

仮想版画 — 仮想版木自動切削と多色刷りの検討

大河内俊雄 水野慎士 岡田稔 鳥脇純一郎

名古屋大学大学院工学研究科情報工学専攻

本論文では、仮想版木作成と版画印刷の過程により木版画風画像を合成する手法を提案する。三次元仮想空間内に仮想版木を作成する「彫り」では、下絵として入力した二次元画像の特徴量解析による自動切削手法を用いる。版画の印刷「摺り」では、仮想空間内に「紙」「版木」「ばれん」「絵具」を用意することで対話的に版画画像を合成する。また、複数の仮想版木と複数の絵具の色を使用した多色刷り版画画像の合成も提案する。提案手法は非写実的な画像合成の一手法として有用である。

Virtual Woodcut Printing — Automatic Virtual Printing Block Carving and Colored Printing

Toshio OKOUCHI, Shinji MIZUNO,
Minoru OKADA and Jun-ichiro TORIWAKI

Department of Information Engineering,
Graduate School of Engineering, Nagoya University

In this paper, we propose a method to synthesize an image like a woodcut print by the process of "carving" and "printing". In the process of "carving", we generate a virtual printing block in a virtual 3D space and use automatic carving on the virtual printing block based on a given 2D image as a draft. In the process of "printing", the virtual woodcut printing is synthesized with a virtual "printing block", "paper sheet", "printing brush", and "paints" in a virtual 3D space. And we propose a method to synthesize an image like a colored printing by using blocks and paints more than one. The proposed method will be useful as an efficient way to generate a non-photorealistic artificial image.

1. はじめに

コンピュータ・グラフィクスにおいて、フォトリアルな画像生成に関する研究は非常に盛んに行われてきており、その進歩には目覚ましいものがある。その一方で、フォトリアルでない画像の表現手法についてもその必要性が唱えられており[1, 2]、そのような画像を合成する研究もいくつか報告されている。これらには、三次元データから、レンダリング時に絵画[3]、ペン画[4]、水墨画風[5]にする手法、二次元画像を絵画風に変換する手法[6]、また、あらかじめペン画のパターンを用意しておく、対話操作の援助をする手法[7]などがあった。

このようなフォトリアルでない画像生成方法の1つとして我々は木版画風画像の生成についての研究を行っている[8]。これは、我々が開発した仮想彫刻システム[9]

を応用し、三次元仮想空間内に仮想版木を作成する「彫り」と、仮想版木に基づいて、仮想空間内に紙、版木、ばれん、絵具を用意することで対話的に版画画像を合成する「摺り」、のふたつの過程により木版画画像を合成するものである。また、二次元画像を与え、入力画像の特徴量を利用して仮想版木を自動的に生成する手法[10,11]や、三次元シーンの解析による仮想版木の自動生成[12]なども提案されている。

版木の制作「彫り」において、人間が版木を制作する場合、制作意図や作風によって作品に違いが生じる。そこで本論文では、仮想版木を制作していく対話操作の中で、ユーザが指定した領域に自動切削を制作支援の形で適用できる手法を提案する。また、二次元画像の特徴量を利用した数種の自動切削パターンを用意し、ユーザが切削パターンを選択することで、ユーザの制作意図を反

映した仮想版木の制作を可能にした。

また版画の印刷「摺り」においては、より木版画らしい画像を合成するために、「木目の凹凸」「絵具の水分量」などの条件を付加し、これらの違いによる刷り上がりの違いを表現する手法を提案する。また、複数の仮想版木と複数の絵具の色を使用した多色刷り版画画像の合成も提案する。

これらにより、仮想版木、版画画像ともにユーザの制作意図・作風や、条件による作品の違いを容易に表現することが可能となり、その結果、仮想版画の表現力の向上と、その新たな可能性を確認した。

