



エンターテインメントとしてのバーチャルスポーツ

竹田仰、蒲原新一

長崎総合科学大学



1. はじめに

スポーツの要素の中には、「見て楽しむ」とか「して楽しむ」といった娯楽や遊びの感情を高揚する一面が存在している。このため、スポーツは広く人々の心を捉え、気楽に観戦したり、参加したりして、気分転換を図ったり、興に耽けたりすることができる。つまり、スポーツというものは、一時的であるにせよ比較的簡単に別の環境に心身を投じることができる仕掛けということになる。一方、バーチャルリアリティ（以下 VR）は人の視覚や聴覚、触覚などの五官にコンピュータで作られた情報を提示して、仮想環境での動作や表現を可能にする試みである。従って、スポーツの娯楽や遊びの側面における感情を高揚することは、VR 技術が持つ「人間の肉体や精神に働きかける」という性格上、極めて有効に活用できるのではないかと考えられる。スポーツにおける仮想環境を構築する際に、ボールなどの運動方程式や筋骨格の生体力学を正確に反映することに超したことはないが、それに囚われすぎると、計算式が複雑になり、娯楽で重要な要素であるリアルタイムな感じや強調された動きなどが損なわれる可能性がある。スポーツの持つ「娯楽性」や「スリル感」というエンターテインメントなどに焦点を当てると、ゲーム感覚に近い場合、スポーツ科学の知識が多少不足していてもコンピュータグラフィックス (CG) 制作や計測、制御技術を組み込んで、比較的容易に仮想環境を構築できるというメリットがある。ここでは、我々の研究してきたことを振り返りなが

らこの分野について述べることにする。

2. 当たり判定を伴う CG 映像によるスポーツゲーム

最初に、娯楽としてのバーチャル・スポーツとして思いつくのは、飛んでくるピンポンの球や野球のボールを打つようなことであろう。このとき、その場に臨んでいる雰囲気を出すためにも、ある程度のスクリーンの大きさが要求される。ボールがこちらに飛んでくるために、場合によっては 3 次元 CG にしたり、音響効果や音源コントロールについても考慮しなければならない。さらに、飛んでくるボールを打つためには、ボールの空間での位置座標とラケットやバットの位置座標の計算を行い、当たり判定をしなければならない。ボールは CG で制作するが、ラケットやバットは実物を振り回すために、これらの位置の認識には、カメラによる画像処理か、あるいは何らかのセンサが必要である。

2. 1 2 次元でのボールゲーム

図 1 に、操作者がモニタ画面の中に入って、バレーボール風なゲームを行っている様子で、ボールを手で打てばその方向に飛ぶように作ってある [1]。これは、自分の身体の一部か、または身体全体の画像をカメラからコンピュータに取り込み、CG で作られた画像とインタラクションするシステムである。この手法は、「ユーザの映像をキャプチャ処理することによって、ユーザのアクションに応じた対象物の操作などを行うインターフェー



図1 2次元ボールゲームの様子

ス」ということで、アクションインタフェースと呼ばれている [2]。システムの構成は、図2に示すようになる。以下、システムの概要をまとめる。

(1) パソコンのディスプレイアダプタから出力される画像と、カメラから出力される画像は同期信号の速度が異なるため、同一のモニタ上に表示しても同期が合わず映像が流れる。そこで、カメラ側の画像を一端AD変換して、ボードのフレームメモリに書き込み、パソコン側の画像と同一の速度になるようにDA変換して読み出す。これにより2つの画像を同一のモニタに表示できる。

(2) パソコンの画像とカメラの画像のそれぞれについて、ハードウェア回路で色成分の抽出を行い、その結果に基づいて2つの画像の優先順位を決定する。

(3) カメラ画像とCG画像は同一サイズとし、座標系を図3に示すように、1対1に合わせる。

(4) ビデオ画像に取り込まれた操作者の体の一部、例えば手がCG画像のオブジェクトに当たったかどうか判定する必要がある。ビデオ画像として取り込まれた操作者の世界（カメラ座標系）も、CG座標系も2次元であるとする。

(5) 操作者の手を認識するために、ビデオ画像のRGB成分中のR成分の輝度レベルを使う。このとき手のR成分を周囲から際立たせて誤作動を防ぐために、青色のカーテンを背景に設置してクロマキー処理を行う。

