

仮想銅版画技法とそのドライポイントとエングレービングへの応用

A Study for Virtual Copperplate Printing
and Its Applications to Drypoint and Engraving田崎 大輔[†]
Daisuke TASAKI水野 慎士[‡]
Shinji MIZUNO岡田 稔[†]
Minoru OKADA

1. はじめに

コンピュータグラフィクス(CG)において、彫刻、粘土細工、油彩・水彩画、えんぴつ画等の工芸的あるいは芸術的な作品・作風の模倣を目的とした非写実的画像合成(NPR: non-photorealistic rendering)に関する研究が近年注目されている[1]。NPRで用いられる基本戦略は、作品の外観的特徴に注目した目視外観主体駆動(ABR: appearance-based rendering)と、作品の制作工程における物理現象に注目した物理モデル駆動(PBR: physics-based rendering)に大別される。PBRによる生成画像は物理的な意義を持ち、外観上も良好な結果を与えることが期待される。

さて、銅版画[2, 3, 4]は欧州を中心として発達し、今日の工芸・芸術の一分野を形成する印刷技法であるが、その制作には職人による高度な技術や扱いに注意を要する道具等を用いる。筆者らは既に仮想銅版画の基本手法[5]を提案している。そこで本論文では、[5]による手法の改良とともに、銅版画の制作を一般の人々に安全かつ手軽に仮想空間上で疑似体験可能とすることを目的とし、NPRの一手法としてPBRに基づいた銅版画画像合成法を提案する。特に銅版画技法の中でも特徴的な刻線と描線を持つドライポイントとエングレービングと呼ばれる2技法に焦点を当てる。

