

社団法人 日本設計工学会 四国支部  
平成 21 年度研究発表講演会  
講演論文集

開催日：2010 年 3 月 16 日（火）  
会 場：香川大学 工学部

主 催  
社団法人 日本設計工学会 四国支部  
共 催  
香川大学 工学部

# 人間の機構を模写した発声装置の研究

○岩崎裕（高知工科大学大学院）

岡宏一（高知工科大学）

楠川量啓（正，高知工科大学）

## 1. はじめに

本研究は人間の発声時の口内の形状などを模写した音声を発する装置の開発を最終目的とする。音声は呼吸による空気の流れを障害することによって生じる<sup>1)</sup>。肺から放出された呼気（空気流）が声帯と作用し振動することで音源が作り出される。その音源が舌や口唇などの形態に応じて様々な音声に変化する（図1）。そのため舌や口唇などの動作が可能なロボットの開発を行う。音声を発する場合、口内で最も動きのある部位は舌であると考えられる。舌を開発、制御することで音声も制御できる。本研究では人工舌の三次元モデルの製作、および母音発声時の舌の構造解析をし、その舌の形状での発声実験を行ったので報告する。

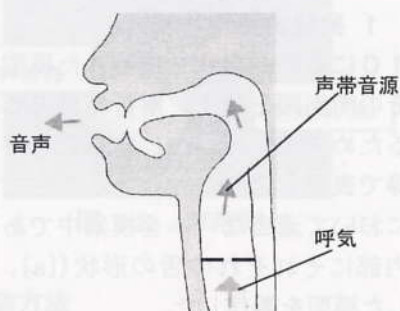


図1 発声の仕組み

## 2. 舌の機構と母音発声時の口内構造

図2に舌の構造を示す<sup>2)</sup>。舌には舌全体を動かす外舌筋が存在する。外舌筋はオトガイ舌筋(a)、舌骨舌筋(b)、茎突舌筋(c)という3種類の筋肉から構成されている。それぞれオトガイ舌筋は舌を突き出す働き、舌骨舌筋は舌を下に引く働き、茎突舌筋は舌を後ろに引く働きをする。これらの筋肉の働きで舌の形状を発音時の形にする。

図3に母音三角形、図4に母音発音時の口内構造を示す。母音三角形とは左右で口内の舌の位置、上下で下顎の開閉具合を示しており、左側が前方で右側が後方であり、下方に行くほど口が開いている状態を表している。

母音の決定には舌の形状と下顎の開閉度が重要であり、母音発声時の口内は図3、4で示すと、大開きで中舌の[a]、半開きで前舌の[e]と後舌の[o]、小開きで前舌の[i]と後舌の[u]である。

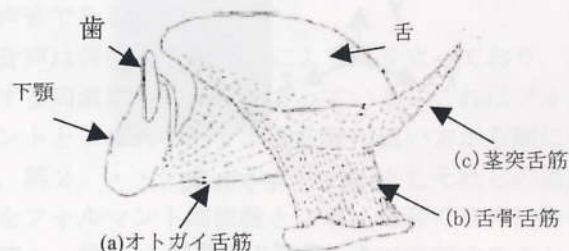


図2 外舌筋  
文献2)から転載

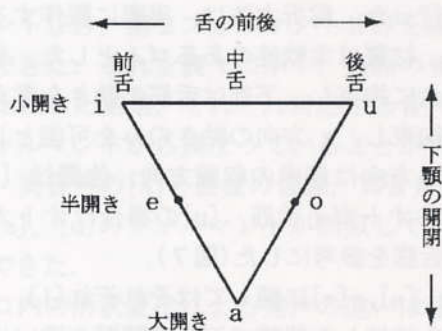


図3 母音三角形

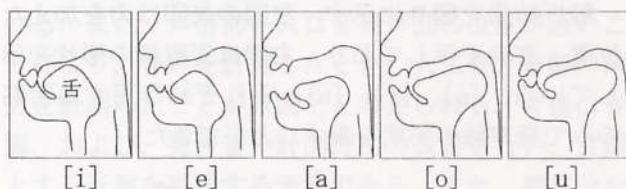


図4 母音発声時の口内構造

## 3. 三次元モデルの製作

図5に模型の舌の断面模型(品名：舌，4分解モデル，(株)アヴィス)，図6に舌の三次元モデル図を示す。発声時の口内構造は舌の上面と上顎によって形成されている（図4）。よって舌の上面部（図5斜線部）の形状をPro/Engineerを用いて三次元モデル化を行った。大きさは実際の舌を参考としており、長さ70mm、高さ40mm、幅40mm、厚さ2mmとした。

