

## 障害者自立支援機器等開発促進事業

### 分担報告書

#### 代用原音最適化ためのソフトウェア設計と音声分析評価

開発分担機関 北海道立総合研究機構 産業技術研究本部 工業試験場

#### 開発要旨

道総研工業試験場は、(株)電制と共同で国産初となる電気式人工喉頭を1998年に製品化し、昨年6月にはその新製品の製品化も実現している。また、これらの販売を通じて、両手が自由に使える形態の電気式人工喉頭に対する喉摘者の要望が強い事を認識し、その実現に向けた要素技術開発を行ってきた。本事業では、これまでの要素技術開発の成果を基にして、電気式人工喉頭本体から分離した振動子を顎下部に装着具で固定し、スイッチはリモコン化して指先だけで操作できるようにすることによって、会話中の身体的制約を解消するハンズフリー型人工喉頭の製品化を目的とした開発を実施する。その中で、道総研工業試験場は、振動子から生成される代用原音を最適化するためのソフトウェア設計について、また、モニター評価試験によって収集された音声の分析評価について分担課題として担当した。

#### 開発分担者

橋場参生 地方独立行政法人  
北海道立総合研究機構  
産業技術研究本部  
工業試験場  
情報システム部  
計測・情報技術グループ 主査

そこで本開発では、会話中も両手を自由に使いたいという喉摘者の強い要望に応えるために、これまで実施してきたハンズフリー型人工喉頭の要素技術開発を基に、振動子とスイッチを本体から分離して、振動子は顎下部に装着具で固定できるようにし、スイッチはリモコン化して指先だけで操作できるようにした形態のハンズフリー型人工喉頭を製品化することを目的とした。

#### A. 開発目的

電気式人工喉頭は、喉頭癌などで声を失った方々の発声を支援するための福祉機器である。このような機器を必要とする方々は国内に1～2万人程おり、電気式人工喉頭の公的給付件数は年間2千台に昇っている。現在、国内で入手可能な電気式人工喉頭には、(株)電制と共同開発した「ユアトーン」シリーズの他に数機種が存在するが、何れの機器も、会話中は円筒形の本体を手で持ち、顎下部に押し当て続ける必要があるため、会話中は必ず片手の自由が失われ、姿勢も制約されるという課題があった。

#### B. 開発する支援機器の想定ユーザ

喉頭癌等の治療のために、やむを得ず喉頭と声帯を摘出し、その結果、発声機能に障害を負ってしまった方々が主な支援対象であり、その数は、全国で1～2万人と推定されている。また、喉頭摘出以外の症例で気管切開手術を受けている方々（一時的な治療のために声が出せない方々も含む）も本機器の支援対象範囲となる。さらに、本体から振動子とスイッチを分離した形態

のハンズフリー型人工喉頭を実用化することによって、これまで電気式人工喉頭の適用が難しかった筋ジストロフィーや ALS 等の症例で発声障害を伴った方々への支援も視野に入れている。

### C. 開発体制

(開発分担報告書のため省略)

### D. 試作した機器またはシステム

試作した機器の具体的な構成は、声の元となる代用原音を生成するための振動子と、それを頸部に固定するための装着具（固定バンド）、無線で操作できるリモコンスイッチ、および、それらが接続されたハンズフリー型装置を制御するための制御回路（人工喉頭本体）となっている。図1に本事業により試作する装置の全体システムイメージを示す。

この全体システムイメージに基づき、装置を構成する振動子、リモコンスイッチ、固定バンド、制御回路（人工喉頭本体）の具体的な設計・試作を実施した。これらの詳細については総括報告書を参照されたい。

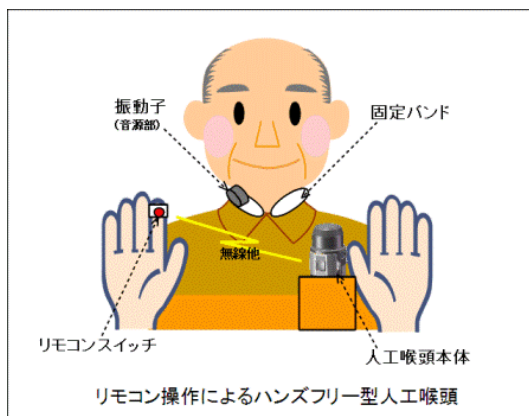


図1 全体システムイメージ図

### E. 開発方法

#### E-1. 代用原音最適化のためのソフト設計

総括報告書で述べられているように、本年度は、振動子とスイッチを電気式人工喉頭の本体から分離し、スイッチは無線化して指先だけでリモコン操作できるようにしたハンズフリー型人工喉頭の初期モニター用試作装置を合計12セット製作した。その際、声の元となる代用原音を生成する振動子は、既に（株）電制から製品化されている電気式人工喉頭「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」の振動子を基にしてハンズフリー用に適用を図ったもの（以下、従来型振動子と記載）と、薄型化を目指して新規に設計・製作した振動子（以下、薄型振動子と記載）の2種類を開発して使用した。

