



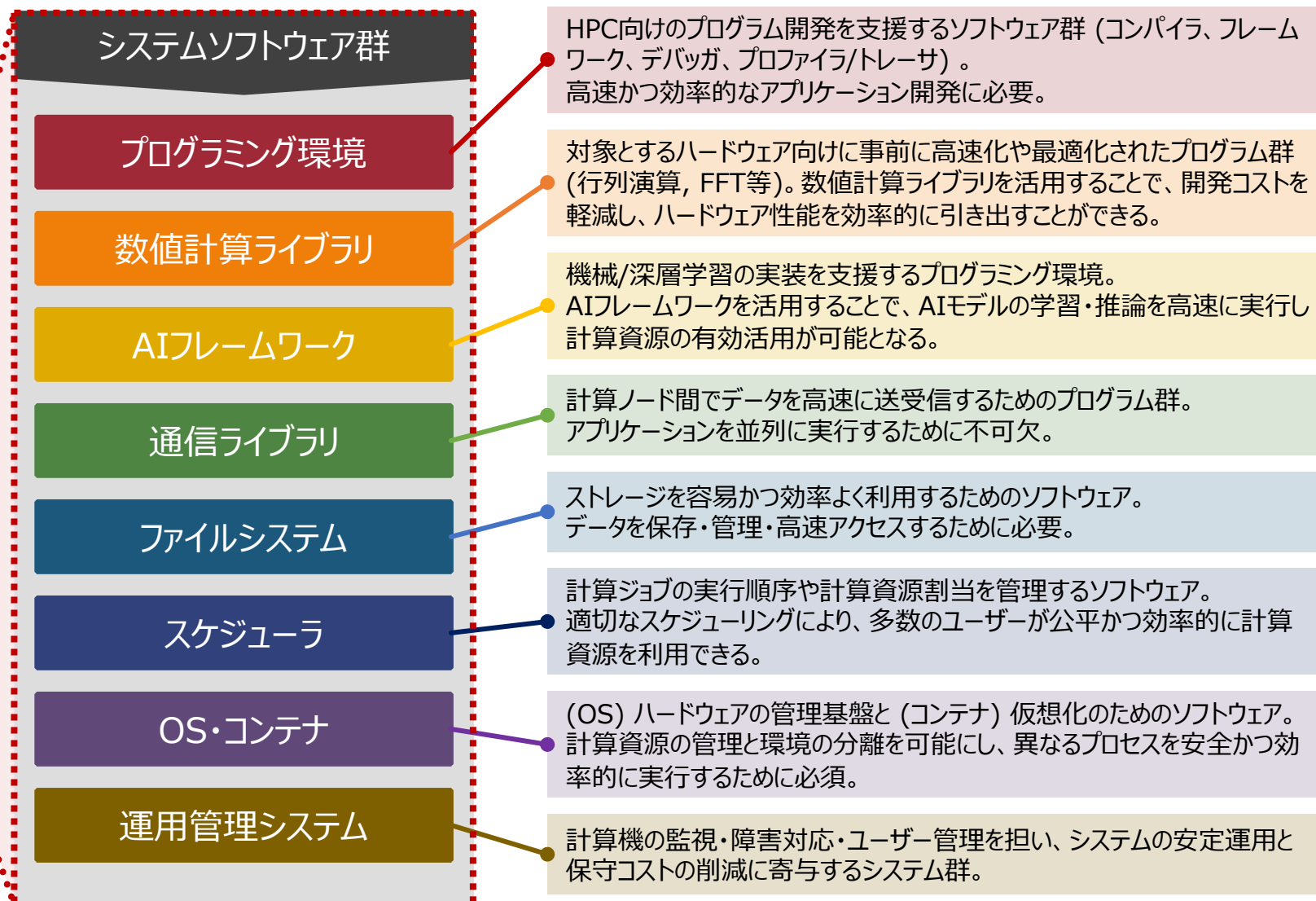
シンポジウム「ポスト富岳で拓くアプリケーションの未来」
2025年3月25日

ポスト富岳として想定されるシステム概要 (システムソフトウェア)