2. 仮想版画システム概要

本システムは、仮想版木を作成する「彫り」と、仮想版木に基づいて版画画像を合成する「摺り」のふたつの過程からなる。

2.1 仮想版木「彫り」システム

仮想版木作成「彫り」は、我々が開発した仮想彫刻システムを応用し、三次元仮想空間内に仮想版木を作成するものである。仮想彫刻システムは、CSG表現によって表された物体をマウス操作によって切削していくものである。これを直方体の表面に施すことにより仮想版木を作成する。従来の仮想版木の作成には3つのアプローチがあった。

- 1) マウスによる切削
- 2) 二次元画像の特徴量抽出による自動生成
- 3) 三次元シーンの解析による自動生成

人は場所に応じて様々な彫り方で制作していく。そこで本研究では、1)と2)を統合した形をとる。二次元画像の特徴量抽出による自動生成をユーザが指定した領域に局部的に施すようにする。また、二次元画像の特徴量を利用した数種の自動切削パターンを用意し、ユーザが切削パターンを選択することで、ユーザの制作意図を反映した仮想版木の制作を可能にする。また二次元画像は、マウスによる「手彫り」での「下絵」として制作を容易にする。

2.2 仮想版画「摺り」システム

実際の木版画の刷り上がりは、ばれん・版木・紙・絵具の条件や制作過程によってさまざまな影響を受ける。そこで本研究では、多色刷りを実現するにあたって、その版画画像を左右するさまざまな条件及び手順を計算機上で実現することを試みた。そのためには、実際の版画らしさとは何か、それらはどのような条件によるものか、そして仮想版画においてどのような条件・モデルを導入し、どのような手順を構築すればよいかを考える必要がある。例えば、「木版画らしさ」とは、版木における彫刻刀の切削跡や木目、絵具においては色のかけ合わせ、水分の違いによるにじみやぼかしの効果、ばれんに

よる刷りのむら、などの効果が考えられる。そこで本研究では、仮想空間内に用意するモデルとして、紙・版木・ばれん、及び絵具を用い、版木においては木目、絵具においては水分量などの条件を導入した。また、多色刷りを対話的に制作できるシステムを構築した。

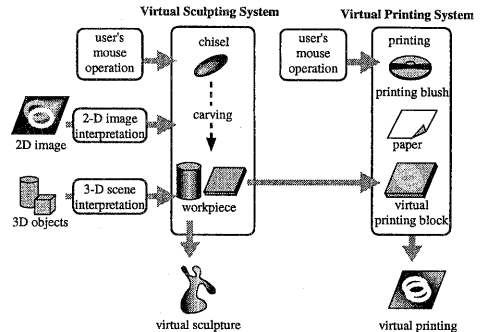


図1 仮想版画システム概要
Fig.1 Overview of virtual woodcut printing system

3. 自動切削による版木作成

3.1 仮想版木制作手順

ウインドウ上の仮想版木をマウス操作によって切削していく。彫刻刀の大きさは選択可能であり、マウスの操作方向により切削方向が決まる。

実際の版木制作の時、版木に下絵の線をトレースして行うように、下絵となる二次元画像を読み込み版木を重ねて表示することで、下絵に沿った切削が容易となる。

そして、必要に応じて彫りたい領域を指定し、自動切削を適用することができる。自動切削は人間が考える様々な切削方法を実現するために二次元画像の特徴量を利用したいくつかの切削パターンが用意され、また各種パラメータにより様々な切削方法を実現した。また自動切削は仮想版木を制作するにあたってユーザの手間を軽減することにもなる。自動切削においてユーザが行う手順は以下の通りである。

- 1) 切削領域の選択
- 2) 自動切削手法の選択
- 3) 各種パラメータの決定方法の選択

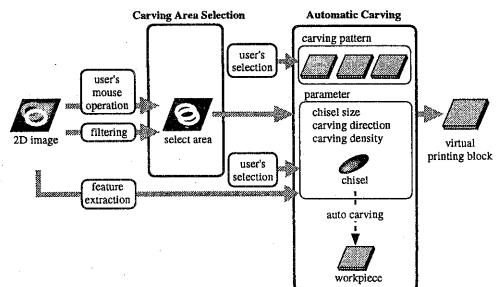


図2 仮想版木自動切削処理の流れ
Fig.2 Process of automatic carving on a virtual printing block

3.2 切削領域の選択

人間は版木を彫る時、まず下絵から彫る領域を決定する。本研究では、まず下絵として二次元画像を入力し、次に挙げる各領域取得手法の和・差・積の反復によって切削領域を得る。またその他に、選択範囲の反転、画像全体の近似色選択などにより、ユーザは切削領域を得ることができる。

