

より発展的・挑戦的テーマ (例)

● 高温超伝導体の機構解明と室温超伝導体設計

【将来】 第一原理量子モンテカルロシミュレーションにより、

高温超伝導発現機構を解明し、室温超伝導物質を第一原理設計。



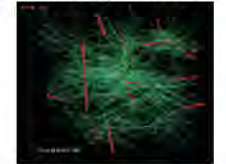
例えば、リニアモーターカーの開発費削減、エネルギー損失のない送電線の実現に貢献。

● ひとりひとりを個別に扱う社会現象シミュレーションとその設計・開発

【将来】 エージェントの活動を一括して簡単にモデル化することから脱却。社会を構成する個々のエージェントに基づいたシミュレーションにより信頼性の大幅な向上を目指す。ひとりひとりの豊かさと幸福の実現を支援



交通状況の正確な予測



携帯電話網解析による人間関係の特性理解

● エネルギー損失の少ない次世代デバイス原理の創出

【将来】 量子分子動力学計算による磁気スカーミオンと電流の相互作用の解明と制御。

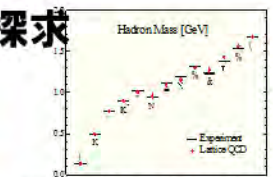
従来より数桁少ない駆動電流で制御可能となる。



磁気スカーミオンを利用したエネルギー損失の少ない新しいデバイス原理の創出に期待

● 未知なる自然法則のあくなき探求

【将来】 **素粒子精密実験との連携による新しい物理の発見の期待。** 大規模数値シミュレーションを用いた定量的解析による物理学者長年の夢である**統一理論の構築と選択**を目指す



ハドロン質量の数値計算と実験値との精密比較(ある程度京でも可能)



統一理論への道筋

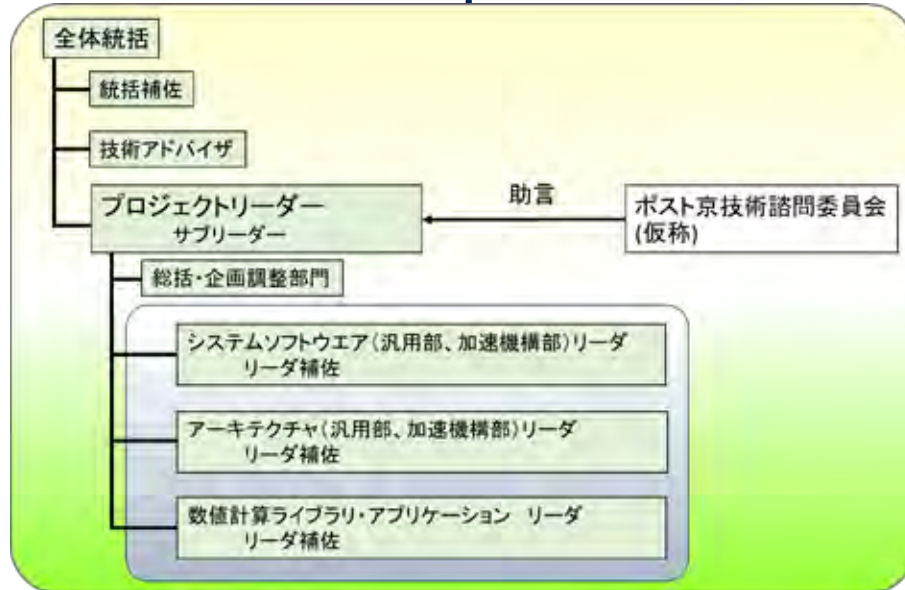
マネジメント体制 (開発推進体制)

