

JAXA調布FX100スパコンを利用した 衛星データ処理

Satellite Data Processing System Established on FX100 Supercomputer System in Chofu Aerospace Center of JAXA

● 鳥居雅也 ● 田中佑季 ● 井上淳一 ● 坂口吉生

あらまし

衛星データ処理の国際共同ミッションにおいて、海外宇宙機関とサービスレベルの比較が行われることから、地球観測衛星のセンサーが観測したデータの迅速な提供の必要性が高まっている。衛星データ処理では、リアルタイム処理に加えて、処理アルゴリズムのバージョンアップ時には再処理が行われている。富士通は、2014～2015年度にかけて国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)様の調布航空宇宙センターにスーパーコンピュータシステム「JAXA Supercomputer System Generation 2(JSS2)」を構築した。JSS2の構築に併せて、複数年にわたる大量のデータを短時間で処理する並列実行可能なアプリケーション「JSS2ワークフロー制御」を開発した。今後JSS2ワークフロー制御は、従来システムとの融合を図り、より汎用的にスーパーコンピュータを活用できるシステムを目指している。

本稿では、JSS2およびJSS2ワークフロー制御の概要と衛星データ処理に適用した技術について紹介する。また、JSS2ワークフロー制御の利用実績と今後の方向性についても紹介する。

Abstract

There is an international collaboration mission that performs a comparative assessment on the levels of services for processing satellite data among aerospace agencies in various countries. Therefore, there is growing demand for Earth observational data from satellite sensors to be provided instantaneously. The satellite data undergoes real-time processing, and re-processing when algorithms are upgraded. During 2014 and 2015, Fujitsu delivered and installed JAXA Supercomputer System Generation 2 (JSS2) to the Chofu Aerospace Center of the Japan Aerospace Agency (JAXA). In tandem with the development of JSS2, we also developed workflow software called JSS2 Workflow Control for processing satellite data, and it controls or carries out operations related to the execution order and timing (workflows) of programs that process satellite data. By enabling parallel processing it can reduce the total processing time. We anticipate that JSS2 Workflow Control will be integrated with the conventional system to create a more versatile supercomputer system. This paper outlines JSS2 and JSS2 Workflow Control, and describes the technology that is applied to processing satellite data. The paper also presents the performance of and the future direction to head in for JSS2 Workflow Control.

まえがき

スーパーコンピュータ（以下、スパコン）は、これまで様々な分野における先端的な研究で利用されているが、その利用範囲は、一般向けへと広がりつつある。国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（JAXA）様においても、2014年にスパコンJAXA Supercomputer System Generation 2（JSS2）⁽¹⁾を導入し、従来の高速計算処理能力を利用した数値流体力学をはじめとする数値シミュレーション技術に加え、他分野への利用拡大を検討し始めた。

衛星データを一般利用向けに提供するためには、様々なアルゴリズムを使って、利用できる形式に変換する「衛星データ処理」が必要となる。また、衛星データ処理のアルゴリズムは、算出結果の精度向上を目的として定期的に更新されるため、それまで観測した数年分の衛星データ全てを、バージョンアップした新しいアルゴリズムで再処理することが必要になる。再処理は、データ提供までの迅速性が求められるが、専用の計算機リソースの確保などに課題があった。

そこでJAXAは、再処理の課題を解決するため、豊富な計算機リソースを保有するJSS2を利用する方針とした。これにより、データ提供までの時間の大幅な短縮が期待できる。富士通はJSS2および衛星データ処理の特徴を考慮し、JSS2で効率的に処理を実行させるための機能を有するアプリケーション「JSS2ワークフロー制御」を開発した。

本稿では、JSS2および衛星データ処理の概要と、再処理の課題を解決した富士通の技術について紹介する。また、JSS2ワークフロー制御を利用した再処理の実績についても紹介する。

JSS2の概要

JSS2は「JAXA統合スーパーコンピュータシステム（JSS）」の後継となる、FUJITSU Supercomputer PRIMEHPC FX100を中核としたスパコンシステムである。JAXAは高速計算処理能力を利用した数値流体力学をはじめとする数値シミュレーション技術の発展と普及の推進に取り組んできた。計算によるシミュレーションを可能としたスパコン「数値風洞（Numerical Wind

