コンピュータグラフィックス

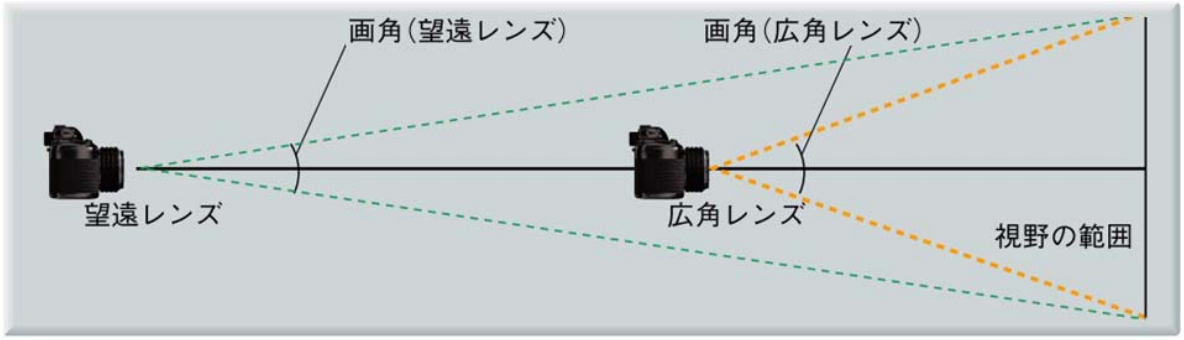
11. アニメーション

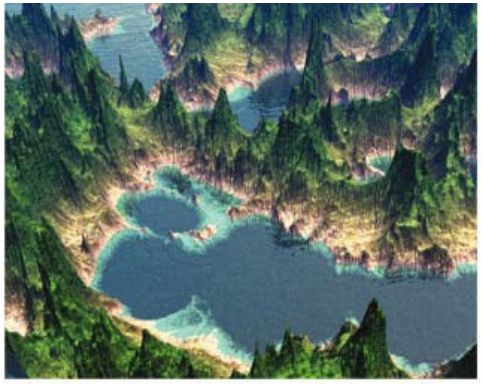
教科書P.162-192

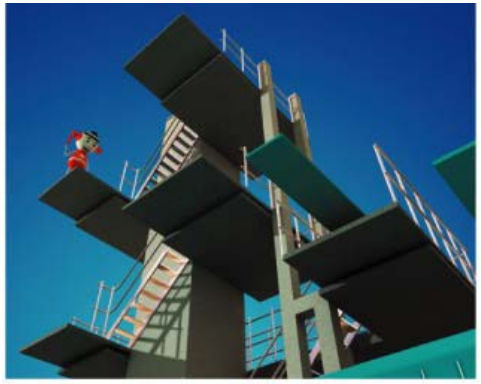
佐藤証 西9-613
akashi.satoh@uec.ac.jp

画角とカメラワーク

- 画角：撮像される視野とレンズから撮影する対象物までの距離の関係を角度で表したもの
- カメラワーク：カメラの位置や
  - アングル：①ハイアングル ②ローアングル ③アイレベル
  - フレームサイズ：①アップショット ②ミドルショット ③ロングショット



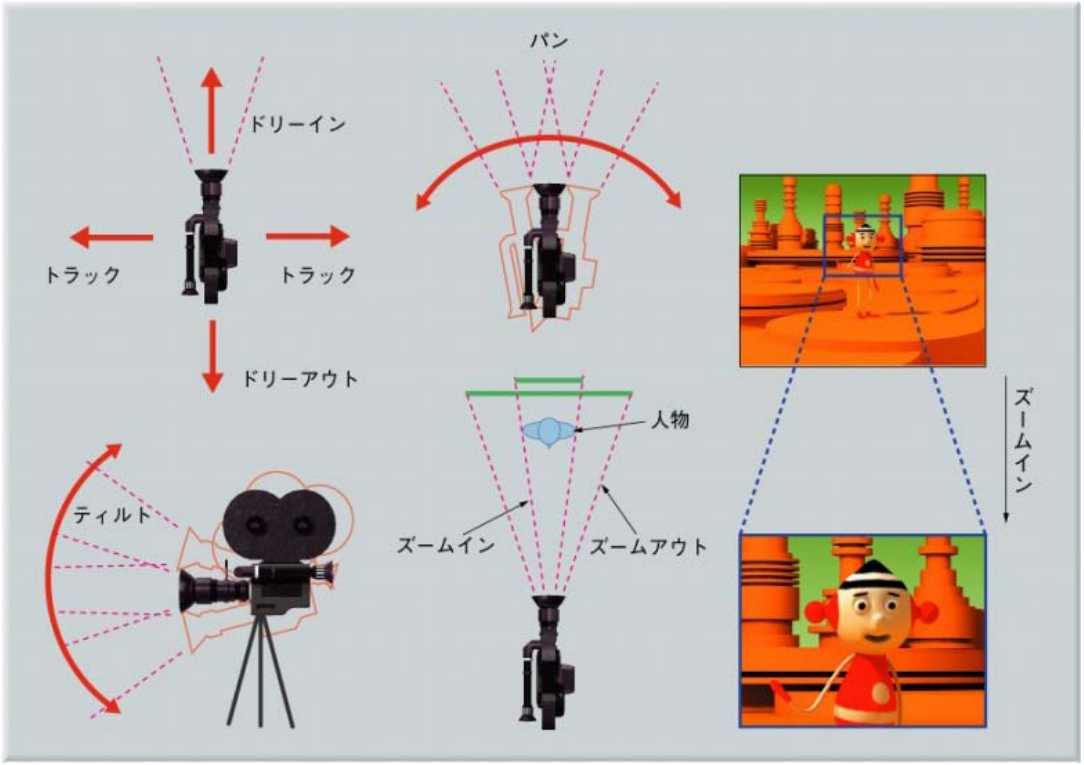

[a] ハイアングル


[b] ローアングル

[c] アイレベル

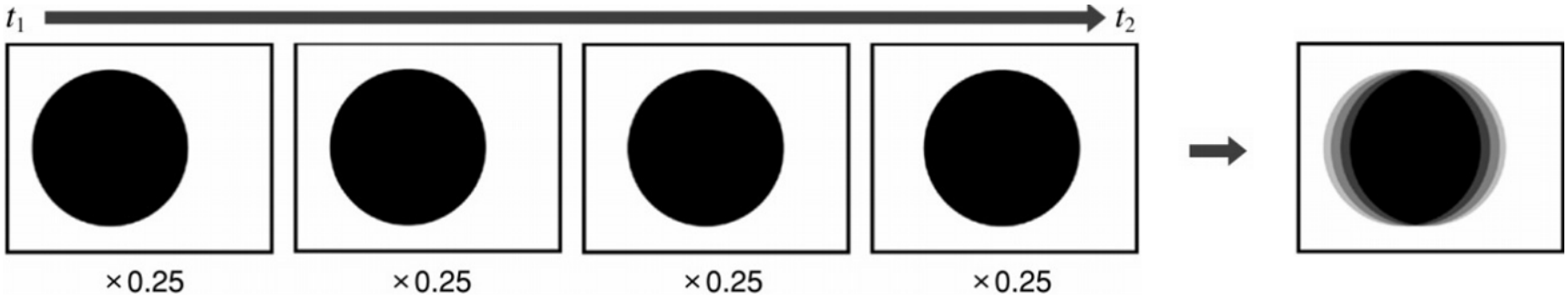
カメラの基本動作

① ドリー：カメラの前後の水平移動
② トラック：カメラの左右の水平移動
③ パン：カメラアングルの水平方向の振り
④ ティルト：カメラアングルの垂直方向の振り
⑤ ズーム：レンズの画角の方向による視野の拡大・縮小



