

ROSEリポジトリいばらき（茨城大学学術情報リポジトリ）

Title	オブジェクトベース機構に基づく数値シミュレーション
Author(s)	畠山, 正行 / 金子, 勇
Citation	情報処理学会研究報告. [ハイパフォーマンスコンピューティング], 94(51): 1-8
Issue Date	1994-06-17
URL	http://hdl.handle.net/10109/1884
Rights	情報処理学会

このリポジトリに収録されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作権者に帰属します。引用、転載、複製等される場合は、著作権法を遵守してください。

お問合せ先

茨城大学学術企画部学術情報課（図書館） 情報支援係
<http://www.lib.ibaraki.ac.jp/toiawase/toiawase.html>

オブジェクトベース機構に基づく数値シミュレーション

畠山正行 金子 勇

茨城大学工学部情報工学科

対象世界（自然現象）に実在する"もの"を、コンピュータ上でシミュレーションする際にも"物"（オブジェクト）と同等に扱うことを可能にする機構としてオブジェクトベース機構を以前に提案した。これは、シミュレーションの際にもデータと手続きを一体化し、"もの"をオブジェクト単位でアクセス及び起動・駆動・操作・制御するための機構であり、対象世界を認識してから再現シミュレーションするまで"もの"をオブジェクトとして一貫してモデリングするという一貫モデリング過程の駆動モデリング段階における一貫性を実現する機構である。このオブジェクトベース機構がオブジェクト指向データベース管理システム(OODBMS)を用いることで実現された。

実際のシミュレーションの例として希薄気体流れのシミュレーションをオブジェクトベース機構上でを行い、手続き型のシミュレーションでは実現が困難な、複雑な対象世界や動的に多様な変更が必要とされる対象世界に対して、従来よりも遙かに簡単にシミュレーションが実現できることを確認した。これにより、"もの"をコンピュータ内部の実行時においてもオブジェクトと同等に近い形で取り扱うことが出来る方法が確立できた。

A Numerical Simulation Architecture based on the ObjectBased Mechanism

Masayuki Hatakeyama, Isamu Kaneko

(Ibaraki University)

In the past study, we proposed the ObjectBased mechanism that is able to treat the physical object as the pseudo-object when modeling the target world to simulate in the computer. This mechanism encapsulates the data and method during the simulation. So, we realized the programming stage based on the consistent modeling paradigm that can treat the physical object as the pseudo-object from the target world up to the realization and simulation modeling stage. This ObjectBased mechanism is realized by making use of the Object Oriented Database Management System (OODBMS).

We tried to realize the rarefied gas flow simulation on the ObjectBased mechanism as an example, and confirmed that we are able to simulate the complex target world in comparison with procedural simulations. This mechanism enables us to establish the method that is able to treat the physical objects as the pseudo-objects in the computer.

1. まえがき

シミュレーションとは、我々が対象世界を認識した結果できたモデルをそのままコンピュータ内部に移し、そのモデルを駆動させることで行う仮想実験であると考えられる。これに基づく、モデルとして精度のよいシミュレーションとは人が認識したモデルを、できるだけそのままコンピュータ内部に持ち込むことで可能になると思われる。しかし、このことは、対象世界をモデル化するモデリング過程内の全ての段階及びステップにおいて一貫したモデリング過程に基づく対象世界の変換の方法論とその実装を実現しなければならないことを意味する [1]。

この問題に対して我々は、実装モデリング段階（プログラミング・ステップ）だけが他のモデリング段階と異なった方式（パラダイム）に基づくモデリングであることを指摘した。そしてプログラミング（モデリングの一種）においても他のモデリング段階と同様に対象世界の"もの"と同等の扱いをすることができる機構を新規に構築すればよいとの結論に達し、その機構すなわちオブジェクトベース機構を考案・実現し、それにより一貫モデリング過程を実現した [1]。本研究においては以上の成果を利用し、ある対象世界（流体力学の流れの世界）に対してこれを実装し、実際にシミュレーション駆動させて、オブジェクトベースシミュレーションの特徴等について議論・評価する。

