

## 航技研角田センターにおける数値宇宙エンジンの開発

長谷川進\*、須浪徹治\*、高橋政浩\*、望月宗和\*、谷香一郎\*、  
佐藤茂\*、伊藤勝宏\*、宮島博\*

Development of the NumericalSpace Engine  
in NAL-Kakuda Research Center

Susumu Hasegawa, Tetsuji Sunami, Masahiro Takahashi, Munekazu Mochizuki,  
Kouichirou Tani, Shigeru Sato, Katsuhiko Itoh, Hiroshi Miyajima

### Abstract

To accelerate the research of advanced space engines, such as scramjet engine and reusable rocket engine, synergistic operation between experiment and computation is indispensable. To enhance the synergistic operation, a numerical space engine (NSE) has been developed in National Aerospace Laboratory, Kakuda Research Center. The main feature of the NSE system is described in this paper.

#### 1. 緒言

スクラムジェットエンジンや再使用型ロケットエンジン等の先進的宇宙エンジンを開発するためには、実験と計算科学の効果的な相互協力が必要である。航空宇宙技術研究所角田宇宙推進技術研究センター(NAL-KRC)では、ラムジェット試験設備、高温衝撃風洞等の大型試験設備による風洞実験に加え、数値宇宙エンジン(NSE)を開発している[1]。NSEの開発により、以上のような大型実験設備による研究開発がより促進されることが期待される。ここで、数値宇宙エンジンとは、スーパーコンピュータ、および各種サーバーからなるシステム上に構成される仮想エンジン試験台である。NSEは、単なる計算機能にとどまらず、高度な周辺機能を実現することでエンジンの研究開発を支援するための、柔軟で創造的な計算ツールとなることを目標としている。その結果、風洞実験に業務している実験研究者が容易にシミュレーションを行える環境を提供する。

#### 2. 数値宇宙エンジン

数値宇宙エンジンは、ソフトウェア、ミドルウェア、ハードウェア、およびデータから構成される。ここで、ソフトウェアとは、航研角田で開発されたCFDコード、および商用汎用ソフトである。商用汎用ソフトには、格子生成ソフト(ICEM/CFD, Gridgen)、後処理用ソフト(FieldView, AVS)、構造解析ソフト(FEM, MARC)、流体解析ソフト( $\alpha$ -FLOW)、等がある。ミドルウェアはSPINeware [2]、RVSLib [3]である。また、ハードウェア構成は、次のようになっている。

構成： NEC SX4/25cpu、  
ビデオデータベースサーバー、後処理用グラフィックサーバ、CADサーバー、EWS端末  
ネットワーク： ATM (155Mbps)、  
HIPPI (800Mbps)

性能 (NEC SX4/25cpu) :

共有メモリ型ベクトル並列マシン  
最大演算処理能力 50GFLOPS  
主記憶容量 8GB  
拡張記憶容量 8GB  
高速ディスクアレイ装置 400GB  
カートリッジMT装置 800GB

\*航空宇宙技術研究所  
角田宇宙推進技術研究センター

本システムでは、高速ディスクアレイ装置と後処理利用グラフィックサーバがHIPPIで、ビデオデータベースサーバ、後処理用グラフィックサーバ、CADサーバ、EWS 端末が ATM で接続されており、高速にデータの送信が出来る。また、ミドルウェア SPINEware を用いて、ネットワーク上の異機種分散

環境を統合している。さらに、実時間可視化とステアリングのためのライブラリ RVSLib、ビデオ・オン・デマンド・システム HyperMS などの画像を中心としたシミュレーション環境を、各研究室の EWS 端末から利用できる。次に、数値宇宙エンジンの特徴的な事項について述べていく。



図1. 異機種分散環境統合ミドルウェア SPINEware を用いて構築された数値宇宙エンジンの GUI 環境を示す。

### 3. メタコンピューティング

オブジェクト指向技術を用いたミドルウェア SPINEware の利用により異機種分散環境を統合する。これにより、ユーザーがネットワーク上に存在する異なる種類の計算機群を意識する必要のない、仮想的なシングルシステムイメージをつくり GUI 環境を実現する。図1に、数値宇宙エンジンのウィンドウを示す。右下のウィンドウは、数値宇宙エンジンの環境を表わしている。スーパーコンピュータ、および各種サーバが仮想的なディレクトリとして表示されている。ここでは、リモート処

