

(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2019-50492

(P2019-50492A)

(43) 公開日 平成31年3月28日(2019.3.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO4R 3/00 (2006.01)</b>	HO4R 3/00 310	5D018
<b>HO4R 1/40 (2006.01)</b>	HO4R 1/40 310	5D220
<b>G1OK 11/34 (2006.01)</b>	G1OK 11/34 130	
	G1OK 11/34 140	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2017-173419 (P2017-173419)  
 (22) 出願日 平成29年9月8日(2017.9.8)

(71) 出願人 504133110  
 国立大学法人電気通信大学  
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1  
 (74) 代理人 100121131  
 弁理士 西川 孝  
 (74) 代理人 100082131  
 弁理士 稲本 義雄  
 (72) 発明者 羽田 陽一  
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国  
 立大学法人電気通信大学内  
 (72) 発明者 佐藤 航也  
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国  
 立大学法人電気通信大学内  
 Fターム(参考) 5D018 AF23  
 5D220 AA16 AB06

(54) 【発明の名称】 フィルタ係数決定装置、フィルタ係数決定方法、プログラム、および音響システム

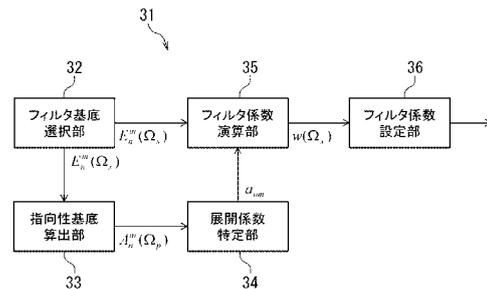
(57) 【要約】

【課題】 より最適なフィルタ係数を確実に求める。

【解決手段】 円筒形アレイのスピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定されるフィルタ係数を決定するために、円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出し、その指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いた演算を行う。本技術は、例えば、円筒形アレイを備える音響システムに適用できる。

【選択図】 図5

FIG. 5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

2 個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に 2 段以上に積層された円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定される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、

前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出する指向性基底算出部と、

前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算するフィルタ係数演算部と

10

を備えるフィルタ係数決定装置。

## 【請求項 2】

前記フィルタ係数演算部は、前記円筒形アレイの円周方向のフィルタ係数展開に対しては円調和展開を基本とし、前記円筒形アレイの鉛直方向のフィルタ係数展開に対しては多重極展開を基本として、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算する

請求項 1 に記載のフィルタ係数決定装置。

## 【請求項 3】

前記フィルタ係数演算部は、前記円筒形アレイの円周方向のフィルタ係数展開に対しては円調和展開を基本とし、前記円筒形アレイの鉛直方向のフィルタ係数展開に対しては平面波展開を基本として、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算する

20

請求項 1 に記載のフィルタ係数決定装置。

## 【請求項 4】

前記指向性基底算出部は、前記円筒形アレイから所定距離以上離れた球面上の複数の制御点で、前記円筒形アレイから出力される音を観測することで求められる伝達関数、および、前記フィルタ係数の基となるフィルタ基底に基づいて、前記指向性基底を算出する

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載のフィルタ係数決定装置。

## 【請求項 5】

前記フィルタ係数演算部は、 $L_2$  ノルム正則化または  $L_1$  ノルム正則化を用いて前記フィルタ係数を演算する

30

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載のフィルタ係数決定装置。

## 【請求項 6】

2 個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に 2 段以上に積層された円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定されるフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定装置が、

前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出することと、

前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算することと

40

を含むフィルタ係数決定方法。

## 【請求項 7】

2 個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に 2 段以上に積層された円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定されるフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定装置のコンピュータに、

前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出することと、

前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算することと

50

を含む処理を実行させるためのプログラム。

【請求項 8】

2 個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に 2 段以上に積層された円筒形アレイと、

前記円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタと

を備え、

前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出し、

前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算する

ことにより決定された前記フィルタ係数が前記デジタルフィルタに設定されている音響システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、フィルタ係数決定装置、フィルタ係数決定方法、プログラム、および音響システムに関し、特に、より最適なフィルタ係数を確実に求めることができるようにしたフィルタ係数決定装置、フィルタ係数決定方法、プログラム、および音響システムに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、家庭内で利用する音声コントロール端末が、様々な企業により提供されている。それらの音声コントロール端末は、音声を認識するためのマイクロホンアレイが搭載されており、例えば、雑音のある環境下における発話や、音声コントロール端末から離れたところからの発話なども認識することができる。

【0003】

また、音声コントロール端末は、例えば、音声や音楽などを出力する際に、その周囲の 360 度あらゆる方向に向かって再生されるように構成されている。さらに、所定の高音域の音において、広い範囲まで聞こえるようにしたり、特定の範囲でのみ聞こえるようにしたりすることを可能とする構成の音声コントロール端末も開発されている。

【0004】

一般的に、ある方向にのみ強く音を放射するスピーカは指向性スピーカと称されており、従来、様々な構成の指向性スピーカが検討されている。また、指向性スピーカにおいて指向性を形成する原理としては、例えば、大きく 2 つに分けることができる。1 つ目の原理は、超音波を利用して指向性を形成するパラメトリックアレイで利用され、2 つ目の原理は、通常のスピーカを複数個並べて空間上での波の振幅と位相を周波数ごとに制御することで指向性を形成するスピーカアレイで利用される。

【0005】

ここで、非特許文献 1 において、本出願の発明者らは、円形スピーカアレイを用いた 3 次元指向性制御を可能とするフィルタを設計する技術を開示している。また、非特許文献 2 に開示されているように、フィルタ係数の算出方法として、一旦、空間フーリエ変換を行う方法が知られている。さらに、非特許文献 3 には、スピーカアレイを用いて任意の指向特性を合成するために、球調和関数展開に基づく多重極の音源を重ね合わせる手法について開示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】佐藤航也，羽田陽一 “円形アレイを用いた円調和展開モードに基づく 3 次元指向性制御”，信学技報，vol.116，no.475，EA2016-119，pp. 213-218，2017年3

10

20

30

40

50

月。

【非特許文献2】羽田陽一 “波数とアレイ信号処理”，2017年度日本音響学会春季研究発表会講演論文集，0122\_1-8-15haneda2017springSS.pdf，2017年3月。

【非特許文献3】羽田陽一，古家賢一，島内末廣 “球調和関数展開に基づく多重極音源を用いた指向性合成”，日本音響学会誌，69巻11号，pp. 577-588，2013年11月。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、上述したようなスピーカアレイでは、スピーカをどのように配置するかという点と、フィルタ係数をどのように設計するかという点とについて検討が行われている。従来、スピーカの配置としては、スピーカを直線的に配置する直線アレイ、スピーカを円形に配置する円形アレイ、および、スピーカを球面上に配置する球面アレイの3つに分けることができる。

