

議論のための素案であり、  
現時点で何ら決定事項は含みません。

資料 2-2

# 次世代計算基盤検討部会 中間取りまとめ (素案)

令和3年 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

## 目次

1. はじめに.....	3
2. 次世代計算基盤に係る政策・技術動向.....	4
(1) 次世代計算基盤に係る我が国の政策動向.....	4
(1)－1 計算基盤に係る事業の実施と評価.....	4
(1)－2 審議会等における検討.....	5
(1)－3 政府方針等.....	6
(2) スーパーコンピュータに係る各国の取組状況.....	7
(3) 計算科学、計算機科学技術の動向.....	8
(4) 関連技術に係る動向.....	9
3. 我が国における次世代計算基盤のあり方.....	11
(1) 次世代計算基盤の必要性.....	11
(2) 次世代計算基盤を構成する事業の方向性、目的の明確化.....	14
(3) アプリケーション開発の方向性.....	17
(4) 効果的な運用、利活用促進について.....	18
(5) 分野振興、人材育成について.....	18
4. おわりに.....	18

## 1. はじめに

- ・ 令和3年3月9日、スーパーコンピュータ「富岳（ふがく）」の共用が開始された。「富岳」は、我が国の科学技術の発展、産業競争力の強化、イノベーションの創出や国民の安全・安心の確保につながる最先端の研究基盤として開発された。世界最高水準の性能と汎用性をもち、共用開始前より、新型コロナウイルス感染症対策に一部の計算資源を緊急的に活用し、積極的に成果公開を行ってきたが、今後、さらに様々な分野で活用され、「富岳」の成果を国民がいち早く実感できるようになることとともに、「富岳」を用いることで初めて得られる成果が継続的に生み出されることが期待されている。
- ・ 令和3年3月に閣議決定された第6期科学技術・イノベーション基本計画をはじめ、統合イノベーション戦略、AI戦略等において指摘されているとおり、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を活用した研究の重要性がより一層大きくなっている。さらに、新型コロナウイルス感染症を契機として、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。
- ・ 主として計算資源、ネットワーク、データ基盤で構成される科学技術・学術情報基盤は、科学技術の様々な分野において不可欠な研究開発基盤であるだけでなく我々の社会が直面する様々な課題の解決を加速する社会情報基盤をけん引する役割も担っている。
- ・ データ戦略1次取りまとめや第6期科学技術基本計画、半導体戦略等で指摘されているとおり、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、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。
- ・ このような状況の中で、ポスト「富岳」時代に求められる次世代計算基盤のあり方については、国内外の政策動向や技術動向を踏まえ、社会情報基盤全体の動向を注視しつつ、科学技術・学術研究、ひいては社会的課題の解決を支える科学技術・学術情報基盤全体における計算基盤の位置付け、意義、必要性等を改めて整

理しつつ、検討を行うことが必要である。

- ・ 本部会は、次世代の計算基盤、データ処理環境及びネットワークに係る事項について調査審議を行う組織として、令和元年10月に科学技術・学術審議会情報委員会の下に設置された。
- ・ 社会の大きな変化を踏まえ、ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤の在り方について、科学技術・学術情報基盤全体における計算基盤の役割、計算基盤の活用（計算科学及びAI・データ駆動型科学等）により期待される成果、計算基盤を構築し運用する計算機科学の立場などから学术界、産業界等における今後のニーズ等について、委員や有識者からのヒアリングを行いつつ議論を行った。（具体的なヒアリング内容は別紙1のとおり。）
- ・ 今般、ここまでの議論を一旦とりまとめ、ポスト「富岳」時代に求められる次世代計算基盤の在り方の方向性について、中間まとめとして報告する。この方向性を踏まえ、今後必要な調査研究等を行いつつ、引き続き検討を行うことが必要である。

## 2. 次世代計算基盤に係る政策・技術動向

### (1) 次世代計算基盤に係る我が国の政策動向

#### (1)－1 計算基盤に係る事業の実施と評価

- ・ 文部科学省では、スーパーコンピュータ「京（けい）」（以下、「京」という。）を中核として、国内の大学等の主要な計算資源を学術情報ネットワーク（Science Information NETwork（SINET））で結び、全国の利用者が一つのユーザーアカウントで用途に応じて多様な計算資源を利用できる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（HPCI）の整備・運用を平成24年度から開始した。また、平成26年度から令和2年度にかけてスーパーコンピュータ「富岳」の開発・整備を推進し、令和3年3月から「富岳」の運用を開始し、現在は「富岳」を中核としてHPCIを引き続き運営している。
- ・ スーパーコンピュータ「京」は安定した高い稼働率で運用され、多くの優れた研究成果を創出し、令和元年8月に運用を終了した。HPCI計画推進委員会及び情報委員会では、「京」の運営の事後評価を令和2年度に実施した。この中では、
  - ・ 医学、化学、物質科学、気象・防災、生命科学、ものづくりなど広範囲な分野において「京」でなければ実現し得なかった画期的な成果が多数創出

