

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7283628号  
(P7283628)

(45)発行日 令和5年5月30日(2023.5.30)

(24)登録日 令和5年5月22日(2023.5.22)

(51)国際特許分類 F I  
G 0 1 S 5/18 (2006.01) G 0 1 S 5/18  
G 0 1 S 3/802(2006.01) G 0 1 S 3/802

請求項の数 10 (全19頁)

(21)出願番号	特願2022-507043(P2022-507043)	(73)特許権者	000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号
(86)(22)出願日	令和2年3月10日(2020.3.10)	(74)代理人	100109313 弁理士 机 昌彦
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/010269	(74)代理人	100149618 弁理士 北嶋 啓至
(87)国際公開番号	WO2021/181517	(72)発明者	荒井 友督 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(87)国際公開日	令和3年9月16日(2021.9.16)	(72)発明者	近藤 玲史 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
審査請求日	令和4年7月25日(2022.7.25)	審査官	藤田 都志行

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 軌道推定装置、軌道推定システム、軌道推定方法、およびプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得する取得手段と、前記波動データを用いてスペクトログラムを生成する生成手段と、前記スペクトログラムからドップラーシフトを抽出する抽出手段と、前記ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つの前記センサをセンサペアとして選択する選択手段と、

前記センサペアを構成する前記センサの位置関係と、前記センサペアを構成する二つの前記センサ間の前記ドップラーシフトの関係に基づいて、前記波動の発生源である波源の軌道を推定する推定手段と、を備える軌道推定装置。

10

【請求項2】

前記選択条件は、前記ドップラーシフトの変曲点の周波数が同じであるという第1条件と、前記ドップラーシフトが交わるという第2条件とを含む請求項1に記載の軌道推定装置。

【請求項3】

前記抽出手段は、前記スペクトログラムにおいて連続的なピークに沿った曲線を前記ドップラーシフトとして抽出する請求項1または2に記載の軌道推定装置。

【請求項4】

前記抽出手段は、

20

前記スペクトログラムにおいて離散的なピークを補間した曲線を前記ドップラーシフトとして抽出する請求項 1 または 2 に記載の軌道推定装置。

【請求項 5】

前記抽出手段は、

前記波動の周波数が既知の場合、前記スペクトログラムから既知の周波数に基づく基底を用いて、非負値行列因子分解によりアクティベーションが大きい周波数を特定し、特定された周波数を結ぶ曲線を前記ドップラーシフトとして抽出する請求項 1 または 2 に記載の軌道推定装置。

【請求項 6】

前記推定手段は、

前記センサペアを構成する二つの前記センサの間の距離、前記センサペアを構成する二つの前記センサの位置を通る直線上を前記波源が通過する第 1 時刻および前記第 1 時刻における周波数、前記センサペアを構成する二つの前記センサの各々と前記波源の距離が最短になる第 2 時刻および前記第 2 時刻における周波数の関係に基づいて、

前記波源の速度、前記センサペアを構成する二つの前記センサの各々と前記波源の最短距離、前記センサペアを構成する二つの前記センサの位置を通る直線と前記波源の軌道との成す角度を算出して前記波源の軌道を推定する請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の軌道推定装置。

【請求項 7】

前記選択手段は、

少なくとも二組の前記センサペアを選択し、

前記推定手段は、

選択された前記少なくとも二組の前記センサペアに関して推定された前記波源の軌道候補のうち一致する前記軌道候補に基づいて前記波源の軌道を推定する請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の軌道推定装置。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の軌道推定装置と、

前記複数のセンサと、を備える軌道推定システム。

【請求項 9】

コンピュータが、

複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得し、

前記波動データを用いてスペクトログラムを生成し、

前記スペクトログラムからドップラーシフトを抽出し、

前記ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つの前記センサをセンサペアとして選択し、

前記センサペアを構成する前記センサの位置関係と、前記センサペアを構成する二つの前記センサ間の前記ドップラーシフトの関係に基づいて、前記波動の発生源である波源の軌道を推定する軌道推定方法。

【請求項 10】

複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得する処理と、

前記波動データを用いてスペクトログラムを生成する処理と、

前記スペクトログラムからドップラーシフトを抽出する処理と、

前記ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つの前記センサをセンサペアとして選択する処理と、

前記センサペアを構成する前記センサの位置関係と、前記センサペアを構成する二つの前記センサ間の前記ドップラーシフトの関係に基づいて、前記波動の発生源である波源の軌道を推定する処理とをコンピュータに実行させるプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、移動する波源の軌道を推定する軌道推定装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

複数のマイクロホンによって構成されるマイクアレイを用いれば、音源から発せられた音波の到達時間差によって音源の方向を推定できる。例えば、一定時間ごとの音源の位置を定常とみなせば、移動する音源の位置を推定できる。一般的なマイクアレイを用いた音源方向の推定では、空間折り返し歪を避けるために、マイクアレイを構成するマイクロホン間の距離を、音波の周波数の2倍で音速を除した値よりも小さくする。音源が移動する場合、このようなマイクアレイを広範囲に複数設置する。

【0003】

特許文献1には、弾丸等の高速飛翔物体の落下位置等を推定する弾丸位置標定装置について開示されている。特許文献1の装置は、複数のセンサによって観測された弾丸の発射音等の到達時間差に基づいて、高速飛翔物体の落下位置等を推定する。また、特許文献1の手法では、予め計算された最適な弾道計算値を用いて算出されたセンサの位置における弾丸の飛翔音のドップラーシフトを用いて、弾丸発射位置を推定する。

【0004】

特許文献2には、速度と方向が不明な超音速投射物の軌跡を判定する方法について開示されている。特許文献2の方法では、同一平面上に間隔を空けて配置された少なくとも3つのセンサによって、それらのセンサの近くを通過する超音速投射物により生じる衝撃波を観測する。各センサは、衝撃波に応じて、衝撃波源への単位照準ベクトルの方位角および仰角に関連する信号を出力する。特許文献2の方法では、3つのセンサの単位照準ベクトルから、投射物の局所的な軌跡の方位角および仰角を計算する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2000-205794号公報  
特表平7-505219号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

一般的なマイクアレイを用いた音源方向の推定では、音源が移動する場合、マイクアレイを広範囲に複数設置するため、多数のマイクロホンが必要となりコストがかかる。また、一般的なマイクアレイを用いた音源方向の推定では、音源の位置を定常とみなせる区間が短いため、推定に十分なデータ量が得られず推定精度が低下する。

【0007】

特許文献1の手法では、正確な弾丸発射位置を推定するために、弾道計算や飛翔音のドップラーシフト値の算出を繰返すことによって、最終的な弾丸発射位置を推定する。特許文献1の手法では、波源の移動に追従して位置を特定できないため、波源の位置の時間変化や速度(以下、軌道と呼ぶ)を推定することはできなかった。

【0008】

特許文献2の方法は、衝撃波を発生するほどの超音速で移動する移動体の軌道の計算には適用できる。しかしながら、特許文献2の方法は、衝撃波を発生しない速度で移動する波源からの波動に基づいて、その波源の軌道を計算することはできなかった。

【0009】

本発明の目的は、移動する波源の軌道を推定できる軌道推定装置等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一態様の軌道推定装置は、複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得する取得部と、波動データを用いてスペクトログラムを生成する生成部と、

10

20

30

40

50

スペクトログラムからドップラーシフトを抽出する抽出部と、ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択する選択部と、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成する二つのセンサ間のドップラーシフトの関係に基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する推定部と、を備える。

【0011】

本発明の一態様の軌道推定方法においては、コンピュータが、複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得し、波動データを用いてスペクトログラムを生成し、スペクトログラムからドップラーシフトを抽出し、ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択し、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成する二つのセンサ間のドップラーシフトの関係に基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する。

