

令和7年度

「HPCI 整備計画調査研究」

(運用技術・セキュリティ実証研究)

委託業務成果報告書

令和8年3月

国立大学法人 東京大学

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、東京大学が実施した令和7年度「HPCI整備計画調査研究」（運用技術・セキュリティ実証研究）の成果を取りまとめたものです。

目次

I.	委託業務の目的	3
II.	令和7年度の実施内容	3
1.	実施計画	3
2.	実施内容	6
2.1	プロジェクトの総合的推進	6
2.2	一体型管理・緊急ジョブ	6
2.3	ワークフロー	7
2.4	認証	9
2.5	データ利活用	10
2.6	省電力運用	11
2.7	セキュリティ・プライバシー	13
III.	次年度以降の計画	15
1.	プロジェクトの総合的推進	15
2.	一体型管理・緊急ジョブ	15
3.	ワークフロー	15
4.	認証	16
5.	データ利活用	16

6. 省電力運用	17
7. セキュリティ・プライバシー	17

I. 委託業務の目的

新たなフラッグシップシステムの開発・整備と並行し、フラッグシップシステムとHPCIの各システムが連携して成果を最大化するとともに、将来のフラッグシップシステムを見据えた今後の計算科学技術の進展の方向性も含め、より具体的な整備計画の検討に資する知見を得るために必要な調査研究を行う。

本業務では、HPCIの利活用拡大に向けて、大規模データを効率的に取り扱うためのデータ基盤の在り方を検討するとともに、セキュリティ確保やプライバシー保護に関する課題を整理し、ジョブスケジューリング、省電力運用、外部とのデータ伝送などの運用技術に関する検討・実証を行い、整備計画の提案を行うことを目的とする。

II. 令和7年度の実施内容

1. 実施計画

令和7年度には以下の項目について実施する。

1. 一体型管理・緊急ジョブ対応

大規模地震発生時の津波シミュレーションを題材に、緊急ジョブ対応の実証実験を準備・実施する。複数の計算資源を統合的に管理するための抽象化レイヤーの設計を進め、ジョブスケジューラの違いを吸収する仕組みを検討する。ユーザヒアリングを通じて、緊急対応に必要な機能や運用課題を整理し、制度的・技術的な観点から対応力強化に向けた基盤を検討する。その結果として、緊急ジョブ実行時に各計算資源へアクセスするインタフェースの共通化の実現可能性とその課題について取りまとめる。

2. ワークフロー

Web ベースの計算機利用方法に関する最新動向を調査し、ユーザビリティ向上に向けた要件を整理する。異なるプラットフォームをまたぐワークフローのユースケースを収集する。大規模実験施設との連携に向けた検討も行い、将来的なデータフロー実現に向けた基盤整備に着手する。その結果として、ユーザビリティ向上、ワークフローや大規模実験施設連携のデータフローの実現に向けた技術的課題を明確化し取りまとめる。

3. 認証

学認フェデレーション（学認）を軸とした認証認可体系への移行を見据え、認可属性管理システムの最新動向を調査する。本人確認から当人認証及びサービス認可まで扱う、HPCI 認証・認可分離モデルの実現可能性を議論し、将来的な設計方針の検討を開始する。その結果として、認可属性管理システムの最新動向と、HPCI 認証・認可分離モデルの実現可能性について取りまとめる。

4. データ利活用

データ連携用の高速ストレージ基盤を構築するための、メタデータ管理・アクセス制御・データ転送などの基本機能に関する技術調査を行う。将来的なデータ基盤の設計に向けて、プロトタイプ環境の整備に向けた初期評価を実施し、運用方針や標準化に向けた設計指針の検討を進める。その結果として、翌年度以降のプロトタイプに向けた仕様を策定し、運用に向けた方針を取りまとめる。

5. 省電力運用

運用データ収集基盤を構築し、ジョブ実行状況や電力・水温などのデータを蓄積・解析する体制を検討する。GPU の電力制御機能を調査し、HPC ジョブにおける省電力動作の適用可能性を検討する。その結果得られた知見を基に、計算機と施設の電力最適化に向けた設計指針について基礎的な項目を取りまとめる。

6. セキュリティ・プライバシー

HPC セキュリティガイドラインの見直しを行い、海外の類似施設の実態調査を実施する。また、Confidential Computing やプライバシー保護技術の動向調査を行う。その結果として、個人データを扱う際の課題について取りまとめるとともに、HPCI システムへの適用に向けた検証の方針について取りまとめる。

7. プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、本調査研究全体の運営委員会や技術検討会に参加し、参画各機関との連携・調整に当たる。特に、プロジェクト全体の進捗状況を確認しつつ計画の合理化を検討し、必要に応じて調査或いは外部有識者を招聘して意見を聞くなど、プロジェクトの推進に取り組む。プロジェクトで得られた成果については、積極的に公表し、今後の展開に資するように取りまとめる。

2. 実施内容

2.1 プロジェクトの総合的推進

プロジェクト全体の連携を密にしつつ円滑に運営していくため、本調査研究全体の運営委員会に参加し、各機関との連携・調整にあたった。

本プロジェクトの提案内容としては、前章で述べた通り6つの柱を定めたが、相互の関連が強いことから、一体型管理・緊急ジョブ+ワークフロー+データ利活用については概ね合同で議論を行った。

プロジェクト全体での打ち合わせは月に1度、ワーキンググループのリーダーを中心とした幅広いメンバーで実施した。内容は、プロジェクト全体の進め方、ワーキンググループ間での情報共有、本調査研究全体の運営委員会や評価委員会に向けた報告のまとめやフィードバック、マイルストーンを踏まえた進捗管理を中心に実施した。

- ・ 第1回：2025年12月2日(火) 15:30-17:00
- ・ 第2回：2026年1月16日(金) 17:00-18:30
- ・ 第3回：2026年2月13日(金) 17:00-19:00
- ・ 第4回：2026年3月27日(金) 17:00-19:00

2.2 一体型管理・緊急ジョブ

本テーマでは、複数の計算資源を一体的に管理する機能、および緊急性の高いジョブに即時対応する機能の実現可能性とその現実的な実装方法を明らかにする。

令和7年度は、大規模地震発生時の津波シミュレーションを題材に、緊急ジョブ対応の実証実験を準備・実施した。複数の計算資源を統合的に管理するための抽象化レイヤーの設計を進め、ジョブスケジューラの違いを吸収する仕組みを検討する。ユーザヒアリングを通じて、緊急対応に必要な機能や運用課題を整理し、制度的・技術的な観点から対応力強化に向けた基盤を検討した。その結果として、緊急ジョブ実行時に各計算資源へアクセスするインタフェースの共通化のための抽象化レイヤーを試作した。

まず、すでに実装されている東北大学、大阪大学、名古屋大学に加え、以下の計算資源において抽象化技術レイヤーの技術的課題を明らかにするために、ジョブスケジューラの抽象化を実現する Portable Submission Interface for Jobs (PSI/J) の適用可能性を調査した。

- ・ 北海道大学情報基盤センター

- ・ 最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC)
- ・ 京都大学学術メディアセンター
- ・ 九州大学情報基盤研究開発センター

調査内容は次の 2 点である。

- ・ PSI/J で指定可能なジョブのオプションとリソース指定の調査
 - ・ ジョブスケジューラの種類および作り込みの有無を確認するアンケートの作成
- それをもとに PSI/J による抽象化レイヤーの技術的課題、適用可能性を調査した。

さらに、抽象化技術レイヤーの統一アクセスの実証のために、以下の 2 点の作業を行った。

- ・ 対象の組織の計算資源の仕様差を吸収した修正版 PSI/J の試作
- ・ 試作した PSI/J による抽象化レイヤーの統一アクセスの動作検証

近年、NIS の HPCI 計算基盤でも GPU を主な計算資源とするものが増えており、そのような GPU システム上での緊急ジョブ実行の実現が強く求められている。通常のジョブ一時中断に基づく緊急ジョブ実行では、中断されたジョブが GPU を解放しないため、緊急ジョブが GPU を利用できない。このため、GPU メモリ上のデータを退避する方法を検討し、緊急ジョブが GPU を利用できる仕組みを試作した[1]。

その他にも、I/O 競合を考慮したジョブスケジューリングに関して検討し、将来の HPCI 運用の効率化に向けた研究開発を進めた[2]。

[1] 大村 竜義, 河合 直聡, 滝沢 寛之, 「緊急計算のための GPU 資源回収機構の実装とその実用性評価」, 研究報告ハイパフォーマンスコМПユーティング (HPC), Vol. 2026-HPC-203, No. 3, pp. 1-9, 2026 年 3 月.

[2] Tseng, Y., Kawai, M., Takahashi, K., and Takizawa, H., “TRIOS: Reducing File-System Contention through Predictive Time-Resolved I/O Simulation in Job Scheduling,” in Proceedings of the Supercomputing Asia and International Conference on High Performance Computing in Asia Pacific Region, pp. 31-41, 2026.

