

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

## 数値宇宙エンジン後継機の導入

2004年3月

宇宙航空研究開発機構

宇宙航空研究開発機構研究開発資料  
JAXA Research and Development Memorandum

数値宇宙エンジン後継機の導入  
The Replacement of Numerical Space Engine

佐藤 茂、木村 俊哉、高橋 政浩、望月 宗和  
Shigeru SATO , Toshiya KIMURA , Masahiro TAKAHASHI , Munekazu MOCHIZUKI

総合技術研究本部 宇宙推進技術共同センター  
Space Propulsion Research Center  
Institute of Space Technology and Aeronautics

2004 年 3 月  
March 2004

宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency



# 数値宇宙エンジン後継機の導入\*

佐藤茂\*<sup>1</sup>、木村俊哉\*<sup>1</sup>、高橋政浩\*<sup>1</sup>、望月宗和\*<sup>1</sup>

## The Replacement of Numerical Space Engine\*

Shigeru SATO\*<sup>1</sup>, Toshiya KIMURA\*<sup>1</sup>, Masahiro TAKAHASHI\*<sup>1</sup>,  
Munekazu MOCHIZUKI\*<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Accelerating research and development work on advanced space engines, such as scramjet engines and reusable rocket engines, requires cooperation in experiments and calculations. In addition to the existing large scale experimental facilities at the Kakuda Space Propulsion Laboratory, such as the Ramjet Engine Test Facility (RJTF) and High Enthalpy Shock Tunnel (HIEST), a new super computing system was introduced in March of 1997. The system is a numerical simulator for space propulsion engines, dubbed the "Numerical Space Engine" (NSE). The NSE system employs the new concept of a virtual engine test bed allowing researchers to simulate easily a virtual space engine exactly like in an engine test bed. This is made possible by new computational technology such as real-time visualization, steering, and multimedia technologies. The NSE system was replaced in March 2002 with an NEC SX6/64CPU. This paper provides an overview of the replaced Numerical Space Engine.

Key words: space propulsion, numerical simulation, supercomputing, scramjet engine, reusable rocket engine, virtual engine test bed

---

\* 平成16年1月13日 受付 (received 13 January, 2004)

\*<sup>1</sup> 総合技術研究本部 宇宙推進技術共同センター

(Space Propulsion Research Center, Institute of Space Technology and Aeronautics)

## 数値宇宙エンジン後継機導入班組織

## 1、平成11年12月27日現在

班長・・・・・・・・・・◎宮島 博（センター長）、○鎮西信夫（企画調整室長）  
技術参与・・・・・・・・・・ラムジェット推進研究部長、ロケット推進研究部長、  
両部室長、本所福田正大、東北大学中橋和博  
基本計画・・・・・・・・・・◎石垣 博（数値宇宙エンジングループリーダー）、  
○佐藤 茂、高橋政浩  
数値宇宙エンジン本体・・・◎須浪徹治、○伊藤勝宏、植田修一、高橋政浩、望月宗和、  
谷 香一郎、丹野英幸、長谷川 進、小野寺卓郎、  
富田健夫、小林 完、小寺正敏  
検証支援画面等設計・・・・◎谷 香一郎、○須浪徹治、齋藤俊仁、加藤周徳、須藤孝幸  
性能評価・・・・・・・・・・◎高橋政浩、○伊藤勝宏、須浪徹治、長谷川 進、小寺正敏  
高速LAN・・・・・・・・・・◎谷 香一郎  
建屋・付帯設備・・・・・・・・◎黒田英夫（技術業務課長）、○竹花秀一、望月宗和  
事務局・・・・・・・・・・◎佐藤 茂、○望月宗和、長谷川 進、谷 香一郎

◎：責任者、○：責任者代理

## 2、平成13年4月1日現在及び平成14年3月25日導入時現在

班長・・・・・・・・・・◎冠 昭夫（所長）、○毛呂明夫（企画調整室長）  
技術参与・・・・・・・・・・ラムジェット推進研究センター長、  
ロケット推進研究センター長、  
両センターグループリーダー、本所中村絹代、  
東北大学中橋和博  
基本計画・・・・・・・・・・◎木村俊哉、○高橋政浩、佐藤 茂  
数値宇宙エンジン本体・・・◎木村俊哉、○高橋政浩、伊藤勝宏、植田修一、森谷信一、  
佐藤正喜、望月宗和、谷 香一郎、丹野英幸、長谷川 進、  
須浪徹治、小野寺卓郎、富田健夫、小林 完、小寺正敏  
検証支援画面等設計・・・・◎長谷川 進、○須浪徹治、齋藤俊仁、須藤孝幸、  
谷 香一郎、加藤周徳  
性能評価・・・・・・・・・・◎高橋政浩、○木村俊哉、伊藤勝宏、須浪徹治、長谷川 進、  
小寺正敏  
高速LAN・・・・・・・・・・◎望月宗和  
建屋・付帯設備・・・・・・・・◎岡田常夫（管理課長）、○上野智康、望月宗和  
事務局・・・・・・・・・・◎佐藤 茂、○望月宗和、谷 香一郎、長谷川 進、  
岡田常夫（管理課長）、高松（会計係長）

◎：責任者、○：責任者代理



## 第1章 前書き

独立行政法人航空宇宙技術研究所角田宇宙推進技術研究所は、昭和40年科学技術庁航空宇宙技術研究所角田支所として開所以来、我が国の液体ロケットエンジン等の研究拠点としてLE-7エンジン等に至る開発支援、並びに将来の再使用型宇宙輸送手段の推進系である再使用型ロケットエンジン及びスクラムジェットエンジン等の研究開発を進めて来ている。当所は今日に至るまで宇宙推進技術の研究開発拠点として各種の大型試験設備の整備と運用を担いそれらを活用し種々の研究業績を挙げて来た。今後の更なる宇宙開発の発展のためには、宇宙利用の拡大と多様性に対応できる高い信頼性を有するロケットや、打ち上げ費用の軽減と輸送効率の向上とが図れる再使用型宇宙輸送手段の実現が不可欠である。そのためには、現在展開中のH-IIAロケットのLE-7A及びLE-5Bエンジンの信頼性の向上、またそこで培われた高信頼性技術を基盤として長寿命・軽量・高性能化を追求した再使用型ロケットエンジンや空気吸い込み式極超音速飛行スクラムジェットエンジンの実現が強く望まれている。

宇宙推進エンジンに係る技術開発には、空気力学・燃焼学的性質や構造・材料特性を高度かつ積極的に利用し、システム的に高性能化を図る必要があり、その研究開発は常に未踏領域に踏み込むものである。このような場合、要素毎の実験による基礎データの蓄積とエンジン試験によるデータの積み重ねとからエンジンシステムの最適化を行うのが従来の手法である。しかし、このような実験的研究に基づく研究開発手法は、エンジンシステムが大きい程、また複雑化する程、労力と時間が膨大となり、研究の効率的推進には自ずから限界がある。また、燃焼や衝撃波の影響でエンジン特性は本質的に非線形であり、個別の実験結果の積み重ねによる研究開発手法のみではエンジンシステム全体の評価が困難な状況にある。さらに、エンジン試験設備能力の制約や計測技術の限界により、実機規模や実飛行条件におけるエンジン性能の解明や評価精度にも限界がある。

そこで、宇宙推進エンジンに係る研究開発の効率化を促進することを目的に、平成9年3月に日本電気製スーパーコンピュータSX-4を中心に構成した「数値宇宙エンジン<sup>1)</sup>」を導入し、大型計算機援用の数値シミュレーション技術により、実験的研究との相互補完を行い、エンジン性能の解明・評価や設計に資する技術データの蓄積を図ってきた。「数値宇宙エンジン」は、ミドルウェアやオブジェクト指向など先端技術を取り入れたシステム設計及び高度なGUI<sup>\*)</sup>を基盤技術とし、画像を基本とした情報伝達手段や、計算実行中にエンジンの作動特

性の分析や制御等を行うための実時間可視化・ステアリング機能により、研究者の直観や経験をシミュレーション上に反映させることで、創造性の高いエンジン研究開発を実現するためのエンジン仮想試験設備として活用が進められ、燃焼時のエンジン内空力・燃焼現象、エンジン作動特性の解明等において大きな研究成果を挙げて来ている。

\*) GUI : Graphical User Interface (画像画面)

しかし、導入時には最新技術を盛り込んだ数値宇宙エンジンではあったものの、計算需要の増大、計算精度や規模への要求の高まりから、相対的な性能の不足が見え始めて来た。平成14年3月には借用契約満期を迎えることから、平成11年秋より調査等を開始し、更新時点で費用対効果に於いて高水準の機械に更新することを目標とし、後継機種種の導入努力を行ってきた。その結果、この度平成14年3月を以て日本電気製スーパーコンピュータSX-6を中心に構成した数値宇宙エンジン後継機の導入が為され、予定通りの稼働を開始した。

尚、本報告は数値宇宙エンジン後継機導入1年後の平成15年6月現在として記述する。

## 第2章 数値宇宙エンジン後継機導入の基本的考え方

現在、H-IIAロケットのLE-7A・LE-5Bエンジンの信頼性向上が急務となっており、このため我が国宇宙3機関の連携によるエンジン中核研究開発体制の下、ロケットエンジン技術の信頼性向上を図るとともに、研究開発機関が共用できるエンジン技術の蓄積と体系化を図ることが重要な課題となっている。またH-IIロケット8号機の事故原因の究明過程では、数値シミュレーション技術を用いたロケットエンジンシミュレータの開発の必要性が強く認識された。これは、ロケットエンジンの開発で浮上する不具合問題の予見と解決、開発後の運用管理、ロケットエンジンの健全性の監視、及び継続的な信頼性向上を図るために必要なソフトウェアである。また、それらの遂行には大規模な数値シミュレーションと実験の相互補完を最大限に活用して研究開発を効率的に推進することが必要である。

特に、LE-7Aエンジンの液体酸素・液体水素ターボポンプの異常キャビテーションを低減するためインデューサ内部流れを解析する技術のみならずインデューサ内部の構造強度を解析する技術が必要であり、またエンジン起動時に発生するノズル横推力を低減するためノズル内部流れを解析する技術、更には比推力向上のため最

適ノズル形状を設計する技術など、動的に変化する過渡的特性、熱や構造との干渉等の諸問題を高精度かつ迅速に数値シミュレーションできる技術の開発が強く求められている。それには、ロケットエンジンに特有のキャビテーション、燃焼、粘性、衝撃波、構造等に関わる諸現象を十分な精度で解析する大規模数値シミュレーションが必要である。特に、ロケットエンジン特有の現象がエンジン構造体に及ぼす影響を明らかにして、耐久性に優れるエンジン構造設計技術の確立が必要である。また、これらの研究成果は、ロケットエンジンの信頼性向上及び高性能化に反映されるとともに、ロケットエンジンシミュレータとしてツール化し、関係機関との共同利用に供されなくてはならない。

一方、スクラムジェットエンジンでは、スクラムジェットエンジンの推力性能、作動特性、制御性を大幅に向上するため、超音速主流中における燃料／空気の混合燃焼制御技術が最重要課題となっている。その解決手段として縦渦を利用した超音速混合・燃焼制御手法が有望視されている。同手法は、燃焼器要素試験において超音速主流中での高い混合・着火・燃焼性能を示しており、エンジンに適用した場合には推力を倍増させるポテンシャルを持つと期待される。このようなことから、超音速乱流混合／燃焼流れ場において混合燃焼に有利な渦構造の解明とその制御に関する研究とともに、同手法をエンジンに適用した場合のエンジン内部流れ、比推力、作動特性の評価を推し進める必要がある。しかし、これらの詳細を実験的手法のみで評価するのは計測の限界から困難である。そこでは、導入初期の縦渦スケールから、縦渦内に存在する、あるいは縦渦崩壊により生じるある程度の小スケール乱流渦構造までを詳細に捕らえられる高解像度の数値シミュレーションが必要である。

