

(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2010-81071

(P2010-81071A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.

H04R 1/10 (2006.01)

F I

H04R 1/10

1 O 1 A

テーマコード (参考)

5 D 0 0 5

H04R 1/10

1 O 1 Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2008-244575 (P2008-244575)
 (22) 出願日 平成20年9月24日 (2008. 9. 24)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74) 代理人 100103333
 弁理士 菊池 治
 (74) 代理人 100081732
 弁理士 大胡 典夫
 (72) 発明者 江波戸 明彦
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 (72) 発明者 蛭間 貴博
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社
 東芝内
 Fターム(参考) 5D005 BA08 BA16

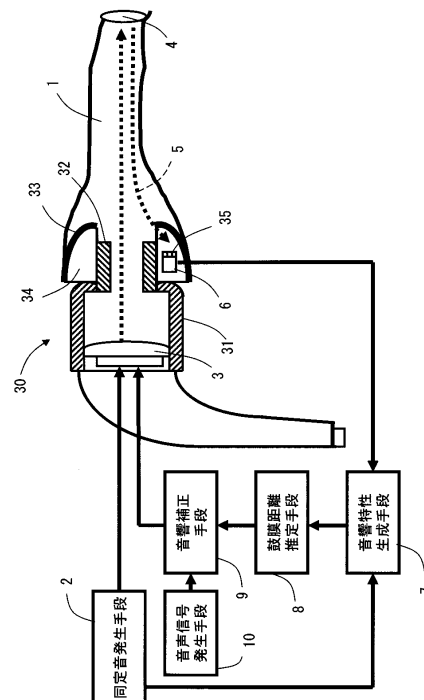
(54) 【発明の名称】 イヤホンシステムおよびイヤホン音声補正方法

(57) 【要約】

【課題】 イヤホン装着時の個人ごとに異なる共鳴特性を加味して、イヤホン装着時の音質を改善する。

【解決手段】 イヤホンシステムは、内蔵マイク6を備えたイヤホン30と、聴取目的となる音声をスピーカ3に発生させる音声信号を発生する音声信号発生手段10と、外耳道音響特性を計測するための同定音をスピーカ3に発生させる外耳道音響特性同定音発生手段2と、内蔵マイク6の出力信号に基づいて外耳道音響特性データを生成する外耳道音響特性生成手段7と、外耳道音響特性生成手段7の出力に基づいて鼓膜距離を推定する鼓膜距離推定手段8と、鼓膜距離推定手段8によって推定された鼓膜距離に応じて音声信号発生手段10で発生した音声信号を補正する音響補正手段9と、を有する

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

音声を発生するスピーカおよび、前記スピーカで発生した音声が入耳道内の鼓膜で反射した反射音を検出する内蔵マイクを備えて、外耳道の入口を塞ぐように取り付けられるイヤホンと、

聴取目的となる音声を前記スピーカに発生させる音声信号を発生する音声信号発生手段と、

外耳道音響特性を計測するための同定音を前記スピーカに発生させる外耳道音響特性同定音発生手段と、

前記内蔵マイクの出力信号に基づいて外耳道音響特性データを生成する外耳道音響特性生成手段と、

前記外耳道音響特性生成手段の出力に基づいて鼓膜距離を推定する鼓膜距離推定手段と、

前記鼓膜距離推定手段によって推定された鼓膜距離に応じて前記音声信号発生手段で発生した音声信号を補正する音響補正手段と、

を有することを特徴とするイヤホンシステム。

【請求項 2】

前記外耳道音響特性同定音発生手段は、音声信号、あるいは、音声信号に白色雑音を合成させた信号を発生することを特徴とする請求項 1 に記載のイヤホンシステム。

【請求項 3】

前記鼓膜距離推定手段は、外耳道音響特性のうちの外耳道 1 次共鳴周波数を f とし、音速を c とするとき、鼓膜距離 x を、

$$x = c / (2f)$$

として推定することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のイヤホンシステム。

【請求項 4】

音声を発生するスピーカを備えて外耳道の入口を塞ぐように取り付けられるイヤホンと、

聴取目的となる音声を前記スピーカに発生させる音声信号を発生する音声信号発生手段と、

スイープ周期音あるいはパルス音を前記スピーカに発生させるスイープ周期音・パルス音発生手段と、

前記スイープ周期音・パルス音発生手段によってスイープ周期音あるいはパルス音を発生させた結果に基づいてユーザが特定した周波数に基づいて鼓膜距離を推定する鼓膜距離推定手段と、

前記鼓膜距離推定手段によって推定された鼓膜距離に応じて前記音声信号発生手段で発生した音声信号を補正する音響補正手段と、

を有することを特徴とするイヤホンシステム。

【請求項 5】

前記音響補正手段は、前記イヤホンが外耳道の入口を塞ぐように取り付けられることによって外耳道内で生じる共鳴を抑制するものであることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか一項に記載のイヤホンシステム。

【請求項 6】

前記音響補正手段は、前記イヤホンが外耳道の入口を塞ぐように取り付けられていないときに外耳道内で生じるはずの共鳴を付加するものであることを特徴とする請求項 5 に記載のイヤホンシステム。

【請求項 7】

前記イヤホンは、

イヤホン筐体と、

前記イヤホン筐体内に配置されたスピーカと、

前記イヤホン筐体の一端から外側に突出して取り付けられた筒状のノズルと、

10

20

30

40

50

前記ノズルの外周を囲むように取り付けられて外耳道に差し込まれたときにその外耳道の全周にわたって外耳道表面との間に密着してしかも前記ノズルの外周を囲む環状空間を形成するように構成されたイヤチップと、

