

応用論文

HMD を用いたスポーツスキルの学習方法の提案

本荘 直樹^{*1} 伊坂 忠夫^{*2} 満田 隆^{*2} 川村 貞夫^{*2}

Proposal of Method of Sports Skill Learning using HMD

Naoki Honjou^{*1}, Tadao Isaka^{*2}, Takashi Mitsuda^{*2} and Sadao Kawamura^{*2}

Abstract – The conventional sports skill trainings using the visual feedback information are executed off-line. However, we suspect that giving the information on a motion under training is more efficient to obtain sports skill, because the learner can correct the motion in real time. But it is difficult to obtain the visual feedback information in real time, because the information shown in the display can't be seen because there are many cases where the learner's eyes can't be turned on that display. The problem is solved by using HMD, and the system which makes it possible to give information, without depending in the direction of learner's eyes is devised. In this paper, Golf swing is taken up as the subject of sports skill, and we show the system using the visual feedback information in real time can be obtained sports skill quickly.

Keywords : sports skill , learning support system , head mounted display(HMD) , real time feedback

1 はじめに

ゴルフスイングなどスポーツの身体動作を初心者一人で学習しようとする場合、鏡またはビデオを用いて自分の運動を確認しながら反復練習を行うことが一般的である。しかし、この方法では正しい運動と自分の運動とのずれ量が運動中にはわからないため、正しい動作を得るためには修正動作を繰り返し行う必要がある。一度獲得したパターンを修正することは容易ではないため、初心者は誤った運動パターンを獲得しないよう注意して動作の修正を行う必要がある [1]。これに対して、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) などの VR 機器によって目標運動と学習者の運動を同一画面に重ねて提示することで、正しい修正情報を学習者に与えて効率的に目標運動を学習させるシステムが提案されている [2][3]。しかし、目標動作と学習者の運動を重ねて提示する学習システムには、以下の2つの問題が存在する。まず一つめの問題は、ゴルフスイングのような高速運動中には、視覚情報によって実時間で運動を修正することが困難である点である。初めての運動を学習するとき、最初から目標運動速度で運動することは難しく、ゆっくりとした動作での運動学習や分習法を用いて部分ごとに学習を行うことが、有効な学習方法であるとの主張がある [4]。一方で、速さと正確性を必要とするスポーツスキルのトレーニングの場合、初期に正確さを強調すること、つまり速さ

を無くし位置軌道の学習をすることは有効でないとの報告もある [5]。提示速度と学習効果の関係は目標動作により変化すると考えられる。2つめの問題は、ゴルフスイングのように手足の運動と同時に体幹を旋回させる複雑な運動においては、HMD に表示される全身像から学習者が正しい修正情報を識別するのは難しいと予想される点である。このため、HMD を用いた運動学習システムにおいては、目標動作としてどのような画像情報を提示するかが学習効果に影響すると考えられる。そこで本論文では、HMD を用いたゴルフスイングの学習システムを構築し、ゴルフスイングにおいてゆっくりとした動作のトレーニングが有効であるかを検証する。また、視覚情報提示条件を変えたときのトレーニング効果を実験により比較検討する。

2 目標動作計測

目標動作は光学式モーションキャプチャシステム Vicon (Vicon Motions Systems Inc 製) によってサンプリング周波数 120[Hz] で計測した熟練者 (トップレベルのアマチュア・31 歳男性, 経験年数 15 年, ハンデキャップ 0) のフォームである。熟練者には 1 番ウッドによるストレートボールを打つつもりでフルスイングを指示した。運動は 2.1[sec] で終了した。この熟練者のフォームを肩、腰、膝、外踝、肘、手首、クラブの中心の位置によって計測した。10 回計測を行い、すべての計測点の計測が行えたデータの中から熟練者自身がイメージ通りにスウィングしたフォームを、目標動作とした。

^{*1}立命館大学大学院^{*2}立命館大学^{*1}Graduate School ,Univ. of Ritsumeikan^{*2}Univ. of Ritsumeikan

