

(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2017-75780

(P2017-75780A)

(43) 公開日 平成29年4月20日(2017.4.20)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
GO1H	3/00	(2006.01)	GO1H	3/00	A	2G064	
HO4R	1/40	(2006.01)	HO4R	1/40	320A	5D018	
HO4R	3/00	(2006.01)	HO4R	3/00	320	5D220	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2015-201679 (P2015-201679)
 (22) 出願日 平成27年10月13日(2015.10.13)

(71) 出願人 000003997
 日産自動車株式会社
 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地
 (71) 出願人 501241645
 学校法人 工学院大学
 東京都新宿区西新宿1丁目24番2号
 (74) 代理人 100086232
 弁理士 小林 博通
 (74) 代理人 100092613
 弁理士 富岡 潔
 (72) 発明者 後藤 昌也
 神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内

最終頁に続く

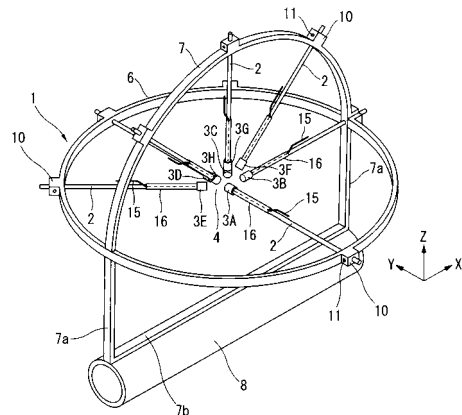
(54) 【発明の名称】 高周波音測定装置

(57) 【要約】

【課題】電気自動車の車室内等における高周波音の最大音圧レベルを精度よく検出する。

【解決手段】高周波音の音場を、原点を中心とした複数の軸に沿った平面波にモデル化することで、任意の点の音圧レベルを推定する。このアルゴリズムに用いられるマイクロフォンアレイは、音場に支持されるフレーム1と、先端部が受音部4に集まるようにフレーム1からそれぞれ延びた計8個の支持アーム2と、支持アーム2の先端にそれぞれ支持されたマイクロフォン3と、を有する。1つのマイクロフォン3Aが受音部4の原点となる位置に配置され、残りのマイクロフォン3B~3Hが原点を中心として等距離の位置でかつ三次元的に配置され、原点を中心とした7軸を構成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

マイクロフォンアレイを用いて、音場における高周波音の最大音圧レベルを測定する高周波音測定装置であって、

上記マイクロフォンアレイは、
音場に支持されるフレームと、

このフレームにそれぞれ支持され、各々の先端部が受音部に集まるように上記フレームからそれぞれ延びた少なくとも 4 個の支持アームと、

この支持アームの先端にそれぞれ支持され、1 つが上記受音部の原点となる位置に配置され、残りが上記原点を中心として三次元的に配置された、少なくとも合計 4 個のマイクロフォンと、

を備えることを特徴とする高周波音測定装置。

【請求項 2】

原点におけるマイクロフォンと他の個々のマイクロフォンとで定まる少なくとも 3 つの軸に沿って進行する平面波にモデル化し、

各々のマイクロフォンで計測した音圧に基づき音場内の任意の点での各軸に沿った平面波の強度を算出するアルゴリズムを用いて、音場における最大音圧レベルを求める、ことを特徴とする請求項 1 に記載の高周波音測定装置。

【請求項 3】

上記原点に配置されたマイクロフォン以外の残りのマイクロフォンは、上記原点からそれぞれ等距離の位置に配置されている、ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の高周波音測定装置。

【請求項 4】

1 つのマイクロフォンの先端面が上記原点に位置しているとともに、

残りのマイクロフォンの先端面が、それぞれ上記原点を指向して配置されている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の高周波音測定装置。

【請求項 5】

上記支持アームの先端部が、該支持アームの長手方向に沿った凹溝を備えた半円筒状に形成されており、

上記支持アームの先端に配置されたマイクロフォンのリード線が、上記凹溝に沿うように配置されている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の高周波音測定装置。

【請求項 6】

上記支持アームの基部は、上記先端部の半円筒面と連続した円筒状ないし円柱状をなしており、

この支持アームの中心軸線と円筒状をなすマイクロフォンの中心軸線とが一致している、ことを特徴とする請求項 5 に記載の高周波音測定装置。

【請求項 7】

上記フレームは、上記受音部を中心とした円形フレームと、該円形フレームと直交する面に沿った半円形フレームと、を備え、

これら円形フレームおよび半円形フレームから半径線に沿って内側へ各支持アームが延びている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の高周波音測定装置。

【請求項 8】

上記フレームは、上記半円形フレームに連続して取付部を備えている、ことを特徴とする請求項 7 に記載の高周波音測定装置。

【請求項 9】

上記原点を中心として、互いに直交する 3 軸と、これら 3 軸の中の 2 つの軸に対して 45° の角度を有する 4 軸と、を含む合計 7 軸を構成するように、合計 8 個のマイクロフォンを備えている、ことを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の高周波音測定装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

