

健康運動支援のためのトランポリンインタフェースの動作検出法

向 健次[†] 中津留 義樹[‡] 星野 准一[‡]

運動支援システムとしてトランポリンをインタフェースとして用いた VTF(Versatile Training Field)が提案されている。従来では前進, バランス運動による方向転換, ジャンプ運動のみ入力可能であるがこれらの動作のみだとゲームデザインに限られ, 運動の継続性に影響があると考えられる。そこで本稿ではトランポリンインタフェースの動作の拡張手法を提案する。追加する動作は並進, 後退の 2 つで測域センサを用いてこれを実装した。石川県での展示において操作性の検証, 体験の様子を観察した結果, 今回の動作の拡張手法が有用であることを示すことができた。

Movements Detection Of Trampoline Interface For Support Of Health Exercise

KENJI MUKAI[†] YOSHIKI NAKATSURU[‡] JUNICHI HOSHINO[‡]

VTF using a trampoline interface is proposed as support of exercise system. In this system, movements we can input are walking, balance and jumping before. But, We think that these mere movements influence continuous of exercise. So, We propose a technique of extension of movement for trampoline interface. We implemented translation motion and moving back by using Laser Range Scanner. In exhibition of Isikawa prefecture, we could indicate usability of this technique.

1. はじめに

現代社会では, 食生活の変化や組織社会でのストレス, 喫煙・過度の飲酒などの生活習慣の乱れなどにより, 生活習慣病が問題視されている。生活習慣病を予防するためには, 生活習慣の改善のほか, 定期的な運動が必要不可欠であり, 短時間で自分の体力に見合った運動を効果的かつ継続的に行うことが望まれている¹⁾²⁾。

しかし, 単なる健康維持を目的とした運動では, 継続する意欲を失いやすく習慣になりにくいといった問題がある³⁾。運動を継続するためには運動そのものへの楽しさや運動したことによる充足感, 勝敗などの競争といった要素が深く関わっている⁴⁾。

このような背景を元に, 運動支援システムとしてトランポリンをインタフェースに用いた VTF(Versatile Training Field)⁵⁾が提案されている。このシステムでは, ミニトランポリン上で運動を行うメリットである高い運動効果⁶⁾と, 下肢関節への負担の軽減⁷⁾に着目して, ミニトランポリンをインタフェースとして使用してい

る。トランポリン上でのユーザの動きをセンサで取り込むことで, 仮想空間内を自由に動き回れるというものである。

このシステムでは, 結果として, トランポリン運動の楽しさを増幅させることに成功している。しかし入力可能動作が前進, バランス運動による方向転換, ジャンプ運動のみである点が問題であると考えられる。これらの動作のみだとコンテンツとしてアクション性のあるものには対応できない。つまりゲームデザインに限られ, 運動の継続性に影響があると思われる。

そこで本稿では, 多様なゲームデザインに対応したトランポリンインタフェースを提案する。

方法として測域センサを利用し, トランポリン膜面上の足の位置, 身体の向きを識別し検出するアルゴリズムを実装し, 入力できる動作を拡張する。追加する動作として, アクション性のあるものを考えた場合, 必須な動作と思われる並進・後退の 2 つを取り上げる。

以下では, まず 2 章で関連研究について述べる。3 章では提案システムの概要, 4 章では動作入力の処理内容, 5 章では体験コンテンツについて, 6 章では実験とその考察について示す。

2. 関連研究

2.1 運動支援システム

仮想空間と現実世界での運動を連動させて運動支援

[†] 筑波大学情報学群情報メディア創成学類

College of Media Arts, Science and Technology, University of Tsukuba

[‡] 筑波大学大学院システム情報工学研究科

Department of Intelligent Interaction Technologies, University of Tsukuba

を行うシステムとして、Mokka らは、エアロビクスバイクで仮想空間内を探検できるシステムを構築している⁸⁾。また、吉井らはスポーツの有するアミューズメント性に着目してスノーボードを仮想空間で体験できるシステムを構築し、効果的な運動療法が可能になることを示している⁹⁾。広田らは歩行運動にストーリー要素を加え、物語を見るために歩行運動をしてしまうようなシステムを構築している¹⁰⁾。

他には、田部らは競争意識を利用した歩行継続支援システムを構築している¹¹⁾。

これはテキストによる対話を排し、入力の手間が少ない情報のみを用いてユーザ間に競争意識を持たせる SNS システムを設計・実装することで歩行運動継続を促すシステムである。