そこで本研究では、開発分担課題の一つとして、製品化の際に最終的に求められる60Hz～200Hzの駆動周波数に対するそれぞれの振動子の応答特性を調べ、安定した発声を可能にする代用原音を生成するために必要な制御ソフトウェアの設計方法について検討を行った。

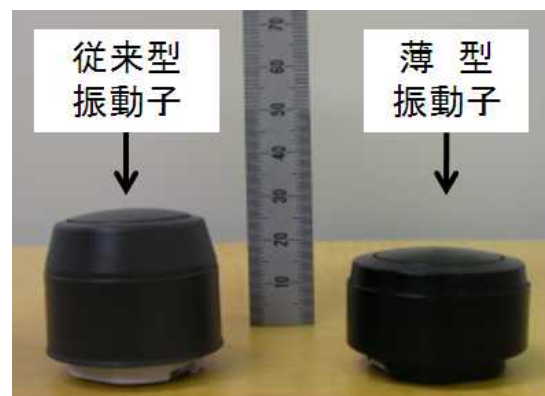


図2 試作した2つの振動子

## E-2. 音声分析評価

総括報告書で述べられているように、本年度は、喉頭摘出者団体である社団法人「銀鈴会」、および北海道喉頭摘出者福祉団体「北鈴会」の協力の下、実際の電気式人工喉頭ユーザに試作装置の装着と発声を依頼してモニター評価試験を実施した。

評価試験は、バネの強い固定バンドに従来型振動子を取り付けたもの、バネの強い固定バンドに薄型振動子を取り付けたもの、バネの弱い固定バンドに従来型振動子を取り付けたもの、バネの弱い固定バンドに薄型振動子を取り付けたものの4通りについて行い、それぞれの場合について、途中で顔の上下左右運動を指示しながら、日本語5母音の発声を各3回ずつ行ってもらった。

本分担研究では、上記のモニター評価試験において録音された被験者の音声について、その分析評価を行った。

## F. モニター評価

総括報告書を参照されたい。

## G. 開発で得られた成果

### G-1. 代用原音最適化のためのソフト設計

図3に示すように、防音室内に固定バンドに取り付けた振動子を設置し、振動子の駆動周波数を60Hz～200Hzの間で変化させた場合の代用原音（振動音）の音圧レベルを、従来型振動子と薄型振動子のそれぞれの場合について測定した。測定には、精密騒音計（RION NL-32）を使用し、騒音計のマイクロホンと振動子の間の測定距離は30cmに設定した。また、

音圧レベルの測定は、騒音計の周波数重み特性をF（フラット）に設定して行った。

振動子の駆動には、既に製品化されている「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」の制御回路を使用し、駆動周波数は「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」の設定ダイヤルで選択可能になっている10段階の駆動周波数、即ち、60Hz、70Hz、80Hz、90Hz、100Hzの10Hz刻みの5つの駆動周波数と、120Hz、140Hz、160Hz、180Hz、200Hzの20Hz刻みの5つの駆動周波数について測定を行った。また、音量については、「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」を使った日常会話において十分な音量を確保できる「目盛4」の設定で行った。

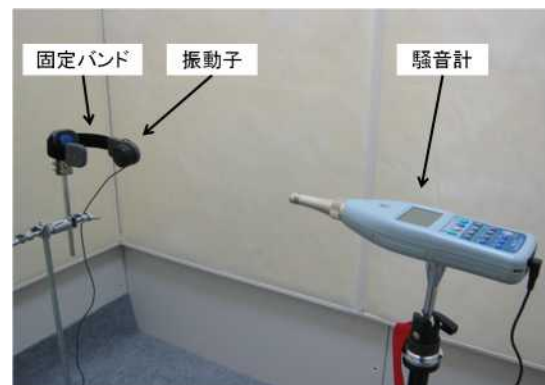


図3 測定の様子

図4に、「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」の制御回路を使用して、従来型振動子と薄型振動子の各々を駆動した場合の音圧レベル（dB）を示す。なお、同図の横軸は60Hz～100Hzの間は10Hz刻み、100Hz～200Hzの間は20Hz刻みになっていることに留意されたい。

図4より、既に製品化されている「ユア

トーンⅡ・ゆらぎ」の振動子を基にしてハンズフリー仕様に改造された従来型振動子は、60Hz～200Hzの間で74dB前後の音圧レベルを安定して確保できていることがわかる。一方、新たに設計・開発された薄型振動子の場合、90Hz、100Hz、110Hzにおいては、日常会話に支障が無い程度の70dB弱の音圧レベルを生成できているものの、その前後の周波数帯域では、5～10dBの音圧レベルの低下が生じることがわかった。

