

図3 人工喉頭用マイクロホンの設計原理



図4 試作機1. 拡声器、スピーカ、電源を別ケースと本体の制御部を首バンドに取り付け、抑揚センサを指先で持つトータル人工喉頭システム

んだ時のおおよその最大力を計測し、それを参考にして設定した(図2)。その結果、ピッチ変化は40Hz~120Hzの範囲で押圧力にほぼ比例して変えることができた。

なお、この抑揚制御方式は、構音障害支援器のための音声生成器の第2段階における成果を踏まえたものである。

(3) 首バンドとトータルシステムの開発

以上の成果を踏まえて、平成24年度は首バンドの再設計を行うと共に、人工喉頭のトータルシ

ステムを試作した。首バンドでは、生体メカニクスの観点から首や肩に加わる力ベクトルを調べ、3つの固定点を設けることで振動子の力ベクトルが口腔内に向くように設計した。また、同時に、首を上下左右に動かしても振動子の位置と押圧力ベクトルが変わらないようにした。その結果、図3中のベクトルで示したように、首の左右および背面の3点で首バンドが固定され、同時に、振動子の押圧力ベクトルを口腔内中心に向かうようにすることができた。最終的な首バンドの形状・構造を形状記憶有機材料で実現し、数名の疑似喉頭摘出者により評価し、その有用性を確認した。

<試作機1>

トータルシステムの試作機として、まず、図4に示したように、①振動子とマイクロホン首バンドに装着し、②本体の制御部、アンプ、スピーカおよび電源を一体化したものを胸部に取り付けるようにした。胸部に取り付ける部分の形状は図に示した通りであり、その重さは約750グラムである。これをユーザビリティの観点から評価した結果、スピーカの位置が口元から離れていることで違和感を覚えることが分かった。また、マイクとスピーカの位置関係によってはハウリングが生じ、それを抑えるのに煩雑な手間が要ることが分かった。

以上から、トータルシステムとしては②の一体化した外部装置を首バンドに装着して、全ての機能が首バンド内に収まるようにしなければならないこと、また、マイクとスピーカの位置関係によらずハウリングが生じない工夫が必要であることが分かった。



図5 試作機2. 拡声器と本体(制御部)を首バンドに取り付け、抑揚センサを指先で持つトータル人工喉頭システム。なお、振動子としては既実用化し普及している人工喉頭「ユアトーン」のものをそのまま利用している。

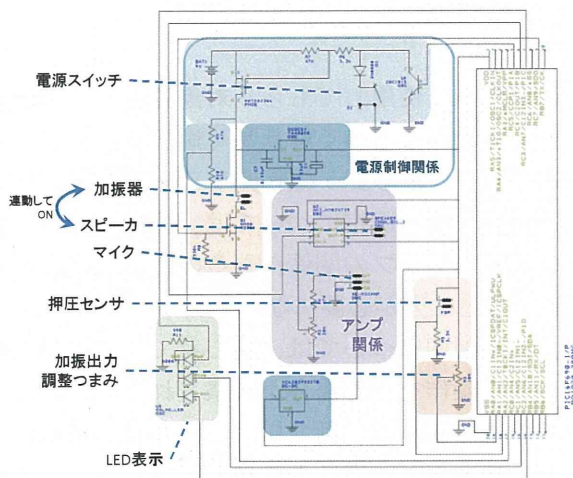


図6 本体制御部の電子回路構成

<試作機2>

これまでの評価を参考にし、また、本体の制御部、アンプ、スピーカおよび電源を一体化するための回路の設計とその小型化を何回か行い、最終的に図5に示したように、全ての機能を一体化したハンズフリー人工喉頭を試作することができた。ここで工夫した点とその有用性を以下に示す。

- ① まず、指押圧センサがオンになった直後にアンプの電源が入るようにすることで、ハウリングの問題を解消した。
- ② アンプ部分のON、OFFで振動子をON、OFFさせることで、アンプの省電力化や取り付け取り外し時のアンプのノイズの軽減化を図った。
- ③ メイン電源スイッチを切り忘れると電池の消費が続くため、一定時間の発話がないときには、自動的に電源が切れるようにした。
- ④ 電池の電圧を監視し、カラーLEDの色により電池残量の少なさを警告するようにした。

なお、首バンドに装着する電子回路がどの程度の規模のもので構成されているを、図6に本体制御部の回路図で示した。

(4) ハンズフリー人工喉頭の評価

開発機器の評価では数名の健常者に被験者になってもらい、①装着にかかる手間や時間、②拡声器の有無による音量の変化、③抑揚制御のし易さなどについて評価した。

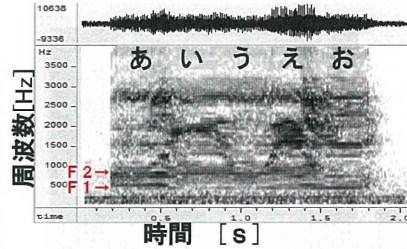
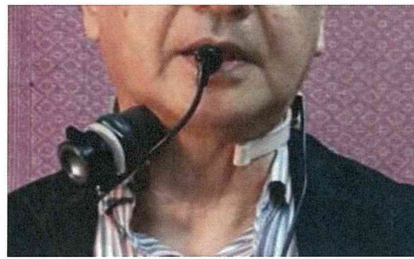


図7 装着している様子（左）と発声音の時間スペクトルパターン（右）

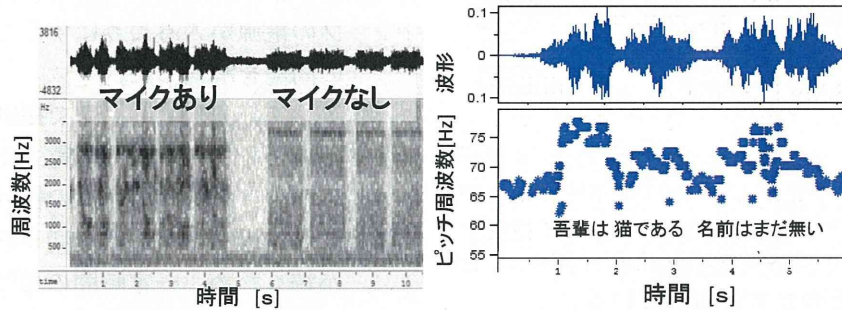


図8 マイクの有無による音量とスペクトルの違い（左）、抑揚制御の結果（右）

その結果、①装着に要する時間は10秒以内で済んだが、マイクロホンの位置合わせに手間と時間を要することがあった。図7（左）に装着し終えたときの概観を示した。ただし、これは訓練によって容易に解決する問題であることが分かった。また、重量は気にならないが見た目には、振動子とスピーカが一体となった所が大きすぎるとの感想を得た。図7（右）に示したように、被験者の口元から1メートルほど離れたところでの音声のスペクトルを見ても、第一ホルマント、第二ホルマント共に正常発声音とほぼ一致していることを確認した。②拡声器（マイク）の有無による音量の変化は予想であり、また、マイク有の方が子音部の明瞭性が極めて良くなることも確認された（図8（左））。③さらに、図8（右）に示したように、指押圧センサによる抑揚制御についても短時間の訓練で十分に所期の目標に達することが分かった。