理化学研究所 計算科学研究センター
高性能ビッグデータ研究チーム チームリーダー
佐藤 賢斗

「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」および、次世代計算基盤に係る調査研究事業 システム研究調査チーム（理研チーム）の調査結果をもとに、開発主体である理化学研究所の考えをまとめた資料になります。本資料は、2025年3月25日時点での情報共有を目的としており、今後の検討状況に伴い、一部変更の可能性がございます。

- システムソフトウェアとは、計算機ハードウェアの性能を最大限に引き出し、科学技術計算やAIなどのアプリケーション開発を効率化し、計算機の運用を最適化するためのソフトウェア群を指す。



「次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめ」のシステムソフトウェアに関する記述を抜粋

- 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。
- フラッグシップシステム開発の成果を最大化し、わが国の産業競争力の強化や経済安全保障を含む社会的課題の解決に貢献していくためには、**その要素技術（ハードウェアやソフトウェア）が成果としてクラウドを含む世界の情報基盤に採用**されるとともに、開発の成果が社会実装され、広く普及することが重要。
- フラッグシップシステムの整備においては、**システムソフトウェア環境の相互互換性を高めるとともに水平展開**し、また、開発されたアプリケーションが国内外のシステムに簡便に移植できることも、利用者の拡大の観点からは重要。新たに整備されるフラッグシップシステムが、これまで以上に、国内の産学の幅広い研究者による協働や、国際連携に活用されることを期待。

様々なシステムと高い**互換性**を持ち、運用開始後も**継続的に改善**でき、**クラウドを含む国内外の情報基盤**で採用されるシステムソフトウェアが求められている

システムソフトウェアは、継続的な機能拡張やメンテナンスのため、可能な限りオープンソースを採用し、開発したソフトウェアも原則としてオープンソースとして公開することで、改変や拡張を通じて富岳NEXTやコミュニティの発展に貢献。また、商用ソフトウェアを導入する場合も、定期的にアップデートされるものを採用。

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

● 高い互換性と継続的なソフトウェアの進化

- 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、先進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システムおよび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
- 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構築およびOSSの利活用
- 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

● クラウドや国内外の計算基盤へ展開

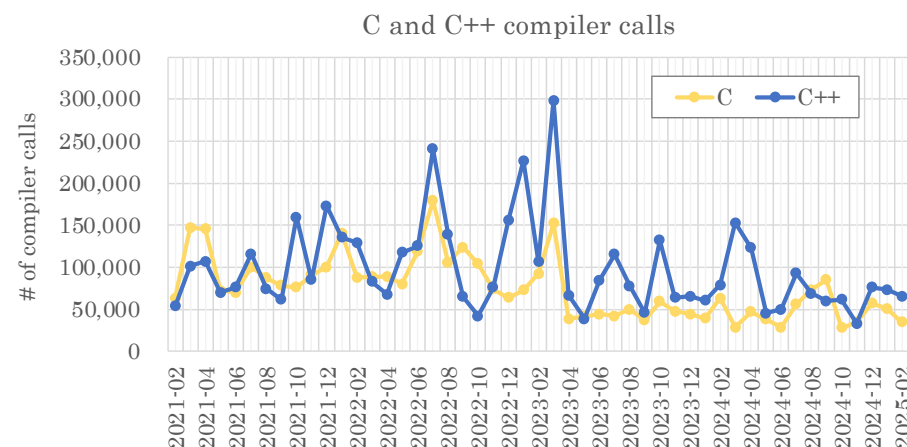
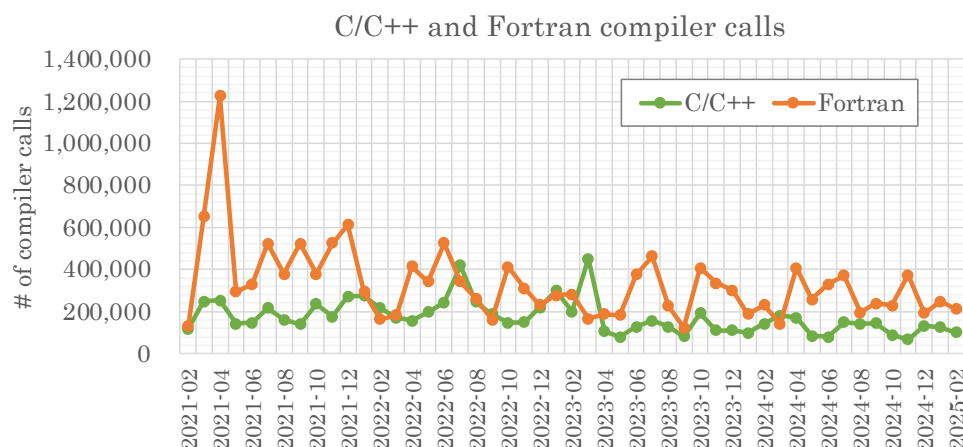
- HPC環境のパッケージ化により標準利用ソフト環境の提供（国内外のコミュニティへの共有）
- バーチャル富岳(クラウドの「富岳」化)の実績を発展させ、クラウド上に次世代フラッグシステムと同等のソフトウェア環境を展開

