

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4852221号

(P4852221)

(45) 発行日 平成24年1月11日 (2012. 1. 11)

(24) 登録日 平成23年10月28日 (2011. 10. 28)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 5/04 (2006. 01)

A 6 1 B 5/04

A

A 6 1 B 10/00 (2006. 01)

A 6 1 B 10/00

B

G O 1 N 22/00 (2006. 01)

G O 1 N 22/00

Y

G O 1 N 27/02 (2006. 01)

G O 1 N 27/02

Z

G O 1 N 27/60 (2006. 01)

G O 1 N 27/60

Z

請求項の数 13 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2002-514434 (P2002-514434)
 (86) (22) 出願日 平成13年7月26日 (2001. 7. 26)
 (65) 公表番号 特表2004-504871 (P2004-504871A)
 (43) 公表日 平成16年2月19日 (2004. 2. 19)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2001/023529
 (87) 国際公開番号 W02002/008794
 (87) 国際公開日 平成14年1月31日 (2002. 1. 31)
 審査請求日 平成20年5月30日 (2008. 5. 30)
 (31) 優先権主張番号 60/221, 465
 (32) 優先日 平成12年7月26日 (2000. 7. 26)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 503035729
 ウィシス テクノロジー フォンデーショ
 ン インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 53707-7365
 ウィスコンシン マディソン ウォルナッ
 ト ストリート 614
 (74) 代理人 100070002
 弁理士 川崎 隆夫
 (74) 代理人 100076439
 弁理士 飯田 敏三
 (72) 発明者 グレゴリー, クリストファー ウィリア
 ム
 アメリカ合衆国 53217 ウィスコン
 シン ホワイトフィッシュ ベイ イー.
 フェアモント アベニュー 155
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電荷相関マトリックスを用いた電気特性画像の作成方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

a) センサエレメントのアレイにより対象の表面に電圧を印加するステップ；
 b) 印加された電圧に由来する各センサエレメントにおける表面電荷を測定するステッ
 プ；
 c) 表面電荷測定値をフーリエ変換するステップ；
 d) フーリエ変換された表面電荷測定値と対象の内部電荷分布とを、センサアレイの配
 置に従って関連付ける予め計算された電荷相関マトリックスを乗じることによって対象内
 部の電荷の分布を計算するステップ；及び
 e) ステップ d) で計算された内部電荷分布データから対象の電気的特性の画像を作成
 するステップ；

の各ステップを含む、対象の電気的特徴の画像を作成する方法。

【請求項 2】

センサエレメントのアレイが、対象の一方側に配されたセンサエレメントの第 1 の組お
 よび対象の他方側に配されたセンサエレメントの第 2 の組を含み、ステップ a) が、セン
 サエレメントの前記第 1 および第 2 の組を横切って電圧を印加することによって行われる
 、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

所定の時間間隔にわたって各センサエレメントを通して流れる電流を測定することによ
 って、表面電荷が各センサエレメントにおいて測定される、請求項 2 に記載の方法。

10

20

【請求項 4】

センサエレメントと対象の表面の間にインピーダンス整合媒体を挿入することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

ステップ b) が、センサエレメントの第 1 および第 2 の組における対応するセンサエレメントからの表面電荷測定値を一体にすることを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 6】

表面電荷測定値を加法によって一体にする、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

ステップ d) で作成された画像が、対象全体を通じての電気伝導度を示す、請求項 1 に記載の方法。 10

【請求項 8】

ステップ e) で作成された画像が、対象全体を通じての誘電率を示す、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

ステップ e) で作成された画像が、画像における各画素の強度を、対象中の対応する位置における電気的特性の値に対応するレベルに設定することによって作成された、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

ステップ e) で作成された画像が、画像における各画素の色を、対象中の対応する位置における電気的特性の値の関数として設定することによって作成された、請求項 1 に記載の方法。 20

【請求項 11】

対象の表面と電氣的に接触するよう配置されるセンサエレメントのアレイ；

センサエレメントのアレイに電圧を印加するための手段；

電圧が印加されている間、センサエレメントの各々において電荷を測定するための手段；

測定された電荷を フーリエ変換して、フーリエ変換された表面電荷の組にするための手段；

センサエレメントのアレイ内の各センサエレメントにおける フーリエ変換された表面電荷を、所定の画像解像度を定義する対象の内部アレイ位置における内部電荷に関連させるセンサアレイの配置に従って予め計算された電荷相関マトリックスを記憶する手段； 30

フーリエ変換された表面電荷の組に記憶された電荷相関マトリックスを乗じることによって、対象内部の列に並んだ部位における電荷の分布を計算するための手段；および内部の列に並んだ部位の各部位における電気的特性の値を計算することによって、電荷分布から画像を生じさせるための手段；

を含む、対象の電気的特性の画像を生じさせるためのイメージングシステム。

【請求項 12】

複数の電荷相関マトリックスが供され、各電荷相関マトリックスは、センサエレメントの選択された配置および位置の選択された内部アレイとを関連付けるものである請求項 1 1 に記載のイメージングシステム。 40

【請求項 13】

命じられた画像解像度に基づいて、複数の電荷相関マトリックスのうちの 1 つを選択するための手段を含む請求項 1 2 に記載のイメージングシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

(関連出願)

本出願は、2000年7月26日に出願された仮出願第60/221,465号に基づく。

【0002】

(発明の背景)

本発明は電気イメージング技術、さらに詳しくは、画像化された対象の電気的特性の正確な値により、高解像度画像を作成するための装置および方法に関する。

【0003】

レントゲンが、試料内部の影写真を生じさせるX線の能力を発見して以来、試料の外部で測定された量を用いて試料の内部のイメージングを可能とする技術に対し、科学および工学の研究者は多大なる興味を持っている。一般に、これらの技術はしばしば産業および商業において適用されるが、イメージング技術を最も活用している領域の1つは医学の分野である。元来のシャドウグラムX線はコンピュータ化X線体軸断層撮影の発見および完全化で実質的に改良され、これにより、シャドウグラムのみではなく、外部で測定されたX線強度を元に試料の内部構造についての詳細な情報も得ることが可能となっている。核磁気共鳴測定法が、今日、一般に磁気共鳴画像診断法(MRI)と呼ばれる試料の内部をマップするところまで拡張された時に、同様に大きな関心が持たれた。また、試料の内部を探索するための超音波の使用も、かなり関心を持たれた技術であった。

10

【0004】

これらの技術(X線断層撮影法、MRIおよび超音波)の全てについて、空間的解像度の点では正確な画像が作成される。しかしながら、試料の内部に位置した種々の対象の特徴についての情報は、しばしば、非常に限られている。例えば、X線断層撮影法は、単一X線周波数における吸収の強度のみを測定し、一般に、試料の物質の密度に単純に比例する。慣用的なX線断層撮影法に対する唯一の改良は、異なる周波数でX線を用いることであり、これにより、試料中の対象の(質量の点での)密度ならびに電子密度双方についての情報がいくらか得られる。それにも拘らず、せいぜい、新たな2つの情報がそのような測定から入手できるにすぎない。MRIは、他のパラメータを感知する測定様式である。第1に、MRIは、試料中のいずれかの与えられた点において、(通常、水素原子に関連する)プロトンの数を測定する。ある種の磁気共鳴特性につき減衰時間を測定することによって、いくつかの追加の情報が、多大な分析および注意を伴い得ることができるが、しかし感度については、この技術を用いてではおそらく3つのパラメータが測定できるくらいのものである。超音波についても状況は同様で、音波の多重反射のためさらにいくつかの他の複雑性を有している。訓練されていない目に対してもある程度理解できる画像を、CATスキャンおよびMRIでは作成することができのに対し、超音波画像診断法は、測定を行い、結果を解析するのに非常に熟練したオペレーターを必要とする。

20

30

【0005】

現存のイメージング技術には限界があるため、科学者およびエンジニアは、対象の内部の適切かつ改良された画像を形成するのに利用し得る他の特性を探してきた。対象内に位置する種々の物質の電気的特性を測定する技術が開発されてきた。そのようなイメージングは、一つの試料の中で物質のタイプによりかなりの変化を検知できる(例えば、人間などの生体試料中にある様々なタイプの組織)、従来のイメージング様式からのものとはかなり異なる情報を明らかにする独特なイメージング様式である。

