

氏名	福重真一
所属機関	大阪大学
研究題目	編集可能な現実世界を創り出す新しい複合現実システムの開発

1. 研究の目的

本研究では、Editable Reality (ER、編集可能現実感) のコンセプトに基づく新しいデザイン支援システムを開発する。ER とは「ビデオ透過型ディスプレイに表示された実物体の見かけの3次元形状をリアルタイムに編集する」ための技術である。ヘッドマウントディスプレイ (HMD) やカメラ付きタブレット PC 等のビデオ透過型ディスプレイを通して見た現実世界の物体を、仮想モデルと同様に变形させたり移動したりすることを可能にする。目の前に実在する物体の形状や色を (ディスプレイを通して視覚的に) 変更できるようになるため、あたかも現実世界を直接編集しているかのような体験が得られる。本研究では、この ER のプロトタイプシステムを開発するとともに、工業製品の改良設計への応用を通してその有効性を検証する。

2. 研究の内容 (手法、経過、評価など)

本研究で開発した ER システムは、ディスプレイを通して現実世界の物体 (これを実物体と呼ぶ) の形状にフィッティングさせた 3D-CAD モデルの变形操作に合わせて実物体の見かけの3次元形状を対話的に編集するものである。この ER のコンセプトに基づく設計支援システムを構築し、これを工業製品のデザインに適用した。具体的には、既存製品の変形によって、ユーザにとってより使いやすくなるような修正を加えたり、様々な人工物を仮想的に組み合わせることで新しい製品を生み出したりするような新しい製品デザインの方法について検証した。

本研究で開発した ER システムの主要な機能は以下の3つである。

1. CAD モデルの実物体へのフィッティング
2. モデルの編集
3. モデルと連動した実物体映像の変換

本システムにおいて実物体の対話的な形状編集を行うには、まず前処理として対象となる実物体の形状に CAD モデルをフィッティングさせる作業が必要となる。システムのユーザは視点を変えながら CAD モデルの位置と形状を HMD に表示される実物体と一致させる。このとき、HMD のヘッドトラッキングによって現実空間に対する HMD のカメラ座標の変位が常に計算されるため、CAD モデルは実物体と同じ座標空間に配置され、一度フィッティング処理を行えば視点移動によって実物体とモデルとが乖離することは無い。また、HMD のカメラ映像に CAD モデルを重畳させる機能については既存の MR の技術を用いる。

上記の前処理の後、CAD モデルの対話的な形状編集を行い、このモデルの变形に合わせて HMD に映し出される実物体の見かけの形状がリアルタイムに更新される。CAD モデルのフィッティングと、対話的な操作である CAD モデルの編集と連動した実物体映像の更新について、以下にそれぞれの詳細を述べる。

2. 研究の内容(続き)(書ききれない場合には、同一形態のページを追加しても結構です)

1. モデルフィッティング

3D-CAD で一般に用いられるソリッドモデルは、パラメトリックに定義されたプリミティブ形状やフィーチャの集合体であり、それら形状フィーチャの持つパラメータを操作することで比較的自由的な変形が可能となる。実物体と同形状の CAD モデルを新規に作成するか、既存製品の改良設計であれば、製品の設計モデルを再利用する。本システムでは、いずれの方法で作成したモデルであっても、入力された CAD モデルのワイヤフレームモデルを実物体の映像に合成させながら対話的に修正していくことで、モデルの 3 次元形状を実物体と一致させる。このとき、対象とする実物体全体のモデルは必要としない。本システムにおいては、形状を変更したい部分のモデルのみを用意すればよく、それ以外の部分は実物体の映像をそのまま利用できる点が特徴の一つである。例えば、椅子の背もたれ部分のデザインを変更したい場合は、椅子全体ではなく、背もたれ部分のみの CAD モデルを用意し実物体の映像にフィッティングさせればよい。背もたれの 3 次元モデルは実物体の座標空間に配置されるため、HMD のヘッドトラッキングによって視点(HMD のカメラ位置)を移動しても背もたれ部分のモデルと座面や脚などの他の部位との相対的な位置関係は変化せず、椅子全体として違和感のない映像が合成される。

