

# JSS2システム概要と活用・運用

藤田直行（宇宙航空研究開発機構）

Overview of the JSS2 system and its utilization/operation (JAXA)

## Abstract

JAXA Supercomputer System generation 2 (JSS2) has begun to work from October 1, 2014. When we think back to history of a supercomputer of JAXA, FACOM-230-75APU promotes a CFD study, FACOM VP400 makes a practical use of RANS equation simulation, Numerical Wind Tunnel (NWT) realized parametric study using steady flow simulation. By JSS2, we are going to do unsteady flow parametric study, data processing which is new comer for JAXA supercomputer system, and so on. JSS2 consists of computing facility named SORA (Supercomputer for earth Observation, Rockets, and Aeronautics) and archival system named J-SPACE (Jaxa's Storage Platform for Archiving, Computing, and Exploring).

## 1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(以下、JAXAと記す)にとって、二代目のスーパーコンピュータシステムJSS2: Jaxa Supercomputer System generation2 が2014年10月1日から稼働を開始した。数値シミュレーションの航空宇宙分野での活用促進や利用分野の拡大に伴い、慢性的に計算資源が不足していたが、この状況はひとまず解消すると期待されている。本稿はまず、JAXAにおいてCFD: Computational Fluid Dynamics の発展に大きく寄与した3つのスーパーコンピュータ(以下、スパコンと記す)システム、FACOM230-75APU、FACOM V400及び、数値風洞について述べ、それらが解決した課題を振り返る。続いて、JSS2のシステム概要と運用方針及び、今後取り組んでいく課題を述べる。

## 2. JAXAスパコンの歴史と課題

図1に、JAXAスパコンの年表を、その計算能力と共に示す。1960年のBurroughs社製Datatron-205から始まったスパコンは、システム換装の度に性能を向上していったが、中でも、FACOM-230-75APU、FACOM VP400及び数値風洞(NWT)のCFD発展への寄与は大きかった。

### 2. 1 FACOM-230-75APUとCFD研究の推進<sup>[1]</sup>

FACPM-239-75APUは1972年末より科学技術庁 航空宇宙技術研究所(以下、航技研と記す)と富士通(株)の間で検討が開始され、1977年に導入された我が国初めてのベクトル計算機であり、我が国のスーパーコンピュータ開発の引き金となった計算機である。主なハードウェア仕様は以下の通りである。

- (1) 汎用大型計算機FACOM-230-75と非対称な密結合多重計算機を構成する。
- (2) マシンサイクルタイム90[ns]、加算(単精度22M[FLOPS])、乗算(単精度11M[FLOPS])及び、論理演算の3本のパイプラインを持つ。
- (3) 固定小数点及び浮動小数点(単精度、倍精度、4倍精度)のデータ形式を扱う。
- (4) 256個の汎用レジスタ、1792words(1wordは36bit)のベクトルレジスタ、2048wordsのキャッシュメモリを持つ。
- (5) 主記憶は、1,048,576wordsで、32wayインターリーブ構成である。

ピーク性能と実効性能の比である実効効率は平均約30%、絶対性能では以前の計算機と比較して20~30倍の高速性を実現した。

このシステムと、その後継システムであるFACOM-M380+FACOM-M180 II AD×2において、遷音速微小擾乱ボテンシャル方程式及び完全ボテンシャル方程式を用いた翼型、主翼及び主翼・胴体結合体周りの外部流、航空エンジン内部流及びレイノルズ平均ナビエストークス方程式(以下、RANS方程式と記す)を用いた翼型周りの各シミュレーションが盛んに行われた。

### 2. 2 FACOM VP400とRANS方程式CFD<sup>[1]</sup>

ベクトル計算機によるCFD研究推進の成功を背景に、航技研は1987年に、RANS方程式により主翼周りの遷音速の数値シミュレーションを1時間程度で処理することを目標として、ピーク性能1GFLOPS、主記憶容量128~256MBのベクトル計算機の開発を国内外の計算機各社に呼びかけた。これに応えて国内

