

紙面テクスチャを使った仮想鉛筆ドローイングインタフェース

鶴野, 玲治
九州大学大学院芸術工学研究院芸術情報部門

立花, 裕美
九州大学大学院芸術工学研究院芸術情報部門

村上, 恭子
九州大学大学院芸術工学研究院芸術情報部門

<https://doi.org/10.15017/2794907>

出版情報 : 芸術工学研究. 3, pp.21-27, 2005-03-02. 九州大学大学院芸術工学研究院
バージョン :
権利関係 :

紙面テクスチャを使った仮想鉛筆ドローイングインタフェース

Virtual Pencil Drawing Interface Using Paper Textures

鶴野玲治、立花裕美、村上恭子

TSURUNO Reiji, TACHIBANA Hiromi, MURAKAMI Kyoko

Abstract

This paper presents an interactive pencil sketch interface based on actual pencil and paper data. The data are captured from actual pencil strokes appearing on irregular paper surfaces, these are drawn in some kinds of pressure, pencil hardness and drawing frequency. The eraser is also implemented as inverse effect. This interactive sketch operation from tablet, each strokes are converted to pencil drawing pattern based on the texture database in realtime. In the experiments, the graphite adheres to the paper according to the pencil pressure, hardness and paper surface irregularities. And the result of repetitive painting/erasing shows the density gradually increased /decreased, similar to an actual pencil and eraser.

1 はじめに

近年、CG(コンピュータグラフィックス)の研究分野において、手で描いたような質感の画像の生成に注目が集っている。これらは写実的(Photo-realistic)な画像生成技法に対し、NPR(Non Photo-realistic Rendering)とよばれ、90年代以降、活発に研究が行われている。近年のNPRの研究は二次元画像に対する加工、三次元オブジェクトのレンダリング、ドローイングやペインティング操作系などに分類できる。いずれであっても画材やストロークなどの質感を意識したレンダリングであり、これらのリアリティ、処理の高速性、操作性などが全体に占める役割は大きい。

このようなNPRの研究の中で、本研究ではコンピュータ上で鉛筆でスケッチを描くようなインタラクティブな操作系の実現を目標としている。

鉛筆は硬度(黒鉛含有率)や削り方、持ち方、筆圧、筆勢によってさまざまな質感表現が可能である。これらは鉛

筆と紙面との関わりによってもたらされ、紙面の凹凸がストロークの中に濃淡となって現れ、この分布が鉛筆画のタッチとなっている。通常、スケッチに使われる紙は表面に凹凸を持ったものが多く、紙の凹凸は鉛筆の「載り」に影響を与え、ストローク上に独特のパターンとして現れる。このパターンを忠実に描出するためには、本来、紙の凹凸を計測し、鉛筆の芯と当たり具合から黒鉛の載りを複雑な計算によって求める必要がある。ただし、これを実現するためには非常に大きな計算コストを必要とする。

筆者らは、これをリアルタイムかつインタラクティブに描出するために、実際に鉛筆で塗りつぶした複数の紙面データを利用する。まず、何種類かの筆圧で紙全体を塗りつぶし、それぞれを層構造のテクスチャデータベースとして保存する。描画操作の際には鉛筆ストロークの移動に応じてこのデータを参照し呼び出していく。そして、複数の紙の種類、鉛筆の芯の種類や特性、消しゴムの効果などにも対応させている。この方法により、実時間操作を実現し、かつ、実在するあらゆる支持体の凹凸や鉛筆(黒鉛)の「載り」の表現を可能にする。また、紙だけでなく、鉛筆で線を描けるすべての支持体、また、鉛筆に限らず、紙の凹凸による濃淡の表れる画材全体を対象とする。

2 関連研究

手書き調のストロークを再現するNPRにおいて、画材のシミュレーションは全体の質感を決定する上で重要であり、従来から多くの研究が報告されている。特に液体の画材について、Curtisらは2次元画像をもとに水彩絵の具が支持体である紙に吸着され着色する過程を流体モデルとして扱い、水彩画風レンダリングを実現している[Curtis 97]。

