

「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

(デジタルヒューマン研究センター センター長)

「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つの側面を考え、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

人間機能の3つの側面のうち、心理・認知に関わる機能は形状や機械機構のような物理的な手がかりに乏しく、もっともメカニズムが解明されていない機能である。ところが、実際にはこの部分のモデルを含まずに解決できるアプリケーションは少なく、人を見守るデジタルヒューマンや、人に合わせるデジタルヒューマンでもなんらかの心理・認知的な機能を含んだモデルを構成せざるを得ない。そこで、形状や運動よりも心理・認知的側面が強く関わる具体的課題設定を通じて、人間の心理・認知的反応を再現するメカニズムの解明を目指すのが、人を知るデジタルヒューマン研究である。

第1は、手術中の患者の生理・心理反応を再現する研究で、内視鏡下副鼻腔炎手術をトレーニングするための患者シミュレータの開発を具体的課題として設定した。手術中の患者の生理データを蓄積・分析し、確率ネットワークを用いて患者の心理状態を反映し、状況に応じた心拍・血圧挙動を再現するモデルを開発した(図1)。第2は、人間

の動きからその行動を認識する研究である。生物がもつ5つの基本運動様式が人間の心理状態（迷い、退屈、眠気、焦り）に応じて無意識的に発現するという動物行動学の知見に基づき、通常の間行動に、5つの基本運動様式がどの程度含まれているかを定量化する技術「舞紋」を利用する。舞紋で表現される運動様式が大きく切り替わる姿勢をキーフレームとして自動抽出する技術を開発した。モーションキャプチャ装置で計測した一連の動きのデータに対して、同手法を適用して運動を分節化し、分節化された運動クリップをデータベースと照合して運動の意味づけを行う研究を進めた。平成16年度では、一連の運動データを自動的に運動クリップに分節化する技術を開発した。第3は、人間の間違い（ヒューマンエラー）を再現する研究“Digital Human That Errs”である。これは、カーナビゲーション操作時に起こりうる操作エラーを確率的に再現する人間モデルで、操作系の設計と仮想評価に活用できる。平成16年度では、実際のパネル操作の運動データを計測し、運動経路のなかから動作の起点・終点と分岐点になりやすい箇所を自動的に抽出し、それらを通る運動経路で確率的なエラーを発生させるソフトウェアを開発した。

