

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4590545号  
(P4590545)

(45) 発行日 平成22年12月1日(2010.12.1)

(24) 登録日 平成22年9月24日(2010.9.24)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>G01H 3/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G01H 3/00	A
<b>G01H 17/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G01H 3/00	B
<b>G1OG 1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G01H 17/00	C
<b>G1OH 1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G1OG 1/00	
<b>G1OK 15/00</b>	<b>(2006.01)</b>	G1OH 1/00	B

請求項の数 4 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2004-137611 (P2004-137611)	(73) 特許権者	504150450
(22) 出願日	平成16年5月6日(2004.5.6)		国立大学法人神戸大学
(62) 分割の表示	特願2001-242267 (P2001-242267)		兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1
原出願日	平成13年8月9日(2001.8.9)	(74) 代理人	100147485
(65) 公開番号	特開2004-294444 (P2004-294444A)		弁理士 杉村 憲司
(43) 公開日	平成16年10月21日(2004.10.21)	(74) 代理人	100143568
審査請求日	平成20年6月17日(2008.6.17)		弁理士 英 貢
		(74) 代理人	100072051
			弁理士 杉村 興作
		(74) 代理人	100101096
			弁理士 徳永 博
		(74) 代理人	100107227
			弁理士 藤谷 史朗
		(74) 代理人	100114292
			弁理士 来間 清志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音響評価方法およびそのシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

バイノーラル方式で左右のチャンネルの音響信号を採取するステップと、  
前記採取された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数 ACF を計算する ACF 演算ステップと、

この算出された ACF から前記演算手段を用いて、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 の最大ピークまでの遅延時間  $\tau_1$ 、正規化した ACF の最大ピークの振幅  $A_1$ 、各ピーク値の情報  $(A_n, \tau_n, n = 1, 2, 3, \dots, N)$  (N は約 10 よりも小さい整数) を含む ACF ファクターを求める ACF ファクター演算ステップと、

前記採取された音響信号から演算手段を用いて左右の各チャンネル間の相互相関関数 IACF を計算する IACF 演算ステップと、

当該計算された IACF から前記演算手段を用いて、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 ( $W_{IACC}$ ) を含む IACF ファクターを計算する IACF ファクター演算ステップと、

前記エネルギー  $E_0$ 、前記有効継続遅延時間  $\tau_c$ 、前記遅延時間  $\tau_1$ 、前記振幅  $A_1$  で定義されるラウドネス ( $S_L = f_L(LL, \tau_1, A_1, \tau_c)$ ) と、

ACF ファクターから抽出される時間的ファクターの有効継続遅延時間  $\tau_c$ 、及び ACF の最大ピークまでの遅延時間  $\tau_1$  が、所定の騒音場の反射音群と後続残響時間について左チャンネル側に支配的に関連し、IACF ファクターから抽出される空間的ファクター

の聴取音圧レベル (LL) 及び最大振幅 (IACC) が、右大脳半球に支配的に関連するとして、前記ラウドネス (S<sub>L</sub>) を前記時間的ファクター及び前記空間的ファクターと前記最大振幅までの遅延時間 (τ<sub>IACC</sub>) 及び前記最大振幅における幅 (W<sub>IACC</sub>) で再定義した関数 (S<sub>T</sub> = f<sub>T</sub>(τ<sub>e</sub>, τ<sub>1</sub>, τ<sub>1</sub>)<sub>left</sub> + f<sub>T</sub>(LL, IACC, τ<sub>IACC</sub>, W<sub>IACC</sub>)<sub>right</sub>) と、

前記各ピーク値の情報 (τ<sub>n</sub>, τ<sub>n</sub>, n = 1, 2, 3, . . . , N (Nは約10よりも小さい整数)) に従って、音色とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた音色データ、音律とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた音律データ、音響の心理評価値とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた心理評価データ、のうちの少なくとも1つが格納された所定のデータベースを参照して、当該求めたIACFファクターおよび/またはACFファクターに基づいて、前記左右のチャンネルの音響信号の音響の評価を行なう評価ステップと、  
を含むことを特徴とする音響評価方法。

【請求項2】

請求項1に記載の音響評価方法において、

前記評価ステップは、騒音源の種類を判定するステップを含むことを特徴とする音響評価方法。

【請求項3】

バイノーラル方式で左右のチャンネルの音響信号を採取する音声採取手段と、

前記採取された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数ACFを計算するACF演算手段と、

この算出されたACFから前記演算手段を用いて、遅れ時間が0で表わされるエネルギー (0)、有効継続遅延時間 τ<sub>e</sub>、ACFの最大ピークまでの遅延時間 τ<sub>1</sub>、正規化したACFの最大ピークの振幅 τ<sub>1</sub>、各ピーク値の情報 (τ<sub>n</sub>, τ<sub>n</sub>, n = 1, 2, 3, . . . , N (Nは約10よりも小さい整数)) を含むACFファクターを求めるACFファクター演算手段と、

前記採取された音響信号から演算手段を用いて左右の各チャンネル間の相互相関関数IACFを計算するIACF演算手段と、

当該計算されたIACFから前記演算手段を用いて、聴取音圧レベル (LL)、最大振幅 (IACC)、最大振幅までの遅延時間 (τ<sub>IACC</sub>)、最大振幅における幅 (W<sub>IACC</sub>) を含むIACFファクターを計算するIACFファクター演算手段と、

前記エネルギー (0)、前記有効継続遅延時間 τ<sub>e</sub>、前記遅延時間 τ<sub>1</sub>、前記振幅 τ<sub>1</sub> で定義されるラウドネス (S<sub>L</sub> = f<sub>L</sub>(LL, τ<sub>1</sub>, τ<sub>1</sub>, τ<sub>e</sub>)) と、