【0006】

そのような電気的特性イメージング技術は、しばしば、「インピーダンス断層撮影法」といわれる。最も慣用的な電気的特性イメージング技術は、1)複数の電極またはセンサを測定すべき試料に直接付着させる(医療適用では、試料はヒトの身体である)および、2)電流が順次各電極を通じて試料に注入され、引き続いての電圧が測定されることを前提としている。従って、これらの慣用的イメージング技術は「定電流/測定電圧」スキームを行う。

40

【0007】

そのような慣用的電気的特性イメージング技術から離れて、本発明者らのうちの一人は、米国特許第4,493,039号に開示されているように、測定すべき対象の外部のアレイにセンサを配列した。さらに、試料のイメージングの間に、電流を測定しつつ、交流電圧を固定された振幅にて印加した。対象とセンサアレイの間の空間をインピーダンス整合媒体で満たすことによって、係属中の特許出願WO99/12470に記載されているように、この手法は

50

さらに改良された。加えて、測定された表面電荷に基づく内部電荷分布を計算するための手法が記載されており、これは、スケールファクター法および反復法と言われる。反復およびスケールファクター法は、X線CTシステムのような関連イメージングシステムから得られた内部構造のおよその幾何学形状を初めに判断することを必要とする。また、反復法は、各領域の電気的特性を最初に仮定することも要し、その後、該仮定の有効性をチェックするために、境界における予測された電流の順方向計算を用い、該仮定が測定された値に近い境界電流を生じるまでこのプロセスを反復する。スケールファクター法は、「ルックアップ」テーブルまたは神経ネットアルゴリズムを作成し、これにより、モデル計算の莫大なデータ組を用い、試料の電気的特性または内部を外的に測定されたパラメータと相関させることが可能となる。モデルの制限、そしてデータ組のサイズを合理的に維持するために結果を外挿する必要性のため、スケールファクター法は精度が制限されるが、試料のおおよその電気的特性を前もって知っておく必要はない。事実、スケールファクター計算の結果は、反復法の初期推定値となり得る。両法はコンピュータにより集中的に行われる。

10

【0008】

(発明の要約)

本発明は、対象の電気的特性の正確な画像を生じさせる装置および方法を提供することによって、従来の電気的パラメータイメージング技術に関連した問題を解決する。さらに詳しくは、電荷相関マトリックスはストアされ、対象について得られた表面電荷測定値から対象における内部電荷分布を直接的に計算するために、画像再構成の間に使用される。計算された内部電荷分布から、伝導率および誘電率のような内部電気的特性の画像を生じさせることができる。

20

【0009】

本発明の全般的な目的は、別個のイメージングシステムの必要性をなくして、内部電気的特性の高解像度画像を生じさせることである。電荷相関マトリックスは予め計算されて、選択されたセンサアレイの幾何学的配置および所定の画像サイズおよび解像度と用いるために装置にストアされる。内部電荷分布の計算は、適切な記憶された電荷相関マトリックスによる、得られた表面電荷データの簡単な乗算である。電気的特性画像は、得られた内部電荷画像から容易に作成される。

【0010】

(好ましい実施態様の説明)

本発明の好ましい実施態様は、図1に示されたプログラムされたコンピュータで実行される。コンピュータシステム102は、通信バス106に連結された、プロセッサ104のような1以上のプロセッサを含む。また、コンピュータシステム102は主記憶装置108、好ましくはランダムアクセスメモリ(RAM)、および補助記憶装置110を含む。補助記憶装置110は、例えば、ハードディスクドライブ112および／または着脱可能な記憶ドライブ114を含み、これは、着脱可能な記憶ユニット116によって読み込みと書き込みが行われるフロッピーディスクドライブ、磁気テープドライブ、コンパクトディスクドライブ、(ビデオゲーム装置に見られるような)プログラムカートリッジおよびカートリッジインタフェース、(EPROMまたはPROMのような)着脱可能なメモリチップ等を表す。プログラム記憶デバイスまたはコンピュータプログラムプロダクトとも呼ばれる着脱可能な記憶ユニット116は、フロッピーディスク、磁気テープ、コンパクトディスク等を表す。理解されるであろうごとく、着脱可能な記憶ユニット116は、その中にストアされたコンピュータソフトウェアおよび／またはデータを有するコンピュータで使用される記憶媒体を含む。着脱可能な記憶ドライブ114は、よく知られた方法で、着脱可能な記憶ユニット116から読み込み、それに書き込む。

30

40

【0011】

また、コンピュータシステム102は、コンピュータプログラムまたは他の指令のロードを可能とするための他の同様な手段を含むことができる。そのような手段は、例えば、ソフトウェアおよびデータが、コンピュータシステム102と外部デバイスの間で移動する

50

のを可能とする通信インタフェース 118 を含むことができる。通信インタフェース 118 の例は、モデム、（イーサネットカードのような）ネットワークインタフェース、通信ポート等を含む。通信インタフェース 118 を介して移動するソフトウェアおよびデータは、通信インタフェース 118 が受け取ることができる電子的、電磁氣的、光学的または他のシグナルであり得るシグナルの形態である。

【0012】

本明細書中において、用語「コンピュータプログラムプロダクト」とは、着脱可能な記憶ユニット 116、ハードディスクドライブ 112 にインストールされたハードディスク、および通信インタフェース 118 を介して移動するシグナルをいう。これらのコンピュータプログラムプロダクトは、コンピュータシステム 102 にソフトウェアを供するための手段である。本発明をソフトウェアを用いて実行する好ましい実施態様において、ソフトウェアは、主記憶装置 108 またはコンピュータプログラムプロダクト内にストアされ、着脱可能な記憶ドライブ 114、ハードディスクドライブ 112、または通信インタフェース 118 を用いてコンピュータシステム 102 にロードすることができる。後記の電荷相関マトリックスのようなデータ構造も同様にロードし、記憶することができる。ソフトウェアは、プロセッサ 104 によって実行されると、プロセッサ 104 に本明細書中に記載したごとく本発明の機能を実行させる。別の実施態様において、本発明は、例えば、物理的に組み込まれた状態のマシンを用いて、主としてハードウェアにおいて実行することができる。本明細書中に記載した機能を実行するような状態マシンの実行は当業者に明らかであろう。

【0013】

また、コンピュータシステム 102 は出力周辺デバイス 122 および 1 以上の入力デバイス 120 を含む。出力周辺デバイスは、その上で、ウィンドウズ環境を含めたグラフィカルユーザーインタフェースを表示することができるコンピュータのスクリーンまたはモニターであり得る。入力デバイス 120 は、例えば、キーボード、マウス、ライトペン、感圧スクリーン等を含み、これらは、ユーザに、コンピュータシステム 102 に入力させることができる能力を供する。

【0014】

本発明のイメージング技術の基礎となる数学的理論を図 2～4 を参照して記載する。図 2 は、領域 F 206 が試料 204 と表面 202 の間のスペースであるように、表面 202 によって囲まれた、試料 204 および内部領域 F 206 を含む閉鎖体積空間（クローズドボリュームスペース）200 の平面図である。試料 204 は、サブ領域 A 208、サブ領域 B 210、サブ領域 C 212、サブ領域 D 214 およびサブ領域 E 216 と便宜的に表された複数の結合されたサブ領域を含む。各サブ領域 208～216 は、ヒト被験者の異なる組織のような異なる材料からなるものであってもよい。

【0015】

ある特定の周波数（ f ）における電磁場を閉鎖体積空間スペース 200 中の試料 204 に印加すると、例えば各サブ領域 208～216 の誘電率および伝導率の電気的特性に違いがある場合の、試料 204 の各サブ領域 208～216 の間の境界のように、電気的特性が変化する場所でのみに全電荷は生じる。これらの全電荷は、今度は、閉鎖体積空間 200 の表面の全電荷の再分布を誘導する。これらの誘導された電荷分布は、（独立して自由に動く）見掛け電荷ならびに閉鎖体積空間 200 の表面 202 に位置する分極電荷双方に由来すると推定される。表面 202 の電荷は、全（見掛け＋分極）電荷でもあり、ここに、表面 202 上のある一点の全電荷は大文字「 Q 」で示され、他方、閉じた容量スペース 200 の内部の一点の全電荷は小文字「 q 」で示される。全電荷 Q の測定は、電荷 Q の実際の測定、または電荷 Q の経時的変化の率である電流の小さな増分 L に由来する電荷 Q の実際の測定のいずれかを含むことができる。

