

三次元立体ディスプレイを用いた EVシミュレーション支援環境の構築

DEVELOPMENT OF ELECTRIC-VEHICLE SIMULATOR
USING 3D STEREO GRAPHICS ENVIRONMENT

松本正己

Masami Matsumoto

博士（工学） 米子工業高等専門学校 電気情報工学科
(〒689-8502 鳥取県米子市彦名町 4448, mats@yonago-k.ac.jp)

Recently, the introduction of the electric vehicle (EV) is advanced all over the world. Automakers plan to develop electric vehicles. However, both the developer and the user have various problems that should be solved. In this research, the EV simulator is made by using the three-dimensional stereo graphics technology. This system assembles driving simulators with the numerical simulation of an electric motor. This paper describes the system configuration and applications.

Key Words: 3DStereo Graphics, Electric Vehicle, Driving Simulator

1. はじめに

仮想現実感（VR: Virtual Reality）システムは、様々な訓練用のシミュレータとして効果を上げている¹⁾。特に、VRシステムには、高度な操作性を要求される航空機などの機械システムに対しても、危険を伴う様々な環境を仮想的に構成し、被験者の安全を確保しつつ実践的な訓練・教育を提供できるという利点がある。現在では、新しいシステムのプロトタイプの開発に積極的に用いられている。高度な操作環境を仮想的に安全に体感できることは、効率的なシステム開発に有効である。そこで、本研究では、発達の著しい電気自動車の開発と操作のためのシミュレータの開発を試みた。



図1. Electric Vehicle

おもしろ科学体験フェスティバルH23.6/27 広島県
福山市にて (<http://yonago-k.ac.jp/shinchaku/>)

近年開発が積極的に行われている電気自動車（EV: Electric Vehicle）は、内燃機関とは異なる電動モータ駆動による加速性能や操作性が要求される。

実用化の進んでいるハイブリッド・カーの設計においては、エンジン、モータ、二次電池などの構成要素を動的に協調動作させる高度なモデルが、制御系設計上で構築されている。しかし、EVは「乗物」としての自由度が格段に高く、従来の高速な移動手段の一つとしてではない、より人に身近な手足となる可能性を持っていると考えられる。「人」目線による自由なパーツ配置とモデリングによって、より自由度の高い乗物とするには、制御システムのシミュレータを含めた設計支援ツールが必要不可欠である。

そこで、本研究では nVIDIA社²⁾の三次元立体表示機能である3D Visionと、フォース・フィードバック可能なドライビング・シミュレータ³⁾を用いて様々な操作環境をテスト可能なEVシミュレータを構築する。これによって、モータ特有の機能を生かすための制御ソフトと新しい乗物の可能性を探る。

2. 電気自動車の構成⁴⁾

2. 1 制御の要素

EVの制御システムを構成する上で、シミュレータとしての精度を上げるには各構成部品の動作範囲、効率特性、動的特性をモデル化することが必要である。さらに動作の「可視化」はシステム設計において効果的であり、三次元立体視環境を採用することでより臨場感のあるシミュレータが実現できる。

本システムでは、まず、基本となるモータと駆動系の構成要素をモデル化した。

2. 2 駆動モータ

電気自動車は様々なパーツから構成される。特に、それらの要素の中で重要な位置を占めるのが駆動モータである。電気自動車においては、構造とその速度制御性から、直流 (DC) モータが用いられている。しかし、近年はエネルギー半導体素子の高効率化を背景に、ブラシレスな交流モータも採用されている。なかでも永久磁石同期モータ (PMSM; Permanent Magnet Synchronous Motor) はハイブリッド車へ搭載され、広く用いられている。

DCモータを駆動源とするシステムは従来の内燃系のシステムとは異なり、その応答時間の速さに特徴がある。電動機の応答時間は電気系システムの遅れを考慮しても数msと、内燃機系のエンジンと比較して2桁ほど速い。速度制御においても、電流を変化させることで容易にトルクを制御することが可能である。さらに、モータのエネルギー変換効率は95%と高く、エネルギーの効率的に運用できるバンドも広い。減速時に回生制動を行うことで、さらに効率を高めることも可能である。