外複数社が提案を行い、目標性能の実現を目指して航技研との検討を開始した。FACOM VP400(以下、VP400と記す)はこの検討の中から生まれた計算機である。その特徴はシステム設計の方法にあり、以下の通りである。

- (1) 既存機種FACOM VP200をベースとして、パイプライン演算器とベクトルレジスタのデータ転送能力の強化を行うことで、少ない開発コストで構築した。
- (2) 設計段階で、CFDプログラムと強化箇所を含めた構成及びタイミングの分析を行い、既存機種と比較し3割ないし8割性能向上するとの予測を立て、実測でも1.13倍ないし1.97倍を記録し設計の正しさを証明した。

CFDプログラムの処理において、実効効率は約25～60%、絶対性能でそれまでの主力計算機FACOM-M380の20～70倍の性能を発揮した。

VP400の導入により、航技研のCFDはポテンシャル方程式に基づくものからRANS方程式に基づくものへと一変し、その適用分野も航空機とその推進系ばかりでなく宇宙往還機とその推進系へと拡大した。遷音速民間輸送機全機形状に関する格子点数約114万点のRANS計算を主記憶400MBを用い約12時間で行い、宇宙往還機HOPEの実在気体効果を含めたラダーやエルロン等の付属物のつかない全機形状(以下、クリーン全機形状と記す)の格子点数約40万点のRANS計算を主記憶230MBを用い約10時間で行う等、RANS計算の実用の時代に入った。

## 2. 3 数値風洞(NWT)と定常計算パラメトリックスタディ等<sup>[2]</sup>

VP400の導入により航技研の数値シミュレーション

は、非粘性流を中心とするものからRANSを中心とするものへと発展したが、同時に、クリーン全機形状の航空機の遷音速流計算や実在気体効果を含む極超音速流計算に10～25時間を要し、技術開発に必要なパラメトリックスタディを行うことが時間・コストの両面で不可能に近いこと、格子点500万点～1500万点を必要とする付属物のついた完全機体形状のRANS計算を適切な処理時間内で実行できること、格子点1億点～1億5千万点を必要とする乱流モデルや燃焼モデル確立のための計算ができないこと等、計算機の性能と主記憶容量の不足に起因する問題点も明らかになった。

これらの問題点を解決するスパコンとして、当時の計算機技術の分析を重ね、航技研は、以下の特徴を持つスーパーコンピュータを開発・設置した。

- (1) 適用範囲をCFDに限って設計を進め、超高速計算機を設計する。
- (2) VP400の100倍以上の演算性能、主記憶容量32GB以上を持つ。
- (3) 分散主記憶型並列計算機である。
- (4) インターコネクトはクロスバーネットワークである。

絶対性能でVP400の約230倍の性能を持つ数値風洞が出来上がった。

数値風洞の導入により、RANS方程式による定常計算のパラメトリックスタディが可能となり、設計ツールとしての数値シミュレーションの発展が始まった。

その後、数値風洞に続くCeNSS: Central Numerical Simulation System やJSS: Jaxa Supercomputer では、乱流モデルや燃焼モデル確立のための計算等非定常計算が盛んに行われるようになってきた。

