

公開版

参考資料4
情報科学技術委員会
(第92回) H28. 2. 10

HPCI 計画推進委員会

次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ
(平成 27 年度)

基本設計の評価に係る報告書

平成 28 年 1 月 6 日
文部科学省研究振興局
HPCI 計画推進委員会
次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ

目次

1. はじめに	2
2. これまでの経緯及び動向等	4
3. 基本設計に係る評価等	6
4. おわりに	14
参考資料	17

1. はじめに

- ・最先端のスーパーコンピュータは、科学技術の振興、産業競争力の強化、国民の安全・安心の確保等に不可欠な「国家基幹技術」であり、国の競争力等を左右するため、各国がその開発にしのぎを削っている。
- ・スーパーコンピュータは、気候・気象予測や災害予測、宇宙の法則の解明等の学術研究のみならず、物質・材料開発、創薬・医療、ものづくり分野等の産業利用では、スーパーコンピュータによるシミュレーションやビッグデータ解析が競争力等を左右する必要不可欠な基盤的ツールとなっている。
- ・欧米や中国においては、数年のうちに100ペタフロップス級のシステムを導入する計画があり、更に米国においては平成27年7月に、スーパーコンピュータ開発を強力に推進するための大統領令を発令している。

- ・これまで、半導体の集積度は1年半ごとに2倍に達するというムーアの法則に基づき半導体の微細化が進展し、これに伴いスーパーコンピュータの演算性能も向上をしてきた。しかし、微細化そのものの限界や微細化ができて性能がこれまで通りには向上しなくなってきており、これまで3年ごとにそれ以前のシステムの約10倍の演算速度を同程度の電力消費量で達成してきたスーパーコンピュータ性能の向上に停滞が見られる。
- ・今後、大規模なスーパーコンピュータシステムを構築していくためには、運用時における総電気消費量（運転経費）を抑えるため1Wあたりの計算速度の指標であるGF/W（ギガフロップス/ワット）について、一定以上の高さを達成することが必要となっている。
- ・HPC（ハイパフォーマンスコンピューティング）に関する我が国の技術力の維持・発展は今後の科学・技術・産業の進展と国民生活の向上において必要不可欠なものである。

- ・このような背景のもと、我が国においては、今後10年程度を見据えた我が国の計算科学技術インフラの在り方等が議論され、我が国を取り巻く社会的・科学的課題の解決に貢献するために、平成32年（2020年）までに次期フラッグシップシステム（世界トップレベルの性能を持ち、多くの分野のアプリケーションが高い実効性能で利用できるシステム）を開発することを目的に、「京」の後継機となる次期フラッグシップシステムの開発を、フラッグシップ2020プロジェクトとして、平成26年度から着手している。
- ・このフラッグシップ2020プロジェクトは、世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの実現を目指すものであり、5つのシステム開発方針のもと、2つの開発目標を設定しており、開発主体（理化学研究所。以下「開発主体」という。）が基本設計担当企業（富士通株式会社。以下「開発担当企業」という。）

と進めてきた基本設計について、昨年9月に文部科学省研究振興局に報告された。

- ・また、本プロジェクトにおいては、利用者サイドに立った開発を推進するため、国際競争力があり汎用性の高いシステムとアプリケーションを協調的に開発するとともに、健康長寿、防災・減災、エネルギー、ものづくり分野等から選定された重点的に取り組むべき社会的・科学的課題についてアプリケーションを開発することとしている。
- ・このような状況を受け、HPCI計画推進委員会の下に、平成27年8月に「次期フラッグシステムに係るシステム検討ワーキンググループ（平成27年度）」（以下「SW」という。）を設置し、上述の基本設計について開発主体より計7回ヒアリングを実施した。その基本設計評価結果を、今般報告書として取りまとめた。

（参考）プロジェクトの概要

<開発方針>

- ・課題解決型
- ・国際競争力
- ・国際協力
- ・「京」の資産の継承
- ・性能拡張性

<性能目標>

- ・最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能
- ・30～40MWの消費電力（参考：「京」12.7MW）

<予算>

- ・総経費約1,300億円（国費約1,100億円）
（参考）
 - H26年度予算：約12億円
 - H27年度予算：約40億円
 - H28年度要求：約67億円

<スケジュール>

- ・平成27年度 基本設計評価
その後、試作・詳細設計を開始
CSTIIにおいて基本設計評価結果の確認
- ・平成28年度 コスト・性能評価
CSTIIにおいてコスト・性能評価のフォローアップ
- ・平成29年度 中間評価
CSTIIにおいて中間評価結果を確認し、CSTIIにおける中間評価の実施の必要性を判断
- ・平成30年～31年 製造・設置（「京」との入れ替え）
- ・平成32年（2020年） 共用開始（一般利用開始）