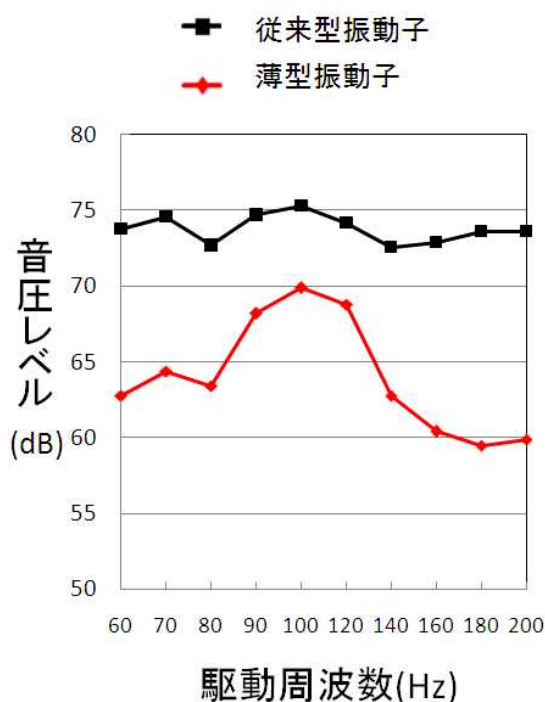


図4 従来型振動子と薄型振動子の音圧レベルの測定結果

以上の結果を基に、代用原音（振動音）を最適化するためのソフトウェア設計方法に関する検討を行った。図4からわかるように、既に製品化されている「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」の振動子を基にしてハンズフ

リー用に改造された従来型振動子の場合、同じく「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」に組み込まれている制御回路に準じた制御ソフトウェアを適用することによって、60Hz～200Hzの駆動周波数の変化に対して安定した音量を確保できると考えられる。しかし、新たに設計・開発された薄型振動子の場合には、「ユアトーンⅡ・ゆらぎ」の制御回路に準じた制御ソフトウェアをそのまま適用するだけでは、製品化の際に求められる駆動周波数帯域において、安定した音量を確保することが困難と考えられる。そこで、図4の測定結果を基にして、代用原音の音圧レベルを最適化するための調整機能を組み込んだ制御ソフトウェアの設計を行った。図5にその概略を示す。

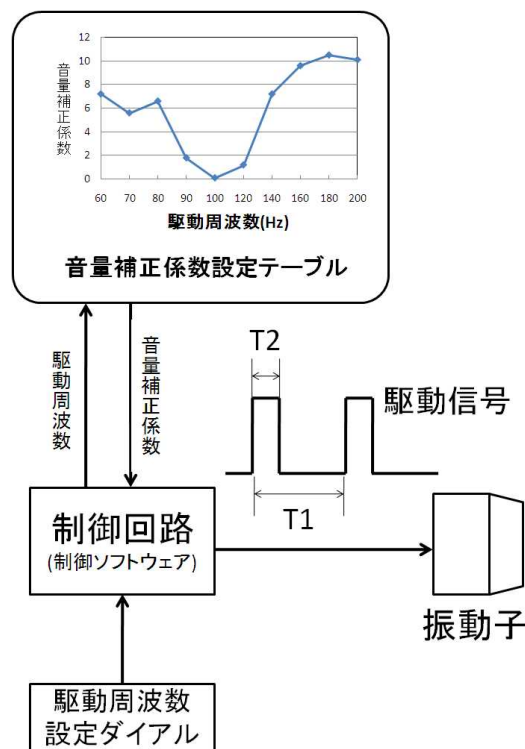


図5 代用原音最適化のための制御ソフトウェア設計方法

図5において、駆動信号として図示された矩形波のT1は、振動子で生成する代用原音の基本周波数の制御に関与する。一方、T2は代用原音の音量の制御に関与し、T2の長・短が音量の大・小として反映される。そこで、図4の薄型振動子の音圧レベル測定結果を基に、音圧レベルの低下の度合いに応じてT2の制御幅を調節するための補正係数を設定したテーブルを用意しておき、駆動周波数設定ダイヤルの値からテーブルを参照して音量補正係数を取得し、T2の制御幅に反映できるようにした。

以上のソフトウェア設計方法により、製品化に向けて必要とされる代用原音の最適化への対応を図った。なお、本設計手法において今後想定される課題や、その検討等については、後述の考察に記載する。

## G-2. 音声の分析評価

総括報告書に記載の手順に従って録音されたモニター評価時の被験者の音声について、サウンドスペクトログラムに基づく分析評価を行った。分析対象は、モニター評価試験において被験者11名に依頼した日本語5母音の発声に関する音声データで、その総数は127点である。