プログラミング
環境

CPUと加速器の異種混在環境における高性能計算（HPC）を実現するための包括的なプログラミング環境の提供

- 通信ライブラリ (MPI)とリンク可能なFortran、C、C++ の言語処理系を備えるとともに、CUDA、HIP、OpenMP、OpenACC、SYCL、Kokkos等の加速部オフローディング処理を考慮したプログラミング環境を整備
- プログラミング支援環境の充実も重要であり、デバッガやプロファイラ・トレーサを整備し、CPU、加速部、通信ライブラリを含めた性能解析ツールを整備

富岳におけるコンパイラの利用状況



Fortran、C/C++の言語処理系や支援環境のサポートは重要

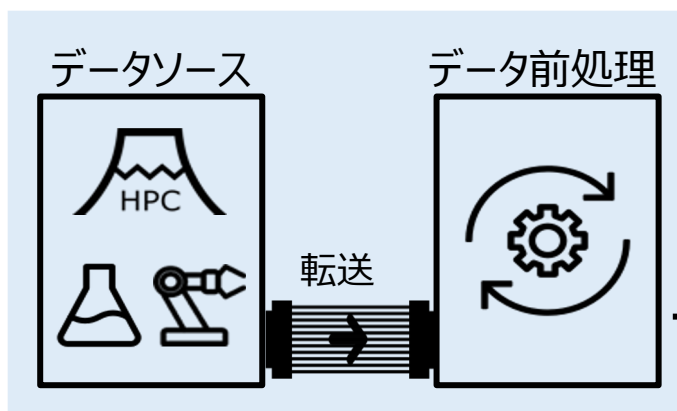
AIフレームワーク

最先端のAI研究とAI for Scienceを支えるため、最新のAIフレームワークの最適な動作環境を構築することが重要。そのため、主要なAIフレームワークについてCPUおよび加速器に最適化した形で運用できるよう、必要な技術開発を進める

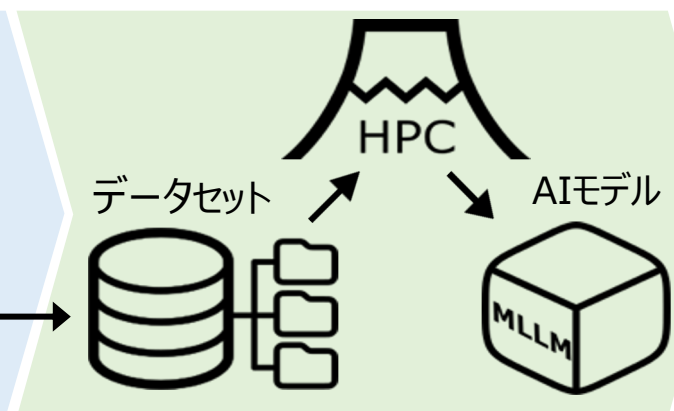
● 「富岳NEXT」によるAI処理の加速

- (1) データ取得パイプライン: 学習データの高速生成と、蓄積・測定された多様な科学データの高速転送、自動データ変換
- (2) モデル学習パイプライン: AIモデルの大規模事前学習・追加学習・ファインチューニング
- (3) モデル推論パイプライン: AIモデルの推論による科学実験・観測の自動化ワークフロー
- AI処理の加速とAIとシミュレーション・科学実験との融合による「AI for Science」の飛躍的な進化
 - シミュレーションプログラムの自動生成と観測・実験の自動化、実験結果の自動データ解析とそれに基づく実験条件の提案
 - AI自身の精度の向上のための自動強化学習・自己修正

