

抑揚制御機能を備えた電気式人工喉頭の製品化

橋場参生，及川雅稔，岩越睦郎，山本 寧
山口悦範*，須貝保徳*，上見憲弘，伊福部達**

Industrialization of the Electrolarynx with a Pitch Control Function

Mitsuo HASHIBA, Masanori OIKAWA, Mutsuro Iwakoshi, Yasushi Yamamoto
Yoshinori Yamaguchi*, Yasunori Sugai*, Norihiro Uemi**, Tohru Ifukube**

抄 録

電気式人工喉頭と呼ばれる発声補助機器は，癌などの理由によって喉頭を失った人々の重要なコミュニケーション手段である。しかし，従来の電気式人工喉頭は全て海外からの輸入品であったため，長い間，国産の製品が求められていた。また，電気式人工喉頭に共通した問題点として，音声不自然であることが指摘されており，改善が望まれていた。

我々は，この自然性の問題を解決するために，電気式人工喉頭で発声した音声に抑揚を付加する方法などを提案し，実験を進める一方，平成5年度より電気式人工喉頭の製品化に着手し，平成10年度に国産初の電気式人工喉頭を実現した。開発した新型の電気式人工喉頭は，従来の発声方法に加えて，抑揚のついた自然な発声が可能であり，また，内蔵された音程のデータを利用して歌を歌うこともできる。発売後の出荷状況は順調であり，購入者からも良好な反応が得られている。

1. はじめに

癌などの理由によって，喉頭を摘出した人々は，振動体である声帯も失ってしまうために，通常の発声が困難になる。このような障害を持つ人々は，食道発声法と呼ばれる特殊な発声方法を訓練したり，電気式人工喉頭などの機器を使用することで，日常会話を行っている。

電気式人工喉頭は，喉頭を摘出して間もない人々や，食道発声法の修得が困難な人々には欠かせない発声補助機器である。しかし，従来の電気式人工喉頭は全て海外からの輸入品であり，国産の製品は存在していなかった。また，電気式人工喉頭に共通した問題点として，音声不自然であるということが指摘されており，改善が強く望まれていた。

我々は，この自然性の問題を解決するために，電気式人工喉頭で発声した音声に抑揚を付加する方法などを提案し，実験によってその有効性を明らかにする一方^{1~4)}，平成5年

度より電気式人工喉頭の製品化に着手し^{5,6)}，平成10年度に国産初の電気式人工喉頭を実現した。本報では，開発した電気式人工喉頭の概要を説明すると共に，製品化に至るまでの経過と発売後の状況に関して報告する。

2. 喉頭と発声

喉頭は，気管と咽頭の境界に位置しており，その内面には，声帯と呼ばれる左右一対の筋肉のひだがある。健常者が発声を行う場合は，肺からの呼気流によって声帯が振動し，音声の基になる声帯音源が生成される。音声は，この声帯音源の特性に，口腔などの調音器官によって変化が加えられたものである（図1(a)）。

この喉頭を，喉頭癌などの理由によって摘出すると，声帯音源の生成が不可能になり，声が出せないという深刻な障害が生じる。また，喉頭摘出後は，咽頭から気管への通路が閉鎖されてしまうため，頸部に設けられた気管孔と呼ばれる小さな孔を用いて呼吸を行わなければならない（図1(b)）。

