



スポーツ技術向上のための VR

川村 貞夫

立命館大学



1. はじめに

人類の歴史を眺めると、労働は生活のためにするもので、健康のためには体を動かさない方がよいと思われていた時代が長い。その後、産業革命によって肉体労働から人類を開放する過程の中で、健康や楽しみのために体を動かすスポーツが、重要な役割として浮かび上がってきた。21世紀を迎えて、我々は情報化革命に直面している。この革命が、スポーツというものに与える影響は何か？今は、この答えを、探しつつある（作りつつある）状態と言えよう。本特集での、「スポーツとVR」で論じられる内容は、情報技術とスポーツの関わりの多くの部分を含んでいるように思える。本報では、特にスポーツの技能向上の観点から、VRとの関わりを考えることにする。

2. スポーツ技能向上とVR技術の整理

2.1 スポーツ技能の分類

人間の運動に関する知能は高度であり、複雑な状況のもとで発揮される場合が多いので、一般にスポーツの技能を分類することは容易ではない。とりあえずここでは、人間をシステムとして捉え、感覚器、脳、筋肉から構成されると考える。そこで、技能向上として大きく以下の四つの項目を考えよう。

- (1) 目的に合った筋肉（または筋肉のバランス）を持つ身体を作ること
- (2) 感覚器精度と座標変換精度を向上すること

- (3) 高速で正確な運動フォームを作ること

- (4) 種々の情報からの認識、判断、運動を適切に実現すること

上記の(1)から(4)以外にも、心肺機能の向上では低酸素トレーニングなどもある。その場合、低酸素室内で実際の競技に近いVRトレーニングを行うことも予想される[1]。また、(1)から(4)の内容を詳細に観察すると必ずしも分離できない場合もあるが、以下ではこの分類ごとに、VRとの関係を整理する。

2.2 筋力トレーニング

このトレーニングは、特定の筋肉を大きくすることや、複数の筋肉群をバランスよく発達させるなどである。現在、ウェイトトレーニング、水中トレーニング、ゴムチューブトレーニングなどが広く利用されている。物理的観点から考えれば、慣性、粘性、弾性の機械的インピーダンスを単独で用いていることになる。VR技術の中でも、力感覚の呈示を用いれば、筋力トレーニングに理想的な機械的インピーダンスを提示することが可能となる。このようなVR装置が利用者の安全性を考慮して、実用機として実現されれば、筋肉や腱にダメージを与えずに、適切な負荷を与えるトレーニングなども容易に達成できると期待される。

野球の投手生命は肩の筋肉の疲労から決まるとの見解がある。その際、肩のインナーマッスルと呼ばれる筋肉群の強化が重要との指摘がある。現状では、トレーナーが

選手について、適切な負荷と運動範囲を指定して、インナーマッスル・トレーニングが行われている [2]。このように、筋肉のバランスを整えるトレーニングが、今後いろいろな目的が必要となると予想される。

2.3 感覚器・座標変換トレーニング

このトレーニングでは、まず感覚器自身の性能向上を目的とする。たとえば、体操競技における平衡感覚で、鉛直軸を視覚情報なしで正確に知覚することは極めて重要である。また、周辺視野による運動物体の認知なども感覚器の精度向上と位置付けられる。

一方、座標系の変換に関するトレーニングもある。たとえば、ゆっくりとした運動で、胴体と腕との協調動作によって、視覚情報を用いずに手先に特定の軌道を正確に実現する際は、筋肉内のセンサからの情報を基に、脳内の空間座標系において、目標の軌道に追従しようとする想定される。また、ゴルフクラブのヘッドが、自分の後ろにあるとき、正確に 3 次元的な位置を腕の姿勢から推定するなどこの問題となる。この場合、正確に位置を推定し軌道を作れる人は、関節角度からの信号による座標系から、目標運動の座標系への変換が、正確に行われていると予想される。

VR 技術は、上記の感覚器の精度向上と座標変換の補正のトレーニングに、有効な方法と思われる。たとえば、視覚情報により、正しい軌道(座標)を人に提示できれば、トレーニング効果が上がると予想できる。軽量の HMD などの機器が整備されつつあり、視覚情報をスポーツ現場で利用できる可能性も拡大している。このような VR の利用は、極めて現実性が高いと考えられる。

