

次世代計算基盤検討部会 これまでの主なご意見

※議論の振り返りのため、事務局にて各回の議事要旨より抜粋したものであり、すべてのご意見を網羅するものではありません。(斜体は発言者)

※キーワードに事務局で下線を追加しています。

○次世代計算基盤整備の必要性

・ 将来を見通した意義、必要性

- ・ 自国に計算パワーをしっかりと確保する、これがコロナの中で非常に重要であるということが分かったのではないか・(中略)・多分一番重要になるのはグリーンプライオリティーだと思ひまして、この辺は今後、日本がどう考えるかということです。(喜連川委員 (第3回))
- ・ とりわけ日本のCSは全然強くないじゃないかと、いつも言われるわけです。ですから、こういうスパコンの議論というのは、まず使う人がどれだけの価値を生み出すのかという議論から始めるべきであって、CS、情報学のこの委員会というのは、我々情報分野が一体どう強くなるんですかというような、まずそこから始める必要がある。(喜連川委員 (第3回))
- ・ スパコンは要るんですかという、こんなものは要るに決まっているわけで、絶対必要で、今回の「富岳」だって頑張っておられるのは、これはもう要るからやっているわけです。ポイントは、要るか要らないかの1ビットではなくて、ゼロイチではなくて、どの程度の計算資源が必要なんですかということだと思います。(喜連川委員 (第3回))
- ・ 計算を使う側の人たちが、どうしてこれが必要なのか。そして、喜連川先生がおっしゃったみたいに、それをクラウドで、ある形で学术界が使いやすいように、先端のものを固めることによって、少なくとも日本にクラウドベースのスパコンの、また小林先生がおっしゃったみたいに、そこに量子コンピュータも入ってくるかもしれません。違うものも入ってくるかもしれません。そういうものが全部集中的に管理されるセンターをつくることによって、人材も育つでしょうし、技術も日本で保たれるというのは、私はすばらしいアイデアだと思います。(伊藤委員 (第3回))
- ・ 最先端の研究、科学的成果を創出するために、HPCIを引き続き整備・運用していくことは、我が国の科学力、産業力の維持向上に必要不可欠であるというようなことが全ての意見で集約できていると思っております。ただ、ここに示しますように、例えば最初のアーキテクチャの多様性とか、あるいはそれに関連したプラットフォームを整備していくというようなことが強く望まれている(オブザーバー 小林 東北大学教授教授 (第3回))
- ・ 次世代計算基盤を開発すべきであるという論調でまとめるのであるとすれば、

重要なのは、政策として国がこの開発をサポートしなければならないのはなぜか、産業界の自発的な活動だけに頼れないのはなぜか。もうちょっと言うと、政策としてこういうことを実施する場合に、期待すべきアウトプットは何で、国はどこまでコミットすべきか、逆に産業界の自発的活動に任せるべきことは何かと、その辺を少し書き込めると説得力が増すのではないかというふうに思いました。(常行委員 (第6回))

・ **科学技術の各分野、産業界におけるにおける今後のニーズ**

- ・ 計算ができるということよりも、計算ができることによって一体どんな価値が出てくるんだということで、そういう議論というものをユーザ自身がなされて、それを情報系が受け止めるというプロセスにするのが王道かもしれない。
(喜連川委員 (第3回))
- ・ 注目株であるデータというものにスパコンがどう融合していくのか、これは先ほど田浦先生もお話しされたと思いますけれども、こういう視点というのが著しく大切になってきている (喜連川委員 (第3回))
- ・ 計算基盤に私たちが期待するものとして、まず1番は性能です。これはアプリ開発意欲に火をつけるような高い性能を持つ、これは誰しも、研究者もあるかと思えます。そのためにアプリと基本ソフトとハードウェアの同時開発、コデザインというものが重要だと思えますし、それができてこそ初めてスタートダッシュができるというふうに考えています。2点目、使いやすさの観点で、これは我々としては、できるだけ汎用性が高いハードウェアが使いたいし、可搬性の高い数値計算ライブラリが使える環境にしていきたいし、それから、既存の計算機でこれまで開発してきたアプリが割と簡単に移植できるようなものにしていただきたい。(常行委員 (第3回))
- ・ 分子動力学計算で、あくまで私の要望としては、やはり 100倍以上が10年後もまた欲しいなと思っています。その観点では、単なる速度だけを重視するわけではなく、やはり大規模な系というの、細胞やウイルスなどのシミュレーションもできるようにはなっていきたい。なおかつミリ秒スケールで数千種類の化合物、また数百円で1つのペアの計算ができるようになれば、もう実験を超えるようなものになってくると。そう考えると、やはり速さだけを追求するMD専用機よりも、巨大な分子系あるいは大規模なサンプル数を一気にできる、低コストを図るというふうな、そういう全てを追求していくということもやはり考えてほしいというふうに思っています。一方で、やはりMD、分子動力学計算で考えますと、今回の「富岳」のところの我々の唯一の心配というのは、GPUでないというところでございまして、世界ではGPUが進めていると、GPUの並列化というところが驚異的な部分もございまして、その部分は少し懸念点であるというところでございます。(オブザーバー 奥