前記環状空間内に配置されたマイクと、

を備えていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか一項に記載のイヤホンシステム。

【請求項 8】

外耳道の入口が塞がるようにイヤホンを取り付け、

前記外耳道の音響特性を計測するための同定音をスピーカに発生させ、

前記同定音が前記外耳道の奥の鼓膜で反射した反射音を前記イヤホンに内蔵されたマイクで取得し、

前記内蔵マイクの出力信号に基づいて外耳道音響特性データを生成し、

前記外耳道音響特性データに基づいて鼓膜距離を推定し、

聴取目的となる音声を前記スピーカに発生させる音声信号を発生させ、

前記推定された鼓膜距離に応じて前記音声信号を補正すること、

を特徴とするイヤホン音声補正方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音響機器におけるイヤホンシステムおよびイヤホン音声補正方法に関するもので、外耳道の音響特性を考慮した音質改善が可能なイヤホンシステムおよびこれを用いたイヤホン音声補正方法に関する。

【背景技術】

【0002】

携帯音楽プレーヤーなどの音響機器で、耳穴に挿入して耳穴を密閉するようにして使用するイヤホンが広く利用されている（特許文献 1 等）。

【特許文献 1】特開 2001-285998 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

イヤホンで聴く音楽は必ずしも据え置き型スピーカ（外部スピーカ）からの聴取時と比べて高音質とは言い切れない。外部スピーカ使用時は、外部スピーカ、室内空間、頭部、耳介、外耳道、鼓膜の順に音が伝わる。これに対してイヤホン使用時は、イヤホンスピーカ、外耳道、鼓膜の順に音が伝わり、スピーカから耳介までの「音の方向性」の情報を有する頭部伝達系を失い、さらに、イヤホンが反射体となり反響した不要な外耳道共鳴特性を獲得し、本来必要な（自然に聴いている）外耳道共鳴特性を失っている。不要な外耳道共鳴特性はスピーカからの同定音を発生させることで取得可能であるが、イヤホン未装着時の本来必要な共鳴特性は別途スピーカを用意しなければ取得できない。

【0004】

イヤホンシステム使用時の商品形態を考えた場合、イヤホン未装着時の外耳道共鳴特性取得用スピーカはできれば不要にしたい。そこで、イヤホン装着時の外耳道共鳴特性をもとに、イヤホン未装着時の外耳道共鳴特性を予測できることが課題と考える。

【0005】

また、これらの特性は個人差も大きい。そこで、個人ごとで異なるイヤホン装着時の共鳴特性を算出し、これをもとにイヤホン未装着時の共鳴特性を推定し、これら両者の特性をもって音響補正を行うことが音質改善の課題となる。

【0006】

特許文献 1 には、スピーカから外耳道内で收音するマイクまでの伝達関数を計測で求め、求めたインパルス応答（あるいは伝達関数）から逆インパルス応答（あるいは逆伝達関数）を求める技術が開示されている。しかし、イヤホン装着時の音質改善のための音響

補正については開示がない。

【0007】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであって、イヤホン装着時の個人ごとに異なる共鳴特性を加味して、イヤホン装着時の音質を改善することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明に係るイヤホンシステムは、音声を発生するスピーカおよび、前記スピーカで発生した音声が入耳道内の鼓膜で反射した反射音を検出する内蔵マイクを備えて、外耳道の入口を塞ぐように取り付けられるイヤホンと、聴取目的となる音声を前記スピーカに発生させる音声信号を発生する音声信号発生手段と、外耳道音響特性を計測するための同定音を前記スピーカに発生させる外耳道音響特性同定音発生手段と、前記内蔵マイクの出力信号に基づいて外耳道音響特性データを生成する外耳道音響特性生成手段と、前記外耳道音響特性生成手段の出力に基づいて鼓膜距離を推定する鼓膜距離推定手段と、前記鼓膜距離推定手段によって推定された鼓膜距離に応じて前記音声信号発生手段で発生した音声信号を補正する音響補正手段と、を有することを特徴とする。

【0009】

また、本発明に係るイヤホンシステムの他の態様は、音声を発生するスピーカを備えて外耳道の入口を塞ぐように取り付けられるイヤホンと、聴取目的となる音声を前記スピーカに発生させる音声信号を発生する音声信号発生手段と、スイープ周期音あるいはパルス音を前記スピーカに発生させるスイープ周期音・パルス音発生手段と、前記スイープ周期音・パルス音発生手段によってスイープ周期音あるいはパルス音を発生させた結果に基づいてユーザが特定した周波数に基づいて鼓膜距離を推定する鼓膜距離推定手段と、前記鼓膜距離推定手段によって推定された鼓膜距離に応じて前記音声信号発生手段で発生した音声信号を補正する音響補正手段と、を有することを特徴とする。

【0010】

また、本発明に係るイヤホン音声補正方法は、外耳道の入口が塞がるようにイヤホンを取り付け、前記外耳道の音響特性を計測するための同定音をスピーカに発生させ、前記同定音が前記外耳道の奥の鼓膜で反射した反射音を前記イヤホンに内蔵されたマイクで取得し、前記内蔵マイクの出力信号に基づいて外耳道音響特性データを生成し、前記外耳道音響特性データに基づいて鼓膜距離を推定し、聴取目的となる音声を前記スピーカに発生させる音声信号を発生させ、前記推定された鼓膜距離に応じて前記音声信号を補正すること、を特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、イヤホン装着時の個人ごとに異なる共鳴特性を加味して、イヤホン装着時の音質を改善することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下に、図面を参照して本発明に係るイヤホンシステムの実施形態について説明する。

