

## これまでの議論の論点整理(案)

はじめに

文部科学省では、計算科学技術政策の柱としてスーパーコンピュータ「京」を中核とした革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ(HPCI)を構築し、多様なユーザーニーズに応える計算環境の構築を推進している。

一方、計算科学技術を巡る国内外の情勢は変化しており、共用が開始された「京」及び HPCI を活用した成果の創出とともに、スーパーコンピュータ技術の今後の進展も見据え、HPCI システムを戦略的に高度化していくことが求められている。また、世界的にもエクサスケールコンピューティングに向けた検討が本格化している。

こうした状況を踏まえ、昨年 2 月に HPCI 計画推進委員会に今後の HPCI 計画推進のあり方に関する検討ワーキンググループ(以下「ワーキンググループ」という。)を設置し、今後 10 年程度を見据えた我が国の HPCI 計画の推進の在り方について調査検討を開始したところである。

以降本ワーキンググループでは 11 回にわたって議論を積み重ねてきたところであり、これまでなされた様々な議論について、委員の共通認識が得られたものや引き続き検討を行う必要があるものを整理し、現段階での「論点整理」として取りまとめたものである。今後、検討課題となっているものを中心に、更に本ワーキンググループで調査検討を行い、中間報告書及び最終報告書にまとめていくこととしている。

## 1. 国内外の動向

### 【共通認識】

(1) スーパーコンピュータの活用が、科学技術面・経済面で国の将来に影響を及ぼすという認識が定着し、国際的にスーパーコンピュータの導入・開発がこれまで以上に積極的に進められている。

(国際的な動き)

- 導入のグローバル化(2012年11月のTOP500リストでは27か国、うち1ペタFLOPS以上のマシンは7か国)
- 自主開発の拡大(中国ではプロセッサまで自主開発、フランス Bull 社はフランス原子力庁に TERA-100 を納入、ロシアでは T-Platforms 社がモスクワ州立大学に Lomonosov を納入、インドでも SAGA-220 を開発、など)
- 米国や欧州など 2020 年頃のエクサスケールを目指した動き(米国: 政府として DOE を中心にエクサフロップスをサポート、欧州: EESI(European Exascale Software Initiative)から EESI2 への移行と FP7(The Seventh Framework Programme)による MontBlanc, DEEP, CRESTA の三つのプロジェクト)。また、中国においても計画的に研究開発を推進
- 米国や韓国では、国家的投資によるスーパーコンピューティングの強化を図るため HPC 法を制定(米国: High Performance Computing Act, 韓国: National Supercomputing Promotion Act)

(2) 国内においては、「京」の整備や革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ(HPCI)の構築が進み、また、国内の総計算資源は平成 24 年 9 月に共用を開始した「京」も含め、20 ペタ FLOPS 超と推測されるなど、計算環境の整備が世界上位の水準に戻りつつある。

(世界における計算資源の割合)

- TOP500 に対する我が国のスパコンの性能割合は、2000 年代初頭には 20%を越えており、2000 年代半ばには 6%を切るところまで低くなっていたものの、2012 年 6 月時点では 15%近くまで戻ってきた

(文部科学省関係機関の総計算資源)

- 国公立大学合計 6,997 テラ FLOPS(平成 23 年 5 月現在、うち情報基盤センター(計 6,315 テラ FLOPS)は平成 24 年 10 月現在)
- 大学共同利用機関法人、及び文部科学省関係の独法等 15,179 テラ

FLOPS(平成 24 年 10 月現在, うち「京」は 11.28 ペタ FLOPS)

(文部科学省以外の機関)

- 2012 年 11 月の TOP500 においては, 上記機関の他, 研究機関として 2,195 テラ FLOPS, 民間 1,084 テラ FLOPS, 合計 3,279 テラ FLOPS

(国産マシンについて)

- 2012 年 11 月の TOP500 においては, 国内設置の 23,362 テラ FLOPS のうち国産マシンは 17,251 テラ FLOPS(「京」を含む)

(3) スーパーコンピュータは幅広い科学技術分野の研究発展に不可欠なものとなってきたとともに, 産業界でもスーパーコンピュータの利用が普及しつつある。国内の計算資源使用量は年々増加しており, 今後, その重要性はより高まっていくと考えられる。

(4) 一方で, 「京」及び HPCI で画期的な成果を創出し, 社会に還元していくことが求められるとともに, 今後の計算科学技術の推進に当たっては, 幾つかの課題が明らかになっており, これらの課題を克服していくことが必要となる。

(課題の例)

- 消費電力等の制約条件の中で各 HPCI システムの性能向上
- システムの超並列化に対応した耐故障性の向上, ネットワーク技術の高度化, システムソフトウェアやアプリケーションの開発等
- ハードウェア, ソフトウェアの高度化に伴う, 系統的な技術の習得や人材の育成