この発明は、例えばインバータが発する高周波音の音場における最大音圧レベルを測定する高周波音測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、電気自動車やハイブリッド型自動車にあっては、電力制御用のインバータやモータ・ジェネレータを含む強電系が耳障りな高周波音を発することが知られている。多くは波長の短い5kHz以上の高周波音であり、これらの高周波音が、車室内のようなガラスを代表とする平行に近い反射面が多数ある空間に放射されると、複数の経路からくる反射波により強い干渉音場を形成する。

10

【0003】

このような高周波音の対策のためには、車室内とりわけ乗員の近傍の音場において、対象とする高周波音の最大音圧レベルを定量的に評価することが必要である。

【0004】

しかしながら、このような車室内等の音場における高周波音の最大音圧レベルを測定する技術は十分には確立されていない。

【0005】

特許文献1には、多数のマイクロフォンを三角格子状に配置したマイクロフォンアレイを用い、多チャンネルFETによって得た各マイクロフォンの周波数帯域毎の音圧レベルによりビームフォーミング法によって音圧レベル分布を可視化するようにした技術が開示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-308409号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

高周波音は狭小面でも反射の要因になるため、特許文献1の技術では、マイクロフォンアレイの構造自体が音場を乱すこととなり、本来計測したい音場で定量評価することができない。

30

【0008】

この発明は、新規なアルゴリズムに基づいて三次元空間内の高周波音の最大音圧レベルを測定することが可能な新規な構造のマイクロフォンアレイを用いた高周波音測定装置を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

この発明は、マイクロフォンアレイを用いて、音場における高周波音の最大音圧レベルを測定する高周波音測定装置として、

40

上記マイクロフォンアレイを、音場に支持されるフレームと、各々の先端部が受音部に集まるように上記フレームからそれぞれ延びた少なくとも4個の支持アームと、から構成し、

支持アームの先端には、1つが上記受音部の原点となる位置に配置され、残りが上記原点を中心として三次元的に配置された、少なくとも合計4個のマイクロフォンを備える構成とした。

【発明の効果】

【0010】

この発明によれば、1つのマイクロフォンによる原点を中心として三次元的に配置された複数のマイクロフォンによって、原点を中心とした複数の軸が三次元的に構成され、三

50

次元空間内の高周波音の最大音圧レベルを測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】マイクロフォンアレイの一実施例を示す斜視図。

【図2】このマイクロフォンアレイの側面図。

【図3】同じくマイクロフォンアレイの平面図。

【図4】マイクロフォン装着前のフレームの構造を示す斜視図。

【図5】支持アームの一つを拡大して示す平面図。

【図6】図5のA-A線に沿った断面図。

【図7】支持アームの縦断面図。

【図8】図7のB-B線に沿った断面図。

【図9】平面波で表現した音場モデルの説明図。

【図10】最大音圧レベルについての精度試験の設備の説明図。

【図11】最大音圧レベルについての精度試験の結果を示すグラフ。

【図12】軸の数による精度への影響を試験した結果を示すグラフ。

【図13】マイクロフォンアレイの個数による精度への影響を試験した結果を示すグラフ

。

【図14】実車に適用した実験の結果を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0012】

初めに、本発明が依拠する最大音圧推定アルゴリズムについて説明する。

【0013】

例えば電気自動車等の車室内において運転者の耳位置近傍の最大音圧レベルを求めたい場合、複数の受音点を仮定すると、音源から受音点までの距離に比較して、各受音点の間の距離が十分に小さければ、受音点近傍の音場は、平面波の重ね合わせで近似することができる。

【0014】

図9は、このように複数の平面波で近似した音場モデルにおける平面波の強度と受音点での音圧を示している。図9では、原点 P_0 を中心とした3軸($A_1 \sim A_3$)を想定し、各々の軸に沿った平面波の強さ(進行波 $S_1 \sim S_3$ 、後退波 $S_1' \sim S_3'$ 、の全6波)を、4つのマイクロフォン(受音点: $P_0 \sim P_3$)で測定するモデルを示しているが、軸の数(つまりモデル化した平面波の数およびマイクロフォンの数)は任意である。なお、音源の無い方向からの反射音が無い場合には、音源側からの進行波のみでモデル化することが可能である。

【0015】

平面波の強さを S とすると、各受音点での音圧は次の(1)式のように表される。

【0016】

【数1】

$$P = S \exp(-ikr) \quad (1)$$

【0017】

ここで、 k は波数、 r は原点 P_0 から各受音点までの距離、 i は虚数単位である。

【0018】

図9に示した各受音点 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 の音圧は、 $S_1 \sim S_3$ 、 $S_1' \sim S_3'$ を用いると、各軸 A_1 、 A_2 、 A_3 の方向に関して、次の(2)式のように示すことができる。

【0019】

10

20

30

40

【数 2】

Axis A_1 :

$$\begin{aligned} P_0 &= S_1 \exp(-ikr_{10}) + S_1' \exp(ikr_{10}) \\ P_1 &= S_1 \exp(-ikr_{11} \cos \theta_{11}) + S_1' \exp(ikr_{11} \cos \theta_{11}) \\ P_2 &= S_1 \exp(-ikr_{12} \cos \theta_{12}) + S_1' \exp(ikr_{12} \cos \theta_{12}) \\ P_3 &= S_1 \exp(-ikr_{13} \cos \theta_{13}) + S_1' \exp(ikr_{13} \cos \theta_{13}) \end{aligned}$$