【0013】

〔第1の実施形態〕

図1は本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態の模式的縦断面図を含むブロック図である。

【0014】

イヤホン30は、外耳道（耳穴）1に挿入して用いられるカナル型インナーイヤホンであって、スピーカ3と、スピーカ3を囲むイヤホン筐体31と、イヤホン筐体31のスピーカ3に対向する位置で外側に突出するように取り付けられた円筒状のノズル32と、ノズル32外周に取り付けられたイヤチップ33とを有する。イヤチップ33は、たとえば柔軟なゴム製であって、外耳道1に挿入されたときに外耳道1の内面全周と密着して耳栓のように外耳道1を密封するものであることが望ましい。イヤチップ33内には、ノズル

3 2を囲むように環状空間 3 4が形成されている。環状空間 3 4の外耳道 1挿入側は閉じており、イヤホン筐体 3 1側は開口している。環状空間 3 4内にマイク（内蔵マイク）6が取り付けられていて、マイク 6の受音部 3 5は外耳道 1の奥に向けられている。

【0015】

このイヤホンシステムはさらに、ユーザが聴取する目的となる音声（人の声に限らず音楽などの音でもよい。以下、同様）をスピーカ 3に発生させるための音声信号発生手段 10と、外耳道 1の音響特性を計測するための同定音をスピーカ 3に発生させる同定音発生手段 2と、同定音によるマイク 6の出力信号に基づき外耳道音響特性データを生成する音響特性生成手段 7と、音響特性生成手段 7から鼓膜距離を推定する鼓膜距離推定手段 8と、鼓膜距離から音響補正特性データを算出してその結果に基づいて音声信号発生手段 10の出力を補正する音響補正手段 9とを有する。

10

【0016】

同定音発生手段 2によってスピーカ 3で生成された同定音は、外耳道 1内を伝播し、その奥の鼓膜 4で反射して鼓膜反射音 5としてマイク 6の受音部 3 5に到達する。マイク 6がノズル 3 2の外側の環状空間 3 4内に配置されていることにより、スピーカ 3で生成された校正音のうちで、外耳道 1を通らずに直接マイク 6の受音部 3 5に到達する部分は少ない。

【0017】

具体例として実際に実測した結果を元に詳細に説明する。補正までの手順は以下のとおりである。

20

【0018】

- (1) マイク 6による個人外耳道特性の実測
- (2) 共鳴周波数特性から鼓膜距離の推定
- (3) 鼓膜距離から音響補正の算出
- (4) ランダム音・音楽信号への補正処理
- (5) 補正効果の検証

同定音発生手段 2およびスピーカ 3を用いて白色雑音を発生させ、この信号とマイク 6で計測した音圧信号を用いて特性生成手段 7で生成した個人外耳道特性の実測結果を図 2に示す。ここで、正確にはこの特性は個人のもつ「イヤホン付き」外耳道 1の共鳴周波数特性であり、外耳道 1のみの特性とは異なる。

30

【0019】

しかし、図 3に示すように、イヤホン筐体 3 1の寸法までを考慮した場合の外耳道特性を示す実線 4 0、4 1と、外耳道 1を両端閉のシンプルな気柱共鳴管と見立てた外耳道 1単独の特性を示す点線 4 2、4 3を比較すると、図 2に示した実験でも共鳴検出可能な約 7 k H z 前後に現れる 1次共鳴ピークであれば、2次、3次に比べて差異は少ない。イヤホンの種類や外耳道特性の個人差で多少ばらつきはあるものの 1次共鳴ずれは少ない。したがって、1次共鳴実測からシンプルな気柱共鳴式を用いて鼓膜距離 x（m）を概ね逆算推測できる。

【0020】

鼓膜距離 x（m）を概ね逆算推測する手順を具体的に示す。いま、図 3の実線 4 0が実験で求めた共鳴ピークで仮にあったと仮定すると、ちょうど共鳴は 7 k H z である。したがって、両端閉のシンプルな音響管の共鳴式に代入すると、

40

【数 1】

$$x = L_4 = \frac{c}{2f} = \frac{340\text{m/s}}{2 * 7000\text{Hz}} = 0.0243\text{m}$$

【0021】

ここで、c は音速、f は周波数、L₄ は鼓膜距離（＝外耳道長さ）を表す。

【0022】

実際に本計算で使用した鼓膜距離 L₄ は、

50

$L_4 = 0.0255 \text{ m}$ であった。したがって、誤差は、 $0.0255 - 0.0243 = 0.0012 \text{ (m)}$ 、すなわち、 1.2 mm 程度であり、相対誤差は約 4.7% である。したがって、実測で1次共鳴帯域（ 7 kHz 前後）の共鳴ピークを検出できれば、この周波数から鼓膜距離を推定できると考えられる。なお、通常の成人の鼓膜距離を考えると1次共鳴周波数は $5 \sim 10 \text{ kHz}$ の範囲である。よって、この帯域の共鳴ピークを検出すればよい。

【0023】

ちなみに、仮に2次共鳴で推測すると、

【数2】

$$x = L4 = \frac{c}{2f} = \frac{340 \text{ m/s}}{2 \times 12380 \text{ Hz}} = 0.0137 \text{ m}$$

10

となり、 11.8 mm の大きな誤差（約 46% ）が生じる。したがって、1次共鳴でしか鼓膜距離 x を推定できない。ちなみに、上記1次共鳴で推定した鼓膜距離（ $x = 24.3 \text{ mm}$ ）を使って、再計算した結果を図4の一点鎖線44、45に示す。本当の鼓膜距離（ 25.5 mm ）の結果である実線40、41と比べても、2次共鳴も先の図3ほどは差異が生じないことがわかる。