【0016】

表面 202 上の一点における全電荷 Q 、および内部の一点における全電荷 q は電磁気学理論を介して関連付けることができる。静電気学の基本的理論によれば、内部全電荷 q およ

び表面 2 0 2 上の全電荷 Q は一意的に関連する。しかしながら、時間により変化する電場が電気媒体に適用されると、それらは媒体中に電流を誘導する。これらの電流は、今度は、ファラデーの法則に従い、かけられた電場に加えて、電場を誘導することができる時間により変化する磁場を生じる。電場に対するこの余分な寄与は低周波数においてはわずかであり、無視することができる。本発明者らはこのいわゆる「準静的」近似を用いる。

【0 0 1 7】

図 3 は、表面 2 0 2 上の一点における全電荷 Q と内部の一点における全電荷 q の間の、グリーン関数を介して関連付けられる関係を示す閉じた容量スペース 2 0 0 の平面図である。具体的には、グリーン関数は、表面 2 0 2 上の点 j における全電荷 Q を点 i における内部全電荷と関係づける。

10

【数 1】

$$q_i \leftrightarrow Q_j$$

【0 0 1 8】

この関係は、試料 2 0 4 の内部サブ領域 2 0 8 ないし 2 1 6 の電気的特性についての所望の情報を提供する。図 3 は、この議論で用いる座標系および関連幾何図形的配列のいくつかを示す。場の点 3 0 4、源の点 3 0 6 および表面の点 3 0 2 についての座標系で用いる表記は、各々、

【外 1】

$\bar{X}$

20

、

【外 2】

$\bar{X}$

ダッシュ (

【外 3】

$\bar{X}'$

)、および

【外 4】

$\bar{X}$

ツェーダッシュ (

30

【外 5】

$\bar{X}''$

) である。源の点 3 0 6 における試料 2 0 4 の内部の全電荷 q を、表面の点 3 0 2 における全電荷 Q と関連付けることによって、試料 2 0 4 の内部の増強された画像を発生させることができる。従って、電場が測定される位置は場の点 3 0 4 である。

【0 0 1 9】

本方法のイメージング技術は、従来の電気的特性イメージング技術とはかなり異なる。図 4 は、そのような従来のイメージング技術によって測定される閉鎖体積空間 2 0 0 の平面図である。集中回路エレメントのネットワークが、試料の電気的特性を表す。そのような方法では、電流は、閉鎖体積空間 2 0 0 の表面 2 0 2 の、既知の場所、例えば P 1 4 0 2 に注入され、既知の場所、例えば P 2 4 0 4 で引き出される。次いで、周囲のセンサ上の電圧を測定し、集中回路インピーダンスを電流－電圧測定値の組から計算する。これに対し、本発明の技術では、閉鎖体積空間 2 0 0 における電場の波様性質、および測定容量を完全に記載することが可能となり、測定すべき試料 2 0 4 のサブ領域 2 0 8 ～ 2 1 6 を特徴付けるのに用いられる集中回路エレメントネットワークまたは同等回路の構造に関して、いずれの具体的仮定も要しない。

40

【0 0 2 0】

電磁波理論のマックスウェルの方程式をすぐ上に記した問題に適用すると、式 1 A が得られる。

【数 2】

50

$$\nabla \cdot [\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon_r](-\nabla\Phi) = 0 \quad (1A)$$

ここで、

σ = 伝導率

ϵ_r = 比誘電率

ϵ_0 = 自由空間の誘電率

Φ = ポテンシャルである。

【0021】

加えて、電磁気理論の標準的な結果は、ポアソン方程式として知られる、ポテンシャル (Φ)、および全電荷密度 ρ の間の関係となり、即ち、式 1 B である。

10

【数 3】

$$\nabla^2\Phi = \frac{\rho_{Total}}{\epsilon_0} \quad (1B)$$

ここで、 ρ_{Total} は体積全電荷密度である。電場 E は以下の方程式：

【数 4】

$$\vec{E} = -\nabla\Phi \quad (1C)$$

から得られる。

【0022】

20

式 1 A および 1 B からは、電場 E およびスカラーポテンシャル Φ を決定するのに、重要な電荷密度を全電荷、すなわち、見掛け電荷 + 分極電荷に関連付けることが示される。

【0023】

電気的特性をイメージするための他の方法は、測定値から直接各領域の誘電率および伝導率を計算することを試みる。本発明においては、全内部電荷を中間ステップとして計算する。伝導率または誘電率を直接的に求めるよりもむしろ電荷を求めることの 1 つの利点は、電気的映像を全体的に支配する内部電荷が、実質的に、対象内の非連続部分において存在する境界のみに出現し、かくして、計算を要する数値がかなり少ないことである。以下の式 2 は、このことを示しており伝導率の勾配および誘電率の勾配は全電荷密度に寄与している。従って、全電荷は、伝導率および誘電率が距離に従って変化する率に依存する。

30

【数 5】

$$\rho_{Total} = \frac{[\nabla\sigma + j\omega\nabla(\epsilon_0\epsilon_r)] \cdot \nabla\Phi}{\sigma + j\omega\epsilon_0\epsilon_r} \quad (2)$$

【0024】

電磁気学的理論における標準的な定理は一意性の定理である。準静的場合についての該一意性の定理は、もしポテンシャルまたはその通常の導関数が閉じた体積を囲む表面で既知であれば、場の点 304 におけるポテンシャルは一意的に決定することができることを述べる。ポテンシャルまたは該ポテンシャルの通常の導関数のいずれかが既知である必要はあるが、双方が知られている必要はないことに注意することが重要である。事実、もし双方が知られていれば、問題の解は重複するであろう。境界表面のある部分での既知ポテンシャルおよび他の部分での通常の導関数に関する問題を定義することができるが、以下の式 (3) は、表面 202 上でのポテンシャルが既知である単純な場合を考える。これは、ジリクレ境界条件として知られている。

40

【0025】

式 3 はグリーンの関数を用いてのポワソンの方程式 (式 2) に対する解である。

【数 6】

$$\Phi(\overline{X}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \rho_{Total}(\overline{X}') \cdot G_D(\overline{X}, \overline{X}') d\tau - \frac{1}{4\pi} \oint \Phi(\overline{X}') \frac{\partial G_D(\overline{X}, \overline{X}')}{\partial n'} dS \quad (3)$$

【0026】

ここで、 G_D がジリクレグリーン関数であり、 $d\tau$ は体積の要素であり、 S は体積 τ を囲う表面の要素である。この方程式中の最初の項は全体積にわたる積分であり、第2の項はその体積の表面にわたる積分である。

【0027】

式3は、正に一意性定理が予測するごとく、内部の全電荷 q および表面202上のポテンシャルによって決定される場の点304におけるポテンシャルである。解は、標準的な処理である幾何関数、グリーンの関数により得られる。試料204が存在すると、全電荷密度 ρ_{Total} の体積積分およびポテンシャル Φ の表面積分が存在する。もし表面の同一ポテンシャル分布を、試料が存在しない場合で考えれば、電荷密度の項はゼロであるが、表面積分項は依然として同一である。表面項(式3における2番目の積分)は試料204を挿入しても不変である。なぜならば、表面202上では電圧は前もって決定された値に設定され、試料204の挿入前後でその値に維持されるからである。このため、2つの項を差し引くと、残りの式はグリーンの関数(これは、測定センサのアレイの与えた形状に対して既知数である)および電荷密度のみを含む。従って、センサの間に試料204が挿入された場合と、試料204が挿入されない場合との間のポテンシャルの差を用いるのが便利である。このポテンシャルの差は、ポテンシャルの差の通常の導関数を取ることによって表面202の電荷と関連付けることができ、これは、電場の垂直の成分を生じさせる。というのは、ガウスの法則により、導電性表面近くの場合の法線成分はその表面の面積当たりの電荷に直接比例するからである。

【0028】

内部電荷 q に対する表面電荷 Q の関係の前記連続モデルは、後述する式(4)における離散的電荷の総和として表すことができる。式(4)は、添字「 j 」で表される表面202における電荷 Q_j が、「 j 」および「 i 」双方を含むマトリックスの要素によって、添字「 i 」で表される内部の電荷 q_i に関連付けられることを示すものであって、結合マトリックス要素は、単に、グリーンの関数：

