HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	自然な音声を生成できる電気式人工喉頭の研究
Author(s)	上見, 憲弘; 伊福部, 達; 高橋, 誠 他
Citation	電子科学研究, 2, 129-132
Issue Date	1995-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24329
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_P129-132.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

自然な音声を生成できる電気式人工喉頭の研究

感覚情報研究分野・北大医* 上 見 憲 弘，伊 福 部 達，高 橋 誠
松 島 純 一*

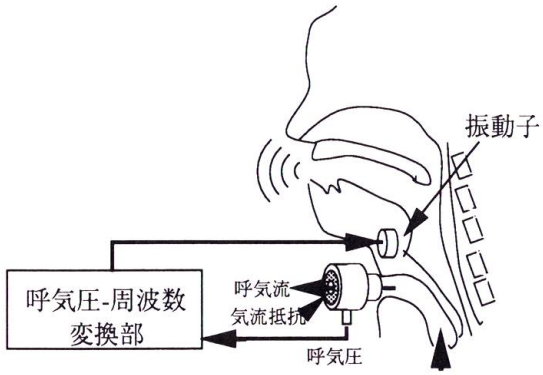
喉頭摘出者が用いる代用発声法の一つである電気式人工喉頭はイントネーションやアクセントが単調なため，その音声は極めて不自然である。我々は，健常者が呼気により音声を制御する機能に着目し，呼気圧を用いて声のピッチ周波数を制御できる電気式人工喉頭を開発した。本稿では，まず，他のピッチ周波数制御方式と比較し，その有効性を調べた。次に喉頭摘出者のピッチ周波数制御能力を評価し，呼気圧からピッチ周波数に変換する最適な関数を推定した。

1．はじめに

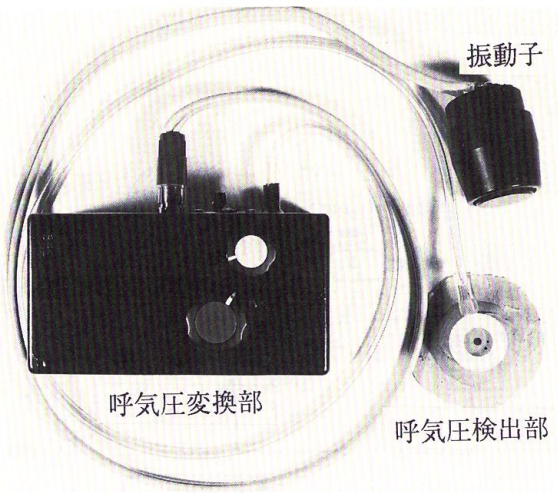
音声は，人と人とのコミュニケーションにおいて，欠くことのできないものの一つである。何らかの疾病により喉頭を摘出してしまうと，声帯が除去されるため，この音声の生成に最も重要な音源を失ってしまう。しかし，このような喉頭摘出者は発声に寄与する口腔や舌などの音声器官は残されていることが多い。したがって，この残された音声器官に何らかの音源を与えることにより音声を疑似的に生成できるようになる[1]。

しかし，現在用いられているこれらの代用発声法は，それぞれに習得のしやすさ，使い勝手などに一長一短がある。また，音声器官への音源が健常者の声帯音源と大きく異なるため，その音声は不自然に聞こえてしまう[2]。本報告では，これらの代用発声法のうち，比較的習得が容易である電気式人工喉頭をとりあげる。そして，その音声の自然性を向上させるために喉頭摘出者自身の呼気圧を用いてイントネーションを付加できるような人工喉頭を試作し，その装置の評価をおこなった。図１に概念図と試作した人工喉頭を示す。

実験は，まず，音声の自然性に最も大きく寄与するイントネーションを作り出す方法として，ポテンショメータを指で回す方法，指で圧力センサーを押す方法，喉頭摘出者の前頚部に開けた気管孔から得た呼気圧を用いる方法の３つで声の基本周波数つまりピッチ周波



(a) 概念図



(b) 試作した人工喉頭

図１ 呼気圧を用いたピッチ周波数制御型電気式人工喉頭

数を制御し，どの方法で最も自然な音声が生成されるかを調べた。そして，呼気圧による声の高さの制御能力を調べた。最後に，この人工喉頭の設計で問題となる呼気圧から声の高さに変換するときの関数の最適値を調べた。

