



「富岳 NEXT」の開発・整備に関する第1回記者勉強会（2025年2月4日）

プロジェクト紹介および運用について



理化学研究所計算科学研究センター

次世代高性能アーキテクチャ研究チーム チームリーダー

（次世代計算基盤開発部門 部門長就任予定）

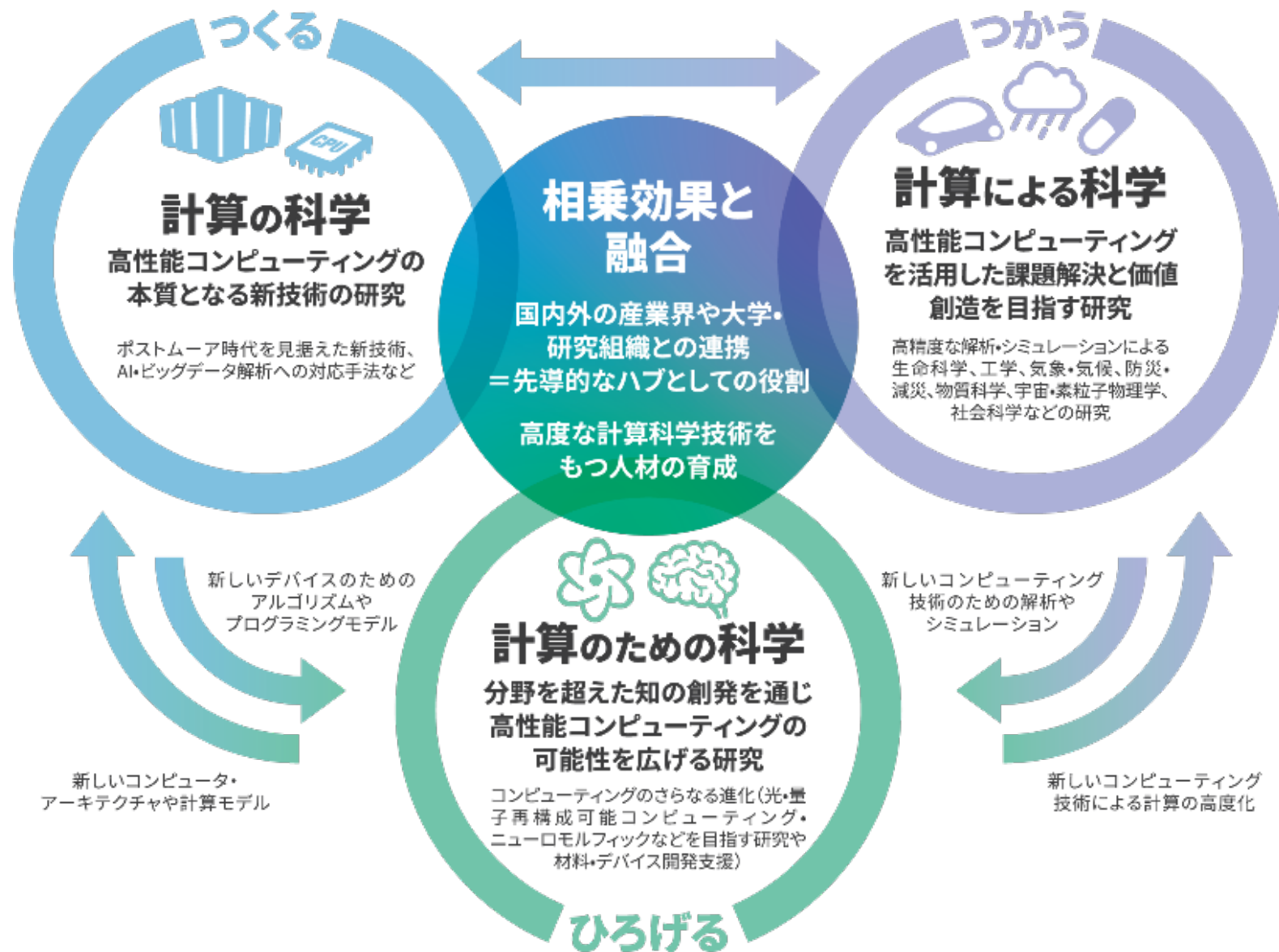
近藤 正章

R-CCSの紹介：「計算の 計算による 計算のための科学」

卓越したサイエンスの創出と、Society5.0実現の要となることを目指して

理研 計算科学研究センター (R-CCS)