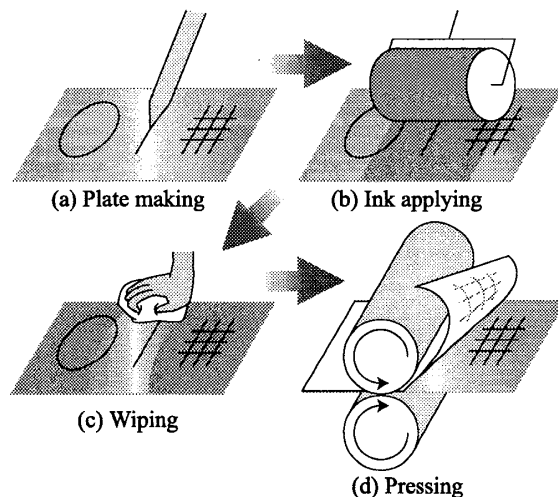


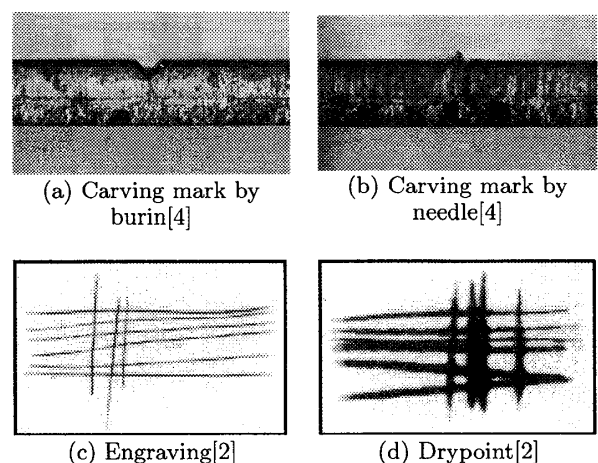
図1: 銅版画の制作工程

Fig. 1 Process for copperplate printing

2. 銅版画の製版技法

銅版画の制作は、(a)製版、(b)インク詰め、(c)インク拭き取り、(d)印刷の4つの工程に分かれる(図1)。製版時に用いる道具や手法の違いにより、多くの製版技法が存在する(表1)。エングレービング(図2(a), (c))はピュランと呼ばれる特殊な道具で版面を直接切削する技法である。ピュランで切削された溝は非常に鋭く深く、またストロークの始まりと終わりが細く中間が太いものとなる。エングレービングによる作品の多くは、およそ平行な曲線の疎密、ハッチング及び破線により濃淡や立体感を表現している。ドライポイント(図2(b), (d))は、銅版切削時に生じる版面の「まくれ」と、まくれに残るインクによる描線の「にじみ」が特徴的である。しかし、まくれは非常に繊細で弱く、プレス機で印刷する度に変形するため、良好な刷り結果が得られる枚数は限られる。メゾチントは、予め版面全体をまくれさせた後、スクレーパでまくれを削り、パニッシャで版面を磨くことで、黒から白への階調を生成する技法である。これらの技法は版面を直接切削するため、直接法と呼ばれる。一方、腐蝕液で版面を蝕刻する技法は間接法と呼ばれ、代表的な技法としてエッチング、アクアチント、ディープエッチングなどが挙げられる。

これまでに報告されている銅版画画像合成に関する研究[6, 7, 8, 9]は、エングレービングによるにじみを持たない描線の生成法に終始している。一方、提案手法は銅版画の4つの制作工程をそれぞれ再現している。従って、銅版画の各種技法は製版工程の違いのみという事実に基

図2: エングレービングとドライポイントの違い
Fig. 2 Comparison between engraving and drypoint.

[†]早稲田大学大学院情報生産システム研究科
Graduate School of Information, Production and Systems,
Waseda University

[‡]豊橋技術科学大学情報処理センター
Computer Center, Toyohashi University of Technology

表 1: 各製版技法の特徴
Tab. 1 Copperplate printing methods

製版技法	製版の種類	使用する道具	特徴
エングレーピング	切削	ビュラン	始まりと終わりが細く、中ほどが太い描線
ドライポイント	切削	ニードル	銅版のまくれとまくれによる描線のにじみ
メゾチント	削磨	スクレーパ、バニツシャ	予め全体をまくれさせた版面を削磨
エッチング	腐蝕	腐蝕液、ニードル	線状に腐蝕
アクアチント	腐蝕	腐蝕液、松脂	点状に腐蝕
ディープエッチング	腐蝕	腐蝕液	面状に腐蝕

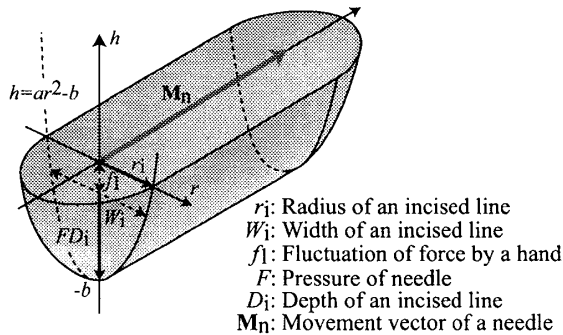


図 3: ニードルによる刻線の形状関数
Fig. 3 Shape function of stroke by needle.

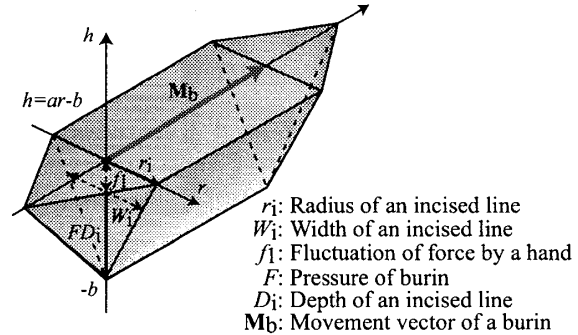


図 4: ビュランによる刻線の形状関数
Fig. 4 Shape function of stroke by burin.

づき、製版工程のモデルを変更するだけで複数の製版技法に対応することが可能である。筆者らはこれまでにドライポイントに注目し、にじみを再現するために刷り過程のモデル化に重点を置いた手法を提案している [5, 10]。しかし、簡易的なモデルを使用していたため、多くの問題があった。例えば、拭き取り工程では、拭き取り布を上から押さえ付けるようなモデルであり、版面横方向の拭き取り操作は考慮されていない。また、印刷工程では紙の繊維構造による毛管現象を考慮していなかった。そこで本論文では、これらの問題を解決した仮想ドライポイント手法 [11] についてまとめる。その後、本手法の拡張例として、エングレーピングへの対応を検討する。

