

# 仮想銅版画とその各種製版技法への応用に関する一検討

田崎 大輔<sup>†</sup>, 水野 慎士<sup>††</sup>, 岡田 稔<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学大学院情報生産システム研究科, <sup>††</sup> 豊橋技術科学大学情報センター

あらまし: 本論文では, 非写実的画像合成法のひとつとして, 物理モデルに基づく仮想銅版画の製版技法に注目した手法を提案する. 提案手法は, 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, の四工程から構成され, 各工程における物理現象を物理モデルにより再現している. 筆者らは既にドライポイントという技法に注目した仮想銅版画の方式を提案している. さて, 銅版画の各種技法は主に製版工程で用いる道具や手法の違いによるものであり, その他の工程はほとんど共通である. そこで, 本論文では提案手法の応用として, ドライポイントだけでなくそれ以外の製版技法の再現手法についても検討し, 実験により提案手法がそれらに適用可能であることを示す.

## A Study for Virtual Copperplate Printing and Its Applications to Various Plate Making Methods

Daisuke TASAKI<sup>†</sup>, Shinji MIZUNO<sup>††</sup> and Minoru OKADA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University,

<sup>††</sup> Computer Center, Toyohashi University of Technology

**Abstract:** In this paper we propose a non-photorealistic rendering method to synthesize a virtual copperplate print image corresponding to various plate making methods based on physical models. The proposed method consists of 4 subprocesses: (a) plate making, (b) ink applying, (c) wiping, and (d) printing, with respect to the copperplate printing procedure performed in the real world, and simulates physical phenomena occurred in each process by physical models. The former method by the authors has been focused on a copperplate printing technique called drypoint. However, the difference among many techniques of copperplate printing is just only at the plate making process, and the other processes carry out the same procedure. This fact says that our proposed method has a capability of extending to the other plate making methods. Thus, we discuss the methods to realize not only drypoint but also other plate making methods, and indicate that the method can be applicable to them with some experiments.

### 1 はじめに

非写実的画像合成法 (NPR: non-photorealistic rendering) に関する研究 [1] は, 医用三次元画像表示などにおける関心領域の可視化や, 油彩画 [2]・水彩画 [3], えんぴつ画 [4], 版画 [5, 6] 等の工芸的あるいは芸術的な作品・作風の模倣などを目的として近年注目されている. 特に絵画作品などを志向した NPR で用いられる基本戦略は, 作品の外観的特徴を模倣すればそのレンダリング手法は特に問題と

しない目視外観主体駆動 (ABR: appearance-based rendering) と, 作品の制作工程を再現し各工程における物理的な現象をモデル化する物理モデル駆動 (PBR: physics-based rendering) に大別される. PBR に基づいて生成される画像は物理的な正確さを有し, また外観上も良好な結果が得られることが期待される. 筆者らはこれまでに NPR の一手法として, PBR に基づいた仮想銅版画画像合成法 [7, 8] を提案している.