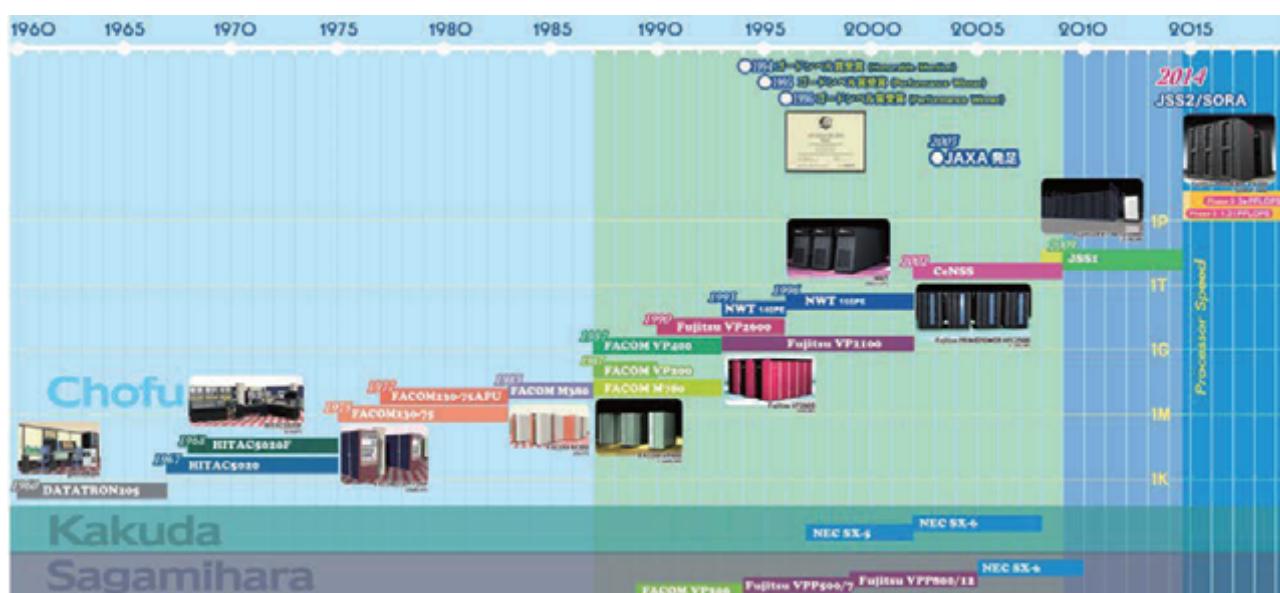


図1 JAXAスパコンの歴史と性能

### 3. JSS2とそこで取り組む課題

2014年10月1日からJSS2のサブシステムの一部が、2015年4月1日からは全てのサブシステムが稼働を開始した。また、2016年4月1日からは、後述するSORA-MAが1.31[PFLOPS]から3[PFLOPS]以上に増強されJSS2のフル稼働が始まることになっている。本章では、JSS2のシステム概要を最初に述べ、運用及びJSS2で取り組もうとしている課題について述べる。

#### 3. 1 JSS2システム概要

JSS2はスペコン部分のSORA: Supercomputer for earth Observation, Rockets, and Aeronautics と、アーカイバ部分のJ-SPACE: Jaxa's Storage Platform for Archiving, Computing, and Exploring 及び遠隔部の3つ主要な部分からなる。これらは、スーパーコンピュータネットワークにより相互接続されると共に、JAXA既設ネットワークとも相互接続される。なお、遠隔地との相互接続は、国立情報学研究所が運用しているSINET4<sup>[3]</sup>のL2-VPN機能を用いてプライベートネットワークを構築し実現している。

##### 3. 1. 1 SORA/JSS2

図2にJSS2のシステム概要図を示す。SORA/JSS2は、6つのサブシステムで構成されている。

###### (1) 計算システム(SORA-MA)

計算システムとは、スペコンシステムの中で最大の演算性能を持つ部分である。高度にチューニングされたプログラム資産をユーザに負担をかけることなく、例えればリコンパイル程度の移行作業で高速に実行することが必要であり、高並列で大規模にバッチ型実行するためのものである。

###### (2) プレポストシステム(SORA-PP)

プレポストシステムとは、格子生成、可視化アプリケーション及び、ソルバー等の市販アプリケーションをバッチ型及び会話型で実行するためのものである。

また、大規模化する可視化作業等を効率的に実施するために、SORA-MAで行った数値シミュレーションやデータ処理の結果ファイルを他の場所にコピーすることなく直接操作する遠隔可視化機能を備える。