3. 仮想ドライポイント

ドライポイントによる製版後の版面の状態について金属顕微鏡を用いて計測した結果に基づき物理モデルを定義した。提案手法はこのモデルを用いて、実際の銅版画の制作工程に倣い、製版、インク詰め、インク拭き取り、印刷工程から構成される。

(a) 製版工程

マウスにより仮想ニードルを操作し、ハイトフィールドで表現される仮想銅版を対話的に切削する。ニードルによる切削痕(図3)は、筆圧や手振れを考慮した放物曲面をマウスの軌跡に対して掃引することで表現する。まくれは放物曲線の定義域を拡張し、体積一定条件により版材切削部が全てまくれになると仮定し、断面における面積保存で近似する。

(b) インク詰め工程

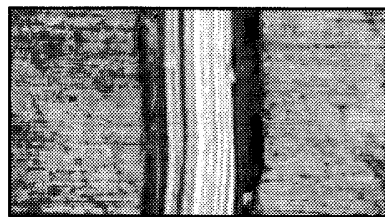
現実のインク詰め工程では、刻線の奥までインクを詰めるために銅版を暖めるなどの工夫を要する。一方、提案手法では版面全体を覆うようにインクの高トフィールドを初期化するだけで同様の効果が得られる。

(c) インク拭き取り工程

ユーザはマウスにより仮想拭き取り布を操作し、版面上の仮想インクを対話的に拭き取る。この拭き取り操作に先立ち、拭き取り布の到達限界値を計算する。これは、版面の凹凸によって拭き取ることのできない領域を表し、簡易バネモデルに基づく、版面横方向の拭き取り操作による残存インク量の変化は、布の到達限界値を版面の形状を考慮して拭き取り方向に変位させることで表現する。布の表面の微細な凹凸は、二次元中点変位法によるフラクタルを用いて生成する。

(d) 印刷工程

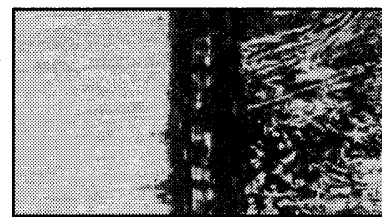
紙の繊維構造に沿った毛管現象によるインクの拡散を再現するために、紙の特性としてインク吸収容量を定める。注目セルのインク量が吸収容量以下ならば紙にインクが染み込んだ状態とし、そうでなければ飽和して紙の表面にインクが付着した状態とする。飽和したインクを取り出し、二次元ランダムウォークにより4近傍のうち一方方向に拡散させる。このとき、飽和インク量に対し一定の割合だけ紙に転写されるものとする。ランダムウォークの歩数が閾値を超えたら処理を打ち切るが、このときの飽和インク量は転写されずに版面に残るインクを表す。



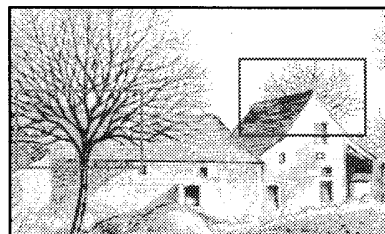
(a) Real plate after plate making



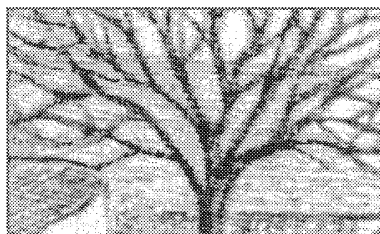
(b) Real plate after wiping (right to left)



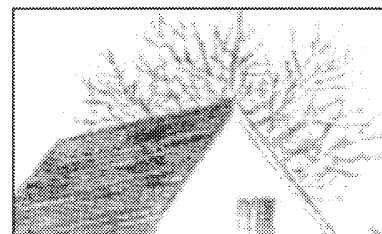
(c) Real plate after printing



(d) Real drypoint (5×3cm, exact size)



(e) Real drypoint (1.67×1cm, 3 times magnified)



