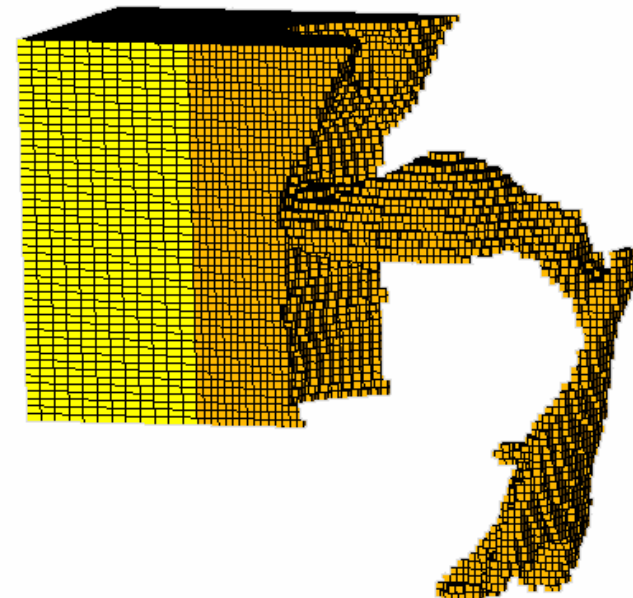


1-Q-12 梨状窩によって生じる声道伝達 特性の極零パターン

ATR人間情報科学研究所

北村達也 竹本浩典 本多清志

kitamura@atr.jp



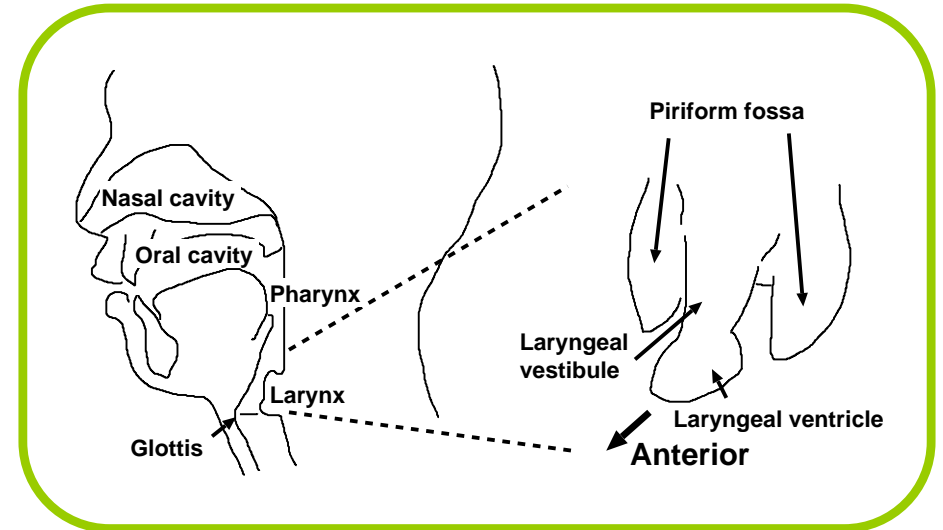
本研究は情報通信研究機構の研究委託「人間情報コミュニケーションの研究開発」により実施したものである。

概要

梨状窩は声道下部に位置する分岐管である。声道模型の音響計測により、梨状窩は音声スペクトルの3.5 kHzから5 kHzに零を生じさせるばかりでなく、5 kHzから6 kHzの極の生成にも寄与することを示した。さらに、有限要素法を用いた音響解析により、この極は梨状窩の下端から口唇までを結ぶ経路に沿った定在波によって生じることが明らかになった。

研究の背景と目的

- ・ 梨状窩 (piriform fossa)
 - 声道下部に位置する分岐管.
 - 形状やサイズに個人差があり, 音声の個人性生成要因の1つ (Dang & Honda 1997, Kitamura *et al.* 2005).



- ・ 梨状窩の音響特性
 - 音声スペクトルの4 kHzから5 kHzに零を生じさせる (Dang & Honda 1997).
 - 上記の零だけでなく5 kHzから6 kHz付近に極を生じさせる可能性 (本多ら2005).
- ・ 目的
 - 声道模型の音響特性の計測と, 有限要素法 (FEM) による音響解析とで梨状窩が極の生成に寄与するか否かを調査.

