

# 地合いをもつ3次元紙モデルの構築

1 V-5

高木 佐恵子 藤代 一成  
お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

## 1 背景と目的

一般に、CG 画像には目が疲れやすいものが多い。画像のいたるところに焦点が合っていることや、ペンキで均一に塗ったような印象を受けることがその理由と考えられる。これらの解決手法は種々存在するが、我々は、目に優しい画像の一例として色えんぴつ画に注目し、現実存在する色えんぴつ画作成機能を網羅した、人に優しいデジタルペイントシステム：Pumpkins (A Painting Unit of Multi-Purpose Kind and Intelligent Stationery) を開発中である。その一環として、これまでに、水溶性色えんぴつ画の作成プロセスを明らかにし、そのプロセスの中でも特に重要な加水操作フェーズを、LIC と呼ばれる 2 次元画像フィルタリング [5] の拡張により再現してきた [3][4]。

これまで、加水前の顔料付着画像を得るために実色えんぴつ画像をスキャナで取り込んでいたが、Pumpkins において一貫した画像生成処理を実現するには、顔料付着モデルを構築する必要もある。モデリングにあたり、色えんぴつ画らしさとは何かを再考すると、それは紙のもつ地合い (texture, 紙の表層繊維の質感) に依存した、まだらな顔料付着状態である。しかし、その視覚的効果を 2 次元的にモデリングするには限界がある。そこで現在、紙の微細構造を考慮した 3 次元モデルを検討し、地合いの再現を目指している。

本稿では、紙の 3 次元微細構造の調査結果をまとめ、得られた知見をもとに構築した 3 次元紙モデルについて、実験例とともに報告する。

## 2 紙の微細構造

文献 [1]、および関連ウェブページ [2] に基づき、紙の微細構造についてまとめる。

紙は大まかに分類すると、表 1 のようになる。

填料は、タルクをその主成分とし、平滑性、インキ受理性、不透明性などを高めるために紙料へ配合される。繊維と繊維の隙間を埋めるように存在し、紙の表裏によって、粒子の大きさ、分布量が異なっている。また、塗工とは、石灰粉と粘土の混合剤を薄く紙の表面に塗ることで、紙の表面をさらに滑らかにする効果があり、

表 1: 紙の分類

	填料 無	填料 有
非塗工紙	和紙 など	上質紙, 画用紙
塗工紙		アート紙, コート紙

紙表面の凹凸は、上質紙 (約  $4\mu\text{m}$ ) と比べ、コート紙では、約半分 (約  $2\mu\text{m}$ ) に減少する。以上より、表 1 において、右下のカテゴリーに分類される紙が、より表面の滑らかな紙といえる。

色えんぴつ画で使用する紙は、ユーザの好みや期待する効果によって様々であるが、最も一般的なのは画用紙である。表 1 において右上に分類される、画用紙を含む非塗工紙は、繊維、填料、空気によって構成・配置されている (図 1)。

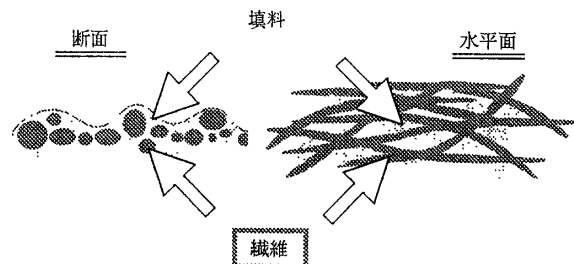


図 1: 非塗工紙の微細構造

繊維は、叩解 (繊維自身を毛羽だたせる) という処理を施されている場合が多く、元の木材繊維の形状からかなり変形している。また、繊維の配置は一見ランダムのように見えるが、実は配向性があり、製紙工程の条件によってかなり異なる。配向の度合を示す配向指数は、地合いの主要な決定要因の 1 つであると考えられる。

填料は、表側となるフェルト面で多く存在し、裏側となるワイヤー面では、小さな粒子の填料が水分と一緒に流れ落ちてしまうため、大きな粒子がまばらに存在する。

空間を充填する填料が配合してあるものの、紙の内部には依然として多くの隙間が残存している。

## 3 紙の 3 次元構造モデリング

構築した紙のモデルは、以下のようになっている。まず、紙の構成要素は繊維と填料とする。実際の紙の成分はそれだけではないが、画用紙の地合いを考える上で特に必要となる含有量の大きい成分に限定した。