最も単純な構成の電気自動車は、エンジンの代わりに一つのモータによって車両を駆動させるシステムである。しかし、モータには内燃機系のエンジンとは異なり、その搭載位置には大きな自由度がある。エネルギー変換効率をさらに向上させることで冷却系との組み合わせの自由度も増すことになり、制御設計系と連動したシミュレータの必要性も大きい。

コンセプトカーに採用されているインホイールモータはディファレンシャル・ギアを用いた既存の電気自動車システムとは駆動性が異なり、その操作環境は従来の運転システムと別な機構を考察することが可能である。各輪を独自に制御駆動させることや、各駆動軸を独立に回転させるとも可能である。すなわち、電気自動車には従来にはなかった、様々な動きを考慮することが必要であり、加減速や旋回停止などの状況に応じた加重計算による位置制御が重要な走行性を決める要因となる。

2. 3 駆動系システム

駆動系のシステムは、単純な機械構成の伝達関数モデルを線形の微分方程式でシミュレーションすることで構成できる。モータの制御系を含めたモデルは、古典的なPID制御機構によってモデル化することも可能である。

一般に、このような制御系のシステム開発の主流となっているソフトウェア開発環境は、米国MathWorks社の数値解析ソフトウェアであるMATLAB⁹⁾が用いられている。MATLABを用いると、CやFORTRANといった従来のプログラミング言語よりも短時間で簡単に科学技術計算を行うことができる。類似フリーウェアにはScilab, GNU Octave, FreeMatなどがある。

本研究では、高価なMATLABを用いることなく、線形モデルに対する数値シミュレーションについては、作成したJava言語による解析ライブラリを用いた⁶⁾。Javaのクラス・ライブラリは、現在、組み込み機器制御用に用いられているARMマイクロプロセッサ⁷⁾上への移植も可能であり、オブジェクト化を進めることで制御システムの開発とシミュレーションを一体化して行うことが将来的に見込める。

永久磁石を用いた駆動モータ部の線形モデルを図2に、可視化したシミュレーション結果を図3に示す。

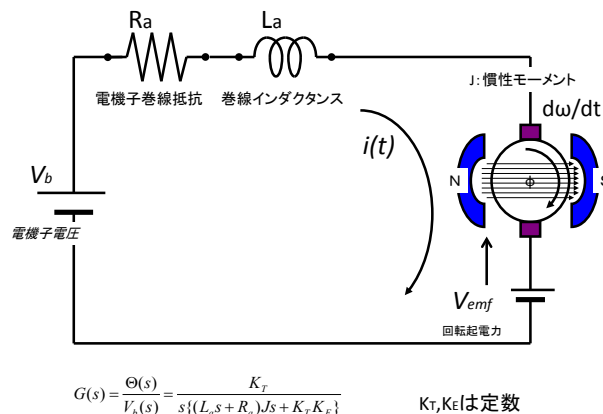


図2. Model of DC motor (Permanent Magnet)

DCモータは制御工学で用いられる第一原理に基づいた簡単なモデルを採用し、入力電圧: V_b に応じたモータの角変位: $\theta(t)$ を求めた。本モデルでは伝達関数モデルを作成し、外乱の無い場合のモータの回転をモデル化してシミュレーションを行っている。

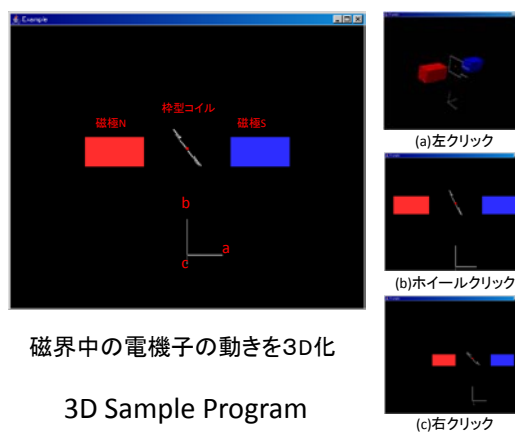


図3. 3D-Stereo Graphics of the Motor Simulation

3. ドライビング・シミュレータ

本研究では、EVのための運転シミュレータ・モデルを構築するために、プロトタイプとして既存環境のゲーム用シミュレータによる動作シミュレーション環境を構築する。

使用した環境は、操作（ハンドル、ミッション、ブレーキとPCとのフィードバック）系は、一般に広く市販されているドライビング・シミュレータの高機能モデルを用いた。操作制御用のPCとはUSBで双方向に接続される。



図4. Driving Simulator

Driving Wheel : GT-27 (Logitech Corp.) with PLAYSEATS WRC Model (SECT International Corp.)

