

〔非公開〕

TR-C-0095

脊椎骨格モデルを用いた人物  
動作の再構成の研究について

成山 桂一  
Keiichi NARIYAMA

大谷 淳  
Jun OHYA

岸野 文郎  
Fumio KISHINO

1 9 9 4 . 1 . 1 4

A T R 通信システム研究所

# 脊椎骨格モデルを用いた人物動作の再構成の研究について

成山 桂一 大谷 淳 岸野 文郎

A T R通信システム研究所

## 要旨

臨場感通信会議における人物像、特に胴体の3次元モデル化方法として人間の骨格構造に注目し、どのように人物モデルを構築するかについて、再構成時の動作速度、表示の現実感を検討し研究の方向を示す。

研究のアプローチを人物のモデル化方式の検討、動作の再構成時における現実感の評価に大きく分け、各課題について研究の現状を述べた上で問題点を整理し、具体的な研究課題を抽出する。

当面の研究課題として、脊椎骨格構造に基づいた人物胴体モデルの構築と動作検出点の位置および個数の変化にもなる再構成画像の評価の2つを挙げ、これらの研究計画を述べる。

## 1 まえがき

テレビ電話やテレビ会議に代表される映像通信方式は新しい電気通信の一形態として普及が進んでいる。筆者らは、その発展形態として仮想的に生成する共通の会議室の情景中に人物像を合成し、「遠隔地にいる人々があたかも一堂に会する感覚で会議を行なうことができる通信システム」を臨場感通信会議システムと呼び、実現に向けて要素技術の研究を進めている。従来の映像通信においては、相手側の映像を直接あるいはDCT+高能率符号化などの手法によりデータ圧縮された映像データを伝送する方式が中心であるが、いずれの方式においても高速かつ大量にデータを伝送する必要がある。

一方、テレビ会議で扱われる映像は人物像を中心とした会議室内の情景であり、筆者らは対象をこれらに限定した分析合成符号化方式の検討を進めている。この方式では、対象物を3次元形状モデルと基準画像（テクスチャ画像）で記述し、通話開始前にこれらを受信側へ伝送しておき、送信側で対象物の動きを抽出し受信側へ伝送し、受信側は動き情報に応じてモデルと基準画像を変形し、対象物の画像を再構成する。この方法により、大幅な伝送データ量圧縮が期待でき、かつ3次元形状と動きが生成できるため、臨場感通信会議システム実現のためには有効な方式であると考えられる。

人物像の3次元形状モデル化において、従来は人体をスティックモデルで近似していたが、現在では動きはスティックモデルを基準とした構造モデルで行ない、各部位の3次元形状データを用いて立体表示を行なう方式が盛んに提案されている。これらの方式では、腕や脚などの動作に関しては非常に高い現実感が得られているが、胴体に関しては少数の関節でモデル化されているため、他の部位の動作に比べ現実感は低い。人体運動の現実感を増すため、解剖学に基づいた脊椎運動モデルの導入が報告されているが、現状ではマウスおよびキーボード入力によるオフラインでの計算機シミュレーションが実現されている程度である。

本論文では、臨場感通信会議における人物胴体動作に着目し、その現実感の向上を目的として脊椎骨格モデルを提案すると共に、再構成に用いる動作検出点の数と位置に対する現実感の評価方法について述べる。

## 2 3次元人物モデルの現状と課題

### 2.1 3次元人物形状モデルの現状

人物を3次元形状モデルで記述し、モデルを変形することで動作の再構成を行なう試みがなされているが、センサや画像処理などの手法により動作状況を認識し、オンラインで動作の再構成を行なっている例は少ない。表1に人物像の3次元形状モデルと動作の再構成に関する試みを示す。

