

# Web CFD インターネット・ブラウザを用いた空力解析システムの構築

Web CFD, Internet Browser Based System for the Aerodynamic Analysis

藤井孝蔵, 宇宙研, 〒229-8510 相模原市由野台 3-1-1, E-mail: fujii@flab.eng.isas.ac.jp  
宮路幸二, 横浜国大, 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5, E-mail: miyaji-k@ynu.ac.jp  
箕輪孝明, 横浜国大, 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5  
Kozo Fujii, ISAS, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara 229-8510  
Koji Miyaji, Yokohama National Univ., 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501  
Takaaki Minowa, Yokohama National Univ., 79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama 240-8501

This paper reports an aerodynamic numerical simulation system being developed at the ISAS. "Typical Problems" are defined based on the previous rocket-related simulations. Users can obtain simulation results simply by setting parameter called "Templates." The Internet World-Wide Web browser is used as an user-interface software because it is platform independent. All the simulation procedures are controlled and viewed within the browser. The use of the web browser and the related technique such as CGI and Java has an advantage that the system can be implemented both for a network environment where high performance server is available and for a stand-alone environment. The system is expected to provide useful and reliable tools for aerodynamic researchers or designers.

## 1. はじめに

数値流体力学 (CFD) は、近年ますます多くの問題に適用され、その有効性と信頼性が確立されつつある。航空宇宙分野における空力解析、設計問題においては既に不可欠な技術となっている。一方で CFD 解析を行うにはある程度数値シミュレーションに習熟する必要がある、シミュレーションを専門としない流体研究者が容易に利用できる環境は未だ整っていない。完成された流体解析プログラム (ソルバー) を使用する場合にも、計算格子生成、また、計算結果の妥当性の評価など後処理においても CFD の知識と経験を要する。従って信頼性の高いシステムとするためにはシミュレーション手順全体を統合することが望まれる。CFD システム化の試みはこれまでに数多く報告されているが<sup>1,2</sup>、計算機環境と計算手法の発達を活かした、より良いシステムが可能であると思われる。現在、構造解析の分野で実現されているようなレベルの汎用的システムとすることは困難であるが、問題をある程度限定することで CFD のシステム化の方法を考える。

本報告では宇宙研の空力解析問題への適用のために開発を進めてきた CFD システムについて報告する。ユーザーインターフェイスとして WWW ブラウザを用いており、システム利用者の計算機環境によらず利用可能なシステムとしている。宇宙研の計算機環境を念頭ににおいて、ネットワークで接続されたサーバー上で負荷の高い計算を行うことを前提に開発を始めたが、本システムはローカルな計算機上に全てを構築することもでき、宇宙研に限らず様々な環境において有効である。

## 2. システムの設計方針

Fig. 1 は一般的な CFD 解析手順を示す。一連の作業は、計算の前処理、すなわち計算格子を得るまでのプロセス、CFD 解析の実行部分、そして計算結果の後処理からなる。

本システムではこれまでに宇宙研で行われてきたロケット関連の CFD 解析の経験を生かし、これらユーザー作業の簡略化を図る。容易に利用でき、且つ信頼性の高いシステムとするために採った方針<sup>3,4</sup> について述べる。まず問題を大きく 2 つに分類する。利用頻度の多い問題を定型問題として、これにはテンプレートと呼ぶデータのセットを用意して、利用者はテンプレートを修正することでシミュレーションを可能にする。即ち、「解析のはじめから終わりまでをパラメータの変更のみで対応できる問題」が定型問題で

ある。パラメータとは、例えば、長さ、先端の半頂角、先端の曲率半径などロケットの形状定義パラメータを意味する。一方、予め想定した形状などからはずれた非定型の問題については、CFD 研究者が格子形成などを手伝いながらシミュレーションを行うことにする。但し別途に予め用意された格子を有効利用できるなど本システムの一部のみを利用できる環境は用意してある。

Fig. 2 に定型問題における CFD 解析の処理の流れを示す。Fig. 1 の手順に対して、ユーザーはナビゲータプログラムに従ってテンプレートに入力すれば良い。各ユーザー作業は

