

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3546236号

(P3546236)

(45) 発行日 平成16年7月21日(2004.7.21)

(24) 登録日 平成16年4月23日(2004.4.23)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

G O 1 H 3/00

G O 1 H 3/00 A

H O 4 R 29/00

H O 4 R 29/00 3 2 0

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2002-205577 (P2002-205577)	(73) 特許権者	593087983 神戸大学長 兵庫県神戸市灘区六甲台町1番1号
(22) 出願日	平成14年7月15日(2002.7.15)	(74) 代理人	100072051 弁理士 杉村 興作
(62) 分割の表示	特願2000-246418 (P2000-246418) の分割	(72) 発明者	安藤 四一 兵庫県神戸市北区ひよどり台3-6-153
原出願日	平成12年8月15日(2000.8.15)	(72) 発明者	酒井 博之 兵庫県神戸市東灘区御影中町1-9-2-401
(65) 公開番号	特開2003-121253 (P2003-121253A)	審査官	郡山 順
(43) 公開日	平成15年4月23日(2003.4.23)		
審査請求日	平成14年7月15日(2002.7.15)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 騒音心理評価方法、その装置および媒体

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

音声採取手段を用いて環境騒音の音響信号をバイノーラル方式で記録する音響信号記録ステップと、

このバイノーラル方式で記録された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数 ACF 及び左右の各チャンネル間の相互相関関数 IACF を計算する ACF 及び IACF 演算ステップと、

前記演算手段を用いて、この計算された ACF から ACF ファクターを計算し、この計算された IACF から IACF ファクターを計算する ACF・IACF ファクター演算ステップと、

前記演算手段を用いて、この計算された ACF ファクター、及び、IACF ファクターに基づき心理評価を行う心理評価ステップと、

を含むことを特徴とする騒音心理評価方法。

## 【請求項2】

請求項1に記載の騒音心理評価方法において、

前記心理評価を行うステップが、

前記計算された IACF ファクターである最大振幅 IACC と係数  $S_{diffuseness}$  とに基づき、主観的拡がり感  $S_{diffuseness}$  を、

$$S_{diffuseness} = - (IACC)^{3/2}$$

により求める演算ステップ、

10

20

を含むことを特徴とする騒音心理評価方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の騒音心理評価方法において、

前記心理評価を行うステップが、

前記計算された I A C F ファクターである最大振幅 I A C C と、最大振幅における幅  $W_{I A C C}$  と、係数 a 及び b とに基づき、見かけの音源の幅  $S_{A S W}$  を、

$$S_{A S W} = -a (I A C C) + b (W_{I A C C})^{1/2}$$

により求める演算ステップ、

を含むことを特徴とする騒音心理評価方法。

【請求項 4】

音声採取手段を用いて環境騒音の音響信号をバイノーラル方式で記録する音響信号記録手段と、

このバイノーラル方式で記録された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数 A C F 及び左右の各チャンネル間の相互相関関数 I A C F を計算する A C F 及び I A C F 演算手段と、

前記演算手段を用いて、この計算された A C F から A C F ファクターを計算し、この計算された I A C F から I A C F ファクターを計算する A C F ・ I A C F ファクター演算手段と、

前記演算手段を用いて、この計算された A C F ファクター、及び、I A C F ファクターに基づき心理評価を行う心理評価手段と、

を含むことを特徴とする騒音心理評価装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の騒音心理評価装置において、

前記心理評価を行う手段が、

前記計算された I A C F ファクターである最大振幅 I A C C と係数 とに基づき、主観的拡がり感  $S_{diffuseness}$  を、

$$S_{diffuseness} = - (I A C C)^{3/2}$$

により求める演算手段、

を含むことを特徴とする騒音心理評価装置。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の騒音心理評価装置において、

前記心理評価を行う手段が、

前記計算された I A C F ファクターである最大振幅 I A C C と、最大振幅における幅  $W_{I A C C}$  と、係数 a 及び b とに基づき、見かけの音源の幅  $S_{A S W}$  を、

$$S_{A S W} = -a (I A C C) + b (W_{I A C C})^{1/2}$$

により求める演算手段、

を含むことを特徴とする騒音心理評価装置。

【請求項 7】

音声採取手段を用いて環境騒音の音響信号をバイノーラル方式で記録する音響信号記録ステップと、

このバイノーラル方式で記録された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数 A C F 及び左右の各チャンネル間の相互相関関数 I A C F を計算する A C F 及び I A C F 演算ステップと、

前記演算手段を用いてこの計算された A C F から A C F ファクターを計算し、この計算された I A C F から I A C F ファクターを計算する A C F ・ I A C F ファクター演算ステップと、

前記演算手段を用いてこの計算された A C F ファクター、及び、I A C F ファクターに基づき心理評価を行う心理評価ステップと、を含むことを特徴とする、

騒音心理評価を行うプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な媒体。

【請求項 8】

請求項 7 に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な媒体において、  
前記心理評価を行うステップが、  
前記計算された I A C F ファクターである最大振幅 I A C C と係数  $\alpha$  とに基づき、主観的拡がり感  $S_{diffuseness}$  を、

$$S_{diffuseness} = - (I A C C)^{3/2}$$

により求める演算ステップ、を含むことを特徴とする、  
騒音心理評価を行うプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な媒体。

【請求項 9】

請求項 7 に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な媒体において、  
前記心理評価を行うステップが、  
前記計算された I A C F ファクターである最大振幅 I A C C と、最大振幅における幅  $W_{I A C C}$  と、係数  $a$  及び  $b$  とに基づき、見かけの音源の幅  $S_{ASW}$  を、

$$S_{ASW} = -a (I A C C) + b (W_{I A C C})^{1/2}$$

により求める演算ステップ、を含むことを特徴とする、  
騒音心理評価を行うプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、航空機騒音や自動車騒音などの地域環境騒音の計測・心理評価の方法及び装置に関するものである。特にバイノーラル方式による騒音の計測・心理評価の方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、航空機騒音や自動車騒音などの地域環境騒音は、モノオーラル方式による騒音計を用いて測定した音圧レベルやその周波数特性に関して議論されてきた。しかし、上述したモノオーラル方式により測定された物理的ファクターのみでは人間の主観的応答を表わすには不十分かつ不適切であることがわかってきた。また、コンサートホール音響学では、バイノーラル方式により、ホールの物理的なデータと心理的（主観的）な関連性が明らかとなってきたが、騒音の分野においてはモノオーラル方式に関するものが殆どである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

長年の間、環境騒音は、音圧レベル（SPL；Sound Pressure Level）の統計値を用いて評価されてきた。この S P L は、 $L_x$  または  $L_{eq}$  で表わされ、これのパワースペクトルは、モノオーラル騒音計で測定する。しかしながら、この S P L 及びパワースペクトルだけでは環境騒音の主観的な評価には適さない。