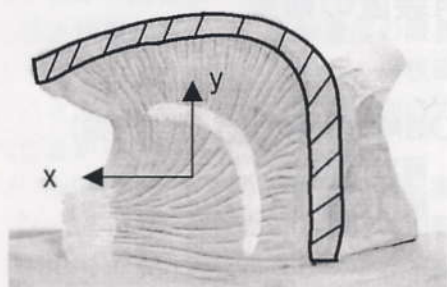


図5 舌の断面図

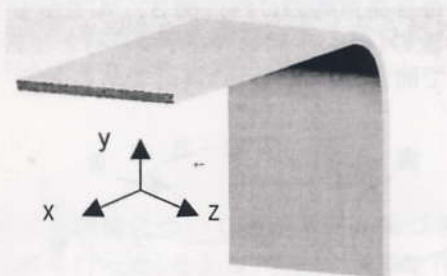


図6 モデル図

#### 4. モデルの解析

製作したモデルの構造解析を解析ソフト ANSYS を用いて行った。解析方法は、実際に製作することを考慮し、材質は柔軟性のあるゴムとした。また、先端を完全に拘束し、下部は舌筋の動きを考え、 $y \cdot z$  方向を拘束し、 $x$  方向の動きのみを可能とした。力を加える方向は筋肉の収縮方向、位置は [a], [i] の場合はオトガイ舌筋, [u] の場合はオトガイ舌筋と茎突舌筋を参考にした(図7)。

なお, [e], [o] に関してはそれぞれ [i], [u] の舌の形状を維持した状態で下顎の開閉の違いにより発音できるため構造解析は省略する。

解析結果を図9に示す。左図の矢印は力を加えた位置・方向を示しており、右図は変形後の形状を示している。[a], [i], [u], それぞれ作用する舌筋のみで発声時の形状を表すことができた。