図6に、試作装置を用いて良好に発声された音声の分析例（評価者11、固定バンドのバネ強、従来型振動子、ハンズフリー型装着直後）を示す。上段のパネルは時間波形、下段のパネルは10kHzまでのサウンドスペクトログラムを示しており、サウンドスペクトログラムの配色は、図7のカラーチャートに示される色の変化に従って、音圧レベルの大小を表している。図6

を見ると、5母音の発声それぞれについて、サウンドスペクトログラムによって得られる各母音のカラーパターンが異なっており、各母音を特徴付ける共鳴周波数成分が明瞭となる発声を行えていることがわかる。また、時間波形の振幅の変化からも、母音の差異を表出できていることがわかる。

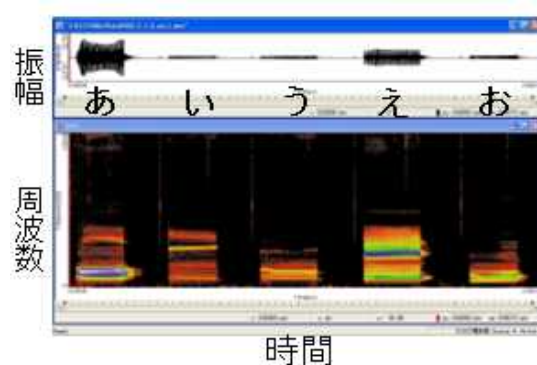


図6 良好な発声が可能であった事例の音声分析結果



図7 音圧レベルのカラーチャート

次に、振動子が皮膚から離れるなどして、発声が困難となった場合の録音結果の分析例（評価者1、固定バンドのバネ強、薄型振動子、顔を上下左右に2回動かした後）を図8に示す。この事例では、振動音が直接空气中に放射されてしまい、声道内には殆ど伝搬していない状態であったため、サウンドスペクトログラム上で観察されるカラーパターンには母音毎の変化が見られず、時間波形の振幅にも変化が見られない結果となっている。



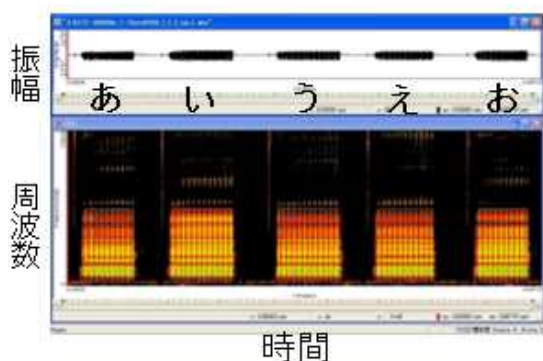


図8 良好な発声が得られなかった事例の音声分析結果

以上のようにして分析評価を行った総数127点の音声分析結果を図9から図19に示す。分析結果は、モニター評価者毎に比較検討できるようにまとめ、バネ強さ（強・弱）と、振動子（従来型・薄型）の全ての組み合わせを体験した後で、評価者が最も良いとして選択した組み合わせによる発声結果を赤枠で囲うようにした。これらの音声分析結果も参考にしてまとめられたモニター評価試験の総合的結果については、総括報告書を参照されたい。

#### H. 予定してできなかったこと

本年度に予定した分担内容は、全て予定どおり実施した。但し、総括報告書にもあるように、協力先との日程調整上の理由からモニター評価の回数が減ってしまったため、結果として、音声データの分析総数も当初の予定を下回っている。しかしながら、実施したモニター評価結果から、今年度に必要とした知見は得ることができており、今後はモニター評価の時期や回数も含めて十分の検討の上、(株)電制と協力して、装

置の製品化に向けた開発を継続したいと考えている。

#### I. 考察

代用原音を最適化するためのソフトウェア設計については、図5で報告した方法が、制御回路側で対処を図る上での最も妥当な方法と考えている。しかし、駆動周波数90～110Hz以外の帯域で見られる音圧レベルの低下は、薄型振動子の構造に起因する可能性もあり、また、固定バンドで頸部に押し当てた場合に、その特性が変化する可能性も考えられる。さらには、利用者毎に異なると予想される皮膚の硬さなどの身体的要因も振動子の挙動に影響を与える可能性も考えられる。従って、今後は、このような要因も考慮しながら、薄型振動子の改良や制御ソフトウェアの高機能化を図っていく必要がある。また、ハンズフリー化を実現するためのスイッチ操作方法として、試作した無線リモコンによる方法の他に、例えば、筋電位を利用して装置を操作する方法などについても、検討を進める必要があると考えている。なお、音声分析評価を含めたモニター評価試験に係る考察については、総括報告書の記載を参照されたい。