さて, 銅版画 [10, 11, 12, 13, 14] の制作工程では,

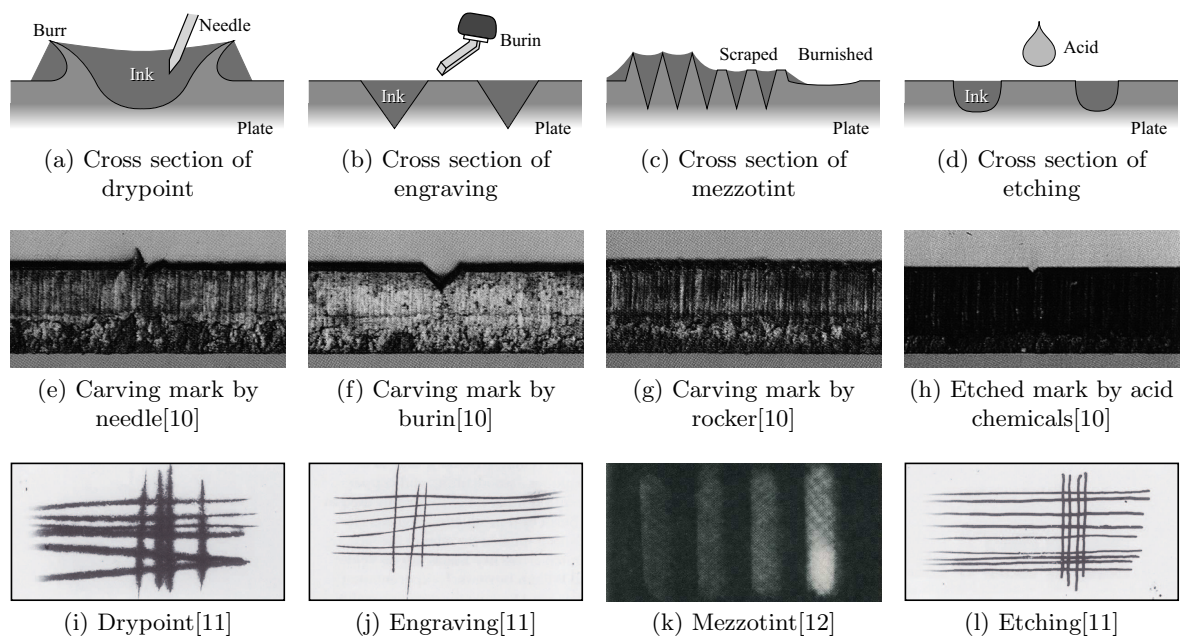


図 1: 製版技法による版面の断面形状と描線の違い  
 Fig. 1: Comparison among the plate making methods

表 1: 各製版技法の特徴

Tab. 1: Plate making methods

製版技法	種類	使用する道具	特徴
エンレービング	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	銅版のまくれと描線のにじみ
メゾチント	削磨	スクレーパ、パニッシャ	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、線幅・濃淡構造が複雑
アクアチント	腐蝕	腐蝕液、松脂	点状に腐蝕、線幅・濃淡構造が複雑
ディープエッチング	腐蝕	腐蝕液	面状に腐蝕、線幅・濃淡構造が複雑

職人による高度な技術や取り扱いに注意を要する道具等が用いられる。特に、印刷工程で使用する円圧プレス機を一般家庭で用意することは難しい。そこで本研究では、銅版画の制作を仮想空間上で安全かつ手軽に楽しむことを目的とし、NPRの一手法として、PBRに基づいた銅版画画像生成法を提案している。

銅版画画像の生成手法に関する研究はこれまでにいくつか報告されている [15, 16, 17, 18]。これらは銅版画のエンレービングと呼ばれる一技法にのみ注目したものである。また、拭き取りや印刷などの工程に関する考察がされておらず、単なる刻線の生成手法に終始している。しかしながら、実際の銅版画では刷り過程におけるインクの振る舞いが印刷結果に大きく影響するため、製版工程だけでなくその

他の工程も考慮することが重要である。一方、提案手法 [7, 8] では実際の銅版画の制作工程を再現し、各工程における物理現象をモデル化することで銅版画画像を生成している。特に、刷り過程におけるインクの振る舞いのモデル化を重要視しており、この現象による影響が最も大きいドライポイントと呼ばれる技法に注目し、その再現手法を提案してきた。さらに [9] ではドライポイント以外の製版技法への拡張を示唆した。そこでは、銅版画の各種技法は主に製版工程の違いによるものであり、その他の工程はほぼ共通であることに注目している。本論文では [9] の拡張として、提案手法の製版工程のモデルを変更するだけで銅版画の各種製版技法を再現可能であることを示す。以下、銅版画の各種製版技法のうち特に代表的な4つの製版技法を取り上げ、実際の

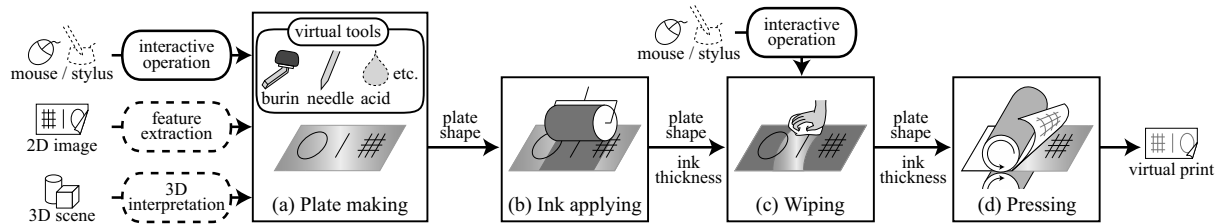


図 2: 仮想銅版画システムの構成 (破線部分は未実装)  
 Fig. 2: Overview of virtual copperplate printing system

