

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：17501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650354

研究課題名(和文)人工喉頭音源を利用したコミュニケーション支援システムの研究

研究課題名(英文)A Study of Communication Support Systems using a Sound Generator of Electrolarynx

研究代表者

上見 憲弘 (UEMI, Norihiro)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：70280857

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：運動機能障害者のコミュニケーション補助方法として、人工喉頭音源を用い、1.発声できる場合はイントネーションを制御してその声が自然に聞こえる方法を、2.発声できない場合は口腔内の動きと関係のあるホルマント情報を装置入力デバイスに利用する方法を検討した。1では、指圧で会話時に即座に適切なイントネーションをつけることが難しいこと、呼気流使用時の制御パラメータ、頭の動きを制御に利用できる可能性を示した。2では、舌や口の動き、声帯の状態とホルマントの関係を明らかにした。また、単純な口の動きをマウスポインタに利用できる可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：As communication support systems using a sound generator of an electrolarynx for physically handicapped persons, we investigated (1) methods to make a natural voice by controlling intonation, and (2) a human interface device using formant frequencies which have relationship with the tongue and jaw movements. The conclusions of (1) are showed in the following. (a)It was difficult to add immediately an appropriate intonation by finger pressure to an electrolarynx voice. (b)The control parameter by the expiratory flow was clarified. (c) There was a possibility that the head movements were useful for intonation control. The conclusions of (2) are the following. (a)We clarified the range of the formant frequencies by moving the mouse and tongue in detail. (b) We investigated the effect that a state of the vocal cords gave in formants. (c) We showed a possibility that simple movements of the mouth could be used for a mouse pointer.

研究分野：福祉工学、感覚情報工学、生体計測工学

キーワード：生活支援技術 人工喉頭 ユーザインタフェース ホルマント イントネーション

1. 研究開始当初の背景

障害を持った人のコミュニケーション補助方法として、今まで発声障害の補助方法として人工喉頭<sup>1)</sup>を、音声を使わない意思伝達の方法として口腔内の動きの情報を音響情報から抽出し利用する方法<sup>2)</sup>について検討してきた。この研究から、音声生成と装置入力デバイス操作の両方に対応でき、障害の程度によりそれぞれの手法を使用者が選択できるシステムを着想した。つまり、障害に応じて(1)人工喉頭音声を改良し声でコミュニケーションをとる手法と(2)人工喉頭を用いることで得られる口腔内の動きの情報をコミュニケーション機器の制御に用いる手法の2つを考えている。(1)について、人工喉頭などによる音声の音源を信号処理で取り替え、聞きやすい音声にする研究がある<sup>3)</sup>が、イントネーション付加方法など、課題がある。(2)に関連して、障害者用の音声認識の研究<sup>4)</sup>もあるが実用面ではまだ問題がある。また障害の状況により、上記2つの方法を組み合わせる手法は国内外に見当たらない。

2. 研究の目的

呼吸器使用のため気管切開をしたり、癌などで喉頭を摘出している場合など、声帯が使えない場合には、声帯以外の残存発声機能をコミュニケーションに活用できていない。そこで人工喉頭音源を用い、発声ができる場合は(1)その音声の明瞭性や自然性を上げる方法を、障害が重く発声できない又は装置等を動かす場合は(2)残存発声関連機能を装置入力デバイスに活用する手法を構築することで、多角的にコミュニケーション支援を行うことを目的とする。また本研究の結果から、音声認識装置の認識率向上のための、障害者音声の特徴を明らかにすることも目的とする。

3. 研究の方法

前項の2つの目的を達成するため、以下の方法で研究を行った。

(1)人工喉頭音源の制御方法の検討

人工喉頭音源を用いた音声は不自然になる。音源の制御を行うことで自然なイントネーションにすることを目的とした。

指圧による制御方法の検討

今まで喉頭摘出者の呼気圧で人工喉頭音声にイントネーション付加してその声を自然にしている<sup>1)</sup>。しかし、手術の状況や、喉頭摘出以外の障害では使えないことがある。そこで指圧による方法を検討した。まず、フレーズ・アクセント指令に基づく藤崎モデルに着目した。A.指圧によるフレーズ指令とアクセント指令から基本周波数パターンを数式により生成する方法<sup>5)</sup>と図1のようなB.指圧に比例して声高さが変化する擬似アクセント成分に声高さが徐々に低くなる擬似フレーズ成分を加えた制御方法で検討した。