10

【0008】

例えば、直線アレイは、上下方向の区別がつかないことより、その指向性の制御において、エンドファイアアレイと称される直線の軸方向に指向性を固定する方法が採用されるが、指向性の方向を任意に変更することが困難であった。また、円形アレイは、水平面内は自由に指向性を回転させることができるのに対し、上下方向は区別することが非常に困難であった。また、球面アレイは、上下方向および左右方向に指向性を再現することができるが、球体であることより設置に困難が伴うことがあった。

20

【0009】

そこで、例えば、設置を容易に行うことができるようなスピーカアレイにおいて、上下方向および左右方向に指向性を再現することを可能とするために、より最適なフィルタ係数を確実に求めることが必要となる。

【0010】

本開示は、このような状況に鑑みてなされたものであり、より最適なフィルタ係数を確実に求めることができるようにするものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本開示の一側面のフィルタ係数決定装置は、2個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に2段以上に積層された円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定される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、前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出する指向性基底算出部と、前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算するフィルタ係数演算部とを備える。

30

【0012】

本開示の一側面のフィルタ係数決定方法は、2個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に2段以上に積層された円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定されるフィルタ係数を決定するフィルタ係数決定装置が、前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出することと、前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算することを含む。

40

【0013】

本開示の一側面のプログラムは、2個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に2段以上に積層された円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタに設定されるフィル

50

タ係数を決定するフィルタ係数決定装置のコンピュータに、前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出することと、前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算することを含む処理を実行させる。

【0014】

本開示の一側面の音響システムは、2個以上のスピーカ素子が円周方向に配置された円筒形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向に2段以上に積層された円筒形アレイと、前記円筒形アレイを構成する前記スピーカ素子の前段に設置されるデジタルフィルタとを備え、前記円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底を算出し、前記指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、前記指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、前記円筒形アレイのフィルタ係数を演算することにより決定された前記フィルタ係数が前記デジタルフィルタに設定されている。

10

【0015】

本開示の一側面においては、円筒形アレイから出力される音の指向性の基となる指向性基底が算出され、指向性基底を算出するために用いられた関数であるフィルタ基底、および、指向性基底に対して所望の指向性を与えることによって求められる展開係数を用いて、円筒形アレイのフィルタ係数が演算により求められる。

20

【発明の効果】

【0016】

本開示の一側面によれば、より最適なフィルタ係数を確実に求めることができる。

【0017】

なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本技術を適用して決定されたフィルタ係数を利用する音響システムの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図2】円筒形アレイの一構成例を示す図である。

30

【図3】極座標系における制御点を説明する図である。

【図4】多重極音源の概念図である。

【図5】フィルタ係数決定装置の構成例を示すブロック図である。

【図6】フィルタ係数決定処理を説明するフローチャートである。

【図7】本技術を適用したコンピュータの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本技術を適用した具体的な実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

40

【0020】

<音響システムの構成例>

図1は、本技術を適用して決定されたフィルタ係数を利用する音響システムの一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【0021】

図1に示すように、音響システム11は、再生装置12、L個のフィルタ13-1乃至13-L、および、L個のスピーカ素子14-1乃至14-Lを有する円筒形アレイ21を備えて構成される。また、フィルタ係数を決定する際には、円筒形アレイ21のサイズよりも大きな球面を想定し、円筒形アレイ21から所定距離以上離れた球面上に、スピーカ素子14-1乃至14-Lから出力される音を観測するマイクロホンなどからなるM個

50

の制御点  $1$  乃至  $M$  が配置される。

【0022】

再生装置 12 は、所定の音源データを再生し、その再生された音をスピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L から出力させるための音響信号を、フィルタ 13 - 1 乃至 13 - L を介してスピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L に供給する。

【0023】

フィルタ 13 - 1 乃至 13 - L は、スピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L の前段にそれぞれ配置され、各自に設定されるフィルタ係数  $w_1$  ( ) 乃至  $w_L$  ( ) と、再生装置 12 から出力される音響信号とを乗算して出力する。

【0024】

スピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L は、人間が音として聞き取れる周波数帯域の音を出力可能な可聴域スピーカであり、フィルタ 13 - 1 乃至 13 - L を介して再生装置 12 から供給される音響信号に従った音を出力する。そして、本実施の形態の音響システム 11 では、スピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L により、図 2 に示すような円筒形アレイ 21 が構成されている。

【0025】

図 2 に示す円筒形アレイ 21 では、複数のスピーカ素子 14 が円形によって表されている。そして、円筒形アレイ 21 は、所定個数のスピーカ素子 14 が円周方向に等間隔で配置された円形アレイが、その円周方向に対して直交する鉛直方向 (図 2 の Z 方向) に 2 段以上積層されて構成されている。図 2 の例では、円筒形アレイ 21 は、8 個のスピーカ素子 14 が円周方向に 45 度間隔で配置された円形アレイが、3 段以上積層されて構成される。なお、以下の説明において、円筒形アレイ 21 は、Z 軸方向の中央に配置される円形アレイを基準 ( $h_z = 0$ ) として、Z 軸の正方向に有限の複数段 ( $h_z = 1, \dots$ ) の円形アレイが配置され、Z 軸の負方向に有限の複数段 ( $h_z = -1, \dots$ ) の円形アレイが配置されて構成されたものとする。

【0026】

このような構成の円筒形アレイ 21 は、例えば、球面アレイと比較して設置が容易であるとともに、水平面内だけではなく、上下方向にも指向性を向けることができる。

【0027】

そして、図 1 の音響システム 11 は、フィルタ 13 - 1 乃至 13 - L にフィルタ係数  $w_1$  ( ) 乃至  $w_L$  ( ) を適切に設定することで、所定の方向にのみ、円筒形アレイ 21 から音が強く放射する指向性を備えることができる。

【0028】

< 従来の円筒形アレイにおけるフィルタ係数の決定方法 >

まず、円筒形アレイ 21 のフィルタ設計について、従来の方法について説明する。

【0029】

従来、図 1 に示したように、複数の制御点  $1$  を、音圧を制御するために音を観測する位置に配置し、音圧を目標とする指向性と一致するようにフィルタ係数を設計する方法が用いられている。

【0030】

例えば、L 個のスピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L を持つスピーカアレイにおいて、s 番目のスピーカ素子 14 - s から p 番目の制御点  $p$  までの伝達関数  $g_{ps}$  ( ) を要素として持つ行列である伝達関数行列  $G$  ( ) は、次の式 (1) に示すように表される。また、角周波数  $\omega$  のフィルタ係数ベクトル  $w$  ( )、および、M 個の制御点  $1$  乃至  $M$  における所望音圧の特性  $d_1$  ( ) 乃至  $d_M$  ( ) をベクトル化した所望音圧ベクトル  $d$  ( ) も、次の式 (1) に示すように表される。