4. 三次元立体ステレオ・グラフィクス環境

本研究を進める上で、グラフィクス・システムの開発環境であるOpenGL⁸⁾とDirectX⁹⁾の、二つのApplication Program Interface (API) に関してモデル化を検討した。

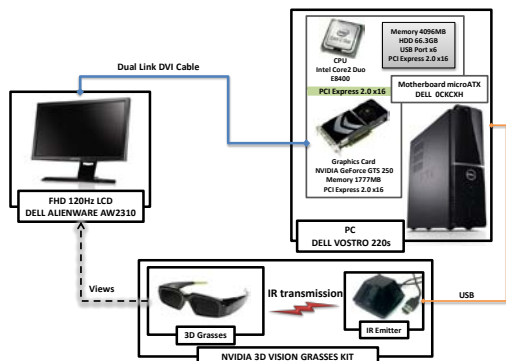


図5. 3DVision System

現時点では、本システムの開発にはWindowsマシンのプラットフォームにおいて、音源を含めたライブラリの充実しているDirectXを使用している。DirectXであれば、グラフィクスカードも安価なGeforceによる3DStereo出力が可能である。また、開発環境はVisual Studio 2010 Express とnVIDIAのSDKを用い、C/C++で記述している。3Dシステム開発と実行環境を図5に、ソフトウェアのライブラリ構成を図6に示す。

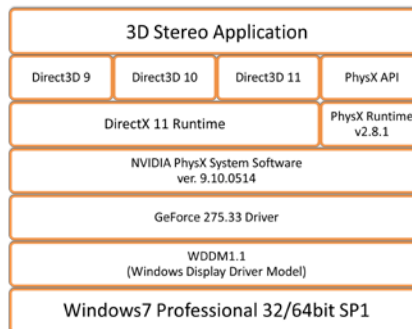


図6. Software Layer of 3D Vision

5. EVシミュレーション・システム

図7に駆動部と可視化の流れを示す。また、EVシミュレーション・システムの全体構成を図8に示す。

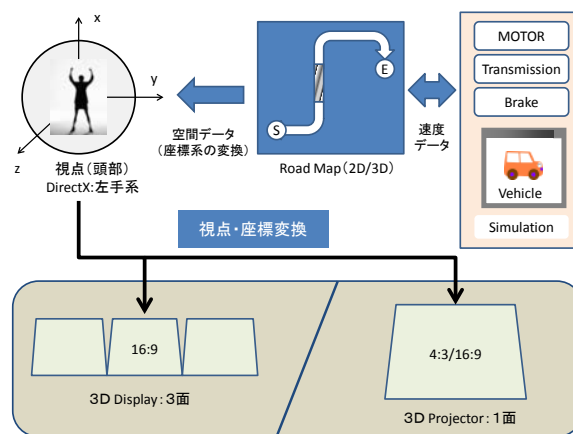


図7. Driving Simulation for the Visualization System

駆動部のモータと機械系を含めた数値シミュレーションは開発用端末上で行い、生成したパラメータをグラフィクス・サーバへ送信する。送信データはXML形式を用いた。

ドライビング・シミュレータは送られたパラメータ値によって構成されるテーブルに基づき、制御値を送り画像を変化させる。EVを構成するパラメータの変更は開発用端末上で行い、ネットワークを介して可視化サーバに送られる。これは、フルスクリーンで動作する三次元立体視環境下では数値の設定変更が行い難く、立体視用のメガネをかけた状態での操作の煩わしさを回避するためである。

三次元立体可視化環境は、可視化サーバとして高性能なGPUマシンを適用した場合に最大三面のディスプレイに同時表示可能である。しかし、3Dプロジェクタによる一面構成の場合には、出力する情報を切り替えることが必要となる。