【0024】

次に音響補正の算出方法について説明する。

【0025】

20

イヤホン断面寸法から、音響管は可聴周波数 20 kHz の範囲では管径方向にはモードが立たず、音波は平面波伝播する。よって、1次元音響解析が適用可能となる。そこで、図5のように、イヤホン筐体31、ノズル32、イヤチップ33、外耳道1を1次元伝播音響管と見立てることができる。そして、左端のスピーカ3から速度 V の音源が音響インピーダンス Z_d の右端の鼓膜4で反射するモデルで周波数特性を概算すると、外耳道1内マイク6の位置 x （座標原点はイヤチップ33出口）における空間伝達関数（左端スピーカ放射音圧基準） H_{close} は、次の式（1）で表すことができる。

【数3】

$$\therefore H_{close} = \frac{P(x)}{P_0} = \frac{Z_d \cos k(L_4 - x) + j\rho c \sin k(L_4 - x)}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \rho c \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \frac{1}{w_{(1,1)} \cdot \frac{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \cdot \frac{S_3}{S_4} \rho c + w_{(1,2)}} \quad (1)$$

30

... (1)

【0026】

上式（1）で、 $P(x)$ はマイク6の位置 x での音圧、 P_0 は座標原点（イヤチップ33の出口）での音圧、 ρ は空気密度、 k は波数を表している。さらに、 S_3 はイヤチップ33の断面積、 S_4 は外耳道1の断面積である。また、 $w_{(1,1)}$ および $w_{(1,2)}$ は次の式（2）で表される伝達マトリクス W によって与えられる。

40

【数4】

$$\therefore W = H_1 \cdot H_2 \cdot H_3$$

$$= \begin{pmatrix} \cos kL_1 & j\rho c \sin kL_1 \\ j \frac{\sin kL_1}{\rho c} & \cos kL_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos kL_2 & j\rho c \sin kL_2 \\ j \frac{\sin kL_2}{\rho c} & \cos kL_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos kL_3 & j\rho c \sin kL_3 \\ j \frac{\sin kL_3}{\rho c} & \cos kL_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{(1,1)} & w_{(1,2)} \\ w_{(2,1)} & w_{(2,2)} \end{pmatrix}$$

... (2)

【0027】

ここで、 L_1 、 L_2 、 L_3 は、図5に示すように、それぞれ、イヤホン筐体31、ノズル

50

ル 3 2、イヤチップ 3 3 の長さである。

【 0 0 2 8 】

イヤホン未装着時（外部スピーカ 4 6 使用時）の外耳道音響伝播モデルは図 6 で示すような、左端を開放端に変換したモデルで近似できる。外部スピーカ 4 6 から外耳入口までの自由空間平面波伝播過程では振幅減衰がないことから、上記イヤホン筐体 3 1、ノズル 3 2、イヤチップ 3 3 からなる伝達マトリクス W は単位行列に相当する。したがって、 $w_{(1,1)} = 1$ 、 $w_{(1,2)} = 0$ を代入すると、外耳道内マイク位置 x （座標原点はイヤチップ 3 3 の出口）における空間伝達関数（左端スピーカ放射音圧基準）は、次の式（3）で求められる。

【数 5】

$$\begin{aligned} \therefore H_{open} &= \frac{P(x)}{P_0} = \frac{Z_d \cos k(L_4 - x) + j\rho c \sin k(L_4 - x)}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \rho c \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \frac{1}{\frac{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \cdot \frac{S_3}{S_4} \rho c} \\ &= \frac{Z_d \cos k(L_4 - x) + j\rho c \sin k(L_4 - x)}{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4} \end{aligned}$$

. . . (3)

【 0 0 2 9 】

ここで、 $x = 0$ のときは、式（3）が次式となり、外耳道入口開放端ではイヤホン放射音圧と一致する。

【 0 0 3 0 】

$$P(x) / P_0 = 1$$

一方、 $x = L_4$ のときは次式となり、鼓膜 4 のインピーダンス Z_4 および鼓膜距離 L_4 の関数となる。

【数 6】

$$\therefore \frac{P(x)}{P_0} = \frac{Z_d}{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}$$

【 0 0 3 1 】

仮に、鼓膜 4 のインピーダンスが空気中のインピーダンスと等価とした場合、すなわち、開放端になった場合は、 $Z_d = \rho c$ より、次式となり、長さ L_4 （m）だけ位相遅れを有する自由空間伝達関数と一致する。つまり、共鳴せずに進行波で空間伝播する。

【数 7】

$$\therefore \frac{P(x)}{P_0} = \frac{1}{\cos kL_4 + j \sin kL_4} = e^{-jkL_4}$$

【 0 0 3 2 】

イヤホン装着、未装着時の外耳道内への音響伝播モデルが作成できたことから、イヤホン装着時から未装着時の音響特性へ変換させる音響補正（両者伝達関数比）を算出した。この補正特性を Q とすると、式（1）および式（3）に示した両者の伝達関数比として次式（4）が得られる。

10

20

30

40

【数 8】

$$Q = \frac{H_{open}}{H_{close}} = \frac{\frac{Z_d \cos k(L_4 - x) + j\rho c \sin k(L_4 - x)}{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}}{\frac{Z_d \cos k(L_4 - x) + j\rho c \sin k(L_4 - x)}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \cdot \rho c \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \frac{1}{w_{(1,1)} \cdot \frac{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \rho c + w_{(1,2)}}}}$$

$$= \frac{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4}{(Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4) \cdot \rho c \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \frac{1}{w_{(1,1)} \cdot \frac{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \rho c + w_{(1,2)}}}$$

10

・・・ (4)

【0033】

ここで、注目すべきは、補正特性Qはマイク位置x（＝外耳道内の音圧位置）に依存していないことである。つまり、本明細書では実測不可能な鼓膜音圧での補正の仕方を試行するが、鼓膜に限らず、外耳道で取得する任意音圧でも上記音響補正特性を使うことができる。

