

## 「病を知るデジタルヒューマン」のための歩行実験データのデータベース設計

藤原 久志<sup>†</sup> 牧之内 顕文<sup>††</sup> 金子 邦彦<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>九州大学大学院 システム情報科学府 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

<sup>††</sup>久留米工業大学 工学部 〒830-0052 福岡県久留米市上津町 2228-6

<sup>†††</sup>九州大学大学院 システム情報科学研究院 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1

E-mail: <sup>†</sup> fujiwara@db.is.kyushu-u.ac.jp, <sup>††</sup> akifumi@cc.kurume-it.ac.jp, <sup>†††</sup> kaneko@is.kyushu-u.ac.jp

**あらまし** 我々は、人間の構造や特性をコンピュータ上に構築し、人体の動作などをリアルに再現するとともに、人体の動作に関する種々の仮想実験をコンピュータ上で行うデジタルヒューマンについて、個別患者の個性を適切に捉え、データベース化した、「病を知るデジタルヒューマン」を作り、医用・福祉分野で活用することを目指している。本稿では、人間の代表的な動作である歩行動作について、モーションキャプチャシステム、筋電図記録装置、足圧分布測定装置、およびビデオカメラ等から得られるデータのデータベース化を行う。これにより、データベース問い合わせ言語での歩行データの検索が行えると同時に、このデータベースを使つての歩行動作の再現を行うことが可能となる。そのため、今回提案するデータベースにおいては、歩行実験から得られるデータを忠実に保存する。さらに、被験者についての情報なども記録する。

**キーワード** デジタルヒューマン、データベース、XML、歩行

### Design of Gait Experiment Database for “Digital Patients”

Hisashi FUJIWARA<sup>†</sup> Akifumi MAKINOUCI<sup>††</sup> and Kunihiko KANEKO<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>, <sup>†††</sup>Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University

6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka, 812-8581 Japan

<sup>††</sup>Faculty of Engineering, Kurume Institute of Technology

2228-6 Kamitu-tyou, Kurume-shi, Fukuoka, 830-0052 Japan

E-mail: <sup>†</sup> fujiwara@db.is.kyushu-u.ac.jp, <sup>††</sup> akifumi@cc.kurume-it.ac.jp, <sup>†††</sup> kaneko@is.kyushu-u.ac.jp

**Abstract** We are now developing a database to apply digital human technology to medical areas. The system is called “Digital Patients”. In the system, we catch personality of an individual patient and build the characteristic on a computer and reproduce movement. We recorded a data of motion capture, an electromyogram, foot pressure distribution and a video image about the gait that is human representative movement. This paper presents a database design for these data of gait experiment. This database stores data provided from a walk experiment faithfully. In addition, we record information about a patient.

**Keyword** Digital Human, Database, XML, Gait

#### 1. はじめに

近年、人間の生理解剖学的機能、運動機構的機能、認知心理的機能の実測結果に基づき、人

間の構造や特性をコンピュータ上に構築し、工学上の応用を目的として、人体や動作などをリアルに再現するデジタルヒューマン

(Digital Human) 技術[6]が注目を集めている。

本稿は、個別患者の個性を忠実にコンピュータ上に構築する「病を知るデジタルヒューマン」において、個別患者の歩行動作およびそれに付随する各種動作のデータベースについて報告する。これは、将来的に個別患者の身体モデルおよび運動モデルを作成するための基礎となる。医療福祉などでは、個別患者の様々な運動障害についてのデータベースが役に立つ。中でも、人体の基本的な動作である歩行動作の運動障害についてのデータベースが最も重要である。これは、歩行動作に関する既存の実験装置の実験データ（モーションキャプチャのデータ、筋放電活動のデータ、足圧分布のデータなど）を忠実に格納、管理できるとともに、個別患者の種々の情報（身長、病態など）も管理する。