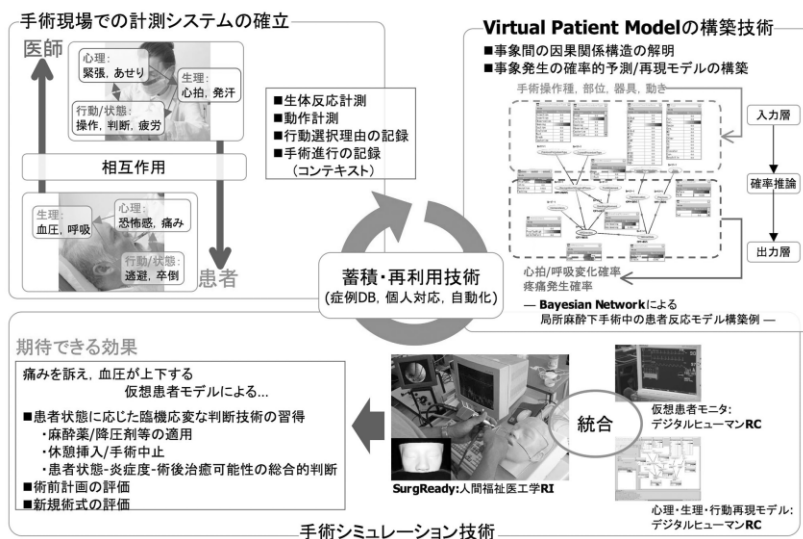


図1 患者シミュレータ

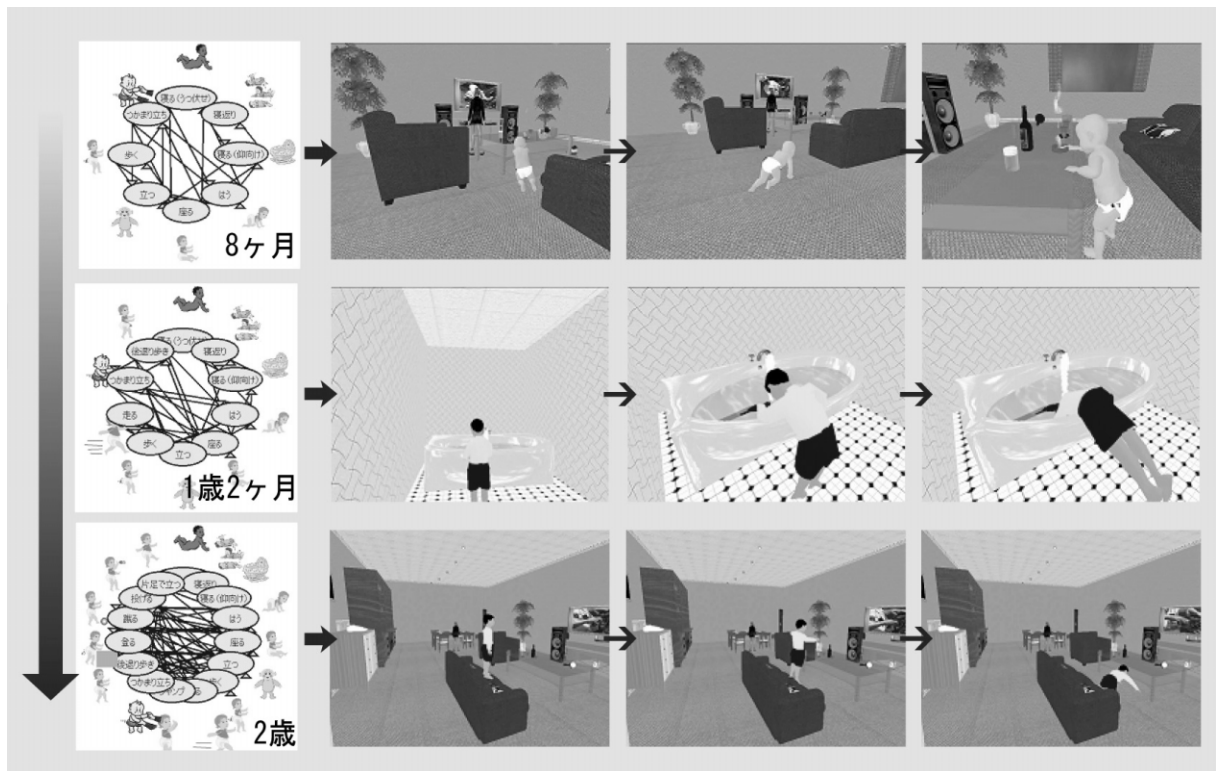


図2 乳幼児行動シミュレータ

(2) 人を見守るデジタルヒューマン

寝室や居室，工場などの生活・就労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”を構築することが人を見守るデジタルヒューマン研究の目標である．平成15年度までに，睡眠時無呼吸症候群のモニタリングを具体例とした生理機能の観察・モデル化技術，および超音波3次元タグ技術に基づく日常生活空間内での観察技術の研究を進めてきた．この観察技術を利用することで，(a) 老人福祉施設での高齢者の夜間行動見守りシステム，(b) 行動を英訳することで英会話学習を支援する“Learning by Doing”システム，(c) 乳幼児の家庭内行動を模擬することで家庭内事故に繋がるハザードを発見，低減する技術，(d) サーバルーム内の行動をモニタリングしてセキュリティを保持するシステム，(e) 工場の製造ラインでの生産行動をモニタリングしてネジの締め忘れ等を検知するシステムなどの具体的アプリケーションに展開できることが明らかになってきた．それぞれ老人ホームや英会話専門学校，小児科医師，企業等と共同研究を進めながら，人間行動を再現するための共通基盤モデルの構成を目指している．平成16年度の具体的成果としては，上記環境に超音波タグセンサを簡便に設置するためのコーン型超音波受信器アレイ，乳幼児の行動発見モデル（Denver-II）に基づく家庭内乳幼児行動シミュレータ（図2）などの開発が挙げられる．

