

次世代計算基盤に関する報告書

最終取りまとめ

令和6年6月
HPCI 計画推進委員会

1. 本報告書の位置づけ

- 令和3年8月、科学技術・学術審議会情報委員会において、次世代計算基盤検討部会「中間取りまとめ」（別紙1、以下「令和3年中間取りまとめ」）が報告され、次世代計算基盤のあり方や次期フラッグシップシステムの必要性等について確認されるとともに、その後の検討は本 HPCI 計画推進委員会において進めることとなった。
- その後、本委員会において、「令和3年中間取りまとめ」以降の国内外の情勢変化を確認するとともに次世代計算基盤のあり方について更なる議論を進めてきたところ、今般、特に次期フラッグシップシステムの性能や機能等について取りまとめを行う。
- 本委員会の取りまとめ結果については、情報委員会等の関係委員会に報告する。また、ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤を一体的に運用する体制等、引き続き検討を要する事項については、本委員会にて今後も継続的に議論を行うこととする。

2. 「令和3年中間取りまとめ」以降の情勢の変化

- 「富岳」は、汎用型のマシンとして世界最高水準の性能を達成し、コロナ対策や自然災害（線状降水帯・地震）などの社会的な課題への対応を含め、産学官の各分野で着実に成果を創出。
- 近年、シミュレーション、データサイエンスの進展や生成 AI に係る技術革新などにより、研究開発に必要な計算資源の需要が急拡大するとともに、AI とシミュレーション、さらには自動実験や

リアルタイムデータを組み合わせて科学研究分野で活用する取組の重要性が指摘されるなど、求められる計算資源がこれまで以上に多様化している。このような中、国内外では、高性能な大規模計算環境を活用して AI 基盤モデルを開発し、この AI 基盤モデルを基に異分野の知識を融合し様々な用途のアプリケーションを展開するアプローチが趨勢となっている。

- こうした状況を踏まえ、令和 4 年から稼働を開始した米国の Frontier や令和 5 年から稼働を開始した米国の Aurora をはじめ、今後も、米国、欧州、中国など世界各国で、「富岳」を上回る性能のエクサスケールスーパーコンピュータの開発・高度化が加速する見込み。また、近年稼働を開始した世界最高水準のスーパーコンピュータにおいては、CPU に加えて GPU などの加速部（アクセラレータ）を有し、計算の一部を加速部で処理することで最適化を図ることが主流となっている。
- 半導体の微細化は現在も進んでいるものの、微細化による性能上昇が鈍化するなど、微細化が限界を迎えつつあることが指摘されている。一方、現在の多くの大規模計算においては、計算処理能力に加え、メモリの容量や帯域幅が律速となっていることから、今後も拡大を続ける計算資源需要にスーパーコンピュータが対応していくためには、革新的なメモリ実装技術の導入をはじめとする 3次元集積回路実装が重要となる。
- 量子コンピュータについては、実用化に向けては超伝導方式をはじめとする様々な方式が検討されているが、未だに多くの課題が存在している。一方で、技術開発は進展しており、スーパーコンピュータとのハイブリッド環境での利活用の検討・実証が進められるなど、今後の発展への期待が高まっている。
- 経済安全保障や産業振興の観点から、国内半導体産業への大規模な支援が実施され、我が国の半導体分野をはじめとするデジタル産業の再興を目指した官民一体となった取組が進められている。
- また、情報処理を活用した先進事例を生み出し、科学分野のみな

らず我が国及び世界の産業の発展につなげるために、AI 技術のさらなる活用やソフトウェアの共通化等などによるユーザビリティ向上やシームレス化の重要性が指摘されている。

- このような状況変化を背景として、アカデミアや産業界からは、今後の計算科学分野や情報科学分野、ひいては情報産業を支える人材が不足しつつあることについても声が上がっている。

3. 次世代計算基盤に求められるフラッグシップシステム

近年、生成 AI の登場などにより、計算科学だけでなく科学技術全体、そして産業競争力等の観点からも、今後、計算基盤の重要性がさらに増し、求められる機能も多様化しつつ大きく移り変わっていくことが予想される。このような社会情勢の中であっても時代の要請に応える計算基盤を常に提供していくために、次世代のフラッグシップシステムには以下のような役割が求められる。