されたこと

- ・ 「京」の開発・運用を通じ、開発・運用とともに高度化研究を行う研究拠点が形成され、国内外の大学等教育機関や研究機関との連携により技術の波及や人材育成が進んだこと
- ・ ポスト「京」として開発された「富岳」の開発、運用及び活用に対し、必要な計算機科学及び計算科学の様々な技術や知見を与え、現在の我が国の科学技術・学術計算基盤を構築する世界最先端の計算機科学及び計算科学の発展に貢献したこと

等により、「京」が 計算科学 (Computational Science) 及び計算機科学 (Computer Science) 全体の発展に果たした役割は大きいと評価されている。

- ・ さらに、今後の展望として、
  - ・ 「富岳」の高い性能を活かした成果、「富岳」を用いて初めて得られる新しい科学技術の成果が継続的に生み出されることが望まれる。
  - ・ 計算科学・計算機科学の中長期的な展望についても「富岳」を活用した検証が実施され、「富岳」以降の中長期的な計算基盤の在り方の議論に活かされることを期待したい。

等が指摘された。

- ・ 加えて、同年度には HPCI の運営の中間評価も実施され、オールジャパンで研究ニーズと計算資源をマッチングし、多様な分野において優れた研究成果が創出されたこと、適切な利用者支援等により利用者が拡大されていること等の観点から、引き続き我が国の科学技術・学術の発展を支えるインフラとしてその運営を継続すべきと評価されている。また、令和 2 年度に新型コロナウイルス感染症対策に資する課題の臨時公募を行う等、緊急事態への迅速な対応に当たり、国内の主要な計算基盤を有効に活用する枠組みとして機能したことも高く評価された。
- ・ また今後の展望として、HPCI の長期的な発展については、今後の我が国の科学技術・学術を支える情報基盤の将来像、利用者の需要の動向、新規分野への利用拡大、新しい技術やアーキテクチャの導入の必要性、人材育成の機能強化などについて、世界的な動向も踏まえながら様々な立場からの意見を集約しつつ、今後引き続き検討する必要がある、と指摘されている。

#### (1)－2 審議会等における検討

- ・ 平成 29 年 6 月に設置された「HPCI 計画推進委員会 将来の HPCI の在り方に関する検討ワーキンググループ」において、計算科学及び計算機科学を取り巻く状況の大きな変化を踏まえ、将来の日本の計算科学及び計算機科学のあり方について

の検討が行われ、令和元年6月に報告書が取りまとめられた。その中では、将来のHPCIのあり方について、

- ・最先端の科学的成果を創出するためのHPCIを、引き続き整備・運用していくことは我が国の科学力、産業力等の維持・向上に必要不可欠。
- ・将来のHPCIの姿を具体化していく上で、アーキテクチャの多様性とプラットフォームの整備、データ利用基盤の構築、ボーダレス化の進展、人材育成に十分留意しながら検討すべき。

といった方向性が提言されている。

- ・本部会の下に設置された「次世代学術情報ネットワーク・データ基盤整備作業部会」においては、Society 5.0を具現化するための新たな価値創造システムを構築する必要性やオープンサイエンスの概念が世界的に急速な広がりを見せている状況を踏まえ、次世代の学術情報ネットワークとデータ基盤整備の在り方について検討が行われ、令和2年7月、「次世代の学術情報基盤ネットワークとデータ基盤整備の在り方について（審議まとめ）」が取りまとめられている。この中では、我が国の大学・研究機関が国際競争力を保ち、優れた教育研究活動を展開していくためには、セキュアで高度な教育研究環境の持続的な確保につながる学術情報基盤の整備が不可欠であること等が提言されている。
- ・情報委員会においては、令和元年10月に「第6期科学技術基本計画に向けた今後のHPCIの方向性に関する検討論点まとめ」が取りまとめられ、各種応用分野に強みを発揮する専用機の発展、多様なシステムからなるバランスの取れたHPCI、ソフトウェア技術と人材育成等の重要性が示されるとともに、令和2年9月には「コロナ新時代に向けた今後の学術研究及び情報科学技術の振興方策について」が取りまとめられ、コロナ新時代に向けた学術研究及び情報科学技術の振興に当たっては、学術研究・情報科学技術が社会の負託に応えられるよう、諸施策の推進を通じ、研究を継続するためのレジリエンスの確保、新しい研究様式への転換及び研究者の交流・連携の担保を実現すべき旨が提言されている。

### (1)－3 政府方針等

- ・第6期科学技術・イノベーション基本計画において、現状認識として、
  - ・我が国のデジタル研究基盤については、2020年、4つのスーパーコンピュータランキングにおいて、世界1位となった「富岳」や学術情報ネットワーク（SINET）などのインフラの整備が進み、質の高い研究・教育に貢献している。

