

1 . プロジェクトの概要及び経緯等	・・・	2
2 . 基本設計の評価	・・・	13
(参考)		
3 . アプリケーション開発の状況等	・・・	27
4 . 秋の行政事業レビュー	・・・	45
5 . 政府方針における位置づけ	・・・	61
6 . 「京」について	・・・	66

- 「京」の後継機となるポスト「京」の開発は、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。
- 開発主体(理化学研究所)が基本設計担当企業(富士通株式会社)と進めてきた基本設計について、平成27年9月に文部科学省研究振興局に報告。
- HPCI計画推進委員会の下に、「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)」を設置し、基本設計について計7回ヒアリング、平成28年1月に報告書取りまとめ。
- 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状を確認・評価。

【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

【委員】

- :主査
- :主査代理
- 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

【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 >

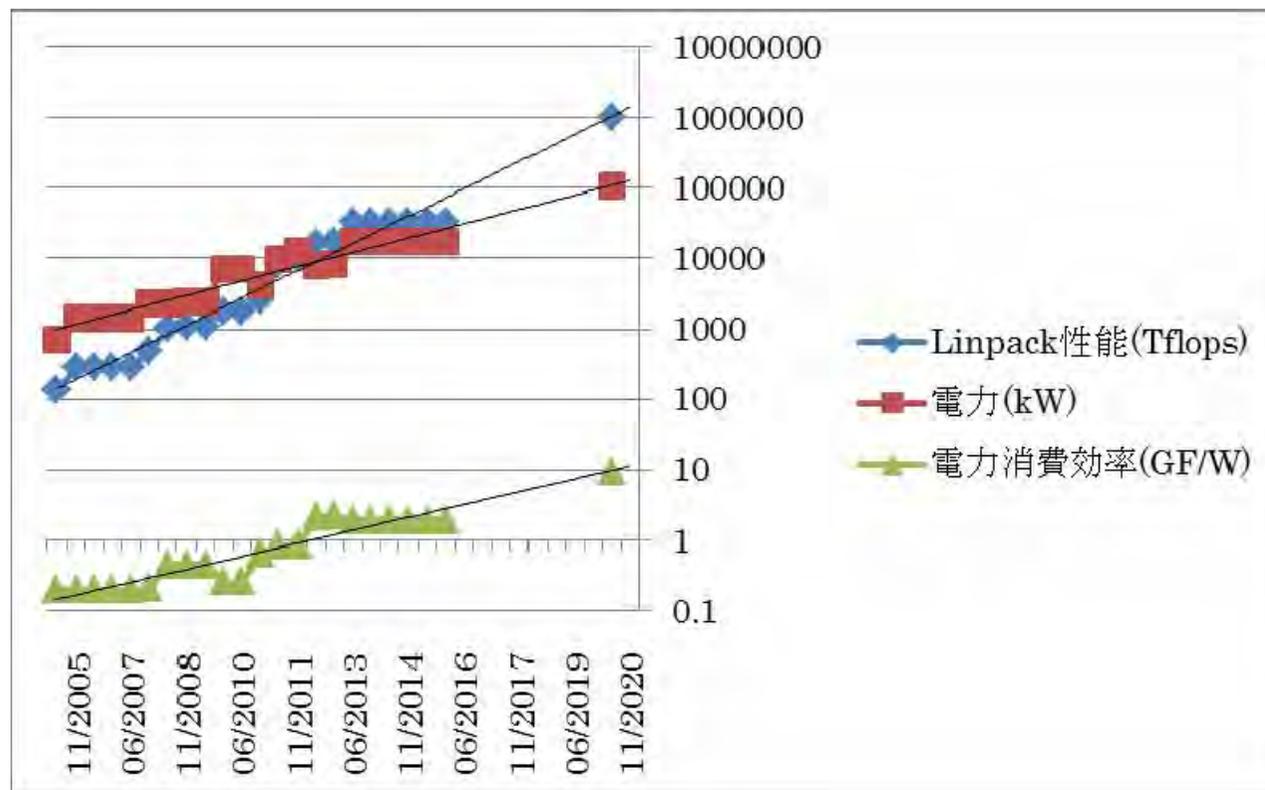
- ✓ 電力性能が根幹となる部分であり、最新の情報に基づく迅速な検討・対応が必要。
- ✓ ハードとアプリの協調的開発(コデザイン)により、引き続き目標の最大で「京」の100倍のアプリケーション実効性能に達するよう開発を進める。