【0004】

即ち、本発明の目的は、人間の聴覚 - 大脳機能システムにもとづき、時間領域において時々刻々変化する自己相関関数及び相互相関関数から導出される物理ファクターを用いて、騒音源の種類を特定する方法、装置及び媒体を提供することである。また本発明の他の目的は、人間の聴覚 - 大脳機能システムにもとづき、時間領域において時々刻々変化する自己相関関数及び相互相関関数から導出される物理ファクターを用いて、よりの確にラウドネス、ピッチ、音色、心理的時間感覚をはじめ、主観的拡がり感、騒音場の見かけの音源の幅などの心理評価を行う方法、装置及び媒体を提供することである。

【0005】

【課題を解決するための手段】

上述した目的を達成するために、音声採取手段を用いて環境騒音の音響信号を採取・記録する音響信号記録ステップと、この記録された音響信号からフーリエ変換を用いて演算手段により自己相関関数（A C F）を算出する A C F 演算ステップと、この算出された A C F から演算手段により各 A C F ファクターを求める A C F ファクター演算ステップと、こ

10

20

30

40

50

の求めた各 ACF ファクターを用いて演算手段により騒音源の種類を判定する判定ステップと、を含むことを特徴とする騒音源の種類を特定する方法を提供する。

#### 【0006】

また、好適には、上述した騒音源の種類を特定する方法において、前記 ACF ファクター演算ステップが、前記計算された ACF から ACF ファクターである遅れ時間が 0 で表わされるエネルギー (  $E_0$  )、有効継続遅延時間 (  $\tau_c$  )、ACF の第 1 ピークまでの遅延時間 (  $\tau_1$  )、正規化した ACF の第 1 ピークの振幅 (  $A_1$  ) を計算する演算ステップを含み、前記騒音源の種類を判定する判定ステップが、これらの計算された ACF ファクターである遅れ時間が 0 で表わされるエネルギー (  $E_0$  )、有効継続遅延時間 (  $\tau_c$  )、ACF の第 1 ピークまでの遅延時間 (  $\tau_1$  )、正規化した ACF の第 1 ピークの振幅 (  $A_1$  ) からその対数と、予め作成してある騒音源の各 ACF ファクター毎の対応するテンプレートの対数との差の絶対値である距離をそれぞれ求めるステップと、予め ACF ファクターの各々の算術平均の標準偏差である  $S_2$  を、ACF ファクターの全カテゴリーに対する標準偏差の算術平均である  $S_1$  で除算し、この除算したものの平方根である重み係数を各 ACF ファクター毎に求めるステップと、求めたそれぞれの距離に、予め求めておいた対応する各 ACF ファクターの重み係数を乗算し、合計の距離を求める合計距離演算ステップと、この求めた合計距離と、格納されているテンプレートの距離とを比較し、最も近いテンプレートの 1 つを選択する比較・選択ステップと、を含むことを、特徴とする騒音源の種類を特定する方法を提供する。

#### 【0007】

本発明の他の目的を達成するためには、音声採取手段を用いて環境騒音の音響信号をバイノーラル方式で記録する音響信号記録ステップと、このバイノーラル方式で記録された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数 ( ACF ) 及び左右の各チャンネル間の相互相関関数 ( IACF ) を計算する ACF 及び IACF 演算ステップと、この計算された ACF から前記演算手段を用いて各 ACF ファクターを計算し、及び / またはこの計算された IACF から各 IACF ファクターを計算する ACF · IACF ファクター演算ステップと、この計算された ACF 及び / または IACF ファクターの各々に基づき演算手段を用いて心理評価を行う心理評価ステップと、を含むことを特徴とする騒音源について心理評価を行う方法を提供する。

#### 【発明の実施の形態】

#### 【0008】

ラウドネス、ピッチ、音色などの基本的な知覚データと同様に、嗜好や拡散性などの多くの主観的なデータの記述は、人間の聴覚 - 大脳システムの音場に対する応答モデルに基づいている。この応答モデルは予測されてきたが、それは経験的に得られた結果と一致することが知られている。例えば最近、周波数帯域幅を制限したノイズのラウドネスは、SPL によって影響をうけるのと同様に、自己相関関数 ( ACF ) における有効継続時間 (  $\tau_c$  ) によって影響を受けることが知られている。また、複合音の基本周波数が約 1200 Hz よりも低い場合、ピッチ及びその強さは、それぞれ ACF の第 1 ピークまでの遅延時間 (  $\tau_1$  )、正規化した ACF の第 1 ピークの振幅 (  $A_1$  ) によって影響を受ける。特に、ある時間内におおいて求められた  $\tau_c$  の最小値 (  $\tau_{c, \min}$  ) で得られる ACF ファクターは、騒音源及び騒音場の主観的評価の差異を良く表わすものである。

#### 【0009】

このモデルは、2つのそれぞれの経路における音響信号同士の自己相関と、これらの音響信号の間における相互相関とから構成され、人間の脳半球の処理特性も考慮するものである。即ち、両耳に入ってくる音響信号を用いて、自己相関関数 ( ACF ) 及び相互相関関数 ( IACF ) を計算する。直交ファクターである遅れ時間が 0 で表わされるエネルギー (  $E_0$  )、有効継続遅延時間 (  $\tau_c$  )、ACF の第 1 ピークまでの遅延時間 (  $\tau_1$  )、正規化した ACF の第 1 ピークの振幅 (  $A_1$  ) は ACF から導出される。また、IACF ファクターである聴取音圧レベル ( LL )、最大振幅 ( IACC )、最大振幅までの遅延時間 (  $\tau_{IACC}$  )、最大振幅における幅 (  $W_{IACC}$  ) は、IACF から導出される。

## 【0010】

図1は、本発明による装置の具体的な構成を示す装置概略図である。図1に示すように本発明による装置の具体例は、聴者の頭部の模型1に装着された騒音源からの音響信号を採取するバイノーラル方式の音声採取手段2（マイクロフォン）を、LPF3（ローパスフィルタ）、A/Dコンバータ4、コンピュータ5から構成される。この頭部としては、人体の頭部が最も望ましいがそれでは不便であるため、人体の頭部を模したダミーヘッドを用いることもできる。しかし、このダミーヘッドは高価であり、ダミーヘッド以外の頭部の模型1（発砲スチロールなどの材料を用いた球体（直径を20cm）としたもの）でも本発明で測定するACF、IACFでは、有意差がないため、発砲スチロール製の頭部の模型を用いた。このコンピュータ5は、採取された音響信号を格納する音響信号記憶手段6と、この格納された音響信号（左右2チャンネル）を読み出し、これらの音響信号に基づきACFを計算するACF演算手段7、とこれらの音響信号に基づきIACFを計算するIACF演算手段8、この計算されたACFに基づきACFファクターを計算するACFファクター演算手段9、この計算されたIACFに基づきIACFファクターを計算するIACFファクター演算手段10、この計算されたACFファクターに基づき騒音源の種類を特定する騒音源の種類を特定する手段11、この計算されたACFファクター及び/またはIACFファクターに基づき心理評価を行う手段12、騒音源の種類を特定及び心理評価に用いるデータに関するデータベース13を具える。

