

# 「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」 評価検討会(第2回)資料

平成25年10月30日

文部科学省  
研究振興局参事官付(情報担当)  
計算科学技術推進室

# 開発目標

目標性能：京コンピュータの100倍性能を目指す

アプリケーション実効性能で100倍

	京	ポスト京
性能	10.51 Pflops (Linpack)	エクサスケール
消費電力	12.7 MW(Linpack)	30 ~ 40MW

開発目標達成検証法（設置時）  
社会的・科学的課題を解決するために使用されるアプリケーションの中からベンチマークプログラムとして選定し目標性能を検証する

## 100倍向上するアプリケーション例

医療・創薬	新薬スクリーニングのための分子動力学シミュレーション
総合防災	被害予測のための地震波伝播シミュレーション
基礎科学	量子色力学から原子核・宇宙初期の解明を目指す格子QCD計算

注1：現在概念設計レベルのため、性能および消費電力は今後精査

注2：評価に用いるベンチマーク群はアプリF Sの意見を反映しながら選定する

## 10～数十倍向上するアプリケーション例

医療・創薬	病気診断に貢献する心臓シミュレーション
総合防災	実時間ゲリラ豪雨予測
グリーンエネルギー創出と環境	デバイス材料の電子状態計算
基礎科学	太陽活動の長期シミュレーション
機器設計(ものづくり)	車体衝突シミュレーション

注3：平成26年7月までに選定ベンチマークプログラム群を用いて概念設計レベルでの性能推定を実施

# システム設計の基本的考え方

## 将来動向

- 高い性能電力比と不規則非構造データ処理もできるCPUとして、汎用コアと演算加速コアが統合されていく。しかし、どのように統合されていくかは今後の研究成果に依存
- ノード単体の演算性能向上に比べ搭載可能メモリ容量はさほど増えない

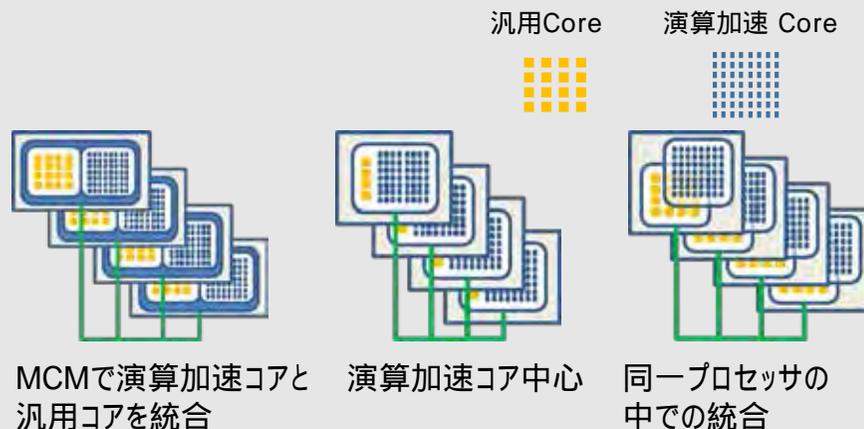
## 開発に関する考え方

- システム設計
  - 汎用部（汎用コア）と演算加速部（演算加速コア）を有するマシン
    - 汎用コアでないと性能がだせないアプリケーション、演算加速コアで性能だせるアプリケーション、両コアを使って性能がだせるアプリケーションを棲み分け、全電力時間積削減
- 将来にわたって有効な統一プログラミングモデル、ライブラリ、フレームワークを提供
- 早期成果創出のためにキラーアプリケーションの同時開発を通してシステム設計に反映

	汎用コア (Server)	演算加速コア (GPU, SIMD)
データ構造	不規則・非構造	規則構造
性能電力比	低 Ex. 4.27GF/W, 22nm	高 Ex. 7GF/W, 28nm
メモリ階層の現状	キャッシュと主メモリ	GPU側とホスト側メモリ

