

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5156934号  
(P5156934)

(45) 発行日 平成25年3月6日(2013.3.6)

(24) 登録日 平成24年12月21日(2012.12.21)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>G O 1 H</b>	<b>3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G O 1 H	3/00	A
<b>G 1 O K</b>	<b>15/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G 1 O K	15/00	L
			G 1 O K	15/00	M

請求項の数 10 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2008-57260 (P2008-57260)</p> <p>(22) 出願日 平成20年3月7日(2008.3.7)</p> <p>(65) 公開番号 特開2009-216747 (P2009-216747A)</p> <p>(43) 公開日 平成21年9月24日(2009.9.24)</p> <p>審査請求日 平成23年3月4日(2011.3.4)</p>	<p>(73) 特許権者 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</p> <p>(74) 代理人 100124257 弁理士 生井 和平</p> <p>(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</p> <p>審査官 ▲高▼見 重雄</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音響測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

音響測定装置であって、該装置は、  
単一指向性の複数のマイクロホンを含む受音部であって、前記複数のマイクロホンは、その感度最大方向を向く単位ベクトルの総和がゼロとなるように配置される、受音部と

、  
前記受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値を各単位ベクトルに乘算し、そのベクトル合成を用いて音響情報を算出する演算部と、  
を具備することを特徴とする音響測定装置。

【請求項2】

請求項1に記載の音響測定装置において、前記受音部の複数のマイクロホンは、それぞれの単位ベクトルのそれぞれの成分の2乗の総和が等しくなるように配置されることを特徴とする音響測定装置。

【請求項3】

請求項1又は請求項2に記載の音響測定装置において、前記受音部の複数のマイクロホンは、その数が、算出する音響情報の空間次元数よりも多いことを特徴とする音響測定装置。

【請求項4】

請求項1乃至請求項3の何れかに記載の音響測定装置において、前記受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値が音圧であり、前記演算部は、複数のマイクロホンのそれ

それぞれの音圧を各単位ベクトルに乗算し、そのベクトル合成である粒子速度ベクトルを算出することを特徴とする音響測定装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 の何れかに記載の音響測定装置において、前記受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値が音圧であり、前記演算部は、さらに、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧の総和である無指向性の音圧を算出することを特徴とする音響測定装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の音響測定装置において、前記演算部は、粒子速度ベクトルと無指向性の音圧を乗算して音響インテンシティを算出することを特徴とする音響測定装置。

10

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 3 の何れかに記載の音響測定装置において、前記受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値が音圧であり、前記演算部は、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧の 2 乗を各単位ベクトルに乗算し、そのベクトル合成である音響インテンシティを算出することを特徴とする音響測定装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 の何れかに記載の音響測定装置において、前記受音部は 3 つのマイクロホンからなり、各マイクロホンは三角形の重心から各頂点に向かう方向、又は各頂点から重心に向かう方向に、各単位ベクトルが向くようにそれぞれ配置されることを特徴とする音響測定装置。

20

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 7 の何れかに記載の音響測定装置において、前記受音部は 4 つのマイクロホンからなり、各マイクロホンは三角錐の重心から各頂点に向かう方向、又は各頂点から重心に向かう方向に、各単位ベクトルが向くようにそれぞれ配置されることを特徴とする音響測定装置。

【請求項 10】

請求項 1 乃至請求項 9 の何れかに記載の音響測定装置において、前記受音部の複数のマイクロホンは、それぞれカーディオイドマイクロホン、スーパーカーディオイドマイクロホン、ハイパーカーディオイドマイクロホン、ウルトラカーディオイドマイクロホンの何れかであることを特徴とする音響測定装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は音響測定装置に関し、特に、単一指向性マイクロホンを複数用いて音響インテンシティ等の音響情報を算出する音響測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、騒音の評価やコンサートホール等での音の伝搬の解析等を行うために、音響インテンシティを計測することが行われていた。音響インテンシティとは、スカラー量である音圧とは異なりベクトル量であり、音源からの音が有する音の大きさや、周波数、波形といった情報だけでなく、音の方向に関する情報も含まれるものである。即ち、音響インテンシティにより、音の大きさだけでなく、どの方向から音が到達したのかということも計測できる。

40

【0003】

音響インテンシティは、音圧と粒子速度の積で表されるものである。ここで、音圧レベルは容易に測定することができるが、粒子速度は容易に測定できるものではない。そのため、一般的には、位相整合された無指向性のマイクロホンを 2 つ対向配置や背向配置等し、有限差分近似により粒子速度を決定する方式（P - P 方式）が用いられている。しかしながら、P - P 方式では、マイクロホンの感度差や位相差に敏感であり、またマイクロホンの間隔も厳密に管理する必要がある等、扱いが難しいものであった。さらに、音源からの