* 株式会社 電制，** 北海道大学電子科学研究所

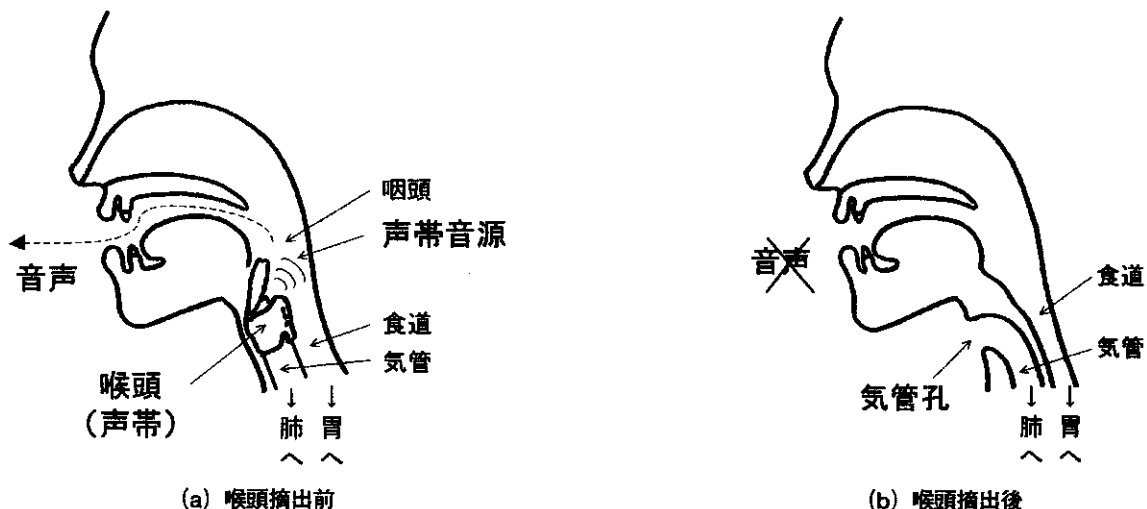


図1 喉頭の摘出による発声器官の変化

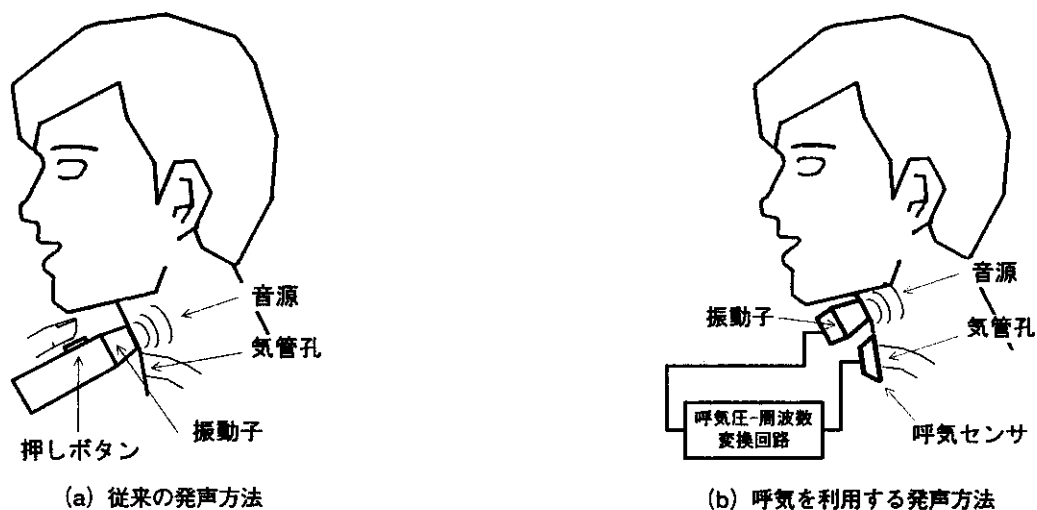


図2 従来の電気式人工喉頭による発声方法と呼吸を利用する発声方法

3. 電気式人工喉頭による発声とその改善

電気式人工喉頭は、顎下部に押しあてる振動子と、振動子のオン・オフを行う押しボタンを備えた機器で、振動子が発生した音源を声帯音源の代わりにすることで発声を可能にする(図2(a))。操作が簡単であり、修得も容易であるが、振動子が生成する音源が一定の周波数であるために、音声は単調で不自然なものになる。

この自然性の問題を解決するために、我々は次の2点に着目し、研究を進めてきた。

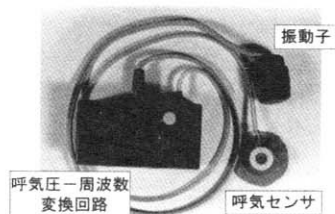
- ①電気式人工喉頭が生成する音源に、健常者の音声波形が有する微妙なゆらぎを加える^{1,2)}。
- ②電気式人工喉頭が生成する音源の周波数を制御することで、抑揚の表出を可能にする^{3,4)}。

