

ARを応用したデジタルヒューマンによる作業性評価法の提案

Evaluation Method of Workability by Digital Human using AR Technology

福井 裕*・川野 常夫**・杉村 延広*

FUKUI Yutaka KAWANO Tsuneo SUGIMURA Nobuhiro

要 旨

コンピュータの仮想空間内に人体の挙動を模擬するデジタルヒューマンを登場させ、工場での作業者の負担や作業性などの人間工学評価を行う手法が用いられている。しかし、対象とする環境を事前に仮想空間内に構築する必要があることから、現場で簡便に評価を行うことは難しい。本研究では、現場で簡便に人間工学評価を行うことができるシステムの構築を目的とし、AR技術を用いて、デジタルヒューマンをあたかも現実空間に存在するかのように可視化し、現実存在する物とのインタラクションにより人間工学評価を行う新しい手法を提案する。本報では例として、デジタルヒューマンの上肢の到達範囲を作業現場に重畳表示させるソフトウェアをタブレットコンピュータ上に実装した。上肢でアプローチする部品や工具といった現実空間の物をこの可視化された到達範囲の内側に配置することにより、作業者の負担を軽減することができる。

Abstract

The purpose of this study is to develop an easy-to-use ergonomic evaluation tool for workspace design. In this paper, an evaluation method is proposed for the workability by interacting with a digital human model and real workspace using a tablet computer. Using the tablet computer, application software has been developed based on the proposed method. The software can superimpose the digital human model and virtual arm reach envelopes over a real workspace image by augmented reality technology. Workspace designers can find a suitable layout of real objects in real workspace based on the superimposed images.

キーワード：拡張現実、デジタルヒューマン、作業性評価、上肢到達域

keywords : augmented reality, digital human model, work assessment, reach zone

1.はじめに

コンピュータの仮想空間内で人体の挙動を再現することができる仮想の人体モデル（デジタルヒューマン）を用いて、製品の操作性や適合性、あるいは工場における労働者の作業性を視覚的に検討する手法が活用されている^[1-2]。

図1に市販のデジタルヒューマンソフトウェアであるJack(Siemens社)^[3]を用いて、工場での組立作業において上肢の到達域（リーチゾーン）を可視化した例を示す。工場の作業場をコンピュータの仮想空間内に3次元的に再現し、作業者の代理人であるデジタルヒューマンが作業している様子を示している。この例では、デジタルヒューマンの手先の届く範囲が半球状のコンピュータグラフィックス（CG）で描画されている。

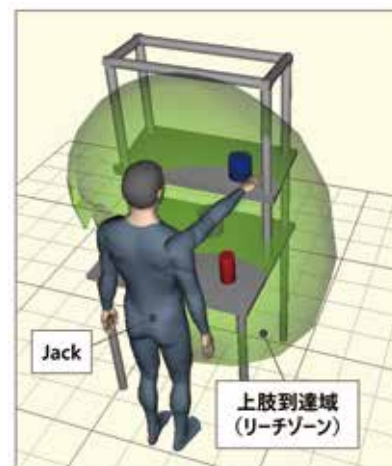


図1 デジタルヒューマン Jack のリーチゾーン表示

作業者が手で把持して使用する工具や部品などをこのリーチゾーン内に配置すれば、姿勢を変えることなく物を把持することができ、作業負担の軽減に繋がる。このように検討することがデジタルヒューマンの一つの活用例である^[4]。

このようなデジタルヒューマンを用いて、工場の現場で人間工学評価を行うためには、評価の対象となる作業環境を事前に仮想空間内に構築しておく必要がある。一般的には、3次元CADなどを用いて現実空間の物を仮想空間内にモデリングするが、現実空間の物の位置や大きさを測る必要が生じ、作業環境を構築するのに手間と時間を要する。現実空間の物の位置が変われば、仮想空間に変更を加える必要がある。またモデリングするためのソフトウェアを使用するスキルも必要となる。

これらのことから、工場などの現場において、デジタルヒューマンを活用して作業者の負担や作業性を評価する場合、その都度、事前に仮想環境を構築しなければならず、それは極めて困難である。