2.3 ワークフロー

本テーマでは HPCI システム利用者のユーザビリティ向上や統一的なインタフェースの導入、複数システムをまたがるワークフローの実現に向けた活動を行っている。

令和7年度は、Webブラウザからシステムを利用できる Open OnDemand や Jupyter Lab の整備状況の調査を行い、HPCI システムの運用に携わるメンバーらと今後の環境整備に向けた情報交換を行った。令和7年度末現在、少なくとも以下のシステムが Open OnDemand を導入・ユーザに提供しており、今後もさらなる導入システムの増加や、Open OnDemand 上で提供されるアプリケーションの充実が期待されている。

- ・ Miyabi(JCAHPC)
- ・ NII Virtual Cloud Provider(国立情報学研究所)
- ・ ABCI(産業技術総合研究所)
- ・ TSUBAME 4.0(東京科学大学)
- ・ 富岳(理化学研究所)
- ・ 玄界(九州大学)

東京大学では、スパコンにおける Vibe coding 支援を念頭に Jupyter Lab と AI エージェントを統合・管理する Web インタフェースの試作を実施した。具体的には、Code Server (マイクロソフト社 Visual Studio code のブラウザ版)と Anthropic 社の Claude API を利用するためのクライアント機能が統合され、この環境を Jupyter Lab から呼び出して使用することができる。また、主に管理者の機能として、Jupyter Lab 環境が動作しているサーバの負荷状況をモニタしたり、ユーザや各セッションごとの API トークンの使用量、課金状況を知ることができる。今後、ユーザへの提供に向けて具体的な構成を検討していく予定である。また、バッチジョブスケジューラである Slurm と、Kubernetes 環境を連携させる Slinky について、基本機能の調査を行った。

九州大学では、統一的なインタフェースによるスパコン利用の一環として、OSS として開発されている汎用ワークフローエンジン Nextflow に対し、富士通社の Technical Computing Suite を操作できるバックエンドを実装した[1]。成果はすでに Nextflow に取り込まれている。これにより Nextflow は国内 HPCI システムで用いられている主要なジョブスケジューラ(バッチジョブシステム・ジョブ管理システム)を網羅した。Nextflow は主に特定分野の科学技術アプリケーションにて多く利用されているものであり、これを今すぐに HPCI の統一的なインタフェースにしようというわけではないが、今後のワークフロー検討の一助として活用予定である。

さらに、HPCI システムをまたいだワークフローなど、複雑な処理内容を実行するワークフローの実現に向けて、既存のワークフローツールの調査を行った。

[1] 大島聡史, 南里豪志, 美添一樹, 「ワークフローシステム Nextflow の TCS 対応とスーパーコンピュータにおける統一的なワークフロー記述」, 大学 ICT 推進協議会 2025 年度 年次大会, pp.1-5, 2025

2.4 認証

本テーマでは、ユーザが複数システムを横断的に利用できるようにするための認証技術の調査研究を行う。

これまでのセンターやシステムごとのローカルアカウントと HPCI 独自の認証体系の複合形態から、学認フェデレーションを軸とした認証技術に移行し、HPCI としては利用資格に即した利用者の認可に専念できるようにする。これにより、ユーザにとってはシステム間のアカウントの統一が容易になるが、システム管理側としてどのような課題があるか洗い出しを行い、実現を見据えた設計を行う。

令和7年度は、欧米の HPC コミュニティにおける認可・アクセス制御技術仕様を調査し、次世代 HPCI 認証基盤の設計に資する調査報告をまとめた。また、複数システムを Web 経由で利用する際にシームレスに利用するための、Open OnDemand の OpenID ベースのシングルサインオン機構のプロトタイプ実装を行った。

欧米の HPC コミュニティにおける認可・アクセス制御技術仕様の調査では、ACCESS (米国) と EuroHPC (欧州) を調査対象とした。ACCESS は XSEDE の後継プロジェクトであり、EuroHPC は近年欧州で展開されている高性能計算基盤であり、いずれも HPCI との類似点も多い。

ACCESS における認可・アクセス制御

InCommon が開発する以下の2つのミドルウェアを組み合わせることで認可基盤を構成している。

COmanage: ID 管理基盤ミドルウェア。CO (Collaborative Organizations) と呼ばれる共同利用組織を作成し、構成員の登録や属性管理を担う。

