

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4214834号
(P4214834)

(45) 発行日 平成21年1月28日 (2009. 1. 28)

(24) 登録日 平成20年11月14日 (2008. 11. 14)

(51) Int. Cl.	F 1
HO 4 R 3/12 (2006. 01)	HO 4 R 3/12 Z
HO 4 R 1/40 (2006. 01)	HO 4 R 1/40 3 1 O

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2003-131538 (P2003-131538)	(73) 特許権者	000004075
(22) 出願日	平成15年5月9日 (2003. 5. 9)		ヤマハ株式会社
(65) 公開番号	特開2004-336530 (P2004-336530A)		静岡県浜松市中区中沢町 1 〇 番 1 号
(43) 公開日	平成16年11月25日 (2004. 11. 25)	(74) 代理人	100102635
審査請求日	平成17年1月25日 (2005. 1. 25)		弁理士 浅見 保男
		(74) 代理人	100106459
			弁理士 高橋 英生
		(74) 代理人	100105500
			弁理士 武山 吉孝
		(74) 代理人	100103735
			弁理士 鈴木 隆盛
		(72) 発明者	臼井 章
			静岡県浜松市中沢町 1 〇 番 1 号 ヤマハ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アレースピーカーシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、
全周波数帯域にわたり平坦な振幅特性を有し、低周波数領域における位相回転量が 0 度であり、周波数が高くなるに従い位相回転量が増加して、高周波数領域における位相回転量が 180 度となる位相特性を有するオールパスフィルターを有し、

ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットに対しては、前記オールパスフィルターを経由した信号にその重み係数の絶対値による重みを付加して駆動し、

ベッセル関数に基づく重み係数が正の値となる前記スピーカユニットに対しては、その重み係数による重みを付加して駆動するようにしたことを特徴とするアレースピーカーシステム。

【請求項 2】

複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、
全周波数帯域にわたり平坦な振幅特性を有し、低周波数領域における位相回転量が 0 度であり、周波数が高くなるに従い位相回転量が増加して、高周波数領域における位相回転量が 180 度となる位相特性を有するオールパスフィルターと、

ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットそれぞれに対応して設けられ、前記オールパスフィルターを経由した信号が入力され、高周波数領域の信号に対しその重み係数の絶対値に対応するゲイン特性を付与して、対応するスピーカユ

10

20

ニットを駆動する手段と、

ベッセル関数に基づく重み係数が正の値となる前記スピーカーユニットそれぞれに対応して設けられ、高周波数領域の信号に対しその重み係数に対応するゲイン特性を付与して、対応するスピーカーユニットを駆動する手段と

を有することを特徴とするアレースピーカーシステム。

【請求項 3】

複数のスピーカーユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、

ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカーユニットに対しては、低周波数領域におけるゲインが 0 dB であり、高周波数領域においてそのスピーカーユニットに対応する重み係数の絶対値に対応するゲインとなる振幅特性を有し、低周波数領域における位相回転量が 0 度であり、周波数が高くなるに従い位相回転量が増加して、高周波数領域における位相回転量が 180 度となる位相特性を有する第 1 の種類のフィルターを介して駆動し、

10

ベッセル関数に基づく重み係数が正の値となる前記スピーカーユニットに対しては、低周波数領域におけるゲインが 0 dB であり、高周波数領域においてそのスピーカーユニットに対応する重み係数に対応するゲインとなる振幅特性を有し、全周波数帯域において位相回転量が小さい位相特性を有する第 2 の種類のフィルターを介して駆動する

ことを特徴とするアレースピーカーシステム。

【請求項 4】

前記オールパスフィルター又は前記第 1 の種類のフィルターは、前記複数のスピーカーユニットの配列の幅に相当する波長に対応する周波数の近傍の周波数において、その位相回転量が 90 度となるように設定されているものであることを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載のアレースピーカーシステム。

20

【請求項 5】

前記複数のスピーカーユニットは、共通エンクロージャーに取り付けられていることを特徴とする請求項 1～4 のいずれかに記載のアレースピーカーシステム。

【請求項 6】

前記複数のスピーカーユニットは、バスレフ形の共通エンクロージャーに取り付けられていることを特徴とする請求項 1～4 のいずれかに記載のアレースピーカーシステム。

【発明の詳細な説明】

30

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、複数のスピーカーユニットが 1 次元又は 2 次元のアレー状に配置されるアレースピーカーシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】

複数のスピーカーを規則正しく並べて音を出すアレースピーカーシステムが知られている。このようなアレースピーカーシステムにおいては、複数個のスピーカーを使うことによる弊害として、音の周波数が高くなるにつれ、放射特性にビーム化や櫛状化（櫛の歯状に拡散する状態）が現れ、それが周波数によって変動することによって、放射中心以外で高音が聞こえなくなったり、聞く場所によって周波数特性が暴れたりといった現象が起こる。

40

図 12 は、15 個のスピーカーユニットを 2.5cm 間隔で直線状に縦に並べ、各スピーカーユニットから同位相で音を放射したときの放射特性のシミュレーション結果を示す図である。この図において、(a)～(e) は、それぞれ、500Hz, 1000Hz, 5000Hz, 10kHz, 15kHz における水平断面、垂直断面及びスピーカーシステムの前面から距離 2 m の投影面における放射特性を示している。ここで、図中色の白い部分ほど音圧が高いことを示している。

この図に示すように、数 kHz 以上の周波数において、放射特性のビーム化や櫛状化が顕著となっている。

50

【0003】

このような現象を回避する為、規則正しく並んだスピーカー列に第1種ベッセル関数に基づく係数列で重み付けを行うことにより、音の放射特性を球面状にする、ベッセルアレーという手法が知られている。また、特許文献1には、簡略化されたベッセルアレーが開示されている。

【0004】

図13は、ベッセルアレーが適用されたアレースピーカースステムの要部構成を示す図である。この図に示したアレースピーカースステムは、15個のスピーカーユニットを有するものとされており、11-1～11-15は所定の間隔d（例えば、d=2.5cm）をもって直線状に配列されたスピーカーユニット、12-1～12-15はそれぞれ対応するスピーカーユニット11-1～11-15に供給される信号に対して重み係数C1～C15による重みを付加する重み付け手段である。なお、重み付け手段12-1～12-15とそれぞれ対応するスピーカーユニット11-1～11-15との間にはそれぞれパワーアンプが挿入されるのが通常であるが、本明細書においては図示を省略することとする。また、前記重み付け手段12-1～12-15としては、重み係数に対応するゲインを有する増幅器などを用いることができる。