すでにモーションキャプチャシステムのデータをデータベース化してアニメーションの作成や、歩行分析へ活用することが行われている。[3]では、アニメーションを作成する際に、モーションキャプチャのデータを利用している。ここで、データベースを利用して、モーションキャプチャのデータを分類管理している。モーションキャプチャのデータ、キャラクタ、注釈の3つを主要な要素とするデータベースを作成している。一方、[2]では、歩行に関するデータをデータベース化することにより、歩行分析の分野での応用を目指している。この研究では、歩行分析のために、モーションキャプチャのデータ、計算により求めた関節角度、床反応力のデータ、およびビデオ画像のデータベースが作成されている。[2]では、健常歩行は、左右対称の動作が行われるという仮定から、モーションキャプチャのマーカを右半身にのみ添付し、データを記録している。本研究では、個別患者の歩行動作は必ずしも左右対称ではないため、被験者の全身にマーカを添付しデータベース化する。

一方、歩行分析の分野では、筋電図記録装置がしばしば使用されている。[1]では、歩行時の足関節や膝関節の角度と筋放電活動の関係を分析している。文献[2]、[3]では筋電図記録装置のデータはデータベース化されていない。

これに加えて、足圧分布測定装置が、歩行動作の評価に利用されている現状である。正常な歩行においては、足が踵から着地して、爪先で

蹴り出すまでに、その足底にかかる荷重は踵から爪先まで連続的に移動していく(ローリング)。また、片足支持の段階において、重心は身体の左右方向に対してやや外側を通っていく(あおり)のが理想的な歩行であるとされる[4]。このような歩行分析において、筋電図記録装置や足圧分布測定装置は有意義なものであり本稿ではこれらのデータをデータベース化する。

本研究では、歩行動作のデータベースを作成し、そのデータベースに基づき、歩行動作を再現する。さらに、このデータベースシステム上で、歩行動作の比較分析やデータの検索が行えるような機能を加え、総括的な歩行分析が行えるシステムの構築を目標とする。将来的には、このような機能を備えたシステムを歩行動作のみでなく、様々な運動障害を再現するものとし、病を知るデジタルヒューマンシステムを構築する。

本稿では、歩行実験で得られるデータのデータベース化に焦点を当てて現状報告を行う。2章で本研究での歩行実験に用いる装置と、歩行動作データについて述べる。3章では、今回実施した歩行実験について説明し、4章では、歩行実験により得られるデータのデータベース設計案について述べる。最後に5章でまとめと今後の研究方針について述べる。

## 2. 歩行動作データ

本章では、歩行実験に使用する機器、および得られるデータについて説明する。歩行実験では、モーションキャプチャシステム、筋電図記録装置、足圧分布測定装置、およびビデオカメラを用いる。

歩行動作とは別に、被験者の身体情報を、身長計、体脂肪計、およびメジャーを用いて記録する。さらに、3次元スキャナシステムおよびカメラを用いて被験者の撮影を行う。モーションキャプチャシステムのマーカ装着前後の被験者の身体3次元情報を3次元スキャナシステムを用いて記録する。また、モーションキャプチャシステムのマーカ、および筋電図記録装置の電極の装着前後で写真撮影を行う。

歩行動作の収録に移る前に、MVC (Maximum Voluntary Contraction:最大随意収縮) 時の筋電図の記録を行う。これは、筋電図における分析で、歩行の際に MVC の何%の筋

放電活動がなされているのかを見るために行う。

被験者がパーキンソン病患者の場合は、専門家による口頭の諮問を行い、病歴や病状などについても記録する。

### 2.1. モーションキャプチャシステム

歩行動作の3次元情報を得るために、モーションキャプチャシステムを用いる。本実験では、ASCENSION社のアクティブ赤外線方式モーションキャプチャシステム ReActor2を用いる。これは、赤外線を照射するマーカを被験者に装着し、このマーカから出された赤外線を、部屋枠のようなフレーム内にある約500個のカメラが捕らえる。

得られるデータは、被験者に装着した30個のマーカの3次元位置情報である。各マーカのx, y, z座標の値(mm)が得られる。サンプリング周波数30Hzで記録するので、1秒あたり30フレームのデータを得る。

マーカの取り付け位置は、頭(RFHD, RBHD, LFHD, LBHD)、胴(STRN, C7, T10, CLV)、腰(RFWT, RBWT, LFWT, LBWT)、腕(RSHO, RELB, RWRA, RWRB, RFIN, LSHO, LELB, LWRA, LWRB, LFIN)、足(RKNE, RANK, RHEL, RTOE, LKNE, LANK, LHEL, LTOE)である。