【0031】

10

20

30

40

【数 1】

$$G(\omega) = \begin{pmatrix} g_{11}(\omega) & g_{12}(\omega) & \cdots & g_{1L}(\omega) \\ g_{21}(\omega) & g_{22}(\omega) & \cdots & g_{2L}(\omega) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{M1}(\omega) & g_{M2}(\omega) & \cdots & g_{ML}(\omega) \end{pmatrix} \quad \cdots(1)$$

$$w(\omega) = [w_1(\omega) \quad w_2(\omega) \quad \cdots \quad w_L(\omega)]^T$$

$$d(\omega) = [d_1(\omega) \quad d_2(\omega) \quad \cdots \quad d_M(\omega)]^T$$

10

【0032】

このとき、フィルタ係数ベクトル  $w$  ( ) は、次の式 ( 2 ) を演算することにより求めることができる。

【0033】

【数 2】

$$w(\omega) = (G(\omega)^H G(\omega))^{-1} G(\omega)^H d(\omega) \quad \cdots(2)$$

【0034】

ただし、式 ( 2 ) に示すように、その演算には逆行列の計算が含まれるため、どうしてもフィルタ係数ベクトル  $w$  ( ) が大きくなり過ぎてしまい、その結果、フィルタ 1 3 の出力が不安定になり易くなってしまふ。

20

【0035】

そこで、一般に、次の式 ( 3 ) に示すような操作を行うことで、フィルタ係数ベクトル  $w$  ( ) が大きくなり過ぎるのを防止することができる。

【0036】

【数 3】

$$(G(\omega)^H G(\omega) + \beta I)^{-1} \quad \cdots(3)$$

【0037】

ここで、式 ( 3 ) において、 $\beta$  は小さな正の数であり、 $I$  は正方行列である。この  $\beta$  の値は、一般に試行錯誤で求められることが多く、例えば、低い周波数では大きな値が必要とされる。

30

【0038】

一方、上述した非特許文献 2 に開示されているように、フィルタ係数  $w_1$  ( ) 乃至  $w_L$  ( ) の算出方法として、一旦、空間フーリエ変換を行う方法が知られている。この方法では、例えば、円形アレイに対しては、円調和関数で展開することにより、どの次数がフィルタ 1 3 のゲイン ( 大きさ ) を大きくしているかを特定することができる。これにより、周波数ごとに、円調和関数の次数について、どの次数までを使うかをあらかじめ決めておくことで、フィルタ 1 3 の出力全体が不安定になることを防止することができる。

40

【0039】

しかしながら、この方法は、伝達関数  $g_{ps}$  ( ) が解析的に特定されている場合のみに使用することができる一方で、伝達関数  $g_{ps}$  ( ) が特定されていない場合には使用することができなかった。

【0040】

そこで、本実施の形態における円筒形アレイ 2 1 のフィルタ設計においては、最初に、伝達関数  $g_{ps}$  ( ) が理論的に既知である球面アレイでのフィルタ設計を例として、従来の次数ごとにフィルタ係数  $w_1$  ( ) 乃至  $w_L$  ( ) を求める方法を採用する。この方法は、一般的に、モードマッチングと呼ばれている。

【0041】

例えば、図 3 に示すように、半径  $r$  の球面上にある制御点  $p = (p_x, p_y)$  におけ

50

る所望音圧の特性  $d(\Omega_p)$  は、展開係数  $d_{nm}$  および球面調和関数  $Y_n^m(\Omega_p)$  を用いて、次の式 (4) で求められる。ここで、 $\theta$  および  $\phi$  は極座標系における角度を表し、 $(r, \theta, \phi)$  は全体の座標位置を表す。

【0042】

【数4】

$$d(\Omega_p) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n d_{nm} Y_n^m(\Omega_p) \quad \dots(4)$$

【0043】

ここで、 $M$  個の制御点  $\Omega_1$  乃至  $\Omega_M$  について、所望音圧の特性  $d(\Omega_p)$  を球面調和関数  $Y_n^m(\Omega_p)$  で展開 ( $p = 1, 2, \dots, M$ ) する。さらに、 $L$  個のフィルタ係数  $w_1(\Omega_s)$  乃至  $w_L(\Omega_s)$  について、球面アレイの半径  $a$  のスピーカ位置  $\Omega_s = (\theta_s, \phi_s)$  にあるスピーカ素子 14 の前段に設置されているフィルタ 13 のフィルタ係数  $w(\Omega_s)$  を球面調和関数  $Y_n^m(\Omega_s)$  で展開 ( $s = 1, 2, \dots, L$ ) する。これにより、フィルタ係数  $w(\Omega_s)$  は、次の式 (5) で求められる。

10

【0044】

【数5】

$$w(\Omega_s) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n w_{nm} Y_n^m(\Omega_s) \quad \dots(5)$$

20

【0045】

このとき、球面アレイのスピーカ位置  $\Omega_s = (\theta_s, \phi_s)$  から制御点  $\Omega_p = (\theta_p, \phi_p)$  までの伝達関数  $G(\Omega_p | \Omega_s)$  は、球面調和関数  $Y_n^m(\Omega_p)$  を用いて、次の式 (6) に示すように表現される。

【0046】

【数6】

$$G(\Omega_p | \Omega_s) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n b_{nm} Y_n^m(\Omega_p) Y_n^m(\Omega_s)^* \quad \dots(6)$$

30

【0047】

ここで、式 (5) に示すフィルタ係数  $w(\Omega_s)$  をスピーカアレイに与えたときに観測される音圧が、所望音圧の特性  $d(\Omega_p)$  と一致するように制御する場合、次の式 (7) が成り立つことになる。

【0048】

【数7】

$$\begin{aligned} d(\Omega_p) &= \sum_{s=1}^L G(\Omega_p | \Omega_s) w(\Omega_s) \\ &= \sum_{s=1}^L \left( \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n b_{nm} Y_n^m(\Omega_p) Y_n^m(\Omega_s)^* \right) \left( \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n w_{nm} Y_n^m(\Omega_s) \right) \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n w_{nm} b_{nm} Y_n^m(\Omega_p) \quad \dots(7) \end{aligned}$$

40

【0049】

このような式 (7) で示す関係式と、上述の式 (4) とを、円調和関数の次数  $n$  および次数  $m$  について同じ次数で見比べると、次の式 (8) に示すようになる。

【0050】

【数 8】

$$w_{nm} = \frac{d_{nm}}{b_{nm}} \quad \dots(8)$$

【0051】

ここで、展開係数  $d_{nm}$  は、上述の式(4)から求められるとともに、係数  $b_{nm}$  は理論的に導出されるため、フィルタ係数  $w(s)$  は、上述した式(5)を演算することにより求めることができる。

【0052】

<本技術の円筒形アレイにおけるフィルタ係数の決定方法>

10

【0053】

ところで、本実施の形態で使用される円筒形アレイ 21 では、空間フーリエ変換領域において、フィルタ係数を設計することを基本としている。通常、空間フーリエ変換領域でフィルタ設計を行う場合には、スピーカ素子 14 から制御点 15 までの伝達関数  $G(p|s)$  が理論的に特定されている必要がある。例えば、円筒形アレイを理論的に考えると、通常、高さ方向(z方向)には無限につながっていることが求められる。しかしながら、実際の円筒形アレイでは、図2を参照して説明したように、高さ方向は有限であるため、理論値を使用することはできない。

