

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月14日現在

機関番号：56302

研究種目：基盤C 一般

研究期間：平成21年度～平成23年度

課題番号：21500533

研究課題名（和文）重度身障者の為のマルチセンサアレイを用いた個人特性適応型インターフェースの開発

研究課題名（英文） Development of individual adaptive input interface by using multi sensor array for disabled persons

研究代表者 葛目幸一 (KUZUME KOICHI)

独立行政法人国立高等専門学校機構 弓削商船高等専門学校 情報工学科 教授

研究者番号：80225151

研究成果の概要（和文）：

マルチセンサーを用いた、安価、軽量で、重度の身体障害者でも容易に装着できる入力デバイスを開発した。入力信号には、呼気と歯音信号を用い、呼気検出にはピエゾフィルムセンサ、歯音の検出には骨伝導マイクを用いた。各センサで捉えた呼気信号と歯音信号を正確に検出するために新しい信号処理方法を開発し、信号処理アルゴリズムと外部機器との接続回路を IC チップに実装した。デバイスのユーザビリティを評価した結果、通常のマウスと比較して2倍程度の操作時間を要するものの、十分実用性があることを示した。

研究成果の概要（英文）：

We developed the input device for disabled persons, which has superior features including low-price, light weight, and easy to fit. The expiration and tooth-touch sound signals were used as input signals. These signals can be detected by a piezo-film sensor and a bone-conduction microphone, respectively. The novel methods for detecting these signals accurately were devised and implemented on a one-chip IC which includes several functions, such as signal detection and interface circuits to connect with the external devices. The evaluation of usability of our device was executed. The results showed that operation time of our device was twice longer than that of the conventional mouse, however it indicated that our device was very useful input device for disabled persons.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,500,000	450,000	1,950,000
平成22年度	700,000	210,000	910,000
平成23年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：（1）身障者（2）インターフェース（3）歯音信号（4）呼気信号（5）個人特性適応

## 1. 研究開始当初の背景

ALSや頸椎損傷などで、頭部の運動機能しか残されていない重度の身体障害者が自立したQOL（Quality Of Life）の高い生活を送

るためには、家族や医師、介護者によりスムーズなコミュニケーションをとることは不可欠である。これまで、脳波や筋電信号、視線などの生体信号を利用したコミュニケー

ションを支援するための様々なデバイスが開発されている。表1に既存のデバイスと本研究で提案するコミュニケーションデバイスを示す。身体障害者のためのコミュニケーションデバイスには次の条件が求められるが、既存のデバイスは未だこれら全ての条件を満足するには至っていない。

- 小型で装着が容易である。
- ユーザにとって肉体的負担が小さい。
- 安価である。
- 複数の制御スイッチがある。
- 応答性に優れている。
- ハンズフリーである。

研究代表者の葛目は、上記の背景をふまえて最近「歯音を用いた入力デバイス」を提案し、現在実用化に向け研究中である。このデバイスは、歯を噛む時に発生する歯音を頬（または耳）に装着した骨伝導マイクで検出し、入力信号として利用するものである。しかし、このデバイスは歯を噛む回数で各種制御を行うため、制御チャンネル数に制限があり、入力効率が低く、パソコンを用いた文字入力システムなどに長時間使用するとユーザの肉体的負担が大きくなる問題がある。

## 2. 研究の目的

研究代表者の葛目は、上記の背景をふまえて最近「歯音を用いた入力デバイス」を提案し、現在実用化に向け研究中である。このデバイスは、歯を噛む時に発生する歯音を頬（または耳）に装着した骨伝導マイクで検出し、入力信号として利用するものである。しかし、このデバイスは歯を噛む回数で各種制御を行うため、制御チャンネル数に制限があり、入力効率が低く、パソコンを用いた文字入力システムなどに長時間使用するとユーザの肉体的負担が大きくなる問題がある。