鉛筆、クレヨン、パステルなどの固体状の画材の場合、紙の凹凸との関わりを考慮する必要がある。Takagiらは紙の微細構造モデル・顔料付着モデル・加水効果モデルをボリュームデータとして用意し3次的に色鉛筆付着計算を行っている[Takagi 00]。鉛筆画に関しては、Sousaらが写真から抽出したデータをもとに、鉛筆の断面の変形による筆跡の変化を精密にシミュレートし、再現をおこなっている[Sousa00]。支持体は、実際の紙面の凹凸をデジタルイザによって取得するか、写真による陰影の取得を行い、これを0-1の値で表現されるHeight Fieldとして定義している。この定義はCurtisら[Curtis97]の研究に基づくものであり、Height Fieldの概念は様々な画材シミュレーションに利用されている。Sousaらの研究では、鉛筆の載りにHeight Fieldの高低差を利用し、RudolfらやMurakamiらは顔料粒子の埋め込みや付着計算に利用している[Rudolf03][Murakami02]。

凹凸のある支持体に対して描く際には、画材と紙面との関わりが重要になる。この際Height Fieldをいかにして取得するかが問題となる。これは計測が困難であるため、紙の凹凸形状を関数で与えるプロシージャルな方法が取られることが多い、テクスチャパターンと同様現実中存在する紙からデータを取得できればそれが最も簡単である。レンジの精細なデジタルイザを使って取得する他、斜め方向から照明を当て、陰影を使って近似する方法[Murakami02][Murakami04]が報告されている。

柔らかい画材や弱い筆圧で描いた時、この陰影は、支持体の上に載る顔料の分布とよく似た感じになる。パステルのような柔らかい顔料や、鉛筆を大きく寝かせて線を引くときなど、筆圧のあまり高くない場合は、この手法でも十分な質感が得られる。しかし、筆圧の高いとき、鉛筆を立てて描いたとき、また、筆圧の違いによる質感の差を強調したい時には、若干の不自然さが発生する。しかし逆に、筆圧ごとの付着データを取得し適用することで、この問題は軽減できると考えられる。

鉛筆と紙との関係性に特化した表現として、矢野らは画用紙テクスチャに鉛筆で塗ったパターンを利用し、画像演算によってモノトーン画像を鉛筆画調に変換する方法を提案している[Yano03]。筆者らも同様にインタラクティブな操作系に適用し、さまざまな紙と鉛筆との関係における鉛筆ストロークをデータ化し、ストローク生成時にテクスチャを参照、再現する方法を試みている[Tachibana03]。本方法は鉛筆で描くことのできる対象であれば再現可能であるため、紙だけでなく、キャンバス、煉瓦、コンクリート、アスファルト、岩肌、文字の刻まれた石碑、などで適用可能であり、また、パス

テルやチャコール、チョークなどへも応用も考えられる。

3 鉛筆と紙のモデル

3.1 鉛筆

鉛筆の芯は、主として黒鉛と粘土によって構成される。黒鉛の成分が多いほど芯は濃く柔らかくなり、少ないほど薄く硬くなる。JIS(日本工業規格)ではこの範囲を17段階に分け、最も濃いものから最も薄いものまで順に、6B～2B,B,HB,F,H,2H～9Hとしている。このうち、数値で定められているのはHBのみで、それ以外は相対的な順位付けによって定められている。4Hから6Bまでの鉛筆で実際に線を引いたものが図1である。硬度が高くなるほど薄く、また、鉛筆の削り方、持ち方、筆圧などによって、紙面と芯の接触面積や付着率が変化する。同じ芯でも筆圧が低いほど付着量が減り、薄く細くなる。

3.2 紙

文字を書く場合は表面の滑らかなものがよく使われるが、スケッチやデッサンの時には凹凸があるものも使われる。表面の凹凸は、鉛筆との相対的な当たり角度や筆圧に影響を与え、特徴的な模様が現れる。図2は実際にキャンソン紙、マーメイド紙、ミュージコットン紙に鉛筆で軽く塗ったものである。

3.3 付着データの取得

実際に鉛筆粒子の付着について、位置、濃淡、透明度、紙の凹凸などを、すべて実時間のシミュレーション計算によって求めるには、計算コスト、計算精度、リアリティなどの点で現実的ではない。そこで、以下のように実物の紙のデータを取得し、加工することで、付着率分布データを生成することにする。

- (1) まず、想定する紙画像をデジタルカメラで撮影する。撮影画素数は処理を行う画像の解像度よりも多く、かつ全体に歪みの少ない画質の得られるものとする。撮影位置は