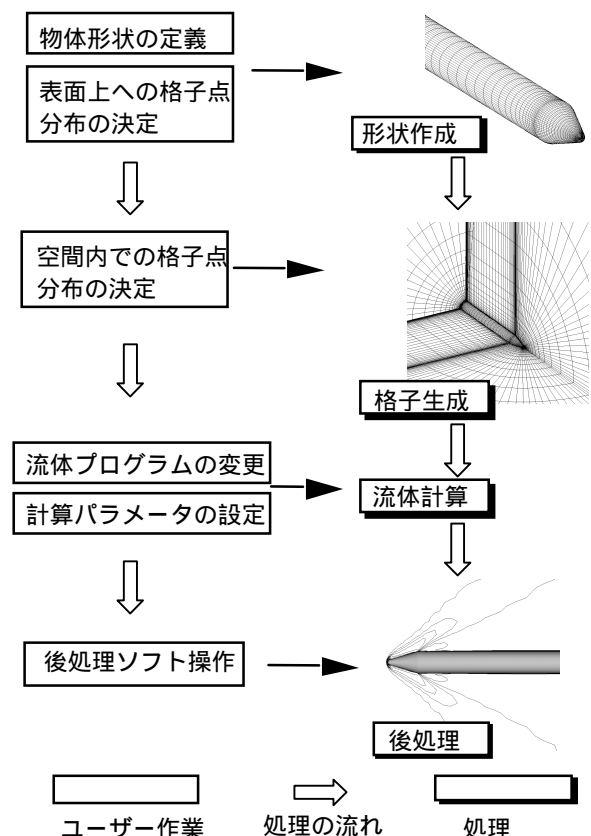


Fig. 1 General CFD process

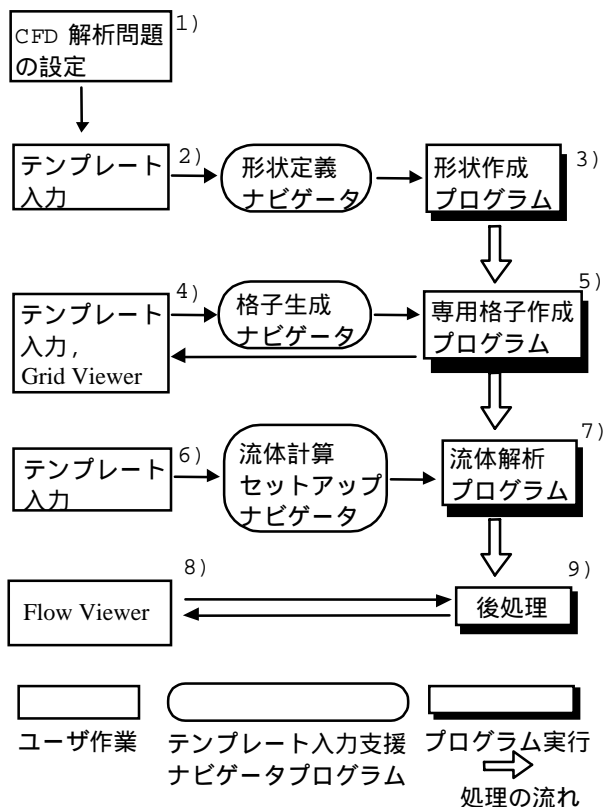


Fig. 2 CFD process for a "Typical problem"

以下の通りである。前処理において利用者は物体の表面形状に関するデータ、その他いくつかの必要なデータの入力のみを行い、実際の格子生成の作業は行わない。表面上格子点分布、空間内格子生成はどちらも自動格子生成プログラムが行う。次に、CFD 解析の実行においては問題毎のソルバーの修正を必要としないものとする。利用プログラムはこれまでさまざまな流れ場のシミュレーションに利用して信頼性が確立しているコードを利用する。もちろん必要に応じてソルバーの変更や新ソルバーの追加を行うことができる。また大型計算機上での計算（ジョブ）実行手続きについて、ジョブ投入を容易にする支援プログラムを用意する。結果の後処理では物体に作用する 6 分力、及び特徴的な格子線上の物理量分布を表示し、簡単な流れの可視化を本システム上で行えるようにする。

