

電磁制御されたリード式人工喉頭を用いた短時間母音生成*

☆小泉正樹, 吉永司 (豊橋技大), 荒井隆行 (上智大), △飯田明由 (豊橋技大)

1 はじめに

喉頭原音の発生を模擬することのできる人工喉頭を開発することは、医療分野にとどまらず、音響教育の分野や調音声学の分野などにおいても有用であり、人間の発音機構の理解に役立てられている^[1]。

主に音響教育分野において提案されている人工喉頭の一つとして、リード式人工喉頭が挙げられる。これは、Fig. 1 に示すようなクラリネット等に用いられるシングルリードと類似した構造をもつ装置である。リードは一定の流量送気下において自励振動を開始し、流路を秒間およそ 100 ~ 500 回の頻度で開閉することによって喉頭原音のような音源を発生させる。この動作原理は人間が有声音を発生する際の声帯のはたらきをよく再現しており、リード式人工喉頭の長所の一つである^[2]。

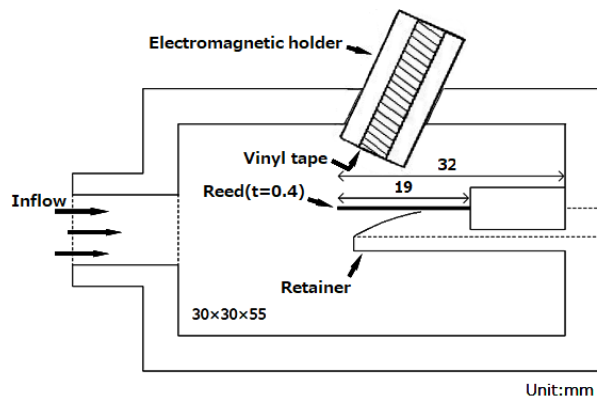
一方、人間による実際の発音においては一定の呼気流量下において声帯を振動させる／させないことを声門筋群により自在に制御することが可能であるのに対して、リード式人工喉頭においてそれを再現しようとする場合、何らかの工夫を要する。

そこで、本研究では電磁制御によりリードの振動を任意のタイミングで停止させることのできるリード式人工喉頭（電磁制御型リード式人工喉頭）を提案する。リードの材質として強磁性体を用い、リード近傍に設置された電磁ホルダに通電することによって振動しているリードを吸着・固定し、送気下において任意のタイミングでリード振動の開始・停止を試みる。

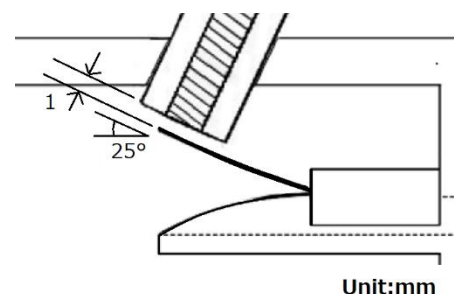
Fig. 1. Reed-type artificial larynx^[1].

2 設 計

電磁制御型人工喉頭の概略図を Fig. 2 に示す。リードには長さ 32 mm 幅 10 mm に加工した厚み 0.04 mm の SK 焼入れ鋼薄板を使用し、発生する疑似喉頭原音の基本周波数が 120 Hz 程度となるようにリードの可動部長さを 19 mm に調整した。リードの吸着には電磁ホルダ(KE-1B, カネテック, 愛知)を使用した。電磁石はリードの先端角が 25° をとった際に電磁ホルダの鉄心とリードの先端の距離が 1 mm となるように配置した。これは種々の流量での動作および声道モデル^[1,3]の取り付けによるリード角度の変化を想定している。リードが磁化されることにより非通電時にも電磁ホルダに吸着してしまうことを防止するため、電磁ホルダのヘッド部分にビニルテープ(厚み 0.1mm) を貼り付けた。



(a)



(b)

Fig. 2. Electromagnetically controlled reed-type artificial larynx: (a) Overall view, (b) Position of electromagnetic holder.