【0054】

そこで、以下では、例えば、図1に示すように制御点 16 乃至 17 を配置してスピーカ素子 14 - 1 乃至 14 - L から音を出力することで伝達関数  $G(p|s)$  を実測し、その伝達関数  $G(p|s)$  からフィルタ係数を求めるために必要な基底を算出して、これを用いて円調和関数の次数  $n$  および次数  $m$  ごとにフィルタ係数を決定する方法について説明する。即ち、伝達関数  $G(p|s)$  を解析的に表現することができず、理論的に係数  $b_{nm}$  を導出することができない場合であっても、最適なフィルタ係数を確実に決定することができる。

20

【0055】

例えば、上述したような従来の方法において、次の式(9)に示すような指向性基底  $A_n^m(p)$  を用いて所望音圧の特性  $d(p)$  を展開すると、所望音圧の特性  $d(p)$  は、次の式(10)に示すように表される。

30

【0056】

【数 9】

$$A_n^m(\Omega_p) = b_{nm} Y_n^m(\Omega_p) \quad \dots(9)$$

【数 10】

$$d(\Omega_p) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a_{nm} A_n^m(\Omega_p) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n a_{nm} b_{nm} Y_n^m(\Omega_p) \quad \dots(10)$$

【0057】

このような式(10)と、上述した式(7)の最後の式とを見比べると、展開係数  $a_{nm}$  は、展開フィルタ係数  $w_{nm}$  と同一とみなすことができる( $a_{nm} = w_{nm}$ )ため、展開フィルタ係数  $w_{nm}$  を直接的に求めることができる。

40

【0058】

そこで、本実施の形態においては、指向性基底  $A_n^m(p)$  が未知の場合であっても、事前に伝達関数  $G(p|s)$  を実測することにより算出される指向性基底  $A_n^m(p)$  を用いて、円筒形アレイ 21 で用いるフィルタ係数  $w(s)$  を決定する方法を提案する。なお、以下では、スピーカ位置  $s$  の座標位置は、極座標系( $\theta_s, \phi_s$ )ではなく、円筒座標系( $r_s, z_s$ )で表すものとする。

【0059】

まず、指向性基底  $A_n^m(p)$  が求められていることを前提として、フィルタ係数を

50

展開するフィルタ基底  $E_n^m(\Omega_s)$  は、次の式 (11) で示すような仮定に基づいて、後述するように解析的に記述することが可能な関数であるとする。

【0060】

【数11】

$$A_n^m(\Omega_p) \propto a_{nm} E_n^m(\Omega_s) \quad \dots(11)$$

【0061】

また、所望音圧の特性  $d(\Omega_p)$  は、上述したような従来 of 球面調和関数  $Y_n^m(\Omega_p)$  を用いた方法を参考にして、次の式 (12) で表すことができる。以下では、拡張性を考慮して、次数  $n$  の範囲を  $n > 0$  ではなく、次数  $n$  および次数  $m$  の範囲を  $-\infty$  から  $\infty$  までに拡張する。同様に、フィルタ係数  $w(\Omega_s)$  は、次の式 (13) で表すことができ、伝達関数  $G(\Omega_p | \Omega_s)$  は、次の式 (14) で表すことができる。

10

【0062】

【数12】

$$d(\Omega_p) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_{nm} A_n^m(\Omega_p) \quad \dots(12)$$

【数13】

$$w(\Omega_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_{nm} E_n^m(\Omega_s) \quad \dots(13)$$

20

【数14】

$$G(\Omega_p | \Omega_s) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_n^m(\Omega_p) E_n^m(\Omega_s)^* \quad \dots(14)$$

【0063】

ここで、上述した式 (14) の逆展開は、次の式 (15) であるので、この式 (15) に基づいて、伝達関数  $G(\Omega_p | \Omega_s)$  を観測することができれば、指向性基底  $A_n^m(\Omega_p)$  を求めることができる。

【0064】

【数15】

$$A_n^m(\Omega_p) = \sum_{s=1}^L G(\Omega_p | \Omega_s) E_n^m(\Omega_s) \quad \dots(15)$$

30

【0065】

そこで、まず、円筒形アレイ 2-1 におけるフィルタ基底  $E_n^m(\Omega_s)$  を定義する必要がある。例えば、フィルタ基底  $E_n^m(\Omega_s)$  は、以下で説明する 2 つの関数いずれかを用いて定義することができる。

【0066】

まず、円筒座標系の波動方程式の一般解と同じ形式である平面波基底を用いてフィルタ基底  $E_n^m(\Omega_s)$  を定義する方法がある。例えば、音源が連続体である場合に、円筒座標系における一般解を参考したフィルタ基底  $E_n^m(\Omega_s)$  は、円周方向の角度  $\phi_s$ 、 $\phi_s$  方向の次数 (波数)  $m$ 、 $z$  軸方向の波数  $k_z$ 、および  $z$  軸上の高さ  $z_s$  を用いて、次の式 (16) で表される。

40

【0067】

【数16】

$$E_n^m(\Omega_s) = e^{jm\phi_s} e^{jk_z z_s} \quad \dots(16)$$

【0068】

通常、円筒形アレイ 2-1 では、スピーカ素子 1-4 は離散的に配置されることになる。例

50

例えば、上述の図2に示したように、 $\phi$ 方向（円周方向）に $H_\phi$ 個、かつ、 $z$ 軸方向に $H_z$ 間隔で $H_z$ 段のスピーカ素子14が配置されて円筒形アレイ21が構成されると仮定した場合、フィルタ基底 $E_n^m(\Omega_s)$ は、次の式(17)で表される。

【0069】

【数17】

$$E_n^m(\Omega_s) = e^{jm2\pi \frac{\phi_{h_\phi} - 1}{H_\phi}} e^{jm2\pi \frac{h_z}{H_z}} \dots (17)$$

【0070】

また、多重極を用いてフィルタ基底 $E_n^m(\Omega_s)$ を定義する方法では、フィルタ基底 $E_n^m(\Omega_s)$ は、次の式(18)で表される。

【0071】

【数18】

$$E_n^m(\Omega_s) = e^{jm2\pi \frac{\phi_{h_\phi} - 1}{H_\phi}} F_n(h_z, \omega) \dots (18)$$

【0072】

従って、本実施の形態では、式(17)および式(18)のどちらか一方を選択し、次数 $n$ および次数 $m$ を組み合わせ、それぞれのスピーカ素子14に与える音を決定することで、指向性基底 $A_n^m(\rho)$ は、上述した式(15)に基づいて算出することができる。

【0073】

ここで、上述の式(17)に示したように、極座標系（図3参照）における円周方向の角度 $\phi_h$ と、円筒形アレイ21を構成する円形アレイ（図2参照）の $z$ 軸方向の段 $h_z$ との関係について説明する。