理研の13研究センターの一つで
あると同時に高性能計算科学の
トップの国家拠点



アプリケーションファーストスパコン「富岳」

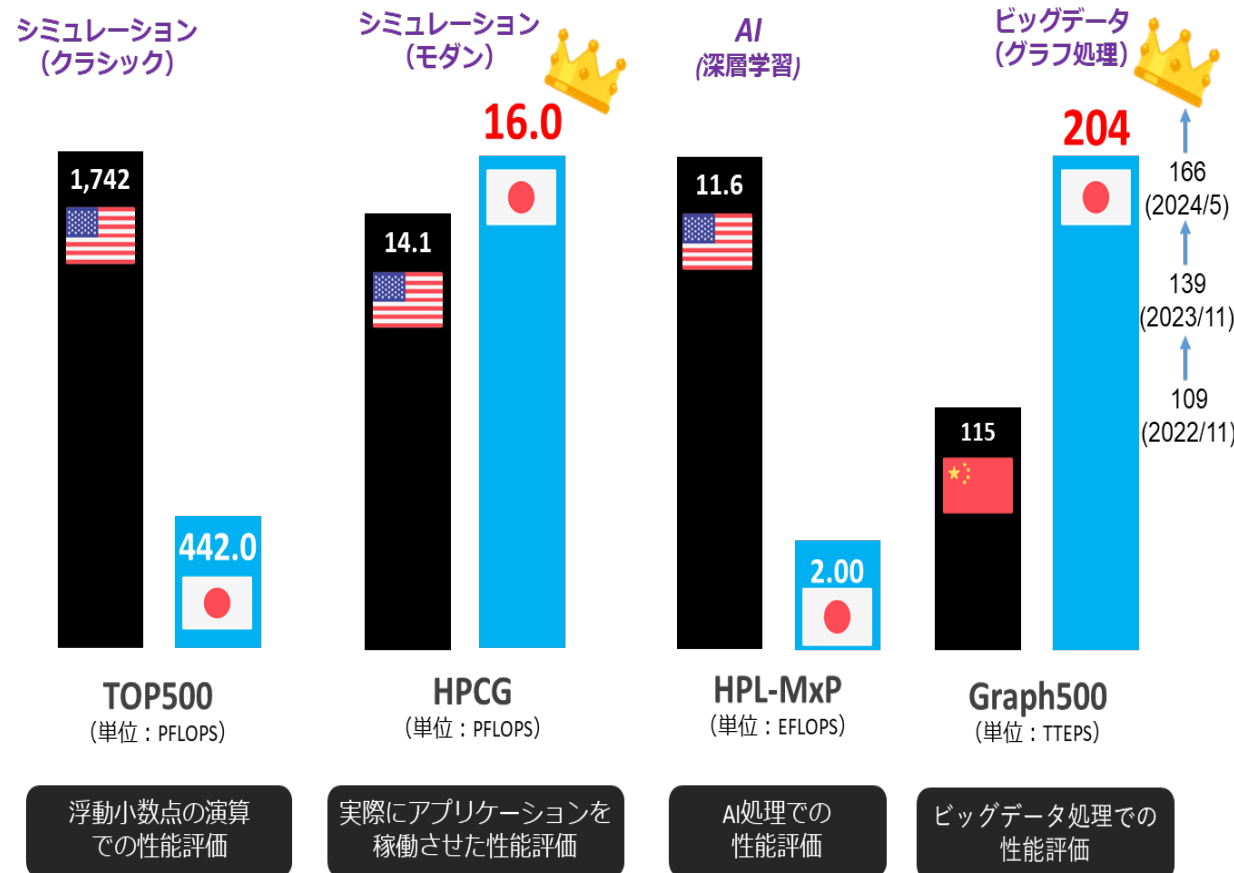


高い計算性能

広い応用分野

汎用的なアーキテクチャにもとづいて開発

現状：「富岳」世界スパコン性能ランキング 2冠
(2024/11現在)



初登場から4年半経過も世界最高水準をキープ

「富岳」で可能となったシミュレーションとデジタルツインの一例

引用元：「富岳」が拓くSociety5.0時代のスマートデザイン
サブ課題A：神戸大学・広島大学・マツダ（株）・自動車コンソーシアム

- ### 第2主成分

「富岳」で可能となったシミュレーションとデジタルツインの一例

医療・健康

新興ウイルス感染症にロバストで健康・快適・サステナブルなポストコロナ時代の室内環境設計

根拠現象統一的研究チーム
 坪倉誠チームリーダー

引用元: 「富岳」が拓(Society5.0時代のスマートデザイン) サブ課題C: 九州大学・神戸大学

① 人が放散源となる病原物質の呼出メカニズムを解明・モデル化

病原物質の室内動態から細胞レベルの防御反応機構の複雑現象と統一的に理解・解析し、定量的に可視化する**数値人体モデル**と**室内環境設計システム**の開発

② 室内空気-呼吸を介して気道内粘膜上皮に到達する病原物質輸送動態解析技術の確立

室内微粒子拡散のEuler-Lagrange解析+気道内粒子沈着分布(Hot-Spot解析)+気道内粘液輸送の統合解析

③ 経気道曝露に伴う病原物質宿主反応ダイナミクスを記述する生体防御反応モデル開発

Target Cells: $\frac{dT_T}{dt} = -\beta_T T_T V - \phi F T_T + \zeta R \frac{dR}{dt}$
 Infected Cells: $\frac{dI}{dt} = \beta_T T_T V - \kappa_P I F - \kappa_E I C - \delta_I I$
 Virus: $\frac{dV}{dt} = \beta_E I - \delta_V I - \delta_V V A - \kappa_V V A$

④ 室内換気設計の実務へ展開・実装

気象・気候

「富岳」×ビッグデータ同化×AI 30秒ごとに更新するリアルタイム天気予報

データ同化研究チーム
 三好建正チームリーダー

2021年リアルタイム実証実験
 7月20日-8月8日 (オリンピック)
 8月24日-9月5日 (パラリンピック)

占有利用
 富岳の約7%
 (~50万コア)

■ゲリラ豪雨予測
 近年の局地豪雨の頻発
 10分程度での急速な降水発達
 素早い予測が必要

フェーズドレイ気象レーダー
 高密度・高頻度観測が可能
 - 10~30秒毎に3次元全天スキャン
 - レンジ方向100m解像度、約1000仰角
 - 大阪大学で2012年夏より観測、その後、各地に設置

