

国立研究開発法人理化学研究所 御中

2022年度 スーパーコンピュータ「富岳」の
波及効果に関する分析調査
最終調査報告書
(日本語版)

2023年3月31日

Hyperion Research Holdings, LLC

注)このページは意図的に空白にしています。

エグゼクティブ・サマリー

調査背景

本調査は、ハイペリオン・リサーチ社が実施した「京」の総波及効果を調査したものに続くものです。前回の「京」の波及効果の調査結果の詳細については、付録を参照してください。本調査では、スーパーコンピュータ「富岳」の重要性と潜在的な影響力を評価します。

本調査は、ハイペリオン・リサーチのアナリストが最初に開発し、米国エネルギー省に適用して成功した手法を用い、「富岳」のユーザーを対象に、この最先端のスーパーコンピュータの「波及効果」、すなわち画期的な科学技術革新と経済的利益を可能にするコンピュータの重要性と影響力を定量的に調査しています。

主な結果

本調査の主な結果は以下の通りです：

1. 「富岳」への投資額の 68～90 倍を超える潜在的な経済的収益が見込まれるだけでなく、さらなる科学的知見を得ることも可能です。
 - 「富岳」では、すでに 40 億ドル以上の収益を上げる 6 つの主要なプロジェクトが成功しており、「京」での同様のベースプロジェクトからは、少なくともその 10 倍以上の収益が見込まれます(合計で 150 億米ドルの経済効果があります)。
 - さらに、「富岳」で行われた多くの COVID-19 プロジェクトの成果は、死亡率を下げ、日本経済を停止させない方法を見つけることに関わり、莫大な社会的・経済的価値を生み出しました。経済的な削減効果をすべて「富岳」に求めることはできませんが、数兆ドルの削減効果のうち、少なくとも 500 億ドルから 750 億ドルは「富岳」の研究に起因するものであると想定されました。これは、15 億ドルの投資に対して 33 倍から 50 倍のリターンがあることとなります(経済を停止させないことによる)。
 - さらに、その投資の 10 倍から 15 倍の追加投資が、新しい産業プロジェクトによって可能です。これらのプロジェクトの多くは、直接的な経済的利益を目的とした AI などの新技術を使用した重要なものであり、その経済効果は合計で 150 億ドルから 225 億ドルにもなります。理研は、大幅な(10 億米ドル以上の)収益を生み出す可能性のある産業プロジェクトに深く焦点を当て、大規模な産業支援プログラムを構築しています。
 - さらに、主要な SGD(気候変動問題、持続可能性、エネルギーコストの削減、疾病予防、より良い医療アプローチとがん治療、経済成長、自然災害への対応強化によるコスト削減など)に取り組むことによる将来の可能性もあります。これらの分野での将来の成功を予測することは困難ですが、15 倍以上の潜在的なインパクトがある可能性は非常に高いです(少なくとも 225 億ドルの経済価値をもたらします)。
 - 要するに、潜在的な経済価値の総和は：
 - 「京」で実現したようなプロジェクトから 150 億米ドル(6 つのプロジェクトですすでに 40 億ドル以上が達成されている)。
 - COVID-19 の期間中、日本経済を停止させないようにすることで 500 億ドルから 750 億ドルの収益。
 - 大型産業プロジェクトで 150 億ドルから 225 億ドル。
 - そして、SDGs の重要な目標に取り組むことで、225 億ドル以上の可能性があります。
 - 合計で 1,020 億ドルから 1,350 億ドルの経済的価値があります。
 - これは「富岳」への投資の 68 倍から 90 倍のリターンに相当します。

2. 研究者は「富岳」の設計と運用に満足しています。
 - 「富岳」のシステム設計や運用を気に入っている研究者の割合(90%以上)は、ハイペリオン・リサーチの調査でもトップクラスであり、システム設計に満足していないと回答した研究者はわずか数名でした。
3. 「富岳」は、高価値な SDGs やデジタルツイン社会の実現にフォーカスしています。
 - 「富岳」は、社会にとって重要であり、日本経済に役立つ SDGs を重視してきました。経済的にポジティブな方法で変化を促すことに重点を置いています。他の多くの国では、主要な SDGs への取り組みを分離し、経済的側面にはより限定的な焦点を置いています。
 - SDG's に取り組むプロジェクトにおいて、すでに 66%の回答者が有益な結果を得ています。
 - SDGs の推進やデジタルツイン社会の実現に「富岳」を利用したことがある、または利用する予定があると回答したユーザーが 88%と大半を占めています。
 - ある言葉を引用します:「国家的なスパコンは必要だと思います。Society5.0 では、デジタルツインのようなデータ駆動型社会でコンピュータが支配する世界に近づくので、大規模な計算が絶対に必要になります。」
4. 「富岳」は、産業の成長を支援し、企業が経済的価値を生み出すことに重点を置いており、先行研究開発に重点を置いているわけではありません。
 - 理研は、他の多くの国よりも産業界に配慮した強力な産業支援プログラムを持っています。
 - 日本企業の経済成長と競争力を高めることに(長期的な研究開発だけでなく)、より直接的に重点や注目が向けられています。

その他の主な結果

5. 「富岳」がなければ、多くの回答者が「プロジェクトは不可能」と回答し、あるいは「プロジェクトは継続できるが、データが著しく不足する、あるいはスケジュールが著しく長くなる」という回答もありました。
 - 「富岳」が日本の社会に貢献したタイムリーな例として、日本の COVID-19 対応戦略を形成した研究が挙げられます。「富岳」のシミュレーションにより、ウイルスのメカニズムを解明し、パンデミック時の一般市民の安全な行動基準やガイドラインを作成しました。
6. 経済的な収益を伴わない科学技術革新への波及効果も、「富岳」は世界の有力コンピュータの中でも際立っていました:
 - 「富岳」コンピュータを利用した評価プロジェクトの 4 分の 1(27%)が、**科学的重要性**のカテゴリーで最高位にランクされました。
 - 評価プロジェクトの 3 分の 1(35%)が、**科学的影響度**の高いカテゴリーにランクされています。
7. ユーザーの約 3 分の 2(68%)が、「富岳」の研究プロジェクトに企業が参加したと回答しています。
8. 「富岳」の仕様が適切であるとの回答が 81%と過半数を占めました。
9. ほとんどの回答者(71%)が「富岳」で新しい研究を計画しています。
10. 回答者全員(100%)が、日本が「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を維持することが必要であると主張しました。

「富岳」ですでに実現した注目の技術革新

- 難治性心疾患のメカニズム解明
- 大規模数値シミュレーションによる地震発生から地震動・地盤増幅評価までの統合的予測システムの構築とその社会実装
- 廃炉プロセス中の原子力発電所のフルスケール 3 次元 FEM モデルによる耐震評価
- 新薬開発を加速するインシリコ創薬基盤の構築
- 雲解像スケールを見据えた全球高解像度気候シミュレーション
- プレシジョンメディスンを加速する創薬ビッグデータ統合システムの推進
- 大規模分子動力学計算によるポリマー破壊特性の解析
- 「富岳」を利用した革新的流体性能予測技術の研究開発
- 磁場閉じ込めプラズマの安定性限界に対する熱イオンの運動論的効果の解明
- 脳結合データ解析と機能構造推定に基づくヒトスケール全脳シミュレーション
- master field 格子 QCD による標準理論を超える物理の探索
- 核融合プラズマにおけるマルチスケール乱流効果の解明
- 磁性材料第一原理計算の DB 構築
- 核融合炉心プラズマの大域的乱流シミュレーション

目次

	P.
ハイペリオン・リサーチの見解	i
エグゼクティブ・サマリー	iii
<hr/>	
主な結果	iii
本報告書において	1
<hr/>	
主な調査目標	1
調査結果	3
<hr/>	
調査結果：日本の研究者の見解	3
「富岳」を利用した研究分野は何ですか？	3
「富岳」で達成した主な研究成果について、「富岳」のような計算機を利用することはこの研究にとってどの程度重要でしたか？	3
もし「富岳」が無かったら、どうなっていたとお考えですか？今回達成した成果をすべて出すことができますか？	4
「富岳」は日本全体の社会や研究にどのような貢献をしたとお考えですか？	5
GPU(ハイエンドシステムで一般的になりつつある)などのアクセラレータを搭載した計算機と比べて、「富岳」の利用はいかがでしたか？	6
「富岳」の入出力システムは、あなたのアプリケーションや研究プロジェクトに役立ちましたか？a 有用であった点を教えてください。	
b.改善すべき点がありますか(あなたの経験による)？	7
「富岳」について他の観点から、今後の HPC のために改善すべき点がありますか？	9
「富岳」の設計で改善された点(「京」の設計と比較して)で、役立った点はなんですか？	9
「富岳」を利用する上で、なにか問題はありましたか？	10
「富岳」の外部環境との連携や接続、親和性は十分でしたか？	
改善が必要と思われる点はありませんか？	11
「富岳」は ARM ベースで設計されましたが、その選択が良かったと考えられる点、悪かったと考えられる点は何ですか？	12
評価してほしかった計算パターンはありませんでしたか？(deep learning など)	13
あなたの研究・開発において、「富岳」を活用して SDG's の推進やデジタルツイン社会の実現に資するテーマは行われましたか？あるいは今後その予定はありますか？	14
どのような観点であなたの研究テーマが、SDG's の推進やデジタルツイン社会の実現に役立つとお考えでしょうか？	14
あなたの研究・開発において、「富岳」を活用して SDG's の推進やデジタルツイン社会の実現に資するテーマは一定の成果が挙げられましたか？または挙げる見込みが立っていますか？	15

成果が挙げられず、その見込みすら立っていない場合、「富岳」に何か原因があるのでしょうか？もしあるのであれば、それは何でしょうか？	15
「富岳」は SDGs の取り組みにどのように貢献するのでしょうか？「富岳」を活用して SDG's の推進やデジタルツイン社会の実現に資するテーマにおいて、「富岳」はこれらを推進するのに相応しい仕様になっていましたか？改善を要する必要があるのであれば、それは何でしょうか？	16
将来の問題として、SDG's の推進やデジタルツイン社会の実現に資するために、「Next 富岳」は、どのようなポリシーで開発するのが望ましいでしょうか？	
また求められる要件は何だと考えられますか？	16
あなたの研究プロジェクトに企業が参加していますか？もしくはあなた自身が民間企業ですか？ どのような理由(目的)でプロジェクトに参加、もしくは「富岳」を利用していますか？	17
その民間企業の目的に叶う成果が挙げられましたか、または挙げる見込みがありますか？	17
その民間企業の目的に叶う成果が挙げられなかった、かつ挙げる見込みすらないような場合、「富岳」に何か原因がありそうでしょうか？もしあるのであれば、それは何でしょうか？	18
富岳は、その民間企業の目的に叶う成果を挙げるために、相応しい仕様になっていましたか？改善を要する必要があるのであれば、それは何でしょうか？	19
将来の問題として、研究プロジェクトに参加した企業の目的に叶う成果を挙げるために、Next 富岳は、どのようなポリシーで開発するのが望ましいでしょうか？	
また求められる要件は何と考えられますか？	19
「富岳」を使って、今後どのように研究を拡大・発展させていこうとお考えですか？	20
「富岳」を利用した新たな研究の予定はありますか？	20
「京」から引き継がれた機能、性能や特長で、あなたの研究に役立つものでは何ですか？	21
「富岳」または「富岳 NEXT」と同じ CPU のマシンをクラウドとして提供した場合、富岳と互換ある計算環境は魅力的ですか？そのような計算資源を利用したいと考えますか？	22
「富岳」からの展望--「京」や「富岳」のような「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を継続することは、日本の研究競争力を維持するために必要でしょうか？	23
このようなスーパーコンピュータを実現するために、国家プロジェクトとして研究開発を行う必要があるとお考えですか、もしくは、その時点で市場からベストマシンを購入する方が良いとお考えですか？	24
日本政府が提唱する「Society 5.0」のような広範な国家的課題に対して、「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」はどのように不可欠なのでしょう？	25
「富岳」は、パブリッククラウドや IoT などインターネット上の他の IT インフラと連携できるよう、クラウド機能をサポートすることが重要でしょうか？	26
次世代の「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」の取り組みにおいて、最も期待することは何ですか？	27
「富岳」に続く「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」に期待する機能・特長・性能はございますか？	27

システム設計の観点から、次世代の「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」で注目したい分野、アプリケーションは何ですか？	28
システムアーキテクチャの具体的な内容以外に、次世代の「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」プロジェクトでは、どこに資金と労力を集中させたいですか？	28
「富岳」がすでに実現した注目のイノベーション	30
「富岳」ROI と ROR の調査結果	31
<hr/>	
「富岳」の潜在的 ROI	31
「富岳」による潜在的な経済的収益の推定	31
経済的リターン前提条件	32
早期 ROR(研究収益率) の結果	35
イノベーションの重要性・影響度の評価	35
「富岳」が可能にした成功事例	40
<hr/>	
事例 1 高効率エンジン	40
事例 2 環境適合型機能性化学品	40
事例 3 地震シミュレーション	40
事例 4 ウイルス粒子のシミュレーション	41
事例 5 災害軽減のための気象予測	41
まとめ:「富岳」コンピュータは、これまでどのような成功を収めてきたのか？	42
<hr/>	
経済的収益の提供	42
科学・イノベーションの成果の提供	42
今後の展望	43
<hr/>	
国家的リーダーシップクラスのスーパーコンピュータを持つことがなぜ重要か	43
付録:「京」の 2020 年の調査からの抜粋	44
<hr/>	
ROI 調査の背景と方法論	44
背景	44
方法論	44
主な結果	44
調査結果:経済的 ROI の結果	45
ハイペリオン・リサーチの ROI 手法の歴史	45
「京」の総合的な経済的 ROI の結果	45
もっと詳しく	48
<hr/>	
関連研究	48

表リスト

	P.
表 2 分野別プロジェクト	3
表 3 研究プロジェクトにおける「富岳」の重要性	4
表 4 「富岳」が無い場合の影響	5
表 5 科学的・社会的貢献	6
表 6 GPU との比較	7
表 7 I/O 属性	8
表 8 「京」と比較した「富岳」の改善点	9
表 9 「富岳」接続に関する問題	11
表 10 Arm の特徴	12
表 11 ベンチマーク等	13
表 12 SDG とデジタルツイン	14
表 13 SDGs とデジタルツインソサエティの達成状況	15
表 14 民間企業の利用	17
表 15 企業目的達成度	18
表 16 企業目標が達成できない理由	18
表 17 新たな研究予定	20
表 18 引き継がれた「京」の特長	21
表 19 クラウドコンピューティングの 魅力度	22
表 20 国家的フラグシップ・スーパーコンピュータの必要性	24
表 21 国家プロジェクトとしての研究開発	24
表 22 クラウド機能サポートの重要性	26
表 23 国家的フラグシップ・フォーカスエリア	28
表 24 すでに成功している「富岳」ROI プロジェクト	33
表 25 「京」を利用したプロジェクトの経済的リターン	34
表 26 イノベーションの重要性	36
表 27 イノベーションの影響度	36
表 28 「京」を利用したプロジェクトの経済的収益	46
表 29 「京」を利用したプロジェクトの経済的 ROI	46