【0034】

20

式（1）および式（3）の $x = L_4$ としたときの結果（鼓膜音圧）を図7に示す。図7の二点鎖線47、48はイヤホン未装着時の予測結果、実線40、41線はイヤホン装着時の結果である。イヤホン30が反射体となり、イヤホン30をなくすことで左端「閉端」が「開放端」に変化し、共鳴周波数もずれていることがわかる。したがって、上記式（4）は閉端から開放端に変化させる補正関数となる。

【0035】

外耳道特性はこれまでの計測結果からも、個人差が大きく、イヤホンなし時の外耳道特性を含んだ外部スピーカから鼓膜までの空間伝達特性も個人差が大きいことがわかる。したがって、イヤホン有無による音質劣化に起因する共鳴を含めた周波数特性ずれも大きい。

30

【0036】

しかし、図8に示すように、実測で計測可能なヒトの耳特性は「イヤホン付き」外耳道特性であり、イヤホンは共通である。また、イヤホンなし時の上記空間伝達特性も、外部スピーカから外耳道入口までの頭部伝達特性と、外耳道入口から鼓膜までの外耳道特性とに分けられ、後者においては音源方向依存性の影響が少なく、音像定位効果までを目標とせず、音質改善に留めれば、後者イヤホンなし時の音響伝播モデルは左端を閉端から開放端に変換した簡素な気柱共鳴端で扱える。したがって、個人個人で頭・耳の伝播特性は異なるものの、個人が受けるイヤホン有無による特性の違いは共通である。

【0037】

この点に着目し、補正式（4）を吟味すると、共鳴に効くコサインとサイン項は外耳道1入口から鼓膜4（反射体）までの長さ L_4 であることがわかる。あえて、外耳道長さ L_4 と表現しないのは、概観寸法で長さ L_4 を表現するとその定義付けが難しいからで、実測共鳴を励起させる点から仮想鼓膜距離 L_4 とした。

40

【数 9】

$$Q = \frac{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4}{(Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4) \cdot \rho c \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \frac{1}{w_{(1,1)} \cdot \frac{Z_d \cos kL_4 + j\rho c \sin kL_4}{\rho c \cos kL_4 + jZ_d \sin kL_4} \cdot \frac{S_3}{S_4} \rho c + w_{(1,2)}}} \dots (5)$$

【0038】

ただし、 $w_{(1,1)}$ および $w_{(1,2)}$ は前記伝達マトリクスWの式(2)で与えられる。 10

【0039】

これ以外の個人要因としては、外耳道1の断面積 S_4 や鼓膜インピーダンス Z_d もあるが、これらは全体の特性のゲインに効く項と解釈し、本明細書では鼓膜距離 L_4 のみを補正影響関数と仮定した。したがって、補正特性は鼓膜距離 x (m)から算出可能な関数として以下の式(6)となる。

【数10】

$$Q(x) = \frac{\rho c \cos kx + jZ_d \sin kx}{(Z_d \cos kx + j\rho c \sin kx) \cdot \rho c \cdot \frac{S_3}{S_4} \cdot \frac{1}{w_{(1,1)} \cdot \frac{Z_d \cos kx + j\rho c \sin kx}{\rho c \cos kx + jZ_d \sin kx} \cdot \frac{S_3}{S_4} \rho c + w_{(1,2)}}} \dots (6) \quad 20$$

【0040】

ただし、 $w_{(1,1)}$ および $w_{(1,2)}$ は前記式(2)で与えられる。

【0041】

ここで、前述で推定した鼓膜距離 $x = 0$ 。0.242mを代入すると、この鼓膜距離 x で発生するイヤホン有無による外耳道共鳴ずれ補正量 Q が算出可能となる。 30

【0042】

マネキンの耳にヒトの外耳道を模った外耳道と、その鼓膜に騒音計を内蔵した耳付頭部模型を試作し、補正効果の有効性を検証した。目的はイヤホンで聴く個人差補正後の音楽は、イヤホンをはずして外部スピーカで聴く音楽を再現できるかどうかであり、鼓膜音圧特性で比較検証した。

【0043】

図9には、目標とする外部スピーカ聴取時の評価システム構成図を示す。ここで外部スピーカ46の位置を実際に聞くステレオ聴取時の音源位置でなく、耳元から約10cm離れた。その理由は、イヤホン未装着時の外耳道特性は、外耳道入口から鼓膜までの伝達関数となり、この同定には外耳道入口のスピーカが適当なためである。実際のステレオ位置に外部スピーカを設置しては同時に頭部伝達関数も含んでしまい、本検討の目的とは合致しなくなる。音質改善にさらに音像定位を実現する「頭補正」までを実施する場合は、音源方向の情報をもつステレオスピーカ(外部スピーカ)から外耳道入口までの頭部伝達関数も必要になるが、今回の個人差補正の目的はまずは音質改善を目標としている。そこで、外耳道左端の境界条件、閉端、開放端の違いが再現できるシステム構成で検証した。図10にはイヤホン30装着時の外耳道特性計測システム構成を示す。 40

【0044】

図11および図12は白色雑音を使った鼓膜音圧計測結果を示す図であって、個人差補正の有効性を示す。図11は左耳についての計測結果を示し、図12は右耳についての計 50

測結果を示す。

【0045】

ここで、固定補正、個人補正の意味について説明する。まず、図8で示すAさんに相当するのは、音響管モデルの妥当性を検証するために参考としたヒトであり、Bさんは検証で使った外耳道モデルに相当する。つまり、Aさんの耳で算出した補正量のままで、Bさんの耳で再生した音楽で計測した結果を固定補正と定義している。これに対して、Bさん（耳模型）の耳にマイク付イヤホンを装着し、この共鳴実測特性（図2）から算出した鼓膜距離を元に音響補正を算出、これで音楽補正し、再生計測した結果を個人補正と定義している。

