

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5705162号  
(P5705162)

(45) 発行日 平成27年4月22日(2015.4.22)

(24) 登録日 平成27年3月6日(2015.3.6)

(51) Int.Cl.		F I			
HO4R	1/40	(2006.01)	HO4R	1/40	310
HO4R	3/00	(2006.01)	HO4R	3/00	310

請求項の数 13 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2012-106742 (P2012-106742)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成24年5月8日(2012.5.8)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2013-236216 (P2013-236216A)		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(43) 公開日	平成25年11月21日(2013.11.21)	(74) 代理人	100121706
審査請求日	平成26年7月3日(2014.7.3)		弁理士 中尾 直樹
		(74) 代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74) 代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(72) 発明者	伊藤 弘章
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	古家 賢一
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フィルタ係数決定装置、局所再生装置、フィルタ係数決定方法、及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置のフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定装置であって、

前記スピーカは円筒面上に配置されるものとし、前記エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向とし、

音源の波数  $k$  よりも前記軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように前記軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出部と、

前記スピーカの配置情報と前記波数  $k_z$  と前記波の数  $n$  とを用いて前記フィルタ係数を算出するフィルタ係数算出部と、を含む、

フィルタ係数決定装置。

【請求項2】

請求項1記載のフィルタ係数決定装置であって、

$k_{max}$  を前記波数  $k$  の最大値とし、 $n_1$  を1より大きい任意の定数とし、前記波数算出部は、前記波数  $k_z$  を  $k_z = n_1 k_{max}$  として算出する、

フィルタ係数決定装置。

【請求項3】

請求項1記載のフィルタ係数決定装置であって、

$n_1$  を1より大きい任意の定数とし、前記波数算出部は、前記波数  $k_z$  を  $k_z(k) = n_1 k$  として算出する、

フィルタ係数決定装置。

【請求項 4】

請求項 1 記載のフィルタ係数決定装置であって、

$k_a$  を 1 より大きい任意の定数とし、前記波数算出部は、前記波数  $k_z(k)$  を  $k_z(k) = \pm (k_a^2 + k^2)$  として算出する、

フィルタ係数決定装置。

【請求項 5】

複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置のフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定装置であって、

前記スピーカは円筒面上に配置されるものとし、前記エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の周方向とし、

音源の波数  $k$  以下になるように円筒面の軸方向の波数  $k_z$  を決定し、円筒面の放射方向の波数  $k_r$  を  $k_r = (k^2 - k_z^2)$  として算出し、この波数  $k_r$  と円筒座標系の半径  $r$  との積よりも前記周方向の波の数  $n$  が大きくなるように前記周方向の波の数  $n$  を算出する波数算出部と、

前記スピーカの配置情報と前記波数  $k_z$  と前記波の数  $n$  とを用いて前記フィルタ係数を算出するフィルタ係数算出部と、を含む、

フィルタ係数決定装置。

【請求項 6】

請求項 5 記載のフィルタ係数決定装置であって、

$k_2$  を 1 より大きい任意の定数とし、 $k_{max}$  を前記波数  $k$  の最大値とし、 $a$  を前記円筒面の成す円の半径とし、前記波数算出部は、前記波の数  $n$  を  $n = k_2 k_{max} a$  として算出する、

フィルタ係数決定装置。

【請求項 7】

請求項 5 記載のフィルタ係数決定装置であって、

$k_2$  を 1 より大きい任意の定数とし、 $a$  を前記円筒面の成す円の半径とし、前記波数算出部は、前記波の数  $n$  を  $n(k) = k_2 k a$  として算出する、

フィルタ係数決定装置。

【請求項 8】

複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置のフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定装置であって、

前記スピーカは円筒面上に配置されるものとし、前記エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向及び周方向とし、

音源の波数  $k$  よりも前記軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように前記軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出部と、

前記スピーカの配置情報と前記波数  $k_z$  と前記波の数  $n$  とを用いて前記フィルタ係数を算出するフィルタ係数算出部と、を含む、

$k_{max}$  を前記波数  $k$  の最大値とし、 $k_1$ 、 $k_1$  及び  $k_a$  をそれぞれ 1 より大きい任意の定数とし、前記波数算出部は、前記波数  $k_z$  を

$$(1) k_z = k_1 k_{max}$$

$$(2) k_z(k) = k_1 k$$

$$(3) k_z(k) = \pm (k_a^2 + k^2)$$

の何れかとして算出する、

フィルタ係数決定装置。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 の何れかに記載のフィルタ係数決定装置で決定されたフィルタ係数を複数のスピーカに設定し該スピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置であって、

前記フィルタ係数と前記入力信号とを乗じて前記スピーカを駆動するための駆動信号を

10

20

30

40

50

生成するフィルタ乗算部と、をさらに含む、  
局所再生装置。

【請求項 10】

複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生方法のフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定方法であって、

前記スピーカは円筒面上に配置されるものとし、前記エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向とし、

音源の波数  $k$  よりも前記軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように前記軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出ステップと、

前記スピーカの配置情報と前記波数  $k_z$  と前記波の数  $n$  とを用いて前記フィルタ係数を算出するフィルタ係数算出ステップと、を含む、

フィルタ係数決定方法。

10

【請求項 11】

複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生方法のフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定方法であって、

前記スピーカは円筒面上に配置されるものとし、前記エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の周方向とし、

音源の波数  $k$  以下になるように円筒面の軸方向の波数  $k_z$  を決定し、放射方向の波数  $k_r$  を  $k_r = (k^2 - k_z^2)$  として算出し、この波数  $k_r$  と円筒座標系の半径  $r$  との積よりも前記周方向の波の数  $n$  が大きくなるように前記周方向の波の数  $n$  を算出する波数算出ステップと、

前記スピーカの配置情報と前記波数  $k_z$  と前記波の数  $n$  とを用いて前記フィルタ係数を算出するフィルタ係数算出ステップと、を含む、

フィルタ係数決定方法。

20

【請求項 12】

複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生方法のフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定方法であって、

前記スピーカは円筒面上に配置されるものとし、前記エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向及び周方向とし、

音源の波数  $k$  よりも前記軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように前記軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出ステップと、

前記スピーカの配置情報と前記波数  $k_z$  と前記波の数  $n$  とを用いて前記フィルタ係数を算出するフィルタ係数算出ステップと、を含み、

$k_{max}$  を前記波数  $k$  の最大値とし、 $k_1$ 、 $k_2$  及び  $k_a$  をそれぞれ 1 より大きい任意の定数とし、前記波数算出ステップにおいて、前記波数  $k_z$  を

$$(1) k_z = k_1 k_{max}$$

$$(2) k_z(k) = k_1 k$$

$$(3) k_z(k) = \pm (k_a^2 + k^2)$$

の何れかとして算出する、

フィルタ係数決定方法。

30

40

【請求項 13】

コンピュータを、請求項 1 から請求項 8 の何れかに記載のフィルタ係数決定装置、または、請求項 9 に記載の局所再生装置として機能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、特定の場所（装置近傍）にいる聴取者にのみ音を伝えることができる局所再生装置、及び局所再生装置において用いるフィルタの係数を決定する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

