

「運用技術調査研究」 最終成果報告会

次世代計算基盤に係る調査研究
東京大学チーム

「次世代計算基盤に係る 調査研究」に至る道のり

次世代計算基盤の開発に向けたコミュニティ活動

• NGACI: Next-Generation Advanced Computing Infrastructure

– 概要と活動目的

今後の高性能計算機の持続的な発展を考えるにあたり、AIやビッグデータ技術とのさらなる融合、Society5.0といった新しい応用分野への展開など、さらなる発展も期待されますが、ムーアの法則の終焉など多くの技術的課題が待ち受けていることも事実です。本活動(NGACI)は、**将来の高性能計算環境として、また共用計算機資源としてどのような技術的課題があり、どのような研究開発が必要なのか、コミュニティとしてどのような活動をしていくべきなのか**などに関して、オープンに意見交換をしつつそれを**White Paper**としてまとめることで本分野の発展に寄与することを目的としています。



<https://sites.google.com/view/ngaci/home>

– これまでの実績

- 本活動に登録して頂いているコミュニティのメンバー数: 104人
- 9回の全体ミーティングと3回のセミナーを実施
- 4つのWGにより将来のシステム像や課題を集中的に議論
 - アーキテクチャWG、システムソフトWG、アプリ/ライブラリWG、システム運用WG

– White Paperについて

- 1.0.0版(164ページ)を公開中(<https://sites.google.com/view/ngaci/home>)
- 更新版である1.1.0版の公開準備中



近藤: 次世代先端的計算基盤の開発に向けたNGACIでの取り組み, 第11回 JCAHPCセミナー, 2022

<https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/events/jcahpc/11/43-kondo.pdf>

「次世代計算基盤に係る調査研究」事業の経過

令和4年度

2022年5月～ 公募開始、採択チームの決定

- 以下の達成目標を掲げ、全7件の応募より、理化学研究所、神戸大学、慶應義塾大学、東京大学を代表機関とする4件の採択チームを決定
(参考: https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/067/mext_02879.html)
- 1. システム調査研究チーム
チームを構成する各グループの検討結果を総合し、次世代計算基盤として想定されるシステム（アーキテクチャ、システムソフトウェア・ライブラリ、アプリケーション）を提案する
- 2. 新計算原理調査研究チーム
次期「フラッグシップシステム」と量子コンピュータをはじめとする新たな計算原理（ニューロコンピュータ等）の連携について実現可能性を検討する。上記検討結果等を踏まえ、次世代計算基盤あるいは次世代計算基盤の開発において、新計算原理が担うべき役割を提案する
- 3. 運用技術調査研究チーム
デジタルツイン技術の進化を支え、世界をリードする研究成果の創出やSociety5.0の推進、SDGsの達成に貢献するプラットフォームとして、運用技術に関して、評価指標として考慮すべき項目の検討を行い、達成すべき目標とその優先順位を提案する

2023年2月 事業期間の延長について議論

- 「次世代計算基盤に係る調査研究」評価委員会（第4回）において審議を行い、事業期間を令和6年度まで延長する方針を決定

2024年2月 システム調査研究チームより、システム構成の選択枝案を提出、選択枝案に対する評価・絞り込みを実施

- システム調査研究（理化学研究所、神戸大学）チームより、次期フラッグシップマシンに採用しうるシステム構成案を提出
(参考: https://www.mext.go.jp/content/20240319-mxt-jyohoka01-000034526_04.pdf)

2024年3月 次世代計算基盤に関する報告書 中間とりまとめ

- 近年の情勢変化や、次世代計算基盤のあり方についての議論を受け、次期フラッグシップシステムに求められる性能・機能、開発整備の手法、利用拡大に向けた取組について取りまとめを実施
(参考: https://www.mext.go.jp/content/20240329-mxt_jyohoka01-000035013_01.pdf)

