

2012年度 卒業論文

磁力を利用した
遠隔指相撲システムの開発

指導教員：渡辺 大地 講師
三上 浩司 講師

メディア学部 ゲームサイエンスプロジェクト
学籍番号 M0109151
隈元 美結

2012年度 卒業論文概要

論文題目

**磁力を利用した
遠隔指相撲システムの開発**

メディア学部

学籍番号：M0109151

氏名

隈元 美結

**指導
教員**

渡辺 大地 講師
三上 浩司 講師

キーワード

磁力、指相撲、Arduino、
力覚、コミュニケーション、力覚提示装置

近年、コンピュータの高性能化に伴い、バーチャルリアリティ（以下VR）技術が著しく進歩している。特に触覚によるフィードバックは、3次元空間上の物を認識するのに重要であると考えられるため、様々な手法による触覚フィードバック装置が研究されている。しかし力覚提示装置の中で、ゲームに応用している物は少なく、ゲーム中に人とコミュニケーションを取れるものは殆どない。そこで本研究では人同士の力覚的コミュニケーションである指相撲に着目し、離れた相手とも指相撲ができる力覚コミュニケーションデバイスを開発することを目的とした。また指相撲の勝敗決定時前後では操作者の指をある程度強い力で拘束する必要があるが、指の可動域外に力を加えてはならない。そこで電磁石の通電状態で引力と斥力を切り替えられる特性に着目し、電磁石を使った遠隔指相撲システムを考案した。

力覚提示は指相撲の指を押している状態と指を押されている状態で行った。指を押している状態では、操作者に対戦相手の指を押している感覚を振動で提示した。また指を押されている状態では、操作者に対戦相手から指を押されている感覚を磁力と聴力で提示した。力覚提示装置の制御はPCからの通信で行なっており、操作者や対戦相手の指はPCを用いて仮想空間上に再現する。操作者と対戦相手は仮想空間上の仮想親指を見て指相撲を行う。仮想空間を通して指相撲を行うため、対面している必要はなく、操作者と対戦相手が遠隔地にいても指相撲が行える。

遠隔指相撲を実装した後、被験者に実際に指相撲を行なって貰い、コミュニケーションを取ることができたかをアンケート調査を行った。結果、遠隔指相撲システムによる遠隔地での力覚コミュニケーションが有効であったことを実証した。

目次

第1章	はじめに	1
第2章	力覚提示装置の構成部品	4
2.1	Arduino	5
2.2	加速度センサ	6
2.3	電磁石	8
2.4	サーボモータ	9
2.5	振動モータ	10
第3章	遠隔指相撲システム	12
3.1	指相撲	12
3.2	システム仕様の概要	14
3.3	システム構成	14
3.4	力覚提示	16
3.5	本システムの指相撲仕様	17
第4章	評価実験	27
4.1	機能評価	27
4.2	力覚提示評価	29
第5章	まとめ	33
	謝辞	35
	参考文献	36

目 次

2.1	力覚提示装置の外観	5
2.2	Arduino	6
2.3	加速度センサ	7
2.4	加速度センサの値と傾きの対応	7
2.5	電磁石	8
2.6	電磁石の働き	9
2.7	サーボモータ	10
2.8	サーボモータ配置図	10
2.9	振動モータ	11
3.1	拮抗時の指相撲の様子	13
3.2	勝敗決定時の指相撲の様子	13
3.3	指相撲システム全体構成図	15
3.4	サーボモータによる巻き取りの様子	16
3.5	引力が発生し、糸を緩める様子	17
3.6	指相撲フローチャート	18
3.7	仮想空間画面	19
3.8	加速度センサ x 値の反映の様子	20
3.9	加速度センサ y 値の反映の様子	20
3.10	優勢状態	22
3.11	劣勢状態	23
3.12	指の引き抜き成功時	24
3.13	指の引き抜き失敗時	25
3.14	勝利結果時表示の画面	26
3.15	敗北時結果表示の画面	26
4.1	劣勢状態の力覚提示前	28
4.2	劣勢状態の力覚提示直後	29
4.3	遠隔指相撲システムの評価実験結果の平均値	30
4.4	遠隔指相撲システムの評価実験結果の標準偏差	31

第 1 章

はじめに

近年、アミューズメントの分野では Wii リモコン [1] や Playstation Move[2]、Kinect[3] といった身体を用いるゲームハードウェアが普及している。これらのハードウェアは人の身体の動きを認識しゲーム内に反映しているが、触覚による身体へのフィードバックは振動以外行なっていない。身体動作を入力として扱う上で、身体感覚へのフィードバックは重要であると考えられる。

身体感覚へのフィードバックの研究は、主にバーチャルリアリティ（以下 VR）の分野で行なっている。VR 技術とは人に仮想の物体を本物のように認識させる技術である。触覚によるフィードバックは、研究者が様々な手法による装置を研究している。触覚とは人間の五感の一つであり、手で物を触った時に感じる感覚である。触覚は大きく分けると 5 つの種類に分類できる [4][5]。物体の表面の手触りを感じる触覚、物体からの反力を感じる圧覚、温かさを感じる温覚、冷たさを感じる冷覚、痛みを感じる痛覚である。この内、物体との接触を知覚するのは触覚と圧覚であり、圧覚は VR 分野では力覚と呼ばれる。本論文では触覚もしくは力覚を装置等で再現することを触覚提示や力覚提示、その為の装置を触覚提示装置、力覚提示装置と呼ぶ。

現在、研究者が様々な手法を用いた触力覚提示装置を研究している。触覚提示装置には梶本ら [6] の皮膚の感覚受容器を電気で直接刺激する電気刺激ディスプレイや、篠原ら [7] のピンを敷き詰め、その動きを制御することで形を提示する 3 次

元触覚ディスプレイがある。

力覚提示装置には大きく分けて装置が固定式で動かさない接地型の力覚提示装置と持ち運び可能な非接地型の力覚提示装置がある。接地型の力覚提示装置では、T. H. Massie ら [8] のモーターによるトルク制御で力覚提示する PHANTOM や、金時学ら [9] のワイヤーとモーターによりグリップへの力覚提示を行う SPIDAR [10] がある。接地型の力覚提示装置は精度の高い力覚を表現可能だが、装置を動かさないため力覚提示の際に空間的制限があり、手の動きにも制限が生じるという課題がある。

非接地型の力覚提示装置には、南澤ら [11] の指先に糸とモーターを付け動かすことで物の重量感覚を表現できる Gravity Grabber や、家室ら [12] のペン型のデバイスで、様々な物体に触った感覚を再現できる Pen de Touch がある [13][14]。非設置型力覚提示装置は接地型と比べると精度が劣る。しかし可搬性があり、装着部もあまり選ばないという利点がある。

また振動を使った力覚提示装置もあり、仮想物体に触れた触覚を提示するために使われることが多い [15][16][17]。雨宮ら [18] は特殊な振動を発生させ、人間の知覚特性を利用して特定方向の力覚を惹起させる研究を行なっている。他にも石井ら [19] の力覚提示にスマートフォンの振動機能を用い、ボタンを押した感覚を表現する研究もある。振動と共に触錯覚を用いた力覚提示装置もある。振動を使った力覚提示はより身近な機器での再現が可能であるという利点があるが、あまり強い力を使用者に与えることができないという課題がある。