▶高精度超短時間降水予測をしたい

「富岳」で30秒毎に更新する天気予報をリアルタイム配信

2021年リアルタイム実証実験
 7月20日-8月8日 (オリンピック)
 8月24日-9月5日 (パラリンピック)

エムティーアイのスマートフォンアプリ

理研天気予報研究: <https://weather.riken.jp/>

アプリ名: 3D雨雲ウォッチ
<https://www.mti.co.jp/?p=21823>

高頻度レーダー観測と数値天気予報を統合

10~30秒毎に3次元全天スキャン

ConvLSTMで直近のレーダー観測の時系列を分析

ConvLSTMで未来の降水分布の時系列を生成

数値天気予報の結果を加味したAI予測

予報結果の時系列

数値天気予報システム SCALE-LETKFにデータ同化

スーパーコンピュータによる線状降水帯の予測

発達した積乱雲の連なりで大雨をもたらす「線状降水帯」は、大きな被害をもたらすリスクの高い気象現象。

2020年7月には線状降水帯による豪雨で熊本県球磨村では河川の氾濫や土砂崩れ、床上床下浸水など甚大な被害。

線状降水帯は事前に予測することが極めて困難。

気象庁では、2022年6月から開始する線状降水帯予測において、「富岳」上で、**予報モデルのリアルタイムシミュレーション実験を開始** (→ 負荷の高い新技術の開発に「富岳」を活用)。

また、**気象庁は2023年3月から**予測精度向上のために、直近のスーパーコンピュータの約2倍の計算能力をもつ**「線状降水帯予測スーパーコンピュータ」稼働開始 (実用機)**。

今後「富岳」による技術開発の成果及び線状降水帯予測スーパーコンピュータの高い計算能力により、**気象庁の現業予報モデルを高度化** (高解像度化、予報時間延長 (10時間→18時間) など)

気象庁が2024年5月28日から線状降水帯による大雨の府県単位・半日程度前の予報を開始 (それまでの予報は、地方単位で2時間前程度)。

2020年7月の豪雨による熊本県球磨村の様子

引用: <https://www.nippon-foundation.or.jp/journal/2021/61147>

線状降水帯予測スーパーコンピュータ

引用: https://www.jma.go.jp/jma/press/2302/24b/20230224_press.pdf

予測モデルの高解像度化

引用: https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/jma_suigai/jma_suigai.html

都市・防災

事例：神戸市スマートシティ

離散事象シミュレーション研究チーム
 伊藤伸泰チームリーダー

◆神戸市、NTTドコモ、R-CCSとの連携・協力に関する覚書を2022年4月に締結
 ◆県市COE事業を活用して神戸市の防災や回遊促進の取り組みを支援するため、2023年度は**発災時の帰宅困難者を安全に誘導・退避**させるための各種シミュレーションを実施。
 移動を一定時間制限することによる効果や、**帰宅困難者に対する効率的な誘導方法**に関する知見を得た。
 ◆それらの**成果を神戸市防災計画へ反映**するとともに、**1月17日プレスリリース及び動画作成・配信。**

混雑箇所のプロット図

東遊園地誘導図 (案)