そこで当該研究では生体信号として「歯音信号」に新たに「呼吸信号」を加え、制御チャンネル数を増やし、入力効率を大幅に改善する「マルチセンサアレイを用いた個人特性適応型インターフェース」を開発する。本システムには、歯音検出のための骨伝導マイクと研究代表者の葛目が新たに考案した piezofilm センサをアレイ状に配置した呼吸検出器が組み込まれている。piezofilm センサは、呼吸による物理的な空気振動と呼吸による温度変化を電圧に変換する（熱電効果）機能がある。このセンサをアレイ状に配置することで、ユーザごとに異なる、呼吸の方向や呼吸のかかる場所を正確に特定することができる。また、本センサで、呼吸による空気振動と温度変化を熱電効果を利用することで、同時に捉えることができ、正確な呼吸の検出が可能になる。また、歯音、呼吸に関してユーザの個人特性を自動学習し、デバイスをユーザの個人特性に応じて自動

チューニングする機能が内蔵されている。

## 3. 研究の方法

インターフェースシステムの開発は、下記に従って実施した。

- 歯音信号の解析と検出
- 呼吸信号の解析と検出
- FPGA を用いたハードウェアの実現
- システムの性能評価で実施した。

### (1) 歯音信号の解析と検出

歯を噛む強さ、即ち歯音信号の振幅は年齢や性別、インターフェースを使用する時間に依存する。そこでまず、歯音信号の特徴を明らかにするため信号の周波数スペクトル、信号の持続時間、振幅などを計測し、解析した。その結果、歯音信号の周波数スペクトルは 600 Hz 付近に存在し、その持続時間は 10 msec 程度とユーザが次の歯音を発生するのに必要な時間に比較して十分短く、それらには大きな個人差は認められなかった。しかし骨伝導信号には、音声信号も含まれ、インターフェースの誤動作の原因になるため骨伝導信号から歯音信号のみを取り出す必要がある。一般に音声信号と歯音信号は周波数スペクトルがオーバーラップしているため、通常の BPF では正確に検出することができない。研究では、骨伝導真が信号から歯音信号のみを正確に取り出すことができる、「信号適応閾値処理法」を考案した。図1に歯音信号の検出実験の様子を図2に考案した手法による歯音信号の検出結果を示す。音声信号の振幅よりも小さい歯音信号でも正確に検出されていることがわかる。

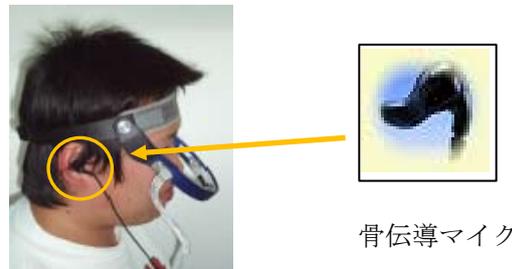


図1. 歯音信号の入力実験の様子

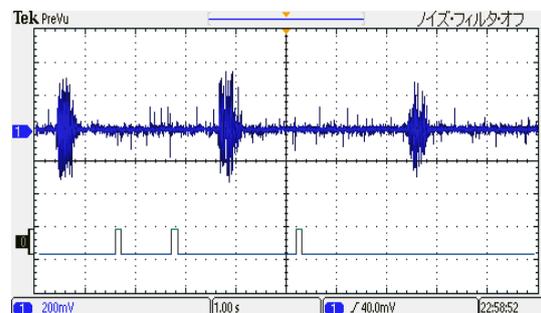


図2. 信号適応閾値処理による歯音信号の検出結果

### (2) 呼気信号の解析と検出

本研究では、呼気の検出に、小型、軽量で微弱な呼気でも検出できる適度な弾性を持つ  $13 \times 12 \text{ mm}$  の piezofilm センサを使用した。センサはユーザの唇から約  $8 \text{ cm}$  の位置にセットし、呼気を吹きかける実験を実施した。piezofilm センサの出力には呼気信号以外に DC オフセット雑音やハム雑音が含まれるため、整数型スプラインウェーブレットフィルタにより高周波成分のみを取り出し、その信号のエネルギーの大きさによって呼気信号の判別を行った。図3に呼気信号の検出結果を示す。本手法による呼気の検出精度は  $97.8\%$  であった。