2.2 仮想空間を移動できるインタフェース

仮想空間を移動できるインタフェースとしては、圧力センサを用いているものや、ユーザの身体に直接センサを取り付けるものがある。

岩下らは複数の圧力センサとモータを内蔵したターンテーブルを組み合わせることで、ユーザを常に正面に向かせたまま仮想空間内を移動できるインタフェースを開発している¹²⁾。

身体にセンサを取り付けるものとしては、曹らはユーザの大腿部に加速度センサを、腰部に地磁気センサを装着させ、前進、後退、ジャンプや方向転換といった動作を識別し制御する方法を提案し実装している¹³⁾。

圧力センサを用いる方法は、トランポリンそのものに手を加える必要があり、運動用トランポリンに規定された安全性を確保するのが困難である。

また、ユーザにセンサを装着させる方法では、トランポリン運動のような体全体を動かす運動の妨げになると考えられる。

そこで、運動用トランポリンの安全性を確保し、ユーザの運動の妨げとならず、容易にセットアップ可能な測域センサを利用する。

3. システムの概要

本システムの構成を図 1 に示す。

家庭用ミニトランポリンと測域センサ、赤外線測距センサからなる入力デバイスと、PC と大型ディスプレイからなる映像生成システムから構成される。

入力デバイスの構成は、ミニトランポリンとトランポリンの中心下部に設置した 4 つの赤外線測距センサと、ミニトランポリン前方に配置した測域センサからなる。各センサの配置を図 2 に、運動用ミニトランポリ

ン、赤外線測距センサボードの外観を図 3 に示す。本システムで用いたトランポリンは直径 970mm、高さ 220mm の家庭用ミニトランポリン（秦運動具工業製 ワンツージャンプ II）である。4 つの赤外線測距センサは、ユーザの足裏の膜面変化を捉えるように、トランポリン中心下部、横幅 290mm、縦幅 210mm の長方形の各頂点に 1 つずつ合計 4 つのセンサを床面に配置した。

歩行運動、バランス運動、ジャンプ運動を検出対象とするために非接触の赤外線測距センサとして PSD 測距センサ（Sharp 社製 GP2Y0A21YK0F）を 4 つ用いることによって膜面の 2 次元情報を計測し運動を推定する手法を用いる。

測域センサには UBG-04LX-F01（北陽電機株式会社製）を用いた。測域センサは 1 秒間におよそ 35 回走査が行われるので足の検出には十分な精度である。

測域センサによる膜面上の足の位置情報と PSD センサによって計測した膜面の時系列の計測情報を PC に取り込み、PC アプリケーションで処理することで、ユーザの運動の種類や状態を検出する。

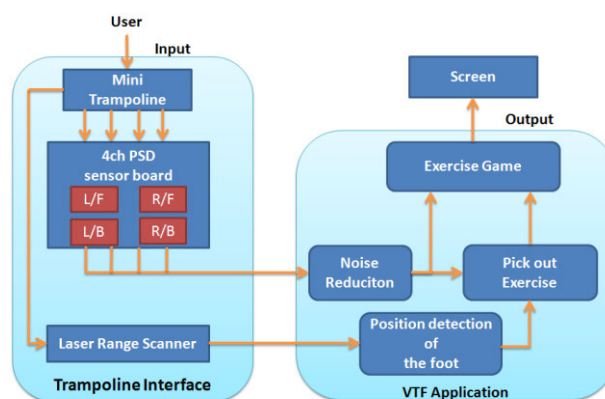


図1 システム構成図

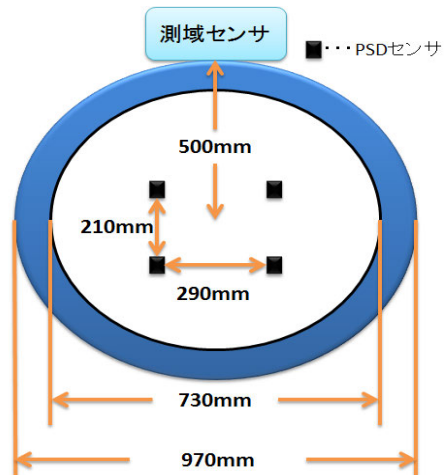
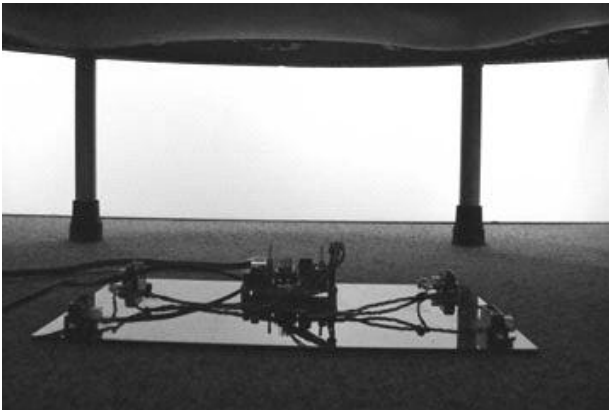