以上のような宇宙推進エンジンの内部流れや熱構造に係る現象を、高解像度かつ高精度に捕らえつつ、エンジンシステム全体として評価するには、数千万から1億格子点規模のエンジン数値解析が必要になる。こうした高解像度シミュレーションは、エンジン研究の高度化には不可欠であり、次世代型宇宙エンジン開発のブレークスルーを生み出すものである。そのため、数値宇宙エンジンシステムを更新し、演算性能の向上を図るとともに、大規模解析に対応できるプリポスト処理を含めトータルスループットの高いシステムを導入する。

「数値宇宙エンジン」は、エンジン中核研究開発体制における数値シミュレーション共用設備として、ネットワークを介して、外部機関の研究者や技術者との協力の下にツール構築及び共同利用を図っていくものである。「数値宇宙エンジン」上にロケットエンジンシミュレー

タを構築し、これを用いてロケットエンジンの信頼性向上及び再使用化技術の確立に大きく貢献する。また、スクラムジェットエンジン推力性能の向上と安定した作動特性のための技術開発に貢献する。

従って、機種種の更新に際し柱となる考え方は次の2点である。

- 1) 増大する計算需要や高解像度大規模計算に対応し得る必要最小限の演算性能等を確保すること。
- 2) 初代数値宇宙エンジン<sup>1)</sup>（平成9年3月から平成14年2月まで）にて確立した各種基盤技術、特に研究者の研究遂行を支援する操作環境（分散環境統合技術、GUIベースの利用者環境、実時間可視化、ステアリング、他）を継承発展させること。

### 第3章 システム全体構成

今回平成14年3月に導入した後継機は、SX-4を主体とした先の「数値宇宙エンジン<sup>1)</sup>」（初代、平成9年3月から平成14年2月まで）で培って来た、エンジン仮想試験設備としての環境及び機能を発展的に継承するものである。エンジン研究の高度化に不可欠である高解像度数値シミュレーションに対応するため、初代の演算性能が50 GFLOPS、主記憶容量が8 GBであったが、メインサーバの演算処理能力及び主記憶容量を増強した。メインサーバの更新に当たっては、新旧切替の際のエンジン研究の中断を最小限とするため、現行メインサーバで開発されたエンジン解析プログラム及びデータの速やかな移植が求められた。また、大規模シミュレーションの格子生成や可視化等を効率的に処理するためにプリポストサーバを導入した。システム設計に当たっては、プリポスト処理、エンジン解析実行など一連の処理において高いトータルスループット性能が得られるよう、プリポスト処理負荷の分散、データの流れ、操作環境、各機器の接続方法等に対して十分考慮した。さらに、HTTPベースのGUI技術を積極的に導入し、各サーバ上でファイル操作やプログラム・アプリケーションの実行、サーバ及び端末装置間でのデータ転送等の操作性を向上させた。

以上の技術的要求より、当数値宇宙エンジン後継機を構成する主要なハードウェア及びシステムソフトウェアの概要は次のようなものとなった。

- 1) 数値シミュレーション及びリアルタイム可視化・ステアリングを行うメインサーバ
- 2) 主に数値シミュレーションのための格子生成、及び高

- 度な画像処理を行うプリポストサーバ
- 3) 主に解析結果等の保管や各サーバのシステム領域及びプログラム資産等のバックアップを行うテープアーカイバ装置
- 4) サーバ群を結ぶ高速ネットワーク
- 5) 計算データ及び計算に関わる設定等を効率よく管理し有効に検索するデータベース

- 6) 各サーバ、データストレージ装置、端末装置等及びアプリケーションを統合し、HTTPベースのGUIによりシングルシステムイメージで操作・利用できる機能を提供する数値宇宙エンジン環境

図3.1に「システム構成図」を示し、以下第4章から第9章にてその内容を述べる。

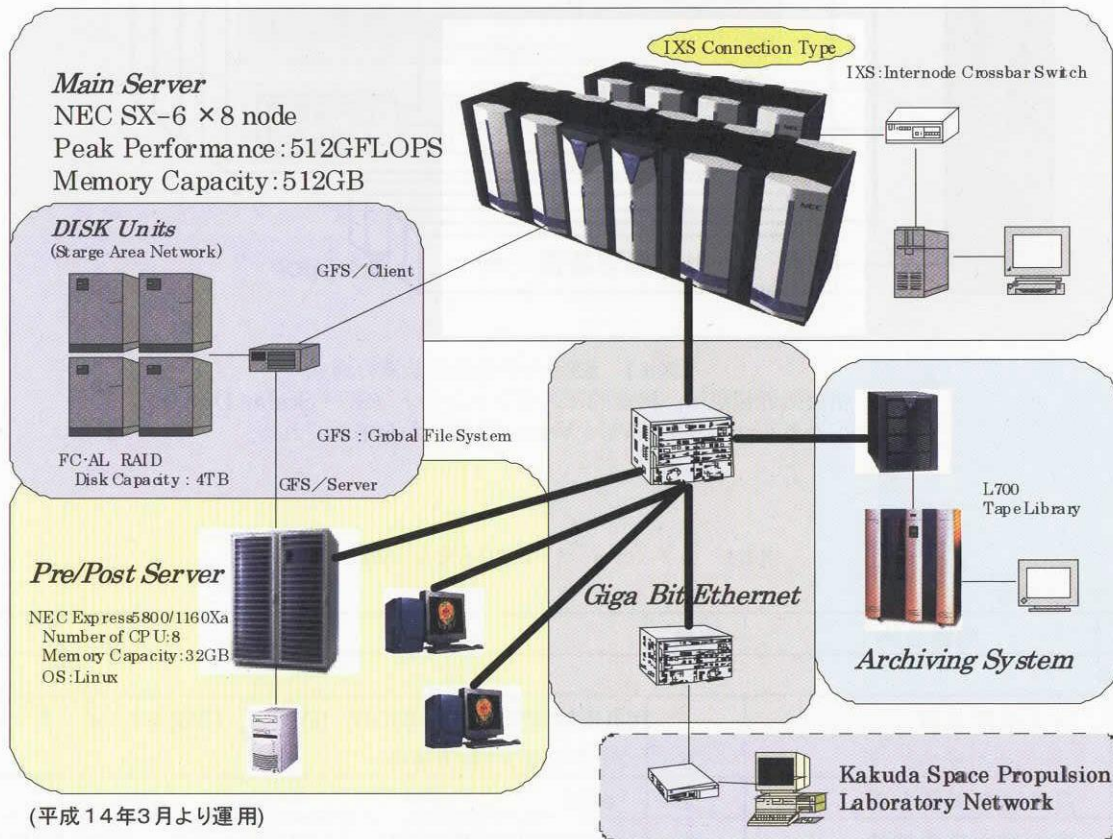


図3.1 数値宇宙エンジンシステム構成図

#### 第4章 メインサーバ

エンジン研究の高度化のためには、宇宙推進エンジンの内部流れや熱構造に係る現象を高解像度かつ高精度に捕らえつつ、エンジンシステム全体として評価することが必要不可欠となっている。そのためには、数千万から1億格子点規模のエンジン数値解析が必要になる。このような高度化に不可欠である高解像度数値シミュレーションを行うには、超高速な演算処理能力および大容量の

主記憶が必要となる。そうした条件を満たすものとして、メインサーバに日本電気 (NEC) 製 SX-6 (8ノード) を導入した。以下にメインサーバに関するハードウェア・ソフトウェア等について記す。

メインサーバは、宇宙推進エンジンの数値シミュレーションを行う計算サーバであり、以下の高速演算処理能力及び大容量主記憶を有する。図4. 1に概要を示し、表4. 1にメインサーバSX-6の構成を示す。



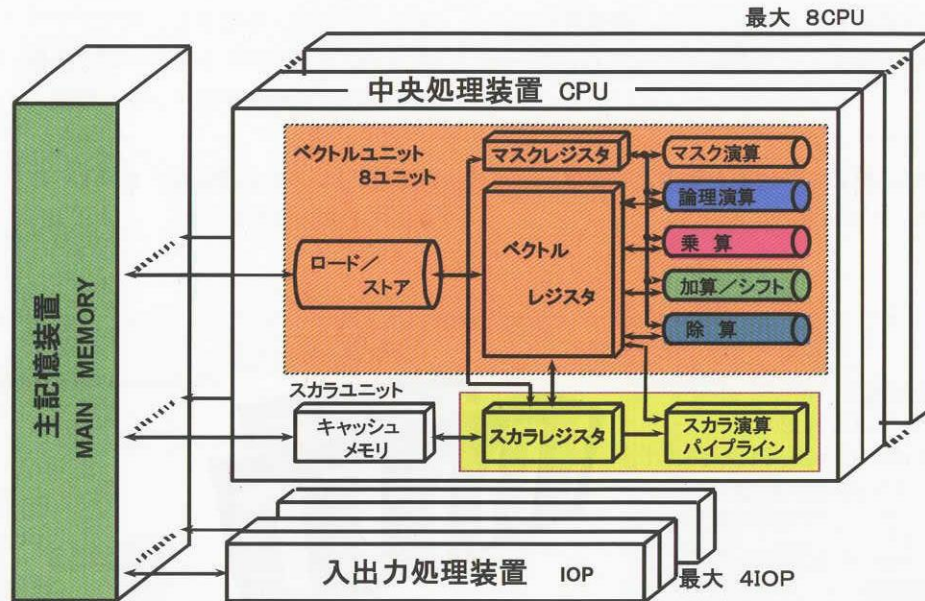


図4.1 SX-6の中央処理装置の構成

中央処理装置は、機能的にスカラーユニット (SU : Scalar Unit) とベクトルユニット (VU : Vector Unit) から構成される。

表4.1 メインサーバ NEC SX-6の構成

## ハードウェア構成

項	機器名称	数量	機器概要
●本体			
1	中央処理装置	8	64GFLOPS, MMU:64GB, IOP×1, CHE×1, インタフェースカードを最大2枚実装可
2	自動運転制御装置	1	AOC
3	チャンネル拡張機構	8	1台目IOP用CHE(2台目), インタフェースカードを最大3枚実装可
6	1000BASE-SX制御部	16	
7	100BASE-TX制御部	8	IOX接続用
8	Ultra3SCSI制御部	8	内蔵磁気ディスク装置用
9	内蔵磁気ディスク装置	8	71.6GB, マスタディスク(ケーブル付き)
10	内蔵磁気ディスク装置	8	71.6GB, スレーブディスク
11	WideSCSIケーブル	8	内蔵磁気ディスク装置(スレーブ)接続用, 1m
12	FC-AL制御部(光ファイバ)	40	1Gbps
●IXS			
13	ノード間接続装置	1	Crossbar Switch(8*8)
14	IXSアダプタ接続機構	8	
15	IXSアダプタ	8	
●IOX			
16	(クラスタ制御装置)入出力制御装置	1	TX7/L1000(360MHz), 10/100BASE-TX, Ultra2 SCSI インタフェース
17	内蔵型磁気ディスク装置	1	18GB

18	外付け型DVD-ROM装置	1	デスクトップ型
19	内蔵型DAT装置	1	DDS-3
20	冗長電源装置	1	
21	自動運転制御装置	1	卓上型, 管理PC用ソフトウェア
22	SCSIケーブル	1	外付け型DVD-ROM装置接続用
23	RS-232Cケーブル	1	5m, TX-7と管理PC接続用
24	ハブ(DH100/124)	1	IOX, SX, SH380/200接続用
25	管理PC	1	

