

情報科学技術に関する 研究開発課題の中間評価結果 (案)

(ポスト「京」システム開発)

平成30年6月

HPCI 計画推進委員会

H P C I 計画推進委員会 委員名簿

平成30年4月現在

伊藤	公平	慶應義塾大学理工学部物理情報工学科 教授
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
梅谷	浩之	トヨタ自動車株式会社 I T 革新推進室 CAEG グループ長
大石	進一	早稲田大学理工学術院 教授
小柳	義夫	東京大学名誉教授／高度情報科学技術研究機構神戸センターサイエンスアドバイザー
喜連川	優	情報・システム研究機構国立情報学研究所 所長
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
土井	美和子	情報通信研究機構 監事／奈良先端科学技術大学院大学 理事
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テクノロジーイノベーションセンター シニアプロジェクトマネージャ
中村	宏	東京大学大学院情報理工学研究科 教授
◎	西尾 章治郎	大阪大学 総長
○	藤井 孝藏	東京理科大学工学部情報工学科 教授
	安浦 寛人	九州大学 理事・副学長

13名

(◎：主査, ○：主査代理, 50音順, 敬称略)

HPCI 計画推進委員会

ポスト「京」に係るシステム検討ワーキンググループ委員

平成30年6月現在

- | | |
|--------|--|
| 天野 英晴 | 慶應義塾大学工学部情報工学科 教授 |
| 石田 純一 | 気象庁予報部数値予報課 数値予報モデル開発推進官 |
| 梅谷 浩之 | スーパーコンピューティング技術産業応用協議会企画委員会 委員 |
| ◎小柳 義夫 | 東京大学名誉教授／高度情報科学技術研究機構神戸センター
サイエンスアドバイザー |
| 加藤 千幸 | 東京大学生産技術研究所 教授 |
| ○金山 敏彦 | 産業技術総合研究所 特別顧問 |
| 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 |
| 白井 宏樹 | アステラス製薬株式会社モダリティ研究所 専任理事 |
| 土居 範久 | 慶應義塾大学名誉教授 |
| 平木 敬 | 東京大学名誉教授 |
| 吉本 雅彦 | 神戸大学名誉教授 |

11名

(◎：主査，○：主査代理，50音順，敬称略)

ポスト「京」の開発

平成30年度予算額 : 5,630百万円
 (平成29年度予算額 : 6,700百万円)

背景・課題

- スーパーコンピュータは、理論、実験と並ぶ科学技術第3の手法であるシミュレーションの強力なツールであり、国民生活の安全・安心や国際競争力の確保のための先端的な研究に不可欠な**研究情報基盤**である。
- 【成長戦略等における記載】(未来投資戦略2017)
- 高精度・高速シミュレーションを表現する最先端スーパーコンピュータの利用に係る研究開発とその産業利用の促進

事業概要

【事業の目的】

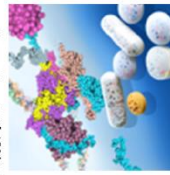
- 我が国が直面する課題に対応するため、2021年～22年の運用開始を目標に、世界最高水準のあるスーパーコンピュータの実現を目指す。

【事業の概要】

- システムとアプリケーションを協調的に開発することにより、世界最高水準の汎用性、最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能を目指す。
- アプリケーションの対象として、健康長寿、防災、減災、エネルギー、ものづくり分野等の社会的・科学的課題を選定。
- 消費電力：30～40MW（「京」は12.7MW） ○国費総額：約1,100億円