【0046】

図11および図12で、外部スピーカ聴取時（目標値）を○印で示し、イヤホン聴取時（補正前）を△印で示し、イヤホン聴取時（固定補正後）を×印で示し、イヤホン聴取時（個人補正後）を□印で示している。

【0047】

個人補正によりOA値（オーバオール値）に寄与する共鳴を含む広い帯域で目標値に近づいていることがわかる。なお、8kHzや13kHz以上はもともと20dB近く音圧が減衰したため予測精度は劣化している。

【0048】

また、図13および図14にはイヤホン装着の不要な共鳴特性を抑制し、イヤホン未装着時に本来必要な共鳴特性を付加する2つの補正を同時に実施した場合と、前者イヤホン装着時の不要な共鳴のみを抑制した場合の違いを比較した結果を示す。図13および図14で、外部スピーカ聴取時（目標値）を○印で示し、イヤホン聴取時（補正前）を△印で示し、イヤホン聴取時（個人補正後、イヤホン付共鳴抑制のみ）を□印で示し、イヤホン聴取時（個人補正後、イヤホン付共鳴抑制＋イヤホンなし共鳴補正付加）を▽印で示している。また、図中のC部はイヤホンなし自然共鳴帯を示し、D部はイヤホン付共鳴帯を示している。

【0049】

図13および図14からわかるように、イヤホン付共鳴抑制（□印）では確かに反共振部は目標に近づく。しかし、自然共鳴を付加しないことから目標値と差異が生じている。同時共鳴補正（▽印）ではじめて目標値に近づくことがわかる。換言すれば、イヤホン装着時の外耳道共鳴特性をもとに、イヤホン未装着時の外耳道共鳴特性を概ね予測できることがこの試験でわかった。

【0050】

〔第2の実施形態〕

この実施形態では、第1の実施形態における同定音発生手段2から発生させる信号として、音楽信号、あるいは、音声信号に白色雑音を合成させた信号を用いるものである。その他の構成は第1の実施形態と同様である。

【0051】

白色雑音のみを鳴らして音響特性を同定することは一般的に行われている。しかし、イヤホン聴取前とはいえ、白色雑音はノイズであり、数十秒間とはいえ、あまり、聴きたくない音である。しかし、音楽信号は振幅変動が大きく、帯域も一定でないため、音響特性の同定音に使用することは難しい。そこで、図15に示すように、音楽信号にマスクされる程度の振幅で白色雑音を重畳させること信号を同定音として用いる。あるいは、音声ガイドで操作案内する背景音に白色雑音を重畳させることで、ユーザの白色雑音への耳障り感を抑制させる。

【0052】

〔第3の実施形態〕

つぎに図16を参照して、本発明に係るイヤホンシステムの第3の実施形態を説明する。ただし、第1の実施形態と共通の部分には共通の符号を付して重複説明は省略する。この実施形態では、第1の実施形態の同定音発生手段2に代えてスイープ周期音あるいはパ

10

20

30

40

50

ルス音を発生させるスイープ周期音・パルス音発生手段60を用いる。このときユーザが一番大きい音と感じた周波数を特定する周波数特定手段11を介して特定する。このユーザが決定した周波数に基づいて、鼓膜距離を推定する。ユーザの実聴に基づいて共鳴周波数を特定することから、マイクは不要となる。

【0053】

〔第4の実施形態〕

つぎに図17を参照して、本発明に係るイヤホンシステムの第4の実施形態を説明する。ただし、第1の実施形態と共通の部分には共通の符号を付して重複説明は省略する。この実施形態では、同定音発生手段2からはスイープ周期音あるいはパルス音、あるいは白色雑音を発生させ、外耳道音響特性生成手段7で算出した前記特性を表示させる音響特性表示手段12を介して、ユーザが選択した外耳道共鳴周波数から鼓膜距離を推定する。図2に示した音響特性が音楽配信手段13のメニュー画面に表示され、ユーザがカーソル移動により共鳴周波数を特定することができる。

10

【0054】

〔第5の実施形態〕

つぎに図18を参照して、本発明に係るイヤホンシステムの第5の実施形態を説明する。ただし、第1または第4の実施形態と共通の部分には共通の符号を付して重複説明は省略する。この実施形態では、音響特性生成手段7と鼓膜距離推定手段8と音響補正手段9で作成したこれらのデータを記録・再生・表示する記録・再生・表示手段14を有する。ユーザが聴取する環境、状況に応じて、これらのデータを参照、選択することで、ユーザの好みにあった音響補正を実現することができる。また、イヤホン装着が悪く、たとえば隙間があると音響特性が変化する。したがって、表示結果を見ることでイヤホン装着による音質劣化もユーザ自ら確認できる。

20

【0055】

あるいは、過去のデータと比較することで、イヤホン装着の違いを判別し、音声案内発生手段15、スピーカ3を介して、ユーザに装着による音質劣化を知らせることもできる。

【図面の簡単な説明】

【0056】

【図1】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態の模式的縦断面図を含むブロック図。

30

【図2】イヤホン内蔵マイクによる外耳道特性実測結果の例を示すグラフ。

【図3】イヤホン付外耳道の音響特性と外耳道のみの音響特性の例を示すグラフ。

【図4】実寸鼓膜距離から算出した外耳道特性と鼓膜距離推定から算出した外耳道特性の例を示すグラフ。

【図5】イヤホン装着時のイヤホンを含んだ外耳道音響モデル図。

【図6】イヤホン未装着時（外部スピーカを用いる場合）の外耳道音響モデル図。

【図7】イヤホン装着・未装着時の鼓膜音圧・位相特性の例を示すグラフ。

【図8】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態における個人補正の考え方を説明する概略説明図。

40

【図9】外部スピーカ聴取時の外耳道特性計測システム構成を示す模式図。

【図10】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態におけるイヤホン装着時の外耳道特性計測システム構成を示す模式図。