三宮駅

7-0-0000

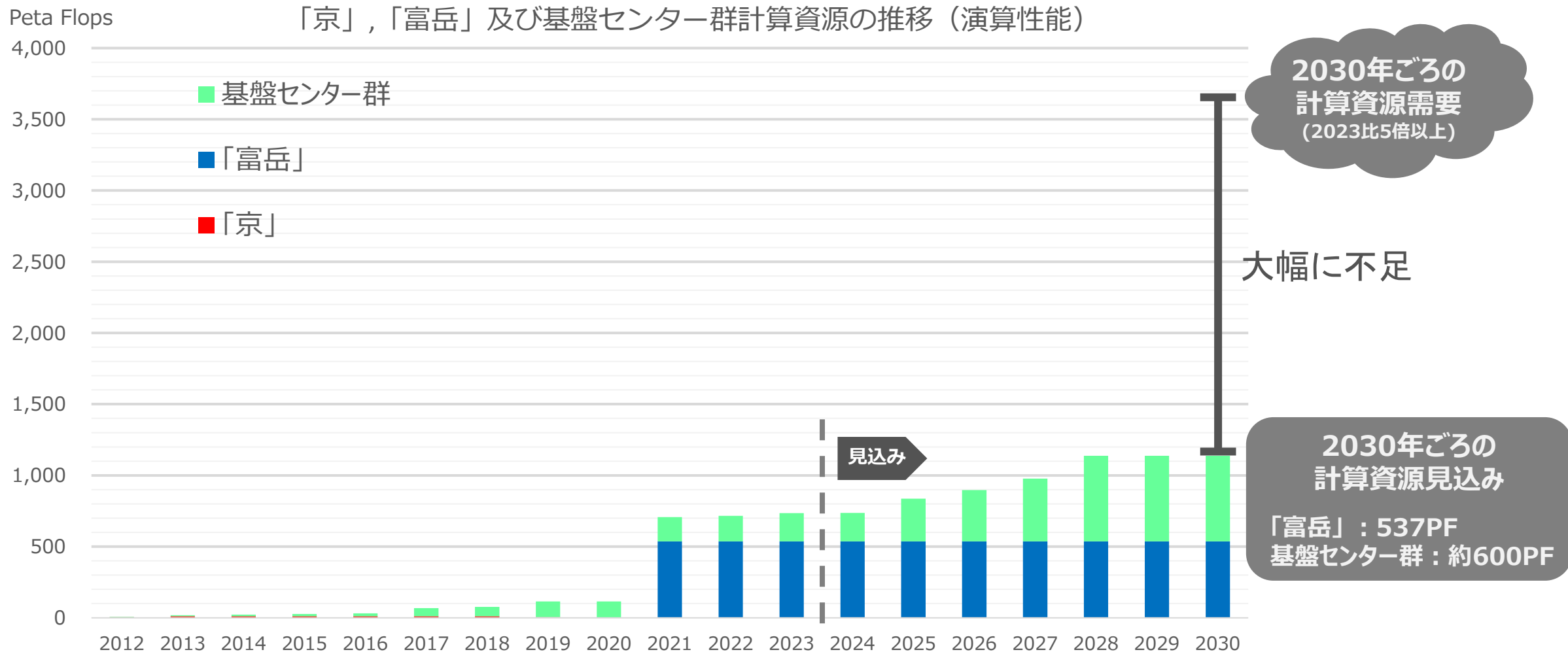
walking:100%

speed km/h

0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 3.5

HPCIに接続された計算資源量の推移と今後の見込み

今後、基盤センター群の計算資源量は増加していくものの、「富岳」の資源量と合わせても、**2030年ごろに必要な計算資源需要に対して大幅に不足すると予想**



※ 2024年4月以降については、大学等の協力機関へのアンケート調査により、今後HPCIに接続される計算資源の見込みを集計

新たなフラッグシップシステムに求められる性能・機能（概要）

「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」より抜粋（一部補筆）

- （科学者）コミュニティの試算や産学官の更なる利用の拡大も見越しつつ、遅くとも2030年頃の稼働を目指し、電力性能の大幅な向上により、既存の「富岳」ユーザに対しては実効性能として現行の5～10倍以上の計算能力を提供しつつ、AI性能については運用開始時点で世界最高水準（実行性能として少なくとも50EFLOPS以上）の利用環境を提供することを目標として、フラッグシップシステムの開発・整備を行うべき。
- （フラッグシップシステムの開発・整備を行う際には、）今後も自国の技術を中心にスーパーコンピュータを開発・整備する能力を国内に維持し、国内人材育成や産業競争力の維持・発展に資するため、「京」や「富岳」の開発において蓄積してきたCPUの開発及びシステムのインテグレーションに加え、メモリ実装技術の開発をコア技術と位置付けて継続的に開発を行うべきである。また、更なる性能向上や生成AIへの対応を図るため、加速部を導入するべき。また、（略）、最先端のメモリ技術を採用し、利用者にとってさらに魅力的なシステムとなることを期待。
- （略）システムソフトウェア開発においては、アプリケーションやAI等の研究開発のプラットフォームとして、世界で使われている基本的なアプリケーションがこれまで以上に多様かつ円滑に利用できるように設計し、運用開始後も継続してシステムソフトウェアの改善を図るべきである。
- （開発・整備の手法について）（略）時代時代の要請に応じた十分な性能を常に提供し続ける必要が生じている。そのために、フラッグシップの開発・整備においては、
 - ① 「京」から「富岳」への移行時のようなシステムの入替による「端境期」を極力生じさせず、利用環境を維持すること
 - ② 最新の技術動向に対応するために適時・柔軟にシステムを入れ替え又は拡張可能とし、進化し続けるシステムとすること
 - ③ （略）将来の計算資源への対応に大きく貢献し得る技術に関しては、AI技術の次の技術革新を含めた中長期的な視点から技術評価・研究開発を継続し、将来のシステムの入替・拡張の際に反映させること

が重要。

● 「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」への対応

- データ移動の効率化を含めた実効性能重視のアプリケーションファーストなシステム。
- 「AI for Science」の実現に向けたHPCとAI技術の高度な融合。
- エコシステムへ訴求が可能、かつ「富岳NEXT」のみならず広く利用される構成の探求。
- スーパーコンピュータ「富岳」の知見やソフトウェア資産の有効活用と継続的な研究開発。
- 量子コンピューティングとのハイブリッド利用を見据えたプラットフォームの実現。
- 次の技術開発を中長期的な技術評価・研究開発を継続し、将来のシステムの入替え、拡張への対応。

● 「富岳」開発と運用での経験と教訓を踏まえた対応

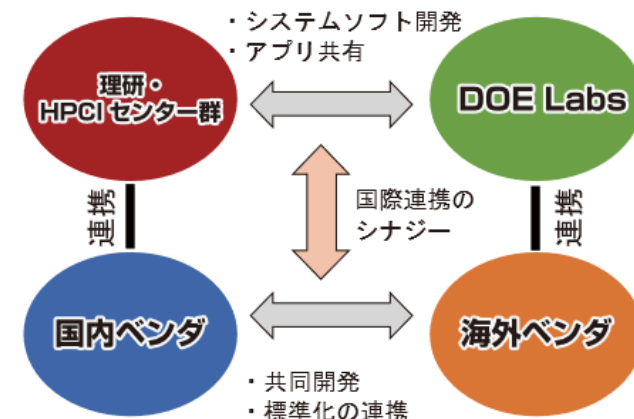
- 「富岳」開発段階で対応しきれなかった課題、「富岳」運用時に対処した経験を踏まえて開発に反映。
 - ✓ スーパーコンピュータ「京」から「富岳」への入替時期（端境期）に、大学及び研究機関における体制強化が図られたものの、我が国の計算資源の一定数が減少した。
 - ✓ 協調設計（コデザイン）が限定されたターゲット・アプリケーションで行われ、一般アプリケーションに対する性能面でのロバスト性が不十分、かつ、システム設計で大枠が決まる前段階で、幅広いユーザにアプリケーション性能を向上するための要件の情報開示がなされなかった。
 - ✓ システムソフトウェアの整備がシステム開発段階で終了し、「富岳」運用段階における継続した開発が行われず、時代や状況に応じた更新ができていなかった。
 - ✓ 新しいAI技術である、「AI for Science」対応に関する要求に、ハード面（SVE FP16）、ソフトウェア面（Fugaku LLM等）、運用面（DL4Fugakuなど）で対応してきたが、最高のAI性能実現には、ハードウェアのさらなる高性能化必要であることが露になった。
 - ✓ 運用コストを含め、運用を見据えたシステム設計や環境（設備）整備の議論が不十分であった。