10

## 【0011】

聴者の頭部の模型1の両端に取り付けた左右2チャンネルのコンデンサマイクロフォン（マイクアンプ付き）を、ローパスフィルタを介して可搬型パーソナルコンピュータ5のサウンド入出力端子（A/D変換部4）と接続する。このマイクロフォン（音響信号採取手段2）から周りの騒音の取り込みを行う。コンピュータ上のプログラムの管理下、計測、各物理ファクタの算出、騒音源の種類を特定、心理評価、などを行う。また、騒音源の種類を特定及び心理評価に用いるデータに関するデータベースを構築する。

20

## 【0012】

図2は、本発明による騒音源の種類を特定、心理評価を行う方法のフローチャートである。図2に示すように、ステップS1では、騒音源からの音響信号を音源採取手段2により採取する。この採取された音響信号はLPF3を介してA/Dコンバータ4によりデジタル信号に変換する。ステップS2では、ステップS1で採取された音響信号を音響信号記憶手段に格納する。ステップS3では、ステップS2で格納された音響信号を読み出す。ステップS4では、ステップS3で読み出された音響信号に基づきACF及びIACFをACF演算手段7及びIACF演算手段8により計算する。ステップS5では、ステップS4で計算されたACF及びIACFに基づきACFファクター演算手段9及びIACF演算手段10によりACFファクター及びIACFファクターを計算する。ステップS6では、ステップS5で計算されたACFファクター及びIACFファクターに基づき、騒音源種類特定手段11、心理評価手段12により騒音源の種類を特定、心理評価を行う。その特定、評価の際には、テンプレートを格納するデータベース13からデータを読み出し比較・検討を行う。

30

## 【0013】

まず初めに、ピーク検知プロセスにより、採取した音響信号から複数の測定セッションを抽出する。連続的な騒音から自動的に環境騒音や目的の騒音を抽出するために、左右それぞれの耳の入り口部位におけるエネルギーであるモノオーラルのエネルギー  $r_l(t)$ 、 $r_r(t)$  を連続的に分析する。図3は、ピーク検知処理手順を説明する図であって、縦軸にノイズレベル、横軸に時間をとったグラフであって、その下段に積分間隔を示す図である。騒音が航空機騒音や列車騒音などの連続騒音の場合、 $r_l(t)$  の計算のための間隔を、かなり長く（例えば1秒など）設定することができるが、騒音が短時間や断続的である場合は、より短い間隔を用いる必要がある。しかしながら、後述する式(1)で連続計算する場合、積分間隔よりも長い間隔を選ぶ必要がある。従って、この間隔は、騒音源の種類に応じて決定する必要がある。

40

50

## 【0014】

これによって、長い時間の間隔で普通の騒音計を用いて (0) を決定するより、より正確に (0) を決定することができる。ピークを検出するためには、前もってトリガーレベル  $L_{\text{trig}}$  を適切に設定しておく必要がある。適当な  $L_{\text{trig}}$  値は、目標とする騒音の種類、目標とする騒音と観察者との距離、大気の状態などに応じて変化するものである。従って、この値を予備測定によって決定する必要がある。目的騒音と観察者との距離が近くて、かつ、観察者の近くに干渉する騒音源がない場合、 $L_{\text{trig}}$  値を決定することは容易である。

## 【0015】

最大値 (0) を中心とする騒音を、システムを用いて単一のセッションで記録する。各々の目的とする騒音に対する1つのセッションの継続時間すなわち  $t_s$  は、 $L_{\text{trig}}$  値を超えた後に (0) のピークを含むように選択する。航空機騒音や列車騒音などの普通の環境騒音の場合は、 $t_s$  値は約10秒である。これは、継続時間が長い定常状態の騒音と短い継続時間の断続的な騒音とは異なる。このシステムは、干渉する騒音がある場合には使えないことに留意されたい。図3に示すように、一連のセッション ( $S_1(t), S_2(t), S_3(t), \dots, S_N(t)$ )、 $N$ : セッションの数、 $0 < t < t_s$ ) をシステム上に自動的に格納する。

10

## 【0016】

図3に示すように、継続時間  $t_s$  での各セッション  $S_N(t)$  に対するランニングACF及びランニングIACFを分析する。ここでは、「ランニング」のプロセスを説明するために単一のセッションのみを考えることとする。計算の前に、適切な積分間隔  $2T$  及び連続ステップ  $t_{\text{step}}$  の値を決定する。前述したように、推奨される積分間隔は約  $30 \times (\sigma_e)_{\text{min}}$  [ms] であり、この  $(\sigma_e)_{\text{min}}$  は一連の値  $\sigma_e$  の最小値であり、予備測定で容易に発見し得るものである。これは、違う種類の環境騒音のデータを用いて見つけるものである。大抵の場合、隣接する積分間隔をお互いに重ね合わせる。

20

## 【0017】

ACFとIACFを、 $2T$ の範囲での1セッションごとの各ステップ ( $n=1, 2, \dots, M$ ) につき計算する。各ステップは、

## 【数1】

$$\{(0, 2T), (t_{\text{step}}, t_{\text{step}} + 2T), (2t_{\text{step}}, 2t_{\text{step}} + 2T), \dots, ((M-1)t_{\text{step}}, (M-1)t_{\text{step}} + 2T)\}$$

のように  $t_{\text{step}}$  ずつシフトする。物理ファクターは、ACF及びIACFの各ステップから導出する。 $2T$ は予測される  $\sigma_e$  の値よりも十分長くする必要がある。また、これは、各ステップに対する知覚の「聴覚の時間窓」に大きく関連する。環境騒音に対する  $2T$  としては、概ね  $0.1 \sim 0.5$  秒が適している。 $2T$  がこの範囲よりも小さい場合、 $(\sigma_e)_{\text{min}}$  がある値に収束する。一般的に、 $t_{\text{step}}$  は  $0.1$  秒が好適である。変動が細かい場合は、より短い  $t_{\text{step}}$  を選択する。よく知られているように、バイノーラル信号をFFT (高速フーリエ変換) と、その後逆FFTの処理を行うことにより、ACF及びIACFを得ることができる。A特性フィルター及び、マイクロフォンの周波数特性は、FFT処理の後で考慮する。

30

## 【0018】

左右の耳の部位におけるACFを、それぞれ、 $\Phi_{ll}(\cdot)$ 、 $\Phi_{rr}(\cdot)$  で表わす。特定の数字の場合は、 $\Phi_{ll}^{(i)}$ 、 $\Phi_{rr}^{(i)}$  で表わす ( $1 < i < Tf$ 、 $f$ : サンプル周波数 (Hz)、 $i$ : 整数)。左右の (0) を計算するためには、 $\Phi_{ll}^{(i)}$  と  $\Phi_{rr}^{(i)}$  を下記のように平均する。

