

01

# デジタルヒューマンによる 人間中心設計支援

持丸正明（産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センター）

## 人間中心設計を支援するデジタルヒューマン

デジタルヒューマンとは、人間の構造や機能をコンピュータ上に再現したものである。人間特性や機能の個人差を再現し、製品と人間の相互作用を仮想評価することで、製品利用者の特性のばらつきに配慮した安全で使いやすい製品設計を支援する<sup>1)</sup>。このようなデジタルヒューマンは1980年代から研究が進められてきた。すでに、市販ソフトウェアとしてJack (Siemens社)、RAMSIS (Human Solutions社)、Safework (Dassault社)などが、航空機や自動車、工場ライン設計において、座位や立位姿勢での手足の到達域や視野を幾何学的に確認するために活用されている。国際的な人体寸法データベースに基づいて世界各国の代表人体モデル（平均人体のみならず、高身長・低身長の統計的人体モデル）を生成でき、被験者を調達しにくい海外の製品利用者の操作性確認に活用されている。市販デジタルヒューマンの開発と並行して、より高度な人間機能再現の研究が各国の大学や研究機関で進められている。人体寸法から3次元人体形状の再現への展開、自律的な運動生成技術、筋負担評価、詳細な手の機能再現などがホットな研究トピックである。

### 代表体形生成とアパレル設計

1990年代に市販化された第一世代デジタルヒューマン (Jack, RAMSIS など) は、単純な幾何形状 (円筒に近い数十ポリゴン程度の多面体) のリンクモデルで記述されていた。2000年以降に開発さ

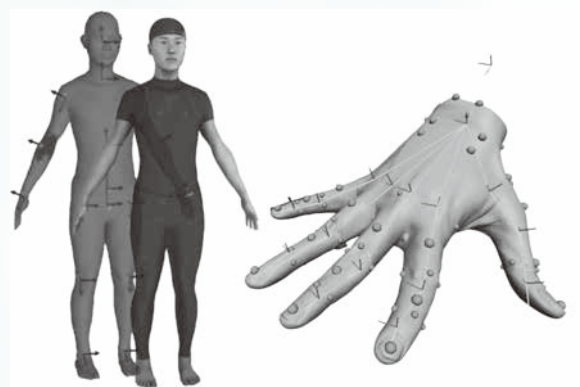


図-1 デジタルヒューマンモデル「Dhaiba」

れたアイオワ大学の Santos、産総研の Dhaiba などの第二世代デジタルヒューマンは、内部骨格姿勢に連動して変形する数万ポリゴン以上の体表面形状を有している。図-1は産総研で開発された Dhaiba である<sup>2)</sup>。全身で16個、さらに手については別に16個 (片方だけで) の関節を有している。関節中心位置は、姿勢変更時の手先・足先位置精度を高められるよう関節運動の瞬間中心に近い機能的関節中心に定められている<sup>3)</sup>。体表面は約16,000頂点からなる多面体で構成されていて、近接する複数の内部骨との連動関係が重みづけされている (スキニングウェイト)。

第二世代のデジタルヒューマンは、光学式の人体形状スキャナに対応しており、人体各部の寸法のみならず体形特徴まで再現できる。このために、実測した人体形状データを、同一点数、同一位相幾何構造で解剖学的に対応付けられたモデルで表す相同モデリングを行う。図-2のように個人の人体形状データに、デジタルヒューマンモデルをフィッティングさせる。筆者らは解剖学的特徴点 (全身で数十点) の対応に基づいて、第一段階で姿勢と身体節

