

## 複合現実空間において複雑な模様彫刻を行うための電子機能の検討

山本 拓也<sup>†1</sup> 川越 真帆<sup>†2</sup> 大槻 麻衣<sup>†3</sup> 柴田 史久<sup>†1</sup> 木村 朝子<sup>†1</sup>  
立命館大学 情報理工学部<sup>†1</sup> 同 大学院情報理工学研究科<sup>†2</sup> 筑波大学<sup>†3</sup>

### 1. はじめに

我々は、複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術と道具の形状や操作感を活用した道具型デバイスを用いたモデリングシステムを提案してきた[1]。現在は、彫刻刀を模した入力デバイスを用いて、MR 空間において彫刻作業を行うシステムの開発を行っている[2]。このシステムを用いることで、ユーザは実世界における彫刻作業と同様の操作で仮想の 3D モデルに対して彫り跡をつけることができる (図 1)。

一方、実世界における彫刻作業では、複雑な模様彫刻に熟練が必要とされることや、一度施した彫刻を元の状態に戻すことができないなどの問題がある。これらは、現状の電子彫刻システムが抱えている問題でもある。

そこで我々は、現在のシステムを拡張し、実世界で行うことができない電子作業ならではの利点を活かした、複雑な模様彫刻を効率的に行うことのできる機能として、対称彫り機能と Undo/Redo 機能を実装した。

### 2. 電子彫刻システム

作成した電子彫刻システムのシステム構成を図 2 に示す。ユーザは彫刻刀型デバイスを利用し、実物体にデバイスを押しつけ、なぞるような操作を行うことで、その実物体に重畳描画した仮想の 3D モデルに対して彫り跡を付けることができる。

本システムでは、MR 空間の提示には両眼立体視可能なビデオスルー型のヘッドマウントディスプレイ (Canon 製 MREAL HM-A1) を使用している。彫刻刀型デバイスや頭部 (カメラ位置)、仮想物体の位置姿勢推定には磁気センサ (Polhemus 製 FASTRAK) を用いており、デバイスの後端と HMD、仮想物体 (彫刻対象) を重畳描画する実物体に取り付けている。また、彫刻刀型デバイスの先端には、圧力センサ (Interlink Electronics Inc. 製 FSR400 SHORT) が取り付けられており、デバイスを実物体へ押しつけた際の圧力を取得する。圧力センサで取得した値は、Arduino Uno (Arduino LLC 製) を通して PC へ送信される。

彫り跡の形状は、彫刻刀デバイスの「刃先の位置」「押し付け量」「彫刻面とデバイスのなす角度」から、彫り跡の「位置」「深さ」「幅」を求める彫り跡表現モデルを用いて変化させている[2]。さらに、彫刻刀型デバイスは刃先を丸刀、三角刀、平刀、印刀に変更することができ、刃先の種類によっても彫り跡の形状が変化する。

### 3. 実世界での彫刻作業

実世界での木材に対する彫刻は、彫刻刀を用いて木材の表面に装飾を行う。この際に使用する彫刻刀には、丸刀、三角刀などの数種類の異なる刃先が存在する。そし



図 1 複合現実空間での彫刻作業の様子

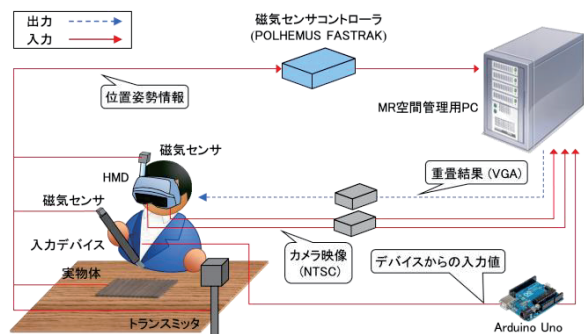


図 2 システム構成

て、彫刻刀の刃先の種類や、彫刻刀に加える力、木材の表面と彫刻刀のなす角度によって彫り跡を変化させ、様々な模様や図形、文字を表面に彫ることができる。

模様表現方法として、模様の周りを彫り下げることによって、模様が浮かび上がっているように見せる陽刻や、逆に模様を彫り下げることで、くぼんでいるように見せる陰刻などがある。これらは、表面を凹凸に変形させる彫刻ならではの表現である。また、彫り方にも菱合い彫りやかまぼこ彫りといった技法があり、それぞれの彫り方によって、同じ模様を彫る場合であっても印象が大きく変化する。

複雑な模様を彫刻する際には、前述のような彫刻刀の刃先、彫り下げ箇所、技法などを使いこなす必要がある。熟練していれば、作業時間をある程度短くすることができるが、初心者場合は作業に時間を要する。模様が複雑になればなるほど、彫刻の技術が要求される。しかし、彫り方や模様の表現方法などは簡単に身につくものではない。

また、一度施した彫り跡は元に戻すことができない。線画や絵のように対象の形状を変更せずに行う加工であれば、消しゴムややすりで消す、上塗りをするといった操作で修正することができる。しかし、彫刻作業のように表面の形状そのものを加工する場合は、修正を行うことはできない。想像していた彫り跡よりも小さい、もしくは浅いといった場合であれば、もう一度同じ場所を彫

