

CASPER: 高齢者のための空気砲を用いた遠隔エクササイズシステム

門村 亜珠沙^{1,a)} 松田 暁^{2,b)} 暦本 純一^{1,3,c)}

概要: 高齢者のためのエクササイズの必要性と重要性は広く認識されているが、高齢者の数が著しく増加しているのに対して、熟練した専門性の高いインストラクタが不足していることが問題になっている。このような状況を解決する手段のひとつとして、遠隔エクササイズシステムが挙げられる。そこで本研究では、自分の鏡面映像に遠隔地にいる相手が映り込む鏡面インタフェースを用いた遠隔エクササイズシステム：CASPERを提案する。さらに、CASPERは、遠隔におけるユーザ同士のインタラクシオンを補助するために、身体の動きと連動する空気砲型の触覚フィードバックデバイスを備えている。本論文では、システムの設計とその評価について述べる。

CASPER: Remote Exercise System using an Air Cannon for Elderly People

AZUSA KADOMURA^{1,a)} AKIRA MATSUDA^{2,b)} JUN REKIMOTO^{1,3,c)}

Abstract: Although the necessity and importance of exercise supports for elderly people are largely recognized, lacking of skilled and adequate instructors often limits such activities physically. Remote exercise systems can be a solution for this problem because these systems may be able to support exercise activities even when instructors and participants are separated. We then develop a remote exercise system, called CASPER, by proposing a mirror-like image composition method, which all the participants besides the instructor are shown on the same screen. We also introduce an areal haptic device to send remotely tactile feedback for enhancing more sensations. In this paper, we describe the system design and the evaluation of the proposed system.

1. はじめに

高齢化は多くの国で深刻な問題であり、世界の人口のうち約8.3%を65歳以上の高齢者が占めている^{*1}。とりわけ、日本は約4人に1人(26.3%)が65歳以上の超高齢化社会であり、こうした人口分布のアンバランスさから数々の問題が生じている。例えば、我々は年を取るにつれて、筋肉の萎縮や衰退によりバランス感覚を失うため、各々の身体

に合わせたエクササイズを実施することが必要である。

実際に多くの老人ホームや病院、スポーツスクールなどでは、高齢者の健康を維持するために、理学療法士やスポーツインストラクタによって様々な内容のエクササイズプログラムが指導されている。しかし、高齢者の数が著しく増加しているのに対して、熟練した専門性の高いインストラクタが不足していることも事実である^{*2}。さらに、熟練したインストラクタの不足に加えて、近所にスポーツスクールがなかったり、足が不自由であったり、居住する施設の規則で外出が困難であったりと、物理的な制約によってエクササイズの指導を受けられないという問題もある。

¹ 東京大学 大学院 情報学環

² 東京大学 大学院 学際情報学府

³ 株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所

a) azusakadomura@gmail.com

b) akira.matsuda.ut@gmail.com

c) rekimoto@acm.org

*1 国際連合による調査:

<http://esa.un.org/unpd/popdev/Profilesofageing2015/index.html>

*2 公益財団法人 介護労働安定センター:

http://www.kaigo-center.or.jp/report/h16_chousa_02_64.html

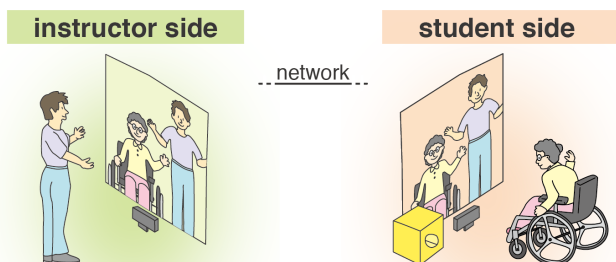


図 1 CASPER: 遠隔地にいる両ユーザ (インストラクタと生徒) が触覚フィードバックデバイスとともに合成された鏡面インタフェースを見ながらエクササイズすることができる。

このような問題を解決するために、Skype^{*3}やビデオ会議システムを用いて、遠隔地から離れた場所にいる生徒に運動の指導を行うシステムが提案されている [1], [2].