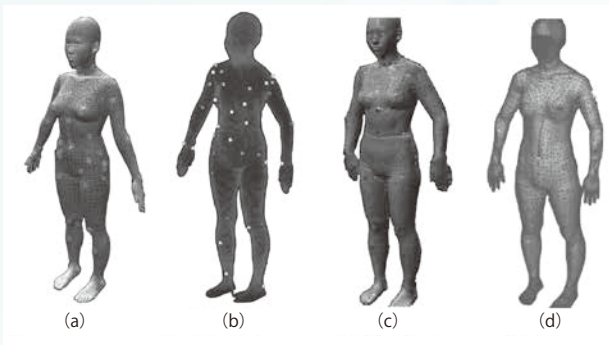


図-2 人体相同モデル (a) テンプレートモデル (b) 実測した体形データ (c) 姿勢・節長フィット (d) 形状フィット

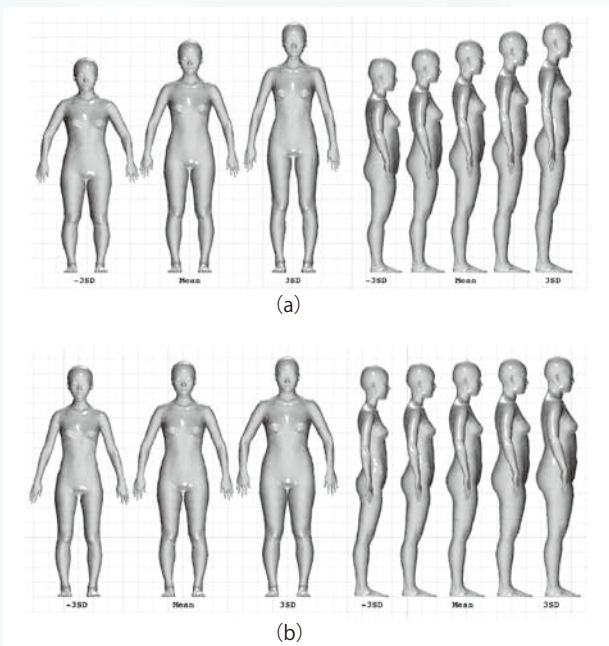


図-3 体形の個人差を表現する主成分 (a) 女性の体形個人差を表す第1主成分 (b) 女性の体形個人差を表す第2主成分

長を合わせ、第二段階で節ごとの形状を合わせている。多人数の人体形状データがすべて相同モデルで表現されれば、そのまま形状データの多次元統計処理が可能となる。主成分分析を用いた場合、15の主成分で日本人の体形の個人差の85%が説明できる。図-3は日本人女性体形の第1主成分と第2主成分に沿った代表形状を合成した結果である。第1主成分が身長を第2主成分が太り具合を示していることが分かる<sup>4)</sup>。この代表形状に基づいてコンピュータ上で衣服の型紙設計を行うことができる。図-4はデジタルファッション(株)が開発したソフトウェア上にDhaibaモデルを読み込んだものである。ソフトウェア上で2次元の衣服型紙をバーチ

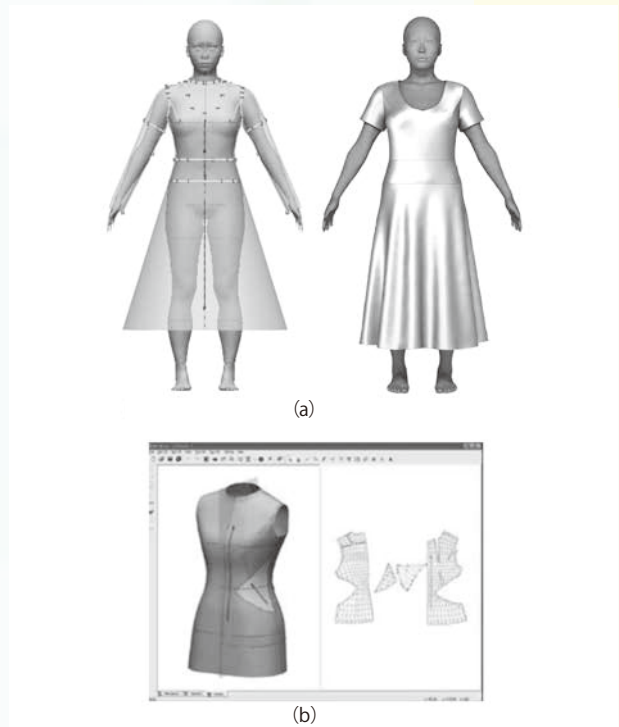


図-4 デジタル人体モデルに基づくアパレルCAD (a) デジタル人体モデルへの仮想着装とシルエット設計 (b) 2次元パターンへの展開

ャル試着させて着装時のイメージを再現したり、フィット性(ゆとり)を仮想評価できる。また、3次元人体モデルに仮想的に布をかぶせ、それを絞ったり切り替え線を加えたりしながら、コンピュータ上で衣服3次元イメージを構成し、最後にそれを2次元型紙に展開するソフトウェアも開発されている<sup>5)</sup>。