とされている。

- ・ また、同計画における「あるべき姿とその実現に向けた方向性」及び「具体的な取組」として、
  - ・ ネットワーク、データインフラや計算資源について、世界最高水準の研究基盤の形成・維持を図り、産学を問わず広く利活用を進める。
  - ・ スパコン計算資源については、2021 年よりスーパーコンピュータ「富岳」の本格的な共用を進めるとともに、国内の大学、国立研究開発法人等のスパコン計算資源について、全国の研究者の多様なニーズに応える安定的な計算基盤として増強する。加えて、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。

とされている。

- ・ 令和 2 年 12 月 21 日に取りまとめられた「データ戦略タスクフォース第一次とりまとめ」においても
  - ・ これまでデジタル化を支えるインフラとしては主に通信インフラが念頭に置かれてきたが、社会全体のデジタル化を支えるためには、通信インフラにとどまらず、データを貯蔵するクラウドインフラ、データを処理し付加価値を与える計算インフラや半導体デバイス、データの信頼性を高めるためのトラストインフラなど幅広いインフラを念頭にデジタルインフラの整備を図っていくことが求められている。
  - ・ また、デジタルインフラとして、スパコン富岳などの世界トップレベルの高度な計算資源を今後計画的に整備するとともに、当該資源を研究者だけでなく企業から国民に至るまで社会の幅広い層が活用できる仕組みを構築する必要がある。

と指摘されている。

※その他の政府決定文書についても今後追加

## (2) スーパーコンピュータに係る各国の取組状況

- ・ 欧米、中国を中心にスーパーコンピュータの開発が活発に行われている。
- ・ 米国で 2016 年に開始された Exascale Computing Project では合計約 5,500 億円以上が投入され、2021 年以降にエクサ級のスーパーコンピュータを複数台導入す

る計画が立てられている。また、2022年度の予算教書においても、エネルギー省（Department of Energy (DOE)）や国立科学財団（National Science Foundation (NSF)）の関連予算として、高速コンピューティングやネットワークへの支援が含まれている。加えて、国家科学技術会議（National Science and Technology Council (NSTC)）が2020年にまとめた戦略計画では、科学技術や経済的競争力、国家安全保障においてリーダーシップを維持する基盤として、産・官・学・NPOにまたがる戦略的リソースとして、計算資源、データセット、AIに基づくデータ分析等を統合する「コンピューティング・エコシステム」を活用すること、コンピューティングとそのアプリケーションの未来を推進するべく基礎・応用・橋渡し研究開発を支援すること等が戦略目標として掲げられている。

- ・ 欧州のプロジェクト（EuroHPC）では、2021年以降に数百ペタ級のマシンを3箇所に整備する計画のほか、エクサ級のスーパーコンピュータの整備を含め、HPC関連として合計約1兆円以上の資金を投入する計画がある。産業界主導のシンクタンクであるETP4HP（European Technology Platform for High Performance Computing）が2020年にまとめたHPCの技術ロードマップでは、新しいコンセプトとして、HPCを他のデジタル技術と組み合わせリアルタイムなソリューションを作り出すことを目指すDigital Continuumが提案されている。また、デジタルトランスフォーメーション(DX)を加速するための新規プログラムである「デジタル・ヨーロッパ」(Digital Europe)においては、2021年～2027年の7年間で75億8,800万ユーロを投入し、スーパーコンピュータ、AI、サイバーセキュリティ等の機能強化に必要なインフラを構築し、欧州のDXを促進することが掲げられている。
- ・ 中国でも、エクサ級のスーパーコンピュータに係る研究開発が進められているほか、科学技術・イノベーション関係の主要事項として、デジタル技術の革新的アプリケーションの強化が挙げられており、ハイエンドチップ、AIアルゴリズム等の主要技術の研究開発、ハード・クラウド・ソフトの統合研究開発、量子等の先端技術開発、情報・ライフ・材料等との融合強化等が計画されている。

### (3) 計算科学、計算機科学技術の動向

- ・ 計算科学の観点、つまり計算資源を活用して科学的課題の解決に挑戦する観点からは、超高速・高並列可能な計算資源があればあるほど、より大規模・長期間・多数のシミュレーションが実行可能となる。パラダイムシフトによる新たな推論や発見を期待するには、相当程度の性能向上が求められる。