1.1 一貫モデリング過程論

我々の考えるモデリング過程では人間が実世界に対して形成する認識モデルを原点とし、これを対象世界とする。これは我々は、人間が認識できる（している）のは対象原世界（実世界）そのものではなく、人間が頭脳内に認識しているモデルこそ唯一の実世界である、と考えているからである。

以下、概念的な表現をする概念モデリング段階、論理的な構造等を厳密な用語と式等に依って表現する論理モデリング段階、分析結果を再構成し計算機上でのシステムとして駆動させるための設計を行う再構成モデリング段階、モデルの各要素をプログラミング言語を用いて実装し、シミュレーションを起動・駆動・制御・操作・持続的な格納・表現等を行う再現モデリング段階等で構成される。対象世界のモデリングの最終段階が駆動モ

デリング・ステップとなる。システムが起動・駆動することで、再現シミュレーションが行われる。これにより再現された世界を、対象世界に対して再現世界と呼ぶ。詳細は [1] に示したため省略する。

2. オブジェクトベース機構

2.1 オブジェクト指向モデリングパラダイム

一貫モデリング過程においては、全てのモデリング段階とステップで同じモデリングパラダイムに従って、首尾一貫したモデリング法で変換されることが必須である。我々は以下の理由からオブジェクト指向モデリングパラダイムを採用した。

1. 対象世界を"物"と同等に表現するモデル化に適している。
2. 対象世界のモデル化から再現駆動まで一貫したモデリング過程が実現できる可能性を持つ実用上では唯一のモデリングパラダイムである。
3. 「人間自体が自分の頭脳内で行うモデリング」に近いのではないかとと思われる。

従来のシミュレーションにおいてはオブジェクト指向がモデリングパラダイムに意識的に採用され、モデリング過程を一貫してこれで表現及び変換し、プログラミング言語や駆動・制御・操作に至るまでオブジェクト指向的な実現をされたという例は、Smalltalk の世界以外にはほとんど聞かない。その理由はシミュレーションの駆動段階において、オブジェクトを"もの"に近い存在として扱う方法論が確立されていなかったからではないのかというのが我々の見解である。

2.2 オブジェクトベース機構

我々は上記の問題点に関して段階的にかなりのレベルまで解決することを構想している。

1. 起動・駆動段階においてもデータと手続きを一体化するためのリンク機構を構築する。
2. オブジェクトとしてリンクしたデータ構造とプログラムを1セットに保存・管理する機構を構築する。これは、"もの"オブジェクト単位での持続的格納・検索・取り出しを実現する。
3. "もの"オブジェクト単位でのアクセス及び起動・駆動・操作・制御しかできないような機

構を考案してこれを実現する。

これらを総称して、オブジェクトベース機構と呼ぶことにする。ここで、オブジェクトベースという概念は本質的にはオブジェクト指向と同義である [2] [3] [4] [5]。"物"のモデル化されたもの、<データ構造+メソッド>を常に一体としたモデル、という意味を特に強調する用法として用いている。

このオブジェクトベース機構の実現法はいろいろ考えられるが、我々はこれをオブジェクト指向データベース管理システム (OODBMS) を基盤として構築することを試みた。OODBMS を基盤システムとして利用したのは

1. 静的なオブジェクトの"オブジェクト単位"での管理 (格納・検索・取り出し) が容易に実現できる可能性があったこと。
2. オブジェクト単位での起動を可能にする機能を副作用ながら備えていたこと。
3. シミュレーションの計算に関係する莫大でかつ多様なデータを必要に応じて持続的に格納・管理・利用できる、すなわち OS のファイルシステムに対応するオブジェクトの静的管理機構として用いることが可能。

というような特徴を備えていたためである。

2.3 OODBMS を用いたオブジェクトベース機構の一つの実現

本研究で基盤に用いた OODBMS は ONTOS である。ONTOS は C++ 言語を親言語とし、オブジェクトの構造を C++ のクラス定義の形で記述し、メソッド (手続きプログラム) を C++ のプログラムとして記述する。