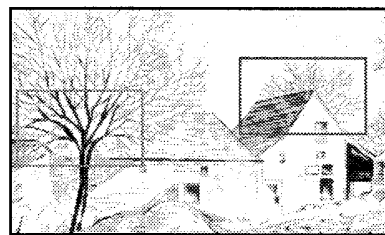
(f) Virtual plate after plate making



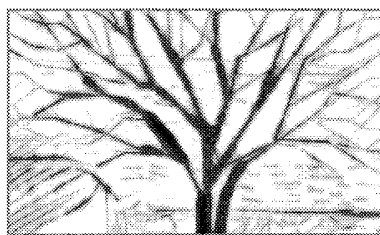
(g) Virtual plate after wiping (right to left)



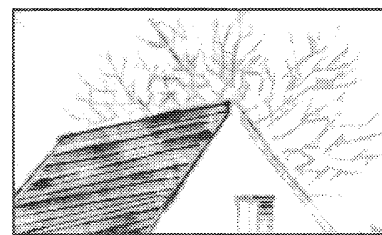
(h) Virtual plate after printing



(i) Virtual drypoint (5×3cm, exact size)



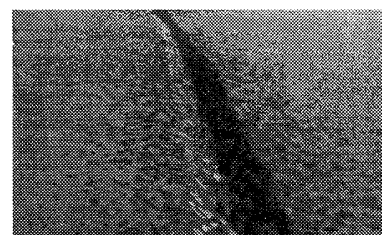
(j) Virtual drypoint (1.67×1cm, 3 times magnified)



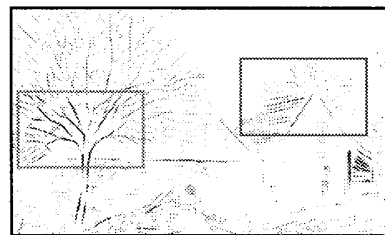
(k) Virtual plate after plate making



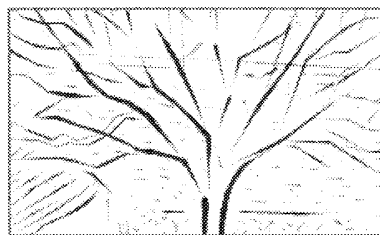
(l) Virtual plate after wiping (right to left)



(m) Virtual plate after printing



(n) Virtual engraving (5×3cm, exact size)



(o) Virtual engraving (1.67×1cm, 3 times magnified)

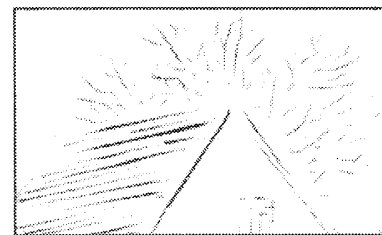


図 5: 実銅版画と仮想銅版画の比較

Fig. 5 Experimental results and comparison with real copperplate print.

全セルに対してインクの拡散を計算した後、実際のドライポイントのスキャン画像中の紙領域のテクスチャとインク領域の平均色を用いて、拡散後のインク量に比例した濃淡値を計算し、生成画像とする。

4. 仮想エングレーピング

ドライポイントとエングレーピングは製版工程が違うだけで後の工程は同じであることに注目し、製版工程のモデルを拡張してエングレーピングを再現する。

(a) 製版工程

ビュランによる切削痕は、マウス操作により得られるストロークに対し、図4に示される形状関数で表現する。その際、エングレーピングの特徴である描線の肥瘦は、ストロークの始めと終わりの筆圧をゼロにすることで簡易的に表現する。