長方形領域選択

マウスのドラッグ操作によって長方形領域を得る。

自動選択

近似色範囲の指定とマウスのクリック操作によって自動的に選択領域を得る。近似色範囲を変えることで選択範囲の拡張・縮小が可能。

フィルタによる選択

2値化・輪郭線抽出などのフィルタリング結果を選択領域とする。

3.3 各種自動切削手法

人間は領域を切削する時、彫刻刀の種類や、彫る向きなどを考えながら切削していく。例えば、輪郭を彫ることもあるし、立体感や濃淡を表すために切削方向や切削密度によって表現することもある。本研究では、このような切削方法を自動切削によって実現するために、彫刻刀サイズ・切削方向・切削密度を主な切削パラメータとした。これらのパラメータをユーザが指定して自動切削を行うこともできるが、本研究では、画像の特徴量抽出によってパラメータを自動的に得ることで、切削方向・切削密度による濃淡・グラデーションの表現など、各種の切削方法を実現した。また、その他の切削パターンとして、切削領域の輪郭線の切削、パターン画像を用いた切削を可能にした。

3.3.1 切削パラメータ

ユーザは彫刻刀サイズ・切削方向・切削密度において、一定の値を指定するか、自動にするかを選択する。自動切削は、各切削パラメータを下絵となる二次元画像の特徴量により求めることで、様々な切削方法を可能にする。以下に各切削パラメータの自動決定方法と、その効果を記す。

彫刻刀サイズ 切削候補点において、切削領域内に収まる最大の楕円体を用いる。これにより、細かい領域は小さい楕円体で、広い領域は大きい楕円体で切削可能となる(図3-d)。

切削方向 下絵の切削候補点における小領域の輝度勾配ベクトル方向により決定する。エッジ方向の切削や、切削方向による立体感を出すことが可能である(図3-e)。

切削密度 切削跡同士の距離を下絵の切削候補点における小領域の濃度平均によって決定する。切削密度による濃淡・グラデーションの表現が可能である(図3-f)。

3.3.2 その他の自動切削手法

輪郭線切削

ユーザの選択した彫刻刀サイズで選択範囲の輪郭線を自動切削することができる(図3-g)。これは、切削領域画像(図3-b)の濃度勾配ベクトルの大きさで切削の有無を、ベクトル方向で切削方向を決定している。

パターン切削

もう一つの二次元画像を利用してパターン切削を行うことができる。パターン画像(図3-h)を読み込み、パターン画像の領域と選択領域(図3-b)の共通領域を切削領域とし、パターン画像の濃度勾配ベクトル方向を切削方向として切削を行う。

3.3.3 切削パラメータのランダム化

実際の版木は切削にむらや曖昧さができ、これによる刷り上がりの違いが生じる。これを自動切削でも表現するために、切削方向に最大15°、切削の深さに最大4割の誤差を生じさせることを試みた。