OODBMS によるオブジェクトベース機構についての詳細は [1] に示したが、簡単に述べると、OODBMS 内にメソッドのオブジェクトコードを格

納しているように取り扱うことができるようにし、オブジェクトのメソッド部を OODBMS 内にオブジェクトのデータ構造とリンクする形で格納・管理できる機構を構築した。この OODB 内のオブジェクトのアクセスのためにオブジェクトのメソッドを起動するためのメッセージ形式を作成し、これを用いた時のみ OODB 内のオブジェクトにアクセスできる様にした。このメッセージ形式には、ONTOS の標準機能である ONTOS-SQL [6] を拡張した E-OSQL (拡張 ONTOS-SQL) を新たに開発してこれを用いた [1]。これは検索の副作用としてメソッドの起動を記述できる。

また、メッセージ通信の形式は単純に文字列のやり取りのみであるのでエンドユーザプログラムをクライアントとし、オブジェクト側の E-OSQL プログラムをサーバプログラムとする、クライアント-サーバ方式のシステムとして構築した。これにより、クライアントプログラムは文字列をやり取りできるシステムなら何でも良く、シェルや Fortran 等の任意のプログラムからアクセス出来る様になった。

図 1 に E-OSQL によるオブジェクトベース機構の内部構成を示してある。また、E-OSQL の例を図 2 に示してある。図 2 における構文は"もの"オブジェクトに対するものとしてはメンタル的なリアリティを損なうので高度なユーザインターフェイスの仕掛が必要である [7]。

この様な方法により、OODBMS を基盤としたオブジェクトベース機構が構築できた。これは、オブジェクトのデータ部分のみデータベースで管理するのではなく、オブジェクトのメソッド部分もデータベース側で管理するものであり、OODBMS を統合的なシミュレーション環境の基盤として利用することが可能となった。

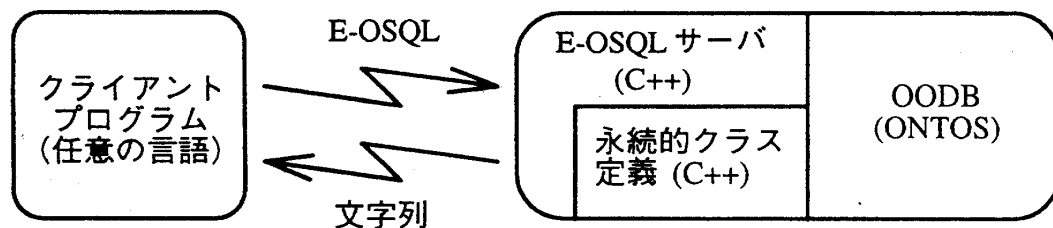


図1 オブジェクトベース機構の構成

```

SQL> insert into Macro_mean values();
#1Macro_mean;
SQL> select tunnel().init() from Macro_mean where localName() = '#1Macro_mean';
SQL> select calc(100,100) from Macro_mean where localName() = "#1Macro_mean";
SQL> select output() from Macro_mean where localName() = "#1Macro_mean";
field
200 100 1
191 913 3 -4 311
.
.

```

図2 E-OSQLの例文

3. オブジェクトベース機構を用いたシミュレーション

3.1 オブジェクトベース機構の基本的使い方

オブジェクトベース機構の目的とは、簡単に言えば対象世界を“物”の集まりとしてモデル化した結果であるオブジェクトを、コンピュータ内部でそのままかつその単位で管理・駆動することである。通常のシミュレーションでは、対象世界をシミュレーションするためのプログラムを作成し、それに初期データなどを与える形で行ったが、この機構の場合、対象物をオブジェクト単位にモデル化し、その構造をオブジェクトベース内に作成、それにオブジェクトの持つメソッドを登録し、振舞いを起こさせたいオブジェクトにメッセージを送ることでシミュレーションを駆動させる形になる。これは、オブジェクト指向一貫モデリングパラダイムに基づくことにより実現できるものであり、一般的には以下の様な手順でシミュレーションを行う。

1. 対象世界をオブジェクトの集まりとして認識する。
2. 認識したオブジェクトを何等かの方法で表現する（概念モデリング段階）。
3. オブジェクトを精密化する（論理モデリング段階）。
4. オブジェクトベースモデル [1] を用いて、オブジェクトベース機構にその構造を定義する（再構成モデリング段階）。
5. オブジェクトの振舞いをプログラムコードの形でオブジェクトベース機構に登録し、オブジェクトの振舞いを定義する（再現モデリン

