

CGによる紙の破断表現

CG Expression of Paper Tearing

木谷 佳将† 田中 敏光† 佐川 雄二†

Kitani Keisuke Tanaka Toshimitu Sagawa Yuji

1. はじめに

近年、コンピュータやグラフィックハードウェアの処理能力の向上により、精細で複雑なCG画像を作ることが可能になった。この結果、各種映像メディアやビジュアルシミュレーションなど、幅広い分野でCG映像が利用されるようになった。これを背景として、よりリアリティの高い画像を生成するために、数多くの手法が提案されている。しかしながら、自然物や自然現象をリアルに表現することは、今なお、困難な課題である。

紙は日常生活においてありふれたものだが、折る、曲げる、くしゃくしゃに丸める、切る、破る、など様々な形状操作ができ、それに応じて多彩な表情を見せてくれる。紙を折ったり曲げたりしてできる形をCGで表示する方法については、コンピュータ上で折り紙を再現する研究[1]などでいくつか提案されている。しかし、紙が破れる様子や破れ跡を表示する方法はあまり研究されていない。本研究では、これらの現象をリアルに表現する手法を提案する。

2. 紙質

紙は、木材などを碎いて植物性繊維を水に分散させて、脱水・乾燥の工程を経て、繊維を絡み合わせてシート状にしたものである。このため、紙を構成する繊維は、ある程度のまとまりを持って不均一に分布していると考えられる。また、紙漉きは一般的に天地方向のみに行われているため、紙の繊維の多くは同じ方向を向いている。この結果、紙は繊維の流れに沿う方向に破れやすく、垂直方向では、繊維が抵抗となるため、紙は破れにくくなる。

以上のことから、同一の紙であっても、破る方向によって破れ方が大きく変化する。さらに、紙の強度は、材料とした繊維の種類や、紙漉きの回数によっても異なってくる。

3. 紙のモデル化

製紙工程や、破れ目の断面の観察から、以下の特徴を持つモデルを作成した。

3.1 紙繊維のブロック化

本研究では、紙を多層構造で表現する。紙の各層は、縦横に等間隔で分割してできる小領域の集まりで近似する。紙繊維は小領域をまとめたブロックで表現する。ブロックは紙の目や繊維長を考慮に入れて作成する。図1は紙の一層をブロック毎に色分けして表示したものである。ここで、ブロック内の結合力よりブロック間の結合力を弱くすることで、繊維のつながり目で破れやすくする。

3.2 多層構造

紙はごく薄いので、計算機で処理するときは、厚さを無

視して考えることが多い[2]。しかし、破れ目が薄くなったり、表面コーティングのみ剥がれたりする現象を表現するには、紙の厚さを考える必要がある。そこで、紙を多層構造で表現する。また先のブロック化の考え方を層の間にも取り入れて、図2のように複数の層に渡るブロックも定義する。ブロック間の結合力をブロック内の結合力より弱くすることで、層の境界で剥がれ分かれる現象を表現する。

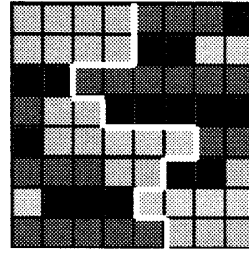


図1・繊維のブロック化

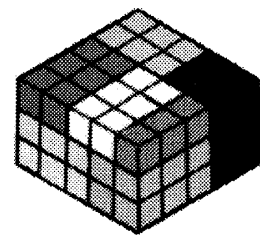


図2・多層のブロック構造

3.3 弾性体モデル

力の伝達や、紙の切断は弾性体モデルで表現する。宮崎らの研究[3]では、図3のように立方体格子の各頂点に質点を、格子の辺及び対角線にばねを配置した“質点-ばね”格子で弾性体を表現している。本研究でもこの方法で紙を表現し、変形を評価する。変形の数値解析には4次のルンゲ-クッタ法を用いる。

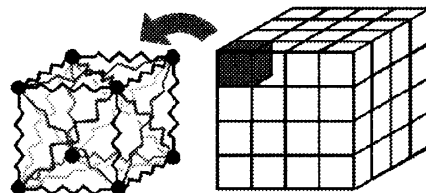


図3・質点-ばね格子モデル

ただし、図4のように格子の各辺のばねは立方体格子ごとに独立して配置する。これは、後述の分断処理を容易にするためである。

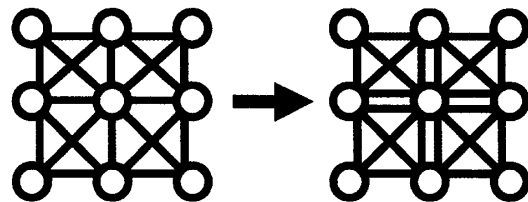


図4・格子毎にばねを配置

3.4 ブロックの“質点-ばね”格子

3.3節で述べた“質点-ばね”格子では、隣り合う質点の間だけに力が作用する。このため、大きな力で引っ張る

と、変形が1箇所に集中して、不自然な切断が発生する。そこで、力を全体に早く伝播させるため、ブロックを単位とした“質点-ばね”立方格子を追加した。これは曲げに対抗する力を発生するためにも使われる。

