

# 3次元流体シミュレーションのための可視化オブジェクトの設計

## Design of Visualization Object for 3-D Fluid Simulation

発表者 小峰 健範 担当教官 坪井 一洋

Visualization object for 3-D fluid simulation is designed. The conceptual figure of the visualization process and the detail of some classes are described. The result of thermal plume is demonstrated on two PCs of different performance.

### 1. はじめに

近年の計算機処理能力の向上により、様々な分野で広くシミュレーション・システムの実用化が進んでいる<sup>[1]</sup>。これに伴い、3次元データの解析を支援する可視化システムの開発が求められるようになってきた。過去には専用ハードでしか実現できなかったような負荷の大きい処理を、一般的なPCでも処理可能となってきたことで、低コストのPCを利用した可視化システムの開発が求められている<sup>[2]</sup>。しかし、大規模な3次元流体シミュレーションで扱うデータは膨大なため、現在のPCでもメモリ容量などによる制限が依然として存在する。

そこで、本研究ではオブジェクト指向モデリング<sup>[3]</sup>を活用して、分散環境を視野に入れたシステム設計を目的とした。さらに、この設計を基にしてOpenGL<sup>[4]</sup>とそのライブラリ<sup>[5][6]</sup>を用いた3次元流体シミュレーションのための可視化システムを開発する。

### 2. オブジェクト化の概念とクラス設計

#### 2.1 可視化オブジェクトの概念

可視化のためのオブジェクト概念図を Fig. 1 に示す。まず、Simulation と名付けたオブジェクトによって計算が行われる。ここで計算されたデータは、Visualization と名付けたオブジェクトによって可視化される。これら2つのオブジェクト間には Cache オブジェクトが存在し、双方のデータはこのオブジェクトを必ず経由する。これによってデータの流れが明確となり、かつ双方のオブジェクトの独立性を高めることができる。

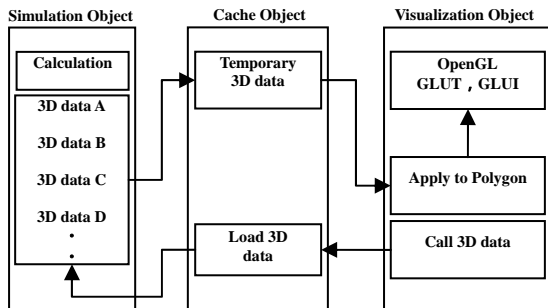


Fig. 1 可視化オブジェクトの概念図

#### 2.2 クラス設計

前節で述べたオブジェクト概念図を基にクラスの設計を行った。まず、Visualization オブジェクトに必須と考えられる要素として、光源、視覚領域、描画基本要素（ポリ

ゴンなど）がある。そこで、これらをそれぞれ CLight（光源制御）クラス、CView（視点制御）クラスおよび CClip（ポリゴンによる立方体の生成）クラスと定義した。

CVisualization クラスは主に OpenGL およびそのライブラリのコマンド群から成っており、CLight クラス、CView クラスの情報を基に描画領域を生成し、これを制御するためのインターフェースを構築している。

CClip クラスは描画基本要素の生成を行う。シミュレーションでは一定の格子間隔で分割された計算領域を用いる。このクラスの目的は、格子毎に求められた温度などの3次元データに対応するポリゴン立方体の色情報として反映させることである。これによって、全格子に対してポリゴン立方体が生成され、3次元データの可視化が可能となる。特に、ここでは CVisualization クラスで各ポリゴンの透明度を制御することにより、3次元データの奥行き表現を可能とした。

次に Simulation オブジェクトであるが、これは CSimulation クラスのみから構成され、可視化の対象となる流体計算を行う。ここではC言語で書かれた3次元流体シミュレーションプログラムのグローバル変数および関数を CSimulation クラスの private メンバ変数およびメンバ関数としている。さらに初期化関連の処理をコンストラクタにまとめ、各種のクラスインターフェースを準備するなど、全体をクラスとして再構成することでオブジェクト化している。

Cache オブジェクトにおいても CCache クラスのみの構成となっている。これは CVisualization クラスから CSimulation クラスへのデータ要求を中継し、要求に応じた3次元データ（温度、流速など）を CCache クラスのキャッシュ領域へと保存する。CVisualization クラスはこのキャッシュへアクセスし、CSimulation クラスと独立に、3次元データを取得することができる。

以上のクラス群をクラス図として Fig. 2 にまとめる。

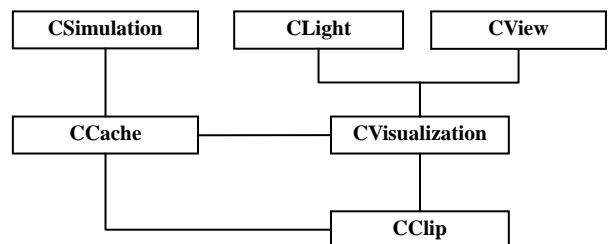


Fig. 2 クラス図

### 3. 表示例と動作検証

#### 3.1 熱対流シミュレーションの表示例

C言語で書かれた3次元熱対流シミュレーションプログラム<sup>[7]</sup>を、前節で述べた方法によりCSimulationクラスとして再構成した。このプログラムでは、Fig. 3に示すようなZ軸回りに角速度で回転する2枚の平行平板(下面中央に熱源を設置)を考え、これらに挟まれた領域内での流れを計算する。ここでは、格子分割を $40 \times 40 \times 20$ と設定し、時間方向に $10^4$ ステップまで計算した。