Axis A_2 :

$$\begin{aligned} P_0 &= S_2 \exp(-ikr_{20}) + S_2' \exp(ikr_{20}) \\ P_1 &= S_2 \exp(-ikr_{21} \cos \theta_{21}) + S_2' \exp(ikr_{21} \cos \theta_{21}) \quad (2) \\ P_2 &= S_2 \exp(-ikr_{22} \cos \theta_{22}) + S_2' \exp(ikr_{22} \cos \theta_{22}) \\ P_3 &= S_2 \exp(-ikr_{23} \cos \theta_{23}) + S_2' \exp(ikr_{23} \cos \theta_{23}) \end{aligned}$$

10

Axis A_3 :

$$\begin{aligned} P_0 &= S_3 \exp(-ikr_{30}) + S_3' \exp(ikr_{30}) \\ P_1 &= S_3 \exp(-ikr_{31} \cos \theta_{31}) + S_3' \exp(ikr_{31} \cos \theta_{31}) \\ P_2 &= S_3 \exp(-ikr_{32} \cos \theta_{32}) + S_3' \exp(ikr_{32} \cos \theta_{32}) \\ P_3 &= S_3 \exp(-ikr_{33} \cos \theta_{33}) + S_3' \exp(ikr_{33} \cos \theta_{33}) \end{aligned}$$

$\theta_{\xi\psi}$ は、各平面波軸 ξ と P_0 を原点とした各受音点方向 ψ との角度、 $r_{\xi\xi}$ は、各平面波軸 ξ 方向の受音点 P_ξ の P_0 からの距離とする

【0 0 2 0】

(2) 式から、次の (3) 式の関係が得られる。

20

【0 0 2 1】

【数 3】

$$\mathbf{P} = \mathbf{H}\mathbf{S} \quad (3)$$

【0 0 2 2】

ここで、「P」、「H」、「S」は、それぞれ以下とする。

【0 0 2 3】

【数 4】

$$\begin{aligned} \mathbf{P} &= (P_0 \ P_1 \ P_2 \ P_3)^T \\ \mathbf{H} &= \begin{pmatrix} \exp(-ikr_{10}) & \exp(ikr_{10}) & \dots & \dots & \dots & \exp(ikr_{30}) \\ \exp(-ikr_{11} \cos \theta_{11}) & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \exp(-ikr_{31} \cos \theta_{31}) & \dots & \dots & \dots & \dots & \exp(ikr_{33} \cos \theta_{33}) \end{pmatrix} \\ \mathbf{S} &= (S_1 \ S_1' \ S_2 \ S_2' \ S_3 \ S_3')^T \end{aligned}$$

30

【0 0 2 4】

これにより、各軸方向成分の「S」は、次の (4) 式で求めることができる。

40

【0 0 2 5】

【数 5】

$$\mathbf{S} = \mathbf{H}^+ \mathbf{P} \quad (4)$$

【0 0 2 6】

ここで、「 H^+ 」は、「H」の擬似逆行列である。

【0 0 2 7】

(4) 式を (3) 式に代入することにより、任意の点の音圧を求めることができる。

【0 0 2 8】

50

すなわち、原点 P_0 を含む受音点 P_0 、 P_1 、 P_2 、 P_3 で実際に検出した音圧を用いて、平面波の組み合わせとして、任意の点の音圧を推定することができる。そして、このような音圧の推定演算を、対象とする音場の空間内の多数の点について実行し、その中の最大値を求めることで、音場内の最大音圧レベルを求めることができる。

【0029】

例えば、車室内の運転者の耳位置近傍のある限られた容積の空間について、三次元の細かい格子状に区切ったときの各格子点での音圧を求め、その中で最大音圧レベルを求めることができる。これは、各々の格子点での音圧測定を必要としない単なる演算に過ぎないので、極めて簡単に最大音圧レベルを求めることが可能となる。

【0030】

なお、図9から容易に理解できるように、原点を中心とした少なくとも3つの軸を空間的に構成するためには、少なくとも4つの受音点つまりマイクロフォンが必要である。

【0031】

本発明の高周波音測定装置は、上記のようなアルゴリズムを利用して最大音圧レベルを求めるものであるが、対象としている高周波音(4kHz以上)は、波長が短いため、狭小な面でも音の反射が起こり、本来計測したい音場を乱してしまう。また、上述した原点を中心とした各受音点(マイクロフォン)までの距離は、上記のアルゴリズムを成立させる上で、波長の1/4以下であることが望ましい。例えば、10kHzの高周波音の場合、波長は約34mmであるので、複数のマイクロフォンを例えば5~8mm程度の距離に近接させて配置することが必要となる。