Tunnel）」^(注)から二十数年、今後はそれらの取り組みに加え、衛星データ処理など更なる利用分野の拡大を目指している。JSS2はこれらの利用促進のため2014年度に第一期整備が完了し、2016年4月に本稼働を開始した。JSS2は、計算リソースをメインとする「宙：SORA」と、アーカイバ（データを保存・管理するシステム）であるJ-SPACEの二つの要素で構成される（図-1）。宙：SORAの主なシステムを紹介する。

（1）計算システム（SORA-MA）

SORA-MAは、FX100で構成され、総ノード数3,240、理論演算性能3.49 PFLOPSの計算性能を持つJSS2のメインシステムである。高度にチューニングされたプログラム資産を、高並列で大規模に実行することが可能である。本システムは、世界で最も高速なスパコンのランキングであるTOP500⁽²⁾においては世界23位、HPCG⁽³⁾ベンチマークにおいては世界13位を達成した（ともに2016年6月発表）。

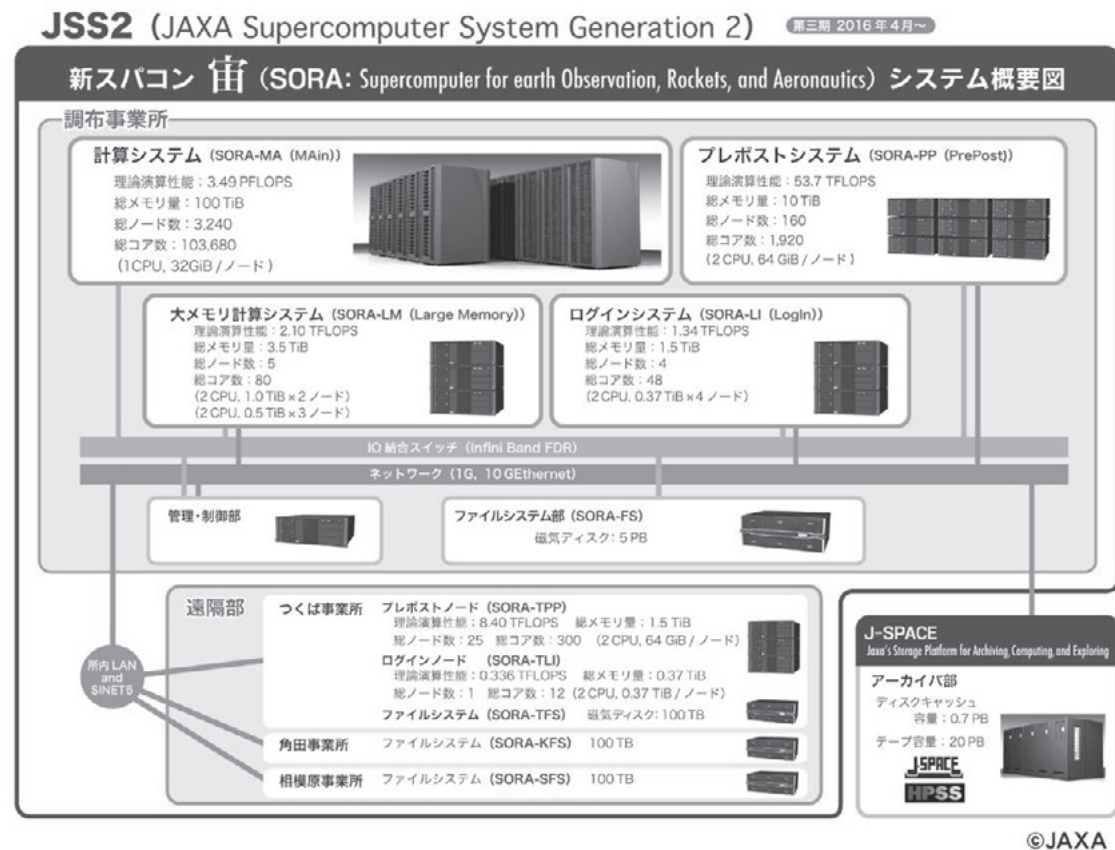
（2）プレポストシステム（SORA-PP）と大メモリ計算システム（SORA-LM）

SORA-PPは、格子生成、可視化アプリケーションなどを実行可能とし、大規模化する可視化作業などを効率的に実施するために、SORA-MAなど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直接操作する遠隔可視化機能を有する。

SORA-LM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実行可能とするシステムである。SORA-PP、SORA-LM、ログインシステム、管理・制御部、および遠隔部などの周辺システムは、PCサーバFUJITSU Server PRIMERGY（計252台）から構成される。

