

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)特許出願公表番号

特表2022-504299  
(P2022-504299A)

(43)公表日 令和4年1月13日(2022.1.13)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード(参考)
A 6 1 B	8/08	(2006.01)	A 6 1 B	8/08	4 C 0 9 6
A 6 1 B	5/055	(2006.01)	A 6 1 B	5/055	3 9 0
					4 C 6 0 1

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 40 頁)

(21)出願番号	特願2021-518665(P2021-518665)	(71)出願人	500480919 メイヨ フォンデーション フォー メデ イカル エジュケーション アンド リサ ーチ アメリカ合衆国 5 5 9 0 5 ミネソタ州 , ローチェスター, ファースト スト リート サウスウエスト 2 0 0
(86)(22)出願日	令和1年8月28日(2019.8.28)	(74)代理人	100134832 弁理士 瀧野 文雄
(85)翻訳文提出日	令和3年4月19日(2021.4.19)	(74)代理人	100165308 弁理士 津田 俊明
(86)国際出願番号	PCT/US2019/048519	(74)代理人	100115048 弁理士 福田 康弘
(87)国際公開番号	WO2020/072147		
(87)国際公開日	令和2年4月9日(2020.4.9)		
(31)優先権主張番号	62/740,730		
(32)優先日	平成30年10月3日(2018.10.3)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 イメージングシステムを用いた位相速度イメージング

(57)【要約】

本明細書では、超音波システム、光イメージングシステム（例えば、光コヒーレンストモグラフィシステム）、または磁気共鳴イメージングシステムなどのイメージングシステムを使用する位相速度イメージングのためのシステムおよび方法を説明する。概して、伝播する機械的波動データから位相速度画像（例えば、2D画像、3D画像）を構築するためのシステムおよび方法について説明する。本開示で説明されるシステムおよび方法は、周波数領域で動作し、単一の周波数または選択された周波数の帯域を使用して実装することができる。視野内の複数の機械的波ソースがある場合、方向性フィルタリングを実行して、異なる方向に伝播する機械的波を分離し得る。以下で説明する再構築は、これらの方向性フィルタリングされた成分のそれぞれに対して実行することができる。

【選択図】 図1

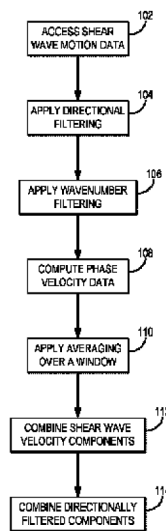


FIG. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

イメージングシステムで取得された機械的波動データから位相速度画像を生成するための方法であって、前記方法のステップは、

(a) コンピュータシステムを使用して、イメージングシステムで取得された機械的波動データにアクセスすることと、

(b) 前記コンピュータシステムを使用して、前記機械的波動データから位相速度データを推定することと、

(c) 前記位相速度データから位相速度画像を生成することと、を含む、方法。

## 【請求項2】

ステップ(c)が、

前記機械的波動データにフーリエ変換を適用することにより、前記機械的波動データを周波数データに変換することと、

前記周波数データから周波数成分を選択することと、

スライディングウィンドウを使用して前記周波数成分に関連する前記周波数データをウィンドウ処理することにより、ウィンドウ処理された波動場データを生成することと、

ウィンドウ処理された前記波動場データをフーリエ変換することにより、波数スペクトルデータを生成することと、

前記波数スペクトルデータから推定された位相速度の空間分布として前記位相速度データを生成することと、によって前記位相速度データを推定することを含む、請求項1に記載の方法。

## 【請求項3】

前記機械的波動データが、時間次元に沿った1次元フーリエ変換を前記機械的波動データに適用することにより、前記周波数データに変換される、請求項2に記載の方法。

## 【請求項4】

前記機械的波動データが、

前記機械的波動データに3次元フーリエ変換を適用することにより、周波数-波数データを生成することと、

前記周波数-波数データをフィルタリングすることにより、フィルタリングされた周波数-波数データを生成することと、

第1の波数次元および第2の波数次元に沿ってフィルタリングされた前記周波数-波数データに2次元フーリエ変換を適用することにより、前記周波数データを生成することと、によって前記周波数データに変換される、請求項2に記載の方法。

## 【請求項5】

前記周波数-波数データをフィルタリングすることが、前記周波数-波数データに方向フィルタを適用して、前記周波数-波数データを異なる方向成分に分離することを含む、請求項4に記載の方法。

## 【請求項6】

前記周波数-波数データをフィルタリングすることが、所定の空間周波数範囲外の空間周波数データを除去するために、前記周波数-波数データにバンドパスフィルタを適用することを含む、請求項4に記載の方法。

## 【請求項7】

前記周波数成分が単一の周波数からなる、請求項2に記載の方法。

## 【請求項8】

前記周波数成分が、選択された周波数を中心とする周波数帯域を含む、請求項2に記載の方法。

## 【請求項9】

2次元コサインテーパウィンドウが、前記周波数成分に関連する前記周波数データをウィンドウ処理するために使用される、請求項2に記載の方法。

## 【請求項10】

前記周波数成分が、選択された周波数を中心とする周波数帯域を含む、請求項2に記載の方法。

10

20

30

40

50

前記波数スペクトルデータが、ウィンドウ処理された前記波動場データに2次元フーリエ変換を適用することによって生成され、前記2次元フーリエ変換が第1の空間次元および第2の空間次元に沿って適用される、請求項2に記載の方法。

【請求項11】

前記波数スペクトルデータが、第1の波数スペクトルデータおよび第2の波数スペクトルデータを含み、前記第1の波数スペクトルデータが、第1の空間次元に沿ってウィンドウ処理された前記波動場データに第1の1次元フーリエ変換を適用することによって生成され、前記第2の波数スペクトルデータが、第2の空間次元に沿ってウィンドウ処理された前記波動場データに第2の1次元フーリエ変換を適用することによって生成される、請求項2に記載の方法。

10

【請求項12】

前記位相速度の前記空間分布が、前記周波数成分を前記波数スペクトルデータの大きさに除算することに部分的に基づいて生成される、請求項2に記載の方法。

【請求項13】

ステップ(b)が、前記機械的波動データを異なる方向性フィルタリングされた成分に方向性フィルタリングすることによって、方向性フィルタリングされた成分データを生成することと、各方向性フィルタリングされた成分の位相速度データを推定することと、を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項14】

前記位相速度画像を生成することが、各異なる方向性フィルタリングされた成分について推定された前記位相速度データを組み合わせることを含む、請求項13に記載の方法。

20

【請求項15】

前記機械的波動データが、せん断波動データまたは誘導波動データのうちの少なくとも1つを含む、請求項1に記載の方法。

【請求項16】

前記イメージングシステムが、超音波システム、磁気共鳴イメージング(MRI)システム、または光イメージングシステムのうちの1つである、請求項1に記載の方法。

【請求項17】

前記位相速度画像から機械的特性マップを生成することをさらに含む、請求項1に記載の方法。

30

【請求項18】

前記機械的特性マップが、前記位相速度画像内のデータをモデルにフィットさせることに基づいて生成される、請求項17に記載の方法。

【請求項19】

超音波システムを制御して機械的波動データを取得する方法であって、前記方法のステップは、

超音波システムの最適な取得パラメータを、

(a) 複数の周波数値の範囲にわたって前記超音波システムで機械的波動データを取得することと、

40

(b) 前記機械的波動データから位相速度画像を再構築することと、

(c) 前記位相速度画像を分析して位相速度のプラトーが前記位相速度画像に存在するかどうかを判断することと、

(d) 位相速度の前記プラトーが前記位相速度画像に存在しない場合、前記超音波システムの取得パラメータを調整し、位相速度の前記プラトーが前記位相速度画像に存在するまで異なる周波数値を使用してステップ(a)～(c)を繰り返すことと、によって決定することと、

調整された前記取得パラメータを前記最適な取得パラメータとして格納することと、を含み、前記最適な取得パラメータが、位相速度測定精度を向上させるために、機械的波動の最適な帯域幅に関連付けられている、方法。

【請求項20】

50

前記機械的波動データから位相速度画像を再構築することが、前記機械的波動データを局所位相速度イメージング (LPVI) アルゴリズムに入力することと、前記位相速度画像として出力を生成することと、を含み、前記LPVIアルゴリズムが、前記機械的波動データを周波数-波数領域に変換することに部分的に基づいて前記位相速度画像を生成する、請求項19に記載の方法。

【請求項21】

前記LPVIアルゴリズムが、前記機械的波動データにフーリエ変換を適用することにより、前記機械的波動データを周波数データに変換することと、前記周波数データから周波数成分を選択することと、スライディングウィンドウを使用して前記周波数成分に関連する前記周波数データをウィンドウ処理することにより、ウィンドウ処理された波動場データを生成することと、ウィンドウ処理された前記波動場データをフーリエ変換することにより、波数スペクトルデータを生成することと、前記波数スペクトルデータから推定された位相速度の空間分布として位相速度データを生成することと、前記位相速度データから前記位相速度画像を再構築することと、を含む、請求項20に記載の方法。

10

【請求項22】

前記機械的波動データが、時間次元に沿った1次元フーリエ変換を前記機械的波動データに適用することにより、前記周波数データに変換される、請求項21に記載の方法。

20

【請求項23】

前記機械的波動データが、前記機械的波動データに3次元フーリエ変換を適用することにより、周波数-波数データを生成することと、前記周波数-波数データをフィルタリングすることにより、フィルタリングされた周波数-波数データを生成することと、第1の波数次元および第2の波数次元に沿ってフィルタリングされた前記周波数-波数データに2次元フーリエ変換を適用することにより、前記周波数データを生成することと、によって前記周波数データに変換される、請求項21に記載の方法。

30

【請求項24】

前記周波数-波数データをフィルタリングすることが、前記周波数-波数データに方向性フィルタを適用して、前記周波数-波数データを異なる方向成分に分離することを含む、請求項23に記載の方法。

【請求項25】

前記周波数-波数データをフィルタリングすることが、所定の空間周波数範囲外の空間周波数データを除去するために、前記周波数-波数データにバンドパスフィルタを適用することを含む、請求項23に記載の方法。

【請求項26】

前記周波数成分が単一の周波数からなる、請求項21に記載の方法。

40

【請求項27】

前記周波数成分が、選択された周波数を中心とする周波数帯域を含む、請求項21に記載の方法。

【請求項28】

2次元コサインテーパウィンドウが、前記周波数成分に関連する前記周波数データをウィンドウ処理するために使用される、請求項21に記載の方法。

【請求項29】

前記波数スペクトルデータが、ウィンドウ処理された前記波動場データに2次元フーリエ変換を適用することによって生成され、前記2次元フーリエ変換が第1の空間次元および第2の空間次元に沿って適用される、請求項21に記載の方法。

50



## 【請求項30】

前記波数スペクトルデータが、第1の波数スペクトルデータおよび第2の波数スペクトルデータを含み、前記第1の波数スペクトルデータが、第1の空間次元に沿ってウィンドウ処理された前記波動場データに第1の1次元フーリエ変換を適用することによって生成され、前記第2の波数スペクトルデータが、第2の空間次元に沿ってウィンドウ処理された前記波動場データに第2の1次元フーリエ変換を適用することによって生成される、請求項21に記載の方法。

## 【請求項31】

前記位相速度の空間分布が、前記周波数成分を前記波数スペクトルデータの大ききで除算することに部分的に基づいて生成される、請求項21に記載の方法。

## 【請求項32】

フィルタリングされた後に前記周波数データをウィンドウ処理することによってウィンドウ処理された前記波動場データを生成する前に、方向性フィルタリングまたは波数フィルタリングのうちの少なくとも1つを使用して前記周波数データをフィルタリングすることをさらに含む、請求項21に記載の方法。

## 【請求項33】

前記機械的波動データが、せん断波動データまたは誘導波動データのうちの少なくとも1つを含む、請求項19に記載の方法。

## 【請求項34】

前記イメージングシステムが、超音波システム、磁気共鳴イメージング(MRI)システム、または光イメージングシステムのうちの1つである、請求項19に記載の方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2018年10月3日に出願された「PHASE VELOCITY IMAGING USING AN ULTRASOUND IMAGING SYSTEM」と題された米国仮特許出願第62/740,730号の利益を主張し、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

## 【0002】

連邦政府が後援する研究に関する声明

本発明は、米国立衛生研究所によって授与されたDK092255の下で政府の支援を受けてなされた。政府は本発明において一定の権利を有する。

## 【背景技術】

## 【0003】

軟組織の病理は、機械的特性に変化を引き起こす可能性がある。軟組織の機械的特性を測定するための多くの方法が、過去20年にわたって開発されてきた。せん断波エラストグラフィ(「SWE」)と呼ばれる方法の1つのクラスには、とりわけ、超音速せん断イメージング、コムプッシュ超音波せん断エラストグラフィを含む、さまざまな異なる実装が含まれる。これらの方法では、音響放射力を使用してせん断波を生成し、超音波技術を使用してせん断波の動きを測定する。