###### (3) 大メモリ計算システム(SORA-LM)

大メモリ計算システムとは、分散メモリ並列化が困難で大きなメモリを必要とするアプリケーションをバッチ型ないしは会話型で実行するためのものである。また、プレポストシステムと同様の目的で、遠

隔可視化機能を備える。

###### (4) ログインシステム(SORA-LI)

ログインシステムは、SORA-MA、SORA-PP、SORA-LMで実行するプログラムの編集やコンパイルを行い、バッチジョブとして投入するためのものである。

###### (5) ファイルシステム部(SORA-FS)

ファイルシステム部は、大規模な数値シミュレーションやデータ処理のファイル操作及び、ソースコードの保存等を行うための高速・高可用なクラスター型のファイルシステムである。ディレクトリ単位、ユーザ単位、グループ単位でのQuotaの設定が可能である。

###### (6) 管理・制御部

管理・制御部とは、ジョブ管理、課金・統計管理、空調設備や冷却設備等の外部設備を制御する自動運転機能を提供するものである。ユーザが直接利用することは無い。

##### 3. 1. 2 J-SPACE/JSS2

アーカイバ部であるJ-SPACE/JSS2は、階層管理型ストレージシステムとして提供され、計算エンジン部やファイルシステム部等とは独立して稼働するクラスター型のアーカイブ装置で、大規模ファイルや長期保存が必要なファイルの保管庫であり、高速なファイル入出力能力と複数のユーザインターフェースを持つ。

##### 3. 1. 3 遠隔部(SORA-TPP,-TLI,-TFS,-SFS,-KFS/JSS2)

遠隔部とは、JAXAのつくば事業所、角田事業所、相模原事業所から、SORAやJ-SPACEを効果的に利用するためのものである。

### 3. 2 JSS2の運用

本節では、JSS2の提供するサービス、JSS2の有効利用のための新規機能について述べる。

#### 3. 2. 1 JSS2の提供するサービス

JSS2で提供するサービスは、大きく4つある。計算サービス、可視化サービス、ストレージサービス、ファイル操作・コンパイル等である。表1に各サービスの利用形態や利用可能なサブシステム等を整理した表を示す。

利用形態とは、JSS2をどのように使うかを示すもので、スペコンの伝統的な使い方であるバッチジョ

ブをはじめとして、インタラクティブにスペコンのノードを使用する会話型ジョブ、手元の端末をクライアント、スペコンをサーバとして使用するクライアント・サーバ実行、スペコンノードのコンソールを使えるリモートデスクトップ等がある。なお、ユーザ端末実行とは、スペコンの計算資源は使用せず、ソフトウェアライセンスのみを使用する利用形態のことである。

即時性とは、JSS2の資源やソフトウェアライセンスを即時に使えるのか、キューイングシステムで管理して使うのかの区別を示している。

図2に示していないが、JSS2ポータルというWebブラウザ経由でJSS2を使うシステムがある。JSS2ポータルからの利用とは、このシステムからの利用の可否を示している。

SORA-MAは32個、SORA-PPは12個、SORA-LMは16個のコアを各ノードに持つマルチコアノードになっている。これらのコアをひとつのジョブないしは一人のユーザで専有するか、複数で共有するかを示しているのがノードの専有/共有/TSSの欄である。