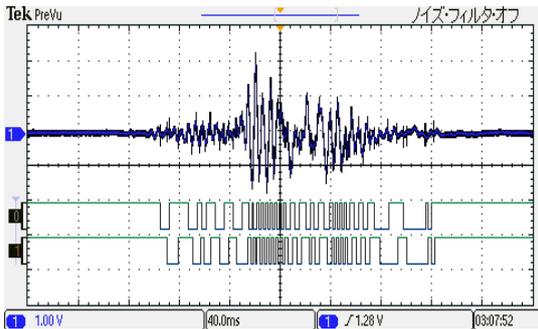


図3. 呼気信号の検出結果

### (3) FPGA を用いたシステムの実現

歯音、呼気を用いた入力インターフェースのアーキテクチャを図4、図5に試作したインターフェースボードを示す。インターフェースボードには、12ビットADC、増幅器、LPF、フォトカプラ、FPGAが組み込まれており、呼気、歯音検出回路、機器を制御するためのコード発生回路が内蔵されている。使用したFPGAデバイスはXilinx社製のSPARTAN-3で、3Vで動作する。ロジック設計には、VHDL (ハードウェア記述言語) を用いた。

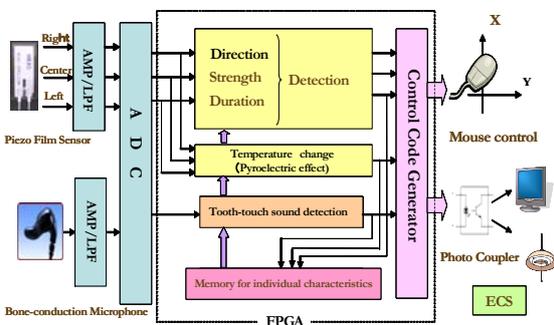


図4. 入力インターフェースデバイスのアーキテクチャ



図5. 試作したインターフェースボード

### (4) システムの性能評価方法

ポインティングデバイスの評価は、Fitts の方法により行った。Fitts の法則は、手を利用して操作を行うマウスやタブレットペン、ジョイスティックなどのインターフェースデバイスの操作性を評価するもので、入力効率を改善するための画像インターフェースの設計に利用されている。Fitts の法則は①式で与えられる。MT は、ポインタをある場所から別のターゲットに移動させるのに必要な移動時間、ID は操作の難易度を表す指標で②式で表される。D はターゲット間の距離、W はターゲットの幅である。(図6参照)

$$MT = a + bID \quad \text{①式}$$

$$ID = \log_2 \left( 1 + \frac{D}{W} \right) \quad \text{②式}$$

実験では、開発したインターフェースの操作性が Fitts の法則に従うのかを確かめるため、パソコンの画面上に、幅 W (3種) の異なる2つのターゲットを距離 D (3種) 離して配置し、歯音でターゲットをクリックした後、呼気によりポインタを移動させ、ポインタがもう一方のターゲットに入ったとき再び歯音でクリックする。これらの動作を行うために必要は時間を計測する。

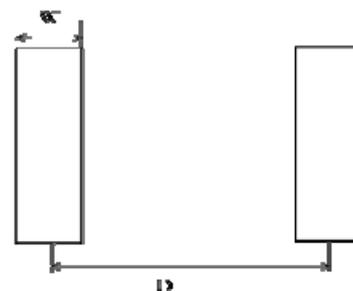


図6. ポインティング動作評価に使用した画面

(5) 評価結果

ボール型マウスと開発したデバイスの典型的な速度特性の実験結果を図7に示す。通常のマウスは、ポインタの初期移動時にピークを持つが、ターゲットに近づくにつれてその速度は、ユーザに制御されて小さくなることわかる。一方、開発したデバイスには、特に大きな変化はない。図8にターゲットの幅(W)、ターゲット間隔(D)を変化したときの平均移動時間(MT)の計測結果を示す。MT値はターゲット間隔が大きく、ターゲットの幅が小さくなるほど大きくなることわかる。2つのデバイスともMTとIDは、ほぼ比例関係にあり、その時の相関係数は、 $R1=0.81$ 、 $R2=0.67$ であり、ほぼFittsの法則に従っているものと考えられる。開発したデバイスの相関係数が小さいのは、ターゲット幅が小さくなると呼吸によるポインタの制御では個人差が大きくなるためであると考えられる。