3 ハードウェア構成

本研究のトレーニングで用いた実験装置のシステム構成を図1に示す。本システムでは光学式3次元位置計測装置のQuickMAG IV ((株) 応用計測研究所製, 最大計測チャンネル数: 16, サンプル周波数: 60[Hz]) を用いて学習者の肩, 肘, 腰, 膝, 第7頸骨, 第10胸骨の位置, およびクラブシャフトの中心の計11点を計測し, PC (MS-DOS, Pentium4 1.7G[Hz]) によって次節で説明する画像を生成し眼鏡型HMDのグラストロン (SONY製) に表示している。岡本らはVRMLを用いて目標となる動作を生成し, それを学習者にスクリーンで提示してゴルフトレーニングを行った[6]。しかし, 岡本らの研究では, 学習者自身の姿勢をフィードバックするものとして鏡を用いているため, 目標動作との違いを明確に認識することが困難となっている。ドライバーショットのようなゴルフスイングを想定すると, 頭部の運動も大きく, 視線方向は大きく変化する。また, 頭部の運動が大きい他のスポーツ動作への応用も考慮して, 本論文ではHMDを利用して情報を提示することとした。グラストロンはディスプレイ部の重量が150[g]と従来のHMDに比べ軽量・コンパクトであるため, 動作を大きく妨げることなく情報を提示することができる。

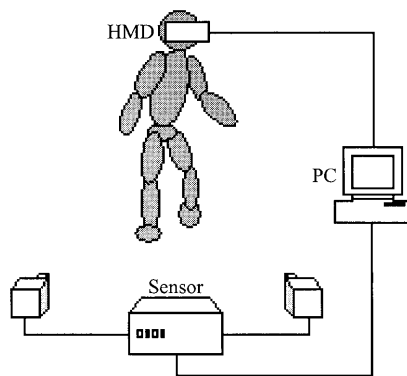


図1 システム構成
Fig.1 System

4 視覚情報提示環境設定

4.1 目標動作の提示方法

学習者の多関節構造体の3次元空間での運動を視覚的に提示する方法として, 最も現実に近い表現として, 視差を用いた3次元立体視技術の利用も想定される。ただし, 奥行き情報については, 精度がそれほど高くとれないことが予想される。また, 視差調節なども煩雑な作業となる。運動学習を最終目的とすれば, 実像に近い3次元映像ではなく, 特徴量を強調するなどした学習者に理解しやすい視覚情報を提示することが望

ましい。一般に, このような運動学習システムにおける視覚情報提示の最適手法を発見することは難しい問題である。当面は, 幾つかの方法の結果を集積して, より良い方式を選定することが重要となる。

本論文では, 予備実験による検討の結果, 直感的に理解し易いように, 図2に見られるような多関節構造の概観を背後から見た映像を採用した。ただし, 立体視を用いず, 2次元の表現に奥行き情報は別の形式で付加する。また, 多関節構造体は, スティックピクチャーで表示し, 同時に学習者の肩, 腰, 膝の関節位置を提示する。パソコン用ディスプレイを用いた予備実験においては, スティックピクチャー以外にも, 実画像に近い各リンクの立体表現提示も行った。しかし, そのような視覚情報では, 逆に特徴点を理解させることが難しかったため, 本研究ではスティックピクチャーとした。

4.2 3次元情報の提示方法

リアルタイムで情報を提示するためには, 直感的にわかりやすい提示方法が望ましい。そこで, 3次元情報として最も重要と思われる各特徴点の奥行き方向のずれを, 球の大きさと色を次のように変化させることで表した。すなわち, 各特徴点の奥行き方向のずれが5[cm]未満の時はピンク色であり, 手前に5[cm]以上ずれると球は大きくなりオレンジ色に変化し, 奥に5[cm]以上ずれると小さくなり水色に変化する。こうすることによって, 学習者は座標変換を行うことなく実際の動きと映像を合わせることができる。また, 予備実験の際の被験者からの回答によって, 透視投影法を用いた奥行き方向の情報も加えた。

4.3 動作修正情報の提示方法

目標運動と学習者の姿勢をスティックピクチャーとして重ねて表示すると, それぞれの姿勢の区別が困難であったため, 学習者の姿勢は特徴点として表示し, 身体の一部のみをスティックとして表示した。スティックとして表示する部位は後述するトレーニング方法CとDで異なる。Cでは肘と肩及び両肩を結んだ上半身と, 膝と腰および両腰を結んだ下半身に分けて表示した。Dでは結ぶ点は腰と肩のみとした。これはDが身体の一部のみを提示するトレーニング方法であり, 提示する身体部位しか結ぶことができないためである。また, 学習者の姿勢と目標とのずれを容易に認識できるように, 各特長点のずれ量を黄色の矢印として示した。図2にCで用いた提示映像を示す。