Grouper: グループ管理および認可基盤ミドルウェア。COmanage から提供される属性情報をもとに、ACCESS の各サービスに対する認可判断を行う。

このように、COmanage による認可属性情報の管理と、Grouper による認可条件の判断 (認可管理 (条件合成)) とを連携して認可基盤を構成している。なお、HPCI との対照では COmanage の役割の一部を HPCI 申請支援システムが担っていると理解できる。

EuroHPC における認可・アクセス制御

EuroHPC では、OpenNode と University of Tartu が共同で開発している Open-Source Cloud and HPC Platform ミドルウェア Waldur を採用している。これに ID 基盤である MyAccessID が連携し、EuroHPC の認証認可基盤を構成する。

ACCESS との相違は、ACCESS が認可属性管理と認可管理（条件合成）とがそれぞれ 2 つのミドルウェアに分離しているのに対し、EuroHPC では Waldur による一体管理である。なお、認証認可に加えて計算資源の割当てを行う機能もあるが調査からは割愛した。

本調査では、上述の COmanage, Grouper, Waldur の技術仕様の詳細をまとめるとともに、ACCESS, EuroHPC における活用事例も整理したことにより、HPCI で求められる認可・アクセス制御機構の基本設計に資する実用的な知見を得ることができた。

また、統一された認証基盤によるユーザの利便性向上を目的として、Web UI によるシステム利用手段として国内でデファクト・スタンダードとなりつつある Open OnDemand の認証部について、現行の HPCI 認証基盤が持つ OpenID プロバイダ機能を活用した OpenID ベースのシングルサインオンに統合する取り組みを行った。東京科学大学においてこの設計に基づくプロトタイプ実装を行った。これにより、認証の実施回数を削減し、多要素認証のためのトークン・PassKey 類を集約することが可能になる。ただし、今年度は研究実施期間が限られたこともあり、実証実験用の OpenID プロバイダを用いたプロトタイプングにとどまっている。来年度以降は、OpenID プロバイダの実運用環境に接続した検証環境、本番環境への展開、問題点の洗い出しを順次進め、さらには他の HPCI 参画機関への展開を行う予定である。

2.5 データ利活用

本テーマでは、HPCI 計算資源と外部データの連携を目的として、将来のデータ連携基盤に必要な技術的課題の明確化と、それに向けたプロトタイプ環境の整備を推進している。

令和 7 年度は、データ連携用高速ストレージ基盤の実証実験に向けた準備作業として、性能要件および機能要件の調査、基盤設計、ならびに環境構築を開始した。HPCI 共用ストレージはこれまで、複数の計算資源を利用する研究プロジェクトにおいてシステム横断的なデータアクセスやプロジェクトメンバー間でのファイル共有を支える役割を果たしてきたが、今後は蓄積されたデータの利活用や外部の実験装置・データベースとの連携を見据え、より高度なデータ連携基盤としての機能が求められている。こうした背景のもと、本年度はまず現行のストレージ基盤における性能特性や機能を整理する

とともに、将来的に求められる機能について調査し、実証実験に向けた評価環境の設計を行い、構築作業に着手した。

また、データ連携基盤の基本機能に関する技術調査を実施した。具体的には、米国の ACCESS プログラム (旧 XSEDE) をはじめとする海外の HPC インフラにおいて広く利用されている Globus を中心に、メタデータ管理、アクセス制御、データ転送の各機能について詳細な技術調査を行った。Globus はエンドポイント間の高速かつ信頼性の高いデータ転送機能に加え、認証・認可の統合、転送タスクの自動化、共有エンドポイントを介したデータ公開といった機能を備えており、HPCI の多拠点にまたがるデータ連携基盤のコア技術としての適用可能性が高い。本年度の調査では、これらの機能が HPCI の運用要件にどの程度適合するかを評価するとともに、GaKuNin RDM や JAIRO Cloud 等の既存の研究データ管理・公開基盤との接続方式についても予備的な検討を行った。

令和 8 年度は、構築中のデータ連携用高速ストレージ基盤上での実証実験環境の整備を継続するとともに、システム間連携を考慮した分散ストレージ技術の調査・実験を進め、運用方針やデータ管理の標準化に向けた設計指針の具体化を図る予定である。

2.6 省電力運用

本テーマでは、GPU を含む高性能計算基盤における電力消費の増大に対応し、計算機本体および施設設備を含めた電力最適化を実現するための基盤技術の確立を目的として、ハードウェアの電力特性の把握および運用データの収集・解析基盤の整備に関する調査研究を実施した。令和 7 年度においては、GPU を中心とした電力制御機能の特性評価と、それらを HPC の実運用に適用するためのデータ基盤の設計を主な対象とした。

