

AR 空間におけるエアブラシ型 インタフェースによる形状モデリングシステム An Airbrush Metaphor Interface for 3D Modeling in AR Space

青木 紘史^{†1} 三谷 純^{†‡2} 金森 由博^{†2} 福井 幸男^{†2}

Hiroshi AOKI^{†1} Jun MITANI^{†‡2} Yoshihiro KANAMORI^{†2} and Yukio FUKUI^{†2}

[†] 筑波大学 非数値処理アルゴリズム研究室 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[†] Non-numerical Processing Algorithms Laboratory, University of Tsukuba, 1-1-1 Tenno-dai, Tsukuba, Ibaraki
305-8573, Japan

[‡] JST ERATO 〒112-0002 東京都文京区小石川 1-28-1

[‡] JST ERATO, 1-28-1 Koishikawa, Bunkyo-ku, Tokyo 112-0002, Japan

E-mail: ¹aoki@npal.cs.tsukuba.ac.jp, ²{mitani, kanamori, fukui}@cs.tsukuba.ac.jp

1. まえがき

近年、計算機で生成した情報やグラフィックスを、ディスプレイを通して現実世界に投影する拡張現実 (Augmented Reality = AR) 技術が注目を集め、携帯ゲーム機やスマートフォン、自動車の運転補助に活用される等、社会的に広がりを見せ始めている。AR 技術を有効的・機能的に活用する上で必要なハードウェアであるヘッドマウントディスプレイ (Head Mount Display = HMD) は、現在のところ、その多くが高価かつ大型であるが、技術進歩による軽量小型化や量産効果による低価格化により、近い将来には社会的に普及を見せるものと思われる。

本研究では、将来普及するであろう HMD と AR 技術をコンテンツ創作活動に活かすことをモチベーションの根幹とし、その具体的な手法の一つとして、初心者にも使い易く直観的な操作を行える 3DCG モデリングシステムを提案する。HMD を用いて AR 空間上でモデリングを行うという研究そのものは以前から行われている。AR 空間でのモデリングは従来のマウスとキーボードによる操作と異なり、身体の動きによる形状表現および実世界の道具の扱いに近い直観的な操作で編集が行える利点がある。しかしながら、AR 空間では、対象物の触覚 (= 力覚フィードバック) が得られないことが大きな問題となる。目の前に物体は見えるが、それはあくまでバーチャルな映像に過ぎないため触れることができず、対象物をつかんだり、動かしたりする際に力覚フィードバックが得られず、違和感が生じる。この問題は先行研究においても課題とされており、高見らはこの問題を解決するために、ナイフやハンマ

ーなどを模した道具にアクチュエータを組み込み、振動による擬似的な力覚フィードバックを生成するシステムを提案した [1]。このような触力覚を再現するハプティックデバイスは他にも数多く提案されているが、それらは未だ高コストであり導入は容易でない。

このように、AR 空間での形状モデリングでは力覚フィードバックの実現方法が解決すべき大きな問題となっているが、このような問題が生じるそもそもの原因は、ユーザ自身の手やナイフ、ハンマーと言った、実世界においては編集対象に直接触れる性質を持つ道具を入力インタフェースとして用いている為である。

そこで本研究では、この発想を逆にし、実世界でも編集対象に直接触れずに加工を行う道具を模した入力デバイスを用いることを新しく提案する。本来、編集対象に直接触れない加工法であれば、力覚フィードバックを再現する必要がなくなり、違和感の問題を回避できると考えられる。本研究では、この仮説の検証のために、エアブラシを模したインタフェースによる形状モデリングシステムの構築を行った。エアブラシは本来、塗料の吹き付け等に用いられる道具であるが、提案システムでは図 1 のように AR 空間に投影された CG モデルに対し、エアブラシ型インタフェースで素材を吹き付け、積層させることによりモデリングを行う。エアブラシは実世界でも対象物に触れずに操作を行うため、力覚フィードバックが無くても違和感なく扱うことができると考えられる。