2. これまでの経緯及び動向等

(1) これまでの経緯等について

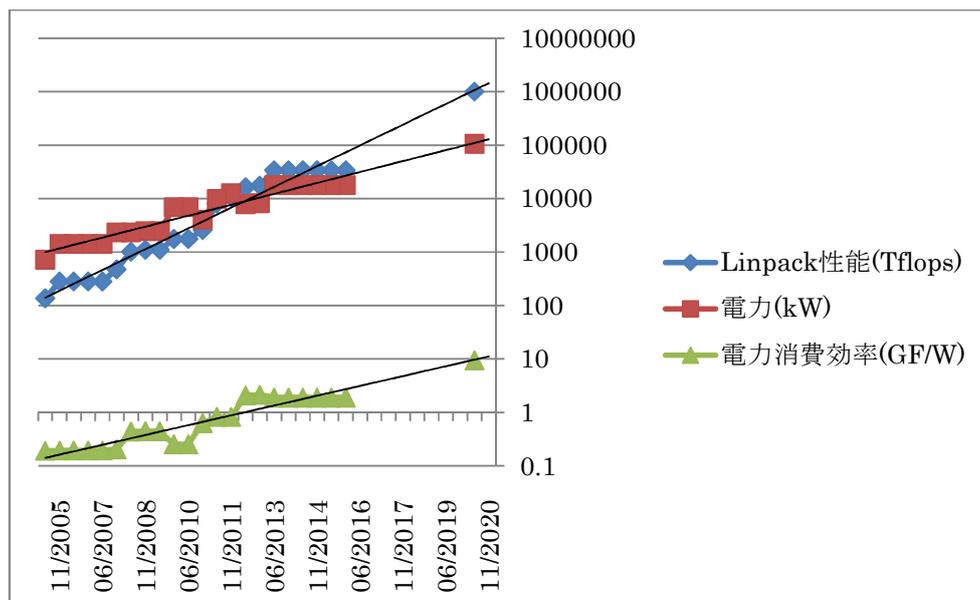
- ・ HPCI計画の推進に当たり、国として必要事項を調査検討するため、平成22年7月に設置したHPCI計画推進委員会（文部科学省研究振興局長決定）のもとに、「今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討ワーキンググループ」が設置（平成24年4月）され、今後10年程度を見据えた合計25回の検討の後、我が国の計算科学技術インフラの在り方と研究開発の方向性及び利用の在り方・人材育成等についてとりまとめられた（平成25年6月中間取りまとめ、平成26年3月最終取りまとめ）。
- ・ この中で、我が国の計算科学技術インフラの開発・整備に係るグランドデザインが検討され、我が国を代表し、世界トップレベルの高い計算性能と幅広い分野における適用性を有する一つのフラッグシップシステムと、フラッグシップシステムを支える複数の特徴あるシステムを、国が戦略的に整備していくことが重要とされている。
- ・ また、上記ワーキンググループ及び「システム検討サブワーキンググループ」（平成25年7月～8月）において、次期フラッグシップシステムの基本設計を実施するに当たっての検討・評価が進められ、さらに、平成25年秋には総合科学技術会議（以下「CSTP」という。）において事前評価を経て、平成26年度より本プロジェクトが開始されている。
- ・ 一方、CSTPの事前評価においては、「汎用部」と「加速部」を組み合わせたシステムが提案され、その割合については今後検討するとされたが、その後のフィージビリティ・スタディーにおいて検討が進められた結果、その有効活用の限界、多額の開発・製造経費が指摘され、「汎用部」のみのシステムと変更がなされた。
- ・ こうした状況を踏まえつつ、次期フラッグシップシステムのシステム構成の詳細等を検討するため、HPCI計画推進委員会の下に「次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ」を設置（平成26年6月）し、検討・評価（平成26年10月）を行った。
- ・ このシステム変更に伴う演算性能の低下も含め、平成26年秋に総合科学技術・イノベーション会議（以下「CSTI」という。）において改めて評価が行われ、平成27年1月総合評価として、本プロジェクトは世界最高水準の汎用性のあるスーパ

ーコンピュータの実現を目指すものとして、意義・必要性が改めて認められた¹。

- ・一方、こうした検討を踏まえつつ、公募の結果、平成26年10月に基本設計担当企業として富士通株式会社が選定され、本格的な基本設計が進められ、平成27年9月に理化学研究所において基本設計がとりまとめられた。

(2) 技術動向等について

- ・概ね1年ごとに更新されてきたLinpackトップ500の第一位のシステム及び上位5システムについて3年間入れ替えがない状態が続いていること、平成27年12月現在で多くのシステムが20nmの半導体テクノロジーに留まり、大規模システムに新たなCPUが登場していないことなど、3年ごとにそれ以前のシステムの約10倍の演算速度を同程度の電力消費量で達成してきたスーパーコンピュータ性能の向上に停滞が見られる点についての考察は次のとおりである。



○電力性能のトレンドについて

- ・上記グラフは平成17年（2005年）以降のLinpackトップ500ランキング第一位の

¹ 意義・必要性（抜粋）

「システム構成の見直し等が行われたが、汎用部および演算加速部からなる構成から汎用部だけの構成としたことで、理論ピーク演算性能は見直し前のシステムにおける想定（1エクサフロップス級）を下回るもの、見直し後の開発目標や実施計画内容は、世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの実現を目指すものであり、技術の継承や人材の育成等の観点から継続的なスーパーコンピューティング技術の開発が重要であることも踏まえれば、プロジェクトの意義・必要性は認められる。」（総合科学技術・イノベーション会議「『フラッグシップ2020 プロジェクト（ポスト「京」の開発）』の評価結果」p4 平成27年1月）

システムのLinpack性能，電力及び電力消費効率（GF/W）を半年ごとに示したものである。これよりLinpack性能はおおよそ年率1.82倍で向上しているが，電力消費効率にすると，年率1.33倍にしか満たない。科学技術の進展は停滞時期と発展時期があることはよく知られていることではあるが，これまでの半導体技術の進展に比べて停滞感があることは否めない。今，仮に2005年以降の実績を外挿するなら，Linpack性能がエクサスケールに達する予定の2020年においても電力消費効率は9.4GF/Wであり，総電力消費は106MWである。これは，ポスト「京」プロジェクトにおいて開発目標としている総電気消費量30～40MWの3倍に達することを意味し，現行の「京」の総電気消費量が12.7MWであることをかんがみれば経費面で運用に耐えるものとは考えられない。