【0074】

例えば、水平方向に $H_\phi$ 個のスピーカ素子14が配置された円形アレイが、 $z$ 軸方向に段数 $H_z$ で配置され、合計、 $H_\phi \times H_z$ 個のスピーカ素子14からなる円筒形アレイ21において、それぞれのスピーカ素子14の位置は、半径 $a$ の円筒座標系において $(a, \phi_{h_\phi}, z_{h_z})$ と定義することができる。

【0075】

このとき、 $\phi_{h_\phi}$ は、次の式(19)で表され、 $z_{h_z}$ は、 $z$ 軸方向のスピーカ間隔 $z$ を用いて、次の式(20)で表される。

【0076】

【数19】

$$\phi_{h_\phi} = 2\pi \frac{h_\phi - 1}{H_\phi} \dots (19)$$

【数20】

$$z_{h_z} = \Delta z \cdot h_z \dots (20)$$

【0077】

なお、式(19)で用いられている $h_\phi$ は、次の式(21)に示す通りであり、式(20)で用いられている $h_z$ は、床関数を用いて次の式(22)に示す通りとなる。

【0078】

【数21】

$$h_\phi = 1, 2, \dots, H_\phi \dots (21)$$

10

20

30

40

【数 2 2】

$$h_z = \left[ -\frac{H_z}{2}, -\frac{H_z}{2} + 1, \dots, \frac{H_z}{2} \right] \quad \dots(22)$$

【0079】

また、上述の式(18)に示したように、多重極を用いてフィルタ基底  $E_n^m(\omega_s)$  を定義する方法について説明する。ここでは、図2に示したように、スピーカ素子14が円周方向に等間隔で配置された円形アレイが、Z方向に3段積層されて構成される円筒形アレイ21を用いて説明を行う。

【0080】

例えば、円筒形アレイ21の各段に配置された円形アレイを1つの点音源と仮定して、多重極音源の組み合わせで、球面調和関数  $Y_n^m(\theta, \phi)$  を表現する場合、図4に示すような多重極音源の概念図を用いて説明することができる。図4は、モノポール音源を空間微分し、縦型クアドロポールでは音源を共通化して表現されている。

10

【0081】

まず、球面調和関数  $Y_0^0(\theta, \phi)$  を表現するためには、球面調和関数  $Y_0^0(\theta, \phi)$  が、次の式(23)であることより、図4のAに示すように原点に配置された点音源を  $1/4$  で駆動すればよいことが分かる。

【0082】

【数 2 3】

$$Y_0^0(\theta, \phi) = \sqrt{1/4\pi} \quad \dots(23)$$

20

【0083】

同様に、図4のBに示すようなスピーカ間隔(2z)を考慮して、球面調和関数  $Y_1^0(\theta, \phi)$  を表現するための駆動係数を求めることができる。

【0084】

さらに、球面調和関数  $Y_2^0(\theta, \phi)$  が、次の式(24)となるため、図4のCに示す縦型クアドラポールと、図4のAのモノポール音源との組み合わせで表現することができる。

【0085】

【数 2 4】

$$Y_2^0(\theta, \phi) = \sqrt{5/16\pi} (3\cos^2\theta - 1) \quad \dots(24)$$

30

【0086】

以上のことをまとめると、z軸上に3つの点音源がある場合、次数  $n = 2$  までの球面調和関数  $Y_n^0(\theta, \phi)$  を表現することができ、それぞれの駆動係数  $F_n(h_z, \omega)$  は、次の式(25)乃至式(27)に示すようになる。

【0087】

【数 2 5】

$$F_0(h_z, \omega) = \left[ 0, \sqrt{\frac{1}{4\pi}}, 0 \right]^T \quad \dots(25)$$

40

【数 2 6】

$$F_1(h_z, \omega) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \left[ \frac{1}{C_1(\omega)}, 0, \frac{-1}{C_1(\omega)} \right]^T \quad \dots(26)$$

【数 2 7】

$$F_2(h_z, \omega) = \sqrt{\frac{5}{16\pi}} \left[ \frac{3}{C_2(\omega)}, \frac{-6}{C_2(\omega)}, -1, \frac{3}{C_2(\omega)} \right]^T \quad \dots(27)$$

【0088】

50

ここで、式(26)で用いる $C_1$ は、次の式(28)に示す通りであり、式(27)で用いる $C_2$ は、次の式(29)に示す通りである。また、駆動係数の要素は、左から $h_z = 1, 0, -1$ に対応している。

【0089】

【数28】

$$C_1(\omega) = -j2dk\left(1 - \frac{j}{kr}\right) \quad \dots(28)$$

【数29】

$$C_2(\omega) = (-jdk)^2\left(1 - \frac{2j}{kr} - \frac{2}{k^2r^2}\right) \quad \dots(29)$$

10

【0090】

なお、これらの駆動係数の求め方は、上述した非特許文献3において詳細に説明されている。

【0091】

そして、指向性基底 $A_{nm}(\rho)$ を決定することができれば、所望の指向性(所望音圧の特性 $d(\rho)$ )を与えることで、上述した式(12)に基づいて展開係数 $a_{nm}$ を特定することができる。これにより、フィルタ係数 $w(s)$ は、このように特定される展開係数 $a_{nm}$ と、指向性基底 $A_{nm}(\rho)$ を決定するために用いたフィルタ基底 $E_n^m(s)$ とを用いて、上述した式(13)を演算することにより求められる。

20

【0092】

<フィルタ係数決定装置の構成例>

図5は、上述したようなフィルタ係数の決定方法を適用したフィルタ係数決定装置の構成例を示すブロック図である。

【0093】

図5に示すように、フィルタ係数決定装置31は、フィルタ基底選択部32、指向性基底算出部33、展開係数特定部34、フィルタ係数演算部35、およびフィルタ係数設定部36を備えて構成される。

【0094】

フィルタ基底選択部32は、フィルタ係数決定装置31でフィルタ係数 $w(s)$ を決定するのに使用するフィルタ基底 $E_n^m(s)$ を選択する。例えば、フィルタ基底選択部32は、上述の式(17)に示すような平面波展開を基本としたフィルタ基底 $E_n^m(s)$ 、および、上述の式(18)に示すような多重極展開を基本としたフィルタ基底 $E_n^m(s)$ のうちの、いずれか一方を選択する。そして、フィルタ基底選択部32は、選択したフィルタ基底 $E_n^m(s)$ を指向性基底算出部33およびフィルタ係数演算部35に供給する。

30

【0095】

指向性基底算出部33は、実測することにより求められる伝達関数 $G(\rho | s)$ 、および、フィルタ基底選択部32から供給されるフィルタ基底 $E_n^m(s)$ を用いて、上述の式(15)を演算することにより指向性基底 $A_{nm}(\rho)$ を算出する。そして、指向性基底算出部33は、算出した指向性基底 $A_{nm}(\rho)$ を展開係数特定部34に供給する。

