

コンピュータグラフィックス

3次元CGアニメーション、
関連するソフトとハード、およびこれまでの復習

第5_6週

情報工学科 山本知仁

tyama@neptune.kanazawa-it.ac.jp

オフィスアワー: 月曜5限

アニメーションの分類

- アニメーションとは、絵や人形などを少しずつ変化させて、それらをひとコマひとコマ撮影して作った動きのある映像のことである
- この映像制作にコンピュータグラフィックスを使ったのがコンピュータアニメーションであり、少しずつ変化させる対象として2次元CGを用いるものを2次元CGアニメーション、3次元CGを用いるものを3次元アニメーションという
- 3次元アニメーションは次ページの表のように分類することができる

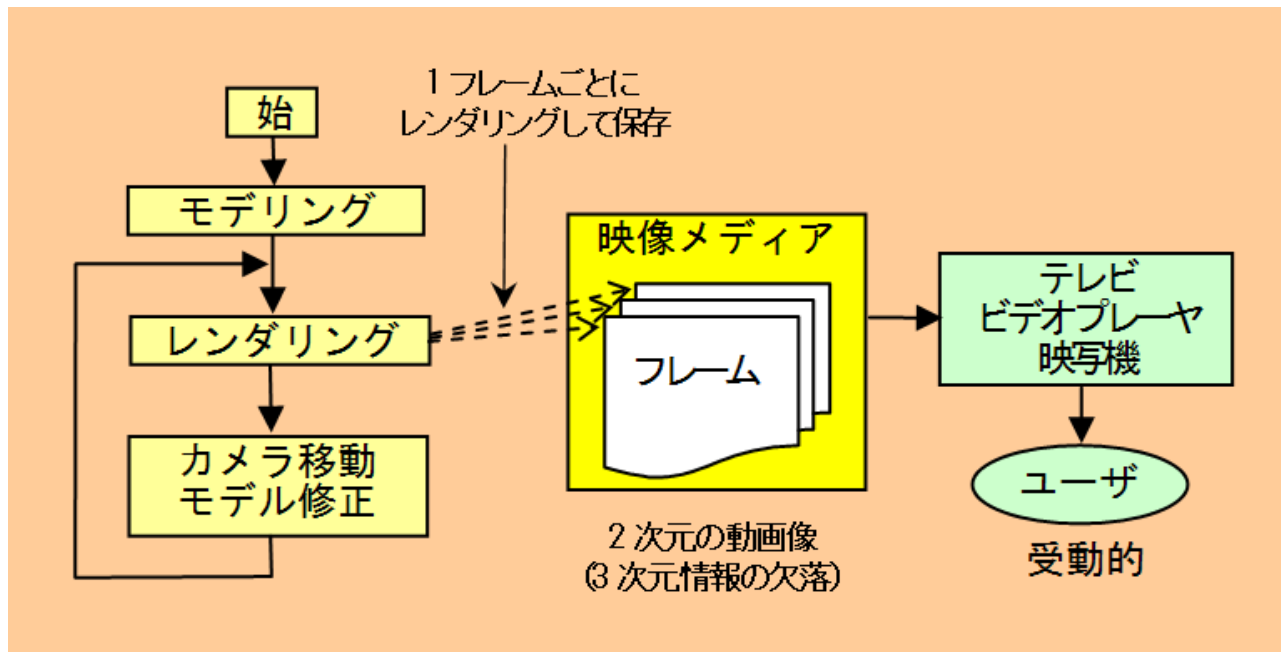
3次元CGアニメーションの分類

	分類の視点	アニメーションの名称
1	いつレンダリングを行うのか	CGアニメーション映像, リアルタイムCGアニメーション
2	何を時間的に変化させるのか	視点アニメーション, 照明アニメーション, カラーアニメーション, マッピングアニメーション, 移動アニメーション, 回転アニメーション, 変形アニメーション
4	どんな対象をアニメーションするのか	ヒューマノイドアニメーション, 顔アニメーション, 表情アニメーション, 動物アニメーション, 植物成長アニメーション, 炎のアニメーション, 群れのアニメーション, 自動車や飛行機などのビークルアニメーション
3	どんなアニメーション手法を使うのか	キーフレーム法, スケルトンシステム, キネマティクス, アクションユニット, パーティクルシステム, メタモルフォーシス, モーションブレンダー, 物理シミュレーション