(5) スーパーコンピュータの技術面, 利用面における新しい動きについても, 適切に対応していくことが必要である。

(技術面の動き)

- コンピュータ関係企業を中心プレーヤの変化 (IBM, Cray, SGI のようなシステムベンダから, Intel, NVIDIA, ARM などのプロセッサベンダやプロセッサ IP ライセンサへの変化)
- スピン・アウトからスピン・インへ (大型計算機の技術をコモディティに生かすスピン・アウトから, 市場の大きなコモディティの技術をスパコンの技術に統合・活用するスピン・インへの流れ)

- 研究開発のグローバル化(欧州におけるエクサスケールに向けた国際連携。IESP(International Exa-scale Software Project)による米国, 欧州, 日本, 中国の国際連携。システムソフトウェア等の共同開発への期待)
- 新しいシステム開発におけるハードウェアの研究者とアプリケーションの研究者の共同(Co-design)の重要性の高まり
- 国内資本による半導体製造については, ファブライト, ファブレス化が進展し, その結果最先端プロセスでの量産がほぼ不可能な状況であり, プロセスと一体となった設計能力の維持についても極めて困難になりつつある

(利用面の動き)

- 大規模で多種多様なデータの効率的な処理・分析など, いわゆるビッグデータへの対応
- HPC にクラウド技術を適用したいわゆる HPC in the Cloud ビジネスの台頭(Google や Amazon, Microsoft など)
- 自然科学以外の分野での利用(経済, 金融などでのシミュレーションの利用)
- PRACE など, 複数のスーパーコンピュータを一つの基盤として運用(欧州各国で共同利用可能なハイエンドシステム(Tier-0)の充実など)

(6) 国内のスーパーコンピュータ関係企業については, エクサスケールに向けて CPU も含めた技術開発を継続する企業, コモディティベースのシステムを開発する企業など, 今後の展開の方向性が異なりつつあると考えられる。

## 2. 計算科学技術の利用状況、今後の必要性

### I. 科学技術分野における状況

※本項目は、「将来の HPCI システムのあり方の調査研究」の結果を含めて加筆する

#### 【共通認識】

(1) 計算科学技術は第 4 期科学技術基本計画における国家存立の基盤、科学技術の共通基盤として重要であり、理論、実験に並ぶ「第 3 の科学」、また「予測の科学」として科学技術や政策立案への貢献が期待されている。

(2) 科学技術の分野では、実験だけではわからない、若しくは実験できないような部分を理論計算で補うという側面もあり、例えば極限環境の研究が可能になるなど、計算科学的な手法は不可欠なものとなっている。

(課題の例)

- 物質科学, 地震・津波, 気象・気候, 素粒子・宇宙, 生命科学, 医療・創薬分野におけるシミュレーションの利用
- 物質科学における実験の補完。新しい物質設計を目指すには、より信頼性の高い方法論で計算する必要があり、膨大な計算量が必要
- 地震津波被害の減災のためにはシミュレーション研究が必要不可欠であり、より精緻な計算をするためには膨大な計算量が必要
- 研究開発における、単一モデルによるシミュレーションサイズの拡大の方向性と、複数のモデルを用いたアンサンブル計算の二つの方向性

(3) ゲノムデータ処理に代表されるように、シミュレーションだけではなく、データ処理にスパコンが利用される側面も増えてきている。さらには、シミュレーションに基づく「第 3 の科学」とデータ処理・解析に基づく「第 4 の科学」の双方を駆使する応用も登場しつつある。

(4) 高解像度のシミュレーションを行うためには、単純に解像度をあげるだけではうまくいかない場合もあり、モデルを新たに検討する必要もある。

(課題の例)

- パラメタリゼーションと第一原理計算のバランス, 新たな物理法則のモデル化

- 地震シミュレーションにおける高精度な地殻情報の入手など、解像度に応じた観測データの必要性
- (5) 社会的ニーズに応える実際のシステムでは、長期的視点に立ったシステムの整備計画と、観測データの取得からデータ入力、プリ・ポスト処理を含めた全体のシステム構築が必要になる。

(課題の例)

- システムを更新してもすぐには性能を引き出すプログラムはできないため、長期的な視点に立ったシステム整備が必要
  - 高精細な地震・津波シミュレーションに必要な詳細な地形データ、建築物等のデータセットの整備が必要
  - 地震・津波のサブリアルタイム処理や、リアルタイム観測データの入力が必要
  - 予測結果の評価と、社会への発信方法についても検討が必要
  - 「知のフロンティアとしての科学」と「社会への出口」は異なる視点での議論が必要
- (6) スパコンを使ったことのない分野や、研究者・技術者も多いと考えられるため、そのような分野にもスパコンの利用を進め、成果を創出できるようにしていく必要がある。

(課題の例)

- 利用環境の整備(簡単な手続で使えるマシンや、ジョブ待ちの少ない環境など)
- サポート体制、窓口の整備など
- 日本の計算科学者・技術者層の拡大
- 実行したいシミュレーションソフトウェアのスパコン上での利用