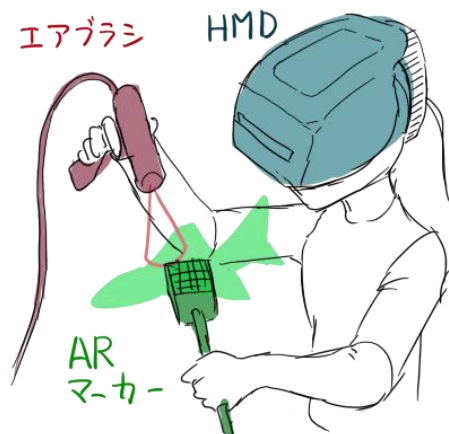


図 1 本システムの使用イメージ図

2. 関連研究

エアブラシの機能を 3DCG モデリングに適用した研究としては、まず 1997 年に野田らの提案した手法[2]が挙げられる。AR ではなく従来型の 2D ディスプレイを用いる形式ではあるが、スプレー型インタフェースをモデリングに用いることにより、ハプティックデバイスを用いる際に生じ得る力覚フィードバック再現の問題を回避するという、本研究に通ずるアイデアが謳われている。

Schkolne らは、マーカーの付いたグローブを装着し、その動きを追跡装置でトレースする事により、VR 作業空間上でその軌跡に沿って帯状ポリゴンを生成するサーフェス・ドローイングというシステムを提案した[3]。AR マーカーを装着したトングや消しゴムといった複数の道具を用いることで、生成したポリゴンモデルの整形や移動、消去を行うことが可能である。ユーザは道具を使い分けることで直観的に機能を選択し、モデリングを行うことができる。主な用途としては簡単な立体的デッサン、工業製品のデザイン検討が挙げられている。力覚フィードバックについては基本的に考慮されていない。

Lau らは、実物体を仮想物体と一対一に対応させることで、AR 空間において力覚フィードバックを得つつモデリングを行うことができるシステムを提案している[4]。角柱や板、球体などの実物体に AR マーカーを取り付けたプリミティブ(基本形状)の上に、AR によってそのプリミティブと同一形状の CG モデルが表示される。ユーザはプリミティブを任意の場所に移動させ固定することができ、それらのプリミティブから構成されるモデルを AR 空間上で作成することができる。本システムは主に、棚や家具などのモデリングと配置検討に用いることが想定されている。モデリング中に実際に手に持つプリミティブと、AR によって重ねて表示される CG モデルが同一形状・サイズであるため、

簡易的ではあるがその CG モデルに触れているかのような力覚フィードバックが得られる。オリジナル家具のデザインや配置検討の手段として用いることが想定されているが、あらかじめ用意された基本形のみで構成されるモデルしか生成できない。また、彩色を行うこともできない。

横川らは、初心者でも簡単かつ直観的にモデリングを行える、ジェスチャインタフェースを用いたモデリングシステムを研究、開発した[5]。ステレオカメラでユーザの手振りを検出し、その軌跡に応じてポリゴンを生成するというものである。これにより、マウスやキーボードを介した操作を排除している。初心者が直観的に操作しやすいように、ある程度の習熟が要求されるマウスやキーボードなどの従来型の入力インタフェースを用いず、ユーザ自身の手の動きとモデリングを直結させるという発想を本研究の参考とした。

3. 使用デバイス

本研究では、両眼視差による立体視が可能なキヤノン IT ソリューションズ社製 VH-2007 型ヘッドマウントディスプレイを使用した。

エアブラシ型入力インタフェースとして、図 2 右のように、ワイヤレスマウスに AR マーカーを取り付けたものを用いる。エアブラシ型ツールをハードウェアから開発するのはコストが高いため、本研究では簡易的にマウスで代用した。オブジェクトは、図 2 左のような先端に AR マーカーを取り付けた丸棒の上に表示される。本システムを使用しているユーザの様子を図 3 に示す。ユーザは一方の手で対象モデルを自由に回転させ、任意の角度から眺めることができる。他方の手にエアブラシを想定したデバイス(マウス)を持ち、対象モデルに対する編集操作を行う。HMD 上には、エアブラシ型インタフェースはマウスの AR マーカーに重ねて図 4 のように表示される。