表1

研究機関名	目的	モデルの方式	表示	高速性	両手、頭の現実感	胴体の現実感
東大生研 文献[1]	単眼視画像による歩行動作の認識、再構成	スティックモデル	サーフェス	○	—	—
A T R 文献[2]	ステレオ画像による頭、両手の位置認識、全身動作の推定および再構成	構造モデル（スティック）+人物形状モデル（DB使用時）	サーフェス/テクスチャ（人物形状DB使用時）	○	△	X
A T R 文献[3]	磁気センサによる上半身動作の認識、肘の位置の推定および動作の再構成	構造モデル（スティック）+人物形状モデル+運動モデル	テクスチャ（自然画像）	◎	◎	△
日立研究所 文献[4]	歩行動作の解析に基づいた人物動作のアニメーション制作支援ツールの開発	構造モデル（スティック）+形状モデル+運動モデル	テクスチャ	X	◎	○
Pennsylvania Univ. 文献[5]	インタラクティブな人物胴体動作の解剖学的シミュレーション装置の構築	脊椎構造モデル+胴体形状モデル+脊椎運動モデル	サーフェス	△	—	◎

文献[1]は人物像をスティックモデルで近似し、単眼視画像より脚の動作区分点に付けられたマークの位置を認識して歩行動作を再構成するものであるが、スティック表示であるため現実感是非常に低い。

文献[2]は文献[1]と同様に動作をスティックモデルで行なっているが、人体形状をデータベース化しており、表示はスティックの代わりにテクスチャを有した立体形状表示を実現しているため現実感が高い。動作認識はステレオ画像から頭と両手の位置を計測し、動作データベースを用いて動作推定を行なっているが、データベースへの登録パターン以外の動作認識は困難である。

文献[3]は文献[2]の考えに基づいた3次元上半身（頭、胸、両腕より構成）モデルを提案し、動作認識に関しては磁気センサを頭、胸、両手の4箇所に装着し、各センサから得られる位置、回転角度データを用いて動作の再構成をオンラインで行なっている。この方式では動作に依存しない再構成が可能であり、頭および腕については非常に現実感の高い動作が再現されているが、胴体を剛体としてモデル化しているため、胴体の捻り、屈曲を共なる動作に関しては胴体のかわりに腕および頭を動かすこととなり、胴体に関しては人物本来の動作を再現できない問題がある。

文献[4]は胴体に4個の関節を持つスティックモデル（表示は形状データによる立体表示）を用い、歩行動作における特徴量をパラメータとして与え、各種の歩行動作を再現するシステムに関する論文である。このシステムはオフラインの人物動作アニメーション制作支援ツールであるが、胴体動作に関して高い現実感が得られている。

文献[5]は対象を胴体に限定し、解剖学的な脊椎運動モデルを用いた脊椎と胴体の運動モデルに関する論文である。モデルは計算機上にインプリメントされており、その変形はマウスおよびキーボードからの入力により行なうが、選択された脊椎以外の脊椎も運動方程式に基づいて動作するため、サーフェス表示であるが非常に現実感の高い胴体動作の再構成が実現されている。

以上まとめると

- 1) 構造モデルはスティックが中心であるが、形状モデルとの併用により現実感が高まってきている。
- 2) 上半身における腕および頭の動作に関しては、1)の方式でほぼリアルな再構成が実現されている。
- 3) 胴体の動作に関しては、1)の方式では細かな動作の再構成が困難であり、骨格系運動モデルへのアプローチがなされている。

となり、胴体のモデル化および再構成に関する試みは未だ不完全であり、モデルの構成や動作認識方法など多くの研究余地が残されている。

## 2.2 具体的課題の抽出

第1項で述べたように研究課題として大きく胴体モデルの構成と動作認識方法の2つに大別したが、詳細を以下に述べる。

### 2.2.1 胴体モデルの構成

会議において主体となるのは会議参加者であり、臨場感通信会議においては、これらの人物を如何に高い現実感で表現できるかが問題となる。第1項で述べたように「腕」および「頭」に関しては剛体として取り扱うことができるため、スティックモデルをベースとした3次元形状表示方式で十分であると考えられるが、「胴体」に関しては1つの剛体として取り扱うことは「再構成の精度」の点で問題がある。

胴体動作を精度良く再構成するためには、脊椎の運動に基づいたモデルの適用が望ましいが、文献[5]以外には研究例が無い。このモデルは椎間板の変形なども考慮した解剖学的モデルとなっており、精度は非常に高いが、サーフェス表示で約10フレーム/秒であり、オンラインでの再構成は実現されていない。