10

【0005】

ここで、前記重み係数C1～C15は、次式で定義される第1種ベッセル関数により導き出される。

【数1】

20

$$J_n(x) = \left(\frac{x}{2}\right)^n \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (x/2)^{2k}}{k! \Gamma(n+k+1)}$$

この例のように15個のスピーカーユニットを使用する場合には、例えば、 $J_{-7}(x) \sim J_7(x)$ の値が使用される。ここで、 $x=6.0$ として導き出すとした場合には、 $C1=J_{-7}(6)=-0.1296$ 、 $C2=J_{-6}(6)=0.2458$ 、 $C3=J_{-5}(6)=-0.3621$ 、 $C4=J_{-4}(6)=0.3576$ 、 $C5=J_{-3}(6)=-0.1148$ 、 $C6=J_{-2}(6)=-0.2429$ 、 $C7=J_{-1}(6)=0.2767$ 、 $C8=J_0(6)=0.1506$ 、 $C9=J_1(6)=-0.2767$ 、 $C10=J_2(6)=-0.2429$ 、 $C11=J_3(6)=0.1148$ 、 $C12=J_4(6)=0.3576$ 、 $C13=J_5(6)=0.3621$ 、 $C14=J_6(6)=0.2458$ 、 $C15=J_7(6)=0.1296$ である。

30

【0006】

図14は、スピーカーユニット11-1～11-15を、上記第1種ベッセル関数に基づく重み係数C1～C15による重みを付加して駆動したときの放射特性のシミュレーション結果を示す図であり、(a)～(e)は、それぞれ、500Hz、1000Hz、5000Hz、10kHz、15kHzにおける水平断面、垂直断面及びスピーカースステムの前面から距離2mの投影面における放射特性を示している。

図12と図14との比較から明らかなように、ベッセルアレーの場合には、放射特性のビーム化や楕円化は見られず、球面特性になっていることがわかる。このように、各スピーカーユニットをベッセル関数に基づく重み係数で重み付けして駆動することは放射特性のビーム化、楕円化を防止する上で有効な手法である。

40

【0007】

【特許文献1】

特公平1-25480号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

上述のように、ベッセルアレーによれば、放射特性のビーム化や楕円化を防止することができる。

しかし、ベッセル関数に基づく重み係数列(C1～C15)には負の値をとるものも含まれているために、低周波数領域での放射効率が悪くなり、低音再生が働かなくなるという問

50

題点がある。このことは、複数のスピーカユニットが共通エンクロージャー、あるいはバスレフ形の共通エンクロージャーに取り付けられたアレースピーカーシステムにおいては、特に悪い結果をもたらす。

そこで、本発明は、低周波数領域から高周波数領域まで、放射特性のビーム化や櫛状化を防止しつつ、効率良く音を放射することができるアレースピーカーシステムを提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のアレースピーカーシステムは、複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、全周波数帯域にわたり平坦な振幅特性を有し、低周波数領域における位相回転量が0度であり、周波数が高くなるに従い位相回転量が増加して、高周波数領域における位相回転量が180度となる位相特性を有するオールパスフィルターを有し、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットに対しては、前記オールパスフィルターを経由した信号にその重み係数の絶対値による重みを付加して駆動し、ベッセル関数に基づく重み係数が正の値となる前記スピーカユニットに対しては、その重み係数による重みを付加して駆動するようにしたものである。

また、本発明の他のアレースピーカーシステムは、複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、全周波数帯域にわたり平坦な振幅特性を有し、低周波数領域における位相回転量が0度であり、周波数が高くなるに従い位相回転量が増加して、高周波数領域における位相回転量が180度となる位相特性を有するオールパスフィルターと、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットそれぞれに対応して設けられ、前記オールパスフィルターを経由した信号が入力され、高周波数領域の信号に対しその重み係数の絶対値に対応するゲイン特性を付与して、対応するスピーカユニットを駆動する手段と、ベッセル関数に基づく重み係数が正の値となる前記スピーカユニットそれぞれに対応して設けられ、高周波数領域の信号に対しその重み係数に対応するゲイン特性を付与して、対応するスピーカユニットを駆動する手段とを有するものである。

さらにまた、本発明のさらに他のアレースピーカユニットは、複数のスピーカユニットが配列されたアレースピーカーシステムであって、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となる前記スピーカユニットに対しては、低周波数領域におけるゲインが0dBであり、高周波数領域において、そのスピーカユニットに対応する重み係数の絶対値に対応するゲインとなる振幅特性を有し、低周波数領域における位相回転量が0度であり、周波数が高くなるに従い位相回転量が増加して、高周波数領域における位相回転量が180度となる位相特性を有する第1の種類のフィルターを介して駆動し、ベッセル関数に基づく重み係数が正の値となる前記スピーカユニットに対しては、低周波数領域におけるゲインが0dBであり、高周波数領域において、そのスピーカユニットに対応する重み係数に対応するゲインとなる振幅特性を有し、全周波数帯域において位相回転量が小さい位相特性を有する第2の種類のフィルターを介して駆動するものである。

ここで、前記オールパスフィルター又は前記第1の種類のフィルターは、前記複数のスピーカユニットの配列の幅に相当する波長に対応する周波数の近傍の周波数において、その位相回転量が90度となるように設定されているものであるとより良い。

【0011】

さらにまた、上記各アレースピーカーシステムにおいて、前記複数のスピーカユニットは、共通エンクロージャー又はバスレフ形の共通エンクロージャーに取り付けられているものである。

【0012】

【発明の実施の形態】

まず、本発明のアレースピーカーシステムの基本的な原理について説明する。

前記図12に示した放射特性からわかるように、全スピーカユニットから同位相で音

を放射したときに、ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付与しなくても、低周波数領域（図12の場合は1kHz以下）では、音のビーム化や櫛状化は見られない。そこで、本発明においては、音のビーム化や櫛状化が問題とならない低周波数領域では、各スピーカーユニットを正相で駆動することにより放射効率の低下を防止し、音のビーム化、櫛状化が発生する高周波数領域については、ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加して駆動する。これにより、低周波数領域から高周波数領域までビーム化、櫛状化を防ぎながら、効率良く音を放射することが出来るようになる。