10

【0012】

本発明の一態様のプログラムは、複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得する処理と、波動データを用いてスペクトログラムを生成する処理と、スペクトログラムからドップラーシフトを抽出する処理と、ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択する処理と、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成する二つのセンサ間のドップラーシフトの関係に基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する処理とをコンピュータに実行させる。

20

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、移動する波源の軌道を推定できる軌道推定装置等を提供することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】第1の実施形態に係る軌道推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図2】第1の実施形態に係る軌道推定装置の推定対象の波動を検出するセンサの配置例を示す概念図である。

【図3】第1の実施形態に係る軌道推定装置の生成部が生成するスペクトログラムの一例である。

30

【図4】第1の実施形態に係る軌道推定装置の生成部が生成するスペクトログラムの別の一例である。

【図5】第1の実施形態に係る軌道推定装置の抽出部が抽出するドップラーシフトの一例を示すグラフである。

【図6】第1の実施形態に係る軌道推定装置の抽出部が抽出するドップラーシフトの別の一例を示すグラフである。

【図7】第1の実施形態に係る軌道推定装置の選択部が選択するセンサペアの選択条件について説明するためのグラフである。

【図8】第1の実施形態に係る軌道推定装置の推定部による波源の軌道の推定方法について説明するための概念図である。

40

【図9】第1の実施形態に係る軌道推定装置によって推定された波源の軌道を表示装置の画面に表示させる一例を示す概念図である。

【図10】第1の実施形態に係る軌道推定装置の動作について説明するためのフローチャートである。

【図11】第2の実施形態に係る軌道推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図12】第2の実施形態に係る軌道推定装置の推定部による波源の軌道の推定方法について説明するための概念図である。

【図13】第3の実施形態に係る軌道推定装置の構成の一例を示すブロック図である。

【図14】各実施形態に係る軌道推定装置を実現するハードウェア構成の一例を示す概念

50

図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下に、本発明を実施するための形態について図面を用いて説明する。ただし、以下に述べる実施形態には、本発明を実施するために技術的に好ましい限定がされているが、発明の範囲を以下に限定するものではない。なお、以下の実施形態の説明に用いる全図においては、特に理由がない限り、同様箇所には同一符号を付す。また、以下の実施形態において、同様の構成・動作に関しては繰り返しの説明を省略する場合がある。

【0016】

(第1の実施形態)

まず、第1の実施形態に係る軌道推定装置について図面を参照しながら説明する。本実施形態の軌道推定装置は、複数のセンサによって検出された波動に基づいて、移動する波源の位置の時間変化や速度(以下、軌道と呼ぶ)を推定する。特に、本実施形態の軌道推定装置は、等速直線運動をする波源の軌道を推定する。なお、センサによって検出される波動の周波数帯は、ドップラー効果による変化を検出できる程度に狭い帯域幅であるものとする。また、本実施形態においては、二つのセンサを通る直線と波源の軌道とのなす角の正負が既知であると仮定する。二つのセンサを通る直線と波源の軌道とのなす角の正負が既知でない場合は、二つの軌道の候補が推定される。推定された二つの軌道のうち一つが、推定対象の軌道である。

【0017】

(構成)

図1は、本実施形態の軌道推定装置10の構成の一例を示すブロック図である。軌道推定装置10は、取得部11、生成部12、抽出部13、選択部14、および推定部15を備える。

【0018】

軌道推定装置10は、間隔を空けて配置された複数のセンサ100に接続される。例えば、軌道の推定対象である波源が音源である場合、センサ100はマイクロホンによって実現できる。例えば、軌道の推定対象である波源が振動源である場合、センサ100は振動センサによって実現できる。軌道推定装置10と、複数のセンサ100によって構成されるシステムのことを軌道推定システムとも呼ぶ。

【0019】

取得部11は、複数のセンサ100によって検出された波動に基づく波動データを取得する。取得部11は、取得した波動データを生成部12に出力する。取得部11は、複数のセンサ100に有線で接続されてもよいし、無線で接続されてもよい。例えば、取得部11は、図示しないネットワーク経由で複数のセンサ100に接続される。

【0020】

図2は、複数のセンサ100の配置例を示す概念図である。複数のセンサ100は、推定対象の波源の種別に応じた間隔を空けて配置される。複数のセンサ100は、各々のセンサ100の間の距離が特定できれば、どのように配置されてもよい。例えば、複数のセンサ100は、等間隔に配置されてもよいし、任意の間隔で配置されてもよい。また、複数のセンサ100は、各々のセンサ100間の距離を判別できれば、互いに位置関係が変化してもよい。例えば、センサ100として、GPS(Global Positioning System)などによって位置情報を特定できる携帯端末に搭載されたマイクロホンや振動センサなどを用いてもよい。図2の例では、波源110は、複数のセンサ100が配置された空間を、軌道Rに沿って等速直線運動で移動するものとする。

【0021】

以下においては、個々のセンサ100を区別する際に、センサ100の符号の末尾に識別番号を付す。例えば、識別番号がmのセンサ100は、センサ100-mと記載する(mは自然数)。図2において、センサ100-1~3と表記されたセンサ100は、識別番号が1~3のセンサ100を示す。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

各々のセンサ 1 0 0 は、予め設定された間隔で配置される。以下において、センサ 1 0 0 - m とセンサ 1 0 0 - n の間隔は  $k_{mn}$  と表記される (  $k$  は正の実数、  $n$  は自然数 )。なお、センサ 1 0 0 - m とセンサ 1 0 0 - n の間隔は  $k_{nm}$  と表記されてもよい。図 2 では、センサ 1 0 0 - 1 とセンサ 1 0 0 - 2 の間隔は  $k_{12}$  と表記され、センサ 1 0 0 - 1 とセンサ 1 0 0 - 3 の間隔は  $k_{13}$  と表記され、センサ 1 0 0 - 2 とセンサ 1 0 0 - 3 の間隔を  $k_{23}$  と表記される。

## 【 0 0 2 3 】

生成部 1 2 は、複数のセンサ 1 0 0 によって検出された波動に基づく波動データを取得部 1 1 から取得する。生成部 1 2 は、取得した複数のセンサ 1 0 0 ごとの波動データを用いて、複数のセンサ 1 0 0 ごとにスペクトログラムを生成する。スペクトログラムは、各々のセンサ 1 0 0 によって検出される波動を時間、周波数、および強度等の関係で表した 3 次元的なグラフである。本実施形態では、スペクトログラムは、時間が横軸に設定され、周波数が縦軸に設定され、強度が濃淡で示される。スペクトログラムは、波動データからサンプリングされた波形の中に、どのような周波数成分がどの程度含まれるのかを表す。なお、強度の替わりに、振幅等を用いてもよい。

10

## 【 0 0 2 4 】

図 3 および図 4 は、生成部 1 2 が生成するスペクトログラムの一例である。図 3 および図 4 では、波動の強度を濃淡で表す。図 3 の例では、全周波数帯における強度の最大または極大を示すピークが連続的である。図 4 の例では、全周波数帯における強度の最大または極大を示すピークが離散的である。ただし、図 3 および図 4 の例は、生成部 1 2 が生成するスペクトログラムを概念的に示すものであり、実際に検出された波動に基づいて生成されたものではない。

20

## 【 0 0 2 5 】

抽出部 1 3 は、生成部 1 2 によって生成されたスペクトログラムからドップラーシフトを抽出する。ドップラーシフトは、スペクトログラムにおいて強度が最大または極大を示すピークに基づいて抽出される周波数の時間変化である。