D. 考察

振動子の固定具については、現状では、装着具を利用者の首の太さなどに合わせて変形させなければならない。そのため、その場ですぐに調整できるような機構を取り付ける必要になる。

また、マイクについては、特殊な方式のためマイク角度によってはハウリングを生じてしまう恐

れが残る。使用してもらう対象者として高齢者が多いため、なるべく解り易く適切な位置にマイクを合わせられるような形状の工夫が必要になる。

スピーカの選定については、重量と音質・音量のトレードオフの関係になるので、最適なものを選定することが必要になる。

抑揚制御については、初心者では語尾が上がるような操作をする場合が観察された。これは、通常の息を使った発話の場合には呼気圧が自然に下がっていくが、指による押圧制御ではそれを再現できないためといえるので、抑揚制御方法には工夫が要る。

E. 結論

電気人工喉頭については、適切な拡声器を開発することで、声の音量の拡大と人工喉頭からの直接音の雑音の軽減を実現できた。その結果、スピーカをマイクに向けて、マイクの下20cmの距離に置いた状態でも、ハウリングを起こさずに、約60dBAの声を約70dBAにまで増幅できた。

今後の課題として、環境雑音の大きい場合の各席の効果の検証と、拡声器自体の形状などの改良を行い、拡声機の量産・実用化へ結びつけていきたい。

(資料4)

構音障害者の音声生成器の改良、第1段階 疑似子音の生成について

1、目的

構音支援器については、過去の評価研究から、以下の3点が検討課題であることが分かっていた。すなわち、(イ)連続発声音の語頭が摩擦音や破裂音の場合にはその子音の認識が困難であること、(ロ) /ナ/や/マ/のような鼻子音を考慮していなかったことから、鼻子音生成機能を導入する必要性について検討すること、(ハ)音声の強度と高さ(ピッチ)を指先の動きや指圧で付ける使い勝手の良い方法を見るけることの3点である。

研究の第1段階として、この子音の問題と抑揚の問題に焦点を当てた。指なぞりパッド上での簡単な操作によって疑似的な子音を付加できるように改良し、明瞭さを向上させることと、抑揚を制御できる方式を考案し、提示することを目的とした。

2、方法

子音の問題については、指なぞりパッド上をタッピング(軽く叩くような動作)すると乱流音が生成されるように工夫し、それによる音声明瞭度の改善度と使い勝手の観点から、乱流音付加の有用性を調べた。同様に、鼻子音についても鼻音生成の領域をパッド上に設けて鼻音を再現できるようにし、その有用性を評価した。

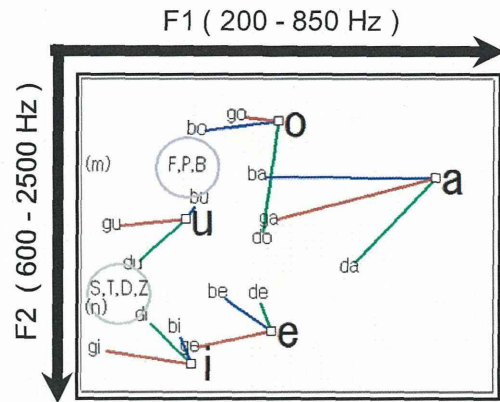


図1 音声生成器の操作盤面

さらに、これらの発話支援方法が他の治療方法やリハビリ方法とどのような補完的な役割を果たすかを評価した。その評価については臨床的・認知科学的な立場から分担研究者の田中と上田が行った。以上の要素技術の成果に基づいて、代表者の伊福部は支援技術を一般ユーザが利用できるように拡張する道を探り、その場合の市場性などを総合的に評価し、その実用性を考察した。

まず、既にPC上で開発済みのアルゴリズムを改良した。これは、タッチパッド上に母音を特徴づける第一ホルマント周波数を横軸に、第二ホルマント周波数を縦軸に割り当て(図1)、タッチパッドを指やペンでなぞることにより、母音、半母音(/ヤ/、/ワ/など)、鼻子音(/ナ/、/マ/など)、および有声破裂音(/バ/、/ダ/、/ガ/など)および有声摩擦音(/ザ/など)を生成できる機能が付いているものである。第一段階では、これに無声破裂音(/パ/、/タ/、/カ/など)と無声摩擦音(/サ/など)付与する方式を確立した。アルゴリズム