ここで臨場感通信会議システムに必要な胴体モデルの基礎的課題として以下の3項目が挙げられる。

- 1) 工学的な脊椎運動モデルの構成
- 2) テクスチャによる高速立体表示(10~15フレーム/秒)
- 3) オンラインでの再構成

### 2.2.2 動作認識方法

脊椎運動モデルを用いて動作の再構成を行なうための基礎的課題として以下の2項目が挙げられる。

- 1) 動作検出点の位置および数の評価
- 2) 動作検出方法および処理時間

### 3 研究計画

前節で明らかにした2つの研究課題について、それぞれの研究計画を表2に示す。

胴体モデルの構成に関する研究のステップとしては、先ず胴体形状を鉛直方向に脊椎骨の長さに基づいて33個に分割し、構成単位としてデータベース化する。次にCGを用いて動作の再構成を行なうため、各構成単位をマトリックスで記述し、CGモデルを作成する。さらに脊椎の関節の機能を工学的に再現し、これらの関節を組み合わせるにより脊椎運動モデルを構築する。

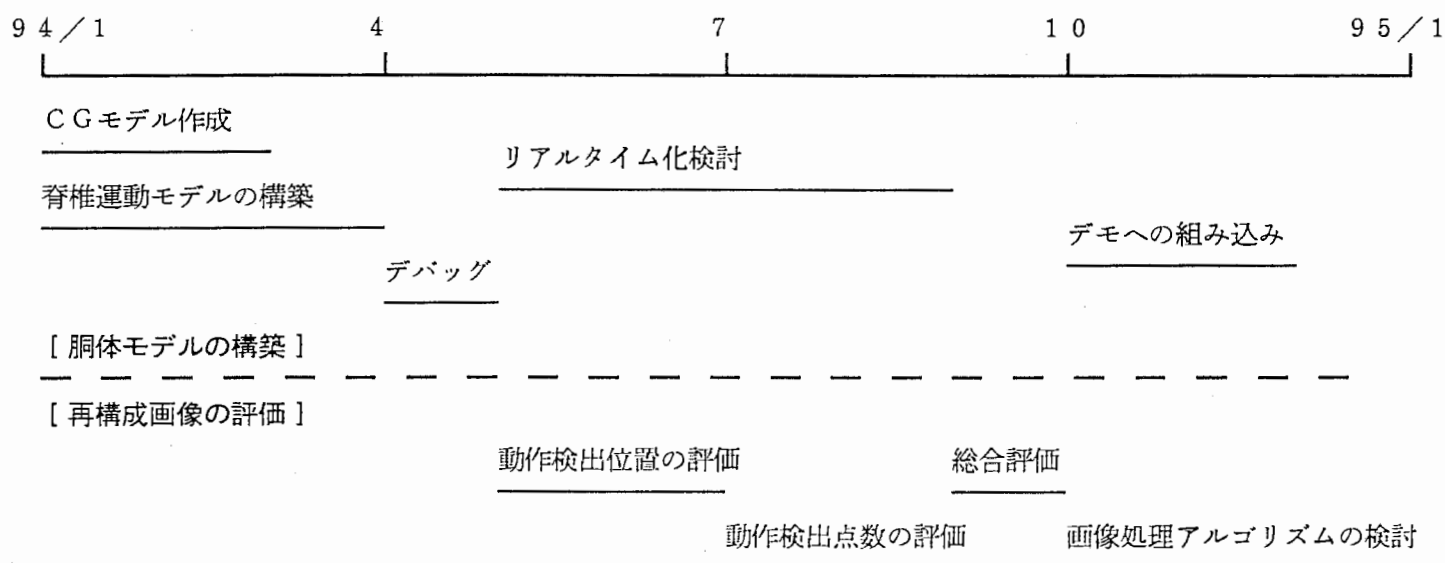
動作の再構成に関する研究のステップとしては、先ず脊椎を胸部、腰部など解剖学的な領域に分割し、動作検出点を数点設ける。次に動作検出点の位置および数の異なった数種類のシミュレーションパターンを用意し、これらを客観評価実験により検出点の最適な位置と数の評価を行なう。