特に②の抑揚は、音声の自然性ばかりでなく、言葉の意味を明確に伝えたり、話し手の意志や感情を伝えるという重

要な役割がある。そこで、電気式人工喉頭で抑揚の表出を可能にする具体的な方法として、気管孔からの呼吸を利用して振動子の周波数を制御する方法(図2(b))を提案し、実用化の検討を進めてきた。その結果、本方式により、電気式人工喉頭で発声した音声の自然性が向上し、また、短時間の訓練で健常者と同様な抑揚を表出できるという知見を得た^{3,4)}。

4. 製品化への取り組み

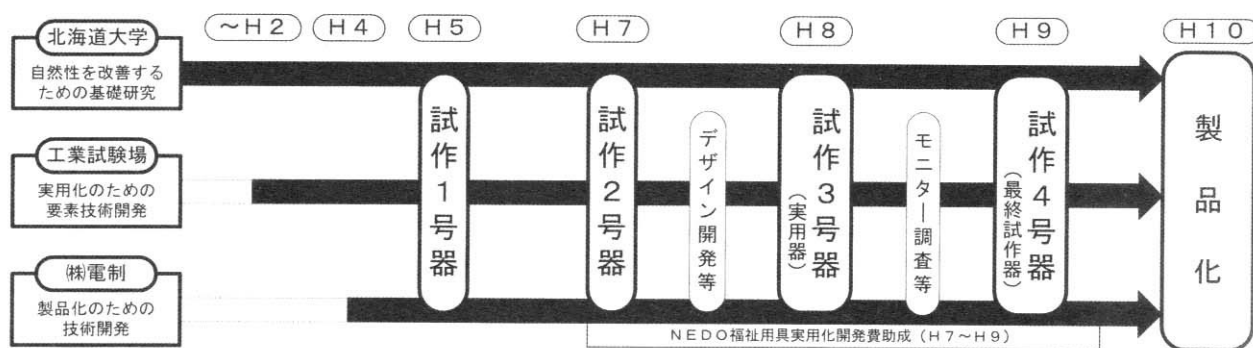
前述の知見を基にして、平成5年度より、抑揚を表出できる電気式人工喉頭の製品開発を開始した。図3は開発の経過を示した図で、(a)が研究段階に使用していた実験装置³⁾、(b)～(e)が試作を行った電気式人工喉頭、そして、(f)が製品化した電気式人工喉頭である。ここでは、(b)～(e)の各試作器の開発に関して報告する。



(a) 実験装置



(f) 製品



(b) 試作 1 号器



(c) 試作 2 号器



(d) 試作 3 号器



(e) 試作 4 号器

図3 製品化までの経過

4.1 試作 1 号器

図 3(b) は平成 5 年度に開発を行った試作 1 号器⁵⁾で、振動子、呼吸センサ、呼吸圧一周波数変換回路などが一体化した構造になっている。内部回路は実験装置と同様にアナログ回路で構成されており、呼吸センサで検出した呼吸圧の大小に応じて、振動子の周波数が変化する。本器により、抑揚を表出するための基本的な性能は実現できたが、振動子の直径が 33mm、本体の長さが約 140mm と携帯するには大きく、内部回路などの大幅な改良が必要であった。

4.2 試作 2 号器

図 3(c) は、NEDO による福祉用具実用化開発費助成制度の支援を受け、平成 7 年度に開発した試作 2 号器である。本器では、電気式人工喉頭の高機能化・多機能化を目的として、マイクロコンピュータによる制御方式を導入した。これにより、呼吸圧一周波数変換などのパラメータをデジタル数値化して取り扱うことが可能になり、個人差などへの柔軟な対応が可能になった。さらに、振動子や内部回路に大幅な

