

エクササイズボールを用いた 音楽インタラクティブシステムの開発

久保田 洋介^{*1} 小林 洋平^{*2} 山本 知仁^{*1} 三宅 美博^{*3}

Development of music interactive system using exercise ball

Yosuke Kubota^{*1}, Yohei Kobayashi^{*2}, Tomohito Yamamoto^{*1}, Yoshihiro Miyake^{*3}

The exercise ball is sports apparatus which is very easy to use and realize effective exercise. However it is difficult to use it long time, because user uses it alone in many cases and become boring. In this research, to solve this problem, we develop the interactive system which realizes interaction between rhythm of bounce of ball and rhythm of played music by artificial agent.

Keywords : Music, Interaction, Entrainment, Exercise ball

1. はじめに

運動を効果的に行えるスポーツ器具としてエクササイズボールがある。家庭でも手軽に運動が行える半面、エクササイズボールを用いた効果的な運動の方法が分からない、一人で運動しているのではつまらないなどの理由から途中で飽きてしまい、その使用が長続きしないことが多い。それに対し、スポーツジムなどでは、リズムカルな音楽が流れる中でインストラクターの指示に合わせて運動を行うことにより、楽しく効果的にエクササイズボールを使用した運動が行われている。

家庭でエクササイズボールを使う状況でも、スポーツジムのように音楽が流れる中で、インストラクターが運動の補助してくれるならば、飽きずに効果的なエクササイズを行うことができると考えられる。本研究ではそのような環境を手軽に提供するために、家庭において誰でも運動を持続的かつ効果的に行えるエクササイズボールのインタラクティブシステムの開発を目指す。具体的には、エクササイズボールによる運動のリズムをセンシングし、そのリズムに合わせた音楽を用いることで、効果的に運動が行えるシステムの構築を目指す。

運動に合わせて音楽が提示されるシステムの例として、KONAMIから製品化されている“Dance Dance Revolution”^[1]がある。このシステムは音楽とそれに合わせて提示される映像に合わせてユーザーがステップを踏むことで、音楽を演奏しながら運動を楽しむことができる。しかしながら、このシステムのようなアミューズメント系のシ

ステムは当然ながらゲーム性を重視し、また、若年ユーザーを対象としているため、誰でも簡単に運動を行えるシステムにはなっていない。このようなアミューズメントシステムではなく、エクササイズによる運動効果を高めるための補助システムとして伊丹らのバーチャルヒューマンを用いたシステム^[2]がある。このシステムは仮想のインストラクターをグラフィカルに表示してエアロビクスなどの運動を指示するものであるが、ユーザーからの入力ではなく両者のインタラクティブ性は実現されていない。

これらの研究に対し、人と人工システムとの間で相互作用を実現し運動効果を高めることができるシステムとして、三宅らの開発した“Walk-Mate”^[3]が提案されている。このシステムでは足首に取り付けたセンサから歩行ステップのタイミングを計測し、コンピュータ上で実現されているリズムの引き込み^[4]を用いた仮想ロボットが歩行する。ユーザーはその足音を聞くことにより、無意識のうちその足音に合わせて歩き、歩行リズムを無理なく維持することができる。このWalk-Mateは高齢者や障害者などの歩行に障害のある人を対象として、その歩行介助を目的としているが、現在のところはエクササイズ用途としてのシステムにはなっていない。

本研究では、誰もが簡単に楽しく使用でき、なおかつ運動効果を実現できるインタラクティブなシステムの構築を目指す。具体的には、エクササイズボールの単純な上下運動に合わせて音楽を提示し、人間と音楽エージェントが相互作用しながら運動することで、効果的な運動が行えることのできるシステムを構築する。

2. デバイスの開発

2.1 エクササイズボールのひずみ検出方法

本研究ではエクササイズボールをシステムの入力装置として用いる。このとき、エクササイズボールの運動を検出するためには、その運動により生じるボールのひずみを

*1: 金沢工業大学 工学部 情報工学科

*2: 京都産業大学 経済学部

*3: 東京工業大学大学院 総合理工学研究科

*1: Department of Information and Computer Science, College of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

*2: Faculty of Economics, Kyoto Sangyo University

*3: Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

測定し数値化しなければならない。ひずみを検出するセンサとして、ひずみゲージを用いたセンサがあるが、これは微量なひずみの変化を検知するためのものであるため、エクササイズボールを用いた運動で見られるような大きなひずみの検出には適していない。そこで本研究ではエクササイズボールの運動から生じるひずみを検知するためのセンサとして、エクササイズボールと同質の材質である導電性ゴムに着目し、導電性ゴムを用いたセンサユニットの開発を行った。