【数7】

$$\Delta Q_{jTotal} = Q(j)_{Total}^{Full} - Q(j)_{Total}^{Empty} = \sum_i \frac{\partial G_D(j,i)}{\partial n''_j} \cdot q_i \quad (4)$$

の通常の導関数である。

【0029】

以下の式5は、「 j 」における一連の式が、ベクトルとしての表面202の電荷を含む行列式にて一緒に記載して、グループ化できることを示すもので、該ベクトルの各項は全電荷のうちの1つである。表面202の電荷については、大文字「 Q 」が用いられ、それらは、各項が内部の全電荷のうちの1つである小文字「 q 」を用いた同様のベクターに関連付けられる。

【数8】

$$\overline{\Delta Q} = \frac{\partial G_D}{\partial n''} \cdot \overline{q} \quad (5)$$

【0030】

この一連の式は内部電荷「 q 」を与えるべく反転され、マトリックスそれ自体は逆マトリックスを有する。さらに詳しくは、もし逆マトリックスが存在するならば、グリーンの関数の導関数マトリックスにその逆マトリックスを掛け合わせると、式(6)に示すように単位マトリックスが得られる。

【数9】

10

20

30

40

50

$$\frac{\partial G_D}{\partial n} \cdot \left(\frac{\partial G_D}{\partial n} \right)^{-1} = I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdot & \cdot \\ \cdot & 0 & 1 & 0 & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

【0031】

図5は、その中に含まれた試料204を有する試料ホルダー500の三次元表示である。マトリックス配置にて、試料ホルダー500の各側に、複数のセンサ502が整列する。このように三次元で本発明を実施するのが好ましいが、しかしながら、以下の議論では、二次元の実施を記載する。本発明者らは、試料ホルダー500を通した二次元断面で、センサを用いるこのイメージング方法について、理論をさらに展開する。図6に最良を示す。得られた2D試料ホルダー装置600は、距離bだけ空間的に離れ、長さaだけ伸びる2つの対向列のセンサ、および距離bだけ空間的に離れ、かつ長さaに渡り伸びる2つの対向列のセンサを含む。本発明の好ましい実施態様を、長方形試料ホルダーにつき記載する。異なる幾何学的断面の形状の試料ホルダーを用いるのは当業者に容易に明らかであろう。しかしながら、そのような新しい形状を用いる場合は、(後述する)フーリエ変換を生じさせるのに用いるサイン関数は、試料ホルダーのその新しい形状に特異的な、適切な関数の正規直交組から選択される関数によって置き換えられるであろう。

【0032】

試料204は、試料204とセンサ502の間でインピーダンスを整合させる整合媒体504を持つ試料ホルダー500内に入れられる。より具体的には、整合媒体504は試料204全体の平均インピーダンスを整合させる。センサ502は、センサに与えられた電荷を測定するためにプローブされるいずれかの検知エレメントである。各センサ502は、試料204に制御された電圧を供し、それにより電磁場を生じさせる、および固定された時間間隔にわたって得られた電流または全電荷Qを測定する二重の目的で働く。

【0033】

十分な電荷のデータを獲得して、対象および適用された電場Eの単一方向性により画像を再構築することが可能である。しかしながら、信号雑音比(SNR)は、もし複数測定がなされればかなり改良できるであろう。長方形空間500の頂部510を横切って一定振幅A1の正弦ポテンシャル、および長方形空間500の底部512における異なる振幅A2の同様のポテンシャルを適用することによって、表面506および508の同等部分でA1からA2まで連続的に変化する振幅を有する同様のポテンシャルと共に、垂直方向に対象中に均一電場Eが生じる。同様に、表面510および512の役割を506および508で逆にすることによって、水平方向に均一な電場Eが生じる。対象を試料ホルダー500に対して回転させて、試料204の向きおよび電場の向きの4つの可能な組合せを供することもできる。これらの4つの可能な測定条件を表1に示す。

【表1】

10

20

30

40

表 1:

方向性 (OR)	試料の向き (S)	電場の向き (E)
1	↑S	↑E
2	↑S	→E
3	→S	↑E
4	→S	→E

10

【0034】

試料204の方向性は、試料ホルダーのプレートを回転させることによって、または試料204それ自体を回転させることによって変化させることができる。そのような回転は手動によって、または自動手段によって達成されることができる。これらの4つの向きから、得られた獲得データの15の組合せを作成することができる。場の向きおよび試料の方向性のこれら15の可能な組み合わせは、表2に記載されている。

20

【表2】

表 2:

組み合わせ	方向性
1	1
2	2
3	3
4	4
5	1, 2
6	1, 3
7	1, 4
8	2, 3
9	2, 4
10	3, 4
11	1, 2, 3
12	1, 2, 4
13	1, 3, 4
14	2, 3, 4
15	1, 2, 3, 4

【 0 0 3 5 】

表面 2 0 2 の全電荷 Q_j は、時間の関数としての電流 $I(t)$ を測定し、各センサでの電荷を時刻 $t = 0$ においてゼロに等しく設定し、および $t = 0$ から所望の時刻 t までの時間にわたって電流を積分することにより全電荷を計算することによって測定される。例えば、電流が、サイン波の時間依存性

【数 1 0】

$$(I_j(t) = A \sin(\omega t + \alpha))$$

に付き、振幅 A および位相 α を有するように、位相感受性検出器測定から決定されると、全電荷は、

【数 1 1】

$$Q_j(t) = \int_0^t I(t) dt = Q_j(0) - (1/\omega) A \cos(\omega t + \alpha) \quad (6A)$$

によって与えられる。

【0036】

以下の式7は、試料204の表面202の全電荷 Q_j についての式において現れる二重和をいかにして取り除くかを示す。一旦、（まさにサイン関数である）直交関数の完全な組においてグリーンの関数を展開すると、結果は、式7におけるサイン関数内に現れるパラメーター「L」にわたる和、及び式4に現れる電荷 q_j にわたる和でもある。与えられた値「L」についての適当なサイン関数を掛け合わせ、頂部側510または底部側512にわたって合計する結果、「L」にわたる和が排除され、それにより、残ったただ1つの項が得られる。この結果は、サインおよびコサインの関数の直交特性のため起こる。頂部510および底部512からの結果を付け加え、式8に示すように、フーリエ変換（サイン変換）についての「L」の値を与えるための式が得られることによって、精度はさらに改良することができる。

10

【数12】

$$FT(L) = \int_0^L [\Delta Q_{Top}(x) - \Delta Q_{Bottom}(x)] \cdot \sin\left(\frac{L \cdot \pi \cdot x}{a}\right) dx \quad (7)$$

【数13】

20

$$FT(L) = \frac{|\Delta S|}{\pi^2} \sum \frac{\sin\left(\frac{L \cdot \pi \cdot x'_i}{a}\right) \cdot \cosh\left(\frac{L \cdot \pi \cdot \left(\frac{b}{2} - y'_i\right)}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{L \cdot \pi \cdot b}{2a}\right)} \cdot q_i \quad (8)$$

【0037】

「L」の各値では、1つの式を作成することができ、その各々は「i」によって表される電荷にわたる和を含み、そのマトリックスの要素は式8に示される。式のこの組はある程度 of 良好な条件のものである。すなわち、もし小さな側の長さ「b」が長い側の長さ「a」の2倍と比較して小さいならば、1つの式は他の式からかなり異なる。それにも拘らず、高度に正確な結果が $a = b$ につき得ることができる。

30

【0038】

本発明者らは、これらの式(8)を厳密に現実に解き、問題に対する正確な最小ノイズの解を得ることが可能であり、かくして、対象の内部における電荷 q の正確な表示を作成することが可能であるのを見出した。一旦これがなされれば、前記式(3)で提示した既知のグリーンの関数の解を使用して対象の内部のいずれの場所におけるポテンシャルについても解を出すことに、内部電荷分布画像を用いることができる。一旦、対象の内部の各場所のポテンシャルが知られれば、式(1C)を用いてそれらのポテンシャルから電場を容易にもたらしすることができる。従って、内部の1つの地点からもう1つの地点に進むにつれ、これは、次いで、対象の内部における各点での電気的特性の見積もりをもたらしものであるが、電場の変化を得ることができる。