図 2 本システムで用いられる入力デバイス



図3 本システムを用いてユーザが実際にモデリングを行っている様子

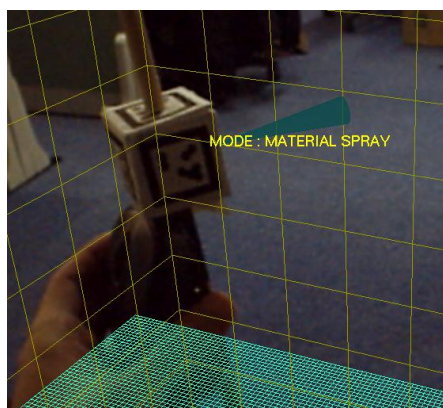


図4 HMD 上に表示されるエアブラシ型インタフェース

4. システムの機能

AR 作業空間は、床に設置した AR マーカーを基準点として設定される。ユーザはこのマーカーと、エアブラシ及びオブジェクトに対応するマーカーを HMD の視界に入れて作業を行う。

本システムはモデリングのための複数のモードを備えており、マウスのホイールをクリックすることで、モードを切り替えることができる。モードの種類は以下のようになっている。

- ボクセル吹き付け/消去機能
- オブジェクト選択消去機能
- 着色モード

本章ではこれらの機能と、形状データの保持手法について述べる。

4.1. データ保持

本システムのプログラム内では、オブジェクトの形

状データをボクセル形式で保持している。ボクセル形式はポリゴン形式に比べ、モデルを削ったり盛り上げたりした場合の形状データの管理や演算処理が容易である。本研究においてはエアブラシによって素材を吹き付けるというシステムの仕様上、素材の粒子をボクセルと見なして実装を行った。

ボクセルそのものは立方体として表現される為、ボクセルの解像度を高くしなければオブジェクトの表面がでこぼこになり、粗くなってしまう。だが現実的には解像度の向上にも限度がある。よってプログラム内でのデータ保持をボクセル形式で行いつつ、表示する時のみ、比較的滑らかな表現が可能なポリゴン形式に再構成して表示することとした。ポリゴン形式への変換にはマーチングキューブ法[6]を用いている。なお、編集結果をファイルに出力して保存することや、ファイルを読み込んで編集を加えることも可能であるが、現在のところ独自ファイル形式での入出力のみとなっている。

4.2. ボクセル吹き付け/消去機能

エアブラシによってボクセルの吹き付けを行う際、その吹き付け範囲は、エアブラシ型ツールの AR マーカーから伸びる半透明の円錐で表示され、左ボタンをクリックすることでボクセルが吹き付けられる。実際のエアブラシと同様、ブラシとオブジェクトの距離に応じて、吹き付けられるボクセルの範囲や量が変化する。具体的には図5に示すように、距離が近ければ狭い範囲に、離れていれば広い範囲にボクセルが吹き付けられる。また、右ボタンをクリックすることで、オブジェクトを構成するボクセルを消去することもできる。こちらも吹き付け時と同様、エアブラシとオブジェクトの距離に応じてボクセルの消去量が変化する。