【期待される成果例】

高速・高精度な創薬シミュレーションの実現



創薬基盤

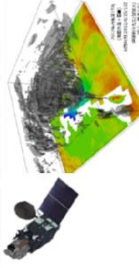
医療ビッグデータ解析で、個人のがん・心疾患予防と治療支援を実現



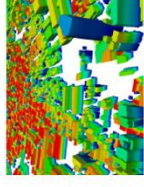
個別化医療

気象・気候

気象ビッグデータ解析により、局地的豪雨を的確に予測



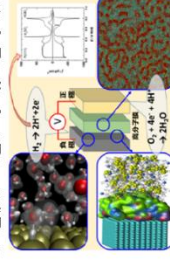
地震の揺れ・津波の進入・市民の避難経路をメートル単位でシミュレーション



地震・防災

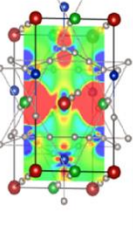
燃料電池

燃料電池の電流・電圧性能を予測・高性能化



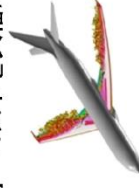
高性能材料

電気自動車のモーターや発電機のための永久磁石を省レアメタル化で実現



ものづくり

飛行機の実機試験を一部代替し、開発期間・コストを大幅に削減



宇宙でいつどのように物質が創られたのかなど、科学の根源的な問いへの挑戦



宇宙



【システムの特徴】

- 世界最高水準の
- ★消費電力性能
- ★計算能力
- ★ユーザーの利便・使い勝手の良さ
- ★画期的な成果の創出



理化学研究所
 計算科学研究機構
 (兵庫県神戸市)

★ 平成30年度秋頃（予定）の中間評価を踏まえ、製造段階への移行を最終的に判断。

中間評価票（案）

（平成 30 年 6 月現在）

1. 課題名 ポスト「京」システム開発

本事業の事前評価は、平成 25 年 8 月に「エクサスケール・スーパーコンピュータ開発プロジェクト（仮称）」の一部として実施され、「国として着実に推進することが適当」とされたところである。

当該プロジェクトは、ポスト「京」システム開発及びポスト「京」アプリケーション開発から構成されているものであるが、このうち、アプリケーション開発の中間評価については、平成 29 年度に実施され、おおむね妥当との評価が行われた。

2. 研究開発計画との関係

施策目標：未来社会を見据えた先端基盤技術の強化

大目標（概要）：超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要となる基盤技術及び個別システムにおいて新たな価値創出のコアとなり現実世界で機能する基盤技術について強化を図る。

中目標（概要）：我が国が世界に先駆けて超スマート社会を形成し、ビッグデータ等から付加価値を生み出していくために、産学官で協働して基礎研究から社会実装に向けた開発を行うと同時に、技術進展がもたらす社会への影響や人間及び社会の在り方に対する洞察を深めながら、中長期的視野から超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要な基盤技術の強化を図る。

重点的に推進すべき研究開発の取組（概要）：

「次世代アーキテクチャと革新的なハードウェアの研究開発」

様々なモノがインターネットにつながる I o T 社会を迎えて、多様なニーズに応える革新的な計算環境を構築し、その利用を推進することで、我が国の科学技術の発展、産業競争力の強化、安全・安心な社会の構築に貢献する。

本課題が関係するアウトプット指標：

- ① ターゲットアプリケーションの実効性能
- ② ポスト「京」システムの消費電力性能
- ③ ユーザ数及び超スマート社会に資する研究開発の論文数、学会発表数

本課題が関係するアウトカム指標：

- ①社会実装された研究開発のテーマ数
- ②エコシステムの構築
- ③新たな科学技術分野における利活用

3. 評価結果

(1) 課題の進捗状況

- 中間評価時点における本事業の進捗は順調であり、ポスト「京」システム設計結果に基づきポスト「京」の製造・設置を着実に推進することが適当であると判断された。
- 本事業は、世界最高水準のスーパーコンピュータにより、我が国が直面する社会的・科学的課題の解決に資するため、最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能及び30～40MW以下の消費電力を達成することをプロジェクトの開発目標として、平成26年度より基本設計を開始したものである。中間評価時点では、これらの開発目標について、達成の見通しが得られている。

現在、ポスト「京」システムの特色として、世界最高水準の消費電力性能、計算能力、ユーザの利便・使い勝手の良さ、画期的な成果の創出の4点を兼ね備えた、総合力のあるスーパーコンピュータを実現すべく、ポスト「京」システムの詳細設計とアプリケーションの協調的な開発（Co-design）が進められている（(2)〈必要性〉及び〈有効性〉の欄において詳述）。
- 本事業については、平成25年度に文部科学省及び総合科学技術会議（当時）における事前評価を経て、平成27年度及び29年度には文部科学省のHPCI計画推進委員会における基本設計評価及びコスト・性能評価が取りまとめられており、適切な進捗管理と達成状況の確認・評価が行われ、これに基づき開発主体である国立研究開発法人理化学研究所と開発担当企業により開発が進められているところである。