図リスト

	P.
1 イノベーションクラス指数評価	38

本報告書において

ハイパフォーマンス・コンピューティング(HPC)技術は、1960年代のスーパーコンピュータ時代の幕開け以来、日本のベンダーによって大きく発展し、日本のユーザーによって大きく活用されてきました。それ以前にも、日本が初期のコンピュータ技術開発・利用に貢献したことは、スーパーコンピュータ時代を実現する上で極めて重要でした。

リーダーシップクラスのスーパーコンピュータと呼ばれる世界で最も強力なコンピュータは、科学の進歩、国家安全保障、経済発展、生活の質の向上に多大な貢献をしてきました。リーダーシップクラスのスーパーコンピュータは、以下のような社会にとって重要な多くのアプリケーションに不可欠な存在です：

- 主要な病気や疫病への対処：治療法、ワクチン、影響を軽減し命を救う方法を見つける。
- 気候変動への理解を深め、潜在的な解決策を生み出す。
- 生命や財産に壊滅的な打撃を与える可能性のある激しい嵐を予測する。
- 交通、農業、観光産業が必要とする正確な日次・週次天気予報を提供する。
- より良い製品やサービスを通じて、雇用と経済成長をもたらす。
- 発電所の設計と安全性を向上させ、代替エネルギー源を利用する技術を開発する。
- 高度なサイバーセキュリティ侵害、内部脅威、電子詐欺を検出する。
- 産業用研究開発を含む応用研究開発における将来の進歩のための前提条件として、基礎科学を発展させる。
- ビジネスや消費者向け電子機器に変革をもたらす新しいコンピューター技術を開拓する。
- その他多くの重要な社会的ニーズに対応する。

世界中の政治指導者は、リーダーシップクラスのスーパーコンピュータの変革力をますます認識し、今後5-6年の間に「エクサスケール」コンピュータと呼ばれる前例のない速度のスーパーコンピュータを開発する世界的な競争において、自国が効果的に競争できるようなイニシアチブを支援しています。ハイペリオン・リサーチの見解では、米国と日本は、科学および産業研究の難題を幅広くサポートできるリーダーシップクラスのスーパーコンピュータの設計において、最も優れた経験を有しています。スーパーコンピュータ「京」と「富岳」は、エクサスケールコンピューティングの実用化に向けた大きなマイルストーンとなります。

主な調査目標

本調査の主な目標は、日本社会における「富岳」の潜在的な価値を明らかにし、日本の研究者にとっての「富岳」の重要性をより理解することです。

本調査では、「富岳」が支援した様々な産業・研究分野に与えた影響を定量的・定性的に検証しています。

この調査の主な目標は以下の通りです：

- 「富岳」がもたらす潜在的な波及効果のうち、主要なものを判定します。波及効果には、非経済的な科学的イノベーションと経済的な収益 ROI(追加収入と利益/コスト削減)の両方が含まれます。
- 「富岳」がサポートする様々な領域における主要なユースケースを検証します。
- 「富岳」が支援する様々な産業や科学的研究分野に与えた影響を定量化・定性的にします。
- ROR イノベーションクラススケールを用いて、研究成果を評価し、ランク付けします。

調査結果

調査結果：日本の研究者の見解

「富岳」を利用した研究分野は何ですか？

今回の調査では、CAE(Computer Aided Engineering)研究分野に属するプロジェクトが大半を占めました(53.7%)。CAE プロジェクトでは、「富岳」を利用して、材料、製造、プラズマ物理・核融合、流体シミュレーション・解析、素粒子理論物理などの分野でイノベーションが生まれました。この調査で 2 番目に多かった研究分野はバイオサイエンス(26.8%)で、神経科学、分子動力学計算、創薬、計算化学などの分野のプロジェクトが含まれています。全体として、報告されたすべての研究プロジェクトは、以下のカテゴリーのいずれかに当てはまります：

- 計算機援用工学(CAE)
- バイオサイエンス
- 気象
- 化学工学
- 地球科学
- 電子設計

大分類別の研究テーマの内訳は下表のとおりです。

表 2

分野別プロジェクト

分野	回答数	回答率
計算機援用工学(CAE)	22	53.7%
バイオサイエンス	11	26.8%
気象	3	7.3%
化学工学	2	4.9%
地球科学	2	4.9%
電子設計	1	2.4%

n=41

Source: Hyperion Research, 2023

「富岳」で達成した主な研究成果について、「富岳」のような計算機を利用することはこの研究にとってどの程度重要でしたか？

研究における「富岳」の重要性を尋ねたところ、回答者は「富岳」がプロジェクトの成功の鍵を握っていることを様々な形で指摘しています。CAE、バイオサイエンス、気象などの分野では、小型コンピュータでは不可能な大規模計算を「富岳」で行っています。また、防災関連のプロジェクトでは、「富岳」の多目的最適化機能により、タイムリーな情報を得ることができます。多くの回答者が、自分たちのプロジェクトは「富岳」の機能を念頭に置いて作られたものであり、「富岳」なしには実現できないものであると述べています。

下の表は、回答者の意識を捉えたものです。回答者のほぼ3分の2(64%)が、「富岳」は自分の仕事にとって必要、かけがえのない、あるいは不可欠であると回答しています。残りの3分の1(31%)は、「富岳」は非常に重要、非常に役立つ、または研究を可能にするのに適していると回答しています。「富岳」が重要でない、あるいは障害になると回答した人はいませんでした。

表 3

研究プロジェクトにおける「富岳」の重要性

	回答数	回答率
必要、かけがえのない、不可欠	25	64.1%
非常に重要、非常に役立つ、適している	12	30.8%

n=37

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “富岳」が利用できなければ達成できなかった。” - 有機分子の結晶構造の予測
- “... 大量の計算が必要で、富岳が必要であった。社内計算機を占有すればできるが、それができないので富岳が必要だった。” - 高分子の分子動力学
- “富岳が必要条件、産官学で必須。” - 生命科学、創薬
- “多目的最適化。1ケースが地球シミュレータで実行していた規模をなん百ケースも実行できた。コロナでは情報を出す1か月くらい前からターゲットを決めるのだが、的確なタイミングで情報を出せたのは富岳があったから。” - 防災
- “富岳を使ったからこそ世界初の大規模計算が回せたという意味では非常に重要。” - 神経科学

もし「富岳」が無かったら、どうなっていたとお考えですか？今回達成した成果をすべて出すことができますか？

「富岳」が無ければ、多くの回答者がプロジェクトは不可能であると回答している一方で、プロジェクトは継続できるが、データが著しく不足する、あるいはスケジュールが著しく長期化するとの回答もありました。「富岳」が無ければ、mod/sim を実行するプロジェクトでは、時間とデータの重要性を天秤にかけて、モデルに与えるデータを制限して出力の質や精度を犠牲にするか、モデルをそのまま実行して大幅に長い計算時間を計画しなければならないでしょう。

下表は、本調査における研究者の心情を捉えたものです。回答者の半数以上(60%)は、「富岳」がなければ自分のプロジェクトは不可能であったと回答しています。残りの回答者(40%)は、「研究はできたが、(範囲や精度などの)劣った結果を出したり、非効率的に結果を出したりしただろう」と述べています。中には、「研究が大幅に遅れてしまい、一般的なシステムで到達できる頃には結果が無意味になっていた」という意見もありました。

「富岳」が無ければ、多くの回答者が自分のプロジェクトは成り立たなかったと回答しています。

表 4

「富岳」が無い場合の影響

	回答数	回答率
不可能	24	60.0%
劣悪な結果、非効率	16	40.0%

n=40

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “実施していなかったか、成果の 10%程度以下であった。” - 有機分子の結晶構造の予測
- “出せない。HPCI ありきのデザイン。すべての成果が出せない。” - 生命科学、創薬
- “小さいモデルでしか動かせないで、今回出したような成果は達成できない。” - 神経科学
- “普通の計算機ではできないテーマであるため、不可能である。” - 創薬・医療
- “時間が掛かったが 5 年とかの数年掛ければできるだろう。” - 高分子の分子動力学

「富岳」は日本全体の社会や研究にどのような貢献をしたとお考えですか？

「富岳」は、日本の研究と社会に広く貢献し、革新的であり、権威のある存在です。「富岳」は、様々な分野の研究能力を発揮し、日本の HPC 技術を世界に発信してきました。本調査では、「富岳」の計算能力が、マルチスケール・統合シミュレーション技術において卓越した成果を上げています。

今回の調査では、「富岳」が専門外の計算科学者に参入の場を提供することで、計算研究の幅を広げることに貢献しているとの指摘が複数ありました。「富岳」が大規模計算の障壁を下げ、より多くの研究分野への応用を可能にしたことで、他分野の科学者が「富岳」の恩恵を受けています。

「富岳」が日本の社会に貢献したタイムリーな例として、日本の COVID-19 対応戦略を形成した研究が挙げられます。「富岳」を使ったシミュレーションでウイルスのメカニズムを解明し、パンデミック時の一般市民の安全な行動基準やガイドラインを作成しました。

回答者の心理分析によると、すべてのプロジェクトが科学的または社会的に貢献していることがわかりました。また、科学と社会の両方に貢献したプロジェクトが全体の 37%を占めました。下の表は、この分析結果を示したものです。

「富岳」が日本の社会に貢献したタイムリーな例として、日本の COVID-19 対応戦略を形成した研究が挙げられます。「富岳」を使ったシミュレーションでウイルスのメカニズムを解明し、パンデミック時の一般市民の安全な行動基準やガイドラインを作成しました。

表 5

科学的・社会的貢献

	回答数	回答率
科学的貢献・研究推進	36	87.8%
社会的貢献	20	48.8%

n=41. 自分のプロジェクトが両方のカテゴリーに貢献したと回答した 15 人が含まれています。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “計算が困難な課題にチャレンジする機会を与え、結果を迅速に得られたことからスケジュールを含む研究の進め方に対する考え方を変えた。” - 有機分子の結晶構造の予測
- “多くの計算ノードがあるので、様々な計算を同時に実行できるので、産業利用にも強化されており、シミュレーションを用いた R&D を加速した。日本の技術力の発展、国威発揚に役立った。” - 高分子の分子動力学
- “現在、シミュレーション科学がいろいろとやられ始めていて、そういったところで医療だけではなく、防災とかシミュレーションを用いて、その結果をデータ科学とリンクするというような貢献になっていると思います。” - ライフサイエンス、生命科学、バイオメカニクス
- “コロナに関しては、感染拡大の抑制、リスク低減のための代替案の提案、各種ガイドラインの策定に寄与した。” - 防災

GPU(ハイエンドシステムで一般的になりつつある)などのアクセラレータを搭載した計算機と比べて、「富岳」の利用はいかがでしたか？

現在の HPC 市場では GPU 技術が急速に向上しており、その優れた速度が多くの分野や用途で新たに利用されていますが、本調査の回答者は、GPU の限界と、プロジェクトに「富岳」を選択し続ける理由を概説しています。

「富岳」のプロジェクトの多くは「京」から移行しており、「富岳」への切り替えの容易さは、GPU が提供する速度向上の可能性を凌駕しています。複数の回答者が、「富岳」の方が GPU よりも使いやすいと述べており、特に、GPU で動作させるためにコードを修正するのに余分な時間と労力がかかるのに対し、「富岳」では既存のコードを修正することなくプログラムを動作させることが可能であることを指摘しています。「富岳」は他の従来型スーパーコンピュータと同じコードを使用するため、研究を効率的に進めることができると評価されています。これらのプロジェクトの多くは、CPU で動作するように作られているため、GPU では動作しない大容量のメモリや特定のソフトウェアが必要です。こうしたプロジェクトが GPU ではなく「富岳」を選択するのは、「富岳」が持つ多数の同時実行能力を活用するためです。

下の表は、回答者グループの全体的な心理を表しています。GPU の劣等感、不向き、難しさなどを理由に「富岳」を優先すると回答した人が 94%と大半を占めました。

表 6

GPU との比較

	回答数	回答率
GPU は劣る、不向き、使い難い	29	93.5%
どちらも難しい	1	3.2%
GPUの方が簡単	1	3.2%

n=31

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “創薬では候補薬剤の探索や生命現象の膨大なケースを計算する必要があり、膨大なノード数を有する富岳の仕様は重要である。” - 創薬・医療
- “大規模計算を同時に大量同時実行に優れている。ひとつを高速実行という意味ではあまりメリットを感じていない。” - 高分子の分子動力学
- “GPU の性能を出そうと思うとチューニングが必要だが、富岳はあんまり苦労しなくてもある程度の性能を出すことができた。” - ものづくり、防災
- “私達の研究は CPU を中心に行っていますので富岳の方が優位です。” - 量子化学

「富岳」の入出力システムは、あなたのアプリケーションや研究プロジェクトに役立ちましたか？a. 有用であった点を教えてください。b. 改善すべき点はありますか(あなたの経験による)？

「富岳」の I/O に対する意見は、全体的に賛否両論でした。多くの回答者が、便利な点と改善可能な点を同時に挙げています。特に多かった「役に立った点」:

- 期待通りに動作した／問題なし
- 使い勝手の良さ
- ステージング機能の削除
- 優れた容量
- 優れた性能

改善すべき点として、注目すべき回答がありました:

- 不安定な性能
- より多くのファイルを使えるようにする必要
- 使い難さ
- 低い容量
- パフォーマンスが悪い

下の表は、「富岳 I/O」に関する最も一般的な意見を捉えたものです。

表 7

I/O 属性

	回答数	回答率
問題なし/期待通り	8	22.2%
使い易さ	7	19.4%
ステージング機能の削除は改善	6	16.7%
十分な容量	6	16.7%
優れた性能	2	5.6%
不安定な性能	8	22.2%
ファイル数が足りない	5	13.9%
使い難さ	4	11.1%
低容量	4	11.1%
低性能	2	5.6%

n=36.複数の属性を挙げた回答もあります。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “ステージングなどがなく、単一空間で使いやすい。容量、I/O 性能ともに不十分。”
- “第1階層と第2階層がキャッシュシステムで明示的にファイルを移動しなくてもよいという機能は有用であった。大規模なデータの出し入れ、並列の計算ノードへのデータの出し入れはいつの時代もトラブルやボトルネックになっているように感じます。富岳でもやはり、ファイルシステム周りのトラブルが多かったですが、ようやく落ち着いてきたようです。”
- “全国の計算機センターにあるスパコンに比べて基本的には使い難いというのが共通認識だと思う。使い難くはあるが、その分大きい計算ができる。”
- “ストレージの量は問題なかった。一方、ファイル数の制限は増やしていただいたが、それでも足りなかった。(整理が悪かったことは反省点である。)”
- “データの入出力自体には大きな問題なく課題を実施できた。一方、ファイル容量の上限が厳しく解析に使えるデータが制限された。”
- “我々実務者が普段使っているようなクラスタ計算機で使っている環境と近いので使い易かった。”
- “普通に利用できた。京の時にはステージング機能があり、計算中にインタラクティブにファイルにアクセスができなかったが、今回それはできたので使い勝手が良かった。”