## ハードウェア構成2 (SX-6×8ノード&amp;Express5800/1160Xa共有ディスク)

項	機器名称	数量	機器概要
●FC-ALスイッチ			
1	FC-ALスイッチ (機種コード6002)	4	Brocade Silkworm2802(16×16, GBIC8個込み)
2	FC GBIC (機種コード6002)	32	1Gbps FC GBIC 1個
3	FC-ALケーブル	60	光ファイバ, SX-6<->FC-ALスイッチ40(5制御部×8ノード) Express5800/1160Xa<->FC-ALスイッチ4(4制御部), FC-ALスイッチ<->FC-RAID16(FC-ALインターフェース分)
4	ラック	1	19インチラック, 4筐体増設可能
●FC-RAID			
5	ディスクアレイ装置	4	2コントローラ標準, FC(1Gbps)×4, HDD(73GB)×6, キャッシュコントローラ当たり512MB, RAID5
6	増設用磁気ディスク	72	HDD(72GB), RAID, (4D+P+H)×16=4608GB

## ソフトウェア構成

項	名称	数量	機器概要
●本体			
1	SUPER-BASE	8	SUPER-UX基本ソフトウェア
2	SUPER-EX	8	SUPER-UX拡張機能
3	SUPER-MPF	8	マルチジョブ, マルチタスクの基本機能
4	SUPER-CLS	8	クラスタ制御機能
5	SUPER-MNS	8	マルチノードサポート機能
6	SX-MFF	8	主記憶上のファイルシステム・プログラム提供
7	SX-GS	8	ギャングスケジューリング機能
8	NQS	8	バッチ処理機能
9	NQS/CLS	8	バッチ処理機能クラスタ
10	NQS/MPI	8	バッチ処理機能MPI
11	GFS-FC/Client	8	グローバルファイルシステムクライアント(FC対応)
12	NFS/Version3	8	ネットワークファイルシステム機能
13	Mf/SX	8	ユーザインタフェース構築機能
14	FORTTRAN90/SX	1	Fortranコンパイラ
15	C++/SX	1	C++コンパイラ

16	OpenMP Fortran	1	OpenMPライブラリ
17	MPI/SX	8	メッセージパッシングライブラリ
18	MPI-2/SX	8	メッセージパッシングライブラリ拡張
19	PDBX	8	マイクロタスク並列プログラムのデバッグ
20	PSUITEサーバ	8	統合プログラム開発環境PSUITEサーバ
21	ASL/SX	8	科学技術計算ライブラリ, 標準の数値記憶単位(4バイト)対応
22	ASLSTAT/SX	8	科学技術計算ライブラリ統計機能, 標準の数値記憶単位(4バイト)対応
23	RVSLIB/Server	8	リアルタイム可視化サーバ
24	Vampirtrace/SX	8	MPIプログラム実行トレース情報採取ライブラリ
25	TotalView	8	MPI並列プログラムのデバッグ
26	MathKeisan	8	BLAS, BLACS, LAPACK, ScanLPACK, PARBLAS, ARPACK, FFT, SOLVER, METIS, ParMETIS
27	MasterScope/SXBASE Center (A)	8	統合ネットワークシステム運用管理エージェント基本機能(SX管理)
28	MasterScope/SXPerf Center (A)	8	統合ネットワークシステム運用管理エージェント性能管理機能(SX管理)
●IOX			
29	NX7000/L1000サポートサービス	1	
30	HP-UX11.0 Operating System-CJ	1	HP-UX オペレーティングシステム (IOX用)
31	HP-UX11.0 Application CD-ROM Media	1	HP-UX 追加アプリケーション用CD-ROM媒体
32	SIOXソフトウェア(TX7版)	1	システム制御IOXソフトウェア
33	SIOX/CLSソフトウェア(TX7版)	1	IOXクラスタ制御ソフトウェア
34	MasterScope/SXSSV Center(SIO X)	1	統合ネットワークシステム運用管理クラスタ管理機能
35	HP Network Node Manager	1	OpenView
36	MasterScope/BASECenter (MG) for OpenView	1	統合ネットワークシステム運用管理マネージャ基本機能
37	MasterScope/PerfCenter (MG) for OpenView	1	統合ネットワークシステム運用管理マネージャ性能管理機能
38	MasterScope/SXBASE Center (M)	1	統合ネットワークシステム運用管理マネージャ基本機能(SX管理)
39	MasterScope/SXPerf Center (M)	1	統合ネットワークシステム運用管理マネージャ性能管理機能(SX管理)
40	MasterScope/SXSSV Cneter (M)	1	統合ネットワークシステム運用管理マネージャクラスタ管理機能(SX管理)

#### 4.1 CPU性能

SX-6は、1CPU当たり8GFlopsのピーク演算性能を有し、8CPUで1ノードを構成し、1ノード当たり64GFlopsのピーク演算性能を持つ。このSX-6を8ノードで構成したマルチノードシステムにおいては、システム全体として64台のCPUを搭載し、ピーク演算性能は512GFlopsとなる。

- (1) 総演算処理能力: LINPACK HPC<sup>\*)</sup> 性能値 456GFlops (1ノード 8CPU、8ノード)
- (2) 1ノード当たりの合計演算処理能力: LINPACK HPC性能値60GFlops以上
- (3) ノード内共有メモリ方式

\*)HPC : High Performance Computing

#### 4.2 主記憶

1ノード当たり64GBの共有メモリ空間を有し、システム全体で512GBの共有分散メモリ空間を有する。

- (1) 総主記憶容量: 512GByte
- (2) 1ノード当たりの共有主記憶容量: 64GByte

#### 4.3 磁気ディスク装置

当SX-6マルチノードシステムにおける磁気ディスク装置の構成は次の通りである。

- (1) 磁気ディスク装置はハードウェア制御によるRAID5構成の高速磁気ディスクアレイから成る。
- (2) RAID構成時の総容量が3TByteである。
- (3) メインサーバと磁気ディスクアレイ装置間は、理論転送速度100MByte/secのFibre-Channel等で接続されている。また、1ノード当たり理論転送速度100MByte/secのFibre-Channelの制御部を5本有する。よって、総バンド幅が理論値で500MByte/sec以上である。
- (4) NFS等の共有環境を用いることで、メインサーバ以外のサーバからメインサーバの磁気ディスクアレイ装置上のファイルに直接的にアクセス可能である。尚、メインサーバとプリポストサーバ間においては、NFSにより高速I/Oが可能であるGFSにてアクセスが可能である。
- (5) 磁気ディスクアレイ装置は、ホットスペアディスクを搭載しており、ドライブ障害時には運用を行

いながらドライブ交換が出来る活性保守が可能である。

- (6) 外部記憶装置上に構築するファイルシステムはジャーナリング機能を有し、速やかに運用再開ができる。

尚、メインサーバとプリポストサーバ間ではディスクを共有化しSANを構築しており、両サーバにおける共有ディスクはGFS<sup>\*</sup>により接続されている。

\*)GFS : Gloval File System

#### 4.4 ネットワーク接続装置

数値宇宙エンジンシステム内の超高速ネットワークに接続するため、1Gbpsの理論バンド幅を有するネットワークインターフェースポートを2ポート備える。その内、1ポートは常時ネットワークに接続し、残るポートは障害発生時に代替として利用できるようネットワークシステムを構築した。詳細は第6章にて記す。

#### 4.5 オペレーティングシステム

オペレーティングシステムSUPER-UXは、UNIX SystemVオペレーティングシステムに準拠し、BSD機能<sup>\*)</sup>との互換性を持っており、多くの拡張機能によって、強力なバッチ処理機能、大規模ファイルの利用、ジョブチェックポイントリスタート機能、自動運転機能等、効率の良い運用管理が可能である。また、ネットワークサービスとして、TCP/IPに準拠したネットワークプロトコルや、ファイル共有のためのNFS Version 2および3、NISの機能を持つ。さらに、標準的なウィンドウシステムとして、X11R6に準拠したX-window、OSF/Motif 1.2に準拠したユーザインターフェース構築環境を有している。

\*)BSD : Berkley Software Distribution

BSD機能:固有のコマンドを有するBerkley系のUNIX OSのこと

- (1) オペレーティングシステムはPOSIX規格準拠のUNIXとした。
- (2) 日本語処理能力を有している。

#### 4.6 ネットワークサービス

- (1) TCP/IPに準拠したプロトコルをサポートする。



- (2) ファイル共有のため、NFS Version 2 及び 3 相当以上をサポートする。
- (3) NIS 相当の機能を有する。

#### 4.7 ウィンドウ/ユーザインターフェース

- (1) X11R6 に準拠した X-Window を有する。
- (2) OSF/Motif 1. 2 に準拠したユーザインターフェース構築環境を有する。

#### 4.8 プログラミング言語

- (1) ANSI 規格、ISO 規格等に準拠した FORTRAN 90、C/C++ のコンパイラを提供できる。
- (2) 各コンパイラは、最適化機能を有する。また、メモリを共有する CPU 群を用いた自動並列化機能を有する。
- (3) FORTRAN 90 コンパイラは、FORTRAN 77 の上位互換拡張であり、FORTRAN 77 で記述されたプログラムのコンパイルが可能である。
- (4) 自動ベクトル化機能を有する。
- (5) プログラム変更による並列化促進のため、OpenMP もしくはユーザプログラムへの挿入が容易なコンパイラ指示行オプションをサポートする。

#### 4.9 並列計算用通信ライブラリ

並列計算用通信ライブラリとして、MPI/SX および MPI-2/SX が搭載されている。MPI\* とは、メッセージ交換インターフェイスライブラリの規格であり、分散型の並列処理プログラムに必要となるメッセージ通信を簡単かつ移植しやすいように行うことを目的として、インターフェイスが標準化されたものである。現在、MPI-2. 0 が公開されている。MPI はノード間の通信を簡単に行うために用いられ、MPI を用いれば、並列計算機およびネットワークの詳細を知らなくても、簡単にメッセージ交換でき並列化プログラムを作成できる。MPI には約 140 種の関数が用意されており、グループ間の通信も、1 対 1 通信もサポートしている。また、Fortran だけでなく C や C++ から利用可能である。MPI を用いたプログラミングはコンパイラによる自動並列化とは異なり、ユーザが明示的に通信を記述し、並列化を行なう。これはユーザにとっては負担となるが次のような利点がある。

- (1) 自動並列化出来ないプログラムも並列化可能。
- (2) 大きな単位（粒度）で並列化できるため、負荷バ

ランスがとりやすい。

また、MPI-2/SX は MPI-2 standard に準拠するとともに、SX システムで十分な性能が発揮できるように実装されており、以下の特徴がある。

- 1) 共有メモリを活用したノード内転送による高速通信のサポート
- 2) OS カーネルを介さない MPI\* の実装による高速ノード間通信（グローバルシェアードメモリ）

\*) MPI: Message Passing Interface

#### 4.10 科学技術計算ライブラリ

科学技術計算ライブラリとして、BLAS、BLACS、LAPACK、ScanLAPACK、PARBLAS、ARPACK、FFT、SOLVER、METIS、ParMETIS の機能を有する「MathKeisan」、及び科学技術計算用ライブラリ「ASL/SX」、科学技術計算ライブラリ統計機能「ASLSTAT/SX」、数値計算ライブラリ「MATHLIB/SX」を搭載している。

#### 4.11 プログラム開発支援機能

プログラム開発支援機能として、性能解析ツールおよびデバッグツールを搭載している。統合プログラム開発環境「PSUITE」は、FORTRAN、C/C++ および双方の混在したプログラム（以下「混在型プログラム」と記す。）の並列化およびベクトル化に関する静的解析・動的解析・チューニング支援ツールであり、この混在型プログラムをソースレベルでシンボリックにデバッグすることができ、構文解析機能を有する。

並列処理用プログラムのデバッガとしては「Total View」がある。MPI を用いて並列化されたジョブに対しては、各プロセスへの負荷分散状況およびプロセス間の通信負荷のモニタリング機能を有する、並列化支援ツール「Vampir/SX」及び「Vampirtrace/SX」がある。これらのツールは、GUI により対話的に実行でき、かつ、テキストベースのターミナル環境においても実行できる。以下にこれらについて記す。