2024年4月～ 次世代計算基盤のシステム構成案の検討及び、要素技術の研究開発の深堀り

- 参考: https://www.mext.go.jp/content/20231020-mxt_jyohoka01-000032358_01.pdf

2024年6月 次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめによる提言、開発主体の決定

- 次世代計算基盤に関する報告書 最終取りまとめにおいて、フラッグシップシステムの開発主体が理化学研究所に決定
(参考: https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/020/shiryo/mext_00003.html)

2025年1月 開発主体（理化学研究所）においてポスト「富岳」の開発・整備を開始

- スーパーコンピュータ「富岳」の次世代となる新たなフラッグシップシステムの開発・整備を開始
(出所: https://www.riken.jp/pr/news/2025/20250122_1/index.html)

令和5年度

令和6年度

2025/6/26

https://www.mext.go.jp/content/20250410-mxt-jyohoka01-000025593_1.pdf

次世代計算基盤に係る調査研究

令和4年度予算額：429百万円
令和5年度予算額：1,016百万円
令和6年度予算額：1,016百万円

背景

- ◆ データ駆動型科学が重要視される中で、シミュレーションやAI等が連携した研究の重要性がより一層高まっている。さらに、世界的にも研究活動のデジタルトランスフォーメーション（研究DX）の必要性が高まっている。
- ◆ スーパーコンピュータのみならず、データセンターからエッジコンピューティング、それらを繋ぐネットワーク等、様々な形態の社会情報基盤がますます重要となっており、また、これらの基幹技術を自国で保有することは経済安全保障の観点からも重要である。
- ◆ これらの情勢を踏まえると、ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤を、国として戦略的に整備することは必要不可欠である。

次世代計算基盤検討部会 中間まとめ（令和3年8月）

◆ 次世代計算基盤検討の留意事項

技術動向や周辺状況が急速に進化・変化

ムーアの法則の終焉等、関連技術が転換期にある、性能の向上に伴い要求される電力量も増大

⇒ 半導体やネットワーク等国内外の周辺技術動向や利用側のニーズの調査、要素技術の研究開発等必要な調査研究を行い、多角的な検討が必要。

◆ 次世代計算基盤の在り方

次期「フラッグシップシステム」及び国内の主要な計算基盤、データ基盤、ネットワークが一体的に運用され、総体として持続的に機能する基盤

⇒ **調査研究（FS）を通じ、技術的課題や制約要因を抽出しつつ、実現可能なシステム等の選択肢を提案**



次世代計算基盤に係る調査研究

◆ 具体的には以下の取組を実施。

- ・ **要素技術の研究開発**（併せて、我が国として独自に開発・維持するべき技術を特定）
- ・ **評価指標**の検討（例：演算性能、電力性能比、I/O性能、コスト、運用可能性、生産性（アプリケーション開発のしやすさ）、商用展開・技術展開、カーボンニュートラルへの対応 等）
- ・ **技術的課題や制約要因**の抽出 等

◆ 実施期間：令和4年度～令和6年度

令和6年度までの取組：前年度までの結果を踏まえ、社会的なニーズや世界的な潮流、技術動向等も見極めつつ、次世代計算基盤のシステム構成案の検討及び要素技術の研究開発の深掘り等を実施

