

布形状シミュレータに演出機能を付加した 3DCG アニメーションシステムの開発
-パラメータの時空的制御による演出効果の強化-

Development of 3DCG Animation System Based on Cloth Simulation which enables Intuitive Operation
-Reinforcement of intuitive operation effects with time-space controlled parameters-

河辺 郁[†] 高森 年[‡] 田所 諭[†]

神戸大学工学部[†] 国際レスキューシステム研究機構[‡]

1 はじめに

力学ベースの布形状シミュレータ[1][2]が三次元コンピュータグラフィックス(3DCG)アニメーションにおいて有効なことはよく知られている。しかし現状の力学ベースのシミュレータでは、作り手の意図する仮定の布の動作生成は難しく、シミュレータにおける-いわゆる“演出効果” [3]-の機能が望まれている。

本研究では、布形状シミュレータのパラメータである布の硬さ係数・質量・弾性係数を、動的かつ空間的に制御することにより作り手の意図する“演出効果”を実現したので、以下その結果について述べる。

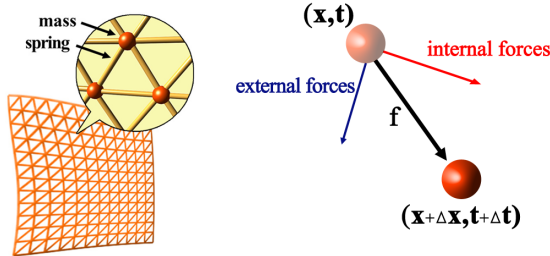
2 演出機能を付加した布形状シミュレータ

2.1 布の力学モデルと布形状シミュレーション

シミュレーションに用いる布の力学モデルは、布の 3Dモデルを三角ポリゴンに分割し、各頂点を質点とした一般的な「質点-バネモデル」である(Fig.1(a))。布を質点の集合として扱い、微小時刻ごとに以下の運動方程式を数値的に解き、各質点の位置を求めていく(Fig.1(b))。

$$\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{M}^{-1} \left(-\frac{\partial E}{\partial \mathbf{x}} + \mathbf{f} \right)$$

\mathbf{x} が布の質点座標、 \mathbf{M} が質量行列、 E が布の内部エネルギー、 \mathbf{f} が質点にかかる力である。布が平面からずれたときに元に戻ろうとする性質より発生する内力を求め、布への外力としては重力や空気抵抗などを加える。安定な数値計算を行うために、この運動方程式は後退オイラー法を用いて解く。



(a) Mass-Spring model (b) Movement of Mass point
Fig.1 Mass-Spring model and Movement of Mass point

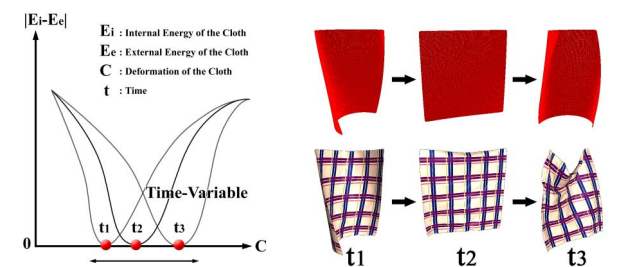
2.2 演出の概念

「力学シミュレーションの結果では A というアニメーションが作成されたが、本当は A' というアニメーションが欲しい。」力学シミュレーションをアニメーション作成の手段として用いた場合、作成者がこのように望むケースは珍しくない。もしも直接的かつ直感的な操作で、最終的に欲しい絵を得ることが可能な仕組みを力学シミュレーションに与えることができれば、アニメーションの表現の幅や作業効率の向上が望めると考えられる。「力学シミュレーションを、人間が分かりやすい操作で望んだ結果に導いていく」ことを「演出」という概念として我々は提案し、この演出を施すことのできるアニメーションシステムの開発を研究目的としている。

