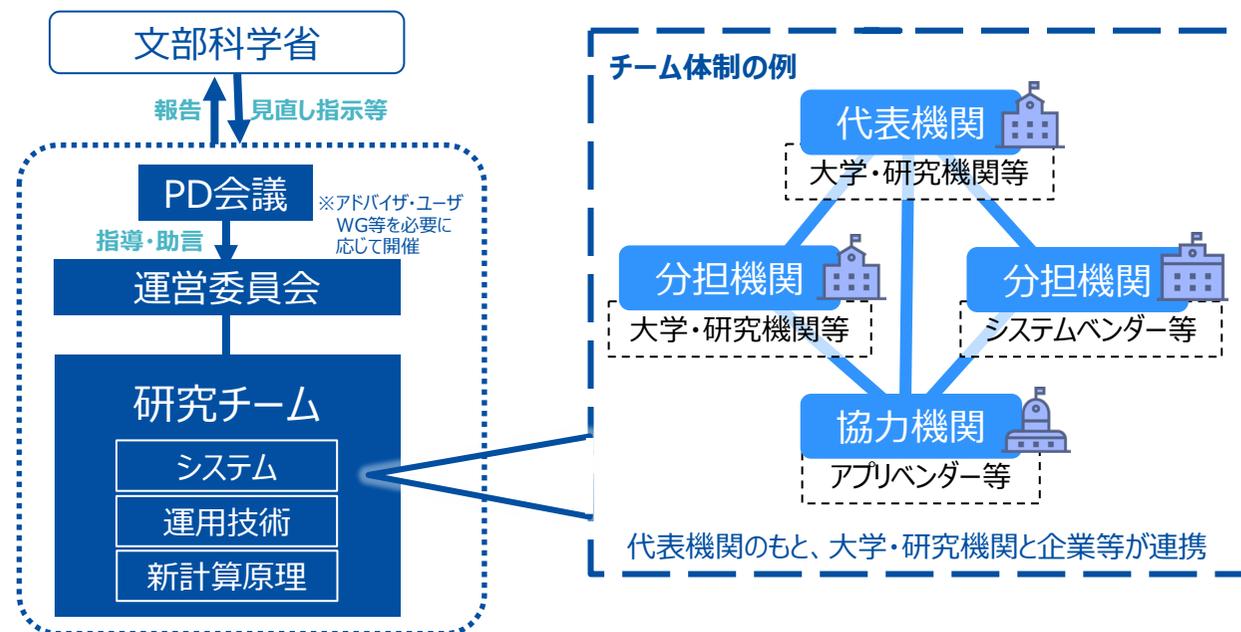


背景

- ◆ 近年、大量かつ多様なデータの収集や活用が進展し、**データ駆動型科学が重要視される中で、シミュレーションやAI 等が連携した研究の重要性がより一層高まっている**。さらに、新型コロナウイルス感染症の拡大を契機として、研究のリモート化やスマート化、研究設備・機器への遠隔からの接続、データ駆動型研究の拡大など、**世界的にも研究活動のデジタルトランスフォーメーション（研究 DX）の必要性が高まっている**。
- ◆ 社会のデジタル化を進め、サイバー空間とフィジカル空間の融合によって新たな価値を創出していくSociety 5.0 を実現するため、スーパーコンピュータのみならず、データセンターからエッジコンピューティング、それらを繋ぐネットワーク等様々な形態の社会情報基盤がますます重要となっている。また、これらの**基幹技術を自国で保有することは経済安全保障の観点からも重要である**。
- ◆ これらの情勢を踏まえると、**ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤を、国として戦略的に整備することは必要不可欠である**。

事業内容・目的

- ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤の開発にあたり、我が国として独自に開発・維持すべき技術を特定しつつ、要素技術の研究開発等を実施し、具体的な性能・機能等について検討を行う。
- システム（アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーション）、新計算原理、運用技術を対象に調査研究を実施。**サイエンス・産業・社会のニーズを明確化し、それを実現可能なシステムの選択肢を提案する。**