40

## 【数2】

$$\Phi_{ll,rr}(0) = \frac{1}{Tf} \left( \sum_{i=1}^{Tf} (\Phi_{ll,rr}^{(i)})^2 \right)^{1/2} \quad (1)$$

SPLの正確な値は、次式で得られる。

## 【数3】

$$\begin{aligned}
 SPL &= 10 \log_{10} \sqrt{\Phi_{ll}(0)\Phi_{rr}(0)} - 10 \log_{10} \Phi_{ref}(0) \\
 &\approx 10 \log_{10} \Phi_{ll}(0) - 10 \log_{10} \Phi_{ref}(0) \\
 &\approx 10 \log_{10} \Phi_{rr}(0) - 10 \log_{10} \Phi_{ref}(0)
 \end{aligned} \tag{2}$$

$\Phi_{ref}(0)$ は、基準音圧値  $20 \mu\text{P}$ における  $\Phi(0)$ である。

【0019】

バイノーラルの聴取音圧レベルは、 $\Phi_{ll}(0)$ 及び  $\Phi_{rr}(0)$ の相乗平均である。

【数4】

$$\Phi(0) = \sqrt{\Phi_{ll}(0)\Phi_{rr}(0)} \tag{3}$$

この  $\Phi(0)$ は、IACFを正規化する際の分母となるものであるため、IACFファクターの一方のもの、或いは右半球の空間ファクターに分類されるものとする。正規化したACFの振幅が0.1(10%の遅延)になる時の遅延時間によって、有効継続時間  $\tau_{eff}$ を定義する。正規化した左右の耳におけるACF、 $\phi_{ll,rr}(\tau)$ は、次式で得られる。

【数5】

$$\phi_{ll,rr}(\tau) = \frac{\Phi_{ll,rr}(\tau)}{\Phi_{ll,rr}(0)} \tag{4}$$

【0020】

図4は、縦軸にACFの対数の絶対値、横軸に遅延時間をとったグラフである。

図4に示すように初期のACFが線形に減少するのが一般的に観察できるため、縦軸をデシベル(対数)に変換すると  $\tau_{eff}$ を容易に得ることができる。線形回帰の場合は、ある一定の短い時間  $\tau_{eff}$ において得られるACFのピークに対して最小平均自乗法(LMS)を使用する。この  $\tau_{eff}$ は、ACFのピークを検知するために使用され、計算前に慎重に決定しておく必要がある。  $\tau_{eff}$ を計算する際、原点が回帰線上にない場合、ACFの原点(ACF=0、 $\tau=0$ )を、考慮に入れなくても良い場合も多い。極端な例では、目的とする騒音が純音とホワイトノイズを含む場合、原点において急激な減衰が観察される。その後の減衰は、純音成分のため一定に保たれる。この場合、ACF関数の解は求まらない。

【0021】

図5は、縦軸に正規化したACF、横軸に遅延時間をとったグラフである。

図5に示すように、 $\tau_{1}$ は正規化したACFの第1のピークまでの遅延時間、 $\phi_{1}$ はその第1ピークでの振幅である。第1ピークは、局所的な小さなピークは無視して、主要なピークに基づき決定する。ファクター  $\tau_{n}$ と  $\phi_{n}$ ( $N \geq 2$ )とは考慮に入れない。なぜなら、 $\tau_{n}$ と  $\phi_{n}$ は、一般的に  $\tau_{1}$ と  $\phi_{1}$ とに相関関係があるからである。

【0022】

図6は、縦軸に正規化したIACF、横軸に左右の信号の遅延時間をとったグラフである。左右の耳の音響信号の間のIACFは、 $\Gamma_{lr}(\tau)$ ( $-1 < \tau < +1$ [ms])で表わされる。デジタル形式では、 $\Gamma_{lr}^{(i)}$ ( $-f/10^3 \leq i \leq f/10^3$ ,  $i$ は整数であり、これが負の場合は左のチャンネルに遅れがあるIACFであることを示す)。両耳の間の最大遅延としては  $-1$ から  $+1$ msを考慮すれば十分である。最大振幅IACCは主観的拡散に関連するファクターである。図6に示すように、正規化されたIACF  $\Gamma_{lr}^{(i)}$ の最大振幅は遅延範囲内で得られる。即ち

$$IACC = \{ \Gamma_{lr}^{(i)} \}_{\max} \tag{5}$$

正規化されたIACFは次式で得られる。

【数6】

10

20

30

40

50

$$\phi_r^{(i)} = \frac{\Phi_r^{(i)}}{\Phi(0)} \quad (6)$$

## 【 0 0 2 3 】

$I_{ACC}$ の値は、最大振幅の遅延時間において容易に求まる。例えば、 $I_{ACC}$ が正の場合、音源は聴者の右側に位置する、或いは音源が右側にあるかのように知覚する。図6に示すように、最大振幅における幅 $W_{IACC}$ を、最大値から $0.1(I_{ACC})$ 下の部分のピーク幅で得ることができる。この係数 $0.1$ は $I_{ACC} = 1.0$ におけるJNDとして概算的に用いられるものである。聴取音圧レベル $LL$ は、式(2)でSPLを $LL$ と置き換えること

10

## 【 0 0 2 4 】

次に、ACFファクターに基づき騒音源の種類を特定する方法について説明する。

騒音源の種類は、4つのACFファクター遅れ時間が0で表わされるエネルギー $(\tau_e)$ 、有効継続遅延時間 $(\tau_e)$ 、ACFの第1ピークまでの遅延時間 $(\tau_1)$ 、正規化したACFの第1ピークの振幅 $(\phi_1)$ を用いて特定する。 $(\tau_e)$ は騒音源と聴者との距離に応じて変化するため、距離が不明の場合は、計算の条件には特別に注意を払う必要がある。たとえファクター $(\tau_e)$ が有効でない場合であっても、その他の3つのファクターを用いて騒音源の種類を特定することができる。空間情報が変化する場合、残りのIACFファクターを考慮に入れることもできる。音響信号の最も大きく変動する部分である最小 $(\tau_e)_{min}$ を用いる理由の1つは、この部分が主観的な応答に最も深く関与するものであるということである。

20

## 【 0 0 2 5 】

未知の対象データ(下記の式(7)(10)では記号aで示す)用の $(\tau_e)_{min}$ における各ファクターの値とデータベースに格納されたテンプレート用(記号bで示す)の値との差、即ち「距離」を計算する。ここで「対象」とは、システムによって特定されるオブジェクトとしての環境騒音のことを意味する。テンプレート値は、ある特定の環境騒音に対する典型的なACFファクターのセットであり、これらの複数のテンプレートを未知の騒音と比較する。