利用サブシステムの欄には、各サービスを使用可能なサブシステムを星取表の形で示している。



図2 JSS2システム概要図

表1 JSS2の提供サービス

| サービス・目的       | 利用形態         | 即時性    |               | JSS2ポータルからの利用 | ノードの専有/共有/TSS<br>(※1) | 利用サブシステム           |    |        |     |                   |
|---------------|--------------|--------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|----|--------|-----|-------------------|
|               |              | JSS2資源 | ソフトウェアライセンス   |               |                       | LI, TL             | MA | PP, LM | TPP | J-SPACE, SFS, KFS |
| 計算サービス        | バッチジョブ       | キューイング | 予約 (※2,3)     | あり            | 専有 or 共有              |                    | ○  | ○      | ○   |                   |
|               | 会話型ジョブ       |        | 予約 or 即時 (※4) | なし            | 専有 or 共有              |                    |    | ○      | ○   |                   |
| 可視化サービス       | バッチジョブ       | キューイング | 予約 (※5)       | あり (※5)       | 専有 or 共有              |                    |    | ○      | ○   |                   |
|               | クライアント・サーバ実行 |        | 予約 or 即時 (※4) | なし            | 専有 or 共有              |                    |    | ○      | ○   |                   |
|               | リモートデスクトップ   | 即時     | 予約 or 即時      | あり            | 専有                    |                    |    | ○      |     |                   |
| ストレージサービス     | リモートログイン     | 即時     | —             | なし            |                       | (JSS2サブシステムは利用しない) |    |        |     |                   |
| ファイル操作、コンパイル等 | リモートログイン     | 即時     | —             | あり            | TSS                   |                    | ○  |        |     | ○ (※6)            |

※1 「ノードの専有」とは、ノード単位のユーザ割付でのノード利用を、

「ノードの共有」とは、コア単位のユーザ割付でのノード利用を、

「ノードのTSS」とは、Time Sharing System でのノード利用を、それぞれ指す。

下線はデフォルトを示す。

※2 MAで実行するバッチジョブは、ソフトウェアライセンスの予約を行えない。(ライセンス自体は使用可能)

※3 MA以外で実行する場合、ソフトウェアライセンスは、ジョブの開始時刻・要求経過時間で自動予約される。

※4 予約 or 即時の選択は、JSS2資源と供用ライセンスを一体で行う。

※5 FieldViewのみJSS2ポータルから使用可能。

※6 J-SPACEの使用はhpchofuのみ。

### 3. 2. 2 JSS2の新機能

#### (1) 事業別集計機能

JSS2では、その利用状況をきめ細かく分析し、効率的運用、利便性やユーザサポートの向上に資するため、事業別集計という機能を実現している。JSS2で実行される各ジョブと予め登録された事業コード(JAXAの事業を一定の細かさで整理したもの)を関連付け、各事業でのJSS2の利用状況を集計できるようになるものである。また、事業コードとは別に、利用分類という軸での整理も行う。これは、JSS2の利用において、戦略的な取り組みでの利用、一般的な利用、試験的・萌芽的な利用、大学共同利用設備としての利用、設備貸付利用等、利用に際して優先度や仕組みの異なるジョブを分類するためのものである。表2に、具体的な利用分類の一覧を示す。これにより、次に述べるJSS2で取り組む課題に対してメリハリのある運用の実現を目指している。

表2 利用分類一覧

| 名称         | 説明                                  | 記号* |
|------------|-------------------------------------|-----|
| 重点利用       | 戦略的な取り組みでの利用                        | SP  |
| 一般利用       | 重点利用に紐付られない計算テーマのうち、事業コードが設定されているもの | GE  |
| 小規模利用      | 新規利用を見据えた試験的・萌芽的な小規模計算。事業コードの必要なし   | BS  |
| JSS2大学共同利用 | 大学共同利用                              | AC  |
| 設備貸付       | 設備貸付                                | RS  |
|            | トライアル・ユース                           | TU  |

\*:記号とは、ジョブ投入時に利用分類を指定するために用いる2桁の文字列のこと。

#### (2) 可視化機能

パソコン用コンピュータやGPUボードの急速な高性能化に伴い、研究室レベルのワークステーションで可視化作業を行うことができるようになったJSSの時代には、スパコンシステム内に可視化機能は含まれなかった。しかし、非定常計算が行われるようになり、数千コアから出力される計算結果をユーザの手元の可視化環境で処理することが、処理の巨大化やデータ転送ネット等の理由から、だんだん難しくなってきていた。そこで、JSS2ではデータを移動

