

# 筆圧に基づく操作の強さを考慮した仮想彫刻・版画システム

小林 大吾<sup>†</sup> 水野 慎士<sup>†</sup> 岡田 稔<sup>††</sup> 鳥脇純一郎<sup>†††</sup> 山本 眞司<sup>†</sup>

<sup>†</sup>豊橋技術科学大学 知識情報工学系

<sup>††</sup>早稲田大学大学院 情報生産システム研究科 <sup>†††</sup>中京大学 生命システム工学部

## 1.はじめに

近年のコンピュータ技術の発達やパーソナルコンピュータの普及に伴い、コンピュータグラフィクス(CG)は一般の人々にとっても身近なものとなっている。我々は、専門知識を必要とせず、教育や芸術分野で活用でき、対話的操作によって二次元/三次元CGを作成可能な、彫刻・版画のシミュレーションである「仮想彫刻・版画システム」を開発している[1]。

本論文では、筆圧に基づいた操作の強さを考慮することにより、素材の硬さの概念などを取り入れ、より直感的な操作を実現した。

## 2.仮想彫刻・版画システムの概要

仮想彫刻において、ユーザは仮想空間内に用意された彫刻素材に対して対話的に彫刻刀を操作し、切削や付加をおこなう(fig.1)。素材は交点リスト法[1]によって瞬時に変形される。この彫刻操作を繰り返すことで、任意の三次元形状を作成する。

仮想版画では、仮想彫刻操作で作成された版木に加え、紙、インク、バレンが仮想空間内に用意される。版木上に置かれた紙は格子点の集合で表されており、ユーザがバレンを操作することによって徐々に版木に接近する。版木と紙の距離に応じてインクの付着量が決定し、版画画像が生成される。

本システムでは、直感的に力覚が入力可能なユーザインタフェースデバイスである、筆圧感知式ペンタブレットによって仮想彫刻刀や仮想バレンの操作をおこなう[2]。切削の深さや角度、摺りの強弱などはペン操作の力によって制御する。

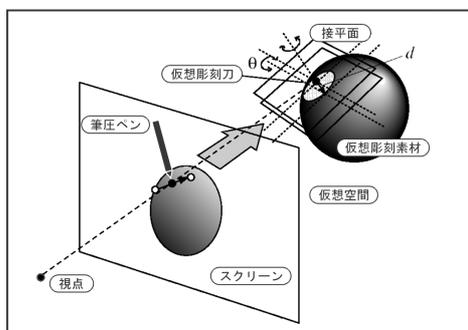


fig.1:仮想空間の概念図

## 3.筆圧感知式ペンを用いた仮想彫刻

### 3.1.ペン操作から切削形状の導出

仮想彫刻の基本的な彫刻処理は、素材上でのペンによるドラッグと、それに対応した直線的な切削である。ペンから得られた座標を仮想空間内の座標に変換し切削の始点と終点を決定、切削距離  $l$  を求める。その後、得られた筆圧の平均値  $p_a$  を基に切削の深さ  $d$  を、操作前半と後半の平均筆圧  $p_f, p_l$  の差から素材面に対する切削の傾き  $\theta$  を、それぞれ導出する(fig.2)。その際、切削領域における木目テクスチャの特徴を解析し、操作の強さと切削の深さの関係を変化させることにより、現実の彫刻と同様に、木目が切削に与える影響を表現する。木目の特徴として、切削領域のテクスチャの平均濃度  $g_a$ 、木目密度(テクスチャの濃度変化が閾値と交差した頻度)  $f$  を考慮し、以下の式によって切削の深さ  $d$  および傾き  $\theta$  を導出する。

$$d = rp_a / p_{\max} \cdot C_0 g_a / g_{\max} (f_{\max} - f) / f_{\max} \quad (1)$$

$r$ : 仮想彫刻刀の最大切削深さ

$p_{\max}$ : 認識可能な圧力の最大値

$g_{\max}$ : 木目テクスチャの最大濃度 ( $0 < g_a < g_{\max}$ )

$f_{\max}$ : 木目テクスチャの最大密度 ( $0 < f < f_{\max}$ )

$C_0, C_l$ : 素材に応じた定数

$$\theta = \tan^{-1} \{ (d_l - d_f) / 0.5l \} \quad (2)$$

$$d_{\{f,l\}} = rp_{\{f,l\}} / p_{\max} \cdot C_0 g_{a\{f,l\}} / g_{\max} (f_{\max} - f_{\{f,l\}}) / f_{\max} \quad (3)$$

$g_{a\{f,l\}}$ : 切削領域前半, 後半の木目テクスチャの平均濃度

$f_{\{f,l\}}$ : 切削領域前半, 後半の木目テクスチャの密度

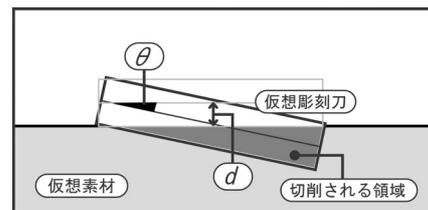


fig.2:仮想彫刻操作の模式図

これらにより、実際の彫刻により近い、操作の強さと木目の硬さを考慮した切削形状が表現可能になる。

### 3.2.切削操作の拡張

実際の彫刻においては、切削操作は単純形状ではなく複雑な曲線的形状であることが多い。そのため、切削操作が曲線形状に対応できるよう拡張する。ペン操作から得られた仮想空間内の三次元座標、筆圧をもとに、それらの点間を補完する曲線を生成する。その後、

補完曲線の曲率に応じた基本切削形状の連続として、曲線的な切削形状を表現する(fig.3).