しかし、通常のビデオ会議システムを利用したエクササイズ指導には、いくつかの欠点がある。まず、遠隔地にいるインストラクタと生徒の位置関係の情報を共有し、両者がお互いの身体の動きを直感的に理解することが難しいことである。例えば、インストラクタは、生徒がどこを見ていてどのような動きをしているのかといった空間的な把握をすることが容易ではない。また、一般的なビデオ会議システムは、相手が映った映像を見ながらコミュニケーションを行う対面式であり、基準となる座標軸がインストラクタ側と生徒側で異なる場合がある。遠隔から身体の動きを指示をする場合には、左右のほか、前後の位置関係も共有することが重要である。他にも、スクリーンやモニタ越しだけの指導では、動かしてほしい部位に「触れる」といった通常のエクササイズ指導の場面におけるインストラクタ側の動作を再現することが困難である。

本研究では、従来の遠隔システムを利用したエクササイズ支援システムの問題を踏まえ、高齢者に対する遠隔エクササイズ支援システムを提案する。そこで我々は、触覚フィードバックデバイスと連携しながら、自分の鏡面映像に遠隔地にいる相手が映り込むといった鏡面インタフェースを用いた遠隔エクササイズシステム: CASPER (*Computer Aided SPorts, Exercise and Rehabilitation*) を実装した (図 1)。これにより、まるで遠隔であっても同一空間において隣にいるかのような一体感をユーザに与えることができる。本論文では、遠隔エクササイズシステムにおける課題をもとにしたシステムの実装とその評価実験、ならびに今後の課題について述べる。

2. デザイン指針

提案する CASPER は、遠隔地にいるユーザと一緒にエクササイズを行うことができるシステムである。そこで本論文では、1章で述べた従来の遠隔エクササイズシステムにおける問題を解決するために、以下の機能を実現する。

*3 <http://www.skype.com/en>

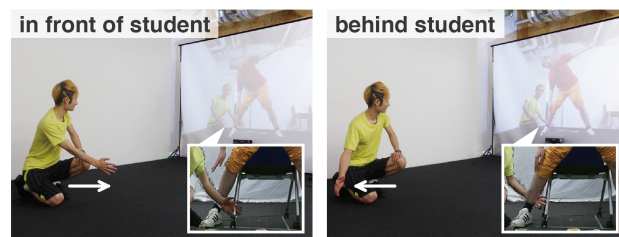


図 2 オクルージョン問題を解決することで、インストラクタは、遠隔地にいる生徒に対して直感的な動作で指導を行うことができる。

2.1 全ユーザをひとつの画面に表示

通常のビデオ会議システムは、遠隔ユーザごとに複数のウィンドウを必要とするインタフェースであることが多い。この場合、ユーザは、どのウィンドウ (自分もしくは相手のどちら) を見ながらエクササイズを行えば良いのかわかりづらい。そこで、本システムでは、参加している全ユーザをひとつのウィンドウに統合して表示する手法を採用する。つまり、各ユーザの身体画像を切り取り、ひとつのウィンドウに合成することで、全ユーザが同じ内容のウィンドウ (映像) を見ることができる。

このようなインタフェースは、HyperMirror [3] をはじめ、その他の遠隔システム [4], [5] でも採用されており、本研究では、このインタフェースを遠隔エクササイズに活用し、現実感を残すために、自分の鏡面映像に遠隔地にいる相手が映り込むといった各ローカル側の背景映像をそのまま利用する。これにより、エクササイズといった状況の中で、全ユーザへの理解度を増し、インストラクタが物理的な位置や姿勢を示す際にもより適切に指導を行うことができると考える。

2.2 深度情報を活用した画像合成

本システムは、青色や緑色の背景を必要とするクロマキーによりユーザを取り出す手法を用いている HyperMirror とは異なり、RGB-Depth カメラ (Kinect V2^{*4}) を使用し深度情報を活用することで、通常の家やスポーツクラブの環境において利用可能である。

また、深度情報を用いることで、遠隔ユーザ間の前後の位置関係を検出することができるため、画像合成処理の問題のひとつであるオクルージョン問題にも対応することができる。これにより、例えば、インストラクタが遠隔地にいる生徒の身体より前に手を差し出すことや、後ろから指導することなどが容易になり、ユーザが直感的に空間配置を把握しやすいと考える (図 2)。