(6) 当たり判定を早くして、ゲームのスピードに追従するために、図4に示すようにあらかじめオブジェクトを包む単純な四角形のコア領域を設け、この領域内に相当するビデオ画像側のR成分のみに注目し、設定値以上であるならば当たりと判定する。

(7) このとき、コア領域すべてについてR成分の検定を

するのではなく、数ドットずつ読み飛ばす。さらに、図5に示すように、コア領域を4分割し、最初にどの領域が当たりとなったかを調べる。このことにより、およその手の運動方向を判定することができる。

このシステムのメリットは、操作者が特殊な装置やデバイス、センサを装着しなくても気楽にCG画面とインタラクション取れること。また、自分がモニタ画面に入り込んだ感じで興味をそそる点にあると思われる。

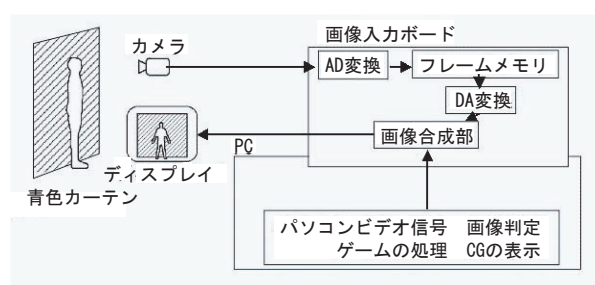


図2 クロマキーを使ったシステム構成図

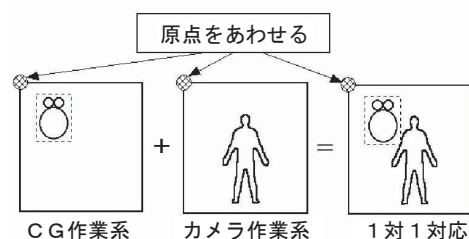


図3 座標系の対応

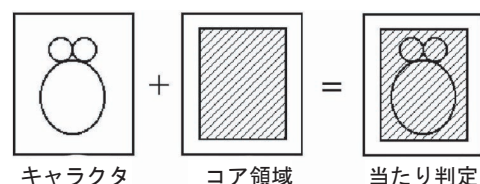


図4 コア領域の設定

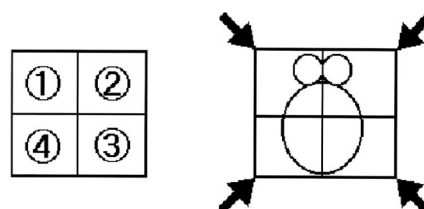


図5 コアの分割

2.2 ピンポンゲームとネット接続

この他の例として、ピンポンは、ラケットが赤いので当たり判定がしやすい。図6に、ピンポンをこの装置で行っているところを示す。このゲームはオブジェクト全てが3次元CGで構成されている。画面の手前にピンポン台があり、その上をピンポン玉が操作者に向かって飛んでくる。実写のラケットの2次元奥行き位置に、3次元のCGの球が通過するときに当たり判定を行っている。これで、操作者はこのピンポン玉を手を持ったラケットで打ち返すことができる。ついでに、より対戦効果を高めるために、このラケットには、スピーカが内蔵されていて赤外線通信によって受信された音情報を再生できる。これにより、ピンポン玉を打ち返すと当たったときの効果音や、「やったね!」とか「がんばれ!」などの励ましの声を出すことができる。さらに、ネットワークを通じて別のパソコンに球が飛んでいき、対戦できるように工夫している [3]。



図6 ピンポンの例

2.3 CAVEでのキャッチボール

図7にCAVE内でキャッチボールを行っている様子を示す。この場合、映像は3次元CGである。操作者は、液晶シャッターメガネを装着し、手には空間センサを着ける。ボールが手の位置に来たときに、うまくキャッチされると音が発生する [4]。これは高次元脳機能障害の半側空間無視のテストにも利用できる。CAVEのような多面体のスクリーンで囲まれた内部でバーチャルスポーツを行えば、没入感も得られ、さらにエキサイトできるであろう。仮想空間同士をインターネットで結べば、離れた場所でのキャッチボールやバッティングも可能である。