令和5年度までの取組：必要な要素技術の開発、システム候補の性能評価、新たな計算原理を適用すべき領域・分野の検討、多様な計算基盤の一体的運用の検証 等

2025/6/26

＜FS実施体制（概略）＞

文部科学省

報告・助言
迅速な指示等

PD会議

指導・助言
WG等を必要に応じて開催

運営委員会/チーム別検討会議

研究チーム

システム	理研、神戸大
新計算原理	慶應大
運用技術	東大

「次世代計算基盤に係る調査研究」実施体制

文部科学省（「次世代計算基盤に係る調査研究」評価委員会）

PD会議

運営委員会／チーム別検討会議

アドバイザー・ユーズWG

令和5年8月時点

システム調査研究チーム（代表機関：理化学研究所）

アーキテクチャ
調査研究

理化学研究所

富士通株式会社

日本AMD株式会社

インテル株式会社

システムソフトウェア
・ライブラリ調査研究

理化学研究所

東北大学

筑波大学

大阪大学

九州大学

アプリケーション
調査研究

北海道大学

横浜市立大学

物質・材料研究機構

海洋研究開発機構

東京大学

筑波大学

理化学研究所

東京工業大学

その他協力機関：株式会社データダイレクト・ネットワークス・ジャパン、国立情報学研究所、名古屋大学、NVIDIA Corporation、Hewlett Packard Enterprise、京都大学、国立天文台、日本原子力研究開発機構、宇宙航空研究開発機構、気象庁気象研究所、Arm Ltd.

システム調査研究チーム（代表機関：神戸大学）

アーキテクチャ
調査研究

株式会社
Preferred Networks

東京大学

国立情報学研究所

神戸大学

名古屋工業大学

システムソフトウェア
・ライブラリ調査研究

会津大学

松江高専

株式会社
Preferred Networks

神戸大学

アプリケーション
調査研究

順天堂大学

株式会社
Preferred Networks

海洋研究開発機構

国立環境研究所

東洋大学

名古屋大学

広島大学

東京大学

神戸大学

産業技術総合研究所

新計算原理調査研究チーム（代表機関：慶應義塾大学）

慶應義塾大学

理化学研究所

九州大学

東北大学

日本電気
株式会社

その他協力機関
：富士通株式会社

運用技術調査研究チーム（代表機関：東京大学）

東京大学

理化学研究所

東京工業大学

国立情報学研究所

その他協力機関：名古屋大学、大阪大学、九州大学、産業技術総合研究所、インテル株式会社、日本オラクル株式会社、日本マイクロソフト株式会社、アルデアエンジニアリング株式会社

次世代計算基盤に係る調査研究 各チーム研究概要

- ポスト「富岳」時代の次世代計算基盤の開発にあたり、我が国として独自に開発・維持すべき技術特定しつつ、要素技術の研究開発等を実施し、具体的な性能・機能等について検討を行う。
- システム、新計算原理、運用技術を対象に調査研究を実施。サイエンス・産業・社会のニーズを明確化し、それを実現可能なシステム等の選択肢を提案する。

システムチーム

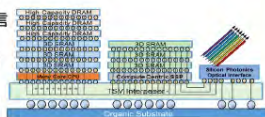
次世代計算基盤として想定されるアーキテクチャ（プロセッサ、メモリ、ストレージ等）、システムソフトウェア、アプリケーションを提案

代表機関：理化学研究所（近藤 正章）

オールジャパンかつ国外ベンダーも含めた体制のもと、高度なデジタルツイン実現の基盤として、電力制約の下でデータ移動と計算を高度化・効率化し、幅広いアプリ分野に適用可能なシステム構築を目指す。

（例）

- ・システム全体や構成要素について技術的可能性や総合性能の調査（3D積層メモリ、チップ間光通信等）
- ・エコシステムも考慮して国内で開発すべき要素技術を明らかにしつつ、開発ロードマップを策定
- ・アプリ分野において、ポスト富岳時代に必要とされる計算機資源の調査、ベンチマーク構築 等

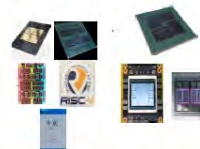


代表機関：神戸大学（牧野 淳一郎）

世界最高の電力当たり性能を実現している国産アクセラレータ技術、AI応用技術を活用し、従来分野の計算性能とAI利用の両方において高い実行効率を実現できるシステム構築を目指す。

（例）

- ・神戸大学・PFNが開発するMN-Core Xとそれに適合したCPUによる省電力化、効率改善
- ・ソフトウェア制御による実行効率の高度化、高効率コードの自動生成の実現
- ・商用を含めたアプリ性能の調査 等