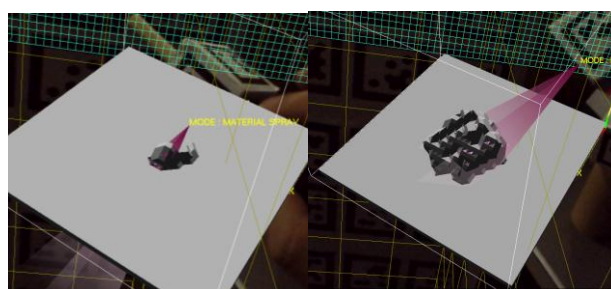


図5 エアブラシによるボクセル吹き付けの様子。左はブラシとオブジェクトの距離が近い場合、右は遠い場合である。

4.3. オブジェクト選択消去機能

エアブラシによるボクセル吹き付けと消去を繰り返してモデリングを行う過程で、小さな断片が空中に

残されることが多い。これらをエアブラシの消去機能によってひとつひとつ消去していくのは、大変な労力と時間を要する。そこで、これらの細かな断片を一括消去するための機能も実装した。モードをオブジェクト選択消去モードに切り替え、消去したくないオブジェクトに円錐カーソルを触れさせた状態で左ボタンをクリックすると、オブジェクトの色が変化し、オブジェクトが選択される。この状態で右ボタンをクリックすると、非選択部分のボクセルが一括消去される。図6の左が、消去したくないオブジェクトを選択した状態、右がその上で消去操作を行い、非選択部分を消去した様子である。複数のオブジェクトを同時に選択することもできる。オブジェクトの選択は、シードフィル・アルゴリズムを3次元に拡張したものを構成ボクセルに対し適用することで行っている。

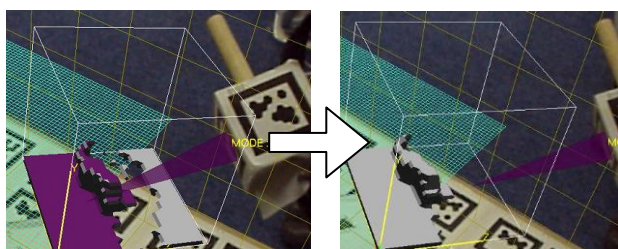


図6 オブジェクト選択消去の様子

4.4. 着色機能

本システムでは、ボクセルにRGB形式の色情報を付加することでオブジェクトに着色を行うことができる。モードを着色モードに切り替えると、図7のような直方体のブロック6個で構成されたカラーパレットが現れる。各ブロックは異なる色で着色されており、図6右のように、これらのブロックにブラシ先端を触れさせることで色の変更を行う。選択されている色は、ブラシ自体の色として反映される。このカラーパレットは、モデリング作業の邪魔になる場合には、右ボタンでドラッグすることで空間上の任意の位置に移動させることができる。

色選択後は、左ボタンをクリックすることにより、実際のエアブラシと同じ要領で着色を行うことができる。図8に示すように、吹き付けた部分の中心の色は濃く、外側は薄くなる。またボクセル吹付と同様に、オブジェクトとエアブラシとの距離によっても、色の吹き付け面積が変化するようにになっている。図9のように、複数色の塗り重ねにも対応している。