【0032】

図1~図3は、上記のアルゴリズムに依拠した本発明の高周波音測定装置で用いられるマイクロフォンアレイの一実施例を示している。このマイクロフォンアレイは、測定対象となる音場に支持される金属製のフレーム1と、このフレーム1にそれぞれ支持された金属製の細い棒状をなす計8個の支持アーム2と、これら支持アーム2の先端にそれぞれ支持された計8個のマイクロフォン3と、から構成されている。8個のマイクロフォン3は、フレーム1中央の受音部4に集合しており、上述した原点に位置する1つのマイクロフォン3Aと、原点の周囲に位置する残りの7個のマイクロフォン3B~3Hと、を含んでいる。なお、図1~図3には、説明の便宜のために、互いに直交するX、Y、Zの三方向を併せて図示しており、図のZ方向に沿って「上」「下」の語を用いることとするが、これは、マイクロフォンアレイの使用時の姿勢が図1のような姿勢に限定されることを意味するものではない。

【0033】

フレーム1は、図4にも示すように、原点を中心とした真円形をなすとともにX-Y平面上に位置する円形フレーム6と、これと直交するようにX-Z平面上に位置し、かつ原点を中心とした真円の上半部に相当する半円形をなす半円形フレーム7と、を備えている。これらは、音場を乱さないように細い帯状をなしており、180°離れた2箇所の交点において互いに一体に接合されている。半円形フレーム7は、円形フレーム6との交点からさらに下方へ平行に延びた一对の脚部7a、7aを有するとともに、これら一对の脚部7a、7aの先端同士を連結した連結部7bを有し、この連結部7bが、金属管からなる取付部8に一体に取り付けられている。この取付部8は、マイクロフォンアレイ全体を対象とする音場例えば車室内のシートバック側方位置などに取り付けるために用いられる。8~10kHz程度の高周波音を対象とする一実施例においては、帯状をなす円形フレーム6のZ方向の幅および半円形フレーム7のY方向の幅は、波長に対し十分に小さな2.5mm程度であり、半径方向の厚さは、これよりもさらに小さい。

【0034】

円形フレーム6および半円形フレーム7は、支持アーム2の基端を支持するための矩形のブロック状をなす突起部10をそれぞれ所定位置に備えている。金属製の細い棒状をなす支持アーム2は、突起部10に半径方向に設けられた貫通孔に挿通された上で、突起部10側面から固定用のねじ11を締め付けることによりフレーム6、7に固定されている

10

20

30

40

50

。

【0035】

突起部10に基端が固定された支持アーム2は、それぞれ、円形フレーム6もしくは半円形フレーム7の半径線に沿って内側へ延びており、8個の支持アーム2の先端部が中央の受音部4に集まっている。図4は、マイクロフォン3を取り付けていない状態でのフレーム1および支持アーム2の構成を示している。

【0036】

8個の支持アーム2および8個のマイクロフォン3は、原点に対する配置が異なるものの、その構成自体は同一である。図5および図6は、支持アーム2とその先端に取り付けられたマイクロフォン3の一つを拡大して示している。また、図7および図8は、マイクロフォン3を取り付けていない支持アーム2のみを示している。これらの図に示すように、個々の支持アーム2は、基端側の部分2aが中空の円筒状をなしているとともに、先端側の部分2bが半円筒状に形成されており、支持アーム2の軸方向(長手方向)に沿った断面半円形の凹溝13を備えている。一実施例では、凹溝13に対応する中空部を有する金属管の先端側の部分2bを断面半円形に切削加工することで、支持アーム2が構成されている。支持アーム2は、やはり音場を乱さないためにできるだけ小径であることが望ましく、一実施例においては、直径が1mm程度の金属管から構成されている。

【0037】

なお、支持アーム2の基端側の部分2aを中実の円柱状に構成してもよい。

【0038】

マイクロフォン3は、例えば補聴器などに用いられているマイクロフォンと同様の小型の無指向性マイクロフォンであり、全体として円筒形に構成され、基端面3aの中心から電源および信号用の計3本のリード線15(図6参照)が引き出されている。一実施例においては、円筒形の軸方向寸法および直径は、いずれも2mm程度の大きさである。そして、このマイクロフォン3は、基端面3aを支持アーム2の先端面に当接させた状態とした上で、リード線15を支持アーム2の凹溝13に沿わせて配置し、かつ支持アーム2の先端側の部分2bに熱収縮チューブ16を被せて加熱・収縮させることで、支持アーム2先端に固定・支持されている。すなわち、マイクロフォン3は、基端面3aから引き出されているリード線15を介して支持アーム2に支持されている。使用されているマイクロフォン3は極めて軽量であるので、熱収縮チューブ16によるリード線15の固定でもって実用上十分な支持強度が得られる。熱収縮チューブ16によってリード線15が径方向に締め付けられた状態では、図6に示すように、3本のリード線15の少なくとも一部が凹溝13内に収容されており、支持アーム2の基端側の部分2aの外形円の略中心に位置する。これにより、支持アーム2の先端に支持された円筒形のマイクロフォン3の中心軸線と、フレーム1に支持される支持アーム2の基部つまり基端側の部分2aの中心軸線と、が実質的に一致している。