2．他のピッチ周波数制御方式との比較

【実験方法】

手指の圧力・ポテンショメータ・呼気圧の3つのピッチ周波数制御方法で発声した音声の自然性を比較した。被験者は56歳喉頭摘出者男性である。

ピッチ周波数の制御方法はつぎの三通りで行った。

① 呼気圧による制御：呼気圧は図2①のようにパイプを喉の気管孔に当て，その終端につないだ抵抗管の手前から圧力センサで検出した。

② 指で圧力を加えることによる制御：圧センサにゴムチューブを取り付け，そのチューブに加えた圧力を検出した。

③ ポテンショメータによる制御：ポテンショメータを回すことによりピッチ周波数を制御させた。

各制御方法により得られた電圧はV－Fコンバータにより周波数に変換され，人工喉頭内のスピーカーを鳴らす。発声はその音を口腔内に送り込み口形を変化させることにより行った（図2）。

上記の3つの制御手段を用いて発声した人工喉頭音声「あおいうみ」をDATに記録し，それぞれの制御方法で得られた音声からランダムに2個選択し被験者に提示する。被験者はより「自然」に聞こえた方に1点を与える。この操作を，すべての組み合わせで行い加算することによりその声の自然性の評価をおこなった。聴取被験者は3名で10セット行った。

【実験結果と考察】

呼気圧と指の圧力による制御の時の周波数変化率を25 Hz/cmH_2O，ポテンショメータによる制御の時の周波数変化率を1.25 Hz/度とした。結果を図3に示す。縦軸は各制御方法で得られた得点の平均を表す。得点が高いほどその声が自然であることを示す。その結果，呼気圧・指の圧力・ポテンショメータ回転の順に自然が高くなることが分かった。今回の結果では，発した音声のピッチ周波数の変化する範囲は，ポテンショメータによる制御では70 Hz以下とかなり低い。呼気圧で行ったときには，ほぼ60 Hzから130 Hzの範囲で変化させており，今回の3つの制御方法のうちでは健常者男性のピッチ周波数変化範囲（60－500 Hz，平均120 Hz[3]）に一番近かった。このようなことが呼気によるピッチ周波数制御が自然に聞こえた原因の一つと推察された。またこれ以外にも，口の動きとピッチ周波数の変化のタイミング，周波数の変化の仕方などが自然性に関わっていると考えられる。

また，今回は音源にパルス波を使用しているので健常者の声帯音源とは波形の形状が全く違う。それにもかかわらず，ピッチ周波数にイントネーションをつけると格段に自然に聞こえるようになった。

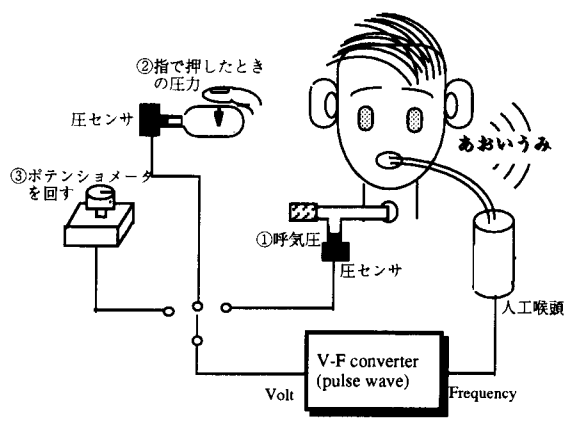


図2 サンプル音声の取得方法

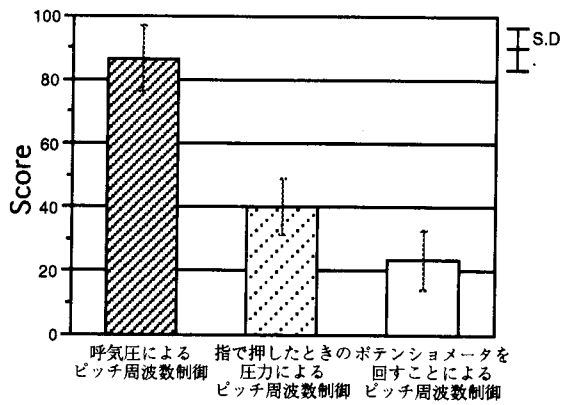


図3 それぞれの方式で発せられた声の自然性の評価結果

3．喉頭摘出者のピッチ周波数制御能力

【実験方法】

図4に実験方法を示す。

呼気圧制御型人工喉頭を使用したことのない喉頭摘出者2名について健常者の発声した音声のピッチ周波数パターンにどれぐらい追従できるかを調べた。提示音声は「あおいうみ」という言葉のイントネーションを3通りに変え，それぞれ5試行づつ計15の音声をランダムに提示した。被験者は5分程度の簡単な練習の後に，これらの音声に追従を開始した。人工喉頭の呼気圧から周波数への変換関数は，f[Hz] = 25(P[cmH_2O] − 1) + 60とした。