- ・ また、従来の単なる数値計算だけでなく、AI によるパラメータ推定を活用したシミュレーションの効率化、データ同化による観測とシミュレーションの連携も進んでいる。AI・データ科学との連携による社会課題の解決など、スーパーコンピュータの利活用の範囲は拡大してきている。
- ・ 高性能な計算環境の必要性は高まる一方、計算機科学の観点、つまり計算機の性能向上のためのアーキテクチャ・システム等の設計・開発の観点からは、いわゆるムーアの法則の終焉や、従来とは異なる利用形態（外部データベースのデータを直接取り込みながらリアルタイムに処理を行うことや、クラウドとの連携による柔軟な資源配分等）への進化など、多くの技術的課題があることも事実である。
- ・ これまでに、学术界及び産業界の計算機科学分野の研究者を中心に行われている検討においては、電力消費量を「富岳」の開発目標と同程度と仮定した場合の 2028 年の予測性能は、最も積極的な予測で「富岳」の性能の 3.37 倍（メニーコア型システム）、33.5 倍（GPU 混載型システム）と予測されており、更なる性能向上を期待している計算科学側のニーズに応えるためには、従来の技術の延長ではなく、飛躍的な技術の進展が必要となることが見込まれる。
- ・ CMOS デバイスの微細化がコスト的にも技術的にも限界に近付く中で、集積度以外の様々な観点から CMOS デバイスを超える性能を持つ新デバイスへの期待も高まっている。
- ・ 近年、GPU コア数の増加やアクセラレータ（GPU・FPGA 等）の導入によってアーキテクチャの複雑化が進んでいる中で、これらを管理するシステムソフトウェア技術は、システム全体の実性能を高めるうえで非常に重要な役割を果たしている。
- ・ また、HPCI のように複数かつ多様なシステムの利活用にあたり、様々なプラットフォームやシステム環境におけるソフトウェアパッケージの管理や、コンテナ環境といった運用に関する技術の重要性も高まっている。
- ・ クラウドについては、「富岳」の開発プロジェクトが開始された頃と比較して、今日では国内外のプロバイダーによるサービスが数多く存在・充実しており、「富岳」でもクラウド的利用を実証研究中である。科学技術・学術研究においてもクラウドが広く利用されるようになるなど、計算基盤に対するニーズも従前とは異なることに留意する必要がある。

#### （４） 関連技術に係る動向

##### （ネットワーク）

- ・ 国内では、国立情報学研究所（NII）を運用母体とする SINET の運用が 1992 年に開始された。2016 年 4 月からは SINET5 として運用され、日本全国の大学等を 100Gbps の高速回線で接続している。2020 年 3 月末時点で、全国の大学・研究機関等 932 機関が参加している。今後の取組としては、上述した「次世代の学術情報基盤ネットワークとデータ基盤整備の在り方について（審議まとめ）」において、最先端の研究環境「次世代学術研究プラットフォーム」を、2022 年 4 月に、世界に先駆けて実現するとしている。
- ・ 米国や欧州でも、国内ネットワークを 100Gbps 回線から 400Gbps 以上の回線へ増速する計画を推進している。
- ・ 国内外の企業において、光技術を活用による低消費電力、高品質・大容量、低遅延の伝送の実現に向けた技術開発も進められている。

#### （半導体）

- ・ 過去 30 年間、半導体世界市場の拡大にもかかわらず、日本の存在感は素材や製造装置では一定の世界的シェアを保有する一方で、各種半導体製品における市場では低下している。
- ・ デジタル化の進展、経済安全保障、サプライチェーン強靱化、カーボンニュートラル目標達成など、成長産業としての側面だけではなく、様々な観点での半導体の重要性の高まりを受けて、諸外国は、自国技術開発、自国内での生産能力・基盤の確保へと政策を転換している。
- ・ 「京」では国内で CPU 製造を実施したが、「富岳」では CPU 設計は国内企業で実施したものの、製造は海外企業へ委託した。次世代計算基盤に引き続き求められるハイエンドな半導体設計・製造技術については、現状を踏まえると、引き続き海外企業との連携が想定されうる。政府部内での我が国の半導体開発に係る戦略の動向に注視しつつ、自国の技術として確保する部分と、世界的な標準的構成要素を利用する部分の見極めが重要である。

#### （量子コンピューティング）

- ・ 欧米や中国の企業において、量子コンピュータをはじめとする量子技術に積極的な投資を行っている。令和元年 10 月には、Google が独自開発した量子コンピュータを用いて「量子超越（Quantum Supremacy）」を初めて達成（量子コンピュータがスーパーコンピュータをはじめとする従来のコンピュータを計算能力で上回ることを実証）したと発表している。
- ・ 一方で、ゲート型汎用量子コンピュータの実用化に向けては現状、20～30 年単位の時間を要すると見込まれているが、海外を含む各機関では研究開発が急速に進められており、これまでの予想より早く汎用量子コンピュータの実現があり得ること

に留意する必要がある。また、ソフトウェアについては、実用化に向けた研究開発の段階であり、従来型の計算機と比べると技術確立の途上段階にある。ソフトウェアについても研究開発の動向に注視するとともに、今後、スーパーコンピュータを活用した量子コンピュータ開発や各分野におけるスーパーコンピュータと量子コンピュータの相補的な役割分担と連携システムの構築が想定される。

#### (脳型コンピューティング (ニューロモーフィックコンピューティング))

- ・ 脳の構造・機能の模倣により、AI 処理等に求められる柔軟で高度な情報処理を人間の脳のエネルギー効率に迫る低消費電力で行うことを目指した「脳型コンピューティング」についても、米国 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency : 国防高等研究計画局) のプロジェクトや、欧州の Human Brain Project 等で研究開発が進められている。
- ・ 国内でも、JST の戦略的創造研究推進事業 (さきがけ : 革新的コンピューティング技術の開拓) や、NEDO の高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発における採択課題等で研究が実施されている。