## 【 0 0 2 6 】

図 3 の例の場合、抽出部 1 3 は、連続的なピークに沿った曲線をドップラーシフトとして抽出する。例えば、抽出部 1 3 は、同一時刻や同一周波数において強度が最大を示すピークの軌跡をドップラーシフトとして抽出する。

30

## 【 0 0 2 7 】

図 4 の例の場合、抽出部 1 3 は、離散的なピークを補間した曲線をドップラーシフトとして抽出する。例えば、抽出部 1 3 は、離散的なピークを 3 次関数などの関数でフィッティングした曲線をドップラーシフトとして選択する。波源からの波動の周波数帯がある程度想定できる場合、抽出部 1 3 は、想定される周波数帯における最大または極大のピークを通る曲線をドップラーシフトとして抽出してもよい。また、ピークの数十分多ければ、抽出部 1 3 は、離散的なピーク間を線分で結んでもよい。

## 【 0 0 2 8 】

また、事前に波動の周波数が分かっている場合、例えば、抽出部 1 3 は、波動の周波数を一定の周波数幅内でシフトさせた周波数を基底として生成する。例えば、波動の周波数が  $f$  ヘルツであり、一定の周波数幅が  $\Delta f$  ヘルツであると仮定する (  $f$ 、  $\Delta f$  は実数 )。この場合、抽出部 1 3 は、波動の周波数 (  $f$  ヘルツ ) を  $\pm \Delta f$  ヘルツの周波数幅内で、  $f - \Delta f$ 、  $f - \Delta f + 1$ 、  $\dots$ 、  $f$ 、  $f + 1$ 、  $\dots$ 、  $f + \Delta f$  にシフトさせた周波数を基底として生成する。抽出部 1 3 は、非負値行列因子分解 ( NMF ) によりこれら全基底に対するアクティベーションを求め、アクティベーションが最大値をとる基底を特定する。抽出部 1 3 は、アクティベーションが最大値をとる基底の周波数を時間ごとにプロットした曲線をドップラーシフトとして算出する。また、抽出部 1 3 は、特定された周波数の時間変化を 3 次関数などの関数でフィッティングして得られる曲線をドップラーシフトとして抽出してもよい。

40

50

## 【 0 0 2 9 】

図 5 は、波源が単一の場合に、抽出部 1 3 によって抽出されるドップラーシフトの一例を示すグラフである。図 5 には、センサ 1 0 0 - 1 が検出した波動に基づくドップラーシフトを実線で示し、センサ 1 0 0 - 2 が検出した波動に基づくドップラーシフトを破線で示し、センサ 1 0 0 - 3 が検出した波動に基づくドップラーシフトを一点鎖線で示す。

## 【 0 0 3 0 】

図 6 は、複数の波源からの波動が混在している場合に、抽出部 1 3 によって抽出されるドップラーシフトの一例を示すグラフである。複数の波源からの波動が混在している場合、3 次関数などの関数にフィッティングし、波源ごとにドップラーシフトを分離して抽出すればよい。図 6 には、波源 1 のドップラーシフトを実線、波源 2 のドップラーシフトを破線、その他の波源のドップラーシフトを一点鎖線で示す。

10

## 【 0 0 3 1 】

選択部 1 4 は、抽出部 1 3 によって抽出された複数のセンサ 1 0 0 のドップラーシフトの関係に基づいて、複数のセンサ 1 0 0 の中から二つのセンサ 1 0 0 を選択する。選択部 1 4 は、選択された二つのセンサ 1 0 0 をセンサペアとする。選択部 1 4 は、予め設定された選択条件を満たす二つのセンサ 1 0 0 をセンサペアとして選択する。選択条件は、推定部 1 5 が後述する手法を用いて波源の軌道を推定するための条件である。

## 【 0 0 3 2 】

図 7 は、センサペアの選択条件について説明するためのグラフであり、抽出部 1 3 によって抽出された複数のセンサ 1 0 0 のドップラーシフトのうち、二つのセンサのドップラーシフトを示している。選択条件は、第 1 条件および第 2 条件を含む。第 1 条件は、二つのセンサ 1 0 0 のドップラーシフトの変曲点の周波数が同じまたは閾値以下であるという条件である。第 2 条件は、二つのセンサ 1 0 0 のドップラーシフトが交わるという条件である。同じ波源からの同じ波動を検出しており、また二つのセンサ 1 0 0 を通る直線と波源の軌道とが非平行であり、かつ二つのセンサ 1 0 0 の間を波源が通過しなければ、第 1 条件と第 2 条件がともに満たされる。

20

## 【 0 0 3 3 】

図 7 において、センサ 1 0 0 - 1 のドップラーシフトは、時刻  $t_1$  (第 1 時刻とも呼ぶ) において変曲点を有する。また、センサ 1 0 0 - 2 のドップラーシフトは、時刻  $t_2$  (第 2 時刻とも呼ぶ) において変曲点を有する。センサ 1 0 0 - 1 およびセンサ 1 0 0 - 2 のドップラーシフトの変曲点における周波数はともに  $f_0$  である。すなわち、センサ 1 0 0 - 1 およびセンサ 1 0 0 - 2 のドップラーシフトは、変曲点における周波数が同じ ( $f_0$ ) であり、第 1 条件が満たされる。なお、変曲点における周波数は、厳密に同じではなく、波源の軌道の推定に大きな影響を与えない程度の誤差を含んでもよい。

30

## 【 0 0 3 4 】

ドップラーシフトの変曲点は、波源がセンサ 1 0 0 に最近接するタイミングにおいて現れる。ドップラーシフトの変曲点の周波数は、波源から発せられた波動の元の周波数  $f_0$  に相当する。すなわち、第 1 条件が満たされ、二つのセンサ 1 0 0 が検出した波動に基づくドップラーシフトの変曲点の周波数が同じであれば、二つのセンサ 1 0 0 が同一の波源から発せられた同一の波動を検出したことを示す。

40

## 【 0 0 3 5 】

実際には、波源がセンサ 1 0 0 に最近接したタイミングと、ドップラーシフトの変曲点が観測されたタイミングとの間には、波源の速度に応じた誤差がある。このような誤差は、波源の速度が極端に速くなければ無視できる。例えば、自動車や船舶程度の速度であれば、波源の速度に応じた誤差は無視できる。そのため、本実施形態においては、このような誤差を無視し、波源がセンサ 1 0 0 に最近接したタイミングと、ドップラーシフトの変曲点が観測されたタイミングとが同じであるとみなす。

## 【 0 0 3 6 】

また、図 7 において、センサ 1 0 0 - 1 のドップラーシフトと、センサ 1 0 0 - 2 のドップラーシフトとは、時刻  $T$  において互いに交わる。すなわち、センサ 1 0 0 - 1 のドッ

50

プラーシフトと、センサ100-2のドップラーシフトとは、時刻Tにおける周波数が同じ( $f_T$ )であり、第2条件が満たされる。

【0037】

第2条件が満たされれば、二つのセンサ100の位置を通る直線と波源の軌道とが非平行かつ、音源が2センサの間を通過しない。二つのセンサ100の位置を通る直線と波源の軌道とが非平行であれば、二つのセンサ100の位置を通る直線上を波源が通過する。二つのセンサ100の位置を通る直線上を波源が通過するタイミングにおいてその波源から発せられた波動は、二つのセンサ100にとって、波源の方向が同じであり、同一の周波数 $f_0$ として検出される。