## II. 自然科学以外の分野における状況

### 【共通認識】

- (1) 自然科学以外の分野においても、計算機が必要とされる場面があり、その利用が進んできている。

(課題の例)

- 人間集団の科学的研究や、経済現象を研究するときにはスパコンが用いられている

- インフルエンザの拡大予測や有効な介入政策立案のためには、シミュレーションが必要であり、スパコンによる計算が必要となる（パンデミックシミュレータなど）
- 金融市場のデータ、スーパーやコンビニの小売データなどは膨大であり、それを蓄積し解析するためには大きなリソースが必要となる

(2) 社会への出口と近いものが多く、自然科学分野で求められるスペックとは異なるシステム（例えば、浮動小数点演算性能以外の能力が要求されるなど）が必要となる可能性がある。

（課題の例）

- 金融市場のアプリケーションでは、ミリ秒オーダーでの取引に対応するためのリアルタイム性と、精度のよいリスク推定などの要求から大規模計算の両面が求められる
- ビッグデータである小売データの解析による需要予測シミュレーション技術が求められている。また、ブログ上のデータを用いることにより1日ごとの景気判断ができる可能性もあるが、このためには「京」を上回るスパコンが必要になると思われる

### Ⅲ. 計算科学技術の産業利用の状況

#### 【共通認識】

(1) 産業界では、より現実に近い状態での解析やものづくりにおける製品の設計など、大規模計算へのニーズは大きいと考えられる。

(2) 大企業ではシミュレーションそのものは普及しているものの、実際のものづくりで大規模、高度解析を活用できる企業はまだ少なく、また中小企業までシミュレーションが十分普及しているとはいえない。そのため、裾野の拡大を目指した産業利用の促進を図る方策を検討する必要がある。

（課題の例）

- 解析技術、製品開発に結びつける知識の必要性（課題に対する適切な計算モデルの構築と解析結果の解釈、結果から得られた知見による改善や創造）
- シミュレーションができる人材の育成、技術やノウハウの継承
- 使い勝手のよいソフトウェアの開発と、それを維持・発展させていくための仕組みの構築

(3) 産業界で常時利用するようなシステムでは、維持費、コストなどの問題により、トップレベルのシステムの 100 分の 1 から 1000 分の 1 規模のスパコンが主流となっているなど、大学・研究機関で大規模計算を行うユーザが使用するスパコンと産業界ではスパコンの在り方が異なっている。

(課題の例)

- パラメータサーベイなど(高精度で時間のかかる計算より、多くのパターンで計算したい場合がある)
- 企業では商用ソフトウェアを利用することが多いため、利用したいソフトウェアがサポートされているシステムを調達、又は利用することになる
- 製品開発における基礎研究では共用のシステムを利用する場合もあるが、すぐに製品化に結びつくようなシミュレーションは、セキュリティ上社内のマシンで行うことになる

(4) 業種によりスパコンの利用状況やスパコンに対する要求が異なるため、利用パターンに沿った議論が必要となる。

(課題の例)

- 業種による違いとともに、ユーザ企業とベンダ企業でも考え方が異なる(ユーザは安くて速ければベンダにはこだわらない場合がある、また中小の企業ではハードもソフトも人材もない)
- 同じ企業でも、研究開発部門で必要とされる用途と、ものづくりの現場とで求めるものが異なる
- ユーザ企業とベンダ企業では考え方が異なるとともに、中小の企業ではハードもソフトも人材も不足しがちといったように、大企業と中小企業では状況が異なる



### 3. 将来の我が国における計算科学技術システムの在り方

#### I. 我が国における計算科学技術システムの総論について

##### 【共通認識】

- (1) 我が国の計算科学技術インフラについてグランドデザイン描き，その中で大学，附置研，共同利用機関及び独法の有するシステムの役割・位置付けを明確にしつつ，戦略的に整備を進めることが重要である。
- (2) グランドデザインとしては，必要な予算にも留意しつつ，世界トップレベルのスパコンやその次のレベルのスパコンを複層的に配置し，全体として我が国の科学技術の発展や産業競争力の強化に資する世界最高水準の計算科学技術インフラを維持・強化するという考え方が重要である。
- (3) トップレベルのシステムについては，基盤というよりもサイエンスやテクノロジーを切りひらく最先端の装置という位置づけもある。
- (4) 整備するシステムの性能目標を設定するに当たり，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。
- (5) システムアーキテクチャの選定に当たっては，解決すべきサイエンス目標とアプリケーションの特徴や今後のハードウェアの見通しが重要であり，専用システムと汎用システムの議論は慎重に進める必要がある。