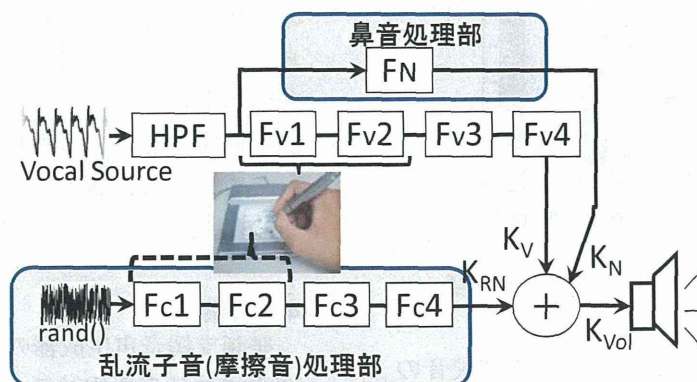


図2 乱流子音(摩擦音)と鼻子音の処理部を付加した音声生成器のブロック図

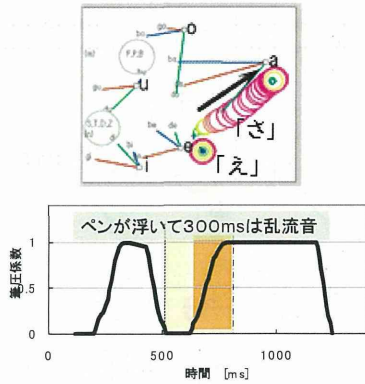


図3 子音生成時の入力軌跡

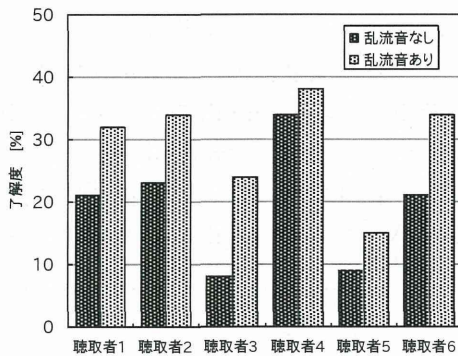


図4 乱流音処理の有無と生成音了解度

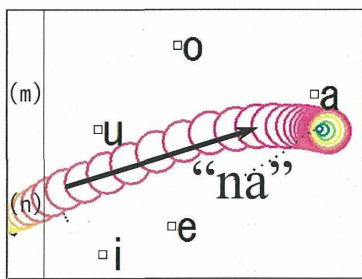


図5 パッド操作面上へ鼻音の配置

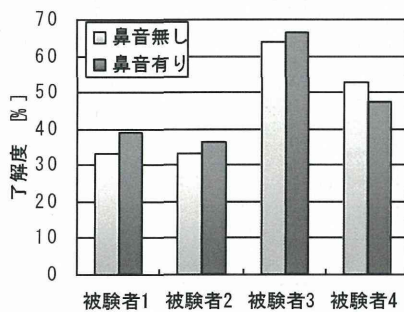


図6 鼻音処理の有無と生成音了解度

としては、従来の我々の方式に摩擦音や破裂音の音源となる乱流音を組み込み、図2に示したような処理をPC上で実現した。第一段階の後期では

さらに、指輪型押圧センサで抑揚の制御もできることが分かった。目的を実現できることが分かり、その有効性の評価を行った。図3に示したような操作で、摩擦音を含む音声生成されることを確認(中央)し、同時に抑揚も制御可能なことが分かった。

3、結果

構音障害者のための発話支援音声生成器の第1段階の改良については、「母音」や「半母音」だけでなく/サ/などの「摩擦音」や/ナ/などの「鼻音」を含む全ての子音を実時間で指先の動きだけで生成できるようにした。

摩擦音の音源として乱流音を生成する処理を加え、パッドを指やペンでタッピングすると生成されるように設定し、乱流音声後に指やペンで母音の位置へ移動させることで多くの摩擦音を生成でき、かつそれを聴取した時の認識率も高くなることが分かった(図4)。ただし、/ta/や/pa/の「破裂音」ように乱流音が短時間で終わる子音の場合には、タッピングのタイミングをずらす方法である程度実現できることが分かった。

連続音声の認識実験から、摩擦音や破裂音が語頭にあるときにはその明瞭度が大きく改善されることが分かった。ただし、操作の煩雑性を避けるために有声音のための処理を除いたことから、有声破裂音等には不明瞭さが残った。

一方、鼻から抜ける「鼻音」についても、パッド上にそれに相当する鼻音音源を設け(図2、図5)、そこから指やペンをスタートさせると鼻音が発生するように改良した。ただし、聴取実験を行った結果から、音声処理だけに着目すれば、連続音声を生成した場合にはその明瞭度は鼻音処理の有無に大きくは依存しないことが分かった(図6)。一方で、パッド上の鼻音の領域を示した場合と示さなかった場合とを比較すると、鼻音の直前や直後の音声の音響的特徴の再現性が向上していたことから、操作の助けとして有効であると判断した。

4、考察

発話支援音声生成器の第1段階の改良では、ほぼ全ての子音を出せるようになったが、その分、操作が複雑になり訓練に要する時間もかかってしまう恐れが出てきた。連続音声として認識率が下

がらない範囲で操作の負担を軽減する研究の必要性がある。同時に、訓練マニュアルを作るとか、インターネット上で訓練の仕方を指導するなどのシステムも必要になる。また、感情表現を豊かにするための抑揚制御についても使い勝手の観点から改良の余地がある。さらに、それ以上に、出力音声聴き手に十分に伝わるように音量を拡大する技術の必要性が表面化している。

音量を拡大する方法、抑揚を付ける方法など、ウェアラブル電気式人工喉頭と、構音障害者のための音声生成器についての、両機器に共通する重要な課題が浮き彫りにされたので、特に、この共通課題に焦点を絞り込んでいく指針を得た。また、マーケティング等を通じて市場性を把握したうえで、発話障害を支援する技術の実用化を検討すべきである。

5、結論

音声生成器の改良の第1段階では、ほぼ全ての子音を指やペンの動きで生成できるように改良さ

れた。また、次の段階に向け、それらのプログラムはインターネット上で有料でダウンロードできるようにして、ユーザから生の意見がフィードバックされるようなものができるような開発準備も進めた。ただし、同時に操作が複雑になり、訓練に要する時間が増えるので、訓練マニュアルの必要性とともに、その程度の操作性で認識精度が得られるかという課題が残された。同時に、電気喉頭と共通する拡声器、感情表現のための抑揚制御をウェアラブル機器にどのように組み込むかという課題も残された。

以上、共に、技術的には大きく改良されたものの、多機能・高性能と使い勝手がトレードオフしている状態であり、また拡声器、抑揚制御法など残された課題も示された。

(資料5)

構音障害者の音声生成器の改良、第2段階 抑揚機能の強化とタブレットPCへの対応について



図1 押圧センサ FSR と取り付け位置

1、目的

構音障害者の音声生成器の改良の、第1段階では、操作盤面をペンや指でなぞって操作する音声生成器の開発を行い、ほぼすべての音素を不明瞭ながらも表現可能にした。

第2段階は、会話中の感情表現等に影響の大きい、抑揚を制御できる手の開発と実装を行うことと、小型化に向けてタッチパネル型PCに対応させ携帯性の向上を実現することとの2点を目的とした。