3次元CGアニメーション映像

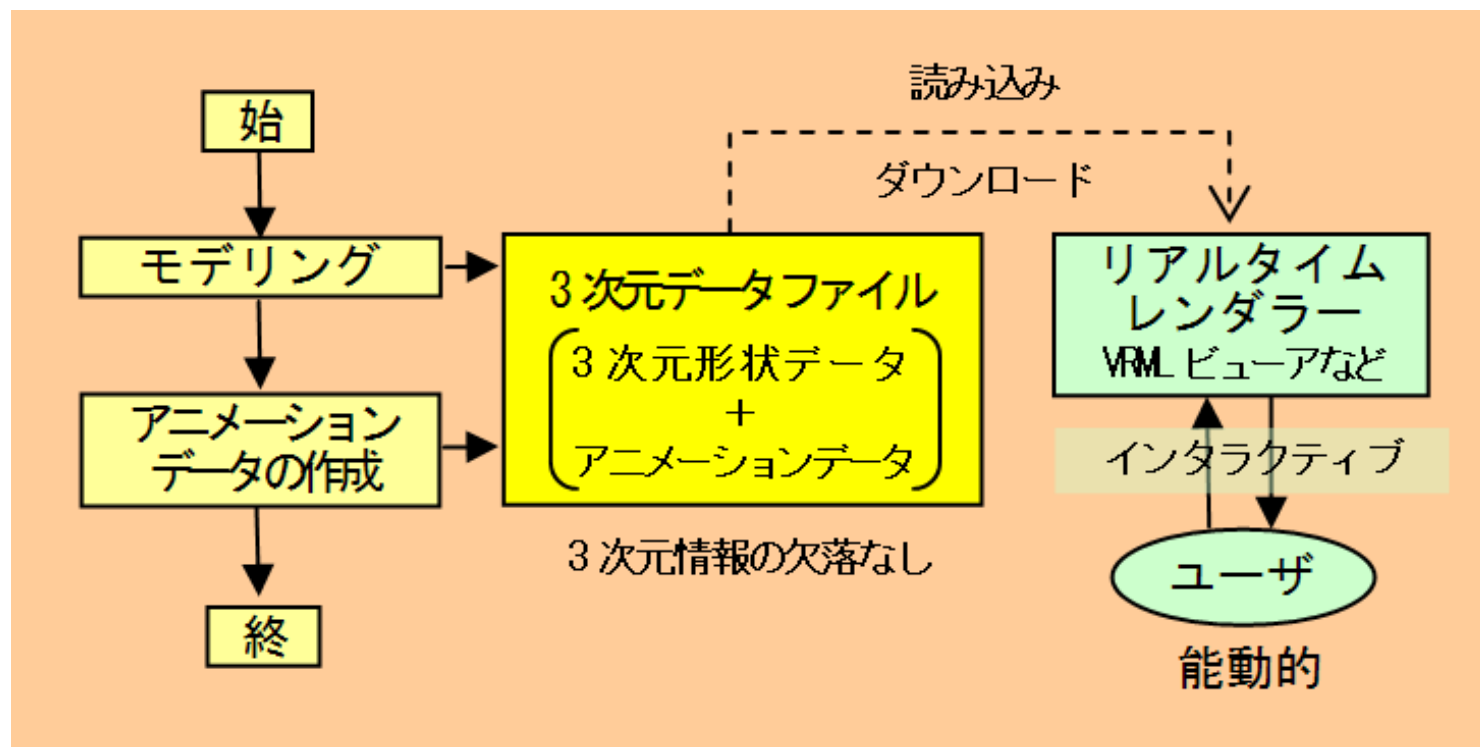
- CGアニメーション映像

- CGアニメーション映像とは、あらかじめひとコマひとコマレンダリングして撮影しておき、実行時にそれらを再生するものである
- CGアニメーション映像では、高性能コンピュータを用い、時間を十分かけてレンダリングできるため、高品質のアニメーション作品を制作できる
- しかし、完成した映像は2次元画像の集まりになってしまい、ユーザは制作者が設定したカメラアングルから映像を受動的に眺めるだけとなる



リアルタイム3次元CGアニメーション

- リアルタイムCGアニメーションとは、3次元ゲームや仮想環境などのように、アニメーション実行時にひとコマひとコマをリアルタイムでレンダリングし、高速描画するものである



リアルタイム3次元CGアニメーション

- リアルタイムアニメーションでは、動いているオブジェクトをいろいろな視点から見たり、近づいて乗ったりすることも可能である
 - また、ユーザーの動きに応じてアニメーションを柔軟に変化させることも可能である
- 古いタイプのパソコンでは滑らかな動きを確保できない場合があるが、最近のCPUとビデオチップの急速の進歩で、ほぼこの問題は解決した
 - しかし大規模でリアルな3次元仮想世界を構築するためには、メッシュ圧縮やLODなどを駆使してモデルを最適化する必要がある

マッピングアニメーション

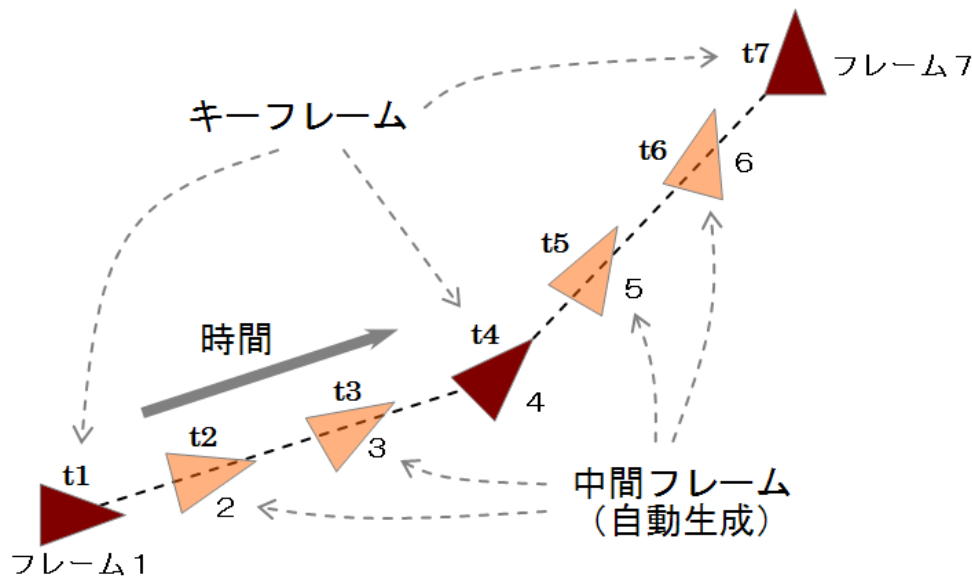
- マッピングアニメーションはテクスチャマッピングされた静止画像を時間的に移動、回転、変形する方法と、GIFアニメーションやFlashアニメーションなどの2次元アニメーション映像を物体表面にマッピングする方法の2種類がある
- 前者の例としては、窓ガラスに雲の画像をマッピングし、その画像をゆっくりと移動させることにより、雲が流れていく感じを出すことができる
 - 床に木目の画像とボールの影の画像を多重マッピングし、ボールのバウディングに合わせて影の画像だけを移動させたり、サイズを変えることにより、擬似的にリアルタイムシャドウを表現できる
- 後者は、本質的には2次元アニメーション映像であり、繰り返し再生や一時停止などは行われるが、マッピングの仕方自体を動的に変化させることはあまり行われない

キーフレーム法

- キーフレーム法とは、いくつかの指定した時刻(**キー:key**)におけるフレーム(**キーフレーム**)を記述し、それ以外のフレーム(**中間フレーム**)を前後のフレームから補間計算によって自動的に生成するというアニメーション技法である(次ページ図参照: 物体の移動と回転)
 - キーフレーム法は、CGアニメーションにおける基本技術であり、物体の色や大きさを変化させるアニメーションや、遊覧飛行など視点を移動させるアニメーションなどで幅広く利用されている
- キーフレームから中間フレームを補間する方法としては
 - (1) **線形補間法**
 - (2) **スプライン補間法**が主に使用されている
- キーフレーム法は、CGアニメーション映像の制作でも、リアルタイムCGアニメーションでも利用されている

キーフレーム法

- キーフレーム法を利用しないで以下の図のようなアニメーションを行う場合、すべてのフレームにおける物体の位置と向きをあらかじめ準備しておくか、あるいは運動方程式を用いて物体の位置と向きを計算する必要がある
- 前者は準備のための手間とデータ量が膨大になり、後者は準備の手間やデータ量は少なくて済むが、計算が複雑な場合には負荷が増大するのでリアルタイムでの利用ができない場合がある



映画: 24FPS(Frame Per Second)
AVIファイル: 15FPS
リアルタイムアニメーション: コンピュータの性能によって変化



- (1) 線形補間法
- (2) スプライン補間法

VRMLサンプル

<http://www.parallelgraphics.com/showroom/screensaver-collection/> より

キネマティクス (kinematics: 運動学)