製版工程における特徴を示す。その後、仮想空間上でそれらを再現するための戦略について検討する。また、実験により提案手法が各種製版技法に適用可能であることを示す。

## 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 [11, 12, 13]。主に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 [10, 11, 12, 13]。製版技法によって刻線形状が異なるため、拭き取り後のインク状態が変化し、印刷後の描線に違いが生じる。銅版画でしばしば用いられる各種製版技法のうち、4つに注目してそれらの違い及び特徴を以下に示すとともに、図1及び表1にまとめる。

**ドライポイント** ニードルと呼ばれる道具を用いて版面を切削する際に、版材が押し退けられてできる“まくれ”と、このまくれに残るインクによる描線の“にじみ”が特徴である (図1(a), (e), (i))。しかし、まくれは非常に脆弱で、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数十枚程度に限られる。

**エングレーング** ピュランと呼ばれる彫刻刀のような道具で版面を切削する技法である (図1(b), (f), (j))。ピュランによる刻線は鋭く深く版面に刻まれ、その断面は三角形であり、まくれが生じない。そのため度重なるプレスによる劣化が少ない。また、ストロークの始まりと終わりが細く間が太くなる。エングレーピ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。

**メゾチント** あらかじめ版面全体を目立てた後、スクレーパでまくれを削って拭き取り後のインク残存

量を調節することで、階調を生成する技法である (図1(c), (g), (k))。特にハイライトを付けたい箇所はバニッシャで版面を磨く。点状及び線状に目立てる場合があり、それらの違いが印刷時に模様や作風となって現れる。版面全体を目立てる作業は非常に手間がかかり、50×65cm程度の大判の場合30~40日かかることされている [13]。

**エッチング** 版面全体を覆ったグランドと呼ばれる耐酸性のニス部分を部分的に削り、露出した版面を腐蝕液で蝕刻する技法である (図1(d), (h), (l))。ニードルにより線状に腐蝕するエッチング以外にも、松脂の粉を用いて点状に腐蝕するアクアチントや、ハケ等で比較的広い領域を露出させて深く腐蝕するディープエッチングと呼ばれる技法もある。一般に腐蝕液には希硝酸と塩化第二鉄が用いられる。希硝酸による腐蝕は深さ方向と同時に左右に進むため、刻線の輪郭が不規則になる。また、腐蝕時に気泡が発生し腐蝕を妨げるため、刻線の内側が不均一となる。一方、塩化第二鉄による腐蝕は深さ方向に強く進むため、短時間の腐蝕でもシャープな刻線が得られる。

## 3 仮想銅版画

我々が提案している仮想銅版画システム [7, 8] は、実際の銅版画制作工程と同様に、(a) 製版、(b) インク詰め、(c) インク拭き取り、(d) 印刷、の各工程を個別にモデル化している (図2)。版面の形状はハイトフィールドで表現し、マウス操作で対話的に仮想銅版を切削する。特にインク詰め、インク拭き取り及び印刷工程は、銅版画の各種技法において共通であるため、これらの工程におけるインクの振る舞いの再現を重要視している。これまでに、インクの振る舞いが特に重要となるドライポイントについて検討を進め実装し、実際の銅版画作品との比較実験