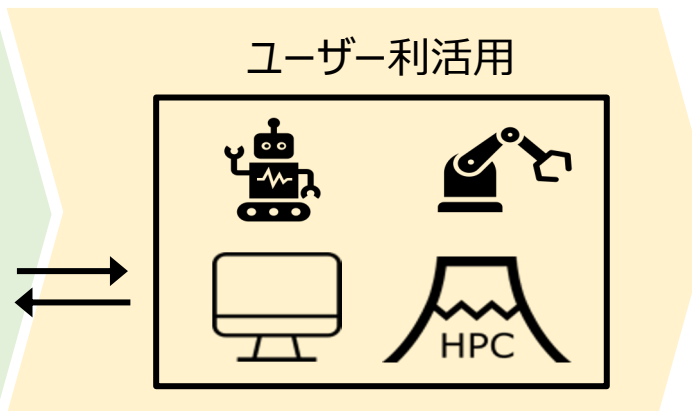
データ取得パイプライン



モデル学習パイプライン



モデル推論パイプライン



「富岳NEXT」による「AI for Science」の進化
そして自動化による科学研究の“飛躍的”な加速を目指す

運用管理システム

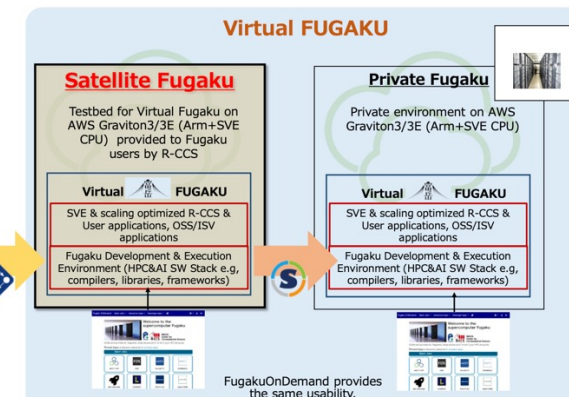
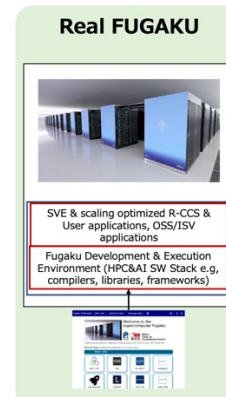
「富岳」と同等規模のワークロードを処理するための運用管理システムを Infrastructure as Code を基本に開発し、またソフトウェアパッケージ管理ツール (Spack)、HPCのクラウド化サービス (Open On Demand)、その他AIを活用しユーザの利便性を向上。

● 富岳における運用ソフトウェア

- Spackによるソフトウェアパッケージ管理
- Open OnDemandによる直感的な操作インターフェース
- Grafana等によるシステムモニタリング・可視化
- WHEELによるワークフロー型ジョブ実行
- AskDonaの技術開発 (生成AIを活用した問い合わせ対応システム)

● 今後、各種サービスを生成AIを中心にAI化

- プログラムの生成・移植・チューニング・デバッグ
- 各種ユースケースの相談 (a.k.a. Deep Research for HPC)
- AI for Science 全般のサポート (データ処理パイプラインのAI化)