40

【0096】

展開係数特定部34は、指向性基底算出部33から供給される指向性基底 $A_{nm}(\rho)$ に対し、所望の指向性(所望音圧の特性 $d(\rho)$ )を与えることにより、上述の式(12)に基づいて、展開係数 $a_{nm}$ を特定することができる。そして、展開係数特定部34は、特定した展開係数 $a_{nm}$ をフィルタ係数演算部35に供給する。

【0097】

フィルタ係数演算部35は、フィルタ基底選択部32から供給されるフィルタ基底 $E_n^m(s)$ 、および、展開係数特定部34から供給される展開係数 $a_{nm}$ を用いて、上述

50

の式(13)を演算する。これにより、フィルタ係数演算部35は、フィルタ係数 $w(s)$ を求めて、フィルタ係数設定部36に供給する。

【0098】

このとき、フィルタ係数演算部35は、円周方向のフィルタ係数展開に対しては円調和展開を基本としてフィルタ係数 $w(s)$ を算出する。そして、フィルタ係数演算部35は、例えば、フィルタ基底選択部32により式(17)のフィルタ基底 $E_n^m(s)$ が選択されている場合、鉛直方向のフィルタ係数展開に対しては平面波展開を基本としてフィルタ係数 $w(s)$ を算出することができる。一方、フィルタ係数演算部35は、例えば、フィルタ基底選択部32により式(18)のフィルタ基底 $E_n^m(s)$ が選択されている場合、鉛直方向のフィルタ係数展開に対しては多重極展開を基本としてフィルタ係数 $w(s)$ を算出することができる。

10

【0099】

さらに、フィルタ係数演算部35は、フィルタ係数 $w(s)$ を算出する際に、上述の非特許文献1で開示されているように、L1ノルム正則化を用いて低域における合成次数を制限することで、フィルタ13のゲインを抑圧することができる。または、L1ノルム正則化に替えて、L2ノルム正則化を用いることができる。

【0100】

ここで、L1ノルム正則化およびL2ノルム正則化について説明する。まず、フィルタ係数は、上述した式(13)に示してあるとおり、所望音圧の特性 $d(\theta_0)$ を指向性基底 $A_n^m(\theta_0)$ で得られた展開係数 $a_{nm}$ を用いて計算することができる。例えば、フィルタ係数基底 $E_n^m(s)$ は定数のため、フィルタの大きさ(ゲイン)は展開係数 $a_{nm}$ に依存する。L2ノルム正則化は、この展開係数 $a_{nm}$ の二乗和がある値以下になるように制限する手法であり、展開係数 $a_{nm}$ の絶対値を用いて、次の式(30)に示すように表現される。

20

【0101】

【数30】

$$\sum_n \sum_m |a_{nm}|^2 \leq \lambda \quad \dots(30)$$

【0102】

一方で、L1ノルム正則化は、展開係数 $a_{nm}$ の絶対値和がある値以下になるように制限する手法であり、次の式(31)で表現される。

30

【0103】

【数31】

$$\sum_n \sum_m |a_{nm}| \leq \lambda \quad \dots(31)$$

【0104】

一般的に、L1ノルム正則化の場合は最適化することが難しいため、最適解である展開係数 $a_{nm}$ を得られるとは限らない。その場合は、L2ノルム正則化を使用した方が良い。

【0105】

このように、L1ノルム正則化およびL2ノルム正則化のいずれかを用いることで、放射効率が悪い指向性基底 $A_n^m(\theta_0)$ で展開したときに得られる展開係数 $a_{nm}$ が大きくなることを防止することができる。これにより、結果的にフィルタゲインを抑制することができ、歪のない自然な再生を行うことができる。

40

【0106】

フィルタ係数設定部36は、フィルタ係数演算部35から供給されるフィルタ係数 $w(s)$ を保持しており、円筒形アレイ21に対して求める所望音圧の特性 $d(\theta_p)$ に応じて、適切なフィルタ係数 $w(s)$ をフィルタ13に設定する。

【0107】

以上のようにフィルタ係数決定装置31は、上下方向および左右方向の所望の方向に所

50

望の音量で音を出力することができるように、円筒形アレイ 2 1 に指向性を持たせるための最適なフィルタ係数を確実に求めることができる。

【0108】

<フィルタ係数決定処理の処理例>

図 6 に示すフローチャートを参照して、フィルタ係数決定装置 3 1 によるフィルタ係数決定処理について説明する。

【0109】

例えば、図 1 に示すように制御点  $p_1$  乃至  $p_M$  を配置してスピーカ素子 1 4 - 1 乃至 1 4 - L から音を出力することで伝達関数  $G(p | s)$  が実測され、円筒形アレイ 2 1 に対して求める所望音圧の特性  $d(p)$  が設定されると処理が開始される。

10

【0110】

ステップ S 1 1 において、フィルタ基底選択部 3 2 は、上述の式 (17) に示すような平面波展開を基本としたフィルタ基底  $E_n^m(s)$ 、および、上述の式 (18) に示すような多重極展開を基本としたフィルタ基底  $E_n^m(s)$  のうちの、いずれか一方を選択する。そして、フィルタ基底選択部 3 2 は、選択したフィルタ基底  $E_n^m(s)$  を指向性基底算出部 3 3 およびフィルタ係数演算部 3 5 に供給する。

【0111】

ステップ S 1 2 において、指向性基底算出部 3 3 は、ステップ S 1 1 でフィルタ基底選択部 3 2 から供給されるフィルタ基底  $E_n^m(s)$ 、および、実測された伝達関数  $G(p | s)$  を用いて、上述の式 (15) を演算する。これにより、指向性基底算出部 3 3 は、指向性基底  $A_n^m(p)$  を算出して展開係数特定部 3 4 に供給する。

20

【0112】

ステップ S 1 3 において、展開係数特定部 3 4 は、ステップ S 1 2 で指向性基底算出部 3 3 から供給される指向性基底  $A_n^m(p)$  に対し、設定された所望音圧の特性  $d(p)$  を用い、上述の式 (12) に基づいて、展開係数  $a_{nm}$  を特定する。そして、展開係数特定部 3 4 は、特定した展開係数  $a_{nm}$  をフィルタ係数演算部 3 5 に供給する。

【0113】

ステップ S 1 4 において、フィルタ係数演算部 3 5 は、ステップ S 1 1 でフィルタ基底選択部 3 2 から供給されるフィルタ基底  $E_n^m(s)$ 、および、ステップ S 1 3 で展開係数特定部 3 4 から供給される展開係数  $a_{nm}$  を用いて、上述の式 (13) を演算する。これにより、フィルタ係数演算部 3 5 は、フィルタ係数  $w(s)$  を求めてフィルタ係数設定部 3 6 に供給し、そのフィルタ係数  $w(s)$  がフィルタ係数設定部 3 6 によりフィルタ 1 3 に設定されると、処理は終了される。