2.3 空気砲を用いた遠隔からの触覚フィードバック

本システムでは、一般的な視覚映像と音声会話といっ

*4 Microsoft: <https://dev.windows.com/en-us/kinect>

たフィードバックに加えて、ユーザの行動に応じた触覚フィードバックを提示することにより、ユーザ、特に高齢者へのフィードバックチャネルの強化を目指している。例えば、生徒が常にスクリーン（鏡面インタフェース映像）に集中していなくても、遠隔地にいるインストラクタからのフィードバックを皮膚感覚から感じることができる。そこで、触覚提示フィードバックデバイスとして、リストバンド型や手袋型の振動デバイスなどの採用を検討したが、高齢者のエクササイズといった観点から、本実装では、ユーザがデバイスを身に付ける必要がない空気砲を選択した。一般的に年を重ねるごとに五感の感度が衰えていくため、視覚と聴覚だけでなく触覚的な刺激を付与し、高齢者に多感的に情報を伝えることで、エクササイズ指導の促進につながると考える。

3. システム構成

本システムは、大きく分けて以下の3つのパートから構成される。(1)抽出パート：ローカル側の画像と音声を検出、(2)伝送パート：ローカル側で抽出したデータ（画像、音、触覚デバイスの操作指令）を通信プロトコルTCPでリモート側に送信、そして、(3)提示パート：送られてきたデータ（リモート側の画像、音声、触覚デバイスの操作指令）をローカル側に出力である。上述のパートが、自分があるローカル側と相手のいるリモート側において各々実行される（図3）。なお今回は、生徒側のみに触覚フィードバックデバイスである空気砲を、インストラクタ側に空気砲用操作デバイスを設置する。

3.1 抽出パート

3.1.1 ユーザの身体情報と音声の検出

本実装では、ユーザの身体と位置情報を含めた画像を検出するために、Kinect V2を使用する。システムは、ローカル側にいるユーザのRGB-D画像を出力するために、ユーザの身体部分のみを切り取り、その一方で、その切り取られたRGB-D画像の切り取られた位置と大きさを保持する。そして、これらのデータを圧縮し、リモート側に伝送する。また、各側に設置しているPCのマイクを使用して、各ユーザの声を検知している。

3.2 提示パート

3.2.1 リモート側ユーザの合成

ローカル側では、ローカル側の座標に対応した位置に、切り取られたリモート側の画像を合成する。さらに、奥行き問題を解決するために、この合成処理は、ローカル側とリモート側の同じ座標における奥行き（D値）をピクセルごとにひとつずつ比較し、各側に設置しているKinect V2から最も近いと判定された側に対応したRGB画像を表示する。