宙：SORAで使うソフトウェアは、大規模システムの効率的な運用を可能とするHPCミドルウェアFUJITSU Software Technical Computing Suiteや、そのコンポーネントであるスケーラブルな高性能並列ファイルシステム「FEFS（Fujitsu Exabyte File System）」で構成される。

（注） 航空宇宙技術研究所（2003年10月よりJAXAに統合）と富士通が1993年に共同で開発した世界初の分散型主記憶ベクトルスーパーコンピュータ。



出典: JAXA「JSS2のシステム構成」https://www.jss.jaxa.jp/jss2_configuration/

図-1 JSS2のシステム構成

衛星データ処理の概要

地球観測衛星は、宇宙から地球を観測するリモートセンシングを行う衛星である。地球観測衛星が地球を観測した衛星データはそのままでは利用できないため、ユーザーが利用できる形にするには、地上システムで衛星データ処理を行う必要がある。この衛星データ処理では、衛星に搭載されたセンサーが観測したデータを入力としてリモートセンシングのアルゴリズム処理を施し、ユーザーが利用できる形式の出力ファイル（以下、プロダクト）を作成する。

富士通は、JAXAの全球降水観測計画（GPM: Global Precipitation Measurement）⁽⁴⁾において、衛星センサー DPR（二周波降水レーダ）から送られてくる衛星データを処理するシステムの開発を行っている。GPMの衛星データ処理には、地球上の位置を表す緯度経度の算出やセンサー感度補正などを行うレベル1処理、降水量を算出するレベ

ル2処理、降水量を世界地図にマッピングするレベル3処理などがある。このような段階的な処理を行い、プロダクトを作成する。

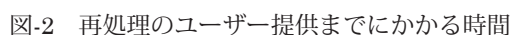
衛星センサーは数日かけて周期的に地球全体を観測しているため、データ量は膨大である。GPMの場合、1日あたりで扱うデータ量は延べ55,000ファイル、4 Tバイトに上り、毎日リアルタイムに処理を行っている。

衛星データ処理のアルゴリズムは定期的に更新される。更新された場合、それまで観測した数年分のデータ全てをバージョンアップされた新しいアルゴリズムで再処理し、プロダクトを作成する。GPMの再処理の場合、1日で観測期間10日間分の衛星データ処理を行い、ユーザーに提供している。

衛星データの再処理の課題

再処理は、アルゴリズムが更新されてから迅速にプロダクトを作成し、ユーザーに提供することが求められるが、GPMにおける再処理では下記の

- ・衛星データ処理の一つの処理にかかる時間は、数秒から1時間程度と比較的短い。また、再処理の全処理数は数万にも及ぶ。
- ・衛星データ処理は、データ量の多さから大量のメモリを消費する。また、一つの処理で多くのメモリを消費する点も従来とは異なる。
- ・従来のスパコン利用は、計算機の定期メンテナンスによる運用休止があることを前提に使用されていたが、衛星データ処理の場合、24時間運用を原則としており、運用休止の影響を可能な限り



抑える必要がある。

これらの衛星データ処理の特徴を考慮し、JSS2で効率的に再処理を実行させるために、以下の機能を有するアプリケーション「JSS2ワークフロー制御」を開発した。

(1) MPIを利用した処理の同時実行

スパコンでの大規模計算の一般的な手法として、一つのプログラムに領域分割したそれぞれ異なるデータを入力して、並行に複数の処理を実行するMPI (Message Passing Interface) がある。

衛星データの再処理は、一つのプログラムに異なる観測期間の衛星データを入力として大量の処理を実行する。時間方向の分割も領域分割と類似と考え、再処理はMPIで実行可能であると判断し、この手法を適用した。複数の衛星データ処理を束ね、一つのMPIのジョブとして投入することで大量の処理を効率的に実行可能とした。

また、MPIでは、1ジョブ内で同時実行する処理数およびジョブ実行時に指定できる実行時間やメモリ量などをパラメーター化している。衛星データ処理が持つ、大量メモリ使用や短い実行時間という従来のスパコン処理とは異なる使い方を考慮して、ノード単位に割り当て処理数を指定できるようにした。

(2) JSS2ワークフロー制御の可用性の確保

前述のJSS2の定期メンテナンスやそのほかの運用方法に備え、プロダクトのユーザー提供までの時間を減らすために、以下の二つの対策でJSS2ワークフロー制御の可用性を確保する方針とした。

