

## 導入事例

## 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)

世界をリードする日本の宇宙開発を支える  
スーパーコンピュータシステム「JSS」

7年におよぶ宇宙の旅を終えて、小惑星イトカワの表面の微粒子を持ち帰った探査機、はやぶさの成功で注目を浴びている独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)。宇宙航空分野はまさに最先端科学、国が選定したスーパーコンピュータ活用の5つの戦略分野のひとつにとりあげられており、はやぶさに続く成果が期待される分野である。飛躍的に向上した演算性能は、宇宙開発や航空機開発にどのような進歩をもたらすのか。JAXA 研究開発本部数値解析グループのリーダー、藤田直行氏にお話を伺った。



研究開発本部 数値解析グループ  
計算情報基盤セクションリーダー

藤田 直行 氏

3 機関統合による幅広いニーズに対応する  
スーパーコンピュータシステム「JSS」

JAXA は、宇宙航空分野における基礎研究から応用分野の研究開発・利用までを一貫して行う独立行政法人。2003年10月に宇宙科学研究所 (ISAS)、航空宇宙技術研究所 (NAL)、宇宙開発事業団 (NASDA) の3機関を統合して誕生した。

2009年4月にJAXAは統合後としては初となるスーパーコンピュータシステムを導入した。JSS (JAXA Supercomputer System) と呼ばれるシステムは、JAXAの調布事業所内に設置され、角田 (宮城県角田市)、相模原、つくばの各事業所からもJSSnetと呼ばれる専用のネットワークを介して利用している。

JSSは、表1のように仕様や利用目的が異なる4つの計算機

表1: システム構成

システムの名称	仕様	用途など
M (メイン) システム	スカラ型計算機 富士通FX1を採用 ノード数3008個 演算性能: 120TFLOPS	JSSの中心的な役割を果たす。基礎研究や応用研究を中心に、企業や大学との共同研究、設備貸付など、幅広い用途に利用する。
P (プロジェクト) システム	スカラ型計算機 富士通FX1を採用 ノード数384個 演算性能: 15TFLOPS	主に秘密性の高い計算に利用するため、Mシステムとは別に用意している。
A (アプリケーション) システム	スカラ型計算機 富士通SPARC Enterprise M9000を採用 32個のプロセッサと 1TBytesの共有メモリ 搭載 演算性能: 1.2TFLOPS	解析データの前処理や解析結果の可視化といった処理に利用。スーパーコンピュータの演算性能向上によりデータ量が増大し、ワークステーションで処理しきれないケースなどで使用する。
V (ベクトル) システム	ベクトル型計算機 演算性能: 4.8TFLOPS 演算性能は控えめだが、流体計算に高い性能を持つ	主に旧システムでベクトル型計算機向けに開発したソースコードを継承し、研究開発を途絶えさせないための措置としての役割を果たす。

※1 FX1: 富士通の自社開発CPU SPARC64™VIIプロセッサを採用した高性能テクニカルコンピュータサーバ (科学技術計算用サーバ)

から構成され、ディスク容量 1P (ペタ) バイト、テープ容量 10P バイトのストレージシステムを備え、処理速度の向上に伴うデータ量の増大に対応している。

調布事業所ではJSS導入以前からスカラ型計算機を利用していたが、相模原と角田ではベクトル型計算機を利用していた。そのためJSS導入当初は、ベクトル型計算機からスカラ型計算機への移行が1つの課題だった。現在は、どうしても移行の難しいものだけをVシステムで処理している。

また、マルチコアプロセッサで並列処理のプログラムを効率よく実行するためには、システムに最適な状態にプログラムを変更する必要がある。MシステムとPシステムで採用しているFX1には、VISIMPACT (Virtual Single processor by Integrated Multi-core Parallel Architecture) と呼ばれるマルチコアプロセッサを効果的に利用する技術が採用されており、コンパイラが自動的に最適化してくれる。

どんなに優れたプログラムでもプロセッサのパワーを100%使い切ることはなく、効率がよいと言われるベクトル型計算機でさえ高くても30%程度と言われている。プログラムを最適化することによりプロセッサ利用効率を倍にできれば計算機が2倍になったのと同じ効果が期待できることになる。プログラムの最適化は運用上の重要な課題になると藤田氏は意欲を見せる。

スーパーコンピュータは、それ自体が技術的な挑戦であるため、導入直後から安定して稼働させることは難しいが、JSSは安定稼働に成功した。一方で、安定稼働しているがゆえにJSSを研究に利用したいという研究者が殺到し、すでにJSSの利用には長い待ち行列が発生している。