## 【0004】

これらの方法は、肝臓、乳房、甲状腺、骨格筋、腎臓、および前立腺を含むさまざまな組織のイメージングに採用されている。肝線維症の病期分類は、SWE技術の主な用途であり、成功を取めている。SWEは、乳房、甲状腺、および前立腺の腫瘍の特性評価にも広く使用されている。乳房、甲状腺、および肝臓の癌イメージングに関連するSWE用途では、封入体は通常、正常な周囲組織よりも硬いことがわかっている。これらの方法は、病変を良性および悪性として特徴付けるために使用されており、通常、悪性病変は良性病変よりも硬いことがわかっている。SWEの臨床的に実装されたバージョンでは、媒体についていくつかの仮定がなされる。これらには、材料が弾性、均質、等方性、および非圧縮

10

20

30

40

50

性であることが含まれる。有限サイズのイメージングの不均一性の場合、解像度は考慮すべき重要な要素である。

#### 【0005】

SWE測定を実装するために使用されるさまざまな方法の中には、機械的特性、特にせん断波速度を再構築するための多数の手法もある。ほとんどの方法は、時間領域データに基づいており、局所的な意味でせん断波の飛行時間を測定する。せん断波動のさまざまな特徴が、変位または速度波形のピークを含む、せん断波速度の推定に使用される。さらに、時間信号の相互相関を使用でき、使用するウィンドウのサイズがせん断波速度の結果に影響を与え得る。

#### 【0006】

せん断波速度を推定するためにデータを分析する別の方法は、周波数領域アプローチを使用することである。典型的には、せん断波速度の周波数領域評価は、位相勾配またはフーリエ変換ベースの方法で実行されてきた。これらの方法は、材料の粘弾性および形状による位相速度分散を推定するために使用されてきた。これらの測定手法のほとんどは、実施されているように、横方向と軸方向の両方で限られた空間範囲を使用する。その隙間を埋めるために、これらの方法を拡張して、位相速度、またはせん断波の減衰や材料の粘度などの粘弾性特性の画像を作成するために努力が払われてきた。

#### 【発明の概要】

#### 【0007】

本開示は、超音波システムで取得された機械的波動データから位相速度画像を生成するための方法を提供することによって、前述の欠点に対処する。超音波システムで取得された機械的波動データにアクセスし、そこから位相速度データを生成する。次に、位相速度データから位相速度画像を生成する。

#### 【0008】

本開示の別の態様は、超音波システムを制御して機械的波動データを取得する方法を提供することである。超音波システムの最適な取得パラメータは、(a) 周波数値の範囲にわたって超音波システムで機械的波動データを取得することと、(b) 機械的波動データから位相速度画像を再構築することと、(c) 位相速度画像を分析して位相速度のプラトーが位相速度画像に存在するかどうかを判断することとによって、決定される。位相速度のプラトーが位相速度画像に存在しない場合、超音波システムの取得パラメータを調整し、位相速度のプラトーが位相速度画像に存在するまで、異なる周波数値を使用してステップ (a) ~ (c) を繰り返す。調整された取得パラメータは、最適な取得パラメータとして格納される。最適な取得パラメータは、位相速度測定の精度を向上させるために、機械的波動の最適な帯域幅に関連付けられる。

#### 【0009】

本開示の前述のおよび他の態様および利点は、以下の説明から明らかになる。説明において、本明細書の一部を形成し、例示として好ましい実施形態が示されている添付の図面を参照する。しかしながら、この実施形態は、必ずしも本発明の全範囲を表すわけではなく、したがって、本発明の範囲を解釈するためには、特許請求の範囲および本明細書を参照する。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0010】

【図1】 イメージングシステムで取得した波動データから位相速度画像を生成する例示的な方法のステップを示すフローチャートである。

【図2】 イメージングシステムで取得した波動データから局所位相速度イメージング（「LPVI」）アルゴリズムを用いて位相速度画像を生成する例示的な方法のステップを示すフローチャートである。

【図3】 波動データから位相速度画像を生成するためのLPVI法の例のステップを示すフローチャートである。

【図4】 本開示で説明された方法を実施することができる例示的なシステムのブロック図

10

20

30

40

50

である。

【図5】図4のシステムに実装できる例示的なハードウェア構成要素のブロック図である。

【図6】波動データを取得するために実装できる例示的な超音波イメージングシステムのブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本明細書では、超音波または他の適切なイメージングシステム、例えば、光イメージングシステムまたは磁気共鳴イメージング（「MRI」）システムを使用する位相速度イメージングのためのシステムおよび方法について説明する。概して、伝播する波データから位相速度画像（例えば、2D画像、3D画像）を構築するためのシステムおよび方法について説明する。波データは、誘導波データ、せん断波データ、または他のそのような機械的波データであり得る。本開示で説明されるシステムおよび方法は、周波数領域で動作し、単一の周波数または選択された周波数の帯域を使用して実施することができる。視野内の複数の音響放射力のプッシュがある場合または複数の波ソースがある場合、方向性フィルタリングを実行して、異なる方向に伝播する波を分離し得る。以下で説明する再構築は、これらの方向性フィルタリングされた成分のそれぞれに対して実行することができる。

【0012】

本開示で説明されるシステムおよび方法は、直径5mm未満程度の封入体または他の物体を正確に描写することができる十分な解像度で位相速度画像の再構築を可能にする。以前の時間領域ベースの方法では、従来、そのサイズの物体の解像が困難であった。

【0013】

本開示のいくつかの態様では、局所位相速度イメージング（「LPVI」）のためのシステムおよび方法が説明されている。LPVIは、軟組織の位相速度の画像を作成する目的で、局所波数イメージングを実装している。例えば、伝播する誘導ラム波の波数の局所推定を利用することができる。空間位置の関数としての波数の変化は、これらのシステムおよび方法で分析することができる。例えば、構造的な不連続性での急激な波の変化によって生じる新たな波数成分は、周波数-波数スペクトルで識別することができる。LPVIは、2D波速度マップ（例えば、位相速度マップ）を正確に再構築し、アーチファクトなしで封入体と周囲の背景組織との間に良好なコントラストを提供することができる。

【0014】

位相速度イメージング

ここで図1を参照すると、イメージングシステムを使用する位相速度イメージングのための例示的な方法のステップを説明するものとしてフローチャートが示されている。波動データ  $v_m(m, n)$  は、ステップ102でコンピュータシステムによってアクセスされ、次いで、要望または必要に応じて、ステップ104で  $q$  個の異なる成分に任意選択的に方向的にフィルタリングされる。例えば、波動データが、複数の波ソースが単一の取得で誘導される取得方式を使用して取得される場合（例えば、複数の異なるプッシュビームまたは他の波ソースを使用することによって）、方向性フィルタリングは、反射と屈折による波干渉を有利に低減させることができる。追加的または代替的に、波数フィルタリングはまた、任意選択的なプロセスブロック106に示されるように、波動データに適用され得る。

【0015】

波動データへのアクセスには、メモリまたは他のデータストレージデバイスもしくは媒体から波動データを検索することを含めることができる。他の例では、波動データへのアクセスは、イメージングシステムでそのようなデータを取得すること、および波動データを、イメージングシステムの一部であり得るコンピュータシステムに通信または他の方法で転送することを含むことができる。イメージングシステムは、超音波システム、光イメージングシステム（例えば、光コヒーレンストモグラフィシステム）、MRIシステム（例えば、磁気共鳴エラストグラフィ技術を使用することによる）、または伝播する機械的

波（例えば、せん断波、誘導波、その他の機械的波）をイメージングするのに適した他の任意のイメージングシステムとすることができる。

【0016】

波動データは、せん断波動データ、誘導波動データなどの機械的波動データであり得、粒子変位、速度、加速度、またはそれらの組み合わせを示し得る。波動データは、3D波動データ（例えば、2つの空間次元、1つの時間次元）または4D波動データ（例えば、3つの空間次元、1つの時間次元）であり得る。3D波動データ（例えば、2つの空間次元および1つの時間次元）を処理することに関して以下に方法を説明するが、方法は、4D波動データ（例えば、3つの空間次元、1つの時間次元）を入力として受け取るように容易に拡張できることが当業者によって理解されるであろう。

10

【0017】

次に、異なる位相速度推定アルゴリズムをステップ108で採用して、位相速度データを計算またはその他の方法で生成することができ、これには、横方向、軸方向、および仰角方向の位相速度成分、すなわち、 $v_{x, DF, q}(m, n, f)$ 、 $v_{z, DF, q}(m, n, f)$ 、および $v_{z, DF, q}(m, n, f)$ を計算することが含まれ得る。このステップは、1つの周波数または選択された周波数のセット（例えば、周波数帯域）を分離し得る。概して、選択された周波数を上げると、位相速度をより均一にすることができるという意味で、かつ封入体の形状をより正確に表すことができるので、再構築された位相速度画像の品質を向上させ得る。さらに、波速度（例えば、せん断波速度）の大きさは、周波数の増加とともに増加し、これにより、より良好なコントラストを得ることができる。再構築された位相速度画像の空間解像度は、より高い周波数でより短い空間波長によって決定される。これは、小さな封入体を高いコントラストで解像するのに有利である。場合によっては、単一の周波数を使用すると、適正な信号対雑音比が得られないことがある。周波数帯域を使用すると、その全体的な空間波長を維持できるが、信号対雑音比を向上させることができる。

20

【0018】

いくつかの実装形態では、 $p$ 個のピクセルの移動パッチを使用して位相速度を計算することができる。位相速度推定アルゴリズムは、ハードウェアプロセッサおよびメモリに実装でき、位相勾配（「PG」）アルゴリズム、2次元フーリエ変換アルゴリズム、2点連続ウェーブレット（「2P-CWT」）アルゴリズム、複数次信号分類（「MUSIC」）アルゴリズム、LPVIアルゴリズム、または他の適切な位相速度推定アルゴリズムを含むことができる。

30

【0019】

個々の位相速度成分が典型的なパッチ $p$ で推定された後、ステップ110で平均化するためにウィンドウを使用することができる。平均化は、R. S. AnderssenおよびM. Heglandによる「For numerical differentiation, dimensionality can be a blessing!」、Mathematics of Computation、1999; 68(227): 1121-1141、P. Songらによる「Fast shear compound imaging using robust 2-D shear wave speed calculation and multi-directional filtering」、Ultrasound Med. Biol.、2014; 40: 1343-1355、および米国特許第9,622,711号、にて説明された方法を使用したAnderssen-Hegland平均化とすることができ、これらは参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

40

【0020】

2D-処理ウィンドウにこのアプローチを使用して、中心画素 $V(m, n)$ での最終的な波速度 $V$ を、次の式で $V_x$ および $V_z$ を計算し、次いで式(1)および(2)のこれらのマップを使用することによって得ることができる。

50

【数 1】

$$V_X(m, n) = \sum_{i=m-h'}^{m+h'} \sum_{j=n-h'}^{n+h'} \left\{ V_X(i, j) \cdot \frac{\frac{CC_X(i, j)^2}{r(i, j)}}{\sum_{i=m-h'}^{m+h'} \sum_{j=n-h'}^{n+h'} \frac{CC_X(i, j)^2}{r(i, j)}} \right\}, \quad (1);$$

【数 2】

$$V_Z(m, n) = \sum_{i=m-h'}^{m+h'} \sum_{j=n-h'}^{n+h'} \left\{ V_Z(i, j) \cdot \frac{\frac{CC_Z(i, j)^2}{r(i, j)}}{\sum_{i=m-h'}^{m+h'} \sum_{j=n-h'}^{n+h'} \frac{CC_Z(i, j)^2}{r(i, j)}} \right\}, \quad (2); \quad 10$$

【0021】

式中、 $h'$  および  $r(i, j)$  は次のように定義される。

【数 3】

$$h' = \frac{w-p}{2},$$

20

$$r(i, j) = \begin{cases} 1, & i=m \text{ および } j=n \\ \sqrt{(i-m)^2 + (j-n)^2}, & \text{それ以外} \end{cases},$$

【0022】

ならびに  $m$  はピクセルの横方向の寸法であり、 $n$  はピクセルの軸方向の寸法であり、 $CC_x$  および  $CC_z$  は  $x$  方向および  $z$  方向に沿った正規化された相互相関係数である。