野 京都大学教授 (第4回))

- ・ ポスト「富岳」の時代はシミュレーションとAIの統合実装がもう常識になっているような、そういうことを考える必要があるのではないか (オブザーバー 奥野 京都大学教授 (第4回))
- ・ 生命科学の都合ですけれども、やはり多くのアプリを組み合わせる必要があります。・・・(中略)・・・個別に使う場合を考えても、全く使い勝手の違う専用機というのが乱立していて、この計算はこのスパコン、この計算はこのスパコンというような形で、それぞれの、異種の環境が用意されたとした場合、ユーザ側としてはやはり非常に使い勝手が悪いと、ユーザにとっては同一の使用感で使えるような、ユーザファーストなマシンであってほしいというふうな、都合のいいような意見をさせていただきたいと思います。さらに、それぞれのアプリというのが独立開発、独立利用するだけではなくて、アプリケーションが無駄なく統合化できる、それぞれが同じフレームで開発していたら、実はそこで統合化されているというふうな、そういう夢のような統合化環境というものもマシンに具備しておいてほしい (オブザーバー 奥野 京都大学教授 (第4回))
- ・ 新しいサイエンスをつくるようなマシンであってほしいと。御案内のように、第1、第2、第3、第4の科学というもので、今データサイエンスが第4の科学と言われていますが、私自身はこの4つを統合化するというのが第5の科学になるだろうと思っています。これが生命科学にとって新しい発見につながっていくと、つまりスーパーコンピュータを使って統合化ができていれば新しい発見につながるというふうな、生命科学の新しい発見に資するのだと、それがイコール、ノーベル賞につながるというふうな、そういう新しいサイエンスをつくるようなスーパーコンピュータになってくれたらいいのではないかと (オブザーバー 奥野 京都大学教授 (第4回))
- ・ いわゆるデジタルツインという、いろいろなものを仮想空間でシミュレーションして未来予測をしていくという世界において、本当の現実世界においてはいろいろなものが、この図にありますように相関関係を持って、実はどういうものが影響し合っているかというのは、人間の理解を超えているところに実は本当の解があるかもしれないという、そういう世界も含めてコンピューティングできたらいいなと思っています。(オブザーバー NTT 川添氏 (第4回))
- ・ 人工知能のモデルというのは全て、ある多量のデータに基づいていて、その上でつくられたモデルはリアルタイムで動くかもしれないけど、モデル自体が、データが変わってしまう場合、AIの性能のギャランティーみたいなところは、元のデータを持ちつつ新しいデータとの再計算ということで、データそのものに対して何かギャランティーをしなくてはいけないシステムが必要になってくるのではないかと思います。(中野委員 (第5回))
- ・ サイエンスが変わるとか、根本的に変わり得るとするのは、やっぱり100倍と

というような、桁違いの計算ができるので、そういうことを想像することに意義があったわけですが、アプリケーション側から見て、それがフラッグシップの価値なんだと思うんですが、・・・(中略)・・・フラッグシップは何のために造るのかというのを、「富岳」を考えていたときとは全く違う考え方をしないと、フィジビリティスタディをするにしてもロードマップが書けないと思うんですよ。要するに、サイエンスとして根本的に違うステージに行けますということ、倍の計算資源では書けないと思います。・・・(中略)・・・八ヶ岳がいいのか、要するにトータルの計算資源を増やすことが恐らくアプリケーションにとってはいいのかもしれないし、あるいは、ある特定のアプリケーションにとっては、特定のアーキテクチャのものが非常に有効である、・・・(中略)・・・ヘテロな計算基盤の在り方というのが、もしかすると次世代の計算基盤なのかもしれないというふうにも思えてくるので、ちょっと今まで「富岳」を考えてきたときのような議論では、次は考えられないのではないかなというふうに思いました。(三好委員 (第6回))

- ・ まずスパコンですが、私たちが一番感じているのは、やはりスパコンというのは、従来の、単なる数値計算というよりは、だんだん利活用の分野が拡大してきている、・・・(中略)・・・実社会時間データを使ったスパコンを活用していくという話、それから HPC as a Service みたいな話等々が今のトレンドではないかなというふうに思っています。もう一方で、では、どうその要求に応じていくかということで、HPC と、それからデータをどううまく使い合わせるか、これは先ほど申し上げた実社会時間データをどう組み込んでいくか、インテグレートするかというところが、データ基盤、もとよりそういうところも課題になってくると思うし、そうなると、要求に応えるためにはクラウドが、ヘテロなクラウド、ハイブリッドなクラウドになるのではなかろうかというふうに私は考えております。これを、裾野を広げるという意味では、使いやすいユーザーインターフェース、専門家でなくても使えるようなものに仕立て上げていく必要があるだろうなというふうに考えております。(オブザーバー 木村 JST 上席フェロー (第6回))