図2 センサ配置図



(a) 運動用ミニトランポリン



(b) 赤外線測距センサボード

図3 トランポリンインタフェース

4. 動作入力

4.1 膜面変化量の測定

本システムにおける膜面変化量の測定には4個の赤外線測距センサから構成されるセンサボードを用いて、シリアルポートからデータを取得する。赤外線測距センサはトランポリン膜面の真下でユーザが肩幅間隔で両足を開いてトランポリン上に立った時、左右の足の真下で床面に接する位置に配置し、センサの測定面とトランポリン膜面の間の距離を測定する。

この時、獲得したデータに関してノイズを除去するために、遮断周波数 8.86Hz のローパスフィルタによる高周波成分の除去を行う。

4.2 足の認識

トランポリン上の足の位置を検出するため、測域センサによって測定する部分は、トランポリン膜面上のみで良い。また膜面上にあるものを足とする。

図2に示したように、測域センサ測定面からトランポリン中央までは 500mm である。よって測定面を原点と

して、次式の

$$x^2 + (y - 500)^2 = 365^2 \quad (1)$$

で表される範囲を測定するものとした。

4.3 足の位置推定

前節の(1)で示した範囲内に足が存在すると、測域センサにより距離データが PC 側に送られてくる。

足までの距離を D 、ステップ数を N_{sum} とすると、ステップ角が約 0.36° であるので、極座標変換

$$x = D \sin \left(N_{sum} \left(\frac{\pi}{512} \right) \right) \quad (2)$$

$$y = D \cos \left(N_{sum} \left(\frac{\pi}{512} \right) \right) \quad (3)$$

を行うことで、足のおおよその位置を xy 座標系で表すことが可能である。なお、これで算出できるのは足の表面の xy 座標であるので、足の中心部付近の座標となるよう補正を行う。

しかし、測域センサによって測定される距離データにはセンサ自体の誤差、またユーザの衣服による誤差も含まれるので、足の位置座標が毎回異なる。そのため身体の向きも毎回微小ではあるが異なってくる。この影響により、滑らかな並進を行っているとユーザが感じることができない。

そこで算出された各足の x, y 座標の値を保存しておき、ある時点から n 回前までの各足の位置のデータを使用し、それぞれの足の各座標に対して最小二乗推定を行うことで、現在の足の位置を補正する。各座標に対して同様の処理を行っているので、ここでは左足の x 座標について取り上げて説明する。

ある時点 t での左足の x 座標を $X_{left}(t)$ とすると、次式

$$\sum_{t=1}^n (X_{left}(t) - (at + b))^2 \quad (4)$$

を最小とする a, b を定める。ここでは $n=5$ とした。

各 a, b は次式によって定められる。

$$a = \frac{n \sum_{t=1}^n t X_{left}(t) - \sum_{t=1}^n t \sum_{t=1}^n X_{left}(t)}{n \sum_{t=1}^n t^2 - \left(\sum_{t=1}^n t \right)^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{\sum_{t=1}^n t^2 \sum_{t=1}^n X_{left}(t) - \sum_{t=1}^n t X_{left}(t) \sum_{t=1}^n t}{n \sum_{t=1}^n t^2 - \left(\sum_{t=1}^n t \right)^2} \quad (6)$$

補正を行った結果が図 4 である。縦軸は測域センサの設置場所、正面 0° を向いた時の算出値、横軸はデータ数である。補正前と補正後を比較すると、ばらつきが小さくなっていることがわかる。