【0038】

推定部15は、選択部14によって選択された二つのセンサ100(センサペア)によって検出された波動に基づく波動データを用いて、波源の軌道を推定する。

【0039】

図8は、推定部15が波源の軌道を推定する一例について説明するための概念図である。図8は、センサ100-1とセンサ100-2がマイクペアとして選択された例である。波源は、軌道Rに沿って、矢印の向きに速度 $v$ で等速直線運動するものとする。波源は、時刻T、時刻 $t_1$ 、および時刻 $t_2$ の各々において、図8に示すT、 $t_1$ 、および $t_2$ の各々の位置を通過するものとする。時刻Tは、センサ100-1とセンサ100-2を通る直線と波源の軌道Rとの交点を波源が通過する時刻である。時刻 $t_1$ は、センサ100-1と波源とが最近接する時刻である。時刻 $t_2$ は、センサ100-2と波源とが最近接する時刻である。

【0040】

図8において、センサ100-1と波源が最近接する時刻におけるセンサ100-1と波源との距離は $a_1$ である。センサ100-2と波源が最近接する時刻におけるセンサ100-2と波源との距離は $a_2$ である。センサ100-1とセンサ100-2との距離は $k$ である。センサ100-1とセンサ100-2を通る直線と波源の軌道Rとのなす角は $\theta$ である。ただし、図8において、 $\theta$ 、 $a_1$ 、 $a_2$ は、センサ100-1とセンサ100-2を通る直線上を0として、時計回りの向きを正とする。本実施形態においては、 $\theta$ の正負は既知であると仮定する。 $a_1$ 、 $a_2$ も $\theta$ の符号と同じとなるため、正負は既知であると仮定する。また、波源が発する波動の速度を $V$ 、波源の速度を $v$ と表記する。波源の速度 $v$ は、Tの位置から $t_1$ の位置(または $t_2$ の位置)に向かう向きを正とする。波源の速度 $v$ の符号は、T、 $t_1$ 、 $t_2$ の大小関係で決まる。

【0041】

例えば、推定部15は、以下の式1~4を用いて、数値的に軌道Rを推定する。

$$(a_2 - a_1)^2 + \{v(t_2 - t_1)\}^2 = k^2 \cdots (1)$$

$$v(t_1 - T) / a_1 = 1 / \tan \theta \cdots (2)$$

$$v(t_2 - T) / a_2 = 1 / \tan \theta \cdots (3)$$

$$f_T / f_0 = V / (V - v \cos \theta) \cdots (4)$$

式1は、図8の斜線部分の直角三角形に関して、直角を挟む二辺の長さ(斜辺の長さ)との間に成り立つ関係(三平方の定理)を示す。式2は、時刻Tにおける波源の位置と、時刻 $t_1$ における波源の位置と、センサ100-1の位置とを頂点とする三角形において成り立つ関係式である。式3は、時刻Tにおける波源の位置と、時刻 $t_2$ における波源の位置と、センサ100-2の位置とを頂点とする三角形において成り立つ関係式である。式4は、ドップラー効果に関する関係式である。

【0042】

例えば、推定部15は、上記の式1~4を用いて、速度 $v$ 、距離 $a_1$ 、距離 $a_2$ 、および角度 $\theta$ を算出する。速度 $v$ 、距離 $a_1$ 、距離 $a_2$ 、および角度 $\theta$ が算出されれば、既知であるセンサ100-1およびセンサ100-2の位置関係に基づいて、波源の軌道Rを推定できる。

【0043】

10

20

30

40

50

図9は、軌道推定装置10によって推定された波源110の軌道Rを表示装置120の画面に表示させる一例を示す概念図である。図9は、複数のセンサ100が配置された地区の路上を、自動車や自転車などの波源110が移動する例である。例えば、波源110の軌道Rは、波源110が移動する経路を含む地図上に表示される。例えば、波源110の軌道Rは、自動車や船舶などの波源110の種別に応じて、それらの波源110の航路上に表示される。

#### 【0044】

(動作)

次に、本実施形態の軌道推定装置10の動作について図面を参照しながら説明する。図10は、軌道推定装置10の動作について説明するためのフローチャートである。図10のフローチャートに沿った処理は、軌道推定装置10を動作の主体として説明する。

10

#### 【0045】

図10において、まず、軌道推定装置10は、複数のセンサ100によって検出された波動に基づく波動データを取得する(ステップS11)。

#### 【0046】

次に、軌道推定装置10は、複数のセンサ100ごとの波動データを用いて、複数のセンサ100ごとのスペクトログラムを生成する(ステップS12)。

#### 【0047】

次に、軌道推定装置10は、複数のセンサ100ごとのスペクトログラムのピークに基づいて、複数のセンサ100ごとにドップラーシフトを抽出する(ステップS13)。

20

#### 【0048】

次に、軌道推定装置10は、ドップラーシフトの変曲点の周波数が同じであり、かつドップラーシフトが互いに交わる二つのセンサ100をセンサペアとして選択する(ステップS14)。

#### 【0049】

次に、軌道推定装置10は、選択されたセンサペアのドップラーシフトを用いて、波源の軌道を推定する(ステップS15)。

#### 【0050】

以上のように、本実施形態の軌道推定装置は、取得部、生成部、抽出部、選択部、および推定部を備える。取得部は、複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得する。生成部は、波動データを用いてスペクトログラムを生成する。抽出部は、スペクトログラムからドップラーシフトを抽出する。選択部は、ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択する。推定部は、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成する二つのセンサ間のドップラーシフトの関係に基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する。

30

#### 【0051】

本実施形態の軌道推定装置は、複数のセンサによって検出された波動に基づいて抽出されるドップラーシフトを用いて、予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択する。そして、本実施形態の軌道推定装置は、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成するセンサによって波動が検出されるタイミングとに基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する。そのため、本実施形態の軌道推定装置によれば、移動する波源からの波動に基づいて、その波源の軌道を推定できる。

40

#### 【0052】

本実施形態の一態様において、選択条件は、ドップラーシフトの変曲点の周波数が同じであるという第1条件と、ドップラーシフトが交わるという第2条件とを含む。第1条件が満たされ、二つのセンサ100が検出した波動に基づくドップラーシフトの変曲点の周波数が同じであれば、同一の波源から発せられた同一の波動を二つのセンサによって検出されたことになる。第2条件が満たされ、二つのセンサの位置を通る直線と波源の軌道とが非平行であれば、二つのセンサの位置を通る直線上を波源が通過するタイミングで波源から発せられた同一の周波数の波動が二つのセンサによって検出されたことになる。本態

50

様によれば、波源の軌道を推定するためのセンサペアを選択するための基準が明確になる。

【 0 0 5 3 】

本実施形態の一態様において、抽出部は、スペクトログラムにおいて連続的なピークに沿った曲線をドップラーシフトとして抽出する。本態様によれば、スペクトログラムにおいて連続的なピークがあれば、そのピークに基づいてドップラーシフトを抽出できる。

【 0 0 5 4 】

本実施形態の一態様において、抽出部は、スペクトログラムにおいて離散的なピークを補間した曲線をドップラーシフトとして抽出する。本態様によれば、スペクトログラムにおいて連続的なピークがなくても、それらのピークに基づいてドップラーシフトを抽出できる。

【 0 0 5 5 】

本実施形態の一態様において、抽出部は、波動の周波数が既知の場合、スペクトログラムから既知の周波数に基づく基底を用いて、非負値行列因子分解によりアクティベーションが大きい周波数を特定する。抽出部は、特定された周波数を結ぶ曲線をドップラーシフトとして抽出する。本態様によれば、波動の周波数が既知の場合、スペクトログラムにおけるピークが明確でなくても、ドップラーシフトを抽出できる。