変更を加え、試作 1 号器の約 7 割の大きさまで小型化を図った。この段階で、内部回路の基本構成はほぼ確定したが、バッテリーの持続時間が短いという問題があり、振動子や電源回路の改良が必要であった。また、使用性などのユーザインタフェースの向上や、色彩・形態・素材感などに起因するイメージ性の検討が重要な課題となっていた。

4.3 試作 3 号器

試作 2 号器の問題点を踏まえて開発を行ったのが、図 3(d) に示す試作 3 号器で、これが最終製品の原型となったモデルである。試作 3 号器の特徴は、北海道喉頭摘出者福祉団体「北鈴会」の協力を得ながら、電気式人工喉頭の操作行動などに関して調査・検討を進め、ユーザインタフェースの向上などを行ったデザイン開発と、商品化を念頭においた外装設計を行った点にある。

また、マイクロコンピュータを利用した多機能化の一環として、メモリに歌の音程データを記憶させ、これを利用することで歌を歌えるようにする機能を開発した。この機能は最



図4 製品化した電気式人工喉頭



図5 呼気センサを取り外した状態



図6 呼気を利用する発声方法

終製品にも取り入れられている(5章参照)。

この他、呼気センサを利用する場合にも片手での操作が可能になるように、金属製の支持棒を利用して、呼気センサと本体を接続する方法などを試みた。

4.4 試作4号器

図3(e)は、製品の最終テストを目的として開発した試作4号器で、試作3号器による試験結果を基にした改良が加えられている。主な改良点を以下に記す。

- ・顎下部への押しあて易さを考慮して、先端を丸みを帯びた形状に修正
- ・呼気センサの密着性を高めるために、接触部分にシリコンゴムを使用
- ・呼気の検出能力や吸気のし易さを向上させるために、吸気・呼気に応じて開閉する弁を呼気センサに付加
- ・バッテリーの消耗を防ぐために、電源の切り忘れを警告して振動音を発生する機能を開発

この試作4号器によるモニター調査の後、最終的な修正や

改良を加えて、製品版の電気式人工喉頭が完成した。

5. 製品版電気式人工喉頭の概要

図4、図5に製品となった電気式人工喉頭の外観と各部の説明を、図6に呼気を利用して抑揚を制御する場合の使用例を、図7に製品の機能ブロック図を示す。

図7に示したように、製品化した電気式人工喉頭は、本体の切換スイッチによって、次の3つの機能を選択できるようになっている。

5.1 押しボタンによる発声機能

振動子が生成する一定周波数の音源を利用して発声を行う機能で、従来の製品と同様の基本機能である。音源のオン・オフは、押しボタンの操作により行う。音源の周波数は、設定スイッチにより切換が可能で、80Hz、100Hz、120Hz、140Hzから選択できるようになっている。