【実験結果と考察】

提示した3つのイントネーションとその変化にあわせたそれぞれの被験者のイントネーションパターンの代表的なものを図5に示す。図中では，Pattern 2とPattern 3のタイプのイントネーションの変化にはうまく追従できているが，被験者AでPattern 1の時についてはうまく追従できなかった。また，この図では示していないが，Pattern 1とPattern 2を用いた他の試行の時にうまく追従できないことがあった。その理由としては提示した健常者音声のイントネーションの変化の差が小さすぎてうまく制御できなかったか，その違いを聞き分けることができなかったかどちらかの可能性が考えられる。このような問題もあるが，多くの場合，ごくわずかの訓練でイントネーションの変化にある程度あわせることができることを確認した。

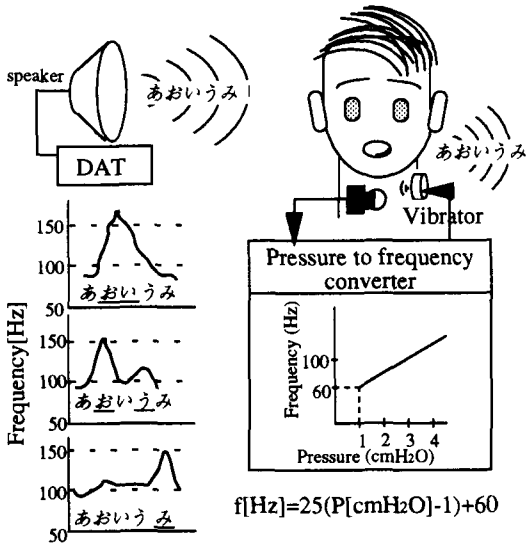


図4　喉頭摘出者のピッチ周波数制御能力を調べる方法

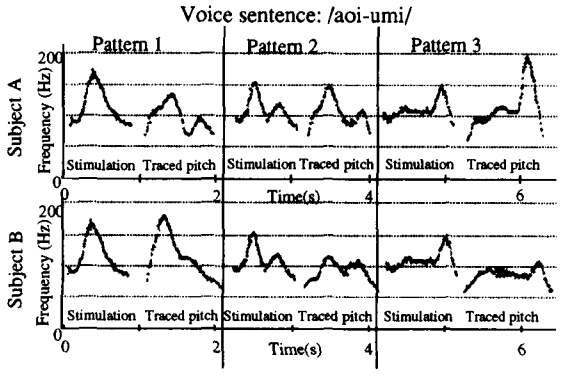


図5　提示音声と追従音声のイントネーションパターン

4．最適な変換関数の設定

【実験方法】

呼気圧（P）からピッチ周波数（f）へ変換する関数として線形のもの（図6の破線：f[Hz] = k × (P[cmH_2O] − 1) + 60）と非線形なもの（図6の実線：f[Hz] = k × ln(P[cmH_2O]) + 60）を用いた。対数で変化する非線形な関数を用いたのは，線形な関数でその傾きが大きいときに「声が高くなりすぎる」という内観報告が得られたためである。それぞれについて変換係数（k）を4つ設定し，この人工喉頭の使用に慣れた被験者（男性）一名にパラメータを変えながら音声「あおいうみ」を発声させた（図7）。一対比較法による自然性，および被験者自身の5段階評価による制御の