【0023】

位相速度成分 ( $V_{X, AH, DF, q}(m, n, f)$ 、 $V_{Z, AH, DF, q}(m, n, f)$ 、 $V_{Y, AH, DF, q}(m, n, f)$ ) を、ステップ 112 に示すように、2次元または3次元のいずれかで組み合わせることができる。一例として、位相速度成分は次の方程式と組み合わせることができる。

【数 4】

$$V_{DF, q}(m, n, f) = \frac{V_{X, AH, DF, q}(m, n, f) V_{Z, AH, DF, q}(m, n, f)}{\sqrt{V_{X, AH, DF, q}^2(m, n, f) + V_{Z, AH, DF, q}^2(m, n, f)}} \quad (3);$$

40

【数 5】

$$V_{DF, q}(m, n, f) = \frac{V_{X, AH, DF, q}(m, n, f) V_{Z, AH, DF, q}(m, n, f) V_{Y, AH, DF, q}(m, n, f)}{\sqrt{V_{X, AH, DF, q}^2(m, n, f) + V_{Z, AH, DF, q}^2(m, n, f) + V_{Y, AH, DF, q}^2(m, n, f)}} \quad (4).$$

【0024】

波動データが方向性フィルタリングされた場合、方向性フィルタリングされた成分は、ステップ 114 で組み合わせられて、位相速度画像を生成することができる。一例として、方

50

向性フィルタリングされた成分は、重み  $b_q(m, n)$  の加重和を使用して組み合わせることができる。

【数6】

$$V(m, n, f) = \sum_{q=1}^Q b_q(m, n) V_{DF,q}(m, n, f) \quad (5)$$

【0025】

上述の方法は、さまざまな方法や用途で使用できる位相速度画像を提供する。位相速度画像の利点の1つは、既知の周波数で、または既知の周波数帯域を使用して再構築できることであり、これにより、標準化が可能になる。

【0026】

粘弾性材料の場合、位相速度は周波数または分散によって変化する。位相速度分散は、Kelvin-Voigt、Maxwell、Generalized Maxwell、Zenerなどのレオロジーモデル、または粘弾性パラメータと貯蔵および損失係数とを推定するための分数モデルにフィットさせることができる。結果として、ステップ314に示されるように、材料特性マップ（例えば、粘弾性パラメータマップ、機械的パラメータマップ）を任意選択で生成することができる。これらのパラメータは、軟組織やその他の材料を特徴付ける追加の方法を提供する。

【0027】

本開示で説明される位相速度画像の再構築は、変動の係数（すなわち、領域内の標準偏差に対する平均の比）、領域内の標準偏差または分散、2つの異なる領域間のコントラスト、2つの異なる領域間のコントラスト対ノイズ比（「CNR」）、および解像度などの異なるメトリックを使用して最適化することができる。反復のまたは誘導された方法で変更することができる処理パラメータには、パッチサイズ  $p$ 、ウィンドウサイズ  $w$ 、周波数もしくは周波数帯域、またはこれらのパラメータの組み合わせが含まれる。最適化プロセスは、反復のプロセスまたは誘導されたプロセスで実行して、メトリック（例えば、コントラスト、CNR）を最大化するか、またはメトリック（例えば、変動の係数、標準偏差、分散、解像度）を最小化することができる。最適化プロセスを初期化するために、領域または封入体のサイズを使用することができる。さらに、群速度画像とせん断波動の中心周波数の調査とにより、周波数の選択およびサイズ処理パラメータを導くことができる。

【0028】

Anderssen-Hegland平均化と組み合わせて、位相速度を測定するためのさまざまな1次元の方法を2次元および/または3次元に適応させることで、横方向の進行波の波速度だけでなく、2Dまたは3Dでの真の波速度の測定を提供する。さらに、Anderssen-Hegland平均化は、再構築に一定レベルのロバスト性を提供することができる。

【0029】

いくつかの実装形態では、本開示で説明される方法は、同じボリュームの異なる部分でせん断波を生成して、その結果得られる位相速度画像を組み合わせるときに取得される波動データの異なるセットに実装することができる。例えば、ボリュームの片側（例えば、左側）でプッシュビーム励起が生成されたとき（例えば、超音波トランスデューサの左側を使用してプッシュビーム励起を生成する）に取得された波動データから第1の位相速度マップを生成することができる。次に、ボリュームの別の側（例えば、右側）でプッシュビーム励起が生成されたとき（例えば、超音波トランスデューサの右側を使用してプッシュビーム励起を生成する）に取得された波動データから第2の位相速度マップを生成することができる。次に、これらの第1および第2の位相速度画像は、2つの画像を平均化する

10

20

30

40

50



ことなどによって組み合わせることができる。

【0030】

位相勾配位相速度推定

上記のように、いくつかの実装形態では、位相速度推定アルゴリズムは、位相勾配（「PG」）アルゴリズムとすることができる。このような方法では、位相勾配計算を使用して、パッチ p として定義された局所領域の位相速度をピクセル単位または空間位置単位で再構築する。位相勾配計算の位相値を見つけるために、各位置での波動の各記録の時間次元で 1 次元フーリエ変換が実行される。各位置でのおよび各周波数または周波数セットの位相値は、後で位相勾配を計算する際に使用するために抽出される。対象となる周波数ごとに、位相勾配

10

【数7】

$(\phi_2 - \phi_1)$  もしくは  $\Delta\phi$

は、パッチのエンドポイント ( $x_2 - x_1$  または  $\Delta x$ ) を使用して、またはパッチ内のすべてのデータポイントの線形回帰（例えば、線形曲線フィット）を実行して、計算され、位相速度の局所推定を提供する。

【数8】

20

$$V(f) = \frac{2\pi f(x_2 - x_1)}{\phi_2 - \phi_1} = 2\pi f \frac{\Delta x}{\Delta\phi} \quad (6).$$

【0031】

2次元フーリエ変換（2DFT）

上記のように、いくつかの実装形態では、位相速度推定アルゴリズムは、2次元フーリエ変換（「2DFT」）アルゴリズムとすることができる。このような方法では、時空間データの 2D フーリエ変換  $v_m(x, t)$  が、p 個のピクセルを含む特定の範囲にわたって計算される。空間方向の長さは、 $x_T = p x_p$  であり、式中、 $x_p$  はピクセル幅である。

30

2D フーリエ変換を使用すると、空間周波数および時間周波数空間  $V(k, f)$  での表現が提供される。各周波数について、ピークは、大きさスペクトル  $|V_m(k, \omega)|$  で識別される。ピークの位置は、以下を使用して位相速度を計算するために使用される。

【数9】

$$V(f) = \frac{2\pi f}{\frac{2\pi}{\lambda}} = f\lambda \quad (7).$$

40

【0032】

位相速度を計算する位置も、各周波数に対して行ったのと同様の方法で、各波数 k に対して検出することができる。これらの方法は、M. Bernal らによる「Material property estimation for tubes and arteries using ultrasound radiation force and analysis of propagating modes」、J. Acoust. Soc. Am.、2011; 129: 1344-1354 でさらに説明されており、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0033】

p 個のピクセルのみの短いセグメントを使用する場合、ゼロパディングを実行する必要が

50

ある場合がある。さらに、波伝播モードの識別は、P. Kijankaらによる「Robust phase velocity dispersion estimation of viscoelastic materials used for medical applications based on the Multiple Signal Classification Method」、IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control、2018; 65: 423-439に説明されているように、勾配ベースの方法論を使用し、かつデータポイントに多項式曲線をフィットさせて分散曲線のよりロバストな推定を提供することによって使用することができ、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0034】

10

2点連続ウェーブレット法 (2P-CWT)

上記のように、いくつかの実装形態では、位相速度推定アルゴリズムは、2点連続ウェーブレット (「2P-CWT」) アルゴリズムとすることができる。このような方法では、モレットウェーブレットなどのウェーブレット  $g(t)$  は、 $T_0$  を中心周期としたガウス包絡線によって変調された高調波から構成される。

【数10】

$$g(t) = \exp\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2}\right) \exp\left(\frac{i2\pi t}{T_0}\right) \quad (8) .$$

20

【0035】

マザーウェーブレット  $g(t)$  は、ドーターウェーブレットとして  $\alpha$  で拡張し、 $\tau$  で遅延させることができる。

【数11】

$$g\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right) = \exp\left(\frac{-(t-\tau)^2}{2(\sigma\alpha)^2}\right) \exp\left(\frac{i2\pi(t-\tau)}{\alpha T_0}\right) \quad (9) .$$

30

【0036】

ウェーブレット変換は次のように定義される。

【数12】

$$W(\alpha, \tau) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \int_{-\infty}^{\infty} g^*\left(\frac{t-\tau}{\alpha}\right) S(t) dt \quad (10) ;$$

【0037】

40

式中、「\*」は複素共役を示す。p個の空間位置の所与の分離について、位相速度は指定された周波数のセットで推定することができる。次元  $x_p$  の p 個のピクセルで分離された異なる空間位置にある2つの信号について、以下のように、連続ウェーブレットを計算して、相関を計算して、アンラップされた位相からの特定の周波数での位相シフト

【数13】

$\Delta\phi$

50



を求める。

【数14】

$$V(f) = \frac{f \cdot p \cdot x_p}{\Delta \phi} \quad (11)$$

【0038】

このような方法のさらなる詳細は、Q. Wuらによる「Measurement of interstation phase velocity by wavelet transformation」、Earthquake Science、2009; 22: 425-429に説明されている。

【0039】

多重信号分類 (Multiple Signal Classification: MUSIC)

上記のように、いくつかの実装形態では、位相速度推定アルゴリズムは、多重信号分類 (「MUSIC」) アルゴリズムとすることができる。このような方法では、位相速度は、次元  $x_p$  の  $p$  個の画素のセグメントについて推定することができる。位相速度は、勾配ベースの方法論を使用して、多項式曲線をデータポイントにフィットさせて、分散曲線のよりロバストな推定を提供することによって識別することができる。例示的なMUSICアルゴリズムは、特許出願第PCT/US2018/036050号に説明されており、参照によりその全体が本明細書に組み込まれ、およびP. Kijankaらによる「Robust phase velocity dispersion estimation of viscoelastic materials used for medical applications based on the Multiple Signal Classification Method」、IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control、2018; 65: 423-439に説明されている。

【0040】

局所位相速度イメージング (LPVI)

上記のように、いくつかの実装形態では、位相速度推定アルゴリズムは、局所位相速度イメージング (「LPVI」) アルゴリズムとすることができる。そのような場合、図1に関して説明された方法は、図2に示すように変更することができ、図2は、超音波システムおよびLPVIアルゴリズムを使用する位相速度イメージングのための例示的な方法のステップを説明するフローチャートを示している。LPVI法は、波数フィルタリングの有無にかかわらず、位相速度画像を取得するために使用することができる。Anderssen-Hegland平均化は、LPVIステップの追加ステップとして使用することができる。

【0041】

概して、波動データ  $v_m(m, n)$  は、ステップ202でコンピュータシステムによってアクセスされ、次いで、要望または必要に応じて、ステップ204で  $q$  個の異なる成分に任意選択的に方向的にフィルタリングされる。追加的または代替的に、波数フィルタリングはまた、任意選択的なプロセスブロック206に示されるように、波動データに適用され得る。波動データへのアクセスには、メモリまたは他のデータストレージデバイスもしくは媒体から波動データを検索することを含めることができる。他の例では、波動データへのアクセスは、イメージングシステムでそのようなデータを取得すること、および波動データを、イメージングシステムの一部であり得るコンピュータシステムに通信または他の方法で転送することを含むことができる。イメージングシステムは、超音波システム、光イメージングシステム、MRIシステム、または伝播する機械的波 (例えば、せん断波、誘導波、他の機械的波) をイメージングするのに適した他の任意のイメージングシステムとすることができる。

## 【0042】

波動データは、せん断波動データ、誘導波動データなどの機械的波動データであり得、粒子変位、速度、加速度、またはそれらの組み合わせを示し得る。波動データは、3D波動データ（例えば、2つの空間次元、1つの時間次元）または4D波動データ（例えば、3つの空間次元、1つの時間次元）であり得る。3D波動データを処理することに関して以下に方法を説明するが、この方法は、4D波動データを入力として受け取るように容易に拡張できることが当業者には理解されるであろう。

## 【0043】

次に、LPVIアルゴリズムがステップ208で採用されて、異なる方向性フィルタリングされた成分の位相速度を計算することなどによって、位相速度データを計算またはそれ以外の方法で生成する。例えば、波動データの方向性フィルタリングされた成分をLPVIアルゴリズムに入力して、位相速度データとして出力を生成することができる。このステップは、1つの周波数または選択された周波数のセット（例えば、周波数帯域）を分離し得る。次に、方向性フィルタリングされた成分をステップ210で組み合わせて、位相速度画像を生成することができる。例えば、方向性フィルタリングされた成分は、式(5)に従って組み合わせることができる。