【0039】

各マイクロフォン3の先端面3bは、支持アーム2の中心軸線に対し直交する円形の面をなすが、本実施例においては、この先端面3bの中心の点を各マイクロフォン3の受音点とみなしている。

【0040】

従って、原点に位置するマイクロフォン3Aは、図1~図3に示すように、厳密には、その先端面3bの中心がXYZ空間の原点となる位置に位置決めされている。前述したように、円形フレーム6および半円形フレーム7は、この原点を中心とする円形ないし半円形に構成され、また各支持アーム2は、原点を中心とした半径線に沿って配置されている。

。

【0041】

原点となる1つのマイクロフォン3Aに対し、他の7個のマイクロフォン3B~3Hは、前述したアルゴリズムにおける平面波の軸を規定するように、原点を中心として等距離の位置に三次元的に配置されている。これらのマイクロフォン3B~3Hについても、各

10

20

30

40

50

々の先端面 3 b の中心の点を受音点とみなしており、従って、各マイクロフォン 3 B ~ 3 H の先端面 3 b が原点から等距離となるように配置されている。一実施例においては、原点から各マイクロフォン 3 B ~ 3 H の先端面 3 b までの距離が、10 kHz の高周波音の波長の 1 / 4 よりも短い 5 mm に設定されている。

【0042】

図 1 ~ 図 3 に基づいてマイクロフォン 3 A ~ 3 H および各々の支持アーム 2 の具体的な配置を説明すると、原点用のマイクロフォン 3 A を支持する支持アーム 2 は、円形フレーム 6 に支持され、X - Y 平面上で Y 方向に延びている。従って、原点となるマイクロフォン 3 A の先端面 3 b は、X - Z 平面に沿っている。

【0043】

マイクロフォン 3 B , 3 C , 3 D , 3 E は、原点用のマイクロフォン 3 A と同じく円形フレーム 6 にそれぞれ支持され、X - Y 平面上に配置されている。図 3 のように X - Y 平面を見たときに、マイクロフォン 3 B , 3 C , 3 D , 3 E は、原点を中心として、それぞれ 45 ° の角度差を有するように配置されている。なお、マイクロフォン 3 B は、図 3 においては半円形フレーム 7 と重なって隠れており、その支持アーム 2 は、円形フレーム 6 と半円形フレーム 7 との交点に支持されている。従って、X - Y 平面上において、原点を中心として、マイクロフォン 3 B によって X 方向に沿った 1 つの軸が構成され、マイクロフォン 3 D によって Y 方向に沿った 1 つの軸が構成される。そして、マイクロフォン 3 C およびマイクロフォン 3 E によって、X · Y 方向に対し 45 ° 傾いた 2 つの軸が構成される。

10

20

【0044】

なお、原点用のマイクロフォン 3 A とマイクロフォン 3 B とは、90 ° の角度差を有しているが、これは支持アーム 2 のレイアウト上の問題であり、上述したアルゴリズムの上では重要な角度ではない。

【0045】

マイクロフォン 3 F , 3 G , 3 H は、半円形フレーム 7 にそれぞれ支持され、上記のマイクロフォン 3 B とともに、X - Z 平面上に配置されている。図 2 のように X - Z 平面を見たときに、マイクロフォン 3 B , 3 F , 3 G , 3 H は、原点を中心として、それぞれ 45 ° の角度差を有するように配置されている。なお、マイクロフォン 3 B は、図 2 においては円形フレーム 6 と重なって隠れている。従って、X - Z 平面上において、原点を中心として、マイクロフォン 3 B によって上述した X 方向に沿った 1 つの軸が構成され、マイクロフォン 3 G によって Z 方向に沿った 1 つの軸が構成される。そして、マイクロフォン 3 F , 3 H によって、X · Z 方向に対し 45 ° 傾いた 2 つの軸が構成される。

30

【0046】

マイクロフォン 3 B ~ 3 H の各々の先端面 3 b は、いずれも支持アーム 2 の中心軸線に対し直交しているので、上記のように配置されたマイクロフォン 3 B ~ 3 H の先端面 3 b は、いずれも原点を指向している。

【0047】

従って、マイクロフォン 3 B ~ 3 H の配置を立体的に考察すると、原点を中心とする球体（一実施例においては直径 10 mm の球体）の表面に沿って 7 個のマイクロフォン 3 B ~ 3 H の先端面 3 b が配置された形となる。そして、原点を中心として 7 軸が三次元的に構成される。つまり、X , Y , Z 方向の 3 軸と、これら 3 軸の中の 2 つの軸に対して 45 ° の角度を有する 4 軸と、を含む 7 軸が構成される。これにより、7 軸に沿った平面波にモデル化し、上述したアルゴリズムに従って、任意の点の音圧レベルについては対象とする音場での最大音圧レベルを精度よく求めることが可能となる。

40

【0048】

上記構成のマイクロフォンアレイでは、受音部 4 となる上記の球体の内側には、原点用のマイクロフォン 3 A が存在するものの、他のマイクロフォン 3 B ~ 3 H は、各々の支持アーム 2 とともに球体の外側に位置する。従って、波長が短い高周波音の反射による音場の乱れが少ない。しかも、マイクロフォン 3 B ~ 3 H の先端面 3 b が球体の表面に沿って

