

フルーオルガンパイプにおける イヤー利用の効果について

坂本 優美子[†], 吉川 茂[‡]

[†]j99427@edu.kyushu-id.ac.jp

[‡]shig@kyushu-id.ac.jp

九州芸術工科大学 音響設計学科

〒 815-8540 福岡市南区塩原 4 丁目 9-1

概要

フルーオルガンパイプはエアリード楽器のモデルとして用いられ、その発音メカニズムの解明が進んでいる。しかし、パイプオルガンの様々な音色を実現するために用いられている多くの技術について研究されることは少ない。そのような技術のひとつとして、フルーオルガンパイプの整音の際に用いられるイヤーがあげられる。オルガン製作者はイヤーをつけることで、(1) 発音は早くなり、(2) 基音は強調され、(3) 発音周波数は下がるとの認識を持っている。そこで本研究では、モデルパイプを製作しイヤーの有無で比較を行うことで、イヤーの効果を確認した。その結果として、製作者の認識を裏付けるような事柄を確認することができた。また実験から、その他のイヤーの効果として、フットでの吹奏圧の増加や、共鳴周波数の非調和化も確認できた。

On the Effect of Ears in Flue Organ Pipes

SAKAMOTO Yumiko[†] and YOSHIKAWA Shigeru[‡]

[†]j99427@edu.kyushu-id.ac.jp

[‡]shig@kyushu-id.ac.jp

Dept. of Acoustic Design, Kyushu Institute of Design
4-9-1 Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka 〒 815-8540, Japan

abstract

One of the voicing techniques in flue organ pipes is the application of ears, whose effect has not been investigated acoustically until now. According to organ builders, the effects of ears are (1) a smoother and quicker buildup of tone, (2) a growth of the fundamental, and (3) a decrease in sounding frequency. In this research the effects of ears are experimentally examined by comparing appropriate models with and without ears. As the result, the recognition of organ builders are well reconfirmed. In addition, our experiment indicate a slight increase of the blowing pressure in the pipe foot and an appreciable increase in the inharmonicity of pipe resonance frequencies as other effects of ears.

1 はじめに

パイプオルガンは紀元前3世紀には存在していたと言われる、大変歴史の古い楽器である。その製作技術の多くは師匠から弟子へと代々受け継がれていくものである。パイプのスケーリングデータなどもその製作者のみが知る秘伝であった。近代音響学が発展するにつれ、楽器の音響学的な分析も多々行われるようになり、エアーリード楽器の一種であるオルガンのフルーパイプについても研究は多く行われている。しかし、パイプオルガンにおいてあの多様な音色を実現するために用いられている多くの技術はいまだに製作者のみが知るものであり、音響学的な研究対象とされることはほとんどない。本研究で取り上げるイヤー¹(Fig.1)はフルーパイプの整音の際に用いられる技術の一つであり、マウスの両側につけられる板状の突起のことを言う。すべてのパイプに取り付けられるものではないために、パイプオルガンに関する書籍の中などでも扱われることは少ない。その利用条件も各製作者が経験や感覚から得た認識に任されている。

そこで本研究では、イヤーの効果モデルパイプを用いて確認し、製作者の認識との比較を行う。

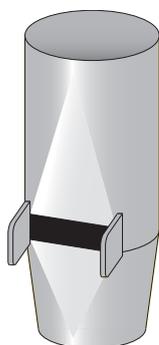


Fig. 1: フルーパイプに用いられたイヤー

2 オルガン製作者の認識

イヤーには、Fig.1に示したような形状のものだけではなく、マウスの下側も囲ってしまうボックスイヤーや、マウスの上に金属の板を付けたり (*frein harmonique*) 円柱状のものを付ける (*roller beard*) といったものもある。今回用いる一般的なイヤーに対する、オルガン製作者、大林徳吾郎氏、須藤宏氏の認識 [1] には以下のようなものがあげられる。

¹ear(英):bart(独):髭(和)

1. 発音をしやすくする
2. 音量を得やすくする
3. 基音を補強する
4. 音を低くする
5. オーバーブローしにくくなる

1.と2.の効果を目的として、多くの場合低音のパイプに用いられる。また、4.の効果を目的として閉管パイプにつけられ、イヤーを用いてパイプの調律を行う。上記の2.と5.の効果は基音が補強されることによって説明されるものである。よって、次の3点に整理される。

- 音を低くする
- 発音をしやすくする (音の立ち上がりをスムーズに、早くする)
- 基音を補強する (倍音を抑制することと等価)