<研究期間>

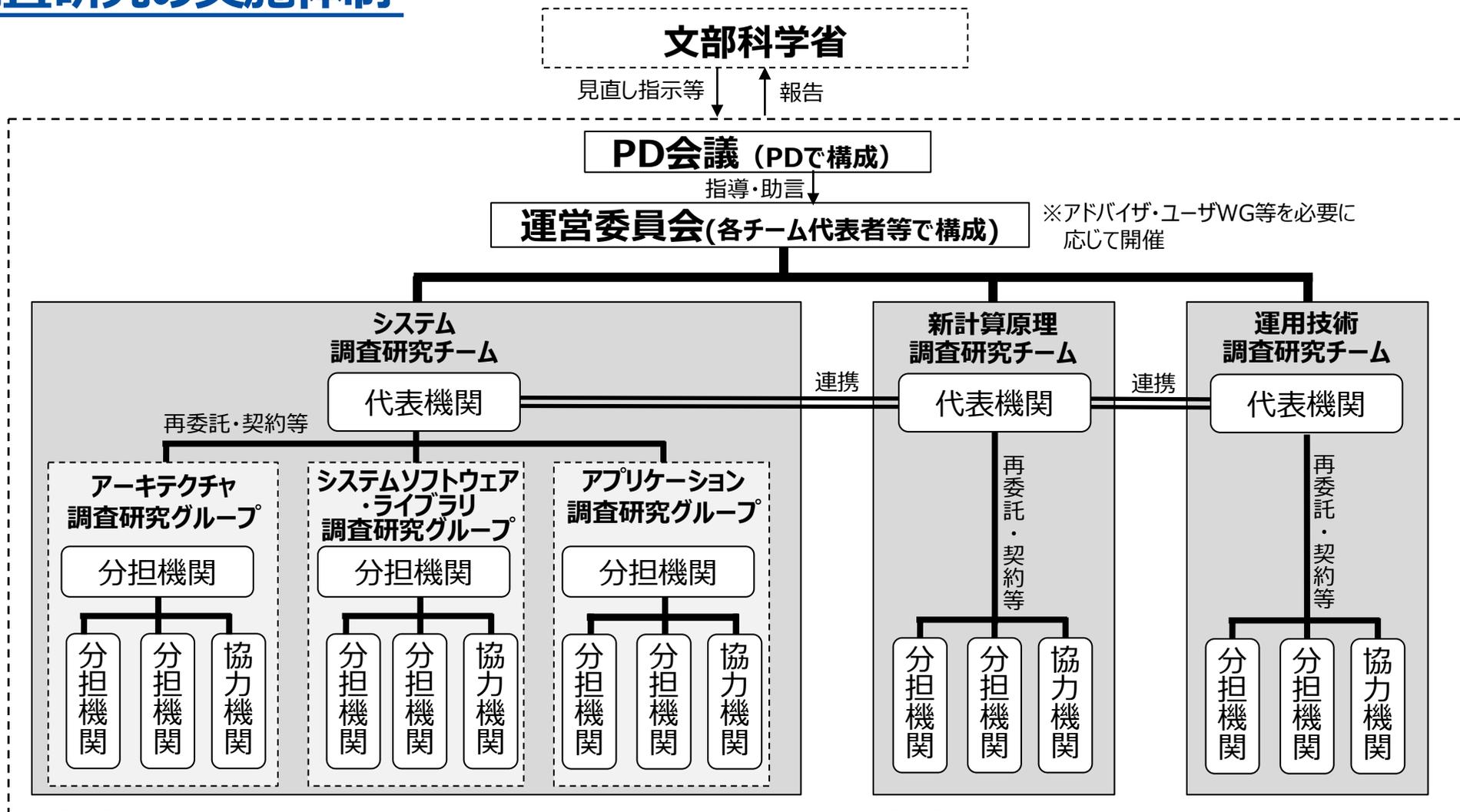
令和4年度～令和5年度

※令和6年度以降の取組は、調査研究の進捗を踏まえ検討

<スケジュール>

公募開始	令和4年5月18日（水）
公募説明会	令和4年5月24日（火）
申請締切	令和4年6月21日（火）
審査等	令和4年6～7月頃（予定）
選定結果通知	令和4年7月頃～（予定）
委託契約等	令和4年7月頃～（予定）
事業開始	令和4年7～8月頃～（予定）