図7 CAVEでのキャッチボール

3. 力覚ディスプレイを使用した例

前章では、もっぱらCGなどの画像が中心で、力の感覚は得られない。スポーツにおいては、力の感覚が提示されることは重要ではあるが、この力覚ディスプレイの設計・製作は大変難しい。それは、人間の関節可動の動きが、機械でいうところの軸受けの回転とは異なり、複雑である上に屈曲、伸展にひねりや回転が伴っているからである。その上、力の提示能力が大きいと物足りなさを感じる。逆に、人の筋力に拮抗するくらいのトルクを発生させると、ディスプレイが大きくなり今度は機械に翻弄させられている感覚がでてくる。そこで、図8に示すように空気式のゴム人工筋を使った力覚ディスプレイを製作した [5]。ゴム人工筋はそれ自体は軽く場所をとらない。3～5気圧注入することで数百kgの牽引能力がある。前腕部分の先端に種々のアタッチメントを装着することで、用途を変えられるように工夫した。同図はバスケットボールのドリブルのためのアタッチメン

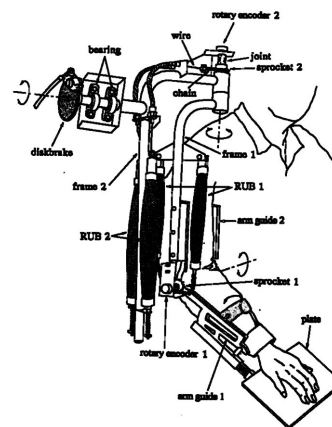


図8 力覚ディスプレイの構成図

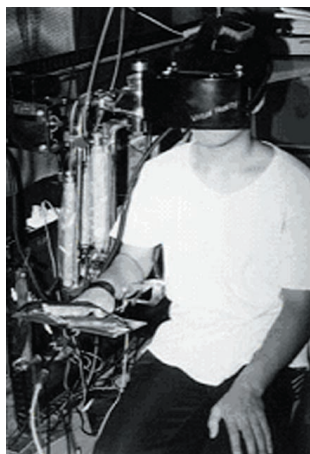


図9 ボールドリブルの様子

トで、手のひらの plate 部分は、ボールの接触感を表すための空気により膨張、収縮できるゴム膜が貼ってある。図9にこの力覚ディスプレイを使ってバスケットボールのドリブルをしているところを示す。

図10は仮想世界の様子で、図11はボールのバウンドと手の動きを示している。この装置は、ボールの3次元表示と共に、ボールの影の変化、ボールが床でバウンドするときの音、手で押すときの力の感覚が提示される。また、物理パラメータとしてのボールの大きさや重量、床との反発係数、重力加速度などが自由に変えられる

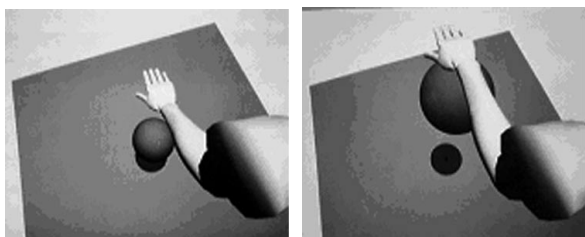


図10 仮想空間におけるドリブルの様子

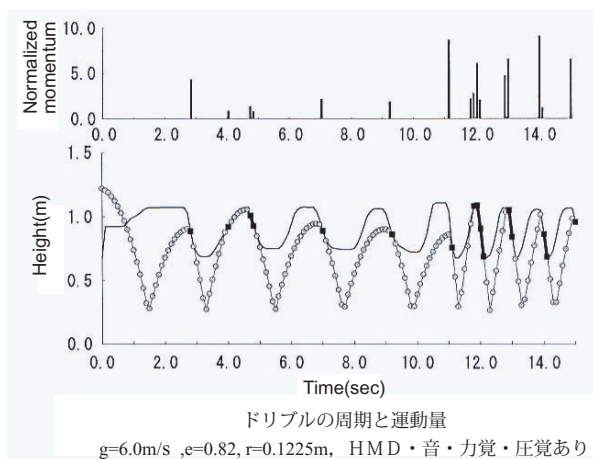


図11 ボールドリブルの解析



図12 5軸力覚ディスプレイ

[6]。図12は、力覚ディスプレイの自由度を5軸にしたものを示す。肘・肩の3軸に加え、前腕の回旋、手首の屈曲・伸展に力の感覚を得ている。手首の自由度が増えると、ボーリングのようなゲームが可能になる。図13にその様子を示す。ボーリングのボールを取るとその重量がディスプレイに伝わってくる [7]。それをレーンに投げると、物理方程式に従ってボールは飛び、手首のダ