## 【0044】

上記のように、LPVIアルゴリズムは、時空間領域と比較して波モードおよび波数分布に関する追加情報が得られ得る「k空間」（周波数-波数）領域で動作する。概して、時空間粒子運動 $v(z; x; t)$ のk空間領域への変換は、3次元(3D)フーリエ変換( $F_{3D}$ )を使用して達成される。

## 【数15】

$$V(k_z, k_x, f) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v(z, x, t) e^{i(2\pi ft - k_z z - k_x x)} dz dk dt \quad (12);$$

## 【0045】

式中、 $V(k_z, k_x, f)$ は、周波数と波数ベクトルの $k_z$ および $k_x$ によって得られた3次元k空間表現である。

## 【0046】

周波数 $f$ は、時間領域に対応するものであるが、波数 $k_z$ および $k_x$ は、それぞれ空間次元 $z$ および $x$ に対応するものである。得られたスペクトルデータ $V(k_z, k_x, f)$ を用いて、波数スペクトルは、特定の周波数 $f_0$ について取得することができる。

## 【0047】

ここで図3を参照すると、LPVIアルゴリズムを使用して位相速度データを生成するための例示的な方法のステップを説明するものとしてフローチャートが示されている。LPVIでは、時空間粒子運動 $v(z, x, t)$ の変換を段階的に実行することができる。LPVIアプローチは、単一の周波数または選択された周波数帯域の局所的な波速度（例えば、せん断波速度、誘導波速度）を再構築する。

## 【0048】

この方法は、ステップ302に示されるように、波動データを周波数領域に変換することから始まる。場合によっては、波動データ（例えば、時空間粒子運動データ $v(z, x, t)$ ）を周波数領域に変換することは、次のように1次元フーリエ変換( $F_{1D}$ )を使用して実施することができる。

10

20

30

40

50

【数 1 6】

$$\tilde{V}(z, x, f) = \int_{-\infty}^{\infty} v(z, x, t) e^{i2\pi ft} dt \quad (13) ;$$

【0049】

式中、

【数 1 7】

$$\tilde{V}(z, x, f)$$

10

は、周波数領域で結果として得られる粒子速度運動である。このステップでは、  
【数 1 8】

$$\tilde{V}(z, x, f)$$

20

の空間領域は変更されないままである。

【0050】

他の例では、波動データは、最初に、周波数-波数領域に変換され（例えば、3Dフーリエ変換を使用して）、結果として得られるスペクトルデータに方向性フィルタリング、バンドパスフィルタリング、またはその両方が行われる。

【0051】

方向性フィルタリングの一例として、方向性フィルタを2D波数領域に適用して、左から右（「LR」）および右から左（「RL」）の伝播波成分などの方向性成分を抽出し、波干渉を取り除くことができる。軸方向に伝播する波成分も、 $k_z$ 方向の滑らかなロールオフを有するウェッジフィルタを用いる方向性フィルタにより低減することができる。

30

【0052】

バンドパスフィルタリングの一例として、一次バターワースバンドパスフィルタまたは他の適切なバンドパスフィルタを各フレームに適用して、指定された範囲外の波速度を表す空間波長を除去することができる。例えば、バンドパスフィルタは、0.5~1.0 m/sの所定の範囲外の波速度を表す空間波長を除去するように設計することができる。あるいは、バンドパスフィルタの限界は、フーリエ変換（例えば、2DFFT）で決定される位相速度曲線などの位相速度曲線に従うように選択することができる。例えば、その限界は、 $c_B(f) - c_L \sim c_B(f) + c_L$ となるように、分散曲線 $C_B(f)$ に $\pm c_L$ の範囲を与えることによって選択することができる。

40

【0053】

このフィルタリングプロセスは、粒子運動の周波数-波数領域

【数 1 9】

$$\tilde{V}(k_z, k_x, f)$$

のスペクトルと次の形のフィルタ関数との積として実施することができる。

50

【数 2 0】

$$\tilde{V}_w(k_z, k_x, f) = \tilde{V}(k_z, k_x, f) \cdot B_k(k_z, k_x) \quad (14) ;$$

【0054】

式中、 $B_k(k_z, k_x)$  は、 $k_z - k_x$  領域の 2 次元フィルタを表し、

【数 2 1】

$$\tilde{V}_w(k_z, k_x, f)$$

は、フィルタリングされたスペクトルである。これらの実装形態では、次に、周波数領域データは、逆 2D フーリエ変換を使用して、フィルタリングされたスペクトルを周波数空間領域に変換し直すことによって生成され、その結果、

【数 2 2】

$$\tilde{V}_w(z, x, f)$$

を得る。

【0055】

次に、特定の周波数または周波数帯域のスペクトルデータが、ステップ 304 に示されるように、処理のために選択される。例えば、取得したスペクトルデータ

【数 2 3】

$$\tilde{V}(z, x, f) \text{ または } \tilde{V}_w(z, x, f)$$

を使用して、波動場データを、特定の周波数  $f_0$ 、または特定の周波数のセットについて取得することができる。

【0056】

次に、空間領域での短空間 2 次元（「2D」）フーリエ変換（ $F_{2D}$ ）が、ステップ 306 で示されるように、ウィンドウ処理された波動場データ

【数 2 4】

$$\tilde{V}^*(\bar{z}, \bar{x}, f_0) \text{ または } \tilde{V}_w^*(\bar{z}, \bar{x}, f_0)$$

を生成するために、選択されたスペクトルデータ

【数 2 5】

$$\tilde{V}(z, x, f_0) \text{ または } \tilde{V}_w(z, x, f_0)$$

に対して実行される。特定の周波数のセットを扱う場合、短空間 2DFT を特定の周波数のセットに適用して、並列計算を使用した計算を高速化することができる。これらの例では、複数の位相速度画像を再構築するために特定の周波数ごとに、短空間 2DFT を個別

10

20

30

40

50

に繰り返す必要がなく、それにより、計算時間が大幅に短縮される。

【0057】

いくつかの実装形態では、 $x$ および $z$ 方向の各ピクセルに対して短空間2DFTを繰り返すことができる。他のいくつかの実装形態では、短空間2DFTは、 $x$ および $z$ 方向にそれぞれ $n$ 番目または $m$ 番目のピクセルごとにまばらな方法で繰り返すこともできる。短空間2DFTがこのようにまばらな方法で実施される場合、欠落しているピクセルは線形補間または他の適切なステップを使用して再構築することができる。一例として、線形補間ステップは、2D畳み込み法を適用することによって実行することができる。

【0058】

概して、選択したスペクトルデータに対して短空間2DFTを実行することは、フーリエ変換前に

10

【数26】

$$\tilde{V}(z, x, f_0)$$

波動場を空間次元上で小さなセグメントに分割することと、空間情報を保持することと、を含む。1つの例示的な実装形態では、

【数27】

20

$$\tilde{V}(z, x, f_0)$$

波動場は、空間内の小さな領域に対してのみ非ゼロである一方で周波数領域全体で一定である、ウィンドウ関数

【数28】

30

$$W_{z,x}(\bar{z}, \bar{x})$$

で乗算することができる。一例として、このウィンドウ処理プロセスは次のように説明することができる。

【数29】

$$\tilde{V}^*(\bar{z}, \bar{x}, f_0) = \tilde{V}(z, x, f_0) \cdot W_{z,x}(\bar{z}, \bar{x}) \quad (15)$$

40

【0059】

一例として、ウィンドウ関数は、次のように定義できる2Dコサインテーパウィンドウ（すなわち、Tukeyウィンドウ）とすることができる。

【数30】

$$W_{z,x}(\bar{z}, \bar{x}) = w_z(\bar{z}) \cdot w_x(\bar{x}) \quad (16) ;$$

50



【0060】

式中、

【数31】

$$w_{\xi}(\bar{\xi})$$

は、汎用座標  $\xi$  に沿って適用される 1D ウィンドウを定義する。1D コサインテーパウィンドウは、次の形の 2 つの空間方向に使用される。

10

【数32】

$$w_{\xi}(\bar{\xi}) = \begin{cases} 0, & |\xi - \xi_0| > h \\ 1, & 0 < |\xi - \xi_0| < \alpha h \\ 0.5 \left( 1 + \cos \left( \frac{\pi(\xi - \xi_0 - \alpha h)}{2(1 - \alpha)h} \right) \right), & \alpha h < |\xi - \xi_0| < h \end{cases} \quad (17);$$

20

【0061】

式中、 $\xi_0$  および  $h$  は、それぞれ、ウィンドウの中心および幅を示す。パラメータ

【数33】

$$\bar{\xi}$$

30

は、ウィンドウ処理された部分の保持された空間ベクトルである。パラメータ  $\alpha$  は、ウィンドウの形状を定義する。特に、 $\alpha = 1$  の場合は、ウィンドウは、長方形のウィンドウになり、 $\alpha = 0$  の場合は、Hanning ウィンドウになる。Tukey ウィンドウは、ウィンドウの縁の近くで情報が失われるのを回避するのに役立つ柔軟性を提供するので便利である。同時に、これにより、鋭い長方形のウィンドウに関連する頭切れの歪みとリーケージ誤差が減少する。一例として、空間領域全体で  $\alpha = 0.25$  のテーパ幅を使用することができるが、他のテーパ幅も使用することができる。

【0062】

概して、空間ウィンドウサイズを大きくすると、平均位相速度を低下させ得る。この挙動は、封入体の縁での平滑化によって引き起こされる。より大きな空間ウィンドウが使用されると、位相速度が大幅に平滑化される。したがって、空間ウィンドウサイズが小さいほど、波速度推定の空間解像度が向上する。ただし、小さすぎる空間ウィンドウを選択すると、ぼやけた形でノイズの多い画像が得られる。したがって、空間ウィンドウサイズの選択は、評価される封入体サイズに応じて選択することができる。1つのアプローチは、画像再構築のために空間ウィンドウサイズを徐々に大きくすることである。このアプローチを使用して、縁の過度の平坦化とぼやけを回避するために、調査対象の封入体よりも小さくする必要がある、最適なウィンドウサイズを選択することができる。

40

【0063】

空間ウィンドウが空間次元に沿ってスライドすると、ウィンドウ処理された波動場領域

50

【数 3 4】

$$\tilde{V}^*(\bar{z}, \bar{x}, f_0) \text{ または } \tilde{V}_w^*(\bar{z}, \bar{x}, f_0)$$

が生成される。次に、ウィンドウ処理された波動場データは、ステップ 3 0 8 に示されるように、空間次元に沿ってフーリエ変換される。上記のように、いくつかの実装形態では、ウィンドウ処理された波動場データに 2 D フーリエ変換が適用され、結果として、特定の周波数  $f_0$  の 2 D 波数 ( $k_z$ ,  $k_x$ ) スペクトルのセットが得られ、次のように数学的に与えられ得る。

10

【数 3 5】

$$\tilde{\tilde{V}}(k_z, k_x, f_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{V}^*(z, x, f_0) e^{-i(k_z z + k_x x)} dz dx \quad (18) .$$

【0 0 6 4】

結果として得られるスペクトル

【数 3 6】

20

$$\tilde{\tilde{V}}(k_z, k_x, f_0)$$

は、空間情報が保持されるように、ウィンドウの位置によってインデックスが付けられる。

【0 0 6 5】

他の実装形態では、1 D フーリエ変換を空間次元  $z$  および  $x$  に沿って個別に適用でき、結果として、特定の周波数  $f_0$  の 1 D 波数スペクトルのセットが得られる。これは、次のように、

30

【数 3 7】

$$\tilde{\tilde{V}}_z(k_z, 1:\bar{x}_N, f_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{V}^*(\bar{z}, 1:\bar{x}_N, f_0) \cdot e^{-i(k_z \bar{z})} dz \quad (19) ;$$

【0 0 6 6】

$z$  方向について表すことができ、

【数 3 8】

40

$$\tilde{\tilde{V}}_x(1:\bar{z}_N, k_x, f_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{V}^*(1:\bar{z}_N, \bar{x}, f_0) \cdot e^{-i(k_x \bar{x})} dx \quad (20) ;$$

【0 0 6 7】

$x$  方向について表すことができる。本開示の他の例のように、方向性および／またはバンドパスフィルタリングが波動データに適用される場合、

50

【数 3 9】

$$\tilde{V}^*$$

は、

【数 4 0】

$$\tilde{V}_w^*$$

10

とすることもできる。式 (19) および (20) において、Nは、z 方向および x 方向の走査線の数である。結果として得られるスペクトルは、各方向のベクトルに格納することができる。2D フーリエ変換の代わりに、個別の 1D フーリエ変換を使用して波数スペクトルを生成すると、計算時間が短縮されるという利点がある。