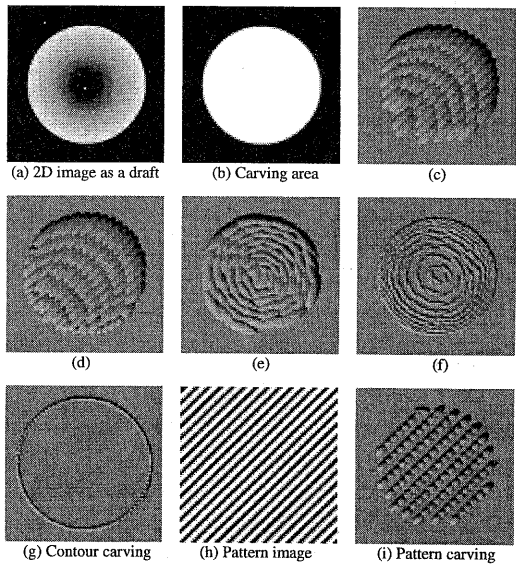


図3 各種自動切削手法
Fig. 3 Automatic carving methods

4. 版画印刷「摺り」

本論文では、多色刷り木版画風画像の合成のための版画印刷「摺り」の一手法を提案する。「摺り」において、その刷り上がりは、ばれん・版木・紙・絵具によってさまざまな影響を受ける。従ってより版画らしい画像を得るために、実際の版画を左右する条件をいくつか計算機上に導入し、その条件の違いによる出力結果の違いを表現することを試みた。

4.1 「摺り」制作手順

ユーザが操作する手順は、
 1) 版木、紙を選択
 2) 絵具の色、水分量を指定
 3) マウスによるばれんの操作である。単色刷りでは、1), 2)の後、3)の操作をくり返すことで版画画像を制作する。また、多色刷りの場合、ひとつの色で摺りを行った後、その刷り上がりの紙と、別の版木を用い、絵具の色、水分量および木目などを変えて刷り上げる。

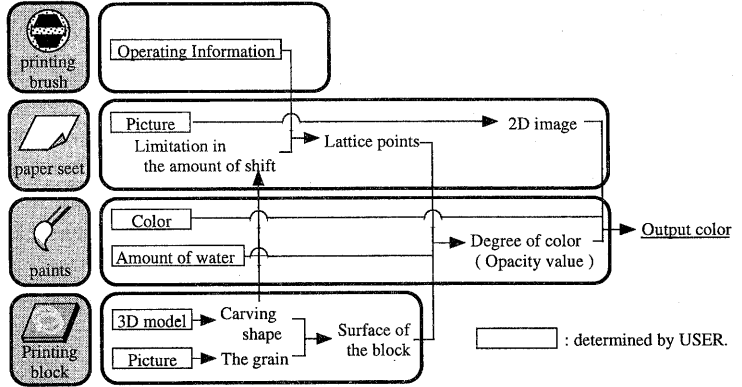


図4 版画印刷「摺り」処理の流れ
 Fig.4 Process of virtual printing

4.2 版画画像生成のためのモデル

(a) 仮想版木

形状情報 仮想彫刻及び仮想版木作成システムによって作成されたCSGデータ

木材の種類 (木目凹凸情報) 実際には、版木の木目を活かした作品が多く見られる。本研究では、木材の画像を入力し、その濃度値を利用して木目の凹凸情報を決定する。

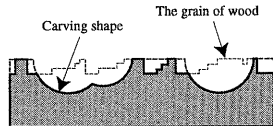


図5 仮想版木の形状と木目の凹凸
 Fig.5 Carving shape and the grain of a virtual printing block

(b) 仮想紙

格子点 仮想紙は、平面上に置かれた格子点の集まりで表現される。

テクスチャ 二次元画像を入力

限界位置 版木の形状によって、深い切削跡など、紙が入り込めない位置がある。紙の格子点が入り込める限界の位置を仮想版木の形状により求める[8]。

(c) ばれん

マウスで「こする」ことによって紙の格子点の円形領域が押し出され、紙の格子点と版木の表面との距離が近づく。また、実際はこする「強さ」によって刷り上がりは大きく変わるが、本手法では「こする量」によって一定距離づつ格子点は押し出される。

(d) 絵具

着色は、版木の形状・ばれんの使い方・水分・多色刷りの場合、色のかけ合せの時どうなるかなど、さまざまな条件に影響される。例えば、水分が適量であれば着色量が少なくても濃い色がつく。逆に、水分が多くてもばれんでたくさんこする（紙-版面間距離）を縮める）こ

とで濃く着色する。また多色刷りの場合、着色が薄ければかけ合される色が残る。本研究では、これらの効果を実現するために、「紙-版面間距離」にともなう着色量を不透明度で表す。そして、水性絵具の水分による刷り上がりの違いを表現するために、条件として「水分量」を導入した。

