

タブレット端末における息を用いたインタラクションの提案

小山雄斗^{†1} 岡誠^{†2} 森博彦^{†1}

概要: 情報端末の画面に息を吹きかけて操作を行うインタラクションを提案し評価を行う。息は日常的なインタラクションである。息によって操作を行う呼気式入力装置は従来から研究されているが、使用者がセンサに向けて息を吹きかける必要がある。提案システムでは情報端末の画面に向けて吹きかけられた息を検知することで、画面に表示されたオブジェクトに対して使用者による選択や決定などの操作を可能とした。本研究では息を用いた操作をタブレット端末に割り当てることで、息のインタラクションを評価する。

キーワード: 呼気, ヒューマンインタフェース, インタラクティブシステム, マイクロフォン

Proposal of Interaction using breath on tablet device.

YUTO KOYAMA^{†1} MAKOTO OKA^{†2} HIROHIKO MORI^{†1}

Abstract: We propose and evaluate the interaction which operate by expiratory flow. The breathing is a daily interaction. Some input devices by breath have been studied so far, but users need to blow their breath towards the sensors. The proposed system made users operations possible such as selection and decision at objects displayed on the screen by detecting expiratory flow on the screen of the information terminal. In this research, we evaluate the breath interaction by assigning the expiratory flow operation to the tablet terminal.

Keywords: expiratory flow, human interface, Interactive system, microphone.

1. はじめに

近年,スマートフォンの普及によって多くの場所・環境で情報端末を使用することが可能になった。その要因に,タッチ画面による携帯性と操作性が挙げられる。一方,タブレットなどの大画面の情報端末も広く普及しており,一度に多くの情報を扱うことに優れた特徴を持つ。しかし,大きさや重さのあるタブレット端末の操作は片手だけで行うことができない。そのため,大画面の端末は,電車の吊革に掴まる,手荷物を持つ,というような「片手のふさがる状況」での利用が困難である。ゆえに従来の入力装置では状況によって情報端末の利用を制限されてしまう問題がある。

本研究では,情報端末の画面に息を吹きかけることで画面に表示されたオブジェクトの操作を行うインタラクションを提案する。タブレットなどの大画面の情報端末に息の操作を割り当てることで「片手のふさがる状況」でも操作が可能になることを目指し,タブレット端末における息を用いたインタラクションの検証を行う。息を用いて操作を行う装置の先行研究はあるが,その目的や装置の要件が異なるため次に紹介する。

2. 関連研究

従来から息によって操作を行うための呼気式(吸気式)

入力装置が研究されている。その目的の多くは身体機能が低下した重度障がい者の入力操作支援[1],[2],[3]や,VR,MR環境でのエンターテインメントシステム[4],[5]などである。

重度障がい者による入力を目的とした研究では,呼気(吸気)スイッチと呼ばれる装置が実用化されている。呼気スイッチはユーザが管を銜え,息を吹く(吸う)ことでスイッチ入力を実現している。しかし,入力できる情報はON-OFFのみであり,複数の機器やコンピュータの操作を容易に行うことができない。

北山ら[2]は呼気スイッチを発展させた呼気マウスを提案した。呼気マウスでは従来の呼気スイッチとは異なり,息の強弱を用いることでマウスカーソルの操作を実現した。しかし,呼気・吸気それぞれの強・弱による計4通りを上下左右への移動に割り当てているもので,操作対象を直接選択することはできない。

久米ら[6]は口に銜える接触型の装置について,口を制約するとともに衛生上の問題があると指摘している。そこでロードセルを用いて風圧から息を検知する非接触型の装置を提案し息の検知を行った。しかし,非接触型であるため,ユーザは設置されたセンサを狙って息を吹きかける必要がある。

伊賀ら[4]の研究ではヘッドセットに取り付けられたマイクの音声信号を用いて,非接触の状態では呼気と吸気の検知を行った。さらに頭部に装着した磁気センサを用いることで頭部の向きによるポインティング操作を行い,ユーザ