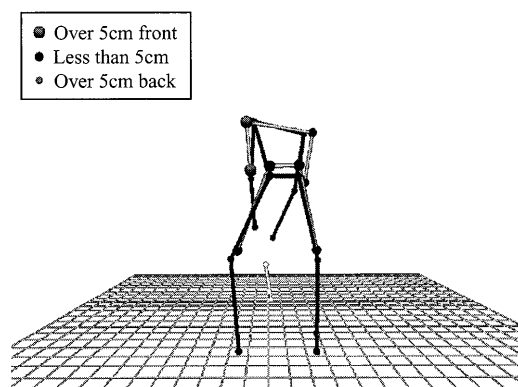


図2 リアルタイムフィードバックの提示映像

Fig.2 Image of Real-time feedback

4.4 目標動作のスピード設定

本実験では、HMDを通して情報をフィードバックしているが、ゴルフのスイングは約2秒で行なうため動作中にフィードバック情報を活かすには短すぎる。そこで目標スイングの動きをゆっくりと提示し、リアルタイムで動きを合わせながらトレーニングを行えるようにした。ゆっくりとした動きの利点はその動きを深く理解することができる、運動強度が大きい場合でも、筋のコントロールをしきれずに動作に追従できなくなることがないといったことがあり、初心者に動作を教える際にはゆっくりとした動きで体に動きを覚えさせることが良いとされる[7]。本実験では目標スイングのスピードを $\frac{1}{12}$ にして提示している。事前にトレーニングを行ってみて、この速度よりも速いと慣れていない者には情報を得るのが困難であると判断した。また、この速度よりも遅くするとトレーニング時間が長くなり反復回数を増やすと、疲労によって学習効果が得られにくくなると考えられる。

4.5 運動連鎖を考慮した提示方法

ゴルフのような体旋運動の場合は運動連鎖を意識して実行することによって、そのパフォーマンスを大きく向上できるといわれる[8]。たとえば打つ動作の場合、踏み込みから膝、腰、肩と段階的に回転させて、腕を最後にまわすことで最も大きな力を球に伝えられると考えられている[9]。運動連鎖を意識した体幹部の運動は、力の発生源として、さらに運動連鎖の過程で力の伝達を効率よく行うものとして特に重要である[10]。スポーツが得意でない者の特徴としてこの体幹の動きが少ないことが第一に挙げられる。逆に、手足の動きが特異的に大きい動作もあり[11]、球技での‘手打ち’、‘棒打ち’と呼ばれている。このような動作は、初級者が陥りやすい動作である。従って、初心者はまず体幹部の動きを学習することが、パフォーマンスの向上に

つながるといえる。以上の考えから、運動連鎖を考慮したトレーニングとして、膝→腰→肩→全身の順番で、身体の一部の誤差情報のみを提示して各部位毎にトレーニングを行う方法を試みた。

5 実験

5.1 トレーニング方法

本実験では以下の4つの方法を用いてトレーニングを行った。

- A. 素振り：学習者は何も見ずにスイングを練習する。
- B. 目標のみ：学習者はHMDを通して提示されるゆっくりとした目標動作にあわせてスイングする。
- C. リアルタイムフィードバック：HMDにゆっくりとした目標動作と学習者の全体像を表示し、学習者はその誤差情報を見ながらスイングする。
- D. 運動連鎖：HMDにゆっくりとした目標動作の全体像と学習者の身体の一部を表示し、学習者はその誤差情報をもとに各部位毎にトレーニングを行う。学習者の身体の一部は、膝→腰→肩→全身の順番で表示する。

Aは従来のトレーニングの代表としており、本研究で提案した装置の有効性の検証に用いる。Bはフィードバック情報を用いないトレーニングによる効果を検証する。フィードバック情報がない場合は動作の習熟は困難であると考えられる。Cで装置を用いたトレーニングの効果を検討し、さらにDで情報を限定した場合のトレーニング効果を検証する。動作中にフィードバックが行なわれるが、リアルタイムに学習者が認識できる情報量には限界があるため、全体を同時にフィードバックするCのトレーニングよりも、情報量を制限したDのトレーニングの方が高い学習効果を得ることができると考えられる。