調査研究の実施体制



PD : 本事業全体の進捗状況を把握し、事業の円滑な推進のため、チームに対し必要な指導・助言等を行う。文科省の指名に基づき、運営管理機関が配置。運営管理機関はPDを構成員とする会議（PD会議）を設置・運営し、PD会議が合議体として円滑に指導・助言を行えるよう、PD、運営委員会、各チームと連携を図る。

運営委員会 : 本調査研究の各チームの代表等で構成する機関。本調査研究に係る関係者間の情報共有、進捗把握及び成果のとりまとめ、文科省への報告等を行う。運営管理機関が設置。（文科省は評価委員会の助言や運営委員会の報告等を踏まえ、年度途中での事業計画の見直し等による契約変更を行うことがある。）

代表機関 : 各チームの研究内容の全部あるいは一部を実施する機関。代表してチーム全体の研究計画を策定し、実行に責任を負う。

分担機関 : 委託費の配分を受け、代表機関が提案する研究内容の一部を実施する機関

協力機関 : 代表機関が提案する研究内容の一部について、連携して実施する機関（委託費の配分は受けない）

構成員 : 代表機関あるいは分担機関に所属し、チームに参画する者

協力者 : 協力機関に所属し、チームに参画する者

研究チームのミッション

I. システム調査研究チーム

アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーションを対象として調査研究を行う。本チーム内において、アーキテクチャ調査研究、システムソフトウェア・ライブラリ調査研究、アプリケーション調査研究を実施するグループをそれぞれ編成する。また、アーキテクチャ調査研究グループにおいては、複数のアーキテクチャを検討するにあたり、必要に応じて複数のサブグループを編成すること。

達成目標

- チームを構成する各グループの検討結果を総合し、次世代計算基盤として想定されるシステム（アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーション）を提案する。

A. アーキテクチャ調査研究グループ

達成目標

- アーキテクチャに関する技術動向調査及び「C.アプリケーション調査グループ」の検討を踏まえ、評価指標として考慮すべき項目の検討を行い、達成すべき目標とその優先順位を提案する。
- 複数のアーキテクチャシステムについて「C.アプリケーション調査グループ」との連携により抽出した評価対象アプリケーションによるシステム評価を行う。

研究内容

- アーキテクチャ（プロセッサ、メモリ、ストレージ、I/O等）およびそれに関連する技術分野を研究対象とする。
- 複数のアーキテクチャを対象に比較検討を行う。等

B. システムソフトウェア・ライブラリ調査研究グループ

達成目標

- システムソフトウェア・ライブラリに関する技術動向調査及び「C.アプリケーション調査グループ」の検討を踏まえ、評価指標として考慮すべき項目の検討を行い、達成すべき項目とその優先順位を決定する。
- 「C.アプリケーション調査グループ」との連携により抽出した抽出した評価対象対象アプリケーション等によるシステム評価を行う。

研究内容

- OS、コンパイラ、ファイルシステム、ライブラリ、フレームワーク、言語等およびそれに関連する技術分野を研究対象とする。等

C. アプリケーション調査研究グループ

達成目標

- 次世代計算基盤の果たすべき役割及び最新の計算科学ロードマップを踏まえた、システムが満たすべき具体的な性能・機能検討の提案を行う。
- 他チームと連携し、評価対象アプリケーションの抽出を行う。

研究内容

- デジタルツイン技術の進化を支え、世界をリードする研究成果の創出やSociety5.0の推進、SDGsの達成に貢献するプラットフォームとして必要なアプリケーション分野（AI・データ科学やデジタルツインをはじめとする分野）等を研究対象とする。
- また、従来分野に加え、社会科学分野や、オープンな計算環境や商用展開を想定した適切な評価アプリケーションを検討対象に含める必要がある。等

Ⅱ. 新計算原理調査研究チーム

達成目標

- 次期「フラッグシップシステム」と量子コンピュータをはじめとする新たな計算原理（ニューロコンピュータ等）の連携について実現可能性を検討する。
- 上記検討結果等を踏まえ、次世代計算基盤あるいは次世代計算基盤の開発において、新計算原理が担うべき役割を提案する。