磁力を使った力覚提示装置に福中ら [20] のパッシブ型力覚マウスがある。これはマウスに電磁石を埋め込み、マウスポインタが PC 上のアイコンに触れた時に電磁石を吸着し、力覚で抵抗力を提示することで操作性を向上しようという試みである。電磁石を使い力覚を提示することで、力覚提示の制御を電流制御だけで行える上、小さな機構で大きな力覚提示ができることが大きな利点である。一方で電磁石を電子機器に近づけると、電子機器が動作停止するという課題がある。

ゲーム上で力覚提示を行なっている例として腕相撲マシン [21] があるが、これ

は単純にモーターを用いて力覚提示を行なっているのみで、特に人らしい力加減を考慮しているわけではない。竹田ら [22] の腕相撲対戦システムのように、人らしい力覚提示を行う研究もあるが、実際の腕相撲時に人が対戦者に与える力を遠隔地に再現できれば、より本来の力覚に近いものと考えられる。

遠隔地に力覚提示を行い、力覚的コミュニケーションを行う研究としては、石井ら [23] の 2 台のローラーのついた装置の回転を同期させることで、人が回したローラーの動きを遠隔地に伝える inTouch や、高橋ら [23] の遠隔地にいる人同士の接吻を可能にする口腔内触覚コミュニケーションデバイスがある。しかし力覚的コミュニケーションを目的としている力覚提示装置の中でゲームに応用している例は少ない。そこで本研究では人同士の力覚表現が必要な遊戯である指相撲に着目し、電磁石による磁力の特性を用いて、離れた相手とも指相撲ができる力覚コミュニケーションデバイスを開発した。

力覚提示装置の先行研究を踏まえ、本研究の力覚提示装置の設計を行った。指相撲という遊戯の性質上、力覚を提示するのは指相撲システム操作者の片手のみであり、また指相撲中の操作者の手は固定する必要があるため、あまり可搬性は重要ではない。よって力覚提示は接地型力覚提示装置で行う。また指相撲の勝敗決定時前後では操作者の指をある程度強い力で拘束する必要があるが、指の可動域外に力を加えてはならない。そこで電磁石の通電状態で引力と斥力を切り替えられる特性に着目し、電磁石を使った力覚提示の手法を採用した。電磁石とモーター類を使った力覚提示装置と操作者の手を再現する仮想空間を構築し、その有用性を確認した。

本論文の構成は次の通りである。第 2 章では本システムの力覚提示装置を構成する部品について述べる。第 3 章では本システムでの力覚提示の手法や指相撲のルールについて述べる。第 4 章では本システムの評価実験の方法と結果、考察について述べる。最後に第 5 章でまとめと今後の課題について述べる。

第 2 章

力覚提示装置の構成部品

力覚提示装置は、本システムにおける力覚提示を行う装置であり、装置の各部品を制御するマイコンボードである Arduino[24] とその制御下にある加速度センサ、各種モータ類で構成している。力覚提示装置の構成部品は次の通りである。

- Arduino
- 加速度センサ
- 電磁石
- サーボモータ
- 振動モータ

指相撲システムの外観を図 2.1 に示す。

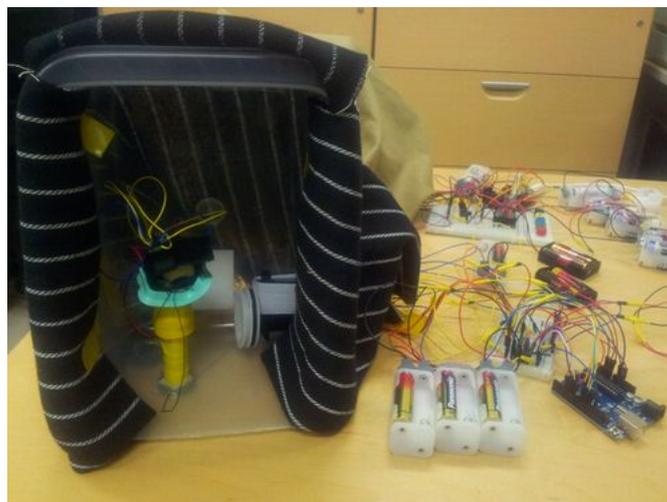


図 2.1: 力覚提示装置の外観

以下、力覚提示装置を構成する各部品について説明する。

2.1 Arduino

Arduino とはマイコンボードや、C 言語が基盤となる Arduino 言語を含めた、ハードウェアをより簡単に設計できるように作られたツールキットである [24]。Arduino は電子回路をはんだ付けすることなく組むことができる。また Arduino 言語でマイコンボードにプログラムを書き込むことで、同じボードで全く違う機能の装置を作ることができる。Arduino の外観を図 2.2 に示す。



図 2.2: Arduino

Arduino は、本システムでは力覚提示装置の部品の動作制御や PC とのシリアル通信を担う。Arduino は加速度センサから xyz の 3 軸加速度データをリアルタイムに取得し、その値を PC へシリアル通信を用いて送信する。また、PC からのデータを受信し、操作者の指が対戦相手の指に押え込まれた状態になった場合、サーボモータが一定角度回転することで 2 つの電磁石同士が接触する。電磁石同士が接触した状態で電磁石の電流を制御することで、引力を発生する。その後サーボモータは初期角度に戻す。これは操作者が押されている状態から、カウント中に抜け出せるようにするためである。逆に操作者の指が対戦相手の指を押し込んでいる場合、振動モータに電流を流し、振動を発生する。

2.2 加速度センサ

加速度センサはセンサ自体がどの程度傾いているかと加速度センサにかかっている重力を検出し、X 値、Y 値、Z 値の 3 つの数値を出力するものである。数値の変化量で、どの程度センサが回転したかを算出できる。力覚提示装置内では、親指の回転を測定するために使用しており、X 値と Y 値のみ利用している。X 値は

加速度センサに対して垂直方向の回転を測定する数値であり、Y 値は加速度センサに対して水平方向の回転を測定する数値である。加速度センサの外観を図 2.3 に示す。また加速度センサの X 値、Y 値と傾きの対応を図 2.4 に示す。