^{†1} 東京都市大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Tokyo City University Graduate School
^{†2} 東京都市大学知識工学部
Faculty of Knowledge Engineering, Tokyo City University Undergraduate
Division

が狙った対象のオブジェクトに息の操作を反映させた。装置を身に着ける装着型であるため吹きかける度にセンサ部を狙う必要はなくなったが、使用するためには装置を身に着けていなければならない。また、頭の向きによってポインティング操作を行うため、実際に息を吹きかけている方向と操作対象となるオブジェクトの位置にズレが生じる可能性がある。

金田ら[7]はアクリル板に毛状物体を設置した毛状ディスプレイを提案し、非接触型かつ非装着型で息の吹きかけ位置や方向を検出した。ただし画面全体が毛で覆われているため、息が吹きかけられる毛状ディスプレイ上にオブジェクトを表示することはできない。

3. 研究目的

本研究ではユーザが装置を非接触かつ非装着の状態、操作対象のオブジェクトそのものに息を吹きかけて操作を行うシステムを提案し評価を行う。従来の研究から息によるインタラクションが提案されているが、息の入力装置と結果の出力装置が異なり、操作対象に直接息を吹きかけて操作することはできていない。そこでタブレット端末の枠に複数のセンサを取り付けて息の位置を特定する装置を実装し、息で操作対象を直接指定し作用させるインタラクションの実装と評価を行う。

4. 息のインタラクション

4.1 息による特性

息は日常生活の中でも使われるインタラクションであり、人間は「ロウソクの火を吹き消す」や「綿毛を吹き飛ばす」といった行動を起こす。このような息での操作対象に似せた画面を用いてメタファを示すことで、情報端末のユーザに設計者の意図した操作方法を想起させることができると考えられる。

また、呼吸は生命の維持に必要な運動であるとともに、人間が制御できる運動でもある。ゆえに人間が常に行える息を用いて操作を実装することで、状況や環境などによって情報端末の操作が制限される問題の解決に繋がると考えられる。

さらに、伊賀ら[4]の研究によると、息は「複数のロウソクの火を吹き消す」というような、操作とその対象が一对多の関係で行える特徴がある。一般的な情報端末のインタラクションは直接操作に代表されるように、操作とその対象が一对一に対応しているものが多いと述べられている。

次に、息による操作の特徴をまとめ、装置として検出する息の要素を決定する。

4.2 息の要素

息に含まれる情報を用いてシステムの操作に割り当てるため、息からどのような情報を検出するかを検討する。

表 1 では、息を「吹く」動作を分類した。装置ではなく

表 1 吹く動作の分類

状態	操作対象	操作対象の具体例
接触	銜えたもの	風船を膨らませる 楽器を吹く
非接触	1つ～複数 範囲	ロウソクの火を消す ホコリ、綿毛を飛ばす 煙を吹き飛ばす

表 2 吸う動作の分類

状態	操作対象	操作対象の具体例
接触	銜えたもの	ストローを吸う タバコを吸う
非接触	1つ～複数 範囲	



図 1 システム概要

操作対象によっても接触・非接触が異なることが分かる。

また、非接触の場合は操作対象を狙って吹きかけ、息の強弱によって操作対象の個数や範囲を選択し、息の長さによって作用する長さが変わる。よって、息の位置、長さ、長さを検出することで、非接触での息の操作を実現できると判断した。

表 2 では、息を「吸う」動作を分類した。吸う動作では非接触到「何かを狙って吸う」といった動作がないため、今回の非接触型の装置では吸う操作を実装しないこととした。

ゆえに、息を「吹く」の位置、強さ、長さを装置で判定することで息による操作の実装を行う。

5. 提案システム

5.1 システムの概要

本研究で用いるシステムの概要を図 1 に示す。タブレット端末の枠 12 箇所にコンデンサマイクを配置し、マイクの値を用いて息を検知する。息の状態として、息の ON-OFF と、息の状態として位置、強さ、長さの 3 つを判定する。