今回は特に基音と倍音の関係を中心に考える。

3 モデルパイプの設計・製作

フルーパイプのマウス付近の断面図を Fig.2 に示す。以下、各部位の名称はこの図中のものを用いる。

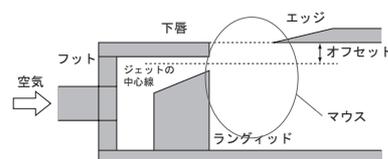


Fig. 2: マウス付近拡大図

今後の実験の可能性や加工の容易さから、パイプの材はアクリルとし、その共鳴管の形状は矩形とした。一般的なオルガンの矩形パイプは、もともとマウスの両側だけでなく下側も囲まれたボックスイヤーを持った形状となっている。しかし、この形状ではイヤーの効果のみを測ることは不可能である。そのため、マウスの周囲に一切突起を持たない形状のパイプを設計することが必要となった。そのことのみ注目してパイプを製作したところ、フルーから出たジェットはエッジには当たらず、パイプの中へすべて入ってしまい、発音しなかった。このパイプのオフセットは約4mmとしており、一般的なオフセッ

トがほとんど 0mm に近いことから考えても、鳴らすことはほぼ不可能であったと思われる。

そこで、アクリルよりもより加工が容易であるスチレンボードを用いて、エッジにジェットを当てることのできると思われる形状のラングイッドを試作した。試作において発音が可能であった 2 種類のラングイッドの形状は、どちらもジェットの出口を斜めに削ったものだった。この形状は一般的なオルガンパイプにも用いられているものを参考 [2] にした。ラングイッドの形状を Fig.3 に示す。

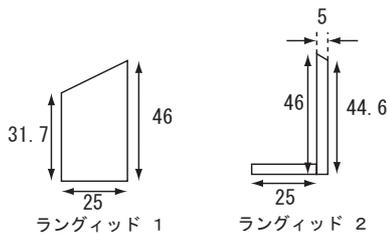


Fig. 3: ラングイッドの形状

これをもとに実際に製作したモデルパイプの断面を Fig.4(ラングイッド 1 使用時) に示す。オフセットを 3mm、イヤーは高さ 40mm、幅 65mm とした。

実際にモデルパイプにイヤー、ボックスイヤーを用いた写真を Fig.5、Fig.6 に示す。

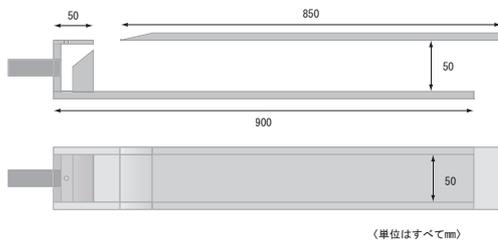


Fig. 4: モデルパイプ

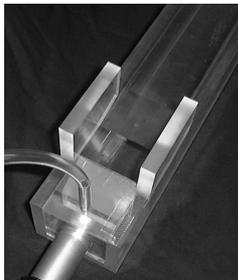


Fig. 5: モデルパイプに付けられた ear



Fig. 6: モデルパイプに付けられた box ear

4 整音

製作したパイプにおいてラングイッドの位置とエッジの位置を調節して最もよく鳴るところを探す。今回はラングイッド 1 のみを用いた。下唇(気道の上板)の右端を原点とし、ラングイッドを x_L 、エッジを x_E として水平座標軸を定める。 x_L は $-1 \sim 4\text{mm}$ 、 x_E は $6 \sim 50\text{mm}$ の範囲で、およそ 1mm ずつずらしていつてその時の音をパイプの開端から 70mm のところで録音し、分析、評価した。一般的にパイプオルガンにおいて用いられている吹奏圧はおよそ $50 \sim 80\text{mmAq}$ であるので、フットでの吹奏圧を 66mmAq に固定してパイプを駆動し、安定した基音で鳴った場合はさらに吹奏圧を上昇させる。最大約 200mmAq まで上げてオーバーブローすることなく、安定した基音で鳴るものを採用した。その結果、 $(x_L, x_E) = (0.45, 29.35), (1.2, 18.20), (2.2, 18.20)$ をこのパイプの発音位置とし、それぞれ以下 0-2935, 1-1820, 2-1820 と表記する。また、鳴らないであろうと思われる $x_L = -1$ の時も基音で鳴る位置は存在した。