5.2 実験手順

実験はトレーニングとテストの段階に分けられる。トレーニングは前述の提示方法を用いてゆっくりとした動作でスイングを行い、テストはトレーニングの効果を見るために提示情報なしで通常のスPEEDでフルスイングするものとする。まずはじめに、テストを5回行いトレーニング前のデータを取る。つぎにトレーニング10回、テスト5回を1セットとして5セット行う。本実験では21-23歳の男子12人をトレーニング方法によりA、B、C、Dの4グループに分け、各グループ3人でトレーニングを行った。被験者はすべ

てゴルフ経験のない初心者で、それぞれの被験者は1種類のトレーニングのみを行った。

6 データ解析方法

本実験で用いた位置計測装置は、画像処理によって位置を計測するため高周波ノイズが乗っている。このノイズを除去するために2次ローパスフィルタを用いた。その際の遮断周波数はwinterの方法を用いて自動推定する[12]。オクルージョンにより計測できなかった部分は3次スプライン補間法を用いて補間した。

つぎに計測データの時間軸のスケール調整について説明する。人間が動作を行うとき、その動作はすでに学習されている運動パターン（一般運動プログラム）を基本として利用する。この一般運動プログラムは不変的特徴を持っている。それは相対タイミングという運動の時間的パターンである。これは個々の運動パターンの基本をなす時間構造、時間的組織体、もしくはリズムのことであり、運動全体の速度や運動距離には影響を受けないものであるとされる[13]。この相対タイミングは運動パターンを獲得するときに最も重要となる。そこで、この相対タイミングが学習できているかを見るために、学習者のテスト時のスイングの時間軸をトップからインパクトまでの時間でスケール調整を行った。以下の結果はこの時空間スケール調整後のデータを用いている。

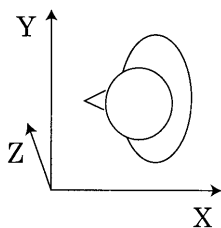


図3 座標系
Fig.3 Coordination

トレーニング効果の評価は、テスト時のスイング開始から振り切り動作終了までの肩、腰、肘、膝の位置誤差の絶対値を用いて行った。位置誤差は図3に示す座標軸毎に求めた。また、各セットで計測した5回のスイングのうち、誤差が最大の試行と2番目に大きい試行を除いた3試行の平均をそのセットの誤差とした。これは、学習者がまったくの初心者であるため、タイミングを外すなどして極端に大きな誤差が生じた試行を解析から外すための措置である。

7 実験結果

トレーニング前に計測した位置誤差を1として各学習者の位置誤差を正規化したうえで、グループ毎に平

均した結果を図4に示す。横軸はセット数、Beforeはトレーニング前に計測した位置誤差を示す。各グループにおいて学習者のトレーニング効果はほぼ同じ傾向を示し個人差は少なかった。つぎに、各グループの代表者1名の身体部位毎の位置誤差を図5～図8に示す。また、同じ各グループの代表者の各座標軸毎の位置誤差の割合を表1に示す。

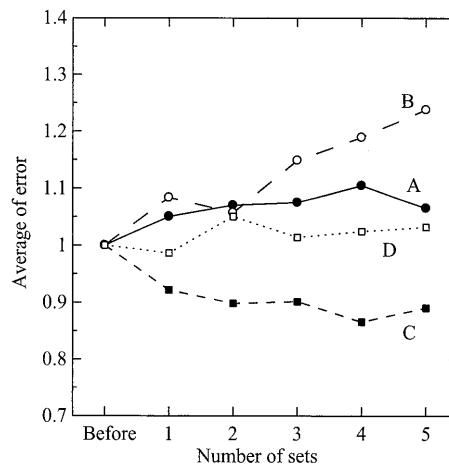


図4 グループ毎の位置誤差の推移
Fig.4 Change of error in four different training methods

表1 各軸の誤差の割合
Table 1 Percentage of error of each axis

A[%]	X	Y	Z	B[%]	X	Y	Z
Before	47	31	22	Before	35	41	24
1	43	30	27	1	39	37	24
2	45	29	26	2	37	39	24
3	38	35	27	3	33	44	23
4	40	37	23	4	37	42	21
5	44	32	24	5	39	42	19

