

## リード式人工声帯が発生する 喉頭粘液の液膜と飛沫の可視化\*

○荒井隆行（上智大），吉永司，飯田明由（豊橋技科大）

### 1 はじめに

新型コロナウイルスが感染拡大した2020年以降，ウイルスを含む飛沫やエアロゾルがどのように人間の口や鼻から放射され室内において拡散されるか，そして各種マスクはどのような効果があるかなど，可視化技術やシミュレーション技術を応用したものも含め様々な研究や報告がなされている[1-6]．文献[3,5]では，声道模型から放射されるオイルミストにレーザシートを当て口唇や鼻孔から流れ出るエアロゾルの可視化を行った他，声道模型の口唇部に人工唾液を塗布し，閉鎖子音の破裂が解放される際に飛散する飛沫についても可視化を行った．また，同じ文献においては不織布マスクによる効果についても可視化を行っている．一方，文献[4,6]においては，体内でエアロゾルや飛沫が生成されるメカニズムについても述べている．特になぜ会話や歌唱時において感染リスクが高まるかに関連して，リード式的人工声帯[7]を用いて人工唾液を塗布し声帯振動を模擬した場合，声帯が振動していない場合に比べ振動しているときのほうがエアロゾルの生成量が増加することが報告されている．

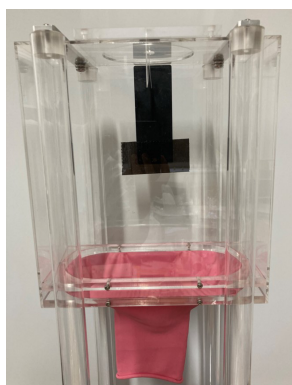


Fig. 1: Experimental setup. The thoracic cavity of a lung model with the diaphragm was combined with the reed-type sound source.

そこで，本研究ではその機序を明らかにする試みとして，リード式人工声帯[7]に喉頭粘液を模擬した粘性のある液体を塗布し，液膜と飛沫が発生する様子をハイスピードカメラにより可視化した．

### 2 実験

#### 2.1 実験環境

リード式人工声帯は，もともと音響教育の目的に開発されたリード式音源である[7]．リード式音源は，リード本体が支持部の上に固定されているが，ヒトの呼気や空気ポンプ，肺の模型などと組み合わせることによって振動し，人間の音声生成における喉頭原音に近い音を発生する．今回は肺の模型[8]と組み合わせて使用したが，可視化の際に見えやすさを優先し，肺を模擬する2つの風船は使用せず，横隔膜を模擬する大型の風船のゴム膜のみを底面に持った，胸郭のための直方体の容器（内寸で幅 268 mm×奥行 134 mm×高さ約 280 mm）の上部にリード式音源を配置した（Fig. 1）．

リードには PET 材で厚さが 0.3 mm のものを用い，振動するリードの長さは 40 mm，幅は 10 mm であり，先端部については徐々に幅が細くなる形状とした．

#### 2.2 使用した粘液

文献[3,5]では，飛沫用に人工的に模擬された唾液 [9]を用いた．この水溶液は，グリセリン 76 g と塩化ナトリウム 12 g を 1 L の蒸留水に溶かして作られた．今回も同じものを使用した，濃度を 2 倍にしたものも試した．

#### 2.3 方法

レーザシートをリードに対して照射し，測定実験を行った．実験では試行ごとに，模擬唾液をリードと支持部の間に塗布させた．その後，下方に下げた横隔膜を一気に

\* Visualizing liquid film and droplets of laryngeal mucus produced by a reed-type artificial vocal fold, by ARAI, Takayuki (Sophia University); YOSHINAGA, Tsukasa; and IIDA, Akiyoshi (Toyohashi University of Technology).