#### II. 各機関のシステムの役割・位置づけ，配置・体制について

##### 【共通認識】

- (1) 国内のシステムは大きく分類すると，共用法に基づく特定高速電子計算機施設のシステム，9 大学情報基盤センターのシステム，附置研・大学共同利用機関の共同利用システム，独立行政法人のシステム等に分類され，それらの現状は別表 1 のとおり。
- (2) 上記 I. における基本的な考え方を踏まえ，各機関のシステムの役割・位置づけをより具体化すると，以下のように考えられる。

a. 特定高速電子計算機施設のシステム

- ① 共用法に基づき、引き続き世界トップレベルの演算処理能力を有する我が国のフラッグシップマシンとして、産業界も含め幅広くその計算資源を共用に供していくことが適当。
- ② このため、計算機技術の発展を先導する研究開発を行い、その能力を高度化していくとともに、幅広い分野で利用できるシステムとすることが必要。

b. 9 大学情報基盤センターのシステム

- ① 全国共同利用をしている9大学の情報基盤センター(以下「情報基盤センター」という。)を巡る状況は設立当初と変わってきているが、今後とも、HPC の分野において、適切な規模の利用者支援機能・研究開発機能を維持しつつ、我が国のトップレベルの演算処理能力(例えば世界トップレベルのシステムの数分の1から数十分の1程度)を、先端又は大規模な計算を行う幅広い分野の研究者に提供する役割を果たしていくことが適当ではないか。
- ② また、その計算資源の一定割合はHPCI一括課題選定の対象とする計算資源として、大規模な計算や多様なユーザーニーズに応えるための我が国全体の計算インフラとして運用を行うことが必要ではないか。
- ③ 一方、近年は状況が改善しつつあるものの、情報基盤センターにおけるスーパーコンピュータの能力が世界に比較して相対的に低くなってきているとの指摘もあるが、これは電力や設置スペース、ランニングコストの問題に加えて、戦略の問題でもありと考えられるのではないか。
- ④ このため、各情報基盤センターのシステムについても、HPCI 一括課題選定の主要な計算資源として、大学の自主・自立性に配慮し、国全体として整合性をとりつつ戦略的に更新・整備していくことが必要ではないか。
- ⑤ また、今後の計算機技術の発展を踏まえ、適切な規模のシステムを導入するため、必要に応じ複数機関での共同導入・運用、また、大学内におけるシステムの集約などについても検討をすべきではないか。
- ⑥ こうした計算資源提供や研究開発実施の役割を十分に担える体制・システムが整備されていることを前提に、各情報基盤センターがそれぞれの得意分野を強化しつつ、これらのセンターが協力し学際的なグラウンドチャレンジ的な課題を解決するための共同研究・拠点事業の推進

や、計算科学技術全体の発展に資する人材育成の役割も果たしていくことが重要ではないか。

c. 附置研・大学共同利用機関法人の共同利用システム

- ① 本システムは、特定研究領域の研究の実施のために整備しているものであることから、基本的にその目的に沿った能力の計算機を整備し、運用を行うことが適当。
- ② ①の考え方を基本としつつも、学術研究は、関係分野が相互の連携を通じて発展していく方向性であり、従来のような個別分野的なシステム整備ではなく、関係分野が連携して最先端のシステム整備を行う方向性についても検討すべきではないか。
- ③ ただし、リーディングマシン(Ⅲ.(3)[イメージ 2][イメージ 3]の場合)として国の戦略に沿って開発・整備する場合や、対象としている研究分野が横割りのな分野(例えば統計数理学など)などの場合は、自らの研究の遂行に支障のない範囲で、HPCI一括課題選定の対象とする計算資源として、我が国全体の観点からHPCIへの資源提供も検討すべき。<sup>(※)</sup>

※附置研・大学共同利用機関法人の場合は、当該研究施設の目的たる研究と同一の分野の研究を目的とすることが求められ、運用上ある程度の制限がある可能性を考慮する必要がある。

d. 独立行政法人のシステム

- ① 本システムは、基本的に設置者の自らの目的に使用するものであるため、それぞれの必要性和予算に応じて必要な能力のシステムを整備し、それぞれ運用を行うことが適当。
- ② ①の考え方を基本としつつも、研究開発は、関係分野が相互の連携を通じて発展していく方向性であり、従来のような個別分野的なシステム整備ではなく、関係分野が連携して最先端のシステム整備を行う方向性についても検討すべきではないか。
- ③ 一方、自らの研究開発業務の遂行に支障がない範囲で、積極的に外部の利用に供することが求められており、その際には利用者の利便性も考え、HPCIの共通運用の計算資源として提供することも検討すべき。

- ④ また、リーディングマシン(Ⅲ.(3)[イメージ 2][イメージ 3]の場合)として国の戦略に沿って開発・整備する場合は、HPCI 一括課題選定の対象とする計算資源として、我が国全体の観点から HPCI への資源提供を検討することが適当。<sup>(※)</sup>

※独立行政法人の場合は、設置法で定められた業務の範囲での利用となるため、運用上ある程度の制限がある可能性を考慮する必要がある。

e. 大学等のシステム(b・cを除く)