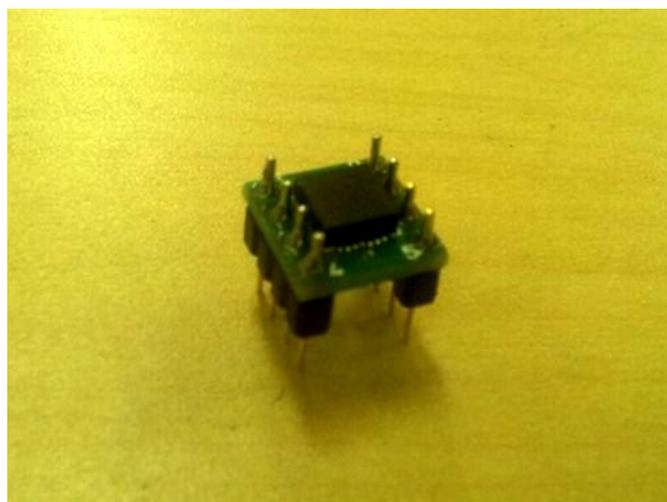


図 2.3: 加速度センサ

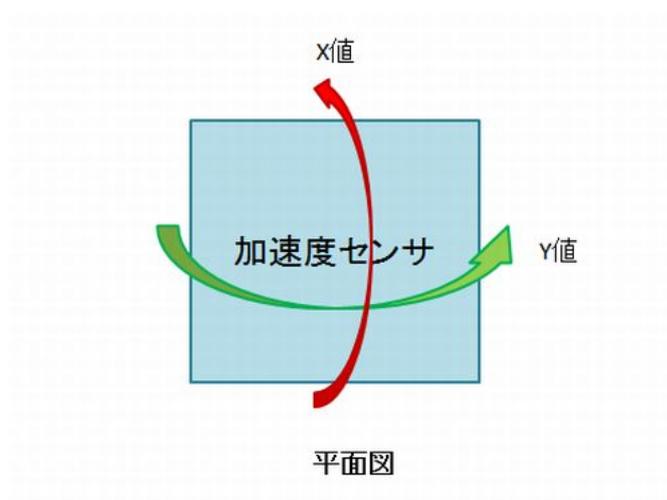


図 2.4: 加速度センサの値と傾きの対応

2.3 電磁石

電磁石は通電することで磁力を持ち、引力を発生することができる磁石である。指相撲の試合状況が拮抗している時は通電せず、引力は発生しない。操作者の指が押さえられた時のみ電流を流すことで、2つの電磁石間に引力が発生し、操作者の指を拘束する。電磁石の外観を図 2.5 に示す。また電磁石の働きを図 2.6 に示す。



図 2.5: 電磁石

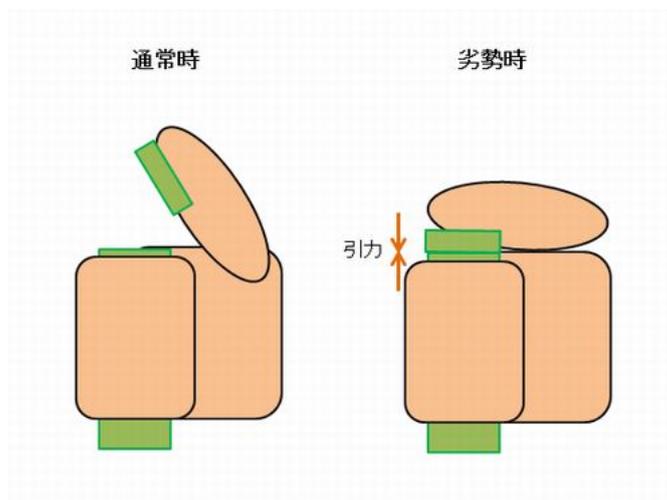


図 2.6: 電磁石の働き

2.4 サーボモータ

サーボモータは電源線以外に信号線があり、そこから得る信号に対応した角度に回転するモータである。同じ信号を送り続けた場合、一定角度で停止し、外部からの力によって回転しても一定角度に戻ろうとする性質がある。電磁石と同じく操作者の指を拘束するためのものである。サーボモータの回転部に糸を巻きつけておき、その先を固定具を通して親指側電磁石に繋いでいる。サーボモータが回転すると糸が巻き取られ、親指が下方向に引かれる仕組みである。操作者の指が押さえられた状態になると、一定角度回転し、その後初期角度まで戻る。サーボモータの外観を図 2.7 に示す。またサーボモータの配置を図 2.8 に示す。



図 2.7: サーボモータ

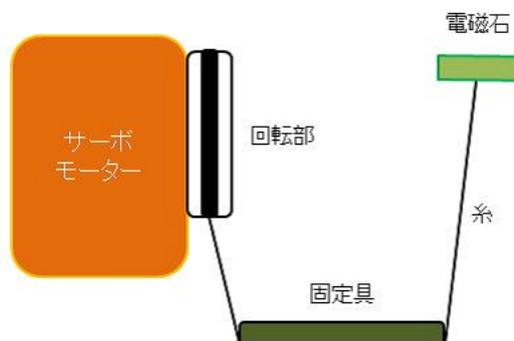


図 2.8: サーボモータ配置図

2.5 振動モータ

振動モータはモータの回転部に偏った錘をつけることで、回転時に動力から振動が発生するモータである。振動モータは操作者が対戦相手の指を押している状

態になった時に稼働する。

振動モータの外観を図 2.9 に示す。



図 2.9: 振動モータ

第 3 章

遠隔指相撲システム

本章では、本研究で提案する遠隔指相撲システムの力覚提示手法を述べる。まず 3.1 節で指相撲について説明する。3.2 節では、指相撲システムの仕様概要について述べる。3.3 節では、指相撲システムの全体構成について述べる。3.4 節では、力覚提示手法について述べる。3.5 節では、本システムで行う指相撲のルールや判定方法について述べる。

3.1 指相撲

指相撲とは親指の力と器用さを競う遊戯であり、手を使ったコミュニケーションの一形態である [25]。基本的なルールは次の通りである。

- 原則的に右手を使用する。
- 競技者は相手の人指し指から小指までの 4 本の指を互いに連結させる形で握る。
- 親指で相手の親指を押さえ込んだ状態を一定カウント維持することで勝敗が決する。
- 距離を取ったままでは勝敗が付かないため、攻守の駆け引きが重要である。

カウント数に関しては地域によって差があるが、最短3カウント、最長10カウント程である。

指相撲を実際に行なっている様子を次に示す。図3.1は指相撲の戦況が拮抗している様子、図3.2は指相撲の勝敗が決定する瞬間の様子である。

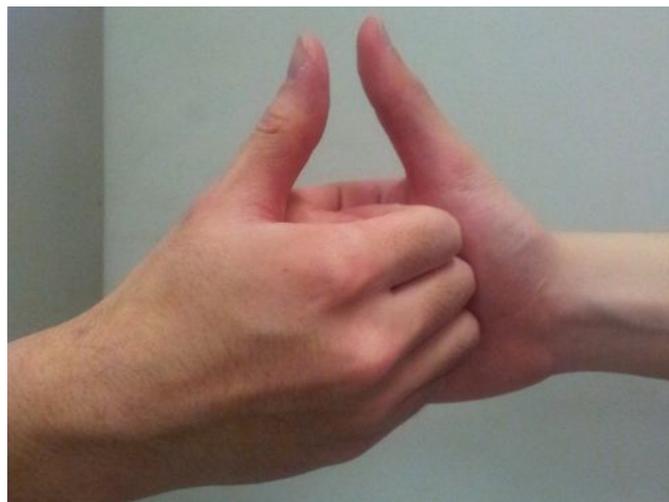


図 3.1: 拮抗時の指相撲の様子



図 3.2: 勝敗決定時の指相撲の様子

3.2 システム仕様の概要

指相撲は通常人同士が対面で行うコミュニケーションである。これを遠隔で行う場合、指相撲システム操作者への力覚提示が必要不可欠である。本手法では指相撲時に発生する力覚を、磁力や張力、振動を用いて再現する。指相撲は対戦形式の遊戯であるため、操作者は2名とし、それぞれに力覚提示を行う。操作者に提示する力覚は対戦相手の指を押さえた時、または対戦相手に指を押さえられた時のものとする。本手法では空中での小競り合いによる指への力覚は考慮しない。対戦相手の指を押さえた時の力覚提示は、振動を用いて行う。逆に指を押さえられた時の力覚提示は、空中での提示を張力、拳に接触後の提示を磁力を併用して行う。また操作者の指の動きは仮想空間上に再現する。操作者及び対戦相手は仮想空間上の仮想親指の動きを見て指相撲を行う。遠隔指相撲システム内での指相撲のルールは次の通りである。