新計算原理チーム

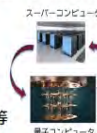
代表機関：慶應義塾大学

（R4～5：天野 英晴、R6：渡辺 宙志）

量子コンピューティング（量子ゲート型、アナログ型）とスーパーコンピュータの融合計算を行うための「量子スーパーコンピューティング」の実現可能性を評価する。

（例）

- ・量子コンピュータの現状調査
- ・スパコンを用いた量子コンピュータのシミュレーション
- ・量子アルゴリズムとスパコンとの融合
- ・量子/疑似量子アニーリングマシンと高性能計算との連携に関する調査 等



運用技術チーム

代表機関：東京大学（埴 敏博）

大学情報基盤センターが多数参画した体制のもと、フラッグシップ、HPCI第二階層システム群や、mdxなどの多様なシステムが有機的に結合し、持続可能な次世代計算基盤の実現に向け、運用関連技術調査する。

（例）

- ・複数のスパコン間のデータ連携、クラウド連携、セキュリティ等の連携技術検討
- ・省電力運用、再エネ活用、蓄電技術等のカーボンニュートラル実現に資する技術検討
- ・大規模データを効果的・効率的に活用するための仕組みの検討
- ・異なるシステムの相互利用を可能にする運用に向けた環境整備のための調査検討 等

「運用技術調査研究」チームの 全体概要

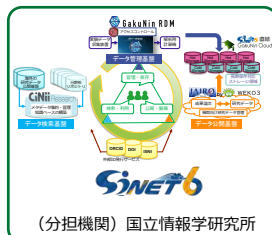
「運用技術調査研究」目的

- 「富岳」ならびにHPCI第2階層システム群、mdxをはじめとする各種データプラットフォーム、GakuNin RDMなどの研究データ基盤、それらを統合する学術情報ネットワークといった多種多様なシステムの設計、運用の知見を集約し、これらがより有機的に結合した、持続可能な次世代計算基盤の実現に向けた検討を実施する。
- 様々な研究者のニーズに対し、求める適切な資源を提供し、平易で柔軟かつシームレスな利用の実現
 - システム調査研究チームと連携してそれを支えるツールの研究開発について検討する。
- Society5.0の推進, SDGsの達成に貢献するプラットフォームとして、ひいては国内研究者全般の研究DXに資する共通インフラとして提供することを目指す。

- | | |
|-----------------|---------------|
| 1. Society5.0運用 | 4. カーボンニュートラル |
| 2. 資源管理 | 5. データ利活用 |
| 3. 施設・設備 | 6. HPCI運営 |



- 以下の3つの階層に分けて議論
 - 設備・電力、カーボンニュートラル関連のインフラ的側面
 - 資源管理やSociety5.0、データ利活用などのシステム設計
 - HPCIなどの運用ポリシー、ユーザ視点
- 各メンバーは参加グループで主体的に活動するが、他のグループにも積極的に参加し連携して調査研究を行う。



国内有数の計算資源、学術情報ネットワークを運用する、基盤センター、国立研究所の研究者、技術スタッフが共同で実施



現状のスパコン利用の問題点



- 使いたい時に使えないことがある
 - 混んでいる
 - メンテナンス、停電、電力逼迫、災害…



- あらかじめ使うシステムを決めて、資源量を申請
 - 仮に同じアーキテクチャでも他サイトのシステムは簡単には使えない
- データの共有・相互利用しにくい
 - システムAにあるデータをシステムBで使いたい
 - コミュニティでデータを共有したい

