

# 高精度モーションスピード制御によるバーチャルエアロビクスシステム

伊丹由和<sup>†</sup> 佐波 晶<sup>††</sup>  
吉田典正<sup>†††</sup> 北嶋克寛<sup>†††</sup>

本研究では、人間が健康な社会生活を営むために重要な心肺機能を向上させることを目的とし、3次元のバーチャルインストラクタを使った運動指導プログラムに関する研究について述べる。個人に適切な運動強度は、年齢やエアロビクス経験などから運動時の適切な心拍数を決定するカルボーン法に基づいて決定する。運動時の適切な心拍数を維持するために、被験者の心拍数をネットワーク上のサーバがモニタし、適切な心拍数から外れそうになった場合に、その度合いに応じてサーバはクライアントのバーチャルインストラクタのスピード制御を行うか、または運動プログラムの変更を行う。本論文では、バーチャルエアロビクスシステムの概要を紹介し、バーチャルヒューマンの適切なスピード制御を行うための、モーション再生とサウンド再生を同期させる手法について述べる。

## Virtual Aerobics System with Accurate Motion Speed Control

YOSHIKAZU ITAMI,<sup>†</sup> SHO SANAMI,<sup>††</sup> NORIMASA YOSHIDA<sup>†††</sup>  
and KATSUHIRO KITAJIMA<sup>†††</sup>

Aiming to improve cardiopulmonary functions for leading healthy social life, this research describes an aerobics teaching system that employs a 3-dimensional virtual instructor. Exercise intensity suitable for each individual is determined by Karvonen method, which indicates the relationship between the heart rate and the exercise intensity. To keep the heart rate of a subject within a target range, the system monitors the heart rate of the subject. If the heart rate deviates from the predetermined target, the system either changes the motion speed of the virtual instructor or modifies the exercise program depending on the degree of the deviation. This paper gives an outline of the virtual aerobics system and presents a method that synchronizes motion with sound to appropriately control the motion speed of the virtual instructor.

### 1. はじめに

近年、コンピュータグラフィックスおよびネットワーク技術の発展により、遠隔からのバーチャルヒューマンの動きの制御や、個人の障害に合わせたリハビリ指導などの研究が行われるようになってきている。本研究では、来る高齢化社会へ向けて、人間が健康な社会

生活を営むために重要な心肺機能を向上させることを目的とし、個人に適切な運動を指導することのできるバーチャルエアロビクスシステムについて述べる。

本システムは、サーバとクライアントにより構成される。サーバは、被験者の年齢やエアロビクス経験などの情報をクライアントから取得し、適切な心拍数を決定するカルボーン法に基づいて運動プログラムを決定する。クライアントは、サーバから送られた運動プログラムを用いてバーチャルインストラクタをスクリーン上に表示し、バーチャルインストラクタに合わせて運動する被験者の心拍数をモニタしサーバに送信する。サーバは、被験者の心拍数が目標心拍数からずれている場合には、その度合いに応じて運動速度の制御あるいは運動プログラムの変更を行う。運動速度の制御を行うためには、サウンド再生速度とバーチャルヒューマンのモーション再生速度が完全に同期してい

<sup>†</sup> 東京農工大学大学院電子情報工学専攻  
Electronic and Information Engineering, Graduate School of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>††</sup> 東京農工大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー  
Venture Business Laboratory, Tokyo University of Agriculture and Technology

<sup>†††</sup> 東京農工大学工学部情報コミュニケーション工学科  
Department of Computer, Information and Communication Sciences, Faculty of Technology, Tokyo University of Agriculture and Technology

ることが必要となる。また、サーバとクライアント間での通信を考慮して運動プログラムのデータはできるだけ容量が少ないものであることが望ましい。

近年、バーチャルヒューマンに関する様々な研究<sup>2)</sup>が行われており、スポーツの動きをコンピュータアニメーションとして再現する研究が行われている<sup>4),9)</sup>。本研究では、エアロビクスの動きを再現すると同時に、被験者の心拍数によってサウンドのテンポを変化させ、バーチャルインストラクタのモーションとサウンドを同期させて表示させることを行っている点が特徴的である。