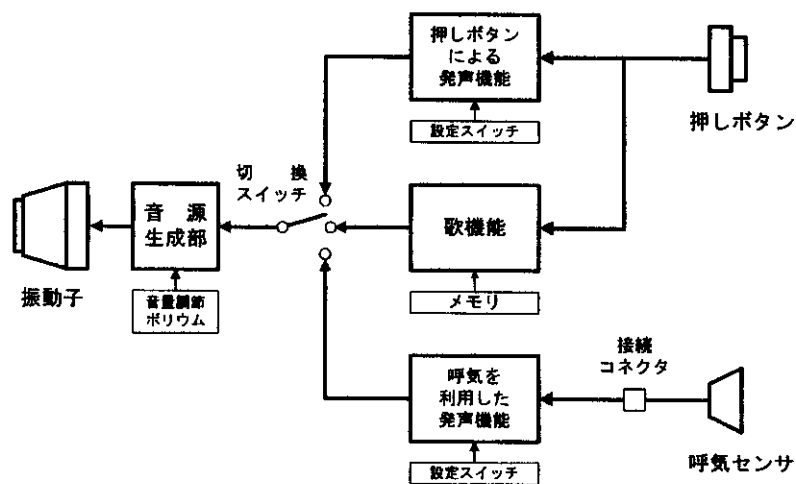


図7 機能ブロック図

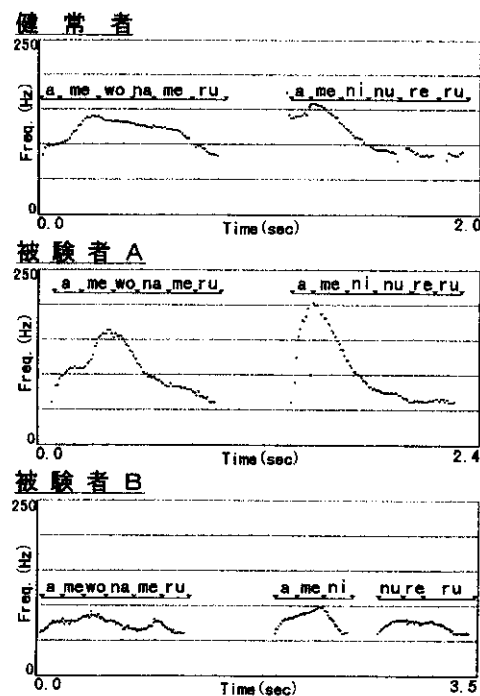


図8 発声結果の基本周波数パターン

5.2 呼気を利用して抑揚を表出する機能

気管孔からの呼気を利用して、抑揚のついた発声ができる機能で、世界で初めての試みとなる機能である。呼気センサは、コネクタを介して本体と接続する仕様になっているため、呼気を利用しない場合には、図5のように取り外すことができる。この場合は、従来の電気式人工喉頭と同様の発声機能になる。

呼気を利用した発声は、呼気センサをガーゼなどの上から気管孔に軽く押しあてて行う。呼気センサで検出した呼気の圧力がしきい値を越えると、振動子が音源を生成する。さらに、呼気圧の大・小が音源周波数の高・低に変換されるように制御が行われ、抑揚の表出が可能になる。呼気圧-周波数変換関数には、過去の実験によって求めた、25Hz/cmH₂O付近の傾きを使用し⁴⁾、60～180Hz、60～220Hz、60～260Hz、60～300Hzの4種類から設定スイッチで選択できるようにした。

なお、呼気を利用する場合には、電気式人工喉頭の把持と、呼気センサの押しあてに両手が占有されてしまう懸念がある。現在は、気管孔を覆うために着用するエプロンの中に呼気センサを収納したり、図6に示すような支持棒を利用する方法を提案し、片手での操作が可能であることを確認している。この点に関しては、今後も改善を図って行く必要がある。

5.3 歌を歌うための機能

メモリに内蔵した音程データを利用して歌を歌えるようにする機能で、押しボタンの操作によって、音源の周波数が自

動的に変化する仕組みになっている。歌の音程に合わせた周波数の音源が、押しボタンを押す度に自動的に生成されるので、押しボタンの操作に合わせて、口の形を変化させるだけで歌を歌うことができる。製品には、(社)日本音楽著作権協会の許可を得て、「ハッピー・バースディ・トゥ・ユー」、「ちゅうりっぷ」、「四季の歌」、「ふるさと」、「ドンパン節」の5曲の音程データが格納されている。この機能も、従来の電気式人工喉頭にはない機能であり、歌を歌うためだけでなく、電気式人工喉頭の訓練にも活用することができる。

6. 呼気を利用した発声結果

本製品の特徴である、呼気を利用した発声結果の一例を図8に示す⁶⁾。図8は、「飴を舐める」と「雨に濡れる」という2つの例文について、健常者が発声を行った場合の基本周波数パターンと、被験者が呼気センサを用いて発声を行った場合の基本周波数パターンを示したものである。被験者Aは、呼気を利用した発声の経験があるが、被験者Bは、この実験が初めての経験である。

図8より、被験者Aは健常者に非常に近い基本周波数パターン、即ち抑揚を表出できていることがわかる。また、基本周波数の変化幅も大きく、「飴」と「雨」の区別も明瞭であった。この被験者は、発声を繰り返しても、ほぼ同様の基本周波数パターンを表出することができ、呼気による抑揚制御の効果が顕著であった。一方、被験者Bは、呼気を利用した初めての発声であったにも関わらず、呼気で抑揚を制御し、