理 (rsh, ftp, telnet) を隠蔽しており、ログインの際には、アイコンをクリックするだけでよい。さらに、アプリケーション・ディレクトリ、ソルバ・ディレクトリ、ソルバへの入力ファイルを指定するファイル (供試体: testobj) のディレクトリがアイコン化されている。また、右上のウィンドウは、アプリケーション・ディレクトリの内容であり、各種のアプリケーションがアイコン化されている。これらのアプリケーションは各種サーバにインストールされているが、ユーザーはそれを意識することなく使うことができる。左上のウイ



ンドウはソルバへの入力ファイルを指定するファイルの内容であり、ファイルは各種の供試体を示す。左下のウィンドウはソルバ・ディレクトリの内容であり、各種のソルバ（試験台）がアイコン化されている。SPINEwareにより、アイコンのドラッグ&ドロップ操作により、計算の実行、およびアプリケーションソフトの起動等が可能になる。さらには、プラットフォームを統一することによ

り、データ、プログラムへのアクセスの向上をはかることができる。また、ソフトウェアの共同開発のためのドキュメント、バージョン管理をすることもできる。これらにより、シミュレーションの専門家以外にも容易に使えるようになった。また、シミュレーションの専門家にとっても、開発、および共同作業の効率向上が期待できる。

