0、または1の値を有する要素を含むことが、ここに留意される。

30

【0024】

ソフトフィールド断層撮影分析方法を使用するとき、逆問題の解、すなわち画像再構築は、方程式の非線形系の解を必要とする。物体を表す有向グラフのブランチによって表されたインピーダンス値を決定するために、グラフの周囲上の測定要素によって取得された測定データ (すなわち励起に対する物体の応答の測定データ) は、グラフに対応するネットワークに関する方程式の系に代入される。方程式の系の導出の説明および必要な数学的ツールは、たとえば米国特許出願公開第2011/0163770号に見出すことができ、したがってこれらは、本明細書では詳細に説明されない。方程式の系の可解性の基本的要件は、これが過小決定されてはならないことである。これを念頭におき、以下に詳細に説明されるデータ取得スキームは、方程式の系が、グラフの各ブランチ上の導電性および容量の値に関して過剰決定されるように選択される。

40

【0025】

グラフが調査対象の物体をモデル化するために使用されるとき、解かれる方程式の系の特性は、以下の式によって説明され得る:

- 方程式の数: $e_q = g \times (n - 1) = g \times e_l \times (s_h + 1)$ 、および
- 未知数の数: $x = 2 \times b_r + g \times (e_q - e_l)$

式中、 n はグラフのノードの数であり、 b_r はブランチの数であり、 e_l は測定要素の固

50

定された数であり、 sh は分解能の精密性を特徴付けるシェルの数である（生成器のポールシフト g も含む）。

【0026】

方程式の系は、生成器位置の数によって過剰決定されて作成され得る。 g の最適値は、式 $g = 6 \times (sh + 1)$ によって決定され得る。

【0027】

g の値は測定要素 $e1$ の数から独立しているため、測定要素の数における変化は、数学問題の可解性に影響を与えないことがここに留意される。これは、事実上、ソフトフィールド断層撮影撮像の分解能を、逆問題の可解性を損なうことなく高めることができることを意味する。測定方法の実現は、所望の分解能（画像詳細）によって常に決定される。

10

【0028】

前述のパラメータによるデータ取得によって得ることができる方程式の系の特性は、分解能を高めて、すなわち $sh = 1$ および $sh = 5$ それぞれの値の選択によって、以下の表 1 および 2 においてまとめられる。方程式の数が、実際に、測定要素の数から独立して未知数を超えることを表から分かる。

【表 1】

el	sh	n	br	g	eq	x
8	1	17	40	12	192	176
16	1	33	80	12	384	352
32	1	65	160	12	768	704
64	1	129	320	12	1536	1408

20

表 1: $sh=1$.

【表 2】

el	sh	n	br	g	eq	x
8	5	49	136	36	1728	1712
16	5	97	272	36	3456	3424
32	5	193	544	36	6912	6848
64	5	385	1088	36	13824	13696

30

表 2: $sh=5$.

【0029】

一般的に言えば、データ取得が前述にしたがって実施されるとき、（EIT 測定、好ましくは金属電極の場合）測定要素の $e1$ 数は、任意の幾何学的形状にしたがって配置された調査対象の物体の表面上または表面近くで利用可能であり、この測定要素は、対で接続されて各測定のための、すなわち各測定データを得るための測定回路を形成し、測定ユニットが、各測定回路内に含まれる。可能な組み合わせの数は、 $e1^2$ であり、これは、測定の最大数と等しい。このようにして、各々の可能な組み合わせは、これに対応する方程式系を有する。同じ物体が、次々と実施される励起中に測定されるとき、各々の取得された方程式系の未知の変数は、同じインピーダンスマトリクスである。したがって、データ取得スキームの結果、過剰決定された方程式系が生じる。

40

【0030】

方程式の系を確立する前、物体は、測定要素によって特定の周波数で励起にかけられる。接地されたコネクタ、これ以後、励起を実施する信号生成器の接地点または冷点（コー

50

ルドスポット) (0 V ; GND) が、測定要素の 1 つに接続される場合、これ以後信号生成器のアライブポイント (a l i v e p o i n t) または温点 (ホットスポット) (+ I ; G E N) を表す他のコネクタは、残りの $n - 1$ 測定要素の任意の 1 つに接続され得る。完了後、信号生成器のこの一時的に固定されたコネクタ位置において測定回路によって測定が実施され、次いで、信号生成器の温点 + I は、別の測定要素に再配置され得る。信号生成器の冷点 GND が別の測定要素に再配置される場合、ここでも $n - 1$ 可能性が、信号生成器の前記温点 + I を再配置するために利用可能になり、すなわちここで論じる再接続の可能性を利用することによって、最大の $e l^2$ 測定を実行することができる。