2.4 運動パターントレーニング

人間の身体は、多関節構造によって構成されている。また、多くの筋肉の協調動作によって、特定の運動パターンが作られる。それゆえ、特定の運動パターンを正確に実現することは、難しい課題となる。前節 2.3 が座標変換とすれば、2 本節での意味は各筋肉への指令パターン(各関節トルクパターン)の形成とも表現できる。従来、コーチなどが客観的に身体運動を観察して、感覚的な表現で指導するか、ビデオ録画を運動後に眺めることが行われている。VR 技術を応用することによって、このような特定の運動パターンを正確に学習させることが容易に行えるとの期待がある。その際、視聴覚情報のみで、人間に情報を提示するか力感覚も提示するかによって、技術的問題に大きな違いを生じる。すなわち、視覚・

聴覚情報は現在の VR 技術の応用によって、比較的容易に情報提示が可能と予想される。一方、スポーツ応用の力感覚提示には、多くの解決すべき課題がある。

特定運動フォームを取得する際に、時としてコーチは、選手の手を取り、運動フォームを指導する。このような場合、力情報が利用されているとも想定できる。しかし、逆に視聴覚情報のみでは不十分であり、力感覚が必要であるかの確証もない。今後この点に関して、人間の運動学習特性の研究を行い、最低限度の情報が何かを明確にする必要がある。その結果、視聴覚情報のみでも十分な性能が得られる場合は、力感覚呈示装置は不要となり、ハードの実現可能性が高まる。

2.5 認識・判断・運動トレーニング

複雑な環境条件データを、多様な感覚器から脳に入力し、そのデータに基づいて、判断し行動指令を出す能力のトレーニングとなる。たとえば、サッカー選手が相手選手と見方選手の交錯する空間で、どの選手にパスを送ればよいかなどの認知から行動までの一連の過程となる。VR 技術は、多様な状況を人工的に作り出すことができるので、このようなトレーニングに威力を発揮できる。

この場合は、状況判断が最重点と思われる。したがって、現実と同じ入力情報の提示と運動の実現は、必ずしも必要ないかもしれない。すなわち、そのような場合には、判断の部分のみを抽出してトレーニングすることが可能となる。しかし、より有効なトレーニングとするには、認識と運動についても、より性能の高い VR 技術が必要となろう。

3. スポーツ特有の課題

3.1 機器の軽量・小型化

人間の運動計測や情報の提示のために、人間に機器を装着する必要性が高まる。その際、他の VR 応用に比べてスポーツは関与する筋肉の種類も多く、各運動の速度・加速度も大きい。その結果、装着する機器の質量と体積が、運動に大きく影響する。それゆえ、装着機器の軽量化、小型化が不可欠である。これらに関しては、今後のマイクロマシン技術に期待したい。すなわち、衣服に埋め込み可能なサイズの加速度・速度センサなどが開発され、通常のウェアと同じ条件で運動できる環境が望まれる。

現在、ウェアラブルコンピュータは実用に近づきつつある [3]。さらに、各種センサは、上記のマイクロマ

シン技術により、小型化が急速に進みつつあるので、センサとコンピュータについて、スポーツ技能向上に利用可能なウェアラブル機器が、生まれると思われる。ただし、力感覚の提示をウェアラブルとするシステムについては、課題として残る。

3.2 運動の高速性・高加速性

他のVR応用とスポーツの大きな違いの一つは、その運動の高速性・高加速性である。まず、人間の運動計測についても、スポーツの運動加速度・速度は、通常の生活時のそれらに比べて、極めて大きい。たとえば、キックボクサーの回し蹴りは、19[m/sec]に達すると報告されている[4]。これを、通常の画像処理技術の30[msec]程度ごとのサンプリング周期で計測すると、計測点間で約60[cm]足先は移動することになる。したがって、高速性を重視した簡便な方式が求められる。

一方、視覚情報呈示に関しても高速性が大きな課題となる。たとえば、非常に高速な運動で、視覚情報のフィードバックが時間的にできない場合など、どのように人間に情報を呈示するかが問題となる。

