

(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2006-194700

(P2006-194700A)

(43) 公開日 平成18年7月27日(2006.7.27)

(51) Int. Cl.

G01S 3/808 (2006.01)

F I

G01S 3/808

テーマコード(参考)

5J083

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2005-5613 (P2005-5613)
 (22) 出願日 平成17年1月12日(2005.1.12)

特許法第30条第1項適用申請有り 2004年9月21日から24日 E i C電子情報通信学会主催の「2004ソサイエティ大会」において文書をもって発表

(71) 出願人 803000104
 財団法人ひろしま産業振興機構
 広島県広島市中区千田町三丁目7番47号
 (74) 代理人 100091605
 弁理士 岡田 敬
 (72) 発明者 中村 正孝
 広島県広島市西区横川町一丁目7-11-903
 (72) 発明者 大屋 紀雄
 広島県広島市安芸区矢野東五丁目1-27
 Fターム(参考) 5J083 AA05 AC16 AD18 BE08 BE43

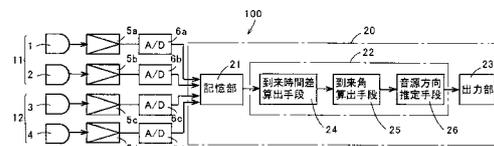
(54) 【発明の名称】 音源方向推定システム、音源方向推定方法及び音源方向推定プログラム

(57) 【要約】

【課題】 残響による推定誤差が低減可能で、かつ構成が簡単で安価な音源方向推定システムを提供する。

【解決手段】 2つのマイクロホン1、2からなる第一マイクロホン対11と、該第一のマイクロホン対11に直交するように配設する2つのマイクロホン3、4からなる第二マイクロホン対12と、各マイクロホン対11、12の出力信号に基づいて、各々到来時間差 t_{12} 、到来時間差 t_{34} を算出する到来時間差算出手段24と、該到来時間差算出手段24の算出する各到来時間差に基づいて到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段25と、到来時間差 t_{12} 、到来時間差 t_{34} 、到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する音源方向推定手段26と、該音源方向推定手段26が推定する音源方向結果を出力する出力手段23とを含む。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の間隔を有する 2 つのマイクロホンからなる第一マイクロホン対と、
該第一のマイクロホン対に直交するように配設する所定の間隔を有する 2 つのマイクロホンからなる第二マイクロホン対と、

該第一マイクロホン対の出力信号及び第二マイクロホン対の出力信号に基づいて、各々到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} を算出する到来時間差算出手段と、

該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{12} に基づいて到来角 θ_{12} 、及び該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{34} に基づいて到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段と、

10

該到来時間差算出手段が算出する到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び該到来角算出手段が算出する到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向 θ を推定する音源方向推定手段と、

該音源方向推定手段が推定する音源方向結果を出力する出力手段と、
を含むことを特徴とする音源方向推定システム。

【請求項 2】

前記音源方向推定手段は、次式を用いて音源方向 θ の推定を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の音源方向推定システム。

【数 1】

$|\tau_{12}| < |\tau_{34}|$ かつ $0^\circ < \theta_{34} < 90^\circ$ ならば
 $\theta = \theta_{12}$ (a)

20

$|\tau_{12}| < |\tau_{34}|$ かつ $-90^\circ < \theta_{34} < 0^\circ$ ならば
 $\theta = 360^\circ - \theta_{12}$ (b)

$|\tau_{12}| > |\tau_{34}|$ かつ $0^\circ < \theta_{12} < 90^\circ$ ならば
 $\theta = \theta_{34}$ (c)

もし $\theta_{34} < 0^\circ$ ならば
 $\theta = 360^\circ + \theta_{34}$ (d)

30

$|\tau_{12}| > |\tau_{34}|$ かつ $90^\circ < \theta_{12} < 180^\circ$ ならば
 $\theta = 180^\circ - \theta_{34}$ (e)

- ここで θ : 音源方向
- θ_{12} : 到来時間差 τ_{12} に基づく到来角
- θ_{34} : 到来時間差 τ_{34} に基づく到来角
- τ_{12} : 第一マイクロホン対の到来時間差
- τ_{34} : 第二マイクロホン対の到来時間差

40

【請求項 3】

前記第一マイクロホン対を構成する 2 つのマイクロホンの間隔と、前記第二マイクロホン対を構成する 2 つのマイクロホンの間隔とは、略同一であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の音源方向推定システム。

【請求項 4】

前記到来時間差算出手段が算出する到来時間差は、CSP法による算出であることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 に記載の音源方向推定システム。

【請求項 5】

さらに音声区間の検出を行う音声区間検出処理手段を含むことを特徴とする請求項 1 から

50

4のいずれか1に記載の音源方向推定システム。

【請求項6】

所定の間隔を有する2つのマイクロホンからなる第一マイクロホン対と、該第一のマイクロホン対に直交するように配設する所定の間隔を有する2つのマイクロホンからなる第二マイクロホン対とで、音を受音する第一ステップと、

第一ステップで受音した該第一マイクロホン対の出力信号、及び第二マイクロホン対の出力信号に基づいて、各々到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} を算出する第二ステップと、

第二ステップで算出した到来時間差 τ_{12} に基づいて到来角 θ_{12} 、及び到来時間差 τ_{34} に基づいて到来角 θ_{34} を算出する第三ステップと、

第二ステップで算出した到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び第三ステップで算出した到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する第四ステップと、

第四ステップで推定した音源方向結果を出力する第五ステップと、
を含むことを特徴とする音源方向推定方法。

10

【請求項7】

音源方向を推定するためにコンピュータを、第一マイクロホン対及び第二マイクロホン対のマイクロホンの出力信号に基づいて、第一マイクロホン対の到来時間差 τ_{12} 、及び第二マイクロホン対の到来時間差 τ_{34} を算出する到来時間差算出手段、

該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{12} に基づく到来角 θ_{12} 、及び該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{34} に基づく到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段、

20

該到来時間差算出手段が算出する到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び該到来角算出手段が算出する到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する音源方向推定手段、として機能させるための音源方向推定プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、残響による誤差が少ない音源方向推定システム及び音源方向推定方法に関する。

【背景技術】

30

【0002】

音源方向推定は、発信音の方向・移動方向検出、移動体の進行方向の決定、並びに音声信号処理に重要な役割をもつ。たとえばオートバイ・自動車の接近・通過の認知、あるいは移動ロボットの発信音の反射音の方向推定によって障害物判定や進行方向の決定に用いられる。また音源方向推定は、ハンズフリー音声認識に特に必要不可欠となる。ハンズフリー音声認識では、話者とマイクロホンとの間に距離があり、そのため周囲雑音あるいは室の残響によって、認識率が著しく低下する問題がある。そこで話者の方向が分かれば、その方向のマイクロホンシステムの指向性の形成、あるいは、残響・雑音抑制によって高いS/Nを確保でき、認識率を向上させることができる。そのためには正確な音源方向推定が必要となる。

40

【0003】

音源方向推定法には基本的な方法として、マイクロホンアレイを用い、マイクロホン間の受音信号の到来時間差を用いて到来方向を推定する方法がある(例えば特許文献1参照)。その到来時間差の算出法としては、離散時間信号のフーリエ変換であるDFT(Discrete Fourier Transform)を用いた位相差、相互相関、白色化相互相関法であるCSP(Cross-Power Spectrum Phase Analysis)による方法などが挙げられる。

【0004】

また、物体に反射して検出される音の音圧レベルの高低や、雑音の影響を考慮した音源方向推定装置に関する技術も開示されている(例えば特許文献2参照)。この技術は、複

50

数のマイクロホンの各々が検知して生成した音響信号から信号対雑音比を算出し、算出された信号対雑音比に基づいて、時間窓長を相互に異なる所定の値の中から選択するため、反射音の音圧レベルの高低及び雑音の影響を考慮して音源方向を推定できるとする。

【特許文献1】特開平7-336790号公報

【特許文献2】特開2004-12151号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載の技術は、雑音や残響の影響を受け、音源方向の推定精度が高いとは言えない。また特許文献2に記載の技術は、反射音の音圧レベルの高低及び雑音の影響を考慮した音源方向を推定装置であるが、到来時間遅れを直接的に活用した簡単な方法ではない。到来時間遅れを直接的に活用し、簡単な方法で音源方向の推定ができれば安価に音源方向推定装置を製造することも可能となる。また、残響による誤差の少ない音源方向推定装置の開発も待たれている。

10

【0006】

本発明の目的は、音源方向の推定に残響による誤差が少なく、かつ構成が簡単で安価な音源方向推定システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

発明者は、到来時間遅れの直接的活用の音源方向推定において、マイクロホン対に一致する方向の到来角で、残響・反射並びにマイクロホン間隔誤差による推定誤差が大きく表れることの知見を見出した。この点に注目して、直交するマイクロホン対を用い、各到来角に対して誤差の少ない方のマイクロホン対の推定結果を選択することで、全体としてより正確な音源方向推定が可能なシステムを提案する。特に本システムは、解決がなかなか困難であった残響による推定誤差を低減可能なシステムである。

20

【0008】

すなわち本発明は、所定の間隔を有する2つのマイクロホンからなる第一マイクロホン対と、

該第一のマイクロホン対に直交するように配設する所定の間隔を有する2つのマイクロホンからなる第二マイクロホン対と、

30

該第一マイクロホン対の出力信号及び第二マイクロホン対の出力信号に基づいて、各々到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} を算出する到来時間差算出手段と、