グ段階）。

6. E-OSQLを用いて、オブジェクトを作成したりオブジェクトにメッセージを送ることでシミュレーションを行う（駆動段階）。

これは、はじめに述べた一貫モデリング過程そのままであり、その全過程にオブジェクト指向パラダイムを適用したものである。

このなかでオブジェクトベース機構に特に関係があるのが駆動段階であり、この機構を用いることでシミュレーション時にもデータとメソッド間のリンクを二次記憶機構上で管理することが可能となる。

ただし、オブジェクトベース内にオブジェクトを定義するには ONTOS や E-OSQL を考慮し、C++ 言語などを使用する必要があるが、この辺りはまだ改良の余地が多く、簡易的な言語で構築する試みも始まっている [8]。

3.2 オブジェクトベース希薄気体数値風洞

オブジェクトベース機構を用いたシミュレーション例として、希薄気体数値風洞シミュレーションを取り上げ、これを実際にオブジェクトベース機構上に実装した。その概要を示す。

希薄気体とは気体の流れを分子単位での流れと見なしても良いほどの希薄な気体の流れであり、分子のレベルでモデル化を行う。風洞とは通常矩形断面の直線風路を作りその中に飛行物体等を置いて風を起こし（流し）、飛行物体等が作る流れの乱れの様子を観察・計測する装置である。数値風洞とはこれらの物理実験をすべてシミュレーションモデルで置き換えて計算機内で再現シミュレーションしようというものである。希薄気体の流れの数値シミュレーションには殆ど DSMC（直接シミュレーションモンテカルロ）法が用いられる [9]。この DSMC 法においては、風洞壁（上下流の境界