2、方法

第2段階では、会話中の感情表現等に影響の大きい、抑揚に関する点と、使いやすさに影響する、静電容量方式のタッチパネル型PCへの対応に焦点を絞って、改良を進めた。

2-a 抑揚の制御について

抑揚の制御方式としては、次の2つの方式を提案・検討した。すなわち、タッチパネルを人差し指で操作しながら、(1)人差し指と独立に動かし易い小指の握力抑揚をコントロールする方式と、(2)タッチパネルの操作と同時に使用者が声を出し、その声の抑揚をそのまま用いる方式との、2種類である。これらの抑揚制御方式をこれまでの音声生成ソフトウェアに組み込み、簡易的な音声生成実験とその聴取実験を行った。

なお、後者の方式は構音機能のみに主な障害をもち、声帯音の発声には障害を持たない場合を想定したものである。そのような話者にとっては、もっとも自然な抑揚付加方法であるといえる。

○小指握力による抑揚制御

音声生成方式では、操作面をタッチする場所を素早い動きで移動したり、100~200msの単位で一瞬操作面から指を離したりして、音韻を制御する。これらの操作により、操作面を押す力や、タッチする指にかかる力が自然に変化してしまうため、

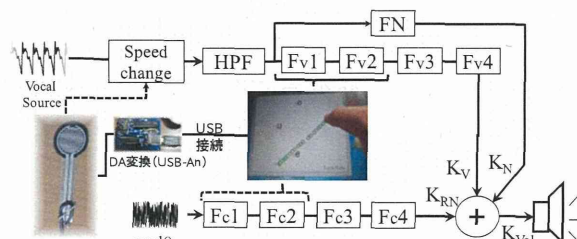


図2 押圧センサによる抑揚制御

この音韻の制御の動きと抑揚制御の動きが無関係に制御できる必要がある。そこで、図1のように小型の押圧センサを用いて、操作面をタッチする人差し指からもっとも離れた、小指の握力によって抑揚を制御する方式を試みた。

小指の握力によってこの押圧センサを押すことによって、抑揚が制御される。押圧センサから得られた電圧信号は、図2に示すようにUSBインタフェースによってPCに取り込まれ、抑揚が変化する。使用者ははじめに最大の握力かけ、握力無付加時と最大握力時との間で、1オクターブの声を制御可能にした。

○使用者の声による抑揚制御

本研究では、ホルマント合成方式を採用しているため、声帯音を模擬した原音と、音韻を与える共鳴の制御を分離できる。実際のヒトの発話においても、抑揚や声の音量は声帯音によって出され、音韻については構音器官で特徴づけられるため、構音器官のみに障害を持つ場合もある。そのような患者では、自分の正常な声帯から出される抑揚や強弱によって発話できることが有用である。

そこで、図3に示すような皮膚伝導マイクロホンによって、頸部から取得した音声波形をホルマント合成の原音として用い、その音に対してタッ

チパッドからの入力で制御されるホルマントの特徴づけを行う手法を導入した(図4)。

マイクロホンの固定具としては、過去にハンズフリー電気喉頭の固定具として作成されたものと同様のものを試作し、電気喉頭加振器の代わりにマイクロホンを取り付けた。マイクロホンの信号は USB 音声入出力デバイスを介して音声生成器が動作するタブレット PC へ入力し、そのままホルマント合成の原音として用いた。

以上の 2 方式について、発話障害を持ちこの研究に関わってきた研究員による試用と、生成された音声の聴取実験によって評価をおこなった。

2-b タッチパネル型 PC への対応について

第 1 段階までの研究では、主に小型のペンタブレットを用いた単語音声の生成実験を行い、擬似子音や鼻音付加の効果を調べてきた。ペンタブレットが採用された最大の理由としては、専用のデバイスを用意することなく、絶対座標が入力可能であることであったが、一方でパーソナルコンピュータ(PC)と一体でないために、携帯しづらいという問題や、表示画面と操作面が分かれてしまうという問題があった。また、抵抗膜式のタッチパネルを備えた PC や、タッチパッドを用いた実験では、操作に、ある程度の圧力が必要であるため、指が滑らせづらいという難点があった。

一方で最近の数年の間に、静電容量式のタッチパネルを備えた、携帯性に優れた汎用ノート PC(タブレット PC)製品が急速に増えてきた。タッチパネルが内蔵された小型のコンピュータや、携帯電話のようなポータブルデバイスで本研究の音声生成器を動作させることができれば、接続の煩雑さの軽減や、表示画面と操作面との一体化が可能になる。

具体的には、PC として、ONKYO TW217A5 を使用した。静電容量式のタッチパネルを持つ 10.1 インチワイドサイズの液晶ディスプレイが内蔵されている。Windows 7 搭載であるため、Windows タッチの機能を使用でき、マルチタッチ操作が可能となっている。

一般にタブレット PC は、キーボードを持たずほぼ全ての動作をタッチパネルからの入力によって行う。タッチパネルからの入力は多くの場合、マ



図3 皮膚伝導マイクと試作の頸部への固定具

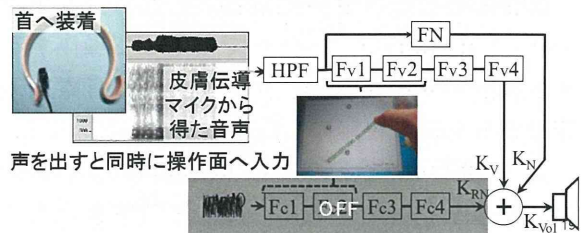


図4 声を用いた抑揚制御



図5 タブレット PC 上の動作画面

表1 タブレット PC の仕様

本体仕様	TW217A5
OS	Windows® 7 Home Premium 32 ビット
内蔵ディスプレイ	タッチパネル付 10.1 型 ワイド 最大 1,024×600 ドット
キーボード	なし
ポインティング・デバイス	静電容量式タッチパネル (マルチタッチ対応)
寸法	274(×173×18.5 mm
質量	約 850g
バッテリー	動作時間 約 6.4 時間