3.3 力感覚の呈示

スポーツ技能向上のために、力感覚情報がどの程度有効であるかは不明な点もある。しかし、多くのスポーツ経験者・コーチからの意見では、視聴覚情報のみでは不十分であり、何らかの力感覚が重要との意見が強い。そこで、従来VR技術、ロボット技術などで培われた力覚提示システムが、スポーツ技能向上にも利用できるように思える。すなわち、力覚センサなどを利用して、力信号をフィードバックし、モータ駆動などによって、目標の力や機械的インピーダンスを実現する方法である。しかし、実際には以下のような問題が生じて、直接的な利用は困難である。

- (1) 高速・高加速運動状態で力フィードバック性能向上のためにフィードバックゲインを大きくすると、システムは不安定となる。安定性を保証すれば、スポーツ運動の速度、加速度に追従できない。
- (2) 高速、高加速運動を実現するためには、大きなアクチュエータが必要となり、高重量で大型なシステムとなる。このことは、人間への安全性の点で致命的な問題となる。

そこで、ハードウェアの要素やメカニズムに新しいアイデアが必要となっている。

4. 幾つかの試み

4.1 筋力トレーニング

電動モータ駆動により、一定速度で動かしながら力を発生するトレーニングなども実用化されている。ただし、多くの場合は、1自由度の回転系であり、多自由度には拡張されていない。また、スポーツの現場では適切な機械的インピーダンスを設定するには至っていない。

多自由度系として、スポーツトレーニングに利用されているものに、小林が提唱する認知動作型トレーニングマシンがある[5]。その中で、スプリントトレーニングマシンでは、片足に並進の1自由度と回転の1自由度を組み合わせて、両足で走行状態を作れる。機械系の制御としては、特に力やインピーダンスの制御は行わず、特定の運動パターンを与えて、人間がその運動に合わせながら、筋力を鍛える形式となっている。また、この方法は筋力トレーニングだけではなく、運動パターンのトレーニングにもなっていると予想される。

4.2 感覚器・座標変換トレーニング

選手の運動データを種々の方法で、コンピュータに取り込み、画像処理技術を利用して、目標の運動との違いを選手に認知させる方法が可能である。すでにVRML (Virtual Reality Modeling Language) として、利用されつつある[6]。その場合、動的な運動パターンも同時に表示できるので、運動パターントレーニングにも関わることになる。ただし、運動を生み出すトルク(力)パターンは、ベクトルなどの表示となるので直感的にトルク(力)パターンを理解することは容易ではない。

また、拡張現実感として、シースルー型HMDを用いて実画像上に、座標系などをスーパーインポーズすることにより、選手に正しい座標系を認知させる方法なども可能である。特に、頭部の高速な角加速度に対しても追従可能なシステムが提案されており[7]、スポーツへの応用が期待される。

4.3 運動パターントレーニング

岩田[8]、横小路らは[9]、「機械メディア」を提唱し、運動知能を人から人に伝承する人工物を、機械メディアの一つの役割としている。また、吉川らは、動作技能の伝承を検討し、一連の研究を行っている[10][11]。これらの研究は明示的にスポーツを対象としていないが、本質的には、同じ内容である。ただし、スポーツの場合は他の運動技能よりも、運動の速度・加速度が極めて大きい点異なる。

また、横小路らは、スポーツにおける素振りなどの運動技能の向上を目的として、HMDを利用した教師視覚表示と身体の適当な部位に振動を発生させるシステムを組み合わせたトレーニング装置を実現している[12]。これは、振動を利用しているので、聴覚情報の延長とも理解できる。しかし、聴覚情報では、波形、振幅、振動数のみを変更可能であり、この方法では空間的に体の各部に装着できる点が大きく異なる。

4.4 判断トレーニング

競技場に多数のカメラを設置して、視点を変えて選手の動きを観察できるシステムも、すでに開発されている[13]。また、スピードスケートなどでは、異なる選手を仮想的に対戦させる映像も利用されている[14]。このような技術により、仮想的にプレーを体験することが可能となる。その際、当面は視覚・聴覚情報の提示となろう。ただし、視聴覚に限定しても、数多くの課題が残されている[15]。

5. 力感覚呈示システムの試作例

5.1 パラレルワイヤ駆動システム

一般に、力覚情報提示は視聴覚情報提示よりも困難な場合が多い。特に、スポーツでは、高加速・高速状態で、安全に力覚提示を行う必要がある。この問題を解決する方法として、最も現実的な方法は、機械的に運動する部分の質量を小さくすることである。前述の横小路らの研究では、小型の振動システムを利用しており、運動部分の質量を小さくしている。ただし、運動パターンに沿った力の提示はできない。