2.2 導電性ゴムについて

導電性ゴムとは、導電の性質を持つことから主に漏電、静電気対策、または感圧センサなどに利用されているもので、伸縮によってゴム自体の抵抗値が変化するのが特徴である。本研究ではデバイスに使用する導電性ゴムの伸縮による抵抗値の変化特性を調べるために、導電性ゴムの片方を固定し他方に錘を吊るしてゴムを伸ばし、その伸びが安定したときの抵抗値を測った。計測は導電性ゴムを 2×5 (cm)の大きさに切り、錘の重さを100g~1000gまで100gずつ重さを変え、それぞれの錘の重さに対して5回ずつ行った。その結果はFig.1のようになり、ゴムの伸びに対して抵抗値が単調増加する傾向があることがわかった。この結果から、導電性ゴムをエクササイズボール

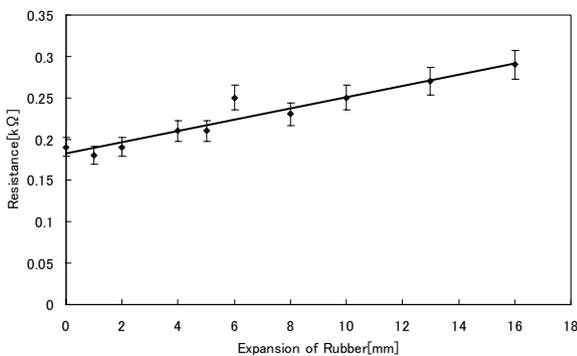


Fig.1 導電性ゴムの抵抗値の変化
Fig.1 Resistance to expansion of electroconductive rubber

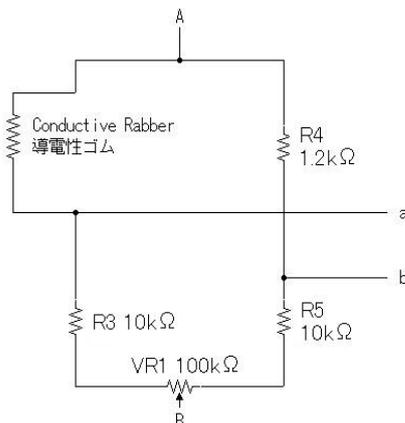


Fig.2 ブリッジ回路
Fig.2 Bridge circuit

に装着し、ひずませた場合、ゴムの伸縮に応じた抵抗値の変化としてひずみを検出できると考え、次にこの導電性ゴムを用いたひずみセンサユニットの開発を行った。

2.3 センサユニットの開発

センサユニットの仕組みは大まかにブリッジ回路とインストルメンテーションアンプの部分に分かれている。導電性ゴムの微小な抵抗値の測定にはブリッジ回路を使用する。ブリッジ回路部はFig.2のように導電性ゴムを含む4つの抵抗から構成され、AB間がブリッジ電源、ab間が出力電圧である。導電性ゴムが伸びて抵抗値が変化すればブリッジのa点とb点に電位差が発生するようになっている。インストルメンテーションアンプはオペアンプを用いた増幅回路であり、非反転増幅部と差動増幅部から構成した。作成した回路では、差動増幅部でブリッジ回路の出力電圧の差をGNDを基準とした絶対値出力が得られ、非反転増幅部と差動増幅部に高い増幅率をかけるようにしたため、高い増幅率にしてもひずみなく信号を増幅できる。今回作成したユニットでは非反転増幅部で1倍、差動増幅部で1.2倍の計1.2倍に設定した。

2.4 エクササイズボールへの実装

エクササイズボールに導電性ゴムを取り付ける方法としてFig.3に示すように導電性ゴムの端にマジックテープを貼り付けたものをエクササイズボールに取り付けた。



Fig.3 導電性ゴムの取り付け
Fig.3 Installation of electroconductive rubber to exercise ball

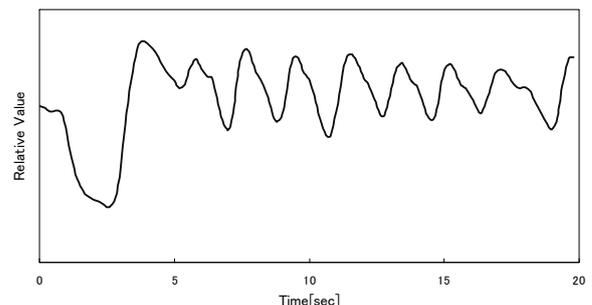


Fig.4 ひずみ値の変化
Fig.4 Temporal development of value of strain

これにより ,エクササイズボールのサイズに合わせてゴムの長さの調整ができる . センサユニットからコンピュータへの接続はA/Dコンバータカード (ADTEK社 : AXP-AD02) を用いた .