本研究では、工場などの現場において、仮想空間へのモデリングの手間を省き、簡便に人間工学評価を行うことができるシステムの構築を目的とし、AR（Augmented Reality：拡張現実感）技術^[5-7]を応用した新しい作業性評価法を提案する。また、それを基にした評価システムのプロトタイプを作成する。

はじめに、現実の作業環境を仮想空間内にモデリングすることなく、仮想のデジタルヒューマンを現実空間に引き出して、現実空間にある物とのインタラクションを通して作業性評価を行う手法を提案する。また、タブレットコンピュータを用いた作業性評価システムのプロトタイプを作成し、新しい作業性評価法により、従来のデジタルヒューマンの代表的な機能である上肢のリーチゾーン評価を拡張させた例を示す。

2. ARを応用した作業性評価法

AR技術を応用した新しい作業性評価法の概要を図2に示す。現場の評価者は同図に示すようにタブレットを構えて、ディスプレイを通して現実空間を観察する。ディスプレイには、タブレット背面のカメラで撮影された現実空間の映像がリアルタイムに表示される。現実空間のオブジェクト（実オブジェクト）に貼り付けたマーカをカメラが認識すると、CGによる仮想のデジタルヒューマンが実オブジェクトと重なるようにディスプレイに表示（重畳表示）される。評価者がタブレットの位置や向きを変えると、その動きに追従するようにデジタルヒューマンの見え方が変わる。AR技術によって、デジタルヒューマンが現実空間にあたかも存在するかのような感覚を得ることができる。

デジタルヒューマンは現実空間に貼り付けたマーカを



図2 ARを応用した作業性評価法

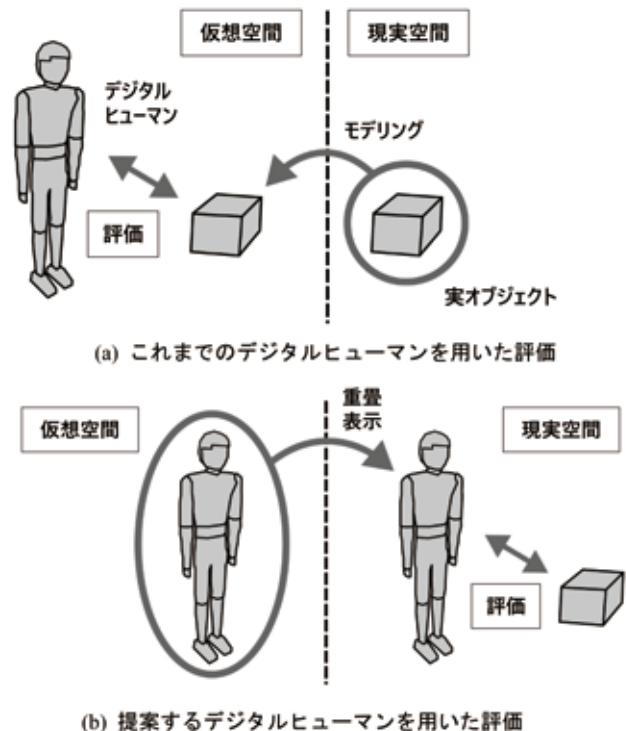


図3 デジタルヒューマンを用いた作業性評価

参照して実オブジェクトの位置や向きを知り、作業者の代理人として実オブジェクトに対して仮想的に作業を行う。そして、作業中のデジタルヒューマンの姿勢などの情報から人間工学的評価指標が計算され、その結果がCGとして現実空間に重畳表示される。評価者は重畳表示された評価結果を参考に、実オブジェクトの位置や状態を変えることによって、人間工学的な観点から作業環境を改善していく。

ここで、従来のデジタルヒューマンを用いた作業性評価と本研究で提案する新しい作業性評価との比較を図3に示す。同図中央の縦の破線から左側は仮想空間、右側は現実空間をそれぞれ表している。従来のデジタル

