

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-34389

(P2020-34389A)

(43) 公開日 令和2年3月5日(2020.3.5)

(51) Int.Cl.  
G01S 3/802 (2006.01)

F1  
G01S 3/802

テーマコード(参考)  
5J083

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2018-160462 (P2018-160462)  
(22) 出願日 平成30年8月29日 (2018.8.29)

(71) 出願人 899000057  
学校法人日本大学  
東京都千代田区九段南四丁目8番24号  
(74) 代理人 100161207  
弁理士 西澤 和純  
(74) 代理人 100175824  
弁理士 小林 淳一  
(74) 代理人 100126882  
弁理士 五十嵐 光永  
(72) 発明者 羽入 敏樹  
東京都千代田区九段南四丁目8番24号  
学校法人日本大学内  
Fターム(参考) 5J083 AA05 AC29 AD18 BE15 BE41  
CA07 CA10

(54) 【発明の名称】 音響情報測定装置、音響情報測定方法、及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】音響情報の測定の精度を高めることができること。

【解決手段】音響情報測定装置は、所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備え、收音部により当該收音部の指向特性に応じて音が收音されることに伴って收音部毎に生成される信号と、音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第1項と音の音圧を表す第2項とにより信号が表された場合の第1項の係数と第2項の係数との組によって收音部毎に表される收音特性とに基づいて、音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出部とを備える。

【選択図】 図1

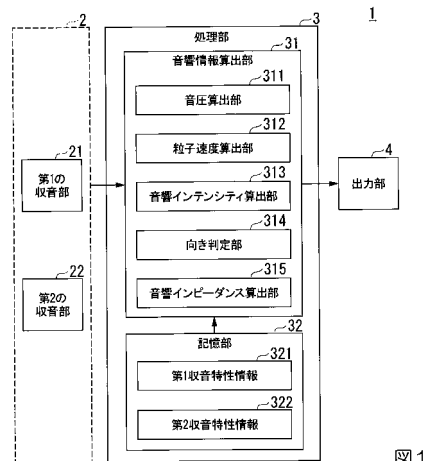


図1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備え、

前記收音部により当該收音部の前記指向特性に応じて前記音が收音されることに伴って前記收音部毎に生成される信号と、前記音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第 1 項と前記音の音圧を表す第 2 項とにより前記信号が表された場合の前記第 1 項の係数と前記第 2 項の係数との組によって前記收音部毎に表される收音特性とに基づいて、前記音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出部とを備える音響情報測定装置。

## 【請求項 2】

前記複数の前記指向特性は、前記複数の收音部相互に向き毎の感度差が所定の範囲内である

請求項 1 に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 3】

前記複数の前記收音部は、第 1 の收音部と、第 2 の收音部とを含み、  
第 1 の收音部と、第 2 の收音部とは互いに対向して配置される

請求項 1 または請求項 2 に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 4】

前記複数の前記收音部は、第 1 の收音部と、第 2 の收音部と、第 3 の收音部と、第 4 の收音部とを含み、

正四面体の各頂点に基づいて示される 4 つの測定位置に、前記第 1 の收音部と、前記第 2 の收音部と、前記第 3 の收音部と、前記第 4 の收音部とが配置される

請求項 1 または請求項 2 に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 5】

前記複数の前記收音部は、第 1 の收音部と、第 2 の收音部と、第 3 の收音部と、第 4 の收音部と、第 5 の收音部と、第 6 の收音部とを含み、

正八面体の各頂点に基づいて示される 6 つの測定位置に、前記第 1 の收音部と、前記第 2 の收音部と、前記第 3 の收音部と、前記第 4 の收音部と、前記第 5 の收音部と、前記第 6 の收音部とが配置される

請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 6】

前記複数の前記收音部は、前記收音部毎に大きさが同じである方向ベクトルによって示される方向をもち、前記複数の前記方向ベクトルの合成ベクトルの大きさを所定の値以下にして前記方向に向けられそれぞれ配置される

請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 7】

前記複数の前記方向ベクトルの成分毎の二乗和の前記成分間の差はそれぞれ所定の値以下である

請求項 6 に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 8】

前記複数の前記信号と、前記收音部毎の前記收音特性とに基づいて、前記粒子速度を算出する粒子速度算出部

をさらに備える請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 9】

前記粒子速度算出部は、前記複数の前記信号と、前記收音部毎に表される前記收音特性と、前記複数の前記方向ベクトルとに基づいて前記粒子速度を算出する

請求項 6 に従属する請求項 8、または請求項 7 に従属する請求項 8 に記載の音響情報測定装置。

## 【請求項 10】

前記粒子速度算出部は、前記方向ベクトルによって示される前記方向に向けられ配置さ

10

20

30

40

50

れる前記收音部の前記信号に当該收音部の前記收音特性に基づく因子と当該方向ベクトルとを乗じて前記複数の前記收音部毎に得られるベクトルの和に基づいて、前記粒子速度を算出する

請求項 9 に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 1】

前記複数の前記信号と、前記收音部毎に表される前記收音特性とに基づいて、前記音圧を算出する音圧算出部

をさらに備える請求項 1 から請求項 1 0 のいずれか一項に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 2】

前記粒子速度算出部により算出された前記粒子速度と、前記音圧算出部により算出された前記音圧との積に基づいて、前記音の音響インテンシティを算出する音響インテンシティ算出部

10

をさらに備える請求項 8 から請求項 1 0 のいずれか一項に従属する請求項 1 1 に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 3】

前記音響インテンシティ算出部により算出された前記音響インテンシティに基づいて前記音が到来する向きを判定する向き判定部

をさらに備える請求項 1 2 に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 4】

前記粒子速度算出部により算出された前記粒子速度と、前記音圧算出部により算出された前記音圧との比に基づいて、前記音の音響インピーダンスを算出する音響インピーダンス算出部

20

をさらに備える請求項 8 から請求項 1 0 のいずれか一項に従属する請求項 1 1、または請求項 1 2、または請求項 1 3 のいずれか一項に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 5】

前記收音特性は、前記複数の前記收音部のうちの 1 つを校正対象收音部にして、第 1 の向きに前記校正対象收音部が配置された場合に、前記校正対象收音部によって收音された基準音に応じて生成される信号である第 1 信号と、前記第 1 の向きと対向する第 2 の向きに前記校正対象收音部が配置された場合に、前記校正対象收音部によって收音された前記基準音に応じて生成される信号である第 2 信号との和と、前記第 1 信号と前記第 2 信号との差とに基づいて、前記校正対象收音部の前記收音特性として算出される、

30

または、

前記收音特性は、前記第 1 の向きと前記第 2 の向きとにそれぞれ配置される 2 つの前記收音部のうち、前記校正対象收音部の指向特性と、前記校正対象收音部以外の前記收音部の指向特性との間の向き毎の感度差が所定の範囲内にされ、前記校正対象收音部以外の前記收音部の前記信号である校正補助信号と前記校正対象收音部の前記信号との和と、前記校正補助信号と前記校正対象收音部の前記信号との差とに基づいて、前記校正対象收音部の前記收音特性として算出される

請求項 1 から請求項 1 4 のいずれか一項に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 6】

前記收音特性は、前記校正対象收音部の前記收音特性の周波数特性に基づいて算出される

40

請求項 1 5 に記載の音響情報測定装置。

【請求項 1 7】

所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備える音響情報測定装置の音響情報測定方法であって、

前記收音部により当該收音部の前記指向特性に応じて前記音が收音されることに伴って前記收音部毎に生成される信号と、前記音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第 1 項と前記音の音圧を表す第 2 項とにより前記信号が表された場合の前記第 1 項の係数と前記第 2 項の係数との組によって前記收音部毎に表される收音

50

特性とに基づいて、前記音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出手順を有する音響情報測定方法。

【請求項 18】

所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備える音響情報測定装置のコンピュータに、

前記收音部により当該收音部の前記指向特性に応じて前記音が收音されることに伴って前記收音部毎に生成される信号と、前記音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第 1 項と前記音の音圧を表す第 2 項とにより前記信号が表された場合の前記第 1 項の係数と前記第 2 項の係数との組によって前記收音部毎に表される收音特性とに基づいて、前記音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出ステップ

10

を実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音響情報測定装置、音響情報測定方法、及びプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

音の粒子速度、音響インテンシティの測定方法は、無指向性の音圧型マイクを 2 本組み合わせる方法が主流であった。無指向性マイクではなくカーディオイドマイクを 2 本組み合わせることによって、音響インテンシティに代表される音の方向情報を測定する音響測定装置が知られている（特許文献 1）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2014 - 95723 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 に記載の音響測定装置では、2 本のカーディオイドマイクの感度や指向特性が異なる場合に測定結果に誤差が生じていた。2 本のカーディオイドマイクの感度や指向特性が異なる場合に、カーディオイドマイクを校正することができなかったため、粒子速度、音響インテンシティなどの音響情報の測定の精度を高められなかった。また、特許文献 1 に記載の音響測定装置では、カーディオイドマイクの指向特性が、低音域ではカーディオイド指向性になっておらず測定結果の誤差が大きかった。

30

【0005】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、音響情報の測定の精度を高めることができる音響情報測定装置、音響情報測定方法、及びプログラムを提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は上記の課題を解決するためになされたものであり、本発明の一態様は、所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備え、前記收音部により当該收音部の前記指向特性に応じて前記音が收音されることに伴って前記收音部毎に生成される信号と、前記音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第 1 項と前記音の音圧を表す第 2 項とにより前記信号が表された場合の前記第 1 項の係数と前記第 2 項の係数との組によって前記收音部毎に表される收音特性とに基づいて、前記音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出部とを備える音響情報測定装置である。

40

【0007】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記指向特性

50

は、前記複数の収音部相互に向き毎の感度差が所定の範囲内である。

【0008】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記収音部は、第1の収音部と、第2の収音部とを含み、第1の収音部と、第2の収音部とは互いに対向して配置される。

【0009】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記収音部は、第1の収音部と、第2の収音部と、第3の収音部と、第4の収音部とを含み、正四面体の各頂点に基づいて示される4つの測定位置に、前記第1の収音部と、前記第2の収音部と、前記第3の収音部と、前記第4の収音部とが配置される。

10

【0010】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記収音部は、第1の収音部と、第2の収音部と、第3の収音部と、第4の収音部と、第5の収音部と、第6の収音部とを含み、正八面体の各頂点に基づいて示される6つの測定位置に、前記第1の収音部と、前記第2の収音部と、前記第3の収音部と、前記第4の収音部と、前記第5の収音部と、前記第6の収音部とが配置される。

【0011】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記収音部は、前記収音部毎に大きさが同じである方向ベクトルによって示される方向をもち、前記複数の前記方向ベクトルの合成ベクトルの大きさを所定の値以下にして前記方向に向けられそれぞれ配置される。

20

【0012】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記方向ベクトルの成分毎の二乗和の前記成分間の差はそれぞれ所定の値以下である。

【0013】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記信号と、前記収音部毎の前記収音特性とに基づいて、前記粒子速度を算出する粒子速度算出部をさらに備える。

【0014】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記粒子速度算出部は、前記複数の前記信号と、前記収音部毎に表される前記収音特性と、前記複数の前記方向ベクトルとに基づいて前記粒子速度を算出する。

30

【0015】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記粒子速度算出部は、前記方向ベクトルによって示される前記方向に向けられ配置される前記収音部の前記信号に当該収音部の前記収音特性に基づく因子と当該方向ベクトルとを乗じて前記複数の前記収音部毎に得られるベクトルの和に基づいて、前記粒子速度を算出する。

【0016】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記複数の前記信号と、前記収音部毎に表される前記収音特性とに基づいて、前記音圧を算出する音圧算出部をさらに備える。

40

【0017】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記粒子速度算出部により算出された前記粒子速度と、前記音圧算出部により算出された前記音圧との積に基づいて、前記音の音響インテンシティを算出する音響インテンシティ算出部をさらに備える。

【0018】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記音響インテンシティ算出部により算出された前記音響インテンシティに基づいて前記音が到来する向きを判定する向き判定部をさらに備える。

【0019】

50

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記粒子速度算出部により算出された前記粒子速度と、前記音圧算出部により算出された前記音圧との比に基づいて、前記音の音響インピーダンスを算出する音響インピーダンス算出部をさらに備える。

【0020】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記收音特性は、前記複数の前記收音部のうちの1つを校正対象收音部にして、第1の向きに前記校正対象收音部が配置された場合に、前記校正対象收音部によって收音された基準音に応じて生成される信号である第1信号と、前記第1の向きと対向する第2の向きに前記校正対象收音部が配置された場合に、前記校正対象收音部によって收音された前記基準音に応じて生成される信号である第2信号との和と、前記第1信号と前記第2信号との差とに基づいて、前記校正対象收音部の前記收音特性として算出される、または、前記收音特性は、前記第1の向きと前記第2の向きとにそれぞれ配置される2つの前記收音部のうち、前記校正対象收音部の指向特性と、前記校正対象收音部以外の前記收音部の指向特性との間の向き毎の感度差が所定の範囲内にされ、前記校正対象收音部以外の前記收音部の前記信号である校正補助信号と前記校正対象收音部の前記信号との和と、前記校正補助信号と前記校正対象收音部の前記信号との差とに基づいて、前記校正対象收音部の前記收音特性として算出される。

10

【0021】

また、本発明の一態様は、上記の音響情報測定装置において、前記收音特性は、前記校正対象收音部の前記收音特性の周波数特性に基づいて算出される。

20

【0022】

また、本発明の一態様は、所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備える音響情報測定装置の音響情報測定方法であって、前記收音部により当該收音部の前記指向特性に応じて前記音が收音されることに伴って前記收音部毎に生成される信号と、前記音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第1項と前記音の音圧を表す第2項とにより前記信号が表された場合の前記第1項の係数と前記第2項の係数との組によって前記收音部毎に表される收音特性とに基づいて、前記音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出手順を有する音響情報測定方法である。

【0023】

30

また、本発明の一態様は、所定の指向特性を有し、到来してくる音を收音する收音部を複数備える音響情報測定装置のコンピュータに、前記收音部により当該收音部の前記指向特性に応じて前記音が收音されることに伴って前記收音部毎に生成される信号と、前記音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第1項と前記音の音圧を表す第2項とにより前記信号が表された場合の前記第1項の係数と前記第2項の係数との組によって前記收音部毎に表される收音特性とに基づいて、前記音についての情報である音響情報を算出する音響情報算出ステップを実行させるためのプログラムである。

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、音響情報の測定の精度を高めることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る音響情報測定装置の構成の一例を示す図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る第1の收音部と、第2の收音部との配置の一例を示す図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る遠距離音場におけるC-C法の一例を示す図である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る2本のカーディオイドマイクの方向別の感度差の第1例を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施形態に係る2本のカーディオイドマイクの方向別の感度差の

50

第 2 例を示す図である。

【図 6】本発明の第 1 の実施形態に係る音響情報算出処理の一例を示す図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施形態に係る各種の音響情報の算出処理の一例を示す図である。

【図 8】本発明の第 2 の実施形態に係る音響情報測定装置の構成の一例を示す図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態に係る收音部に対する校正処理の一例を示す図である。

【図 10】本発明の第 2 の実施形態に係る方向ベクトルに基づく收音部の配置の一例を示す図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施形態に係る方向ベクトルに基づく 2 つの收音部の配置の一例を示す図である。