50

スピーカを用いて音を放射する場合、そのスピーカの指向特性の影響はあるものの、スピーカに対してほぼ全方向から再生音を聴取することが可能である。そのため、ある特定の場所にのみ音を再生するような局所再生方式の構築を目指した場合、スピーカ等の拡声装置や再生方式に工夫が必要である。特定の場所にいる聴取者にのみ音を伝えることが可能となれば、拡声による通信を行った場合などに再生音が聴取者以外の人々にとって騒音とならないほかに、通信内容が周囲に漏れないという、プライバシーの保護まで可能である。この局所再生方式を実現する一手段として、急峻な距離減衰特性を有するエバネッセント波を再生する手法が従来技術として知られている（非特許文献 1 参照）。

#### 【 0 0 0 3 】

非特許文献 1 は平面上に離散配置された複数のスピーカを用いて、空気中の音速より遅く伝搬する波を仮想的に再現することで、エバネッセント波を再生するものである。また非特許文献 2 は同一直線上に、非特許文献 3 は同心円上に離散配置された複数のスピーカを用いて、エバネッセント波を再生するものである。図 1 に従来技術の局所再生装置 9 0 を示す。局所再生装置 9 0 から z 方向に遠ざかるにつれて、受聴音圧が指数的に減衰し、その受聴領域は図中の 9 1 となる。

#### 【 先行技術文献 】

#### 【 非特許文献 】

#### 【 0 0 0 4 】

【非特許文献 1】伊藤弘章、古家賢一、羽田陽一、「エバネッセント波を用いたエリア再生に関する研究」、音響学会講演論文集（秋）、2010年、pp.689 - 690

【非特許文献 2】伊藤弘章、古家賢一、羽田陽一、「直線状スピーカアレーを用いたエバネッセント波再生手法について」、音響学会講演論文集（春）、2011年、pp.947 - 948

【非特許文献 3】伊藤弘章、古家賢一、羽田陽一、「円形スピーカアレーを用いたエバネッセント波再生手法について」、音響学会講演論文集（秋）、2011年、pp.713 - 714

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 0 5 】

しかしながら、図 1 のように平面スピーカアレーによる局所再生装置 9 0 の場合は受聴可能領域 9 1 がアレー前面の平板状に限られる。図 2 のように直線状スピーカアレーによる局所再生装置 8 0 の場合は所望の減衰特性が得られるのはある平面 8 1 上に限られる。図 3 のように円形スピーカアレーによる局所再生装置 7 0 の場合も所望の減衰特性が得られるのはアレーと同一平面 7 1 上（全方位）に限られる。また直線状スピーカアレーによる局所再生装置 8 0 や円形スピーカアレーによる局所再生装置 7 0 を用いて出来上がる音場は、そのフィルタ設計上、不均一になってしまうという問題がある。

#### 【 0 0 0 6 】

本発明では、円筒面上に配置された複数のスピーカを用いて、その円筒面から遠ざかる方向（円筒面の円の中心から拡がる方向なので以下「放射方向」ともいう）に急峻に減衰するエバネッセント波を再生し、受聴領域を円筒状に形成する局所再生装置、及びその装置で用いるフィルタの係数を決定する技術を提供することを目的とする。

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 0 7 】

上記の課題を解決するために、本発明の第一の態様によれば、フィルタ係数決定装置は、複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置のフィルタ係数を決定する。フィルタ係数決定装置は、スピーカは円筒面上に配置されるものとし、エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向とし、音源の波数  $k$  よりも軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出部と、スピーカの配置情報と波数  $k_z$  と波の数  $n$  とを用いてフィルタ係数を算出するフィルタ係数算出部と、を含む。

10

20

30

40

50

## 【0008】

上記の課題を解決するために、本発明の第二の態様によれば、フィルタ係数決定装置は、複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置のフィルタ係数を決定する。フィルタ係数決定装置は、スピーカは円筒面上に配置されるものとし、エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の周方向とし、音源の波数  $k$  以下になるように円筒面の軸方向の波数  $k_z$  を決定し、円筒面の放射方向の波数  $k_r$  を  $k_r = (k^2 - k_z^2)$  として算出し、この波数  $k_r$  と円筒座標系の半径  $r$  との積よりも周方向の波の数  $n$  が大きくなるように周方向の波の数  $n$  を算出する波数算出部と、スピーカの配置情報と波数  $k_z$  と波の数  $n$  とを用いてフィルタ係数を算出するフィルタ係数算出部と、を含む。

## 【0009】

上記の課題を解決するために、本発明の第三の態様によれば、フィルタ係数決定装置は、複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生装置のフィルタ係数を決定する。フィルタ係数決定装置は、スピーカは円筒面上に配置されるものとし、エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向及び周方向とし、音源の波数  $k$  よりも軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出部と、スピーカの配置情報と波数  $k_z$  と波の数  $n$  とを用いてフィルタ係数を算出するフィルタ係数算出部と、を含み、 $k_{max}$  を波数  $k$  の最大値とし、 $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  及び  $k_a$  をそれぞれ 1 より大きい任意の定数とし、波数算出部は、波数  $k_z$  を (1)  $k_z = \alpha_1 k_{max}$ 、(2)  $k_z(k) = \beta_1 k$ 、(3)  $k_z(k) = \pm (k_a^2 + k^2)$  の何れかとして算出する。

## 【0010】

上記の課題を解決するために、本発明の第四の態様によれば、フィルタ係数決定方法は、複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生方法のフィルタ係数を決定する。フィルタ係数決定方法は、スピーカは円筒面上に配置されるものとし、エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向とし、音源の波数  $k$  よりも軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出ステップと、スピーカの配置情報と波数  $k_z$  と波の数  $n$  とを用いてフィルタ係数を算出するフィルタ係数算出ステップと、を含む。

## 【0011】

上記の課題を解決するために、本発明の第五の態様によれば、フィルタ係数決定方法は、複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生方法のフィルタ係数を決定する。フィルタ係数決定方法は、スピーカは円筒面上に配置されるものとし、エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の周方向とし、音源の波数  $k$  以下になるように円筒面の軸方向の波数  $k_z$  を決定し、放射方向の波数  $k_r$  を  $k_r = (k^2 - k_z^2)$  として算出し、この波数  $k_r$  と円筒座標系の半径  $r$  との積よりも周方向の波の数  $n$  が大きくなるように周方向の波の数  $n$  を算出する波数算出ステップと、スピーカの配置情報と波数  $k_z$  と波の数  $n$  とを用いてフィルタ係数を算出するフィルタ係数算出ステップと、を含む。

## 【0012】

上記の課題を解決するために、本発明の第六の態様によれば、フィルタ係数決定方法は、複数のスピーカを用いてエバネッセント波を再生する局所再生方法のフィルタ係数を決定する。フィルタ係数決定方法は、スピーカは円筒面上に配置されるものとし、エバネッセント波の再生条件を満たす方向を円筒面の軸方向及び周方向とし、音源の波数  $k$  よりも軸方向の波数  $k_z$  が大きくなるように軸方向の波数  $k_z$  を算出し、円筒面の周方向の波の数  $n$  を任意の定数とする波数算出ステップと、スピーカの配置情報と波数  $k_z$  と波の数  $n$  とを用いてフィルタ係数を算出するフィルタ係数算出ステップと、を含み、 $k_{max}$  を波数  $k$  の最大値とし、 $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  及び  $k_a$  をそれぞれ 1 より大きい任意の定数とし、波数算出ステップにおいて、波数  $k_z$  を (1)  $k_z = \alpha_1 k_{max}$ 、(2)  $k_z(k) = \beta_1 k$ 、(3)  $k_z(k) = \pm (k_a^2 + k^2)$  の何れかとして算出する。

