

タイトル	母音 /u/ の口唇部突出しと声道分岐の影響の有限要素法による解析
著者	松崎，博季；元木，邦俊；三木，信弘
引用	北海学園大学工学部研究報告，32：99-105
発行日	2005-02-21

母音/u/の口唇部突出しと声道分岐の影響の有限要素法による解析

松 崎 博 季*・元 木 邦 俊*・三 木 信 弘**

FEM analysis of influences of the branches and the lips of the vocal tract of vowel /u/

Hiroki MATSUZAKI*, Kunitoshi MOTOKI* and Nobuhiro MIKI**

1 はじめに

口唇部突出し、梨状窩および喉頭蓋谷の音響特性に与える影響を調べるために、有限要素法を用いて母音/u/の3次元声道形状モデル内の音響特性のシミュレーションを行った。オリジナルの声道形状モデルと、口唇部突出し、梨状窩あるいは喉頭蓋谷の省略を行ったモデルの声道伝達特性を計算し、比較、検討を行った。また、母音/a/について以前に同様に行った実験結果と比較した。実験結果より、母音/u/の場合、口唇部省略による第1,2ホルマント周波数の移動量が大きく、母音/a/の実験結果とは異なる結果となった。母音/a/の実験結果と同様に、第1～3ホルマント周波数の範囲では口唇部突出しや分岐は、各部位の存在と干渉することなく独立して各ホルマントを移動させることが示された。

2 実験概要

声道の3次元形状データとして、成人男性1話者が日本語母音/u/を発声した時のMRIにより撮像された矢状断面画像から抽出された12の声道輪郭線[1]を使用した。このMRIデータと母音/a/の実験[2]で使用されたMRIデータは被験者および撮像時期が同じである。これらの声道輪郭線から87面の声道横断面を視察によりNURBS modelingソフトウェアであるRhino (AppliCraft社)を使用して求めた。モデル作成を容易にするため、声道部分において

* 北海学園大学工学部電子情報工学科

* Department of Electronics and Information Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen University

* E-mail: {matsu, motoki}@eli.hokkai-s-u.ac.jp

** 公立はこだて未来大学

** Future University-Hakodate

** miki@fun.ac.jp

は、声道横断面を1mm四方の正形状で分割し、分割された各声道横断面を連結することで3次元声道形状モデルを作成した。有限要素は6面体1次要素である。

実験条件は母音/a/の実験〔2〕と同じで、速度ポテンシャル ϕ の波動方程式をFEMに適用して使用した。口唇部の放射端を、声道横断面のうち閉じた曲線を描ける最も口唇部側とした。声帯と思われる部分を視察により駆動面とした。声道壁は全て剛壁とした。放射端には3次元の放射を模擬するための半径4cmの放射空間〔3〕を設けた。作成された有限要素メッシュを放射空間のバッフル面を含めて図1(a)に示す。これをオリジナル・モデル(以下、OMと略記)と呼ぶことにする。母音/a/の実験〔2〕と同様に、このOMから、口唇部突出し、梨状窩および喉頭蓋谷を省略したモデル(以下、WoLPVと呼ぶ)、口唇部突出しのみを省略したモデル(以下、WoLと呼ぶ)、梨状窩および喉頭蓋谷を省略したモデル(以下、WoPVと呼ぶ)、梨状窩のみを省略したモデル(以下、WoPと呼ぶ)、喉頭蓋谷のみを省略したモデル