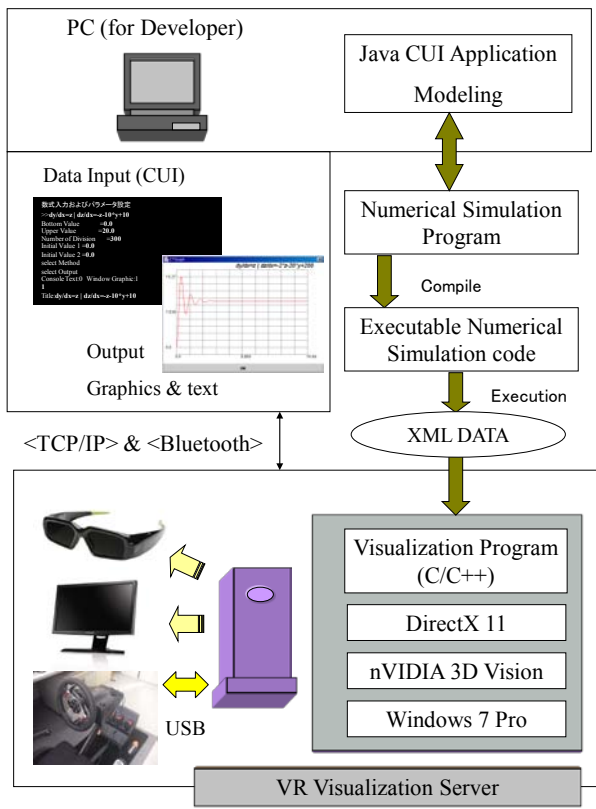


図8. Construction of the Driving Simulator

6. まとめ

本システムは、nVIDIA社の三次元立体表示機能とフォース・フィードバック可能なドライビング・シミュレータを用いて、EVの操作環境をテスト可能なシミュレータの構築を行った。

今後は、モータ部をDCモータ以外にも、PMSMに代表される交流モータや、電源（二次電池）部とDC/DCコンバータ、およびPWM（Pulse Width Modulation）インバータまでの要素を順次オブジェクト化して取り入れて行く計画である。さらに、シミュレータからのフォース・フィードバックの要素を外乱として制御系要素に取り入れ、インタラクティブなシステムを目指す。

最終的には「乗物」としての機械的構成モデルのテンプレートを作成し、モータ特有の機能を生かすための新しい形状の可能性を探っていきたい。

謝辞：EVの写真提供を頂きました、米子高専・電気情報工学科の宮田仁志教授に感謝いたします。

参考文献

- 1)Journal of the Virtual Reality Society of Japan, "特集・訓練シミュレータ", Vol.16, No.2, pp.6-25, 2011.
- 2)nVIDIA; <http://www.nvidia.com/>
- 3)Logitech; <http://www.logitech.com/>
- 4)廣田幸嗣, 足立修一 編, 小笠原悟司, 山口欣高 著：電気自動車の制御システム, 東京電機大学出版局, 2009.
- 5)MATLAB; <http://www.mathworks.com/>
- 6)M. Matsumoto et al., JSCES Proc., Vol.10, pp.343-354, 1998.
- 7)ARM; <http://www.altera.co.jp/>
- 8)OpenGL; <http://www.opengl.org/>
- 9)I/O編集部, "I/O BOOKS DirectX11 3Dプログラミング", ㈱工学社, 2011.

レンダリング画像のボリューム化とその応用に関する研究

STUDY ABOUT APPLICATIONS OF VOLUME DATA GENERATED FROM RENDERING IMAGES

宮地英生

Hideo Miyachi

博士 (工学) サイバネットシステム株式会社 (〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町 3, miyachi@cybernet.co.jp)

Volume data handling has become easy as computer performance goes up. I propose the data conversion from surface data to volume data by using a rendering because the treatment of volume data is easier than the surface data. This paper describes the conversion method and introduces two kinds of applications with the method.