- 3次元CGの分野におけるキネマティクスとは、前述のスケルトンシステムにおいて、手や足などの先端の位置、各関節の位置や角度などの運動学的相互関係を利用して、アニメーションデータの作成を容易にするための技術である
- たくさんの関節をもつ人間やロボットなどのアニメーションを、キーフレーム法を用いて作るのは非常に手間がかかる
 - なぜならば、手を動かすときには、それにつながる腕の動きも個々に設定してやる作業が必要となるからである
- しかし人間の場合、手のある方向に動かすと、それにつながる手首関節、肘関節、肩関節の動きはほぼ自動的に決まってしまう
- キネマティクスはこの仕組みを利用することにより、人間やロボットなどの多関節構造オブジェクトのアニメーション制作を効率的に行う技法であり、2つの種類ある

キネマティクス (kinematics: 運動学)

- フォワード・キネマティクス

- 各関節の角度を決めることによって手や足などの位置を求める方法
- 解は一意に決まるが、思い通りの位置に手や足をもっていくためには試行錯誤が必要であり、かなり手間がかかる

- インバース・キネマティクス

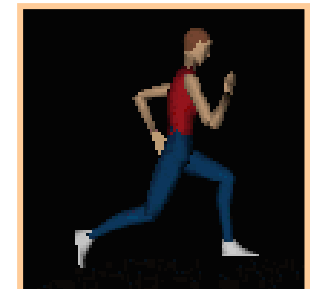
- 手や足の座標を決めてやり、そうなるように各関節の角度を計算する
- しかし、指定した座標によっては解が存在しない場合もある
- 解が存在する場合でも、一意に決まるとは限らないので、各関節ができるだけスムーズで自然な動きになるように複雑な最適化計算が必要となる

VRMLサンプル



フォワード・キネマティクス

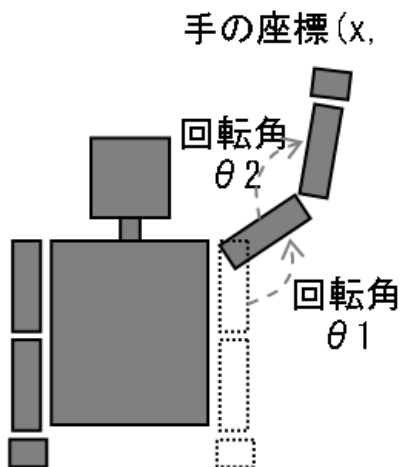
<http://ligwww.epfl.ch/~babski/StandardBody/>



インバース・キネマティクス

11

http://www.ballreich.net/vrml/h-anim/nancy_h-anim.wrl



- フォワード・キネマティクス
関節の回転角 (θ_1, θ_2) \rightarrow 手の座標 (x, y, z)
(一意に決まる)
- インバース・キネマティクス
手の座標 (x, y, z) \rightarrow 関節の回転角 (θ_1, θ_2)
(自然な動きに最適化)

アニメーションデータの作成を容易にするための技術

顔アニメーションとアクションユニット

- アクションユニットとは、**FACS**という表情記述システムで用いられている、顔の表情動作の最小単位であり、顔の筋肉を考慮した解剖学的根拠が存在している
 - アクションユニットは「眉の内側を上げる」、「眉の外側を上げる」など全部で44個ある
- これらの組み合わせにより様々な表情を作り出すことが可能であり、顔アニメーションの作成に利用されている
- 人間の気分や感情を表現する感情アニメーションのためには、発声動作や眼の瞬きなどの生理現象に関するアクションユニットを除いた、次ページ表にある17個のアクションユニットを用いれば十分とされている
 - 感情アニメーションは表情アニメーションと呼ばれることもあり、最近はアクションユニットの考え方を顔だけでなく人間の体全体に適用しようとする研究もある

アクションユニットと顔アニメーション

VRMLサンプル

① 部分的に動かせる顔

http://ligwww.epfl.ch/~babski/StandardBody/FacialAnimation/Daniel/Daniel2_text4.wrl

② 発声アニメーション

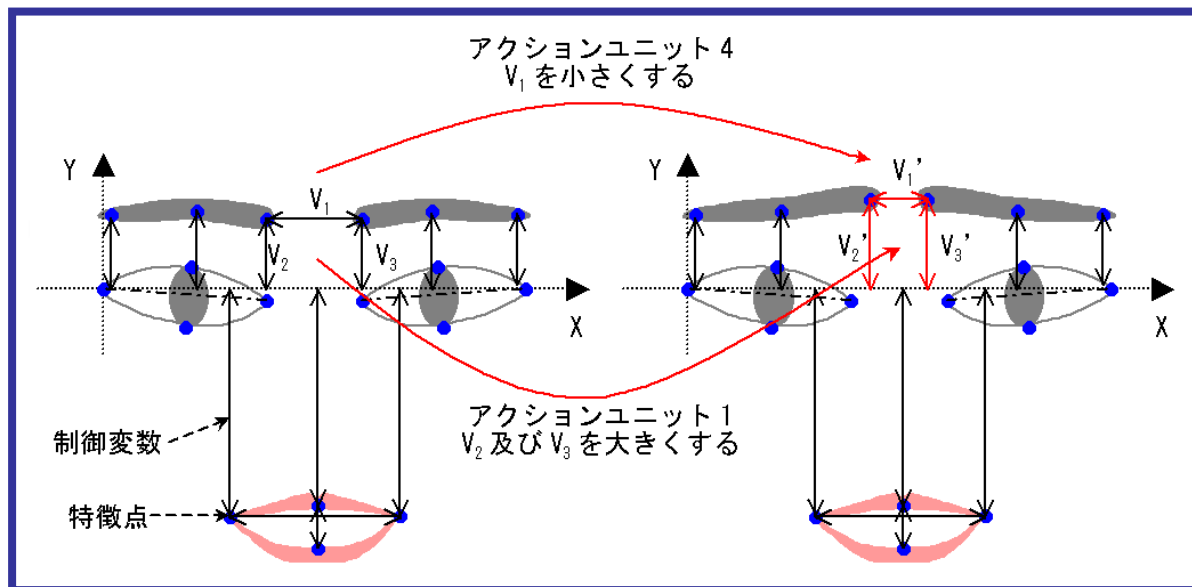
<http://ligwww.epfl.ch/~babski/StandardBody/FacialAnimation/daniel.wrl>

Movieサンプル

① 発声と表情

<http://ati.com/developer/demos/r8000.html>

アクションユニット番号	動作	アクションユニット番号	動作
1	眉の内側を上げる	14	えくぼをつくる
2	眉の外側を上げる	15	唇の隅を押し上げる
4	眉を寄せる	16	下唇を下げる
5	上まぶたを上げる	17	あごを突き上げる
6	頬を上げる	20	唇を横に伸ばす
7	まぶたを引き締める	23	唇を緊張させる
9	鼻に横しわをつくる	25	唇を離す
10	上唇を上げる	26	口を開ける
12	唇の隅を引き上げる		



モーフィング (morphing)

- **モーフィング**はある2次元画像から別の2次元画像へ滑らかに変化する連続画像を作る技術である
- モーフィングの最も簡単な方法は、最初の画像の各画素の色を次の画像の対応する画素の色に線形補間により変化させる**クロスディゾルブ**である
- この方法では最初の画像が次第にぼやけて、次の画像が浮かび上がってくるだけで、人の顔が次第にチンパンジーの顔に変化するというようには見えない
- これに対し、形ごと補間する**ワーピング**という方法では、目や鼻の位置や顔の輪郭を対応づけることにより、かたち全体が対応づけられた新しいかたちに変化する

モーフィング (morphing)

(1) クロスディゾルブ (cross-dissolve)

最初の画像の各画素の色を次の画像の対応する画素の色に線形補間により変化させる.