10

【図 12】本発明の第 3 の実施形態に係る音響情報測定装置の構成の一例を示す図である。

【図 13】本発明の第 3 の実施形態に係る複数のカーディオイドマイクの校正方法の一例を示す図である。

【図 14】本発明の第 4 の実施形態に係る音響情報測定装置の構成の一例を示す図である。

【図 15】本発明の第 4 の実施形態に係る複数の收音部の配置の一例を示す図である。

【図 16】本発明の第 4 の実施形態に係る音響情報算出処理の一例を示す図である。

【図 17】本発明の第 4 の実施形態に係る各種の音響情報の算出処理の一例を示す図である。

20

【図 18】本発明の第 4 の実施形態の変形例に係る複数の收音部の配置の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0026】

(第 1 の実施形態)

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳しく説明する。図 1 は、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 の構成の一例を示す図である。音響情報測定装置 1 は、到来してくる音 SD を收音し、当該音 SD についての情報である音響情報 SI を算出する。ここで音響情報 SI は、粒子速度、音圧、音響インテンシティ、音が到来する向き、及び音響インピーダンスを含む。

30

音響情報測定装置 1 は、複数の收音部 2 と、処理部 3 とを備える。

【0027】

複数の收音部 2 は、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とを含む。複数の收音部 2 は、所定の指向特性を有し、到来してくる音 SD を收音する。第 1 の收音部 2 1 は、指向特性 C 1 を有し、音 SD を收音する。第 2 の收音部 2 2 は、指向特性 C 2 を有し、音 SD を收音する。複数の收音部 2 は、一例として、複数のカーディオイドマイクである。

【0028】

本実施形態では一例として、複数の收音部 2 について複数の所定の指向特性は、複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内である。例えば、指向特性 C 1 と、指向特性 C 2 とは向き毎の感度差が同じである。なお、複数の所定の指向特性は、複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内でもよい。

40

【0029】

ここで図 2 を参照し、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 との配置について説明する。

図 2 は、本実施形態に係る第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 との配置の一例を示す図である。矢印 A 2 1 は第 1 の收音部 2 1 の向きを示す。矢印 A 2 2 は第 2 の收音部 2 2 の向きを示す。ここで收音部の向きとは、一例として、当該收音部の有する指向特性が最大の感度を示す向きである。

【0030】

第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とは互いに対向して配置される。第 1 の收音部

50

2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とが互いに対向するとは、一例として、矢印 A 2 1 と矢印 A 2 2 とが互いに外側を向いて 1 8 0 度反対向きとなることである。

複数の收音部 2 は、互いの距離が近くなるように配置されることが好ましい。複数の收音部 2 は、一例として、ある位置からの距離が所定の範囲となるように設置されて音響中心が揃えられる。なお、複数の收音部 2 は、任意の一点から複数の收音部 2 の音響中心までの距離が互いに等しくなるように配置されてもよい。

【 0 0 3 1 】

なお、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とは、矢印 A 2 1 と矢印 A 2 2 とが互いに内側を向いて 1 8 0 度反対向きとなるように、互いに対向して配置されてもよい。また、矢印 A 2 1 と矢印 A 2 2 とは、所望の測定精度に応じて、1 8 0 度反対向きから所定の角度だけずれた向きを向いていてもよい。

10

【 0 0 3 2 】

図 1 に戻って音響情報測定装置 1 の構成の説明を続ける。

複数の收音部 2 は、收音部の指向特性に応じて当該收音部が收音した音が收音されることに伴って收音部毎に信号を生成する。例えば、第 1 の收音部 2 1 は、第 1 の收音部 2 1 の指向特性 C 1 に応じて音を收音することに伴って信号 M 1 を生成する。第 2 の收音部 2 2 は、第 2 の收音部 2 2 の指向特性 C 2 に応じて音を收音することに伴って信号 M 2 を生成する。

【 0 0 3 3 】

処理部 3 は、音響情報算出部 3 1 と、記憶部 3 2 とを備える。

20

音響情報算出部 3 1 は、一般化された C - C 法に基づいて音響情報 S I を算出する。ここで、一般化される前の従来の C - C 法について説明する。

【 0 0 3 4 】

C - C 法では、2 本以上の複数のカーディオイドマイクが用いられる。例えば、2 本のカーディオイドマイクが用いられる場合、当該 2 本のカーディオイドマイクは、図 2 に示した第 1 の收音部 2 1 及び第 2 の收音部 2 2 のように、1 8 0 度反対向きに向けられて配置される。C - C 法は、例えば、ホールやスタジオの音響解析、航空機の騒音の監視、工事の騒音の監視などに用いられる。

【 0 0 3 5 】

音響情報算出部 3 1 の内部構成を説明する前に図 3 を参照し、C - C 法について説明する。

30

図 3 は、本実施形態に係る遠距離音場における C - C 法の一例を示す図である。図 3 では、2 本のカーディオイドマイクが 1 8 0 度反対向きに対向して配置される場合の 2 本のカーディオイドマイクの指向特性が示されている。以下では、2 本のカーディオイドマイクを、単にマイク M C 1 及びマイク M C 2 ということがある。マイク M C 1 は指向特性 C 1 を有する。マイク M C 2 は指向特性 C 2 を有する。

マイク M C 1 とマイク M C 2 とは、それぞれ第 1 の收音部 2 1 と第 2 の收音部 2 2 とに対応する。

【 0 0 3 6 】

X 軸に対して角度  $\theta$  で到来する平面波 P を考える。図 3 では、平面波 P が到来する向きは矢印 A 1 によって示されている。平面波 P の音圧は音圧  $p(t)$  とする。平面波 P の粒子速度  $u(t)$  は、理論値として式 ( 1 ) によって表される。

40

【 0 0 3 7 】

【 数 1 】

$$u(t) = p(t) / \rho c \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 8 】

ここで媒質密度  $\rho$  は空気の媒質密度を示し、音速  $c$  は到来する音の音速を示す。なお、音響インピーダンスは、媒質密度  $\rho$  と音速  $c$  との積によって表される。

50



X 軸方向の粒子速度成分  $u_x(t)$  は、理論値として式 (2) によって表される。

【0039】

【数2】

$$u_x(t) = -\{p(t) \cos \theta\} / \rho c \quad \dots (2)$$

【0040】

X 軸方向の音響インテンシティ  $I_x(t)$  は、理論値として式 (3) によって表される。

【0041】

【数3】

$$I_x(t) = p(t)u_x(t) = -\{p^2(t) \cos \theta\} / \rho c \quad \dots (3)$$

【0042】

ここでカーディオイドマイクの指向特性が式 (4) によって表されるとする。

【0043】

【数4】

$$C(\theta) = \frac{(1 + \cos \theta)}{2} \quad \dots (4)$$

【0044】

カーディオイドマイクによって生成される信号の波形は、式 (5) によって表される。

【0045】

【数5】

$$M(t) = \frac{p(t) + p(t) \cos \theta}{2} \quad \dots (5)$$

【0046】

ここでカーディオイドマイクによって生成される信号の波形とは、カーディオイドマイクの收音する音に対する応答である。マイク MC 1 によって生成される信号 M 1 の波形、及びマイク MC 2 によって生成される信号 M 2 の波形は、それぞれ式 (6) 及び式 (7) によって表される。

【0047】

【数6】

$$M_1(t) = p(t)(0.5 + 0.5 \cos \theta) \quad \dots (6)$$

【0048】

【数7】

$$M_2(t) = p(t)(0.5 - 0.5 \cos \theta) \quad \dots (7)$$

【0049】

式 (6) 及び式 (7) から、式 (8) のように無指向性応答が得られる。ここで無指向性応答とは、音圧  $p(t)$  である。

【0050】

10

20

30

40

【数 8】

$$M_1(t) + M_2(t) = p(t) \quad \dots (8)$$

【0051】

一方、式(6)及び式(7)から、式(9)のようにマイクMC1とマイクMC2との応答の差分が得られる。

【0052】

【数 9】

$$M_1(t) - M_2(t) = p(t) \cos \theta \quad \dots (9)$$

10

【0053】

式(2)及び式(9)からX軸方向の粒子速度成分  $u_x(t)$  は、式(10)のように得られる。

【0054】

【数 10】

$$u_x(t) = -\{M_1(t) - M_2(t)\} / \rho c \quad \dots (10)$$

20

【0055】

式(10)から音響インテンシティ  $I_x(t)$  は、式(11)のように得られる。

【0056】

【数 11】

$$\begin{aligned} I_x(t) &= p(t)u_x(t) \\ &= -\{M_1(t) + M_2(t)\}\{M_1(t) - M_2(t)\} / \rho c \\ &\quad \dots (11) \end{aligned}$$

30

【0057】

音響インテンシティ  $I_x(t)$  は、式(12)によっても得られる。

【0058】

【数 12】

$$I_x(t) = -\{M_1^2(t) - M_2^2(t)\} / \rho c \quad \dots (12)$$

【0059】

ここで図4及び図5を参照し、2本のカーディオイドマイクの方角別の感度差について説明する。

40

【0060】

図4は、本実施形態に係る2本のカーディオイドマイクの方角別の感度差の第1例を示す図である。Y軸に対して角度  $\theta_1$  で到来する平面波を考える。当該平面波の進行方向は、矢印A2により示される。指向特性C1は、矢印A2により示される方向から到来する平面波に対して感度P1を示す。指向特性C2は、矢印A2により示される方向から到来する平面波に対して感度P2を示す。感度差D1は、感度P1と感度P2との差分である。

【0061】

図5は、本実施形態に係る2本のカーディオイドマイクの方角別の感度差の第2例を示

50

す図である。Y軸に対して角度  $\theta$  で到来する平面波を考える。当該平面波の進行方向は、矢印 A 3 により示される。指向特性 C 1 は、矢印 A 3 により示される方向から到来する平面波に対して感度 P 3 を示す。指向特性 C 2 は、矢印 A 3 により示される方向から到来する平面波に対して感度 P 4 を示す。感度差 D 2 は、感度 P 3 と感度 P 4 との差分である。

【 0 0 6 2 】

図 4 の感度差 D 1 と、図 5 の感度差 D 2 とを比較すると、2本のカーディオイドマイクでは、平面波が到来する方向によって感度差が異なる。C - C 法では、到来する音の方向を推定するために、2本のカーディオイドマイクの方向別の感度差を利用する。したがって、C - C 法の角度分解能は、原理的には測定対象である音波の波長に依存しない。

10

【 0 0 6 3 】

C - C 法では、物理的にマイク M C 1 とマイク M C 2 とを同じ位置に置くことができないことが誤差要因となり得る。C - C 法では、なるべくマイク M C 1 とマイク M C 2 とを近づけて配置することが精度向上の基本である。

【 0 0 6 4 】

C - C 法では、精度を確保するためのマイク間隔の上限は、測定対象である音波に含まれる上限周波数に依存する。一方、C - C 法では、マイク間隔の下限はない。つまり、C - C 法では、マイク間隔は近づけるほど測定精度は上がる。マイク間隔の下限は、マイク同士を物理的に近づけることによる遮蔽効果が主な誤差要因となると考えられる。マイク間隔の上限は、測定対象である音波に含まれる周波数の上限によって決まり、当該上限以下の周波数であれば周波数ごとにマイク間隔を変える必要はない。

20

【 0 0 6 5 】

ここで時間平均インテンシティについて説明する。時間平均インテンシティは、C - C 法において測定される音響情報の一例である。時間平均インテンシティは、各時間の音響インテンシティである瞬間インテンシティを時間平均することにより算出される。時間平均インテンシティは、アクティブインテンシティともいう。C - C 法では、様々な時間平均の方法がある。

【 0 0 6 6 】

式 ( 1 3 ) は、瞬時インテンシティの平均として算出される時間平均インテンシティの一例を示す。

30

【 0 0 6 7 】

【 数 1 3 】

$$I_x = \overline{I_x(t)} = -\overline{\{M_1(t) + M_2(t)\}\{M_1(t) - M_2(t)\}} / \rho c \quad \dots (13)$$

【 0 0 6 8 】

式 ( 1 4 ) は、瞬時二乗応答の差分の平均として算出される時間平均インテンシティの一例を示す。

【 0 0 6 9 】

40

【 数 1 4 】

$$I_x = \overline{I_x(t)} = -\overline{\{M_1^2(t) - M_2^2(t)\}} / \rho c \quad \dots (14)$$

【 0 0 7 0 】

式 ( 1 5 ) は、二乗平均の差分として算出される時間平均インテンシティの一例を示す。

【 0 0 7 1 】

【数 15】

$$I_x = -\left\{M_1^2(t) - M_2^2(t)\right\} / \rho c \quad \dots (15)$$

【0072】

ここで式(15)によれば、C-C法では、音場が定常である場合、一本のマイクの向きを変えて2回測定を行うことによって時間平均インテンシティを算出できる。ある時間幅で音場が定常とみなせる場合、この原理を用いることができる。

以下では、瞬時インテンシティを音響インテンシティ $I(t)$ と表し、時間平均インテンシティを音響インテンシティ $I$ と表し区別する。X軸方向の瞬時インテンシティは、音響インテンシティ $I_x(t)$ と表し、X軸方向の時間平均インテンシティは、音響インテンシティ $I_x$ と表す。Y軸方向やZ軸方向についても同様である。

10

【0073】

上述の説明においては、遠距離音場におけるC-C法について説明したが、C-C法は近距離音場や干渉音場においても音圧と粒子速度とを算出することができ、近距離音場や干渉音場にも適用可能である。

【0074】

次に一般化されたC-C法について説明する。

C-C法を一般化すると、カーディオイドマイクによって、音圧 $p(t)$ とマイクを向けた方向の粒子速度 $u(t)$ が係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ との比率で混合された応答を測定することに帰結される。当該応答は式(16)によって表される。

20

【0075】

【数 16】

$$M(t) = \alpha \cdot p(t) - \beta \cdot \{u(t) \rho c\} \quad \dots (16)$$

【0076】

ここで式(16)において項 $\beta \cdot \{u(t) \rho c\}$ は、音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第1項T1である。ここで第1項T1は、粒子速度成分 $u(t)$ に積 $\rho c$ が乗じられた項である。式(16)において項 $\alpha \cdot p(t)$ は、音の音圧を表す第2項T2である。係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ との組をマイクの收音特性という。收音特性は、マイクに固有であり、マイクの指向特性に応じて決まる。

30

【0077】

カーディオイドは係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ とが0.5の場合に相当する。係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ とが予めわかっているならば、測定に用いられるマイクの指向特性は、カーディオイドである必要はない。言い換えると、係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ とが0.5のカーディオイドであると仮定して音響情報を算出すると、カーディオイドであるとの仮定からのずれが誤差を生じる。音響情報の算出において誤差を生じさせないためには、使用するマイクの係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ とを予め知っておく必要がある。マイク間の感度補正をする場合、正面感度で補正するだけでは不十分であり、係数 $\alpha$ と係数 $\beta$ との補正をする必要がある。

40

【0078】

図2及び図3と同様に、x軸上に180度反対向きに設置したマイクMC1とマイクMC2とによる応答を考える。なお、マイクMC1はx軸+方向、マイクMC2はx軸-方向に向けるものとする。マイクMC1の收音特性AC1を、係数 $\alpha_1$ 及び係数 $\beta_1$ とする。マイクMC2の收音特性AC2を、係数 $\alpha_2$ 及び係数 $\beta_2$ とする。マイクMC1とマイクMC2との応答は、式(17)及び式(18)のように表せる。