以下、低周波数領域ではスピーカーユニットを正相で駆動し、高周波数領域においてはベッセル関数に基づく重み係数を付与して駆動するようにした本発明のアレースピーカーシステムの各実施の形態について説明する。

10

【0013】

図1は、本発明のアレースピーカーシステムの第1の実施の形態の要部構成を示す図である。なお、以下の説明では、前述と同様に15個のスピーカーユニットを有するアレースピーカーシステムを例にとって説明することとし、ベッセル関数に基づく重み係数が前述したC1～C15であるものとして説明するが、本発明は、複数個（例えば、5個以上）のスピーカーユニットを有するアレースピーカーシステムに対して同様に適用することができ、重み係数も他の値であってもかまわない。

この実施の形態は、各スピーカーユニットを低周波数領域では正相で駆動し、高周波数領域ではベッセル関数に基づく重み係数で重み付けして駆動するために、高周波数領域になると位相が180°回転するオールパスフィルターを用いるようにしたものである。

20

【0014】

図1において、1-1～1-15は所定の間隔d（例えば、d=2.5cm）をもって配列されたスピーカーユニット、2-1～2-15はそれぞれ対応するスピーカーユニット1-1～1-15に供給される信号に第1種ベッセル関数に基づく重み係数による重みを付加する重み付け手段であり、それぞれ前述の1-1～1-15及び2-1～2-15に対応するものである。ただし、この重み付け手段2-1～2-15における重み係数は、前記図13の場合とは異なり、その絶対値とされている。すなわち、前記図13の場合には、C1、C3、C5、C6、C9及びC10は負の値であったが、図1における重み付け手段2-1、2-3、2-5、2-6、2-9及び2-10においては、それぞれの重み係数の絶対値C1'、C3'、C5'、C6'、C9'及びC10'による重みが付与される。

30

【0015】

また、3は、振幅特性が対象となる全周波数帯域にわたり平坦で、位相特性が、低周波数領域では位相回転が0°で高周波数になるにしたがって180°回転して逆相になるように設定されたオールパスフィルターである。

図2の(a)に前記オールパスフィルター3の一構成例を示し、(b)にその位相特性を示す。この図に示すように、このオールパスフィルター3は、低周波数においては位相回転量が0°であり、周波数が高くなるにつれて位相回転量が徐々に大きくなって約700Hzで位相回転量が90°となり、10kHzより高い周波数で180°となる位相特性を有している。

40

【0016】

図1において、信号入力端からの入力信号は、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値である重み付け手段2-2、2-4、2-7、2-8、2-11、2-12、2-13、2-14及び2-15に対しては直接に入力され、前記重み付け手段2-1、2-3、2-5、2-6、2-9及び2-10に対しては、前記オールパスフィルター3を経由した信号が入力されるようになされている。そして、それぞれの重み付け手段2-1～2-15において、それぞれ対応する重み係数により重み付けされてスピーカーユニット1-1～1-15に出力される。

すなわち、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値であるスピーカーユニット（1-2、1-4、1-7、1-8、1-11～1-15）に対しては、それぞれの重み付け手

50

段で対応する重みが付与された信号が出力される。また、前記ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となるスピーカユニット（1-1, 1-3, 1-5, 1-6, 1-9及び1-10）に対してそれぞれの重み付け手段で付与される重みは、前記オールパスフィルター3による位相回転量が90°を超えない低周波数領域の信号に対しては、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値であるスピーカユニットに付与される重みと同相（同じ符号）となる。一方、前記オールパスフィルター3による位相回転量が90°を超える高周波数領域においては、前記ベッセル関数に基づく重み係数が正の値であるスピーカユニットに付与される重みとは逆相（逆の符号）となる。

これにより、高周波数領域においては、ベッセル係数に基づく重み係数が負の値となるスピーカユニットに対し負の重み係数による重みが付与されることとなり、ベッセル関数に基づく重み係数が利用されることとなる。一方、低周波数領域においてはすべてのスピーカユニットから同相で信号が出力されることとなり、低音が十分に再生出力されることとなる。

【0017】

図3は、この実施の形態における放射特性のシミュレーション結果を示す図であることを示す図であり、(a)～(e)は、それぞれ、500Hz, 1000Hz, 5000Hz, 10kHz, 15kHzにおける水平断面、垂直断面及びスピーカシステムの前面から距離2mの投影面における放射特性を示している。

この図と前記図12とを比較すると明らかなように、本実施の形態において、放射特性のビーム化や櫛状化が十分に防止されていることがわかる。

【0018】

なお、前記オールパスフィルター3は、前記図2に示したようなアナログフィルターに限られることなく、前後にA/Dコンバーター、D/Aコンバーターを有するデジタルフィルターによっても構成することが可能である。

例えば、図2に示したアナログオールパスフィルター3の伝達関数 $H(S) = (1 - CRS) / (1 + CRS)$ を $S = 2 / T^* (1 - Z^{-1}) / (1 + Z^{-1})$ と置く双1次変換によってZ領域へ変換すると、 $H(Z) = (T - 2CR) + (T + 2CR)Z^{-1} / ((T + 2CR) + (T - 2CR)Z^{-1})$ となり、 $C = 0.047 \mu F$ 、 $R = 4.7k\Omega$ 、サンプリング周波数 $f_s = 48kHz$ とすると、 $H(Z) = (-420 * 10^{-1} + (460 * 10^{-1})Z^{-1}) / (460 * 10^{-1} + (-420 * 10^{-1})Z^{-1})$ となる。

このデジタルフィルターは、図4の(a)に示すIIRフィルターで構成することができ、図4の(b)に示す位相特性を有する。

【0019】

さて、上述したベッセル関数に基づく重み係数は各スピーカユニットで異なっており、例えば上述したC1～C15の場合、最大値であるC3＝－0.3621に対して最小値のC5＝－0.1148では約3.15倍ゲインが異なっている。したがって、ベッセル関数に基づく係数による重み付けが必要無い低周波数領域の音の変換効率も同時に落ちてしまうこととなる。

