

アルゴリズム・デザインによる構造デザインに関する研究

受聴環境を調整するイヤープースの收音特性に関する室内音響測定

A Study on Structural Design based on the Algorithmic Design Method

Performance of a Sound Reflector Type Ear Piece about Sound Collecting for Tuning the Acoustic Environment for Music

白髪 誠一

大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部空間デザイン学科

構造デザイン研究室 准教授

Abstract : In this research, acoustic measurements were carried out to investigate performance of the ear pieces about sound collecting. The ear piece has a paraboloidal reflector focusing on the ear canal. The influences of area and position of the reflector and the distance between the ear canal and the reflector on the performance were investigated.

Key Word : Algorithmic Design, Ear Piece, Acoustic Environment

Seiichi Shiraga

Associate Professor, Structural Design Laboratory

Dept. of Design and Architecture, Osaka Institute of Technology

The results are as follows; 1) Sound collecting performance increased as the area of reflector became wider. 2) The performance decreased as the distance between the ear canal and the reflector increased. 3) The performance was not affected by positions of the reflector.

1 序論

コンサートホールは、各ホールや各座席で演奏の聴こえ方が異なることが知られている¹⁾。ホールの設計では座席の位置の差異を小さくすることが目標となる。一方で「constellation²⁾」は、複数のマイクとスピーカーを用いて演奏に合わせた最適な音場を実現している。しかし、受聴者周辺でアコースティックに受聴環境を調整する方法については、ほぼ研究されていない。

本研究は、受聴者の耳周辺の音場をアコースティックに調整し“preference”に応じた受聴環境を提供するイヤープースをデザインするアルゴリズムを構築することを目的としている。

本年度は、音が明瞭に聴こえる「粒立ち」と空間が響く「残響感」に影響する直接音、初期反射音および後期反射音の音圧レベルを調整するための集音特性を調べるために行った音響測定の結果について報告する。

2 形態パラメータの設定

集音特性を明らかにするために、外耳道入口を焦点とする放物曲面をイヤープースの基本形とする。放物曲面の形態は焦点を原点として、図1に示すように正面方向をx軸、鉛直方向をz軸とする空間において以下のパラメータで定義する。

r_s : 内縁半径 r_e : 外縁半径

A : 放物曲面の軸方向投影面積

p : 放物曲面の頂点と焦点の距離

θ_u : 水平面から上方への回転角

θ_d : 水平面から下方への回転角

θ : 正面方向(x軸)と放物曲面の軸のなす角度

放物曲面の生成は、まず図2a)に示すように水平面(x-y平面)に次式により放物線をを描く。

$$x = \frac{1}{4p}y^2 - p \quad (r_s \leq y \leq r_e) \quad \dots \dots 1)$$

次に、図2b)に示すようにこの放物線を上方へ θ_u 、下方へ θ_d 回転させて放物曲面を生成する。

図3a)に示す実験モデルの基本形F100のパラメータとして、 $r_s=0\text{mm}$ 、 $r_e=100\text{mm}$ 、 $p=30\text{mm}$ 、 $\theta_u=\theta_d=90^\circ$ 、 $\theta=0^\circ$ と設定した。表1に実験モデル一覧を示し、図3に実験モデルの形態を示す。基本形F100に対し、投影面積Aが約半分、面積要素を上部(HU100)、下部(HD100)および外側(E100)に配置したモデル、投影面積Aが同じで面積要素を外側(E230)にしたモデル、投影面積Aが約半分、曲面に直径4mmの貫通孔を開口率12%(H75-12)および6%(H75-6)としたモデル、集音方向を側