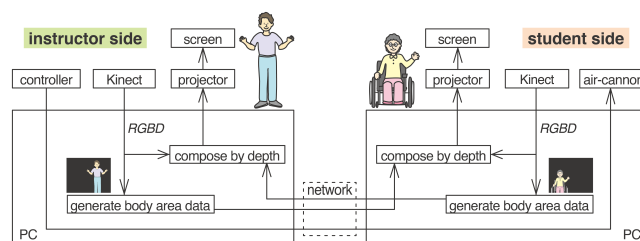


図3 システム構成。ローカル側・リモート側それぞれにて、各処理が行われる。空気砲は生徒側、空気砲の操作デバイスはインストラクタ側に配置。

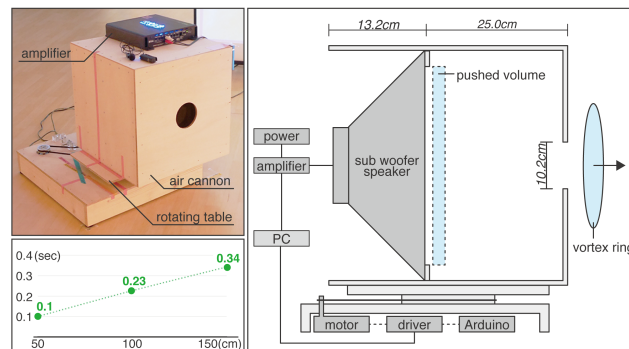


図4 左上：空気砲の外観。右：空気砲の構成。左下：空気砲から発生する渦輪の到達時間。

3.2.2 鏡面インタフェースのための調整

本システムの特徴のひとつとして、鏡に映ったようなインタフェース（鏡面インタフェース）が挙げられる。今回の実装では、斜めからの投影が可能なプロジェクタ*5と120インチのスクリーンを使用する。各側のユーザの目線の高さや向きができるだけ同じになるように、スクリーンやKinectをのせる三脚の角度や高さを各側で同じ状態になるようにした。さらに、環境によってはプロジェクタの配置に誤差が出やすいため、PC上で投影映像の角度や大きさの調整を事前に行える射影変換機能を実装した。

3.2.3 空気砲による触覚フィードバック生成

上述の映像と音声に加えて、より遠隔におけるユーザ同士のインタラクションを強化するために、本システムでは、触覚フィードバックデバイスとして空気砲を制作した。本空気砲は、スピーカーの圧を利用して、空気を発射する仕組みである。図4（右）の通り、スピーカーには、15インチサイズのサブウーハースピーカー*6を使用し、アンプ*7を介して、低音を流すことで、空気を発射する。今回採用した音は、我々が開発段階で、使用するスピーカーとアンプの限度を考慮して、様々な波形やヘルツを試した結果適当だと判断した、2Hzのパルス波である。また、空気砲の筐体を設計するにあたり、物理学的な渦輪の生成方法を参考にし[6], [7], スピーカーの大きさをもとに直径102mmの

*5 EPSON: <http://www.epson.jp/products/dreamio/ehtw5200>

*6 Boss Audio: CX154DVC

*7 Boss Audio: R2504

穴を設けた約 400mm 四方の空気砲を実装した。

さらに、空気砲の水平方向の回転を行うために、空気砲の下部に、ステッピングモータ^{*8}を組み込んだ高さ 100mm の回転台を設置した。これにより、Kinect V2 が検出するユーザ（今回の場合は生徒）の動きに応じて回転することができる。回転台を含めた空気砲の筐体を床の上に設置した場合、ユーザの膝下に空気が当たるようになっている。現在の実装では、もしユーザが手のひらに空気を当てたい場合は、適切な高さの台に空気砲の筐体を載せることで対応している。

4. 性能評価

エクササイズアプリケーションを制作するにあたって、本システムの性能を示すため、以下の 2 種類の性能評価実験を行った。

4.1 人が感じる距離と位置

4.1.1 目的と手法

まず、試作した空気砲を用いて、空気の感度に関する実験を行った。本実験にあたり、本システムを初めて体験する 22～77 歳の男女 22 名（うち女性 11 名、平均年齢は 42.3 歳）の実験参加者を募った。なお本実験は、環境風に左右されないように室内で行った。以下、実験の手順について述べる。

これまでの研究 [7], [8] では、人間の手は空気砲の渦輪がとてもしやすいく敏感に感じやすいということが示されている。しかし、本研究では、エクササイズでの使用を目的としているため、従来の研究では空気砲の実験対象外であり、あまり感度が高くないとされている足にも着目し、各実験参加者の両手両足に空気を当てることにした。

本実験では、左右の手のひら側、手の裏側、足の脛側、足の側面側、足の脛側側の計 10 カ所を対象に、各面に対してまっすぐな位置から空気砲を発射した。さらに、空気砲からの距離が 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 250cm といった各距離の場合で行った。各面と各距離において、数回ずつ空気を発射し、その感じ方を「とても感じる・感じる・感じない」の段階で評価してもらった。最後に、参加者が自由に意見する時間を設けた。なお、2 名の女性は薄手のストッキングを着用したまま実験を行い、それ以外の参加者は、両手両足とも洋服の上からではなく、皮膚に直接当たるように、ズボンを捲るといった調整を行った。

4.1.2 結果と考察

以下に、「とても感じる（+感じる）」と回答した全参加者の割合を示す。50cm のときは、95.5（+ 4.5）%、100cm のときは、94.1（+ 5.0）%、150cm のときは 85.0（+ 13.2）%、200cm のときは、69.1（+ 28.6）%、そして、250cm の