Key Words: Visual Fusion, Visualization, Volume data, CFD

1. はじめに

従来, CGによる可視化の最終結果がレンダリング画像であった。しかし, 計算機が高速になりボリュームデータのハンドリングが容易になってきたため, レンダリング画像をボリューム化して利用する方法が実用的になってきた。これまで, ボリュームレンダリングが直交等間隔のボクセルデータにしか適用できないため, 非構造格子やBFCの差分格子のシミュレーション結果をボリューム化し, ボリュームレンダリングにより可視化する場合があった。本稿では, そのようなレンダリングを目的としたボリューム化ではなく, レンダリング画像を出発点としたボリューム化アプリケーションを提案する。今日, カメラの高性能化, CTスキャンの普及で, 3次元画像データが増え, 実験分野において, それらボリュームデータに対する分析技術が高度化している。ポリゴンデータをボリューム化することにより, それらの資産を有効活用できると考えている。

2. ビジュアルフュージョン

デジタルデータは年々増加の一途を辿る。デジタル情報を活用したCAEは一般となり, 試作無しでモノが開発できるようになってきた。そのプロセスにおいてソフトウェア間のデータの標準化, データの変換は大きな課題である。異なったソフトウェア, 例えば, CADとデザイン検討用のCGソフトウェアは, 利用目的が異なるため, 取り扱うデータの内容も異なる。したがって, 両者が扱うデータを単純に相互に変換できないからである。例えば, CADで扱う材料情報は, 加工工程のCAMにとっては重要な情報だが, 意匠検討には不要である。一方, 意匠検討で重要な色情報はCADやCAMにとっては重要でない。また, 機械のアームが動く情報は機構解析では重要だが, CADやCAMでは扱えない。

しかし, 「人間が見る」というステップに焦点をあて

たとき, これらは単純なものとなる。可視化処理の最終段階ではグラフィックスボードに, ボリュームデータ又はサーフェイスデータが転送され, それらがレンダリングにより画像化され, ディスプレイに表示される。その段階では, 全ての情報が無次元の「表示されるための情報」になっている。この段階では, 複数のソースから供給されたデータをボリュームからサーフェイス, サーフェイスからボリュームに変換し, 両者を合成して扱うことが容易となる。筆者は, その概念をビジュアルフュージョンと名づけた(図1)^[1]。

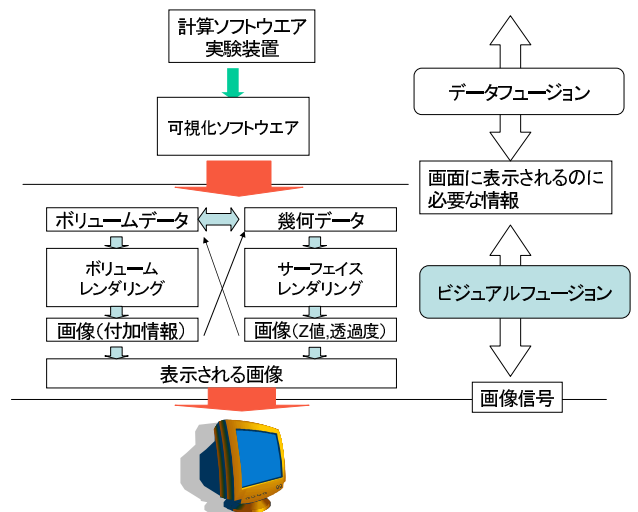


図1 ビジュアルフュージョンの概念

ボリュームからサーフェイスへの変換は, 一般に等値面処理で行われるが, サーフェイスからボリュームへの変換はあまり行われない。それはボリューム化した時, データ量が膨大になるからである。

それでも, 実写の世界において, 複数の方向から被写体を撮影し, 物体をデジタル化するイメージベースモデ

リング^[2]が盛んである。ここでは一例として、図2に、シルエット法による写真からの3次元形状復元^[3]の概念を示す。

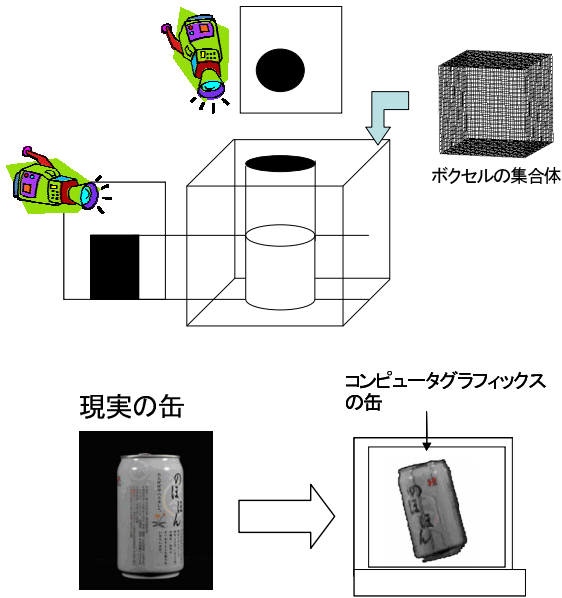


図2 シルエット法による3次元形状復元

この作業では、カメラのキャリブレーションが重要である。一方、CGにおいてカメラは正確に配置でき、レンズの特性も考慮不要なので、任意のソフトウェアでレンダリングされた画像から、同様の手法で3次元復元することが容易に実現できる。