### 3. 我が国における次世代計算基盤のあり方

#### (1) 次世代計算基盤の必要性

##### (科学技術・学術情報基盤の必要性)

- ・ 科学技術・学術情報基盤は、科学技術の様々な分野において研究を支える、不可欠な研究開発基盤であることは言うまでもない。今後、HPC と AI ・データ科学との融合やリアルタイムデータ処理といった先進的な処理方法等やデータ駆動型科学、研究の DX の進展により、計算基盤、データ基盤、ネットワークが総体として、一体的に運用されることが必要になっている。
- ・ また、社会が直面する様々な課題の解決を加速する社会情報基盤の発展をけん引する役割を担う観点からも重要である。
- ・ 第 6 期科学技術基本計画等で指摘されているとおり、サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値を創出し、Society 5.0 を実現するため、HPC を含むデータセンターからエッジ、それらを繋ぐネットワーク等様々な種類の社会情報基盤がますます重要となっていく。
- ・ 社会のデジタル化を進む中、新型コロナウイルス感染症の拡大により自国で社会情報基盤を開発・製造・運用できるという技術安全保障の観点が顕在化し、ますます

重要になってきていると言える。

- ・ こうした社会情報基盤を自国で確保、運用、活用するための技術力や人材を維持・育成するためにも、科学技術・学術情報基盤の果たす役割は大きい。

#### (HPCI 全体の必要性)

- ・ HPCI はオールジャパンの科学技術・学術インフラであり、全国の多様な研究ニーズと計算基盤をマッチングし、優れた研究成果を創出するハブとして機能している。また、コロナ禍においては、研究の継続や、機動的な新型コロナ研究の実施に貢献した。
- ・ 科学技術の各研究分野においても、更なる実効性能の向上とともに、計算資源の整備・共用へのニーズは高い。また、産業界からも、利便性の更なる向上とともに多様な計算機環境の提供が継続的に要請されている。
- ・ HPCI は次の観点から今後も重要である。①オールジャパンで研究ニーズと計算基盤をマッチングし、多様な研究成果を創出するハブとなる。②コロナ等の緊急事態において、研究継続を支える基盤となる。また主要な国内のスーパーコンピュータが連動して機動的に危機対応に貢献する枠組みとして機能する。
- ・ 我が国の科学技術分野の発展を考えると、個別分野毎に強力な計算基盤に投資するよりも、HPCI のような共通基盤を整備・活用する方が、各分野の研究の進展と効率的な研究環境の実現の両面から考えて望ましい。
- ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤を考える上では、前述のとおり科学技術・学術情報基盤全体を俯瞰しつつ、計算基盤についてはいわゆる現行の「フラッグシップシステム」だけでなく、第2階層をはじめとする国内の主要な計算基盤全体の在り方を考える必要がある。それには、「フラッグシップシステム」と第2階層をはじめとする計算基盤群との関係性や、計算資源全体における第2階層の位置付けの見直しも含まれるだろう。
- ・ 第2階層の位置付けの見直しに当たっては、各構成資源は一義的には各大学の研究基盤として各大学がそれぞれの方針に基づいて整備運用していることに留意する必要がある。

#### (フラッグシップシステムの必要性)

- ・ 「京」は多様な研究分野で活用できる汎用性の高い世界最高水準の性能を指すとして平成17年から開発され、TOP500で2期1位を獲得した後平成24年から運用が開始された。その後7年間の運用期間中に「京」を超える演算性能を持つマシンが国内でも導入されたが、HPCGでは3期継続して1位を獲得し、運用終了時まで3位にとどまったとともに、Graph500においては運用終了まで1位を9期継続して獲得し、アプリケーション実行性能等において運用期間を通じて世界最高水準の能力を