【0068】

次に、ステップ 310 に示されるように、周波数  $f_0$  に対する波動の位相速度の空間分布が計算される。波数スペクトルデータが 2D フーリエ変換を使用して生成されるものの例

20

においては、

【数 4 1】

$$\tilde{V}(k_z, k_x, f_0)$$

スペクトルから、すべての空間部分について、位相速度は次のように計算することができる。

【数 4 2】

30

$$c_{ph(z,x)}(f_0) = \frac{2\pi f_0}{|\mathbf{k}|} \quad (21) ;$$

【0069】

式中、

【数 4 3】

$$|\mathbf{k}|$$

40

は、次のように記述される波数の大きさである。

【数 4 4】

$$|\mathbf{k}| = \sqrt{k_{(z:m)}^2 + k_{(x:m)}^2} \quad (22) ;$$

【0070】

50



および、 $k_{(z:m)}$  と  $k_{(x:m)}$  は、次を使用して求められた引数である。

【数 4 5】

$$\left[ k_{(z:m)}, k_{(x:m)} \right] = \arg \max_{(k_z, k_x)} \left\{ \tilde{V}(k_z, k_x, f_0) \right\} \quad (23) .$$

【0071】

あるいは、波数スペクトルデータが個別の 1 D フーリエ変換を使用して生成されるものの例では、周波数  $f_0$  に対する波動の位相速度の空間分布は、次のように、すべての空間位置について、波数スペクトル

10

【数 4 6】

$$\tilde{V}_z(k_z, 1:\bar{x}_N, f_0) \text{ および } \tilde{V}_x(1:\bar{z}_N, k_x, f_0)$$

から計算することができる。

【数 4 7】

$$c_{ph(z,x)}(f_0) = \frac{2\pi f_0}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\mathbf{k}|_i} \quad (24) ;$$

20

【0072】

ここで式中、波数の大きさは次のように計算される。

【数 4 8】

$$|\mathbf{k}|_{(1:N)} = \sqrt{k_{z(1:N)}^2 + k_{x(1:N)}^2} \quad (25) ;$$

30

【0073】

および式中、次のようになる。

【数 4 9】

$$k_{z(1:N)} = \arg \max_{k_z} \left\{ \tilde{V}_z(k_z, 1:\bar{x}_N, f_0) \right\} \quad (26) ;$$

【数 5 0】

40

$$k_{x(1:N)} = \arg \max_{k_x} \left\{ \tilde{V}_x(1:\bar{z}_N, k_x, f_0) \right\} \quad (27) .$$

【0074】

式 (21) または (24) に基づいて、312 に示されるように、位相波速度画像の全視野 (「FOV」) を再構築することができる。上記のように、周波数  $f_0$  は、単一の周波数値、または  $f_0$  を中心とする周波数帯域  $f_{\text{band}}$ 、すなわち、 $(f_0 - f_b, \dots, f$

50

$f_0, \dots, f_0 + f_b$ ) とすることができる。周波数帯域を使用する場合、位相速度は次の式で定義することができる。

【数 5 1】

$$c_{ph(z,x)}(f_{band}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_{ph(z,x)}(f_i) \quad (28);$$

【0075】

式中、 $f_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) は、 $f_0$  を中心とする周波数帯域である。したがって、式 (28) は、選択した周波数帯域にわたる各位置での位相波速度画像を表すことができる。

10

【0076】

これらの方法の例は、3D 波動データ (例えば、2つの空間次元、1つの時間次元) の入力に関して説明してきた。上記のように、この方法は、4D 波動データ (例えば、3つの空間次元、1つの時間次元) で使用するように拡張することもできる。これらの場合、上述の処理を拡張して、 $y$  軸 ( $k_y$  軸) に沿ったデータを含めることができる。

【0077】

一般的な問題として、粘弾性材料 (例えば、封入体) の位相速度は、周波数によって変化し、より高い周波数でプラトーになることが多い。例えば、封入体の位相速度は、850 Hz を超えるとプラトーになり得る。したがって、封入体または他の粘弾性材料の位相速度イメージングの場合、周波数の広い帯域幅が有利であり得る。ほとんどの場合、単一の音響放射力プッシュが使用され、これにより、媒体に応じて異なる周波数の波を提供することができる。ただし、波速度やその他の機械的特性の正確な測定値を取得するには、より高い周波数で波を励起する必要がある。

20

【0078】

本開示で説明されている位相速度イメージング技術を使用して、複数の周波数で画像を再構築し、定義された周波数範囲にわたって波速度のプラトーに到達したかどうかを判断することができる。これに到達していない場合は、さまざまな手法を利用して、伝播する波 (例えば、せん断波、誘導波、その他の機械的波) の周波数成分を増やすことができる。音響放射力プッシュビームは、その空間分布 (例えば、使用される要素の数および/または焦点位置を変更することによって) または時間的適用 (例えば、特定の周波数で繰り返されるプッシュを使用することによって) において変更することができる。測定の精度を向上させるために、画像再構築と波動取得との間のフィードバックを実行して、結果として得られる波動の帯域幅を最適化することができる。このようにして、本開示で説明される位相速度イメージング技術を使用して、データの品質を評価し、所与のデータ取得からの機械的特性の推定の信頼性を評価することができる。訂正された取得設定を、この分析に応じて生成し、所与のイメージングセッション内の後続の取得に使用することができる。

30

【0079】

所与の周波数範囲にわたる局所波速度画像に基づいて、機械的特性マップを生成することができる。例として、弾性および粘度のマップは、局所的なせん断波速度画像から生成することができる。例えば、KVレオロジー粘弾性モデルを使用して機械的特性マップを生成することができる。KVモデルは、ダッシュポットとスプリングを並列に配置したものからなる。KVモデルの応力-ひずみ関係は、次の形で表される。

40

【数 5 2】

$$\sigma = \left( \mu_1 - \mu_2 \frac{\partial}{\partial t} \right) \varepsilon \quad (29);$$

50

【0080】

式中、応力  $\sigma$  は、せん断弾性率  $\mu_1$ 、せん断粘度  $\mu_2$ 、および時間微分

【数53】

$$\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)$$

によって、ひずみ  $\varepsilon$  に関連する。この関係を波動方程式に挿入すると、KVモデルの1次元ヘルムホルツ方程式が得られ得る。次に、複素波ベクトルから、KVモデルのせん断波速度は、次のように計算することができる。

10

【数54】

$$V_s(\omega) = \sqrt{\frac{2(\mu_1^2 + \omega^2 \mu_2^2)}{\rho(\mu_1 + \sqrt{\mu_1^2 + \omega^2 \mu_2^2})}} \quad (30);$$

【0081】

式中、 $\rho$  は密度を表し、 $\omega$  は角周波数 ( $\omega = 2\pi f$ ) である。

20

【0082】

したがって、例として、弾性および粘度パラメータは、非線形最小二乗問題を使用するなどによって、式(30)の曲線を周波数領域にわたって推定することにより、各ピクセルについて局所的に推定することができる。例えば、次の非線形最小二乗問題を解くことができる。

【数55】

$$[\mu_1, \mu_2] = \min_{\mu_1, \mu_2} \left\| V_s(z, x, f) - V_{ph}(z, x, f) \right\|_2^2 \quad (31).$$

30

【0083】

例示的なシステム

ここで図4を参照すると、本開示で説明されるシステムおよび方法のいくつかの実施形態による、位相速度画像を生成するためのシステム400の例が示されている。図4に示すように、コンピューティングデバイス450は、超音波イメージングシステム、光イメージングソース、または磁気共鳴イメージングシステムなどの超音波画像ソースであり得る画像ソース402から1つ以上のタイプのデータ（例えば、超音波データ、光イメージングデータ、磁気共鳴イメージングデータ、機械的波データ）を受信することができる。いくつかの実施形態では、コンピューティングデバイス450は、位相速度推定システム404の少なくとも一部を実行して、画像ソース402から受信したデータから位相速度画像を生成することができる。

40

【0084】

追加的または代替的に、いくつかの実施形態では、コンピューティングデバイス450は、通信ネットワーク454を介して、画像ソース402から受信したデータに関する情報をサーバ452に通信することができ、サーバ452は、位相速度推定システム404の少なくとも一部を実行して、画像ソース402から受信したデータから位相速度画像を生成することができる。そのような実施形態では、サーバ452は、位相速度推定システム404の出力を示す情報をコンピューティングデバイス450（および/または任意の他

50

の適切なコンピューティングデバイス)に返して、画像ソース402から受信したデータから位相速度画像を生成することができる。

【0085】

いくつかの実施形態では、コンピューティングデバイス450および/またはサーバ452は、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、スマートフォン、タブレットコンピュータ、ウェアラブルコンピュータ、サーバコンピュータ、物理コンピューティングデバイスによって実行される仮想マシンなどの、任意の適切なコンピューティングデバイスまたはデバイスの組み合わせとすることができる。コンピューティングデバイス450および/またはサーバ452はまた、データから画像を再構築することができる。

【0086】

いくつかの実施形態では、画像ソース402は、超音波イメージングシステム、光イメージングシステム、およびMRIシステム、別のコンピューティングデバイス(例えば、画像データを格納するサーバ)などの、画像データ(例えば、測定データ、測定データから再構築された画像)の任意の適切なソースとすることができる。いくつかの実施形態では、画像ソース402は、コンピューティングデバイス450に対してローカルとすることができる。例えば、画像ソース402は、コンピューティングデバイス450に組み込むことができる(例えば、コンピューティングデバイス450は、画像をキャプチャ、スキャン、および/または格納するためのデバイスの一部として構成することができる)。別の例として、画像ソース402は、ケーブル、直接無線リンクなどによってコンピューティングデバイス450に接続することができる。追加的または代替的に、いくつかの実施形態では、画像ソース402は、コンピューティングデバイス450からローカルおよび/またはリモートに位置することができ、通信ネットワーク(例えば、通信ネットワーク454)を介してコンピューティングデバイス450(および/またはサーバ452)にデータを通信することができる。

【0087】

いくつかの実施形態では、通信ネットワーク454は、任意の適切な通信ネットワークまたは通信ネットワークの組み合わせとすることができる。例えば、通信ネットワーク454には、Wi-Fiネットワーク(1つ以上の無線ルータ、1つ以上のスイッチなどを含むことができる)、ピアツーピアネットワーク(例えば、Bluetoothネットワーク)、セルラーネットワーク(例えば、CDMA、GSM、LTE、LTE Advanced、WiMAXなどの任意の適切な規格に準拠する3Gネットワーク、4Gネットワークなど)、有線ネットワークなどを含めることができる。いくつかの実施形態では、通信ネットワーク108は、ローカルエリアネットワーク、ワイドエリアネットワーク、パブリックネットワーク(例えば、インターネット)、プライベートもしくはセミプライベートネットワーク(例えば、企業もしくは大学のイントラネット)、任意の他の適切なタイプのネットワーク、またはネットワークの任意の適切な組み合わせとすることができる。図4に示される通信リンクはそれぞれ、有線リンク、光ファイバリンク、Wi-Fiリンク、Bluetoothリンク、セルラーリンクなどの任意の適切な通信リンクまたは通信リンクの組み合わせとすることができる。

【0088】

ここで図5を参照すると、本開示で説明されるシステムおよび方法のいくつかの実施形態による、画像ソース402、コンピューティングデバイス450、およびサーバ454を実装するために使用することができるハードウェア500の例が示されている。図5に示すように、いくつかの実施形態では、コンピューティングデバイス450は、プロセッサ502、ディスプレイ504、1つ以上の入力506、1つ以上の通信システム508、および/またはメモリ510を含むことができる。いくつかの実施形態では、プロセッサ502は、中央処理装置(「CPU」)、グラフィックス処理装置(「GPU」)などの任意の適切なハードウェアプロセッサまたはプロセッサの組み合わせとすることができる。いくつかの実施形態では、ディスプレイ504には、コンピュータモニタ、タッチスクリーン、テレビなどの任意の適切なディスプレイデバイスを含めることができる。いくつ

10

20

30

40

50

かの実施形態では、入力506には、キーボード、マウス、タッチスクリーン、マイクロフォンなどの、ユーザ入力を受けるために使用することができる任意の適切な入力デバイスおよび／またはセンサを含めることができる。