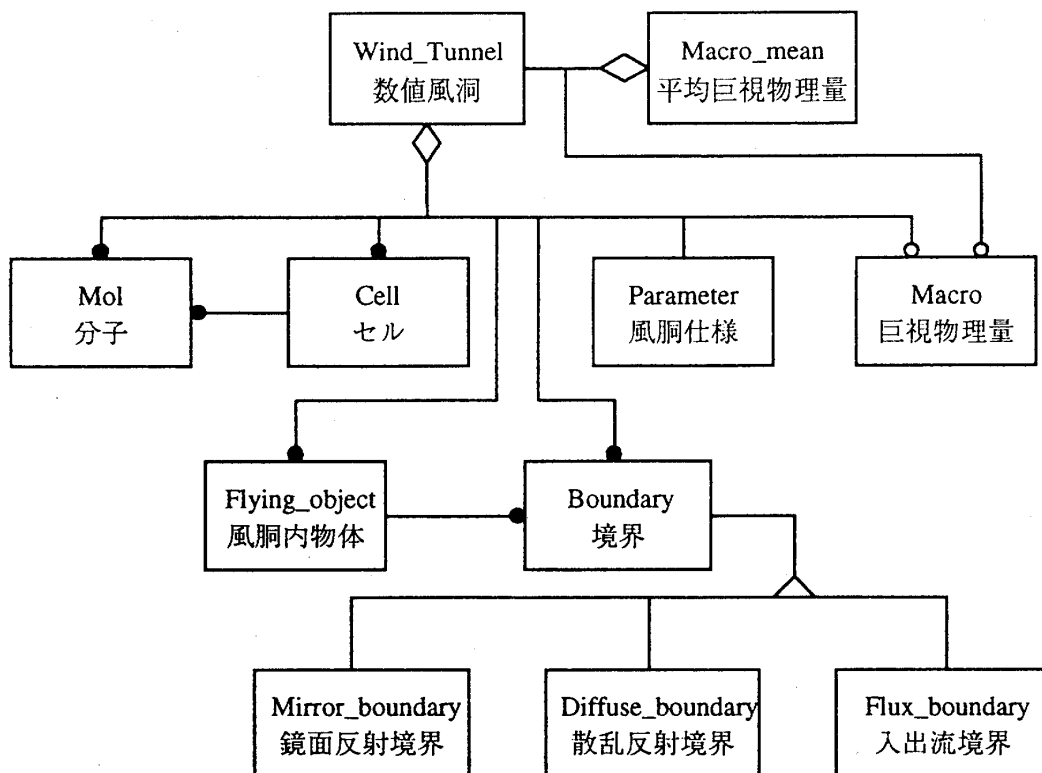


図3 数値風洞に対する OMT 表現のオブジェクトダイアグラム

も含む)、分子、飛行体や空間を分割したセルなどがオブジェクトとしてモデル化される。

3.3 数値風洞の実現法

この数値風洞を前々節で述べたような、オブジェクト指向一貫モデリングパラダイムを用いてモデル化し、オブジェクトベース機構上で実装した。具体的な方法は前々節で説明した通りである。まず風洞をオブジェクト単位でモデル化し、これを順に精密化する。それぞれのモデリング段階をどのように行うかであるが、オブジェクト指向に基づいてある程度一貫してモデリングを行うオブジェクト指向設計方法論がいくつか提案されており、本論文では OMT 法 [3] を用いている。

このモデル化の途中で作成されたモデル図の一つを図3に示す。これは OMT 法で記述された数値風洞のオブジェクトモデルダイアグラムである。OMT 法とはオブジェクト間の関係などを表現するための一つの表現方法であり、再構成モデリング段階などでモデル表現法として用いている。

これらを基にオブジェクトベース内に ONTOS のオブジェクトを定義し、メソッドを作成した。ONTOS におけるオブジェクト定義は C++ のクラス定義の形で行うため、オブジェクトダイアグラム

を記述してそれをそのまま C++ のクラスの形に変換し、ONTOS に定義、C++ のメソッドの形で風洞のプログラムを作成し、オブジェクトベースに登録という形で行った。図4に流体现象の一貫モデリング過程を表現した図を示す。

3.4 数値風洞でのオブジェクト及び相互関係

数値風洞におけるオブジェクトと、オブジェクト間の相互関係、相互作用について簡単に説明する。オブジェクト(クラス)には、一つの風洞本体を表す風洞オブジェクト、その中に、分子オブジェクト、風洞内部の空間の一部を表すセルオブジェクト、風洞内の Mach 数などのパラメータを表すパラメータオブジェクト、風洞内に置く物体を表す風洞内物体オブジェクトなどがある。風洞内の物体(風洞壁も含む)は境界面の集まりとしてモデル化されており、これらの境界面を表す抽象的なオブジェクトとして境界オブジェクトが存在する。この境界面は分子との相互作用の違いにより三種類存在し、それぞれ鏡面反射境界オブジェクト、散乱反射境界オブジェクト、入出流境界オブジェクトがある。また、DSMC 法特有な計算法として、定常流れとなった状態の時間平均を求めることで、計算に用いた分子数を稼ぐという方法