該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{12} に基づいて到来角 θ_{12} 、及び該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{34} に基づいて到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段と、

該到来時間差算出手段が算出する到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び該到来角算出手段が算出する到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する音源方向推定手段と、

該音源方向推定手段が推定する音源方向結果を出力する出力手段と、
を含むことを特徴とする音源方向推定システムである。

40

【0009】

また本発明で、前記音源方向推定手段は、次式を用いて音源方向の推定を行うことを特徴とする請求項1に記載の音源方向推定システムである。

【数 2】

$$\begin{aligned}
|\tau_{12}| < |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad 0^\circ < \theta_{34} < 90^\circ \quad \text{ならば} \\
\theta &= \theta_{12} && \dots \dots \dots (a) \\
|\tau_{12}| < |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad -90^\circ < \theta_{34} < 0^\circ \quad \text{ならば} \\
\theta &= 360^\circ - \theta_{12} && \dots \dots \dots (b) \\
|\tau_{12}| > |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad 0^\circ < \theta_{12} < 90^\circ \quad \text{ならば} \\
\theta &= \theta_{34} && \dots \dots \dots (c) \\
&\text{もし} \quad \theta_{34} < 0^\circ \quad \text{ならば} \\
\theta &= 360^\circ + \theta_{34} && \dots \dots \dots (d) \\
|\tau_{12}| > |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad 90^\circ < \theta_{12} < 180^\circ \quad \text{ならば} \\
\theta &= 180^\circ - \theta_{34} && \dots \dots \dots (e)
\end{aligned}$$

10

ここで θ : 音源方向

θ_{12} : 到来時間差 τ_{12} に基づく到来角

θ_{34} : 到来時間差 τ_{34} に基づく到来角

τ_{12} : 第一マイクロホン対の到来時間差

τ_{34} : 第二マイクロホン対の到来時間差

20

【0010】

また本発明で、前記第一マイクロホン対を構成する2つのマイクロホンの間隔と、前記第二マイクロホン対を構成する2つのマイクロホンの間隔とは、略同一であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の音源方向推定システムである。

【0011】

また本発明で、前記到来時間差算出手段が算出する到来時間差は、CSP法による算出であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1に記載の音源方向推定システムである。

30

【0012】

また本発明は、さらに音声区間の検出を行う音声区間検出処理手段を含むこと特徴とする請求項1から4のいずれか1に記載の音源方向推定システムである。

【0013】

また本発明は、所定の間隔を有する2つのマイクロホンからなる第一マイクロホン対と、該第一のマイクロホン対に直交するように配設する所定の間隔を有する2つのマイクロホンからなる第二マイクロホン対とで、音を受音する第一ステップと、

第一ステップで受音した該第一マイクロホン対の出力信号、及び第二マイクロホン対の出力信号に基づいて、各々到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} を算出する第二ステップと、

40

第二ステップで算出した到来時間差 τ_{12} に基づいて到来角 θ_{12} 、及び到来時間差 τ_{34} に基づいて到来角 θ_{34} を算出する第三ステップと、

第二ステップで算出した到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び第三ステップで算出した到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向 θ を推定する第四ステップと、

第四ステップで推定した音源方向結果を出力する第五ステップと、

を含むことを特徴とする音源方向推定方法である。

【0014】

また本発明は、音源方向を推定するためにコンピュータを、第一マイクロホン対及び第

50

二マイクロホン対のマイクロホンの出力信号に基づいて、第一マイクロホン対の到来時間差 τ_{12} 、及び第二マイクロホン対の到来時間差 τ_{34} を算出する到来時間差算出手段、該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{12} に基づく到来角 θ_{12} 、及び該到来時間差算出手段の算出する到来時間差 τ_{34} に基づく到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段、

該到来時間差算出手段が算出する到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び該到来角算出手段が算出する到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する音源方向推定手段、として機能させるための音源方向推定プログラムである。

【発明の効果】

【0015】

本発明の音源方向推定システムは、所定の間隔を有し2つのマイクロホンからなる第一マイクロホン対と、第一マイクロホン対に直交するように配設する所定の間隔を有し2つのマイクロホンからなる第二マイクロホン対と、含み構成するので、従来のマイクロホンアレイシステムに比較して、マイクロホンの数が少なく構成が簡単で安価な音源方向推定システムを製造することができる。

【0016】

また、第一及び第二マイクロホン対のマイクロホンの各々の出力信号に基づいて第一マイクロホン対の到来時間差 τ_{12} 、及び第二マイクロホン対の到来時間差 τ_{34} を算出する到来時間差算出手段と、到来時間差算出手段が算出する到来時間差 τ_{12} に基づく到来角 θ_{12} 、及び到来時間差 τ_{34} に基づく到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段と、到来時間差算出手段が算出する到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び到来角算出手段が算出する到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する音源方向推定手段と、を含むので残響による誤差が少なく、精度の高い音源方向の推定を行なうことができる。

【0017】

また本発明に従えば、音源方向の推定を、複雑な計算を行うことなく推定することができる。

【0018】

また本発明によれば、2つのマイクロホン対の長さが略同一であるので、マイクロホンの設置を容易に行うことができる。これにより音源方向推定システムの製造が容易となり、また安価に製造することができる。

【0019】

また本発明によれば、到来時間差算出手段が算出する到来時間差は、CSP法による算出であるので、残響による誤差が低減可能で、精度の高い音源方向の推定を行なうことができる。

【0020】

また本発明によれば、音声区間の検出を行う音声区間検出処理手段をさらに備えるので、音源方向の推定精度がより高まる。

【0021】

また本発明によれば、第一マイクロホン対及び第二マイクロホン対で、音を受音する第一ステップと、到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} を算出する第二ステップと、到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} を算出する第三ステップと、到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する第四ステップと、推定した音源方向結果を出力する第五ステップと、を含むので本方法を用いて音源方向の推定を行うことができる。

【0022】

また本発明によれば、記録したプログラムをコンピュータに読取らせて、音源方向の推定を行うことができるので、音源方向の推定をコンピュータに実行させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

図1は、本発明の実施の一形態としての音声方向推定システム100の概略的な構成を

10

20

30

40

50

示すブロック図である。音声方向推定システム100は、マイクロホン1、2、3、4、ライン増幅器5a、5b、5c、5d、アナログ/デジタル変換器6a、6b、6c、6d及びデータ処理装置20を主要な構成とする。図2は、マイクロホン1、2、3、4の配置を示す図である。図2に示すは、マイクロホン1、2を結ぶ線を基準に、半時計周りに計測した角度である。

【0024】

マイクロホンは、無指向性のマイクロホンであって、所定の間隔を有する2つのマイクロホン1、2からなる第一マイクロホン対11と、所定の間隔を有する2つのマイクロホン3、4からなる第二マイクロホン対12とからなる。マイクロホン1、2の距離とマイクロホン3、4の距離とは、略同一である。またマイクロホン1、2を結ぶ線とマイクロホン3、4を結ぶ線とは直交し、交点Oから各マイクロホン1～4までの距離は略同一である。第一マイクロホン対11と第二マイクロホン対12とを直交配置させるのは、誤差の少なくなるマイクロホン対の到来角の推定結果を選択することにより、全体としてより正確な音源方向を推定することにある。

10

【0025】

マイクロホン1、2の距離とマイクロホン3、4の距離とが略同一、交点Oから各マイクロホン1～4までの距離が略同一であるとは、同一の場合のほか2つの距離がわずかに異なる場合も含む。また、マイクロホン1、2を結ぶ線とマイクロホン3、4を結ぶ線とが直交するとは、マイクロホン1、2を結ぶ線とマイクロホン3、4を結ぶ線とが、90°の角度で交わる場合のみならず、90°に対して数度の傾きがある場合も含まれる。

20

【0026】

以上のようにマイクロホン対11とマイクロホン対12との設置については、多少の自由度を有するため、周囲の環境上、マイクロホン対11とマイクロホン対12との距離を同一にできない場合、あるいはマイクロホン1、2を結ぶ線とマイクロホン3、4を結ぶ線との交点Oから、各マイクロホン1～4までの距離を同一にすることができないような場合であっても本発明を利用することができる。また、マイクロホン対11とマイクロホン対12とを、90°の角度で交差させることができないような場合であっても本発明を利用することができる。マイクロホン対の距離、マイクロホン対11とマイクロホン対12の交差する角度の誤差が、音源方向の推定に及ぼす影響については後述する。

【0027】

マイクロホン1～4で受信された音は、マイクロホン1～4で電気信号に変換され、ライン増幅器5a～5d、アナログ/デジタル変換器6a～6dを通して、電気信号としてデータ処理装置20に送られる。データ処理装置20は、記憶部21、演算部22及び出力部23を含み構成される。音声信号は、予め定められたサンプリング時間T秒ごとにサンプリングされて記憶部21の記憶手段に記憶される。