【0031】

実際に測定を実施するために、各測定回路の測定ユニットの 1 つのコネクタは、測定要素に接続され、測定ユニットの他のコネクタは、信号生成器の冷点 (GND) に接続される。このようにして、各測定要素の電位は、データ取得中、測定回路の測定ユニットによって測定される。

【0032】

前述にしたがって信号生成器の温点および冷点によって各測定要素によって実行される系統的走査は、図 4 の流れ図で追跡することができる。明らかなことに、データ取得中、信号生成器の温点および冷点 (G E N ; G N D) のみが、測定要素から測定要素 ($i ; j$) に動かされ、その間、測定要素の対によって形成された測定回路の各々上で、測定が実施され、その結果 (U) は、任意選択により各測定値間で励起周波数 (f) を変更して記録される。

【0033】

本発明者らの経験によれば、各信号生成器コネクタ配置において逆にされた位相でも測定を実施することは、データ処理に関して有利であるが、その理由は、方程式の系を反復するときに得られた測定結果もまた、解に関与し、したがって測定精度を高めるためである。

【0034】

本方法の利点は、共通接地に接続された測定ユニットのコネクタが、測定要素から引き出される必要がなく、したがって残りの点のみが引き出されることである。これにより、散乱静電容量および測定によって引き起こされた周波数依存誤差は、簡易化される。必要であれば、各点の相違をデジタル的に生成することができる。

【0035】

本発明者らによって使用されるデータ取得のスキームは、以下の主なステップを含む：
 (i) 測定要素の各々 ($e l$ 個) が、測定ユニットの差動測定入力 of 1 つに電気的に接続され、一方で各測定ユニットの他の差動測定入力は、励起信号を提供する信号発生器の冷点 (すなわち接地) に固定式に接続される (測定入力の位置は、測定中、変化しない)。
 (i i) 信号生成器の冷点 (0 V ; GND) が、第 1 の測定要素に接続される。
 (i i i) 信号生成器の温点 (+ I ; G E N) が、第 1 の測定要素と同じ測定回路内に配置された第 2 の測定要素に接続される。
 (i v) 物体が、第 1 および第 2 の測定要素を通じて特定 (第 1 の) 周波数で信号生成器によって生成された励起にかけられる。
 (v) それと同時に、方程式系を生成するために測定回路ごとに励起に対する物体の応答の測定を実施する。
 (v i) 過剰決定された方程式系が、(i i) から (v) のステップを反復することによって生み出され、この場合、ステップ (i v) における物体の励起は、任意選択により、特定 (第 1 の) 周波数とは異なる 1 つ以上の周波数において実施される。

【0036】

図 3 A および 3 B にしたがって、上記で説明した全般的なデータ取得スキームが、次にしたがってデータ取得システム 60 によって好ましい実装の形で実施される：送信ユニット 63 - 1、63 - 2, . . . , 63 - $e l'$ (これ以後 63 - i ; $i = 1, 2, . . . , e l'$) が、調査対象の物体 62 の表面上に、実質的に任意に選択された幾何学的配置で

10

20

30

40

50

配置される。送信ユニット 63 - i は、適切な導管によって、好ましくはマルチプレクサ 70 によって信号生成器 80 のコネクタに接続される。信号生成器 80 は、制御デバイス 90 に接続され、制御デバイス 90 の適切な制御信号に応答して、信号生成器は、所定の信号形状を有する励起信号を発生し、この励起信号は、マルチプレクサ 70 によって選択された送信ユニット 63 - i の任意の 2 つ（すなわち 1 対）によって（この例では図 3 B にしたがって、番号 2 および 6 でマークされた送信ユニットによって）物体 62 に導入される。したがって、励起場が、物体 62 内に生成される。この導入は、特に、生成器 80 の温点 81 が、選択された送信ユニットの 1 つに（図 3 B によるこの例では、送信ユニット番号 6 に）接続され、一方で信号生成器 80 の冷点 82（すなわち接地）が、選択された送信ユニットの他の一方（図 3 B によるこの例では送信ユニット番号 2）に接続されるように実施される。