- 操作者は人指し指から小指までの4本の指で棒磁石を握る。
- 仮想空間上の対戦相手の指が掌に付いている状態の時に自分の指を下げた時、対戦相手の指を押さえた状態とする。
- 親指で対戦相手の親指を押さえ込んだ状態を5カウント維持することで勝敗が決する。
- カウント中、対戦相手が指を傾けた方向と逆方向に自分の指を傾けると指を引き抜いたと判定する。

3.3 システム構成

指相撲システムの全体構成を図3.3に示す。

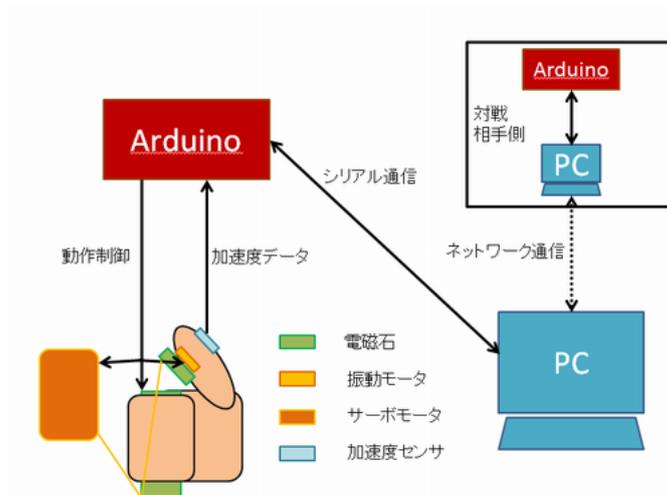


図 3.3: 指相撲システム全体構成図

本システムは手に装着する力覚提示装置と映像出力、デバイス制御に用いる PC からなる。

力覚提示装置は指相撲時の操作者の指の動きを認識し、PC へと送る入力装置であると同時に、操作者へ指相撲の戦況に応じた力覚提示を行う装置である。入力 は Arduino で操作者の指の位置情報を得るための加速度センサの測定値を整理し、PC に送信する。また、PC からの情報を受け取り、出力として力覚提示を行うために電磁石やモータの動きを制御する。操作者が指を押しえた状態では振動感覚を返し、押しえられた状態では力覚を返す。力覚提示は親指と掌に装着した電磁石で行う。

PC を用いて指相撲時の操作者の指の動きを仮想空間上に表現し、勝敗を判定する。仮想空間上では操作者の親指を仮想モデルで表現し、仮想モデルは力覚提示装置から送られる加速度センサの値から算出した操作者の指の動きに追従する。仮想モデルの衝突判定を行うことで、勝敗の判定をする。仮想空間上では勝敗を決めるためのカウントダウン等のインターフェースも表示する。

3.4 力覚提示

力覚提示装置で力覚提示を行うのは、指相撲システム操作者が指相撲中に対戦相手の指を押さえた時、または対戦相手に指を押さえられた時である。操作者が指相撲中に対戦相手の指を押さえた時は振動モータに通電することで振動を発生し、実際に指を押さえている感覚の提示とする。逆に対戦相手に指を押さえられた時の力覚提示は、サーボモータと電磁石を用いて行う。最初にサーボモータが回転し、糸を巻き取り張力によって2つの電磁石が接触する。その様子を図3.4に示す。

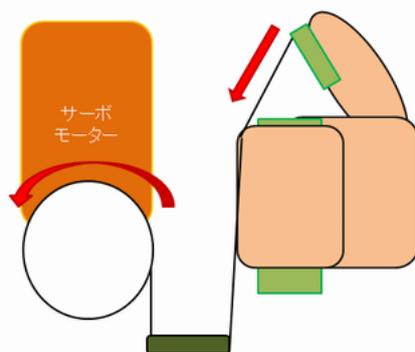


図 3.4: サーボモータによる巻き取りの様子

2つの電磁石が接触するところまで巻き取った後、電磁石に通電することで引力が発生する。その後サーボモータは初期位置まで戻し、糸を緩める。指の拘束自体は電磁石のみで行う。電磁石の特性上、電磁石同士の距離が離れていると十分な引力が得られない為、電磁石が接触するまではサーボモータの糸の巻き取りによる張力によって力覚を提示する。操作者の指と拳が完全に接触した後の指が動けないほど押さえられているという力覚は、電磁石による引力で表現する。その様子を図3.5に示す。

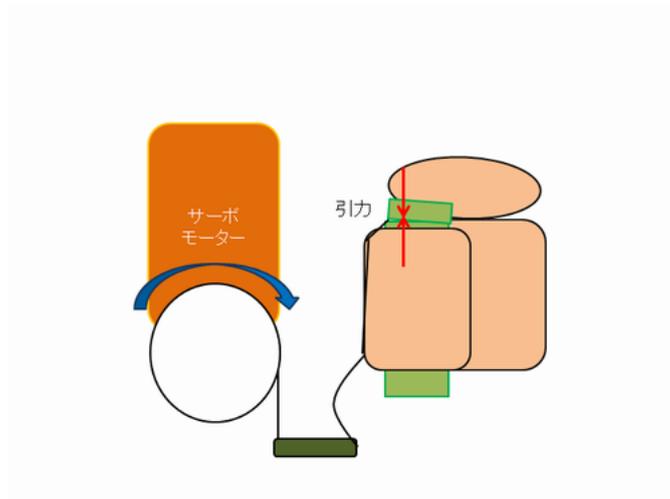


図 3.5: 引力が発生し、糸を緩める様子

3.5 本システムの指相撲仕様

PCでは指相撲のための仮想空間を作り、各操作者の指を仮想空間上で再現する。また仮想親指の動きで、指相撲の勝敗の判定等を行う。仮想空間内での指相撲の大まかな流れを図 3.6 に示す。