C[%]	X	Y	Z	D[%]	X	Y	Z
Before	27	53	20	Before	55	28	17
1	43	34	23	1	50	32	18
2	43	35	22	2	47	27	26
3	41	38	21	3	53	26	21
4	38	40	22	4	49	32	19
5	38	42	20	5	54	27	19

8 考察

図4より、Aグループでは誤差が大きく変動することがなかったことがわかる。これは学習者に目標動作も修正指示も与えられていないためである。このことから、初心者のゴルフスイングの練習においては、情報のないままスイングを繰り返し行ってもトレーニング効果がないことがわかる。

Bグループでは誤差が逆に大きくなっている。これは目標動作のみで修正情報が与えられていないために自身の動作がどのようなかわからず、確認できる目標動作と自身の想像する運動パターンの差を強調して動いてしまったためであると考えられる。このフィードフォワード情報のみの学習はアマチュアがよく行う学習本や学習ビデオによる学習と同じであり、この学習では正しい動作を獲得することが難しく、逆に誤った動作を獲得してしまう可能性が高いことが示唆される。

Cグループでは誤差がセット毎に減少し、トレーニング効果が見られた。初心者が初めてトレーニングを行う際にはリアルタイムフィードバックにより短時間で動作を学習できる可能性が示唆されている。しかし、図7に示す被験者は、1セットのトレーニング後に位置誤差は減少したものの、その後のセットでは減少は見られなかった。初期学習後のトレーニング効果については今後検討が必要である。また、誤差は主に肘と腰の部分で減少していた。本実験で用いた提示方法ではクラブの認識が容易であったため、クラブ位置に運動する肘の位置は効果的に修正されたと考えられる。また、Bグループにおいて腰の誤差が増大していることからわかるように、腰の位置（とくに肩と腰の相対位置関係）は初心者にとって最も修正が必要な箇所

であることから、ゴルフスイング学習の特性として腰に学習効果があらわれたと考えられる。一方、膝の位置誤差にほとんど変化が見られないのは、奥行き方向の誤差が認識しずらく修正が難しかったためであると推測される。

図8より、Dグループはトレーニング前後の位置誤差に変化は無く、期待されたような結果は得られなかった。これは、動作を獲得できていない初心者に対して与える情報を制限しすぎたために運動全体としてのバランスを崩してしまう結果になったからであると考えられる。

総評として、フィードバック情報なしの学習では誤った動作を獲得する可能性が大きいため、従来のような学習本に頼った方法でのトレーニングは誤った動作を習得する危険性があることがわかった。また、初心者に対してのトレーニングではまず全体の動きの流れを提示し、運動パターンをある程度固定化させなければ部分的な提示によるトレーニングの効果は期待できないことが分かった。表1より、Cでは、X軸方向の誤差がトレーニング後に大きくなっていることがわかる。同じく、DではX軸方向の誤差がY軸、Z軸に比べて大きいことがわかる。学習者からのヒアリングでも、X軸方向（奥行き方向）の提示に慣れるのが難しかったとの意見があった。奥行き情報の提示についてはさ