【0079】

50

【数 17】

$$M_1(t) = \alpha_1 \cdot p(t) - \beta_1 \cdot \{u_x(t) \rho c\} \quad \dots (17)$$

【0080】

【数 18】

$$M_2(t) = \alpha_2 \cdot p(t) + \beta_2 \cdot \{u_x(t) \rho c\} \quad \dots (18)$$

【0081】

式(17)と式(18)とを加算すると、式(19)が得られる。

【0082】

【数 19】

$$M_1(t) + M_2(t) = (\alpha_1 + \alpha_2) p(t) - (\beta_1 - \beta_2) \rho c \cdot u_x(t) \quad \dots (19)$$

【0083】

式(17)と式(18)との差分をとると、式(20)が得られる。

【0084】

【数 20】

$$M_1(t) - M_2(t) = (\alpha_1 - \alpha_2) p(t) - (\beta_1 + \beta_2) \rho c \cdot u_x(t) \quad \dots (20)$$

【0085】

単純な加算と差分によって、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  を抽出できるのは、係数  $\alpha_1$  と係数  $\alpha_2$  とが等しくかつ係数  $\beta_1$  と係数  $\beta_2$  とが等しい場合あり、係数  $\alpha_1$  と係数  $\alpha_2$  とが等しくないときまたは係数  $\beta_1$  と係数  $\beta_2$  とが等しくないときには、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  を単純な加算と差分によっては抽出することができない。

【0086】

そこで、式(17)と式(18)とを連立させて、粒子速度成分  $u_x(t)$  の項を消去して音圧  $p(t)$  だけを抽出すると式(21)を経て式(22)を得る。

【0087】

【数 21】

$$M_1(t) + \frac{\beta_1}{\beta_2} M_2(t) = \left( \alpha_1 + \frac{\beta_1}{\beta_2} \alpha_2 \right) p(t) \quad \dots (21)$$

【0088】

【数 22】

$$p(t) = \left\{ M_1(t) + \frac{\beta_1}{\beta_2} M_2(t) \right\} / \left\{ \alpha_1 + \frac{\beta_1}{\beta_2} \alpha_2 \right\} \quad \dots (22)$$

【0089】

同様に、音圧  $p(t)$  の項を消去して粒子速度成分  $u_x(t)$  だけを抽出すると式(23)を経て式(24)を得る。

【0090】

10

20

30

40

【数 2 3】

$$M_1(t) - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} M_2(t) = - \left( \beta_1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \beta_2 \right) \rho c \cdot u_x(t) \quad \dots (23)$$

【0091】

【数 2 4】

$$u_x(t) = - \left\{ M_1(t) - \frac{\alpha_1}{\alpha_2} M_2(t) \right\} / \left( \left\{ \beta_1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \beta_2 \right\} \rho c \right) \quad \dots (24)$$

10

【0092】

図 1 に戻って音響情報算出部 3 1 の構成の説明を続ける。

音響情報算出部 3 1 は、第 1 の收音部 2 1 によって生成される信号 M 1 と、第 2 の收音部 2 2 によって生成される信号 M 2 と、第 1 の收音部 2 1 の收音特性 A C 1 と、第 2 の收音部 2 2 の收音特性 A C 2 とに基づいて、音響情報 S I を算出する。

音響情報算出部 3 1 は、音圧算出部 3 1 1 と、粒子速度算出部 3 1 2 と、音響インテンシティ算出部 3 1 3 と、向き判定部 3 1 4 と、音響インピーダンス算出部 3 1 5 とを備える。

20

【0093】

音圧算出部 3 1 1 は、複数の信号（信号 M 1 及び信号 M 2）と、收音部毎に表される收音特性（收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2）とに基づいて、音圧 p ( t ) を算出する。

粒子速度算出部 3 1 2 は、複数の信号（信号 M 1 及び信号 M 2）と、收音部毎の收音特性（收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2）とに基づいて、粒子速度 u ( t ) を算出する。

【0094】

音響インテンシティ算出部 3 1 3 は、粒子速度算出部 3 1 2 により算出された粒子速度 u ( t ) と、音圧算出部 3 1 1 により算出された音圧 p ( t ) との積に基づいて、音 S D の音響インテンシティ I を算出する。ここで音響インテンシティ算出部 3 1 3 は、上述した式 ( 1 3 )、( 1 4 )、及び ( 1 5 ) のいずれを用いて音響インテンシティ I を算出してもよい。

30

【0095】

向き判定部 3 1 4 は、音響インテンシティ算出部 3 1 3 により算出された音響インテンシティ I に基づいて音が到来する向きを判定する。

音響インピーダンス算出部 3 1 5 は、粒子速度算出部 3 1 2 により算出された粒子速度 u ( t ) と、音圧算出部 3 1 1 により算出された音圧 p ( t ) との比に基づいて、音の音響インピーダンス Z を算出する。

40

【0096】

記憶部 3 2 には、第 1 收音特性情報 3 2 1 と、第 2 收音特性情報 3 2 2 とが予め記憶される。第 1 收音特性情報 3 2 1 は、收音特性 A C 1 を示す情報である。第 2 收音特性情報 3 2 2 は、收音特性 A C 2 を示す情報である。

本実施形態では、收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2 は予め算出されて記憶部 3 2 に記憶される場合について説明する。收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2 が算出される方法は、第 2 実施形態において説明する。

【0097】

出力部 4 は、音響情報算出部 3 1 によって算出された音響情報 S I を出力する。出力部 4 は、例えば外部の表示装置に音響情報 S I を出力し、当該表示装置に音響情報 S I を表示させる。

50

## 【 0 0 9 8 】

次に、図 6 及び図 7 を参照し、音響情報測定装置 1 が音響情報 S I を算出する処理について説明する。

図 6 は、本実施形態に係る音響情報算出処理の一例を示す図である。

## 【 0 0 9 9 】

ステップ S 1 0 0 : 第 1 の收音部 2 1 及び第 2 の收音部 2 2 は、到来してくる音 S D を收音する。ここで第 1 の收音部 2 1 は、指向特性 C 1 に応じて音 S D を收音する。第 1 の收音部 2 1 は、指向特性 C 1 に応じて音 S D を收音することに伴って信号 M 1 を生成する。第 1 の收音部 2 1 は、生成した信号 M 1 を音響情報算出部 3 1 に供給する。第 2 の收音部 2 2 は、指向特性 C 2 に応じて音 S D を收音する。第 2 の收音部 2 2 は、指向特性 C 2 に応じて音 S D を收音することに伴って信号 M 2 を生成する。第 2 の收音部 2 2 は、生成した信号 M 2 を音響情報算出部 3 1 に供給する。

10

## 【 0 1 0 0 】

ステップ S 1 1 0 : 音響情報算出部 3 1 は、第 1 の收音部 2 1 により生成された信号 M 1、及び第 2 の收音部 2 2 により生成された信号 M 2 を取得する。

ステップ S 1 2 0 : 音響情報算出部 3 1 は、記憶部 3 2 に記憶される收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2 を取得する。

## 【 0 1 0 1 】

ステップ S 1 3 0 : 音響情報算出部 3 1 は、ステップ S 1 1 0 において取得した信号 M 1 及び信号 M 2 と、ステップ S 1 2 0 において取得した收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2 とに基づいて音響情報 S I を算出する。

20

## 【 0 1 0 2 】

ここで信号 M 1 及び信号 M 2 は、收音部の指向特性に応じて当該收音部により音が收音されることに伴って收音部毎に生成される。收音特性 A C 1 及び收音特性 A C 2 とは、音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第 1 項と音の音圧を表す第 2 項とにより信号が表された場合の第 1 項の係数と第 2 項の係数との組によって收音部毎に表される。

## 【 0 1 0 3 】

したがって、音響情報算出部 3 1 は、收音部により当該收音部の指向特性に応じて音 S D が收音されることに伴って收音部毎に生成される信号と、音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分を表す第 1 項と音の音圧を表す第 2 項とにより信号が表された場合の第 1 項の係数と第 2 項の係数との組によって收音部毎に表される收音特性とに基づいて、音 S D についての情報である音響情報 S I を算出する。

30

## 【 0 1 0 4 】

図 7 を参照し、音響情報算出部 3 1 が、音圧  $p(t)$ 、粒子速度  $u(t)$ 、音響インテンシティ  $I$ 、音が到来する向き、及び音響インピーダンス  $Z$  を、音響情報 S I として算出する各処理について説明する。

## 【 0 1 0 5 】

図 7 は、本実施形態に係る各種の音響情報の算出処理の一例を示す図である。ステップ S 2 0 0 ~ S 2 4 0 は、図 6 のステップ S 1 3 0 として実行される。

40

## 【 0 1 0 6 】

ステップ S 2 0 0 : 音圧算出部 3 1 1 は、信号 M 1 及び信号 M 2 と、收音特性 A C 1 ( 係数  $\alpha_1$  及び係数  $\beta_1$  ) 及び收音特性 A C 2 ( 係数  $\alpha_2$  及び係数  $\beta_2$  ) とに基づいて、上述した式 ( 2 2 ) を用いて音圧  $p(t)$  を算出する。

ここで式 ( 2 2 ) によれば、音圧  $p(t)$  は、信号 M 1 と信号 M 2 との和に基づいて算出される。ここで当該和とは、收音特性 A C 1 ( 係数  $\alpha_1$  及び係数  $\beta_1$  ) 及び收音特性 A C 2 ( 係数  $\alpha_2$  及び係数  $\beta_2$  ) に基づいて補正された和である。

## 【 0 1 0 7 】

ステップ S 2 1 0 : 粒子速度算出部 3 1 2 は、信号 M 1 及び信号 M 2 と、收音特性 A C 1 ( 係数  $\alpha_1$  及び係数  $\beta_1$  ) 及び收音特性 A C 2 ( 係数  $\alpha_2$  及び係数  $\beta_2$  ) とに基づいて、

50

上述した式(24)を用いて粒子速度成分  $u_x(t)$  を算出する。

ここで式(24)によれば、粒子速度成分  $u_x(t)$  は、信号 M1 と信号 M2 との差に基づいて算出される。ここで当該差とは、収音特性 AC1 (係数  $\alpha_1$  及び係数  $\beta_1$ ) 及び収音特性 AC2 (係数  $\alpha_2$  及び係数  $\beta_2$ ) に基づいて補正された差である。

【0108】

粒子速度算出部 312 は、粒子速度成分  $u_x(t)$  に加えて、Y 軸方向の粒子速度成分  $u_y(t)$ 、及び Z 軸方向の粒子速度成分  $u_z(t)$  を粒子速度成分  $u_x(t)$  と同様に算出し、粒子速度  $u(t)$  を算出する。

【0109】

ステップ S220 : 音響インテンシティ算出部 313 は、粒子速度算出部 312 により算出された粒子速度  $u(t)$  と、音圧算出部 311 により算出された音圧  $p(t)$  との積に基づいて、音 SD の音響インテンシティ  $I$  を算出する。ここで音響インテンシティ算出部 313 は、式(25)に基づいて音響インテンシティ  $I_x(t)$  を算出する。

10

【0110】

【数25】

$$I_x(t) = p(t)u_x(t) \quad \dots (25)$$

【0111】

ここで式(25)において、音圧  $p(t)$  は式(22)により表され、粒子速度成分  $u_z(t)$  は式(24)により表される。

20

音響インテンシティ算出部 313 は、式(26)に基づいて音響インテンシティ  $I_x$  を算出する。

【0112】

【数26】

$$I_x = \overline{I_x(t)} \quad \dots (26)$$

【0113】

30

ここで式(26)における音響インテンシティ  $I_x$  は、式(13)と同様に瞬時インテンシティの平均であってもよいし、式(14)と同様に瞬時二乗応答の差分の平均であってもよいし、式(15)と同様に二乗平均の差分であってもよい。つまり、音響インテンシティ算出部 313 は、瞬時インテンシティの平均として音響インテンシティ  $I_x$  を算出してもよいし、瞬時二乗応答の差分の平均として音響インテンシティ  $I_x$  を算出してもよいし、及び二乗平均の差分として音響インテンシティ  $I_x$  を算出してもよい。

音響インテンシティ算出部 313 は、音響インテンシティ  $I_x$  と同様に、音響インテンシティ  $I_y$  及び音響インテンシティ  $I_z$  を算出する。

音響インテンシティ算出部 313 は、算出した音響インテンシティ  $I_x$  と、音響インテンシティ  $I_y$  と、音響インテンシティ  $I_z$  との組を音響インテンシティ  $I$  とする。

40

【0114】

ステップ S230 : 向き判定部 314 は、音響インテンシティ算出部 313 により算出された音響インテンシティ  $I$  に基づいて音が到来する向きを判定する。ここで向き判定部 314 は、音響インテンシティ  $I_x$  と、音響インテンシティ  $I_y$  と、音響インテンシティ  $I_z$  との組により示される向きと反対の向きを、音が到来する向きであると判定する。

【0115】

ステップ S240 : 音響インピーダンス算出部 315 は、粒子速度算出部 312 により算出された粒子速度  $u(t)$  と、音圧算出部 311 により算出された音圧  $p(t)$  との比に基づいて、音の音響インピーダンス  $Z$  を算出する。

【0116】

50



以上に説明したように、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 は、複数の收音部 2 と、音響情報算出部 3 1 とを備える。

收音部（この一例において、第 1 の收音部 2 1 または第 2 の收音部 2 2 ）は、所定の指向特性を有し、到来してくる音 S D を收音する。

音響情報算出部 3 1 は、收音部（この一例において、第 1 の收音部 2 1 または第 2 の收音部 2 2 ）により当該收音部の指向特性（この一例において、指向特性 C 1 または指向特性 C 2 ）に応じて音 S D が收音されることに伴って收音部（この一例において、第 1 の收音部 2 1 または第 2 の收音部 2 2 ）毎に生成される信号（この一例において、信号 M 1 または信号 M 2 ）と、音を伝える媒質の粒子速度の特定の向きの成分である粒子速度成分（この一例において、粒子速度成分  $u_x(t)$ 、粒子速度成分  $u_y(t)$ 、粒子速度成分  $u_z(t)$ ）を表す第 1 項 T 1 と音の音圧を表す第 2 項 T 2 とにより信号（この一例において、信号 M 1 または信号 M 2 ）が表された場合の第 1 項 T 1 の係数（この一例において、係数）と第 2 項 T 2 の係数（この一例において、係数）との組によって收音部（この一例において、第 1 の收音部 2 1 または第 2 の收音部 2 2 ）毎に表される收音特性（この一例において、收音特性 A C 1 または收音特性 A C 2 ）とに基づいて、音 S D についての情報である音響情報 S I を算出する。

10

#### 【0117】

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、收音特性（この一例において、收音特性 A C 1 または收音特性 A C 2 ）に基づいて音響情報 S I を算出できるため、音響情報 S I の測定の精度を高めることができる。

20

#### 【0118】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、複数の指向特性（この一例において、指向特性 C 1 及び指向特性 C 2 ）は、複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内である。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、複数の指向特性が複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内でない場合に比べて、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  の算出の精度を高めることができるため、複数の指向特性が複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内でない場合に比べて音響情報 S I の測定の精度を高めることができる。