5.2 システムの構成

実装したシステムではタブレット端末に Acer ICONIA TAB A500 を使用した。タブレット端末の液晶画面の大きさは縦 13.6[cm]、横 21.7[cm]であり、液晶画面の周囲にコ

ンデンサマイクを均等に縦3つ横5つ配置した。コンデンサマイクの向きは画面中央に向けてある。また、タブレット端末と12個のコンデンサマイクの他に、それらを繋ぐためマイコンボードとしてArduinoを用いた。

5.3 息の検出処理

息のON-OFF, 息の長さ, 息の強さ, 息の座標, それぞれの検出処理を次に示す。

5.3.1 息のON-OFF

息のON-OFFはマイクごとに処理を行う。マイクごとに取得した信号を用いて、その時点から過去30回(約0.17秒)だけ値を探索する。マイクの波形が信号のニュートラル時の2.5Vから±0.49Vを超えた回数をカウントし、30回中で10回以上ある場合は「息がある」と判定した。マイク12個のうち一つでも息があると判定されれば、システム全体で息があるとする。

図2の場合は、あるマイクにおいて、30回の内15回が±0.49Vを超えているため、「息がある」と判定する。各々のマイクにおいても同様に息の検出を行う。

5.3.2 長さ

息の長さについては、装置にある12個のマイクのうち、一つ以上に「息がある」と判定されている場合はカウントアップを行う。「息がない」と判定されるまでカウントアップし続けることで、息の長さを算出する。

5.3.3 強さ

息の強さについては、マイクごとに強さを算出後、全てのマイクの強さを合計することによって息の強さとする。マイクごとの信号の強さは、ニュートラル時である2.5Vからの増減に絶対値を取り過去30回分加算する。

マイクごとの強さを Ms としたとき、1つ目のマイクの強さ Ms_1 は式(1)によって求める。

息の強さを BS は式(2)によって求める。

息が強いほど複数のマイクに大きな増減が得られるため、全てのマイクの強さを足す処理を行っている。この処理により、検知できる息の強さの上限を引き上げる目的がある。

5.3.4 位置

息の座標を計算するため、図3のようにマイクへ座標を割り当てた。マイクごとの信号の強さ BS を重みとして、息の重心を計測することで吹きかけ位置を特定する。このときマイクごとに過去30件の信号を使用するが、新しいほど結果に反映するよう処理を行う。

息の座標を $Bxy(Bx,By)$ とし、式(3)と式(4)によって求める。 Bx とる値は0~4で、 By がとる値は0~2である。

ここで、本装置で用いるタブレット端末の画面解像度の横1280px、縦752pxを用いることで、画面上の息の座標 $BSxy(BSx,BSy)$ を式(5)と式(6)で求める。



図2 マイクの信号 (息がある状態)

$$Ms_1 = \int_{-30}^0 |\text{取得値} - 2.5V| \quad (1)$$

$$BS = \{Ms_1 + Ms_2 + Ms_3 + \dots + Ms_{12}\} \quad (2)$$

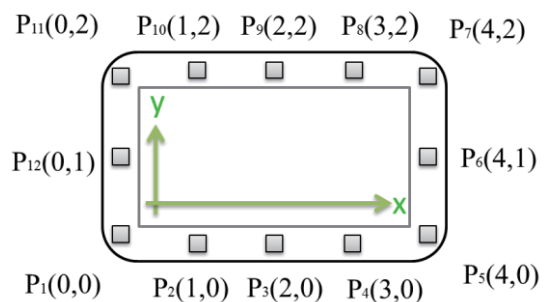


図3 マイクに割り当てる座標

$$Bx = \frac{P_1x * Ms_1 + P_2x * Ms_2 + \dots + P_{12}x * Ms_{12}}{Ms_1 + Ms_2 + \dots + Ms_{12}} \quad (3)$$

$$By = \frac{P_1y * Ms_1 + P_2y * Ms_2 + \dots + P_{12}y * Ms_{12}}{Ms_1 + Ms_2 + \dots + Ms_{12}} \quad (4)$$

$$BS_x = \frac{Bx}{4} * 1280 \quad (5)$$

$$BS_y = \frac{By}{2} * 752 \quad (6)$$

6. 装置の評価実験 (息座標の検出精度)