#### J. 結論

モニター評価試験結果を踏まえた総合的な結果・結論は、総括報告書に述べられているとおりであるが、ここでは、特に本分担課題と関係が深いものについて、重複となるが記載しておく。

- ・図9から図19において赤枠で示したように、今回のモニター評価試験では、従来型振動子の方がユーザに好まれる結果となり、その中でのバネ強さの強・弱の好みは、同数に分かれる結果となった。
  - ・一方、録音された音声の聴取実験（総括報告書参照）では、従来型振動子とバネの弱い固定バンドの組み合わせで発声された音声の評価が最も高かった。サウンドスペクトログラム上でも、従来型振動子とバネの強い固定バンドとの組み合わせに比べて、良好な発声となっている傾向が確認できた。
  - ・薄型振動子を選択した評価者は少なかったが、音声分析結果からは、各母音を特徴付ける共鳴周波数成分がサウンドスペクトログラム上で確認できている事例も多いことから、今後、制御ソフトウェアの改良等を通じた音量の最適化を図ることによって、改善が期待できると考える。
  - ・音声分析結果の比較によってもわかるように、試作装置を装着した状態で上下左右に顔を動かすと、被験者によって程度の差はあるものの、押し当て位置にずれが生じる結果となった。また、従来型振動子と薄型振動子を比較した場合には、薄型振動子の方が、ずれが少ない傾向が見られた。
- 以上のことから、今後は、振動子を押し当てる位置の個人差や、顔を動かした場合の位置ずれに対処できるように、固定バンドの長さや角度を調整可能にするための機構を検討すると共に、音量を向上させるための改良を薄型振動子に加え、さらに、制

御回路に実装する制御ソフトウェアの最適化設計を進めることによって、実用的なハンズフリー型人工喉頭を実現できる可能性が高いと考えられる。本結果を踏まえて、次年度以降に装置の再試作・再評価を実施し、リモコン操作によるハンズフリー型人工喉頭の製品化を継続して目指す。

## K. 健康危険情報

（開発分担報告書のため省略）

## L. 成果に関する公表

1. ホームページ、刊行物等の紙面などでの発表  
特になし。
2. 展示会などでの発表  
平成23年3月9日に厚生労働省の講堂で開催された「障害者自立支援機器等開発促進事業における開発成果の一般公開」において、本研究で開発を分担したハンズフリー型人工喉頭の試作器が展示された。

## M. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
電気式人工喉頭 特許第3498705号
2. 実用新案登録  
特になし。
3. その他  
特になし。




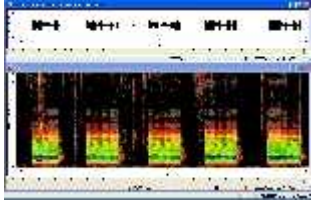
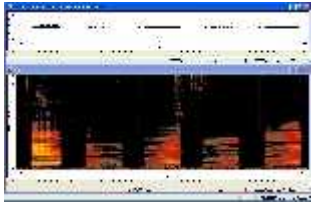


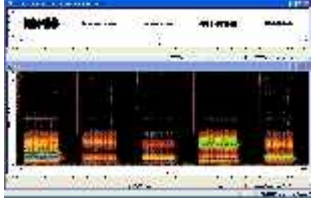

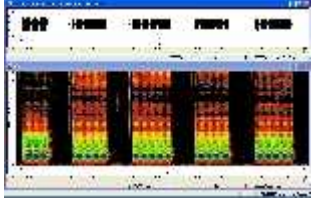
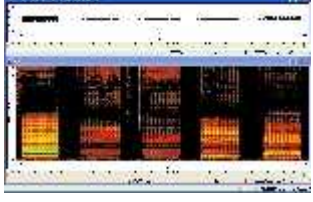
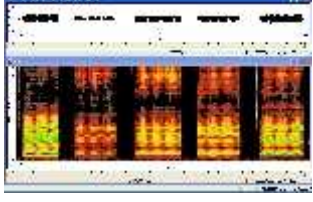
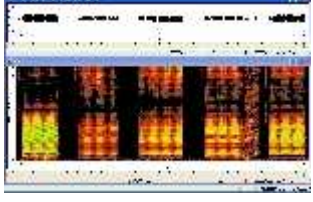
モニター評価者1 (男性)		試験日：3月1日		
エイトンII ゆらぎ				
		あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド ・ バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
固定バンド ・ バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お

