

# サイレントハミング：呼気音と咽頭運動を利用した鼻歌再現システム

Silent Humming: virtual humming system using egressive and pharyngeal movement

安 謙太郎    竹内 祐太    稲見 昌彦\*

**Summary.** 鼻歌を歌うのは気持ちがいい。しかし公共の場で人目を気にせず歌うことは迷惑となることが多い。また、他人に鼻歌を聞かれることは恥ずかしく、公共の場では気軽に歌うことができない。そこで本研究では、サイレントピアノ、サイレントバイオリン等のサイレント楽器に倣い、外部環境に対する音声の侵襲を抑え、電氣的に鼻歌を実現するデバイス「サイレントハミング」を提案する。本デバイスは呼気音を収集するためのマイク、上下に動く咽頭の位置を検知する咽頭位置センサおよびこれらセンサからの値を処理し、音を生成するソフトウェアによって構成される。呼気マイクによって通常呼吸、意識的に声門を少し狭めた状態で発する無声音、通常の鼻歌の周波数特性についての観察を行ったところ、それぞれの周波数特性の違いがわかった。その結果を元に周りの人には聞こえないレベルの微小無声音および咽頭位置をセンシングすることで、発声することなく鼻歌の音量、音程を再現することができた。複数の被験者に対してデバイスのテストを行ったところ、呼気音検出における閾値をそれぞれ調整する必要はあったものの、咽頭位置センサ、呼気マイクともに咽頭位置および呼気音の検出に成功し、一定の精度で鼻歌を再現できることがわかった。

## 1 はじめに

鼻歌を歌うことは楽しい。しかし、他人に鼻歌が聞かれることは非常に恥ずかしく、気まずいものである。また周りの人の迷惑となる場合も多い。そこで本研究では外環境に対して音声の侵襲を最低限に抑えつつ、鼻歌を再現する「サイレントハミング」を提案する。本デバイスを使用することにより、たとえ混雑した電車の車内にいたとしても周りの乗客に気づかれることなく擬似的に鼻歌を歌うことができる。



図 1. サイレントハミング

## 2 システム

### 2.1 システム概要

サイレントハミング（図 1）は呼気音をセンシングする「呼気マイク」、咽頭の位置をセンシングする咽頭位置センサ、これらセンサからの値を処理し、音を生成するソフトウェアから構成される。以下にそれぞれについての詳細を記す。

### 2.2 呼気音のセンシング

呼気マイクは聴診器のチェストピース部にコンデンサマイクを設けたもので、チェストピース部を咽頭側部に密着させて使用する。この呼気マイクを用いて呼気音の周波数特性を観察すべく、20 代男女 10 名（男性 5 名、女性 5 名）の被験者に対し、口を閉じた状態で、通常呼吸、意識的に声門を少し狭め

た状態で発する無声音（以下無声音）、通常の鼻歌を行うよう依頼した。

それぞれの被験者の音声をリアルタイムで高速フーリエ変換（以下 FFT）し、その周波特性を観察した。結果、全ての被験者において 1500Hz を中心とした成分が鼻歌および無声音において検出され、通常呼吸では検出されないこと、また 500Hz 周辺の成分が有声音発生時にのみ検出されることが明らかになった。

この結果をもとに、「意識的に声門を少し狭めた状態で発する無声音」を呼気音と定義し、呼気マイクで検出される音声のうち、500Hz 周辺の成分を持たず、1500Hz を中心とした成分が高い状態となる微小無声音を擬似鼻歌の音量制御に利用することを決定した。

Copyright is held by the author(s).

\* Kentaro Yasu and Yuta Takeuchi, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科, Masahiko Inami, 慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科, JST ERATO

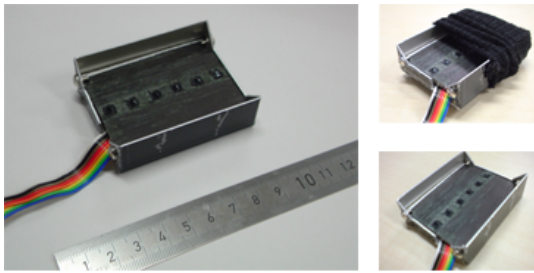


図 2. 咽頭位置センサモジュール

### 2.3 咽頭位置のセンシング

人間の声の基本周波数制御にはその上昇に輪状甲状筋が、下降には胸骨舌骨筋が関係している [1]. 周波数の高い声であれば咽頭位置は高く、低い声であれば咽頭位置は低くなる. このことに着目し, 擬似鼻歌を再現する際の周波数制御に利用すべく咽頭位置センシングモジュールを作成した (図 2).