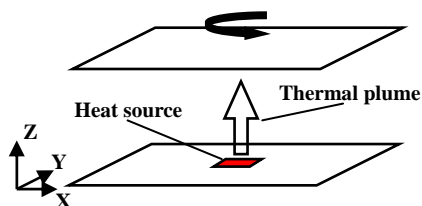


Fig. 3 熱対流シミュレーションの計算モデル

この計算結果の表示例を Fig. 4 に示す。この図からわかるように3つのウィンドウが表示され、その中で最も大きなウィンドウに可視化結果が表示される。熱源から発生したプルームがうまく再現されており、特に半透明処理によって温度場の全体的な特徴が容易に把握できる。右側にはパラメータ制御ウィンドウがあり、ここで背景色やポリゴンの透明度、計算領域における断面データの表示・非表示など各種設定を操作できる。また、下側のビュー制御ウィンドウで、表示対象の拡大縮小、並行移動、回転などの視点変更を行うことができる。

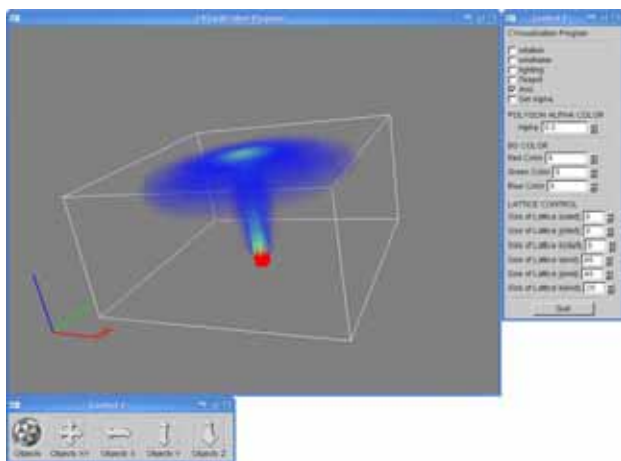


Fig. 4 シミュレーション結果の表示例

#### 3.2 動作検証

作成したプログラムの動作検証を行うために、性能の異なる2台のPCで確認操作を行った。ここで使用したPCの性能をTable 1にまとめる。

動作検証の結果、2つの環境共にプログラムの動作に深刻な問題は発生しなかった。ただし、PC No.2では数世代

前のGPUを使用しているために画面表示の更新に明らかな遅延が生じた。動作は正常であるが、これは快適な動作環境とはいえない。

シミュレーションはCPUの処理速度に強く影響を受けるが、グラフィックス表示速度はGPU性能に依存する。そのため、現段階で3次元流体シミュレーションなどの大規模なデータを扱う場合は、使用するGPUにある程度の性能が必要といわざるをえない。

グラフィックス表示速度に関しては、不必要なポリゴンを非表示にするなどグラフィックスデータの軽量化も必要であろう。

Table 1 動作環境

PC No.1		PC No.2	
CPU	Pentium4 2.4BGHz	CPU	Athlon 1GHz
RAM	512MB	RAM	384MB
GPU	GeForce3	GPU	Geforce2MX
VRAM	64MB	VRAM	32MB

### 4. おわりに

本研究では Fig. 1 に示したオブジェクト概念図を基に、3次元流体シミュレーションのための可視化システムの設計を行った。これはCVisualization, CLight, CView, CClip, CSimulation, CCache という6つのクラス群で構成されている。この設計に基づいてC++とOpenGLを用いた3次元データの可視化プログラムを作成し、動作検証を2台のPCで行った。1台のPCで画面表示の更新に遅延などが見られたが、それぞれの環境でほぼ問題のない表示を確認できた。

今後の課題としては画面描画の動画化と描画ポリゴンの軽量化および表示方法の改善が挙げられる。これにより、操作性と共に利便性が向上する。そして、今回の設計を基に、それぞれのクラスにおいて機能追加、最適化、再設計を施すことにより、分散環境における大規模シミュレーションの効率的な実装およびデータの可視化が可能となるであろう。

### 参考文献

- [1] 可視化情報学会：流れのコンピュータグラフィックス，朝倉書店
- [2] 齋藤 潔，他：異機種計算機上で動作する構造解析ソフトウェアの分散オブジェクトによる連携，日本計算工学会論文集 掲載予定
- [3] 磯田定宏：オブジェクト指向モデリング，コロナ社
- [4] OpenGL ARB：OpenGL Programming Guide，アジソン・ウェスレイ
- [5] SGI：GLUT - OpenGL Utility Toolkit  
<http://www.opengl.org/resources/libraries/glut.html>
- [6] Paul Ramacher：GLUI User Interface Library  
<http://www.cs.unc.edu/~rademach/glui/>
- [7] 今橋邦仁：上昇気流の発生に関する3次元シミュレーション，平成14年度茨城大学工学部システム工学科卒業研究論文