次のステップとして

- 1) リアルタイム化
- 2) 画像処理による動作検出点抽出アルゴリズム

の各検討を行ない、実際のシステムへの応用化を目指す。

表2



## 4 当面の研究内容

### 4.1 脊椎運動モデルの構築

現在の人物モデルにおいては胴体の曲げや捻り動作を忠実に再構成することは困難である。そこで、この問題を解決するため胴体を脊椎の骨格構造に基づいて工学的にモデル化する。

#### 4.1.1 胴体形状モデルの構成

本研究における胴体形状モデルとしては、図1 (a) に示すように脊椎骨を基準とした胴体断面形状プレート（脊椎骨の厚みを持った人体断層形状プレート）を構成単位とし、これらを積み重ねることで胴体を構成する。

胴体形状データの採集についてはサイバーウェアで行ない、胴体断面形状プレートの作成については、得られたデータを各脊椎骨の長さの比率に応じて鉛直方向に分割することにより作成し、各プレートのデータ（形状およびテクスチャ）を人物形状データベースに蓄積する。なお、各プレートは体積に比例した質量を持つものとする。

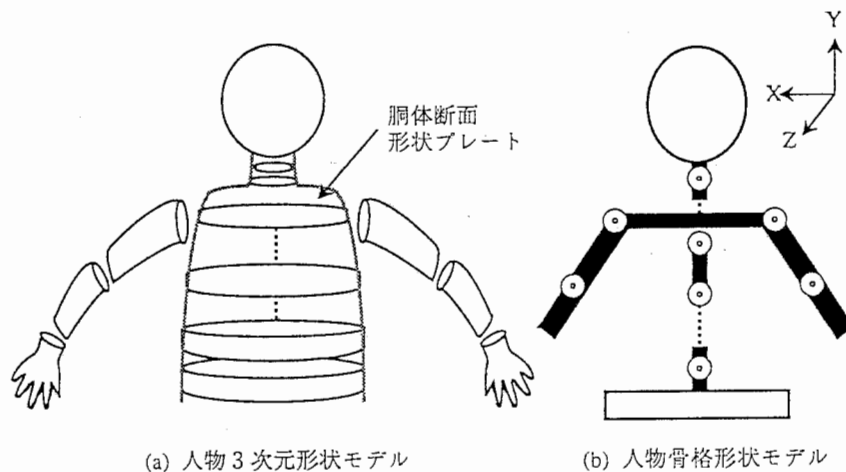


図1 人物胴体モデルの構成

#### 4.1.2 脊椎構造モデルの構成

人間の胴体は33個の脊椎骨より構成されているため、胴体断面形状プレート数は33個、関節数は34個となる。実際の人間の脊椎は胴体の背中側にあり、前後方向に少しS字状に湾曲した骨格構造をもっているが、本研究においては、脊椎は図1 (b) に示すように胴体断面形状プレートの中心にあり、鉛直方向にまっすぐに伸びた骨格構造をもつものとしてモデル化する。

人間の脊椎の関節は、椎間板と両端の脊椎骨をつなぐ靭帯によって構成されており、靭帯に加えられた力により椎間板が変形し、その結果として関節が曲がるという構造をもっている。そこで

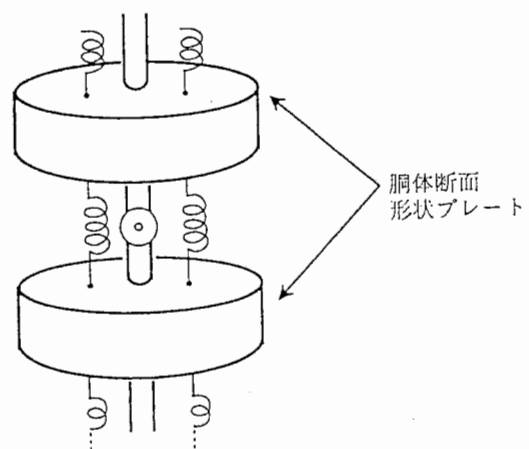


図2 関節の工学モデル

本モデルでは、図2に示すように椎間板の機能をX, Y, Z軸に対して3自由度を持ったリンク機構で再現し、靭帯の機能を一对のバネで再現し、バネを関節の両端の胴体断面形状プレートに接続することにより、工学的にモデル化する。この関節モデルを図1(b)の骨格モデルに適用し、脊椎構造モデルとして人物構造データベースに蓄積する。