理研としての次世代計算基盤の開発／整備方針

●「次世代計算基盤に係る調査研究事業」の結果も踏まえつつ、以下の開発／整備方針に基づき検討

次世代計算基盤の開発／整備方針の前提

- 「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」への対応
 - データ移動の効率化を含めた実効性能重視のアプリケーションファーストなシステム。
 - 「AI for Science」の実現に向けたHPCとAI技術の高度な融合。
 - エコシステムへ訴求が可能、かつ「富岳NEXT」のみならず広く利用される構成の探求。
 - スーパーコンピュータ「富岳」の知見やソフトウェア資産の有効活用と継続的な研究開発。
 - 量子コンピューティングとのハイブリッド利用を見据えたプラットフォームの実現。
 - 次の技術開発を中長期的な技術評価・研究開発を継続し、将来のシステムの入れ替え、拡張への対応。
- 「富岳」開発と運用での経験と教訓を踏まえた対応
 - 「富岳」開発段階で対応しきれなかった課題、「富岳」運用時に対処した経験を踏まえて開発に反映。
 - スーパーコンピュータ「京」から「富岳」への入替時期（端境期）に、大学及び研究機関における体制強化が図られたものの、我が国の計算資源の一定数が減少した。
 - 協調設計（コデザイン）が限定されたターゲット・アプリケーションで行われ、一般アプリケーションに対する性能面でのロバスト性が不十分、かつ、システム設計で大枠が決まる前段階で、幅広いユーザにアプリケーション性能を向上するための要件の情報開示がなされなかった。
 - システムソフトウェアの整備がシステム開発段階で終了し、「富岳」運用段階における継続した開発が行われず、時代や状況に応じた更新ができていなかった。
 - 新しいAI技術である、「AI for Science」対応に関する要求に、ハード面（SVE FP16）、ソフトウェア面（Fugaku LLM等）、運用面（DL4Fugakuなど）で対応してきたが、最高のAI性能実現には、ハードウェアのさらなる高性能化が必要であることが露になった。
 - 運用コストを含め、運用を見据えたシステム設計や環境（設備）整備の議論が不十分であった。



技術革新

- AIを大幅に加速する諸技術のさらなる発展とそれによるアプリケーション性能の数十倍～数百倍のアプリケーションの性能向上
- 高帯域及びヘテロジニアスなノードアーキテクチャ、先進的なメモリ技術の採用
- 「AI for Science」など今後の発展が見込まれる新たな計算資源需要に対応したシステム設計

持続性／継続性

- 標準規格や既存のエコシステムとの親和性が高いシステムの構築（ソフトウェア環境の継続整備）
- 持続的・継続的なシステム構築、運用環境に向けた研究開発環境の実現
- 「富岳」での取組みをさらに進化させた運用技術の高度化による省エネルギー化の実現

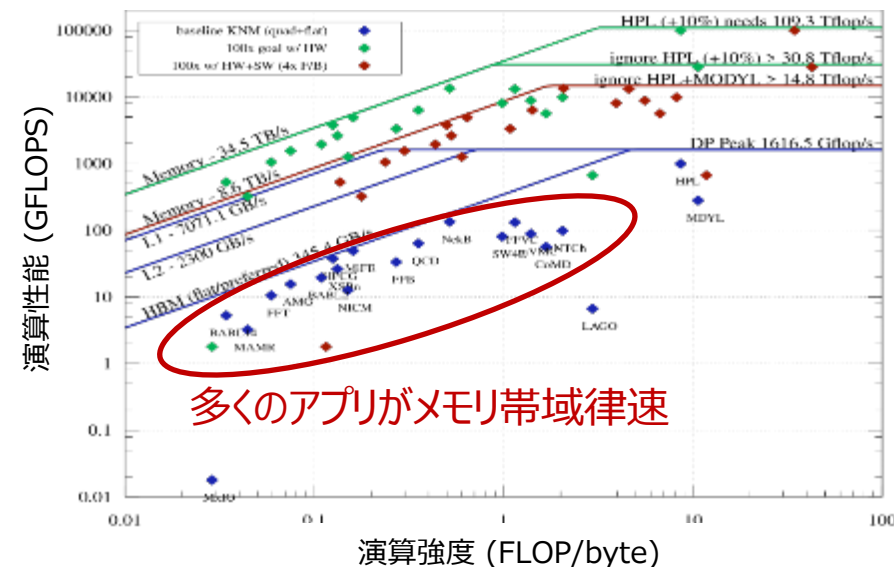
Made with Japan

- 世界的に訴求力のある国産技術の高度化、技術継承を進めることによる情報産業での戦略的不可欠性の確保、グローバルマーケットへの展開
- 国内および国外の技術・人材の連携などの国際協調によるプロジェクト推進