実験では、会話中に即座にイントネーションをつけることを想定した。音声を聞かせた後、その声のイントネーションを真似るように、即座に指で制御させた。被験者は健常者3名、聴取者10名でその声を評価した。

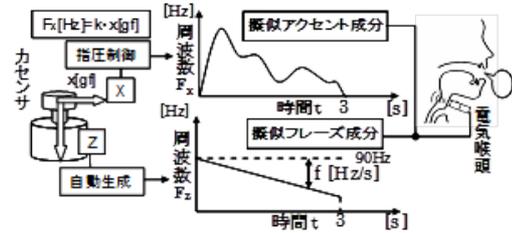


図1 擬似アクセント成分を用いた指圧によるイントネーション制御方法

次に、そもそも指で適切な位置にアクセントをつけられるのかを確かめた。呈示した文を即座に読むと同時にその声のアクセント位置に合わせ指でスイッチを押すように指示した。日本語高さアクセントの基本単位をモーラというが、アクセントの位置が違う2モーラ(3パターン)と4モーラ(5パターン)の単語を含む文各4種ずつ計32種の音声で調べた。各文を読んだ直後にその文を書いた紙に自分が思うアクセント位置にしるしをつけさせた。被験者は5名である。

他の制御方法の検討

指圧より簡単にイントネーションをつける方法について検討した。

-1 呼気流による検討

呼気圧による方法の呼気検出部の息漏れの問題を軽減するため、呼気流を検討した。図2の呼気流を振動子の周波数に変換する式  $f[\text{Hz}] = A(X[\text{l/s}] - 0.1) + 60[\text{Hz}]$  の傾き A の最適値を調べた。「青い屋根の海の家」という声を聴き、そのイントネーションをまねるように各傾きで5回ずつ制御した後、息と操作のしやすさを5段階評価した。操作者は健常者5名である。振動子音が声のイントネーションと似ているかを聴取者6名で評価した。

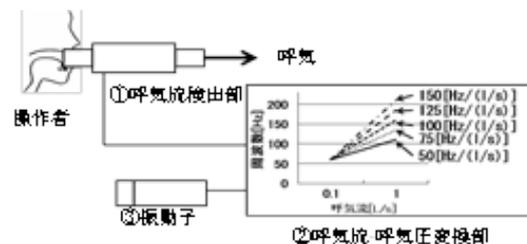


図2 呼気流での実験方法とパラメータ

-2 頭の上下の動きによる方法

声高さのイメージしやすい頭の上下でイントネーションをつける方法を指圧の方法と比較した。70[Hz]の声高さから始まり、指圧では  $0.6[\text{Hz/gf}]$  の傾きで、頭を上下する方法では  $+10[\text{Hz}/^\circ]$  と  $-10[\text{Hz}/^\circ]$  の2種で検討した。各制御法で練習後、4つのア

クセント型の言葉のうち1つを聞かせ、直後に各制御法の人工喉頭で抑揚をまねるよう話させた。1文につき5回行った後、抑揚をつけやすさを5段階で評価させた。次に、聞かせた音声と人工喉頭音声似ているかを聴取者4名が5段階評価した。

(2) 残存発声関連機能を装置入力デバイスに活用する手法

音声認識技術では周囲の雑音や個人差に影響されやすく、構音障害者音声の認識は難しい。そこで、舌や口の動きと関係があり、比較的抽出しやすい音声特徴量のホルマントを用いた入力デバイスを提案している2)。

人工喉頭使用時のホルマントへの影響  
本研究では気管切開者や喉頭障害者も対象である。喉頭がある場合に人工喉頭を使った時のホルマントは検証されていない。そこで、人工喉頭使用時の声帯の状態がホルマントに与える影響を調べた。人工喉頭使用時に息を止めると(声門閉鎖)ホルマントが安定して抽出できるが、息をしながら(声門開放)のほうが使いやすい。そこで肉声、人工喉頭+声門閉鎖時、人工喉頭+声門開放時のホルマントを健常者3名で調べた。