基礎研究から応用分野まで  
さまざまなプロジェクトで活躍する JSS

JAXAにおけるスーパーコンピュータの利用事例は実に幅広

い。利用例の中からいくつかの事例を藤田氏に伺った。

たとえば、ロケット打ち上げ時に、発射音が地面や発射台で跳ね返り、ロケットの先端部分に振動を伝えることが知られている。このとき振動の大きさや種類によっては、先端部に積載されている衛星や観測装置などに悪影響を与え、不具合の原因となりかねない。発射音や振動を解析し、騒音発生の物理現象を明らかにすることで、ロケット打ち上げのプロジェクトをより確実に行えるようになる。すでに、H-II Bなどのロケットの発射場の設計に用いられているという。

航空分野においても、ヘリコプター飛行時に発する騒音を減少さ

せるためにプロペラの断面形状を動的に変化させる研究が行われている。どのようなタイミングで、どのような形状に変化させれば風切り音を低減できるかといった流体解析を行っている。そのほか、太平洋を2時間で横断するマッハ5クラスの極超音速の飛行機の効率のよい形状などについても解析を行っている。

上記の研究は、どちらかといえば具体的なプロダクトに付帯するものであり、応用分野と言える。一方でMシステムの3008ノードを使い切るジョブは基礎研究分野のプロジェクトに多い。たとえば、液体燃料がどのように気化していくのかといった物理現象を精密にシミュレーションする研究も行っている。液状の燃料がどのように噴射されるか、気化した燃料がどのように燃焼されるかについてはすでに解明されているが、気化する瞬間については、まだよくわかっていない。燃料が燃焼室内に噴射されてから気化するまでの様子をシミュレーションするため、燃焼室内の空間を細かいサイの目状に区切り、60億点における挙動を一度に計算する。この計算には、3008ノードの半分を使ってもプロセッサの実時間で410時間、つまり17日以上かかる。しかも、その数字は燃焼器1個分での挙動であり、実際のロケットには、この燃焼器が何百個と搭載されている。したがって、ロケット全体をシミュレーションするためには、現在の演算性能では足りない。

また、宇宙のプラズマのシミュレーションでは人工衛星や探査機の周囲にある50億個の粒子について、電荷が変化<sup>※2</sup>する様子を分析している。このシミュレーションは従来2次元で行われていたが、今回JSSにより演算性能が向上したことを受け、3次元でのシミュレーションを行っている。計算はすでに終わっているが、430TBのデータがあるため、具体的に何が起きているかの解析にさらに1年以上かかるという。

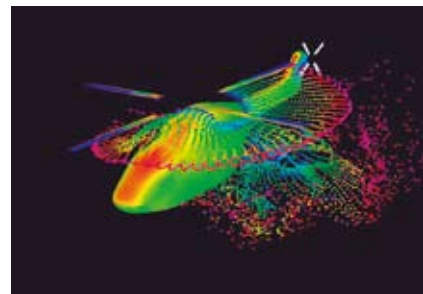
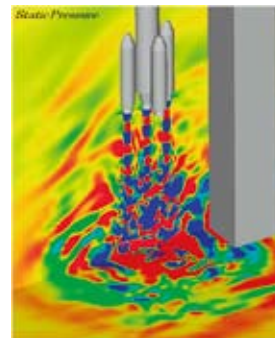
※2 電荷：素粒子や物体が帯びている電気の量



JSSの中核を担う「FX1」  
ノード数3008個、120TFLOPS、総メモリ容量100TBytes、総ストレージ容量11PBytesの大規模システム

写真右上/ロケットの発射音が地面や発射台で跳ね返った振動がロケットの先端部分に与える影響の解析

写真右下/ヘリコプター飛行時の騒音を減少させるプロペラの断面形状の流体解析などさまざまな用途に利用されている



## 宇宙開発分野への積極的な利用を推進し 信頼性の向上とさらなる効率化を目指す

藤田氏によれば、これまで宇宙開発の個々の問題の解決にはスーパーコンピュータが利用されてきたものの開発プロジェクトに本格導入はされていなかった。しかし、航空機の開発プロセスの随所にスーパーコンピュータによるシミュレーションが組み込まれているように、現在では宇宙開発のさまざまなプロジェクトにも積極的にシミュレーションを導入し、信頼性の向上と効率化を目指している。たとえば、宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV)の発展型で宇宙からの物資を持ち帰ることができる「HTV-R」では概念設計にシミュレーションを利用している。今後、具体的なケーススタディを行う段階に進めばJSSを利用することになる。また、人工衛星で収集したデータの分析や保全などにも、JSSのコンピューティングパワーや広大なストレージ空間を利用することになると考えられる。JAXAは、未知なる宇宙に向けて、より一層の研究成果の創出にむけて総力を挙げて活動を続けていく。スーパーコンピュータはその活動を縁の下で支え続けていこう。

### ◆組織概要

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構

所在地/調布航空宇宙センター

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町7-44-1

URL/ <http://www.jaxa.jp/>

事業内容/

宇宙航空分野の研究開発を行う機関。宇宙航空分野の基礎研究から、次世代航空機、ロケット、宇宙ステーション、人工衛星、探査機、次世代スペースプレーンの研究開発まで、数多くの国家プロジェクトを担っている。