30

#### 【0119】

ここで、上述したように式 (19) 及び式 (20) によれば、式 (17) 及び式 (18) を単純な加算と差分によって解くことができるのは、係数  $a_1$  と係数  $a_2$  とが等しくかつ係数  $a_1$  と係数  $a_2$  とが等しい場合である。係数  $a_1$  と係数  $a_2$  とが等しくない場合や、係数  $a_1$  と係数  $a_2$  とが等しくない場合には、係数  $a_1$  と係数  $a_2$  との差、及び係数  $a_1$  と係数  $a_2$  との差は、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  を算出する際の誤差となる。複数の指向特性が複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内である場合には、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  を算出する際の誤差を、複数の指向特性が複数の收音部 2 相互に向き毎の感度差が所定の範囲内でない場合に比べて小さくできる。

なお、式 (19) 及び式 (20) を公知の数値計算手法に基づいて解くことにより、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  が算出されてもよい。

40

#### 【0120】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、複数の收音部 2 は、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とを含み、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とは互いに対向して配置される。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とは互いに対向していない場合に比べて粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  の算出の精度を高めることができるため、第 1 の收音部 2 1 と、第 2 の收音部 2 2 とは互いに対向していない場合に比べて音響情報 S I の測定の精度を高めることができる。

#### 【0121】

50

ここで式(17)と式(18)とを比較すると、係数 $a_1$ 及び係数 $a_2$ と、係数 $b_1$ 及び係数 $b_2$ とが異なる点以外に、粒子速度成分を表す第1項 $T_1(u_x(t) \cdot c)$ の符号が異なる。式(17)と式(18)との差異が、係数 $a_1$ 及び係数 $a_2$ と、係数 $b_1$ 及び係数 $b_2$ とが異なる点以外に、第1項 $T_1$ の符号が異なる点のみであるのは、第1の收音部21と、第2の收音部22とが互いに対向しているためである。

#### 【0122】

第1の收音部21と、第2の收音部22とが180度反対向きに配置されていない場合には、第1の收音部21の向きと、第2の收音部22の向きとの間の角度の180度からのずれは、粒子速度成分 $u_x(t)$ や音圧 $p(t)$ を算出する際の誤差となる。第1の收音部21の向きと、第2の收音部22の向きとの間の角度の180度からのずれを所定の範囲内にして第1の收音部21と第2の收音部22とを対向させれば、粒子速度成分 $u_x(t)$ や音圧 $p(t)$ を算出する際の誤差を、第1の收音部21の向きと、第2の收音部22の向きとの間の角度の180度からのずれが所定の範囲内でない場合に比べて小さくできる。

なお、式(19)及び式(20)を公知の数値計算手法に基づいて解くことにより、粒子速度成分 $u_x(t)$ や音圧 $p(t)$ が算出されてもよい。

#### 【0123】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置1は、粒子速度算出部312をさらに備える。粒子速度算出部312は、複数の信号(この一例において、信号M1及び信号M2)と、收音部(この一例において、第1の收音部21または第2の收音部22)毎の收音特性(この一例において、收音特性AC1または收音特性AC2)とに基づいて、粒子速度 $u(t)$ を算出する。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置1では、收音特性(この一例において、收音特性AC1または收音特性AC2)に基づいて粒子速度 $u(t)$ を算出できるため、粒子速度 $u(t)$ の測定の精度を高めることができる。

#### 【0124】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置1は、音圧算出部311をさらに備える。音圧算出部311は、複数の信号(この一例において、信号M1及び信号M2)と、收音部(この一例において、第1の收音部21または第2の收音部22)毎に表される收音特性(この一例において、收音特性AC1または收音特性AC2)とに基づいて、音圧 $p(t)$ を算出する。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置1では、收音特性(この一例において、收音特性AC1または收音特性AC2)に基づいて音圧 $p(t)$ を算出できるため、音圧 $p(t)$ の測定の精度を高めることができる。

#### 【0125】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置1は、音響インテンシティ算出部313をさらに備える。音響インテンシティ算出部313は、粒子速度算出部312により算出された粒子速度 $u(t)$ と、音圧算出部311により算出された音圧 $p(t)$ との積に基づいて、音SDの音響インテンシティ(この一例において、音響インテンシティI、または音響インテンシティI(t))を算出する。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置1では、收音特性(この一例において、收音特性AC1または收音特性AC2)に基づいて音響インテンシティ(この一例において、音響インテンシティI、または音響インテンシティI(t))を算出できるため、音響インテンシティ(この一例において、音響インテンシティI、または音響インテンシティI(t))の測定の精度を高めることができる。

#### 【0126】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置1は、向き判定部314をさらに備える。向き判定部314は、音響インテンシティ算出部313により算出された音響インテンシティ(この一例において、音響インテンシティI、または音響インテンシティI(t))に基づいて音SDが到来する向きを判定する。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、收音特性（この一例において、收音特性 A C 1 または收音特性 A C 2）に基づいて音 S D が到来する向きを判定できるため、当該向きの判定の精度を高めることができる。

【0127】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 は、音響インピーダンス算出部 3 1 5 をさらに備える。音響インピーダンス算出部 3 1 5 は、粒子速度算出部 3 1 2 により算出された粒子速度  $u(t)$  と、音圧算出部 3 1 1 により算出された音圧  $p(t)$  との比に基づいて、音 S D の音響インピーダンス  $Z$  を算出する。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 では、收音特性（この一例において、收音特性 A C 1 または收音特性 A C 2）に基づいて音響インピーダンス  $Z$  を算出できるため、音響インピーダンス  $Z$  の測定の精度を高めることができる。

10

【0128】

（第 2 の実施形態）

以下、図面を参照しながら本発明の第 2 の実施形態について詳しく説明する。

上記第 1 の実施形態では、音響情報測定装置 1 の記憶部 3 2 に收音特性 A C を示す收音特性情報が予め記憶されている場合について説明をした。本実施形態では、收音特性 A C が算出される場合について説明をする。

本実施形態に係る音響情報測定装置を音響情報測定装置 1 a という。

【0129】

図 8 は、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 a の構成の一例を示す図である。本実施形態に係る音響情報測定装置 1 a（図 8）と第 1 の実施形態に係る音響情報測定装置 1（図 1）とを比較すると、処理部 3 a が收音特性算出部 3 3 a を備えている点が異なる。ここで、他の構成要素（複数の收音部 2、音響情報算出部 3 1、記憶部 3 2、及び出力部 4）が持つ機能は第 1 の実施形態と同じである。第 1 の実施形態と同じ機能の説明は省略し、第 2 の実施形態では、第 1 の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

20

【0130】

收音特性算出部 3 3 a は、校正対象收音部 C T の收音特性 A C を算出する。ここで校正対象收音部 C T とは、收音特性 A C の校正の対象となる收音部である。收音特性算出部 3 3 a は、複数の收音部 2 のうちの 1 つを校正対象收音部 C T にして、当該校正対象收音部 C T の收音特性 A C を算出する。

30

【0131】

收音特性算出部 3 3 a は、C - C 法の校正方法である C - C 法校正方法に基づいて、カーディオイドマイクである校正対象收音部 C T を校正する。ここでカーディオイドマイクである校正対象收音部 C T を校正するとは、当該校正対象收音部 C T の收音特性 A C を算出することである。上述したように、カーディオイドマイクの收音特性 A C は、係数  $\alpha$  及び係数  $\beta$  がともに 0.5 の場合に相当する。係数  $\alpha$  と係数  $\beta$  との組である收音特性 A C を算出することは、校正対象收音部 C T の係数  $\alpha$  と係数  $\beta$  とを 0.5 から補正することに対応する。

ここで 1 次元の場合の C - C 法校正方法について説明する。

【0132】

C - C 法校正方法では、単一平面波である基準音 S D 0 が x 軸の + 方向から到来するようになる。基準音 S D 0 では、校正の基準となる音であり、音圧、及び粒子速度が予めわかっている。基準音 S D 0 の校正対象收音部 C T の位置における音圧を基準音圧  $p_0(t)$ 、当該位置における粒子速度を基準粒子速度  $u_0(t)$  とする。基準音 S D 0 は、単一平面波なので基準音圧  $p_0(t)$  は基準粒子速度  $u_0(t)$  に音響インピーダンスである  $c$  を乗じた値となる ( $p_0(t) = c \cdot u_0(t)$ )。

40

なお、基準音 S D 0 は、基準音圧  $p_0(t)$  と基準粒子速度  $u_0(t)$  とが既知の音場であれば単一平面波でなくてもよい。

【0133】

校正対象收音部 C T を x 軸上の同一点において x 軸の + 方向と - 方向とに向きを変えて

50

2回に分けて基準音SD0を測定したマイク応答をそれぞれ信号 $M^+(t)$ 、及び信号 $M^-(t)$ とする。

係数 $\alpha$ は式(27)によって算出される。

【0134】

【数27】

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{M^+(t) + M^-(t)\}^2 dt}}{2 \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P_0^2(t) dt}} \quad \dots (27)$$

10

【0135】

係数 $\beta$ は式(28)によって算出される。

【0136】

【数28】

$$\beta = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{M^+(t) - M^-(t)\}^2 dt}}{2 \rho c \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u_0^2(t) dt}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \{M^+(t) - M^-(t)\}^2 dt}}{2 \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P_0^2(t) dt}} \quad \dots (28)$$

20

【0137】

C-C法校正方法では、第1の收音部21と第2の收音部22とをそれぞれ校正対象收音部CTとして、式(27)及び式(28)により係数 $\alpha$ 及び係数 $\beta$ が算出される。算出された係数 $\alpha$ 及び係数 $\beta$ を、それぞれ第1の收音部21の收音特性AC1である係数 $\alpha_1$ 及び係数 $\beta_1$ 、第2の收音部22の收音特性AC2である係数 $\alpha_2$ 及び係数 $\beta_2$ とする。

【0138】

上述した式(27)及び式(28)は振幅のみの校正である。位相を含めて校正する場合は以下のようにする。

30

【0139】

式(29)～(32)のように、基準音圧 $p_0(t)$ のフーリエ変換を周波数領域基準音圧 $P_0(\omega)$ 、基準粒子速度 $u_0(t)$ のフーリエ変換を周波数領域基準粒子速度 $U_0(\omega)$ 、 $\{M^+(t) + M^-(t)\}$ のフーリエ変換を周波数領域加算時間応答 $M^P(\omega)$ 、 $\{M^+(t) - M^-(t)\}$ のフーリエ変換を周波数領域差分時間応答 $M^m(\omega)$ とする。

【0140】

【数29】

$$p_0(t) \xrightarrow{\mathbb{F}} P_0(\omega) \quad \dots (29)$$

40

【0141】

【数30】

$$u_0(t) \xrightarrow{\mathbb{F}} U_0(\omega) \quad \dots (30)$$

【0142】

【数 3 1】

$$\{M^+(t) + M^-(t)\} \xrightarrow{\mathbb{F}} M^P(\omega) \quad \dots (31)$$

【0 1 4 3】

【数 3 2】

$$\{M^+(t) - M^-(t)\} \xrightarrow{\mathbb{F}} M^m(\omega) \quad \dots (32)$$

10

【0 1 4 4】

周波数領域では、係数  $\alpha$  及び係数  $\beta$  は、それぞれ角速度  $\omega$  をパラメータとした複素関数となり、式 (33) 及び式 (34) によって表される。

【0 1 4 5】

【数 3 3】

$$\alpha(\omega) = M^P(\omega) / 2P_0(\omega) \quad \dots (33)$$

20

【0 1 4 6】

【数 3 4】

$$\beta(\omega) = -M^m(\omega) / 2\rho c U_0(\omega) \approx M^m(\omega) / 2P_0(\omega) \quad \dots (34)$$

【0 1 4 7】

係数  $\alpha$  及び係数  $\beta$  は、それぞれ式 (33) によって表される周波数領域係数  $\alpha_1(\omega)$ 、 $\alpha_2(\omega)$ 、及び式 (34) によって表される周波数領域係数  $\beta_1(\omega)$ 、 $\beta_2(\omega)$  を逆フーリエ変換することによって算出される。

つまり、収音特性 AC (係数  $\alpha$  及び係数  $\beta$ ) は、校正対象収音部 CT の収音特性 AC の周波数特性に基づいて算出される。

30

【0 1 4 8】

周波数領域係数  $\alpha_1(\omega)$ 、 $\alpha_2(\omega)$ 、及び周波数領域係数  $\beta_1(\omega)$ 、 $\beta_2(\omega)$  を用いて、周波数領域基準音圧  $P_0(\omega)$ 、及び周波数領域基準粒子速度  $U_0(\omega)$  は式 (35) 及び式 (36) によって算出される。

【0 1 4 9】

【数 3 5】

$$P(\omega) = \left\{ M_1(\omega) + \frac{\beta_1(\omega)}{\beta_2(\omega)} M_2(\omega) \right\} / \left\{ \alpha_1(\omega) + \frac{\beta_1(\omega)}{\beta_2(\omega)} \alpha_2(\omega) \right\} \quad \dots (35)$$

40

【0 1 5 0】

【数 3 6】

$$U_x(\omega) = - \left\{ M_1(\omega) - \frac{\alpha_1(\omega)}{\alpha_2(\omega)} M_2(\omega) \right\} / \left\{ \beta_1(\omega) + \frac{\alpha_1(\omega)}{\alpha_2(\omega)} \beta_2(\omega) \right\} \rho c \quad \dots (36)$$

【0151】

ここで周波数領域音圧  $P(\omega)$ 、周波数領域粒子速度成分  $U_x(\omega)$ 、周波数領域信号  $M_1(\omega)$ 、及び周波数領域信号  $M_2(\omega)$  は、式(37)～(40)に示すようにそれぞれ、音圧  $p(t)$ 、粒子速度成分  $u_x(t)$ 、信号  $M_1(t)$ 、及び信号  $M_2(t)$  のフーリエ変換である。 10

【0152】

【数 3 7】

$$p(t) \xrightarrow{\mathbb{F}} P(\omega) \quad \dots (37)$$

【0153】

【数 3 8】

$$u_x(t) \xrightarrow{\mathbb{F}} U_x(\omega) \quad \dots (38) \quad 20$$

【0154】

【数 3 9】

$$M_1(t) \xrightarrow{\mathbb{F}} M_1(\omega) \quad \dots (39)$$

【0155】

【数 4 0】

$$M_2(t) \xrightarrow{\mathbb{F}} M_2(\omega) \quad \dots (40) \quad 30$$

【0156】

式(35)及び式(36)によれば、時間応答である信号  $M_1(t)$ 、及び信号  $M_2(t)$  をフーリエ変換して、周波数領域において周波数領域音圧  $P(\omega)$  及び周波数領域粒子速度成分  $U_x(\omega)$  を求めることができる。

式(35)によって表される周波数領域音圧  $P(\omega)$ 、及び式(36)によって表される周波数領域粒子速度成分  $U_x(\omega)$  に、逆フーリエ変換を施せば時間応答として音圧  $p(t)$  と粒子速度成分  $u_x(t)$  が得られる。

【0157】

図9を参照し、收音特性算出部33aが校正対象收音部CTを校正する処理について説明する。 40

図9は、本実施形態に係る收音部に対する校正処理の一例を示す図である。図9に示す校正処理は、図6の音響情報算出処理が行われる前に予め行われる。

【0158】

ステップS300(第1の收音過程): 校正対象收音部CTは、x軸上のある点においてx軸の+方向に向けられて配置され、到来してくる基準音SD0を收音する。

ステップS310: 收音特性算出部33aは、校正対象收音部CTにより生成された第1信号である信号  $M^+(t)$  を取得する。

【0159】

ステップ S 3 2 0 (第 2 の收音過程) : 校正対象收音部 C T は、x 軸上のステップ S 3 0 0 (第 1 の收音過程) と同一の点において x 軸の - 方向に向けられて配置され、到来してくる基準音 S D 0 を收音する。

