

キャラクタの局所的な身体構造を考慮した リアルタイム二次動作自動生成

金田 綾乃^{†1,a)} 福里 司^{†1,b)} 福原 吉博^{†1,c)} 中塚 貴之^{†1,d)} 森島 繁生^{†1,e)}

概要：ボーン制御可能なキャラクタアニメーションの二次動作生成として、モデルに対して階層構造を与える技術や、スキニングを用いた手法が考案されてきた。しかし、これらは筋肉の伸縮方向といった局所的な異方性が考慮されていないため、生成された二次動作の結果がキャラクタ全体で一様なものになってしまう点が課題として挙げられている。さらに、従来の繊維方向を考慮した弾性体変形手法は、骨のない柔軟物体にしか適用されておらず、二次動作のような局所的な硬さの違いを表現するには不向きであった。そこで本研究では、高速かつ頑強な弾性体変形の手法の一つ Shape Matching 法を応用し、ボーン制御で局所的な硬さや伸縮方向を考慮した、二次動作生成手法を提案する

AYANO KANEDA^{†1,a)} TSUKASA FUKUSATO^{†1,b)} YOSHIHIRO FUKUHARA^{†1,c)} TAKAYUKI NAKATSUKA^{†1,d)}
SHIGEO MORISHIMA^{†1,e)}

1. はじめに

近年、コンピュータグラフィックスによるキャラクタアニメーションにおいて、生き生きとした表現を可能にするために、二次的な動作（肉揺れ）を自動かつ計算コストが比較的軽い手法が注目されている。その中で (1) ボーン情報をもとにモデル表面の形状を直接決定する方法や、(2) キャラクタに仮想的な内部構造を構築することで表面を変形する手法、(3) 例示データを用いて形状を変形する手法、(4) アナトミカルな情報を考慮した手法が考案されてきた。しかし従来手法では、入力として筋肉の形状などを直接的に与えなければいけないことや、モデルの内部において想定される筋肉や脂肪層との相互作用が考慮できないことが課題となっている。さらに、筋肉の動きのように異方性を持たせるにパラメータ設定が非常に煩雑になる。そこで我々

はボーンモーションから異方性や硬さを考慮した二次動作を生成するため、キャラクタ内部に仮想的なアナトミカルなモデルを構築した。このモデルは、入力となるモデルの体積保存や外力応答が可能なことに限らず、ユーザが局所的な硬さや内部構造、繊維方向の設定が容易である長所を持つ。今回、ボーンからの内力を伝搬させる弾性変形手法として、我々は計算コストが小さい手法、Shape Matching (SM) 法 [5] を用いることとする。SM 法に対して「筋肉の繊維方向等を考慮した挙動の異方性を持たせる変形」「通常の SM 法に対して異方性による影響度をコントロールする中割パラメータの追加」「ボーンの関節情報をもとに力こぶ等の局所的に大きな変形情報を付与する」ためのフレームワークを実現した (図 5)。

2. 関連研究

SM 法を用いたキャラクタの二次動作生成手法は多く提案されている。SM 法は弾性エネルギーを最小にするような幾何的制約を用いた弾性変形手法である。Chen ら [4] はモデルを SM 法を用いて弾性変形させることでボーンモーションに追従する二次動作生成手法を提案した。しかし、体積保存の制約が強くなりすぎていることによって、肉揺

¹ 情報処理学会
IPSJ, Chiyoda, Tokyo 101-0062, Japan
^{†1} 現在、早稲田大学
Presently with Waseda University
a) dizzy-miss-lizzy@moegi.waseda.jp
b) tsukasa@moegi.waseda.jp
c) f_yoshi@ruri.waseda.jp
d) t59nakatsuka@fuji.waseda.jp
e) shigeo@waseda.jp