10

【0037】

データ取得中、励起に対する物体 62 の応答が、測定され / 記録される。測定を実施するために、受信ユニット 65 - 1、65 - 2, . . . , 65 - e1（これ以後 65 - j ; j = 1, 2, . . . , e1）または測定ユニットが、調査対象の物体 62 の表面上に、実質的に任意に選択された幾何学的配置で置かれる。受信ユニット 65 - j は、これらが信号生成器 80 の冷点 82 と同じである共通接地を有するように配置される。測定を実施するために、受信ユニット 65 - j は、マルチプレクサ 70 による実質的に任意のペアリングで共通接地を有する測定回路 / 測定チャネルを形成する。所与の測定（測定構成）に使用される実際のペアリングは、固定アルゴリズムにしたがってマルチプレクサ 70 によって提供 / 実施される（たとえば図 4 を参照）。少なくとも 1 つの測定ユニット 67 - 1、67 - 2, . . . , 67 - e1（これ以後：67 - j ; j = 1, 2, . . . , e1）は、各々のこうして得られた測定回路に対応する。受信ユニット 65 - j は、送信ユニット 63 - i によって物体 62 の材料内に生成された励起場に与えられた、物体 62 上の種々の幾何学的位置における応答（定量的特徴付け）を検出し、一方で測定ユニット 67 - j は、数値（測定データ）、すなわち定量的特徴付けを有する応答の式を提供する。実際の測定構成において得られた測定データは、マルチプレクサ 70 を通じて、制御ユニット 90 に適切な方法で接続された測定データ取得ユニット 85 に転送される。データ取得システム全体によって引き起こされた（たとえば連結導管からの）系統のおよび共通位相誤差の簡単な測定を容易にするために、（好ましくは知られているパラメータ、したがって所与のオーミック抵抗によって良好に測定可能である）基準要素 64 が、信号生成器 80 の冷点 82 と、実際の測定構成でデータ取得に使用される測定回路の 1 つの受信ユニットの 1 つとの間で、この測定回路内へと挿入される。

20

30

【0038】

データ取得方法によれば、信号生成器 80 のコネクタの幾何学的位置（すなわち温点 81 および冷点 82）から独立して、測定が、同時 / 同じ時間に各受信ユニット 65 - j 上で信号生成器 80 の冷点 82 に対して実施される。測定回路の差動測定入力位置は、任意の所与の測定構成におけるデータ取得中変化せず、信号生成器 80 のコネクタのみが、好ましくは系統の走査中、マルチプレクサ 70 によって物体 62 上の異なる幾何学的位置に互いに独立して置かれる。

40

【0039】

したがって、信号生成器 80 および受信ユニット 65 - j の接地は、共通である。こうして、励起およびデータ取得（測定）は、共通点に対して実施される。励起および測定は共通点に対して実施されるが、前記方法の共通点は、0 V に対応せず、定数によってこれからオフセットされた値に対応する。このオフセットは、信号生成器 80 の冷点 82 側に挿入された、既知の抵抗を有する基準要素 64（好ましくは純粋なオーミック抵抗器）によって引き起こされる。調査対象の物体 62 を測定する際に起こる共通測定誤差（実際には、信号生成器 80 の系統誤差、共通位相誤差など）もまた、基準要素 64 上に起こる。基準要素 64 の抵抗が知られているので、各測定回路内で測定ユニット 67 - j によって物体 62 上で測定された電位値を簡単に補償することができ、すなわち、0 V に対する