30

距離 $D(x)$ ( $x: (\tau_e), (\tau_e)_{min}, \tau_1, \phi_1$ )を次式により計算する。

## 【 数 7 】

$$D(\Phi(0)) = |\log(\Phi(0))^a - \log(\Phi(0))^b| \quad (7)$$

$$D(\tau_e) = |\log(\tau_e)_{min}^a - \log(\tau_e)_{min}^b| \quad (8)$$

## 【 0 0 2 6 】

目的とする騒音源の合計距離 $D$ は、次式で表わされる。

## 【 数 8 】

$$D = W^{\Phi(0)} D(\Phi(0)) + W^{\tau_e} D(\tau_e) + W^{\tau_1} D(\tau_1) + W^{\phi_1} D(\phi_1) \quad (11)$$

40

$W^{(x)}$ ( $x: (\tau_e), (\tau_e)_{min}, \tau_1, \phi_1$ )は、重み係数である。この算出された距離 $D$ に最も近い $D$ を有するテンプレートを、求める騒音源であると判断する。これにより、未知の騒音源が、何であるのか、例えば鉄道、自動車、航空機、工場騒音であるのか、更にその車種、機種などを特定することが可能となる。

## 【 0 0 2 7 】

図7は重み係数の計算方法を説明するブロック図である。式(11)の重み係数 $W^{(x)}$ ( $x: (\tau_e), (\tau_e)_{min}, \tau_1, \phi_1$ )は、統計値 $S_1^{(i)}$ と $S_2^{(i)}$ を用いて得ることができる。図7に示すように、 $S_1^{(i)}$ は、ACFファクターの全カテゴリーに対する標準偏差(SD)の算術

50



平均である。ここでカテゴリーとは、同じ種類の騒音に対するデータのセットを意味する。 $S_2^{(i)}$ は、各カテゴリーの算術平均の標準偏差である。 $W^{(x)}$ は、ファクター $\{(S_2/S_1)^{1/2}\}_{\max}$ の中の最大値で正規化した後、 $(S_2/S_1)^{1/2}$ で得られる。この平方根の処理は経験的に得られたものである。騒音源の間におけるより大きなSDと、ある騒音の間におけるより小さなSDとのファクターとは他の種類の騒音とは区別できるため、このようなファクターの重みはその他のファクターのものよりも大きくなる。テンプレートを改善する学習機能がある場合、システム上においてテンプレートは、システム内でACFの各ファクターについての最新の値と、元の値との平均によって上書きすることもできる。

【0028】

図8は、聴覚 - 大脳機能システムのモデルを説明するブロック図である。聴覚 - 大脳機能システムのモデルは、自己相関 (ACF) メカニズム、両耳間相互相関 (IACF) メカニズム、左右大脳の機能分化を含んでいる。信号のパワースペクトルに含まれる情報は、音響信号のACFにも含まれていることは注目すべきことである。また騒音場の空間的感覚を示すため、IACFより抽出される空間的ファクターを考慮する。音色は音の基本的感覚と空間的感覚を含む総合的な感覚として定義される

【0029】

聴覚 - 大脳機能モデル (図8) を使って、自由空間内に存在する聴者の正面にある与えられた音響信号  $p(t)$  の基本的な感覚を考える。ここで長時間 ACF を次式で得ることができる。

【数9】

$$\Phi_p(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} p'(t)p'(t+\tau)dt \quad (12)$$

$p'(t) = p(t) * s(t)$  で、 $s(t)$  は耳の感度である。便宜上  $s(t)$  は A 特性のインパルス応答が用いられる。パワースペクトルも次式のように ACF から得ることができる。

【数10】

$$P_d(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_p(\tau) e^{-j\omega\tau} dt \quad (13)$$

$$\Phi_p(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_d(\omega) e^{j\omega\tau} dt \quad (14)$$

このように、ACF とパワースペクトルは数学的には同じ情報を含んでいる。

【0030】

ACF の解析において3つの重要な事項として、遅れ時間が0で表わされるエネルギー  $p(0)$  と、正規化した ACF のエンベロープから抽出される有効継続時間  $\tau_e$  と、ピークやディップやその遅れ時間とを含む微細構造とがある。図4に示すように、この有効継続時間  $\tau_e$  は、10パーセント遅れ時間として定義でき、騒音響信号それ自身に含まれる繰り返し成分、または残響成分として表わされる。前述したように正規化した ACF は  $\rho(\tau) = \Phi_p(\tau) / p(0)$  で得ることができる。

【0031】

ラウドネス  $S_L$  は次式で表わされる。

$$S_L = f_L(\tau_e, \tau_1, \rho_1) \quad (15)$$

即ち、ACF ファクターである、遅れ時間が0で表わされるエネルギー ( $p(0)$ )、有効継続遅延時間 ( $\tau_e$ )、ACF の第1ピークまでの遅延時間 ( $\tau_1$ )、正規化した ACF の第1ピークの振幅 ( $\rho_1$ ) からラウドネスを求めることができる。

ここで  $\tau_1$  は騒音のピッチまたは後述するミッシングファンダメンタル現象に関係するものである。また、 $p'(t)$  が音圧レベル  $L(t)$  を与えるための圧力  $20 \mu\text{Pa}$  を基準として測定されるなら、等価騒音レベル  $L_{eq}$  は次式で求めることができる。

【数11】

10

20

30

40

50

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10 \frac{L(t)}{10} dt \quad (16)$$

この  $L_{eq}$  は  $10 \log p(0)$  に相当するものである。また、サンプリング周波数は、最大可聴周波数域の2倍以上としなければならないので、通常の騒音計で測定された  $L_{eq}$  よりも極めて精度良く測定できる。

【0032】

図9は、縦軸にラウドネス尺度値、横軸にバンド幅をとったグラフである。このグラフは、 $p(0)$  を一定とした条件下での一対比較テスト（1080 dB/octaveのスロープを持つフィルタを使用）で得られた臨界帯域内のラウドネス尺度値を示したものである。明らかに純音のような騒音が同じ繰り返し成分を持つとき、 $L_{eq}$  は大きな値となり、ラウドネスが大きくなる。このように、ラウドネス対バンド幅の関係は、臨界帯域内でも平坦にならないことがわかる。なお、この結果は中心周波数1 kHzの周波数帯域で得られたものである。

10

【0033】

騒音のピッチまたはミッシングファンダメンタルは次式で表わされる。

$$S_p = f_p(\alpha_1, \beta_1) \quad (17)$$

ここで、ミッシングファンダメンタル現象とは、いくつかの倍音構造が存在するとき、実際にはない高さの音が聞こえるという現象である。

20

【0034】

最も複雑な知覚である音色は、次式で表わされる。音色には、ラウドネスやピッチも含まれるものである。

$$S_T = f_T[\alpha(0), \beta_1(\alpha_1, \beta_1), \dots, (\alpha_n, \beta_n)] \quad (18)$$

$\alpha_n, \beta_n$  ( $n=1, 2, \dots$ ) の中で  $\alpha_1, \beta_1$  が最も顕著な直交ファクターであるため式(18)は以下のように書き直すことができる。

$$S_T = f_T[\alpha(0), \beta_1, \alpha_1, \beta_1] \quad (19)$$

【0035】

信号の時間的長さの知覚に関する感覚は、次式で表わされる。

$$S_D = f_D[\alpha(0), \beta_1, \alpha_1, \beta_1] \quad (20)$$

30

【0036】

長時間 I A C F は次式で求めることができる。

【数12】

$$\Phi_{rr}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} p'_l(t) p'_r(t+\tau) dt \quad (21)$$