研究内容

- 「量子コンピュータを適用するシステム」「ニューロモフィックコンピュータを適用するシステム」「その他新たな計算原理を適用するシステム」のいずれかあるいは複数を対象とする。等

Ⅲ. 運用技術調査研究チーム

達成目標

- デジタルツイン技術の進化を支え、世界をリードする研究成果の創出やSociety5.0の推進、SDGsの達成に貢献するプラットフォームとして、運用技術に関して、評価指標として考慮すべき項目の検討を行い、達成すべき目標とその優先順位を提案する。

研究内容

- 施設管理、ソフトウェア管理、サービス、セキュリティ、外部とのデータ伝送等およびそれに関連する技術分野を研究対象とする。
- 「フラッグシップシステム」及び第2階層をはじめとする国内主要スパコン、データ基盤、ネットワークが一体的に運用される基盤として、またデジタルツイン技術の進化を支え、世界をリードする研究成果の創出やSociety5.0の推進、SDGsの達成に貢献するプラットフォームとして、備えるべき機能・性能、必要な要素技術の検討を行う。等

研究チームや各機関の要件

□ 研究チームの要件

- 各チームにおいては、研究対象のシステムやその構成要素の整備・開発を目指すシステムベンダー、研究対象のアプリケーション等の展開を目指すソフトウェアベンダー、あるいはその双方を分担機関か協力機関として加えること。
- 各チーム（システム調査研究チーム、新計算原理調査研究チーム、運用技術調査研究チーム）は、調査研究の実施にあたり、互いの研究内容の連携・補完を行うこと。（必要に応じて協定等を締結すること。）
- 各チームから「研究代表者」「連携担当者」等が「運営委員会」に参画すること。各チームは研究の進捗を「運営委員会」に報告し、「運営委員会」での協議事項やPD会議からの指導・助言を各チームの研究に反映すること。

□ 代表機関の要件

- 「研究代表者」、チーム間あるいはグループ間の連携を促進する「連携担当者」、「事務連絡担当者」を指定すること。システム調査研究チームにおいては、代表機関あるいは分担機関の者から、アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーションの各グループの代表者を指定すること。
- 一人の研究代表者が複数のチームの研究代表者として申請することはできない。ただし、研究代表者が他のチームに所属することは可能とする。
- 代表機関は文部科学省と委託契約を締結する。チームに分担機関や協力機関が参画する場合、代表機関は当該分担機関や協力機関に実施させる内容を含む全体研究計画を作成し、その実行にチームを代表して責任を負う。

□ 分担機関・協力機関の要件

- 契約等により代表機関と分担機関が互いに連携すること。分担機関は代表機関との間で再委託契約を締結する。（法人等の事情により代表機関からの再委託が不可の場合、文科省と分担機関が委託契約を締結できるが、その場合協定等において代表機関と分担機関の連携を担保する必要がある。）
- 協力機関は代表機関や分担機関との間で共同研究契約等を締結する。
- 分担機関や協力機関は「PD会議」や「運営委員会」への報告及び文科省への申請の上、構成員や協力者の追加、変更を行うことができる。

参考

次世代計算基盤検討部会 中間取りまとめ

令和3年8月

科学技術・学術審議会情報委員会
次世代計算基盤検討部会

次世代計算基盤に係る政策・技術動向

- 令和3年3月9日、スーパーコンピュータ「富岳」の共用が開始。
- AI・データ駆動科学の進展、研究活動のデジタルトランスフォーメーション（DX）社会のデジタル化の進展等を受け、スーパーコンピュータを含む次世代計算基盤の重要性が高まっている。
- 世界では欧米・中国を中心に、科学技術・イノベーションのみならず産業競争力、安全保障の観点からスーパーコンピュータの開発に多額の投資が行われている。今後、「富岳」を超える性能のマシンが複数台登場する見込み。