6.1 目的

提案装置によってどれだけ正確に息の位置を検知できているか検証する。そのためには、息が正確に吹きかけられたという前提を作る必要がある。そこで、送風機によって息を再現し正確に画面へ風を当てることで、装置による息座標の検出精度を測定する。

6.2 方法

図4に示すようにタブレット端末の画面に半径2.75[cm]

的を表示し、その的の中心に向けて送風機で風を送る。的の座標と装置で検知した息の座標を記録し、その距離[cm]を「息のズレ」とする。的に向けて風を送るとランダムに的の位置が変わるため、的の中心に向けて風を送る試行を 1026 回繰り返した。

送風機による風を人間の息に似せるため、送風機の送風口の径を絞るとともに風量を調節した。また、送風機による風が正確にタブレット端末へ当たるよう、的が移動する度に的の正面へ送風機を移動させた。そのため、送風機によって送られる風は画面に対して垂直に当てられる。

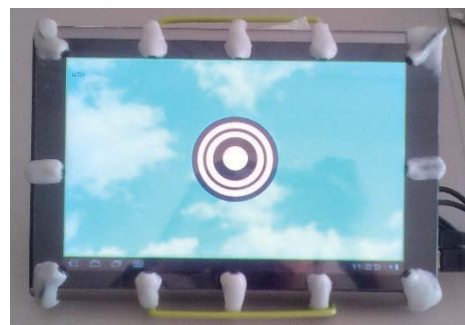


図 4 ターゲットの表示

6.3 結果

6.3.1 精度・ズレ

息のズレの平均値 μ は 1.49[cm]となり、標準偏差 σ は 0.72 となった。図 5 に息のズレの分布を示す。正規確率紙より正規分布であるため、 $\mu + 2\sigma = 2.93$ [cm]のズレ以下に 95%の息が収まるといえる。次に、この精度が妥当なものであるかズレの傾向から判断する。

6.3.2 ズレの傾向

図 6 にズレの方向を示しており、矢印の矢筈が的の座標、矢尻が息を検知した座標を意味する。試行回数の 1026 回分の矢印を描画するのではなく、画面領域ごとにズレを集計して描画した。図 6 より、ズレは画面外に向く傾向が見られる。また、マイクを設置している箇所に向けてもズレが生じているため、最も近いマイクの座標に引き寄せられる傾向があるといえる。そのため、補正によって精度を改善できると考えられる。

6.4 ズレの補正

息のズレが画面の外に向く傾向があるため、息の座標計算時に画面中心のマイクほど重みを増す処理を付け加えて補正を行った。その結果、前回と同一のデータでズレの平均値 $\mu = 1.37$ [cm]、標準偏差 $\sigma = 0.69$ と精度が改善した。そのため、 $\mu + 2\sigma = 2.75$ [cm]のズレ以下に 95%の息が収まるといえる。ただし、依然として画面外に向けてズレが生じる傾向は現れているため、息の座標の計算時に最も近いマイクの重みを下げることで改善することが見込まれる。

6.5 考察

息が画面へ正確に吹きかけられる条件を前提に、システムで検知する息の座標のズレが 95%の信頼度で 2.75[cm]以下に収まるとわかった。2.75[cm]はちょうど画面に表示した的と同じ大きさであるため、的の大きさであれば 95%の信頼度で狙って吹きかけることが可能であると言える。

装置に使用した Android タブレットにある標準のメニューのアイコンサイズは 1.3[cm]四方であるため息によって正確に選択する事は難しい。ただし、息を吹きかけた場所を中心に縦 3 個×横 3 個の計 9 個のアイコンを拡大し、再度その 9 個のアイコンから選択させるなどして標準サイズのアイコンから目的のアイコンを選択することは可能と考えられる。