## 将来マシンイメージ群

- 汎用コア、演算加速コア、ネットワークが統合されていく
- 統合方法および搭載メモリ容量とメモリバンド幅は、実装技術によって変わっていく
- 3D実装可能メモリ容量以上が必要な場合、低速メモリが導入される



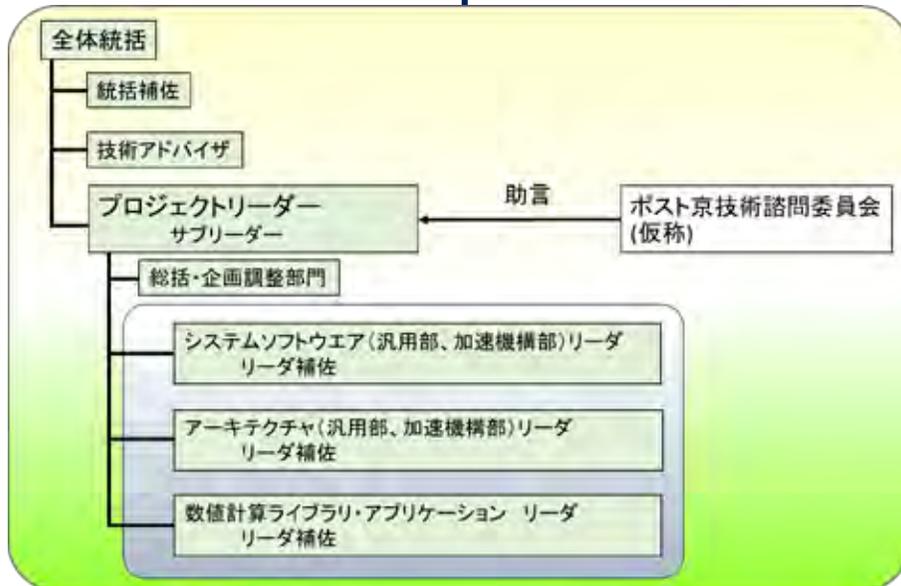
# マネジメント体制（開発推進体制）

## 開発推進体制

文部科学省

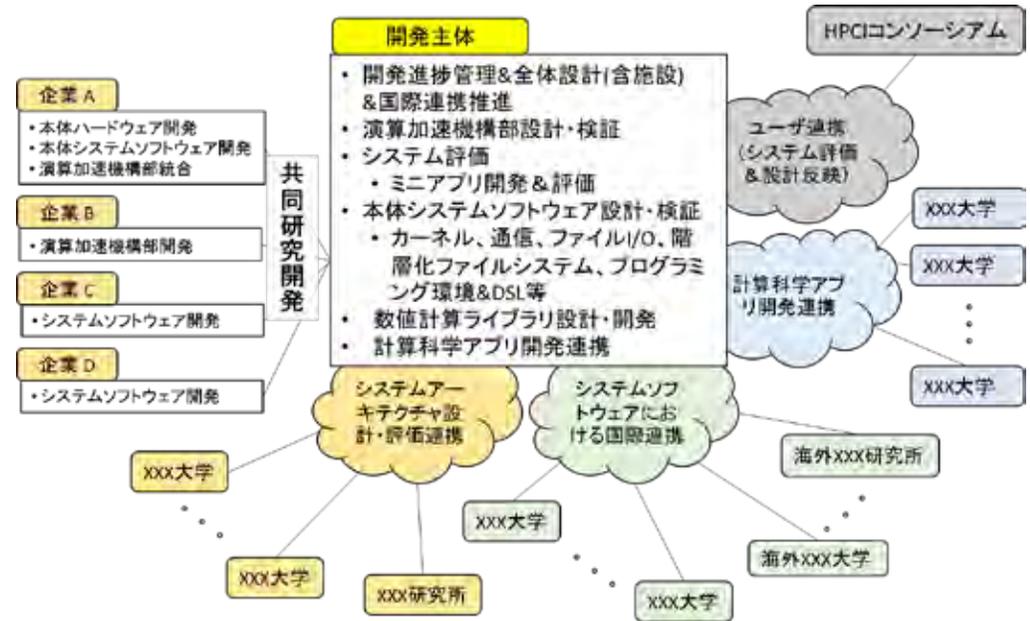
HPCI計画推進委員会

開発主体

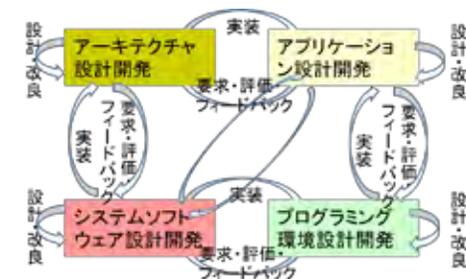


- プロジェクトリーダーが権限と責任をもって開発全体のマネジメントを遂行する。

## 外部機関との連携体制



- 企業・大学を含むAll Japan体制
- システムソフトウェア開発における国際連携推進
- アプリケーション開発も並行に進め、co-design



# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 1 ) < 1 >