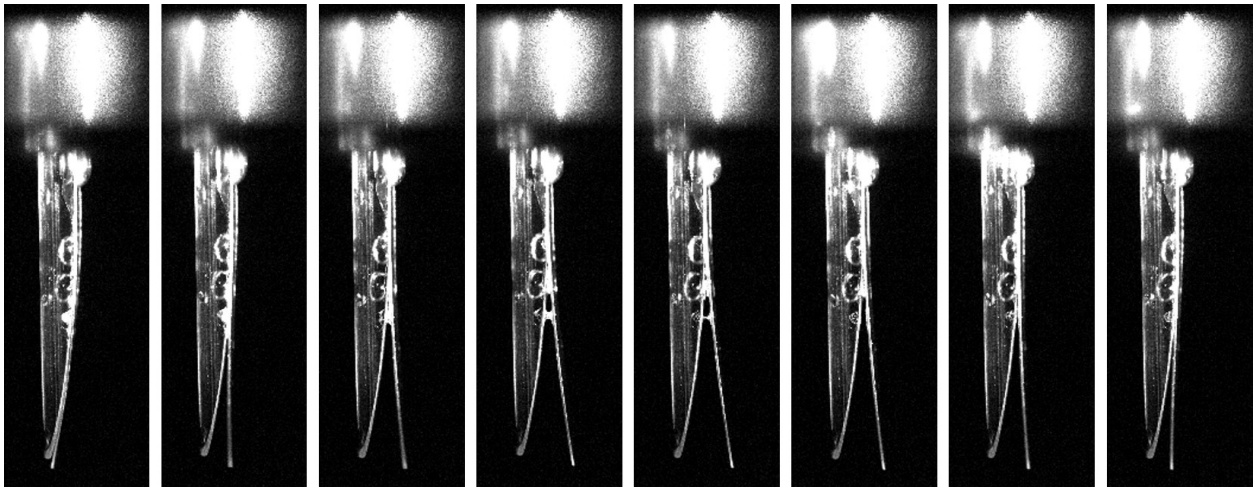


Fig. 2: Experimental results.

上方に押し上げることでリードの自励振動を起こさせた。録画は、ハイスピードカメラ（Vision Research, Phantom T1340 72GB）を用いてフレームレート 1000 frames/s にて実施した。録音は、騒音計（Rion, NA-28）とオーディオインタフェース（RME, Fireface UC）を用い、標準化周波数 48 kHz にて行った。なお、マイクロフォンは音源部から直上の 0.3 m の距離に設置した。

### 3 結果・考察

Fig. 2 に、ある瞬間における声帯振動の 1/8 周期のごとの 8 フレームを示す。真ん中の 2 フレームを見ると、リードとそれを受けるハーフパイプの支持部の断面との間に液膜が出来ており、その後、消滅している様子が観測される。さらに、別の瞬間では、上方には飛沫が飛び出ていく様子が観測された。グリセリンの濃度を 2 倍にした人工唾液の場合は、粘性が高過ぎたせいか安定した振動が得られなかった。

### 4 おわりに

本稿では、ヒトが発話時に飛沫を生成する機序を明らかにすることを目的に、人工声帯に喉頭粘液を模擬した液体を塗布し、液膜と飛沫が発生する様子を可視化した。今後は、さらに精度を高めた撮影の試みや、発生した飛沫の定量化などを試みる予定である。

### 謝辞

内容の一部は、JSPS 科研費 21K02889 ならびに上智大学重点領域研究の助成を得た。

### 参考文献

- [1] P. Anfinrud, V. Stadnytskyi, C. E. Bax, and A. Bax, “Visualizing speech-generated oral fluid droplets with laser light scattering,” *N. Engl. J. Med.*, 382, pp. 2061–2063, 2020.
- [2] E. L. Anderson, P. Turnham, J. R. Griffin, and C. C. Clarke, “Consideration of the aerosol transmission for COVID-19 and public health,” *Risk Analysis*, 40(5), 902–907, 2020.
- [3] T. Arai, “Vocal-tract models to visualize the airstream of human breath and droplets while producing speech,” *Proc. INTERSPEECH*, 2021.
- [4] 飯田・吉永, “会話が COVID-19 の感染リスクに及ぼす影響,” 音講論, 1383–1386, 2021.9.
- [5] 荒井, “声道模型を用いた音声生成時における飛沫の可視化,” 音講論, 1387–1388, 2021.9
- [6] K. Onishi, A. Iida, A., M. Yamakawa and M. Tsubokura, “Numerical analysis of the efficiency of face masks for preventing droplet airborne infections,” *Physics of Fluids*, 34(3), 033309, 2022.
- [7] T. Arai, “Education in acoustics and speech science using vocal-tract models,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(3), pp. 2444–2454, 2012.
- [8] T. Arai, “Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract,” *Acoust. Sci. Technol.*, 28(3), pp. 190–201, 2007.
- [9] M. P. Wan, C. Y. H. Chao, Y. D. Ng, G. N. Sze To, and W. C. Yu, “Dispersion of expiratory droplets in a general hospital ward with ceiling mixing type mechanical ventilation system,” *Aerosol Sci. Technol.*, 41(3), pp. 244–258, 2007.