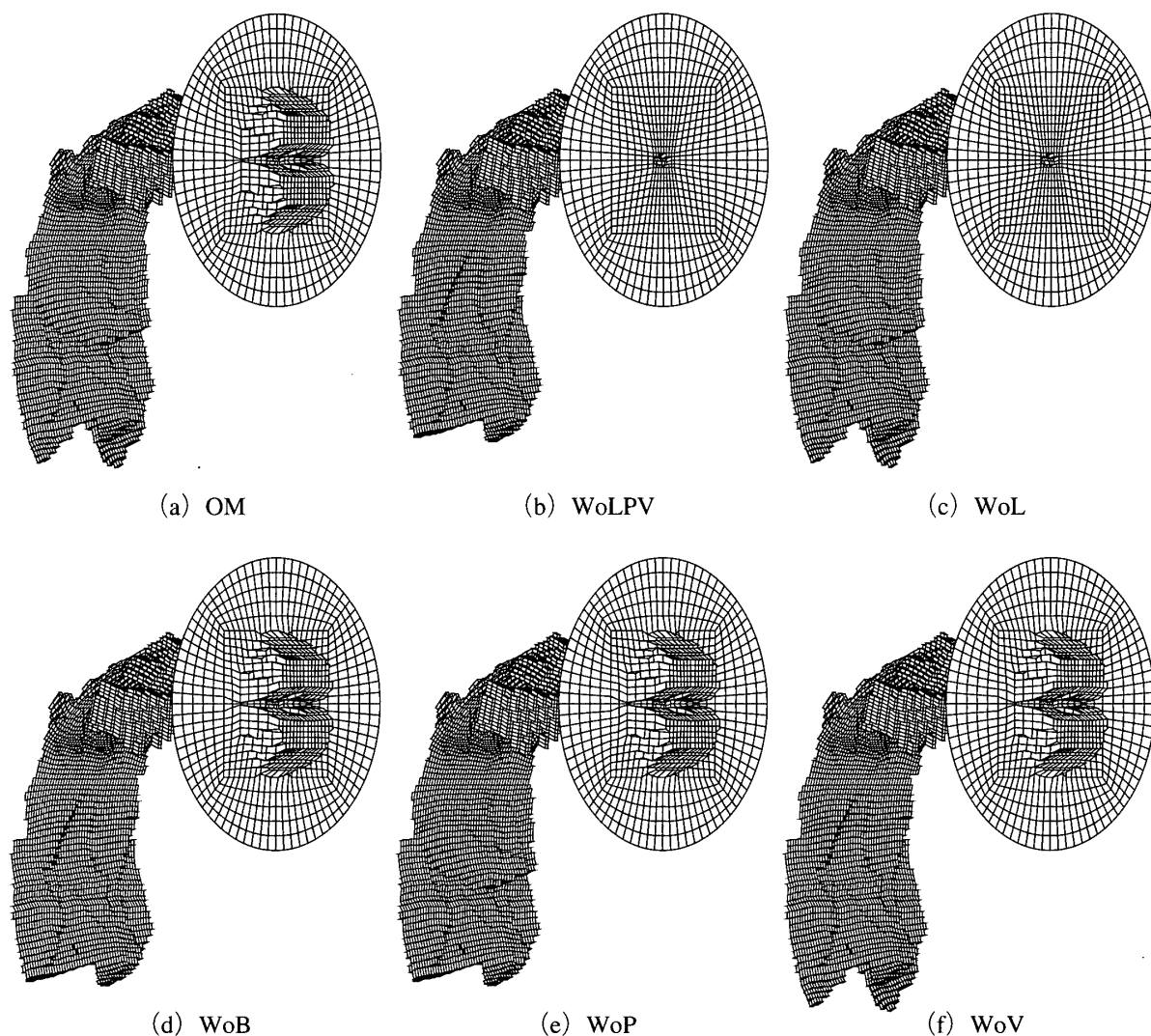


図1：有限要素モデル

(以下, WoVと呼ぶ), を作成した。これらの有限要素モデルを図1 (b) ~ (f) に示す。口唇部突出しの省略については, 放射端より放射空間側にある部分を省略することで行った。梨状窩の省略については, 同一平面にある声道横断面が複数になる部分を省略することで行った。喉頭蓋谷については, 元の矢状断面データから分岐部と思われる部分を省略して声道横断面を新たに再構築することで行った。

3 声道伝達特性の比較

FEMによるシミュレーション結果を元に声道伝達特性を次式により計算した。

$$Hv(\omega) = 20 \log_{10} \left| \frac{A_r n_d \sum_{j=1}^{n_r} v_{r,j}(\omega)}{A_d n_r \sum_{i=1}^{n_d} v_{d,i}(\omega)} \right| \quad (1)$$

ここで, ω は角周波数, n_d および n_r は駆動面と放射端の節点数, $v_{d,i}(\omega)$ および $v_{r,j}(\omega)$ は駆動面と放射端の断面上の粒子速度の垂直方向成分である。また, A_d および A_r は駆動面と放射端の断面積である。