図 1 (a)に示すように、ER システムのユーザはディスプレイを通して実物体と同じ画面上に表示された CAD モデルのワイヤフレームを操作し、視点を移動させながら実物体と形状が一致するまで CAD モデルを編集する。

2. モデル形状の編集と出力画像の生成

図 1 (b)のように実物体とフィッティングさせた CAD モデルの各フィーチャを操作することで、図 1 (c)のように実物体の見かけの形状を仮想的に編集する。ユーザが操作するのはディスプレイ上の実物体に重ねて描画された CAD モデルのワイヤフレームであるが、その編集操作と連動して実物体の映像が変形されるのみならず、図 1 (d)のように任意の位置に視点を移動させても変形後の 3 次元形状は維持されるため、あたかも目の前の実物体を直接変形しているかのような映像が得られる。

本システムでは、CAD モデルの作成と編集に既存の 3D-CAD システムを用いるため、その編集操作についてはディスプレイ上で行う従来のモデリング操作を前提とする。よって、ER の最も重要な機能である CAD モデルの変形に伴う出力映像のリアルタイム処理について以下に詳細を述べる。

本システムでは、効率化のために入力画像をポリゴン単位で処理する。まず、システム内部において CAD モデルをポリゴンモデルに変換し、カメラ映像から各ポリゴンと対応する実物体の画像を抽出する。ユーザによる CAD モデルの編集と連動してポリゴンモデルもまた変形される。このとき、全てのポリゴンに対して裏面判定を行い、ユーザの視点(HMD カメラ位置)から見て裏向きのポリゴンは以後の処理から除外する。

裏面判定の結果、カメラ映像上の実物体はユーザの視点から見て可視と判定されたポリゴンによって被覆される。これらのポリゴンをデプスソートにより並べ替え、視点から見て奥のポリゴンから順に実物体の対応する部分の画像を割り当てる。ユーザが視点を移動させるたびに上記の画像変換および隠背景補完処理を繰り返すことで、任意の視点から見た実物体の映像が CAD モデルの形状編集操作に連動して改変される。また、HMD のカメラ映像を毎フレーム処理しながら変形後の映像を生成するため、視点の移動に伴う周辺環境の光沢面への映り込みもリアルタイムに変化する。