50

音の周波数によってマイクロホンの間隔を変更する必要があるものであった。

【0004】

これらの問題点を解決するために、本願発明者は、指向性が180度反対向きに配置された単一指向性マイクロホンを複数用い、その指向性情報を用いて音響インテンシティを計測する方式(C-C方式)の音響測定装置を種々開発している。例えば、特許文献1では、180度反対向きに配置されたマイクロホンのレベル差のデータベースを用いて音源方向及び音源レベルを求めることが可能な装置が開示されている。

【0005】

さらに、本願発明者は、直交座標の各軸上に、指向性を180度反対向きに配置された単一指向性マイクロホンの対からなる受信部を用いて、所定の演算処理を行うことでデータベース等を用いずに音源から発せられた音の方向を検出するC-C方式の音響測定装置も開発していた(特願2007-054909)。

【0006】

このようなC-C方式による音響測定装置は、マイクロホン相互間に存在する固有の位相特性の不一致やマイクロホン間隔の周波数依存性を解決できるものであった。

【0007】

【特許文献1】国際公開第2006/054599号パンフレット

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来のC-C方式の音響測定装置では、例えば2次元の方向検出を行う場合には、単一指向性マイクロホンを最低4つ(4チャンネル)用い、180度反対向きに配置したマイクロホン対を、座標の原点を中心にx軸方向とy軸方向で直交するように配置している。また、3次元の方向検出を行う場合には、単一指向性マイクロホンを最低6つ(6チャンネル)用い、180度反対向きに配置したマイクロホン対を、座標の原点を中心にx軸方向、y軸方向、z軸方向にそれぞれ直交するように配置している。そして、マイクロホン対の差分と加算によって、各座標軸方向の音響インテンシティ成分を求め、これを合成することにより音響インテンシティを求めていた。このように、従来のC-C方式の音響測定装置では、2次元では最低4つ、3次元では最低6つのマイクロホンが必要なものであった。

【0009】

例えば、玩具等に音源方向測定装置を内蔵し、音源の方向に移動したり回転したりするようなアプリケーションを考えた場合、なるべく安価に実現可能な構成が望まれる。また、このような用途では、測定精度よりも装置の小型化が望まれる場合もある。このような場合、なるべくマイクロホンの数が少ないものが好ましいが、上述の例では2次元では最低4つ、3次元では最低6つのマイクロホンが必要なものであったため、より簡易的な構成の音響測定装置の開発が望まれていた。

【0010】

さらに、180度反対向きに配置したマイクロホン対を基本とする従来の音響測定装置では、1つのマイクロホンが故障等により機能しなくなると、音響測定装置としてまったく機能しなくなる可能性があった。したがって、ロバスト性が求められるような用途に適用することは難しかった。

【0011】

本発明は、斯かる実情に鑑み、マイクロホン間隔の周波数依存性を解決しつつマイクロホンの個数を減らすことが可能な音響測定装置を提供しようとするものである。また、マイクロホンの個数を増やすことで、ロバスト性を高めることが可能な音響測定装置を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上述した本発明の目的を達成するために、本発明による音響測定装置は、単一指向性の

10

20

30

40

50

複数のマイクロホンを有する受音部であって、複数のマイクロホンは、その感度最大方向を向く単位ベクトルの総和がゼロとなるように配置される、受音部と、受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値を各単位ベクトルに乗算し、そのベクトル合成を用いて音響情報を算出する演算部と、を具備するものである。

【0013】

ここで、受音部の複数のマイクロホンは、それぞれの単位ベクトルのそれぞれの成分の2乗の総和が等しくなるように配置されれば良い。

【0014】

また、受音部の複数のマイクロホンは、その数が、算出する音響情報の空間次元数よりも多ければ良い。

【0015】

また、受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値が音圧であり、演算部は、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧を各単位ベクトルに乗算し、そのベクトル合成である粒子速度ベクトルを算出するものであれば良い。

【0016】

また、受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値が音圧であり、演算部は、さらに、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧の総和である無指向性の音圧を算出するものであれば良い。

【0017】

また、演算部は、粒子速度ベクトルと無指向性の音圧を乗算して音響インテンシティを算出するものであれば良い。

【0018】

さらに、受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値が音圧であり、演算部は、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧の2乗を各単位ベクトルに乗算し、そのベクトル合成である音響インテンシティを算出するものであっても良い。

【0019】

ここで、受音部は3つのマイクロホンからなり、各マイクロホンは三角形の重心から各頂点に向かう方向、又は各頂点から重心に向かう方向に、各単位ベクトルが向くようにそれぞれ配置されれば良い。

【0020】

また、受音部は4つのマイクロホンからなり、各マイクロホンは三角錐の重心から各頂点に向かう方向、又は各頂点から重心に向かう方向に、各単位ベクトルが向くようにそれぞれ配置されても良い。

【0021】

また、受音部の複数のマイクロホンは、それぞれカーディオイドマイクロホン、スーパーカーディオイドマイクロホン、ハイパーカーディオイドマイクロホン、ウルトラカーディオイドマイクロホンの何れかであれば良い。