【 0 0 5 6 】

本実施形態の一態様において、推定部は、センサペアを構成する二つのセンサの間の距離、二つのセンサの位置を通る直線上を波源が通過する第1時刻および第1時刻における周波数、二つのセンサの各々と波源の距離が最短になる第2時刻および第2時刻における周波数の関係に基づいて、波源の軌道を推定する。具体的には、推定部は、波源の速度、二つのセンサの各々と波源の最短距離、二つのセンサの位置を通る直線と波源の軌道との成す角度を算出して波源の軌道を推定する。本態様によれば、移動する波源からの波動に基づいて、その波源の軌道を数値計算によって推定できる。

【 0 0 5 7 】

また、本実施形態の一態様の軌道推定システムは、上述の軌道推定装置に加えて、波源からの波動を検出し、検出された波動に基づく波動データを軌道推定装置に出力する少なくとも一つのセンサを備える。

【 0 0 5 8 】

例えば、本実施形態では、波源の種別が自動車などの車両の場合、複数のセンサを数十メートル間隔で配置する。本実施形態の複数のセンサは、複数のマイクロホンがアレイ状に配置されたマイクアレイではなく、単一のマイクロホンによって構成できる。マイクアレイを用いた手法では、複数のマイクロホンが数センチメートル間隔で配置されたマイクアレイを数10メートル間隔で配置する。それに対し、本実施形態の手法では、単一のマイクロホンを数10メートル間隔で配置すればよい。そのため、本実施形態によれば、マイクアレイを用いる場合と比較して、センサの設置コストを低く抑えることができる。

【 0 0 5 9 】

また、マイクアレイを用いた手法では、一定時間ごとの波源の位置を定常とみなして、波源の位置を推定する。波源の速度が大きいほど、波源方向を推定するための時間間隔(時間窓とも呼ぶ)を狭く設定する必要があるが、時間窓内のデータ量が少なくなるため、推定に十分なデータ量が得られず推定精度が低下する。それに対し、本実施形態では、スペクトログラムから抽出されるドップラーシフトを用いて波源の軌道を推定する。そのため、本実施形態によれば、波源の軌道を高精度に推定できる。

【 0 0 6 0 】

(第2の実施形態)

次に、第2の実施形態に係る軌道推定装置について図面を参照しながら説明する。本実施形態の軌道推定装置は、センサペアを二つ以上選択し、選択された二つ以上のセンサペアのドップラーシフトの関係に基づいて、波源の軌道を推定する。本実施形態においては、複数のセンサに対する波源の方向が既知でなくてもよい。

【 0 0 6 1 】

10

20

30

40

50

図 1 1 は、本実施形態の軌道推定装置 2 0 の構成の一例を示すブロック図である。軌道推定装置 2 0 は、取得部 2 1、生成部 2 2、抽出部 2 3、選択部 2 4、および推定部 2 5 を備える。

【 0 0 6 2 】

軌道推定装置 2 0 は、間隔を空けて配置された複数のセンサ 2 0 0 に接続される。軌道推定装置 2 0 は、選択部 2 4 および推定部 2 5 の処理の一部が異なる点以外は、第 1 の実施形態の軌道推定装置 1 0 とほぼ同様である。そのため、本実施形態においては、第 1 の実施形態と同様の点については説明を省略し、相違点に焦点を当てて説明する。

【 0 0 6 3 】

図 1 2 は、選択部 2 4 によって選択された二組のセンサペアのドップラーシフトの関係に基づいて波源の軌道を推定する例について説明するための概念図である。選択部 2 4 によるセンサペアの選択条件は、第 1 の実施形態と同様である。

10

【 0 0 6 4 】

選択部 2 4 は、センサ 2 0 0 - 1 とセンサ 2 0 0 - 2 からなる第 1 センサペアを選択する。センサ 2 0 0 - 1 とセンサ 2 0 0 - 2 の間隔は  $k_{12}$  である。波源がセンサ 2 0 0 - 1 に最近接するタイミングは時刻  $t_1$  である。波源がセンサ 2 0 0 - 2 に最近接するタイミングは時刻  $t_2$  である。センサ 2 0 0 - 1 およびセンサ 2 0 0 - 2 の位置を通る直線と、波源の軌道とが交わるタイミングは時刻  $T_{12}$  である。センサ 2 0 0 - 1 およびセンサ 2 0 0 - 2 の位置を通る直線と、波源の軌道とのなす角は  $\theta_{12}$  である。

【 0 0 6 5 】

また、選択部 2 4 は、センサ 2 0 0 - 2 とセンサ 2 0 0 - 3 からなる第 2 センサペアを選択する。センサ 2 0 0 - 2 とセンサ 2 0 0 - 3 の間隔は  $k_{23}$  である。波源がセンサ 2 0 0 - 2 に最近接するタイミングは時刻  $t_2$  である。波源がセンサ 2 0 0 - 3 に最近接するタイミングは時刻  $t_3$  である。センサ 2 0 0 - 2 およびセンサ 2 0 0 - 3 の位置を通る直線と、波源の軌道とが交わるタイミングは時刻  $T_{23}$  である。センサ 2 0 0 - 2 およびセンサ 2 0 0 - 3 の位置を通る直線と、波源の軌道とのなす角は  $\theta_{23}$  である。

20

【 0 0 6 6 】

推定部 2 5 は、選択部 2 4 によって選択された二つのセンサペアの各々に関して波源の軌道を推定する。推定部 2 5 は、センサペアごとに二つの軌道候補を算出する。センサペアごとに算出される二つの軌道候補は、センサペアを構成する二つのセンサ 2 0 0 を通る直線との成す角度が同じであり、正負の符号が異なる。図 1 2 の例では、推定部 2 5 は、センサ 2 0 0 - 1 とセンサ 2 0 0 - 2 によって構成される第 1 センサペアに関して、二つの軌道候補（軌道候補  $R_{12A}$ 、軌道候補  $R_{12B}$ ）を推定する。また、推定部 2 5 は、センサ 2 0 0 - 2 とセンサ 2 0 0 - 3 によって構成される第 2 センサペアに関して、軌道候補（軌道候補  $R_{23A}$ 、軌道候補  $R_{23B}$ ）を推定する。

30

【 0 0 6 7 】

推定部 2 5 は、第 1 センサペアおよび第 2 センサペアの各々に関して推定された軌道候補のうち一致するものを波源の軌道として推定する。図 1 2 の例では、第 1 センサペアに関して推定された軌道候補  $R_{12A}$  と、第 2 センサペアに関して推定された軌道候補  $R_{23A}$  とが共通する。そのため、推定部 2 5 は、これらの軌道候補（軌道候補  $R_{12A}$ 、軌道候補  $R_{23A}$ ）を波源の軌道として推定する。なお、第 1 センサペアによって選択された軌道候補と、第 2 センサペアによって選択された軌道候補とは、完全に一致するとは限らない。そのため、推定部 2 5 は、第 1 センサペアによって選択された軌道候補と、2 センサペアによって選択された軌道候補とのうち、最も類似する軌道候補のうちいずれか一方を波源の軌道として推定してもよい。また、推定部 2 5 は、第 1 センサペアによって選択された軌道候補と、2 センサペアによって選択された軌道候補とのうち、最も類似する軌道候補を平均化したものを波源の軌道として推定してもよい。

40

【 0 0 6 8 】

以上のように、本実施形態の軌道推定装置の選択部は、少なくとも二組のセンサペアを選択する。選択部は、選択された少なくとも二組のセンサペアに関して推定された波源の

50

軌道候補のうち、一致する軌道候補に基づいて波源の軌道を推定する。本実施形態によれば、センサに対する波源の方向が既知でなくても、移動する波源からの波動に基づいて、その波源の軌道を推定できる。