・ 成果の社会実装、国民への還元について

- ・ (例えばポスト「富岳」を議論したとき、100倍の性能が得られたら、シミュレーションとAIに質的な変化というか、さらに何ができたとか、何かそういうのはありますか、との質問に対して) 1つは、高解像度化もできますし、あとは先ほど申し上げたような津波のシナリオを増やして、想定外をなくすような予測ができるですとか、また、予測対象地域を増やす等も可能になるというふうに考えております。・・・(中略)・・・日本全国やるには全系規模が必要というふうな試算もさせていただいています。(オブザーバー 富士通研究所 大石氏 (第5回))

- ・ポスト「富岳」に我々生命科学、創薬、医療の観点から望むところは、実際、現在コロナでもかなり「富岳」が活躍しているというのも事実ですし、私の実感としても、「富岳」であればかなり、「京」と違って、医薬品開発あるいは医療に資するところに来ていると思っています。ですので、スーパーコンピュータが命を守る時代、そういうキーワードが、ポスト「富岳」には必ずなあってほしいと思っていますし、そういうところを目指せたらと思っています。(オブザーバー奥野 京都大学教授 (第4回))

○我が国における計算基盤のあり方

・次世代計算基盤の位置づけ

- ・基盤を何のためにつくるかという、それは情報学の専門家と様々な分野研究者の学際的な研究が行えるハブとしての役割というのが大事で、もちろん HPCI もそういうつもりでやっているとは思いますが、なるべく情報系の専門家と分野研究者が直接つながるような、そのコミュニケーションが活発に行われるような立てつけにする必要があると思います。あと、今後は情報分野のほうも、これまでのスパコンと HPC を中心とした人たちの分野だけではなくて、いわゆるデータ処理、AIというふうに広げていく必要がありますし、使う側のユーザのほうも、いわゆる計算科学中心から、データ駆動科学、データ科学というところに広げていく必要があります。(田浦委員 (第3回))
- ・これまでのシミュレーション科学の推進のための基盤としての HPCI に加えて、最近の AI、データサイエンス分野の進歩によって、大規模データ処理のインフラとしての HPCI の位置づけといったことも重要であろうということが議論されてきました。さらには、そのデータをどのように利活用していくかということで、データの作成者との合意の下での、公共財としてのデータの利活用基盤としての HPCI といったものを考えていく必要があるだろうとの指摘もありました。(オブザーバー 小林 東北大学教授教授 (第3回))
- ・次世代の計算基盤というのは、やはりコンピューティングとサイエンス、それを使ったサイエンス、計算の科学、計算による科学です。こちらが相乗的に進んでいくものが必要である、つまり計算機だけが発展しても駄目だし、それを使ったサイエンスだけが発展しても駄目で、両方ともしななきゃいけないと。そのためにはサイエンスとコンピューティング、サイエンスとサイエンス、コンピューティングとコンピューティング、これらの研究というのが全てこのプラットフォームの上で構成できる、構築できる、こういうふうなことが必要になってくると思います。ともすると我が国のスパコンというのは、どちらかということ、ただ単に使うほうが強調されておりましたが、先日、田浦さんの指摘があったように、コンピューティング自身を進化させるという非常に大きなミッションを担っている (オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第5回))

- 計算基盤の可能性と期待ですけれども、現在、もちろん科学のためにコンピューティングやデータが重要な役割を果たしておりますけれども、もちろんこれまでも計算科学ということで、サイエンス掛けるコンピューティングという分野でスーパーコンピューティングが発展してまいりましたし、今ではコンピューティングとデータということでAIが発展し、またサイエンスとデータということで、データ同化などの新しい応用の発展も期待されるかと思えます。それだけではなくて、サイエンス掛けるサイエンス、多様な科学の融合ですとか、コンピューティング掛けるコンピューティングで将来の計算の探求とか、データ掛けるデータということでデータ融合による価値創造ということにもつながるようなシステム開発が、この次世代計算基盤でできればいい。(オブザーバー 近藤 慶応大学教授 (第6回))
- フラッグシップ計算機というのは、我々は新しいシミュレーション手法開発の起爆剤だというふうに考えています。フラッグシップ計算機がなければやってみようとする思わなかったような新しい計算手法というのがどんどん使われるようになってきています。・・(中略)・・目的に応じて、実はフラッグシップ計算機で新しい手法が開発されたとしても、そこだけで使うのではなく、実は各階層、第2階層以下でも、その計算機資源を使ってできることがたくさんあることが分かってきています。そういうところがどんどん利用できるという環境をつくることが非常に重要です。(常行委員 (第3回))
- 次世代フラッグシップ機開発は、学術分野における学際的ムーンショットプロジェクトであってほしいと、望むならば、できればはやぶさプロジェクトのように、若手、中堅が集まって、もうロマンとドラマを持って取り組んで、これをやり遂げる、成し遂げるんだということを、プロジェクトチームとして熱気と結束を持って進めるような環境を用意してほしいというのが私の願いです。そのようなフィージビリティスタディが、計算機、それから学術界を中心にできたとすれば、そこに量子コンピュータの人たちが関わるのがよいだろうと。(伊藤委員(第4回))
- フラッグシップのような、本当にチャレンジングなものをつくる、基盤を新たに開発するという、日本の技術力の維持とかいうことも含めてするならば、その興奮を多くの人に分かち合えるような、そういう仕組みが必要だというふうに思っています。・・(中略)・・プロジェクト自身をもっとオープンにして、組織を超えた貢献ができて、貢献をした個人がきちんと認知されて報われるという、そういう立てつけにする必要があるのではないかと思います。(田浦委員 (第3回))
- 次世代の計算基盤の役割として、当然ながら、計算とデータによる科学の発展、進化、振興と、それによる社会貢献というのが最も重要な点だと思っています。・・(中略)・・そのために、どのような開発あるいは体制がよいのかというのは、非常に難しいのですけれども、それに資する1つの方向性として、コデザ