Fugaku Support Site

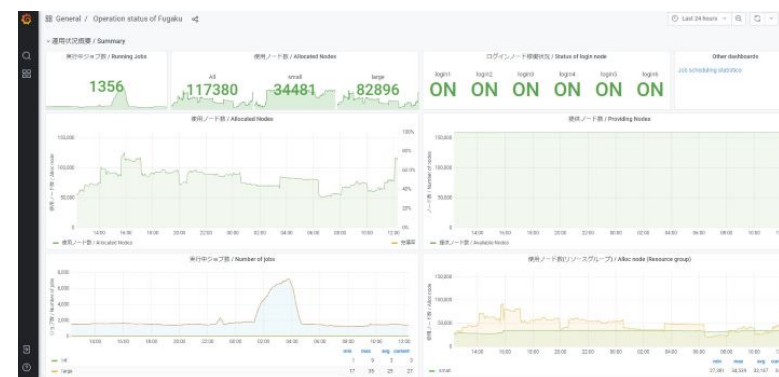
質問する 申請する 過去の質問 コミュニティ

もしサポートスタッフによる対応が必要な場合は、入力欄へ「有人対応をお願いしたい」と送信してください。

生成AIアシスタント - AskDona



こんにちは！私はDona。富岳に関する質問へお答えします。**お知らせ記事**で利用上のコツが書かれていますので参考にしてください。
有人対応チケットフォームをご利用の際は、AskDonaに「チケットを作成したい」または「有人対応をお願いしたい」とメッセージを送信してください。
回答についての評価を👍ボタンでフィードバックをお願いします。
それでは一番下の入力欄からご質問をどうぞ。



先端的運用技術を「富岳NEXT」およびクラウドを含む国内外の計算基盤へ展開

「富岳」利用者の利便性向上に資する先端的な運用技術の開発や導入を推進すると共に、それらの成果のHPCIの他センター等への導入に積極的に協力することで、我が国のHPCI及びコミュニティに大きく貢献し、またクラウドを含む国内外の計算基盤へ展開

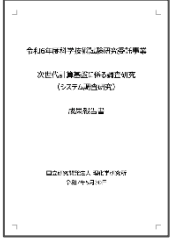
数値計算ライブラリ	CPUおよび加速部に最適化され性能を最大限活用できるよう、計算処理の効率化や高速化を実現するライブラリの開発
通信ライブラリ	通信効率を最大化するため、標準的な通信ライブラリであるMPIやUCXの導入を進めるとともに、CPU、加速器とインターコネクに最適化されたソフトウェアの開発。
ファイルシステム	膨大な量のデータ処理するための能力を備えた階層化されたストレージ・ファイルシステムを構築し、高速かつ長時間運用において安定したデータアクセス環境を提供することを目指す。
スケジューラ	計算資源を最大限に活用するため、高度なジョブ管理システム（Slurmの最新版に相当する機能）の整備を進め、計算資源の効率的な割り当てを実現し、システム全体の処理能力の向上を目指す。
OS・コンテナ	計算ノードおよびフロントエンドノードのOSとして最新のLinuxディストリビューションを採用し、ソフトウェアが広くサポートされる環境を構築。また、ハイパーバイザやコンテナを活用するためのソフトウェア・ハードウェアの両面からの検討を行い、最適な仮想環境を検討。

「富岳NEXT」の試験運用段階から成果が創出されるためには、「富岳」の教訓を取り入れ、さらにHPCI「計算科学ロードマップ」、
「AI for Science ロードマップ」、FS調査研究プロジェクトの結果を踏まえ、アプリケーション・コミュニティとのコデザインによる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）

- アプリ性能向上するために満たすべき要件を整理（アルゴリズムの体系化・カタログ化）
- 要件を踏まえ、試験運用段階から性能を十分に引き出すために必要なシステムソフトウェア、アプリ移植・高度化技術、支援の整備
- 継続支援・整備のためのコンパイラやライブラリ等の選択・設計・開発、業界のデファクトスタンダードなOSSや長期的な開発・支援が見込まれる商用アプリケーションの利用環境構築