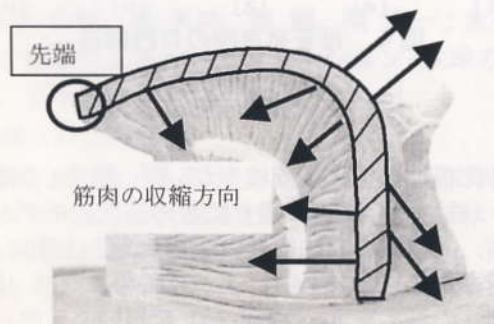


図7 解析方法

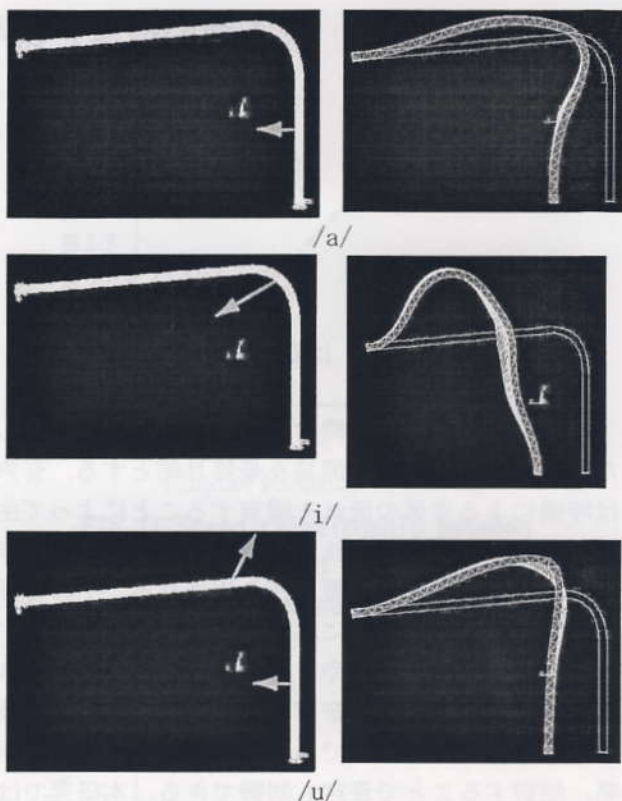


図9 形状の解析結果

#### 5. 実験

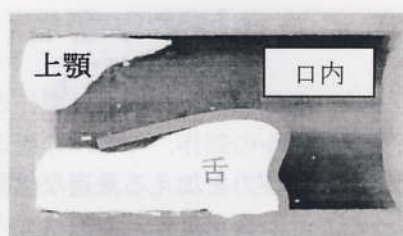
##### 5. 1 実験装置

図10に口内の形状を模写した模型を示し、図11にその断面図を示す。解析結果の形状で音声を確認するため実験を行った。本来舌をゴム、舌筋をワイヤ等で表現し装置を製作する予定であったが、柔軟性において適当なゴムを模索中であるため、今回筒の内部にそれぞれの舌の形状([a], [i], [u])を表現した模型を製作した。

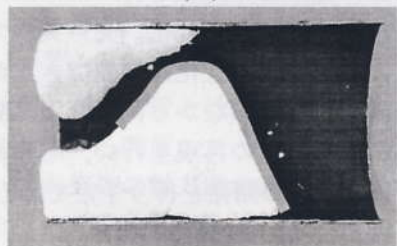
図12に音源部を示す。音声を発するため、音源となる声帯部分が必要となる。声帯の作用を再現するため、空気の流れにより振動する声帯部をシリコンゴムと風船により製作した。



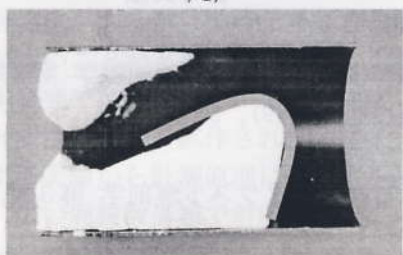
図10 実験用模型



/a/



/i/



/u/

図 1.1 実験用模型の断面図

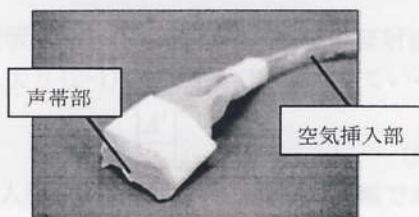


図 1.2 声帯部

## 5. 2 実験方法

図 1.3 に装置の全体図を示し、図 1.4 に実験概要を示す。声帯部に空気を送ることで空気が振動し一つの音源となり、口内部を通過することで人工音となる。人工音と実際の音声を比較するため、音響解析ソフト“Sonic Visualiser”を用いて解析を行った。

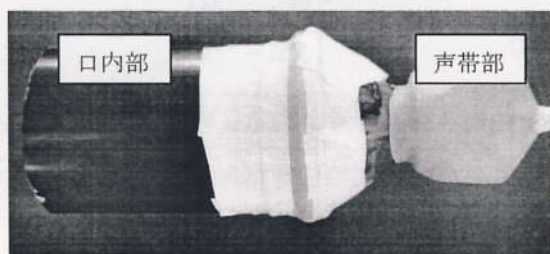


図 1.3 実験装置



図 1.4 実験概要

## 5. 3 実験結果および考察

実験結果を図 1.5 に示す。図 1.5 はサウンドスペクトログラムとよばれるグラフであり、横軸は時間(sec)、縦軸は周波数(Hz)、色の濃淡は音圧レベル(dB)を表している。図 1.5 の上部グラフは実際の音声例であり、下部のグラフは製作した音源と装置の発声音である。