50

いるため、マイクロフォン 3 B ~ 3 H が部分的に球体の内側に入り込むことがない。また、フレーム 1 や支持アーム 2 は、波長に比較して十分に細く構成されているとともに、中心の受音部 4 から外側に離れているため、これらによる音場の乱れも少ない。

【 0 0 4 9 】

なお、上記実施例のマイクロフォンアレイのように原点用のマイクロフォン 3 A と他のマイクロフォン 3 B ~ 3 H との間の距離を全ての軸について等距離とすることが測定精度等の上で有利であるが、本発明は、各軸のマイクロフォン間の距離が等距離であることに限定されるものではない。

【 0 0 5 0 】

さらに、上記実施例のマイクロフォンアレイでは、比較的強度・剛性が高い円形フレーム 6 および半円形フレーム 7 によって、内側のマイクロフォン 3 や支持アーム 2 が保護された形となる。そのため、実際に車室内等で取り扱う際に、誤ってマイクロフォン 3 等に触ってその位置が変わってしまうようなことがない。前述したようにマイクロフォン 3 はリード線 1 5 および熱収縮チューブ 1 6 でもって支持アーム 2 に支持されているが、円形フレーム 6 および半円形フレーム 7 によって囲まれて、外部から外力を受けることがないため、十分な耐久性が得られる。

【 0 0 5 1 】

図 1 0 および図 1 1 は、上記のマイクロフォンアレイを用いて上述のアルゴリズムにより求めた最大音圧レベルの精度を検証した試験について示している。図 1 0 は、試験に用いた設備を示しており、無響室 2 1 内に、図示するようにレファレンスマイクロフォン 2 2 を配置するとともに、このレファレンスマイクロフォン 2 2 を挟んで両側に等距離 (1 m) の位置にスピーカ 2 3 , 2 3 を対向配置した。そして、スピーカ 2 3 , 2 3 の位相誤差および出力誤差をインパルス応答計測により得た値で補正し、レファレンスマイクロフォン 2 2 の位置が最大音圧になるよう調整した。一方、上述した実施例のマイクロフォンアレイをレファレンスマイクロフォン 2 2 の近傍に配置した。

【 0 0 5 2 】

試験では、2 0 0 0 ~ 1 0 0 0 0 H z (1 / 3 オクターブ) の純音を両スピーカ 2 3 , 2 3 から同相で再生し、レファレンスマイクロフォン 2 2 による計測値を基準の最大音圧レベルとして得るとともに、実施例のマイクロフォンアレイを用いて上述したアルゴリズムにより最大音圧レベルを推定した。

【 0 0 5 3 】

図 1 1 は、レファレンスマイクロフォン 2 2 による基準値と実施例のマイクロフォンアレイおよび上述したアルゴリズムによる推定値との誤差を各周波数について示したものである。図 1 1 に示すように、レファレンスマイクロフォン 2 2 による基準値と推定値との誤差は、- 0 . 6 ~ 1 . 7 d B であり、実施例のマイクロフォンアレイを用いることで、反射音場において最大音圧レベルを精度よく推定できることが実証された。

【 0 0 5 4 】

上記実施例のマイクロフォンアレイは、8 個のマイクロフォン 3 によって原点を中心とした 7 軸を構成しているが、本発明においては、少なくとも 4 個のマイクロフォンによって 3 軸を構成すれば、三次元空間の最大音圧レベルの推定が可能である。

【 0 0 5 5 】

図 1 2 は、このような軸の数と最大音圧レベルの推定精度との関係をシミュレーションにより求めた結果を示している。これは、8 0 0 0 H z の高周波音の音源を 5 つ想定し、音源の配置、強さ、位相をパラメータとして扱い、算出した各条件の最大音圧値を基準として、上述したアルゴリズムにより推定した最大音圧との差分を評価関数としたものである。音源の位相の組み合わせを 3 条件、強さの組み合わせを 4 条件として、マイクロフォンアレイの中心から 1 m の距離で各音源の位置をランダムに選択することで、計 9 0 0 0 試行の計算を行った。

【 0 0 5 6 】

この図 1 2 に示すように、少なくとも 3 軸あれば最大音圧を十分な精度で推定すること

10

20

30

40

50

ができ、また、上記実施例のマイクロフォンアレイのように7軸あれば、非常に高い精度が得られる。

【0057】

上記実施例のマイクロフォンアレイは、例えば車室内等の音場に1個配置することで最大音圧レベルの推定が可能であるが、さらに複数個のマイクロフォンアレイを用いることで、推定精度を高めることも可能である。

【0058】

図13は、マイクロフォンアレイの数を増やしたときの最大音圧レベルの推定精度を図12と同様の手法により求めた結果を示している。図示するように、1個のマイクロフォンアレイでもって最大音圧を十分な精度で推定することができ、4個以上のマイクロフォンアレイの配置が可能であれば、非常に高い精度が得られる。なお、上記実施例のマイクロフォンアレイは、直径10cm程度に構成し得るので、例えば電気自動車等の車室内に複数個配置することが容易である。