ステップ S 3 3 0 : 收音特性算出部 3 3 a は、校正対象收音部 C T により生成された第 2 信号である信号  $M^-(t)$  を取得する。

【 0 1 6 0 】

ステップ S 3 4 0 : 收音特性算出部 3 3 a は、式 ( 2 7 ) に基づいて、信号  $M^+(t)$  と信号  $M^-(t)$  との和に基づいて係数  $\alpha$  を算出する。

ステップ S 3 5 0 : 收音特性算出部 3 3 a は、式 ( 2 8 ) に示したように信号  $M^+(t)$  と信号  $M^-(t)$  との差に基づいて係数  $\beta$  を算出する。

10

【 0 1 6 1 】

ここで信号  $M^+(t)$  は、複数の收音部 2 のうちの 1 つを校正対象收音部 C T にして、第 1 の向きである x 軸の + 方向に校正対象收音部 C T が配置された場合に、校正対象收音部 C T によって收音された基準音 S D 0 に応じて生成される第 1 信号である。信号  $M^-(t)$  は、第 1 の向きと対向する第 2 の向きである x 軸の - 方向に校正対象收音部 C T が配置された場合に、校正対象收音部 C T によって收音された基準音 S D 0 に応じて生成される第 2 信号である。

したがって、收音特性 A C (係数  $\alpha$  及び係数  $\beta$ ) は、複数の收音部 2 のうちの 1 つを校正対象收音部 C T にして、第 1 の向きに校正対象收音部 C T が配置された場合に、校正対象收音部 C T によって收音された基準音 S D 0 に応じて生成される信号である第 1 信号と、第 1 の向きと対向する第 2 の向きに校正対象收音部 C T が配置された場合に、校正対象收音部 C T によって收音された基準音 S D 0 に応じて生成される信号である第 2 信号との和と、第 1 信号と第 2 信号との差とに基づいて、校正対象收音部 C T の收音特性 A C として算出される。

20

【 0 1 6 2 】

ステップ S 3 6 0 : 收音特性算出部 3 3 a は、ステップ S 3 4 0 において算出した係数  $\alpha$  と、ステップ S 3 5 0 において算出した係数  $\beta$  との組を收音特性 A C として出力する。ここで收音特性算出部 3 3 a は、一例として、記憶部 3 2 に算出した收音特性 A C を記憶させることにより、收音特性 A C を出力する。なお、收音特性算出部 3 3 a は、算出した收音特性 A C を音響情報算出部 3 1 に出力してもよい。

30

收音特性算出部 3 3 a は、校正処理を終了する。

【 0 1 6 3 】

なお、本実施形態では、校正対象收音部 C T が x 軸上の同一点において x 軸の + 方向と - 方向とに向きを変えて 2 回に分けて基準音 S D 0 を測定したマイク応答をそれぞれ信号  $M^+(t)$ 、及び信号  $M^-(t)$  とされる場合について説明したが、これに限らない。

【 0 1 6 4 】

複数の收音部 2 のうちの例えば、第 1 の收音部 2 1 が校正対象收音部 C T として x 軸の + 方向に配置され、複数の收音部 2 のうちの例えば、第 2 の收音部 2 2 が x 軸の - 方向に配置されて、基準音 S D 0 を測定したマイク応答をそれぞれ信号  $M^+(t)$ 、及び信号  $M^-(t)$  としてもよい。ここで第 1 の收音部 2 1 の指向特性 C 1 と、第 2 の收音部 2 2 の指向特性 C 2 との間の向き毎の感度差は所定の範囲内にされる。校正対象收音部 C T 以外の收音部である第 2 の收音部 2 2 が基準音 S D 0 を測定したマイク応答である信号  $M^-(t)$  を、校正補助信号という。

40

【 0 1 6 5 】

つまり、收音特性 A C (係数  $\alpha$  及び係数  $\beta$ ) は、第 1 の向きと第 2 の向きとにそれぞれ配置される 2 つの收音部のうち、校正対象收音部 C T の指向特性 C A と、校正対象收音部 C T 以外の收音部の指向特性 C A との間の向き毎の感度差が所定の範囲内にされ、校正対象收音部 C T 以外の收音部の信号である校正補助信号と校正対象收音部 C T の信号との和と、校正補助信号と校正対象收音部 C T の信号との差とに基づいて、校正対象收音部 C T の收音特性 A C として算出される。

50

## 【0166】

また、本実施形態では、收音特性算出部33aは、処理部3aに備えられる場合について説明したが、これに限らない。收音特性算出部33aは、音響情報測定装置1aとは独立した外部の装置である收音特性算出装置として備えられてもよい。收音特性算出部33aが音響情報測定装置1aとは独立した收音特性算出装置として備えられる場合、音響情報測定装置1aの構成は、第1実施形態の音響情報測定装置1の構成と同一となる。

## 【0167】

以上に説明したように、本実施形態に係る音響情報測定装置1aでは、收音特性ACは、複数の收音部2のうちの一つを校正対象收音部CTにして、第1の向きに校正対象收音部CTが配置された場合に、校正対象收音部CTによって收音された基準音SD0に応じて生成される信号である第1信号（この一例において、信号 $M^+(t)$ ）と、第1の向きと対向する第2の向きに校正対象收音部CTが配置された場合に、校正対象收音部CTによって收音された基準音SD0に応じて生成される信号である第2信号（この一例において、信号 $M^-(t)$ ）との和と、第1信号（この一例において、信号 $M^+(t)$ ）と第2信号（この一例において、信号 $M^-(t)$ ）との差とに基づいて、校正対象收音部CTの收音特性ACとして算出される、または、收音特性ACは、第1の向きと第2の向きとにそれぞれ配置される2つの收音部（この一例において、第1の收音部21及び第2の收音部22）のうち、校正対象收音部CT（この一例において、第1の收音部21）の指向特性CA1と、校正対象收音部CT以外の收音部（この一例において、第2の收音部22）の指向特性CA2との間の向き毎の感度差が所定の範囲内にされ、校正対象收音部CT以外の收音部（この一例において、第2の收音部22）の信号である校正補助信号と校正対象收音部CT（この一例において、第1の收音部21）の信号との和と、校正補助信号と校正対象收音部CTの信号との差とに基づいて、校正対象收音部CTの收音特性ACとして算出される。

10

20

## 【0168】

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置1aでは、C-C法校正方法に基づいて一つの校正対象收音部CTの向きを変えることにより校正対象收音部CTの收音特性ACを算出できるため、複数の收音部2を容易に校正できる。

また、本実施形態に係る音響情報測定装置1aでは、C-C法校正方法に基づいて、校正対象收音部CTの指向特性との間の向き毎の感度差が所定の範囲内である收音部を用いて、校正対象收音部CTの收音特性ACを算出できるため、複数の收音部2を容易に校正できる。

30

## 【0169】

また、本実施形態に係る音響情報測定装置1aでは、收音特性ACは、校正対象收音部CTの收音特性ACの周波数特性に基づいて算出される。

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置1aでは、位相を含めて複数の收音部2を校正することができるため、位相を含めずに例えば振幅のみを校正する場合に比べて複数の收音部2の校正の精度を向上できる。

## 【0170】

（第3の実施形態）

以下、図面を参照しながら本発明の第3の実施形態について詳しく説明する。

上記第1の実施形態では、第1の收音部と第2の收音部とが対向して配置される場合について説明した。本実施形態では、第1の收音部と第2の收音部とが方向ベクトルによって示される方向に向けられそれぞれ配置される場合について説明する。第1の收音部と第2の收音部とが方向ベクトルによって示される方向に向けられそれぞれ配置されることにより、C-C法はベクトル合成法によって一般化される。

40

本実施形態に係る音響情報測定装置を音響情報測定装置1bという。

## 【0171】

図10及び図11を参照し、C-C法のベクトル合成法による一般化について説明する。

50



図10は、本実施形態に係る方向ベクトルに基づく収音部の配置の一例を示す図である。図10では、矢印A4によって示される方向から、音が到来している。当該音は、位置P0において、音圧 $p(t)$ 、及び粒子速度ベクトル $u(t)$ により示される粒子速度をもつ。

【0172】

C-C法をベクトル合成法により一般化すると、カーディオイドマイクによって、音圧 $p(t)$ とカーディオイドマイクを向けた方向の粒子速度ベクトル $u(t)$ が係数 $\alpha_i$ と $\beta_i$ との比率で混合された応答を測定することに帰結される。カーディオイドマイクによる応答 $M_i(t)$ は式(41)のように表される。

【0173】

【数41】

$$M_i(t) = \alpha_i p(t) - \beta_i \{ \mathbf{m}_i \cdot \mathbf{u}(t) \} \rho c \quad \dots (41)$$

10

【0174】

ここで、方向ベクトル $\mathbf{m}_i$ は、 $i$ 番目のカーディオイドマイクの向きを示し、式(42)を満たすとする。

【0175】

【数42】

$$|\mathbf{m}_i| = 1 \quad \dots (42)$$

20

【0176】

方向ベクトル $\mathbf{m}_i$ と矢印A4とは、角度 $\theta_i$ をなす。

【0177】

図11は、本実施形態に係る方向ベクトルに基づく2つの収音部の配置の一例を示す図である。ここで、180度反対向きの2本のカーディオイドマイクの向きをそれぞれ示す方向ベクトルを、方向ベクトル $\mathbf{m}_1$ 、方向ベクトル $\mathbf{m}_2$ とする。方向ベクトル $\mathbf{m}_1$ と方向ベクトル $\mathbf{m}_2$ とは、定義から式(43)を満たす。

30

【0178】

【数43】

$$\mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2 = \mathbf{0} \quad \dots (43)$$

【0179】

つまり、方向ベクトル $\mathbf{m}_1$ と方向ベクトル $\mathbf{m}_2$ との合成ベクトルは、ゼロベクトルである。

1番目のカーディオイドマイクの応答 $M_1(t)$ 、及び2番目のカーディオイドマイクの応答 $M_2(t)$ は、それぞれ式(44)及び式(45)によって表される。

40

【0180】

【数44】

$$M_1(t) = \alpha_1 p(t) - \beta_1 \{ \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{u}(t) \} \rho c \quad \dots (44)$$

【0181】

【数 4 5】

$$M_2(t) = \alpha_2 p(t) - \beta_2 \{ \mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{u}(t) \} \rho c \quad \dots (45)$$

【0182】

式(44)及び式(45)を連立させることによって、音圧  $p(t)$  と粒子速度ベクトル  $\mathbf{u}(t)$  とが算出される。

【0183】

ここで音圧  $p(t)$  の算出方法について説明する。式(44)及び式(45)を連立させて、粒子速度ベクトル  $\mathbf{u}(t)$  を消去して音圧  $p(t)$  を算出する。

10

式(44)及び式(45)より、式(46)が得られる。

【0184】

【数 4 6】

$$\begin{aligned} & \frac{M_1(t)}{\beta_1} + \frac{M_2(t)}{\beta_2} \\ &= \left[ \frac{\alpha_1}{\beta_1} p(t) - \{ \mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{u}(t) \} \rho c \right] + \left[ \frac{\alpha_2}{\beta_2} p(t) - \{ \mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{u}(t) \} \rho c \right] \\ &= \left( \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \right) p(t) - (\mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2) \cdot \mathbf{u}(t) \rho c \end{aligned} \quad \dots (46)$$

20

【0185】

式(43)より、式(46)から式(47)が得られる。

30

【0186】

【数 4 7】

$$\frac{M_1(t)}{\beta_1} + \frac{M_2(t)}{\beta_2} = \left( \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \right) p(t) \quad \dots (47)$$

【0187】

よって、式(48)のように音圧  $p(t)$  が算出される。

【0188】

40

【数 4 8】

$$p(t) = \left( \frac{M_1(t)}{\beta_1} + \frac{M_2(t)}{\beta_2} \right) / \left( \frac{\alpha_1}{\beta_1} + \frac{\alpha_2}{\beta_2} \right) \quad \dots (48)$$

【0189】

次に、粒子速度ベクトル  $\mathbf{u}(t)$  の算出方法について説明する。式(44)及び式(45)を連立させて、音圧  $p(t)$  を消去して粒子速度ベクトル  $\mathbf{u}(t)$  を算出する。

式(44)及び式(45)より、式(49)が得られる。

50

【 0 1 9 0 】

【 数 4 9 】

$$\begin{aligned}
 & \mathbf{m}_1 \frac{M_1(t)}{\alpha_1} + \mathbf{m}_2 \frac{M_2(t)}{\alpha_2} \\
 &= \left[ \mathbf{m}_1 p(t) - \left\{ \frac{\beta_1}{\alpha_1} |\mathbf{m}_1|^2 \mathbf{u}(t) \right\} \rho c \right] + \left[ \mathbf{m}_2 p(t) - \left\{ \frac{\beta_2}{\alpha_2} |\mathbf{m}_2|^2 \mathbf{u}(t) \right\} \rho c \right] \\
 &= (\mathbf{m}_1 + \mathbf{m}_2) p(t) - \left( \frac{\beta_1}{\alpha_1} + \frac{\beta_2}{\alpha_2} \right) \mathbf{u}(t) \rho c
 \end{aligned} \tag{49}$$

【 0 1 9 1 】

式 ( 4 3 ) より、式 ( 4 9 ) から式 ( 5 0 ) が得られる。

【 0 1 9 2 】

【 数 5 0 】

$$\mathbf{m}_1 \frac{M_1(t)}{\alpha_1} + \mathbf{m}_2 \frac{M_2(t)}{\alpha_2} = - \left( \frac{\beta_1}{\alpha_1} + \frac{\beta_2}{\alpha_2} \right) \mathbf{u}(t) \rho c \quad \dots (50)$$

【 0 1 9 3 】

よって、式 ( 5 1 ) のように粒子速度ベクトル  $\mathbf{u}(t)$  が算出される。

【 0 1 9 4 】

【 数 5 1 】

$$\mathbf{u}(t) = - \left[ \mathbf{m}_1 \frac{M_1(t)}{\alpha_1} + \mathbf{m}_2 \frac{M_2(t)}{\alpha_2} \right] / \left[ \left( \frac{\beta_1}{\alpha_1} + \frac{\beta_2}{\alpha_2} \right) \rho c \right] \quad \dots (51)$$

【 0 1 9 5 】

図 1 2 は、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 b の構成の一例を示す図である。本実施形態に係る音響情報測定装置 1 b ( 図 1 2 ) と第 1 の実施形態に係る音響情報測定装置 1 ( 図 1 ) とを比較すると、処理部 3 b が音響情報算出部 3 1 b と、記憶部 3 2 b とを備えている点異なる。ここで、他の構成要素 ( 複数の收音部 2、及び出力部 4 ) が持つ機能は第 1 の実施形態と同じである。第 1 の実施形態と同じ機能の説明は省略し、第 3 の実施形態では、第 1 の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

【 0 1 9 6 】

第 1 の收音部 2 1 は、方向ベクトル  $\mathbf{m}_1$  が示す向きに向けられ配置される。第 2 の收音部 2 2 は、方向ベクトル  $\mathbf{m}_2$  が示す向きに向けられ配置される。ここで方向ベクトル  $\mathbf{m}_1$  と方向ベクトル  $\mathbf{m}_2$  との合成ベクトルはゼロベクトルである。