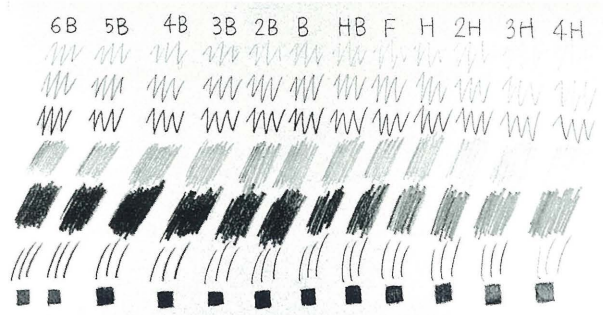


図1 実際の鉛筆ストローク

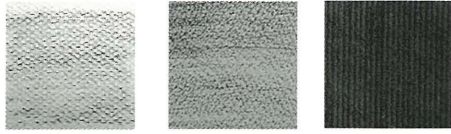


図2 紙の種類
(左:キャンソン紙, 中:マーメイド紙, 右:ミューズコットン紙)

紙の中央位置から鉛直上方で、被写体となる紙が撮像範囲の中で適当な大きさになり、かつ凹凸が認められる位置とする。本実験では紙とカメラの距離を50～70cm程度としている。

- (2) 鉛筆を一番寝かせた状態で、弱い筆圧で紙全体を塗りつぶし、同じ位置から撮影する。
- (3) 鉛筆を少し立て、中程度の筆圧で多方向に同じ紙全体を塗りつぶし、同じ位置から撮影する。
- (4) その上から、鉛筆を立てて強い筆圧で多方向に同じ紙全体を塗りつぶし、同じ位置から撮影する。
- (5) 以上の画像データの位置補正を行い、処理する画像の画素ごとの筆圧と付着率とのデータを得る。

以上の「弱い」「中程度」「強い」という筆圧、および鉛筆の寝かせ方は、通常の鉛筆スケッチを想定した相対的で感覚的なものである。それぞれ、最小を0.0、最大を1.0とした時、弱:0.1～0.4、中:0.5～0.9、強:1.0とする。

次に、入力された各画素の濃度値と筆圧との対応付けをする。濃度を0～255(1byte)とし、顔料の載ったうちの最も暗い値を50、最も明るい値を230とし、その間を正規化する。この50、230という値は、取得した画像をもとに経験的に決定したものである。

4 レンダリング

4.1. 鉛筆ストローク

ストロークに関しては以下のようなパラメータを与える。

- ・ 筆圧, 硬度(濃度): 0.0～1.0
- ・ ストロークの幅: ピクセル数

鉛筆のストロークはタブレットから入力する。入力された点列の間をつなぎ描画ストロークを作る。このストロークのデータに対し適当な乱数を加えた「幅」を与える。これは黒鉛の粒子による幅の微細なぶれを再現するためである。これを適用したものを図4に示す。

4.2 紙テクスチャデータの適用

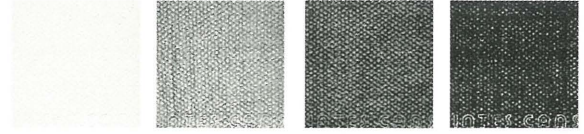


図3 初期状態の紙と、同じ紙に対して3段階の筆圧で塗りつぶしたテクスチャ
(左)初期状態の紙, (左中)軽い筆圧
(右中)中程度の筆圧, (右)強い筆圧

紙のパラメータは以下の通りである。各ピクセル(x,y)ごとの付着率とそれぞれのデータが適用される範囲の閾値である。

- ・ 初期状態(塗られていない)の値
- ・ 弱い筆圧で塗られた状態の値
- ・ 中程度の筆圧で塗られた状態の値
- ・ 強い筆圧で塗られた状態の値
- ・ 鉛筆の芯によってかけられた筆圧の累計値(0.0～1.0)
- ・ 筆圧・硬度ごとに通過した回数
- ・ 現在の濃度

また、以下の値を与える。値は厳密なものではなく、経験的に与えて調整可能とする。

- ・ 弱い筆圧値を適用する範囲(閾値)
- ・ 中程度の筆圧値の範囲
- ・ 強い筆圧値を適用する範囲

4.3. インタラクティブな重ね塗り

鉛筆のストロークの幅の中で、実際に描かれる点(ピクセル)の位置、濃度値を決定し、点ごとに重ね描きの回数を保持する。各硬度・圧力での塗り潰しの限界を設定することで、線が濃くなりすぎないように制御する。図5にこの概念を示す。上のテクスチャから順に透明にしていくことで下のテクスチャが現れ、濃くなっていく。