##### (1) デバッグ支援ツール

- (a) 混在型プログラムをソースレベルでシンボリックにデバッグできる。また、構文解析機能を有する総合プログラム開発機能「PSUITE サーバ」

を有している。

- (b) 並列処理用プログラムのデバッガとして「TotalView」を装備している。TotalViewは米Etnus社が開発したマルチプロセス対応デバッガである。このツールはMPI等の並列プログラムのデバッグに使用する。その特徴は次の通りである。

- ①X-windowベースのGUIとマウス操作、ショートカットキーで操作が可能。
- ②言語はHPF、Fortran90、C/C++、アセンブラ等に対応。
- ③デバッグに必要なコードのみを読み込むため、巨大で複雑なプログラムでも即座に解析可能。
- ④デバッグ中のプログラムにより生成された新たなプロセスを自動的に取り込む。
- ⑤TotalViewの管理下以外で起動されたUNIXシステム上のプロセスを取りこむことが可能。
- ⑥同時に複数のプロセスを制御し管理を行うことで、プロセス間の相互作用によるバグを発見可能。
- ⑦配列データの可視化機能で、配列のデータ変化をリアルタイムに見ることが可能。また配列データの一部表示やフィルタリング、整列等も可能。
- ⑧コマンドラインインターフェイスにより、デバuggスクリプト、マクロ等の作成が可能。

- (c) 「PSUITEサーバ」及び「TotalView」によりデバッグ作業をGUIにより対話的に実行できる。また、テキストベースのターミナル環境でもデバッグを実行できる。

PSUITEはGUIベースの統合プログラム開発環境であるが、ここではデバッグ機能の特徴について以下に示す。

- ①「dbx<sup>\*)</sup>」、「pdbx<sup>\*)</sup>」のGUIフロントエンドとしての機能
- 現在設定されているブレークポイントの一覧や、スタックトレースの情報、シグナルトレースの状態などをGUIで確認することができる。また、ツールバーにより、デバッグコマンドを簡単に実行することができる。dbx、pdbxのコンソールもあるため、キーボードからのコマンド入力も可能である。

## ②ソースブラウザとの連携

ソースブラウザで選択した行番号にブレークポイントを設定したり、ソースブラウザで選択されている変数の値を表示したりすることができる。また、デバッガのブレークポイント一覧やスタックトレース情報から、対応するソースコードをソースブラウザに表示させることもできる。

## ③配列データのグラフ表示

ソースコード表示領域で選択した配列データの内容を、スプレッドシート形式や2次元グラフ、3次元グラフで表示することができる。

\*) dbx : UNIX版のプログラムのデバッグツールコマンド

\*) pdbx : 上記dbxの並列処理用のものであり、当OS専用のもの

## (2) 性能向上支援ツール

- (a) 総合プログラム開発機能「PSUITE」により、混在型プログラムの並列化及びベクトル化に関する静的解析・動的解析・チューニング支援を行うことができる。
- (b) MPIを用いて並列化されたジョブに対し、各プロセスへの負荷分散状況及びプロセス間の通信負荷のモニタリング機能を有する開発支援ツールとして「Vampir/SX」及び「Vampir trace/SX」を装備している。
- (c) 上記のチューニング作業は「PSUITEサーバ」及び「Vampir/SX」にて、GUIにより対話的に実行でき、かつ、テキストベースのターミナル環境でもチューニング作業を実行できる。

Vampirは独Pallas社が開発したMPIプログラム実行性能解析ツールである。MPIプログラムの性能向上やボトルネックの特定は難しく煩雑になりがちであるが、Vampirを使用して様々な可視化を行うことによってプログラムの解析や全体像の把握が容易に行える。操作もマウスとショートカットキーで簡単に行える。Vampirには主に以下に示す表示モードがある。

### ・Timeline

プロセスの動作を時間の移り変わりで把握することができる。各プロセスにおいて実行中の関数や

プロセス間に渡るメッセージの送受信を、色や線などの区別により観察することができる。

・ **Summary chart**

全実行時間に占める各種関数の実行時間や割合を表示する。特定の関数についての表示も可能である。

・ **Activity chart**

各プロセスにおいて実行された関数の内訳および割合を表示する。他のプロセスとの比較により、プロセス間の負荷のバランスを観察することができる。

その他、通信量や通信回数のグラフ表示、関数の呼び出し関係のツリー構造表示等が可能である。これらの図はある特定の時間に注目した表示や、ある項目にフィルターをかけて非表示にするなど、画面に表示する情報量をユーザが任意に指定できる。

- (d) 上記のチューニング作業は「PSUITEサーバ」及び「Vampir/SX」にてGUIを介して対話的に実行できる。また、テキストベースのターミナル環境でもチューニング作業が実行できる。
- (e) `ftrace`はFORTRAN90/SXのシングルノードプログラム用簡易性能解析機能である。コンパイルオプションに`-ftrace`を追加することで、プログラム実行時間、ベクトル化率等のプログラム性能情報をサブルーチンや手続き毎に取る事ができる。高コストルーチンを特定できるので、プログラムの実行性能の向上に役立つ。また自動並列化機能と併用することにより、マイクロタスク毎の性能をルーチン単位で採取することもできる。
- (f) `PSUITEperf`はプログラム性能解析ツールであり、統合プログラム開発環境PSUITEの機能の一部である。特徴を以下に示す。

- ・ Fortran90, C, C++プログラムに対応し、FortranとCの混在したプログラムも測定可能。
- ・ ルーチン、ループ単位で性能測定可能。
- ・ CPU時間、MOPS値<sup>\*)</sup>、MFLOPS値<sup>\*)</sup>、ベクトル演算率などの性能情報を指定して測定可能。
- ・ MPIプログラム、シングルノード並列プログラムに対応。
- ・ PSUITEperfのコマンドスクリプトを

作成して実行することが可能。

\*)MOPS値：1秒間に実行された演算数

\*)MFLOPS値：1秒間に実行された浮動小数点データ実行用素数

#### 4.12 リアルタイム可視化・ステアリング機能

リアルタイム可視化機能とは、メインサーバで実行中の計算からシミュレーション結果を取り出し、ユーザ端末に可視化表示させる機能である。また、ステアリング機能とは、計算実行中のジョブに対して計算パラメータをユーザが任意に変更できる機能である。初代数値宇宙エンジン（平成9年3月から平成14年3月まで）では日本電気（NEC）製RVSLIBが装備されており、当後継機においてもRVSLIBが装備されている。主な機能は次の通りである。

- (1) リアルタイム可視化・ステアリング機能は、ライブラリ形式で提供され、ユーザプログラムからのサブルーチンコールにより簡単な操作で利用できる。
- (2) 可視化対象とする計算領域や物理量、可視化方法の選択・変更、画像データ記録操作等及びステアリング操作を、当所LAN経由で接続されたユーザ端末のWEBブラウザを用いてGUIにより対話的に行える。
- (3) 可視化方法及び手順、画像データの記録方法等を記述したスクリプトに従い、可視化及び画像データ記録がバッチ形式のジョブでも実行可能である。
- (4) 1つのジョブにおいて、ユーザが指定する複数の可視化領域毎に、任意の物理量の可視化及び画像データの記録が同時に可能である。
- (5) 可視化された画像データを静止画データ及び動画データとして記録できる。また、AVI、MPEG2等の標準的な画像データフォーマットに出力は、リアルタイム可視化システムからの出力に対して、画像変換ツールを介することで可能である。
- (6) ユーザプログラムからライブラリへのデータ引き渡しは、外部ファイル出力を介さずメモリーコピー等により高速に行われる。
- (7) メインサーバからユーザ端末へのデータ転送に関しては、当所LANの通信能力を踏まえ、画像圧縮を用いることによりネットワーク負荷の低減を図ることが可能である。
- (8) 構造格子及び非構造格子のシミュレーションに対して適用可能である。また、構造格子に関しては

マルチブロック格子に対して、非構造格子に関しては4面体、5面体及び6面体の混在するハイブリッド格子に対しても適用可能である。

- (9) MPI/SXを用いて並列化されたプログラムに対して適用可能である。

#### 4.13 バッチ処理機能

NQS相当をサポートし、以下の機能を有する。

- 1) 演算処理時間、主記憶容量に応じたジョブクラスの設定
- 2) ジョブの実行管理
- 3) プライオリティスケジューリング
- 4) チェックポイント/リスタート機能
- 5) クラッシュリカバリ

#### 4.14 システム管理機能

システム管理機能として「SUPER-UX」を装備している。

- (1) 計算機能力を最大限に引き出すため、メモリ管理、プロセス管理、ファイル管理、入出力制御、スケジューリング管理の機能を有する。
- (2) システム管理機能としてCPU及び主記憶等の計算機リソースの動的分割管理・運用が可能である。
- (3) ユーザ単位で、利用可能な計算機資源、アクセス権等の設定ができる。
- (4) セキュリティ機能を有する。
- (5) 課金処理機能を有する。
- (6) 自動運転機能を有する。
- (7) チェックポイント/リスタート機能を有する。

#### 4.15 マニュアル

印刷物またはオンライン形式のマニュアルを装備している。

#### 4.16 メインサーバ上で使用可能なアプリケーションソフトウェア

熱流体解析ソフトウェアであるシーディー・アダプコ製Star-CDの解析実行モジュールをメインサーバに装備している。メインサーバは、Star-CDの利用実績があり、かつ、十分な実行性能が得られる。

その他、CAD用ソフトウェアとしてCATIA、格子形成用ソフトウェアとしてICEM/CFD及びGridgen、計算結果可視化用ソフトウェアとしてFIELDVIEWを搭載している。中でもCATIA等に

ついては、設計用形状データを計算用モデル形状に転換し得る手法として活用が可能である。

### 第5章 プリポストサーバ

大規模数値シミュレーションでは、前処理として格子を形成し、また後処理として計算結果の可視化を行うに際しても、大規模なデータ処理が必要である。このような前後処理をメインサーバで行うのは非効率的であり前後処理を含めた計算全体のスループットを下げることになる。そこで、更新後のシステムにおいては大規模数値シミュレーションの前後処理を効率的に行うためのサーバとしてプリポストサーバを導入した。

プリポストサーバは、本体として日本電気(NEC)のExpress 5800/1160Xa(呼称“Azusa”)、画像処理用端末としてSGIのOctane 2から構成され、前後処理用に各種ソフトウェアを備えている。

また、プリポストサーバは数値計算の前後処理だけでなく、メインサーバのフロントエンドマシンとしての役割を持ち、クロスコンパイラや各種デバッグツールを備えている。

更に、ファイルシステムのGFSサーバやデータベースサーバとしても機能する。

#### 5.1 本体性能

プリポストサーバの本体は日本電気(NEC)製Express 5800/1160Xaである。Express 5800/1160XaはIA-64(Itanium 800MHz)プロセッサを8個搭載した共有メモリ型サーバで、1CPU当たり3.2GFLOPSのピーク演算性能を持ちシステム全体で25.6GFLOPSのピーク演算性能を持つ。また、LINPACK HPC性能値はシステム総演算処理能力として17GFLOPS、CPU当たり2.503GFLOPSである。主記憶は32GBの共有メモリである。

#### 5.2 磁気ディスク装置

プリポストサーバと磁気ディスク装置とは理論転送速度100MByte/secのFibre-Channelで接続されており、制御部を2台搭載し、総バンド幅は理論値で200MByte/secである。

#### 5.3 ネットワークインターフェース

ネットワークインターフェースとしてギガビットイーサネットを2系統実装し、1系統は数値宇宙エンジンシステムに接続し、もう1系統は障害発生時のバックアップ



ブとして機能する。

#### 5.4 画像表示

高速画像表示用端末としてSGI製Octane2を2セット導入した。Octane2はVPro Graphicsを搭載しており、毎秒1800万ポリゴン以上の描画性能を有し大規模データの高速な画像表示を行うことが可能である。各Octane2はMIPS R12000 400MHzプロセッサを2個搭載しており、主記憶は1台は8GBtype、もう1台は2GBtype搭載している。数値宇宙エンジンシステムとしてメガビットイーサネットで接続されている。