データの記録にはASCENSION社のFusionCoreを用いる。これにより、リアルタイムでモーションキャプチャの様子を観察できる。編集にはAlias社[7]のMoCap(Ver5.5)を用いている。

図1にモーションキャプチャのマーカおよび電極を装着した被験者の写真を示す。

### 2.2. 筋電図記録装置

本実験では、筋電図記録装置にキッセイコムテック社のVitalRecorder[9]を用いる。筋放電値の測定には、TEAC社の生体アンプBA1104およびテレメータシステムTU-4を用いる。筋電図の記録と同期して、動画の撮影も行うのだが、動画の記録にはDVCapを使用する。これらの解析ソフトとして、キッセイコムテック社[9]のBIMUTAS-Videoを用いる。このソフトでは、収録したビデオ画像と筋電図を同時表示し、筋電図のフィルタリングや異なるデータの比較などが行える。本実験では、左右両方の脚にディスプレイサブル電極(電極径10mm、電極間距

離30mm)を計8箇所、筋腹中央に取り付け計測を行う。被験筋には、外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋を選んだ。これらの被験筋は、歩行の際に主動筋と拮抗筋として働く。正常歩行では、外側広筋と大腿二頭筋、前脛骨筋と腓腹筋においてそれぞれ交互に筋放電活動が観測される。不関電極(アース)は大腿部外側上果に添付した。上記により、各被験筋の筋電位(mV)が得られる。サンプリング周波数1080Hzで記録するので、1秒あたり1080フレームのデータを得る。

図2に筋電図記録装置によって記録した、筋電図を示す。これは、普通歩行時の右足外側広筋の波形である。

### 2.3. 足圧分布測定装置

本実験では、足圧分布測定装置に用いるセンサシートとして、BIG-MAT1300(440mm×480mm)を8枚使用し、全長約4mの歩行実験用通路を設置した。このセンサシートには、行電極と列電極が一定間隔で配置され、電極の上に特殊インキが薄膜形成されている。この行と列の交点が個別のセンサセルとなる。無負荷時はセンサセルの電気抵抗はほぼ無限大であるが、センサセルに加わる力に応じてその抵抗は減少する。このときの電気抵抗値をA/D変換機で8ビットのデジタル値に変換し、0から255までの256階調の値を得る。このデジタル値は加えられた圧力とほぼ比例した関係にある。サンプリング周波数は60Hzで記録するので、1秒あたり60フレームのデータを得る。

本実験では足圧分布測定装置に、ニッタ株式会社BIG-MAT VIRTUAL[10]を用いる。

図3に足圧分布測定装置で記録した足圧分布を示す。これは、右足の裏が地面に接地し、左足の爪先が地面を蹴り出す時のものである。この画像では、色の濃い方が高い圧力値を示す。

### 2.4. 身体データ

2.1, 2.2, 2.3, で説明したデータに加え、実験では、タニタの体脂肪計InnerScan BC-600を使用し、被験者の身体に関する情報を得る。体脂肪計を用いて、体重、体脂肪率全身、体脂肪率右腕、体脂肪率左腕、体脂肪率右足、体脂肪率左足、筋肉量全身、筋肉量右腕、筋肉量左腕、筋肉量右足、筋肉量左足、体水分量、骨量、および基礎代謝を計る。また、身長計およびメ

ジャーを用いて、被験者の身長、足のサイズ、周囲の長さ、幅の情報も得る。

### 3. 歩行実験手順

本章では、実施した歩行実験の手順を以下に説明する。歩行実験では、運動障害を有するパーキンソン病患者も実験対象に加えている。現在までに、健常者4名、パーキンソン病患者6名の計10名を被験者として歩行実験を行った。

歩行実験は、九州大学大学院芸術工学研究院の源田研究室、ならびに九州大学大学院医学研究院の飛松教授のご協力の下、九州大学大学院芸術工学研究院の総合研究棟2Fにあるスタジオにて行った。