音源の位置とホルマントの関係の調査  
ホルマントが抽出しやすい音源の位置を調べるため、人工喉頭をA. 喉に当てた時、B. 頬に当てた時 C. 先端に繋げた2mのパイプを口に入れた時、の口や舌を自然に動かした時の母音のホルマントを6名で調べた。

マイクによるホルマントへの影響  
普通の接話型マイクは邪魔と考え、接話型マイクと喉につける手製咽頭マイク5)(マイクWM-62Cを加工)使用時のホルマントを調べた。咽頭マイクは人肌ゲル(エカールコーポレーション製)有り無し2種、装着場所は乳様突起近辺とえらの下で、健常者3名で調べた。

口腔の動かし方とホルマントの関係

-1 障害者補助装置の入力手段としての声道特性の調査

ホルマントを入力デバイスに利用する事を考え、次の実験を行った。人工喉頭を用い、健常者で自由に口や舌を動かしながら発声し、無理なく出せるホルマントの範囲を5人の健常者で線形予測分析により調べた。次に画面上に呈示したターゲットに「縦軸を第一、横軸を第二ホルマントとしたポイント」を合わせる実験から、意図的に出せる範囲を調べた。ターゲットは2秒ごとに画面上を順に移動し、ターゲット内にポイントが入りスイッチを押した時、その値を出せたとした。10回行い位置別に出せた数を集計した。

-2 口の動かし方との対応

普段使われていない口腔内の動きの情報を

ポイント等に利用することを考えているが、口の動きとポイントの関係が単純な方が習得しやすいはずである。そこで、口の動きとホルマントの関係について調べた。

-2-1 口の開閉と舌の前後の動き

口の開閉は第一、舌の前後は第二ホルマントに関係すると言われている。そこで、A. 口の開閉のみと、B. 舌の前後(上顎に沿う)のみの動きに対応する第一、第二ホルマントの変化を健常者10名で調べた。

-2-2 口の開閉と口唇の動きについて

唇のすぼめと拡げの動きも主に第二ホルマントと関係がある。そこで、口の開閉と唇のすぼめと拡げの動きで十分な範囲にホルマントを出せるか調べた。「舌前固定」と「舌後固定」の2条件で行った。音源は声帯、健常者3名で行った。

次に、「唇、口開閉、舌前固定」と「唇、口開閉、舌自由」の2条件で操作性を調べた。画面上に表示される50pixel(約1.3cm)角のランダムに表示されるターゲットにホルマントに対応するポイントをあわせ、クリックで選択する。各ターゲット間の距離は100,141,200,300 pixelである。ポイントは、横軸第二ホルマントでは110Hz-50pixel、縦軸第一ホルマントでは43Hz-50pixelで変化するようにしている。

4. 研究成果

(1)人工喉頭音源の制御方法の検討

指圧による人工喉頭の制御方法の検討

まず、A.指圧によるフレーズ指令とアクセント指令からイントネーションを数式で生成する方法5)とB.指圧に比例し声高さが変わる擬似アクセント成分に擬似フレーズ成分を加える制御方法を比較した結果、どちらの方法も適切なイントネーションを必ずしもつけられておらず、どちらがよいとも言えなかった。聴取者による評価結果を図3に示す。

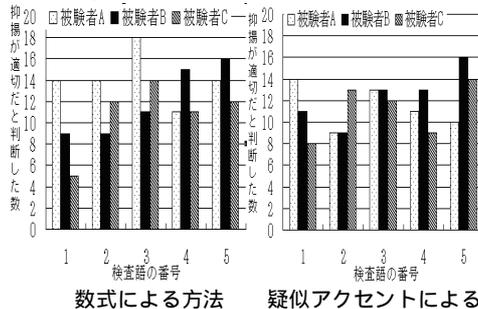
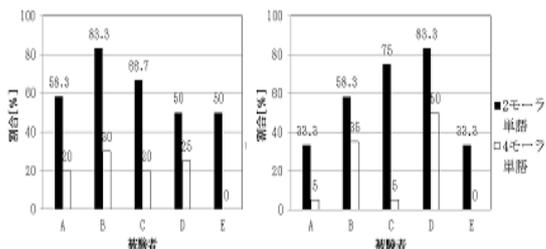