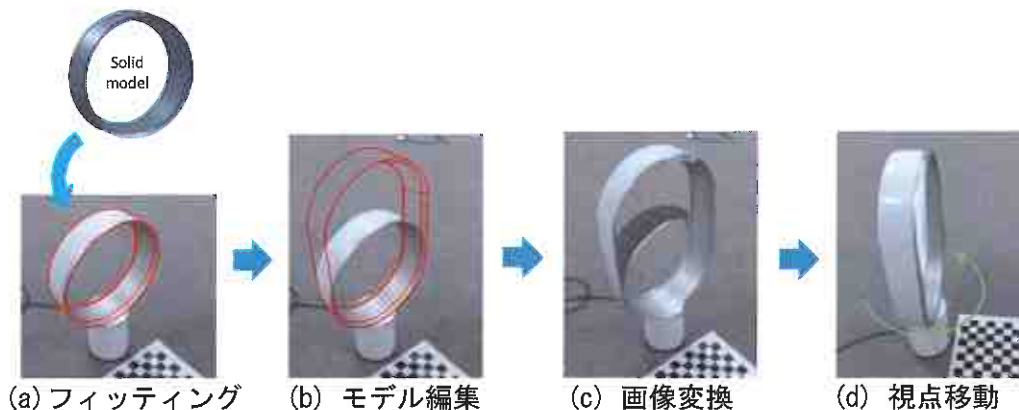


図 1 : CAD モデルのフィッティング・編集と出力映像の変換

3. 研究の結論、今後の課題

本研究では、ビデオ透過型ディスプレイを通して見た実物体の仮想的な形状編集を可能にするため、編集可能現実 Editable Reality の概念に基づいた形状モデリング手法を提案し、そのプロトタイプシステムを開発した。図 2 に示すように、既存の工業製品(羽の無い扇風機)を対象としたデザイン変更のケーススタディを実施し、HMD に表示された実製品の見かけの 3 次元形状を本システムによって変更した。これにより、現実の空間に設置された製品のリアルさを維持したまま様々なデザインを検討できることを示した。本研究で提案した ER システムの主な機能は以下の 2 つにまとめられる。

1. ビデオ透過型 HMD とそのヘッドトラッキング機能を用いた CAD モデルの現実空間座標系への配置と実物体への形状フィッティング
2. システムのユーザによる CAD モデルの対話的編集操作を媒介とした HMD 前方カメラからの入力画像のリアルタイム変換処理

今後の課題としては、アルゴリズムの改良による画像変換処理の高速化、3D ポインティングデバイスやジェスチャ入力を用いたより直感的な形状操作の実現、ER システムを用いた新しいデザインプロセスの提案などが挙げられる。



図 2 : ER システムによる実製品の仮想的な形状編集

4. 成果の価値(とくに判りやすく書いて下さい)

4. 1. 社会的価値

これまでのデザインは、紙の上でのスケッチや CAD システム上で行われていた。ER システムを通して現実世界が(視覚的に)改変できるようになることで、人工物のデザインの場合が現実空間に拡張されるというメリットがある。これは、製品の利用環境に即した設計をその場で行えるようになるという点で新規性がある。これにより、身近に存在する様々な人工物を素材として、独自の視点や感性に基づいた新しいデザインの発案が可能となり、デザインの裾野が専門家のみならず一般ユーザにまで拡張され、新しい発想をものづくりの世界に呼び込む原動力となると考えている。さらには、教育やエンターテイメント分野などへの展開による新しい産業創生が期待できる。

4. 2. 学術的価値

ER は、人工物の設計だけでなく、街路樹のデザインや人体の(仮想的な)編集など、大小あらゆるモノを対象とした「デザイン」へ応用できる可能性を持っている。例えば、既存のインフラストラクチャの破損状況に応じた補修パーツを設計したり、街路樹を伐採した場合の景観を仮想的に作り出したりするなど、現物の3次元情報を取得しその場で改変を加えるという ER システムの基本技術を活用した様々なアプリケーションが考えられる。このように、現実空間上で様々な人工物のデザインを行うという ER コンセプトは、設計工学やデザイン学の観点からも革新的であり、ER を前提とした新しい設計方法論や CAD システムの研究開発への展開が期待できる。

4. 3. 成果論文(本研究で得られた論文等を年代順に書いて下さい。未発表のものは公表予定を書いて下さい)

1. Shinichi Fukushige, Kazutoshi Tsuda, Hideki Kobayashi, "Design Support System for Product Renovation through Direct Digital Manufacturing," Proc. of 9th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign 2015), Tokyo, 2015.
2. 福重真一, 宮田理恵子, 小林英樹, "編集可能現実空間における状況依存デザイン," Design シンポジウム 2016, 2016.
3. 福重真一, 小林英樹, "実製品をベースとした改良設計支援のための Editable Reality システム," 日本機械学会第 26 回設計工学システム部門講演会講演論文集, 2016.
4. Shinichi Fukushige, Rieko Miyata, Hideki Kobayashi, "A Virtualized Reality Environment for the Immersive Evaluation of Locally Oriented Product Design," Proc. of the 10th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign2017), 2017.
5. 福重真一, "実物体の仮想的な形状編集のための対話的イメージベース・リモデリングシステム," 日本機械学会論文集, Vol. 83(2017), No. 853, p. 17-00121, 2017.