表面だけでなく内部を含むデータは、医療用CT、工業用CT、共焦点顕微鏡などから複数の断面画像として取得され、ボリュームデータとして処理されている。これを模擬し、サーフェイスデータの断面画像をレンダリングで取得してボリューム化することで、その後処理に対して実写で使われる各種処理が流用可能となる。

本稿では、サーフェイスデータ(STL)からCGで断面画像を生成、ボリューム化する手法の提案と、その応用事例について紹介する。

3. ボリューム化

STLからボリュームデータ作成のプロセスを図3に示す。これは腎臓のSTLデータをボリューム化例である。

まず、STLデータから断面図を取り出す。これにより等高線図のような画像が複数取得できる。断面図の生成は一般的だが、ここではAVS/Expressのortho_sliceモジュールを用いて断面図を作成している。

次に各断面図に対して内部を塗りつぶす処理を施す。塗りつぶしルーチンは、画像処理のラベリング処理のラベルの付け方を少し工夫したものである。ここでは、一番外側のラベルを1として、そこに隣接するものはラベル3、さらに、それに隣接する画像は3とする。これにより、外側から内外判定が行われることになる。

1が外側とすれば、2は外から中への境界、3は内部となる。中空の場所があった場合、中から外への境界はラベル3が与えられ、以下、何重になっても同様の順序でラベルが付く。最後に2, 3, 4のラベルを内部として塗りつぶすことで内外の判定が完了する(図4)。