5. 実験

前節までに示した提案モデルを実装し実験した結果を図5に示す。本実験では、金属顕微鏡による計測結果に基づき切削時の刻線の幅や深さを定義し、その他のパラメータは予備実験に基づき定義した。また、銅版画家による実際のドライポイント作品[12](図5(d))からストロークの位置及び筆圧を主観評価により手作業で抽出したデータを入力とした。作品全体のサイズは22.4×31.5cmであるが、実験には5×5cmの領域を使用し、図5(d), (i), (n)はその一部分(3×3cm, 実寸)を示し、図5(e), (j), (o)はさらにその一部拡大図(1.67×1cm, 3倍拡大)を示している。図5(a), (b), (c)はドライポイントによる実際の銅版表面の顕微鏡写真(約65倍拡大)であり、図中のB, L, Sはそれぞれ、まくれ、刻線、銅版表面を表している。図5(f), (g), (h)と図5(k), (l), (m)はそれぞれ、仮想ドライポイントと仮想エングレーピングによる仮想銅版の表面の状態を三次元CGで示したものである。但し、これらの画像は単に本手法の有効性を示すものであって、本研究の目的ではないことに注意されたい。実ドライポイント(図5(d), (e))と仮想ドライポイント(図5(i), (j))を比較すると、(d), (e)の方が全体的にかすれた印象を受ける。これは、現在のモデルでは拭き取り時の力加減を考慮していないために、全体的に拭き取り過ぎてしまった結果である。この問題は、筆圧感知ペン型タブレットを利用したモデル及びユーザインタフェースの改善により解決できよう。

図5(n), (o)は同じストローク情報を用いて生成した仮想エングレーピングである。エングレーピングの特徴であるにじみを持たない描線と描線の肥瘦が簡易的に表現できている。しかし、図5(k), (l), (m)を見ると、刻線の内側に詰まっていたインクが、印刷後には刻線の周辺に大きく拡がっている。これは、現在のインク拡散モデルにおいて版面の形状を考慮していないためである。印刷モデルの問題は、全ての製版技法において共通の問題であるため、早急に解決しなければならない。

6. まとめ

本論文では、物理モデルに基づく仮想銅版画の一手法を提案し、ドライポイント及びエングレーピングの画像

合成法を示した。また、合成画像において実際の銅版画家によるドライポイント作品との比較実験を行い、本手法の有効性を確認した。本手法は実際の銅版画の制作工程をモデル化しているため、拭き取り操作後や印刷後の版面の状態を表現することができた。また、製版工程のモデルを拡張することにより、エングレーピングを再現可能であることを確認した。今後の課題として、ドライポイント及びエングレーピング以外の製版技法の検討、筆圧感知ペン型タブレット等を利用したユーザインタフェース、パラメトリック曲面等による版面形状の表現、二次元画像や三次元シーンの特徴量抽出による版面の自動切削などが挙げられる。また、本手法の応用例として銅版画の電子保存手法について検討する。

参考文献

- [1] 大野義夫: “フォトリアルでないCG画像表現の手法について”, 情報研報, グラフィクスとCAD, 95-CG-76-1, pp. 1-7 (1995)
- [2] E. O. Slooten, M. Holtrop and P. Schatborn: “The Rembrandt House”, Waanders Publishers, Zwolle (1991)
- [3] R. Leaf: “Etching, Engraving and Other Intaglio Printmaking Techniques”, Dover Publications (1984)
- [4] 中林忠良: “中林忠良の腐蝕銅版画”, 河出書房 (1995)
- [5] 田崎大輔, 水野慎士, 岡田稔: “モデル駆動による仮想銅版画の基礎検討”, 情報技術レターズ, Vol. 2, No. JL-009, pp. 231-233 (2003)
- [6] 大野義夫, 坊晃利: “凹版印刷のための肖像画の対話的な生成手法”, 情報研報, グラフィクスとCAD, 92-CG-58-14, pp. 89-96 (1992)
- [7] W. Leister: “Computer Generated Copper Plates”, *Computer Graphics Forum*, Vol. 13, No. 1, pp. 69-77 (1994)
- [8] Y. Pnueli and A. M. Bruckstein: “DigⁱDürer - a digital engraving system”, *The Visual Computer*, Vol. 10, No. 5, pp. 277-292 (1994)
- [9] V. Ostromoukhov: “Digital Facial Engraving”, *Proc. of SIGGRAPH '99*, pp. 417-424 (1999)
- [10] D. Tasaki, S. Mizuno and M. Okada: “A Fundamental Study on Virtual Copperplate Printing Based on Physical Model”, *Proc. of VSMM2003*, pp. 748-755 (2003)
- [11] 田崎大輔, 水野慎士, 岡田稔: “モデル駆動による仮想ドライポイント画像合成法”, *Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム2004 予稿集* pp. 119-120 (2004)
- [12] 長谷川潔: “日本現代版画 長谷川潔”, 玲風書房 (1994)