【0089】

いくつかの実施形態では、通信システム508には、通信ネットワーク454および／または任意の他の適切な通信ネットワークを介して情報を通信するための任意の適切なハードウェア、ファームウェア、および／またはソフトウェアを含めることができる。例えば、通信システム508には、1つ以上のトランシーバ、1つ以上の通信チップおよび／またはチップセットなどを含めることができる。より特定の例では、通信システム508には、Wi-Fi接続、Bluetooth接続、セルラー接続、イーサネット接続などを確立するために使用することができるハードウェア、ファームウェア、および／またはソフトウェアを含めることができる。

10

【0090】

いくつかの実施形態では、メモリ510には、命令、値、データなどを格納するために使用することができる。例えば、プロセッサ502によって使用されて、ディスプレイ504を使用してコンテンツを提示し、通信システム（複数可）508などを介してサーバ452と通信することなどができ、任意の適切なストレージデバイス（複数可）を含めることができる。メモリ510には、任意の適切な揮発性メモリ、不揮発性メモリ、ストレージ、またはそれらの任意の適切な組み合わせを含めることができる。例えば、メモリ510として、RAM、ROM、EEPROM、1つ以上のフラッシュドライブ、1つ以上のハードディスク、1つ以上のソリッドステートドライブ、1つ以上の光学ドライブなどを挙げることができる。いくつかの実施形態では、メモリ510は、コンピューティングデバイス450の動作を制御するためのコンピュータプログラムをその上に符号化するか、または別様にその中に格納することができる。そのような実施形態では、プロセッサ502は、コンピュータプログラムの少なくとも一部を実行して、コンテンツ（例えば、画像、ユーザインターフェース、グラフィックス、テーブル）を提示し、サーバ452からコンテンツを受信し、サーバ452に情報を送信することなどが可能である。

20

【0091】

いくつかの実施形態では、サーバ452は、プロセッサ512、ディスプレイ514、1つ以上の入力516、1つ以上の通信システム518、および／またはメモリ520を含むことができる。いくつかの実施形態では、プロセッサ512は、CPU、GPUなどの任意の適切なハードウェアプロセッサまたはプロセッサの組み合わせとすることができる。いくつかの実施形態では、ディスプレイ514には、コンピュータモニタ、タッチスクリーン、テレビなどの任意の適切なディスプレイデバイスを含めることができる。いくつかの実施形態では、入力516には、キーボード、マウス、タッチスクリーン、マイクロフォンなどの、ユーザ入力を受けるために使用することができる任意の適切な入力デバイスおよび／またはセンサを含めることができる。

30

【0092】

いくつかの実施形態では、通信システム518には、通信ネットワーク454および／または任意の他の適切な通信ネットワークを介して情報を通信するための任意の適切なハードウェア、ファームウェア、および／またはソフトウェアを含めることができる。例えば、通信システム518として、1つ以上のトランシーバ、1つ以上の通信チップ、および／またはチップセットなどを挙げることができる。より特定の例では、通信システム518として、Wi-Fi接続、Bluetooth接続、セルラー接続、イーサネット接続などを確立するために使用することができるハードウェア、ファームウェア、および／またはソフトウェアを挙げることができる。

40

【0093】

いくつかの実施形態では、メモリ520には、命令、値、データなどを格納するために使用することができる任意の公的なストレージデバイス（複数可）を含めることができ、例えば、プロセッサ512によって使用されて、ディスプレイ514を使用してコンテンツ

50



を提示し、1つ以上のコンピューティングデバイス450と通信することなどができる。メモリ520には、任意の適切な揮発性メモリ、不揮発性メモリ、ストレージ、またはそれらの任意の適切な組み合わせを含めることができる。例えば、メモリ520として、RAM、ROM、EEPROM、1つ以上のフラッシュドライブ、1つ以上のハードディスク、1つ以上のソリッドステートドライブ、1つ以上の光学ドライブなどを挙げることができる。いくつかの実施形態では、メモリ520は、サーバ452の動作を制御するためのサーバプログラムをその上に符号化することができる。そのような実施形態では、プロセッサ512は、サーバプログラムの少なくとも一部を実行して、情報および/またはコンテンツ（例えば、データ、画像、ユーザインターフェース）を1つ以上のコンピューティングデバイス450に送信し、1つ以上のコンピューティングデバイス450から情報および/またはコンテンツを受信し、1つ以上のデバイス（例えば、パーソナルコンピュータ、ラップトップコンピュータ、タブレットコンピュータ、スマートフォン）から命令を受信することなどができる。

#### 【0094】

いくつかの実施形態では、画像ソース402には、プロセッサ522、1つ以上の画像取得システム524、1つ以上の通信システム526、および/またはメモリ528を含めることができる。いくつかの実施形態では、プロセッサ522は、CPU、GPUなどの任意の適切なハードウェアプロセッサまたはプロセッサの組み合わせとすることができる。いくつかの実施形態では、1つ以上の画像取得システム524は、概して、データ、画像、またはその両方を取得するように構成されており、超音波トランスデューサ、光イメージングシステム、MRIシステム内の1つ以上の無線周波数コイルなどを含むことができる。追加的または代替的に、いくつかの実施形態では、1つ以上の画像取得システム524は、超音波トランスデューサ、光イメージングシステム、MRIシステム内の1つ以上の無線周波数コイルなどに結合および/またはその動作を制御するための任意の適切なハードウェア、ファームウェア、および/またはソフトウェアを含むことができる。いくつかの実施形態では、1つ以上の画像取得システム524の1つ以上の部分は、取り外し可能および/または交換可能とすることができる。

#### 【0095】

なお、示されていないが、画像ソース402は、任意の適切な入力および/または出力を含むことができる。例えば、画像ソース402には、キーボード、マウス、タッチスクリーン、マイクロフォン、トラックパッド、トラックボールなどの、ユーザ入力を受信するために使用することができる入力デバイスおよび/またはセンサを含めることができる。別の例として、画像ソース402には、コンピュータモニタ、タッチスクリーン、テレビなど、1つ以上のスピーカなどの任意の適切なディスプレイデバイスを含めることができる。

#### 【0096】

いくつかの実施形態では、通信システム526には、情報をコンピューティングデバイス450に通信するための任意の適切なハードウェア、ファームウェア、および/またはソフトウェアを含めることができる（また、いくつかの実施形態では、通信ネットワーク454および/または任意の他の適切な通信ネットワークを介して）。例えば、通信システム526には、1つ以上のトランシーバ、1つ以上の通信チップおよび/またはチップセットなどを含めることができる。より特定の例では、通信システム526には、任意の適切なポートおよび/または通信規格（例えば、VGA、DVIビデオ、USB、RS-232等）、Wi-Fi接続、Bluetooth接続、セルラー接続、イーサネット接続などを用いて有線接続を確立するのに使用することができるハードウェア、ファームウェア、および/またはソフトウェアを含めることができる。

#### 【0097】

いくつかの実施形態では、メモリ528には、命令、値、データなどを格納するために使用できる任意の適切なストレージデバイス（複数可）を含めることができ、これらは、例えば、1つ以上の画像取得システム524を制御して、および/または1つ以上の画像取

10

20

30

40

50

得システム524からデータを受信すること、データから画像に、ディスプレイを使用してコンテンツ（画像、ユーザインターフェイスなど）を提示すること、1つ以上のコンピューティングデバイス450と通信することなどのために、プロセッサ522によって使用され得る。メモリ528として、任意の適切な揮発性メモリ、不揮発性メモリ、ストレージ、またはそれらの任意の適切な組み合わせを挙げることができる。例えば、メモリ528として、RAM、ROM、EEPROM、1つ以上のフラッシュドライブ、1つ以上のハードディスク、1つ以上のソリッドステートドライブ、1つ以上の光学ドライブなどを挙げることができる。いくつかの実施形態では、メモリ528は、画像ソース402の動作を制御するためのプログラムをその上に符号化するか、または別様にその中に格納することができる。そのような実施形態では、プロセッサ522は、プログラムの少なくとも一部を実行して、画像を生成し、情報および/またはコンテンツ（例えば、データ、画像）を1つ以上のコンピューティングデバイス450に送信し、1つ以上のコンピューティングデバイス450から情報および/またはコンテンツを受信し、1つ以上のデバイス（例えば、パーソナルコンピュータ、ラップトップコンピュータ、タブレットコンピュータ、スマートフォンなど）から命令を受信することなどができる。

【0098】

図6は、本開示で説明される方法を実施することができる超音波システム600の例を示している。超音波システム600は、複数の個別に駆動されるトランスデューサ要素604を含むトランスデューサアレイ602を含む。トランスデューサアレイ602には、線形アレイ、湾曲アレイ、フェーズドアレイなどを含む、任意の適切な超音波トランスデューサアレイを含めることができる。同様に、トランスデューサアレイ602には、1Dトランスデューサ、1.5Dトランスデューサ、1.75Dトランスデューサ、2Dトランスデューサ、3Dトランスデューサなどを含めることができる。

【0099】

送信機606によってエネルギーが与えられると、所与のトランスデューサ要素604は、超音波エネルギーのバーストを生成する。検査中の物体または対象からトランスデューサアレイ602（例えば、エコー）に反射して戻る超音波エネルギーは、各トランスデューサ要素604によって電気信号（例えば、エコー信号）に変換され、スイッチ610のセットを介して受信機608に個別に適用することができる。送信機606、受信機608、およびスイッチ610は、1つ以上のプロセッサを含み得るコントローラ612の制御下で動作する。一例として、コントローラ612は、コンピュータシステムを含むことができる。

【0100】

送信機606は、集束されていないまたは集束された超音波を送信するようにプログラムすることができる。いくつかの構成では、送信機606は、発散波、球面波、円筒波、平面波、またはそれらの組み合わせを送信するようにプログラムすることもできる。さらに、送信機606は、空間的または時間的に符号化されたパルスを送信するようにプログラムすることができる。

【0101】

受信機608は、現在のイメージングタスクに適切な検出シーケンスを実装するようにプログラムすることができる。いくつかの実施形態では、検出シーケンスは、ラインごとのスキャン、複合平面波イメージング、合成開口イメージング、および複合発散ビームイメージングのうちの1つ以上を含むことができる。

【0102】

いくつかの構成では、送信機606および受信機608は、高フレームレートを実装するようにプログラムすることができる。例えば、少なくとも100Hzの取得パルス繰り返し周波数（「PRF」）に関連するフレームレートを実装することができる。いくつかの構成では、超音波システム600は、時間方向にエコー信号の少なくとも100のアンサンブルをサンプリングして格納することができる。

【0103】

10

20

30

40

50

コントローラ612は、本開示で説明されているように、または当技術分野で他の方法で知られているように、イメージングシーケンスを実施するようにプログラムすることができる。いくつかの実施形態では、コントローラ612は、イメージングシーケンスの実装で使用される様々な要因を定義するユーザ入力を受け取る。

#### 【0104】

スイッチ610をそれらの送信位置に設定することによってスキャンを実行することができる。それにより、イメージングシーケンスに従って単一の送信イベント中に送信機606を瞬間的にオンにしてトランスデューサ要素604にエネルギーを与えるように指示する。次に、スイッチ610をそれらの受信位置に設定することができ、1つ以上の検出されたエコーに応答してトランスデューサ要素604によって生成される後続のエコー信号が測定され、受信機608に適用される。トランスデューサ要素604からの個別のエコー信号は、受信機608で結合されて、単一のエコー信号を生成することができる。

10

#### 【0105】

エコー信号は、ハードウェアプロセッサおよびメモリによって実装され得る処理ユニット614に通信されて、エコー信号またはエコー信号から生成された画像を処理する。一例として、処理ユニット614は、本開示で説明される方法を使用して位相速度画像を生成することができる。処理ユニット614によってエコー信号から生成された画像は、ディスプレイシステム616に表示することができる。

#### 【0106】

いくつかの実施形態では、任意の適切なコンピュータ可読媒体を使用して、本明細書で説明される機能および／またはプロセスを実行するための命令を格納することができる。例えば、いくつかの実施形態では、コンピュータ可読媒体は、一時的または非一時的とすることができる。例えば、非一時的なコンピュータ可読媒体として、磁気媒体（例えば、ハードディスク、フロッピーディスク）、光学媒体（例えば、コンパクトディスク、デジタルビデオディスク、Blu-ray（登録商標）ディスク）、半導体媒体（例えば、ランダムアクセスメモリ（「RAM」））、フラッシュメモリ、電氣的にプログラム可能な読み取り専用メモリ（「EPROM」）、電氣的に消去可能なプログラム可能な読み取り専用メモリ（「EEPROM」）、一時的ではない、または送信中に永続性の類似性を欠いていない任意の適切な媒体、および／または任意の適切な有形媒体などの媒体を挙げることができる。別の例として、一時的なコンピュータ可読媒体は、ネットワーク上の信号、ワイヤ内、導体、光ファイバ、回路、または一時的でかつ送信中の永続性の類似性を欠く任意の適切な媒体、および／または任意の適切な無形媒体を含むことができる。