れといった二次動作の表現が困難である。そこで Iwamoto ら [1] はキャラクタモデルを骨, 筋肉, 脂肪といった層にわけ, それぞれの層に異なった硬さの弾性変形をさせることで二次動作を表現した。しかしながら, 各層の弾性変形の挙動は方向による伸縮のしやすさは考慮されていない。そのために, 筋肉の繊維方向に依存した挙動は表現できない。Ijiri ら [2] は SM 法に対してモデルの繊維方向の拘束条件を付加した。モデルの繊維方向は局所領域における弾性変形の伸縮方向を示している。Takayama ら [3] はボーンのないモデルの挙動を局所の繊維方向を用いてデザインすることを提案した。しかしながら, これら手法では目的的大域的な挙動を得るためにはモデルの局所領域に与える関数の設定が困難である。また局所領域による硬さの設定が課題となっている。そこで我々は SM 法による弾性変形において, 局所的な伸縮方向と硬さを同時に考慮した手法を提案した。この弾性変形をキャラクタアニメーションに適用することでモデルの簡易的な身体構造を考慮した二次動作自動生成手法を提案した。

3. モデル構造の定義

我々の手法ではインプットとして, 四面体メッシュモデルとボーンモーションを用いる。実際の二次動作のように骨と筋肉, 脂肪における挙動を扱うために, Iwamoto らの手法 [1] を参考に多層構造モデルを構築する。但し, Iwamoto らの手法と異なり, 入力となるボーンの向き情報とメッシュ表面を基に「繊維方向」を定義する。具体的な手順としては, (1) ボーンの位置にあるメッシュ領域にはボーンと平行なベクトル, (2) 表面領域には, 骨に平行かつ表面の法線方向に垂直なベクトルを拘束条件とし, メッシュ全体の繊維方向を補間する。各局所領域に対して繊維方向の定義を行った。図 1 はモデルの表面からの法線ベクトルと骨に対して平行なベクトルを用いた拘束条件の下で

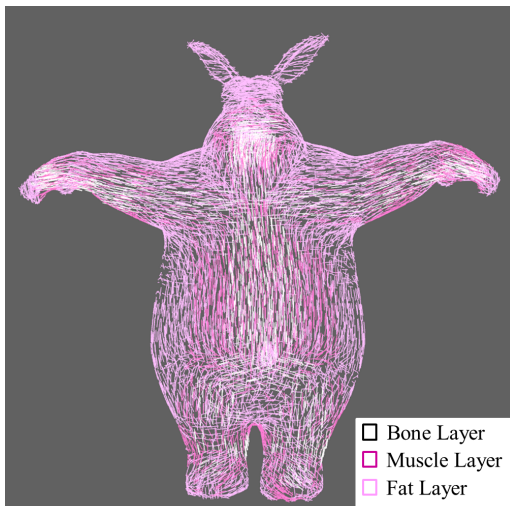


図 1 繊維方向の可視化結果。

全身を補間したものである。補間アルゴリズムとしては, Takayama らの手法 [3] と同様に Laplacian 補間を用いた。また, 本手法はユーザのスケッチ等を用いて繊維方向の拘束条件を追加し, 編集することができる。

4. 階層に与える挙動

キャラクタの全体的な動作(姿勢)を指定するために, ボーン層に対してのみ Linear Blend Skinning を行う。筋肉層と脂肪層に対しては, Ijiri らの手法 [2] の弾性変形シミュレーションを適用することで, ボーン層の動きを伝搬させる。具体的な手順としては, 入力となるモデルの各頂点とその近傍頂点をセットにした局所的な領域 N_i を作成する。隣接する局所領域どうしは互いに重なり合っていることから, その各領域に対して弾性変形アルゴリズムを適用した後, 加重平均を計算することで全体的な形状(ゴールポジション $\vec{g}_i$)を得る。弾性変形の手法は計算コストが小さく解が安定的に得られる SM 法を適応した。 i 番目の粒子の局所領域 r におけるゴールポジションをもとめる。局所領域の初期位置は, 拡大縮小行列 scale matrix $\mathbf{T}_r$ で変形される。局所領域での現在の形状と変形された初期形状ができるだけ一致するような回転行列 $\mathbf{R}_r$ を求める。

$$\vec{g}_i = \frac{\sum_{r|i \in N_r} \omega_i^T \vec{g}_i^T}{\sum_{r|i \in N_r} \omega_k^T} \quad (1)$$