- ・また，上記のグラフにおけるLinpack性能の向上は，一般に，半導体の微細化，部品のコモディティ化及びダウンサイジングによってFLOPSあたりのコスト・単価が下がった効果によるものと考えられるが，同時に電力消費効率はLinpack性能ほど向上しておらず，むしろ，2011年の後半以降2015年後半の現在に至るまで横ばいを続けていることが明白である。このような電力性能のトレンドは，トップ500システムにおいて中国の天河2号（約34PF）が，2013年6月のISC(The International Supercomputing Conference)登場以来6期3年の長きに渡り一位の座を占めているなど，Linpack性能がこの3年間塗り替えられなかったことと軌を一にしている。
- ・これらの意味するところは，最大規模のスーパーコンピュータの消費電力効率の向上が頭打ちであり，これに合わせるようにトップ500システムの上位のLinpack性能が3年間変わっていないこと，及び大規模なスーパーコンピュータの設置に既存設備の上限を超える消費電力が必要となりつつあることである。したがって電力効率の向上が演算性能のさらなる向上に不可欠な要素となってきている。

3. 基本設計に係る評価等

(1) 評価の視点

- ・これまでの検討については，「次期フラッグシステムに係るシステム検討ワーキンググループ報告書」（平成26年10月）に記載されているとおりである。当該報告書においては，基本設計評価を基本設計終了の段階（2015年度）に実施することとし，評価の観点については以下の通り示されている。

基本設計評価では、プロセッサ・インターコネクトの基本設計、階層ストレージ設計、システムソフトウェア設計・実装に係る基本設計について、ベンチマークプログラム群の妥当性、基本設計レベルの性能評価の妥当性、ファイル/I/O設計、CPU・メモリ・インターコネクトの製造コストの見積りの妥当性の評価

- ・ これらを踏まえ、基本設計評価においては、開発方針である課題解決型かつ国際競争力のある、世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの実現を目指すプロジェクトとして、開発目標に向けた現在の状況を確認し、評価するものである。

(2) これまでの指摘事項への対応状況等

○平成26年度のSW、CSTP及びその後身のCSTIの評価等での指摘事項への対応状況

- ・ 開発主体より、検討結果と進捗状況について、主に以下の報告がなされた。
 - ✓ 設計方針については、平成26年度のSWに示された設計方針（サイエンスドリブン、「京」の資産の継承、アップグレードダブル、コアアーキテクチャの強化）に加え社会が欲するニーズに即応の視点で行っていること。
 - ✓ 大学研究機関との協力体制について、HPCIコンソーシアムメンバーに対し、公募でEarly Accessプログラムを設けることを検討すること。
 - ✓ アーキテクチャ、アプリケーション性能、製造費・保守費、開発スケジュールとコンティンジェンシープランについては、基本設計の経緯、性能目標、富士通製品を含む商用マシンとの比較、ノードアーキテクチャ・計算用ネットワークの開発・設計方針・プロセッサ概要や特徴・ネットワークの構成、想定するプログラミング・モデル、電力制御機構（設計・開発方針）、電力制御の評価、概念設計アーキテクチャと基本設計アーキテクチャの違い、2018年前後の世界動向、ターゲットアプリケーション性能予測のサマリー、性能電力予測ツール使用の妥当性、CPUアーキテクチャ（ハード）設計とアプリケーションソフトウェアの研究者による共同的・協調的开发（以下「コデザイン」という。）の項目、システム全体構成、製造費、保守費、進捗管理とコンティンジェンシープランなど。
 - ✓ プログラミング言語・環境・ツール、システムソフトウェアについては、プログラミング言語・環境・ツールとシステムソフトウェア全体構成、プログラミング環境、数値計算ライブラリ、OS、通信ライブラリ、ファイルシステムとファイル/I/O、運用系ソフトウェア、バッチジョブシステム、システム導入と施設など。
 - ✓ また、コデザイン手法、開発マネジメント、HPCIとの関係、共同研究等を通じた人材育成、成果の利活用、海外状況等への検討・対応状況など。

- ・ さらに、以下について追加の説明がなされた。
 - ✓ 信頼性向上の取組，ユーザー利便性の実現の具体化，機能拡張後の機能の見通しと拡張に係るコスト，エネルギーの効率的な利用に関するモデル，製造コスト削減の取組，事業費，運用コスト削減の取り組み，要素技術の展開，長期的開発戦略，開発マネジメント，ダウンサイジング，マネジメント機能の強化，想定されるリスク対応，製造段階に先立つ評価，アウトカムの更なる具体化・明確化，ターゲットアプリケーション性能予測，産業界アプリケーションの実行可能性，アウトオブオーダーの決定方法とコア性能比較，電源電圧と周波数，維持費の比較，国際競争力，プロセッサの開発動向，これまでの電力性能や開発工程比較，演算効率・実効性能比較，倍率比較，同時命令実行数，アウトオブオーダー資源量，Dhrystoneの性能，NAS Parallel Benchmarksの性能，SIMD演算，チップサイズ・適用アプリケーションの範囲・性能，メモリ量が必要なプロセスに対する考え方，「京」で実行されたジョブの特性，PUE(Power Usage Effectiveness)，プロセッサ独自開発による成果・意義，製造判断基準，アピールポイント（システムの特徴），メモリ容量，電力性能，温水冷却，メモリ容量の検討，ヘテロなメモリ構成，性能-電力比較など。

- ・ また，平成27年1月のCSTIの評価においては，最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能という開発目標に関して，システムあたり性能向上比が「京」に比較して約20倍から約100倍としていたが，重点アプリケーションの基本設計レベルでの性能概算としては，100倍という目標に達する見込みのあるアプリケーションが9つのターゲットアプリケーション（各重点課題において要となると想定される計算手法）のうち2つの見通しであることが示された。