30

【0028】

演算部22は、記憶部21に記憶した音声データを用いて、所定の演算を行なう。演算部22は、第一マイクロホン対11及び第二マイクロホン対12のマイクロホンの出力信号に基づいて、第一マイクロホン対の到来時間差 τ_{12} 、及び第二マイクロホン対の到来時間差 τ_{34} を算出する到来時間差算出手段24を備える。さらに到来時間差算出手段24の算出する到来時間差 τ_{12} に基づく到来角 θ_{12} 、及び到来時間差算出手段24の算出する到来時間差 τ_{34} に基づく到来角 θ_{34} を算出する到来角算出手段25と、到来時間差算出手段24の算出する到来時間差 τ_{12} 、到来時間差 τ_{34} 、及び到来角算出手段25の算出する到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} から音源方向を推定する音源方向推定手段26を含む。出力部23は、音源方向推定手段26の推定した音源方向結果を出力する。

40

【0029】

本実施形態においては、記憶部21、演算部22及び出力部23は、コンピュータで構成する。到来時間差算出手段24、到来角算出手段25、音源方向推定手段26は、ソフトウェア的に構成し、プログラムをコンピュータにインストールすることによって実行させることができる。なお、記憶部、演算部、出力部は一体の装置として構成されている必

50

要はなく、各々別の装置であってもよい。また記憶機能、演算機能、出力機能を備えるものであれば、コンピュータ以外のものであってもよいことは言うまでもない。

【 0 0 3 0 】

次に音源方向の推定方法について説明する。基本的に到来時間差による音源方向の推定は、次のように行うことができる。図3において音速 c ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) の平面波が方向から到来しているとすると、マイクロホン M I C 1 の受音に対してマイクロホン M I C 2 の受音は遅延し、到来時間差を生じる。このとき到来時間差と到来角(音源方向)の関係は、式(1)、式(2)で与えられる。到来時間差は、D F T、相互相関、又は C S P 係数を用いて算出し、この値と式(2)とから到来角つまり音源方向を推定できる。ここで d (m) は、マイクロホン M I C 1 とマイクロホン M I C 2 との間隔である。

10

【数3】

$$\tau = \frac{1}{c} d \cos \theta \quad \dots \dots (1)$$

【数4】

$$\theta = \cos^{-1} \frac{c \tau}{d} \quad \dots \dots (2)$$

20

【 0 0 3 1 】

ここで、室内の残響、反射による到来時間遅れの計測誤差を ϵ_τ とすると、計測誤算を考慮した到来時間差の測定値 τ_m は式(3)で表される。よって室の残響、反射による到来時間差の計測誤差 ϵ_τ を考慮した場合の到来角の誤差 $\epsilon_{\theta 1}$ は、式(4)で示される。式(4)において、 τ_m は、到来時間遅れの計測誤差 ϵ_τ を含む場合の音源方向の推定値である。

【数5】

$$\tau_m = \frac{1}{c} d \cos \theta + \epsilon_\tau \quad \dots \dots (3)$$

30

【数6】

$$\epsilon_{\theta 1} = \theta_m - \theta = \cos^{-1} \left(\cos \theta + \frac{c}{d} \epsilon_\tau \right) - \theta \quad \dots \dots (4)$$

40

【 0 0 3 2 】

到来時間遅れの計測誤差 ϵ_τ と到来角の誤差 $\epsilon_{\theta 1}$ との関係を図4に示す。ここで到来角の誤差 $\epsilon_{\theta 1}$ は、式(4)を用いて計算した値である。図4に示すように、音源方向 $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 180^\circ$ すなわちマイクロホン対に沿った到来方向に対して、到来角の誤差 $\epsilon_{\theta 1}$ が大きく表れる。

【 0 0 3 3 】

マイクロホン間隔の誤差は、次のように表される。マイクロホン自体がある寸法を有し、全く点音源とならない。このことをマイクロホン間隔 d の実効的誤差の要因と考える。またマイクロホンシステムを多数個製作するとき、マイクロホン間隔のズレの問題も生じる。このとき、目標(設定)マイクロホン間隔 d に対して実際のマイクロホン間隔を d_m

50

とすると、到来角の誤差 $\varepsilon_{\theta 2}$ は式 (5) で示される。

【数 7】

$$\varepsilon_{\theta 2} = \cos^{-1} \left(\frac{d}{d_m} \cos \theta \right) - \theta \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (5)$$

【0034】

マイクロホン間隔の誤差と到来角の誤差 $\varepsilon_{\theta 2}$ との関係を図 5 (a)、図 5 (b) に示す。ここで到来角の誤差 $\varepsilon_{\theta 2}$ は、式 (5) を用いて計算した値である。図 5 (a)、図 5 (b) に示すように、室の残響、反射による到来時間遅れと同様、音源方向 $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 180^\circ$ すなわちマイクロホン対に沿った到来方向に対して、到来角の誤差 $\varepsilon_{\theta 2}$ が大きく表れる。

10

【0035】

以上の問題点を解決するために、本発明においては、図 2 に示すようにマイクロホン対 11 とマイクロホン対 12 とを直交させる。マイクロホン対を直交配置させるのは、誤差の少なくなるマイクロホン対の実測した到来時間差 τ_m に基づく到来角 θ_m の推定結果を選択することにより、全体としてより正確な音源方向 θ を推定することにある。またマイクロホン対 11 とマイクロホン対 12 との間の遅延時間により、平面内全方向の音源方向推定が可能となる。

20

【0036】

マイクロホン対 11 の到来時間差 τ_{12} 、マイクロホン対 12 の到来時間差 τ_{34} に基づき算出する到来角 θ_m を各々 θ_{12} 、 θ_{34} とすると、到来角 θ_{12} 、 θ_{34} は、式 (6.1)、式 (6.2) で与えられる。ここで、 c ($m \cdot s^{-1}$) は音速、 d (m) はマイクロホン 1、2 間の距離、又はマイクロホン 3、4 間の距離である。

【数 8】

$$\theta_{12} = \cos^{-1} \frac{c \tau_{12}}{d} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (6.1)$$

$$\theta_{34} = \sin^{-1} \frac{c \tau_{34}}{d} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot (6.2)$$

30

【0037】

各マイクロホン対の到来時間差 τ_{12} 、 τ_{34} の実測結果の一例を、図 6 (a)、6 (b) に示す。ここでは、入力に 800 Hz の正弦波を使用し、受信信号を FFT (fast Fourier transform) して求めた位相差特性から到来時間差を算出した。また音源方向 θ に対する実測した到来時間差に基づき算出した到来角 θ_{12} 、 θ_{34} の関係を図 7 (a)、7 (b) に示す。なお図 6 (a)、6 (b) 及び図 7 (a)、7 (b) に示す実線は、残響、反射を伴わず、またマイクロホン間隔に誤差を含まない場合の計算値である。

40

【0038】

図 4 又は図 5 (a)、5 (b) に示したのと同様、図 6 (a)、6 (b) 及び図 7 (a)、7 (b) においても、マイクロホン対に沿う到来方向、つまりマイクロホン対 11 では音源方向 0° 及び 180° 、マイクロホン対 12 では音源方向 90° 及び 270° において音源方向の推定値の誤差が大きいことが分かる。

【0039】

図 6 (a)、6 (b) 及び図 7 (a)、7 (b) の結果から、 $|\theta_{12}| < |\theta_{34}|$ の場合は、マイクロホン対 11 による到来角 θ_{12} を、 $|\theta_{12}| > |\theta_{34}|$ の場合は、マイクロホン対 12 による到来角 θ_{34} を、音源方向 θ として選択すれば、全音源方向をより正確に推定可能なことが分かる。また図 7 (a)、7 (b) の結果から、 $|\theta_{12}|$

50

$|\tau_{12}| < |\tau_{34}|$ の場合は、 θ_{34} によって θ_{12} を、また $|\tau_{12}| > |\tau_{34}|$ の場合は、 θ_{12} によって θ_{34} を、場合分けする必要があることが分かる。以上を整理し、式(7.1)~式(7.5)に誤差の少ない到来角 θ_{12} 、到来角 θ_{34} を選択する条件と推定音源方向(到来角) θ の関係を示す。

【数9】

$$|\tau_{12}| < |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad 0^\circ < \theta_{34} < 90^\circ \quad \text{ならば} \\ \theta = \theta_{12} \quad \dots \dots (7.1)$$

$$|\tau_{12}| < |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad -90^\circ < \theta_{34} < 0^\circ \quad \text{ならば} \\ \theta = 360^\circ - \theta_{12} \quad \dots \dots (7.2)$$

$$|\tau_{12}| > |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad 0^\circ < \theta_{12} < 90^\circ \quad \text{ならば} \\ \theta = \theta_{34} \quad \dots \dots (7.3)$$

$$\text{もし} \quad \theta_{34} < 0^\circ \quad \text{ならば} \\ \theta = 360^\circ + \theta_{34} \quad \dots \dots (7.4)$$

$$|\tau_{12}| > |\tau_{34}| \quad \text{かつ} \quad 90^\circ < \theta_{12} < 180^\circ \quad \text{ならば} \\ \theta = 180^\circ - \theta_{12} \quad \dots \dots (7.5)$$

10

20

【0040】

以上のように簡単な構成で残響、反射による誤差の少ない音源方向の推定を行うことができる。また構成が簡単であるので音源方向の推定も迅速に行うことができる。また音源方向推定システムの構成が簡単であるので、安価にシステムを製造することができる。

【0041】

また、直交マイクロホン対の使用は、音源方向の分解能の点からも有用である。マイクロホンMIC1の受音に対するマイクロホンMIC2の受音の到来時間差と到来角の関係は、上述のように式(2)で示される。ここで到来時間差のある場合、判別可能な到来時間差の最小値はサンプリング時間周期Tとなるから、分解能は、式(8.1)、式(8.2)で示される。ここで、cは音速である。