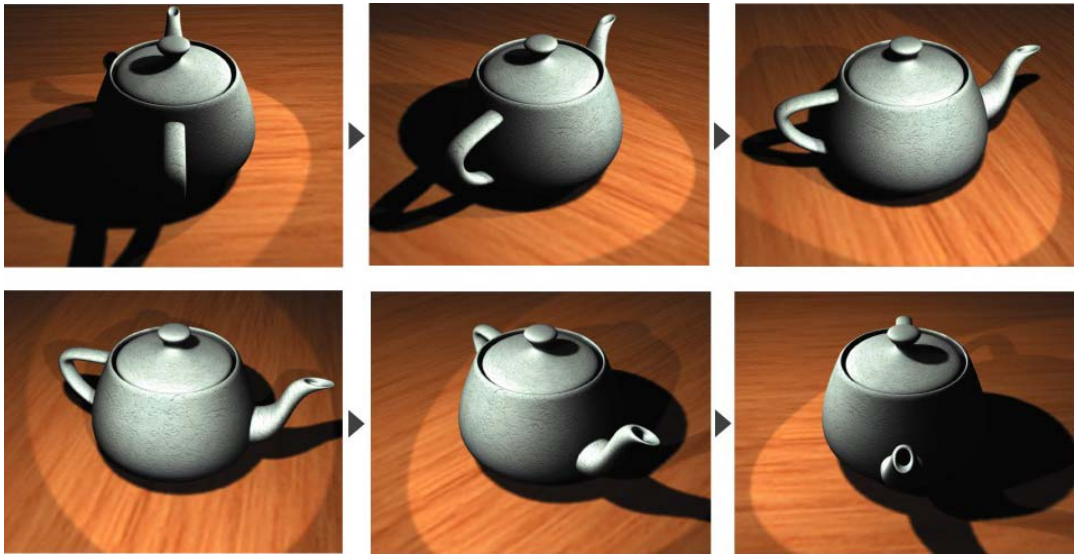
モーションブラー

- CGではピンボケやぶれが生じないため，動くものを連続表示するとストップモーションのように不自然となる
- モーションブラーはある時間幅(t_1～t_2)の画像を相加平均
- 時間幅がカメラのシャッター速度に相当

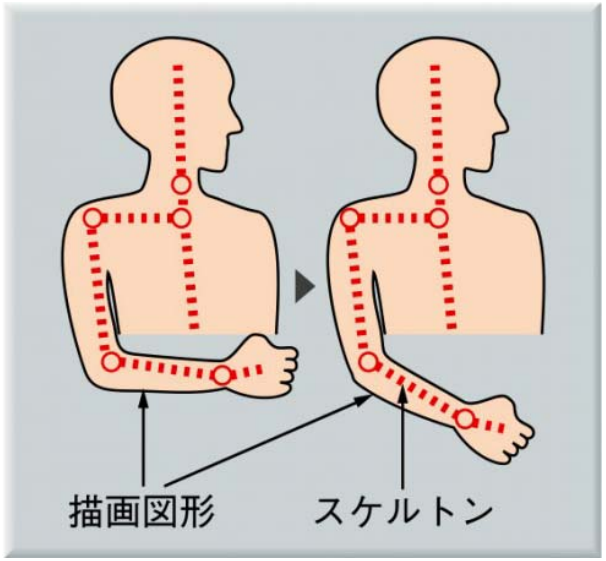


キーフレーム法とスケルトン法

- キーフレーム法
  - 基本となるキーフレームの間の複数の絵を自動的に補完し得アニメーションを生成する方法
  - 複雑な図形では多くの対応点を指定するため効率が悪い
- スケルトン法
  - 仮想的な骨格をあてはめ，その動きに合わせて形状を変化
  - 動物のような骨格構造を持つ対象の動きの表現に向く



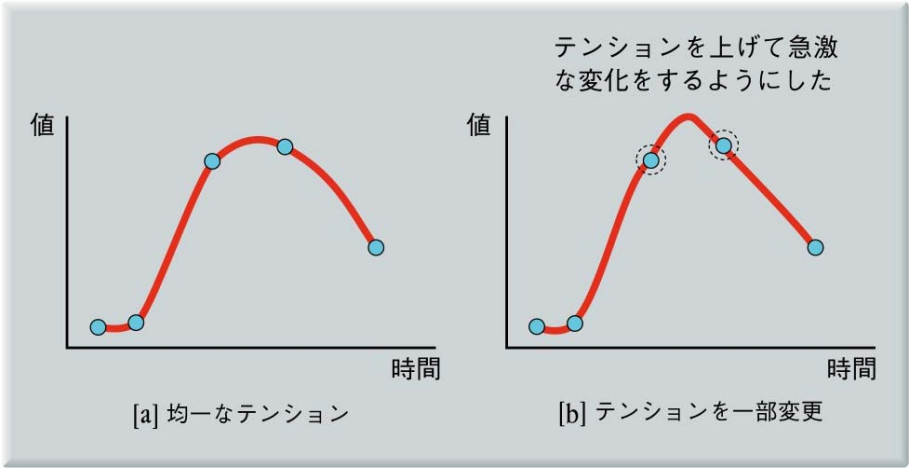
カメラの移動によるキーフレームアニメーション



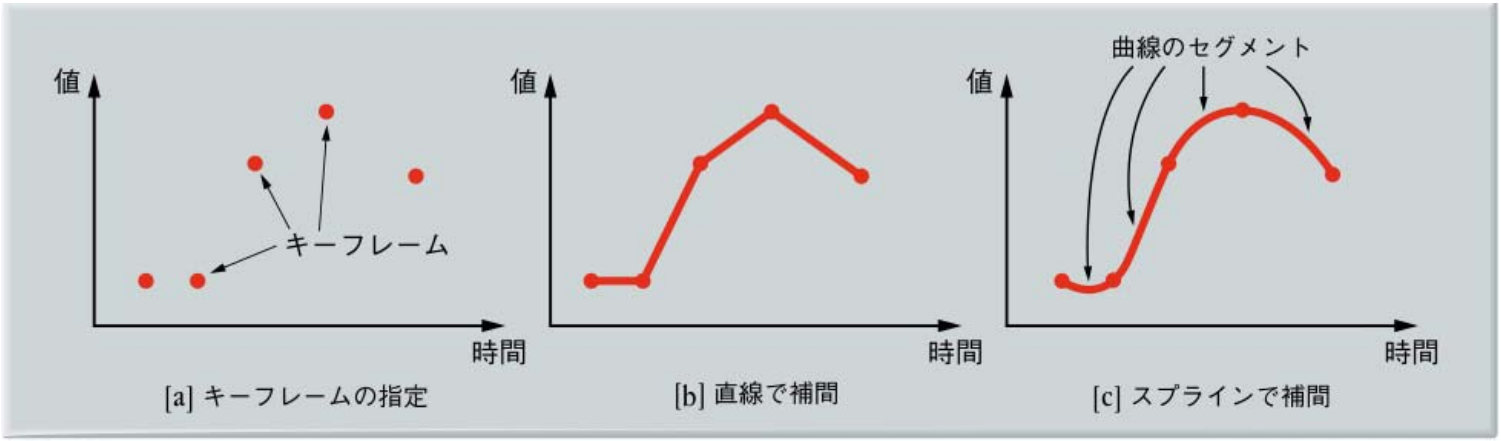
スケルトン法

キーフレームの補完

- キーフレーム間を単純に直線で補完するとなめらかな動きが表現できないので通常はスプライン関数で補完
- スプライン曲線のテンション等を操作することでキーフレームを変更することなく速度を変化させることが可能