「富岳」について他の観点から、今後のHPCのために改善すべき点がありますか？

本調査のユーザーが望む「富岳」の改善点はいくつかあります。複数のユーザーが、メモリアクセスのボトルネック、マシンの過密状態、およびさらなる教育の必要性を指摘しています。

主な意見:

- “富岳を使い始めた最初の頃は1ノードの48コアを全部使うのは難しかった。メモリアクセスが高速ではあるが、コア数が多いためどうしてもメモリ不足に陥ってしまう。難しいかもしれないが、CPUに関しては何か考えないといけない。” - ものづくり、防災
- “ファイル転送が遅い。富岳からデータ転送をする際に遅い。” - 生命科学、創薬
- “数個の短時間(10分間程度)の実行可否確認等の計算ジョブは、すぐに走るようにしていただきたい。試し計算の順番を長時間待たされると、人間の労働時間に影響を及ぼしてしまう。” - 有機分子の結晶構造の予測
- “パッケージシステムがもうちょっと良いのがあるといい。SPACKが独特であったのと用意されているパッケージの種類が十分には整備されていなかった。” - 神経科学

「富岳」の設計で改善された点(「京」の設計と比較して)で、役立った点はなんですか？

この調査に回答した36名のうち、28名が「富岳」のデザインについて、「京」のデザインよりも優れている点を1つ以上挙げており、残りの7名の方は「京」の利用経験がないと述べています。注目すべき改善点は以下の通りです:

- ファイルステージングの削除
- パフォーマンス
- メモリ
- コンパイラ/コード
- コア数
- 使い易さ
- ノード数
- ファイルシステム
- アプリケーション

下の表は、調査グループから挙げられた最も一般的な改善点を捉えたものです。

表 8

「京」と比較した「富岳」の改善点

改善点	回答数	回答率
ファイルステージングの削除	8	27.6%
パフォーマンス	5	17.2%
メモリ	4	13.8%
コンパイラ/コード	4	13.8%
コア数	3	10.3%

表 8

「京」と比較した「富岳」の改善点

改善点	回答数	回答率
使い易さ	3	10.3%
ノード数	2	6.9%
ファイルシステム	2	6.9%
アプリケーション	2	6.9%

n=29. 複数の改善点を挙げる回答もありました。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “使用した感じは京とあまり変わらない。強いて言えば、プリインストールアプリが豊富なところ。”
- ”ステージング機能は明らかに良くなった。SPACK が使い易かった。”
- “京では多くのアプリが実装するのに苦労したが、富岳は格段に動くアプリが増えた。”
- “ステージングが無くなったことは非常にありがたい。。最新のコンパイラが提供されたことは非常に大きかった。”
- “フロントエンド～バックエンドの切り分けがなくなった点はよかった。(ステージング機能を含め)”
- “よく使われるコードやコンパイラが整備されていた。そのおかげでスムーズに利用することができた。”

「富岳」を利用する上で、なにか問題はありましたか？

回答者が述べた問題点は、アンケートで先に提案された改善点とほぼ同じであることがわかります。メモリーアクセスのボトルネック、システムへのアクセスの難しさ、システムの使用に関する学習曲線などを指摘したユーザーもいました。

主な意見:

- “仕方がないことであるが、アプリによっては速度が出ないものがある。”
- ” 1 ファイル出力先が突然変わった。2 ファイル転送が遅かった。3 言語関連は年に数回更新され、古いものが使えなくなるのが困った。早めにアナウンスをすとか、サポートを長めにしたい。4 電力で 1/3 停止した際に使えなくなって困った。5 ログインした際にホームディレクトリの領域が小さく直ぐに溢れてしまう。課題用のフォルダはサイズが大きいので、通常ユーザは課題フォルダでデータを作って共有する。しかし、ログインした後にディレクトリを移動しないでデータを作ってしまったらするので、すぐにホームディレクトリ領域が溢れてしまう。”
- ”コンパイルが大変。いろいろなフリーソフトがまだ使える環境になっていない。Python など使うことが多く、機械学習用のソフトと連携ができないことで困った。”
- “期間により大変混雑し、所望の計算が流れないことがある。難しいと思うが、ある程度の混雑状況を予測できると良い。”

- “I/O 性能が非常に不安定で、思うように計算が実行できなかった。特に Fortran のコンパイラ関係の不具合が多かった。また、電力問題などもありジョブを登録してから実行されるまでに非常に時間がかかり、検討が思うように進まなかった。”
- “メモリサイズ問題で有効な大規模な並列計算ができない。”

「富岳」の外部環境との連携や接続、親和性は十分でしたか？改善が必要と思われる点はありませんか？

「富岳」ユーザーの大半は、外部環境との連携・接続・親和性が十分であると回答し(73%)、残りのユーザーは潜在的な改善点を挙げています。ファイル転送速度については、「共有ストレージへのデータ移動に時間がかかり、プロジェクトで必要とされる機械学習には遅すぎる」というコメントが3名から寄せられています。また、「データの制限」も改善すべき点として挙げられ(回答者5名)、大容量データの読み込み、転送、ダウンロードの際に発生する困難さを挙げています。以下の表は、最も多かった回答をまとめたものです。

「富岳」ユーザーの大半は、外部環境との連携・接続・親和性が十分である(73%)と回答しています。

表 9

「富岳」接続に関する問題

	回答数	回答率
問題なし	27	73.0%
データの制約	5	13.5%
遅い	3	8.1%
セキュリティが煩雑	2	5.4%

n=37

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “富岳から供用ストレージに移しているがファイル転送が遅い。”
- “不十分。データ転送が遅いの富岳の中で完結したいができない。計算結果を使ってさらに機械学習するなど、使い慣れたツールが使えない。データが大きいので会社にも持ってこれない。”
- “共有ストレージへのファイル転送に時間が掛かりすぎて、結果的にデータ転送ができなかった。結局富岳側に保管した。”
- “会社側のセキュリティの都合により、共用ストレージを使用できなかった。(認証ができず、マウントができなかった)”
- “京のときと比べて外部からのアクセスが非常に良くなった”
- “普通に使えた。データ移動も問題なかった。SINET 同士で高速に処理できた。”

「富岳」は ARM ベースで設計されましたが、その選択が良かったと考えられる点、悪かったと考えられる点は何ですか？

Arm ベースの選択については、回答者の意見が比較的分かれました。意見を述べた回答者の 3 分の 1 (35%) は、Arm は使い易い、あるいは問題がないと回答しています。しかし、別の 3 分の 1 (29%) は、Arm は使い難いと回答していたり、互換性に大きな問題があると回答しています。また、「動作が遅い」としながらも、「パワーがある」「高性能である」と評価する回答も多く、複雑な心境であることが伺えます。

最も一般的なポジティブな機能：

- 使い易く、問題なし
- 電力/動力性能
- パフォーマンス
- メモリ帯域幅
- 優れたユーザー環境
- アプリケーションの拡大

最も多く挙げられた不満点：

- 使い難さ/互換性の問題
- レジスター不足
- 遅い
- 低性能

Arm の特徴について、最も多かった回答を下表にまとめました。

表 10

Arm の特徴

	回答数	回答率
使い易く、問題なし	11	35.5%
電力/動力性能	8	25.8%
パフォーマンス	3	9.7%
メモリ帯域幅	3	9.7%
優れたユーザー環境	2	6.5%
アプリケーションの拡大	2	6.5%
使い難さ/互換性の問題	9	29.0%
レジスター不足	3	9.7%
遅い	3	9.7%
低性能	2	6.5%

表 10

Arm の特徴

	回答数	回答率
--	-----	-----

n=39.複数の特徴を挙げている回答者もいます。簡潔にするため、1人の参加者のみが言及した機能は除外しています。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- ”良かった点:節電になっている点、悪かった点:多少作業が煩雑になった点。”
- ”良かった点:高い演算性能とメモリバンド幅を両立できた、悪かった点:設計開始から利用開始まで情報が少なく、かつ開発に比較的長期間を要した。”
- ”良かった点:電力性能が良いというのが良かったと思います。悪かった点:アプリケーションの最適化が富士や富士類似の機械でしかできなく、またそのような計算機はユビキタスではないところです。”
- ”良かった点:低電力、悪かった点:クロックが比較的遅い。”
- ”良かった点:おそらく電力使用量が小さいために大きなシステムを比較的安価に導入できた。そのため大規模計算が可能になった。悪かった点:動かないソフトウェアがあること。”

評価してほしかった計算パターンはありませんでしたか？(deep learning など)

「評価してほしかった有用なベンチマークがあれば教えてください」と質問しましたが、回答は各プロジェクトで大きく異なりました。この質問に対して、約半数の回答者が「特になし」と回答しました。以下の表は、最も一般的な回答をまとめたものです。

表 11

ベンチマーク等

	回答数	回答率
AI/ML/DL	4	22.2%
インテルとの比較	2	11.1%
特定のプログラミング言語(Python、C/C++)	2	11.1%
AlltoAll 通信	2	11.1%
サイズ制約	2	11.1%
MD	2	11.1%

n=18.複数のベンチマークを選んだ回答者もいました。簡潔にするため、1人の参加者のみが言及した計算を除外しています。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “FFTなどで利用する AlltoAll 通信性能。(通信の階層性やランクマップを考慮した上での性能評価データ)”
- “ディープラーニングにおける Python での実装事例など。”
- “GROMACS の性能値があったので良かった。”
- ”システムサイズの制約などが分かる指標が欲しかった。物質材料の研究は課題がまちまちで決まった使い方がなく、すべてがディープラーニング的にやるわけでもない。データ科学に対してディープラーニングで対応しましたと言われても我々の場合にはそれだけでは十分ではない。”

あなたの研究・開発において、「富岳」を活用してSDG'sの推進やデジタルツイン社会の実現に資するテーマは行われましたか？あるいは今後その予定はありますか？

SDGsの推進やデジタルツイン社会の実現に「富岳」を利用したことがある、または利用する予定があるユーザーが88%と大半を占めています。下表をご覧ください。

SDGsの推進やデジタルツイン社会の実現に「富岳」を利用したことがある、または利用する予定があるユーザーが88%と大半を占めています。

表 12

SDGsとデジタルツイン

	回答数	回答率
はい	35	87.5%
いいえ	5	12.5%

n=40

Source: Hyperion Research, 2023

どのような観点であなたの研究テーマが、SDG'sの推進やデジタルツイン社会の実現に役立つとお考えでしょうか？

ここでの回答は様々で、クリーンエネルギー、防災、気候変動予測など、環境関連の研究を挙げる人が多かったです。

主な意見:

- “CO2排出量削減、水不足問題の解決、クリーンエネルギー創出など。”
- “気候変動に関する予測、二酸化炭素などの環境問題のより迅速な把握ができる。”
- “燃料電池の設計等に関係している点。”
- ”燃料電池がテーマなのでクリーンエネルギーを指向している。実験との比較を行うためのデジタルツインの構築も行っている。”
- “製薬の製造過程をデジタルツインでコンピュータで再現しようとしている。”

あなたの研究・開発において、「富岳」を活用してSDG'sの推進やデジタルツイン社会の実現に資するテーマは一定の成果が挙げられましたか？または挙げる見込みが立っていますか？

SDGsに対応したプロジェクトについて、65.7%の回答者が「すでに有益な成果を得ている」と回答しています。この質問に回答した回答者の約半数(49%)は、すでにそのような成果を得ていると回答しています。さらに17%が「ある程度の成果を得ており、今後さらに成果を得ることが期待できる」と回答しています。残りの回答者(34%)は、そのような成果を達成することを期待していると回答しています。SDGsに関する成果を期待していないと回答した人はいませんでした。

SDGsに対応したプロジェクトについて、65.7%の回答者が「すでに有益な成果を得ている」と回答しています。

下の表は、回答者の感覚をまとめたものです。

表 13

SDGs とデジタルツイン社会の達成状況

	回答数	回答率
成果を得ている	17	48.6%
一部成果を得ている	6	17.1%
成果を予定している	12	34.3%

n=35

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “短パルスレーザーを用いた加工技術の基礎などに貢献していると考えています。”
- “はい。基礎技術が確立したので、今後、環境にやさしい燃焼器や火炉の開発・設計に役立てることができる。”
- “まだ試行計算なのでまだそこまでいっていない。見込みはたった、”
- “まだ到達していないが、これから。”

成果が挙げられず、その見込みすら立っていない場合、「富岳」に何か原因があるでしょうか？もしあるのであれば、それは何でしょうか？

この質問に対する回答は2つしかありませんでした。回答者の一人は、「富岳」が成果を上げるためのパフォーマンスが不十分であることを示唆し、もう一人は、研究分野が基礎科学であり、SDGsとは基本的に無関係であることを述べています。

主な意見:

- “「富岳」に関しては性能(主に演算性能)不足のため。今後デジタルツインなどへの展開が想定されるが、「富岳」では未だ時期尚早と判断した。”
- “基礎科学分野の素粒子物理学なので直接的にSDGsにはかかりません。富岳に原因はありません。”

「富岳」はSDGsの取り組みにどのように貢献するでしょうか？「富岳」を活用してSDG'sの推進やデジタルツイン社会の実現に資するテーマにおいて、「富岳」はこれらを推進するのに相応しい仕様になっていましたか？改善を要する必要があるのであれば、それは何でしょうか？

「富岳」は、様々な研究テーマを推進するためのツールであるという意見が最も多かったです。「富岳」は、SDGs やデジタルツイン社会に関連する研究テーマに焦点を当てるだけで、これらのテーマを推進することができます。

主な意見:

- “基礎研究あるいはその特定の解析対象に限った応用研究には富岳のパワーは非常にふさわしかったと思う。一方で医療機関などのインフラがあって、実測のデータを取り込んで解析を双方向でできるような環境があってこそ本当に相応しい仕様になると思う。”
- “富岳では通常の計算機では不可能なスケールの計算が可能であり、大規模計算結果をDB等で公開・提供することが重要である。”
- “SDGs やデジタルツイン社会での利用において、富岳に限らずスパコンを多くのユーザーがリアルタイムに利用することは現実的ではない。そのため、スパコンで実装評価したアプリを商用クラウドなどにすぐに移植し、多くのユーザーがそれらのアプリやDBを利用できる仕組みが必要である。”
- “富岳といっても1台のコンピュータであり、使い方次第だと思う。富岳の設計とか仕様そのものというよりは、もう少し需要を掘り起こすような活動をイベントなどを通じてできると良い。”
- “京ではできなかったものが、富岳で初めて建物と地盤とを錬成して計算できるようになったという意味において、それだけの大規模計算ができることがSDGs やデジタルツインに繋がるような計算ができたことになると思う。”

将来の問題として、SDG'sの推進やデジタルツイン社会の実現に資するために、「Next 富岳」は、どのようなポリシーで開発するのが望ましいでしょうか？また求められる要件は何だと考えられますか？

多くの回答者が、数多くの異なる研究テーマに対応できる汎用性と、多くの異なるタイプのユーザーに対応できる柔軟性を強調しました。また、クラウドとの相互作用が可能であることも、共通の回答でした。

主な意見:

- “グリーンデータセンターをもっと意識する方向に向かうと思う。一方で学習する時は電力を大量に使い、推論ではあまり使わないというように、データセンターとしてエネルギー効率に関する機能をシステムとして持つ必要がある。デジタルツインにおける外部との連携が非常に重要なので、プリ・ポストサーバの充実も重要だと思う。”
- “時代を先取りして将来の方向性を示すようなシステムであってほしい。例えば量子コンピュータを含めた社会に役立つシステム。”
- “多様化する多くのアプリに対応できることが望ましく、その点において、CPU、GPUを共存させて、利用アプリによって適切なハードが走る仕様などが望ましい。さらに、上述の通り、商用クラウドとの互換性なども重要である。”
- “消費電力量に対して性能が高いこと。広く利用が開放されることが重要だと思う。”
- “デジタルツインになるには、現場のデータを取り込む必要があり、実際のデータに合うようにシミュレーションを実行する必要がある。そのため、シミュレーションだけ高速でもだめで、周りとの連携が重要。”

- “大規模場クラウドコンピューティングができる時代なので、ただの計算では魅力がない。企業を後押しするように研究内容にも関与してもらうことで、Next 富岳ならではのポジションのコンピュータになって欲しい。”
- “いかに利用の裾野を広げるかが今度の課題だと考えている。計算科学に精通してる人だけしか有効利用できていないので使えないので、それをいかに拡大していけるかが課題。”

あなたの研究プロジェクトに企業が参加していますか？ もしくはあなた自身が民間企業ですか？ どういう理由(目的)でプロジェクトに参加、もしくは「富岳」を利用していますか？

回答者の約 3 分の 2 (68%) が、自分の研究プロジェクトに企業が参加したと回答しています。企業が参加した理由としては、より大きなコンピュータを利用できること、研究を進めるためであることが一般的です。

回答者の約 3 分の 2 (68%) が、自分の研究プロジェクトに企業が参加したと回答しています。

表 14

民間企業の利用

	回答数	回答率
参加している	28	68.3%
参加していない	13	31.7%

n=41

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “会社の計算機では不足している。学会発表を聞いて使えるなと思った。”
- “自分たちの計算機ではできない計算を実現させるため。”
- “材料開発の基礎となる現象を理解するため。”
- “超大規模計算を活用した材料設計を検討するため。”

その民間企業の目的に叶う成果が挙げられましたか、または挙げる見込みがありますか？

回答者全員が、これらの目的を満たす結果を達成した、または達成する見込みであると回答しました。回答者の約半数 (52%) が、「すでに結果を達成した」と回答しています。また、15% の回答者は、期待する成果の一部を達成したと回答しています。残りの 3 分の 1 (33%) は、将来的に結果を出すことを期待しています。下の表は、回答者の回答をまとめたものです。

回答者全員が、これらの目的を満たす結果を達成した、または達成する見込みであると回答しました。

表 15

企業目的達成度

	回答数	回答率
達成した	14	51.9%
一部達成した	4	14.8%
達成予定	9	33.3%

n=27

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “はい民間企業と共同でやった成果は我々の課題の一つの最大の成果の一つであります。”
- “これまで 1.5 年間で基礎固めの研究を行ってきたが期待以上の結果が得られ、適用範囲は限定的ではあるが成果を挙げられる見込みが得られた。適用範囲を広げるために、今後1年間で応用的な研究を実施する。”
- “はい、挙げられたものと、現在挙げる見込みがあるものがあります。”
- “実務まではいっていないが見込みがある。”

その民間企業の目的に叶う成果が挙げられなかった、かつ挙げる見込みすらないような場合、「富岳」に何か原因がありそうでしょうか？もしあるのであれば、それは何でしょうか？

この質問に対する回答は非常に少ないものでした。「富岳」を責める回答は1名のみで、「計算の待ち時間が長く、予測できない」と回答しています。残りの回答者は、「富岳」以外の問題を挙げています。下の表は、この質問に答えた6人の回答者の意見をまとめたものである。

表 16

企業目標が達成できない理由

	回答数	回答率
「富岳」以外の問題点	2	33.3%
遅い	1	16.7%
N/A -- ノーコメント、産業が目標ではなかった、または結果がまだ期待されている	3	50.0%

n=6

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “社会貢献が第一なので、そう言った意味で挙げられた。”
- “富岳が原因ではなく、利用する我々の問題。”
- “富岳だけの問題ではない。”
- “計算の待ち時間が長く、最終的な結果が出るまでの時間が予想しにくい点。”
- “レベル差はあるが、ある程度出している。民間企業では実施できないような大規模な計算を実施することができた。”

富岳は、その民間企業の目的に叶う成果を挙げるために、相応しい仕様になっていましたか？改善を要する必要があるのであれば、それは何でしょうか？

「富岳」の仕様が適切であると 81%が回答し大半を占めました。改善点については、意見が一致せず、また繰り返し回答された回答者もいました。改善点として挙げられたものは以下の通りです:

- 機密保持の強化が必要
- 一貫性のないパフォーマンス
- ラーニングカーブ
- 制限された問題サイズ
- サービスが不足
- レイテンシーの低減
- インターコネクト性能
- アクセスし難い

「富岳」の仕様が適切であると 81%が回答し大半を占めました。

主な意見:

- “並列化を用いない計算も許容されていることは、企業にとっては良い点であった。”
- “待ち時間を減らすための適切な計算リソースの配分。”
- “相応しい仕様になっていた。秘密保持的なところが弱かった。”
- “演算性能とバランスを取るためのインターコネクトの性能改善が必要。”

将来の問題として、研究プロジェクトに参加した企業の目的に叶う成果を挙げるために、Next 富岳は、どのようなポリシーで開発するのが望ましいでしょうか？また求められる要件は何と考えられますか？

回答者からは、さまざまな方針や今後の改善点などが提案されました。全体的に、使いやすさ、性能、汎用性などを重視した提案が多い傾向にあります。

主な意見:

- “使い勝手が重要だと思う。使ったことが無い人には参入障壁があるので、その取っ掛かりからの使い勝手を良くすることが重要。社内の計算機しか使ってことがないユーザーが使えるようなシステム。小さな計算も多く流せると良い。”
- “目的に特化したコンピュータではリスクがあると思うので、汎用的な計算機であって欲しい。また単なるコンピュータではなく、一歩踏み込んで企業と一緒にやって行けるようなことができると良い。”

全体的に、使いやすさ、性能、汎用性などを重視した提案が多い傾向にあります。

- “性能が圧倒的に高いこと。公開すべきところと非公開とすべきところを現在のようにバランスを取りながら営利企業が使える仕様になっていること。”
- “開発環境と計算環境を構築し易いこと。普段使っている計算機クラスタにできる限り近いものが望ましい。スパコンだからといって特別な操作が必要無いような環境が望ましい。”
- “企業にとっては何に使えるか、容易に使えるか、情報セキュリティは安全かが重要であり、そのためアプリケーションファーストであること、さらに企業データが利用できる十分なセキュリティポリシーが重要である。”

「富岳」を使って、今後どのように研究を拡大・発展させていこうとお考えですか？

この質問に対する回答は非常に多様で、回答者の特定の研究分野に依存する回答が多く見られました。共通していたのは、「富岳」で行う計算の範囲を広げるということでした。

主な意見:

- “高精細(高解像度)のシミュレーションや、素粒子の複数物理階層を含むシミュレーションに発展していきます。”
- “適用範囲の拡大(フライトエンベロープ全域の解析)、デジタルツイン構築に向けたサロゲートモデルの構築ならびにそのための大量解析の実施。”
- “燃焼解析に関して、更なる高精度化、高速化を目指す。”
- “より難易度の高い物性値をトライしたい。また、データベースを公開していくことで新たな方向性を模索したい。”
- “はい。今後も大量の計算資源を必要としており、さらに研究を進め、実際にコンセプトが成立するか見ていきたい。今の計算機は10年後に世の中に広く広がっている計算資源のレベルになってくると思うので、そういったものを使って社会実装がよりし易くなると思う。”

「富岳」を利用した新たな研究の予定はありますか？

ほとんどの回答者(71%)が「富岳」を使った新しい研究を計画しています。さらに15%が「富岳」に関する新しい研究を続けたいと考えています。「富岳」に関する新たな研究を計画していないと回答したのは、わずか4名でした。下の表は、回答者の回答をまとめたものです。

ほとんどの回答者(71%)が「富岳」を使った新しい研究を計画しています。

表 17

新たな研究予定

	回答数	回答率
ある	29	70.7%
検討中	6	14.6%
未定	2	4.9%
ない	4	9.8%

表 17

新たな研究予定

	回答数	回答率
--	-----	-----

n=41

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “ビッグデータと情報データ技術を使った AI。”
- “オーロラをはじめとした地球周辺及び宇宙電磁環境の第一原理解析。”
- “創薬や医療における様々な大規模な探索計算、プロダクトラン。”
- “微量成分を用いた物性制御。”
- “今回の結果次第で決める。”
- “気象・気候と機械学習を組み合わせた研究の比重をあげる。”

「京」から引き継がれた機能、性能や特長で、あなたの研究に役立つものでは何ですか？

調査回答者の多く(63%)は、「京」から引き継いだ良い点を挙げています。最も多かった回答は、全体的に似たような計算機環境であること(32%)でした。その他に多かった回答は以下の通りです:

- 並列性能
- Tofu インターコネクト
- ノードあたりのメモリが小さい
- メモリ帯域幅

最も多かった回答は、全体的に似たような計算機環境であること(42%)でした。

下の表は、回答者グループの間で繰り返される回答を捉えたものです。

表 18

引き継がれた「京」の特長

	回答数	回答率
類似環境	11	32.4%
並列性能	7	20.6%
Tofu インターコネクト	7	20.6%
ノードあたりのメモリが小さい	2	5.9%
メモリ帯域幅	2	5.9%

表 18

引き継がれた「京」の特長

	回答数	回答率
--	-----	-----

n=26. 複数の特徴を挙げている回答者もいました。簡潔にするため、1人の参加者のみが言及した機能は除外しています。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “隣接通信機能 Tofu の性能。”
- ”インターコネクトが TOFU ネットワークで継続したことがよかった。コンパイラについても京からは少し変わったが基本は京でコンパイルできたものを、少し変更するだけで富岳に行けたのが良かった。”
- “トーラス構造のような通信負荷を抑えることができるような構造が採用されたことは、大規模系の計算には非常にメリットが大きい。”
- “京で開発されたモデルがそのまま富岳で利用できた。”
- “「京」で使用していたコンパイラ等の開発環境がほぼ同じであったため、コードを開発・テストを行うために非常に役に立ちました。”

「富岳」または「富岳 NEXT」と同じ CPU のマシンをクラウドとして提供した場合、富岳と互換ある計算環境は魅力的ですか？そのような計算資源を利用したいと考えますか？

ほとんどの回答者(60%)が、そのような見通しに関心を持っていました。しかし、半数近く(43%)の回答者は、「価格次第」とも回答しています。また、ユーザーはこのようなクラウド環境の仕様に懸念を抱いていました。いくつかの懸念は以下の通りです:

- 価格
- 性能
- 使い易さ
- 汎用性
- セキュリティ
- 優先順位
- 全体的な仕様

ほとんどの回答者(60%)が、そのような見通しに関心を持っていました。しかし、半数近く(43%)の回答者は、「価格次第」とも回答しています。

下の表は、回答者グループの中で最も多かった回答をまとめたものです。

表 19

クラウドコンピューティングの 魅力度

	回答数	回答率
魅力的	24	60.0%
価格による	17	42.5%
仕様による	7	17.5%
テスト・トライアルとして	3	7.5%
民間企業が利用できる	3	7.5%
使い易さによる	2	5.0%
汎用性	2	5.0%
セキュリティによる	2	5.0%
性能による	2	5.0%
魅力的でない	2	5.0%

n=40.複数の要素を挙げている回答者もいます。簡潔にするため、1人の参加者のみが言及した機能は除外しています。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “魅力的ではあるが価格による。”
- “規模による。クラウドで解析できるような規模の解析をする場合には魅力的。一方、手元にワークステーションが欲しいかと言われたらコスト次第でインテルでも構わない。”
- “高い汎用性があれば、互換性は必ずしも担保されなくても良い。クラウドとして提供された場合、利用には興味がある。”
- “あまり魅力的ではない。クラウド使うよりは社内の計算資源を使うだろう。”
- “待ち時間が少なく利用できればありがたいと思います。”

「富岳」からの展望--「京」や「富岳」のような「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を継続することは、日本の研究競争力を維持するために必要でしょうか？

回答者全員(100%)が、「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を維持することは、日本にとって必要であると主張しています。他に方法があるのではという回答は1名のみでしたが、継続することに異存はありませんでした。これらの回答者の意見をまとめたのが下の表です。

回答者全員(100%)が、「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」を維持することは、日本にとって必要であると主張しています。