### 3. 定型問題の検討

本システムでは以下の 5 つの定型問題を定義する。

#### ロケット頭部

ロケット頭部と胴体周りの解析用で、ロケットノズル部、及び後流域は含めない。

#### ロケット全機周り

「ロケット頭部」にノズルを付加した形状の解析。ロケット後流まで含む。

#### カプセル頭部

カプセル前面での流れ解析。

#### カプセル全機周り

カプセル後流まで含めた解析。

#### ロケット全機周り+フランジ

実際のロケットには胴体に多くの微小部品が付属しており、全体の抵抗に大きく影響する。このような解析のために胴体のフランジを含めた解析を行えるようにする。

### 4. システムの構築・ハードウェア環境

CFD 解析は多くの計算機資源を必要とする。本システムは宇宙研の利用者が所内の大型計算機を利用することを想定している。Fig. 2 に示した利用形態を可能にするため、そして利用者側計算機からの大型計算機の利用を容易にするために、ユーザーインターフェイスとして WWW ブラウザを用いる。利用者の計算機（パソコンなど）から、Web サーバー（ワークステーション）にアクセスし、大型計算機（スーパーコンピュータまたは高速演算サーバ）へのジョブ投入を行う。Fig. 3 に本システムで想定する計算機環境を示す。Fig. 2 との対応を示しながら、各計算機の役割、及びそこで必要となるネットワーク関連技術について述べる。

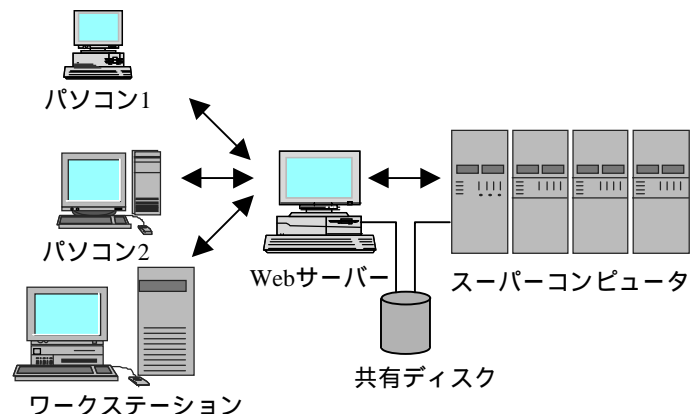


Fig. 3 Hardware and network environment for the system

#### HTML

利用者は端末（パソコン、ワークステーションなど）のブラウザから Web サーバー上の HTML ファイルにアクセスする。従って、利用者側の計算機環境によらずシステムを利用することができ、また利用者に特別な計算機資源を要求しない。HTML ファイルは下記のプログラム群を結びつける役割を持つ。

#### CGI

CGI (Common Gateway Interface) はブラウザから入力された利用者の要求を Web サーバーが処理するためのプログラムであり、Perl 言語を用いて記述している。Web サーバーには UNIX (Linux を含む) マシンを用いている。CGI はファイル入出力、格子生成プログラムの実行、CFD 解析の実行のために大型計算機へのジョブの投入などを行う。ここで格子生成プログラム、CFD 解析プログラムは従来蓄積されてきた FORTRAN プログラム群である。実際に実行するマシン上で予めコンパイルしておき、実行ファイル名を Perl プログラムからシェルに渡すコマンドとして指定するだけである。従って、本システムに組み込むために FORTRAN プログラムを変更する必要は無く、従来のプログラムをモジュールとして容易に、有機的に組み合わせることができる。

#### Java アプレット

計算格子の確認と計算結果の可視化のために Java アプレットを用いている。Java を用いることにより、視点を変える、等高線の表示関数を変えるなどのインタラクティブな操作が可能となる。一方、サーバーから利用者端末への可視化データの転送が必要なこと、また、利用者の端末に演算負荷をかけるという欠点を持つ。他の可視化実現方法として Web サーバー上で可視化ソフトを起動し、画像を JPEG、あるいは VRML などのフォーマットでファイルに保存した

ものをブラウザで表示する方法も考えられるが、インタラクティブな操作性を重視した。なお可視化データの転送は Web サーバーが行うので、シミュレーションを行う大型計算機と Web サーバーに共有されたハードディスクが必要となる。