開発推進体制

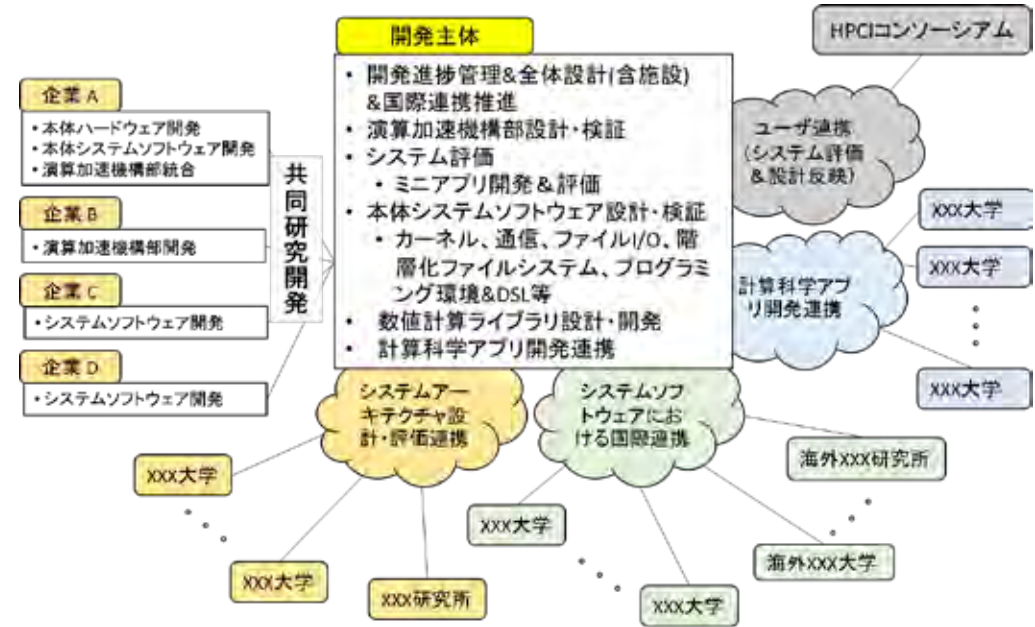
文部科学省

HPCI計画推進委員会

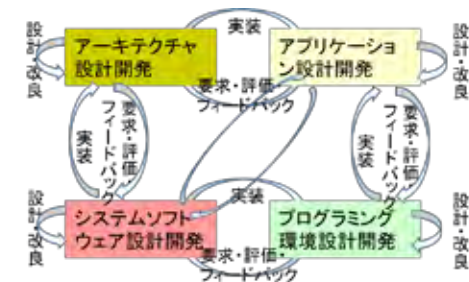
開発主体



開発体制



- 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



自主開発するメリット・デメリット

	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"> 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ができる。 同時並行でアプリ評価&チューニング実施可能。 à マシン開発からアプリ成果創出 & 共用開始のリードタイム短縮可能 最先端スパコン設置により世界の先端研究者が参集 & 人材育成が加速される。 HPCI中長期計画立案が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 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 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） 	<ul style="list-style-type: none"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 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
欠点	<ul style="list-style-type: none"> 開発コストがかかる 開発マシンの市場規模が限定的な場合、製造 & 保守コストを下げるのは難しくなる 最先端ファウンドリを有するCPUメーカー製のCPUに比べると半導体プロセスが1世代遅れる可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> 最先端CPUコアが使えるとは限らない 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 スパコン用に使われるCPUメーカーと協業の場合、競合しないカスタマに限定され水平・下方展開困難になる可能性大 	<ul style="list-style-type: none"> 開発期間中のCPUおよびシステム情報はシステム開発メーカーおよび調達予定カスタマのみに限定。ユーザと共にアプリ開発先行できない CPU製品計画はメーカー任せになり、開発遅れや製品計画キャンセルなどリスクが上がりHPCI中長期計画立案が難しくなる 世界的に同様システムがほぼ同時期に設置される。同一電力供給量に対して同規模マシン 	<ul style="list-style-type: none"> 製品購入 & アプリ移植 & 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

「京」開発の資産を活かせるもの、活かせないもの

汎用部：京アーキテクチャを踏襲

加速部：新規開発

- 京で開発されたアプリケーション資産は継続して使用できる。
- 京で開発されたアプリケーションの中で加速部実行に適するものはプログラムを修正することで高性能実行可能（説明は次ページ）。

カテゴリ	要素技術	京開発の資産活用性
ハードウェア (ノード内)	半導体製造技術	外部工場
	プロセッサ開発	京の資産 + 開発
	メモリ	汎用品
	3次元実装技術	新規(検討中)
	チップ間配線技術	京の資産 + 開発
	信頼性	京の資産 + 開発
(ノード間)	インタコネクト	京の資産 + 開発
(ストレージ)	HDDあるいはSSD	汎用品
	ストレージシステム	京の資産 + 開発
(電力)	省電力制御	京の資産 + 開発
(冷却)	冷却システム	京の資産 + 開発
システムソフト ウェア	OSカーネル	京の資産 + 開発(含む国際協力)
	通信ライブラリ	京の資産 + 開発(含む国際協力)
	耐故障機能	京の資産 + 開発
	コンパイラ	京の資産 + 開発
	ファイルシステム	京の資産 + 開発
	数値計算ライブラリ等	京の資産 + 開発(含む国際協力)
	性能計測	京の資産 + 開発
	視覚化	京の資産 + 開発

「京」とポスト「京」の違い：加速部を付ける意義

汎用部

様々な種類の計算を万遍なく実行できる汎用プロセッサを多数結合したシステム。

できるだけ幅広い分野に計算資源を提供することを目的。国内における計算科学を牽引。

「京」： 汎用部のみからなるシステム

【参考： 加速部をつけることによる、「京」に関して開発したアプリケーションの移植への影響について】

- ・ほぼそのままに使えるもの（アルゴリズムの観点から）：
生命、材料開発等（宇宙物理等も）分野の、量子力学計算、粒子法計算の多くのアプリ。
- ・書換えがそれほど大変ではないもの：
工学、生命、宇宙分野等での構造格子による流体計算
- ・書換えは大変だが高い性能が期待できるもの：
医療・生命科学分野での分子動力学計算、気象分野での流体計算
- ・現段階では加速部への移植が困難なもの：
非構造格子での構造・流体計算。主に工学分野（但し、現在検討中）