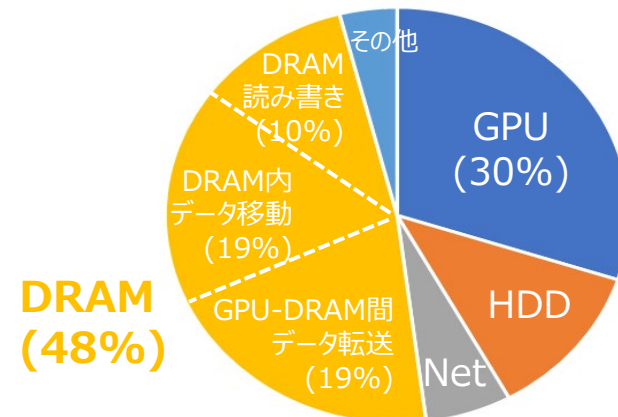
想定する次世代計算基盤のアーキテクチャの方向性

- **シミュレーションとAIの融合**によるサイエンスの進化へ向けて
 - 世界最高水準のAI処理基盤の実現
 - 仮説生成や実証などのサイエンスの自動化・高度化（「AI for Science」）による科学研究の加速。
 - 混合精度演算やサロゲートモデル等利用によるデジタルツイン実行性能の大幅な向上（ハードウェアカタログ値の性能向上分を超えた性能加速）。
 - シミュレーション・AIの双方で世界最高性能を達成を目指す
- **データ移動の効率化**による実効性能と電力効率の大幅な向上
 - 導入時点で入手可能な最先端の積層メモリ技術の利用。
 - シミュレーションおよびAIワークロードに資する相互結合網の構築。
- **ヘテロジニアス&密結合アーキテクチャ**による演算処理加速
 - 国産技術を取り入れたCPU + GPU等アーキテクチャ。
 - Made with Japanのシステム構築による国内技術力の強化と育成。
- **エコシステムを重視しオープン規格を取り入れたシステム構成**
 - 既存のシステムソフトウェア（AIフレームワークやプログラミング環境、ファイルシステム）との互換性を担保。
 - 「富岳NEXT」専用ではなくクラウド等に訴求できるシステムを探索。

ルーフライン解析

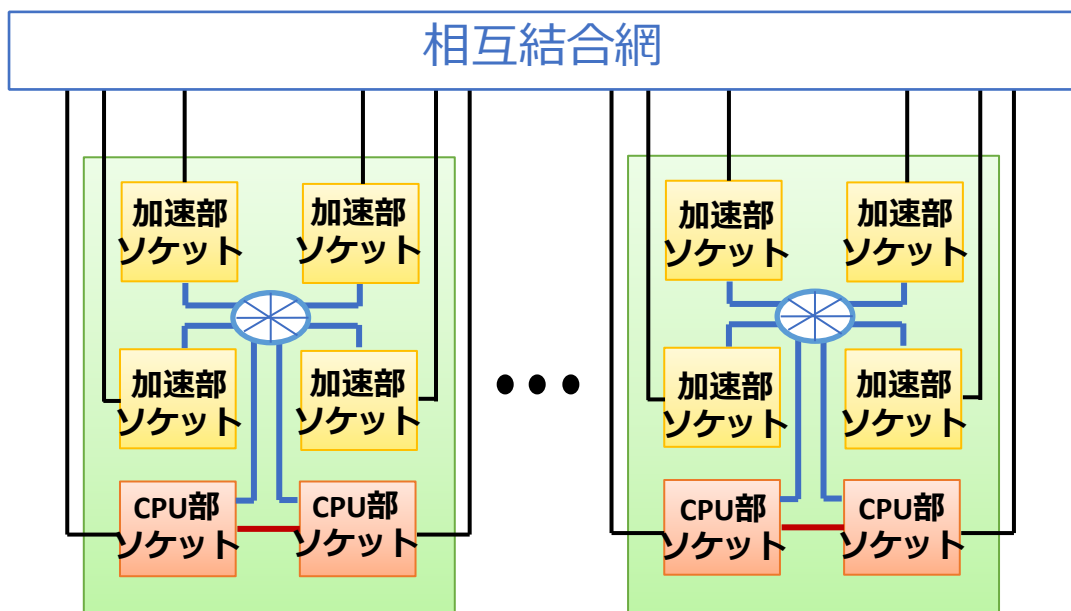


AI時代のGPUサーバの消費電力内訳



J. Zhao et al., "Optimizing GPU energy efficiency with 3D die-stacking graphics memory and reconfigurable memory interface," in *ACM Trans. Architecture and Code Opt.* vol. 10, Issue 4, pp. 1-25, 2013. を基にAI推論の電力内訳を分析

高帯域&ヘテロジニアスなノードアーキと システム全体の構成例



ターゲットとするシステム全体の性能

項目	CPU	加速部
合計ノード数	3400ノード以上	
FP64ベクトル性能	48PFLOPS以上	3.0EFLOPS以上
FP16/BF16行列演算性能	1.5EFLOPS以上	150EFLOPS以上
FP8行列演算性能	3.0ELOPS以上	300EFLOPS以上
FP8行列演算性能（sparsity考慮）	—	600EFLOPS以上
メインメモリサイズ	10PiB以上	10PiB以上
メインメモリバンド幅	7PB/s以上	800PB/s以上
合計消費電力	40MW以下（計算ノードおよびストレージ）	