表 20

国家的フラグシップ・スーパーコンピュータの必要性

	回答数	回答率
必要である	41	100.0%

n=41

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “スーパーコンピュータの性能向上と数値解析や最適化等の技術は同時に向上して
- いると思う。スーパーコンピュータの発展があるからこそ、これまでできなかった数値解
- 析が手に届くようになってきた。”
- “必要だと思うが、どうあるべきかは色々と議論があるのではないか。”
- “ポストコロナの時代はより DX が進展すると考えられる。ここでフラグシップマシンを捨てるということは、我が国の研究者・開発エンジニアにまちがったメッセージを与えかねない。”
- “ドラスティックに高速化、大規模化される事が重要。スパコンは基幹技術なので、半導体産業にとっても重要である。日本の件急遽総力の維持のためにも必須である。”
- “ハードのみの提供では競争力に維持にはつながらない。国際標準である必要がある。”
- “富岳利用の技術が蓄積されており、プロジェクトを継続することによりその技術が廃棄されずにレベルアップされる。それは競争力の向上に貢献すると思われる。”
- “これまでの歴史とか実績の上では日本の研究競争力の源となっているのは間違いないので継続することに異論はないが、他の方法もあるのではないかと思う。”
- “大いに必要と考えます。その場合、計算精度以上に利用者の利便性を考慮する必要があると強く思います。”

このようなスーパーコンピュータを実現するために、国家プロジェクトとして研究開発を行う必要があるとお考えですか、もしくは、その時点で市場からベストマシンを購入する方が良いとお考えですか？

国家プロジェクトとして実施する必要があるとの回答が最も多数を占めました(73%)。その他の回答者からは、システムの供給元よりも、スピードや価格を重視する方が賢明であるとの意見がありました。下の表は、全回答者の回答を捉えたものです。

表 21

国家プロジェクトとしての研究開発

	回答数	回答率
国家プロジェクト	30	73.2%
その他	7	17.1%

表 21

国家プロジェクトとしての研究開発

	回答数	回答率
市場から購入	4	9.8%

n=41

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “単に購入だけが良いとは思わない。ハード開発ではない部分でコミットしながら研究開発をするのはアリかもしれない。”
- “良いものがより早くだせるのであればどちらでも構わない。”
- “企業的には一般に販売されているコンピュータで良いと思う。”
- “ユーザの立場からするとどちらかは拘らない。継続的に発展していくことが重要。”
- “国内の計算機技術を維持することは、同時に数値解析技術の維持・発展に貢献していると思う。日本国内のニーズが反映され、還元されることから、国内での開発に意味がある。”
- “アプリの研究者が開発者に口を出すことができるのが良かった。”
- “国内メーカーが独自に開発できないのであれば、国としてテコ入れが必要。それが従来の様な国家プロジェクトが良いかどうかは議論の余地があると思う。”
- “富岳のような大型の計算機を1台だけ置くのか、分散システムとして全国的に展開するのは、どちらも必要だと思う。富岳があることで、社会実装する際にスモールワールドを作ってそこでいろんなモデルケースを試すっていうことができるようになると思う。”
- “目的によるのではないか。技術力の維持という意味では国家プロジェクトでやるべきではないか。”
- “専門家が考えた方が良いと思うが、費用対効果で考えるべき。使うだけなら市場から購入した方が良い。”
- “最近の半導体の状況を見ると、やはり継続が良い。”
- “国際標準が必要。コンパイラとかハードだけでなく、ユーザーがアーキテクチャの違いを意識しないようにしてほしい。”
- “利用する側なので、汎用性を考えれば市場から購入した方が良いとは思う。しかし国家プロジェクトの場合ハードウェアだけでなく、ソフトウェア開発も行っており、ハードとソフトの連携で開発している。そういう体制は重要だと思う。”
- “両方必要と考えます。国家プロジェクトで開発されたマシンも、ある分野ではベストマシンといえます。”
- “国家プロジェクトだと開発段階からアプリケーションとコデザインができるが、市場から購入するとできなくなるので3年から5年遅れる。それよりもプロジェクトの進め方に問題があると思う。国家プロジェクト開発の場合、民間企業が参加しても、その後その費用を回収できるかどうかを考える必要がある。”

日本政府が提唱する「Society 5.0」のような広範な国家的課題に対して、「国家的フラッグシップ・スーパーコンピュータ」はどのように不可欠なのでしょうか？

ほとんどの回答者が、国家スーパーコンピュータの必要性を再確認しています。また、計算能力を他国に依存しないことの重要性を挙げた回答者もあり、科学の発展を実現するためにはスーパーコンピュータへのアクセスが重要であるとの意見も多く見られました。

主な意見:

- “広範な分野において、国際的な研究競争力を維持するには、最先端のスーパーコンピュータが必要であり、その開発を主導するには国家的プロジェクトが不可欠なため。”
- “必要だと思う。Society5.0 はデジタルツインなどのデータ化された社会でコンピュータが支配する世界に近づくと思うので、大規模な計算も絶対に必要になってくる。”
- “Society 5.0 はもっと一般国民が digital に触れられるという方向性で、フラッグシップスパコンの方向性とは軸が違う。それでもスパコンがあるということは、意識として重要。”
- “Society5.0 は IT 技術がいろいろなものを支えていく。その中でフラッグシップコンピュータは IT 技術をけん引する巨大なテストベッドである。”

必要だと思う。
Society5.0 はデジタルツインなどのデータ化された社会でコンピュータが支配する世界に近づくと思うので、大規模な計算も絶対に必要になってくる。

「富岳」は、パブリッククラウドや IoT などインターネット上の他の IT インフラと連携できるよう、クラウド機能をサポートすることが重要でしょうか？

ほとんどの回答者が、クラウド機能のサポートが必要または便利であると回答しています。また、「富岳」とクラウドの融合の根拠として、デジタルツインのインフラを上げる人も複数いました。下の表は、回答者の意見をまとめたものです。

表 22

クラウド機能サポートの重要性

	回答数	回答率
必要/重要/不可欠	22	66.7%
利便性が高い	7	21.2%
必要なし	4	12.1%

n=33

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- “Society 5.0、デジタルツインに貢献するなら、パブリッククラウドや外部 IT インフラとの連携は必須ではないか。”
- “データのセキュリティさえ確保できれば。”
- “様々な分野で広範で複雑な課題があるので、大規模コンピュータを効率的に利用していくことは必要不可欠。”

- “上述の通り、スパコンを汎用機とシームレスに繋ぐことは、全てのエンドユーザーがデジタルツインを利用する上で必須である。”
- “クラウド機能をサポートすると利便性はすごく高まるので、今より多くのユーザーが使えるようになるっていう意味では、その方向に進むべきだと思います。”
- “クラウド機能を充実されることで、利用者の利便性が向上すると思われる。”

次世代の「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」の取り組みにおいて、最も期待することは何ですか？

国際的な名声や世界的な成果を期待する回答も複数ありました。また、バランスを重視する回答も多く見られました：

- ハードとソフトのバランス
- 性能と消費電力のバランス
- コンピューティングリソースとヒューマンリソースのバランス

主な意見:

- “圧倒的な高性能(ただし、ユーザーがある程度頑張れば使えるレベルの利用性で)”
- “超高性能計算機を安定的に稼働し、かつ、環境負荷やコストを抑えられることを期待する。”
- “常にベストな状態で利用可能なこと。電力不足が理由で使えないのでは存在意味がない。”
- “ハードだけでなく、いろいろなアウトプットを作る環境づくり。”
- “計算性能だけでなく、周りの計算環境が重要で、成果を最大できるような計算環境が重要。”
- “省電力で高性能だと思う。電力効率を 1/10 や 1/100 にすれば単位電力当たりのノードを増やすことができる。”

「富岳」に続く「国家的フラグシップ・スーパーコンピュータ」に期待する機能・特長・性能はございますか？

多くの回答者が、「富岳」がスーパーコンピュータ「京」を超えたように、演算性能とメモリが向上することを期待していると回答しています。また、「使い易さ」「汎用性」も重要視されています。

主な意見:

- “十分なメモリバンド幅やメモリ量を搭載したマシン。計算資源量に見合うストレージ。”
- “順調な性能向上。ノードあたりのメモリ容量増強。アクセラレータ搭載の場合、アクセラレータ間の通信性能強化。”
- “技術力のアピールとして世界一の計算処理速度が必要ですが、その機能とともに利用者の利便性を向上してほしい。”
- “性能の向上もあるが、従来のアプリの利用のし易さが重要。新しいシステムになってから使い始められるまでの時間は結構な負荷になっている。そのサポートがもう少しあると嬉しい。”
- “数エクサフロップスで電力性能が 100 倍くらいが欲しい。”
- “ノード当たりのメモリを大きくして欲しい。普段使っている計算機クラスタと同様の使い易さ。”

システム設計の観点から、次世代の「国家的フラッグシップ・スーパーコンピュータ」で注目したい分野、アプリケーションは何ですか？

アプリケーションの結果は、かなり多岐に渡りました。最も多かった回答はつぎのとおりです：

- 材料科学への応用
- 環境関連アプリケーション
- 計算機援用工学(CAE)
- AI(機械学習、ディープラーニングを含む)
- 量子
- 分子動力学
- バイオサイエンス分野への応用

主な意見:

- ”環境・防災・減災”
- ”機械学習などの使いやすいアプリケーション。量子コンピュータなど。”
- ”機械学習、量子コンピュータのシミュレータ。”
- ”新しいプリンシパルコンピューティング。量子コンピュータ、ニューロモーフィックコンピューティング。”
- ”ものづくり、防災”

システムアーキテクチャの具体的な内容以外に、次世代の「国家的フラッグシップ・スーパーコンピュータ」プロジェクトでは、どこに資金と労力を集中させたいですか？

圧倒的に多かったのは、使い易さ(ユーザーフレンドリーなシステムや関連サポートを含む)、アプリケーション開発/ソフトウェア/ライブラリ、教育でした。多くの回答者が、若い研究者にスーパーコンピュータに親しんでもらうことの重要性を強調しています。その他の懸念事項は以下の通りです：：

- 予算
- ドキュメンテーション
- 性能
- 安定性
- プロモーション

最も関心が高かったのは、「使い易さ」、「アプリケーション開発・ソフトウェア・ライブラリ」、「教育」でした。

下の表は、最も多かった回答をまとめたものです。

表 23

国家的フラッグシップ・フォーカスエリア

	回答数	回答率
サポート/ユーザーフレンドリー/使い易さ	17	45.9%
アプリケーション開発、ソフトウェア、ライブラリ	16	43.2%
教育	14	37.8%

表 23

国家的フラッグシップ・フォーカスエリア

	回答数	回答率
予算	5	13.5%
ドキュメンテーション	3	8.1%
性能	3	8.1%
安定性	2	5.4%
プロモーション	2	5.4%

n=37.複数のフォーカスエリアを挙げている回答者もいました。簡潔にするため、1人の回答者のみが言及した機能は除外していません。

Source: Hyperion Research, 2023

主な意見:

- "サポートと使い易いインターフェイス"
- "教育、教育によるサポート。使い勝手の良さが重要。アプリケーション開発に注力する必要あり。"
- "アーキテクチャが多様であるため、複数のフラッグシップスーパーコンピュータを開発することが望ましい。"
- "コンパイラやライブラリなどのソフトウェア開発、次世代研究者の人材育成・教育"
- "教育。若手研究者が計算業務を行うことで自活できるようにしたい。"
- "開発・実行環境構築のためのユーザーサポート。より多くの支援を要請しやすい環境。"
- "若手の育成が重要である。現状では、ポスドクを雇うことができない。"

「富岳」がすでに実現した注目のイノベーション

- 難治性心疾患のメカニズム解明
- 大規模数値シミュレーションによる地震発生から地震動・地盤増幅評価までの統合的予測システムの構築とその社会実装
- 廃炉プロセス中の原子力発電所のフルスケール 3 次元 FEM モデルによる耐震評価
- 新薬開発を加速するインシリコ創薬基盤の構築
- 雲解像スケールを見据えた全球高解像度気候シミュレーション
- プレシジョンメディスンを加速する創薬ビッグデータ統合システムの推進
- 大規模分子動力学計算によるポリマー破壊特性の解析
- 「富岳」を利用した革新的流体性能予測技術の研究開発
- 磁場閉じ込めプラズマの安定性限界に対する熱イオンの運動論的効果の解明
- 脳結合データ解析と機能構造推定に基づくヒトスケール全脳シミュレーション
- master field 格子 QCD による標準理論を超える物理の探索
- 核融合プラズマにおけるマルチスケール乱流効果の解明
- 磁性材料第一原理計算の DB 構築
- 核融合炉心プラズマの大域的乱流シミュレーション

「富岳」ROI と ROR の調査結果

「富岳」の潜在的 ROI

「富岳」は、すでに多くの素晴らしい経済的収益をあげています。多くの成功がすでに達成されていますが、経済的な収益の大部分は、研究者が成功を収め、それが売上、利益、コスト削減、科学的発見・革新に至るまでに時間を要し、今後 3 年から 6 年の間に実現されると考えられます。

「京」に比べ、「富岳」はさまざまな理由から、経済的・科学的リターンがはるかに大きいと思われる：

- 「富岳」は、すでに COVID-19 の影響を軽減する上で大きな効果を発揮しています。
 - パンデミックの側面と影響をより深く理解することで、多くの命を救うことができました
 - 日本経済の完全な停止を回避したことで、数兆円の節約になりました。
- 「富岳」は、より幅広いユーザーをサポートしています。
 - 産業界からより多く参加しています。
 - コンピュータは劇的に大きな問題サイズを実行することができ、より大きな結果を得ることが出来ます。
 - AI のような新しいテクノロジーは大きな可能性を秘めていますが、その能力を最大限に活用するためには非常に大きなスーパーコンピューターが必要です。
- いくつかの大きな社会的課題にフォーカスしています。
 - これらの社会的目標は、それぞれ対応すれば、大きな収益を得ることができます。

「京」に比べ、「富岳」はさまざまな理由から、経済的・科学的リターンがはるかに大きいと思われる

こうした大きな社会的課題の解決に貢献することで、桁違いに大きな収益を得ることができます。例えば、COVID-19 の大流行時に日本が経済活動を停止せずに済んだことは、他の多くの国と同じように経済活動を停止すれば失われるはずだった 100 兆円もの経済的な利益をもたらしています。COVID-19 の患者数が減少したのも、「富岳」の研究成果によるもので、数え切れないほどの命を救うことができました。COVID-19 の解明は、今後のパンデミック対策に大いに役立つ情報です。

本調査では、大きな社会的課題を解決するための重要なプロジェクトにすでに取り組んでいる研究者が多数いることが分かりました。これらの分野のプロジェクトは以下の通りです：

防災、都市の風災害やヒートアイランドへの耐性、橋梁の耐風安全性、Society 5.0 の実現、大型コンピュータの稼働と非専門家の計算機への参入、自動車/製造業の国際競争力強化、COVID-19 の安全行動基準、COVID-19 拡散防止、創薬、新材料・新製品の研究開発、燃料電池、燃焼器・炉の設計効率、大型洋上風力の効率化。