音響計測の方法

- ・ 声道模型(本多ら2005)
 - 成人男性が母音/a/および/i/を発声したときに得られたMRIデータから光造形により製作(歯列補填済).
- 計測方法
 - 声道模型の口唇部がホーンドライバーユニットと正対するように配置.
 - 声門部を直径1.2 mmの穴を開けたプラスチック板でふさぎ, その穴にプローブマイクを挿入.
 - 声門開口が声道音響特性に与える影響(本多ら2005, 北村ら2005)を抑えるため.
 - ホーンドライバーユニットからOptimized Aoshima's time-stretched pulse (Suzuki *et al.* 1995)を出力し, 声門部の音圧を計測(標本化周波数48 kHz, 量子化16 bit).
 - 気温: 20 °C
 - 梨状窩をパテで埋めた状態でも計測.

測定系

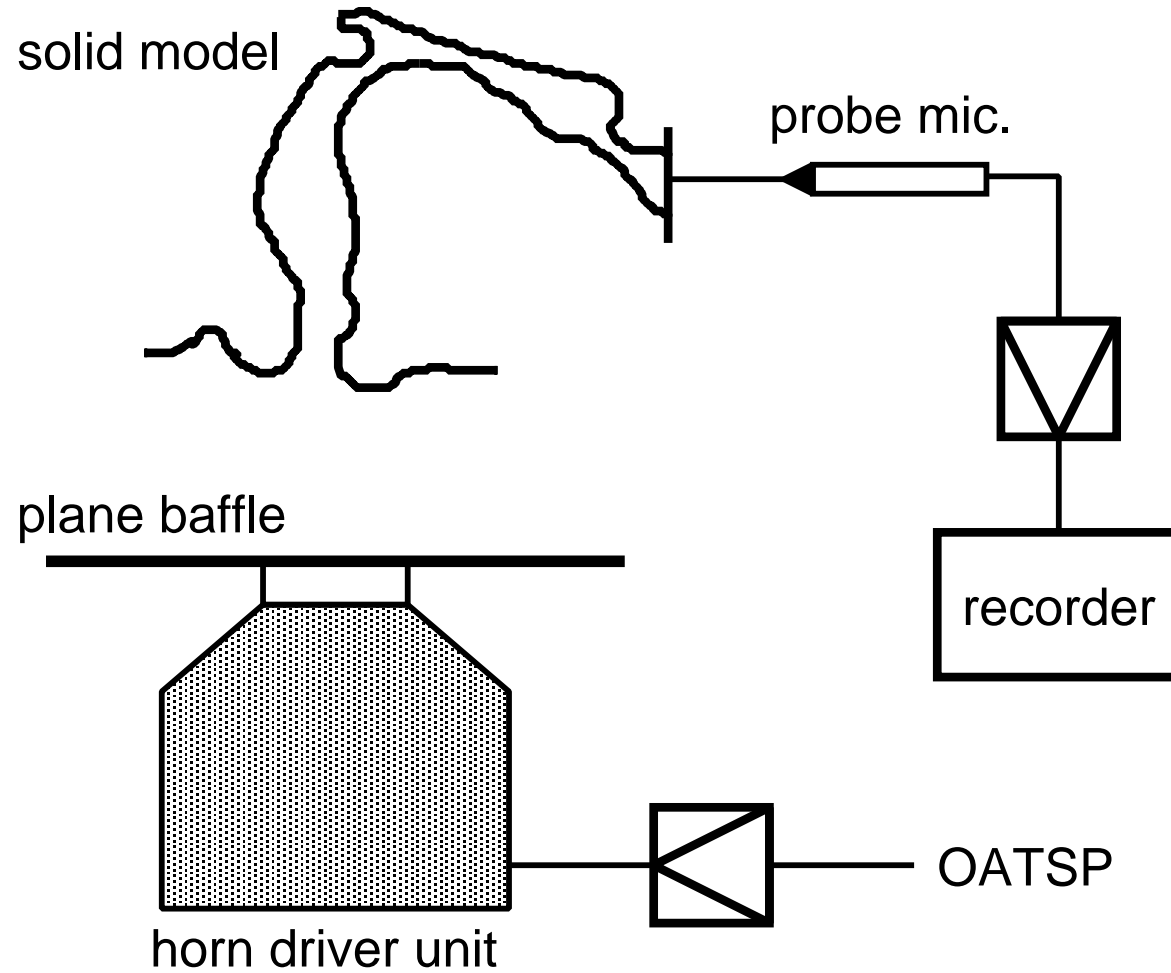
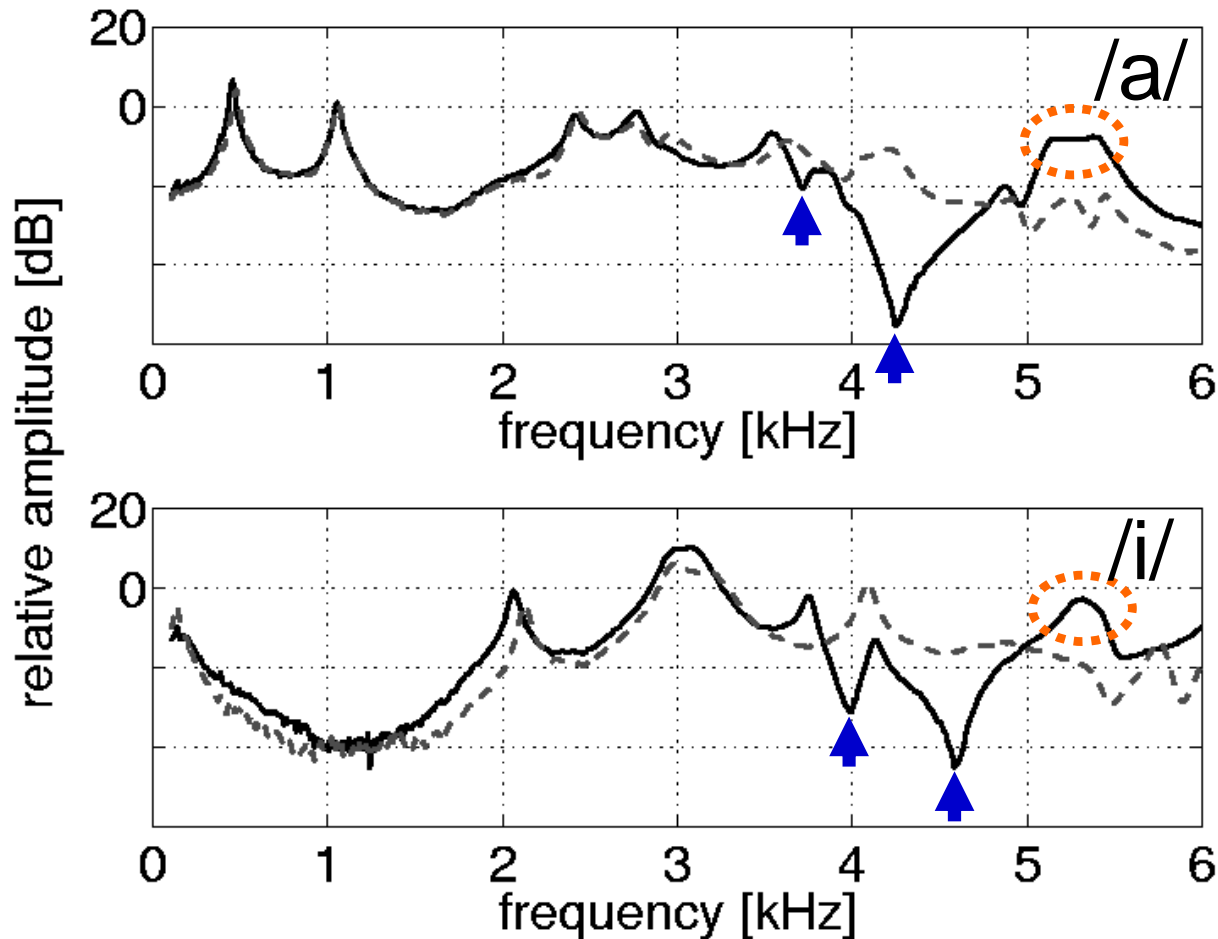


Fig. A diagram of measurement setup.

測定結果



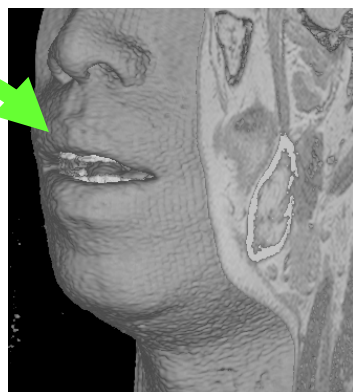
梨状窩によって零(▲)ばかりでなく○の領域に極が生じる.