技術的動向等について

- 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。

- 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。

- 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。



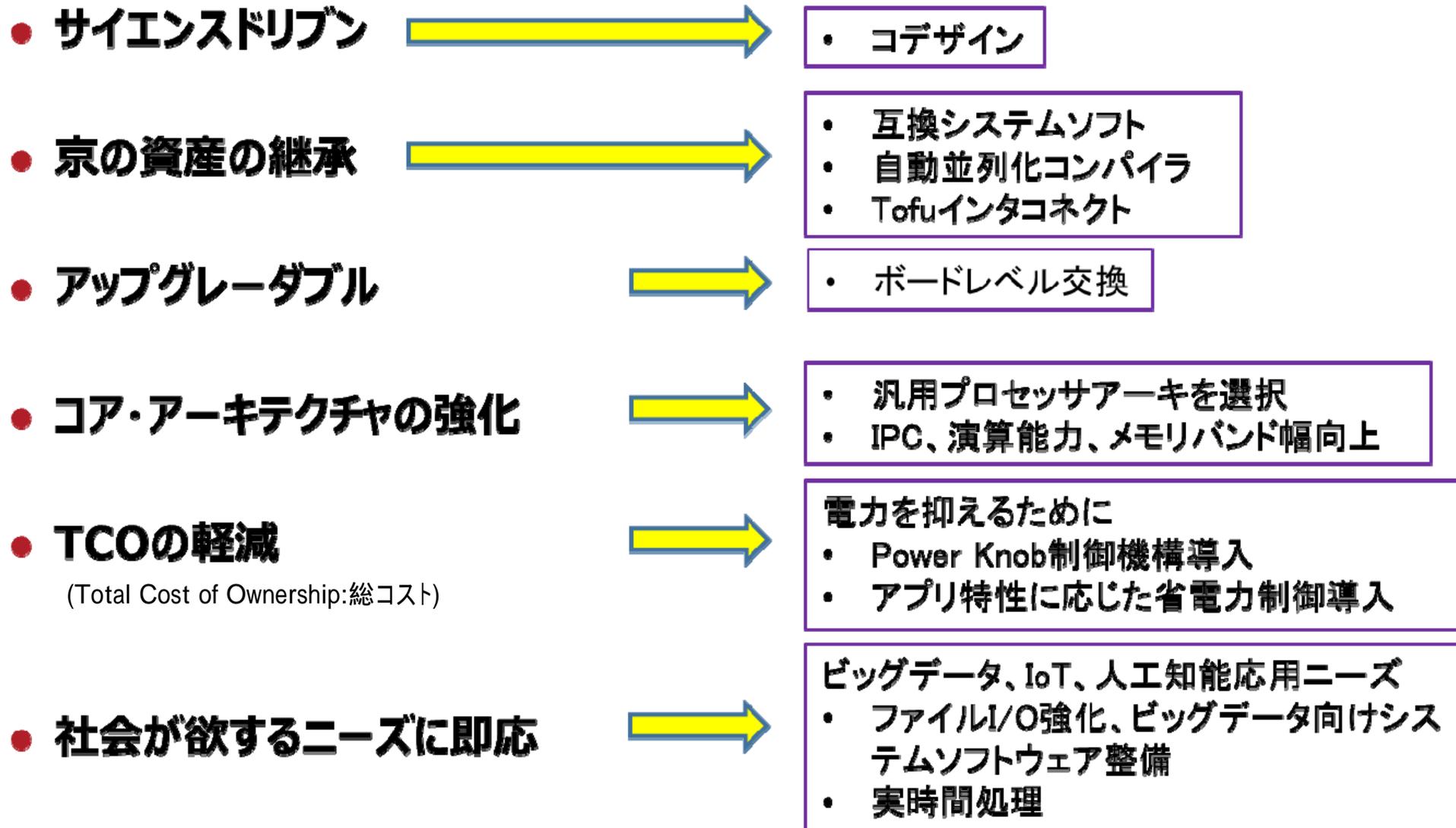
- 仮に2005年以降の実績を外挿するなら、Linpack性能がエクサスケールに達する予定の2020年において電力消費効率は9.4GF/W、総電力消費は106MW。
- これは、開発目標の総電気消費量30~40MWの3倍、「京」の総電気消費量が12.7MWをかながみれば、経費面で運用に耐えるものではない。