4.4. 消しゴム効果

次に消しゴムの効果を作る。描画と同じく、通過回数、

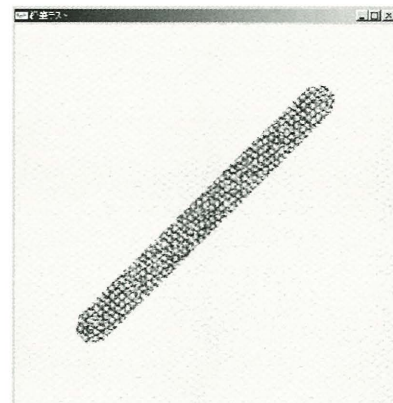


図4 生成した仮想鉛筆ストローク

圧力により透明度を変化させ、塗りつぶしていない紙データに近づけていく。これによって現実の消しゴムのように徐々に消すことができるようにする。

4.5. 効果音

ユーザーの描画感を高めるため、描画音をつける。実際に紙に鉛筆が当たる音、紙の上を走る音などをそれぞれの状況ごとに録音し、対応づけている。

5. 実験・結果

以上の処理の有効性を確認するために実験を行う。確認項目は、(1)筆圧、(2)塗りの回数、(3)鉛筆の濃度(硬度)などに応じて、見た目に濃度や付着率の逆転がないかである。

図6,7はキャンソン紙のデータを使った実験結果である。図8は等硬度、等筆圧で同じ場所を繰り返し塗った結果である。徐々に濃くなっていることが確認できる。

消しゴムについても、実際の消しゴムのように圧力が高いほど早く消え、回数を重ねるほど、よく消えていることが確認できた。図9は消しゴムの実験画像の一部である。なお実験のために筆圧はプログラムの中から制御している。

図11,12にキャンソン紙、画用紙、ケント紙のデータを使い、筆圧、鉛筆の種類を変えて行った塗り重ねの実験結果を、図13に同様、消しゴム効果の実験結果を示す。このように筆圧が低くなるにつれ、凹凸の大きな紙面では付着率が明らかに下がっているのが確認でき、また、目の細かな画用紙で付着部分が多い場合も、筆圧が下がると色が薄くなっていることが確認できた。そして、硬度が下がるにつれ、色が薄くなっていることも確認できた。