- ・ さらに，開発主体より，想定システムのCPUチップに関するLinpack電力性能（GF/W）について，アプリケーションニーズを満たし国際競争力のあるCPUが開発できる目処がたった旨の報告がなされた。

- ・ なお，国際競争力に関して，ビジネスの成立性を担保し得る市場確保の規模について，開発担当企業の見解が示された。

○コデザインについて

- ・ 開発主体より，基本設計におけるコデザインについて，連携体制が示されるとともに，取組状況が報告された。具体的には，重点課題から提案されたターゲットアプリケーションをベースに，性能評価ツール・シミュレータを使い，システムの基本構成・パラメータの決定を行い，明らかとなったいくつかの性能制限要因への対応により，アプリケーションの予測性能の向上が見込まれるこ

と、また今後、ノウハウのドキュメント化とともに、アーキテクチャの特徴を活かしたアプリケーション、プログラミング・モデル、アルゴリズムの開発等を進める旨の説明がなされた。

- ・また、詳細設計段階で対応可能なものについては、今後、国において公募予定の萌芽的課題も含め新たなニーズにも対応していく旨報告がなされた。

○概念設計（平成24年7月～平成26年3月）から基本設計への主な変更点

- ・開発主体より、以下の報告がなされた。
 - ✓ 目標電力性能予測：概念設計時のトレンド予測から得られたスケーリングファクタによる予測から、基本設計においては回路レベルシミュレーションに基づく予測へ。
 - ✓ 目標製造費設定：概念設計時の過去のスパコン群落札価格によるトレンド予測から、基本設計においては既に落札されている2018年頃設置される同様のスパコンとLinpack性能対価格比較へ。

(3) 評価等

○目標

- ・本プロジェクトは、2020年をターゲットとし、幅広いアプリケーションソフトウェアを高い実効性能で利用できる世界最高水準のスーパーコンピュータと、我が国が直面する課題の解決に資するアプリケーションを協調的に開発するもの（CSTI評価(平成27年1月)より）であり、世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの実現を目指すものである。
- ・その開発目標としては、①最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能（ターゲットとするアプリケーションソフトウェアを実行した場合の演算速度）、②30～40MWの消費電力（「京」は12.7MW）としている。

○評価結果

- ・本プロジェクトの目的、開発方針及び開発目標等の観点から、次期フラッグシステムに係る開発主体の基本設計に係る提案を評価した。その評価結果は以下のとおりである。
 - ・基本設計については、予算等の様々な制約条件がある中で、課題解決型であり国際競争力のある、世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの実現という開発目的に向けた設計がなされており、概ね妥当である。
 - ・コデザインは、従来のそれがアプリケーション開発者の意見を取り入れたアーキテクチャの設計又はアーキテクチャの特徴に合わせたアプリケーションの開発といった単方向で行われ、構築されたシステムが汎用性を獲得する反面、

ともすると凡庸なものであるか、又は一部アプリケーションの性能に偏る傾向を有するものであったが、本プロジェクトにおいて両者のコミュニケーションが双方向で、かつ、反復して行われたことにより、ターゲットアプリケーションを中心に幅広い範囲での高性能を実現し得るものとなった。

- ・ 具体的には、基本設計は、コデザインにより、アプリケーションの様々な観点（構造格子、非構造格子、密行列演算、疎行列演算等）におけるCPUアーキテクチャの原理上の動作確認及び原理上ボトルネックとなり得ない箇所についての不具合の訂正、メモリ・チップ面積等の限られた資源の分配における最適化などを実現している。これらは、一度ならぬ数次にわたる双方向でのフィードバックにより成し遂げられ、アプリケーションごとに矛盾する要求を高度に並立しなければならない汎用システムにおいて、電力制御を導入しつつ性能劣化を回避したものとして評価できる。

- ・ 一方、以下の点については、今後より詳細に検討・確認が必要である。
 - ✓ 演算性能については、開発主体から現在の見積もりが示され、平成26年のシステム構成の変更に伴い本プロジェクト開始前の構想であった1エクサフロップス級は下回るものの、開発目標である最大で「京」の100倍のアプリケーション性能を満たすよう設計が進められているところであるが、前述の通り消費電力効率の向上がスーパーコンピュータの設置及び運用の制約条件となるため、今後、演算性能は消費電力性能関連技術の検証を経て絞り込まれることとなる。電力性能は本プロジェクトの根幹をなす部分であるため、開発が進む中で性能目標の実現の確度がどうなるのか引き続き確認していく必要であり、最新情報に基づく迅速な検討・対応が必要である。
 - ✓ 早期に研究成果を最大化するため、幅広いアプリケーションソフトウェアを高い実効性能で利用できるようハードの設計とアプリケーションソフトウェアの研究者が共同で協調的に開発（コデザイン）を進めているが、現時点では目標である「京」の100倍の演算性能に達していないため、引き続き、詳細設計を通じて目標達成に向け開発を進めるとともに、展開すべきコデザインの文書を整備、公開することが必要である。

- ・ そのほか、今後の留意事項については下記（4）のとおりである。

○システムの特色について

- ・ ポスト「京」の開発目標の考え方については、その目的を「我が国が直面する社会的・科学的課題を解決するため、世界トップレベルの高い計算性能を持ち、多くの分野のアプリケーションが高い実効性能で利用できるシステム」とすると同時に、具体的な開発目標として『最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能』及び『消費電力について30～40MWを実現』を掲げており、CSTIより「世

界最高水準の汎用的な計算機システムの開発に対応した開発目標が設定されていると認められる」（平成27年1月「フラッグシップ2020プロジェクト（ポスト「京」の開発）の評価結果）」と評価された。