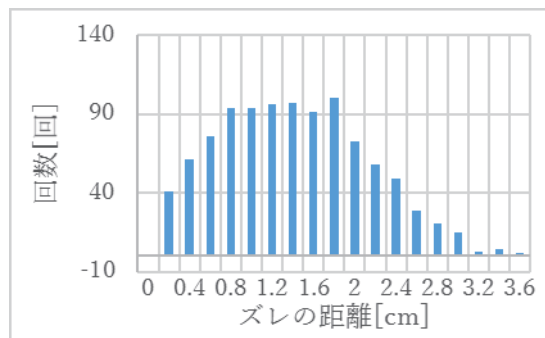


図 5 息のズレのヒストグラム

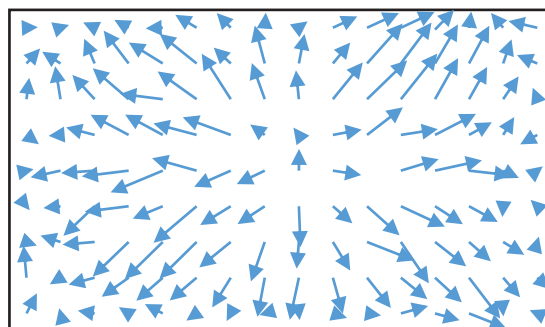


図 6 画面領域ごとの息のズレの方向

次に人間の息によって吹きかけた場合の精度を測定する。

7. 人間の息によるシステムの評価実験

7.1 目的

6 章の実験では送風機によって正確に風を当てた条件で座標の検知精度を計測した。しかし、本来の目的は人間によって吹きかけられた息の座標を検知することである。人間が狙った場所へ正確に息を吹きかけられずズレが生じることや、息の吹きかけ方によっても検知できる息の精度が異なると考えられる。そこで、被験者をとり人間の息の条件で装置の精度を測る。

7.2 被験者

被験者は大学生 7 名の男女とした。

7.3 計測対象と実験方法

被験者にタブレット端末を両手で持たせ、息を吹きかけさせる。タブレット端末の持ち方や傾け方、息の吹きかけ方は被験者に負荷のない方法で行わせた。装置の精度に影

響する可能性を考慮し、実験中にタブレット端末の画面と顔との距離を測定する。

息の最大の長さ、強さの吹き分け、座標の精度をそれぞれ別々に実験を行うため、次に一つずつ実験方法の説明する。

7.3.1 息の長さの実験

被験者に長く息を吹きかけさせ、どの程度まで長く吹き続けられるかを計測する。被験者はシステムが反応するだけの強さで息を吹き続ける必要があるため、画面にはシステムが息を検知し続けているか否かを表示した。試行回数は10回とした。

7.3.2 息の強さの実験

被験者に5段階（最弱・弱・中・強・最強）の息を吹き分けさせた。図7のように被験者は吹きかける息の強さをメーターによって指示され、指示された強さで画面に吹きかける動作を繰り返す。メーターは12本のバーによって構成されており、5段階（最弱・弱・中・強・最強）それぞれを1本,3本,6本,9本,12本で示す。メーターは被験者に吹きかけさせる強さを示すだけであり、被験者によって吹きかけられた息の強さはフィードバックを返さない。試行回数は200回とした。

7.3.3 息の座標の実験

6章の実験と同様に画面に的を表示し、的の中心を狙って被験者に息を吹きかけさせる。システムが息を検知するとランダムに的の位置が変わる。試行回数は200回とした。

7.4 結果

息を吹く際のタブレット端末の画面と顔の距離は15～20[cm]であった。どの被験者もほぼ同じ距離で息を吹きかけていた。そのため、タブレット端末の画面と被験者の顔の距離には、大きな条件の差は見られなかった。