図9 モニター評価者1の音声分析結果





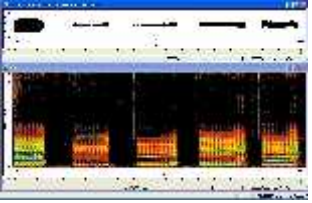



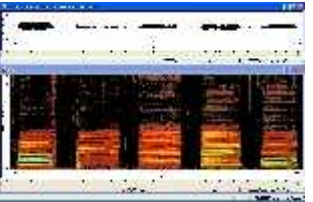

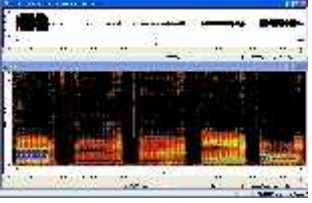


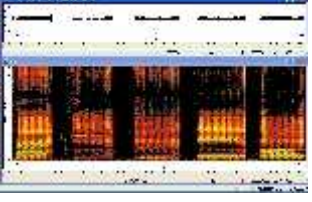
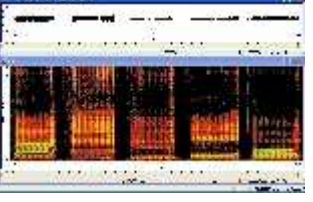
モニター評価者2 (女性)		試験日：3月1日		
エイトンII ゆらぎ				
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド ・ バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
固定バンド ・ バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			

図10 モニター評価者2の音声分析結果



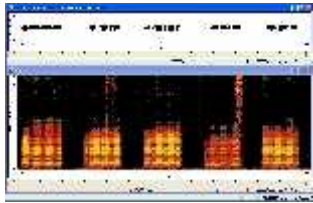
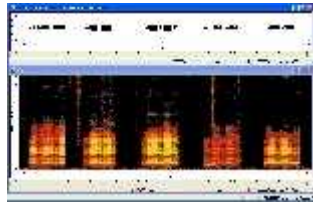
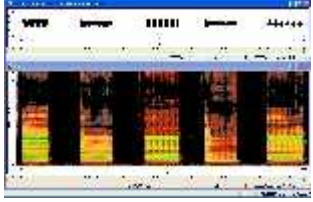
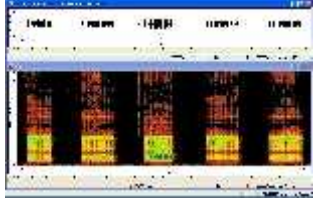

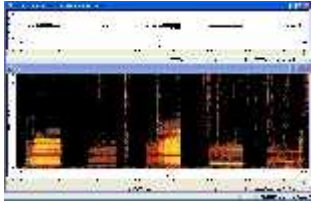
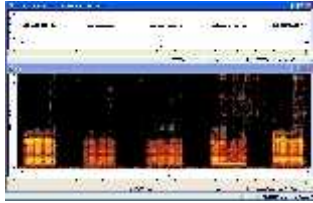
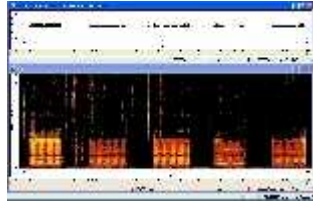
モニター評価者3 (男性)		試験日：3月1日		
エイトンII ゆらぎ		 あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド・バネ強	従来型振動子	/		
	薄型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お
固定バンド・バネ弱	従来型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お
	薄型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お

図11 モニター評価者3の音声分析結果


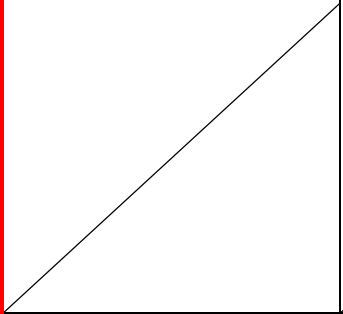

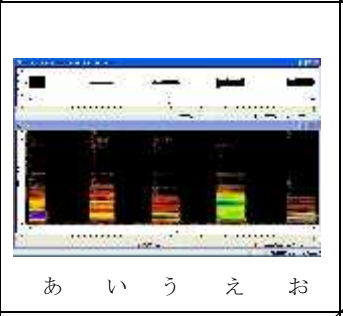

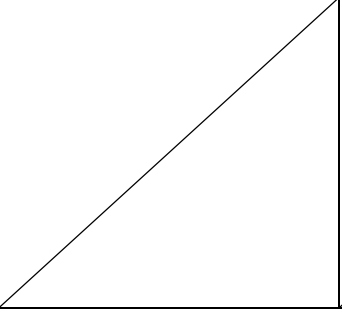
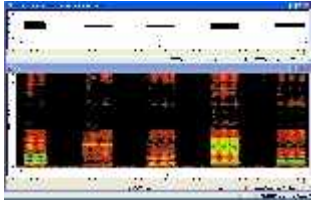
モニター評価者4 (女性)		試験日：3月1日	
エイトンII ゆらぎ			
あ い う え お			
ハンズフリー型装着直後		1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド・バネ強	従来型振動子		
			