ACFファクターから抽出される時間的ファクターの有効継続遅延時間 τ<sub>e</sub>、及びACFの最大ピークまでの遅延時間 τ<sub>1</sub> が、所定の騒音場の反射音群と後続残響時間について左チャンネル側に支配的に関連し、IACFファクターから抽出される空間的ファクターの聴取音圧レベル (LL) 及び最大振幅 (IACC) が、右大脳半球に支配的に関連するとして、前記ラウドネス (S<sub>L</sub>) を前記時間的ファクター及び前記空間的ファクターと前記最大振幅までの遅延時間 (τ<sub>IACC</sub>) 及び前記最大振幅における幅 (W<sub>IACC</sub>) で再定義した関数 (S<sub>T</sub> = f<sub>T</sub>(τ<sub>e</sub>, τ<sub>1</sub>, τ<sub>1</sub>)<sub>left</sub> + f<sub>T</sub>(LL, IACC, τ<sub>IACC</sub>, W<sub>IACC</sub>)<sub>right</sub>) と、

前記各ピーク値の情報 (τ<sub>n</sub>, τ<sub>n</sub>, n = 1, 2, 3, . . . , N (Nは約10よりも小さい整数)) に従って、音色とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた音色データ、音律とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた音律データ、音響の心理評価値とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた心理評価データ、のうちの少なくとも1つが格納された所定のデータベースを参照して、当該求めたIACFファクターおよび/またはACFファクターに基づいて、前記左右のチャンネルの音響信号の音響の評価を行なう評価手段と、  
を含むことを特徴とする音響評価システム。

【請求項4】

10

20

30

40

50

請求項 3 に記載の音響評価システムにおいて、  
前記 A C F ファクターの遅延時間  $\tau$  に基づき、ピッチの周波数を求めるピッチ周波数  
演算手段と、

この求めたピッチ周波数と、所定の音階データベースのデータとを比較してその相違を  
示す調律手段と、

を含むことを特徴とする音響評価システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、音響評価方法、および音響評価システムに関するものであり、特に、自己相 10  
 関関数 A C F や相互相関関数 I A C F に基づき、音響を評価する方法およびシステムに関  
 するものである。

また、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。

【背景技術】

【0002】

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 20  
 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  
 かとなってきているが、騒音の分野においてはモノオーラル方式でしかもスペクトル情報  
 に関するものが殆どである。

【0003】

また、従来、音楽業界における調律や音色の評価方法では、音響のスペクトル分析をま  
 ず行ない、その後、ケプストラム分析をする手法が一般に行なわれていた。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

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 30  
 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。

また、従来の調律や音色の評価方法では、人間の心理的反応を適格に表わすことは困難  
 であった。

【0005】

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 40  
 時々刻々変化する自己相関関数及び両耳間の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両耳間の相互相関関数から導出される物理ファク  
 ターを用いて、よりの確に音色、音階、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。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した目的を達成するために、本発明による音響評価方法は、

バイノーラル方式で左右のチャンネルの音響信号を採取するステップと、

前記採取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 を計算する A C F 演 50

算ステップと、

この算出された ACF から前記演算手段を用いて、遅れ時間が 0 で表わされるエネルギー (0)、有効継続遅延時間  $\tau_e$ 、ACF の最大ピークまでの遅延時間  $\tau_1$ 、正規化した ACF の最大ピークの振幅  $A_1$ 、各ピーク値の情報 ( $A'_n, \tau'_n, n = 1, 2, 3, \dots, N$  (N は約 10 よりも小さい整数)) を含む ACF ファクターを求める ACF ファクター演算ステップと、

前記採取された音響信号から演算手段を用いて左右の各チャンネル間の相互相関関数 IACF を計算する IACF 演算ステップと、

当該計算された IACF から前記演算手段を用いて、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 ( $W_{IACC}$ ) を含む IACF ファクターを計算する IACF ファクター演算ステップと、

前記エネルギー (0)、前記有効継続遅延時間  $\tau_e$ 、前記遅延時間  $\tau_1$ 、前記振幅  $A_1$  で定義されるラウドネス ( $S_L = f_L(LL, \tau_1, A_1, \tau_e)$ ) と、

ACF ファクターから抽出される時間的ファクターの有効継続遅延時間  $\tau_e$ 、及び ACF の最大ピークまでの遅延時間  $\tau_1$  が、所定の騒音場の反射音群と後続残響時間について左チャンネル側に支配的に関連し、IACF ファクターから抽出される空間的ファクターの聴取音圧レベル (LL) 及び最大振幅 (IACC) が、右大脳半球に支配的に関連するとして、前記ラウドネス ( $S_L$ ) を前記時間的ファクター及び前記空間的ファクターと前記最大振幅までの遅延時間 ( $\tau_{IACC}$ ) 及び前記最大振幅における幅 ( $W_{IACC}$ ) で再定義した関数 ( $S_T = f_T(\tau_e, \tau_1, \tau_{IACC})_{left} + f_T(LL, IACC, W_{IACC})_{right}$ ) と、

前記各ピーク値の情報 ( $A'_n, \tau'_n, n = 1, 2, 3, \dots, N$  (N は約 10 よりも小さい整数)) に従って、音色と ACF ファクター及び IACF ファクターとを関連付けた音色データ、音律と ACF ファクター及び IACF ファクターとを関連付けた音律データ、音響の心理評価値と ACF ファクター及び IACF ファクターとを関連付けた心理評価データ、のうちの少なくとも 1 つが格納された所定のデータベースを参照して、当該求めた IACF ファクターおよび / または ACF ファクターに基づいて、前記左右のチャンネルの音響信号の音響の評価を行なう評価ステップと、

を含むことを特徴とする。

本構成によれば、前記の所定のデータベース (例えば、良い音であると評価された様々な楽器の有する各データ (例えば、音色、音律、音質、主観的拡がり感の尺度値、ASW の尺度値、心理的評価値など) と、その音から抽出された ACF ファクターや IACF ファクターとを関連付けたデータが格納されたデータベース) を参照してこのデータベースから読み出されたデータと、対象とする音響信号から抽出された ACF ファクターとを比較してその相違、或いはその差の数値や差異の程度を提示することによって、音響評価を客観的にできるようになる。本方法を楽器作成、音色や音質の調整、音階の調律などに利用すれば、良い音色であると評価された心理評価値を有する楽器の作製や、楽器の調律などを、より客観的によりの確にすることができるようになる。即ち、本発明によれば、従来、楽器職人などの勘に頼って作成されていた楽器を、客観的なデータに基づき作製することが可能になる。

【0007】

また、本構成によれば、上述した様々な ACF ファクターに基づき、より良い音色などの心理評価値を有する楽器の作成や、楽器の調律などを、より客観的によりの確にすることができるようになる。