## 乗車動作生成と自動車設計

デジタルヒューマン技術を牽引してきたのは自動車、航空機産業である。1990年代では、主として静的な座位姿勢での手足の到達域や視野の確認という用途にとどまっていたが、2000年代に入り動的な動作生成および人体と製品との干渉チェックに発展するようになった。歩行などの動作に比べ、製品との干渉が大きい自動車乗降動作の生成は困難性が高い。筆者らは、異なる身長の被験者が、設計寸法の異なる自動車モックアップに乗車する際の動作データを実測し、それらの重みつき補間によって任意の設計寸法に任意の身長の人間が乗車する際の動

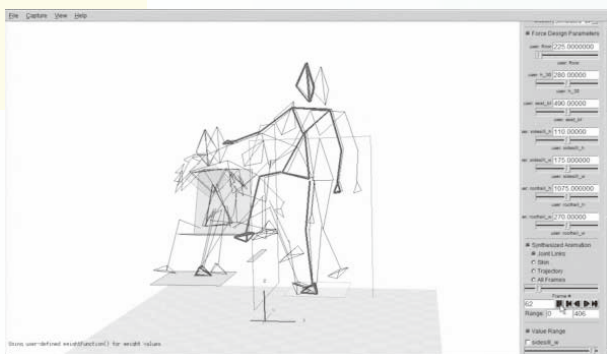


図-5 自動車乗車動作生成

作を合成する方法を開発した<sup>6)</sup>。動作データを，体形の類似尺度と設計寸法の類似尺度からなる空間に分布させ，Radial Basis Functionで合成の重みを決定した。図-5は，同技術をCAD (Computer Aided Design) システムに導入したマツダ (株) の事例である。マツダ (株) は社内で独自に動作データを蓄積し，それに基づいて10個以上の設計寸法の組合せに対して，身長異なるデジタルヒューマンの乗車動作を合成し，乗車時の干渉や空間のゆとりをチェックしている。日産自動車 (株) でも同技術を導入し，乗車動作以外に，ペダル踏み動作，パーキングブレーキ引き上げ動作などを合成している。

## 指先有限要素モデルと安全設計

家電製品，情報機器，光学機器，日用品などの多くは手の操作を重視しており，全身の体形や運動をコンピュータ上に再現すること以上に手の機能を再現することが求められる。筆者らは，手のサイズバリエーションや把持姿勢の生成技術を開発し，情報機器や自動車におけるスイッチ設計，食品のパッケージ設計などに適用してきた<sup>7)</sup>。サイズバリエーションの生成や姿勢生成は前章で述べた全身のもの

本質的には変わらない。そこで本稿では，変形を考慮した指先モデルの開発と応用事例を紹介する。指先では製品との接触による変形，摩擦の再現が求められることから，有限要素モデルを採用した。指先の3次元医用画像 (MRI) を取得し，市販の有限要素メッシュ生成ソフトウェアを用いて個人の有限要素モデルを構成した。3次元医用画像は成人50名分を取得したが，メッシュ生成ソフトウェアでモデルを構成したのは代表個人1名分である。その代表個人の3次元医用画像をほかの個人の画像に一致するように変形する空間格子を計算し，その格子歪みパターンを代表個人のモデルに適用変形することでほかの個人のモデルを自動生成した (図-6)。すべて相同モデルとなっているため，全身体形と同様に主成分分析をして指先の個人差を表現する代表モデルを生成した<sup>8)</sup>。

この指先有限要素モデルをゲーム機コイン返却口の安全設計に適用した事例を紹介する。コイン返却口では，子どもの指が挟まれて脱けなくなり，指先を切断する事故が繰り返し発生している。子どもの医用画像を取得するのは難しいため，成人の指先バリエーションモデルを補外して，子どもの指先寸法に合致する有限要素モデルを構成した。補外によって合成した子どもの指先モデル外形は，写真撮影した子どもの指先形状とよく一致した。成人の代表指先モデルと子どもの指先モデルとでコイン返却口の事故解析を行った結果を図-7に示す。指先径が小さくなると，返却口の抑えフタが指に当たる角度が大きくなり，指腹を下方に押し下げる力が働いて，指が挟まることが分かる。コイン返却口のフタは，図-8のようにフタの中央部にヒンジを加えることで，指先径が小さくなくてもフタと指先の接触角度が大きくならず，指が挟まれることはなくなる。現