- 維持したこと、8万を超える計算ノードを安定的継続的に高い稼働率で運用したことは、我が国の高い技術力を示している。
- ・ また、「京」がなければ実現し得なかった成果を多数創出した。細胞を構成する分子から心拍動までを繋ぐマルチスケール心臓シミュレーションや世界最大規模シミュレーションによるダークマター進化過程の解明等の科学的に卓越した成果を生み出しただけでなく、世界最大規模の全球大気・現実大気のアサンブルデータ同化による新たな気象予測技術の開発、都市全域の地震等自然災害シミュレーション等国民の安全・安心に貢献した。
  - ・ ナショナルプロジェクトとして開発・運用されたことで、国内の技術力、人材の維持、育成につながった。京を核として計算科学・計算機科学の研究開発拠点が形成され、我が国の計算科学・計算機科学の底上げにつながった。
  - ・ 「京」で培われた技術、アプリケーションは本年3月に本格運用を開始した「富岳」に引き継がれ、既に、新型コロナウイルス研究や線状降水帯の予測精度向上等に貢献する成果が上げられている。
  - ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤に対して、利用側からは、より高い実効性能が求められている。大規模・長期間・多数のシミュレーションが実行可能となることで、例えば、より複雑な生命現象の再現が可能になる等、高精度なデジタルツインの実現が期待される。また、今後、量子コンピュータ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とされている。
  - ・ HPCIの中核である「フラッグシップシステム」は次の観点から今後も重要である。  
①科学技術の各研究分野からの研究ニーズに応え、世界最高水準の性能を有し、それが無ければ実現し得ない卓越した研究成果を創出する。  
②計算科学・計算機科学の技術と人材を維持・育成し、科学技術・学術情報基盤としてのみならず社会情報基盤としても重要な計算基盤を我が国で開発・運用・活用できる力を確保する。  
③これらの結果として、Society 5.0実現、国民の安心安全等社会課題の解決に貢献する。
  - ・ 一方で、技術動向や周辺状況は急速に進化・変化しており、これを見据えつつ、ポスト「富岳」時代の「フラッグシップシステム」の姿、求められる具体的な性能や機能、「フラッグシップシステム」と第2階層をはじめとするその他主要な計算基盤、データ基盤等科学技術・学術情報基盤との関係性は、引き続き更に検討する必要がある。
  - ・ また、上記②は、「フラッグシップシステム」の開発だけで解決できる問題ではない。技術、人材を国内で持続的に維持するためには、計算基盤の開発周辺に、産業としても持続可能なエコシステムが構築されることが必要である。その際、計算機システムそのものだけでなく、システムソフトウェアやアプリケーションの展開も総合的に検討される必要がある。この点で、「富岳」においてはCPUの命令セット

に汎用性の高い「Arm」を採用したこと、システムとアプリケーションの協調的開発（コデザイン）によりアプリケーションが同時に開発されたこと等から「京」よりも前進していると言えるが、ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤の検討においては国内外の状況変化も踏まえて、我が国として確保すべき技術や国際連携について一層の検討が必要である。また、産業政策等との連動も期待される。

- ・ 加えて、「富岳」に対する政策ニーズが「京」と比較して各段に増えていることも踏まえ、今後も「フラッグシップシステム」には、政府における防災、気象予測等の政策ニーズに応える機能を有することが適当である。この点については関係省庁とも連携して検討することを期待する。

## （２） 次世代計算基盤を構成する事業の方向性、目的の明確化

### ● ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤の整備

#### （定義）

- ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤においては、データサイエンスやAI とシミュレーションの融合が更に進むことを踏まえ、次期「フラッグシップシステム」（なお「フラッグシップシステム」の定義や具体的性能等については、今後更に検討が必要である）、第2階層をはじめとする国内の主要な計算基盤、データ基盤、ネットワークを統合し、これらが一体的に運用され、多様なユーザーニーズに応えることが必要である。
- ・ この際、自国の技術として開発する部分と世界的な標準構成要素を利用する部分の区別も今後重要となってくることを念頭に置きつつ、「フラッグシップシステム」や第2階層を中心とする計算基盤、SINET等ネットワーク、データ基盤等の科学技術・学術情報基盤が総体として機能する体制を構築する必要がある。
- ・ またポスト「富岳」時代の次世代計算基盤は、従来型のアプリケーションニーズだけでなく、リアルタイム処理や複数拠点でのデータ連携等次世代型の運用ニーズにも応えられることが必要である。

#### （目的）

- ・ ポスト「富岳」は科学技術・学術研究を支える基盤としてのみならず、その結果、国民の安心・安全等我々の社会が直面する様々な課題の解決を加速する社会情報基盤の発展をけん引する観点からも不可欠であり、国として戦略的に整備することが必須である。
- ・ 科学技術の各研究分野からの研究ニーズに応え、世界最高水準の性能を有し、それが無ければ実現し得ない卓越した研究成果を創出するとともに、計算科学・計算機科学の技術と人材を維持・育成し、科学技術・学術情報基盤としてのみならず社会情報基盤としても重要な基盤を我が国で開発・運用・活用できる力を確保する。ま

たこれらの結果として、Society 5.0 実現、国民の安心安全等社会課題の解決に貢献する。

(アウトプット)

- ・ 具体的には、以下を行う必要がある。
  - ・ HPCI の戦略的な運用見直し
  - ・ 次期「フラッグシップシステム」の検討
  - ・ SINET6 の確実な運用開始
  - ・ 大学基盤センターの柔軟で効率的な運用
  - ・ これらを一体的に運用する体制の検討
  