以上、ネットワークを介して必要なデータのやり取りを行うことによりシミュレーションに必要な作業すべてをブラウザ内から行うことができる。尚、Fig. 3 ではネットワーク接続された Web サーバー、更に大型計算機の利用を想定しているが、最近のパソコンの高性能化は著しく、かつての大型計算機とグラフィクス・ワークステーションの性能を備えているので、小規模なシミュレーションであれば全ての処理をパソコン上で行うことができる。この場合には利用者のパソコンが Web サーバーと演算サーバーを兼ねることとなり、一台の計算機上にシステムの全てを置く。CGI の処理のためにローカルマシンで Web サーバー・プログラム (httpd) を起動しておく必要があり、FORTRAN 格子生成、及びソルバーをコンパイルして実行ファイルをローカル・ディスク上に持っておく必要があるが、利用者にとっての違いはない。

## 5. システムで用いるプログラム群

システムの基本ソルバーとして物体適合座標利用の構造格子法コード LANS3D、及びその重合格子版を用いる。コードは三次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式を、対流項は Roe スキームに MUSCL を組み込んだもの、また粘性項は中心差分により離散化し、時間積分に LU-ADI を用いたものである。

格子生成法の概略を述べる。現在定型問題は軸対称形状のみなので、二次元格子生成法で対応できる。物体に沿う方向の分布には格子点数と両端の格子幅を指定する一次元分布関数<sup>5</sup>を用いて滑らかに分布させる。計算外部境界はマッハ数から、亜音速、遷音速、超音速に分類してその位置を決める。空間内の格子分布は基本的に代数型を用い、「ロケット全機」定型問題の場合のみ楕円型形成法によりロケットノズル付近の格子点分布の平滑化を図っている。

## 6. 解析例と解析手順

以下で実際の解析手順とそれに沿ったシステム内部の処理を示す。解析対象として宇宙研の M-V ロケット形状を用いる。

### 定型問題選択

スタートページでロケット関連、カプセル関連のうち、ロケット関連問題を選択する。更に、以下の格子生成、CFD 解析でロケット全機形状定型問題 (Whole Rocket Configuration) を選択する (Fig. 4 のメイン作業領域)。

### 格子生成

必要な数値をブラウザから Fig. 5 に示すフォームに入力する。形状定義パラメータの意味はオンラインヘルプで確認することができる。計算外部境界位置、物体面からの最小格子幅を決定するために、マッハ数、レイノルズ数といった流れのパラメータも入力する。CFD 研究者にとって馴染みの深いこれら「無次元パラメータ」の入力だけでなく、速度と高度を指定する「実機パラメータ」、また、貯気槽状態とテスト・セクション・マッハ数を指定する「風洞試験パラメータ」による入力も可能である。

フォーム入力後に「OK」ボタンをクリックすると、CGI が起動されて入力されたパラメータが Web サーバーのディスクに書きこまれる。続いて格子生成実行モジュールが起

動され、パラメータファイルを読み込んで格子生成、格子データのディスクへの出力を行う。

Fig. 4 の領域 から Grid viewer を選択することにより Java アプレットを読みこみ、Fig. 6 に示すように物体形状、空間内の格子線を確認することができる。

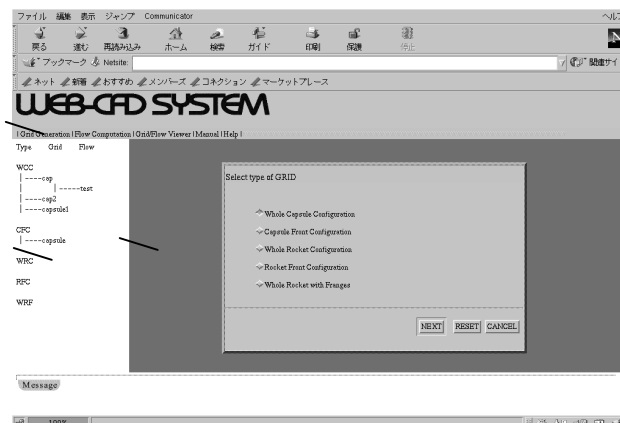


Fig. 4 A menu to select the "Typical problem"