【0008】

また、本構成によれば、音響信号から求められた  $\tau_1$  の逆数がピッチとなる周波数に相關することを利用することによって、対象となる楽器の音響信号の音階を、的確に調律することができるようになる。なお、この所定の音階データベースは、前記の所定のデータベースを代用することも可能である。

【0009】

10

20

30

40

50

また、本構成によれば、IACFに基づいて抽出された、例えば広がり感などの立体的な心理評価値と、所定のデータベースとを比較して、その相違など提示することによって、音響の評価や心理評価などを客観的かつ的確にできるようになる。

【0010】

また、本発明による音響評価方法はシステムの形態でも実現できる。

例えば、本発明による音響評価システムは、

バイノーラル方式で左右のチャンネルの音響信号を採取する音声採取手段と、

前記採取された音響信号から演算手段を用いて自己相関関数ACFを計算するACF演算手段と、

この算出されたACFから前記演算手段を用いて、遅れ時間が0で表わされるエネルギー(0)、有効継続遅延時間 $\tau_e$ 、ACFの最大ピークまでの遅延時間 $\tau_1$ 、正規化したACFの最大ピークの振幅 $A_1$ 、各ピーク値の情報( $\theta'_n, \theta''_n, n=1, 2, 3, \dots, N$ ( $N$ は約10よりも小さい整数))を含むACFファクターを求めるACFファクター演算手段と、

前記採取された音響信号から演算手段を用いて左右の各チャンネル間の相互相関関数IACFを計算するIACF演算手段と、

当該計算されたIACFから前記演算手段を用いて、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( $W_{IACC}$ )を含むIACFファクターを計算するIACFファクター演算手段と、

前記エネルギー(0)、前記有効継続遅延時間 $\tau_e$ 、前記遅延時間 $\tau_1$ 、前記振幅 $A_1$ で定義されるラウドネス( $S_L = f_L(LL, \tau_1, \tau_e)$ )と、

ACFファクターから抽出される時間的ファクターの有効継続遅延時間 $\tau_e$ 、及びACFの最大ピークまでの遅延時間 $\tau_1$ が、所定の騒音場の反射音群と後続残響時間について左チャンネル側に支配的に関連し、IACFファクターから抽出される空間的ファクターの聴取音圧レベル(LL)及び最大振幅(IACC)が、右大脳半球に支配的に関連するとして、前記ラウドネス( $S_L$ )を前記時間的ファクター及び前記空間的ファクターと前記最大振幅までの遅延時間( $\tau_{IACC}$ )及び前記最大振幅における幅( $W_{IACC}$ )で再定義した関数( $S_T = f_T(\tau_e, \tau_1, \tau_1)_{left} + f_T(LL, IACC, W_{IACC})_{right}$ )と、

前記各ピーク値の情報( $\theta'_n, \theta''_n, n=1, 2, 3, \dots, N$ ( $N$ は約10よりも小さい整数))に従って、音色とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた音色データ、音律とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた音律データ、音響の心理評価値とACFファクター及びIACFファクターとを関連付けた心理評価データ、のうちの少なくとも1つが格納された所定のデータベースを参照して、当該求めたIACFファクターおよび/またはACFファクターに基づいて、前記左右のチャンネルの音響信号の音響の評価を行なう評価手段と、

を含むことを特徴とする。

【0012】

また、本発明による音響評価システムは、

前記ACFファクターの $\tau_1$ に基づき、ピッチの周波数を求めるピッチ周波数演算手段と、

この求めたピッチ周波数と、所定の音階データベースのデータとを比較してその相違を示す調律手段と、

を含むことを特徴とする。

【0014】

さらに、本発明による騒音源の種類を特定する方法は、

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(ACF)を算出するACF演算ステップと、この算出されたACFから演算手段により各ACFファクターを求めるACFファクター演算ステップと、この求めた各ACFファクターを

10

20

30

40

50

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。

#### 【0015】

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の最大ピークの振幅(  $A_1$  )からその対数と(場合によっては  $\tau_n$ 、  $A_n$  を加えることもできる)、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。

#### 【0016】

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。

本発明の実施手段を主として方法の形態で説明してきたが、本発明はこれらの方法に対応する装置、システム、プログラム、記憶媒体の形態でも実現できることを留意されたい。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

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1200Hz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。

#### 【0018】

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

ギー (  $\tau(0)$  )、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 (  $\tau_1$  )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 (  $L_L$  )、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。

#### 【0019】

以下、添付する図面を参照しつつ本発明を詳細に説明する。

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。

#### 【0020】

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。

#### 【0021】

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。

#### 【0022】

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  $\tau_{ll}(0)$ 、 $\tau_{rr}(0)$ 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、(0)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。

#### 【0023】

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 $L_{trig}$ を適切に設定しておく必要がある。適当な $L_{trig}$ 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、 $L_{trig}$ 値を決定することは容易である。

10

#### 【0024】

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、 $L_{trig}$ 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。

20

#### 【0025】

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 $t_{step}$ 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 $30 \times (\sigma_e)_{min}$ [ms]であり、この $(\sigma_e)_{min}$ 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。

30

#### 【0026】

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、 $\{(0, 2T), (t_{step}, t_{step}+2T), (2t_{step}, 2t_{step}+2T), \dots, ((M-1)t_{step}, (M-1)t_{step}+2T)\}$ のように $t_{step}$ 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0.1~0.5秒が適している。 $2T$ がこの範囲よりも小さい場合、 $(\sigma_e)_{min}$ がある値に収束する。一般的に、 $t_{step}$ は0.1秒が好適である。変動が細かい場合は、より短い $t_{step}$ 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。

40

#### 【0027】

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( $1 < i < Tf$ 、 $f$ :サンプリング周波数(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。

#### 【数1】

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

50



SPLの正確な値は、次式で得られる。

【数2】

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

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

10

【0028】

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3】

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

この(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考えられる。

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 $\tau_c$ 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。

20

【数4】

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

【0029】

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 $\tau_c$ 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 $\tau_0$ 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 $\tau_0$ 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。 $\tau_c$ 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とを含む場合、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。