【0022】

さらにまた、本発明による音響測定装置は、単一指向性の複数のマイクロホンを有する受音部であって、複数のマイクロホンは、その感度最大方向を向く単位ベクトルの総和がゼロとなるように配置される、受音部と、受音部の複数のマイクロホンのそれぞれの測定値を総和して音響情報を算出する演算部と、を具備するものであっても良い。

【発明の効果】

【0023】

本発明の音響測定装置には、マイクロホン間隔の周波数依存性を解決しつつマイクロホンの個数を減らすことができるという利点がある。また、マイクロホンの個数を増やすことで、ロバスト性を高めることができるという利点もある。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

まず、C - C方式の音響測定装置の概念を説明する。図1は、単一平面波が受音部に到

10

20

30

40

50

来する音場を想定した場合の概念図である。図示のような、単一平面波  $P(t)$  が  $x$  方向に対して角度  $\theta$  で到来する音場を想定したとき、音場進行方向の粒子速度  $u(t)$  は次式で表される。

【数 1】

$$u(t) = P(t) / \rho c$$

但し、 $c$  は音響インピーダンスである。

【0025】

そして、 $x$  方向の粒子速度  $u_x(t)$  は次式で表される。

【数 2】

$$u_x(t) = -\{P(t) \cos \theta\} / \rho c$$

10

【0026】

したがって、音響インテンシティの  $x$  方向成分は、次式で表される。

【数 3】

$$I_x(t) = P(t)u_x(t) = -\{P^2(t) \cos \theta\} / \rho c$$

【0027】

次に、この音場を単一指向性マイクロホン対で測定することを考える。単一指向性マイクロホンとして、例えばカーディオイドマイクロホンをを用いた場合、マイクロホン 1 及びマイクロホン 2 で測定されるそれぞれの応答  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  は、それぞれ次式で表される。

20

【数 4】

$$P_1(t) = P(t)(0.5 + 0.5 \cos \theta)$$

【数 5】

$$P_2(t) = P(t)(0.5 - 0.5 \cos \theta)$$

【0028】

これら  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  を加算すると、次式のように無指向性の音圧となる。

【数 6】

$$P_1(t) + P_2(t) = P(t)$$

【0029】

そして、これら  $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$  の差分は次式で表される。

30

【数 7】

$$P_1(t) - P_2(t) = P(t) \cos \theta$$

【0030】

数 7 を数 2 と比べると、 $x$  方向の粒子速度  $u_x(t)$  は、次式のようにマイクロホン 1 とマイクロホン 2 の応答の差分から求められることが分かる。

【数 8】

$$u_x(t) = -\{P_1(t) - P_2(t)\} / \rho c$$

【0031】

したがって、 $x$  方向の音響インテンシティ成分は、以下のように表される。

40

【数 9】

$$\begin{aligned} I_x(t) &= P(t)u_x(t) \\ &= -\{P_1(t) + P_2(t)\}\{P_1(t) - P_2(t)\} / \rho c \end{aligned}$$

【0032】

なお、数 9 は以下のように表すことも可能である。

【数 1 0】

$$I_x(t) = -\{P_1^2(t) - P_2^2(t)\} / \rho c$$

【0 0 3 3】

また、y 方向やさらに z 方向の音響インテンシティ成分を求める場合にも、上述の理論と同様に各方向の音響インテンシティ成分を求めれば良く、これらの各方向の音響インテンシティ成分を合成すれば、音響インテンシティ  $I(t)$  が求まる。

【0 0 3 4】

数 9 から分かる通り、C - C 方式では、各次元のマイクロホン対の差分と加算によって各次元の音響インテンシティ成分が求められることが分かる。本願発明者と同一人による特願 2 0 0 7 - 0 5 4 9 0 9 では、このような理論に基づき音響インテンシティを求めている。

10

【0 0 3 5】

さて、以下では、上述の C - C 方式の音響インテンシティを求める原理をベクトルで解釈してみる。図 2 は、単一平面波が受音部に到来する音場をベクトルで解釈した場合の概念図である。図示のような、マイクロホンの感度最大方向を向く単位ベクトル  $e_1 \sim e_4$  を考える。ここで、単位ベクトルに関し、例えば図示のように直交座標の x 軸上にマイクロホンの感度最大方向を向けた単位ベクトル  $e_1$  は、その成分が  $(1, 0)$  というものである。

20

【0 0 3 6】

単一平面波  $P(t)$  が到来する音場を想定したとき、無指向性の音圧  $P(t)$ 、粒子速度ベクトル  $u(t)$ 、音響インテンシティ  $I(t)$  は、それぞれ次式のように表される。

【数 1 1】

$$P(t) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n P_i(t)$$

【数 1 2】

$$\bar{u}(t) = -\frac{K}{\rho c} \sum_{i=1}^n \{P_i(t) \cdot \bar{e}_i\}$$

【数 1 3】

$$\bar{I}(t) = -\frac{2K}{n} \cdot \frac{1}{\rho c} \sum_{i=1}^n P_i(t) \times \sum_{i=1}^n \{P_i(t) \cdot \bar{e}_i\}$$