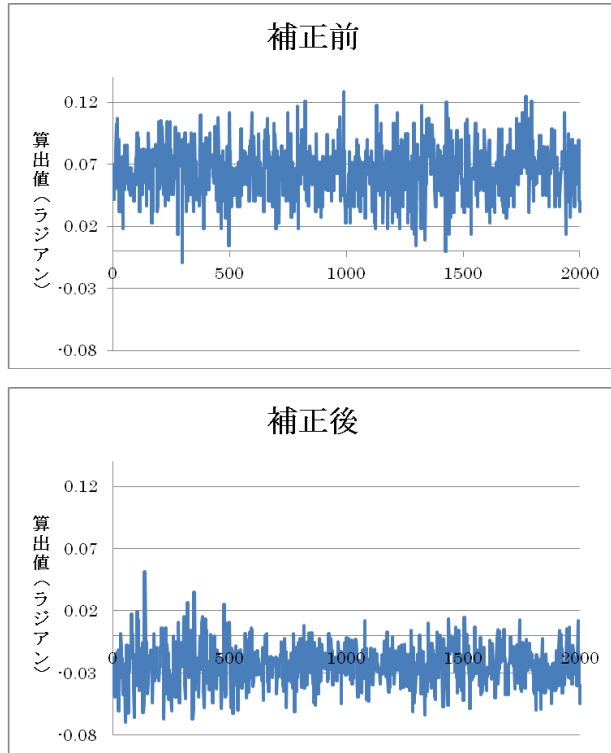


図4 補正結果

4.3.1 並進動作

現実世界での動作を考えた場合、並進するには身体を進みたい方へ向けて歩行する。よって、直感的に操作が行えるように、身体を進みたい方へ向けて足踏みすることで並進を行えるよう実装した。

(2),(3)式により、各足の位置を判別することができる。つまり 2 点の x, y 座標が算出可能であるので、身体の向きも算出することができる。左足の x, y 座標を x_l, y_l 、同様に右足の x, y 座標を x_r, y_r とすると、次式で傾きが表される。

$$\arctan\left(\frac{y_l - y_r}{x_l - x_r}\right) \quad (7)$$

4.3.2 後退動作

(2)式より各足の x 座標を判別することができる。ユーザの現在の各足の x 座標を x_{ln}, x_{rn} とすると、その絶対値が設定した閾値 X_L, X_R において $|x_{ln}| > X_L, |x_{rn}| > X_R$ の条件を満たしたまま、足踏みが行われた場合を後退動作とした。

4.4 重心位置による歩行、バランス運動検出

従来のシステムでは前進とバランス運動において、予め閾値を設定し、二つの運動の際にその閾値以上膜面を踏み込まなければ運動と認識されなかった。この方法では体重の軽いユーザでは運動検出が困難であるという問題が存在した。

また、トランポリン膜面上での足の位置を検出し用いることで動作の拡張を行っているため、従来法では追加動作の検出も困難な場合が存在する。

そこで、ユーザの重心位置を用いて運動を検出できるように変更を行った。重心位置は力の比率によって決定されるので体重変動による影響は存在しない。

次式によって重心位置は算出される。

$$X_G = \frac{(X_{lf} F_{lf} + X_{lb} F_{lb} + X_{rf} F_{rf} + X_{rb} F_{rb})}{F_{sum}} \quad (8)$$

$$Y_G = \frac{(Y_{lf} F_{lf} + Y_{lb} F_{lb} + Y_{rf} F_{rf} + Y_{rb} F_{rb})}{F_{sum}} \quad (9)$$

X_G はユーザの重心の x 座標、 Y_G はユーザの重心の y 座標を表す。式中の添え字である lf, lb, rf, rb は各 PSD センサを、 F は各センサにかかっている力を表し、 F_{sum} は力の合計である。

4.5 ジャンプ運動の検出

ユーザがトランポリン上でジャンプ運動をする際には、まずジャンプ運動を行うために膝の屈伸による体の沈み込みに応じてトランポリン膜面に沈み込みが起こり、その後膜面の反動と曲げた膝の反動を利用してジャンプを行う。

ジャンプ運動を行う際の膜面変化の極小値が、あらかじめ設定しておいた閾値よりも低い場合にジャンプ運動と認識する。

5. 体験コンテンツ

本システムではインタラクティブな映像コンテンツによって楽しみながらトランポリン運動を行うことができる。本稿では、運動コンテンツのひとつとして、トレジャーハンティングゲームをデザインした。