- ① 本システムは、基本的に設置者の自らの目的に使用するものであるため、それぞれの必要性和予算に応じて必要な能力のシステムを整備し、それぞれ運用を行うことが適当。
- ② また、大学等においては、それぞれのシステムを活用し、我が国の計算科学技術の発展に向け、多様な計算機科学及び計算科学を発展させるとともに、人材育成やユーザの裾野拡大等の役割を果たすことも期待すべき。
- ③ そうした中で、これらの大学等において、リーディングマシンの開発や比較的大規模なシステムの整備・運用が行われる可能性も視野に入れておくことが適当。

(3)システムの配置については、リスク分散の観点からある程度の地理的な分散も必要であるが、ネットワーク経由で利用できることから、むしろ電力や設置スペースなどの設置条件が整備されていることがより重要。このためにも、高速ネットワークの整備を今後も着実に進めていくことが重要。

**【今後の検討課題】**

- (1)9 大学情報基盤センターのシステムの役割・位置づけについては、当事者による検討も踏まえ、更に議論を深めていく必要がある。
- (2)ユーザの窓口や研究拠点となる組織については、地理的な分散が重要であり、特定高速電子計算機施設及び 9 大学情報基盤センターについては現状も踏まえつつ、その体制・機能の在り方について検討が必要。

### Ⅲ. リーディングマシンの定義, 必要性

#### 【共通認識】

(1)リーディングマシンについては, 以下の二つの要件を満たし, 国の戦略的リーダーシップに基づき我が国の計算機科学及び計算科学全体をけん引するとともに, 科学技術の新たな展開を切りひらいていくシステムとして定義される。

(リーディングマシンの要件)

- 世界トップレベルの高い性能をもったシステム
- 最先端の技術を利用し, 新たに開発されたシステム

(2)リーディングマシンは我が国の計算機科学及び計算科学を発展させ, 世界における当該分野の優位性を維持し, それにより我が国の科学技術の発展や産業競争力の強化に貢献できることから, 国として整備を進める必要がある。

(3)上記Ⅱ.における各機関の役割分担を踏まえると, リーディングマシンがカバーする分野の範囲や性能の考え方, 位置づけとして, 以下の三つが考えられる。

[イメージ 1] 我が国のフラッグシップとなるシステムであり, 幅広い分野をカバーするマシン

→ 特定高速電子計算機施設のシステムをリーディングマシンとして開発・運用することが適当

[イメージ 2] 我が国のフラッグシップとなるシステムであり, 幅広い分野をカバーするマシンと, それを支える特徴的なシステムを持つ複数のマシン

→ リーディングマシンのうち, フラッグシップとして幅広い分野の利用をカバーするシステムは, 特定高速電子計算機施設のシステムとすることが適当

また, 同システムを支える特徴的システムについては, 特定高速電子計算機施設のシステムの特徴を踏まえ, どの分野のアプリケーションをターゲットとするか等のスペックやスケジュール等を国で定めた上で, HPCI 一括課題選定の対象となる計算資源を提供している

機関，若しくは提供する意思のある機関の中から公募に基づき指定することが適当

[イメージ 3] 各分野の課題解決に必要となる特徴的なシステムを持つ複数のマシン

→ 複数のリーディングマシンのうち，1システムは特定高速電子計算機施設のシステムとするとともに，その他のシステムについては，特定高速電子計算機施設のシステムの特徴を踏まえ，どの分野のアプリケーションをターゲットとするか等のスペックやスケジュール等を国で定めた上で，HPCI 一括課題選定の対象となる計算資源を提供している機関，若しくは提供する意思のある機関の中から公募に基づき指定することが適当

(4) 複数のリーディングマシンを開発する場合であっても，その計画についてはメリハリをつける必要がある。

#### 【今後の検討課題】

(1) リーディングマシンがカバーする分野の範囲や性能の考え方については，「将来の HPCI システムのあり方の調査研究」の検討状況も踏まえつつ，更なる検討が必要である。

#### 4. 計算科学技術に係る研究開発の方向性

##### I. 今後の計算科学技術の研究開発の在り方

###### 【共通認識】

(1)前項(3. I)で示したように我が国の計算システムの整備についてはグランドデザインが必要であり、これにもとづいた長期的なロードマップを作成し、計画的に研究開発・整備を進めていく必要がある。

(2)そのため、今後 10 年程度を視野に、

◇リーディングマシンの計画について、ハードウェア技術の動向やアプリケーション分野のニーズ、我が国全体の計算資源の状況等を踏まえ、どのようなスペックのシステムをどのようなスケジュールで整備・運用するか

◇9 大学情報基盤センターも含めた HPCI 一括課題選定に計算資源を提供しているシステムの更新計画(各大学等のシステム更新計画をベースにした全体の整合性を見る観点から、ユーザコミュニティの意見を聴きつつ、必要に応じて調整)