Fig. Acoustic characteristics of solid vocal tract models for the vowels /a/ (top panel) and /i/ (bottom panel) with empty (solid line) and filled (dashed line) piriform fossa.

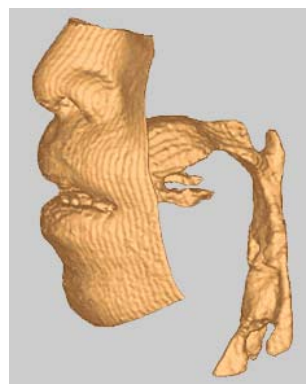
有限要素法 (FEM) による音響解析

- ・ 有限要素モデルの作成 (北村ら2004)
 - 声道領域および放射領域を抽出し, 6面体で要素分割.
 - ・ 声道および顔近傍の領域 : $2 \times 2 \times 2$ mmの要素.
 - ・ 放射領域 : $2 \times 2 \times 8$ mmの要素 (上下約100 mm, 左右70 mm, 前後98 mm).
 - ・ 要素サイズは解析ソフトが扱える要素数の上限から決定.
 - ・ 前鼻孔, 鼻咽腔開口部 (母音/a/) をふさいだ.

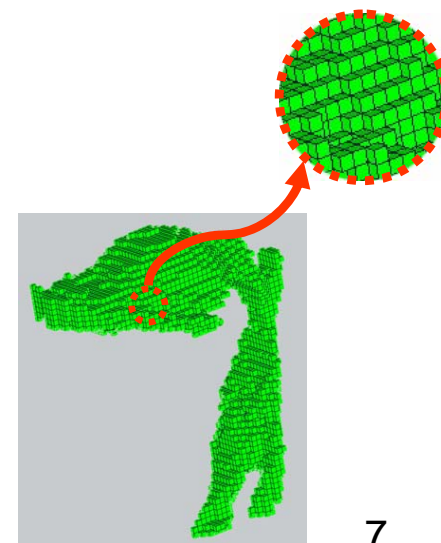
歯列補填
[Takemoto *et. al* 2004]



領域抽出



要素分割



伝達関数の推定法

- 音圧 p に関する波動方程式

$$\nabla^2 p + k^2 p = 0$$

k : 波数 ($k = \omega / c$)

ω : 周波数

c : 音速

- 境界条件

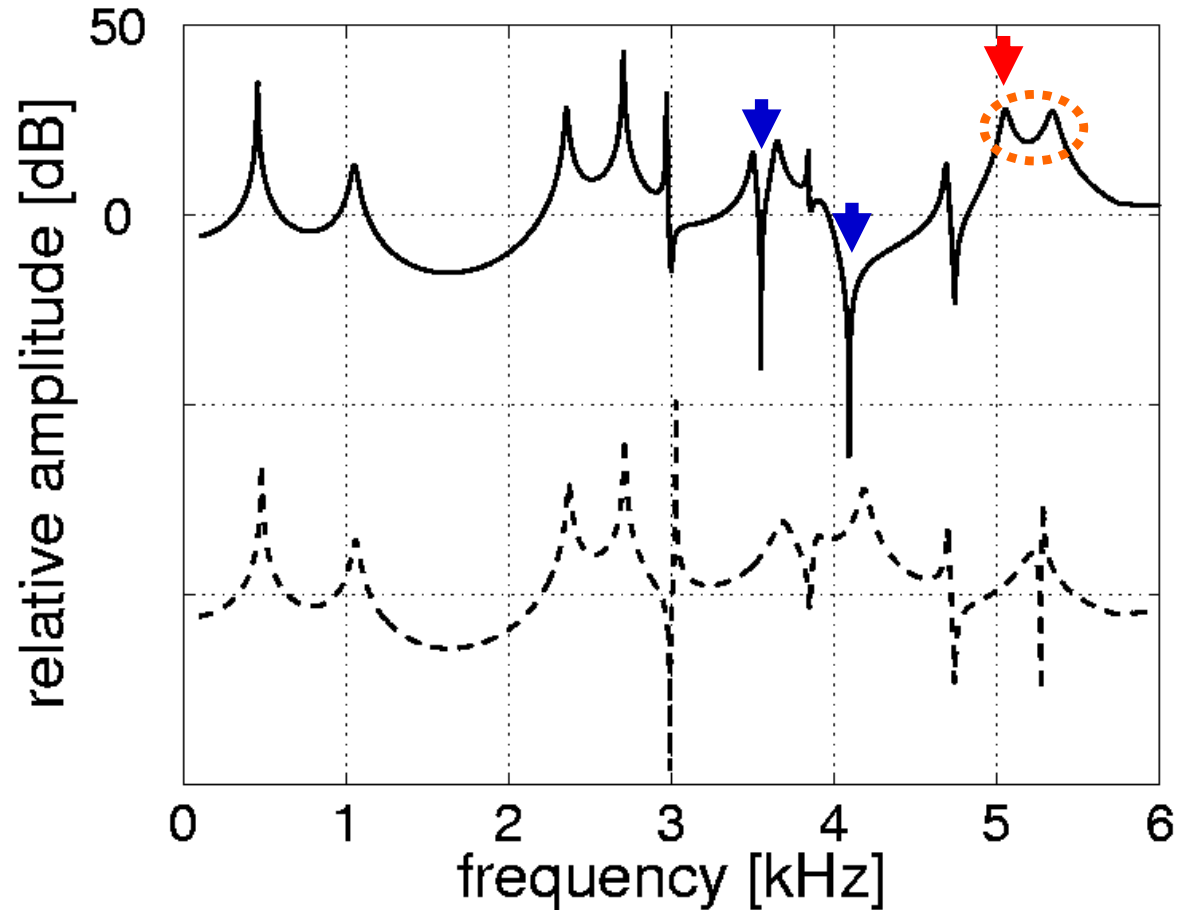
- 入力端 : 声門部. 正弦波振幅 1.0 m/secの体積速度で励振.
- 出力端 : 放射領域の境界面. 空気の固有インピーダンス ρc
- 入力端と出力端以外は剛壁.