通常のロボットなどは、リンク構造を有するために、手先に発生する力が小さい場合でも、リンク構造自身を保持、運動させるために、比較的大きなアクチュエータを必要とする。また、高加速運動を実現することが一般に難しい。リンク構造の代わりに、図1に見られるようなパラレルワイヤを利用する方法は、佐藤らの研究に見られる[16]。また、ワイヤ駆動の一般的な駆動原理は筆者らの研究によって得られた[17]。しかし、当初は、この方式の特徴である高加速運動を明示的には意識していなかった。その後、パラレルワイヤ駆動の高速運動ロボットが開発されるに従って[18]、フォースディスプレイとしての高速性・高加速性が意識されるようになった。そして、高加速運動の特徴を明確に目的化した研究は森園らに始まる[19]。同時に図2に見られるように、スポーツへの応用も明示化された。その際、人間への力

覚提示システムにおいて、目標値をゼロと設定した理想状態への近さを、「機構透明性」と定義した。そこで、ワイヤ駆動システムを用いて、従来技術では実現できなかった機構透明性を達成している[20]。また、呉らもワイヤ駆動のキャッチボールのVRでの実現を検討している[21]。さらに、木野らは力提示装置として、シリアル構造でパラレルワイヤ駆動システムを提案して、その機構解析、制御法などを提案している[22]。このシステムでは、図3に見られるシリアルリンク構造パラレルワイヤ駆動システムが開発された。各ワイヤには、張力センサがあり、ワイヤ張力を制御する。目標提示力ゼロの「機構透明性」の実験では、12 [G] (G: 重力加速度)の運動時に20 [N]の力を反力として受ける結果を得ている。理想的には、反力をゼロにすることが望まれるが、他の機構に比べると反力を小さく抑えている。

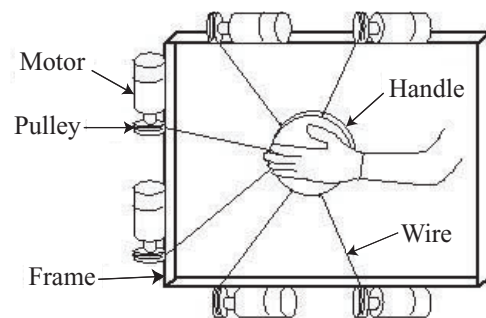


図1. パラレルワイヤ駆動システム概念図
Fig. 1 Concept of parallel wire drive system

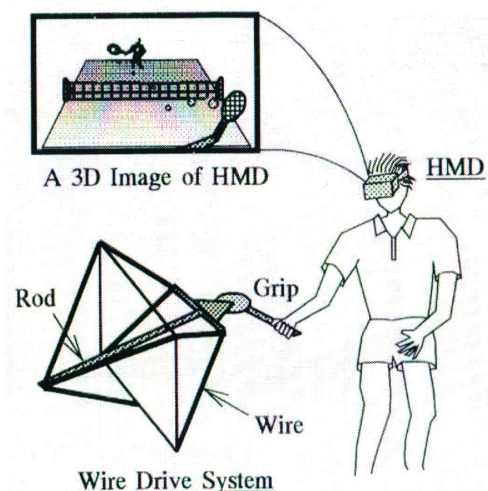


図2. バーチャルテニスシステム
Fig. 2 Virtual tennis system

パラレルワイヤ駆動では、運動部分の質量を極端に小さくできるので、他の機構に比べると、力提示の能力は高い。ただし、下肢の運動によって広範囲に移動するような状況では利用できないので、トレーニング目的を限定して利用する必要がある。

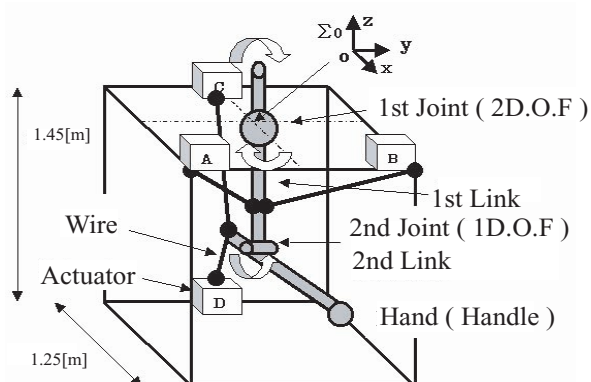


図3. シリアルリンク構造パラレルワイヤ駆動システム
Fig.3. Serial link structure/parallel wire drive system