## ( 1 ) 目的と意義 ( 必要性 )

中国や米国の京規模のスパコンの構成がどのようになっているのか？また、予算規模や消費電力はどうか？ それとの比較で自主開発のポスト京の優位性を明確にすべきではないかと思われる。中国の技術力は高くないが、すでに「京」規模のマシンを開発している。中国のスパコンはコモディティ部品で構成していると思われるが、なぜそれではダメで自主開発が必要なのか？

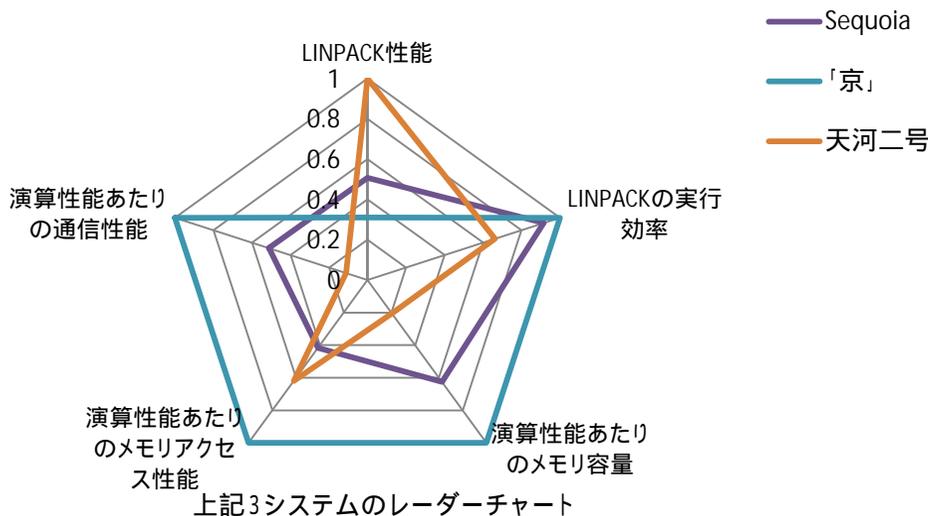
「京」については、他のスパコンと比較して、メモリアクセス性能、メモリ容量、データ転送速度、などにおいて優れており（詳細は下記）、幅広いアプリケーションの実行において、高い実効性能を引き出すとともに、長時間にわたる計算においても確実に遂行する能力を有し、ユーザーにとって利便性の高いスパコンとなっている。

### 「京」の優位性

高いメモリアクセス性能を備えることにより、演算器とメモリ等との間で多くのデータを高速にやりとりすることができ、大量のデータが必要となる計算においても、高い実効性能を発揮（米国のペタ級スパコンと比較して、1PF 当たりのメモリアクセス性能は1.2倍から2倍程度高い）

高い耐故障性やノード間の高速かつ低遅延でのデータ転送性能を実現し、計算速度が向上（米国のペタ級スパコンと比較して、ノード当たりの転送は2倍程度高く、遅延時間は4割から7割と短く、1PF当たりのネットワーク転送性能は4倍から20倍以上大きい。）