戸川ら<sup>7)</sup>はモーションキャプチャシステムを使って計測したデータをデータベース化し、様々な自由度を持つモデルの動きを逆動力学計算によってリアリティーを損なわないように合成しようとする試みを行っている。しかしながら、あらゆるモデルの動きを不自然さなく合成することには依然として困難さがあるとともに、一連のモーションを厳密に時間軸に合わせて再生することが考慮されたものではない。

バーチャルインストラクタの動きは、3次元のモデルデータにモーションデータを適用することによって実現する。運動生理学より、心肺機能に効果をもたらす有酸素運動を行うために、最低20分間の運動が必要である。1秒間に30フレームを表示させるとすると、20分間で36,000フレームものモーションデータが必要になる。このような問題を回避するための手法として、一連のモーションデータを細かいモーションユニットに分割し、分割したモーションユニットを多様に組み合わせたり、繰り返して利用する手法が3次元ゲームなどにおいてよく用いられている。海賀らの研究<sup>8)</sup>では、音楽における楽譜の表記法のように、人間の連続した動作を舞踊符によって記述する手法を提案しているが、本研究で必要とされるサウンドとモーションの再生速度を厳密に同期させることを考慮したものではない。

バーチャルエアロビクスという意味において、本研究と類似したシステムとして Davis らによる A Virtual Personal Aerobics Trainer (PAT)<sup>3)</sup>がある。このシステムでは、利用者とバーチャルインストラクタ間の動きのインタラクティブ性を主眼としており、利用者が任意の運動や音楽を選択するとスクリーン上に条件に適合するバーチャルインストラクタが表示される。利用者は、仮想インストラクタの動きに従って実際に運動を行い、仮想インストラクタと利用者の動きの類似性の評価を行っている。本研究では、心肺機能を強化させることを目的として、エアロビクス運動の

基礎となる心拍数の制御を行っている点で Davis らの研究と大きく異なっている。

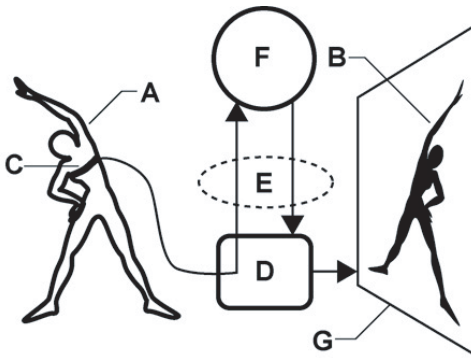
本論文の2章では、本研究におけるバーチャルエアロビクスシステムの概要を述べる。3章では、個々人の年齢や運動経験に基づいて運動強度を決定し、目標心拍数を決定する手法を述べる。4章では4拍を単位とするモーションデータの構成、5章ではサウンドと同期させてバーチャルインストラクタのモーションスピードを制御する手法を述べる。6章では、バーチャルインストラクタに合わせて運動する複数の被験者の心拍数の変化を調べた実験結果を示す。7章にまとめを述べる。

## 2. バーチャルエアロビクスシステムの概要

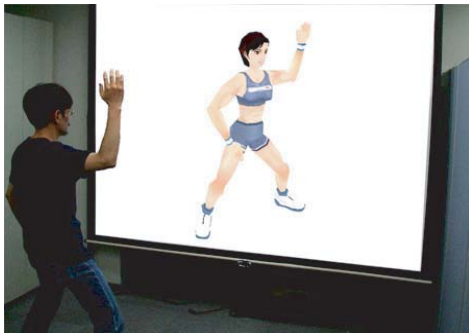
運動生理学の観点から、心肺機能は持久力や疲労からの回復力と密接に関係し、その向上は有酸素運動であるエアロビクスを効果的に行うことで実現されることが報告されている<sup>5),6)</sup>。本研究におけるバーチャルエアロビクスシステムは、被験者の心拍数を適切な範囲に保つことによって効果的な運動を実現する。被験者は、スクリーンに表示されたバーチャルインストラクタの動きに合わせて運動を行い、被験者の心拍数が適切な心拍数となるようにバーチャルインストラクタの運動速度やエアロビクス運動プログラムを調整する。