「富岳」による潜在的な経済的収益の推定

今回の分析では、この投資収益率の計算式を使用しました：

$$\text{ROI} = \text{潜在的な経済的収益合計} / \text{「富岳」への投資額 (CAPX \& \text{ OPEX)}$$

潜在的な経済的利益の総額は、1,020 億ドルから 1,350 億ドル(米ドル)と推定されました。

「富岳」への投資額(CAPEX & OPEX)は 15 億ドル(US ドル)です。

結果、「富岳」への投資額の 68 倍から 90 倍もの経済的収益が期待できることとなります。

結果、「富岳」への投資額の 68 倍から 90 倍もの経済的リターンが期待できることとなります。

経済的リターンの前提条件

1. 「富岳」では、すでに 6 つの主要なプロジェクトが成功し(下記表 24 参照)、その収益額は 40 億ドルを超えており、「京」と同様のベースプロジェクトからは少なくとも 10 倍(10x)、総額 150 億米ドルの経済効果が期待できると考えられます。
 - 「京」は、12 億米ドルの投資に対し、110 億米ドル以上の収益を上げました(表 25 参照)。
2. さらに、「富岳」で行われた多くの COVID-19 プロジェクトの成果は、死亡率を下げ、日本経済を停止させない方法を見つけることに関わり、莫大な社会的・経済的価値を生み出しました。経済的な削減効果をすべて「富岳」に求めることはできませんが、数兆ドルの削減効果のうち、少なくとも 500 億ドルから 750 億ドルは「富岳」の研究に起因するものであると想定されました。これは、15 億ドルの投資に対して 33 倍から 50 倍のリターンがあることとなります(経済を停止させないことによる)。
3. さらに、その投資の 10 倍から 15 倍の追加投資が、新しい産業プロジェクトによって可能です。これらのプロジェクトの多くは、直接的な経済的利益を目的とした AI などの新技術を使用した重要なものであり、その経済効果は合計で 150 億ドルから 225 億ドルにもなります。理研は、大幅な(10 億米ドル以上の)収益を生み出す可能性のある産業プロジェクトに深く焦点を当て、大規模な産業支援プログラムを構築しています。
4. さらに、主要な SGD(気候変動問題、持続可能性、エネルギーコストの削減、疾病予防、より良い医療アプローチとがん治療、経済成長、自然災害への対応強化によるコスト削減など)に取り組むことによる将来の可能性もあります。これらの分野での将来の成功を予測することは困難ですが、15 倍以上の潜在的なインパクトがある可能性は非常に高いです(少なくとも 225 億ドルの経済価値をもたらします)。
 - 本調査に回答した研究者の 66%が、大規模な SDGs に対応するプロジェクトを既に実施しているか、開始したばかりであり、「富岳」がこれらの重要分野に広く適用されていることがわかります。
 - また、「富岳」を SDGs の推進やデジタルツイン社会の実現に活用したことがある、または活用する予定があるユーザーが 88%と大半を占めています。

要するに、潜在的な経済価値の総和は:

- 「京」で実現したようなプロジェクトから 150 億米ドル(6 つのプロジェクトですでに 40 億ドル以上が達成されている)。
- COVID-19 の期間中、日本経済を停止させないようにすることで 500 億ドルから 750 億ドルの収益。
- 大型産業プロジェクトで 150 億ドルから 225 億ドル。
- そして、SDGs の重要な目標に取り組むことで、225 億ドル以上の可能性があります。
- 合計で 1,020 億ドルから 1,350 億ドルの経済的価値があります。
- これは「富岳」への投資の 68 倍から 90 倍のリターンに相当します。

表 24

すでに成功している「富岳」ROI プロジェクト

プロジェクト タイトル	プロジェクト概要	プロジェクト価値	影響収益	利益および /またはコスト削減
燃料電池触媒層内のカーボン-アイオノマ不均一系の輸送特性解析	燃料電池の触媒について、複雑系 酸素や水の移動が性能に左右する。	燃料電池の実際に開発につなげて行きたい。	10 億ドル以上	10 億ドル以上
電気化学界面シミュレーションによる構造材料の腐食特性データベース構築	インフラの劣化に伴う構造物補修は社会的課題であり、金属材料の腐食は構造物劣化の主要因の一つとなっている。しかし、材料、環境の両面からの系統的な腐食特性の知見が乏しい点が問題となる。	AI 材料を対象に、量子・古典融合手法によるデータ創出と機械学習手法を活用したデータ駆動型研究手法による腐食特性データベース構築を行い、課題解決の端緒を拓く。従来実験でも切り分けることができなかった腐食界面の反応について、今回腐食電位について議論ができるようになった。	50 万ドルから 75 万ドル	
新薬開発を加速するインシリコ創薬基盤の構築	このコンソーシアムは、10 年以上かかると言われる医薬品開発の効率を飛躍的に向上させることを目的としている。	製薬企業では実施することができない高度な創薬計算を実装評価することで、次世代の創薬計算技術の開発成果を製薬企業とともに行った。さらに、創薬 DX プラットフォームを開発、展開することで、医薬品開発の期間とコストの劇的削減が可能と考える。	10 億ドル以上	5 億ドルから 10 億ドル
航空機フライト試験を代替する近未来型設計技術の先導的実証研究	航空機の設計・開発における重要課題として、離着陸性能や安全性に関わる最大揚力・失速の予測評価や主翼空力構造連成課題などがある。これは、現在の飛行試験に取って代わるかもしれない革新的な航空機設計技術である。	本研究で対象とした高レイノルズ数条件における航空機実機複雑形状周りの壁面モデル LES 解析、および主翼基本形状周りの LES 解析は、数百億点規模の大規模解析が必要となる。このため本解析は、開発している FVHC-ACE と「富岳」を用いることによって初めて実現され、得られた研究成果となる。		250 万ドルから 500 万ドル
廃炉プロセス中の原子力発電所のフルスケール 3 次元 FEM モデルによる耐震評価	3.11 事故以前の東京電力福島第一原子力発電所一号機(1F1 と称する)のフルスケール 3 次元 FEM モデルに、3.11 後の調査において明らかになった建屋・機器等の損傷情報等を反映することにより、廃炉プロセス進行中の 1F1 モデルを構築し、ADVENTURE システムを用いて耐震性能評価を行う。	まず、原発事故前の実物大 FEM モデルについて、静的自重解析と動的地震応答解析を実施した。次に、原発事故後の損傷を想定した実物大の FEM モデルを構築した。このモデルを用いて、静的自重解析と動的地震応答解析を実施した。そして、損傷がモデルの地震応答に与える影響を評価した。	100 万ドルから 250 万ドル	75 万ドルから 100 万ドル
スーパーシミュレーションと AI を連携活用した実機クリーンエネルギーシステムのデジタルツインの構築と活用	AI 技術とマルチフィジックス・マルチスケールシミュレーションの融合により、石炭ガス化プラントに適した次世代化石プラントのデジタルツインや大規模洋上風力発電所のデジタルツインの開発を目指す。	風力発電所全体の乱流場の解析。石炭ガス化炉の場合： 燃焼乱流、伝熱・冷却、原子炉容器構造の統合マルチスケール・マルチフィジックスシミュレーション。従来不可能だった実機の超シミュレーションが可能に。	5 億ドルから 10 億ドル	2 億ドルから 5 億ドル

表 24

すでに成功している「富岳」ROI プロジェクト

プロジェクト タイトル	プロジェクト概要	プロジェクト価値	影響収益	利益および /またはコスト削減

Source: Hyperion Research, 2023

前回の 2020 年ハイペリオン・リサーチの「京」に関する調査から：

「京」の経済波及効果は、売上高で 5,000 億円、利益・コスト削減で 7,000 億円以上、合計で 1 兆 2 千億円以上という極めて大きなインパクトがありました。

この経済波及効果は、「京」への投資額の約 9 倍であり、1 兆 2 千億円の経済波及効果には、「京」で行われた科学プロジェクトのうち、経済的成果を上げられなかったイノベーションの価値は含まれていません。

表 25 は、2020 年の調査時の「京」による経済的 ROI の結果です。

表 25

「京」を利用したプロジェクトの経済的リターン

経済的項目	金額
全体の売上高(百万米ドル)	\$4,708 百万ドル
単位:円(百万円)	499,014 百万円
利益または節約したコスト(百万米ドル)	\$6,975 百万ドル
単位:円(百万円)	739,350 百万円
ドル換算の総収益(百万ドル)	\$11,683 百万ドル
単位:円(百万円)	1,238,364 百万円

Source: Hyperion Research, 2020

「富岳」が「京」と同様の収益を上げ、さらに社会的な大きな課題に取り組むことで付加的な収益が得られるとすれば、「富岳」システムへの投資額の 68～90 倍、さらに得られる科学的知見を上回る収益が期待できます。

「富岳」が「京」と同様のリターンを実現し、さらに社会的な大きな課題への取り組みによるリターンが加われば、「富岳」への投資額の 68～90 倍を超えるリターンが期待できます。

早期 ROR(研究収益率) の結果

ハイペリオン・リサーチでは、HPC プロジェクトの革新性を評価するために、各プロジェクトの重要性と影響力の両方を測定する評価システムを使用しています。理研プロジェクトの回答者には、過去 10 年間にその分野で行われた他のすべてのイノベーションと比較したイノベーションの重要性と、どれだけの組織が恩恵を受けたかというイノベーションの影響力をランク付けするよう求めました。この 2 つの指標を組み合わせることで、プロジェクトの「イノベーション・クラス」の評価が決定されます。この研究では、50 の初期プロジェクトのうち、49 のプロジェクトがこの評価に該当しました。

イノベーションの重要性・影響度の評価

以下は、本調査でイノベーションを測定する際に使用したスケールです。

過去 10 年間の特定の分野における他のすべてのイノベーションと比較した場合の、このイノベーションの重要性:

- 5 過去 10 年間でトップ 2 または 3 に入る
- 4 過去 10 年間でトップ 5 に入る
- 3 過去 10 年間でトップ 10 に入る
- 2 過去 10 年間でトップ 25 に入る
- 1 過去 10 年間でトップ 50 に入る

このイノベーションが及ぼした他機関への影響度:

- 6 50 以上の機関に役立つ
- 5 10 から 49 の機関に役立つ
- 4 6 から 10 の機関に役立つ
- 3 2 から 5 の機関に役立つ
- 2 1 つの機関にだけ役立つ
- 1 この分野の専門家にのみ認識されている

ハイペリオン・リサーチは、これら 2 つの指標を組み合わせ、このプロジェクトの総合的な革新性評価を行いました:

- クラス 1 のイノベーション - 過去 10 年間のある分野におけるトップ 1～3 のイノベーションの 1 つで、かつ 10 以上の組織に有用なもの。
- クラス 2 のイノベーション -- 過去 10 年間のある分野におけるトップ 5 のイノベーションの 1 つであり、かつ 10 以上の組織にとって有用なもの。

- クラス 3 のイノベーション - 過去 10 年間のある分野におけるトップ 5 のイノベーションの 1 つで、かつ 5 つ以上の組織に有用なもの。
- クラス 4 のイノベーション - 過去 10 年間のある分野におけるトップ 10 のイノベーションの 1 つであり、かつ 5 つ以上の組織に有用なもの。
- クラス 5 のイノベーション - 過去 10 年間のある分野におけるトップ 25 のイノベーションの 1 つであり、かつ 10 以上の組織で有用なもの。
- クラス 6 のイノベーション - 過去 10 年間のある分野におけるトップ 25 のイノベーションのうち 1 つで、かつ少なくとも 2 つの組織にとって有用なもの。
- クラス 7 のイノベーション - 過去 10 年間のある分野におけるトップ 50 のイノベーションのうち 1 つで、かつ少なくとも 2 つの組織にとって有用なもの。
- クラス 8 のイノベーション - その他のすべての技術革新

下の表は、過去 10 年間において、イノベーションの重要性を、その分野の他のイノベーションと比較するよう求められた回答者の割合を示しています。回答者の半数以上(55%)が、過去 10 年間において、自分のイノベーションをその分野のトップ 5 に位置づけています。

表 26

イノベーションの重要性

回 答	回答率
5 -- 過去 10 年間でトップ 2 または 3 に入る	26.5%
4 -- 過去 10 年間でトップ 5 に入る	28.6%
3 -- 過去 10 年間でトップ 10 に入る	22.4%
2 -- 過去 10 年間でトップ 25 に入る	8.2%
1 -- 過去 10 年間でトップ 50 に入る	14.3%

Source: Hyperion Research, 2023

下の表は、「プロジェクトのイノベーションによって恩恵を受けた組織はいくつあるか」という質問に対する回答者の割合を示しています。回答者の 3 分の 1(35%)は、自分のイノベーションが 50 以上の組織に役立っていると答え、さらに 4 分の 1(29%)は、自分のイノベーションが 10~49 の組織に役立っていると答えています。

表 27

イノベーションの影響度

回 答	回答率
6 -- 50 以上の機関に役立つ	34.7%
5 -- 10 から 49 の機関に役立つ	28.6%
4 -- 6 から 10 の機関に役立つ	22.4%

表 27

イノベーションの影響度

回 答	回答率
3 -- 2 から 5 の機関に役立つ	8.2%
2 -- 1 つの機関にだけ役立つ	2.0%
1 -- この分野の専門家にのみ認識されている	4.1%