図13 ボーリングの様子

イナミズムは解放される。

4. 走行に関する例

図14には、大型の傾斜型スクリーンを利用して、自転車漕ぎのトレーニングマシンのシステム図を示す [8]。このシステムでは、静止状態から目標心拍数までの立ち上がり時間、その後の保持時間がタイムチャート通りに管理されるように、画面に映るバーチャルペースメーカの走行速度が調節される。方法は、被験者の耳に付けた脈拍センサから心拍数をコンピュータに取り込み、これとその時点での目標心拍数が比較され、バーチャルペースメーカの走行速度を早めたり遅くしたりする。これに

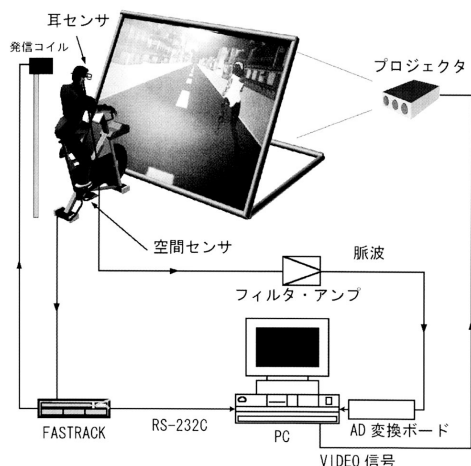


図 14 バーチャルメーカのシステム図



図 15 ペースメーカの様子

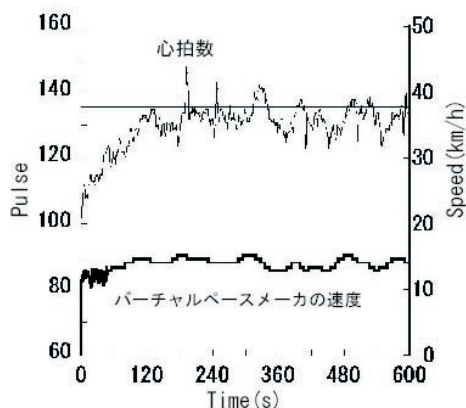


図 16 トレーニング例

被験者が追従することで、心拍を一定にする試みである。図 15 に画面のバーチャルペースメーカの様子を、図 16 に目標心拍数（ここでは、135）と実際の心拍数の結果を示す。まだまだ改良の余地はあるが、ただ気の向くままにトレーニングするより、目標を設定して、規則正しくトレーニングを行い、毎日の記録を保管し、その履歴を

専門家の資料となるようにした方がよいと思われる。

5. 腕相撲対戦の例

仮想世界において視覚・聴覚に加えて力覚を扱うことができることにより、それまでは仮想世界内では受け身であった人間が積極的にアクションを行うことができるようになる。それによってより現実感が増し、仮想世界に没入することができる。仮想世界において、何らかの感覚を人間に与えると、それに対してアクションが起こり、さらにそのアクションに対して次の感覚を与えることができるということは、このようなシステムをエンターテインメントとして応用可能であることを示している。

ここでは、人間と仮想世界に創られた仮想人物とがバーチャルに腕相撲対戦可能なシステムを取り上げる[9]。

5.1 ハードウェアシステム

図 17 に示す仮想腕相撲対戦システムでは力覚のフィードバックを担当する力覚ディスプレイが中心的な働きをする。本システムで開発した力覚ディスプレイを図 18 に示す。力覚ディスプレイの操作者は右腕上腕を arm guide 2 にあてがい、前腕を arm guide 1 にあてがって grip を手で握る。この力覚ディスプレイは 3 つの回転軸 (JS1、JS4、JE) をもつが、腕相撲対戦システムとしての動作時は、JS1 および JE の軸は固定し、JS4 の軸のみを回転させる。力覚ディスプレイ装着時の JS4 軸の回転は操作者の肩の内旋・外旋の動きと対応し、腕相撲の動きと一致している。この JS4 軸にはポテンショメータが取り付けられており、腕相撲対戦時の角度情報を取得することができるようになっている。