図1(a)にシステムの構成図を示し、図1(b)に本システムで実際にエアロビクス運動をしている様子を示す。サーバとクライアント間はインターネットで接続しているため送受信されるデータはコンパクトであることが望まれる。また、被験者の心拍数を適切な範囲に保つために、エアロビクス運動をするバーチャルヒューマンの動きとサウンドテンポを完全に同期させてバーチャルヒューマンの運動速度を制御する必要がある。

エアロビクスの個人指導を行ううえでは、個人の年齢、疾病履歴、運動経験、生活習慣などが重要なファクタとなる。クライアント上のプログラムはこれらの質問を被験者に行い、インターネットで接続されたサーバは次章に述べるカルポネン法に基づいて適切な心拍数となるように運動プログラムを組み立て、クライアントに送信する。クライアント側では、指定された運動速度および運動プログラムでバーチャルヒューマンがエアロビクス運動を行い、被験者はこれに合わせて運動を行う。クライアント側では被験者の心拍数をモニタし、サーバに送信を行う。サーバは、心拍数が適切な範囲から外れそうになった場合には、運動速度または運動プログラムの変更を行う。心拍数が目標値



A: Subject, B: Virtual instructor, C: Heart-rate sensor, D: Client PC, E: Internet, F: Server  
(a) System Configuration



(b) Aerobics exercise with a virtual instructor

図1 パーソナルエアロビクスシステム

Fig.1 The personal aerobics teaching system.

から大きくずれている場合には、運動速度を変更するよりも運動プログラムを変更したほうが効果的である。被験者の心拍数が目標値から4%以上はずれている場合にはエアロビクスの運動プログラムの変更を行い、4%以内の場合には運動速度の変更を行う。4%という値は、実験によって定めた。

### 3. カルボーネン法に基づく目標心拍数、運動強度の設定

エアロビクスのプログラムは、ウォーミングアップ、エアロビックセッション、クールダウンの3段階に分けて実行することで、安全かつ効果的な運動を実現できる。この中で、特に、エアロビックセッションにおいて適切な目標心拍数を維持させることが重要になる。

個人に対する適切な運動強度のプログラムを組み立てるためには、その人の目標心拍数を定めることが必要である。本研究では、次式のカルボーネン法を用いて目標心拍数  $Th$  (bpm=beats per minute) を定めた。

$$Th = (220 - age - hrq) \times es + hrq \quad (1)$$

ただし、 $age$  は年齢(歳)、 $hrq$  は安静時心拍数(bpm)、

$es$  は運動強度であり後にその範囲について述べる。ここで、安静時心拍数が用いられる理由は、有酸素性作業能力の劣っている人の安静時心拍数は高く、逆に優れている人は低いことから、これを加味することにより、体力の個人差を反映させることが可能になるからである。 $(220 - age)$  は、最大心拍数の予測値であるので、式(1)は最大心拍数と安静時心拍数の差の  $es$  倍に安静時心拍数を加えた値を目標心拍数としている。

ACSM( American College of Sports Medicine )のガイドライン<sup>1)</sup>では、運動の激しさを決めるための運動強度  $es$  は、0.5~0.85を目安としている。本研究では、ウォーミングアップとクールダウンも含めたプログラム全体での平均を0.4~0.6とし、初心者および体力のあまりない人向けのプログラムで平均0.4、上級者向けで平均0.6とした。運動強度の最大値は、有効性および安全性を考慮して0.8とした。運動強度の値は、被験者の年齢、疾病履歴、運動経験、生活習慣などの情報を基に決定する。カルボーネン法に基づく心拍数は目安として算出している。一定の運動強度を与えた場合には、心拍数はほぼ線形に増加していくことから、この性質を用いて個人に適切な心拍数になるような制御を行っている。

運動生理学における研究から、効果的に心肺機能を向上させる標準的なテンポスピードは126 bpm、有酸素運動として機能する最低の速度は102 bpm、有酸素運動として機能する限界の最高速度は156 bpmであることが分かっている。本研究では高齢者も利用の対象者としていることから、72 bpm~156 bpmの間のテンポスピードを表現する機能を持たせる。運動中の心拍数の変化に運動のテンポスピードが詳細に同期することで最も効果的な結果を得ることができる。したがって、有酸素運動指導の効果を高めるために、運動とともに出力するサウンドのテンポスピードであるbpmが運動のモーションテンポと完全に同期している状態を維持する方法を確立することが重要となる。