Exascale Computing Project（合計約5,500億円以上）

→2021年以降にエクサ級のスパコンを複数台導入予定



EuroHPC（合計約1兆円以上）

→2021年以降に数百ペタ級のスパコンを3箇所に整備予定



→エクサ級のスパコンに係る研究開発を実施中

次世代計算基盤の必要性

- スーパーコンピュータを含む科学技術・学術情報基盤は、科学技術・学術の成果創出のみならず、産業競争力の強化、Society5.0の実現、我が国が直面する社会的課題の解決に必要不可欠。
- スーパーコンピュータによる大規模・長時間・多数のシミュレーションにより、複雑な生命現象の再現や高精度なデジタルツインの実現等、世界をリードする卓越した研究成果が期待される。また、量子コンピュータの実現等、新たな技術の実現においても、世界最高水準のスーパーコンピュータが必要。
- さらに、大規模計算基盤を自国で開発・製造・運用・活用できるという経済安全保障の観点は、新型コロナウイルス感染症の拡大によってもますます顕在化。これらに必要な技術・人材の維持・育成が重要。

第6期科学技術・イノベーション基本計画（令和3年3月閣議決定）抄

次世代の計算資源について、我が国が強みを有する技術に留意しつつ、産学官で検討を行い、2021年度までに、その方向性を定める。この検討の結果を踏まえ、必要な取組を実施する。

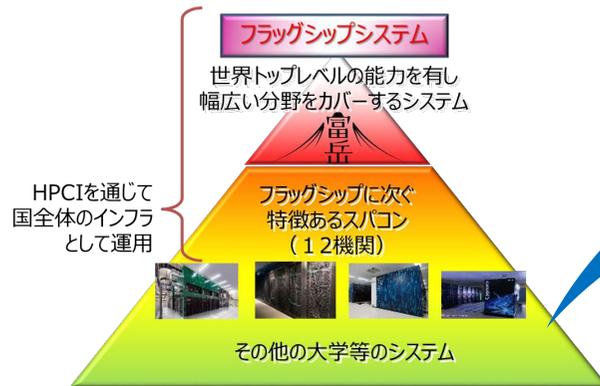
次世代計算基盤検討部会 中間取りまとめ 概要

次世代計算基盤のあり方

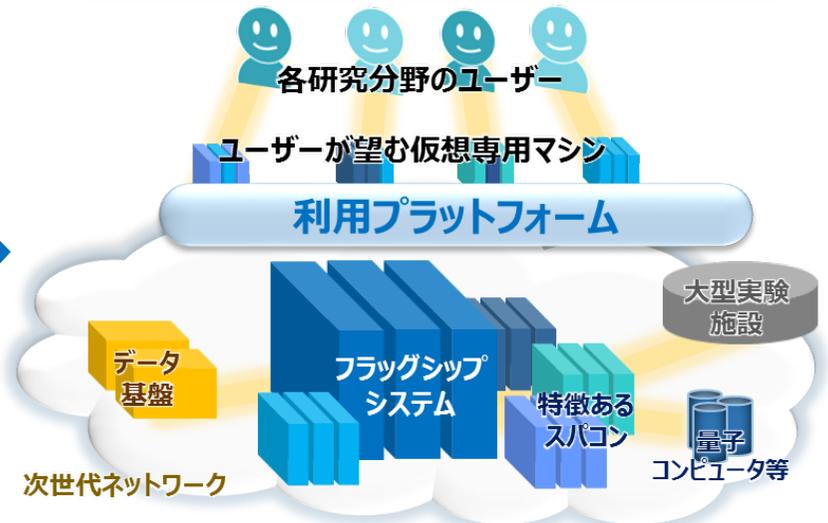
- ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤を国として戦略的に整備することは、科学技術・学術の成果創出のみならず、技術・人材の維持・育成や産業競争力の強化等の経済安全保障、新たな科学技術の創出、Society5.0の実現、国民の安心・安全の確保等の社会的課題の解決に貢献する観点から必要不可欠。
- ユーザーニーズの多様化や利用分野の拡大・変化に対応するため、「フラッグシップシステム」を頂点とする現在のHPCIから、「フラッグシップシステム」及び国内の主要な計算基盤、データ基盤、ネットワークが、一体的に運用され、総体として持続的に機能する基盤となることが望ましい。