50

測定によって得ることができる測定データを、その抵抗から、たとえば引き算によって簡単に生成することができる。基準要素 64 を含んだ結果、系統的誤差は、測定データの処理中（たとえば引き算、比率計算によって）、すなわち、挿入された基準要素 64 を用いてデータ取得を実施することによって、大きく低減され、測定データを、実際に、いままで解消することができないと考えられていたデータ取得システム 60 の共通測定誤差に影響されないものにされ得る。方法のさらなる利点は、これがさらに統計的誤差も低減することである。これは重要であり、その理由は、第 1 にソフトフィールド断層撮影撮像方法が 0 V に対する測定データを必要とするためであり、第 2 にソフトフィールド断層撮影撮像方法は、測定システムにおいて、および測定プロセス中に起こる補償されない誤差に対して極めて敏感であり、したがって撮像の品質の改良は、誤差の低減を必要とするためである。

10

【0040】

送信ユニット 63 - i および / または受信ユニット 65 - j は、調査対象の物体 62 の表面上に直接的に、たとえば金属電極の形態で配置され得る。本明細書では、送信ユニット 63 - i および / または受信ユニット 65 - j は、励起のためおよび / またはデータ取得のために物体 62 の内側に配置されてもよい（すなわち貫入する）ことが留意される。たとえば、針電極が、そのような配置の例として機能することができる。

【0041】

さらに、送信ユニット 63 - i および受信ユニット 65 - j は、単一の一体型測定センサ、または換言すれば変換器として形成されてもよく、それによって測定システムを作り出すことを大きく簡易化する。そのような場合、測定システム 100 は、好ましくは、同一数の送信ユニットおよび受信ユニットを備えることができ、すなわち $e_{1'} = e_1$ が満足されるが、これは必要ではない。

20

【0042】

さらに、概して異なるタイプの励起を、物体 62 を形成する材料内に、送信ユニット 63 - i によってそのタイプに基づいて生成することができ、とりわけたとえば、電氣的、磁氣的、光的、または熱的励起を生成することができることが明白である。励起のタイプに基づいて、送信ユニット 63 - i、受信ユニット 65 - j、または変換器、および物体 62 の結合は、異なる性質、たとえば、電氣的、静電容量的、ガルバニック式、熱交換式などのものになり得る。

30

【0043】

励起波形は、通常、（純粹な）正弦 / 余弦波形であるが、励起自体は、信号生成器 80 によって提供される双極性方形信号によって実施され得る。さらに、信号生成器 80 を電流生成器または電圧生成器の作動モードで作動させることもできる。

【0044】

上述に照らして明白であるように、図 3 B に概略的に示すソフトフィールド断層撮影データ取得に適した測定システム 100 の好ましい実施形態は、データ取得システム 60 と、信号生成器 80 と、マルチプレクサ 70 を介してこれに接続された測定データ取得ユニット 85 と、信号生成器 80 および測定データ取得ユニット 85 を制御し、任意選択により、測定データの（前）処理を実施するための制御ユニット 90 とを、当業者に知られている任意の必要な付属品、たとえば適切な信号増幅器、信号調節ユニット、任意選択によりさらなるノイズフィルタおよび測定システム 100 の作動に必要な他の類似のデバイス（たとえば電源、導管など）と共に備える。マルチプレクサ 70 は、種々の系統的に選択され走査された送信ユニット位置内に励起をもたらすように適切にプログラム可能なユニットである。同様に、データ取得の系統的実行をもたらすために、測定データ取得ユニット 85 自体もまた、プログラム可能なユニットとして構成される。さらに、測定データの簡単な記憶および任意選択の処理のために、制御デバイス 90 が、パーソナルコンピュータ（PC）またはプログラム可能なマイクロ制御装置の形態で設けられ得る。ソフトフィールド断層撮影撮像が測定データに基づいて実施されるものでもある場合、制御デバイス 90 をパーソナルコンピュータとして実装することが特に好ましい。

40

50

【 0 0 4 5 】

また、たとえば電気励起の場合、測定ユニット 6 7 - j を通常の電圧計の形態で設けることもできるが、測定ユニット 6 7 - j の数が比較的多い場合、これらは、高分解能精度測定デバイス（たとえばロックイン増幅器）の形態で設けられることが好ましいことも留意される。データ取得が、たとえば複数の周波数において実施される場合、ロックイン原理に基づいてデバイスを使用することが特に好ましい。