但し、上記の式中、 $n$  はマイクロホンの数（チャンネル数）で、 $K$  はチャンネル数やマイクロホンの形式によって異なる粒子速度正規化の係数である。

30

【0 0 3 7】

これらの式から分かるように、音場をベクトルで解釈すると、粒子速度ベクトルは、複数のマイクロホンのそれぞれの測定値を各単位ベクトルに乗算（重み付け）してベクトル合成したものとして表されている。即ち、音響情報として粒子速度ベクトルを算出したい場合には、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧を各単位ベクトルに乗算し、これをベクトル合成すれば良い。

40

【0 0 3 8】

また、無指向性の音圧は、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧の総和したものとして表されている。即ち、音響情報として無指向性の音圧を算出したい場合には、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧の総和を求めれば良い。

【0 0 3 9】

そして、音響インテンシティは、このようにして求められる粒子速度ベクトルと無指向性の音圧との積で表されている。即ち、音響情報として音響インテンシティを算出したい場合には、粒子速度ベクトルと無指向性の音圧を乗算すれば良い。

【0 0 4 0】

さらに、音圧の 2 乗である 2 乗音圧を考えた場合には、音響インテンシティ  $I(t)$  は

50

、次式のように表される。

【数 1 4】

$$\vec{I}(t) = -\frac{G}{n} \cdot \frac{1}{\rho c} \sum_{i=1}^n \{P_i^2(t) \cdot \vec{e}_i\}$$

但し、上記の式中、G はチャンネル数やマイクロホンの形式によって異なる正規化係数である。

【0041】

これらの式から分かるように、音場をベクトルで解釈すると、2乗音圧を考えた場合には音響インテンシティが粒子速度ベクトルを求めずにダイレクトに算出することが可能となる。即ち、音響情報として音響インテンシティを算出したい場合には、2乗音圧を各単

10

【0042】

C - C方式の音響測定装置のベクトル合成法は、このような理論で行われれば良い。なお、ベクトル合成は、ベクトルを加算するものだけではなく、逆方向から考えれば減算するものも含まれるものである。

【0043】

ここで、本発明の音響測定装置のベクトル合成法を用いる場合、マイクロホンの感度最大方向を向く単位ベクトルには、以下の条件が加えられる。

(1) 次式に表されるように、各マイクロホンの感度最大方向を向く単位ベクトルが空間的にバランスしていること。即ち、各単位ベクトルの総和がゼロとなるように複数のマ

20

【数 1 6】

$$\sum_{i=1}^n \vec{e}_i = 0$$

(2) 次式に表されるように、各次元の寄与が等しいこと。即ち、複数のマイクロホンのそれぞれの単位ベクトルのそれぞれの成分の2乗の総和が等しくなるように配置されること。

【数 1 7】

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 = \sum_{i=1}^n z_i^2$$

(3) マイクロホンの数は、算出する音響情報のベクトルの空間次元数よりも多いこと

30

【0044】

複数のマイクロホンがこれらの条件を満たせば、本発明の音響測定装置のベクトル合成法を用いることが可能である。但し、(2)の条件については必ずしも必須のものではなく、各次元の寄与が等しくならないようなマイクロホンの配置であっても、(1)の条件を満たしていれば適宜補正することで対応可能である。

【実施例】

【0045】

以下、本発明を実施するための最良の形態を図示例と共に説明する。図3は、本発明の音響測定装置の構成を説明するためのブロック図である。図示の通り、本発明の音響測定装置は、受音部10と演算部20から主に構成されている。受音部10は、複数のマイクロホンを有するものであり、各マイクロホンは、単一指向性を有している。また、上述の(1)~(3)の条件を満たすように、複数のマイクロホンは、その感度最大方向を向く単位ベクトルの総和がゼロとなるように、且つ、それぞれの単位ベクトルのそれぞれの成分の2乗の総和が等しくなるように配置されている。複数のマイクロホンの配置位置については後述する。

40

【0046】

また、マイクロホンは、単一指向性を有するものであるが、より具体的には、これらは、例えばカーディオイドマイクロホン、スーパーカーディオイドマイクロホン、ハイパー

50

カーディオイドマイクロホン、ウルトラカーディオイドマイクロホン等が挙げられる。なお、使用するマイクロホンの指向性の特性の違いに応じて、各マイクロホンで測定される応答（音圧）特性を適宜変更すれば良い。