各領域から求めた i 番目の頂点のゴールポジション $\vec{g}_i$, 重み係数 ω_i^T とする。さらに, 筋肉層と脂肪層における繊維情報の影響度を編集するために, 我々は新たにパラメータ $\beta \in \{0.0, 1.0\}$ を導入し, 以下の式を用いて各層の変形度合いをコントロールする。

$$\omega_i^T = m_i \times \frac{(\vec{r}_i \cdot \vec{s}_i)^2}{|\vec{s}_i|^2 |\vec{r}_i|^2} \quad (2)$$

$$\vec{r}_i = \vec{q}_i^0 - \frac{\sum_{k \in N_r} m_k \vec{q}_i^k}{\sum_{k \in N_r} m_k} \quad (3)$$

$$\vec{s}_i = \beta \vec{v}_i - (1 - \beta) \frac{\vec{r}_i}{|\vec{r}_i|} \quad (4)$$

式 (4) の第一項は繊維方向を仮定した変形ベクトル $\vec{v}_i$, 第二項は通常(繊維なし)の場合の変形ベクトル $\vec{r}_i$ をさす。

本フレームワークは, 各領域ごとに弾性体アルゴリズムを導入していることから, 各領域に対し拡大縮小パラメータをセットすることができる。各領域に対して拡大縮小行列 T を直接セットできる利点を持つ。そこで, 関節の角度情報をもとに以下の拡大縮小パラメータ $c(\theta)$ をセットすることで, 力こぶのような部分的な変形制約を導入した。ここで拡大縮小行列 T は $\text{determinant} = 1.0$ を満たすことで体積保存が容易であるとともに, 力こぶのような部分的に肉がもりあがるような動作も可能となる。