ここで  $p'_{l,r}(t) = p(t)_{l,r} * s(t)$ 、 $p(t)_{l,r}$  は左右外耳道入り口の音圧である。

【0037】

騒音源の水平面の方向の知覚を含む空間情報の知覚は次式で表わされる。

40

$$S = f(LL, IACC, \alpha_{IACC}, \beta_{IACC}) \quad (22)$$

ここで聴取音圧レベル  $LL$  は  $\{p_{ll}(0), p_{rr}(0)\}$  である。記号  $\{\}$  は、左右の耳の入り口に到来する信号の  $t=0$  のときの A C F である  $p_{ll}(0)$ 、 $p_{rr}(0)$  の組を表わす。数学的には  $LL$  は、両耳に到来する音響信号のエネルギーの算術平均で次式のように表わされる。

【数13】

$$LL = 10 \log_{10} \sqrt{\Phi_{ll}(0) \Phi_{rr}(0)} \quad [\text{dB}] \quad (23)$$

式(22)で示す4つの I A C F ファクター（直交ファクター）の中で、 $-1 \sim +1$  ms の範囲内の  $\alpha_{IACC}$  は、水平方向の音源の水平方向の知覚に関する重要なファクターである。

50

正規化した I A C F が 1 つの鋭いピークを持ち、I A C C が大きく、高周波数成分によって  $W_{I A C C}$  が小さい値であるとき、明確な方向感が得られる。逆に主観的拡がり感やあいまいな方向感は I A C C が小さい値 ( $< 0.15$ ) の時に起こる。

#### 【0038】

正中面に位置する騒音源の知覚については、耳の入り口に到来する音響信号の長時間 A C F から抽出される時間的ファクターを式 (22) に加えるべきであろう。

図 8 に示すように、注目すべきは I A C C に相当する下丘付近に存在する神経活動の存在である。また、室内音場においては、L L と I A C C とは右大脳半球に支配的に関連があり、時間的ファクターである  $t_1$  や  $T_{sub}$  は左大脳半球と関わっていることを発見した。

#### 【0039】

主観的拡がり感の尺度値を得るため、2 つの対称な反射音の水平入射角度を変更し、ホワイトノイズを用いて一対比較テストを行った。被験者は、L L、 $I_{A C C}$ 、 $W_{I A C C}$  が一定の条件下で、提示された 2 つの音場のうち、どちらの音場がより広がって聞こえるかを判断した。図 10 は、左縦軸に拡がり感の尺度値、右縦軸に最大振幅 I A C C、横軸に反射音の水平入射角度をとったグラフである。図 10 に示すように、250 Hz、4 kHz (図 10 (a) : 250 Hz、(b) : 500 Hz、(c) : 1 kHz、(d) : 2 kHz、(e) : 4 kHz) の周波数帯域の結果において、尺度値と最大振幅 I A C C とは強い負の相関関係を示した。従って、上述した実験結果により、主観的尺度値を、I A C C の  $3/2$  乗で次式のように求めることができる。

$$S_{diffuseness} = - (I A C C)^{3/2} \quad (24)$$

実験により求めた係数は 2.9、乗数は  $3/2$  である。

#### 【0040】

騒音場の見かけの音源の幅 (A S W) を求める方法について説明する。低域の周波数成分が大きい騒音場では、長時間 I A C F は遅れ時間が  $-1 \sim +1$  ms の範囲内に明確なピークを持たず、 $W_{I A C C}$  は大きくなる。この  $W_{I A C C}$  は次式で求めることができる。

#### 【数 14】

$$W_{I A C C}^{(\delta)} = \frac{4}{\Delta \omega_c} \cos^{-1} \left( 1 - \frac{\delta}{I A C C} \right) [s] \quad (25)$$

ここで、 $\omega_c$  は  $2 \pi (f_1 + f_2)$ 、 $f_1$  と  $f_2$  とは、それぞれ理想的なバンドパスフィルターの下限値と上限値である。便宜上、 $\delta$  は  $0.1 (I A C C)$  と定義する。

#### 【0041】

注目すべきことは、大きな A S W は低周波数帯域が多く、I A C C が小さいときに知覚されるということである。すなわち、L L が一定で  $I_{A C C} = 0$  の条件下では、A S W は I A C C と  $W_{I A C C}$  の I A C F ファクターに基づき求めることができる。A S W の尺度値を 10 名の被験者を用いて一対比較テストで求めた。 $W_{I A C C}$  の値を制御するため、 $1/3$  オクターブバンドパスノイズの中心周波数を 250 Hz ~ 2 kHz で変化させた。I A C C は直接音に対する反射音のレベルの比を制御して調整した。聴取音圧レベル L L は、A S W に影響するので、全ての音場の耳の入り口でのトータル音圧レベルはピーク値が 75 d B A で一定とした。被験者は提示された 2 つの音場のうちどちらかが広がって聞こえるかを判断した。尺度値  $S_{A S W}$  の分散分析の結果、I A C C、 $W_{I A C C}$  の両方の I A C F ファクター共に有意であり ( $p < 0.01$ )、以下のように  $S_{A S W}$  に対して独立に寄与している。従って、 $S_{A S W}$  を次式で求めることができる。

$$S_{A S W} = a (I A C C)^{3/2} + b (W_{I A C C})^{1/2} \quad (26)$$

ここで係数  $a = -1.64$ 、 $b = 2.44$  であり、これらの係数は、図 11 (a) (b) に示す 10 名の被験者の尺度値の回帰曲線から得られたものである。図 11 (a) は縦軸に A S W、横軸に I A C C をとったグラフであり、図 11 (b) は縦軸に A S W、横軸に  $W_{I A C C}$  をとったグラフである。また、図 11 は、縦軸に実際に測定した A S W の尺度値、横軸に計算された A S W の尺度値をとったグラフである。図 12 に示すように、この式から求めた  $S_{A S W}$  の尺度値と、 $S_{A S W}$  の測定値はよく対応することを確認した ( $r =$

10

20

30

40

50

0.97、 $p < 0.01$ )。

【0042】

時間的に変動する環境騒音を評価するため、短時間ランニング ACF 及び短時間ランニング IACF を用いる。前述と同様の方法で抽出された短時間ランニングの空間的・時間的ファクターは、時変動する騒音場の基本的感覚を示すのに用いられている。短時間 ACF は次式で求めることができる。

【数15】

$$\Phi_p(\tau) = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T p'(t)p'(t+\tau)dt \quad (27)$$

ここで  $2T$  は解析される信号の長さである。この長さ  $2T$  は、ランニング ACF の有効継続時間の最小値  $(e)_{min}$  を少なくとも含む範囲で決定すべきである。 $(e)_{min}$  を示す騒音は信号が最も急速に変動することを表わしており、この部分が最も主観的応答に影響を及ぼしている。