5 実験と結果

パイプはインバーターで出力を調節されたブロワーによって駆動される。

パイプの各発音位置において、イヤーなし (no ear)、イヤーあり (ear)、ボックスイヤーあり (box ear) の条件で以下の実験を行った。

5.1 実験 1: フットでの吹奏圧の変化

ブロワーの出力を一定にしてフット(ラングイッドの上流側)での吹奏圧をマンメーターで計測した。ブロワーの出力は 5 段階に調節した。

結果として、0-2935 の際の吹奏圧を Table 1、1-1820 の場合を Table 2、2-1820 の場合を Table 3 に示す。

Table 1: 0-2935 吹奏圧 (単位:mmAq)

出力段階	1	2	3	4	5
no ear	67	102	144	166	188
ear	69	107	151	176	201
box ear	72	111	158	183	—

Table 2: 1-1820 吹奏圧 (単位:mmAq)

出力段階	1	2	3	4	5
normal	71	110	156	179	-
ear	70	109	154	179	-
boxear	72	113	162	188	-

Table 3: 2-1820 吹奏圧 (単位:mmAq)

出力段階	1	2	3	4	5
normal	49	75	107	125	144
ear	49	75	107	125	144
boxear	52	81	116	137	158

0-2935 の場合はイヤーによっても吹奏圧は上昇しているが、ボックスイヤーを用いたときはすべての場合においてフットの吹奏圧は上昇している。ボックスイヤーをつけたときの変化は大きく、また下唇に指を当てるだけでも吹奏圧は変化する。0-2935,1-1820,2-1820 すべての結果から、吹奏圧を変化させる原因は主にジェット出口の形状であろうと考えられる。

5.2 実験 2 : 周波数特性の変化

フットでの圧力を一定として、パイプの外側と内側で録音した音を周波数分析した。外側はマウスの上 15cm に、内側はマウスにマイクロホンを置いた。1-1820 のパイプの外側での波形と周波数特性を Fig.7 に示す。吹奏圧は 66mmAq とした。

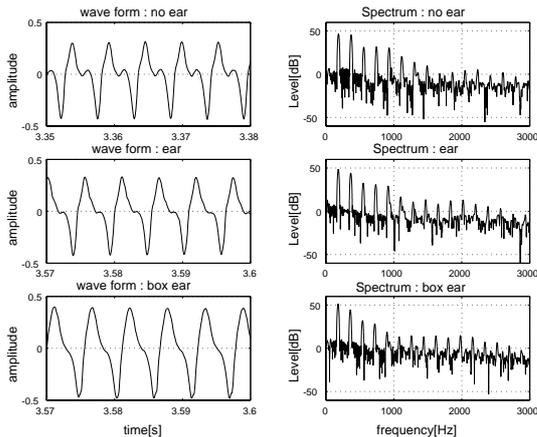


Fig. 7: 1-1820 波形(左)と周波数特性(右)
上段:no ear, 中段:ear, 下段:box ear

波形を見ると、イヤーのない時には第 2 モードへの遷移が起こりそうであるが、イヤー、ボックスイヤーをつけることで、第 1 モードの波形に近くなり、オーバーブローしにくくなっているのがわかる。周

波数特性のグラフから読み取った、周波数、レベルなどを Table 4、Table 5 に示す。倍音次数を n と表記する。

Table 4: 1-1820 基音と各倍音周波数
n:倍音次数

n	no ear	ear	box ear
1	186.2	183.5	180.0
2	372.3	367.1	360.2
3	558.1	550.4	540.2
4	744.7	734.1	720.5
5	930.5	917.7	900.3
6	1116.9	1101.2	1079.4
7	1303.2	1285.2	1259.2
8	1490.7	1468.7	1440.1
9	1676.0	1652.0	1619.2
10	1861.5	1835.4	1800.3
11	2048.8	2018.9	1980.3

Table 5: 1-1820 各倍音周波数でのレベルと基音に対する各倍音のレベルの比
n:倍音次数

n	Level			Ratio		
	no ear	ear	box ear	no ear	ear	box ear
1	46.66	48.17	51.28	1.000	1.000	1.000
2	45.53	44.06	44.45	0.976	0.915	0.867
3	31.32	32.51	32.01	0.671	0.675	0.624
4	31.33	30.78	28.12	0.671	0.639	0.548
5	30.48	29.09	18.49	0.653	0.604	0.361
6	20.38	16.62	13.24	0.437	0.345	0.258
7	13.91	10.57	14.45	0.298	0.219	0.282
8	9.50	13.44	12.93	0.204	0.279	0.252
9	0.55	8.39	13.97	0.012	0.174	0.272
10	2.21	11.88	12.32	0.047	0.247	0.240
11	4.22	13.06	14.75	0.090	0.271	0.288

