

頭頸部を伝搬する声道共鳴音の減衰特性の数値解析*

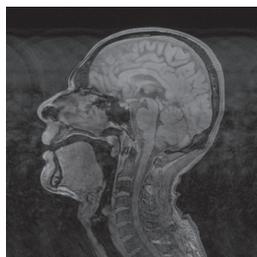
大谷真, 平原達也 (富山県立大学・工学部), 足立整治 (Fraunhofer 研究所)

1 はじめに

微弱な声道共鳴音である非可聴つぶやき声 (Non-Audible Murmur: NAM) を音声コミュニケーションに用いる研究が行われている。NAM は、NAM マイクロホンと話者の耳介後下部の軟組織に接着して使用する事で検出可能である [1]。NAM マイクロホンとは、軟組織と音響インピーダンスを整合させるためにソフトシリコンに包埋されたコンデンサマイクロホンである。検出される音声は高周波成分が抑圧されており明瞭度が充分でなく、その歪特性を補償する必要がある。そこで我々は生体軟組織を伝搬する声道共鳴音の数値シミュレーションを行ってきた [2]。本稿では、体内に透過し軟組織を伝搬して NAM マイクロホン位置で検出される声道共鳴音の数値シミュレーションを行った結果を報告する。

2 頭部形状モデル

磁気共鳴映像 (MRI) 装置及び発声同期撮像法 [3] を用いて、母音/e/のささやき声を発声中の頭部の3次元形状を計測した。そして、計測結果のうちの正中断面画像 (Fig. 1(a)) から、簡単のために生体組織を均一と仮定した頭部2次元モデルを作成した。また、声道形状にかなり細い部分があるが、数値シミュレーションで扱える格子間隔よりも細かいため、幅 30 mm の疑似声道に置き換えた (Fig. 1(b))。



(a)



(b)

Fig. 1 (a) MR image at midsagittal plane. (b) 2-D head model.

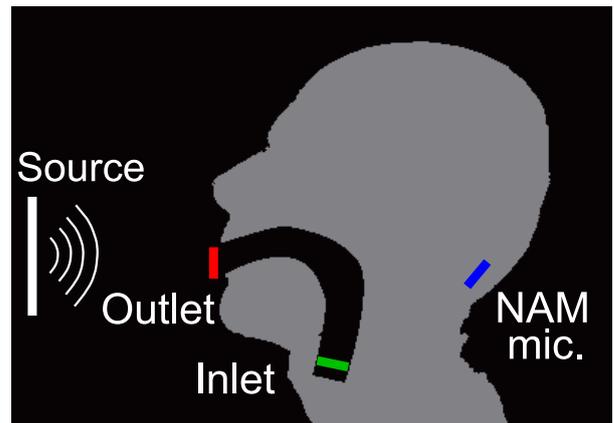


Fig. 2 Location of a vibrating source and receivers.

3 数値シミュレーション

CyberLogic 社の Wave2000Pro[4] を用いて有限差分法による計算を行った。頭部を含む幅 414 mm 高さ 292 mm の領域に、格子間隔 2 mm のメッシュを生成した。生体軟組織の物理パラメータは文献 [5] を参考に、密度 $\rho = 1,100 \text{ kg/m}^3$ 、体積圧縮率 $\lambda_1 = 2,600 \text{ MPa}$ 、体積粘性率 $\lambda_2 = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、剪断率 $\mu_1 = 0.025 \text{ MPa}$ 、剪断粘性率 $\mu_2 = 1,500 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ とした。ただし、数値発散を防ぐため μ_2 は文献の値より 100 倍大きくする必要があった。また、 λ_2 の値は知られていないため、試行錯誤及び他の物質の値から類推して値を設定した。空気のパラメータは $\rho = 1.24 \text{ kg/m}^3$ 、 $\lambda_1 = 0.147 \text{ MPa}$ 、 $\lambda_2 = 0.13 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 、 $\mu_1 = \mu_2 = 0$ とした。

シミュレーションでは、Fig. 2 に示すように、口唇前方に置かれた振動板をパルス駆動させ、声道出口 (outlet)、入口 (inlet) 及びマイクロホン取付位置 (nam) における音圧を算出した。

4 結果

Fig. 3 に各点における音響エネルギーのスペクトルを示す。音響エネルギーは、各点における音圧の二乗値を各媒質のインピーダンス ρc で

*Numerical simulation of damping property of sound in head and neck originated from the vocal tract. by OTANI, Makoto, HIRAHARA, Tatsuya (Toyama Pref. Univ.), ADACHI, Seiji (Fraunhofer Institute for building physics)

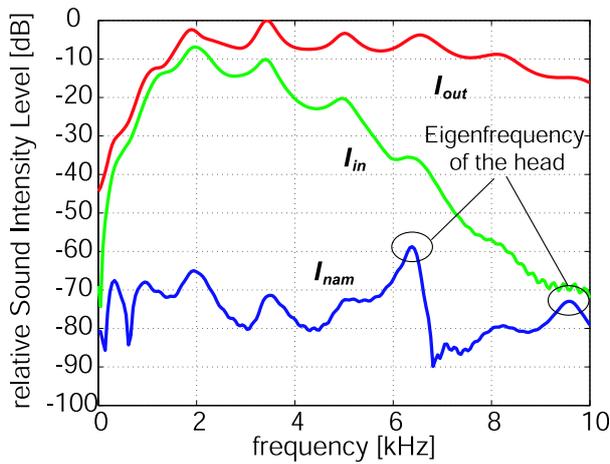


Fig. 3 Sound intensity at outlet and inlet of vocal tract, and NAM microphone.