【0043】

各騒音の部分におけるラウドネス  $S_L$  に関して、式(15)は次式のように書き換えることができる。

$$S_L = f_L(L_L, \tau_1, \tau_2, e) \quad (28)$$

ここで各ファクターは各騒音の部分について得られ、式(15)の(0)は  $L_L$  に置き換えられる。ACF から抽出された時間的ファクターが、室内の反射音群  $(\tau_1, \tau_2, \dots)$  と後続残響時間  $T_{sub}$  に影響を及ぼしているはずだということに注目すべきである。

【0044】

環境騒音場のピッチの記述で、騒音場において有意な時間的ファクターは  $\tau_1$  と  $\tau_2$  とであり、従って式(17)はそのまま保たれる。

【0045】

環境騒音場の音色は時間的・空間的ファクター全てで、次式のように表わされる。

$$S_T = f_T(e, \tau_1, \tau_2; L_L, IACC, IACC, W_{IACC}) \quad (29)$$

ここで、人間の脳半球が時間的ファクターが左脳半球に関連し、空間的ファクターが右脳半球に関連しているという専門化を考えると、式(29)は以下のように置き換えることができる。

$$S_T = f_T(e, \tau_1, \tau_2)_{left} + f_T(L_L, IACC, IACC, W_{IACC})_{right} \quad (29)$$

弱い反射音の閾値を  $\tau_1$  の関数として図13に示す。式(29)に含まれる、聴者に対する反射音の空間的方向 ( $IACC$  と  $IACC$ ) と反射音の遅れ時間  $\tau_1$  はこの閾値を示している。

【0046】

耳の感度は外耳と中耳とを含む物理システムにより特徴づけられる。音響信号を解析する前に、便宜上、A特性をかけたおく。

単一反射音の遅れ時間を関数とした単音節の明瞭度は、母音と子音との間の部分の短時間 ACF から抽出された4つの直交ファクターを解析することにより予測できる。最近の調査では、音色や比類似度の判断は、コンサートホール内の音場の主観的プリファレンスと同じく、総合的な主観的応答であることを明確に示している。音色と同様に、主観的プリファレンスは、 $(e)_{min}$  の最小値を用いて表わされる。短時間積分時間は次式で表わされる。

$$(2T) = 30(e)_{min} \quad (30)$$

精神作業に関する騒音の影響は、作業能率と脳の専門化との間の妨害現象として解釈することができる。ACF から抽出された時間的ファクターは、左脳半球に関連しており、IACF から抽出されるファクターは右脳半球に主に関わっている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による装置の具体的な構成を示す装置概略図である。

【図2】本発明による騒音源の種類の特定、心理評価を行う方法のフローチャートである

10

20

30

40

50

。【図 3】図 3 は、ピーク検知処理手順を説明する図であって、縦軸にノイズレベル、横軸に時間をとったグラフであって、その下段に積分間隔を示す図である。

【図 4】縦軸に ACF の絶対値の対数、横軸に遅延時間をとったグラフである。

【図 5】縦軸に正規化した ACF、横軸に遅延時間をとったグラフである。

【図 6】縦軸に正規化した IACF、横軸に左右の信号の遅延時間をとったグラフである

。【図 7】重み係数の計算方法を説明するブロック図である。

【図 8】聴覚 - 大脳機能システムのモデルを説明するブロック図である。

【図 9】縦軸にラウドネス尺度値、横軸にバンド幅をとったグラフである。

10

【図 10】左縦軸に拡がり感の尺度値、右縦軸に最大振幅 IACC、横軸に反射音の水平入射角度をとったグラフである。

【図 11】(a) は縦軸に ASW、横軸に IACC をとったグラフであり、(b) は縦軸に ASW、横軸に  $W_{IACC}$  をとったグラフである。

【図 12】縦軸に実際に測定した ASW の尺度値、横軸に計算された ASW の尺度値をとったグラフである。

【図 13】縦軸に信号の閾値、横軸に遅延時間をとったグラフである。

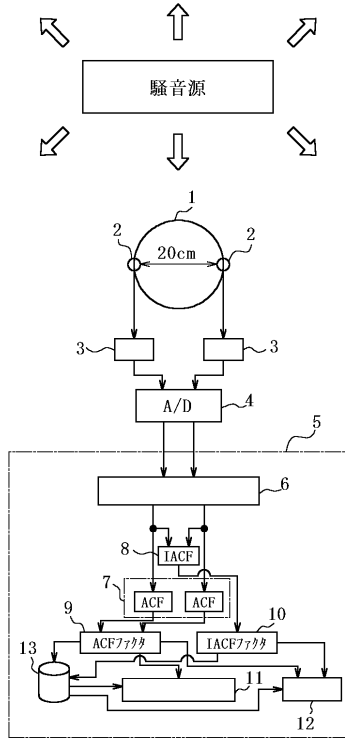
【符号の説明】

- 1 頭部の模型
- 2 バイノーラル方式の音声採取手段
- 3 LPF (ローパスフィルタ)、
- 4 A/D コンバータ
- 5 コンピュータ
- 6 音響信号記憶手段
- 7 ACF 演算手段
- 8 IACF 演算手段
- 9 ACF ファクター演算手段 9
- 10 IACF ファクター演算手段 10
- 11 騒音源種類特定手段
- 12 心理評価手段
- 13 データベース