ユレーションに与えることができれば、アニメーションの表現の幅や作業効率の向上が望めると考えられる。「力学シミュレーションを、人間が分かりやすい操作で望んだ結果に導いていく」ことを「演出」という概念として我々は提案し、この演出を施すことのできるアニメーションシステムの開発を研究目的としている。

2.3 時変安定形状の導入による演出[3]

これまでの研究で提案された演出法として、「時変安定形状(Time-Variable Stable Form, TVSF)」を用いるものがある。この方法では、布の内部エネルギーがゼロになる形状を安定形状とし、これを時間的に変化させることで布に対して任意の方向と大きさを持つ内力を与え、布の変形を誘導していく(Fig.2(a))。言い換えると、布にかかる力の平衡点を時間的に変化させることで、布の変形を促す、これが時変安定形状の原理である。作成方法は通常の 3DCG アニメーションで使われている手法を用いる。Fig.2(b)は上段が設計された時変安定形状で、下段がその時変安定形状に伴い変形した時刻 t_1 から t_3 の布の形状を示した図である。このように時変安定形状を導入することにより、直接的に布の形状・動作を操作することができる。



(a) Energy and Deformation (b) Calculated deformation of Cloth
Fig.2 Time-Variable Stable Form

3 パラメータ変数化による新しい演出

3.1 印象の変化に及ぼすパラメータ依存性

布形状の力学シミュレーションにおいて、作成される布の形状・動作は、布の硬さや質量、重力加速度や摩擦係数といったパラメータの値の調整によって決定される。すなわち、様々に変化させたパラメータ値の布が使用されたアニメーションでは、見る側がそのアニメーションから受ける印象が異なってくる。パラメータを自由に操作することにより最終的には見る側の印象を操作することができ、物理法則にとらわれない新しいアニメーションを作成できる。時間的・空間的にパラメータを変化させる「変数パラメータ」を導入することによって、新し

い演出の実現を試みる。

3.2 時間変数パラメータと空間変数パラメータ

今回扱ったパラメータはポリゴン質量・硬さ係数・弾性係数である。時間変数パラメータ (Time-Variable Parameter, TVP) は、任意のタイミングでこれらのパラメータ値を変化させるという演出を行う。空間変数パラメータ (Space-Variable Parameter, SVP) は、布のパラメータ値をポリゴンごとに変化させる演出を行う。またこれらの変数パラメータを組み合わせれば、布の任意の部分のパラメータを任意のタイミングで変化させることができるので、シミュレーション計算上では、物理法則に基づきながらも自由に布形状を制御することができる。

Fig.3(a)は、頂点/ポリゴン数が 4225/8192、総質量 0.1kg としたテーブルクロス左半分ポリゴンのパラメータを空間変数パラメータに指定し、その質量パラメータを時間変数パラメータとしてテーブルにテーブルクロスを自由落下させた場合の、時刻 1.5(sec)でのシミュレーション結果である。なお、Table.1 は布左半分のポリゴン総質量値の時間変化を示しており、Fig.3(b)はそのグラフである。このようにパラメータを自由に操れるようになると、物理法則だけでは実現できない新しいアニメーションの作成が可能となる。

Time(sec)	0.8	1.0	2.9	5.0
Mass(kg)	0.05	0.005	0.005	5.0

Table.1 Time -Variable Mass Parameter of TableCloth

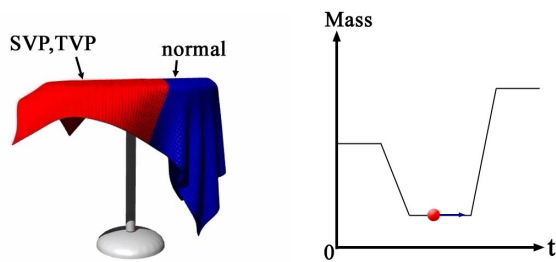


Fig.3 Time-Variable Parameter and Space-Variable Parameter

4 変数パラメータを用いた演出効果の強化

4.1 時変安定形状による演出の弱点

文献[3]より、時変安定形状とパラメータ値の関係において、布の曲げ成分に影響するような変形では、硬さ係数が小さく、質量が大きく、減衰係数が大きくなるほど、布はその安定形状に追従しにくいことがわかっている。またそれに伴い外力との関係では、重力に逆らうような変形は困難であることがわかっている。