30

【数10】

$$\tau + T = \frac{d}{c} \cos(\theta + \Delta\theta) \quad \dots \dots (8.1)$$

$$\Delta\theta = \cos^{-1}\left(\frac{c}{d}T + \cos\theta\right) - \theta \quad \dots \dots (8.2)$$

【0042】

図8は、到来角(音源方向) θ と分解能 $\Delta\theta$ の関係を示す計算結果の一例である。図8から分解能 $\Delta\theta$ は、音源方向 $0 \sim 30^\circ$ 及び $160 \sim 180^\circ$ の範囲で大きく低下する一方、音源方向が 90° 近傍では分解能 $\Delta\theta$ が優れていることが分かる。また、マイクロホン間隔dと分解能 $\Delta\theta$ との関係では、マイクロホン間隔dが大きいほど分解能が優れている。このように分解能の点からも、直交マイクロホン対の使用は有用である。

40

【0043】

次に、マイクロホン対11とマイクロホン対12との距離が異なる場合に、音源方向の推定値にいかなる影響を与えるか検討する。マイクロホン対11の距離をd、マイクロホン対12の距離 $d + d'$ とし、マイクロホン対11及びマイクロホン対12の各々の距離は実測済みであると仮定する。マイクロホン11対とマイクロホン対12とは、各々を結ぶ線が中心点で交差し、かつ直交配置されているものと仮定する。なお d' は、dに比較

50

して十分小さいとする。

【0044】

マイクロホン対11の到来時間差 τ_{12} に基づく到来角 θ_{12} は、上記のように式(6.1)で表される。一方マイクロホン対12の到来時間差 τ_{34} は、式(9.1)で表される。また到来時間差 τ_{34} に基づく到来角 θ_{34} は、式(9.2)で算出することができる。これによりマイクロホン対12の距離が $d + \delta d$ であっても、音源方向の推定値は、マイクロホン対12の距離が d の場合と同一の値となる。

【数11】

$$\tau_{34} = \frac{1}{c}(d + \delta d)\sin\theta \quad \dots\dots (9.1)$$

10

$$\theta_{34} = \sin^{-1} \frac{c\tau_{34}}{(d + \delta d)} \quad \dots\dots (9.2)$$

【0045】

マイクロホン対の距離を事前に把握している場合は、マイクロホン対11とマイクロホン対12との距離が同一でなくても、音源方向の推定値に影響を及ぼすことはない。しかしながら、目標(設定)マイクロホン間隔 d に対して実際のマイクロホン間隔が d_m である場合にあっては、到来角に影響を与えることは上記式(5)で示した通りである。

20

【0046】

同様に、マイクロホン1、2を結ぶ線の中心点とマイクロホン3、4を結ぶ線の中心点とが交差しない場合、マイクロホン1、2を結ぶ線とマイクロホン3、4を結ぶ線とが 90° の角度で交差しない場合にあっては、これらの誤差が小さく、音源方向を推定する前にこれらの値が分かっているならば、これを考慮して音源方向を推定することで、これらに基づく誤差をなくすることができる。

【0047】

また、本発明の音源方向推定システム100は、使用するマイクロホン感度にばらつきがあっても、後述の実施例2に示すように音源方向推定結果に影響を与えない。これは本音源方向推定システム100では、到来時間差に着目して音源方向の推定を行っていることによる。これに対して、例えば特開平10-215497号公報に記載されているような多数のマイクロホン対を用いて、受音の大きさの差から音源方向を推定する場合にあっては、各マイクロホンの感度を揃える必要がある。以上のように本音源方向推定システム100は、マイクロホンの感度を必ずしも揃える必要がないので、音源方向推定システムを製作する上で有利である。

30

【0048】

図9は、本発明の音源方向推定システム100を用いて音源方向を推定する手順を示すフローチャートである。まずステップS1において、音をマイクロホン1、2、3、4で受音し、ライン増幅器5a~5d、及びアナログ/デジタル変換器6a~6dを介してデータ処理装置20の記憶部21にデータを記憶する。データは、サンプリング時間 T 秒ごとにサンプリングし記憶する。

40

【0049】

次にステップS2において、第一マイクロホン対11の到来時間差 τ_{12} 、及び第二マイクロホン対12の到来時間差 τ_{34} の算出を行なう。到来時間差の算出法には、DFTを用いた位相差、相互相関法、CSPを用いた算出法が周知であるが、後述の実施例に示すようにCSPを用いた算出法が精度の点から好ましい。

【0050】

CSPによる到来時間差の算出は、次のようにして求めることができる。相関のフーリエ変換は、パワースペクトルとなる。それを振幅で正規化(白色化)し逆フーリエ変換してCSP係数を求める。CSP係数は式(10)で表される。そして式(11)に示す

50

ように CSP 係数の最大となる k が到来時間差 となる。

【数 1 2】

$$CSP_{x,y}(k) = DFT^{-1} \left[\frac{DFT[s_x(n)] DFT[s_y(n)]^*}{\|DFT[s_x(n)]\| \|DFT[s_y(n)]\|} \right] \dots \dots (10)$$

ここで、 $S_x(n)$ はマイクロホン 1 の受信信号、 $S_y(n)$ はマイクロホン 2 の受信信号、 $*$ は共役を表す。

【数 1 3】

$$\tau = \arg_k \max(CSP_{x,y}(k)) \dots \dots (11)$$

10

【0051】

到来時間差 τ_{12} 、 τ_{34} 算出した後、到来時間差 τ_{12} 、 τ_{34} を用いて到来角 θ_{12} 、 θ_{34} を求める (ステップ S 3)。到来角は、前記の式 (6.1)、式 (6.2) に示した関係から求める。次にステップ S 4 において、誤差の少ない到来角 θ_{12} 又は θ_{34} を選択する。誤差の少ない到来角は、到来時間差 τ_{12} 、 τ_{34} 、及び到来角 θ_{12} 、 θ_{34} を用いて、前記の式 (7.1) ~ 式 (7.5) に示した関係から求める。

20

【0052】

最後に、ステップ S 4 で求めた誤差の少ない到来角 θ_{12} 又は θ_{34} を音源方向の推定値 として出力する。以上の手順により迅速に精度の高い到来角を推定することができる。

【0053】

上記の実施形態に、さらに音声区間検出処理手段を備えることにより、後述の実施例の実証データに示すように音源方向の推定精度を高めることができる。音声区間検出処理手段には、本発明者が先に出願した特開 2003-223175 号公報に記載した音声区間検出処理手段を用いることができる。具体的には、音声信号中に含まれる雑音を除去する前処理手段と、前処理手段により雑音が除去された音声信号の信号対雑音比を改善する信号対雑音比改善手段と、信号対雑音比改善手段で信号対雑音比が改善された音声信号に基づいて音声区間抽出信号を生成する音声区間抽出信号生成手段により構成することができる。本音声区間検出処理手段は、ソフトウェア的に構成し、プログラムをコンピュータにインストールすることで実行させることができる。

30

【0054】

また本発明の音源方向推定システム 100 を用いて、目標の音源方向信号を得ることも可能である。本発明の音源方向推定システム 100 を用いて、目標の音源方向信号を得る手順の一例を図 10 に示す。図 10 のステップ S 11 からステップ 15 は、図 9 に示したステップ S 1 からステップ S 5 に対応するので、詳細な説明は省略する。ステップ S 16 で、ステップ S 15 で算出した音源方向の推定結果に基づき到来時間差を算出する。

40

【0055】

ステップ S 16 で到来時間差を算出した後、ステップ S 17 で音源方向推定誤差の小さいマイクロホン対と判別されたマイクロホンの受信信号を DFT し、その位相差特性により周波数毎の到来時間差を求める。音源方向推定誤差の小さいマイクロホン対の判別は、ステップ S 14 で判別する。

【0056】

次にステップ S 18 で、ステップ S 16 で求めた到来時間差と、ステップ S 17 で求めた到来時間差が、一致する時間差をもつ周波数スペクトルを抽出する。次にステップ 19 で、ステップ S 18 で求めた周波数スペクトル成分を IDFT し、目標の音源方向信号を得る。

50

【 0 0 5 7 】

(実施例 1) 以下に音源方向推定システム 1 0 0 を用いて音源方向推定を行った実施例を示す。第一マイクロホン対と第二マイクロホン対とを直交させ、これらを図 1 1 に示すような一般教室の机の上に置いた。音源としてスピーカから発する男声「なかむらけんきゅうしつ」を入力とし、第一マイクロホン対と第二マイクロホン対を一体的に回転させることで音源方向を 0 ° から 1 8 0 ° まで所定の角度で変化させ、データの収録を行なった。録音のサンプリング周波数は 4 4 . 1 H z とした。マイクロホン対の長さ 4 c m である。

【 0 0 5 8 】

到来時間差の各算出法においては、F F T による位相差特性を用いた算出法と、C S P を用いた算出法では 4 0 9 6 サンプルごとにハニング窓をかけた計算を行った。また相互関数を用いた算出法では、相関個数を 4 0 9 6 サンプルとした。