【0069】

本実施形態においては、センサペアを二組選択し、波動の軌道を推定する例を示した。センサペアを二組選択する場合、波動の軌道を二次元的に推定できる。また、センサペアを三組以上選択し、全センサペアに関して推定された軌道候補が一致する軌道（または類似する軌道候補を平均化したもの）を推定してもよい。波動の軌道を三次元的に推定する場合は、センサペアを三組以上選択すればよい。

【0070】

（第3の実施形態）

次に、第3の実施形態に係る軌道推定装置について図面を参照しながら説明する。本実施形態の軌道推定装置は、第1および第2の実施形態に係る軌道推定装置を簡略化した構成である。

【0071】

図13は、本実施形態の軌道推定装置30の構成の一例を示すブロック図である。軌道推定装置30は、取得部31、生成部32、抽出部33、選択部34、および推定部35を備える。一例として、軌道推定装置30が備える各構成要素は、第1の実施形態の軌道推定装置10または第2の実施形態の軌道推定装置20と同様である。

【0072】

取得部31は、複数のセンサによって検出された波動に基づく波動データを取得する。生成部32は、波動データを用いてスペクトログラムを生成する。抽出部33は、スペクトログラムからドップラーシフトを抽出する。選択部34は、ドップラーシフトに関して予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択する。推定部35は、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成するセンサによって波動が検出されるタイミングとに基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する。

【0073】

以上のように、本実施形態の軌道推定装置は、複数のセンサによって検出された波動に基づいて抽出されるドップラーシフトを用いて、予め設定された選択条件を満たす二つのセンサをセンサペアとして選択する。そして、本実施形態の軌道推定装置は、センサペアを構成するセンサの位置関係と、センサペアを構成するセンサによって波動が検出されるタイミングとに基づいて、波動の発生源である波源の軌道を推定する。そのため、本実施形態の軌道推定装置によれば、移動する波源からの波動に基づいて、その波源の軌道を推定できる。

【0074】

（ハードウェア）

ここで、各実施形態に係る軌道推定装置の処理を実行するハードウェア構成について、図14の情報処理装置90を一例として挙げて説明する。なお、図14の情報処理装置90は、各実施形態の軌道推定装置の処理を実行するための構成例であって、本発明の範囲を限定するものではない。

【0075】

図14のように、情報処理装置90は、プロセッサ91、主記憶装置92、補助記憶装置93、入出力インターフェース95、通信インターフェース96、およびドライブ装置97を備える。図14においては、インターフェースをI/F（Interface）と略して表記する。プロセッサ91、主記憶装置92、補助記憶装置93、入出力インターフェース95、通信インターフェース96、およびドライブ装置97は、バス98を介して互いにデータ通信可能に接続される。また、プロセッサ91、主記憶装置92、補助記憶装置93および入出力インターフェース95は、通信インターフェース96を介して、インターネットやイントラネットなどのネットワークに接続される。また、図14には、データを記録可能な記録媒体99を示す。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 6 】

プロセッサ 9 1 は、補助記憶装置 9 3 等に格納されたプログラムを主記憶装置 9 2 に展開し、展開されたプログラムを実行する。本実施形態においては、情報処理装置 9 0 にインストールされたソフトウェアプログラムを用いる構成とすればよい。プロセッサ 9 1 は、本実施形態に係る軌道推定装置による処理を実行する。

## 【 0 0 7 7 】

主記憶装置 9 2 は、プログラムが展開される領域を有する。主記憶装置 9 2 は、例えば D R A M ( Dynamic Random Access Memory ) などの揮発性メモリとすればよい。また、M R A M ( Magnetoresistive Random Access Memory ) などの不揮発性メモリを主記憶装置 9 2 として構成・追加してもよい。

10

## 【 0 0 7 8 】

補助記憶装置 9 3 は、種々のデータを記憶する。補助記憶装置 9 3 は、ハードディスクやフラッシュメモリなどのローカルディスクによって構成される。なお、種々のデータを主記憶装置 9 2 に記憶させる構成とし、補助記憶装置 9 3 を省略することも可能である。

## 【 0 0 7 9 】

入出力インターフェース 9 5 は、情報処理装置 9 0 と周辺機器とを接続するためのインターフェースである。通信インターフェース 9 6 は、規格や仕様に基づいて、インターネットやイントラネットなどのネットワークを通じて、外部のシステムや装置に接続するためのインターフェースである。入出力インターフェース 9 5 および通信インターフェース 9 6 は、外部機器と接続するインターフェースとして共通化してもよい。

20

## 【 0 0 8 0 】

情報処理装置 9 0 には、必要に応じて、キーボードやマウス、タッチパネルなどの入力機器を接続するように構成してもよい。それらの入力機器は、情報や設定の入力に使用される。なお、タッチパネルを入力機器として用いる場合は、表示機器の表示画面が入力機器のインターフェースを兼ねる構成とすればよい。プロセッサ 9 1 と入力機器との間のデータ通信は、入出力インターフェース 9 5 に仲介させればよい。

## 【 0 0 8 1 】

また、情報処理装置 9 0 には、情報を表示するための表示機器を備え付けてもよい。表示機器を備え付ける場合、情報処理装置 9 0 には、表示機器の表示を制御するための表示制御装置 ( 図示しない ) が備えられていることが好ましい。表示機器は、入出力インターフェース 9 5 を介して情報処理装置 9 0 に接続すればよい。

30

## 【 0 0 8 2 】

ドライブ装置 9 7 は、バス 9 8 に接続される。ドライブ装置 9 7 は、プロセッサ 9 1 と記録媒体 9 9 ( プログラム記録媒体 ) との間で、記録媒体 9 9 からのデータやプログラムの読み込み、情報処理装置 9 0 の処理結果の記録媒体 9 9 への書き込みなどを仲介する。なお、記録媒体 9 9 を用いない場合は、ドライブ装置 9 7 を省略してもよい。

## 【 0 0 8 3 】

記録媒体 9 9 は、例えば、C D ( Compact Disc ) や D V D ( Digital Versatile Disc ) などの光学記録媒体で実現できる。また、記録媒体 9 9 は、U S B ( Universal Serial Bus ) メモリや S D ( Secure Digital ) カードなどの半導体記録媒体や、フレキシブルディスクなどの磁気記録媒体、その他の記録媒体によって実現してもよい。プロセッサが実行するプログラムが記録媒体 9 9 に記録されている場合、その記録媒体 9 9 はプログラム記録媒体に相当する。

40

## 【 0 0 8 4 】

以上が、各実施形態に係る軌道推定装置を可能とするためのハードウェア構成の一例である。なお、図 1 4 のハードウェア構成は、各実施形態に係る軌道推定装置の演算処理を実行するためのハードウェア構成の一例であって、本発明の範囲を限定するものではない。また、各実施形態に係る軌道推定装置に関する処理をコンピュータに実行させるプログラムも本発明の範囲に含まれる。さらに、各実施形態に係るプログラムを記録したプログラム記録媒体も本発明の範囲に含まれる。

50

## 【 0 0 8 5 】

各実施形態の軌道推定装置の構成要素は、任意に組み合わせることができる。また、各実施形態の軌道推定装置の構成要素は、ソフトウェアによって実現してもよいし、回路によって実現してもよい。

## 【 0 0 8 6 】

以上、実施形態を参照して本発明を説明してきたが、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細には、本発明の範囲内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 7 】

- 1 0、2 0、3 0 軌道推定装置
- 1 1、2 1、3 1 取得部
- 1 2、2 2、3 2 生成部
- 1 3、2 3、3 3 抽出部
- 1 4、2 4、3 4 選択部
- 1 5、2 5、3 5 推定部
- 1 0 0、2 0 0 センサ
- 1 1 0 波源