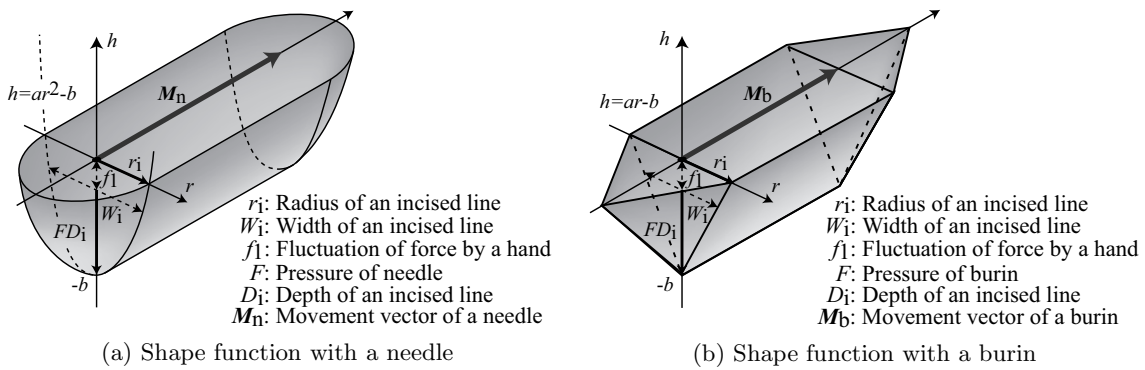


図 3: ドライポイントとエングレーピングのための刻線の形状関数

Fig 3: Shape functions of carving marks for drypoint and engraving

により、実空間の各工程で起きている現象を仮想空間上で再現できることを確認した [8]。

銅版画の各種技法は、主に製版工程における手法の違いによるものであるため、提案システムの製版工程における切削モデルを変更することで、各種技法を再現することが可能となる。以下では、各種製版技法に対応するための戦略について検討する。

**仮想ドライポイント** ニードルによる刻線の形状は、筆圧や手振れを考慮した放物面を切削方向に掃引することで定義する [8](図 3(a))。まくれは放物曲面の定義域を拡張し、体積一定条件に基づき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。

**仮想エングレーピング** ビュランによる刻線は三角形の断面形状を切削方向へ掃引することで簡易的に定義する [9](図 3(b))。ビュランの入射角度や力加減により、刻線の深さ及び幅が変化するため、これらをモデルに導入する。

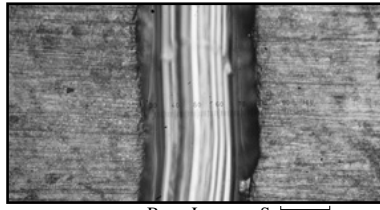
**仮想メゾチント** 三つのモデルを検討する。点状・線状の目立ては、ドライポイントの切削モデルを適用する。スクレーパによる削りは、ハイトフィールド上のまくれの高さを一定の割合いで小さくすることで表現する。パニツシャによる磨きはハイトフィールドの平滑化によって表現する。

**仮想エッチング** 腐蝕という不規則な現象を二次元中点変位法等によるフラクタルモデルで表現する。ただし、二種類の腐蝕液の違いにより腐蝕の進行方向が異なり印刷結果に影響するため、これらを考慮する。

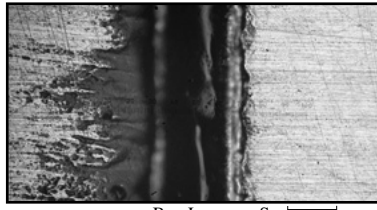
## 4 実験

前節で示した技法のうち、ドライポイントとエングレーピングに関して切削モデル(図 3(a), (b))を実装し、実験した結果を図 4 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 [14](図 4(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トレース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、実験には図 4(d) に示すような 5×3cm の領域を使用し、図 4(e) はさらにその一部拡大図 (1.67×1cm, 3 倍拡大) を示している。以下、図 4 の実験結果 (i)(n), (j)(o) はそれぞれ同図 (d), (e) に対応している。図 4(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 4(f), (g), (h) と図 4(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 で非対話的にレンダリングしたものである。

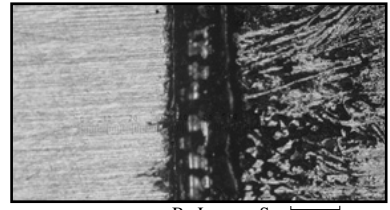
版面形状の表現に用いているハイトフィールドは二次元版面座標に関する一価関数  $h(x, y)$  であるため、ドライポイントの特徴である版面に覆い被さるようなまくれ(図 1(a), (e))を正確に表現することはできない。しかしながら、実験結果より、にじみを持つ描線を再現できることを確認した(図 4(i), (j))。また、図 4(n), (o) は同じストローク情報を用いて生成した仮想エングレーピングである。切削モデルを変更することで、エングレーピングの特徴で