5.2 粒子内蔵型受動要素による力覚提示システム

満田らは、自由度が高い要素で、弾性と粘性を可変にできる要素を開発した [23]。この要素では、図4のように、軽量の粒子が伸縮性の少ない材料の袋に内蔵されている。袋には吸気・排気のできる空気の通路があり、排気することによって、粒子同士および粒子と袋材料とを吸着させ、全体を硬化させる。内部には、空気を通す仕切り膜があり、粒子の偏在を防止している。変形の様子を図5に示す。

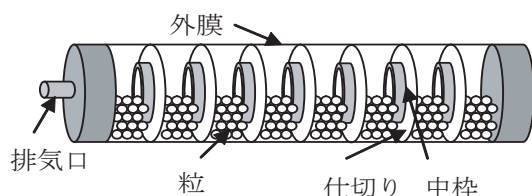


図4. 粒子受動要素構造
Fig.4 Structure of particle element

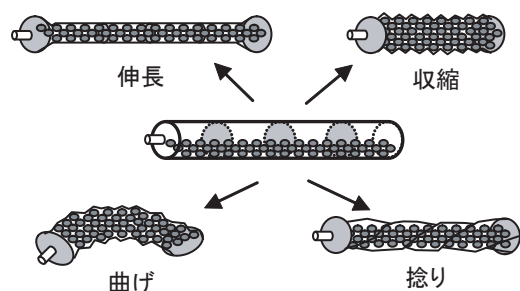


図5. 要素変形の様子
Fig.5 Deformation of element

この要素の特性は材料力学のはりの理論と異なり、以下のようになることが明らかとなっている。

圧縮剛性 要素径と断面積の中間値に比例

引張剛性 要素径に比例

曲げ剛性 断面2次モーメントに比例（材料力学理論と一致）

また、運動の速度に応じて、内部の圧力を変化させることによって、擬似的な粘性を実現できることも実験的に確認された。すなわち、要素先端に取り付けられたセンサにより速度を検出し、速度の大きさによって要素内部の真空度を変化させ、粘性を実現する。この要素を利用して、図6に見られる双腕用の力覚提示装置を開発している。



図6. 双腕用力提示装置
Fig.6 Force display for dual arm

このシステムでは、空中運動、水中運動、剛体（壁・天井など）への接触力を提示できる。人工現実感、スポーツトレーニングなどに利用可能である。一例として、図7に見られる仮想環境における力覚提示を行った。図7では、領域Aの空中で力感覚を与えず、領域Bの水中では、粘性感覚を与え、領域Cでは壁からの反発力を提示する。このときの、実際の力を図8に示す。領域Bでは、速度が大きくなるに従って、抵抗も大きくなり、領域Cで壁に当たる部分で、さらに大きな力が提示されていることがわかる。

図9では、開発された双腕用力提示装置を利用して、仮想的なボクシングトレーニングを行っている様子を示している。運動する要素自身の重量は、片腕用で、約500 [g] であり、比較的高加速運動も実現できる。実際の運動フォームを用いて、粘性などの負荷を与えることができるので、筋肉トレーニングに有効と予想される。また、視聴覚情報との組み合わせで、認識・判断・運