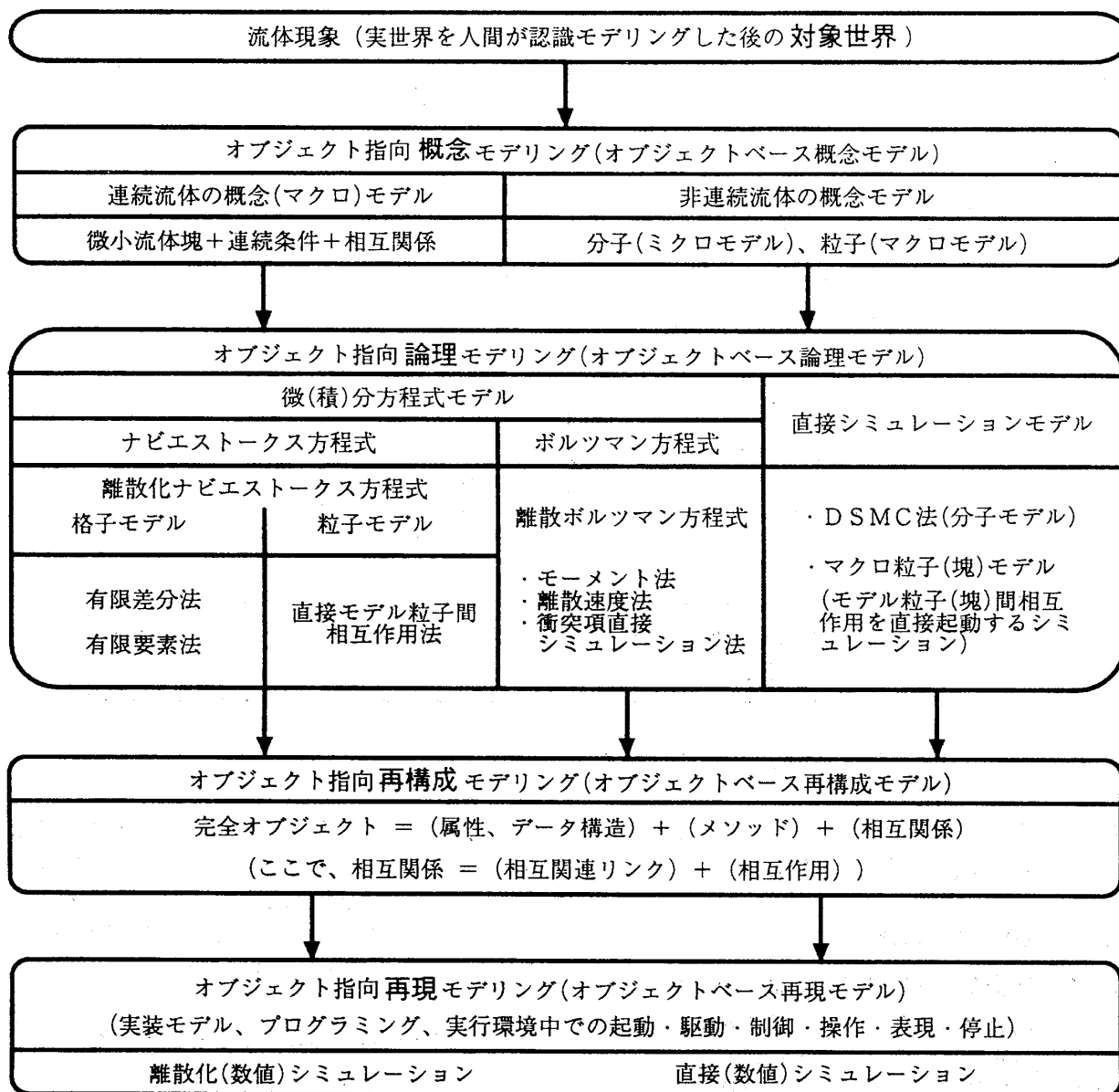


図4 流体現象 (連続流体と非連続流体) のオブジェクト指向一貫モデリング過程

が採られるが、これを行うためのオブジェクトとして平均巨視物理量オブジェクトが存在している。これらのオブジェクトを実際にオブジェクトベース上に作成し、メッセージを送ることでシミュレーションを行う。ただし、分子オブジェクトとセルオブジェクトは数が多いために、ディスク上にオブジェクトを保存せずに、メモリ上のみ置く様になっている。そのため、これらのオブジェクトは E-OSQL で操作することはできなくなっている。

オブジェクト間の関係は図3に記述されている。菱形の記号はオブジェクト間に集約の関係があることを示す。例として、風洞は分子やセルなどが集まってできていることを表している。また、三

角形の記号は継承関係を表しており、例として鏡面反射境界は境界の一種であることを表している。

これらはオブジェクトの静的な関係を表しているが、オブジェクト間には、動的な関係 (= 相互作用) も存在する。分子オブジェクトを例に挙げると、分子-分子、分子-境界間の相互作用などである。この動的な関係はメッセージのやりとりとしてモデル化される。ただし、モデルとしてはこれらの相互作用が全てその間のメッセージやりとりとするのが望ましくても、高速化のためなどに一括して管理することがある。例として、分子-分子、分子-境界間の相互作用は分子、境界と風洞間にリンクを張り、風洞オブジェクトが一括してこれらの相互作用の実行操作をするようにモ