#### 5.5 OS

OSとしてLinuxを採用している。

#### 5.6 コンパイラ

FORTRAN95、C++のコンパイラを備えている。また、メインサーバのクロスコンパイラを10ライセンス搭載している。尚、FORTRAN95はFORTRAN90の上位互換コンパイラであり、C++はCの機能を包含している。

#### 5.7 プログラム開発環境

FORTRAN95、C、C++で書かれたプログラムに対してデバッグ、アナライジング、チューニングをサポートするツールgdbを搭載する。gdbはGUIにより操作可能である。

#### 5.8 各種ライブラリ

並列計算用ライブラリとしてMPIを搭載している。

これは複数ノードに跨った計算を実施する際に必要なライブラリである。この他に、科学技術計算用ライブラリとしてBLASとLAPACKとScaLaPACK相当の機能を持つMathKeisanを、グラフィックスライブラリとしてOpenGL1.2相当のMESA3.3を搭載している。

#### 5.9 アプリケーションソフトウェア

科学技術計算結果可視化ソフトウェアFieldviewを3ユーザライセンス所有し、1ユーザライセンスに大規模データオプション、1ユーザライセンスには並列処理ライセンスを備えている。格子形成ソフトウェアGridgenを2ユーザライセンス、他の格子形成ソフトウェアとしてICEM CFD/BASIC、CFD/HEXA、Tetra/Prismを各1ユーザライセンス所有する。

熱構造解析ソフトウェアABAQUS/standardのシングル処理版基本ライセンスにジョブを2つ同時に実行するオプション及び専用プリポストソフトウェアABAQUS/CAEを3ユーザライセンス所有する。

### 第6章 テープアーカイバ装置

テープアーカイバ装置として、米国ストレージ・テクノロジー（STK）社の「Aegis L700」テープライブラリー及び「T9940A」ドライブを導入した。T9940ドライブは3台であり、専用の9940テープ・カートリッジを使用し、テープアーカイバサーバ用マシンとしてSGI製のOrigin3200をテープアーカイバサーバとしている。概要を表6-1及び表6-2に示す。

表6.1 テープアーカイバ装置

ハードウェア構成

項	機器名称	数量	機器概要
1	STK製 Aegis L700 (216カートリッジ)	1	テープライブラリ装置本体
2	電源ケーブル	2	
3	RMPS	1	
4	1PDU	1	
5	T9940Aドライブ	3	ドライブ単体 10MB/s 合計30MB/s
6	9940メディア	170	単体非圧縮 60GB 合計10.2TB
7	T9940用クリーニングテープ	3	各T9940テープドライブに装着
8	ACSLs用サーバ	1	SUN Ultra 10相当

## ソフトウェア構成

項	名称	数量	機器概要
1	BASIC初期ライセンス料金	1	ACSLs用
2	216キャパシティライセンス	1	ACSLs用
3	BASIC月額ライセンス料金	60	ACSLs用、5年間

表6.2 テープアーカイバ用サーバの構成

## ハードウェア構成

項	名称	数量	機器概要
1	SGI Origin3200 Server, incl, short rack	1	
2	システムボード (2Cブリック,1Iブリック,1パワーベイ)	1	4CPU
3	512MBメモリ	2	
4	PCI拡張	1	
5	システムディスク	1	18GB
6	FC-ALアダプタ	5	ディスク用：2 磁気テープ装着用：3
7	1000BASE-SXアダプタ	2	
8	TP9100ディスク用基本キット	1	
9	TP9100ディスク用基本ユニット	1	
10	セカンドコントローラ	1	
11	ディスク装置	10	容量1台あたり73GB, 8D+P+H

## ソフトウェア構成

項	名称	数量	機器概要
1	IRIX6.5 Advanced Server envirement	1	オペレーティングシステム
2	World View	1	
3	DMF	1	マイグレーションソフトウェア
4	Volume Plexing	1	
5	Networker Network Edition for UNIX	1	バックアップソフトウェア
6	Autochanger Software Module 256Slots	1	

## 6.1 テープアーカイバ装置本体

テープアーカイバ装置は、メインサーバ及びプリポストサーバから独立しており、単体運用可能な形態をとるテープアーカイバサーバとしてSGI製Origin3200及びSTK製Aigisl700より成る。

## 6.2 自動テープライブラリ装置

STK製Aigisl700自動テープライブラリ装置は、非圧縮時60GBの容量の9940テープカートリッジを170巻搭載し、総有効記憶容量が非圧縮時で10.2TByteである。

## 6.3 バックアップが可能なファイル

以下のファイルについてバックアップが可能である。

- 1)メインサーバシステムプログラム
- 2)プリポストサーバシステムプログラム
- 3)その他付随機器のシステムプログラム
- 4)数値宇宙エンジンにて生成されるユーザデータ
- 5)解析データベースのデータ

## 6.4 テープドライブ

T9940のテープドライブを3台有する。本テープド

ライブは1ドライブ当たり10MB/secの理論性能を有し、システム合計3ドライブ、30MB/secの総合データ転送速度を有する。

#### 6.5 ネットワークインタフェース

テープアーカイバサーバにはネットワークインタフェースとしてGigabit Ethernetを2ポート備える。1ポートは常時接続を行い、残るポートは障害発生時に備えるようアーカイバシステムを構築している。

#### 6.6 自動バックアップ

上記6.3節に示すデータについて定期的に自動バックアップの作成が可能である。

#### 6.7 データのバックアップ

簡便な操作によりユーザが随時メインサーバ/プリポストサーバ上のデータをバックアップすることが可能である。

#### 6.8 自動マイグレーション機能

使用頻度の下がったデータなどを順次格納する機能として自動マイグレーション機能を設けた。数値宇宙エンジンで生成される単体の計算データは数10GByteに達する。このような大容量ファイルの復帰が高速に行えるよう、テープ媒体、テープドライブを選択した。

#### 6.9 監視用ソフトウェア

テープライブラリの容量、利用状況等の監視を行うためのソフトウェア「DMF」、「Networker」を備える。

### 第7章 高速ネットワーク

高速ネットワークは、メインサーバ、プリポストサーバおよび付随する機器類を高速ネットワークスイッチを介して接続する構成である。システム内のギガビットネットワークスイッチである日本電気(NEC)製「IP8800/740」は、各サーバおよび機器類を接続するためのGigabit Ethernetの通信ポートを備え、10/100BASE-TX、1000BASE-Xのインタフェースを装備したマルチレイヤスイッチであり、スイッチ容量は96Gbpsである。また、高速ネットワーク上では、IPをベースとするTCP、UDP、ICMP通信が可能であり、これらを利用する各種ネットワークサービス(TELNET、FTP等)が利用できる。

既設の基幹ATMネットワークと数値宇宙エンジンシ

ステムを接続するハブとして、OC3、155Mbpsマルチモードファイバ対応の通信ポートを4本、Gigabit Ethernetの通信ポートを1本備えた「NEC スーパーハブ SH380/200」を導入した。「スーパーハブ SH380/200」はATMセルスイッチベースで10Gbpsのスイッチ能力を持つ。

ネットワーク機器管理ソフトウェアとして「ESMPRO」を導入し、ネットワーク内で障害が発生した場合には、発生個所の切り分けが容易に行える監視機能を持たせている。監視装置ではネットワーク上のパケットモニタ、スイッチポートの利用状態、接続された機器類(SNMPサポート機種のみ)のMACアドレスによる管理がグラフィカルに視認できる。また、障害発生時には自動的に指定したアドレスにメール通知する機能を有する。

### 第8章 データベース

当後継機においては、生成される大規模な計算データ、及び計算に関わる設定等を効率よく管理し有効に検索利用することを目的として、データベースを導入した。データベースでは、計算結果の管理を行うのみならず、当所で行われているエンジン実験のデータ、また計算及び実験を元に作成された報告書や論文等の文書を総合的に管理し、これにより計算、実験、報告という一連のエンジン研究に関わる資産を有機的に結合し蓄積することが出来る。

#### 8.1 機能

データベースでは以下の基本機能を実装し、いずれの機能もウェブブラウザを介して利用可能である。

##### (1) 画像データ参照機能

データベースの参照権を有する多くの利用者に対して画像データの閲覧サービスを提供するものである。

##### (2) 画像データ転送機能

利用者端末において画像データを参照/編集する際、画像データの実体を転送するインタフェースを提供する。

##### (3) 画像データ登録機能

作成された画像データの実体をディスク上の特定の領域に格納するとともに、格納場所および画像データに関する情報(テストID、登録日、登録者ID、管理IDなど)をデータベース上に記録するサービスを提供する。また、利用者端末において加工されたデータを登録する際には、画像データの実体の転送および登録に関するインタフェースを提供す

る。

#### (4)画像データ管理機能

登録済みの画像データに関して、実体の削除、移動、登録情報の変更といったサービスを提供する。

上記の機能により文書の作成、登録、共有、閲覧が可能であり、次のことが可能である。

- 1) 画像ファイルを登録、共有、閲覧すること。
- 2) 試行錯誤を伴う解析において、それぞれの解析結果を整理し保存し、履歴を容易に把握すること。
- 3) 報告書をHTMLファイル形式で出力すること。
- 4) ログイン形式により一定レベルのセキュリティが確保されること。
- 5) ユーザーのグループ化（情報の共有単位）と、グループ内で情報を共有すること。

## 8.2 登録可能な項目

登録が可能項目は次の通りである。

- 1) 計算／実験実行責任者のe-mailアドレス
- 2) 計算結果ファイルのURL
- 3) 計算格子ファイルのURL
- 4) 実験結果データのURL
- 5) 計算の初期条件、境界条件、計算コード名
- 6) 計算／実験対象を特徴づける複数のキーワード
- 7) 計算／実験方法を特徴づける複数のキーワード
- 8) 代表的な計算／実験結果の可視化画像(対応するデータフォーマットはJPEG等)
- 9) 計算／実験対象の概要を示す2D／3D画像(対応するデータフォーマットはVRML等)
- 10) 計算／実験結果を元に作成した論文、レポートのURL

## 8.3 キーワード検索

上記の各項目についてキーワード検索が可能である。また、各項目内及び項目を跨ぐAND/OR等の論理検索、及び検索対象が数値である場合には算術条件検索(「以上」、「以下」等)が可能である。

## 8.4 データベース検索

標準的なデータベース検索言語が利用できる。また、将来のシステム拡張及び他機種への移行も考慮し、データ管理プログラムには一般的なものを採用することにより標準的なデータベースシステムへの移行性を確保してある。

## 8.5 HTTPの利用

基本的なデータ閲覧、データ検索、データ入力にはHTTPを介して行うことができる。このためデータベース本体とHTTPサーバ間を取持つCGI<sup>\*)</sup>を合わせて導入した。

\*) CGI : Common Gateway Interface

WWW サーバーがプログラムを起動する際の起動方法を定めた仕様の名称。

## 8.6 構築場所等

データベース本体及びHTTPサーバはブリポストサーバ上に構築した。また、データベース用に100GByte以上の磁気ディスク容量を確保した。

## 8.7 動画の扱い

データベース本体では、静止画像のような比較的容量の小さいデータの登録及び管理を行うが、動画のように大容量データに関しては、データの格納場所について本データベースの管理対象とし、格納場所の指定はURLで記述できる形式、即ちhttp://～、ftp://～で表現できる形式にて対応可能である。