40

【0039】

式(8)は、もし対象の対向側に配された検出器エレメントの列に沿って測定された表面電荷についてのフーリエ変換を加えれば、電荷についての式となる。座標 x' および y' は内部電荷 q の位置であり、ここで、 x' は対向検出器エレメントの行の方向に沿ったものであり、 y' は対向検出器エレメントの2つの行に垂直かつその間に伸びる。測定プレート(x')に平行な方向の内部電荷 q の位置に対する機能的依存性は、三角サイン関数で

50

ある。各サイン関数には整数 L が付され、ここに、 L は 1 から 2 の大きな数 n まで変化することができる。この好ましい実施態様においては、 n は、命じられた画像で望まれる画素の数の 2 倍（すなわち、内部電荷点 q_i の数の 2 倍）に等しく設定される。

【0040】

また、本発明者らは、これらの方程式をベクトルマトリックス表示で表すと、マトリックス ($M(L, i)$ と呼ぶ) が得られ、該マトリックスの各行は、サイン関数の直交特性のため各他の行に対して垂直である。

【数 14】

$$FT(L) = \sum_i M(L, i) \cdot q_i \quad (9)$$

10

ここで

【数 15】

$$M(L, i) = \frac{|\Delta S|}{\pi^2} \cdot \frac{\sin\left(\frac{L \cdot \pi \cdot x'_i}{a}\right) \cdot \cosh\left(\frac{L \cdot \pi \cdot \left(\frac{b}{2} - y'_i\right)}{a}\right)}{\cosh\left(\frac{L \cdot \pi \cdot b}{2a}\right)}$$

20

である。

【0041】

行列論の標準定理を用い、直交しているマトリックスの列もまた行を「正規化する」ことを与えることを示すことができる。（正規化するには、それ自体との各行のベクトル点乗積を取り、生じた数の二乗根を取り、行の各要素を二乗根で割る）。しかしながら、もしマトリックスの列が直交していれば、全体マトリックスは「直交マトリックス」である。逆マトリックスはまさにその転置であり（ここで、行および列が交換される）、これは、式（8）の所望の逆関数が直接的に計算されることを意味する。

【0042】

これを検定するために、本発明者らは、マトリックス

30

【外 6】

$$\overline{\overline{M}}$$

の行を正規化し、次いで、さらに、その元のマトリックス

【外 7】

$$\overline{\overline{M}}^T$$

の転置のマトリックス点乗積を取った。

【数 16】

$$\overline{\overline{M}}^T \cdot \overline{\overline{M}} = \overline{\overline{D}} \quad (10)$$

40

結果を図 11 に示す。垂直軸はマトリックス

【外 8】

$$\overline{\overline{D}}$$

の要素の値を表し、2つの水平方向は、それからその要素が取られた行および列の数を表す。我々は、得られたマトリックス

【外 9】

$$\overline{\overline{D}}$$

50

が実質的に対角線であり、すなわち、ゼロでない要素はマトリックスの対角線に沿っていることを認識する。マトリックス

【外 1 0】
 $\overline{\overline{D}}$

に内部電荷（

【外 1 1】
 $\overline{q}$

）を表すベクトルを掛けると、それらの電荷のうちの 1 つのみが各行の乗算につき拾い出 10
 される。

【数 1 7】

$$\overline{\overline{M}}^T \cdot \overline{FT} = \overline{\overline{M}}^T \overline{\overline{M}} \cdot \overline{q} = \overline{\overline{D}} \cdot \overline{q} = \begin{bmatrix} D_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & D_{22} & & & 0 \\ 0 & & D_{33} & & \vdots \\ \vdots & & & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & D_{ii} \end{bmatrix} \cdot \overline{q}$$

従って、

【数 1 8】

$$q_i = \sum_L M^T(L, i) \cdot FT(L) / D_{ii} \quad (11)$$

である。

【0 0 4 3】

代数的には、式（1 1）は各別々の内部電荷 q_i についての式である。この計算に必要な因子の全ては測定するかまたは計算することができ、かくして、対象の内部の電荷 q_i の各元は別々に計算することができる。該マトリックス

【外 1 2】

$\overline{\overline{M}}^T$

はここでは「電荷相関マトリックス」といい、この電荷相関マトリックスの要素を画像獲得に先立って計算しストアすることによって、獲得された表面電荷データからの電気的特性画像の再構築は比較的単純な手順である。

【0 0 4 4】

本発明の利点は、電荷修正マトリックスが、測定プレートおよび画像解像度の与えられた組につき決定することができ、早くコンピュータにストアできることである。複数の電荷相関マトリックスがシステムメモリにストアされると予測される。これらのマトリックスの 1 つは、用いた特定のサンプルホルダーの形状および選択された特定の画像の処方に基づいて選択されるであろう。従って、内部の電荷を評価するために、測定表面電荷 Q の測定、及び、測定された表面電荷 Q のフーリエ変換を行うことのみが必要である。内部電荷 q を生じさせるためにデータを逆変換するプロセスは、変換された電荷のデータに選択された電荷相関マトリックスを掛け合わせるのにすぎない。反復プロセスはなく、内部の各構造の電気的特性の大きさにおいて初期の推定をなす必要はない。最も重要なことは、別のイメージングシステムを用いて、内部構造の形状の測定をなす必要はないことである。

【0 0 4 5】

内部の測定された電荷を取り、対象の内部のポテンシャルおよび／または電場を生じさせるのにおける最終ステップは、電荷 q をグリーン関数の解の式（3）に挿入することによって達成することができる。内部静電ポテンシャルに対する式には 2 つの項、A）前記にてまさに計算した電荷 q に関連する体積の積分；および B）表面に設定された既知のポテ 50

ンシヤルに関連する表面にわたる積分、があることが理解される。最初の積分は、前記にて計算された電荷を用いてまさに得られる。第2の積分はまさに容易に得られる。なぜならば、表面センサにおいて設定されたポテンシャルは実験者によって決定され、知られているからである。従って、全てが知られており、単純なプラグイン操作および既知の式によって計算して、式(3)に従って内部ポテンシャルを得ることができる。

【0046】

一旦内部ポテンシャルが知られれば、いずれの箇所の電場も、式(1C)において与えられるように各方向のポテンシャルの変化の率から得ることができる。一旦電場が内部のどこかで知られれば、この対象内の各領域の電気的特性(ϵ_r および σ)は、対象内の各境界を横切ってこの電場の正常成分の変化から計算することができる。従って、対象を囲む媒体の既知の電気的特性で開始することにより、対象における隣接領域の電気的特性を計算することができる。領域(k)から領域(k+1)の各境界において、電場の正常成分の比率は、以下のように、領域(k)および(k+1)における電気的特性に関連する。

【数19】

$$\frac{\bar{E}(k)_{normal}}{\bar{E}(k+1)_{normal}} = \frac{(\sigma(k+1) + j\omega\epsilon_0\epsilon_r(k+1))}{(\sigma(k) + j\omega\epsilon_0\epsilon_r(k))} \quad (12)$$

【0047】

σ および ϵ_r の値は整合媒体(k=1の領域)において知られているので、式(12)を用いると、次の領域(k=2)についての対応する値が得られるであろう。領域2および3の間の境界につき式を適用し、領域3についての値が得られ、全対象の電気的特性が得られるまで続ける。

【0048】

図6は、試料204を用いて本発明を実施するのに使用される装置600を示すブロック図である。好ましい実施態様において、装置600は、試料204の表面202上の各点における点全電荷Qを測定するための試料204の各側の容量性センサアレイ604a~dを含む。具体的には、頂部アレイ604a、右側アレイ604b、底部アレイ604c、および左側アレイ604dがあり、これは、集成的に試料ホルダー500を形成する。従って、試料204の表面202は、容量性センサアレイ604a~d(試料ホルダー500)の表面である。試料204が厚いと、好ましい実施態様は少なくとも2つの容量性センサアレイ604a、cを含む。しかしながら、試料204の表面202における全電荷Qを検出するために1以上のそのような容量性センサアレイ604を用いる本発明の装置および方法を用いることは当業者にとって全く明らかなことであろう。

【0049】

以下に非常に詳細に記載する操作において、試料204は、容量性センサアレイ604a~dにかなり近い試料204の2つの側を備えた、および試料204と容量性センサアレイ604a~dの間の緩衝材としての試料204の周りに適用された整合媒体602を備えた容量性センサアレイ604a~dの間に置かれる。十分な整合媒体602を用いて、試料204を囲む試料ホルダー500の残りを満たす。整合媒体602のこの好ましい実施態様では、試料204の全電荷を読み取る際の誤差を最小化する。整合媒体602を用いて、(試料204の表面202に等しい)セグメント化されたセンサプレート606において適当な全電荷Qを生じさせる。具体的には、媒体602が、得られた誘電率の精度および試料204の各サブ領域208ないし216の伝導率を最適化するように、整合媒体602が試料204に対して選択される。