つまり、複数の收音部 2 は、收音部毎に大きさが同じである方向ベクトルによって示される方向をもち、複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさを所定の値以下にして方向ベクトルによって示される方向に向けられそれぞれ配置される。

【 0 1 9 7 】

10

20

30

40

50

処理部 3 b は、音響情報算出部 3 1 b と、記憶部 3 2 b とを備える。

音響情報算出部 3 1 b は、音圧算出部 3 1 1 b と、粒子速度算出部 3 1 2 b と、音響インテンシティ算出部 3 1 3 と、向き判定部 3 1 4 と、音響インピーダンス算出部 3 1 5 とを備える。ここで音響インテンシティ算出部 3 1 3 と、向き判定部 3 1 4 と、音響インピーダンス算出部 3 1 5 とが持つ機能は第 1 の実施形態と同じである。

【0198】

音圧算出部 3 1 1 b は、複数の信号（応答  $M_1(t)$  及び応答  $M_2(t)$ ）と、收音部毎に表される收音特性（收音特性  $AC1$  及び收音特性  $AC2$ ）とに基づいて、音圧  $p(t)$  を算出する。ここで音圧算出部 3 1 1 b は、上述した式（48）に基づいて音圧  $p(t)$  を算出する。

10

【0199】

粒子速度算出部 3 1 2 b は、複数の信号（応答  $M_1(t)$  及び応答  $M_2(t)$ ）と、收音部毎に表される收音特性（收音特性  $AC1$  及び收音特性  $AC2$ ）と、方向ベクトル情報 3 2 3 b とに基づいて、粒子速度ベクトル  $u(t)$  を算出する。ここで、方向ベクトル情報 3 2 3 b とは、方向ベクトル  $m_1$  と方向ベクトル  $m_2$  とを示す情報である。またここで、粒子速度算出部 3 1 2 b は、上述した式（51）に基づいて粒子速度ベクトル  $u(t)$  を算出する。

つまり、粒子速度算出部 3 1 2 b は、複数の信号（応答  $M_1(t)$  及び応答  $M_2(t)$ ）と、收音部毎に表される收音特性（收音特性  $AC1$  及び收音特性  $AC2$ ）と、複数の方向ベクトル（方向ベクトル  $m_1$  及び方向ベクトル  $m_2$ ）とに基づいて粒子速度（粒子速度ベクトル  $u(t)$ ）を算出する。

20

【0200】

記憶部 3 2 b には、方向ベクトル情報 3 2 3 b と、第 1 收音特性情報 3 2 1 と、第 2 收音特性情報 3 2 2 とが予め記憶される。

【0201】

以上に説明したように、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 b では、複数の收音部 2 は、收音部（この一例において、第 1 の收音部 2 1 または第 2 の收音部 2 2）毎に大きさが同じである方向ベクトル（この一例において、方向ベクトル  $m_1$  または方向ベクトル  $m_2$ ）によって示される方向をもち、複数の方向ベクトル（この一例において、方向ベクトル  $m_1$  及び方向ベクトル  $m_2$ ）の合成ベクトルの大きさを所定の値以下（この一例において、ゼロベクトル）にして方向ベクトル（この一例において、方向ベクトル  $m_1$  または方向ベクトル  $m_2$ ）によって示される方向に向けられそれぞれ配置される。

30

【0202】

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 b では、複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさが所定の値以下でない場合に比べて、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  の算出の精度を高めることができるため、複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさが所定の値以下でない場合に比べて音響情報  $SI$  の測定の精度を高めることができる。

【0203】

ここで式（46）から式（47）が導出される過程や、式（49）から式（50）が導出される過程によれば、式（43）のように複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさがゼロベクトルである場合に、式（47）や式（50）が単純に導出される。複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさがゼロベクトルでない場合には、複数の方向ベクトルと合成ベクトルのゼロベクトルとの差は、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  を算出する際の誤差となる。複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさが所定の値以下である場合には、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  を算出する際の誤差を、複数の方向ベクトルの合成ベクトルの大きさが所定の値以下でない場合に比べて小さくできる。

40

なお、式（44）及び式（45）を公知の数値計算手法に基づいて解くことにより、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  が算出されてもよい。

【0204】

50

また、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 b は、粒子速度算出部 3 1 2 b を備える。粒子速度算出部 3 1 2 b は、複数の信号（この一例において、応答  $M_1(t)$  及び応答  $M_2(t)$ ）と、收音部（この一例において、第 1 の收音部 2 1 または第 2 の收音部 2 2）毎に表される收音特性（この一例において、收音特性  $AC1$  及び收音特性  $AC2$ ）と、複数の方向ベクトル（この一例において、方向ベクトル  $m_1$  及び方向ベクトル  $m_2$ ）とに基づいて粒子速度（この一例において、粒子速度ベクトル  $u(t)$ ）を算出する。

【0205】

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 b では、複数の方向ベクトルに基づいて粒子速度  $u(t)$  を算出できるため、複数の方向ベクトルに基づかない場合に比べて粒子速度  $u(t)$  の測定の精度を高めることができる。

10

【0206】

（第 4 の実施形態）

以下、図面を参照しながら本発明の第 4 の実施形態について詳しく説明する。

上記第 3 の実施形態では、第 1 の收音部と第 2 の收音部とが方向ベクトルによって示される方向に向けられそれぞれ配置される場合について説明した。本実施形態では、6 つの收音部が方向ベクトルによって示される方向に向けられそれぞれ配置される場合について説明する。

本実施形態に係る音響情報測定装置を音響情報測定装置 1 c という。

【0207】

第 3 の実施形態においてベクトル合成法によって一般化された C - C 法が 2 本以上のカーディオイドマイクに適用される場合について説明する。

20

まず、数  $n$  の本数のカーディオイドマイクの場合の、音圧と粒子速度の算出方法について説明する。つまり、 $n$  チャンネルの測定システムの場合について説明する。

カーディオイドマイクによる応答  $M_i(t)$  は、式 (52) によって表される。

【0208】

【数 52】

$$M_i(t) = \alpha_i p(t) - \beta_i \{ \mathbf{m}_i \cdot \mathbf{u}(t) \} \rho c \quad \dots (52)$$

【0209】

音圧  $p(t)$  は、式 (53) によって表される。

30

【0210】

【数 53】

$$p(t) = \frac{\sum_i^n \frac{M_i(t)}{\beta_i}}{\sum_i^n \frac{\alpha_i}{\beta_i}} \quad \dots (53)$$

【0211】

粒子速度ベクトル  $u(t)$  は、式 (54) によって表される。

40

【0212】

【数 54】

$$\mathbf{u}(t) = - \frac{\sum_i^n \frac{\mathbf{m}_i M_i(t)}{\alpha_i}}{\left[ \rho c \sum_i^n \frac{\beta_i}{\alpha_i} \right]} \quad \dots (54)$$

【0213】

ここで方向ベクトル  $m_i$  は、式 (55) 及び式 (56) を満たす。

50

【 0 2 1 4 】

【 数 5 5 】

$$\sum_i^n \mathbf{m}_i = \mathbf{0} \quad \dots (55)$$

【 0 2 1 5 】

【 数 5 6 】

$$|\mathbf{m}_i| = 1 \quad \dots (56)$$

10

【 0 2 1 6 】

ここで方向ベクトル  $\mathbf{m}_i$  の x 軸、y 軸、z 軸の各方向の成分を成分  $x_i$ 、成分  $y_i$ 、及び成分  $z_i$  とする。成分  $x_i$ 、成分  $y_i$ 、及び成分  $z_i$  は式 (57) を満たす。

【 0 2 1 7 】

【 数 5 7 】

$$\sum_i^n x_i^2 = \sum_i^n y_i^2 = \sum_i^n z_i^2 \quad \dots (57)$$

20

【 0 2 1 8 】

つまり、方向ベクトル  $\mathbf{m}_i$  の成分毎の二乗和の当該成分間の差はゼロである。なお、方向ベクトル  $\mathbf{m}_i$  の成分毎の二乗和の当該成分間の差は、所定の値だけゼロからずれていてもよい。つまり、複数の方向ベクトルの成分毎の二乗和の当該成分間の差はそれぞれ所定の値以下である。

【 0 2 1 9 】

30

次に、数  $n$  の本数のカーディオイドマイクの場合の、周波数領域における音圧と粒子速度の算出方法について説明する。

カーディオイドマイクによる周波数領域応答  $M_i(\omega)$  ( ) は、式 (58) によって表される。

【 0 2 2 0 】

【 数 5 8 】

$$M_i(\omega) = \alpha_i(\omega)P(\omega) - \beta_i(\omega)\{\mathbf{m}_i \cdot \mathbf{U}(\omega)\} \rho c \quad \dots (58)$$

40

【 0 2 2 1 】

周波数領域音圧  $p$  ( ) は、式 (59) によって表される。

【 0 2 2 2 】

【 数 5 9 】

$$P(\omega) = \sum_i^n \frac{M_i(\omega)}{\beta_i(\omega)} / \sum_i^n \frac{\alpha_i(\omega)}{\beta_i(\omega)} \quad \dots (59)$$

【 0 2 2 3 】

50

周波数領域粒子速度ベクトル  $U(\omega)$  は、式 (60) によって表される。

【0224】

【数60】

$$U(\omega) = - \sum_i^n \frac{\mathbf{m}_i M_i(\omega)}{\alpha_i(\omega)} \bigg/ \left[ \rho c \sum_i^n \frac{\beta_i(\omega)}{\alpha_i(\omega)} \right] \dots (60)$$

【0225】

ここで周波数領域係数  $\alpha_i(\omega)$ 、及び周波数領域係数  $\beta_i(\omega)$  は複素数である。

10

【0226】

次に、数  $n$  の本数のカーディオイドマイクの場合のカーディオイドマイクの校正方法について説明する。

【0227】

図13は、本実施形態に係る複数のカーディオイドマイクの校正方法の一例を示す図である。複数のカーディオイドマイクの校正方法は、第2の実施形態において説明した対向して配置される2本のカーディオイドマイクの校正方法と、校正対象である1本のカーディオイドマイクを180度反対向きに2回測定する点において同様である。

以下、校正対象である1本のカーディオイドマイクを、校正対象マイクという。

20

【0228】

$x$  方向において同一の校正対象マイクを180度反対向きに2回測定する。180度反対向きのベクトルを、方向ベクトル  $\mathbf{m}_{i1}$ 、 $\mathbf{m}_{i2}$  とする。このとき、既知の音圧である基準音圧  $p_0(t)$  と粒子速度成分  $u_x(t)$  が音圧と粒子速度成分とが既知の音場を用意する。当該音場の音圧を基準音圧  $p_0(t)$  とし、当該音場の  $x$  方向の粒子速度成分を基準粒子速度成分  $u_{0x}(t)$  とする。基準粒子速度成分  $u_{0x}(t)$  は、基準粒子速度  $u_0(t)$  の  $x$  方向成分である。

図13においては、既知の音場は、スピーカ SP1 から出力される音によって生成される。スピーカ SP1 から出力される音は、矢印 A5 によって示される向きから校正対象マイクに到来する。

30

【0229】

既知の音場として、例えば、校正対象マイクからスピーカ SP1 を十分離し、受音点において単一平面波音場を仮定できる音場が考えられる。単一平面波の場合、基準音圧  $p_0(t)$  は、式 (61) によって表される。

【0230】

【数61】

$$p_0(t) = -u_{0x}(t) \rho c \dots (61)$$

40

【0231】

あるいは既知の音場として、音響管など一次元音場となる条件を用いてもよい。

【0232】

校正対象マイクを、180度反対の向きそれぞれに向けた場合の応答  $M_{i1}(t)$ 、応答  $M_{i2}(t)$  は、式 (62) 及び式 (63) によって表される。

【0233】

【数 6 2】

$$M_{i1}(t) = \alpha_i p_0(t) - \beta_i u_{0x}(t) \rho c \quad \dots (6.2)$$

【0 2 3 4】

【数 6 3】

$$M_{i2}(t) = \alpha_i p_0(t) + \beta_i u_{0x}(t) \rho c \quad \dots (6.3)$$

10

【0 2 3 5】

式(6.2)及び式(6.3)を連立させることによって、係数  $\alpha_i$  及び係数  $\beta_i$  を算出する。

式(6.2)と式(6.3)との加算は、式(6.4)によって表される。

【0 2 3 6】

【数 6 4】

$$M_{i1}(t) + M_{i2}(t) = 2\alpha_i p_0(t) \quad \dots (6.4)$$

20

【0 2 3 7】

式(6.4)から、係数  $\alpha_i$  が式(6.5)のように算出される。

【0 2 3 8】

【数 6 5】

$$\alpha_i = \frac{M_{i1}(t) + M_{i2}(t)}{2p_0(t)} \quad \dots (6.5)$$

30

【0 2 3 9】

ここで、完全に同一点において測定し、校正対象マイクの位相差がない場合には、式(6.6)のように、校正対象マイクが180度反対の向きそれぞれに向けた場合の応答  $M_{i1}(t)$ 、応答  $M_{i2}(t)$  のそれぞれの実効値が用いられてもよい。

【0 2 4 0】

【数 6 6】

$$\alpha_i = \frac{\overline{M_{i1}(t)} + \overline{M_{i2}(t)}}{2\overline{p_0(t)}} \quad \dots (6.6)$$

40

【0 2 4 1】

次に、式(6.2)から式(6.3)を減じると、式(6.7)が得られる。

【0 2 4 2】

【数 6 7】

$$M_{i1}(t) - M_{i2}(t) = -2\beta_i u_{0x}(t) \rho c \quad \dots (6.7)$$

【0 2 4 3】

50



式(67)から、係数  $\beta_i$  が式(68)のように算出される。

【0244】

【数68】

$$\beta_i = -\frac{M_{i1}(t) - M_{i2}(t)}{2u_{0x}(t)\rho c} \dots (68)$$

【0245】

ここで、完全に同一点において測定し、校正対象マイクの位相差がない場合には、式(69)のように、校正対象マイクが180度反対の向きそれぞれに向けた場合の応答  $M_{i1}(t)$ 、応答  $M_{i2}(t)$  のそれぞれの実効値が用いられてもよい。 10

【0246】

【数69】

$$\beta_i = -\frac{\overline{M_{i1}(t)} - \overline{M_{i2}(t)}}{2u_{0x}(t)\rho c} \dots (69)$$

【0247】

既知の音場として、単一平面波を用いる場合には、式(61)となるから、係数  $\beta_i$  は、式(70)及び式(71)のようにしても算出することができる。 20

【0248】

【数70】

$$\beta_i = \frac{M_{i1}(t) - M_{i2}(t)}{2p_0(t)} \dots (70)$$

【0249】

【数71】

$$\beta_i = \frac{\overline{M_{i1}(t)} - \overline{M_{i2}(t)}}{2p_0(t)} \dots (71)$$

【0250】

次に、周波数領域における複数のカーディオイドマイクの校正方法について説明する。

周波数領域において音圧と粒子速度を算出する場合の周波数領域係数  $\alpha_i(\omega)$  と周波数領域係数  $\beta_i(\omega)$  とは、上述した式(59)及び式(60)から、式(72)及び式(73)のように算出される。 40

【0251】

【数72】

$$\alpha_i(\omega) = \frac{M_{i1}(\omega) + M_{i2}(\omega)}{2P_0(\omega)} \dots (72)$$