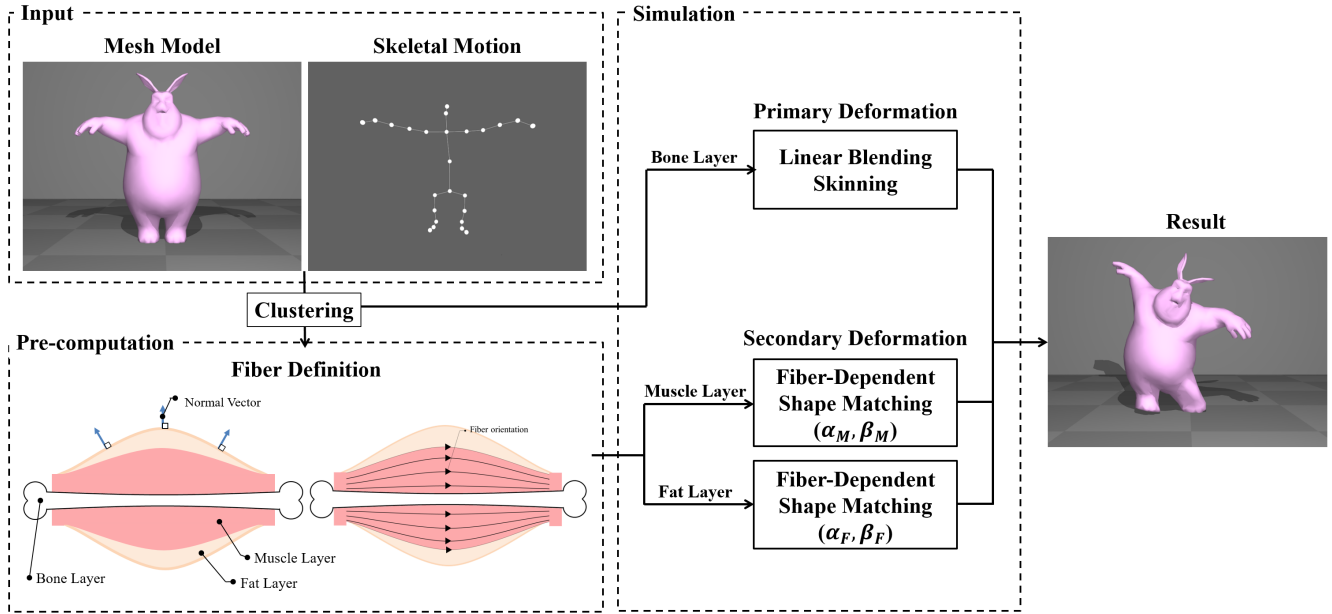


図 2 フレームワーク概要

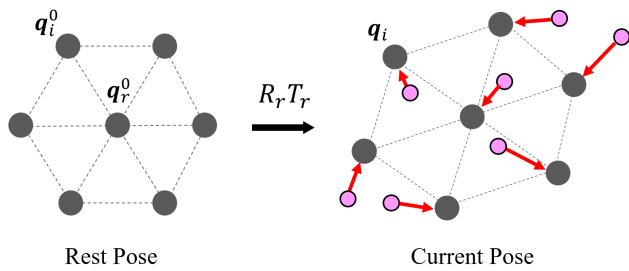


図 3 Shape matching 法のアルゴリズム概要図.

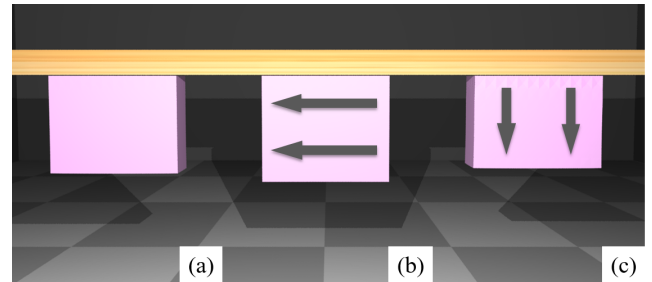


図 5 重力下での繊維方向の効果.

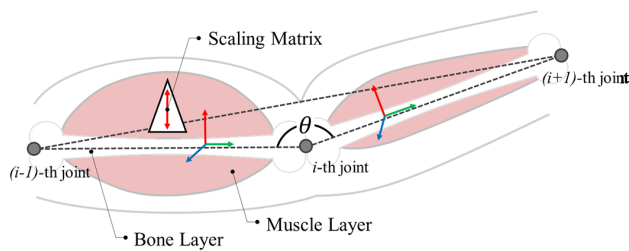


図 4 間接角度に基づく拡大縮小制約の概念図.

$$T_i(\theta) = \mathbf{DMD}^T \quad (5)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} c(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & c(\theta)^{-\frac{1}{2}} & 0 \\ 0 & 0 & c(\theta)^{-\frac{1}{2}} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$c(\theta) = \beta \sin \theta \times \mathbf{n}_i \cdot \boldsymbol{\tau} + 1.0 \quad (7)$$

5. 結果と考察

トイモデル (重力下): 図 5 では, 重力下でのモデルの繊維方向に依存する挙動を比較した. (a) は通常の SM 法の結果 (繊維なし), (b) は重力に対し垂直方向に繊維を定義した

場合, (c) は重力に対して平行方向に繊維が定義された場合である. この結果から, 通常の SM 法に対して剛性をコントロールできることが確認できる. さらに, 垂直方向に繊維方向が定義されている場合は通常の SM 法の挙動に比べて剛性が小さくなっている. 以上より, 繊維方向の向きに応じた挙動の違い (異方性) を表現することが可能となった.
トイモデル (β): 図 7 では, 定義された繊維方向の効果を操作するパラメータ β の値による挙動の変化を比較した. モデルは一樣に壁に平行な方向に繊維方向が定義され, 重力下でそれぞれに異なった β を与えた. ここで定義された線維は蛇腹のような働きをしており, 繊維が定義されないものに比べてしなるような挙動を示している. β が大きくなるにつれ繊維方向の効果が考慮された結果となった. このように繊維方向の定義とその効果の度合いを操作することによって弾性変形に対して特有の動きを持たせることができた.