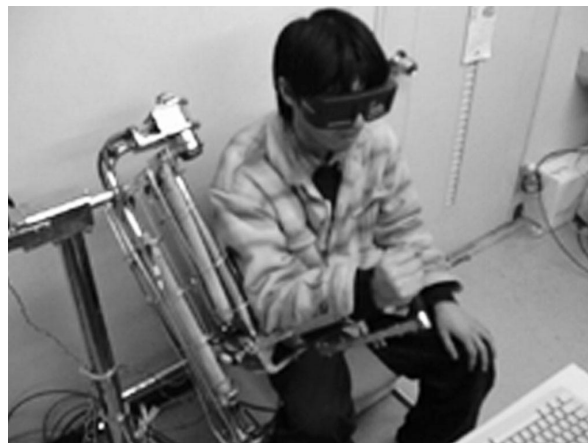


図 17 仮想腕相撲対戦システムの外観

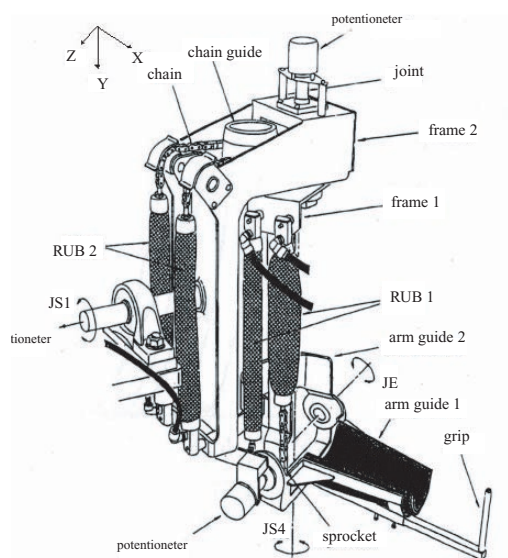


図18 力覚ディスプレイの構造

力覚ディスプレイの肩(JS4)の内旋・外旋、肘(JE)の屈曲・伸展を制御するアクチュエータには空気圧式ゴム人工筋肉(RUB)を用いている。RUBはゴム管の上に繊維コードが網状に編み上げられ、両端に口金を取り付けた構造となっており、特徴として以下のものがある[10]。

- ・収縮力が同型のシリンダと比較して、3～10倍でかつ軽量で高トルクを出力できる。

- ・ゴム人工筋肉固有のヒステリシス特性を有し、非線形特性とバネ特性をもつ。

力覚を中心とした仮想世界において、それに視覚情報を加えてやることにより臨場感が高まり、力覚運動に楽しさを与えることができる。仮想腕相撲対戦においても、図19に示すようにヘッドマウントディスプレイを使って仮想世界内に対戦相手の仮想人物と操作者自身の腕を



図19 仮想人物

表示し、対戦状態を表現することができる。仮想人物の表情に力覚ディスプレイと同期した喜怒哀楽の変化を与えてやり、さらには聴覚情報も加えてやると、仮想人物の力の入れ具合が力覚情報からだけでなく他の感覚情報からも判断可能になり、対戦の現実感が増し楽しさが向上する。

5.2 対戦制御システム

仮想人物に勝つことだけを目的にし、仮想人物と人間が単純に持てる力を全て出し切るような対戦をするだけでは寂しい[10]。人間が腕相撲対戦を楽しめるようにするためには、システムの主要素である力覚ディスプレイの制御に自律性を持たせ「ひとらしさ」の要素をもつ制御ルールの構築が必要であろう。ひとらしさをもった制御のためには、if～then ルール的な腕相撲対戦の状況に応じた制御が基礎となる。さらに、人間は外部からの感覚器官を通した入力に対して何らかの行動をとる場合、その入力値のしきい値に曖昧さをもって判断・行動している。このような曖昧さをもった制御を可能とする手法としてファジィシステムがあり、曖昧性(ファジィ)を含む非線形システムをモデル化可能である。本システムでもひとらしさをもつような力覚ディスプレイ制御ルール構築のため、このファジィシステムを利用している。