【 0 0 4 6 】

前述にしたがってデータ取得によって得られた測定データは：

- 電位値であり（これらは実際には 0 v に対して測定されるため）
- （周波数依存性の、一時的に一定の）共通位相誤差を含まず、
- 誤差重畳が無い。

10

【 0 0 4 7 】

前記生測定データは、ソフトフィールド断層撮影撮像に使用される前に、好ましくは制御デバイス自体によって前処理にかけられるが、前処理はまた、専用の処理ユニットによって実施されてもよい。前処理の目的は、たとえば調査対象の物体の内部構造の（インピーダンスに基づく場合の）再構築のためにソフトフィールド断層撮影撮像アルゴリズムにインポートされるデータを線形化し、これを、測定データを取得するために使用されるデータ取得システムおよび共通の測定誤差から切り離すことである。

【 0 0 4 8 】

この目的を達成するために、第 1 のステップにおいて、生データが n 要素を有するベクトルで、以下の形態で配置される：

20

【 数 1 】

$$\underline{u}_n^i = [u_1^i, u_2^i, u_3^i, \dots, u_{n-1}^i, u_n^i]^T$$

式中

【 数 2 】

$$u_n^i$$

は、第 i の励起構成内の有向グラフの第 n のノードで測定された電位値である。

30

【 0 0 4 9 】

データ取得中、そのようなベクトルの $e 1^2$ の最大数を記録することができる。別々の役割を有する 2 つの電位値が、各々のそのようなベクトルにおいて選択される：

【 数 3 】

$$u_0^i$$

は、信号生成器の冷点（GND）の位置において測定された電位値であり、

【 数 4 】

$$u_I^i$$

40

は、信号生成器の温点 + I（GEN）で測定された電位値である。

【 0 0 5 0 】

たとえば n = 8 の場合の特有の例では、測定構成番号 3（すなわち i = 3）（図 3 A を参照）において、信号生成器の冷点 GND が走査中第 3 の測定要素上にあり、その温点 + I が第 1 の測定要素上にある場合、電位値を含むベクトルは、以下の形態になる：

【 数 5 】

$$\underline{u}_8^3 = [u_I^3, u_2^3, u_0^3, u_4^3, u_5^3, u_6^3, u_7^3, u_8^3]^T$$

50

【 0 0 5 1 】

生測定データの前処理は、この特有の例においてさらに実証される。前処理中：

(1)

【数 6】

$$u_0^i$$

の値は、各測定データから差し引かれ（共通位相誤差の抑制）、それによってこの例によって以下の結果をもたらす。

【数 7】

$$\left[u_I^3 - u_0^3, u_2^3 - u_0^3, 0, u_4^3 - u_0^3, u_5^3 - u_0^3, u_6^3 - u_0^3, u_7^3 - u_0^3, u_8^3 - u_0^3 \right]^T \quad 10$$

(2) これらの測定データは複素数（正弦 / 余弦励起の結果）であるため、これらの各々は、指数形式で記録され、したがって、

【数 8】

$$\left[U_I^3, U_2^3, 0, U_4^3, U_5^3, U_6^3, U_7^3, U_8^3 \right]^T$$

および

【数 9】

$$\left[\varphi_I^3, \varphi_2^3, 0, \varphi_4^3, \varphi_5^3, \varphi_6^3, \varphi_7^3, \varphi_8^3 \right]^T \quad 20$$

の振幅ベクトルおよび位相ベクトルそれぞれが、この例によって得られる。

(3)

【数 1 0】

$$A_i = -20 \lg \frac{U_i^3}{U_I^3} \quad 30$$

の公式を使用することにより、減衰値が、振幅ベクトルの各要素から算出される：

【数 1 1】

$$\begin{aligned} & \left[0, -20 \cdot \lg \frac{U_2^3}{U_I^3}, 0, -20 \cdot \lg \frac{U_4^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_5^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_6^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_7^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_8^3}{U_I^3} \right]^T = \\ & = \left[0, A_2^3, 0, A_4^3, A_5^3, A_6^3, A_7^3, A_8^3 \right]^T \end{aligned}$$

(4)