動の一連のトレーニングにも利用可能と思われる。ただし、この装具を利用した実際のトレーニング効果については、まだ検証されていないので、今後の課題となっている。

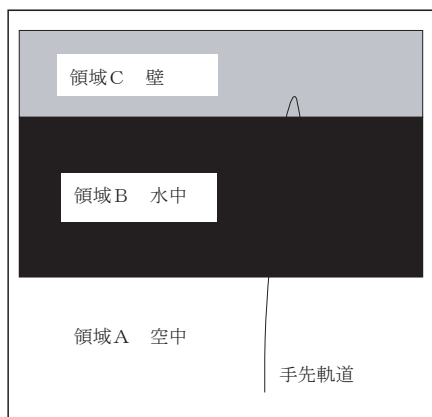


図7. 仮想設定環境

Fig.7. Virtual world

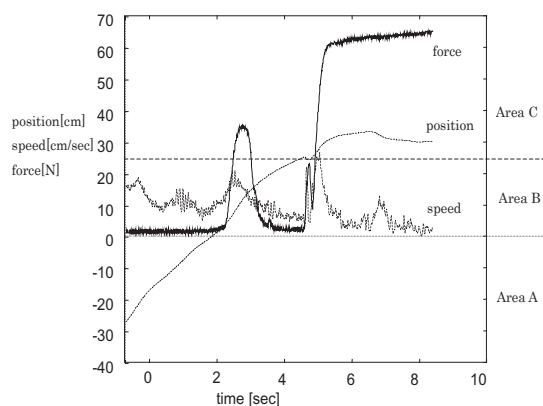


図8. 実験結果

Fig.8 Experimental result



図9. 仮想ボクシングトレーニング

Fig.9 Virtual boxing training

より身体に密着した形式も満田らによって開発された。図10に示されるように、粒子を伸縮するネットで包み、ドーナツ状にしたものと連結した形となっている。これにより、要素に肘や膝を通すことができる。さらに、同様の製法によって、肩を被覆する形式で装具が開発された。全体の装着と運動の様子を、図11に示す。

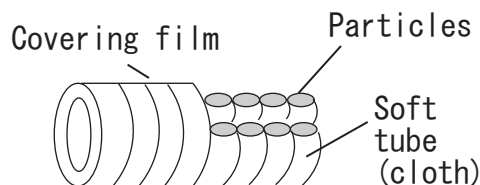


図10. パイプ形状型装具

Fig.10 Outfit with pipe shape

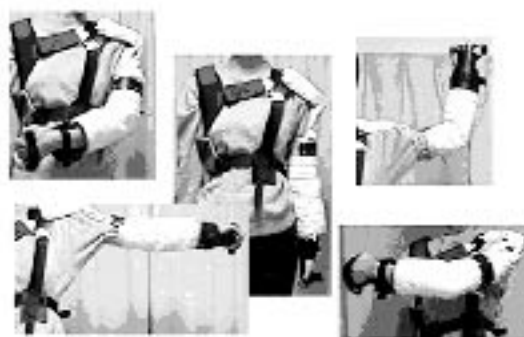


図11. 肩・肘用装具

Fig.11 Outfit for shoulder and elbow

5.3 積層型受動要素を用いた力覚提示システム

筆者らは、図に示される積層型受動要素を開発した[24]。この積層型可変受動要素の構造では、図12のように伸縮しないシートを積層する。シート面に法線方向の力が作用しないときは、図12のように、弱い力で変形する。シート面に法線方向の力を与えると、各面が滑らずに固定される場合とクーロン摩擦現象を伴って滑る場合が起こる。

法線方向の力は空気圧[24]と静電力[25]を利用する方法が提案されている。シートが滑らない場合は、シート枚数 n の2乗のオーダで曲げ剛性が増加する。すなわち、法線力がないとき剛性は小さく、法線力があるときは極めて大きな剛性となる。また、摩擦力増加を目的として、シート表面にマイクロ加工を行い、その有効性を検証している。

次に、シートが滑る場合には、クーロン摩擦現象とな

るために、速度に依存せずに一定の摩擦力となる。それゆえ、粘性の効果は発生しない。そこで、法線力を速度信号によって変化させることで、人工的に粘性を実現する方法を開発した。その実験結果は、図13に示される。図13より分かるように、近似的には粘性が実現されており、粘性負荷の要素として利用できる。