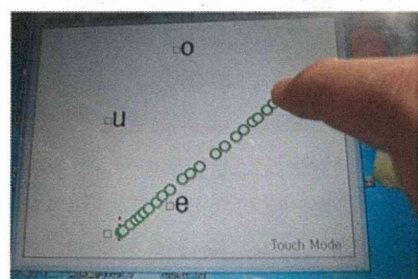


図6 "ya"出力時のタッチパネル表示

ウス入力として処理され、タッチパネル専用の機能を持たないソフトウェアでも動作可能になっている。

タッチパネル対応のPCでは、画面タッチの情報をマウスポインタの機能として扱う処理方法が一般的である。しかし、その方式ではタッチパネルの操作からマウス処理へ変換される過程に、原理的な遅延がある。マウスでは、タッチの情報からクリック、ダブルクリック、右クリックへ振り分ける。長押し等によってそれらを判別するため、画面にタッチしてすぐに左クリックとして認識させることが不可能となっている。

以上のことから、タッチパネルからの情報を直接処理するために、“Windows タッチ”機能を用いるためのソフトウェアの改良を加えた。この方式を用いることで、発話のための遅延を以前に比べて抑えることができ、スムーズな音声出力を可能にした。

3. 結果

3-a 抑揚の制御について

実験により、小指握力による抑揚制御と皮膚伝導マイクからの声を用いた抑揚制御の2つによる抑揚制御を音声生成ソフトウェアへ実装させ、動作させることができた。

音声生成実験では、音声生成器で声を生成する生成者により、26語を対象に所望の音声が生成了。生成された音声の例を図7-8に示す。図7は、小指に当てた押圧センサにかける握力によって抑揚を制御しながら、音韻を制御して生成した音声。図8は、生成者が声を出しながら、ペンによって音韻を制御し、皮膚伝導マイクによってピックアップされた声に対して音声生成器で言葉になるように音韻が付加されて出された音声である。

生成された音声のうち、いずれの単語も、通常の発話と変わらない自然なタイミングで抑揚が付けられた。ただし、抑揚を操るタイミングと合わせて音韻のコントロールを加えるため、ややゆっくりとした口調の音声が生成了。

小指圧力による制御では抑揚は強め、使用者の声による方式ではやや弱めの抑揚であった。握力を試用した方式の場合には微調整が難しかったためと考えられる。

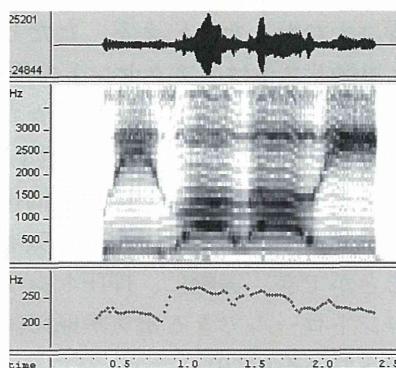


図7 小指の握力による抑揚制御の音声 (上から,波形,スペクトログラム,ピッチ,時間)

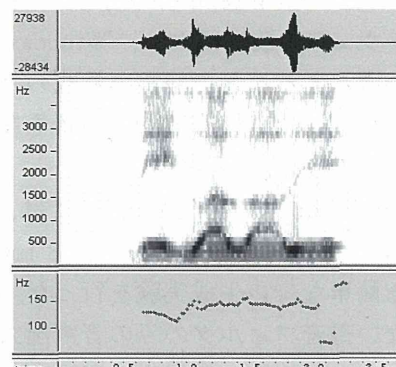


図8 皮膚伝導マイクを使った音韻付加音声 (上から,波形,スペクトログラム,ピッチ,時間)



図9 ハンズフリー電気喉頭の抑揚制御センサ試作器



図10 iPhone上で動作する音声生成器

生成された単語の聴取実験による了解度の比較では、大きな差が見られなかった。この結果から、音韻の明瞭さについては、全体としては抑揚の有

無の影響は少なかったといえる。ただし、本研究で用いた単語リストは、アクセントの位置が 0 型もしくは 4 型 (LHHH) に限られていたため、抑揚の有無の影響を受けにくかった可能性もある。

本項目で述べた押圧センサによる抑揚のコントロールは、音声生成器だけでなく電気喉頭にも応用することができ、実際に、押圧センサによって抑揚をコントロールできる電気喉頭の試作器も開発中となっている(図 9)。

3-b タッチパネル型 PC への対応について

ソフトウェアの改良により、“Windows タッチ”の機能を導入することで静電容量式のタッチパネルを持つ PC 単体で、容易に操作盤面を制御可能とすることができた。

音声の生成実験で試用された PC では、操作盤面の画面上の大きさは、約 87 mm× 68 mm とし、筆者による簡単な音声生成実験を行った。擬似子音を加えない母音フィルタのみの音声出力では、ペンタブレットを使用した場合と同様に、母音、半母音に加えて「おはよう」等の簡単な単語を生成可能であった。

一方で、擬似子音を加えた場合には、最初の母音が短くなってしまいう傾向があった。例えば「おはよう」という語の場合には、初めの「お」の音が短くなり、その次の「は」の子音も短めになってしまい、「おっはよう」という声が出力された。ゆっくりと操作した場合には、「おはよう」という出力を出すことが可能であった。この点については、のちに、音声出力のタイミングを調整するパラメータの調整により、ほぼ解決した。

指で操作する場合にはペンの場合よりも手を動かす範囲が広くなり、腕を動かす必要が出てくるため、速い動きでの位置決めが難しくなることも分かった。また、操作盤面上の指の滑り易さの検討や、操作盤面から指が外に出ないようにするためのガードの必要性が感じられた。

また、上記の実験とは異なるが、iPhone 上でも一部の機能を実行できるようなソフトウェアを開発できており、実用化に向けて準備を進めた(図 9)。

4、考察

音声生成の実験から、2つの方式によって、単語における抑揚コントロールが可能であることが示された。ただし、特に小指圧力による方法は、操作に慣れを要することが明らかとなった。その難易度には、個人差があると考えられるため、今後、複数の生成者による検証の必要がある。

また、行なった実験では、抑揚の有無による了解度には差がほとんどない結果となったが、文脈がある場合には、抑揚も聞き取りの手掛かりになる可能性があり、今後の検証が必要である。

音質については、聴取者から、小指の握力による制御の音声では明るい声、使用者の声をを用いた方式では低く暗い声であるという感想があった。この理由としては、小指の握力制御では抑揚の制御幅が広がったために明るく感じられ、使用者の声ではゆっくりと低い声で音声生成され暗く感じられたことが挙げられる。聴取者からの意見として、声質がもっと高く明るい声が出ると良いのではないかという意見もあったため、発話の速度を補ったり、声質をある程度変更できるような機能が、今後必要となってくると考えている。