AVIサンプル [デモ1](#)

(2) ワーピング (warping)

目や鼻の位置や顔の輪郭を対応づけることにより, かたち全体が対応づけられた新しいかたちへ変化する.

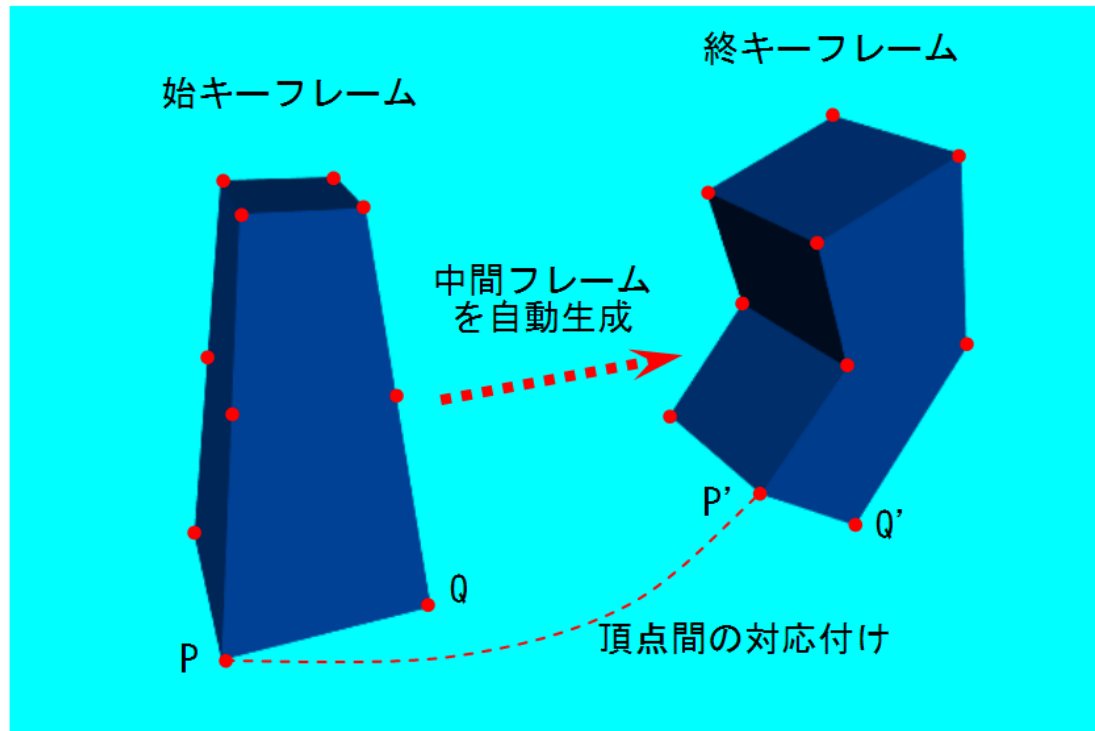
MPEGサンプル

[デモ1](#) <http://www-clips.imag.fr/mrim/georges.quenot/demo/morphing/>より

[デモ1](#) [デモ2](#) [デモ3](#) <http://www.cs.wisc.edu/computer-vision/projects/interp/vmorph.html> より

メタモルフォーシス (metamorphosis)

- メタモルフォーシスとはモーフィングのワーピングを3次元に拡張したものであり、3次元モーフィングと言ってもよい
- つまり、ある3次元オブジェクトを始キーフレーム、別の3次元オブジェクトを終キーフレームとし、始キーフレームの各頂点が終キーフレームのどの頂点に対応するかを決めておく
- そしてキーフレーム法を用いて、対応する2頂点の座標データや色を線形補間などにより、内挿することによって中間フレームを自動生成する



VRMLサンプル
MPEGサンプル

デモ1
デモ1

デモ2
デモ2

デモ3

<http://www.vislab.usyd.edu.au/staff/horst/foracsys/hair.html>16

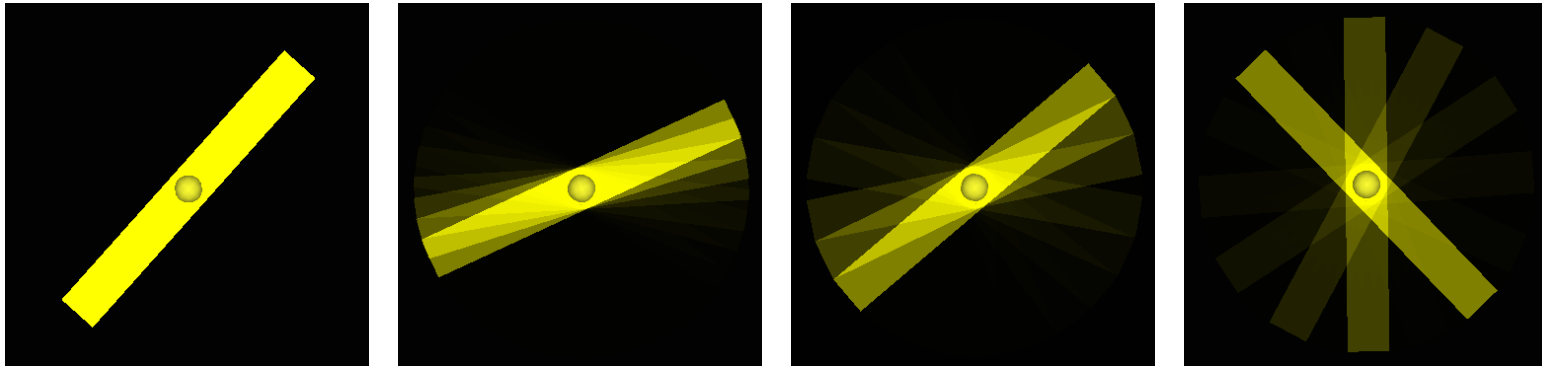
<http://sic.sp2mi.univ-poitiers.fr/lazarus/images.html>

