Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-12-05

Computational Systems for Sound Fields as Tools in Design and Diagnosis

櫻井, 正次

(Degree)
博士（工学）
(Date of Degree)
2000-03-31
(Resource Type)
doctoral thesis
(Report Number)
甲2103
(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002103

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

氏名・（本籍）	櫻井正次（さくらいまさつぐ）　（東京都）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学位記番号	博い第182号
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当
学位授与の日付	平成12年３月31日
学位論文題目	Computational Systems for Sound Fields, as Tools in Design Diagnosis （音場の設計支援ならびに診断システム）
審査委員	主査　教授　安藤四一 教授　松嶋隆二　　教授　村上晋一

論文内容の要旨

The theme of this study is computational systems as tools in design and diagnosis. This computational system adopts the subjective preference theory based on the model of auditory–brain system. The calculation system which is the basis of measurement and psychological evaluation of the environmental noise, including sound fields in a room, is indispensable to this fields' study, therefore its realization have been hoped. This study tried to make the computational systems for sound fields, as tools in design and diagnosis based on the model of auditory–brain system, and used it for the concert hall actually. Further, the individual preference test system, the seat selection system applying its results, and the environmental noise measurement system identifying and analyzing the noise source for study of environmental noise has been developed.

In chaptet 1, summarized previous studies on the subjective preference and the purpose of this thesis is described.

In chapter 2, based on previous study, sound fields ware simulated by the concert hall building plan at the designing stage. The study that the preference in the sound fields was obtained from four orthogonal factors including SPL, Δt_1, T_{sub}, and IACC led from the binaural impulse responses at each seat by a plan at the design stage, is described.

In chapter 3, the diagnostic system based on the model of auditory–brain system was developed. The usefulness of its simulation was revealed by comparison between the value of orthogonal factor obtained dy actual measurement at the Kirishima concert hall's completion and the value of orthogonal factor obtained by simulation at the planning stage. Further, it is shown that measurements in the 1／10 scale model for acoustic parameters by the diagnostic system proved the effects of reflectors' array above stage which may not available by calculation at the design stage.

In chapter 4, in order to enhanse the satisfaction of the individual subjective preference, the preference test to obtain the most suitable seat in concert hall for the subject, and the seat–selection system based on it ware developed. The difference between individual preferences, and the generality of this concept were described.

In chapter 5, it is thought that the environmental noise such as an aircraft, an automobile has an influence on the personal psychology, which can not be explained only by the sound pressure level measured with a sound level mater. Thus the noise measurement must make to identify the sound source. To solve them, the diagnostic system for environmental noise is developed. In this system, the identification of the sound source as a temporal factor is done by $\Phi(0)$, τ_1, ϕ_1 and τ_e extracted from the autocorrelation function of environmental noise, and a spatial factor is calculated to obtain IACC, τ_{IACC} and W_{IACC} from the interaural crosscorrelation function. Thus, it is shown that the identification of noise and the psychological evaluation become possible.

In chapter 6, conclusions are summarized for every chapter.

This theme of this study is, as title shows, computational systems as tools in design and diagnosis. The sound fields this computer system had handled cover from a room acoustic to local environmental hoise. Anumber of measurement by using the computer system found that a person does not feel the sound in the same way with other persons. Thus, the computer system technology can bring human the possibility to release his individuality. This paper describes such a contribution by use of computer system.

（要旨和訳）

本研究の研究のテーマは，音場におけるデザインや診断のためのコンピューターシステムである。このシステムは全てを大脳聴覚モデルに基づく主観的好みの理論に基づいている。室内音場をはじめ環境騒音の測定や心理的評価の基礎となる科学技術システムは，この分野の研究にとって不可欠であるためその実現が望まれていた。本研究では，大脳聴覚モデルに基づいた音場の設計及び診断を支援するコンピュータシステムを開発し，実際にコンサートホールに利用することを試みた。また，個人のプリファレンス検査と，その結果を応用した座席選定システムを開発した。さらに環境騒音の研究のための環境騒音測定システムを開発し，騒音源の同定や解析を行うシステムを開発した。

第１章では，要約されたこれまでの主観的プリファレンスに関する研究と本研究の目的を述べている。

第２章では，これまでの研究に基づき，コンサートホールの設計段階で，設計図書を使った音場シミュレーションが行われた。ホールの設計段階で設計図書から各座席のインパルス応答を求め，そこから導かれた SPL, Δt_1, T_{sub}, IACC の４つの物理的ファクターから音場のプリファレンスを求めた研究を述べている。

第３章では，大脳聴覚モデルに基づいた音場診断システムを開発し，霧島国際音楽ホールの完成時に実際の測定で得られた数値と，その設計段階のシミュレーションで得られた数値との比較により，そのシミュレーションの有用性を明らかにした。さらにまた，この診断システムを使った１／10模型での音響測定により，設計段階では求められないステージ上の浮雲の効果を述べている。

第４章では，個人の満足を実現するための，被験者にとって最も好ましい座席を探すためのプリファレンス検査と，それに基づく座席選定システムが開発された。それによって個人のプリファレンスの違いとこの概念の一般性を述べている。

第５章では，航空や自動車などの環境騒音が，従来の騒音計で測定される音圧レベルのみでは説明できない個人への心理的影響を持つと考えられ，また，騒音の測定には騒音源を見分けるために人手がかかるということから，そのための環境騒音計測システムが開発された。このシステムでは，環境騒音の自己相関関数から抽出される $\Phi(0)$, τ_1, ϕ_1, τ_e から時間的ファクターとしての騒音源の同定が行われ，さらに空間的ファクターが両耳間相互相関関数からの IACC, τ_{IACC}, W_{IACC} により計算され，