(3) 人に合わせるデジタルヒューマン

人に合わせるデジタルヒューマンでは、設計段階で製品と人間のインタラクションを再現できる人間モデルの構築を目指す。特に、人間の個人差に着目し、ある特定の個人を再現するのではなく、統計的にあり得る人間を再現することに重点を置く。具体的なアプリケーションとして、(a) オンデマンド着用品：人体静的形状に直接フィットする製品の設計（靴、メガネ、衣服、ガスマスク、補装具など）、(b) デジタルマネキン：全身的な運動を伴う製品設計（住宅設備、自動車など）、(c) デジタルハンド：手の機能が重視される製品設計（パッケージ、手袋、カメラなど）の3つを対象とする。それぞれに、企業や服飾系大学などと共同研究を進めながら、人間の構造・形状・運動と適合感・操作性などの製品評価を再現するための共通基盤モデルの構成を目指している。(a) オンデマンド着用品研究では、静的形状から動的形状への発展を見据え、歩行中の足変形を4次元計測する技術を開発した。靴設計に重要な3つの断面の周囲長・形状変形を誤差1mm程度で計測する技術を開発した。また、形状から感覚・感性モデルへの展開では、靴底カーブを自在に変形させる実験装置“Robotic Insole”の試作1号機を開発した。さらに、顔形状とメガネフレームの組合せが与える印象を計算機上で予測するための感性モデルの研究を行った。(b) デジタルマネキン研究では、平成15年度までに開発した肩関節中心推定技術を全身に適用するとともに、この手法を用いて自動車乗降動作を計測した。乗降動作には個人・車種によって戦略にばらつきがあることから、動作の類似度を評価した上で動作戦略を分布図上に表す類型化手法を開発した。(c) デジタルハンド研究では、手のサイズバリエーションに基づく3次元モデルを構成するとともに、特定の手について様々な径のつまみを把持する姿勢を生成する方法を開発した。また、指先の変形・触覚に関する研究では、有限要素解析とMR画像計測を用いて指先の生体材料特性を推定する方法を開発した。これらの具体的な応用として、パッケージの開封性を向上させる研究を行った。

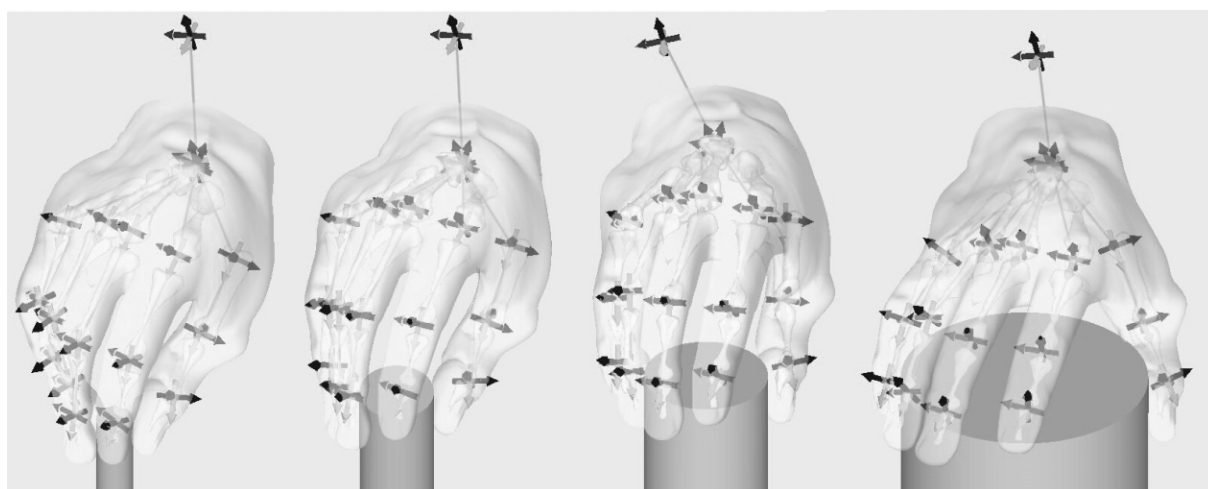


図3 デジタルハンド

(4) デジタルヒューマンプラットフォーム

上記の3つの研究を支える基盤として、重要な知的資産を形成する部分が、デジタルヒューマンプラットフォームの研究である。ヒューマノイドによる実体提示を実現するハードウェアプラットフォーム、ヒューマンシミュレータというソフトウェアプラットフォーム、さらにそれらを支える人間特性データコンテンツの3つの研究を進めている。