図3 聴取で抑揚が適切であると判断した数

次に、指で適切なアクセントを即座につけることができるのかを確かめた。発声したアクセントの位置と指でスイッチを押した位置が合っていた割合を図4左に示す。特に4モーラ単語で割合が低く、合わせられているとは言えない。図4右から紙に記入したアクセントの位置が合っていた割合も低く、被験者は実際の声のアクセント位置を即座に頭の

中で認識できていない。ただし、読んだ文に適したアクセントを声でつけている。よって指で再現する、または考えてアクセントを示すのは難しいことが分かる。訓練後に5名中1名がアクセントを認識できるようになったので指が使える可能性はあるが、簡単に付けられる別の方法も検討する必要がある。



指との比較 記入したアクセントとの比較  
図4 発声した声のアクセント位置に合わせられた割合

### 他の制御方法の検討

#### -1 呼気流による検討

図5に各パラメータで聴取被験者6名が声のイントネーションと似ていると判断した数を加算した結果を示す。図中ABCDは各操作者である。得点は100~150[Hz/(l/s)]の範囲で高かった。操作性の主観評価とあわせて判断すると、100~125[Hz/(l/s)]程度の傾きの値が妥当といえた。今後、喉頭摘出者での確認と、どの程度適切なイントネーションを付けられるのかを調べる必要がある。

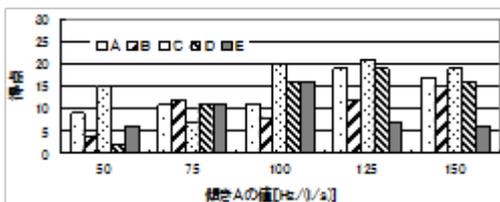
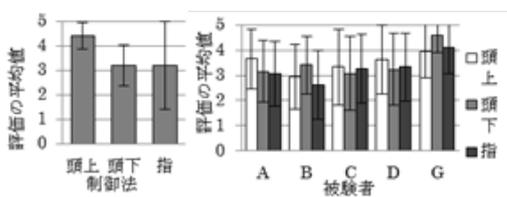


図5 呼気流のパラメータの聴取実験での評価

#### -2 頭の上下の動きによる方法

図6右の抑揚が似ているかの5段階評価から、各制御法で抑揚をすぐに表現できたとはいえない。しかし、図6左の抑揚つけやすさの主観評価では頭を上にあげる方法の評価が高いため、今後検討していく価値があると考えている。



抑揚のつけやすさ 抑揚が似ているか  
図6 各制御方法の評価結果

- (2) 残存発声関連機能を装置入力デバイスに活用する手法
- 人工喉頭使用時のホルマントへの影響

図7に被験者1名の結果を示す。縦軸はF1、横軸はF2である。図中青色は声門閉鎖時、赤色は開放時の各母音でのホルマント位置、黄色の記号は肉声のホルマント位置の平均である。この結果から声門開放時の第1、第2ホルマント周波数は閉鎖時に比べどちらも高くなること、各声門の開き方も肉声とは違うといえる。また対応関係だけで言えば、他論文(6)から声門開放時は無声音に、声門閉鎖時は有声音に似ているといえた。負担の少ない人工喉頭+声門開放が無声音を音源に考えているが、障害者により音源を切り替える必要もある。このホルマントをポインティング装置に利用する場合、音源や声門の状態が変わっても、口の形が同じなら同じ位置を示すような補正方法の検討も今後考える。