そこで、このような不都合を防止するようにした本発明の他の実施の形態について、図5～図7を参照して説明する。

この実施の形態は、前記重み付け手段として、低周波数領域におけるゲインは等しく、高周波数領域になるにつれて前述したベッセル関数に基づく重み係数に対応したゲインを有するようになされたフィルターを用いるものである。すなわち、基準となるスピーカユニットを定め、この基準となるスピーカユニットについては、平坦なゲイン特性を与える。そして、他のスピーカユニットについては、低周波数領域のゲインは該基準となるスピーカユニットと等しく、高周波数領域については前記基準となるスピーカユニットの重み係数とそのスピーカユニットの重み係数との比に対応したゲインとなるゲイン特性を有するフィルターを重み付け手段として使用する。なお、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値となるスピーカユニットに対してはオールパスフィルター3の出力が入力されるようにする点は前述した実施の形態と同様である。

【0020】

図5において、1-1~1-15は前述したスピーカユニット、3は前述したオールパスフィルター、4-1~4-15は、各スピーカユニット1-1~1-15に対して重みを付加するための回路である。ここで、この例では、スピーカユニット1-1（係数 $C1'=0.1296$ ）を基準となるスピーカユニットとしている。係数 $C15=C1'$ であるため、スピーカユニット1-15も基準となる。したがって、4-1と4-15は、それぞれ基準となるスピーカユニット1-1及び1-15に信号を供給する周波数特性が平坦なアンプである。

また、スピーカユニット1-2~1-4, 1-6~1-10, 1-12~1-14に対応する重み係数の絶対値は、前記基準となるスピーカユニットの重み係数の絶対値0.1296よりも大きい値であるため、4-2, 4-3, 4-4, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-12, 4-13及び4-14はゲイン特性が低周波数領域では平坦であり、高周波数領域では前記基準となる係数 $C1$ （ $C15$ ）とのその係数との比に対応してゲインが上昇するシェルピングタイプのハイパスフィルターである。

さらに、スピーカユニット1-5と1-11に対応する重み係数の絶対値はいずれも0.1148であり、前記基準となる重み係数0.1296よりも小さいため、4-5及び4-11はゲイン特性が低周波数領域では平坦であり、高周波数領域ではその重み係数と前記基準となる係数 $C1$ との比に対応する分だけ減少するシェルピングタイプのハイカットフィルターである。

【0021】

図6の(a)は前記アンプ4-1及び4-15の構成例を示す図、図6の(b)は前記ハイパスフィルター4-2, 4-3, 4-4, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-12, 4-13及び4-14の構成例を示す図、図6の(c)は前記ハイカットフィルター4-5及び4-11の構成例を示す図である。

(a)~(c)に示す各回路において、直流ゲイン（すなわち、低周波数領域におけるゲイン）は抵抗 $R2$ と $R1$ の比（ $R2/R1$ ）により決定され、前記各回路4-1~4-15において、抵抗 $R1$ として同じ値のものが使用されており、また、抵抗 $R2$ も同じの値のものとされている。したがって、各スピーカユニット1-1~1-15に供給される信号の低周波数領域のゲインは同一となる。具体例を挙げれば、 $R1=33k\Omega$, $R2=47k\Omega$ とされており、直流ゲインは、 $20\log(47/33)=3.07\text{dB}$ となる。

【0022】

また、(b)ハイパスフィルター及び(c)ハイカットフィルターにおける高周波数領域のゲインは、それぞれにおいて対応する重み係数の絶対値と前記基準とされている重み係数値（0.1296）との比に対応したゲインとなるよう、抵抗 $R3$ とコンデンサ C の値が選択される。

例えば、ハイパスフィルター4-2については、重み係数 $C2=0.2458$ であるため、高周波数領域のゲインが前記基準となるアンプ4-1に対して $20\log(0.2458/0.1296)=5.56\text{dB}$ だけ高い値（ $3.07+5.56=8.63\text{dB}$ ）となるように、抵抗 $R3=36k\Omega$, $C=3300\text{pF}$ と決定される。同様に、ハイパスフィルター4-3については、高周波数のゲインが $20\log(0.3621/0.1296)+3.07=12.0\text{dB}$ となるように、 $R3=18k\Omega$, $C=5600\text{pF}$ とされる。また、4-4については、ゲインが $20\log(0.3576/0.1296)+3.07=11.9\text{dB}$ となり4-3とほぼ等しいため、4-3と同じ値、 $R3=18k\Omega$, $C=5600\text{pF}$ とされる。以下、同様に、4-6については $R3=36k\Omega$, $C=3300\text{pF}$ 、4-7については $R3=30k\Omega$, $C=3900\text{pF}$ 、4-8については $R3=220k\Omega$, $C=1000\text{pF}$ 、4-9については $R3=30k\Omega$, $C=3900\text{pF}$ 、4-10については $R3=36k\Omega$, $C=3300\text{pF}$ 、4-12については $R3=18k\Omega$, $C=5600\text{pF}$ 、4-13については $R3=18k\Omega$, $C=5600\text{pF}$ 、4-14については $R3=36k\Omega$, $C=3300\text{pF}$ とされる。

さらに、ハイカットフィルター4-5と4-11については、重み係数の絶対値がともに0.1148であり、高周波数領域のゲインが前記基準となるアンプ4-1に対して $20\log(0.1148/0.1296)=-1.05\text{dB}$ の差を有する $3.07-1.05=2.02\text{dB}$ となるように、図6(c)における抵抗 $R3$ とコンデンサ C の値が $R3=360k\Omega$, $C=470\text{pF}$ と決定される。

【0023】

図7は、このようにして決定された前記4-1～4-15の各回路のゲイン特性を示す図である。この図に示すように、低周波数領域では4-1～4-15の全ての回路におけるゲインが等しくかつ平坦であり、高周波数領域でそれぞれの重み係数に対応するゲインとなっていることがわかる。

このように、この実施の形態によれば、放射特性のビーム化や楕状化が問題とならない低周波数領域においては、各スピーカユニットに同相で、かつ等しいゲインの信号が供給され、周波数が高くなるにしたがってベッセル関数に基づく重みが付与された信号が供給される。したがって、低音の放射効率が低下することを完全に防止することができる。また、放射特性のビーム化や楕状化を防止することができる。