トイモデル (multi-layer): 図 8 ではパラメータ α のみの効果と α と β の効果の場合を比較した. すべてのモデルは多層構造をもち, 各層にそれぞれ α と β の値を設定した. 2 に用いたパラメータを示した. 繊維方向はそれぞれ

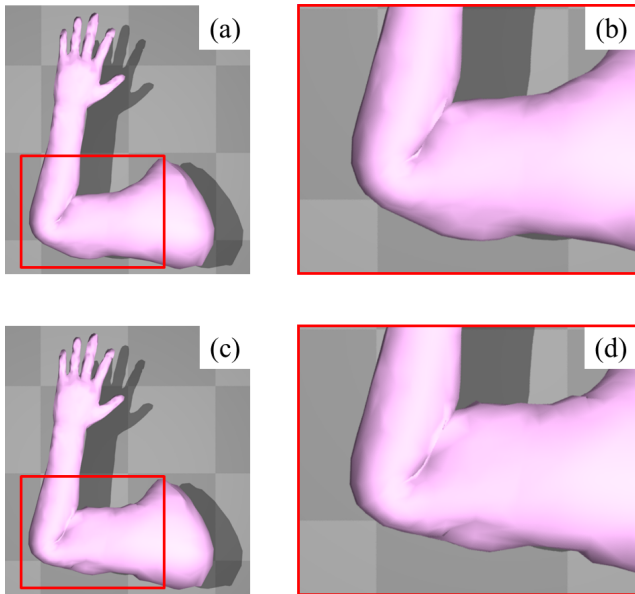


図 6 関節角度に基づく拡大縮小制約の比較結果.

表 1 図 8 におけるパラメータ

model	α_M	β_M	α_F	β_F
iwamoto et al.	1.0	0.0	0.3	0.0
our method (i)	1.0	1.0	0.3	0.3
our method (ii)	1.0	1.0	0.3	0.3
our method (iii)	1.0	1.0	0.3	1.0

our method(ii)のみ床に平行な方向に定義されており、その他のモデルについてはすべて床から上方にかつ壁に平行方向に繊維方向を定義した。Iwamotoらの手法を参考に、繊維なし($\beta=0.0$)を設定した場合(Iwamoto et al)と、繊維あり(our method)との挙動の違いを検証する。その結果、提案手法のように繊維を設定することで、変形結果を変えることができることが確認できる。さらにour method(i)とour method(iii)を比較することで繊維方向の効果の度合いを層ごとに変えることでも挙動に変化が見られた。これらのことから定義する繊維方向、そして多層構造において各層に異なったパラメータ α と β を与えることで様々な挙動の弾性変形を与えることができた。用いたモデルデータとfpsは表2に示した。

パトリック (jumping-animation):図9ではパラメータ α と β の効果を検討したキャラクタアニメーションを生成した。図9では筋肉層に $\alpha_M = 1.0$, $\beta_M = 1.0$, 脂肪層は $\alpha_F = 0.3$, $\beta_F = 0.0$ のパラメータを与えた。繊維方向は骨の方向とモデルの表面からの法線ベクトルを用いて定義した。この結果から、繊維情報を設定することで、より自然なキャラクタの二次動作を実現したことが確認できる。

力こぶ:図6では関節角度に基づく拡大縮小パラメータによる挙動の違いを図4に示す。(a), (b)では β を0.0,(c) (d)では β を1.0.として設定した。繊維方向を考慮しない(a), (b)のモデルに比べ繊維方向が考慮された(c), (d)で

表 2 モデルデータと計算時間

model	頂点数	四面体数	fps
bar (gravity)	2297	9216	12.5
bar (beta)	817	3072	30.861
bar (multi)	817	3072	31.645
patrik	1574	6534	22.22
arm	1941	7753	28.57

は実際の腕の動きのように力こぶのような動作を表現することができた。また、拡大縮小パラメータを適用前と適用後での体積変化率は約0.291パーセントであった。この結果から、定義された繊維方向を用いて体積保存を考慮しながらの局所変形に成功した。この結果から我々のフレームワークでは定義された繊維方向と拘束条件を付与することで、新たな局所的な変形を付加することが可能である。