・定期メンテナンス対策

JSS2ワークフロー制御では、メンテナンス前に行った再処理を保存し、メンテナンス後にその再処理の続きを再開できる機能を取り入れた。これにより、遅延をスパコンのメンテナンス停止期間のみに抑えることを可能とした。

・ログインシステムの停止対策

JSS2のログインシステムは4ノード構成としており、1ノードが使用できなくてもほかのノードからジョブ投入可能な運用を実現している。一方、JSS2ワークフロー制御はログインシステムで動作するソフトウェアのため、ノード停止時に業務を継続する仕組みが必要である。JSS2ワークフロー制御では、動作しているノードが故障した場合に

は自動的にほかのノードで起動し、必要な情報を引き継ぐことで再処理を継続できる仕組みとした。これにより、遅延をログインシステムのノード切り替え時間のみに抑えることを可能とした。

富士通が開発した技術

JSS2ワークフロー制御は、JSS2と衛星データ処理の特徴を考慮し、様々な衛星の再処理を効率良く実行させるシステムである (図-3)。

● JSS2ワークフロー制御の機能

(1) 入出力データ保存・管理機能

衛星データおよび衛星データ処理で生成したプロダクトなど、入出力データを保存・管理する。

(2) 再処理計画立案機能

再処理で実行する衛星データ処理のジョブ情報を作成する。ジョブ情報は衛星データ処理の入力データやプロダクトの情報で、あらかじめ設定したパラメーターの条件から作成される。

(3) 衛星データ処理制御機能

衛星データ処理に必要な入力データの待ち合わせを行う。入力データが揃ったタイミングで処理を実行可能状態とし、MPIで実行可能な処理を計算システムに投入する。

(4) 衛星固有定義

衛星データ処理のフロー、入出力データのファイル命名規約や保存場所など衛星固有の情報をパラメーターとして定義する。

(5) オペレーター作業

図-3において、オペレーター作業はA①、②、③と進む。再処理は、B①の指示をオペレーターが与えた後、②～⑥が自動で進む。再処理の状況や結果は、C①で確認する。

● JSS2と衛星データ処理の特徴から考慮した点

(1) 衛星データ処理を実行させる計算システムの指定

衛星データ処理は衛星やアルゴリズム開発者によって開発環境が異なり、一つの衛星における衛星データ処理の中でも、それぞれ実行環境が異なることがある。JSS2は計算システムを3種類保有しているが、JSS2ワークフロー制御では衛星データ処理ごとにSORA-MA, PP, LMのどの計算システムにジョブを投入するか設定できる。