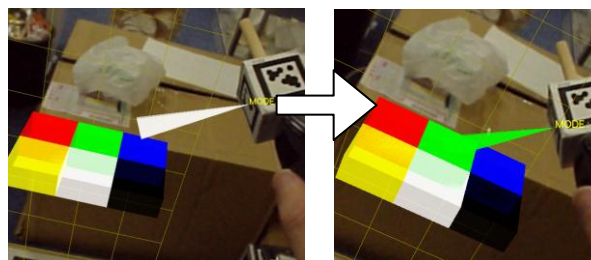


図7 カラーパレットによる色選択の様子

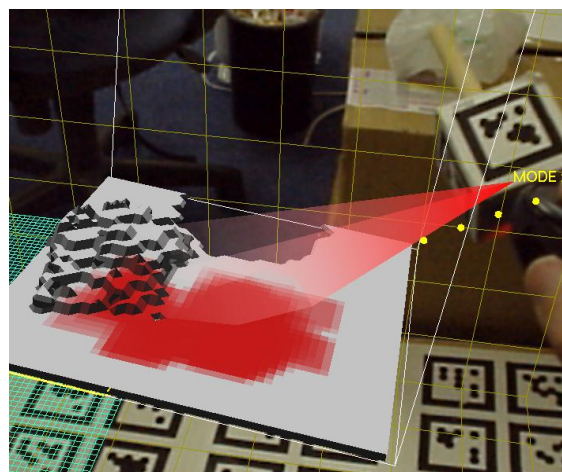


図8 単一色による着色の様子

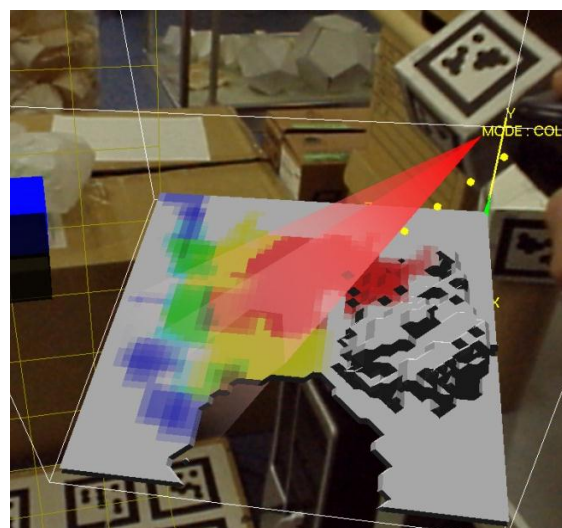


図9 複数色による着色の様子

5. 出力例

本システムを用いて作成したモデルの例を図10に、解像度や作成所要時間などのデータを図11の表に示す。(b)の作成所要時間が突出しているのは、平面的な側面形状を作ることが、現状のシステムの機能では困難であるためである。

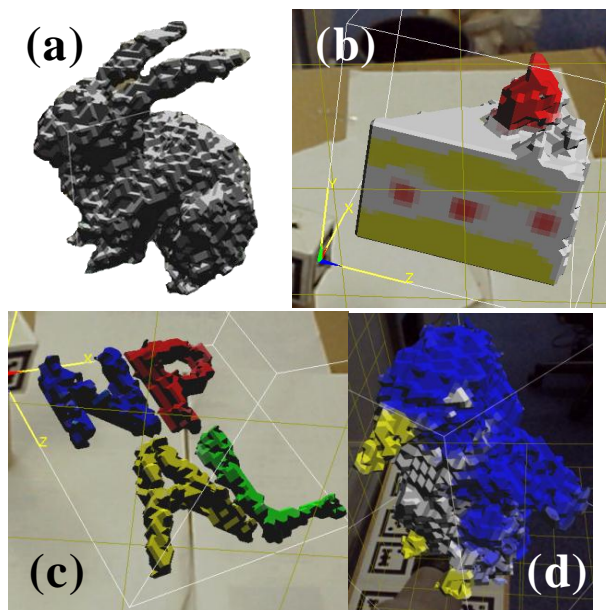


図 10 本システム用いて作成したモデルの例

図	モデルの形	解像度	作成時間
(a)	うさぎ	30×30×30	約 15 分
(b)	ケーキ	40×40×40	約 25 分
(c)	文字	40×40×40	約 10 分
(d)	ペンギン	50×50×50	約 15 分

図 11 作成モデルの解像度と作成所要時間

6. まとめと今後の発展

本研究では、エアブラシ型入力デバイスを用いることで、力覚フィードバックが再現されないことから生じる違和感を回避し、AR空間で直観的にモデリングを行うことができるシステムを提案した。エアブラシによるボクセルの吹き付けや消去、彩色によって、簡易なモデリングを行うことができる。エアブラシとオブジェクトの距離を調節することでボクセルや色の吹き付け量を変化させる、空間上に設置されたカラーパレットにブラシを触れさせることで色選択を行うなど、直観的な操作を取り入れている。従来の研究では、力覚フィードバックの再現に重点が置かれていたが、入力方法をうまく設計することで、そもそも力覚フィードバックが無くても問題無く形状モデリングが行えることを示すことができた。

本システムの具体的な用途としては、HMDがウェアラブル・コンピュータとして広く普及することが前提ではあるが、前章で例示した有機的形狀の簡易なモデリングや、テレビゲームやCG映像などで用いる地形データの基本形の作成などが挙げられる。ファイル入出力機能を充実させることで、3Dスキャナから読み込んだ実物の形状データを基に簡易な編集を加え、それ