騒音源の同定および心理評価が可能となったことを述べている。

第6章では，結論を各章ごとにまとめてある。

この研究では，本題名の通りに，設計支援と診断のためのコンピュータシステムだが，実にシステムが取り扱ってきた音場は室内音場から環境騒音まで渡っている。本システム活用による多くの測定や考察で，人の音の感じ方の個人差についてがより明らかにされた。このようにしてコンピュータ技術が人間の個性の開放をもたらしうるだろう。本論文はこのようなコンピュータシステムの貢献について述べたものである。

論文審査の結果の要旨

室内音場や環境騒音の計測およびその心理的評価の科学技術計算システムは，この分野の研究を進める上で必要不可欠であり，その具現化が強く望まれていた。本論文は人間の聴覚－大脳機能のモデルに基づき，コンサートホール等の音場設計支援ならびに音場診断のための計算システムおよび地域環境騒音の測定システムについて述べるとともに，実音場及び縮尺模型における測定値を示している。特に物理量の測定にとどまらず，人間一人ひとりの音場に対する感性と融合する座席選定システム，さらには地域環境騒音計測において騒音源の自動的な同定および心理的評価を可能としたシステムは，従来の測定器にはなかったものである。

以下各章ごとにその内容を述べる。

第1章では，本研究の基礎となる従来の研究成果を要約し，本論文の研究目的を明記している。

第2章では，従来の研究成果を踏まえ，設計段階で建築図面から音場をシミュレーションし，各座席における両耳のインパルス応答から音場から独立な物理的ファクター（聴取音圧レベル LL；初期反射音の遅れ時間 Δt_1；後続残響時間 T_{sub}；両耳間相互相関度 IACC）を計算し，心理的プリファレンスを評価するシステムについて述べている。なお，本システムは実際に霧島国際音楽ホール（1994年竣工）の音響設計に適用された。

第3章では，ホール竣工後の各座席における音場を診断するため，人間の聴覚－大脳機能のモデルに基づき上記4つの物理ファクターを計測するシステムについて述べている。これまで Δt_1の自動計測は困難であったが，直接音に続く最大エネルギーを測るアルゴリズムを提案した。さらに霧島国際音楽ホールの竣工時，音場の独立な物理的ファクターを測定し，設計段階のシミュレーション結果との比較からその有用性を明らかにしている。また，天井反射板や円柱列による反射散乱の効果をコンピュータシミュレーションで予測することが極めて困難であることから，津山音楽文化ホール（1999年竣工）の設計段階において1／10縮尺模型を用いて各座席音場を計測した。一般にステージ付近の座席において IACC を低くすることは困難であるが，ステージ上の反射板を適切に配置することにより音場が改善されることを確認した。

第4章では，ホール内の音場と一人ひとりの感性とを融合させるための座席選定システムについて述べている。このシステムは，個人毎の音場の心理的プリファレンスを一対比較法によって求め，その結果から個人毎に各座席の物理的ファクターに基づく心理的プリファレンス値を計算し，音響的に好ましい座席を提供するものである。このシステムを用いることにより，聴力に関わる LL や時間的ファクター Δt_1と T_{sub} について個人差が大きいが，空間的ファクターである IACC に関しては個人差は極めて少なく，一様に IACC が小さいほど心理的プリファレンスが大きくなるという傾向を得た。

第5章では，地域環境騒音の計測・心理的評価システムについて述べている。これまでに航空機騒

音や交通騒音など地域騒音環境の影響は，人の心理・精神的影響は元より発育にも深刻な影響があることはよく知られている。しかし，これらの影響は計測される音圧レベルだけでは到底説明できない。そこで地域騒音の自己相関関数から抽出されるファクター（音の強さ Φ（0）；第1ピークの遅れ時間 τ_1；とその振幅 ϕ_1；有効継続時間 τ_e）および両耳間相互相関関数から抽出されるファクター（両耳における音の強さ Φ_{LL}（0）と Φ_{Π}（0）； IACC；最大ピークを示す遅れ時間 τ_{IACC}； IACC を決定するピークの幅 W_{IACC}）を計測するシステムを開発した。これのシステムを用いることにより騒音源の物理特性を測定するだけでなく，騒音源の自動的な同定を可能にするとともに，上記のファクターと主観的属性との関係を求めることにより，騒音源の心理的評価を数値化する可能性を示唆している。

第6章では，本論文で得られた結論を次のように総括している。

（1）建築図面を用いてコンサートホールの設計段階で音場の独立な物理的ファクターを計算するシステムを開発し，竣工後の各座席における物理ファクターの測定結果との比較を行った。

（2）人間の聴覚－大脳システム機能のモデルに基づき，実音場および縮尺模型の各座席における音場を診断するための計測システムを構築し，設計段階で得られた結果と比較しその有用性を明らかにした。

（3）人間一人ひとりの感性と融合する音場を見い出すため座席選定システムを構築し，個人毎に心理的プリファレンス値が大きくなる座席の範囲を表示するシステムを開発した。

（4）地域騒音環境に含まれる時間・空間的ファクターを計測するシステムを開発した。これにより騒音源の物理特性に加え，騒音源の同定およびその心理的評価に有用であることを示唆している。

これらの研究・開発は，人間の聴覚－大脳機能のモデルに基づいて室内音響の設計・診断を行うという点で従来のシステムとは大きく異なる。また，音の三要素である音の大きさ（ラウドネス），音の高さ（ピッチ）や音色をはじめ，不快感，空間的感覚，時間感覚などあらゆる心理的属性をより的確に把握する基礎的計測として期待される。

本研究は室内音響ならびに騒音環境の分野における科学計測・診断技術の発展に貢献するものである。よって学位申請者櫻井正次は，博士（工学）の学位を得る資格があると認める。