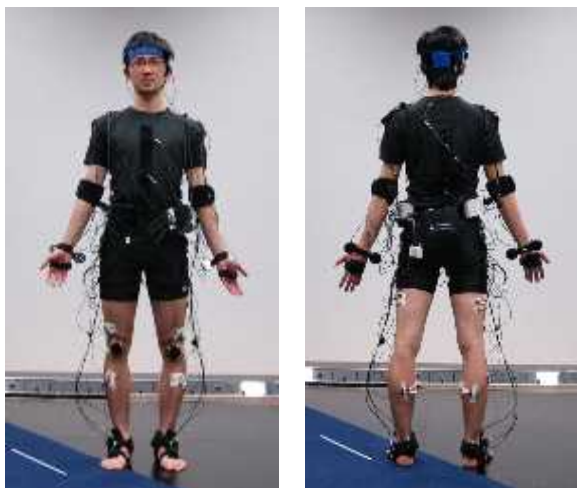


図 1 モーションキャプチャのマーカおよび電極装着後の写真

(mV)

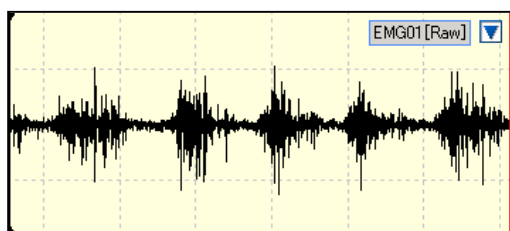


図 2 普通歩行時の筋電図  
右足外側広筋の波形



図 3 足圧分布  
進行方向右側、前足が右足  
色が濃いほど高い圧力値を示す

歩行実験に際して、被験者がパーキンソン病患者の場合は、専門家により、病歴や病状などの質問を行い記録する。

歩行実験は、1日に1人の被験者を対象とし、複数の動作を記録する。記録する動作は、パーキンソン病患者については、普通歩行、メトロノームありの普通歩行を記録する。また、歩行動作とは別に、後方突進を記録する。健常者については、普通歩行、メトロノームありの普通歩行、爪先立ち歩行、踵立ち歩行、継ぎ足歩行を記録する。

歩行動作は、モーションキャプチャシステムのフレーム内に設置した足圧分布測定装置のセンサシート上にて行う。この際、被験者は、モーションキャプチャシステムのマーカ、筋電図記録装置の電極を装着し、ビデオカメラと合わせて、4つの装置の記録を同時に行う。

モーションキャプチャシステム、筋電図記録装置、足圧分布測定装置、およびビデオカメラが出力するデータはフレーム単位で定期的な時間間隔で出力される。それぞれのフレームデータには、整数のフレーム番号が割り当てられる。筋電図記録装置と足圧分布測定装置は同期が取れているので、各装置のフレーム0番のデータは同一時刻である。また、ビデオカメラと筋電図記録装置も同期が取れている。ところが、モーションキャプチャシステムはその他と同期が取れていない。そこで、歩行実験は以下の手順で行っている。

- 筋電図記録装置の収録スタート

- ▶ ビデオカメラ、足圧分布測定装置の収録が自動スタート
- モーションキャプチャシステムの収録スタート
- 被験者が一度手を上げてから歩行開始

こうして、歩行実験の終了後に、ビデオ画像の手を上げた時点と、モーションキャプチャで手を上げた時点との対応を取り、その対応で、動作の開始フレームを一致させる。

上記の手順で歩行実験用通路を往復する普通歩行を収録した。また、異なる被験者間で、同じリズムの歩行を行うために、メトロノームを用いた歩行も合わせて収録した。このメトロノームの拍子は 90BPM (Beat Per Minute) としている。

健常者においては、普通歩行のほかに、爪先立ちでの歩行、踵での歩行、継ぎ足歩行も収録した。

また、パーキンソン病患者においては、歩行動作とは別に後方突進 (retropulsion) と呼ばれる現象についても収録する。これは、肩を後方に勢いよく引くことにより起こる現象で、健常者であれば難なく姿勢を立て直せるところを、パーキンソン病患者は後方へ突進するように、自分 1 人の力では止まれなくなってしまう現象である。

## 4. データベース

本章では、歩行動作データベースの説明を述べる。歩行実験データのデータベースは、リレーショナルデータベースと XML データベースの両方で設計を行っているところであるが、本稿では、XML についてのみ報告する。