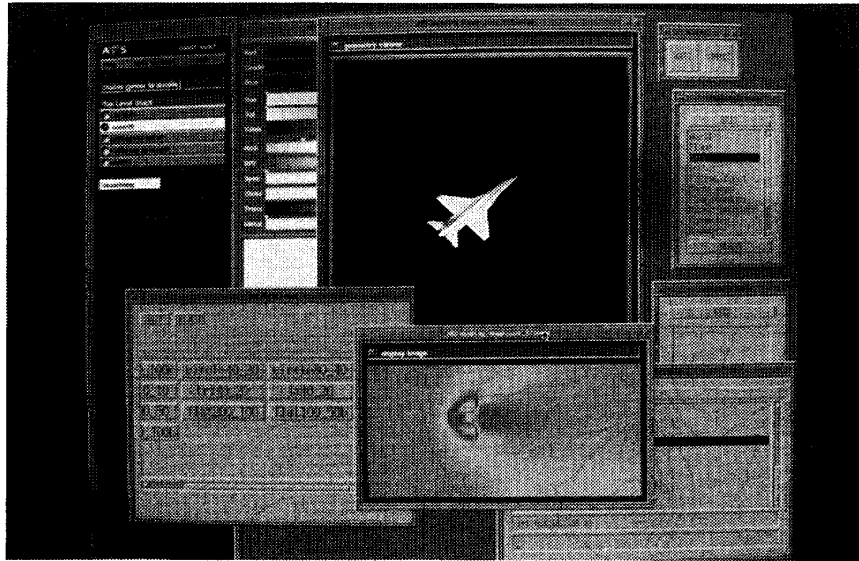


図5 オブジェクトベースシミュレーションの駆動場面

デル化されている。

3.5 数値風洞の駆動

オブジェクトベース機構では、オブジェクトベース内のオブジェクトにユーザが影響を及ぼすには、E-OSQLを用いてオブジェクトへメッセージを送ることで行う。そのためのクライアントプログラムがいくつか存在しているが、その一つとしてGUIベースのものが完成している [5][8]。これを用いて風洞を駆動させている様子を図5に示す。

実際に風洞を駆動して得られた結果の一つを図6に示す。あたりまえであるが、数値シミュレーション結果そのものは従来の手法のものと同まったく変わらず、実際に実験、他の方法による計算結果といずれも良く合致した結果を示した。

3.6 オブジェクトベースシミュレーションの特徴

現在までにオブジェクトベース数値風洞の駆動例の結果から次の様な結論が得られた。

1. 複雑な対象世界になればなるほど手続き型シミュレーションより有利になる。
手続きが複雑な場合は構造化手法を用いるが、

それと同様に、データ構造も複雑な場合、従来の手続き型ではなくオブジェクト指向的な手法が必要となる。例として本論文の風洞の場合、境界条件が異なる複数の境界が存在し、それらがまた集まって風洞内物体を構成するという構造を持っているが、これを従来の手法でモデル化するのは困難である。

2. 対象世界の構造や駆動の臨機な変更が任意かつ即座・動的に実現・再駆動開始可能になった。

これは駆動環境がデータベースの上で実現されておりオブジェクトにメッセージを送ることによってシミュレーションを行えるからである。例として風洞内に物体を追加・移動させるには、オブジェクトベースへオブジェクトを追加し、移動メッセージを送ることで行える。

3. オブジェクトが「モデルの枠内であるが」"物と同等なもの"して取り扱える様になった。

これは、オブジェクトのメソッドもOODBMS内に格納するようにすることで、外部からはデータと手続きが必ずまとまった物として扱わなければならないなくなったためである。