【 0 0 5 9 】

本実施例 1 における到来時間差の測定法を以下に示す。到来時間遅れの算出には (1) D T F を用いた位相差、(2) 相互相関法、(3) C S P の用いた算出法を用いた。D T F を用いた位相差による到来時間差の算出は、次の要領で行った。マイクロホン 1 とマイクロホン 2 の受信信号をそれぞれ D F T 処理し、求まるフーリエ係数 a_n 、 b_n より位相特性を求める。各周波数の位相特性 θ_n は、式 (1 2) で表される。

【 数 1 4 】

$$\theta_n = \tan^{-1} \frac{b_n}{a_n} \quad \dots \dots (12)$$

20

【 0 0 6 0 】

マイクロホン 1 及びマイクロホン 2 の位相特性をそれぞれ θ_1 、 θ_2 とすると、位相差の周波数特性 θ_{12} は、 $\theta_{12} = \theta_1 - \theta_2$ となる。よって到来時間差 τ_{12} は、式 (1 3 . 1) で求めることができる。同様にして到来時間差 τ_{34} は、式 (1 3 . 2) で求めることができる。式 (1 3 . 1)、式 (1 3 . 2) 中 f は、周波数である。

【 数 1 5 】

$$\tau_{12} = \frac{\theta_{12}}{2 \pi f} \quad \dots \dots (13.1)$$

$$\tau_{34} = \frac{\theta_{34}}{2 \pi f} \quad \dots \dots (13.2)$$

30

【 0 0 6 1 】

相互相関法は、式 (1 4) で表される。

【 数 1 6 】

$$c(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(t_n) \cdot y(t_n + t) \quad \dots \dots (14)$$

40

ここで、 x はマイクロホン 1 の受信信号、 y はマイクロホン 2 の受信信号を表す。時間 t を変化させ、相互相関値の最大となる時間 t がマイクロホン 1、2 間の到来時間差 τ_{12} となる。同様に、マイクロホン 3、4 間の到来時間差 τ_{34} を求めることができる。

【 0 0 6 2 】

C S P を用いた計測法は上記実施の形態に示したとおりであり、式 (1 0)、式 (1 1) で到来時間差を求める。

50

【0063】

次に実験結果を示す。比較例として一つのマイクロホン対を用いた場合の結果も併せて示した。図12(a)~12(d)は、音源方向 = 30°方向とした場合の実施例及び比較例について、各到来時間差の算出法を用いて音源方向を推定した結果を示す図である。

図12(a)は、受信信号の波形を表す図である。図12(b)は、位相差特性を用いて音源方向を推定した結果、図12(c)は、相互相関を用いて音源方向を推定した結果、図12(d)は、CSP法を用いて音源方向を推定した結果を示す。

【0064】

同様に、図13(a)~13(d)は、音源方向 = 60°方向とした場合の実施例及び比較例につき、各到来時間差の算出法を用いて音源方向を推定した結果を示す図である。

図13(a)は、受信信号の波形を表す図である。図13(b)は、位相差特性を用いて音源方向を推定した結果、図13(c)は、相互相関を用いて音源方向を推定した結果、図13(d)は、CSP法を用いて音源方向を推定した結果を示す。

【0065】

図12(a)~12(d)及び図13(a)~13(d)から分かるように、CSP法による到来時間遅れを用いた場合に、良好な音源方向推定結果が得られた。一方で、音声(信号)区間外においても、一部で誤った方向推定結果が得られた。

【0066】

図14、図15、図16及び図17は、CSP法を用いた場合の各到来角に対する推定結果の誤差を示す図である。受信信号は、図12(a)と同一である。図14(a)は音源方向0°、図14(b)は音源方向20°、図14(c)は音源方向40°の場合の到来角に対する推定結果の誤差を示す図である。図15(a)は音源方向60°、図15(b)は音源方向80°、図15(c)は音源方向100°の場合の到来角に対する推定結果の誤差を示す図である。図16(a)は音源方向120°、図16(b)は音源方向140°、図16(c)は音源方向160°の場合の到来角に対する推定結果の誤差を示す図である。図17は音源方向180°の場合の到来角に対する推定結果の誤差を示す図である。

図14(a)、(b)、(c)~図17に示すように、比較例では、音源方向(到来方向) = 0°、180°に近づくほど誤差は大きくなった。これに対して実施例の場合は、= 0°、180°においても誤差は非常に小さかった。

【0067】

(実施例2)音源方向推定システム100を構成するマイクロホンの感度を変化させ、音源方向推定を行った実施例を示す。ここではマイクロホン1、マイクロホン3の受信信号は変化させず、マイクロホン2、マイクロホン4の受信信号を0.5倍し、音源方向推定を行った。なお、これ以外の実験条件は、実施例1と全て同一である。

【0068】

図18(a)は、マイクロホン1の入力波形、図18(b)は、マイクロホン2、4の受信信号を0.5倍した結果を示す図である。図19(a)は、マイクロホン1~4の全てのマイクロホンの受信信号を変化させることなく、所定の手順で音源方向推定を行った結果を示す図である。図19(b)は、マイクロホン1~4のうちマイクロホン2、4の受信信号を0.5倍した後、所定の手順で音源方向推定を行った結果を示す図である。なお図19(a)、図19(b)は、音源方向(到来角)が0°の場合の音源方向推定結果を示す図である。

【0069】

図19(a)、図19(b)に示すように、マイクロホン2、4の感度を下げた場合であっても、本発明の直交マイクロホン対を用いた音源方向推定結果は、良好であった。一方、一のマイクロホン対からなる比較例の場合には、音源方向推定値に大きな誤差があった。図20(a)、図20(b)は、音源方向(到来角)が30°の場合の音源方向推定

結果を示す図であって、図20(a)は、マイクロホンの受信信号を変化させることなく、所定の手順で音源方向推定を行った結果を示す図であり、図20(b)は、マイクロホン1~4のうちマイクロホン2、4の受信信号を0.5倍した後、所定の手順で音源方向推定を行った結果を示す図である。

【0070】

同様に図21(a)、図21(b)は、音源方向(到来角)が60°の場合の音源方向推定結果を示す図、図22(a)、図22(b)は、音源方向(到来角)が90°の場合の音源方向推定結果を示す図、図23(a)、図23(b)は、音源方向(到来角)が120°の場合の音源方向推定結果を示す図、図24(a)、図24(b)は、音源方向(到来角)が150°の場合の音源方向推定結果を示す図、図25(a)、図25(b)は、音源方向(到来角)が180°の場合の音源方向推定結果を示す図である。

10

【0071】

図19(a)、19(b)~図25(a)、25(b)の結果から、音源方向(到来角)の角度によらず、マイクロホン2、4の感度を下げた場合であっても、本発明の直交マイクロホン対を用いた音源方向推定結果は、良好であった。一方、一のマイクロホン対からなる比較例の場合には、音源方向推定値に大きな誤差があった。

【0072】

(実施例3)以下に、音源方向推定システム100に、さらに音声区間検出処理手段を備えた音源方向推定システムを用いて、音源方向推定を行った実施例を示す。音声区間検出処理手段を備える以外、音源方向推定システムも、実験条件も実施例1と全て同一である。

20

【0073】

図26~図29は、音声区間検出処理を適用した場合の各到来角に対する推定結果を示す図である。図26(a)は音源方向0°、図26(b)は音源方向20°、図26(c)は音源方向40°の場合の到来角に対する推定結果を示す図である。図27(a)は音源方向60°、図27(b)は音源方向80°、図27(c)は音源方向100°の場合の到来角に対する推定結果を示す図である。図28(a)は音源方向120°、図28(b)は音源方向140°、図28(c)は音源方向160°の場合の到来角に対する推定結果を示す図である。図29は音源方向180°の場合の到来角に対する推定結果を示す図である。平面内全方向の音源到来方向に対して、より正確な推定結果が得られ、かつ非音声区間の不必要な方向推定結果が生じなくなった。

30

【0074】

(実施例4)以下に音源方向推定システム100を用いて、目標の音源方向信号を得た実施例を示す。図30に、ある音声区間のスペクトルを示す。図30において実線は、処理前のスペクトル、破線は本音源方向推定システム100を用いて生成した目標信号のスペクトルを示す。また細実線は、比較例であって、一つのマイクロホン対のみからなるマイクロホンを用いて、位相差特性より求めた到来時間差から生成した信号のスペクトルである。

【0075】

図30から分かるように、本発明の音源方向推定システム100を用いて生成した目標方向信号のスペクトルは、処理前のスペクトル成分の大部分を含んでいた。一方、比較例で示す一つのマイクロホン対を用いて生成した信号は誤差が大きく、処理前のスペクトル成分をほとんど含んでいなかった。この結果から、本音源方向推定システム100を用いて、目標の音源方向信号を得ることが可能なことが分かる。

40

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】本発明の実施の一形態としての音声方向推定システム100の概略的な構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の実施の一形態としての音声方向推定システム100のマイクロホン1、2、3、4の配置を示す図である。