まず、GPU の電力特性に関する基礎的知見を得るため、NVIDIA H100 GPU を対象として、電力の制限または周波数上限設定の条件下における各種ベンチマークの性能評価を実施した。これにより、電力制御がアプリケーション性能および電力効率に与える影響を定量的に整理し、電力制約下における性能特性の傾向を明らかにした。また、ホスト CPU として NVIDIA Grace および Intel CPU を用いた場合のプロファイリング手法について比較を行い、計測に伴うオーバーヘッドを評価した。これらの結果から、NVIDIA GPU において適用可能な電力制御および性能評価手法に関する基礎的な指針を整理した。

加えて、性能カウンタ測定ツールの安定性とオーバーヘッドの評価を行った。具体的には、CUPTI, LIKWID, PAPI, ncu といった測定ツールを用い、ツールごとの測定時の電力変動やカウンタ値の不具合を観測した。その結果、特に実用性の高い LIKWID および PAPI に着目し、これらのツール内部で利用されている旧来の CUPTI Profiling API から、今後利用が推奨される CUPTI Range Profiling API へと変更した。この改良に

より、JCAHPC Miyabi および北海道大学 Grand Chariot 2 に搭載された NVIDIA H100 GPU 環境において、電力変動を最大 35.9% 削減することに成功した。さらに、従来見られたカウンタ値の不具合も解消され、測定ツール全体の安定性が向上した。

また、ジョブ単位での電力特性の把握および将来的な動的電力最適化の実現に向けた基盤として、大規模 HPC 環境における運用データ（ジョブ性能データ）収集基盤の要件について検討した。本基盤では、計算ノードおよび管理ノードから取得されるメトリクスおよびログ、ならびにジョブ情報をリアルタイムに収集し、ストリーム処理により集約・統計処理を行った上で、蓄積および可視化を行う構成を検討した。特に、大規模 HPC システムにおいては、数十万ノード規模で数百項目のメトリクスが短周期で生成されるため、単純な蓄積ではデータ量およびクエリ性能の観点で課題が生じる。このため、本研究ではストリーム処理段階において時系列集約および統計値（平均値、分位点等）の計算を行うことで、書き込み時に処理を行い、後段の分析および可視化の高速化を図る方式を採用した。

さらに、データ分布を効率的に扱うための手法として時間スケールに応じた多段階のデータ集約方式を導入し、大規模かつ長時間のジョブに対しても現実的な応答時間での解析を可能とするデータ構造を検討した。また、ジョブ単位およびノード単位の双方からのデータ利活用を考慮し、データの格納単位およびインデックス設計に関する検討を行った。

運用データを格納するストレージバックエンドについては、ファイルベース（CSV/Parquet）、列指向データベース（ClickHouse）、NoSQL データベース、全文検索エンジン等を対象に比較検討を実施し、書き込み性能、クエリ性能、スケーラビリティおよび運用性の観点から適用可能性を評価した。その結果、単一のストレージ方式に依存するのではなく、ストリーム処理による事前集約とストレージの特性を組み合わせた設計が有効であることを確認した。

可視化については、利用者および運用管理者がそれぞれの視点でシステム状態を把握可能とすることを目的とし、リアルタイムおよび履歴データの双方に対応した可視化機能を検討した。具体的には、ノード単位のメトリクスを空間的に俯瞰するマトリクス表示、ジョブ単位の時系列変化の可視化、ログとの統合表示等を検討した。

以上の結果として、GPU を含むハードウェアの電力制御特性に関する基礎的知見を獲得するとともに、ジョブおよびシステム全体の電力・性能・運用状態を統合的に把握するための運用データ基盤の基本構成および技術的要件を明らかにした。

一方で、本年度の検討により、電力最適化を HPC の実運用に適用するためには、単なる電力測定や可視化にとどまらず、ジョブごとの電力特性に基づく電力効率指標の定義

および、それを活用した制御手法の確立が不可欠であることが明らかとなった。また、GPU の電力制御機能をクラスタ全体の運用に適用するためには、ジョブスケジューラとの連携やマルチジョブ環境における干渉の考慮、さらには施設側の冷却条件との統合的な最適化が必要である。

これらの課題を踏まえ、次年度以降は、本年度に検討した運用データ基盤をテストベッドシステムに適用し、ジョブ単位の電力効率指標の策定および GPU を含むハードウェアの電力制御機能を用いた動的電力最適化手法の検討を進めるとともに、HPCI 各センターで適用可能な設計指針の整理を行う予定である。

