

諸外国における HPC 分野の基盤整備及び  
研究開発動向に係る調査研究

報告書

2026年3月31日

アドバンスソフト 株式会社

## 目次

Executive Summary.....	7
1. はじめに.....	9
1.1. 目的.....	9
1.2. 調査項目.....	9
1.3. 調査方法.....	9
1.4. 本書の構成.....	10
2. 最新の情報を踏まえた令和6年度の情報更新(フラッグシップスーパーコンピュータ等).....	11
2.1. 概要.....	11
2.2. TOP500 ランキングの傾向.....	11
2.3. SC25 のトピックス.....	12
2.4. 「富岳 NEXT」への展望.....	13
3. 最新の情報を踏まえた令和6年度の情報更新(公的支援).....	23
3.1. 米国エネルギー省 国家核安全保障庁 DOE/NNSA.....	23
3.1.1. FY2025 と FY2026 の比較.....	23
3.1.2. AI 関連の新設プログラム.....	25
3.1.3. Exascale の取組.....	26
3.1.4. まとめ.....	27
3.2. 米国エネルギー省 科学局 DOE/SC.....	27
3.2.1. FY2025 と FY2026 の比較.....	27
3.2.2. 研究部門.....	29
3.2.3. 施設部門.....	29
3.2.4. まとめ.....	29
3.3. 米国国立科学財団 NSF.....	30
3.3.1. FY2025 と FY2026 の比較.....	30
3.3.2. CISE 予算.....	30
3.3.3. LCCF 予算.....	30
3.3.4. まとめ.....	31
3.4. EuroHPC JU.....	31
3.4.1. FY2025 と FY2026 の比較.....	31
3.4.2. 2025 当初予算と 2025 修正予算の比較.....	34
3.4.3. 2025 修正予算と 2026 予算の比較.....	34
3.4.4. まとめ.....	35
4. 最新の情報を踏まえた令和6年度の情報更新(スーパーコンピュータセンター).....	36
4.1. 欧州のスーパーコンピュータセンター.....	36
4.1.1. CSC (フィンランド).....	36

4.1.2. BSC (スペイン)	37
4.1.3. HLRS (ドイツ)	38
4.1.4. JSC (ドイツ)	40
4.1.5. LRZ (ドイツ)	41
4.1.6. TGCC (フランス CEA/DAM)	42
4.1.7. GENCI (フランス)	44
4.1.8. Cineca (イタリア)	45
4.1.9. SURF (オランダ)	46
4.1.10. PSNC (ポーランド)	48
4.1.11. EPCC (英国 UoE)	49
4.1.12. CSCS (スイス)	50
4.2. 米国のスーパーコンピュータセンター	52
4.2.1. ALCF (ANL)	52
4.2.2. OLCF (ORNL)	53
4.2.3. LANL	54
4.2.4. LLNL	56
4.2.5. SNL	57
4.2.6. HECC (NASA、AMES)	58
4.2.7. NERSC (LBNL)	60
4.2.8. SDSC (UCSD)	61
4.3. その他のスーパーコンピュータセンター	63
4.3.1. A*Star (シンガポール)	63
4.3.2. NCI (オーストラリア)	64
4.3.3. NSCC (シンガポール)	66
5. 最新の情報を踏まえた令和6年度の情報更新(AI Factory / AI Gigafactory)	68
5.1. AI Factory の動向	68
5.1.1. AI Factory 追加選定	68
5.1.2. AI Factory アンテナの設置	68
5.1.3. AI Factory へのアクセス募集	70
5.2. 各国 AI Factory の動向	71
5.2.1. 情報源	71
5.2.2. フィンランド (LUMI-AI)	72
5.2.3. ドイツ (HammerHAI)	77
5.2.4. ギリシャ (Pharos)	79
5.2.5. イタリア (IT4LIA)	81
5.2.6. ルクセンブルク (L-AIF)	84

5.2.7. スペイン (BSC AIF) .....	87
5.2.8. スウェーデン (MIMER) .....	88
5.2.9. オーストリア (AI:AT) .....	89
5.2.10. ブルガリア (BRAIN++) .....	92
5.2.11. フランス (AI2F) .....	93
5.2.12. ドイツ (JAIF) .....	95
5.2.13. ポーランド (PIAST AI) .....	97
5.2.14. スロベニア (SLAIF) .....	100
5.2.15. チェコ (CZAI) .....	103
5.2.16. リトアニア (LitAI) .....	103
5.2.17. オランダ (NLAIF) .....	104
5.2.18. ポーランド (Gaia AI) .....	104
5.2.19. ルーマニア (RO AI Factory) .....	105
5.2.20. スペイン (1HealthAI) .....	105
5.3. AI Gigafactory の動向 .....	106
5.3.1. AI Gigafactory の位置付け .....	106
5.3.2. AI Gigafactory 構想への関心表明 .....	108
5.3.3. フランス : AI Gigafactory の構築 .....	109
5.3.4. イタリア : AI Gigafactory の誘致 .....	109
5.3.5. オーストリア : AI Gigafactory の誘致 .....	110
5.3.6. ドイツ : T-Systems 社の AI Gigafactory への貢献 .....	111
5.3.7. ルーマニア : AI Gigafactory の検討 .....	111
5.3.8. オランダ : AI Gigafactory への投資提言 .....	112
5.4. EuroHPC JU の新たな動き .....	112
5.4.1. 新たな EuroHPC JU の参加国 .....	113
5.4.2. スーパーコンピュータ調達等 .....	113
5.4.3. プロジェクト関連 .....	114
5.4.4. 量子コンピュータ .....	115
6. AI Factory のヒアリング調査 .....	118
6.1. 調査の背景と目的 .....	118
6.2. ヒアリング対象 .....	118
6.3. 欧州 AI 戦略の全体像とガバナンス (EuroHPC JU) .....	118
6.3.1. 中央調整と予算構造 .....	118
6.3.2. ネットワークとアクセス .....	118
6.3.3. 各拠点の戦略と重点領域 .....	119
6.4. 産業支援のモデル .....	119

6.4.1. ドイツ (HLRS) .....	119
6.4.2. スウェーデン (MIMER) .....	119
6.5. 計算基盤の技術仕様とトレンド.....	119
6.5.1. ハードウェアの次世代化.....	119
6.5.2. 量子コンピューティングとの連携 .....	120
6.6. 人材育成とサポート体制.....	120
6.7. 日本 (富岳) に対する評価と連携の期待 .....	120
6.8. 今後の展望と課題.....	121
6.9. まとめ.....	121
6.10. ヒアリング議事録.....	122
7. 欧州における EuroHPC 以外の取組に係る調査.....	143
7.1. 欧州各国独自の取組の文献調査.....	143
7.1.1. 概要.....	143
7.1.2. 情報源.....	143
7.1.3. 英国.....	144
7.1.4. ドイツ .....	145
7.1.5. フランス .....	145
7.1.6. スイス .....	146
7.1.7. アイルランド .....	146
7.1.8. イタリア .....	147
7.1.9. オランダ .....	147
7.1.10. フィンランド .....	147
7.1.11. スペイン.....	148
7.1.12. ノルウェー .....	148
7.1.13. まとめ .....	148
7.1.14. 日本と欧州の共同プロジェクト・協力関係.....	149
7.2. 加速器 (GPU) への対応を支援するプログラム .....	150
7.2.1. 概要.....	150
7.2.2. 支援プログラム一覧 .....	150
7.2.3. 支援プログラム .....	152
7.3. 研究開発プログラムを効率的に推進するための提案.....	172
7.3.1. GPU への対応を支援するプログラム .....	172
7.3.2. 計算資源の利用円滑化と環境整備 .....	172
7.3.3. ミドルウェア開発とアプリケーションの整備体制.....	173
7.3.4. 普及促進活動と産業界への社会実装.....	173
7.3.5. 人材育成と技術者のキャリアパス確立.....	173

8. 日本と欧州の連携による研究開発プログラムの実施状況に係る調査.....	178
8.1. 研究開発プログラムの文献調査.....	178
8.1.1. EU-Japan Digital Partnership.....	178
8.1.2. HANAMI プロジェクト.....	185
8.1.3. (参考) HPC CoE との連携.....	194
8.2. 調査員委嘱により得られた HANAMI プロジェクトにおける知見.....	202
8.2.1. WP4 (気象・気候).....	203
8.2.2. WP5 (バイオメディカル).....	203
8.2.3. WP6 (材料科学).....	204
8.2.4. 得られた知見の総括.....	205
8.2.5. 調査員報告書.....	206
8.3. HANAMI プロジェクトに関する提言.....	228
8.3.1. 技術的互恵性は政策的非対称性を補完する.....	228
8.3.2. 政策提言の緊急性と WP7 の戦略的役割.....	228
8.3.3. 成果波及のためのレバレッジ戦略の確立.....	228
8.4. (参考) EuroHPC Joint Undertaking における公募.....	230
8.4.1. 組織概要.....	230
8.4.2. 公募方法 (Calls for Proposals).....	230
8.4.3. サポート体制 (支援・能力開発).....	231
8.4.4. 日本・研究開発視点からの留意点.....	231
8.4.5. 今後の動向と展望.....	231
8.4.6. まとめ.....	232
9. 結論.....	233
9.1. グローバルな HPC/AI 基盤のパラダイムシフト.....	233
9.2. 日本の HPC 戦略への国際的評価と顕在化した課題.....	233
9.3. 日欧連携の深化と戦略的意義.....	233
9.4. 我が国の研究開発プログラムを効率的に推進するための提言.....	234
10. 略語集.....	235

本報告書に記載の製品・サービス等の名称は、各企業の商標または登録商標の場合がある。

## Executive Summary

### 調査の目的と方法

本調査は、今後の我が国の計算科学分野における基盤整備および研究開発の推進に資する情報を得ることを目的として、①計算科学分野の国際情勢に係る調査の更新、②EuroHPC JU 以外を含む欧州の基盤整備・研究開発動向の把握、③日本と欧州の連携による研究開発プログラムの実施状況の整理、の3つの観点から実施した。調査方法としては、文献・Web 調査に加え、欧州 AI Factory 関係機関へのヒアリング（5件）、SC2025 へのオンライン参加、および HANAMI プロジェクト参画研究者6名への調査員委嘱を組み合わせ、最新動向と実務的知見の把握を行った。

### 主な調査結果

第一に、HPC 基盤の国際動向として、各国の評価軸は単なるピーク性能競争から、AI を含む実行性能、運用効率、電力効率、ソフトウェア移植性を重視する方向へ移行しつつあることが確認された。TOP500 や SC2025 では、CPU-GPU 密結合型アーキテクチャ、混合精度計算、AI for Science、Time-to-solution/Energy-to-solution 等が重要な論点となっていた。欧州では JUPITER Booster が稼働段階に入り、日本でも GPU 搭載機の比重が高まっている。なお、中国は公開ランキングへの未掲載が続いており、公開情報に基づく国際比較には一定の制約がある。

第二に、米欧の公的支援と基盤整備では、米国において DOE/NNSA の AI4NS 新設に見られるように、安全保障分野を含む AI 活用が制度的に強化されている。DOE/SC では研究部門を抑制しつつ施設運営と次世代機整備への重点化が見られ、NSF でも厳しい財政環境の下で AI 基盤および学術用大型計算資源への投資が継続されている。欧州では EuroHPC JU の 2025~2026 年作業計画・予算において AI Factory の整備・拡充と量子コンピュータ統合が前面に出ており、各国のスーパーコンピュータセンターも、計算資源の提供に加え、AI、量子、ソフトウェア最適化、産業支援、人材育成を統合的に担う拠点へと役割を広げている。

第三に、欧州の独自取組として、AI Factory の整備と並行して、GPU 移行・最適化、ベンダーニュートラルなプログラミング、分野特化型アプリケーション高度化を支援する各種プログラムが展開されている。AI Factory の事例およびヒアリング結果からは、計算資源の提供だけでなく、ワンストップ窓口、技術コンサルティング、コード最適化支援、データ提供、トレーニング、人材育成を組み合わせた支援モデルが重視されていることが確認された。また、AI Gigafactory 構想は、公的支援による AI Factory を基盤としつつ、より大規模な民間投資を取り込む次段階の構想として位置付けられている。

第四に、日欧連携については、EU-Japan Digital Partnership が直接的な投資枠組みというより政策調整と協力促進の基盤として機能しており、その具体的実装の一つが

HANAMI プロジェクトである。HANAMI では、日本側研究者の PI 資格等に関する制度上の非対称性がある一方、気象・気候、バイオメディカル、材料科学の各分野で、コード移植、性能改善、手法共有等の技術的互惠性が形成されている。文献調査および調査員報告からは、日本のソフトウェア資産や分野知見と、欧州の多様な計算資源・支援体制を組み合わせることで、双方の成果を高め得ることが示された。

### 我が国への示唆

以上を踏まえると、我が国にとっては、①GPU 等アクセラレータへの対応とコード最適化を支援する伴走型プログラムの整備、②公的計算資源の利用円滑化と柔軟な利用環境の整備、③ミドルウェア、アプリケーション、データ運用を含むソフトウェア基盤の整備とポータビリティ確保、④産業界への導入支援、人材育成、技術者のキャリアパス確立を一体的に進めることが重要である。今後の制度設計に当たっては、実行性能および運用効率の観点を踏まえつつ、国内拠点整備、利用支援、国際連携、人材基盤を相互補完的に進める必要がある。

### 日欧連携の深化と我が国の政策的提言

HANAMI プロジェクトは、日本の技術力を世界に波及させるための最前線であり、日本は資金力で米国と競うのではなく、技術力に基づいた高度なソフトウェア（知財）を提供し、膨大なハードウェア（計算資源）を相互利用するという、互惠関係を構築する必要がある。これはゼタスケール時代における日本の生存戦略になり得る。

### 政策担当者への具体的アクションプラン

加速器（GPU）対応の抜本的支援として、既存の CPU 資産を最新 GPU 環境へ移植・最適化する支援プログラムを強化する必要がある。既存の日本発ミドルウェアである Solomon（OpenACC/OpenMP 統合マクロ）、h3-Open-SYS/WaitIO（異種処理間データ交換）などをポスト・エクサスケール時代の「国際標準技術」の 1 つとして戦略的に普及させる必要がある。人材育成のハブとしては、HAIRDESC を次世代 HPC・AI 研究開発支援センターの核として活用し、高度な人材育成とキャリアパス確立を制度化する必要がある。

### 総括

世界の HPC 環境は、HPC、AI、量子を組み合わせた統合基盤へと移行しつつあり、評価軸も性能のみから、実利用、運用、産業展開、人材育成を含む総合的なものへ広がっている。本調査で把握した米欧の動向および日欧連携の知見は、我が国の次世代計算科学基盤と研究開発プログラムを検討する上で重要な示唆を与えるものである。

## 1. はじめに

### 1.1. 目的

文部科学省においては、多様な利用者のニーズに応える革新的な計算環境として革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（以下「HPCI」という。）を構築するとともに、スーパーコンピュータを利用した研究開発や社会課題に対応する利用を推進してきた。現在、生成 AI の技術革新により、シミュレーションと AI を組み合わせた手法等による計算科学の更なる発展が期待されている。

本業務では、今後の我が国の計算科学分野の基盤整備と研究開発を推進するため、「諸外国における HPC 分野の基盤整備および研究開発動向に係る調査研究」として、米欧の基盤整備と研究開発プログラムの概要を調査するとともに、日本と EU との間で進められる共同研究プログラムの運営状況の調査と文部科学省が行う参加者支援の管理および参加者を調査員として委嘱することにより、今後の我が国における計算科学分野の研究開発の推進にあたって活用できる情報を得ることを目的としている。

### 1.2. 調査項目

以下①から③に示す業務を実施する。なお、調査業務の実施に当たっては、令和 6 年度文部科学省科学技術試験研究委託事業「スーパーコンピュータ整備や利用推進に係る国際情勢等に係る調査業務」（以下「令和 6 年度調査」という。）の結果を踏まえた。

- ① 計算科学分野の国際情勢に係る調査の更新
- ② 欧州における EuroHPC 以外の取組に係る調査
- ③ 日本と欧州の連携による研究開発プログラムの実施状況に係る調査

### 1.3. 調査方法

本業務における調査方法は、文献調査、ヒアリングおよび調査員委嘱による調査にて実施し、以下の具体的な手法を活用した。

- ・ 文献調査
  - 文献および文献データベース検索による情報収集を実施した。
  - Web 調査を通じて最新情報を収集した。
- ・ ヒアリングおよび関連調査
  - 欧州の AI Factory の取組について、関係者によるヒアリング調査（5 件）を行った。
  - SC2025 へのオンライン参加から得た情報を報告書に反映させた。
- ・ 調査員委嘱による調査
  - HANAMI プログラムに参画する研究者のうち、文部科学省が指定する者（6 名）に対する渡航滞在費の支援・管理業務を実施した。

▶ 研究者を調査員に委嘱することで、参画するプログラムの調査を行った。  
なお、文献データベース検索には国立研究開発法人科学技術振興機構が国内外の技術文献をもとに作成している「JDreamIII」を利用した。

#### 1.4. 本書の構成

本報告書は、1.2節で設定した3つの調査項目に対応する形で構成されている。具体的な構成は以下のとおりである。

第1章では、本調査の目的、調査項目、および調査方法について述べる。第2章から第6章にかけては、調査項目①「計算科学分野の国際情勢に係る調査の更新」に関する調査結果を報告する。第2章でフラッグシップスーパーコンピュータ等の性能推移や技術動向、第3章で米欧等の公的支援の最新予算動向、第4章で欧米等のスーパーコンピュータセンターの動向、第5章で欧州を中心としたAI Factory およびAI Gigafactoryの最新動向について整理する。さらに第6章では、欧州のAI Factory 関係機関に対するヒアリング調査の結果をまとめる。第7章は、調査項目②「欧州におけるEuroHPC 以外の取組に係る調査」に対応する。欧州各国が独自に進めるHPC や量子計算の取組、および加速器（GPU）への対応を支援するプログラムについて整理し、それらを踏まえたうえで研究開発プログラムを効率的に推進するための提案を行う。第8章は、調査項目③「日本と欧州の連携による研究開発プログラムの実施状況に係る調査」に対応する。EU-Japan Digital Partnership やHANAMI プロジェクトに関する文献調査の結果に加え、HANAMI プロジェクトに参加する研究者への調査員委嘱を通じて得られた実務的な知見と、今後の連携に向けた提言をまとめる。最後に、第9章で本調査の結論を総括し、第10章に略語集を付す。

## 2. 最新の情報を踏まえた令和 6 年度の情報更新（フラッグシップスーパーコンピュータ等）

### 2.1. 概要

令和 6 年度調査結果の情報更新として、TOP500 ランキングに基づく日米欧中のフラッグシップスーパーコンピュータ（各国 1 位）の推移（2005～2025 年）、TOP500 の 50 位以内について日米欧中の性能に占める割合、エントリー数および製造者（ベンダー）別、CPU プロセッサ別、加速部別の推移（いずれも 2014～2025 年）を示すグラフ（図 2.1～2.13）を更新した。ただし、中国は 2016 年以降、TOP500 ランキングにエントリーしない形で開発が進められている点に注意する必要がある。また、TOP500 ランキングの傾向や SC25（Supercomputing 2025）のトピックスとして、ゴードン・ベル賞の受賞論文やワークショップから本件調査で参考になりそうな情報をまとめた。さらにこれらを踏まえて「富岳 NEXT」への展望について述べた。

### 2.2. TOP500 ランキングの傾向

2024 年から 2025 年にかけての TOP500 ランキングおよび SC25 TOP500 BoF セッションから読み取れる最大の変化は、HPC が「エクサスケール 到達競争」の段階から、エクサスケールの実運用・実用性能最適化へとフェーズを移行した点である。すでに米国では Frontier、El Capitan、Aurora の 3 システムがエクサスケールを達成しているのに加え、2025 年 11 月の TOP500 最新版では、ドイツの EuroHPC JU/JSC に設置された「JUPITER Booster」も HPL で 1.000 Eflops を計測し、世界で 4 番目・欧州初の正式なエクサスケール・システムとしてランクインした。これは米国外でのエクサスケール達成という大きな節目であり、グローバルな HPC 競争の多極化を象徴する。この背景には、単に FP64 HPL 性能を競うだけでなく、実際の応用性能や継続的運用効率を重視した設計哲学の変化がある。SC25 BoF セッションでも HPL に加えて HPL-MxP や HPCG、AI ワークロード性能の指標に注目が集まり、AI と HPC の融合性能がランキング指標や評価の主要部分に組み込まれつつある点が確認された。これは、エクサスケールを前提とした次世代アーキテクチャの探索が加速していることを示す。

そのアーキテクチャ面では、上位だけでなく中堅・下位ランクのシステムにも、新しいハードウェア構成を取り入れた実験的・戦略的導入例が見られる。典型例としては、AMD Instinct MI300 系（MI300A, MI300X）を採用したシステムがある。これらは HBM 容量が大きく、AI と HPC を同時に想定したメモリ・アクセラレータ構成の設計を特色としており、従来の GPU 中心型の HPC から データ集約型アプリケーションに最適化された構成への移行を促している。さらに 2025 年には、CPU と GPU の結び付きが強いアーキテクチャがトレンドとして顕著になってきた。NVIDIA GH200 Grace Hopper Superchip に代表されるように、CPU と GPU を NVLink-C2C 等で緊密に接続することで、ノード内部で大規模な共有メモリ空間と低遅延通信を実現する設計が増えている。これにより、AI

ワークロードと HPC 演算を単一ノードで効率良く処理する能力が向上し、GH200 系チップをベースとする JUPITER Booster のようなシステムがエクサスケール性能を達成する土台になっている。これは、GPU 演算だけでなく、CPU と GPU の一体化が性能にクリティカルになってきたことを示唆している。このように、2024 年から 2025 年にかけては、エクサスケール達成そのものに象徴されるハードウェア進化と、AI for Science に向けて AI×HPC 融合の性能評価軸へのシフト・CPU-GPU 結合強化という構造的変化が同時並行的に進んだ時期であると言える。TOP500 はもはや単なる速度ランキングではなく、次世代 HPC/AI 基盤のアーキテクチャを示す技術指標としての位置付けを強めている。日本に注目すると、TOP500 の 50 以内に入ったシステムは 2025 年 6 月に 9 システム、11 月で 8 システムとなっている。「富岳」を除き全て GPU を搭載している。また、GH200 を搭載するシステムは Miyabi-G のみとなっているものの、11 月から TOP500 に登場した NVIDIA H200 の後継の Blackwell アーキテクチャを採用した B200 を搭載したシステムでは、唯一、日本の CHIE-4 が 50 位以内（17 位）にランクインした。

### 2.3. SC25 のトピックス

SC25 は、ポスト・エクサスケール時代の方向性を明確に示す国際会議であった。ゴードン・ベル賞（性能部門）では、単純な演算性能の競争ではなく、Time-to-solution や Energy-to-solution を含む実行性能が重視され、GH200 や MI300A に代表される CPU-GPU 密結合アーキテクチャを前提とした最適化が中心的テーマとなった。これらの環境では、CPU と GPU の同時実行における帯域・キャッシュ・電力の競合が性能を支配し、拡張 Roofline モデルなど電力制約を含む性能解析が不可欠であることが示されている。気候部門では、全球 km スケールの高解像度地球システムシミュレーションが象徴的成果として位置付けられた。大気・海洋・陸域・炭素循環を統合した計算を実行する能力が評価され、NVIDIA Earth-2 に代表されるデジタルツインや、AI を組み合わせた大規模ワークフロー全体の設計が重要視されていた。ワークショップ全体を通じて特に顕著だったのが、電力消費とサステナブル・スーパーコンピューティングである。GPU 周波数制御を用いたランタイム電力最適化、LLM によるジョブ単位の電力予測とエネルギー指向スケジューリング、さらにはデータセンターのマイクログリッド設計や炭素フットプリント評価まで、電力は第一級の設計制約として扱われていた。並列プログラミングの観点では、Kokkos と DaCe が重要な役割を担っていることが紹介された。Kokkos は既存大規模コードを MI300A や GH200 に移植するための実用的な性能移植性レイヤーとして定着しつつあり、DaCe はデータ中心並列プログラミングにより、気候コードなどでコード簡素化と高性能・高移植性を同時に達成している。CPU-GPU 密結合アーキテクチャ時代における並列プログラミング向けのフレームワークの整備は「富岳 NEXT」でも重要であり、日本発のものが望まれる（CPU ノードと GPU ノードが物理的に分離された異種処理間のデータ交換のフレームワークとしては、日本発のものとして、h3-Open-SYS/WaitIO がある。）。

さらに AI for Science は、単なる後処理ではなく、Simulation・Data・Learning の統合により計算量と消費電力そのものを削減する技術として位置付けられた。Agentic AI による自動最適化やワークフロー構築も含め、SC25 は「性能・電力・AI を統合した次世代スーパーコンピューティング像」を強く印象付ける会議であった。

## 2.4. 「富岳 NEXT」への展望

国際的な HPC/AI の潮流を踏まえると、日本が計画する「富岳 NEXT」は、単なる「富岳」の後継ではなく、エクサスケール以降の HPC/AI 融合時代を見据えた戦略的システムとして妥当な位置付けにある。特に、FP64 に限らず FP16・BF16・FP8 といった低精度演算を含むゼタスケール級性能を視野に入れている点は、2024～2025年にTOP500やBoFセッションで見られた評価軸の変化と強く整合している。近年、実行性能の向上は倍精度演算の単純なスケールでは困難となり、AI ワークロードや混合精度計算を前提とした設計、ならびにメモリ帯域やデータ移動効率の最適化が主戦場となっている。「富岳 NEXT」が低精度演算を正面から取り込み、アプリケーション特性に応じて精度を使い分ける設計思想を採用することは、「使える性能」を最大化する現実的なアプローチと言える。また、GH200 や MI300A に代表される CPU-GPU 密結合型ノードの主流化を踏まえれば、「富岳 NEXT」が CPU 主体設計の強みを拡張し、AI 加速機能と融合させる方向性は国際的にも妥当である。ノード内資源を緊密に統合し、大規模な共有メモリ空間を活用する設計は、AI と大規模シミュレーションを同一基盤で実行するうえで不可欠であり、「富岳 NEXT」にも同様の思想が期待される。こうしたシステムは、気候変動予測、創薬、材料設計、防災などの分野で、従来不可能だった規模と速度の解析を可能にし、欧米の HPC/AI 戦略とも軌を一にする。

更に注目すべきは、「富岳 NEXT」が富岳で実績を積んだ Arm ベース CPU 路線を継承しつつ、NVIDIA 製 GPU と組み合わせる方針を明確にしている点である。富岳は A64FX により、Arm が HPC 向け高性能 CPU として成立することを世界に示した。この流れは、Arm ベースの Grace CPU を採用する GH200 が象徴するように、2025 年時点では国際的な主流となっている。「富岳 NEXT」の構成は、こうした最新世代の設計思想と構造的に共通しており、AI と HPC の混在ワークロードを高効率に処理する要請に合致する。以上より、「富岳 NEXT」が多精度演算を前提にゼタスケールを目指す構想は、世界的な HPC/AI アーキテクチャ進化の潮流と整合的であり必然性が高い。今後は、性能目標そのもの以上に、どのアプリケーションでその能力を最大限に引き出せるかが価値を左右すると思われる。「富岳 NEXT」は、日本が先行して築いた技術的蓄積を次世代に結実させる試金石であり、ゼタスケール時代における日本の HPC 戦略の成否を占う重要な節目となる。

文部科学省の「次世代 HPC・AI 開発支援拠点形成」事業にて採択された高度情報科学技術研究機構 (RIST) の次世代 HPC・AI 研究開発支援センター (HAIRDESC) は「CPU-GPU 能力を最大限に活かすための技術支援・教育・標準化拠点」として、大いに

期待される。例えば、HPC 向けのアプリケーションには日本発の OpenACC/OpenMP 統合マクロ Solomon の Fortran 対応などが挙げられる。

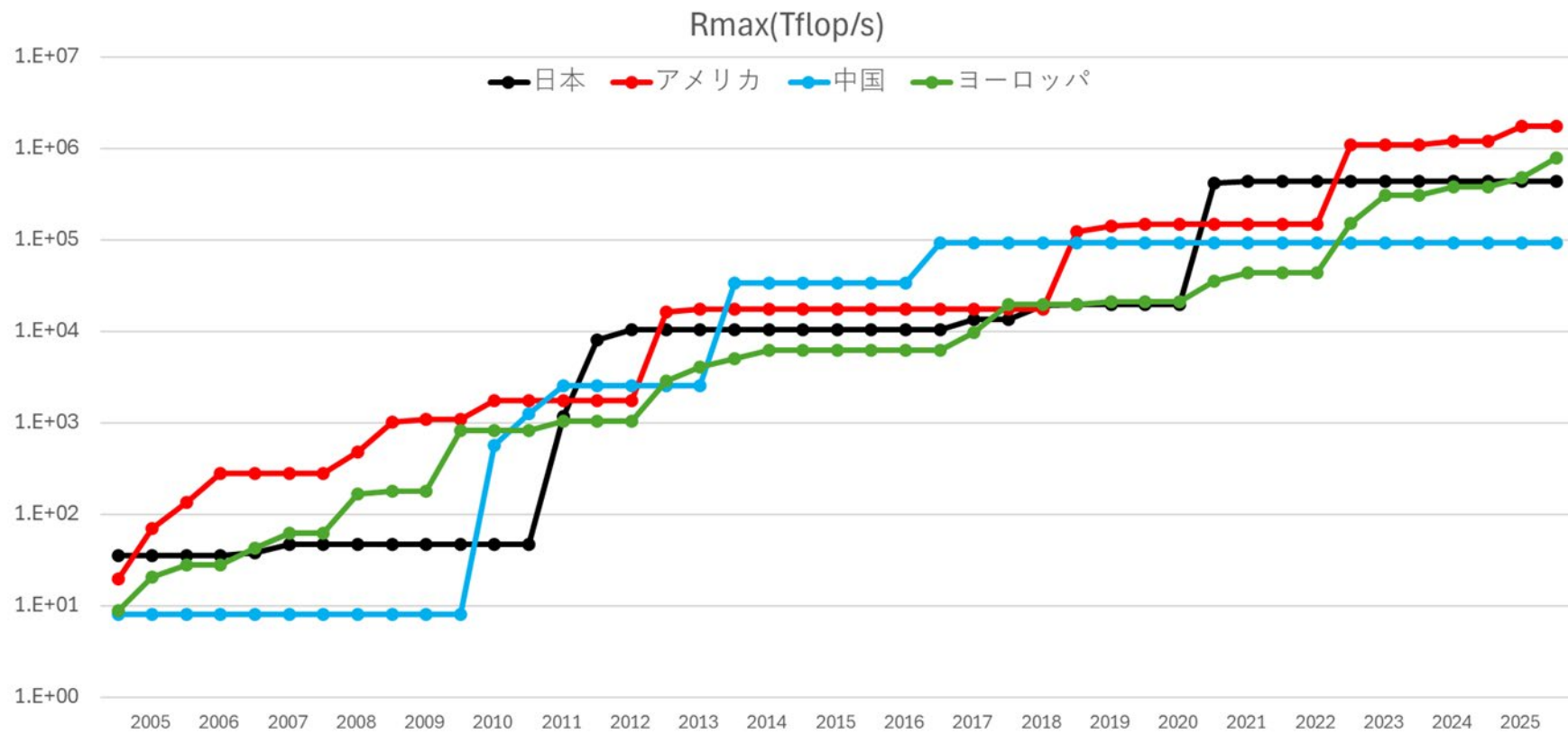


図 2.1. 日米欧中のフラッグシップスーパーコンピュータの Rmax の推移 (2005~2025 年)

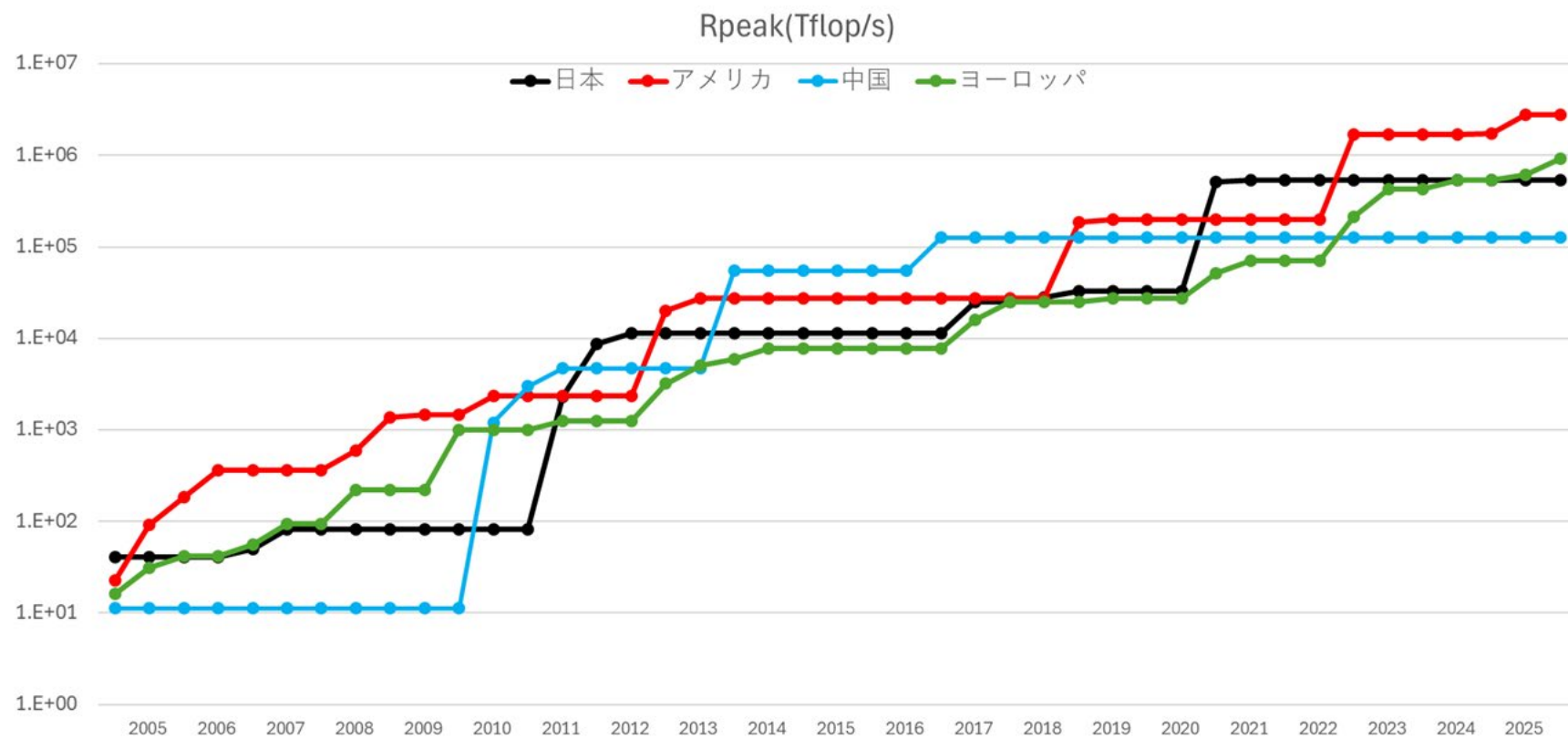


図 2.2. 日米欧中のフラッグシップスーパーコンピュータの Rpeak の推移 (2005~2025 年)

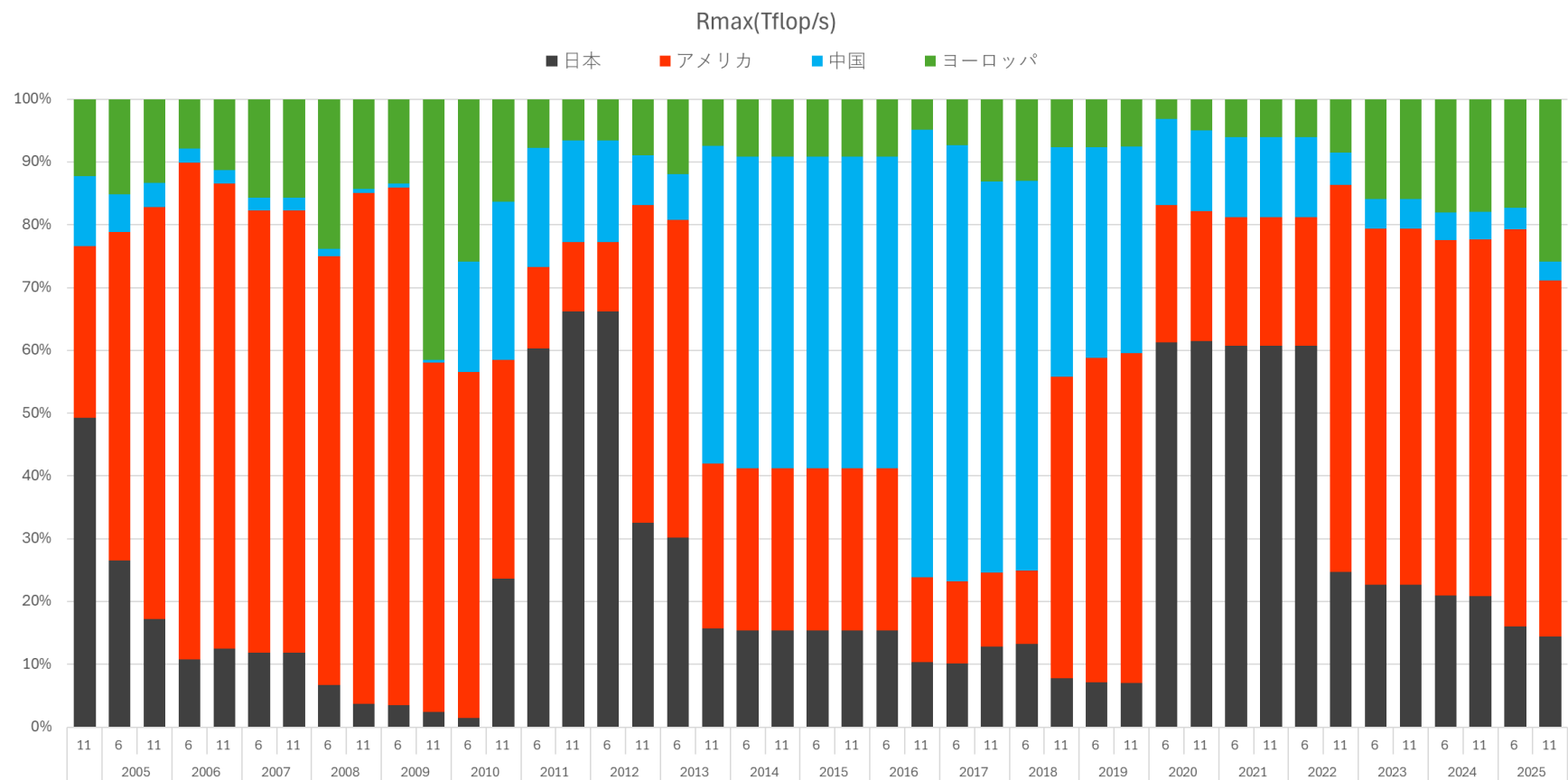


図 2.3. 日米欧中のフラッグシップスーパーコンピュータが Rmax に占める割合の推移 (2005~2025 年)

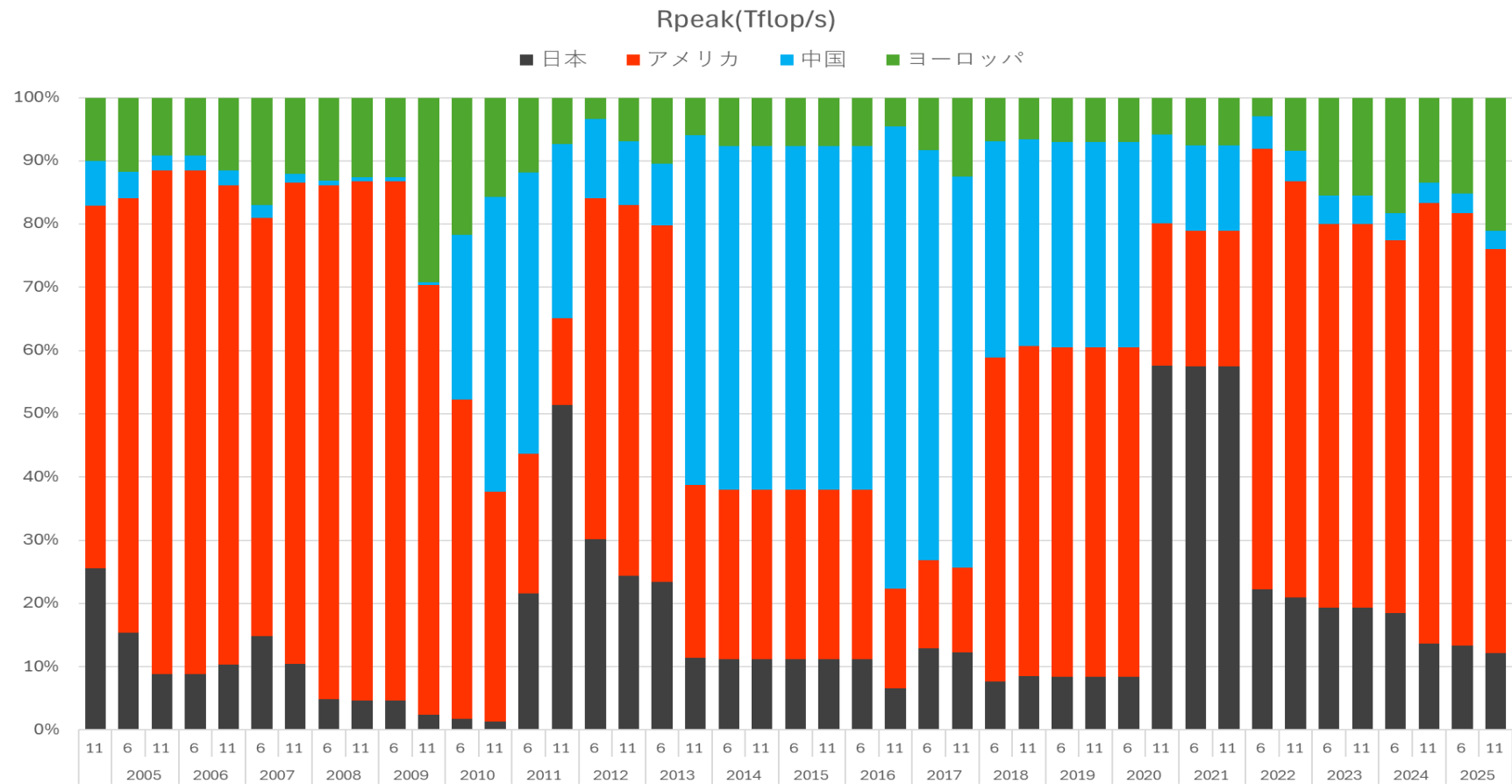


図 2.4. 日米欧中のフラッグシップスーパーコンピュータが Rpeak に占める割合の推移 (2005~2025 年)

# 件数

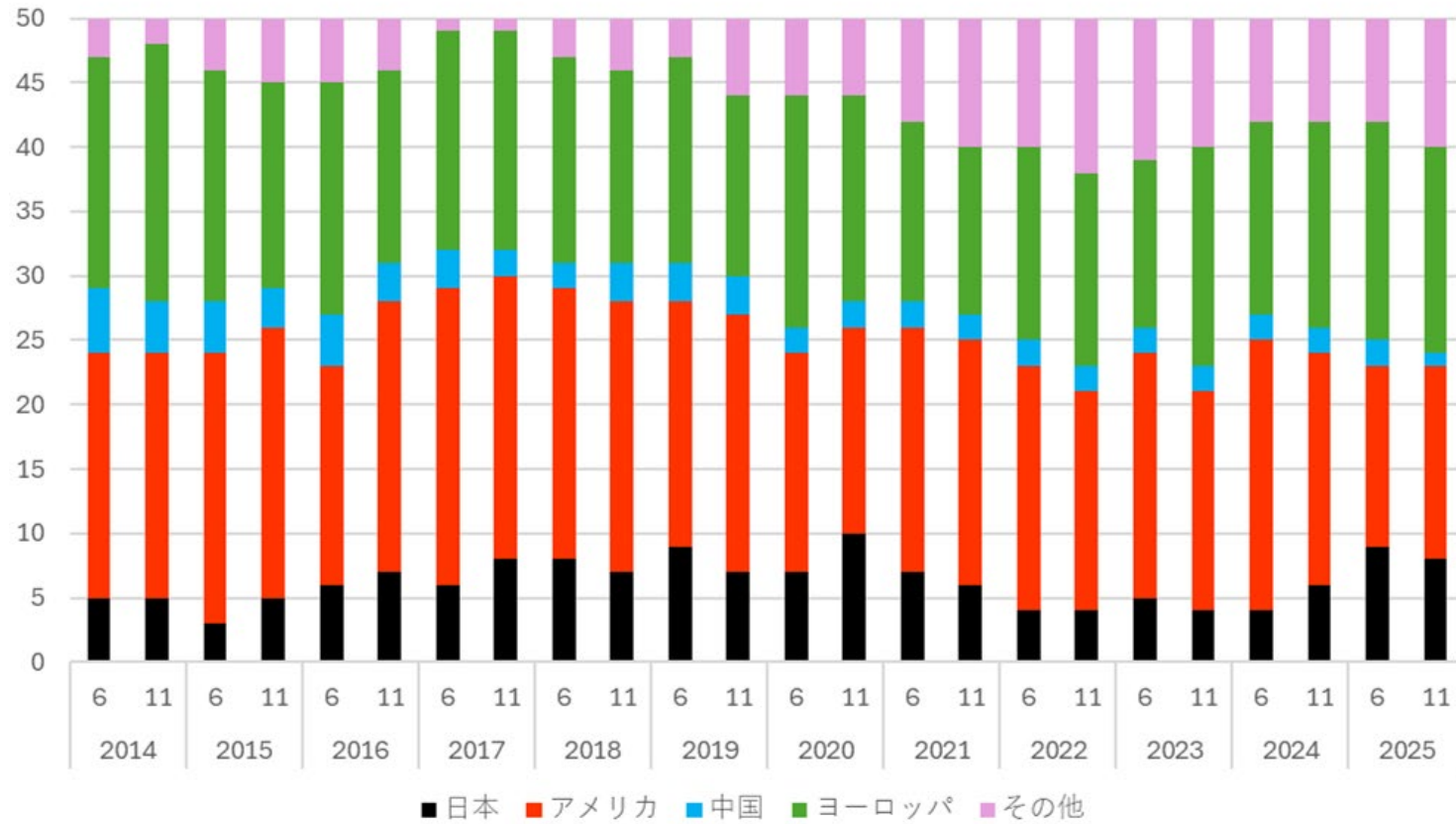


図 2.5. 日米欧中とその他の国々における TOP500 上位 50 位のエントリー数の推移 (2014~2015 年)

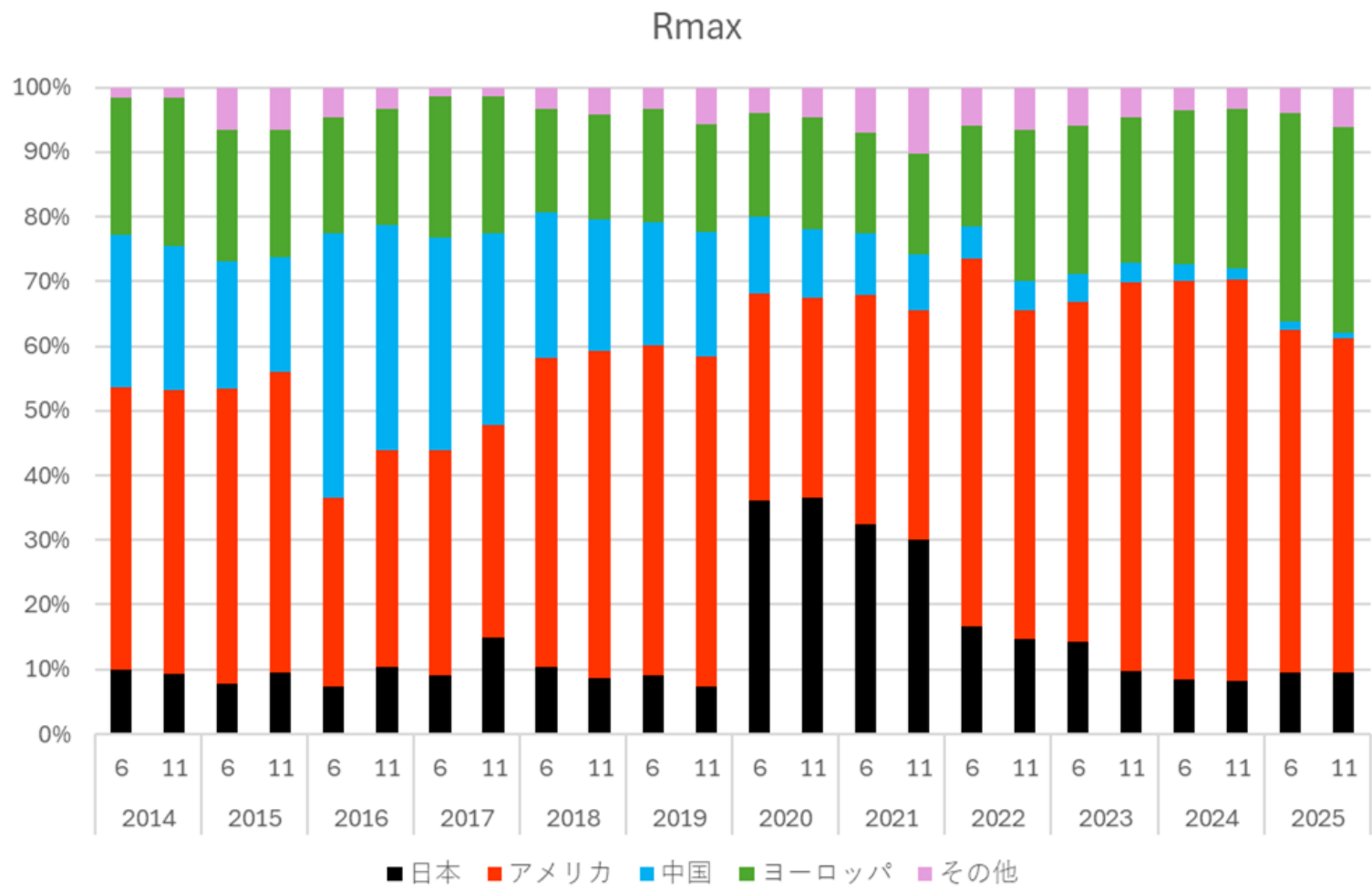


図 2.6. 日米欧中とその他の国々における TOP500 上位 50 位の Rmax の合計に占める割合の推移 (2014~2015 年)

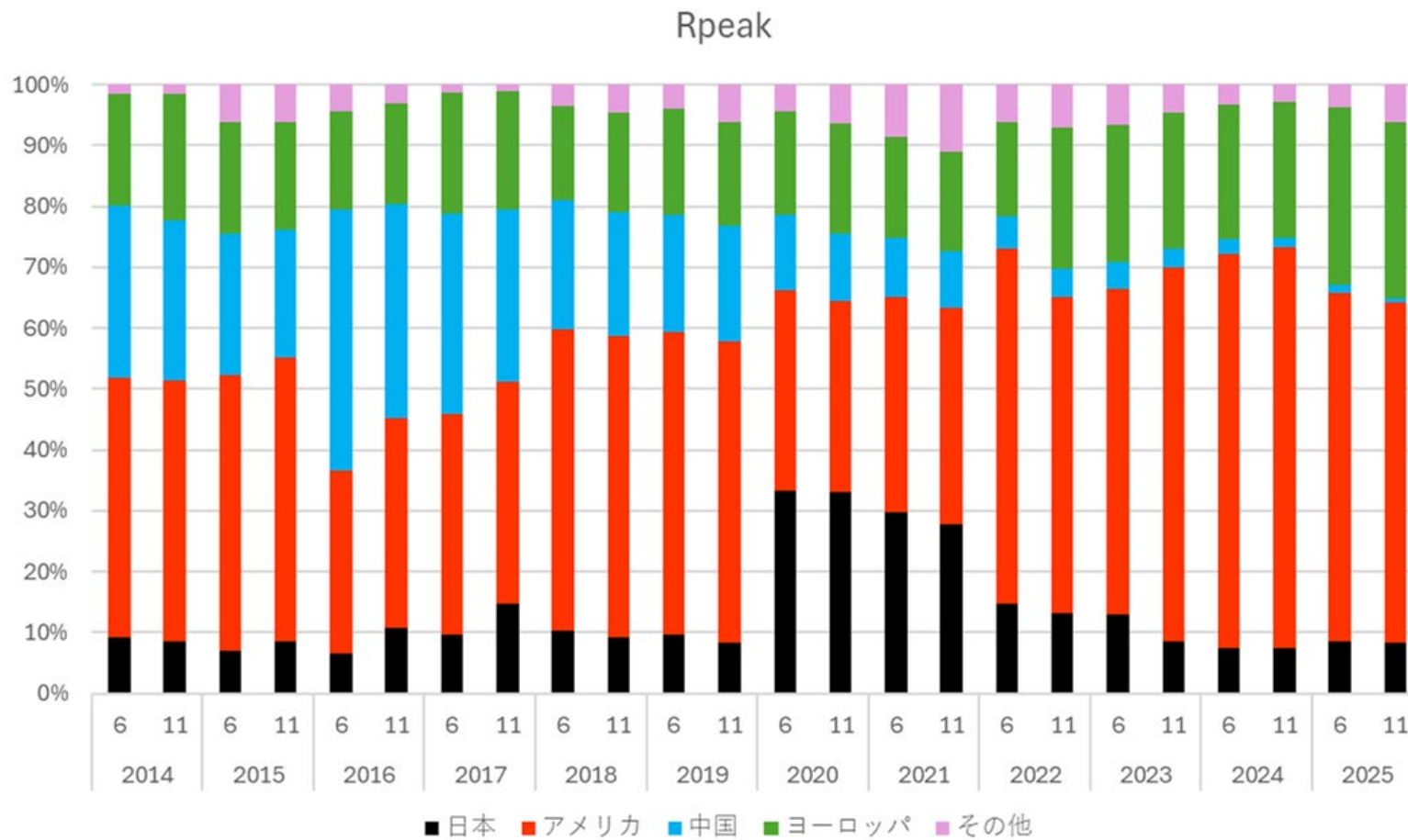


図 2.7. 日米欧中とその他の国々における TOP500 上位 50 位の Rpeak の合計に占める割合の推移 (2014~2015 年)

## Processor 件数

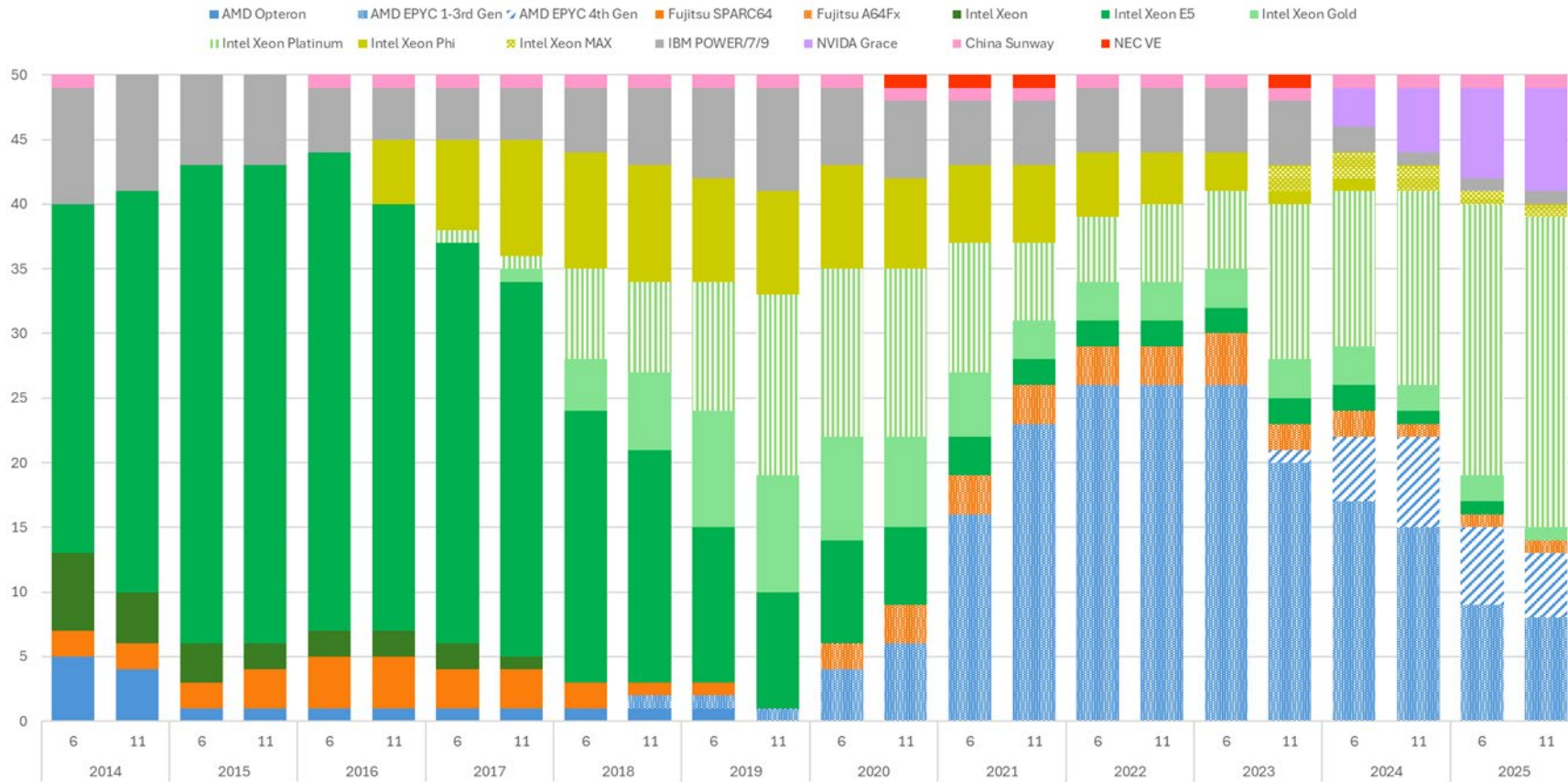


図 2.8. TOP500 上位 50 位までの CPU プロセッサ別の件数の推移 (2014~2025 年)

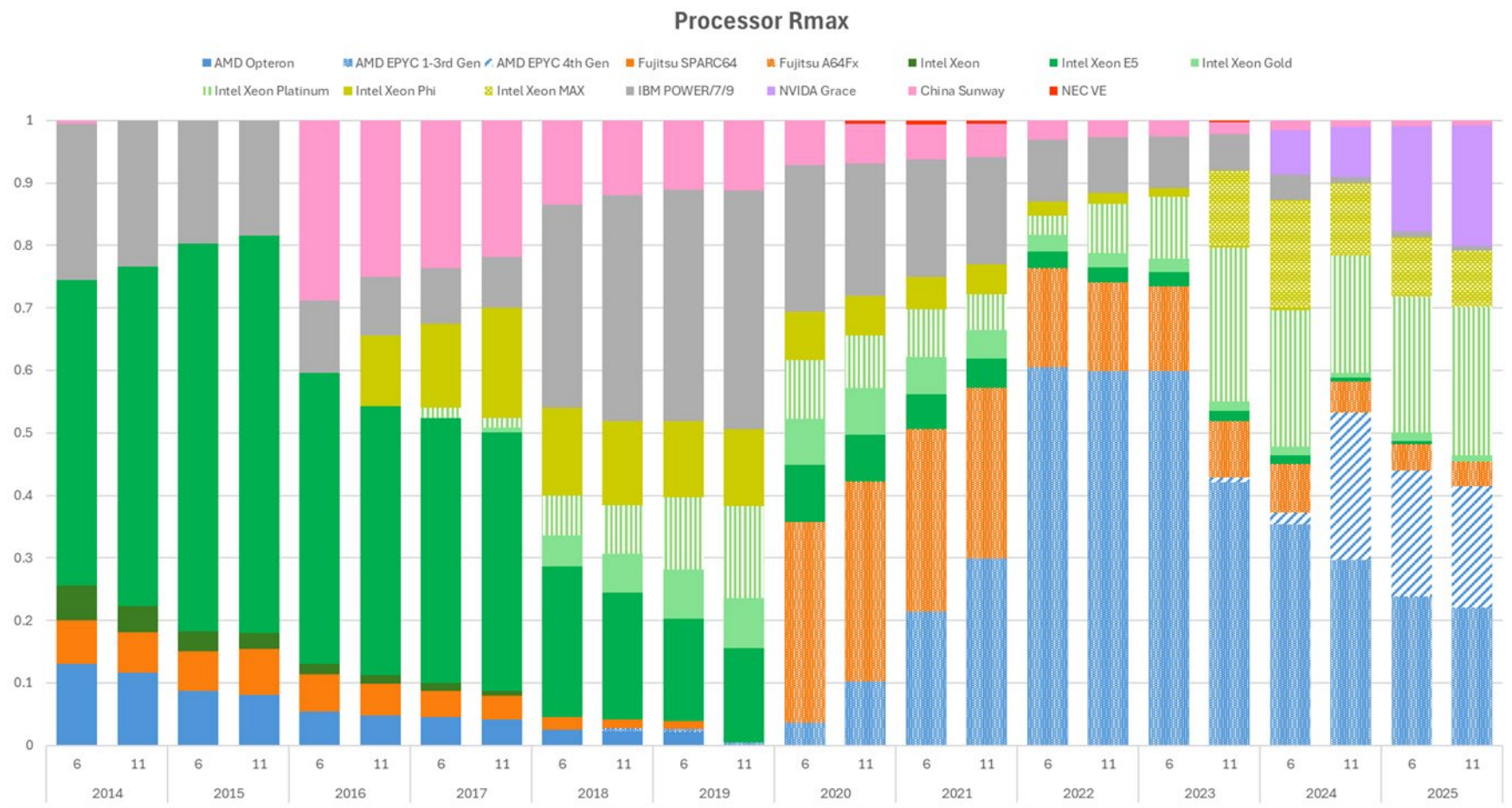


図 2.9. TOP500 上位 50 位までの CPU プロセッサ別の Rmax に占める割合の推移 (2014~2025 年)

## Accelerator 件数

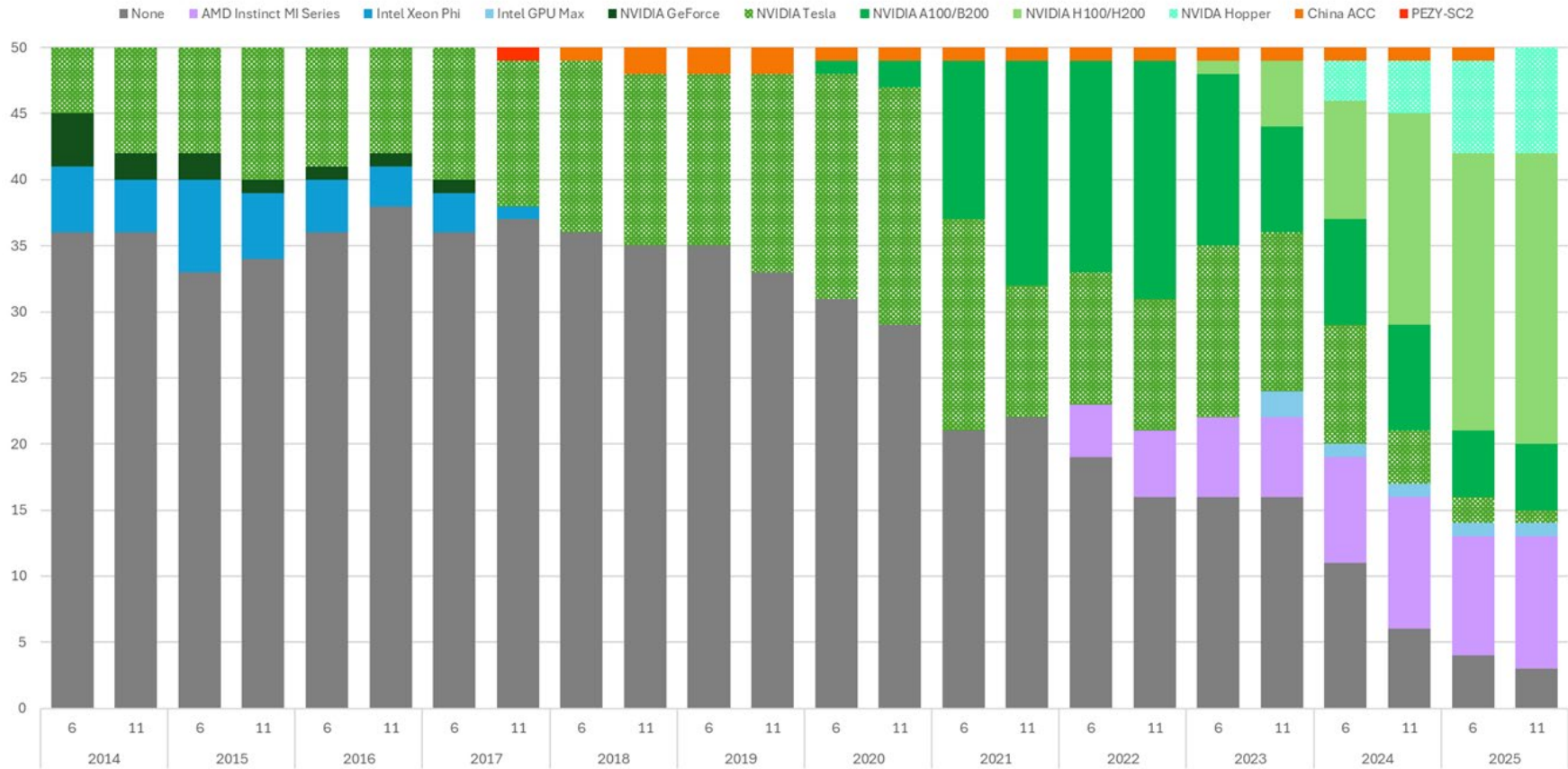


図 2.10. TOP500 上位 50 位までの加速部別の件数の推移 (2014~2025 年)

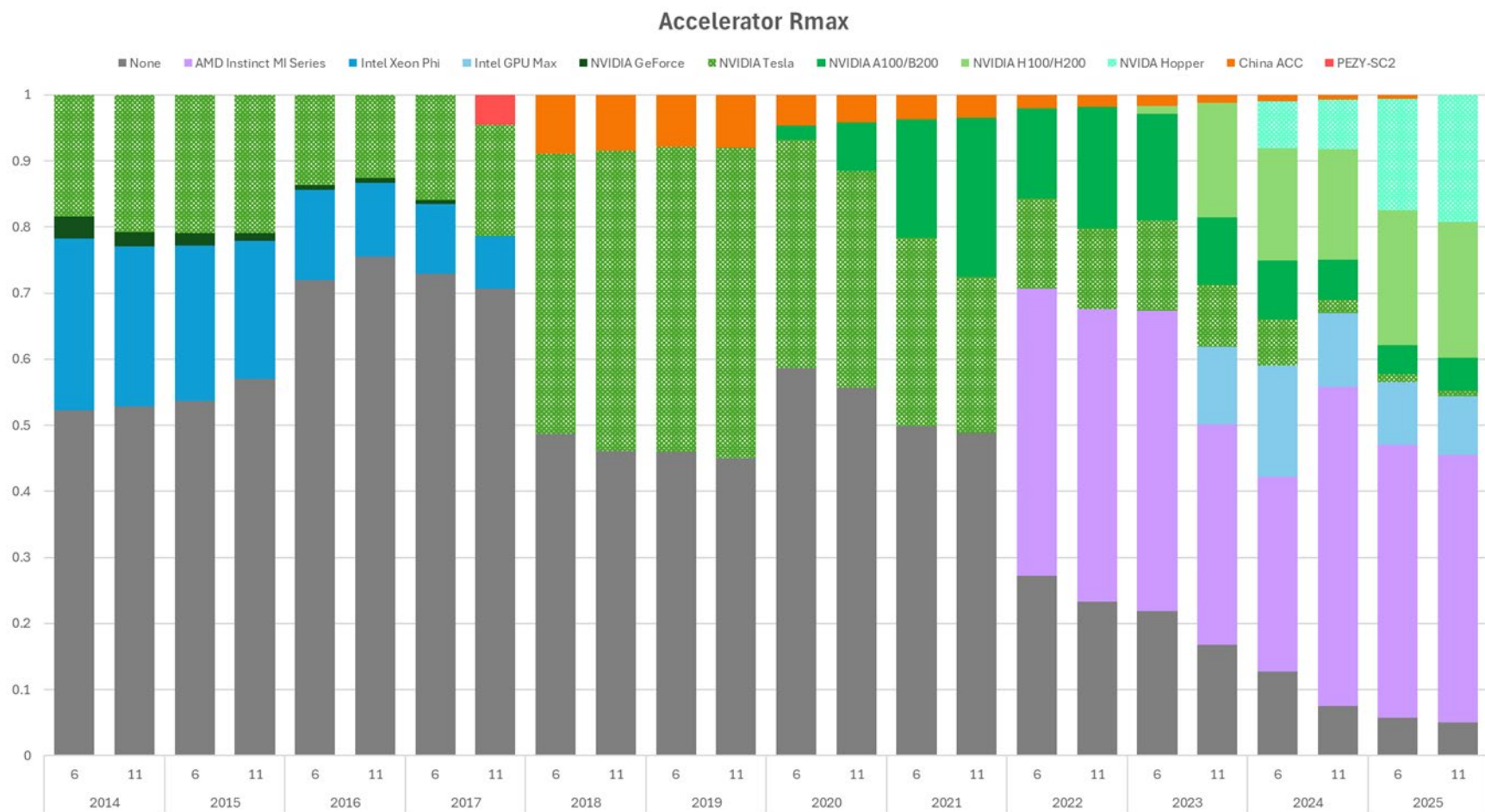


図 2.11. TOP500 上位 50 位までの加速部別の Rmax に占める割合の推移 (2014~2025 年)