### 4. モーションデータの構成

エアロビクスプログラムのデータは、サウンドデータとモーションデータにより構成される。バーチャルエアロビクスシステムは、サーバからクライアントに送られたモーションデータによって、3次元のバーチャルインストラクタを、サウンドと同期させてリアルタイムに表示させる。各フレームの描画速度は、個々のコンピュータの性能、描画設定、ほかに起動しているプログラムの影響などの違いによって様々に異なる。これらの状況の下で、サウンドと同期してモーション

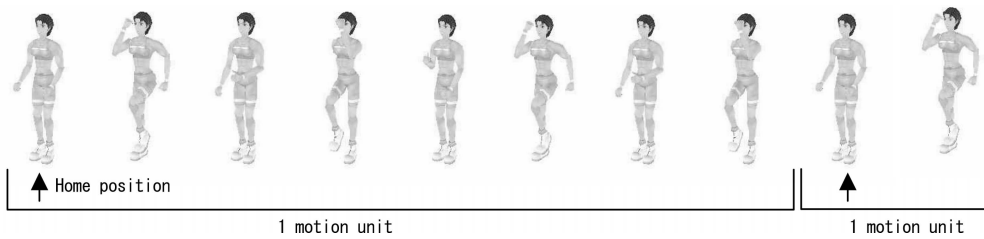


図 2 モーションユニットの概念

Fig.2 The conceptual figure of motion units.

を再生する必要がある。また、本研究では、個人に適した運動プログラムを、サーバからクライアントに、インターネットを通してリアルタイムで送ることから、バーチャルインストラクタのモーションデータはできるだけコンパクトであることが望まれる。

本研究では、一連のモーションデータを、モーションユニットの組合せによって表現し、サウンドの絶対時間とモーションユニット内のモーションデータを対応させることによって、様々に速度が変化するサウンドと同期したバーチャルインストラクタの表示を実現する。

音楽を使った健康運動のほとんど(エアロビクス運動やミュージックダンスなど)は4ビートに区分できることから、本研究では4ビートで構成されるサウンドデータを対象とする。目標心拍数の最低速度は72bpmであるので、4ビートは約3.33秒となる。1秒間に30フレームを表示させるとすると、最低速度での4ビートに必要なフレーム数は100となる。したがって、4ビートに必要な100モーションフレームを1モーションユニットとする。72bpm以上のテンポスピードの場合には、フレームの間引き処理を施すことによって適切なフレームレートを実現する。72bpmの速度で、4ビートを1モーションユニットとし、1モーションユニットを100モーションフレームとすれば、低速であっても高品質のアニメーションを表示させることができる。

モーションユニットの組合せ再生にスムーズな連続性を持たせるために、モーションユニット内のモーションの始まりにホームポジションを設ける。図2に、100フレームで構成したモーションユニットにホームポジションを組み込んで、それを連続的に組み合わせる一連のモーションを生成する概念図を示す。各モーションユニットの最初のフレームにホームポジションを設定し、モーションユニットの最後のフレームと次のモーションユニットの最初のフレームのスムーズな連続性を実現させている。具体的には、いくつかのホームポジションを用意し、モーションユニットの最後のフ

レームといずれかのホームポジションの連続性を保たせる。連続性が保たれる場合には、それらのモーションユニットを連結させることができる。

エアロビクスプログラムのデータは、72bpmのサウンドデータおよびあらかじめ用意された複数のモーションユニットより構成される。各モーションユニットは固有のIDを持つ。再生のテンポはbpmで指定され、その速度でモーションユニットを順に再生していく。このときに、サウンドの再生が開始されたときから、順に再生されるモーションユニット番号を0, 1, 2, ...とする。一連のアニメーションは、次のようなスクリプトによって組み立てられる。このスクリプトは目標心拍数を用いて設定されたされたものであり、個人の心拍数をモニターすることによって変更される。

- 1: AnimationID = 1 //アニメーション ID
- 2: Tempo = 108 // テンポ (bpm)
- 3: Sections1 = [101, 103, 103, 104, 105, 105, 105, 105, 101] // モーションユニット ID 配列
- 4: Tempo = 144 // テンポ (bpm)
- 5: Sections2 = [203, ..., 405]
- ...