発声を行うことができた。呼気の制御に慣れていないため、基本周波数の変化幅は小さかったが、聴覚的印象では、自然性の向上が認められた。また、実験を行った時点では、「飴」と「雨」の区別はそれほど明瞭ではなかったが、若干の訓練によって上達が認められた。

7. 製品化後の状況

開発した電気式人工喉頭は、平成10年4月より、「ユアトーン」の商品名で販売が開始されている(図9)。既に一千台以上が国内で使用されており、現在も順調に出荷が続いている。

図10～図12は、ユアトーンに対する購入者の印象や使用状況を把握するために実施中のアンケートを、一時的に集計した結果である。

集計を行ったアンケート数は100件分で、回答者は、男性が95名、女性が5名である。年齢範囲は48歳から90歳で、うち、65歳以上75歳未満が48名と約半数を占めていた。主に使用する発声方法は、電気式人工喉頭が約7割、食道発声法が約2割であった。また、本製品が初めて使用する電気式人工喉頭であるという回答者が約4割であった。

図10は、ユアトーンに関する6項目に、5段階での評価を依頼した結果である。まず、基本性能である音源の音質・音量に関しては、約4割が「良い」と評価していた。これに、「普通」という回答を含めると7～8割に達することから、音源に関しては、良好な評価が得られているものと思われる。また、デザインや外装などに関連する項目に関しても、「良い」又は「普通」という評価が7～8割を占め、特に、デザイン、大きさ、重量に関しては、約半数の回答者から「良い」という評価が得られた。扱い易さに関しては、従来の製品と同様の押しボタンによる発声機能に関しては良好な反応が得られていたが、呼気の利用や歌の機能など、本製品で初めて試みた機能に関して、扱いが難しいという意見がみられた。全般的な傾向としては「普通」以上の評価が多数を占め、



図9 「ユアトーン」と製品パッケージ

「悪い」という評価は少なかった。

一方、呼気を利用した発声機能に関しては、殆どのアンケートが購入後間もない時期に記入されたこともあり、まだ使用していないという回答が多かった。図11は「呼気センサによる発声を利用されていますか」という質問に対する回答結果であるが、「はい」又は「ときどき」という回答は全体の2～3割であった。無回答、あるいは、「いいえ」を選択した理由としては、「まだ試していない」、「試し始めたばかりで評価できない」等の回答の他、「使い方が良くわからない」、「難しい」という回答も見られた。本項目の評価には、製品の購入時期、使用期間、指導者の有無などが関与すると考えられるため、今後このような観点からの評価が必要と考えている。