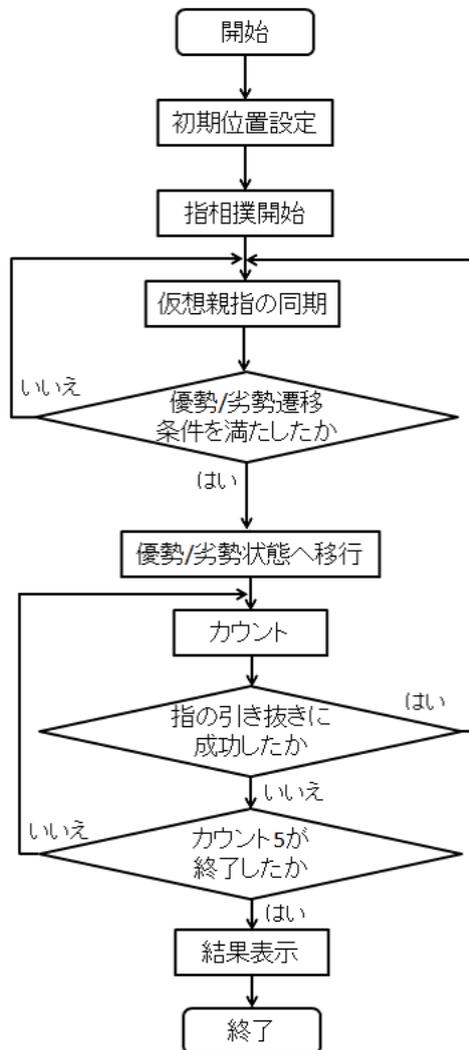


図 3.6: 指相撲フローチャート

仮想空間上の物体は全て3次元グラフィクスで表現する。実装の際には3次元グラフィクスツールキットである Fine Kernel ToolKit System[26]を使用した。

仮想空間には各操作者の仮想手を再現している。仮想空間上に再現した仮想手を図 3.7 に示す。

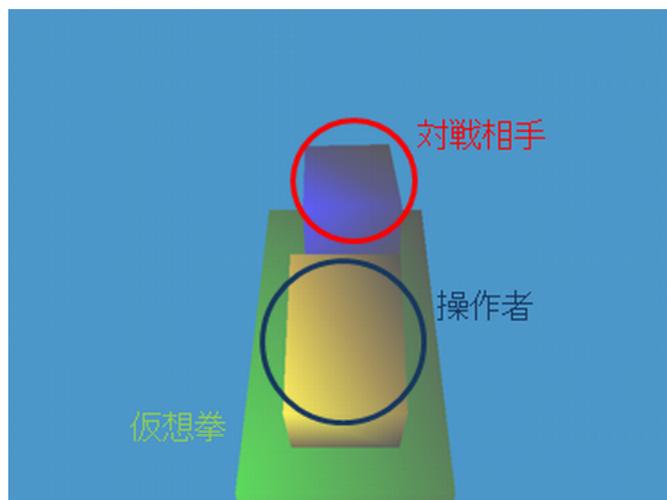


図 3.7: 仮想空間画面

対戦相手と操作者が組んだ状態の仮想拳上に、手前に操作者の仮想親指、奥側に対戦相手の仮想親指を再現する。仮想親指は力覚提示装置の加速度センサから読み取った値に対応して傾く。実空間の操作者が親指を立てる角度は加速度センサの x 値に対応しており、 x 値は加速度センサにて取得後、Arduino を経由して PC へ送信する。PC 内で x 値を角度に変換した後、仮想親指の姿勢へと反映する。その様子を図 3.8 に示す。

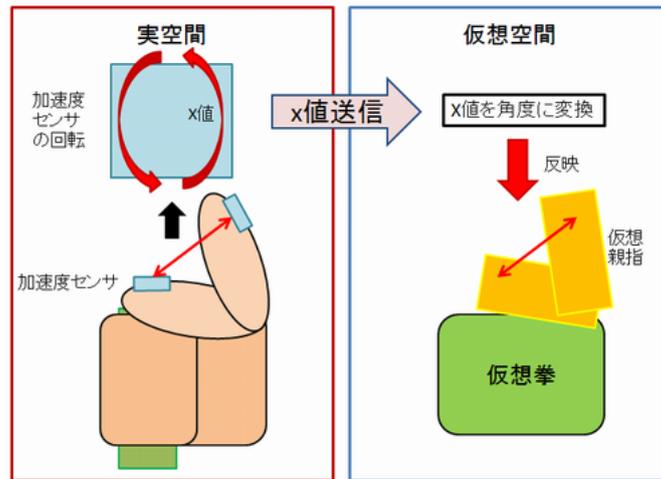


図 3.8: 加速度センサ x 値の反映の様子

また実空間で操作者の親指を横へ倒した傾きは加速度センサの y 値に対応しており、y 値は加速度センサにて取得後、Arduino を経由して PC へ送信する。実際には、y 値は操作者の親指の爪部分の傾きを計測したものであるが、PC では y 値を、指を左右どちらかに倒した時の角度へと変換し、仮想親指の姿勢へと反映している。その様子を図 3.9 に示す。

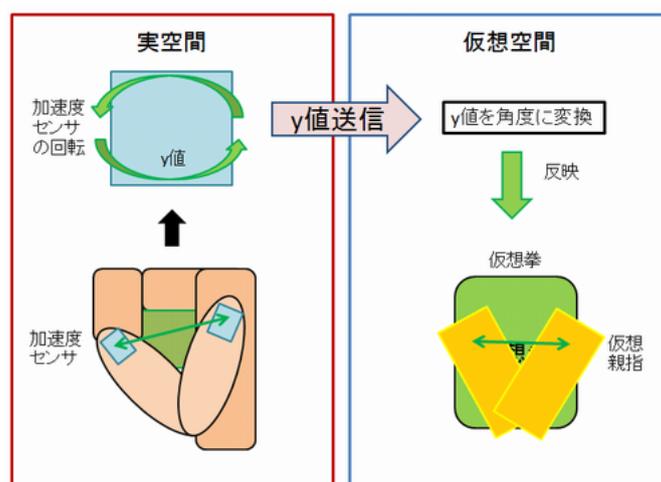


図 3.9: 加速度センサ y 値の反映の様子

拳は操作者と対戦相手の親指以外の仮想指であり、対戦場の役割を果たす。操作者の親指以外の指は力覚提示装置で固定してしまう為、仮想空間上でも動いていないものとする。

仮想空間上では操作者には3つの状態が存在する。対戦相手の指を押さええている優勢状態、対戦相手に指を押さえられている劣勢状態、そのどちらでもない拮抗状態である。初期状態は拮抗状態であるので、対戦相手の指を押さえ優勢状態にし、PCがカウント5を数え終わるまでその状態を保つことで操作者の勝利となる。拮抗状態では、特に操作者と対戦相手の動作への制限はなく、状態遷移の条件が揃うまで自由に指を動かせる。操作者や対戦相手の指の動きに追従して、仮想親指も傾く。仮想空間上では操作者や対戦相手の仮想親指は、仮想親指を完全に倒しても相手の仮想親指に触れられない。その為、対戦相手の仮想親指が拳に付いている状態の時、操作者の仮想親指を拳に付けることで操作者は優勢状態へと遷移する。優勢状態になった場合、画面上部にカウントの数字を表示する。また力覚提示装置で操作者に指を押している感覚を提示する。カウントを5数え終わると操作者の勝利を確定する。優勢状態を保つには、対戦相手が指の引き抜きを成功しないようにする必要がある。優勢状態に遷移し、カウントを表示した様子を図3.10に示す。