【数 1 2】

$$Z_I^i = R \cdot \frac{U_I^i}{U_0^i} \quad 40$$

の公式を使用することにより、信号生成器の冷点と温点との間の

【数 1 3】

$$Z_I^i$$

の加算されたインピーダンス値が、

【数 1 4】

$$U_I^3$$

の値から算出され、式中、

【数 1 5】

$$U_0^i = |u_0^i|$$

および R は、信号生成器の冷点側に挿入された基準要素 6 4 の抵抗である（図 3 A を参照）。

この例にしたがって、

10

【数 1 6】

$$\begin{aligned} \left[R \cdot \frac{U_I^3}{U_0^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_2^3}{U_I^3}, 0, -20 \cdot \lg \frac{U_4^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_5^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_6^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_7^3}{U_I^3}, -20 \cdot \lg \frac{U_8^3}{U_I^3} \right]^T = \\ = [Z_I^3, A_2^3, 0, A_4^3, A_5^3, A_6^3, A_7^3, A_8^3]^T \end{aligned}$$

ベクトルを得ることができる。

（ 5 ）この後で、

【数 1 7】

20

$$\varphi_I^3$$

の値が、位相ベクトルのすべての非ゼロ要素から差し引かれ、したがって、

【数 1 8】

$$[0, \varphi_2^3 - \varphi_I^3, 0, \varphi_4^3 - \varphi_I^3, \varphi_5^3 - \varphi_I^3, \varphi_6^3 - \varphi_I^3, \varphi_7^3 - \varphi_I^3, \varphi_8^3 - \varphi_I^3]^T = [0, \bar{\varphi}_2^3, 0, \bar{\varphi}_4^3, \bar{\varphi}_5^3, \bar{\varphi}_6^3, \bar{\varphi}_7^3, \bar{\varphi}_8^3]^T$$

位相ベクトルを得る。

（ 6 ）冷点と温点との間で測定可能な加算されたインピーダンスの位相角度は、

【数 1 9】

30

$$\varphi_Z^i = \varphi_I^i - \varphi_0^i$$

の公式によって得られ、式中

【数 2 0】

$$\varphi_0^i = \arccos(u_0^i)$$

は、信号生成器の冷点において、すなわち基準要素 6 4 上で測定された電圧の位相である。

したがって、この例では、

40

【数 2 1】

$$\begin{aligned} [\varphi_I^3 - \varphi_0^3, \varphi_2^3 - \varphi_I^3, 0, \varphi_4^3 - \varphi_I^3, \varphi_5^3 - \varphi_I^3, \varphi_6^3 - \varphi_I^3, \varphi_7^3 - \varphi_I^3, \varphi_8^3 - \varphi_I^3]^T = \\ [\varphi_Z^3, \bar{\varphi}_2^3, 0, \bar{\varphi}_4^3, \bar{\varphi}_5^3, \bar{\varphi}_6^3, \bar{\varphi}_7^3, \bar{\varphi}_8^3]^T \end{aligned}$$

である。

【 0 0 5 2 】

ステップ（ 1 ）から（ 6 ）において実施された変換の結果、例にしたがって第 i の測定構成において取得され、さらにデータ取得システムによって引き起こされた系統的誤差に

50

関して補償されたデータベクトルが、
【数 2 2】

$$[Z_I^3, A_2^3, 0, A_4^3, A_5^3, A_6^3, A_7^3, A_8^3]^T$$

および

【数 2 3】

$$[\varphi_Z^3, \bar{\varphi}_2^3, 0, \bar{\varphi}_4^3, \bar{\varphi}_5^3, \bar{\varphi}_6^3, \bar{\varphi}_7^3, \bar{\varphi}_8^3]^T$$

10

の形態で得られる。

【0053】

すなわち、生測定データは、ソフトフィールド断層撮影分析方法、特に上記のステップ (1) から (6) によって実施された変換による EIT 方法の画像再構築に使用することができる、 $n \times i$ のサイズのマトリクスとして減衰の位相データの形態に変換される。

【0054】

前記前処理の利点は

- これが、(測定結果の高分解能、周波数依存の引き算によって) 共通位相誤差の抑制を高め、
- これが、比率計算の結果として振幅の非線形誤差を低減し、
- これが、システム (特に信号生成器) の系統的誤差 (信号生成器の位相誤差) を抑制し、
- これが、測定結果をデータ取得の条件および測定システムから切り離す (これは調査対象の物体の移動特性を固定する) ことである。