30

【0030】

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、 $\tau_{1c}$ は正規化したACFの第1のピークまでの遅延時間、 $\phi_{1c}$ 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 $\tau_{1c}$ と $\phi_{1c}$ ( $N \geq 2$ )とは考慮に入れない。なぜなら、 $\tau_{1c}$ と $\phi_{1c}$ は、一般的に $\tau_{1c}$ と $\phi_{1c}$ とに相関関係があるからである。

40

【0031】

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、 $\phi_{lr}(\tau)$  ( $-1 \leq \tau \leq +1$ [ms])で表わされる。デジタル形式では、 $\phi_{lr}^{(i)}$  ( $-f/10^3 \leq i \leq f/10^3$ 、 $i$ 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 $\phi_{lr}^{(i)}$ の最大振幅は遅延範囲内で得られる。即ち

50

【数5】

$$IACC = \{ \phi_{lr}^{(i)} \}_{\max} \quad (5)$$

正規化されたIACFは次式で得られる。

【数6】

$$\phi_{lr}^{(i)} = \frac{\Phi_{lr}^{(i)}}{\Phi(0)} \quad (6)$$

【0032】

$IACC$ 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、 $IACC$ 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 $0.1(IACC)$ 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 $IACC = 1.0$ 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 $LL$ と置き換えることによって得られる。このようにして、各物理ファクターを、ACF及びIACFから求めることができる。

10

【0033】

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( (0) )、有効継続遅延時間(  $\tau_e$  )、ACFの第1(最大)ピークまでの遅延時間(  $\tau_1$  )、正規化したACFの第1(最大)ピークの振幅(  $\phi_1$  )を用いて特定する。(0)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(0)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  $\tau_e : (\tau_e)_{\min}$  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

【0034】

未知の対象データ(下記の式(7)~(10)では記号aで示す)用の(  $\tau_e$  )<sub>min</sub>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 $D(x)$ ( $x : (0), \tau_e, \tau_1, \phi_1$ )を次式により計算する。

【数7】

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

40

【数8】

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

【数9】

$$D(\tau_1) = |\log(\tau_1)^a - \log(\tau_1)^b| \quad (9)$$

【数 1 0】

$$D(\phi_1) = |\log(\phi_1)^a - \log(\phi_1)^b| \quad (10)$$

【0 0 3 5】

目的とする騒音源の合計距離  $D$  は、次式で表わされる。

【数 1 1】

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

$W^{(x)}$  ( $x$ ;  $(0)$ 、 $(e)_{\min}$ 、 $\tau_1$ 、 $\phi_1$ ) 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。

10

【0 0 3 6】

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  $W^{(x)}$  ( $x$ ;  $(0)$ 、 $e$ 、 $\tau_1$ 、 $\phi_1$ ) は、統計値  $S_1^{(i)}$  と  $S_2^{(i)}$  とを用いて得ることができる。図 7 に示すように、 $S_1^{(i)}$  は、A C F ファクターの全カテゴリーに対する標準偏差 (SD) の算術平均である。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  $\{(S_2/S_1)^{1/2}\}_{\max}$  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 A C F 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。

20

【0 0 3 7】

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 (A C F) メカニズム、両耳間相互相関 (I A C F) 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 A C F 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、I A C F 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

30

【0 0 3 8】

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 A C F を次式で得ることができる。

【数 1 2】

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

40

$p'(t) = p(t) * s(t)$  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 A C F から得ることができる。

【数 1 3】

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

【数 1 4】

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

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。

【0039】

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  $\Phi_p(0)$  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  $\Phi_p(\tau) = \Phi_p(\tau) / \Phi_p(0)$  で得ることができる。

10

【0040】

ラウドネス  $S_L$  は次式で表わされる。

【数 1 5】

$$S_L = f_L(\Phi(0), \tau_1, \phi_1, \tau_e) \quad (15)$$

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 ( $\Phi(0)$ )、有効継続遅延時間 ( $\tau_e$ )、ACFの第1(最大)ピークまでの遅延時間 ( $\tau_1$ )、正規化したACFの第1(最大)ピークの振幅 ( $\phi_1$ ) からラウドネスを求めることができる。

20

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 1 6】

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

30

この  $L_{eq}$  は  $10 \log \Phi_p(0)$  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。

【0041】

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、 $\Phi_p(0)$  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、 $\tau_e$  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1kHzの周波数帯域で得られたものである。

40

【0042】

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。

【数 1 7】

$$S_p = f_p(\tau_1, \phi_1) \quad (17)$$

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。

【0043】

50

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。

【数 1 8】

$$S_T = f_T[\Phi(0), \tau_e, (\tau_1, \phi_1), (\tau'_1, \phi'_1) \dots, (\tau'_n, \phi'_n)] \quad (18)$$

$\tau_1, \phi_1, \tau'_1, \phi'_1, \dots, \tau'_n, \phi'_n$  (n=1,2,...) の中で  $\tau_1, \phi_1$  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。

【数 1 9】

$$S_T = f_T[\Phi(0), \tau_e, \tau_1, \phi_1] \quad (19)$$

10

【0044】

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。

【数 2 0】

$$S_D = f_D[\Phi(0), \tau_e, \tau_1, \phi_1] \quad (20)$$

【0045】

長時間 I A C F は次式で求めることができる。

【数 2 1】

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

20

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

【0046】

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。

【数 2 2】

$$S = f(LL, IACC, \tau_{IACC}, W_{IACC}) \quad (22)$$

30

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 2 3】

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

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  $\tau_{IACC}$  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。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  $W_{IACC}$  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。

40

【0047】

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、LL 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。

【0048】

50

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、 $L L$ 、 $I_{ACC}$ 、 $W_{IACC}$ 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 $I_{ACC}$ 、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、250Hz~4kHz(図10(a):250Hz、(b):500Hz、(c):1kHz、(d):2kHz、(e):4kHz)の周波数帯域の結果において、尺度値と最大振幅 $I_{ACC}$ 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、 $I_{ACC}$ の $3/2$ 乗で次式のように求めることができる。

【数24】

$$S_{\text{diffuseness}} = -\alpha (I_{ACC})^\beta \quad (24)$$

10

実験により求めた係数  $\alpha$  は2.9、乗数  $\beta$  は $3/2$ である。

【0049】

騒音場の見かけの音源の幅( $ASW$ )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 $I_{ACF}$ 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、 $W_{IACC}$ は大きくなる。この $W_{IACC}$ は次式で求めることができる。