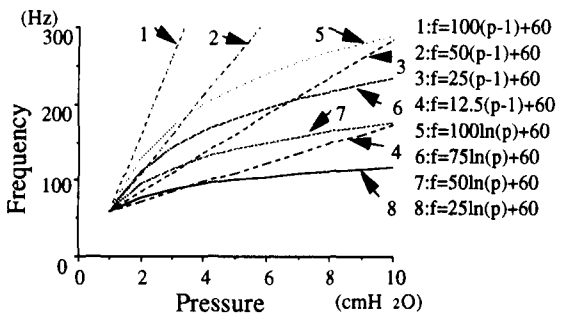


図6　呼気圧からピッチ周波数への変換関数

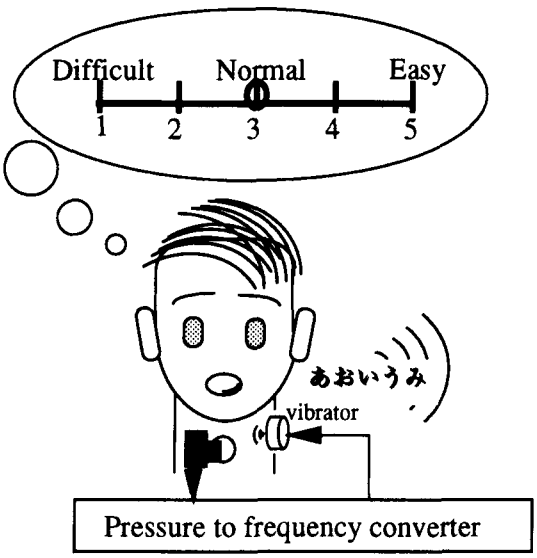


図7　サンプル音声の取得法と制御のしやすさの評価法

容易さの2種類の評価を行った。自然性は，9名の聴取者に各音声を3回づつ聞かせ，計27回の平均と分散を求めた。

【実験結果と考察】

図8に実験結果を示す。横軸の数字は図6中の変換関数の種類を表す。また，縦軸の得点が高いほど音声が自然であることを表す。自然性や制御の容易さの観点から，1，5，8は不適当になる。残りの関数2，3，6，7で比較すると，7が制御の容易さ・自然性で若干優れていることから，この関数($f[Hz] = 50 \times \ln(P[cmH_2O]) + 60$)が今回は適当となる。ただし，使用経験や個人差などによっても最適なパラメータは大きく変わることが予想されるので，今後はそれらの要因も含めて評価する必要がある。

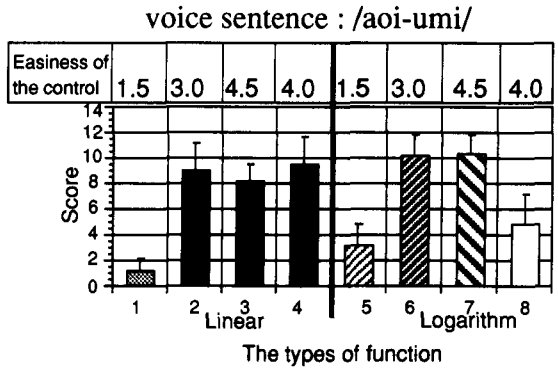


図8　関数の違いによるピッチ周波数制御型人工喉頭の制御のしやすさの差とその音の自然性の差

5．まとめ

本報告では，自然な声を表出できる人工喉頭として呼気圧でピッチ周波数の制御を行う人工喉頭の開発とその評価を行った。まず，手指の圧力・ポテンショメータ・呼気圧の3つのピッチ周波数制御方法で発声した音声の自然性を比較した。その結果，今回の設定値では呼気圧を用いたものが一番自然に聞こえた。このことからピッチ周波数制御に呼気圧を用いることができることを示した。次に，この人工喉頭を初めて使用する喉頭摘出者で健常者の声のイントネーションを真似ることができるかを調べたところ，短期間の訓練である程度真似ることができることがわかった。最後に，この人工喉頭の制御のしやすさと発せられた音声の自然さの観点から，呼気圧から声の高さへの変換関数の適したものを調べた結果，今回の報告では（$f[Hz] = 50 \times \ln(P[cmH_2O]) + 60$）が適していた。

今後，個人差や長期的にこの人工喉頭を使用したときの上達度などについて検討を行っていきたい。

【参考文献】

[1] 広瀬肇：喉頭全摘後の音声リハビリテーション，日本気管食道科学会会報 40-2，133(1989)．

[2] 大森孝一，児島久剛：振動部からみた喉頭摘出手術後の代用音声—文献的考察—，耳鼻咽喉科臨床 83-6，945(1990)．

[3] 日本音声言語医学会編：声の検査法，医歯薬出版株式会社(1982)．