AnimationIDは、再生するアニメーションファイルのID番号である。2行目のテンポは108bpmのテンポでサウンドを再生し3行目に記述されたIDを持つモーションユニットを順に再生する。3行目のSections1の再生が終了したら、144bpmのテンポでSections2に記述されたIDのモーションユニットが順に再生される。

図3に、本研究において利用したバーチャルヒューマンの構造を示す。関節数は23あるが、このうちNeck, Right Collar, Left Collar, Right Fingers, Left Fingers, Abdomenは固定したままとしている。このリンク構造は、腰(Hip)を親とし、腰の位置と姿勢、各リンクにおける親リンクからの角度情報をモーションデータとしてサーバからクライアントに送信することによって、バーチャルインストラクタがスクリーン上でエアロビクス運動を行う。

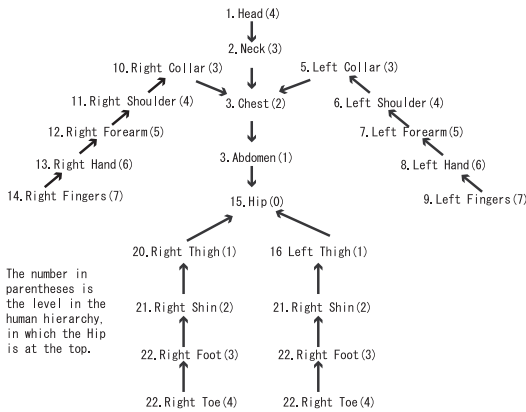


図3 パーチャルヒューマンのリンク構造  
Fig. 3 The link structure of a virtual human.

1 フレームのモーションデータを  $m$  KB とし、1秒間に 30 フレームのアニメーションで、心肺機能の向上に有効な 20 分間の運動を実現するためには、 $36,000m$  KB のデータをサーバからクライアントに送信する必要がある。エアロビクス運動では同じ運動が繰り返されるため、本研究では、1 ユニットが 100 フレームのモーションデータを 20 種類用意し、これらのデータを適切に繰り返して利用することによってエアロビクス運動を実現している。したがって、本研究では  $2,000m$  KB のデータのみを送ればよく、約 18 倍の効率化を実現している。本研究では、1 フレームのモーションデータの実測値は 0.26 KB であるため、520 KB のデータ転送で 20 分間のエアロビクス運動が可能である。

5. サウンドと同期させたモーションのスピード制御

本研究では、サウンドデータの再生時間から適切なモーションフレームを選択し描画することによってサウンドとモーションの同期を実現する。図4に、同期システムの構造図を示す。

1 モーションユニットは 4 ビートで刻まれるサウンドに同期させることから、72 bpm の 4 ビートで刻まれるサウンドデータを用意し、サウンドデータを精度の高い 4 ビートのテンポを持つように(すなわち 4 ビートが 3.33 秒になるように)編集する。72 bpm での 4 ビートは  $t_{4b}(= 60/72 \times 4 \approx 3.33)$  秒であり、1 モーションユニットのフレーム数は 100 である。4 ビート(1 モーションユニット)における時間を  $t_{mu}(0 \leq t_{mu} \leq t_{4b})$  とすると、時刻  $t_{mu}$  におけるモーションフレーム番号 ( $0 \dots 99$ ) は、次式によって求めることができる。

$$f(t_{mu}) = \lfloor (t_{mu}/t_{4b}) \times 100 \rfloor \quad (2)$$

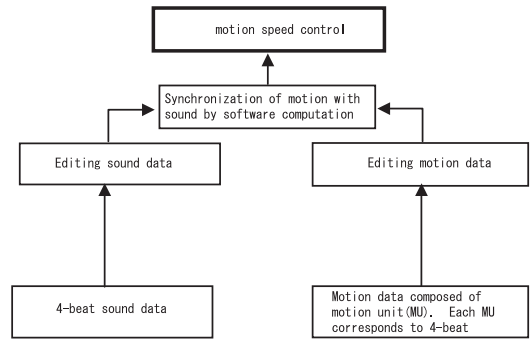


図4 同期システムの構造  
Fig. 4 The structure of synchronization.