## 8.8 安全対策

データベースアクセスに対してパスワード認証機構を有する。

# 第9章 数値宇宙エンジン環境

「数値宇宙エンジン環境」は、当所が平成9年から平成14年まで用いた初代数値宇宙エンジン<sup>1)</sup>にて構築していた、研究者が平易に使い得る計算環境「数値宇宙エンジン環境」の概念を継承し発展させたものであり、複雑化高度化する計算を研究者がスーパーコンピュータで遂行することを支援する環境である。この環境は、分散環境統合技術やGUIベースの利用者環境などの計算機利用技術であり、宇宙推進エンジンの実験的研究を主体とする当所の研究目的及び研究特色に合わせて整備して来たものである。

今回平成14年の「数値宇宙エンジン」機種更新に併せウェッブ方式スーパーコンピューティング環境(WSC E<sup>\*)</sup>)を導入した<sup>2, 3)</sup>。本章ではその概要に就いて述べる。

\*) WSCE : WebSuperComputing Environmentの略。

## 9.1 WSCE 導入の目的—分散環境の統合

分散環境の統合とは、ネットワークに接続された個々



のUNIX機やパーソナルコンピュータ（PC）などを単一の計算機と同様に利用できる環境を提供することである。

この分散環境の統合と言う利用者環境設定を初代の数値宇宙エンジンでは”SPINE\*”方式で行っていたが、今回の数値宇宙エンジン環境は、それをWSCE方式で構築している。WSCEとはウェブ（Web）方式による利用者環境技術である。

この方式は、アプリケーションの起動、ファイル操作、計算結果の対話的可視化などをWindowsと同等の簡単な操作で実現するものである。ネットワークで接続され分散しているUNIX機、PCなどを単一の計算機であるのと同様に利用できる環境を提供することを目指しており、様々なアプリケーションをこのWeb Super Computing環境で運用することが可能となる。

一般に、HPCサーバを有効に利用するには、Windowsに比べ難しいUNIXコマンドに精通している必要がある。また、HPCサーバを利用する際には、どのマシンのどのディレクトリに何のアプリケーションが入っているかを予め知っている必要がある。そうした条件を利用者が揃えていないと、複数の計算機を統一的に扱うことは困難であり、利用上の障壁となる。

こうした障壁を克服するのがこの分散環境統合方式でありその最新技術であるWeb方式である。この方式により、HPCを含めたUNIX機をWindowsと同等の操作性で利用することが出来る。また、ネットワークで繋がれたUNIX機、PCなどを単一の計算機と同様に利用できる。従って、利用者は利用するアプリケーションの位置などを気にする必要がなく、またOSにも依存せず、簡単な操作で計算が実行可能である。

#### \*SPINE: Software Platform for Processing

Information in a Network Environment 「分散環境統合ミドルウェア」の略。

### 9.2 WSCEによる数値宇宙エンジン端末

初代数値宇宙エンジン導入時には、専用端末としてワークステーションを各研究棟に合計15台配置し、研究者が自らの研究棟から数値宇宙エンジンを操作し得るよう環境を整備し、数値計算に関わる利用環境を改善するのに資した。しかし、導入後時を経るに従い、研究棟ごとに端末に対する利用状況や要求仕様の違いが大きくなった。

そこで、今回の更新に於いてはこの端末を各研究者の選択に委ねることとした。

従って、各研究者は各自の使用するPC若しくはワークステーション（WS）を回線に接続することにより、自らの機材を数値宇宙エンジンの端末とすることが出来る。これにより、各研究員は自らの研究目的や使用状況等に応じてPC等機材の選定を行い、柔軟で能率的な数値計算環境を得ることが可能となる。

WSCEの端末は次の特徴を有する。

- (1) ユーザ端末としてPC又はWSが利用出来る。
- (2) 端末が対応するOSはWindowsの他、Javaアプレット実行可能なUNIX系OS、Mac OSである。但し、Windowsを搭載したPCを主たる端末と想定して、当WSCEの導入へ向けての開発が行われている。
- (3) WSCEが提供する基本機能については各利用者が用意したPC等のユーザ端末環境で利用出来る。
- (4) WSCEを介して可視化するソフトウェアなどXアプリケーションを利用する場合は、PCにXサーバソフトを搭載する必要がある。また、大規模な画像表示など計算機負荷の高い処理を行うことになるので、高性能CPU、大容量メモリ及び高速グラフィックカードを持つ高性能PCを端末に用いる必要がある。
- (5) ユーザの利用目的に応じて種々のPC及びWSを端末として利用出来る。それらPC等の上で統一的にサーバ群を利用出来るのがWSCEの利点の一つである。端末がWindows PCでもUNIXでもMacでも、同じ操作方法で使うことが可能である。

機種更新後一定の時間が経過しているが、各研究員が自らの研究目的等に応じてPC等を選択し活用しており、当初の考え方が有効であったと確認出来る。利用者の多くは自室にてPCを用いている。基本的には、所内にてネットワークに接続さえすれば、利用可能であり、研究者の数だけ端末が存在し得る。

### 9.3 WSCEが提供する基本機能

WSCEの主要構成は、WSCEプログラムマネージャ、WSCEエクスプローラ、WSCEエディタ、WSCE Telnetターミナル、解析データベースの5点である。以下、WSCEの各画面操作に関して記す。

#### (1) WSCEプログラムマネージャ

この画面は、利用可能なアプリケーションに関する情報を配信するもので次の機能を有する。

- (a)初期画面の提供
- (b)エクスプローラ画面、アプリケーション等の起動
- (c)オンラインドキュメントの表示

図9.1にWSCEプログラムマネージャ初期画面の例を示す。

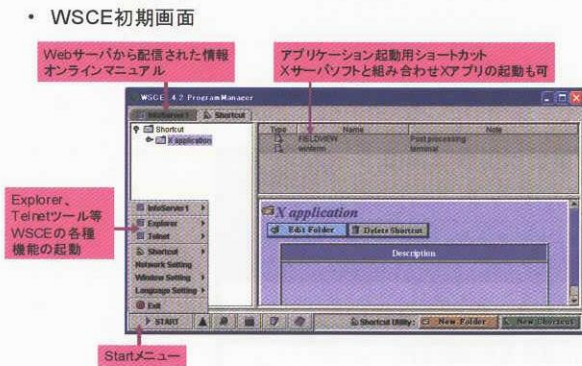


図9.1 WSCEプログラムマネージャ

## (2) WSCEエクスプローラ

この画面は、Windowsのエクスプローラと同等の操作性を有し次の機能を提供する。

- (a)ファイル操作、FTP、圧縮及び解凍
- (b)主要なUNIXコマンドのGUI実行
- (c)バッチジョブ投入及び管理機能

図9.2にエクスプローラ基本画面を、図9.3にUNIXコマンドのGUI操作画面を、図9.4にバッチジョブ管理画面の例を示す。

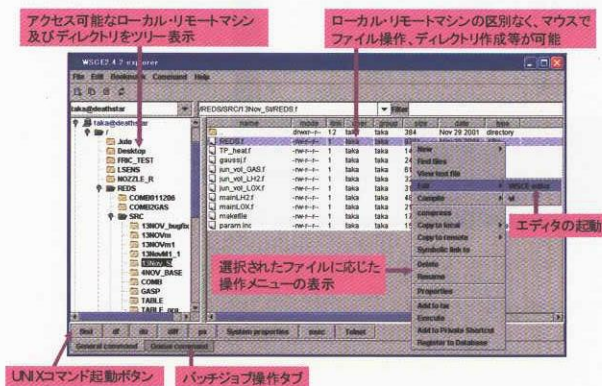


図9.2 WSCEエクスプローラ：基本画面

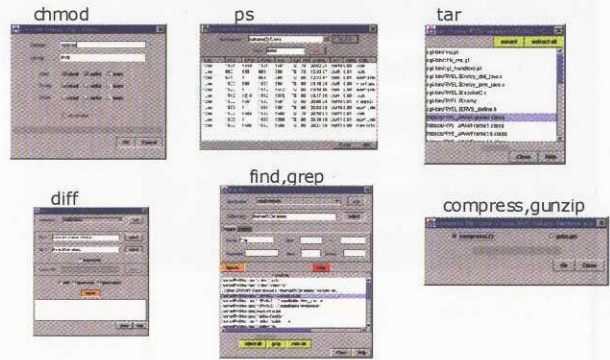


図9.3 WSCEエクスプローラ：  
UNIXコマンドのGUI操作  
40種類以上のUNIXコマンドの実行を  
GUIでサポートする。



Qsub

file name:

Queue:

Optional

stdout file:

stderr file:

request name:

バッチジョブ投入支援画面

Qstatq (QUE's status information)

REQUIRE DA PATENT FOR JAXA'S SOFTWARE PACKAGE

C2M5 : sx6 C4M20 : sx6 C8M30L : sx6gb1  
C8M30M : sx6gb1 C8M30H : sx6gb2 MPI40M : sx6gb3

QUEUE NAME	ENA	STS	PRI/BPR/	TMS /MPR	RLM	TOT	QUE	RUN	WAI	HLD	SUS	ARR	EXT
C2M5	ENA	RUN	20/ 95/	1000/ 10	5	4	0	4	0	0	0	0	0
C4M20	ENA	RUN	20/ 95/	1000/ 10	1	1	0	1	0	0	0	0	0
C8M15L	ENA	STP	20/ 80/	1000/ 10	1	1	0	1	0	0	0	0	0
C8M30L	ENA	RUN	20/ 90/	1000/ 10	1	1	0	1	0	0	0	0	0
C8M30M	ENA	INA	20/ 60/	1000/ 10	1	1	0	1	0	0	0	0	0
C8M30H	ENA	RUN	20/ 95/	1000/ 10	1	2	1	1	0	0	0	0	0
MPI40M	ENA	RUN	20/ 95/	1000/ 0	1	6	5	1	0	0	0	0	0

バッチジョブ実行状況表示画面

Qstatr (QUE's status information)

C2M5 : sx6 C4M20 : sx6 C8M30L : sx6gb1  
C8M30M : sx6gb1 C8M30H : sx6gb2 MPI40M : sx6gb3

REQUEST ID	NAME	OWNER	QUEUE	PRI	NICE	MEMORY	TIME	STT	JID	R
43766.sx6fe0	mpi.csh	kouchi	C2M5	31	0	2914M	1216	RUN	3472	-
43767.sx6fe0	go.sh	yatsuna*	C2M5	31	0	350M	1082	RUN	3473	-
3997.azusa	go_cone	kazuo	C2M5	31	0	232M	728	RUN	3474	-
3998.azusa	gogo.sh	onaya	C2M5	31	0	1222M	75.526	RUN	3475	-
43763.sx6fe0	mpi.csh	kouchi	C4M20	31	0	3745M	18628	RUN	3470	-
3995.azusa	go_c.csh	onaya	C8M30L	31	0	2991M	6959	RUN	2969	-
2179.sx6ix2	trT1.sh	molikawa	C8M30H	31	0	16411M	11878	RUN	3543	-
2180.sx6ix2	trT3.sh	molikawa	C8M30H	31	0			QUE		-
50133.sx6fe3	gogo.sh	kodera	MPI40M	31	0	92492M	2021	RUN	660	-
50118.sx6fe3	e2r10.sh	tanno	MPI40M	31	0			QUE		-
50138.sx6fe3	gom8.sh	tanno	MPI40M	31	0			QUE		-
50143.sx6fe3	hiest.sh	narita	MPI40M	31	0			QUE		-
50148.sx6fe3	e2r.sh	tamayama	MPI40M	31	0			QUE		-