水冷方式による動作温度低減等により、信頼性が格段に向上（全CPUフル稼働時の連続実行時間は29時間以上で世界最高水準の信頼性（セコイア：約23時間、天河2号：約5時間））



大規模連立1次方程式を解く演算速度	性能値(FLOP/s)	システム名	設置機関
1位	9,796	京	理研 計算科学研究機構
2位	1,533	Cray XT5	オークリッジ研
3位	1,344	IBM Power 775	IBM Development Engineering
並列プロセス間におけるメモリーのランダムアクセス速度	性能値(GU/s)	システム名	設置機関
1位	2,021	IBM Power 775	IBM Development Engineering
2位	472	京	理研 計算科学研究機構
3位	117	IBM BG/P	ローレンスリバモア研
多重負荷時のメモリアクセス速度	性能値(TB/s)	システム名	設置機関
1位	3,857	京	理研 計算科学研究機構
2位	525	IBM Power 775	IBM Development Engineering
3位	398	Cray XT5	オークリッジ研
高速フーリエ変換の総合性能	性能値(TFLOP/h)	システム名	設置機関
1位	206	京	理研 計算科学研究機構
2位	132.7	IBM Power 775	IBM Development Engineering
3位	11.9	NEC SX-9	海洋研究開発機構

HPC Award上位表(2012年)

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 1 ) < 2 >

米国や中国の「京」と同等規模のスパコンの構成、消費電力等は下記の通り。米国及び中国におけるスパコン開発・製造費については明らかになっていないため、予算規模を比較することは難しいが、米国DOEの試算によってもエクサスケールマシン達成には\$1,000million～\$1,400millionのコストが掛かるとの報告されており、本プロジェクトの予算についても妥当であると考え。本プロジェクトは、「京」を開発した経験を踏まえて、「京」の強みを承継して、新システムを開発するものである。

	「京」	米国・Sequoia ( 1 )	中国・天河2号	IBM Blue Waters ( 2 )
スパコン構成	汎用のみ	汎用のみ	汎用+加速部	汎用のみ
理論演算性能 (PFLOPS)	11.28	20.13	54.90	10.04
LINPACK演算性能 (PFLOPS)	10.51	17.17	33.86	-
実行効率 (%)	93.17	85.3	61.68	-
演算性能当たりのメモリ容量 (TB/PFLOPS)	122.1	76.3	25	-
演算性能当たりのメモリアクセス性能 (B/FLOPS)	0.5	0.21	0.31	-
演算性能当たりの通信性能 (B/FLOPS)	0.39	0.2	0.04	-
消費電力 (MW)	12.7	7.9	17.8	-
予算 (億円)	793	約230	不明	約540

1 : Sequoiaの額は公表された調達費用のみであり、これ以外にも国防関連予算等が投入されている可能性がある。

2 : IBM Blue Watersは2011年8月に調達先であるIBMが製造段階で撤退しており、この金額はIBMが開発 ( 設計 ) していた当時の計画段階のもの。

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 1 ) < 1 >

## ( 1 ) 目的と意義 ( 必要性 )

CPU の自主開発については、プロジェクト遂行の要になる点であるため、もう少し時間をかけて説明して欲しい。大型プロジェクトであることを考慮すると、そのメリット・デメリット、軌道修正の可能性やタイミングや方法などについて、より広範囲の人の理解を得るための戦略的な情報発信も必要ではないか。