【図11】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態における個人差補正の有効性を示す白色雑音を使った鼓膜音圧計測結果（左耳）の例を示すグラフ。

【図12】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態における個人差補正の有効性を示す白色雑音を使った鼓膜音圧計測結果（右耳）の例を示すグラフ。

【図13】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態におけるイヤホン有無同時共鳴補正の有効性を示す白色雑音を使った鼓膜音圧計測結果（左耳）の例を示すグラフ。

【図14】本発明に係るイヤホンシステムの第1の実施形態におけるイヤホン有無同時共

50

鳴補正の有効性を示す白色雑音を使った鼓膜音圧計測結果（右耳）の例を示すグラフ。

【図 1 5】本発明に係るイヤホンシステムの第 2 の実施形態における同定音の例を示すグラフ。

【図 1 6】本発明に係るイヤホンシステムの第 3 の実施形態の模式的縦断面図を含むブロック図。

【図 1 7】本発明に係るイヤホンシステムの第 4 の実施形態の模式的縦断面図を含むブロック図。

【図 1 8】本発明に係るイヤホンシステムの第 5 の実施形態の模式的縦断面図を含むブロック図。

【符号の説明】

10

【 0 0 5 7 】

1：外耳道（耳穴）

2：同定音発生手段

3：スピーカ

4：外耳道内鼓膜

5：鼓膜反射音

6：イヤホン内蔵マイク

7：音響特性生成手段

8：鼓膜距離推定手段

9：音響補正手段

20

10：音声信号発生手段

11：周波数特定手段

12：音響特性表示手段

13：音楽配信手段