タッチパネル型 PC への対応については、改良によって本体の単体でもスムーズに音を出力できるようになったが、依然として、タッチパネルに触れてから音が鳴るまでの遅れ時間があった。その結果、ゆっくりした音声の出力では、ペンやマウスを用いた場合と同等の音声を出力できたが、速い動きになると上手く生成されない傾向があった。

この遅れ時間は、その後、別な機種による調査を行い、入力から発話までのパラメータを変更することにより、ほぼ解決された。ただし、話す速度によってパラメータを変更する必要がある。

タッチパネルを指で操作する場合、指の付け根から指の先端までの距離が、ペンによる操作の場合に比べて短くなるため、腕の動きが必要になることが分かった。このことから、腕の動きを少なくするために操作盤面を小さくするとより利便性が高まることが示された。また、タッチパネルに対応するペンを介して操作することによって、さらに使いやすくなることがわかった。

タッチパネルによる操作では、操作盤面に自らがたどった軌跡を表示できるため、タッチした位置をすぐに確認でき分かりやすい。また、前述し

たが、接続の煩雑さが軽減されることの、携帯性への影響は大きいと考えている。

また、初めての使用者に対して、単語を出すための軌跡を画面に表示して、その上をたどらせるような、補助を可能にすることができ、操作方法の学習の助けとすることが期待できる。

本研究の音声生成器は、操作の方法が他に類を見ない者であり、母音を出すだけであればだれでも一瞬で操作できる一方で、上手く使いこなすには音素に対する知識や操作方法の習得が必要であるという特徴がある。そのため、今後は、初心者でも機器の操作方法を習得できるような操作マニュアルを作成していく必要がある。

5、結論

小指握力による押圧センサの操作によって抑揚を制御する方法と、使用者自身の声を皮膚伝導マイクロホンを通じて取得しホルマント合成の原音とする方法との2種類を導入し、簡易的な音声の生成実験と聴取実験とを行った。

特に、後者の抑揚の制御方式は、使用者が抑揚のある母音（/ア/）のみを出すことにより、その声の抑揚をそのまま用いる方式を開発した。これは、発声音源という残存機能を利用することを目的としており、人工喉頭で開発した首バンドと押圧センサを利用して声帯音源のピッチを皮膚面から検出する方法である。タブレット型PCに開発済みの音声生成ソフトウェアを移植すると同時に、この抑揚制御方式を組み込み、音声生成実験とその聴取実験を行った。

音声スペクトルとピッチ（抑揚）パターンから本方式により極めて自然な音声を表出できることが分かった。本方式は構音障害があっても発声音源が正常である人に有用であることが示され、多様な構音障害者を支援する一つの道を示したといえる。

なお、後者の方式は構音機能のみに主な障害をもち、声帯音の発声には障害を持たない場合を想定したものである。そのような話者にとっては、もっとも自然な抑揚付加方法であるといえる。

電気喉頭で用いられる技術と、音声生成器で用いられる技術や評価方法には、多くの面で共通の点がある。例えば、電気喉頭の拡声器のスピーカ部分は音声生成器の音声出力部に応用でき、音声

成績の押圧センサをもちいた抑揚制御の方式は、電気喉頭の抑揚制御にも応用できると考えられ、両者の第3段階へ引き継いで開発を進めた。

音声生成器の抑揚制御についての 評価実験の手順と結果

実験手順

本編で述べたように、音声成績の抑揚の付加方法について、(1)小指の握力を押圧センサから取得し抑揚制御パラメータとする方法と、(2)使用者の声を頸部に取り付けた皮膚伝導マイクロホンによって取得しホルマント合成の原音に用いる方法とを導入し、試作器による簡易的な実験を行った。

抑揚付加によって、抑揚のついた音声を十分に制御可能であるのかどうかと、抑揚付加によって音声の明瞭度が変化するのかどうかを調べるため生成実験と聴取実験とに分けて実験を行った。

・音声の生成実験

生成は、本インタフェースの開発に関わり使用方法を熟知している1名(以下、生成者と呼ぶ)が行った。生成者は、左耳50dBHL、右耳30dBHL程度の聴力レベルであり、器質性および運動性の構音障害を持つ。手や指の運動機能は正常である。

対象とする単語は、先の研究で用いた100語の単語のうち、特に正答率が低かった単語26語を使用した。

生成者は、表記された対象の単語を見ながら、(1)抑揚無しの場合、(2)小指握力による抑揚制御の場合、(3)自身の声を用いる場合との3通りで、音声生成を行った。それぞれの単語の生成回数は自由とし、生成者自身が納得できる音声を生成できた時に、次の単語へ移るようにした。なお、疑似子音の付加機能については、(1)、(2)では有効、(3)の時には無効とした。生成実験(3)では、生成者は口を半開きの状態にして動かさずに、声を出すと同時にタッチパネルを操作した。また、子音部において、相応する/h/の摩擦音を発声した。なお、生成作業中の音声は、イヤホンで生成者へ提示すると同時に、PC上で動作する音声波形エディタWavesurferによって録音された。

・聴取実験

聴取実験は、録音された生成音1語ずつを聴取者へランダムに提示し、聴取者自身がPCのキー入力によって、聞こえた単語が何であるかを記入する方法で行った。聴取者は全員、聴力に関する大きな病気をしたことがなく正常な聴力を持つ20代から30代の男性4名とした。

音声の提示は、汎用PCに接続されたアームレスヘッドホンVictor HP-AL202を通して行われた。聴取者には、実験の前に提示音声日本語の4音節の単語であることを教示し、単語が推測可能な

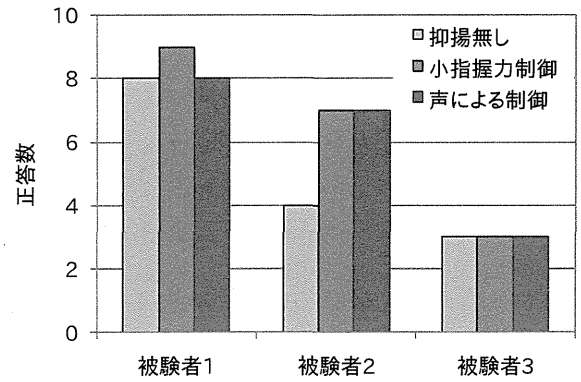


図 A-1 聴取実験結果

場合には、聞こえたままの文字を記入するのではなく、その単語を答えるように指示した。

実験結果

音声生成実験では、生成者により3つのパターンで所望の音声生成された。いずれの単語でも、単語内での抑揚の位置は、通常の発話される単語と同様の出力がされた。小指圧力による制御では抑揚は強め、使用者の声による方式ではやや弱めの抑揚であった。音声生成の実験から、2つの方式によって、単語における抑揚コントロールが可能であることが示された。ただし、特に小指圧力による方法の難易度には、個人差があると考えられるため、今後、複数の生成者による検証の必要がある。

