

「高度メディア社会の生活情報技術」  
平成13年度採択研究代表者

金出 武雄

( (独) 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究ラボ ラボ長)

## 「デジタルヒューマン基盤技術」

### 1. 研究実施の概要

デジタルヒューマンは、人が関わるシステムにおけるWeakest Linkを解決するために、人間機能をコンピュータ上に実現したモデルである。モデル化すべき人間の機能を、生理解剖、運動機械、心理認知の3つの側面で考え、人間機能の統合モデルをめざす。デジタルヒューマン基盤技術はこのための、人を観察する技術、モデルで再現する技術、結果を提示する技術、から構成される新しい複合境界領域の分野である。本研究では、(a) 人間機能の統合的モデリングをめざす“人を知るデジタルヒューマン”を基軸とし、その具体的事例として、(b) システムが人間を観察し、人間を支援するように環境を制御する“人を見守るデジタルヒューマン”、(c) デジタル空間の中で人間と環境の親和性を評価し、人間と調和がとれるよう実環境を設計する“人に合わせるデジタルヒューマン”を研究する。また、(d) これらの技術環境を与える“デジタルヒューマンプラットフォーム”を構築し、公開する。これらの具体的研究課題を通じ、実際的成果をあげつつ、知的資産を形成し、新研究分野デジタルヒューマンの確立に寄与する。

### 2. 研究実施内容

#### (1) 人を知るデジタルヒューマン

人間の生理・感覚・運動・心理機能を統合的にモデル化する研究として、具体的な研究課題を設定して研究を進めた。第1は、触覚をキーとしたシステムと人とのインタラクション、第2は、運動をキーにした人の心理状態推定、第3は生理・心理反応をキーにした人と人とのインタラクションである。

第1の研究として、人間がシステム(モノ)と接するときのなぞり動作を対象とし、そのときの指先変形を精密計測するシステムを開発した。なぞり動作を再現性良く実現するため、指を固定し、対象であるガラス面(ステージ)を駆動させた。開発したシステムは100Hzでの計測が可能で、得られた指先画像の指紋情報から、すべり量を計算できる。画像分解能は30 $\mu$ m/画素である。本研究の成果は、(3) 人に合わせるデジタルヒューマンのデジタルハンド研究に活用される。第2は、人間の自然な運動データから、人間の心理的な圧迫や焦り、リラックスなどの因子を抽出する研究である。ここでは、ダンスセラ

ピーと呼ばれる分野で用いられているCohenの理論を用いて、動作者の心理状態を解釈する方法を研究した。人間の四肢の関節角度から、Cohenの5つの運動制御パターンの因子が、どの程度含まれているかを可視化するソフトウェアを開発した。第2の研究の成果は、(2) ヒトを見守るデジタルヒューマンで活用される予定である。第3は、局所麻酔下での医師と患者のインタラクションをモデル化し、手術練習用のシミュレータを開発する研究である。平成14年度では、13年度に収集した手術中の医師の行動と、患者の心拍変動のデータを分析した。医師の行動を手術フェーズに基づいて区分し、それに対する患者の心拍数の変動を調べた。その結果、休憩区間と手術操作区間とで、患者の心拍数に統計的な有意差が認められた。また、手術状況変化によると思われる遅い心拍変動も認められた。

### (2) 人を見守るデジタルヒューマン

寝室や居室を想定した空間に、さまざまなセンサを備え、生活者の状態をモニタリングすることで、生活を支援する「Enabling Environment」の構築を目指す。平成14年度では、居室内での生活者行動をモニタリングするセンサシステムの開発を行った。センサとしては、対象物に無線の超音波発信器を、居室空間（壁面や天井）に数多くの受信機を配置した。個々の受信機では、発信器までの距離のみが計測できる。受信機の位置が既知であれば、複数受信機で受信した同一発信器の距離情報から球面の方程式によって、発信器の位置を特定できる。ただし、超音波の回折・反射などでエラーデータが混入した場合、極端に真値から外れた位置を計算してしまう。そこで、エラーデータを含む冗長センサ情報から、頑健に位置推定をする技術として、RANSAC (RANdom SAmple Consensus) を活用した。この結果、約4.0m立方の空間で、20~80mm程度の誤差で位置計測ができるようになった。