- 音速 $c = 352.33$ m/sec, 空気密度 $\rho = 1.1255$ kg/m³
- 上の波動方程式をガラーキン法で解いた (LMS社SYSNOISE ver. 5.6).
- 伝達特性 $H(\omega)$

$$H(\omega) = \frac{P_{out}(\omega)}{U_{in}(\omega)}$$

- $P_{out}(\omega)$: 正中矢状面における口唇先端から水平方向82 mmの点の音圧.
- $U_{in}(\omega)$: 入力端の体積速度.
- 100 Hzから6 kHzまでを10 Hzきざみで計算し, 極もしくは零が現れる周波数帯域では1 Hzきざみで計算.

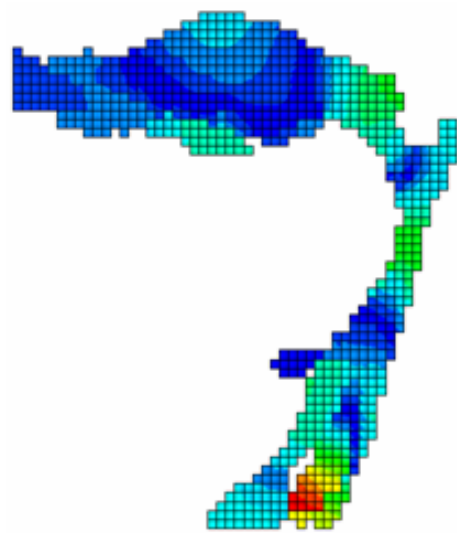
解析結果



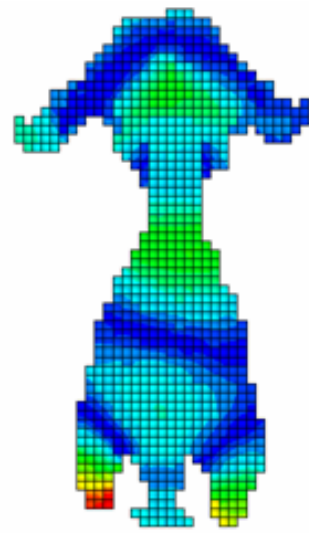
音響計測の結果とよく一致している。

Fig. Pressure-to-velocity transfer functions of finite element models for the vowel /a/. The solid line shows data for the model with the piriform fossa and the dashed line shows data for the model without the fossa. Arrows show zeros generated by the fossa.