- HPCI の運用
  - ・ 上述したとおり、HPCIの重要性は高く、今後も着実に運用するべきである。
  - ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤においては、新たな研究ニーズに合わせ、計算基盤とデータ基盤、ネットワークが一体として運用されるべきことを踏まえ、「フラッグシップシステム」と第2階層計算資源をSINETで繋ぎ一体的に運用する現在のHPCIの枠組みを基本とするが、今後は、より戦略的に見直しを行うことが必要である。その際、以下に留意することが必要である。
    - ・ 第2階層の各スーパーコンピュータについては、引き続き多様な計算資源を確保することが重要である。その際、「フラッグシップ」も含みHPCI全体で長期的な整備計画を策定し、戦略的に整備を進める必要がある。
    - ・ 複数機関における共同調達・共同運用も、計算基盤の効率的・効果的な運用の観点で有効である。
    - ・ さらに、我が国のコンピュータサイエンスの技術力、人材を維持・育成するためには、第2階層においても、ベンダーとの共同開発等が行われシステムやアプリケーションの様々な技術が集約されることが望ましい。また、HPCI全体として、継続的に短い周期で複数の開発が行われることが理想的である。
    - ・ 「京」から「富岳」への移行期には、周辺施設・環境等の制約により、フラッグシップシステムが不在となる「端境期」が生じた。HPCI全体として、計算資源の補填を行い、計算資源の総量としては京に相当する計算資源をHPCI全体で追加的に確保することができたが、大規模計算の実行環境には課題が残った。ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤への移行においては、「フラッグシップシステム」の「端境期」が生じない体制を検討することが必要である。

- 次期「フラッグシップシステム」の検討

- ・ 上述したとおり、「フラッグシップシステム」は、①科学技術の各研究分野から研究ニーズに応え、世界最高水準の性能を有し、それが無ければ実現し得ない卓越した研究成果を創出する。②計算科学・計算機科学の技術と人材を維持・育成し、科学技術・学術情報基盤としてのみならず社会情報基盤としても重要な基盤を我が国で開発・運用・活用できる力を確保する。③これらの結果として、Society 5.0 実現、国民の安心安全等社会課題の解決に貢献する観点から重要であり、ポスト「富岳」時代に求められる次期「フラッグシップシステム」について具体的な検討を開始する必要がある。その際、以下に留意すべきである。
  - ・ 次期「フラッグシップシステム」には、「富岳」から相当程度飛躍する実効性能が期待されるものの、その実現には、ムーアの法則の終焉等、関連技術が転換期にあること、性能の向上に伴い要求される電力量も増大すること等の技術的な課題や制限要因がある。また、クラウド等新たな計算資源の利用形態の普及等周辺状況の変化を踏まえ、次世代の運用にも応えられるシステムである必要がある。これを踏まえ、ポスト「富岳」時代の次期「フラッグシップシステム」の定義や、求められる機能や性能については、国内外の周辺技術や利用側のニーズの調査等を行った上で引き続き検討する必要がある。
  - ・ 次期「フラッグシップシステム」は、計算科学はもとより、AI・データ科学といった関連分野の人材と技術力の更なる底上げを狙い、我が国が科学技術・学術研究において優位性を獲得するとともに、その結果として国民生活の向上に貢献し、科学技術・学術情報基盤としてのみならず社会情報基盤としても不可欠な計算機システムを開発・運用・活用する技術力や人材を維持・育成するための基盤となるべきである。
  - ・ 利用側ニーズに応える飛躍的な実効性能の向上を目指すには、技術革新が不可欠である。そのためには、計算科学と計算機科学の関係者が両輪となって検討を行う必要があり、また、技術の飛躍を目指し、分野を超えてアカデミア、産業界、行政機関が結集し、広く国民が夢を持てるオールジャパンのプロジェクトとして実施されるべきである。さらに、検討の初期段階から開発完了、その後の運用に至るまで、システムに限らずアプリケーションやネットワーク・データ基盤など関連する分野における多くの研究者や技術者が連携し、かつオープンな形でプロジェクトが進捗することが望まれる。
  - ・ 開発された技術、人材が産業界に還元されることも重要である。半導体戦略等に基づいて開発される企業主体の研究開発プロジェクトとの連携も必要で



ある。

- ・ 次世代計算基盤として整備すべきシステムの構成、具体的な性能等は、幅広い研究ニーズに対応するため、汎用性の確保を基本としつつ、また、省電力性の追求は必須である。この他、計算科学や関連技術に係る国内外の技術動向を踏まえて引き続き検討する必要がある。
- ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤において、次期「フラッグシップシステム」で何を実現するかを明確にすることが重要である。その上で、アプリケーションの利用環境や実効性能の観点から、「富岳」開発でも有効であった Co-design は必須である。このためには、システムを構成する各技術要素の評価とともに、アプリケーション側のニーズの掘り下げが必要である。
- ・ クラウド関連の技術は今後益々向上すると考えられる。ユーザー側が意識せずに自らのニーズに合わせた多様なアーキテクチャ・規模の計算機資源を仮想的に利用できる環境といった、クラウド関連技術の延長線上にあると考えられる新技術を見据えた検討も必要である。
- ・ 量子コンピュータやニューロモーフィックコンピューティング、脳型コンピューティング等の新技術、その他のアーキテクチャの研究開発との協調・相補的な役割分担などについても引き続き検討する必要がある。
- ・ 開発に当たっては、国内外の情勢を鑑みつつ、国際協調は不可欠である一方、自国で保有すべき技術は確実に確保することが必要である。世界的な標準的構成要素を利用する部分と、自国で保持すべき設計・開発技術の区別について一定の方向性を見出すことが極めて重要である。
- ・ また、技術・人材の育成、利用側の利便性の観点から、単一プロジェクトとしてその都度短・中期的な開発体制がとられるのではなく、長期的な人材育成やアプリケーション分野の開拓・醸成も見据えた継続的な研究開発体制の構築が望まれる。