20

30

#### 【0107】

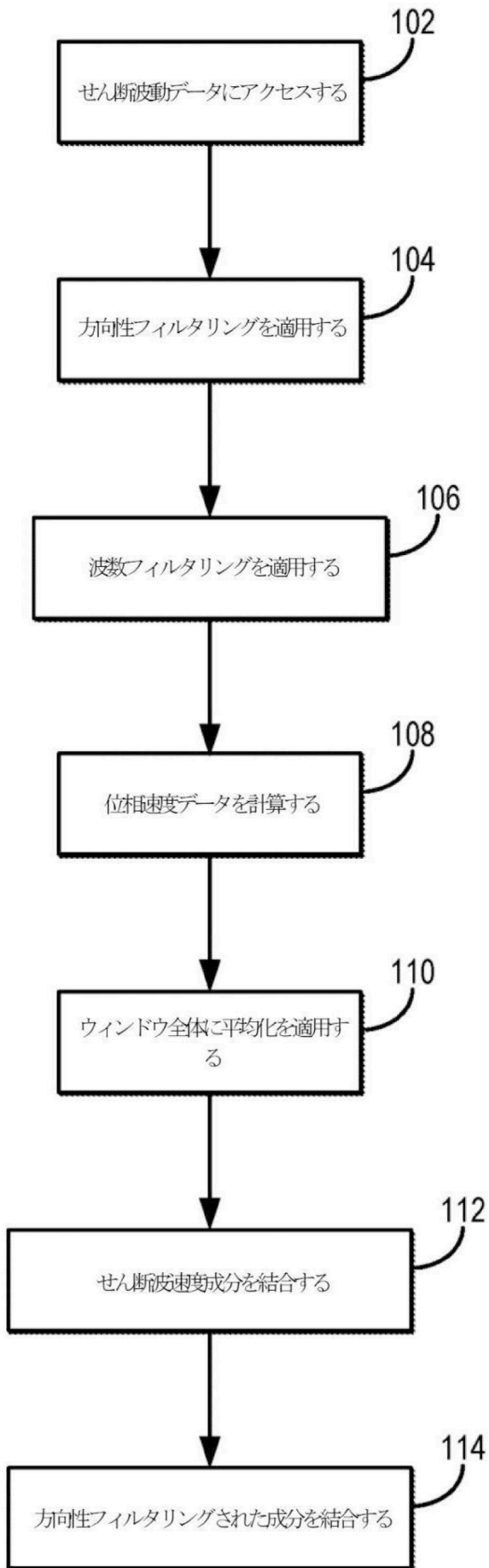
本発明は、1つ以上の好ましい実施形態について説明されており、明示的に述べられたものを除いて、多くの均等物、代替物、変形、および修正が可能であり、本発明の範囲内にあることが理解されるべきである。