モーションブラー (motion blur)

- ビデオカメラではオブジェクトの素早い動きはぼかされてフィルムに記録され、これによってオブジェクトの動きはより滑らかに見えるようになる
- 一方、3次元CGアニメーションではこのぼかし現象は発生しないので、フレームレートが低い場合には「ぱらぱら漫画」のような不連続的な動きになってしまう
- モーションブラーは動いているオブジェクトに人工的に残像を作り出してブレを生じさせ、よりリアル感を出すレンダリング技法である
 - モーションブラーによって、飛行機のプロペラの高速回転や、レーシングカーのスピード感、野球やサッカーボールの動きなど、通常のカメラで写しているような表現が可能となる

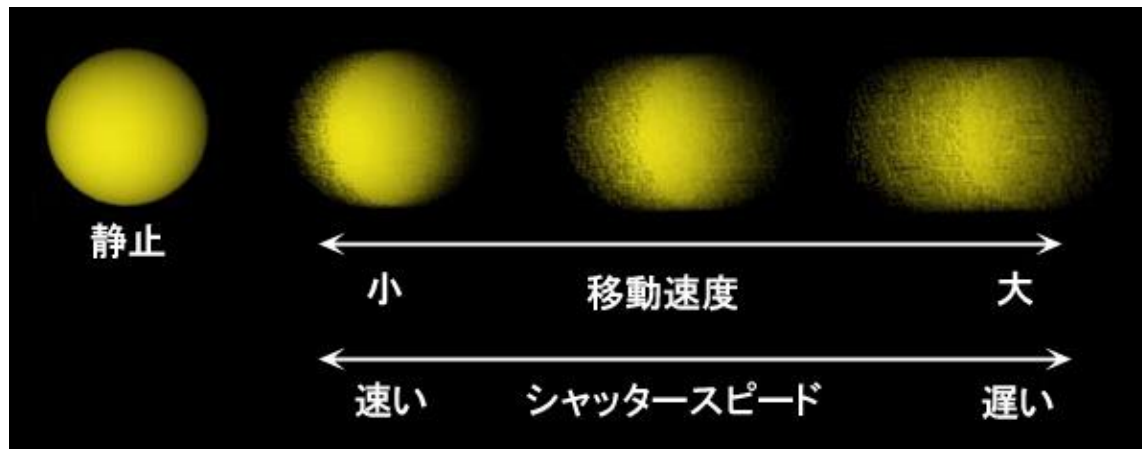
モーションブラー (motion blur)

- モーションブラーをどのように再現するかは、リアルタイムアニメーションと非リアルタイムアニメーション映像とでは異なり、前者ではレンダリングにあまり時間をかけられないので簡単な手法が使用され、後者では分散レイトレーシングなど計算時間のかかる手法を使ってよりリアルなブレを再現している



(a) モーションブラー無 (b) 1秒で1回転 (c) 0.5秒で1回転 (d) 0.2秒で1回転

リアルタイムアニメーションにおけるモーションブラー



分散レイトレーシングによるモーションブラー

[VRML
デモ1](#)

[MPEG
デモ1
デモ2](#)

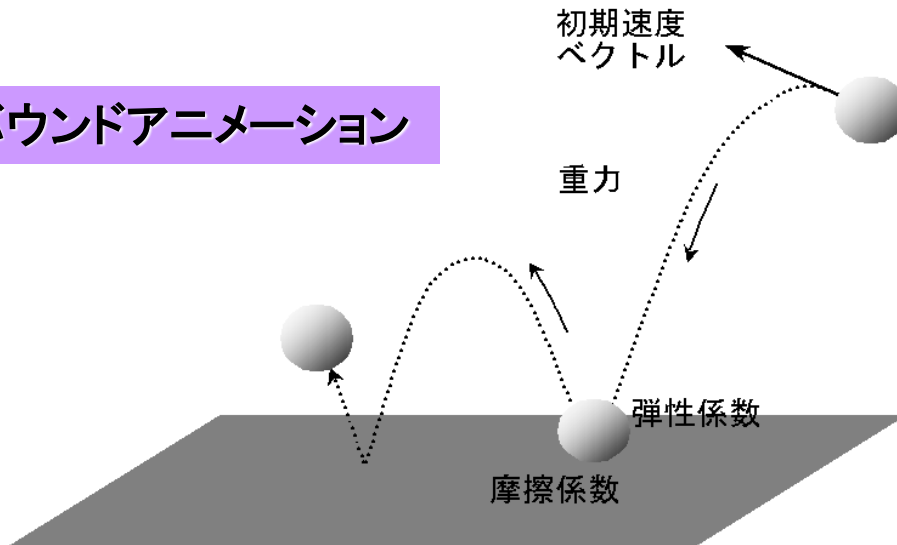
物理シミュレーション

- ボールが床でバウンドするアニメーションをするには、重力やボールの弾性力などの物理特性をシミュレーションすることにより、より現実に近い動きを表現できる
- ボールの投げ出される方向、初期速度、回転、弾性係数（衝突後に残るエネルギーの割合）、ボールや床の摩擦係数なども考慮に入れることができる

物理シミュレーション

- ボールが床でバウンドするアニメーションをするには、重力やボールの弾性力などの物理特性をシミュレーションすることにより、より現実に近い動きを表現できる
- ボールの投げ出される方向、初期速度、回転、弾性係数(衝突後に残るエネルギーの割合)、ボールや床の摩擦係数なども考慮に入れることができる

ボールバウンドアニメーション



VRMLサンプル

原子構造

<http://www.parallelgraphics.com/showroom/distance-education/mendelev/>

バスケットボール

<http://www.parallelgraphics.com/showroom/games/basketball/>

物理シミュレーションの二つの側面

- (1) 科学技術計算の結果を可視化するためにCGを利用する。
⇒ サイエнтиフィックビジュアライゼーション (scientific visualization)
- (2) CGで自然現象を表現するために科学技術計算の結果を利用する。
⇒ 制作コストと制作時間の節約