## 【発明の効果】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 3 】

本発明に係る局所再生装置、及びその装置に用いるフィルタの係数を決定する技術であれば、従来とは異なる円筒状の受聴領域を形成することができる。また全方位で均一な音場を形成することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 従来の局所再生装置 90 を説明するための図。

【 図 2 】 従来の直線状アレーによる局所再生装置を説明するための図。

【 図 3 】 従来の円形アレーによる局所再生装置を説明するための図。

【 図 4 】 円筒座標系における波動方程式を説明するための図。

10

【 図 5 】 境界面が全ての波源を包含する状態を示す図。

【 図 6 】 エバネッセント波の再生条件を満たす方向が軸方向の場合を説明するための図。

【 図 7 】 エバネッセント波の再生条件を満たす方向が周方向の場合を説明するための図。

【 図 8 】 局所再生装置 100 の外観図。

【 図 9 】 局所再生装置 100 を横から見た概念図。

【 図 10 】 局所再生装置 100 を上から見た概念。

【 図 11 】 局所再生装置 100 の処理フローを示す図。

【 図 12 】 波数算出部の処理フローを示す図。

【 図 13 】 スピーカを予め螺旋形に配置した局所再生装置 100 の外観図。

## 【 発明を実施するための形態 】

20

## 【 0 0 1 5 】

以下、本発明の実施形態について説明する。なお、以下の説明に用いる図面では、同じ機能を持つ構成部や同じ処理を行うステップには同一の符号を記し、重複説明を省略する。

## 【 0 0 1 6 】

## &lt; エバネッセント波の理論 &gt;

以下、本実施形態において利用するエバネッセント波の理論について説明する。

## 【 0 0 1 7 】

## ( 1 ) 円筒座標系における波動方程式の一般解

音波はある法則に従って伝搬し、その音波の伝搬の秩序を表す方程式は波動方程式と呼ばれ、式 ( 1 ) で表される。

30

## 【 0 0 1 8 】

## 【 数 1 】

$$\left( \nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) p = 0$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \quad (1)$$

40

## 【 0 0 1 9 】

$x$  は音波の進行方向における位置を、 $\partial$  は偏微分を、 $t$  は時刻を、 $c$  は音速を、 $p$  は音圧を表す。

## 【 0 0 2 0 】

図 4 の円筒座標系 (  $r$  ,  $\theta$  ,  $z$  ) ( 但し、 $r$  は半径を、 $\theta$  は角度を、 $z$  は高さを表す ) における波動方程式の一般解 ( 周波数領域 ) は、式 ( 2 ) で与えられる。

## 【 0 0 2 1 】

【数2】  
 $P(r, \phi, z, \omega)$

$$= \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [A_n(k_z, \omega) e^{jk_z z} H_n^{(1)}(k_r r) + B_n(k_z, \omega) e^{jk_z z} H_n^{(2)}(k_r r)] dk_z \quad (2)$$

【0022】

但し、 $j$  は虚数単位、 $\omega$  は音源の角周波数、 $k_r$ 、 $k_z$  はそれぞれ  $r$  方向、 $z$  方向（なお、 $r$  方向は前述の放射方向である。以下、 $z$  方向を「軸方向」ともいう）の波数、 $H_n^{(1)}(k_r r)$  は  $n$  次の第1種ハンケル関数、 $H_n^{(2)}(k_r r)$  は  $n$  次の第2種ハンケル関数、 $A_n(k_z, \omega)$ 、 $B_n(k_z, \omega)$  は任意の定数を表す。 10

【0023】

上記の任意の定数  $A_n(k_z, \omega)$ 、 $B_n(k_z, \omega)$  を決定するために、ある境界面  $r = a$  における境界条件を規定する必要がある。図5のように境界面94 ( $r = a$ ) が全ての波源93を包含する場合を考えると（但し、図中、95は音圧の解析領域を示す）、式(2)の一般解は式(3)のように書き換えられる。

【0024】

【数3】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A_n(k_z, \omega) e^{jk_z z} H_n^{(1)}(k_r r) dk_z \quad (3) \quad 20$$

【0025】

このとき、定数  $B_n(k_z, \omega)$  の値に関わらず音圧を表すことができる。境界面94 ( $r = a$ ) 上の測定音圧は式(3)を満たすので、以下のように表すことができる。

【0026】

【数4】

$$P(a, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A_n(k_z, \omega) e^{jk_z z} H_n^{(1)}(k_r a) dk_z \quad (4) \quad 30$$

【0027】

ここで円筒座標系における空間スペクトル  $P_n(r, k_z)$  と測定音圧  $P(r, \phi, z, \omega)$  の関係を考えて、以下のように表すことができる。

【0028】

【数5】

$$P_n(r, k_z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_{-\infty}^{\infty} P(r, \phi, z, \omega) e^{-jn\phi} e^{-jk_z z} dk_z \quad (A)$$

(二次元フーリエ変換)

【0029】

【数6】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P_n(r, k_z) e^{jk_z z} dk_z \quad (B)$$

(二次元逆フーリエ変換)

【0030】

従って、境界条件（境界面  $r = a$  が全ての波源を包含するとの条件）を満たす場合には、式(4)の右辺と式(B)に  $r = a$  を代入したときの右辺から以下のように表すことができる。 50

【0031】

【数7】

$$P_n(a, k_z) = A_n(k_z, \omega) H_n^{(1)}(k_r a) \quad (5)$$

【0032】

これを式(3)に代入すると、以下のようになる。

【0033】

【数8】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} P_n(a, k_z) \frac{H_n^{(1)}(k_r r)}{H_n^{(1)}(k_r a)} e^{jk_z z} dk_z \quad (6) \quad 10$$

【0034】

(2) 軸方向におけるエバネッセント波発生条件

軸方向  $z$  に沿った波長  $\lambda_z$  ( $\lambda_z = 2\pi / k_z$ ) が音源から発せられる音の波長 ( $\lambda = 2\pi / k$ , 但し  $k$  は音源から発せられる音の波数) より短い場合、放射方向にエバネッセント波が発生する(図6参照、なお、図中、96は受聴領域を示す)。このとき  $k_z > k$  である。また音源の波数  $k$  と放射方向の波数  $k_r$ 、軸方向の波数  $k_z$  の間には、

$$k_r^2 = k^2 - k_z^2 \quad (7)$$

という関係が成り立つ。 $k_z > k$  の条件下では、

【0035】

【数9】

$$k_r = j\sqrt{k_z^2 - k^2} = jk'_r$$

$$k'_r = \sqrt{k_z^2 - k^2} \quad (8)$$

【0036】

となる。 $k_r$  が純虚数となる場合、式(6)中のハンケル関数  $H_n^{(1)}$  は変形ベッセル関数  $K_n(k'_r r)$  に書き換えられる。ハンケル関数と変形ベッセル関数の関係式は次式で表される。