40

50



【図 1】



10

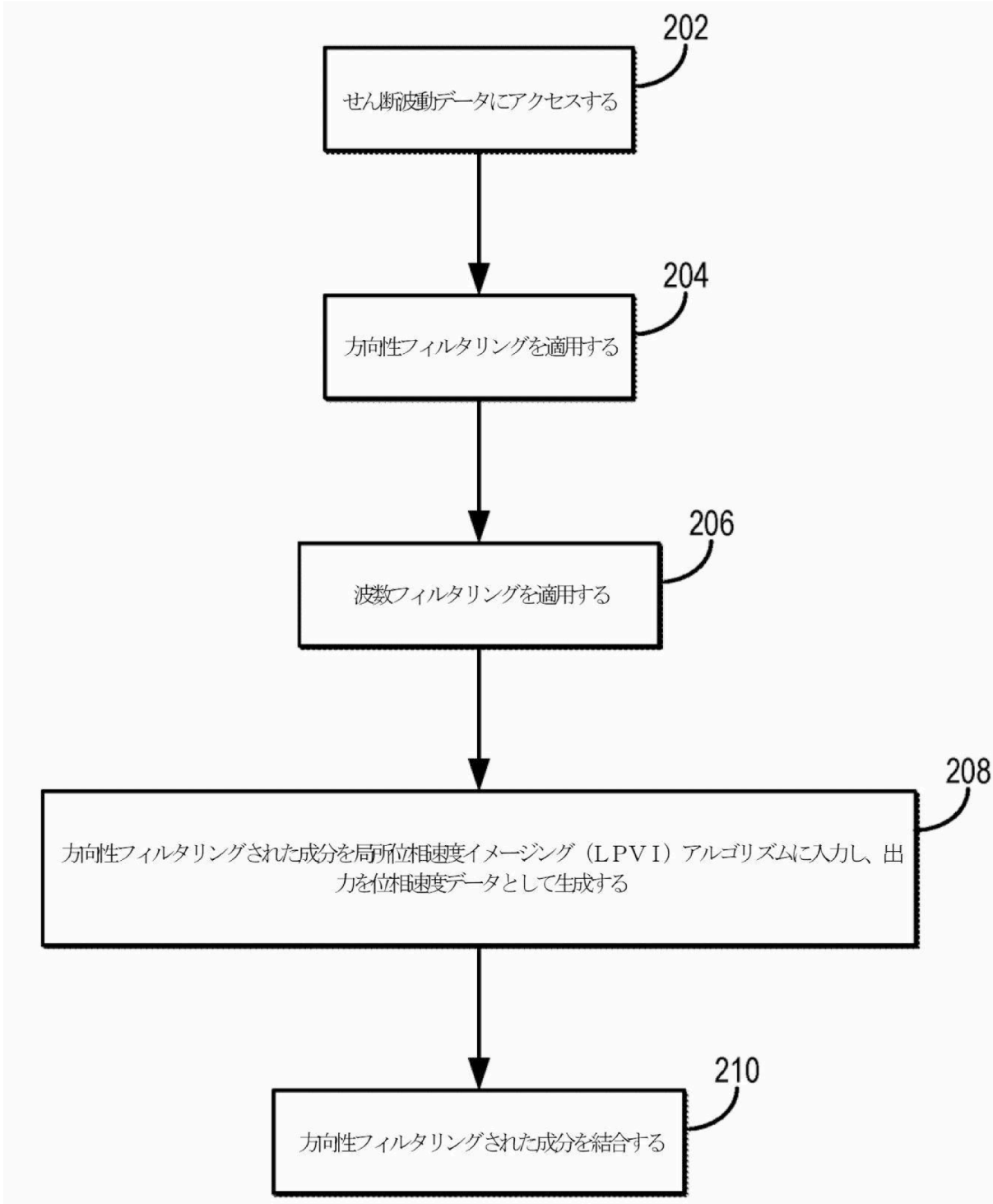
20

30

40

50

【図 2】



10

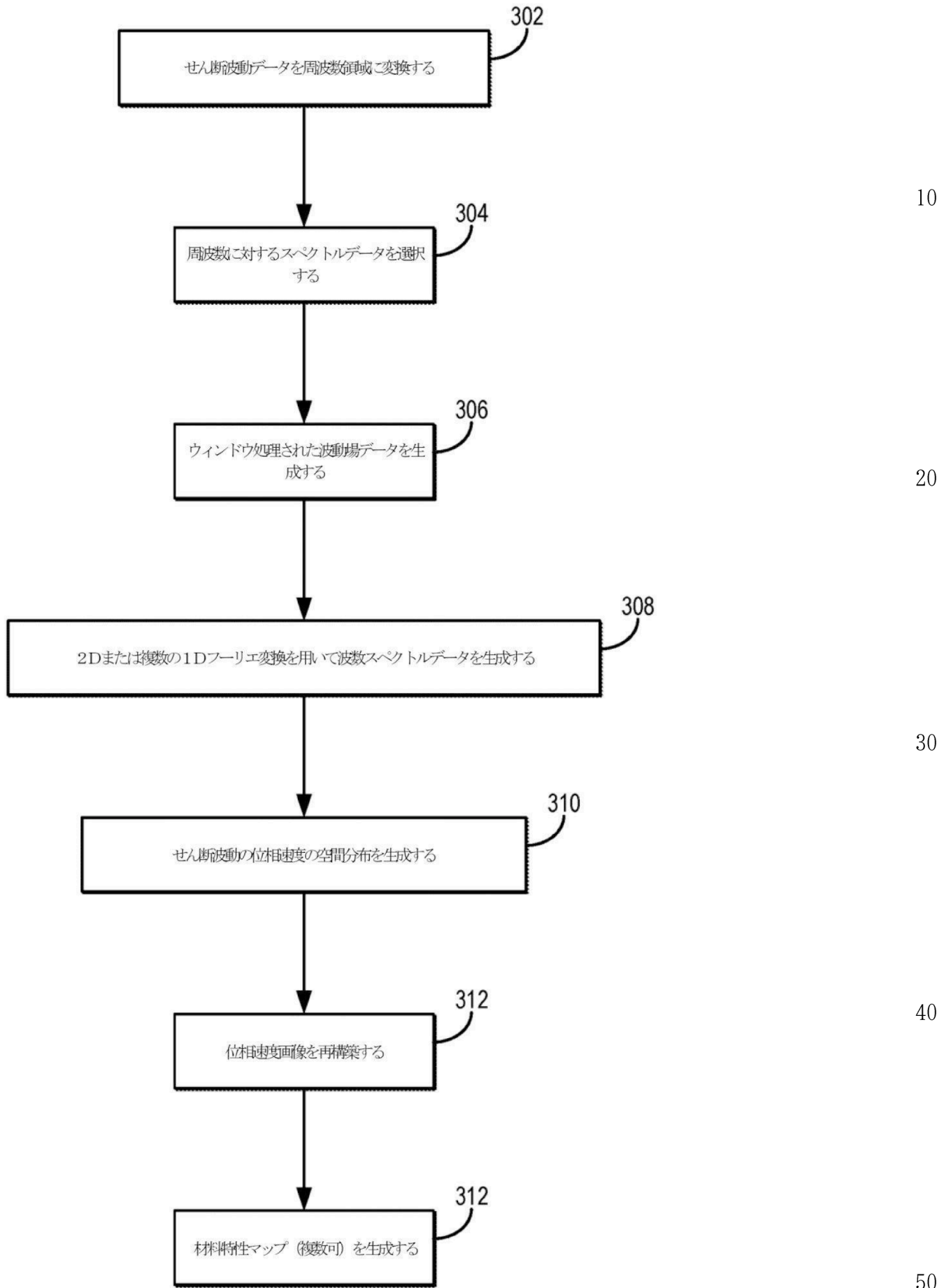
20

30

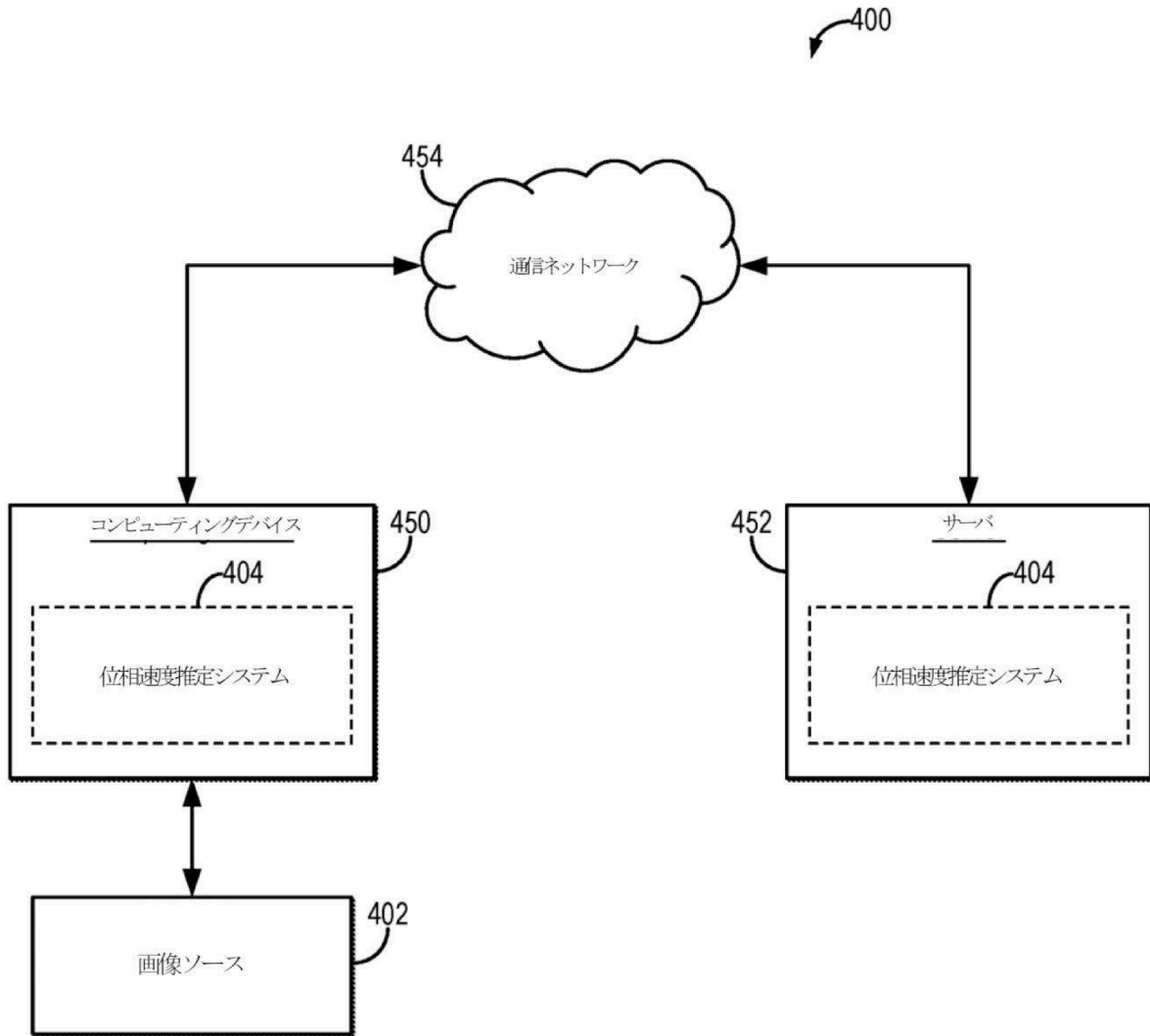
40

50

【図3】



【図4】



10

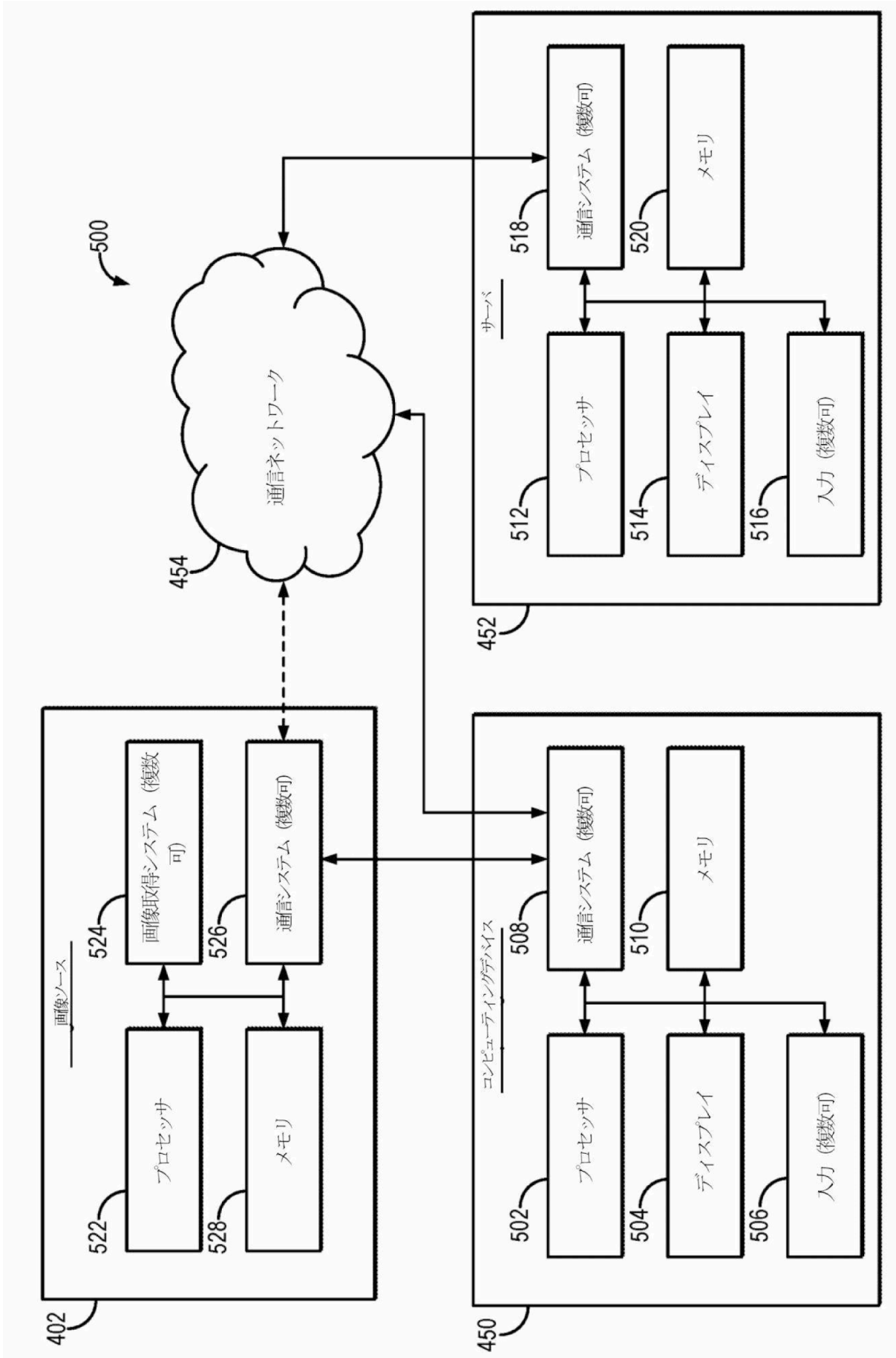
20

30

40

50

【図5】



10

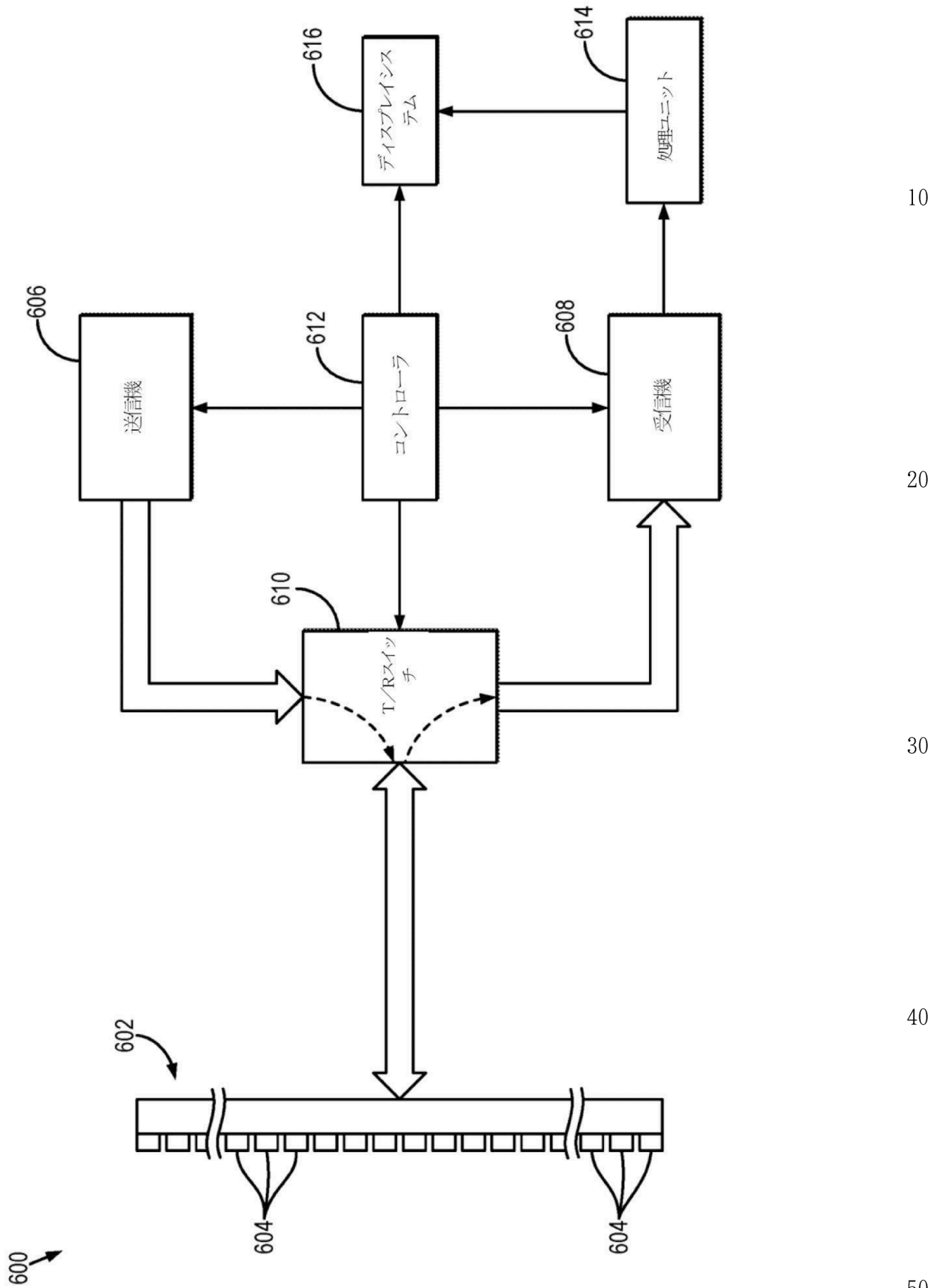
20

30

40

50

【図 6】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US2019/048519

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

10

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
  
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
  
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

20

30

1-18

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2019/048519

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. G01S7/52 A61B8/08 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	W0 2015/009339 A1 (MAYO FOUNDATION [US]; ZHAO HENG [US] ET AL.) 22 January 2015 (2015-01-22)	1, 15-18
Y	abstract; figures 4, 7 paragraphs [0007], [0008], [0040] paragraphs [0046], [0047] paragraph [0054] - paragraph [0058] paragraphs [0062], [0070], [0086] paragraph [0087] ----- -/--	2-14, 17, 18
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier application or patent but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 14 November 2019		Date of mailing of the international search report 29/01/2020
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 6818 Patentlaan 2 NL-2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Knoll, Bernhard

1

10

20

30

40

50



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2019/048519

G(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	LINGYU YU ET AL: "Crack imaging and quantification in aluminum plates with guided wave wavenumber analysis methods", ULTRASONICS., vol. 62, 1 September 2015 (2015-09-01), pages 203-212, XP055641864, GB ISSN: 0041-624X, DOI: 10.1016/j.ultras.2015.05.019	1-3, 7-12, 15, 16
Y	abstract; figures 10, 12 chapter 2.3 chapter 3.2 chapter 4.1	2-14, 17, 18
X,P	----- KIJANKA PIOTR ET AL: "Local Phase Velocity Based Imaging: A New Technique Used for Ultrasound Shear Wave Elastography", IEEE TRANSACTIONS ON MEDICAL IMAGING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 38, no. 4, 8 October 2018 (2018-10-08), pages 894-908, XP011717435, ISSN: 0278-0062, DOI: 10.1109/TMI.2018.2874545 [retrieved on 2019-04-01] the whole document -----	1-18

10

20

30

40

1

50

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2019/048519

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2015009339 A1	22-01-2015	CN 104968278 A	07-10-2015
		EP 2849651 A1	25-03-2015
		JP 6002845 B2	05-10-2016
		JP 2015524740 A	27-08-2015
		US 2016262706 A1	15-09-2016
		WO 2015009339 A1	22-01-2015
-----			

10

20

30

40

50

International Application No. PCT/ US2019/ 048519

**FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-18

generating a phase velocity image from mechanical wave motion data  
---

10

2. claims: 19-34

controlling an ultrasound system to acquire mechanical wave motion data  
---

20

30

40

50

## フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(特許庁注：以下のものは登録商標)

1. BLUETOOTH

(72)発明者 キジャンカ ピオトル

アメリカ合衆国 55904-7208 ミネソタ州 ロチェスター フォース ストリート サウスウエスト 920

(72)発明者 アーバン マシユー ダブリュ.

アメリカ合衆国 55902-1549 ミネソタ州 ロチェスター オデッセイ ドライブ サウスウエスト 3634

Fターム(参考) 4C096 AA18 AD03 AD14 AD19 DC35 FC20

4C601 DD19 DD20 DD23 EE09 EE10 JB31 JB49