着色量

かけ合される色を $P=(p_r, p_g, p_b)$ 、絵具の色を $I=(i_r, i_g, i_b)$ 、不透明度を α とすると、出力される色 $M=(m_r, m_g, m_b)$ は、

$$M = (1.0 - \alpha) \cdot P + \alpha \cdot I$$

で表される。

水分量

実際は透明水性絵具・不透明水性絵具・油性絵具があり、また水性の場合、水分によっても刷り上がりは異なる。例えば、水性絵具の場合、着色は透明感があり、色のかけ合せにより下の色の影響を受けた色調になる。また油性絵具であれば色の重なりによる変化が乏しい。本研究では、これらの絵具の区別をひとつの条件「水分量」によって表し、その刷り上がりのちがいを表すことを試みた。水性絵具の水分による刷り上がりの違いを表現するために、条件として水分量を導入した。

水分量によって、紙-版面間距離にともなう着色量(不透明度)を変える。これにより水分量による刷り上がりの違いを表現する。水分量 w ($0 \leq w \leq 1$)、紙-版面間距離を d としたとき、不透明度 α は、

$$\alpha = \begin{cases} 1.0 - (1.0 - \sqrt{1.0 - d^2}) \cdot w & : 0 \leq d \leq 1 \\ 0 & : 1 \leq d \end{cases}$$

で表す。この手法により、水分量が少ない時(図8-a)は不透明度が大きく、油性絵具の時や、水性絵具で強く摺った時の様な効果を、また水分量が多い時(図8-b)は紙-版面間距離による不透明度のとり得る値の範囲を広くすることで、透明感のある、水彩絵具の様な効果を表現することが可能になった。

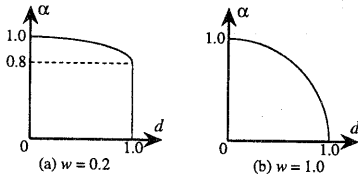


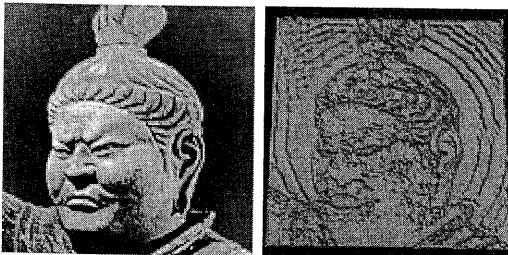
図8 水分量と不透明度の関係

Fig.7 Relation between the amount of water and the opacity value

5. 実験

5.1 自動切削による仮想版木の制作

自動切削による仮想版木作成の一例を示す。二次元画像（図9-a）を入力する。対象物は2値化のフィルタリングによって切削領域を得た。また、背景は切削方向と切削密度の自動化による自動切削を行った。その結果、仮想版木（図9-b）を得た。



(a)2D image as a draft (b)A virtual printing block

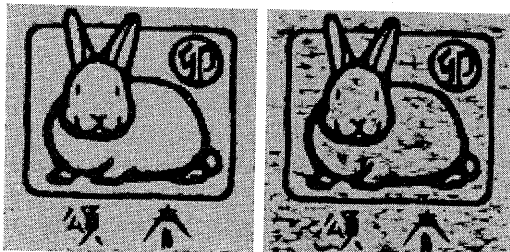
図9 自動切削による仮想版木の作成

Fig.9 A virtual printing block using automatic carving

考察 写真等の画像を下絵として仮想版木を制作すると、画像が複雑なために切削領域の選択が難しくなる。その結果、自動切削も複雑で細かい切削になってしまい、人間味のある木版画らしさを損なうことになる。