10

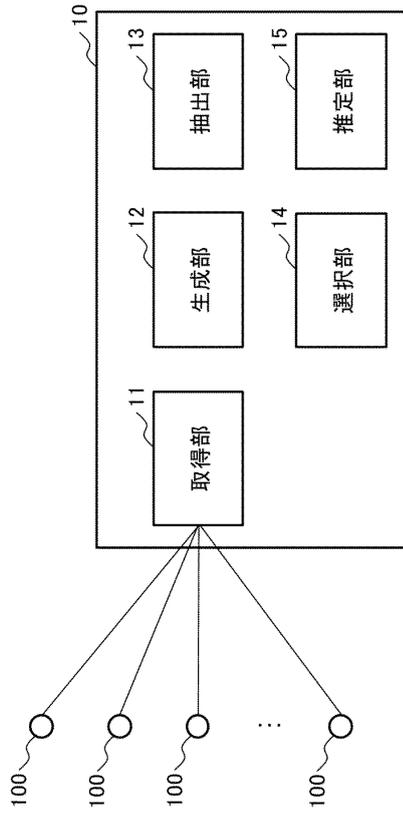
20

30

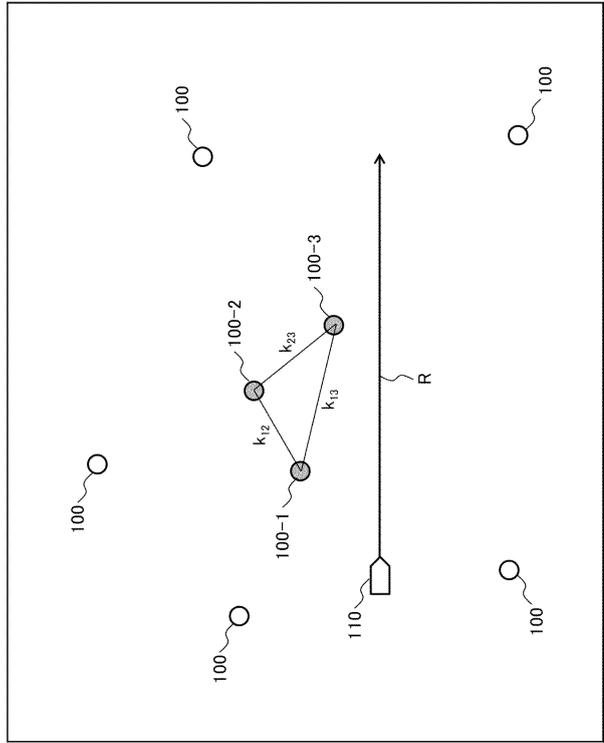
40

50

【図面】  
【図 1】



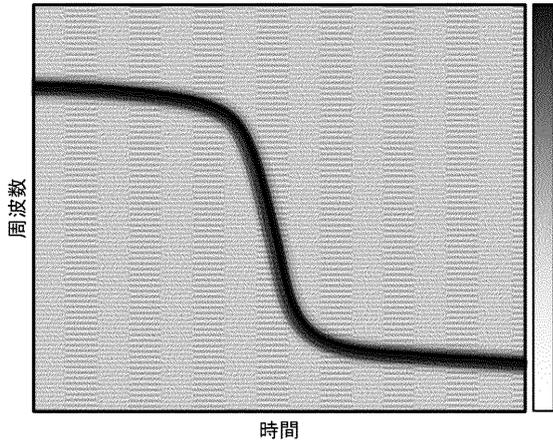
【図 2】



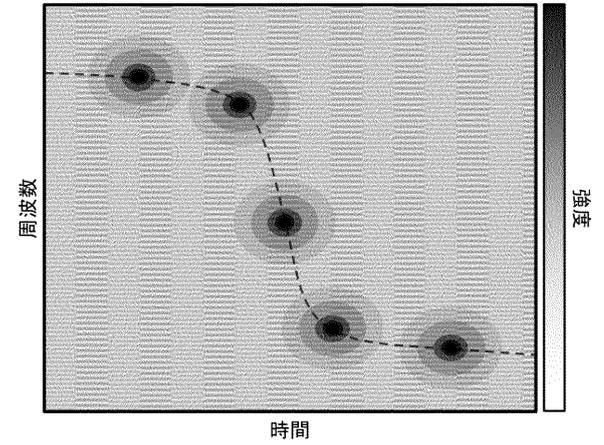
10

20

【図 3】



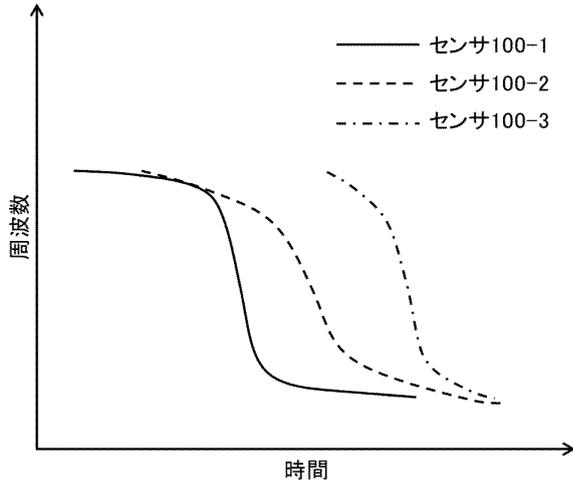
【図 4】



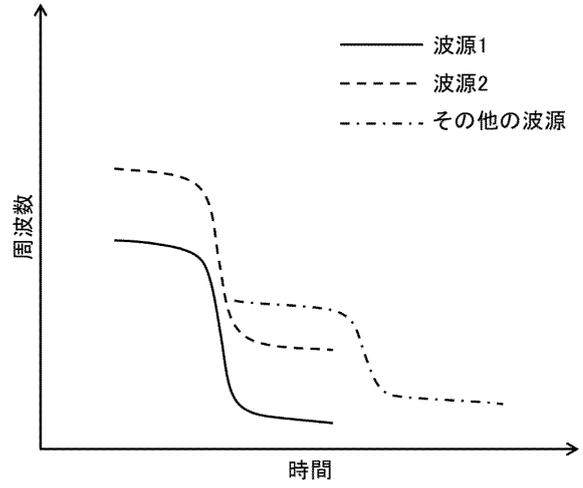
30

40

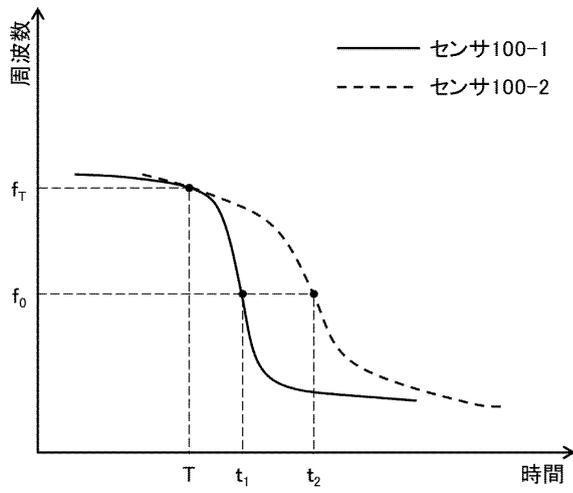
【図 5】



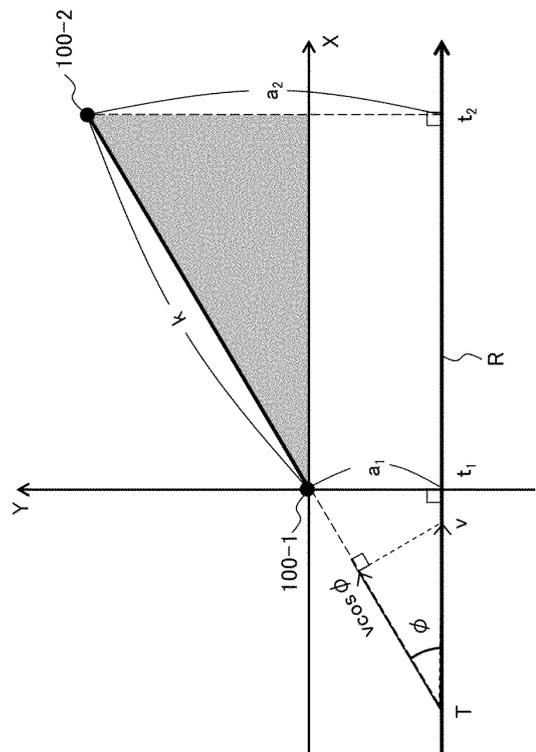
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