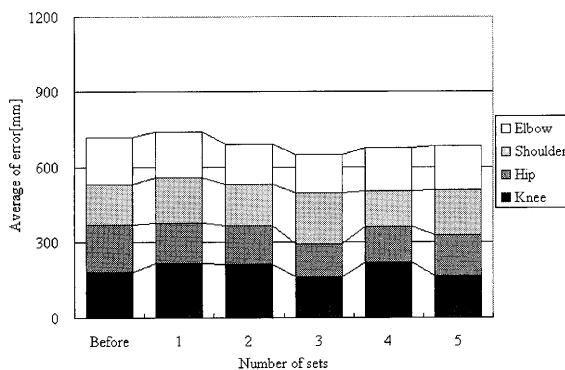


図5 身体部位毎の位置誤差:グループ A
Fig. 5 Error for different body parts:Group A

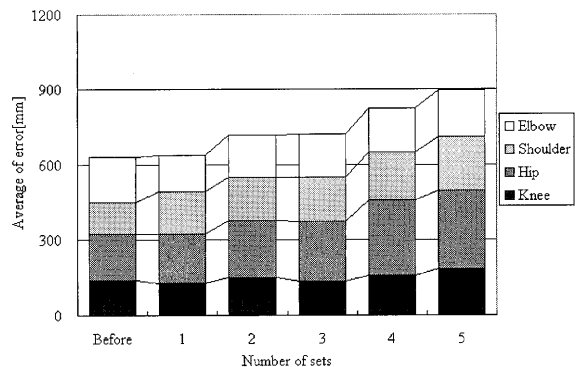


図6 身体部位毎の位置誤差:グループ B
Fig. 6 Error for different body parts:Group B

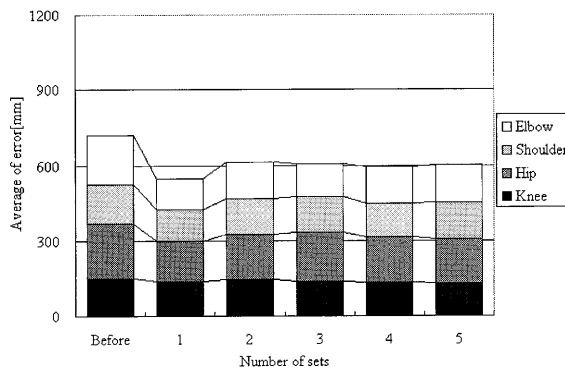


図7 身体部位毎の位置誤差:グループ C
Fig. 7 Error for different body parts:Group C

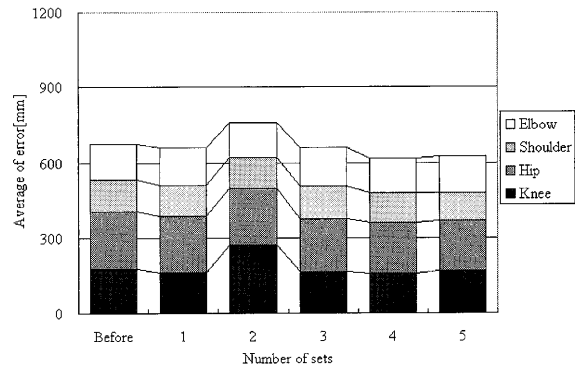


図8 身体部位毎の位置誤差:グループ D
Fig. 8 Error for different body parts:Group D

らなる改善が必要である。

9 おわりに

本稿では VR を用いたスポーツスキル学習方法を提案し、ゴルフスイングを例に効果を検証した。情報提示装置として HMD を使用することで、視線方向を固定せずにリアルタイムに情報を提示する事ができた。また、実験結果からフィードバック情報がないトレーニングでは動作が収束せず、発散傾向にあったことから目標動作だけを見て動作を反復練習するのは危険であることがわかった。特にスキルの初心者は誤った動作を固定化してしまう可能性が高く、プロの動作をテレビなどで見て動作を真似る練習法は、適切なフィードバック情報を得ることができない場合は行わない方がよい。

また、初心者を対象としたゴルフスイングのトレーニングでは、情報量を限定したトレーニングよりも目標動作と学習者の全体像を提示するトレーニングのほうが有効であることが示唆された。

本研究では、熟練者の動作を目標動作として初心者のトレーニングに用いているが、中級以上のプレーヤーに対しては、本人の調子の良いときの動作を取得しておき、調子が悪くなったときに本トレーニング装置を用いて調子の良かったときの動作を再び獲得するといった利用可能性もある。

今後の課題として、奥行き情報の提示方法の改善とゴルフスイングのトレーニング効果の測定に適した誤差の定量的評価法を考える必要がある。また、目標動作を性別、年齢、体格、体型に応じて変更する、誤差情報の一部を強調して提示する、ダイナミクス情報を提示する、などといった提示内容の改善が課題として挙げられる。

謝辞

Vicon の使用方法をご教授くださった立命館大学アトリーサーチセンターの小島氏に感謝します。また、QuickMAGIV の利用、操作に際しては株式会社応用計測研究所より援助を頂きました。記して感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 内藤 栄一, 定藤 規弘: “身体図式 (ボディスキーマ) と運動イメージ”, 体育の科学, vol.52, No.12, pp.921-928, 2002.
- [2] Ungyeon Yang, Gerard Jounghyun Kim: “Implementation and Evaluation of “Just Follow Me”: An Immersive, VR-based, Motion-Training System”, Presense, Vol.11, No.3, pp.304-323, 2002.
- [3] A. Mark Williams, Paul Ward, John M. Knowles, and Nicholas J. Smeeton: “Anticipation Skill in

a Real-World Task: Measurement, Training, and Transfer in Tennis”, Journal of Experimental Psychology: Applied, Vol.8, No.4, pp.259-270, 2002.