【0037】

【数10】

$$K_n(k'_r r) = \frac{\pi}{2} j^{n+1} H_n^{(1)}(jk'_r r) \quad (9)$$

【0038】

ここで変形ベッセル関数の変数  $k'_r r$  が大きいと仮定すると、以下の近似が成り立つ。

【0039】

【数11】

$$K_n(k'_r r) \sim \sqrt{\frac{\pi}{2k'_r r}} e^{-k'_r r} \quad (10)$$

【0040】

従って式(6)中のハンケル関数の比は以下のように書き換えられる。

【0041】

10

20

30

40



【数 1 2】

$$\frac{H_n^{(1)}(k_r r)}{H_n^{(1)}(k_r a)} \rightarrow \frac{K_n(k'_r r)}{K_n(k'_r a)} \approx \sqrt{\frac{a}{r}} e^{-k'_r(r-a)} = \frac{S e^{-k'_r r}}{\sqrt{r}}$$

$$S = \sqrt{a} e^{k'_r a} \quad (11)$$

【0042】

以上より、軸方向における発生条件を満たす場合のエバネッセント波の式は式(12)で与えられ、 $k_z > k$ において成り立つ。

10

【0043】

【数 1 3】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{S}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-k'_r r}}{\sqrt{r}} P_n(a, k_z) e^{jk_z z} dk_z \quad (12)$$

【0044】

(3) 周方向におけるエバネッセント波発生条件

ここでは  $k_z = k$  とし、軸方向におけるエバネッセント波発生条件を満たさない場合を考える。

【0045】

20

周方向に沿った波長  $(\lambda = 2a/n)$  が音源の波長  $(\lambda = 2\pi/k)$  より短い場合も円筒面から遠ざかる方向(つまり放射方向)にエバネッセント波が発生する(図7参照、なお、図中、98は受聴領域を示す)。ここで  $2a$  は境界面  $r = a$  の成す円の円周の長さであり、 $n$  は周方向の波の数である。このとき、 $2a/n < \lambda$  であるので、 $n$  が十分に大きい場合を考える。 $n$  の場合のハンケル関数の漸近展開は、

【0046】

【数 1 4】

$$H_n^{(1)}(\zeta) \cong \frac{1}{\sqrt{2\pi n}} \left( \frac{e\zeta}{2n} \right)^n - j \sqrt{\frac{2}{\pi n}} \left( \frac{e\zeta}{2n} \right)^{-n} \quad (13)$$

30

【0047】

となる。ここで  $k_r r = k r$  である ( $k_z = 0$  と仮定)。 $(\lambda/n) < 1$  のとき式の実部は無視することができ、このときハンケル関数は  $k r^{-n}$  に比例して減少する。従って式(6)中のハンケル関数の比は以下のように書き換えられる。

【0048】

【数 1 5】

$$\frac{H_n^{(1)}(k_r r)}{H_n^{(1)}(k_r a)} \cong \left( \frac{a}{r} \right)^n = S r^{-n}$$

40

$$S = a^n \quad (14)$$

【0049】

以上より、周方向における発生条件を満たす場合のエバネッセント波の式は、式(15)で与えられ、 $k_r < n$ において成り立つ。なお、 $k_r = k_r$  より  $k_r < n$ において成り立つともいえる。

【0050】

【数 16】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{S}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} r^{-n} P_n(a, k_z) e^{jk_z z} dk_z \quad (15)$$

【0051】

円筒座標系における波動方程式の一般解において放射方向に急峻に減衰するエバネッセント波の式に着目し、円筒面上に並べた複数のスピーカ（スピーカアレー）によってエバネッセント波を再生する装置を構成した。エバネッセント波発生条件は上述の2種類が存在し、それぞれの条件を統合したフィルタ係数決定方法を以下の実施形態において示す。

【0052】

<第一実施形態に係る局所再生装置100>

図8、図9、図10に局所再生装置100の構成を示す。図8は局所再生装置100の外観図であり、図9は局所再生装置100を横から見た概念図であり、図10は局所再生装置100を上から見た概念図である。局所再生装置100は、 $M \times L$ 個のスピーカ110<sub>1m</sub>（但し、 $m = 1, \dots, M$ 、 $l$ はローマ字のエルであり $l = 1, \dots, L$ とする。 $M$ は周方向のスピーカ総数であり、 $L$ は軸方向のスピーカ総数である。）と、 $M \times L$ 個のA/D変換器160<sub>1m</sub>と、 $M \times L$ 個のフィルタ乗算部120<sub>1m</sub>と、 $M \times L$ 個のD/A変換器150<sub>1m</sub>と、 $M \times L$ 個のアンプ140<sub>1m</sub>と、フィルタ係数算出部170と、波数算出部180とを含む（図9参照）。なお、フィルタ乗算部120<sub>1m</sub>は、デジタルフィルタによって構成される。

【0053】

スピーカ110<sub>1m</sub>は円筒面の周方向と軸方向に離散的に配置される（図8参照）。なお、スピーカ間の間隔は一定でなくてもよいが、各方向に対して一定であるほうが好ましい。図8のスピーカ110<sub>1m</sub>の位置を $(a, \theta_m, z_l)$ とする。 $a$ は半径（言い換えると、円筒面の軸からの距離）を、 $\theta_m$ は角度を、 $z_l$ は高さを表し、 $a$ は全てのスピーカ110<sub>1m</sub>に共通であり、 $\theta_m$ 及び $z_l$ は各スピーカにより異なる値となる。製造者または利用者によって、これらのスピーカ110<sub>1m</sub>の位置（以下「配置情報」ともいう） $(a, \theta_m, z_l)$ は図示しない記憶部に予め記憶されているものとする。

【0054】

局所再生装置100は信号入力端子30を介して、アナログ入力信号 $S(k)$ を受け取る（図11参照、 $(s1)$ 、但し、 $k$ は音源の波数を表す）。なお、入力信号の音源の波数 $k$ は、入力信号の周波数を $f$ とし、音速を $c$ として

【0055】

【数17】

$$k = \frac{2\pi f}{c} \quad (C)$$

【0056】

と表すことができる。A/D変換器160<sub>1m</sub>はアナログ入力信号 $S(k)$ を受け取り、デジタル入力信号 $S(k)$ に変換し、フィルタ乗算部120<sub>1m</sub>に出力する。

【0057】

一方、波数算出部180は、再生に先立ち製造者や利用者等によって予め設定されたエバネッセント波の再生条件を満たす方向と波数決定パターンに従って、波数（周方向の波数の数 $n$ 及び軸方向の波数 $k_z$ の両方の数）を算出し（ $s2$ ）、フィルタ係数算出部170に出力する。フィルタ係数算出部170は、スピーカ110<sub>1m</sub>の位置 $(a, \theta_m, z_l)$ と波数 $k_z$ 及び波数の数 $n$ とを用いて、フィルタ係数 $H(a, \theta_m, z_l, k)$ を算出し（ $s3$ ）、フィルタ乗算部120<sub>1m</sub>に設定する。

【0058】

フィルタ乗算部120<sub>1m</sub>は、デジタル入力信号 $S(k)$ とフィルタ係数 $H(a, \theta_m, z_l, k)$ とを乗じて駆動信号 $D(a, \theta_m, z_l, k)$ を生成し（ $s4$ ）、D/A