咽頭位置センサモジュールは頸部に装着できるよう縦 6cm, 横 5cm, 厚さ 2cm の小型の箱状とした. また, 外乱光の影響を抑え, 皮膚の色によるセンサ値の変動を押さえるべく, 全体を伸縮性のある黒い布で覆った. このモジュールをアジャスター付きのベルトで喉に押し当てるように固定して咽頭位置のセンシングを行う.

内部には 6 つのフォトインタラプタ (コーデンシ社製 SG 105) を設けており, それぞれの値から最も突出している位置として咽頭位置を算出する.

### 2.4 音の生成

呼気マイクおよび咽頭位置センサから PC に送られてきた信号は PureData[2] で作成したプログラムにより処理され, 擬似鼻歌が生成される. 擬似鼻歌はイヤフォンに出力される.

サイレントハミングは擬似的な鼻歌の生成を目的としているため, 装着時の鼻歌以外の音声による鼻歌の生成は避けたい. そこで, 500Hz を中心とした周波数成分が検出されたときは, 装着者が有声音を発生しているものとし, その間擬似鼻歌が生成されないよう設計した. 有声音を発生しているときは 1500Hz 周辺成分および 500Hz を中心とした周波数成分が検出され, 呼気音を発生しているときは 1500Hz 周辺成分のみが検出される. よって, 1500Hz 周辺成分から 500Hz 周辺成分を減算した信号を調整し生成する擬似鼻歌の音量として利用した.

さらに, 先述の通り, 咽頭位置でのみ周波数が決定するわけではない. しかし, 約 2 オクターブの発声においては咽頭位置に強い相関があることが明らかになった. よって咽頭位置センサモジュールから送られてくる値に対し, 各装着者に対する咽頭の最低位置と最高位置をまず計測し, その間を C2 から

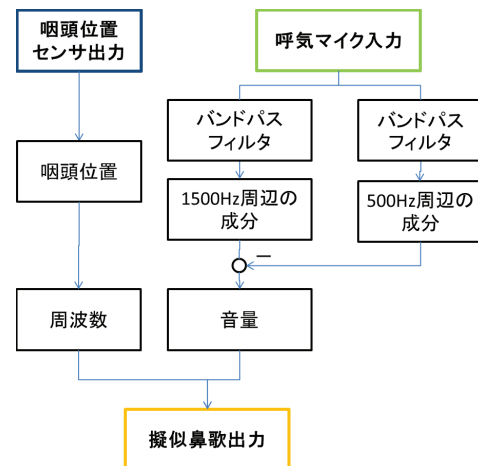


図 3. 情報処理ブロック図

C4 かけての 2 オクターブ程度に設定している.

### 2.5 終わりに

本システムを用いた擬似鼻歌の演奏を 20 代男女 4 名 (男性 2 名, 女性 2 名) に体験してもらった. 一部の男性被験者および女性の被験者の場合, 咽頭センサ位置をやや頸部上方に装着する必要や, 呼気音検出における閾値を調整する必要はあったものの, 咽頭位置センサ, 呼気マイクともにそれぞれ咽頭位置および呼気音の検出に成功した. 特に, 女性被験者の場合, 咽頭位置は目視では確認できなかったもののセンサ値として検出することができたことは特筆に値する.

本稿では, 外環境に音声侵襲しない擬似鼻歌提示デバイス, サイレントハミングの実装手法について述べた. サイレントハミングでは, 咽頭位置センサおよび微小呼気音を入力として, 外環境に対する音声侵襲をほとんど与えずに擬似的に鼻歌を生成することができた.

### 参考文献

- [1] 森山 高明, 山下 崇晴, 羽尻 公一郎, 小川 均, 天白 成一. 喉頭の下降機構を考慮した基本周波数生成モデルの提案と評価, 電子情報通信学会技術研究報告. SP, 音声 96(39), 1-8, 1996-05-16
- [2] Puredata: <http://puredata.info/>
- [3] 岡拓人, 宮下芳明. 口笛の音域を拡張するシステム. エンターテインメントコンピューティング, 2010, 2010
- [4] 島 淑貴. NAM インターフェース・コミュニケーション: その基礎としての肉伝導音声センサー開発と検討. 奈良先端科学技術大学院大学博士論文, 2005,
- [5] 田 修, 藤田 真治, 辻 敏夫. EMG 信号を利用した代用発声システム. 電子情報通信学会論文誌, vol. 88, no. 1, pp. 105-112, 2005.