これまでの指摘事項への対応状況等

- 平成26年度のシステム検討ワーキンググループ、CSTP及びCSTIの評価等での指摘事項への対応状況等について、開発主体から説明を聴取。
- 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。
- 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。

■ 設計方針

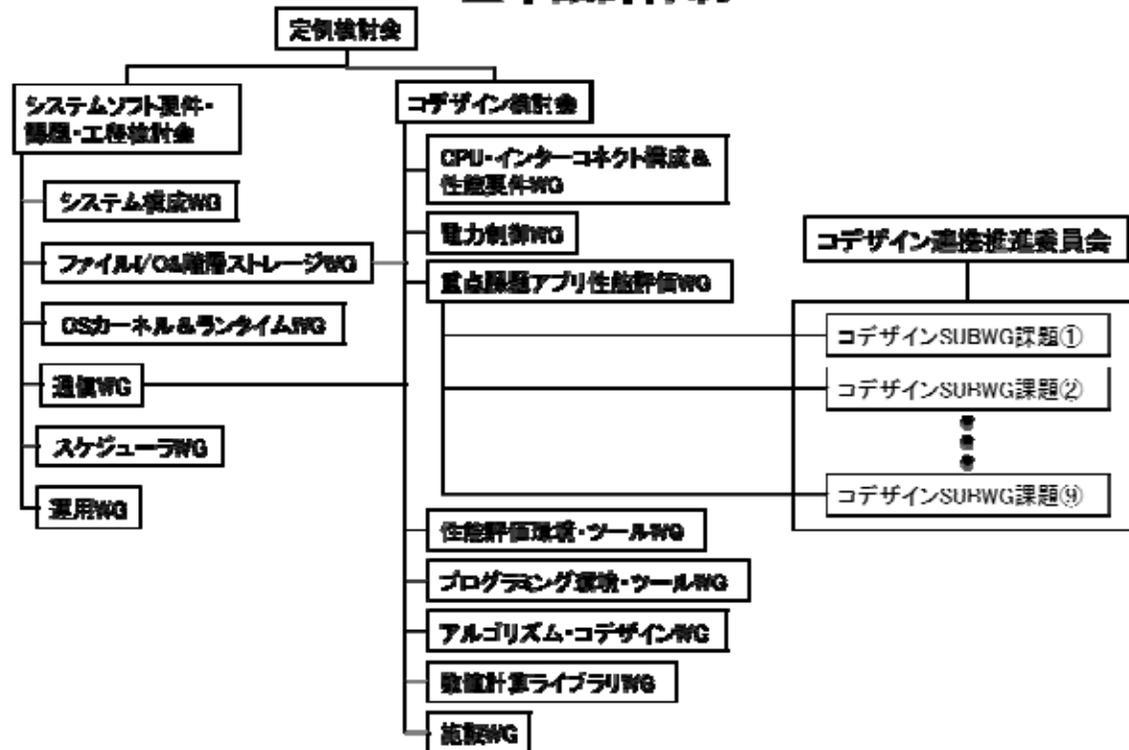
昨年度評価時に示した設計方針



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。
- 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、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。