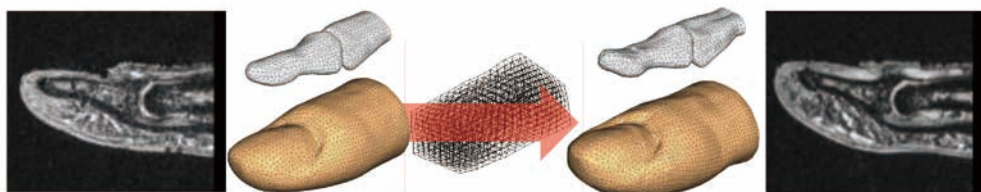


図-6 医用画像と格子変形による指先有限要素モデル生成

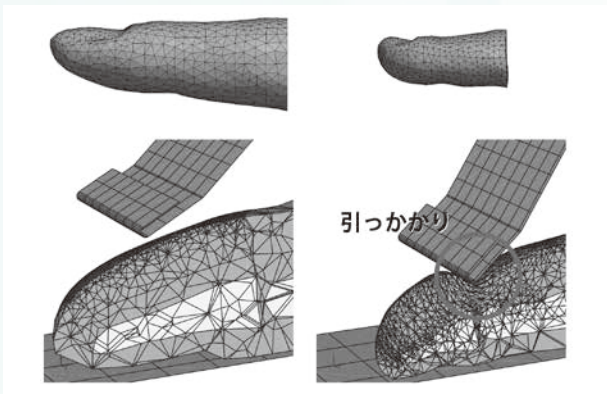


図-7 コイン返却口における指挟み事故解析  
左：成人の指モデル 右：子どもの指モデル



図-8 コイン返却口のフタの安全設計  
左：対策前 右：対策済

在は、この対策がゲーム機器業界のフォーラム標準として採用されている。

## 詳細構造設計から初期設計へ

3次元体形生成、運動生成、指先変形という新しいデジタルヒューマン技術を紹介した。これらの技術は、設計者（＝デジタルヒューマン技術のユーザ）に「あり得る製品利用者」を提示するためのものだとも言える。設計者は、自分自身を代表例として製品利用者像を想定し、製品と人間との相互作用を考慮して製品設計しているはずである。それにもかかわらず、使いにくい製品ができあがってしまうのは、設計者が自分以外の人間特性を持った製品利用者像（高齢者や子どもなど）を想像しにくいからである。デジタルヒューマン技術とは、コンピュータ上に「あり得る製品利用者」を創り出して設計者に提示することで、製品利用者の人間特性のば

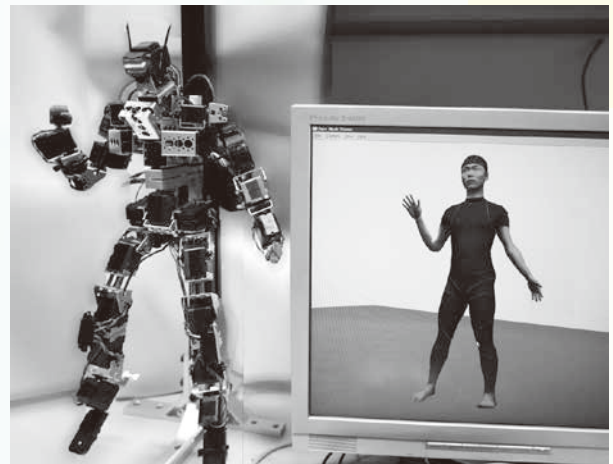


図-9 パペット型インタフェース

らつきに配慮した設計を支援する技術と言える。

このようなデジタルヒューマン技術のユーザとは、どのような設計段階の設計者なのか。製品設計は、コンセプトデザインに始まり、意匠→機能→構造設計という初期設計を経て、強度計算などを伴う詳細構造設計に移る。その後、生産工程でのコスト削減を考慮した生産準備設計に至る。このデザインプロセスのうち、現在、デジタルヒューマン技術が利用されているのは、主に詳細構造設計の部分である。したがって、デジタルヒューマン技術の主たるユーザは、詳細構造設計段階で製品の人間工学評価を担当する設計者となっている。しかし、本来、人間と製品の適合性は、もっと設計の早い段階から考慮されるべきである。設計が煮詰まってから寸法や形状の変更修正として対応するのでは限界がある。デジタルヒューマン技術の活用を初期設計段階に展開するためには、この工程に携わる設計者への対応が不可欠である。初期設計に携わる設計者は詳細構造設計で用いるCADシステムやCAE (Computer Aided Engineering) ツールの利用に慣れておらず、マウスでデジタルヒューマンの3次元的な姿勢を操作することに困難をおぼえる人が多い。初期設計担当者がデジタルヒューマン技術をより簡便に活用でき、「あり得る製品利用者」の特性を直感的に体験できるインタフェース技術が必要となる。