【0050】

各容量性センサアレイ604a~dは同一の構造を含む。便宜のための目的で、1つの容量性センサアレイ604aを記載するが、該記載は、本発明の他の容量性センサアレイ604b~dにも等しく適用できる。容量性センサアレイ604aは、その上に適用され、かつマトリックス様式で配置された複数のコントローラユニット608a~fを有するセグメント化センサプレート606を含む。各コントローラユニット608a~fは所望の

10

20

30

40

50

電圧を所望の周波数において試料204に印加し、それにより、電磁場を生じさせ、ならびに、セグメント化センサプレート606における全電荷Qを検出する。コントローラユニット608aは後により詳しく記載する。

【0051】

電源610、周波数供給源612、およびコンピュータシステム614は、バス616によって容量性センサアレイ604a~dに連結される。電源610は、センサアレイ604の構成要素に必要なDC電源を供し、周波数源612は、そこに含まれた試料204を測定するための容量性センサアレイ604a~dに必要な交流電圧を供する。好ましい実施態様において、周波数源612は、ゼロ度成分618（同相）およびコントローラユニット608aから出力される交流電圧の90度成分620（直角位相）双方を供する。さらに、装置600が必要に応じて複数の周波数測定を行うことができるように周波数を変化させることができる。組織をイメージングする場合、例えば、種々の組織タイプの間の電気的特徴の差を利用するために、100Hz~100MHzの範囲の周波数を使用することができる。コンピュータシステム614は装置600の構成要素を制御し、試料204の誘電率および伝導率の電気的特性を生じさせるのに必要な計算を行う。

【0052】

図7は、容量性センサアレイ604aのコントローラユニット608aの構造を説明するブロック図である。便宜の目的のみで、1つのコントローラユニット608aを記載するが、該記載は、他のコントローラユニット608b~fにも等しく適用できる。好ましい実施態様において、コントローラユニット608aは、限定されるものではないが、ローカルコントローラ702、A/Dコンバータ704、マルチプレキサ706、第一の試料/保持（S/H）構成要素708、第2のS/H構成要素710、位相外れ相（90度）位相感受性検出器712、同相（0度）位相感受性検出器714、オートゲインコントローラ716、セグメント電圧コントローラ718、および純粋な抵抗器724を含めた複数の構成要素を含む。これらの構成要素は局所的デジタルバス722を介して連絡する。さらに、これらの構成要素はバス616を介して装置600の他の部分に連絡する。より具体的には、コントローラユニット608aはコンピュータシステム614へデータを伝達し、そこからデータを受け取り、電源610から電力724を受け取り、バス616にわたって周波数源612から同相および位相外れ交流電圧を受け取る。操作において、コンピュータシステム614は25のコントローラユニット608aのセグメント電圧コントローラ718を命令して、特定の周波数における与えられた交流電圧を設定する。純粋な抵抗器724は、電気回路の大きさおよび位相の正確な尺度である電圧を生じさせるのに用いられる。また、コンピュータシステム614はオートゲインコントローラ716に係合して、位相感受性検出器712、714に入力された、電流または電荷を反映する純粋な抵抗器724に対する電圧を最小化する。次に、コンピュータシステム614は同相位相センサ検出器712および位相外れ相位相センサ検出器714に命じて、セグメント化センサプレート606上の全電荷Qを読む。コントローラユニット608aは第1のS/H 708、第2のS/H 710、マルチプレキサ706、A/Dコンバータ704およびローカルコントローラ702を介してこれらの全電荷Qをコンピュータシステム614に伝送する。これらの構成要素は慣用的方法を用いて操作する。全電荷Qのアナログ様式をデジタル値に変換し、次いで、さらなる処理のために、これらのデジタル化された全電荷Qをローカルコントローラ702およびコンピュータシステム614に伝達するのは当業者にとって容易に理解されるであろう。

【0053】

各センサにおける電流の振幅および位相を決定するために位相感受性検出器を用いる実施態様を記載してきたが、この作業を実行するための代替の方法があることは当業者にとって容易に理解されるであろう。例えば、電流データをデジタル化し、得られたデジタルシグナルを、次いで、フーリエ変換アナライザーで分析することができよう。この別の方法は、同時に、印加された場のいくつかの周波数において画像を生じさせ、かくして、位相感受性検出器の使用と比較して時間を節約するのに有用であり、ここに、もし直角位相

感受性検出器の1つの組のみを各センサで使用するならば、周波数は、各センサにつき順次変更される必要がある。

【0054】

装置600は、標準的なX線断層撮影デバイス、例えば、X線CTまたはMRIシステムに組み込むことができる。この組合せは、イメージングシステムが、装置600によって作成された画像で書き込まれた高解像度画像を作成することを可能とする。しかしながら、対象の電気的特性の高解像度画像を、別のイメージングシステムからの入力なくして生じさせることができるのは本発明の利点である。

【0055】

図8～10は、装置600の操作制御を示すフローチャートである。これらの図面を参照し、標準的なイメージングシステム620を備えた装置600を用いる方法を下記に詳細に記載する。しかしながら、この装置600はスタンドアロン様式で操作することができるのを理解することができる。限定されるものではないが、空データ値のための原始インジケータおよび試料ホルダー500における試料204の向きを含めた、初期開始データをコンピュータシステム614が入力するステップ802において制御は開始する。前述したように、複数の予め計算された電荷相関マトリックスは記憶装置にストアされ、開始プロセスの一部として、これらの1つを選択する。この選択は、画像サイズおよび画像解像度のようなユーザによって命じられた特定の画像獲得パラメーターに基づいてなされる。このステップにおいて、コンピュータシステム614はまた、選択された周波数の所定の交流電圧に従って、装置600の試料ホルダー500内に電磁場を生じさせる。

【0056】

開始後、処理はステップ804に進む。ステップ804において、装置600のコンピュータシステム614は、各コントローラユニット606の与えられた電圧および周波数に従って電磁場を設定し、試料204の方向性を設定する。次のステップ806において、コンピュータシステム614は空データ値についてのアドレスポイントを設定する。「空」データ値は、試料204が装置600中になく、すなわち、整合媒体602のみが試料ホルダー500中に存在する場合の全表面電荷Qである。ステップ806は以降により詳細に記載する。

【0057】

次いで、処理はステップ808に進む。ステップ808において、イメージすべき対象204を、装置600の、容量性センサアレイ604a～d、または試料ホルダーの間に置く。ステップ810に進み、装置600は、それが連結するイメージングシステムからのトリガーを待つ。このトリガリングメカニズムを用いることによって、全表面電荷Qのセンサ測定および獲得された画像データは、対象204の同一条件にて、正確に同一時刻に獲得される。イメージングシステムは、ヒト被験者の心臓または肺のサイクルの具体的にモニターされた部分におけるような、対象204についての最適な情報を獲得するための便宜な時刻にて装置600を始動するのに用いることができる。イメージングシステムからのトリガーを受領して、装置600はステップ812に進む。

【0058】

ステップ812において、コンピュータシステム614はコントローラユニット606a～fに命令して、それらの、位相感受性検出器712、714をポーリングし、セグメント化センサプレート606上の全電荷Qを測定する。試料204が装置600の試料ホルダー500内に位置する場合、これは、全表面電荷Qである十分なデータ値を表す。センサのこのポーリングは、いずれか1つの測定に要する平均する時間が全ての測定に要する平均する時間と同一であるように、平行して行われる。一旦データが受信されれば、装置600はステップ814に進む。ステップ814において、コンピュータシステム614は、それが、センサのポーリングからまさに読む全データに対してデータポイントを設定し、ステップ816に進む。

【0059】

ステップ816において、コンピュータシステム614は、それが装置600の試料ホル

10

20

30

40

50

ダー５００内に含まれるので、試料２０４または電場の新しい方向性でなすべき、さらなる測定があるか否かを決定する。もし別の測定をなすべきであれば、コンピュータシステム６１４はステップ８０４に戻って、そのデータ獲得シーケンスを再開する。全ての所定の測定がなされた後、コンピュータシステム６１４は対象２０４における各画素につき電気的特性を計算し、その画像を作成する。ステップ８１８を以降により詳細に記載する。電気的特性画像が作成されると、コンピュータシステム６１４はステップ８２０に進み、それにより、その処理を完了する。