## Manufacture 件数

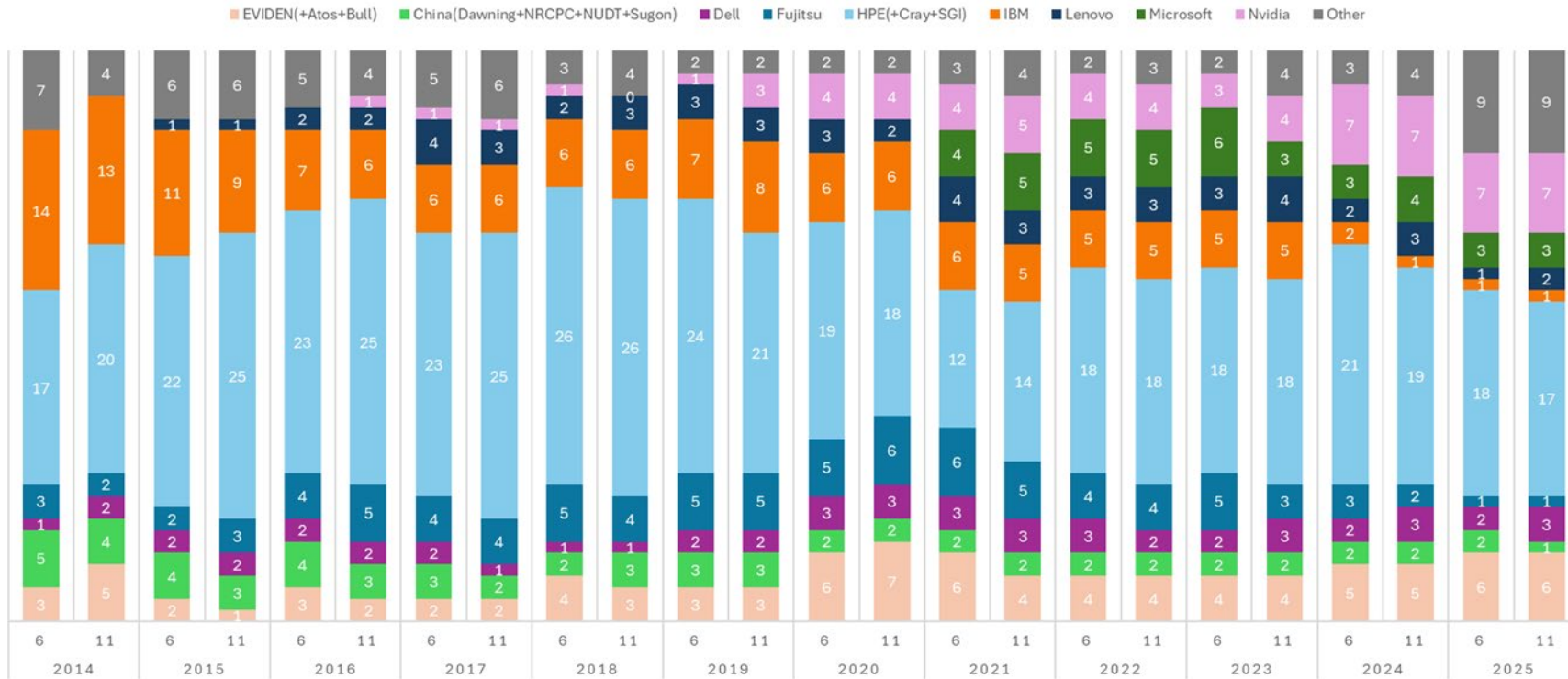


図 2.12. TOP500 上位 50 位までの製造者（ベンダー）別の件数の推移（2014～2025 年）

### Manufacture Rmax

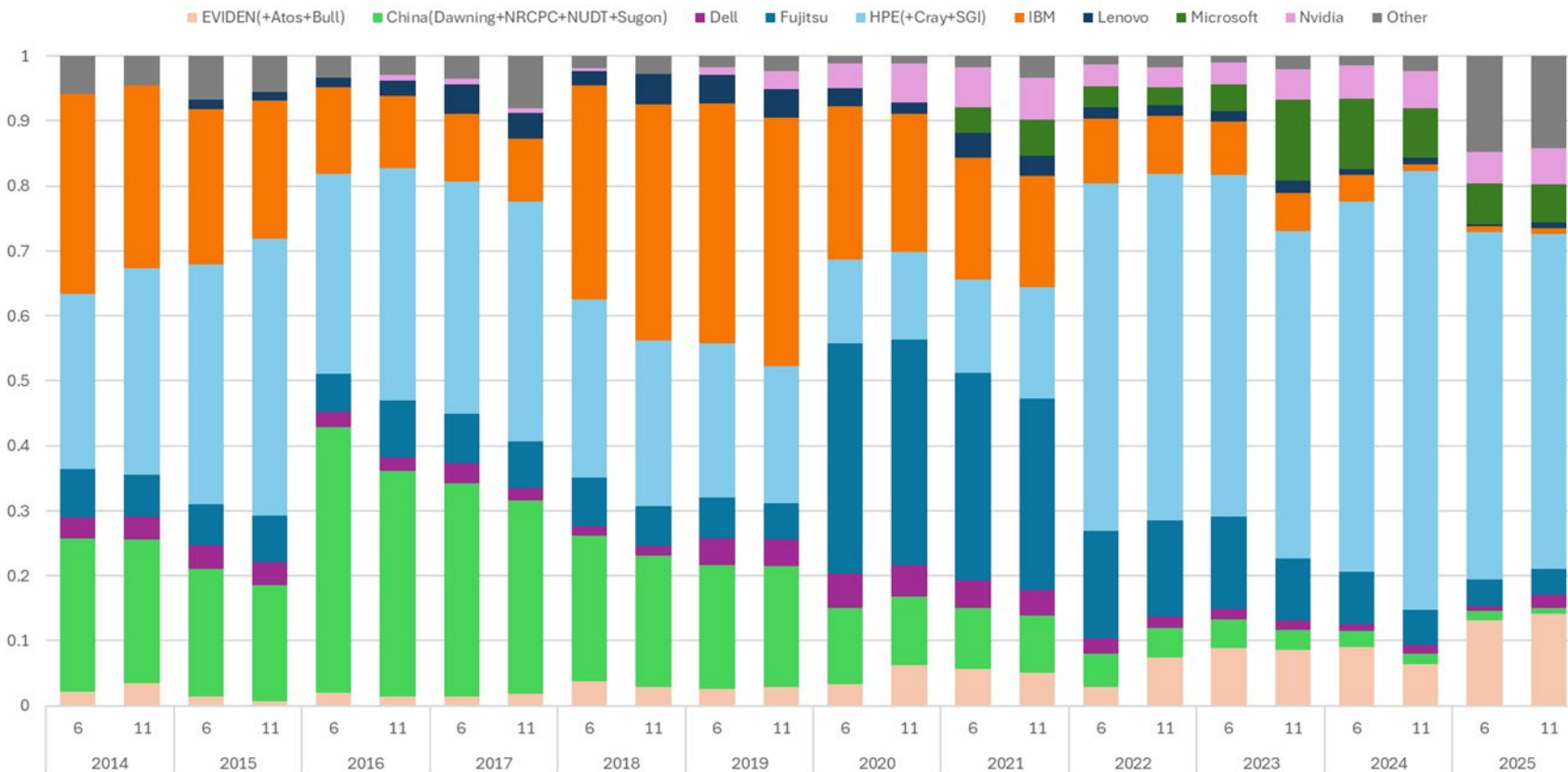


図 2.13. TOP500 上位 50 位までの製造者（ベンダー）別の Rmax に占める割合の推移（2014～2025 年）

### 3. 最新の情報を踏まえた令和 6 年度の情報更新（公的支援）

#### 3.1. 米国エネルギー省 国家核安全保障庁 DOE/NNSA

本節では、エネルギー省（DOE）国家核安全保障局（NNSA）の Advanced Simulation and Computing（ASC）予算について述べる。

##### 3.1.1. FY2025 と FY2026 の比較

米国エネルギー省（DOE）の国家核安全保障局（NNSA）の「Advanced Simulation and Computing（ASC）プログラム」について、FY 2025 予算文書（確定額）と FY 2026 予算文書の内容を比較・分析した。ASC プログラム全体の予算は、FY 2025 から FY 2026 の要求額は大幅に増加している。FY 2026 の主な増額の背景には、新規の AI 専用サブプログラムの創設と、設計・生産機関間の連携を強化するための新しいデジタル基盤への投資がある。

ASC プログラムは、核兵器性能維持計画（SSP）の要件を満たすため、ハイエンドのシミュレーション能力（例：モデリング・コード、計算プラットフォーム、支援インフラ等）を提供する。核兵器システムの複雑性をモデリングすることは、核貯蔵弾頭の性能に対する信頼を維持する上で不可欠である。

FY2026 予算では AI への注力が特徴的である。AI の取組は「Artificial Intelligence for Nuclear Security（AI4NS）」という新しい名称である。AI4NS の新設により、サブプログラムの数が 6 つから 7 つに増えた。具体的には、AI4NS サブプログラムとして \$ 60M を計上した。AI4NS は、従来の機械学習イニシアティブ（AMLI 等）を吸収し、機密情報の保護、設計・製造の加速、材料発見、専用の AI 計算ハードウェアの配備など、実運用に近いフェーズへと進化している。

- ・ Integrated Codes
- ・ Physics & Engineering Models
- ・ Verification & Validation
- ・ Computational Systems & Software Environment
- ・ Facility Operations & User Support
- ・ Capabilities for Nuclear Intelligence
- ・ Artificial Intelligence for Nuclear Security (AI4NS)

FY 2025 までは、AI4NS を除く 6 つのサブプログラムで構成されていた。

■ DOE/NNSA Advanced Simulation and Computing 予算 単位：千ドル

予算項目	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Integrated Codes	149,189	145,830	151,848	149,214	149,714	137,956	146,767	154,056	155,145	178,133	181,876
Physics and Engineering Models	67,819	65,196	66,851	66,650	69,650	77,967	80,003	78,304	79,435	107,219	109,473
Verification and Validation	52,878	50,428	51,074	55,114	58,114	61,676	61,676	59,878	59,399	72,984	74,519
Advanced Technology Development and Mitigation	64,000	95,299	170,000	89,072	174,825	40,000	40,000	12,000			
Computational Systems and Software Environment	120,837	131,736	121,490	146,645	156,828	237,953	242,104	289,623	258,349	286,102	302,649
Facility Operations and User Support	168,283	174,695	159,981	163,424	180,718	176,462	176,462	196,139	230,144	215,062	241,478
Construction			25,000	47,000	50,000						
Capabilities for Nuclear Intelligence										20,000	20,000
Artificial Intelligence for Nuclear Security											60,000
total	623,006	663,184	746,244	717,119	839,849	732,014	747,012	790,000	782,472	879,500	989,995

### 3.1.2. AI 関連の新設プログラム

2026 年度に新設された「核安全保障のための人工知能 (Artificial Intelligence for Nuclear Security:AI4NS)」サブプログラムは、これまでの「高度機械学習イニシアティブ (Advanced Machine Learning Initiative :AMLI)」およびいくつかの小規模な研究開発プロジェクトを吸収するものである。このサブプログラムは、兵器備蓄管理の任務領域に人工知能および機械学習能力を開発・導入するための重点的な推進力を生み出す。当プログラムは 2026 年度には

- ① 国家安全保障上の機密情報を保護する能力を提供する、安全な AI モデルおよび情報保護ツールの構築
- ② NNSA にコンポーネント設計時間の短縮、および欠陥分析やコンポーネント検査における更なる自動化をもたらす、AI 加速型の設計・製造・認証ツールの開発
- ③ AI サロゲート (代理モデル) と実験データセットの分析を用いた、高度な材料発見ツールの構築
- ④ NNSA のユーザが AI モデルを迅速に配備し、核安全保障複合体全体のユーザに安全で高速なアクセスを提供することを可能にする、専用 AI ハードウェアの配備

といういくつかの主要領域に集中する。AI4NS は、可能な限り商用ソリューションを活用し、またそれにおいて革新をもたらすために米国の AI 産業と提携することを目指すとともに、商用ツールを国家安全保障のユースケースに合わせて調整およびチューニングする手法を構築する。

以下、前年度、前々年度の予算書からの抜粋を参考のため示す。

#### (1) AMLI (FY2025 における記述)

2025 年度から開始される「核抑止のための人工知能 (Artificial Intelligence for Nuclear Deterrence:AI4ND)」は、これまでの AMLI を吸収するものである。AI4ND は、市販の人工知能ハードウェアの利用を拡大し、機械学習アルゴリズムおよび技術を更に発展させることで、Advanced Simulation and Computing (ASC) の物理学に基づいたシミュレーションを拡充することを目指している。安全で信頼できる AI 技術は、効率を大幅に向上させ、実験データに適合するようにモデルを改善し、多スケールおよび多次元のモデリング作業の統合を強化することができる。同時に、これらの手法に新たな誤差が生じた際の妥当性確認 (バリデーション) に関する懸念にも対処するものである。

#### (2) AMLI (FY2024 における記述)

AMLI は市販の人工知能ハードウェアの利用を拡大し、機械学習アルゴリズムを更に発展させて ASC の物理学に基づいたシミュレーション・ポートフォリオを拡充することを目的としている。このイニシアティブは、効率を大幅に向上させ、実験データに適合するようにモデルを改善し、多スケールおよび多次元モデルの統合を強化することができる。同

時に、これらの手法に新たな誤差が生じた際の妥当性確認に関する懸念にも対処するものである。

### 3.1.3. Exascale の取組

#### (1) El Capitan

- ・ NNSA 初のエクサスケール・コンピュータ (El Capitan) の機密環境における運用の支援、施設の保守、コードの近代化、およびシステムのリキャピタライゼーション (再資本化) の維持、そして核兵器ミッションに向けたシミュレーション・ワークロードの増大への継続的な支援である。
- ・ ASC のサブプログラム Integrated code においては、El Capitan システム上での統合設計コードの準備状況を実証し、フェーズ 1 評価を支援するためのコード機能を利用可能とする。
- ・ Computational Systems and Software Environment の目的は、ATS-3/Crossroads (クロスロード) および ATS-4/El Capitan システム上で、機密のモデリングおよびシミュレーション・キャンペーンを実行することである。すなわち、LANL の ATS-3/Crossroads および LLNL の ATS-4/El Capitan を、リモート計算機能を含めて運用する。

#### (2) Exascale

- ・ Weapon Activities 全般において、NNSA 初のエクサスケール・コンピュータ (El Capitan) の機密環境における運用の支援、施設の保守、コードの近代化、およびシステムのリキャピタライゼーション (再資本化) の維持、そして核兵器ミッションに向けたシミュレーション・ワークロードの増大への継続的な支援を行う。
- ・ ASC サブプログラムの Verification and Validation では、量子、ニューロモーフィック、人工知能、再構成可能計算コンポーネントなど、エクサスケールを超えた将来の技術の検討および開発も行っている。また、このサブプログラムでは、運用のためのアドバンスド・テクノロジー・システム (ATS) およびコモディティ・テクノロジー・システム (CTS) のユーザ環境に向けて、高効率でスケーラブルなエクサスケール級のソフトウェア技術を最適化する。
- ・ Weapon Activities の Academic program (一部) : 「予測科学アカデミック・アライアンス・プログラム (PSAAP)」のセンター種別に関する記述において以下のように述べられている。PSAAP は現在、多分野シミュレーション・センター (MSC)、単一分野センター (SDC)、および重点調査センター (FIC) という種別のセンターで構成されている。このうち FIC は、科学・工学分野またはエクサスケール対応技術のいずれかにおいて、NNSA の任務に関連する特定の研究トピックに緊密に焦点を絞ったも

のである。

#### **3.1.4. まとめ**

FY 2025 から FY 2026 への移行は、ASC プログラムが「次世代計算機（エクサスケール）の準備」という段階から、「AI の本格的な統合」と「設計から製造までのシームレスなデジタル連携」という、より実践的で高度な技術基盤の構築へと大きく変化したことを示している。また、AI を独立したサブプログラム（AI4ND）としたことは、核安全保障における AI の重要性を制度化した象徴的な変化と言える。

### **3.2. 米国エネルギー省 科学局 DOE/SC**

本節では、エネルギー省（DOE）科学局（SC）の Advanced Scientific Computing Research（ASCR）予算について述べる。

#### **3.2.1. FY2025 と FY2026 の比較**

ASCR の予算総額は、FY2025 から FY2026 にかけて減少している。予算の内訳を見ると、研究部門を縮小し、施設運営と次世代機の準備にリソースを集中させる傾向となっている。人材育成については、計算科学大学院フェローシップ（CSGF）などのプログラムを通じて、AI や量子、エクサスケール時代に対応できる高度な米国労働力の競争力強化を継続する内容となっている。

■ DOE Advanced Scientific Computing Research 予算 単位：千ドル

項目		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Mathematical, Computational, and Computer Science Research	Applied Mathematics Research	42,318	29,229	34,104	28,206	41,500	53,728	51,048	71,938	76,188	77,565	60,994
	Computer Science Research	39,160	29,296	29,508	22,000	38,700	49,605	49,773	70,326	86,017	86,736	62,431
	Computational Partnerships	34,336	32,596	49,910	75,667	69,142	75,051	86,029	97,861	87,600	93,449	35,151
	Advanced Computing Research						76,007	106,112	113,598	149,848	148,197	112,618
	Energy Earth Shot Research Centers								25,000	12,500	12,500	
	Next Generation Networking for Science	20,591	16,000									
	SBIR/STTR	6,181	6,369	4,301	4,768	5,658	9,637					
High Performance Computing and Network Facilities	High Performance Production Computing	86,000	92,145	94,000	104,000	110,000	85,000	115,963	115,033	142,000	146,500	154,328
	Argonne Leadership Computing Facility	77,200	80,000	110,000	140,000	150,000	150,000	159,047	160,165	219,000	215,195	222,755
	Oak Ridge Leadership Computing Facility	105,317	110,000	162,500	199,000	225,000	220,000	249,066	247,607	247,607	260,000	267,343
	High Performance Network Facilities and Testbeds	38,040	45,000	79,000	84,000	90,000	80,000	93,962	90,213	90,213	93,540	97,261
	Integrated Research Infrastructure										3,000	3,119
	SBIR/STTR	15,037	16,072	17,417	20,701	22,265	20,078					
SC Exascale Computing Project			164,000	205,000	232,706	188,735	168,945	129,000	77,000	14,000		
Construction	High Performance Data Facility									1,000	16,000	1,000
Total		464,180	620,707	785,740	911,048	941,000	988,051	1,040,000	1,068,741	1,125,973	1,152,682	1,017,000

### 3.2.2. 研究部門

研究部門 (Mathematical, Computational, and Computer Sciences Research) 全体として予算は大幅に減少している。応用数学・コンピュータサイエンスでは、複数の取組を統合し、HPC、量子情報科学 (QIS)、AI を統合したハイブリッドアーキテクチャなどの将来有望な分野に集中している。計算パートナーシップも大幅な減額となっており、優先順位の低い研究の削減や、一部の AI メモリ技術研究を「先進計算テクノロジー (ACT)」へ移行することが要因である。先進計算テクノロジー (ACT) では、研究部門の中で唯一 100 万ドルを超える要求をしており、AI 向けハードウェア投資やマイクロエレクトロニクス科学研究センター、科学用 AI・ロボティクスなどの産学連携 (REP) を強化している。

予算書には特段の記述がないが、FY2024 までの「Advanced Computing Research」が「Advanced Computing Technologies」と名称変更されている。

### 3.2.3. 施設部門

施設部門の予算は、全体として増加している。次世代機の開発について、オークリッジ (OLCF-6) およびアルゴンヌ (ALCF-4) の次世代リーダーシップ・コンピューティング施設のアップグレードプロジェクト、および、NERSC-10 プロジェクトを計画通り進めるための資金が含まれている。また、世界初のエクサスケール機「Frontier」と「Aurora」のフル稼働および競争的なリソース配分を継続する。統合研究インフラ (IRI) についても、実験施設と計算リソースをシームレスに統合する IRI のガバナンスとコアサービス構築のための投資が増額されている。

### 3.2.4. まとめ

FY2025 から FY2026 への ASCR の戦略は、「広範な基礎研究から、AI・量子と HPC が融合したハイブリッドな計算環境への集約」と、「次世代エクサスケール・システムの着実なアップグレード」へとシフトしている。総額が微減する厳しい制約の中で、既存の研究センターの一部を終了させつつ、将来の科学的優位性を決定づける AI ハードウェアや統合インフラ (IRI) への配分を優先させている。

### 3.3. 米国国立科学財団 NSF

本節では米国国立科学財団 NSF の予算全体について述べる。

#### 3.3.1. FY2025 と FY2026 の比較

NSF 全体の予算要求額は、2025 年度の計画である 90.6 億ドルから、2026 年度要求では 39.03 億ドルへと、56.9%の大幅な削減となっている。2026 年度予算書では、この大幅な減少について「制約された財政環境におけるリソースの戦略的調整を反映している」と説明されている。特筆すべき影響として、コンピュータ・情報科学・工学局（CISE）の予算は、2025 年度の 9.89 億ドルから 2026 年度要求の 3.46 億ドルへと、65.0%削減されている。

#### 3.3.2. CISE 予算

2026 年度において、CISE は経済成長を促進し、米国の繁栄を解き放ち、国家安全保障を強化するための重要技術に関する研究を支援するとされ、CISE は以下の事項を実施する。

「2025 年国家人工知能（AI）研究開発（R&D）戦略計画の策定に関する情報提供依頼」および「アメリカの若者のための人工知能教育の推進に関するホワイトハウス大統領令」で特定された優先分野と強力に連携し、基礎研究および利用に触発された研究、教育、ならびにインフラストラクチャへの支援を通じて AI を前進させる。主要な投資には、国立 AI 研究所および国立 AI 研究リソース（NAIRR）が含まれる。

量子コンピューティング・スタックを構築するための新しいアプローチや、量子コンピューティングとハイパフォーマンス・コンピューティングを組み合わせたハイブリッド・アプローチ、ならびにスーパーコンピュータと量子コンピュータの両方からの攻撃に対して安全な高性能の耐量子計算機暗号アルゴリズムとその実装などを通じて、量子情報科学および技術の基盤を前進させる研究と教育を支援する。

高度な無線通信技術、高度な製造、半導体とマイクロエレクトロニクス、バイオテクノロジー、サイバーセキュリティなど、米国の技術的リーダーシップに不可欠なその他の分野を支援する。

#### 3.3.3. LCCF 予算

リーダーシップ級コンピューティング施設（Leadership-Class Computing Facility、LCCF）予算 2 億 100 万ドルは、国の科学・工学研究コミュニティに対し、他では不可能な発見を可能にするための独自の計算・データ分析能力、および不可欠なソフトウェアやサービスを提供する分散型施設として構想されている。また、本プロジェクトは、データサイエンスおよび計算科学分野における次世代の STEM（科学技術分野における女性）人材を育成するため、幅広い教育・アウトリーチ活動を展開する予定である。

テキサス大学オースティン校のテキサス高度計算センター（TACC）において、計算研究と開発に革命をもたらす新たな「リーダーシップ級コンピューティング施設」の建設を開始している。ここでは、2026 年中の稼働を予定している LCCF は、NSF のポートフォリオの中で公開学術研究に特化した最大規模の学術用スーパーコンピュータ「Horizon」を導入し、あらゆる科学分野において画期的な好奇心主導型研究および利用支援型研究を可能にする。この最先端施設は、4 つの分散型サイエンスセンターと提携することで、国内のサイバーインフラストラクチャ・エコシステムが持つ深い専門知識を活用し、全国の研究者がその計算リソースやサービスを利用できるようにする。また、LCCF とそのパートナーは、将来の科学・工学分野の労働力を育成するため、幅広い教育およびパブリック・アウトリーチ活動も統括する予定である。

### 3.3.4. まとめ

56.9%の大幅な削減となったが、AI や量子情報科学（QIS）など、経済成長や国家安全保障に不可欠な活動については、最優先事項として投資が継続されている。

## 3.4. EuroHPC JU

### 3.4.1. FY2025 と FY2026 の比較

#### (1) 比較すべき資料

令和6年度調査で引用された EuroHPC JU の2025年予算である WORK PROGRAMME and BUDGET 2025 (①) は、2025年12月10日に最新版の WORK PROGRAMME and BUDGET 2025 (②) にアップデートされている。また、2026年予算である WORK PROGRAMME and BUDGET 2026 (③) は、2025年12月8日に発表されている。

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/about/key-documents\\_en#work-programme](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/about/key-documents_en#work-programme)

ここでは、この3つの文書を比較分析する。

- ① 2025 年当初予算 : EuroHPC JU JOINT UNDERTAKING DECISION OF THE GOVERNING BOARD OF THE EuroHPC JU JOINT UNDERTAKING No 66/2024 Adopting the Joint Undertaking's Work Programme and Budget for the year 2025
- ② 2025 年修正予算 : EuroHPC JU JOINT UNDERTAKING DECISION OF THE GOVERNING BOARD OF THE EuroHPC JU JOINT UNDERTAKING No 53/2025 Amending the Joint Undertaking's Work Programme and Budget for the year 2025 (Amendment No 7)
- ③ 2026 年予算 : EuroHPC JU JOINT UNDERTAKING DECISION OF THE GOVERNING BOARD OF THE EuroHPC JU JOINT UNDERTAKING No 54/2025 Adopting the Joint Undertaking's Work Programme and Budget for the year 2026

## (2) 変更点

EuroHPC JU の戦略は、広範な HPC エコシステムの構築から、AI への極端な集中、そして量子技術との融合へと明確にシフトしているようである。2025 年当初（基盤整備期）は、汎用的な HPC インフラの整備、多様なテクノロジーおよびアプリケーション開発をバランスよく推進する計画であった。しかし、2025 年を AI 集中への転換期と位置付け「AI スタートアップ・イニシアティブ」を強化するため、戦略の抜本的な見直しが行われた。この修正により、ポスト・エクサスケール計算やソフトウェアエコシステムに関連する複数の重要公募が中止され、リソースが AI Factory へ再配分された。さらに、2026 年は、AI 拡大と量子統合期ととらえ、2025 年に着手した AI Factory ネットワークを更に周辺国へ広げる「AI Factory Antennas」を本格化させている。同時に、量子コンピュータを HPC エコシステムに実用レベルで統合するフェーズへと移行している。

インフラについては、2025 年はドイツにおける欧州初のエクサスケール機「JUPITER」の稼働、ギリシャの中型機「Daedalus」の調達などが中心であったが、2026 年は、フランスの欧州 2 機目のエクサスケール機 Alice Recoque の準備が進む一方、オランダやルクセンブルクでの量子コンピュータ調達が開始される。また、2026 年には、2025 年に公募された計 16 の AI Factory システムの調達が本格化する。

### Table of Contents

DRAFT ANNUAL WORK PROGRAMME YEAR 2026 .....	5
INTRODUCTION .....	5
OPERATIONS .....	8
TABLE OF ACTIONS WITH BUDGET ALLOCATION .....	8
AI FACTORIES PILLAR .....	11
INFRASTRUCTURE PILLAR .....	12
CONNECTED AND FEDERATED SUPERCOMPUTERS PILLAR .....	15
TECHNOLOGY PILLAR .....	15
APPLICATIONS PILLAR .....	16
QUANTUM COMPUTING .....	16
COMPETENCES AND SKILLS PILLAR .....	17
INTERNATIONAL COOPERATION PILLAR .....	18
ADMINISTRATION 2026 .....	19
BUDGET 2026 .....	25
HUMAN RESOURCES .....	38

図 3.3.1. Work Programme and Budget for the year 2026 の目次（QC の章を新設）

2025年度：公募に確保した予算

Pillar	Actions	Funding rate		多年度予算		備考
		EU	PS	期初	期末	
AI Factories	Procurements: AI-optimised and upgraded EuroHPC supercomputers	50%	50%	714.000	974.000	
	Procurement and Operational costs of an AI-optimised EuroHPC supercomputer in the Netherlands				121.500	
	AI Factory Grant	50%	50%	240.000	314.000	
	Networking of AI Factories	100%	0%	6.000	50.000	名称変更
	Factories AI Sovereign Cloud and edge-cloud bridges	100%	0%	29.000	29.000	
Infrastructure				70.000		
Technology	Quantum Enhanced ML	50%	50%	16.000	16.000	
	Post-exascale computing	50%	50%	40.000	0.000	延期
	Quantum Grand Challenge	100%			4.000	新設
	HPC/QC Middleware technologies	50%	50%		40.000	新設
Applications	Centres of Excellence and for new Workflows Services	50%	50%	40.000	120.000	統合
	Computing Environments	50%	50%	40.000	0.000	
	Code reengineering HPC/AI in new HPC environments for AI/AI for HPC	50%	50%	40.000	0.000	
Quantum Computing						
International	Collaboration CSA with third countries on AI Factories and HPC/AI (TPC)	100%	0%	1.500	1.500	
	Collaboration CSA HPC with third countries (e.g.: Latin America)	100%	0%	3.000	3.000	
	International Summer School HPC	100%	0%	1.000	1.000	
Competences and Skills	National Competence Centres	50%	50%	70.000	40.000	
	NCC CSA Coordination	100%	0%	2.000	2.000	
	EuroHPC Summit 2026	100%	0%	0.700	0.700	
	User Day 2025	100%	0%	0.200	0.200	

2026年度：公募に確保した予算

Pillar	Actions	Funding rate		多年度予算 M€
		EU	PS	
AI Factories	Procurements and Operational costs: AI-optimised and upgraded EuroHPC supercomputers	50%	50%	2,025.000
	AI Factory Grants	50%	50%	429.000
	EuroHPC AI Factory Antennas	50%	50%	110.000
	Procurement for Peer Review Platform	100%		1.800
Infrastructure	Cooperation of AI Factories	50%	50%	50.000
Infrastructure	Procurements of Midrange supercomputers (Levente and Caspir)	35%	65%	100.000
Technologies	Enhancing competitive European microprocessor technology for HPC	50%	50%	97.300
Applications	HPC Centres of Excellence and HPC Lighthouse Codes	50%	50%	120.000
Quantum Computing	Quantum Prize	100%		0.300
	Quantum Enhanced ML	50%	50%	16.000
	HPC/QC Middleware technologies	50%	50%	40.000
International	CSA Collaboration HPC with third countries (e.g.: Latin America)	100%		3.000
Competences and Skills	National Competence Centres	50%	50%	40.000
	CSA NCC Coordination	100%		2.000
	EuroHPC Summit 2027	100%		0.700
	User Days 2026	100%		0.350

### 3.4.2. 2025 当初予算と 2025 修正予算の比較

2025 年の作業計画は、当初の汎用的な HPC 技術開発から、AI Factory を中心とした AI 競争力の強化へと大きく舵を切った内容に変更されている。修正版では、2021-2027 年の中期財政枠組みの残り 2 年間の優先順位見直しに伴い、多くの公募が中止または 2026 年へ延期された。

- ・ 中止された公募:
  - 継続的インテグレーション・デプロイメント・プラットフォーム (CI/CD)
  - HPC for AI ソフトウェアエコシステム
  - 新しい計算環境のためのワークフローとサービス
  - 新しい HPC/AI 環境におけるコード再設計
  - ポスト・エクサスケール・コンピューティング
  - EHPCPL (ポーランド) のミッドレンジシステム調達
- ・ 2026 年へ延期された公募:
  - ラテンアメリカとの国際協力
  - 量子強化機械学習
  - AI Factory ソブリン・クラウドおよびエッジ・クラウド・ブリッジ
  - HPC/QC ミドルウェア技術

当初は「CoE およびワークフロー／サービス」として 4,000 万ユーロが計上されていたが、修正版では「HPC Centres of Excellence および HPC Lighthouse Codes」として再編され、2024-2026 年の拠出金を含む総額 1 億 2,000 万ユーロ (EU 拠出は 6,000 万ユーロ) の大きな枠組みとなった。ベンチマーク開発については、HPC、量子、AI のための新しいベンチマーク開発の公募 (予算 400 万ユーロ) が具体化された。

新機能の追加として「AI Factory Antennas」の新公募が開始された。これは、自国でフルスケールの AI Factory を保有しない参加国が、既存の AI Factory と連携してサービスを提供するための仕組みである。連携支援の強化については、AI Factory 間の連携 (Cooperation of AI Factory) 予算が、当初の 600 万ユーロ から 2,500 万ユーロへと 4 倍以上に増額された。

### 3.4.3. 2025 修正予算と 2026 予算の比較

2025 年の修正版で「2026 年へ延期」とされていた主要なプロジェクトが、2026 年予算において正式に実行フェーズに入っている。

#### (1) 公募の状況

2026 年に継続・実行される公募の状況は以下のとおりである。ラテンアメリカとの国際協力は、2026 年に公募が開始される。量子強化機械学習 (Quantum Enhanced ML) 予算 800 万ユーロ (EU 拠出分) で維持されている。また、HPC/QC ミドルウェアとして

量子と HPC を統合するための技術公募が、2,000 万ユーロ（EU 拠出分）の規模で正式に組み込まれた。また、新規・拡大された公募として、量子グランドチャレンジ（Quantum Grand Challenge）がある。2026 年予算では、スタートアップ向けのフェーズ 1 として 400 万ユーロが計上され、将来的に InvestEU を通じて最大 3,000 万ユーロの融資につなげる野心的な計画が具体化している。

## **(2) AI Factory の設置から普及へ**

2025 年は「AI Factory」そのものの調達（LUMI-AI など）に多額の予算が投じられたが、2026 年はその機能を周辺国へ広げるフェーズに入る。AI Factory Antennas の施策を通じて、自国にスーパーコンピュータを持たない参加国が AI 基盤を利用するための「アンテナ」設置公募が、2025 年の準備を経て、2026 年に本格化する。EU 拠出額は最大 1 億 1,000 万ユーロと、非常に大きな比重を占めている。例えば、AI 基盤の運用 2025 年に予算化されたオランダの AI 最適化システムなどへの追加拠出（2,300 万ユーロ）が 2026 年以降に予定されており、インフラの維持・拡大が継続される。

## **(3) アプリケーションでは Lighthouse Codes の重視**

2025 年当初の「ワークフロー開発」といった汎用的な公募が中止された代わりに、2026 年はより戦略的なソフトウェア開発に集中している。Lighthouse Codes for HPC Applications では、世界的に競争力のある「旗艦ソフトウェア」の開発に重点が置かれている。

### **3.4.4. まとめ**

EuroHPC JU は、当初の包括的な次世代計算技術の開発から、2025 年の大幅修正を経て AI 分野での欧州の主導権確保へとリソースを極端に集中させた。さらに、2026 年予算ではその AI 基盤を補完・強化する形で量子計算の統合を急いでおり、単なる計算資源の提供者から、AI と量子が融合した高度な計算エコシステムの統合者へとその役割を進化させていることがわかる。

## 4. 最新の情報を踏まえた令和6年度の情報更新（スーパーコンピュータセンター）

### 4.1. 欧州のスーパーコンピュータセンター

#### 4.1.1. CSC（フィンランド）

フィンランドのIT科学センター（CSC）が運用する欧州最速（当時）スーパーコンピュータ LUMI に関する 2023 年 4 月時点の技術資料と、最新の動向を比較すると、施設が「システムの構築・稼働」という技術的フェーズから、社会の持続可能性や AI 主権に貢献する「多角的な価値創出」のフェーズへと明確に移行している実態が浮き彫りになる。以下に、主要なアップデート内容を詳述する。

The EuroHPC JU Flagship Supercomputer of the North  
Sustainability report 2024

[Why supercomputing and LUMI? - LUMI](#)

#### (1) LUMI の役割の深化と AI 戦略の本格化

2023 年時点での LUMI は、EuroHPC JU Joint Undertaking によるフラッグシップ機として、その圧倒的な計算能力（379PFLOPS）や、パイロットプロジェクトを通じた技術的習熟が主な焦点であった。しかし、その後のアップデートでは、LUMI は単なる計算リソースを超え、欧州の「AI 主権」を支える核心的インフラとして再定義されている。特に、大規模言語モデル（LLM）のトレーニングにおいて EU の「AI イノベーション・パッケージ」の中核を担うことが強調され、信頼性の高いオープンソース AI の開発基盤としての役割が強化された。

#### (2) 持続可能性の具体化とポジティブな社会的影響

2023 年の資料でも環境効率の高さは言及されていたが、最新の報告では、その取組が「環境負荷の最小化」と「社会への貢献の最大化」という二面性を持って具体化されている。LUMI の廃熱をカヤーニ市の地域暖房ネットワークに供給し、市全体の需要の約 2 割を賄う取組は、2023 年時点の計画・初期段階から、現在では具体的なエネルギー節約と炭素排出削減の実績として定着している。また、生物多様性の保護や循環型経済への配慮が組織運営の根幹に組み込まれた。

#### (3) 科学的成果の多様化とデジタル格差の避止

研究分野においても、2023 年度のパイロット段階から実用段階への進展が見られる。2023 年には天文学や材料科学が主なユースケースであったが、現在は欧州委員会の「Destination Earth」プロジェクトを通じた超高精度な気候デジタルツインの構築や、がん治療の個別化といった、より直接的に社会課題を解決するプロジェクトが主導権を握っ

ている。加えて、HPC に馴染みの薄い研究者層や中小企業へのアクセシビリティ向上、さらには次世代のエクサスケール計算時代を見据えた人材育成プログラムが、戦略的なアップデートとして明記されている。

#### (4) 国際連携と量子・HPC ハイブリッド計算の始動

2023 年以降の最も象徴的な進展は、量子コンピューティングとの融合である。LUMI-Q プロジェクト（LUMI-Q の設置はチェコ）などを通じ、LUMI の強力な計算基盤に量子プロセッサ（QPU）を統合するハイブリッド環境の構築が進展した。これにより、従来のスーパーコンピュータでは困難であった複雑なアルゴリズムの検証が可能となり、欧州が世界に先駆けて量子加速型 AI・HPC インフラを実用化するフェーズへと移行している。

#### (5) まとめ

LUMI の 2023 年から現在にかけての進展は、計算能力という「強さ」から、持続可能性と社会貢献という「責任」への転換を象徴している。AI 主権の確立、廃熱利用の実効化、そして量子技術との融合を通じて、LUMI は今や欧州の競争力と環境目標を同時に支える、代替不可能なデジタルプラットフォームへと進化したと言える。

#### 4.1.2. BSC（スペイン）

バルセロナ・スーパーコンピューティング・センター（BSC-CNS）の 2023 年度および 2024 年度のサマリー報告書を比較すると、同センターが欧州における AI および計算科学の要衝として、その役割を拡大させている姿が浮き彫りになる。以下に主要なアップデート内容をまとめる。

Barcelona Super Computing Center Summary 2023

Barcelona Super Computing Center Summary 2024

#### (1) スーパーコンピュータ MareNostrum 5 の本格稼働と拡張

2023 年度は MareNostrum 5 の設置と稼働に向けた準備が最大の焦点であったが、2024 年度には 4 月に正式に稼働を開始し、スペインおよび欧州の研究コミュニティに広く開放されるに至った。特に、同システムの性能が当初の計画以上に高く評価されている。MareNostrum 5 は、2023 年 11 月の TOP500 ランキングで 20 位以内に「汎用パーティション（GPP）」と「加速部パーティション（ACC）」の 2 つが同時ランクインするという欧州初の快挙を成し遂げた。さらに 2024 年度には、同システムを基盤とした AI Factory プロジェクトが承認され、2 億ユーロ近い投資を受けて AI 処理能力を倍増させる計画が始動している。

## (2) 量子コンピューティングとハイブリッド計算の新時代

量子コンピューティングの分野でも、2023年度の「最初のコンポーネントの納入」という段階から、2024年度には「最初の量子コンピュータの構築完了」へと大きく前進した。このコンピュータは MareNostrum 5 に統合され、従来の計算と量子計算を組み合わせた「ハイブリッド計算」の先駆けとなる。また、欧州共通の取組である EuroHPC JU から 2 台目の量子コンピュータの設置も承認され、欧州における量子技術のリーダーとしての地位を揺るぎないものになっている。

## (3) 半導体自給と技術主権への戦略的投資

欧州の技術的自律性を高めるための DARE (Digital Autonomy with RISC-V in Europe) プロジェクトが本格化した点も、2024年度の重要な進展である。2023年度には承認段階にあったこのチップ開発イニシアティブは、2024年度には 2 億 4,000 万ユーロという欧州最大級の投資規模で動き出した。オープンソースの RISC-V 技術に基づき、スーパーコンピュータ、自動運転、AI 向けの高性能チップを自国で設計・製造することを目指しており、MareNostrum 6 への欧州製チップ搭載という目標がより現実味を帯びてきている。

## (4) 人材の拡大と AI for Science の始動

組織の規模も拡大を続けており、スタッフ数は 2023年度の約 1,000 名から、2024年度末には 1,200 名を突破した。特に AI 分野の専門家育成に力を入れており、AI for Science プログラムを通じて新たに 150 名以上の専門家を採用している。これにより、センター内で AI に従事する科学者は 300 名を超え、バイオ医学から気候変動対策まで、あらゆる科学領域における AI 活用を加速させる体制が整った。総じて、BSC は単なる計算リソースの提供施設から、AI と量子、そしてハードウェア設計を統合した「欧州のデジタル主権を支える総合研究拠点」へと進化を遂げたといえる。

## (5) まとめ

このように、2023年度から 2024年度にかけて、BSC は新型スーパーコンピュータ MareNostrum 5 の本格稼働を実現し、世界トップクラスの計算能力を欧州の研究者に開放した。組織規模は 1,200 名を超え、予算も 1 億ユーロに迫るなど拡大を続けている。さらに、欧州の AI Factory 選出や最大級のチップ開発プロジェクト DARE の主導を通じ、AI・量子計算・半導体自給の三分野で欧州の技術主権を支える中核拠点へと進化した。

### 4.1.3. HLRS (ドイツ)

シュトゥットガルト高性能計算センター (HLRS) の 2023 年および 2024 年の年次報告書を比較すると、施設の大規模な拡張と、AI および持続可能性への取組が一段と具体化したことが分かる。以下に、主要な進展した内容を詳述する。

### (1) 次世代フラッグシップ機 Hunter の導入とロードマップ

2023 年版では次世代システムの計画段階であったが、2024 年版ではフラッグシップ機 Hawk から、次期システムである Hunter および Herder への移行プロセスが明確にアップデートされた。2024 年には、HPE Cray EX4000 技術に基づき、NVIDIA の最新 GPU (GH200 Grace Hopper Superchip) を搭載した Hunter の設置が開始された。これにより、HLRS は従来の CPU 中心の計算基盤から GPU 加速型へと大きく舵を切り、AI やデータ集約型シミュレーションへの対応力を飛躍的に向上させている。また、2027 年頃の導入を目指すエクサスケール・スーパーコンピュータ Herder への道筋も示されている。

### (2) AI 研究環境の整備と AI Factory への進化

AI に関する記述は、2023 年時点での「シミュレーションの補助」という立場から、2024 年には「計算基盤の主演」へと昇華している。欧州委員会が提唱する AI Factory 構想において、HLRS がスタートアップや中小企業に世界最高水準の AI 学習基盤を提供する役割を担うことが新たに強調された。具体的には、LLM のトレーニングや、複雑な物理現象を AI で近似する AI for Science のプロジェクトが大幅に増加し、学术界のみならず産業界の AI 競争力を直接支えるインフラとしての機能が進展している。

### (3) 持続可能性と廃熱再利用の進展

環境負荷低減に関する取組も大きな転換点を迎えた。2023 年版ではコンセプト段階であった廃熱の地域暖房への供給が、2024 年版では実稼働フェーズへと移行している。HLRS の新しい冷却タワーから供給される熱エネルギーをシュトゥットガルト大学の地域暖房ネットワークに接続し、エネルギーを再利用する具体的なシステムが完成したことが報告されている。これは、計算能力の増大に伴う消費電力の増大に対し、社会インフラとしての責任を果たす具体的な回答となっている。

### (4) 多様性と社会への教育活動の拡充

人材育成と社会貢献の面では、STEM への進出支援や、若年層向けの教育プログラムが強化された。2024 年の報告では、女性向けの研究体験日や、メタファーを通じてスーパーコンピュータの重要性を伝える巡回展示「Catalonia: Modelling the Future」などの活動が、より広範かつ国際的な規模で実施されたことが記されている。

### (5) まとめ

HLRS の 2023 年から 2024 年にかけてのアップデートは、単なるマシンの性能向上にと

どまらず、AI 時代を見据えた計算能力の質的転換と、地域社会に熱を供給する持続可能な運営モデルの確立を意味している。HLRS は今や、シミュレーション科学の拠点であると同時に、欧州の AI 主権を支え、環境目標と共生する次世代の公共プラットフォームへと進化したと言える。

#### 4.1.4. JSC (ドイツ)

ユーリッヒ・スーパーコンピューティング・センター (JSC) の 2024 年 3 月時点のニュースレターと、2024 年 11 月の紹介資料を比較すると、欧州初のエクサスケール・スーパーコンピュータ JUPITER の具体化と、AI および量子コンピューティングの統合に向けた進展が鮮明に示されている。以下に主要なアップデート内容をまとめる。

JSC Introduction Nov 2024

JSC News No 301

##### (1) エクサスケール機 JUPITER の進展と詳細仕様の確定

2024 年 3 月時点では、JUPITER は「2024 年内の設置を目指す欧州初のエクサスケール・システム」という位置付けであったが、11 月の資料ではそのアーキテクチャと段階的な導入プロセスがより詳細に記載されている。JUPITER は、NVIDIA Blackwell GPU を搭載した JUPITER Booster と、フランスの SiPearl 社が開発する CPU 「Rhea-1」を採用した JUPITER Cluster の 2 つで構成されることが確定した。特に、11 月の報告では JUPITER Transition Cluster (JUPITER Cluster の移行向けシステム) が既に研究者に開放されていることが示されており、本格稼働に向けた準備が最終段階に入ったことが分かる。これにより、AI 学習において 1 exaflops を超える性能を提供し、欧州の AI Factory 構想の核心的インフラとしての地位を固めている (2.2 節も参照のこと)。

##### (2) AI 研究基盤としての AI Factory への昇華

2024 年半ば以降、JSC の役割は単なるシミュレーション用計算資源の提供から、LLM や生成 AI の開発を支える AI Factory へと大きくシフトした。11 月の資料では、欧州委員会が提唱する AI Factory 構想において、JSC がスタートアップや中小企業に世界最高水準の AI トレーニング環境を提供する主要拠点となることが明記されている。JUPITER の Blackwell アーキテクチャへの移行決定も、従来の HPC 性能の追求に加え、AI 特有の多倍精度計算や大規模推論への対応力を向上させるための戦略的な進展といえる。

##### (3) 量子・HPC ハイブリッド計算の実用化フェーズ

量子コンピューティングに関しても、2024 年を通じて「実験・検証段階」から「実稼働・サービス統合段階」へと進展している。3 月時点では将来的な目標として語られていた JUPITER への量子コンピュータの統合が、11 月には LUMI-Q やドイツ国内の量子プロ

ジェクトとの連携を通じて、具体的なハイブリッド計算環境として定義されている。特に、JSC の UNITE ソフトウェアスタックを用いて、従来のスーパーコンピュータから直接 QPU を制御し、金融や材料科学の特定アルゴリズムを高速化する具体的な実行環境が更新されている。

#### (4) インフラの持続可能性と社会還元の実体化

計算能力の飛躍的向上に伴う環境負荷への対応についても、より具体的な数値と成果が更新された。2024 年 11 月の資料では、JSC の廃熱を地域の暖房システムに供給し、ユーリッヒ研究センター全体のエネルギー効率を高める取組が実証段階に達したことが示されている。これは、計算能力の増大という技術的進歩に対し、社会インフラとしての持続可能性を確保するための具体的な回答となっている。

#### (5) まとめ

一連のアップデートを通じて、JSC はエクサスケール計算の「準備」を完了し、AI と量子計算を統合した「次世代の科学・産業プラットフォーム」としての実運用を開始したといえる。特に JUPITER の仕様確定と、欧州の AI 主権を支える AI Factory としての役割の強化は、2024 年後半における最大の転換点である。

### 4.1.5. LRZ (ドイツ)

ライプニッツ計算センター (LRZ) の 2022 年度成果報告書 (SuperMUC-NG Results Report) と 2023 年度年次報告書 (Jahresbericht) を比較すると、施設が単なる「計算資源の提供」から「AI と量子コンピューティングを統合した次世代デジタルインフラ」へと急速にアップデートされている実態が示されている。以下に、主要な進展をまとめる。

High Performance Computing in Science and Engineering Garching/Munich 2022  
JAHRESBERICHT 2023

#### (1) フラッグシップ機 SuperMUC-NG の第 2 フェーズ稼働

2022 年時点では計画段階や準備段階の記述が主であった SuperMUC-NG Phase 2 が、2023 年度には本格的な実用フェーズへとアップデートされた。Phase 2 は、Intel CPU と高性能な GPU (Intel Data Center GPU Max シリーズ) を組み合わせたアーキテクチャを採用しており、これにより AI モデルのトレーニングやデータ集約型の計算能力が飛躍的に向上した。2022 年度の報告では従来の CPU 主体の計算成果が中心であったが、2023 年度版では GPU 加速によるディープラーニングや複雑なシミュレーションの高速化が新たな柱として報告されている。

## (2) 量子コンピューティングの実用化とハイブリッド環境の構築

最大のアップデートの一つは、量子コンピューティングの記述が「研究プロジェクト」から「実稼働サービス」へと深化している点である。2022年度は基礎的な技術開発が主眼であったが、2023年度には Munich Quantum Valley (MQV) や Euro-Q-Exa プロジェクトを通じて、LRZ のスーパーコンピュータ環境に QPU を直接統合する試みが具体化した。特に、従来の HPC と量子計算をシームレスに組み合わせるハイブリッドプログラミングモデルの提供が開始され、ユーザが実際の計算ワークフローの中で量子リソースを試験的に利用できる体制へと更新されている。

## (3) AI for Science への戦略的シフトと自律化

AI に関する取組も大幅にアップデートされた。2022年度はシミュレーションの補助としての AI 活用が散見される程度であったが、2023年度は AI Factory としての役割が強調されている。LLM の科学研究への応用や、膨大な科学文献を解析して知識ベースを構築する自動化ツールなど、研究プロセスそのものを AI で変革する AI for Science の取組が多角化している。さらに、システムの運用面でも AI を用いた故障予測やエネルギー効率の最適化が進み、データセンター自体の自律的な運用が目指されている。

## (4) 持続可能性とエネルギー効率の高度化

エネルギー効率に関する記述は、2022年度の「温水冷却技術の成果」から、2023年度はより広範な「持続可能な計算基盤」へとアップデートされている。計算能力の増大に伴う消費電力の増大に対し、廃熱を周辺地域の暖房システムへ供給する具体的なインフラ整備や、再生可能エネルギーとの連携をより厳密に管理するソフトウェアスタックの導入が報告されている。これは、単なる技術的な効率化から、社会インフラとしての責任を果たすための「グリーン HPC」への進化を反映している。

## (5) まとめ

一連のアップデートを通じて、LRZ は従来の HPC の枠を超え、AI と量子計算が融合した「先端計算エコシステム」へと進化した。特に、GPU 搭載の Phase 2 稼働と量子コンピュータの統合実証は、ドイツおよび欧州のデジタル主権を支える基盤として、LRZ の役割を一段高いレベルへと引き上げている。

### 4.1.6. TGCC (フランス CEA/DAM)

Très Grand Centre de calcul (TGCC) が提供する Joliot-Curie スーパーコンピュータのドキュメント (2025年版とそれ以前) を比較すると、計算リソースの飛躍的な増強と、量子コンピュータの本格的な統合という 2つの大きな転換点が確認できる。

TGCC public Documentation Release 2025-02-07.1101

### (1) エクサスケール機 Alice Recoque への世代交代

最大のアップデートは、2025年時点でフラッグシップ機が Joliot-Curie から、フランス初のエクサスケール・スーパーコンピュータとなる Alice Recoque へと移行するロードマップが確定した点である。Joliot-Curie がペタスケールであったのに対し、Alice Recoque はエクサスケールの能力を持つ。この新システムは AMD の最新 GPU である Instinct MI430X や欧州産の CPU である Rhea を搭載し、計算能力は従来比で約 50 倍に向上する予定である。また、単なる計算機としてだけでなく、欧州における AI Factory の中核として、スタートアップや中小企業向けの AI 学習基盤としての役割が強調されている。

### (2) 量子コンピューティングの本格統合

以前のドキュメントでは研究・計画段階であった量子コンピュータの統合が、2025年版では具体的な運用フェーズへとアップデートされている。具体的には、Pasqal 社のアナログ量子コンピュータ Ruby が、既に TGCC のネットワークに接続され、100 量子 bit 級の能力を備える段階に達した。加えて、Quandela 社による 12 光子デジタル量子コンピュータ Lucy の納入も完了している。これら 2 つの異なる方式の QPU が Joliot-Curie や後の Alice Recoque と連携することで、世界でも稀な「ハイブリッド HPC-量子コンピューティング」の実行環境が一般ユーザーに提供される体制が整った。

### (3) 施設インフラと冷却技術の刷新

新世代コンピュータの導入に伴い、TGCC の施設そのものも大幅にアップデートされた。Alice Recoque の高い熱密度に対応するため、従来の空冷中心のシステムから、ドイツの LRZ と同様に温水冷却への切り替えが進んでいる。これにより、エネルギー効率が飛躍的に向上し、同等規模のエクサスケール機と比較して約 20%の電力効率改善が見込まれている。また、床荷重の強化や、24MWatt に及ぶ電力供給能力の増強など、将来の「ゼタスケール（エクサの 1,000 倍）」をも見据えた物理インフラの再構築が完了している。

### (4) まとめ

TGCC のアップデートは、単なるマシンの性能向上にとどまらず、フランスおよび欧州が「デジタル主権」を確立するための戦略的な進展を反映している。従来型の HPC リソースに加え、最先端の AI 基盤とハイブリッド量子計算環境を単一の施設内で統合したことで、学術研究から産業利用までを一気通貫で支える、次世代の科学技術プラットフォームへと進化した。

#### 4.1.7. GENCI（フランス）

フランスの大型計算資源提供機関である GENCI の 2023 年度および 2024 年度の年次報告書を比較すると、同機関が単なるシミュレーション基盤の提供者から、AI と量子コンピューティングを柱とする「総合的なデジタル・ソブリン（技術主権）の推進役」へと進化している実態が浮き彫りになる。以下に、主要な更新内容を記述する。

GENCI Annual Report 2023

GENCI Annual Report 2024

##### (1) エクサスケール・スーパーコンピュータ Alice Recoque の進展

2023 年時点では計画段階であったが、2024 年度の報告書では、具体的な実装フェーズへと進展している。このシステムは単なる計算能力の追求にとどまらず、フランスおよび欧州が米国や中国に依存しない「デジタル主権」を確立するための戦略的資産として明確に定義された。特に、Rhea の採用や、高いエネルギー効率を実現するための直接液体冷却技術の実装など、ハードウェア面での具体的な仕様と導入スケジュールが更新されている。

##### (2) AI への戦略的シフトと AI Factory 構想

2023 年度は AI をシミュレーションの補助的なツールとして扱う傾向があったが、2024 年度には AI が HPC と並ぶ、あるいはそれを包含する最優先事項へと昇華した。フランス政府が進める計画に基づき、GENCI は既設の Jean Zay の AI 処理能力を大幅に拡張し、スタートアップや中小企業が LLM を学習できる環境を整備した。さらに、欧州委員会が提唱する AI Factory 構想において、GENCI がその中核的なハブとしての役割を担うことが新たに明記され、科学研究だけでなく産業界の AI 競争力を直接支えるインフラとしての性格が強まっている。

##### (3) 量子コンピューティングの実用化と HQI の深化

量子コンピューティングについても、2023 年度の「技術評価とプラットフォーム構築」のフェーズから、2024 年度は「実社会の課題解決に向けたアプリケーション開発」へと移行した。フランスの量子コンピューティング・イニシアティブ（HQI）の下で設置された Lucy や Ruby が、従来の HPC システムとシームレスに連携するハイブリッド環境として完成したことが報告されている。これにより、金融のポートフォリオ最適化や材料科学における複雑な分子シミュレーションなど、具体的なユースケースにおける量子・HPC ハイブリッドの優位性を検証する段階に達している。

##### (4) 社会的責任とエコシステムへの貢献

2024 年度の報告書で特に目立つのは、環境負荷の低減と STEM への進出支援という、

社会的責任に関するアップデートである。HPC センターの廃熱を地域の暖房システムに供給する仕組みの具体化や、エネルギー消費のリアルタイム監視による運用効率化が進展した。また、女性研究者や技術者の割合を増やすための具体的なプログラムが始動し、単なるインフラ提供にとどまらない、持続可能で多様性のある研究エコシステムの構築が GENCI のミッションに深く組み込まれるようになった。

## (5) まとめ

GENCI の進展は、フランスが欧州における AI と量子技術のリーダーシップを握るといふ強い意志を反映している。従来型の HPC リソースの増強にとどまらず、AI と量子を統合した次世代の計算プラットフォームへと転換し、それを国の経済競争力や環境目標と直結させることで、公共インフラとしての価値を一段高いレベルへと引き上げたと言える。

### 4.1.8. Cineca (イタリア)

Cineca という略称は、イタリア語の正式名称である *Consorzio Interuniversitario per il Calcolo Automatico dell'Italia Nord Orientale* から来ている。この名称は、「イタリア北東部の大学による自動計算のためのインター大学コンソーシアム」を意味する。Cineca の 2022 年度および 2023 年度のレポートを比較すると、同センターが「プレ・エクサスケール・コンピューティングの確立」から「AI、量子、そして産業界への応用深化」へと大きく前進したことが分かる。

CINECA HPC ANNUAL REPORT 2023/24

CINECA HPC ANNUAL REPORT 2024/25

#### (1) フラッグシップ機 Leonardo の本格稼働と拡張

2022 年度のレポートでは、Leonardo はまだ導入およびテスト段階にあり、Booster モジュールの設置が始まったばかりであった。しかし、2023 年度のレポートでは、Leonardo が世界トップクラス (TOP500 で 4 位、2024 年末時点で 7 位) のスーパーコンピュータとして完全に稼働を開始している。さらに、計算能力を約 100PFLOPS 上積みする LISA (Leonardo Improved Supercomputing Architecture) プロジェクトが承認され、単なる稼働から AI やマルチモーダル生成 AI に最適化された拡張フェーズへと更新されている。

#### (2) 量子コンピューティングの実用化フェーズ

2022 年度時点では量子コンピューティングは将来的な「展望」の域を出なかったが、2023 年度版では Quantum Spain イニシアティブの下、具体的なシステムの導入が完了に近づいている。ボローニャのデータセンターには、中性原子ベースと超伝導技術ベースの 2 つの量子コンピュータが設置される予定であり、従来の HPC と量子計算を組み合わせ

「ハイブリッド・コンピューティング」の実行環境が具体的な運用スケジュールとともに示されている。

### (3) 生成 AI と LLM への注力

最新のレポートで最も顕著なアップデートは、AI、特に生成 AI への戦略的シフトである。2022 年度は AI をシミュレーションの補助として捉える向きが強かったが、2023 年度にはイタリア語に特化したイタリア産 LLM の構築プロジェクトが 4 つ並行して開始された。これは、欧州委員会が進める AI Factory 構想の一環として、Cineca がスタートアップや中小企業に世界最高水準の AI 学習基盤を提供する役割を担い始めたことを反映している。

### (4) 産業連携とデジタルサービス・サプライチェーン

産業界との関わりも、計算資源の提供から実用的なアプリケーション開発へと進化した。2024 年末には企業としての Leonardo 社との連携が拡大され、スーパーコンピュータが生み出すデータを製品設計やサプライチェーン最適化、製造プロセスの高度化に直接つなげるデジタルサービス・サプライチェーンの構築が進行中である。これにより、研究成果を産業界へ移転するスピードが格段に向上している。

### (5) まとめ

一連の進展は、Cineca が単なる計算リソースの提供者から、欧州のデジタル主権を支える AI・量子・産業応用の統合拠点へと進化したことを示している。プレエクサスケールの処理能力を背景に、今後は科学研究のみならず、実社会の経済的価値を創出するプラットフォームとしての役割が期待されている。

#### 4.1.9. SURF (オランダ)

オランダの教育・研究用 IT 共同利用機関である SURF の 2024 年度年次概況と 2025 年度の展望を比較すると、同機関が従来の「IT インフラの提供者」から、欧州における「量子・AI 戦略の中核拠点」へと劇的にその役割を深化させている実態が浮き彫りになる。以下に主要な更新内容を記述する。

SURF in 2024

Annual Overview 2025

#### (1) 欧州量子コンピューティング・ハブとしての確立

2024 年時点では、アムステルダム・サイエンス・パークに欧州の量子コンピュータを誘致することが大きなニュースとして扱われていた。しかし 2025 年に向けたアップデートでは、この構想が単なる誘致にとどまらず、欧州全体の量子エコシステムをけん引する具

体的な運用フェーズへと移行している。オランダ国内への量子コンピュータ設置は、デジタル主権の確立と次世代の計算パラダイムへの転換を象徴しており、研究者が HPC と量子計算をシームレスに組み合わせて利用できる環境整備が加速した。

## (2) AI イノベーションと AI Factory への参画

2025 年度の最大の転換点の一つは、欧州委員会が推進する AI Factory 構想への積極的な関与である。2024 年度は国内スーパーコンピュータ Snellius や欧州最速級の LUMI を活用した研究支援が主軸であったが、2025 年にはこれら強力な計算リソースを、AI モデルのトレーニングやスタートアップ支援に特化させた AI エコシステムとして再定義している。これにより、生成 AI を含む高度な AI 技術を、教育や公共セクターの研究者が安全かつ倫理的に利用できる基盤が強化された。

## (3) 実践的リサーチ・プラットフォーム Publinova の拡充

IT インフラの提供だけでなく、研究成果の社会実装を支援するプラットフォーム Publinova の進化も顕著である。2024 年時点で 3,800 以上のプロジェクトと 32,000 名以上の利用者を抱えていたこのプラットフォームは、2025 年に向けて更にその規模を拡大し、専門大学などによる実践的な知見を共有するオープンサイエンスの柱としての地位を固めた。分野もヘルスケア、農業、経済、教育など多岐にわたり、知の循環を加速させるツールとしての機能が進展している。

## (4) サイバーセキュリティとデジタル自治の強化

2024 年度の報告で強調されていた過去 10 年の防御の洞察に基づき、2025 年度はより能動的なサイバーレジリエンス（回復力）の構築へと移行している。特に、教育・研究機関を標的とした高度な脅威に対し、共同調達や合同監視を通じて「防衛の共同体」としての機能を強化した。また、技術の背後にある道徳と権力のバランスを重視し、欧州独自の価値観に基づいたデジタル主権を確保するための具体的なガイドラインや契約管理の仕組みが更新された。

## (5) まとめ

一連のアップデートを通じて、SURF は単なる「IT サービスの協同組合」から、量子・AI・セキュリティの三位一体で欧州の知の競争力を支える「戦略的イノベーション・エンジン」へと進化したと言える。インフラの強力な計算能力を社会課題の解決や教育の質向上に直結させることで、公共の利益に資するデジタル社会の構築を一段高いレベルへと引き上げた。

#### 4.1.10. PSNC（ポーランド）

ポズナン・スーパーコンピューティング・ネットワークング・センター（PSNC）の2023年次報告書と2025年次報告書を比較すると、同センターが設立30周年の節目からポーランドにおけるAIと量子計算の社会実装の核心拠点（後述のPCSS）へと決定的な進化を遂げたことがわかる。以下に主要な進展内容をまとめる。

Raport PCSS 2023

Raport PCSS 2025

##### (1) 量子コンピューティングの本格稼働とインフラ化

2023年時点では、量子計算は将来的な注力分野として位置付けられ、ORCA Computing社製システムの導入などが計画段階や初期検証段階にあった。しかし、2025年の報告書では、欧州のEuroHPC JU 共同事業によるポーランド初の量子コンピュータPIAST-Qが正式に稼働を開始し、具体的なサービス提供フェーズへと更新されている。2025年6月には大規模な落成式が行われ、学术界のみならず産業界や公的部門のユーザが欧州最先端の量子計算リソースを実用レベルで利用できる体制が整った。

##### (2) AI 戦略の深化とAI Gigafactory への進化

AIに関する取組は、単なる研究から国家規模の「製造・訓練基盤」へと劇的な転換を遂げた。2023年時点ではAIを用いた個別プロジェクトの報告が主であったが、2025年にはポーランド初のAI工場コンソーシアムPIAST-AIが設立され、PCSSはその技術的柱として定義されている。特に、LLMの訓練を支えるための計算能力の大幅な増強が進み、スタートアップや中小企業がポーランド独自のAI資源を活用して戦略的なAI実装を行うためのAI Gigafactoryとしての役割が新たに強調された。

##### (3) 統合研究インフラと文化的データのデジタル空間

2023年からの進展として顕著なのが、データの共通基盤化である。2025年のアップデートでは、文化遺産データを高度に濃縮・共有するための欧州規模のプロジェクトINFINITYや、ポーランド最大級のゲノミクスプロジェクトGenomika dla Polski (G4PL)が本格始動している。これらは、従来の単発的なシミュレーション計算から、膨大な学術・文化データを統合管理し、AI解析と結びつけるデータスペースの構築へとPCSSのミッションが拡張されたことを示している。

##### (4) 組織アイデンティティの統一と多角化

2025年6月より、センターは、それまで併用していたPSNCの名称を廃止し、ポーランド語名であるPoznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (PCSS)に名称とロゴを統一するというブランディングの刷新を行った。運営面では、PCSS Future Labによる

paediatric oncology（小児腫瘍学）向けのデジタルプラットフォーム提供など、計算科学の成果を市民生活の質（QoL）に直結させる「Living Lab」としての社会実装活動が多角化している。

#### (5) まとめ

一連のアップデートを通じて、PCSS は計算資源の提供者から、AI と量子技術を統合した「次世代のインテリジェント・インフラ」へと進化したと言える。2023 年に掲げた「イノベーションの 30 年」という看板を実質化させ、2025 年にはポーランドのデジタル主権を支える AI 訓練拠点と量子計算ハブという二大役職を確立した。

#### 4.1.11. EPCC（英国 UoE）

エディンバラ並列コンピューティングセンター（EPCC）が発行したニュースレター第 95 号（2024 年 6 月）以後の第 96 号（2024 年 10 月）、第 97 号（2025 年 5 月）および第 98 号（2025 年 11 月）によると、英国の次世代スーパーコンピューティング環境の整備と、産業・研究の両面における実用化が加速していることが分かる。以下に主要な進展内容をまとめる。

EPCC Newsletter Issue 96

EPCC Newsletter Issue 97

EPCC Newsletter Issue 98

#### (1) 次世代フラッグシップ機 ARCHER2 の成熟と将来展望

2024 年の夏時点では ARCHER2 の継続的な運用が中心であったが、第 97 号以降、システムはより高度な利用フェーズに移行している。ARCHER2 は、エディンバラ大学が主導する大規模な流体力学シミュレーションや気候変動予測において不可欠なリソースとして確立された。さらに、第 98 号では、ARCHER2 の運用終了を見据えた次期国家級スーパーコンピュータシステム（エクサスケール級）への道筋がより具体化している。これには、システムの受け入れ先となるエディンバラ大学のアドバンスド・コンピューティング・ファシリティ（ACF）における電力インフラの増強や、冷却設備の刷新といった物理的な基盤整備の進捗が含まれる。

#### (2) AI と HPC の融合：DARE と新しい推論サービスの始動

2024 年の夏時点では計画段階や初期段階であった DARE（Data Analytics Research Environments）プロジェクトが、第 97 号、第 98 号では具体的な成果を報告する段階へと進展した。特に注目すべきは、AI 推論を科学ワークフローにシームレスに組み込むための新しいサービスの試験運用が開始されたことである。これにより、従来の物理シミュレーションに LLM や機械学習モデルを組み合わせる AI for Science の試みが現実のものとな

った。研究者は、膨大なデータから特定のパターンを抽出したり、複雑な PDF 形式の文献を自動解析して学習データに変換したりするツールを、EPCC の計算資源上で直接利用できるようになった。

### (3) 産業連携と地域経済への波及効果

産業界との連携においても進展が見られる。2024 年の夏時点では一部の成功事例の紹介にとどまっていたが、第 97 号以降、特に中小企業支援プログラムの成果が強調されている。EPCC は、企業がスーパーコンピュータや AI を導入する際の障壁を下げるため、クラウド的な利用形態を提供する **Inference-as-a-Service** の拡充を図った。これにより、製造業における設計の最適化や、物流業界でのルート配送シミュレーションなど、実社会の経済活動に直結するアプリケーションの開発が具体的な数字とともに報告されている。

### (4) 教育・人材育成プログラムの進化

人材育成の面では、第 98 号において修士課程プログラムの刷新が発表された。2024 年の夏時点では伝統的な並列コンピューティング教育が主流であったが、アップデート後のカリキュラムでは「ハイパフォーマンス・データサイエンス」と「AI の計算基盤」に重点が置かれている。これは、次世代のエクサスケール計算時代において、単にコードを書く能力だけでなく、複雑なデータ基盤を管理し、AI と HPC のハイブリッド環境を使いこなせる専門家が求められている現状を反映したものである。

### (5) まとめ

一連の進展を通じて、EPCC は単なる「計算リソースの提供拠点」から、AI と HPC が高度に融合した「科学・産業イノベーションの総合プラットフォーム」へと進化を遂げたと言える。特に次期エクサスケール機への準備と AI 推論サービスの開始は、英国の計算科学における主権を確立するための戦略的な進展を象徴している。

#### 4.1.12. CSCS (スイス)

スイス国立スーパーコンピューティング・センター (CSCS) の 2022 年度年次報告書と 2023 年度のデジタル年次報告書を比較すると、同センターが単なる計算資源の提供者から、次世代の Alps インフラを核とした、より柔軟で多機能なクラウド型研究基盤へと完全に移行した実態が浮き彫りになる。以下に、主要な進展内容を記述する。

CSCS Annual Report 2022

CSCS Annual Report 2023

#### (1) 次世代インフラ Alps の稼働とアーキテクチャの転換

2022 年時点では、長年フラッグシップ機として君臨した Piz Daint から次世代システム

Alps への移行は、準備段階として描かれていた。しかし、2023 年度の報告では、NVIDIA Grace Hopper スーパーチップを搭載した Alps が正式に稼働を開始し、従来の HPC の枠を超えた「クラウドネイティブ」な運用が中心に据えられた。これにより、特定のハードウェアに縛られず、仮想的なクラスター (vCluster) をオンデマンドで構築できる柔軟性が実現し、研究者は自身のニーズに合わせて計算環境をカスタマイズできるようになった。

## (2) AI への戦略的注力と SwissAI イニシアティブの始動

2023 年度の最大の進展は、AI を国家戦略の柱として明確に定義したことである。2022 年度は AI をシミュレーションの補助的手段として扱う側面が強かったが、2023 年度には ETH チューリッヒや EPFL と連携した SwissAI イニシアティブが発足した。これは、欧州最大級の計算能力を背景に、透明性と信頼性の高い、スイス独自のオープンソース LLM を開発することを目的としている。Alps の強力な GPU リソースは、今や物理シミュレーションと並び、この巨大な AI モデルのトレーニングに集中的に投入されている。

## (3) Sarus と FirecRest の進展

ユーザインターフェースとアクセス性の面でも重要な進展があった。2023 年度の報告では、コンテナ技術 (Sarus) や Web API である FirecRest を用いたエコシステムの利便性が向上したことが強調されている。2022 年度までは専門的な HPC スキルが求められる場面が多かったが、2023 年度にはこれらの中間ソフトウェアが成熟したことで、Web ブラウザや Python スクリプトから直接スーパーコンピュータのリソースを操作できる環境が標準化した。これにより、データサイエンスや医学、人文科学など、従来の HPC ユーザ層以外への裾野が大きく広がった。

## (4) 国際連携と技術主権の確立

スイスが欧州の Horizon Europe プログラムから一時的に除外された影響を受け、2022 年度は国際協力への危機感が語られていたが、2023 年度にはその逆境を逆手に取った独自の技術主権の確立が強調されている。米国や日本、英国の主要な研究機関との二国間連携を強化しつつ、ハードウェアとソフトウェアの両面で世界をリードするプラットフォームを構築することで、スイスが国際的な計算科学のハブとしての地位を維持、あるいは強化している実態が報告されている。

## (5) まとめ

一連の進捗を通じて、CSCS は「特定のスーパーコンピュータを運用する施設」から、AI とシミュレーションを統合的に支える「柔軟なデジタルインフラ」へと変貌を遂げた。特に、Alps によるクラウドネイティブな運用と SwissAI イニシアティブの推進は、スイスが AI 時代の科学研究において独立性と競争力を確保するための布石となっている。

## 4.2. 米国のスーパーコンピュータセンター

### 4.2.1. ALCF (ANL)

アルゴンヌ国立研究所 (ANL) リーダーシップ・コンピューティング施設 (ALCF) における 2023 年から 2025 年にかけての主要な進展について、提供されたレポートに基づき、計算基盤、AI 技術、科学的成果、および統合インフラの 4 つの側面から記述する。

ALCF 2023 SCIENCE REPORT

ALCF 2025 SCIENCE REPORT

#### (1) 計算基盤の世代交代と Aurora の本格稼働

2023 年時点では、エクサスケール・スーパーコンピュータ Aurora はハードウェアの設置段階にあり、同年 6 月に最終的な 10,624 台のブレード (ノード) の設置が完了したところであった。しかし、2025 年には Aurora は完全に稼働し、理論ピーク性能 2 EFLOPS を超える世界最高峰のプラットフォームとして研究者に開放されている。システム構成も再編され、2023 年に主力であった Theta などの旧システムに代わり、2025 年には AI モデルのトレーニングと推論に特化した Sophia や Minerva といった新システムが導入された。さらに、次世代システムを見据えた ALCF-4 プロジェクトもすでに始動している。

#### (2) AI for Science の進化と推論サービスの基盤化

2023 年、ALCF の AI Testbed は多様なアクセラレータを導入して次世代の機械学習アプリケーションの評価を開始していたが、2025 年には Cerebras CS-3 や SambaNova Metis SN40L といった最新世代の機材へと刷新されている。最大の変化は、2025 年に導入された ALCF 推論サービス (Inference Service) である。これは研究者が 30 以上のオープンソース AI モデルを自身のワークフローにセキュアに統合できる環境を提供するものであり、AI 利用を実験的段階から研究に不可欠な「日常的インフラ」へと昇華させた。

#### (3) 圧倒的な計算資源による科学的成果のスケールアップ

計算資源の増大に伴い、各分野の科学的成果が大きくスケールアップしている。2023 年には地域的な気候モデルや初期的な宇宙シミュレーションが中心であったが、2025 年には Aurora を最大限に活用した気象予測用基盤モデル AERIS が登場した。AERIS は持続性能で 10.21 EF (混合精度) を達成し、5 日先の台風進路を高精度に予測する能力を示している。バイオ分野でも、2025 年には 50 億個の小分子をわずか 20 分でスクリーニングする超高速創薬や、混合精度で 5.57 EF を記録するタンパク質設計フレームワークが実現するなど、シミュレーションと AI の融合が加速度的に進展した。