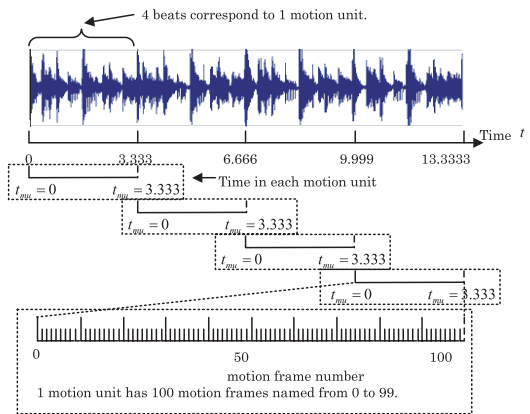


図5 72 bpm のサウンドデータとモーションユニットの対応  
Fig. 5 72 bpm sound data and its correspondence with motion units.

式(2)により、4 ビートにおけるサウンドの再生時間から対応するモーションフレーム番号を得ることができ、対応するモーションフレーム番号を用いてアニメーションの表示を行う。コンピュータの性能やその他の要因などによって、1 フレームの描画に必要な時間は様々に変化する。サウンドの再生を開始したら、刻まれた 4 ビートにおける時刻を取得し、式(2)より描画に必要なフレーム番号を算出し、アニメーションフレームの表示を行う。図5に、72 bpm のサウンドデータと、4 ビートでの分割、4 ビートの時間とモーションフレームとの対応を示す。

サウンドの標準テンポを 72 bpm、1 秒間に 30 フレームとし、各セクションにおけるサウンド再生からの経過時間を  $t(s)$ 、再生するサウンドのテンポを  $t_{mp}$  とすると、経過したトータルフレーム  $f_t$  は