また、歌の機能に関しては、図12に示すように「良い」

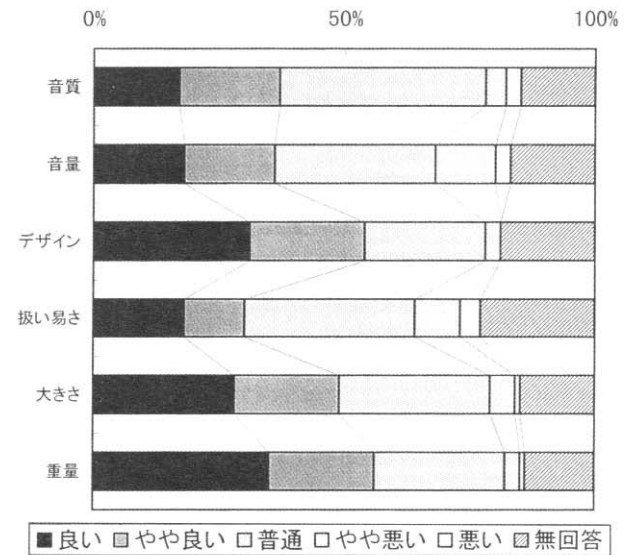


図10 各項目に対する製品の評価結果

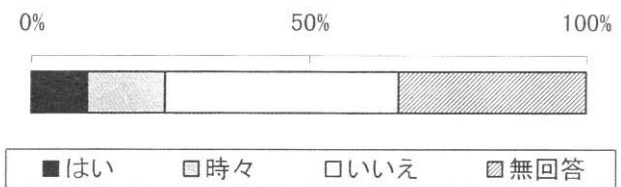


図11 「呼気による発声を利用していますか」に対する回答結果

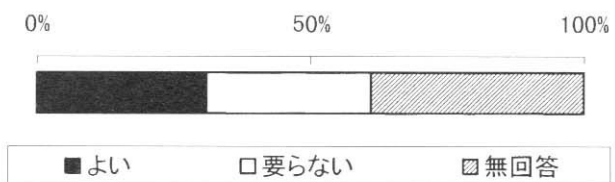


図12 「歌を歌える機能をどう思われますか」に対する回答結果

という回答が全体の約3割から得られた。全ての購入者が唱歌を好むとは考え難いため、約3割からの評価は、良好な結果であると考えている。

なお、図10～図12は、回収中のアンケートの一部に関して、購入者の手術歴、製品の使用期間などを区別せずにグラフ化した暫定的なものである。今後は、より多くのアンケート結果に対して、様々な角度から整理・分析を行い、各項目に対する評価を進めて行かなければならない。

8. おわりに

国産初となる電気式人工喉頭の開発と、発売後の状況に関して報告を行った。

今回報告したアンケート結果は、数値的には比較的良好な評価が得られているが、筆記形式の部分には、厳しい意見や指摘も含まれている。この結果は、国産の電気式人工喉頭を好意的に迎えて下さる一方、今後の改良に強い期待を寄せていただいた結果であると受け止めている。

今後は、使用者からの意見や要望を積極的に製品に反映させ、機能や操作性の向上を図って行く必要がある。特に、抑揚を表出する機能に関しては、呼気センサの形状や支持方法の工夫、呼気の検出能力の向上、使用・訓練方法に関する情報提供などが重要な課題と考えている。

また、製品に搭載した歌を歌える機能のように、アイデア次第で、新たな喜びを提供できる可能性も十分に考えられる。この点に関しても、マイクロコンピュータ内蔵という特徴を生かして、新しい付加機能の可能性を探って行きたい。

謝辞

本製品の開発に多大なご協力を頂いた北海道喉頭摘出者福祉団体「北鈴会」の皆様、そして、モニター試験などにご協力頂いた全国の喉頭摘出者の方々に感謝致します。

参考文献

- 1) 伊福部達, 橋場参生, 松島純一: “母音の自然性における「波形ゆらぎ」の役割”, 日本音響学会誌, 47巻, 12号, pp.903-910, 1991.
- 2) 橋場参生, 山本寧, 上見憲弘, 伊福部達: “音声の自然性を備えた電気人工喉頭の開発研究(第1報)”, 北海道立工業試験場報告, No.291, pp.95-106, 1992.
- 3) 上見憲弘, 伊福部達, 高橋誠, 松島純一: “ピッチ周波数制御型電気式人工喉頭の提案とその評価”, 信学論D-II, vol.J78-D-II, No.3, pp.571-578, 1995.
- 4) 上見憲弘, 伊福部達, 高橋誠, 松島純一: “呼気圧によるピ

ッチ周波数制御機能のついた人工喉頭の開発”, 医用電子と生体工学, vol.33, No.1, pp.7-14, 1995.

- 5) 橋場参生, 山本寧, 山口悦範, 須貝保徳, 上見憲弘, 伊福部達: “音声の自然性を備えた電気人工喉頭の開発研究(第2報)”, 北海道立工業試験場報告 No.294, pp.143-150, 1995.
- 6) 橋場参生, 山口悦範, 須貝保徳, 上見憲弘, 伊福部達: “イントネーションを制御できる電気式人工喉頭の実用化と評価”, 音響学会講演論文集, 1-P-15, 1997.9.