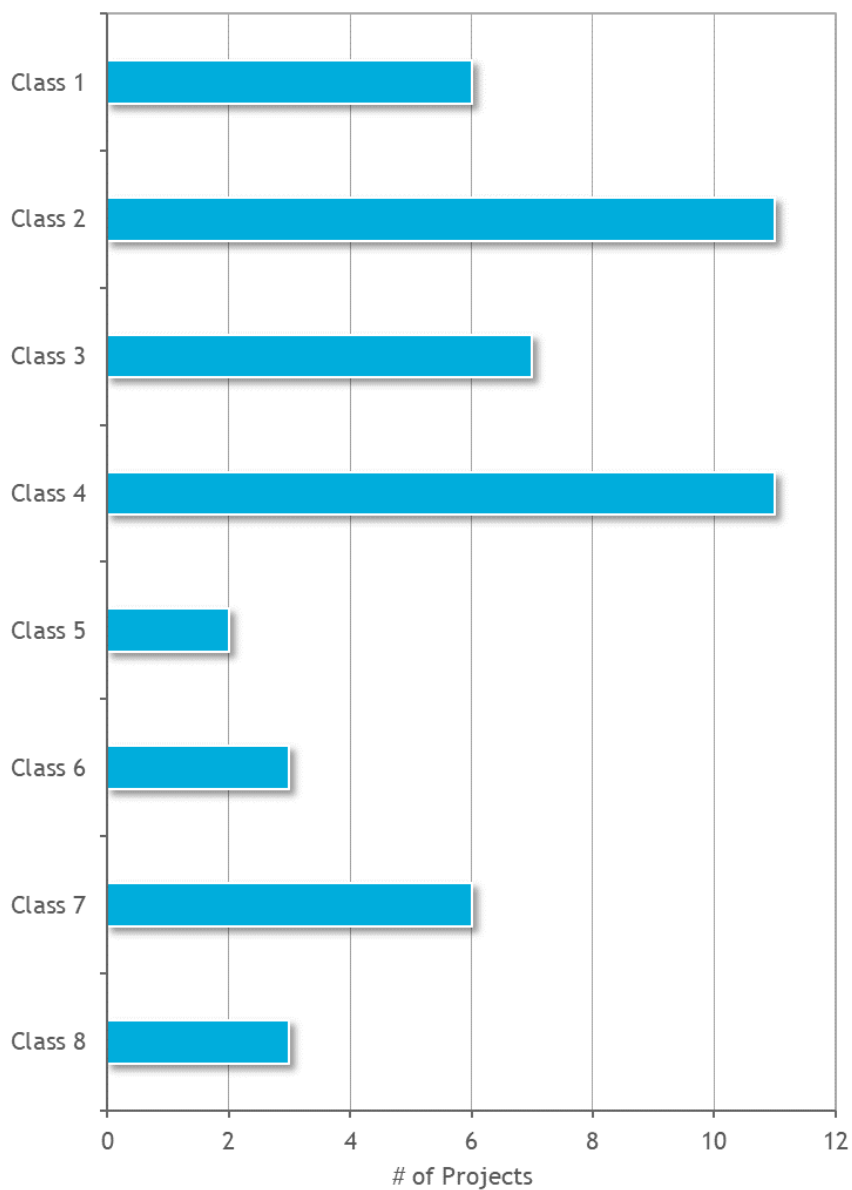
Source: Hyperion Research, 2023

プロジェクトの「イノベーションの重要性」と「イノベーションの影響度」の評価を組み合わせ、「イノベーションクラス指数評価」を作成することで、プロジェクトの ROR を定量的に評価するのがハイペリオン・リサーチのアプローチです。下図は、本調査におけるプロジェクトのイノベーションクラス指数評価を示したものです。大半のプロジェクト(71%)がイノベーションクラス指数 4 以上を獲得しており、「富岳」が非常に重要な科学的問題にうまく適用されていることがわかります。

大半のプロジェクト(71%)がイノベーションクラス指数 4 以上を獲得しており、「富岳」が非常に重要な科学的問題にうまく適用されていることがわかります。

図 1

イノベーションクラス指数評価



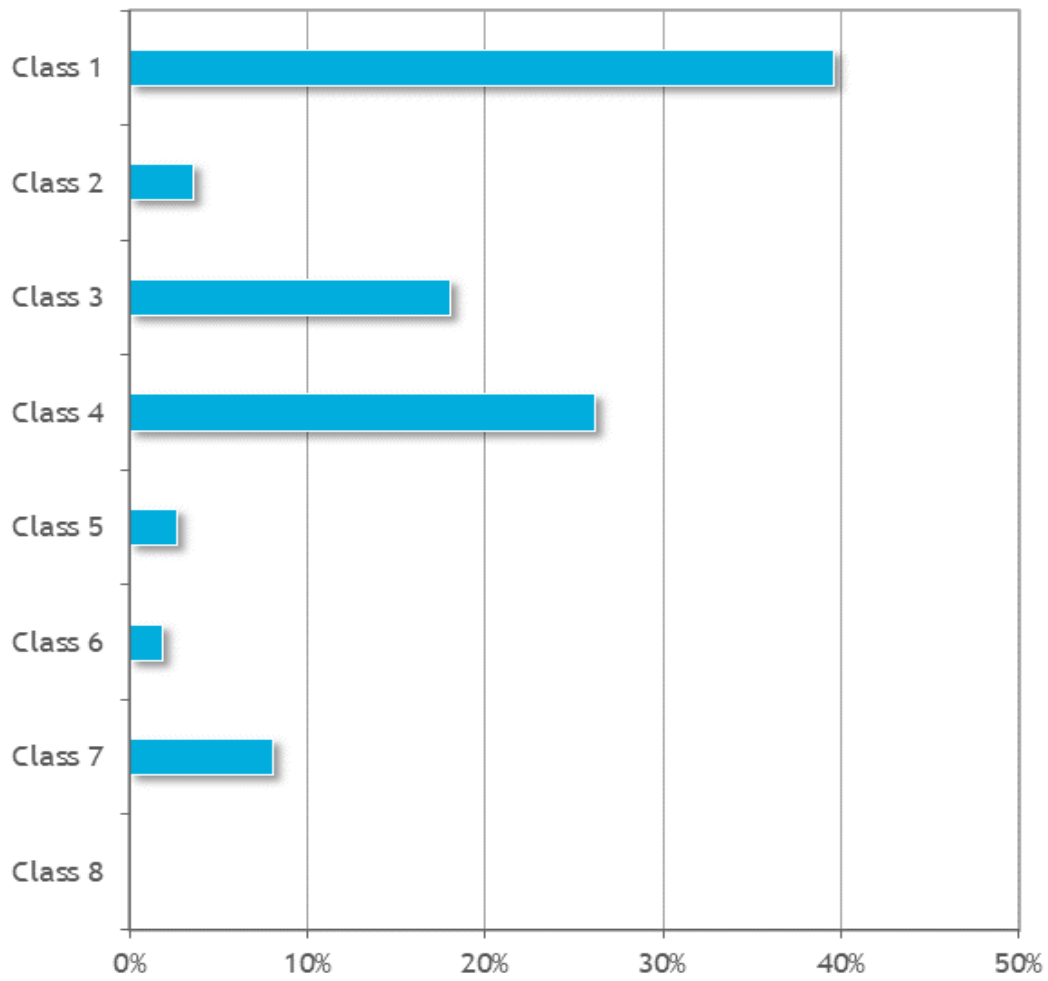
Source: Hyperion Research, 2023

研究者がより多くの時間を使って研究を行うことで、「富岳」システムは、図 2 の「京」のように、さらに多くの科学的発見やイノベーションをもたらすと予測されます。

2020 年の「京」の調査から：

図 2

「京」のイノベーションクラス指数評価



Source: Hyperion Research, 2020

「富岳」が可能にした成功事例

ここでは、「富岳」が可能にした成功事例を簡単に紹介します。

事例 1 高効率エンジン

ユーザ: 日本自動車研究所

タイトル: HINOCA を活用した自動車用超高効率エンジン研究

概要: 自動車用内燃機関の筒内現象は時間・空間的にスケールが大きく異なる物理的・化学的過程が絡み合う複雑な現象であり、詳細な現象を再現して高効率・低工ミッション燃焼の指針を得るには、膨大な計算機リソースが必要とされる。本研究では、CO₂ 低減のキーとなる希薄燃焼技術を実用化する上で課題となる「サイクル間の燃焼変動」と「粒子状物質の生成挙動」を題材として、スーパーコンピュータ「富岳」を活用した大規模なエンジン燃焼シミュレーションを行った。

事例 2 環境適合型機能性化学品

ユーザ: 大阪大学

タイトル: 環境適合型機能性化学品

概要: 分離膜の機能強化を目指し、また、機能性材料における環境リスク成分の使用を削減するために、全原子型分子動力学(MD, molecular dynamics)シミュレーションと自由エネルギー計算から有用なポリマー構造を探索するとともに、樹脂/金属接着界面の劣化機構を QM/MM(Quantum Mechanics/Molecular Mechanics)計算で解析する。ポリマーと水の界面における有機分子の吸着自由エネルギーを全原子計算し、樹脂の無機界面での結合開裂に対するプロトンの効果を検討する。

事例 3 地震シミュレーション

ユーザ: 海洋研究開発機構

タイトル: 大規模数値シミュレーションによる地震発生から地震動・地盤増幅評価までの統合的予測システムの構築とその社会実装

概要: 国難とされる首都直下地震や南海トラフ地震に備えるためには、地震災害の定量的評価が必要となる。本研究では、そのような評価を「富岳」での超大規模計算で実施するための統合的予測システムを構築し、国の地震動・地盤増幅評価の過程に実装するとともに、地震発生予測に工学的な品質保証の概念を導入して政策判断等に活用される基礎を築く。

事例 4 ウイルス粒子のシミュレーション

ユーザ: 岡山大学

タイトル: ウィルス粒子の構造モデリングとシミュレーション

概要: B 型肝炎ウイルスはカプシドというタンパク質のカプセルがあり、その外側にエンベロープという膜をまとっている。これまで電子顕微鏡でもその構造がどうなっているか分からなかった。エンベロープはタンパク質と脂質からできているが、その脂質は細胞由来のものである。タンパク質の方が

ウイルスが作り出すタンパク質を使っているが、どのようにしてエンベロープとして存在するのかがこれまで分からなかった。今回ウイルスのタンパク質の構造を予測して計算したところ、ウイルスタンパク質と内側のカプシドとの間に強い相互作用があり、その相互作用によって膜をまとめて安定化することということが初めて分かった。

事例 5 災害軽減のための気象予測

ユーザ: 気象庁数値予報課

タイトル: 豪雨防災、台風防災に資する数値予報モデル開発

概要: 集中豪雨をもたらす線状降水帯や台風による被害は近年、毎年のように発生しており、その予測精度向上は喫緊の課題となっている。本課題は 2030 年時点の気象庁スーパーコンピュータを想定し、線状降水帯の確率予測精度向上を目的とした高解像度(水平解像度 2km 以下)の領域アンサンブル予報システム、及び台風進路予測精度向上を目的とした高解像度(水平解像度 10km 以下)の全球モデルの開発に関する知見を得ることを目的とする。

まとめ:「富岳」コンピュータは、これまでどのような成功を収めてきたのか？

今回の調査により、「富岳」がすでに強力な成果を確立し、日本の研究者にとって貴重なリソースとなっていることが確認されました。これらの成果は、システムの寿命が尽きるまで大きく成長し続けることが予測されます。

経済的収益の提供

「富岳」が「京」と同じような収益を上げ、さらに非常に大きな社会的課題に取り組むことで付加的な収益が得られるとすれば、「富岳」システムへの投資額の 68～90 倍、さらに得られる科学的知見を上回る収益が得られることとなります。

科学・イノベーションの成果の提供

経済的な見返りのない科学イノベーションへの波及効果も、「富岳」は世界の有力コンピュータの中でも際立っていました:

- 「富岳」を利用したプロジェクトの 4 分の 1(27%)が、**科学的重要性**のカテゴリーで最高位にランクされました。
- プロジェクトの 3 分の 1(35%)が、**科学的影響度**の高いカテゴリーにランクされています。

国家的リーダーシップクラスのスーパーコンピューターを持つことがなぜ重要か

リーダーシップクラスのスーパーコンピューターは、国家に大きな科学の進歩、経済成長、災害からの保護、新しい病気への対処方法を提供することができます。世界中の政府は、HPC が科学的リーダーシップだけでなく、産業や経済の競争力を高めることができる変革的な技術であることをますます認識しています。多くの政府がエクサスケール級の超大型スーパーコンピューターに投資しているのはそのためです。

これらのイニシアチブは、複数の理由から、国家的リーダーシップクラスのスーパーコンピューティング能力を維持することが不可欠であるとの信念に基づいています。これらの理由はすべて、本調査のためにインタビューした人々によって確認されました：

- 日本が独自のリーダーシップクラスのスーパーコンピューターを常に維持しない限り、日本のトップクラスの科学技術研究者は性能の低いスーパーコンピューターでは彼らの研究をサポートできないため、外国のリーダーシップクラスのスーパーコンピューターの利用時間を申請せざるを得なくなってしまうでしょう。しかし、外国の政府関係者は、日本の研究者の優先順位を低くして、研究を遂行するための時間を与えなかったり、不十分な時間を与えたりすることを余儀なくされるかもしれません。
- このように海外のスーパーコンピューターに依存した結果、日本は先進的な科学・産業研究において他の主要国に遅れをとり、日本の経済競争力に悪影響を及ぼす可能性があります
- 重要なのは日本のリーダーシップクラスのスーパーコンピューターの継続開発継続が失敗すると、日本の次世代を担う研究者になる多くの学生達が、海外で学び、研究し、キャリアを積みなければならなくなります。
- また、次世代の研究者がいなくなることで、日本は先進的な研究で他の主要国に遅れをとり、日本の経済や生活の質にも悪影響を及ぼす可能性があります。
- また、日本の Society 5.0 構想の目標を達成するためにも、リーダーシップクラスのスーパーコンピューターは欠かせない存在となります。精密医療、自動運転、スマートシティ、モノのインターネットなど、最も重要な AI のユースケースの最前線での研究開発には、すでに強力なスーパーコンピューターが欠かせません。
- これらの AI アプリケーションを実用化するためには、今後数年間で、新たなリーダーシップクラスのスーパーコンピューターが必要となります。
- このようなリスクは、10 年前よりも現在の方が大きくなっています。なぜなら、自国の科学力・産業力を高めるためにトップレベルのリーダーシップクラスのスーパーコンピューターを使用しているのは、もはや日本と米国だけではないからです。中国や欧州の複数の国が競争に参入し、今後数年のうちに次世代リーダーシップクラスのスーパーコンピューターを導入する予定です。

ROI 調査の背景と方法論

背景

本調査は、ハイペリオン・リサーチが実施した「京」の重要性と影響度を測定した調査に続くものです。本調査では、「京」の利用が一段落し、後継のスーパーコンピュータ「富岳」に移行する時期に、「京」の波及効果を総合的に評価するものです。したがって、本調査は、「京」の価値をより完全に評価するものと言えます。

方法論

2012 年、米国エネルギー省(DOE)は、科学分野における博士号取得者数や科学雑誌に掲載された査読付き論文数など、HPC への投資に対するリターンを測定する既存の間接的な手法に不満を抱いていました。DOE は、ハイペリオン・リサーチのアナリスト(当時は前身の IDC に在籍)に依頼し、HPC 投資を公共部門の非金融的な科学技術革新(研究収益, ROR)および民間部門の金融投資収益(ROI)に初めて直接関連付けることができるマクロ経済モデルを開発・テストしました。調査手法の詳細については、本レポートの下記「ハイペリオン・リサーチの ROI 手法の歴史」の項を参照。

主な結果

本調査の主な結果は、以下の点です:

- 「京」の利用者は、日本が「京」や「富岳」のようなリーダーシップクラスのスーパーコンピュータを開発し続ける必要性を強く感じています。日本が世界に誇るスーパーコンピュータがなければ、日本の研究者は、十分なアクセスが保証されないまま、海外の主要なスーパーコンピュータへのアクセスに頼らざるを得なくなります。このような依存は、日本が先進的な科学・産業研究において諸外国に遅れをとり、日本の経済、生活水準、Society 5.0 の目標に悪影響を及ぼす可能性があります。
- 「京」の総合 ROI、ROR の波及効果は非常に大きいものです:
 - 「京」は、5,000 億円の付加収益、7,000 億円以上の付加利益・コスト削減を実現し、利用者への経済波及効果は 1 兆 2,000 億円以上となりました。
 - 他国と比較した場合、HPC(京)に投資した 1 円あたりの平均収益リターンは 1,623 円、平均利益またはコスト削減は 60 円という圧倒的な経済的投資対効果(ROI)を達成しました。
 - 一部の先進国による HPC への投資額 1 円あたりの経済的 ROI の結果は以下の通りです: 日本 1,623 円、EU289 円、米国 373 円、中国 9 円。
 - 一部の主要国における HPC への投資額 1 円あたりの利益/コスト削減額は以下の通りです: 日本 60 円、米国 39 円、EU48 円、中国 3 円。
 - 経済的なリターンのない科学イノベーションへの波及効果も、「京」は世界の有力コンピュータの中でも際立っていました:
 - 「京」で実現した 111 件の評価プロジェクトのうち 54 件(49%)が、科学的重要性の高いカテゴリーにランクされました。
 - 世界の 50 以上の組織に役立つ科学的影響度の高いプロジェクトは、111 件のうち 71 件(64%)でした。
- 日本のワールドクラスのスーパーコンピュータのために開発された技術の進歩は、長期にわたってあらゆる規模の高性能コンピュータに恩恵をもたらしています。また、これらの進歩の多くは、商用(エンタープライズ)コンピュータにも役立つ、情報技術全般の進歩に貢献するものです。
- 世界トップクラスのスーパーコンピュータが開発されないと、次世代の日本の研究者を担う多くの学生が、日本以外の国で勉強、研究、さらにはキャリアを積むことを余儀なくされる可能性もあります。

5. また、「京」のユーザーのほぼ全員が、世界最高水準のスーパーコンピューターの開発は、米国、欧州、中国と同様に、日本の国家プロジェクトであるべきであるとしています。最先端のスーパーコンピューティングは、国家の科学、産業、経済競争力にとって極めて戦略的なものです。「京」や「富岳」など、世界をリードする国家基幹計算機は、科学技術の進歩に不可欠なものとユーザーは考えています。市場ベースのマシンが技術の最先端に行くことは難しく、ユーザーはコデザインは「国家プロジェクト」でしか効果的に行えないと言っています。
6. また、Society 5.0 構想の目標を達成するためには、AI をはじめとするデータサイエンスの能力が非常に重要になるため、日本における世界最高水準のスパコンが必要であるとユーザーは述べています。最近のハイペリオン・リサーチの米国政府向け調査でも、基礎科学、国家安全保障、自動運転、ヘルスケア、スマートシティ、モノのインターネット、エッジコンピューティングなど、人工知能の最前線の研究開発には強力なスーパーコンピューターが不可欠であることが確認されています。
7. 調査対象ユーザーの多くは、日本を代表するスーパーコンピューターがクラウドコンピューティングをサポートすることが重要だとは、少なくとも現時点では考えていません。

調査結果:経済的 ROI の結果

ハイペリオン・リサーチの ROI 手法の歴史

2012 年、米国エネルギー省(DOE)は、科学分野で授与された博士号数や科学雑誌に掲載された査読付き論文数など、HPC への投資に対するリターンを測定する既存の間接的な手法に不満を抱いていました。DOE は、ハイペリオン・リサーチのアナリスト(当時は IDC の前身)に依頼し、HPC 投資を公共部門の非財務的な科学技術革新(研究収益, ROR)および民間部門の財務的投資収益(ROI)に初めて直接関連付けることができるマクロ経済モデルを開発・テストしました。

この方法では、研究責任者(PI)またはその他のプロジェクトリーダーに、経済モデルの単純な尺度を用いてプロジェクトの重要性と影響度を自己評価し、関連する場合は財務的成果を提供するよう求めました。次に、プロジェクト参加者の自己採点を見ることなく、プロジェクトの科学的または工学的分野の 1 人または複数の専門家に、プロジェクトの成果を独立して採点してもらうことにしています。パイロットスタディと 3 年間のフルアウトスタディの両方で、プロジェクト参加者と独立した専門家の成績には強い相関があり、自己採点による「成績の膨張」が最小限であることが示されました。このことから、DOE はこの手法が有用であることを確信しました。

- その結果、DOE はハイペリオン・リサーチに 3 年間の助成金を与え、この方法論を使ってより多くの事例を収集することになりました。ROI/ROR 研究の累積結果は、www.hpcuserforum.com/roi に掲載されています。これらの結果には、DOE 向けの研究だけでなく、欧州委員会やドイツ、オランダ、シンガポール、カナダなどの政府機関向けに実施した、本手法を用いたその後の研究の結果も含まれています。
- さらに、ハイペリオン・リサーチは、この手法をいくつかの主要なスーパーコンピューターに適用し、これらのコンピューターでこれまでに実施されたすべてのプロジェクトを評価することを依頼されました。この種の最初の研究は、米国国立科学財団が支援するイリノイ大学アーバナ・シャンブレン校の国立スーパーコンピューティング応用センター(NCSA)にあるスーパーコンピューター「ブルーウォーターズ」に対して行われました。
- 今回は、理化学研究所(神戸市)の「京」の波及効果に焦点を当てた 2 回目の研究です。

「京」の総合的な経済的 ROI の結果

表 5 は、「京」によるスーパーコンピューター利用者の収入、利益、コスト削減の経済的波及効果の全体像である。その結果、5,000 億円の追加収益、7,000 億円以上の追加利益/コスト削減、合計 1 兆 2,000 億円以上のインパクトという極めて素晴らしい結果が得られています。

これは、ハイペリオン・リサーチが7年前にこれらのHPCシステムの評価を開始して以来、あらゆるスーパーコンピュータについて確認した最大の財務的リターンに相当します。

この金融波及効果は、「京」への投資額の約9倍1であり、1兆2000億円の金融波及効果には、「京」で行われた科学プロジェクトのうち、金銭的成果を上げられなかったイノベーション価値は含まれていません。

1注:「京」の費用13億ドルに対し、本調査では116億8300万ドルの経済的リターンがあり、9倍のリターンとなりました。

表 28

「京」を利用したプロジェクトの経済的収益

経済的項目	金額
全体の売上高(百万米ドル)	\$4,708 百万ドル
単位:円(百万円)	499,014 百万円
利益または節約したコスト(百万米ドル)	\$6,975 百万ドル
単位:円(百万円)	739,350 百万円
ドル換算の総収益(百万ドル)	\$11,683 百万ドル
単位:円(百万円)	1,238,364 百万円

Source: Hyperion Research, 2020

表 29 は、「京」のプロジェクトによる経済的 ROI を示しています。この表の ROI の指標は以下の2つで構成されています:1

- 収益 ROI(収益を、プロジェクトを京で実行するためのコストで割ったもの。)
- 利益またはコスト削減の ROI(利益とコスト削減を、京でプロジェクトを実行するためのコストで割ったものです。)

ここでも、「京」のHPCに投資した1円あたりの収益ROIが1,623円、1円あたりの利益/コスト削減が60円という、世界最高水準のROI結果を出しています。

表 29

「京」を利用したプロジェクトの経済的 ROI

経済的項目	金額
収益 ROI(米ドル) ²	\$1,623x
単位:円	1,623x 円

表 29

「京」を利用したプロジェクトの経済的 ROI

経済的項目	金額
利益またはコスト削減(米ドル)	\$60
単位:円	60x 円

Note:これは、プロジェクトを完了するために HPC に投資した 1 ドル(または円)に対して還元されるドル(または円)です。

Source: Hyperion Research, 2020

関連研究

- Perspectives on Sustainability in HPC: Current Views and Future Considerations, March 2023, HR12.0018.03.12.2023, Jaclyn Ludema and Mark Nossokoff
- US DOE Funds Pathfinder Program for QC Assessment Research Ideas, March 2023, HR6.0015.03.10.2023, Bob Sorensen and Tom Sorensen
- EuroHPC JU Fortifies Goal of Post-exascale Era Leadership, March 2023, HR1.0014.03.01.2023, Mark Nossokoff and Bob Sorensen
- US QC Supplier Rigetti's Recent Realignment: Positing Its Larger Implications, February 2023, HR6.0012.02.23.2023, Bob Sorensen and Tom Sorensen
- 2022 HPC End Users Perspectives on Use of Public/External Clouds for HPC Workloads, Trends, and Drivers, February 2023, HR12.0011.02.21.2023, Mark Nossokoff and Earl Joseph
- Forecast Update: GPU and Accelerator Growth in HPC, February 2023, HR12.0007.02.07.2023, Melissa Riddle, Tom Sorensen, and Earl Joseph
- U.S. and EU to Share AI Expertise to Solve Global Challenges, February 2023, HR12.0006.02.07.2023, Tom Sorensen and Bob Sorensen
- Top 10 Predictions for the Global HPC Community in 2023, February 2023, HR126.0005.02.02.2023, Mark Nossokoff, Bob Sorensen, Jaclyn Ludema, Melissa Riddle, Tom Sorensen, and Earl Joseph
- €270 Million Pinned for RISC-V Based European HPC Ecosystem, January 2023, HR1.0002.01.11.2023, Tom Sorensen and Bob Sorensen
- AI-Specific Software Use is Low but Poised for Growth, January 2023, HR12.0001.01.04.2023, Tom Sorensen and Alex Norton
- 2022 HPC Multi-Client Study: Vertical/Application Workload Areas and HPC System Software and Middleware, January 2023, HR5.0069.12.31.2022, Melissa Riddle, Jaclyn Ludema, and Earl Joseph
- World's First Data Center APU Stood Up in AMD Laboratory, December 2022, HR12.0061.12.15.2022, Tom Sorensen and Alex Norton
- NOAA and Microsoft Announce Cloud Computing Collaboration to Advance Climate-Ready Nation Mission, December 2022, HR1.0062.12.15.2022, Jaclyn Ludema and Mark Nossokoff
- 'RISC-V is Inevitable.' Foundation Chairman Touts the Growingly Advantageous Position of the Open ISA, December 2022, HR1.0056.12.11.2022, Tom Sorensen and Earl Joseph
- Germany's Plans for User Inclusivity and Green Exascale, November 2022, HR134.0054.11.30.2022, Tom Sorensen and Earl Joseph
- IBM Folds Red Hat Storage Operations into the IBM Storage Unit, October 2022, HR1.0050.10.18.2022, Mark Nossokoff and Jaclyn Ludema
- Cerebras Announces Capability to Train Largest Models Easily, September 2022, HR2.0047.09.28.2022, Alex Norton and Tom Sorensen

- A Look at the EU's Four Pillar Strategy for Leadership in HPC, September 2022, HR126.0044.09.12.2022, Mark Nossokoff, Steve Conway, and Earl Joseph
- Japan, US Renew Commitment to Economic Order in CHIPS Era, September 2022, HR1.0043.09.01.2022, Tom Sorensen and Bob Sorensen
- Key Takeaways from QC Architectural Study: Understanding the Next Stage in QC Evolution, August 2022, HR6.0042.08.29.2022, Bob Sorensen and Tom Sorensen
- Innovations in Technology Infrastructure for Space Use Cases, August 2022, HR1.0041.08.29.2022, Mark Nossokoff and Tom Sorensen
- New UK AI Policy Puts Innovation First, August 2022, HR2.0040.08.03.2022, Tom Sorensen and Alex Norton
- US Government Consortium Launches Quantum Network Research Project, July 2022, HR6.0038.07.13.2022, Bob Sorensen and Tom Sorensen
- Worldwide HPC Supercomputer Subsegment Market Forecast Update, 2021-2026, June 2022, HR1.0036.06.30.2022, Melissa Riddle, Jaclyn Ludema, Mark Nossokoff, Tom Sorensen, and Earl Joseph
- Pan-European Master's Program Created to Address Key HPC Industry Dearth of Operational Talent, June 2022, HR12.0034.06.08.2022, Mark Nossokoff, Alex Norton, Bob Sorensen, and Earl Joseph
- Beyond Restart: Checkpointing for the Exascale Era, May 2022, HR13.0029.05.18.2022, Tom Sorensen and Bob Sorensen
- Worldwide On-Premises HPC Broader Market Forecast Update, 2021-2026, April 2022, HR12.0023.04.11.2022, Melissa Riddle, Mark Nossokoff, Tom Sorensen, Bob Sorensen, and Alex Norton
- A Growing and Changing HPC Applications Landscape, April 2022, HR12.0022.04.04.2022, Melissa Riddle and Mark Nossokoff
- Israeli Government Launches Comprehensive Quantum Computing Development Program, March 2022, HR6.0021.03.18.2022, Bob Sorensen and Tom Sorensen
- Consortium Aims to Standardize Chiplet Interconnect, March 2022, HR1.0020.03.16.2022, Mark Nossokoff and Bob Sorensen
- New Error Correction Scheme Seeks to Advance Quantum Computing Capabilities, March 2022, HR6.0019.03.10.2022, Bob Sorensen and Tom Sorensen
- Deep Transfer Learning Framework Applied to Radiation Therapy, February 2022, HR2.0018.02.25.2022, Alex Norton and Tom Sorensen

ハイペリオン・リサーチ社について

ハイペリオン・リサーチは、ハイパフォーマンスコンピューティングや新興技術分野の技術、アプリケーション、市場に関するデータ主導の調査、分析、提言を行い、世界中の企業が効果的な意思決定を行い、成長機会を獲得できるよう支援します。リサーチには、HPC や HPDA(高性能データ解析)に使用されるマルチユーザー技術サーバー技術に関する市場規模や予測、シェア追跡、セグメンテーション、技術および関連トレンド分析、ユーザーとベンダーの両方の分析が含まれます。政府、産業界、商業界、学術界の主要な市場および技術動向に焦点を当て、ユーザー、ベンダー、その他の HPC コミュニティのメンバーに対して、ソートリーダーシップと実践的なガイダンスを提供します。

本社

365 Summit Avenue

St. Paul, MN 55102

USA

612.812.5798

www.HyperionResearch.com and www.hpcuserforum.com

Copyright Notice

Copyright 2023 Hyperion Research LLC. Reproduction is forbidden unless authorized. All rights reserved. Visit www.HyperionResearch.com to learn more. Please contact 612.812.5798 and/or email info@hyperionres.com for information on reprints, additional copies, web rights, or quoting permission.