ときは 50.9（+ 45.0）%であった。この結果から、ユーザと空気砲の間の距離は 150cm 以内が理想であると考えられる。また、実験後の自由回答では、20 名の参加者は左右の差を感じないと述べ、男性 11 名と女性 4 名は、手より足の方が感度が高いと回答した。さらに、老化に伴い皮膚感覚が低下すると言われているが [9]、今回参加した 60～70 歳代 3 名は、空気砲からの空気を手足両方ともに知覚できたと回答しており、試作した空気砲の性能に一定の効果があると考えられる。

4.2 渦輪の到達時間

4.2.1 目的と手法

次に、空気砲の渦輪の速さに関する実験を行った。この実験結果により、渦輪がユーザの身体に到達したタイミングを予想することができる。

本実験では、一般的な厚みの紙（サイズ：縦 250mm x 横 50mm）を、空気砲の穴がある側面の前方に来るように上から吊るした。そこに、低音を約 0.1 秒間隔で再生し、空気を発射した。前節で述べた実験において、50～150cm の距離の評価が高かったため、この紙を空気砲から 50cm, 100cm, 150cm と離れた場所に置き、各距離で 10 回ずつ発射し、発射してから紙が揺れるまでに要した時間を計測した。なお本実験も、環境風に左右されないように室内で行った。

4.2.2 結果と考察

実験結果を図 4（左下）に示す。空気砲から紙の距離が 50cm の場合は、空気砲が発射してから紙が揺れるまでに平均 0.1 秒要した。同様に、100cm の場合は平均 0.22 秒、150cm の場合は平均 0.34 秒であった。図 4（左下）のグラフからもわかるように、到達時間は距離に比例していることがわかった。つまり、150cm までの距離はほぼ減速なしに空気砲の渦輪を送ることが可能である。

次章で述べるアプリケーションでは、本章で得られた知見と結果を活用する。

5. 遠隔エクササイズアプリケーション

本章では、試作した 2 種類の遠隔エクササイズのためのアプリケーションについて述べる。本アプリケーションを試作するにあたり、日頃から高齢者を対象にエクササイズ指導を行っているインストラクタの協力を得た。

5.1 遠隔指導アプリケーション

1 つ目のアプリケーションは、インストラクタが生徒の手足を直接支えて指示を行うといった一般的な指導方法を取り入れた遠隔指導アプリケーションである（図 5）。

本アプリケーションでは、空気砲を生徒から 150cm 離れた斜め前付近に設置する。システムは、インストラクタ側の Kinect によってインストラクタの手の位置を検出し、

^{*8} MERCURY MOTOR:
<https://strawberry-linux.com/catalog/items?code=12082>



図 5 遠隔指導アプリケーション.

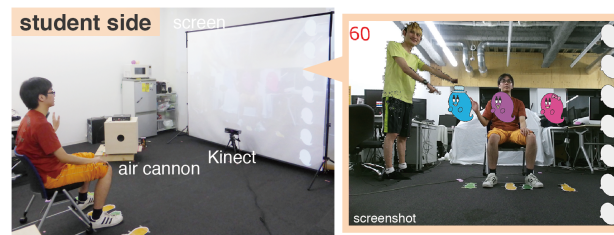


図 6 おばけタッチゲームアプリケーション.

その座標情報を生徒側の PC に伝送する。そして、その座標に応じて適切な位置まで回転し、適宜空気を発射させる。手で空気を発射させる場合は、インストラクタに空気砲用の指輪型の操作デバイス*9を把持してもらい、インストラクタがボタンを押すと、生徒側の空気砲から空気が発射される。一方、自動の場合は、インストラクタの手の位置の半径 150mm 以内に、遠隔にいる生徒の手足が入ったとき、自動的に空気が発射される。

例えば、インストラクタが遠隔地にいる生徒に「ここまでに足を上げてください」と言いながら、指定したい位置に手を持っていく。そして、インストラクタが生徒が目標の位置に手を持っていくのを確認した後ボタンを押すと、生徒側の空気砲が適宜回転し、空気を発射する。ユーザの足に向かって空気砲の渦輪が当たることで、あたかも遠隔にいるインストラクタがタッチしているかのようになる。一方で、生徒側のキネクトは、空気砲から生徒の身体までの距離を計算し、発射してから身体に空気が当たるであろう時間を算出し、その見積もったタイミングと同時にアニメーションと効果音を再生する。