また、図14は本システムを使って実際に描画を行ったものである。

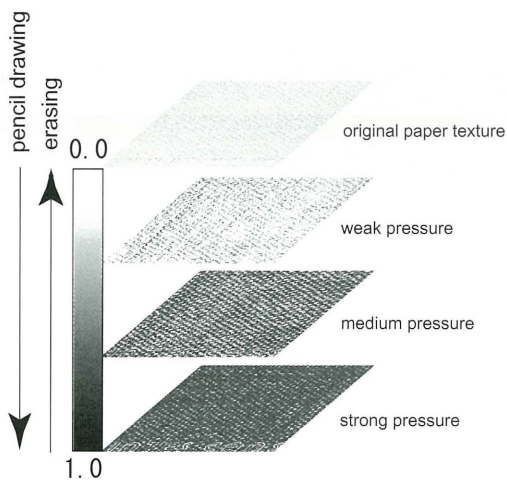


図5 重ね「塗り」「消し」のレンダリング

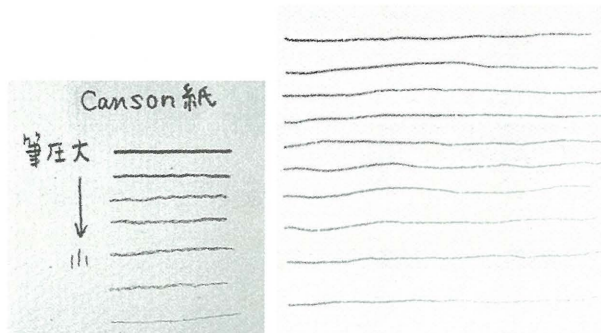


図6 鉛筆を立てた時のストローク
(左)実際に鉛筆で引いたもの
(右)本モデルによって生成したもの

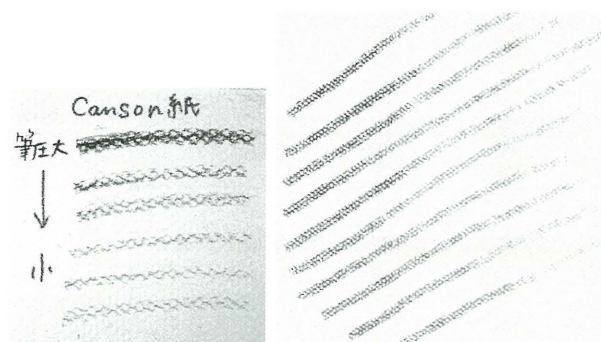


図7 鉛筆を寝かせて線を引いたストローク
(左)実際に鉛筆で引いたもの
(右)本モデルによって生成したもの