インの強化、アプリケーションとの協調設計をより強化して行っていくこと、また新応用分野を開拓するということ、そしてオープンイノベーションプラットフォームの構築というものを意識して開発していくことが挙げられるかと思っております。(オブザーバー 近藤 慶応大学教授 (第6回))

- ・ ハードウェアの普及・展開というのも非常に大事だと考えていて、さらにアプリまで含めたトータルケアというのが、開発だけではなくて、普及に関するトータルケアというのも必要・・・(中略)・・・ハードウェアを開発するとしたら、これはペイする産業としてきちんと育ててほしい。持続的に開発が続けられるような、そういう国家戦略が今後必要になってくるのではないかというのを非常に強く、私個人的には思っている点でございます。(常行委員 (第3回))
- ・ いわゆる日本の中のベンダーがどこまで本気で、このプロジェクト、いわゆるスパコンビジネスというところにずっとやるかというところもかなり影響してくるかなと思っているんですけども、日本の中の産業界をもっと巻き込むといいますが、裾野を広げるといいますか、そういったところも重要かと思う (井上委員 (第5回))
- ・ フィージビリティースタディから開発に流れて、さらに運用フェーズまでというのをいろいろな人が関わりながら貢献できるような体制みたいなものをつくれるといいかと思う (合田委員 (第3回))

・ 次世代計算基盤を構成するシステムの方向性

(HPCI 全体の方向性)

- ・ フラッグシップだけでなく、新規技術の共同開発みたいな、共同開発というのは、要するに企業との共同開発です。実際につくるベンダーとの共同開発が必要な場面というのが今後増えていくのではないかと思います (田浦委員 (第3回))。
- ・ 汎用アーキテクチャプラットフォームである程度の底上げをしつつ、さらにその頂点はいろいろな、ドメイン・スペシフィック・アーキテクチャの組合せで全体のピラミッドをつくっていくというようなイメージが、これから10年から15年後、すなわち2030年代前半あたりのイメージとして持っております。そして、そのポスト「富岳」時代のHPCI構築に向けては、やはりデバイスからシステムアーキテクチャ、そしてアプリケーションと、その垂直統合でいろいろな技術を集約して、研究開発に取り組むというようなことが重要であるというふうに思っているところです。(オブザーバー 小林 東北大学教授教授 (第3回))
- ・ センサーを小さくするとか省電力にするというのは、多分日本が一番強いところだと私は信じていまして、そこを生かして、そこから取れていくデータを、いわ

ゆるアグリゲーションをしてサイバーに上げていって、そこで差別化をして意味のあるデータにするというところが1つのエコシステムの的なものに、もしなれば、すごくいいかなと思っています。(オブザーバー 木村 JST 上席フェロー (第6回))

- ・ ピークのことはもちろん重要だと思っているわけですが、多くのユーザに便益を提供するというような観点での影響力ということで言うと、ネットワーク型に基盤がつながっているという今の仕掛けを強化していくというような方向は、とても重要な部分ではないかというふうに思っている次第でもあります。(相澤委員 (第6回))
- ・ HPCI のシステムとしてのセキュリティをいかに担保するか。特にソフトウェアですね。今、世の中ではソフトウェアのサプライチェーンのセキュリティが大きな課題になっております。・ ・ (中略) ・ ・ では HPCI、今の「富岳」がどうなっているか、「富岳」のシステムソフトウェア、周辺を支えているような情報共有環境、連携環境、それは SINET につながるのかもしれませんが、そういうものがどのような形で、セキュリティ的な意味でのソフトウェア品質を保っているのかは非常に大事だと思います。こういうところに関しましては、後付けというのはなかなか大変で、やはり設計段階から組み入れるというのが大事ですので、ぜひそれを考えていただきたいと思っています。(後藤委員 (第6回))

(フラグシップシステムの方向性)