ヒューマンを用いた作業性評価では、同図(a)で示すように、あらかじめ現実空間のオブジェクトを仮想空間にモデリングしてから、仮想空間内においてデジタルヒューマンを用いて人間工学評価を行う。一方、提案する新しいデジタルヒューマンを用いた作業性評価では、同図(b)で示すように、これまで仮想空間内に閉じ込められていたデジタルヒューマンをAR技術を用いて現実空間に引き出して、現実空間のオブジェクトとのインタラクションを通して、人間工学評価を行う。このように、提案する作業性評価法では、現実空間の実オブジェクトにマーカを貼り付けるだけで、これまでの評価法のように実オブジェクトを仮想空間にモデリングすることなく、タブレットを覗くだけで、現場で簡単に人間工学評価を行うことができる。

3. ARを応用した作業性評価システムの開発

3-1. ソフトウェアの開発

ARを応用した作業性評価システムのプロトタイプをタブレット上に作成した。タブレットにはiPad mini(Apple社)を用い、著者らが独自に開発したソフトウェアをインストールした。

ソフトウェアはゲームエンジンのUnity(Unity Technologies社)を用いてパソコン上で開発した。プログラミング言語にはC#を用いた。マーカの認識および現実空間へのCGの重畳表示は、Unityに組み込んで使用するARライブラリのVuforia(Qualcomm社)を用いた。

Unityを用いてパソコン上で作成したソースコードをビルドすると、開発環境のXcode(Apple社)のプロジェクトファイルが出力される。このプロジェクトファイルをXcodeでビルドすることにより、iOS(iPadやiPhoneで動くOS)で実行可能な拡張子がipaのバイナリファイルが生成され、USBケーブルを介してタブレットにインストールされる。インストールされたソフトウェアは、タブレットのディスプレイ上にアイコンとして表示され、指でタッチすることにより起動する。

開発した作業性評価システムのソフトウェアの画面を図4に示す。同図では、仮想のデジタルヒューマンが、タブレットのカメラで撮影された現実空間の上に重畳表示された様子を示している。画面の左端には、アイコンが並ぶツールバーが表示され、アイコンを指でタッチすることにより、様々な機能呼び出すことができる。

3-2. デジタルヒューマンの重畳表示

実オブジェクトの位置や形状を知るために、図5に示すマーカを現実空間に配置する。マーカには、ARライブラリVuforiaに付属しているものを使用し、これをサイズが150mm四辺になるよう厚紙に印刷した。

マーカの外周には白と黒の正方形が並んだパターン



図4 作業性評価システムの画面

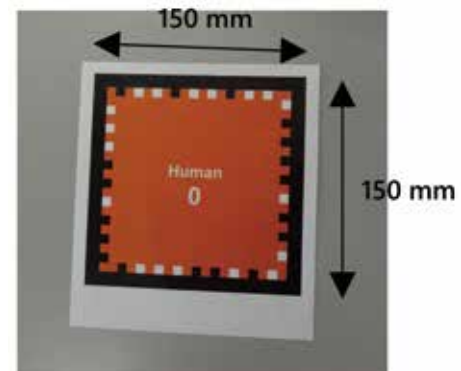


図5 ARマーカ

が描かれており、パターンの組み合わせは512通りとなる。パターンには0から511番のIDがそれぞれ割り当てられており、IDと現実空間に描画したい仮想のオブジェクトとを紐付けておく。本評価システムでは、0番のマーカとデジタルヒューマンとを紐付けた。これにより、0番のマーカをタブレットのカメラで撮影すれば、マーカの直上にデジタルヒューマンが重畳表示される。

Vuforiaはタブレットのカメラが撮影した画像からマーカをリアルタイムに切り取り、マーカの形状や大きさからタブレットとマーカの相対的な位置関係を、外周の正方形のパターンからマーカのID番号をそれぞれ導出する。Vuforiaはそれらの情報を基にして、現実空間にデジタルヒューマンが存在するかのようにCGを描く。

4. ARを応用したリーチゾーン評価

図1で示したように、デジタルヒューマンの基本的な機能の一つである上肢のリーチゾーン表示は、肩や腰を起点とし、手先が四方八方に届く領域を包絡面のCGとして描画する。この機能を用いれば、表示されたリーチゾーンを基にして、作業者が把持する物が手の届く範囲にあるかどうかを判定できる。ここでは、開発した作業