【数25】

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

20

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の下限値と上限値である。便宜上、 $\delta$ は $0.1(I_{ACC})$ と定義する。

【0050】

注目すべきことは、大きな $ASW$ は低周波数帯域が多く、 $I_{ACC}$ 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 $I_{IACC} = 0$ の条件下では、 $ASW$ は $I_{ACC}$ と $W_{IACC}$ の $I_{ACF}$ ファクターに基づき求めることができる。 $ASW$ 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。 $W_{IACC}$ 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250Hz~2kHzで変化させた。 $I_{ACC}$ 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、 $ASW$ 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75dB 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 $S_{ASW}$ の分散分析の結果、 $I_{ACC}$ 、 $W_{IACC}$ の両方の $I_{ACF}$ ファクター共に有意であり( $p < 0.01$ )、以下のように $S_{ASW}$ に対して独立に寄与している。従って、 $S_{ASW}$ を次式で求めることができる。

30

$$S_{ASW} = a(I_{ACC})^{3/2} + b(W_{IACC})^{1/2} \quad (26)$$

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 $ASW$ 、横軸に $I_{ACC}$ をとったグラフであり、図11(b)は縦軸に $ASW$ 、横軸に $W_{IACC}$ 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 $ASW$ 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12に示すように、この式から求めた $S_{ASW}$ の尺度値と、 $S_{ASW}$ の測定値はよく対応することを確かめた( $r = 0.97$ 、 $p < 0.01$ )。

40

【0051】

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 $I_{ACF}$ 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。

50

【数 2 6】

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

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。

【0052】

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。

【0053】

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。

【0054】

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。

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

ここで、人間の脳半球が時間的ファクターが左大脳半球に関連し、空間的ファクターが右大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。

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

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  $W_{IACC}$ ) と反射音の遅れ時間  $\tau_1$  はこの閾値を示している。

【0055】

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 特性をかけておく。

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、左大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大脳半球に主に関わっている。

【0056】

図 14 は、本発明による音響評価システムの基本的な構成を示すブロック図である。この音響評価システムは、図 1 のシステムと基本的な構成要素は同じものである。しかし、コンピュータの内部の構成要素の一部が異なる。図 14 に示すように、本音響評価システムは、音響信号 (左右 2 チャンネル) を採取する音声採取手段 20 と、これらの音響信号に基づき ACF を計算する ACF 演算手段 21 と、これらの音響信号に基づき IACF を計算する IACF 演算手段 25、この計算された ACF に基づき ACF ファクターを計

10

20

30

40

50

算する ACF ファクター演算手段 22、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 26、この計算された ACF ファクターに基づき音響を評価する手段 24、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音響を評価する手段 27、各種データを格納するデータベース 23 を具える。

#### 【0057】

図 15 は、本発明による音響評価方法の基本的なステップを示すフローチャートである。図に示すように、ステップ P1 では、音源からの音響信号をマイクロフォン（図示せず）で採取する。なお、このマイクロフォン以外に、例えばライン入力などでデジタル信号やアナログ信号を採取することも可能である。この採取された音響信号は LPF3（図示せず）を介して A/D コンバータ（図示せず）によりデジタル信号に変換する。ステップ P2 では、採取された音響信号に基づき ACF 及び IACF をコンピュータ即ち CPU により計算する。ステップ P3 では、計算された ACF 及び IACF に基づき CPU により ACF ファクター及び IACF ファクターを計算する。予め、音色と ACF ファクターとを関連付けた音色データ、音律と ACF ファクターとを関連付けた音律データ、音響の心理評価値と ACF ファクターとを関連付けた心理評価データ、が格納された所定のデータベースを構築しておく。次に、各データと ACF ファクターや IACF ファクターとの関連付けについて説明する。例えば、ある楽器で様々な音を発音し、本システムを用いてそのときの音を採取して ACF ファクターや IACF ファクターを算出し、同時にこのときの各音に関して ACF ファクターや IACF ファクターに基づき計算したり、或いは、既知の他の方法によって各データ（音色、音質、或いは心理評価値など）を計算したり決定したりすることができる。このようにして、各音の ACF ファクターや IACF ファクターと、その音に関する各データとを関連付けてデータベースに格納する。ステップ P4 では、計算された ACF ファクター及び IACF ファクターに基づき、CPU により音響の評価を行う。その評価の際には、各種のデータを格納するデータベースからデータを読み出し比較・検討を行う。

#### 【0058】

図 16 は、本システムを用いてピアノ音源から音響信号を採取し、採取した音響信号から抽出したピアノの正規化した ACF の波形であり、縦軸に振幅、横軸に遅延時間をとったグラフである。即ち、ピアノの音響信号から抽出した ACF の波形を示すグラフである。図 16 (a) は、A1 (55Hz)、(b) は A2 (220Hz)、(c) は A6 (1760Hz) で発音した音響信号から得られた正規化 ACF の波形である。図では、最大ピーク値を  $\tau_1$ 、そのときの遅延時間を  $\tau_1$ 、またその遅れ時間内のピーク値を  $\tau_n$ 、そのときの遅れ時間を  $\tau_n$  と定義できる。ここで、 $\tau_1$  はピッチ、 $\tau_1$  はピッチの強さに対応する物理的ファクターである。図に示すように、 $\tau_1$  の逆数は、ピッチとなる周波数に対応する。例えば、図 (a) の場合、ピアノ音源からは周波数 55 Hz の音が発せられ、このとき本システムを用いて音響信号から求めた ACF ファクターのうちの 1 つである  $\tau_1$  は約 18 ms であり、これの逆数  $= 1 / \tau_1 = 55$  となりピアノ音源のピッチ 55 Hz とよく相関すること、即ち対応することがわかる。図 (b)、(c) でも同様に、音源のピッチと  $\tau_1$  とが対応することがわかる。この相関関係をより明らかにするために、以下の図 17 にその関係を示す。