3. 5 分断方法

“質点-ばね”モデルのばねが一定の長さを超えたとき、そのばねはちぎれると判断し、分断処理を行う。この時、ばねを消去してしまうと、格子が1つ消滅してしまうため、破れ目の両側で形が一致なくなる。そこで、図5に示すように、切断されるばねが繋がっている質点を分割する手法を提案する。この方法では、伸びたばねのどちら側の質点を分けるかを決める必要がある。本研究では、質点にかかる力の総和がより大きいほうを分割する。

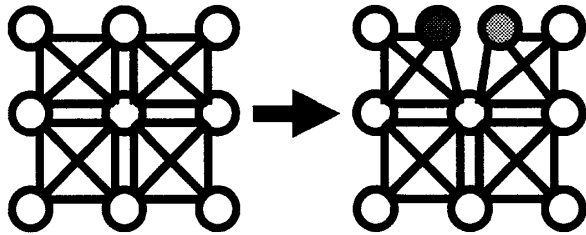


図5・分断手法

この時、対角線に配置されたばねを分断してしまうと、格子形状が崩れてしまう。そこで、対角線に配置されたばねは分断対象から除外する。また、ブロックに少しでも亀裂が入れば、そのブロックを単位とする“質点-ばね”立方格子を取り外す。

4. 破れ目の細部形状

3.5節で述べた分断手法では、立方体格子が破れ目の最小単位となるため、破れ目の凹凸が不自然になる。そこで、破れた箇所に現れる繊維のほつれなどを表現するために、破れ目に表示専用の微細形状を作成する。立方格子毎に隣り合う立方格子との繋がりを確認し、分断されていた場合には、図6のように分断されている側をぎざぎざした多角形状に置き換えて表示する。また、層間の繋がりを見て、分断されているようであれば、厚さに応じて透過処理を施す。

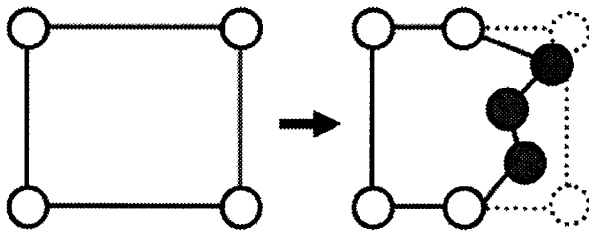


図6・細部の描画データの変更

5. 実験

提案手法を実装し、紙の破れる過程のCGを作成した。紙を縦90×横90×5層の格子で定義し、左右に引いて破れ目を作った。繊維は横方向に並んでおり、表面には印刷が施されている場合を想定した。

実行結果を図7と8に示す。図7は全体の画像で、図8はその一部を拡大表示した画像である。コーティング紙によく見られる、表層だけ剥がれる様子がシミュレートできている。また、和紙のような繊維の長い紙を破ったときにできる破れ目のほつれも、それらしく表現できている。

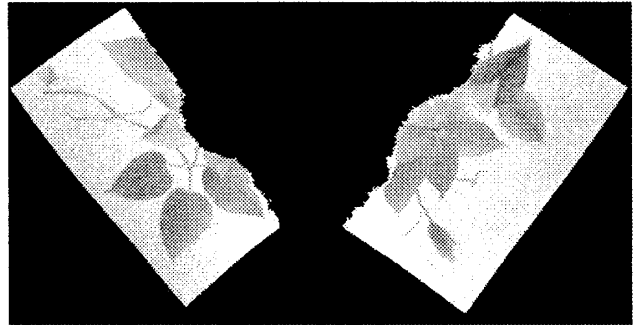


図7・実行結果

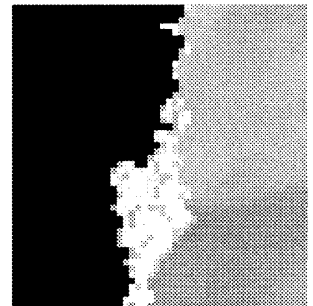
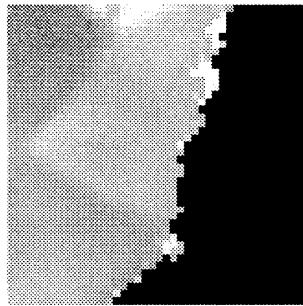


図8.1・拡大図（画像角度調整）

図8.2・拡大図

6. まとめと今後の課題

紙の破れ目を生成する手法を提案した。提案手法では、紙を多層の“質点-ばね”格子モデルとして定義した。そして、その質点をブロックにまとめることで紙の繊維の塊を表現した。さらに、ブロックにもばねを与えることで力の伝播を早めた。また、破れ目を自然に表示する手法も実装した。評価実験では、破れ目のゆらぎや表層だけが剥がれる様子を表現することができた。

今後は、ブロックの配置やモデルパラメータの設定が動作結果に与える影響を評価する。また、“貫く”などの力をかけた場合の破れ目も表現できるように拡張する。

参考文献

- [1] 仮想空間における折り紙の対話型操作の実現
宮崎 慎也 安田 孝美 横井 茂樹 鳥脇 純一郎
情報処理学会論文誌, vol.34 (9), pp.1994-2001, 1993.9
- [2] An Origami Playing Simulator in the Virtual Space Miyazaki S, Yasuda T, Yokoi S, Toriwaki J
The Journal of Visualization and Computer Animation, vol.7 (1), pp.25-42, 1996
- [3] 仮想弾性物体の対話操作のためのモデル化と実現
宮崎 慎也, 安田 孝美, 横井 茂樹, 鳥脇 純一郎
電子情報通信学会論文誌, J79-A, 11, pp. 1919-1926, 1996.11