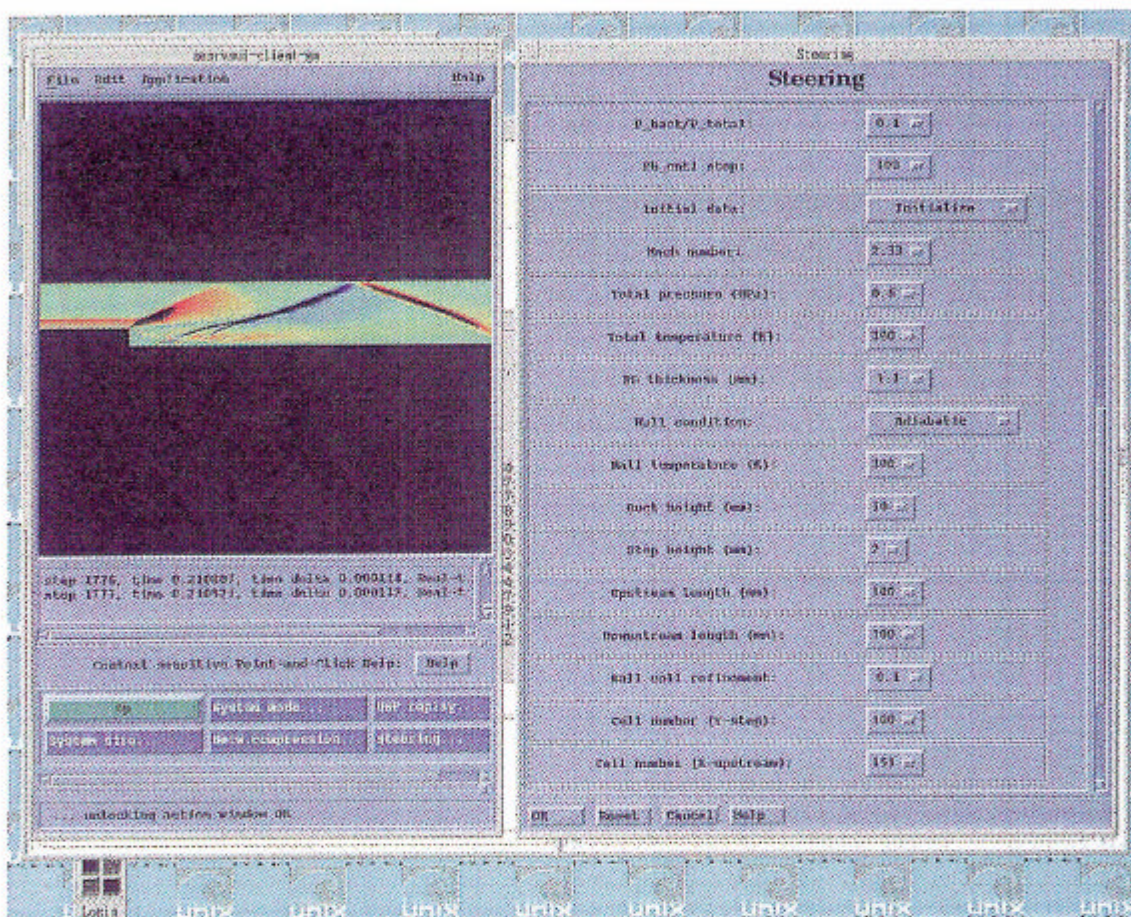


図2. RVSlibのクライアント・ウィンドウを表示する。計算結果の実時間可視化を左パネルに示す。右パネルは、ステアリングのメニューを表わしている。

#### 4. リアルタイム可視化とステアリング

数値実験としてのシミュレーション機能の拡張により、従来のバッチ処理型のシミュレーションではなく計算の過程を、あたかも目で見える様にリアルタイムに可視化し、必要に応じて人間が介入して計算を制御出来る（ステアリング）機能をRVSlibにより実現する。よって、流体計算等の途中結果を任意の視点で任意の物理量（圧力、流速等）について3次元画像化して表示することができ

る。またステアリング機能の追加により計算の途中で境界条件等を自由に制御可能となった。これにより、あたかも実際の風洞実験を観測、制御しているような感覚でシミュレーション画になる。さらに、動画ベースの解析コードのデバッグ、動画による計算結果の保存も可能になった。よって、時間の進行が遅い3次元の大規模シミュレーションにおいても、画像を動画として保存するためのツールとしてRVSlibは利用可能である。図2の左

パネルは、計算結果をRVSlibにより実時間で表示している。ここでは、超音速ダクト内のバックステップ周りの流れのシュリーレン図を表示している。右パネルは、ステアリングのメニューを表わしている。

#### 5. 数値宇宙エンジンにおけるGUI操作とコンピュータプロセス

数値宇宙エンジンにおいては前述の分散環境統合ミドルウェアSPINEwareとリアルタイム可視化とステアリングのためのライブラリRVSlibを組み合わせて使用する。よって、数値宇宙エンジンでは、インタラクティブ・ジョブを投入し計算を開始する。その手順を以下で説明する。

(1) ソルバへの入力ファイルを指定するファイル群(testobj, 供試体)の中から実行したいアイコンをクリックして、それをソルバ・ディレクトリのアイコンへドロップする。その際、入力アイコンと

ソルバ・アイコンの属性が一致する時のみジョブが投入される。

(2) RVSlibのクライアント・パネルが起動され、ソルバに対応するRVSlibの設定ファイルを指定すると計算を実行するための設定が完了する。

(3) RVSlibのステアリング・パネルからジョブのパラメータを選択し、計算を開始する。

以上のように、GUI操作によってパラメータの選択から実行までが可能である。図3に、ユーザーがジョブの投入までに行う作業のイメージを示す。

上記の作業(1)-(3)を行うために実行されるコンピュータのプロセスは、データの転送、ジョブの投入、画像データの作成・転送、ユーザのEWS上への画像表示等である。これらの組み合わせられた複雑なプロセスを数値宇宙エンジンでは、SPINEwareを用いることにより隠蔽しており、ユーザーはGUI操作のみで計算の実行ができる。