20

【0055】

使用されるインピーダンスモデルの利点の 1 つは、各ブランチ上のインピーダンス (またはアドミッタンス) 値が、周波数依存性であることである。これは、種々の周波数において実施された測定の測定結果は異なるが、その処理に使用されるパラメータ (たとえば抵抗、容量など) は、すべての方程式系において同じであることを意味する。これは、異なる周波数において上記で説明したデータ取得スキームを反復することによって方程式の数を 2 倍にする機会をもたらす。したがって、第 2、第 3 などの周波数において励起を実施することによって方程式系の数を倍加することができるため、 $e 1^2$ 個の可能性に対してデータ取得を実行する必要はない。その結果、解かれる方程式系は、任意の複雑性を有するグラフに対して過剰決定にされ得る。したがって、ソフトフィールド断層撮影分析が計画されるとき、その目的は、好ましくは測定に最適な周波数を見出すことである。種々の周波数上で得られた生測定データは、前述の前処理中、周波数ごとに 2 つの $n \times i$ サイズのマトリクスで記憶される。

30

【0056】

まとめ：前述によれば、本発明の目的は、ソフトフィールド断層撮影による (非破壊的) 材料試験方法 (撮像) の一部として使用される、調査対象の物体の選択された特性をマッピングするためのデータ取得 / 処理方法および測定システムである。データ取得中、好ましくは物体の材料内に生成された電場のパラメータは、好ましくは少なくとも 1 つの周波数において測定ユニットによって決定され、この測定ユニットは、好ましくは調査対象の物体の表面上に配置され、信号生成器と同じ電位、好ましくは接地電位にある信号生成器の冷点側に接続される。この後、分析された物体の内部 (すなわち容積) 構造が、測定データに対応する線形ネットワークモデル近似にしたがって方程式系を確立し、解くことによって決定され得る。知られている値の抵抗によって形成された基準要素を、ソフトフィールド断層撮影測定を実施するために使用される測定システム内の信号生成器の冷点側に導入することにより、データ取得システム全体によって引き起こされる系統的誤差およびデータ取得システムの共通位相誤差を決定することができ、得られた生測定データは、

40

50

このいわゆる共通測定誤差に関して補償され得る。調査対象の物体は、好ましくは、算出を実施するために有向ネットワークグラフによって特徴付けられた（電気）インピーダンスネットワークによってモデル化される。複数の幾何学的地点および複数の周波数においてデータ取得を実施することにより、以前より良好な分解能を達成することができ、測定データの情報内容も極めて向上させる。

【 0 0 5 7 】

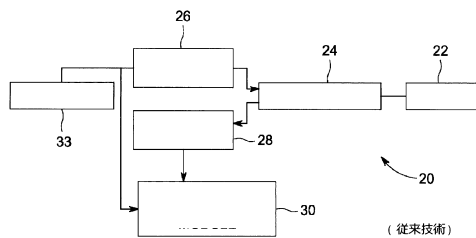
明白なことに、各データ取得位置に合わせて送信ユニット／受信ユニットを適切に選択することによって、複数のタイプのデータ取得と一緒に／組み合わせで実施することができる。これもまた、ソフトフィールド断層撮影分析方法の分解能を高め、測定データの情報内容を極めて向上させる。

【 0 0 5 8 】

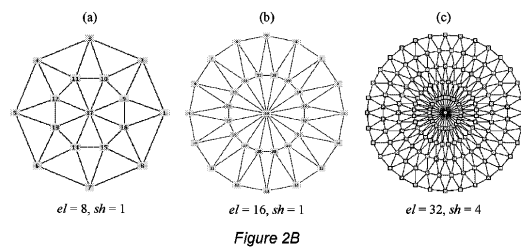
また、調査対象の物体の複雑な内部構造および物体の材料内で生成される複雑な電場を簡易化するために、また、必要な場合、物体に戻って作用する、調査対象の物体の外側に生成される電場を考慮するために、調査対象の物体に関連する線形ネットワークを、たとえばメービウス (M o b i u s) 変換によってより簡単な幾何学的形態に変換することができ、そのため作り出された電位場の分析がより簡単になることも留意される。変換の結果、調査対象の物体の材料の離散化は、その中に作り出された電場をより厳密にたどり、そのため逆問題の解によって得られるインピーダンス値は、調査対象の物体の内部構造をより正確に特徴付け、その結果、ソフトフィールド断層撮影撮像 / 分析が改良される。