物理シミュレーションの応用

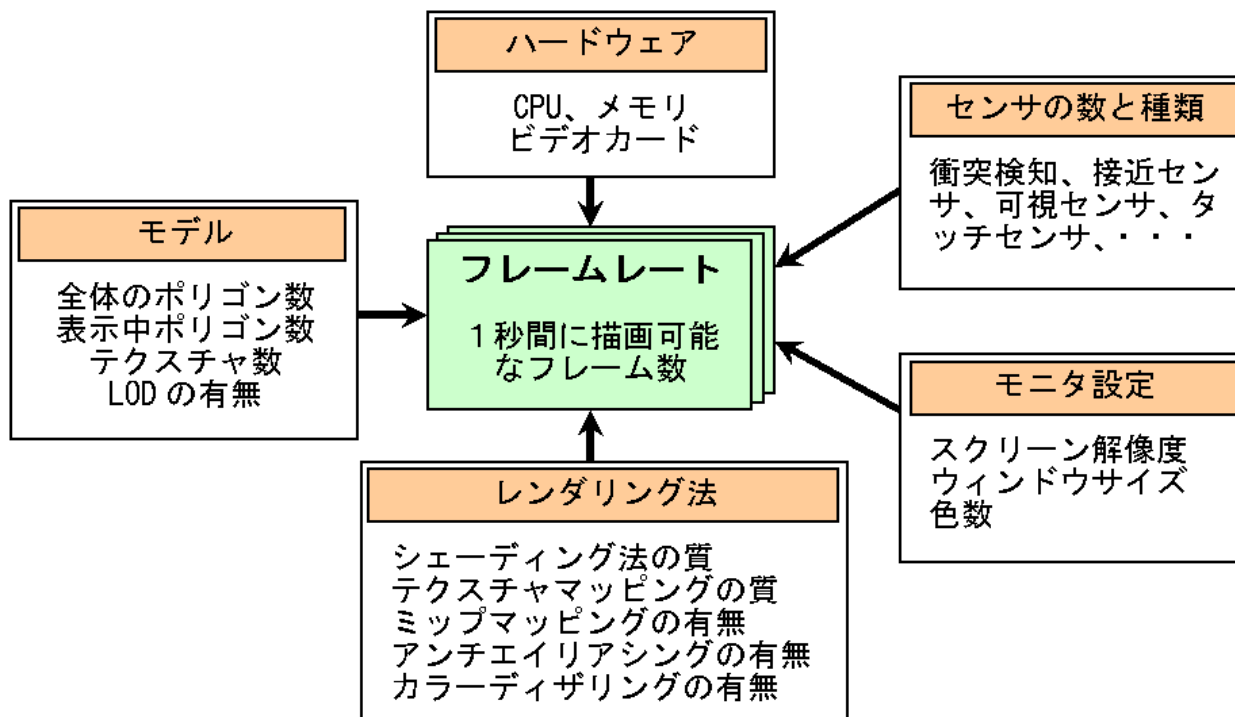
- サイエнтиフィックビュジュアルリゼーションは、可視化支援としてのCGの利用であり、可視化されたものの物理的解釈に第一の関心があるため、CGとしての質の高さは余り要求されない
 - CGで自然現象を表現するために計算結果を利用する場合は、画質やリアリティの高さは要求されるが、物理法則を表す計算式の厳密さには余りこだわらない
 - 計算資源の制約があり、リアルタイム性を追求するときには、かなり簡略化されたモデルも用いられる
- また物理シミュレーションを活用化することで、アニメーション制作現場における人材不足をある程度解決できる

フレームレート

- **フレームレート**とは、アニメーションなどの動きのある映像において1秒間に切り替え表示するフレームの数であり、その単位はFPS (Frame Per Second) である
 - テレビは30FPS、映画は24FPSであり、AVIファイルでは15FPSがよく使用されている
- フレームレートがこの程度の大きさであれば、人間の目の残像効果により映像の動きは滑らかで連続的に動いているように見える
 - しかし10FPS以下になってくると画面がとびとびであることが認識できるようになり、次第に「パラパラ漫画」のようになってくる

フレームレート (frame rate)

- 一方、TVゲームやWeb3Dなどのような、リアルタイムCGアニメーションのフレームレートは、映画のように固定的でなく、以下の図のように多くの要因によって変化する



動きのある映像において1秒間に切り替え表示するフレーム画像の数
(テレビ: 30 FPS, 映画: 24 FPS, AVI ファイル: 15 FPS)

フレームレートを上げる方法

- フレームレートの速度に影響する要因を知っておくことは、いろいろな立場でフレームレートの改善に役立つ
- 特にコンテンツ制作者は想定されるユーザーが使用しているパソコンの平均的なグラフィック性能を把握し、それを大前提として十分なフレームレートを確保する必要がある

– さまなければ、応答性が悪く、使い勝手の悪いコンテンツになってしまう

- そのため、実際のコンテンツでは様々な工夫がなされている

主 体	対 応 法
ハードウェアメーカー	CPU, メモリ, バス, ビデオチップ, ビデオカードなどの高速化
プログラム開発者	ビデオチップ機能の有効利用, レンダリングアルゴリズムの改良, カリングの徹底
モデル制作者	ポリゴン数の最適化, カリングを生かせる空間構造, LODの付与, テクスチャマッピングの有効活用, 必要なときのみセンサをオン, コンテンツの分割
ユーザ	他のプログラムの実行を停止, ウィンドウを小さくする, 色数を減らす, レンダラーの設定(アンチエイリアシングのオフ, カラーディザリングのオフ, 衝突検知のオフ), ドライバーの更新, ハードウェアの交換

関連するハードウェア

- コンピュータ本体に属するものの中では**ビデオカード**が3次元CGに最も重要な存在である
 - CPUの性能が同じパソコンでも、ビデオカードの種類がことなるとレンダリング性能は大きく変化する
- 入力装置は**座標入力装置**と**画像入力装置**に大別できる
 - これらの多くは主にモデリング作業時に使用されるが、マウスやジョイスティックはゲームなどのリアルタイムCGにおいてユーザの入力手段ともなる
- **データグローブ**は仮想現実システムでの入力手段として使用されている

3次元入力装置



3D デジタイザ

[www.techno-isel.com/
CNC_Routers/Digitizer1.htm](http://www.techno-isel.com/CNC_Routers/Digitizer1.htm)



VIVID9i (Minolta)



Leap Motion

<https://www.leapmotion.com/>



3D スキャナー

<http://www.opt-techno.com/artec/>



ワイヤレスデータグローブ

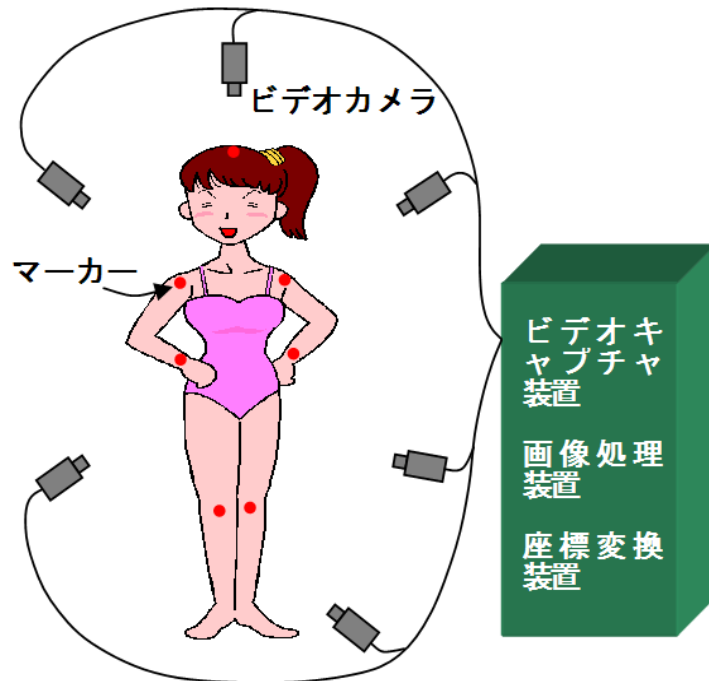
<http://www.cyberglovesystems.com/cyberglove-iii/>