30

【0114】

以上のように、フィルタ係数決定装置 3 1 により決定されるフィルタ係数  $w(s)$  は、上述した式 (13) 式に示すように、フィルタ基底  $E_n^m(s)$  の線形和である。また、例えば、ある次数  $n$  および次数  $m$  の組み合わせを決めてフィルタ基底  $E_n^m(s)$  を 1 つずつ用いて円筒形アレイ 2 1 を鳴動させたときに周囲で観測される指向性は、指向性基底  $A_n^m(p)$  に従ったものとなる。ここで、指向性基底  $A_n^m(p)$  は、各次数における指向性のパターンだけではなく、音を放射する際のエネルギーも表現している。

40

【0115】

これは、同じ大きさでスピーカ素子 1 4 を鳴動させたときの放射効率を与える。例えば、放射効率が低い場合は、ある制御点で音を聞くために大きな音を各スピーカ素子 1 4 に与えなければならないことを意味する。この場合、スピーカ素子 1 4 が歪んでしまい、音が悪化するだけでなく、指向性が再現されないこととなる。

【0116】

そこで、フィルタ係数決定装置 3 1 では、上述したように次数  $n$  および次数  $m$  ごとの放射効率を、指向性基底  $A_n^m(p)$  として事前に知ることができるため、例えば、放射効率の低い次数については使用せずに指向性を作るということが可能となる。このように

50

して指向性を作ること、円筒形アレイ 2 1 は、歪のない自然な再生を行うことができる。

【 0 1 1 7 】

また、円筒形アレイ 2 1 は、円形アレイと比較して上下方向にも指向性を制御することができるという利点がある。さらに、円筒形アレイ 2 1 は、同じ指向性パターンのまま、方向に回転を行うことができるという利点がある。この利点は、音場の解析などを行う際に、同じエネルギーを各方向に放射することができるため、音場の解析などに適用することが有益である。

【 0 1 1 8 】

以上のように、本実施の形態における円筒形アレイ 2 1 は、通常のスピーカ素子 1 4 が複数個並べられて構成されており、上述したようにフィルタ係数  $w(s)$  を決定することにより、高域成分のみならず通常の音声帯域であっても指向性を形成することが可能である。そして、このような円筒形アレイ 2 1 を家庭内で利用する音声コントロール端末に適用することにより、例えば、クラウド上で提供される人工知能アシスタントサービスとの会話などにおいて、会話を行っているユーザにのみに聞こえるように音を伝えることが実現可能となる。また、例えば、会話しているユーザを特定することにより、そのユーザの耳の特性が劣化していることが認識された場合、その特性を補うように、円筒形アレイ 2 1 からユーザに向かう方向の周波数特性を補正することなどが実現可能となる。

【 0 1 1 9 】

ここで、例えば、円筒形アレイ 2 1 の鉛直方向のフィルタ係数展開に対して、平面波展開を行う場合、フィルタ基底  $E_n^m(s)$  は直交している。一方で、多重極展開の場合のフィルタ基底  $E_n^m(s)$  は直交していない。そのため、上述した式 ( 1 4 ) および式 ( 1 5 ) の関係が多重極展開の場合、満たされない。ただし、本実施の形態では、伝達関数  $G(\omega | s)$  が実測データに基づいているため、この違いは大きな問題とはならない。

【 0 1 2 0 】

それに対し、円筒形アレイ 2 1 の鉛直方向のフィルタ係数展開に対して、多重極展開を用いた場合の指向性基底  $A_n^m(\theta_0)$  は、従来の球面調和関数  $Y_n^m(\theta_0)$  と関係付けられるため、放射効率を表現している式 ( 6 ) で用いる係数  $b_n$  を擬似的に求めることができる。ただし、厳密には多重極展開を用いた場合は、係数  $b_{n,m}$  となり、次数  $n$  および次数  $m$  に依存する値となる。

【 0 1 2 1 】

一方で、平面波展開をする場合は円筒座標系を考えているため、球面調和関数  $Y_n^m(\theta_0)$  と対応づけることができない。したがって、係数  $b_{n,m}$  を求めることができない。ただし、指向性基底  $A_n^m(\theta_0)$  自体が放射効率を表現しているため、例えば、各次数ごとの指向性基底  $A_n^m(\theta_0)$  の最大値が 1 となるように計算することで、放射効率が明確になる。

【 0 1 2 2 】

また、同じ所望音圧の特性  $d(\theta_0)$  をそれぞれの場合の指向性基底  $A_n^m(\theta_0)$  で得られた展開係数  $a_{n,m}$  を用いて、それぞれの場合のフィルタ基底  $E_n^m(s)$  で計算し、得られたそれぞれのフィルタ係数  $w(s)$  で円筒形アレイ 2 1 を駆動したときに得られる結果は同じである。ただし、L 1 ノルム正則化または L 2 ノルム正則化を考慮しない場合のみである。そのため、平面波展開、あるいは多重極展開の選択に関しては、どちらとも効果は一緒である。

【 0 1 2 3 】

< コンピュータの構成例 >

なお、上述のフローチャートを参照して説明した各処理は、必ずしもフローチャートとして記載された順序に沿って時系列に処理する必要はなく、並列的あるいは個別に実行される処理 ( 例えば、並列処理あるいはオブジェクトによる処理 ) も含むものである。また、プログラムは、単一の CPU により処理されるものであっても良いし、複数の CPU によって

10

20

30

40

50

分散処理されるものであっても良い。

【0124】

また、上述した一連の処理（フィルタ係数決定方法）は、ハードウェアにより実行することもできるし、ソフトウェアにより実行することもできる。一連の処理をソフトウェアにより実行する場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、専用のハードウェアに組み込まれているコンピュータ、または、各種のプログラムをインストールすることで、各種の機能を実行することが可能な、例えば汎用のパーソナルコンピュータなどに、プログラムが記録されたプログラム記録媒体からインストールされる。

【0125】

図7は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するコンピュータのハードウェアの構成例を示すブロック図である。

10

【0126】

コンピュータにおいて、CPU（Central Processing Unit）101、ROM（Read Only Memory）102、RAM（Random Access Memory）103は、バス104により相互に接続されている。

【0127】

バス104には、さらに、入出力インタフェース105が接続されている。入出力インタフェース105には、キーボード、マウス、マイクロホンなどよりなる入力部106、ディスプレイ、スピーカなどよりなる出力部107、ハードディスクや不揮発性のメモリなどよりなる記憶部108、ネットワークインタフェースなどよりなる通信部109、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、或いは半導体メモリなどのリムーバブルメディア111を駆動するドライブ110が接続されている。

20

【0128】

以上のように構成されるコンピュータでは、CPU101が、例えば、記憶部108に記憶されているプログラムを、入出力インタフェース105及びバス104を介して、RAM103にロードして実行することにより、上述した一連の処理が行われる。

【0129】

コンピュータ（CPU101）が実行するプログラムは、例えば、磁気ディスク（フレキシブルディスクを含む）、光ディスク（CD-ROM（Compact Disc-Read Only Memory）、DVD（Digital Versatile Disc）等）、光磁気ディスク、もしくは半導体メモリなどよりなるパッケージメディアであるリムーバブルメディア111に記録して、あるいは、ローカルエリアネットワーク、インターネット、デジタル衛星放送といった、有線または無線の伝送媒体を介して提供される。