図 A-1 に聴取実験の結果を示す。抑揚の有無による正答数の違いをみると、3人の被験者のうち、1名では、抑揚無しに比べて抑揚を付加した場合のほうが高い正答率となった。しかし、他の2人では大きな差が見られなかった。この結果から、音韻の明瞭さについては、全体としては抑揚の有無の影響は少なかった。ただし、本研究で用いた単語リストは、アクセントの位置が0型もしくは4型(LHHH)に限られていたため、抑揚の有無の影響を受けにくかった可能性もある。また、文脈がある場合では、抑揚も聞き取りの手掛かりになる可能性がある。

また、聴取者から、小指の握力による制御の音声では明るい声、使用者の声を用いた方式では低く暗い声であるという感想があった。この理由としては、小指の握力制御では抑揚の制御幅が広がったために明るく感じられ、使用者の声ではゆっくりと低い声で音声生成され暗く感じられたことが挙げられる。

(資料6)

構音障害者用の音声生成器 の改良、第3段階 抑揚機能の強化とタブレットPCへ の対応

A.目的

音声生成器の改良の第2段階までは、発声音の音量拡大のための小型拡声器と指押圧力センサによる抑揚制御方式を研究・開発し、さらに装置の全てを一体化しハンズフリーにするための首バンドの設計方式を追求してきた。

最終年度の平成24年では、第3段階として、それまでの音声生成プログラムおよび抑揚制御技術をスマートホンでも使えるようにし、その実用器を開発することを目的とした。

B.方法・成果

まず、Windows7 および Windows8 上で動作するスマートホンで実現し、次に最も普及している iPhone 上でも使えるようにした。

なお、前述のようにハンズフリー人工喉頭で開発した要素技術である押圧センサと小型アンプは共に音声生成器にも利用できることが確認されている。

(1) タッチパネル型 PC で実現

ソフトウェアの改良により、“Windows タッチ”の機能を導入することで静電容量式のタッチパネルを持つ PC 単体で、容易に操作盤面を制御可能とすることができた。

第2段階においては、小型の Windows タブレット上での動作を確認した。音声の生成実験で試用された PC では、操作盤面の画面上の大きさは、約 87 mm× 68 mm とし、簡単な音声生成実験を行った。擬似子音を加えない母音フィルタのみの音声出力では、ペンタブレットを使用した場合と同様に、母音、半母音に加えて「おはよう」等の簡単な単語を生成可能であった。一方で、擬似子音を加えた場合には、最初の母音が短くなってしまう傾向があったが、当該機種 of PC のハードウェアの性能限界によるものと考えている。その後、ハードウ

ェア性能に合わせたソフトウェアの調整によりある程度改善された。

指操作とペン操作を比較した結果、指の場合にはペンの場合よりも手を動かす範囲が広くなり、腕を動かす必要が出てくるため、速い動きでの位置決めが難しくなることも分かった。また、操作盤面上の指の滑り易さの検討や、操作盤面から指が外に出ないようにするためのガードの必要性が示唆された。

第3段階において、さらに Windows8 タブレット上での動作を確認した。実験に使用した端末は、10.1 インチのサイズでありながら、厚さが 1 cm 弱、重量が 580 グラム弱となっており、携帯性が良いと判断した。

音声生成実験の結果、第2段階までに加えられてきた疑似子音付加機能や、抑揚制御機能が良好に動作させることができた。ただし、指よりもペンのほうが良いことと、触れる位置範囲を超えないようにするガードの必要性は、同様に確かめられた。

(2) Web での iPhone へのダウンロードを実現

第3段階では、装置の実装化に力を入れた。基本的には第2段階までの成果をソフトウェア端末に対応するように実装する方法をとった。その過程とウェブ上に iPhone 用に実装化された音声生成器のアプリをウェブから iTunes 経由でダウンロードしたときのマニュアル等を示す。なお、アプリ「指で話そう」のある URL は次の通りである。

<https://itunes.apple.com/jp/app/yubide-huasou/id626142603?mt=8>



図1 音声生成器ソフトのアプリのサイト、その1



図2 音声生成器ソフトのアプリのサイト、その2



図3 iPhones 上にダウンロードしたソフトを使って音声生成している様子。

左：ペン入力、中央：指入力、右：得られた音声の時間スペクトルパターン

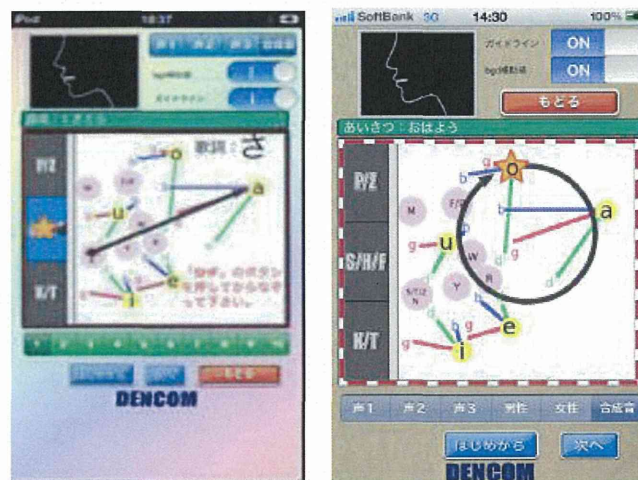


図4 iPhone 上での操作画面と操作方法

左：単音「さ」の練習、右：「おはよう」の練習画面

図4に示したように、ペン入力でも指入力でも所期の音声再生され、そのスペクトルや抑揚も正常音声に近いことが確認された。

C.考察

タッチパネル型PCへの対応については、改良によって本体の単体でもスムーズに音を出力できるようになったが、依然として、タッチパネルに触れてから音が鳴るまでの遅れ時間があった。特に、指が画面に触れてから音が鳴りだすまでの時間と、指が画面から離れてから音が停止するまでの時間とにずれがあると、リズムが崩れてしまうと考え