現在のHPCI※

※革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ



ポスト「富岳」時代に目指すべき姿



- 「フラッグシップシステム」の開発にあたり、半導体やネットワーク等関連技術の動向及び利用ニーズの変化等を踏まえ、調査研究を行い、我が国として独自に開発・維持すべき技術を特定しつつ、具体的な性能・機能等について早急に検討を開始する必要がある。
- HPCIの戦略的な整備・運用についても継続的に議論が必要。

次期「フラッグシップシステム」に求められる役割

① 多様な研究分野で世界をリードする卓越した研究成果を創出する

- 幅広い研究分野でパラダイムシフトを起こし得る圧倒的性能・機能
- 多様な分野や利用ニーズの変化に対応し得る汎用性
- Co-designによって世界最高水準の主要アプリケーション実効性能

② 計算科学・計算機科学において我が国の優位性・独自性を確保する

- 我が国の最先端の技術力・人材を結集し、技術を飛躍的に進展
- 我が国独自に次世代計算基盤を開発・製造、運用・活用できる技術・人材を維持・育成
- 5~10年後に一般的なスパコンで利用可能になる技術を確認し、幅広い研究分野の発展をけん引し、支える
- 量子コンピュータなど新たな計算原理の発展も考慮
- 我が国の独自開発技術と国際協調すべき技術の特定が必要
- アプリケーションも含め、産業への展開を見据えた検討が必要
- サプライチェーンリスクの管理を含む、セキュリティの確保が必要

③ 新たな科学技術の創出、産業競争力の強化、Society 5.0の実現、国民の安心・安全の確保等社会的課題の解決に貢献する

(新たなニーズ、利用形態への柔軟な対応のため、)

- 「フラッグシップシステム」とその他主要スパコン、データ基盤がネットワークを通じて一体的に運用されるための機能
- セキュアに、かつ柔軟に運用されるための機能

次世代計算基盤に係る調査研究の内容・体制

令和4年3月

HPCI計画推進委員会

次世代計算基盤に係るシステム検討ワーキンググループ

1. 次世代計算基盤が果たすべき役割

- ✓ 科学技術・学術の成果創出のみならず、技術・人材の維持・育成や産業競争力の強化等の経済安全保障、国民の安心・安全の確保等の社会的課題の解決に貢献する。
- ✓ ユーザーニーズの多様化や利用分野の拡大・変化に対応するため、「フラッグシップシステム」及び国内の主要な計算基盤、データ基盤、ネットワークが、一体的に運用され、総体として持続的に機能する。
- ✓ 最先端のシミュレーションを実施できる環境に留まらず、AI用学習データの生成や大量データ処理を行うプラットフォームを構築。シミュレーションとAI、データ科学の融合により、デジタルツイン技術の進化を支え、世界をリードする研究成果の創出、Society5.0の推進やSDGsの達成に貢献する。
- ✓ オープンなアプリケーションの開発、プログラムのローコード化・ノーコード化等を可能とするなど、実験系の研究者も利用しやすい、オープンかつカジュアルな計算環境を提供。
- ✓ 我が国の科学と産業の競争力の維持・拡大をけん引する。そのため、最先端の研究成果を創出する基盤となるのみならず、その開発で得た技術と人材が、国内の他の基盤（いわゆる第2階層を含む）や、関係する幅広い産業界（半導体開発・製造、システム開発、アプリ開発、情報サービス）への波及効果をもたらす役割を果たす。

2. 次世代計算基盤に求められる性能・機能

- ✓ 国内の主要な計算基盤、データ基盤、ネットワーク、実験施設等と一体的に運用され、総体として持続的に機能する基盤となるべく、ジョブと計算資源のアロケーション最適化や、他のシステムとの連携・融合を可能とする機能拡張性など、“一体的な運用”や“総体として機能する基盤”として必要な性能・機能
- ✓ 汎用的でオープンな計算環境を提供する一方、幅広い研究分野でパラダイムシフトを起こし得る、ナンバーワンの性能あるいはオンリーワンの機能
- ✓ 継続性を担保しつつ、オープンなアプリケーション開発を容易に実施可能とするために必要な性能・機能
- ✓ 独自技術を導入・維持しつつ、エッジコンピューティング等のスパコン以外の領域や関係産業等にも普及可能かつ普及すべき価値を持った性能・機能（システムやソフトウェアのエコシステム構築につながる性能・機能）