ü CPU の自主開発に関するメリット・デメリットは下記表のとおり。軌道修正の可能性・タイミングについては後掲

	CPUから開発	CPUメーカーとの協業によるネットワークインターフェイス統合CPU開発	ネットワークインターフェイスが統合されたCPUの調達を基にしたシステム開発	製品購入
利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計段階からのコンパイラおよびシステムソフトの開発可能</li> <li>同時並行でアプリ評価&amp;チューニング実施可能</li> <li>à マシン開発からアプリ成果創出&amp;共用開始のリードタイム短縮可能</li> <li>最先端スパコン設置により世界の先端研究者参集&amp;人財育成加速</li> <li>HPCI中長期計画立案可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CPUコアの内部情報が開示されればCPUから開発する場合と同様の利点あり</li> <li>加えて、コスト削減可能(少なくともコンパイラ開発費用削減可能)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発費はボード設計、冷却設計、全体統合に限定され、大幅開発費削減可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発コスト不要。フラグシップマシン調達計画を2年程度とするならば、市場動向調査で決定可能</li> </ul>
欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発コストがかかる</li> <li>開発マシンの市場規模が限定的な場合、製造&amp;保守コストを下げるのは難しくなる</li> <li>最先端半導体工場を有するCPUメーカー製CPUに比べると半導体プロセスが1世代遅れる可能性あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>最先端CPUコアが使えるとは限らない</li> <li>CPUメーカーとの交渉次第では、ロイヤリティ費用がかさみコスト削減につながらない可能性あり</li> <li>スパコン用に使われるCPUメーカーと協業の場合、競合しないカスタムに限定され水準・下方展開困難になる可能性大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発期間中のCPU情報はシステム開発メーカーおよび調達予定カスタムのみ限定。ユーザと共にアプリ開発先行困難</li> <li>CPU製品計画はメーカー任せ、開発遅れや製品計画キャンセル等リスクが上昇しHPCI中長期計画立案困難となる</li> <li>世界的に同一電力供給量に対して同規模マシンがほぼ同時期に複数設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>製品購入&amp;アプリ移植&amp;開発と逐次化するため、先端アプリを世界に先駆けて開発維持するのは困難</li> </ul>

CPUから開発する時の欠点に関して：

- ü 開発コスト&製造コスト&保守コスト： 社会的・科学的課題を解決するために必要となる電力性能に優れたシステム開発のためのコストを払うに見合う対価がある。三菱総合研究所通信政策研究本部「計算機の開発及び利用による波及効果調査」では、計算機開発自体の波及効果は3,143億円と試算されている
- ü 半導体工場： 現状、2018年に利用可能な最先端半導体プロセス技術を用いたCPU開発が可能であると想定している

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 1 ) < 自主開発の考え方 >

## 最先端スパコンの自主開発で早期の成果創出

本プロジェクトでは、演算性能が桁レベルで飛躍しつつ使いやすく成果の出せる最先端スパコンを、消費電力等の境界条件の中で、2020年までに確実に開発・整備する必要がある。米欧中も2020年頃を目指したエクサスケールスパコンの開発を進めており、遅れることは許されない。

その際、LINPACK以外の成果が不明な海外スパコンを基にした開発や、技術開発の動向をコントロールできないコモディティCPUの海外調達を行うことは、1,000億円規模の国家プロジェクトとしてはリスクが高い。

我が国は「京」のシステムとその利用でともに成果を挙げているのに加え、それを創り上げた人材・技術があるので、それらを有効活用することが合理的。

最先端スパコンをフル活用して社会的・科学的成果を迅速に創出するためには、自主開発によりハードの中身をブラックボックス化させず、ハード開発とアプリ開発が綿密に情報交換しながら、互いに至適化されたものを作り上げる ( Co-design ) が必須。特に、今後はCPUに様々な機能が統合されていくトレンドの中では、CPUの中身から開発しなければ、競争力のあるシステムにはならず、世界に先駆けた成果創出は不可能。

## 自主開発で国家プロジェクトの効果が倍増

自主開発による成果の出せるCPUをはじめとするスパコン開発により、下方展開や人材育成等の波及効果が期待でき、国家プロジェクトの効果が倍増。例えば、「京」の自主開発により得た省電力技術・手法は、商用機の展開のみならず、スマートフォンやデジカメ等の身近な製品を含めた半導体設計全般に幅広く応用。

我が国は、「京」の自主開発により人材・技術を育成・発展させ、日本と米国のみが有するCPUからの自主開発能力を将来に受け継いだが、ポスト「京」で自主開発から手を引くとすると、頭脳流出等により人材・技術を国内に存続できなくなる。それらを一度失ってしまうと、取り戻すことは事実上不可能と言っても過言ではない。