10

20

30

40

50

変換器 150<sub>1m</sub> に出力する。

【0059】

D/A変換器 150<sub>1m</sub> は、デジタル駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  をアナログ駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  に変換し、アンプ 140<sub>1m</sub> に出力する。アンプ 140<sub>1m</sub> はアナログ駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  を増幅し、スピーカ 110<sub>1m</sub> に供給する。M×L個のスピーカ 110<sub>1m</sub> は、入力信号  $S(k)$  に応じたアナログ駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  を再生し (s5)、音響信号を出力する。以下にフィルタ乗算部 120<sub>1m</sub>、フィルタ係数算出部 170、波数算出部 180の詳細を説明する。

<フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub>>

フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> では、フィルタ係数算出部 170 から出力されるフィルタ係数  $H(a, \phi_m, z_l, k)$  と AD変換器 160<sub>1m</sub> により変換されたデジタル入力信号  $S(k)$  とを入力として、スピーカ 110<sub>1m</sub> を駆動するための信号である駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  を生成し、出力する。

10

【0060】

フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> には、再生に先立ち後述のフィルタ係数算出部 170 で計算しておいたフィルタ係数  $H(a, \phi_m, z_l, k)$  を設定しておく。フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> にデジタル入力信号  $S(k)$  が入力されると、フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> は入力されたデジタル入力信号  $S(k)$  にフィルタ係数  $H(a, \phi_m, z_l, k)$  を畳み込むことでエバネッセント波を発生するためのデジタル駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  を生成し、この駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  を対応する D/A変換器 150<sub>1m</sub> に出力する。なお、駆動信号  $D(a, \phi_m, z_l, k)$  は以下の式であらわされる。

20

【0061】

【数18】

$$D(a, \phi_m, z_l, k) = S(k) \cdot H(a, \phi_m, z_l, k) = S(k) e^{j(k_z z_l + n \phi_m)} \quad (16)$$

【0062】

フィルタ係数の算出方法についてはフィルタ係数算出部 170 で説明する。

【0063】

<フィルタ係数算出部 170>

フィルタ係数算出部 170 では、スピーカ 110<sub>1m</sub> の配置情報  $(a, \phi_m, z_l)$  とエバネッセント波を再生するための波数  $k_z$  及び波の数  $n$  (以下、 $k_z$  と  $n$  とを併せて「波数情報」ともいう) を入力とし、フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> に与えるフィルタ係数  $H(a, \phi_m, z_l, k)$  を算出し、フィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> へ出力する。

30

【0064】

フィルタ係数算出部 170 は軸方向の波数  $k_z$ 、周方向の波の数  $n$  とスピーカ位置  $(a, \phi_m, z_l)$  を用いて、

【0065】

【数19】

$$H(a, \phi_m, z_l, k) = e^{j(k_z z_l + n \phi_m)} \quad (17)$$

40

【0066】

により、フィルタ係数  $H(a, \phi_m, z_l, k)$  を算出する。式 (17) は周波数領域におけるフィルタ係数  $H(a, \phi_m, z_l, k)$  である。

【0067】

A/D変換器 160<sub>1m</sub> における入力信号のサンプリング周波数を  $f_s$ 、周波数の帯域分割数を  $Q$  とし、 $q = 0, 1, \dots, Q-1$  とした場合に、各周波数帯域を

【0068】

【数 2 0】

$$f(q) = \frac{q}{Q} \cdot \frac{f_s}{2}, \quad (q = 0, 1, \dots, Q-1) \quad (18)$$

【0069】

と表す。式 (C) より、 $k$  は各周波数帯域  $f(q)$  により異なる値

【0070】

【数 2 1】

$$k(q) = \frac{2\pi f(q)}{c}, \quad (q = 0, 1, \dots, Q-1) \quad (C')$$

10

【0071】

となる。式 (17) で用いる波数情報  $k_z$  及び  $n$  は、後述する波数算出部 180 において波数  $k$  (とエバネッセント波の再生条件を満たす方向、波数決定パターン) を用いて算出されるので、フィルタ係数算出部 170 は各周波数帯域  $f(q)$  におけるフィルタ係数を算出することができる。フィルタ係数算出部 170 は、周波数帯域  $f(q)$  におけるフィルタ係数を逆フーリエ変換したものをフィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> におけるフィルタ係数として設定する。つまり、 $Q$  個の周波数領域のフィルタ係数を算出し、それを逆フーリエ変換により時間領域のフィルタ係数に変換し、これをフィルタ乗算部 120<sub>1m</sub> に設定する。なお、周波数の帯域分割数  $Q$  の値を大きくとればフィルタとしての精度は高くなるが計算コストが大きくなる。 $Q$  は任意に設定することができ、例えば数百程度の値とする。また 2 のべき乗数に設定すると演算が高速化できる。

20

【0072】

< 波数算出部 180 >

波数算出部 180 はエバネッセント波の再生条件を満たす方向 (軸方向または周方向) と波数決定パターン (波数決定パターンの種類については後述する) を入力として、波数  $k_z$  及び波の数  $n$  を算出し、フィルタ係数算出部 170 へ出力する。波数算出部 180 の処理フローを図 12 に示す。波数算出部 180 は、まず、エバネッセント波の再生条件を満たす方向として、「軸方向」または「軸方向及び周方向」を入力されたか、「周方向」を入力されたかを判定する (s21)。以下では各入力条件における波数算出方法を説明する。なお、算出された軸方向の波数  $k_z$  及び周方向の波の数  $n$  をフィルタ係数算出部 170 に出力する (s27)。

30

【0073】

(1) 軸方向の波数  $k_z$  がエバネッセント波の再生条件を満たす場合

ここではエバネッセント波の再生条件を満たす方向が軸方向と入力された場合の波数算出方法を示す (図 12 参照)。

【0074】

まず、軸方向にエバネッセント波が発生する条件である  $k_z > k$  を満たすような軸方向の波数  $k_z$  を決定する (s22)。次に周方向の波の数  $n$  を決定する。 $n$  は任意の定数に決定可能である (s23)。例えば、 $a$  を円筒面の半径として、 $n = k a$  と決めることができる。

40

【0075】

決定された波数  $k_z$  及び波の数  $n$  を用いることで、式 (12) で表されるエバネッセント波が再生される。

【0076】

【数 2 2】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{S}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-k'_r r}}{\sqrt{r}} P_n(a, k_z) e^{jk_z z} dk_z \quad (12)$$

$$S = \sqrt{ae^{k'_r a}}$$

$$k'_r = \sqrt{k_z^2 - k^2}$$

【0077】

これは放射方向に対して、指数関数的に音圧が減衰する特性をもつ。従って単一スピーカより急峻に減衰する特徴をもつが、波数の設定次第では可聴範囲が狭まりすぎてしまうという欠点もある。

10

【0078】

以下では3種類の波数  $k_z$  の決定方法（波数決定パターン）を示す。

(i) 波数  $k_z$  を音源の波数  $k$  の最大値  $k_{max}$  を用いて決定する方法

音源の波数  $k$  の最大値を  $k_{max}$  とすると、 $k_z = \gamma_1 k_{max}$  として算出する。但し、 $\gamma_1$  は1より大きい任意の定数である。このようにして決定した  $k_z$  は音源の波数  $k$  に依存しない。言い換えると、式 (C') に示す最大値  $k_{max} = k(Q-1)$  以外の波数  $k(0), k(1), \dots, k(Q-2)$  に依存しない。ここでの  $\gamma_1$  の値は1～数十程度が目安であり、値を変化させると減衰しない周波数の位置が変わる傾向があるため、入力信号の周波数特性の応じた減衰特性の制御が可能である。