最後に、それらを重ね合わせてボリュームデータを構築する。

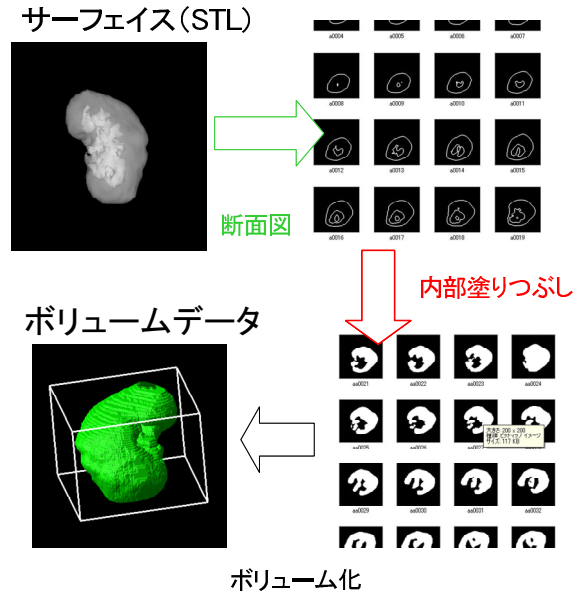


図3 STLからボリュームデータ作成のプロセス

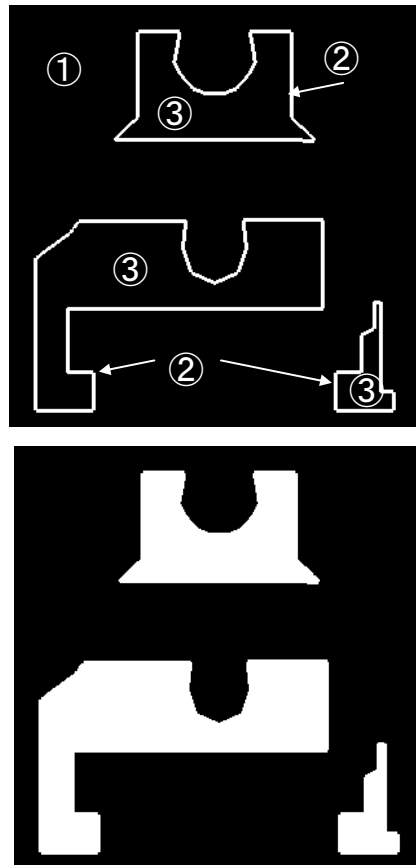


図4 塗りつぶし処理例

もともと3次元のデータを二次元化して、再び3次元に戻っているように見えるが、ボリューム化されたことでいくつかの応用が可能となる。

4. アプリケーション

4.1 差分表示

ボリューム化されたデータは演算が容易になる。ボリューム化した段階で精度が悪くなるという問題はあるが、適切な精度でボリューム化ができれば、簡単に複数の可視化結果の差分を取り出すことができる。

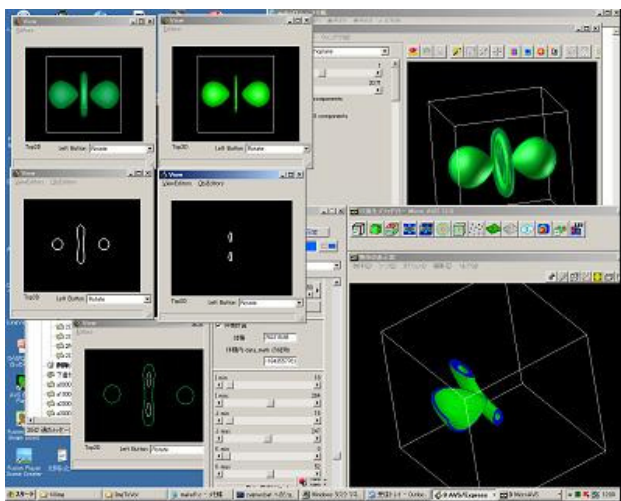


図5 2レベルの等値面の差分表示

図5は、水素分子の3次元電子密度分布に対して異なるレベルの等値面を2つ生成し、その差分を取り出した様子を示している。図5の右下のウィンドウに表示されているのが差分ボリュームである。図5の左上のように2つのウィンドウに並べて表示しているだけでは判らない微妙な差が、差分計算を行うことで明確に見ることができる。また、差分体積も計算できる。

4.2 粒子法による流体解析の粒子初期配置

医療用、工業用のCTスキャンデータから数値解析を行う場合がある。通常、スキャンデータから面を生成し、そこから空間や内部に対して従来のプリプロセッサで自動格子生成を行う。このとき、最も詳細な情報が必要な部分に合った精度で均等にスキャンするため、データが増えすぎる傾向にある。ポリゴンリダクションにより、平たい場所、変化の少ない場所の格子を粗くする必要があるが、粒子法の場合、基本的には均等に粒子を配置する。したがって、ボリューム化処理は、そのまま粒子の初期配置情報になる[4]。

サンプルとして、図6に示すような矩形容器の左半分には80%水が入っている初期状態をモデルした。このあと、中央の仕切りを外して、流体が左右に揺れる様子をシミュレーションすることを念頭においている。

ここでは、流体部に粒子を並べることに加え、境界上

に粒子を配置する必要がある(図7)。これらは別々に処理し、最後にボリューム間演算によって両者を統合する。

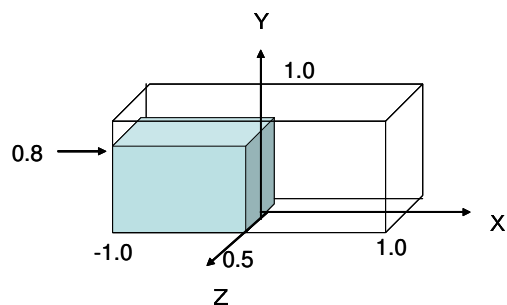
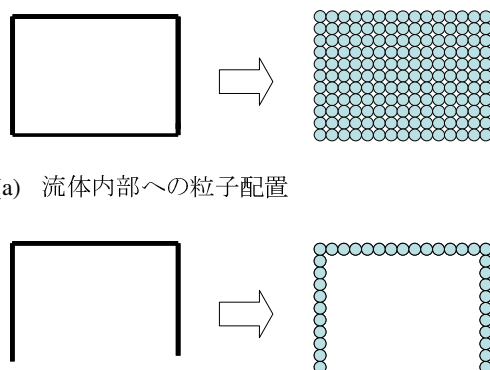