固定バンド・バネ弱	従来型振動子		
			
固定バンド・バネ弱	薄型振動子		
			

図12 モニター評価者4の音声分析結果

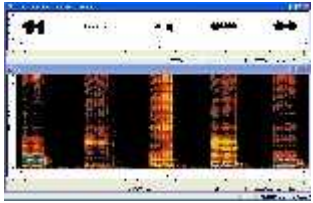


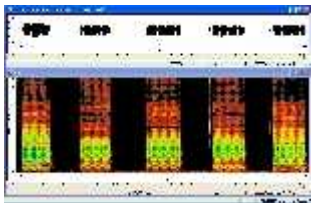

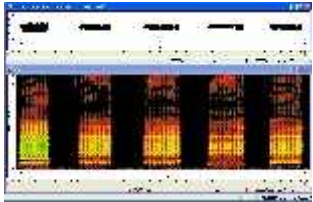
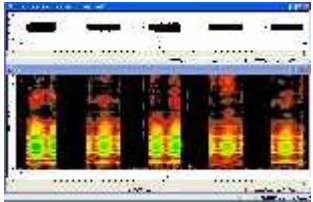




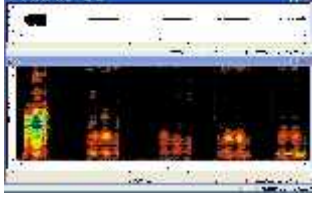
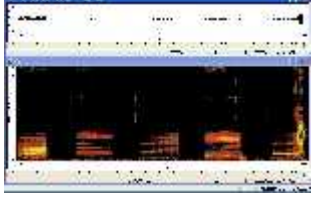
モニター評価者5 (男性)		試験日：3月3日		
エイトンII ゆらぎ				
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド ・ バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
固定バンド ・ バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			

図13 モニター評価者5の音声分析結果




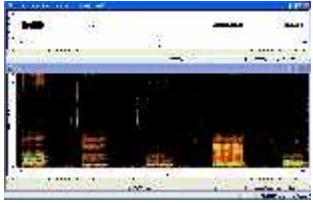


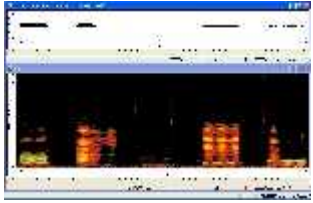
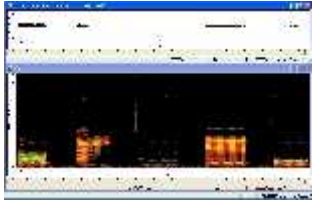

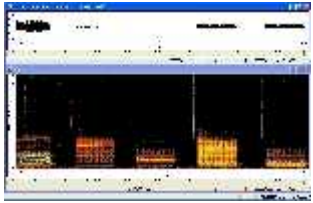


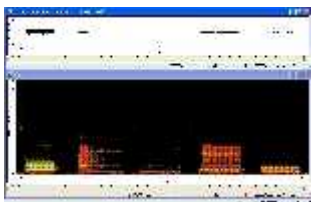
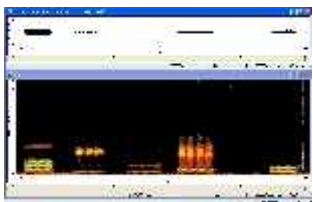

モニター評価者6 (男性)		試験日：3月3日		
エイトンII ゆらぎ		 あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド ・ バネ強	従来型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お
	薄型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お
固定バンド ・ バネ弱	従来型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お
	薄型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お

図14 モニター評価者6の音声分析結果



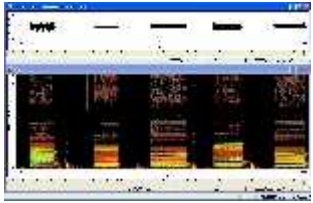
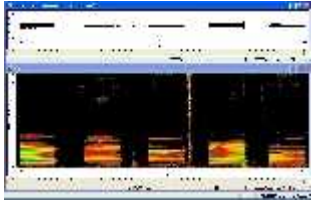
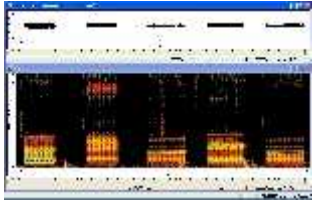