- 科学技術分野において AI を活用する「AI for Science」の取組を通じて、研究サイクルの飛躍的加速や研究探索空間の拡大といった科学研究の革新など、新たな時代を先導し、国際的に卓越した研究成果を創出していくこと
- このためには、計算速度の指標である TOP500 など単一の尺度を対象としたランキングのみを追求するのではなく、AI 性能をはじめ、あらゆる先端分野において世界最高水準の計算能力を提供すること
- また、10 年など長期間にわたり同一のシステムで稼働し続けるのではなく、多様化・拡大を続ける需要の変化に柔軟に対応し、時代時代の要請に応じた十分な性能を常に提供し続けること
- 自国の技術を中心にスーパーコンピュータを開発・整備する能力を確保し、人材育成や産業競争力の維持・発展に資するコア技術を特定すること

- ▶ 利用が大きく拡大するとともに、その要素技術が世界の情報基盤に採用され、広く普及することで我が国の産業競争力や経済安全保障の強化に資すること

具体的には、以下を提案する。

(新たなフラッグシップシステムに求められる性能・機能)

- 科学者コミュニティの試算では、我が国の研究開発分野での計算資源ニーズに応えるためには、2030年ごろに、通常のシミュレーションで少なくとも「富岳」の5倍以上の計算能力、AI向けの計算能力で約40～90EFLOPS程度の計算能力を有する計算資源が必要であり、その後もさらに高い計算性能が必要と見込まれている。また、調査研究(FS)においては、このような計算資源需要を満たすシステムが十分な実現可能性を持って検討が続けられている。
- したがって、今後、こうしたコミュニティの試算や産学官の更なる利用の拡大も見越しつつ、遅くとも2030年頃の運転開始を目指し、電力性能の大幅向上により、既存の「富岳」ユーザに対しては実効性能として現行の5～10倍以上の計算能力¹を提供しつつ、AI性能²については運用開始時点で世界最高水準(実効性能³として少なくとも50EFLOPS以上)の利用環境を提供することを目標として、フラッグシップシステムの開発・整備を行うべき。
- その際には、今後も自国の技術を中心にスーパーコンピュータを開発・整備する能力を国内に維持し、国内人材育成や産業競争力の維持・発展に資するため、「京」や「富岳」の開発において蓄積してきたCPUの開発及びシステムのインテグレーションに加え、メモリ実装技術の開発をコア技術と位置付けて継続的に開発を行うべきである。また、更なる性能向上や生成AIへの対応を図るた

¹ 多くの科学技術計算や産業アプリケーションで使用される倍精度浮動小数点数演算等を利用する演算の計算能力

² AIの学習・推論に必要となる、低精度で大規模な行列演算を行う際の計算能力

³ 2030年代に想定される最先端の基盤モデルを数か月程度で学習可能な実効的性能

め、加速部を導入するべき。さらに、大規模計算においてはメモリ性能が律速となっていることを踏まえて、最先端のメモリ実装技術を採用し、利用者にとってさらに魅力的なシステムとなることを期待。

これに加え、システムソフトウェア開発においては、アプリケーションやAI等の研究開発のプラットフォームとして、世界で使われている基本的なアプリケーションがこれまで以上に多様かつ円滑に利用できるように設計し、運用開始後も継続してシステムソフトウェアの改善を図るべきである。

また、フラッグシップシステム開発の成果を最大化し、わが国の産業競争力の強化や経済安全保障を含む社会的課題の解決に貢献していくためには、その要素技術（ハードウェアやソフトウェア）が成果としてクラウドを含む世界の情報基盤に採用されるとともに、開発の成果が社会実装され、広く普及することが重要。

（開発・整備の手法）

○ 次世代計算基盤のフラッグシップシステムにおいては、多様化・拡大を続ける需要の変化に柔軟に対応し、時代時代の要請に応じた十分な性能を常に提供し続ける必要が生じている。そのために、フラッグシップシステムの開発・整備においては、

- ① 「京」から「富岳」への移行時のようなシステムの入れ替えによる「端境期」を極力生じさせず、利用環境を維持すること
- ② 最新の技術動向に対応するために適時・柔軟にシステムを入れ替え又は拡張可能とし、進化し続けるシステムとすること
- ③ （例えば新たなアクセラレータやメモリなど、）現時点では未成熟であっても将来の計算資源需要への対応に大きく貢献し得る技術に関しては、AI技術の次の技術革新を含めた中長期的な視点から技術評価・研究開発を継続し、将来のシステムの入れ替え・拡張の際に反映させること