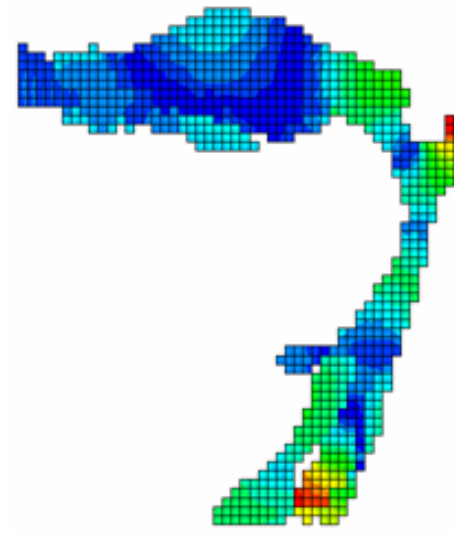
音圧分布 (梨状窩ありモデル)



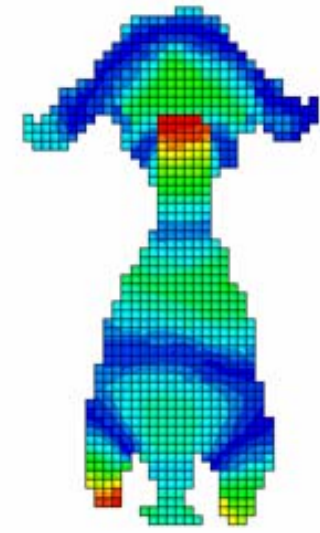
(a) side view



(b) back view



(a) side view



(b) back view

high



low

Fig. Pressure distribution in the vocal tract at 5052 Hz.

Fig. Pressure distribution in the vocal tract at 5340 Hz.

結果と考察

- ・ 梨状窩を除去することにより3500 Hzおよび4090 Hzの零が消失する.
- ・ 5052 Hzおよび5340 Hzの極も消失し, これにより5 kHzから6 kHzの帯域のパワーが減少する.

これらの極が生じる場合には, 梨状窩の下端に音圧が最大になる部分が現れ, かつ声道全体に定在波が生じる.

これらの極は梨状窩を除去することにより消失する.

これらの極は, 低次ホルマントのように声門から口唇までを結ぶ伝搬経路に沿った定在波によって生じたものではなく, 梨状窩の下端から口唇までを結ぶ経路に沿った定在波によって生じたものである.

まとめ

- ・ 声道模型の音響特性の計測とFEMによる音響解析により、梨状窩の音響特性について調査した.
- ・ 梨状窩は零ばかりでなく極の生成にも寄与しうる.
 - 被験者を増やし、今回の被験者のみに生じる現象でないことを示す必要あり.
 - この極は音声スペクトルでも観測される.
- ・ この共鳴パターンは従来の音声生成理論では知られていなかった新しい現象である.
- ・ 梨状窩のサイズと形状は個人差が大きいため (Dang & Honda 1997, Kitamura *et al.* 2005), この極は音声スペクトルの個人性特徴の一要因とみなすことができる.