なお、上記においては、スピーカユニット1-1を基準となるものと選択したが、これに限られることはなく、任意のスピーカユニットを基準に選択することができる。また、ハイパスフィルターやハイカットフィルターをデジタルフィルターにより構成することもできる。

【0024】

次に、上記図5～図7に示した実施の形態と同様に、低周波数領域のゲインを等しくし、高周波数領域においてベッセル関数に基づく係数で重み付けをするようにした本発明のさらに他の実施の形態について、図8～図10を参照して説明する。

この実施の形態は、例えば、前記図2に示したオールパスフィルター3において、オペアンプの出力端と反転入力との間に接続されている帰還抵抗を他の抵抗と異なる値に設定することにより、ゲインに周波数特性を持たせるようにする。そして、このフィルターを前記ベッセル関数に基づく重み係数が負の値をとるスピーカユニットに対する重み付け回路として用いることにより、ベッセル関数に基づく重み係数が負の値をとるスピーカユニットに共通に設けられたオールパスフィルター3を省略するものである。

【0025】

このようなフィルターの回路を図8の(a)に示す。

例えば、上述の重み係数C1～C15の場合、その絶対値が最大値0.3621となるC3、C13を基準として選択してこれを「1」に正規化する。このとき、例えば、C5=-0.1148は、その絶対値が $1/3.15 (=0.1148/0.3621)$ となるので、スピーカユニット1-5に対する信号は、そのゲインがスピーカユニット1-3に対して $20\log(1/3.15) = -9.97\text{dB}$ となるように調整すれば良い。

図8の(a)に示したフィルターの伝達関数は、 $H(S) = (1 - CR_2S) / (1 + CR_1S)$ となり、 $C = 0.1\mu\text{F}$ 、 $R_1 = 4.7\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 1.5\text{k}\Omega$ とすることにより、図8の(b)に示すゲイン特性及び(c)に示す位相特性となる。すなわち、直流ゲインが0dBであり、高周波数において-9.97dBとなるゲイン特性と、低周波数において位相回転が0°であり、高周波数になるにしたがって180°位相が回転する位相特性を有する。

なお、その他の重み係数についても、同様にしてそれぞれのゲイン特性に対応した回路定数を決定することができる。

【0026】

また、重み係数が正となるスピーカユニットについては、その重み係数と前記基準となる重み係数との比に応じたゲイン特性を有するフィルターを用いればよく、このフィルターは、図9の(a)に示す回路を用いて実現することができる。

例えば、C11=0.1148に対するフィルターを例にとると、図9(a)の左側のフィルターの伝達関数は、 $H(S) = -1 \cdot R_2 / R_1 \cdot (1 + CR_3S) / (1 + (CR_2 + CR_3)S)$ となり、 $R_1 = 4.7\text{k}\Omega$ 、 $R_2 = 4.7\text{k}\Omega$ 、 $R_3 = 2.7\text{k}\Omega$ 、 $C = 0.1\mu\text{F}$ と設定すると、図9(b)に示すゲイン特性及び(c)に示す位相特性となる。すなわち、直流ゲインが0dBであり、周波数が高くなるにつれ-9.97dBとなるゲイン特性となる。ここで、(c)の位相特性に示すように、位相は最大で約30度ほど回転するが全体の特性としては問題のないレベルである。

また、他の正の重み係数に対応するフィルターについても同様に回路定数を決定することができる。

【0027】

図10は、前記図8に示したフィルターと前記図9に示したフィルターを用いて構成した実施の形態の一構成例を示す図である。この実施の形態ではベッセル関数に基づく重み係数のうち最も絶対値が大きいC3とC13を基準とし、重み係数が負の値であるスピーカユニット1-3に対しては前記図2に示したような高周波数領域で位相が反転するオールパスフィルター5-3を介して信号を供給し、重み係数が正の値であるスピーカユニット1-13に対してはゲインが1であるアンプ5-13を介して（あるいはアンプ5-13を設けることなく）信号を供給する。

そして、その他のスピーカユニットのうち、重み係数が負の値となるスピーカユニット（1-1, 1-5, 1-6, 1-9及び1-10）に対しては、前記基準となる係数の絶対値（=0.3621）とそのスピーカユニットに対して付与すべき重みの係数の絶対値との比に対応した高周波数領域のゲインを有する前記図8に示したフィルターを介して信号を供給する。

一方、その他のスピーカユニットのうち、重み係数が正の値となるスピーカユニット（1-2, 1-4, 1-7, 1-8, 1-11, 1-12, 1-14及び1-15）に対しては、前記基準となる係数の絶対値とそのスピーカユニットに対して付与すべき重みの係数との比に対応した高周波数領域のゲインを有する前記図9に示したフィルターを介して信号を供給する。

【0028】

このように、この実施の形態によっても、放射特性のビーム化や楕円化が問題とならない低周波数領域においては、各スピーカユニットに同相で、かつ等しいゲインの信号が供給され、周波数が高くなるにしたがってベッセル関数に基づく重みが付与された信号が供給される。したがって、低音の放射効率が低下することを完全に防止することができる。とともに、放射特性のビーム化や楕円化を防止することができる。また、オールパスフィルターを省略することができる。

なお、上記においては、アナログフィルターを用いるものとして説明したが、アナログフィルターに限った話ではなく、前記図4の場合と同様に、S Z変換（例えば双1次変換）等で変換されたデジタルフィルターで実現することもできる。また、基準とするスピーカユニットも任意に選択することができる。

【0029】

ここで、前記オールパスフィルターや前記図8に示したフィルターにおける、位相回転の中心周波数（位相回転量が90°となる周波数）について検討する。

例えば、上述したシミュレーションに関して言えば、各スピーカユニット間の間隔dは、 $d=2.5\text{cm}$ とされ、15個のスピーカユニットを並べたものであった。したがって、15個のスピーカユニットからなるスピーカ列の幅は、 35cm （ $=2.5 \times 14$ ）になる。音速を 340m/sec でシミュレーションすると、スピーカ幅 35cm が1波長となる周波数は、 $34000/35=971\text{Hz}$ となる。

【0030】

図11は、15個のスピーカユニットをその重み付けを全て‘1’として出力したシミュレーション結果を示す図である。この図において、（a）、（b）、（c）及び（d）は、それぞれ、900Hz、1000Hz、1200Hz及び1500Hzにおける放射特性を示す。