6. まとめと今後の課題

本研究では、高速かつ頑強な弾性体変形の手法の一つであるSM法を応用し、モデルの局所的な硬さや伸縮方向を考慮したボーン制御可能な二次動作生成フレームワークを提案した。本手法は従来のアナトミカルな構造を用いた手法と異なり、各層による硬さと線維の方向、繊維の影響度を直感的に指定することが可能である。この結果、各層での異なる挙動を付与し、高品質な結果を得ることができる。本研究では現在ではモデルの内部構造は既存のものでも構わず、さらに挙動に対して、パラメータを自由に設定することができる。本研究の応用先として、高コストな弾性体アニメーションの結果や実際の人間の動作データの「見た目」を再現するために、例示データを基に本アルゴリズムで用いるパラメータ(肉の硬さや、伸びる方向、階層の数)を最適化することが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、JST ACCELの支援を受けた。

参考文献

- [1] Iwamoto, N., Shum, H., Yang L. and Morishima, S.: "Multi-layer Lattice Model for Real-Time Dynamic Character Deformation", Computer Graphics Forum, Vol.34, pp.99-109, 2015.
- [2] Ijiri, T., Ashihara, T., Umetani, N., Igarashi, T., Haraguchi, R., Yokota, H., and Nakazawa, K.: "A kinematic approach for efficient and robust simulation of the cardiac beating motion", IPLoS ONE, Vol.5, pp.1-9, 2012.
- [3] Takayama, K., Igarashi, T., Haraguchi, R., and Nakazawa, K.: "A Sketch-Based Interface for Modeling Myocardial Fiber Orientation", Proceedings of the 8th international symposium on Smart Graphics, pp.1-9, 2007.
- [4] Chen, C.-H. and Tsai, M.-H. and Lin, I.-C and Lu, P.-H.: "Skeleton-driven surface deformation through lattices for real-time character animation", User Modeling and User-Adapted Interaction, Vol.29, pp.241-25, 2013.
- [5] Muller, M. and Heidelberger, B. and Teschner, M. and Gross, M.: "Meshless deformations based on shape matching", ACM Transactions on Graphics, Vol.24, pp.471-478, 2007.

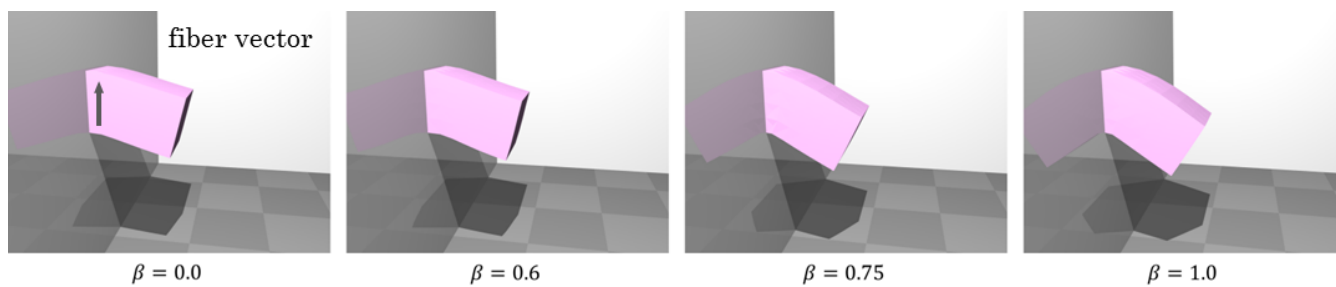


図 7 パラメータ β の効果による挙動の違い (重力下).