$$f_t = \lfloor (t_{mp}/72) \times 30 \times t \rfloor \quad (3)$$

となる。モーションユニット番号を  $u$ 、モーション内のフレーム番号を  $f_u$  としたとき、時刻  $t$  における

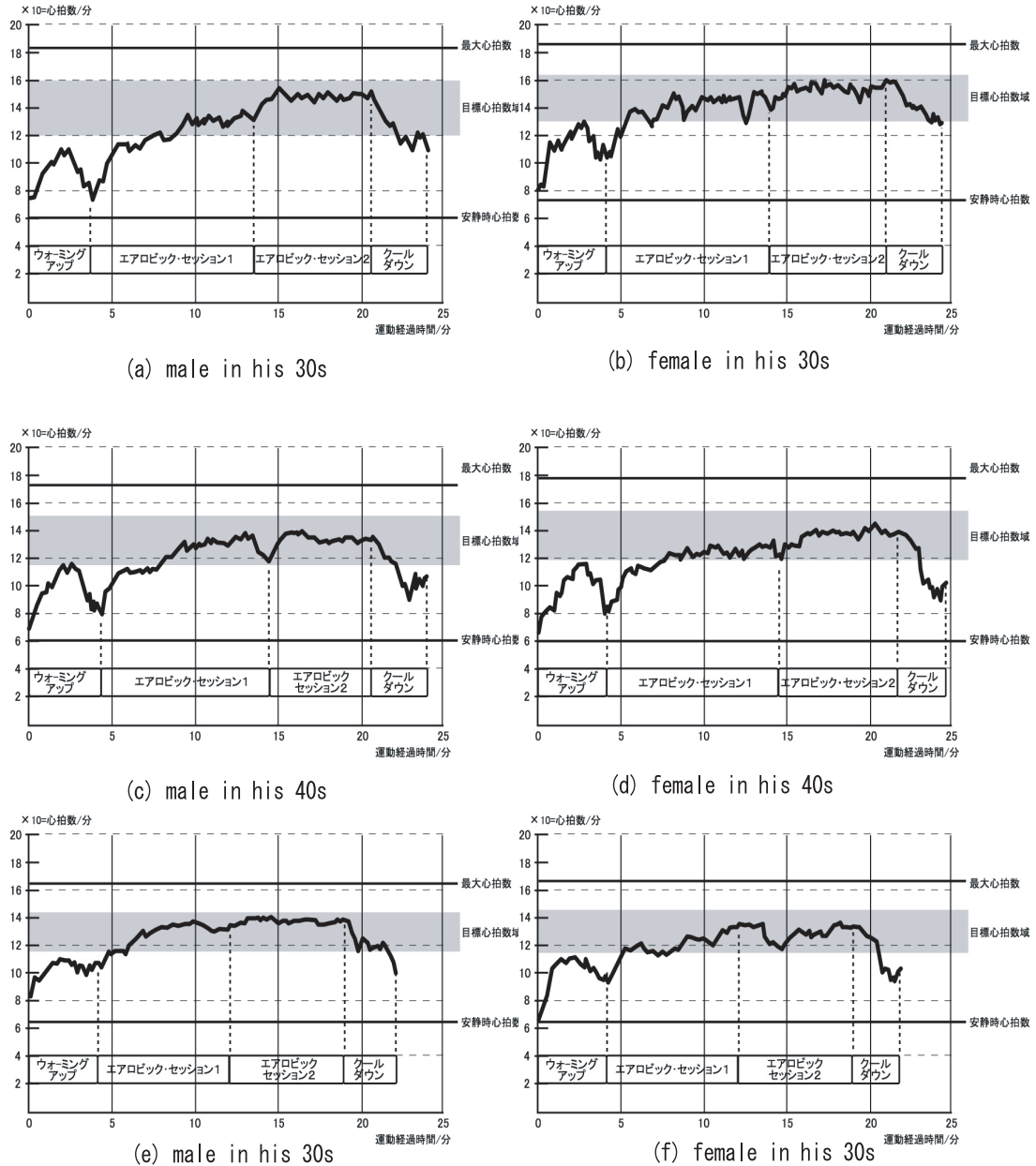


図 6 エアロビクス運動中の心拍数の変化

Fig. 6 The change of heart rate under aerobics exercise.

モーションユニット番号とモーションユニット内のフレーム番号は次式によって得られる。

$$u = \lfloor f_t / 100 \rfloor \tag{4}$$

$$f_u = f_t \bmod 100 \tag{5}$$

以上により、各セッションにおける時刻  $t$  から、表示すべきモーションユニット番号とフレーム番号を取得し、適切なモーションデータでバーチャルインストラクタを表示する。バーチャルインストラクタの表示

は、サウンドの再生時刻  $t$  に基づいて適切なモーションフレームが表示される。1 フレームの平均描画時間を  $t_{1f}$  としたとき、最大で  $t_{1f}$  秒程度の遅れを生じる。式 (3) を計算する際の  $t$  に  $t_{1f}$  を加えることにより、表示の遅れを減らすことができる。

### 6. 実験結果

30代から50代の6人の被験者に対して、運動プロ

グラムを実施させ、被験者の心拍数の変化を調べた。図6に、エアロビクス運動中の心拍数の変化のグラフを示す。これらの結果より、本システムによって、6人のいずれの場合も適切な制御を行うことができていることが分かる。また、サウンドとアニメーションの同期に関してもスムーズに実現され、違和感があるという報告はされなかった(ただし、他のプログラムの起動状況などによって若干の再生の遅れが生じる場合はある)。

以上より、本システムによって、サウンドと同期したモーションのスピードコントロールが実現でき、バーチャルインストラクタによる効果的なエアロビクス運動が実現可能なことを確認した。

## 7. ま と め

本研究では、個人に適切な運動指導を行うことのできるバーチャルエアロビクスシステムについて述べた。年齢や運動経験などの情報から個人に適切な運動プログラムを決定し、スクリーン上でバーチャルインストラクタがエアロビクス運動を行い、被験者もそれに合わせて運動する。被験者の心拍数をモニタし、目標心拍数から外れた場合には、その度合いに応じて、バーチャルインストラクタの運動速度を変更するか運動プログラムを変更する。