5.2 おばけタッチゲームアプリケーション

2つ目のアプリケーションは、おばけタッチゲームアプリケーションである(図6)。これは、通常行われているマルチタスクエクササイズといった、同時に2つのタスク(体と頭のエクササイズ)を行う手法に、ゲーム要素を取り入れたものである。ゲームの出題内容は、事前にインストラクタが各生徒の得意不得意に合わせて、おばけの色と生徒がどちらの手でタッチすれば正解なのかをデザインする。生徒は、画面に現れるおばけを遠隔にいるインストラクタの指示でタイミング良く空中でタッチし、おばけを集めていく。

本アプリケーションでも、空気砲を生徒から 150cm 離れた斜め前付近に設置する。システムは、インストラクタが事前に設計した出題内容(色と正しい手)を生徒側の PC と共有する。ゲームが始まるとスクリーンにおばけたちが出現し、生徒が正しくおばけをタッチすると、空気砲から生徒の手に向かって空気が発射される。現在の実装では、ユーザの手に向かって空気を発射する場合、約 80cm の高

*9 コクヨ: <http://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/fp>

さの台に空気を載せている。

例えば、インストラクタが「左手でピンクのおばけをタッチしてください」と遠隔にいる生徒に指示をする。空気砲は、次の問題でおばけが出現する位置に合わせて、回転を行う。そして生徒が、その指示の通り左手でピンクのおばけをタッチすると、システムが正解だと認識し、おばけのアニメーションと効果音と連動してタイミング良く空気を発射する。さらに、ゲームに制約時間を設けることで、ユーザの集中力を高める設計を行った。なお今回は、60秒間以内に7匹のおばけをタッチするストーリーとなっており、集めることができたおばけは、画面の端に集まっていく。

6. 関連研究

6.1 遠隔作業のためのテレプレゼンスシステム

遠隔にいるユーザ同士が円滑に作業を行うために、空間的整合性を維持するためのシステムや通常のビデオ会議ツールを拡張するシステムは、以前から研究されている。ClearBoard [10] は、相手の視線を見ながら、離れた場所でも作業空間を共有し、コミュニケーションが行えるシステムである。また、遠隔にいる相手が等身大に映った状態で、共同作業を行える環境を実現している研究 [11] や、スクリーンに映し出す遠隔ユーザを、あたかも会議室の椅子に座っているかのように見せるインタフェースを用いた遠隔会議システムもある [12]。さらに、Mueller らは、等身大に映った相手の映像を見ながらスポーツを行うシステムを開発している [13]。1章で述べたシステム [3], [4], [5] を含む多くの遠隔作業のためのシステムは、主にテレビ会議やコミュニケーションの円滑化に応用されている。一方、本研究では、遠隔エクササイズといったユーザの身体の動きや位置関係の重要性に焦点を当て、オクルージョン問題に対応した鏡に映ったようなインタフェースや触覚フィードバックを適用したシステムを提案した。

6.2 触覚フィードバックに着目したインタラクション

近年、触覚フィードバックに、空気を利用している研究が増えている。AIREAL [14] は、ゲーム中のユーザのジェスチャーへのフィードバックの目的として開発された、手のひらサイズの空気砲である。BYU-BYU-View [15] は、皮

膚感覚を刺激する情報媒体として、風に着目し、網目のスクリーンを通じた風とそれと連動する映像の入出力を行うデバイスである。本研究で使用しているデバイスは比較的大型であるため、空気砲とユーザの距離がある場合であっても、より威力の高い空気を発射することが可能である。

さらに、本研究のモチベーションと同様に、触覚フィードバックをエクササイズに用いている研究もある。Alizadeh [16] らは、触覚フィードバックを提示するデバイスとして、腕に装着する振動デバイスを開発している。本研究では、ユーザが何も身に付けることなく触覚フィードバックを提供することを可能にするために「空気」に着目した。そして、離れた場所からでも感じることでできる空気砲を実装し、さらにユーザの行動を検出し、ユーザの行動に合わせてインタラクティブに空気を発射することが可能なシステムを目指した。