#### 【0059】

図 17 は、縦軸にピッチ（ヘルツ）、横軸に 12 平均律による音階をとったグラフである。四角の点は、所定の計算式から求められた 12 平均律の音階のピッチである。黒丸の点は、 $\tau_1$  から求めたピッチである。図に示すように、12 平均律によるピッチと  $\tau_1$  によるピッチとが良く一致することがわかる。音階 A6 の  $\tau_1$  に基づき計算されたピッチが、ずれているのは調律ミスによるものと思われる。このように ACF ファクター  $\tau_1$  を利用すれば、ピアノをはじめ様々な楽器の調律を行なうことができるようになる。また、ACF から抽出される様々な ACF ファクター：遅れ時間が 0 で表わされるエネルギー (0)、有効継続遅延時間  $\tau_e$ 、ACF の最大ピークまでの遅延時間  $\tau_1$ 、正規化した ACF の最大

10

20

30

40

50



ピークの振幅  $\alpha_n$ 、 $\beta_n$  内にある各ピーク値の情報 ( $\alpha_n$ ,  $\beta_n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots, N$  ( $N$ は約10よりも小さい整数))、IACFから抽出されるIACFファクターと、実際の楽器の心理評価値との関係を表わすデータベースを構築する。本システムを用いて楽器音源の音響信号から求めたファクターと、このデータベースに格納されたデータとを比較することによって、良い音(優れた音色や良い心理評価値を持つ音)を探るときの支援システムとして活用できる。

#### 【0060】

本システムを用いて調律を行なう場合は、所定のデータベースに予め様々な音律(平均律や純正律など)の音階データを格納しておく。使用者は、目的に合わせて所望の音律を選択できるようにするのが好適である。デフォルトを平均律にするのが好適である。基準音「A4」は440Hzをデフォルトとし、1Hzステップで基準音を変更可能にすることもできる。基準音は純音で発音可能にする。このように、基準周波数、音階の種類は可変とすることが好適である。平均律を選択した場合は、発音した音に最も近い音階(AやC#など)を表示させるようにする。或いは、データベース中の所望のデータ(即ち音階)を予め選択しておき、この所望のデータと発音した音の音階との相違を示す数値を示すこともできる。例えば、所望の音階がA2の場合は(即ち、A2に調律したい場合)、データベースを参照して音階A2に関連付けられたピッチ周波数を読み出し、このピッチ周波数と、発音された音から抽出された  $\alpha_n$  によるピッチ周波数とを比較してその差異を表わす数値を提示することもできる。この場合、差異は、周波数の差異としてではなく、音階の差異として示すことも可能である。さらに、発音した音の音階と、所望の音階や最も近い音階との相違を示す数値を表示したり、発音した音が、その音階より高いか、低い、ちょうど同じかを示すインジケータを設けることも可能である。

#### 【0061】

このように、本発明を利用して、楽器から出された音から求めたACFファクターやIACFファクターと、予め構築しておいた良い音のACFファクターやIACFファクターのデータベースと比較して、その相違や差異を示すことによって、優れた音を発音できる楽器の作製を支援することが可能となる。特に、本発明によれば、IACFファクターから、音場の空間的な印象を知ることが可能となる。また、本発明は、楽器製作者のみでなく、開発者や研究者、さらに歌手、楽器演奏者も調律や演奏方法の参考などに利用することが可能である。また、本発明で調律や音響の評価は、様々な楽器に利用でき、例えば、アコースティック楽器(鍵盤系、弦楽器系、管楽器系など)、電子楽器などである。

#### 【0062】

本発明の様々な実施態様を鑑みると、本発明の原理は応用可能であり、詳細に説明した実施態様は例示のみを目的とするものであって本発明の範囲を制限するものと解釈してはならないと理解すべきである。また、当業者は、本明細書の記載に基づき、本発明の請求の範囲内において本発明を変形、修正可能であることを理解されたい。本明細書では、評価値の1つであるピッチの評価について詳述したが、例えば、音質や音色など様々な評価値についても本発明に基づき評価できることを理解されたい。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0063】

【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。

。

【図3】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。

【図 10】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 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、( 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。

【図 12】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 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。

【図 14】本発明による音響評価システムの基本的な構成を示すブロック図である。

10

【図 15】本発明による音響評価方法の基本的なステップを示すフローチャートである。

【図 16】ピアノの音源による正規化した A C F の波形であり、縦軸に振幅、横軸に遅延時間をとったグラフである。

【図 17】縦軸にピッチ (ヘルツ)、横軸に 1 2 平均律による音階をとったグラフである。

#### 【符号の説明】

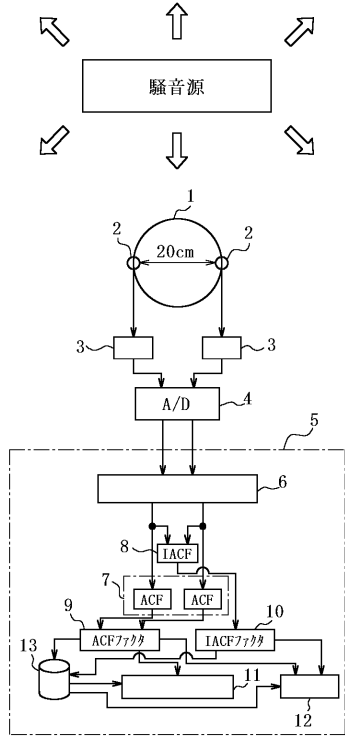
#### 【 0 0 6 4 】

- 1 頭部の模型
- 2 バイノーラル方式の音声採取手段
- 3 L P F (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 A C F 演算手段
- 8 I A C F 演算手段
- 9 A C F ファクター演算手段 9
- 1 0 I A C F ファクター演算手段 1 0
- 1 1 騒音源種類特定手段
- 1 2 心理評価手段
- 1 3 データベース
- 2 0 音声採取手段
- 2 1 A C F 演算手段
- 2 2 A C F ファクター演算手段
- 2 3 データベース
- 2 4 A C F に基づき音響を評価する手段
- 2 5 I A C F 演算手段
- 2 6 I A C F ファクター演算手段
- 2 7 A C F および I A C F に基づき音響を評価する手段