バッチジョブ削除操作画面

図9.4 WSCEエクスプローラ：バッチジョブ管理

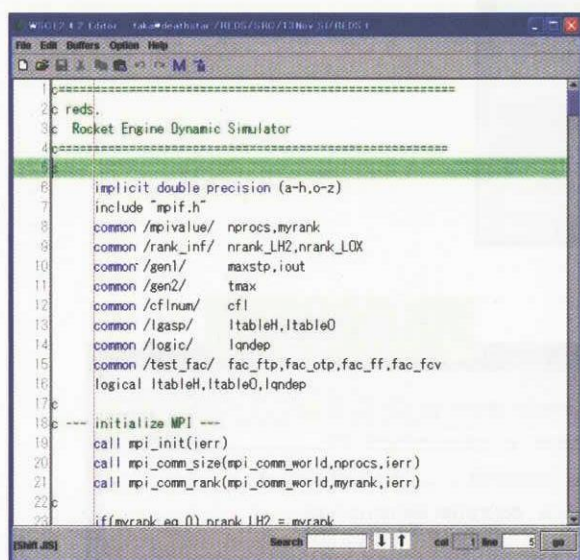


## (3) WSCEエディタ

WSCEエディタはテキストエディタであり、その機能は次の通りである。

- (a) リモート・ローカル上のファイルの編集
- (b) Fortran、C、Javaに対応したシンタックスカラーリング機能及びカラム表示
- (c) ユーザによるカスタマイズ

図9.5にWSCEエディタの例を示す。



- ・テキストエディタである。
- ・リモート・ローカル上のファイルが編集可能。
- ・Fortran、C、Javaに対応したシンタックスカラーリング機能やカラム表示機能を有す。
- ・ユーザーによるカスタマイズが可能。
- ・viエディタもサポート。

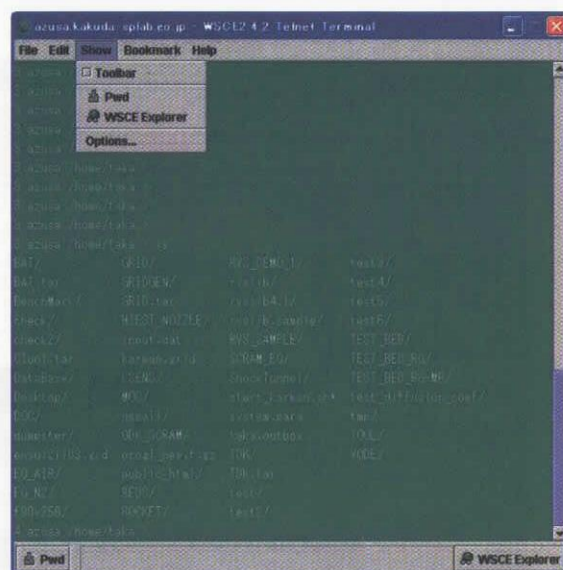
図9.5 WSCEエディタ

## (4) WSCE Telnetターミナル

WSCE Telnetターミナルは、従来のtelnet機能を更に利用し易くしたものであり次の機能を有する。

- (a) リモートマシンへの自動ログイン
- (b) 作業ディレクトリのブックマーク機能
- (c) WSCEエクスプローラとの連携強化
- (d) ユーザカスタマイズ機能

図9.6にWSCE Telnetターミナルの例を示す。



- ・リモートマシンへの自動ログイン
- ・作業ディレクトリのブックマーク機能
- ・WSCEエクスプローラとの連携機能
- ・ユーザーカスタマイズ機能

図9.6 高機能 telnetツール

## (5) 解析データベースとの連携

解析データベースは、計算結果及び実験データを系統立てて収録し、情報の共有と閲覧を可能にすることを目的に導入した。

解析データベースは、第7章に示したデータベース技術に基づき解析結果や実験結果を登録するデータベースシステムであり、解析結果や実験の数値データや画像データを登録すると共に、それらを纏めたドキュメント等を登録し、更に検索機能によってそれらの閲覧が可能であり、情報のグループ共有化を図ることが可能となった。

WSCEとの関係では、計算結果等サーバ上のファイルを簡便に登録するためサポート機能をWSCE上に整備し、WSCEとの連携が可能となるよう設定した。

図9.7に解析データベースの例を示す。

## 9.4 数値宇宙エンジン環境利用マニュアル

当数値宇宙エンジンの使用法に関しては、邦語及び英語の取り扱い説明書を整備している他、使用頻度の高い部分に就いてはウェブサイトを設置し、当所のイントラにより閲覧可能である。そこに、本体及び各アプリケーション等に就いて邦語及び英語にて使用法を掲示し、利用者の便に供している。



**カテゴリ表示(例)**

**カテゴリ構造のツリー表示**

**カテゴリに登録されたコンテンツの一覧表示**

・画像データの表示、ファイルのダウンロード・アップロード等の操作が可能。

**コンテンツ表示(例)**

・ Webアクセスの他、WSCEプログラムマネージャからも起動可。

・ WSCEエクスプローラからデータ登録可能。

**AIAA 2002 4147.PDF** 表示 ローカルにダウンロード リモートホストにダウンロード

登録者: taka (登録日時: 2002/07/15 11:30 最終更新日時: 2002/07/15 11:43)  
登録先カテゴリ: ROOT/taka/ロケットエンジンノズル流れのCFD/発表文献/H14年度

■タイトル  
38th AIAA Joint Propulsion発表paper

■種別  
発表文献

■サイズ  
442572

■説明  
38th Joint Propulsion Conference(2002/7/10)発表論文(AIAA Paper 2002-4147) Title: Influence of a Gap for Film Cooling on Transient Flow Characteristics of Rocket Engine Nozzles サブスケールLE-7Aエンジンモデルを基本形状とし、上部ノズルと下部ノズル間の接続部形状がエンジン始動停止時の過渡的ノズル流れに及ぼす影響をCFDで詳細に説明し、横力やその原因となる非対称流れの発生との関係を検討した。

■サムネイル  
サムネイルは登録されていません

■関連コンテンツ  
関連コンテンツは登録されていません

関連の追加 関連の解除

解析対象 ロケットエンジンノズル

コンテンツの編集 コンテンツの削除

図9.7 解析データベース



9.5 数値宇宙エンジン環境の構築及び支援

構築に関しては概ね9.3節に記した通りである。また、利用者の利用状況の進展に応ずべく内容の作り込みを順次進めており、より完成度の高いものにする努力を継続している。

また、端末は上記9.2節に記した通り各研究者に委ねることとしたことから、各研究者の用いる端末用機材に関して計算センタが機種種の相談、接続法などの支援を常時行っている。

以上により、Web技術を用いたWSCEの導入により高機能で且つ簡便な操作で数値宇宙エンジンを利用出来るユーザ環境が整備された。

また、今回の機種更新に際しては端末を各研究者が自らの研究目的に設置しているパーソナルコンピュータ又はワークステーションを充てるとした事により、自らの研究目的や使用状況に応じて機材を選定し研究に活用している。今後、研究環境の向上及び研究の能率化に資するものと考えている。

第10章 運用管理・保守体制等

10.1 システムの運転

システムの運転は自動運転機能・装置により自動化され、システムに異常が発生した場合には異常内容に応じた処置を行い、運用が継続可能で有れば異常内容に応じたモードに切り替えて運用を続ける。また、障害発生時あるいは障害の兆候を検出した時には、ユーザーサイトからの電話回線を通じて保守センターに障害内容を自動的に通報し、障害の早期復旧および予防保守を行う事ができる。

10.2 ジョブ及びジョブクラス

ジョブはインタラクティブ処理とNQSによるバッチ処理の2種類を設け、クロスコンパイラ環境からもジョブの投入ができる。NQSジョブはCPU使用時間、メモリ使用量、CPU台数、優先度等により、ジョブのクラス分けをしている。これらのジョブクラスは、4ヶ月毎に見直している。見直し方法は、4ヶ月目毎に数値宇宙エンジン利用希望者が提出する数値宇宙エンジン利用計画書を基に、数値宇宙エンジンユーザ会で審議決定する。

具体例を次の表10.1に示す。

またチェックポイントリスタート機能により、ジョブを一時的に終了させ、再開させる事も可能である。

10.3 各種サーバの機能設定

10.3.1 メインサーバ（SX-6）の各ノードの設定

- (1)ノード0  
インタラクティブとバッチジョブの両方が利用可能である。またフロントエンドマシンとして機能しバッチジョブの投入用に設定している。ログインは可能である。
- (2)ノード1 からノード7  
バッチジョブの実行専用として設定している。ログインは不許可としている。

10.3.2 プリポストサーバ（Express5800）の設定

プリポストサーバとしての機能以外に、フロントエンドマシン、プログラム開発、クロスコンパイル、バッチジョブ投入等に利用できる。ログインは可能である。

表10.1 ジョブのクラス分けの具体例

Que name	利用可能CPU数	メモリ	Runlimit	MMF容量	Node#	割当てユーザ
C2M5	2	5GB	5	0GB	0	研究者A、B
C4M20	4	20GB	1	0GB	0	研究者C、D、B
C8M30L	8	30GB	1	0GB	1	研究者E、B
C8M30M	8	30GB	1	0GB	1	緊急用
C8M30H	8	30GB	1	30GB	2	研究者F、E
MPI40M	40	40GBx5	1	20GB/node	3-7	研究者G、H

### 10.3.3 可視化端末 (Octane2) の設定

数値シミュレーション結果の可視化マシンとして機能し、またクロスコンパイルが可能である。ログインは可能である。

### 10.4 SX-6クロスコンパイルの利用

メインサーバのノード1からノード7はバッチ処理専用に利用するため、SX-6上で実行させるプログラムのコンパイル・リンク等は、メインサーバのノード0に搭載されているセルフコンパイラ、プリポストサーバ、または可視化端末上で行う。

プリポストサーバあるいは可視化端末上で作成したモジュールは、メインサーバに対してNQSジョブの投入を行う事により、メインサーバ上で実行させることができる。

### 10.5 システムの利用、利用案内、利用手引き、オンラインマニュアル

システムの利用は、システム利用申請書を基にシステム内にユーザ登録することにより利用可能となる。ユーザ管理はNISを用いて管理している。

利用案内、利用手引き、オンラインマニュアルはWebにて公開し、ユーザのパソコンあるいはワークステーションからブラウザを利用する事により参照可能である。これらは日本語および英語で提供している。

さらに、Web掲示板を利用し、数値宇宙エンジン全体に関するユーザからの各種問い合わせに対する回答を載せ情報の公開を行い、同じような問題を持つ人にも役立つようにしている。

### 10.6 システム運用時間および定期保守

システムの運用時間は、原則24時間連続運転としている。また、定期保守については、周期はSX-6定期保守関係資料および空調機保守関係資料を基に、SX-6の保守頻度を①6ヶ月に一度とするか②3ヶ月に一度にするかに就いて得失を比較検討した結果、年4回（原則、3ヶ月に1度、第3月曜日8:30から行う予定）の方が一回当たりのシステムの停止時間が短くて済むなどの利点があり、保守に関わる作業時間数など現下の状況を前提に年間4回を方針として実施することとした。理由は補遺に示す。

### 10.7 システムの設置場所およびシステム使用環境条件

メインサーバSX-6およびプリポストサーバExpress5800、磁気ディスク装置はデータベース棟に設置し、可視化端末およびテープアーカイバ装置は計算センター建屋の端末室に、無停電電源装置は計算センター建屋の電源室に設置している。システムの設置位置を図10.1に示す。

各種サーバおよび周辺機器は無停電電源から電源を供給しており、電源異常時には無停電電源装置から電源を供給し、安全にシステムの停止ができるように設定している。

### 10.8 初代数値宇宙エンジンから後継機への移行

初代数値宇宙エンジン（旧機種）から後継機（新機種）への移行に望み、以下に示す周知業務をメールやWebを用いて関係者に徹底し、円滑な移行を行う事で新システムを直ぐに利用できるように移行作業を進めた。