- ・ 技術的に尖ったものがあつたほうが、こういった大きな視点での研究を続けていく、予算をつけていくということでは重要なのではないかなと思いましたが、1つが、常行先生が御提示されました、新しいサイエンスの領域での問題解決という視点。あともう一つが、これはもう研究者として私自身の反省でもあるかとは思いますが、CS 部分、どうやって尖っていくかという議論。そういった2つの観点での議論が今後必要ではないかと思いました。(山本委員 (第3回))
- ・ アーキテクチャや OS やコンパイラ、こういった基盤部分、こういったところの技術を保持し続けるというのは、新しいタイプの計算機が出てきても必要になる部分ですので、非常に重要であると思いました。(藤井委員 (第3回))
- ・ システムレベルで強みを発揮したほうがいいかなと思っています。ただ、そのためには、やはりチップというんですかね、一番基本のところというのを、きちんと強いものを持たなければいけない(オブザーバー 木村 JST 上席フェロー (第6回))
- ・ コンピュータをつくるには新しいコンピュータが必要、これはハードウェアもそ

- うですし、ソフトウェアも必要だと。・・・(中略)・・・今回、もし将来新しいマシンをつくっていくとか新しいコンピューティングを追求していくのであれば、それはまさに量子計算やニューロモーフィック、脳型コンピューティングなど、新しい計算原理や、それ以外の、今までの計算原理に基づいた計算もより高度化していくと、これらがメインの柱として入っていかなければいけない。(オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第5回))
- ・ 今回開発するとなると、それがインパクトがある、つまりエコシステムに寄与するものをちゃんと最初からつくらなければいけない、後付けではいけないということです。(オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第6回))
 - ・ フラッグシップマシンというのはITの先端を、我が国がまさにITで先端を走るための開発、次世代のITを開発するための下地になるべきだと、それは非常に大きなアプリケーションだという視点が必要・・・(中略)・・・ITで先端を走るためには、フラッグシップマシン自身がITの、そのための1つの道具、それはシミュレーションでもあり、トライアルでもあり、テストベッドでもあり、田浦さんが言っていましたソフトウェア開発含めてテストベッドになるべきだというところが非常に大事な視点だと思います。(オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第6回))
 - ・ システムを含め、あるいはデータの利活用等も含めて、いわゆる大型プロジェクト、加速器といったようなものと同じように、国際連携の仕組みが必要になっていくのではないかとということが議論されております。また、アマゾン等の民間のクラウド型サービスも利活用されている状況を踏まえて、そのようなクラウドサービスとのインターフェースも整備していく必要があるであろうということで、国と民間の境を取り去り、ユーザから見て最適となる全体構成を実現する必要があるだろう(オブザーバー 小林 東北大学教授教授 (第3回))
 - ・ それから、国産技術だけでつくっているわけです。これはフラッグシップとしての旗印には違いないんですけども、これがずっといけるか。・・・(中略)・・・1社、あるいは国産の会社だけでいけるのかということを考えないといけない。(オブザーバー 朴 HPCI コンソーシアム理事長 (第5回))
 - ・ 場合によっては、海外のアプリケーションも含めてコデザインをするのですとか、そのように最初から国際的な連携を含めて開発していくことも重要かもしれませんし、IPや部分的な開発について海外の技術を積極的に取り入れることも、オープンに議論されてよいのではないかと考えています。(オブザーバー 近藤 慶応大学教授 (第6回))
 - ・ コデザインによって本当に今回、「富岳」の場合は富士通さんがつくられたわけ

なんですけれども、アーキテクチャにまで立ち入って開発できたというのは非常に強みだと聞いてまして、聞いたところによると、やっぱり米国でもそこまで各ベンダーに対して踏み込んだ意見は出ていないと聞いていますので、その強みは非常にあったと思います。(オブザーバー 近藤 慶応大学教授 (第6回))