そこで、筆者らは、パペット型のインタフェースを開発した(図-9)。パペット型インタフェースと

は、コンピュータ内のデジタルヒューマンの姿勢を、実空間のパペットの姿勢操作で制御する方法である。このようなインターフェースはCGキャラクタの運動教示として古くから使われてきた。ここで開発したパペット型インターフェースは、関節にモータを備えている点に特徴がある。このモータの出力を常時モニタリングすることで、ロボットが自重を支えているだけなのか、設計者がロボットの手足を動かしているの

かを検知できる。パペットは設計者の介入を検知すると、モータ制御によって関節の機械インピーダンスを下げ、姿勢を変更しやすい状態になる。設計者が手を離すと、すぐにそれを検知して関節のインピーダンスを上げ、自重を支えて姿勢を保持する。すなわち「触るとスムーズに動き、手を離すと姿勢が固定される」ように制御されている。同じようにモータを制御することで、人間の関節可動限界に達するとパペットの関節が固くなることも実現している。人間の関節には連動性（膝を伸ばしていると股関節は曲がりにくい、膝を屈曲させると股関節が大きく曲がる）があるが、パペットはこれも再現し、パペットを操作する設計者に力覚的にフィードバックしている。このようなインターフェースを用いることで、初期設計者のようなCADシステムに慣れていないユーザの操作性が向上することを確認している。なお、すでにデジタルヒューマン技術を組み込んだCAEツール操作に慣れていないユーザにおいても、操作性が向上することが確認されている<sup>9)</sup>。

## サービスを介した人間特性データの蓄積と再活用

デジタルヒューマン技術で「あり得る製品利用者」を再現提示するには、大きく2つの側面がある。第一は決定論的側面で、解剖学、幾何学、動力学的

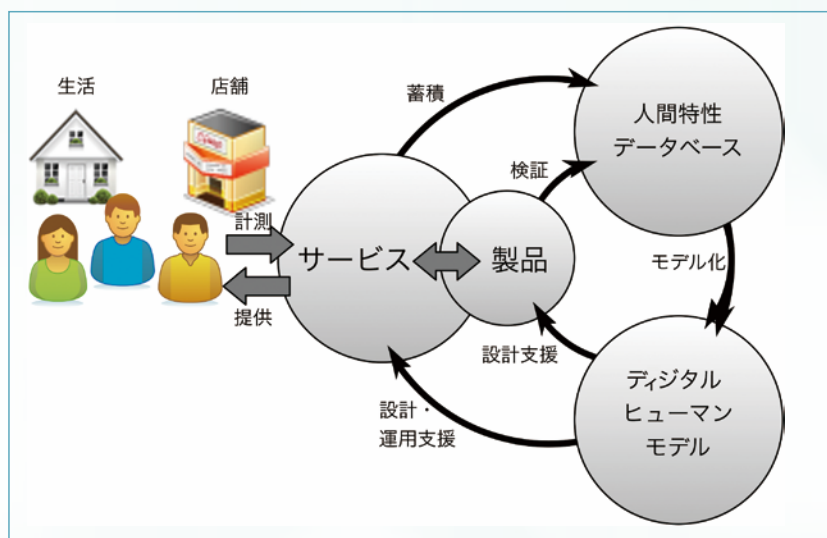


図-10 サービスを介した人間特性データの蓄積と再活用

ように構造や支配方程式が明らかになっている部分である。構造や支配方程式をプログラミングして人体機能をコンピュータ上に再現提示できる。第二は確率論的側面である。個人差、条件差などは発生メカニズムが完全に解明されているわけではなく、支配方程式も明らかではない。実測したデータから確率的にモデルを生成することになる。この場合には実測したデータを大量に蓄積する必要がある。これらをすべて実験室で蓄積するには限界がある。そこで、筆者らは実社会のサービスを介して、人間特性データを蓄積し、モデル化して設計に再活用する枠組みを提唱している（図-10）。