20

なお、式 (C') 及び式 (18) より、

$$k_{max} = 2 f_{max} / c$$

$$f_{max} = f(Q-1)$$

である。

【0079】

(ii) 波数  $k_z$  を音源の波数  $k$  の定数倍として決定する方法

$\gamma_2$  を1より大きい任意の定数として、 $k_z(k) = \gamma_2 k$  として算出する。ここでの  $\gamma_2$  の値は1～数十程度が目安である。なお、式 (C') より  $k$  は各周波数帯域  $f(q)$  に応じて変化する値なので、 $k_z$  も各周波数帯域  $f(q)$  及び  $k$  に応じて変化する値となる。

30

【0080】

(iii) 波数  $k_z$  を減衰制御項から決定する方法

エバネッセント波の式 (12) において、 $P(r, \phi, z)$  の  $r$  方向の指数減衰項が  $e^{-k_a r}$  (但し、添え字  $k_a$  は  $k_a$  を表す) となるとすると、

【0081】

【数 2 3】

$$e^{-\sqrt{k_z^2 - k^2} r} = e^{-k_a r} \quad (19)$$

$$\sqrt{k_z^2 - k^2} r = -k_a r$$

$$k_z^2 - k^2 = k_a^2$$

$$\therefore k_z = \pm \sqrt{k_a^2 + k^2} \quad (20)$$

【0082】

と表される。式 (20) は、任意の減衰量と音源の波数  $k$  から軸方向の波数  $k_z$  を求めることができることを示している。よって、波数算出部 180 は、波数  $k_z$  を式 (20) により算出する。指定する  $k_a$  の値については、あまりに大きいと装置近傍ですぐに減衰し

50

てしまう制御となるため、 $k_a = 1 \sim$ 数十として設計するのが目安である。なお、前述の通り、式( C' )より  $k$  は各周波数帯域  $f(q)$  に応じて変化する値なので、( i i ) の場合と同様に、 $k_z$  も各周波数帯域  $f(q)$  及び  $k$  に応じて変化する値となる。

【 0 0 8 3 】  
【 数 2 4 】

$$k_z(k) = \pm \sqrt{k_a^2 + k^2} \quad (20')$$

【 0 0 8 4 】

( 2 ) 周方向の波の数  $n$  がエバネッセント波の再生条件を満たす場合

ここではエバネッセント波の再生条件を満たす方向が周方向と入力された場合の波数算出方法を示す( 図 1 2 参照 )。 10

【 0 0 8 5 】

まず、 $k_z$   $k$  を満たすような波数  $k_z$  を決定する( s 2 4 )。次に、式( 7 )の関係を用いて、音源の波数  $k$  と軸方向の波数  $k_z$  から放射方向の波数  $k_r$  を求める( s 2 5 )。最後に  $n > k_r r$  を満たすような波の数  $n$  を決定する( s 2 6 )。

【 0 0 8 6 】

決定された波数  $k_z$  及び波の数  $n$  を用いることで、式( 1 5 )で表されるエバネッセント波が再生される。

【 0 0 8 7 】

【 数 2 5 】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{S}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} r^{-n} P_n(a, k_z) e^{jk_z z} dk_z \quad (15)$$

$$S = a^n$$

【 0 0 8 8 】

これは放射方向に対して、べき乗関数に従って音圧が減衰する特性をもつ。従って軸方向に再生する場合と比較して減衰特性は緩やかになるが、波の数を調整することで減衰特性を制御することが可能であり、可聴範囲を制御するのが容易であるといえる。

【 0 0 8 9 】

以下では2種類の波の数  $n$  の決定方法( 波数決定パターン )を示す。

( i ) 波の数  $n$  を音源の波数  $k$  の最大値を用いて決定する方法

音源の波数  $k$  の最大値を  $k_{max}$  とすると、 $n = \beta k_{max} a$  として算出する。但し、 $\beta$  は1より大きい任意の定数である。このようにして決定した  $n$  は音源の波数  $k$  に依存しない( 言い換えると最大値  $k_{max}$  以外の波数  $k$  に依存しない)。ここでの  $\beta$  の値は1~数十程度が目安であり、値を変化させると減衰しない周波数の位置が変わる傾向があるため、入力信号の周波数特性の応じた減衰特性の制御が可能である。なお、 $k_{max}$  については、( 1 ) ( i ) で説明した値と同様である。

【 0 0 9 0 】

( i i ) 波の数  $n$  を音源の波数  $k$  の定数倍として決定する方法 40

$\beta$  を1より大きい任意の定数として、 $n(k) = \beta k a$  として算出する。ここでの  $\beta$  の値は1~数十程度が目安である。 $k$  については( 1 ) ( i i ) で説明した値と同様である。

【 0 0 9 1 】

( 3 ) 軸方向の波数と周方向の波の数の両方がエバネッセント波の再生条件を満たす場合

ここではエバネッセント波の再生条件を満たす方向として、軸方向と周方向の両方を入力された場合の波数算出方法を示す( 図 1 2 参照 )。軸方向と周方向の両方を入力された場合、軸方向の発生条件の制約がより強いので、「軸方向」と入力された場合と同様の算出方法となる。

【 0 0 9 2 】

10

20

30

40

50

すなわち、まず、軸方向にエバネッセント波が発生する条件である  $k_z > k$  を満たすような軸方向の波数  $k_z$  を決定する ( s 2 2 )。次に周方向の波の数  $n$  を決定する ( s 2 3 )。なお、 $k_z > k$  であれば、どのような  $n$  を選択しても、周方向にエバネッセント波が発生する条件を満たすため、 $n$  は任意の定数に決定可能である。例えば、 $a$  を円筒面の半径として、 $n = k a$  と決めることができる。

【 0 0 9 3 】

決定された波数  $k_z$  及び波の数  $n$  を用いることで、式 ( 1 2 ) で表されるエバネッセント波が再生される。

【 0 0 9 4 】

【 数 2 6 】

$$P(r, \phi, z, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{jn\phi} \frac{S}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-k'_r r}}{\sqrt{r}} P_n(a, k_z) e^{jk_z z} dk_z \quad (12)$$

$$S = \sqrt{a} e^{k'_r a}$$

$$k'_r = \sqrt{k_z^2 - k^2}$$

【 0 0 9 5 】

これは放射方向に対して、指数関数的に音圧が減衰する特性をもつ。従って単一スピーカより急峻に減衰する特徴をもつが、波数の設定次第では可聴範囲が狭まりすぎてしまうという欠点もある。

【 0 0 9 6 】

以下では3種類の波数  $k_z$  の決定方法 ( 波数決定パターン ) を示す。

( i ) 波数  $k_z$  を音源の波数  $k$  の最大値  $k_{max}$  を用いて決定する方法

音源の波数  $k$  の最大値を  $k_{max}$  とすると、 $k_z = \gamma_1 k_{max}$  として算出する。但し、 $\gamma_1$  は1より大きい任意の定数である。このようにして決定した  $k_z$  は音源の波数  $k$  に依存しない。言い換えると、式 ( C ' ) に示す最大値  $k_{max} = k ( Q - 1 )$  以外の波数  $k ( 0 ) , k ( 1 ) , \dots , k ( Q - 2 )$  に依存しない。ここでの  $\gamma_1$  の値は1 ~ 数十程度が目安であり、値を変化させると減衰しない周波数の位置が変わる傾向があるため、入力信号の周波数特性の応じた減衰特性の制御が可能である。