#### Window Process

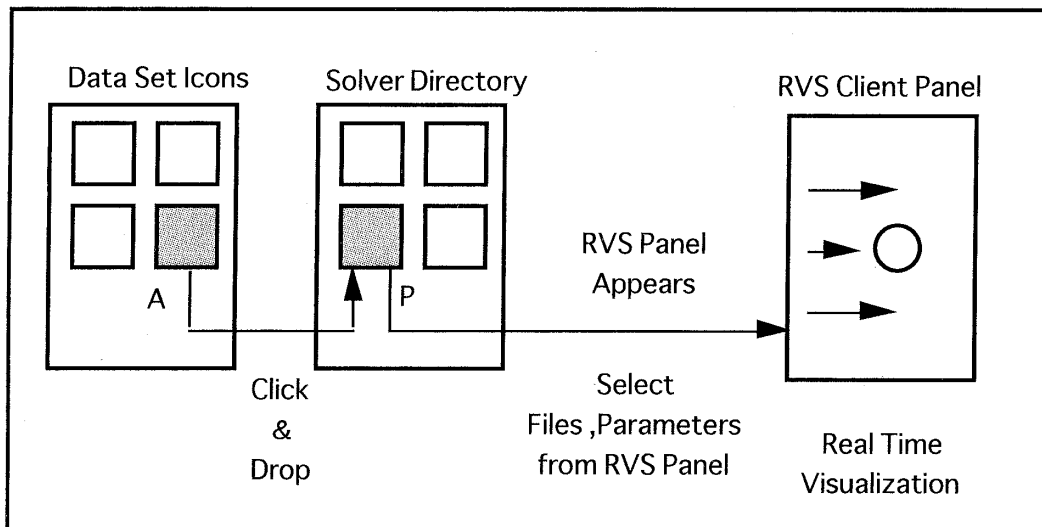


図3. ユーザーが数値宇宙エンジンを利用して計算を実行する際のGUI操作のイメージ図を示す。

次に、ユーザーが数値宇宙エンジンを利用して計算を実行する際に隠蔽されているコマンド実行のフローを以下で記述する。図4において、ユーザーEWS端末、NEC UP4800/610 (SPINEwareサーバー)、スーパーコンピュータNEC SX4 (メインサーバー、RVSlibサーバー)、SGI ONYX2 (RVSlibクライアント) が示されている。また、図4の(1)-(8)はコマンド実行のフローを示しており計算

を実行する際には、(1)から(8)まで、順にコマンドが実行される。次に、コマンド(1)-(8)の内容について記述する。

- (1)mwmメニューから「数値宇宙エンジン」を選ぶ。  
→NEC UP4800/610にrshを実行させる。
- (2)vtbの画面表示。
- (3)vtbの画面上でドラッグ&ドロップにより、ジョ

ブの実行。

- (4) rshでSX4上のソルバ実行シェルを起動する。  
→ソルバが起動される。(ホスト側)
- (5) rshでSGI ONYX2上のRVSクライアントを起動する。  
→RVSが起動される。(クライアント側)
- (6) SX4とSGI ONYX2間でRVSによる通信開始。
- (7) 実行結果をEWSの画面上に表示させる。
- (8) ステアリングを行う。

図4に示したとおり、SPINeware Serverを中継してNEC SX4, SGI ONYXに各種の設定ファイルが送られる。また、一旦計算がはじまるとユーザーは、図4の(6)-(8)のフローでステアリング、およびリアルタイム可視化を利用する。このように、コマンドのフロー図、および計算機上のプロセスも複雑であるが、図3に示したとおりユーザーの行う操作は非常に簡単であり、シミュレーションの専門家以外にも容易に行なえるものである。

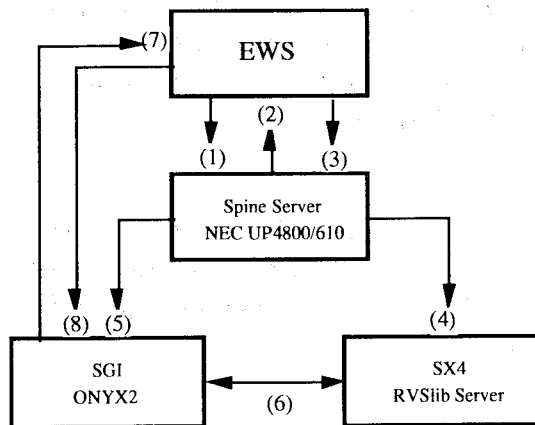


図4. 数値宇宙エンジンにおけるコマンド実行のフロー図。

#### 6. ビデオ・オン・デマンド(VOD)

VODシステムHYPER-MSを採用することにより、計算結果の数値データを磁気ディスクに格納する代わりに、ビデオ画像化して保存する。しかもそのデータはいつでも容易に検索し即時に表示できるものとする。HYPER-MSによりRVSLIBの作る画像をMPEG2圧縮して保存し、後から即時に再生して見ることが可能となった。パラメトリック

スタディにおいては多数のケースを計算して最適解を求める必要がある。ディスク容量の制約を考えると、大規模計算の際に出力される膨大な数値データを保存せずに画像のみで結果のチェックを行い必要に応じて再計算できる。

図5に数値宇宙エンジンのデータの流れを示す。RVSLibによってトラッキングされた動画は、まずRVSフォーマットによってファイルに保存される。次にその動画を再生しデータベース化しておきたい場合はMPEG2に変換することにより、自動的にHYPER-MSに保存され登録される。よって、ユーザーはEWSよりATMネットワークを用いて所内のどこからでもデータベースを利用できる。