50

【図 3】基本的な到来時間差による音源方向の推定方法を説明するための図である。

【図 4】到来時間差の計測誤差と到来角の誤差₁との関係を示す図である。

【図 5】図 5 (a)、図 5 (b) は、マイクロホン間隔の誤差と到来角の誤差₂との関係を示す図である。

【図 6】図 6 (a)、図 6 (b) は、各マイクロホン対の到来時間差_{1 2}、_{3 4}の実測結果の一例を示す図である。

【図 7】図 7 (a)、図 7 (b) は、音源方向に対する実測した到来時間差に基づき算出した到来角_{1 2}、_{3 4}の関係を示す図である。

【図 8】到来角と分解能の関係を示す計算結果の一例を示す図である。

【図 9】本発明の音源方向推定システム 100 を用いて音源方向を推定する手順を示すフローチャートである。 10

【図 10】本発明の音源方向推定システム 100 を用いて目標の音源方向信号を得る手順を示すフローチャートである。

【図 11】本発明の実施例 1 の実施要領を示す図である。

【図 12】図 12 (a) ~ 12 (d) は、本発明の実施例 1 の音源方向推定結果であって、図 12 (a) は、受信信号波形を、図 12 (b) ~ 12 (d) は、音源方向 30° の場合の音源方向推定結果を示す図である。

【図 13】図 13 (a) ~ 13 (d) は、本発明の実施例 1 の音源方向推定結果であって、図 13 (a) は、受信信号波形を、図 13 (b) ~ 13 (d) は、音源方向 60° の場合の音源方向推定結果を示す図である。 20

【図 14】図 14 (a) ~ 14 (c) は、本発明の実施例 1 の音源方向 0°、20°、40° の音源方向推定結果であって、CSP 法を用いた場合の各到来角に対する音源方向推定結果の誤差を示す図である。

【図 15】図 15 (a) ~ 15 (c) は、本発明の実施例 1 の音源方向 60°、80°、100° の音源方向推定結果であって、CSP 法を用いた場合の各到来角に対する音源方向推定結果の誤差を示す図である。

【図 16】図 16 (a) ~ 16 (c) は、本発明の実施例 1 の音源方向 120°、140°、160° の音源方向推定結果であって、CSP 法を用いた場合の各到来角に対する音源方向推定結果の誤差を示す図である。

【図 17】本発明の実施例 1 の音源方向 180° の音源方向推定結果であって、CSP 法を用いた場合の各到来角に対する音源方向推定結果の誤差を示す図である。 30

【図 18】図 18 (a) 及び図 18 (b) は、本発明の実施例 2 のマイクロホン入力波形であって、図 18 (a) は、マイクロホン 1 の入力波形を、図 18 (b) は、受信信号を 0.5 倍した結果を示す図である。

【図 19】図 19 (a) 及び図 19 (b) は、本発明の実施例 2 の到来角 0° の場合の音源方向推定結果であって、図 19 (a) は、受信信号を変化させることなく、図 19 (b) は、受信信号を 0.5 倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。

【図 20】図 20 (a) 及び図 20 (b) は、本発明の実施例 2 の到来角 30° の場合の音源方向推定結果であって、図 20 (a) は、受信信号を変化させることなく、図 20 (b) は、受信信号を 0.5 倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。 40

【図 21】図 21 (a) 及び図 21 (b) は、本発明の実施例 2 の到来角 60° の場合の音源方向推定結果であって、図 21 (a) は、受信信号を変化させることなく、図 21 (b) は、受信信号を 0.5 倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。

【図 22】図 22 (a) 及び図 22 (b) は、本発明の実施例 2 の到来角 90° の場合の音源方向推定結果であって、図 22 (a) は、受信信号を変化させることなく、図 22 (b) は、受信信号を 0.5 倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。

【図 23】図 23 (a) 及び図 23 (b) は、本発明の実施例 2 の到来角 120° の場合の音源方向推定結果であって、図 23 (a) は、受信信号を変化させることなく、図 23 (b) は、受信信号を 0.5 倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。

【図 24】図 24 (a) 及び図 24 (b) は、本発明の実施例 2 の到来角 150° の場合 50

の音源方向推定結果であって、図24(a)は、受信信号を変化させることなく、図24(b)は、受信信号を0.5倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。

【図25】図25(a)及び図25(b)は、本発明の実施例2の到来角180°の場合の音源方向推定結果であって、図25(a)は、受信信号を変化させることなく、図25(b)は、受信信号を0.5倍し、音源方向推定を行った結果を示す図である。

【図26】図26(a)~26(c)は、本発明の実施例3の音源方向0°、20°、40°の音源方向推定結果であって、音声区間検出処理を適用した場合の実施例の各到来角に対する音源方向推定結果を示す図である。

【図27】図27(a)~27(c)は、本発明の実施例3の音源方向60°、80°、100°の音源方向推定結果であって、音声区間検出処理を適用した場合の実施例の各到来角に対する音源方向推定結果を示す図である。

【図28】図28(a)~28(c)は、本発明の実施例3の音源方向120°、140°、160°の音源方向推定結果であって、音声区間検出処理を適用した場合の実施例の各到来角に対する音源方向推定結果を示す図である。

【図29】本発明の実施例3の音源方向180°の音源方向推定結果であって、音声区間検出処理を適用した場合の実施例の各到来角に対する音源方向推定結果を示す図である。

【図30】本発明の実施例4の実施結果を示す図である。

【符号の説明】

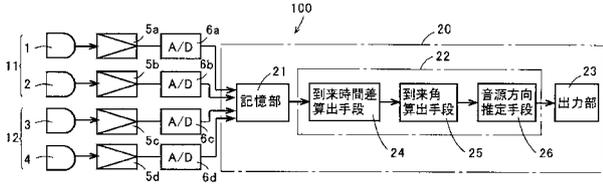
【0077】

- | | |
|---------|-----------|
| 1、2、3、4 | マイクロホン |
| 1 1 | 第一マイクロホン対 |
| 1 2 | 第二マイクロホン対 |
| 2 3 | 出力部 |
| 2 4 | 到来時間差算出手段 |
| 2 5 | 到来角算出手段 |
| 2 6 | 音源方向推定手段 |