2.7 セキュリティ・プライバシー

本テーマでは、ハードウェア・ソフトウェア両面におけるセキュリティ確保とプライバシー保護に向けた検討を進める。

R6 年度までに行われた次世代計算基盤の運用技術調査研究において、従来の HPC システムは性能が重視されており、標準的なデータセンターと比較してセキュリティ対策が不十分であることが分析の結果明らかになった。そこで、NIST の Cybersecurity Framework (<https://www.nist.gov/cyberframework>) に基づくセキュリティガイドラインを作成した。

本調査研究では、海外の類似施設の実態や個人データを扱う際のプライバシー保護を考慮してガイドラインの見直しを行う。また、Confidential Computing とプライバシー保護技術に関する技術動向の調査を行う。これらの調査結果をもとに、「運用体制チーム」と連携して、HPCI への実装を見据えた整備計画を検討し、提言をまとめる。

令和 7 年度は、主にセキュリティガイドラインの見直しと Confidential Computing の技術調査を行った。

セキュリティガイドラインの見直しでは、HPC（ハイパフォーマンス・コンピューティング）環境の運用において、サイバー攻撃やシステム障害から研究リソースを守るため、責任範囲の明確化と技術的対策の具体化が必要であったため、運用現場が高水準なセキュリティ対策を講じられるよう、ガイドラインの修正を行った。具体的には以下の修正を行った。

- ① 責任共有モデルの導入と「データの扱い」の明文化

責任分解点の定義： インフラ提供側が「プラットフォームの稼働」に責任を持ち、利用者側が「データ自体の保護・管理」に責任を持つ責任共有モデルに基づき対応することを記載した。

バックアップ指針の策定： ストレージの冗長化(インフラ側責任)に過信せず、利用者側で「重要なデータのバックアップと世代管理、write once やリーガルホールド機能などでのデータ保護」を計画・実行することを追記した。これにより、ランサムウェア攻撃や誤操作によるデータ消失リスクを低減させる。

② 評価基準の刷新（「標準」から「中」へ）

対策優先度の表記を「標準」から「中」へ変更。

「現状維持（標準）」という心理的バイアスを排除し、組織全体が常により高い基準（高）を目指すプロセスを促進する。

③ 認証要件の具体化（MFA・パスキー対応）

新規導入・改修時の要件： 今後のシステム更新において、MFA（多要素認証）やパスキー（Passkeys）の導入を推奨・要件化した。

Confidential Computing の技術調査では、HPC への適用可能性について、HPC クラスタ全体で実効性のある Confidential Computing 環境を実現する上で鍵となる共有ファイルシステムとの連携について、Intel Trust Domain Extensions (TDX) に基づく Trusted Execution Environment (TEE)による評価を実施した。TEE における Trusted Domain (TD)と Lustre 並列ファイルシステムとを安全に連携させる構成を対象とし、HPC および AI ワークロードにおけるデータのライフサイクル全体（保存時・転送時・利用時）にわたる機密性確保の実現可能性を評価した。TDX によるハードウェアレベルの隔離に加え、Lustre クライアントにおける暗号化、およびリモートアステーションに基づく堅牢な鍵管理を組み合わせた構成で、暗号化データへのアクセスを事前に承認・検証された TD に限定できることが確認できた。Lustre 上では、fscrypt によるファイル暗号化を用いることでオーバーヘッドを抑え高いスループットを維持できることを確認した。一方で、Lustre サーバ側の認証、転送経路の完全な暗号化など、今後検討が必要な項目も明らかになった。以上のことから、HPC システムにおいて Confidential Computing を適用することにより、セキュリティ・プライバシー保護と高性能とを両立できる可能性が示された。

III. 次年度以降の計画

1. プロジェクトの総合的推進

今年度と同様に、プロジェクト全体の連携を密としつつ円滑に運営していくため、本調査研究全体の運営委員会や技術検討会に参加し、参画各機関との連携・調整にあたる。運用体制調査研究チームとは、複数システム間連携に向けた利用制度の検討などの面で連携する。

本実証研究における検討や実証実験の成果を調査研究期間だけの一過性のものとしなないためには、期間終了後も継続して検討を進められる体制を維持することが不可欠である。例えば、HPCI システムを構成する計算機資源を提供するシステム構成機関によって組織される「HPCI 連携サービス運営・作業部会」の中に、技術検討ワーキンググループのような、新技術の導入検討や実証実験を推進する主体を設置することも想定される。こうした体制作りの実現に向けて、「運用体制調査研究」チームと連携して、文部科学省への提言をはじめ、各方面への働きかけを行っていく。