今後の「AI for Science」の発展を見据えつつ
既存HPCアプリで現行の5～10倍以上の実効計算性能
AI処理でZettaスケールのピーク性能を念頭に50EFLOPS以上の実効性能を実現するシステムを開発・整備し
シミュレーションとAIの融合により総合的に数十倍のアプリ実行高速化を目指す

スーパーコンピュータ「富岳」のシステムソフトウェアの技術と経験をベースに、先端性と利用の継続性を両立させた進化型のシステムソフトウェアを構築

- 「富岳」から「富岳NEXT」へユーザが違和感なくアプリケーションを利用でき、かつ新たな技術の取り込みを可能とするシステムソフトウェアの構築を目指す。
- ✓ Exascale Computing Projectをはじめとする国内外のコミュニティと連携したソフトウェアエコシステムの開発およびOSSの利活用
- ✓ CPUと加速器を効率よく利用するためのプログラミング環境やソフトウェア環境の整備
- ✓ 科学シミュレーションのみならず、AI for Science、量子-HPC計算やそれらの融合を可能にする最先端のソフトウェア環境を実現

システムソフトウェア群

プログラミング環境

数値計算ライブラリ

AIフレームワーク

通信ライブラリ

ファイルシステム

スケジューラ

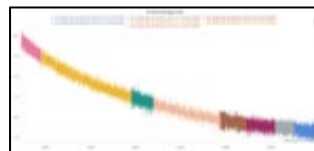
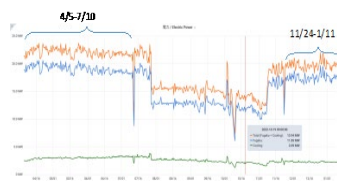
OS・コンテナ

運用管理システム

「富岳NEXT」またその先に向けて継続的に技術評価・研究開発
(国内外のコミュニティに水平展開し、全体の発展に継続的に貢献)

省電力機能、「AI for Science」のサポート クラウド技術の活用/クラウドへの展開 及び利活用

- 「富岳」における電力削減の実績を発展させ、データセンタ施設と連携した省電力機能により高エネルギー効率かつ低カーボン排出を実現。
- スパコンを利用した大規模な学習用データ生成やモデルの大規模学習および推論機能のサポート、システム運用およびユーザサポートの自動化。



- HPC環境のパッケージ化により標準利用ソフト環境の提供（国内外のコミュニティへの共有）。
- バーチャル富岳(クラウドの「富岳」化)の実績を発展させ、クラウド上に次世代フラッグシステムと同等のソフトウェア環境を展開。



「富岳NEXT」の試験運用段階から、成果が創出されるためには、各分野での「AI for Science」に関する取りまとめを加えた「計算科学ロードマップ」を踏まえつつ、計算基盤の利用側の具体的なニーズを示すとともに、「富岳」の教訓も認識しつつアプリケーション・ファーストで、システム設計を推進することが必要

- 次世代計算基盤を利用した成果の最大化に向けた提言（一部加筆・修正）

一般社団法人HPCIコンソーシアム（2024年6月5日）

- ✓ 加速部が加わることを含め、OSやプログラミング言語として標準的なものを採用。
- ✓ システムの概念設計段階での、アプリケーション性能向上するために満たすべき項目を整理して示し、ハードウェア的に実現可能かの検討と詳細設計への反映。
- ✓ システム稼働開始当初からシステム性能を十分に引き出すために必要な、コンパイラを含めたシステムソフトウェアの整備。
- ✓ 演算性能、メモリ性能等の各ハードウェアの特性に対して、どのような制約条件からどのようなトレードオフがあるのかを、できるだけ広い範囲のパラメータに対応した情報開示。
- ✓ 詳細設計でアーキテクチャの特性が取捨選択された際には、トレードオフにおいてどの選択が行われ、何が捨てられたのかの明確化。



計算科学ロードマップ
<https://hpcic-kkf.com/>

- システムとアプリケーションとの協調設計（コデザイン）に当たっては、システム検討状況を適時・適切タイミングで、幅広い関係者に必要な情報発信を行い、開発時点からアプリケーションへの対応力を強化。
- 「AI for Science」に関しては、大幅なAI性能向上を達成するシステム技術を活かした数十倍～数百倍のアプリケーションの性能向上の達成や、観測・実験インフラへの融合に必要なリアルタイム性の実現などを意識したコデザインを実施。
- コンパイラやライブラリ等の継続的な整備、業界のデファクトスタンダードなOSSや商用アプリケーション利用環境の構築。

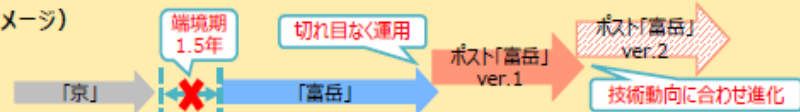
「HPCI計画推進委員会次世代計算基盤に関する報告書最終取りまとめ ポイント」より抜粋

【求められる性能・機能】

- ・遅くとも2030年頃の運転開始を目指し、科学者コミュニティの需要予測を踏まえ、電力性能の大幅向上により以下の計算環境を提供
 - ・既存の「富岳」でのシミュレーション → 現状の5～10倍以上の実効性能
 - ・AI性能 → 世界最高水準の利用環境(実効性能50EFLOPS以上)
- ・加速部の導入、コア技術としてCPU開発、インテグレーション、メモリ実装技術を位置づけ