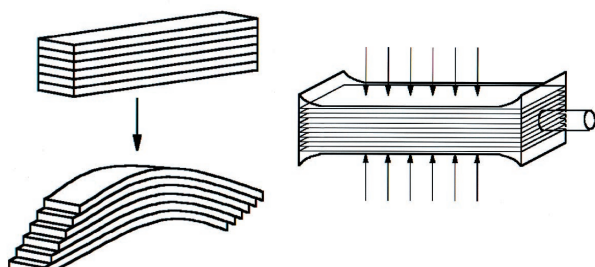


図12 積層型可変受動要素の変形例とシート固定

Fig.12 Deformation and fixed state of passive element with laminated structure

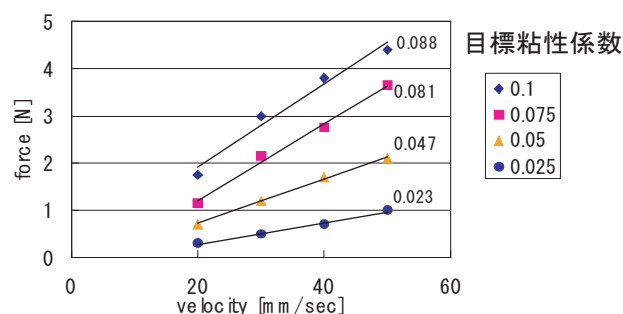


図13 粘性の実験結果

Fig.13 Experimental result of viscosity

この積層型可変受動要素を利用して、指先、手首、肘、肩に力を提示するシステムを、図14のように実現した。指3本に各一つの積層要素、手首、肘、肩に積層要素を取り付けている。各関節運動は、ゴニオメータによって計測され、要素と人間の間の力は、薄型の力センサによって計測する。真空ポンプ、空気圧タンク、電源、バルブ、制御用マイコンなどをすべてウェアラブルとした際の重量は、約3.3[kg]である。基本的な力提示性能は確認されている。しかし、高加速運動時には、バルブの応答性や空気の吸引速度などの影響が大きいので、スポーツ応用として性能評価を行う必要がある。これらは、今後の課題となっている。

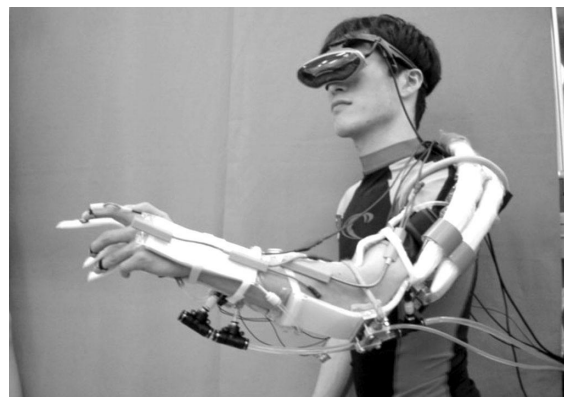


図14 積層型可変粘弾性要素を利用した力提示装置

Fig.14 Force display by using passive elements with variable visco-elasticity

6. おわりに

スポーツとVRという関係で述べた。ただし、本報で紹介できなかったスポーツへのVR技術応用も幾つかあると思われる。本報では、今後技術的に課題が多いと予想される力提示に重点をおいて解説した。

スポーツは多面性を持っている。一般人のスポーツ競技、一流選手の技能向上、高齢者スポーツ、身障者スポーツなどの目的や内容は、相当に異なる場合もある。それゆえ、今後のスポーツは、多様な分野の研究者が集まる対象となるべきであろう。IT、RT (Robot Technology)、VRなど技術を駆使して、新しいスポーツトレーニング方法やスポーツ種目自身を創造することも興味深い。情報化された新しい道具を利用した新しいスポーツ競技も夢ではないと思える。

参考文献

- [1] 船渡和男「国立スポーツ科学センターの低酸素環境室」体育の科学 Vol.51No.4、pp.290 - 294、2001
- [2] 特集「チューブ・エクササイズ」 Sportsmedicine Quartly 第19号1996年
- [3] 中井真嗣「ウェアラブルコンピュータの実現と応用」日本機械学会誌 1999.10Vol.102、No.971、pp.19-22、1999
- [4] 吉福康郎著「最強格闘技の科学」福昌堂 1991年
- [5] 小林寛道著「ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造」杏林書院、2001
- [6] 岡本敦、桜井伸二、池上康男、安田孝美「VRMLによる立体表示運動学習システムの開発」日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集(2001年9月)