#### (4) 統合研究インフラ IRI による「シームレスな科学」の実現

2023 年に提唱された、DOE による実験施設と計算資源をつなぐ Nexus イニシアティブは、2025 年には「Integrated Research Infrastructure (統合研究インフラ IRI)」として具現化され、実運用されるに至った。具体的には、APS (放射光施設) での実験データをリアルタイムで Aurora や Polaris へ転送して解析する自動パイプラインが構築され、人間を介在させずに従来比 10 倍の速さで解析結果を得ることが可能となった。核融合研究施設 DIII-D との連携でも、解析時間を 4.5 時間からわずか 7 分に短縮するなど、リアルタイムな実験制御と発見のループが確立されている。

#### (5) まとめ

2023 年から 2025 年にかけて、ALCF は次世代マシンの準備期間を終え、AI 基盤モデルと大規模計算を融合させた、自律的かつリアルタイムな科学的発見のための拠点へと進化した。

#### 4.2.2. OLCF (ORNL)

オークリッジ・リーダーシップ・コンピューティング施設 (OLCF) の 2023 年度および 2024 年度の運用評価報告書 (OAR) を比較すると、世界初の本格的なエクサスケール・システムである Frontier の運用が、初期の安定化フェーズから高度な実用・拡張フェーズへと移行したことが示されている。以下に主要な進展内容をまとめる。

2023 Operational Assessment Oak Ridge Leadership Computing Facility

2024 Operational Assessment Oak Ridge Leadership Computing Facility

#### (1) フラッグシップ機 Frontier の運用成熟と性能向上

2023 年度の報告では、Frontier が本格的なユーザ利用を開始し、エクサスケール計算の可能性を実証した段階であった。これに対し 2024 年度は、Frontier が年間を通じて極めて高い信頼性を維持し、科学的発見の基盤としての地位を確立したことが報告されている。特筆すべきは、2024 年 4 月に実施された性能アップグレードにより、Frontier の HPL (High Performance Linpack) スコアがそれまでの 1.194EFLOPS から 1.206EFLOPS へと向上した点である。これにより、Frontier は世界で最も強力なスーパーコンピュータ (2024 年 6 月の TOP500 で 1 位) としての地位を更に強固なものにした。

#### (2) AI 戦略の深化とインフラの拡張

2024 年度の最大の進展は、AI への注力の拡大である。2023 年度は Frontier を用いた AI 研究の初期成果が報告されていたが、2024 年度には AI for Science を加速させるための具体的なインフラ拡充が完了した。具体的には、NVIDIA H100 GPU を搭載した新しい計算クラスター Isambard-AI や Dawn などのプロジェクトが、OLCF の計算エコシステムの中

に統合・拡張されたことが示されている。さらに、LLM の訓練や、生成 AI を科学的シミュレーションに統合するワークフローの最適化が本格化しており、単なる計算から AI 主導の発見へとパラダイムが更新されている。

### (3) IRI とリアルタイム連携の進展

ANL と同様に統合研究インフラ IRI については、2024 年度には実運用レベルへと更新された。アドバンスド・フォト・ソース (APS) やダークエネルギー分光器 (DESI) などの外部施設から生成される膨大なデータを、OLCF のリソースへリアルタイムで転送・解析し、その結果を即座に実験現場へフィードバックするパイプラインが構築されている。これは、実験中にパラメータを最適化するという、科学研究のプロセスそのものを動的に変革する段階に達したことを意味している。

### (4) 持続可能性と次世代システムへのロードマップ

運用面では、計算能力の飛躍的向上に伴う消費電力と冷却への対応がより具体化した。2024 年度の報告では、廃熱を有効利用するシステムの高度化や、エネルギー効率の更なる改善が報告されている。また、Frontier の次期システムである Discovery への準備状況もアップデートされた。Discovery は、Frontier を上回る性能を目指しており、そのベンダー選定や物理インフラの準備が 2024 年度を通じて大きく前進したことが示されている。

### (5) まとめ

一連のアップデートを通じて、OLCF はエクサスケール計算の「安定運用」を達成するだけでなく、AI 基盤の拡充と実験施設のリアルタイム統合を実現した。OLCF は今や、単なる計算リソースの提供者を超え、シミュレーション、AI、そして実験データが高度に融合した「インテリジェントな科学イノベーション・プラットフォーム」へと進化したと言える。

#### 4.2.3. LANL

ロスアラモス国立研究所 (LANL) が発行した「FY2022 年次報告書」と「FY2024 LDRD (研究所主導研究開発) 年次報告書」を比較すると、研究所の使命が「パンデミックへの即応」から「将来の複雑な脅威に対する科学的・技術的主権の確立」へと、より長期的な視点にアップデートされている実態が浮き彫りになる。以下に、主要な進展と変更点について記述する。

Laboratory Directed Research and Development Program FY23 Annual Progress Report

Laboratory Directed Research and Development Program FY24 Annual Progress Report

### (1) 戦略的重点領域のシフトと拡大

2022年時点では、COVID-19パンデミックの影響が色濃く残っており、感染症シミュレーションやワクチン開発といった生物学的脅威への即応能力が報告の中心であった。これに対し、2024年の報告では、国家安全保障の定義が更に広範かつ多層的に定義されている。核抑止力の現代化という不変の使命を軸としつつも、気候変動がもたらす不安定化、宇宙ドメインの安全性確保、そしてサプライチェーンの強靱化といった「将来の潜在的リスク」に対する事前準備（アンティシペーション）が、LDRDプログラムを通じて強力に推進される体制へと更新された。

### (2) AI と先端計算科学の実装深化

技術面での最大の進展は、AI および機械学習の役割である。2022年当時は、AI はデータ解析の一手法としての導入段階にあったが、2024年にはAI for Science や、自動化された実験施設（セルフドライビング・ラボ）の構築といった、科学的発見そのものを自律化させる基盤技術へと昇華している。特に、材料科学における新素材の予測から、複雑な気候モデルの高精度化、さらにはサイバー防衛の自律化まで、AI が研究所のあらゆる科学領域を横断する「共通言語」として定着した。

### (3) 研究所主導研究開発 LDRD の役割と成果の具現化

2024年のレポートでは、LDRD資金を通じた研究が単なる基礎研究にとどまらず、具体的な国家プロジェクトへと発展していくパイプラインが強調されている。2022年比で、特許取得数や外部資金への移行率といったKPTの透明性が増しており、特に若手研究者に対する投資が、将来のリーダー育成という側面により明確に制度化された。LDRDが「リスクの高い革新的アイデア」を試す砂場から、国家の技術的優位性を担保するための「戦略的なインキュベーター」へと、その性格をより先鋭化させている点が注目に値する。

### (4) 気候・エネルギー主権への統合

2022年ではエネルギー研究は一つの部門として扱われていたが、2024年には「脱炭素化」と「エネルギー主権」が国家安全保障の核心的要素として再定義された。水素エネルギーの製造技術や、プルトニウムピット製造における環境負荷低減プロセスなど、核兵器の保守管理と持続可能性を両立させる「グリーンな防衛技術」という新たな概念が、研究所の運用方針に深く組み込まれている。

### (5) まとめ

ロスアラモス国立研究所のアップデートは、眼前の危機対応から、AI と LDRD プログラムを駆使した「予測可能かつ強靱な国家」の構築へと、その科学的野心を一段高いレベ

ルへと引き上げたと言える。計算科学の卓越性を基盤に、核、気候、宇宙、生物の各領域を統合的に守るための、次世代の科学技術プラットフォームへと進化した。

#### 4.2.4. LLNL

ローレンス・リバモア国立研究所 (LLNL) の FY2023 および FY2024 の年次報告書を比較すると、研究所の使命が「核融合点火の達成」という歴史的瞬間から、その成果を維持しつつ「AI との融合」および「実用的な国家安全保障への展開」へと深化していることがわかる。以下に主要なアップデート内容をまとめる。

LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY FY 2023 ANNUAL REPORT  
LAWRENCE LIVERMORE NATIONAL LABORATORY FY 2024 ANNUAL REPORT

##### (1) 核融合研究の深化と安定したエネルギー出力への挑戦

FY2023 の報告では、2022 年 12 月にレーザー核融合実験施設である国立点火施設 (NIF) で達成された、投入エネルギーを上回るエネルギー出力を得た歴史的な「点火」の成果が中心であった。これに対し、FY2024 の報告では、点火の再現性とエネルギー利得の向上が主要な焦点にアップデートされている。実際に FY2024 には、それまでの最高記録を上回る 5.2 メガジュールのエネルギー出力を達成し、点火が単なる一過性の成功ではなく、科学的に制御可能なプロセスであることを証明した。この進展により、慣性核融合エネルギーの商用化に向けた官民連携や、将来的なクリーンエネルギー基盤としての現実味が一段と増している。

##### (2) AI とスーパーコンピューティングの統合加速

技術基盤における最大のアップデートは、AI の役割の飛躍的な拡大である。FY2023 では AI はシミュレーションの補助的手段としての言及が主であったが、FY2024 には AI イノベーション・イニシアティブが明確に打ち出され、研究所の全領域に AI が組み込まれる体制となった。特に、世界最速の次世代エクサスケール・スーパーコンピュータ El Capitan の設置完了と初期稼働が報告されており、これが AI モデルの訓練と複雑な核物理シミュレーションを融合させる強力なエンジンとなっている。AI を活用して膨大な実験データから物理法則を抽出する「認知シミュレーション」の導入により、科学的発見のスピードが向上している点が強調されている。

##### (3) 国家安全保障と核抑止力の現代化

核抑止力の維持 (ストックパイル・スチュワードシップ) に関しては、FY2023 の「維持」というフェーズから、FY2024 ではより具体的な「現代化と実証」へとアップデートされている。新たな核弾頭プログラム (W80-4 や W87-1) の開発進展に加え、El Capitan を用いた高精度な 3 次元シミュレーションにより、地下核実験を行うことなく核兵器の信

頼性を検証する能力が一段と強化された。また、バイオセキュリティの分野でも、AI を駆使して未知の病原体に対するワクチンや治療薬を迅速に設計する「生成AIによるバイオディフェンス」の研究が進展し、国家安全保障の定義が物理的な防衛からデジタル・生物学的な防衛へと拡大している。

#### (4) 気候変動とエネルギーレジリエンスへの貢献

持続可能性に関する取組も、FY2023の「目標設定」から、FY2024では「技術の社会実装」へと進んでいる。大気中の二酸化炭素を直接回収し、地中に貯留、あるいは有用な資源に変換するカーボン・ネガティブ技術のデモンストレーションが具体化した。また、極限環境下での材料科学研究の成果を活かし、次世代の送電網（スマートグリッド）の安定性や、宇宙空間での活動を支えるエネルギー技術など、レジリエンス（強靱性）を重視したエネルギー研究が新たな柱として報告されている。

#### (5) まとめ

LLNL の FY2024 におけるアップデートは、核融合の歴史的成功を礎としながら、エクサスケール計算機とAIという新たな武器を手にも、科学的発見のプロセスそのものを変革しようとする強い意志を反映している。単一のブレークスルーを追う段階から、デジタルと物理が高度に融合した「科学の総合プラットフォーム」へと進化し、国家の安全と繁栄を多層的に支える役割を強めている。

### 4.2.5. SNL

サンディア国立研究所（SNL）のHPCに関する「2023年年度報告書」と「2024年年度報告書」を比較すると、計算資源の質的転換と、AI および自動化技術の本格的な統合という、決定的なアップデートが確認できる。以下に主要な進展を詳述する。

2023 HIGH PERFORMANCE COMPUTING ANNUAL REPORT

2024 HIGH PERFORMANCE COMPUTING ANNUAL REPORT

#### (1) 計算基盤の世代交代と Vanguard-II の進展

2023年時点では、サンディアのHPC環境は既存のコモディティ・システムと Vanguard システムによるプログラムの初期成果に依存していた。これに対し、2024年の報告では、次世代の技術実証システムである Vanguard-II への移行が最大の進展として記されている。特に、ARM アーキテクチャや最先端のGPU技術を統合した新システム（Amber等）の導入が進み、エネルギー効率を維持しつつ計算密度を飛躍的に高める体制が整った。これにより、核兵器の保守管理（ストックパイル・スチュワードシップ）における、より高精細な3次元シミュレーションの実行が可能となった。

## (2) AI と機械学習の全層的な統合

技術面での最も顕著なアップデートは、AI および機械学習の役割の変化である。2023年度は、AI は主に複雑な物理シミュレーションを高速化するための補助的なサロゲートモデル（代理モデル）として位置付けられていた。しかし 2024 年度の報告では、AI は「HPC ワークフローそのものを変革する基盤技術」へと昇華している。具体的には、LLM を活用したコード生成支援や、AI によるシミュレーション結果の自動解析、さらにはシステムの故障予測に至るまで、HPC 運用のあらゆる側面に AI が組み込まれる体制へと更新された。

## (3) クラウド HPC と HPC-as-a-Service への転換

運用モデルについても、従来のオンプレミス中心の管理から、ハイブリッド・クラウド戦略への明確なシフトが見られる。2023 年度はオンプレミス資源の効率化が主眼であったが、2024 年度の報告では HPC-as-a-Service (HPCaaS) という概念が導入された。これは、国家安全保障に関わる機密計算を維持しつつ、非機密領域の研究においては外部クラウド資源を柔軟に活用し、ピーク時の計算需要に対応する仕組みである。この進展により、研究者は物理的なハードウェアの制約に縛られず、オンデマンドで最適な計算環境を選択できるようになった。

## (4) 自律型システムとレジリエンスの強化

インフラ運用の面では、自動化とレジリエンス（強靱性）に関する記述が強化された。2024 年度のレポートでは、データセンターの冷却システムや電力消費をリアルタイムで最適化する「自律型運用ツール」の導入成果が報告されている。2023 年度に課題として挙げられていた、システムの大規模化に伴う管理コストの増大に対し、AI による異常検知と自動修復機能を備えた「インテリジェント・オペレーション」へと体制が更新された。これにより、24 時間 365 日の高可用性を維持しつつ、運用スタッフの負担を軽減することに成功している。

## (5) まとめ

サンディア国立研究所の HPC におけるアップデートは、単なる性能向上にとどまらず、AI とクラウド戦略を核とした「インテリジェントな計算エコシステム」への転換を象徴している。シミュレーション中心の研究手法から、AI 主導の自律的な発見と効率的なリソース管理を両立させる次世代のプラットフォームへと進化した。

### 4.2.6. HECC (NASA、AMES)

NASA のハイエンド・コンピューティング性能 (HECC) プロジェクトに関する FY23 年次報告書から、2025 年 1 月から 4 月にかけての月次報告へのアップデート内容を比較す

ると、計算資源の劇的な拡充と、AI および可視化技術の社会実装が一段と加速している状況が鮮明に示されている。

HECC Annual Report FY23

HECC Project Updates 2025

### (1) GPU 主導の計算基盤への転換と Cabeus の進化

FY23 時点での最大のトピックは、HECC 初となる汎用 GPU 専用スーパーコンピュータ Cabeus の導入であった。当時は 5 PFLOPS の性能付加が強調されていたが、2025 年の報告では、この基盤が単なる計算リソースから、NASA 独自の「ファウンデーション・モデル（基盤モデル）」を訓練するための中核拠点へと進化したことが報告されている。特に 2025 年 4 月には、従来の Pleiades に接続されていた NVIDIA V100 ノードを Cabeus のネットワークへ完全に統合・移行する作業が完了した。これにより、A100 と V100 を跨いだマルチノード・ジョブが可能となり、システム管理の効率化とユーザ体験の向上が同時に達成された。

### (2) 次世代アーキテクチャ Grace Hopper の一般開放

2025 年に入り、計算リソースのラインナップに決定的な変化が現れている。2025 年 1 月時点では一部のアルファユーザによるテスト段階であった NVIDIA GH200 Grace Hopper ノードが、3 月には一般ユーザコミュニティへと正式にリリースされた。この新しいアーキテクチャは、CPU と GPU 間の広帯域接続を特徴としており、2024 年の皆既日食のリアルタイム予測や、飛行中の航空機への着氷による空気力学への影響評価など、極めて複雑で即時性を要するシミュレーションに活用され始めている。

### (3) 物理インフラの拡張と可視化技術の刷新

FY23 に契約が締結された「モジュラー型スーパーコンピュータ施設（MSF）」の第 2 モジュールの建設は、2025 年には物理的な完成と電力インフラの整備フェーズに移行した。特に 2025 年 2 月には、第 2 モジュールの稼働に不可欠な仮設変圧器の設置計画が進展している。また、データの可視化を担う「hyperwall（ハイパーウォール）」についても、2024 年 5 月の刷新を経て、2025 年には風洞実験データとシミュレーション結果をリアルタイムで比較解析する強力なツールとして定着した。スペース・ローンチ・システム（SLS）のテスト支援など、開発現場に不可欠な「意思決定支援プラットフォーム」へと進展している。

### (4) システム運用の自動化と効率性の向上

運用面では、従来のドキュメント管理や手動の監視体制から、Confluence への移行や Python によるスクリプトの刷新、Jenkins を用いた Web アプリケーションのデプロイメ

ント・パイプラインの導入など、近代的な DevOps 手法への転換が 2025 年上半期に集中して実施された。これにより、システム管理者のヒューマンエラーが削減されるとともに、リソース配分の透明性が向上し、ミッション領域（SMD、ARMD 等）ごとのクォータ管理がより厳密かつ柔軟に行える体制が整った。

## (5) まとめ

一連の進展を通じて、HECC は NASA における「シミュレーションのための計算機提供者」から、AI 基盤モデルを自ら育み、複雑な物理現象をリアルタイムで可視化・予測する「科学的インテリジェンスの心臓部」へと進化した。エクサスケールを視野に入れたインフラの物理的拡張と、最新の GPU アーキテクチャへの迅速な移行により、NASA の多岐にわたるミッションを支える計算基盤の強靭性は一層強化されている。

### 4.2.7. NERSC (LBNL)

国立エネルギーリサーチ科学コンピューティングセンター (NERSC) の 2023 年次報告書と 2024 年次報告書を比較すると、同施設が単なる計算資源の提供者から、人工知能 (AI) と実験施設を統合した「次世代の科学イノベーション・ハブ」へと進化している実態が浮き彫りになる。以下に主要な進展内容を詳述する。

NERSC 2023 ANNUAL REPORT

NERSC 2024 ANNUAL REPORT

#### (1) 次世代フラッグシップ機 NERSC-10 へのロードマップ確定

2023 年時点では、次期スーパーコンピュータ NERSC-10 (N10) は、科学的発見のワークフローを加速させるための将来的なビジョンとして語られていた。しかし、2024 年の報告書では、N10 の具体的なシステム構築に向けて決定的な進展があったことが示されている。N10 は、従来のシミュレーション能力を飛躍的に高めるだけでなく、複雑な実験データとスーパーコンピュータをシームレスに結びつける統合研究インフラ IRI の中核として定義された。特に、HPE との契約締結により、NVIDIA の最新 GPU アーキテクチャを採用し、AI 推論性能を前世代比で数十倍に引き上げる具体的な計画が実働フェーズに入っている。

#### (2) AI for Science の深化と「基盤モデル」へのシフト

技術面での最大の進展は、AI、特に科学用基盤モデルへの戦略的な集中である。2023 年には、生成 AI や LLM の科学への応用は探究段階にあったが、2024 年には具体的な成果としてアップデートされている。NERSC は、世界最大級のオープンな科学データセットを基に、気象予測や材料科学、ゲノム解析に特化した「科学的基盤モデル」のトレーニング支援を本格化させた。これにより、従来の「物理法則に基づくシミュレーション」に加

え、「データから直接知見を導き出す AI」が科学的発見の両輪として確立されている。

### (3) 統合研究インフラ IRI の実装

ANL や OLCF と同様に統合研究インフラ (IRI) プロジェクトの下、APS や DESI などの外部施設から生成される膨大なデータを、NERSC の Perlmutter へリアルタイムで転送・解析し、その結果を即座に実験現場へフィードバックするワークフローが実証された。これは、実験中にパラメータを最適化するという、科学研究のプロセスそのものを変える進展である。

### (4) 持続可能性とエネルギー効率への高い要求

計算能力の飛躍的向上に伴い、2024 年の報告書では「環境負荷の低減」がより優先度の高い課題として明記された。次期 N10 システムにおいては、高い計算効率を維持しつつ、水冷システムの高度化や電力消費の AI による最適管理など、エネルギー消費当たりの科学的成果を最大化する「サステナブルな計算基盤」への取組が具体化している。

### (5) まとめ

NERSC の 2023 年から 2024 年にかけての進展は、エクサスケールを超える計算能力の追求と、AI 基盤モデルの育成、そして実験施設とのリアルタイム統合という三位一体の進化を象徴している。NERSC は今や、単なる「速い計算機」の運用拠点ではなく、物理世界とデジタル世界を高度に融合させ、科学的発見のスピードを極限まで高めるための「インテリジェントな科学基盤」へと進化した。

## 4.2.8. SDSC (UCSD)

サンディエゴ・スーパーコンピュータ・センター (SDSC) の「2023-2024 年次報告書」と「2024-2025 年次報告書」を比較すると、同センターが設立 40 周年という大きな節目を迎え、計算基盤の提供から「AI と実社会の課題解決」へと一段と踏み込んだ戦略的な進展が見て取れる。以下に、主要な進展内容をまとめる。

SDSC ANNUAL REPORT 2023 2024

SDSC ANNUAL REPORT 2024 2025

### (1) 設立 40 周年と新ビジョンの確立

2023-2024 年度の報告書では、研究基盤としてのリーダーシップと、イノベーションの実践への変換が主なテーマであった。これに対し、2024-2025 年度の報告書では「設立 40 周年」というマイルストーンが強調され、「基礎研究が実世界のソリューションと出会う場所」という、より明確な目的意識が掲げられている。40 年にわたる分野横断的なコラボレーションの歴史を礎に、SDSC は単なる計算リソースの提供者を超え、社会に直接的なインパクトを与える存在としてのアイデンティティを強化している。

## (2) AI 研究基盤の劇的な拡充と戦略的提携

技術面における最大のアップデートは、AI への注力がこれまで以上に具体化した点である。2023-2024 年度は AI や機械学習の探索段階であったが、2024-2025 年度には、NVIDIA DGX Cloud を導入して AI 研究を加速させる新たな取組が開始された。さらに、革新的な Cosmos スーパーコンピュータのデモンストレーションなど、次世代の AI 計算需要に応えるためのインフラ整備が具体化している。特筆すべきは、持続可能な食料システムへの AI 活用を議論する CORE サミットの開催など、AI を特定の社会課題解決に直結させる動きが鮮明になったことである。

## (3) 計算資源 Expanse と Voyager のフェーズ移行

主要な計算リソースの運用状況についても重要な更新がある。NSF（全米科学財団）の ACCESS プログラムを通じて数千人のユーザを支える Expanse は、引き続き安定したリソースとして位置付けられている。一方で、AI 特化型の実験的システムである Voyager については、2024-2025 年度の報告において正式に「アロケーション（資源配分）フェーズ」へと移行したことが記されている。これは、Voyager がテスト段階を終え、実際の科学研究プロジェクトに対して実働リソースとして提供され始めたことを意味している。

## (4) 教育プラットフォーム ChemCompute の飛躍的進歩

教育分野での進展も顕著である。長年運用されてきた教育用化学計算プラットフォーム ChemCompute は、2024-2025 年度に大きな転換点を迎えた。このプラットフォームは 11 万人以上の学生に利用され、65 万件以上の計算を実行する規模にまで成長した。最新の報告では、NSF からの新たな助成金獲得が発表されており、これにより研究能力の拡充、アクセシビリティの向上、そして学部生の研究を支援するための新たなカリキュラム開発が進められる体制が整ったことが記載されている。

## (5) まとめ

SDSC の 2023 年度から 2024 年度にかけてのアップデートは、40 年の蓄積を背景とした「成熟」と、AI 時代に対応するための「迅速なインフラ拡張」を象徴している。単なる計算能力の追求にとどまらず、AI 研究を支えるクラウド環境の統合や、教育プラットフォームの大規模な社会実装、さらには食料問題といった具体的な国家・地球規模の優先課題への貢献を通じて、SDSC は次世代の科学イノベーション・ハブとしての地位を盤石なものにしている。

## 4.3. その他のスーパーコンピュータセンター

### 4.3.1. A\*Star (シンガポール)

シンガポール科学技術研究庁 (A\*STAR) の「2022-23 年次報告書」と「2024-25 年次報告書」を比較すると、同機関が単なる研究機関から、シンガポールの経済的・社会的課題に直結する「戦略的イノベーション・エンジン」へと進化を加速させている実態が浮き彫りになる。以下に、主要な進展内容を記述する。

A\*STAR ANNUAL REPORT APRIL 2022 - MARCH 2023

A\*STAR ANNUAL REPORT APRIL 2024 - MARCH 2025

#### (1) 組織体制とリーダーシップの刷新

最大の変更点の一つは、リーダーシップの交代である。2022-23 年度はチャン・ライファン会長とフレデリック・チュウ CEO の体制であったが、2024-25 年度にはタン・チョアチュアン会長とベー・キアンテイク CEO へと刷新された。また、持続可能性への取組が一段進展し、2023 年 3 月に設立されたばかりだった「サステナビリティ・オフィス (AOS)」が、2024/25 年度には低炭素技術のテストベッド (LCT<sup>3</sup>) やエネルギー・エミッション・モデリング・センター 2.0 (CE2M 2.0) の運用を通じて、国の 2050 年ネットゼロ目標に向けた具体的な政策立案と技術実証の核となっている。

#### (2) 半導体および高度製造業への戦略的集中

経済強化の側面では、特定の成長分野へのリソース投入がより明確化された。2022-23 年度は中小企業のデジタル化や一般的な技術移転 (T-Up プログラム等) に注力していたが、2024-25 年度にはシンガポールを世界の半導体バリューチェーンにおける不可欠なノードと位置付け、「国家半導体変換・イノベーションセンター (NSTIC)」を新たに立ち上げた。さらに、AI を製造現場に導入する「部門別 AI 共同センター (AIMfg)」が設立され、コカ・コーラやフィリップスといったグローバル企業と連携して、予測保全や自動化の実装を推進している点が大きな進展である。

#### (3) ヘルスケア研究の「アジア・セントリック」への転換

医療・健康分野では、研究の焦点がアジア人特有のデータに基づいた精密医療へと明確にシフトした。2022-23 年度は国産の抗体薬物複合体 (ADC) である EBC-129 の開発成功などが中心であったが、2024-25 年度には 120 万人以上のアジア人の免疫細胞を網羅した「アジア免疫多様性アトラス (AIDA)」や、アジア人に多い遺伝疾患を対象とした PREDICT キャリアスクリーニングパネルなど、アジアの人口動態に特化したプラットフォームが次々と構築されている。また、長期的な GUSTO コホート研究の成果が、国のスクリーニングタイム・ガイドラインなどの具体的な保健政策に反映される段階に達したことも

更新点である。

#### (4) 科学の卓越性と AI・量子技術の融合

研究の質的側面では、AI と量子技術の融合が深化している。2022-23 年度は量子エンジニアリングプログラムの開始段階にあったが、2024-25 年度には世界的な量子コンピューティング企業との提携により、DNA 分類などへの量子コンピューティング適用の研究が具体化している。学術的な影響力も向上しており、FWCI（分野調整後引用影響度）は 1.7 から 1.94 へと上昇した。これは、A\*STAR の論文が世界平均より 94% も多く引用されていることを示しており、基礎研究がより高い国際的評価と実用的な目的を両立させていることを証明している。総じて、A\*STAR はこの 2 年間で、個別の技術開発から、データ、インフラ、人材を統合した「国家的なプラットフォーム」の構築へと、その役割をより高度な次元へと引き上げたと言える。

#### (5) まとめ

このように、2022-23 年度から 2024-25 年度にかけて、A\*STAR はシンガポールの経済・社会課題を解決する「戦略的イノベーション・エンジン」としての役割を強化した。新体制下で「サステナビリティ・オフィス」を本格稼働させ、国の 2050 年ネットゼロ目標に向けた技術実証を加速させている。また、NSTIC の設立やアジア人特有の疾患データに基づく精密医療プラットフォームの構築を通じ、個別の技術開発から国家規模の共通基盤構築へと支援の次元を引き上げた。

#### 4.3.2. NCI（オーストラリア）

オーストラリア国立コンピューティング・インフラストラクチャ（NCI）の 2022-23 年度および 2024 年度の年次報告書を比較すると、同機関が「計算能力の維持」から AI を中心とした次世代研究基盤への劇的な転換」を遂げている実態が明らかである。以下に、主要な進展内容を詳述する。

NCI Annual Report 2022-23

NCI Annual Report 2023-24

##### (1) Gadi から Gadi-2 への世代交代と計算資源の飛躍的拡充

2022-23 年度における NCI の主軸は、当時のフラッグシップ機であるスーパーコンピュータ Gadi の安定運用と効率化であった。しかし、2024 年度の報告書では、次世代システム Gadi-2 への大規模なアップグレードが最大の焦点となっている。Gadi-2 は、従来の計算能力を大幅に上回るだけでなく、特に最新世代の GPU リソースを統合することで、計算科学とデータサイエンスの両面でオーストラリア国内の研究能力を底上げしている。これにより、気候変動予測や複雑な分子シミュレーションにおいて、従来は数ヶ月を要した

計算が数週間、あるいは数日で完了する環境が整えられた。

## (2) AI および機械学習への戦略的シフト

技術面での進展は、AI および機械学習に対する支援の質と量の変化である。2022-23年度は、AI は高度な計算の一手法として扱われていたが、2024年度には、国家的な「AI 研究基盤」としての役割が明確に打ち出されている。具体的には、LLM の訓練や生成 AI の科学的応用を支える専用の GPU クラスターの拡充が進み、NCI 専属のデータ科学者が研究者と協力して AI モデルを最適化する「AI 共同研究フレームワーク」が確立された。これにより、医学診断の自動化や天文学における膨大なデータの自動分類といった、AI 主導の科学的発見が増加している。

## (3) データ集約型研究とオープンサイエンスの進化

データ基盤についても、単なる「ストレージの提供」から「アクティブなデータ共有プラットフォーム」へと進化した。2024年度の報告では、世界最大級の地球・環境データセットを統合的に扱う「データ・レプリケーション」機能が強化され、国内外の研究者がシームレスにデータにアクセスし、解析できる環境が進展している。特に、オーストラリア国内の他の HPC センターとの連携を深める「インターオペラビリティ（相互運用性）」の向上により、研究者は自身の所属に関わらず、最適な計算・データ資源を横断的に利用できるようになった点が大きな進歩である。

## (4) 持続可能性と運用の自律化

環境負荷の低減と運用効率の向上に関する記述も、より具体的かつ高度な内容へと更新された。2022-23年度に掲げられていた省エネ目標に対し、2024年度の報告では、AI を用いた冷却システムのリアルタイム制御や、廃熱再利用の具体的な成果が示されている。また、システムの監視や障害対応において AI による予測保全が導入され、24 時間 365 日の高可用性を維持しつつ、管理コストを削減する「インテリジェント・オペレーション」へと運用体制が更新された。

## (5) まとめ

NCI の進展は、単なるハードウェアの更新にとどまらず、AI を科学研究の核心に据えた「インテリジェント・インフラ」への進化を象徴している。Gadi-2 の導入と AI 支援体制の確立により、NCI はシミュレーションのみならず、膨大なデータから自動的に知見を抽出する現代科学の司令塔としての地位を確固たるものにしていく。

### 4.3.3. NSCC（シンガポール）

シンガポール国立スーパーコンピューティング・センター（NSCC）の過去の活動報告から 2025 年のニュースレターにかけてのアップデート内容を比較すると、同センターが「次世代インフラの確立」から「AI と産業・国家課題の高度な融合」へと大きく舵を切っている実態が明らかとなった。以下に、主要な進展をまとめる。

NewsBytes 2024 11 月号まで

NewsBytes 2025 の各月号

#### (1) 新フラッグシップ機 ASPIRE 2A の本格稼働とエコシステムの拡充

過去の報告において導入や準備段階にあった次世代スーパーコンピュータ ASPIRE 2A は、2025 年には完全に実運用フェーズへと移行した。このシステムは、従来の性能を大幅に上回るだけでなく、AI やデータサイエンスに最適化されたアーキテクチャを備えており、シンガポール国内の研究・産業能力を底上げする中核基盤として確立されている。2025 年のニュースレターでは、単なる計算リソースの提供にとどまらず、ASPIRE 2A を活用した材料科学、ライフサイエンス、気象予測などの多岐にわたる科学的成果が具体的に報告されている。

#### (2) AI 戦略の深化とハイブリッド計算への挑戦

2025 年における最も顕著なアップデートは、AI、特に生成 AI と量子コンピューティングを統合した戦略へのシフトである。NSCC は、国家的な AI イニシアティブの一環として、スタートアップや中小企業に世界最高水準の AI 学習基盤を提供し始めている。特に、NVIDIA との提携を通じた「ハイブリッド量子・古典コンピューティング」プロジェクトの始動は、従来の計算手法の限界を突破する試みとして注目されている。これにより、金融の最適化や創薬シミュレーションなど、実社会の経済的価値に直結するアプリケーション開発が進展した。

#### (3) 持続可能性と環境目標への具体的貢献

環境負荷の低減とエネルギー効率の向上に関する記述も、より具体的かつ戦略的な内容へと更新された。NSCC はシンガポールの「2030 年グリーン・プラン」を強力に支援しており、2025 年の活動報告では、スーパーコンピュータの廃熱を利用したデータセンターの運用効率化や、低炭素技術の開発を支援する具体的なプロジェクトが多数紹介されている。計算能力の増大という技術的進歩に対し、サステナブルな運営モデルを確立することで、社会インフラとしての責任を果たしている。

#### (4) 地域連携と人材育成プログラムの進化

地域的な役割についても、アジアにおけるスーパーコンピューティングのハブとしての

地位を強化している。2025年には、フィンランドやベトナムなどの国際的なパートナーとの連携を強化し、クロスボーダーでのデータ共有や技術協力が実働段階に入った。また、人材育成の面では、若手研究者や学生を対象とした「HPC・AIトレーニングプログラム」が刷新され、次世代のエクサスケール計算時代を見据えた高度なスキルセットの提供が開始されている。

#### **(5) まとめ**

NSCCの2025年に向けたアップデートは、単なるマシンの性能向上を超え、AIと量子技術を統合した「次世代インテリジェント・インフラ」への進化を象徴している。ASPIRE 2Aの本格稼働を軸に、AI戦略の深化、環境目標への貢献、そして広範な地域連携を実現したことで、NSCCは科学研究のみならず、シンガポールの経済競争力とデジタル主権を支える不可欠な基盤としての地位を確固たるものにしていく。

## 5. 最新の情報を踏まえた令和 6 年度の情報更新（AI Factory / AI Gigafactory）

### 5.1. AI Factory の動向

#### 5.1.1. AI Factory 追加選定

AI Factory 追加選定は、2025 年 10 月 10 日に EU から発表された。ここで、新しく選定された 6 つの AI Factory は、以前に選ばれた 13 箇所と合流し、欧州全体でイノベーションを推進する相互接続された AI ハブのネットワークを形成する。チェコ、リトアニア、オランダ、ポーランド、ルーマニア、およびスペインは、欧州の AI インフラを更に拡大するために、新しい AI 最適化システムと AI Factory を導入する予定である。特にスペインの AI Factory には実験的なプラットフォームも含まれ、これは革新的な AI モデルとアプリケーションを開発およびテストし、欧州全体の協力を促進するための最先端のインフラとして機能する予定である。

各 AI Factory は、各国でワンストップショップとして機能する。そして、欧州の AI スタートアップ、中小企業、および研究者に対し、AI 対応データを開発し、AI 最適化 HPC 資源、トレーニング、および技術的専門知識へのアクセスを獲得するための包括的なサポートを提供する。

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-selects-six-additional-ai-factories-expand-europes-ai-capabilities-2025-10-10\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-selects-six-additional-ai-factories-expand-europes-ai-capabilities-2025-10-10_en)

表 5.1. AI Factory 追加選定

国名	名称	設置機関	関連機関等
チェコ	CZAI	IT4Innovations	国内大学等
リトアニア	LitAI	Vilnius University	国内大学等
オランダ	NLAIF	SURF 等	Samenwerking Noord、TNO、AIC4NL
ポーランド	Gaia AI	Cyfronet AGH	PIAST、LUMI
ルーマニア	RO AI	ICI Bucharest、UPB	UTCN、INCDSB、ATIT、ICIA、CNIPMMR、RoDIH
スペイン	1HealthAI	CESGA	BSC AI Factory、IT4LIA、HammerHAI

#### 5.1.2. AI Factory アンテナの設置

AI Factory アンテナの設置は、2025 年 5 月 22 日に発表された。

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/call-selection-entities-or-consortia-entities-establish-ai-factory-antennas-linked-selected-ai\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/call-selection-entities-or-consortia-entities-establish-ai-factory-antennas-linked-selected-ai_en)

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-selects-ai-factory-antennas-broaden-ai-factories-initiative-2025-10-13\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-selects-ai-factory-antennas-broaden-ai-factories-initiative-2025-10-13_en)

## (1) 概要

AI Factory アンテナは、AI Factory のネットワークを強化するものである。AI Factory アンテナの目的は、EuroHPC JU の参加国の国内 AI エコシステムに対し、関連するサポートサービス、アルゴリズム・サポート、トレーニング活動、および人材へのアクセスを提供することにある。また、AI Factory アンテナは、設立された AI Factory からのスーパーコンピューティング資源へのアクセスも確保する必要がある。

今回の提案募集は、より多くの EuroHPC JU 参加国が、本格的な AI Factory の設立に必要なスーパーコンピューティング資源に投資することなく、独自の「AI Factory アンテナ」を持てるようにするものである。

## (2) 適格要件と期待される効果

この募集の下で適格とされるためには、AI Factory アンテナ設立のための EuroHPC JU 参加国による提案は、以下の 2 つの条件を満たさなければならない。

- ・ 当該参加国は、AI Factory のホストとしてまだ選定されていない、または既に選定された AI Factory のパートナーではないこと。
- ・ 提案には、設立済みの AI Factory との（事前合意された）連携が含まれていなければならない。

この募集で選定されたすべての AI Factory アンテナは、汎用 AI モデルの大規模なトレーニングと開発、およびその他の AI アプリケーション/ソリューションのために AI に最適化されたコンピューティング能力とサービスを、自国の利害関係者や利用者に提供できる体制となる。

## (3) 資金と予算

AI Factory アンテナの総予算（目安）は、最大 7,000 万ユーロである。AI Factory アンテナに割り当てられる欧州連合（EU）拠出金（上限）は、最大 500 万ユーロである。この額は、総適格コストの最大 50%であり、EU 予算の利用可能性に左右される。

## (4) 選定されたアンテナ一覧

EuroHPC JU 共同事業体（JU）は、既存の AI Factory を補完するため、下記の 13 箇所の AI Factory アンテナを選定した。

表 5.2. 選定された AI Factory アンテナ一覧

名称	国名	連携する AI Factory
BE-AIFA	ベルギー	LUMI AI Factory、JUPITER AI-Factory
Pharos-CY	キプロス	Pharos AI Factory
HunAIFA	ハンガリー	JUPITER AI Factory
AIFA-ICE	アイスランド	LUMI AI Factory
AIF IRL-Antenna	アイルランド	AI2F、Luxembourg AI Factory
AIFA-LAT	ラトビア	LUMI AI Factory
CALYPSO	マルタ	Pharos AI Factory
FAIMA	モルドバ	PIAST AI Factory
VEZILKA	北マケドニア	Pharos AI Factory
SAIFA	セルビア	Pharos AI Factory IT4LIA AI Factory
SKAIAT	スロバキア	AI:AT
HEARTS	スイス	LUMI AI Factory、BSC AI Factory MIMER AI Factory、IT4LIA AI Factory
UKAIFA	英国	HammerHAI AI Factory

### 5.1.3. AI Factory へのアクセス募集

本件は、2025 年 4 月 9 日にアクセス募集開始された。

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/ai-factories/ai-factories-access-modes\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/ai-factories/ai-factories-access-modes_en)

#### (1) 概要

AI Factory は、AI スタートアップや産業界に対し、目的に合わせて調整されたスーパーコンピューティング能力へのアクセスを確保する。組織のニーズやサービスに基づき、応募できる様々な種類のアクセスが存在する。

AI Factory は、欧州の産業界および科学コミュニティに、高度なコンピューティング資源と専門的なサポートを提供することを目指している。これらの施設は、大規模 AI モデルの開発を可能にし、EU 全体での AI 技術の採用を促進し、AI 分野におけるスキルと専門知識の構築に貢献する。様々なレベルの要件と専門知識を持つユーザのニーズを満たすために、異なるアクセスモードとタイプが利用可能である。

#### (2) 産業用

AI Factory を利用する企業・研究者向けのアクセス形態が整理・公表されている。たとえば“Industrial Innovation”トラックでは、以下のようなモードがある。

- Playground access : 入門ユーザ向けに限られた計算資源を提供
- Fast Lane access : 経験のあるユーザ向けで、最大 50,000 GPU 時間程度
- Large Scale access : より大規模な AI モデルやアプリケーション向け (50,000 GPU 時間を超える利用)

なお、AI-SME (中小 AI 企業/スタートアップ) 向けにはこれらのモードが無償利用で

きる場合もある（ただし商用利用には従量課金モデルも適用され得る）。

### (3) AI for Science および共同プロジェクト

「AI for Science and Collaborative EU projects」というアクセスモードは、科学のためのAIアプリケーションを支援する。その焦点は、倫理的な人工知能、機械学習、および最先端の基盤モデルや生成AI（大規模言語モデルを含む）にある。このモードは、AIモデルを研究ワークフローの一部として利用する科学研究活動を対象としている。

このアクセスモードは、適格な公共および民間のユーザに対し、無償で提供される。これは主に公的資金による研究のためだが、ホライズン・ヨーロッパまたはデジタル・ヨーロッパ・プログラムによって資金提供されている共同プロジェクトにおける産業用アプリケーションのためにも利用可能である。

## 5.2. 各国 AI Factory の動向

### 5.2.1. 情報源

AI Factory については、各組織の公式 HP からの情報をまとめた。HP と報道からの情報を参考にしている。

表 5.3. AI Factory の情報源と稼働開始時期

名称	URL	稼働開始
LUMI AI Factory	<a href="https://lumi-ai-factory.eu/">https://lumi-ai-factory.eu/</a>	従来施設運用中、新設備は 2025 年 12 月から
HammerHAI	<a href="https://www.hammerhai.eu/">https://www.hammerhai.eu/</a>	2026 年初頭稼働 既存施設は利用可能
Pharos	<a href="https://pharos-aifactory.eu/">https://pharos-aifactory.eu/</a>	不明
IT4LIA	<a href="https://it4lia-aifactory.eu/">https://it4lia-aifactory.eu/</a>	サービス開始
L-AI Factory (MeluXina-AI)	<a href="https://www.aifactory.lu/">https://www.aifactory.lu/</a>	不明
BSC AI Factory	<a href="https://www.bsc.es/ai-factory">https://www.bsc.es/ai-factory</a>	2025 年 9 月
MIMER	<a href="https://mimer-ai.eu/">https://mimer-ai.eu/</a>	不明
AI:AT	<a href="https://ai-at.eu">https://ai-at.eu</a>	2027 年 1 月
BRAIN++	<a href="https://sofiatech.bg/en/news/sofia-tech-park-and-insait-are-selected-for-e90-million-eu-project-bulgaria-will-be-home-to-one-of-six-new-eu-ai-factories/">https://sofiatech.bg/en/news/sofia-tech-park-and-insait-are-selected-for-e90-million-eu-project-bulgaria-will-be-home-to-one-of-six-new-eu-ai-factories/</a>	2026 年建設開始
AI2F	<a href="https://aifactory-france.eu/">https://aifactory-france.eu/</a>	2026 年
JAIF	<a href="https://www.fz-juelich.de/en/ias/jsc/jupiter/jaif-jupiter-ai-factory">https://www.fz-juelich.de/en/ias/jsc/jupiter/jaif-jupiter-ai-factory</a>	不明
PIAST	<a href="https://www.psnc.pl/">https://www.psnc.pl/</a>	不明
SLAIF	<a href="https://www.slaif.si/">https://www.slaif.si/</a>	2027 年

CZAI	<a href="https://www.eurohpc.eu.europa.eu/eurohpc-ju-selects-six-additional-ai-factories-expand-europes-ai-capabilities-2025-10-10_en">https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-selects-six-additional-ai-factories-expand-europes-ai-capabilities-2025-10-10_en</a>	不明
LitAI Factory		
NLAIF		
Gaia AI Factory		
RO AI Factory		
1HealthAI		

## 5.2.2. フィンランド (LUMI-AI)

### (1) 概要

LUMI AI Factory は、世界クラスの計算環境 (LUMI-AI) を提供し、新たなデータソースへのアクセスを可能にすることで、ヨーロッパにおける AI イノベーションの拡大を支援する。また、サービスセンターと専門人材の確保を通じて、新しい AI ソリューションの迅速な試行と開発を支援する。このシステムは、フィンランドの CSC によってホストされ、LUMI の隣にあるカヤーニに設置される。LUMI AI Factory のコンソーシアムは、フィンランドが主導し、チェコ共和国、デンマーク、エストニア、ノルウェー、ポーランドの 5 か国が協力している。既存の LUMI エコシステムを活用し、AI に特化した新機能を追加することで、LUMI AI Factory は国や分野を超えた活発な AI コミュニティを促進する。

表 5.4. LUMI AI Factory のコンソーシアムのメンバー

国	主体／機関	説明
フィンランド	CSC - IT Center for Science	LUMI AI Factory をホストし、コンソーシアムを調整する非営利有限会社である。フィンランド政府と高等教育機関が所有し、科学計算とデータ管理のためのツールを提供する。ブレークスルーのための基盤を創出するもの。主なパートナーはアールト大学、ヘルシンキ大学、AI Finland。
チェコ	IT4Innovations National Supercomputing Center (IT4I)、VSB - Technical University of Ostrava	HPC、データ解析、AI、量子計算の分野における研究・開発・イノベーションの中核機関である。チェコ国内で最も強力なスーパーコンピューティングシステムを運用し、国内外の学術・産業の研究チームに提供する。
デンマーク	Danish e-Infrastructure Consortium (DeiC)	デンマーク研究者向けの国立スーパーコンピュータ利用を調整・促進する組織である。大学法に基づきデンマークの大学におけるデジタル研究基盤の協力を調整する役割も担う。ビジョンは国際水準の研究・教育を可能にするデジタル基盤を提供することである。

エストニア	タルトゥ大学 (University of Tartu)	エストニアの代表的な研究大学であり、世界唯一のエストニア語による総合大学である。 <b>Horizon Europe</b> (EU の研究・イノベーション枠組み計画) や <b>EuroHPC JU</b> など複数のパートナーシップに参加している。
ノルウェー	Sigma2 AS	ノルウェーにおける大規模データおよび計算科学のための国家 e-インフラを戦略的に管理する組織である。高性能計算と大規模データストレージを研究者に提供する。国際的な e-インフラ協力にも参加し、ベルゲン大学、オスロ大学、トロムソ大学、NTNU と緊密に連携して国家サービスを運営する。
ポーランド	Academic Computer Center CYFRONET AGH	ポーランドで最も歴史のある、かつ最大級のスーパーコンピューティングおよびネットワークセンターの一つである。ポーランドで最速のスーパーコンピュータを運用しており、 <b>TOP500</b> 世界ランキングに繰り返し掲載されている。国家および国際的な研究開発プロジェクトに多数参加し、科学ユーザのための統合サービス基盤の構築と開発において独自の経験を有している。

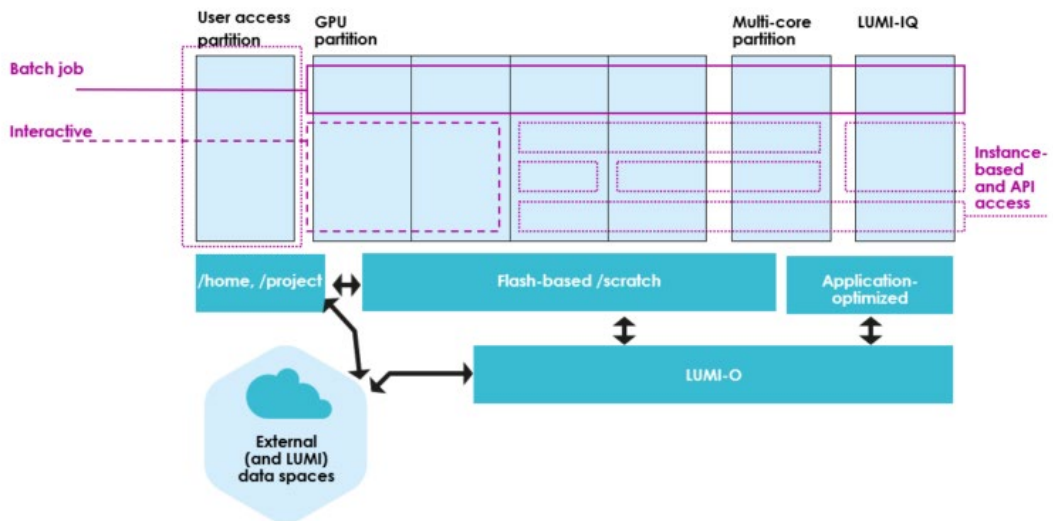


図 5.1. LUMI の AI システム

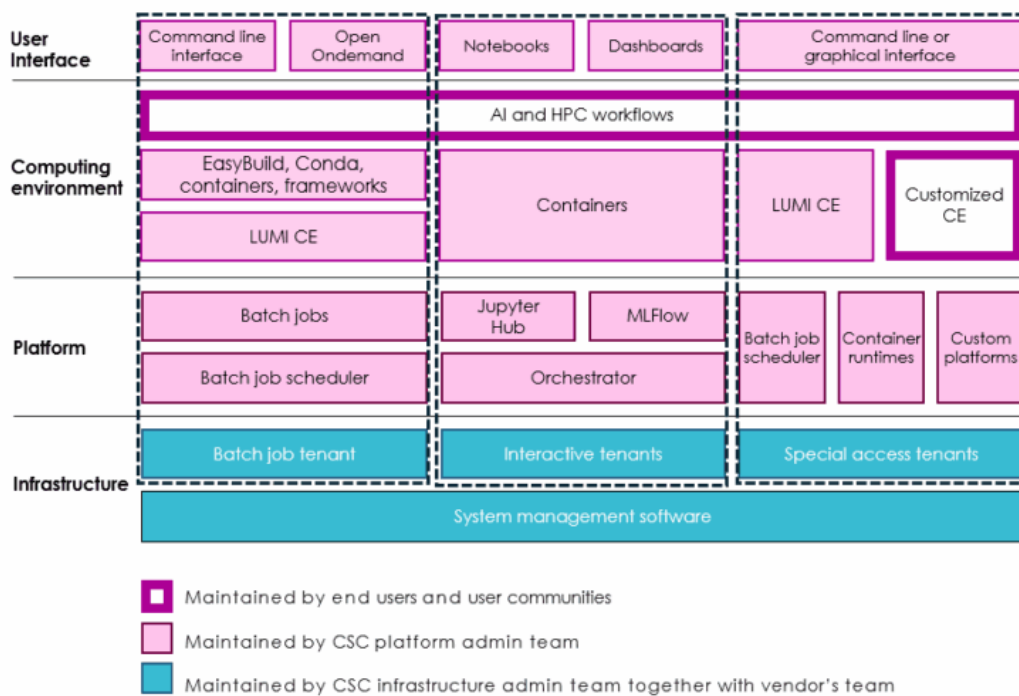


図 5.2. LUMI のソフトウェアとクラスター

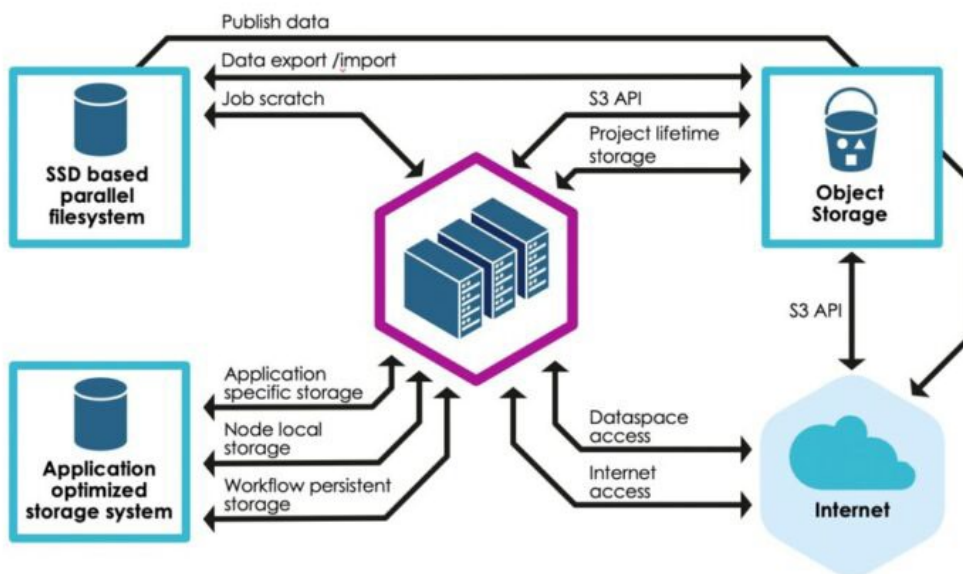


図 5.3. LUMI のストレージ

(2) 進行状況

- ・ 現在

- LUMI AI Factory は、はじめは LUMI スーパーコンピュータのパワーを活用する。
- LUMI-AI システムの調達プロセスは現在進行中である。
- ・ 2025 年 12 月
  - フィンランド・エスポー Espoo に主要な AI Factory ハブを開設
  - 続いてチェコ・オストラヴァ Ostrava に AI Factory ハブを開設
- ・ 2026 年前半
  - 迅速なモデル展開のための機械学習運用 (MLOps) 環境および推論サービス
  - 高価値データをよりアクセスしやすくする Datasets-as-a-Service
  - 規制、倫理、技術的要件に対応するための信頼性のある AI サポート
- ・ 2026 年後半：より広いユーザ層に対応するサービス提供の拡大：
  - 機密データの保管・処理能力の段階的導入
  - 国外の新しい AI Factory ハブの衛星拠点や仮想コワーキングスペースの開設
- ・ 2027 年
  - 新設の LUMI-AI スーパーコンピュータ：大規模 AI ワークロード向けに設計された強力なシステムの一般利用開始
  - LUMI-IQ 量子-AI 環境：量子コンピューティングと AI を組み合わせたプラットフォームの立ち上げ

### (3) サービス

LUMI AI Factory は、初のサービスカタログを公開した。提供内容は、スタートアップ、中小企業、各種組織、研究者を支援するものであり、HPC の探索から高度な AI モデルのスケーリングまでを対象としている。これらは専門家による指導、個別に調整されたトレーニング、LUMI へのアクセスを通じて、AI Factory は産業界および学术界の研究者に利用可能なサービス群である。

表 5.5. LUMI AI Factory のサービス

カテゴリ	サービス名	内容
計算資源	小規模コンピューティングパッケージ	LUMI スーパーコンピュータへの迅速かつ簡単なアクセスを提供するも。入門レベルのユーザに最適。AI スタートアップおよび中小企業には無償提供。
	中規模コンピューティングパッケージ	HPC の経験を持ち、AI プロジェクトを拡張したいユーザ向けである。AI スタートアップおよび中小企業には無償提供。
	大規模コンピューティングパッケージ	大規模な AI 課題に対応する十分なリソースを提供する。申請に基づき、技術的実現可能性、革新性、影響力を評価してアクセスを許可。スタートアップおよび中小企業には最長 1 年間無償提供。

	AI または HPC 最適化コンサルテーション	LUMI を効率的に活用するためのコードプロファイリングおよび最適化に関する専門的支援を提供する。
	分散型 AI モデル訓練	モデルのスケーリング、最適化、トラブルシューティングに関する専門的支援を提供する。
	AI 手法コンサルテーション	大規模かつ複雑なタスクに適切な AI 手法の選択および実装に関する指導を行う。
	Datasets-as-a-Service	HPC リソースに近接した高品質データセットを提供する。研究者は AI 開発に集中でき、データ提供者は所有権と管理を保持可能。
トレーニング	個別対応型 AI トレーニング	多様なユースケースに適応したトレーニングプログラムを提供し、LUMI 環境を効果的に活用できるようにする。
	大規模 AI および HPC トレーニング	大規模 AI に関するコース、ハッカソン、ワークショップを提供する。

#### (4) トピックス

##### (a) 量子コンピュータとの接続

LUMI-AI コンピューティング環境は、HPC+AI+QC ワークロード向けに設計された唯一無二の実験的量子コンピューティング・プラットフォーム LUMI-IQ も活用する。この唯一無二のプラットフォームは、研究にまったく新しい地平を切り拓く。LUMI-AI と LUMI-IQ は、世界で最も先進的な公開量子加速型 HPC+AI 研究基盤を形成する。LUMI-IQ の目標は次のとおりである。

- ・ ヨーロッパ全体に提供する世界最先端の HPC+AI+QC インフラを構築する
- ・ AI に対して量子優位性を提供する
- ・ ヨーロッパが量子コンピュータのハードウェアおよびソフトウェア開発において主導的地位を獲得する取組を加速する
- ・ 量子加速型 AI におけるヨーロッパの学術的リーダーシップを加速する
- ・ 新たな高付加価値の商業活動を確立する

これを実現する LUMI-IQ のタイムラインは次のとおりである。提案されているソリューションは、高性能な量子コンピュータの基本インストールから開始される。最初の設置とともに、たとえば低温装置や制御エレクトロニクスなどを含むハードウェアスタック全体が構築され、ヨーロッパの技術に基づいた世界最先端の量子コンピューティング実験プラットフォームが完成する。システム全体は、プラットフォームの中心的な計算コンポーネント、すなわち QPU のアップグレードを可能にするように設計される。

初期インストールはプロジェクト全体を通じてアップグレードされる。これらのアップグレードは、ハードウェアおよびソフトウェアの改良を通じてプラットフォームの容量と能力を高める。最初のアップグレードでは並列量子計算を可能にし、将来のアップグレー

ドでは量子エラー訂正、量子 bit の数と品質の向上、そして耐障害性を備えた量子計算および論理量子 bit への移行が導入される。

#### (b) エネルギー効率

CO2 排出量の削減は世界的に極めて重要な目標であり、大量の電力を消費するスーパーコンピュータにとって、その設置場所は大きな影響を持つ。カヤーニにあるデータセンターは、低価格で再生可能な電力を豊富に供給でき、LUMI のエネルギー消費は 100%再生可能電力で賄われている。

廃熱の利用は、地域のコストと CO2 フットプリントを更に削減する。LUMI の廃熱は、カヤーニ市内で毎年数百世帯の暖房に利用されている。さらに、ブラウンフィールド・ソリューションや建設段階での省エネルギーシステムの採用により、LUMI のカーボンフットプリントは一層削減されている。

AI に最適化されたスーパーコンピュータ LUMI-AI は、最終的に LUMI スーパーコンピュータを置き換える予定である。現在の LUMI システムと同様、LUMI-AI スーパーコンピュータも 100%カーボンフリーの再生可能エネルギーで稼働し、その廃熱はカヤーニの地域暖房システムで利用される。これにより、LUMI-AI は世界で最もエネルギー効率と環境効率の高い大規模 AI スーパーコンピュータのひとつとなる。

### 5.2.3. ドイツ (HammerHAI)

#### (1) 概要

HammerHAI (製造、エンジニアリング、研究のためのハイブリッドおよび先進機械学習プラットフォーム) は、産業界および科学分野における AI の導入を加速するために創設された先駆的なイニシアティブである。シュトゥットガルト高性能計算センター

(HLRS) が中心となり、ゲッティンゲン科学データ処理協会 (GWDG)、カールスルーエ工科大学 (KIT)、ライプニッツ計算センター (LRZ)、SICOS BW と連携して運営されている。HammerHAI は、ヨーロッパの企業および研究者に対して、安全でスケーラブルかつアクセス可能な AI リソースを提供する。HammerHAI は、EuroHPC JU により設立された 13 の「AI Factory」のうちの一つであり、AI イノベーションの促進、協力関係の強化、ヨーロッパの AI 能力の向上を目的としている。

HammerHAI は、ヨーロッパ全域の企業、研究機関、スタートアップに対して、オーダーメイドで安全かつスケーラブルで容易にアクセス可能な AI リソースを提供する。さらに、HPC と AI 駆動型ソリューションを統合することにより、潜在的な AI 利用者が直面する障壁を低減し、スケーラブルかつ高性能なリソースを提供している。これにより、強力な AI インフラを用いたトレーニングや推論を求める組織にとって、コスト効率の高い選択肢となるとともに、ヨーロッパのデータ保護規制への準拠も保証される。

HammerHAI は、モデル開発から推論に至るまで AI ライフサイクル全体をサポートし、ユーザ支援や継続的な専門教育も提供する。さらに、このコンソーシアムは、ドイツおよびヨーロッパ全体の AI エコシステム と協力し、イノベーションの加速、経済成長の促進、新たな AI ベースの製品やサービスの開発 を支援する。

## (2) 進行状況

2026 年初頭、HammerHAI はシュトゥットガルト高性能計算センターにおいて、新たな AI 最適化 EuroHPC JU スーパーコンピュータを設置する予定である。このシステムは、中規模から大規模の AI ワークロードを支援するよう設計されている。高い計算効率とクラウドのような使いやすさを兼ね備え、ユーザは既存のソリューションを HammerHAI システムと統合し、必要に応じて高性能 AI リソースにアクセスすることが可能となる。

HammerHAI の中核には、HLRS に設置される新しい AI 最適化スーパーコンピューティングシステムがあり、中規模から大規模の AI ワークロードを支援するよう設計されている。このシステムは、高い計算効率とクラウドのような使いやすさを兼ね備え、ユーザが既存のソリューションを HammerHAI システムとシームレスに統合し、必要に応じて高性能な AI リソースへアクセスできるようにする。新しいスーパーコンピュータは 2026 年に納入予定であるが、すでに運営機関のリソースとソリューションを活用することが可能である。HammerHAI のコンピューティングリソースは、一般データ保護規則 (GDPR)、欧州 AI 法、その他すべての適用される欧州規制枠組みに準拠しており、ヨーロッパにおける AI 駆動型研究開発に対して、安全かつ法的に適合した環境を提供する。

## (3) サービス

HammerHAI は、ハードウェアに加えて、アプリケーション開発・製造向けの AI プラットフォーム、そして製造・エンジニアリングコミュニティ向けのカスタムモデルとデータセットを提供する。一部のツールは HammerHAI コンソーシアムのメンバーによってホストされ、その他のツールは AI Factory の外部パートナーによってホストされる。完全なサービスポートフォリオは現在開発中である。

HammerHAI コンソーシアムには、HPC、人工知能、関連技術の分野における専門的な継続教育を専門とするドイツの主要な学術機関が含まれている。また、ドイツおよびヨーロッパの人工知能専門家の間で協力と知識交換を促進するさまざまなグループやネットワークにも統合されている。このようにして、AI イノベーションを推進するためのスキルと知識の開発を支援する。

より詳細なサポートを必要とするユーザに対しては、HammerHAI のコンシェルジュサービスが AI コンサルティングサービスへのアクセスを支援する。これにより、AI ライフサイクル全体に関する以下のような課題や質問に対応することが可能である。

- ・ データソースの特定やビジネス分析を含む戦略的計画
- ・ データの理解やモデルのプロトタイピングを含む課題範囲の定義
- ・ データ統合および準備
- ・ モデル構築、評価、展開
- ・ データおよびメタデータ管理
- ・ モニタリングおよびモデルの更新

ユーザの目標を確認し、必要なサービスやリソースを判断する支援を行う。必要に応じて、関連する専門家と接続し、質問への回答や直面する課題の解決を支援することも可能である。

表 5.6. HammerHAI のサービス

項目	内容
コンシェルジュサービスおよびコンサルティング	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 初回問い合わせから AI 導入まで、個別に最適化されたガイダンスを提供する。</li> <li>- 関連する AI アプリケーションや最適なコンピューティングリソースの特定を支援する。</li> <li>- 効率的なリソース活用のためのコスト見積もりおよびスケーリングの推奨を行う。</li> </ul>
トレーニングおよびスキル開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI 専門知識を構築するためのワークショップ、ハンズオンラボ、大学プログラムを提供する。</li> <li>- AI モデルの開発、導入、最適化に関する実践的なトレーニングを提供する。</li> <li>- AI 教育および人材育成を支援するため、学術機関との協働を行う。</li> </ul>
事前構築済み AI ソリューションおよびインフラストラクチャ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- スムーズな導入を可能にする事前学習済み AI モデルおよびコンテナテンプレートを提供する。</li> <li>- クラウド環境から HPC へのシームレスな移行を可能にするクラウドライクなリソースアクセスを提供する。</li> <li>- データ・ガバナンスと保護を保証する、安全で GDPR 準拠のインフラストラクチャを提供する。</li> </ul>
協働および AI コミュニティ構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>- データセットや AI モデルの交換のための共有プラットフォームを提供し、厳格なデータ・ガバナンスを確保する。</li> <li>- 製造業、エンジニアリング、自動車産業向けに特化した業界別 AI ソリューションを提供する。</li> <li>- 自動モニタリングツールおよび MLOps のベストプラクティスを統合し、継続的な最適化とパフォーマンス追跡を可能にする。</li> </ul>

## 5.2.4. ギリシャ (Pharos)

### (1) 概要

AI Factory Pharos は、デジタル・ガバナンス省の後援の下で活動する 国立研究技術基盤機構 (GRNET) が主導し、国立科学研究センター “デモクリトス” (NCSR-D)、アテナ工科大学 (NTUA)、アテナ研究センター (Athena RC)、Growthfund が参加する国家コ

ンソーシアムによって設計され、実施される。また、ギリシャ政府の戦略予測特別事務局とも直接協力している。さらに、a) ヘラス研究技術センター (CERTH)、b) テッサロニキ・アリストテレス大学 (AUTH)、c) アテネ国立カポディストリアン大学 (NKUA)、d) 研究技術財団 (FORTH)、e) ピレウス大学、f) 国立ドキュメンテーションセンターの機関が参加している。

新たな国家スーパーコンピュータ DAEDALUS は、AI Factory Pharos の計算プラットフォームとして機能し、合計 89 PFlops の計算能力を提供する。このうち相当割合は Pharos を通じて人工知能アプリケーション専用確保される。また、最先端のストレージ技術を備え、GRNET および RE-Cloud を介して接続され、2026 年までに最大 400Gbps の速度を実現する予定である。Pharos は DAEDALUS スーパーコンピュータを活用して、持続可能かつ責任ある国家 AI 戦略を推進し、企業および研究者に対して高性能計算資源へのアクセスを提供する。

AI Factory Pharos は、医療、気象、インテリジェント輸送システムの開発などの分野で応用され、社会に広範な影響をもたらすことが期待されている。そのイノベーション・エコシステムとの接続には、スタートアップ、中小企業、研究機関、公共機関が含まれ、計算資源や AI ツールの活用を通じて革新的ソリューションの開発を促進する。

本プロジェクトの最初の恩恵を受けるのは、これらの技術を最初に活用するグループであり、新たな雇用の創出や、熟練人材のギリシャへの復帰 (brain regain) に寄与することとなる。本プロジェクトは、イノベーション・エコシステムを強化し、さまざまな分野における成長と革新の機会を提供する。Pharos がギリシャ国内でサービスおよび HPC リソースを提供する優先分野は、健康、文化と言語、持続可能性である。

## (2) 進行状況

AI Factory プロジェクトの正式な開始日は 2025 年 4 月 1 日であり、実施期間は 36 か月である。

## (3) サービス

Pharos のサービス ポートフォリオは現在開発中であり、2025 年の最後の数か月で利用可能になる。現在、Pharos で着目している分野は次の表のとおりである。

表 5.7. Pharos で対象とする分野

カテゴリ	内容
言語と文化	Pharos は、データ、モデル、ツールを通じて、デジタル時代におけるギリシャ語および文化遺産の保存、強化、普及を促進し、創造性とイノベーションを促す AI の活用を目指す。
健康	Pharos AI Factory は、健康関連の取組を支援・強化するため、専用の Health AI ハブを設立・運営する予定である。

持続可能性	Pharos AI Factory は、複数の分野における持続可能性を推進するため、予測モデルやシミュレーションプラットフォームの開発を可能にする。
-------	--

## 5.2.5. イタリア (IT4LIA)

### (1) 概要

IT4LIA AI Factory は、イタリアの大学・研究省および国家サイバーセキュリティ庁によって資金提供されている。この取組は、EuroHPC JU による助成契約（共同資金提供）を受けており、さらにオーストリア、スロベニア、Cineca、エミリア＝ロマーニャ州、イタリア国立核物理研究所、産業向けイタリア人工知能研究所（Italian Institute of Artificial Intelligence for Industry）、ブルーノ・ケスラー財団（Fondazione Bruno Kessler）、イタリア気象庁（ItaliaMeteo Agency）などから追加の貢献がある。

IT4LIA の全体的な目標は、高度なインフラと包括的なサービスポートフォリオを活用することにより、国内および欧州の AI 環境を変革し、イノベーション、競争力、才能の誘致を促進することである。本プロジェクトは、以下の手段によってこの目標を達成することを目指している。

高度なインフラ: EuroHPC JU スーパーコンピュータ Leonardo、AI 強化型 LISA アップグレード、GAIA クラウド、サイバーセキュリティ専用システム MEGARIDE など、最先端の計算資源を活用する。このインフラは既に数千の GPU をエコシステムに提供しており、まもなく AI 最適化スーパーコンピュータによって更に強化される予定である。

専門サービス: アグリテック・アグリフード、サイバーセキュリティ、気象・気候、製造業といった主要分野向けのセクター別ソリューションを提供するとともに、すべての AI エコシステム関係者を支援する横断的サービスも提供する。

中小企業、大企業、スタートアップ、研究機関、行政支援: カスタマイズされたサービスの提供、計算資源への無償アクセスのオープンコール、プロジェクト全体の支援を通じて、資源や技術専門知識のギャップを埋める。

- ① トレーニングおよび能力開発: 対面およびリモートコース、ハッカソン、インターンシップ、専門家との質疑応答セッションを含む包括的なトレーニングプログラムを実施する。
- ② 協力と統合: 国内および欧州の AI イニシアティブを接続・補完するハブとして機能し、「AI ゲート」として一貫したエコシステム開発を支援する。
- ③ これらの目標を達成するため、プロジェクトはイタリアおよび欧州の主要ターゲットグループを積極的に巻き込み、ワンストップショップ方式で対応する。
- ④ 中小企業およびスタートアップ: 小規模な事業者が AI 技術を活用し、革新的なソリューションを市場に投入できるよう、個別対応の支援を提供する。

- ⑤ 産業界および公共部門: 農業、サイバーセキュリティ、気象・気候、製造業などの分野で生産性、セキュリティ、意思決定を向上させるための特化型 AI ソリューションを提供する。
- ⑥ 政策立案者および規制当局: EU AI 規制 (AI Act など) との整合性を確保し、規制順守および倫理的枠組みを通じて AI 技術への信頼を醸成する。
- ⑦ 研究者および学術機関: 最先端研究を推進するために、高性能計算および AI リソースへのアクセスを提供する。

IT4LIA プロジェクトは、最先端インフラの提供、協力関係の促進、AI 導入における重要課題への対応を通じて、イタリアおよび欧州のグローバル AI エコシステムにおける地位を強化するよう設計されている。この取組は、欧州が AI 開発の最前線に立ち続け、企業、研究者、公共機関が AI 技術の潜在力を最大限に活用できるようにするために不可欠である。さらに、AI に対する認識、アクセス可能性、信頼性を促進することにより、産業界や社会全体における広範な導入と長期的な影響を与える。

## (2) 進行状況

9月5日、ボローニャの DAMA Tecnopolo Data Manifattura Emilia-Romagna において、IT4LIA AI Factory のキックオフイベントが開催された。この会議は国内の科学コミュニティにとって重要なイベントであり、AI Factory の活動に関わるパートナー、推進者、ステークホルダーが一堂に会した。主な議題は、人工知能の導入、欧州のデジタル自律性、そして企業、スタートアップ、研究者、公共機関に提供される機会であった。イベントには、欧州委員会副委員長ヘンナ・ヴィルクネン氏および大学・研究省大臣アンナ・マリア・ベルニーニ氏が出席した。