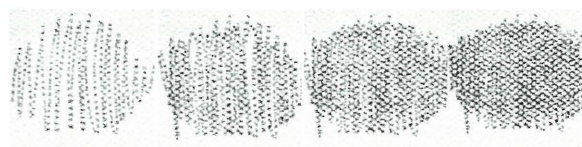


図8 塗り重ね効果

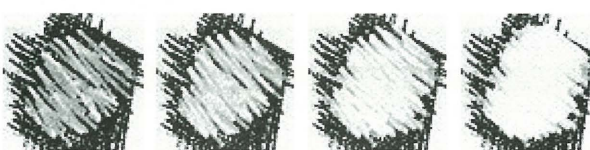


図9 消しゴム効果

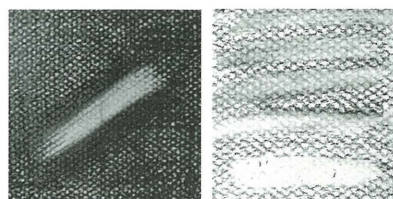


図10 実際の消しゴム効果

Canson Paper

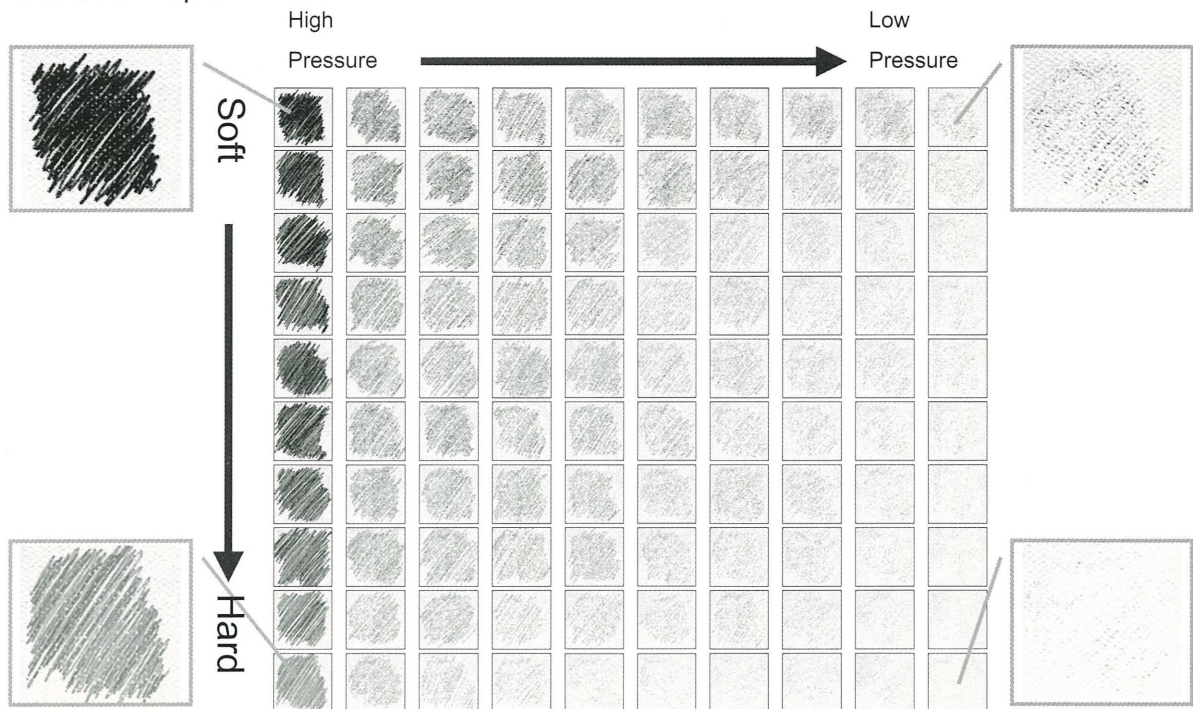


図 11 キャンソン紙データに対する仮想塗り重ね実験の結果

Drawing Paper

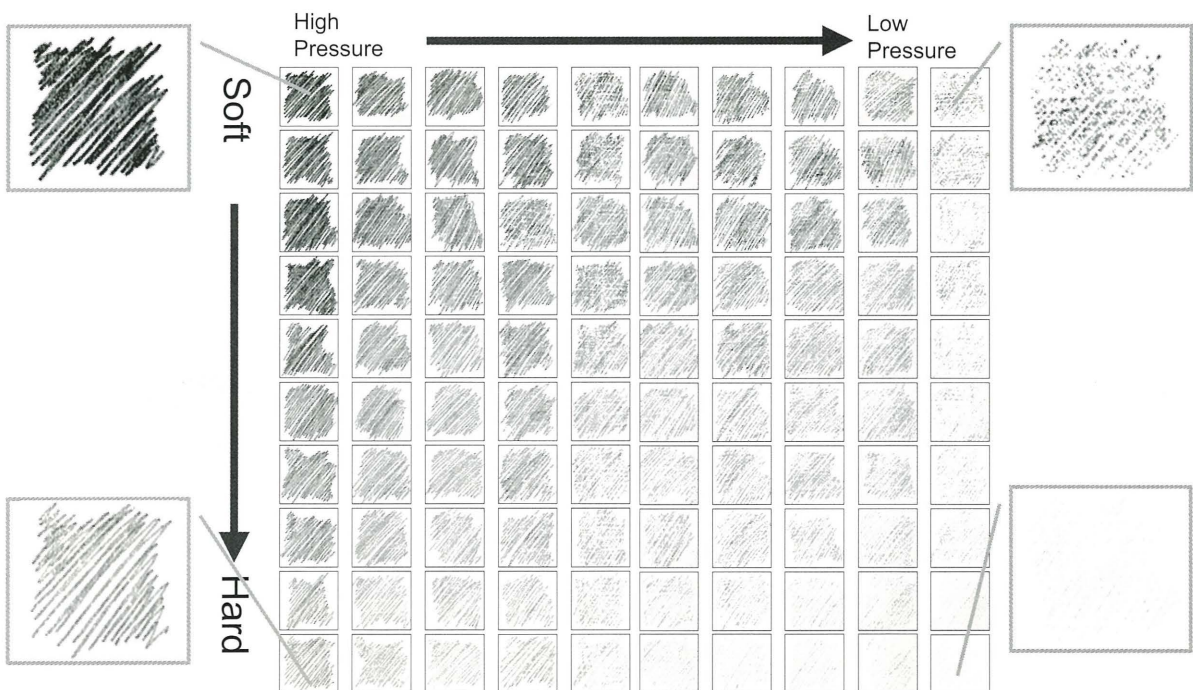