られ、避けなければならない。この遅れ時間は、実験に使用したPC固有のものである可能性があることからその改良を進める必要がある。

タッチパネルを指で操作する場合、指の付け根から指の先端までの距離が、ペンによる操作の場合に比べて短くなるため、腕の動きが必要になることが分かった。このことから、腕の動きを少なくするために操作盤面を小さくする必要があることが示された。

本研究の音声生成器は、操作の方法が他に類を見ない者であり、母音を出すだけであればだれでも一瞬で操作できる一方で、上手く使いこなすに

は音素に対する知識や操作方法の習得が必要であるという特徴がある。そのため、今後は、初心者でも機器の操作方法を習得できるような操作マニュアルを作成していく必要がある。

D.結論

音声生成器については、タブレットPCを用いたタッチパネルによる操作を可能にし、その動作状況について報告した。実験の結果から、実用性はあるがタッチパネル特有と思われる反応遅れの問題やサイズ調整の必要性の課題があることが分かった。さらに、抑揚を含めた実用に耐えうる実機での音声出力動作を実現できるように改良を行なうと同時に、初心者に向けた使用マニュアルを作成し、評価を行っていくつもりである。

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
伊福部達 他	8.2システムの評価 と設計	日本バーチャルリアリティ学会	バーチャルリアリティ学	工業調査会	東京	2010	323-336
伊福部達 他	VI高齢者支援機器・ 技術、第7章2将来技 術 IT技術－「見る」 機能支援するIT、 2.1「見る」機能を支 援するIT、 2.2「聞く」機能を支 援するIT、 2.3「話す」機能を支 援するIT、2.4 IT応用 の将来	大内 尉義 秋山 弘子 折茂 肇	新老年学 第3版	東京大学出版	東京	2010	2099-2104
伊福部達	伊福部達教授が語る、 長寿社会の「テクノロジー」 －長寿社会を明るくする 福祉工学－	東京大学高齢社会総合 研究機構	2030年超高齢 未来	東洋経済新報社	東京	2010	100-107
伊福部達 (監修) 筒井信介 (著)	第6章 福祉工学が秘 めらる可能性	(有)アイデア	ゴジラ音楽と緊急地震速報、 あの警報チャイムに込められた 福祉工学のメッセージ	ヤマハメディアミュージック	東京	2012	157-162
伊福部達 (分担執筆)	人工視覚	日本人工臓器学会	人工臓器は、いま - 暮らしのなか にある最先端医療の姿 -	はる書房	東京	2012	395-417
伊福部達 (分担執筆)	ジェロンテクノロジー －「ジェットテクノロジーを めぐる現状」	東京大学高齢社会総合 研究機構	東大がつくった高齢社会の 教科書	ベネッセ	東京	2013	283-293

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
伊福部達	「見る」「聴く」「話す」を 助ける放送技術～感覚のナゾ 解きから生まれたモノ～	NHK技研R&D	No.123	36-47	2010
伊福部達	ふぉーかす 指で見る「夢」	映像メディア情報学会誌	Vol.64 No.11	巻頭言	2010

伊福部達	福祉工学への夢 人の耳をだまらず物まね鳥たち	ミネルヴァ通信	2012 No.10	29-32	2012
伊福部達	超腹話術のナゾ解きから生まれたモノ	ミネルヴァ通信	2012 No.11	29-32	2012
伊福部達	提言・巻頭言 福祉・介護テクノロジーにおける価値観の変容	介護福祉テクノロジープラス, 日本工業出版	Vol.5 No.5	1-4	2012.5
伊福部達	「ヒゲの殿下」と人工喉頭	ミネルヴァ通信 「究」	No.17	29-32	2012.8
伊福部達	高齢社会の「桃源郷」を作る	ミネルヴァ通信 「究」	No.23	29-32	2013.2
伊福部達	福祉工学の本丸ー脳の深部に迫る	ミネルヴァ通信 「究」	No.24	25-28	2013.3

論文誌・講演論文誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Tohru IFUKUBE	Sound-based Assistive Technology Supporting “Seeing”, “Hearing” and “Speaking” for the Disabled and the Elderly	InterSpeach	2010	11-19	2010
藪謙一郎 伊福部達	発話障害者支援のための連続タッチ平面で操作する音声生成器ー子音改善のための基礎的検討ー	電子情報通信学会技術研究報告, SP, 音声	110(220)	41-46	2010
藪謙一郎 伊福部達	発話障害者支援のためのペン入力座標によるリアルタイム音声生成方式ー鼻子音出力の操作方法と音声生成方法の検討ー	電子情報通信学会, 信学技報, SP	110(452)	67-72	2011
伊福部達	「視聴覚・発声障害のためのバリアフリー技術」に際して(巻頭言)	ライフサポート学会誌	Vol.22 No.4	2	2010
M.Sakajiri, S.Miyoshi, K. Nakamura, S. Fukushima, T.Ifukube	Voice pitch control using a two-dimensional tactile display	NTUT Education of Disabilities	Vol.10, pp.	4-8	2012
中野聡子, 三好茂樹, 河野純大, 白澤真弓, 上田一貴, 金澤貴之, 磯田恭子, 蓮池通子, 小笠原恵美子, 梅原みどり, 伊福部達	聴覚障児・者のモバイル型遠隔情報保障システムの利用に対する意識-従来型の情報保障手段との比較を通して-	発達障害研究	Vol.35, No.1	86-97	2013.2
三浦 貴大, 坂井 美恵子, 村岡 輝雄, 中道 勝久, 伊福部 達	大正～昭和初期における聴覚障害児の聴力レベルの推定	ろう教育科学	Vol.54 No.3	131-146	2013

藪 謙一郎・ 伊福部 達	タッチ面上のなぞりで操作する音声生成器ーメロディデータに基づく歌声生成機能ー	電子情報通信学会 2013年 総合大会講演論文集	Vol.2013	A-19-11	2013.03
藪謙一郎, 伊福部達	電気式人工喉頭のための拡声器付きウェアラブル装着具の試作	日本音響学会研究発表会講演論文集	Vol.2013	ROMBUN NO.2-2-4	2013

研究成果の刊行物・別刷