リレーショナルデータベースを作成することにより、SQL などの問い合わせ言語を用いて、データの検索や集約などの扱いが行える。一方、XML データベースにおいても、XPath などを用いて、データの検索が可能である。加えて、歩行実験データを XML ドキュメント化することにより、他者とのデータのやり取りに向いている。

### 4.1. XML での記述

ルート要素を<歩行実験>として、XML ドキュメントを作成する。この要素に、歩行実験の

記録を記述する。子要素として、<日付>、<使用機器>、<被験者>、<動作>を持つ。

この XML ドキュメントには、歩行実験に関するデータを全て記述する。実験の実施日、使用した機器、被験者に関する情報、および歩行実験により得られるデータを 1 次データとして記述する。

#### 4.1.1. 使用機器

使用機器を記述するために、要素<使用機器>を設ける。子要素として、<モーションキャプチャシステム>、<筋電図記録装置>、<足圧分布測定装置>を持つ。さらにこれらの要素の子要素として、製品名や製造社名、サンプリング周波数、マーカやチャンネルの数など、それぞれの機器の情報を持たせる。

#### 4.1.2. 被験者

被験者に関する情報を記述する要素を設ける。この要素には、被験者の年齢、性別、疾病、身長 (cm)、体重 (kg)、右足の長さ (cm)、右足の周囲 (cm)、右足の幅 (cm)、左足の周囲 (cm)、左足の幅 (cm)、骨量 (kg)、基礎代謝 (kcal)、体水分量 (kg)、筋肉量全身 (kg)、筋肉量右腕 (kg)、筋肉量左腕 (kg)、筋肉量右足 (kg)、筋肉量左足 (kg)、体脂肪率全身 (%)、体脂肪率右腕 (%)、体脂肪率左腕 (%)、体脂肪率右足 (%)、および体脂肪率左足 (%)を記述する。

これらのデータは、被験者への質問、身長計、メジャー、および体脂肪計を用いて得られる。

#### 4.1.3. 動作

歩行実験により得られる、モーションキャプチャシステム、筋電図記録装置、足圧分布測定装置のデータを記述する。要素<動作>は、属性として、測定した動作の名前、メトロノームの使用の有無、同一動作の測定回数を記述する。子要素として、<モーションデータ>、<筋電データ>、<足圧データ>を持つ。

これらの要素は各機器により記録されたフレームに従って、子要素を設け、それぞれ得られるデータを記述する。モーションデータでは、フレーム毎に要素<モーションフレーム>を設け、子要素<マーカ>の属性にマーカ位置の x, y, z 座標 (mm) を記述する。筋電データでは、フレーム毎に要素<筋電フレーム>を設け、子要素<被験筋>属性に筋電位 (mV) を記述する。

足圧データでは、フレーム毎に要素 <足圧フレーム> を設け、子要素<センサー>の属性に圧力値を記述する。

図 4 に XML ドキュメントの構造を定義した DTD の一部を示す。

#### 4.2. 歩行周期

本研究では、歩行動作に焦点を当てて歩行実験を行っている。そこで、XML で歩行実験データを記述する際に、収録した各フレームに属性として、歩行周期の各歩行時期を付加する。

歩行周期とは、一方の足の踵が地面に着いて、離れてから、もう一度その踵が地面に着くまでを 1 歩行周期としたもので、その 1 歩行周期の中で足の状態によりいくつかの歩行時期に分割されている [5]。

一方の足に注目し、その足が地面に着いている状態を立脚相、浮いている状態を遊脚相と呼ぶ。これらの相は、足の状態により分類される。

- 歩行周期
  - 立脚相：足が地面についている状態
    - ◇ 踵接地期：踵が地面に着地した時
    - ◇ 足底接地期：足底が地面に着いた時
    - ◇ 立脚中期：全体重が足にかかった時
    - ◇ 踵離床期：踵が地面から離れ始める時
    - ◇ 踏切期：足が地面をけり離れる時
  - 遊脚相：足が地面から浮いている状態
    - ◇ 加速期：足を前方に振り出すために加速する時
    - ◇ 遊脚中期：足が体の真下を通り過ぎる時
    - ◇ 減速期：前方に振り出された足が減速する時