#### 4.1.3 CGモデルの構成

動作の再構成は、図1の人物形状モデルおよび脊椎構造モデルよりCGモデルを作成し、これを図3に示す実験システムにインプリメントし、胴体に装着した磁気センサから得られるデータに基づいてCGモデルを変形することにより行なう。

CGモデルの作成は、図1(a)に示す各胴体断面形状プレートの動き(回転, 平行移動)を4X4のマトリックスで記述することにより行ない、入力データに応じて随時マトリックスのパラメータ(回転角度, 座標データ)を変更し、これらのマトリックスに基づいて各胴体断面形状プレートを動かすことにより動作の再構成を行なう。

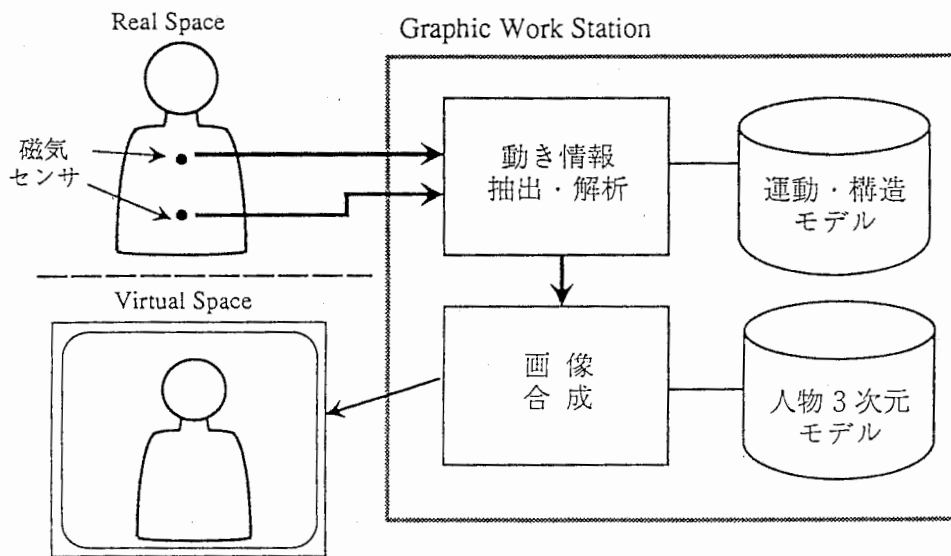


図3 実験システム構成

#### 4.1.4 脊椎運動モデルの構築

関節の動作に関しては各回転軸に対してバネの運動方程式を定義し、これらの運動方程式を解くことにより関節角度を決定する。

関節の運動方程式は

$$R(\theta)\theta'' + B(\theta, \theta')\theta' = \tau + G(\theta)$$

で表される。但し、 $\theta$ は関節角、 $R$ は慣性項、 $B$ は遠心力と摩擦力、 $\tau$ は関節回りのトルク、 $G$ は重力項である。

得られた関節単体の運動方程式を、脊椎の構造に基づいて組み合わせることにより、脊椎運動の方程式を定義し、この方程式を解くことにより姿勢を決定する。

## 4.2 再構成画像の評価

各脊椎骨の動きを検出し、それらに基づいてモデルを変形することにより動作の再構成は可能であるが、検出点数の増加やシステムの大型化など臨場感通信会議システムへの適用は困難である。そこで評価実験を実施することにより、動作の再構成に必要な動作検出点の数および位置を求める。

### 4.2.1 動作検出位置の評価

本研究において、胴体形状モデルは33個の胴体断面形状プレートにより構成されているが、それぞれのプレートの変位（回転、平行移動）をセンサで計測するのは困難である。そこで、鎖骨につながっている脊椎骨を含むプレートや胸部と腹部との境界に位置するプレートなど動作の再構成に重要と考えられるプレートを動作検出点とし、これらの点に磁気センサを取り付け、センサから得られるデータをもとに脊椎運動方程式を用いて各関節の角度を決定する。