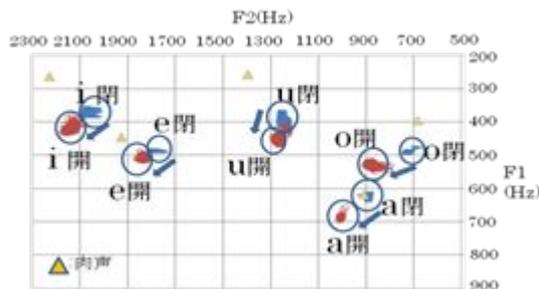


図7 声門閉鎖・開放時のホルマントの例

### 音源の位置とホルマントの関係の調査

人工喉頭をA. 喉に当てた時、B. 頬に当てた時 C. パイプを口に入れた時、の結果を説明する。喉の時に比べ、頬に当てた場合はホルマントが安定に抽出できず、/i/と/e/の抽出が難しく、/a/は抽出できない被験者もいた。パイプを口に入れた時も抽出が難しく、喉の時とホルマントがずれる母音があった。頬や口の場合、ア. 声道に入る音源特性が変わる事、イ. 口の位置と近いため、振動子からの直接音がマイクに入る事が影響を与える。この直接音を除く方法や、適した信号処理方法が必要になるだろう。

### マイクによるホルマントへの影響

各咽喉型マイクでは、各被験者、各母音すべてでホルマントを抽出できた。装着場所はえらの下よりも乳様突起近辺のほうが抽出しやすかった。咽喉型マイクと説話型マイクの周波数特性の一例を図8に示す。

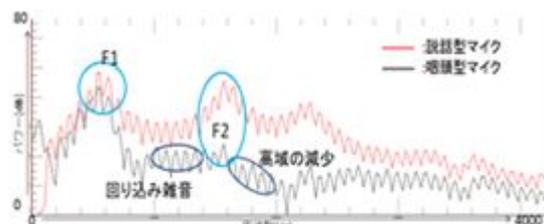


図8 ゲル有り咽喉型マイクを乳様突起近辺に装着した時と説話マイクの時の/e/の声の周波数特性の一例

接話型マイクと比べると周波数高域の減少があった。また、直接咽喉マイクに入った人工喉頭振動音の影響からか、説話型マイクとホルマントがずれている箇所があり補正が必要であると考えている。

#### 口腔の動かし方とホルマントの関係

##### -1 障害者補助装置の入力手段としての声道特性の調査

まず健常者で自由に口や舌を動かしながら発声してもらい、無理なく出せるホルマントの範囲を調べた。その結果、図9のような縦軸、横軸にそれぞれ第1、第2ホルマントを取ったグラフ上の点でホルマントを示すと、全被験者で母音のホルマントに囲まれる範囲で出やすく、各被験者では、図9内の実線で囲まれる範囲に現れた。また、母音の位置や/o/から/a/の間にホルマントが現れやすい。普段の発声で使わない図の中心部、/a/と/e/の間、/i/と/u/の間が現れにくかった。次にターゲットにポイントを合わせる実験を行った。図9内の色が濃いマス目ほどターゲットにポイントを合わせた回数が多い。ターゲットでポイントを誘導することにより中心部でもホルマントを出せたことから、各母音に囲まれる範囲ならばポイントとして利用できる。ホルマントの出しやすい位置には個人差があり、入力デバイスに利用する際には調整が必要があるだろう。

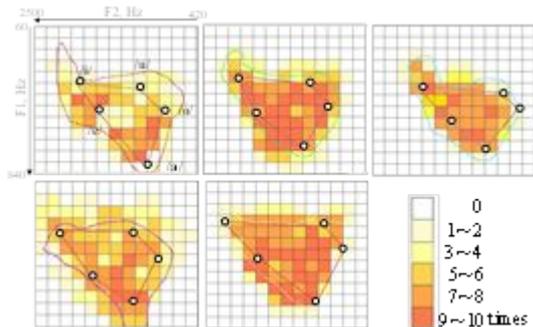


図9 5名の被験者で、ターゲットによる誘導によりホルマントを出せた位置

##### -2 口の動かし方との対応

前項の実験結果は口のすばめ広げの動きなど口や舌の様々な動きを組み合わせることで実現しているといえる。口の動きとポイントの関係が単純な方が習得しやすいと考え、その関係を調べる実験をした。