参考1：音圧分布（梨状窩なしモデル）

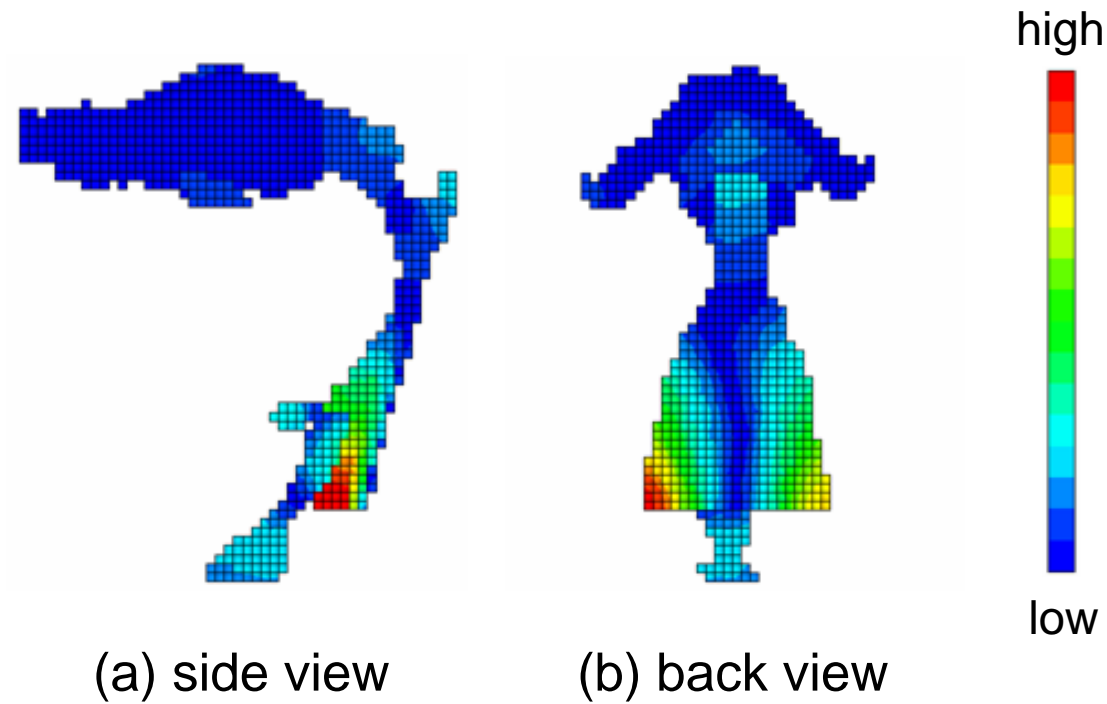
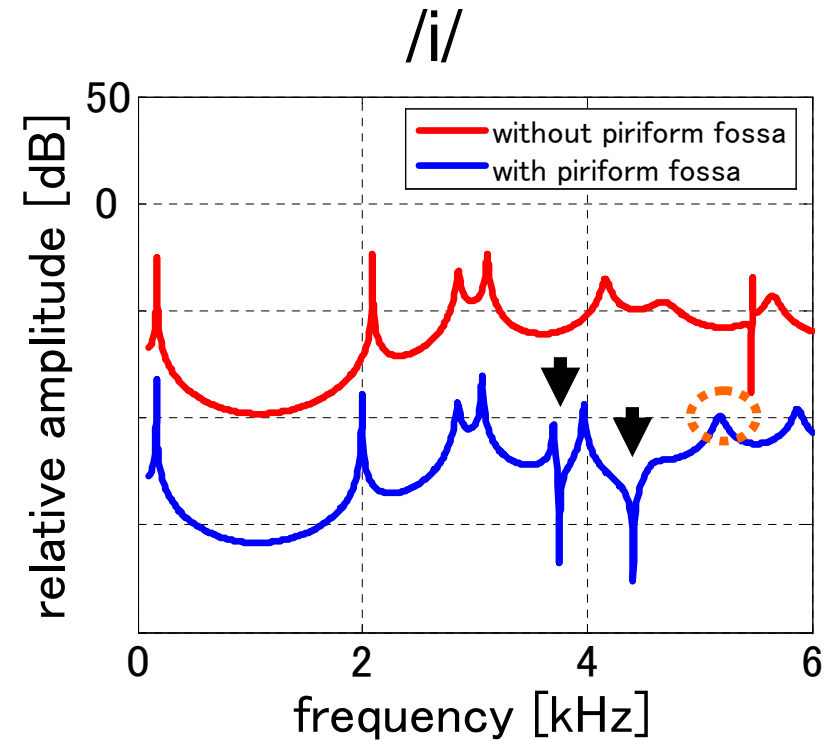
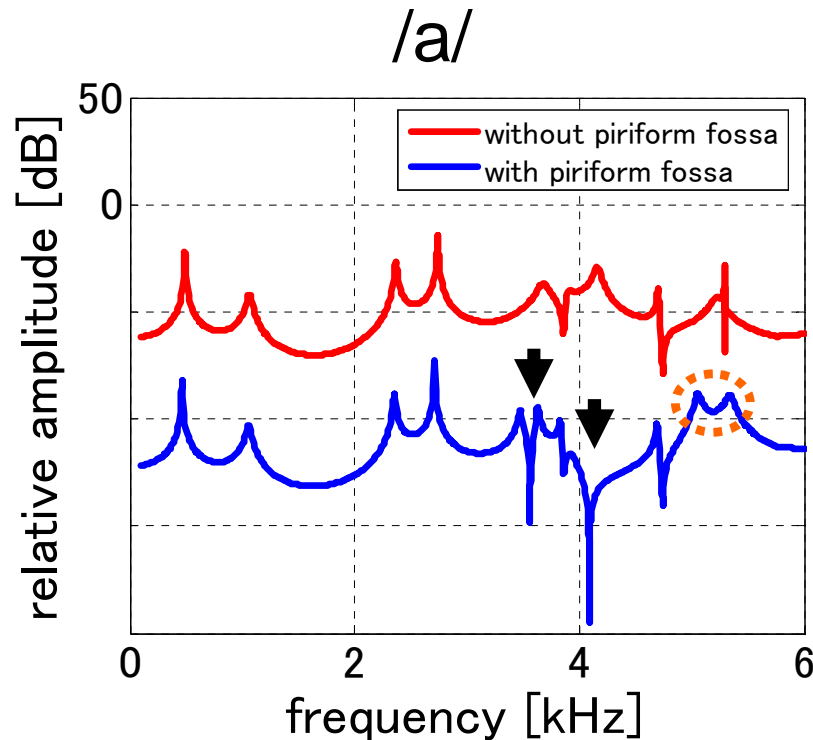