モーションキャプチャシステム

- **モーションキャプチャ**とは、人体などの体にたくさんのマーカーあるいは磁気センサを取り付け、それを光学式カメラあるいは電気信号として読み取ることにより、動作のデータを計測する方法である
- モーションキャプチャは、人間などの複雑な動きのアニメーションを、キーフレーム法を用いて行う場合の問題点である
- 膨大な数のキーフレームを作成する手間を大幅に削減してくれる
- モーションキャプチャシステムは現在のところ3種類に分類できる

モーションキャプチャシステム(光学式)

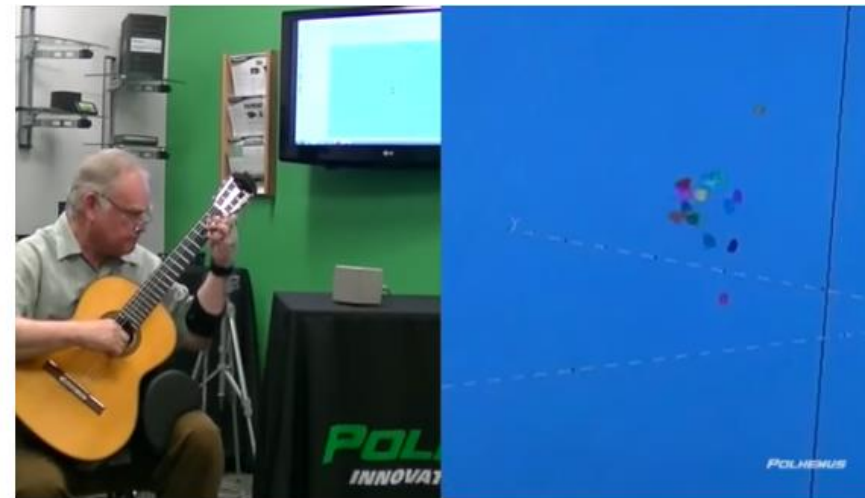
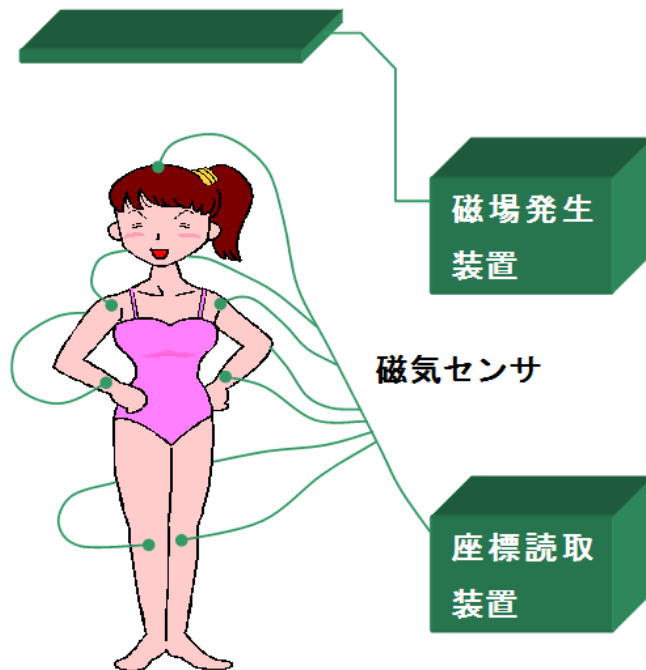
- 20から30数個の白い球形のマーカーを人間の体に取り付け、死角をなくすために少なくとも4台以上の赤外線ビデオカメラを使ってマーカーの3次元座標をリアルタイムで計測する
- 光学式は複数のカメラから得られるデータから各マーカーの3次元座標を計算するためかなりの時間がかかるという問題点があるが、非接触計測であり、磁気式のようにたくさんのケーブルが不要であるため、計測可能な動作の種類が大幅に増加する



http://www.crescentinc.co.jp/product/vicon/p_top/

モーションキャプチャシステム(磁気式)

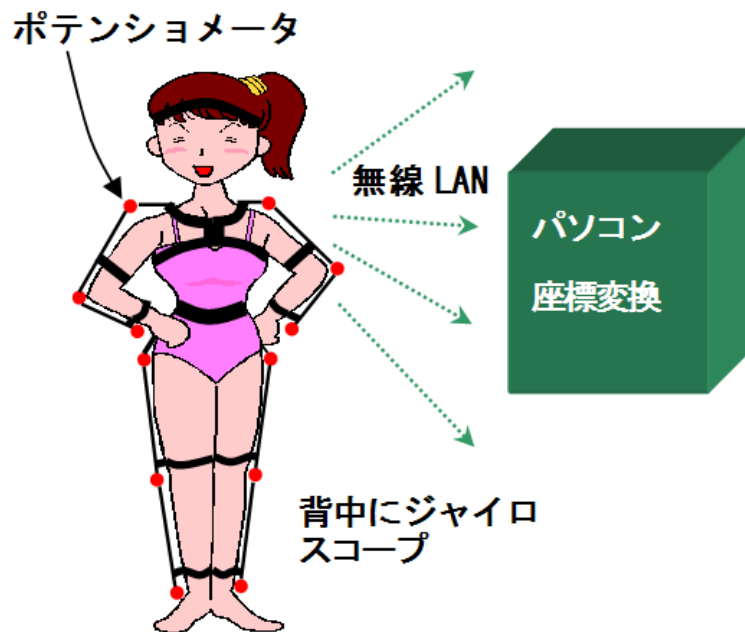
- スタジオ内に作り出された磁場の中で、10数個の磁気センサを人間の体に取り付け、各センサの3次元座標と傾きをリアルタイムで計測する
- 各センサにはそれぞれケーブルが付いているが、最近ではワイヤレスの磁気センサも登場してきた
- 磁気式は1つのセンサで位置と傾きがわかるため、センサ数が少なくて済み、処理時間も早いですが、金属が存在すると磁界が乱れ計測誤差が大きくなる