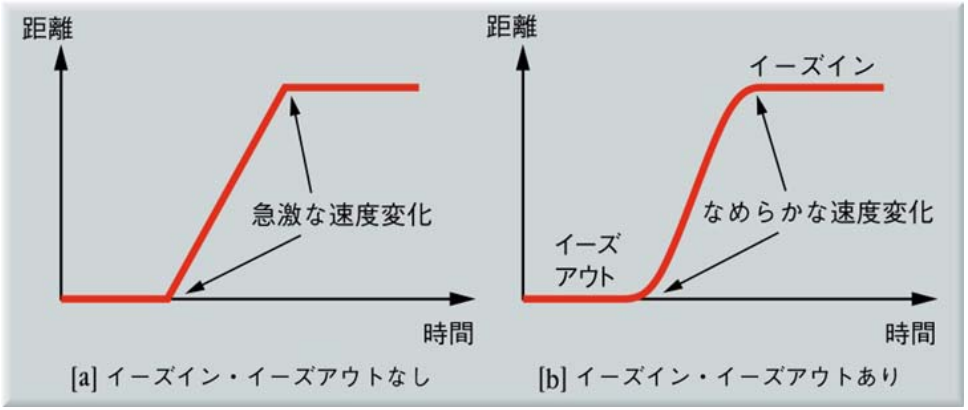
キーフレームの補完パラメータの制御

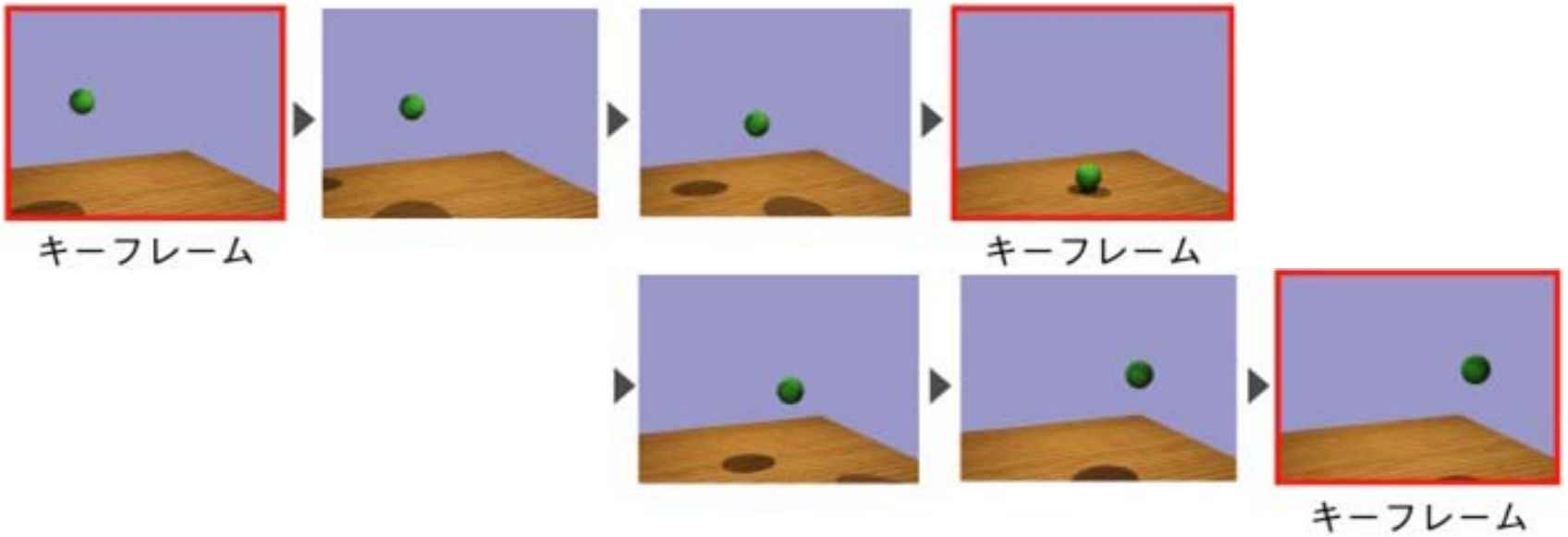


キーフレームの補完

キーフレームの補完

- イーズイン・イーズアウトは画面へのキャラクタの入り方出方をなめらかにする
- キーフレームアニメーションは物理法則にとらわれない動きの表現が可能

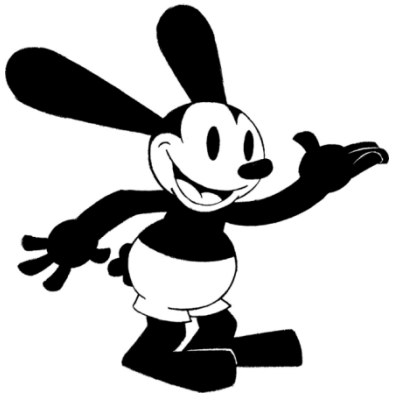




アニメーション技法のCGへの適用

- 1930年代のウォールとディズニースタジオで，数多くの典型的なアニメーション技法が開発された
  - ① Squash and Stretch（押しつぶし・引き伸ばし）
    - ボールが地面で跳ねるときの極端な誇張等
  - ② Timing and Motion（タイミングと動作）
    - 動作の速度を変えることによる物理的及び心理的な状態の描写
  - ③ Anticipation（予備動作）
    - ボールをける前の足の振り上げ等の次の動作に対する準備動作
  - ④ Staging
    - 意図を明確にするための演出．キャラクタの動作，個性付け，ムード等
  - ⑤ Follow Through and Overlapping Action
    - ボールを投げた後に腕を振り抜くような動作

Walt Disney (1901-65)



Oswald the Lucky Rabbit

Filix the Cat

のらくろ

アニメーション技法のCGへの適用

⑥ Straight Ahead Action and Pose-to-Pose Action（順次動きけ・ポーズごと動き付け
- 初めから動きを付ける方法とキーのポーズから残りを後付けする方法

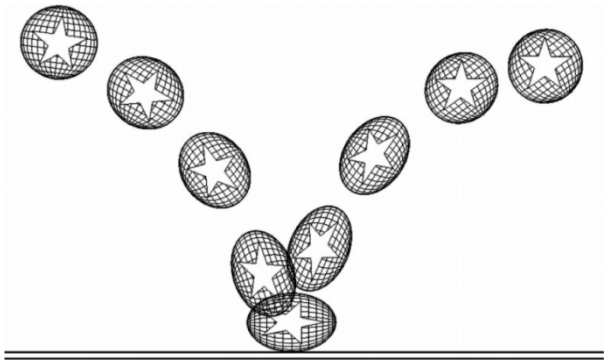
⑦ Slow In and Out
- 一連の動作の導入と終了における動きの制御

⑧ Arcs（弧）
- 弧を描く手の振り等の動きの自然な流れ

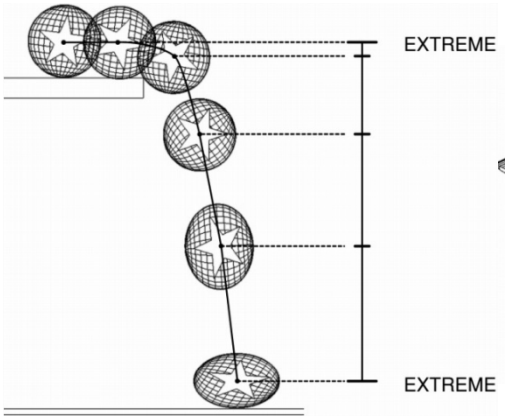
⑨ Exaggeration（誇張）
- 動作のアクセント

⑩ Secondary Action（2次動作）
- 表情の変化に伴う体の動きなどある動作に付随する動き

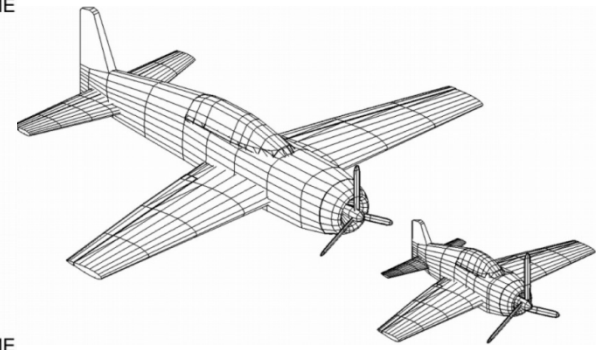
⑪ Appeal
- 観客の興味を引くような動きやデザイン．例えば対称性を崩すなど