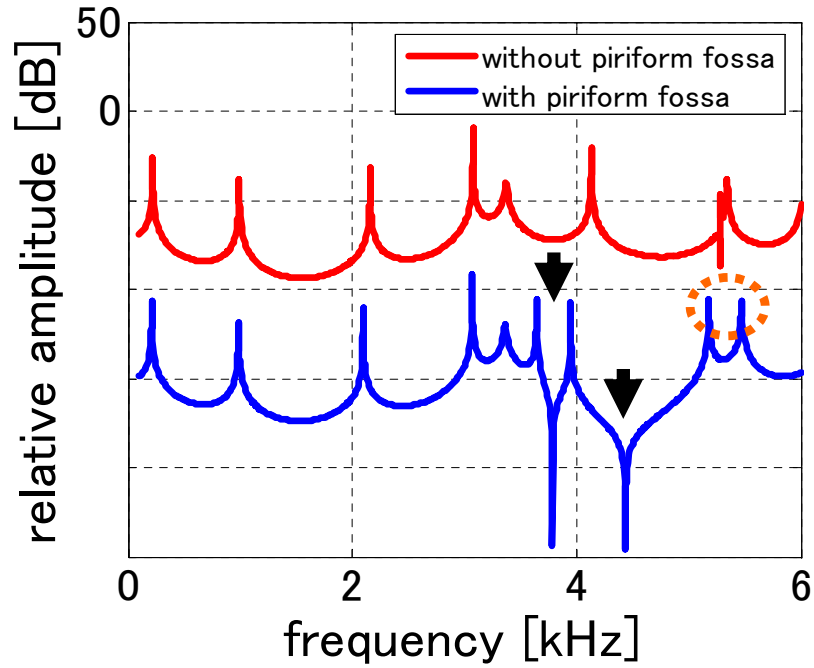
Fig. Pressure distribution in the vocal tract without the piriform fossa at 5290 Hz.

参考2:FEMによる5母音の音響解析結果

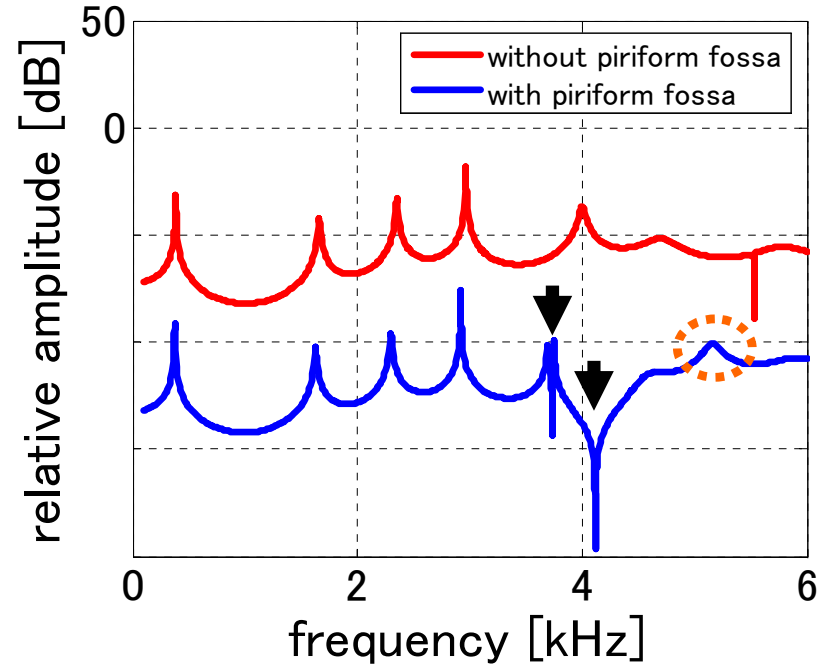
喉頭蓋谷および歯列間隙を除去したモデルの解析結果



/u/



/e/



/o/