5.2 切削パラメータのランダマイズ

手彫り（マウスによる切削）と自動切削の切削パラメータのランダマイズの有無による切削と刷り上がりの違いを比較した。



(a) Normal carving (b) Randomized carving

図10 切削パラメータのランダマイズによる効果

Fig.10 Randomized effects for carving parameters

考察 ユーザによる指定または画像の特徴量抽出による切削パラメータが一様になると、自動切削では手彫りのような「むら」や、「曖昧さ」がない（図10-a）。浮世絵のような精巧な「彫り」を必要とする場合は「むら」はむしろ必要無いが、人間味のある「彫り」を活かした作品のための自動切削手法として、切削パラメータのランダマイズを適用することにより、ある程度の人間味を持たせることができた（図10-b）。

5.3 実際の版画との刷り上がり比較

水分量とばれん操作による刷り上がりの違いを、それぞれ、「水分適量・強い摺り」、「水分適量・弱い摺り」、「水分多め・弱い摺り」の条件下での実際の木版画画像（図11-a,b,c）と比較した。これらの画像を元にひとつの仮想版木を作成し、条件に合わせ、水分量 w をそれぞれ0.1, 0.1, 0.9として摺りを行い、その結果として、図11-d,e,fを得た。

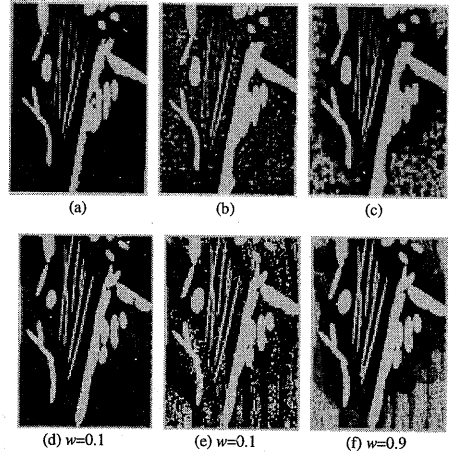


図11 刷り上がり比較

Fig.11 Comparison with an actual printing results

考察 本研究では、木材の画像を入力し、その濃度値を利用して木目の凹凸情報を決定しているが、実際、木目の凹凸情報は、画像の濃度値とは異なる。しかし簡易的に用いた本手法でも木版画らしい効果が確認できた。しかしより実際の環境をシミュレートするならば、実際の木目凹凸情報を用いる必要がある。

5.4 多色刷り

実際の版画の多色刷り用版木の情報を元に4つの仮想版木（図12-a,b,c,d）を自動切削によって作成し、色のかげ合せの効果を実際の多色刷り版画（図13-a）と比較した。版ごとに異なる色、水分量、木目を与え、また、実際の木版と同様、4版、5色を用いて多色刷り画像を合成した（図13-b）。

考察

実際の版画と違うところは、水分が多い時の「にじみ」がないところである。また、本手法は、色の重なり効果を不透明度の重なりで処理しているが、より良い効果を得るためには、まだ改善の余地があると思われる。また、今回はあらかじめ用意した4つの多色版の画像を元に仮想版木を作成したが、一枚の二次元画像からの多色版の作成は困難であり、ユーザによる切削領域選択に慣れと手間を要する。