平成30年度の本中間評価結果及び総合科学技術・イノベーション会議における中間評価結果が確認され次第、これをもって製造フェーズへの移行可否判断がなされる予定である（(2)〈効率性〉の欄において詳述）。
- なお、基本設計評価後に、ポスト「京」システム開発に必要な最先端の半導体の設計・製造について、加工技術開発の困難さ等から、国際的な競合相手も含め世界的な遅延が生じた。これを受け、平成28年8月に、HPCI計画推進委員会において、ポスト「京」の国費総額、開発目標及び開発スケジュールについて検証を行い、新たな技術を採用して、国費総額を変更せずに、当初の開発目標を達成する見込みを得た。一方、開発スケジュールに12か月から24か月の遅延が生じることとなったが、この期間を生かし、ユーザの利便や使い勝手の良さを更に向上するため、新たな付加価値の創出に向けた取組を行うこととされた。
- 以下、中間評価においては、事前評価の各観点についての対応・進捗状況及び事前評価以降の情勢の変化等に鑑み、各観点の再評価を行う。その他技術的な詳細については、平成29年度に取りまとめられた「コスト及び性能の評価に係る報告書」（http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/048/gaiyou/1398139.htm）を確認することとする。

(2) 各観点の再評価

<必要性>

評価項目 国費を用いた研究開発としての意義（国や社会のニーズへの適合性，国の関与の必要性・緊急性）

評価基準 ポスト「京」により，独創性，優位性の高い成果が期待できるか。

○ ポスト「京」が国費を用いた研究開発としての意義を有するか否かについて，①事前評価時に認められた結果（必要性）を再確認し，②中間評価時点での情勢変化を確認するとともに，③研究開発基盤としてユーザに広く共用に供するための取組がなされているかを確認した。その結果，本事業については本中間評価においてその必要性が再確認された。

① 事前評価結果の確認：

事前評価（平成 25 年 8 月）においては，以下の項目等を考慮し，科学的・技術的意義，社会的・経済的意義及び国費を用いた研究開発としての意義を十分に有しているとされた。

- ・ 世界最高水準のスーパーコンピューティング技術は，科学技術の振興，産業競争力の強化，安全・安心の国づくり等の実現に不可欠な技術であることから，第 4 期科学技術基本計画（平成 23 年度～平成 27 年度）で国家安全保障・基幹技術に位置付けられるとともに，国際的にもスーパーコンピュータの開発・利用が積極的に進められている。
- ・ 世界最高水準のスーパーコンピュータの開発は，国内産業への波及効果を持つことから，我が国において継続的にスーパーコンピュータを開発していくための技術力を維持・強化することが重要である。
- ・ 我が国が直面する社会的・科学的課題の解決に資する成果を迅速に創出するためには，ハードウェアの開発と協調して，当該ハードウェアの能力を最大限活用するアプリケーションを開発することが重要である。

② 中間評価時点における進捗状況：

①で述べた事前評価結果の各項目は，中間評価時点においては，それぞれ以下のとおり進捗しており，ポスト「京」の開発プロジェクトは，その意義を十分有しているのみならず，事前評価時点に比べその意義は高まっている。

- ・ 各国においては，HPCの開発・利用が引き続き行われている。また，第 5 期科学技術基本計画（平成 28 年度～平成 32 年度）の柱である「超スマート社会」（Society5.0）を世界に先駆けて実現するためには，新たな価値創造の基盤としてのスーパーコンピュータが不可欠であり，ひいては地球規模で顕在化している課題への対応につながり，国連で定められた持続可能な開発目標（SDGs）達成に貢献することが期待される。
- ・ ポスト「京」においてシステムとアプリケーションを協調的に開発（Co-design）したことにより，最大で「京」の約 100 倍のアプリケーション実効性能及び 30～40MW 以下の消費電力を達成する見込みが得られている。