押しつぶし・引き伸ばしの例



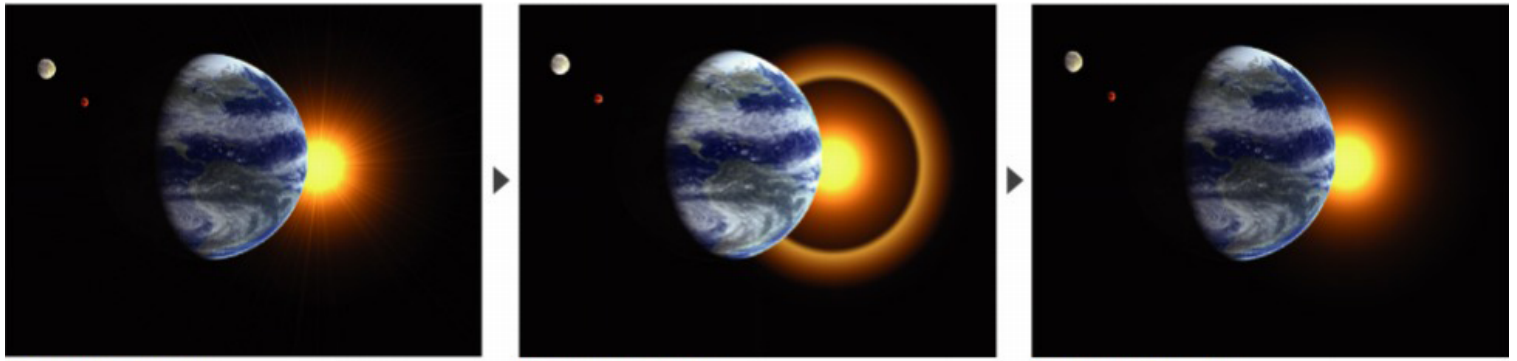
Slow In and Outの例



Appealの例

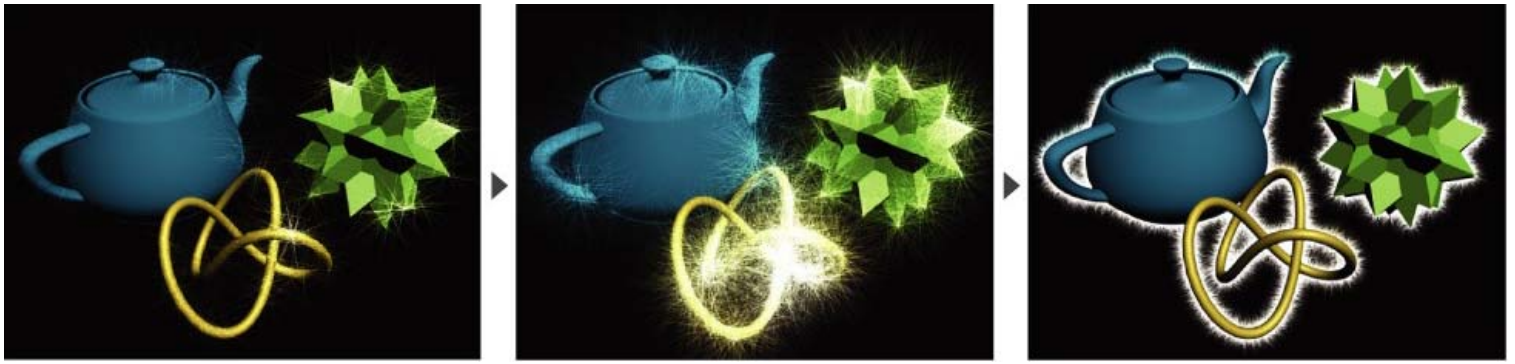
光学的な特殊効果

- グローやフレアなど光学的な特殊効果としてレンズエフェクトがある
- ポストプロダクションとしてのレンズエフェクトで，レンダリングでは表現できない光の演出が可能
  - 光のリング，筋，ハイライト等



[a] 光の光条効果　[b] 光のリング効果　[c] 光のグロー効果

様々なレンズエフェクト

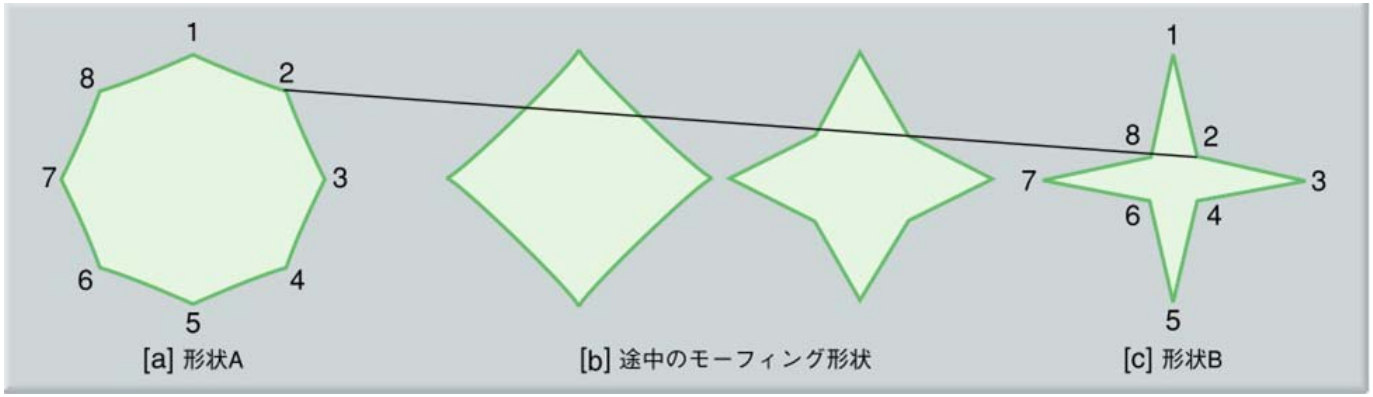


オブジェクトへのハイライトの付加

モーフィング

- ある画像を別の画像になめらかに変化させる画像処理
- 2枚の画像間の対応点を指定し，混合比をもとに2次元変換を行って合成画像を生成
- 幾何学的形状も対応する頂点座標の線形補完で変形可能

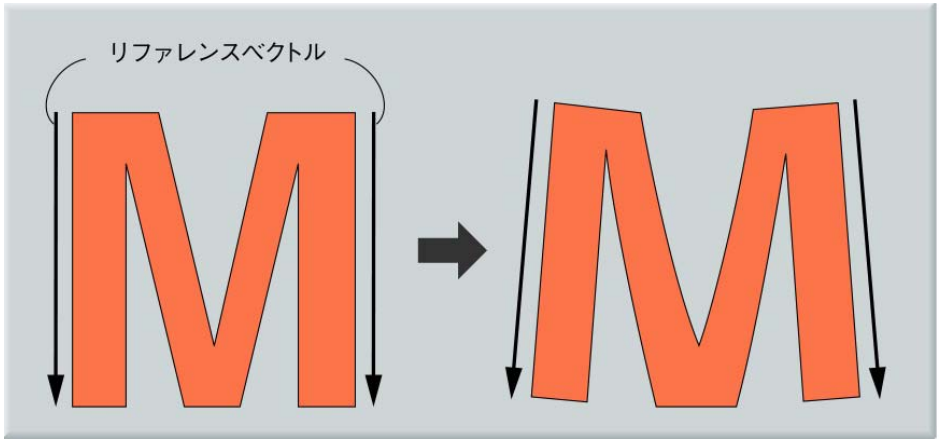
画像のモーフィング



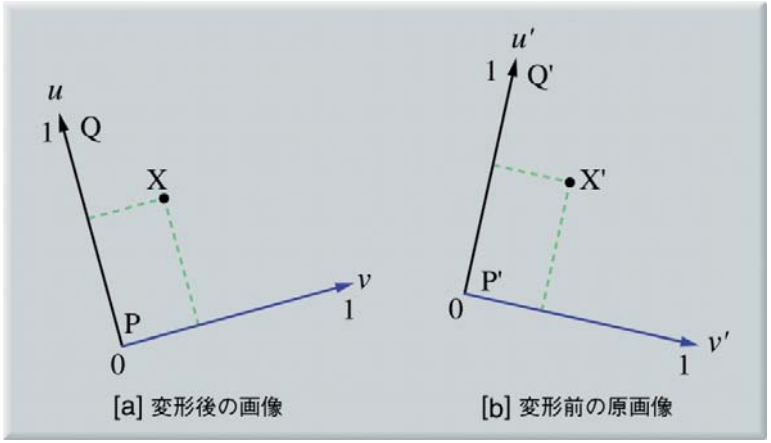
幾何学的形状のモーフィング

ワーピング

- 1枚の画像の変形前と変形後の対応点を指定してモーフィングと同様の画像処理を行う
- 画像上に配置されたリファレンスベクトルの屈系・移動に伴い各画素点を移動する
- 変形前と変形後のリファレンスベクトル$\overrightarrow{PQ}$と$\overrightarrow{P'Q'}$のPとP′を原点とし，$\overrightarrow{PQ}$と$\overrightarrow{P'Q'}$の長さが1の直交座標系を考え，変形前の図形の各点Xに対応する変形後の点X′の座標を計算
- 複数のリファレンスベクトルの重みに合わせて混合する