Fig.4は 実際にセンサユニットをエクササイズボールに装着してエクササイズボールのひずみの変化を計測した結果である . ボールを一定周期で変形させることによって , 時間が進むにしたがってひずみ値が変化し , 正弦波に近い波の形が表れている . この結果より導電性ゴムを用いたセンサユニットがエクササイズボールのひずみを安定して計測できることを確認した .

3. 音楽エージェントとのインタラクション

3.1 位相振動子モデル

本研究では前節で述べた入力デバイスを用いて , エージェントの演奏する音楽とエクササイズボールの運動とのインタラクションを , 位相振動子による引き込み現象を拡張した力学系によって実現する^{[5][6]} . 位相振動子の引き込み現象は , 複数の振動子における位相情報が相互作用することによって , その振動の同調することによって実現される . 具体的には下記のような微分方程式によって複数の振動子の相互作用が実現される .

$$\begin{cases} \dot{\theta}_a = \omega_a(1 + K_a(\theta_b - \theta_a)) \\ \dot{\omega}_a = A_a(\theta_b - \theta_a) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{\theta}_b = \omega_b(1 + K_b(\theta_a - \theta_b)) \\ \dot{\omega}_b = A_b(\theta_a - \theta_b) \end{cases} \quad (2)$$

各振動子Aに関する式(1) , 振動子Bに関する式(2)における θ は位相 , ω は固有振動数 , $\dot{\theta}$ はみかけの角振動数であり , 振動子の位相はこの振動数を基準に増加する . それぞれのみかけの振動数と固有振動数は , 各振動子の位相差 $\theta_a - \theta_b$ によって変化し , それぞれ係数 K, A によって位相差からの影響を受ける . これらの力学モデルによって振動子Aと振動子Bは相互作用することになる . 今回は式(1)の振動子Aを機械の演奏に , 式(2)の振動子Bをエクササイズボールの運動として実装する . 当然 , システムの演奏はモデルに忠実であるが , エクササイズボールの運動に関しては仮定的なものである .

3.2 位相と各イベントの関連付け

これらの力学モデルを用いて , 具体的なエクササイズボールの運動と , 音楽演奏がインタラクションするためには , それぞれが持つ特徴量を位相と関連させて記述し , モデルの中に反映されなければならない . まずシステムが行う音楽演奏については , 演奏の楽譜と位相との対応付けをFig.5ように行い実現した . 音楽の演奏において一拍は重要な音楽的単位であることから , この一拍と振動子の一周 360° を対応させ , 拍の頭と位相の 0° を対応さ

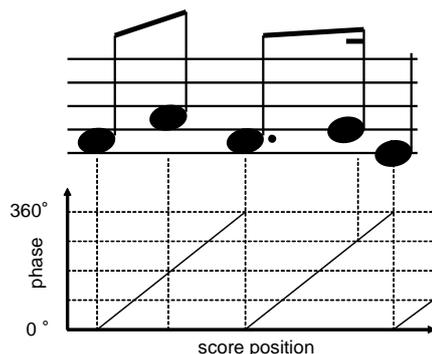


Fig.5 振動子の位相と演奏位置との関係
Fig.5 Relation between score position and phase of oscillator

せた . つまり振動子が一周するごとに音楽演奏は一拍進むこととなり , 振動子の速度が音楽演奏のテンポとして反映される . これによってシステムの持つ位相情報が音楽演奏のイベントとして外部へ出力されることになる . 同様にしてエクササイズボールからの入力を位相と対応付ける . ここで我々は , ひずみ値変化の特徴量としてFig.4に示す波形の極大値を用い , ここを位相の 0° を対応させ , 次の極大値までを 360° とした . つまり , エクササイズボールを運動させることによって , その運動の変化点となるイベントが位相情報として機械に入力されることとなる .

3.3 音楽演奏と運動の同調の実現

これらのことをまとめるとFig.6のように , 機械の音楽演奏とエクササイズボールの運動との相互作用を実現させることができる . 機械側は音楽を演奏しそれを運動している人間に伝える . 音楽は機械の持つ振動子の位相に対して忠実に演奏されるため , 人間はそれを聞くことによって機械の位相情報を受け取ることができる . 一方エクササイズボールの運動はセンサの値から機械に入力される . 前節で説明したような基準に従って位相を定義したため , 運動情報は位相情報に変換されて機械へと入力される .