（必要な要素技術・必要なブレークスルーの例）

- 国産技術で優位性をもつ高性能HPCアーキテクチャ
- ハードウェア・システムの仮想化や利用環境の標準化を支えるシステムソフトウェア
- ジョブを最適に実施するメタスケジューラー
- 様々な利用形態に対応可能なコンパイラやアルゴリズム

3. 調査研究の研究対象とすべき要素技術・研究領域

(FSにおける達成目標)

- ✓ サイエンス・産業・社会のニーズを明確化し、それを実現可能なシステムの選択肢を提案する。
- ✓ 実施項目は以下を含める。

最新の計算科学ロードマップを踏まえた、システム評価方法の検討と対象アプリの抽出

対象アプリ等によるシステム評価

次世代計算基盤として想定されるシステムの提案

(FSにおける検討方針)

- ✓ システム（アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーション）、新計算原理、運用技術を対象に調査研究を実施する。
- ✓ 「富岳」の成果及び課題（実現した技術と実現に至らなかった技術等）を把握・分析したうえで、検討を進める。
- ✓ 演算性能（実効性能）のほかに、評価指標として考慮すべき項目について検討を行い、達成すべき項目とその優先順位を提案する。評価指標には以下を含めることが望ましい。

演算性能、電力性能比、I/O性能、コスト

運用可能性

生産性（アプリ開発のしやすさ）

コモディティ化（商用展開、技術展開）

カーボンニュートラルへの対応 等

- ✓ 今後想定される新たな研究分野を含め、システム（アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーション）については、少なくとも以下をFSの研究・検討対象に含めることが望ましい。

システム：

省電力（データセンタ消費電力/CO2排出量削減を含む）

耐故障性、信頼性（寒冷地・高湿度地域への設置、高温化での運用を含む）

データ駆動型・リアルタイム処理

（外部資源・施設との連携、融合ワークフローの実行プラットフォーム、データ管理技術を含む）

仮想化、クラウド環境（外部連携）

セキュリティ

量子技術等の新計算原理 等

アプリ：

デジタルツイン技術の進化を支え、世界をリードする研究成果の創出や Society 5.0の推進、SDGsの達成に貢献するプラットフォームとして必要なアプリケーション分野 等

（従来分野に加え、AI・データ科学、デジタルツイン、社会科学等を含む。

また、オープンな計算環境や商用展開を想定した適切な評価アプリを検討対象に含む）

✓ 運用技術については、以下の検討が必要である。

- 「フラッグシップシステム」及び第2階層をはじめとする国内主要スパコン、データ基盤、ネットワークが一体的に運用される基盤として、どのようなプラットフォームが考えられるかを提案し、そのために必要な要素技術は何かを特定する。
- 一体的運用に伴うセキュリティリスクや、機密性の高いデータを安全に処理するためにどのようなセキュリティ対策を施す必要があるかを特定する。
- 運用技術調査研究チームの研究対象として以下を含めることが望ましい。

新しい利用形態とシナリオの検討：デジタルツイン技術の進化を支え、
世界をリードする研究成果の創出やSociety 5.0の
推進、SDGsの達成に貢献するプラットフォーム

ユーザの利用：高可用性、耐故障性、リアルタイム処理、仮想化と資源管理 など

データ利活用：流通・（クラウドとの）連携、セキュリティ、保全、アーカイブ

施設・設備・運用技術：冷凍設備、省電力、運用コスト、カーボンニュートラル化

運用継続性：「富岳」からの移行期の問題、データ移行

等

✓ 新計算原理技術については、以下の検討が必要である。

- ポスト「富岳」のさらに先の時代において、特定用途では量子コンピュータが従来型スパコンの性能を上回る可能性を考慮して、今回のFSでフラッグシップと量子コンピュータの連携について実現可能性を検討する。
- 量子コンピュータ以外の新たな計算原理（ニューロコンピュータ等）についても同様に検討する。
- 新計算原理のシステムと従来型のシステムをハイブリッドで運用することが想定されるため、新計算原理調査研究チームの研究対象に以下分野を含めることが望ましい。