また、彫刻や特に版木の製作では、あらかじめ輪郭にそって溝を切削し、その溝に向かって適度な力で切削を加えることで明瞭な輪郭を作成する「切り回し」を利用した技法がよく用いられる。仮想彫刻では、素材表面形状と操作の強さに応じて切削の終端位置を変化させることで、この技法を実現している(fig.4).

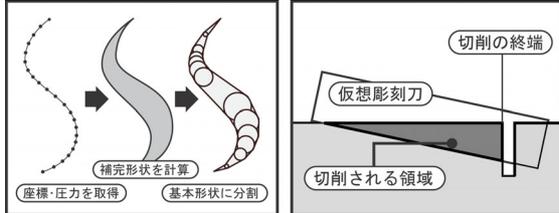


fig.3: 曲線形状切削の模式図

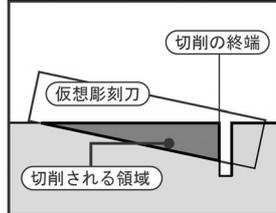


fig.4: 輪郭処理の模式図

#### 4. 筆圧感知式ペンを用いた仮想版画

版画、特に浮世絵などにおいて、バレン操作の強弱変化は作品の表情を決定する大きな要因となる[3].

仮想版画のバレン操作の強弱にも、ペンから得られる筆圧  $p$  の変化を利用し、一回の操作によるバレンの  $z$  方向変移量  $\Delta z$  を以下のように定義する(fig.5).

$$\Delta z = \Delta z_{lim} p / p_{max} \quad (4)$$

$\Delta z_{lim}$ : 一回の操作による仮想紙格子の  $z$  方向最大変移量

$p_{max}$ : 認識可能な圧力の最大値

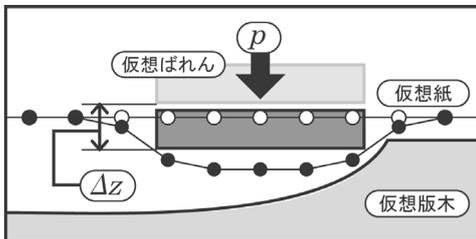


fig.5: 仮想紙の格子変形概念図

これにより、操作の強さに応じて摺り具合を変化させることが可能となった。

#### 5. 実験

筆圧感知式液晶ペンタブレットを用い、仮想彫刻・版画システムの動作を検証した(fig.6). なお仮想彫刻では、3種類の仮想彫刻刀を用意した(fig.7).



fig.6: 仮想彫刻の動作風景

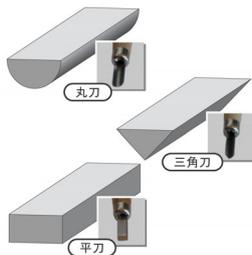


fig.7: 用意した仮想彫刻刀

筆圧感知式ペンタブレットを用いた彫刻操作は、筆圧の変化に応じ切削の深さや素材面に対する傾きを動的に変化させることができた(fig.8). 木目テクスチャの解析による操作の強さと切削の深さとの対応付けの変化、素材表面形状の解析による輪郭部の切削(fig.9)なども合わせ、直感的な作品作成が可能となった。



fig.8: 彫刻作品例

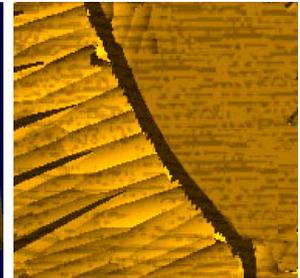


fig.9: 筆圧を利用した輪郭部の切削

仮想版画システムでは、従来は操作回数によって制御していたバレンを押し付ける加減を筆圧によって調節できるようになり、数値入力などでは表現が難しかった、摺り具合に伴うぼかしや滑らかな色調変化の表現が可能となった(fig.10,11).

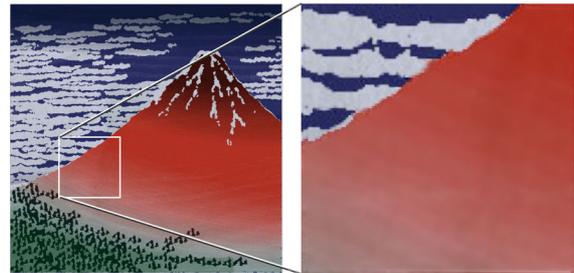


fig.10: 版画作品例

fig.11: 色調変化部の拡大図

#### 6. まとめ

仮想彫刻・版画システムのインタフェースとして筆圧感知式ペンタブレットを用い、操作の強さや素材の状態を考慮したことによって、より現実の彫刻・版画に近い技法を用いたCG作成が可能となった。

今後の課題としては、仮想彫刻作品に対する塗料の塗布や、それを応用した版画画像生成手法の発展、フォースフィードバック可能な入出力デバイス[4]の採用などを検討している。

#### 参考文献

- [1] S. Mizuno, M. Okada, and J. Toriwaki, "Interactive Designing System with Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing", *Proc. of EUROGRAPHICS '99*, pp.183-193, 409, 1999.
- [2] S. Mizuno, D. Kobayashi, M. Okada, J. Toriwaki, and S. Yamamoto, "Virtual Sculpting with a Pressure Sensitive Pen", *Proc. of ACM SIGGRAPH 2003, Sketch & Applications*, 2003.
- [3] M. Sato, "Masterpieces of Six Great Ukiyo-e Artists", Hiraki Ukiyo-e Foundation, 1999.
- [4] B. Baxter, V. Scheib, M. C. Lin, and D. Manocha, "DAB: Interactive Haptic Painting with 3D Virtual Brushes", *Proc. of ACM SIGGRAPH 2001*, pp. 461-468. 2001.