*Short-time vowel generation using an electromagnetically controlled reed-type artificial larynx, by Masaki Koizumi, Tukasa Yoshinaga(TUT), Takayuki Arai(Sophia U), and Iida Akiyoshi(TUT)

3 性能評価

3.1 実用流量レンジおよび流量ピッチ特性

リードの振動が安定し、かつ一次モード振動が支配的となる送気流量の範囲を実用流量レンジと定義し、製作したモデルの実用流量レンジ内における流量 - 基本周波数特性を計測した。送気流量はコンプレッサとバルブを用いて各条件で一定となるようにした。結果を Fig. 3 に示す。実用流量レンジは 12~39 L/min であった。基本周波数は流量の増加に伴い非線形に増加する傾向を示した。また、リード振動には流量によるヒステリシス性があり、送気流量が 0 の状態から送気流量を増加させていった際は 22 L/min からリードが振動を開始するのに対して、送気流量が十分大きくすでにリードが振動している状態から送気流量を減少させていった場合は 12 L/min まで安定したリードの振動が継続した。

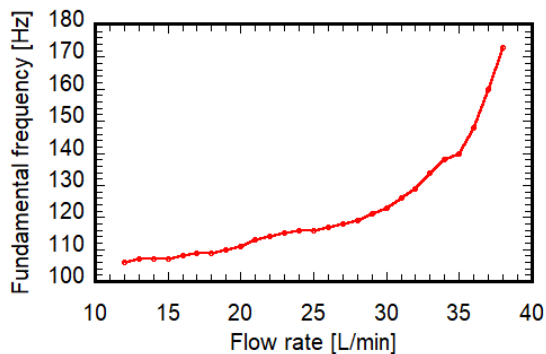


Fig. 3. Flow rate vs. fundamental frequency.

3.2 リード振動の短時間制御

25 L/min 送気下で電磁ホルダに電圧 10 V を印加し、リードを固定した状態から種々の時間印加電圧を遮断してリードを振動させ、その後再び電磁ホルダに電圧を 10 V 印加し、リードを吸着・固定することによって、リードを任意の回数振動させることを試みた。振動の目標回数は、1 回、10 回、50 回とした。電圧の遮断時間は電磁ホルダのリアクタンス等の影響を考慮して、以下の式により決定した。

$$t(n) = t(1) + \frac{n-1}{f} \quad (1)$$

ここで、 $t(n)$ は振動目標回数を n 回とする際の電圧遮断時間、 f は疑似喉頭原音もしくはリード振動の基本周波数である。 $t(1)$ は実験により適当な値を得るものとする。25 L/min

送気下においては Fig. 4. に示した流量-基本周波数特性より $f = 116$ Hz, また実験の結果 $t(1) = 10$ ms 程度であったため、振動の目標回数 1 回、10 回、50 回に対する電圧遮断時間はそれぞれ 10 ms, 88 ms, 432 ms とした。

各条件下で発生した喉頭原音の音圧波形を Fig. 4 に示す。電圧の遮断時間を変更することによって、短時間の喉頭原音生成ができていることがわかる。また、リードの振動回数を、ハイスピードカメラを用いて遮断時間ごとにそれぞれ 3 回ずつ計測した。その結果、すべての条件におけるすべての試行において目標振動回数通りの回数リードが振動していることが確認され、リードの振動不良等も観察されなかった。

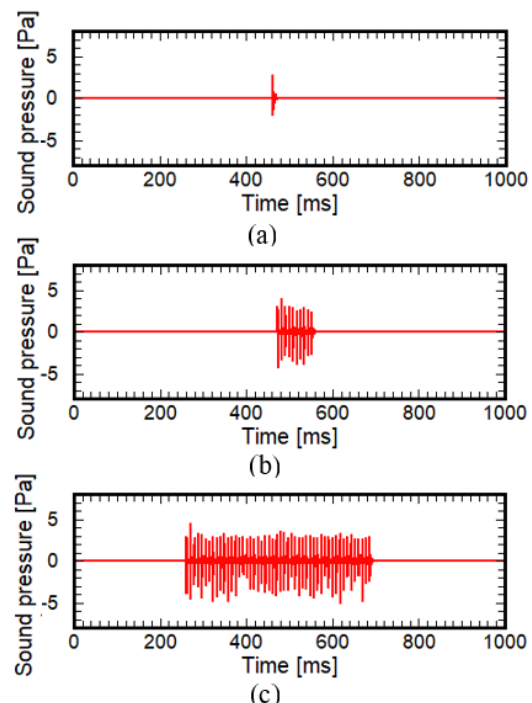


Fig. 4. Short-time control response of artificial larynx for one vibration (a), 10 vibrations (b), and 50 vibrations (c).

謝辞

本研究は一部、JSPS 科研費 JP21K02889, JP20K14648 の助成を受けた。

参考文献

- [1] T. Arai, 音声研究, 5 (2), 31-38, 2001.
- [2] T. Arai, *In Proceedings of HSCR19*, 1-6, 2019.
- [3] 千葉 勉 梶山 正登, *母音—その性質と構造*, 岩波書店, 2003.