図2に, WoLPV, WoL, WoPV, WoPおよびWoLの声道伝達特性を, OMのものと比較した図を示す。いずれも実線がオリジナル・モデル, 破線が各省略モデルの声道伝達特性である。4 kHz近傍より高域では, WoLがOMとほぼ一致しており, 他のモデルはOMと大きく異なっている。これは母音/a/の実験結果[2]とほぼ同じである。極めて帯域幅の狭い零点が, WoP以外では2216HzにWoPでは2232Hzに存在する。これらの周波数近辺では, 口腔に相当する部分に横方向の共振が生じている可能性がある[4]。図3 (a) ~ (f) に, これらの周波数における各モデルの口腔部分から放射部までの3次元音圧分布図を示す。上側が口唇部側, 下側が声帯側である。横方向などに振動する高次モードが各モデルともに生じている。図4に, 零点の生じていない2216Hzよりも高い周波数の3000HzにおけるOMの口腔部分から放射部までの3次元音圧分布図を示す。横方向などに振動する高次モードの影響が少なく, ほぼ平面波的に伝搬している様子が伺える。したがって, 零点の原因になっているものは高次モードによるものと思われる。

表1にOMを基準とした場合の第1~3ホルマント周波数と移動量を示す。第1, 2ホルマントにおいて移動量が多いのは口唇部を省略したモデルであり, 第3ホルマントにおいてはWoVの移動量が最も大きくなっている。WoPの移動量は全て5%未満で, 梨状窩の影響が第3ホルマントまでは少ないという結果になった。移動量が第1ホルマントではWoP以外で5%以上となっており, 最大で20%を越えている。また, 第2ホルマントではWoLPVとWoLが8%前後の移動量となっており, 母音/a/の実験結果[2]とは異なる結果となった。特に口唇部省略の影響が大きいことが伺われる。この要因として, 母音/u/の場合, 母音/a/と比較す