開会式では、Cineca および国立核物理研究所 (National Institute of Nuclear Physics) が管理する Tecnopolo の施設が機関代表団によって視察され、プロジェクトの計算リソースを提供する機械が設置されている様子が紹介された。

このイベントをもって、IT4LIA は公式に運用段階に入り、アグリフード、サイバーセキュリティ、地球科学、製造業などの主要分野に対するサービス提供を開始した。

## (3) サービス

### (a) 概要

IT4LIA AI Factory は、HPC リソースを活用した人工知能プロジェクトを支援するため、幅広いユーザ向けに包括的なサービスポートフォリオを提供する。IT4LIA プロジェクトにより、ユーザは IT4LIA コンソーシアムの多様なパートナーが提供する専門サービスにアクセスできる。

表 5.8. IT4LIA のサービス

項目	内容
データ関連サービス	データアクセス、ストレージ、オーケストレーション、合成データ生成に対応する。
ホリゾンタルサービス	モデル開発、導入、オーケストレーション、規制準拠など、横断的な能力を提供する。
パーティカルサービス	製造業、サイバーセキュリティ、農食分野、地球システム（天候、気候、環境）などの分野に特化したソリューションを提供する。
トレーニング	特定のユースケースに合わせた専門モジュールによるスキル開発を行う。

#### (b) データ関連サービス

このカテゴリは、AI プロジェクトの成功に不可欠なデータのアクセス、管理、ストレージ、および生成をサポートする。専門家によるサポートと、スケーラブルなツールを提供し、多様なドメインにわたる高品質で相互運用可能な AI 対応データパイプラインを構築する。具体的には、AI モデルのためのデータ前処理、個人データ保護のための匿名化などがある。また、気象データやシミュレーションデータなど、特定のドメインデータへのアクセスも支援する。

#### (c) ホリゾンタルサービス

このカテゴリは、AI 開発の全ライフサイクルを支援する、分野横断的な能力を提供する。AI 環境のセットアップからモデル構築、テスト、検証、そして規制順守に至るまで、幅広いサービスを網羅する。例としては、AI フレームワークの迅速な設定、コンテナ化ソリューションの作成、HPC 上での大規模 AI モデルの事前学習やファインチューニング、そして法規制（EU AI 法など）へのコンプライアンスに関するガイダンスやサイバーセキュリティ分析が含まれる。

#### (d) パーティカルサービス

このカテゴリは、アグリフード、地球システム（気象、気候、環境）、サイバーセキュリティ、製造業といった特定の戦略的セクターに特化した AI サポートを提供する。専門的なコンサルティングを通じて、AI モデルの設計、開発、ファインチューニング、デプロイメントを支援し、現実世界での影響を生み出すことを目指す。提供されるサービスには、AI モデル開発に利用可能な AI 対応データセットの特定と選択、データの準備と標準化、そして特定のユースケースに最適なドメイン固有の AI モデルの選択と特性評価が含まれる。

### (e) トレーニング

このカテゴリは、HPC インフラストラクチャ上で AI ソリューションを効果的に開発・デプロイするために必要なスキルを、ユーザが習得できるように支援する。入門、中級、上級の 3 つのモジュールに分かれており、各ユーザの特定のニーズに合わせてカスタマイズできる。トレーニングでは、データ管理、AI モデル開発、規制順守、およびドメイン固有のアプリケーションなどのトピックがカバーされる。例としては、「HPC 上の AI」の基本を学ぶための **Introductory Training Module**、リソース最適化や大規模ジョブ管理に焦点を当てた **Intermediate Training Module**、そして大規模 AI モデルの分散学習やワークフローのオーケストレーションなど、高度なトピックを探求する **Advanced Training Module** が挙げられる。

## 5.2.6. ルクセンブルク (L-AIF)

### (1) 概要

ルクセンブルク AI Factory は、5 つのコンソーシアムメンバーの専門知識を活用しており、具体的には LuxProvide、Luxinnovation、ルクセンブルク国立データサービス、ルクセンブルク大学、ルクセンブルク科学技術研究所である。また、7 つの関連パートナーの支援も受けており、デジタルラーニングハブ、ルクセンブルク金融テクノロジーハウス、ルクセンブルク宇宙庁、ルクセンブルクサイバーセキュリティハウス、スタートアップインキュベーター Technoport、国のソブリン・クラウド事業者 Clarence、通信事業者が含まれる。

AI Factory の目的は、ルクセンブルクの企業を支援することであり、高度なソリューション構築、AI 成熟度評価、規制サンドボックス、データ共有フレームワーク、データアクセスおよび活用 など、AI サービスのフルスイートを提供することにある。アイデアの創出から実行まで、AI 導入のすべてのフェーズを支援する。

表 5.9. 参加機関の役割

組織／機関	役割・関与内容
LuxProvide	MeluXina / MeluXina-AI の運用を担うスーパーコンピューティング・センターでインフラ面を支える。 luxinnovation.lu+3LuxProvide+3aifactory.lu+3
Luxinnovation	ルクセンブルクの国家イノベーション機関。AI Factory の事業推進・企業支援、産業界との連携などを担う。 luxinnovation.lu+2aifactory.lu+2
LNDS (Luxembourg National Data Service)	データの提供・調整、データ・ガバナンス支援、データ利活用支援といった役割を果たす。 LNDS+1
University of Luxembourg、LIST (Luxembourg Institute of Science and Technology)	研究機関として AI 技術開発、応用研究、人材育成、産学連携などに関与。 LNDS+2 コーディス+2

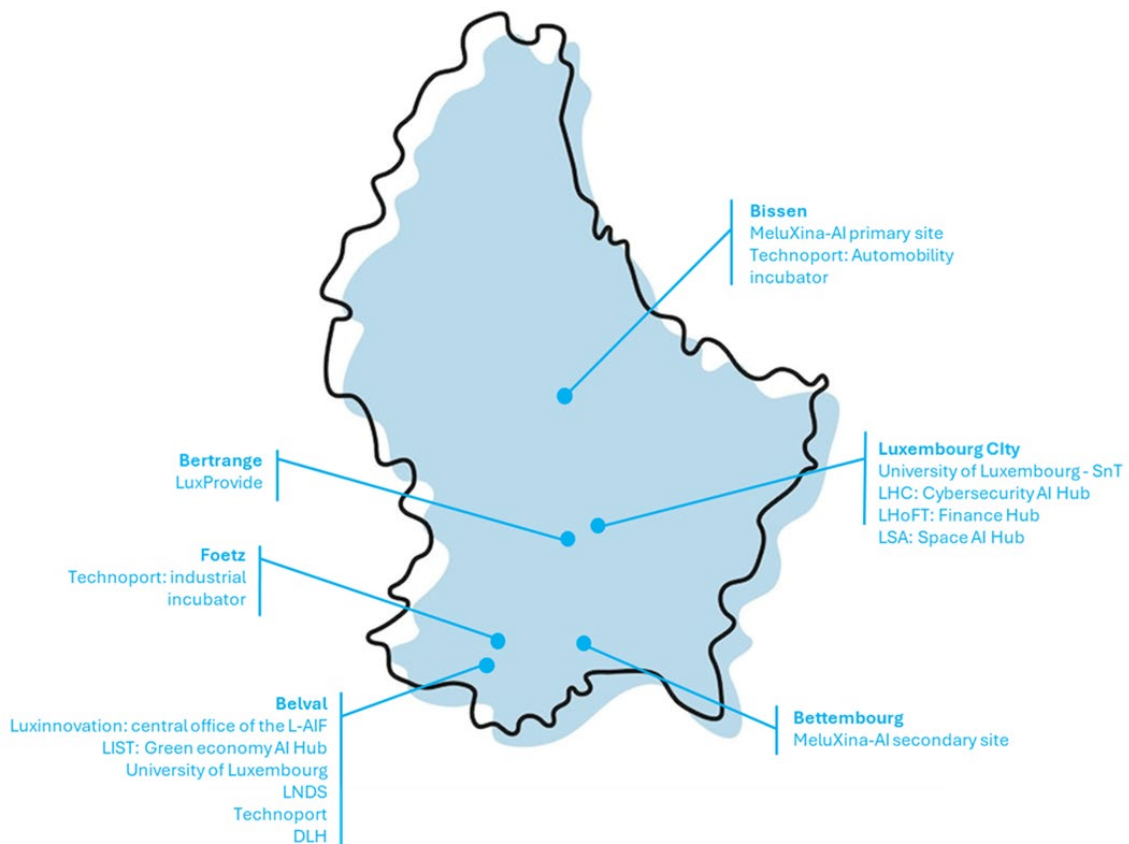


図 5.4. ルクセンブルグのエコシステム

## (2) 進行状況

ルクセンブルク AI Factory の基盤となるのは、人工知能向けに最適化されたスーパーコンピュータ MeluXina-AI である。この重要な技術インフラは、最先端の Tier IV 認定データセンター 2 箇所に設置され、AI ソリューションの開発と展開に向けて、安全で高度に接続され、スケーラブルな計算能力を提供する予定である。MeluXina-AI は 2026 年中頃に稼働予定である。

MeluXina-AI はクラウドネイティブで、動的かつマルチテナント、マルチサイトのアプローチを採用する。単なる AI パフォーマンスを超えて、プライベート AI の高度に安全な処理環境を実装し、計算およびデータのブリッジを通じてエンドツーエンドの計算連続体をサポートする。これにより、データレイクやクラウドサービスプロバイダー、他の AI Factory のサービスとの統合が容易になる。

MeluXina-AI の計算能力は、豊富なソフトウェアスタックによって補完される。このソフトウェアスタックにより、AI の開発、最適化された AI モデルのトレーニング、プライベートデータセットに基づく市場モデルの微調整が可能となる。さらに、MeluXina-AI は、AI 初心者の成長を支援する専用の AI-as-a-Service 施設も提供する。

### (3) サービス

#### (a) サイバーセキュリティ

ルクセンブルクは、欧州および世界においてサイバーセキュリティへの取組で先進的な国の一つである。最高水準のサイバーセキュリティ専門知識は、企業や研究機関がデータから価値を引き出し、革新的なビジネスモデルを開発できるデータ経済を構築するための重要な要素である。

国内の成長するエコシステムには 300 社以上の企業が含まれている。Luxembourg House of Cybersecurity は最先端のサイバーレジリエンスを先導しており、あらゆるタイプのサイバーセキュリティ関連活動の拠点となっている。

#### (b) 金融 (Finance)

ルクセンブルクは、数十年にわたりイノベーションを先導してきた世界的に有数のダイナミックな金融センターを有している。フィンテック企業にとっての豊かな環境を提供することにより、同国は将来の金融サービス産業をリードしている。

PayPal、Amazon、Rakuten などの e コマースや電子決済分野の主要企業を含む多くのフィンテック企業が、欧州拠点としてルクセンブルクを選択している。多くのフィンテック・イノベーターは、AI に支えられたデータ駆動型分析に注力している。

#### (c) グリーン経済 (Green Economy)

よりデジタル化され、持続可能な経済への二重の移行を支援することは、ルクセンブルクの重要な優先課題である。持続可能なソリューションへの需要は、クレードル・トゥ・クレードル (循環型) アプローチのプロジェクトや、既存のブラウンフィールドサイトをエコフレンドリーな地区へ再開発する取組によってけん引されている。

ルクセンブルクはまた、クリーン輸送、シェアモビリティ、インテリジェント輸送システムなどのスマートモビリティ・ソリューションにも注力しており、これらの分野はデータ分析および人工知能の広範な活用を必要としている。

#### (d) 宇宙 (Space)

ルクセンブルクは、宇宙分野における協力、技術革新、商業開発の触媒として機能している。宇宙資源利用の欧州拠点として、同国は宇宙、地上、サービスセグメントの多くの宇宙関連企業を惹きつけており、その活動の中心にはデータ生成および分析が位置している。

宇宙関連データへのアクセスを拡大するため、Luxembourg Space Agency は専用のデータセンターを有しており、正確な地球観測データに基づく新製品やサービスの開発を支援している。

## 5.2.7. スペイン (BSC AIF)

### (1) 概要

BSC AI Factory は、バルセロナ・スーパーコンピューティング・センター (BSC)、ポルトガルの科学技術財団 (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., FCT)、トルコの科学技術研究会議 (Tübitak)、およびルーマニアの国立情報学研究開発研究所 (ICI București) の共同イニシアティブであり、欧州連合の人工知能イノベーション・エコシステムに資する新たな AI Factory を開発・運営することを目的としている。AI イノベーションの加速が、その使命の中核をなしている。この新システムは、EU の AI イノベーション・エコシステムの発展を支援し、産業界、スタートアップ、中小企業、公共機関 に AI 技術を普及させるための AI Factory および AI 対応の計算インフラを構築する。

BSC AI Factory は、AI に特化した包括的なサービス群を展開し、強力なトレーニング、ネットワーキング、ハブ機能を提供する予定である。これらのサービスの主な対象は産業界であり、とりわけ参加 4 か国に拠点を置く中小企業およびスタートアップ企業に重点を置いている。BSC AI Factory は欧州のイノベーション・コミュニティに奉仕する存在であり、欧州の進化する AI ニーズに特化して設計され、EuroHPC JU MareNostrum 5 スーパーコンピュータの強化版上で稼働し、最新の AI 向け計算技術を活用する。

### (2) 進行状況

4月1日に始動した本 AI Factory は現在立ち上げ段階にあり、2025年9月に稼働開始が見込まれている。この実装段階において、BSC AI Factory はすでにパイロットケースとなる申請を受け付けている。

### (3) サービス

BSC AI Factory は、以下の 3 つの柱を中心に構成される。

- ① 高度な AI サービスと専門的なサポートの提供
- ② MareNostrum 5 のアップグレードによる、AI 計算機能の強化、AI 専用ソフトウェアの導入、大規模データリポジトリの確立
- ③ 新しい計算技術のテストを行うための実験的 AI 最適化プラットフォームの構築

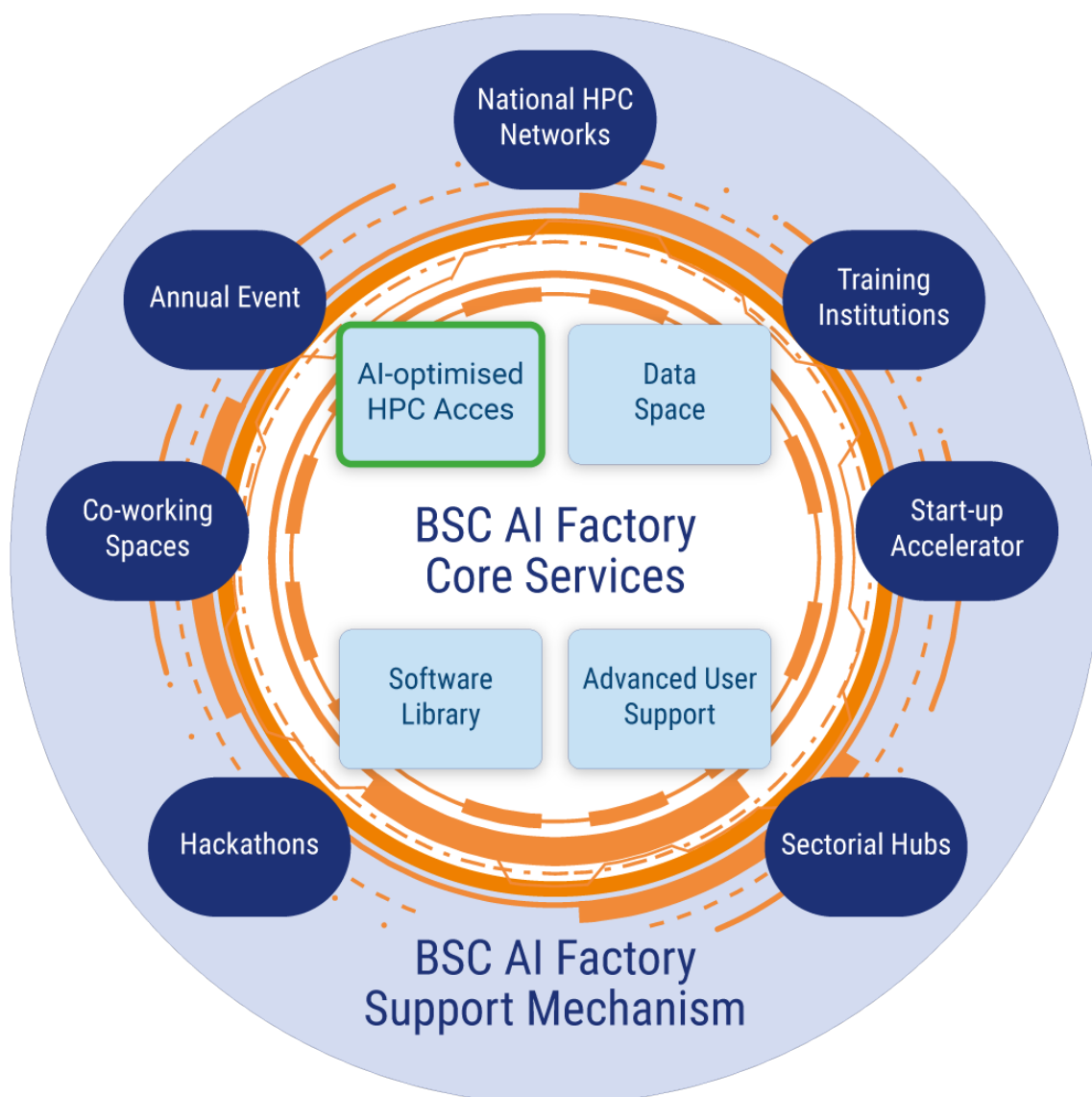


図 5.5. BSC のサポート体制

## 5.2.8. スウェーデン (MIMER)

### (1) 概要

スウェーデンの MIMER AI Factory は、リンクーピング大学 (Linköping University) が NAISS を通じて、ならびに RISE スウェーデン研究所 (RISE Research Institutes of Sweden) によってホストされる予定である。また、スウェーデン研究機関 (RISE) との連携の下で運営される。MIMER は、ミドルレンジの AI 専用スーパーコンピュータを提供し、クラウド型のアクセス手法や大規模ストレージを備え、特に機密データの管理に重点を置く。

このスウェーデンの AI Factory は、ライフサイエンス、ヘルスケア、材料科学、自律システム、ゲーム産業における AI サポートとトレーニングの専門知識を強化する。これらは、ヨーロッパ全体、特にスウェーデンでの強みを生かした分野である。主要なアプリケーションの一例として、構造生物学と創薬における生成モデルの開発、大規模な個別化医療のトレーニング、次世代の基盤モデルの国際共同開発などが挙げられる。これらのモデルは、特定の産業および学術的な応用に向けてチューニングされる予定である。

## (2) 進行状況

MIMER は準備段階である。

## (3) サービス

同施設は、大規模な計算能力へのアクセス と、AI モデルの開発、テスト、展開を支援するリソースを提供する。また、MIMER は主に以下の 4 つの重点分野における トレーニング、データ、ビジネス開発 を提供する：ゲーム (Gaming)、自律システム

(Autonomous Systems)、ライフサイエンス (Life Science)、材料科学 (Material Sciences)。具体的には、MIMER は以下のサービスを提供する予定である：

- ・ 高性能計算リソースへのアクセス
- ・ 専門的な AI サポート
- ・ テストおよび評価
- ・ ワークショップ、ウェビナー、ブートキャンプによるトレーニング
- ・ 革新的 AI ソリューションの開発・展開を加速する共同開発環境

## 5.2.9. オーストリア (AI:AT)

### (1) 概要

AI Factory Austria AI:AT は、オーストリアの AI エコシステムを持続的に強化するための国家的イニシアティブである。最先端のスーパーコンピューティング・インフラ、的を絞った支援策、そして強力なパートナーネットワークを通じて、強力で安全かつ経済的に活用可能な AI アプリケーションの基盤を構築する。

EuroHPC JU によって助成されている AI:AT は、人工知能分野におけるヨーロッパの競争力とイノベーション能力に対して重要な貢献を行う。AI:AT により、ヨーロッパ全体で認知される AI エコシステムの中核が形成される。ウィーン大学およびウィーン工科大学に設立予定の AI センター、バイオメディシン AI 研究所 AITHYRA、そして FWF 卓越クラスタ Bilateral AI といった旗艦プロジェクトとのシナジーを創出する。このようにして AI:AT は、テクノロジーとイノベーションの拠点としてのオーストリアの国際的地位を持続的に強化する。

AI Factory Austria (AI:AT) は、オーストリア全域の AI ハブを構築し、研究、産業、公共機関をネットワーク化して支援する。我々の目標は、国内企業のイノベーション力を高め、オーストリアの技術拠点を強化し、人工知能を責任ある形で実践に導入することである。

Vienna Scientific Cluster (VSC) を基盤として、AI:AT は新たな AI 最適化スーパーコンピュータを実現する。このインフラにより、複雑な AI モデルを効率的に開発し、バイオテクノロジー、持続可能性、製造・エネルギー効率などの多様な応用分野に展開することが可能となる。

AI:AT は、オーストリアにおける人工知能の開発と活用が責任あることを保証する。明確な指針、安全なデータ環境を整備し、産業横断的なプロジェクトを促進するとともに、特に中小企業およびスタートアップに重点を置いて支援する。

## (2) 進行状況

このプロジェクトは現在進行中であり、2025年に開始される予定である。AI:ATは2025年7月に稼働開始予定であり、パイロットユーザ向けの最初のサービスは2025年10月に提供される予定である。スタートアップ・アクセラレーター・プログラムは2026年1月初旬に開始される。並行して、ハードウェアの調達（スーパーコンピュータは欧州共同調達プロジェクトとして構築）および段階的な設置が行われている。計画通り、完全な HPC クラスタは2027年1月に稼働開始し、利用可能となる予定である。

AI:AT は、スタートアップ企業への投資に特に力を入れている。まず、スタートアップ・アクセラレーター・プログラムを立ち上げ、2026年1月に開始予定である。新興企業は2025年秋から応募可能である。このアクセラレータは、AI コンポーネントを活用したビジネスアイデアの発展を支援する包括的なサポートを提供する。このプログラムは、技術支援（AI 専門家、データスペシャリスト、メンターへのアクセス）とビジネスコンサルティング（事業開発、ピッチトレーニングなど）を組み合わせた包括的なパッケージである。また、AI Factory がスタートアップ企業と投資家を結び付け、有望な AI アイデアへの資金調達を促進する「資金アクセス」モジュールも計画されている。

ウィーンのコワーキングスペースは、アクセラレータープログラムの開始までには、より早く利用可能となる予定である。正確な場所はまだ決定していないが、ウィーン工科大学（カールス広場）の近く、またはテクノロジークラスタが集積するザンクト・マルクス地区のいずれかになる予定である。主催者にとって、公共交通機関で容易にアクセスできる場所であることは重要である。このコワーキングスペースは、AI:AT のプロジェクトチーム、スタートアップ企業、そして専門家が AI プロジェクトに取り組み、アイデアを交換するための物理的なミーティングの場となることを目指している。

表 5.10. AI Factory Austria のスケジュール

時期	内容
2025年6月	説明会（オンライン／メディア公開）
2025年7月～9月	AI:AT の立ち上げと準備作業の開始
2025年10月	最初の運用サービスの開始
2026年1月	スタートアップアクセラレーター第1ラウンド開始
2027年1月	AI:AT スーパーコンピュータが稼働開始

### (3) サービス

AI:AT ハブは、オーストリアの AI エコシステムにおけるすべての関係者のための新たな拠点であり、連絡窓口である。

- ・ コミュニティサポート&ネットワーク構築：強力なパートナーネットワーク内での交流と協力を促進する。
  - ・ 運用支援：アイデアの段階から実際の AI 活用までをサポートする。
  - ・ イノベーション伴走：Proof-of-Concept の開発や個別相談を提供する。
  - ・ ラーニングセンター：基礎コースから専門的なマスタークラスまで幅広く提供する。
- また、ユーザに提供するサービスは次のとおりである。

表 5.11. AI Factory Austria の提供するサービス

カテゴリ	内容
計算リソース	GPU リソースを備えた最新のスーパーコンピュータ（高性能コンピューティングクラスター）へのアクセスを提供し、AI モデルのトレーニング、ファインチューニング、推論（インファレンス）を実行できる。また、データ管理やモデル導入（デプロイメント）のサポートも含まれる。
ソフトウェアおよびツール	事前構成されたオープンソースソフトウェアスタックにより、AI ライフサイクル全体の開発が容易になる。事前学習済み AI モデル、データベース、AI ツールも提供され、利用者はゼロから始める必要がない。
コンサルティングおよび専門家サポート	ワンストップ型のアプローチで一元的な相談を提供し、AI アイデアの実装に関する質問対応、専門家紹介、技術選定の指導を行う。コワーキングスペースやコミュニティ活動を通じ、企業やスタートアップは AI 専門家と直接協働できる。
トレーニングおよびスキル開発	ラーニングセンターを通じ、基礎ワークショップから上級者向け専門コースまで幅広い研修プログラムを提供し、AI 知識の少ない企業でも容易に導入可能とする。
概念実証支援	パイロットプロジェクトやプロトタイプ（PoC）の開発を利用者と共に進め、保護された環境でアイデアをテスト・改良できる。PoC 成功後は、欧州クラウドプロバイダーや将来の AI Gigafactory との連携を通じ、運用段階への移行も支援する。
ネットワークおよびコミュニティ	オーストリアの AI 分野の関係者を結ぶネットワークのハブとして機能し、既存イニシアティブを統合、企業・スタートアップ・研究・公

的機関間の交流を促進する。経験共有、協力関係構築、シナジー活用が可能なコミュニティを形成する。
---

## 5.2.10. ブルガリア (BRAIN++)

### (1) 概要

ブルガリアは、欧州連合の新たな AI Factory 6 か所のうちの 1 つをホストする予定である。ソフィア・テックパークと Institute for Computer Science, Artificial Intelligence and Technology (INSAIT) による共同作業と成果を通じ、最も発展した国々の中で 9,000 万ユーロのプロジェクトに承認されている。

フランスおよびドイツの AI Factory は、現在両国で建設中のヨーロッパ初のエクサスケール・スーパーコンピュータと連携して稼働する予定である。ブルガリア、オーストリア、ポーランド、スロベニアの組織は、人工知能向けに最適化された専門システムを備えたインフラを構築し、ヨーロッパのハイテク基盤を更に拡張する。

INSAIT チームは、地球観測、ロボティクス、大規模言語モデルなどの生成モデル構築に貢献し、ブルガリアを欧州の人工知能分野のリーダーとして位置付ける。

BRAIN++ の目標は、INSAIT の成果を更なる基盤として、ブルガリアを地域の AI イノベーションのリーダーとして確立することである。これには、人材育成、スタートアップや中小企業、研究者の支援、ロボティクス、産業、航空宇宙、医療、農業、製薬、災害管理、物流、都市計画、ブルガリア語対応アプリケーションモデルなどの主要分野における進展の促進が含まれる。

EuroHPC JU の AI Factory ネットワークの一員として、BRAIN++ は AI の研究、開発、応用における安定した欧州イノベーション・エコシステムの構築に貢献し、技術実装における倫理的かつ責任ある実践を推進し、学術、産業、公共機関の協力を促進する。BRAIN++ プロジェクトは、AI における欧州連合のイノベーション強化戦略の一環であり、ブルガリアの国家 AI 開発戦略およびスマートスペシャリゼーションのイノベーション戦略と整合している。

### (2) 進行状況

ブルガリアの BRAIN++ AI Factory はソフィア・テックパークに設置され、2026 年に建設が開始される予定である。AI Factory は二つの主要コンポーネントで構成され、相互にシナジーを発揮する（人工知能システムに最適化された新世代スーパーコンピュータ Discoverer++ と、政府機関、教育機関、民間組織・企業にサービスを提供するセンターである。）。

### (3) サービス

ブルガリアのセンターの予算は 9,000 万ユーロであり、この資金は AI 用の新スーパーコンピュータ Discoverer++ の建設および AI Factory 創設に投資される。政府は、2026 年から総額の 50% を国家資金として提供することを約束し、ブルガリアの既存スーパーコンピュータ Discoverer+ のチームが、新機械の高性能計算システム運用に関する専門知識を提供する。

Discoverer++ は、AI 生成ワークロードシステム、ロボティクス、衛星監視、迅速物流用途向けの専用パーティション、7.5 PB を超える高性能かつ最適化されたストレージモジュール、高速インターコネクトを備え、巨大な AI モデルの処理および学習を可能にする。BRAIN++ は、中小企業向けクラウド環境、質の高いデータセットへのアクセス、ブルガリア国内の AI 専門家コミュニティ育成を目的としたトレーニングプログラムの実施も含む。

EuroHPC JU により承認された新たな 6 プロジェクトは、既存の 7 つの AI Factory を含む欧州の AI センター・ネットワークの一部となる。それぞれのプロジェクトは、欧州全域からの革新的研究開発を推進し、スタートアップ、中小企業、研究者に対して AI 最適化高性能計算リソース、サービス、トレーニング、技術および専門知識へのアクセスを提供する。

## 5.2.11. フランス (AI2F)

### (1) 概要

AI Factory France は、GENCI、Inria、CNRS、CEA、France Universités (IA クラスタを代表する 12 のフランス大学を含む)、CINES、Amiad、Mission French Tech、Station-F、HubFranceIA を含む、フランスの最も権威ある学術、公共、民間パートナーによる幅広い連合体に支えられた、国内および欧州規模のプラットフォームであり、専門知識、高性能計算、トレーニング、支援サービスのユニークなエコシステムへとユーザを接続するもの。

AI Factory France は、フランスのエコシステムのリソースを統合し、GENCI の公共スーパーコンピューティング施設 (IDRIS の Jean Zay、CINES の Adastra、TGCC の Joliot-Curie)、および 2026 年稼働予定の AI 専用のフランスのエクサスケールマシン「Alice Recoque スーパーコンピュータ」を活用して、ユニークなワンストップショップを提供する。

AI Factory France で想定するユーザは下記のとおりである。

- ・ 先進的な AI 手法を探索する研究者や学術界の AI/HPC ユーザ
- ・ 革新的アプリケーションを開発するテック系スタートアップや中小企業
- ・ AI を活用して近代化を進める大企業

- ・ 医療、モビリティ、セキュリティ、社会を改善するために AI を活用する公共サービス

EuroHPC JU により選定された AI2F (AI Factory・フランス) プロジェクトは、ヨーロッパで唯一のエコシステムを統合することを目指しており、スタートアップ、中小企業、大手企業、研究機関、データセンター、大学、ビジネス・工学系スクール、シンクタンク、インキュベーション施設、ベンチャーキャピタルなどが参画する。

GENCI が主導し、欧州で最も権威ある学術機関、公的機関、民間パートナー、主要なイノベーションプレイヤーおよび産業界すなわち AMIAD、CEA、CINES、CNRS、HubFranceIA、Inria、Mission French Tech、Station-F に加えて 9 つの IA クラスタの代表 (トゥールーズ大学、グルノーブル大学、ストラスブール/ロレーヌ大学、ソルボンヌ大学、フランスでの AI とデータサイエンスの研究・教育拠点 Hi!PARIS、パリサクレ大学、パリサイエンスレトル PSL、コートダジュール大学、レンヌ大学および France Universités) との広範な連携により、AI2F は国家規模および欧州規模のプラットフォームを展開し、既存 13 の欧州 AI Factory ネットワークに接続する。

## (2) 状況

2025 年 5 月 26 日にウェブサイトを公開した。2025 年 9 月 16 日現在、AI Factory は「動的エコシステム」と定義され、AI 最適化スーパーコンピュータを中心に構築されている。これにより、産業界のみならず、科学利用や欧州公共サービス向けにも、計算リソースやトレーニング・サポートサービスが提供され、大規模モデルの開発・活用が可能となる。AI Factory は、欧州連合における AI の技術的能力を最大限活用し、AI 分野におけるスキルや知識の向上を目的としている。

このプラットフォームは、科学、産業、社会のために AI 技術を活用する「アクセラペダル」となるものであり、関係者は高性能コンピューティングリソース、専門知識、トレーニング・支援、ツール、AI モデル、データセットなどを提供するエコシステムにアクセスできる。2026 年初頭にはワンストップショップも設置され、国家公共計算リソース

(IDRIS の Jean Zay、CINES の Adastra、TGCC の Joliot-Curie、および将来のフランスのエクサスケール機 Alice Recoque) へのアクセスが可能になるとともに、商業活動支援のための民間計算リソースへのアクセスも提供され、公共と民間のリソース・サービスの連続性が構築される。

## (3) サービス

AI Factory France は、人工知能の開発、導入、普及を産業横断的に加速させるために設計された包括的なサービス群を提供する。ユーザは、主権性を備えた高性能計算資源へのアクセスに加え、データスペース、オープンソースおよびドメイン特化型の AI モデル、そしてワークロード最適化のための専門的支援を利用できる。さらに、トレーニング

プログラム、共同開発機会、スタートアップ支援、モデル共有やコラボレーションのためのツールも提供する。

- ・ 計算能力 (Computing Capacity)
- ・ データアクセスと運用 (Data Access & Operations)
- ・ 機械学習アクセスと運用 (Machine Learning Access & Operations)
- ・ トレーニング (Training)
- ・ コンサルテーション (Consultation)
- ・ エコシステム開発 (Ecosystem Development)

AI Factory France は、フランスおよび欧州経済において最も戦略的に重要な産業分野のイノベーションを促進することを目的として設計されている。特化型の AI インフラ、モデル、データセット、専門家サポートを提供することで、各産業の関係者が最先端のアプリケーションを開発し、競争力を向上させ、重要な社会課題に対応することを支援する。

対象となる産業セクターは、ロボティクス、ヘルスケア、地球・環境、国防、エネルギー、デジタルコンティニューム、Edtech (教育技術)、農業、金融、人文学、航空宇宙、資源・原材料、モビリティである。これらの分野において、AI Factory France は、各業界のニーズに応じた AI ソリューションの提供を通じて、技術革新と社会的課題解決を同時に推進することを目指している。

## 5.2.12. ドイツ (JAIF)

### (1) 概要

JUPITER AI Factory (略称 JAIF) は、ヨーロッパ初のエクサスケール・スーパーコンピュータ JUPITER を中心に構築されている。本 AI Factory は、ヨーロッパで最も強力な計算リソース、AI における独自の専門知識、ヘルスケアから製造業までのドメイン別ソリューション、先進的な推論用パーティション、そして民間企業、科学分野などの現実の課題に対応できる卓越した人材を結び付ける。特に、スタートアップ、中小企業、産業界および学术界を支援する先進的な AI 環境の提供に重点を置いている。

JAIF のパートナーには、ユーリッヒ研究センター (Forschungszentrum Jülich) のユーリッヒスーパーコンピューティング・センター、RWTH アーヘン大学の人工知能センター、フラウンホーファーFIT (応用情報技術研究所)、フラウンホーファーIAIS (インテリジェント分析・情報システム研究所)、Hessian Center for Artificial Intelligence (hessian.AI) が含まれる。また、KI Bundesverband、WestAI、hessian.AISC、LAMARR 機械学習・AI 研究所などの関連パートナーとも協力する。

また、JAIF はフランスの GENCI が主導する AI Factory France (AI2F) と密接に連携し、ヨーロッパの 2 番目のエクサスケール・スーパーコンピュータ Alice Recoque の開

発を支援する。加えて、HammerHAI（ドイツ）、IT4LIA（イタリア）、AIF Spain（スペイン）、MeluXina-AI（ルクセンブルク）、LUMIAIF（フィンランド）、MIMER（スウェーデン）、Pharos（ギリシャ）など、ヨーロッパ全体の AI パートナーと協力関係を築く。

## (2) 進行状況

JUPITER AI Factory (JAIF) は、ヨーロッパの 13 の AI Factory のうちの 1 つである。エクサスケール・スーパーコンピュータを備えた唯一の AI Factory として、JAIF はヨーロッパでの AI モデルのトレーニングに独自の機会を提供する。革新的なブースター／クラウドコンセプトは、最先端の推論アプリケーションに合わせて特別に設計されており、シームレスなスケールアップおよびモデルの洗練を可能にする。

JAIF の主な特徴は以下のとおりである。

- ・ スタートアップ、中小企業、産業界に向けた AI サービスのワンストップショップ
  - ・ ドメイン別 AI に関する世界水準の研究
  - ・ AI 技術の移転および地域・国家・欧州レベルのスタートアップ、中小企業、産業界への支援
  - ・ 産業界および公共サービス向けの 人材・専門知識の育成
  - ・ 既存のエクサスケール・スーパーコンピュータ JUPITER の効率的かつ容易な利用を実現
  - ・ JUPITER 推論モジュール JARVIS によるクラウドベースのスケラブル推論リソースの提供
  - ・ JSC の最大規模データリソース および 共通欧州データスペース へのアクセスの創出
- JAIF は、スタートアップや中小企業 に対して、計算時間への無料かつ迅速で容易なアクセスを提供するとともに、科学者や産業界に対しても利用機会を提供する。

## (3) サービス

ワンストップショップとして機能し、関係者に単一の窓口を提供することで、イノベーションと協力の促進を図る。また、JAIF には AI モデルの開発・テストのための実験プラットフォーム JARVIS (JUPITER Advanced Research Vehicle for Inference Services) が搭載されており、これは AI モデルの実行と最適化を加速する推論モジュールである。

主要な機関が参加するコンソーシアムと包括的なサービス提供を通じて、JAIF は AI ソリューションへの需要の高まりに対応し、専門知識のギャップを埋め、ヨーロッパ全体での協力を促進する。これにより、ヘルスケア、エネルギー、気候変動、環境、教育、メディア・文化、公共部門、金融・保険などの主要分野でヨーロッパの AI 主導の繁栄と成長を強化する。

図 5.6 は JAIF ワンストップショップを示している。個々の活動は拡張されており、中期的には他の AI Factory の活動とも統合される予定である。

# The JAIF ONE STOP SHOP

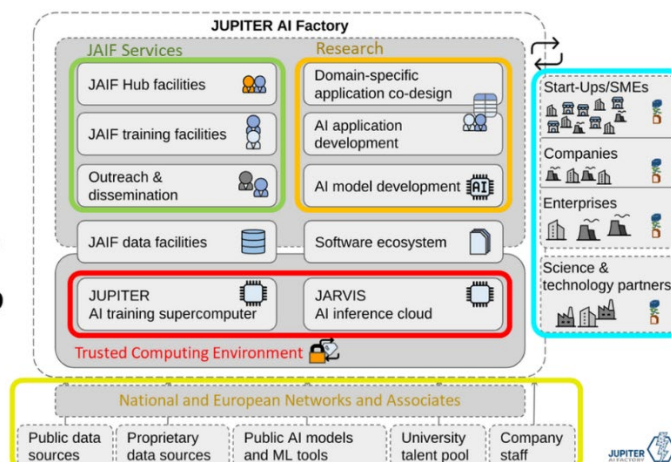


図 5.6. JAIF のサービス

## 5.2.13. ポーランド (PIAST AI)

### (1) 概要

PIAST AI Factory は、ポーランドおよびヨーロッパ全体での AI 研究、イノベーション、応用の発展に取り組む。この AI Factory は、学术界、産業界、政府機関の橋渡し役を果たし、知識共有と AI イノベーションのためのダイナミックなエコシステムを促進する。

PIAST AI Factory のリーダー機関は、ポズナンスーパーコンピューティング&ネットワークセンター (PSNC) であり、ポズナン工科大学 (PUT)、アダム・ミツケヴィチ大学 (AMU)、ニコラウス・コペルニクス大学 (NCU)、地域産業クラスタやイノベーション・ハブ (特にヴィエルコポルスカ IT & テレコミュニケーションクラスタ) と協力する。

PIAST AIF は、学术界および産業界における AI 技術の採用を加速し、特にヘルス&ライフサイエンス、IT & サイバーセキュリティ (量子技術を含む)、宇宙&ロボティクス、持続可能性 (エネルギー、農業、気候変動)、公共部門といった分野での応用を促進する。PSNC の高度な HPC インフラと EuroHPC JU 量子コンピュータ Piast を活用し、AI のイノベーションを促進し、協力を強化し、ポーランドの AI・HPC・量子技術エコシステムの発展を支援する。この AI Factory は、アクセス性、持続可能性、国境を超えた協りに重点を置き、社会課題に対応するインパクトのある AI アプリケーションを創出するとともに、経済成長を促進する。

PIAST-AI Factory は、ポズナンスーパーコンピューティングおよびネットワークセンター (PCSS) によってサポートされており、ポーランドの HPC、クラウドベースの AI サービス、最先端の研究インフラストラクチャを統合した主要な AI イノベーション・ハブとなるよう設計されている。

主要セクターは次のとおりである。

- ・ IT とサイバーセキュリティ（量子強化 AI を含む）
- ・ 健康・生命科学
- ・ 公共部門
- ・ 宇宙とロボット工学
- ・ 持続可能性（エネルギー、農業、気候変動）

## (2) 進行状況

ポーランドデジタル省は、ポーランドが EU の AI Gigafactory プログラムへの参加に関して、欧州連合のパートナーとの協議を最終調整中であることを発表した。公開協議の終了後、正式な申請書が 2025 年 6 月 20 日までに EU 機関に提出される。

この取組は、ポーランドの既存の戦略的投資である PCSS の PIAST AI Factory に基づく。この新たな研究開発センターは、以下の主要分野に重点を置く予定である。

- ・ 宇宙およびロボティクス：自動化や宇宙探査を支援する AI アルゴリズムの開発。
- ・ ヘルスおよびライフサイエンス：バイオインフォマティクスや医療診断における人工知能の応用。
- ・ 持続可能な開発：農業やエネルギー産業での AI 活用、極端な気象現象の緩和。

デジタル省は、ポーランドが申請する予定のこの AI Gigafactory は最終的に 30,000 の GPU にスケールアップし、投資額はおよそ 50 億ポーランドズロチに達すると見込んでいる。

## (3) サービス

PIAST-AI Factory は、特定のセクター全体での AI 導入をサポートするために、次のような AI サービスの統合エコシステムを提供する。

- ・ AI プロジェクトの分析と開発
- ・ データ管理と前処理
- ・ AI パイプラインと自動化
- ・ 大規模 AI モデルのトレーニング
- ・ AI モデルの最適化とスケールリング
- ・ AI アプリケーションの開発と展開
- ・ AI トレーニングと教育

## (4) トピックス

2025 年 6 月 23 日、ポーランドが欧州連合理事会議長国を務める下、EuroHPC JU はポーランド・ポズナンにおいて PIAST-Q の開所式を行った。この EuroHPC JU 量子コンピュータの初めての開所は、欧州量子コンピューティングインフラ構築における重要なマイル

ルストーンである。また、これはポーランド国内に設置された最初の EuroHPC JU インフラでもある。

開所式はポズナンスーパーコンピュータ・ネットワークセンター (PCSS) が主催した。式典には、ポーランドデジタル省の国务長官ダリウシュ・スタンダルスキ氏、EuroHPC JU 理事会議長ラファウ・ドゥチマル氏、EuroHPC JU 共同事業執行役員アンダース・イェンセン氏が出席した。

PIAST-Q は、ポーランド最初の歴史的統治王朝であるピヤスト朝にちなんで命名された。PCSS がホストおよび運営し、オーストリア・インスブルックの AQT 社が供給するレーザー型トラップドイオン量子コンピュータである。PIAST-Q は、20 物理量子 bit の性能を有し、欧州ユーザ向けに以下のような特長を提供する。

- ・ 高忠実度のユニバーサル量子ゲートによる計算誤差の最小化
- ・ 長いコヒーレンス時間によるより深い回路の実行
- ・ 全量子 bit 間接続による安定性の向上および多量子 bit プログラム可能ゲートの実現

現在展開中の他の EuroHPC JU 量子コンピュータと同様に、本システムも HPC インフラと統合される予定である。PIAST-Q はまず ALTAIR スーパーコンピュータと接続され、後に PIAST-AI スーパーコンピュータと連携し、欧州ユーザにハイブリッド古典量子アーキテクチャへのアクセスを提供する。

システムの最終調整は今後数か月かけて行われる予定であるが、PIAST-Q の開所は、EuroHPC JU 量子コンピュータの初めての運用展開が完了したことを示す。特筆すべきは、その迅速な実装である。調達契約は 1 年未満前に署名され、納入・展開は契約で計画されたスケジュールより数か月早く完了した。

PIAST-Q は、年末までに欧州のエンドユーザに計算リソースを提供する予定であり、量子最適化、化学、材料科学、機械学習などのハイブリッド量子古典ユースケースを可能にする。主に研究とイノベーションを目的としており、学術機関、産業界、公的機関を含む広範な欧州ユーザがアクセス可能である。

PIAST-Q で利用されるトラップドイオン技術は、電磁場を用いて荷電原子 (イオン) を捕捉し、高精度レーザーによって量子操作を行うものであり、長いコヒーレンス時間を提供する。PIAST-Q は、革新的かつ実証済みのアーキテクチャ、さらにモジュール性と拡張性を特徴としている。本システムはインスブルック大学との協力および広範な顧客基盤での開発・検証を経ており、データセンターで一般的に使用される 2 つの 19 インチラックに収まる設計となっている。PIAST-Q は常温で稼働し、消費電力は 2 kWatt 未満であるため、特別な冷却装置や水、広範なエネルギーインフラは不要である。

PIAST-Q の収入総額は 1,228 万ユーロであり、EuroHPC JU がその 50% を資金提供し、残り 50% はポーランドデジタル省および科学高等教育省によって賄われる。PCSS は EuroQCS-Poland コンソーシアムを主導しており、コンソーシアムにはポーランドの他の

2 パートナー（ポーランド科学アカデミー理論物理学センターおよび Creotech Instruments S.A.）、およびラトビアの学術パートナーであるラトビア大学が参加している。

EuroHPC JU は欧州各地に 8 台の量子コンピュータを調達しており、PIAST-Q はその中で最初に開所されたシステムである。欧州全域へのこれら量子コンピュータの展開は、欧州のエンドユーザに対して、多様かつ補完的な量子計算モダリティを提供することを目的としている。これには、中性原子に基づくアナログ量子シミュレーター、トラップドイオン、超伝導回路、フォトニクス、アディバティブシステムなど、現在 6 種類の異なる技術が含まれ、アニーリングルーチンの実行を可能にする。このアプローチにより、欧州はこの新興分野において最前線に位置することとなる。

## 5.2.14. スロベニア (SLAIF)

### (1) 概要

EuroHPC JU は、2025 年 3 月 12 日に、人工知能に最適化されたスーパーコンピュータを含むスロベニアの AI Factory 設置に対する資金助成申請が選定されたことを発表した。プロジェクトは EuroHPC JU とスロベニア共和国（デジタル改革省、高等教育・科学・イノベーション省）によって共同で資金提供される。スーパーコンピュータは IZUM が Jožef Stefan 研究所および Arnes と協力して、マリボルの Drava 水力発電所敷地内に建設される新しいデータセンターに設置される予定である。AI Factory のパートナーには Jožef Stefan 研究所、リュブリャナ大学、マリボル大学、ノヴァ・ゴリツァ大学、IZUM、Arnes、プリモルスカ大学、ノヴォ・メスト情報学部、スロベニア商工会議所、テクノロジーパーク・リュブリャナが含まれる。

### (2) 進行状況

AI Factory は、イノベーション、協力、AI 開発を促進するダイナミックなエコシステムである。SLAIF はスロベニアの AI 分野の能力を向上させることを目的としており、最先端のスーパーコンピュータを導入するとともに、企業、研究機関、公共機関に対して AI サービスの利用支援を提供する。新しいスーパーコンピュータは 2027 年までに現行の EuroHPC JU Vega システムに代わり、スロベニアにおける高性能計算および大規模データ保存のインフラを途切れなく提供する予定である。混合精度での AI アプリケーションでは 10EFLOPS、倍精度では 100PFLOPS の計算能力を有し、電力は近隣の水力発電所から供給される。スーパーコンピュータにはクラウドサービス用のインターフェースも搭載され、企業は AI サービスを直接業務プロセスに統合可能である。プロジェクトの第二フェーズ（2028～2029 年）ではシステムのアップグレードが予定されており、寿命延長と技術競争力の向上が図られる。

### (3) サービス

#### (a) 機械学習とスーパーコンピューティングの統合

SLAIF プロジェクトは単なるハードウェア導入にとどまらず、スロベニア国内の機械学習とスーパーコンピューティングの知識を結集した包括的な AI エコシステムの構築を核としている。スロベニア国内の AI 研究開発は複数の機関で行われているが、SLAIF により統合されたコアとして機能する。これにより教育機関と産業界のギャップも橋渡しされる。SLAIF は AI とスーパーコンピューティングの分野で、知識、インフラ、データを一箇所で提供し、企業、スタートアップ、研究者、公共部門の支援を行う。

#### (b) SLAIF と産業界

SLAIF はスロベニア国内のさまざまな産業分野における AI 導入と関連イノベーションを促進する。プロジェクトの主要目的は、スロベニアが AI を用いたデジタル変革の分野でリーダー国の地位を維持することである。グリーン・トランジションにおいても、エネルギーシステムの最適化、環境モニタリング、スマート農業、持続可能な開発の促進などに AI を活用する。医療・バイオテクノロジー分野では多様な医療データ解析や個別化医療の導入支援を行い、製薬業界では AI による創薬ツールで新たな治療法開発を加速させる。また、言語技術のデジタルサービス・メディア・クリエイティブ産業への導入や、新素材開発など科学分野への AI 技術導入も支援する。

#### (c) SLAIF の提供サービス

SLAIF はターゲット産業や研究活動に AI を導入するための包括的なサポートシステムを構築する。個別分野向けのコンサルティングや支援、事前学習済みモデル、データセット、カスタマイズ可能なクラウド AI サービスへのアクセスを提供する。企業や研究者はスーパーコンピュータの利用、AI 分析ツールへの直接アクセス、個別分野向け AI モデル学習プログラムの利用が可能となり、新しい AI ソリューションの導入を容易にする。また、パートナーキャンパスに設置される物理的なオフィスやコラボレーションスペースも利用できる。成功事例の分析、クラウドでの AI ツールやリソース提供により、大企業・中小企業問わず参入障壁を低減する。

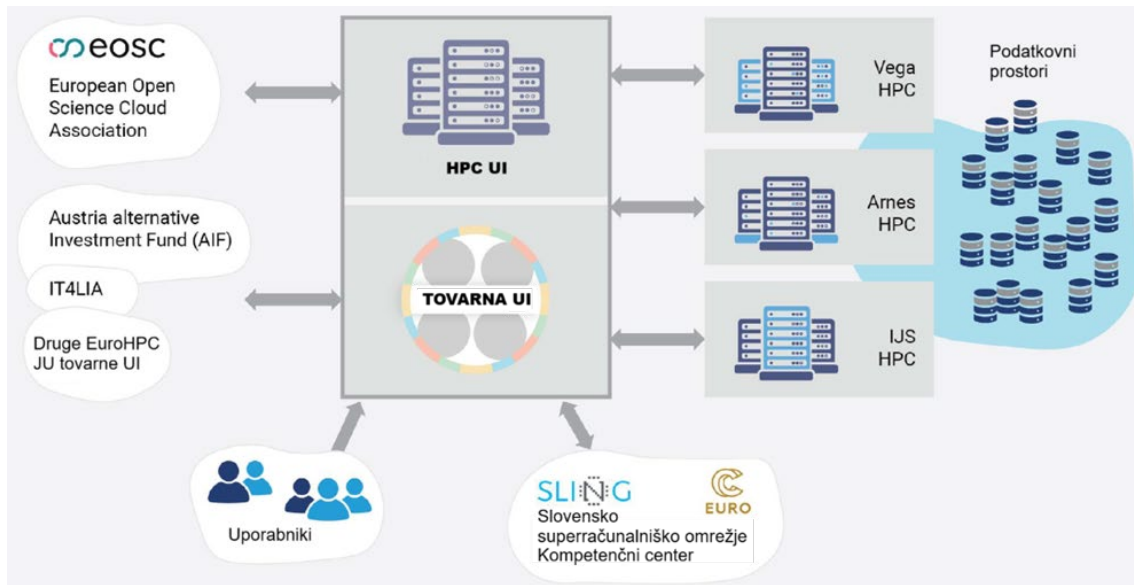


図 5.7. AI Factory を含むエコシステム

#### (d) AI エコシステム

SLAIF の中心的役割の一つは AI 分野の人材育成である。学生、研究者、産業界の専門家向けの専門教育モジュールを導入し、スロベニア国内の大学、研究機関、主要企業と連携した実践的教育を提供する。インターンシップ、ハッカソン、ワークショップを通じて、次世代の AI 専門家を育成し、スロベニア国内での AI 開発をリードできる人材を輩出する。

#### (e) データアクセスと管理

SLAIF の優先課題の一つは、AI 開発に必要なデータセットへの安全かつオープンなアクセスを確保することである。研究者や企業は信頼性と安全性の高い AI モデルを開発できる。SLAIF は FAIR 原則に基づき、データ共有を支援しつつプライバシー保護を徹底する。欧州エコシステムと連携し、安全なデータ準備と共有の促進を図る。

#### (f) 欧州スーパーコンピューティング・AI エコシステムへの統合

SLAIF はスロベニア国内の SLING インフラだけでなく、欧州全体の AI Factory・ネットワークに組み込まれる。これにより、スロベニアの研究者や企業はスーパーコンピューティングや AI サービスの最先端技術に広くアクセスできるようになる。

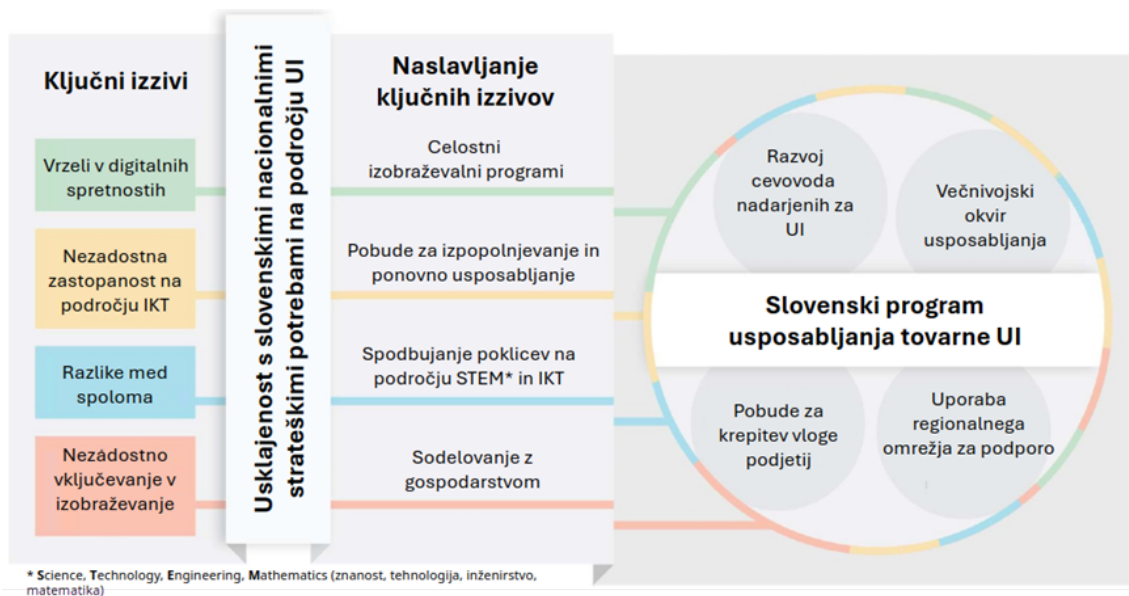


図 5.8. AI Factory で提供するトレーニングプログラム

### 5.2.15. チェコ (CZAI)

チェコの AI Factory (CZAI) は、チェコ国内での AI の開発と導入を支援する予定である。これは、IT4Innovations 国立スーパーコンピューティング・センターがホスト・運用する、EuroHPC JU ペタスケールシステム Karolina を基盤とし、AI ワークロード向けに最適化された新しいスーパーコンピュータ KarolAIIna と連携することが想定される。チェコの AI Factory は、実用的なアプリケーション、技術的インフラ、およびスキル開発に焦点を当て、チェコの AI エコシステムを欧州の AI Factory ネットワーク、および「AI 大陸」内の他の AI イニシアティブにより深く統合することを可能にする。

コンソーシアムは、VSB-オストラバ工科大学が主導し、ブルノ工科大学、カレル大学、プラハ・チェコ工科大学、国際神経変性疾患研究センター、および有機化学・生化学研究所と連携する。CZAI は、チェコおよび欧州のすべての AI 産業、学術、および公共機関にサービスを提供するよう設計されている。

### 5.2.16. リトアニア (LitAI)

LitAI Factory は、リトアニアの HPC 能力を、国内および欧州の野心を満たすことができる主権的な AI 最適化インフラに変革することを目指す。このプロジェクトはヴィリニウス大学が主導し、ヴィリニウスにあるアップグレード対応の LRTC VDC3 データセンター施設でホストされ、高品質のプラットフォームを提供する。コンソーシアムには、ヴィリニウス大学 (VU)、カウナス工科大学 (KTU)、ヴィリニウス・ゲディミナス工科大学 (VILNIUS TECH)、ヴィータウタス・マグヌス大学 (VMU)、国家データ庁 (SDA)、SC リトアニア・ラジオ・テレビセンター (LRTC)、イノベーション庁 (IA)、およびその

他の提携パートナーが含まれる。

LitAI Factory は、AI ワークロードのための HPC やデータストレージから、アクセラレータへのアクセス、イノベーションサポートまで、フルスペクトルのサービスを提供する予定である。特に、サイバーセキュリティ、グリーンエネルギー、スマートインダストリー、およびデジタルヘルスといった主要セクターを優先する。ポーランドの HPC および量子サイトとの相乗効果を強化し、EU イニシアティブとの幅広い連携に携わることで、LitAI Factory はリトアニアを欧州 AI エコシステムへの積極的な貢献者として位置付けることを目指す。

#### 5.2.17. オランダ (NLAIF)

NLAIF は、国内でホストされ、欧州志向のプロジェクトであり、AI 研究のブレークスルーと、オランダおよび欧州での迅速かつ大規模な応用とのギャップを埋めることを目指す。オランダの AI Factory・コンソーシアムは、新たに取得される AI 最適化スーパーコンピュータをホストし、運用する予定だ。AIFNL 財団が主導パートナーおよびホスト組織となり、SURF、Samenwerking Noord、TNO、および AIC4NL で構成されるコンソーシアムと連携する。

NLAIF は、セキュアでスケーラブル、EU 規制に準拠したインフラ上で、カスタマイズされた AI コンピューティング能力を提供する。これには、ストレージ容量、高速接続、機密データのサポート、スキル開発、およびオープンな技術主権へのコミットメントが含まれる。この AI Factory は、健康情報や IP 保護されたデータセットなどの機密性の高いデータを伴う AI アプリケーションに特に重点を置き、ヘルスケア、安全、および農業といったセクターでの AI の応用に焦点を当てる。

#### 5.2.18. ポーランド (Gaia AI)

Gaia AI Factory プロジェクトは、ポーランドにおける最先端の AI 技術の開発を加速し、その導入を増加させることを目的とする。このプロジェクトには、堅牢なインフラの拡張、ビッグデータリポジトリへのアクセス強化、および幅広いトレーニング・助言サービスを通じたスキルと能力の強化、さらに人材開発のためのプログラムが含まれる。ターゲットセクターには、ヘルスケア、宇宙、および LLMs (大規模言語モデル) が含まれる。

このプロジェクトは、AI のライフサイクル全体を通じて包括的なサポートを提供することで、起業家、学生、研究者、およびさまざまなレベルの AI 習熟度を持つ行政の代表者をターゲットとしている。

この AI Factory は、Cyfronet AGH が PLGrid インフラの枠組み内で導入および運用する予定だ。コンソーシアムパートナーはポーランド全域をカバーする。Gaia AI Factory は、PIAST および LUMI AI Factory と協力し、中央ヨーロッパにおける統合された AI エコシステムを創出する。

### 5.2.19. ルーマニア (RO AI Factory)

RO AI Factory は、サービス、トレーニング、およびインフラへのアクセスを優先することにより、中小企業を受動的な技術採用者から能動的な AI イノベーターへと変革することを目指す。

RO AI Factory は、ブカレストの国立情報研究開発研究所 - ICI Bucharest がブカレスト工科大学 (UPB) と共同でホスト・共同調整を行い、コンソーシアムパートナーとしてクルージ・ナポカ工科大学 (UTCN)、生物科学研究開発国立研究所 (INCDSB)、トランシルバニア IT 協会 (ATIT)、人工知能研究機関 (ICIA)、ルーマニア中小民間企業全国評議会 (CNIPMMR)、およびルーマニア・デジタルイノベーション・ハブ協会 (RoDIH) を含む。

この AI Factory は、AI 最適化スーパーコンピュータを取得・導入し、HPC アクセス、AI モデル開発・トレーニングサポート、データスペースホスティング、アルゴリズムライブラリ、および責任ある信頼できる AI のためのツールを含む、包括的な AI イネーブリング・サービススイートを提供することを目指す。この統合されたサービスモデルにより、ルーマニアおよび欧州の幅広いステークホルダーが RO AI Factory と関わり、貢献し、恩恵を受けることが確実になる。

### 5.2.20. スペイン (1HealthAI)

スペインの 1HealthAI (One-Health AI Factory) は、One-Health (人と動物と環境の健康の統合) 製品、サービス、研究において、欧州をグローバルリーダーとして位置付けることを目指す。これは、人間の健康、動物の健康、および環境の健康に合わせた信頼できる AI を開発し、AI モデルをテストするための実験プラットフォームを特徴とする。

CSIC およびガリシア州政府の機関であるガリシア・スーパーコンピューティング・センター (CESGA) でホストされ、スペイン科学・イノベーション・大学省 (スペイン・スーパーコンピューティング・ネットワーク RES を通じて) およびガリシア州政府によって支援される。

主要パートナーには、ガリシアの 3 つの公立大学とその One Health および AI エクセレンスセンター (CIGUS ネットワーク)、欧州デジタルイノベーション・ハブ DATAlife、および Gradient テクノロジーセンターが含まれる。このイニシアティブは、気候と健康の相互作用、ゲノミクス、個別化医療、持続可能なアグリフードシステム、ブルーバイオテクノロジー、製薬イノベーション、および環境衛生にまたがる。1HealthAI はまた、BSC AI Factory、IT4LIA、HammerHAI など、他の AI Factory および欧州全土の国立スーパーコンピューティング・センターと協力する。

## 5.3. AI Gigafactory の動向

### 5.3.1. AI Gigafactory の位置付け

欧州における AI Gigafactory は、デジタルの主権を確保し、米国や中国といったグローバルな競争に対抗するために提唱された大規模な AI 計算基盤の構想である。EU は欧州全体で最大 5 か所の拠点を構築する計画を掲げており、そのための戦略的投資プログラム「InvestAI」を通じて約 200 億ユーロ規模の資金を投じようとしている。各施設は 10 万個以上の AI 専用 GPU を搭載したインフラであり、最先端の AI モデルの学習、開発、運用を主権的な環境で行うことを目的としている。この構想は、単なる計算施設の枠を超え、欧州独自の価値観に基づいた次世代の産業基盤として位置付けられている。

#### (1) 目的と戦略的意義

最大の目的は、フロンティア AI モデルの開発において主導権を確保し、科学的発見と産業革新を加速させることにある。欧州議会の草案によれば、開発から運用までの「完全なライフサイクル」を域内で完結させることで、特定の巨大 IT 企業への技術的・経済的依存を脱却することを目指している。オランダやフランス、イタリアなどの各国も、この構想を国家のデジタル主権を支える不可欠なインフラと捉え、誘致や構築に向けた積極的な動きを見せている。

- ① 規模と設備：AI Gigafactory は「10 万台以上の高度な AI プロセッサ（GPU）」を備えた施設と定義され、既存の AI Factory の約 4 倍の性能を誇る。
- ② 予算と体制：欧州全体で最大 5 拠点の設置が計画されており、総投資額は数十億ユーロ規模に達す。例えば、ウィーンの誘致計画では最大 50 億ユーロの投資が見込まれており、公的資金（最大 35%）と民間資金（65%以上）を組み合わせた官民パートナーシップ（PPP）モデルが採用されている。
- ③ 持続可能性と倫理：排熱を都市の暖房ネットワークに供給するなどの環境配慮型設計や、人間中心の「デジタル・ヒューマニズム」に則った技術利用が求められている。

#### (2) 2026 年以降のロードマップ

ドイツでは 2026 年に AI Gigafactory の開設が予定されており、EU 全体では 2028 年の稼働開始を目指している。イタリアの IT4LIA プロジェクトのように、既存のスーパーコンピュータ（Leonardo 等）を核とした多層的な計算資源ネットワークを構築し、将来の AI Gigafactory へと統合する準備が着々と進められている。また、この強大な計算資源を活用し、システム的リスクのある AI モデルの高度な技術監査を行う「安全な監査エコシステム」の構築も提案されている。

<p>(1) 情報源、発表時期：欧州議会 ITRE 委員会 報告書草案、2025 年 10 月</p> <p>(2) 目的：欧州がフロンティア AI モデルの開発・トレーニングにおいて主導権を確保し、科学的発見と産業革新を加速させることを目的としている。世界トップクラスの才能を引きつけ、AI の「完全なライフサイクル（開発、調整、大規模推論）」を域内で完結できる最先端の大規模インフラを構築することで、欧州の技術主権と競争力を高めることを目指している。</p> <p>(3) 実施内容</p> <p><b>定義</b>：10 万台以上の高度な AI プロセッサを備えた施設と定義。</p> <p><b>予算</b>：資本支出（CAPEX）の最大 17%（特定地域では 25%）を EU が拠出。</p> <p><b>具体的内容</b>：参加国の「ホスティング・エンティティ」が運営。AI に最適化された計算能力、大容量ストレージ、安全なクラウドアクセスを提供する。中小企業や研究機関への優先アクセス枠を設け、公的機関などは原則無料で利用可能である。また、再生可能エネルギーの活用や廃熱再利用など、環境持続可能性への適合も義務つけられている。</p>
---

図 5.9. 欧州議会 修正案報告書

**(3) 欧州連合によるセキュアな AI 監査エコシステムの計画**

- ① 国名：欧州連合（EU）
- ② 情報源、発表時期：政策提言論文、時期記載なし（内容から 2024-25 年頃）
- ③ 目的：EU の AI 法（AI Act）による規制上の主導権を、産業上の優位性に転換することを目的としている。特に汎用 AI（GPAI）のシステム的リスクを評価するため、モデル提供者の知的財産を保護しつつ、高度な技術監査を安全に実行できる「監査専用のインフラ」として AI Gigafactory を活用することを目指している。
- ④ 実施内容
  - 予算**：既存の EU 資金（Chips Act 等）を活用。
  - 期間**：24 ヶ月の 3 段階ロードマップ（パイロット、標準化、義務化）。
  - 具体的内容**：AI Gigafactory 内に、機密計算技術（TEE 等）を用いた安全な「監査モジュール」を設置する。これにより、モデルを外部に outsourc せずに認定監査人が評価できる環境（European Audit Compute Facility）を提供する。技術的には、超大規模モデルに対応するための「分割計算設計」などを導入し、20 ヶ月目以降には、システム的リスクのあるモデルの市場投入前の義務的監査を実施する体制を整える。

**(4) AI Gigafactory まとめ**

AI Gigafactory は、単なる計算資源の提供にとどまらず、新たな産業秩序の基盤としての役割が期待されている。機密性の高い監査エコシステムを施設内に統合し、知的財産を保護しながら AI モデルの安全性や倫理性を確認する枠組みの提案もなされている。AI Gigafactory は欧州における「AI の受け手 (taker)」から「AI の作り手 (maker)」への転換を象徴するインフラである。その実現には、膨大な公的・民間資金の動員、エネルギー効率の最大化、そして法規制を競争力に変えるためのセキュアな監査基盤の確立が不可欠な要素となっている。

### 5.3.2. AI Gigafactory 構想への関心表明

本件は、2025年4月9日募集開始し、2025年6月30日に発表されたものである。

#### (1) コンセプト

AI Gigafactory のコンセプトは、AI Factory・イニシアティブを基盤としており、欧州の最先端の EuroHPC JU スーパーコンピューティング・ネットワークを活用して、「世界をリードする AI 大陸」を実現するものである。AI Gigafactory は、次世代 AI モデルやアプリケーション（例：数百兆のパラメータを持つモデル）をハイパースケールで開発、トレーニング、展開するために専用に構築された、最先端の、大規模な AI コンピューティングおよびデータストレージハブとなる。これらの施設は、膨大なコンピューティング能力、エネルギー効率の高いデータセンター、および AI 駆動の自動化を統合することで、AI モデルのトレーニング、推論、および展開の新たなベンチマークを設定する計画である。

欧州初の AI Gigafactory の設立には、多大な投資と協調的な政策措置が必要であり、EU の競争力に具体的な利益をもたらす。したがって、これらの AI Gigafactory は、「競争力コンパス」に概説されている競争力調整ツールの旗艦パイロットプロジェクトとして機能する予定だ。今回の関心表明募集の成功と、将来的な AI Gigafactory 実施のためのコンソーシアム選定へのフォローアップは、競争力調整ツールの一部として想定されている、EU と各国レベル間での産業・研究政策の調整メカニズムの最初のテストケースである。

#### (2) 関心表明の内容

2025年6月20日に締め切られた AI Gigafactory への関心表明募集に対し、合計 76 件の関心表明が提出された。これらは 16 の加盟国にまたがる 60 の異なるサイトに AI Gigafactory を設立することを提案するものであった。この提出件数の多さは、欧州委員会の予想を大きく上回るものであり、欧州全体、特に AI Gigafactory に対する非常に高い機運と関心を明確に示している。この関心の波は、「AI 大陸行動計画」で示された大胆なビジョンと完全に一致し、欧州が人工知能における世界的強国としての地位を確立する機会を強調するものである。

この関心表明募集の目的は、欧州の AI インフラの未来を形作ることに興味を持つ、欧州の業界リーダー、国内外の民間および公的投資家、および加盟国を含む回答者から、初期の情報を集めることにある。提出されたものは正式な申請ではないが、これらは、2025 年末に予定されている正式な提案募集に先立ち、EU 全域で世界クラスの AI Gigafactory 施設を設立する準備が整った潜在的な候補者の非拘束的な名簿を作成する上で、極めて重要な役割を果たす。

回答者には、データセンター事業者、通信事業者、電力供給業者を代表する主要な欧州企業や、欧州およびグローバルの技術パートナー、金融投資家が含まれる。彼らの関心表明では、合計で少なくとも 300 万個の最新世代の専門プロセッサ（GPU）の取得が見込ま

れている。

### (3) 今後

欧州委員会は、AI Gigafactory イニシアティブの次のステップを準備する。その後、委員会は EuroHPC JU を通じて、2025 年第 4 四半期に EU における AI Gigafactory 設立のための正式な募集を開始することを計画している。

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/public-consultation-ai-gigafactories-2025-04-09\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/public-consultation-ai-gigafactories-2025-04-09_en)  
<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/overwhelming-response-76-respondents-express-interest-european-ai-gigafactories-initiative>

#### 5.3.3. フランス : AI Gigafactory の構築

フランスでは、公共の計算能力を現在の 6 倍に相当する 1.2EFLOPS まで引き上げる目標を掲げ、1.4GWatt 級の巨大な AI キャンパスの建設プロジェクトが進行している。

- ① 情報源、発表時期：フランス会計検査院 (Cour des comptes) テーマ別公開報告書、2025 年 11 月
- ② 目的：国家 AI 戦略の第 3 段階 (2025 年 2 月開始) として、次世代モデルの学習に不可欠な計算能力を飛躍的に高め、フランスと欧州を世界のリード集団に押し上げることを目的としている。巨大 IT 企業への依存を減らし、公的・民間の多様なユーザが最先端の資源にアクセスできる環境を整えることを目指す。
- ③ 実施内容

**予算**：欧州全体で 200 億ユーロ規模の「InvestAI」基金を活用。

**期間**：2025 年以降の戦略第 3 段階。

**具体的内容**：10 万個の最新チップを搭載した AI Gigafactory の構築を目指す。これは既存の AI Factory の 4 倍の性能に相当する。計算能力を現在の 6 倍 (1.2EFLOPS) に増強する計画である。また、膨大な電力消費を抑える「AI の節約 (frugality)」と、巨大インフラ構築という矛盾する課題の克服や、新たな官民共同投資モデルの構築が提言されている。

#### 5.3.4. イタリア : AI Gigafactory の誘致

イタリアにおいては、非営利コンソーシアムの Cineca を中心に、国家プロジェクト「ITALIA」から更に発展させた AI Gigafactory の構築が計画されている。イタリアでは 2026 年から 2027 年にかけて 30 億から 40 億ユーロの投資が見込まれており、国内の主要企業の支援を受けた官民連携の重要性が強調されている。