周波数はイヤー、ボックスイヤーをつけることで下がっていている。Table 5 より、基音のレベルはわずかではあるが上昇しているのがわかる。倍音のレベルにはほとんど変化は見られない。それにより、基音に対する各倍音のレベル比は、イヤーなどを用いることで相対的に減少している。

また、パイプの内側での波形と周波数特性を見ても外側で観察されていることと同様の現象が確認できる。

5.3 実験 3 : 共鳴周波数の変化

M 系列信号を用いたクロススペクトル法による伝達関数の推定で、パイプの共鳴(モード)周波数を測定した。パイプの外側からスピーカーで M 系列信号を再生し、パイプの開端から内側へ 35 ~ 36cm のところにマイクロホンを置き、測定した。

1-1820 の時の共鳴特性を Fig.8 に示す。また、グラフから読み取った共鳴周波数を Table 6 に示す。

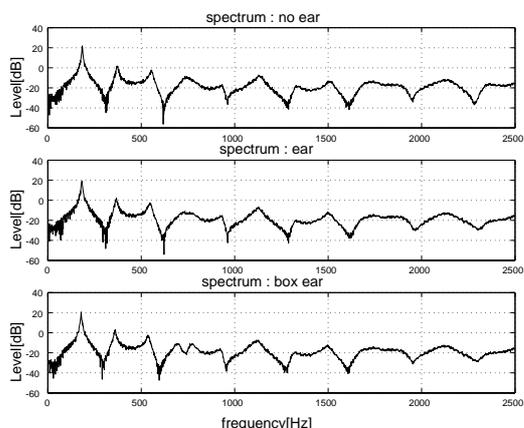


Fig. 8: 1-1820 共鳴特性
上段:no ear, 中段:ear, 下段:box ear

Table 6: 1-1820 共鳴特性
N:モード次数

N	no ear		ear		box ear	
	freq.	ratio	freq.	ratio	freq.	ratio
1	184.4	1.000	183	1.000	177.6	1.000
2	371.4	2.014	367.4	2.008	360.7	2.031
3	555.8	3.014	547.8	2.993	534.3	3.008
4	738.9	4.007	736.2	4.023	693.1	3.903
					768.5	4.327
5	932.7	5.058	932.7	5.097	921.9	5.191
6	1128	6.117	1128	6.164	1117	6.289
7	1328	7.202	1326	7.246	1322	7.444
8	1513	8.205	1499	8.191	1497	8.429

共鳴周波数は少しずつ下がっている。第1共鳴周波数に対する各共鳴周波数の比は、イヤー、ボックスイヤーと整数からは遠ざかり、ボックスイヤーでは第4共鳴と第5共鳴の間に新たな共鳴が生じている。この新たな共鳴は 0-2935, 2-1820 の時にもできている。(Fig.9 参照)

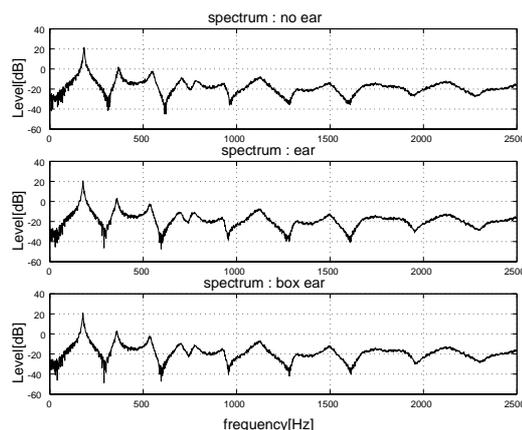


Fig. 9: box ear 共鳴特性
上段:0-2935, 中段:1-1820, 下段:2-1820

6 まとめと今後の課題

以上の結果より、イヤーの効果として確認されたものは

- フットにおける吹奏圧の上昇
- 発音周波数の低下 (管の実効長の増加)
- 基音の増加 (相対的に、倍音の抑制と等価)
- 共鳴周波数の非調和化

の4点であった。これらは製作者の認識を裏付ける結果であるといえる。

今後も、イヤーが最も影響を与えているであろうマウス部分での流速分布といった流体力学的な事柄や、今回扱うことのできなかつたイヤーによる音の立ち上がりへの影響など、イヤーの効果のさらなる解明が必要である。

参考文献

- [1] パイプオルガン ML
<http://pipeorgan.jp/ml/>
- [2] George Ashdown Audsley,
”The Art of Organ-Building”
Dover(1989)
- [3] ハンス・クロッツ [著] 藤野 薫 [訳]
”オルガンのすべて”
パックス・ヴィジョン (1991)