## 最先端スパコンは国家安全保障・基幹技術であり自主開発は不可欠

我が国の地球シミュレータ開発が米国のスパコン開発を加速させたように、世界最先端スパコンの自主開発は、科学技術や産業の発展の礎となる先端的成果の迅速な創出と、国としての開発能力を維持することを含めた総合的安全保障の実現に不可欠であり、その能力は国家の存立基盤に大きく影響する。さらに、前人未踏のエクサ級スパコンを世界に先駆けて保有すること自体が、サイエンスの世界だけでなく、様々な面でジャパンブランドとなる。

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 1 ) < 4 >

CPU の自主開発に関するメリット・デメリット及び軌道修正の可能性・タイミングや方法等について、より広範囲の人の理解を得るための戦略的な情報発信については、学会関係のみならず、プロジェクト全体に関する広く一般国民向けのシンポジウム等を開催することにより実現して行きたいと考える。

「京」の開発段階においては、「次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム」を開催し、プロジェクトの進捗状況等を説明。

- ・2006：科学技術の新しい可能性を拓くために（2006年9月19日、20日）
- ・2007：ペタスケール・システムの利用に向けて（2007年10月3日、4日）
- ・2008：次代を担う世界水準の人材育成に向けて（2008年9月16日、17日）
- ・2009：世界に誇る拠点を目指して（2009年10月7日、8日）
- ・2010：次世代スーパーコンピューティング・シンポジウム2010および第1回戦略プログラム 5 分野合同ワークショップ（2011年1月17日）

2011年度からは「京コンピュータ・シンポジウム」として「京」の成果を中心に開催。

# 1 . 追加の説明を求める事項（ 2 ） 、 （ 4 ）

## （ 2 ） 目標設定等の妥当性

演算性能と電力消費という異なった評価軸をどのようにバランスさせるのが、難しい問題であるが明確にしていきたい。また、信頼性・耐故障性の評価軸についても明確にして欲しい。

## （ 4 ） 実施内容および工程表の妥当性

システムのアーキテクチャ設計において、汎用部と演算加速部の構成割合を決定することは、システムが所期の演算性能目標を達成できるかどうかの核心部分であり、ベンチマーク群の選定や最大消費電力等の制約に依存した、非線形の多目的最適化問題になると推察される。その設計にあたって、複雑な最適設計のための具体的な方法論は何か？また、新システムの最適設計にあたって、「京」を活用することはあるのか？

**方針： 電力の制限（ 30 ~ 40MW ）の下で、想定アプリケーション群を実行するのに必要な電力量、計算時間（ 日数 ）、アプリ適応性、プログラミング・コスト、製造コスト等を総合的に判断し、システムを設計する。基本設計終了時まで、重点アプリとともに決定。**

現時点では、以下の手順で汎用部・加速部の割合等、システム構成を設定している。

- 社会的・科学的課題を解決する具体的アプリケーション群の利用シナリオを策定
  - 計算科学ロードマップ（第2版）に基づくアプリケーションの選定、その要求資源量を推定
- それぞれのアプリケーションにおいて、汎用部、演算加速部でどのように実行できるかどうかを判断
  - プログラムが、加速部を利用できるか。どのような形態（システムの使い方には、Separation, Offloading, Cooperation 等のモデルがある）
  - 必要メモリ容量が、演算加速部全メモリ容量に収まるか。
  - 使用アルゴリズムから演算加速部での実行可能性を推定（演算加速部が使われるためにはプログラムしなおす必要がある）
- 必要電力量・計算時間を算出
- 以上のプロセスについて、システムの設計の詳細化により、精度を向上させ、見直しつつシステムを最適化していく

**信頼性・耐故障性については現在の「京」を基準に同程度の信頼性を確保することを目標とする**

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 2 )

## ( 2 ) 目標設定等の妥当性

エクサスパコン計画において、最大消費電力を35MWという制約は厳密なものか？消費電力の目標設定は重要であるが、その強い縛りがアーキテクチャ設計の自由度を狭めることにはならないか？