#### (1) AI Gigafactory の方向性に関する発表

- ① 情報源、発表時期：Cineca (Sanzio Bassini 氏)、2025 年 9 月

- ② 目的：ボローニャ・テクノポロを拠点に、欧州最大級の HPC・AI インフラを構築し、研究から産業利用までをカバーする AI Factory のエコシステムを確立することを目的としている。将来の AI Gigafactory を見据え、量子コンピューティングも統合した多層的な計算資源を提供することで、欧州のイノベーションをけん引することを目指している。

③ 実施内容

**予算**：AI Gigafactory 単体で約 30 億～40 億ユーロの投資を想定。

**期間**：2024 年に AI Factory を開始し、2026-27 年に AI Gigafactory へと展開。

**具体的内容**：イタリア主導の「IT4LIA」アクションを推進。50EFLOPS (FP8) 以上の計算能力と 100PB 超の AI ストレージを備えたインフラを構築する。Leonardo や LISA AI といった既存のスパコンと連携し、中小企業やスタートアップへの固定的なリソース割り当て (Class B/C アクセス) を実施。データ準備から大規模トレーニング、推論までを一気通貫でサポートする。

## (2) AI Gigafactory の誘致に関する発表

① 情報源、発表時期：Cineca HPC Annual Report 2024/25

- ② 目的：イタリアが欧州の「Invest AI」戦略の中核拠点となり、ビッグテックに依存しない主権的な AI 生産基盤 (AI Gigafactory) を国内に誘致することを目的としている。公的投資による AI ソリューションと民間活力を融合させ、科学研究 (AI for Science) や公共の利益 (AI for PublicGood) に資する AI 活用を加速させることを目指す。

③ 実施内容

**予算**：総予算 4.3 億ユーロの「IT4LIA」を核とし、欧州の AI Gigafactory (35%を EC、65%を民間 PPP で出資) の誘致を狙う。

**期間**：2025 年後半に組織・技術強化、2026 年初頭に新システム導入。

**具体的内容**：ボローニャとナポリを高速回線で結ぶマルチティア・アーキテクチャ「DAMA」を構築。2 万個以上の GPU を提供可能な規模へ拡張する。ハイパースケaler と同等の管理モデル (Kubernetes ベース) を採用し、企業の利用を容易にする。また、AI に特化した専門サポートチームを創設し、複雑な AI モデルの推論やトレーニングの運用能力を大幅に強化する。

### 5.3.5. オーストリア：AI Gigafactory の誘致

オーストリアのウィーン市は連邦政府と連携し、総額 50 億ユーロに上る大規模な入札計画を表明した。ウィーンのプロポーザルは、単なる技術力の追求だけでなく、データセンターの排熱を地域暖房に活用する持続可能なモデルや、人間の尊厳を重視する「デジタル・ヒューマニズム」といった社会的価値を柱としている点が特徴である。

- ① 情報源、発表時期：ウィーン経済局 (wirtschaftsagentur wien) プレスリリース、

2025 年

- ② 目的：欧州の競争力強化とデジタル主権の確保に向け、EU が計画する最大 5 つの AI Gigafactory の 1 つをウィーンに誘致することを目的としている。世界最高水準のインフラを構築し、ウィーンを欧州の AI ハブとして位置付けることで、持続可能な経済成長、高技能職の創出、および技術革新の促進を目指す。

- ③ 実施内容

予算：総投資額は最大 50 億ユーロを見込んでいる。

期間：2025 年第 4 四半期に EU による選定が行われ、2028 年の稼働開始を目指している。

具体的内容：10 万個以上の専門 AI プロセッサ（GPU）を備えた巨大データセンターを建設する。公共・民間パートナーシップ（PPP）モデルを採用し、費用の 65%以上を民間、最大 35%を公的資金で賄う。独自の特徴として、データセンターの排熱を市内の暖房ネットワークに供給し、数千世帯の熱源とする環境配慮型設計や、人間中心の「デジタル・ヒューマニズム」原則に基づいた技術利用を掲げている。

### 5.3.6. ドイツ：T-Systems 社の AI Gigafactory への貢献

民間部門では、ドイツテレコム傘下の T-Systems が 2026 年にドイツ国内で AI Gigafactory を開設する予定であり、欧州独自の規制に準拠した完全な主権的セットアップの提供を掲げている。

- ① 情報源、発表時期：T-Systems Nordic A/S 年次報告書、2025 年 6 月 30 日採択

- ② 目的：欧州のデジタル主権を支えるため、欧州企業による欧州のための主権的クラウドおよび AI ソリューションを提供することを目的としている。米国系ハイパースケラーへの依存を減らしたい企業の需要に応え、EU 規制に完全に準拠した透明性の高いデータ管理環境を構築することを目指す。

- ③ 実施内容

予算：ドイツ本社（Deutsche Telekom グループ）による大規模投資。

期間：2026 年にドイツ国内で AI Gigafactory を開設予定。

具体的内容：2026 年に開設するドイツの AI Gigafactory を通じて、最先端の AI 技術を完全な主権的セットアップで提供する。この施設は、Open Telekom Cloud などの既存インフラと連携し、データ、運用、技術のあらゆる面で欧州の自立性を確保する。北欧地域においては、AI、サイバーセキュリティ、データ分析への投資を強化し、機密性の高いビジネスデータを安全に扱える「主権的 AI」の普及を推進する。

### 5.3.7. ルーマニア：AI Gigafactory の検討

ルーマニアは原子力エネルギーを供給源とする独自のソリューションを模索しており、安定したクリーンエネルギー供給を強みに欧州の AI リーダーを目指している。

- ① 情報源、発表時期：PSD-PNL-USR-UDMR 等による連立政府プログラム、2025 年
- ② 目的：ルーマニアを EU および NATO 内における AI 分野の地域リーダーとして位置付け、欧州の戦略的デジタルインフラにおいて能動的な役割を果たすことを目的としている。AI Act への対応や公共部門のデジタル化を通じて、国家の経済競争力を高め、行政の効率化と透明性を向上させることを目指す。

③ 実施内容

**予算：**PNRR（復興レジリエンス計画）から 5 億ユーロを政府クラウド等に充当。

**期間：**2025 年から 2028 年の政権任期中。

**具体的内容：**EU が計画する 5 つの AI Gigafactory 開発への資金提供申請を戦略的目標として掲げている。また、原子力発電を電源とした AI Gigafactory ソリューションの実装を検討している。国内的には、RPA や AI を活用した行政プロセスの自動化、政府クラウドへのデータ移行、デジタルツインを用いたインフラ最適化などを進める。さらに、マイクロプロセッサや AI 産業の重要原材料であるグラフェンの国内生産・加工能力の強化も図る。

### 5.3.8. オランダ：AI Gigafactory への投資提言

オランダでは、大規模インフラの欠如が優秀な人材の海外流出や米国のビッグテックへの依存を招いているという強い危機感があり、国家的な AI Giga Factory の建設が経済の活力を維持するための急務とされている。

- ① 情報源、発表時期：Prosus, Dealroom.co, Techleap 共同レポート、2025 年 7 月
- ② 目的：オランダが単なる AI の「受け手」から「作り手 (AI Shaper)」へと転換し、国家の AI 主権を確立することを目的としている。米国や中国の独占を避け、自国で重要なモデルを構築できるインフラを持つことで、将来の経済成長と社会福祉を維持するための財源を確保することを目指す。

③ 実施内容

**予算：**具体的な金額の言及はないが、数十億ユーロ規模の「野心的な投資」を提言。

**具体的内容：**ナショナル AI Gigafactory の構築を最優先アクションとして掲げている。政府が保有する大規模な公共データセットと、クリーンな学習用データ、そして強力な計算資源を一体化して提供する。これにより、国内の豊富な AI 人材と資本、企業パートナーを結びつけるエコシステムの核として機能させ、イノベーションを刺激する。

## 5.4. EuroHPC JU の新たな動き

#### 5.4.1. 新たな EuroHPC JU の参加国

##### (1) トピックス

- ・ アルバニアが 36 番目の参加国として加盟 (2025 年 6 月 25 日)
- ・ モルドバが 37 番目の参加国として加盟 (2025 年 10 月 8 日)
- ・ スイスが 38 番目の参加国として再加盟 (2025 年 11 月 11 日)
- ・ EU 加盟国ではない EuroHPC JU 参加国は、アルバニア、アイスランド、イスラエル、モンテネグロ、北マケドニア、ノルウェー、セルビア、トルコ、英国である。

##### (2) 情報源

- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/albania-joins-eurohpc-joint-undertaking-2025-06-25\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/albania-joins-eurohpc-joint-undertaking-2025-06-25_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/moldova-joins-eurohpc-joint-undertaking-2025-10-08\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/moldova-joins-eurohpc-joint-undertaking-2025-10-08_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/switzerland-officially-rejoins-eurohpc-joint-undertaking-2025-11-11\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/switzerland-officially-rejoins-eurohpc-joint-undertaking-2025-11-11_en)

#### 5.4.2. スーパーコンピュータ調達等

##### (1) トピックス

- ・ EuroHPC JU は、GRNET と共同で、選定されたベンダーであるヒューレット・パッカード・エンタープライズ (HPE) と DAEDALUS の調達契約を締結した。DAEDALUS はギリシャに設置され、新しい EuroHPC JU AI Factory の 1 つである Pharos と統合される。(2025 年 3 月 28 日)
- ・ ブルガリアのソフィアにホストされている EuroHPC JU の Discoverer は、パフォーマンスと AI 機能を強化する新機能を備えた重要なアップグレードを発表した。(2025 年 4 月 2 日)
- ・ EuroHPC JU は、Leonardo 改良スーパーコンピューティングアーキテクチャ (LISA) の選定ベンダーである Eviden と調達契約を締結した。LISA は、EuroHPC JU の 13 の AI Factory の 1 つである IT4LIA によってまもなく補完される予定である。(2025 年 5 月 13 日)
- ・ EuroHPC JU とハンガリーのデジタル政府開発・プロジェクト管理会社 (DKF) の間でホスティング契約が締結された。この DKF には、新しいミッドレンジ EuroHPC JU スーパーコンピュータ LEVENTE が設置される。(2025 年 7 月 9 日)
- ・ EuroHPC JU は、スウェーデン国立スーパーコンピューティング学術基盤 (NAISS) と共同で、選定されたベンダーである HPE と Arrhenius の調達契約を締結した。(2025 年 7 月 10 日)

- ・ EuroHPC JU とゴールウェイ大学の間でホスティング契約が締結された。ゴールウェイ大学には、ミッドレンジ EuroHPC JU スーパーコンピュータ CASPIr が設置される。(2025年10月13日)
- ・ EuroHPC JU と Eviden 社の間で Alice Recoque の調達契約が締結された。(2025年11月18日)
- ・ EuroHPC JU は MareNostrum5 の増設費用として、FSAS Technologies と Telefonica の率いるコンソーシアムとの間で、約1億2,900万ユーロの資金調達契約を締結した。(2026年1月26日)

## (2) 情報源

- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-signs-procurement-contract-daedalus-supercomputer-2025-03-28\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-signs-procurement-contract-daedalus-supercomputer-2025-03-28_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/major-upgrade-eurohpc-discoverer-supercomputer-bulgaria-2025-04-02\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/major-upgrade-eurohpc-discoverer-supercomputer-bulgaria-2025-04-02_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-joint-undertaking-awards-contract-lisa-upgrade-leonardo-supercomputer-2025-05-13\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-joint-undertaking-awards-contract-lisa-upgrade-leonardo-supercomputer-2025-05-13_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/way-open-building-eurohpc-world-class-supercomputer-hungary-2025-07-09\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/way-open-building-eurohpc-world-class-supercomputer-hungary-2025-07-09_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-signs-procurement-contract-arrhenius-supercomputer-2025-07-10\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-signs-procurement-contract-arrhenius-supercomputer-2025-07-10_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/way-open-building-eurohpc-world-class-supercomputer-ireland-2025-10-13\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/way-open-building-eurohpc-world-class-supercomputer-ireland-2025-10-13_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/contract-signed-alice-recoque-europes-new-exascale-supercomputer-2025-11-18\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/contract-signed-alice-recoque-europes-new-exascale-supercomputer-2025-11-18_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/contract-signed-boost-marenostrum-5s-ai-capabilities-2026-01-26\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/contract-signed-boost-marenostrum-5s-ai-capabilities-2026-01-26_en)

## 5.4.3. プロジェクト関連

### (1) トピックス

- ・ GANANA プロジェクトは、特定された優先分野における HPC アプリケーションの分野において、欧州とインドの間で長期的な協力関係を確立することを目的としている。(2025年2月14日)
- ・ EuroHPC JU の資金提供を受ける MINERVA プロジェクトは、HPC を通じてイノベーション、コラボレーション、スキル開発を促進し、ヨーロッパの AI エコシステムを強化することを目指している。(2025年2月13日)
- ・ HANAMI プロジェクトは、理化学研究所と EuroHPC JU の間で意向書 (LoI) が締結され、重要な節目を迎えた。(2025年6月11日)

- ・ EuroHPC JUからの資金提供の下で運営される HPC 修士課程「EUMaster4HPC」第 2 期生修了式典；39 名の輩出（2025 年 10 月 10 日）
- ・ EU からの資金提供を受ける CASTIEL2 プロジェクトは HPC リソース・サービス・専門知識を一箇所に統合する集中型プラットフォーム「HPC in Europe Portal」を開設した。（2025 年 10 月 31 日）
- ・ EuroHPC JU は HPC システムのベンチマーク手法を推進するための提案募集を開始した。（2025 年 12 月 16 日）
- ・ EuroHPC JU に関する規制改正が発効；欧州全域での AI Gigafactory 展開と、量子技術開発への資金拠出に関する権限が拡大。（2026 年 1 月 20 日）
- ・ EuroHPC JU は EC と共同で、欧州での AI 活用を推進するための第 2 回コンペティションを開催した。（2026 年 2 月 16 日）

## (2) 情報源

- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/new-eurohpc-project-strengthening-eu-india-ties-ganana-project-2025-02-14\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/new-eurohpc-project-strengthening-eu-india-ties-ganana-project-2025-02-14_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/advancing-ai-eurohpc-minerva-project-2025-02-13\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/advancing-ai-eurohpc-minerva-project-2025-02-13_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/riken-r-ccs-and-eurohpc-sign-landmark-letter-intent-empower-exascale-collaboration-hanami-project-2025-06-11\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/riken-r-ccs-and-eurohpc-sign-landmark-letter-intent-empower-exascale-collaboration-hanami-project-2025-06-11_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/investing-skills-europes-digital-future-celebrating-achievement-eumaster4hpc-students-2025-2025-10-10\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/investing-skills-europes-digital-future-celebrating-achievement-eumaster4hpc-students-2025-2025-10-10_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/castiel-2-project-launches-hpc-europe-portal-europes-unified-gateway-supercomputing-growing-step-2025-10-31\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/castiel-2-project-launches-hpc-europe-portal-europes-unified-gateway-supercomputing-growing-step-2025-10-31_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-launches-call-proposals-european-benchmarking-framework-2025-12-16\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-launches-call-proposals-european-benchmarking-framework-2025-12-16_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-jus-mandate-expanded-under-new-regulation-amendment-2026-01-20\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-jus-mandate-expanded-under-new-regulation-amendment-2026-01-20_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-collaborate-european-commission-launch-second-competition-advance-european-ai-2026-02-16\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-collaborate-european-commission-launch-second-competition-advance-european-ai-2026-02-16_en)

## 5.4.4. 量子コンピュータ

### (1) トピックス

- ・ EuroHPC JU は、LuxProvide（ルクセンブルク）および SURF（オランダ）と、2 台の新しい量子コンピュータのホスティングおよび運用に関する契約を締結した。これらのシステムの調達は来年初めに開始される。（2024 年 12 月 18 日）
- ・ スペインに設置される EuroHPC JU 量子コンピュータ「MareNostrum Ona」の調

達契約が、EuroHPC JU と選定されたベンダーQilimanjaro Quantum Tech によって締結された。(2025年1月28日)

- ・ イタリアに設置される EuroHPC JU 量子コンピュータ、EuroQCS-Italy の調達契約が、EuroHPC JU と選定されたベンダーである量子コンピューティング企業 Pasqal によって締結された。(2025年3月27日)
- ・ 本日、欧州連合理事会のポーランド議長国の下、EuroHPC JU はポーランドのポズナンに PIAST-Q を開設した。(2025年6月23日)
- ・ EuroHPC JU は、オランダの SURF がホストおよび運用する EuroHPC JU 量子コンピュータの調達プロセスを開始する。(2025年9月15日)
- ・ EuroHPC JU は、チェコ共和国オストラバに 2 台目の量子コンピュータ VLQ を開設した。(2025年9月23日)
- ・ EuroHPC JU は、量子コンピューティング技術における欧州のリーダーシップを強化し、産業規模の量子コンピューティング・プラットフォームの開発を加速するための新たな提案募集を開始した。(2025年10月14日)
- ・ HPCQS プロジェクトは、ドイツ (FZJ) とフランス (CEA) にそれぞれ 2 つの量子コンピュータ「Jade」と「Ruby」を設置した。(2025年11月13日)
- ・ EuroHPC JU はドイツのミュンヘンに量子コンピュータ「Euro-Q-Exa」を新たに開設した。(2026年2月12日)

## (2) 情報源

- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/paving-way-eurohpc-ju-signs-hosting-agreements-quantum-computers-luxembourg-and-netherlands-2024-12-18\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/paving-way-eurohpc-ju-signs-hosting-agreements-quantum-computers-luxembourg-and-netherlands-2024-12-18_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/signature-procurement-contract-eurohpc-quantum-computer-located-spain-2025-01-28\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/signature-procurement-contract-eurohpc-quantum-computer-located-spain-2025-01-28_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/signature-procurement-contract-eurohpc-quantum-computer-located-italy-2025-03-27\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/signature-procurement-contract-eurohpc-quantum-computer-located-italy-2025-03-27_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/inauguration-piast-q-leap-european-quantum-computing-2025-06-23\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/inauguration-piast-q-leap-european-quantum-computing-2025-06-23_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-launches-procurement-quantum-computer-netherlands-2025-09-15\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-launches-procurement-quantum-computer-netherlands-2025-09-15_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/vlq-europes-next-leap-towards-quantum-powered-research-and-innovation-2025-09-23\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/vlq-europes-next-leap-towards-quantum-powered-research-and-innovation-2025-09-23_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-opens-quantum-grand-challenge-call-2025-10-14\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-opens-quantum-grand-challenge-call-2025-10-14_en)
- ・ [https://www.eurohpc-ju.europa.eu/inauguration-jade-and-ruby-quantum-processors-milestone-towards-hybrid-high-performance-computing-2025-11-13\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/inauguration-jade-and-ruby-quantum-processors-milestone-towards-hybrid-high-performance-computing-2025-11-13_en)
- ・ <https://www.eurohpc-ju.europa.eu/inauguration-euro-q-exa-expanding-european->

[quantum-computing-infrastructure-2026-02-12\\_en](#)

## 6. AI Factory のヒアリング調査

### 6.1. 調査の背景と目的

EU は、産業競争力の強化と AI 主権 (Sovereign AI) の確保を目的に、欧州全域に AI Factory と呼ばれる計算基盤を整備している。中央調整組織である EuroHPC JU および、各国で選定された 4 つの AI Factory 拠点 (HLRS、RO AI Factory、Gaia AI Factory、MIMER) へのヒアリングを通じ、欧州の AI 戦略の全容と、個別の実装状況を把握し、整理した。

### 6.2. ヒアリング対象

表 6.1 にヒアリング先の一覧を示す。なお、ヒアリングは対面またはオンラインにて行った。

表 6.1. ヒアリング先の一覧 (実施順)

国名	センター名	実施日	ヒアリング方法
ドイツ	HLRS	2025 年 10 月 17 日	対面
欧州連合	EuroHPC JU	2026 年 1 月 26 日	オンライン
スウェーデン	MIMER	2026 年 1 月 27 日	対面
ルーマニア	RO AI Factory	2026 年 2 月 17 日	オンライン
ポーランド	Gaia AI Factory	2026 年 2 月 26 日	オンライン

### 6.3. 欧州 AI 戦略の全体像とガバナンス (EuroHPC JU)

#### 6.3.1. 中央調整と予算構造

EuroHPC JU が中核となり、2021~2027 年の中期予算計画 (MFF) において総額約 70 億ユーロ (約 1.1 兆円) を確保している。AI Factory プログラムには、既存のインフラ投資とは別枠で約 11 億ユーロが追加割り当てられた。

財源は「共同投資モデル」を基本とし、欧州委員会が 50%、参加国が 50% を拠出する。ただし、将来的な「AI Gigafactory」構想では、民間資金を約 65% 導入するモデルも検討されており、公的支援から産業自立型への移行を模索している。

#### 6.3.2. ネットワークとアクセス

欧州全域の 19 拠点を「Federation Portal (共通認証基盤)」で結び、単一の入り口から全リソースへアクセスできる体制を 2026 年 3 月に公開予定である。これにより、各センターの得意分野 (ライフサイエンス、製造、気候変動等) に応じたシームレスなリソース配分が可能となる。

### 6.3.3. 各拠点の戦略と重点領域

ヒアリングを行った各センターは、EuroHPC JU の共通枠組みの中にありながら、それぞれの国の産業特性に基づいた独自の特徴を持っている（表 6.2）。

表 6.2. ヒアリング対象のセンターとその特徴

センター名	国	主な重点領域	特徴・モデル
HLRS	ドイツ	製造業、自動車 エンジニアリング	産業界（Porsche 等）との 深い連携。「誠実な仲介 者」として中小企業を支援
RO AI Factory	ルーマニア	スマートガバメント サイバーセキュリティ	ルーマニア語 LLM の開 発。AI 主権の確保を重視
Gaia AI Factory	ポーランド	ヘルスケア （個別化医療） 宇宙、LLM	自国文化を反映した LLM 「Plum」「Bielik」の開発
MIMER	スウェーデン	ライフサイエンス 自動運転、ゲーム	「伴走型支援（Service Hub）」に予算の半分を投 じる

## 6.4. 産業支援のモデル

### 6.4.1. ドイツ（HLRS）

官民パートナーシップ（HWW）を通じ、Porsche 等の特定企業と深く連携しつつ、75 社以上の中小企業とベストエフォート契約を締結。

### 6.4.2. スウェーデン（MIMER）

単なる「計算機の貸し出し」ではなく、ドメイン専門家（ライフサイエンス、材料等）によるコンサルティングを重視し、ユーザの AI 能力を底上げする「教育・伴走型」を志向。

## 6.5. 計算基盤の技術仕様とトレンド

### 6.5.1. ハードウェアの次世代化

すべてのセンターが共通して、次世代 AI アクセラレータとして NVIDIA Blackwell (B200/GB200) の導入を計画、または決定している。

- ・ ノード構成：1 ノード当たり 4 基（HLRS、MIMER）～8 基（RO AI Factory）の GPU を搭載する高密度構成が標準。
- ・ 性能目標：ルーマニアやポーランドの拠点は、AI 計算時において数エクサフロップス級のピーク性能を目指している。

- ・ ネットワークとストレージ
  - ネットワーク接続：800Gbps の InfiniBand が主流だが、クラウド親和性を考慮した高速 Ethernet の採用も増えている。外部接続は Geant（欧州バックボーン）を介して 1.6Tbps への拡張が共通のロードマップとなっている。
  - ストレージ：AI 学習に特化した全層 Flash（VAST Data 等）の導入が進んでおり、大規模データの高速読み込みを担保している。

### 6.5.2. 量子コンピューティングとの連携

量子 HPC ハイブリッド構成については、拠点間で温度差が見られる。

- ・ 積極派（RO、Gaia）
  - 量子インスパイアード最適化やシミュレーションのオフロード先として、EuroHPC JU の量子ネットワークへの統合を計画。
- ・ 慎重派（HLRS）
  - 「量子計算の生産性が投資に見合わない」と判断し、現時点では自前での導入を見送り、技術探査にとどめている。

### 6.6. 人材育成とサポート体制

AI Factory の成否を分ける要因として、各機関は「高度専門人材の確保」を挙げている。

- ・ 共通課題
  - 優秀な AI エンジニアが GAFKA 等のビッグテックに流出することを防ぐためのリテンション（維持）が最大の課題。
- ・ 教育プログラム
  - 大学院レベルの HPC 修士プログラムに加え、企業の実務家向けに GPU プログラミングや AI 実装の短期集中トレーニング（5 日間×30 種類以上：HLRS）が提供されている。

### 6.7. 日本（富岳）に対する評価と連携の期待

すべてのインタビューにおいて、日本の「富岳」および「富岳 NEXT」に対する言及があった。

- ・ 評価点
  - ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション、人材を単一の戦略に組み込む「エコシステムとしての垂直統合型戦略」が、欧州の分断された戦略に対する理想的なベンチマークと見なされている。
- ・ 連携プロジェクト
  - HANAMI プロジェクトを通じ、日欧間でのリソース交換、専門家の長期滞在交流、共通のシステム構築に向けた野心的なビジョンが共有されている。

## 6.8. 今後の展望と課題

- ・ Gigafactory への移行
  - 現在の AI Factory（数万 GPU 規模）は、公的資金による研究開発と中小企業支援が主目的である。次なるステップは、民間投資を中心とした数十万 GPU 規模の AI Gigafactory であり、これによりビッグテックに対抗しうる「欧州の AI 主権」を完成させる構想である。
- ・ 直面する壁
  - 電力消費：数百 MW 規模に達する電力消費の確保と、社会的な受容性、コストが共通の懸念。
  - 市場の流動性：GPU およびメモリの価格高騰、納期遅延が調達フェーズにおける不確実性をもたらしている。
  - 法的適合性：EU AI Act（AI 法）に準拠した「信頼できる AI（Trustworthy AI）」の実装。

## 6.9. まとめ

欧州の AI Factory は、各国の特色を活かしつつ、EuroHPC JU という強力な枠組みでリソースを「フェデレーション（連邦化）」する点に最大の強みがある。日本としては、スウェーデンやドイツが行っているような「ドメイン特化型の伴走支援」や、欧州全体で進められている「AI Act 準拠の透明性確保」を参考にしつつ、HANAMI プロジェクト等の国際協力を通じて、次世代計算基盤の主導権を確保していくことが肝要である。

## 6.10. ヒアリング議事録

以下に HLRS、EuroHPC JU、MIMER、RO AI Factory、Gaia AI Factory のヒアリング議事録を記す。なお、ヒアリング場所の記載がない場合は、オンライン（Web 会議）にて実施した。

ヒアリング先：HLRS（High-Performance Computing Center Stuttgart）  
ヒアリング対象者：Professor Michel M. Resch  
ヒアリング日時；2025年10月17日 9時00分～11時30分  
ヒアリング場所：アドバンスソフト株式会社（対面）  
出席者：【HLRS】Professor Michael M. Resch、Neriman Emre  
【アドバンスソフト】松原、高橋、富塚、高原

質問リストを基に Professor Michel M. Resch の回答内容を以下に記す。

### 1. 組織

#### 1.1 予算規模と資金

##### （1）年間の予算規模（研究費、運営費）

AI Factory 全体の総予算は 8,500 万ユーロ。このうち、約 5,000 万ユーロが投資に充てられ（約 60%）、残りの約 3,500 万ユーロが運用に充てられる。運用費用の内訳は、電力消費やメンテナンスコストなどが約 500 万ユーロ、サポート活動やサービスに年間約 200 万ユーロ。研究および運用経費としての年間予算規模は約 700 万ユーロである。

##### （2）財源の内訳（EU からの資金、国家予算、産業界からの出資など）

欧州委員会：50%

連邦政府：25%

州政府：5%

シュトゥットガルト大学：20%

##### （3）計算基盤整備（HPC/GPU クラスタなど）に対する割合

予算 8500 万ユーロのうち、5000 万ユーロが GPU システムへの投資に充てられる。

#### 1.2. 人員体制

##### （1）常勤研究者、技術スタッフ、事務スタッフの人数

AI Factory の資金で賄われているスタッフは合計で 18 人。

運用スタッフ：4 人

管理スタッフ：1 人

サービス・スタッフ：13 人

これらの人員はまだ完全に雇用されていない。AI Factory のシステムが導入される時期（2026 年後半または 2027 年初頭）に、特に運用担当者を雇用する予定。AI Factory は HLRS の総合的なサービスの一部であるため、AI Factory と国家 HPC スーパーコンピュ

ーディング・センターの間で人員を完全に分離しているわけではない。

## (2) 外部研究者・学生・産業界研究者について

- ・ **外部研究者**：電話、メール、ウェブページ、サービスポータルを介したコミュニケーションに基づいている。
- ・ **学生**：大学の一部であるため学生との交流は容易。リサーチアシスタントの学生が働いており、AI in Engineering、コンピュータサイエンスの基礎、HPC シミュレーションに関する授業を提供。
- ・ **産業界**：主に2つの柱で構成。1つはHWWと呼ばれる、PorscheやT Systemsなどとの官民パートナーシップ企業を通じてCPU時間を販売。Porscheは年間産業収入の約60%を占めるため、密接な関係がある。もう1つは個別の協力でベストエフォートベースのサービス契約を企業と締結。現在75社と契約しており、今後AI顧客の増加を見込んでいる。公的センターであるため、サービスレベル契約（SLA）は結べない。

## (3) 人材育成（博士課程教育、若手研究者支援、研修プログラム）

HLRS 全体の戦略において重要な部分。合計で約150人の所員がおり、うち35人が常勤、20人が学生、約100人が研究者。研究者に対しては、計算工学での博士号取得を支援している。ユーザおよびスタッフ向けに大規模なトレーニングプログラム（通常5日間のコースが30～35種類）を提供している。早期キャリア研究者の育成をサポートし、高ポテンシャル人材を見極め、異なる組織での経験を積ませるためのキャリアプログラムを実施。GPU アクセラレータ関連の訓練は、5年前に決定し、トレーニングプログラムの一部をGPUに特化。NVIDIAやAMDによる基礎コースから始め、現在は6～8コースがGPUプログラミングに焦点を当てている。AI向けには既存のフレームワークの使用法や独自のAI研究コードの開発を、シミュレーション向けにはレガシーコードのパフォーマンス最適化を扱う。

## 2. 計算基盤の整備状況

### 2.1 スケジュール

#### (1) 稼働開始時期や現在の準備状況

システムはEuroHPC JUが所有。EuroHPC JUは11月末までに決定を下し、クリスマス前に契約に署名したい意向（遅れる可能性あり）。既存システムでの運用は既に開始されており、ヨーロッパのユーザはアクセス可能。契約締結後、ベンダーからの早期アクセス権を取得する予定。フルシステムは2027年初頭に利用可能となる見込みで、フル運用は2027年半ばを予定。

### 2.2 GPU ノード構成に関する質問

#### (1) 採用予定のGPU世代

現在調達中であり、詳細な情報の開示は不可。NVIDIA ベースのGPU ノードが唯一の

選択肢であり、Vera Rubin になる見込み。NVIDIA を選定した特別な理由として、ベンチマーク評価の結果、NVIDIA GPU と NVIDIA ソフトウェアスタックの組み合わせが、機能性とパフォーマンスの面で AMD よりも優れていることが挙げられる。

#### (2) 1 ノード当たりの GPU 数

1 ノード当たり 4 台の GPU を予定。

#### (3) 総ノード数

総ノード数は約 260 ノード程度で、GPU 合計数は 1100~1200 個程度。

### 2.3 ネットワークアーキテクチャ

#### (1) GPU ノードの接続方式および帯域・トポロジーの概要

専用ネットワークまたは標準 InfiniBand ネットワーク。トポロジーは、Fat Tree と Dragonfly の組み合わせ、または標準 InfiniBand による Fat Tree アプローチを検討中。現在、最終交渉段階にあり、相互接続の質とノード数のバランスを評価中。

#### (2) ストレージ

ファイルシステム：25 PB、Cray ClusterStor E2000、システムに直接接続

アーカイブ：600 PB、HPSS、ユーザによる直接アクセスが可能

### 2.4 ソフトウェア

#### (1) サポート予定の AI フレームワークについて

現在は利用可能なさまざまなソフトウェアを検討している段階である。少数のフレームワークに絞ってサポートする計画だが、具体的にはまだ決定していない。

#### (2) 開発環境、開発のためのミドルウェア

- ・ **外部ネットワーク接続**：標準は欧州バックボーンの 100Gbit。3~4 年後には 1.6Tbit 程度になる予定。
- ・ **他機関との接続**：他の AI Factory のほとんどが NVIDIA GPU を使用すると予想しており、ハードウェアとソフトウェアの組み合わせにおいて NVIDIA が進んでいるため、相互運用性は確保されると考えている。
- ・ **アクセスモード**：技術面ではセキュリティコンセプトに基づき、二要素認証とファイアウォールを介した特殊な方法で実施。組織面では提案書を提出し、評価を受けた上で、運営委員会が使用を決定。運営委員会は、EuroHPC JU (50%)、シュトゥットガルト大学 (20%)、連邦・州政府の推薦者で構成される予定。レビュープロセスは年 2 回または 4 回の締切を設ける。
- ・ **セキュリティ**：ISO 27001 に準拠。産業顧客からの要請や、非常に高度な攻撃者（政府による攻撃を想定）の増加により、セキュリティ対策を強化中。主な懸念は、産業界のデータの損失に加え、システムがドイツの重要インフラ（水、電力など）へのデジタル攻撃に使用されること。

### (3) 他機関・EU 域内での計算基盤共有

産業界の利用に関する明確な戦略はまだ確立されていない。EuroHPC JU は付加価値税 (VAT) 免除の組織だが、産業界がシステムを利用して収益を得た場合、システムの税制上の地位が変わるリスク (VAT 課税のリスク) がある。現在の合意では、シュトゥットガルト大学の負担分 (20%) 内で産業界にリソースを提供し、VAT 税の問題のリスクを大学が負っている。研究と産業の間で、リソース配分に関する明確な割合の合意はない。産業界からの関心は研究よりも強いと予想されている。

## 3. 研究開発の重点分野・手法

### (1) 重点分野

アプリケーション分野は完全にオープンで、欧州委員会は特定の種類のアプリケーションを支援する意図はない。HLRS としては、AI がパターンを見つける能力、シミュレーションが極端な状況を扱う能力を持つことから、将来的に AI とシミュレーションの組み合わせ (AI Simulation) に焦点を当てていく。学際的な研究では、医工学 (バイオメディカル)、自動車、航空宇宙工学、気候シミュレーション、スマートシティシミュレーション (洪水や山火事などの危機管理のためのデジタルツイン) に取り組んでいく。

### (2) 商用利用について

大学は産業界に補助金を出してはならず、利益を出してもいけないため、価格は総所有コスト (TCO) と同額になる。TCO の計算には、投資 (5 年償却)、運用コスト (電力、メンテナンス)、インフラストラクチャ (20 年償却)、および約 80% の利用率 (年間 7,200 時間) の推定が含まれる。サービスモデルとしては、産業サポートグループによる第一レベルサポートと、HLRS の専門スタッフによる第二・第三レベルサポートが存在する。サポートは契約の一部として、産業顧客の企業から少なくとも 1 人のハードウェア担当者と 1 人のパフォーマンス・ソフトウェア専門家が HLRS に常駐する。

### (3) 導入している商用アプリケーション

まだ導入されていない。

### (4) AI 研究開発において重点を置いている分野

現在、潜在的な顧客は言語処理、ロボティクス、製造業に関心を示している。ヘルスケアへの関心は現時点では少ない。これは、HLRS の顧客が主にエンジニアリング分野であるため。シュトゥットガルト地域の産業界のニーズから、大規模モデルではなく、会計士や生産エンジニア向けなど、特定の活動に合わせた小規模なモデルを開発する必要があると考えている。

### (5) 重視している AI 手法

大規模モデルは、Barcelona や Helsinki などの大きなシステムで行われると考えられる。HLRS のシステムは、手法開発 (method development) や Edge AI、強化学習 (reinforcement learning) などに使用されることが期待される。

#### 4. 量子コンピュータとの連携

##### (1) AI Factory と量子コンピュータとの接続の予定

HLRS は、量子コンピュータの生産性が投資に見合わない判断し、システムを購入しないことを決定

##### (2) 連携についてロードマップ

現在の計画では、AI Factory やシミュレーションシステムと統合する予定はない。ロードマップでは、研究、技術探査、評価が示されており、製造利用は 2035 年または 2038 年になる可能性がある。

##### (3) AI やシミュレーションにおける量子-HPC ハイブリッドでの利用

理論的探査の概念とシミュレーターでの試行のみを行っている。AI に関して量子コンピューティングが非常に有用である可能性については、期待される結果が確認されている。

#### 5. 戦略・ビジョン

##### (1) 他の AI Factory や EU 全体の AI 戦略との関係性

HLRS の戦略は、エンジニアリング産業に焦点を当て、「誠実な仲介者 (honest broker)」となることである。他のセンター (Barcelona、Bologna など) が資金獲得を巡って競争している状況にあるため、HLRS はより小さな資金 (5,000 万ユーロ) を選択することで競争を避け、信頼を築き、欧州プロジェクトのコーディネーターとなることを目指している。欧州委員会は、すべての AI Factory を単一の調整プロジェクトにまとめる提案を HLRS に依頼し、現在調整を進めている。

##### (2) 産業界との共同研究や技術移転

欧州プロジェクト (EuroCC など) を通じて推進。PDC (エディンバラ)、Barcelona、Cineca、CEA (フランス) などと共同研究および技術移転を行っている。HLRS は、単にプロジェクトパートナーとして参加する産業界の企業だけでなく、実際に問題を持ち込み、その解決のために HLRS のシステム (例えば Porsche の開発環境に完全に統合されたシステム) を利用する企業との連携に注力。

##### (3) 他国の研究機関との国際連携事例

アジアでは日本、韓国、台湾、中国との間で約 10~12 の連携事例がある。東北大学とは、持続的パフォーマンス、高速メモリ、ベクトルアーキテクチャに焦点を当てている。韓国の KISTI とは、AI とエンジニアリングにおけるシミュレーションの組み合わせに焦点を当てている。米国では Berkeley/NERSC (運用上の問題、持続可能性、電力消費削減)、Tennessee 大学 (数値ライブラリ、パフォーマンス解析) などと協力。HLRS は、世界中の 200 以上のパートナーと約 25 の欧州プロジェクトで深く連携している。

##### (4) 国内の AI インフラの中での位置付けや役割分担、また EuroHPC JU の中での役割

国内ではエンジニアリングと産業に焦点を当てることで、ユーリッヒ研究センターのような大規模言語モデルに注力するセンターとの役割分担をしている。EuroHPC JU 内では

honest broker としての役割を果たし、現実の産業アプリケーションと産業界からの収益を提供する役割を担っている。

#### (5) 現在の AI Factory から AI Gigafactory へのステップ

AI Factory と AI Gigafactory は根本的に異なる世界。AI Factory は 100% 公的資金であり、研究が目的となっており、産業利用は不可的な存在。AI Gigafactory は約 80% が産業界の資金で賄われ、産業界がシステムを管理。AI Gigafactory は、大規模なトレーニングや研究のためではなく、SAP やドイツテレコムのように数億人の顧客を抱える企業に対応するためのファームシステムになると予想される。AI Gigafactory のコスト回収（約 80 億ユーロ）は、研究利用では不可能であり、膨大な顧客ベースからの収益が必要。AI Factory は従来の HPC アプリケーションに焦点を当て、AI Gigafactory はその上で非常に大規模な試行を行う場となる可能性がある。

#### (6) デジタル・AI 競争力、中小企業支援、研究強化等の EU 戦略での位置付け

HLRS は、EU 戦略のギャップを埋めることを試みている。EuroHPC JU は研究資金ではなく、産業競争力向上のための資金から提供されているため、HLRS は、システムが産業界によって利用され、競争力向上に役立っているショーケースを提供することで、EU 戦略をサポートしている。また、大規模センター間の競争によって失われた信頼を取り戻すため、モデレーターとして欧州 HPC エコシステムの安定化を支援。

#### (7) 他の取組に関する連携と意見

欧州委員会は AI に関して前向きであり、推進していることは良い点である。しかし、EU はハードウェア開発、フラッグシップシステム戦略、およびアプリケーションサポートを結びつける一貫した戦略を欠いている。日本のフラッグシッププロジェクト（富岳など）のような、ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション、人材を単一の戦略に組込む手法から学ぶべきである。

#### (8) 欧州外との連携

オープンな姿勢を維持しているが、技術的な機密性を保持する必要がある。現在、北朝鮮、ロシア、イラン、スーダン以外のすべての国との協力を試みている。

### 6 今後の展望と課題

#### (1) 今後 5～10 年で重視する研究課題や技術領域

ムーアの法則の終焉に対応するための、単精度／混合精度、新しいアーキテクチャの探求。光コンピューティング、ニューロモーフィック、量子コンピューティングなどの新技術の探求。従来のシミュレーション、量子コンピューティング、AI を組み合わせ、三者のバランスを探ること。持続的パフォーマンスの向上と電力消費の削減。

#### (2) 計算基盤の拡充や研究体制強化における課題

- ・ 電力消費の増大：社会は IT が国の電力消費の 10～30% を占めることを受け入れないだろうという懸念がある。

- ・ **研究者の離脱**：HPCのコストが高くなりすぎたり、技術が特殊化しすぎたりすると、研究者がHPCから離れていくリスクがある。ラップトップのCPUからスーパーコンピュータまで、コード開発の連続性を維持することが重要。

### (3) 日本との連携可能性や期待される分野

分野はハードウェアからアプリケーションまですべてに渡る。「富岳 NEXT」を参考に、欧州委員会は学ぶべき。欧州と日本が共同で、「富岳 NEXT」システムのアイデアに基づき、2032年や2035年に大規模なシステムを構築するプログラムについて検討すべきであり、欧州と日本は競争相手ではないので、協力を強化することで孤立を防ぐことができる。人材交流の強化として旅行資金を提供するだけでなく、日欧HPC仮想組織を設立し、若手研究者（ポストドクなど）が1年間滞在するプログラムなど、より集中的な交流プログラムに資金を提供すべきである。技術的な「主権」を追求するのではなく、日欧が協力して、サプライチェーンの開放性を維持し、共通のシステムを構築するという野心的なビジョンを持つべき。

## 7. 補足情報／HLRSの運用に関する情報

- ・ **提供されたリソースの総量**：約4000万ノード時間（注：これはHLRSの既存システムに関する情報）。
- ・ **ユーザ数**：約800人。
- ・ **料金徴収**：産業界のみを対象としている。研究者からは徴収していない。産業界からの収益：昨年は160万ユーロ。
- ・ **運用経費確保の措置**：連邦、州政府、大学との長期（10年間）の合意があるが、議会による年次承認が必要。
- ・ **アプリケーションのトレンド**：欧州では粒子物理学の強い推進力があり（CERN、LHC）、また製造業におけるエンジニアリング利用が強く見られている。

ヒアリング先：EuroHPC JU ヒアリング対象者：Mr. Evangelos Floros ヒアリング日時：2026年1月26日 17時30分～18時45分 出席者【EuroHPC JU】Mr. Evangelos Floros、Ms. FLORIO Maddalena 【アドバンスソフト】高橋、富塚、高原
--

質問リストを基に Dr. Evangelos Floros の回答内容を以下に記す。

## 1. 組織

### 1.1 予算規模と資金

#### (1) 年間の予算規模（研究費、運営費）

2021～2027年の中期予算計画（MFF）において、総額約70億ユーロ（約1兆1,000億円）の予算が確保されている。うち、インフラ整備への投資実績は約12億ユーロであり、新規のAI Factoryプログラムには追加で約11億ユーロが割り当てられている。

#### (2) 財源の内訳（EUからの資金、国家予算、産業界からの出資など）

現在、共同投資モデルが採用されている。欧州委員会が50%を拠出し、残りの50%をドイツ、イタリア、フランス等の参加国が分担して拠出する。

AI Gigafactory構想においては、約65%を民間資金で賄うモデルが検討されている。

#### (3) 計算基盤整備（HPC/GPUクラスタなど）に対する割合

予算の大部分（約70%）がハードウェアおよび計算インフラの構築に集中的に割り当てられている。

### 1.2 人員体制

#### (1) 常勤研究者、技術スタッフ、事務スタッフの人数

EuroHPC JU 自体のコアスタッフは約50名（プロジェクト管理、法務、財務、行政担当）。うち、インフラ・ユニットには14名のオフィサーが所属している。実際の技術運用や研究・サポートスタッフは、各国のホスティング先（スーパーコンピュータセンター）に所属する。

#### (2) 外部研究者・学生・産業界研究者について

「HPC Master's Program」を通じた次世代専門家の育成を推進。産業界（特に中小企業・スタートアップ）へのリソース開放を戦略の柱としており、利用可能なアクセス時間の最大約20%が産業界に割り当てられているが、AI関連のアクセス公募においては、この割合が最大40%まで引き上げられる可能性がある。

#### (3) 人材育成（博士課程教育、若手研究者支援、研修プログラム）

欧州全域でのスキルアップを目指し、トレーニングプログラムを支援。GPUプログラミング、AIモデル開発、レガシーコードの最適化などの教育を行っている。

## 2. 計算基盤の整備状況

### 2.1 スケジュール

#### (1) 稼働開始時期や現在の準備状況

現在、9つの主要システム（JUPITER、LUMI、Leonardo、MareNostrum 5 など）が稼働中であり、2026年上半期にはさらに2つのシステムが稼働を開始する予定である。AI Factory に関しては19拠点が選定済み。2026年夏からの順次稼働、2027年末までの全稼働を目指している。

### 2.2 GPU ノード構成

#### (1) 採用予定の GPU 世代

既存機では NVIDIA A100/H100/GH200 や AMD MI250X/MI300 を採用。

新規の AI ファクトリーに関しては、次世代の NVIDIA Blackwell (B200/GB200) および AMD (MI430X) の導入が予定されている。

#### (2) 1 ノード当たりの GPU 数

1 ノード当たり 4GPU の構成が標準的 (NVLink 接続)。一部では NVL72 のような大規模ラック構成も検討。

#### (3) 総ノード数

全体では19の AI Factory 拠点を合わせて、数万基規模の GPU リソースを欧州全域で展開する。

### 2.3 ネットワークアーキテクチャ

#### (1) GPU ノードの接続方式および帯域・トポロジーの概要

800Gbps の InfiniBand が主流だが、クラウド親和性を考慮した高速 Ethernet の採用も増加傾向。

#### (2) ストレージ

AI 学習に特化した全層 Flash (VAST Data 等) を含む多層ストレージを構成。数百 PB 規模の容量を確保。

### 2.4 ソフトウェア

#### (1) サポート予定の AI フレームワークについて

PyTorch、TensorFlow、NVIDIA ソフトウェアスタックなど、主要なオープンフレームワークを全面的にサポート。

#### (2) 開発環境、開発のためのミドルウェア

- ・ 外部ネットワーク接続：欧州バックボーンを介した 100Gbps～1.6Tbps 級の接続
- ・ 他機関との接続：2026年4月公開予定の「Federation Portal」により、単一のポータル

タルから全欧州のスーパーコンピュータリソースへのシームレスなアクセスが可能となる。

- ・ **アクセスモード**：研究利用は提案審査制で無料（成果公開が条件）。商用利用に向けた従量課金（Pay-per-use）モデルは、EuroHPC JU 規則によって規定されているが、現時点ではまだ実施（実用化）されていない。
- ・ **セキュリティ**：ISO 27001 準拠、二要素認証、政府系攻撃を想定したファイアウォール強化などを実施。

### 3. 研究開発の重点分野・手法

LLM の学習、AI シミュレーションの融合（AI Simulation）が最優先。学際的研究として、気候変動予測「Destination Earth」、創薬、医工学、製造業におけるデジタルツインを重視。手法としては、強化学習、エッジ AI、大規模基礎モデルの開発に注力。

### 4. 量子コンピュータとの連携

#### （1）AI Factory と量子コンピュータとの接続の予定

現在 10 の量子システム（約 1 億ユーロ投資）を導入中。HPC システムへの統合を進めている。

#### （2）連携についてのロードマップ

独立したシステムではなく、HPC のアクセラレータとして機能させる「HPC-量子ハイブリッド」構成を推進。

#### （3）量子-HPC ハイブリッドでの利用

Python（Qiskit 等）ベースの開発環境を整備し、シミュレーションや AI 処理のオフロード試行を開始している。

### 5. 戦略・ビジョン

#### （1）他の AI Factory や EU 全体の AI 戦略との関係性

EU AI Act（AI 法）に準拠した「信頼できる AI」のショーケースを目指す。

#### （2）産業界との共同研究や技術移転

EuroCC プロジェクトを通じ、中小企業やスタートアップへの技術移転を加速。

#### （3）他国の研究機関との国際連携事例

米国（Berkeley/NERSC）、アジア（日本、韓国、台湾）との間で約 25 の共同プロジェクトを推進。

#### （4）国内の AI インフラの中での位置付け

各国センター（Jülich、BSC 等）をネットワーク化し、欧州全域の産業競争力を支える基盤として機能。

#### （5）現在の AI Factory から AI Gigafactory へのステップ

公的資金主導の AI Factory から、民間投資を主軸とした数十万基規模 AI Gigafactory への発展を構想中。

#### **(6) デジタル・AI 競争力等の EU 戦略での位置付け**

インフラ、ソフトウェア、人材を一体とした戦略を推進し、グローバルな技術自立を目指す。

### **6. 今後の展望と課題**

#### **(1) 今後 5～10 年で重視する研究課題や技術領域**

ムーアの法則終焉後の新アーキテクチャ（RISC-V 等）の探求。持続可能な計算（電力消費削減）と高性能化のバランス。

#### **(2) 計算基盤の拡充や研究体制強化における課題**

数百 MW 規模に達する電力消費の社会受容性とコスト確保。

#### **(3) 日本との連携可能性や期待される分野**

HANAMI プロジェクトによる「富岳」との連携。リソース交換や専門家の長期滞在交流プログラムを通じて、日欧共通のシステム構築に向けた野心的なビジョンを共有する。

### **7. 補足情報**

欧州以外（日本、米国等）との協力においても、サプライチェーンの開放性と透明性を維持しつつ、共通のシステム構築を目指す姿勢を強調

ヒアリング先：MIMER  
ヒアリング対象者：Dr. Rossen Apostolov  
ヒアリング日時：2026年1月27日 14時30分～17時15分  
ヒアリング場所：リーガロイヤルホテル大阪・ウエストウイング3階312号室（対面）  
出席者：【EuroHPC JU】 Dr. Rossen Apostolov  
【アドバンスソフト】岡崎、高原、富塚、高橋  
【文部科学省】池田参事官補佐

質問リストを基に Dr. Rossen Apostolov の回答内容を以下に記す。

## 1. 組織

### 1.1 予算規模と資金

#### (1) 年間の予算規模（研究費、運営費）

サービスハブ（Service Hub）の予算は約2,000万ユーロ。

スーパーコンピュータ本体（Hardware）の予算は約2,500万ユーロ。

全体として4,500万ユーロ以上の規模となる。

#### (2) 財源の内訳（EUからの資金、国家予算、産業界からの出資など）

サービスハブ：50%をEU、残り50%をスウェーデン政府が負担。スーパーコンピュータ（ハードウェア）：30%をEU、70%をスウェーデン政府が負担。

#### (3) 計算基盤整備（HPC/GPU クラスタなど）に対する割合

投資判断は国によって異なり、スウェーデンではサービス（人材・サポート）とハードウェアにバランス良く配分している。

### 1.2 人員体制

#### (1) 常勤研究者、技術スタッフ、事務スタッフの人数

総勢約50名体制。内訳は管理・事務スタッフ（5～6名）、専門家（45名）。専門家チームの構成は、ライフサイエンス、材料科学、自律システム（ロボティクス・自動運転）、ゲーミング産業の4大ドメインに各3～8名、データ管理（4～5名）、トレーニング（教育）、信頼できるAI（AI Act 準拠対応）チームなど。

#### (2) 外部研究者・学生・産業界研究者について

アカデミア、産業界（主に中小企業）、公的セクター（医療機関等）のすべてにサポートを提供。コンサルティングモデルを採用しており、0から100まで代行するのではなく、ユーザの能力を底上げする「伴走型支援」を重視している。

#### (3) 人材育成（博士課程教育、若手研究者支援、研修プログラム）

独自のトレーニングプログラム（ワークショップ、ウェビナー、ハッカソン等）を幅広く展開。大学の学位授与とは別に、実務的なスキル構築（キャパシティ・ビルディング）に特化している。

## 2. 計算基盤の整備状況

## 2.1 スケジュール

### (1) 稼働開始時期や現在の準備状況

現在は調達フェーズ (Procurement Phase) にある。2027 年初頭に AI 専用マシンの導入を予定。それまでは既存の EuroHPC JU リソースや国内のスーパーコンピュータを活用して運用を行う。

## 2.2 GPU ノード構成

### (1) 採用予定の GPU 世代

ハイエンド GPU を検討中 (具体的なモデルは調達プロセスのため非公開)。

### (2) 1 ノード当たりの GPU 数 / 総ノード数

予算と用途に応じて調整中。大型システム (LUMI 級) では数千基規模だが、MIMER の予算規模では数百~千基程度の構成が想定される。

## 2.3 ネットワークアーキテクチャ

### (1) GPU ノードの接続方式および帯域・トポロジーの概要

800Gbps 級の接続を想定。トポロジーは Fat Tree (アイランド構成) などを検討中。

### (2) ストレージ

オブジェクトストレージや高速フラッシュストレージ (学習用) を中心に、多層的な管理を行う。

## 2.4 ソフトウェア

### (1) サポート予定の AI フレームワークについて

PyTorch や TensorFlow を含む主要なフレームワークを全面的にサポート。

### (2) 開発環境、開発のためのミドルウェア

- ・ **外部ネットワーク接続** : 欧州バックボーン (Geant) を通じ、100Gbps から将来的に 1.6Tbps へのアップグレードを予定。
- ・ **他機関との接続** : 他の AI Factory とデータラボ (Data Labs) を設立し、ライフサイエンスや製造業などの特定分野でデータ共有や共同研究を行う。
- ・ **アクセスモード** : 公的資金による運営のため、原則として「無料」で提供。ただし、アクセスタイムや専門家のサポート時間は 1 ヶ月単位などで制限 (クォータ管理) を設ける。
- ・ **セキュリティ** : 機密性の高いデータ (医療データ等) を扱うため、物理的に隔離された計算リソースの割り当てなど、高度なセキュリティ・スキームを導入。

## 3. 研究開発の重点分野・手法

- ・ **重点分野** : スウェーデンの強みであるライフサイエンス (創薬・ゲノミクス) ・材料科学・自律システム (自動運転) ・ゲーミング産業の 4 分野。
- ・ **手法** : LLM の学習支援だけでなく、AI for Science に注力。

- ・ **商用利用**：営利企業も利用可能だが、政府から二重の利益を得ることにならないよう、成果の公開を条件とするなどの調整が行われる。

#### 4. 量子コンピュータとの連携

##### (1) 接続の予定

現時点では MIMER 自体に量子コンピュータを直接接続する具体的な計画はない。

##### (2) 連携ロードマップ

フィンランドなど他の AI Factory (LUMI など) では量子・HPC 統合が進んでおり、EuroHPC JU の枠組みを通じてそれらのリソースを活用する方針。

#### 5. 戦略・ビジョン

##### (1) 他拠点との関係性

「Federation Portal」を通じた相互利用を推進。

##### (2) 国内・EuroHPC JU での位置付け

スウェーデン国内では最大の AI サポートインフラであり、EuroHPC JU 内では特定の産業ドメイン (ライフサイエンス等) のリード役を担う。

##### (3) AI Gigafactory へのステップ

巨大な計算リソースを持つ Gigafactory に対し、AI Factory は研究開発や教育・スキル構築の場として補完的な役割を果たす。

#### 6. 今後の展望と課題

##### (1) 重視する技術領域

非常に変化が激しいため、1 年先の予測も困難だが、AI の社会実装 (公共セクターでの活用) による生産性向上を最優先とする。

##### (2) 課題

高度な専門人材の確保と、膨大な電力を消費するデータセンターに対する社会の受容性。

##### (3) 日本との連携

HANAMI プロジェクト等を通じた理化学研究所 (「富岳」) との強力な連携を期待。リソース交換や研究者の長期滞在交流 (日欧 HPC 仮想組織の構想) を推進したい。

#### 7. 補足情報

スウェーデンでは、民間主導の WASP (Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program) などの大規模プロジェクトと連携し、官民が一体となって AI エコシステムを構築している。

ヒアリング先：RO AI Factory ヒアリング対象者： General Director Office ヒアリング日時：2026年2月17日 16時00分～17時30分 出席者：【RO AI Factory】 General Director Office 【アドバンスソフト】岡崎、高原、富塚
--

質問リストを基に General Director Office の回答内容を以下に記す。

## 1. 組織

### 1.1 予算規模と資金

#### (1) 年間の予算規模（研究費、運営費）

年間の運用予算は約 1,000 万ユーロ（約 16 億円）。ICI Bucharest は自己資金調達型の公的機関であり、研究開発プロジェクトやサービスの提供を通じて予算を確保している。

#### (2) 財源の内訳（EU からの資金、国家予算、産業界からの出資など）

EuroHPC JU からの助成金、国内の研究・イノベーションプログラム、復興基金（RRF）などが主。民間セクターとの共同投資やジョイントプロジェクトも重要な資金源となっている。

#### (3) 計算基盤整備（HPC/GPU クラスタなど）に対する割合

通常の組織予算内では 20～25%程度だが、今回の「RO AI Factory」のような大規模イニシアティブにおいては、予算の 40～60%がインフラ整備（ハードウェア）に充てられる。

### 1.2 人員体制

#### (1) 常勤研究者、技術スタッフ、事務スタッフの人数

常勤研究者は約 80 名。技術スタッフは約 100 名（エンジニア、IT スペシャリスト、サイバーセキュリティ専門家）。管理・支援スタッフは約 20 名。

#### (2) 外部研究者・学生・産業界研究者について

「オープンイノベーション・実験プラットフォーム」として、大学、スタートアップ、中小企業、産業界パートナーにインフラとデータ、専門知識を提供している。官民パートナーシップやインターンシップを積極的に活用。

#### (3) 人材育成（博士課程教育、若手研究者支援、研修プログラム）

メンターシップ、欧州の研究グラントへの参加支援、専門的な技術トレーニングを実施。昨年は AI、サイバーセキュリティ、先端デジタル技術の分野で 126 名の学生を受け入れ、研究開発プロジェクトに統合した。

## 2. 計算基盤の整備状況

### 2.1 スケジュール

#### (1) 稼働開始時期や現在の準備状況

現在は EuroHPC JU とのグラント準備合意（GPA）フェーズにある。2026 年後半から 2027 年初頭にかけて調達と設置を行い、2027 年後半にフル稼働を予定。

## 2.2 GPU ノード構成

### （1）採用予定の GPU 世代

調達時点（2026 年末～2027 年）での最新世代 AI アクセラレータ（NVIDIA Blackwell 以降等）を選定予定。

### （2）1 ノード当たりの GPU 数

大規模 AI 学習と推論に最適化された 1 ノード当たり 8 基の高密度構成を標準とする。

### （3）総ノード数

数十ノード規模の高精度計算機で構成され、理論的なピーク性能は約 6 EFLOPS を目指している。

## 2.3 ネットワークアーキテクチャ

### （1）GPU ノードの接続方式および帯域・トポロジーの概要

InfiniBand 等の低遅延・高帯域インターコネクトを採用。外部ネットワークは、欧州のバックボーン（Geant）を通じて現在 100Gbps、将来的に 1.6Tbps への拡張を計画。

### （2）ストレージ

並列ストレージとアーカイブストレージを組み合わせた多層構造。AI 学習用の高速 SSD（NVMe）層を重視。

## 2.4 ソフトウェア

### （1）サポート予定の AI フレームワークについて

PyTorch、TensorFlow、Hugging Face エコシステム、CUDA 最適化ライブラリを全面的にサポート。

### （2）開発環境、開発のためのミドルウェア

- ・ 外部ネットワーク接続：国立の研究・教育ネットワークを通じた広域接続。
- ・ 他機関との接続：EuroHPC JU のフェデレーテッド・プラットフォーム（共通認証基盤）に統合。
- ・ アクセスモード：研究・公共セクター・中小企業向けのプロジェクトベースの割り当て。Docker、Kubernetes、Slurm、Jupyter 等をサポート。
- ・ セキュリティ：GDPR 準拠、Security by Design の採用。物理的なりソース隔離を含むマルチテナント環境の構築。

## 3. 研究開発の重点分野・手法

### （1）重点分野

スマートガバメント（公共行政のデジタル化）、サイバーセキュリティ、ヘルスケア、製造、自動車、エネルギー。

#### （２）AI 研究開発において重点を置いている分野

ルーマニア語を含むマルチリンガルな基礎モデル（Foundation Models）の開発。

#### （３）重視している AI 手法

大規模言語モデル（LLM）、サイバー脅威の自動検知 AI、データ駆動型シミュレーション、エッジ・クラウド統合 AI。

### 4. 量子コンピュータとの連携

#### （１）AI Factory と量子コンピュータとの接続の予定

欧州の量子計算インフラネットワーク（EuroHPC JU の量子プロジェクト）への統合を計画。

#### （２）連携についてのロードマップ

初期段階では量子インスパイアード最適化やポスト量子暗号の研究から開始し、量子リソースの成熟に合わせて段階的に接続を強化。

#### （３）量子-HPC ハイブリッドでの利用

高度なシミュレーションや AI 学習のオフロード先としてのハイブリッド利用を検討中。

### 5. 戦略・ビジョン

#### （１）他の取組に関する連携と意見（日本への言及）

EU は日本の「富岳」プロジェクトのように、ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション、人材を単一の戦略に組み込む手法から学ぶべきであると高く評価している。

#### （２）欧州外との連携

日本（理化学研究所等）、米国（NCSA 等）、アジア（インド、シンガポール、韓国）との国際共同研究を重視。特に信頼できる AI、HPC/AI ワークフロー、サイバーセキュリティ分野での連携。

### 6. 今後の展望と課題

#### （１）今後 5～10 年で重視する研究課題や技術領域

欧州独自の Sovereign AI の確保。ルーマニア語特化型の LLM と、公共政策への AI 適用。

#### （２）計算基盤の拡充や研究体制強化における課題

- ・ 電力コスト：ルーマニア国内のエネルギー価格高騰が運用の大きな懸念事項となっている。
- ・ 人材の確保：優秀な AI エンジニアの獲得と維持（リテンション）が最大の課題。

#### （３）日本との連携可能性や期待される分野

製造業・ロボティクスにおける産業用AIパイロット。エネルギー効率の高い計算手法の共同開発。サマースクールや共同ラボを通じた人材・ベストプラクティスの共有。

ヒアリング先：Gaia AI Factory (Cyfronet AGH) ヒアリング対象者：Marek Kasztelnik 氏 日時：2026年2月26日 16時00分～17時30分 出席者：【Gaia AI Factory】Marek Kasztelnik 【アドバンスソフト】岡崎、高原、富塚
--

質問リストを基に Marek Kasztelnik 氏の回答内容を以下に記す。

## 1.組織

### 1.1 予算規模と資金

#### (1) 年間の予算規模（研究費、運営費）

Gaia プロジェクト全体で約 7,000 万ユーロ（約 110 億円）。内訳はマシン調達に約 3,880 万ユーロ、サービス提供支援に約 2,000 万ユーロ、残りが電力・施設・人員等の運用費である。

#### (2) 財源の内訳

欧州連合（EU）から 3,500 万ユーロ、ポーランド政府から 3,500 万ユーロの折半出資となっている。

#### (3) 計算基盤整備（HPC/GPU クラスタなど）に対する割合

全体予算の約 55%（3,880 万ユーロ）がハードウェア調達に直接割り当てられている。

### 1.2 人員体制

#### (1) 常勤研究者、技術スタッフ、事務スタッフの人数

Cyfronet 全体で約 200 名の従業員を擁する。研究者：約 55 名、技術スタッフ（スーパーコンピュータ運用）：約 85 名、IT・事務：約 45 名、プロモーション他：約 5 名。

#### (2) 外部研究者・学生・産業界研究者について

AGH 大学の一部であり、大学と密接に連携している。大学の教授が Cyfronet の研究プロジェクトをリードすることもあり、多くの博士課程学生を研究員として雇用している。

#### (3) 人材育成（博士課程教育、若手研究者支援、研修プログラム）

学生が研究プロジェクトに従事しながら博士論文を執筆できる環境を提供。また、中小企業や研究者向けに AI モデルの最適化や効率的な計算手法の技術トレーニングを行っている。

## 2.計算基盤の整備状況

### 2.1 スケジュール

#### (1) 稼働開始時期や現在の準備状況

現在は準備段階にあり、2027年初頭に設置、同年第3四半期（秋頃）にフル稼働を開始する計画である。

## 2.2 GPU ノード構成

### (1) 採用予定の GPU 世代

現在運用中の Helios は NVIDIA GH200 を採用しているが、Gaia AI Factory では調達時点での最新世代 (Blackwell 世代以降) を選定する。

### (2) 1 ノード当たりの GPU 数

標準的な高密度 AI 構成を予定。

### (3) 総ノード数

理論性能として約 1.8EFLOPS (AI 計算時) を目指している。既存の Helios は GPU ノードを 110 ノード備えている。

## 2.3 ネットワークアーキテクチャ

### (1) GPU ノードの接続方式および帯域・トポロジーの概要

既存機では InfiniBand (Ares と Athena) および Slingshot (Helios) を採用。外部接続は専用ネットワーク (Pioneer と Geant) を通じて現在 100Gbps、将来的には 1.6Tbps への拡張を計画中。

### (2) ストレージ

Lustre ベースの並列ストレージを採用。Helios では約 70.5PB の容量を備えている。

## 2.4 ソフトウェア

### (1) サポート予定の AI フレームワークについて

PyTorch、TensorFlow などの主要フレームワークに加え、数千ものソフトウェアモジュールを管理。

### (2) 開発環境、開発のためのミドルウェア

- ・ **アクセスモード**：PLGrid ポータルを通じた統合アクセスを提供。1 時間以内に計算リソースの割り当てが可能。
- ・ **仮想化**：ルート権限不要のコンテナ技術 (Apptainer) をサポート。
- ・ **スケジューラ**：Slurm を採用し、PLGrid の認証基盤と連動。
- ・ **セキュリティ**：専任チームがサイバー攻撃 (特にウクライナ情勢に関連した脅威) の監視と防御を行っている。

## 3. 研究開発の重点分野・手法

### (1) 重点分野

ヘルスケア (個別化医療)、宇宙技術、LLM

### (2) AI 研究開発において重点を置いている分野

ポーランド語の言語・文化を反映した独自の LLM 「Plum (公共セクター用)」 および 「Bielik (Mistral ベース)」 の開発。

### (3) 重視している AI 手法

大規模基盤モデルの構築、AI とシミュレーションの統合、エッジ AI（ニューロモーフィック AI 等）。

### (4) 学際的研究

Sano というスピンオフ機関を設立し、脳卒中診断支援などの高度な医療 AI 研究を実施。

## 4.量子コンピュータとの連携

### (1) AI Factory と量子コンピュータとの接続の予定

自前でのホスティングはないが、EuroHPC JU の量子計算ネットワークを通じて統合。

### (2) 連携についてのロードマップ

ハイブリッド HPC-量子計算のユースケース（高度なシミュレーションのオフロード等）を検討中。

## 5. 戦略・ビジョン

### (1) 国際連携の事例

Zoom 社と提携し、自動要約や多言語リアルタイム翻訳などの次世代通信プラットフォーム用基盤モデルを共同開発している。

### (2) 他の取組に関する連携と意見（日本への言及）

日本の「富岳」の戦略、特にハード・ソフト・人材を一体化させたアプローチを非常に高く評価しており、学ぶべき点が多いと考えている。

## 6. 今後の展望と課題

### (1) 今後 5～10 年で重視する研究課題や技術領域

AI Gigafactory への概念拡張。また、汎用 AI だけでなく、各企業の特定ニーズに特化した「小型で効率的な専門モデル」の開発支援。

### (2) 計算基盤の拡充や研究体制強化における課題

市場価格の変動（GPU やメモリの価格高騰）や電力コストの上昇が運用上の大きな挑戦。

### (3) 日本との連携可能性や期待される分野

国際共同研究プロジェクトへの参画。信頼できる AI（Trustworthy AI）やエネルギー効率の高い計算手法の共同開発。

## 7. 欧州における EuroHPC 以外の取組に係る調査

### 7.1. 欧州各国独自の取組の文献調査

#### 7.1.1. 概要

欧州各国独自の取組として、EuroHPC JU の枠組みで予算が手当されているプロジェクトではなく、欧州各国が国内資金または混合資金（国内+EuroHPC JU）で推進する HPC および量子計算の主要な取組を各国公的資料・研究機関の発表に基づいて整理した。調査対象は英国、ドイツ、フランス、スイス、アイルランド、イタリア、オランダ、フィンランド、スペイン、ノルウェーであり、各国の戦略的方針、技術的特徴、生成 AI との関連、ならびに今後の方向性について調査した（各国のスーパーコンピュータセンターについての記述は一部 4.1 節と重複する）。

#### 7.1.2. 情報源

情報源は以下のとおりである。

- ・ 英国

<https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>

<https://www.bristol.ac.uk/news/2023/november/supercomputer-announcement.html>

- ・ ドイツ

<https://www.hlrs.de/solutions/systems/hunter>

<https://www.heise.de/en/news/HRLS-Hunter-First-German-supercomputer-with-AMD-s-giant-APU-MI300A-10245729.html>

<https://blogs.nvidia.co.jp/blog/blue-lion-vera-rubin/>

- ・ フランス

<https://quantique.france2030.gouv.fr/>

<https://www.cnrs.fr/en/press/jean-zay-supercomputer-france-has-increased-its-ai-dedicated-resources-fourfold>

- ・ スイス

<https://www.cscs.ch/publications/news/2024/new-research-infrastructure-alps-supercomputer-inaugurated>

<https://sccij.jp/news/new-supercomputer-for-much-more-swiss-ai-power/>

- ・ アイルランド

<https://www.ichec.ie/caspir-hosting-agreement>

<https://www.universityofgalway.ie/about-us/news-and-events/news-archive/2025/october/new-national-supercomputer-caspir-to-be-operated-by-university-of-galway-.html>

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/way-open-building-eurohpc-world-class-supercomputer-ireland-2025-10-13\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/way-open-building-eurohpc-world-class-supercomputer-ireland-2025-10-13_en)

- ・ イタリア

<https://www.businesswire.com/news/home/20250317670615/ja>

<https://www.cineca.it/en/about-us/cineca-today>

- ・ オランダ

<https://www.surf.nl/en/services/compute/snellius-the-national-supercomputer>

<https://qutech.nl/2021/04/09/quantum-delta-nl-awarded-615-million-euro-from-netherlands-national-growth-fund-to-accelerate-quantum-technology>

- ・ フィンランド

<https://fiqci.fi/>

<https://www.vttresearch.com/en/news-and-ideas/finland-launches-20-qubit-quantum-computer-development-towards-more-powerful-quantum>

- ・ スペイン

[https://commission.europa.eu/projects/quantum-spain-spanish-supercomputing-network\\_en](https://commission.europa.eu/projects/quantum-spain-spanish-supercomputing-network_en)

<https://www.lamoncloa.gob.es/lang/en/gobierno/news/Paginas/2025/20250424-quantum-technologies-strategy.aspx>

- ・ ノルウェー

<https://www.sigma2.no/hpc-and-storage-systems>

<https://www.sigma2.no/>

<https://www.hpc.ntnu.no/>

### 7.1.3. 英国

英国では、政府が「National Quantum Strategy」により、量子技術を経済成長と安全保障に資する基盤技術として位置付け、10年規模の戦略とミッションを提示している。政府資料は、研究開発・人材・産業化を一体で推進する長期方針を明確化しており、量子コ

コンピューティング、量子通信、量子センシング等を含む横断的なエコシステム形成を志向している。HPC/AI 計算基盤では、Isambard-AI が国家的 AI 研究資源 (AIRR) の中核として整備され、HPE Cray EX と NVIDIA GH200 を多数搭載するアクセラレータ指向の構成により、生成 AI を含む大規模モデルの学習・評価を念頭に置いた計算資源として設計されている。政府の投資 (2024 年から 10 年間で 25 億ポンド) により、学術・産業・公共の広い利用を意図しており、従来の数値シミュレーション中心の HPC 運用から、AI 学習・推論と大規模データ解析を含む「HPC+AI」への比重が増している点が特徴である。今後の方向性としては、量子分野の国家戦略を背景に、量子計算の実用化を見据えた研究・人材・供給網の確保とともに、AI 計算基盤を Sovereign AI の観点から整備していく動きが継続すると見込まれる。公的に開放された大規模 AI 計算資源の整備は、生成 AI の検証・評価や責任ある利用設計を支える制度基盤にもなる。