【００６０】

対象２０４の誘電率および伝導率の電気的特性の最終測定は種々の方法を用いることができる。好ましい実施態様において、最終測定値は、試料２０４中のある組織が生きているか死んでいるか、あるいは組織が閉塞した動脈および静脈、または癌性腫瘍のような病歴を有するかを示すことに使用される。この情報は、数字で示すまたは順に示すフォーマット、グラフフォーマット、または双方の組合せいずれかでユーザに示すことができる。しかしながら、好ましい実施態様においては、計算された電気的値は、対応する画像画素の強度および／または色を変調することに用いられる。

【００６１】

図９は、空データ組に対するデータポインタを設定するステップ８０６の処理を説明するブロック図である。該プロセスはステップ９０２で始まり、直ちに空データ組で用いられるべき値の出所を決定するステップ９０４に進む。もしストアされたデータ値をデータベースから用いるべきであれば、コンピュータシステム６１４はステップ９０６に進む。ステップ９０６において、コンピュータシステム６１４は、適当なデータベース値に従って空データ組の記憶位置にポインタを設定し、ステップ９１４に進み、それにより、図８およびステップ８０８に戻る。

【００６２】

再度ステップ９０４に関し、もしコンピュータシステム６１４が、それが空データ組について測定を行わなければならないと決定すれば、コンピュータシステム６１４はステップ９０８に進む。ステップ９０８において、コンピュータシステム６１４はイメージングシステムからのトリガーを待つ。イメージングシステムは空の試料ホルダー５００の予備的画像を作成し、このイメージングデータを装置６００のコンピュータシステム６１４に送り、それにより、装置６００をトリガリングして、ステップ９１０におけるその処理に進む。イメージングシステムは空の試料ホルダー５００の画像を作成する必要があるが、そうすることにより、データのチェックングを可能とすることに注意するのは重要である。

【００６３】

ステップ９１０において、コンピュータシステム６１４はコントローラユニット６０６ a～fの位相感受性検出器７１２、７１４に命令して、所定の電圧を印加し、それらのセンサをポーリングし、セグメント化センサプレート６０６上の全電荷 Q を測定する。一旦電荷データが受信されれば、装置６００はこの空データ組をストアし、ステップ９１２に進む。ステップ９１２において、コンピュータシステム６１４は、空データ組についてのアドレス位置にデータポインタを設定し、ステップ９１４まで進み、それにより、図８およびステップ８０８まで戻る。

【００６４】

電気的特性は、図１０に示されたステップに従って獲得された電荷データから計算される。ステップ１００４に示すように、最初の仕事は、電荷測定の最初の組から空データを差し引くことである。これにより、式（４）で前記したようにイメージすべき対象内の電荷 q を反映する表面電荷データ Q の組が生じる。試料ホルダー５００の対向側５０６および５０８または頂部および底部５１０および５１２の対応するセンサ５０２で獲得された得られた電荷測定 Q を、ステップ１００６において一緒に加えるか、または差し引く。好ましい実施態様においては、それらは加えられる。

【００６５】

ステップ１００８に示したように、次いで、 L 変換係数のアレイは、式（７）に記載した

10

20

30

40

50

得られた表面電荷データ $Q(x)$ から計算される。好ましい実施態様においては、 L は、所定の画像における画素の数（すなわち、内部電荷位置 q_i の数）に等しく設定される。得られたフーリエ変換アレイ $FT(L)$ は、獲得された表面電荷データの周波数成分の値を示す。

【0066】

ステップ1010に示した次のステップは、フーリエ変換アレイ $FT(L)$ に適当な記憶された関係マトリックス

【外13】

$$\overline{M}^T$$

10

を乗ずることである。前記したように、相関マトリックスは各試料ホルダー500および各所定の画像解像度につき計算される。式(11)によって前記に示したように、この結果、対象における各画素 i における電荷 q についての数値が得られる。これらの値をステップ1012においてアレイにストアして、電荷画像を形成する。

【0067】

ステップ1014に示したごとく、電圧画像は、式(3)で前記したように次に計算される。この画像は、印加された外部正弦電圧のため画像中の各画素で生じた電圧を示す。決定ブロック1016に示したように、次いで、もし更なる測定をなして画像 SNR を増加させるかの判断をなす。前述したように、これらの更なる測定は、印加された電圧によって生じた場の向きおよび表1に前記した対象の相対的方向性を変化させることによってなすことができる。好ましい実施態様において、表1にリストした全ての4つの向きが獲得され、その結果、4つの電圧画像が1018に位置する処理ループによって生じる。

20

【0068】

電圧画像を組み合わせて、ステップ1020において単一の高い SNR 電圧画像を形成させる。これは、各画像画素における平均値を計算することによってなされる。誘電率および伝導率のような他の電氣的パラメーターは、今や、電圧画像から計算することができる。ステップ1022に示したように、これは、再構築された電圧画像および式(1C)を用い、各場所にて電場をまず計算することによってなされる。次いで、式(12)に関して前述した手法をステップ1024で行って、各画像画素において誘電率 ϵ_r および伝導率 σ を計算する。これらの計算された値を用いて前記したごとく別々の画像を生じさせることができるか、または値を表にすることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明を実施するのに有用な典型的コンピュータシステムを示すブロック図である。

【図2】 空間における閉鎖体積の平面図である。

【図3】 測定された外部全電荷 Q_j と内部全電荷 q_i の間の関係を示す空間における閉鎖体積の平面図である。

【図4】 従来の電氣的特性イメージング技術によって測定される、空間における閉鎖体積の平面図である。

【図5】 本発明を実施する場合に用いられる試料ホルダーの三次元表示である。

40

【図6】 本発明を実施する場合に用いられる装置を示すブロック図である。

【図7】 本発明の装置のコントローラユニットを示すブロック図である。

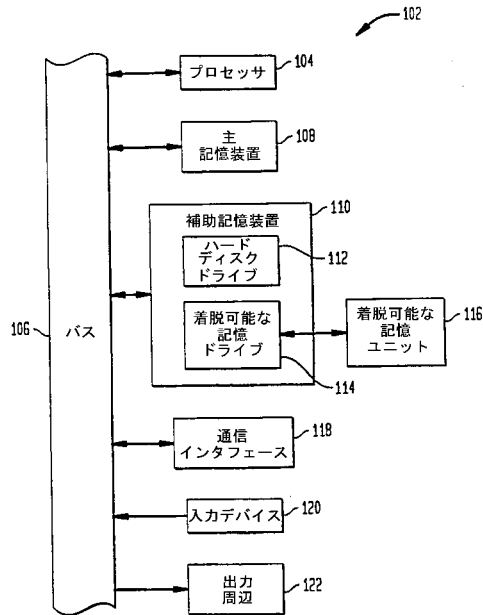
【図8】 装置の操作および方法を示す制御フロー図である。

【図9】 図8のプロセスで用いられる空データ組の作成を示す制御フロー図である。

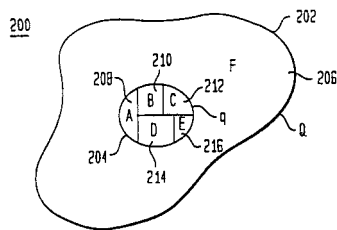
【図10】 本発明の好ましい実施態様を用いる図8のプロセスで用いる電氣的特性の最終測定値の生成を示す制御フロー図である。