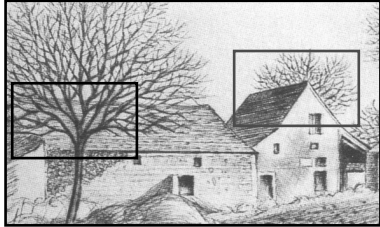
(a) Real plate after plate making



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



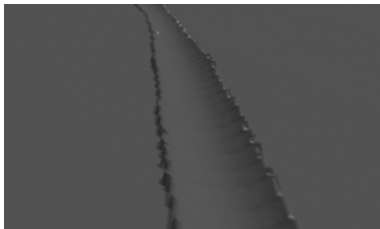
(c) Real plate after printing



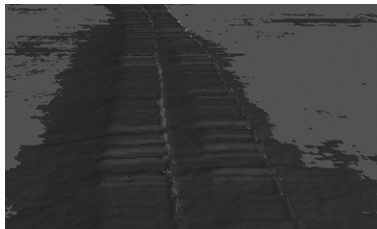
(d) Real drypoint (5×3cm, exact size)



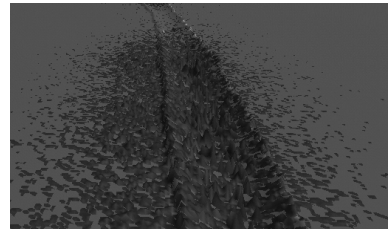
(e) Real drypoint (1.67×1cm, 3 times magnified)



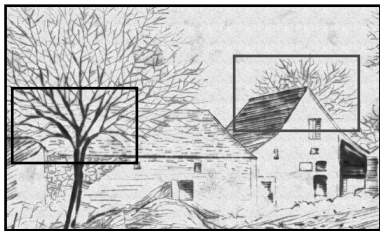
(f) Virtual plate after plate making



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



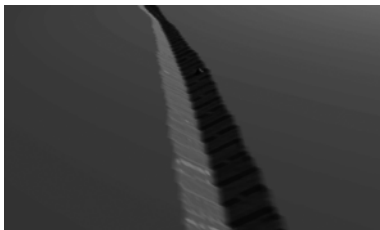
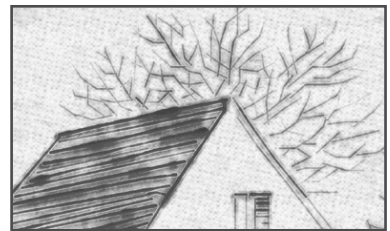
(h) Virtual plate after printing



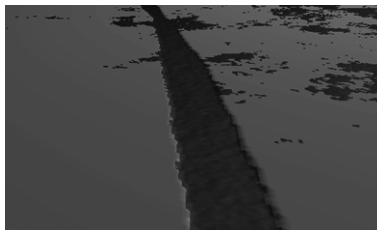
(i) Virtual drypoint (5×3cm, exact size)



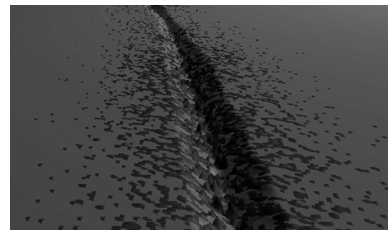
(j) Virtual drypoint (1.67×1cm, 3 times magnified)



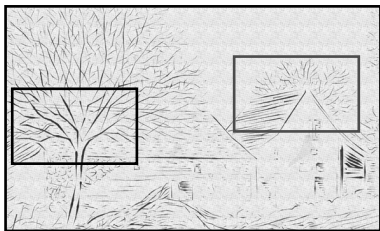
(k) Virtual plate after plate making



(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)

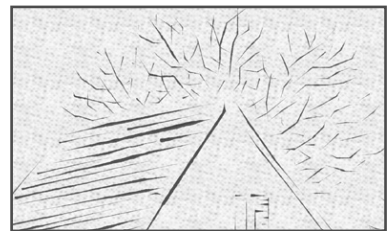


図 4: 実銅版画と仮想銅版画の比較

Fig. 4: Experimental results and comparison with real copperplate print.