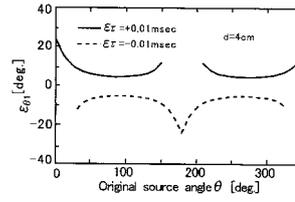
10

20

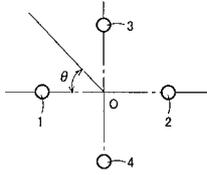
【 図 1 】



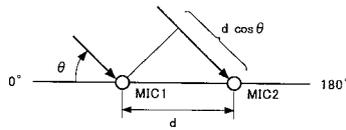
【 図 4 】



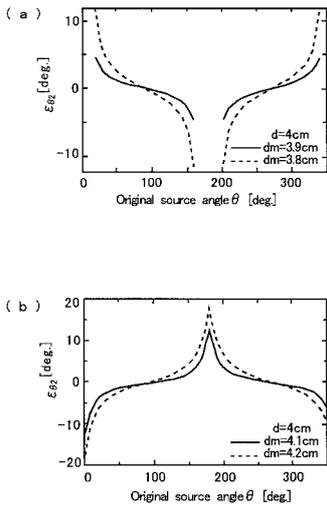
【 図 2 】



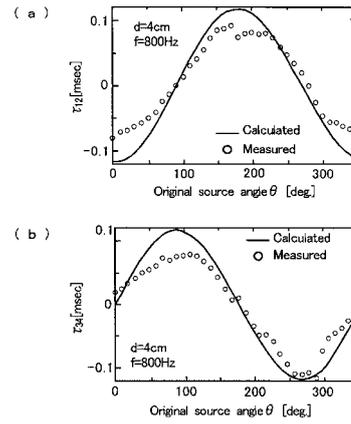
【 図 3 】



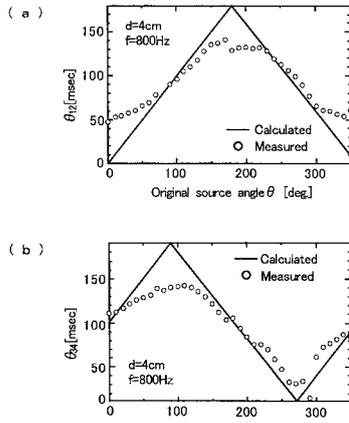
【 図 5 】



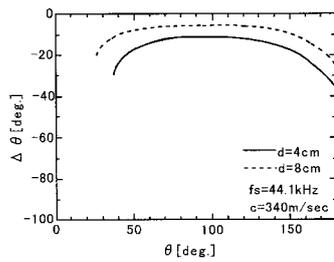
【 図 6 】



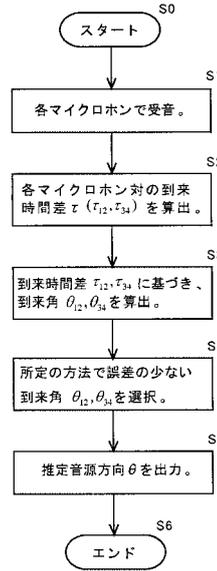
【 図 7 】



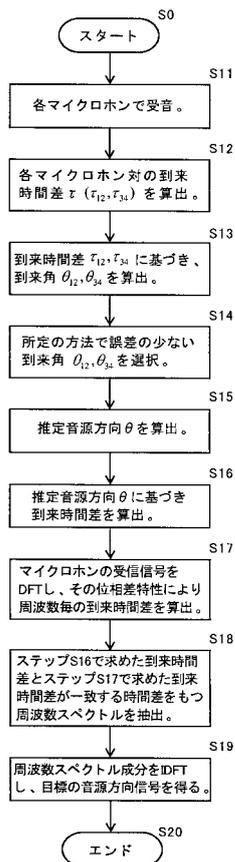
【 図 8 】



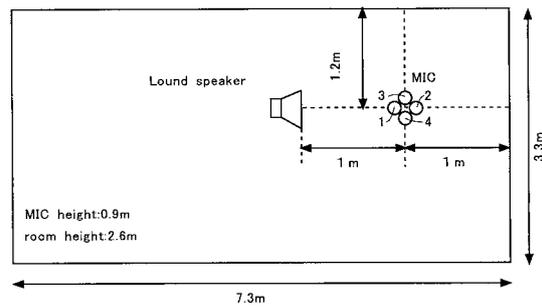
【 図 9 】



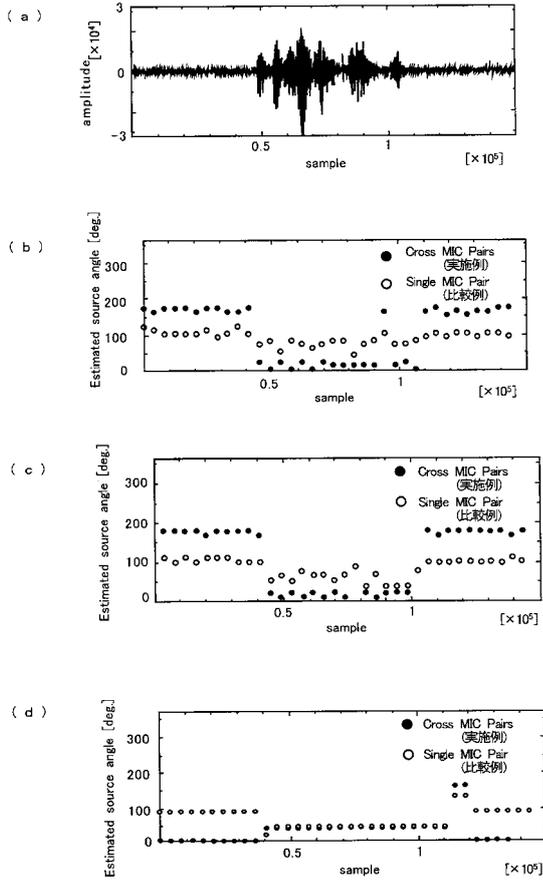
【 図 10 】



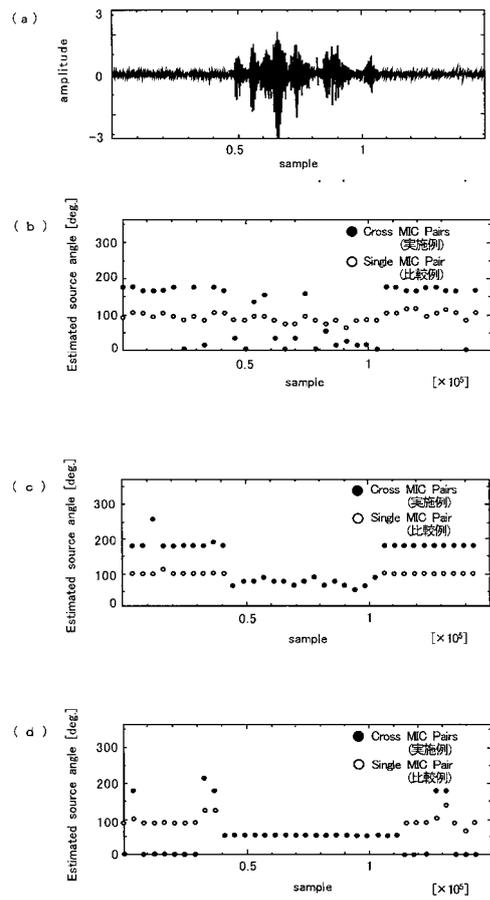
【 図 11 】



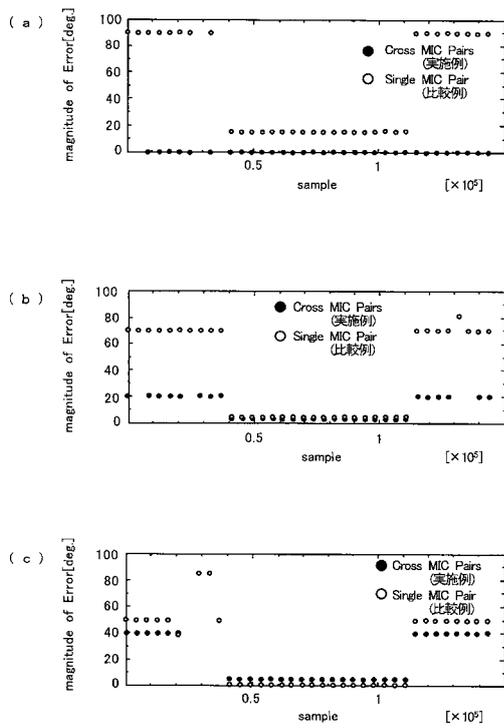
【 図 1 2 】



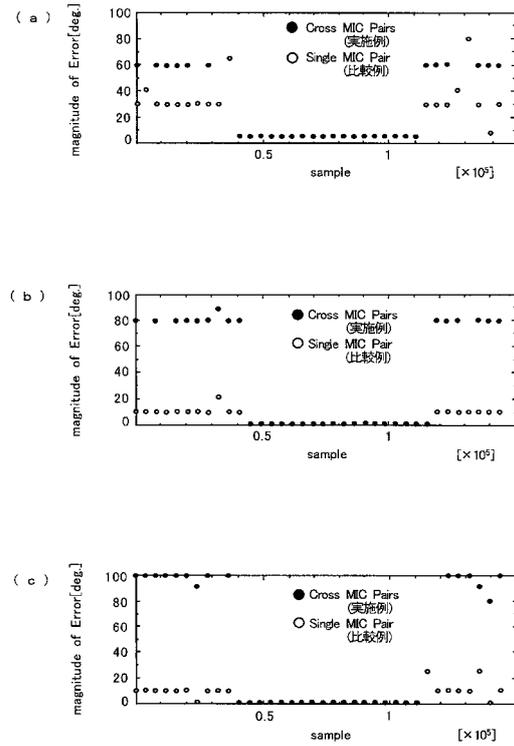
【 図 1 3 】



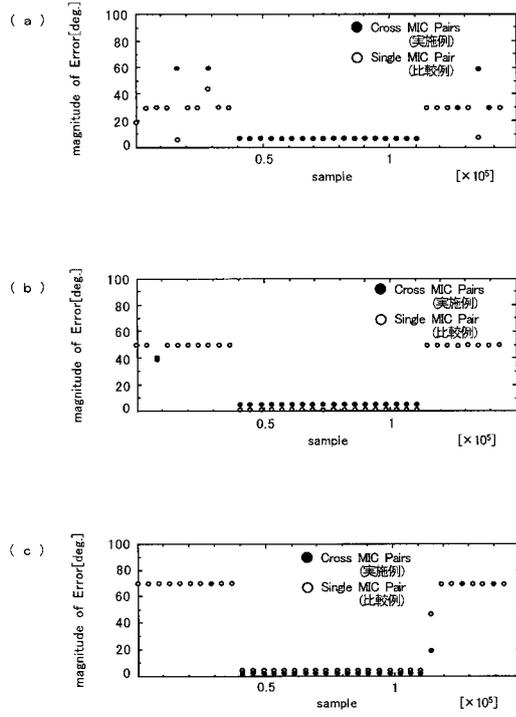