##### -2-1 口の開閉と舌の前後の動き

A. 口の開閉のみと、B. 舌の前後（上顎に沿う）のみの動きの結果について述べる。A.の動きではF1がよく変化するが/a/に収束するように曲がること、B.の動きではF2に平行に動くが変化範囲が小さいことがわかった。B.の結果の一例を図10に示す。ポイントの上下の動きと口の開閉の動きを対応させるには座標変換も必要なこと、ポイントを十分に左右に動かすには、唇のす

ぼめなどの動きも必要であるといえた。

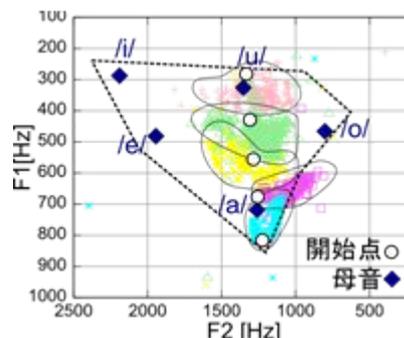


図10 舌を前後に動かした時のホルマントの現れる範囲の一例（○は舌と動かす時の開始点の位置を示す）

##### -2 口の開閉と口唇の動きについて

口の開閉の動きと唇のすばめ・広げの動きだけで出せるホルマントの範囲を調べた。舌の位置は「前」と「後」の2条件で行った。「舌後固定」の場合は、第二ホルマントを十分に動かさないが、「舌前固定」では図11のように左右に十分な範囲で動かすことができた。口の開閉のみの動きの時は十分な範囲で第一ホルマントを動かしたことから、「舌前固定」ならば口の開閉と唇の動きで十分な範囲にホルマントを出せることが分かった。

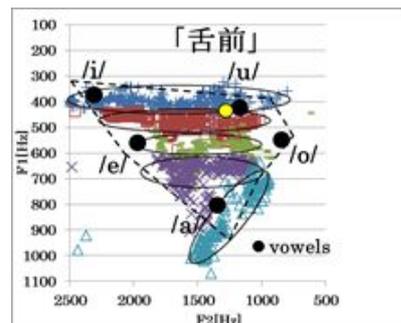


図11 「舌前固定」で唇の広げ・すばめの動きでホルマントが現れる範囲の一例

次に、「舌前固定」と口や舌を自由に動かしたときの2条件で操作性を調べた結果の一例を図12に示す。横軸はターゲット間距

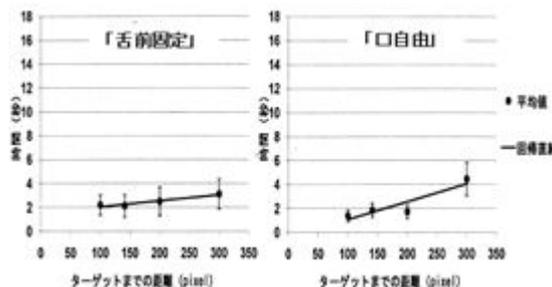


図12 各条件で操作にかかる時間を調べた結果の一例

離、縦軸はポイントにかかる時間である。「舌前固定」と「口自由」での違いはあまりなかった。「舌前固定」の状態ならば、

舌の動きに制限がある時でも、口の開閉の動きと唇の2つの動きだけでマウスカーソルを動かせるといえる。

#### まとめと展望

本研究では人工喉頭を用いて (1)その音声を改良し声でコミュニケーションをとる方法と発声できない場合は(2)口腔内の動きの情報であるホルマントをマウスのようなポイントの制御に用いる方法の2つを検討した。(1)では、イントネーションを制御して声を自然にする方策を探った。指圧で会話時に即座に適切なイントネーションをつけることが難しいこと、呼気流使用時の制御パラメータ、頭の動きを制御に利用できる可能性を示した。指圧では訓練後の評価、呼気流や頭の動きでは実用性の評価が残っている。(2)では、第一、第二ホルマントを縦軸横軸に設定しその座標をポイント座標と対応させる方法を検討した。ホルマントを出せる範囲と、ポイント操作のための口の動かし方を明らかにした。ホルマントの抽出位置はぶれやすいことから、ポイントの方向等にホルマントを対応させるマウスのような方法で実用的になるかを調べたい。また障害者のホルマント特性を明らかにすることを目的の一つとしていたが、研究期間で明らかにすることができなかった。本課題終了後もこの件については継続して調べていきたい。