図 12 画用紙データに対する仮想塗り重ね実験の結果

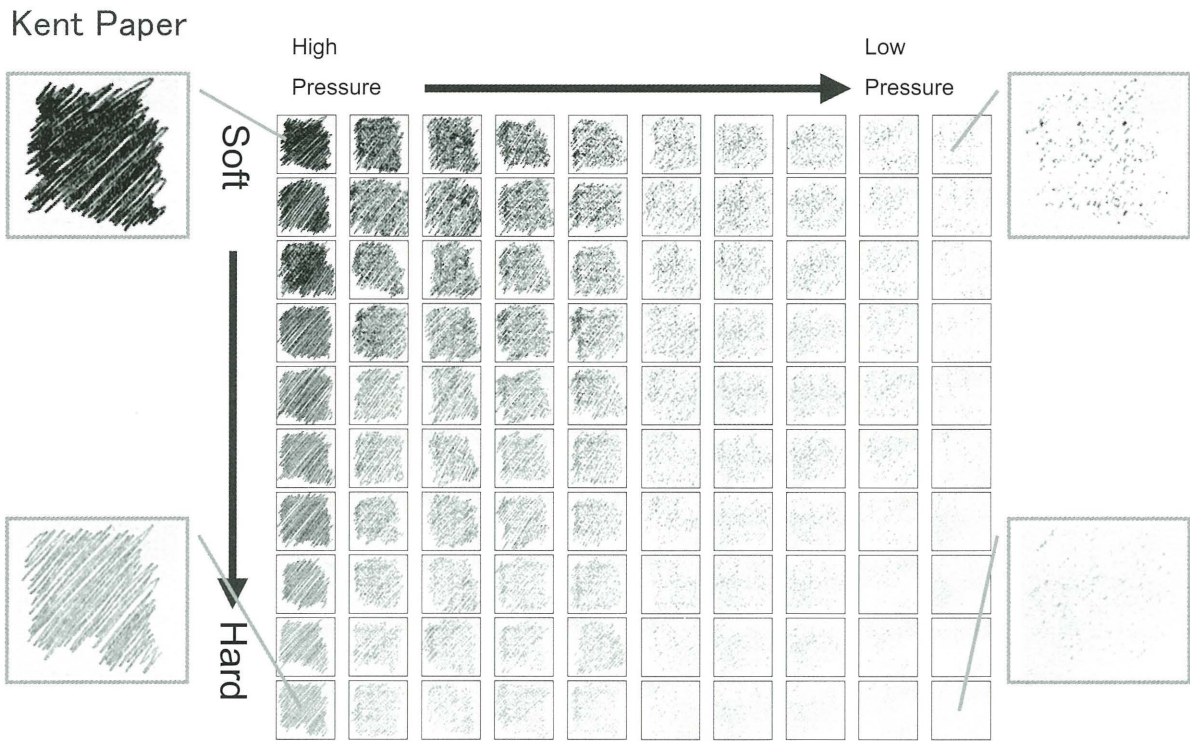


図 13 画用紙・ケント紙のデータに対する仮想塗り重ね結果

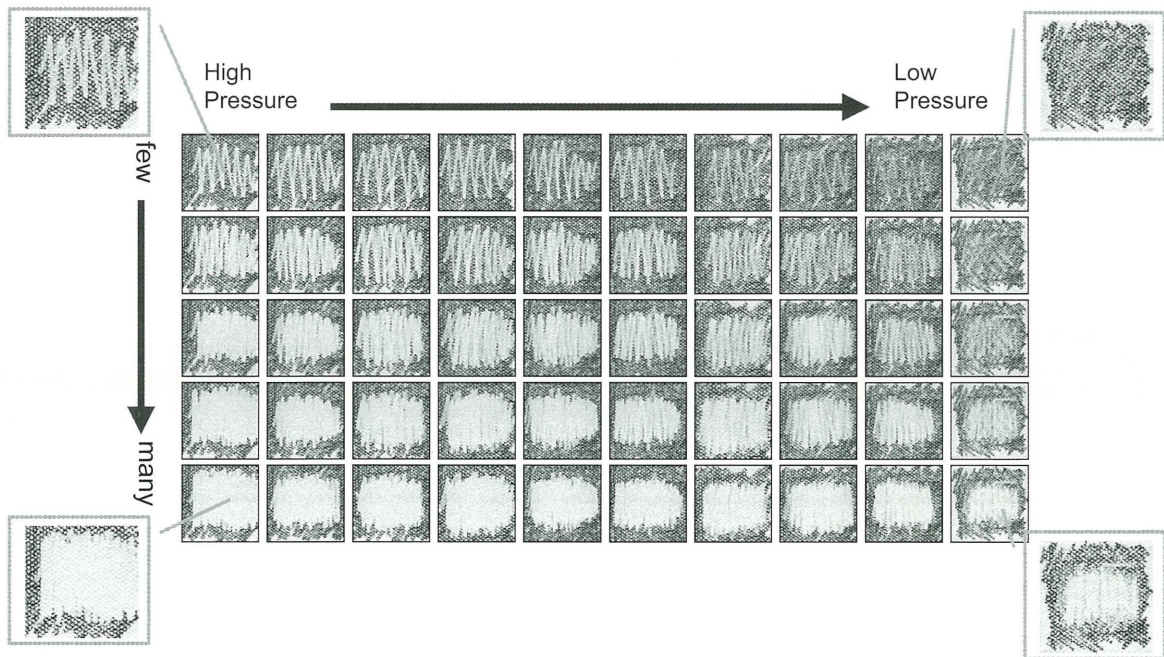


図 14 圧力と擦り回数を変えて行った消しゴム効果の実験

7. 結言

鉛筆画の質感を表現するために不可欠な紙と鉛筆との関係の情報を、実際の紙テクスチャを使って取得し、インタラクティブなストロークに適用させた。筆圧ごとのテクスチャを層構造にすることで、鉛筆の塗り重ね、消しゴムの消し重ねにも対応できた。