### (3) アプリケーション開発の方向性

- ・ 次期「フラッグシップシステム」の方向性として、Co-design は必須であり、この前提として、計算基盤の利用側のニーズを具体的に示すロードマップが不可欠である。これまでに蓄積されたシステム側の技術予測も踏まえて、ポスト「富岳」時代に、各研究分野や産業界がどのようなアプリケーションや利用環境、実効性能を必要としているのかを深掘りする必要がある。

(4) 効果的な運用、利活用促進について

- ・ ポスト「富岳」次代の次世代計算基盤の整備にあたっては、システムに限らずアプリケーションやネットワーク・データ基盤など関連する分野における多くの研究者や技術者が連携する形が必要であり、これを実現する安定的な運用体制を構築すべきである。
- ・ 利用支援の充実等により、AI やデータ科学と計算科学の融合や、計算機を利用する研究分野間の融合、計算機科学と利用研究分野の融合を図り、効果的な成果の創出に繋げることが望まれる。

(5) 分野振興、人材育成について

- ・ アプリケーション開発、アーキテクチャ、システムソフトウェア、コンパイラ等の研究者や技術者が将来にわたって活躍できるよう、産業界と連携したキャリアパスの構築が必要である。
- ・ 計算機を利用する研究者の育成としては、各分野のコミュニティの中で継続的に若手を育成する体制が構築されていることが望ましく、そのための分野振興が十分に実施されるべきである。

#### 4. おわりに

- ・ 本中間まとめは、ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤が目指すべき方向を示した。
- ・ この方向性を踏まえ、今後必要な調査研究等を行いつつ、HPCI 計画推進委員会と連携しながら、以下のような項目について検討の具体化を行う。この結果を受け、引き続き最終まとめに向けた検討を継続する。
  - ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤に求められる機能・性能、システム構成、運用体制等
  - ・ 利用側ニーズの深堀り、計算科学ロードマップの検討
  - ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤における第2階層資源の在り方
  - ・ ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤における「フラッグシップシステム」の定義、求められる機能や性能等

## 次世代計算基盤検討部会の主な議題

### 第 1 回(令和 2 年 5 月 1 日(金))

- 次世代学術情報ネットワーク・データ基盤整備作業部会の設置について
- 今後の議論の方向性について

### 第 2 回(令和 2 年 7 月 28 日(火))

- スーパーコンピュータ「富岳」の整備進捗状況について
- 新型コロナウイルス対策に関する情報科学関係の取組
- 次世代学術情報ネットワーク・データ基盤整備作業部会の検討結果について

### 第 3 回(令和 2 年 11 月 30 日(月))

- 次世代計算基盤について
  - ヒアリング(次世代の情報基盤全体における計算基盤の役割について)
    - ・「将来の HPCI の在り方に関する検討ワーキンググループ」の議論について
    - ・大学の情報基盤の観点から
    - ・スーパーコンピュータのユーザーの観点から①
    - ・情報基盤全体の観点から

### 第 4 回(令和 3 年 1 月 22 日(金))

- 次世代計算基盤について
  - ヒアリング(計算基盤に関する技術・利用の観点から①)
    - ・量子コンピュータの観点から
    - ・スーパーコンピュータのユーザーの観点から②
    - ・ネットワークの観点から

### 第 5 回(令和 3 年 4 月 21 日(水))

- 次世代計算基盤について

- ヒアリング(計算基盤に関する技術・利用の観点から②)
  - ・スーパーコンピュータのユーザーの観点から③
  - ・計算機運用等の観点から
  - ・HPCI コンソーシアムからの提言案

**第6回(令和3年5月27日(木))**

- 次世代計算基盤について
  - ヒアリング(計算基盤に関する技術・利用の観点から③)
    - ・NGACIにおける検討状況
    - ・国際動向を含めた半導体技術・産業の動向
  - 中間取りまとめ(骨子案)

**第7回(令和3年6月21日(月))**

- 次世代計算基盤について
  - 中間取りまとめ(素案)

**第8回(令和3年7月29日(木))**

- 次世代計算基盤について
  - 中間取りまとめ(案)

(別紙 2)

次世代計算基盤検討部会 これまでの主な意見

※6/21 部会の資料 2-1 (次世代計算基盤検討部会 これまでの主なご意見) を更新の上、添付予定。