#### 7.1.4. ドイツ

ドイツでは、Gauss Centre for Supercomputing (GCS) 傘下の拠点群が国家研究基盤として HPC を整備し、計算科学・産業応用の双方を支える体制が継続的に強化されている。シュトゥットガルトの HLRS が運用する Hunter は、AMD Instinct MI300A APU (CPU/GPU/HBM の統合) を核とし、従来の CPU 中心構成から GPU 活用へ大きく舵を切る象徴的な更新となっている。公式情報では理論ピーク 48.1 PFLOPS、前世代比で性能向上とエネルギー効率改善を強調しており、HPC の消費電力制約が厳格化する中で「性能と効率の両立」を前提とした設備更新の方向性が読み取れる。ミュンヘンの LRZ では、次期システム Blue Lion を HPE と協力して構築し、NVIDIA の次世代アーキテクチャ Vera Rubin を採用する計画が示されている。LRZ 公式発表では、現行システムに対して大幅な演算能力向上 (約 30 倍) を掲げ、AI と従来型シミュレーションを融合したワークフローを重視する姿勢が明確である。また、液冷等の熱設計や廃熱利用 (周辺施設への熱供給) といった、環境適合を織り込んだ HPC 運用の方向性も示されている。量子分野では、DLR Quantum Computing Initiative 等を通じ、連邦レベルで量子技術の研究開発と産業連携を推進する枠組みが整えられている。HPC 側で AI 統合を進める動きと並行して、量子計算を将来の計算資源として育成する政策を重ね合わせることで、量子-古典ハイブリッド計算 (量子アクセラレーション) の実利用に向けた制度・人材の整備を進める構図が形成されている。

#### 7.1.5. フランス

フランスは France 2030 の下で国家量子戦略を推進し、政府ポータルでは 2021~2025 に 10 億ユーロ規模の投資を掲げている。政策の狙いは、量子計算・通信・センサー/計測、ならびに PQC (耐量子計算機暗号) 等を含む技術体系を、研究開発から市場・人材まで一体で強化する点にある。HPC/AI 計算基盤では、CNRS/IDRIS が運用し GENCI が

関与する Jean Zay が、AI コミュニティの需要増に対応して繰り返し拡張されている。CNRS および GENCI の発表は、HPC と AI の収斂 (convergence) を明確に掲げ、生成 AI を含む AI 研究の急増需要に応えるために AI 向け資源を増強してきた経緯を示している。特に拡張の節目を大統領発表と結びつけている点からも、Jean Zay が国家的な AI 研究資源として象徴的に位置付けられていることが分かる。今後の方向性としては、量子戦略に基づく人材・企業支援 (研究から産業化への橋渡し) と、Jean Zay に代表される公的 AI 計算資源の継続強化が並走し、シミュレーションと AI、さらに量子計算を視野に入れた複合計算環境の整備が進むと見込まれる。

### 7.1.6. スイス

スイスでは、Swiss National Supercomputing Centre (CSCS) が運用する Alps が新たな中核研究基盤として整備され、HPE Cray EX をベースに NVIDIA Grace Hopper を 10,752 基搭載する構成が公表されている。CSCS および ETH Zurich の公式発表では、TOP500 (2024 年 6 月) で第 6 位 (第 1 段階) に位置付けられ、フル拡張時には半エクサ級の性能規模を見込むとしている (2025 年の 6 月の TOP500 で達成)。スイスの特徴は、HPC を単なる計算資源ではなく、透明性・信頼性を備えた AI を含む研究基盤として位置付けている点にある。Alps は気候モデル、創薬、宇宙・基礎科学等の幅広い用途に供されると同時に、AI 研究の加速 (生成 AI を含む) を支える国家的インフラとしての役割が強調されている。今後の方向性としては、アクセラレータ集約型構成を活かし、シミュレーションと AI の融合 (例: 物理情報を取り込んだ AI、データ同化等) を一体運用する研究が広がるとともに、電力・冷却制約下での効率運用が一層重要となる。

### 7.1.7. アイルランド

アイルランドでは、Irish Centre for High-End Computing (ICHEC) が中核機関として計算基盤整備を担い、CASPIr を新たな国内中核スーパーコンピュータとしてホストする体制が進められている。ICHEC の公表情報および EuroHPC JU の発表によれば、CASPIr は EuroHPC JU とアイルランド国内資金の混合財源で整備され、導入後は 15 PFLOPS 超の中規模機として、AI/機械学習ワークロード (大規模シミュレーションやデータ解析の一部としての学習・推論) を支援する設計が明示されている。ここで重要なのは、CASPIr が「EuroHPC JU のみ」ではなく国内資金を含む混合であること、そして運用主体が国内機関 (ICHEC/University of Galway) である点である。大学側の公表も、政府と欧州委員会の連携の下で国内研究基盤を強化する文脈を示している。今後は、AI Factory 等の欧州側枠組みと補完的に連携しつつ、国内利用者に対して「HPC+AI」利用を普及させる役割が拡大すると見込まれる。

### 7.1.8. イタリア

イタリアでは、Cineca が大学・研究機関のコンソーシアムとして HPC 基盤を担い、EuroHPC JU 由来の Leonardo に加え、量子計算の国内実装・統合を進める動きが明確化している。特に IQM との合意により、Cineca に 54 量子 bit 級 (IQM Radiance) のオンプレミス量子コンピュータを導入し、HPC 環境との統合 (Leonardo への接続を含む) を前提にした研究基盤化を進める計画が示されている。公表資料では、量子応用最適化、量子暗号、量子通信に加え、AI 駆動の量子アルゴリズム研究にも用途を広げる意図が述べられており、量子単体の実証にとどめず、HPC と組み合わせたハイブリッド計算の研究環境として整備する方向性が読み取れる。今後の方向性としては、量子アクセラレーションの実利用 (具体的には、古典 HPC 上での前処理・後処理と量子計算の組合せ) を前提に、アプリケーション側の開発・人材育成が重要課題となる。

### 7.1.9. オランダ

オランダでは、SURF が運用する国立スーパーコンピュータ Snellius が学術・産業の計算需要を支える中核基盤であり、2024 年 7 月の拡張により理論ピーク性能が 15 PFLOPS から約 38 PFLOPS へ大幅に増強された。SURF の発表は、AI モデル学習需要が世界的に高まる中で、Snellius 拡張が研究者にとって重要な計算基盤強化であることを明確に述べている。量子分野では、Quantum Delta NL (QDNL) が国家量子技術アジェンダの推進母体として位置付けられ、2021 年に National Growth Fund から合計 6 億 1,500 万ユーロの支援が付与されたことが、複数の公的・準公的ソースで確認できる。また 2024 年には追加フェーズへの投資 (2 億 7,300 万ユーロ) も公表され、長期的な国家投資として継続している点が重要である。今後の方向性としては、Snellius の「HPC+AI」強化と、QDNL の研究・人材・産業化投資が並走することで、生成 AI 活用 (研究・産業双方) と量子技術 (研究から実装) を同時に底上げする体制が強化されると考えられる。

### 7.1.10. フィンランド

フィンランドでは、CSC・VTT・Aalto 大学が共同で運営する FiQCI (Finnish Quantum-Computing Infrastructure) が、量子計算を HPC 環境に組み込んだサービスとして提供する点に特徴がある。FiQCI の公募文書および CSC の発表によると、VTT Q50 (50 量子 bit 級) が LUMI 環境を通じてアクセス可能であること、また、研究者向けに定期的な公募として利用枠を提供していることを明記している。さらに Aalto 大学の発表は、VTT Q50 が欧州初の 50 量子 bit 級として整備されたこと、年複数回の公募で運用されることを示している。フィンランドでは制度として、研究者が使える量子-HPC ハイブリッド環境を定着させる意図が読み取れる。生成 AI との関係では、量子アルゴリズム開発を AI/ML で補助する研究 (ハイブリッド最適化など) が想定されやすく、また、LUMI 側での大規模前後処理を前提にした実験設計が可能となる。今後の方向性としては、量子機

の拡張や運用成熟（再現性、セキュリティ、ジョブ管理など）と、HPC 側での AI 統合運用の高度化が同時に求められる。

#### 7.1.11. スペイン

スペインは、EU 復興基金を背景に Quantum Spain を推進し、Spanish Supercomputing Network (RES) を通じた量子計算資源の整備と提供を進めている。欧州委員会のプロジェクトページは、Quantum Spain の枠組みの下で欧州技術に基づく量子計算機を BSC に構築・設置する計画を明示している。Quantum Spain の公式情報では、国家プロジェクトとして量子計算機を RES に提供し、申請ガイド等に基づく利用手続きを整備していることが示され、単発の実証ではなく全国研究コミュニティに対する提供インフラを意図している点が重要である。加えて、政府の発表は、2025～2030 の量子技術戦略を提示し、研究と市場の両面で量子エコシステムを強化し社会実装に備えるという政策目的を明確にしている。また、同政府発表では MareNostrum 5 が言語モデル ALIA の開発に用いられた旨が述べられており、生成 AI と HPC（および今後の量子資源）の接続を国家施策の中で位置付ける姿勢が確認できる。今後の方向性としては、HPC (MN5) と量子資源を「補完関係」として運用し、最適化・材料・暗号などの領域で量子計算を段階導入しつつ、生成 AI 活用も含む計算科学基盤を強化する流れが見込まれる。

#### 7.1.12. ノルウェー

ノルウェーでは、Sigma2 (Uninett Sigma2) を中心に、研究者向けの HPC およびストレージ基盤を全国的に整備している。Sigma2 の公開情報は、用途に応じて複数システム (Betzy、Saga、Fram 等) を提供する構成を示し、特に Betzy を大規模並列計算向け、Saga をスループット型 (逐次～中規模並列) として位置付けるなど、ワークロード特性に合わせた運用方針を明確にしている。また、University of Oslo の説明では、NRIS (Norwegian Research Infrastructure Services) が Sigma2 と主要大学 (NTNU、UiB、UiO、UiT) との協働枠組みであることが述べられており、全国の学術基盤として制度設計されている点が確認できる。これに加え、NTNU の IDUN クラスタは学内 HPC 基盤として整備され、教育・研究双方を支えるローカルインフラとして機能している。今後の方向性としては、全国基盤 (Sigma2/NRIS) と学内基盤 (例：IDUN) の役割分担を維持しつつ、AI ワークロード (学習・推論) の増加に対応した GPU 資源拡充と、研究データ管理・共有を含む運用高度化が重要となる。

#### 7.1.13. まとめ

全体として、欧州の HPC・量子計算の潮流は「生成 AI と物理シミュレーションの共存設計」「環境対応型の冷却・廃熱再利用」「量子アクセラレーションの実装」が主要な方向性である。特に英国、ドイツ、フランス、スイスの国費主導型モデルと、アイルランド、

フィンランド、オランダなどの混合財源モデルの両立が進んでいる。また、量子技術は短期的にはハイブリッド運用による実証、長期的には誤り耐性化と人材育成を重視する傾向にある（表 7.1 も参照）。

表 7.1. 各国主要取組の整理表

国名	主要機関・プロジェクト	特徴・投資規模	生成 AI・量子関連ポイント
英国	Isambard-AI, National Quantum Strategy	25 億ポンド規模の 10 年計画	公的 AI 計算資源を広く開放
ドイツ	HLRS Hunter, LRZ Blue Lion, DLR QCI	連邦政府 7.4 億ユーロ支援	AI とシミュレーションの統合設計
フランス	France 2030、Jean Zay 拡張	10 億ユーロの国家量子戦略	AI モデル研究用計算資源を強化
スイス	CSCS Alps	国費による大型更新 (TOP500 第 6 位)	Grace Hopper による AI・科学計算共用基盤
アイルランド	ICHEC CASPIr	EuroHPC JU+国内資金混合	中規模 AI/ML 研究用リソース
イタリア	Cineca、IQM 統合	国内主導の量子統合実証	量子と古典計算の共存環境
オランダ	Snellius, Quantum Delta NL	National Growth Fund 6 億ユーロ	量子・AI 人材育成と産業化推進
フィンランド	FiQCI, VTT Q5/Q50	国内資金による量子 HPC 連携	量子ハイブリッド研究の公開公募
スペイン	Quantum Spain, MN5	EU 回復計画資金	AI と量子融合の国家戦略策定
ノルウェー	Sigma2, NTNU IDUN	国内 HPC ネットワーク	教育・研究向け GPGPU 基盤

#### 7.1.14. 日本と欧州の共同プロジェクト・協力関係

詳細は 8 章で扱うが補足情報として、欧州の各国と日本は HPC および量子計算分野において、国際的な協力を強化していることについて触れておく。特に 2024 年以降、EU・日本間で複数の共同研究プロジェクトが立ち上がり、研究基盤の共有、人材交流、ハイブリッドアーキテクチャ（量子＋古典計算）の共同開発が進展している。主な取組は以下のとおりである。

まず、HANAMI (Hpc Alliance for Applications and supercomputing Innovation) は、欧州と日本の主要な HPC 研究機関が連携するプロジェクトで、気候変動、材料科学、生医学シミュレーションなどの分野でアプリケーション最適化を進めている。期間は 2024 年 3 月から 2027 年 2 月までで、総予算は約 500 万ユーロである（出典：EuroHPC JU, 2024）。

次に、Q-NEKO (Quantum Network for Enhanced Knowledge and Operation) は、2025 年に欧州委員会と日本政府が署名した意向表明に基づく量子研究プロジェクトである。

欧州側拠出額は約 400 万ユーロで、16 の研究機関が参加し、量子と生成 AI・機械学習を融合したハイブリッドアルゴリズムの開発が進められている（出典：Quantum Computing Report, 2025）。

また、2025 年 5 月 13 日には、日本政府と欧州委員会が「量子科学・技術に関する日欧協力意向表明書（Letter of Intent）」を締結した。この協定は基礎研究から応用・産業化までを包含し、研究者交流、共用インフラ、共同公募など多層的な連携を推進するものである（出典：内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局、2025）。

さらに、EuroHPC JU は「EU-Japan Partnership (HPC/Quantum)」特設ページを開設し、両地域間の研究・イノベーション協力ロードマップを提示している。これにより、HPC・量子技術分野でのリソース共有、混合アーキテクチャ共同設計、セキュリティと標準化の連携が進んでいる（出典：EuroHPC JU, 2025）。

これらの取組は、欧州諸国の国内政策と連動しながら、日欧間の研究エコシステムを形成しており、グローバルな科学技術協力の一翼を担っている。特にドイツ、フランス、オランダ、フィンランドは、既存の国家量子戦略・HPC 計画の枠組み内で日本との連携研究を進めている。

## 7.2. 加速器（GPU）への対応を支援するプログラム

### 7.2.1. 概要

加速器（GPU）への対応を支援するプログラムについては、すでに各国で取り組まれており、次の 3 種類ある。

- ① ハンズオン型支援プログラム
- ② フレームワーク移行型支援プログラム
- ③ アプリケーション対応型支援プログラム

このうち、①の「ハンズオン型」は、ユーザのニーズをベースに、ユーザと支援者がいろいろな対策を相談しながら進める支援プログラムである。②の「フレームワーク移行型」は、すでに標準的な移行手順・移行技術が確立されており、その方法をユーザが適用する際の支援プログラムである。③はアプリケーションの分野を特定した上で、高速化や計算機資源を有効活用するための支援プログラムである。

### 7.2.2. 支援プログラム一覧

欧米ではいくつかの支援プログラムが実施されており、上記の①～③で分類した支援プログラムの一覧を表 7.2 および 7.3 に示す。情報源は次のとおりである。

<https://epicure-hpc.eu/>

<https://lumi-supercomputer.eu/call-for-porting-and-optimizing-software/>

<https://www.sicos-bw.de/>

<https://p3hpc.org/>

<https://www.syclops.org>

<https://www.hpc.cam.ac.uk/oneapi-centre-excellence>

<https://computing.llnl.gov/projects/raja-managing-application-portability-next-generation-platforms>

<https://www.sandia.gov/news/publications/hpc-annual-reports/article/kokkos/>

<https://www.excellerat.eu/>

<https://www.hidalgo2.eu/>

ECP Software Technology Capability Assessment Report V3.0 (June 1, 2022)

ECP Application Results on Early Exascale Hardware (March 31, 2022)

表 7.2. 支援プログラム一覧 (分類・資金源など)

分類	地域	プログラム・プロジェクト名	資金源・主催
ハンズオン型	欧州	EPICURE	EuroHPC JU
	欧州	LUMI Porting Program	LUMI
	欧州	SICOS BW GmbH	MWK、KIT 等
フレームワーク移行型	(欧)米	P3HPC	(産官学)
	欧州	SYCLOPS	Horizon Europe
	欧州	OneAPI Centers of Excellence	UK
	米国	RAJA Portability Suite	LLNL
	米国	Kokkos EcoSystem	SNL
アプリ対応型	欧州	EXCELLERAT P2	EuroHPC JU
	欧州	HiDALGO2	EuroHPC JU
	米国	ECP の一部	DOE/SC

表 7.3. 支援プログラム一覧 (内容・予算関連)

プログラム・プロジェクト名	内容	予算関連
EPICURE	Finland、 1 Feb 2024 ~ 31 Jan 2028、	€ 10M / 4年
LUMI Porting Program	定期的な公募	6人月×6
SICOS BW GmbH	2011年にドイツ科学研究芸術省 MWK の資金提供で設立	10名程度の組織
P3HPC	ワークショップ主催、技術的な評価基準と標準的指針の情報源	協賛金・登録料程度
SYCLOPS	SYCL 利用のための支援・環境開発のコンソーシアム	€4M / 3年
OneAPI Centers of Excellence	OneAPI 利用のための支援	産学連携
RAJA Portability Suite	RAJA 利用のための支援	ECP に含まれる
Kokkos EcoSystem	Kokkos 利用のための支援	ECP に含まれる

EXCELLERAT P2	エンジニアリングアプリでの高速化・計算機資源有効利用	€6M/4年
HiDALGO2	気候変動アプリでの高速化・計算機資源有効利用	€6M/4年
ECPの一部	ECPの中での RAJA や Kokkos の取組	ECP に含まれる

### 7.2.3. 支援プログラム

#### (1) ハンズオン型

##### (a) EPICURE

<https://epicure-hpc.eu/>

EPICURE プロジェクトは、分散型の欧州 HPC アプリケーション支援サービスを確立・運用することで、ユーザ支援の提供体制を改善し、欧州の研究者によるシステムの最大限の活用を促進することを目的としている。

#### 概要

EuroHPC JU アプリケーション・サポート・プロジェクト「EPICURE」は、現在および将来の EuroHPC JU スーパーコンピュータ運用組織の経験と知識を活用し、3か月から18か月の期間にわたり、従来よりも技術的な要素を強化したレベル2およびレベル3のサポートサービスをユーザに提供する。EPICURE が提供するサービスには、コードの有効化とスケーリング、性能分析とベンチマッピング、コードのリファクタリング、およびコードの最適化が含まれる。

知識の共有を促進するため、本プロジェクトは EU の数か国において、特定のアーキテクチャに特化したトレーニング、ハッカソン、ウェビナー、およびワークショップも開催する。

#### 活動内容と体制

EPICURE の体制は表 7.4 のとおりである。

表 7.4. EPICURE の体制

項目	テーマ	パートナー	所在地
WP1: プロジェクト管理	T1.1: プロジェクト管理および財務調整	CSC	フィンランド
	T1.2: 技術管理および運用	CSC	同上
	T1.3: EuroCC、CoE、および将来の EuroHPC JU トレーニングイニシアティブとの戦略的調整および連携	CSC	同上
WP2: コ	T2.1: コード移植とプロジェクトの有効化	BSC	スペイン

ード移植 とスケー リング	T2.2: パフォーマンスの改善、ベンチマーク、パフォーマンス分析	Cineca	伊
	T2.3: EuroHPC JU スーパーコンピュータの模範事例集と技術レポート	University of Antwerp	ベルギー
WP3: コード最適化	T3.1: ノード内最適化	IZUM + JSI	スロベニア
	T3.2: ノード間最適化とスケールアウト	Sofia Tech	ブルガリア
	T3.3: アクセラレータの移植と最適化	LuxProvide	ルクセンブルグ
WP4: 技術のコード ディネー ト	T4.1: EuroHPC JU ピアレビューオフィスとの連携	LuxProvide	ルクセンブルグ
	T4.2: 参加チーム間の技術作業の調整	IT4I@VSB	チェコ
	T4.3: CoE との技術連携	CSC	フィンランド
WP5: 進んだトレ ーニング	T5.1: ニーズ評価とコース開発	Cineca	伊
	T5.2: 配信、評価、改善	INESC TEC	ポルトガル
	T5.3: コミュニケーション、調整、報告	INESC TEC	ポルトガル
WP6: 成 果の普及 とアウト リーチ	T6.1: 欧州 HPC アプリケーション・サポート・ポータルパートナー	CSC	フィンランド
	T6.2: プロジェクトの広報および普及 パートナー	INESC TEC	ポルトガル
	T6.3: イベント パートナー	INESC TEC	ポルトガル

### サポートサービス

- ・ コードの有効化とスケーリング；本サービスは、様々な EuroHPC JU システム向けにコードを移植し、有効化することに特化している。また、アプリケーションの調査を通じてそのスケラビリティを把握し、より多くのノード数にわたって効率的に利用するために必要な改善点を特定することも含まれる。
- ・ 性能分析；当サービスでは、アプリケーションの性能分析を行い、ノード内およびマルチノードにおける性能のボトルネックや改善の可能性（ベクトル化、適切な数学ライブラリの利用、I/O 最適化、MPI など）を特定する。
- ・ ベンチマーキング；ベンチマーキングサービスは、マシンの性能を分類するためのベンチマークを標準化することを目的としている。これらのベンチマークは、アーキテクチャを分類するための貴重な洞察を提供し、典型的な問題やタスクに対して最も適したアーキテクチャを決定する助けとなる。
- ・ コードのリファクタリング；本サービスでは、アプリケーションの機能を変更することなく、保守性を向上させ修正を容易にするために、コードの一部を再構成または書き換える。リファクタリングには通常、ソースや構造を一般的なプログラミングスタイルや標準により適合させるためのコード変更が含まれ、多くの場合、大規模な変更（例：GPU への移植）を行う前の最初のステップとなる。
- ・ コードの最適化；コード最適化サービスの目的は、ソフトウェアの機能を変更することなく、その効率と性能を向上させることである。この手順では、他の EPICURE サービス（性能分析やスケーリング分析など）の結果を活用し、EuroHPC JU システム

上のリソース（時間、メモリ、CPU、ディスク容量など）の消費を抑えるためのソフトウェア変更を実装する。

#### **(b) LUMI Porting Program**

<https://lumi-supercomputer.eu/call-for-porting-and-optimizing-software/>

本プログラムは、AIアプリケーションを含むソフトウェアの LUMI-G および AMD GPU への移植・最適化支援の募集（2025 年 4 月 7 日）である。

#### **概要**

本公募で採択されたプロジェクトは、HPE LUMI センター・オブ・エクセレンス（LUMI CoE）および LUMI ユーザサポートチームから、移植と最適化の支援を受けることができる。今回のラウンドでは最大 6 プロジェクトが選出される。採択プロジェクトは、LUMI CoE および LUMI ユーザサポートチームから、2~6 人月（person-months）に相当する移植・最適化支援を受けることができる。また、採択されたチームは、2025 年 12 月 1 日から 5 日にスイスで開催されるハッカソンに招待される。

#### **応募資格**

本公募はオープンなものである。LUMI 計算リソースの割り当てを受ける資格のある組織のメンバーであれば、誰でもこのプログラムに応募できる。すなわち、EuroHPC JU 関連国および LUMI コンソーシアム加盟国の研究機関に所属する研究用ソフトウェア開発者が応募可能である。また、それらの国に本社を置く企業も対象となる。博士課程の学生やポストドクターも応募可能だが、その場合は追加の推薦状を求めることがある。

#### **募集内容**

科学用ソフトウェア（AI ソフトウェアを含む）を LUMI の AMD GPU 計算アーキテクチャに最大限適応させることに関心があり、ベンダー（AMD および HPE のエキスパート）からの具体的な技術支援を必要としている研究グループや企業を募集している。

対象となるソフトウェアは、すでに複数の CPU で並列化されており、できれば MPI（または同等の手法）を用いて多ノード間で動作するものであることが期待される。主な焦点は AMD GPU の利用を可能にすることであるが、採用するプログラミング・パラダイムによっては、その成果として他の GPU やアクセラレータでも動作するようになる可能性がある。主にオープンソースライセンス、あるいは少なくともアカデミックフリーで利用可能なソフトウェアプロジェクトを募集している。商用ライセンスのソフトウェアは、例外的な場合にのみ検討対象となる。その場合でも、アルゴリズムを説明する学術論文など、実装のハイレベルな記述は公開されなければならない。

## 応募書類の構成

- ・ ソフトウェアの紹介と背景：対象とする科学分野と用途（約 1 ページ）
- ・ 科学的動機：移植プロジェクトが成功した場合の潜在的なインパクト（例：どのようなシミュレーションが可能になるか）（約 1 ページ）。
- ・ ソフトウェア開発の観点からの技術的解説：テンプレートに記載すべき情報の指針がある。簡潔なプロジェクト計画（約 1 ページ）と、ソフトウェア（の一部）をどのように GPU へ移植するか、およびその理由（約 1 ページ）。

## 選考方法

選考プロセス プロジェクトは 2 段階のプロセスで選定される。まず、提案書に対して科学的・技術的審査が行われ、順位付けがなされる。科学的審査は LUMI コンソーシアムおよび外部評価者によって行われる。技術的審査は LUMI ユーザサポートチームと LUMI CoE のメンバーによって行われる。その後、最終候補リストが作成され、上位の提案者はインタビュー（リモートで約 1 時間）を行う。インタビューに先立ち、応募者にはコメントが提供され、申請内容に更なる詳細を追加する機会が与えられる。インタビューでは技術的な実現可能性のみに焦点を当て、科学的な価値については評価対象としない。

## 選考基準

科学的評価は、主にそのソフトウェアが使用される特定の科学分野における潜在的なインパクトに基づいて行われる。応募者の科学的な実績（論文数など）の優先順位は相対的に低い。さらに、提案されたソフトウェアや実装がその分野の最先端と比較してどうか、また移植の成功が LUMI で現在利用可能なソフトウェアの欠落を埋めるものであるかどうか評価される。

## (2) SICOS BW GmbH

<https://www.sicos-bw.de/>

SICOS BW GmbH は、ドイツ・シュトゥットガルトに本社を置く、HPC および DA/AI（データ分析／人工知能）に関する技術移転を支援する有限責任会社（GmbH）である。

### (a) 概要と特徴

HPC および DA/AI（データ分析／人工知能）に関する技術移転の確立された存在として、Sicos BW は、特に中小企業の環境において未来技術の活用を推進するために決定的な貢献を果たすことができる。目標は、自社ビジネスにおける未来技術の導入を検討する際、Sicos BW がその相談窓口（コンサルティング先）であることを、すべての中小企業が認識している状態にすることである。

- ・ 設立と目的：2011 年、シュトゥットガルト大学とカールスルーエ工科大学（KIT）によって設立。主なミッションは、中小企業に対し、HPC やデータ分析といった先端技

術へのアクセスを容易にすることである。

- ・ **資金モデル:** 2011 年の州科学省 (MWK) による初期投資を経て、2016 年からは科学省と株主大学 (シュトゥットガルト大・KIT) がコストを分担する持続的な資金モデルへと移行した。
- ・ **支援内容:** 単なる計算資源の提供だけでなく、情報提供、アクセス支援、そして企業が「自律的に」技術を使いこなせるようになるためのコンサルティング (仲介役) を担う。

## (b) 経緯

当初の人員は 3 名であったが、長年の間に (プロジェクト資金による雇用を増やしながらか) 10 名の専門家チームへと成長した。Sicos BW は設立当初から、自社イベントの開催や、講演者・出展者・参加者としての業界イベントへの出席を通じて、その知名度を高めてきた。さらに、Sicos BW は長年にわたり、バーデン=ヴュルテンベルク州、ドイツ国内、そしてそれ以上に広がる大学、研究所、(ソフトウェア) 企業を含むパートナーネットワークを拡大し続けてきた。現在、その数は 50 を大幅に上回っている。2014 年からは専門家として EU プロジェクトの実施にも参画している。2015 年からは、助成プログラムや継続教育 (トレーニング) の提供への協力も同様に活動計画に組み込まれている。

## (c) サービス内容

Sicos BW は、公共の助成を受けて活動する中立的な専門機関であり、主に中小企業 (KMU) を対象として、先端技術の導入に関わる以下のサービスを原則無料で提供している。

### 総合コンサルティングと導入支援

- ・ **情報提供:** HPC や AI がビジネスにもたらす可能性についての普及活動を行う。
- ・ **評価と選定:** 企業の課題に応じた最適なツールや手法の評価、および選択に関する助言を行う。
- ・ **導入の実装:** 技術の選定にとどまらず、企業内での実運用に向けたプロセスを確実にサポートする。

### HPC・シミュレーション

- ・ **開発の最適化:** シミュレーションや高度な計算を活用し、製品開発のスピードアップと競争力の強化を支援する。
- ・ **コスト削減:** 新規開発や改良に伴う投資コストを抑え、効率的な開発体制の構築を助ける。
- ・ **技術活用の定着:** 複雑な HPC 技術を、より安価かつ簡便に利用するための具体的なノウハウを提供する。

## データ分析と AI

埋もれたデータの活用: 社内データから価値ある情報を抽出するための診断を行い、データ分析による可視化を支援する。

- ・ **AI 導入の技術検証**: AI の適用可能性を検討し、保有するデータの質や量が十分であるかを分析・判断する。
- ・ **ツールの最適化**: スマートデータ技術や AI 技術を用いた具体的な分析手法を提案し、最適なツールの選定を支援する。

## SICOS BW を利用するメリット

中立的な立場: 特定のベンダーに依存しない、企業の利益を最優先した中立的なアドバイスが受けられる。

- ・ **中小企業への配慮**: 公的資金による支援のため、予算の限られた中小企業でも専門家の知見を無料で活用できる。
- ・ **コストパフォーマンス**: 先端技術を想像以上に低コストで導入するための道筋を提示する。

### (3) フレームワーク移行型

#### (a) P3HPC

<https://p3hpc.org/>

#### 概要

「HPC における性能、移植性、生産性 (P3HPC)」イベントは、研究者やアプリケーション開発者が、HPC における性能、移植性、生産性 (P3) の各段階に位置する重要な課題に取り組む中で得た成功体験や失敗体験について議論する場を提供している。

特に、実世界のアプリケーションや現実的なワークロードの複雑性、特注ソリューションから生じるコンポーザビリティの課題、そして異種混在化の進展や新たなアーキテクチャの登場という時代において、アプリケーションを「将来に備えた」ものにするという要望に取り組む研究に関心を持っている。P3 というテーマは HPC ソフトウェア開発の多くの側面に関わるものであり、コンパイラ、言語、ランタイムの専門家、パフォーマンス・エンジニア、そして各分野の科学者など、幅広い経験と視点を持つ人々を惹きつけている。

#### ワークショップ

P3HPC ワークショップは、2018 年より SC (Supercomputing) プログラムの一環として開催されている。ワークショップに投稿された論文は査読を受け、採択された論文は、IEEE 高性能計算技術委員会 (TCHPC) により、IEEE Xplore Digital Library にて公開

される。

### フォーラム

P3HPC フォーラムは、DOE の国立研究所が主催してきた一連の成功したイベントから発展したものである。アルゴンヌ、ローレンス・バークレー、ローレンス・リバモア、ロスアラモス、オークリッジ、およびサンディアの各国立研究所には、研究所の計算科学者とベンダーが協力し、科学アプリケーションが現在および次世代のスーパーコンピュータを確実に活用できるようにするための「センター・オブ・エクセレンス (COE)」が存在する。2016年に第1回 DOE センター・オブ・エクセレンス性能ポータビリティ会議が開催され、2020年に P3HPC ワークショップと足並みを揃える形で現在の名称に変更された。このフォーラムは、議論とフィードバックを促進するように設計されている。そのため、投稿内容は予備的な結果から、以前の会議やワークショップで発表済みの完了した研究まで多岐にわたり、技術発表、分科会、パネルディスカッション、技術ポスターなど、様々な形態をとる。

### (b) SYCLOPS

#### 概要

AI の普及は、AI ワークロードを効率的に処理できる革新的なハードウェア・アクセラレータの市場をもたらした。不運なことに、現在普及しているすべての AI アクセラレータは独自のハードウェア・ソフトウェアスタックを採用しており、少数の大手企業によるアクセラレーション市場の独占を招いている。EU が資金提供する SYCLOPS プロジェクトは、オープンスタンダードに基づいた構築を行うことで、AI ハードウェア・アクセラレーションの民主化を目指している。

ハードウェア面において、研究者たちは RISC (縮小命令セットコンピュータ) の確立された原則に基づくオープンな命令セットアーキテクチャである RISC-V の採用を推進する。ソフトウェア面においては、オープンでベンダーを問わず、クロスアーキテクチャなプログラミングモデルである SYCL の採用を推進する。SYCLOPS を通じて実現される標準化された AI アクセラレーションは、極限的なデータ分析のパフォーマンスと拡張性を向上させることが期待されている。

- URL : <https://www.syclops.org>
- 名称 : Scaling extreme anALYtics with Cross-architecture acceLeration based on OPen Standards
- 機関 : 1 January 2023 ~ 31 December 2025
- 実施地域 : France
- 総予算 : 約 410 万ユーロ (100% EU 負担)

## 目的

SYCLOPS プロジェクトのビジョンは、オープンスタンダードを用いた AI アクセラレーションを民主化し、欧州およびそれ以外の地域において健全で競争力のあるイノベーション主導のエコシステムを可能にすることで、極めて大規模かつ多様なデータに対する AI/データマイニングのより優れたソリューションを実現することである。

## 構成メンバー（アルファベット順）

- ・ **Accelom (Accelom SAS)** : データ集約型の計算や、複雑なアルゴリズムのハードウェア・アクセラレーションを専門とするフランスの企業。
- ・ **CERN (European Organization for Nuclear Research)** : スイスのジュネーブに拠点を置く世界最大規模の粒子物理学研究所。膨大な実験データを処理するための計算インフラを提供。
- ・ **Codasip (Codasip s.r.o.)** : カスタマイズ可能な RISC-V プロセッサ IP と自動設計ツールのリーディングプロバイダー。アプリケーションに特化したプロセッサ設計を支援。
- ・ **Codeplay (Codeplay Software Ltd)** : SYCL を筆頭に、ヘテロジニアス・コンピューティングのためのオープンスタンダードなプログラミング・ソリューションを開発するスコットランドの企業。
- ・ **Eurecom (Institut Eurecom)** : フランスの通信システム専門の教育・研究機関。次世代ネットワークやデータサイエンスの研究で知られる。
- ・ **Heidelberg (Heidelberg University/Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg)** : ドイツ最古の大学。本プロジェクトでは、コンピュータアーキテクチャや並列プログラミングの研究グループが中心となって参画。
- ・ **HIRO Microdatacenters (HIRO MicroDataCenters B.V.)** : エッジ・コンピューティング向けの分散型マイクロデータセンター・ソリューションを開発するオランダの企業。省電力かつ高性能なインフラを提唱。
- ・ **INESC-ID (Institute for Systems and Computer Engineering, Research and Development in Lisbon)** : リスボンを拠点とする、コンピュータサイエンス、電子工学、情報技術の分野で活動するポルトガルの主要な研究機関。

## 活動内容

SYCLOPS はコンピュータアーキテクチャ、プログラミング言語、システムおよびランタイム、ビッグデータ、HPC、自律システム、高エネルギー物理学、そして精密腫瘍学における専門知識を統合し、AI アクセラレーションのための斬新なインフラストラクチャ、プラットフォーム、およびアプリケーションツールの開発を目指す。このビジョンは、業界における以下の重要なトレンドの収束に依拠している。

- ・ AI およびアナリティクス・アクセラレーションのためのオープンな命令セットアーキテクチャ (ISA) である、RISC-V の標準化と採用。
- ・ RISC-V を含むあらゆる種類のアクセラレータのための、オープンかつクロスアーキテクチャなプログラミングモデルとしての SYCL の出現と成長。

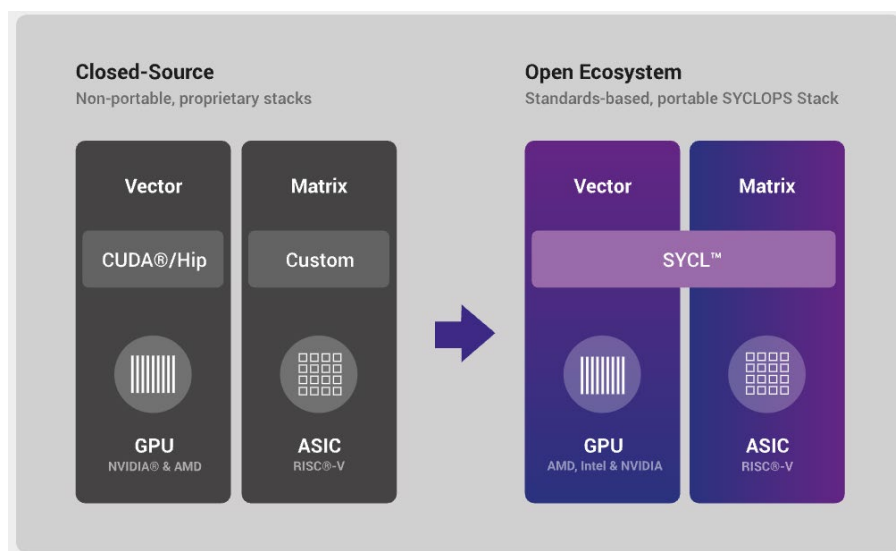


図 7.7.1. SYCLOPS の目標

### プロジェクト

SYCLOPS プロジェクトの目標は、標準に基づいた完全にオープンな AI アクセラレーション手法を用いて、エクストリーム・データアナリティクスの性能とスケーラビリティにおける画期的な進歩を実証するために、これらの標準を初めて結集させることである。そして、相互運用可能（オープンかつベンダーニュートラルなインターフェース/API）、信頼可能（検証可能かつ標準に基づいたハードウェア/ソフトウェア）、かつグリーン（アプリケーション固有のプロセッサカスタマイズによる）な AI システムの開発を可能にすることである。

### (c) OneAPI Centers of Excellence

<https://www.hpc.cam.ac.uk/oneapi-centre-excellence>

### ケンブリッジ大学 RCS (Research Computing Services)

OneAPI Centers of Excellence は、ケンブリッジ大学におけるデジタル研究インフラストラクチャの国家拠点である RCS (Research Computing Services) 内の組織である。RCS は、世界最高峰の HPC システムおよびデータストレージシステム的设计、導入、維持を行っている。本組織は、学内、広くは英国のアカデミックのコミュニティ、および選

定された商用パートナーに対し、高度で安全かつ拡張性のあるデジタル研究インフラストラクチャを提供している。

研究計画においてデスクトップやノート PC がボトルネックとなっている場合や、数千個の CPU へのスケールアップ、あるいはペタバイト級のデータ分析が必要な場合など、RCS は研究コミュニティに対し、あらゆる規模に応じた次の4つの分野において、サービスを提供する。

- ・ ハイパフォーマンス・コンピューティング
- ・ 高速かつ大規模なストレージ・オプション
- ・ リサーチ・ソフトウェア・エンジニアリング
- ・ 安全な研究プラットフォーム

RCS は、Dell Technologies がスポンサーを務め、UKAEA、DiRAC、Intel、およびペンブルック・カレッジとの提携による産業資金提供イニシアティブ「ケンブリッジ・オープン・ゼタスケール・ラボ」の本拠地である。また、RCS は「気候科学コンピューティング研究所 (ICCS)」のリサーチ・ソフトウェア・エンジニアリング・チームも受け入れている。

RCS は、計算科学やデジタル学術研究を可能にするためのシステム、専門知識、およびトレーニングを提供している。データ、ソフトウェア、計算集約型のワークフローのためのリソースを提供することで、研究者や産業パートナーを支援する。

## RCS の研究所

- ・ Cambridge Open Zettascale Lab
  - Cambridge Open Zettascale Lab は、次世代技術におけるイノベーションを促進しつつ、HPC における実用的なブレークスルーを実現することに注力している。ケンブリッジ大学、ペンブルック・カレッジ、Intel、および Dell Technologies のコラボレーションによって設立された同ラボは、世界のテクノロジーリーダーと研究者を結集し、HPC の未来を探索、試験、前進させている。
- ・ 気候科学コンピューティング研究所 (ICCS)
  - Institute of Computing for Climate Science は、気候科学の分野におけるソフトウェア工学、計算機科学、人工知能、およびデータサイエンスの役割を研究し、支援している。
- ・ oneAPI センター・オブ・エクセレンス (CoE)
  - oneAPI センター・オブ・エクセレンスは、オープンな加速コンピューティングに貢献し、オープンスタンダード、コラボレーション、およびこのエコシステムの一部としてのサポートを通じて、次世代のイノベーションを推進している。アカデミアと産業界のトップインフルエンサーが主導する oneAPI センター・オブ・エクセレンスは、oneAPI の加速と採用を実現し、オープンソースのコード

ベース化やカリキュラム開発を可能にし、oneAPI エコシステム・イニシアティブを促進する。主に、オープンで標準に基づいた、クロスアーキテクチャで統一されたプログラミングモデルのためのイノベーションをけん引している。

#### OneAPI Centers of Excellence の活動内容

oneAPI センター・オブ・エクセレンス (oneAPI Center of Excellence) は、このエコシステムの一環として、オープンな標準規格、コラボレーション、およびサポートを通じて次世代のイノベーションを推進し、オープンなアクセラレーテッド・コンピューティングに貢献している。学术界および産業界のトップクラスのインフルエンサーによって主導される oneAPI センター・オブ・エクセレンスは、oneAPI の加速と普及を担い、オープンソース・コードベースの実現、カリキュラム開発、および oneAPI エコシステム・イニシアティブの更なる進展を支援する。主に、オープンで標準に基づいた、クロスアーキテクチャかつ統一されたプログラミングモデルのためのイノベーションをけん引している。

さらに、当センター・オブ・エクセレンスでは、高度なスキルを持つソフトウェア・エンジニアリングの専門家によるコースやワークショップを提供しており、コードのコンパイルや移植、さらにはパフォーマンスの最適化のための oneAPI の手法とツールを指導している。

#### Cambridge Open Zettascale Lab の活動

ケンブリッジ・オープン・ゼタスケール・ラボ (Cambridge Open Zettascale Lab) は現在、oneAPI のアカデミック・コミュニティおよびセンター・オブ・エクセレンスの一部となっている。同ラボは、有力なエクサスケール候補コードを oneAPI へ移植することに注力している。これらには、CASTEP、FEniCSx、および AREPO が含まれる。

AREPO は、重力 N 体演算および磁気流体力学のための大規模並列コードである。様々なタイプの問題に適用可能な柔軟なコードであり、数多くの洗練されたシミュレーション・アルゴリズムを提供している。

CASTEP は、第一原理から材料の特性を計算するために広く使用されているエクサスケール・コードの一つである。CASTEP コードは従来のスーパーコンピュータ上で良好なスケラビリティを示すが、スーパーコンピューティングの未来はヘテロジニアス・システムにある。oneAPI は、OpenMP 5.0 を用いたインテル GPU への計算オフロードや、数学関数の効率的な GPU 加速のための Intel oneAPI Math Kernel Library の活用を通じて、これらのリソースを効果的に使用できるよう支援している。

#### (d) RAJA Portability Suite

<https://computing.llnl.gov/projects/raja-managing-application-portability-next-generation-platforms>

RAJA Portability Suite は、HPC 対応の CPU および GPU アプリケーションを実現するためのオープンソースのソフトウェアライブラリの集合体で、開発者がポータブルな高性能アプリケーションを構築できるように支援している。

## 背景

益々、多くの科学計算アプリケーションにおいて、CPU および GPU のハードウェアプラットフォーム上で高い性能を発揮することが不可欠となっている。ハードウェアベンダーが電力消費などの物理的制約を守りつつ性能向上を追求した結果、計算ノードのアーキテクチャは、前世代のプラットフォームよりも複雑かつ多様になりつつある。

さらに、DOE の各研究所は、El Capitan (LLNL)、Frontier (ORNL)、Aurora (ANL)、Perlmutter (LBNL) といった、3 つの異なるベンダーの GPU を搭載したマシンを調達している。このような環境下では、複数のプラットフォームで効率的に動作するアプリケーションの開発は、ますます困難になり、時間を要するものとなっている。

これらの課題は、LLNL の核兵器備蓄管理ミッションに不可欠なツールである ASC プログラムのアプリケーションにとって、特に深刻である。典型的な大規模統合マルチフィジックスコードは、数百万行のソースコードと数万の数値演算カーネルを含んでおり、広範囲にわたる複雑な数値演算が実行される。ハードウェアや並列プログラミングモデルの多様化により、アプリケーションソフトウェアに対してプラットフォーム固有の劇的な変更を加えることなしに高い性能を達成することは、ますます困難になっている。

## RAJA の役割

- ・ 概要
  - RAJA ポータビリティスイートは、開発者がポータブルな（すなわちシングルソースの）高性能アプリケーションを構築できるようにするためのオープンソースソフトウェアライブラリ群である。RAJA ポータビリティスイートは、ポータブルな並列数値演算カーネル実行を可能にするソフトウェア抽象化 (RAJA) と、ヘテロジニアスなメモリシステムを持つ計算プラットフォーム向けのメモリ管理（具体的には Umpire および CHAI ライブラリ）を提供する。RAJA ポータビリティスイートの開発は、LLNL の ASC プログラム、RADIUSS プロジェクト、および DOE エクサスケール・コンピューティング・プロジェクト (ECP) によって支援されている。GitHub 上のオープンソースプロジェクトとして、RAJA ポータビリティスイートのライブラリは、利用者と貢献者のコミュニティを拡大し続けている。
- ・ 本番環境で実証されたポータビリティソフトウェア
  - LLNL のほとんどの ASC アプリケーションに加えて、多くの ECP アプリケーションや ASC 以外の LLNL アプリケーションが、多様なプラットフォームで動作

するために RAJA ポータビリティスイートに依存している。LLNL の組織的な取組である RADIUS は、外部との連携を促進し、RAJA ポータビリティスイートのソフトウェアを ASC 以外のアプリケーションへ統合するための資金を提供している。RAJA ポータビリティスイートは、LLNL における ASC アプリケーションの GPU 移植戦略の中心となってきた。

- 適用例

- 図 7.2 は LLNL の ASC プログラムのアプリケーションが、LLNL 初の GPU 搭載本番システムである Sierra の計算能力を活用するために、どの程度 RAJA ポータビリティスイートを採用しているかを示している。Sierra は、計算能力の 90% 以上を構成する NVIDIA V100 GPU を搭載している。これらのアプリケーションは、2023 年から 24 年にかけて El Capitan が導入される際、AMD 製の新しい GPU へ迅速に適応できる有利な立場にある。その一方で、これらのコードは再コンパイルするだけで CPU ベースのプラットフォーム上でも動作し続け、RAJA の存在によって、SIMD ベクトル化といった CPU 機能に対するプラットフォーム固有の最適化が可能になる。これらすべては、アプリケーション開発者から隠蔽された形で行われる。

Table 1. Most LLNL ASC applications rely on the RAJA Portability Suite libraries RAJA, Umpire, and CHAI to run on Sierra.

Major LLNL ASC Program Applications								
	Ares	ALE3D	Kull	MARBL	Ardra	Mercury	Teton	Hydra
Language	C++	C++	C++	C++ & Fortran	C++	C++	Fortran	C++/C
CPU/GPU Execution Model	RAJA	RAJA	RAJA	RAJA + MFEM & OpenMP	RAJA	CUDA & RAJA	OpenMP & CUDA-C (possibly RAJA)	Exploring OpenMP, CUDA, RAJA
Data Transfer	UM + Explicit	CHAI	UM	Explicit	CHAI	UM	Explicit	Explicit, Exploring CHAI
Memory Allocation	Umpire	Umpire	Umpire	Umpire	Umpire	Umpire	Umpire	Explicit, Exploring Umpire

図 7.2. LLNL ASC 主要アプリケーションにおける RAJA ポータビリティ

- 並列実行とメモリの相互作用を管理

- ECP (エクサスケール・コンピューティング・プロジェクト) および NNSA (国家核安全保障局) のアプリケーション開発者らは、RAJA ソフトウェアを C++ アプリケーションに統合することは極めて明快であると報告している。これにより、従来の計算プラットフォームで高い性能を維持しつつ、CPU ベースであれ GPU ベースであれ、新たなハードウェア上での実行が可能になる。一度統合してしま

えば、これらのツールは、アプリケーションのソースコードを大幅に乱すことなく、プラットフォーム固有の最適化を可能にする。

- **RAJA** ポータビリティスイートにおいて、**RAJA** は、並列カーネルのソースコードを変更することなく、複雑な並列カーネルを構成・変換できるように設計された「並列カーネル実行 API」を提供している。C++テンプレートを用いて実装されたこの API は、アプリケーションのソースコードをハードウェアや基盤となるプログラミングモデルの詳細から隔離する。これにより、専門分野のエキスパートは、正しいコードを書くことに集中しながら、自身の計算に固有の並列性を表現することができる。並列性の表現には、基盤となるハードウェアプラットフォームに関する基礎知識と、アプリケーションカーネルが並列で正しく実行されることの検証が必要となる。
- **RAJA** の API は **Separation of Concerns** を可能にする。これにより、パフォーマンス分析の高度な専門知識を持つ開発者は、アプリケーションのソースコードを改変することなく、**RAJA** の抽象化層を利用して特定のハードウェアプラットフォーム向けにパフォーマンスのチューニングを行うことができる。

*Table 2. RAJA provides a variety of interfaces that support a variety of parallel programming constructs and parallel programming model execution back-ends.*

<p>Simple &amp; complete loop patterns and execution</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Non-perfectly nested loops</li> <li>• Loop tiling</li> <li>• Hierarchical parallelism</li> <li>• Shared and thread local memory</li> </ul>	<p>Loop transformations (without changing app code)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Change loop iteration patterns, permute loop nest ordering</li> <li>• Multi-dimensional data views with offsets and index permutations</li> <li>• Fine-grained CPU thread-block mapping control</li> <li>• Hierarchical parallelism, asynchronous execution</li> </ul>
<p>Multiple execution back-ends</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sequential</li> <li>• SIMD (via vector intrinsics, in progress)</li> <li>• OpenMP (CPU &amp; device offload)</li> <li>• Intel Threading Building Blocks (partial)</li> <li>• CUDA</li> <li>• AMD HIP</li> <li>• SYCL (in development)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Portable reductions, scans, atomic operations, sorts...</li> <li>• GPU kernel fusing (to reduce impact of GPU launch overhead for small kernels)</li> <li>• Other work in progress               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ API to encapsulate SIMD/vectorization intrinsics</li> <li>◦ Dynamic plugins to enable tool integration</li> </ul> </li> </ul>

**図 7.3. RAJA が提供する多様な並列プログラミング構造および実行に関する概要**

- サポート体制
  - **RAJA** の開発チームは、**RAJA** の機能を最適化および汎用化し、複数のアプリケーションチームがその成果を享受できるように取り組んでいる。**RAJA** の開発には、約 40 名の活発なコントリビューターと 8 名のコアプロジェクトチームの専門知識が

結集されており、さらに IBM、NVIDIA、AMD、Intel、HPE といったベンダーとの連携を通じて新世代ハードウェアのサポートを行っている。RAJA は、多様なループや実行パターンをサポートする一連の並列カーネル実行インターフェースに加え、ポータブルなリダクション、スキャン、ソート、およびアトミック操作のための構成要素を提供している。

#### (e) Kokkos

<https://www.sandia.gov/news/publications/hpc-annual-reports/article/kokkos/>

Kokkos は、C++プログラミング言語で記述された HPC 向けアプリケーションを対象に、サンディア社が提供するベンダー独自のプログラミング環境を提供するためにリリースされたエコシステムである。

#### 背景

2016 年から 2017 年にかけて、HPC の分野は、よりエネルギー効率とコスト効率の高いプロセッサを製造するという根本的な物理学的課題に突き動かされ、新たな時代へと突入した。1990 年代半ばに MPI 標準に収束して以来、アプリケーション開発者は、基盤となるマシンを「協調して動作する同質なノードの分散集合体」という、一見静的なものとして捉えてきた。しかし、約 20 年にわたる独占的な支配を経て、パラレル化の唯一の手段として MPI のみを用いることは、将来の更なる性能向上の妨げとなった。近い将来においても、MPI が計算ノード間の通信の基本メカニズムとして機能し続けることは広く期待されているが、高い性能と効率の目標を達成するためには、計算ノード自体に更なる並列性が必要とされる。

#### Kokkos の構成

今日のトップクラスの HPC システムのアーキテクチャを概観すれば、パラダイムの転換は明らかである。世界最先端のマシンの計算ノードは、それぞれ数十個のコアを持つメニーコア・チップを搭載しているか、あるいは、従来の CPU が、最大 20 万個の処理スレッドを同時に実行する超並列計算アクセラレータに仕事を割り振るヘテロジニアス（異種混合）設計を採用している。アプリケーション開発者にとって事態を更に複雑にしているのは、プロセッサベンダーごとに、自社のアーキテクチャ向けにコードを書くために推奨される手法が異なっている点である。

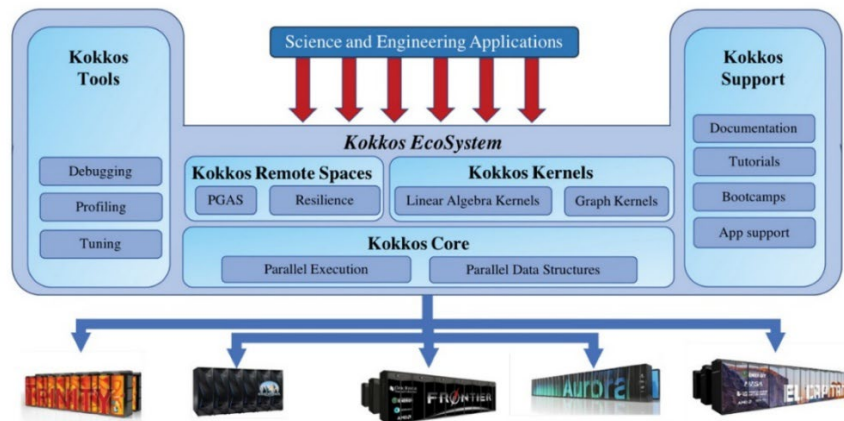


図 7.4. Kokkos の構成

### Kokkos EcoSystem

C++プログラミング言語で書かれた科学、工学、数学ソフトウェアアプリケーション向けに、ベンダーに依存しないパフォーマンス・ポータブルなプログラミングシステムを提供することで、この HPC システム設計の新たな時代に対応すべく、2017年に SNL によってリリースされた。Kokkos を使用することで、アプリケーション開発者は、各アーキテクチャで別々のバージョンのソフトウェアを作成・維持する必要がなくなり、また各アーキテクチャ独自の要件に精通した専門家である必要もなくなるため、生産性を高めることができる。代わりに、多様な現代の HPC アーキテクチャに対して、単一のプログラミング手法を手にするようになる。

Kokkos は 2011 年にプログラミングモデルのみとしてスタートしたが、複雑なアプリケーションにはそれ以上のものが必要があることがすぐに明らかになった。ポータブルな数学関数を持つことも極めて重要であり、開発者はアプリケーションをデバッグし、コードの性能特性を把握し、自動化されたプロセスを通じてアルゴリズムの性能パラメータを調整するためのツールを必要としている。Kokkos エコシステムは、「Kokkos Core」プログラミングモデル、「Kokkos Kernels」数学ライブラリ、および「Kokkos Tools」プロジェクトという 3 つの主要コンポーネントを通じて、これらのニーズに対応している。

### Kokkos Core

共有メモリ並列アーキテクチャ向けのプログラミングモデルである。このモデルにより、アプリケーションで書かれたほとんどのコードが、アーキテクチャ間でパフォーマンス・ポータビリティを維持できるようになる。このプログラミングモデルには、頻繁に使用される並列計算パターンの抽象化、それらの計算パターンをどのように適用するかを詳細に指定するポリシー、および並列計算がどの計算リソースで実行されるかを示す実行スペースが含まれている。また、一般的なデータ構造のパターン、それらのデータ構造がメモリ上でどのように配置されるかを詳細に指定するポリシー（メモリレイアウト）、およびデ

ータがどのメモリに常駐するかを示すメモリスペースも含まれている。

**Kokkos Core** プログラミングモデルは、アプリケーション開発チームに対し、**Kokkos** のパターン、ポリシー、およびスペースを用いてアルゴリズムを実装することを要求する。これにより、**Kokkos Core** は、最高の性能を達成するために必要なアーキテクチャ固有のルールに従って、これらのアルゴリズムとデータ構造を各ターゲットアーキテクチャに自由にマッピングできるようになる。他のプログラミングモデルも実行パターン、実行ポリシー、実行スペース、メモリスペースをサポートしているが、パフォーマンス・ポータビリティに不可欠な「メモリレイアウト」と「属性 (traits)」をサポートしているのは **Kokkos** だけである。

### **Kokkos Kernels**

あらゆるアーキテクチャで最高の性能を達成するために、多くの **HPC** アプリケーションで使用される線形代数およびグラフアルゴリズムのソフトウェアライブラリである。このライブラリのベースライン版は、移植性と良好な性能を確保するために **Kokkos Core** プログラミングモデルを使用して書かれている。このライブラリはアーキテクチャ固有の最適化を備えているほか、必要に応じてベンダー固有のバージョンの数学アルゴリズムを呼び出すこともできる。これにより、アプリケーションチームが開発すべきアーキテクチャ固有のソフトウェアの量が更に削減され、「クラス最高」の性能を達成するための修正コストが更に低減される。

### **Kokkos Tools**

**Kokkos Tools** は革新的な「プラグイン」ソフトウェアインターフェースであり、**Kokkos** のプログラミングモデルとランタイムを理解する一連のツール群である。デバッグ、プロファイリング、およびチューニングツールを提供することで、本プロジェクトはコードのライフサイクル全体を通じてアプリケーション開発者を支援する。デバッグおよび正当性確認ツールは、手動の検査ですら見逃されがちな複雑なソフトウェアバグやコーナーケースの特定に役立つ。開発チームは性能プロファイリングツールを使用して、設計・実装したアルゴリズムがどの程度優れているかを判断し、改善が必要な箇所を特定できる。直近では自動チューニングツールが追加され、アプリケーションが新しいハードウェアに自動的に適応できるようになり、ユーザが利用したい新しい **HPC** プラットフォームごとに開発者がコードを微調整する必要性が軽減された。さらに、ツールのプラグインインターフェースにより、サードパーティのツールプロバイダーも同様の方法で **Kokkos** コードと連携できるため、**Tau** や **HPCToolkit** といった広く使用されているプロファイリングツールで **Kokkos** を理解することが可能になっている。

## まとめ

今日、Kokkos EcoSystem は、かつてないほど多くのアプリケーションチームが高度な計算アーキテクチャ上で移植性を実現し、性能を向上させることを可能にしている（2.3節を参照）。もはや SNL だけではなく、現在のコアとなる Kokkos チームは、5つの DOE 国立研究所に分散した開発者で構成されており、エコシステムの維持・改善に加え、各機関の Kokkos ユーザのサポートにあたっている。「Kokkos Remote Spaces」のような新たな取組は、より広範な将来の HPC アプリケーションのニーズをカバーしており、専用のサポート活動を通じてソフトウェアエンジニアや計算科学者の教育・トレーニングも行っている。Kokkos は現在、世界中の何百人もの HPC 開発者に利用されている。DOE のエクサスケール・コンピューティング・プロジェクト（ECP）内では、20近いプロジェクトの基盤となるポータビリティ層として機能している。Kokkos はまた、DOE の各研究所が ISO/C++言語標準への改善案を提案する際の基礎となっており、最終的には Kokkos の機能が言語標準にネイティブに組み込まれることを目指している。しかし、その時が来るまでは、「パフォーマンス・ポータビリティこそが Kokkos」であると言える。

## (4) アプリ対応型

### (a) EXCELLERAT P2

#### 概要

EXCELLERAT P2 (The European Centre of Excellence for Engineering Applications) は、航空機、ローター、排出ガス、空気力学、流体音響といったエンジニアリングのユースケース、製造、エネルギー、モビリティに貢献している。

- URL : <https://www.excellerat.eu/>
- 名称 : The European Centre of Excellence for Engineering Applications
- 機関 : 1 Jan 2023 - 31 Dec 2026
- 実施地域 : Germany
- 総予算 : 約 600 万ユーロ (うち、EU 負担分 : 約 50%負担)

EXCELLERAT P2 プロジェクトは、データ管理、データ分析、可視化、シミュレーション主導の設計、および HPC を用いたコデザインが、エンジニアリング分野、特に航空宇宙、自動車、エネルギー、製造の各セクターに利益をもたらすための専門知識を提供する単一の窓口である。

#### 目標

EXCELLERAT P2 は、絶えず増大する科学的・開発的取組の複雑さに対処することを目的としており、エクサスケール・コンピューティングに焦点を当てている。これにより、

極めて複雑で高コストなエンジニアリング上の問題を解決し、開発段階においてさえも高度な技術ソリューションを創出することが可能となる。

EXCELLERAT P2 の目標は、欧州のエンジニアリング産業がエクサスケール技術へと進展することを可能にし、エンジニアリング向け HPC のあらゆるステークホルダー（産業界のエンドユーザ、ISV、テクノロジープロバイダー、HPC プロバイダー、学者、コード開発者、エンジニアリング専門家）にとってのサービスと知識へのエントリーポイントを作り出すことである。この目標を達成するために、EXCELLERAT P2 は産業界、研究機関、HPC の主要なプレーヤーを結集し、必要なあらゆるサービスを提供している。

### 自社や製品にとってのメリット

HPC の最大のメリットは処理速度の向上であり、これにより企業はより迅速に結果を出し、より多くのコストを削減することが可能になる。

#### サービス

異なる層のユーザに、個別のサービスを提供している。

- ・ **エンドユーザ：** エンジニアに対し、シミュレーションなどを通じて、エクサスケール・エンジニアリング・サイクル全体における課題解決のためのソリューションを開発する。
- ・ **コード開発者：** エンジニアリング・ソフトウェア・パッケージ（コード／アプリケーション）をエクサスケールへの適用可能性に向けて進化させるための専門知識を提供する。

## (b) HiDALGO2

### 概要

HiDALGO2（HPC and Big Data Technologies for Global Challenges）は、都市部における大気質、建物のエネルギー効率、再生可能エネルギー源、山火事、および気象・水文予測のシミュレーションのためのアプリケーションを開発している。

- ・ URL：<https://www.hidalgo2.eu/>
- ・ 名称：PC and Big Data Technologies for Global Challenges
- ・ 機関：1 Jan 2023 - 31 Dec 2026
- ・ 実施地域：Poland
- ・ 総予算：約 600 万ユーロ（うち、EU 負担分：約 50%負担）

HiDALGO2 は、モデリング、データ取得、シミュレーション、データ分析、および可視化の間の相乗効果を狙うとともに、現在および将来の HPC および AI インフラにおけるスケーラビリティの向上を目指している。これにより、プレ・エクサスケール・システムを効果的に活用できる高度にスケーラブルなソリューションを提供する。本プロジェクト

は、環境分野における 5 つのパイロット（都市部の大気質改善、建物のエネルギー効率、再生可能エネルギー源、野生火災、および水中における物質輸送）に焦点を当てている。これらすべてのシミュレーション・モデリングに共通する特徴は、通常極めて計算負荷が高い CFD を用いた流体の数値解析手法を利用している点である。

## 重点領域

HiDALGO2 は、以下の概念的側面に重点を置いている。

- ・ 技術的側面 (Technological)
- ・ 多角的専門分野 (Multidisciplinary)
- ・ 社会科学的側面 (Socio-scientific)
- ・ チームワーク (Teamworking)

HiDALGO2 は、豊富な機能、サービス、モデルの適合化、コデザイン・ベンチマークを実装するとともに、他のプロジェクト、イニシアティブ、コミュニティとの協力関係の構築に積極的に取り組む。プロジェクトに適切なインパクトを与え、その成功を測定するために、上述の 4 つのカテゴリは一連の目標が設定されている。

## 目標

HiDALGO2 プロジェクトの目標と野心は、現在の知識水準や適用の可能性をはるかに超え、これまで探索されてこなかった領域を切り拓くことにある。HiDALGO2 によって質的な変化がもたらされ、分析対象となる問題の現状を新たな視点から捉えることが可能になる。プロジェクトで達成される進歩を通じて、得られる結果の規模、解像度、および精度における質的な飛躍が期待されている。これは、極めて小さな生物を研究するために、より倍率の高い顕微鏡を使用することに例えられる。これまで研究者に見えていなかったものが可視化され、物事の本質を理解することを可能にする。

## スケーラビリティ

HiDALGO2 は、ソリューションのスケーラビリティに関連する課題や、適切なベンチマーキング手法とアルゴリズム最適化手法を用いたソフトウェアのインフラへの最適適合（コデザイン）に重点を置いている。これにより、最先端の HPC システムを効率的に利用し、クラウドソリューションを用いた計算では達成不可能な、極めて高い精度で複雑な構造をシミュレーションすることが可能となる。提供されるソリューションの品質は、アンサンブル実行モードで実施される不確実性解析によって評価される。また、HiDALGO2 は、専門的なワークフローの構築やトレーニングを通じて、スキルギャップの解消と知識共有を行い、EU のユーザコミュニティに積極的に貢献する。

## ECPの一部

下記の資料にも支援プログラムに関する記載がある。その一部は令和6年度の調査報告書に記載されている。

ECP Software Technology Capability Assessment Report V3.0 (June 1, 2022)

ECP Application Results on Early Exascale Hardware (March 31, 2022)

### 7.3. 研究開発プログラムを効率的に推進するための提案

ここまでの調査を踏まえて、GPUへの対応を支援するプログラム(表7.5)、全体戦略として、計算資源の利用円滑化と環境整備、普及促進活動と産業界への社会実装および人材育成と技術者のキャリアパス確立という観点から、研究開発プログラムを効率的に推進するための提案を行う(表7.6も参照のこと)。

#### 7.3.1. GPUへの対応を支援するプログラム

欧米の事例(EPICUREやP3HPCなど)に倣い、以下の表7.5の支援メニューを構築することを提案する。

#### 7.3.2. 計算資源の利用円滑化と環境整備

計算資源の利用における現状の課題として、利用環境のミスマッチが挙げられる。具体的には、審査に要する時間が産業界のスピード感と合致しておらず、民間クラウドサービスと比較して同等の利便性が確保されていない。この解決策として、申請・審査プロセスを抜本的に簡略化あるいは撤廃し、通年での課題申請を可能にすることが求められる。具体的な政策案としては、プロジェクト直轄のワーキンググループを設置して新たな手続きを定めるべきである。民間クラウドではすでにこうした運用が実施されており、公的スーパーコンピュータにおいても同様の環境を構築することで、その高い性能に惹かれたユーザを惹きつけることが可能となる。

また、次世代機において商用ソフトウェアやオープンソースソフトウェア(OSS)が利用しにくい点も課題であり、今後はGPUの利用促進が不可欠である。これに対しては、仮想マシンを用いた柔軟な資源割り当て運用を確立し、OSSについてはプロジェクト予算内でハードウェアへの最適化を行うことで利用を促進すべきである。こうした活動は、RIST等の財団が主導し、民間企業へ発注する形態をとることが望ましい。なお、仮想マシンの活用は海外の公的スーパーコンピュータですでに実施されており、OSSの選定にあたっては産業界のニーズを反映させる必要がある。商用ソフトウェアに関しては、ベンダーへの利用枠提供や宣伝媒体の提供をインセンティブとして、ベンダー自身がインストールや環境整備を行う施策を講じ、特に国産ソフトウェアを優遇する措置も検討すべきである。

### 7.3.3. ミドルウェア開発とアプリケーションの整備体制

ミドルウェアおよびアプリケーションの分野では、ハードウェアの特性を隠蔽しつつ、既存の Fortran 資産の課題を解決して性能を引き出すことが求められている。具体的には、欧州のプロジェクトでも採用されている Kokkos や RAJA を参考に CPU および GPU 利用のハードルを下げるミドルウェアを開発・改良すべきである。この取組は単なる研究ではなく、ソフトウェア開発としての位置付けを明確にする必要がある。また、米国エクサスケール・コンピューティング・プロジェクト (ECP) のように、ミドルウェアの成果を詳細に公開し、ユーザが自らのソフトウェアへ適用できる事例を参照可能にすることが重要である。

研究成果を公開するためのソフトウェア整備が不十分である点については、整備基準を明確に定め、プロジェクト参加者にその達成を義務付ける必要がある。各研究課題においてこの基準をクリアできるよう、人材雇用や案件発注のための予算措置を講じなければならない。ソフトウェアの整備と公開作業は研究者が片手間に行える性質のものではなく、米国の研究所のように、研究者と技術者の双方が連携して構成される体制を構築することが理想である。

### 7.3.4. 普及促進活動と産業界への社会実装

研究者がソフトウェアを公開する動機付けが乏しい現状に対し、公開を促進するための施策とそれに応じた予算措置が必要である。特に、大学ごとに異なる知的財産の手続きが障害となる場合があるため、大学を通さず簡略化された統一的な手続きで完了できる制度の導入が望まれる。過去には、著作権処理を統一的かつ強制的に実行することで成果を挙げたプロジェクトも存在しており、こうした手続きを定めるワーキンググループの設置が有効である。

産業界への普及については、研究終了後の「社会実装フェーズ」として、数年間の継続枠を新設する予算措置を講じるべきである。この継続枠を通じて、終了後すぐに事業化が可能となる状況を目指す。また、シンポジウム等での宣伝活動に加え、民間企業がプロジェクト成果を宣伝し、民間イベントにプロジェクトが協賛できる仕組みを構築することで、ベンダーを介した産業界への販路拡大を図るべきである。さらに、過去には 100 社以上が参加していた産業界の応援団（産応協など）の会員数が激減している現状を改善するため、ベンダーに対して活動協力を義務化するなどの施策を通じて、再び 100 社程度の企業を集め、産業界の要望を政策に反映できる体制を再構築する必要がある。

### 7.3.5. 人材育成と技術者のキャリアパス確立

プロジェクトをより活性化させるためには、優秀な博士号取得者の参加を促すことが不可欠である。例えば、かつて「地球フロンティア研究システム」が成功した際の要因を分析し、著名な研究者の参加呼びかけや学会への宣伝を強化すべきである。特に重要なのは、

プロジェクトに参加した研究者や技術者のキャリアパスを明確に提示することである。計算科学研究者のみならず、これまで不足していた「計算科学技術者」を育成し、プロジェクトで雇用するとともに、その後のキャリアパスを保証する制度を整えなければならない。具体的には、研究機関での人材募集枠の明示や、民間企業への参加を通じたキャリア形成の支援、さらには国立研究開発法人における技術者雇用の拡大が求められる。米国の制度を目標とし、技術者がプロジェクト終了後も安定して活躍できる土壌を整えることが、プログラムを成功に導くための鍵となる。

表 7.5. 加速器 (GPU) への対応を支援するプログラムの提案

項目		目的	手法	実施例
GPU 移行支援	公募型ハンズオン型支援 (初級から中級)	GPU 利用に不慣れな研究者や、リソースが限られる中小企業の参入障壁を下げる	専門家が 3～18 か月程度の期間、GPU 化の指針を含め、コードの移植や最適化を直接サポート	EPICURE LUMI
	フレームワーク利用の支援 (中級以上)	将来のハードウェア刷新時にもコードが陳腐化しない開発の促進	上記程度の期間、ベンダーニュートラルなプログラミングモデルの普及・教育支援	Kokkos RAJA SYCLOPS
	特定分野に特化した支援	特定の科学的・社会的課題に対して、即座に次世代機の性能を引き出せる体制を整備	(現在、すでに実施されている) 重要分野に特化した最適化支援	EXCELLERAT HiDALGO2
ベンダー 依存の回避	標準的な開発環境の整備・支援	抽象化レイヤーを用いることで、専門外の研究者が「正しいコード」を書くことに専念できる環境の提供	複数の GPU アーキテクチャで動作するソースコード (シングルソース) の維持を支援指標に含める	SYCLOPS OneAPI
	推奨する GPU 化手法の強制	標準化の普及と成果の普遍化	標準化形式をプロジェクト支援の条件とする	Kokkos RAJA
	支援窓口の「一本ア	ベンダーに中立なコンサルティング	RIST・FOCUS ですでに実施	SICOS
コミュニテ ィ形成	ノウハウ・成功事例の共有	開発者同士が成功・失敗事例を共有する場の形成	上記の活動でセミナー等をすでに頻繁に実施	Kokkos RAJA
	セミナー・ハッカソンの実施			SYCLOPS