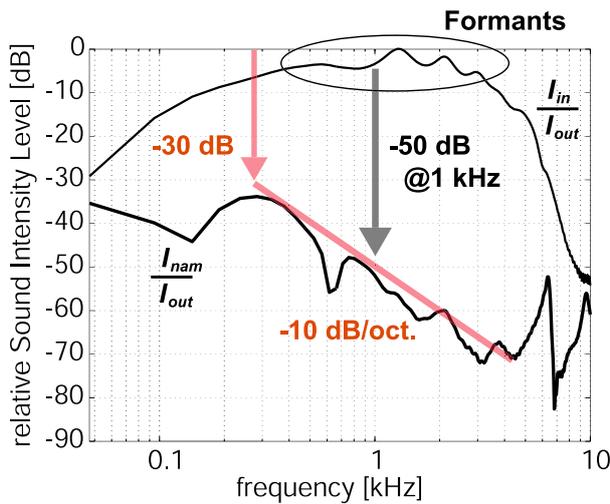


Fig. 4 Transfer functions of vocal tract (I_{in}/I_{out}) and those from vocal cord to NAM microphone (I_{nam}/I_{out}).

除す事で近似的に算出した。outlet, inlet, nam における音響エネルギーを I_{out} , I_{in} , I_{nam} とする。音源信号として用いた微分音圧パルスの特徴を反映して、 I_{out} , I_{in} 共に低周波数域成分が少ない。しかし、 I_{nam} には全帯域に渡って同程度の成分が含まれている事が分かる。また、 I_{in} と比較して I_{out} に高周波成分が多く含まれるのは、口唇の放射特性の影響である。 I_{in} と I_{out} のスペクトルにいくつかのピークが見られるが、これらは声道共鳴によるものである。また、 I_{nam} において、6.3 kHz と 9.7 kHz に見られるピークは頭部の固有モードによるものと考えられる [6]。

次に、空気から生体軟組織への透過及び軟組

織中の伝搬による減衰について詳しく調べるために、Fig. 4 に I_{in}/I_{out} と I_{nam}/I_{out} のスペクトルを示す。 I_{in}/I_{out} は声道伝達関数を示しており、0.5, 1.4, 2.1, 3.0 kHz 付近にピークを持つ。これらはフォルマントを示している。 I_{nam}/I_{out} は、口唇からの音響放射音が平坦な周波数特性を持つ場合に NAM マイクロホン位置で検出されるスペクトルを表している。 I_{in}/I_{out} と比較すると、1kHz において約 -50 dB 減衰し、また高域において約 -10 dB/oct. で減衰している事が分かる。

5 考察

NAM マイクロホン位置で検出される声道共鳴音は、まず声道壁を通じて生体軟組織へ透過し、そして、声道壁面から NAM マイクロホン位置まで (最短距離で 70 mm) の生体軟組織中を伝搬する。空気と生体軟組織の音響インピーダンス比を考慮すると、音波が空気から軟組織に透過する際に音響エネルギーで約 -30 dB 減衰する事になる。そして、軟組織中を伝搬する事によりさらに減衰する。これらの理由により、NAM マイクロホン位置における音響エネルギーの減衰については説明される。しかし、1 kHz 以上の帯域において減衰量が周波数に依存している原因は不明である。

6 まとめ

空気中から生体軟組織に透過・伝搬して NAM マイクロホン位置で検出される音波の数値シミュレーションを行った。その結果、検出される音響エネルギーは、声道伝達関数と比較して 1 kHz で約 -50 dB 減衰し、さらに高域では約 -10 dB/oct. で減衰する事が分かった。

本研究は総務省 SCOPE-S 『発声障害者の音声コミュニケーション手段の研究開発』により実施した。

参考文献

- [1] 中島 他, 電子情報通信学会論文誌 D, J89-D(8), 1802-1810 (2006).
- [2] 足立 他, 音講論集, 257-258, (2006.3).
- [3] 高野 他, 音声言語医学, 46(3), 174-178 (2005).
- [4] <http://www.cyberlogic.org/>
- [5] Oestreicher, J. *Acoust. Soc. Am.*, 46, 707-714 (1951).
- [6] 藤坂 他, 信学技報, 103(608), 13-17 (2004)