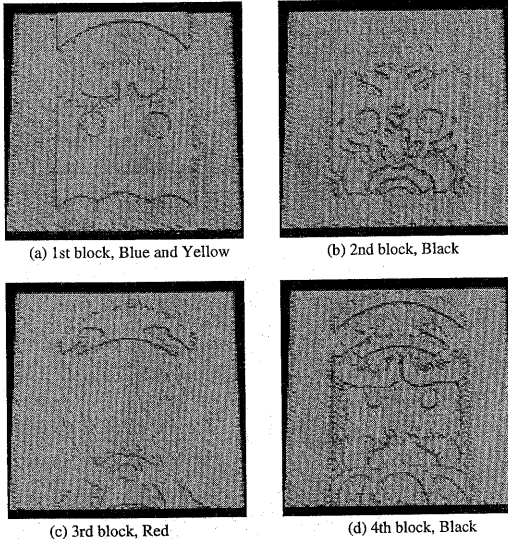


図12 多色刷り用、4版、5色

Fig.12 Blocks for colored printing, 4 blocks and 5 colors

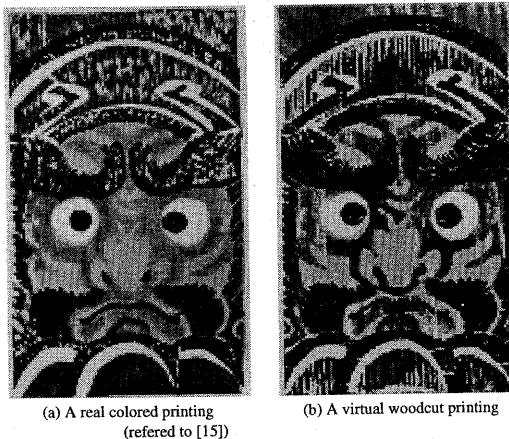


図13 実際の多色刷り版画(出典[15])との比較

Fig.13 Comparison with an actual colored printing

6. まとめ

本論文では、仮想空間上での「彫り」「摺り」を含めた版画画像作成の手法を提案した。「彫り」においては、各種自動切削手法によって制作を支援することで、ユー

ザの制作意図を反映した切削が可能になった。「摺り」においては、実際の版画の刷り上がりを左右する条件を与え、制作過程や条件による作品の違いを表現することができた。従って全体として作品の自由度、表現力が増し、仮想版画の新たな可能性を確認した。今後の課題として、自動切削に人間味を持たせることや、一枚の二次元画像からの自動的な多色版木の生成が考えられる。また、水分が特に多い時のにじみ、水分が特に少ない時のかすれの効果や、木版画特有の「ぼかし刷り」などの多様な「摺り」技法の実現などが考えられる。

謝辞 日頃熱心に御討論頂く名大鳥脇研究室の皆様へ感謝します。本研究の一部は文部省科研費による。

参考文献

- [1] 石原亘, "SIGGRAPH '94におけるノンフォトリアリズムの研究の動向", 情処研報, グラフィクスとCAD, 95CG76, pp.65-71 (1995)
- [2] 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, 95CG76, pp.1-7 (1995)
- [3] B. J. Meier, "Painterly Rendering for Animation", SIGGRAPH '96, pp.477-484 (1996)
- [4] G. Winkenbach, "Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration", SIGGRAPH '94, pp. 91-100 (1994)
- [5] 張青, "樹木の水墨画調レンダリング", 情処研報, グラフィクスとCAD, 95CG76, pp.45-50 (1995)
- [6] P. Haeberli, "Paint By Numbers: Abstract Image Representations", SIGGRAPH '90, pp.207-214 (1990)
- [7] M. P. Salisbury, "Interactive Pen-and-Ink Illustration", SIGGRAPH '94, pp.101-108 (1994)
- [8] S. Mizuno, M. Okada and J. Toriwaki: "Virtual Sculpting and Virtual Woodcut Printing", Visual Computer: Int'l J. of Computer Graphics, Vol. 14, No. 2, pp. 39-51 (1998-6)
- [9] 水野慎士, 岡田稔, 横井茂樹, 鳥脇純一郎, "CSGを用いた仮想彫刻", 情処研報, グラフィクスとCAD, 95CG73-7, pp.49-56 (1995)
- [10] 大河内俊雄, 水野慎士, 岡田稔, 鳥脇純一郎: "仮想版木自動生成による版画画像合成の一手法", 情報処理学会研究会資料, グラフィクスとCAD研究会, 97-CG-86-1, pp.1-4 (1997-8)
- [11] 大河内俊雄, 水野慎士, 岡田稔, 鳥脇純一郎, "仮想版画のための仮想版木自動生成手法の改善", 信学会総合大会講演論文集, D-12-130, pp.329 (1998)
- [12] S. Mizuno, T. Okouchi, M. Okada and J. Toriwaki: "Automatic Printing Block Generation from a 3D model for Virtual Woodcut Printing", Proc. of VSMM'98 - 4th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia 1998, Vol. 1, pp. 134-139 (1998-11)
- [13] 初級技法講座「木版画」用具と使い方, 小林七席, 美術出版社