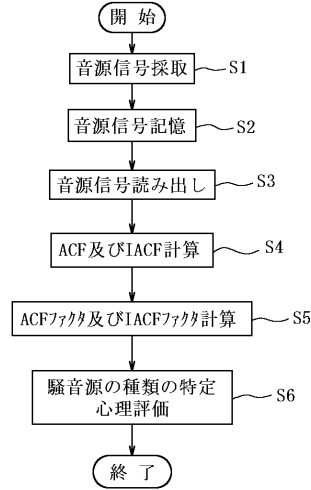
20

30

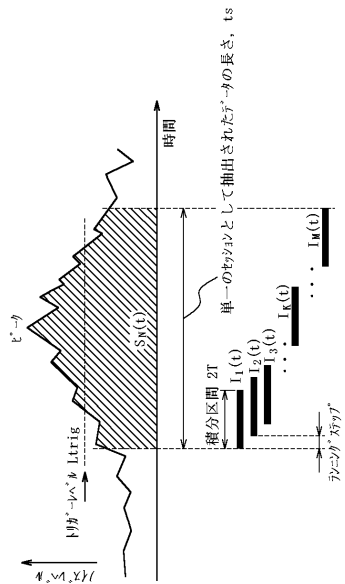
【図1】



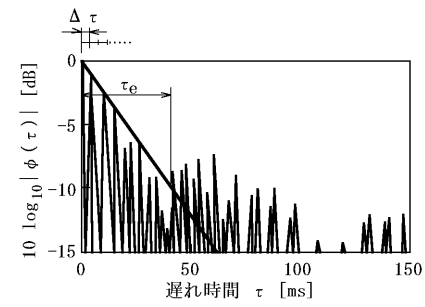
【図2】



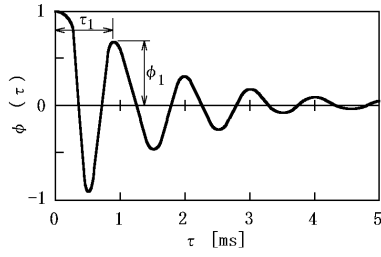
【図3】



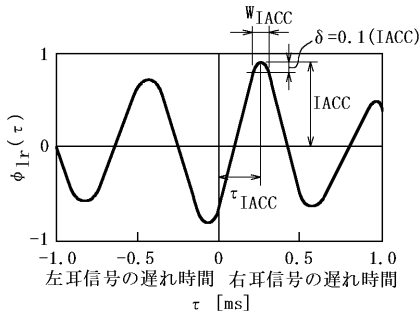
【図4】



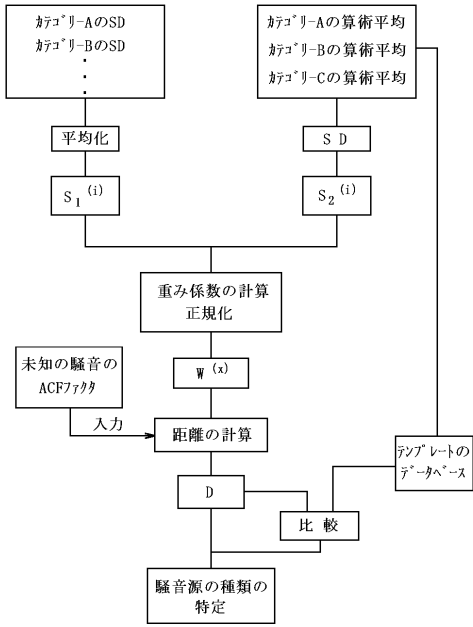
【 図 5 】



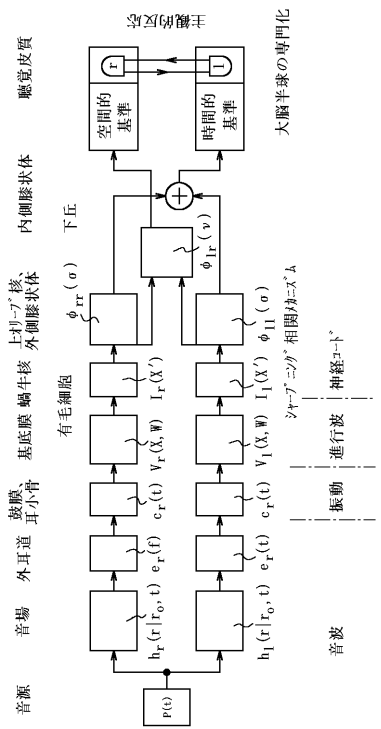
【 図 6 】



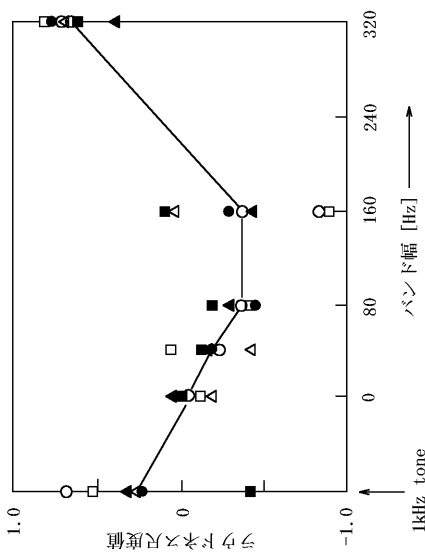
【 図 7 】



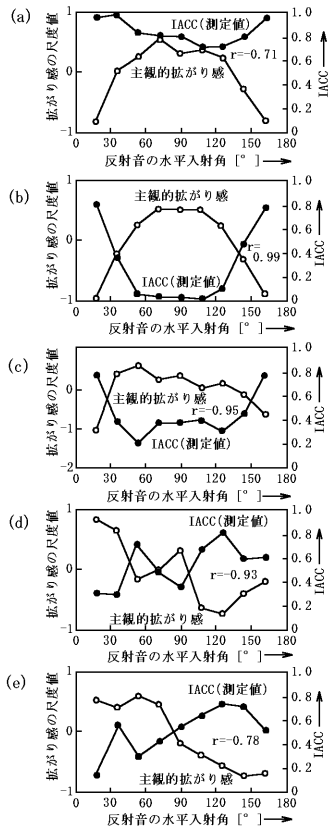
【 図 8 】



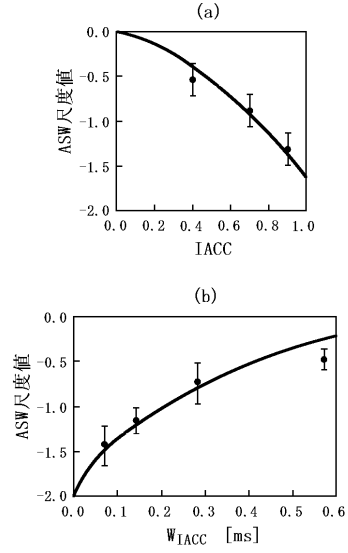
【 図 9 】



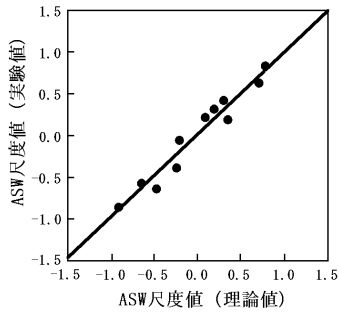
【 図 1 0 】



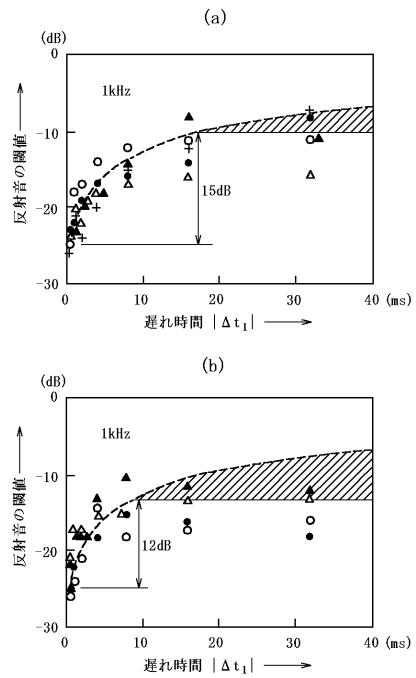
【 図 1 1 】



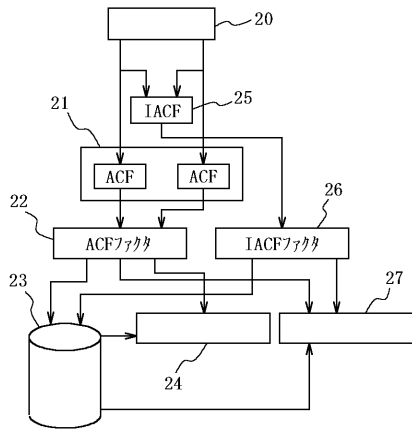
【 図 1 2 】



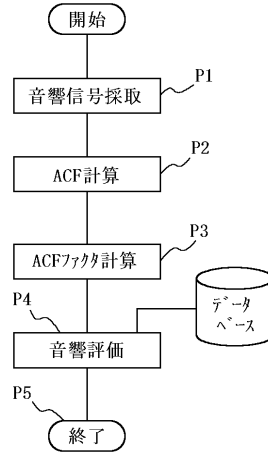