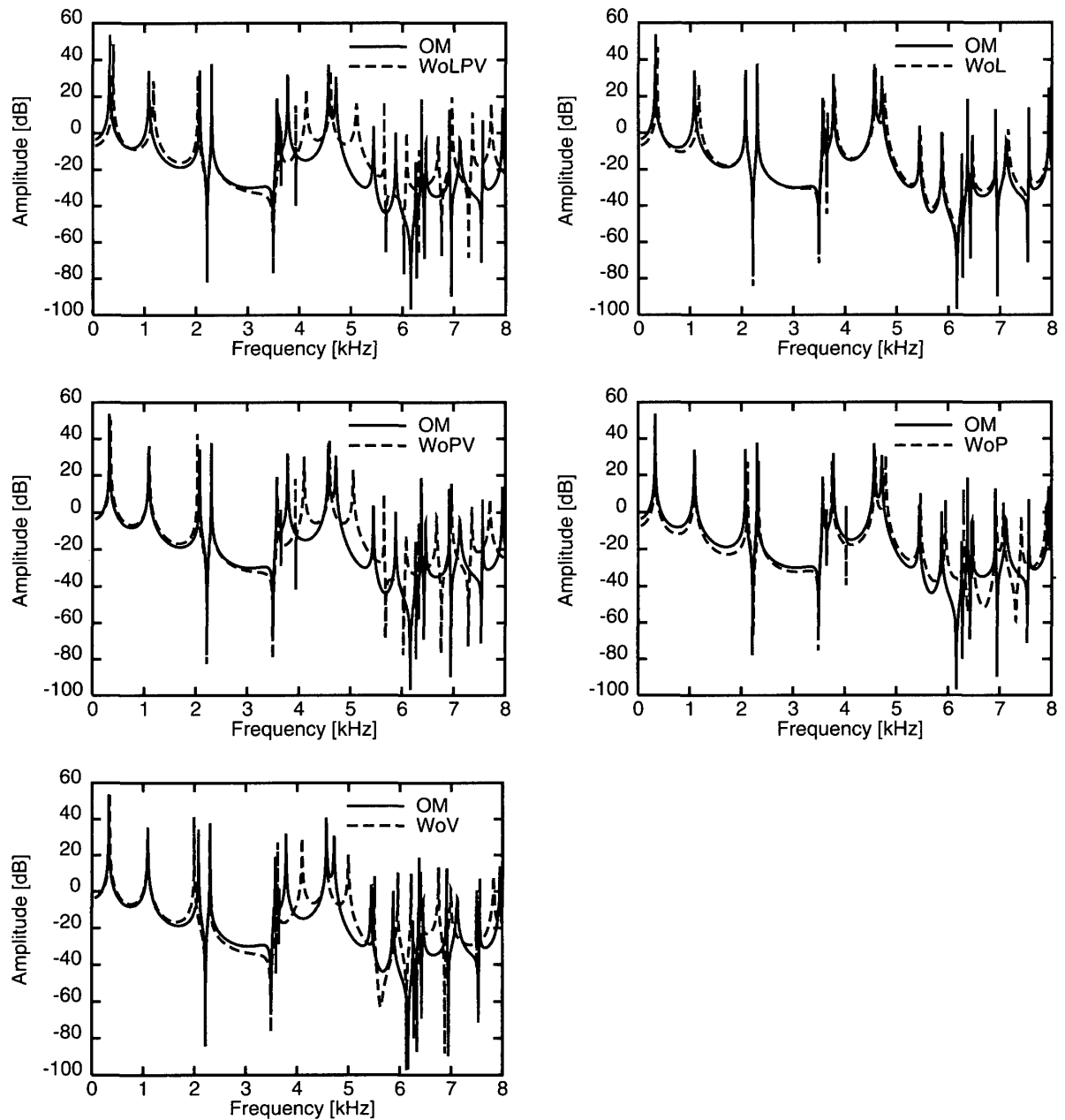


図2：OMと他のモデルの声道伝達特性の比較

ると口唇部付き出し部分が著しく、それに伴い開口面積が小さいことが関係しているのではないと思われる。各モデルの移動量の関係は母音/a/の実験結果〔2〕と同様に、個々の部位を省略したモデルの移動量と、それらを組み合わせて省略したモデルの移動量がほぼ等しくなっており、各部位がほぼ独立して音響特性に影響を与えていることを示す結果となった。