【 0 0 4 7 】

そして、受音部で測定された情報は、演算部 20 に送られる。演算部 20 は、例えばパーソナルコンピュータやデジタルシグナルプロセッサ（DSP）等の演算装置からなるものである。演算部 20 は、音響測定装置の用途等に応じて、無指向性の音圧や粒子速度ベクトル、音響インテンシティを算出するものである。例えば、無指向性の音圧を求める場合には、数 11 を用いて、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧を総和すれば良い。また、粒子速度ベクトルを求める場合には、数 12 を用いて、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧を各単位ベクトルに乗算し、それをベクトル合成すれば良い。さらに、音響インテンシティを求める場合には、粒子速度ベクトルと無指向性の音圧を乗算すれば良い。これらは適宜組み合わせせて算出されても良い。

10

【 0 0 4 8 】

さらに、演算部 20 では、数 14 を用いて、複数のマイクロホンのそれぞれの音圧を 2 乗し、2 乗音圧を各単位ベクトルに乗算し、これをベクトル合成することで音響インテンシティを求めても良い。

【 0 0 4 9 】

さて、以下に複数のマイクロホンの配置位置についてより詳細に説明する。図 4 は、本発明の音響測定装置の第 1 実施例の受音部を説明するための図である。なお、図示例では、マイクロホンの指向性のみを示しており、マイクロホンの外観を表すものではない。第 1 実施例の音響測定装置は、2 次元の音響情報を測定するためのものであり。図示の通り、本発明の音響測定装置の第 1 実施例は、受音部を構成するマイクロホンが、第 1 マイクロホン 11、第 2 マイクロホン 12、第 3 マイクロホン 13 の 3 つからなるものである。なお、図中のマイクロホンの感度最大方向に向いている矢印が単位ベクトルを表している。そして、各マイクロホンは、三角形の重心から各頂点に向かう方向に各単位ベクトルが向くように配置されている。なお、単位ベクトルの向きは、逆向きであっても良い。即ち、三角形の各頂点から重心に向かう方向に単位ベクトルが向くようにマイクロホンが配置されても良い。上述のように、複数のマイクロホンは、その感度最大方向を向く単位ベクトルの総和がゼロとなるように、且つ、それぞれの単位ベクトルのそれぞれの成分の 2 乗の総和が等しくなるように配置されるものであれば、3 つのマイクロホンの場合には、正三角形の重心から各頂点に向かう方向に各単位ベクトルが向くように配置されることになる。

20

30

【 0 0 5 0 】

本発明の音響測定装置では、このようなマイクロホンの配置とすることで音場をベクトルとして解釈することが可能となる。このように構成することで、本発明の音響測定装置は、2 次元の粒子速度ベクトルや音響インテンシティを測定するためのマイクが、従来では最低 4 つ必要だったのが、最低 3 つあれば足りるものとなる。このような構成であっても、数 12 や数 13 を用いれば容易に粒子速度ベクトルや音響インテンシティを求めることが可能である。

40

【 0 0 5 1 】

なお、2 次元の測定において、マイクロホンの数は 3 つに限定されるものでは必ずしも無く、用途等に応じて 4 つや 5 つ、さらにはそれ以上用いることも可能である。なお、上述の（1）～（3）の条件を満たした 4 つのマイクロホンの配置位置は、180 度反対向きに配置したマイクロホン対を、座標の原点を中心に x 軸方向と y 軸方向で直交するように配置したものとなる。

【 0 0 5 2 】

2 次元の C - C 方式の音響測定装置において、マイクロホン相互間に存在する固有の位相特性の不一致について無視できる構成は、マイクロホンを 4 つ以上用いた場合となる。したがって、厳密には 3 つのマイクロホンからなる受音部の場合には、位相特性の不一致

50



による測定誤差が生じ得るが、従来のP - P方式のものと比べれば十分な効果が得られる。

【0053】

また、複数のマイクロホンの間隔については、単一平面波音場であれば影響はないが、複数の干渉音場の場合には、間隔は近づけたほうが好ましい。

【0054】

さらに、本発明の音響測定装置によれば、数多くのマイクロホンを用いて受音部を構成しても良い。したがって、マイクロホンを多く用いて受音部を構成すれば、仮に1つのマイクロホンが故障したとしても、測定精度は落ちるものの、音響測定装置としての機能はある程度確保することが可能となる。したがって、ロバスト性が求められるような用途にも適用することが可能となる。

【0055】

次に、本発明の音響測定装置の第2実施例を説明する。図5は、本発明の音響測定装置の第2実施例の受音部を説明するための図である。なお、図示例では、マイクロホンの指向性のみを示しており、マイクロホンの外観を表すものではない。第1実施例の音響測定装置では、2次元の音響情報を測定するためのものであったが、第2実施例の音響測定装置は、3次元の音響情報を測定するためのものである。図示の通り、本発明の音響測定装置の第2実施例は、受音部を構成するマイクロホンが、第1マイクロホン21、第2マイクロホン22、第3マイクロホン23、第4マイクロホン24の4つからなるものである。なお、図中のマイクロホンの感度最大方向に向いている矢印が単位ベクトルを表している。そして、各マイクロホンは、三角錐（四面体）の重心から各頂点に向かう方向に各単位ベクトルが向くように配置されている。なお、単位ベクトルの向きは、逆向きであっても良い。即ち、三角錐の各頂点から重心に向かう方向に単位ベクトルが向くようにマイクロホンが配置されても良い。上述のように、複数のマイクロホンは、その感度最大方向を向く単位ベクトルの総和がゼロとなるように、且つ、それぞれの単位ベクトルのそれぞれの成分の2乗の総和が等しくなるように配置されるものであれば、4つのマイクロホンの場合には、正四面体の重心から各頂点に向かう方向に各単位ベクトルが向くように配置されることになる。