- [7] 横小路、菅原、吉川「画像と加速度を用いた HMD 上での映像の正確な重ね合わせ」日本バーチャルリアリティ学会誌、Vol.4、No.4、pp.589-598、1999 年
- [8] 岩田「人工現実感のもたらすメカトロニクスの新展開」日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 92 講演論文集、pp.903-907、1992 年
- [9] 横小路泰義「テレオペレーションから機械メディアへの展開」システム制御情報学会 Vol. 44、No.12 pp.702-709、2000
- [10] 吉川恒夫、菊植 亮「人間から人間への技能伝承のための指先圧迫機能を付加した力覚提示装置」日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.5 No.1、pp.803-810、2000
- [11] 逸見、吉川「バーチャルレッスンの概念とそのバーチャル習字システムの応用」日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.3、No.1、pp.13-19、1998
- [12] 横小路、河合、吉川「振動と教師視覚提示を用いた運動技能伝達の提案と基礎実験」日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.4、No.2、pp.431-438、1999
- [13] 太田、尾野、秋道、藤田、井上、斎藤、北原、大城、藤野、金出「仮想化現実技術による自由視点 3 次元映像スタジオ通信」電子情報通信学会 Technical Report of IEICE, PRMU 2000-188(2001-02)
- [14] 加藤大一郎「長野オリンピックにおける新しい映像表現技術：仮想対決システム」計測と制御 38 巻第 4 号 pp.281-284、1999 年 4 月
- [15] 川原慎太郎、米倉達弘、下条 誠、岸義樹「HMD の焦点調節補償機能に着目した仮想スポーツにおける捕球タイミングの評価」日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.5、No.3、pp. 1033-1040、2000
- [16] 佐藤誠、平田幸広、河原田弘「空間インターフェース装置 SPIDAR の提案、電気情報通信学会誌 D-II、vol.J74-D-II、no.7、pp.887-894、1991
- [17] Sadao Kawamura and Ken Ito, "A New Type of Master Robot for Teleoperation Using A Radial Wire Drive System", Proc. of the 1993 IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS'93, pp.55-60, Yokohama, Japan July 26-30, (1993)
- [18] Sadao Kawamura, Won Choe, Satoshi Tanaka, and Shunmugham R. Pandian, "Development of an Ultrahigh Speed Robot FALCON using Wire Drive System", Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nagoya, May 21-27, pp.215-220, (1995)
- [19] 森園哲也、井田瑞人、和田隆広、呉景龍、川村貞夫「パラレルワイヤ駆動システムによるバーチャルテニスの試み」、日本ロボット学会誌 Vol.15 No.1、pp.153-161、(1997)
- [20] Tetsuya Morizono, Kazuhiro Kurahashi, Sadao Kawamura, "Analysis and control of a force display system driven by parallel wire mechanism", Robotica, Vol. 16, p.p.551-564, (1998)
- [21] 呉景龍、木村孝一、北澤雅之、酒井義郎「バーチャルキャッチボールシステムのための追従型力覚呈示装置の試作」日本機械学会論文集 (C 編) 6 巻 648 号 (2000-8)
- [22] 木野仁、矢部茂、古谷了、川村貞夫「シリアルリンク機構／パラレルワイヤ駆動システムによる力覚呈示装置の開発」日本バーチャルリアリティ学会論文誌 2002 年掲載予定
- [23] 満田隆、久下幸子、若林将人、川村貞夫「粒子内蔵型機械拘束要素の開発と身体装着型力覚呈示装置への応用」計測自動制御学会論文集、Vol.37、No.12、pp.1134-1139、(2001)
- [24] Sadao Kawamura, Takashi Yamamoto, Daijiro Ishida, Satoshi Ogata, Yuichiro Nakayama, and Osamu Tabata "Development of Passive Elements with Variable Mechanical Impedance for Wearable Robots" Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Washington U.S.A. May 2002
- [25] Osamu Tabata, Satoshi Konishi, Pierre Cusin, Yuichi Ito, Fumie Kawai, Shinichi Hirai and Sadao Kawamura "MICROFABRICATED TUNABLE BENDING STIFFNESS DEVICE" Proc. of the 13th Annual Int. Conf. On Micro Electro Mechanical Systems pp.23-27(2000)

【略歴】

川村貞夫 (KAWAMURA Sadao)

立命館大学理工学部ロボティクス学科 教授

1981 年大阪大学基礎工学部生物工学科卒業、1986 年大阪大学基礎工学研究科大学院博士課程修了 (工学博士)、1986 年大阪大学基礎工学部機械工学科助手、1987 年立命館大学理工学部機械工学科助教授、1995 年立命館大学理工学部機械工学科教授、1996 年より現職。専門はロボット学。著書「ロボット制御入門」(オーム社)「効果的な表現戦略」(森北出版) など