表 7.6. 全体戦略（統合パッケージとして、各項目の実行内容および予算規模・期間、制度を関連付ける）

分類	現状での課題	解決策	具体的な政策案	備考
計 算 資 源 利 用	利用環境のミスマッチ；審査の時間が産業界のスピード感に合わない。現状では、クラウドと同等に利用できない	申請・審査プロセスを簡略化する（審査を無くすなど）。通年での課題申請を可能に	プロジェクト直轄で、手続きを定める WG を設置	民間クラウドでは既に実施している。同じ環境にすれば高性能に惹かれてユーザは集まる。
		仮想マシンを利用した柔軟な資源割り当て	利用環境の整備と運用方法を確立	海外の公的スーパーコンピュータではすでに実施中。
	商用・OSS のソフトウェアが次世代機では利用しにくい。今後は、GPU の利用を促進する必要（すでに実施されている政策も）	OSS はプロジェクトの予算の中で最適化することで、ハードウェア利用を促進	RIST 等の財団が主導して、民間に発注する等の形で促進	OSS の選定は産業界のニーズで決める必要がある。
		商用ソフトウェアは、ベンダーがインストールし、利用環境を整備	ベンダーへのインストールの動機として、利用枠や宣伝媒体の提供等	「京」・「富岳」等の国プロ関連の国産商用ソフトウェアのインストールはある程度優遇する。
ミ ド ル ウ ェ ア と ア プ リ ケ ー シ ョ ン	ミドルウェアで、ハードウェアの性能を引き出したい、FORTRAN の課題を解決したい	ハードウェア特性を隠蔽し、FORTRAN にも対応したミドルウェアを開発（改良）	KOKKOS に機能を追加する形で実現し、CPU・GPU 利用のハードルを下げる	欧州のプロジェクトでも Kokkos や RAJA を積極的に利用している。
		ミドルウェアの利用事例・成功例を参照しながら、自分のソフトウェアで実現	ミドルウェアの課題は、研究ではなく、ソフトウェア開発の位置付けも	ECP ではミドルウェアの成果が詳細に公開されている。
	研究の成果公開のためのソフトウェア整備が十分ではない	ソフトウェア整備の基準を決め、プロジェクト参加者に必ず達成させる	各研究課題で達成基準をクリアできるような予算措置（整備のための人材雇用／案件発注）	ソフトウェア整備とソフトウェアを公開するための作業は研究者が片手間にはできないし、研究者の仕事ではない。理想は米国の研究所のように研究者・技術者の双方で構成される体制である。
普 及 の た め の 活 動	研究成果としてのソフトウェアの公開する動機がない	研究者がソフトウェアを公開する動機となるような施策の実施	その実行への予算処置をする。プロジェクト直轄で、公開の手続きを定める WG を設置	理想は米国の研究所のように研究者・技術者の双方で構成される体制である。
	知財を公開するための手続き	研究者にも公開のための考え方	大学を通さなくていい方法	著作権の処理を統一的にかつ

	が大学ごとに異なる場合がある	や手続きを理解しやすいような制度に	や、簡略化したひとつの手続きで完了できる方法が採用できないか	強制的に実行したプロジェクトが過去にはあった。
	産業界への普及が十分でない	研究終了後に産業界への普及のための予算措置	3～5年間を基本単位とし、終了後の「社会実装フェーズ」への継続枠（3～5年）を新設	継続枠終了時にはすぐに事業化がスタートできる状況となることを目指す。
	イベント（シンポジウム等）や講習会でのプロジェクト成果の宣伝	現状での RIST や FOCUS の活動継続に加え、民間にも宣伝に加わってもらう	プロジェクトを民間が宣伝できる、民間イベントにプロジェクトが協賛できるように	「プロジェクトから産業界へ」の間に、ベンダーを挟んで道を拓ける。
	産業界の応援団が減少している（産応協の会員が過去の149社から現在14社に減少）	広く呼び掛けて100社程度を集め、産業界の要望を政策に反映可能に	ベンダーにも他の施策のメリットと合わせて本活動への協力を義務化	文科省プロジェクトで立ち上がった産応協の2010年頃は100社以上の参加企業があった。
人材の育成	プロジェクトの活性化が必要	現在以上に、優秀な博士号取得者のプロジェクトへの参加を促進	学会への宣伝（著名な先生のプロジェクトへの参加を呼びかけは既存で十分実現されている）	過去に地球フロンティアが成功した理由は何か。
	プロジェクトに参加した研究者や技術者のキャリアパスが明確でない	プロジェクト終了後のキャリアパスを提示	研究機関での人材募集枠を明示するとともに、民間にもプロジェクトに参加させ、研究者に身近に感じてもらう、キャリアパスを描くことができるように	大学の博士課程向けに実施しているイベントを想定している。
	（計算科学研究者ではなく）計算科学技術者の育成ができていない	技術者をプロジェクトで雇用し、プロジェクト後のキャリアパスもわかるように	国立研究開発法人での技術者の雇用増	米国の制度が目標。

## 8. 日本と欧州の連携による研究開発プログラムの実施状況に係る調査

### 8.1. 研究開発プログラムの文献調査

本調査では、文献調査により日本と欧州の連携による研究開発プログラムについて、その背景や目的、実施状況等をまとめる。

#### 8.1.1. EU-Japan Digital Partnership

##### (1) 設立根拠と目的

EU-Japan Digital Partnership は、2022年5月12日に開催された日本-EUサミットにおいて正式に設立された。このパートナーシップは、EUが「デジタル・ディケイドのための国際パートナーシップ」を構築するに当たり、日本が最初のパートナー国として選ばれたという点で、極めて戦略的な意義を有す。設立の基礎は、長年にわたるデジタル政策分野での協力、そして既存の戦略的パートナーシップ協定（SPA）および経済連携協定（EPA）の上に築かれており、法の支配と民主的価値に基づく「自由で開かれたインド太平洋」の実現に向けたコミットメントを共有しつつ、このパートナーシップはその実現に向けた具体的な手段として機能している。

この協力枠組みの核心的な目的は、包摂的、持続可能で、人間中心（human-centric）のデジタル変革を支援することにある。具体的には、欧州委員会の「2030 デジタル・コンパス」で定められた4つの主要な側面、すなわちインフラ、スキル、ビジネスのデジタル変革、公共サービスのデジタル化に焦点を当てている。このパートナーシップは、単なる経済的な連携にとどまらず、デジタル・ソリューションが気候変動対策とグリーン・トランジションの鍵となることを認識し、日本-EU グリーン・アライアンスの目標達成にも貢献する意図が含まれている。また、パートナーシップの設立は、パンデミックによるサプライチェーンの混乱や、中国の「一帯一路構想」に代表される地政学的な緊張の高まりという、二重の圧力に対応するための戦略的な手段としても位置付けられている。この連携は、技術開発や標準設定を巡る国際的な価値観の競争において、民主主義陣営の結束を固め、安定性と競争力を確保するための積極的な取組であると見なされている。

##### (2) 共通の戦略的ビジョンと運営体制

EU-Japan Digital Partnership の戦略的基盤は、両サイドの主要な国家・地域戦略の融合に見られる。日本は「Society 5.0」（サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合による人間中心の社会）のビジョンを掲げ、EU は欧州データ戦略に基づき「データ域内市場」の創出を目指しているが、これら2つのビジョンは、DFFT（Data Free Flow with Trust：信頼性のある自由なデータ流通）という共通の概念によって結合されている。また、DFFT は国境を越えたデータ移動が経済成長、イノベーション、そして COVID-19 後

の世界的な回復に不可欠であるという認識に基づく。この文脈では、プライバシー、セキュリティ、知的財産権、データ保護を確保しつつ DFET を実現するために、「信頼性を高める技術」(Trust-enhancing technologies) の開発と展開が、極めて重要な技術的要件として強調されている。

運営体制については、パートナーシップの実施を監督し、政治的な方向性を提供するガバナンスの中核は、年次で閣僚レベルの会議として開催される「日本・EU デジタル・パートナーシップ理事会」である。日本側からの主な貢献者として、デジタル庁、総務省、経済産業省が挙げられている。EU 側は欧州委員会のサービス (DG Connect) が調整役を担い、すべての関連サービスを巻き込んで活動を調整する。理事会は、進捗を確認し、次のステップについて政治的なガイダンスを提供することを目的としている。このガバナンス構造 (表 8.1) は、デジタル政策が単なるセクター別規制ではなく、両国・地域における国家戦略の中核として、省庁横断的かつ政治的優先度をもって推進されていることを示している。運営面では、既存の協力メカニズム (例えば、年次二国間デジタル政策対話、産業対話、日欧産業協力センターなど) を最大限に活用し、成果物を創出することが期待されている。この協力メカニズムは、追加の官僚的負担や重い調整費用を避けることを目的として設計されており、政策の実行効率を高め、専門家レベルの議論 (例：サイバーセキュリティ対話) の成果を迅速に政治的成果物へと昇華させるための手段として機能している。

表 8.1. 日本 EU デジタル・パートナーシップの主要ガバナンス機構

ガバナンス主体	レベル／頻度	日本側の主体	EU 側の主体	役割
日本・EU デジタルパートナー理事会	閣僚レベル／年次	デジタル庁、総務省、経済産業省	欧州委員会サービス (DG Connect)	政治的ガイダンスの提供
事務局	非公式	デジタル庁	DG Connect	活動の調整と進捗報告
既存の対話メカニズム	定期	各省庁、産業界	各 DG、専門家グループ	成果物の準備、専門的な議論

### (3) パートナーシップの法的地位と原則

EU-Japan Digital Partnership は、国際的なデジタル協力の枠組みとして機能するが、その法的地位は特徴的である。具体的には、このパートナーシップが国際法または国内法に基づくいかなる権利や義務も創設することを意図していないことが明確にされており、この協力は「自発的協力」を原則としている点である。このことから、双方の自律性を保ちつつ、柔軟な政策調整と共通の目標達成を可能にする枠組みとなっていると言える。パートナーシップの合意文書にも、財政的な義務や影響に関する具体的な数値は記載されておらず、「いずれの側にも財政的な影響はない」と規定している。したがって、このパートナーシップが具体的な投資プログラムではなく、政策調整、標準設定、および地政学的協力のための政策レーンとして機能していることを示している。厳格な予算や法的義務

を伴わないことにより、両国・地域は、変化の速い技術環境に迅速に適応し、国内の承認プロセスを回避して、競争力の高い分野での協力を迅速に開始することが可能となる。資金供給は、パートナーシップ自体からではなく、既存の大型の研究開発プログラムを通じて間接的に行われる構造が採用されている。例えば、EU の主要な研究イノベーション資金である **Horizon Europe** への日本の関連付けが検討されており、この枠組みを通じて具体的な共同研究開発プロジェクト（例えば、後述する **6G MIRAI-HARMONY** など）に資金が動員されることが見込まれている。したがって、パートナーシップの成果は、既存の国内または域内資金の戦略的な連携と動員に依存している。

#### (4) 経済安全保障とクリティカル・テクノロジー

(1)でも触れたが、パートナーシップでは地政学的課題への対応と相互のレジリエンス構築を目的としており、特に経済安全保障に関わるクリティカル・テクノロジー分野での協力が優先されている。半導体は、現代経済と安全保障にとって極めて重要な技術であり、日本・EU はグローバルなサプライチェーンのレジリエンス強化を最優先課題としている。具体的な取組としては、それぞれの国内アプローチに関する情報交換、効果的な早期警戒メカニズムの構築、危機対応準備、および長期投資戦略に関する情報共有を通じて、共同監視の実現を目指している。この分野における具体的な進捗としては、2024年5月に半導体関連の投資に対する公的支援透明性メカニズムに関する管理取り決めが署名され、サプライチェーン強靱化の基盤が強化された。これは、非市場的なアクターによる市場の歪曲を防ぎ、公正な競争を促進しつつ、共同で経済安全保障上の懸念に直接対応するための協調的な規制対応と位置付けられる。28nm 以上の比較的古い製造プロセス（成熟ノード）で製造される半導体チップのリスクや非市場的政策への対処を含め、G7 の枠組みなどでの連携を継続している。さらに R&D の側面では、チップ設計、車載・電力技術、センシング、集積フォトニクス、そして 2nm 超技術を含む次世代半導体の開発に向けた共同研究を推進している。

また、日本・EU は安全で高性能、エネルギー効率が高く持続可能な 5G および Beyond 5G 技術の開発と展開を促進することを意図しており、R&D の協力は具体的に進展しており、2025年4月には、日本・EU 共同研究プロジェクト「6G MIRAI-HARMONY」が開始された。このプロジェクトは、AI ネイティブなネットワークの実現を目指すものであり、確立された産業界のプレーヤーと学術パートナーがノウハウを交換し、協力的にプロジェクトを推進する。さらにネットワークの多様性とレジリエンスを確保するため、オープンで相互運用可能なネットワーク技術（Open RAN など）に向けたビジネス主導の取組の状況に関する情報共有が行われている。最終的な目標は、6G の共有されたグローバルビジョンを確立し、標準化を含むグローバルエコシステムの活性化に取り組むことである。

## (5) 高性能計算と量子技術

HPC および量子技術の分野では、研究者・エンジニアの交流促進と、それぞれのインフラの相互利用を目指している。この協力の一環として、EU-Japan Digital Partnership における高性能計算の優先分野での協力を強化することを目的とした、HANAMI プロジェクトが 2024 年 3 月に開始された。このプロジェクトは、EuroHPC JU からの資金提供を受けており、欧州連合の Horizon Europe プログラム（HORIZON-EUROHPC-JU-2022-INCO-04 コール）によって 500 万ユーロの資金が提供されている。特に、日本のスーパーコンピュータ「富岳」と、EuroHPC JU の LUMI、Leonardo、MareNostrum といったインフラについて、研究者による相互アクセスの可能性が探求されている。これは、極めて機密性の高い計算資源を共有できるレベルの深い技術的信頼関係が日欧間に存在することを示しており、相互アクセスは、バイオメディカル・材料科学・地震・津波、気象・気候モデリングといった共通の関心分野における HPC アプリケーションの最適化に資することが期待されている（詳細は次節を参照）。量子技術分野の進捗としては、2025 年 5 月に量子科学技術分野における協力強化に関する意図表明書（Letter of Intent）が署名され、量子コンピューティングに関する共同研究の提案が歓迎されている。

## (6) デジタル・ガバナンスと規制整合性の推進

EU-Japan Digital Partnership は、単に技術協力を進めるだけでなく、共通の民主的価値に基づくグローバルなデジタル・ガバナンスを形成することを目的としている。日本・EU は、相互にデータ保護の相互十分性認定（Adequacy Decision）を確立しており、世界最大の自由で安全なデータ流通圏を形成している。これに加え、DFFT 戦略の法的基盤を更に強化するため、2024 年 7 月 1 日には、越境データフローに関する EPA 改正議定書が発効した。この枠組みの下でデータ仲介者（Data Intermediaries）に関する相互理解を深める。具体的には、EU データ・ガバナンス法（DGA）におけるデータ仲介者の機能と、日本の「情報銀行」の認証制度および JDEX（株式会社日本データ取引所が運営するデータプロバイダと消費者をつなぐデータ取引市場）などの市場主導型イニシアティブについて、専門家レベルで理解を深めることが意図されている。さらに、データ空間の相互運用性の促進に向けた共同作業グループの立ち上げが検討されており、自動車セクターなど特定の産業分野での実用的なデータ共有の改善を目指している。

信頼できる AI の原則の展開としては、国際的な採用を目指し、G7、G20、OECD、UNESCO などの国際フォーラムでの調整を継続している。信頼できる責任ある AI の原則の相互理解を深め、リスクベースアプローチの導入方法を探り、技術的要件に関する協力も検討している。特に、G7 の成果物である「広島 AI プロセス」の成果を国際的に推進し、アウトリーチを拡大することにコミットする。具体的な成果として、AI 協力に関する管理取り決めの署名に向けた取組が進行中であり、これは信頼できる AI のグローバル利用を促進するための重要な一歩である。

オンラインプラットフォームの分野では、デジタルサービスの安全性を確保し、ビジネスの競争可能性を維持するという共通の目標を共有している。日本-EU は、プラットフォーム規制に関するそれぞれの取組について情報交換を継続しており、規制原則と効果的な実施における調整の強化を目指している。特に、規制協力の深化として、日本の「特定スマートフォンソフトウェアに係る競争促進法」と EU の「デジタル市場法 (DMA)」に関する技術交換が実施されている。この協力の強化は、日本の公正取引委員会と欧州委員会 (DG CONNECT および DG COMP) の間で、DMA 連携に関する管理取り決めの署名に向けて取り組んでいることに具体化されている。これは、主要な規制当局である日欧が連携することで、GAF A のような巨大プラットフォーム企業に対する規制の実施における摩擦を減らし、グローバルなデジタル市場における主要なプラットフォーム規制アプローチを事実上統合し、標準化する試みであると評価できる。また、日本-EU は公共部門の相互運用性を高めるため、トラスト・サービスの相互運用性に向けたパイロットプロジェクトを継続している。長期的目標は、これらのサービスの相互承認にある。この分野で具体的な進捗が見られており、DFFT 戦略における重要な「イネープリング・レイヤー」を提供するため、学術資格の相互認証に向けたパイロットプロジェクトのスコープ文書が策定され、このプロジェクトでは、ウォレットインフラと、それぞれの規制に準拠して署名または電子的に封印された検証可能な資格情報 (Verifiable Credentials) を使用し、異なるガバナンス構造下にある国々間での越境相互運用性の技術的実現可能性を実証することを目指している。

## (7) デジタル変革の実現要素と国際標準化

日欧はサイバー脅威に対するレジリエンスを構築するため、情報共有と協力の促進に取り組んでいる。特に、重要インフラの保護は優先事項であり、日欧は海底ケーブルに関する協力覚書を強化し、安全で強靱なグローバルコネクティビティを目指している。

戦略的なコネクティビティとしては、北極海コネクティビティ・プロジェクトに関する議論が継続されており、北極海ルートの重要性が強調されている。このルートは、データ遅延を減らし、経済競争力と国家安全保障の観点から、地政学的なリスクを回避する戦略的なデータルートとして位置付けられている。商業的な実現可能性を重視しつつも、意識向上や財政支援 (リソースの利用可能性を前提とする) を含む支援行動を検討することは、このプロジェクトが市場原理を超えた、地政学的な優先度を持っていることを裏付けている。また、規制面では、EU のサイバーレジリエンス法 (CRA) と日本の IoT 製品に対するセキュリティラベリング制度 (JC-STAR) の標準開発活動を連携させ、サイバーセキュリティ対策がデジタル貿易の不当な障壁とならないよう、技術的・非技術的側面を考慮した製品セキュリティの実施を促進している。日欧は、デジタル貿易に関する共通理解を深める必要性を共有しており、EPA に基づいて、ペーパーレス取引、電子請求書、デジタル ID、オンライン消費者保護、ソースコード、暗号化などのデジタル貿易原則に関する共通

理解の深化を目指している。また、第三国によるデジタル保護主義的な措置や傾向が貿易・投資フローに悪影響を与えることを認識し、これらに対抗するための情報共有と立場の調整を進めている。

デジタル変革が成功するためには、デジタルスキルと包摂的な教育が不可欠である。そこで、日欧は人間中心のビジョンに基づき、デジタル教育とスキルを強化するためのベストプラクティスを共有し、継続的な対話を進めている。例えば、日本の学校や組織が EU の草の根運動である「CodeWeek」（コーディングと計算論的思考を促進する活動）への参加を検討する可能性が言及されている。また、中小企業のデジタル変革も焦点の 1 つであり、中小企業がイノベーションを起こし、競争力を高めるための協力イニシアティブを検討している。特に、産業のデジタル化が、企業の持続可能性目標を支援し、循環経済への移行を加速するためのガイドラインやベストプラクティスが交換されている。

日本・EU は、国際標準化団体内での継続的な協力に基づき、国際標準化に関して協調的な関係を確立することを意図しており、この協力は例えば、5G/Beyond 5G/6G、IoT、AI、デジタル ID などの分野において、研究イノベーションの初期段階から標準化に協力することを目指している。さらに、エネルギー、輸送、スマートシティなど主要セクターにおけるデジタル・ソリューションの正味環境影響を推定するための標準化された方法論の確立についても議論を深めている。

#### (8) 実施状況のレビューと今後の展望

2025 年 5 月 12 日に東京で開催された第 3 回日本・EU デジタル・パートナーシップ理事会は、このパートナーシップが設立から 3 年を経て、初期の「対話・情報交換」のフェーズから「具体的な成果物の実行と創出」のフェーズへと移行したことを示している。主要なマイルストーン（2024～2025 年）には、以下が含まれている。

- ・ **6G 研究の具体化**：日本・EU 共同研究プロジェクト「6G MIRAI-HARMONY」の 2025 年 4 月の開始
- ・ **データ流通の法的強化**：越境データフローに関する EPA 改正議定書の 2024 年 7 月 1 日の発効
- ・ **経済安全保障の強化**：半導体公的支援透明性メカニズムに関する管理取り決めの署名
- ・ **デジタル ID の実行計画**：学術資格の相互認証に向けたデジタル ID パイロットプロジェクトのスコープ文書の策定

また、地政学的課題への対応と競争力の強化という観点から、このパートナーシップの

重要性を再確認し、今後は具体的な成果を確実にするため、パイロットプロジェクトを含む「より技術的な作業」へと移行する意向を表明している。

パートナーシップの成功には、産業界とステークホルダーの定期的な参加と関与が不可欠であると認識されており、欧州のデジタル産業を代表する団体である DIGITALEUROPE は、日本企業（例：ブラザー、キヤノン、富士通、日立、ソニー、東芝など）をアジアにおける最大のメンバー基盤として擁しており、日本の省庁や EU 大使館と頻繁に会合を持つなど、高い関与度を示している。産業界からは、規制環境の改善に関して具体的な要望が提出されている。例えば、AI 規則については、基準が利用可能になった後、最低 12 か月の猶予期間を設けることや、統一された報告枠組みの必要性が訴えられている。サイバーセキュリティ規則についても、簡素化と製品にとって負担の少ない単一の欧州市場アクセスが求められている。これらの要求は、日欧が規制による市場の分断を避け、グローバル市場で競争力を維持するために、政策決定プロセスにおいて産業界の技術的・コスト的制約を考慮に入れる必要があるという認識に基づく。さらに EU の DG Connect は、将来の展望として、Horizon Europe への日本の関連付け（Association）を通じて R&D 協力を更に推進することを明確に示している。これは、AI イノベーション協力や、スーパーコンピュータ間の相互接続性の探求を可能にする鍵となる。

今後のロードマップには、2025 年 11 月のサイバーウィーク（東京での ICC および ICS トレーニング）、2026 年 3 月の第 2 回日 EU デジタルウィーク、そして 2026 年 5 月にブリュッセルで開催される第 4 回デジタル・パートナーシップ理事会が含まれており、持続的なエンゲージメントが計画されている。

このパートナーシップの継続的な課題は、その非拘束的な性質の下で、いかにして広範な協力分野（AI、デジタル ID、データスペース）における成果の整合性を確保しつつ、各国・地域の規制的自律性の維持というバランスを両立させるか、という点にあると思われる。

## (9) 情報源

<https://www.consilium.europa.eu/media/56091/%E6%9C%80%E7%B5%82%E7%89%88-jp-eu-digital-partnership-clean-final-docx.pdf>

[https://cdnw8.eu-japan.eu/sites/default/files/imce/3.%20Cecilia%20Bonefeld\\_DIGITALEUROPE.pdf](https://cdnw8.eu-japan.eu/sites/default/files/imce/3.%20Cecilia%20Bonefeld_DIGITALEUROPE.pdf)

[https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/information/field\\_ref\\_resources/b530adc8-3af1-4d9f-af84-6f21af4067af/973dfec5/20220512\\_news\\_digital\\_group\\_original\\_02.pdf](https://www.digital.go.jp/assets/contents/node/information/field_ref_resources/b530adc8-3af1-4d9f-af84-6f21af4067af/973dfec5/20220512_news_digital_group_original_02.pdf)

<https://cdnw8.eu-japan.eu/sites/default/files/imce/2.%20DGCONNECT%20OB%20presentation%201510.pdf>

<https://finabel.org/wp-content/uploads/2023/03/A-New-Era-of-Japan-EU-Cooperation-the-Digital-Partnership.pdf>

<https://www.meti.go.jp/press/2025/05/20250513003/20250513003-1r.pdf>

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100878539.pdf>

## 8.1.2. HANAMI プロジェクト

### (1) 戦略的背景、プロジェクトガバナンス、および初期組織体制の確立

HANAMI (HPC Alliance for Applications and Supercomputing Innovation: The Europe-Japan Collaboration) プロジェクトは、日本と欧州のハイパフォーマンスコンピューティング・コミュニティ間の国際協力を促進するための戦略的なイニシアティブである。このプロジェクトは、2022年に署名された EU-Japan Digital Partnership を実行に移すための具体的な取組として、EuroHPC JU (European High Performance Computing Joint Undertaking) によって資金提供されている。HANAMI プロジェクト期間は、2024年3月1日～2027年2月28日 (M1～36) となっている。この協力の重点分野として、後述する3つの WP (Work Package) が設定されている。

### (2) データ管理とオープンサイエンスの原則

HANAMI プロジェクトは、オープンサイエンスの原則にコミットしており、欧州のオープンアクセスおよびオープンデータポリシーを厳格に遵守する。プロジェクト期間中に開発されたソフトウェアおよび生成されたデータには、FAIR 原則 (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) が適用される。

科学データに関して、HANAMI は後述する WP4、WP5、WP6 のすべての科学プロジェクトが、既存の EuroHPC JU 資金提供 CoEs (Centres of Excellence) の傘下に組み込まれている。このため、科学データの管理は、各 CoE (例: MaX、TRES、PerMedCoE、BioExcel、RAISE、ESIWACE) の確立された DMP (データ管理計画) に従って行われる。HANAMI は、コード、論文、文書を公開し、開発されたコードはオープンソース (例: GNU-GPL ライセンス) として GitHub などの専用プラットフォームを通じてリリースされる。

プロジェクトデータ (管理文書、通信資料など) については、文書の重複や破損を避け

るために、プロジェクトメンバー間で共有されるオンラインプラットフォーム（フランスの DINUM が実施する Osmose プラットフォーム）で共同編集・保存される。公式文書や成果物は EuroHPC JU プラットフォームにも保存され、CEA サーバーでローカルバックアップが年 2 回実施される。この分散型ストレージ戦略と Osmose の履歴バージョン管理機能は、データのセキュリティ、完全性、および EU の GDPR（一般データ保護規則）への準拠を確保するために不可欠である。

### (3) プロジェクトのガバナンス構造と意思決定プロセス (WP1)

HANAMI プロジェクトのガバナンスは、効率的かつ効果的な実施を確保するために、明確な意思決定階層に基づいて構築されている。最高レベルの管理機関は Steering Board (SB) であり、プロジェクト全体の管理と運営、ならびに IP（知的財産）およびイノベーション管理を含む政治的および戦略的決定を担当する。SB は年に 2 回会合を開き、プロジェクトの作業計画を変更する権限を持つ唯一の管理体である。

運用レベルの調整は Executive Committee (EC) が担当し、少なくとも四半期に一度会合を持つ。EC は、技術的なフォローアップ、リスクの特定と監視、そして科学および技術的な作業の適切な調整に焦点を当てている。特に国際協力を重視する HANAMI の構造を反映し、EC には、重点分野として WP4（気象・気候モデリング）、WP5（バイオメディカル）、および WP6（材料科学）の各科学ワークパッケージから 1 名の日本代表者が含まれている。HPC リソースへのアクセス政策の分析（詳細は後述）で明らかになるように、日本の研究者は EuroHPC JU リソースへの PI（主研究者）資格がないという政策的な非対称性が存在する。EC に日本側代表者を組み込むという構造は、この政策レベルの非対称性を、運用レベルの対称的な協力体制によって補完し、日本の技術的・科学的優先事項がプロジェクトの日常的な意思決定と戦略調整に確実に反映されるための鍵となるメカニズムとして機能している。

さらに、スーパーコンピューティングリソースへのクロスアクセスを促進するために、Supercomputing Resource Group (SRG) がワーキンググループとして設置されている。SRG は、日本および欧州のスーパーコンピューティング・センターの代表者、プロジェクトコーディネーター (PCO)、プロジェクトマネージャー (PM)、そして EuroHPC JU の代表者で構成され、相互アクセス実現のための要件を強調し、EuroHPC JU および DG-CONNECT に提言を行う役割を担う。プロジェクトの進捗監視は、Key Performance Indicators (KPIs) のフレームワークを通じて行われる。WP1 の管理およびレバレッジング KPIs には、SB 会議の開催（計 3 回）、EC 会議の開催（計 12 回）、および SRG 会議の開催（計 3 回）が設定されている。

### (4) コミュニティ構築、連携、および対外発信戦略 (WP2、WP3)

プロジェクトの持続的な成功と成果の波及には、技術開発と並行して、強力なコミュニ

ティの構築と戦略的な対外連携が不可欠である。WP2（コミュニケーション、普及、活用）および WP3（科学・技術ネットワーキングとコミュニティ構築）は、この目的を達成するための活動を主導している。

WP2 の Task 2.3 (Collaboration Plan) は、HANAMI の外部ステークホルダーとの連携を構造化し、EU HPC エコシステムへの影響を最大化することを目指している。HANAMI は、EuroCC 2 と欧州 CoE ネットワークの調整・支援アクションである CASTIEL 2 と連携を強化することを戦略的に計画している。CASTIEL 2 は、欧州全域の HPC 能力センター（NCCs）と CoEs を結びつける主要なネットワークであり、欧州の HPC Landscape において HANAMI の成果を広範に波及させるための重要なパートナーである。この連携をターゲットにすることで、日本の技術的洞察（「富岳」からのフィードバックなど）や共同開発されたコードの成果を、欧州の幅広い学術および産業界ユーザーに効率的に普及させることが可能になる。具体的な活動には、CASTIEL2/EuroCC2 のイベントへの参加、共同ワークショップの開催、および欧州 HPC エコシステムへのコミュニケーションサポートが含まれる。また、WP2 の D2.3 は、EIG CONCERT-Japan や EU-Japan Centre for Industrial Cooperation などの産業および研究連携ネットワークを通じて、産業界へのアウトリーチと浸透を図る。これにより、HPC ソリューションを材料科学や環境モデリングなどの産業課題に適用するためのパイロット協力を開始し、HPC がけん引するソリューションが産業界にもたらす有効性を実証することを目指す。連携活動の成功を測るための定量的な目標が設定されており、以下の KPIs が D2.3 に明記されている（表 8.2）。

**表 8.2. HANAMI プロジェクトのコラボレーションおよびネットワーキング KPIs (D2.3)**

測定項目	目標値 (M36 まで)	初期進捗 (M9 まで)
共同科学論文数	5 件以上	1 件
日欧クロス HPC トレーニングセッション数	3 回以上	0 回
日本パートナーによるブログ記事数	6 件以上	0 件
CASTIEL 2 との連携会議数	2 回以上	0 回
他の EU 資金プロジェクトとの共同イベント数	6 回以上	2 回
国際会議での発表数	6 件以上	0 件

WP2 は、プロジェクトの統合的なマーケティングコミュニケーション（IMC）アプローチを確立した。HANAMI のロゴは、日本の桜のイメージと、技術的な「接続・回路」を組み合わせたデザインであり、「EU-Japan Alliance in HPC」というスローガンとともに、協力と技術のテーマを視覚的に統合している。デジタルプレゼンスの確立も初期段階で完了した。公式ウェブサイト (<http://hanami-project.com/>) およびソーシャルメディアアカウント（X、LinkedIn）が立ち上げられ、サイトアクセスを測定し、コンテンツを改善す

るために、GDPR に準拠したウェブ分析ソフトウェア Matomo が導入されている。ウェブサイトの KPI 目標は、年間平均 2,000 ユニーク訪問者である。コミュニケーション活動は、段階的な 3 つの統合キャンペーンを通じて実施される。第一段階 (M1-M10) では、ウェブサイトやソーシャルメディアの立ち上げ、パートナーの紹介、および初期の PR 活動に焦点を当て、認知度向上を目指す。

WP3 は、欧州と日本の研究者間の人的交流と技術共有を促進することに重点を置いている。主要な活動として、年次ハイレベルシンポジウムの開催が計画されている。最初のシンポジウムは 2025 年 1 月 12 日から 16 日にかけてバルセロナ (Castelldefels) で開催されており、WP4、WP5、WP6 に対応する 3 つの科学トラックと、HPC に関するトラバーストラック (各 WP で共通する課題・基盤技術・連携を議論する分野横断トラック) が含まれる。このイベントでは、HANAMI の中核パートナーだけでなく、欧州・日本の他の研究組織や産業界からの参加も促し、科学的なネットワークの場となった。また、欧州の研究者やエンジニアが日本に訪問・滞在することを支援するため、トラベルгранトが割り当てられた。また、WP4 では国立環境研究所 (NIES) へのインターンシップ、WP5、WP6 では物質・材料研究機構 (NIMS) や理化学研究所計算科学研究センター (R-CCS) への訪問など、具体的な交流計画が進行中である。WP3 の重要な技術共有イニシアティブとして、CEA と理化学研究所 R-CCS が共同で、Kokkos フレームワークに関するスクールを企画している。このスクールの焦点は、異種混合 HPC アーキテクチャ間でのコードのポータビリティを確保することである。LUMI の AMD GPU、JUPITER の NVIDIA、Intel、「富岳」の A64FX など、欧州と日本の HPC アーキテクチャの多様性を考慮すると、Kokkos のようなポータビリティフレームワークに共同で焦点を当てることは、WP4~6 の個別のアプリケーション最適化の成果を、広範なアーキテクチャ上で持続的に利用可能にするための共通の技術的橋渡しとして機能する。これは、HANAMI が単なるアプリケーションの移植にとどまらず、未来の HPC ソフトウェアスタックにおける協調設計を目指していることを明確に示している。

#### (5) 科学的・技術的共同開発ロードマップ (WP4、WP5、WP6)

HANAMI プロジェクトの科学的成果は、気候・気象モデリング (WP4)、バイオメディカル (WP5)、および材料科学 (WP6) の 3 つのワークパッケージを通じて、日本のパートナー (理化学研究所 R-CCS、東京工業大学、NIMS など) との密接な共同開発によって推進されている。これらの共同タスクは、アプリケーション層にとどまらず、HPC ソフトウェアスタックの基盤的な部分にまで及ぶ、深い技術提携を特徴としている。

WP4 は、気候・気象モデリングにおける高性能ベンチマークの拡張を目指している。その目標は、欧州の地球システムモデルの性能、再現性、精度を評価・改善するとともに、日本の気象・気候コードを欧州のベンチマークに統合し、欧州の HPC プラットフォーム上で利用可能にすることである。中核となる活動は、HPCW (High-Performance

Climate and Weather benchmarking suite) の拡張である。これまで欧州のコードのみで構成されていた HPCW に、初めての非欧州コンポーネントとして、日本の NICAM-DC (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model - Dynamical Core) を統合する計画である。NICAM-DC の採用は、その力学コアがオープンソースライセンスを持つことに基づいており、将来のオープンソース HPCW リリースに含めることが可能になる。初期作業はすでに完了しており、HPCW を通じて NICAM-DC ソースコードの自動ダウンロード、ビルド、および低解像度ベンチマーク (Jablonski and Williamson baroclinic wave test : 力学コアの標準的なベンチマークテスト) の実行が可能となっている。今後は、日本側の協力者と連携し、異なる解像度での本格的な NICAM-DC ベンチマークスイートを策定する予定である。欧州の主要モデルである ICON (ICOsahedral Nonhydrostatic Model) についても、ライセンス上の制約を克服するため、HANAMI のコンテキストで早期にリリースされたオープンソースバージョンに置き換え、GPU 対応を含む新しいテストケースを組み込むことが計画されている (ICON チームは SC25 でゴードン・ベル賞の気候部門を受賞)。また、WP4 の重要な活動として、HPCW およびそのコンポーネントを「富岳」に展開することがある。この展開にはいくつかの技術的課題が伴う。まず、「富岳」が採用する富士通コンパイラに関する経験の不足が挙げられる。さらに、「富岳」のノードは ARM CPU 技術 (Fujitsu A64FX CPU) に基づいており、ノード当たりのメモリ容量が約 30 GB と限られているため、これが公式にサポートできるテストケースの規模を制限する可能性がある。これらの技術的なハードルは、「富岳」のアカウントと計算リソースが確保された後、日本側の専門家との緊密な協力の下で取り組まれる予定となっている。政策レベルでは PI 資格の非対称性が存在する (D1.1) が、WP4 では、欧州のベンチマークプラットフォーム (HPCW) に日本の核となる技術 (NICAM-DC) を組み込むことで、技術的な互惠性を確立している。これは、「富岳」や LUMI などの異なる HPC アーキテクチャ上での性能比較という、両地域の研究コミュニティが共有する共通の技術課題への深いコミットメントを示している。

WP5 のバイオメディカル研究プログラムは、分子動力学、個別化医療、流体力学の 3 つの主要な柱で構成され、理化学研究所 R-CCS グループとの共同コード開発と研究活動が精力的に進められている。プロジェクトの主要な焦点は、単一の分子動力学 (MD) シミュレーションを数万から数十万ノードの極限的な並列スケールにまで拡張することである。この目標を阻む主要な技術的ボトルネックは、従来の PME (Particle Mesh Ewald) 法が 3D FFT に依存することで生じる、ノード数  $N$  に対して  $O(N^2)$  で増加する通信レイテンシがある。これを解決するため、計算複雑性が粒子数  $M$  に対して  $O(M)$  という最適なスケールリング特性を持つ正則化高速多重極法 (ExaFMM) の実装に焦点を当てている。この技術は、欧州の主要 MD コードである GROMACS と、理化学研究所が開発した GENESIS コードの両方に統合される。EU 側が GROMACS への API 作成と並列化を担当し、日本側がカーネル非依存 FMM の実装を担当する分業体制が敷かれている。この技術的進歩は、数億〜

数十億粒子の「細胞サイズシステム」のシミュレーション実現を可能にする鍵であり、MD シミュレーションのフロンティアを押し広げる。この ExaFMM の採用は、単なるコードの最適化ではなく、「富岳」の A64FX や将来の欧州プロセッサを念頭に置いた、高ノード数・低メモリ環境、すなわち高レイテンシ耐性が必要な次世代 HPC アーキテクチャに向けた先見的な協調設計を共同で実行していることを示唆している。個別化医療のための HPC パイプラインのプロジェクトでは、個別化医療の進展を目的とし、特にゲノム情報の処理と腫瘍進化のシミュレーションに焦点を当てている。HPC 資源が不可欠な領域は、生成的モデルを用いて合成ゲノムデータを生成することである。これにより、倫理的制約を回避しつつ、何千もの潜在的な腫瘍形成軌道をシミュレートし、分析ツールのベンチマークと、多階層細胞シミュレーションによる患者組織構造の「デジタルツイン」作成を可能にする。具体的なタスクには、ゲノム解析パイプラインと、合成データに基づく腫瘍進化シミュレーションパイプラインの開発が含まれる。CSC は、ワークフローのポータビリティ強化に注力しており、MN5、LUMI、「富岳」などのマルチアーキテクチャに対応したコンテナ技術に基づくポータブルなソフトウェアカタログの提供を目指している。

WP6 は、“HPC for future materials design” を主題とするワークパッケージであり、太陽電池や電気エネルギー貯蔵システムをはじめとする持続可能エネルギー技術に向けた材料設計・最適化を、HPC を活用したインシリコシミュレーションによって推進している。WP6 の対象は、持続可能な太陽光発電材料 (Task6.1)、第一原理計算に基づく電気化学・電池研究 (Task6.2)、水素貯蔵材料設計 (Task6.3)、材料科学向け数値線形代数フレームワーク (Task6.4)、ならびに二次元材料における非平衡電荷キャリアダイナミクス (Task6.5) に及んでおり、材料科学の複数領域を横断する計算科学的課題を包含している。第一原理計算の高度化と共同開発においては深い技術協力が行われている。具体的には、QMC/ML 連携 (TurboRVB) として、量子モンテカルロ法 (QMC) コード TurboRVB を用い、水素貯蔵などの系における高精度な化学結合エネルギー評価を行う。また、NIMS との協力の下、QMC と機械学習を組み合わせた、高速で正確なポテンシャルエネルギー面の開発が進められている。さらに、電気化学への DFT 応用として、電気化学バッテリー研究において、日本が開発した Effective Screening Medium (ESM) 法などの理論的手法を、欧州の DFT コード SIESTA に実装・最適化することを目指している。WP6 の協力は、アプリケーションコード自体にとどまらず、HPC の基盤となるソフトウェアスタックにまで及んでいる。理化学研究所 R-CCS との間では、数値線形代数ライブラリやブロック疎行列ライブラリの共同開発が進められており、BigDFT の拡張や、数値線形代数フレームワークである ChASE、EigenExa の開発がその例として挙げられる。異なるアーキテクチャ（「富岳」、JUPITER など）で最適な性能を引き出すためには、アプリケーションコードのポータビリティだけでなく、線形代数ライブラリや疎行列表現といった低レベルなライブラリ設計における協調が必要である。WP6 におけるこの取組は、技術提携が非常に深いレベルにあり、次世代の異種混合アーキテクチャ上での持続的な性能確

保を目指す共通の技術的ビジョンを実行に移していることを示している。

表 8.3. WP4~6 の要約

科学分野 (WP)	主要な共同コード／ツール	共同タスクの技術目標	ターゲットとする HPC プラットフォーム
WP4	HPCW ICON NICAM-DC Autosubmit	NICAM-DC の HPCW 統合、「富岳」での HPCW ベンチマーク、ICON のオープンソース化	「富岳」 LUMI MareNostrum5 JUPITER
WP5	GROMACS GENESIS ExaFMMPhysiBoSS m-AIA CUBE	ExaFMM による MD スケーリング・ボトルネック解消、合成ゲノムデータとデジタルツイン	「富岳」 LUMI JURECA-DC
WP6	TurboRVB SIESTA BigDFT ChASE libNEGF	QMC/DFT コードの最適化、線形代数ライブラリ（ブロック疎行列）共同開発、ESM 法の適用	「富岳」 JUWELS Wisteria TGCC (CEA)

#### (6) 持続可能性フレームワークと長期的な展望 (WP7)

WP7 は、「The roadmap for sustainable Europe-Japan collaboration」を担当し、プロジェクトの成果を HANAMI 終了後も継続的な日本-EU 協力へとつなげるための戦略的枠組みを策定する。WP7 の活動は、持続可能な協力構造と資金調達モデル（代替的な協力モデル、資金調達モデル）を調査し、プロジェクトが将来の資金調達機会を特定できるように設計されている。

プロジェクト開始直後 (M1-M9) から、WP7 は政策決定者や資金提供者 (EuroHPC JU、MEXT など) との関係性を維持し、関与を促すための活動を積極的に開始している。特に、WP7 ロードショー (ブリュッセル訪問) が実施され、EEAS (欧州対外行動庁)、富士通、在 EU 日本政府代表部 (MEXT) などの主要な政策決定者および産業界の幹部との会談が行われた。この初期段階での集中的な政策関与は、D1.1 の調査結果により明らかになった EuroHPC JU リソースへの PI 資格に関する政策的障壁を最優先で解決しようとする HANAMI の戦略的緊急性を反映していると考えられる。WP7 は D1.1 の調査結果を携え、政治的意志決定レベルでアクセス政策の変更を促すためのフィードバックループを構築しており、これは将来の真の相互アクセス実現に向けた決定的な一歩となる。WP7 は、M36 までに持続的な協力のためのロードマップ (D7.3) を策定する。このロードマップは、以下の要素を組み込むことによって、HANAMI の成果を永続的な EU-日本協力へと昇華させることを目指す。

- ・ **成果の特定:** WP4-6 の科学的進捗と連携し、プロジェクト期間後に維持されるべき主要な活用可能な成果 (Key Exploitable Results) を特定する

- ・ **協力モデルの提案**：代替的な協力構造と資金調達モデル（ルール、役割、責任など）の提案
- ・ **HPC リソースの可用性の確保**：Supercomputing Resource Group (SRG) の分析に基づき、持続的な協力に必要な HPC リソースの可用性を政策レベルで確保するための提言を含める
- ・ **コミュニティの拡大**：HANAMI の既存の焦点外のトピックや組織を含めるための基準を設定し、協力の範囲を広げる

#### (7) HPC リソース相互アクセス政策の現状分析と政策的課題の調査 (D1.1)

HANAMI プロジェクトの中核的な目的の一つは、日本と欧州のスーパーコンピュータへの相互アクセス (Cross Access) を確立することである。この目標の実現可能性を評価するため、HANAMI は主要なターゲットシステムのアクセス政策に関する詳細な調査 (D1.1) を実施した。

ターゲット HPC リソースと協力の範囲について、HANAMI の Supercomputing Resource Group (SRG) が焦点を当てる欧州のターゲットシステムは、プレエクサスケールおよびエクサスケールの主要マシンである。これには、Deucalion (ポルトガル)、JUPITER (ドイツ)、Leonardo (イタリア)、LUMI (フィンランド)、Mare Nostrum5 (スペイン)、および Jules Verne コンソーシアムの将来のシステム (Alice Recoque) が含まれる。日本側では、理化学研究所 R-CCS がホスト・運用するエクサスケールマシンである「富岳」が最も重要なターゲットである。「富岳」は、将来の欧州プロセッサ (EPI: European Processor Initiative) が目指す機能と比較可能であるため、欧州の研究者にとって特に戦略的な関心対象となっている。さらに、HANAMI は「富岳」を含む HPCI ネットワーク全体 (合計 15 台のスーパーコンピュータ) と、大学 HPC センターの共同利用ネットワークである JHPCN のアクセス資格も調査対象としている。

D1.1 の調査の結果、アクセス資格の比較分析と政策的障壁が特定された。相互アクセスを実現する上で、欧州と日本のアクセス政策の間に決定的な非対称性が存在することが判明している。EuroHPC JU の資源へのアクセス資格は、EU 加盟国、または Digital Europe プログラムや Horizon Europe に関連付けられた第三国に設立または所在する機関に所属する研究者に厳しく限定されている。重大な政策的障壁として、日本はこの対象国のリストに含まれていない。このため、日本の研究者は、EuroHPC JU が所有するスーパーコンピューティングリソースへのアクセスを目的とする公募において、PI (主研究者) として申請することが法的に不可能となっている。日本の研究者がアクセスできる唯一の道は、欧州の PI が主導するプロジェクトの「ユーザ」として貢献する場合に限定される。これは、HANAMI が推進する欧州・日本間の対等な共同研究という文脈において、著しく制限的であると認識されている。対照的に、日本の主要な HPC インフラストラクチャ

へのアクセス資格は、国際的な研究者に対して比較的柔軟である。HPCI スーパーコンピュータ（「富岳」を含む）へのアクセスは、研究機関または大学に所属する PI であれば、国籍による制限はない（ただし、申請機関が民間企業である場合は日本の所属が必要となる）。欧州の研究機関に所属する PI による申請が可能であるため、欧州側からの日本リソースへのアクセスにおいて、政策的な障壁は低い。また、JHPCN（学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点：Joint Usage／Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures）も、PI は日本の所属機関に限定されるものの、ユーザは学術機関所属であれば国籍の制限はない。

DG Connect と EuroHPC JU がクロスアクセスを確立することを提案しているにもかかわらず、既存の EU の資金提供ルールが日本の研究者が欧州リソースで PI となることを妨げている事実は、政策目標と実施メカニズムの間に直接的な構造的な矛盾（制度的な摩擦）があることを明確に示している。

現在、HANAMI コンソーシアム内の欧州センター（BSC、CSC、FZJ、INESC-TEC、CEA）の一部は、理化学研究所 R-CCS との間で二国間 MoU（覚書）を締結しており、これにより限定的な相互アクセスが実現している。例えば、理化学研究所 R-CCS の研究者は、これらの協定を通じて BSC や FZJ などの HPC リソースにアクセスできる。しかし、これらの二国間協定は限定的な組織数および研究者数に限定されており、HANAMI が目指す欧州と日本全体にわたる「持続可能で公的なクロスアクセス」の実現には至っていない。

したがって、HANAMI の主要な任務の一つは、このアクセス政策の調査結果（D1.1）を基礎として、EuroHPC JU に対し、日本のカウンターパートとの真の相互アクセスを可能にするための提言（recommendations）を提供することである。これは、政策目標と実施体制の間のギャップを埋めるための重要な政策的役割となる。

## (8) 情報源

HANAMI の公式サイトから公開されてる以下の各 DELIVERABLE を参照した。

D1.1 Survey of supercomputing facilities access policy

D1.3 Report on the HANAMI setup

D1.5 Biomedical project setup roadmap

D1.6 Follow up of the scientific collaborations with Japanese partners

D2.1 Project Image and Website Report

D2.2 Initial Communication, Dissemination and Exploitation Plan

D2.3 Collaboration Plan

D4.3 Report on detailed work plan for extension of HPCW

### 8.1.3. (参考) HPC CoE との連携

#### (1) 背景と目的

EuroHPC JU の下、欧州ではエクサスケール時代に対応する HPC インフラとアプリケーションの整備が進んでいる。本節では、「スーパーコンピュータ整備や利用促進に係る国際情勢等に係る調査業務」(令和 6 年度)において、「スーパーコンピュータを利用した研究開発への公的支援」でも調査した HPC Centres of Excellence (CoE) の代表例 (MaX、EoCoE-III、TREX、RAISE、ESiWACE3、PerMedCoE) を対象に、目的・技術課題・成果・生成 AI との関係・今後の展望をあらためて整理し、日本との連携や日本への示唆を提示する。生成 AI (大規模言語モデル、サロゲートモデリング、コード自動生成等) がもたらす HPC 応用の転換について言及する。

#### (2) 欧州 HPC エコシステムの現状

##### (a) EuroHPC JU の役割

EuroHPC JU は、加盟国・関連国・EU 機関が連携する公私連携体であり、スーパーコンピュータの調達・運用とともにアプリケーション高度化 (CoE や Lighthouse Codes) を支援する。

##### (b) CoE 制度の位置付け

CoE は、材料・エネルギー・気候・医療・量子化学など特定ドメインにおける HPC アプリケーションの高度化と、ユーザ支援・産業連携を担う枠組みである。2025 年 6 月には新たな CoE/Lighthouse Codes 公募が行われた。

##### (c) 生成 AI/データ駆動科学との関連

近年は HPC と AI の相互補完が加速している。生成 AI はサロゲートモデリング、ワークフロー自動化、知見抽出に寄与し、一方で HPC は大規模 AI の学習・推論を支える計算・データ基盤を提供する。

#### (3) MaX (Materials design at the eXascale)

##### (a) 目的/ミッション

材料モデリング・シミュレーションのエクサスケール対応を推進し、欧州の材料設計エコシステムを強化する。

#### **(b) 主な研究・開発テーマ**

- ・ 第一原理計算・波動関数法・DFT コードのポーティング/スケーリング最適化
- ・ 高スループット材料探索とデータ解析の統合
- ・ マルチスケール連携と産業応用の橋渡し
- ・

#### **(c) インフラ・技術チャレンジ**

- ・ GPU 等アクセラレータ対応、メモリ階層・I/O 最適化
- ・ データ管理・可視化・ワークフローの拡張
- ・ ユーザ・フレンドリーなソフトウェア提供

#### **(d) 成果・ユースケース**

欧州 HPC エコシステムと連携し、材料科学コミュニティ向けのコード・ライブラリ・ベストプラクティスを公開している。

#### **(e) AI/生成 AI との関連**

- ・ 生成 AI でシミュレーション前処理・入力設定を支援
- ・ サロゲートモデルによる候補材料探索の加速
- ・ 自動レポート化・可視化支援

#### **(f) 今後の展望・課題**

- ・ より複雑な材料系・産業ユースケースへの拡張
- ・ HPC+AI プラットフォームの商用化と中小企業参画促進

### **(4) EoCoE-III (Energy Oriented CoE)**

#### **(a) 目的/ミッション**

クリーンエネルギーの生産・貯蔵・管理に資する計算手法を開発し、脱炭素化を加速する。

#### **(b) 主な研究・開発テーマ**

- ・ 再生可能エネルギー、材料、気候・水、核融合の統合モデリング
- ・ アプリケーションのエクサスケール対応・最適化

#### **(c) インフラ・技術チャレンジ**

- ・ マルチスケール・マルチフィジックス計算の計算・通信最適化
- ・ 産業・社会インフラデータとの統合（電力系統、地理空間等）

**(d) 成果・ユースケース**

EuCoE-I/II からの成果を継承し、アプリ性能改善と分野横断の連携を推進している。

**(e) AI/生成 AI との関連**

- ・ 強化学習・生成モデルによるパラメータ探索・シナリオ生成
- ・ AI 支援のワークフロー自動化

**(f) 今後の展望・課題**

- ・ 中小企業を含むユーザ向けの低参入障壁な HPC+AI 提供
- ・ デジタルツイン・リアルタイム運用への展開

**(5) TREX (Quantum Chemistry)**

**(a) 目的/ミッション**

エクサスケール HPC に対応した量子化学シミュレーション基盤を提供し、旗艦的量子モンテカルロコードの開発を進める。

**(b) 主な研究・開発テーマ**

- ・ 量子モンテカルロ法・波動関数法・DFT の HPC 最適化
- ・ オープンソースのユーザフレンドリーなソフトウェアスイート整備
- ・ データ形式・I/O の効率化 (TREXIO 等)
- ・

**(c) インフラ・技術チャレンジ**

- ・ 計算量・通信量の爆発的増大への対応 (GPU・多ノード最適化)
- ・ ワークフロー自動化と可視化・データ管理

**(d) 成果・ユースケース**

量子化学コミュニティと HPC インフラを結び、中小企業参画も視野に入れた基盤を提供している。

**(e) AI/生成 AI との関連**

- ・ 生成 AI で近似波動関数・電子密度を事前推定して前処理短縮
- ・ コードテンプレート自動生成によるユーザビリティ向上

**(f) 今後の展望・課題**

- ・ 製薬・材料化学への応用拡大

- ・ HPC+AI の標準ワークフロー化

## **(6) RAISE (AI×Simulation at Exascale)**

### **(a) 目的／ミッション**

HPC と AI の融合に特化し、エクサスケール環境での AI 駆動型シミュレーション基盤を目指す（プロジェクトは 2024 年に終了）。

### **(b) 主な研究・開発テーマ**

- ・ AI モデルの HPC 適用・コデザイン・知識交換
- ・ 産業用途（流体・構造・デジタルツイン等）への適用

### **(c) インフラ・技術チャレンジ**

- ・ 大規模生成モデルの学習・推論最適化（分散・通信・I/O）
- ・ シミュレーションと AI の統合ワークフロー設計
- ・

### **(d) 成果・ユースケース**

関係機関での成果が継続（例：CERN openlab 連携領域に対する支援）。

### **(e) AI／生成 AI との関連**

- ・ 入力条件設計・結果要約などで生成 AI を活用
- ・ 産業向けデモにおける AI 補助の有効性を実証

### **(f) 今後の展望・課題**

- ・ 後継・隣接プロジェクトへの知見移転
- ・ 欧州全体での HPC+AI 人材育成の継続

## **(7) ESiWACE3 (Weather & Climate)**

### **(a) 目的／ミッション**

気象・気候モデリングの HPC 準備度向上と知見共有のため、エクサスケール時代のワークフロー・ツール群を整備する。

### **(b) 主な研究・開発テーマ**

- ・ 高解像度地球システムモデリングに向けたスケーラビリティ改善
- ・ データ同化・リアルタイム予測・AI 統合

- ・ コミュニティハブとしての訓練・普及

#### (c) インフラ・技術チャレンジ

- ・ 数千～数万ノード・PB級 I/O を前提とした通信・ストレージ最適化
- ・ 観測データとの統合や低レイテンシ要件

#### (d) 成果・ユースケース

EuroHPC JU Users Day 等での成果共有、コミュニティ連携強化を行っている。

#### (e) AI/生成 AI との関連

- ・ 極端事象予測・影響評価での生成 AI 活用
- ・ AI によるパラメータ最適化・モデル補正
- ・

#### (f) 今後の展望・課題

- ・ AI アクセラレータ搭載 HPC への移行
- ・ 地域気候リスク評価の社会実装強化

### (8) PerMedCoE (Personalised Medicine)

#### (a) 目的/ミッション

オミクス（生物の中で起こるさまざまな分子レベルの情報を網羅的・全体的に解析すること）と臨床データを統合し、HPC+AIを活用した個別化医療のモデリング基盤を整備する。

#### (b) 主な研究・開発テーマ

- ・ 大規模オミクス解析とバイオマーカー探索
- ・ 患者・集団レベルのモデル化（デジタルツイン等）
- ・ マルチモーダルデータ連携とワークフロー整備

#### (c) インフラ・技術チャレンジ

- ・ プライバシー・セキュリティに配慮したデータ・ガバナンス
- ・ アクセラレータ活用・スケーラビリティ確保

#### (d) 成果・ユースケース

欧州の医療研究機関・産業界・HPC インフラを連携し、ツール・トレーニング等を提供している。

### (e) AI/生成 AI との関連

- ・ 生成 AI で仮説・治療候補生成、レポート自動化
- ・ 患者プロフィールからの入力生成によるワークフロー短縮

### (f) 今後の展望・課題

- ・ 規制・倫理への適合、中小企業参画促進
- ・ 日本・アジアとの医療 HPC 連携可能性

## (9) HPC と生成 AI の融合動向

生成 AI は、サロゲートモデリング、自動コード生成、知見抽出の観点で HPC 応用を加速する。同時に、HPC は大規模 AI の学習・推論基盤としての役割を強め、データ-モデル融合や AI Factory の実装を後押しする。とりわけ近年は、従来のシミュレーション中心の HPC 利用から、「シミュレーション、データ、AI を統合した計算科学基盤」への移行が進んでおり、欧州の CoE においてもこの潮流が顕著である。MaX や TREX では材料・量子化学分野における前処理高度化、候補探索、可視化・レポート生成への生成 AI 活用が見られ、EoCoE-III や ESiWACE3 では、パラメータ探索、シナリオ生成、モデル補正、ワークフロー自動化など、AI を組み込んだ運用の高度化が進められている。RAISE は HPC と AI の融合そのものを主題としており、産業用途への適用や知見移転の観点でも先行的であった。PerMedCoE においても、オミクス・臨床データ統合の中で、仮説生成や候補提示、解析手順短縮への生成 AI 活用が示されている。

このような動向は、生成 AI が HPC を単に補助する段階を超え、計算科学の研究プロセスそのものを再編しつつあることを示している。すなわち、(1) 高価なシミュレーションを代替・補完するサロゲートモデル、(2) 複雑な実行条件や入力設定を支援する自然言語ベースのインターフェース、(3) 膨大な出力データからの異常検知・特徴抽出・要約生成、(4) 実験・観測・運用データを取り込んだリアルタイム推定やデジタルツインの実装、という複数のレイヤーで融合が進んでいる。この結果、HPC 基盤に求められる要件も、演算性能のみならず、GPU 等アクセラレータ対応、分散学習・推論、広帯域 I/O、データ管理、再現可能なワークフロー運用、人材の複合スキル化へと拡張している。こうした変化は、HPC センターや CoE の役割を、計算資源提供から「アプリケーション最適化、AI 統合、ソフトウェア運用支援、利用者育成を一体的に担う中核機能」へと広げるものと考えられる。

## (10) 日本との連携や日本への示唆

欧州の HPC CoE は、産業参画・オープンソフトウェア・人材育成・HPC×AI 融合を重視している。各 CoE の対象分野は材料、エネルギー、量子化学、気象・気候、個別化医療等と多岐にわたるが、共通しているのは、単なる計算資源整備ではなく、分野ごとのアプ

リケーション高度化、ソフトウェア保守・最適化、利用者支援、訓練、産業接続をパッケージとして推進している点である。特にエクサスケール移行期においては、GPU等アクセラレータ対応、I/O最適化、ワークフロー管理、データ駆動型解析、生成AI活用を含む複合的な技術課題に対応する必要があり、その解決を個別研究者や単独機関に委ねず、CoEという中間支援層が担っている点は大きな特徴である。

日本においては、HPC+AIのサービスモデル構築、国際連携の制度化、分野特化の適用加速、人材育成の刷新が鍵となる。加えて、日欧連携の観点では、EU-Japan Digital Partnershipの下で、EUと日本がAI、HPC、量子技術等を重点協力分野として継続的に位置付けていることは重要であり、HPC分野の連携を個別研究者間の協力にとどめず、政策的対話と研究開発支援の双方から制度的に下支えする枠組みが整備されつつある。2025年5月の第3回EU-Japan Digital Partnership Councilでも、AI、HPC、量子技術等に関する協力の継続・具体化が確認されている。

その具体的実装として注目されるのが、HANAMI (HPC Alliance for Applications and Supercomputing Innovation: The Europe-Japan Collaboration) である。HANAMIは、EU-Japan Digital Partnershipを基盤として、欧州と日本の優れた研究チームを結集し、将来世代のスーパーコンピュータに向けたHPCアプリケーション最適化と、日欧双方の計算資源の活用促進を目的とするプロジェクトであり、気候・気象、材料、バイオメディカル等の分野で共同開発と知見共有を進めている。EuroHPC JUによれば、HANAMIの期間は2024年3月1日から2027年2月28日、総予算は500万ユーロであり、日欧HPC協力を実務レベルで前進させる先行事例と位置付けられる。さらに2025年6月には、EuroHPC JUと理化学研究所R-CCSがHANAMIの下でエクサスケール協力を強化するためのLOIを締結しており、「富岳」を含む日本側計算資源と欧州側エコシステムの接続を視野に入れた展開が進んでいる。

以上を踏まえると、日本への示唆としては、第一に、計算機整備と利用促進を分離せず、分野別アプリケーション開発、ソフトウェア最適化、ユーザ支援、人材育成、産業連携を束ねたCoE型支援機能を強化すること、第二に、HPCと生成AIの融合を見据え、計算科学・データ科学・AI工学を横断する人材育成と共通基盤整備を進めること、第三に、EU-Japan Digital PartnershipやHANAMIのような枠組みを通じて、国際共同利用・共同開発・相互運用性向上を制度的に拡充すること、が重要である。日本のHPCIや「富岳」の次世代機を含む将来計算基盤においても、単なる性能競争ではなく、国際連携の中でアプリケーション価値を創出する仕組みをどう設計するかが、今後の競争力を左右する論点になると考えられる。

## (11) 情報源

Centres of Excellence (CoE) 一覧

<https://hpc-portal.eu/coes>

EuroHPC JU, Establishing HPC CoEs and Lighthouse Codes

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/establishing-hpc-centres-excellence-and-lighthouse-codes\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/establishing-hpc-centres-excellence-and-lighthouse-codes_en)

HPC Portal

<https://hpc-portal.eu/coes>

MaX Centre of Excellence

<https://max-centre.eu/>

EoCoE

<https://www.eocoe.eu/>

ESiWACE

<https://www.esiwace.eu/>

TREX

<https://trex-coe.eu/about-trex-hpc-centre-excellence-quantum-chemistry>

Ref-6a PerMedCoE

<https://permedcoe.eu/>

EuroHPC JU: New call

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/new-eurohpc-call-strengthen-europes-leadership-hpc-applications-2025-06-10\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/new-eurohpc-call-strengthen-europes-leadership-hpc-applications-2025-06-10_en)

MaX : Exascale 戦略

<https://www.max-centre.eu/exascale>

EuroHPC JU : EoCoE-III プロジェクト詳細

[https://www.eurohpc-ju.europa.eu/research-innovation/our-projects/eocoe-iii\\_en](https://www.eurohpc-ju.europa.eu/research-innovation/our-projects/eocoe-iii_en)

TREXIO

<https://trex-coe.github.io/trexio/>

CERN openlab, CoE RAISE

<https://openlab.cern/coe-raise-center-of-excellence-on-ai-and-simulation-based-engineering-at-exascale/>

CoE RAISE

<https://www.coe-raise.eu/about>

ESiWACE : Mario Acosta

<https://www.esiwace.eu/team-member/mario-acosta>

CORDIS, ESiWACE3

<https://cordis.europa.eu/project/id/101093054>

CSC, ESiWACE3

<https://csc.fi/en/project/esiwace3/>

## 8.2. 調査員委嘱により得られた HANAMI プロジェクトにおける知見

文献調査により、HANAMI プロジェクトにおける WP4、WP5、WP6 の基本的な目的、主要な共同開発対象、ならびに日欧連携の制度的・技術的枠組みは把握できたが、各 WP における研究開発の実装段階での進捗、現場で顕在化している技術課題、日本側研究者が実際に担っている役割、ならびに今後の共同研究の具体像については、公開文献のみから把握することは困難であるため、本調査では、各 WP に所属する日本側研究者（表 8.4）を調査員として委嘱し、提出された報告書（8.2.5 節を参照）を精査したことにより、文献調査では得られなかった実務的・具体的な知見を補足することができた。

表 8.4. 調査員を委嘱した日本側研究者

WP	氏名（敬称略）	所属	訪問期間	訪問先
WP4	八代 尚	国立環境研究所	2025年12月 8-11日	HANAMI High-Level Symposium 2nd Edition (France, Chamonix)
WP5	フッティング エリサ	大阪大学	2025年12月 15-18日	Dr Alfonso Valencia (Director of the Department of Life Sciences), Barcelona Supercomputing Center (BSC)
	信夫 愛			
WP6	大谷 実	筑波大学	2025年12月 15-19日	ICN2 Theory and Simulation Group (Spain, Barcelona)
	玄 武彦			
	館山 佳尚	東京科学大学	2026年2月	CNR Istituto Nanoscienze (Italy,

			10-13 日	Modena)
--	--	--	---------	---------

### 8.2.1. WP4 (気象・気候)

WP4 について、文献調査では、HPCW の拡張、NICAM-DC の統合、「富岳」を含む複数アーキテクチャでの性能評価、自動化フレームワークの整備、ならびに SDM の高度化といった研究開発の方向性は把握できていた。これに対し、八代調査員の報告からは、これらの取組がどの段階まで進捗しているか、また運用上どのような課題が存在するかが具体的に明らかとなった。とりわけ、AutoSubmit を中心とするワークフロー上で NICOCO の 130 年長期計算やアンサンブル計算が実際に動作していること、他方で遠隔ジョブ投入時の二要素認証や多数アンサンブル初期値生成が実務上の障壁となっていること、さらに pyHANAMI を用いた再現性確認と性能評価指標整備が進んでいることなどは、文献調査のみでは把握できなかった重要な知見である。また、HPCW が 2025 年夏に ver.3.0 として公開され、NICAM-DC の統合成果が公開可能な形に到達していることも確認された。加えて、調査員自身の報告を通じて、日本側では GPU 最適化、気候モデルと機械学習・データ同化系のリアルタイム連成、Fortran から Python (JAX) や Julia への展開可能性といった将来志向の技術検討が具体的に進められていることが示され、WP4 における日欧協力が、単なるベンチマーク整備にとどまらず、将来の計算機アーキテクチャや AI 活用を見据えた開発基盤の高度化にまで及んでいることが明確となった。

### 8.2.2. WP5 (バイオメディカル)

WP5 について、文献調査では、分子動力学、個別化医療、流体力学の三つの柱、ExaFMM の GROMACS・GENESIS への統合、合成ゲノムデータやデジタルツイン生成といった研究の枠組みは整理できていた。しかし、日欧の研究者が実際にどのような共同研究テーマを構想し、日本側研究者のどのような研究資産が欧州側と接続しているのかは、公開文献からは必ずしも明確ではなかった。これに対し、信夫・フッティンガー両調査員の報告からは、BSC と大阪大学の間で、DNA 配列変異が生体分子間相互作用に与える影響を MD シミュレーションにより評価し、その結果を制御ネットワーク解析に接続することで細胞レベルの表現型変化を予測する、具体的なマルチスケール計算ツールの共同構想が形成されていることが明らかになった。さらに、変異の種類に応じて TFBS モチーフ検索、構造解析、MD、遺伝子制御ネットワーク上での KO シミュレーション等を使い分ける初期設計が作成され、論文の初期構成案まで共同で整備されていることは、調査員委嘱によって初めて得られた具体的成果である。また、フッティンガー調査員による上皮組織疾患の数理モデルおよび生化学制御ネットワーク自動構築アルゴリズム、信夫調査員による大規模 MD と EGFR 変異を対象とした細胞シグナルモデル連携研究など、日本側研究者自身の研究蓄積が、今後の日欧共同研究の核として位置付けられていることも明確になった。加えて、AlphaFold 構造の活用、深層学習によるドッキング、データ標準化や再現

性・透明性を担保する共通フレームワークの必要性、さらには新規連携を促進するための体系的なマッチング基盤の必要性といった実務的課題も把握され、WP5 の協力が単なるコード開発にとどまらず、システム生物学と計算生物物理を接続する具体的な共同研究形成段階に進んでいることが確認された。

### 8.2.3. WP6 (材料科学)

WP6 について、文献調査では、SIESTA への ESM 法実装、QMC/ML 連携、BigDFT や ChASE 等の基盤ライブラリを含む深い技術協力が進められていることは把握できていたが、WP6 全体の研究開発が個別タスクごとにどこまで具体化しているのか、また、欧州側拠点がいかなる役割を担い、日本側研究者がどこに実務的に関与しているのかまでは十分に把握できていなかった。これに対し館山調査員報告書からは、WP6 が太陽電池、電池・電気化学界面、水素貯蔵、非平衡キャリアダイナミクス、数値線形代数、ブロックスパース行列技術といった複数タスクを並行的に展開し、その多くが「富岳」を中核計算資源として具体的に進行していることが明らかとなった。特に、YAMBO、SIESTA、TurboRVB、BigDFT、libNEGF、ChASE など主要コード群が「富岳」上で検証・最適化されていること、さらに WP6 全パートナーによる「富岳」への共同申請により約 596 万ノード時間を獲得していることは、文献調査だけでは把握し得なかった、日欧連携の成熟度を示す重要な成果である。

さらに、館山調査員報告書により、CNR-NANO および Cineca が WP6 において果たしている役割が具体化された。すなわち、CNR-NANO では Elisa Molinari 教授、Daniele Varsano 氏、Giacomo Giorgi 教授らが太陽電池材料研究および YAMBO の「富岳」への展開を推進し、日本側研究者との MOU 締結やワークショップ開催、人材交流を伴う共同研究基盤を形成していることが確認された。さらに、Task 6.2 に関係して Deborah Prezzi 博士との間で、第一原理・機械学習ポテンシャル分子動力学に基づく構造サンプリングと X 線吸収分光計算を接続する新たな共同研究の議論が開始され、加えて CNR-IOM の Simone Piccinin 博士との間でも、ナトリウムイオン電池負極材料を対象とする共同研究が論文化直前の段階にあること、今後は「富岳」を用いた共同申請も想定されていることが報告された。これらは、WP6 の連携が単なる既存課題の継続ではなく、新たな共同研究テーマの生成と拡張を伴って進展していることを示している。館山調査員報告書からは、欧州側計算資源の戦略的な意味合いも補うことができた。すなわち、Cineca の Leonardo が、TSUBAME4.0 や将来の「富岳 NEXT」と親和性の高い GPU 型アーキテクチャを有し、計算化学・計算材料科学が計算時間の約 30% を占める重要利用分野であること、他方で日本側研究者が Leonardo を利用する正規ルートが未整備であり、日欧双方向の HPC 活用フレームワークの整備が今後の政策的課題であることが現地確認された点は、文献調査では得られなかった重要な補足情報である。これは、WP6 における協力の持続可能性が、個別コードの実装や研究テーマの進展のみならず、日欧間の計算資源相互利用制度の整備