（次項あり）

- ・ 米国エネルギー省（DOE）やEUのスーパーコンピュータの波及効果の調査実績を有するITコンサルタント企業である米国IDC社のHPCグループ（当時。現在の米国Hyperion Research社）より、ポスト「京」のアプリケーションの成果による国内産業への波及効果について、約1兆円のROI（Return of Investment）が見込まれるとの調査結果を得ている。
- ・ 科学技術の近年の動向として、量子コンピュータに関連する基礎研究が急速に進展しており、組み合わせ最適化問題等、特定の分野での実用化が図られつつあるが、汎用的な計算が可能な量子コンピュータの実現には更なる研究開発が必要である。このため、研究開発基盤としてのスーパーコンピュータの必要性は変わらず、量子コンピュータの進展に必要となる研究開発にも寄与し得るほか、将来的には、量子コンピュータとポスト「京」をはじめとするスーパーコンピュータによるシミュレーションとが相互に補完することで、課題解決に貢献することが期待される。

③ 研究開発基盤としてユーザに広く共用に供するための取組等：

ポスト「京」が最先端の研究開発基盤としてユーザに利用され、画期的な成果が創出されるよう、関係機関において、ユーザの利便性の向上及びユーザへの情報公開等の取組がなされている。

また、「京」の運用においては、政府の重要政策・重要プロジェクトの推進上必要と認められる課題を実施するための枠組みが整備されており、これまで、内閣府（防災担当）において、南海トラフの巨大地震による被害予測の高度化等に活用されてきた。ポスト「京」によって、こういった政府の重要政策等へのさらなる貢献が期待される。

（ユーザの利便性の向上／ユーザへの情報公開に関する取組の例）

- ・ ユーザコミュニティで広く利用されているLinuxディストリビューションの採用、コンパイラによる自動並列化機能、高並列なプログラミングを容易にするための並列プログラミング言語、DSL (Domain Specific Language)、オープンソース・アプリケーション等を提供予定。
- ・ Co-designの成果に基づくチューニングマニュアルを整備し、公開予定。
- ・ ポスト「京」向けのアプリケーション開発者が性能改善度の評価や最適化の検討を行えるようにするため、利用申請に基づきシミュレータレベルのアプリケーション性能評価環境を提供。
- ・ ポスト「京」非開示情報の範囲を精査し、一般社団法人HPCIコンソーシアム、登録施設利用促進機関である一般財団法人高度情報科学技術研究機構及び文部科学省の共催により、平成30年1月にポスト「京」の仕様等に関する説明会を開催し、約150人が参加。平成30年度も2回程度の開催を予定。
- ・ 当該説明会の資料について、HPCIコンソーシアムウェブサイト上に掲載 (https://www.hpci-c.jp/news/file/HPCIC_180124.pdf)。
- ・ この他、「京」及びHPCIで培われたユーザの利用支援の知見が、関係機関で適切に継承される予定。

<有効性>

評価項目 新しい知の創出への貢献，研究開発の質の向上への貢献

評価基準 世界を先導する成果の創出が期待できるか

ポスト「京」により，新しい知の創出への貢献，研究開発の質の向上への貢献がなされるためには，①システムとアプリケーションとの Co-design による最適化及び性能向上，②ポスト「京」を用いたシミュレーションと AI・データ科学との連携，③他のシステムに対する国際的な比較優位性及び他国等との国際協調が必要であり，開発主体においてこれらに対応した取組がなされていることを確認した。その結果，本事業については，本中間評価においてその有効性が再確認された。