することなくスパコン内で可視化まで行えるシステム構成を採用した。可視化処理を主として担当するのは、SORA-PPである。ソルバーを実行するのは主としてSORA-MAであり、これら二つのサブシステムはファイルシステムを高速なインターフェクトで共有しているため、データを移動することなく可視化処理ができるようになっている。また、表1で示したように、可視化処理のインタラクティブ性を確保するための利用形態も用意し、解析環境の向上に努めている。

### 3. 3 JSS2で取り組む課題

2章で述べた通り、FACOM-230-75APUではCFD研究を推進し、VP400ではRANS方程式によるCFDを実用化し、数値風洞(NWT)やその後のシステムではRANS計算によるパラメトリックスタディや乱流/燃焼モデル確立のための計算を現実のものにした。しかし同時に、最近のスパコン利用において、以下の問題点も明らかになってきた。

- (1) 空力定常計算のパラメトリックスタディは、航空機・宇宙機とも設計に不可欠なツールとして実用化されている一方、音響・振動等の非定常計算パラメトリックスタディは計算能力の不足を主たる原因として、実用には至っていない。今後の詳細な分析が必要だが、JSSの10倍ないしは100倍の計算能力が必要と考えられる。
- (2) スパコンの主たる用途が、数値シミュレーションであることは暫く変わらないと考えているが、それ以外の、例えば、データ解析や大量データの蓄積・分析等今までとは違った利用ニーズが出てきており、多様なユーザジョブや利用形態への対応がシステムに求められている。  
これらが解決できると、JAXA事業に対するスーパーコンピュータの大きな寄与が期待できる。

従来は、一般利用の中から希望する課題を募り、内容・緊急性の観点で優先的な実行(特別利用)を毎月調整・運用してきたが、審議時間の関係で、内容の吟味は必ずしも十分ではなかった。そこで、研究開発成果最大化の観点で、JSS2で重点的に取り組む課題を予め審議・決定し、明確かつ透明性のある運用を行うことで、課題選定に関する上記の従来の問題点を解決することにした。この際、上述2つの問題点を考慮し、今年度については、以下の3つの視点でスパコンを重点的に利用する(重点利用) 課題を26種類の計算テーマを分析し選定した。

- (a) プロジェクトの成功に不可欠なもの
- (b) 航空宇宙分野の計算科学を先導するもの
- (c) JSS2 を利用する効果が見込まれるもの

選定された課題は以下の3つである。なお、重点利用

の対象となる課題については、その選定基準も含めて、定期的に見直しを行っていく予定である。

1. H3 ロケットプロジェクト
2. FQUROH/aFJR プロジェクト
3. 地球観測データ高速処理

JSS2ではこれらの新たな課題に取り組み、非定常現象の数値シミュレーションの設計ツールとしての実用化、ビックデータ等データ処理系研究の促進を目指していく。

#### 4. まとめ

JAXAの過去のスパコンシステムの特徴と果たした役割を整理しつつ、2014年10月1日から運用を開始したJSS2について、そのシステム構成・運用・取り組む課題について述べた。今後も、2016年4月1日のフル稼働に向け、利用者の意見を積極的に収集しシステム及び運用の改善に努めていきたい。

#### 参考文献

- [1] 三好 甫、”航空機空力設計推進の為の計算機性能”、第6回「原子力におけるソフトウェア開発」研究会報告集JAERI-M 91-015、1991
- [2] 三好 甫、”航技研超高速数値風洞(UHSNWT)の構想－第二期数値シミュレータ計画－”、航空宇宙技術研究所報告1108号、1991
- [3] 学術情報ネットワーク[サイネット・フォー]、  
<http://www.sinet.ad.jp/>