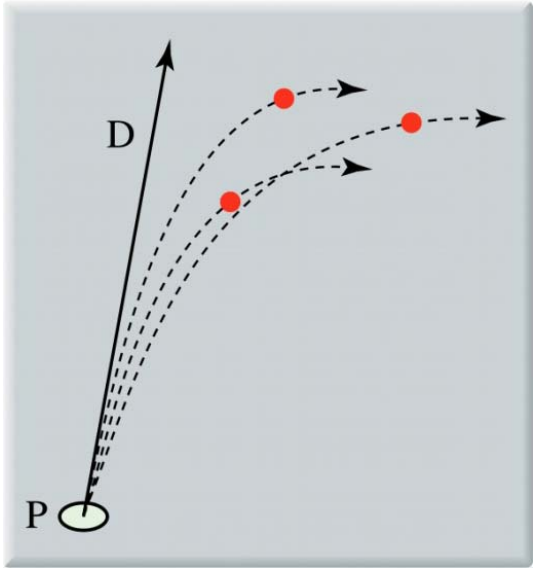
画像のワーピング



リファレンスベクトルによる画像変形の原理

パーティクルの応用

- 3次元空間の点Pや領域から指定された方向Dにある量のパーティクルを時間経過に従って飛散させる
- パーティクルは初速度，重力作用，寿命，色等の属性を持ち，各寿命内で運動方程式を解く
- パーティクルを幾何学変形することで雪や紙ふぶき建物爆破等を表現
- 飛散方向の制御により鳥の群れや星雲，アリの群れ等も表現できる

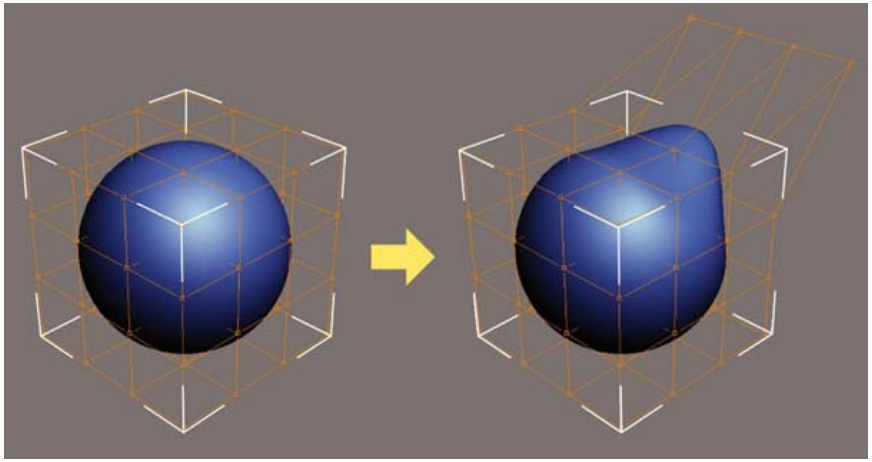


パーティクルによるアニメーション

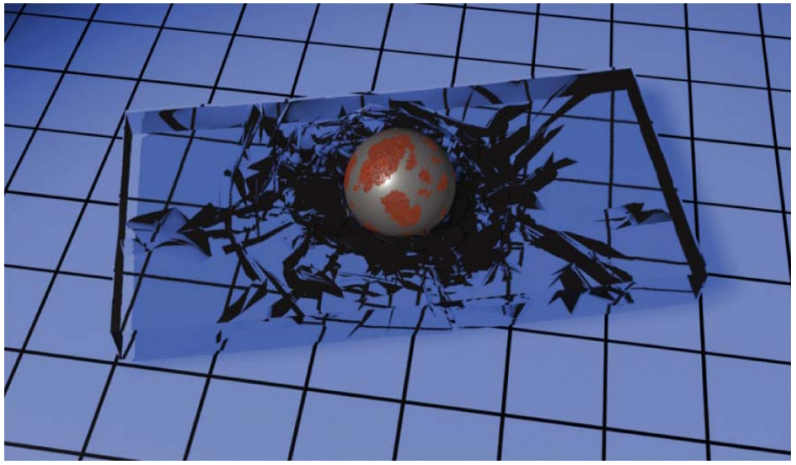
パーティクルによる水しぶきの表現

自由形状変形

- 物体を取り囲む格子を配置し，格子上の点を動かして内部空間を変形させ，その空間の変形に応じて物体を変形
- 皿やガラス等が落下による衝撃等の外力で破壊される様子を有限要素法でアニメーション化する手法等も提案