- ・ プロジェクトから始まって、例えばフィージビリティスタディから詳細設計で実装まで、大体六、七年かかっている、さらにそれを5年間、あるいはそれ以上長期にわたって使うということで、大体日本のフラッグシップマシンはほぼ10年サイクルでつくられていて、では次のポスト「富岳」は2030年にできるのかという、もうその時代にはアーキテクチャも全く変わっているでしょうし、いろいろなところでこの長期化というのは大問題だと聞いています。(オブザーバー 朴 HPCI コンソーシアム理事長 (第5回))
- ・ 単一 CPU に頼るといふことのシステムがそろそろ限界かもしれないと・・・(中略)・・・単一 CPU の超巨大システムといふことのメリットとデメリットをきちんと整理する。それから演算加速装置、GPU なんか代表ですけども、今いろんな可能性があります。これがどこまで適用できて、どういうアプリケーションには強いのか、弱いのかといふこと。(オブザーバー 朴 HPCI コンソーシアム理事長 (第5回))
- ・ メインの単一アーキテクチャの GPU ベースのものほかに、何らかのサブシステムを違うアーキテクチャで、やはりサブフラッグシップシステムとして考えるといふのは1つの考え方かと思ひます。(オブザーバー 朴 HPCI コンソーシアム理事長 (第5回))
- ・ 汎用的なエコシステムをなるべく保持しながら性能向上していくといふのは、実は非常に本質的なことだと思ひます。なので、オーダーn アルゴリズムに変化していつて、変な計算アクセラレータみたいなものは実は入れないで、メモリのほうを、一番その主眼的になるメモリのほうを進化させていく、メモリ帯域やネットワーク帯域、I/O 帯域と進化していくようなアクセラレーション技術といふのを開発していくといふのが本流である (オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第5回))
- ・ 計算機アーキテクチャの観点から考えると、HPC ではソフトウェアの多様性といひますか、ソフトウェアの発展を止めるようなハードウェアをつくっては絶対駄目だと思ひておりまして、とあるアプリケーションにがちがちに固定した専用マシンをつくるといふのは、私は反対です。今回の「富岳」で、汎用性をきちんと重視した上で、この性能を達成しているといふのが非常に重要な本質だと思ひます。・・・(中略)・・・将来スパコンをどう使うかを前提にしたコデザインが必

要だと思えます。その中でソフトウェアの多様性を担保する汎用性を保ちつつ、どこまで専用性を使って性能を上げるかという部分の見極めが HPC でのコデザインの重要な点になると考えています。(井上委員 (第 6 回))

- ・ やはり HPC では、ターゲットアプリケーションが複数あること、あるいは新規の応用分野もこれから出てくると想定されること、またさらに、各アプリケーションでもアルゴリズムが日々改良されているということもありまして、ホワイトペーパーで言及されている重要な点としては、やはり特定ドメインで優位性を発揮できる一方で、様々な処理を実行可能な広義のアクセラレータを前提として考えるべきであろうということが述べられています。(オブザーバー 近藤 慶応大学教授 (第 6 回))
- ・ 先ほどのエコシステムと突き合わせると、やはり汎用で、いろんな分野で速く動くものしかつくれないわけですね。そうすると GPU の、ジェネラリティーを持ったものしかできなくて、そうすると、それをウイーク・スケーリングすると、それは homogeneous をつくるしかないわけです。つまり、GPU、CPU で何万ノードあるとか、そういうマシンしか意味がないわけです。(オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第 6 回))
- ・ HPC 系のアプリケーションを対象にコデザインしてきて、だから「富岳」が 4 部門で 1 位ということになっているわけですが、でも、じゃあ売れるマシンができたというふうに思えるかというところ、かなりそっちのワークロードに特化し過ぎているところも否定はできなくて、日本で、例えばこれから IT の産業とかクラウドベンダーとか、木村さんがおっしゃっていたような方向でエコシステムみたいなどころになかなかつながっていかないんじゃないかというのもあると思うんですね。(田浦委員 (第 6 回))
- ・ やはり 100 倍というのは非常に大変でして、あくまでもやはりピーク性能を議論するのは、このムーアの法則が終わっていく時代にとってはなかなか厳しいのかなと、そういう意味でデータのバンド幅とか、あるいはアプリの方にも協力いただいて、64 ビットではなくて、もう少し単精度とか、もう少し半精度とかも含めて使っていただきつつ、実効的な性能を 100 倍にするという、そういうことをアプリの皆様と OS 側の人たちが協力して考えていく、そういう時代に入っていくというふうに考えています。(オブザーバー 近藤 慶応大学教授 (第 6 回))
- ・ 「富岳」も PyTorch だとか、そういう深層学習のフレームワークがきちんと装備されていますが、やはりそういうフレームワーク、ソフトウェアが重要です。・ (中略) ・ 富岳ではハードウェアだけではなく、コデザインでソフトウェア設計もあります、深層学習フレームワークのようなインターフェースのソフトウェア設計というのも何か力を入れていく必要があるのではないかと思います。(上田委員 (第 6 回))

(量子コンピュータ)

- ・ どのデバイス、どの方式に限ってやるというのは、次世代のフラッグシップに関しては、まだ私は早いと思っております。ただ、次世代フラッグシップの方々が常に量子コンピュータの発展を目に入れるという意味では、その人たちをうまく、シミュレーターをつくるようなところでスパコンと、「富岳」の方々と量子コンピュータの人たちが交流を持つとか、そういう機構が必要かなというふうには思っているところです。(伊藤委員 (第4回))
- ・ スパコンの人と量子研究の人が交わる、一番単純で、これは最終目的では全然ありませんが、単純な方法の1つは、スパコン「富岳」を用いてゲート型量子計算のシミュレーターの開発をするということです。スパコン「富岳」で量子計算を実行できるようなシミュレーションをつくる、そうするとスパコンの中堅、若手の人たちが、量子コンピュータとはどういうふうなものか、またその可能性とか現実性ということを経験で分かるようになると思います。(伊藤委員 (第4回))
- ・ 量子コンピュータ等の新しい計算原理に関しては、やはりスーパーコンピュータが必要というところで、4月から理化学研究所でも量子コンピュータセンターが、中村センター長を中心にできましたが、そちらに我々も供与していくと。特に量子コンピュータのシミュレーションを「富岳」で行う、先日 NVIDIA から発表がありましたが、我々のほうが NVIDIA と比べるとはるかに大きいシミュレーションができるので、そのようにシミュレーションをやって、数百 Qubit 級のシミュレーションが行えるようなことを目指すとか、さらに、アルゴリズムの探究。どういうところ、先ほど申しましたカテゴリーで言えば、どうしても最終的には量子アルゴリズムに頼らなければいけない領域は何であるかというところをきちんと探究していく (オブザーバー 松岡 理化学研究所計算科学研究センター長 (第5回))