施設設備の視点から、省電力アーキテクチャとする必要がある：

- 設置場所は理化学研究所計算科学研究機構を想定している
  - 現在供給電力：平均約15MW（計算機、ストレージ：12MW+冷却：3MW）
  - 現在の特別高圧受変電施設の供給可能電力：25MW
  - 特別高圧受変電施設の工事を行えば、30MWまで供給可能。
  - 更にCGSからの電力供給（5MW）により、35MWまで供給可能。
  - なお、現在の施設は電源系統を二重化して冗長性を持たせている為、冗長性を考慮しなければ、電力会社から受電可能な電力は最大60MWとなる。
- 60MW以上の電力を想定する場合
  - 電力会社との交渉および特別高圧受変電施設の追加工事が必要
  - あるいは、60MW以上電力供給可能な場所を探し新たに計算機施設を建設する必要がある。同様の計算機施設は日本に存在しない

競争力の視点から省電力が重要である：

- 計画しているマシンの下方展開を考えると、3.5MWで100ペタ級マシンとなる
- 情報基盤センター群は1.5MWから4MWの電力供給能力を有する
- 2018年～2020年に情報基盤センター群が想定しているマシン能力は10ペタ～100ペタであり、ニーズに応えることができる

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 3 ) 、 前段、 < 1 >

## ( 3 ) 利活用と効果 ( 有効性 )

具体的にどういった分野、どういった多様なアプリケーションに対しエクサスパコンで計算をしたいのかを明確にし、アーキテクチャの設計をしていくべきである。どういったアプリケーションをターゲットとし、どのようなベンチマークを設定しようとしているのか？

アプリケーションについて幾つかの事例が挙げられているが、どのようなニーズがあるかについての市場調査はしたのか？

2020 年頃の社会の姿を想定した上で必要なアプリケーションを明確にすることが重要と考えられるが、こうした観点からどのような検討がなされているか？

## I ニーズの市場調査について：

- もととの経緯は、アプリケーション作業部会（平成23年7月～平成24年2月）で、今後5年から10年わたる各戦略5分野でのサイエンスブレークスルーにどういうものが考えられるかを話し合っている。これは、計算科学ロードマップ白書として、公開されている。
- これを受けて、将来のHPCIシステムのあり方の調査研究「アプリケーション分野」（平成24年度～現在・以下、アプリFS）において、**計算科学者**はもとより、**実験・観測研究者、理論研究者**を交えて、**戦略5分野だけでなく幅広い学問分野の研究者とともに社会的課題・科学的課題の抽出を行ってきた**。平成25年9月末、計算科学ロードマップ第2版として、まとめられている。同年8月には、一般向けに概要版を作成し、パブリックコメントを行い、幅広く意見集約を行った。
- この計算科学ロードマップは、日本のHPCIを用いて、**従来型の各計算科学分野の更なる深化**の必要性とともに、今後解決すべき近々の課題として、**創薬・医療、総合防災、クリーンエネルギー創出と環境問題、社会科学予測**を挙げ、これらに対して計算科学がどのように貢献しうるかが記載されている。同時に**計算科学間での連携、あるいは、大規模施設、ビッグデータの利活用のように分野横断的なアプローチ**が必要であると謳われている。これらの調査結果を適宜同期しながら、3つの将来のHPCIシステムのあり方の調査研究「システム設計」（以下、システムFS）が実施されており、本プロジェクトでは、これら3つのシステムFS、1つのアプリFSの検討状況を包括的に取り入れながら提案されている。

## I ポスト「京」での課題とそのアーキテクチャ設計について：

- どの分野、どの課題を重点的に取り組むべきかの議論は今後されていくことになるが、**現在の概念設計段階においては、幅広いニーズに応えられるようなシステム構成を想定している。**
- 今後各課題の優先順位などが設定されたとしても、柔軟に対応できるようなシステムパラメータ（たとえば、汎用部と演算加速部の割合）を有している。