- ・本SWにおいては、このような開発目標を満たすよう策定された基本設計案の特色やアピールすべきポイントを明らかにすべく議論が行われた。その際、フラッグシップ2020プロジェクトにおいては、ポスト「京」により、10-20年程度先の社会や学術を見据えた先駆的・挑戦的な研究を行い、科学的ブレークスルーや産業・経済の将来の可能性を切り開く、革新的で世界最先端の成果を創出するなど、2020年代のシステムによってのみ解決し得る社会的・科学的課題について戦略的に取り組むことで、我が国の成長に寄与し世界を先導する成果の創出が期待されるとの認識が共有された。
- ・そのような期待を実現するためのシステムの特色とは、「世界最高水準の汎用的な計算機システム」の内容の詳述であるところの4つの柱というべき世界最高水準の特徴：①消費電力性能、②計算能力、③ユーザーの利便・使い勝手の良さ、④画期的な成果の創出を備えた2020年代において世界の他のシステムに対して総合力で卓抜するものである。
- ・なお、Linpack性能を基準としたトップ500については、用途ごとに異なる発展をした昨今のスーパーコンピュータを単純な演算性能という同一の基準で評価していること、実際のアプリケーションの実行性能が適切に反映できないことからスーパーコンピュータの本来性能を表現できておらず、その役割を終えつつあると言われている²。計算能力自体は、依然としてスーパーコンピュータの能力を測る重要な指標であるため、システムの性能指標としてLinpackによる性能評価を完全に無視はしないものの、ポスト「京」は、上記4つの柱が示す通り、単なる計算スピードだけで第一位を目指すものではなく、他の性能においても最高水準で均衡の取れた総合力により世界を先導する成果の創出を目指すシステムである³。
- ・そのため、ポスト「京」は、多様なユーザーニーズに応えるバランスの取れた演算

² 近年はスーパーコンピュータの性能をより適切に表現することを目指し、省エネ性能ランキングである「グリーン500」（2007年～）や計算速度だけでなくメモリやネットワーク性能も重要となるグラフ500（2010年～）、「HPCG(High Performance Conjugate Gradient Benchmark)」（2014年～）などの新たなランキングが登場している。トップ500のベンチマークプログラム開発者自身も、このランキングの問題点を認識されており、新たな指標としてHPCGを提案している。「Professor Jack Dongarra Announces New Supercomputer Benchmark」 July 10, 2013 <http://tntoday.utk.edu/2013/07/10/professor-jack-dongarra-announces-supercomputer-benchmark/>

³ Linpack性能の扱いについては、過去のHPCIに係る報告書において、次のように提言されている。

・「今後のスーパーコンピュータに関する研究開発の検討に際しては、技術動向等について十分な見通しを持ち、また、効率的な開発投資の観点を踏まえつつ、Linpack性能の指標のみならず、利用者のニーズや解決を図るべき社会的課題等を踏まえ、求められる性能に着目した目標の設定について検討を行う必要がある」（総合科学技術会議「『最先端・高性能汎用スーパーコンピュータの開発利用』の事後評価結果」p14 平成25年7月31日）

・「システムを整備するに当たっては、性能目標としてLinpackによる性能評価を完全に無視するわけにはいかないが、より重要なのは、そのシステムで何を達成するのかであることに留意する必要がある」（HPCI計画推進委員会・今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討ワーキンググループの報告書「今後のHPCI計画推進の在り方について」p31 平成26年3月）

性能を有し、課題解決に資する高性能システムを実現することを目標とし、開発方針・開発目標・予算・期間・施設規模等の条件や代表的な利用者であるアプリケーションの開発者からのニーズ等を踏まえつつ、現時点では実用化されていない技術の活用を含め開発を進めているものであり、特に、我が国の先端研究基盤となる汎用マシンとしてのバランスを重要視した設計としているものである。

- ・このほか、ポスト「京」は、法的には、「特定先端大型研究施設の供用に関する法律」（平成6年6月29日法律第78号）第2条に規定される「先端的な科学技術の分野において比類のない性能を有し、科学技術の広範な分野における多様な研究等に活用されることにより、その価値が最大限に発揮されるもの」として多様な研究等に活用される等、科学技術の振興等に貢献することが求められる研究基盤と位置づけられている。

(4) 今後の留意事項等について

① コンティンジェンシープランについて

- ・開発主体からは、スケジュール上のリスクポイントに対する、想定される事象に従ったコンティンジェンシープランが示された。

【本SWの見解等】

- ・2020年の共用開始に向け、裕度の少ないスケジュールとなっていることを踏まえ、開発主体から示された各リスクポイントで状況確認を行う。その際、プロジェクトの抜本的な見直しも含めて進捗を確認していくこととする。

<性能に係る技術的な点について>

- ・開発主体より、電力性能については、今後、SPICEによる回路シミュレーション等により精緻化されていくが、国際競争力の観点から許容される電力性能かどうかを検知するため開発主体は半導体製造会社やLSI製造会社と直接連絡を取れる体制を構築していく旨報告がなされた。

【本SWの見解等】

- ・電力性能について許容される数値を下回った場合、国際競争力や運用経費等の観点から、本プロジェクトの抜本的な見直しを含め早急な検討が必要になる。また、提供される見込みのデータについては、これを1つのマイルストーンとして、本委員会の下で技術的な検証を行うこととする。
- ・なお、複数の委員より、現在の「京」と同程度の規模で代替案となりうるシステムを検討しておくことや、並行して演算重視型やメモリバンド幅重視型など日本の技術を継承・発展させた「とんがった技術」を必要とするシステムの開発・導入・運用など、フラッグシップマシンのみではなく我が国全体

のHPCI（ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ）としてのリーディングマシンの整備の在り方について、言及があった。

② 試作・詳細設計における留意事項等

- ・平成26年度のSW報告書（平成26年10月）において、コスト・性能評価を試作・詳細設計の途中段階（2016年度）に実施することとし、その評価の観点については以下のとおり示されている。