加速部

科学技術計算に重要な、特定のパターンの演算において極めて高い性能および電力効率が高得られるように設計。同じタイプの計算を繰り返すことに特化した機構を持つ。

できるだけ幅広い分野に計算資源を提供しつつ、電力問題等を解決。

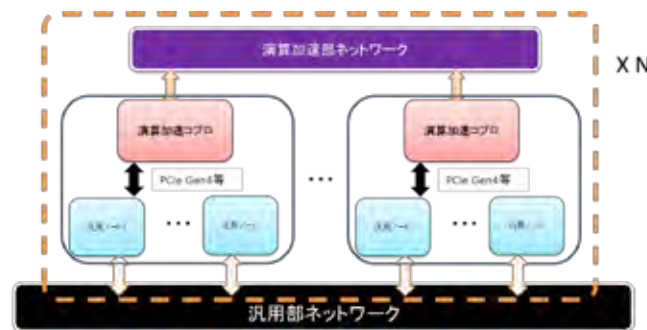
ポスト「京」： 汎用部と加速部を組み合わせたヘテロジニアスシステム

【加速部を入れる意義】

- ・電力性能の大幅な向上
- ・強スケーリング対応（一定サイズの問題を実時間で高速化できること）

【「京」からの高度化】

- ・演算性能、メモリ容量の増強
- ・電力あたりの演算性能の改善
- ・（ノード間ネットワークの）高性能・高信頼性



コスト・商用展開・波及効果

- 開発経費 & 製造経費を抑えるために可能な限り既製品技術を利用あるいは将来の製品技術を利用、あるいは他分野製品との共通化を図る

汎用部ハードウェア

区分	
CPU	サーバCPU内要素技術の共通化
メモリ	スマートフォンやサーバで使用される製品技術
光ケーブル	LANで使われている既製品技術
2次記憶	サーバで使用される製品技術

加速部ハードウェア

区分	
CPU	ASICを活用する
メモリ	スマートフォンやPCサーバで使用される製品技術
光ケーブル	LANで使われている既製品技術

- システムソフトウェアは国際連携を推進し、標準化、共通化できることを促進する
- Co-designにより、加速部を利用するソフトウェア移行・開発をサポートするコンパイラ・プログラミング言語等で、ソフトウェア開発のコストを抑える
- 波及効果・商用展開

汎用部

- | スパコンセンター等への展開
- | ハイエンドプロセッサ技術の継承発展

加速部

- | 現在のGPUのように、汎用のクラスタの加速装置として展開
- | ビックデータ解析エンジン等へ展開を検討

人材育成

人材育成については、「京」の開発・整備等を通して、以下のとおり数々のノウハウや技術が蓄積されるとともに、そうしたノウハウや関連技術を有する人材が育成された。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においても、プロジェクトを通して同様の人材育成の効果が期待できる。

また、本プロジェクトにおいては、プロセッサ等の中核となる技術について、Co-designの観点から、ハードウェアの開発とアプリケーションの開発を密接に連携して進めることで、計算機科学分野と計算科学分野の双方あるいは計算科学分野と応用分野の双方に精通する人材の育成も期待できる。

「京」の完成後実施してきた研修生の受け入れやスクール・講習会を引き続き実施し、エクサスケール・スーパーコンピュータについても取り上げていくことで、計算科学・計算機科学の最先端研究を牽引する人材育成に貢献する。

「京」の開発・整備で培われたもの

(1) 理化学研究所

- ・大規模プロジェクトマネジメント手法、スーパーコンピュータの構築に関する知見・ノウハウ、アプリケーションのチューニング手法
- ・一部稼働による試験利用・共用開始後の運用を通じて、10ペタフロップス級のスーパーコンピュータの運用ノウハウなど
- ・研究部門の活動を通じ、「京」の高度化研究が進展し、計算機科学や計算科学、両者の連携を担う最先端の研究者が育成されている

(2) アプリケーション開発者の育成

- ・実際のアプリケーションの並列化作業を通して、アプリケーション開発者に大規模並列化技術を習得させ、計算科学と計算機科学の両分野に習熟した人材が育成された

(3) メーカーの人材育成

- ・「京」の開発には設計・製造を担当したメーカーだけでなく、メーカー関連会社、または部品製造会社など多数の企業が参加した。これらの企業内には最先端の技術開発能力や製造技術が蓄積され、これらの技術に精通した多数の技術者が育成された（システムの設計・製造に関わった人数は、1,000名規模）
- ・設計・製造担当メーカー本体では、大規模システム開発のプロジェクトマネジメント技術、大規模システム構築技術、超高速CPU設計技術、冷却技術、高密度実装技術、大規模ネットワーク技術、大規模システムソフトウェア開発技術等、多くの技術が蓄積され、関連の技術者が育成された
- ・ハードウェア関連の参加企業には、最先端の技術開発を行った企業も多くあり、開発を通して関連技術を有する人材育成が図られた

その他、人材育成

- ・企業や大学からリサーチアソシエイトや研修生を受け入れ、若手研究者の育成を実施
- ・大学院生や若手研究者を対象としたスクール、講習会等の開催
- ・連携大学院による連携講座としての大規模計算科学講座の設置、講習会の開催等の教育活動の実施

人材育成