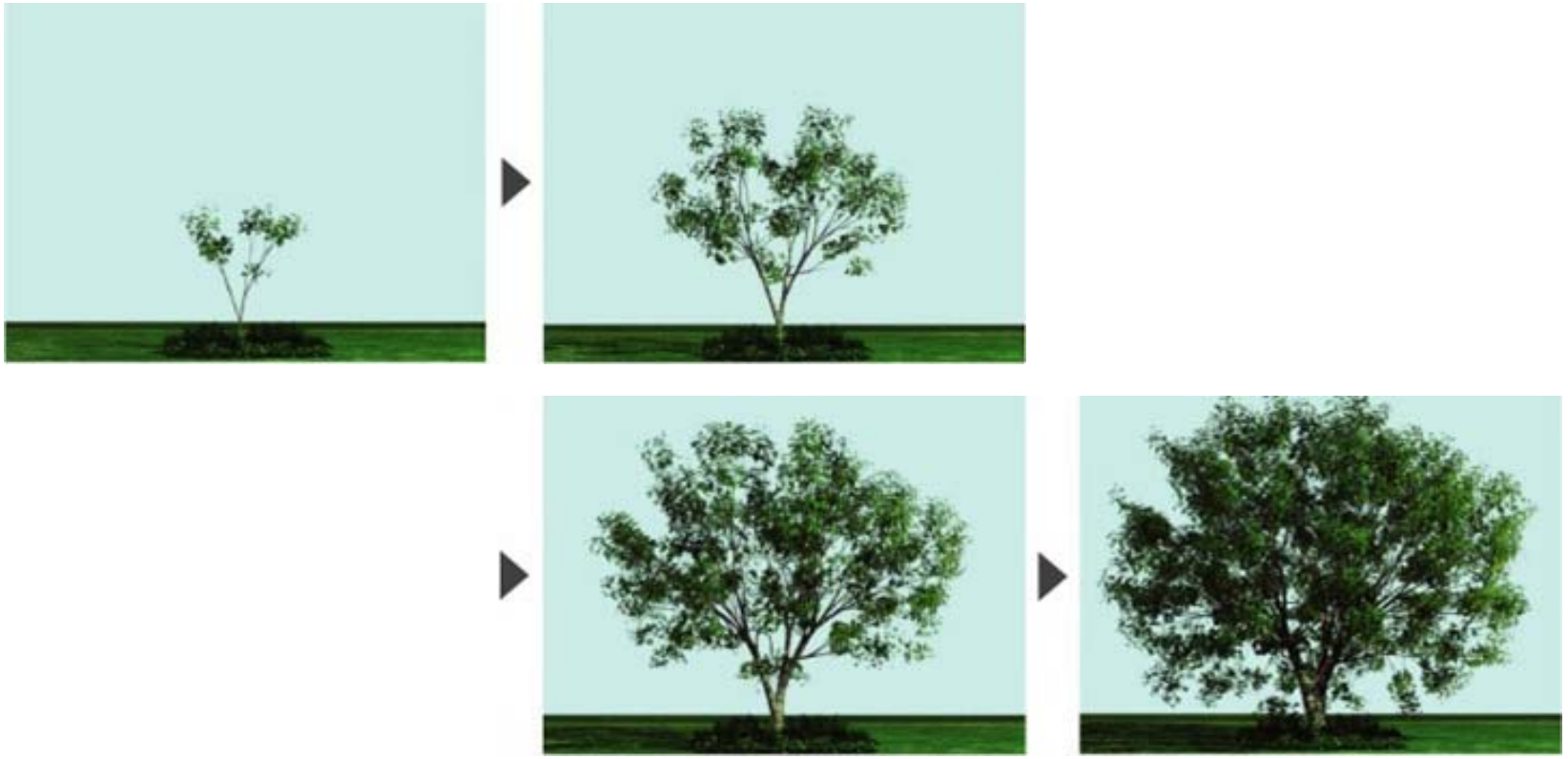
自由形状変形



破壊のアニメーション

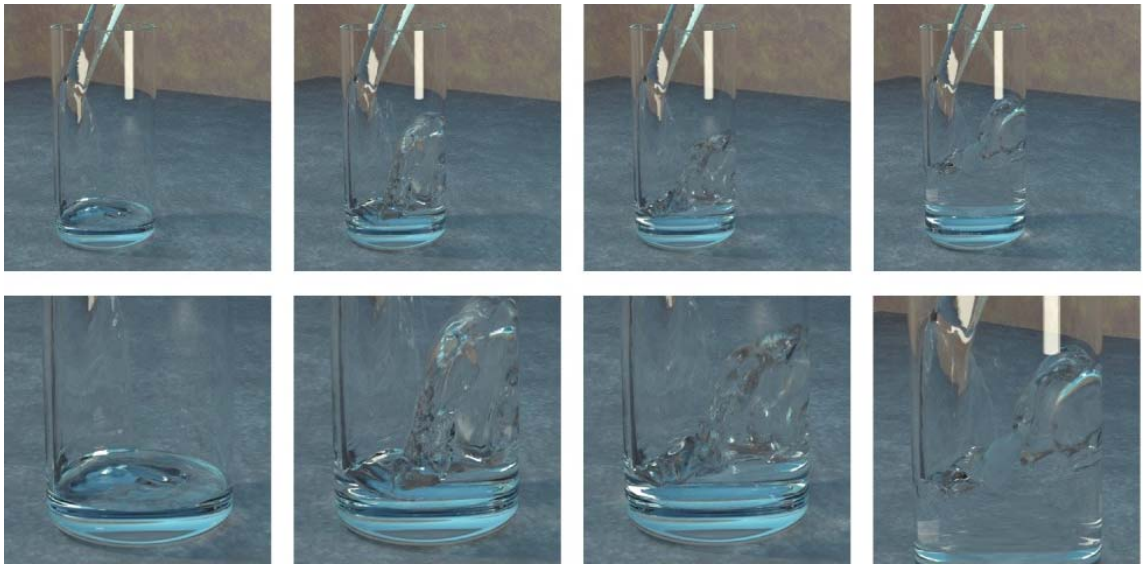
進化･成長のアニメーション

- 植物の成長モデルでは枝の成長過程をモデル化し，受光量などの環境要因を考慮しながらアニメーションを生成
- 巻貝のように螺旋を描きながら成長する生物や，分岐･変形を繰り返して進化･成長する仮想生物なども表現できる



自然現象

- 波を三角関数等の周期をもつ関数で計算するとグラスに注ぐ水や波の乱れ等が表現できず，煙や雲のよう流体の振る舞いもナビエ・ストークス方程式を解く必要がある
- 非線型方程式は解くのが困難で解が求まらない場合もあるため，近似的手法で安定に溶ける部分だけを計算

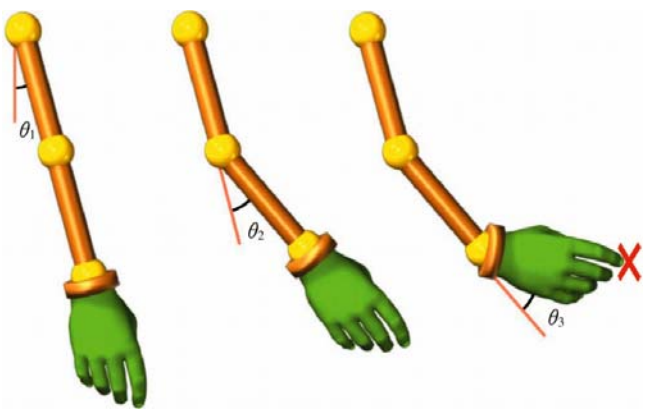


液体のシミュレーション

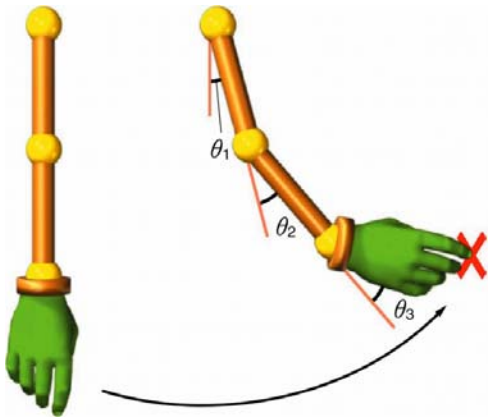
ガス状物質のシミュレーション

フォワード／インバースキネマティクス

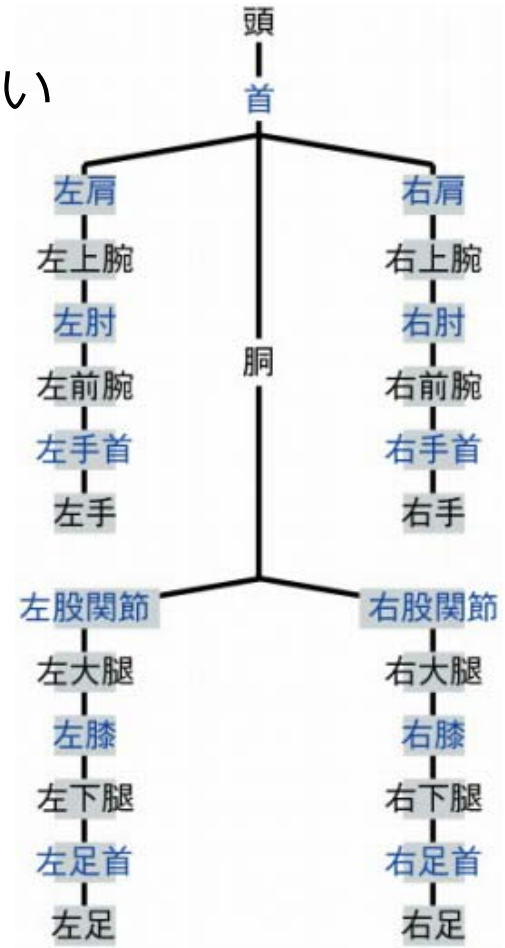
- 人間の腕のような多関節物体を階層構造で表現して動かす
- フォワードキネマティクス
  - 間接の角度を直接指定
  - 結果が予測しにくく意図した通りに動かせない
- インバースキネマティクス
  - 指先の位置等を指定することでコンピュータが間接の角度を計算
  - 動作が一意に定まらないので制約条件が必要