この図から、ほぼ、スピーカユニット列の幅の波長を有する周波数（1000Hz程度）から音のビーム化が顕著になっていることがわかる。そこで、前記オールパスフィルターあるいは前記図8に示したフィルターの位相回転の中心周波数（位相が90度回転する周波数）をスピーカユニット列の幅の波長に持って来るとその周波数以上でベッセル関数に基づく重み係数での重み付けが効果を表し始め、良い結果を生むことが期待できる。

このように、オールパスフィルターの位相回転の中心周波数（90°）を、アレイスピーカシステムのスピーカユニット列の幅の波長を持つ周波数付近に設定するのが好適である。

【0033】

なお、以上の説明においては、15個のスピーカユニットを用いる場合を例にとって説明したが、本発明は、5個以上のスピーカユニットを有するアレースピーカシステムに対して全く同様に適用することができる。また、ベッセル関数に基づく重み係数の値についても、上述した例に限られることはない。

【0034】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明のアレースピーカシステムによれば、低周波数領域では各スピーカユニットを正相で駆動しているため、ベッセル関数に基づく重み係数の負の値による逆相成分により放射効率の低下を防止することができるとともに、高周波数領域ではベッセル関数に基づく重み係数より重み付けをして駆動するようにしているため音のビーム化や楕状化を防止することができる。したがって、低周波数領域から高周波数領域まで、放射特性のビーム化や楕状化を防止しつつ、効率良く音を球面状に放射することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のアレースピーカシステムの一実施の形態の要部構成を示す図である。

【図2】 (a)は前記オールパスフィルタ3の構成例を示す図であり、(b)はその位相特性を示す図である。

【図3】 図1の実施の形態における放射特性のシミュレーション結果を示す図である。

【図4】 (a)はIIRフィルタの構成例を示す図であり、(b)はその位相特性を示す図である。

20

【図5】 本発明のアレースピーカシステムの他の実施の形態の要部構成を示す図である。

【図6】 図5における各構成要素の具体的な構成例を示す図であり、(a)はアンプ、(b)はハイパスフィルタ、(c)はハイカットフィルタの構成例を示す図である。

【図7】 図5における各回路のゲイン特性を示す図である。

【図8】 本発明のアレースピーカシステムのさらに他の実施の形態に用いられるフィルタを示す図であり、(a)は構成、(b)はゲイン特性、(c)は位相特性を示す図である。

【図9】 本発明のアレースピーカシステムのさらに他の実施の形態に用いられる他のフィルタを示す図であり、(a)は構成、(b)はゲイン特性、(c)は位相特性を示す図である。

30

【図10】 図8及び図9のフィルタを用いる本発明のアレースピーカシステムのさらに他の実施の形態の構成を示す図である。

【図11】 各スピーカユニットから重み付けを'1'として出力したときのシミュレーション結果を示す図である。

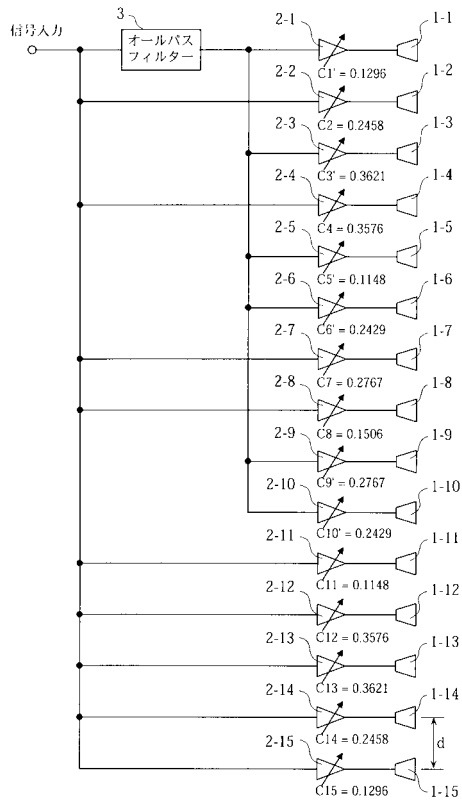
【図12】 各スピーカユニットから重み付けを'1'として出力したときのシミュレーション結果を示す図である。

【図13】 ベッセルアレーが適用されたアレースピーカシステムの要部構成を示す図である。

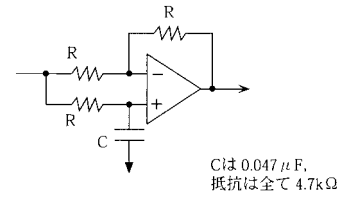
40

【図14】 ベッセルアレーの放射特性を示す図である。

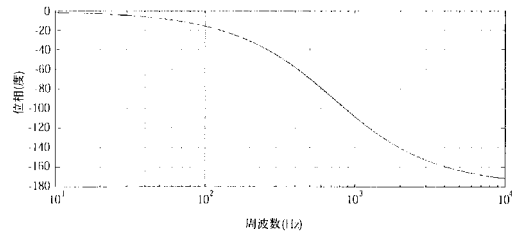
【図 1】



【図 2】

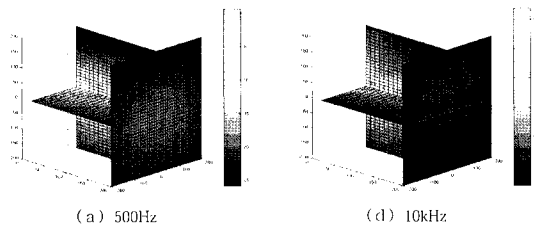


(a)



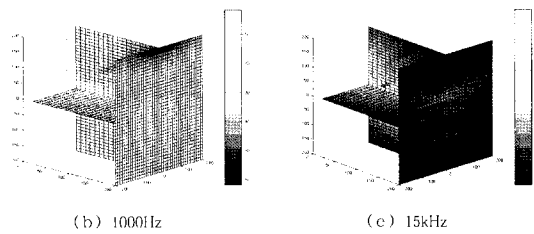
(b)