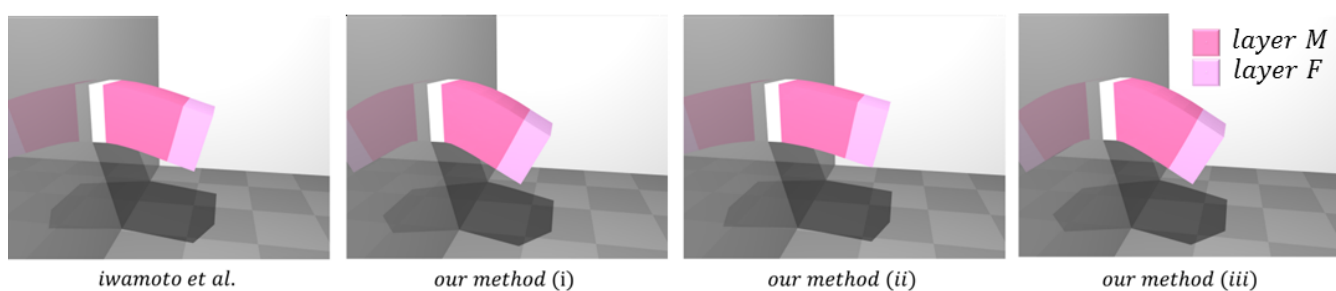


図 8 多層構造にパラメータ α と β を与えたことによる挙動の違い.

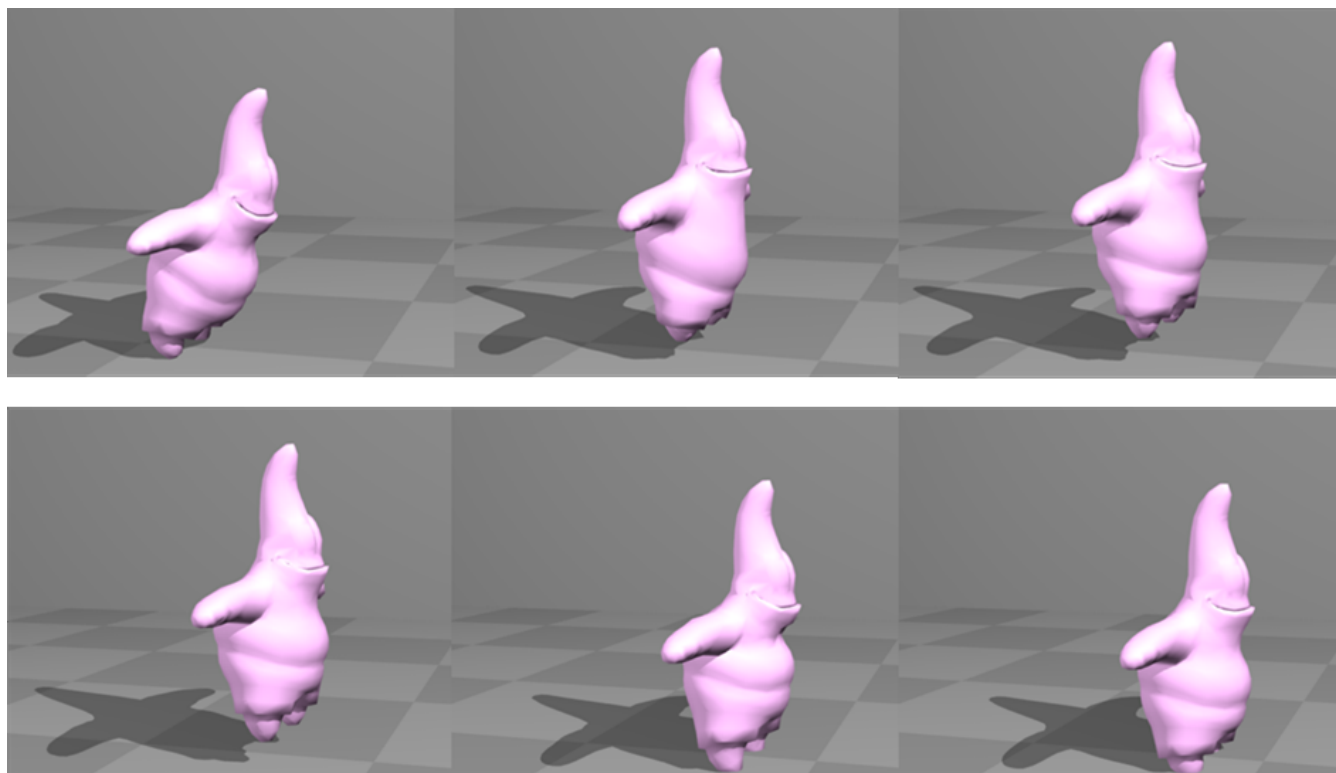


図 9 キャラクタモデル (パトリック) に対してジャンプアニメーションを適応した.