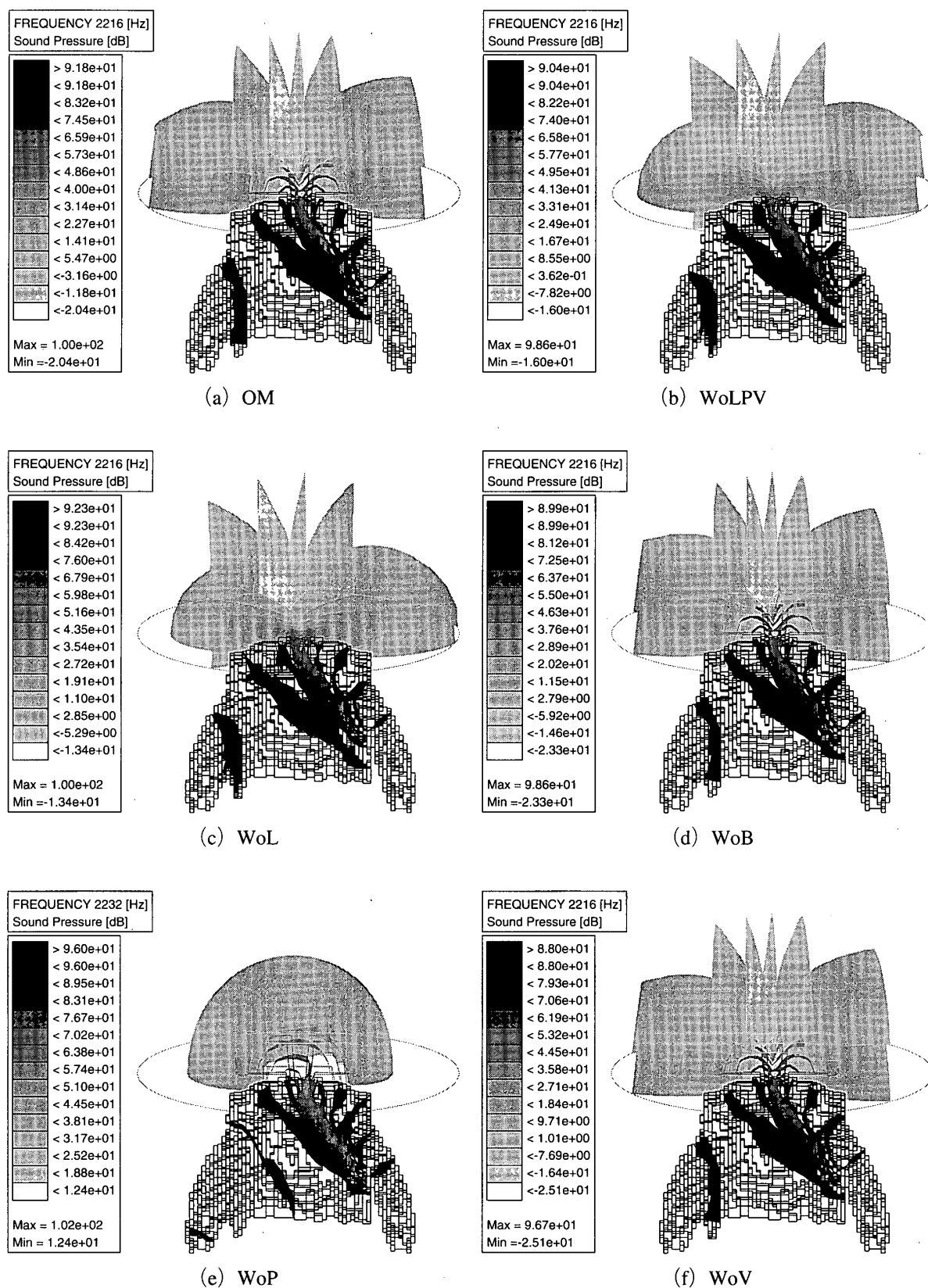


図3：零点における各モデルの口腔部から放射部までの3次元音圧分布図

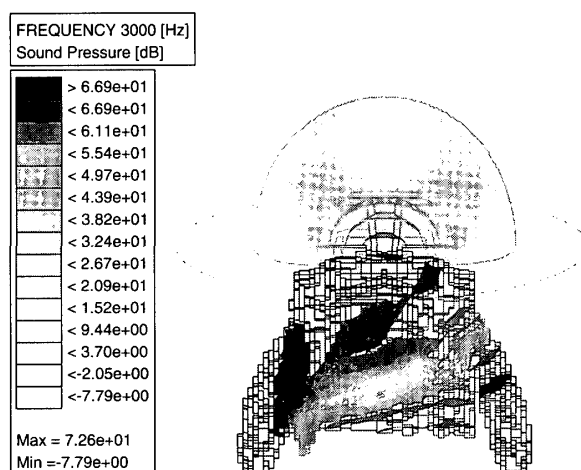


図4：3000HzにおけるOMの口腔部から放射部までの3次元音圧分布図

	OM	省略モデル				
		WoLPV 口唇部と分岐	WoL 口唇部	WoPV 分岐	WoP 梨状窩	WoV 喉頭蓋谷
1 st	328	394 (20.1)	365 (11.3)	353 (7.6)	333 (1.5)	347 (5.8)
2 nd	1089	1178 (8.2)	1173 (7.7)	1099 (0.9)	1098 (0.8)	1087 (-0.2)
3 rd	2077	2040 (-1.8)	2080 (0.1)	2035 (-2.0)	2121 (2.1)	1993 (-4.0)

表1：ホルマント周波数[Hz]および変化率（変化率は括弧内に記載）

4 おわりに

今後は、他の日本語母音について同様の実験を行うほかに、新規に異なる被験者で撮像したMRIデータを得たので、被験者間の比較についても実験を行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター・プロジェクト“言語情報処理研究”からの支援により行われたものである。

参 考 文 献

- [1] 神山直久, 三木信弘, 永井信夫, “粘弾性体モデルを用いた声道壁インピーダンスについての考察”, 電子情報通信学会論文誌 (A), J75-A, pp.1649-1656, 1992.
- [2] 松崎博季, 元木邦俊, 三木信弘, “口唇部突出しと声道分岐を考慮した声道モデルの3次元有限要素法に

よる解析”，日本音響学会2003年秋季研究発表会講演論文集，pp.291－292，2003.

- [3] H. Matsuzaki, N. Miki and Y. Ogawa, “FEM analysis of sound wave propagation in the vocal tract with 3-D radiational mode”, J. Acoust. Soc. Jpn. (E), 17, pp.163－166, 1996.
- [4] 松崎博季，元木邦俊，三木信弘，“有限要素法における3次元声道モデルの曲がりおよび断面形状の簡略化に関する検討”，日本音響学会誌，59，pp.440－449，2003.