を3Dプリンターで出力するといった使い方も考えられる。また形状の操作を素早く直観的に行えることから、デザインプロセスの初期段階における試行錯誤で活用できる可能性がある。

本研究と類似する先行研究としては Jung らが提案したシステム[7]があり、AR空間でエアブラシ型インタフェースによってモデリングを行うという概要、デザインプロセスの一部として活用するという方向性は本研究とも一致している。しかし、当該研究は、エアコンプレッサーからの空気噴出によるエアブラシの力覚フィードバックの再現や、基本骨格の上から吹き付けて形状を作っていくモデリング手法などを採用しており、本研究との相違点も多い。特に、力覚フィードバックの再現の問題を低コストで回避するという本研究の基本アプローチではなく、あくまで再現するという従来寄りの基本アプローチを取っているという点で、本研究と大きく異なっている。今後は、力覚フィードバック再現を回避するという現在の基本アプローチを発展させていくことで、類似研究との差別化を図っていきたい。

機能面における今後の改良点としては、開発環境の改善やアルゴリズムの高速化によるグラフィック処理速度の向上や、データ出力機能の改良、操作に対する効果音による聴覚フィードバックの追加、やり直し機能などを実装し3DCGモデリングシステムとしての完成度を高めることなどが挙げられる。中核となるエアブラシによる吹き付け操作については、Z-Brush[8]の使用感を参考に改良を進めていくことを検討している。また現状ではHMDに搭載されたビデオカメラでARマーカを認識するという仕様上、ユーザは作業中に常に床とエアブラシ型インタフェースのARマーカを視界内に捉えていなければならない、これによってユーザの頭の動きが実質的にある程度制限されてしまうという問題がある。これに対してはARマーカが不要な新しいARシステム[9]を活用し、使い易さの向上を図ることなどが考えられる。

現在の提案システムでは機械部品のような幾何形状は作れないが、図10に示すような自由形状を短時間で構築することができた。数人の被験者による簡易的なユーザテストの結果、スプレーのような使い方が分かりやすく、モデリングのための基本操作がAR空間内で完結しているために使いやすいという意見が寄せられた。一方、オブジェクトの一括切断ややり直し機能といった、モデリングを効率的に行うための諸機能が充実していない点是不評であった。それらの機能を実装することにより、よりユーザフレンドリーなシステムになると考えられる。今後は複数のユーザによる評価実験を行い、本研究が提案したアプローチの有効性

を検証していきたい。

文 献

- [1] Y. Takami, M.Otsuki, A.Kimura, F.Shibata, and H.Tamura: Daichi's artworking: enjoyable painting and handcrafting with new ToolDevices, SIGGRAPH ASIA 2009, Emerging Technologies, pp. 64 - 65. (2009.12)
- [2] 「吹き付けによる3次元形状モデリングの提案」, 信学技報, HIP, 1997.
- [3] S. Schkolne, M. Pruett, P. Schröder, Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools. CHI '01 Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp.261 - 268.
- [4] M. Lau, M. Hirose, A. Ohgawara, J. Mitani, T. Igarashi, Situated Modeling: A Shape-Stamping Interface with Tangible Primitives. TEI 2012, Ontario, Canada, Feb. pp.19-22.
- [5] T.Yokokawa, M.Ishii, Z.Tang, and K.Yamashita. Construction of 3D modeling system that uses gesture interface. In Technical report of IEICE.Multimedia and virtual environment 107(80), pp. 51-54. (May 2007)
- [6] W. Lorensen, H. Cline. Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. SIGGRAPH '87 Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. pp. 163 -169.
- [7] Jung et al., "Spray Modeling: Augmented Reality Based 3D Modeling Interface for Intuitive and Evolutionary Form Development", Proc. ICAT 2004.
- [8] <http://www.pixologic.com/zbrush/>
- [9] G. Klein, D. Murray, Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. Mixed and Augmented Reality, 2007. ISMAR 2007. 6th IEEE and ACM International Symposium on, pp. 225 - 234. (2007.11)