動作検出位置の選定については、6種類程度の動作検出点を設定し、これらのうち4点を組み合わせたセンサ取り付け位置パターンを作成する。これらのパターンを用いて、実際の動作と再構成動作との評価実験を行なう。実験により各動作検出点のスコアを求め、実験データを解析することにより各動作検出点の動作の再構成における重要度を求める。

### 4.2.2 動作検出点数の評価

動作の再構成においては、磁気センサの装着数が少ないほど利用者の負担を軽減できる。そこで、センサの装着数を変化させた時の再構成画像の品質を評価することにより、動作の再構成に必要とされる動作検出点の数を求める。

評価の方法としては、動作検出位置の評価実験で用いた動作検出点のうちスコアの上位4点を用い、これらを1～4点の範囲で組み合わせた動作シミュレーションパターンを作成する。これらのパターンを用いて、実際の動作と再構成動作との評価実験を行なう。実験により各パターンのスコアを求め、実験データを解析することにより動作の再構成に必要な動作検出点の数を求める。

## 5 むすび

本論文では自然な人物胴体動作の再構成を目的として、脊椎の骨格構造に基づいた工学的な胴体モデルの提案と、動作の再構成に用いる動作検出点の数と位置の決定方法、および当面の研究計画について述べた。今後は演算の高速化、単純化を目指し、デジタル制御理論の適用の検討や、マーカーを用いた画像処理による胴体動作の認識アルゴリズムの検討を行ない、臨場感通信会議システムへのインプリメントを行なう予定である。



本文では引用せずとも参考文献として [6][7][8][9][10][11] を挙げた。

## 参考文献

- [1] 木本 伊彦, 梶谷 昭彦, 安田 靖彦: "スティックモデルに基づく単眼視画像からの人体歩行運動の解析の一手法", 信学論D - 2, Vol.J74-D-2, No.3, pp.376-387, 1991
- [2] 石井 浩史, 望月 研二, 岸野 文郎: "人物像合成のためのステレオ画像からの動作認識法", 信学論D - 2, Vol.J76-D-2, No.8, pp.1805-1812, 1993
- [3] 石井 浩史, 大谷 淳, 岸野文郎: "臨場感通信会議における上半身動作の再構成の一検討", 1993 信学秋大 A - 173, 1993
- [4] 鶴沼 宗利, 武内 良三: "コンピュータアニメーションにおける感情を伴った人間の歩行動作の生成方法", 信学論D - 2, Vol.J76-D-2, No.8, pp.1822-1831, 1993
- [5] Gary Monheit, Norman I. Badler: "A Kinematic Model of the Human Spine and Torso", IEEE Computer Graphics & Applications, Vol.11, No.2, pp.29-38, 1991
- [6] 岸野 文郎, 山下 紘一: "臨場感通信のテレコンファレンスへの適用", 信学技報, IE89-35, 1989
- [7] 木本 伊彦, 安田 靖彦: "知的動画像符号化のための動物体のフレーム表現の一方式", 信学論D - 2, Vol.J72-j72-D-2, No.9, pp.1356-1363, 1989
- [8] 木本 伊彦, 安田 靖彦: "階層的スティックモデルによる人体歩行運動の知的符号化", 1991 信学春大 A - 259, 1991
- [9] Cary B. Phillips, Jianmin Zhao, Norman I. Badler: "Interactive Real-time Articulated Figure Manipulation Using Multiple Kinematic Constraints", Computer Graphics, Vol.24, No.2, pp.245-250, 1991
- [10] Norman I. Badler, Philip Lee, Cary Phillips: "The Jack Interactive Human Model", Am Soc Mech Eng Des Eng Div, Vol.22, pp.123-130, 1990
- [11] 片山 正純, 川人 光男: "筋肉・骨格系の運動制御を行う並列階層制御神経モデル", 信学論D - 2, Vol.J73-D-2, No.8, pp.1328-1335, 1990