図6 粒子法シミュレーションのモデル図



(a) 流体内部への粒子配置

(b) 境界上への粒子配置

図7 2種類の粒子配置

図7の(a),(b)はボリューム間の演算処理をする前に、3次元の収縮および膨張処理を入れることがある。図7では、境界上の粒子配置は1層しかないが、多層にする場合は膨張処理を施す。

また、流体部の外側に境界条件を与える場合、図7(a)に収縮処理を施す(図8)。ボリューム演算処理で、収縮前から収縮後の差を取ると1層の境界部分が残るので、そこに境界のIDを割り当てることができる。

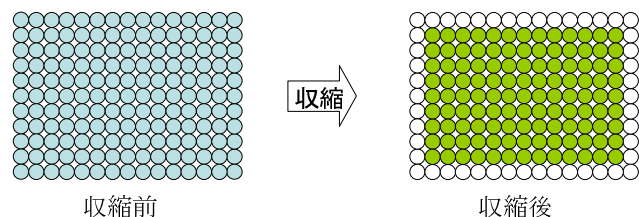


図8 収縮処理

これらの処理を経て、図6のモデルに対応する粒子法の初期粒子配置データを生成した結果が図9である。

ここでは3種類のIDが付いた粒子が配置されている。

ID=0: 固体壁境界 (赤色) は、矩形容器の面上に3層で配置されている。

- ID=1：流体・気体境界（青色）は，流体部の周辺で，固体境界壁に接しない部分に配置されている。
- ID=2：流体部（水色）は，流体部で気体境界以外の部分に配置されている。

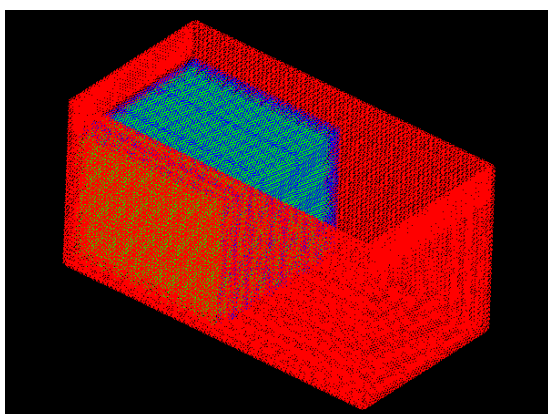


図9 粒子情報の初期配置

現在，この初期配置を用いた計算を実行中である。

この方法は，粒子法だけでなく，六面体要素によるFEM計算の初期格子としても利用できると考えている。

5. まとめ

STLのサーフェイスデータから断面図をレンダリングすることでボリュームデータに変換する方法を紹介し，それを用いたアプリケーション事例を示した。差分表示事例では，並べて表示して見比べるだけでは判断が難しい2つの等値面可視化結果の差分画像を表示し，差分体

積を計算することができた。粒子法の初期配置事例では，ボリューム化に加え，境界上への粒子配置，さらに，圧縮・膨張などの画像処理とボリューム間演算処理を組み合わせることで境界条件を付加した粒子配置を実現した。ボリュームデータは，サーフェイスに比べてデータ間演算が容易などの有利な点がある。レンダリングを用いたボリューム化は，ポスト処理だけでなく，幅広い応用が期待できると思われる。

謝辞：粒子法の初期配置の事例について有益なアドバイスを頂きました九州大学の浅井光輝准教授に感謝いたします。

参考文献

- 1)宮地英生：問題解決環境としての可視化システムの開発，東京大学大学院工学研究科機械工学専攻博士論文，2006
- 2)Jagersand, M., Burschaka, D., Cobzas, D., Dodds, Z., Hager, G. and Yerex, K., Recent Methods for Image-based Modeling and Rendering, IEEE Virtual Reality 2003 Tutorial 1,2003
- 3)Miyachi, H and Sakamoto, N. : Data Reduction by Applying Image-Based Modeling and Rendering Technique to CG models, Journal of Visualization, Vol.8, No.4 , pp.331-338, 2005
- 4)越塚誠一:粒子法 計算力学レクチャーシリーズ5,丸善 ,2005