（株）アシックスは同社の直営店舗に、筆者らが開発した足形状スキャナを設置し、顧客の足形状を計測した上で、顧客個人に適合するシューズの推奨を行っている。さらに、顧客の足形状データを神戸の研究所に伝送し、1週間ほどでカスタマイズされた中敷きを作るサービスも行っている。このようなサービスを通じ、同社は年間10万足を超える足形状データを蓄積している。直営店は国内には3店舗しかないが、すでに世界各国に店舗展開しており、世界中の顧客足形状データを収集し続けている。これらのデータを統計処理し、各国のユーザに適合した靴設計に活用するサイクルが廻っている。グンゼ（株）も京都にある直営店舗に設置した人体形状スキャナで顧客の全身形状を計測し、それに基づいて

コンプレッションウェアを個別生産するビジネスを始めている。コンプレッションウェアとはスポーツ用の機能性インナーである。身体をほどよく締めつけることで疲労回復を早める効果があるとされている。基本的に量産品だが、同社は個人体形に基づいて適切な締めつけ力を実現する個別生産で差別化を図っている。ここにも人体モデルと3次元アパレルCADが活用されており、また、サービスを通じたデータの蓄積が進められている。

デジタルヒューマン技術は、第一段階では量産品の人間中心設計に役立てられた。このために顧客集団を代表するデジタルヒューマンモデルの構成技術が開発されてきた。このモデルと個別の顧客とは接続されておらず、いわばオフライン型のデジタルヒューマン技術である。第一段階を推進するのに人間特性データを蓄積する必要がある、この必要性に駆動されてデジタルヒューマン技術は第二段階に入っている。ここではデジタルヒューマンモデルはサービスに組み込まれて商品推奨や設計に活用される。センサデータに基づいて個別の顧客モデルがリアルタイムで生成され活用されることから、オンライン型と考えることができる。顧客とデジタルヒューマンモデルは、店舗のセンサによって接続されていることになる。この先に何がくるだろうか。筆者は、顧客とデジタルヒューマンモデルを接続するセンサが店舗から日常生活に展開し、人間

中心設計から人間生活中心設計へと移行していくと考えている。

#### 参考文献

- 1) 持丸正明：人間適合設計を支援するデジタルヒューマンの最新動向と福祉応用への展望，計測と制御，Vol.50, No.1, pp.4-9 (2011)。
- 2) 持丸正明：人間中心設計を支援するデジタルヒューマン「Dhaiba」の開発，人間生活工学，Vol.11, No.1, pp.43-46 (2010)。
- 3) Aoki, K., Kawachi, K., Kouchi, M. and Mochimaru, M. : Functional Joint Rotation Centers for Whole Body Digital Manikin, SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference (2008)。
- 4) 持丸正明：人体形状計測の展開～ファッションから健康産業まで，第158回情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会，pp.125-130 (2007)。
- 5) 持丸正明：人体形状スキャナとデジタル人体モデル，日本機械学会誌メカライフ，Vol.115, No.1129, 印刷中 (2012)。
- 6) Kawachi, K., Aoki, K., Mochimaru, M. and Kouchi, M. : Motion Distribution Map of Ingress to Driver's Seats, SAE Digital Human Modeling for Design and Engineering Conference (2007)。
- 7) 持丸正明：ユニバーサルデザインを支援するデジタルハンドー包装への応用一，包装技術，Vol.48, No.7, pp.45-50 (2010)。
- 8) 多田充徳：個人別手指モデルの構築と日用品デザインへの展開，画像ラボ，Vol.22, No.12, pp.69-75 (2011)。
- 9) Yoshizaki, W., Sugiura, Y., Chiou, A. C., Hashimoto, S., Inami, M., Igarashi, T., Akazawa, Y., Kawachi, K., Kagami, S. and Mochimaru, M. : An Actuated Physical Puppet as an Input Device for Controlling a DigitalManikin, the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2011) (2011)。

(2012年10月8日受付)

■ 持丸正明 m-mochimaru@aist.go.jp

1993年慶應義塾大学大学院博士課程生体医学専攻修了。同年博士(工学)。同年生命工学工業技術研究所入所。2001年産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究ラボ。2010年より現職。