2. 一体型管理・緊急ジョブ

令和7年度に試作した抽象化レイヤー（主要 HPCI 計算資源へのジョブ投入を統一的なインタフェースで実現する仕組み）の成果を踏まえ、令和8年度は対象を海外のスパコンにも拡大し、分散計算環境での緊急ジョブ実行の実証実験を行う。ただし当初計画から予算縮減のため、実験規模は縮小し、既存実装の機能範囲内での検証を基本とする。具体的には、令和7年度に津波シミュレーションを題材として国内 NIS 計算資源で動作検証を行った仕組みを、海外システムとの接続性も含めて評価する方針である。

並行して、再生可能エネルギーが潤沢なエリアへのワークロードシフトを想定したワット・ビット連携について、一体型管理・緊急ジョブ対応の枠組みと統合する形で課題の洗い出しと具体的な機能の検討・検証を進める。令和9年度には、これらの実証結果を実運用へ適用する際の展開時課題を明確化し、HPCI 運用関係者との意見交換を経て提言のとりまとめを目指す。

3. ワークフロー

令和8年度は、大規模実験施設（SPring8, NanoTerasu など）とスパコンを連携させるワークフローの構築に取り組み、計測データをストリーミング的に処理するデータフローの実行に必要な計算資源の動的確保について検討・実証実験・課題整理を行う。ただし

予算縮減に伴い、実験規模は研究室保有の小規模環境での機能検証が中心となる。また、Vibe coding 支援を念頭にした AI エージェント統合環境や、バッチジョブスケジューラと Kubernetes 環境との併存技術についても、令和 7 年度の試作、技術調査を踏まえた実装や検証を継続する。令和 9 年度にはワークフローのプロトタイプを構築・運用フェーズに移行し、実運用環境への反映可能性と残存課題の明確化を行ったうえで、提言のとりまとめを完了させる計画である。

4. 認証

令和 7 年度には、TSUBAME 4.0 で運用中の Open OnDemand に対して Keycloak を用いた HPCI ID 等の複数認証系の統合やユーザ ID マッピングの機能拡張を実施するとともに、欧米の HPC コミュニティ (ACCESS、CERN 等) における認可・アクセス制御技術の動向調査を開始した。令和 8 年度は、この調査結果をもとに参照実装を選定し、詳細仕様の調査を行う。そのうえで、学認フェデレーションを軸とした認証体系への移行を見据え、HPCI 認可システムの基本設計に着手する。従来の HPCI 独自の認証形態から脱却し、HPCI としては利用資格に即した認可に専念できるアーキテクチャを目指す。令和 9 年度には HPCI 認可システムの詳細設計に進み、プロトタイプの実装・評価を実施する。併せて、学認経由 Web ベース SSO の実証評価も行い、複数システムをシームレスに利用できる認証基盤の実現に向けた技術的見通しを確立する。

5. データ利活用

令和 7 年度には、データ連携用高速ストレージ基盤の PoC に向けた性能・機能要件の調査と設計を実施するとともに、米国 ACCESS などで広く利用されている Globus を中心にメタデータ管理、アクセス制御、データ転送に関する技術調査と研究開発スコープの検討を行った。令和 8 年度は、これらの調査結果を踏まえてデータ連携用基盤のためのストレージ環境構築を継続するが、性能に関して実証実験が行えるほどの環境構築は困難なため、小規模な機能検証に限定して実施する。システム間連携を考慮した分散ストレージ技術の調査・実験についても、さらに規模を縮小して取り組む。HPCI 共用ストレージが果たしてきたシステム横断的なデータアクセスの機能を発展させ、将来的にはメタデータ管理や外部実験装置・データベースとの連携を備えたデータ連携基盤への高度化を目指す方向性は維持する。令和 9 年度にはデータ連携用基盤のプロトタイプを実装・運用・評価し、運用方針やデータ管理の標準化に向けた設計指針を含む提言のとりまとめにつなげる。