このようにして機械側はセンサから入力されたイベントの影響を受けながら音楽演奏を行い , また , 人間側は行わ

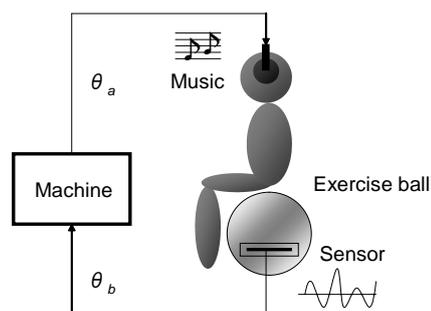


Fig.6 機械の音楽演奏とエクササイズボールの運動
Fig.6 Music performance of machine and the action of exercise ball

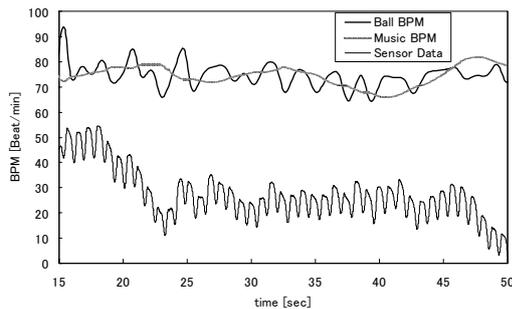


Fig.7 音楽のテンポ変動と、エクササイズボールのテンポ変動

Fig.7 Temporal development of music tempo and tempo of exercise ball

れている演奏を聴きながらエクササイズボールを運動させることにより、擬似的に引き込み現象を実現することができる。つまり、位相情報のかわりに音楽演奏とエクササイズボールの運動を同調させることによってインタラクションを実現することができるようになっている。ただし前節で述べたように、位相振動子のモデルが実装されているのはシステム側のみであり、人間に関するモデルはあくまで仮定である。例えば人間側が半拍ずらした形で運動するなど、想定された位相とは違った状態で音楽演奏とボールの運動を関連付けて行動した場合、引き込み現象が不安定になったり破綻したりする場合もある。このような破綻をできるだけ少なくするためには、位相とイベントの関係を人間の主観にあわせた形で定義する必要がある。

3.5 実際の動作について

以上に述べたモデルをシステムに実装し、実際に人がエクササイズボールにまたがり、システムの動作を確認した。Fig.7は、音楽のテンポ変動と、エクササイズボールのテンポ変動を示した図である。図の太い実線はエクササイズボールの周期から逆算したBPM、薄い実線はシステムの演奏したBPM、そして細い実線はボールに取り付けられたセンサの値である。このようにボールのテンポと演奏されるテンポは同様の値で推移し、ボールのテンポ変動に対してシステムのテンポがゆっくり追従していく様子が示されている。本来の曲のテンポは約70BPM程度であるが、システムとインタラクションすることによって本来のテンポとは1割程度違ったテンポで演奏が行われ、エクササイズボールと同調している。このことから人間が音楽を聴きながらそれに合わせて運動し、その運動に同調するようにシステムからの音楽演奏が行われ、両者の間でインタラクティブ性が実現されているのがわかる。

4. まとめと今後の展開

本研究では、誰でも簡単に運動が出来るエクササイズ

ボールを用いて、その運動効果が持続するようにするための基本的なインタラクティブシステムを構築した。具体的には、そのひずみをセンシングできるセンサユニット、及び計測したひずみからエクササイズボールのリズム運動を検出し、そのリズムと音楽のリズムの間で引き込みを使った相互作用を実現するシステムの構築を行った。

今回構築したシステムは、効果的な運動が行えるアプリケーションのようなものは実装されていない基本的なシステムであるが、今後、実際にスポーツジムなどで行われているインストラクター主導のエクササイズボールを用いた運動を解析し、それらの運動が擬似的に再現できるようなアプリケーションを実装する予定である。また、エクササイズだけではなく、音楽運動療法のようなセラピーのシステムとして応用することを考えている。

参考文献

- [1] Dance Dance Revolution (コナミ株式会社); <http://www.konami.co.jp/index.html>
- [2] 伊丹, 吉田, 北島: パーチャルヒューマンを使った効果的身体運動の提供システム; 情報処理振興事業協会平成12年度成果報告集2版
- [3] 三宅, 高梨: 共創型型介助ロボット“Walk-Mate”の歩行障害への適用; 計測自動制御学会論文集, Vol. 39, No.1, pp.74-81 (2003).
- [4] 蔵本, 川崎, 山田, 甲斐, 篠本: パターン形成, 朝倉書房 (1991).
- [5] 小林, 三宅: 相互引き込みモデルを用いたアンサンブルシステムの開発; 計測自動制御学会論文集, Vol. 40, No.9, pp.948-957 (2004).
- [6] 小林, 三宅: 階層化された相互引き込みモデルに基づくアンサンブルシステム; 計測自動制御学会論文集, Vol. 41, No.8, pp.702-711 (2005).