【0056】

本発明の音響測定装置の第2実施例でも、音場をベクトルとして解釈することが可能となり、3次元の粒子速度ベクトルや音響インテンシティを測定するためのマイクが、従来では最低6つ必要だったのが、最低4つあれば足りるものとなる。このような構成であっても、数12や数13を用いれば容易に粒子速度ベクトルや音響インテンシティを求めることが可能である。

【0057】

ここで、本発明の音響測定装置の第2実施例を、シミュレーションにより解析した結果を示す。まず、単一の平面波として100Hzの正弦波が到来するシンプルな3次元音場を想定する。そして、受音部への音場の到来角を、0度～350度の10度ステップで変化させたときの、4つのマイクロホンの応答を計算し、その4チャンネル分の応答波形を用いて、数13から音響インテンシティを算出した。さらに、これを平均して3次元平均インテンシティベクトルを計算し、音源からの音の到来方向、音響インテンシティの絶対値を計算した。この結果を図6～図8に示す。

【0058】

図6は、音源からの音の到来方向を水平角に対して変化させたときの、本発明の音響測定装置の第2実施例のシミュレーション結果である。ここで、横軸が実際の音の到来方向であり、縦軸が計算結果による音の到来方向である。また、図7は、到来方向を仰角に対して変化させたときの、本発明の音響測定装置の第2実施例のシミュレーション結果である。ここでも、横軸が実際の音の到来方向であり、縦軸が計算結果による音の到来方向である。さらに、図8は、本発明の音響測定装置の第2実施例の構成で、音響インテンシティの絶対値を求めたシミュレーション結果である。ここで、横軸が実際の音の到来方向で

10

20

30

40

50

あり、縦軸が計算結果による音響インテンシティの絶対値である。

【0059】

これらの図から明らかな通り、3次元到来方向が精度良く解析できている。また、音響インテンシティの絶対値も音の到来方向に関わらず同じ大きさとなっており、音源の方向に対して偏り無く解析できることが分かる。

【0060】

このように、本発明の音響測定装置では、C-C方式による測定理論をベクトルで解釈しているため、C-C方式の効果であるマイクロホン間隔の周波数依存性はない。さらに、複数のマイクロホンを直交座標の各軸上に、指向性を180度反対向きに配置する必要がないため、マイクロホンの個数を減らすことが可能となった。

10

【0061】

また、本発明の音響測定装置では、マイクロホンの指向性を180度反対向きに配置する必要がなく、マイクロホン同士を斜めに配置することも可能なため、マイクロホンの受音側に対向する位置に通常設けられる端子同士等が物理的に干渉しづらい。したがって、マイクロホンの配置も容易で且つ小型化も可能である。

【0062】

なお、3次元の測定において、マイクロホンの数は4つに限定されるものでは必ずしも無く、用途等に応じて5つや6つ、さらにはそれ以上用いることも可能である。なお、上述の(1)~(3)の条件を満たした6つのマイクロホンの配置位置は、180度反対向きに配置したマイクロホン対を、座標の原点を中心にx軸方向とy軸方向とz軸方向で直

20

【0063】

3次元のC-C方式の音響測定装置において、マイクロホン相互間に存在する固有の位相特性の不一致について無視できる構成は、マイクロホンを6つ以上用いた場合となる。したがって、厳密には4つのマイクロホンからなる受音部の場合には、位相特性の不一致による測定誤差が生じ得るが、従来のP-P方式のものとは比べれば十分な効果が得られる。

【0064】

また、複数のマイクロホンの間隔については、単一音場であれば影響はないが、複数の干渉音場の場合には、間隔は近づけたほうが好ましい。

30

【0065】

さらに、本発明の3次元の音響測定装置によれば、数多くのマイクロホンを用いて受音部を構成しても良い。したがって、マイクロホンを多く用いて受音部を構成すれば、仮に1つのマイクロホンが故障したとしても、測定精度は落ちるものの、音響測定装置としての機能はある程度確保することが可能となる。したがって、ロバスト性が求められるような用途にも適用することが可能となる。