#### <引用文献>

- 1) 橋場参生、上見憲弘、及川雅稔、山口悦範、須貝保徳、伊福部達、抑揚制御機能を備えた電気式人工喉頭の製品化と評価、電子情報通信学会論文誌 D - , J84-D (6), 2001, 1240-1247.
- 2) 西園雅人、上見憲弘、基本的な音声情報を用いた運動機能障害者用入力デバイスの検討、平成 20 年度電気関係学会九州支部連合大会講演論文集 (CDROM)、2008、01-1p-11
- 3) 中村圭吾他、微弱振動子と NAM マイクを用いた発話障害者補助、情報処理学会全国大会講演論文集、70(5)、2008、355-356
- 4) P. D. Polur, et al., Investigation of an HMM/ANN hybrid structure in pattern recognition application using cepstral analysis of dysarthric (distorted) speech signals, Medical Engineering & Physics, 28, 2006, 741-748.
- 5) 高橋他、電気式人工喉頭および口腔内原音発生振動子を用いた指圧入力式音声ピッチ制御の試み、音声言語医学、42(1)、2001、1-8
- 6) 今野他、無声母音のホルマント周波数と音韻性に関する検討、日本音響学会誌、50 (8) 1994、623 630

#### 5. 主な発表論文等

#### 〔雑誌論文〕(計4件)

- 宮本祐馬、口唇の動きに着目したホルマントを利用したポインティングデバイスの操作方法に関する検討、ライフサポート、査読無、Vol.27(1)、2015、36p
- 村松良介、指圧を用いたイントネーション制御型人工喉頭のためのアクセントタイミングに関する研究、ライフサポート、査読無、Vol.26(1)、2014、25p
- Norihiro Uemi, A Study of a Human Interface Device Controlled by Formant Frequencies for the Disabled, CCD/HCI 2013 Part I, 査読有、LNCS 8023、2013、pp. 340-345
- 北園正樹、音声ホルマントを用いた装置入力デバイスのための構音と音源位置に関する研究、ライフサポート、査読無、Vol.25(1)、2013、42p

#### 〔学会発表〕(計6件)

- 宮本祐馬、北園正樹、上見憲弘、ホルマントを用いたポインティングデバイスにおける口唇を用いた調音方法の検討、第24回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集、2015年3月6日、東京電機大学東京北千住キャンパス(東京都)
- 北園正樹、宮本祐馬、上見憲弘、ホルマントを利用した装置入力デバイスに声門の変化と外部音源が与える影響、第24回ライフサポート学会フロンティア講演会、2015年3月5日、東京電機大学東京北千住キャンパス(東京都)
- 村松良介、上見憲弘、習得の容易さを目指した人工喉頭のイントネーション制御方法の検討、平成26年度電子情報通信学会九州支部学生会第22回学生講演会、2014年9月20日、鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)
- 村松良介、上見憲弘、指圧制御型電気喉頭のためのアクセントタイミングに関する研究、第23回ライフサポート学会フロンティア講演会、2014年2月28日、東京理科大学葛飾キャンパス(東京都葛飾区)
- 北園正樹、上見憲弘、音声ホルマントを利用した装置入力デバイスに構音の仕方と音源が与える影響、第21回電子情報通信学会九州支部学生会講演会、2013年9月23日、熊本大学(熊本県熊本市)
- 高橋 真洋、上見憲弘、電気人工喉頭の呼気によるイントネーション制御に関する検討、第21回電子情報通信学会九州支部学生会講演会、2013年9月23日、熊本大学(熊本県熊本市)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

上見 憲弘 (UEMI, Norihiro)  
大分大学・工学部・准教授  
研究者番号：70280857