【 図 1 3 】



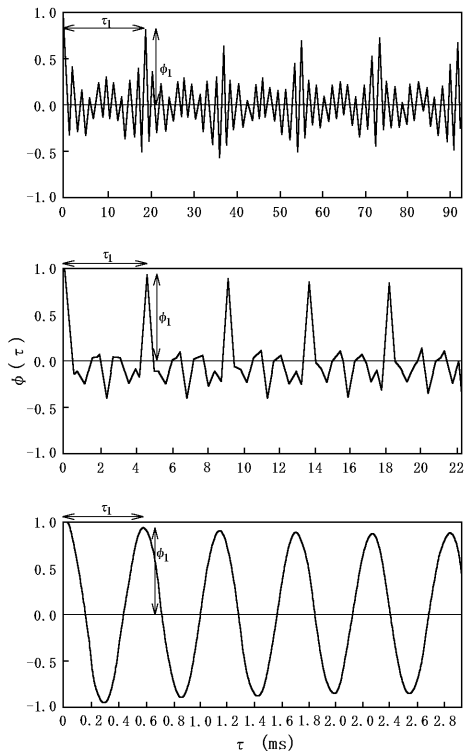
【図14】



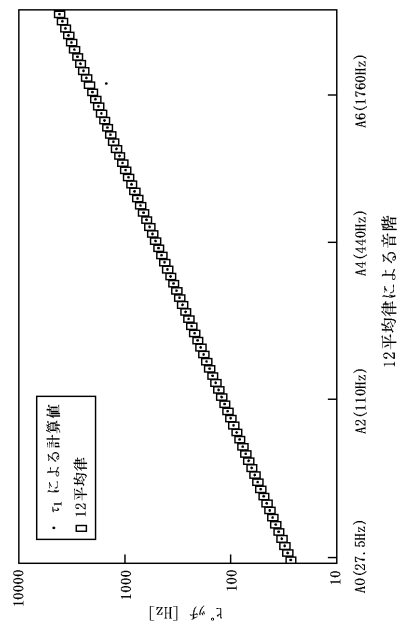
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 1 0 K 15/00 L

(74)代理人 100119530

弁理士 富田 和幸

(72)発明者 安藤 四一

兵庫県神戸市北区ひよどり台3 - 6 - 1 5 3

(72)発明者 酒井 博之

兵庫県神戸市東灘区御影中町1 - 9 - 2 - 4 0 1

審査官 高 見 重雄

(56)参考文献 安藤四一，地域環境騒音の計測・心理評価システム，計算科学技術活用型特定研究開発推進事業  
研究報告会-進展する第三の科学技術 平成10年度 短期集中型 JST，日本，2 0 0 0年，Page.82  
-83

安藤四一，環境?安全分野の研究開発終了報告書 地域環境騒音の計測・心理評価システム（科  
学技術振興事業団S），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  
書 平成10年度，日本，2 0 0 0年，Page.273-280

(58)調査した分野(Int.Cl.，D B名)

G 0 1 H 1 / 0 0 - 1 7 / 0 0

G 1 0 G 1 / 0 0

G 1 0 H 1 / 0 0

G 1 0 K 1 5 / 0 0