10

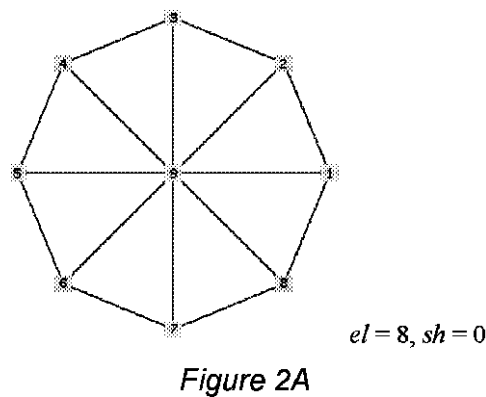
【圖 1】



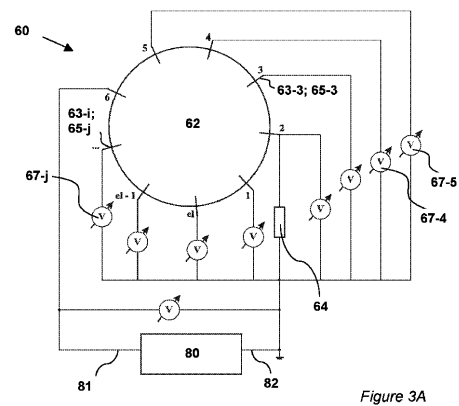
【 図 2 B 】



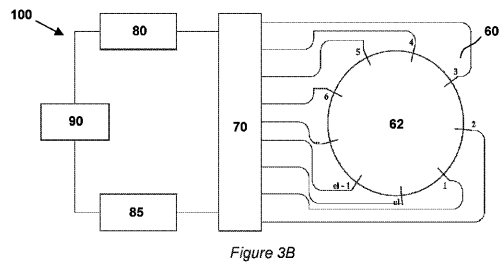
【 図 2 A 】



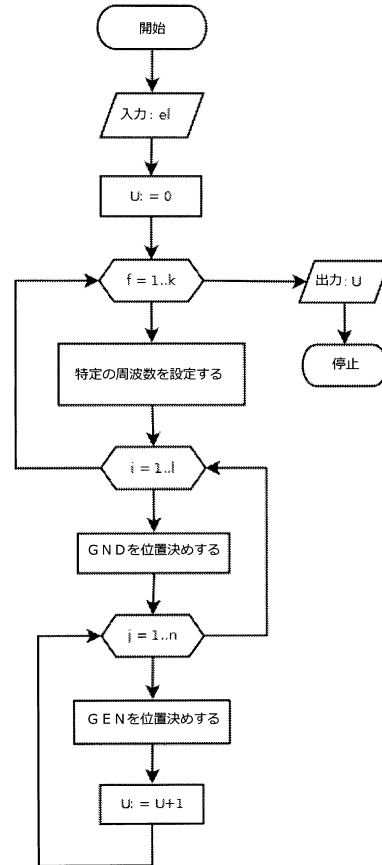
【 図 3 A 】



【図 3 B】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 クヴァシュニチャ ゴルターン
ハンガリー マンファ カボシュヴァール ウーデー 9 / ア
- (72)発明者 マーテー カールマーン
ハンガリー ペーチュ リゴデラーヤ ウ 22 / ア
- (72)発明者 ヴェール チャバ
ハンガリー ペーチュ ゲバウワー エルノー ウ 3
- (72)発明者 ヴィツパーリ ゴルターン
ハンガリー ペーチュ ラザール ヴィルモス ウ 6
- (72)発明者 オドリ ペーテル
ハンガリー エリザラッシュ ベム ウトゥカ 14

審査官 吉田 将志

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2007/0007973(US, A1)
特開2013-073734(JP, A)
特表2005-509481(JP, A)
米国特許出願公開第2012/0161782(US, A1)
米国特許出願公開第2006/0116599(US, A1)
特開2012-208113(JP, A)
特表平08-504632(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 27/00-10
14-24
A61B 5/05