【求められる開発・整備の手法】

- ・「端境期」を極力生じさせず、利用環境を維持
- ・適時・柔軟に入れ替え又は拡張可能とし、進化し続けるシステム
- ・将来の需要増に大きく貢献し得る技術の評価・研究開発を継続
 - ※ 構成要素の調達、国内の製造技術の成熟状況を見極めて対応
 - ※ 量子コンピュータについては、別途計算機ネットワークに接続し、ユーザーに利用環境を提供する方針(イメージ)



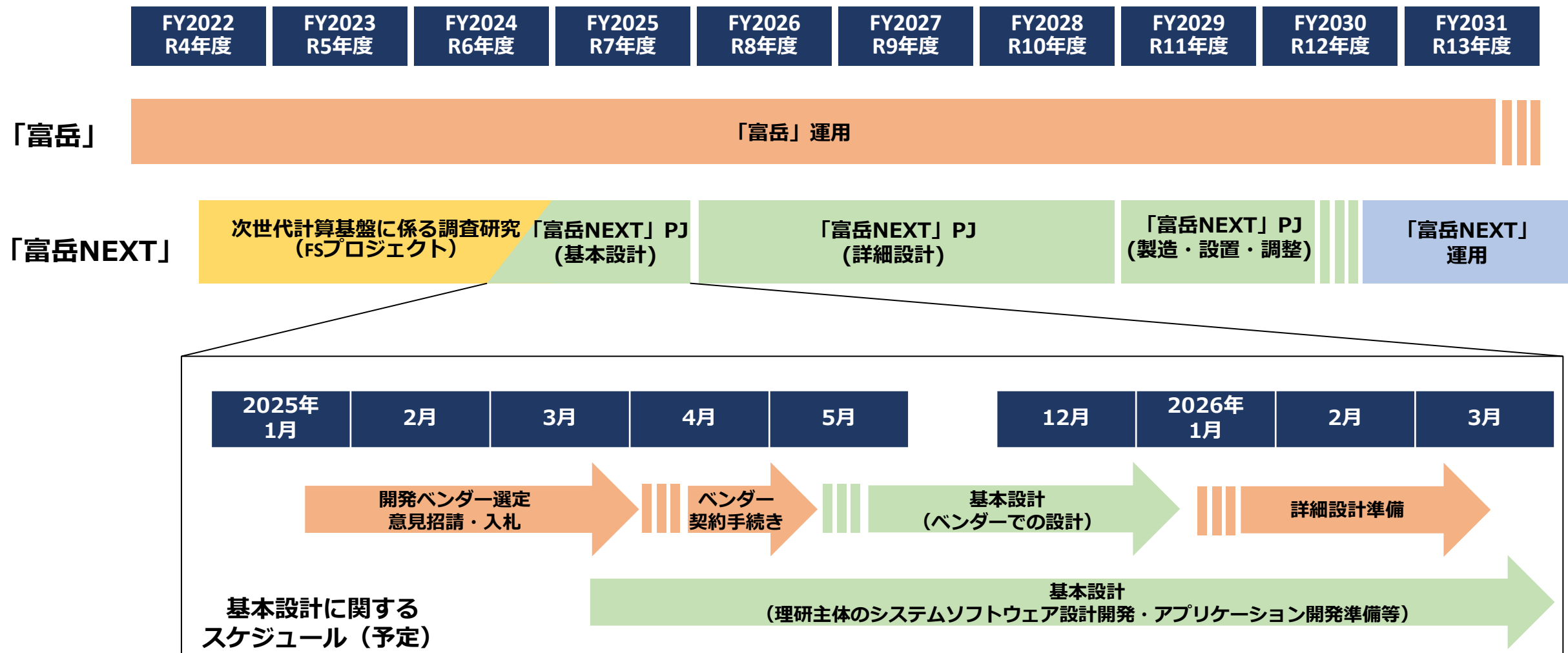
【開発主体】

- ・理化学研究所を開発主体とし、引き続き検討を進める
- ・検討にあたっては、節目においてHPCI計画推進委員会等の評価を適時受けることや、開発費用の過度な増大を避けることなどが求められる

- 「京」から「富岳」移行時のようなシステム入れ替えによる「端境期」を極力生じさせず、利用環境を維持
 - 新旧システムの稼働時期をオーバーラップさせ、世界最高水準の計算性能と計算資源量の継続的かつ安定的に提供
 - 計算科学の研究開発サイクルを途切れなく回し成果創出を加速
- 最新の技術動向に対応するために適時・柔軟にシステムを入れ替え又は拡張可能とし、進化し続けるシステムを目指す
 - 近接施設での一体整備・運用により、既存の運用体制・施設と共通化できる部分が多くなるため効率化でき、最新設備へのアップグレードも容易→高エネルギー効率かつ低カーボン排出のデータセンタ運用が可能
 - 技術の評価・研究開発を継続的に実施することで、将来のニーズや最新の技術動向のキャッチアップが可能
 - 半導体産業をはじめとする国内外の製造技術の成熟状況も随時見極め、我が国の産業発展への貢献を検討し、導入する技術を検討

基本設計の段階から、将来の運用方法やコストを意識した議論を進めつつ、技術的な課題克服に向けて既存の「富岳」関連施設を最大限活用するとともに、設備改良や施設増強など合理的かつ経済的な運用の方向性を検討

- 「富岳NEXT」プロジェクトにおけるフラッグシップシステムの開発・整備スケジュール想定



「富岳NEXT」の開発推進体制

- 2025年4月1日に理化学研究所・計算科学研究センターに「次世代計算基盤開発部門」を新たに設置し「富岳NEXT」の開発プロジェクトの推進や情報発信、他機関との連携を図る予定