計算科学およびAI for Science ロードマップ
<https://hpcic-kkf.com/>

FS調査研究報告書
<https://www.mext.go.jp>

● アプリ開発：アプリ・コミュニティの構築

- 実行アルゴリズムの体系化・カタログ化
- 高度化のためのベンチマークの開発
- システム設計・開発へのフィードバック



● アプリ開発支援：AI・自動化技術を活用した先進的なアプリ移植・高度化・支援

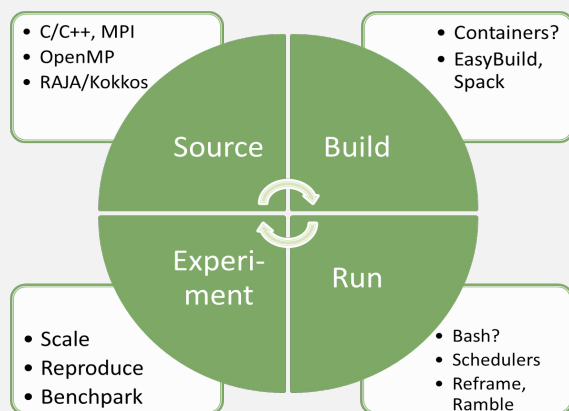
- ①移植・性能評価支援：CI/CD/CB技術へ取り入れた移植・性能評価の自動化
- ②高度化支援：AIによる自動プログラム最適化・AIチャットボットによる開発支援
- ③「富岳NEXT」テストベット：加速器搭載型開発環境の整備

一部は既に「富岳」で運用開始 → これらの技術をテストベットにおいて継承し、「富岳NEXT」に向けた継続的な高度化を推進



① 移植・性能評価支援

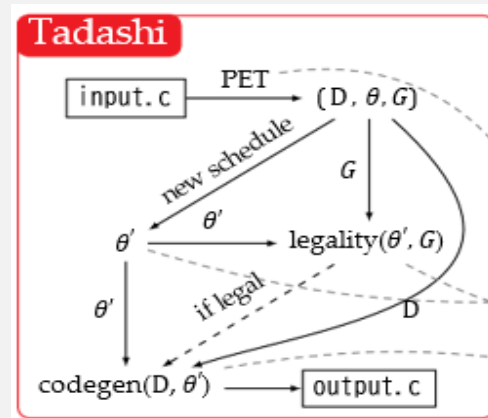
CI/CD/CB技術へ取り入れた移植・性能評価の自動化



- DOEとの共同研究による自動ベンチマーキング環境（Benchmark）利活用による継続的な性能評価支援
- 幅広い分野のアプリケーション・コミュニティとのコデザインを実施

② 高度化支援

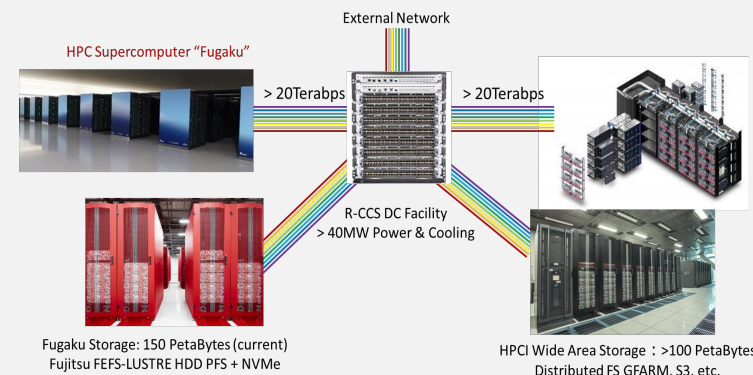
AIチャットボットによる開発支援・AIによる自動プログラム最適化



- AIチャットボットによる開発・利用支援の運用を「富岳」で運用開始
- 加速部向けの移植・最適化のためのAIによるコーディング技術（Tadashi）を開発中

③ 「富岳NEXT」テストベッ

富岳NEXTに向けた加速器搭載型開発環境の整備



- 加速器を搭載したテストベッド環境を導入・整備（AI-for-Science システム、量子-HPC システムやクラウド環境等）
- 幅広いアプリケーションユーザへ提供しコデザインを推進

「富岳NEXT」の運用開始直後からの科学的成果創出に向け、各分野のロードマップも踏まえつつ、オープンなアプリケーション・コミュニティとの密な連携体制を構築し、アプリケーション・ファーストによるコデザインを推進

システムソフトウェアは、継続的な機能拡張やメンテナンスのため、可能な限りオープンソースを採用し、開発したソフトウェアも原則としてオープンソースとして公開することで、改変や拡張を通じて富岳NEXTやコミュニティの発展に貢献。また、商用ソフトウェアを導入する場合も、定期的にアップデートされるものを採用。

● 高い互換性と継続的なソフトウェアの進化

- 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、先進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システムおよび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
- 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構築およびOSSの利活用
- 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

● クラウドや国内外の計算基盤へ展開

- 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