10

【0059】

図14は、電気自動車の実車を用いた実走実験において本発明の精度を検証した結果を示している。この試験では、強電系高周波異音の対策に差異を設けた3つの仕様の実車を用意し、上記実施例のマイクロフォンアレイならびに上述のアルゴリズムを用いて各仕様の最大音圧レベルを推定した。一方、各仕様について、熟練の指定評価者による最大音圧レベルの官能評価を行い、また、従来方法として、1個のマイクロフォンを運転者の耳近傍に配置して最大音圧レベルを計測した。図14は、これら3者を各仕様毎に纏めたものである。

20

【0060】

この図14に示すように、従来方法である1個のマイクロフォンによる音圧レベルの測定では、最大音圧レベルを正しく把握することができない。他方、本発明による最大音圧レベルの推定値は、熟練の指定評価者による官能評価と一致した傾向を示している。

【0061】

以上、この発明を主に電気自動車やハイブリッド型自動車におけるインバータ等による車室内での高周波音に関して説明したが、この発明は、このような用途にのみ限定されるものではなく、種々の分野において高周波音の測定に広く適用することが可能である。また、その対象とする周波数も上述した8~10kHzに限定されるものではない。例えば1kHz以上の高周波音については、従来公知の手法では最大音圧レベルの検出が困難であり、このような高周波音に対して本発明は有用である。

30

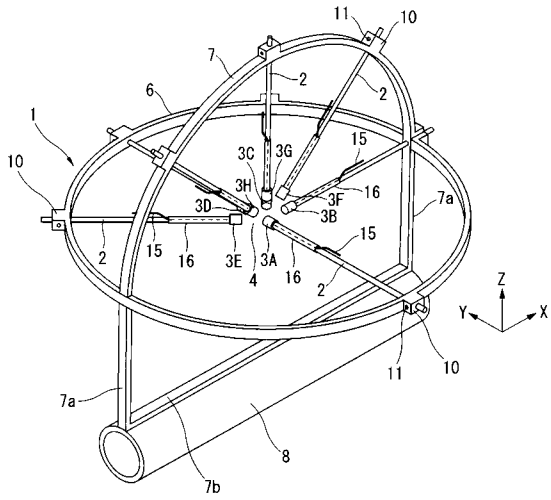
【符号の説明】

【0062】

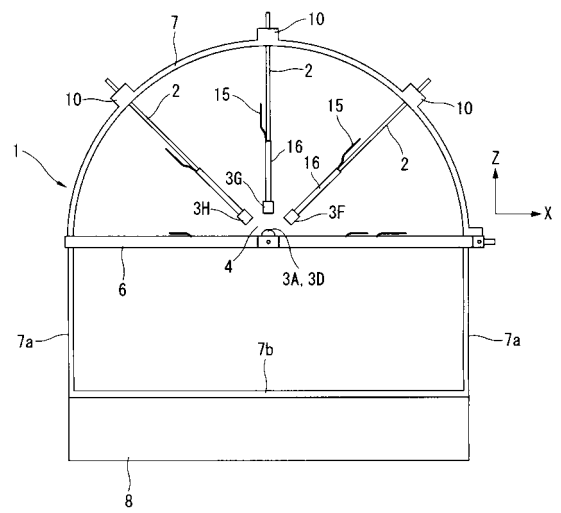
- 1 ... フレーム
- 2 ... 支持アーム
- 3 ... マイクロフォン
- 4 ... 受音部
- 6 ... 円形フレーム
- 7 ... 半円形フレーム
- 8 ... 取付部
- 13 ... 凹溝
- 15 ... リード線
- 16 ... 熱収縮チューブ