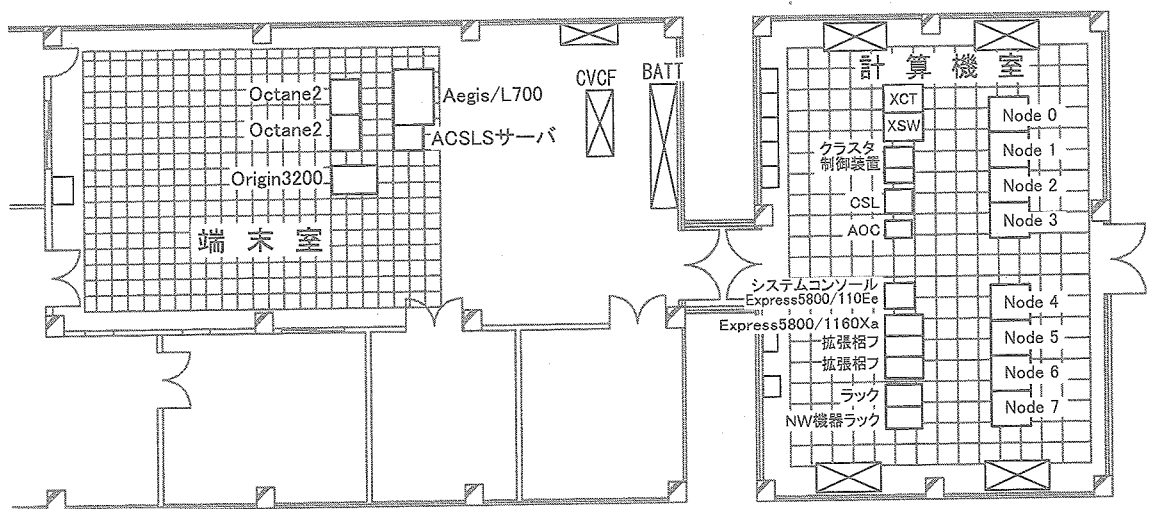


図10.1 システムの設置位置

- 1) 旧機種の運用終了・撤去スケジュールおよび新機種の導入・運用開始スケジュールの周知
- 2) 移行に伴う個人データのバックアップ方法の周知および対応
- 3) 旧機種と新機種における相違点（データ型や言語仕様等）の周知
- 4) システムの利用方法やプログラミング等の講習会実施

移行作業は、平成14年3月予定通り円滑に遂行された。

### 第11章 初期的成果

導入後およそ一年余りが経過した。初期的な不具合、いわゆるバグの類も順次解消され、一方で初代数値宇宙エンジンから引き継いだソフトウェア及びアプリケーションの使い込みも進んでいる。演算性能が10倍余の向上となった上に、稼働率も初代数値宇宙エンジン時代よりも上昇し、性能拡大以上の利用頻度となっており、研究業務に資している。初期的成果は、やはりロケット関係のターボポンプ内流れやエンジンノズル内流れ、またスクラムジェットエンジン内燃焼流れに顕れている。ロケットエンジン関係の成果としては文献<sup>4, 5)</sup>を、スクラムジェットエンジン関係のものとしては文献<sup>6)</sup>に掲げる。

上述の文献4に示すロケット関連成果の内、ターボポンプ内流れに関するものとは、液体ロケットエンジンエンジンに推進剤を供給するターボポンプの、その性能を左右するインデューサ周り流れを対象としたCFDシミュレーションである。このターボポンプの研究開発は従来から大型試験設備を用いて行っているが、実験ではインデューサ周りの詳細な流れ場の様子を観察することは困難であり、その流れ場の解明が課題となっている。このCFDシミュレーションにより3次元流れ場の詳細な再現が出来、インデューサ周りの流れ場の逆流の発生の場所や規模を把握した。

また、上記文献5に示すロケット関連成果の内、ノズル内流れに関するものとは、ロケットエンジン始動過程においてエンジンノズル主軸方向に対して直角方向に発生する力、いわゆる横力が問題となり、その原因究明および解決策が求められ、その流れ場を把握するためにCFDにてシミュレーションしたものである。このシミュレーションでは、冷却の必要性からノズル内壁に設けざるを得ない段差がノズル内過渡流れ特性に及ぼす影響とその横力発生との関係に関して、非定常3次元剥離を伴う流れ場の再現計算を行い、ロケットエンジン始動特性の把握に貢献している。

そして、文献6に示すスクラムジェットエンジン関係のものとは、当角田宇宙推進技術研究所において研究を進めているスクラムジェットエンジン内部の流れを3次元燃焼流れとしてCFDでシミュレーションしたものである。飛行条件としては当所にて実験を行っているマッハ8条件に設定し、エンジン形状も横および縦の二方向から圧縮する実験同一形状とし、燃料を順次増量し発生推力が増進する状況をCFDにて再現し、実験結果と良好な一致を得ることが出来、実際のエンジンで生じている燃焼特性を解明し、エンジン性能向上に資する知見を得ている。

今後こうした計算結果に基づく研究の進展が期待出来る。

さて、第2章にて機種の更新に際し柱となる考え方として次の2点を挙げた。

- 1) 増大する計算需要や高解像度大規模計算に対応し得る必要最小限の演算性能等を確保すること。
- 2) 初代数値宇宙エンジン<sup>1)</sup>（平成9年3月から平成14年2月まで）にて確立した各種基盤技術、特に研究者の研究遂行を支援する操作環境（分散環境統合技術、GUIベースの利用者環境、実時間可視化、ステアリング、他）を継承発展させること。

これらについては、演算性能及び記憶容量の拡大を達成し、また操作環境も初代数値宇宙エンジンからの理念を継承発展できたと考えている。詳細については別途報告を行う予定である。

### 第12章 後書き

機種更新に臨んでは、性能や利用環境を向上させるのは勿論のこと、研究に空白が生じないように初代数値宇宙エンジンから後継機への新旧切り替えを間断なく円滑に行うことが要求されていた。導入に関わった関係者各位の尽力と各利用者の協力等により、当初の計画通り障碍無く円滑に為し得た。

また、今回の機種更新の新機軸の一つが各研究棟配置の端末である。従来は、専用の端末を設置したが、今回はこれを各研究者が自らの研究目的に設置しているパーソナルコンピュータ又はワークステーションを充てることにした。詰まり、Webブラウザを用いることにより端末の仕様は各研究者の判断に委ねることとしたわけである。これにより、専用端末の仕様に拘束されることなく、自らの研究目的や使用状況に応じて機材を選定し回線に接続することにより数値宇宙エンジン端末とすることが実

現出来た。今後、研究環境の向上及び研究の能率化に資するものと考えている。

因みに、今回の更新機は導入直後の平成14年6月時点では世界の上位500機種中88位であった。

(Top 500 List 06/2002

<http://www.top500.org/list/2002/06> より)

性能の追求のみが計算機利用の真価ではないのは勿論であるが、当所の擁する計算機が世界の一定水準に達したことは慶賀すべきことである。従って、今後はそれに相応しい成果を挙げることが前にも増して重要になることを各員肝に銘じている。

### 謝辞

今回の機種更新に際しては関係各方面の方々の御尽力を頂いたので謝辞申し上げる。特に、計算機等の供給では日本電気殿、建屋増築では楠山設計事務所殿、松浦組殿、ユアテック殿に謝辞申し上げる。

平成15年6月

数値宇宙エンジン後継機導入に関する技術報告書  
編集事務局

独立行政法人航空宇宙技術研究所

角田宇宙推進技術研究所

ラムジェット推進研究センター

エンジン空力グループ

佐藤 茂

管理課情報技術係

望月宗和

(※機関名及び所属役等は平成15年6月現在とした。)

### 引用文献

- 1) 航技研数値宇宙エンジン導入班、数値宇宙エンジンの導入、航空宇宙技術研究所資料 TM-768、平成14年12月、航空宇宙技術研究所
- 2) 佐藤 茂、高橋政浩、谷 香一郎、札野欽也、中野英一、航技研角田数値宇宙エンジンにおけるウェット方式スーパーコンピューティング環境、航空宇宙数値シミュレーション 技術シンポジウム、平成15年6月、航空宇宙技術研究所
- 3) 木村俊哉、角田数値宇宙エンジンシステム、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2002、平成14年7月、航空宇宙技術研究所
- 4) 木村俊哉、山田 仁、橋本知之、CFD SIMULATION OF A TURBOPUMP INDUCER、39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit、平成15年7月
- 5) 高橋政浩、富田健夫、坂本博、田村 洋、渡辺泰秀、坪井正徳、ロケットエンジンノズル形状と 横力の発生

について、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2002、平成14年7月

- 6) 小寺正敏、CFDによる側壁・ランプ圧縮併用型スクラムジェットエンジンの作動特性解析、航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2003、平成15年6月

### 補遺：定期保守を年4回とした理由

定期保守については、周期はSX-6定期保守関係資料および空調機保守関係資料を基に、SX-6の保守頻度を①6ヶ月に一度とするか②3ヶ月に一度にするかに就いて得失を比較検討した結果、年4回（原則、3ヶ月に1度、第3月曜日8:30から行う予定）の方が一回当たりのシステムの停止時間が短くて済むなどの利点があり、現下の状況の下年間4回を方針として実施することとした。具体的には次の場合分けを基に検討した。

#### 【場合1】SX-6の保守頻度を6ヶ月に一度とした場合

SX-6自体は6ヶ月に一度の保守でも充分であるとの技術的理由に基づけば、6ヶ月に一度の保守が可能である。

- (1) その際の数値宇宙エンジンの停止時間は、一回当たり合計8時間になる。  
合計8時間＝システムの停止および再起動：0.8時間＋SX-6点検：7.2時間
- (2) Azusa（プリポストサーバ）等周辺機器の点検はSX-6と並行して行い、停止時間は1時間である。
- (3) 空調機の保守は、SX-6とは関係なく年一回の総合点検（1時間/回）と年3回の保守点検（0.5時間/回）が必要であり、合計年4回の保守作業日が必要である。
- (4) 空調の保守時間と合算すると、9時間停止の日が年1回、8.5時間停止の日が年1回、1.3時間停止の日が年2回となる。SX-6の保守が年2回としても、SX-6を停止する日が年に4回発生する。
- (5) 従って、年2回とは言えほぼ1日中停止する日が2回発生する。また、SX自身に起因する保守停止以外にも年2回停止せざるを得ず、不合理である。

#### 【場合2】SX-6の保守頻度を3ヶ月に一度とした場合

- (1) その際の数値宇宙エンジンの停止時間は、一回当たり合計4.5時間になる。

合計 4. 5 時間

= システムの停止および再起動 : 0. 8 時間 + S

X-6 点検 : 3. 7 時間

- (2) Azusa (プリポストサーバ) 等周辺機器の点検は SX-6 と並行して行い、停止時間は 1 時間である。
- (3) 空調機の保守は、上記 1 の 3) に記した通り、合計年 4 回の保守作業日が必要である。
- (4) 空調の保守時間と合わせると、5. 5 時間停止の日が年 1 回、5 時間停止の日が年 3 回となる。
- (5) 従って、SX-6 側は SX 自身に起因する保守作業を空調保守作業日にも分散することにより、一回当たりの停止時間を最大でも 5. 5 時間に留めることが出来る。周辺機器の保守が 1 時間で終わることから、残り時間を計算の前処理後処理等に振り向ければ、この最大 5. 5 時間は許容できる範囲である。

尚、この比較検討は平成 14 年 5 月時点の状況に基づいており、今後の経過により状況等に変化が生じた場合は改めて見直すこととしている。





宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-03-031

---

発行日 2004年3月25日  
編集・発行 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構  
〒182-8522  
東京都調布市深大寺東町七丁目4番地1  
TEL 0422-40-3000 (代表)  
印刷所 株式会社 ビー・シー・シー・  
東京都港区浜松町2-4-1

---

©2004 JAXA

※本書(誌)の一部または全部を著作権法の定める範囲を超え、無断で複写、複製、転載、テープ化およびファイル化することを禁じます。

※本書(誌)からの複写、転載等を希望される場合は、下記にご連絡ください。

※本書(誌)中、本文については再生紙を使用しております。

<本資料に関するお問い合わせ先>

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 情報化推進部 宇宙航空文献資料センター





宇宙航空研究開発機構  
Japan Aerospace Exploration Agency