ヒューマノイド研究については、移動自律性の向上と人間の歩行安定制御を参考にした二足歩行実現の研究を行った。移動自律性の向上については主としてロボットに取り付けられた3次元視覚により床や障害物、階段などを確実に認識する技術、また、その環境に応じて移動経路と安定な全身運動計画を瞬時に計算する技術を開発した。これらの技術はヒューマノイドロボットに実装し、実証した。また、人間の歩行安定制御に学ぶ二足歩行の効率化については、分野融合的なデジタルヒューマン研究の特色を生かし、バイオメカニクスによる人間歩行の計測と分析をロボット工学的視点でモデル化することで、人間の歩行安定制御機能をモデル化しヒューマノイドに実装する研究である。このために、人間側の足裏に働く力を様々な条件下で計測するための技術開発を進めた。従来から用いられている床反力計は高額であるだけでなく設置箇所に制約があることから、人体取り付け型の足裏力センサ、床面敷設型の圧力分布センサを開発した。

ヒューマンシミュレータは、さまざまなデジタルヒューマンモデルの共通基盤となるミドルウェアで、われわれはC++のクラス構造になぞらえ“Digital Human Class”と呼んでいる。これは、人体の構造や機能を記述するクラス、APIなどを備えたもので、必要な人体部位の必要な機能を必要な精密さで組み合わせデジタルヒューマンを構成する機能や、デジタルヒューマン相互で通信する機能の実装を計画している。このミドルウェアには、データコンテンツと、アプリケーション、そして、実体化するためのハードウェアの3つが有機的に連結する。データコンテンツは、人体寸法や形状、運動などの人体特性データで、デジタルヒューマン基盤技術の研究を通じて蓄積したデータを整理し、随時公開中である。

3. 研究実施体制

人を知るデジタルヒューマングループ

研究分担グループ長：

松井俊浩（産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター 総括研究員）

研究実施項目：

- ・行動から行動者の心理状態を推測する心理行動モデル
- ・行動から受動者の心理状態を推測する心理生理モデル
- ・人間の摩擦状態知覚機能を再現する触覚機能モデル（H16年度から人に合わせるデジタルヒューマングループへ）
- ・人間の二足歩行安定制御を再現する二足歩行運動モデル

概要：

人を知るデジタルヒューマンでは、デジタルヒューマンの研究基盤となる、心理・知覚・認知を含む高次の人間機能モデルを研究する。具体的な研究課題設定を通じて、人間の心理・知覚・認知という高次機能を、計算予測が可能な人間の生理・解剖・運動機能との定量的・確率的関係性として解明し、それらを計算機上で再現することを目標とする。ここでは、行動者の運動様式から行動分析をして意図を含めた行動の理解を実現する研究、医師（行動者）の手術行為において患者（受動者）の心理生理反応を模擬しシミュレータとして提示する研究、人間の二足歩行安定制御機構を解明する研究、人間の表情と感情、感性の関係を解明し、自然な表情再現を実現する研究などを実施する。

人を見守るデジタルヒューマングループ

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センター 主任研究員）

研究実施項目：

- ・無拘束観察技術と睡眠体動・生理モデルに基づいて、睡眠中の生理状態を見守る技術
- ・無拘束観察技術と生活行動・心理モデルに基づいて、生活者の行動状態を理解し、支援する技術

概要：

人を見守るデジタルヒューマンでは、人間の生理・心理状態や、行動状態を、無拘束でモニタリングし、必要に応じ人間の行動を支援する技術の開発を行う。具体的事例研究として、第1には睡眠中の人間の生理状態を無拘束でモニタリングし、睡眠時無呼吸症候群の診断に役立つデータを蓄積するシステムを研究する。第2には、さらに困難かつ有用な課題として、生活する人間の行動状態を無拘束でモニタリングし、人間の行動、心理状態を自動的にデジタル記述して、それに応じた支援を行うシステムの研究を行う。

人に合わせるデジタルヒューマングループ

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センター 副センター長）

研究実施項目：

- ・人体形状・変形・知覚特性に応じ、人体に直接フィットする製品の適合性を計算機内で事前評価する技術
- ・人体寸法・運動・触覚・認知特性に応じ、自動車や住宅、マウス、携帯電話な