トレジャーハンティングゲームではジャンプと左右方向のバランス、並進、後退を用いて世界を跳ねまわる感覚的な面白さを体験しながら、90 秒以内に空間内に設置された、点数の割り振られた風船を取得していき、合計点数を競うようなコンテンツとなっている。高い点数の風船はジャンプ運動を行わなければ届かない位置に設置することで、高得点を出すために、ジャンプ運

動を積極的に行わせるようにデザインした。

また、マップに配置された建物の屋根には飛び乗れ、さらに2段ジャンプ、3段ジャンプといったこともできるようにデザインしているの、現実では行うことのできない体験をユーザは楽しめるようになっている。

さらにトランポリン上で行う歩行、バランス、ジャンプ運動を駆使して直感的に操作を行えるため、誰でも気軽に楽しみながら運動を行うことができる（図5）。



図5 トレジャーハンティングゲームの俯瞰

6. 実験

6.1 身体の向き検出精度

今回実装した身体の向きの検出法において、どのくらい正確に検出できるのかについて検証を行った。測域センサを設置した場所を 0° とし、5人の被験者に 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° へ実際に身体の向きを合わせてもらった。2000個のデータを取得し、その平均を算出した。その結果が図6である。図の縦軸が算出値であり、ラジアンにより表している。図6からうまく検出できていることが読み取れる。

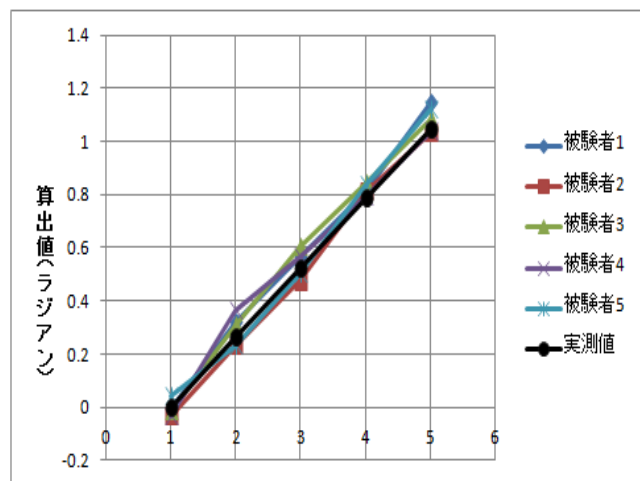


図6 実験結果

6.2 システム展示

2011年10月に石川県で開催された、いしかわ夢未来博2011において本システムの展示を行った。体験者数は延べ166人で、主に3～12歳の子供達に体験してもらうことができた（図7）。それに加え、体験者への操作性に着目したアンケート調査を行った。それぞれの項目に対し、5段階で評価をしてもらった。

結果を図8に示す。ただし並進動作に関しては、展示の状況により長く説明時間が取れなく短時間で子供たちに伝えるのが困難であったので、この項目に関するアンケートは取っていない。

新たに追加した動作である後退動作は、約60%の子供たちができたと回答している。これは足を大きく開いて足踏みするだけというわかりやすい操作、重心位置による運動検出による効果であると考えられる。残り40%は3歳など小さい子供たちだと足がまだ短く設定した閾値まで足を大きく開き、そのまま足踏みするのが困難であったためと考えられるが、そのことを踏まえても、この結果は有用であると思われる。

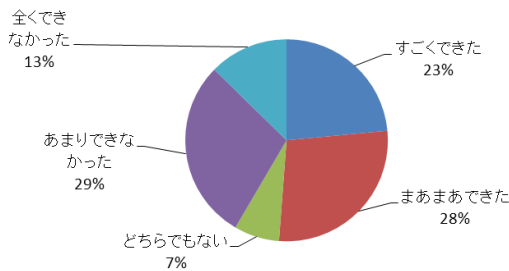
Q2のバランスに関する項目は、重心位置の手法の有効性を検証するためにアンケートを取った。45%の子供たちがバランス動作に関してできたと回答している。一見低いように見えるのだが、後退動作と同様に3歳など小さい子供たちは、トランポリンのような柔軟な膜面上において片足でバランスを取ることが困難であった。体験者の中でも10歳程度の子供でも元々のバランス能力の差でできない子もいた。このような子供たちが多かったのでこの結果だと思われ、Q1の項目の低さにも関係していると思われる。

それでも、従来法では今回体験してもらった体重の軽い子供たちでは、バランス動作の検出が困難であった点と、体験の様子を観察すると一番低い年齢の子供たちの歩行も検出できていた点について考えると、この結果は重心位置による検出の有効性を示していると考えられる。