が重要。

- 今後のシステムの整備・入れ替え・拡充等にあたっては、政府全体として半導体産業への大規模な支援を実施していることを踏まえ、半導体産業をはじめとする国内企業の製造技術の成熟状況を見極めつつ構成要素の調達を進めることが求められる。

(利用拡大に向けた取組)

- 計算資源の需要は多様化しており、TOP500 などの単一の尺度を対象としたランキングのみを追求するのではなく、国内の多様な計算資源需要を着実に満たすとともに、新たなシステムによる世界最高水準の利用環境の提供を通じ、我が国の計算科学を中心とする様々な科学技術・産業分野の研究開発を先導することを期待。更に、科学技術分野における AI 基盤モデルの活用が促進されることを期待。
- アプリケーション開発においては、これまで発展してきたシミュレーションを中心とする計算科学をさらに発展させるため、加速部の導入などに際してもこれまで整備を行ってきたアプリケーションが安定して継続的に利用できるようにするとともに、必要に応じて改良を進める。あわせて、幅広いアプリケーションの利用を促進する。また、近年の動向を踏まえて、生成 AI の利用など、HPC の新たな領域を開拓することが期待されるアプリケーションの開発に取り組む。
- 革新的な成果の創出に加えて、我が国の計算科学を支える人材育成を目的として、フラッグシップシステムの整備により挑戦的な課題に取り組むことが可能な環境を提供するとともに、フラッグシップシステムを活用した成果創出の加速に加えて、HPC の新領域を拡大する研究開発を推進することを含めて研究開発プログラムを実施する。
- また、フラッグシップシステムの整備においては、システムソフトウェア環境の相互互換性を高めるとともに水平展開し、また、開発されたアプリケーションが国内外のシステムに簡便に移植できることも、利用者の拡大の観点からは重要。新たに整備されるフラ

ッグシップシステムが、これまで以上に、国内の産学の幅広い研究者による協働や、国際連携に活用されることを期待。

(開発主体について)

- ここまでの内容を踏まえ、これまで「京」や「富岳」を開発・整備・運用した実績を有する理化学研究所を開発主体候補として、ヒアリングを行った。理化学研究所からは、フラッグシップシステムや開発主体としての活動について別紙2のとおり説明があり、いずれも求められる性能・機能や開発・整備の手法・体制などを満たすため、妥当であると考えられる。
- そのため、理化学研究所を開発主体とし、フラッグシップシステムの開発・整備に向けて引き続き検討を進めることが適切である。
- なお、検討にあたっては、様々な利用方法においても十分な計算能力を提供できるよう留意するとともに、開発リスクに十分留意しつつ費用対効果を求め、開発費用の過度な増大を避けること、基本設計終了後などの節目において HPCI 計画推進委員会等の評価を適時受けることが求められる。

4. 次世代計算基盤全体に係る事項の検討状況と今後の検討方針

- 各研究機関の連携による HPCI に接続される計算機の戦略的な整備、一体的な運用のための体制・制度については、フラッグシップシステムの性能・仕様を踏まえて整備を進めるため、今後数年でさらに検討を深め、具体化する。
- データサイエンスや AI 技術とシミュレーションの融合、リアルタイムデータ処理などのデータの収集、処理を効率的に行う必要がある利活用ニーズの拡大を踏まえ、従来の計算資源の配分による効率的な利用に加えて、大規模なデータを個別/共同で管理し、効率的に取り扱うことができるデータ基盤の在り方についても、今後検討を進める。

- その際、ソフト・ハードの両面におけるセキュリティ確保、個人データを扱う際のプライバシー保護など、利活用拡大に向けた課題を適切に整理し、技術面及び制度面において丁寧な対応を行っていく必要がある。
- 量子コンピュータについては、現時点で実用的な計算基盤として幅広く提供する段階には至っていないが、スーパーコンピュータとのハイブリッド計算の検討・実証が進んでいることを踏まえ、量子コンピュータを用いた計算を様々な分野の研究者が試すことができる環境を整備することを目指し、HPCI への接続や利用環境の提供を検討する。
- 計算機に係るサプライチェーンが複数の国にまたがっていることを踏まえ、我が国の技術の発展、人材育成を推進するため、スーパーコンピュータの整備・運用・利用に係る関係国との連携を強化する。特に世界を技術的にリードする米国については、システムソフトウェア分野のみならず、アプリケーション開発やシステム開発を含めた幅広い分野で協力関係を強化することを目指す。
- これまで培ってきた技術の継承や中長期的な技術の発展、それらを支える人材や HPC を利活用する人材の育成のため、半導体レベルのハードからソフトウェアまでを一気通貫で理解する人材など、我が国の技術の発展の観点から重要性が高いスキルセットを特定し、人材の育成を継続的に支援する取組について検討する。