フォワードキネマティクス



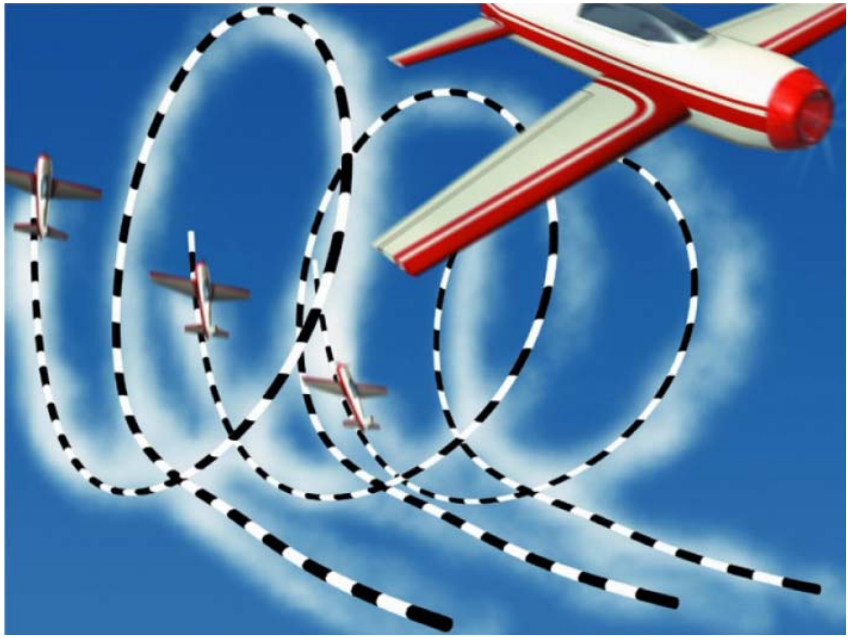
インバースキネマティクス



階層構造

パスアニメーション

- 物体を曲線や曲面などに沿って移動させ，自動的に姿勢を変えながらアニメーションを表現する手法
- 指定したパスに沿ってカメラを動かせば多彩なカメラワークのアニメーション表現が可能
- パス上の姿勢制御は，パスに付随した様々なデータ(位置情報や法線ベクトル）を補完して得る

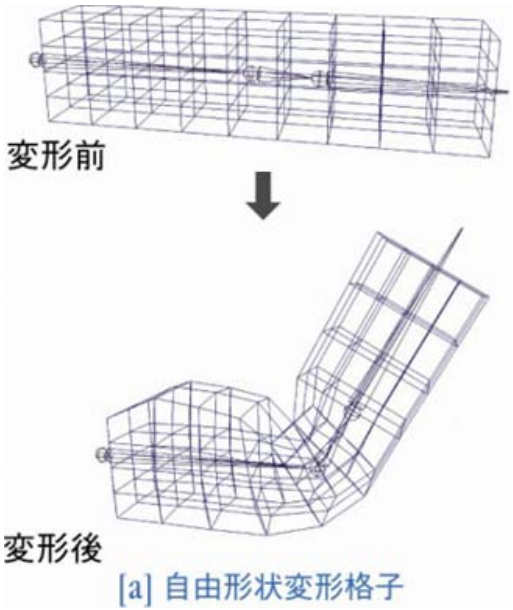


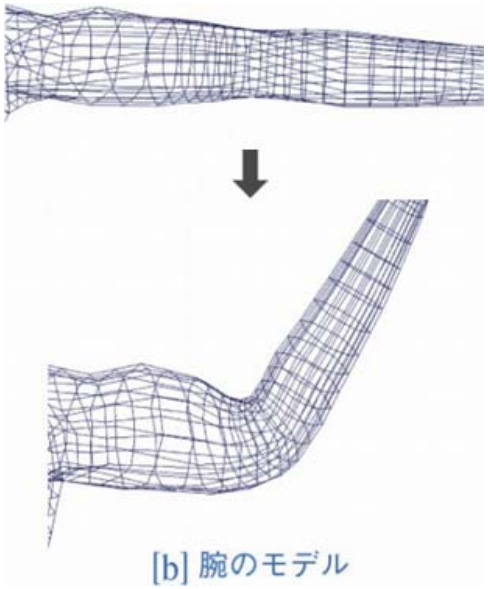
モーションキャプチャ

- 人間の自然な動きを得るために演者の実際の動きを測定してデータを収集
- キャプチャデータをキャラクタに適用する場合，骨格や階層構造の違いによる不都合が生じるので拘束条件により自動的に補正する手法が提案されている
- 複数のキャプチャデータをなめらかに補正するモーションブレンドと呼ばれる手法もある

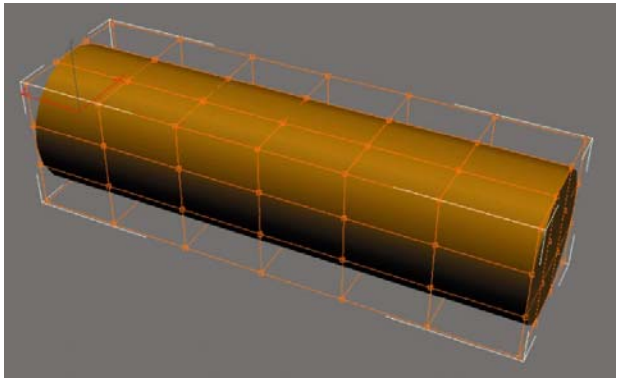
筋肉変形アニメーション

- 人体を筋肉→骨→肉体→皮膚とモデル化し，筋肉の変形によるアニメーションを表現する解剖学的な手法
- 肉体には自由形状変形の格子を与え，骨の動きに合わせて格子の制御点を移動させることで肉体の変形を表現





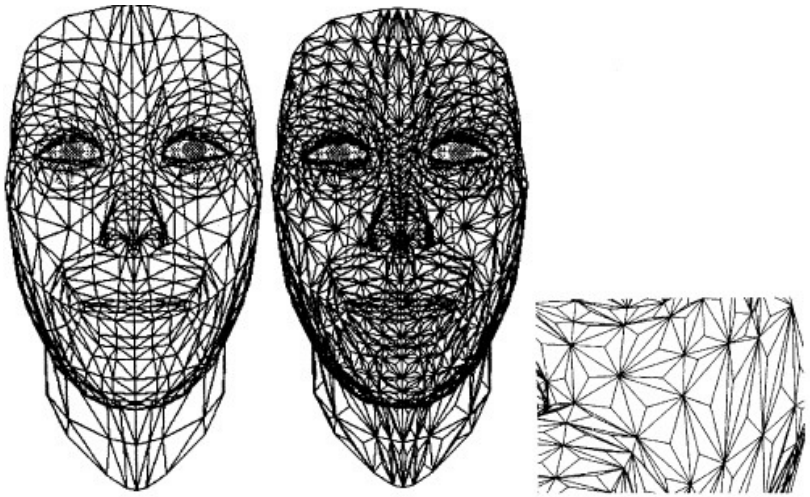
自由形状変形による腕のモデルの変形



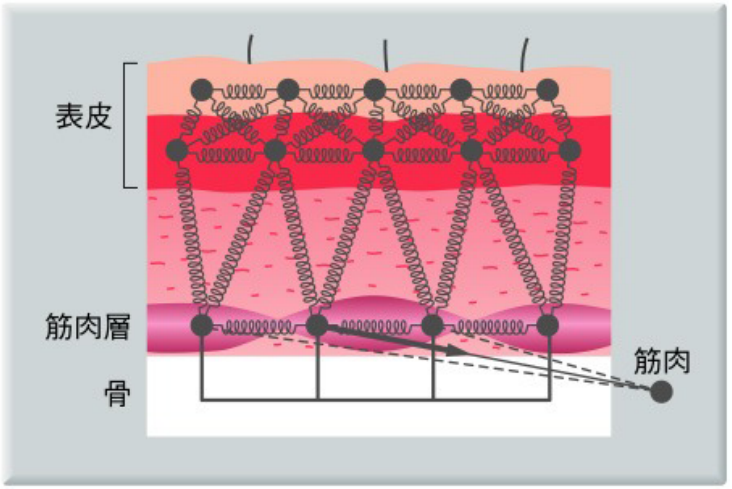
自由形状変形格子

表情のアニメーション

- キャラクタの発話の音声に口の動きを合わせる手法をリップシンクと呼ぶ
  - アニメータの手作業も可能だが，音声認識技術で自動化が可能
- 表情を作る頭部の筋肉を三層のバネによるモデルで近似して運動方程式を解く
- 撮影された複数枚の顔写真に対して特徴点を与え，モーフィング技術で表情を表現する手法等も提案されている