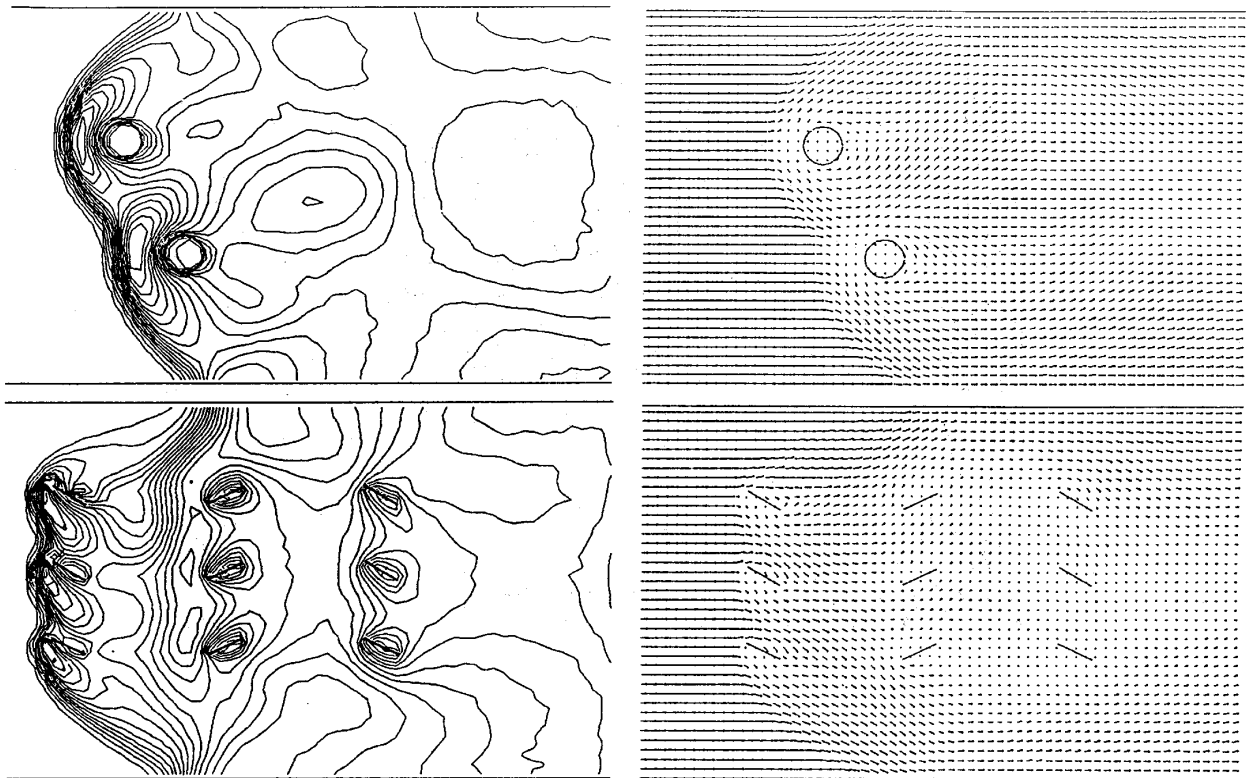


図6 数値風洞の駆動結果

4. 結論と今後の展望

実現及び駆動例としての数値風洞はオブジェクトベースの典型例として、「もの」らしく駆動させ、取り扱うことに成功したと考えている。今後はオブジェクトベース機構の精密化・高機能化・高効率化（現状では性能が良くない）を図りたい。また、対象世界の実装時のプログラミングの違和感を解消するオブジェクト直接生成支援環境の開発 [8]、及び別な方式でのオブジェクトベースの実現などを試みていきたい。

参考文献

- [1] 島山正行、金子 勇、「オブジェクトベース機構：オブジェクト指向一貫モデリング過程論に基づくシミュレーションの実現」、第17回情報処理学会プログラミング研究会、平成6年6月3日。
- [2] 所真理雄他編、「オブジェクト指向コンピューティング（岩波コンピュータサイエンスシリーズ）」、岩波書店、1993年11月。
- [3] J. ランボー他著、羽生田栄一監訳、「オブジェクト指向方法論 OMT - モデル化と設計」、トッパン、1992年7月。
- [4] 米沢明憲、柴山悦哉、「モデルと表現（岩波講座ソフトウェア科学17）」、岩波書店、1992年4月。
- [5] 島山正行、金子 勇、上原 均、「擬似オブジェクトベース機構に基づく数値シミュレーション」、第12回シミュレーションテクノロジーコンファレンス、シミュレーション学会、pp.317-320、1993年6月。
- [6] ONTOS SQL ガイド（ONTOS DB 2.1 日本語マニュアル）、日商エレクトロニクス（株）、1991年。
- [7] 島山正行、上原 均、「オブジェクトベース・シミュレーションの GUI 実行支援環境」、情報処理学会第51回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会、平成6年6月17日。
- [8] 加藤木和夫、島山正行、「オブジェクト指向シミュレーション・モデル記述の開発支援環境」、第98回情報処理学会ソフトウェア工学研究会研究報告、Vol.94, No.43, pp.9-16, 1994年5月25日。
- [9] 保原 充、大宮寺久明 編、「数値流体力学—基礎と応用」、東京大学出版会、1992年5月。