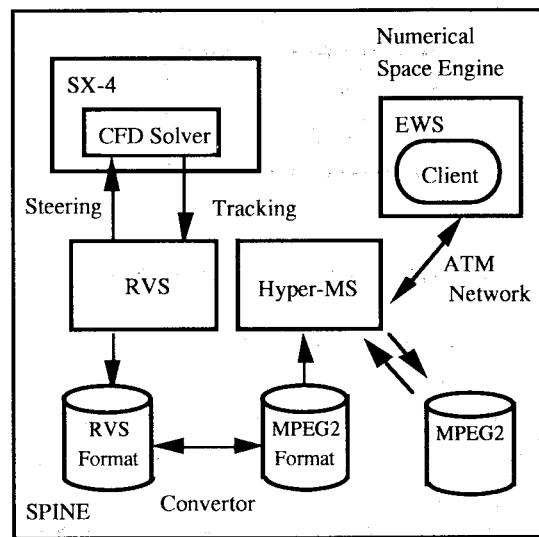


図5. 数値宇宙エンジンにおけるデータのフロー図

#### 7. 格子生成

数値流体力学において、最もユーザーの負担となるものの一つに格子生成がある。その作業を効率的かつ容易にするために、数値宇宙エンジンでは各種格子生成ソフト(ICEM/CFD, Gridgen)が使える。この作業は、専門家にとっても時間のかかるものである。格子生成ソフトの機能を使い、困難な作業をカプセル化することにより自動化していくことが必要である。図6に、ICEM/CFDを用いた格子生成の流れを示す。



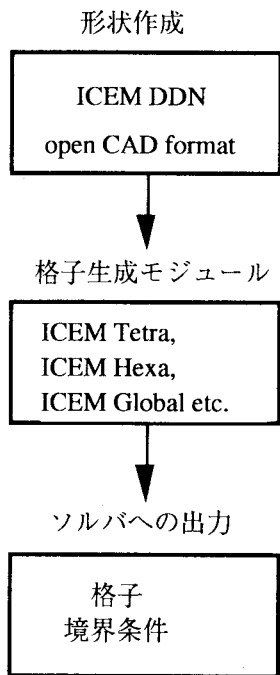


図6. ICEM/CFD を用いた格子生成の流れ

#### 8. 結言、および今後の課題

以上、述べたように数値宇宙エンジンは「高度な計算を手軽にできるスーパーコンピュータ」を目標として開発されている。さらに使いやすくするためには、前処理における形状、格子生成を効率化する必要がある。さらに、エンジン性能解析用のツールを作成する。それによって、ユーザーが計算の1次データからエンジン解析に必要な2次データを容易に求めることができるようにする必要がある。

現在、2次元流れにおいてはリアルタイム可視化およびステアリングの機能を生かした研究がなされており、計算結果と実験との比較検討が行われている。スクラムジェットエンジン内の流れを

解明するためには、3次元の乱流、さらには乱流燃焼等の現象解明が不可欠である。それらの研究にリアルタイム可視化およびステアリングの機能を生かすためには、現在のスーパーコンピュータの能力では不可能であり、今後のさらなる性能向上が求められる。

計算機性能の向上とともに数値宇宙エンジンは、上述の課題を解決し、前処理（格子生成）から後処理（データ解析）までの一連の作業を統合的に効率化し「エンジンの設計ツール」とすることを目標としている。

#### 参考文献

- [1] Doi, S. (1997) Virtual Test Bed for Space Engine Simulation- A Case Study of Metacomputing System Integration. in the 8th NEC Research Symposium (Berlin).
- [2] Baalbergen, E.H. and Loeve W. (1994) SPINE: Software Platform for Computer Supported Cooperative Work in Heterogeneous Computer and Software Environments, NLR TP 94359, National Aerospace Laboratory, Amsterdam, Netherland.
- [3] リアルタイム可視化システムRVSlib利用の手引、NEC Corporation

#### 謝辞

これらの研究は、日本電気株式会社と共同で行われた。峯尾真一氏、土肥俊氏、高原宏志氏、伊藤一憲氏をはじめとする共同研究者の皆様に感謝します。