などの内容を盛り込んだ計画を策定し、定期的に見直しをしていく必要がある。

(3)また、今後の計算科学技術に係る研究開発については、ハードウェアとアプリケーションのバランスを考えて進めていくことが必要である。また、近年ニーズのあるビッグデータへの対応、リアルタイムのデータ処理も考慮に入れて研究開発を進める必要がある。

###### 【今後の検討課題】

(1)我が国の計算科学技術インフラの整備を計画に基づき着実に進めていくために、各機関の取り組みについて定期的に評価する枠組みを含め、国として必要な関与の在り方について検討していく必要がある。

(2)なお、継続的にこれらの計画を進めていくために、適切な使用料に関する適切な考え方を検討していくことも必要である。

## Ⅱ. リーディングマシンの研究開発

### 【共通認識】

- (1)リーディングマシンの開発については、最先端の技術開発により今後のスパコン技術をリードすることや、アプリケーション開発者と計算機開発者との密接な連携が可能となるとともに、国内産業への波及効果が期待できることなどから、国内で実施することが重要である。
- (2)リーディングマシンの国内開発における投資効果については、科学的、社会的成果を第一に考えつつも、コンピュータ関連産業への波及効果についても、長期的な視点も含め考慮することが必要である。
- (3)リーディングマシンのハードウェアやシステムソフトウェアについては、我が国として強みのある技術かどうか、国家安全保障上保持すべき技術かどうか、スパコン開発でキーとなる技術かどうか、民間に展開できる(ビジネスとして成り立つ)技術かどうかなどの観点から重点を置く技術を定め、戦略的に進めるべきである。
- (4)また、ソフトウェア開発が高度化、大規模化しているので、アプリケーションが将来にわたって使えるようにすることも、リーディングマシンの開発整備に当たり考慮する必要がある。

### 【今後の検討課題】

- (1)リーディングマシンの開発については、我が国として重点を置くべき要素技術や投資効果も踏まえ、どのように(主体、スペック、スケジュール、コスト、開発方法など)国内で開発すべきか、「京」に要した経費に留意し、コスト縮減を目指し費用の精査をしつつ、更に具体的な検討が必要である。
- (2)リーディングマシン開発に係る投資効果については、更に具体的な検討が必要である。
- (3)我が国でプロセッサの開発を行うことについては、今後さらなる検討が必要である。



(関連する意見)

- 我が国は高性能プロセッサを開発できる数少ない国の一つであり、計算機産業や計算科学技術の一層の発展のためには、何らかのプロセッサ開発を継続すべきである。それにより、システムソフトウェアの開発やネットワークの開発研究も加速される
- 中身のわからないコンポーネントを使って大きなシステムを組むのは非常に大変であり、CPU を作れるものなら是非とも作るべきだと思う
- スパコンのプロセッサ開発力は、科学技術面及び産業面での国家安全保障上保持すべき技術の一つであり、一旦それを止めると技術者が離散してしまい、技術を取り戻すには数十年を要することから、目の先の損益だけで判断するのではなく国家戦略が必要である
- CPU の開発はコンパイラの開発と密接につながっており、例えば CPU を買ってくるだけではコンパイラの開発にも影響がでる。今後はメニーコアになっていくが、性能を出すためにはコンパイラも一緒に開発することが必要である
- 長期的な観点では CPU 開発の議論も重要であるが、CPU 開発にこだわるのではなく、海外の技術を日本でインテグレートして作る方法もあるのではないか。アプリケーションや運用技術といったハードウェア以外の部分にも力を入れなければならない
- CPU の開発ができるならばやるべきであるが、マイクロアーキテクチャは 10 年くらいで世代が変わる。世界を相手にするならマイクロアーキテクチャレベルから開発しないと競争力がなく、それなりの覚悟が必要である

(4) その他の要素技術等については、システムを作る上でどのような技術がクリティカルであり、その中で我が国として重点を置くべき技術が何であり、それをどのように実現するかについて、更なる検討が必要である。

(関連する意見)

- ジョブのスケジューリング等、運用技術についても検討が必要ではないか
- 今後はインターコネクトやI/Oがボトルネックになってくるのではないか
- ローカルディスク、グローバルディスク、アーカイバといった記憶階層の効率的な利用技術についても、世界をリードする技術開発が必要

ではないか

- システムの利用者側からみると、標準化されていることが重要であり、システムソフトウェアに投資をしていくことが必要ではないか
- 省電力、省スペース、高レジリエンスに関する要素技術、また、システム全体の運用性、堅ろう性、保守性に関する要素技術も重要ではないか
- ビッグデータ活用を見据えた共通技術の確立も検討すべきではないか