図6 ARを応用したリーチゾーン表示

性評価システムにAR技術を応用したリーチゾーン評価機能を実装し、作業性の評価例を示す。

4-1. リーチゾーンの重畳表示

AR技術を応用したリーチゾーン評価機能を図6に示す。ここでは、工場における組立作業を想定する。タブレットがマーカを認識すると、同図に示すように、デジタルヒューマンおよびデジタルヒューマンの手先が届く領域であるリーチゾーンが、半球状のCGとして現実空間に重畳表示される。デジタルヒューマンの右肩関節を中心に上肢を四方八方に動かすことによって得られる手先座標の軌跡からメッシュ状のCGを描画している。リーチゾーンは半透明のCGで描いており、リーチゾーンの向こう側の現実空間を視認することができる。

初期設定では、マーカの直上にデジタルヒューマンが重畳表示されるが、タブレットのタッチ操作で、デジタルヒューマンの位置を移動させて、同図のように、あたかもデジタルヒューマンが作業台の前に立っているかのように表示した。

4-2. リーチゾーンの断面表示

もう1枚のマーカ（ID番号が1）をカメラの視野に入るように作業台の上に置くと、図7に示すようにマーカが存在する平面（ここでは作業台の上面）が半球のリーチゾーンを切り取った断面の輪郭線が重畳表示される。このように、作業台の上面にリーチゾーンの断面の輪郭線を描くことにより、同図で示すように、作業台の上にデジタルヒューマンの手先が届く領域が可視化される。リーチゾーンの輪郭線を視認しやすいように、半球状のCGは非表示にした。この輪郭線の内側は、手先が届く領域を示していることから、作業中に使用する部品箱や

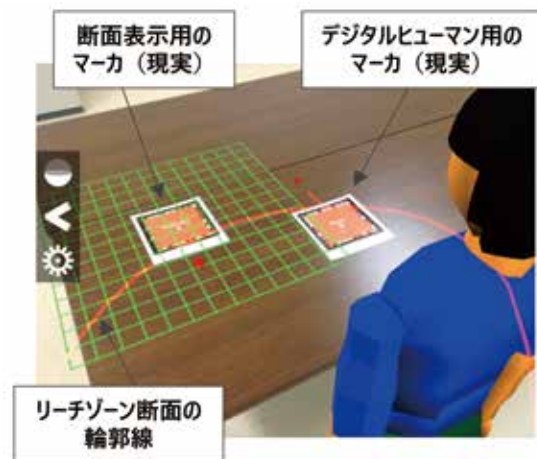


図7 リーチゾーン断面の輪郭表示

工具といった実オブジェクトをこの輪郭線の内側に配置すれば、作業者は身体の姿勢や位置を変えずに実オブジェクトを把持できることが分かる。

4-3. 評価システムの実行例

評価システムの実行例を図8に示す。同図では、現実空間に組立作業を模擬した環境を構築し、評価システムを用いて作業台の上の部品箱の配置を検討した例を示している。

はじめに、同図(a)に示すように、評価者は作業台の上に、デジタルヒューマンを表示するためのマーカを置く。タブレットでマーカを映すと、ソフトウェアがマーカを認識し、同図のように仮想のデジタルヒューマンが重畳表示される。

次に、作業台の上にリーチゾーンの断面を表示するマーカを1枚置くと、作業台とリーチゾーンの交差断面の輪郭線が重畳表示される。同図ではリーチゾーンの半球状のCGは消して輪郭線のみを表示している。この輪郭線の内側は、作業台上のデジタルヒューマンの手先が届く範囲を示している。

ここで、部品箱は領域の外にあるため、手が届かない。このままでは、デジタルヒューマンが動くか、腰から前屈みになって手を伸ばす必要がある。この場合は、同図(b)で示すように、リーチゾーンの内側、すなわち手が届く位置に部品箱を移動する。これによって、姿勢を変えることなく部品箱にアプローチすることが可能となる。評価者は、このようにして実オブジェクトを移動することによって、現実の作業場を人間工学的な観点から改善することができる。

これまでのデジタルヒューマンを用いた作業性評価では、現実空間の作業場をあらかじめ仮想空間上に構築する必要があった。評価者は、仮想空間内でリーチゾーンを参考に仮想のオブジェクトの位置を修正する。その