30

【0130】

そして、プログラムは、リムーバブルメディア111をドライブ110に装着することにより、入出力インタフェース105を介して、記憶部108にインストールすることができる。また、プログラムは、有線または無線の伝送媒体を介して、通信部109で受信し、記憶部108にインストールすることができる。その他、プログラムは、ROM102や記憶部108に、あらかじめインストールしておくことができる。

【0131】

なお、本実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本開示の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。また、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、他の効果があってもよい。

40

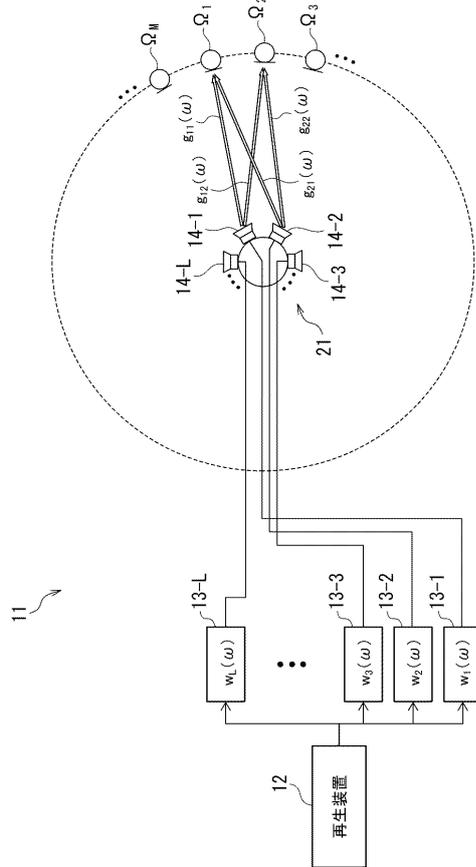
【符号の説明】

【0132】

11 音響システム， 12 再生装置， 13 フィルタ， 14 スピーカ素子，  
21 円筒形アレイ， 31 フィルタ係数決定装置， 32 フィルタ基底選択部，  
33 指向性基底算出部， 34 展開係数特定部， 35 フィルタ係数演算部，  
36 フィルタ係数設定部

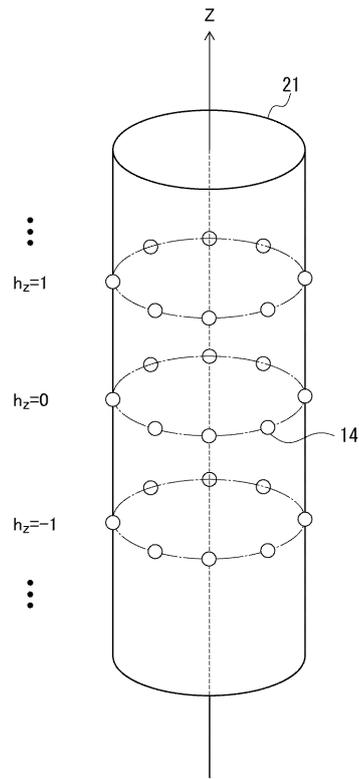
【 図 1 】

FIG. 1



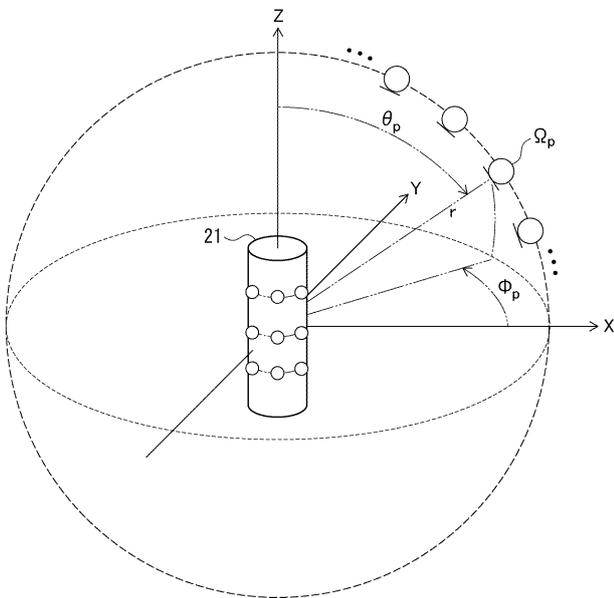
【 図 2 】

FIG. 2



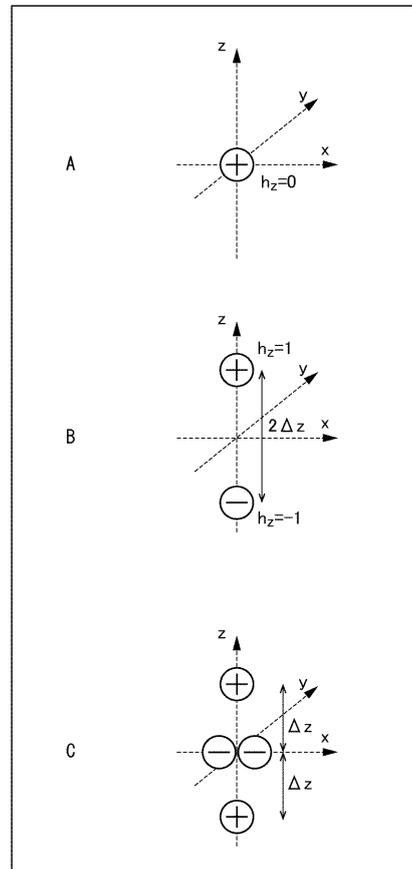
【 図 3 】

FIG. 3



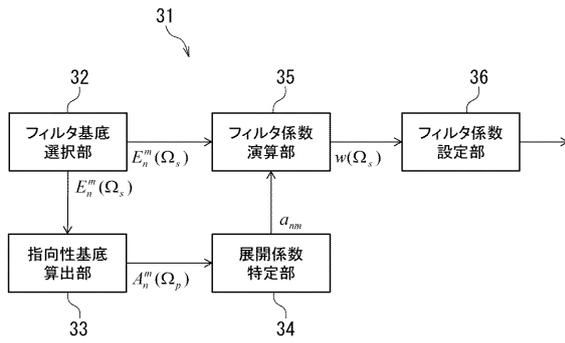
【 図 4 】

FIG. 4



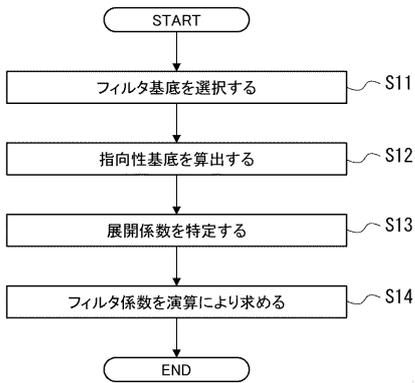
【 図 5 】

FIG. 5



【 図 6 】

FIG. 6



【 図 7 】

FIG. 7