HPCIではシングルサインオンは実現しているものの、結局ローカルアカウントを使うことがほとんど

国内におけるスパコン利用の将来像

研究データ管理基盤**GakuNin RDM**を各計算資源やストレージを繋ぐハブに

・認証

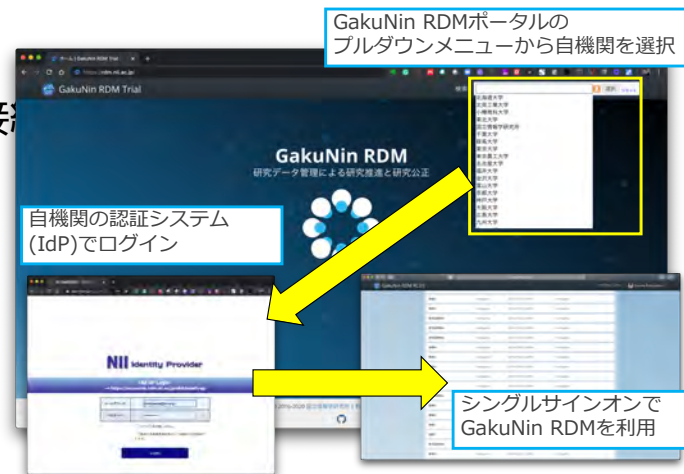
- ・現状: HPCIアカウントによるSSO
 - ➔ 学認、(アカデミックユーザであれば)ほぼ誰でも持っている
- ・HPCIにおいても次世代認証基盤の検討中、学認がそのまま利用できるように調整している

・データ共有・利活用

- ・現状: HPCI共用ストレージ
 - ➔ プラグインによりポータル上で様々なストレージを接続

・計算資源

- ・現状: sshで接続、CUI
 - ➔ GUIを用いて**複数の計算資源**
+ 任意のストレージと組み合わせて柔軟な利用を可能に
- ・GakuNin RDM+Open OnDemand+Jupyter Lab



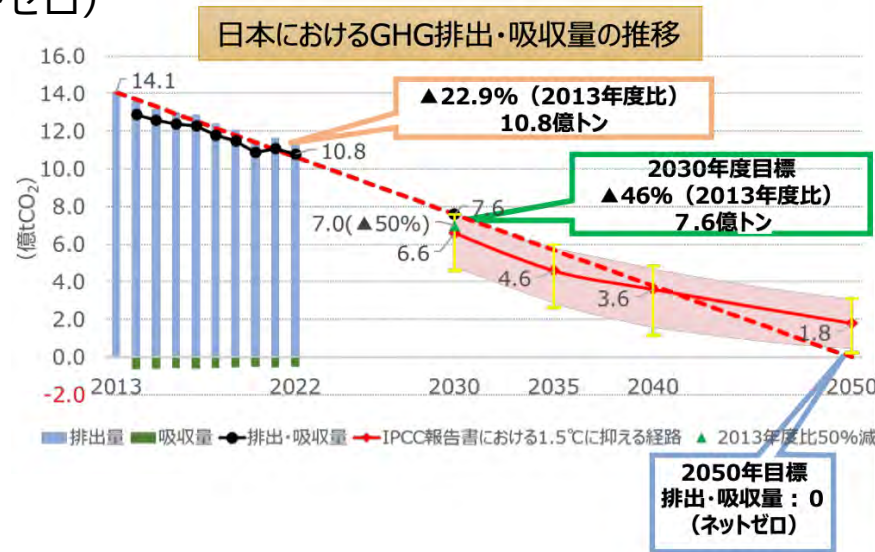
カーボンニュートラルに向けて

政府目標

- 2050年度カーボンニュートラル(CN)化達成(ネットゼロ)
- 2030年度において、**温室効果ガス46%削減**(2013年度比)(50%とも)
- エネルギーミックス(再エネ比率)
 - 2023年度 22.9% → 2030年度 **37.6%**
→ 2040年度 40~55%