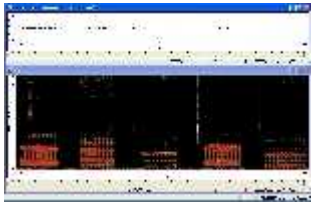

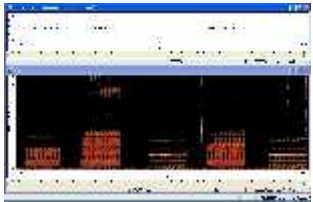



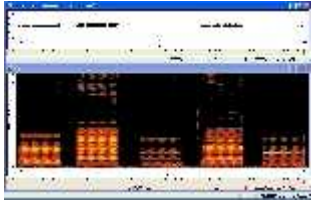
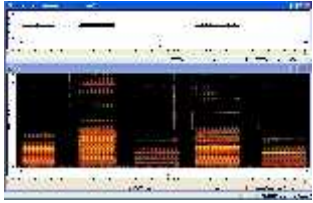

モニター評価者7 (女性)		試験日：3月3日		
エイトンII ゆらぎ				
		あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド ・ バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お
固定バンド ・ バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お

図15 モニター評価者7の音声分析結果

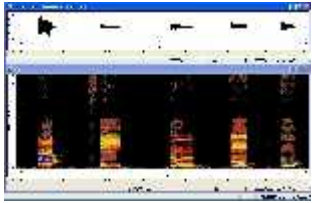
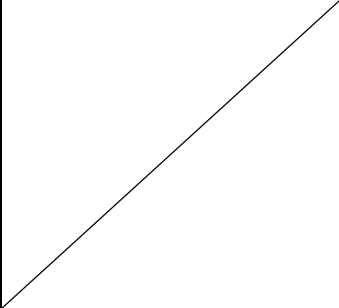

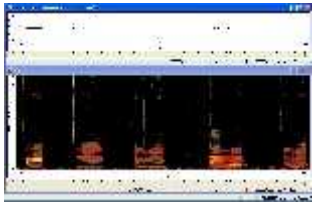



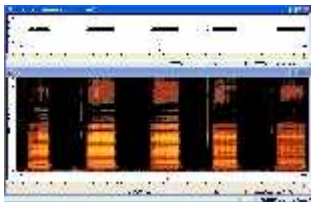
モニター評価者8 (男性)		試験日：3月3日		
エイトンII ゆらぎ		 あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド・バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
固定バンド・バネ弱	従来型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お
	薄型振動子	 あ い う え お	 あ い う え お	 あ い う え お

図16 モニター評価者8の音声分析結果


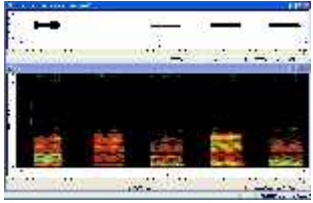
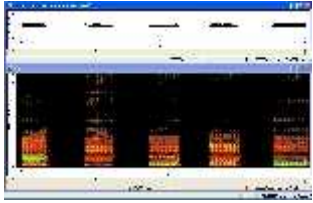


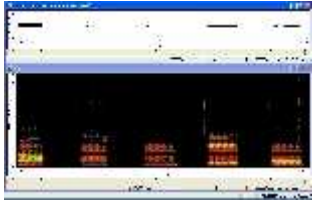
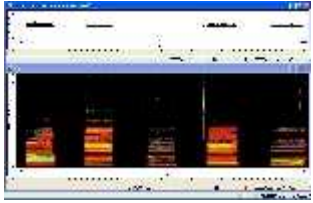



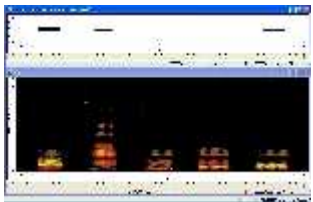


モニター評価者9 (男性)		試験日：3月20日		
エイトンII ゆらぎ				
		あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド・バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お
固定バンド・バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お

図17 モニター評価者9の音声分析結果

モニター評価者10 (男性)		試験日：3月20日		
エイトンII ゆらぎ				
		あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド・バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お
固定バンド・バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お

図18 モニター評価者10の音声分析結果



モニター評価者11 (男性)		試験日：3月20日		
エイトンII ゆらぎ				
		あ い う え お		
		ハンズフリー型装着直後	1回目の上下左右運動後	2回目の上下左右運動後
固定バンド・バネ強	従来型振動子			
	薄型振動子			
固定バンド・バネ弱	従来型振動子			
	薄型振動子			
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お
		あ い う え お	あ い う え お	あ い う え お

図19 モニター評価者11の音声分析結果



## 開発成果の公表に関する一覧表

### 書籍・雑誌

公表者名	タイトル名	書籍・雑誌名	巻号	出版社名	出版地	出版年	ページ
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

### 公表された URL

特になし。

### 展示会

発表者氏名	展示会名	主催者	開催期間	開催場所
須貝保徳	平成 22 年度障害者自立支援機器等 開発促進事業における開発成果の 一般公開	厚生労働省	平成 23 年 3 月 9 日	厚生労働省講堂
-	-	-	-	-

## 開発成果の公表に関する刊行物・別刷

特になし。