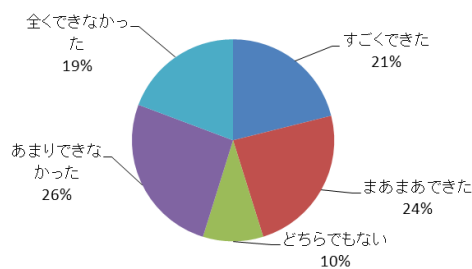


図7 システム展示におけるユーザの様子

Q1: 思い通りにVR空間内を歩き回ることができましたか？



Q2: バランスをとって方向転換を自由に行うことができましたか？



Q3: 後退動作を容易に行うことができましたか？

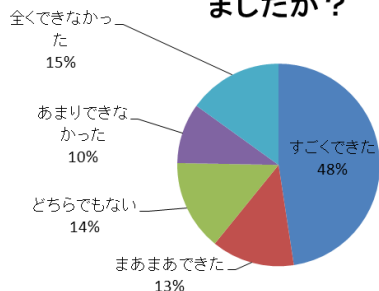


図8 アンケート結果

7. まとめ

本稿では VTF システムのトランポリンインタフェースに着目して、測域センサとの組み合わせによる動作の追加と体重変化に安定な歩行、バランス運動の検出法を提案し、いしかわ夢未来博 2011 でのシステム展示と身体の向きの認識精度の確認を行った。システム展示のアンケート、体験の様子の観察から後退動作の入力法の有用性、重心位置による運動検出の有効性を確認することができた。

今後の課題として、さらなる動作とより安定した身体の向きの検出法を実装する。また操作性に関する評価、体験者の心拍数を計測し運動効果に関する評価も行う予定である。

参考文献

- 1) 富永祐民: 生活習慣と健康づくりと生活習慣病の予防, 中部大学生命健康科学研究所紀要, Vol.2, pp.21-27, 2006.
- 2) 吉崎勇: からだを考える (身体運動の立場から) (ウェルネス:近未来への視座), 上智大学体育, Vol.26, pp.72-77, 1993.
- 3) 山地啓司: 体力向上のための運動プログラム実施中の途中脱落率とプログラム実施率, 体育の科学, 38, pp.607-612, 1998.
- 4) 徳永幹夫, 橋本公雄: 体育授業の「運動の楽しさ」に関する因子分析的研究, 健康科学 第2巻, 1980.
- 5) 森博志, 白鳥和人, 星野准一: トランポリンインタフェースを用いたウェルネスエンタテインメントシステム, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.3, pp.369-378, 2010.
- 6) 井上紀子, 内藤純子, 権藤弘之, 松村夫美子, 沢村太郎: 111×16 トランポビクス健康法にみるトレーニング効果について (第1報), 日本体育学会大会号, No.41B, pp.773, 1990.
- 7) 安土武志, 穴田生, 山本博男: トランポリンにおける緩衝機能の基礎的実験研究, 第10回日本バイオメカニクス学会大会論集, 1990.
- 8) Sari Mokka, Antti Vääänen, Juhani Heinilä, Pasi Väikkynen: Fitness Computer Game with a Bodily User Interface, the Second International Conference on Entertainment Computing, pp.1-3, 2003.
- 9) 吉井暢彦, 和田隆広, 塚本一義, 田中聡: 運動療法に向けた VR スノーボードシステムの開発, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.9, No.4, pp.397-404, 2004.
- 10) 広田健一, 益子宗, 星野准一: ストーリー型エクサティンメント, 情報処理学会, エンタテインメントコンピューティング 2005, pp.145-146, 2005.
- 11) 田部浩子, 吉廣卓哉, 井上悦子, 中川優: 生活習慣病予防のための競争意識を利用した歩行継続支援システム, 情報知識学会誌, Vol.21, No.1, pp.37-53, 2011.
- 12) 岩下亮, 外山篤, 橋本直己, 長谷川昌一, 佐藤誠: 足踏み動作を用いた移動インタフェースの開発, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J87-A, No.1, pp.87-95, 2004.
- 13) 曹慶雲, 藤田欣也: 前進後退および回転が可能な足踏み型仮想空間移動インタフェース, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.1, pp.53-62, 2010.
- 14) Karvonen M J, Kentala E, Mustala O: The effects of training on heart rate; a longitudinal study, Ann Med Exp Biol Fenn, 35(3), pp.307-315, 1957.