以上

HPCI 計画推進委員会 議題一覧（第7期：2023年4月1日～）

第53回（2023年5月31日）

- ・「富岳」、HPCI 関係の最近の取組状況について
- ・「富岳」・HPCI の運営について
- ・「HPCI システムの今後の在り方」に関する調査検討（中間報告）
- ・HPCI 計画推進委員会における検討事項について

第54回（2023年10月16日）

- ・HPCI 計画推進委員会における検討事項について
- ・「富岳」成果創出加速プログラムの中間評価について
- ・「富岳」を活用した生成 AI の研究開発について
- ・産応協 HPC 技術ロードマップについて
- ・HPC と量子コンピューティングの連携に向けた取組状況について

第55回（2023年12月18日）

- ・HPC を巡る国際動向及び次世代計算基盤の取りまとめに向けた検討について
- ・計算科学ロードマップについて
- ・AI for Science について
- ・「次世代計算基盤に係る調査研究」における検討状況（運用技術、新計算原理）について

第56回（2024年2月9日）

- ・我が国における半導体産業の戦略について
- ・HPCI コンソーシアム調査検討ワーキンググループ 提言案について
- ・「次世代計算基盤に係る調査研究」の検討状況について ※非公開
- ・次世代計算基盤に関する報告書 中間取りまとめ案について ※非公開

第57回（2024年3月19日）

- ・令和6年度予算案について
- ・令和6年度の政策対応課題について
- ・拡張型整備の実現可能性について
- ・次世代計算基盤に関する報告書 中間取りまとめ案について

第58回（2024年4月17日）

※「次世代計算基盤に係る調査研究」評価委員会（第9回）と合同開催

- ・理化学研究所からのヒアリング
- ・AI for Science ロードマップについて

第59回（2024年6月5日）

- ・次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ案について
- ・今後の HPCI の運営業務計画について

HPCI 計画推進委員会 委員名簿

- | | | |
|---|--------|--|
| | 合田 憲人 | 国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系 教授 |
| | 伊藤 公平 | 慶應義塾 塾長 |
| | 伊藤 宏幸 | ダイキン工業株式会社・テクノロジー・イノベーションセンター
リサーチ・コーディネーター |
| | 上田 修功 | 理化学研究所 革新知能統合研究センター 副センター長/
NTT コミュニケーション科学基礎研究所機械学習・データ科学センタ
代表 |
| | 梅谷 浩之 | 株式会社トヨタシステムズ制御解析本部シミュレーション技術室
MASTER |
| ○ | 小林 広明 | 東北大学大学院 情報科学研究科 教授/
東北大学サイバーサイエンスセンター センター長特別補佐/
東北大学 総長特別補佐 (ICT 革新担当) |
| | 田浦 健次郎 | 東京大学大学院 情報理工学系研究科電子情報学専攻 教授 |
| | 館山 佳尚 | 国立研究開発法人 物質・材料研究機構
エネルギー・環境材料研究センター グループリーダー/
東京工業大学 科学技術創成研究院 化学生命科学研究所
教授 |
| | 中川 八穂子 | 日立製作所 研究開発グループ デジタルサービス研究統括本部
デジタルサービスプラットフォームイノベーションセンタ
シニアプロジェクトマネージャ
兼 研究開発本部 技術戦略室 チーフデジタルオフィサー |
| | 福澤 薫 | 大阪大学大学院 薬学研究科 教授 |
| ◎ | 藤井 孝藏 | 東京理科大学 工学部情報工学科 客員教授 |
| | 朴 泰祐 | 筑波大学 計算科学研究センター センター長 |
| | 棟朝 雅晴 | 北海道大学・情報基盤センター センター長・教授 |

(◎ : 主査、○ : 主査代理、50音順)

令和6年6月