【図11】 図11は、対角マトリックスの絵に描いた表示である。

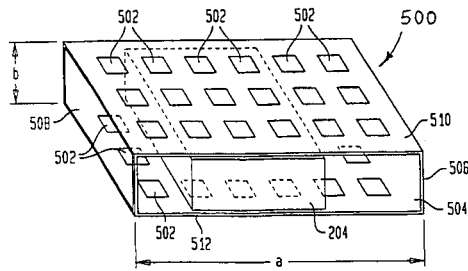
【図 1】



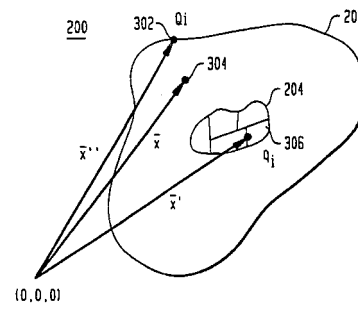
【図 2】



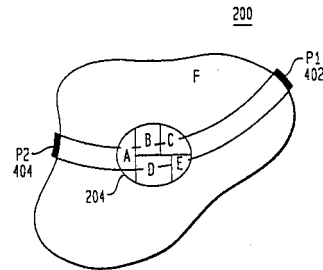
【図 5】



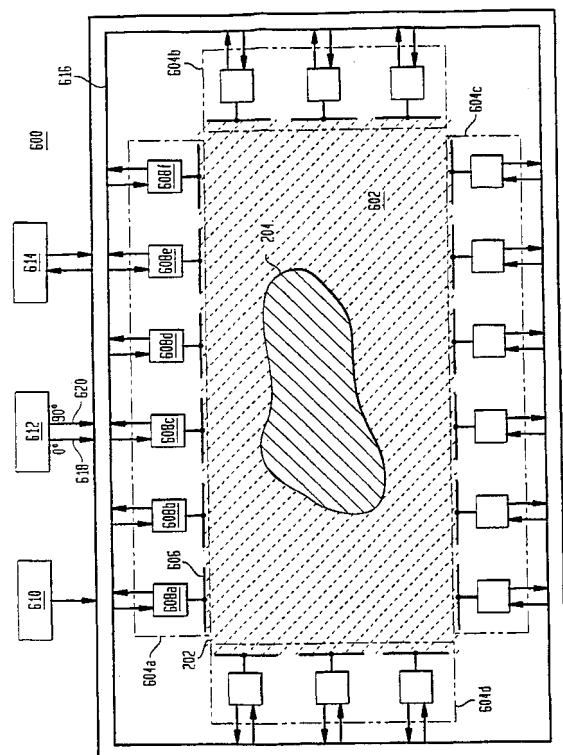
【図 3】



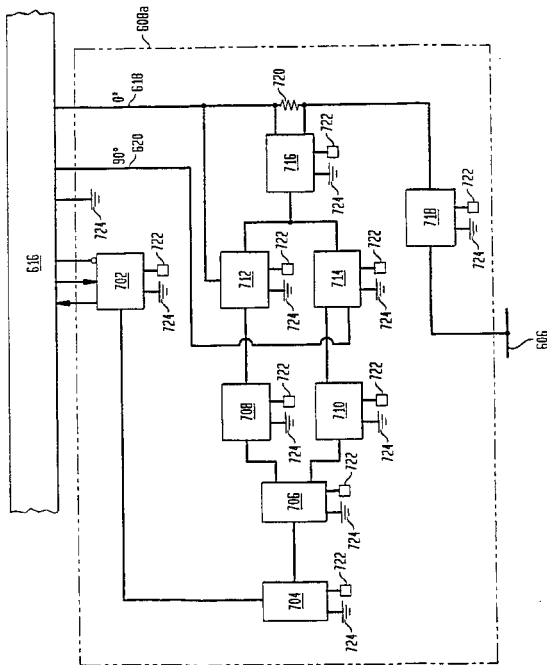
【図 4】



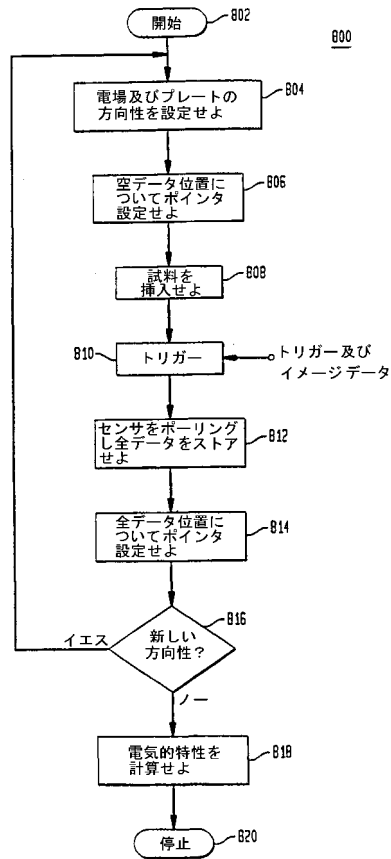
【図 6】



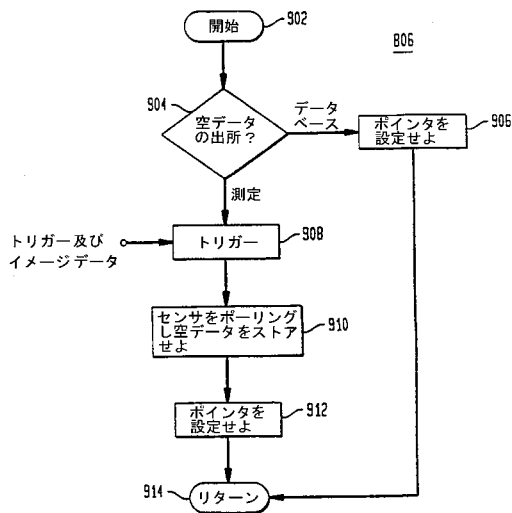
【図 7】



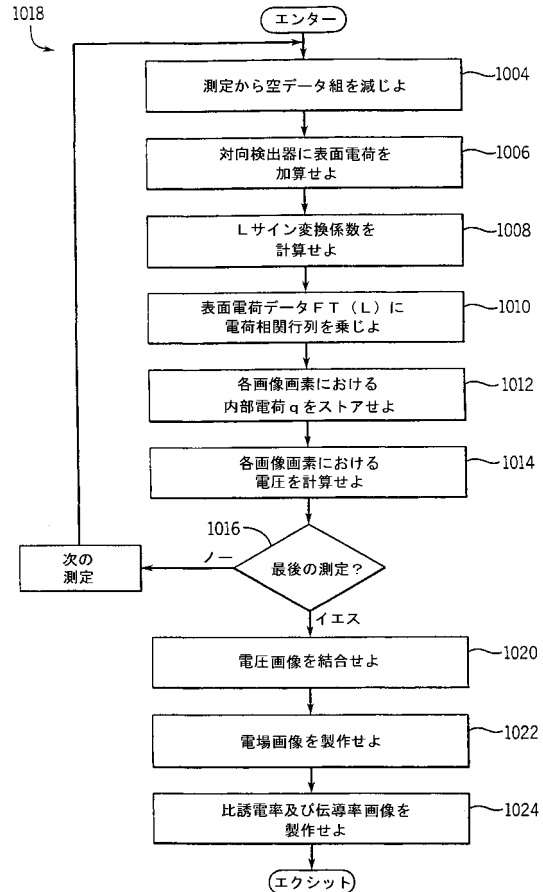
【図 8】



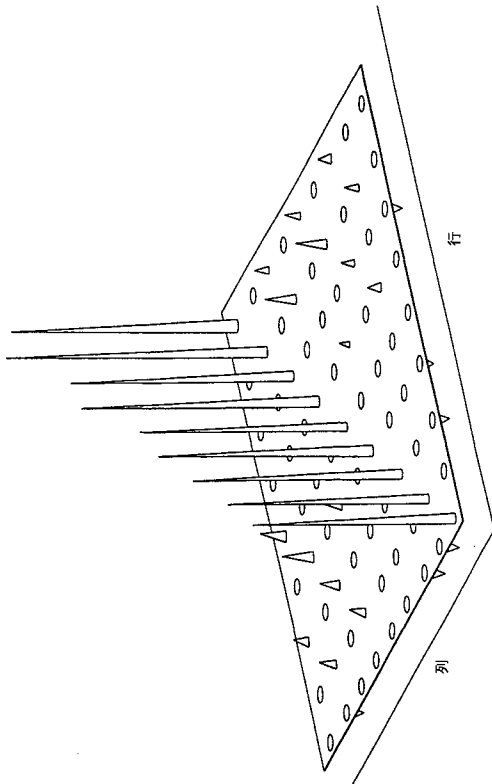
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 グレゴリー, ウィリアム ディー.
アメリカ合衆国 5 3 2 1 1 ウィスコンシン ショアウッド イー, エッジウッド アベニ
ュー 2 3 2 0

審査官 湯本 照基

(56)参考文献 国際公開第 9 9 / 1 2 4 7 0 (WO, A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/04

A61B 10/00

G01N 22/00

G01N 27/02

G01N 27/60