硬度・筆圧に応じた線が得られ、処理範囲の中の付着率を変化させることで連続的な筆圧に対応した線種を再現できた。これらの鉛筆らしさは、支持体を反映していることから得られる部分が大い。

支持体は比較的目的の細かいものでも、それらしい質感が得られることが確認できた。取得した支持体の塗り方のムラにより、付着部分に違いが現れる場合があった。しかし、それは筆圧や硬度を変化させることで回避できる程度のもので、描画に支障はないと思われる。さらにその塗り方のムラが鉛筆らしい線を形成する要因の一つとも考えられる。また、消しゴムは、描画された点を消すというだけでなく、消去する画材としても十分な使用感が得られた。

紙面の付着率データ、すなわち凹凸のデータも取得済みであるので、これらを利用し、さらに鉛筆で書くことのリアルズムが再現されると考えられる。その例として、鉛筆を塗り重ねると生まれる光沢等の再現、筆圧のタブレットからの自動取得、ハプティックデバイスなどを用いて支持体からの手ごたえ感の再現、描画音の適正化などが考えられる。

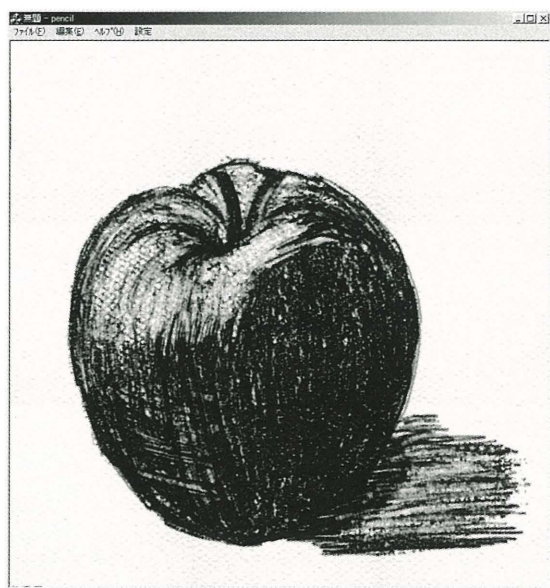


図 15 本システムを使って描画した例

参考文献

- [Curtis97] Curtis, C. J., Anderson, S. E., Seims, J. E., Fleischer, K. W., and Salesin, D. H.: Computer-Generated Watercolor. SIGGRAPH97, pp.421 - 430, 1997
- [Sousa99] Sousa, M.C., and Buchanan, J.W. : Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D Polygonal Models, Computer Graphics Forum 18, 3(EUROGRAPHICS99), pp.195-208,1999
- [Murakami02] Murakami, K. and Tsuruno, R.: Pastel-like Rendering Considering the Properties of Pigments and Support Medium, SIGGRAPH2002 Conf. Abst. and Appl., (sketch), p.227, 2002
- [Murakami04] Murakami, K., Tsuruno, R. and Genda, E.: Strokes for Drawings Using Illuminated Paper Surfaces, SIGGRAPH2004, sketches, 2004.
- [Takagi00] Takagi, S., Nakajima, M. and Fujishiro, I.: Volumetric Modeling of Additional Techniques in Colored Pencil Drawing, SIGGRAPH2000, Conf. Abst. and Appl., (sketches), p.276, 2000
- [Yano03] 矢野 類子, 山口 泰: 画用紙テクスチャを反映した鉛筆画風画像の生成法, Visual Computing 03, pp.69-74, 2003
- [Tachibana03] 立花裕美, 伊東謙太郎, 村上恭子, 鶴野玲治: 実データに基づいたインタラクティブな鉛筆画ツール, 情報処理学会インタラクション 2003, pp.227-228, 2003
- [Rudolf03] Rudolf, D., Mould, D., Neufeld, E: Simulating wax crayons. 11th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG' 03), pp.163-173. 2003
- [Tsuruno04] 鶴野玲治, 立花裕美, 村上恭子: 紙面付着データを用いたインタラクティブな仮想鉛筆ストロークの生成, 20th NICOGRAPH, pp.53-58, 2004