4.2 変数パラメータによる演出効果の強化

4.1 で述べた時変安定形状の弱点を克服するためには、同時に変数パラメータを用いることが有効である。Fig4 は頂点/ポリゴン数が着物:6312/12336、女性:4039/7912 の歩行動作アニメーションの、第 200 フレーム目における 3D モデルとワイヤフレームで表された時変安定形状を示したものである。Fig.4 における(a)は通常の力学のみのシミュレーション結果である。(b)は(a)に、このフレームの時点で着物の袖を曲げ裾を膨らますような時変安定形状による演出を加えた結果であるが、前述の時変安定形状の追従しにくい変形であったため、その演出が生かされていない。そこで袖と裾のポリゴンのパラメー

ータを空間変数パラメータとし、時変安定形状に追従しやすくするようにパラメータ値を 200 フレーム目付近で与える。このときの 200 フレーム目の各パラメータ値を Table.2(c)として(b)の場合と比較して示す。 m は SVP として選ばれたポリゴンの総質量であり、 k は硬さ係数の曲げ成分、 d はその弾性係数である。その結果が Fig.4 における(c)であり、(b)に比べさらに時変安定形状に近づけることが出来るため、より作り手の意思を反映させた結果であるといえる。

	m (kg)	k	d
(b)	1.29	0.001	0.0001
(c)	0.32	0.01	0.001

Table.2 Value of Parameter at 200frame

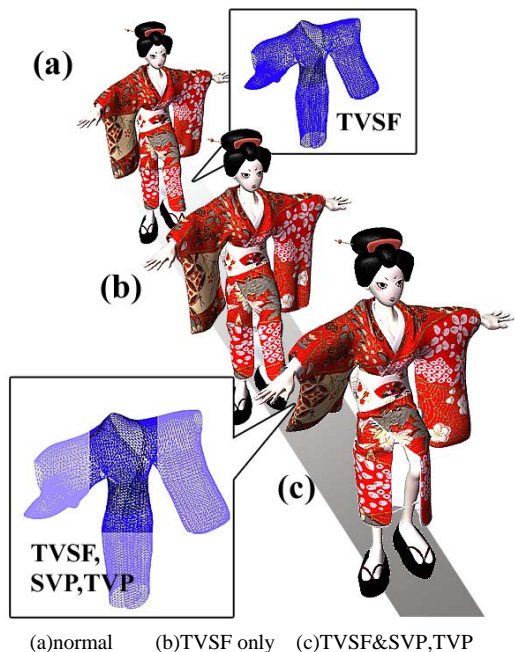


Fig. 4 Animation of Kimono with TVSF or TVSF&SVP,TVP

5 おわりに

本稿では、従来研究である時変安定形状を用いての力学シミュレーションに対する演出に加え、変数パラメータを導入し新しい演出法とした。また、この手法は時変安定形状による演出をさらに強調する手段として有効であることを示した。

参考文献

- [1] David Baraff, Andrew Witkin, "Large Steps in Cloth Simulation", SIGGRAPH '98 Proceedings, ACM, Addison-Wesely, pp.43-54, 1998.
- [2] 坂口嘉之, 道彦美濃, 池田克夫, "仮想服飾環境 PARTY 動的変形可能な布のための数値計算法 -", 電気情報通信学会論文誌 D-II Vol. J77-D-II No.5 pp.912-921, 1994.
- [3] 堂田卓宏, 河辺郁, 服部元史, 高森年, "時変安定形状を用いてクロス・シミュレーションに演出機能を付加した 3DCG アニメーションシステムの開発", 情報処理学会第 65 回全国大会講演論文集 pp.4/103-4/104 2003.3.