- [4] Manfred Grosser, August Neumayer: “スポーツ技術のトレーニング”, 大修館書店, 1995.
- [5] 筒井 清次郎: “練習におけるゆっくりした動きの意味～運動学習の立場から～”, 体育の科学, vol.50, No.9, pp.696-699, 2000.
- [6] 岡本 敦, 桜井 伸二, 池上 康男, 安田 孝美, 横井 茂樹: “VRML による初心者のゴルフスイングトレーニング”, 日本バーチャルリアリティ学会第 8 回大会論文集, pp.151-154, 2003.
- [7] 西藤 宏司: “練習における「ゆっくりした動き」の意味について”, 体育の科学, vol.50, No.9, pp.704-709, 2000.
- [8] 畔上 道雄: “ゴルフの科学”, 講談社, 1981.
- [9] 宮下 充正: “打つ科学”, 大修館書店, 1992.
- [10] 小林 寛道: “スポーツにおける体幹の働き”, 体育の科学, vol.51, No.6, pp.412-413, 2001.
- [11] 大道 等, 漢那 朝伸: “身体重心と体幹の動き”, 体育の科学, vol.51, No.6, pp.420-427, 2001.
- [12] David A. Winter: “BIOMECHANICS AND MOTOR CONTROL OF HUMAN MOVEMENT-2nd Edition.” John Wiley & Sons, Inc., pp.41-43, 1990.
- [13] Richard A. Schmidt: “Motor learning & performance,” Human kinetics books, 1991.

(2004 年 6 月 4 日受付)

[著者紹介]

本荘 直樹



2004 年立命館大学大学院理工学研究科修了。1979 年 12 月 28 日生まれ。1998 年 4 月 立命館大学理工学部ロボティクス学科に入学。人間の学習メカニズムに興味を持ち、それに関する研究を行なう。2004 年 3 月 立命館大学理工学研究科情報システム工学専攻修士課程を修了。同年株式会社セックに入社。現在ソフトウェア開発業務に携わっている。

伊坂 忠夫 (正会員)



1985 年立命館大学産業社会学部産業社会学科卒業, 1987 年日本体育大学大学院体育学研究科修士課程修了, 同大学助手・非常勤講師の後 1992 年立命館大学に移り, 理工学部助教授となる。2003 年に立命館大学理工学部ロボティクス学科教授。1995 年ジョージア工科大学客員研究員。スポーツバイオメカニクスを専門とし, スポーツトレーニング装置の開発, トレーニング方法の解析, トレーニングと加齢などの研究に従事 (工学博士)。日本体育学会, 日本体力医学会, 日本バイオメカニクス学会, 日本機械学会, 日本ロボット学会, トレーニング科学研究会, 国際バイオメカニクス学会 (I S B), アメリカスポーツ医学会 (A C S M) の会員。

満田 隆



立命館大学助教授。1994 年大阪大学大学院基礎工学部機械工学科卒業。1996 年同大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。富士通株式会社勤務を経て、1998 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。同年ローマ大学人間生理学研究所ポストドクトラルフェロー、2000 年立命館大学理工学研究機構ポストドクトラルフェロー、2001 年岡山大学医学部保健学科助手を経て、現在に至る。ロボティクス、脳神経生理学の研究に従事（工学博士）。日本ロボット学会の会員。

川村 貞夫



1981 年大阪大学基礎工学部生物工学科卒業、1986 年同大学大学院基礎工学研究科博士課程修了、同大学助手。1987 年立命館大学に移り、理工学部機械工学科助教授・教授を経て、1996 年ロボティクス学科教授。2003 年 4 月より立命館副総長 立命館大学副学長。ロボットの運動制御、人間運動特性の計測・解析、潜水ロボットなどの研究に従事（工学博士）。IEEE、システム制御情報学会、日本機械学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会の会員。