腕相撲対戦システム用に構築されたファジィシステムは、力覚ディスプレイに取り付けられたセンサーから取得した情報より算出された角度、角速度、角加速度の3つの値を入力とする。この3つの入力からファジィ演算をおこない、力覚ディスプレイを動作させるための制御コードを出力する。このファジィシステムによる腕相撲対戦の流れを図20に示す。仮想世界での腕相撲の動

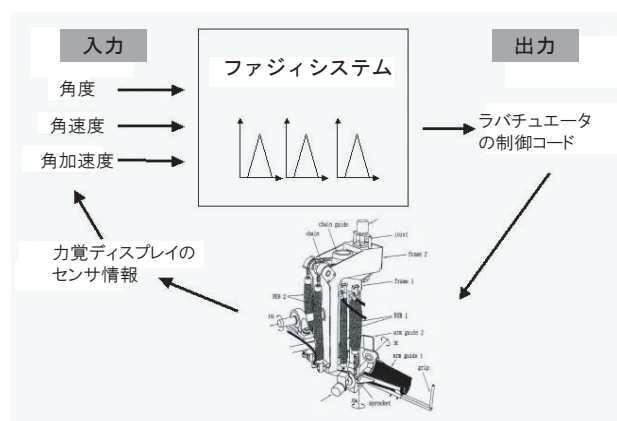


図20 ファジィシステムによる腕相撲対戦の流れ

作をよいものとするためには、このファジィシステム(対戦制御ルール)をどのように構築するかが重要である。

5.3 現実世界の腕相撲

対戦制御ルールを構築する前に現実の腕相撲対戦時のデータを測定した。腕相撲は力の入れ具合をコントロールする動作であり、相手の腕の動きを見なくとも、相手から受ける力を感じ取ることで対戦が可能な力覚コミュニケーションである。可能ならば対戦中の人間の知識である「対戦戦略」を読み取りたいが、これは無理である。最終的に力を出力しているものは筋肉であるため、腕相

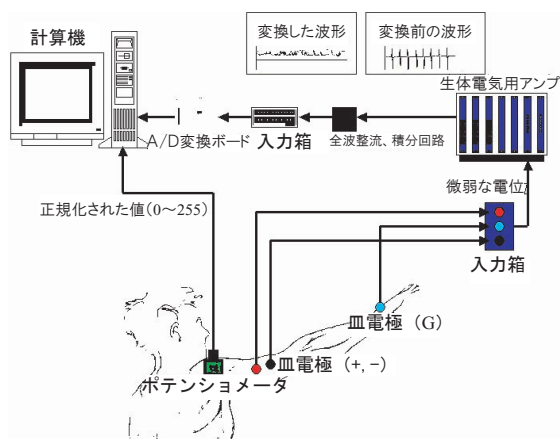


図21 筋電位計測システム

撲対戦中の人間の筋電位測定をおこなった[11]。

図21に計測システム、図22に測定風景を示す。図23は腕相撲に関係すると考えられる筋と筋電位の関係図である。上腕二等筋、上腕三等筋、棘上筋、広背筋の4つが実際に腕相撲をおこなった場合に筋電波形が顕著に現れた筋であった。この図より、広背筋が腕相撲対戦において使われている筋であるとして、広背筋に関して詳しく測定をおこなった。図24は腕相撲対戦中に人間の腕にかかる力の大きさと広背筋の筋電位の大きさを示



図22 筋電位測定風景

している。この結果から、対戦に有利（相手を押し込んでいる）な場合は腕にかかっている力は大きくなっているが、広背筋の筋電位は小さくなっていることが分かる。広背筋の筋電位と実際の力には相関は見られず、腕相撲という単純な運動でも多くの筋が関わっているようで、筋電位を測定することにより肩の回旋や負荷の状態を把握し、制御ルールに活用するようなことは困難なようで