あるにじみを持たない描線と描線の肥瘦を簡易的に再現することができている。エンレービングやエッチングによる切削痕にはまくれがなく一価関数的であるため、ハイトフィールドでその版面形状を十分に表現可能である。メゾチントの場合、ドライポイントと同様にまくれが存在しハイトフィールドでは正確に表現することはできないが、ドライポイントの切削モデルを応用することで目立てを再現可能であると考えている。これらより、提案手法は実際の銅版画の制作工程に基づいているため、製版工程のモデルを変更するだけで、各種製版技法を再現することが可能である。

## 5 まとめ

本論文では、我々が既に提案している仮想銅版画手法の応用として、銅版画の各種製版技法への適用手法について検討した。特に、代表的な4つ製版技法を取り上げ、実際の製版工程における特徴を示した。ドライポイントではまくれの表現が重要であり、エンレービングではビュランの筆圧や入射角の考慮が重要である。また、メゾチントでは目立ての形状及び方向性が作風に影響し、エッチングでは腐蝕液の違いが刻線の形状に影響する。これら銅版画の各種技法は主に製版工程で用いる道具や手法の違いによるものであり、その他の工程はほぼ共通である。そこで、提案手法における製版工程のモデルを変更するだけで各種製版技法に対応することが可能である。特に、ドライポイントとエンレービングの再現実験により、本手法の各種製版技法への適用可能性及び有効性を示した。

今後の課題として、各種製版技法のさらなる検討及び実装や、ハイトフィールドでは表現できない版面形状の表現などが挙げられる。

## 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”, 情処研報, グラフィクスとCAD, 95-CG-76-1, pp. 1-7 (1995)
- [2] A. Hertzmann: “Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes”, *Proc. of SIGGRAPH 98*, pp. 453-460 (1998)
- [3] C. J. Curtis, S. E. Anderson, J. E. Seims, K. W. Fleischer and D. H. Salesin: “Computer-Generated Watercolor”, *Proc. of SIGGRAPH '97*, pp. 421-430 (1997)
- [4] M. C. Sousa and J. W. Buchanan: “Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D Polygonal Models”, *Computer Graphics Forum*, Vol. 18, No. 3, pp. 195-207 (1999)
- [5] S. Mizuno, M. Okada and J. Toriwaki: “An Interactive Designing System with Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing”, *Computer Graphics Forum*, Vol. 18, No. 3, pp. 184-193, 409 (1999)
- [6] 岡田稔, 水野慎士, 鳥脇純一郎: “モデル駆動による仮想彫刻と仮想木版画”, 芸術科学会論文誌, Vol. 1, No. 2, pp. 74-84 (2002)
- [7] 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)
- [8] D. Tasaki, S. Mizuno and M. Okada: “Virtual Drypoint by a Model-driven Strategy”, *Computer Graphics Forum*, Vol. 23, No. 3, pp. 431-440 (2004)
- [9] 田崎大輔, 水野慎士, 岡田稔: “仮想銅版画技法とそのドライポイントとエンレービングへの応用”, 情報科学技術レターズ, Vol. 3, No. JL-003, pp. 209-211 (2004)
- [10] 中林忠良: “中林忠良の腐蝕銅版画”, 河出書房 (1995)
- [11] E. O. Slooten, M. Holtrop and P. Schatborn: “The Rembrandt House”, Waanders Publishers, Zwolle (1991)
- [12] 視覚デザイン研究所・編集室: “銅版画ノート”, 視覚デザイン研究所 (1988)
- [13] 深澤幸雄: “銅版画のテクニック”, ダヴィッド社 (1989)
- [14] 長谷川潔: “日本現代版画 長谷川潔”, 玲風書房 (1994)
- [15] 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”, 情処研報, グラフィクスとCAD, 92-CG-58-14, pp. 89-96 (1992)
- [16] W. Leister: “Computer Generated Copper Plates”, *Computer Graphics Forum*, Vol. 13, No. 1, pp. 69-77 (1994)
- [17] Y. Pnueli and A. M. Bruckstein: “**Dig<sup>i</sup>**Dürer – a digital engraving system”, *The Visual Computer*, Vol. 10, No. 5, pp. 277-292 (1994)
- [18] V. Ostromoukhov: “Digital Facial Engraving”, *Proc. of SIGGRAPH '99*, pp. 417-424 (1999)