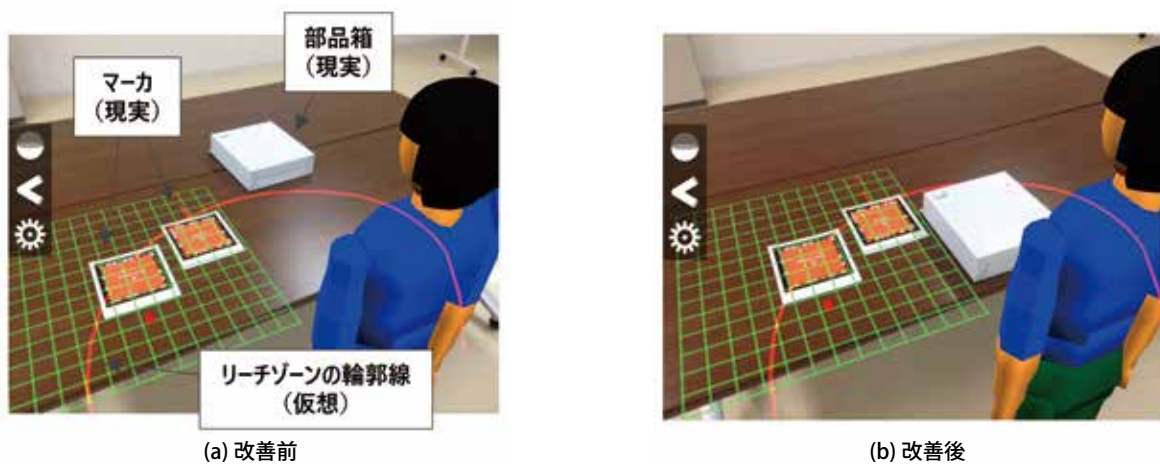


図8 リーチゾーン評価機能の実行例

後、評価者は、その結果を現実空間にフィードバックする。すなわち、仮想空間で行った改善と同じように、現実空間のオブジェクトの位置を修正する。

これに対して本研究で提案する新しい作業性評価では、仮想空間を構築することなく、現実空間の作業場にリーチゾーンを重畳表示することができる。評価者は、タブレットのディスプレイを通して目の前に表示されたリーチゾーンを基に、現実空間のオブジェクトを直接的に動かし、その場で作業環境を改善することができる。

5. おわりに

本研究では、現場で簡便に人間工学評価を行うことができるシステムの構築を目的とし、AR技術を応用してデジタルヒューマンがあたかも現実空間に存在するように可視化し、現実存在する物とのインタラクションにより人間工学評価を行う手法を提案した。また、デジタルヒューマンの上肢のリーチゾーンを作業現場に重畳表示させるソフトウェアをタブレット上に実装した。これにより、作業現場で簡便に、上肢でアプローチする部品や工具といった現実空間の物の配置を検討できるようになった。

参考文献

- [1] 持丸正明：デジタルヒューマン技術の最新動向と建設機械への適用可能性, 建設の施工企画, vol.1, pp.29-33, 2010.
- [2] 吉成 哲, 但野 茂：コンピュータマネキンを利用した福祉機器の設計, シミュレーション, vol.24(1), pp.32-36, 2005.
- [3] P. Blanchonette: Jack Human Modelling Tool, A Review, pp.1-30, DSTO Defense Science and Technology Organization, 2010.
- [4] Jingzhou Yang, Karim Abdel-Malek: Human Reach

Envelope and Zone Differentiation for Ergonomic Design, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, vol.19(1), pp.15-34, 2009.

- [5] 加藤博一, Mark Billinghurst, 浅野浩一, 橘啓八郎：マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.4(4), pp.607-616, 1999.
- [6] Mark Billinghurst, Hirokazu Kato, Ivan Pouyrev: The MagicBook-Moving Seamlessly between Reality and Vrtuality, IEEE Computer Graphics and Applications, vol.21(39), pp.6-8, 2001.
- [7] 神原誠之：拡張現実感(Augmented Reality)概論, 情報処理, vol.51(4), pp.367-372, 2010.