(ネットワーク (通信基盤))

- ・ 総合的に勝つためには、やはりその辺り、データ転送も含め、本当の意味で実感するところで、そういうところも全部ケアされないと世界には勝っていけないのではないかなというふうに、これはあくまでアプリケーション側の要望でございませけれども、そういう意味での統合化というのが非常に重要であるというふうに主張させていただきました。(オブザーバー 奥野 京都大学教授 (第4回))
- ・ サーバーという箱は必要なくなって、必要な GPU あるいは GPU、あるいはメモリなんかが直接光でつながっていく、この光のデータ伝送路でつながっていくというふうになると、確かに物理的な遅延時間は最後まで残りますけれども、その

許せる範囲であれば柔軟にこういうコンピュータをつくることができ、こういうものが結ばれていく。先ほど冒頭に御紹介したように、今本当にあるロケーションの電力が足りなくてこういう処理ができないということであれば、物理的にそれを分散して、CPUも分散してメモリも分散して、でもこれはあたかも1つの大きなコンピュータであるようにつくる。まさにここに挙げているようなディスクアグリゲテッドコンピューティングと呼んでいますけれども、これを実現していきたい（オブザーバー NTT 川添氏（第4回））

- ・ データ同化の部分と観測部分とシミュレーションの部分は物すごい帯域が必要なんです。だからストレージに、それこそ分散していても駄目だし、ストレージにしまっておけるだろうということはできなくて、リアルタイムに1台のマシンでこれらが結合できなくては、まさに高速な、何ペタバイト・パー・セカンドに動くようなネットワークを活用して、これらが有機的に結合しなくてはいけないわけです。（オブザーバー松岡 理化学研究所計算科学研究センター長（第5回））
- ・ （オブザーバー 川添 日本電信電話株式会社常務執行役員の発表「限界打破のイノベーション IOWN 構想について」を受けて）通信業界としてこういう方向、光に持って行って、計算の部分にまで光が入ってくるということで、どこからが通信で、どこからが計算か分からなくなるよというようなお話も含めて、未来の構想をお話いただきました。我々、次世代計算基盤を考えていくこの部会におきましては、やはりこういう通信基盤がどうなるかということは常に見ながら話をしないといけない（安浦主査（第4回））
- ・ 社会的・科学的課題を見据えつつ、その解決に必要な計算科学、データ科学的なアプローチと、その実現に必要なネットワークも含めた全体のロードマップを示していく必要性（オブザーバー 小林 東北大学教授教授（第3回））
- ・ スパコン屋さんとアプリケーション屋さんというのかなり、特に「京」ができてからすごい密に連携し合うようになっていて、うまくいっていると思っていて、一方でネットワーク屋さんとアプリ屋さんの議論の場というのも結構あるというのは認識しているんですけど、最後のような話を聞くと、その3者がそろった場というのも実は必要な気がしている一方で、そういった機会というのが少ない（合田委員（第4回））

・ アプリケーション開発の方向性

- ・ アカデミアで学術研究としてやるレベルのものだけではなくて、そこから産業界等へ波及していくというのもこれからどんどん増えていくはずで、今既にそうなりつつありますので、その意味で言うと、長い期間使えるように、普及まで含めて、アプリケーションソフトウェアの普及まで含めて考えていただきたいというのが要望（常行委員（第3回））
- ・ 次世代の計算基盤と、それからそれを使う、あるいはそのアプリケーション開

発をするという人たちが、両側が車の両輪になって開発を進めなければいけない。「富岳」ではこれは非常にうまくいったと思いますが、それを続けて、さらに躍進させなければならぬ。また、アプリケーションは、つくった人だけではなく、世の中に、あるいは世界に広まるような形で、それを使った人が次のアプリケーションをつくるというようなエコサイクルができる必要があると思います。(オブザーバー 朴 HPCI コンソーシアム理事長 (第5回))