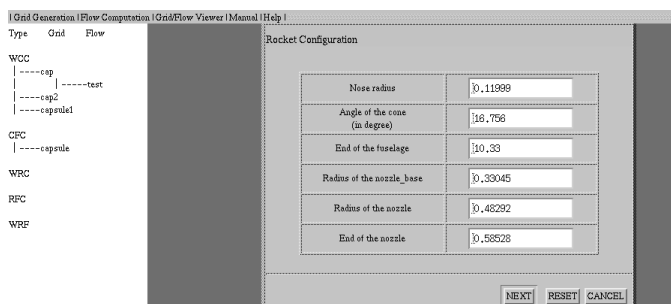


Fig. 5 A template for whole rocket configuration

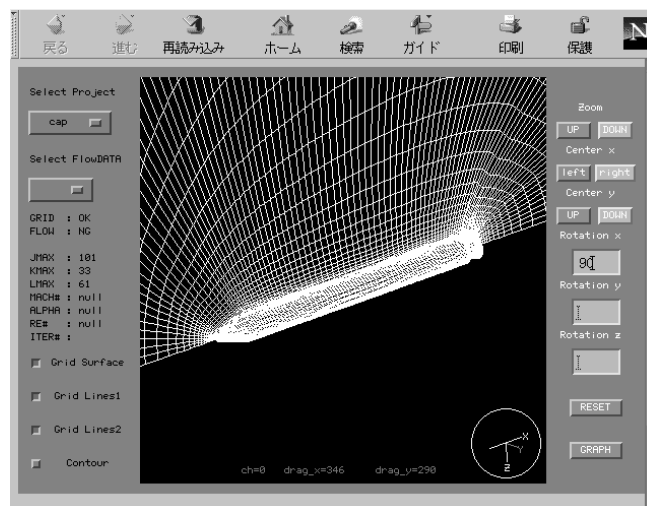


Fig. 6 Applet grid previewer

### CFD 解析実行

流れ条件、計算繰り返し回数、出力ファイル名などのフォームへの入力手順は格子生成と同様である。「OK」ボタンをクリックすることにより、CFD 解析プログラムが実行される。演算サーバーが Web サーバーと異なる場合はリモートシェルでジョブを投入し、一台の計算機が両者を兼ねる場合はバックグラウンドでジョブが実行される。現時点では宇宙研の VPP800/12 をシステムに組み込んだものは実

現していないが、VPP のジョブ管理プログラム NQS に対してリモートシェル、セキュアシェルなどで要求を発行することを考えている。

CFD 解析プログラムの実行には長時間を要するのでジョブの実行状況を確認できることが必要である。ジョブを投入すると Fig. 4 の領域 に計算結果出力ファイル名が表示されるので、このファイル名をクリックすることにより、現在の計算繰り返し回数（指定回数毎にファイル出力したものを読みこんで表示）ジョブ終了までの予想時間が Fig. 7 にのように確認できる。ここで「Delete」ボタンを選択すれば実行中のジョブ（プロセス）を強制終了する。また、「Graph」を選択することにより、横軸を繰り返し回数、縦軸に残差、CL、CD をとったプロットが表示され、実行中ジョブの収束の程度を確認することができる（Fig. 8）。このために Web サーバーにプロッター（ここでは gnuplot を用いている）をインストールしておき、プロットを画像ファイルとしてディスクに保存する。