【 図 1 4 】



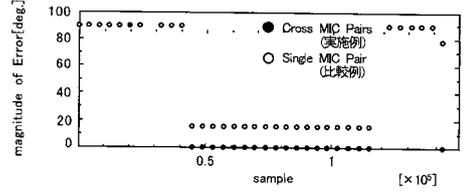
【 図 1 5 】



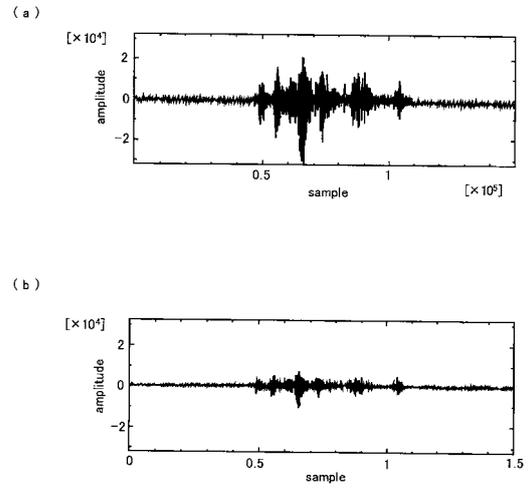
【 図 16 】



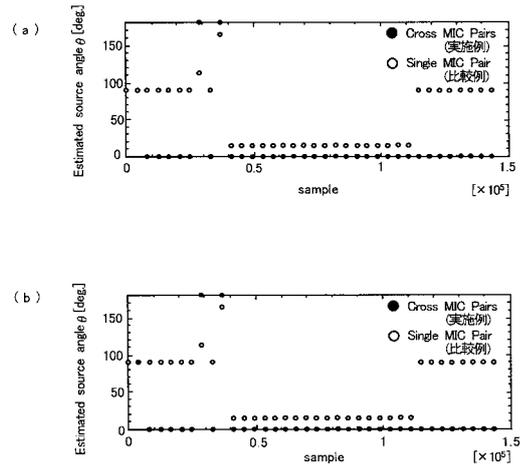
【 図 17 】



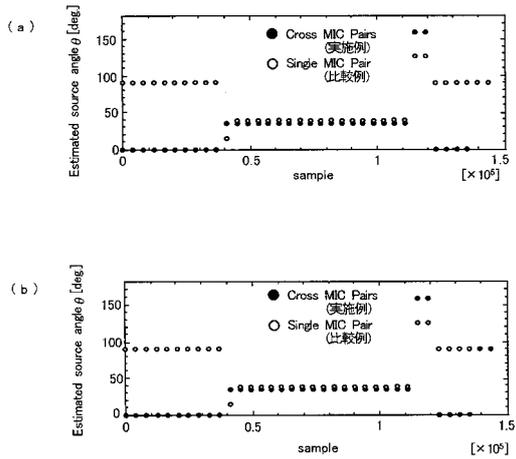
【 図 18 】



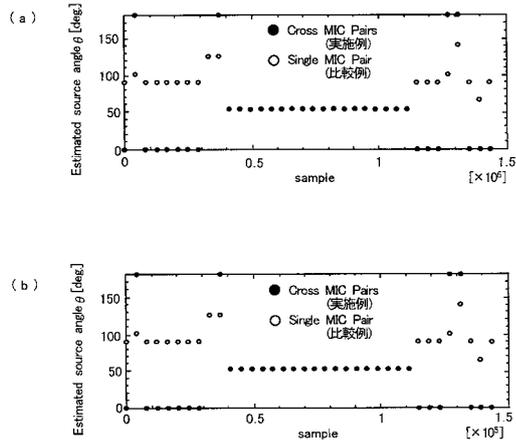
【 図 19 】



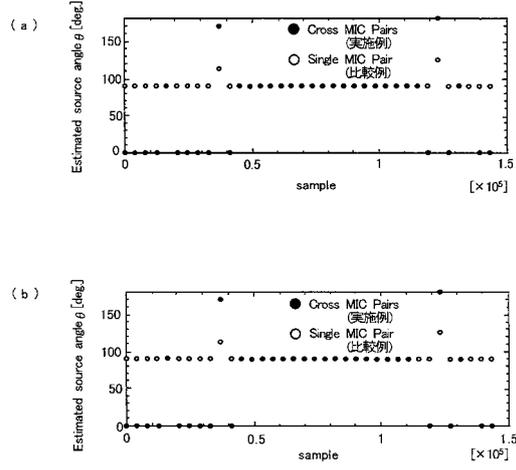
【 図 20 】



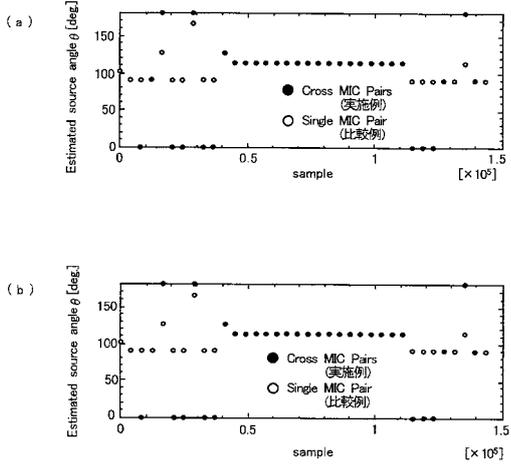
【 図 2 1 】



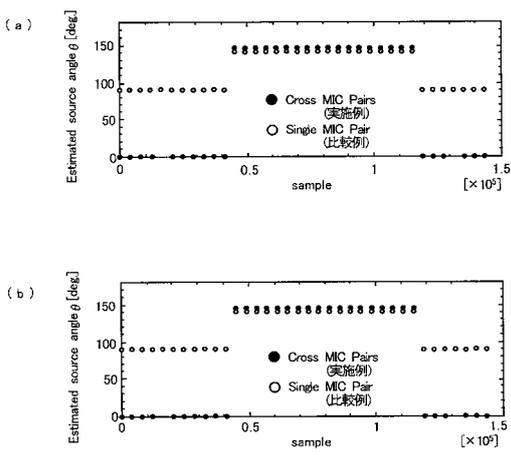
【 図 2 2 】



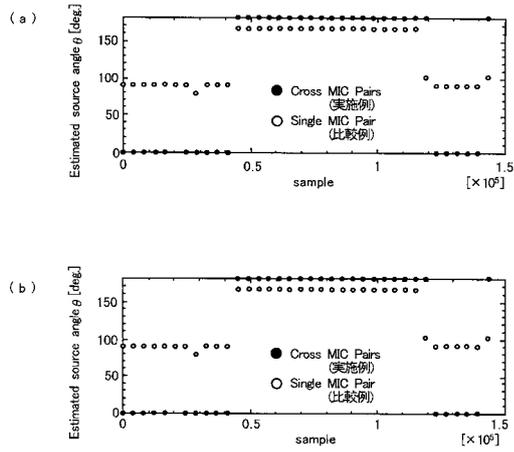
【 図 2 3 】



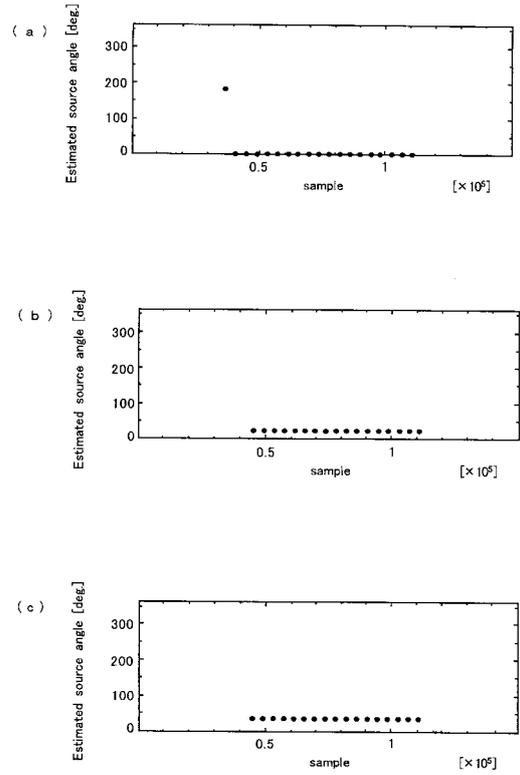
【 図 2 4 】



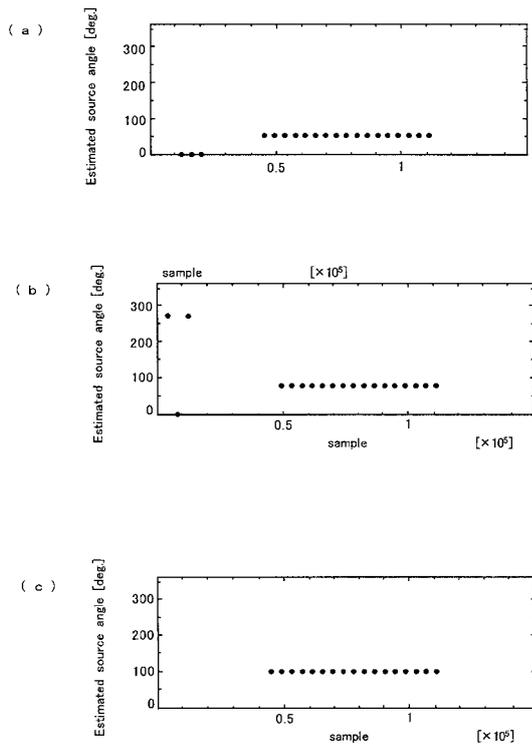
【 図 2 5 】



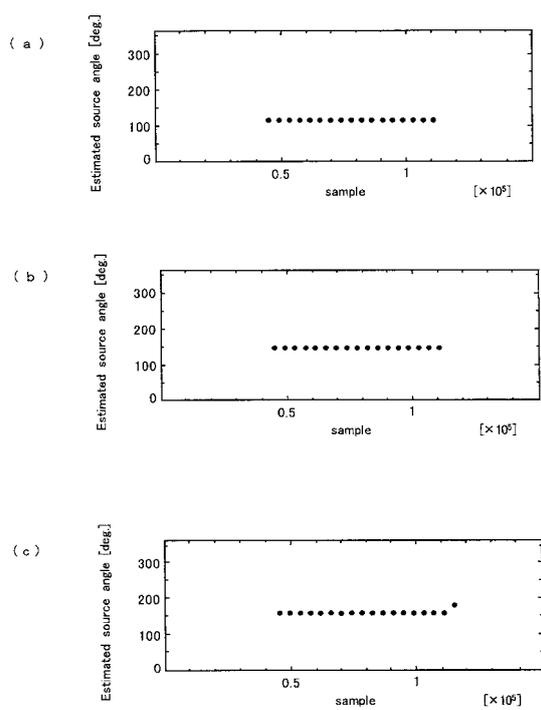
【 図 2 6 】



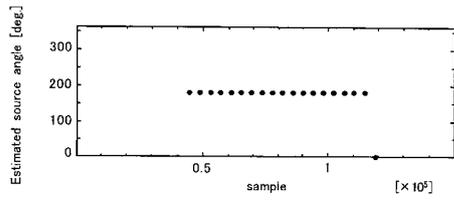
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】



【 図 29 】



【 図 30 】