このように数多くのセンサを分散配置する計測システムでは、センサ間の情報のやりとりを扱うソフトウェア基盤（ミドルウェア）が不可欠となる。ここでは、Ethernet, RS232C, RS-485, Responsive Link等の利用を想定し、超音波センサだけでなく、CCDカメラ、マイクロフォン、圧力センサアレイなども扱える分散センサネットワーク・ミドルウェアGRACEを開発した。また、超音波発信器（超音波式3次元タグ）を取り付けた対象物を、容易にセンサ化するモデリングシステムを開発した。これは、超音波式3次元タグシステムの物理センサ層に、仮想センサ層と対象物センサ層の階層を持つもので、簡単なステレオ視を用いて対象物の幾何学形状をモデル化し、対象物間のインタラクション（接触や角度変化など）を仮想的に検出する機能を設定できるようになっている。

### (3) 人に合わせるデジタルヒューマン

人体の静的な形状をモデル化し、その個人差を定式化することで、人体に直接フィットする製品（靴、衣服、メガネなど）の適合性を向上させるための具体的研究を進めた。頭部については、経済産業省のプロジェクトで開発した頭部形状計測装置を用いて、青年男女100名、高齢者男女200名の頭部形状を計測した。同時に計測した解剖学的特徴点データに基づいて、頭部の形状を、解剖学的に対応付けられた同一点数・同一幾何学構造の形状モデル（相同人体形状モデル）で表現する方法を開発し、ソフトウェアとして実装した。

足部に関しては、企業との共同開発による新しい可搬型足形状スキャナを用いて、足形状データを計測し、データベースを構築した。また、足形状データから足の相同人体形状モデルを自動生成するソフトウェアを開発した。相同人体形状モデルによって計算される足形状に適合する靴型を自動構成する技術については、靴業界で広く利用されている「かがみ式」のノウハウをモデル化し、専用のソフトウェアとして実装した。

人体形状に、感覚と動的変形機能モデルを統合する研究では、ステレオビジョンを利用した足部形状の4次元計測システムの基礎的検討を行った。平成14年度は、コンピュータグラフィクスによるシミュレーションで、理論的な分解能やカメラ配置に関する検討を行った。この結果、VGAサイズのカメラを10台配置した場合、目標精度（誤差1mm）を満足できることが分かった。一方、感覚をモデル化する研究では、足部の触覚感度の部位差について、Semmes-Weinstein monofilament法で実験を行った。成人男女72名の計測データから、足部の触覚感度には典型的な部位差が見られることが分かった。荷重を受ける踵や足裏では触覚しきい値が高く（感度が鈍く）、一方、足の甲の部分ではしきい値が低かった。

人体の運動特性とシステムの適合性を向上させる研究として、全身の複合動作をコンピュータ上で合成する研究を行った。人間動作は、エネルギー最小や躍度最小のような、criteria（決定基準）を仮定して軌道計画問題として解くアプローチが多い。ただし、荷物を持ち上げて棚に格納するというような複合動作では、単一のcriteriaで運動を生成するのは難しい。そこで、「人間は、異なる運動決定基準をなめらかに切り替えながら複合動作を生成している」という仮説に基づき、実測した運動データを分析して、関節トルクと重心安定性の2つのcriteriaを時々刻々最適配分する動作生成モデルを開発した。これを用いて、持ち上げ動作の2次元シミュレーションを実現した。