以上の歩行時期を、4.1.3 での各フレームの要素に属性として記述する。要素 <モーションフレーム>、<筋電フレーム>、<足圧フレーム> 属性に、それぞれ“右足歩行期”、“左足歩行期”を設け、上記の歩行周期の時期を記述する。これにより、ある歩行時期のデータのみを参照することが、XPath などを用いて可能となる。

```
<!ELEMENT モーションデータ (モーションフレーム+)>
<!ELEMENT モーションフレーム (マーカ+)>
<!ATTLIST モーションフレーム
    番号 CDATA #REQUIRED
    TIME CDATA #REQUIRED
    右足歩行期 CDATA #REQUIRED
    左足歩行期 CDATA #REQUIRED>
<!ELEMENT マーカ EMPTY>
<!ATTLIST マーカ 名称 CDATA #REQUIRED
    x CDATA #REQUIRED
    y CDATA #REQUIRED
    z CDATA #REQUIRED>
```

図 4 歩行実験.dtd

## 5. おわりに

歩行実験によって得られたデータをデータベース化するため、XML 記述の設計を行った。歩行実験によって得られるデータは、歩行を様々な角度から捉えることができるものであり、これをデータベース化することにより、歩行分析の分野において貢献できることが期待される。例えば、データベース問い合わせ言語を使用し、複数の被験者のデータを抽出し、ある歩行時期でのデータの違いなどを分析することが可能となる。また、アニメーションを用いて、異なる被験者の動作を比較する等の応用を行う。今後は、歩行実験で得られたデータに加え、アニメーションのデータや、モーションキャプチャシステムのデータから関節角度を計算したもの等を 2 次データとして考えていく。これらのデータの活用法を見出しながら、最終的には、様々な運動障害を有する患者の動作を集めて、病を知るデジタルヒューマンデータベースの構築を目指す。

### 【謝辞】

本研究は、九州大学大学院 医学研究院 飛松省三教授、九州大学大学院 芸術工学研究院 源田悦夫教授、河野央先生、および源田研究室の皆様、国際医療福祉大学 桐本光先生との共同研究であり、研究を進める上での多くのご助言とご協力に感謝します。

[http://www.nitta.co.jp/product/mechasesensor/tactile\\_product\\_medical.html](http://www.nitta.co.jp/product/mechasesensor/tactile_product_medical.html)

本研究費の一部は、科研番号 16200005、研究種目 基盤研究 (A)、研究課題名 「病を知るデジタルヒューマン」 研究開発—医学応用のためのコンテンツ作り— による。

## [文献]

- [1] Hiroshi Mitoma, Ryoichi Hayashi, Nobuo Yanagisawa, Hiroshi Tsukagoshi, “Characteristics of parkinsonian and ataxic gaits: a study using surface electromyograms, angular displacements and floor reaction forces”, Journal of the Neurological Sciences, Volume 174, Issue 1, pp.22-39, 2000,
- [2] Prem Kuchi, Raghu Ram Hiremagalur, Helen Huang, Michael Carhart, Jiping He, Sethuraman Panchanathan, ”DRAG: A Database for Recognition and Analysis of Gait”, Proceedings of International Society for Optical Engineering (SPIE), Vol.5242, pp.115-124, Nov 2003
- [3] Stefan Grunvogel, Jens Piesk, Stephan Schwichtenberg, Gregor Buchel, “AMOBAS : A Database System for Annotating Captured Human Movements”, Computer Animation 2002, pp.98-102
- [4] 数藤 恭子, 寫田 聡, 飯田 行恭, 高橋 裕子, 大塚 作一, “足圧中心の時間的な移動と空間的な移動軌跡に基づく歩行の良さの定量評価”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J87-D-II No.10 pp.1951-1962, 2004
- [5] 歩くということ  
<http://www.phoenix-c.or.jp/~hideo/reha/kouen/092aruku.html>
- [6] 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター  
<http://www.dh.aist.go.jp/>
- [7] Alias  
<http://www.alias.co.jp/>
- [8] Ascension Technology Corporation  
<http://www.ascension-tech.com/products/realactor.php>
- [9] キッセイコムテック株式会社  
<http://www.kicnet.co.jp/>
- [10] ニッタ株式会社