“Digital Functions for Carving with Complex Patterns in Mixed Reality Space”

<sup>†1</sup> College of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

<sup>†2</sup> Graduate School of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

<sup>†3</sup> University of Tsukuba



図3 幾何学的な模様の作品例

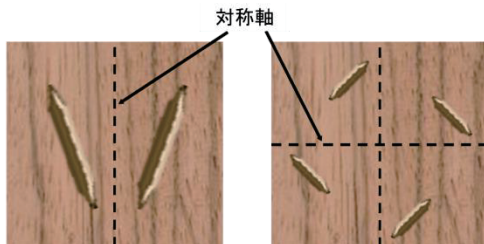


図4 線対称と点対称 (イメージ)

ることによって修正を行うことができる。しかし、彫り跡が長い、深いといった場合はひとつ前の作業に戻すことは不可能である。

これらは、熟練によってある程度解決することができる。しかし、それだけの技術を得るには何度も彫刻を行う必要があり、多くの時間を要する。熟練が必要な点に関しては現在の電子彫刻システムにも共通した問題である。そこで、実世界での彫刻作業との違い、つまり電子作業という利点を活かすことでこれらの問題を解決することができるのではないかと考えた。そして、電子彫刻システムに対し、彫刻作業を効率的に行うことができる電子機能を追加した。

#### 4. 追加した電子機能

複雑な模様は数多く存在する。本研究ではその中でも、実世界での彫刻作品によくみられる、図3のような線対称/点対称の図形や幾何学的な模様の彫刻に着目した。このような彫刻は、同じ形を繰り返し彫ることによって表現されており、緻密で美しい。しかし、実際にこのような複雑な模様を彫刻するためには、まったく同じ模様を何度も彫る技術が必要とされ、時間と労力が必要となる。さらに複雑な模様の彫刻は必然的に彫る回数が多くなり、模様の彫刻時にミスが生じる可能性も高くなる。そこで、「同じ模様を繰り返し彫る」作業を効率的に行うための対称彫り機能と、作業内容を何度もやり直すことができるUndo/Redo機能を実装した。本稿の対称彫りとは、ユーザが彫った模様と同様の模様が分割数に応じて別の箇所に自動的に転写されることを意味している。

本研究では、対称彫りでよくみられる、線対称と点対称の2種類を実現した(図4)。ユーザはこの機能を使用する際、まずどちらの対称彫り機能で彫りを行うかを選択する。さらに点対称の場合は2以上の分割数を指定する。この操作によって仮想の3Dモデルの表面に指定した分割数に応じた対称軸が表示される(図5(a))。対称彫り機能では、この対称軸をもとに彫り跡の転写位置が決定する。さらに線対称の対称軸および点対称の中心点は、対象物体表面の任意の位置に移動することができる(図5(b))。また、表示された対称軸を回転させることで、彫った模様が転写される位置を変更することが



(a) 対称軸表示



(b) 対称軸移動



(c) 対称軸回転

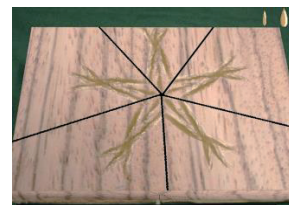


(d) 対称彫り

図5 作業の流れ



(a) 線対称



(b) 点対称

図6 作品例

きる(図5(c))。これらによって、線対称と点対称が合わさったような模様の彫刻や、複数の対称模様を一つの平面に彫ることができる(図5(d))。

Undo/Redo機能では、ひとつ前の作業内容を取り消す・やり直すことを可能とした。これにより、ユーザが納得のいく模様が彫刻できるまで作業のやり直しを行うことができる。

実装した電子機能を活用することによって、ユーザは自由な位置に様々な模様を少ないステップ数で彫刻することができる。図6は対称彫り機能を使用した線対称と点対称の作品例である。

#### 5. むすび

本稿では、MR空間内で彫刻作業を行う際、複雑な模様の彫刻を効率的に行うことのできる機能として対称彫り機能とUndo/Redo機能を実装した。対称彫り機能では、ユーザが指定した分割数に応じて、彫り跡が自動的に転写される。これらの機能を用いることで、彫刻の経験が少ない人であっても、線対称や点対称といった複雑な模様を簡単に彫刻することが可能となった。

今後は、さらに実世界での彫刻作業の分析を行い、電子作業ならではの利点を活かして、効率的に作業を行うことができる機能(一度彫った模様のコピーやペーストを行う機能や指定領域を一括して彫刻する機能など)の追加を行う予定である。

#### 参考文献

- [1] Arisandi R., et al.: Virtual Handcrafting: Building Virtual Wood Models Using ToolDevice, Proc. IEEE, Vol. 102, No. 2, pp. 185 - 195 (2014).
- [2] Kawagoe M., et al.: Sharpen Your Carving Skills in Mixed Reality Space, Adjunct Proc. 4th ACM Symp. on Spatial User Interaction (SUI 2016), p. 161 (2016).