## I ターゲットアプリケーションとベンチマーク：

- **概念設計段階での選定アプリケーションのベンチマーク群は、計算科学的な見地から、主要な評価基軸を満たすような構成としている。**
- ポスト「京」で取り組む具体的なアプリケーションの選定については、今後、有識者会議における審議を踏まえて国において決定する予定。

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 3 ) 、 前段、 < 2 >

## 概念設計におけるアプリ選定の考え方

1. FSアプリへ提供されているフルアプリ群を整理する。
  - 評価基軸の観点からとミニアプリ化の有無を整理
2. 上記で整理されたアプリ群の中で候補と考えられる10本程度を選ぶ。
  - 評価基軸を網羅できる形を選ぶ。
3. 上記で選定されたアプリと同様の計算手法のもので、開発実施主体候補がより効率的と判断したものは、それを選定アプリとする。
  - この時点で、京からの継承性も考慮する。

概念設計段階の評価アプリとして以下の12本を選定する。

提供フルアプリ	提供者	評価基軸									
		構造格子計算	非構造格子計算	粒子法計算	密行列計算 (局所的)	密行列計算 (大域的)	通信・低レイテンシ	通信・隣接高バンド幅	大域的通信	大容量IO	その他
GENSIS	池口@横市大/杉田@AICS										
NEURON_K+	加沢@東大										
MODYLAS	安藤@名大										
FrontFlow/blue	山出@みずほ										
NTChem/RI-MP2	河東田@AICS										
CONQUEST	宮崎@物材研										
RSDFT											
NGS Analyzer	玉田@東大 / 鈴木@AICS										
NICAM-DC	八代@AICS										
ALPS/looper	藤堂@東大										
CCS QCD	石川@広大										
Seism3D	古村@東大										

(注)今回選んだアプリが「必ずフラッグシップシステムで採用される」というわけではなく、開発主体候補が提案機の評価として選定したもの。評価アプリについては検討段階のため変更する可能性もある。

# 1 . 追加の説明を求める事項 ( 3 ) 後段、

## ( 3 ) 利活用と効果 ( 有効性 )

実際に「京」を使っている人は具体的にどこに限界を感じているのか？ 必要とされるスペックは何か？

アプリケーションの中で今解けない問題のボトルネックが、計算機のスピードなのか、アルゴリズムなのか、データ不足なのか、混在して記載されているので纏めなおしてほしい。

### 「京」での限界と必要となるスペック

「京」からの今後の計算科学の発展を考えた、アプリケーション・コンピュータアーキテクチャ・コンパイラ・システムソフトウェア合同作業部会では、このままの京の延長線上あるいはコモディティを使用したシステムでは、どのアプリケーションも、**演算性能、メモリ転送能力、メモリ容量**のいずれか、あるいは複数に限界を感じていることが明らかになった。他に、アルゴリズム、ネットワーク性能なども場合によってはボトルネックになりうる

### 今解けない問題のボトルネック ( 以下、期待される成果、チャレンジングテーマでの例 )

	演算性能	メモリ転送能力	メモリ容量	ネットワーク転送能力	ネットワーク遅延	入力データおよび出力データ処理	アルゴリズム
最適な治療を実現する画期的な新薬開発	✓				✓	✓	
広域複合災害に対する総合防災・減災対策		✓	✓				
安全性の高い自動車開発		✓	✓				✓
安全性・耐性に優れた高性能電池の開発	✓						
ナノの世界を操る次世代デバイス科学	✓						✓
宇宙の起源と進化の探求	✓			✓			
知能を再現する脳研究		✓	✓	✓	✓		
ビッグデータを生かした次世代ゲリラ豪雨予測		✓				✓	
分子機能と細胞システムの接続	✓				✓		
天然光合成の解明と人工光合成の構築	✓						✓
高温超電導体の機構解明と室温超電導体設計	✓						
一人一人を個別に扱う社会現象シミュレーションと設計開発				✓		✓	✓
エネルギー損失の少ない次世代デバイス原理の創出	✓						✓
未知なる自然法則のあくなき探究	✓	✓		✓			✓