#### （4）デジタルヒューマンプラットフォーム

人体寸法データの海外配布（10件程度）、頭部形状データの提供、足部形状データベース（600名分のデータ）の構築を行った。

ヒューマノイドの研究としては、その動作生成を実現する運動生成技術の研究と、ロボットが環境や人を認識するためのインタフェース技術の研究を行った。運動生成については、実時間生成に重点を置いた研究と、動力的なバランスの確保と自己干渉・環境干渉を避けた動作計画について研究した。動的なバランス確保には、ZMP（Zero Moment Point）を指標として利用している。初期歩行軌道と理想ZMP軌道を与え、体幹を水平移動することで、理想ZMP軌道を満足する歩行軌道を生成し、ヒューマノイドの歩行で実証した。環境認識インタフェースとしては、ヒューマノイド頭部に設置された2台のCCDカメラの画像から、ステレオビジョンによって距離画像を生成した。さらに、得られた距離画像から三次元ハフ変換による平面検出を実現し、歩行中の床面や段差を認識することに成功した。また、距離画像から人間の大きさの物体を抽出することで、人物を発見する処理も実現した。

ヒューマノイドの歩行をより安定させ、かつエネルギー効率の高いものとするために、

人間の歩行機能をモデル化し、その運動戦略をヒューマノイドに応用する研究を開始した。具体的には、運動計測システムを用いて人間の歩行運動とヒューマノイドの歩行を計測し、床反力、重心移動、関節運動などを比較した。この結果、全体的なパターンは良く類似しているが、ヒューマノイドが上下方向の重心移動が全く見られないのに対して、人間は1歩行周期に2回のピークを持つ重心移動が見られる。関節運動を見てみると、人間はこの2回の重心の上下動に合わせて、股関節を活動させている。重心の上下動は、頭部の動き（視点移動）や位置エネルギーの浪費などの欠点があるが、逆に、その上下動に合わせて股関節ピッチ軸を働かせることで、ヨー軸まわりのモーメントを打ち消し、状態を安定化させていることが明らかになった。平成15年度では、この運動戦略をヒューマノイドの安定歩行制御に適用していく予定である。

### 3. 研究実施体制

#### ①人を知るデジタルヒューマン研究グループ

研究分担グループ長：

持丸 正明（産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ、副ラボ長）

研究項目：

- ・触覚機能モデル（人とモノとのインタラクション）
- ・心理運動モデル（運動からの心理状態推定）
- ・局所麻酔下の患者の心理生理反応モデル（人と人とのインタラクション）

#### ②人を見守るデジタルヒューマン研究グループ

研究分担グループ長：

西田佳史（産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ、研究員）

研究項目：

- ・睡眠時無呼吸症候群の観察・同定システム
- ・人の行動を見守るEnabling Environmentの研究
- ・人を見守る分散センサ・ネットワーク用ミドルウェアの開発

#### ③人に合わせるデジタルヒューマン研究グループ

研究分担グループ長：

持丸正明（産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ、副ラボ長）

研究項目：

- ・静的な人体形状モデルと適合製品設計
- ・人体形状に感覚、動的変形機能を統合したモデル
- ・複合全身動作を生成する人体動作モデル

#### ④デジタルヒューマンプラットフォーム研究グループ

研究分担グループ長：

加賀美聡（産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ、主任研究員）

研究項目：

- ・人体特性データコンテンツ
- ・ヒューマノイド基盤技術

#### 4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

##### （1）論文（原著論文）発表

- 持丸正明、適合メガネフレーム開発を目的とした3次元顔形状分類、バイオメカニズム16-生体の物理・運動特性を求めて-、pp.87-99、2002年6月
- 加賀美聡、Development of Soft and Distributed Tactile Sensors and the Application to a Humanoid Robot, Advanced Robotics, Vol.16, No.4, pp.381-397, 2002
- 川地克明、モーションデータベースによる実時間モーション合成手法、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.7, No.4, pp.453-458, 2002
- 倉林準、股関節中心推定方法の比較・検討、バイオメカニズム学会誌、Vol.27, No.1, pp.29-35、2003年2月

##### （2）特許出願

H14年度特許出願件数：2件（研究期間累積件数：2件）