6. 省電力運用

令和7年度にはH100 GPUにおける詳細な電力測定として、電力制限や周波数上限の設定下での各種ベンチマークの性能特性評価を実施し、ホストCPUがNVIDIA GraceとIntel x86とでプロファイリング手法のオーバーヘッドを比較した。また、ジョブの実行状況や電力・水温などの運用データを蓄積・解析するための運用データ収集基盤について機能要件を整理した。令和8年度は、これらの電力特性データを活用してGPUにおける電力プロファイリングを継続し、AI/MLを用いた負荷推定手法の検討と、最適な実行時パラメータ設定に向けたデータセットの取得を進める。あわせて、運用データの収集・分析・可視化機能のプロトタイプ構築に着手するが、規模は縮小し、東大実運用システムの水冷リアルタイムデータ収集については既存設備で実施可能な範囲に限定する。令和9年度には、プロトタイプで得られた知見をもとに運用フィードバックの実装・検証を行い、HPCIを構成する各センターで適用可能な省電力運用の設計指針と技術的選択肢の整理を目指す。

7. セキュリティ・プライバシー

令和7年度には、2024年度までに取りまとめたHPCI向けセキュリティガイドラインドラフトについて、ISMS（ISO規格等）やNIST SP800-223（HPC Security Overlay）への対応に向けた調査・方針検討を行うとともに、Intel TDXによるConfidential VMの利用例調査を実施した。令和8年度は、海外のセキュリティ・プライバシー保護事例の調査を継続するとともに、Confidential Computingの運用検討を実施する。ただし、TDXベースのTEE環境の検証は研究室保有規模での小規模な機能検証に限定する。なお、当初計画ではNFS・NISに対するセキュリティ検証やFS参加機関へのヒアリングを通じたガイドラインの実用性評価を予定していたが、予算縮減により令和8年度はこれらを実施しない。ガイドラインの追加アップデートも見送りとなる。令和9年度には、それまでの調査・検証結果を統合し、運用体制チームと連携してHPCIへのConfidential Computing実装計画の検討を行うとともに、セキュリティ・プライバシー保護全体に関する提言のとりまとめを完了させる。

様式第 2 1

学 会 等 発 表 実 績

委託業務題目「HPCI整備計画調査研究」（運用技術・セキュリティ実証研究）

機関名 国立大学法人 東京大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Site Update on The University of Tokyo	Toshihiro Hanawa	Asian HPC Infrastructure Workshop	2026 年 1 月	国内
Compute Node Partitioning in TSUBAME4.0	Akihiro Nomura	Asian HPC Infrastructure Workshop	2026 年 1 月	国内
Riken Introduction	Fumiyoshi Shoji	Asian HPC Infrastructure Workshop	2026 年 1 月	国内
Site Update on JCAHPC	Toshihiro Hanawa	Intel eXtreme Performance Users Group (IXPUG) SCA/HPCAsia 2026 Workshop	2026 年 1 月	国内
Open OnDemand in TSUBAME4 Supercomputer	Akihiro Nomura	Open OnDemand User Group Meeting at SCA/HPCAsia 2026	2026 年 1 月	国内
GakuNin & HPCI Activities	Eisaku Sakane	66 th EUGridPMA Meeting	2026 年 2 月	国外
GakuNin & HPCI Activities	Eisaku Sakane	36 th APGridPMA Meeting	2026 年 3 月	国外

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文 (発表題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌 等名)	発表した 時期	国内・ 外の別
ワークフローシ ステム Nextflow の TCS 対応とス ーパーコンピュ ータにおける統 一的なワークフ ロー記述	大島聡史, 南里豪志, 美 添一樹	大学 ICT 推進協 議会 2025 年度 年次大会予稿集	2025 年 12 月	国内
TRIOS: Reducing File-System Contention through Predictive Time-Resolved I/O Simulation in Job Scheduling	Tseng, Y., Kawai, M., Takahashi, K., and Takizawa, H.	Proceedings of the Supercomputing Asia and International Conference on High Performance Computing in Asia Pacific Region	2026 年 1 月	国内
緊急計算のため の GPU 資源回収 機構の実装とそ の実用性評価	大村 竜義, 河合 直聡, 滝沢 寛之	研究報告ハイパ フォーマンスコ ンピューティン グ (HPC) , Vol. 2026-HPC-203, No. 3	2026 年 3 月	国内
Mitigating Power Fluctuation in Performance Counter	Ryoma Ohara, Toshihiro Hanawa, Yohei Miki	研究報告ハイパ フォーマンスコ ンピューティン グ (HPC) ,	2026 年 3 月	国内

Measurements on NVIDIA H100 GPU		Vol. 2026-HPC- 203, No. 55		
---------------------------------------	--	-------------------------------	--	--

(注) 発表者氏名は、連名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。