【0066】

なお、本発明の音響測定装置は、上述の図示例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

【図面の簡単な説明】

40

【0067】

【図1】図1は、単一平面波が受音部に到来する音場を想定した場合の概念図である。

【図2】図2は、単一平面波が受音部に到来する音場をベクトルで解釈した場合の概念図である。

【図3】図3は、本発明の音響測定装置の構成を説明するためのブロック図である。

【図4】図4は、本発明の音響測定装置の第1実施例を説明するための図である。

【図5】図5は、本発明の音響測定装置の第2実施例を説明するための図である。

【図6】図6は、音源からの音の到来方向を水平角に対して変化させたときの、本発明の音響測定装置の第2実施例のシミュレーション結果である。

【図7】図7は、到来方向を仰角に対して変化させたときの、本発明の音響測定装置の第

50

2実施例のシミュレーション結果である。

【図8】図8は、本発明の音響測定装置の第2実施例により音響インテンシティの絶対値を求めたシミュレーション結果である。

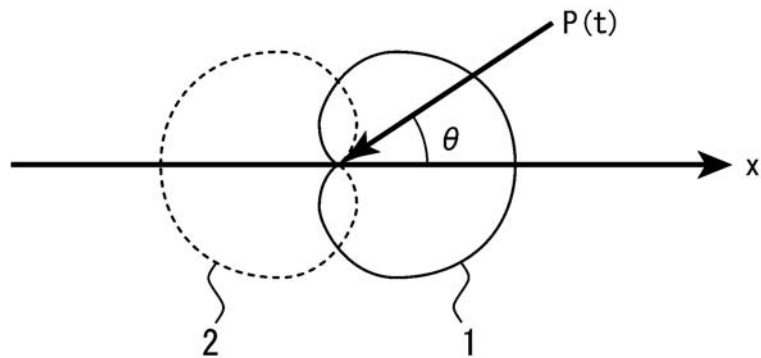
【符号の説明】

【0068】

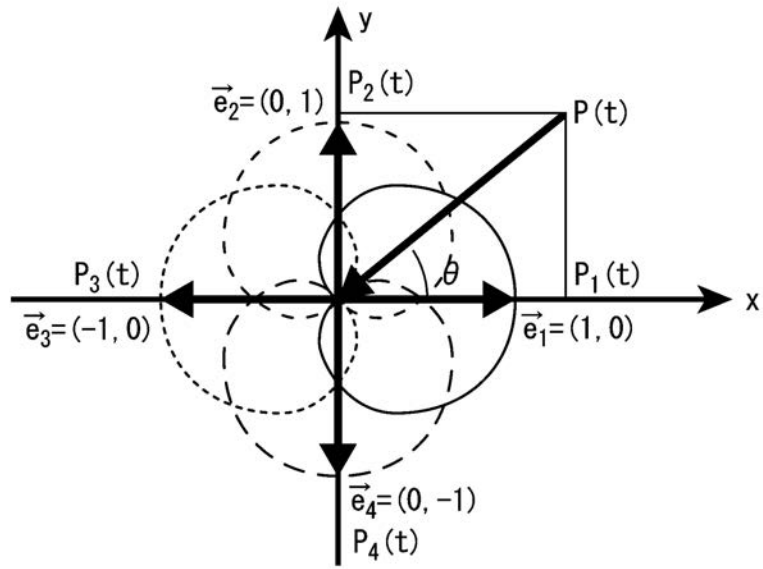
- 1、2      マイクロホン（指向性）
- 10      受音部
- 11 ~ 13    マイクロホン（指向性）
- 20      演算部
- 21 ~ 24    マイクロホン（指向性）