7.4.1 長さ

表3に被験者ごとの最大の息の長さの平均を示す。本研究で提案するシステムでは、多くの被験者が行える範囲で息の操作を実装するため、「長い息」と判定する条件に2.6秒を設定することにする。

7.4.2 強さ

被験者に強さを5段階で吹き分けさせ、最も良く吹き分けられた被験者の結果を図8に示す。実装するシステムでは信頼度95%の吹き分けを採用するため、5段階の吹き分けは困難であると判断した。

次に、3段階(最弱・中・最強)での吹き分け精度を検証するためヒストグラムを描画したところ図9のようになった。

3段階の吹き分けにおいて正規確率紙を用いて検定した結果、それぞれの分布は正規分布であった。3段階の分布が重ならない信頼度を被験者ごとに求めたところ表4のような値が得られたため、3段階では信頼度95%の吹き分けは難しいといえる。



図7 息の強さ吹き分け画面（吹きかけ指示：最強）

表3 被験者ごとの息の長さの平均

	長さの平均[ms]
被験者1	5423
被験者2	4001
被験者3	3381
被験者4	2665
被験者5	5204
被験者6	4327
被験者7	2863

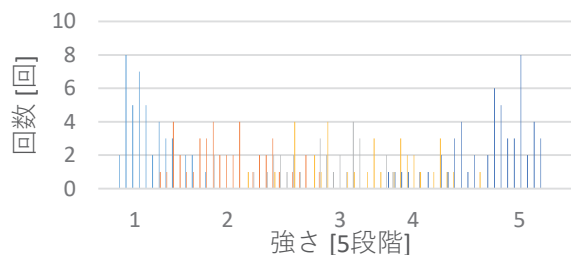


図8 息の強さの分布 5段階での吹き分け

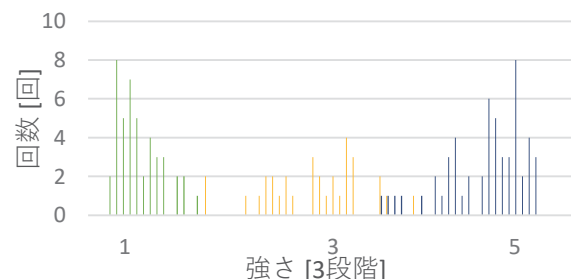


図9 息の強さの分布 3段階での吹き分け

表4 3段階での吹き分けの信頼度

	信頼度
被験者1	92%
被験者2	86%
被験者3	59%
被験者4	94%
被験者5	91%
被験者6	82%
被験者7	87%

最弱・最強の2段階の吹き分けではすべての被験者が信頼度95%を満たした。そのため、本システムでは強さを2段階として吹き分けさせる処理を実装する。

7.4.3 座標

被験者7人の息のズレを集計したところ、平均値2.52[cm],標準偏差1.56となった。ゆえに、6章で計測した送風機によるズレの平均値1.37[cm],標準偏差0.69より大きいといえる。

正規確率紙により正規分布であるため、精度の悪かった7人の被験者におけるズレは、信頼度の95%で5.26[cm]以下に収まるといえる。よって本研究で実装する息の操作では5.26[cm]のズレが生じることを前提としたシステム設計を行う。

7.4.4 提案する装置で使用する座標、強さ、長さの精度

息の長さ、強さ、座標はこれまでに得られた以下の条件で実装を行うことにする。

- A) 息の長さ：2.6秒を超えた場合に「長い息」の判定
- B) 息の強さ：弱,強の二段階の吹き分け
- C) 座標の精度：5.26[cm]までのズレを許容する

8. 息のメタファとインタラクションの実装

8.1 息にまつわるメタファ

タブレット端末にインタラクションを実装するため、息にまつわるメタファを3つ選定した。以下に3つを説明する。

8.2 風車のメタファによるアプリケーション選択

息を吹きかけることで風車が回転する(図10)メタファを用いて、アプリケーション選択画面を実装した(図11)。息を左右に吹き分けることにより環状に配置されたアイコンが時計回り・反時計回りに回転する。決定操作は画面に強く吹きかけることで実行し、最も画面下にあるアイコンのアプリが起動される。