40

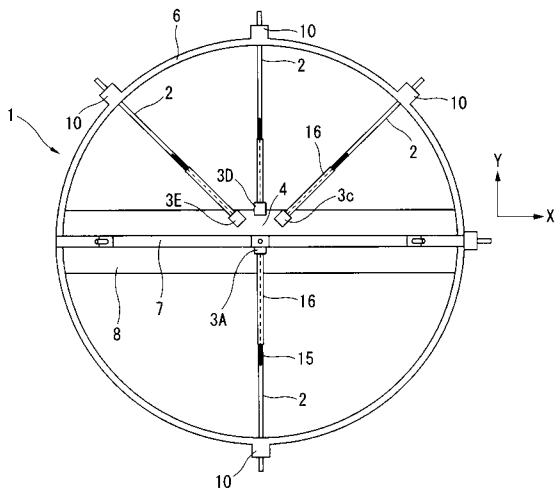
【 図 1 】



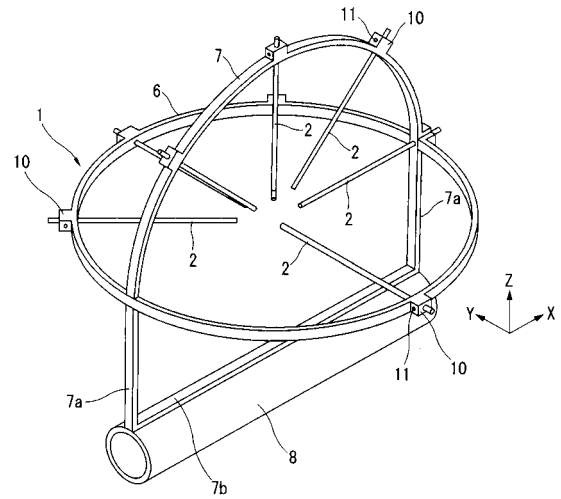
【 図 2 】



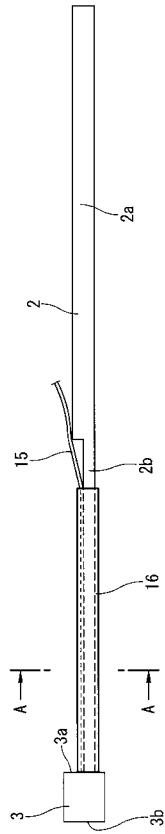
【 図 3 】



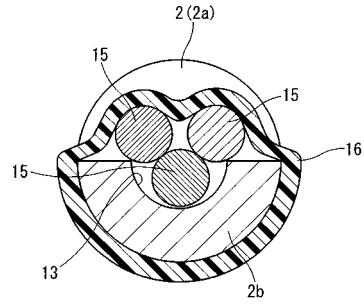
【 図 4 】



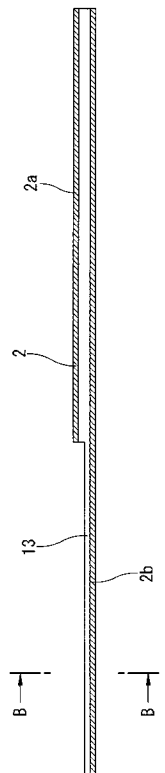
【 図 5 】



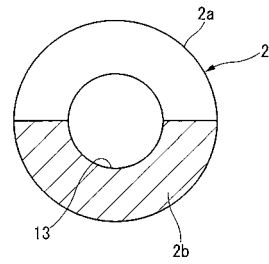
【 図 6 】



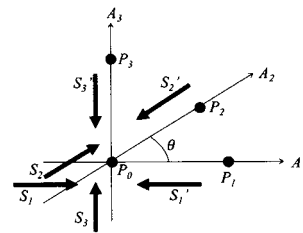
【 図 7 】



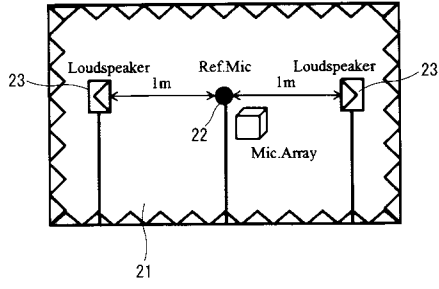
【 図 8 】



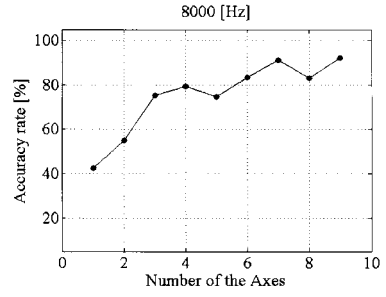
【 図 9 】



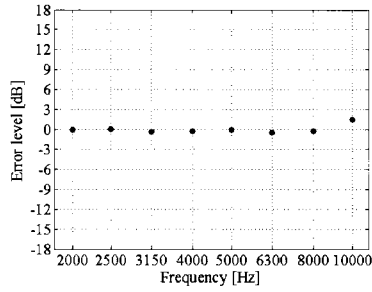
【図 10】



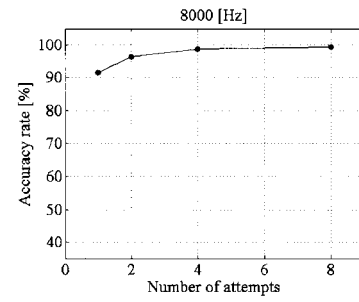
【図 12】



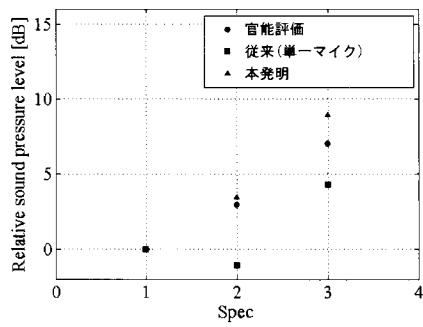
【図 11】



【図 13】



【図 14】



フロントページの続き

(72)発明者 山中 高章

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内

(72)発明者 田中 慎也

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内

(72)発明者 中島 弘史

東京都新宿区西新宿1丁目24番2号 学校法人工学院大学内

Fターム(参考) 2G064 AA14 AB01 AB02 AB15 CC29 DD23

5D018 BB23

5D220 BA06 BC05