14：記録・再生・表示手段

15：音声案内発生手段

30：イヤホン

31：イヤホン筐体

32：ノズル

33：イヤチップ

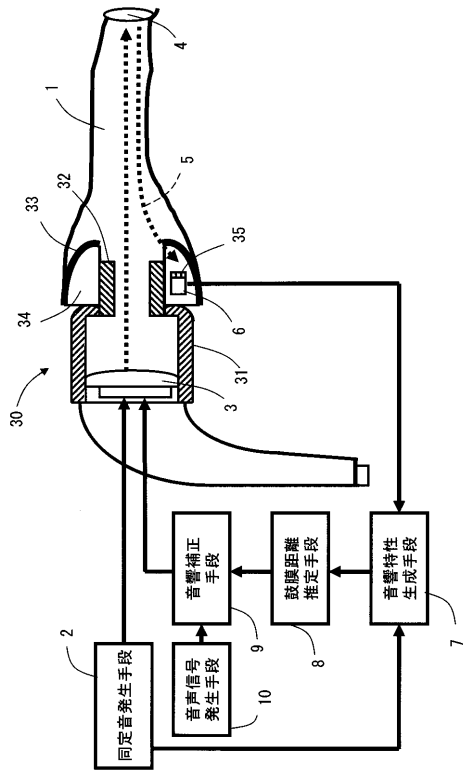
30

34：環状空間

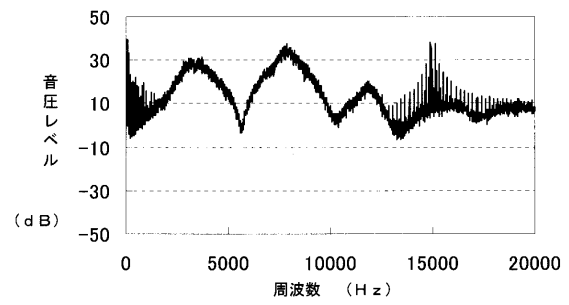
35：受音部

60：スイープ周期音・パルス音発生手段

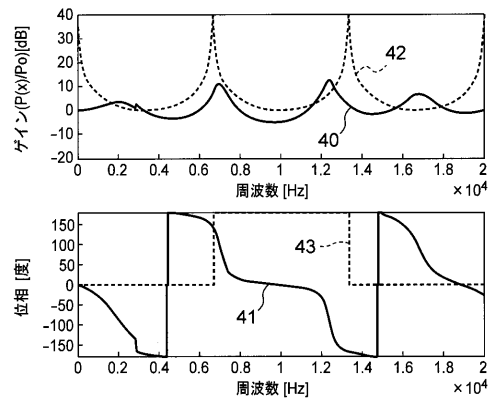
【図 1】



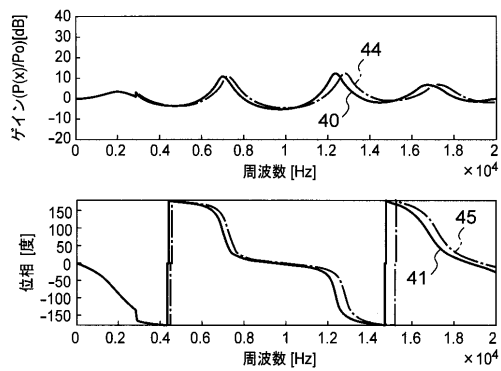
【図 2】



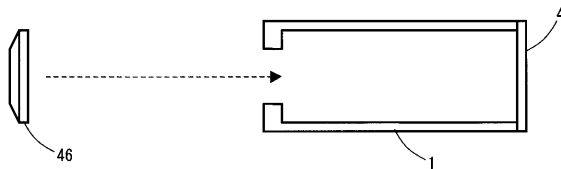
【図 3】



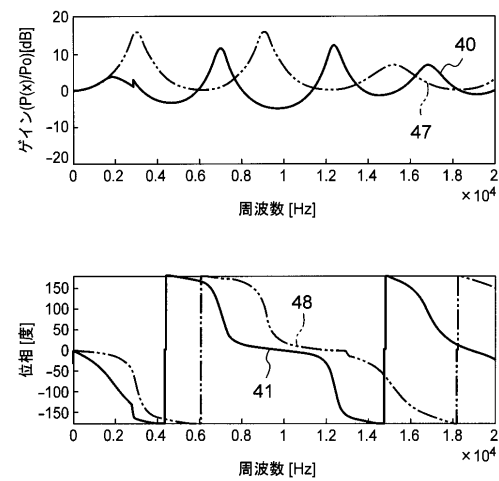
【図 4】



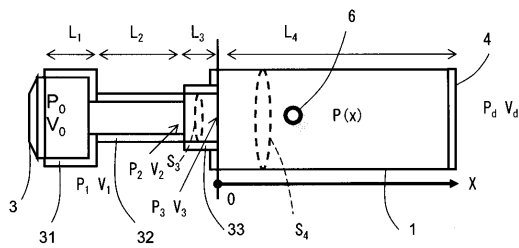
【図 6】



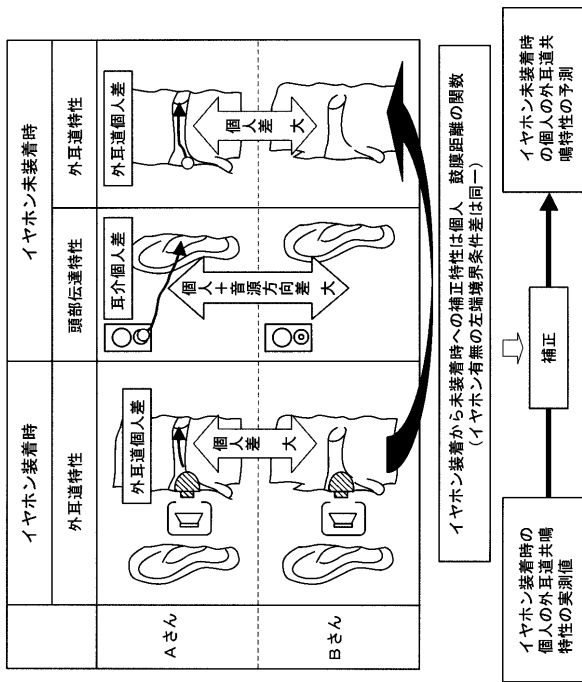
【図 7】



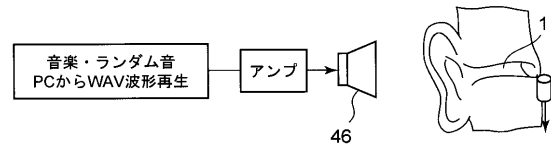
【図 5】



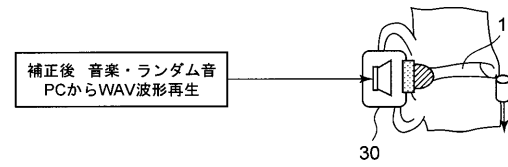
【図 8】



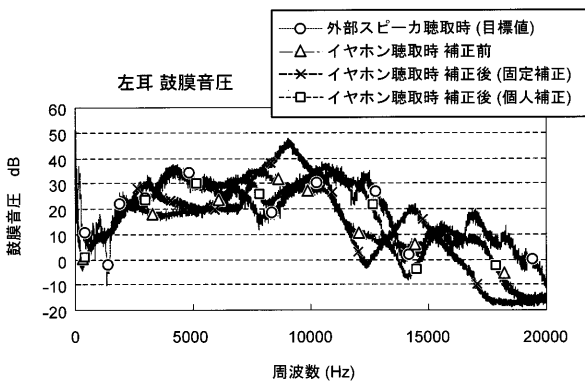
【図 9】



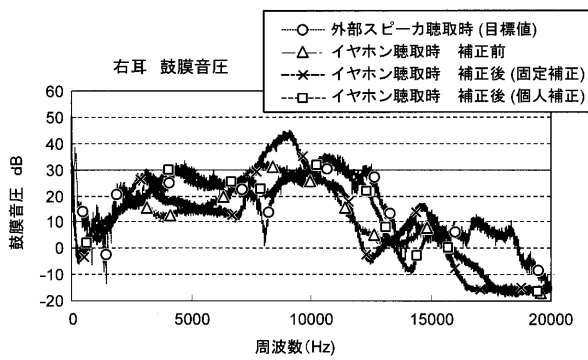
【図 10】



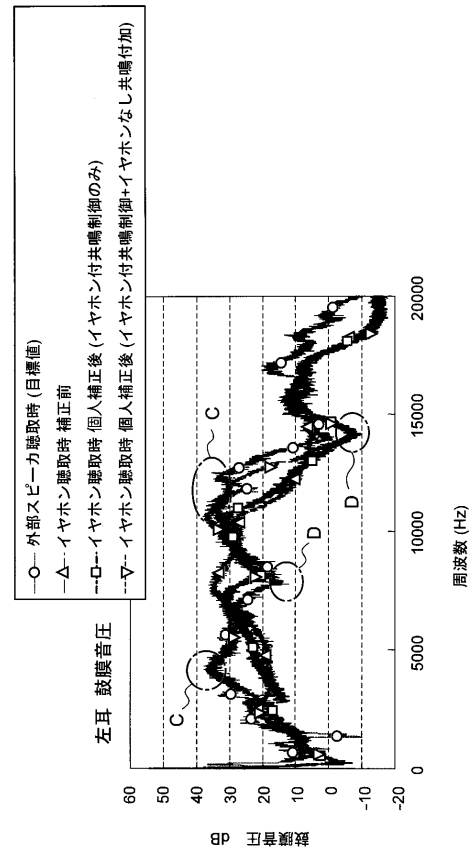
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【図 18】