8.3 吹き飛ばすメタファによる電子書籍の閲覧

息を吹きかけた座標の近くの複数枚の落ち葉が吹きかけた座標から遠ざかるように吹き飛ばす(図12)メタファを用いて、電子書籍を閲覧する画面を実装した。電子書籍を閲覧する画面には読書モードと概観モード(図13)の2つ表示形式を用意した。読書モードでは画面の左右に本のページが見開きで表示される。概観モードでは本のページを複数枚閲覧できる。息を左右に吹きかけることで吹き飛ばすようにページめくりを行い、モードの切り替えは画面に強く吹きかけることで行う。

8.4 ロウソクのメタファによる画面スクロールと選択

息を吹きかけた座標がロウソクの火と同じ場所なら火が消え、強く吹きかけることで複数本のロウソクの火が同時に消える(図14)メタファを用いて、地図(図15)とブラウザ(図16)の画面を実装した。息を吹きかけた座標まで画面のスクロールを行う。また、息を強く吹きかけることで吹き



図10 風車のメタファ

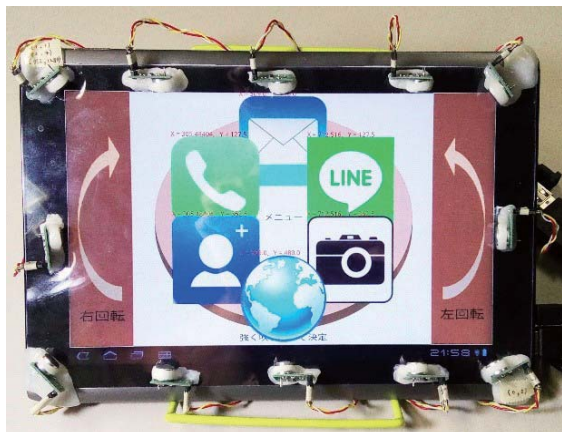


図11 風車メタファによるアプリ選択画面



図12 落ち葉を吹き飛ばすメタファ

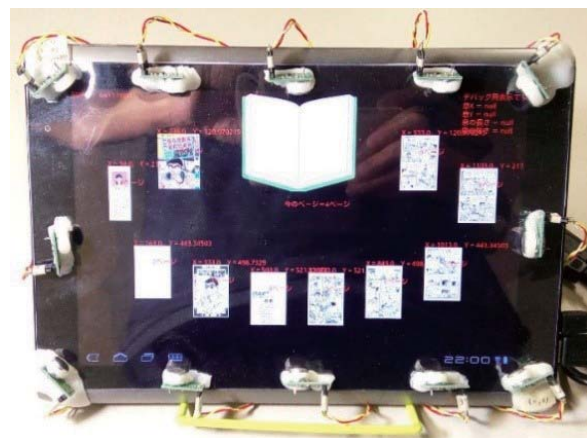


図13 電子書籍の画面 概観モード

飛ばすようにズームアウト、息を長く吹きかけることでズームインを行う。

8.5 実験

8.5.1 目的

息のメタファとインタラクションをそれぞれ評価する。

8.5.2 実験方法

息のメタファを評価するため、はじめに風車、ロウソク、落ち葉のメタファのみを被験者に提示し、息によってどのように動くかを想像させ発言させる。次に、メニュー選択、電子書籍、地図・ブラウザの画面を表示し、息によってどのように操作できるかを想像させ発言させる。