【図 3】



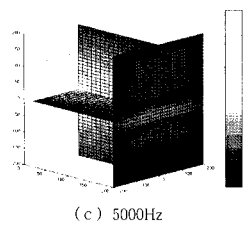
(a) 500Hz

(d) 10kHz



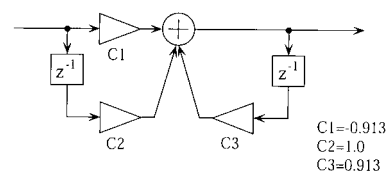
(b) 1000Hz

(c) 15kHz

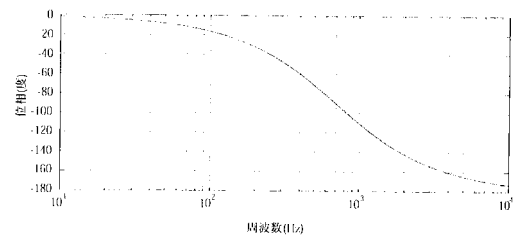


(e) 5000Hz

【図 4】

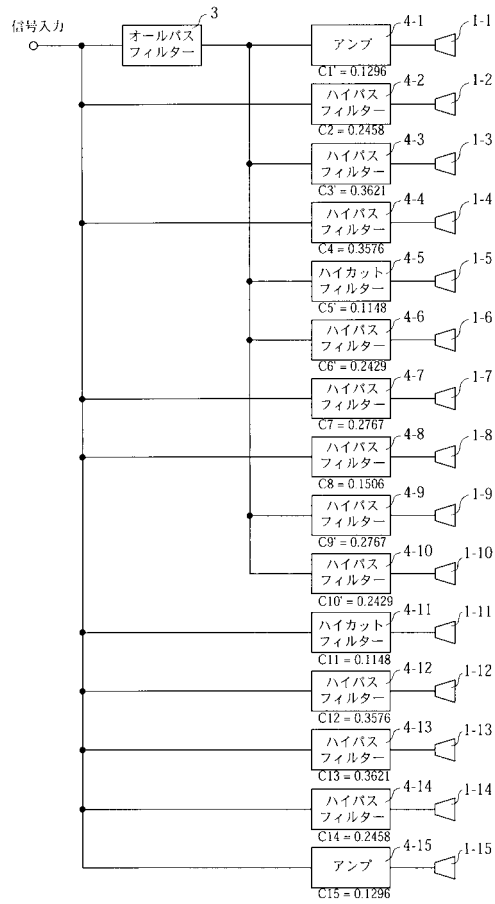


(a)

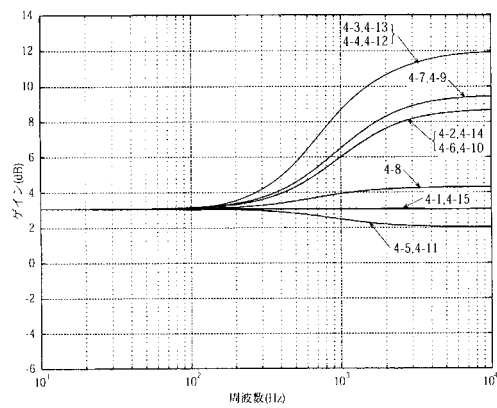


(b)

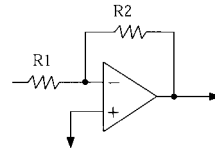
【図 5】



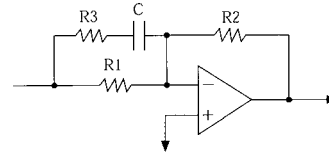
【図 7】



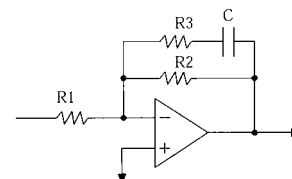
【図 6】



(a) アンプ

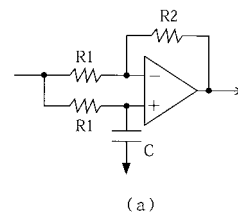


(b) ハイパスフィルター

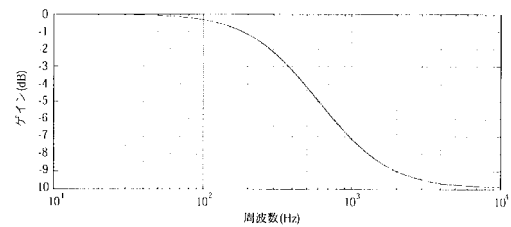


(c) ハイカットフィルター

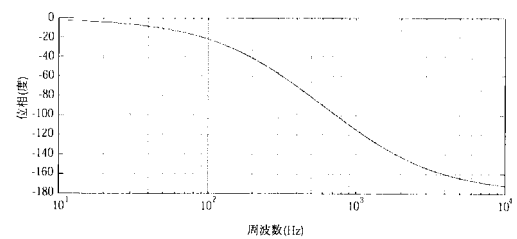
【図 8】



(a)

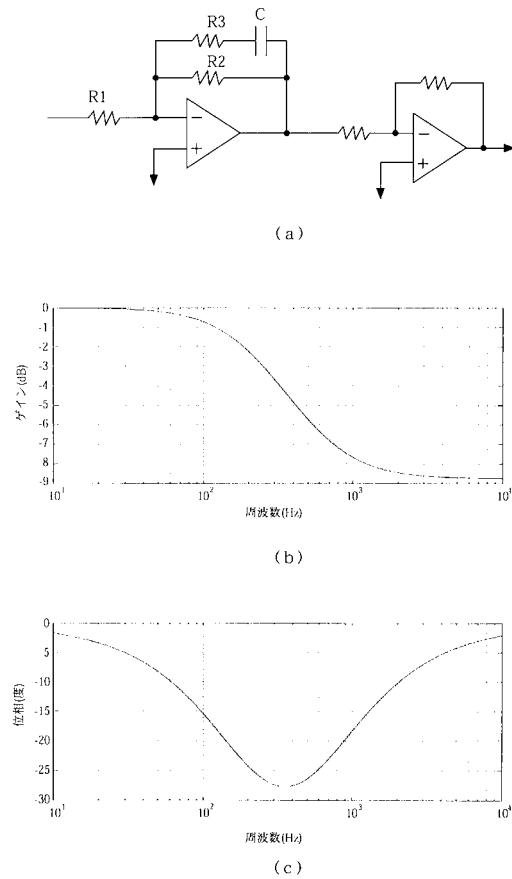


(b)