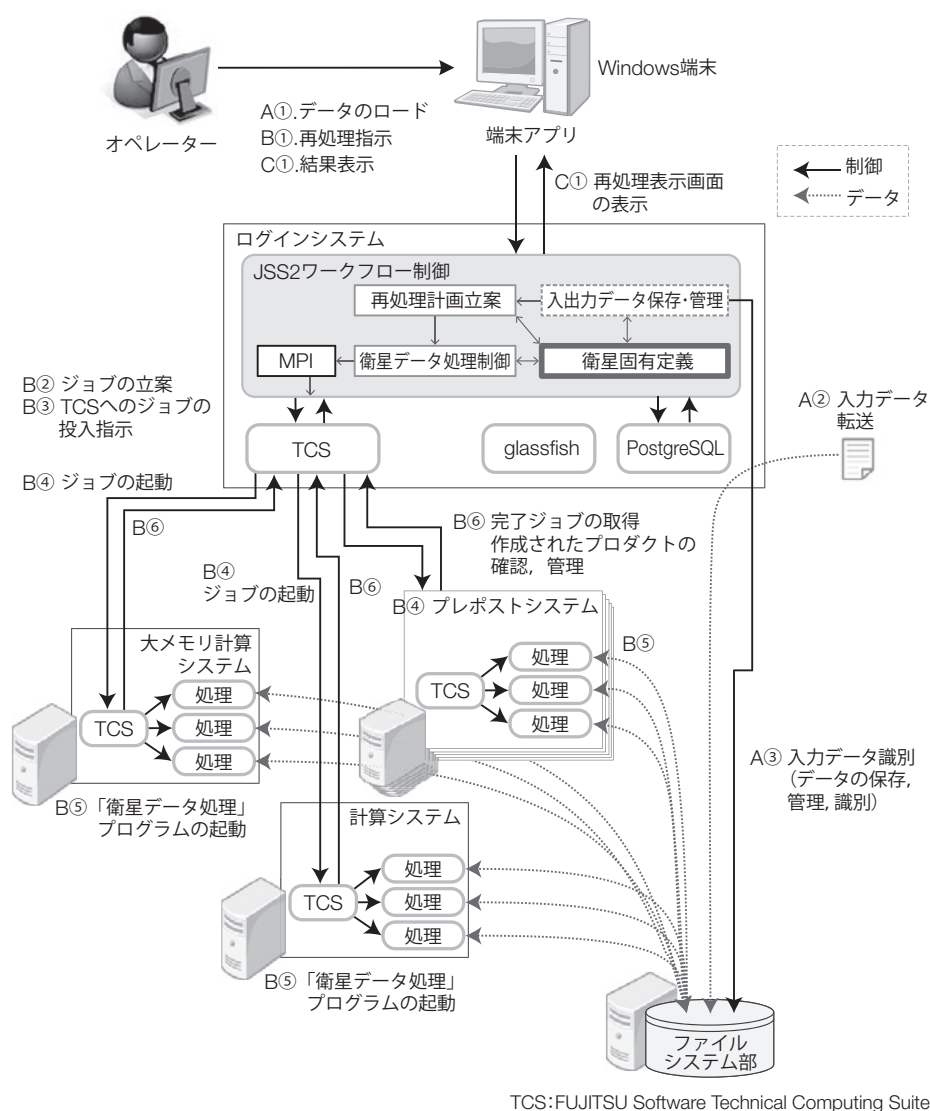


図-3 JSS2ワークフロー制御のシステム構成

(2) 柔軟な衛星データ処理および入出力データの設定・更新

衛星データ処理は、複数種類の衛星データ処理と、複雑な入出力データの管理が必要である。JSS2ワークフロー制御では、衛星データ処理と入出力データの組み合わせを全て衛星固有定義とすることで、これらの複雑な処理や入出力データの追加・変更が可能になる（図-4）。

また、再処理ではアルゴリズムの更新により、衛星データ処理の追加および、入出力データの増加が生じる場合がある。JSS2ワークフロー制御は、パラメーターを追加・変更することにより簡単に対応可能である。

JSS2ワークフロー制御の利用実績

2014年度にJSS2の第一期整備が完了し、JSS2ワークフロー制御を開発した。2015年度には、GPM、GSMaP（衛星全球降水マップ）、およびTRMM（熱帯降雨観測衛星）の1か月観測分を利用した試験的な再処理を実施した。

その結果から、JSS2を300コア（25ノード）利用した場合に換算すると、これまで1日で10日観測分だった衛星データ処理が、1日で1.3年観測分程度の処理が可能となる。これにより、これまでの46倍程度処理が速くなり、ユーザーへの提供時間も格段に早くなる見通しが得られた（表-1）。