にも依存していることを示している。

一方、大谷・玄調査員の報告書より、Task 6.2 に関する技術的な実装状況と役割分担が、明確に整理された。ICN2 Theory and Simulation Group は SIESTA を基盤とする第一原理計算コードの開発と応用研究を主に担い、日本側は ESM 法および ESM-RISM 法の開発元として、理論的背景、数値実装、境界条件設定、溶液モデル化に関する知見を提供し、SIESTA への円滑な導入を支援する役割を担っていることが、共通認識として明文化された。加えて、ESM 法が既に SIESTA において実用可能な段階にあり、理論的整合性を保ちながら実装が進んでいること、また、既存コードを大幅に改変せず補正項として追加できる見通しが共有されたことにより、今後の ESM-RISM 法追加実装に向けた出発点がより具体的になった。さらに、どの段階で日本側が技術支援を投入すべきかについても、初期段階では補正項導入方法と境界条件処理の妥当性確認、その後は溶液モデルを含めた計算条件整備と検証が重要であるという、実務的な支援方針まで整理された点が重要である。加えて、大谷調査員による議論の成果として、ICMAB-CSIC の Prof. Nieves Casañ Pastor との間で、bipolar electrochemistry effects on batteries を題材とする、理論計算と実験を横断する学際的連携の可能性が確認され、また Dr. Ernane de Freitas Martins との間では、ESM-RISM 法を QM/MM のようなより広い計算化学的枠組みに展開する可能性が検討された。これにより、WP6 における日本側貢献は SIESTA 実装支援にとどまらず、電気化学界面研究をより広い学際領域へ拡張するための理論基盤提供へと広がっていることが明らかとなった。すなわち、今回の追加報告書によって、WP6 は「実装の確認」「役割分担の明確化」「共同研究テーマの拡張」「相互利用基盤の政策課題の可視化」という複数の次元で、文献調査では得られなかった具体的成果が補われたと評価できる。

#### 8.2.4. 得られた知見の総括

以上のとおり、文献調査は各 WP の制度設計、研究開発の基本方針、主要ツールおよび技術ロードマップを把握する上で有効であったが、調査員への委嘱により、各 WP の実装成熟度、運用上の具体的課題、日欧間の実務的な役割分担、日本側研究者の固有の技術的貢献、ならびに今後の共同研究の具体的展望を把握することが可能となった。特に、WP4 ではワークフロー実装の進捗と運用上の障壁、WP5 では変異から表現型予測に至るマルチスケール共同研究構想の具体化、WP6 では SIESTA における ESM 実装の実用段階到達と今後の技術支援の焦点が明確となっており、これらは調査員を委嘱したことにより新たに得られた実質的成果として評価できる。

## 8.2.5. 調査員報告書

以下は、調査員からの報告書をそのまま載せたものである。

<p><b>HANAMI プロジェクト (WP4) 海外調査報告</b> 訪問先：HANAMI High-Level Symposium 2nd Edition (France, Chamonix) 訪問期間：2025年12月8-11日 調査担当者：八代尚（国立環境研究所）</p>
---

### はじめに

本報告書は、文部科学省委託事業「諸外国における HPC 分野の基盤整備及び研究開発動向に係る調査研究」の業務の一つとして実施された、「調査員への委嘱による研究開発プログラムの調査」のうち、HANAMI プロジェクト WP4 に関する調査結果についてまとめるものである。

### HANAMI プロジェクトおよび Working Package 4 の概要と日本側チームの研究連携

HPC AlliaNce for Applications and SupercoMputing Innovation: The Europe-Japan Collaboration (HANAMI) プロジェクトは、European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC JU) から、Horizon Europe プログラムの研究・イノベーション助成として資金提供を受けているプロジェクトである。プロジェクトはバイオメディカル、材料科学、気象・気候モデリングの3つを重点分野として、高性能計算 (HPC) における EU と日本の国際連携を促進し、研究開発と人材交流を進めることを目的としている。このうち、Working Package 4 (WP4) が気象・気候モデリング分野に関する研究開発を実施する。

WP4 では、日欧双方が継続して開発を進めている気象・気候シミュレーションモデルを、日欧両方の最新 HPC システム上で効率よく動作させ、将来の計算機アーキテクチャへの対応を見据えた、気象・気候モデル開発基盤の整備・強化を進めることを目的としている。研究内容として主なものは以下である。

- (1) 欧州の気象・気候モデルの、「LUMI」「JUPITER」等の最新鋭の GPU スーパーコンピュータと「富岳」両方への移植・最適化と性能評価
- (2) ESCAPE および ESiWACE プロジェクトで整備された統合的な気象・気候ベンチマークスイート HPCW (High Performance Climate & Weather) の整備拡張
- (3) 異なる HPC システム上での気象・気候モデルの結果再現性や演算性能、さらに気候予測性能を複数の指標を用いて体系的に評価するための自動化フレームワークの整備開発
- (4) 次世代の気象・気候モデリング精緻化に大きく貢献することが期待される「超水滴

## 法 (SDM)」の研究開発

これらの主要トピックに対し、日本側からは理化学研究所計算科学研究センター (R-CCS)、海洋研究開発機構 (JAMSTEC)、国立環境研究所 (NIES)、兵庫県立大学、東京大学から研究者が参画し、欧州側はドイツ気候計算センター (DKRZ)、バルセロナスーパーコンピューティング・センター (BSC)、ヨーロッパ中期予報センター (ECMWF)、フィンランド IT 科学センター (CSC)、ワルシャワ大学が参画している。日欧協力という点で特筆すべきアクティビティについて挙げると、トピック (2) では、日本の大気モデルである NICAM のうち、オープンソースライセンスにて既に公開を行なっている力学コア部分を抽出したパッケージ NICAM-DC を HPCW に組み込む上で必要な技術的調整を日欧で連携して実施し、CMake を用いたビルドへの対応、ベンチマーク実験が誰でも実施できるように、実験設定の調整、入力データセットの整備、結果検証方法の確立、ドキュメントの整備を進めてきた。トピック (3) では、欧州側が開発する実験自動化フレームワーク「AutoSubmit」を、日本のスーパーコンピュータ「富岳」 「Miyabi」で実行するための移植と整備を行い、また AutoSubmit を用いて日本の大気海洋結合シミュレーションモデル NICAM-COCO (NICOCO) の気候実験の自動化を進めている。トピック (4) では、日欧お互いの SDM の高速化・精緻化とそれを用いた先端的なシミュレーション研究について、活発な技術交流・研究交流を進めている。

## High-Level Symposium 2nd Edition 参加報告

2025 年 12 月 8-11 日にかけて、フランスのシャモニーにて HANAMI High-Level Symposium 2nd Edition が開催された。日本からは 10 名程度オンサイトで参加・発表があり、オンラインでも 5 名程度の日本からの発表があった。4 日間の会議のうち、1 日目は到着とチェックイン、夕食を交えた意見交換が行われた。2 日目はメイン会場でのプレナリーセッションが行われ、バイオメディカル分野、気象・気候分野、材料科学分野から 2 件ずつの招待講演と 1 件ずつの若手講演があった。気候分野の招待講演の 1 件目は UK Met Office の Hewitt 博士による、国際気候モデル比較プロジェクト CMIP に関するトピックであり、数多くある比較実験の設計や、データ共有について紹介された。2 件目は理化学研究所計算科学センターの富田博士による、AI 技術や量子計算技術が台頭する将来において、次世代気候モデルの力学コアが備えるべき要件とその課題についての講演であった。加えて日本からは新たに発足する次世代 HPC・AI 研究開発支援センター (HAIRDESC) の紹介が、センター長に就任した朴泰祐先生より行われた。3 日目は 3 分野に分かれて平行でのセッション発表が行われた。気象・気候セッションの詳しい内容については後述する。4 日目は今後の研究と技術開発の方向性について議論する「Strategic Dialogue」セッションが行われ、EU・日本の国家戦略、各分野の将来展望、また国際共同研究プログラムや国際学会・ワークショップ開催についての発表が行われた。

日本からは文部科学省・計算科学技術推進室の栗原室長より、日本の今後の HPC・AI 戦略についての講演があった。講演では「富岳 NEXT」プロジェクトの実施状況と期待される成果について紹介されたほか、AI for Science の研究開発と社会実装に関する大規模なファンディングについてアナウンスがあった。

調査員が参加した3日目の気候・気象セッションについて詳細に述べる。セッションは10名の講演があった。最初の Alhiali 博士（兵庫県立大）の発表では、SDM を用いた研究成果について報告があった。小玉博士（JAMSTEC）からは、NICOCO を用いた km 水平スケール、100 年規模の大気海洋結合シミュレーションに向けた準備状況について報告があり、モデルバイアス、計算速度、ポストプロセスの速度のいずれにも解決する課題があることが示された。Sicardi 博士（BSC）からは、欧州の地球システムモデル EC-Earth の現状のステータスと、最新の欧州のスーパーコンピュータでの性能評価について報告があった。Dziekan 博士（ワルシャワ大）からは、ワルシャワ大が開発する SDM の UWLCM の最適化についての報告があり、日本の SDM で適用されたアルゴリズム・最適化手法を取り入れることで、高速化を達成したことが紹介された。Keller 博士（BSC）からは、AutoSubmit を中心としたワークフロー開発についての報告があり、NICOCO を用いた 130 年の長期計算やアンサンブル計算がワークフロー上でうまく動作していることが報告された。今後の課題としては、ワークフロー管理プロセスが遠隔でスーパーコンピュータにジョブを投入する場合、ログイン時に二要素認証を求められ自動化に障壁がある点や、100 アンサンブルの初期値をどう効率よく作成するかなどが挙げられた。Alerany さん（BSC）からは、AutoSubmit を含む pyHANAMI パッケージを用いて、計算再現性の確認と共に気候再現性能の評価指標を整備し、シミュレーションスキルを体系的に評価・結果保存するシステムの開発状況について報告があった。Alerany さんは HAMAMI プロジェクトによる研究者交流の一環として、2025 年の初夏に JAMSTEC に滞在し、今回発表された研究を進め、日本国内の学会やセミナーで発表を行なった。午前最後の発表は Schroeter さん（DKRZ）から、HPCW 整備の現状について報告があり、2025 年の夏にバージョン 3.0 がオープンソースソフトウェアとしてリリースされたことが報告された。NICAM-DC は昨年度の HANAMI の成果として HPCW へのインテグレーションが完了しており、今回のパブリックリリースによってその成果が一般にも配布されることとなった。

昼食を挟んで午後のセッションでは、まず調査員である私（国環研）が、全球大気モデル NICAM の最近の開発成果についての発表を行なった。現状のモデル開発における課題は大きく分けて3つあり、すなわち 1)現状のアルゴリズムをベースとしたモデルの気候再現性の向上と最新の計算機アーキテクチャへの適応、2)AI 技術を活用した圧倒的に高速なデータ駆動型気候モデルの構築、3)持続可能な開発者人材の確保と開発環境の高度化、であると考えている。これらを実現するために、NICAM を題材としてこれまでに行ってきた GPU 最適化の実施、カップリングライブラリの開発とそれを用いた気候モデルと様々なツール・モデルのリアルタイム連成計算、Fortran から Python/JAX や Julia 等の開発

言語への転換に関するフィージビリティスタディについて紹介を行なった。特にカップリングライブラリでは、昨年度紹介した気候モデル(Fortran)と機械学習ツールであるPyTorch(Python)をつないでリアルタイムで学習データを供給するシステムについて再度解説すると共に、HPCAsia2025 で成果を発表した高水平解像度の NICAM を、低解像度 NICAM と局所アンサンブルカルマンフィルタ LETKF を組み合わせたデータ同化システムと連成させることにより、演算量と実行時間を劇的に削減する手法について紹介した。続いて柳瀬博士(兵庫県立大)からは、理想実験ケースを用いた対流の自己組織化に関する研究成果が披露され、「富岳」の演算性能を生かした大規模・高解像度の数値実験が理論研究を後押しする良い一例が示された。最後に、Hatfield 博士(ECMWF)から、ECMWFにおけるHPC戦略についての講演があった。気象モデルIFSの力学コアの心臓部分であるスペクトル変換ライブラリecTransのGPUポータビリティはNVIDIA、AMDの双方のGPUに対して完了しており、諸物理過程のライブラリはプログラムソース間変換ツールLokiを用いて効率よくGPU最適化を進めていることが紹介された。世界最高峰の気象モデルと最大規模の計算設備を有するECMWFの動向は世界が注目するところであり、計算機設備としては2027年にGPUを含む新たなスーパーコンピュータを導入する予定であることが示された。また現在欧州最大の演算性能を持つJUPITERを用いて、1kmを切る解像度での気象シミュレーションを実現するための準備を進めているということであった。

### まとめと将来に向けた展望

近年において、目まぐるしいスピードで変化している計算機アーキテクチャのトレンド、AI技術の進歩、量子コンピュータの技術進展等を受け、計算科学研究をどのように変革・進展させていくかが、いずれの科学技術分野においても重要な鍵となっている。HANAMIプロジェクトはこの問題にフォーカスし、日欧の協力によって課題を克服していくものである。特に本報告書で重点的に扱った気象・気候分野においては、巨大な気候モデルを如何に多くのスーパーコンピュータで実行可能にし、計算結果と性能を確保しつつ、未だ不確実性の大きい気候予測の精度を向上させていくかが鍵となっている。High-Level Symposiumで報告された各研究グループの取組を通して、非常に戦略的で将来につながる日欧連携が進められていることを改めて確認した。

HANAMIプロジェクトは実施期間の中間地点を過ぎ、さらに将来の継続した連携についても議論が始まっている。特にAIの活用は今後更に重要になってくることが容易に想像できる。日本においても、次期フラッグシップスーパーコンピュータが稼働するであろう2030年頃の計算機は、GPUの性能を十分に使い切れるだけのソフトウェア移植が完了していても、ハードウェアに頼った性能向上は期待できず、新たなアルゴリズムの採用やAI技術をどれだけ取り入れられるかが、シミュレーション速度やソフトウェア開発速度の向上の明暗を分けると予想される。

## HANAMI プロジェクト (WP5) 海外調査報告

訪問先 : Dr Alfonso Valencia (Director of the Department of Life Sciences)

バルセロナ・スーパーコンピューティング・センター (BSC)

訪問期間 : 2025 年 12 月 15-18 日

調査担当者 : 信夫 愛 (大阪大学ヒューマン・メタバース疾患研究拠点)

フッティンガー エリザ (大阪大学ヒューマン・メタバース疾患研究拠点)

### バルセロナ・スーパーコンピューティング・センター訪問

#### 12月15日

##### 午前

BSC 施設見学および同センターのスーパーコンピュータ「MareNostrum5」の視察

##### 午後

Dr Alfonso Valencia および Dr Marco Ruscone (BSC) と会談を行い、BSC と大阪大学間における今後の連携可能性について意見交換を行った。具体的には、生物医学的に極めて重要なシステム生物学上の課題に対し、HPC の計算能力を活用する新たな計算ツール (コード) の開発について議論した。本構想では、まず分子動力学 (MD) シミュレーションを用いて DNA 配列変異が生体分子間相互作用の反応速度論に与える影響を推定し、その結果を基に生体分子相互作用の制御ネットワークをシミュレーションすることで、遺伝的変異が細胞レベルの表現型に及ぼす影響を予測することを目指す。

#### 12月16日

##### 午前

信夫およびフッティンガーがそれぞれ 1 時間のセミナー講演を行った。本セミナーは BSC およびカタルーニャ工科大学 (UPC) の研究者・学生を対象に公開形式で開催された。講演後には質疑応答および自由討論が行われた。

##### 講演要旨 (フッティンガー)

Towards the automatic construction of mathematical models of epithelial tissues in health and disease. My research focuses on proposing, analysing and validating mechanistic mathematical models of complex diseases affecting epithelial tissues, including carcinomas, allergic diseases and mucosal infections. In the first part of my presentation, I will demonstrate how our mathematical models have improved our understanding of, and enabled us to better prevent and treat, squamous cell carcinoma, atopic dermatitis, and tuberculosis. The second half will be devoted to two ongoing projects in my laboratory that aim to accelerate our systems biology pipeline for

modelling diseases affecting epithelial tissues. The first is a general mathematical model of epithelial function in health and disease; the second is an algorithm for the automatic construction of mathematical models of biochemical regulatory networks. We hope that our efforts will eventually facilitate the implementation of mechanistic mathematical models of diseases affecting epithelial tissues, thereby accelerating the urgent task of uncovering the underlying mechanisms of disease onset and progression, as well as designing strategies for the early detection, prevention, and reversal of these diseases.

日本語訳 (アドバンスソフト付記)

健康時および疾患時の上皮組織の数学モデルの自動構築に向けた我々の研究は、癌、アレルギー疾患、粘膜感染症など、上皮組織に影響を及ぼす複雑な疾患のメカニズムに基づく数学モデルの提案、分析、および検証に焦点を当てている。講演の前半では、我々の数学モデルが、扁平上皮癌、アトピー性皮膚炎、結核に対する理解を深め、予防と治療の向上にどのように寄与したかについて解説する。後半では、上皮組織に影響を及ぼす疾患のモデリングに向けたパイプラインを加速させることを目的として進行中の 2 つのプロジェクトについて述べる。1 つ目は、健康時および疾患時における上皮機能の一般的な数学モデルであり、2 つ目は生化学的制御ネットワークの数学モデルを自動構築するためのアルゴリズムである。我々の取組が、最終的に上皮組織に影響を及ぼす疾患のメカニズムに基づく数学モデルの構築を促進し、それによって疾患の発症や進行の根本的なメカニズムを解明するという喫緊の課題を加速させるとともに、これらの疾患の早期発見、予防、および回復に向けた戦略の設計に寄与することを期待する。

講演要旨 (信夫)

Binding pathways and conformational changes in protein-protein interactions revealed by large-scale molecular dynamics simulations. Molecular dynamics (MD) simulations offer atomic-level insight into biomolecular recognition, but capturing slow binding processes is challenging because they involve rare events that fall outside the reach of standard simulation timescales. To address this, we used large-scale replica exchange simulations on the supercomputer Fugaku. Focusing on c-Src and Abl kinases, we characterized the full binding process, revealing pathways, intermediate states, and key conformational changes. These simulations allowed us to examine how ligand flexibility influences binding and to compare the distinct behaviors of small molecules and peptides. Next, in an effort to connect molecular mechanisms to higher levels of biological function, we combined MD simulations with cellular signaling models to study the effect of lung cancer mutations in EGFR. We calculated binding parameters both from MD simulations at the molecular scale and from ODE-based models of cellular networks fitted to experimental data. These results point toward a practical workflow for multiscale, holistic modeling of biological systems and disease mechanisms.

日本語訳 (アドバンスソフト付記)

大規模な分子動力学 (MD) シミュレーションによって解明されたタンパク質間相互作用における結合経路と構造変化について我々の研究成果を報告する。MD シミュレーションは、生体分子の認識過程を原子レベルで解明する手段となるが、結合プロセスは標準的なシミュレーションの時間スケールを超える稀な事象を伴うため、その捕捉は困難である。この課題に対処するため、我々はスーパーコンピュータ「富岳」を用いて大規模なレプリカ交換シミュレーションを実施した。c-Src および Abl キナーゼに焦点を当て、結合プロセス全体を詳細に解析し、経路、中間状態、および重要な構造変化を解明した。これらのシミュレーションにより、リガンドの柔軟性が結合に与える影響を調べ、低分子とペプチドの異なる挙動を比較することが可能となった。また、分子メカニズムとより高次の生物学的機能との関連性を解明するため、MD シミュレーションと細胞シグナル伝達モデルを組み合わせ、EGFR における肺がん変異の影響を研究した。分子スケールでの MD シミュレーションと、実験データに適合させた常微分方程式ベースの細胞ネットワークモデルの両方から、結合パラメータを算出した。これらの結果は、生物学的システムや疾患メカニズムのマルチスケールかつ包括的なモデリングに向けた実用的なワークフローを示唆している。

午後

Dr Marco Ruscone および Dr Jose Carbonell (BSC) と打ち合わせを行い、遺伝的変異が細胞レベルの表現型に及ぼす影響を予測する計算ツールの開発に向けた共同研究のフローチャートを作成した (図 1)。

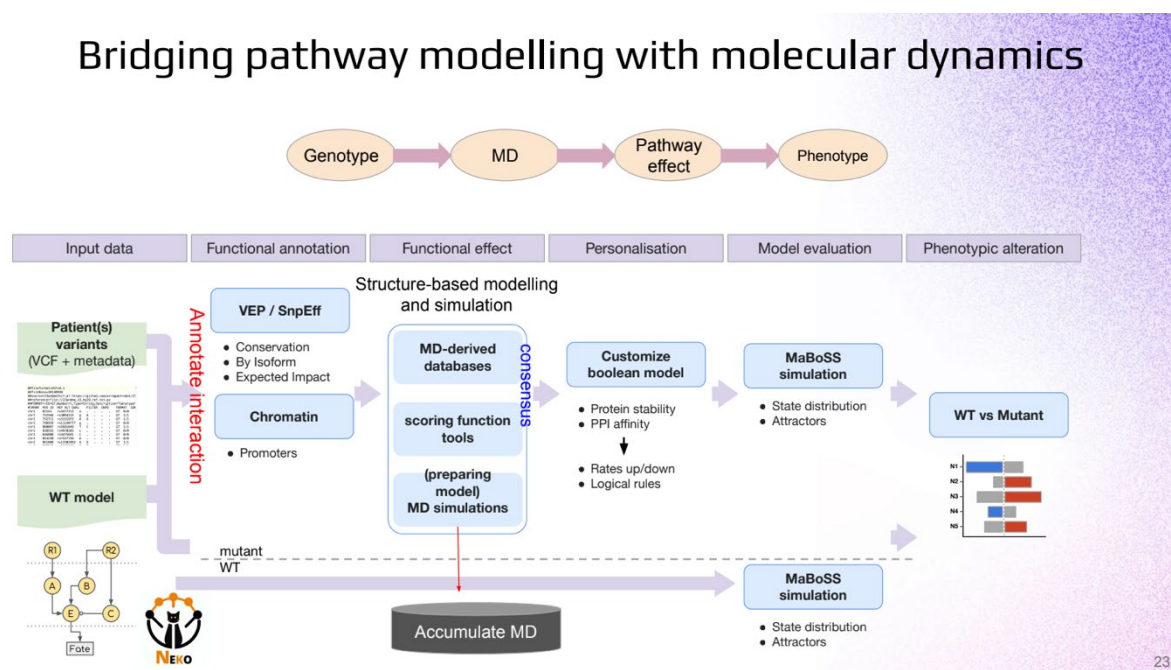


図 1

初期設計として、遺伝子変異が生体分子制御ネットワークに与える機能的帰結を予測す

るための計算パイプラインを構築した。入力変異は、その影響を受けるゲノム領域に基づいて分類され、それぞれに適切な機能的影響推定手法を適用する設計とした（表 1）。

表 1

Type of mutation	how to check its functional consequences
mutations in non-coding regions that affect a transcription factor binding site (TFBS)	query TFBS motif databases (e.g. transfac)
non-synonymous mutation affecting protein-DNA interaction domain	
non-synonymous mutation affecting protein-protein interaction domain	structural analysis (including Molecular Dynamics Simulations)
non-synonymous mutation affecting the stop coding:	simulate it in the gene regulatory networks as a KO

### 12月17日

BSC の博士課程学生 Othmane Hayoun Mya 氏（フッティンガー）および Dr Miguel Romero（信夫）との議論を行った。フッティンガーと Othmane Hayoun Mya 氏との間では、マルチスケール数理モデリング、システム生物学における情報理論的アプローチ、制御ネットワークの自動構築、ならびに論理モデリングの適用範囲および限界について議論が行われた。信夫と Miguel Romero 先生および同氏の学生との間では、AlphaFold により作成された構造モデルの MD シミュレーションへの活用に関する知見の共有が行われた。また、タンパク質設計系における変異が構造に及ぼす影響について信夫より説明を行い、さらに深層学習を活用したタンパク質-低分子ドッキング手法の活用については Romero 先生より紹介があった。

### 12月18日

Dr Marco Ruscone との共同作業として、HPC の計算能力を活用し、遺伝的変異が細胞レベルの表現型に与える影響を予測する計算ツールに関する論文の初期構成案を作成した。本手法は、まず MD シミュレーションを用いて DNA 配列変化が生体分子間相互作用の反応速度に及ぼす影響を推定し、その後、対応する生体分子相互作用の制御ネットワークをシミュレーションすることで、変異の機能的影響を統合的に評価することを目的とする。

### BSC 訪問後の今後の予定

Dr Marco Ruscone、Dr Jose Carbonell、Dr Alfonso Valencia、信夫およびフッティンガーからなるチームは、本プロジェクトを継続して推進する予定であり、年内を目途に論文の初稿完成を目指している。

### BSC 訪問の成果・総括

本 HANAMI プロジェクトの一環として実施した BSC 訪問は非常に有意義であった。4

日間の集中的な議論および共同作業を通じて、BSC と大阪大学の間における強固な共同研究体制が構築された。今後は HPC の計算資源を最大限に活用し、システム生物学における重要課題の解決に取り組む予定である。

### **HANAMI High-Level Symposium**

本報告書の対象となる出張には公式には含まれていないが、同時期に HANAMI High-Level Symposium が 2025 年 12 月 8~11 日にかけてフランス・シャモニーにおいて開催された。信夫は本シンポジウムに参加し、keynote speaker の一人として講演を行った。

<https://hanami-project.com/2025/03/13/hanami-high-level-symposium-2nd-edition/>

参加者は、EU および日本からの HANAMI プロジェクト関係者であった。信夫はバイオメディカルセッションにおいて講演を行った。講演タイトルは“Binding pathways and conformational changes in protein-protein interactions revealed by massive molecular dynamics simulations”である。また、3 日目には“HANAMI Europe-Japan HPC Strategic Dialogue: What’s next for strategic scientific areas?”と題する会合が開催され、EU および日本の政策担当者ならびに資金配分機関の代表者が出席した。同会合において信夫は“Computational biophysics across scales with next-generation HPC”と題する講演を行い、今後数年間における当該分野の発展の方向性および日欧間における将来的な協力機会についての展望を示した。その中で、今後重要となる三つの柱として、HPC、シミュレーションにおける AI の活用、ならびにデータ標準化を挙げた。

講演後には活発な議論が行われ、特に計算機シミュレーションにおけるデータ標準化に関して高い関心が示された。参加者は、シミュレーションデータの構造化、保存、管理、ならびに機関間および国境を越えた共有の在り方に強い関心を示した。さらに、議論を通じて、日欧間における再現性、透明性、および協働を促進するための共通フレームワークの必要性が強調された。

欧州の研究者と 3 日間にわたり議論を行う中で、以下のような印象が得られた。分子シミュレーションに対する明確な関心が示されるとともに、より広い文脈では、構造分子データをより大規模なモデルへ統合することへの関心も高かった。欧州の研究者からは、日本で開発されたソフトウェアに対する強い関心が示され、それらを欧州のスーパーコンピュータ上で効率的に実行する方法や、検証および実装を円滑に進めるためのベンチマーク事例やサンプルデータセットの提供可能性についての質問があった。

HANAMI の一部のサブプロジェクトは、EU および日本の研究者間における長年の協力関係を基盤としており、これらのプロジェクトは高度に進展し、十分に調整が取れているように見受けられた。一方で、新規に立ち上がった協力関係の中には、進捗が比較的緩やかなものも見られた。

複数の欧州研究者からは、地理的距離、言語的障壁、文化的差異などの要因により、適切な日本側パートナーを見つけ、連携を構築することが必ずしも容易ではないとの意見が

示された。総じて、日欧間における新たな協力関係の創出および発展を支援するためには、より体系的なマッチングの枠組みやプラットフォームの整備が必要である可能性が示唆された。

### **GANANA project workshop in HPC Asia**

BSC 訪問そのものには含まれないが、HANAMI High-Level Symposium への参加を契機として、信夫は2026年1月26～29日に大阪で開催されたSCA/HPCAsia 2026において講演を行うよう招待を受けた。<https://www.sca-hpcasia2026.jp/>

講演は“EU-India Scientific HPC Collaboration: Advances and Impact of the GANANA Project (GANANA Project Workshop)”と題するワークショップ内で実施された。GANANA プロジェクト (<https://ganana.eu/>) は HANAMI の姉妹プロジェクトであり、EU およびインドの HPC コミュニティ間の連携を目的としている。インド側では、ブネーに所在する CDAC 研究所 (<https://www.cdac.in/>) がコンソーシアムの調整を担っている。信夫の講演タイトルは“Simulating disease-related interactions across molecular and cellular scales”であり、HANAMI プロジェクトの一環として BSC と連携して進めている研究内容について紹介した。本ワークショップでは、life sciences, geohazards, weather and climate、両地域に共通する研究課題についても取り上げられた。

本講演はインド側プロジェクトメンバーの間で大きな関心を集め、講演後には今後の連携可能性について意見交換を行いたいとの申し出があった。後日、信夫と CDAC 研究所に所属する GANANA プロジェクトのメンバーとの間で Zoom 会議を実施した。同会議では、主として生体分子シミュレーション、バイオインフォマティクス、システム生物学を中心とする研究分野の紹介が行われるとともに、同研究所における計算インフラの概要についても説明があった。今後、信夫および関連分野の研究者を含む日本側が研究内容を紹介するフォローアップ会合を開催することで合意した。本会合の目的は、具体的な研究上の接点を明確化し、日印間の連携を促進することであり、将来的には HANAMI および GANANA プロジェクトをモデルとした日印 HPC 連携構想へと発展させる可能性も視野に入れている。

### **総括と今後に向けた提言**

本訪問および関連する議論を通じて、欧州における HPC および計算科学分野の現在の戦略的優先事項ならびに新たな動向に関する有益な知見が得られた。シミュレーション、データ駆動型手法、先進的計算基盤のより一層の統合に向けた明確な潮流が見られるとともに、国際連携に対する強い積極性も確認された。

このような状況の中で、エージェント型モデルの活用および複雑なシミュレーションデータの構造化・交換を可能とするオープンかつ標準化されたフレームワークに対して強い関心が示された。本テーマについて議論の場で言及した際には、OpenUSD を具体例とし

て紹介した場合も含め、欧州側から大きな関心が寄せられた。特に、相互運用性、拡張性、ならびに協働ワークフローの観点から高い注目が集まった。

同時に、HANAMIは現在主としてEU側の資金によって支えられており、日本側にはこれに相当する専用の資金枠組みが存在しない点にも留意する必要がある。このような構造的な非対称性は、とりわけ日本側における人的資源の制約の観点から、均衡の取れた形で協力関係を持続することを困難にしている。独自の外部資金や長年にわたる既存の協力関係に支えられている場合を除き、日本側において同等の水準で研究活動を継続することは容易ではない状況である。

このため、HANAMIに対する文部科学省による継続的支援、あるいは同様の後継的枠組みによる適切かつ持続的な日本側資金の確保が極めて重要である。このような支援により、真に相互的な協力体制の構築が可能となり、日本と欧州連合との長期的かつ戦略的なパートナーシップが強化されるとともに、喫緊の科学技術課題の解決に向けた進展が加速されることが期待される。

## HANAMI プロジェクト (WP6) 海外調査報告

訪問先：ICN2 Theory and Simulation Group (Spain, Barcelona)

訪問期間：2025年12月15-19日

調査担当者：大谷実（筑波大学・計算科学研究センター）

玄政彦（筑波大学大学院・理工情報生命学術院）

### 第1章 共通して確認した事項

#### 1.1 WP6 の取組

HANAMI プロジェクトにおける WP6 は、高性能計算機を活用した第一原理計算を基盤とする材料科学研究を対象とし、持続可能なエネルギー技術に資する理論計算手法の高度化を目的としている。第一原理計算は、経験則に大きく依存せず、原子や電子の基本法則から材料の性質を予測する手法であり、実験だけでは直接見えにくい電子状態や反応の進みやすさを検討できる点に特徴がある。

今回訪問した ICN2 Theory and Simulation Group は、第一原理電子状態計算コード SIESTA を基盤として理論・計算手法の開発を進めており、WP6 における重要な国際連携先である。SIESTA は原子レベルで材料の電子状態を計算するためのソフトウェアであり、新しい計算手法を組み込んで活用する基盤として位置付けられる。

同グループは、溶液環境を考慮した材料計算手法の高度化に取り組んでおり、電池や触媒のように固体と液体が接する界面を扱ううえで重要な研究基盤を形成している。こうした界面は反応の起こり方や材料性能に大きく関わるため、エネルギー材料研究において特に重要である。

#### 1.2 我々の取組

ICN2 では、第一原理電子状態計算と溶液環境を結びつける手法として、Effective Screening Medium (ESM) 法および ESM-RISM (Reference Interaction Site Method) の SIESTA への実装が進められている。ESM 法は、固体表面に垂直な方向に特定の境界条件を課すことで、第一原理計算の枠組みで正確に電極表面のシミュレーションを行うことができる手法である。RISM は、液体を一つ一つの分子としてすべて追跡する代わりに、分子が平均的にどこに存在しやすいかを統計的に表す手法である。ESM-RISM はこの ESM 法と RISM を組み合わせた手法で、電極表面を溶液の効果を含めて正確に計算することが可能である。こういった電気化学界面を第一原理的に記述する際、溶媒分子を一つずつ明示的に扱う方法は計算負荷が極めて大きい。このため、溶液の平均構造を統計力学的に記述する古典溶液論と第一原理計算を組み合わせる ESM-RISM 法は、計算効率と物理的妥当性を両立させる方法として重要である。

我々の側では、ESM 法および ESM-RISM 法の理論的定式化、数値計算への適用、境界条件の扱いに関する知見を蓄積してきた。

### 1.3 役割分担

ICN2 Theory and Simulation Group は、SIESTA を用いた第一原理計算コードの開発および応用研究を主に担当している。一方で我々は、ESM 法および ESM-RISM 法の開発元として、理論的背景、数値実装、境界条件の設定、溶液モデル化に関する知見を提供し、SIESTA への円滑な導入を支援する役割を担っている。この役割分担は、理論式を共有するだけでなく、既存コードとの整合性を確認しながら、どの段階で日本側の助言が必要かを整理する協力体制である。つまり、ICN2 側が実際に動作する計算プログラムを整備し、我々がその手法が理論的に正しく適切な形で実装されるよう支援する構図である。

### 1.4 主要な成果

最も重要な成果は、ESM 法がすでに SIESTA において実用可能な段階にあり、理論的に整合した形で実装が進められていることを現地で確認できた点である。これは、今後の ESM-RISM 法追加実装に向けた基盤がすでに整備されつつあることを意味し、WP6 における溶液系材料計算の高度化に向けた重要なマイルストーンである。大谷、玄両名の詳細な成果に関しては後述する。

## 第 2 章 大谷による調査内容

### 2.1 調査の目的

本調査は、HANAMI プロジェクト WP6 における国際連携の実態を把握し、今後の研究協力をどのように進めるかを整理することを目的として実施した。特に、大谷の立場からは、ICN2 における SIESTA を基盤とした手法開発が、我々の有する ESM 法および ESM-RISM 法の知見とどのように接続できるかを確認し、研究全体の方向性を俯瞰的に整理することを重視した。また、電気化学界面計算という専門性の高いテーマを、材料科学や計算科学の幅広い研究者との連携の中でどのように展開できるかについても確認対象とした。

### 2.2 現地での主な議論内容

現地では、ESM 法の SIESTA への実装状況、既存の境界条件処理との整合性、ならびに将来的な ESM-RISM 法拡張の可能性について、理論面と実装面の双方から詳細な意見交換を行った。ここでの主眼は、単に理論式を共有することではなく、既存コードの枠組みの中で理論的に整合した形で導入できるかを確認することにあった。その結果、ICN2 側が進めている実装が、我々の理論的枠組みと整合的に接続できる見通しを具体的に議論することができた。

さらに、ICMAB-CSIC の Prof. Nieves Casañ Pastor とは、bipolar electrochemistry effects on batteries を題材として、電池材料における電気化学的不均一場の役割や、理論計算と実験を接続する研究の方向性について議論した。この議論により、電気化学界面の理解には、単一の計算手法の改良にとどまらず、実験系との対応関係を意識した学際的展

開が重要であることを再確認した。

また、ICN2 所属の Senior Postdoctoral Researcher である Dr. Ernane de Freitas Martins とは、QM/MM シミュレーションにおける ESM-RISM 法の活用可能性について議論した。QM/MM は、反応中心近傍を量子力学、周辺環境を古典力学で扱うことで、大規模系を効率的に扱う手法である。この観点から、ESM-RISM 法を既存の第一原理計算だけでなく、より広い計算化学的枠組みへ展開する可能性について知見を得た。

## 2.3 得られた知見と連携上の意義

今回の調査を通じて、ICN2 側が担う SIESTA ベースの実装開発と、我々が担う理論的整合性の確認および境界条件・溶液モデル化に関する助言とが、相補的な関係にあることを改めて確認できた。これは、国際共同研究において役割分担が抽象的な協力関係にとどまらず、実際のコード開発と理論支援という具体的な形で機能していることを意味する。

## 2.4 今後の展開

本調査により、我々がこれまで進めてきた ESM および ESM-RISM 法の理論的定式化に関する知見が、SIESTA 側の実装方針の検討において有効に活用されていることを確認できた。特に、ESM 法の実装が既存コードとの整合を保ちながら進められていることを現地で確認できた点は、今後の ESM-RISM 法追加実装に向けた重要な前進である。加えて、Prof. Nieves Casañ Pastor との議論からは、実験と理論を横断した学際的連携の可能性が示され、Dr. Ernane de Freitas Martins との議論からは、QM/MM のような他手法との接続可能性について具体的な視点を得た。したがって、本訪問の成果は SIESTA 実装に関する確認にとどまらず、HANAMI プロジェクト WP6 の今後の発展先を広げるうえでも意義が大きい。

## 第3章 玄による調査内容

### 3.1 調査の目的

本調査は、ESM 法および ESM-RISM 法の SIESTA 実装に関する技術的状況を直接確認し、日本側としてどのような支援が必要となるかを整理することを目的として実施した。玄の立場からは、理論の紹介そのものよりも、現地で進められているコード実装がどの段階にあり、既存機能との整合や追加実装上の課題がどこにあるかを具体的に把握することを重視した。

### 3.2 技術的に確認した事項

ESM-RISM 法は、筑波大学において理論的定式化および手法開発が進められてきた計算手法であり、第一原理計算の枠組みにおいて固液界面の電子状態を高精度に評価できる手法である。今回の調査では、この手法を SIESTA に実装する ICN2 側と直接議論するこ

とで、理論式そのものだけでは分からない実装上の制約や、既存コードとの接続方法を確認した。

具体的には、ESM 法および ESM-RISM 法の位置付け、SIESTA 既存実装との整合性、溶液系計算への適用方法について意見交換を行い、文献調査のみでは把握しにくい実務レベルの情報を収集した。特に、どの部分を補正項として追加できるか、どこで既存の Poisson 方程式処理や境界条件処理との整合を取る必要があるか、といった点を現地で確認できたことは大きい。

### 3.3 得られた成果

本調査を通じて、ESM 法がすでに SIESTA に実装され、実用可能な段階にあることを確認できた。また、日本側からは、既存コードの大幅な改変を伴わずに補正項を付加する形式で ESM 法を実装できることを助言し、その妥当性について現地で共有した。これにより、ESM-RISM 法を追加実装する際の出発点がより明確となり、今後の開発方針を具体化するうえで重要な足掛かりが得られた。

### 3.4 今後必要な技術支援

さらに、理論的整合性の確認、境界条件の設定、溶液モデル化に関する助言を中心として、日本側が今後どの段階でどのような技術的支援を行うべきかが具体的に見通せるようになった。とりわけ、実装初期段階では補正項の導入方法や境界条件処理の妥当性確認が重要であり、その後は溶液モデルを含めた計算条件の整備と検証が重要になる。したがって、本訪問の成果は単なる現状確認にとどまらず、今後の共同研究を実務的に前進させるための支援方針を整理できた点にもある。

## HANAMI プロジェクト (WP6) 海外調査報告

訪問先：CNR Istituto Nanoscienze (Italy, Modena)

訪問期間：2026年2月10-13日

調査担当者：館山佳尚（東京科学大学）

### 視察目的

「富岳」成果創出加速プログラム研究課題参加者（「富岳」材料物理・化学課題研究代表者）かつ EuroHPC JU HANAMI(HPC Alliance for Applications and supercomputing Innovation - the Europe-Japan collaboration)プログラムの Work Package 6 (WP6:材料科学) の日本側パートナーである調査員が、WP6 のリーダーProf. Elisa Molinari が所属するイタリア・モデナの CNR-NANO を訪問し、HANAMI プログラム WP6 における研究開発状況の調査と、今後の日欧協力体制の増強に向けた情報収集を行う。

### 1: HANAMI プログラムの概要

#### 1.1 プログラムの目的と規模

HANAMI は、欧州と日本のデジタル・パートナーシップを強化し、HPC（高性能計算）分野における協力を推進することを目的としたプロジェクトである。Horizon Europe の支援の下、EuroHPC JU Joint Undertaking により総額 500 万ユーロの予算が配分され、2024年3月から3年間の実施期間が設定されている。

本プログラムは、気候シミュレーション、材料研究、生物医学の3つの戦略的分野において、欧州と日本の最先端 HPC インフラストラクチャと研究人材を結集し、エクサスケール・スーパーコンピュータの潜在能力を最大化することを目指している。

#### 1.2 参画機関と体制

欧州側からは EVIDEN (France)、Univ. of Warsaw (Poland)、ECMWF (Europe)、DKRZ (Germany)、KTH (Sweden)、INESCTEC (Portugal)、ICN2 (Spain)、HLRS / USTUTT (Germany)、FZJ (Germany)、CSC (Finland)、CNRS (France)、CNR (National Research Council of Italy)、Cineca (Italy)、BSC (Spain)、CEA (France)の15パートナー、日本側からは兵庫県立大学、東京科学大学、NIMS、横浜市立大学、筑波大学、東京大学、理化学研究所、環境研、九州大学、JAMSTEC の11パートナーが参画している。

### 2. Work Package 6 (材料科学) における取組

HANAMI プロジェクトの Work Package 6 (WP6) は、欧州と日本の研究機関の連携を強化し、高性能計算 (HPC) を活用した計算材料科学の発展を目的としている。本 WP6 は、持続可能なエネルギー材料の研究と、それを支える大規模計算基盤の開発という二つの柱から構成されており、太陽電池、電池、水素貯蔵といったエネルギー応用に関わる材料研究と、数値アルゴリズムやソフトウェアの高度化が並行して進められている。特に、

日本のスーパーコンピュータ「富岳」を活用した共同研究が重要な役割を果たしている。まず Task 6.1 では、次世代太陽電池材料として期待される鉛フリーのペロブスカイト材料に着目し、その電子構造や光学特性の解明が進められている。Sn や Ge を含むペロブスカイトと酸化物界面の相互作用や、2次元・3次元混合構造を持つ新規材料の設計が主な研究対象である。特に、有機スペーサー分子の違いが材料の安定性や光応答に与える影響が重要なテーマとなっている。これらの解析には密度汎関数理論 (DFT) や多体摂動理論 (MBPT) が用いられ、YAMBO コードを用いた大規模計算が実施されている。「富岳」上でのベンチマークでは高い並列効率が確認され、実用的な大規模材料系の解析が可能であることが示された。また、日本の研究機関との共同研究や人材交流も進展し、長期的な国際連携の基盤が構築されている。

Task 6.2 では、電池や電気化学デバイスにおいて重要となる電極と電解質界面の理解を目的として、第一原理計算に基づく研究が行われている。特に、水系高濃度電解質 (WISE) に注目し、その粘性やイオン移動度、電極との相互作用を解析している。SIESTA コードと電解質界面を扱う ESM 法の統合が進められ、最新バージョンへの移植が完了したことは大きな成果である (現在 GitLab でマージリクエスト中)。さらに、RISM(Reference Interaction Site Method)の SIESTA へのインターフェース開発も進行中で、2025 年 12 月に大谷教授がバルセロナを訪問し、最終的な統合作業を実施した。また、「富岳」や Deucalion での計算環境整備も進み、大規模シミュレーションの実行が可能となった。初期結果として、 $\text{Na}^+$  と  $\text{Zn}^{2+}$  イオンの拡散挙動の違いが定量的に示され、実験結果と一致することが確認されている。これにより、電池材料の性能向上に向けた理論的指針の提供が期待される。

Task 6.3 は、水素貯蔵や超伝導材料に関連する水素系物質の高精度解析を目的としている。水素は量子効果の影響が大きいため、従来の手法では正確な記述が困難であるが、本タスクでは量子モンテカルロ (QMC) と経路積分分子動力学 (PIMD) を組み合わせることで、この課題に取り組んでいる。さらに、機械学習ポテンシャルを導入することで計算効率の向上も図られている。これにより、高圧水素や超水素化物 ( $\text{H}_3\text{S}$  や  $\text{LaH}_{10}$ ) の相図や構造転移の理解が進展し、量子臨界点の特定など重要な成果が得られている。また、TurboRVB コードの高度化や GPU 対応版の開発も進められ、1,024 GPU 使用時でも 98% の並列効率を維持することが実証された。これらの成果は、高温超伝導体や水素エネルギー材料の設計に大きく寄与する。

一方、Task 6.4 から Task 6.6 は、これらの材料研究を支える計算基盤の開発に焦点を当てている。Task 6.4 では、材料科学向けの数値線形代数フレームワークの構築が進められており、固有値問題を効率的に解く ChASE ライブラリの開発と最適化が中心となっている。このライブラリは「富岳」や Wisteria といった ARM ベースのスーパーコンピュータに移植され、大規模行列計算において高い性能を示している。また、疑似エルミート行列への対応など機能拡張も進められており、Bethe-Salpeter 方程式など高度な物性計算への

応用が可能となっている。

Task 6.5 では、2次元材料における非平衡キャリアダイナミクスの解析が行われている。MoS<sub>2</sub>やWS<sub>2</sub>のヘテロ構造を対象とし、欠陥の影響や光励起状態における電荷輸送特性を調べている。DFTやGW、Bethe-Salpeter方程式に加え、非平衡グリーン関数法(NEGF)を組み合わせることで、実際のデバイス動作に近い条件でのシミュレーションが可能となった。これに関してはCNR-ISMNのPecchia博士が2025年4月にRIKENを訪問(2週間)し、Dawson博士との協力の下、BigDFTコードとlibNEGF(非平衡グリーン関数)コードのインターフェース開発を開始した。これらにより、欠陥による電子状態の変化や光吸収特性への影響が明らかになり、太陽電池や光電子デバイスへの応用に向けた知見が得られている。本タスクはHANAMIを通じて新たに日欧間の連携が構築された点でも意義が大きい。

最後にTask 6.6では、エクサスケール計算に対応するためのブロックスパース行列技術と数値ライブラリの開発が進められている。BigDFTコードを基盤として、効率的な行列計算手法の導入やソルバの最適化が行われており、大規模問題における収束性や計算効率の改善が確認されている。これにより、材料科学における超大規模シミュレーションの実現に向けた重要な基盤技術が確立されつつある。

以上のように、WP6はエネルギー材料の科学的研究とHPC技術開発を統合することで、持続可能社会に向けた材料設計を加速している。さらに、欧州と日本の研究者間の密接な連携により、ソフトウェア開発、人材育成、研究基盤の共有が進み、長期的な国際協力体制の構築にも大きく貢献している。今後は、これらの成果を基盤として、エクサスケール時代に対応した材料科学の新たな展開が期待される。

### 3. WP6における協力体制の強化

長期滞在による日欧の連携強化として、CNR-NANOチーム(Giorgi教授、Varsano博士)が日本女子大学を訪問(2025年6-7月)、村岡梓教授の研究グループとの共同研究を開始した。CNRS-IMPMCのCasula教授がNIMSを訪問し(2025年4月)、中野晃佑独立研究者との関係を深化させた。さらにFZJのDi Napoli博士とRichefort博士がRIKENに長期滞在予定である。

共同ワークショップとシンポジウムとしてはまず、2025年1月にバルセロナHLS1にてWP6材料科学セッションを2日間開催。初日はHPCコードと数値計算ライブラリ(SIESTA、YAMBO、TurboRVB、BigDFT、libNEGF、ChASE)の性能報告、2日目はエネルギー材料応用研究の発表を実施した。

日本側からは大谷実教授(筑波大学)、今村俊幸チームプリンシパル(RIKEN)、William Dawson 研究員(RIKEN)、山下晃一教授(横浜市立大学)、中野晃佑独立研究者(NIMS)が参加し、欧州チームとの技術的議論を深めた。

さらに2025年11月にソルボンヌ大学にて“Materials Science from First Principles:

Materials Scientist Toolbox 2025” ワークショップが開催され、欧州側メンバーに加えて日本から島崎智実教授（横浜市立大学）、小谷岳生教授（鳥取大学）、中田彩子主幹研究員（NIMS）、村岡梓教授（日本女子大学）、只野央将 GL（NIMS）、今村俊幸チームプリンシパル（RIKEN）が参画し、GW 法・Bethe-Salpeter 法・QMC・機械学習力場に関する最新研究を共有した。

さらに重要な取組として、WP6 の全パートナーが連携して実施したスーパーコンピュータ「富岳」への共同申請が挙げられる。この申請は欧州と日本の研究者が一体となって行われ、結果として約 596 万ノード時間という大規模な計算資源の獲得に成功した。この成果は、HANAMI プロジェクトにおける国際連携の成熟度を示すものであり、エクサスケール時代に向けた共同研究の基盤を強化する重要なステップとなっている。この計算資源は、太陽電池材料、電池材料、水素貯蔵材料といったエネルギー関連分野に加え、量子モンテカルロ法や数値線形代数ライブラリ、非平衡ダイナミクスといった幅広い研究テーマに活用されている。特に、SIESTA、YAMBO、TurboRVB、BigDFT、libNEGF などの主要な材料計算コードや、ChASE、EigenExa、NTPoly、CheSS といった数値ライブラリが「富岳」へ移植されており、それらを実際の大規模計算環境で検証・最適化できる点に大きな意義がある。

また、この共同利用は単なる計算資源の共有にとどまらず、ソフトウェアの相互運用性やスケーラビリティの向上を目指した技術的協力を促進している。研究者間で知識やノウハウが交換されることで、各コードの性能改善や統合的なワークフロー構築が進み、実用的な大規模シミュレーションの実現に寄与している。

#### 4. CNR-NANO および Cineca に関する研究開発状況

イタリア・モデナにある CNR-NANO には WP6 のリーダーである Elisa Molinari 教授（Task 6.1）、Daniere Varsano PI（Task 6.1, YAMBO 開発者）が所属し、近隣のペルージャ大に所属する Task 6.1 リーダーの Giacomo Giorgi 教授と連携しながら、太陽電池材料に関する計算科学研究を主に推進している。Giorgi 教授は日本との強固なネットワークを持ち、横浜市立大学の山下教授、日本女子大学の村岡教授らと連携した国際共同研究（MOU 締結済）を推進し、すでに日本でワークショップ開催を行った。また Varsano PI は太陽電池の重要なファクターである光励起エネルギーの高精度計算を可能とする GW 計算コード YAMBO の開発者として、YAMBO の「富岳」へのポーティングや最適化などを実行し、「富岳」上での性能向上を達成した。さらに調査員が訪問する直前の 2026 年 1 月には大阪で開催された SCA/HPCAsia2026 に参加するとともに、その後神戸の理化学研究所において計算スクール講師も務めた。同時期に丁度オープンになった次世代計算科学グランドリーチプログラムについても精通し、さらに「富岳 NEXT」やその最適化で話題になっている Ozaki スキーム等の技術についても情報共有できていることから、今後 HANAMI プロジェクトおよび更なる EU-Japan 連携において重要な役割を果たしてくれる

ると期待される。

Elisa Molinari 教授は、材料系計算の High-Performance Computing (HPC) , High-Throughput Computing (HTC) プログラム開発に焦点をあてた MaX (Materials design at the eXascale) Centre of Excellence でも主要な役割を担っており、その関連で CNR-NANO には多くの計算科学研究者が在籍していた。この CNR-NANO との今後の連携のために調査員は自身の蓄電池材料シミュレーションに関するセミナーを行い、多くの聴衆に参加いただいた (写真はセミナー後の記念写真)。



これに関連して CNR-NANO には調査員と同じ Task 6.2 (Electrochemistry and Battery Research) に所属する Deborah Prezzi 博士も所属していた。Prezzi 博士は X 線吸収分光に関する計算手法開発を行っており、今後蓄電池内材料の構造および電子状態解析へと進める予定であった。これは調査員が進める第一原理・機械学習ポテンシャル (MLIP) 分子動力学サンプリングで得られる構造を活用することで、分光実験との直接比較が可能になる可能性を秘めている。そこで今回の訪問において、Task 6.2 の枠組み内での共同研究に関する議論を始めることとなった。

CNR は、National Research Council of Italy という国立研究所群であり、CNR-NANO

以外にも様々な都市に研究所が存在する。今回 HANAMI プロジェクトの直接的なメンバーではないが、トリエステにある CNR-IOM の Simone Piccinin 博士とも蓄電池に関する分子動力学サンプリングを用いた共同研究に関する議論を開始した。本研究ではナトリウムイオン電池の負極として頻繁に用いられるハードカーボなる炭素材料内のナトリウムイオンのダイナミクスを明らかにすることを目標としている。こちらの共同研究が現在先行的に進んでおり、もうすぐ論文がまとまる状況にまで到達している。Piccinin 博士とは今後「富岳」を用いた共同研究申請を進める予定であり、これも EU-Japan の計算科学連携の一環となりうると考えられる。

上記の CNR-NANO, CNR-IOM をはじめとするイタリアの研究機関では主に現在 Top500 第 10 位の HPC マシン Leonardo を活用している。この Leonardo はボローニャ郊外の Cineca の中に設置され、Intel CPU (Xeon Platinum 8358 32Core 2.6GHz) 3456 ノードに、ノード当たり 512GB の DDR4 メモリと 4 枚の NVIDIA A100 SXM4 64 GB GPU による構成となっている。この構成は、調査員の所属する東京科学大学 TSUBAME4.0 に類似した構成であり、また「富岳 NEXT」の構成とも近いと考えられることから、今後の EuroHPC JU・Japan 連携によるアプリ開発・高速化および HPC/HTC 全体の促進に関して重要なハードウェアとみなすことができる。ただし残念ながら日本側の研究者が Leonardo を使用できる正規ルートはまだないと伺った。今後 EU と日本政府の合意が得られ、日欧双方向の HPC 活用フレームワークの実現が重要であると感じた。今回 Elisa Molinari 教授の取り計らいにより、実際に Cineca を訪問し Leonardo の見学が実現し、また Cineca 職員による説明を受けた。Leonardo の計算時間における計算化学・計算材料科学の占める割合は 30% で特筆して多く、素粒子物理学の同程度の計算占有となっている。従って計算化学・計算材料科学研究に対する対応・支援は Cineca においても（「富岳」と同様に）重要となっていることが確認できた。



## 5. まとめと今後の展望

HANAMI プロジェクトは、日欧の HPC 協力において以下の重要な成果を達成している。技術的成果としては、主要な計算材料科学コード（YAMBO、SIESTA、TurboRVB、BigDFT）の「富岳」への移植完了と、良好な並列性能の実証。研究成果としては、太陽電池材料、バッテリー電解質、水素貯蔵材料における高精度シミュレーション結果の取得。人材交流としては、研究者の長期滞在、共同ワークショップ開催、大学間 MoU 締結による持続的な協力基盤の構築。そしてコード共同開発については ESM-SIESTA 統合、BigDFT-libNEGF 統合、ChASE ライブラリの「富岳」最適化などである。

今後の日欧 HPC 協力の持続可能性を確保するためには、二国間研究助成制度の活用、欧州 HPC CoE（MaX プロジェクトなど）との連携強化、国際共同研究拠点の活用が不可欠である。また、「富岳」に移植されたコードの日本研究者コミュニティへの普及、次世代 GPU 加速型システムへの対応、機械学習力場と QMC の融合による計算精度向上、産業応用を見据えた材料データベース構築など、多面的な取組が求められる。

計算化学分野において、HANAMI は単なる国際協力プロジェクトを越え、エクサスケール HPC 時代の研究インフラストラクチャを日欧が共同で構築する戦略的枠組みとして機能している。今後 3 年間のプロジェクト期間を通じて、この枠組みを更に発展させ、長期的な協力関係を確立することが、日本の計算科学コミュニティの国際競争力強化につながると確信する。調査員自身は WP6 リーダーである Elisa Molinari 教授関連の CNR-NANO および CNR-IOM との共同研究を進める予定であり、これも EU-Japan の計算科学連携の一環となりうると考えられる。

### 8.3. HANAMI プロジェクトに関する提言

HANAMI プロジェクトは、EU-Japan Digital Partnership に基づく HPC 分野における国際協力の旗艦プロジェクトとして、発足から初期段階にかけて、強固なガバナンス構造と、科学的・技術的ブレークスルーを可能にする詳細な共同開発ロードマップを確立した。

#### 8.3.1. 技術的互惠性は政策的非対称性を補完する

HPC リソースへの相互アクセスに関して、日本の研究者が EuroHPC JU リソースの PI として申請できないという重大な政策的障壁が EU 側の既存の資金提供ルールに内在していることが明らかになった。これは、DGCONNECT と EuroHPC JU が提唱するクロスアクセスの政策目標と、実際の実施メカニズムとの間の制度的な摩擦を示している。しかしながら、科学技術レベルでは、WP4 (NICAM-DC の HPCW 統合) や WP5 (ExaFMM の GROMACS/GENESIS 統合) における共同タスクを通じて、深い技術的互惠性が確立されている。特に、「富岳」の A64FX や将来の欧州プロセッサといった多様なアーキテクチャに対応するため、ExaFMM や Kokkos フレームワークのような基盤的な HPC ソフトウェアスタックの協調設計に焦点を当てていることは、両地域の研究者が共通の技術的課題に深くコミットしていることを示し、政策的な非対称性を技術的な対等な協力関係によって補完する戦略が機能している。

#### 8.3.2. 政策提言の緊急性と WP7 の戦略的役割

WP7 は、プロジェクト初期段階で集中的に政策決定者と関与している。これは、HANAMI の D1.1 で特定された PI 資格の制限という課題に対する、プロジェクトの戦略的緊急性を反映している。HANAMI は、この政策的ギャップを解消し、真の相互アクセスを可能にするための具体的な提言を EuroHPC JU に提供するという、不可欠な政策的橋渡し役を担っている。

#### 8.3.3. 成果波及のためのレバレッジ戦略の確立

HANAMI は、欧州の広範な HPC コミュニティへの成果の波及戦略を確立している。CASTIEL 2 との連携強化は、欧州の HPC 能力センター (NCCs) および CoE ネットワークを通じて、日本の技術的洞察や共同開発されたコード (NICAM-DC や ExaFMM など) の成果を、欧州の学術および産業界ユーザーベースに効率的に普及させるための重要なチャンネルとなる。WP3 によるトラベルグラントや Kokkos スクールといったコミュニティ構築活動は、この技術・知識の共有を持続的に支える人的基盤を強化している。

さらに HANAMI プロジェクトの長期的な影響と持続可能性を確保するために、以下を提言する。

- 政策的障壁の解消の最優先：WP7 は、D1.1 の結果に基づき、日本の研究者が

EuroHPC JU リソースの PI となることを可能にするための具体的な政策変更案を、EuroHPC JU および欧州委員会 (DG Connect) に対して引き続き強く提言すべきである。これは、プロジェクトが目指す「相互アクセス」の公平性を確保するために不可欠である。

- ポータビリティ投資の継続：WP4、WP5、WP6 は、Kokkos やコンテナ技術に基づくポータブルワークフロー (CSC による D5.4 の取組など) への共同投資を継続し、「富岳」および次世代欧州 HPC アーキテクチャ (JUPITER、Alice Recoque など) における性能ポータビリティの確保を、科学的ブレークスルーと並行して主要な成果とするべきである。
- 連携 KPI の達成：WP2 は、CASTIEL 2 との連携会議や、他の EU 資金プロジェクトとの共同イベントといった、欧州 HPC エコシステムとの連携 KPIs の達成に注力し、共同開発されたツールの欧州全土での採用を促進すべきである。

## 8.4. (参考) EuroHPC Joint Undertaking における公募

HANAMI プロジェクトにおいて、公募方法について議論されているので、参考情報として EuroHPC Joint Undertaking (以下、EuroHPC JU) における公募情報を記載しておく。

### 8.4.1. 組織概要

EuroHPC JU は、欧州連合 (EU) および加盟国・関連機関が共同で設立した組織であり、欧州域内の高性能計算 (HPC: High-Performance Computing) 環境の整備と発展を目的としている。この組織は、世界有数のスーパーコンピューティングシステムの運用を通じて、科学技術研究、産業イノベーション、公共政策の高度化を支援し、欧州のデジタル主権と競争力を強化する役割を担っている。

### 8.4.2. 公募方法 (Calls for Proposals)

EuroHPC JU では、研究機関や企業が高性能計算資源を利用できるようにするための公募制度を設けている。これらの公募は、利用目的や規模に応じて複数のアクセスモードに分類されており、代表的なものとして、通常利用を対象とする「Regular Access」、大規模計算向けの「Extreme Scale Access」、AI やデータ集約型アプリケーション向けの「AI and Data-Intensive Applications Access」、そしてコード開発やベンチマークを目的とする「Development Access」がある。

これらのアクセスモードはいずれも継続的に公募され、締切日 (cut-off) ごとに審査が行われる。Regular Access では年に 2 回の締切が設けられ、採択から最大 4 か月以内に利用が開始される仕組みである。一方、Development Access は毎月の締切制であり、提出から 2~3 週間以内にリソースが割り当てられる迅速なプロセスが特徴である。

応募資格は、EU 加盟国または Horizon Europe/2020 関連国に設立された研究機関、企業、あるいは公共機関であることが求められる。また、提案者 (PI) は、提案時からプロジェクト終了 3 か月後まで所属機関との雇用関係を有している必要がある。申請はオンラインの Peer-Review Platform を通じて行われ、指定のテンプレート (Project Scope & Plan など) を用いることが義務付けられている。

審査は国際的な専門家によるピアレビューと技術評価を経て行われ、EuroHPC JU アクセスリソース委員会が最終判断を下す。評価基準は「卓越性」「影響力・革新性」「実施の質と効率」の三つであり、それぞれの基準で 3 点以上、総合 10 点以上を獲得する必要がある。採択後は、指定された利用期間にリソースを活用し、終了後 3 か月以内に最終報告書を提出する義務がある。利用期間は通常 1 年間で、継続を希望する場合は新たな申請を行う必要がある。

#### 8.4.3. サポート体制（支援・能力開発）

EuroHPC JU は、利用者が計算資源を最大限に活用できるよう、多層的な支援体制を整備している。その中核をなすのが「ナショナル・コンピテンス・センター（NCC）」であり、各国で HPC の導入促進や技術支援を担っている。NCC は、研究機関、産業界、中小企業、公共機関などに対して、HPC アプリケーション導入やコード最適化、トレーニング、コンサルティングを提供している。また、公募申請の支援や NCC 間でのベストプラクティス共有を通じて、欧州全体の HPC 利用環境の均質化と知識の集約を進めている。

さらに、EuroHPC JU は、ユーザコミュニティの育成を目的としたイベントや研修活動も実施している。代表的なものとして、「EuroHPC JU User Days」「AI Factory Webinar」「Workshop on EuroHPC JU Systems Access Policy」などが挙げられる。これらの活動は、ユーザ間の交流、最新技術の普及、そして新規利用者の参入促進に寄与している。

#### 8.4.4. 日本・研究開発視点からの留意点

EuroHPC JU の公募制度は、原則として EU 加盟国または Horizon Europe 関連国に所在する機関を対象としている。そのため、日本の研究機関や企業が直接応募することは難しい場合が多く、欧州の研究機関をパートナーとする共同申請が現実的な参加方法となる。日本側の研究者が参加を検討する際には、欧州側のリーダー機関と明確な役割分担を設定することが重要である。例えば、日本側が流体シミュレーションや環境モデリングなどの技術面を担当し、欧州側が事務的・制度的なリーダーシップをとる形式が望ましい。また、GPU 最適化や AI 統合など、技術的強みを明確に打ち出すことが国際連携の鍵となる。加えて、HANAMI プロジェクトで議論されているように、国際的 HPC 連携においてはデータ移転規制（GDPR 等）、HPC 間のセキュリティプロトコルの差異、アクセス権の相互承認の欠如といった問題が依然として大きな障壁となっている。これらの課題は、EuroHPC JU 公募に日本が関与する際にも同様に影響を及ぼすため、HANAMI プロジェクトが提示するデータ共有ポリシーや法的調整策を参照し、応募前に技術的・制度的整合性を確認しておく必要がある。

#### 8.4.5. 今後の動向と展望

EuroHPC JU は、Exascale および AI 統合を次世代の柱と位置付け、「AI Factory」「Lighthouse Codes」「Centres of Excellence (CoEs)」などの新しい公募枠を設けている。これにより、HPC と AI の融合、産業界・中小企業の活用支援、社会課題解決型研究などが新たな重点分野として浮上している。日本の研究機関がこれらと連携する際は、既存の国際プロジェクト（HANAMI プロジェクトやその関連プロジェクト）を通じて技術・人材の交流を促進し、共通基盤の構築を目指すことが望ましい。

#### 8.4.6. まとめ

EuroHPC JU の公募制度は、透明性の高い審査プロセスと多様なアクセスモードを特徴としており、NCC を中心とした支援体制によって利用者の裾野を広げている。AI やデータ集約型研究を重視する方向性は、今後の HPC 利用の潮流を示しているといえる。日本からの直接参加には制度上の制約があるが、HANAMI プロジェクトを含む国際的な連携を通じて、HPC リソースの相互利用やデータ共有を基盤とした協調研究を展開することが可能である。今後、技術的互換性や法的整備が進むことで、EuroHPC JU と日本の HPC コミュニティとの連携が一層強化されることが期待される。

## 9. 結論

本調査研究では、計算科学分野における諸外国の基盤整備・研究開発動向、および日本と欧州の連携による研究開発プログラムの実施状況について、多角的な調査・分析を行った。その結果、世界の HPC 分野はかつてない劇的なパラダイムシフトの只中にあり、我が国において今後の競争力を維持・強化するために講ずべき具体的な方策や計算科学分野の研究開発の推進に当たって活用できる情報を得ることができた。

### 9.1. グローバルな HPC/AI 基盤のパラダイムシフト

世界の HPC は「エクサスケール到達競争」の段階を終え、AI（特に生成 AI や基盤モデル）および量子コンピューティングとの高度な融合による「実運用・実行性能最適化」のフェーズへと移行している。欧州では EuroHPC JU を中心に、既存の HPC インフラを AI モデルの学習・推論拠点として再定義する「AI Factory」構想が強力に推進されており、さらには民間投資を巻き込んだ「AI Gigafactory」の構築へと発展しつつある。米国においても、次世代計算機への投資と並行して AI の本格統合が最優先事項として掲げられている。これらの動きの根底にあるのは、単なる科学技術の振興ではなく、国家の安全保障や経済競争力を左右する「デジタル主権」の確保にあることが明らかになった。また、数百 MW 規模に達する電力消費への対応として、廃熱の地域暖房への再利用やエネルギー指向スケジューリングなど、インフラとしての「持続可能性（サステナビリティ）」が必須要件となっている点も世界的な潮流であることが分かった。

### 9.2. 日本の HPC 戦略への国際的評価と顕在化した課題

欧州の主要機関へのヒアリング等を通じて、ハードウェア、ソフトウェア、アプリケーション、そして人材育成を単一の戦略に組み込む日本の「垂直統合型戦略（エコシステム）」は、国際的に極めて高く評価されており、欧州が目指すべき理想的なベンチマークと見なされていることが確認された。多精度演算や CPU-GPU 密結合を見据える「富岳 NEXT」の方向性も、世界のアーキテクチャ進化の潮流と完全に合致している。一方で、日本の計算資源の利用環境には課題も残る。産業界のスピード感と合致しない硬直的な申請・審査プロセスや、民間クラウドサービスと比較した際の利便性の低さは、潜在的なユーザの参入障壁となっている。また、加速器（GPU）を最大限に活用するためのミドルウェア開発やコード最適化の遅れ、そしてそれを支える「計算科学技術者」のキャリアパスが確立されていない点は、次世代に向けた喫緊の課題である。

### 9.3. 日欧連携の深化と戦略的意義

EU-Japan Digital Partnership を契機として開始された「HANAMI プロジェクト」は、日欧間の HPC 協力を実務レベルで前進させる極めて重要な取組である。調査によれば、欧州の資金提供ルールに起因する日本側研究者の PI 資格制限という政策的な非対称性が存

在するものの、WP4・WP5・WP6 の各研究現場においては、気象モデル（NICAM-DC）の統合、分子動力学（ExaFMM）のボトルネック解消、材料科学コードの「富岳」への移植といった深い技術的互恵性が確立されていることが分かった。欧州の多様な HPC アーキテクチャと日本の「富岳」の間で、Kokkos のようなポータビリティフレームワークを用いた協調設計が進められていることは、単なる計算資源の相互利用を超えた、未来の HPC ソフトウェアスタックの共同構築を意味している。

#### 9.4. 我が国の研究開発プログラムを効率的に推進するための提言

以上の調査結果を踏まえ、我が国が次世代の計算科学分野において主導権を確保し、研究開発プログラムを効率的に推進するため、以下の 4 点を提言する。

- 計算資源の利用円滑化と柔軟な環境整備

公的スーパーコンピュータの利用において、通年申請の導入や審査プロセスの抜本的簡略化を行い、民間クラウドと同等の利便性を提供する。また、仮想マシンを用いた柔軟な資源割り当てや、産業界のニーズを反映したオープンソース・商用ソフトウェアの利用環境整備をプロジェクト予算内で推進すべきである。

- GPU 対応・ソフトウェア最適化に向けた伴走型支援の構築

欧州の EPICURE や米国の Kokkos エコシステムに倣い、GPU 利用に不慣れな研究者や中小企業に対し、専門家がコード移植や最適化を直接サポートする「ハンズオン型支援プログラム」を構築する。あわせて、ハードウェアの特性を隠蔽する標準的なミドルウェアの開発・普及を推進し、ベンダー依存を回避するポータビリティを確保する。

- 人材育成と技術者のキャリアパス確立

プロジェクトを成功に導く鍵は「人」であるとの考え方の下、計算科学研究者のみならず、コード最適化やデータ管理を担う「計算科学技術者（リサーチソフトウェアエンジニア）」を育成し、プロジェクト終了後も国立研究開発法人や民間企業等で安定して活躍できるキャリアパス制度を、米国の事例等を参考に確立すべきである。

- 持続可能な国際連携体制の制度化と波及戦略

HANAMI プロジェクト等で培われた日欧の技術的信頼関係を維持・発展させるため、日本側資金の継続的な確保が不可欠である。また、共同開発された技術（コードやツール）を、欧州のネットワークを通じて広範な学術・産業コミュニティへ波及させる「レバレッジ戦略」を推進し、日本発の技術的リーダーシップをグローバルに確立していくことが求められる。

## 10. 略語集

略称	正式名称
ALCF	Argonne Leadership Computing Facility
ANL	Argonne National Laboratory
APS	Advanced Photon Source
ASC	Advanced Simulation and Computing
ASCR	Advanced Scientific Computing Research
BSC-CNS	Barcelona Supercomputing Center - Centro Nacional de Supercomputación
CI/CD	Continuous Integration / Continuous Deployment
CISE	Computer and Information Science and Engineering
CoE	Centres of Excellence
CRA	Cyber Resilience Act
CSC	IT Center for Science
CSCS	Swiss National Supercomputing Centre
DFT	Density Functional Theory
DGA	Data Governance Act
DMA	Digital Markets Act
DOE	Department of Energy
EPCC	Edinburgh Parallel Computing Centre
EPI	European Processor Initiative
ESM	Earth System Model
EuroHPC JU	European High Performance Computing Joint Undertaking
HLRS	High-Performance Computing Center Stuttgart
HPCaaS	HPC-as-a-Service
HPCI	High Performance Computing Infrastructure
ICON	ICOsahedral Nonhydrostatic Model
JHPCN	Joint Usage/Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures
JSC	Jülich Supercomputing Centre
KPIs	Key Performance Indicators
LANL	Los Alamos National Laboratory
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LLNL	Lawrence Livermore National Laboratory
LLM	Large Language Model
LRZ	Leibniz Supercomputing Centre
MBPT	Many-Body Perturbation Theory
MD	Molecular Dynamics
MQV	Munich Quantum Valley
NAIRR	National Artificial Intelligence Research Resource
NCCs	National Competence Centres

略称	正式名称
NEGF	Non-Equilibrium Green's Function
NERSC	National Energy Research Scientific Computing Center
NICAM-DC	Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model - Dynamical Core
NIF	National Ignition Facility
NSF	National Science Foundation
NSCC	National Supercomputing Centre Singapore
OLCF	Oak Ridge Leadership Computing Facility
ORNL	Oak Ridge National Laboratory
PIMD	Path Integral Molecular Dynamics
PME	Particle Mesh Ewald
PPP	Public-Private Partnership
PSAAP	Predictive Science Academic Alliance Program
PSNC	Poznan Supercomputing and Networking Center
QIS	Quantum Information Science
QMC	Quantum Monte Carlo
QPU	Quantum Processing Unit
RISM	Reference Interaction Site Method
SDSC	San Diego Supercomputer Center
SNL	Sandia National Laboratories
TACC	Texas Advanced Computing Center
TGCC	Très Grand Centre de Calcul