方(L75)としたモデルの計8個の実験モデルを製作した。形態はRhino5/Grasshopperで定義し、3Dプリンターで造形した。

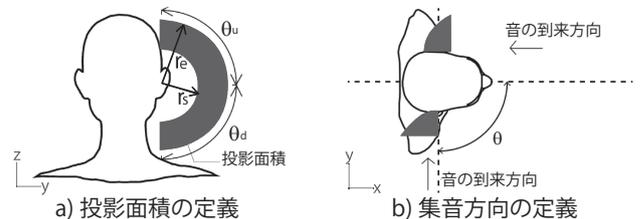


図1 形態パラメータの定義

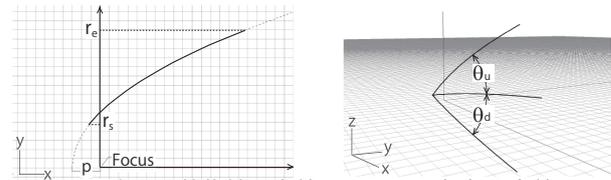


図2 形態の定義

表1 イヤープース寸法諸元

No	実験モデル	A (mm ²)	r _s (mm)	r _e (mm)	p (mm)	θ _u (°)	θ _d (°)	備考
1	ER_F100	15708	0	100	30	90	90	基本形
2	ER_E100	8861	66	100	30	90	90	
3	ER_E230	15780	207	230	90	90	90	
4	ER_HU100	7854	0	100	30	90	0	
5	ER_HD100	7854	0	100	30	0	90	
6	ER_H75-12	8836	0	75	30	90	90	孔寸法: r=2 孔数: n=81 開口率: 12%
7	ER_H75-06	8836	0	75	30	90	90	孔寸法: r=2 孔数: n=41 開口率: 6%
8	ER_L75	6319	30	75	20	90	90	θ=90°

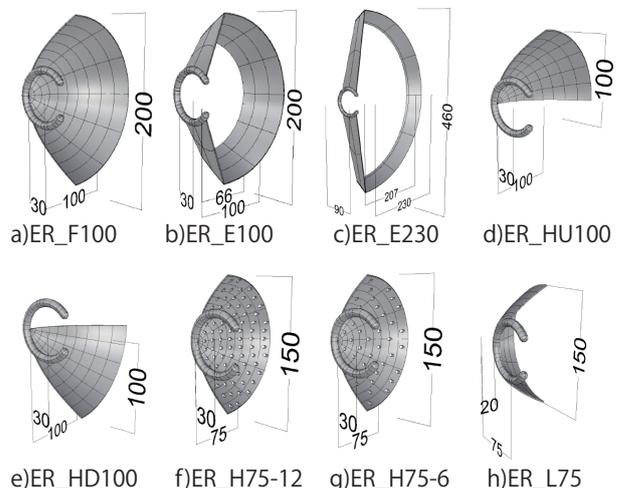


図3 実験モデル



図4 イヤーピース

3 実験

実験モデルの集音特性を調べるために音響測定を行った。図5に示す6.6m×12mの教室内に音源としてアンプ内蔵スピーカー(ONKYO社, GX-100HD)を用い、水平距離4.35mの位置にイヤーピースを設置し、イヤーピースの焦点位置で騒音計(佐藤商事社, DT8852)で音圧レベルを測定した。発生音は「純音」と「合成音」で「純音」は音声音響分析ソフトウェア“praat”を用い、125Hz～4000Hzを15段階とし、「合成音」は楽曲制作ソフトウェア“Sound One”の“Grand Piano”で音階D1(約37Hz)～A7(約3520Hz)を20段階とした。音は4秒間隔で2秒間発生させ、各イヤーピースについて3回の計測を行った。音圧レベルはA特性で0.1秒間隔で計測した。発生音はイヤーピースの無い状態で測定位置における音圧レベルが約80dBAとなるように設定し計測した。