【0252】

【数 7 3】

$$\beta_i(\omega) = -\frac{M_{i1}(\omega) - M_{i2}(\omega)}{2U_{0x}(\omega)\rho c} \dots (73)$$

【0 2 5 3】

既知の音場として、単一平面波を用いる場合には、式(61)となるから、周波数領域係数  $\beta_i$  は、式(74)のようにしても算出することができる。

【0 2 5 4】

【数 7 4】

$$\beta_i(\omega) = \frac{M_{i1}(\omega) - M_{i2}(\omega)}{2P_0(\omega)} \dots (74)$$

【0 2 5 5】

図14は、本実施形態に係る音響情報測定装置1cの構成の一例を示す図である。本実施形態に係る音響情報測定装置1c(図14)と第3の実施形態に係る音響情報測定装置1b(図12)とを比較すると、複数の收音部2cと、処理部3cが音響情報算出部31cと、記憶部32cとを備えている点が異なる。ここで、他の構成要素(收音特性算出部33a、及び出力部4)が持つ機能は第3の実施形態と同じである。第3の実施形態と同じ機能の説明は省略し、第4の実施形態では、第3の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

【0 2 5 6】

複数の收音部2cは、第1の收音部21cと、第2の收音部22cと、第3の收音部23cと、第4の收音部24cと、第5の收音部25cと、第6の收音部26cとを含む。つまり、音響情報測定装置1cは、6チャンネルの測定システムである。

【0 2 5 7】

ここで図15を参照し、複数の收音部2cの配置について説明する。

図15は、本実施形態に係る複数の收音部2cの配置の一例を示す図である。図15に示す例では、正八面体の各頂点に基づいて示される6つの測定位置に、第1の收音部21cと、第2の收音部22cと、第3の收音部23cと、第4の收音部24cと、第5の收音部25cと、第6の收音部26cとが配置される。

【0 2 5 8】

第1の收音部21c、第2の收音部22c、第3の收音部23c、第4の收音部24c、第5の收音部25c、及び第6の收音部26cは、それぞれ矢印A21c、矢印A22c、矢印A23c、矢印A24c、矢印A25c、及び矢印A26cの向きに配置される。ここで矢印A21cと、矢印A22とは180度反対向きである。矢印A23c、矢印A24cとは180度反対向きである。矢印A25c、及び矢印A26cとは180度反対向きである。

つまり、第1の收音部21cと、第2の收音部22cとが対向して配置され、第3の收音部23cと、第4の收音部24cとが対向して配置され、第5の收音部25cと、第6の收音部26cとが対向して配置される。

【0 2 5 9】

ここで矢印A21c、矢印A22c、矢印A23c、矢印A24c、矢印A25c、及び矢印A26cの向きは、方向ベクトル $m_1$ 、方向ベクトル $m_2$ 、方向ベクトル $m_3$ 、方向ベクトル $m_4$ 、方向ベクトル $m_5$ 、及び方向ベクトル $m_6$ がそれぞれ示す向きである。方向ベクトル $m_1$ 、方向ベクトル $m_2$ 、方向ベクトル $m_3$ 、方向ベクトル $m_4$ 、方向ベクトル $m_5$ 、及び方向ベクトル $m_6$ は、正八面体の中心から各頂点への向きをそれぞれ示す

10

20

30

40

50

。

## 【0260】

なお、図15に示す例では、第1の收音部21cと第2の收音部22cとは、矢印A21cと矢印A22cとが互いに正八面体の中心から外側を向いて180度反対向きとなつて対向しており、第3の收音部23cと第4の收音部24cとは、矢印A23cと矢印A24cとが互いに正八面体の中心から外側を向いて180度反対向きとなつて対向しており、第5の收音部25cと第6の收音部26cとは、矢印A25cと矢印A26cとが互いに正八面体の中心から外側を向いて180度反対向きとなつて対向しているが、これに限らない。

第1の收音部21cと第2の收音部22cとは、矢印A21cと矢印A22cとが互いに正八面体の中心へ内側を向いて180度反対向きとなつて対向し、第3の收音部23cと第4の收音部24cとは、矢印A23cと矢印A24cとが互いに正八面体の中心へ内側を向いて180度反対向きとなつて対向し、第5の收音部25cと第6の收音部26cとは、矢印A25cと矢印A26cとが互いに正八面体の中心へ内側を向いて180度反対向きとなつて対向してもよい。

また、なお、複数の收音部2cのそれぞれは、正六面体の各面を構成する正方形の中心に基づいて示される6つの測定位置に配置されてもよい。

## 【0261】

図14に戻って、音響情報測定装置1cの構成の説明を続ける。

処理部3cは、音響情報算出部31cと、記憶部32cと、收音特性算出部33cとを備える。

音響情報算出部31cは、音圧算出部311cと、粒子速度算出部312cと、音響インテンシティ算出部313と、向き判定部314と、音響インピーダンス算出部315とを備える。ここで音響インテンシティ算出部313と、向き判定部314と、音響インピーダンス算出部315とが持つ機能は第1の実施形態と同じである。

## 【0262】

音圧算出部311cは、複数の信号(応答 $M_1(t) \sim M_6(t)$ )と、收音部毎に表される收音特性(收音特性AC1～收音特性AC6)とに基づいて、音圧 $p(t)$ を算出する。ここで音圧算出部311cは、上述した式(53)に基づいて音圧 $p(t)$ を算出する。

## 【0263】

粒子速度算出部312cは、複数の信号(応答 $M_1(t) \sim M_6(t)$ )と、收音部毎に表される收音特性(收音特性AC1～收音特性AC6)と、方向ベクトル情報327cとに基づいて、粒子速度ベクトル $u(t)$ を算出する。ここで、方向ベクトル情報327cとは、方向ベクトル $m_i$ を示す情報である。またここで、粒子速度算出部312cは、上述した式(54)に基づいて粒子速度ベクトル $u(t)$ を算出する。

## 【0264】

つまり、粒子速度算出部312cは、方向ベクトル $m_i$ によって示される方向に向けられ配置される收音部の信号(応答 $M_i(t)$ )に当該收音部の收音特性AC $i$ に基づく因子と当該方向ベクトル $m_i$ とを乗じて複数の收音部2c毎に得られるベクトルの和に基づいて、粒子速度(粒子速度ベクトル $u(t)$ )を算出する。

## 【0265】

記憶部32cには、方向ベクトル情報327cと、第1收音特性情報321cと、第2收音特性情報322cと、第3收音特性情報323cと、第4收音特性情報324cと、第5收音特性情報325cと、第6收音特性情報326cとが予め記憶される。方向ベクトル情報327cは、方向ベクトル $m_1 \sim m_6$ を示す情報である。

## 【0266】

收音特性算出部33cは、上述した複数のカーディオイドマイクの校正方法に基づいて、カーディオイドマイクである校正対象收音部CTを校正する。

## 【0267】

10

20

30

40

50

次に、図 16 及び図 17 を参照し、音響情報測定装置 1c が音響情報 S I を算出する処理について説明する。

図 16 は、本実施形態に係る音響情報算出処理の一例を示す図である。なお、ステップ S 400、ステップ S 410、ステップ S 420、及びステップ S 430 の各処理は、図 6 におけるステップ S 100、ステップ S 110、ステップ S 120、及びステップ S 130 の各処理と、複数の収音部 2c に含まれる収音部の数が 2 から 6 に増えた点以外は同様であるため、説明を省略する。

【0268】

図 17 は、本実施形態に係る各種の音響情報の算出処理の一例を示す図である。ステップ S 500 ~ S 540 は、図 16 のステップ S 430 として実行される。なお、ステップ S 520、ステップ S 530、及びステップ S 540 の各処理は、図 6 におけるステップ S 220、ステップ S 230、及びステップ S 240 の各処理と同様であるため、説明を省略する。

10

【0269】

ステップ S 500 : 音圧算出部 311c は、複数の信号 ( 応答  $M_1(t)$  ~ 応答  $M_6(t)$  ) と、収音部毎に表される収音特性 ( 収音特性 AC1 ~ 収音特性 AC6 ) とに基づいて、上述した式 ( 53 ) を用いて音圧  $p(t)$  を算出する。

【0270】

ステップ S 510 : 粒子速度算出部 312c は、複数の信号 ( 応答  $M_1(t)$  ~ 応答  $M_6(t)$  ) と、収音部毎に表される収音特性 ( 収音特性 AC1 ~ 収音特性 AC6 ) と、方向ベクトル情報 327c とに基づいて、上述した式 ( 54 ) を用いて粒子速度ベクトル  $u(t)$  を算出する。

20

【0271】

なお、本実施形態では、6つの収音部が正八面体の各頂点に基づいて示される6つの測定位置に配置される場合について説明したが、これに限らない。複数の収音部 2c に含まれる収音部の数は、2つ以上であればいずれの数でもよい。

【0272】

ここで図 18 を参照し、本実施形態の変形例として、複数の収音部に含まれる収音部の数が4つである場合について説明する。本変形例に係る音響情報測定装置を音響情報測定装置 1d といい、本変形例に係る複数の収音部を複数の収音部 2d という。

30

図 18 は、本実施形態の変形例に係る複数の収音部 2d の配置の一例を示す図である。複数の収音部 2d は、第 1 の収音部 21d と、第 2 の収音部 22d と、第 3 の収音部 23d と、第 4 の収音部 24d とを含む。図 17 に示す例では、正四面体の各頂点に基づいて示される4つの測定位置に第 1 の収音部 21d と、第 2 の収音部 22d と、第 3 の収音部 23d と、第 4 の収音部 24d とが配置される。

【0273】

第 1 の収音部 21d、第 2 の収音部 22d、第 3 の収音部 23d、及び第 4 の収音部 24d は、それぞれ矢印 A 21d、矢印 A 22d、矢印 A 23d、及び矢印 A 24d の向きに配置される。ここで矢印 A 21d、矢印 A 22d、矢印 A 23d、及び矢印 A 24d は、正四面体の重心から各頂点へ向かう向きをそれぞれ示す。つまり、第 1 の収音部 21d、第 2 の収音部 22d、第 3 の収音部 23d、及び第 4 の収音部 24d は、それぞれ正四面体の重心から各頂点へ向かう向きに外側を向いて配置される。

40

【0274】

なお、矢印 A 21d、矢印 A 22d、矢印 A 23d、及び矢印 A 24d は、正四面体の各頂点から重心へ向かう向きであってもよい。つまり、第 1 の収音部 21d、第 2 の収音部 22d、第 3 の収音部 23d、及び第 4 の収音部 24d は、それぞれ正四面体の各頂点から重心へ向かう向きに内側を向いて配置されてもよい。

【0275】

本実施形態に係る音響情報測定装置 1c では、複数の収音部 2c は、第 1 の収音部 21c と、第 2 の収音部 22c と、第 3 の収音部 23c と、第 4 の収音部 24c と、第 5 の収

50

音部 2 5 c と、第 6 の收音部 2 6 c とを含み、正八面体の各頂点に基づいて示される 6 つの測定位置に、第 1 の收音部 2 1 c と、第 2 の收音部 2 2 c と、第 3 の收音部 2 3 c と、第 4 の收音部 2 4 c と、第 5 の收音部 2 5 c と、第 6 の收音部 2 6 c とが配置される。

【 0 2 7 6 】

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 c では、複数の收音部のうちの 1 つの收音部が故障した場合であっても、故障した收音部と、当該收音部と対向する收音部を除いた 4 つの收音部により音響情報の測定ができるため、複数の收音部の数が 6 つ未満の場合に比べて測定装置に冗長性を持たせることができる。

ここで音響情報測定装置 1 c は、6 つの收音部により 3 次元空間における音響情報の測定ができる。音響情報測定装置 1 c では、複数の收音部のうちの 1 つの收音部が故障した場合であっても、故障した收音部と、当該故障した收音部と対向する收音部との 2 つ收音部を除く、4 つの收音部によって 2 次元平面における音響情報の測定ができる。

10

【 0 2 7 7 】

なお、音響情報測定装置は、複数の收音部として、例えば、10 つの收音部を備えてもよい。当該音響情報測定装置は、10 つの收音部のうち 1 つの收音部が故障した場合であっても、残りの 9 つの收音部によって 3 次元空間における音響情報の測定ができる。

【 0 2 7 8 】

本実施形態に係る音響情報測定装置 1 c では、複数の方向ベクトル（この一例において、方向ベクトル  $m_1$  ~ 方向ベクトル  $m_6$ ）の成分毎の二乗和の成分間の差はそれぞれ所定の値以下である。

20

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 c では、複数の方向ベクトルの成分毎の二乗和の成分間の差はそれぞれ所定の値以下でない場合に比べて、粒子速度成分  $u_x(t)$  や音圧  $p(t)$  の算出の精度を高めることができるため、複数の方向ベクトルの成分毎の二乗和の成分間の差はそれぞれ所定の値以下でない場合に比べて音響情報 S I の測定の精度を高めることができる。

【 0 2 7 9 】

本実施形態に係る音響情報測定装置 1 c では、粒子速度算出部 3 1 2 c は、方向ベクトル  $m_i$  によって示される方向に向けられ配置される收音部の信号（応答  $M_i(t)$ ）に当該收音部の收音特性  $AC_i$  に基づく因子と当該方向ベクトル  $m_i$  とを乗じて複数の收音部 2 c 毎に得られるベクトルの和に基づいて、粒子速度（粒子速度ベクトル  $u(t)$ ）を算出する。

30

【 0 2 8 0 】

この構成により、本実施形態に係る音響情報測定装置 1 c では、收音部の信号に当該收音部の收音特性  $AC_i$  に基づく因子と当該方向ベクトル  $m_i$  とを乗じて複数の收音部 2 c 毎に得られるベクトルの和に基づいて、粒子速度（粒子速度ベクトル  $u(t)$ ）を算出できるため、收音部の信号に当該收音部の收音特性  $AC_i$  に基づく因子と当該方向ベクトル  $m_i$  とを乗じて複数の收音部 2 c 毎に得られるベクトルの和に基づかない場合に比べて、粒子速度（粒子速度ベクトル  $u(t)$ ）の測定の精度を高めることができる。

【 0 2 8 1 】

本実施形態の変形例に係る音響情報測定装置 1 d では、複数の收音部 2 d は、第 1 の收音部 2 1 d と、第 2 の收音部 2 2 d と、第 3 の收音部 2 3 d と、第 4 の收音部 2 4 d とを含み、正四面体の各頂点に基づいて示される 4 つの測定位置に第 1 の收音部 2 1 d と、第 2 の收音部 2 2 d と、第 3 の收音部 2 3 d と、第 4 の收音部 2 4 d とが配置される。

40

この構成により、本実施形態の変形例に係る音響情報測定装置 1 d では、4 つの收音部により 3 次元空間における音響情報の測定ができるため、3 次元空間における測定に用いられる收音部の数を 5 つ以上の場合に比べて少なくできる。

【 0 2 8 2 】

なお、上述した実施形態においては、複数の收音部によって生成される信号は、周波数領域の信号として生成されてもよい。当該信号が周波数領域の信号として生成される場合、上述した音響情報を算出するための各演算は、周波数領域の量に基づいて行われる。