### Ⅲ. アプリケーション開発の在り方について

#### 【共通認識】

- (1) アプリケーションの開発は、ハードウェアの技術動向も踏まえ、システム整備と並行した開発が必要であり、計算機科学者とアプリケーション開発者が密にコンタクトしながら開発する体制を整え、組織的に行っていくことが重要である。
- (2) ポストペタフロップス時代のプログラミングを考えると、研究者が個人で大きなアプリケーションを開発することは難しくなり、各分野の状況を踏まえつつ、各分野で共用できるような基盤的なアプリケーションソフトウェアを開発し、活用する仕組みを作るべきである。
- (3) 一方で、ユーザがプログラミングしやすい環境の整備も重要であり、ライブラリやミドルウェアを整備するとともに、高性能のコンパイラの開発も必要である。このことはスパコン利用の裾野の拡大や、若手研究者育成の観点からも意義がある。
- (4) アプリケーションソフトウェアを開発する人材については、サイエンスとしての成果だけではなく、ソフトウェア開発に対する評価も考える必要がある。
- (5) 開発したアプリケーションを産業界で利用するためには、開発者の視点ではなく、ユーザのニーズを反映して開発すべきであるとともに、シーズの創出も重要であり、そのバランスが重要となる。また、ユーザから開発者にフィードバックしていく体制の整備も必要である。

(6) 我が国で開発したアプリケーションについては、開発した個人に維持管理を頼るのではなく、コミュニティで維持管理していく体制を構築しつつ、国内外での普及、さらには国際標準を目指すことが重要である。

**【今後の検討課題】**

(1) 今後のアプリケーション研究開発の体制やスケジュールなどの具体的な方策については、更なる検討が必要である。

**IV. 計算科学技術に関する国際協力について**

**【共通認識】**

(1) 今後のスパコンの開発・利用については、解決すべき多くの技術的課題があり、我が国が強い分野は自国で開発を行い、海外が強い分野は協力して開発することにより、効果的、効率的な開発ができることから、国際協力を積極的に進めていくことが重要である。

(2) このような状況の中で、システムソフトウェアについては日米の国際協力の機運が高まっており(今年 6 月に日米合同ワークショップを開催予定)、具体化に向けて関係者の議論が進められていくことが期待される。

(3) スパコンの利用に係る国際協力についても、アプリケーションの共同開発やスパコンを利用した共同研究など、欧米に限らずアジアの国々との連携も視野に入れて、その在り方について検討していくことが重要である。

**【今後の検討課題】**

(1) 国際協力について、どの部分を協力し、どの部分は競争するのか、我が国の競争力を維持するための戦略が必要であり、さらなる検討が必要ではないか。

## 5. 利用の在り方(利用環境, 産業利用促進等)

### I. スパコン利用の促進・利用環境の整備

#### 【共通認識】

- (1) 計算科学技術により我が国の科学技術の一層の発展, 強化を図るためには, スパコン利用者の裾野の拡大やより使いやすい利用環境の整備などにより, スパコン利用の促進を図ることが重要である。
- (2) ユーザの裾野拡大も含め利用促進を図るためには, 簡便な申請手続や使いやすいアプリケーションの提供, ユーザサポートなど, 利用環境を整備していくことが重要である。
- (3) スパコンの利用環境について, リーディングマシンのように大きなリソースを必要とするシステムと, 多くの人々が自由に使えるシステムとは分けて考える必要がある。

#### 【今後の検討課題】

- (1) 今後のグランドデザインやそこで議論されるシステムの特徴も踏まえ, 利用環境の在り方や利用促進の方策については, 更に検討が必要である。

### II. 産業利用の促進

#### 【共通認識】

- (1) 我が国の産業競争力の強化や計算科学技術の成果の社会への還元などの観点から, 産業界におけるスパコンの利用促進が重要である。
- (2) 企業がリーディングマシンを利用するのは, 高性能のスパコンがどの程度役に立つか, 「試し」を行っているもの。したがって, 実際に企業が本格的な計算を行う際に利用するシステム, いわば「下流」側の体制や, リーディングマシンまでステップアップしていくまでの「上流」側の体制を全体として構築していくことが必要である。
- (3) 産業界でリーディングマシンを利用するためには, 地理的なバランスも含めて国としての支援が必要であり, またアプリケーション環境も整備することが必要である。

(4) 産業界における成果を具体的な事例として公表していただくことが、他の企業への裾野の拡大に重要である。

**【今後の検討課題】**

(1) 産業利用の具体的な利用促進方策については、企業での利用の状況も踏まえ、更に具体的な検討が必要である。

(2) 企業で求める商用ソフトウェアを、リーディングマシンでどの程度利用できるようにするかについては、更に検討が必要である。

(関連する意見)

- 商用ソフトウェアがリーディングマシンでも動くようになると、産業界での利用が広がる
- 商用ソフトウェアがリーディングマシンで動くようにするという事は、リーディングマシン開発を制約することになる
- 商用ソフトウェアが動くリーディングマシンというのは、ソフトウェアがそのまま動くマシンということと、ソフトウェアベンダがその上で新しくソフトウェアを開発したくなるほど魅力的なマシンという二つの可能性がある