コスト・性能評価では、プロセッサ・インターコネクットの論理設計、システム全体設計（ボード、冷却、きょう体）、システム構成について、コスト及び性能が目標に達成する見込みがあるかを評価

【本SWの見解等】

- ・加えて、コスト・性能評価は、試作・詳細設計の途中段階で実施することとなるが、開発主体においては、何がコストや性能に影響が大きいものなのか、その時点での見通しの確度、不確定要素が何かなどについて明確にすることが必要である。
- ・また、基本設計評価の議論において指摘された以下の事項については、試作・詳細設計において更なる検討・検証を行い、コスト・性能評価において状況を報告することが必要である。
 - ✓ 開発目標である最大で「京」の100倍のアプリケーション実行性能が達成できるか否かの詳細な見通しについて
 - ✓ また、100倍でどのような成果が得られるのか、また他で計算する場合と比べどのような強みがあるのかについて
 - ✓ 性能と電力の関係について、海外の最新動向も踏まえた最新の比較検討及び電力性能に係る技術的な検証ができる詳細な情報について
 - ✓ 平成26年のSWにおいて、システム構成として演算加速部は採用しないこととなったが、海外の最新動向等も踏まえ、ポスト「京」の役割や利便性などの観点も踏まえ、採用しなかった結果の検証について
 - ✓ 電力制御機能に関して想定通りの性能が出せるかについて
 - ✓ 新しい技術やコスト面等において条件のよい部材の導入可能性について
 - ✓ コデザインの取組内容とその成果等について
 - ✓ 冷却設計の詳細な技術的検証について
 - ✓ 運用費についての詳細な見通しについて
 - ✓ 汎用システムとして開発を進めているが、当然ながらシステムとして得意・不得意があり、利用者等へ情報提供の観点も含め、自動並列化機能などの本システムの利便性や優位性、強み等について
 - ✓ アウトカムを含め、本システムで何がなし得るのか、期待されるのかについて

- ✓ 世界最高水準の各特徴（①消費電力性能, ②計算能力, ③ユーザーの利便・使い勝手の良さ, ④画期的な成果の創出）の検証方法及びポスト「京」と2020年代の世界の他のシステムによる総合力の比較検証方法について
- ・また、本基本設計評価の後に行われるCSTIIにおける基本設計評価結果の確認での指摘事項についても、平成28年度に実施予定のコスト・性能評価において対応状況等について確認することとする。
- ・本SWとしては、コスト・性能評価は平成28年秋頃が想定されているが、詳細設計の途中段階であり、その時点では十分な設計が進んでいない点もあると想定されるため、まだ検討途中の項目については平成29年度の間評価に向けた方向性や見通しについて確認した上で、その時点での評価を行うこととする。
- ・その際、達成の見込みがあるか否かを評価することとなるが、コンティンジェンシープランを踏まえつつ、この時点で達成見込みが極めて厳しい場合や、計画に大幅な遅延や変更があった場合などにおいては、我が国全体のHPCI計画の推進の観点から、今後の取組方針について改めて検討することとする。

③ 運用などその他の留意事項

【本SWの見解等】

- ・それぞれの事項の詳細設計での進捗とともに、特に電力性能と、利用者の使いやすさをどのように高めるかについては、重点的に確認していくこととする。
- ・また、産業界の利用者も含め「京」からポスト「京」への円滑な移行が出来るように、少なくとも「京」で利用されているアプリケーションが利用でき、さらに現時点で利用されているアプリケーションのみではなく共用開始後の利用ニーズを念頭に、最大限配慮して、開発を推進することが必要である。
- ・アプリケーションによっては全てのコアを有効利用できないことも想定されるが、その際の有償利用課金の在り方については、今後、利用者の意見等も踏まえよく調整することが必要である。
- ・政府全体として利活用を促進する観点から、関係府省庁等との連携等についても推進していくことが必要である。

4. おわりに

○「京」の後継機として役割

- ・現在、我が国のフラッグシップマシンである「京」は共用から3年がたち、産業利用も含め幅広い分野において利用が拡大してきたところであり、平成28年度には「HPCI戦略プログラム」や一般利用課題、登録機関等を合わせた「京」全体の中間評価が実施される予定である。一方で、本分野の進捗は極めて早く、国内においても「京」の演算能力を超えるシステムの導入が計画されている。スーパーコンピュータは、科学技術の振興、産業競争力の強化等に必要不可欠な基盤的ツールであり、その重要性は益々増大しており、様々な分野におけるビッグデータ解析等の新たなニーズへの対応も必要になってきている。またスーパーコンピュータを自主開発してきたのは、これまでは米国と日本のみであったが、その重要性から、中国や欧州においても自主開発の動きが加速している。
- ・これらの状況を踏まえて、ポスト「京」を運用する2020年代の社会を想定し、ビッグデータ利活用と超高精度・高速シミュレーションによる、我が国における多くの社会的・科学的課題の解決に貢献するとともに、世界を先導する成果を早期に創出することで科学技術の振興、産業競争力の強化等に貢献し、我が国の計算科学技術インフラのトップを引き上げ、全体の裾野の拡大に貢献する次期フラッグシップマシンが必要不可欠になっている。また、これを通してHPCに関する我が国の技術力を維持・発展させることは今後の科学技術・産業の進展と国民生活の向上において必要不可欠なものである。
- ・また、スーパーコンピュータの意義や必要性については、科学的成果と費用対効果を含めた実用的成果について、「京」での実績やポスト「京」でのアプリケーション開発の進展なども踏まえつつ、より一層分かりやすい説明に最大限努力していくことが必要である。