なお、式 ( C ' ) 及び式 ( 1 8 ) より、

$$k_{max} = 2 \pi f_{max} / c$$

$$f_{max} = f ( Q - 1 )$$

である。

【 0 0 9 7 】

( i i ) 波数  $k_z$  を音源の波数  $k$  の定数倍として決定する方法

$\gamma_2$  を1より大きい任意の定数として、 $k_z ( k ) = \gamma_2 k$  として算出する。ここでの  $\gamma_2$  の値は1 ~ 数十程度が目安である。なお、式 ( C ' ) より  $k$  は各周波数帯域  $f ( q )$  に応じて変化する値なので、 $k_z$  も各周波数帯域  $f ( q )$  及び  $k$  に応じて変化する値となる。

【 0 0 9 8 】

( i i i ) 波数  $k_z$  を減衰制御項から決定する方法

エバネッセント波の式 ( 1 2 ) において、 $P ( r , \phi , z )$  の  $r$  方向の指数減衰項が  $e^{-k_a r}$  ( 但し、添え字  $k_a$  は  $k'_r$  を表す ) となるとすると、

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

【数 27】

$$e^{-\sqrt{k_z^2 - k^2}r} = e^{-k_a r} \quad (19)$$

$$\sqrt{k_z^2 - k^2}r = -k_a r$$

$$k_z^2 - k^2 = k_a^2$$

$$\therefore k_z = \pm \sqrt{k_a^2 + k^2} \quad (20)$$

10

【0100】

式(20)は、任意の減衰量と音源の波数  $k$  から軸方向の波数  $k_z$  を求めることができることを示している。よって、波数算出部180は、波数  $k_z$  を式(20)により算出する。指定する  $k_a$  の値については、あまりに大きいと装置近傍ですぐに減衰してしまう制御となるため、 $k_a = 1 \sim$  数十として設計するのが目安である。なお、前述の通り、式(C')より  $k$  は各周波数帯域  $f(q)$  に応じて変化する値なので、(ii)の場合と同様に、 $k_z$  も各周波数帯域  $f(q)$  及び  $k$  に応じて変化する値となる。

【0101】

【数 28】

$$k_z(k) = \pm \sqrt{k_a^2 + k^2} \quad (20')$$

20

【0102】

なお、エバネッセント波の再生条件を満たす方向として、軸方向と周方向の両方することで、 $z$  軸方向(円筒面の軸方向)に向けた螺旋形状のスピーカから音声をエバネッセント波として再生することができる。

【0103】

&lt;効果&gt;

このような構成とすることで、円筒面スピーカアレーを用いてエバネッセント波を再生し、その受聴領域を従来とは異なる円筒状とし、減衰効果範囲を拡大できる、さらに指数減衰だけでなくべき乗関数に従うような減衰特性を有するエバネッセント波を再生することができる。

30

【0104】

&lt;その他の変形例&gt;

予めエバネッセント波の再生条件を満たす方向が決定されている場合には、波数算出部180では、エバネッセント波の再生条件を満たす方向としてどの方向が入力されたか等の判定(図12のs21)をせずともよい。また、波数決定パターンが決定されている場合には、その波数決定パターンに従って処理を行えばよい。

【0105】

第一実施形態では、螺旋形状のスピーカとして、図8に示すように  $x-y$  平面に平行な円形状に配置したスピーカを  $z$  軸方向に積み上げたものを用いているが、図13に示すようにスピーカを予め螺旋形に配置したものを用いてもよい。

40

【0106】

第一実施形態では、局所再生装置100内部にフィルタ係数算出部170と波数算出部180を含む構成としたが、フィルタ係数算出部170と波数算出部180を含むフィルタ係数決定装置190を別装置として設けてもよい。フィルタ係数決定装置190は、局所再生装置100の内部に組込まれてもよいし、別装置として外部に設けてもよい。フィルタ係数決定装置190は、発生方向と波数決定パターンとスピーカの位置情報を用いて、フィルタ係数を決定し、局所再生装置100内のフィルタ乗算部120<sub>1m</sub>に出力する構成とする。各処理内容は第一実施形態において説明した通りである。

【0107】

50



本発明は上記の実施形態及び変形例に限定されるものではない。例えば、上述の各種の処理は、記載に従って時系列に実行されるのみならず、処理を実行する装置の処理能力あるいは必要に応じて並列的あるいは個別に実行されてもよい。その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

【0108】

<プログラム及び記録媒体>

上述した局所再生装置またはフィルタ係数決定装置は、コンピュータにより機能させることもできる。この場合はコンピュータに、目的とする装置（各種実施例で図に示した機能構成をもつ装置）として機能させるためのプログラム、またはその処理手順（各実施例で示したもの）の各過程をコンピュータに実行させるためのプログラムを、CD-ROM、磁気ディスク、半導体記憶装置などの記録媒体から、あるいは通信回線を介してそのコンピュータ内にダウンロードし、そのプログラムを実行させればよい。