4 実験結果と考察

図6に形状による比較を示す。同図は、低音域(31.25Hz以上500Hz未満)、中音域(500Hz以上2000Hz未満)、高音域(2000Hz以上4000Hz未満)におけるイヤーピースの無い状態に対する各モデルの音圧レベルの増減を各音域で平均した値を示している。HU100とHD100はF100より面積が小さく集音効果は低いが、上下の位置による違いはほとんどない。合成音では、E100は低音域でほとんど変化が無く、中音域で約2dBA、高音域で約2dBA上昇している。対してHU100、HD100は低音域で約1dBA、中音域で約3dBA、高音域で約3dBA上昇している。よって、E100はHU100、HD100より集音効果が低く放物面が外側になると集音効果が低くなるのがわかる。

図7に示す大きさの比較では、純音実験時の高音域を除いてE230とE100の測定値の差はほとんど見られない。E230はE100よりも面積が大きい集音効果は低いことがわかる。

図8に示す開口率の比較では、開口率が低かったせいか大きな違いは認められない。

図9に示す向きによる比較では、側方から到来する音に対して集音効果があることがわかる。

5 結論

イヤーピースを装着することで直接音の集音効果が認められた。また、投影面積や形態により集音特性が異なることが明らかになった。今後、さらに実験データを蓄積すれば“preference”に対応するパラメータを明らかにすることができると考えられる。

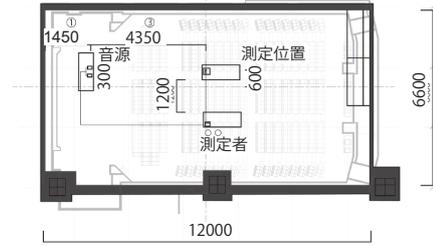


図5 測定配置図



a) 配置状況



b) 実験状況

写真1

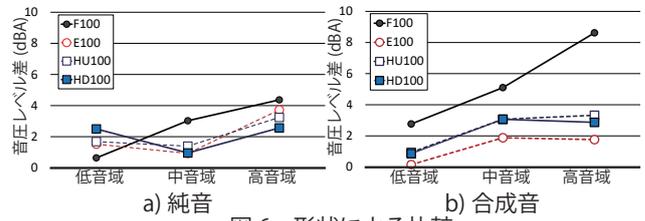


図6 形状による比較

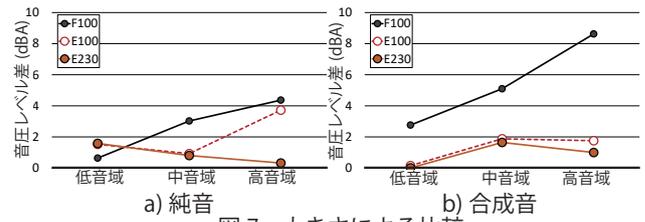


図7 大きさによる比較

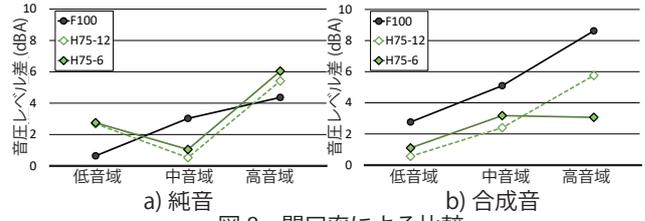


図8 開口率による比較

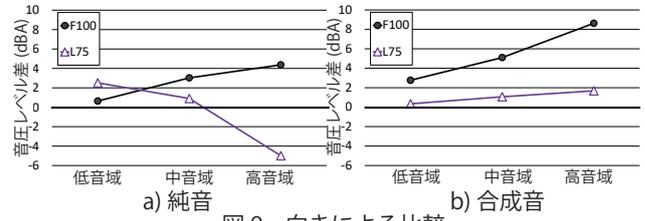


図9 向きによる比較

[参考文献]

- 1) 和久田晃子, 古屋浩, 藤本一寿: 既存ホールにおける音に包まれた感じに関する考察, 都市・建築学研究 九州大学大学院人間環境学研究院紀要 第8号, pp.129～134, 2005年7月
- 2) <https://meyersound.com/product/constellation/>