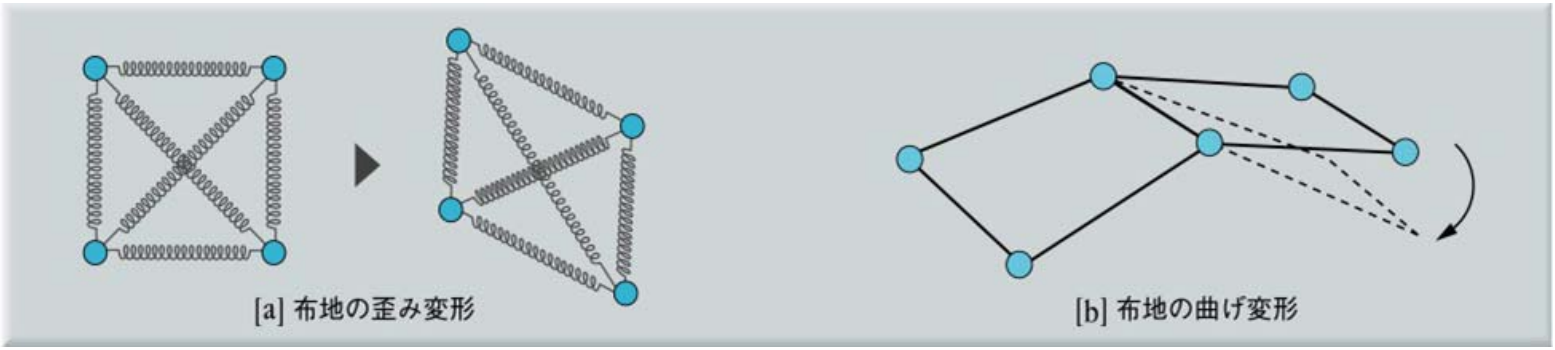
[a] 表皮のポリゴンモデル（左），表皮のモデルから作成したバネ-質点系モデル（中央）およびその拡大図（右）



[b] 断面図

布地のアニメーション

- 布地をメッシュで近似し，メッシュの頂点に質点を，各辺と対角線にばねを設定した，バネ-質点系モデルで運動方程式を解く



布地の物理モデル

着衣のアニメーション

髪の毛のアニメーション

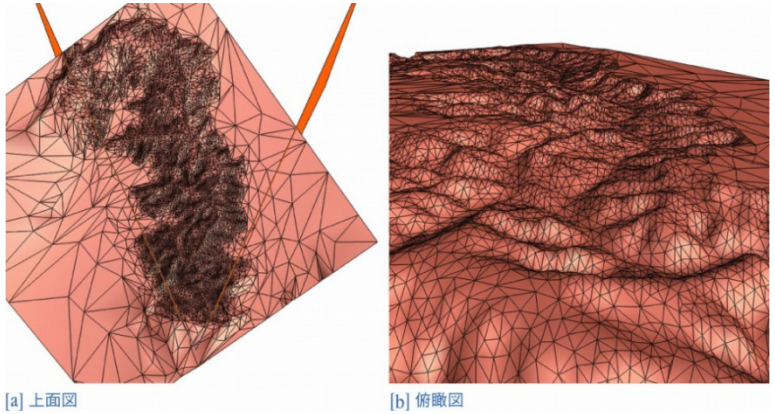
- 髪の毛の自然なアニメーションは難易度が高いのでCGキャラクタデザインでは髪がなかったり，モデリングしやすい髪形や動かさない演出が多い
- 髪の毛のアニメーション手法は以下のようなものがある
  - 髪をチェーン上に結合した剛体セグメントとして近似して動きを表現
  - 仮想の帯状オブジェクトに髪のテクスチャを貼り，布の変形アニメーションを施す
  - 何本かの髪を房に束ねて房ごとに動きを生成
  - 髪をパーティクルの軌跡で表現

群集アニメーション

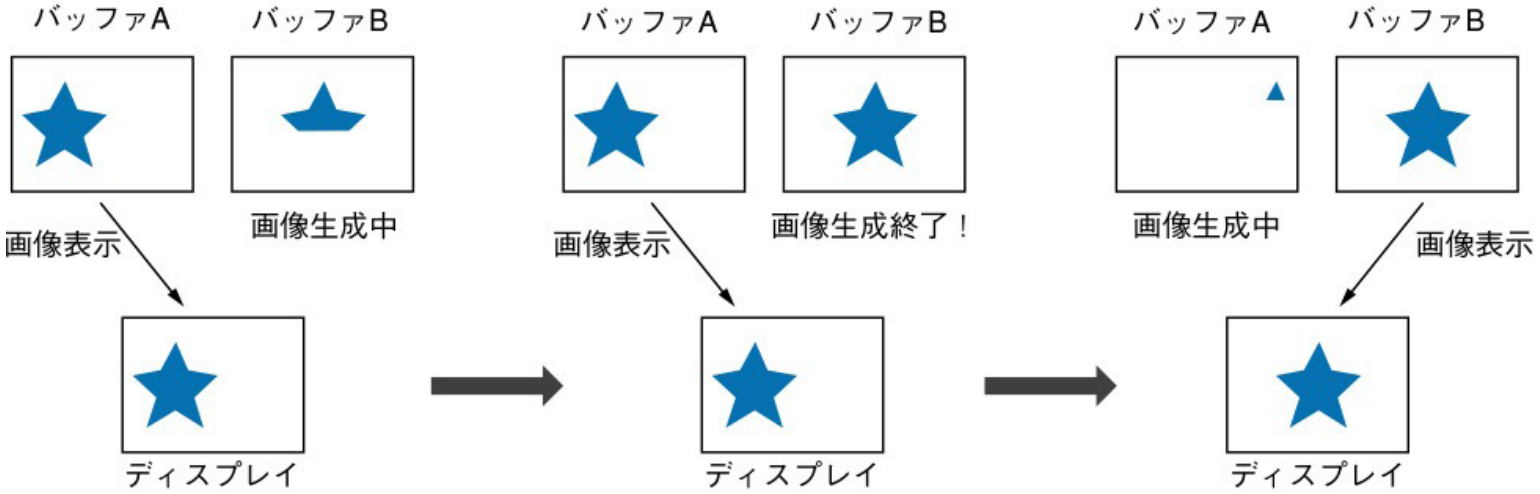
- 個々のキャラクタに動きのプログラムを割り当て，フレームごとにキャラクタの動きを生成
- 各キャラクタには指定された範囲内に別のキャラクタが侵入した場合に衝突回避を行ったり，進行方向の平均や群集の構成要素の階層構造などで行動を制御する

リアルタイムアニメーション

- ダブルバッファ法は映像にちらつきが生じないようにフレームバッファを2枚用意し，一方を表示している間に他方の描画を行う
- 1/30秒で画像生成を終了するため，重要な物体から描画したり，詳細度制御等，高速化や簡略化の手法が研究されている



詳細度制御



ダブルバッファ法

レンダーマンとリアルタイムシェーダ

- RenderManはルーカスフィルムから独立したピクサー社(ディズニーに買収)のシェーディング言語機能を持つレンダリングソフトで，映画アビス(‘89)，ターミネーター2(‘91)で注目され，プロ用の標準ソフト
- GPUを利用することでリアルタイムで様々なアニメーションの表現が可能

シェーダーを用いたリアルタイムシェーディング

実写画像との合成

- 合成時の条件は少なくとも次の4項目
  - ① CG画像と実写画像のカメラパラメータの整合
  - ② 照明条件の整合
  - ③ 実写中とCGで作成された物体の前後関係の適切な表現
  - ④ 合成の環境での不自然さの解消
- CGの仮想空間の照明条件を実世界で用いるシステムも開発されている
  - イメージベーストレンダリング/ライティング

マッチムーブによる実写とCGの合成

CGと人物の合成システム