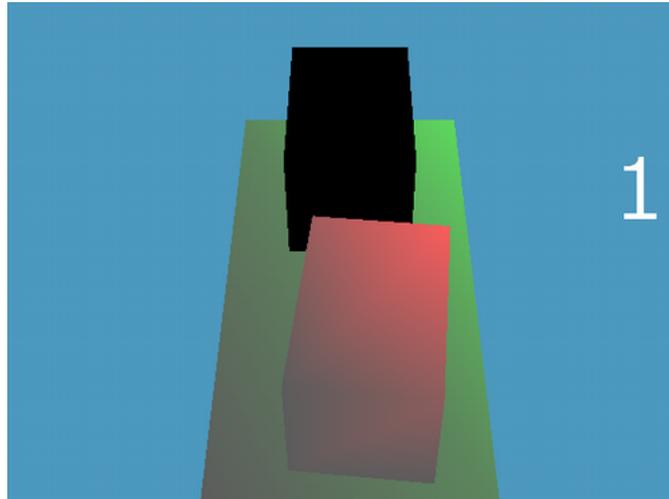


図 3.10: 優勢状態

逆に操作者の仮想親指が拳についている状態の時、対戦相手の仮想親指が拳へ接触することで、操作者は劣勢状態へ遷移する。優勢状態時と同じように、劣勢状態へ入った瞬間にカウントを表示し、カウント 5 終了時点で操作者の敗北が決定する。力覚提示装置では操作者に指が押されている感覚を提示する。劣勢状態へ遷移すると、操作者の仮想親指を黒色で表示する。劣勢状態では、指の引き抜きに成功することで拮抗状態へ戻ることができる。劣勢状態に遷移した様子を図 3.11 に示す。

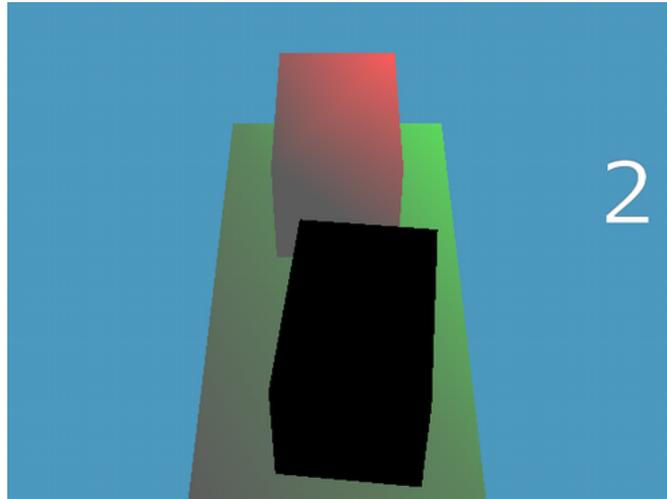


図 3.11: 劣勢状態

指の引き抜き判定は、操作者や対戦相手が握っている電磁石の上を中心軸とし、操作者と対戦相手の仮想親指が中心軸からどちらにずれているかで行う。優勢状態時もしくは劣勢状態時の仮想親指のずれは、力覚提示装置からの加速度センサの y 値によって判断する。カウントが行われている間に一定時間以上、優勢側の仮想親指のずれと劣勢側の仮想親指のずれが逆方向の状態を保つことで、劣勢側は指の引き抜きに成功する。例えば操作者が劣勢であり、操作者の仮想親指が右にずれている状態の時、対戦相手の仮想親指が左にずれていると引き抜きに成功する。その様子を図 3.12 に示す。

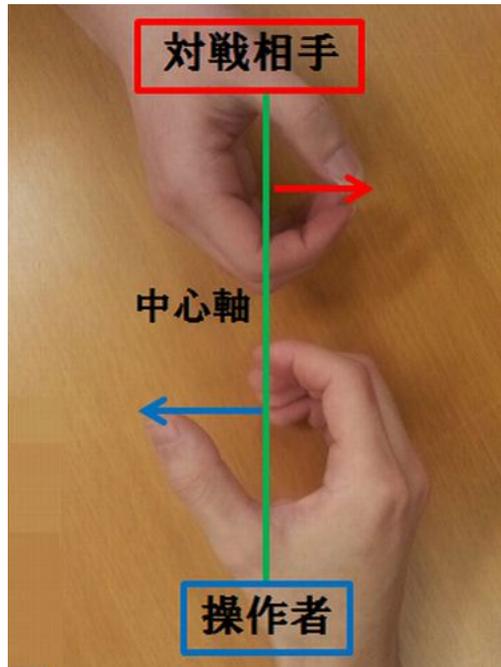


図 3.12: 指の引き抜き成功時

逆に優勢側の仮想親指と劣勢側の仮想親指のずれが同方向の状態になることで、劣勢側は指の引き抜きに失敗する。優勢側は劣勢側の指の引き抜きを阻止したことになる。例えば操作者が劣勢であり、操作者の仮想親指が右にずれている状態の時、対戦相手は操作者に合わせて右に指をずらすことで操作者の指の引き抜きを阻止できる。その様子をを図 3.13 に示す。

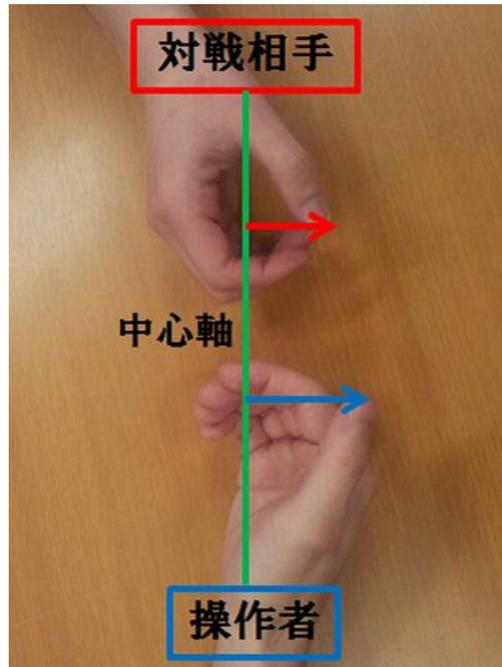


図 3.13: 指の引き抜き失敗時

優勢状態または劣勢状態時にカウントが終了した場合、指相撲の勝敗を決定する。勝敗の結果は仮想空間上に表示する。操作者が優勢状態でカウントが終了した場合は、操作者の勝利とし、「WIN」と表示する。操作者が劣勢状態でカウントが終了した場合は、操作者の敗北とし、「LOSE」と表示する。勝利時の結果表示時の画面を図 3.14 に示す。



図 3.14: 勝利結果時表示の画面

また敗北時の結果表示時の画面を図 3.15 に示す。



図 3.15: 敗北時結果表示の画面

勝敗結果表示が終了した時点で、指相撲の試合は終了となる。

第 4 章

評価実験

本章では、本システムの評価を行う。3.1 節では力覚提示を行うための力覚提示装置の機能を評価する。3.2 節では本システムの力覚提示を評価する。

4.1 機能評価

遠隔指相撲システムを構築するため、力覚提示装置の実装を行った。拮抗状態時、加速度センサからの値を用いて、操作者の指の動きを仮想空間上に正常に再現できることを確認した。優勢状態時、対戦相手の指が操作者の指の下で動いているという力覚提示を行うため、振動モータによる振動を用いた。PC からのシリアル通信により、正常に振動モータが動くことを確認した。また劣勢状態の力覚提示のため、サーボモータと電磁石を用いた。劣勢状態の力覚提示を行う前の初期状態を図 4.1 に示す。