	2023年度		2030年度		2040年度	
	億kWh	構成	億kWh	構成	億kWh	構成
太陽光	965	9.8%	1,434	15.4%	2,933	22~29%程度
風力	105	1.1%	510	5.5%	690	4~8%程度
水力	748	7.6%	980	10.5%	1,035	8~10%程度
地熱	34	0.3%	110	1.2%	173	1~2%程度
バイオマス	401	4.1%	470	5.0%	633	5~6%程度
原子力	841	8.5%	1,996	21.4%	2,300	2割程度
石炭	2,804	28.5%	1,780	19.1%	4,025	3~4割程度
天然ガス	3,241	32.9%	1,870	20.0%		
石油等	716	7.3%	190	2.0%		
発電電力量	9,854	100%	9,340	100%	1.1~1.2兆kWh程度	100%

2025/6/26



[出典] IT mediaスマートジャパン
https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/2412/26/news084_3.html

「NDC実施と透明性向上に向けた共同行動」
 の公表について
https://www.env.go.jp/press/press_04017.html

資源管理

目的：次期フラッグシップシステム、国内主要スパコン + リアルタイムデータおよび蓄積データ基盤
+ それらを接続する学術情報ネットワークSINET



クラウドとも連携

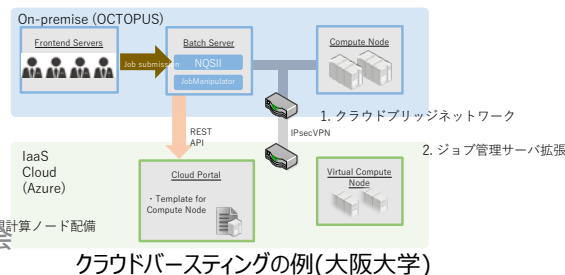
一体的に運用される基盤の構築・運用に必要とされる技術的要件を検討

- ・ 利用効率、高可用性や耐故障性
- ・ 電力需給バランス調整によるスパコン・クラウド間連携によるカーボンニュートラル化への貢献
- ・ セキュリティリスク



クラウド連携・クラウド的利用の試み

- ・ クラウドバースティング
- ・ REST APIによるスパコンの操作
- ・ S3APIによるストレージ操作
- ・ 学認GakuNinによる認証



データ利活用

目的:

研究データ基盤をハブとして活用し、各計算資源およびストレージの密な連携によりデータ利活用の促進に繋げる。

検討項目:

- 研究データ基盤と各システム相互の連携
- ストレージ階層の連携・管理・制御
- 大規模データに関しては極力ストレージを移動することなく適切なセキュリティの維持、データ保全、連携
 - データ規模に応じた取り扱いの指針

高速・小容量

SSD, キャッシュ

各スパコンの Lustre FS

例: 東大Ipomoea-01

例: 名古屋大光ディスク

例: mdx, ABCI, 商用クラウド

ローカルストレージ

システムストレージ

センターワイドストレージ

アーカイブ装置

HPCI共用ストレージ

クラウドストレージ

低速・大容量

スパコン等

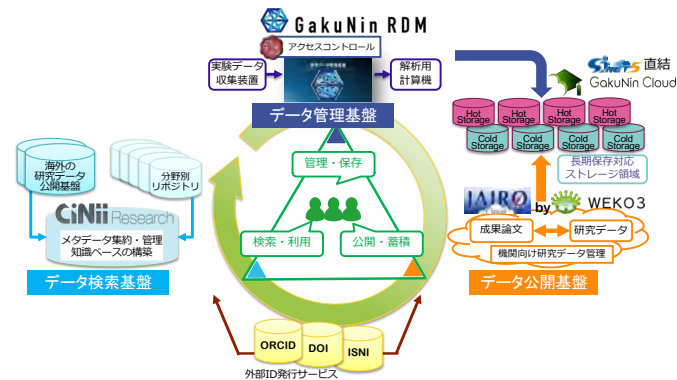
解析

共有基盤

データ連携

可視化システム (例: 名古屋大)