Fig. 7 Job status menu

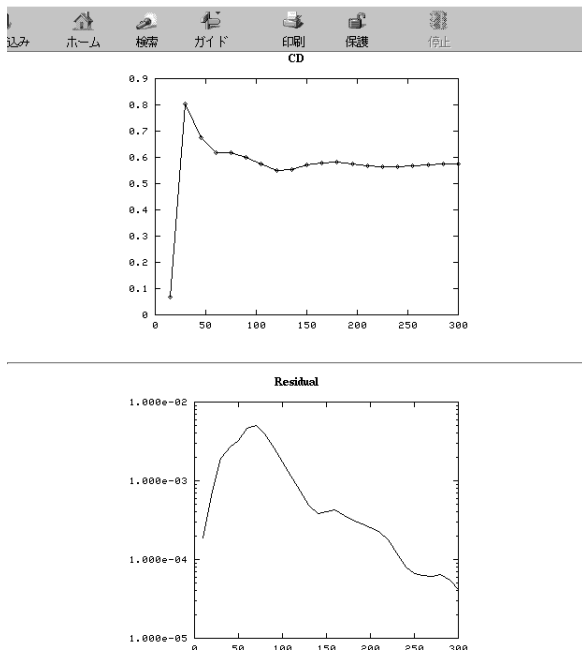


Fig. 8 Aerodynamic forces and residual histories

## 後処理

計算結果として空力係数、物体面上圧力分布（プロット）の表示と簡単な流れの可視化（等高線表示）を行うことが

できる。圧力分布のプロットには、残差プロット同様の方法をとる。流れの可視化には計算格子の確認と同様の Java アプレットを用いる（Fig. 9）。Web サーバーから転送するデータは可視化のために必要最小のデータ（物体面上の格子点座標値と、等高線を表示する面の格子点座標値及び物理量値）のみとしている。Java アプレットはインタラクティブな操作を可能にすると同時に、利用者側マシンに負荷をかけるので、可視化アプレットは計算が適正に行われたことの確認のために用い、より詳細な流れの検討は利用者自身で「POST 君」などの専用ソフトを用いることとする。

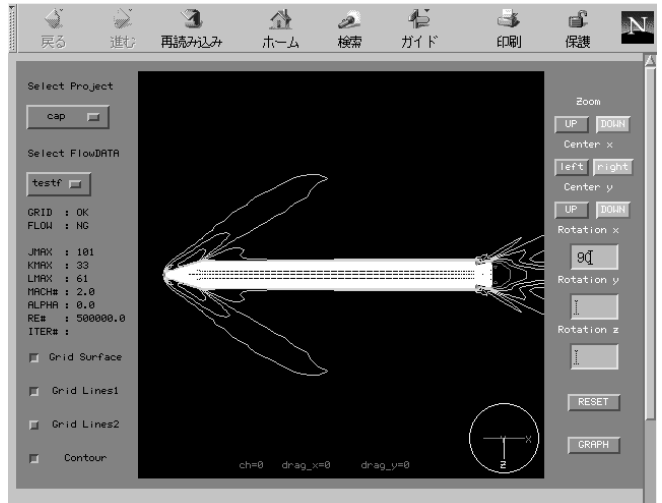


Fig. 9 Applet flow previewer

## その他

### ・エラー処理

ジョブが正常に終了しなかった場合は、Fig. 7 のモニター領域で標準エラー出力を確認することができる。想定されるエラーに対しては、例えば CFL 数を小さくするなどの対処法をオンライン・マニュアルなどに示す予定である。

### ・ファイルの削除

不要なデータファイルは Fig. 4 の リストからファイル名をクリックし、Fig. 7 で「Delete」を選択することにより削除することができる。

## 非定型問題

非定型問題については宇宙研の CFD 研究者と協力して解析を行う。例えば、システムを利用せずに何らかの手段で計算格子が準備された場合、Web サーバーへ格子ファイルのアップロードをすることができ、CFD 解析以降の処理をこのシステムを用いて行う。

## 7. おわりに

開発中の CFD システムの概要を説明した。本システムは以下の特徴を持つ。

- ・定型問題についてはパラメータの入力のみで対応できる。
- ・ユーザーインターフェイスに Web ブラウザを用いており、全ての処理をブラウザ内で行うことができる。
- ・ネットワーク、スタンドアロンどちらにもシステム構築が可能。演算サーバーを利用する場合は、利用者側の計算機資源をほとんど要求しない。
- ・過去に蓄積されたプログラムは独立性を保っており、容易にシステムに組み込める。

技術的な問題点はほぼ克服されており、今後実際の運用に向けて、定型問題の拡充、格子生成プログラムの改良を行っていききたい。

#### 参考文献

- (1) 神谷信彦, 藤井孝蔵, 高梨進, 松野謙一, 石黒登美子, "数値解析を用いた航空機空力設計システム," 昭和 59 年度科研非シンポジウム講演集, pp. 1-15, 1985.
- (2) Frink, N. T., Pirzadeh, S. and Parikh, P. C., "An Unstructured Grid Software System for Solving Complex Aerodynamic Problems," Workshop on Surface Modeling, Grid Generation, and Related Issues in CFD, May, 1995, in NASA CP-3291, pp. 289-308.
- (3) 宮路幸二, 藤井孝蔵, "ロケット設計用 CFD システムの試作," 第 3 回日本計算工学会講演会講演集 Vol. 3, 1998.
- (4) 藤井孝蔵, 宮路幸二, "CFD システム化の試み," 第 11 回計算力学講演会講演論文集 pp. 283-284, 1998.
- (5) 数値流体力学編集委員会編, "格子形成法とコンピュータグラフィクス," 東京大学出版会, 1995.