2016年度は、TRMMの17年観測分の衛星デー

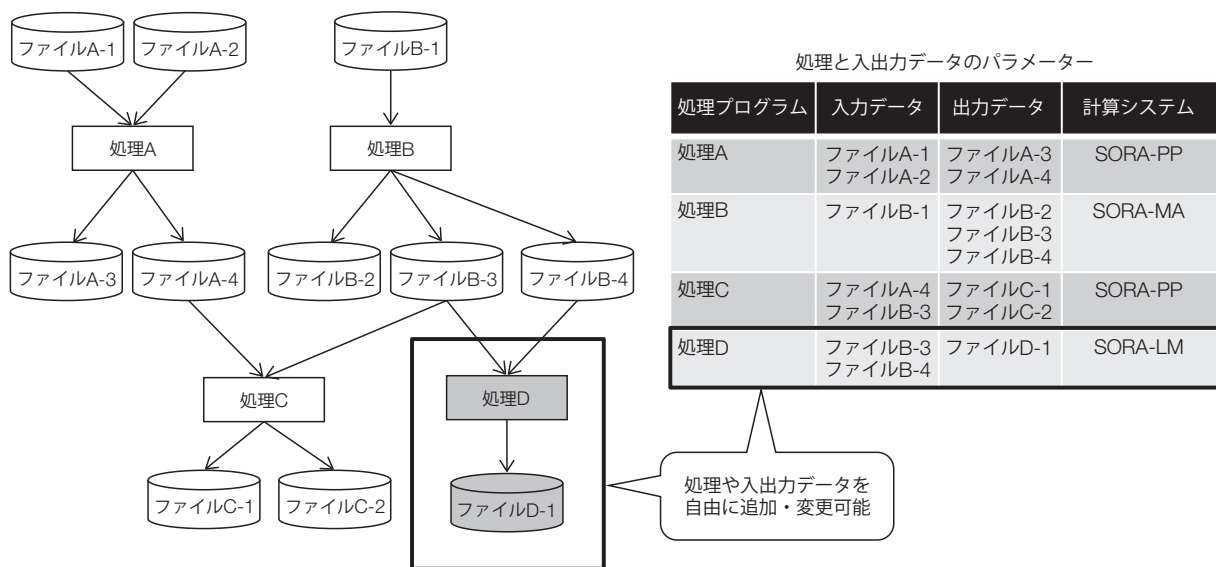


図-4 衛星データ処理のフロー

表-1 GPM/DPRの再処理で処理可能な観測日数

	JSS2利用	1日あたりに処理可能な観測日数（日） （数値が大きいほど性能が良い）	利用CPUコア数 （ノード数）
従来の再処理	—	10.0	—
試験運用（実績） ^{*1}	○	37.2	24（2）
本運用（推定） ^{*2}	○	464.4	300（25）

*1：JSS2ワークフロー制御においてGPM/DPRを観測期間1か月分試験的に運用した実績に基づく数値。

*2：処理性能はCPUコア数に比例する前提で推定したもの。

タを利用した本格的な再処理を運用する。また2017年以降は、GPMをはじめ様々な衛星の再処理を実施する予定である。現時点では、JSS2において衛星データの再処理のみを実行する計画であり、リアルタイム処理は未実行である。今後は、リアルタイム処理への利用拡大も検討する予定である。

今後の方向性

今回は、JSS2とJSS2ワークフロー制御を利用することにより、衛星データの再処理の課題を解決した。今後は、JSS2ワークフロー制御と従来システムを融合し、再処理からユーザーへの公開までの時間を更に短くすることにより、ユーザーの利便性向上を図る。またJSS2ワークフロー制御は、衛星データ処理のほかにも、大量ジョブの制御を目的としたシステムへの適用の可能性も考えられる。更に利用が他分野の業務へと拡大していくことを見据え、そのような分野でJSS2ワークフロー制御の開発で培った技術やノウハウを応用することを

目標としている。

む す び

本稿では、JSS2とJSS2ワークフロー制御を完成させた富士通の技術・製品について紹介した。今後も、JAXAが打ち上げる衛星の再処理をよりスピーディーにし、迅速なユーザー提供ができるよう貢献していきたい。

最後に、本稿で述べたJSS2およびJSS2ワークフロー制御の開発に当たって、的確なご指導を頂いたJAXAの衛星利用運用センター様とスーパーコンピュータ活用室様、および関連機関の方々はこの場を借りて心からお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) JAXA：JSS2.
<https://www.jss.jaxa.jp/>
- (2) TOP 500.
<https://www.top500.org/list/2016/06/>

(3) HPCG.

<http://www.hpcg-benchmark.org/custom/index.html?lid=155&slid=288/>

(4) 富士通：JAXA様の全球降水観測計画での観測データ処理などを担う「GPM/DPRミッション運用系システム」を構築 一般向けデータ提供を開始し、地球上の水循環メカニズムの解明に貢献。

<http://pr.fujitsu.com/jp/news/2014/09/2.html>

(5) 齋藤紀男ほか：地球観測衛星データ処理におけるJAXAスパコン活用の効果検証. 平成27年度 宇宙科学情報解析シンポジウム.

http://www.c-soda.isas.jaxa.jp/sympo/27shuuroku/2016_saitoh.pdf

著者紹介



鳥居雅也 (とりい まさや)

テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
科学システムソリューション統括部
衛星データ処理分野のシステム開発に従事。



田中佑季 (たなか ゆき)

テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
計算科学ソリューション統括部
JAXA調布においてJSS2の運用支援に従事。



井上淳一 (いのうえ じゅんいち)

アシュアランス本部
TCソリューション品質部
衛星データ処理分野をはじめとするTC分野の品質推進に従事。



坂口吉生 (さかぐち よしお)

テクニカルコンピューティング・ソリューション事業本部
計算科学ソリューション統括部
科学分野におけるHPCビジネス推進とスパコンセンターのサポートに従事。