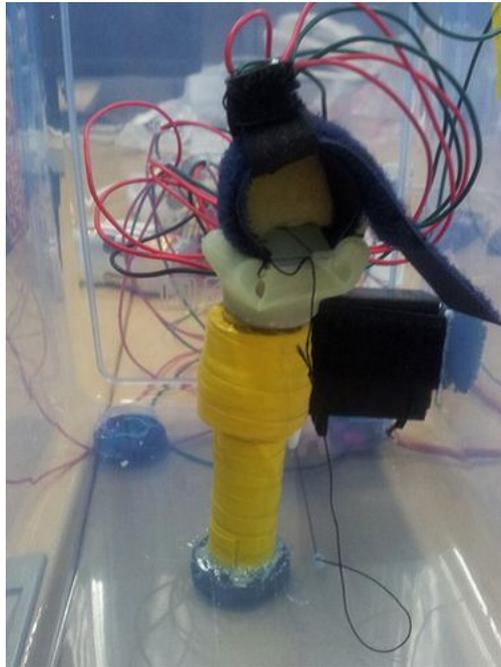


図 4.1: 劣勢状態の力覚提示前

劣勢状態の力覚提示を開始し、サーボモータにより糸を巻き取った様子を図 4.2 に示す。

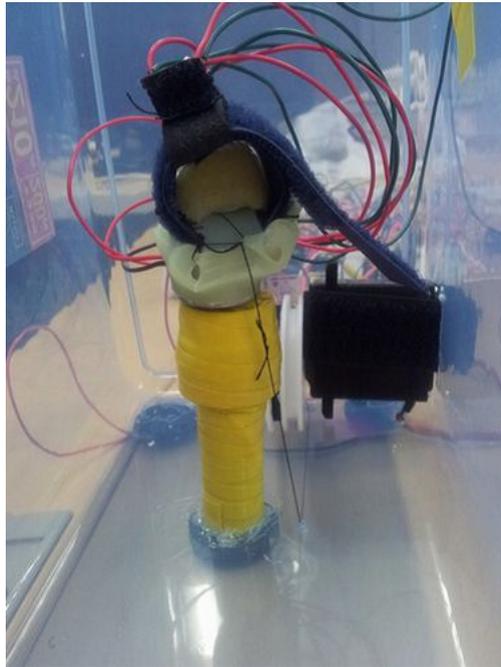


図 4.2: 劣勢状態の力覚提示直後

サーボモータにより糸を巻き、一定時間後に糸を緩める一連の動作が正常に行えることを確認した。また劣勢状態の力覚提示開始後から電磁石に通電し、正常に引力が発生することを確認した。

4.2 力覚提示評価

遠隔指相撲システムによる力覚提示の定性的な評価を得るため、評価実験を行った。評価実験の手順は次の通りである。

1. 被験者に本システムについての説明をする。
2. 力覚提示装置を被験者に装着する。
3. 被験者に本システムでの指相撲のルールについて説明する。
4. 実際に本システムで指相撲勝負をする。

5. 被験者が勝ち負けの両方を体験するまで勝負を繰り返す。

男性7人、女性4人の計11人に対し本システムの説明と実演を行い、力覚提示に関する評価と感想を得た。力覚提示に関する評価は次の項目であり、各項目の感覚強度を4段階で評価する。

- 対戦相手の指を押さえた感覚
- 対戦相手から指を押さえられた感覚
- 指の引き抜きの感覚
- 楽しさ

各項目の評価結果の平均値を図4.3に示す。

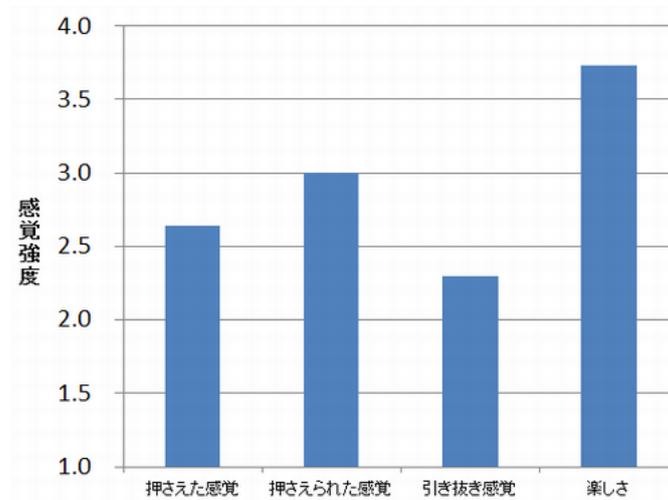


図 4.3: 遠隔指相撲システムの評価実験結果の平均値

また各項目の評価結果の標準偏差を図4.4に示す。

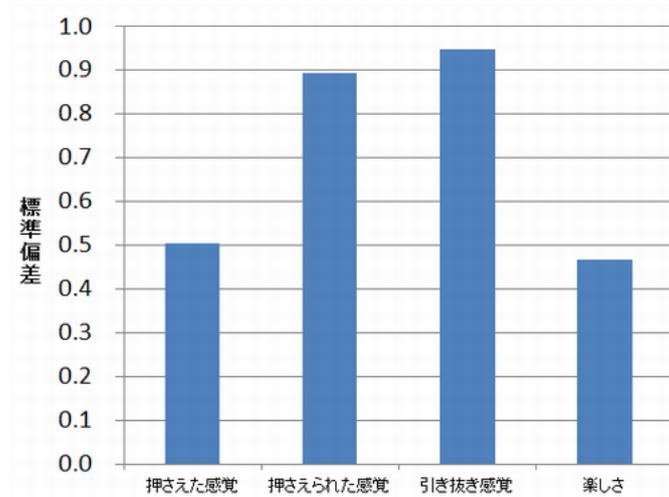


図 4.4: 遠隔指相撲システムの評価実験結果の標準偏差

次に評価時の感想の例を示す。

- 心理戦が行われて楽しかった。
- 指を押さえ込んだ時の感覚はあまりなかった。
- 振動が来ると危機感があった。でも画面に夢中だった。
- 指を抑えこまれた時の感覚は下に引かれる感触が強かったが、動けない感覚はあった。
- 指を引き抜いた感覚はなかったが、ゲーム画面を見て引き抜いたことはわかった。

評価実験の結果から、対戦相手から指を押さえられた感覚が一番よく表現できていることがわかった。電磁石による引力を十分に与えることで、指が動かない、あるいは負けそうという感覚を操作者に与えることができたと考えられる。逆に指の引き抜き感覚は殆どなく、力覚提示の有無の認識はできるという状態であることがわかった。しかしこの2つの項目は標準偏差値が高いことから、個人差が