図8から、開発したデバイスは、通常のマウスよりも約4倍のポインティング時間が必要であることがわかる。図8から求めた各デバイスのIDとMTは、ほぼ直線関係にあることがわかる。図9は、ターゲット間距離D、ターゲット幅Wの12種類の組み合わせによる移動時間の計測結果である。

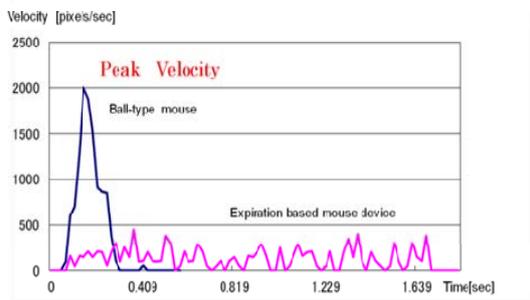


図7 ポインティング速度特性

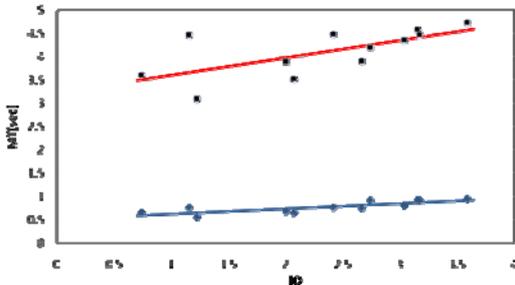


図8 IDモデルを用いた移動時間特性の計測結果

Table 1 W と D の組み合わせ実験

Condition	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4
D[mm]	100	240	400	540	100	240	400	540	100	240	400	540
W[mm]	45	45	45	45	65	65	65	65	75	75	75	75

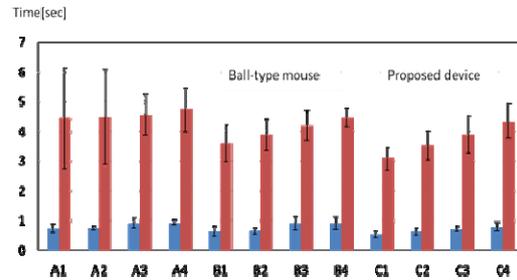


図9 W と D の組み合わせによる移動時間の計測結果

(6) TV コントローラへの応用とその評価  
回転型メニュー方式の入力画面の開発

Fitts の法則に基づく実験結果からも明らかのように、呼吸でポインティング動作を行うことは、通常のマウスと比較しても、4倍の時間が必要であるとともに、呼吸のみの入力ではポインティング方向を制御する自由度が小さい。そこで、回転型メニュー方式の入力画面を新たに開発し、TVの制御に応用した。図10に入力画面を示す。開発したデバイスと本入力画面を利用したTVの制御の性能評価は、下記の手順で実施した。

- チャンネルのスキップ数を1、2、3と変化し、その時の動作時間を計測する。計測された動作時間を  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  とする。
- 画面に指定されたランダムに変化するCH番号にチャンネルを設定するまでに要す時間を計測する。この時の測定値を  $T_4$  とする。