どの製品の操作性を計算機内で事前評価する技術

概要：

人に合わせるデジタルヒューマンでは、人間の寸法・形状・運動・変形・知覚、さらには、間違いを起こす認知的機能をモデル化するとともに、その個人差に着目し、個人の人体特性に適合する製品を計算機上で設計・構成するための技術を研究する。第1は、靴やメガネ、衣服など身体に直接フィットし、主として形態的特性と触覚特性が強く関与する事例である。解剖的形状モデルに、運動に伴う変形モデルと触覚知覚特性モデルを統合し、圧迫感やフィット感を仮想評価する技術を開発する。第2は、自動車、住宅、携帯電話などの製品と人間の親和性を、計算機上で仮想評価する事例である。歩行や階段昇降のようなロコモーションだけでなく、荷物を棚に収める、自動車に乗るといった製品との物理的な相互作用が大きい運動を、個人の体型や製品の形状に応じて合成する研究をする。特に、手については、全身ではあまり考慮する必要のない変形と摩擦を考慮し、さらに多点接触による力の分配を再現可能な把持機能をモデル化し、製品形状を把持する運動の合成を目指す。

デジタルヒューマンプラットフォームグループ

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センター 主任研究員）

研究実施項目：

- ・人体特性を統合的に記述し、データコンテンツとして蓄積されていないような人体特性（形状、反応、運動など）を模擬するヒューマンシミュレータAPIを含む“Digital Human Class”の構築
- ・人間特性データコンテンツの蓄積と発信
- ・人間の反応・運動を実体提示するヒューマノイドの研究

概要：

デジタルヒューマンプラットフォームでは、上記3つの研究の共通基盤要素となるソフトウェア（ヒューマンシミュレータ）と、それによって予測された人間の反応・行動を実体提示するヒューマノイドの研究と、それを支える人体特性データコンテンツの蓄積を行い、デジタルヒューマン基盤研究としての知的資産の形成を目指す。ヒューマンシミュレータは、人体寸法、形状、関節、節の質量・慣性特性、筋骨格系構造、運動などを統合して記述できるデータ構造と、一部の特性データから他の特性データを推定できるAPIをもつもので“Digital Human Class”と呼ぶ。ヒューマノイドは、ヒューマンシミュレータで予測された結果を実体提示するプラットフォームであり、そのために必要となる視覚機能の模擬技術（人間のように奥行きを知覚できる三次元視覚）、安定した二足歩行移動技

術を研究する。

4. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- Makiko Kouchi, Scular changes in the Japanese head form viewed from somatometric data, Anthropological Science vol.112, pp.41-52 , 2004
- 栗原恒弥, 宮田なつき, 医用画像を用いた変形可能な手のCGモデル, 画像電子学会誌Vol. 33, No 4-B, pp. 539-546 , 2004
- 高橋倫久, 多田充徳, 上田淳, 松本吉央, 小笠原司, fMRIによる脳機能研究のための光学式6軸力センサ, 日本機械学会論文誌C編70巻691号, 2004
- 酒井健作, 持丸正明, 横山和則, 局所麻酔下副鼻腔手術における手術進行と患者反応モデル構築のための生理指標解析, 生体医工学Vol. 41 No. 4 pp. 483-492, 2004
- 西田佳史, 行動観察システムの手早い構築法とその応用, 画像ラボ (2004年1月号) Vol. 15 No.1, pp. 38-41, 2004
- Satoshi Kagami, Masaaki Mochimaru, Yoshihiro Ehara, Natsuki Miyata, Koichi Nishiwaki, Hirochika Inoue, Takeo Kanade, Measurement and comparison of humanoid H7 walking with human being, Robotics and Autonomous Systems 48 pp.177-187, 2004
- 矢原弘樹, 日隈直樹, 西原清一, 福井幸男, 持丸正明, 河内まき子, FFDを用いた3次元足部モデルの解剖学的特徴点抽出, 電子情報通信学会技術報告J87-D-II(4) pp. 967-977, 2004
- Makiko Kouchi, Masaaki Mochimaru, Analysis of 3D face forms for proper sizeing and CAD of spectacle frames, Ergonomics, Vol. 47, pp.1499-1516, 2004
- Masako Dohi, Masaaki Mochimaru, Makiko Kouchi, Distribution of tactile sensitivity and elasticity in Japanese foot sole, Kansei Engineering International, Vol. 5, No.2, pp.9-14, 2004
- 山崎俊太郎, 加瀬究, 池内克史, PCグラフィクスハードウェアを用いたスカラ場の等値面の高速描画法, 電子情報通信学会論文誌 D-II, vol. J87-D-II, no. 9, pp. 1823-1833, 2004年9月