10

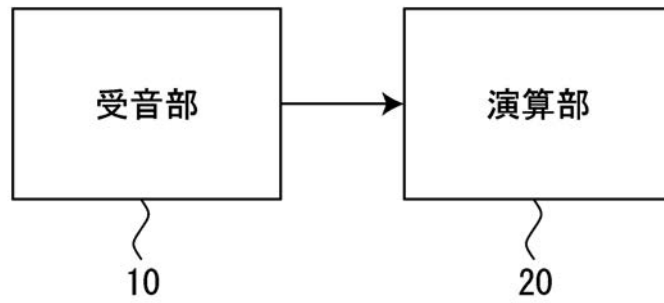
【図1】



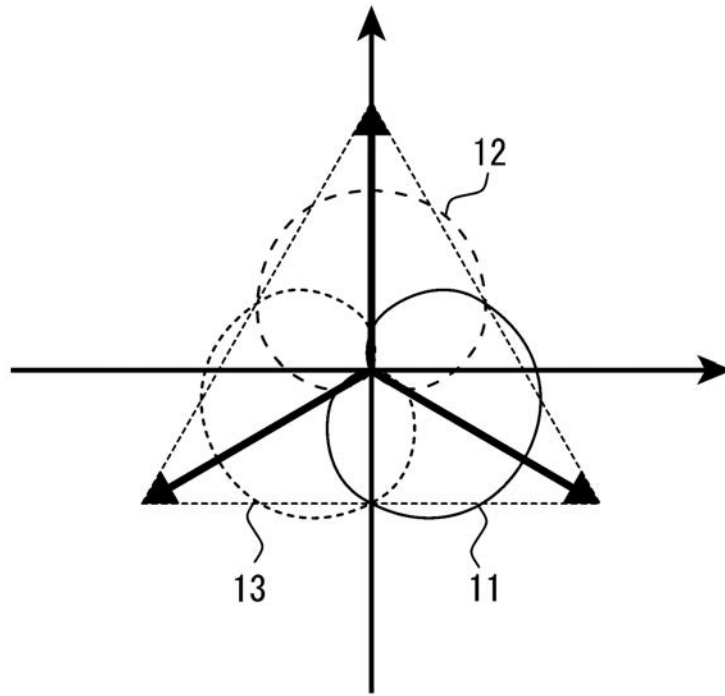
【 図 2 】



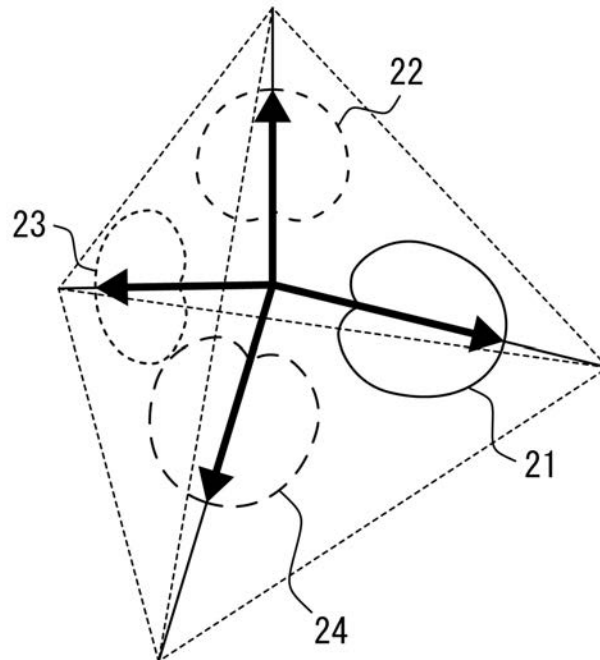
【 図 3 】



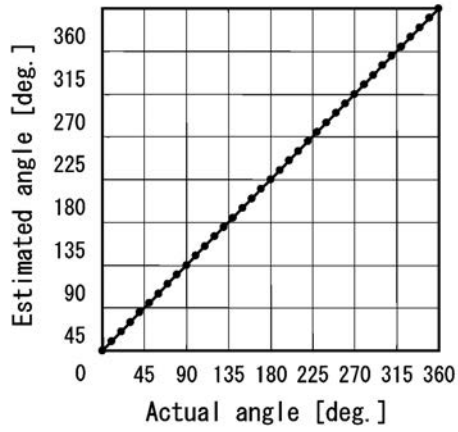
【 図 4 】



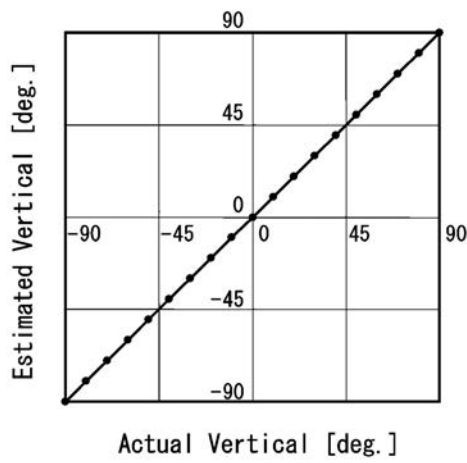
【 図 5 】



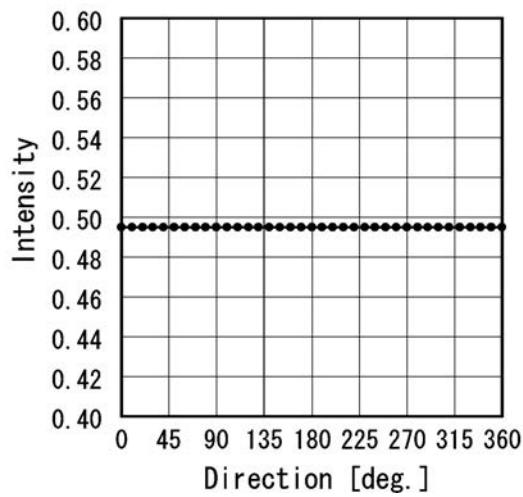
【 6 】



【 7 】



【 8 】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2006/054599(WO, A1)

特開平02-036318(JP, A)

小黑瞬, 安齋正三, 鈴木英男, 3次元音響インテンシティプローブ, 電子情報通信学会技術研究報告, 日本, 1992年 8月25日, Vol.92, No.191(EA92-47-55), Page.59-62

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01H 1/00 - 17/00

G10K 15/00