音声は特徴的な周波数により成り立っており、共振する周波数の領域が決まっている。これはフォルマントとよばれており、周波数の低い方から順に第 1, 第 2, ... フォルマント, またそれらの周波数をフォルマント周波数とよぶ。母音の音声の特徴は第 1, 第 2 フォルマントによって表現することができる<sup>3)</sup>。

音声および人工音のスペクトログラムより第 1 フォルマント(F1), 第 2 フォルマント(F2)を確認することができた。これを表 1 に示す。実際の音声と人工音を比較した結果、それぞれ対応する音声に関してはフォルマントから異なっていることが判明した。しかし、実音声の[a]と装置の音源、実音声の[e]と装置の[a], [u]のフォルマントが類似していることが確認できた。

今回口内の形状変化による発声の違いは確認できた。しかし、目的とする音声とは異なった。原因として装置の音源が[a]に類似していたことが考えられる。また、声帯部と人工音発声部の位置が近いことにより、音声を計測したとき、人工音と音源の両方を計測したことが原因だと考えられる。今後は音源、および、発声音の計測方法の改善を行い、目標とする音声を再現する予定である。また、唇部分を製作することで、より明確な音声を再現できるのではないかと考えている。

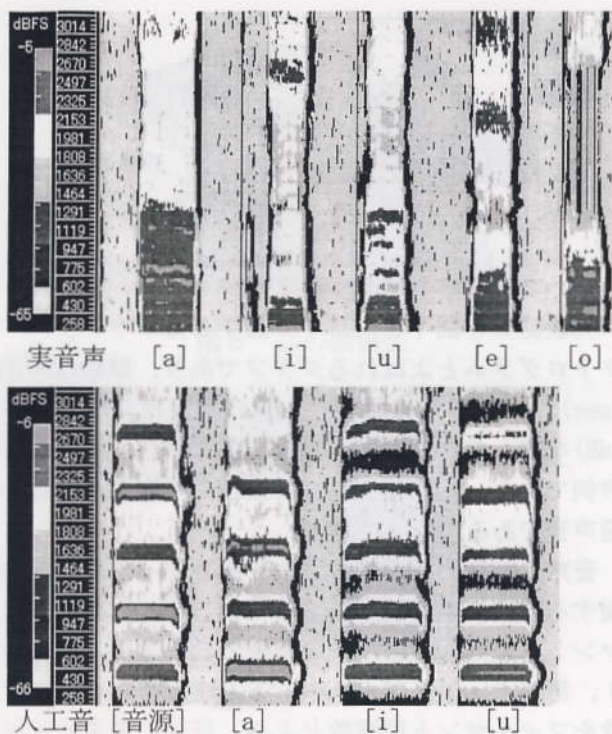


図 15 サウンドスペクトログラム

表 1 フォルマント周波数の比較

| 音声 |    | [a]  | [i]  | [u]  | [e]  | [o] |
|----|----|------|------|------|------|-----|
|    | F1 | 700  | 300  | 380  | 470  | 510 |
|    | F2 | 1200 | 2600 | 1400 | 2250 | 860 |
| 装置 |    | 音源   | [a]  | [i]  | [u]  |     |
|    | F1 | 800  | 500  | 1700 | 500  |     |
|    | F2 | 1200 | 1800 |      | 2200 |     |

## 6. おわりに

本研究では、母音発声用の人工舌製作の前段階として、三次元モデルの製作、モデルの構造解析による形状変化、および力を加える最適な位置・方向の模索を行った。その後解析による形状での発声実験を行い実際の音声との比較を行った。人工舌モデルの母音発声時の形状への変化、発声実験では、口内の形状による発声音の変化は確認できたが、目標とする音の再現には至らなかった。今後は装置を改善し、より明確な音声の再現を行い、その後、人工舌を含めた発声装置の開発を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 権田悦通, 最新総義歯補綴学 第2版, 医歯薬出版 (1999), 58
- 2) 松村譲児, イラスト解剖学 第3版, 中外医学社 (2002), 271
- 3) 古井貞照, 音響・音声工学, 近代科学社 (1992), 101