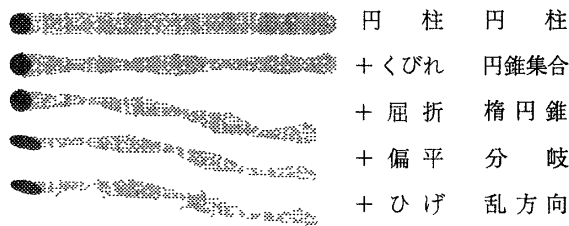


図 2: 繊維モデルの段階的詳述化

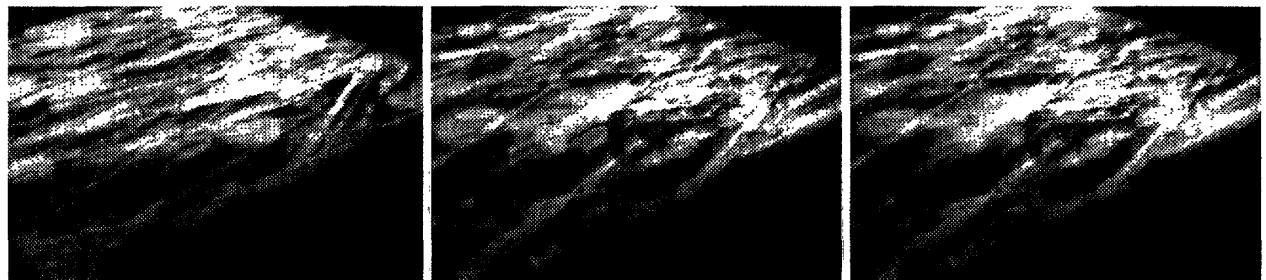
図 2 のように、単一の繊維に関しては、円柱状のものから徐々に近似度を増していく。ここで、本来繊維の内側は空洞のパイプ状であるが、空洞へ顔料が付着するわけではないので、今回は考慮しない。半径、長さ、くびれ位置などのパラメータに擾乱を加えた単一繊維モデルを、紙の表面方向、深さ方向とも基本的にはランダムであるが、配向性をもつように多数配置する。

填料は、基本的には円盤(高さの低い円柱)でモデリングする。メタボールを用いるなどの拡張も考えた。半径、長さに擾乱を加えた単一填料モデルを、繊維との干渉チェックを行いながら、不均一に繊維網へ落して充填する。紙の表裏を表現する場合は、定量的調査に基づき、表側では大小さまざまな粒子が存在するが、裏側に近いほど大きい粒子だけ存在するようにし、数量も減少させる。

### 4 実験

前節で述べた紙モデルを、3D スキャン変換し、規則格子をもつボリュームデータを生成する。構成要素をフィールド値で識別できるように、各要素の値域には制限を設ける。紙の 3D データの可視化には、VolVis Ver.2<sup>†</sup> を利用し、光の減衰、反射、屈折、透過を統合的に扱えるボリュームレイトレーシングにより、得られたボリュームデータを可視化し、評価する。

図 3 はその可視化例である。繊維モデルは円柱、填料モデルは円盤(同図 a) から始め、繊維へくびれを加える(同図 b)、填料円盤の側面をメタボール状とする(同図 c) のように、モデルを改良していった。どの画



(a) 円柱繊維 + 円盤填料

(b) くびれ繊維 + 円盤填料

(c) くびれ繊維 + メタボール状填料

図 3: 生成画像例 (斜め上方からの投影画像)

像においても、表面に凹凸が見られ、これまでグラフィックスの分野では一般的に 2 次元オブジェクトとしてしか扱われてこなかった紙を立体的に表現できたと考えられる。これらの画像例からは、モデル間の差はあまりないように見えるが、顔料付着や加水等の描画オペレーションを施した際には、効果に有意な差が生じると期待される。

### 5 現状と今後の予定

現在、紙の微細構造や印刷特性などの紙に関する調査を続行し、構築中の紙モデルを改良中である。また、その紙モデルへの描画オペレーションの開発を進め、地合いを反映した色えんぴつ画風タッチの再現を可能とするペイントシステム Pumpkins の開発 [6] を目指している。

### 謝辞

紙の微細構造を調べるにあたり有益なコメントを頂いた、日本製紙株式会社研究開発本部中央研究所印刷研究室の黒田 慎一郎室長、河崎 雅行氏に感謝致します。

### 参考文献

- [1] 門屋 卓, 角 祐一郎, 吉野 勇, 紙の科学, 有限会社中外産業調査会, 1977.11
- [2] 日本製紙, <http://www.npaper.co.jp/>
- [3] 高木 佐恵子, 藤代 一成, Line Integral Convolution を用いた水彩色えんぴつ画の作成, 第 52 回情報処全大, 5H-8, 1996.3 (大会奨励賞受賞)
- [4] 高木 佐恵子, 藤代 一成, 水溶性色えんぴつ画における加水効果の CG モデリング, 情報処理学会研究報告 96-CG-80, pp. 25-32, 1996.5
- [5] B. Cabral and L. Leedom, "Imaging vector fields using line integral convolution," in *Proc. SIGGRAPH 93*, pp. 263-270, August 1993.
- [6] S. Takagi and I. Fujishiro, "CG modeling of water-soluble colored pencil drawings," To be submitted to *Sketches, SIGGRAPH 97*, August 1997.

<sup>†</sup>New York 州立大学 Stony Brook 校 Visualization Lab. において、設計・開発されている可視化用 PDS.