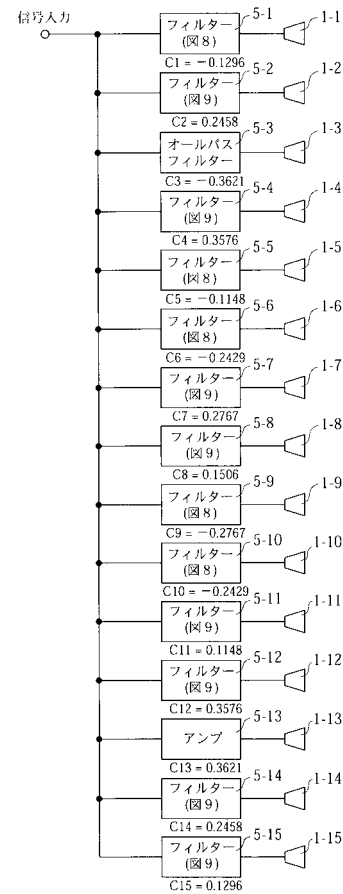


(c)

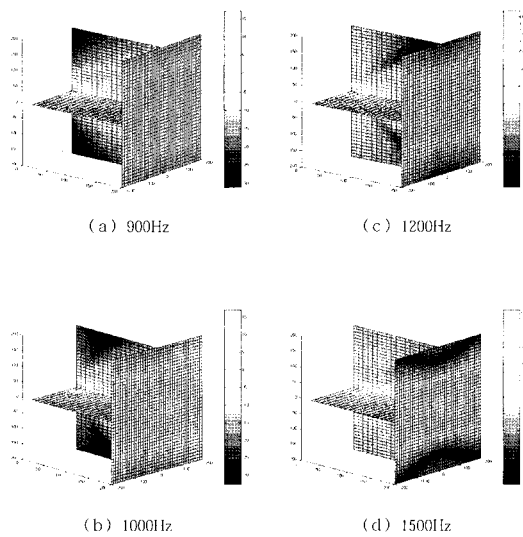
【図 9】



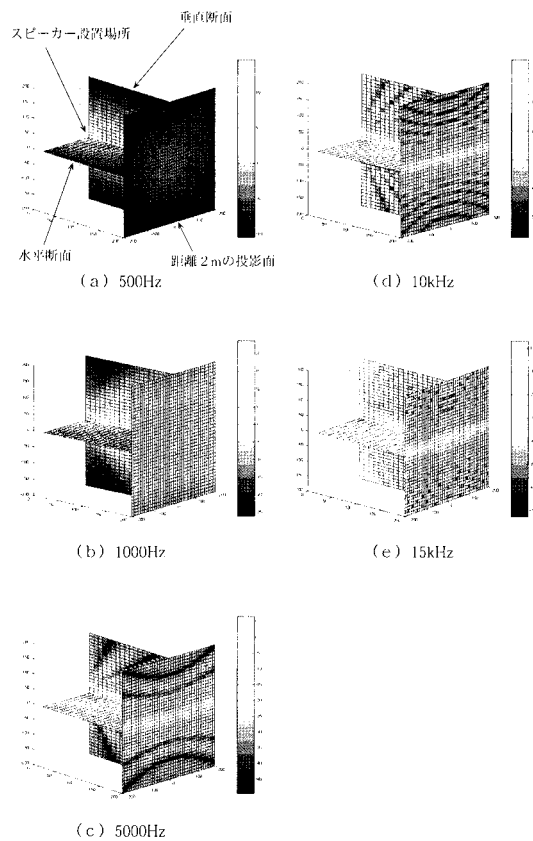
【図 10】



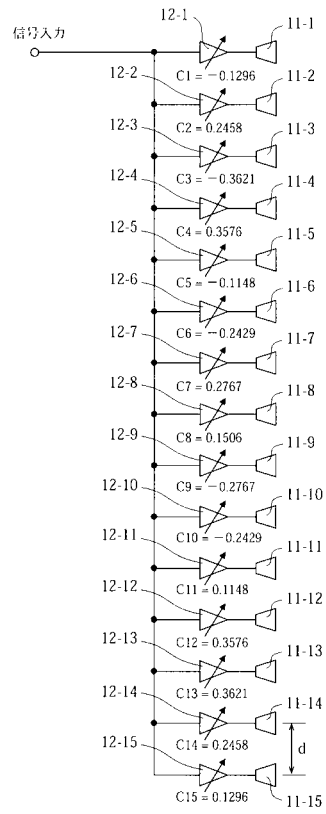
【図 11】



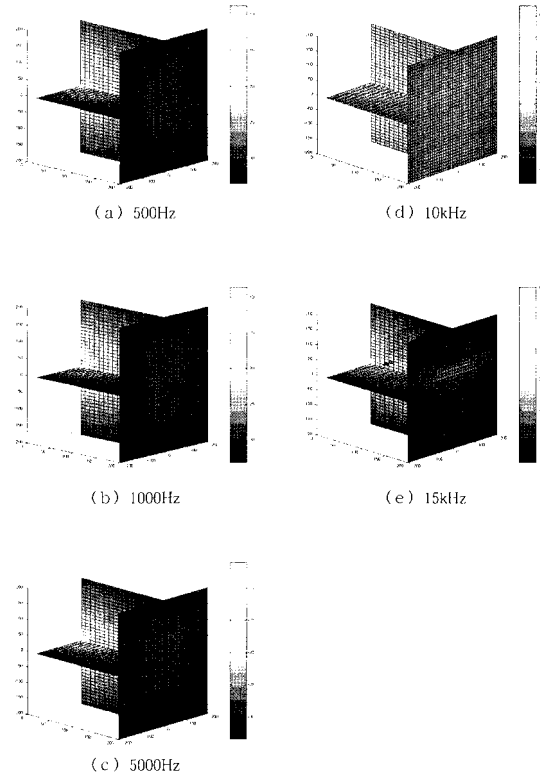
【図 12】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

(72)発明者 野呂 正夫
静岡県浜松市中沢町１０番１号 ヤマハ株式会社内

審査官 新川 圭二

(56)参考文献 特開平１１－２１５５８６（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１０３３９１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04R 3/00

H04R 3/12

H04R 1/40