【図1】

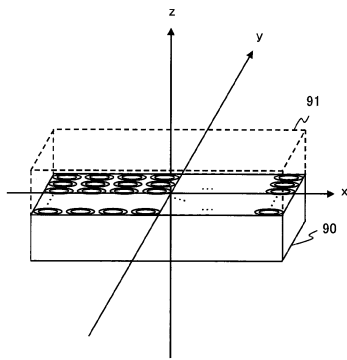


図1

【図3】

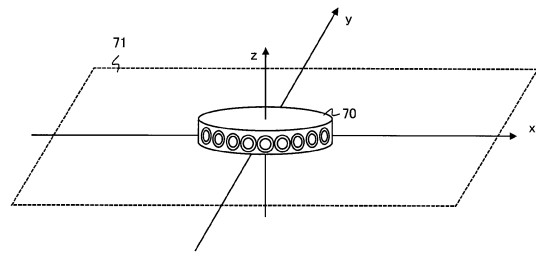


図3

【図2】

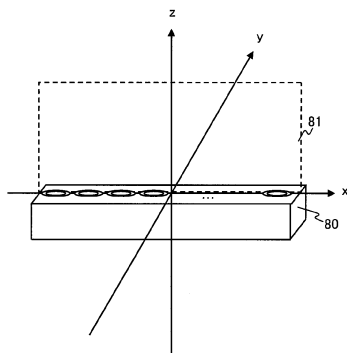


図2

【図4】

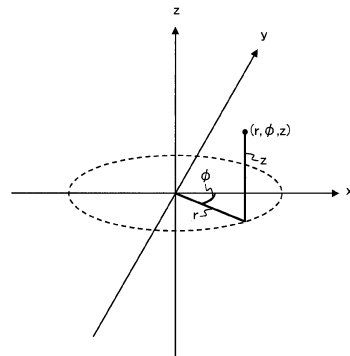


図4

【図5】

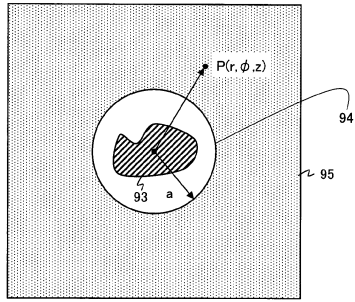


図5

【図7】

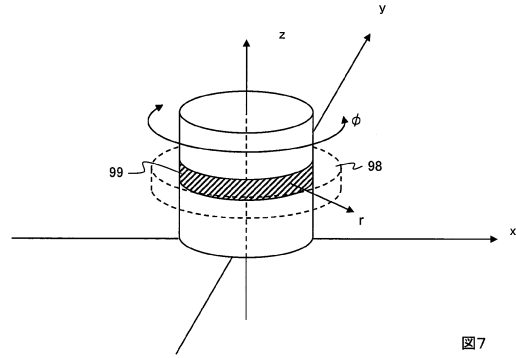


図7

【図6】

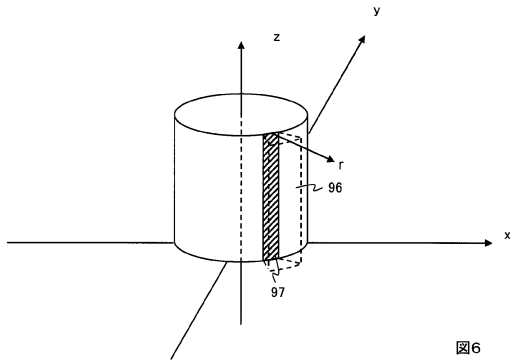
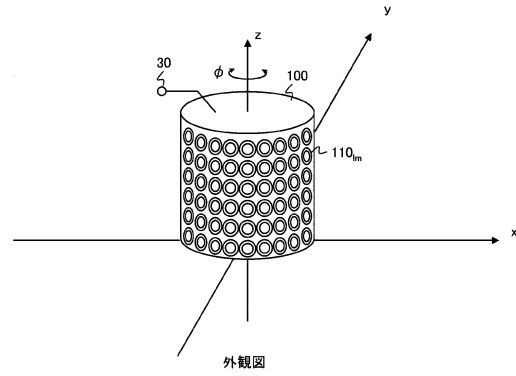


図6

【図8】



外観図

図8

【図9】

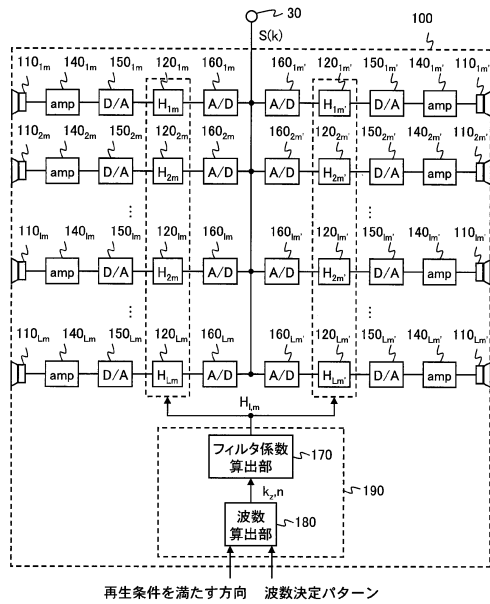


図9

【図10】

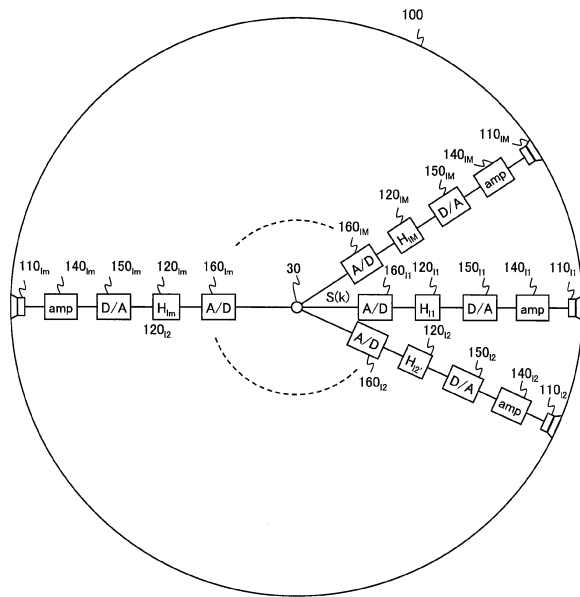


図10

【 図 1 1 】

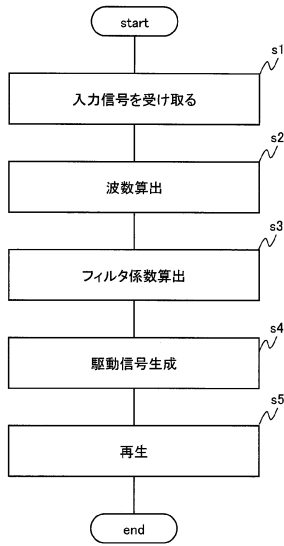


図11

【 図 1 2 】

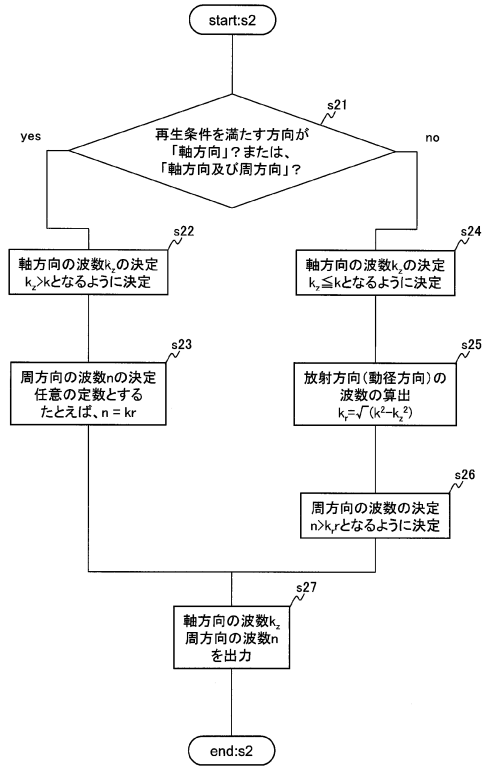


図12

【 図 1 3 】

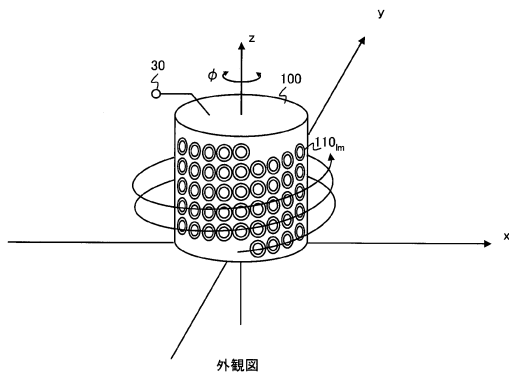


図13

---

フロントページの続き

(72)発明者 羽田 陽一  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 大野 弘

(56)参考文献 特開2013-016984(JP,A)  
特開2012-044572(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H04R 1/20 - 1/40  
H04R 3/00 - 3/14