図11に開発したインターフェースデバイスを用いたTV制御の実験の様子を示す。

図12は、様々なタスクを実行するための動作時間を示す。この結果から、回転型メニュー方式の採用により、通常のマウスに比べ、2倍程度の動作時間が要することがわかる。

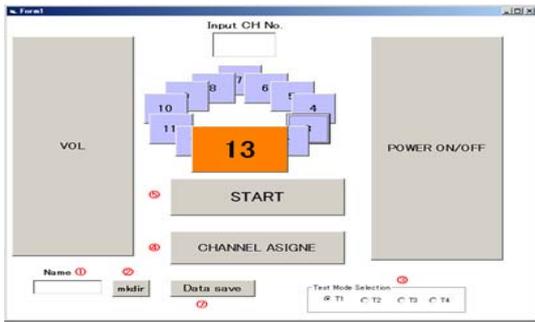


図10 TVチャンネルコントロールのための回転メニュー式入力画面



図11 開発したデバイスを用いたTVのチャンネル制御の様子

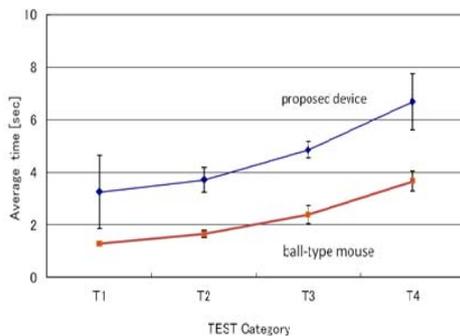


図12 様々なタスクに対する動作時間

#### 4. 研究成果

本研究により得られた主な成果は、下記のとおりである。

- 歯音は骨伝導マイクを利用することにより容易に検出することができ、研究では、その音響特性性を明らかにした。
- 実際の骨伝導信号には、歯音信号以外に音声雑音や白色雑音が含まれる。歯音信号のみを取り出すために「信号適応型閾値処理法」と「Dyadic型ウェーブレット変換を用いた雑音除去法」を開発した。
- ピエゾフィルムセンサを用いて呼気信

号を容易に検出することができ、呼気信号の性質を明らかにした。

- 呼気信号をインターフェースの入力信号に利用するために、「Dyadic wavelet変換」と「絶対値・Lowpass処理」を利用した信号処理法を考案し、呼気信号の正確な検出法を開発した。
- 開発したインターフェースのユーザビリティを評価した結果、Fittsの法則に従うことを確認した。ユーザビリティは、通常のマウスと比較して、4倍の移動時間を持つことが分かった。
- 開発したインターフェースに適する、メニュー回転型の入力画面を考案し、TVの制御に利用した。回転型メニューにより、動作時間を通常のマウスの2倍まで短縮することができた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① Koichi Kuzume, Evaluation of Tooth-touch Sound and Expiration Based Mouse Device for Disabled Persons, Proc. of the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (2012)、査読有、DOI: 10. 1109/PERCOMW. 2010. 5470589
- ② Koichi Kuzume, Tooth-touch sound and expiration signal detection and its application in a mouse interface device for disabled persons, Proc. of the International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems CD-ROM(2011)、査読有、<http://www.scitepress.org/DigitalLibrary/User/Search.aspx>
- ③ Koichi Kuzume, Input device for disabled persons using expiration and tooth-touch sound signals, ACM The 25th Annual ACM Symposium on Applied Computing, pp.1159-1164頁(2010) 査読有、<http://www.acm.org/conferences/sac/sac2010/>
- ④ 葛目幸一、石渡寛明、村上有希、松浦沙絵、村上瞳 重度身体障害者のためのピエゾフィルムセンサを用いた呼気入力デバイスの開発 pp. 95-101、弓削商船高等専門学校紀要、第32号、平成22年2月、査読無

[学会発表] (計1件)

葛目幸一 石渡寛明

ピエゾフィルムセンサを用いた呼気マウスの開発 インターアクション2010 論文集、情報処理学会(2010)、査読無

[その他(招待講演)] (計2件)

① 葛目幸一

“身体障害者のための歯音呼気マウスの性能評価”、生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2012、長岡技術科学大学、2012年1月23日、査読無

② 葛目幸一

“歯音と呼気を用いたマウスインターフェースデバイスの開発”、生体情報処理と高度情報処理シンポジウム2011、長岡技術科学大学、2011年1月24日、査読無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

葛目幸一 (KUZUME KOICHI)

弓削商船高等専門学校・情報工学科・教授  
研究者番号：80225151

### (2) 研究分担者

峯脇さやか (MINEWAKI SAYAKA)

弓削商船高等専門学校・情報工学科・助教  
研究者番号：20435473