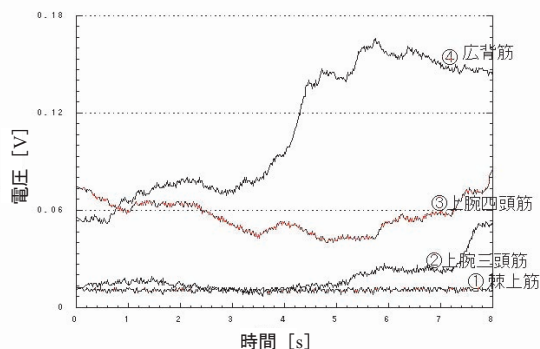


図23 各筋肉の筋電位の変化

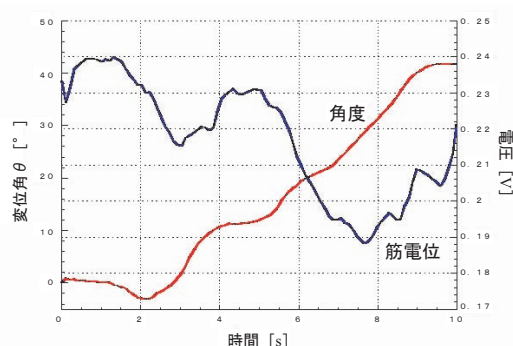


図24 人間が勝ったときの筋電位と角度の変化

ある。

5.4 対戦制御ルールの構築

力覚ディスプレイの制御、すなわち仮想人物の動作に「ひとらしさ」の要素をもたせるにはどのようにしたらよいのだろうか。これによって単なる力と力のぶつかり合いだけではなく、力のやり取りを基本としたコミュニケーションとしてのエンターテインメント性をもった腕相撲が可能となる。

力覚ディスプレイを制御するファジィシステムに対し、この「ひとらしさ」の要素を組み込むためには「ひとらしさ」の基準というものがようになってくる。この基準が数値式などで表現可能であれば、ファジィ制御

ルールを「ひとらしさ」の要素をもったルールへ最適化することは難しい。しかし、力覚ディスプレイの動作に「ひとらしさ」を感じるといったものは感覚的なものであり、これを絶対的な数値や数式では表現できない。しかし我々人間は力覚ディスプレイの動作に対してその動きをどう感じたかを判断・評価することができる。すなわち、ファジィシステムを「ひとらしさ」をもつようにチューニングする場合、通常計算機の中だけで実行されるような最適化に対して人間の判断（評価）を活用することが考えられる。図25に人間の判断を評価基準として制御ルールのチューニングに活用するシステムを示す。このチューニングシステムでは、適当なファジィ制御ルールで実際に腕相撲対戦をしながら、力覚ディスプレイの動作に「ひとらしさ」が感じられるかどうかを評価値入力デバイスを使ってリアルタイムにシステムに入力する。対戦中に力覚ディスプレイの動作に対して、ひとらしい動きに感じられた場合と、ひとらしい動きではないと感じられた場合にそれぞれの評価に対応づけら

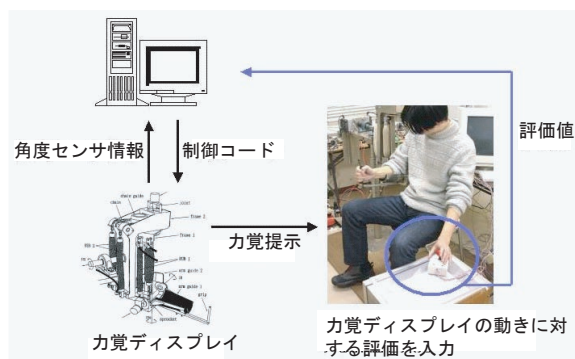


図25 対戦制御ルールのチューニングシステム

れた評価値入力デバイスの操作をおこなう [12]。

評価値入力デバイスより入力された評価値を基に、ファジィシステムをチューニングするために遺伝的アルゴリズム (GA) を利用している。GA を用いて力覚ディスプレイを制御するファジィシステムをチューニングするシステムを図26に示す。このチューニング方法では、遺伝的アルゴリズムによる初期値としてのファジィシステムを乱数などを用いて複数個体生成する。ここで、GA の一つの個体は腕相撲対戦ルールを形成する1つのファジィシステムのパラメータ列が並んでいる。これら各個体 (ファジィシステム) を使って腕相撲対戦をおこない、GA 演算を進めることによって、力覚ディスプレイの動作の「ひとらしさ」に対して人間が感じた判断を対戦ルールの頭脳であるファジィシステムの中に反映さ