- ① システムとアプリケーションとの Co-design による最適化及び性能向上：
 - ・ CPUアーキテクチャ等の設計者とアプリケーションソフトウェアの開発者とが共同・協調して最適化を行う Co-design の取組を導入し，システムとアプリケーションの最適化の方針が同時に得られた。
 - ・ 対象のターゲットアプリケーションの開発により得られた知見が，その他のアプリケーション開発にも幅広く裨益するよう，全体として，HPCで用いられる計算手法が網羅されるようターゲットアプリケーションを選定し，ターゲットアプリケーションについてチューニングやワークフローの改善により性能向上が図られた。
 - ・ 今後，Co-design 報告書やチューニングマニュアル等の整備・公開，チューニング環境の提供が予定されており，成果普及の取組も十分になされる見込みである。
- ② ポスト「京」を用いたシミュレーションと AI・データ科学との連携：
 - ・ ポスト「京」のCPUとして，SVE（Scalable Vector Extension. HPC向けの拡張命令セット）搭載のハイエンド Arm-CPU（以下単に「ハイエンド Arm-CPU」という。）を開発し，採用。SVEについては，開発担当企業の協力により Arm 社（CPUの設計技術等を知的財産権として各社にライセンス提供する企業）が策定し，柔軟な高性能ベクトル演算処理が可能な命令体系とした。
 - ・ FP16 演算（16bit 幅 Floating Point 演算）のサポート，高いメモリバンド幅やスケールビリティにより，AI分野のアプリケーションについても，主流であるGPUと比肩する性能を引き出すことができる可能性がある。
 - ・ シミュレーションとデータ科学の融合により，新たなブレークスルーが期待できる。例えば気象シミュレーションにおいて，ポスト「京」によるシミュレーションから生成される大量のデータとひまわり8号等の気象衛星等により得られる大量の観測データを結びつける「データ同化」により，気象シミュレーションのさらなる精度向上につなげることができる。

(次項あり)

- ③ 他のシステムに対する国際的な比較優位性及び他国等との国際協調：
- ・ 米国 Hyperion Research 社より、2020～2021 年頃の設置 (Delivery) が計画されている海外の主なスーパーコンピュータについての情報が示された。
 - ・ 国際協調の観点からは、米欧の研究機関とのシステムソフトウェアや性能指標に関する共同研究の実施がなされている。
 - ・ また、国際的に広く使われている Linux ディストリビューションを採用し、オープンソースコミュニティと協力することで、ソフトウェアの充実を図り、Arm エコシステムを構築していくための取組がなされている。
 - ・ Arm-CPUs は、スマートフォン等に圧倒的なシェアを有し、ソフトウェアのエコシステムの点で x86 プロセッサと遜色がなく、HPC のみならずクラウドにも展開が容易であり、さらに、ハイエンド Arm-CPUs については、以下の特長が見込まれるため、今後、普及に向けた取組を実施することが効果的である。
 - － ポスト「京」では、新たなメモリデバイスの導入とそれに対応する CPU 側のメモリ技術により、多くのメモリバンド幅である HPC アプリケーションについて、中間評価時点で最新かつ最高性能のハイエンド CPU に対し優位な性能を有する可能性がある。
 - － Society5.0 において重要となるビッグデータ、AI、CAE (Computer Aided Engineering)、半導体を含む各種製造系の EDA (Electronic Design Automation)、ブロックチェーン等のアプリケーションにおいて、主流である GPU と比肩する性能を有する可能性がある。
 - ・ ハイエンド Arm-CPUs が、他国に普及するとともに、課題先進国としての我が国において社会実装された研究開発テーマについても、同様の課題を抱える他国へ成果展開され当該国の課題解決に貢献することが期待できる。

<効率性>

評価項目 計画・実施体制の妥当性, 目標・達成管理の向上方策, 費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

評価基準 研究開発プログラムの実施方法, 体制, 費用対効果向上方策について, 見直しが適切かつ効率良く行われているか。

○ ポスト「京」プロジェクトの推進にあたり, 政府, 地元自治体及び開発主体等において, ①適切な推進体制及び評価体制の構築, ②システムの製造及び運用におけるコスト削減の取組, ③現行の「京」プロジェクトで培われた体制及び知見の継承等に向けた取組がなされているかを確認した。その結果, 本事業については, 本中間評価においてその効率性が再確認された。

① 適切な推進体制及び評価体制の構築：

- ・ ポスト「京」開発プロジェクトについては, 開発主体と開発担当企業の間で定期的にレビューが行われている他, 開発主体としても外部有識者によりレビューを受け, また, 政府（文部科学省, 総合科学技術・イノベーション会議）においても外部有識者により本中間評価をはじめとする累次の評価を行っており, 委員会の指摘事項が開発主体にフィードバックされる等, PDCA サイクルが適切に機能している。