図 14 ロウソクのメタファ



図 15 地図



図 16 ブラウザ

息のインタラクションを評価するため、最後に被験者に息の操作を行わせる。実際に息によって操作を行わせ、想像していた操作と異なり違和感のある部分を発言させた。

8.6 結果

実験の結果、被験者によって想起される息の操作は、「ダブルタップ」や「フリック」などのタッチインタラクションに影響されるものが多く見られた。また、息の位置、強さをを用いた操作も想起されている反面、息の長さを操作に使用すると思いついた被験者はごく一部であった。被験者の意見からは、長い息は遠くにある対象へ吹き掛けるためや、息の作用を維持し続けるための手段であり、長く吹くことを目的として吹き掛ける考えには至らなかったと述べている。

また、被験者の多くが「吸う」の操作がないことに違和感を覚えていた。息は「吹く」と「吸う」の動作をセットとして認識しており、逆操作として使えるものとする被験者が大半を占めていた。ゆえに息のインタラクションを評価する上で「吹く」と「吸う」をセットにした操作が欠かせないものであると考えられる。

被験者から得られた特徴的な意見として、息のインタラクションはタッチインタラクションと比べて操作中に自身の存在を感じるとの意見が得られた。ロウソクのメタファでは、息を吹きかける対象のロウソクと、吹きかけている被験者自身との関係を強く意識したとの意見があった。また、地図の画面では被験者自身が衛星のように地形を上空から見ているような感覚になったとの意見が得られた。そのため、息のインタラクションでは操作対象と同じ空間にいるような一体感とともに、身体性を感じられると考えられる。

9. おわりに

本研究では息を吹きかけて操作を行うシステムを提案し評価を行った。マイクを用いた装置により非接触かつ非装着の状態での息の位置、強さ、長さを検出できることを示した。また、画面に表示された操作対象のオブジェクトそのものに息を吹き掛けることで、息で直接操作を実現できることを示した。

今後の課題として、非装着の装置で「吸う」の動作を検知し、被験者の想起する「吹く・吸う」の逆操作を実装していくことを検討している。多くの被験者が「吹く・吸う」の操作を真っ先に想起していたため、今回実装した操作は被験者に適切といえる結果にはならなかった。

タブレット端末に実装したことにより、被験者からタッチインタラクションと比較した意見が多く得られた。そのためタッチインタラクションとの操作感覚の違いや、状況や環境に制限されず操作できる可用性を比較していくことを考えている。

参考文献

- [1] 山本元司. 福祉機器操作のための呼気圧による入力インタフェース. 日本ロボット学会誌. 2010, vol.28, no.9, p.1079-1081.
- [2] 北山一郎, 中川秀夫. 気体流量センサを用いた重度障がい者用データ入力装置(呼気マウス)の開発. 近畿大学 生物理工学部 紀要. 2012.9. vol.30, p.17-27.
- [3] 赤澤堅造, 奥野竜平, 梶山隼輔, 北村智宏, 河合俊和, 真殿隼, 西田秀治, 市江雅芳, 青木智美, 益子務. 運動機能障害者が演奏を楽しむ呼気圧利用電子楽器の開発. 生体医工学会. 2012, vol.50, no.6, p.629-636.
- [4] 伊賀聡一郎, 樋口文人. Kirifuki: 呼気・吸気によるエンターテイメントシステム. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. 2002.12.31, vol.7, no.4, p.445-452.
- [5] 坂内祐一, 奥野泰弘, 角田弘幸, 高山知彦. MR用呼気インタフェースの開発とインタラクティブ・アートへの応用. 情報処理学会論文誌. 2005.7.15, vol.46, no.7, p.594-1602.
- [6] 久米祐一郎, 董霄恒. 呼気の風圧を用いた入力インタフェースの基礎的検討. 映像情報メディア学会技術報告. 2016.3.1, vol.40, no.9, p.29-32.
- [7] 野口健一郎, 大谷真. OSIの実現とその課題. 情報処理, 1990, vol.31, no.9, p.1235-1244.
- [8] 金田征悟, 藤井雄一, 岸野文郎, 中島康祐, 伊藤雄一. 毛状ディスプレイのための吹きかけインタラクションの検討. 電子情報通信学会総合大会論文集. 2012.3, A-16-14, p.263.