<http://polhemus.com/motion-tracking/videos/>

モーションキャプチャシステム（機械式）

- 全身の40数箇所の関節にポテンシオメータを取り付け、人体の動きをリアルタイムで計測する
- そのデータは無線LANでPCに送信される
- 人体の傾きは別途ジャイロスコープで測定する
- 機械式は使用環境に対する条件が少なく、セッティングにもあまり時間がかからないという利点があるが、動くときに若干の抵抗があり、複雑な動きができない



<http://metamotion.com/gypsy/Gypsy-6-torso.html>

関連するハードウェア

- 出力装置はモニタとプリンタであるが、特殊なものとして**3次元表示装置**と**3次元出力装置**がある
- 3次元表示装置としては、左右の眼に微妙にことなる画像を提示することによって立体感を出す**ステレオグラフィックス**と、レーザ光線を利用して空間像を生成する**ホログラフィ**がある
 - ステレオグラフィックスには専用のメガネをしようするものと、それがなくてもよいものがある
- また、通常2次元表示と裸眼立体表示を切り替えることができる液晶ディスプレイもある
 - その原理は、縦に細長く刻んだ右目用と左目用の映像を交互に並べ、同じく縦方向に刻まれたスリットを通じてそれをみることにより、右目には右目用の、左には左目用の映像だけを届ける仕組みであり、**視差バリア方式**と呼ばれている

3次元出力装置



ホログラフィ装置

<http://www.neoark.co.jp/product/seihin/hm.html>

Matsuura



<http://www.lumex-matsuura.com/japan/>

MAXIA

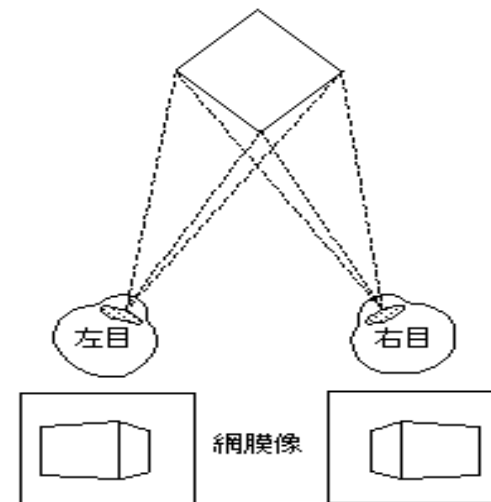


https://jp.xyzprinting.com/jp_ja/Product/da-Vinci-Mini



3Dプリンター

← <http://www.uniquemodel.com/rapid.htm>



ステレオグラフィックスの原理



Holo lens

<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens>

これまでの復習：第1週

- 3次元CGと2次元CGの違いは何か？
- 3次元CG技術は、現在どのような分野で応用されているか？
- 右手系、左手系において、それぞれの指はx、y、z軸のどれを表すか？
- ワールド座標系（グローバル座標系）、ローカル座標系（モデリング座標系、オブジェクト座標系、ボディ座標系）とはそれぞれどのような座標系か？
- 相対座標と絶対座標の違いは何か？
- 3次元幾何変換である、平行移動、回転、スケール変換、せん断、反射とはそれぞれどのような変換か？
- 同次座標系（斉次座標系）とは何か？

アフィン変換補足

- 2次元の場合の平行移動、回転、スケール変換、反射

平行移動
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

反射
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

x軸に対して

回転
(反時計回り)
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

y軸に対して

スケール変換
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$$

これまでの復習：第2,3週－1

- 視点座標系、uvn座標系、デバイス座標系、ウィンドウ座標系とはそれぞれどのような座標系か？
- モデリング変換、ビューイング変換、正規化変換とはそれぞれどのような変換か？
- 投影変換とは何か？
- 透視投影、平行投影の違いは何か？
- ビューポート変換とは何か？

これまでの復習：第2,3週－2

- ポリゴン、曲面、パッチ、メッシュとはそれぞれどのようなものか？
- 頂点、辺、稜線、面、法線ベクトルとはそれぞれ何か？
- ワイヤースケッチモデル、サーフェースモデル、ソリッドモデルとはそれぞれどのようなモデルか？
- 凸ポリゴン、凹ポリゴンはそれぞれどのようなポリゴンか？
- 2次曲面ではどのような曲面を表現できるか？
- ベジエ曲面、B-スプライン曲面、NURBS曲面はそれぞれどのような曲面か？
- 境界表現、CSG表現、エレベーショングリッド表現とはそれぞれどのような形状データの表現方法か？
- エクストルージョン表現（スイープ表現）とはどのようなものか？
- メタボール表現とはどのような形状表現か？
- 3次元CGにおいて視野はどのように決まるか？
- 被写界深度とは何か？

これまでの復習：第4週

- フラクタル表現とはどのようなものか？
- フラクタル図形を生成する中点変位法とはどのような方法か？
- ボクセル表現、8分木表現とはそれぞれどのようなものか？
- イメージベースモデルとは何か？
- メッシュ圧縮とは何か？
- プログレッシブメッシュ、プログレッシブ伝送とは何か？
- LODとは何か？LODを制御することで何が実現できるか？

これまでの復習：第5週－1

- CGアニメーション映像とリアルタイムCGアニメーションの違いは何か？
- キーフレーム法とは何か？
- フォワードキネマティクス、インバースキネマティクスの違いは何か？
- パーティクルシステムとは何か？
- モーフィングとは何か？
- クロスディゾルブ、ワーピング、メタモルフォーシスはそれぞれどのようなモーフィング法か？
- モーションブラーとは何か？
- サイエンティフィックビジュアライゼーションとはどのような分野か？

これまでの復習：第5週－2

- モーションキャプチャにはどのような種類があり、各方法はどのように体の動きを取得するのか？また、それぞれの利点、欠点は何か？
- 3次元CGにおいてフレームレートを上げるためにはどのような方法があるか
- 3次元入力装置であるデータグローブ、3次元デジタイザとはどのようなものか？
- 3次元出力装置であるステレオグラフィックス、ホログラフィとはどのようなものか？

これまでの演習の解答

- 第1週

1. a. キ b. オ c. エ d. ク e. ア f. ウ

- 第2週

1. a. ア b. ウ c. イ d. キ e. エ

2. a. ウ b. カ c. イ d. オ e. ア

- 第4週－1

1. a. エ、エ b. ウ、オ c. ア、イ d. カ、ア e. オ、ウ

2. a. オ b. ウ c. ア d. イ e. エ

3. a. ア b. イ c. イ d. ア e. エ

- 第4週－2

1. a. ウ b. ア c. ウ d. イ e. イ

- 第5週

1. a. イ b. エ c. オ d. ア e. ウ

2. a. エ、カ b. ク、エ c. ア、ア d. ウ、イ e. オ、ウ