基本設計体制



アプリケーション開発について

<ターゲットアプリケーションの特徴>

- 1) 各重点課題の要となる計算手法を有するアプリケーションであること
 (補足) 各重点課題のアプリケーションはサブ課題に対応して複数から構成されると想定されるが、戦略的かつ効率的にコデザインを進めるため、重点課題ごとに要となるアプリケーションを一つずつ選定する。
- 2) アプリケーションの開発体制やライセンス形態が、コデザインできるものであること
 (補足) 早期の成果最大化のため、コデザインに責任を持つポスト「京」開発主体とアプリケーション開発元が一体となって、システムとアプリケーションのコデザインに取り組み、コデザインにより得られたノウハウを展開できるようにする。
- 3) 全ターゲットアプリケーション群は、計算科学的手法の網羅性を有しており、コデザインおよびチューニングのノウハウのドキュメント化ができること
 (補足) 幅広い分野でのアプリケーションをカバーし、コデザインにより得られたノウハウを効率的に展開する。

重点課題	主な計算手法	Co-design観点 (重要なアーキテクチャパラメータ)	ターゲットアプリ候補名称
①	分子動力学法	局所および集団通信レイテンシ、演算性能	GENESIS
②	大容量データ解析	整数演算、入出力	Genomon
③	非構造・構造格子ステンシル複合の有限要素法	通信・メモリバンド幅	GAMERA
④	構造格子ステンシル有限体積法+局所アンサンブル変換カルマンフィルター法	通信・メモリバンド幅、入出力、SIMD幅	NICAM+LETKF
⑤	高精度分子軌道法 (疎+密行列計算)	演算性能/SIMD幅/集団通信レイテンシ	NTChem
⑥	非構造格子・有限要素法	通信・メモリバンド幅SIMD幅	Adventure
⑦	密度汎関数法 (密行列計算)	演算性能/集団通信レイテンシ	RSDFT
⑧	非構造格子・有限要素法	通信・メモリバンド幅、SIMD幅	FFB
⑨	構造格子経路積分モンテカルロ法	通信・メモリバンド幅、局所および集団通信レイテンシ	CCS-QCD

【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、②30～40MWの消費電力（「京」は12.7MW）としている。

【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。

システムの特徴について

【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】

- 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。
- このような期待を実現するためのシステムの特徴とは、「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。
- 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。
- 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されている。

(参考) Linpack性能について

- 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。

- Linpack性能の扱いについては、過去のHPCIに係る報告書等において、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)

今後の検討・確認事項および留意事項

- 演算性能については、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。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。
- 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開発(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。

【コスト・性能評価について】

- コスト・性能評価は、試作・詳細設計の途中段階で実施するため、開発主体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。
- コスト・性能評価は、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。
- 以下については、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確認。
 - ✓ 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見通し
 - ✓ 性能と電力の関係について、海外の最新動向も踏まえた比較検討及び電力性能に係る技術的な検証ができる情報
 - ✓ コデザインの取組内容とその成果
 - ✓ 運用費についての見通し
 - ✓ 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

その他（「京」の後継機としての役割）

- 現在、我が国のフラッグシップマシンである「京」は共用開始から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。平成28年度には「京」全体の中間評価が実施される予定。
- 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クデータ解析等の新たなニーズへの対応も必要。
- 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。
- 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、ビック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。
- 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。
- 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。

その他 (課題等)

- ポスト「京」と「京」との入れ替えて期間における利用者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ことが必要。
- 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、関係者に事前に周知することが必要。
- 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。
- 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。
- システムソフトウェアの開発等における米国との連携・協力については、引き続き検討を進めることが重要。

【今後の進め方】

- コンティンジェンシー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、コスト・性能評価を待たず、速やかに本ワーキンググループを開催。