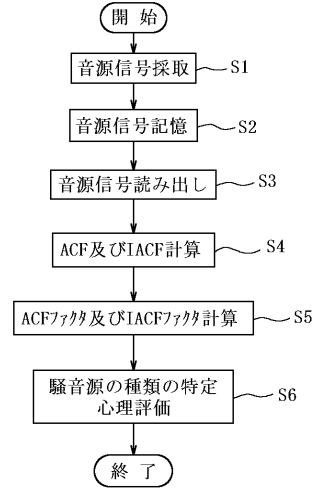
20

30

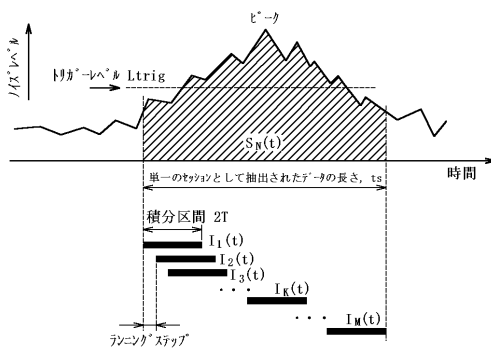
【 図 1 】



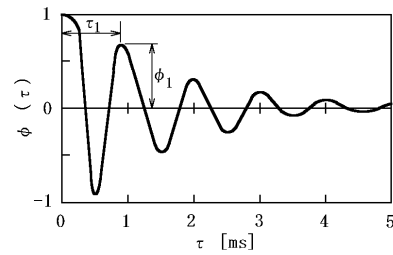
【 図 2 】



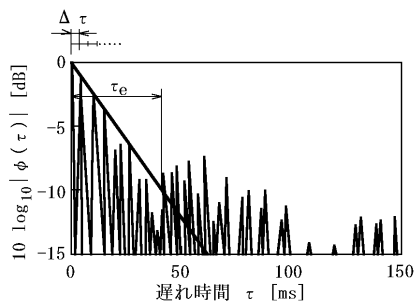
【 図 3 】



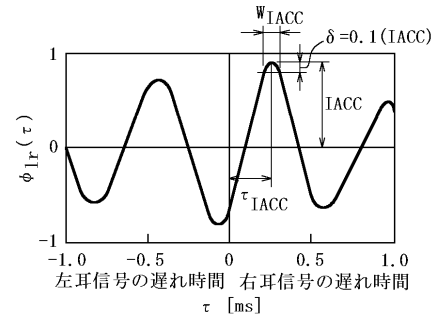
【 図 5 】



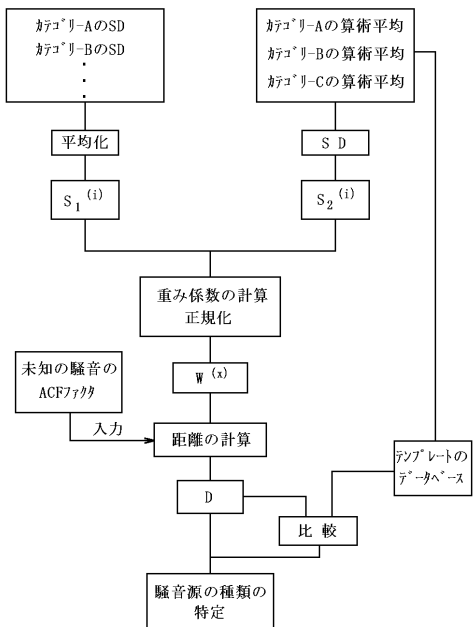
【 図 4 】



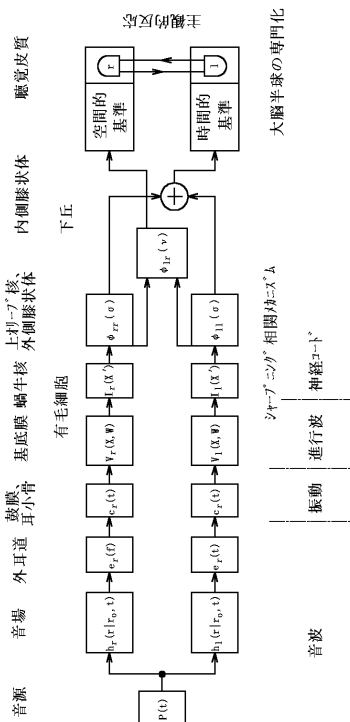
【 図 6 】



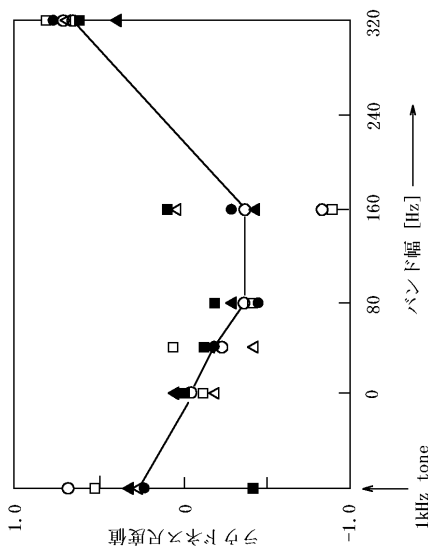
【 図 7 】



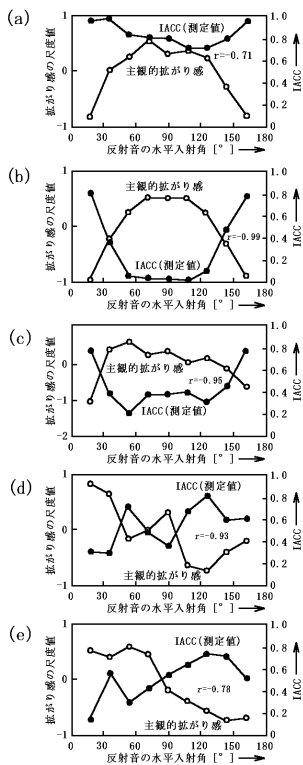
【 図 8 】



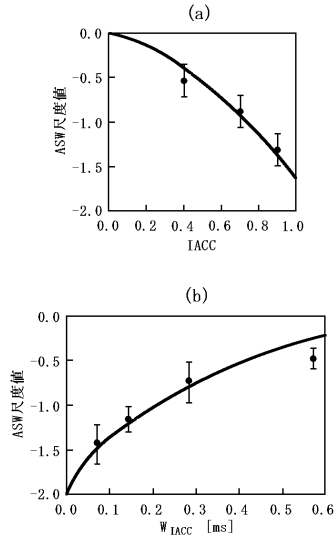
【 図 9 】



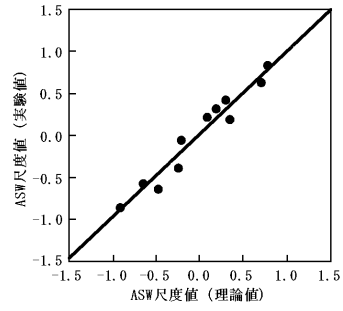
【 図 10 】



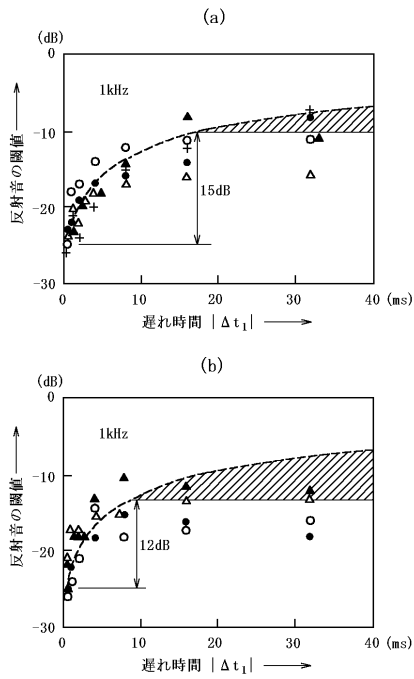
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】





---

フロントページの続き

- (56)参考文献 安藤四一,「計算科学技術活用型特定研究開発推進事業(短期集中型)研究開発終了報告 平成10年度」,2000年 7月31日,第237-280頁、表紙  
J.Y.Jeon, Journal of Sound and Vibration, 2001年,241(1), pp.147-155  
安藤四一,「計算科学技術活用型特定研究開発推進事業(短期集中型)研究開発終了報告 平成10年度」,2000年 7月31日,第237-280頁、表紙