・効果的な運用、利活用促進について

- ・ ユーザにとっては実際に運用する段階でサポート体制が充実されているということが非常に重要ですので、サポートがしづらいようなスパコンであると、これは何をやっているか分からないと、一部の人しか使えないようなスーパーコンピュータにやはりなってしまいますので、サポートのことも考えてスパコンの仕様というのはやはり考えないといけないだろうと思っています。(オブザーバー 奥野 京都大学教授 (第4回))
- ・ 今は調達機関のほうが圧倒的に多くて、種類のほうが圧倒的に少ない。ですから、もうちょっと考え方をリセットすることも必要、つまり調達力を大きくして、よりリッチなものを選ぶ・・・(喜連川委員 (第3回))
- ・ 長期的展望において、現状のようにスパコンを本当にばらばらに、つまりここにあるのはほとんど同じスパコン、これを全部ばらばらに、本当に多機関が維持するんですかということです。何でクラウドにしているのかというと、計算リソースを維持管理できるようなパワーがないからコンソリデーションしている。それと同じような構図がもう既に、ここに厳然として見えているということを我々は直視する必要があるのではないかと。こういう議論というのは、いまだかつて情報委員会でもしたことがないのではないのかなと思います。(喜連川委員 (第3回))
- ・ コンソリをどういうふうにかえるのかというのは、もう何回も話には出ながら、やはり消えてしまっています・・・(中略)・・・今の時期だからこそそういう議論ができると思いますので、ぜひこの委員会でも考えていきたい問題 (高橋委員 (第3回))
- ・ 具体的には調達の話とか、そういうような自分たちの思う方向に物事を進めていく、そこに至る道みたいなどの、多少理想的な話とは違うかもしれないけれども、でもそのアプローチに関して自分たちでできることの範囲がどこなのかというところをうまく切り分けて、この中で議論できたらいいのではないかと (相澤委員 (第3回))

・分野振興、人材育成について

- ・ キャリアパスは非常に重要でして、やはり活躍する場をつくり上げるということが必要なと、特にシステムなりコンパイラなり、システムソフトウェア関係でしょうか、そういうところで研究した方が、やはり産業界で活躍できるような出口がしっかりできているということが必要なと思います。そういう意味で、やはり産学連携、この分野は必要、ますます重要になってくると思いますし、若い人が出口がわかりやすいアプリだけでなく、その基盤となる技術にも興味を持てるように、HPCI の開発に必要なあらゆるレイヤーで、やはり出口をしっかりと、産業界と連携してつくり上げていくということが必要なと思っています。(オブザーバー 小林 東北大学教授教授 (第3回))
- ・ 若手の先生方がもっともっと身近に使えるようにすることが一番重要 (喜連川委員 (第3回))
- ・ ハードウェア、アプリケーションというのは非常に重要だけれども、やはりそれを使っていく段においては人にお金をつけてほしいというふうな、その裾野をどんどん広げなければ、本当の意味でスーパーコンピュータを使いこなす、あるいは計算機を使いこなして生命科学の新たな発見につなげるようなところにまでは結局行かないと思っています。(オブザーバー 奥野 京都大学教授 (第4回))
- ・ (アプリ開発の) 予算規模は、実に「京」の時代の3分の1以下に落ちていきます。これは非常にゆゆしき状態だと思っています。もちろん文科省の計算科学関係の予算が絞られているのは重々承知しておりますけれども、結果的に小さく散ってしまって、それでそれぞれのところでなかなか人材育成ができなくなっているというのが実情です。この部分に関してはぜひとも何とか改善してもらいたい・・・(中略)・・・人材育成に関してはソフトウェアの利用者と開発者に分かれるわけで、もちろん利用者のほうが圧倒的に多いんですけども、それぞれの両方が必要で、コミュニティの中でそれをどうやって育成するかというのが重要だと思います。(オブザーバー 朴 HPCI コンソーシアム理事長 (第5回))

○その他の観点

(計算データ)

- ・ 計算した人が1次データとしてそれを使うときのデータという意味ではたくさんございますので、それをどう処理してデータ科学として使っていくかというところは非常に大きな課題 (常行委員 (第3回))
- ・ やはり HPCI がデータ解析流通基盤として今後重要になっていくであろうという認識の下で、そのデータをどう維持していくかというところが問題になるであろうという指摘がありました。どうしても研究者の皆さんはデータを作り出すまでは熱心ですけど、データを維持し、利用可能な形で展開することには躊躇する傾

向がありますので、どういうインセンティブを与えながら維持体制、保守体制、管理体制を作っていくかが課題と思います。あとは、やはりオープンサイエンスという流れと、あと企業との連携でクローズドな形の中で、どのようにその権利を守っていくかだとか、そういうようなところでいろいろな課題があると思いますので、そこを解決して、基盤として発展させていければというような議論がありました。(小林委員 (第3回))

(電力)

- ・ NTT、実は今、日本の総電力の約1%を使っている状況です。これがさらに今と同じ勢いで伸びてしまうということは本当に問題であり、これを解決していかな
いと ICT の発展はないだろう (オブザーバー NTT 川添氏 (第4回))