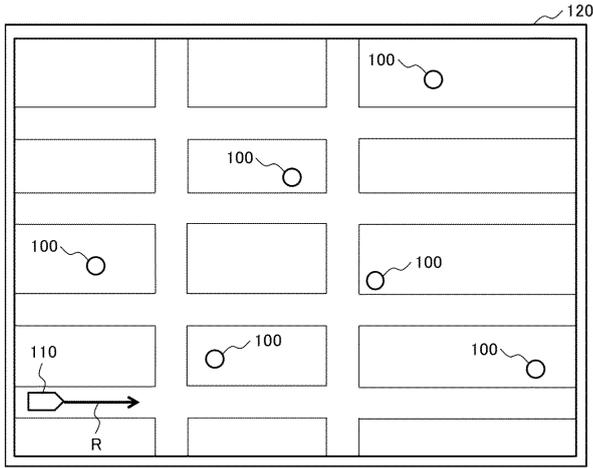
20

30

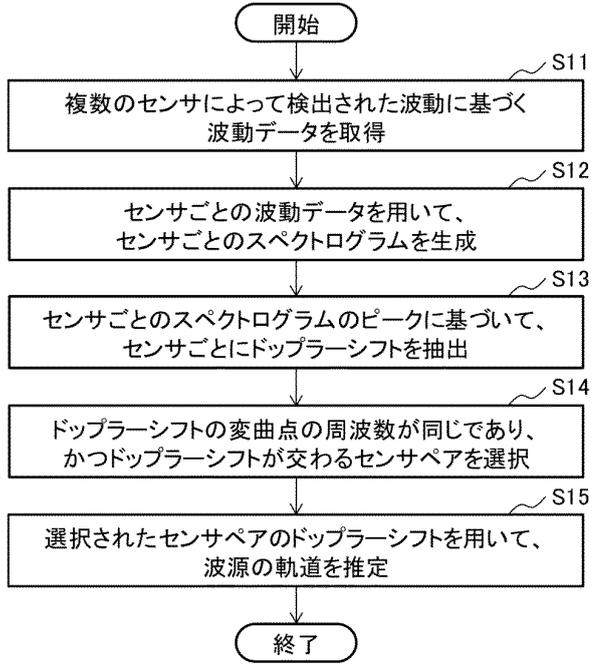
40

50

【図 9】



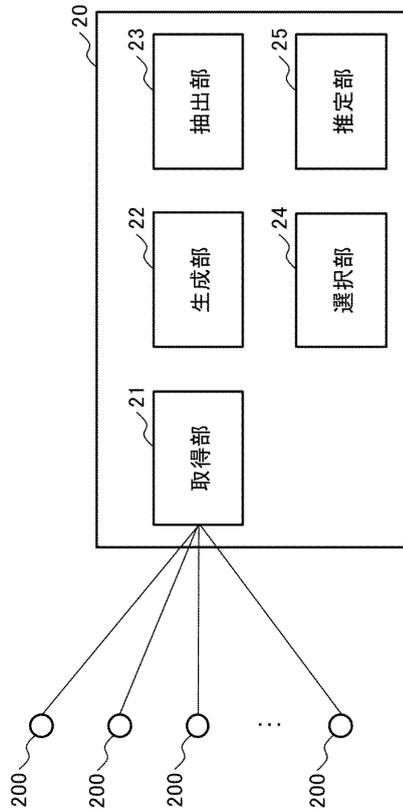
【図 10】



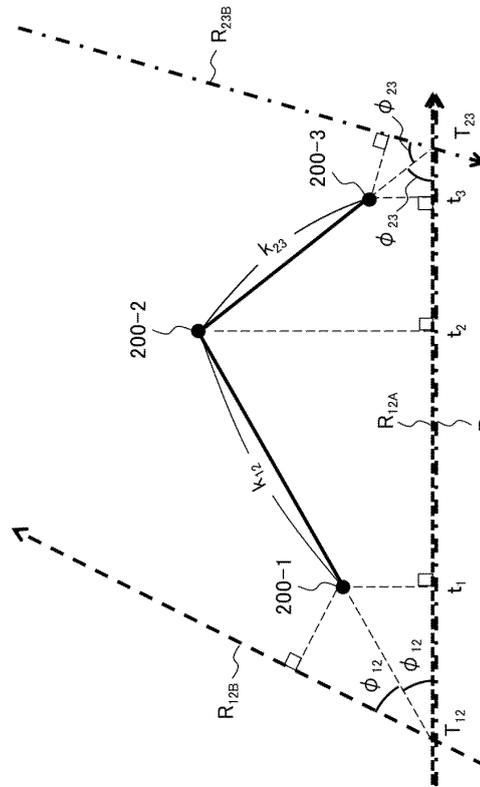
10

20

【図 11】



【図 12】

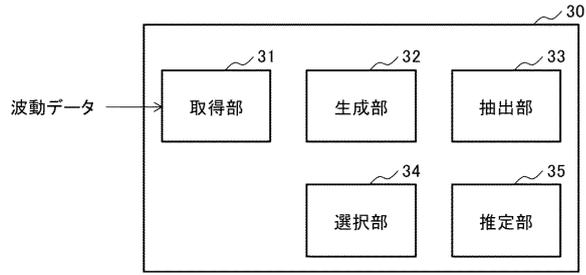


30

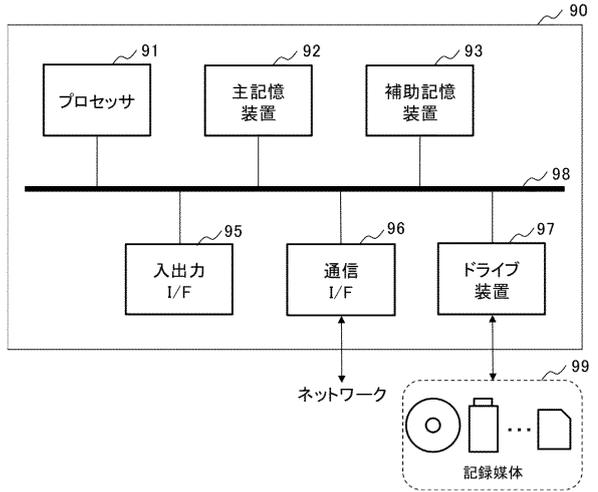
40

50

【図 13】



【図 14】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-205794(JP,A)  
特開2015-118004(JP,A)  
特開2007-033445(JP,A)  
特開平05-087903(JP,A)  
米国特許出願公開第2011/0110195(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
G01S 3/00 - 7/64  
G01S 13/00 - 17/95