バーチャルインストラクタの運動速度の変更は、サウンドとモーションを同期させて行わなければならない。本研究では、4ビートに刻まれた72bpmのサウンドデータを用意し、各時刻においてモーションフレームを対応させることで、様々な速度における同期を実現した。72bpm以外のサウンドの場合は、サウンドデータの時間軸を基準にアニメーションデータ内のどのモーションユニットの中のどのフレームが描画されるべきかを算出し、コンピュータの処理能力に合わせて描画命令を実施する方法を用いることで精度の高いモーションスピードの制御を実現させた。本研究は、4ビートで72bpmのサウンドを基準としたが、同様な手法で4ビート72bpm以外のサウンドにも適用させることが可能である。

謝辞 本研究の一部は、情報処理振興事業協会(IPA)の平成12年度情報ベンチャー事業化支援ソフトウェアなど開発事業「バーチャルヒューマンを使った効果的身体運動の提供」の資金援助を得て行われた。ここに、謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) American College of Sports Medicine: *Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription*, 2nd ed., Lea & Febiger (1980).
- 2) Badler, N.I., Bruderlin, A., Goldberg, A., Magnenat-Thalmann, N., Metaxas, D. and Perlin, K.: *Virtual Humans: Behaviors and Physics, Acting and Reacting, SIGGRAPH'98 Course Note* (1998).
- 3) Davis, J. and Bobick, A.: *Virtual PAT: A Virtual Personal Aerobics Trainer, Workshop on Perceptual User Interfaces*, pp.13-18 (1998).
- 4) Hodgins, J. and Wooten, W.: *Animating Human Athletes, Robotics Research: The Eighth International Symposium*, Shirai, Y. and Hirose, S. (Eds.), pp.356-367, Springer (1998).
- 5) 飯田貴子, 池田明子, 松本みち子: 心拍数変動からみた高齢者の体操活動の運動強度, 帝塚山学院短期大学研究年報, No.36, pp.24-37 (1998).
- 6) 竹田正樹, 田中喜代次, 浅野勝己: 虚血性心疾患女性における健康体力水準の改善に必要な運動量, 体力科学, Vol.45, No.1, pp.189-198 (1996).
- 7) 戸川晋一, 岡本庄司, 中村仁彦: ヒューマンフィギュアの力学的運動生成に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集, pp.1BI2.2(1)-1BI2.2(4) (1998).
- 8) 海賀孝明, 長瀬一男, 湯川 崇, 工藤公樹, 佐々木信也, 小原直子, 玉本英夫: 舞踊符による動作の記述法の提案, 情報処理学会研究報告, Vol.99, No.43 (CH-42), pp.31-38 (1999).
- 9) Wooten, W.L. and Hodgins, J.: *Simulation of Human Diving, Computer Graphics Forum*, Vol.15, No.1, pp.3-13 (1996).

(平成14年9月10日受付)

(平成14年12月3日採録)



伊丹 由和

昭和25年生。東京農工大学大学院博士後期課程在籍。昭和46年育英工業高等専門学校デザイン工学科卒業。ヒューマンコード・ジャパン株式会社社長。3次元デザイン、バーチャルヒューマンに関する研究に従事。日本運動生理学会, 日本スポーツ運動学会, 日本インダストリアルデザイナーズ協会各会員。





佐波 晶

昭和 48 年生．平成 14 年東京農工大学大学院工学研究科博士課程修了．同年より同大学ベンチャービジネスラボラトリ研究員．機械製品の CAD およびパラメトリックス，仮想現実の研究に従事．博士（工学）．



吉田 典正（正会員）

昭和 42 年生．平成 9 年早稲田大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士後期課程修了．平成 7 年早稲田大学理工学部機械工学科助手．平成 9 年より東京農工大学工学部電子情報工学科（現情報コミュニケーション工学科）助手．CAD，コンピュータグラフィックスに関する研究に従事．博士（工学）．電子情報通信学会，精密工学会，ACM 各会員．



北嶋 克寛（正会員）

昭和 24 年生．昭和 51 年東京大学大学院博士課程修了．同年同大学助手，昭和 59 年東京農工大学工学部数理情報工学科（現情報コミュニケーション工学科）助教授，平成 6 年同大学教授，現在に至る．3D CAD，バーチャルスペーステクノロジー，バーチャルヒューマン等の研究に従事．精密工学会，電子情報通信学会等各会員．