○今後の進め方等

- ・コンテンツエンジンプランで示されている点を踏まえ、開発目標に影響する新たな状況等が生じた場合は、平成28年度秋頃に実施予定のコスト・性能評価を待たず、速やかに本SWを開催することとする。

○その他

- ・ポスト「京」は「京」と入れ替えて設置することとなるが、入れ替え期間におけるユーザーへの計算資源の提供については、我が国のHPCI全体の計算資源の今後の状況を踏まえつつ、円滑なシステムの移行と併せて、研究活動に支障のないよう進める必要がある。関係機関が連携して検討・調整を進める必要がある。併せて、具体的なスケジュールや利用可能な計算資源の見通し等について、事前にユーザーに周知することが必要であり、全体のスケジュール等についての段階で情報提供可能か、国は理化学研究所や大学基盤センター、登録機関等の関係機関と調整することが必要である。

- ・ポスト「京」の運営に係る基本的な方針や支援等の在り方については、共用開始までに検討・確認し、利用者等の関係者に事前に周知することが必要であり、スケジュールを明確にして検討を進めることが必要である。
- ・例えば、計算資源の分配方針、新たな利用方策も含めた利用区分の設定、利用料金の見直しも含めた設定、公募・選定の在り方、利用支援の在り方、メンテナンスも含めた運営経費の縮減方策、HPCIコンソーシアムやスーパーコンピューティング技術産業応用協議会等の関係機関との連携・協力の在り方、広報戦略などについて、検討が必要である。
- ・この際、フラッグシップマシン以外の大学基盤センターなど特徴のある第2階層のマシンを含めた2020年以降のHPCI全体の方針の検討と併せて、検討していくことが重要である。
- ・2020年代には、いわゆるポストムーアの時代となり、これまでの延長にない技術革新が必要と言われており、国はポスト「京」の先も見越した技術開発について、競争的資金の活用も含め、検討を進めることが重要である。なお、CSTI評価（平成27年1月）においても、継続して競争力を確保するための長期的な技術開発戦略の検討が必要とされている。
- ・また、システムソフトウェアの開発等については、米国との連携・協力について、引き続き検討を進めることが重要である。

以上。

参考資料

- 参考 1 次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ基本設計結果の概要
- 参考 2 次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループの開催について
- 参考 3 次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループの議事運営等について
- 参考 4 次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ委員名簿
- 参考 5 次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループの検討経緯

ポスト「京」の基本設計評価の概要

HPCI計画推進委員会 次期フラッグシップシステムに係る
システム検討ワーキンググループ(平成27年度)

【経緯】

- 今後10年程度を見据えた我が国の計算科学技術インフラの在り方等が議論され、我が国が直面する社会的・科学的課題の解決に貢献するために、共用法を踏まえ、平成26年度からポスト「京」の開発に着手。
- 平成27年8月から、開発主体より計7回ヒアリングを行い、評価実施。

【概要】

- 開発方針：課題解決型、国際競争力、国際協力、「京」の資産の継承、性能拡張性
- 開発目標：
 - ・最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能
 - ・30～40MWの消費電力(参考:「京」12.7MW)
- 予算：総経費約1,300億円(国費約1,100億円)

【システムの特徴】

- 2020年代のシステムによってのみ解決し得る社会的・科学的課題について戦略的に取り組むことで、我が国の成長に寄与し世界を先導する成果の創出が期待されるスーパーコンピュータであり、
①消費電力性能、②計算能力、③ユーザーの利便・使い勝手の良さ、④画期的な成果の創出
をそれぞれ世界最高水準で備えた、2020年頃において世界の他のシステムに対して総合力で卓抜するもの。
(計算能力(リンパック性能)のみで世界最高性能を目指すものではない)

【評価結果】

- 基本設計については、予算等の様々な制約条件がある中で、課題解決型であり国際競争力のある、**世界最高水準の汎用性のあるスーパーコンピュータの実現という開発目標に向けた設計がなされており、概ね妥当。**

<留意事項>

- ✓ 電力性能が根幹となる部分であり、最新の情報に基づく迅速な検討・対応が必要。
- ✓ ハードとアプリの協調的开发(コデザイン)により、引き続き目標の最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能に達するよう開発を進める。

(参考2)

HPCI 計画推進委員会
次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ
(平成 27 年度) の開催について

平成 26 年 6 月 2 日
HPCI 計画推進委員会決定
平成 27 年 8 月 31 日改訂

1. 趣旨

文部科学省においては、我が国を取り巻く社会的・科学的課題の解決に貢献するため、平成 32 (2020) 年までに次期フラッグシップシステム (世界トップレベルの性能を持ち、多くの分野のアプリケーションが高い実効性能で利用できるシステム) を開発することを目指している。

次期フラッグシップシステムについては、平成 25 年度の HPCI 計画推進委員会下での評価及び総合科学技術会議の事前評価の結果を踏まえ、平成 26 年度より基本設計が開始された。他方、当該評価においては指摘事項等について改めて評価するとされた。こうした状況を受け、次期フラッグシップシステムのシステム構成の詳細等を検討するため、本委員会の下に「次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ」を設定し検討・評価を行った。この評価において、基本設計評価を基本設計終了の段階 (2015 年度) に実施するとしているため、平成 27 年度において当該ワーキンググループを開催する。

なお、総合科学技術・イノベーション会議における平成 26 年度の評価においては、プロジェクトの「意義・必要性は改めて認められる」「平成 28 年度にフォローアップを行う」とされている。