7. まとめと今後の課題

本研究では、従来の遠隔システムを利用したエクササイズ支援システムの問題を踏まえ、触覚フィードバックデバイスのための空気砲と連携する、高齢者に対する遠隔エクササイズ支援システム：CASPER を実装した。本システムでは、空気砲を用いてエクササイズ中にユーザの手や足にダイナミックなフィードバックを与えることができるが、まだ可動域の制限があるので、今後は可動域を広げられるような設計を行い実装し、実環境実験を行う予定である。

謝辞 本研究は、大和ハウス工業株式会社・スポーツクラブ NAS 株式会社との共同研究であり、後藤真二氏の協力を得ました。また、JSPS 科研費 25・10205 の助成を受けました。ならびに、空気砲について御助言をいただいた場やすし氏、実験に御協力していただいたみなさまに感謝いたします。支えてくださったみなさまへ、心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

参考文献

[1] iCouch: <https://icouch.me>
 [2] Skyper-cise: <http://www.shape.com/blogs/working-it-out/skyper-cise-workout-anywhere>
 [3] Osamu Morikawa and Takanori Maesako: HyperMirror: Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System, Proceedings of the 1998 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '98, 149-158, ACM, (1988).
 [4] Maayan Cohen, Kody R. Dillman, Haley MacLeod, Seth Hunter and Anthony Tang: OneSpace: Shared Visual Scenes for Active Freeplay, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14, 2177-2180, ACM, (2014).
 [5] Seth E. Hunter, Pattie Maes, Anthony Tang, Kori M. Inkpen, and Susan M. Hesse: WaaZam!: Supporting Creative Play at a Distance in Customized Video En-

vironments, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '14, 1197-1206, ACM, (2014).
 [6] Yasuhide Fukumoto: Global time evolution of viscous vortex rings, Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Volume 24, Number 1-4, 335-347, Springer-Verlag, (2010).
 [7] Sidhant Gupta, Dan Morris, Shwetak N. Patel and Desney Tan: AirWave: Non-contact Haptic Feedback Using Air Vortex Rings, Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp '13, 419-428, (2013).
 [8] John Krantz: Experiencing Sensation and Perception, Pearson Education, (2012).
 [9] 山野井 昇: 加齢と皮膚感覚, 繊維学会誌, Volume 54, Number 7, 237-241, (1998).
 [10] Hiroshi Ishii, and Minoru Kobayashi: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '92, 525-532, ACM, (1992).
 [11] Jakob Zillner, Christoph Rhemann, Shahram Izadi, Michael Haller: 3D-board: A Whole-body Remote Collaborative Whiteboard, Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '14, 471-479, ACM, (2014).
 [12] David T. Nguyen and John Canny: Multiview: Improving Trust in Group Video Conferencing Through Spatial Faithfulness, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07, 1465-1474, ACM, (2007).
 [13] Florian Mueller, Stefan Agamanolis, and Rosalind Picard: Exertion Interfaces: Sports over a Distance for Social Bonding and Fun, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '03, 561-568, ACM, (2003).
 [14] Rajinder Sodhi, Ivan Poupyrev, Matthew Glisson and Ali Israr: AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air, ACM Trans. Graph., Volume 32, Number 4, 134:1-134:10, ACM, (2013).
 [15] Erika Sawada, Shinya Ida, Tatsuhiro Awaji, Keisuke Morishita, Tomohisa Aruga, Ryuta Takeichi, Tomoko Fujii, Hidetoshi Kimura, Toshinari Nakamura, Masahiro Furukawa, Noriyoshi Shimizu, Takuji Tokiwa, Hideaki Nii, Maki Sugimoto, and Masahiko Inami: BYU-BYU-View: a wind communication interface, In ACM SIGGRAPH 2007 emerging technologies, SIGGRAPH '07, ACM, (2007).
 [16] Hesam Alizadeh, Richard Tang, Ehud Sharlin and Anthony Tang: Haptics in Remote Collaborative Exercise Systems for Seniors, In CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '14, 2401-2406, ACM, (2014).