激しいことが見受けられる。対戦相手の指を押さえた感覚は力覚提示が行われていることはわかったが、被験者によっては優勢時にも関わらず危機感を感じることもあり、効果的な力覚提示が行われているとは言い難いことがわかった。また指を押さえた時や引き抜き時の力覚提示が効果的でなかった原因には、指相撲ではカウントが行われている状態であり、操作者は指の操作や仮想空間に意識を集中してしまうためとも考えられる。指を押さえた感覚や引き抜き感覚の提示方法の改善が今後の課題である。楽しさの項目は評価結果の中で一番評価が高かった。これは普段とは違う状況ながらも、指相撲の試合が成立し、操作者と対戦相手の間でコミュニケーションが成立していたからだと考えられる。本システムは現実に近い力覚提示が課題ではあるが、被験者同士の力覚コミュニケーションデバイスとしては有用である。

第 5 章

まとめ

本研究では、指相撲時の力覚を再現し、遠隔地にいる人同士の指相撲でのコミュニケーションの実現を目的としており、電磁石を用いての力覚提示システムの構築を行った。仮想空間上に操作者と対戦相手の指の再現を行い、また力覚提示装置を用いて指相撲の状況に応じた力覚提示を行い、仮想空間での指相撲対戦を実現した。本システム構築後の評価実験の結果、劣勢時の力覚については評価が高く、電磁石による力覚提示は有効であったといえる。しかし優勢時と引き抜き時の力覚については本手法では上手く提示できないことがわかった。本システムでの指相撲による力覚的コミュニケーションはエンターテイメントとして有用であったことを確認した。

今後の課題としては、指相撲の優勢時と引き抜き時の力覚提示の改良が挙げられる。力覚提示に用いた振動の提示を強化したり、短時間の振動を用いるなどの検討が望まれる。また仮想空間での仮想親指の追従は、通信方法と測定値を安定させるためにある程度の値を取得してからの平均値で行なっているため、実際の指が動いた後仮想親指が追従するまでに時間差がある。本システムがリアルタイム対戦を扱っている以上、この時間差は解決すべき課題である。本研究は遠隔指相撲システムであり、遠隔地にいる人同士で指相撲をすることを目的としている。しかし現段階では仮想空間を構築したPC同士をネットワーク通信で接続し対戦する、ネットワーク対戦を実装していない。目的の実現のためにはネットワー

ク通信の実現が必要である。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、本研究を進める上で多大なるご指導を頂きました渡辺大地講師、三上浩司講師、及び岸本好弘講師に心より感謝いたします。また実験機材貸出及びハードウェアに関するご指導を下さった藤本実講師にも深く御礼申し上げます。卒論添削にご協力くださった竹内亮太演習講師、ありがとうございました。最後に、評価実験にご協力下さったコンテンツプロデュース、コンテンツテクノロジーのメンバーの方々、助言や実験に協力していただいたゲームサイエンスプロジェクトのメンバーの方々にも感謝いたします。皆様の協力でここまで研究を進めることができました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 任天堂公式サイト. Wii remote.
http://www.nintendo.co.jp/wii/features/wii_remote.html, 2012.
- [2] ソニーコンピュータエンタテインメント公式サイト. Playstationmove. <http://www.jp.playstation.com/ps3/move/about/index.html>, 2012.
- [3] Xbox 公式サイト. Kinect. <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>, 2012.
- [4] 大山正. 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック Part2. 誠信書房, 2007.
- [5] 岩村吉晃. タッチ (神経心理学コレクション). 医学書院, 2001.
- [6] 梶本裕之, 川上直樹, 前田太郎, 館ススム. 皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ. 電子情報通信学会論文誌, 第 J84-D-II 巻, pp. 120–128, 2001.
- [7] A. Mochizuki M. Shinohara, Y. Shimizu. Development of a 3-dimensional tactile display for the blind. In *Proceedings of European Conference on the Advancement of Rehabilitation Technology-ECART*, pp. 404–405, 1995.
- [8] J. K. Salisbury T. H. Massie. The PHANTOM Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Objects. In *Proceedings of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 1994.

- [9] 大内一成, 倉田徹, 橋本周司. 人口の手を用いたコミュニケーションシステム. 電子情報通信学会総合大会, p. 404, 1996.
- [10] 金時学, 長谷川昌一. 7自由度力覚ディスプレイ SPIDAR-G の提案 A Proposal of 7 DOF Force Display : SPIDAR-G. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌. 情報処理学会, 2002.
- [11] Hiroyuki Kajimoto Kouta Minamizawa, Souichiro Fukumachi. Gravity grabber:wearable haptic display to present virtual mass sensation. In *ACM SIGGRAPH*, 2007.
- [12] Naoki Kawakami Susumu Tachi Sho Kamura, Kouta Minamizawa. Pen de touch. In *ACM SIGGRAPH*, 2009.
- [13] 吉江将之, 矢野博明, 岩田洋夫. ジャイロモーメントを用いた力覚提示装置. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第7巻, pp. 329–337, 2002.
- [14] 仲田謙太郎, 村則雄, 山下樹里, 西原清一, 福井幸男. 角運動量変化を利用した力覚提示デバイス. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第6巻, pp. 115–120, 2001.
- [15] Jae-Hyek Han Hanhoon Park Jong-Il Park Byung-Kuk Seo, Junyeoung Choi. One-handed interaction with augmented virtual objects on mobile devices. In *Proceedings of The 7th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry*. Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2008.
- [16] 森尚平, 杉本一平, 永仮貴浩, 村田龍吾, 山本明彦, 田村秀行. Mass of roaches!ー振動と視覚的演出の同期による mr アトラクションの演出ー. 第15回日本バーチャルリアリティ学会論文集, pp. 398–401, 2010.

- [17] 高瀬裕史, 姜長安, 澤田秀之. 拡張現実空間における触感覚呈示による仮想キャラクターとのインタラクションシステム. 情報処理学会シンポジウム論文集, pp. 83–90, 2011.
- [18] 雨宮智浩, 安藤英由樹, 前田太郎. 知覚の非線形性を利用した非接地型力覚惹起手法の提案と評価. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 11 巻, pp. 329–337, 2006.
- [19] 石井琢磨. ゲームアプリにおける触覚フィードバック機能の有用性について. 東京工科大学卒業論文, 2011.
- [20] 福中謙一, 木村朝子, 佐藤宏, 井口征士. 力覚フィードバックを与えるパッシブ型力覚マウスの試作と性能評価. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 第 6 巻, pp. 75–86, 2004.
- [21] nikkei BPnet. 腕相撲ゲーム機.
<http://www.nikkeibp.co.jp/news/manu07q3/542858/>, 2007.
- [22] 蒲原新市竹田仰. 仮想人物との腕相撲対戦システムの構築. 電子情報通信学会論文誌 A, 第 J79-A 巻, pp. 489–497, 1996.
- [23] 石井裕. Tagible bits: 情報の感触／情報の気配. 情報処理, 第 39 巻, pp. 745–751, 1998.
- [24] 小林茂. 「Prototyping Lab」. 株式会社オーム社, May 2010.
- [25] 駒由美子. 「あやとりと手遊び」. 株式会社ルナテック主婦の友会, 1998.
- [26] Fine Kernel Project. Fine Kernel ToolKit System. <http://fktoolkit.sourceforge.jp/>.