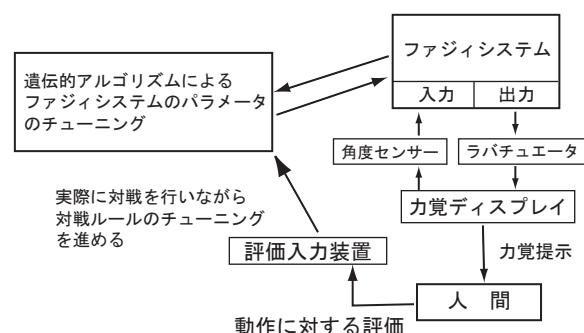


図26 GAによる対戦制御ルールのチューニング方法

せることが可能となる。

6. おわりに

ここでは、あくまでエンターテインメントとしてのバーチャルスポーツに限定して、我々の研究室での事例を述べた。エンターテインメントといえども、スポーツ科学に根ざし、人間のスポーツ時の生体・生理・心理と係わっていないといけない。そして、スポーツの有している競争心、スリル感、克服感、トレーニング成果などの諸々のファクターを満たしながら、そこにエンターテインメント性を上手く織り込み、スポーツの仮想環境を構築することが大切である。このようなことができれば、非常に有意義なVRの新しい分野になると思われる。

参考文献

- [1] 久保寺、竹田：アクションインタフェースによるゲーム制作、HI 部会、N&R Vol.12、No.2、pp.217-222、(1997)
- [2] 佐木、谷口、田村、渋谷：アクションインタフェースのメニュー配置とユーザビリティ、HI 部会、N&R Vol.12、No.1、pp.13-18 (1997)
- [3] 久保寺、竹田：通信機能を有するアクションインタフェースゲームの制作、第2回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 Vol.2、pp.296-299 (1997)
- [4] 崔、尤、竹田：仮想空間におけるボールキャッチの検討、電子情報通信学会総合大会 (平成12年3月)
- [5] 竹田仰：人工現実感による上肢訓練および筋力計測システムの開発、バイオメカニズム 12、pp.265-279、バイオメカニズム学会論文集、東京大学出版会 (1994年8月)
- [6] 竹田、筒井：力覚提示機能を持つボールのドリブル仮想環境の構築、テレビジョン学会誌、Vol.49、No.10、

- pp.1339-1346 (1995)
- [7] M. Lawn, T. Takeda and T. Yamada : Development of a 5 axis upper limb force display operating in a VR environment for training, International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence '97, pp.99-105 (Dec.1997)
- [8] 鈴木、北島、竹田：バーチャルヒューマンを用いたリハビリ訓練機、バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集、pp.173-176 (2001年9月)
- [9] 竹田、蒲原：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、Vol.J79-A No.2 1996
- [10] 竹田仰：人工筋モデルによる人体筋の再構築、Japanese Journal of Sports Sciences、Vol.14、No.5、pp.537-543 (1995)
- [11] 中山、竹田、蒲原：腕相撲対戦時の筋電位測定について、電気関係学会九州支部連合大会講演論文集(1999年10月)
- [12] S. Kamohara, Y. Ichinose, T. Takeda, H. Takagi: Construction of Virtual Reality System for Arm Wrestling with Interactive Evolutional Computing, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.12 No.1 (Feb. 2000)

【略歴】

竹田仰 (TAKEDA Takashi)

昭和47年九州芸術工科大学音響設計学科卒業。平成3年長崎大学大学院後期博士課程修了。昭和47年～57年九州松下電器開発研究所勤務。昭和57年4月より長崎総合科学大学勤務。現在、同大学人間環境学部教授。バーチャルリアリティの研究に従事。電子情報通信学会、日本バーチャルリアリティ学会、日本人間工学会、日本音響学会、映像情報メディア学会、日本リハビリテーション工学協会各会員。工学博士。

蒲原新一 (KAMOHARA Shinichi)

長崎総合科学大学人間環境学部講師。1970年生まれ。1994年長岡技術科学大学大学院修士課程修了。長崎総合科学大学情報科学センター助手を経て2001年より現職。計算機科学、ロボット制御などの研究に従事。