アプリケーションやライブラリ（固有値計算・特異値分解の量子コンピュータ向けアルゴリズム等）の検討

新たな計算原理を適用すべき領域・分野の検討

通信プロトコル・APIの定義、セキュリティ、認証、通信オーバーヘッド 等

4. 技術的課題・制約要因

(FSにおける検討方針)

- ✓ 技術的な課題や制約要因を列挙し、半導体等技術等の原理的境界によるものと、条件により技術的に突破できるものとを精査する。
- ✓ 原理的境界については諸外国も同じ状況であるから、今後世界各国で性能は高止まりすると予想される。その部分でのわずかな性能向上のために限りある資源を投入するのではなく、それ以外のあるべき性能・機能向上の観点から検討を行う。
- ✓ 技術的に突破できるものについては、解決策の実現可能性を評価しつつ検討を行う。
- ✓ 技術的課題以外でも、次世代計算基盤の構築にあたって想定される課題・制約要因を考慮して検討を進める。

- ・ アカデミア・産業界双方における人材不足
- ・ ハードウェアとソフトウェアの両方を開発できる技術とコミュニティの維持
- ・ 利用制度（利用料金、成果公開方法等）

等

5. 日本が独自に保有すべき技術と国際協調する技術

(FSにおける検討方針)

- ✓ アーキテクチャ、システムソフトウェア、ネットワーク、クラウド技術、アプリケーション等について、国内外の情報を調査し、国内の開発対象とすべき範囲を提示する。
- ✓ これまで培った技術の継承とともに、我が国として新たに強みを持つことができる領域を特定する。以下領域で我が国の強みを見出せる可能性があることから、他の事業との連携も考慮しつつ検討を行う。

消費電力性能

プロセッサ設計・製造技術 (半導体技術を含む)

パッケージング技術

インターコネクト技術 (光技術 等)

コンパイラ、システム構築技術、ライブラリ (高速フーリエ変換、固有値計算、精度保証 等)

各分野のアプリケーション

大型実験施設や大型計測器と連携したデータ同化・CPS連携技術

等

<委員>

- 岡田 眞里子 大阪大学蛋白質研究所細胞システム研究室 教授
小野 謙二 九州大学情報基盤研究開発センター センター長
◎ 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)
佐藤 三久 理化学研究所計算科学研究センター 副センター長
田浦 健次郎 東京大学情報基盤センター センター長
高木 亮治 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 准教授
高橋 桂子 早稲田大学 総合研究機構 グローバル科学知融合研究所
上級研究員・研究院教授
常行 真司 東京大学大学院理学系研究科 教授
藤堂 眞治 東京大学大学院理学系研究科 教授
富澤 将人 NTTデバイスイノベーションセンタ 所長
富田 浩文 理化学研究所計算科学研究センター複合系気候科学
研究チーム チームリーダー
中川 八穂子 株式会社日立製作所研究開発グループ
デジタルPFイノベーションセンタシニアプロジェクトマネージャ
兼技術戦略室 チーフデジタルオフィサー
肥山 詠美子 東北大学理学研究科 教授
朴 泰祐 筑波大学計算科学研究センター センター長
吉田 亮 統計数理研究所データ科学研究系 教授

(◎ : 主査、50音順)

<開催実績>

第1回 2021年7月13日 (火)

- 議事運営等について
- 「富岳」開発 事後評価に関する追加説明

第2回9月24日 (金)

- 「富岳」開発 事後評価に関する追加説明
- 次世代計算基盤検討部会中間とりまとめ
- 論点整理
- ヒアリング (計算科学ロードマップの検討状況)

第3回10月25日 (月)

- 「富岳」開発 事後評価票 (案) について
- ヒアリング (システム技術の見通し等について)

第4回11月15日 (月)

- ヒアリング (システム技術の見通し等について)

第5回12月1日 (水)

- 「富岳」開発 事後評価票 (案) の決定
- (HPCI計画推進委員会へ) 検討状況の共有
- ヒアリング (企業の視点から)

第6回2022年2月2日 (水)

- ヒアリング (計算科学ロードマップの検討状況)
- FSで検討すべき内容及び実施体制の検討

第7回2月22日 (火)

- ヒアリング (企業の視点から)
- FSで検討すべき内容及び実施体制の決定