## 6. その他

### 【共通認識】

- (1) 人材育成の対象を, HPC 技術の研究開発をする人材(計算機科学と計算科学そのものを研究対象としている人材), HPC 技術を利用する人材, 産業界で求められる人材のようにカテゴライズし, それに応じた人材育成策を実施する必要がある。
- (2) 分野を越えて高度なアプリケーションを開発できる人材を育成すべきであり, その人材の評価の在り方やキャリアパスも含めて考える必要がある。
- (3) アカデミアの研究者を育てるための人材育成とともに, 企業の人間がアカデミアに戻って, 更に深い教育を受けられるような機会も作ることも重要である。
- (4) 計算科学に対する国民の支持・理解を得るためには, 広報や情報発信等のアウトリーチ活動が重要であり, スパコンがどのように役立っているかを, わかりやすい成果で示すことが重要である。

### 【今後の検討課題】

- (1) 今後の人材育成の方策については, 人材のカテゴリごとの課題と達成目標を踏まえ, 更に具体的な検討が必要である。

別表1 国内システムの現状

	特定高速電子計算機施設のシステム (スーパーコンピュータ「京」)	9大学 <sup>(注)</sup> 情報基盤センターの システム	附置研において 共同利用しているシステム	大学共同利用機関法人の システム	独立行政法人のシステム (超高速電子計算機を除く)
位置付け	特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律(共用法)に基づき理化学研究所に設置	学校教育法及び同施行規則に基づき、全国共同利用を目的として大学に設置された施設に置かれるシステム	学校教育法及び同施行規則に基づき、全国共同利用を目的として大学に設置された施設に置かれるシステム	国立大学法人法に基づき設置された大学共同利用機関に置かれるシステム	独立行政法人の設置目的の研究を実施するために設置
役割	産業界も含めた幅広い分野の研究者等に共用	学術利用を中心に幅広い分野の研究者に共同利用	特定分野の研究者を対象に共同利用	特定分野の研究者を対象に共同利用	主として設置法人の研究者に計算資源を提供。ただし、機関の研究開発業務の遂行に支障がない範囲で外部にも提供している例がある
能力	極めて高度な演算処理を行う能力を有する電子計算機(浮動小数点演算を毎秒10ペタ回以上実行する能力) ※「京」の理論演算性能は11.28PF、TOP500(H24年11月)において3位(10.5PF)	H24年10月現在、全体で24システム、総理論演算性能:6,315TF(平均性能:約700TF/センター)。各センターのシステムの総演算性能は31.2TF~2,400TF TOP500(H24年11月)内に10システム;東工大(1,192TF)、東大(1,043TF/102TF)、九大(460TF/167TF)、筑波大(422TF/77TF)、京大(252TF/135TF)、北大(122TF)	TOP500(H24年11月)内に3システム ・東北大 金属材料研究所(244TF) ・東大 物性研究所(162TF) ・東大 医科学研究所(101TF)	TOP500(H24年11月)内に5システム ・高エネルギー加速器研究機構(518TF×2システム) ・核融合科学研究所(253TF) ・分子科学研究所(117TF) ・国立遺伝学研究所(83TF)	TOP500(H24年11月)内に4システム ・日本原子力研究開発機構(191TF) ・海洋研究開発機構(地球シミュレータ:122TF) ・宇宙航空研究開発機構(111TF) ・理化学研究所情報基盤センター(98TF)
運用	・共用法に基づき、理化学研究所が維持管理等、登録施設利用促進機関(登録機関)が中立・公正の立場から利用者選定・利用者支援を行う ・計算機資源の約85%を共用に供し、うち約50%分を戦略プログラムが利用し、約35%分を一般公募利用に割り当て	・各センターにおいて学内外の研究者等を対象に利用者の公募・選定を実施 ・資源の一部をHPCIに提供し、国の委託により高度情報科学技術研究機構が9大学共通の公募・課題選定を実施	・各機関において学内外の特定分野の研究者等を対象に利用者の公募・選定を実施	・各機関において機関内外の特定分野の研究者等を対象に利用者の公募・選定を実施	・主として設置機関の研究者に対し、所定の手続に沿って計算資源を提供 ・地球シミュレータは計算資源の40%を一般公募枠、30%を特定プロジェクト枠、30%を機構戦略枠とし、機構戦略枠の中で有償利用を実施
その他		・人材育成、学内の支援等の役割にも留意 ・7大学と東工大の情報基盤センターは学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点(JHPCN)として認定 ・筑波大は単独で共同利用・共同研究拠点として認定			

(注) 北海道大学、東北大学、筑波大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学

※上記の他、大学等に設置された様々なシステムがある(理論性能合計:国立大学199.02TF、公立大学60.40TF、私立大学33.02TF(平成23年5月調べ))