50

## 【0283】

なお、上述した実施形態における音響情報測定装置1、1a、1b、1cの一部、例えば、音響情報算出部31、31b、31c、及び收音特性算出部33a、33cをコンピュータで実現するようにしてもよい。その場合、この制御機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することによって実現してもよい。なお、ここでいう「コンピュータシステム」とは、音響情報測定装置1、1a、1b、1cに内蔵されたコンピュータシステムであって、OSや周辺機器等のハードウェアを含むものとする。また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことをいう。さらに「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムを送信する場合の通信線のように、短時間、動的にプログラムを保持するもの、その場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリのように、一定時間プログラムを保持しているものも含んでもよい。また上記プログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであってもよく、さらに前述した機能をコンピュータシステムにすでに記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるものであってもよい。

10

また、上述した実施形態における音響情報測定装置1、1a、1b、1cの一部、または全部を、LSI(Large Scale Integration)等の集積回路として実現してもよい。音響情報測定装置1、1a、1b、1cの各機能ブロックは個別にプロセッサ化してもよいし、一部、または全部を集積してプロセッサ化してもよい。また、集積回路化の手法はLSIに限らず専用回路、または汎用プロセッサで実現してもよい。また、半導体技術の進歩によりLSIに代替する集積回路化の技術が出現した場合、当該技術による集積回路を用いてもよい。

20

## 【0284】

以上、図面を参照してこの発明の一実施形態について詳しく説明してきたが、具体的な構成は上述のものに限られることはなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲内において様々な設計変更等を行うことが可能である。

30

## 【符号の説明】

## 【0285】

1、1a、1b、1c...音響情報測定装置、2、2c...複数の收音部、21...第1の收音部、22...第2の收音部、23...第3の收音部、24...第4の收音部、25...第5の收音部、26...第6の收音部、CT...校正対象收音部、3、3a、3b...処理部、31、31b、31c...音響情報算出部、311、311b...音圧算出部、312、312b...粒子速度算出部、313...音響インテンシティ算出部、314...向き判定部、315...音響インピーダンス算出部、32、32b、32c...記憶部、321...第1收音特性情報、322...第2收音特性情報、AC、AC1、AC2...收音特性、 $\alpha$ 、 $\beta$ ...係数、323b、327c...方向ベクトル情報、33a、33c...收音特性算出部、4...出力部、cd...カーディオイドマイク、MC1、MC2...マイク、SP1...スピーカ、SI...音響情報、I...音響インテンシティ、Z...音響インピーダンス、M1、M2...信号

40

【 図 1 】

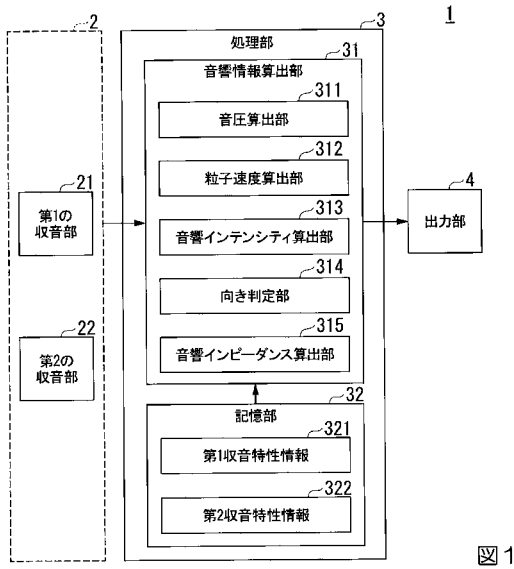


図 1

【 図 2 】

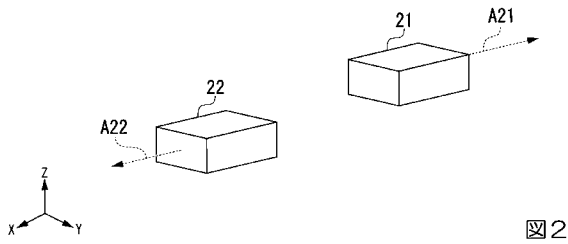


図 2

【 図 4 】

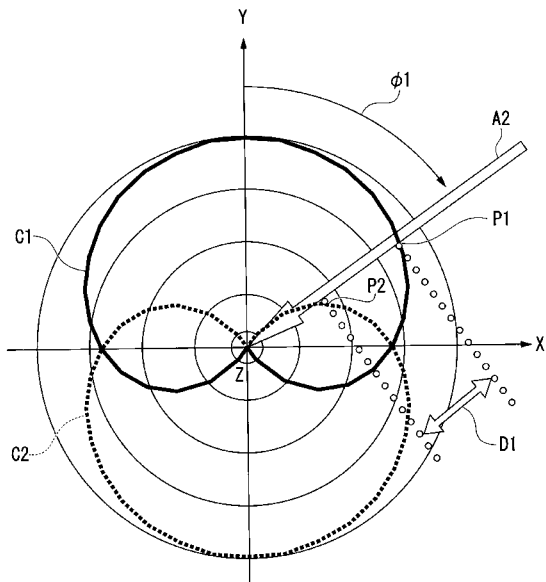


図 4

【 図 3 】

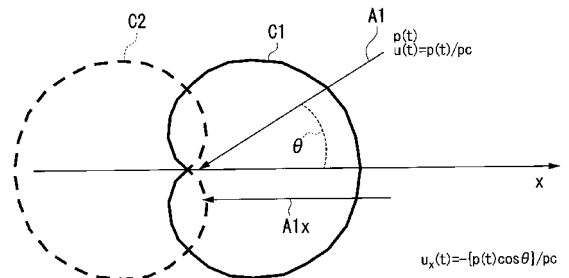


図 3

【 図 5 】

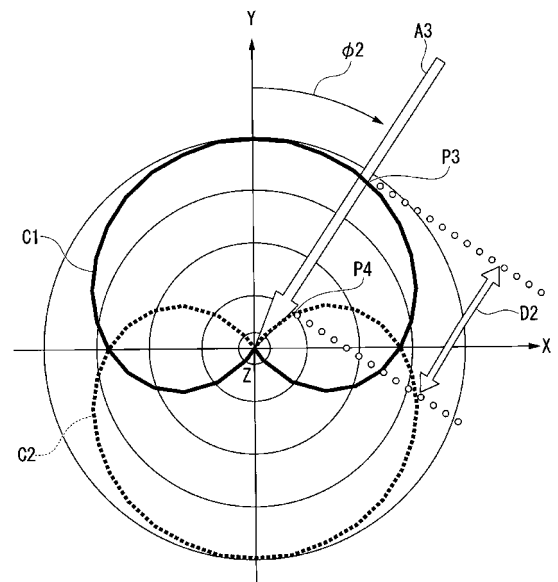


図 5

【 図 6 】

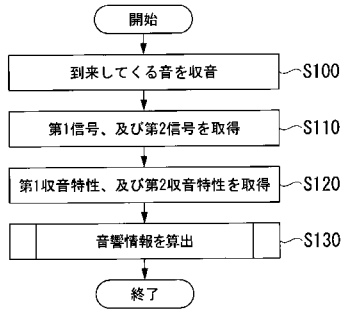


図6

【 図 7 】

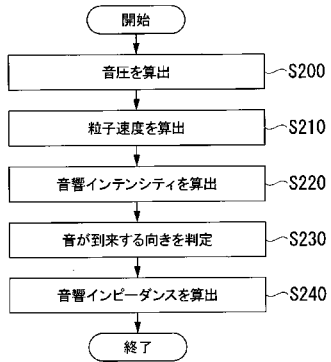


図7

【 図 9 】

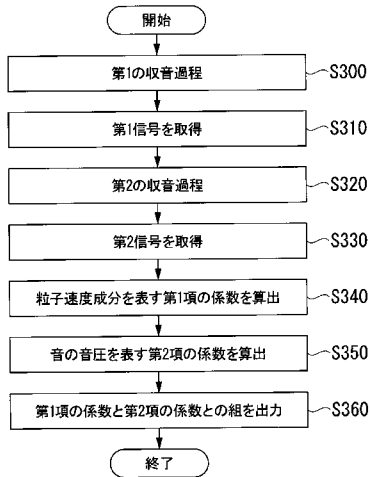


図9

【 図 8 】

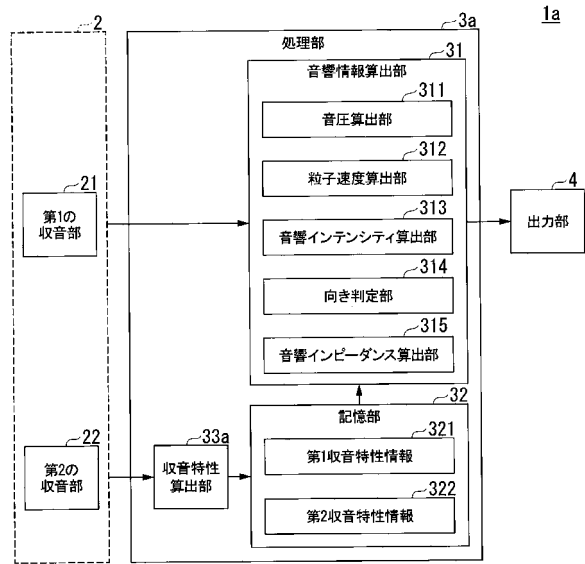


図8

【 図 10 】

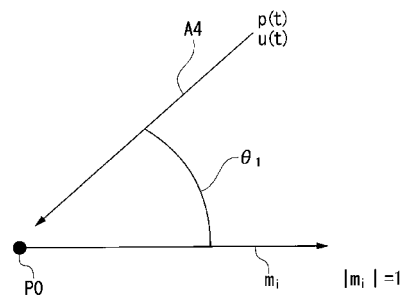


図10

【 図 11 】

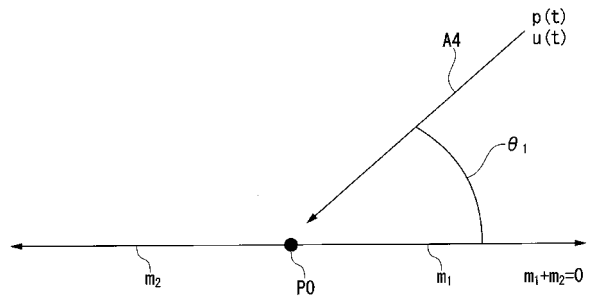


図11



【 図 1 2 】

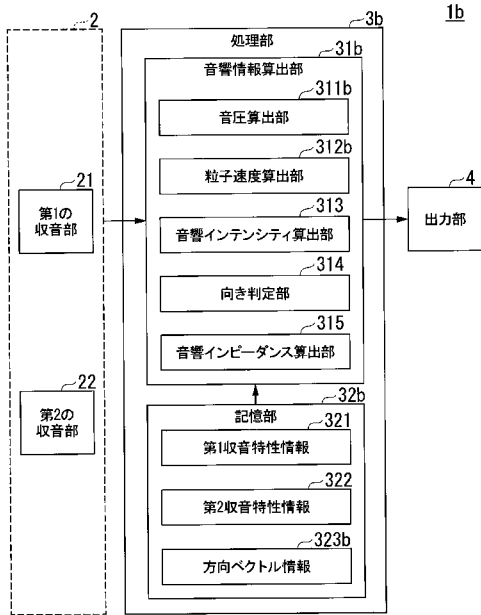


図 1 2

【 図 1 3 】

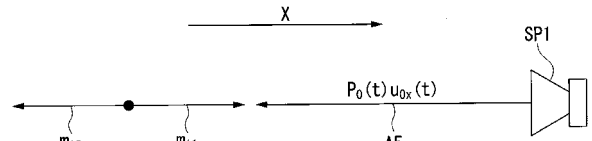


図 1 3

【 図 1 4 】

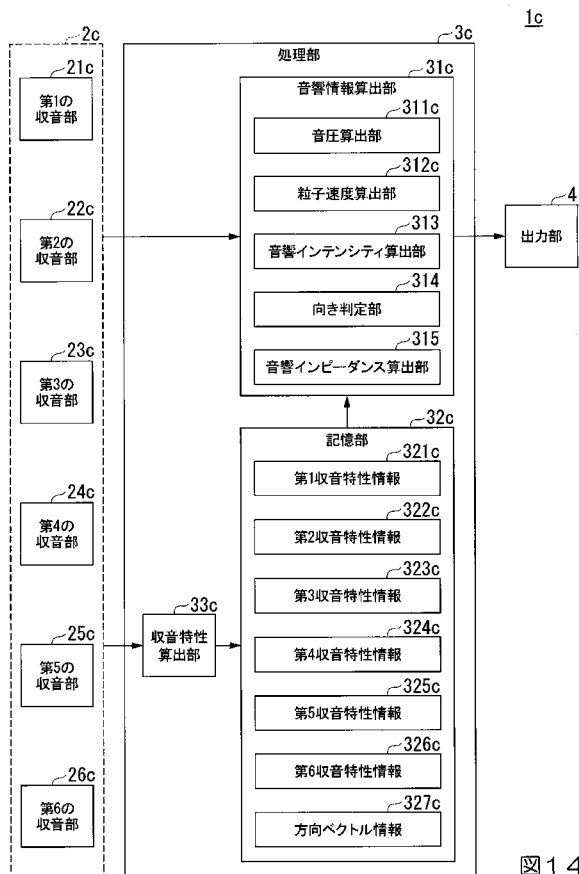


図 1 4

【 図 1 5 】

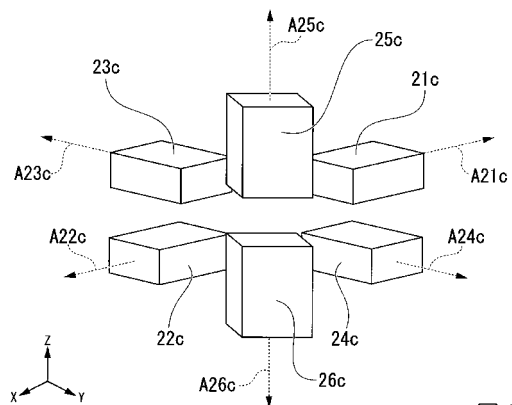


図 1 5

【 図 1 6 】

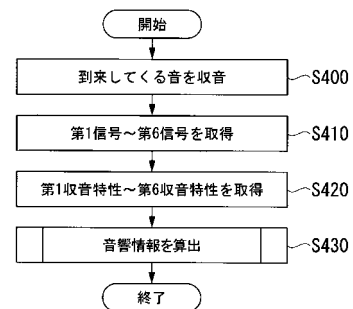


図 1 6

【 図 1 7 】

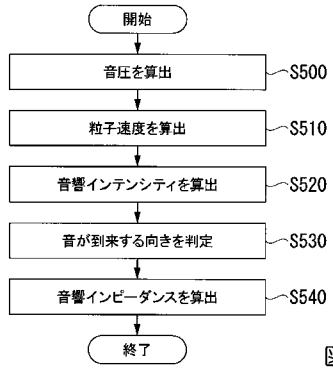


図 1 7

【 図 1 8 】

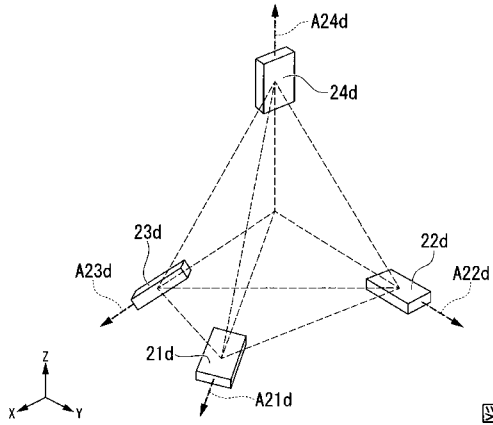


図 1 8