運用fs最終成果報告会



学術研究データプラットフォーム

既存の3基盤を有機的に繋ぐ先端機能を実現しオープンサイエンスの実践に不可欠な人材育成の仕組みを提供

2017-2021
2022-2027



HPCIなどの運用ポリシー、ユーザビリティ

HPCI全機関に拡大、HPCIコンソーシアムでも議論を継続していく必要

A) センター間での協調・連携、シームレスな利用

- 各センターにおける運用ポリシーの違いについて調査し、特に類似のアーキテクチャのシステム間での相互利用について検討

B) ソフトウェアの共通化（コンテナ、仮想化）、ノーコード・ローコードへの対応

リソース集約によるコスト削減効果

- 同一アーキテクチャ: コンテナの利用
- 異なるアーキテクチャ: 仮想化, Python, ノーコード・ローコード環境
- 「重点課題アプリ」の配備、性能分析と、ユーザへの提供

C) デザスタリカバリ、可用性向上

- 災害や電力逼迫などの際の緊急対応

OpenOnDemandやJupyter Notebook など、ユーザビリティを統一する上でUIの検討

D) HPCI全体での計算需要と計算資源量の調整

- HPCI全体での長期の資源提供計画を調査し、需給バランスが極端に崩れないために必要な要件について整理

E) 営利目的の産業利用、Service Level Agreement

- 富岳、ABCIを参考にしながら、大学センターが営利目的の産業利用を認める条件や影響について調査

フラッグシップと第二階層のシームレスな連携に向けた統合的な環境
[解決すべき課題] 認証、課金、ジョブ実行、ファイルの扱い、…

実現目標

・研究DXに資する共通プラットフォームの実現

- ・ ユーザに対する利便性
- ・ より有機的に活用可能な計算基盤
 - ・ 計算資源、データ、人とのつながり

・ Society5.0の推進に資するプラットフォーム

- ・ データの利活用、システム利用方法、ネットワーク・セキュリティ
- ・ デジタルツイン、サイバーフィジカル
- ・ 社会課題解決：防災・減災、材料、資源・エネルギー、、

・ SDGsを達成するプラットフォーム

- ・ 施設・設備の運用
 - ・ カーボンニュートラル、省電力、ピークシフト
- ・ 運用ポリシー、Service Level Agreement
- ・ 複数組織の連携、システム更新時の対応
 - ・ 電力逼迫への対応、災害等緊急時

3グループで議論中

- ・ **設備関連**：設備、冷却、電力、カーボンニュートラルなど
- ・ **システム構成&システムソフトウェア関連**：資源管理、Society5.0、データ利活用など
- ・ **運用ポリシー、ユーザビリティ**：HPCIのあり方、利用申請・ユーザ管理の効率化、ユーザビリティ統一

運用FSで目指したこと

- サステイナブルな計算資源の提供
- 研究データの提供・共有
- データセントリックで複雑なワークロードを実現
- 実験・観測設備等との連携
- 既存の環境から移行を容易に

→柔軟な利用形態の実現を目指す

運用FSの成果・提言→今後のHPCIの理想形

プログラム (1/2)

時間	内容	登壇者
13:00-13:05	開会挨拶	東京大学 塙 敏博
13:05-13:20	ご挨拶	文部科学省研究振興局参事官(情報担当)付 計算科学技術推進室長 栗原潔様
13:20-13:35	ご挨拶	筑波大学計算科学研究センター教授・ 本事業プログラムディレクター 朴泰祐様
13:35-14:00	全体概要	東京大学 塙 敏博
14:00-14:30	複数計算資源の連携・ 次世代HPCIのセキュリティ	国立情報学研究所 竹房あつ子
14:30-15:00	データ利活用とワークフロー	九州大学 大島聡史

プログラム (2/2)

時間	内容	登壇者
15:20-15:50	次世代の冷却設備	東京科学大学 野村哲弘
15:50-16:20	カーボンニュートラル・ 次世代フラグシップシステムの 施設・設備	理化学研究所 山本啓二
16:20-16:50	今後のHPCIに向けて	理化学研究所 庄司 文由 東京大学 塙 敏博
16:50-17:00	閉会挨拶	東京大学 塙 敏博