2. 検討事項

- 次期フラッグシップシステムに係る以下の事項
 - ・システムの開発方針
 - ・基本的なシステム構成及びその詳細
 - ・研究開発推進方策
- その他

3. 開催期間

平成 27 年 8 月 31 日から検討の終了までとする。

HPCI 計画推進委員会
次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ
の議事運営等について

平成 26 年 6 月 2 日
平成 27 年 8 月 31 日改訂
次期フラッグシップシステムに係る
システム検討ワーキンググループ決定

(趣旨)

第 1 条 HPCI 計画推進委員会次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ（以下「システム検討 WG」という。）の議事の手続その他運営に関し必要な事項は、以下に定めるところによる。

(システム検討 WG)

- 第 2 条 システム検討 WG の会議は、主査が招集する。
- 2 主査は、システム検討 WG の会議の議長となり、議事を整理する。
 - 3 システム検討 WG に主査代理を置き、システム検討 WG に属する構成員のうちから主査があらかじめ指名する者が、これに当たる。
 - 4 主査代理は、主査の職務を補佐し、主査がシステム検討 WG の会議に出席できないときはその職務を代理することができる。
 - 5 HPCI 計画推進委員会主査は、システム検討 WG に出席し、発言することができる。
 - 6 主査は、必要があると認めるときは、システム検討 WG に必要とする者の出席を求め、意見を述べさせ、又は説明させることができる。

(書面による調査審議)

- 第 3 条 主査は、やむを得ない理由によりシステム検討 WG の会議を開く余裕がない場合においては、事案の概要を記載した書面等を構成員に送付し、その意見を徴し、又は賛否を問うことにより、調査審議を行うことができる。
- 2 前項の規定により調査審議を行った場合は、主査が次の会議において報告しなければならない。

(会議の公開)

- 第 4 条 システム検討 WG の会議及び会議資料は、原則として公開とする。ただし、次に掲げる場合は非公開とすることができる。
- 一 非公開情報を使用して議事を運営する場合その他の主査が非公開が適当と認める場合

- 二 前号に掲げるもののほか、審議の円滑な実施に影響が生じるものとして、委員会において非公開とすることが適当であると認める場合
- 2 システム検討 WG が前項ただし書の規定に基づいて非公開の調査審議を行った場合には、システム検討 WG に属する構成員は、当該調査審議において知り得た内容について他に漏らしてはならない。ただし、公開された会議資料及び公表された議事録に係る情報については、この限りではない。

(議事概要の公表)

- 第 5 条 主査は、システム検討 WG の会議の議事概要を作成し、システム検討 WG 所属の構成員に諮った上で、これを公表するものとする。
- 2 システム検討 WG が前条第一項ただし書の規定に基づいて非公開の調査審議を行った場合には、主査がシステム検討 WG の構成員に諮った上で当該調査審議に係る議事概要を非公表とすることができる。

(議事)

- 第 6 条 システム検討 WG は、これに属する構成員の過半数が出席しなければ、会議を開くことができない。

(雑則)

- 第 7 条 この規則に定めるもののほか、システム検討 WG の議事の手続その他システム検討 WG の運営に関し必要な事項は、主査がシステム検討 WG に諮って定める。

(参考4)

HPCI 計画推進委員会
次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ
(平成27年度)
委員名簿

浅田邦博 東京大学大規模集積システム設計教育研究センター長・教授
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
／トヨタ自動車株式会社エンジニアリングIT部主幹

◎小柳義夫 神戸大学計算科学教育センター特命教授

笠原博徳 早稲田大学理工学術院教授

加藤千幸 東京大学生産技術研究所教授

工藤知宏 東京大学情報基盤センター教授

五島正裕 国立情報学研究所アーキテクチャ科学研究系 教授

小林広明 東北大学サイバーサイエンスセンター長・教授

関口智嗣 産業技術総合研究所 情報・人間工学領域長

善甫康成 法政大学情報科学部教授

平木 敬 東京大学大学院情報理工学系研究科教授

○藤井孝藏 HPCI コンソーシアム理事長／東京理科大学工学部教授

松岡 聡 東京工業大学学術国際情報センター教授

宮内淑子 株式会社ワイ・ネット代表取締役社長

◎：主査

○：主査代理

(50音順, 平成28年1月6日現在)

(参考5)

次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループ
の検討経緯

第1回（平成27年8月31日（月）10時～12時）

- ・ 次期フラッグシップシステムに係るシステム検討ワーキンググループの開催について（平成27年度）
- ・ ポスト「京」の基本設計について
- ・ その他

第2回（平成27年9月17日（木）14時～16時）

- ・ ポスト「京」の基本設計評価について
- ・ 理化学研究所からの説明（第1回ワーキンググループにおける指摘事項への回答を含む）
- ・ その他

第3回（平成27年10月5日（月）15時～17時）

- ・ ポスト「京」の基本設計評価について
- ・ 理化学研究所からの追加説明（第2回ワーキンググループにおける指摘事項への回答を含む）
- ・ その他

第4回（平成27年10月22日（木）15時～17時）

- ・ ポスト「京」を用いた重点課題について
- ・ 理化学研究所からの追加説明（第3回ワーキンググループにおける指摘事項への回答を含む）
- ・ ポスト「京」のアピールすべきポイントについて
- ・ その他

第5回（平成27年11月4日（水）16時～18時）

- ・ 理化学研究所からの追加説明（第4回ワーキンググループにおける指摘事項への回答を含む）
- ・ 評価報告書（骨子案）について

第6回（平成27年11月25日（水）15時～17時）

- ・ 理化学研究所からの追加説明（第5回ワーキンググループにおける指摘事項への回答を含む）
- ・ 開発企業との意見交換
- ・ 基本設計の評価に係る報告書（素案）について
- ・ その他

第7回（平成28年1月6日（水）13時～15時）

- ・ 理化学研究所・開発企業からの追加説明
- ・ 基本設計の評価に係る報告書について
- ・ その他