② システムの導入及び運用におけるコスト削減の取組：

- ・ 導入コストの削減のため, CPU, メモリ, 光モジュール, PCB（プリント基板）の調達等に関して, 適切な工夫がなされている。
- ・ 運用コストの削減のため, アプリケーションの実行速度及び消費電力の最適化を可能とするエコモード等の複数のモードの導入や, アプリケーションの特性に応じた消費電力のコントロールを可能とするパワーノブAPI（Application Programming Interface）の導入等, 適切な工夫がなされている。

③ 現行の「京」プロジェクトで培われた体制及び知見の継承等：

- ・ 「京」の立地自治体である兵庫県及び神戸市より, これまで, 「京」の産業利用の促進を図ることを目的とした公益財団法人計算科学振興財団の設立や当該財団による「京」の産業利用の促進活動, 土地の無償貸与, 税制優遇, 研究助成といった「京」の共用やポスト「京」の開発に関する有形無形の支援がなされてきた。これらの支援もあり, 例えば「京」の産業利用件数については, 中間評価時点において, のべ217件, 利用企業の約8割が当該財団の活動に関係したものとなっており, 「京」の産業利用を促進する体制が構築されている。

ポスト「京」の共用に際しても, 引き続き, 兵庫県及び神戸市からの支援がなされる予定である。

(次項あり)

- ・ 計算科学技術に関わるコミュニティの幅広い意見集約の場として、計算科学技術に関わる全ての者（計算科学コミュニティ、計算機科学コミュニティ、産業利用コミュニティ、人材育成コミュニティ、HPCI システムへの計算資源提供機関）に開かれた HPCI コンソーシアムが設立され、「京」及び HPCI の運営等について政府及び関係機関に対し提言を行う等の活動がなされてきた。
ポスト「京」時代にあっても、当該コンソーシアムにおいて精力的な活動がなされる予定である。
- ・ 開発主体かつポスト「京」の運用主体となる予定の理化学研究所は、これまで、運用技術部門の不断の努力により、「京」という大規模並列計算機を5年間にわたり年間8,000時間以上安定的に共用に供した実績と知見を有している。
この知見がポスト「京」の運用に適切に継承され、効率的な運用がなされる予定である。

(3) 今後の研究開発の方向性

本課題は「**継続**」「中止」「方向転換」する（いずれかに丸をつける）。

理由：5行程度で理由を記載のこと。

システム開発は順調に進み、これまでの評価における指摘事項についても着実に対応がなされ、更なる発展が期待できる。必要性、有効性及び効率性のすべての観点から、継続すべきと判断する。

(4) その他

※ 研究開発を進める上での留意事項（倫理的・法的・社会的課題及びそれらへの対応）等を記載する。

- ・ 高い独創性と優位性を持つ科学的成果の創出が期待される場所、関係機関において、引き続き、可能なものからユーザにポスト「京」システムの情報を開示し、ユーザの利便・使い勝手を向上させるとともに、波及効果を含め、成果等の発信をわかりやすく行うよう努めること。
- ・ 開発主体においては、Co-designにより得られた知見に基づき、ポスト「京」のシステムがより汎用性の高いものとなるよう努めるとともに、Co-designにより蓄積したノウハウをCo-design対象外の汎用的アプリケーションにも展開し、我が国が直面する課題の解決に向け、成果の早期創出を図ること。
HPCを用いたシミュレーションにより創出されたデータの二次利用が可能となり、また、当該二次利用を可能とするよう努めた者が評価を受けられるよう、政府及び関係機関において検討を行うこと。
- ・ 成果の創出を図りつつ消費電力が低減されるよう、ポスト「京」の運用のあり方について政府及び関係機関で検討すること。

(次項あり)

- ・ ポスト「京」については、より大規模な計算が行われるため、計算精度を保証しながら、計算時間短縮に有効な単精度を適用した混合精度計算等の手法を取り入れる等の対応を行うこと。
- ・ ポスト「京」が超スマート社会の研究開発基盤として活かされるよう、他府省間や大学、研究機関間での連携を図ること。
- ・ 中間評価時点でのスケジュールは順調であると判断するが、今後、製造フェーズへの移行に際し、不測の事態が発生した場合においても確実に対処し、早期の共用開始が実現できるよう、文部科学省及び関係機関においてリスク管理を行うこと。