

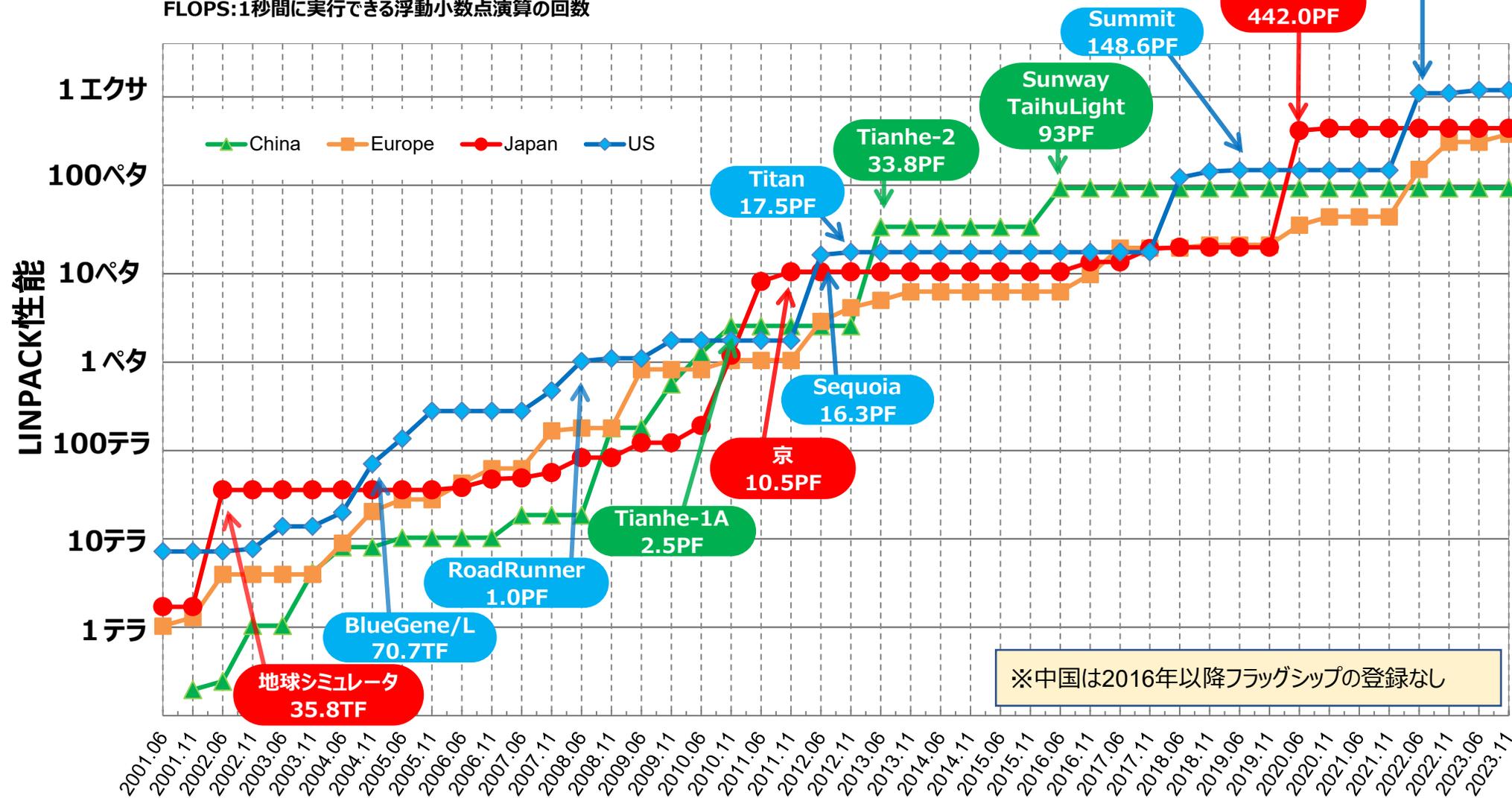
# HPCを巡る国際動向について

# スパコンランキング (令和5年11月)

ランキング	TOP500	HPCG	Graph500	HPL-MxP	Green500
	標準性能指標	アプリケーションに使われる 計算性能	ビッグデータ処理性能	人工知能に関する計算性能	消費電力性能
第1位	Frontier (アメリカ)	<b>富岳</b> (日本・理研)	<b>富岳</b> (日本・理研)	Frontier (アメリカ)	Henri (アメリカ)
第2位	Aurora (アメリカ)	Frontier (アメリカ)	Wuhan Supercomputer (中国)	LUMI (フィンランド)	Frontier TDS (アメリカ)
第3位	Eagle (アメリカ)	LUMI (フィンランド)	Frontier (アメリカ)	<b>富岳</b> (日本・理研)	Adastra (フランス)
第4位	<b>富岳</b> (日本・理研)	Leonardo (イタリア)	Pengcheng Cloudbrain-II (中国)	Leonardo (イタリア)	Setonix – GPU (オーストラリア)
第5位	LUMI (フィンランド)	Summit (アメリカ)	Sunway TaihuLight (中国)	Summit (アメリカ)	Dardel GPU (スウェーデン)
第6位	Leonardo (イタリア)	Perlmutter (アメリカ)	Wisteria/BDEC-01 (Odyssey) (日本・東京大学)	Selene (アメリカ)	MareNostrum 5 ACC (スペイン)
第7位	Summit (アメリカ)	Sierra (アメリカ)	TOKI-SORA (日本・JAXA)	Perlmutter (アメリカ)	LUMI (フィンランド)
第8位	MareNostrum 5 ACC (スペイン)	Selene (アメリカ)	NAPS-FX1000 (日本・気象庁)	JUWELS Booster Module (ドイツ)	Frontier (アメリカ)
第9位	Eos NVIDIA DGX SuperPOD (アメリカ)	JUWELS Booster Module (ドイツ)	LUMI-C (フィンランド)	Adastra (フランス)	Goethe-NHR (ドイツ)
第10位	Sierra (アメリカ)	AOBA-S (日本・東北大)	OLCF Summit (CPU-Only) (アメリカ)	Setonix – GPU (オーストラリア)	Olaf (韓国)
	ABCI 2.0 (日本・産総研 : 32位)				<b>富岳</b> (日本・理研 : 54位)

# 世界のスパコン～TOP500ランキングの推移～

EF:エクサFLOPS  
 PF:ペタFLOPS  
 TF:テラFLOPS  
 FLOPS:1秒間に実行できる浮動小数点演算の回数



※中国は2016年以降フラッグシップの登録なし

# TOP500上位のアーキテクチャの種類 (2023/11時点)

ランキング	前回順位	Rmax [Pflops/s]	TOP500	稼働年	CPU	アクセラレータ	アーキテクチャタイプ <sup>o</sup>
第1位	1	1194.0	Frontier (アメリカ)	2021	AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz	AMD Instinct MI250X	汎用CPU + GPGPU
第2位	New	585.3	Aurora (アメリカ)	2023	Intel Xeon CPU Max 9470 52C 2.4GHz	Intel Data Center GPU Max	汎用CPU + GPGPU
第3位	New	561.2	Eagle (アメリカ)	2023	Intel Xeon Platinum 8480C 48C 2GHz	NVIDIA H100	汎用CPU + GPGPU
第4位	2	442.0	富岳 (日本・理研)	2020	富士通 A64FX 48C 2.2GHz	-	汎用CPU
第5位	3	379.7	LUMI (フィンランド)	2023	AMD Optimized 3rd Generation EPYC 64C 2GHz	AMD Instinct MI250X	汎用CPU + GPGPU
第6位	4	238.7	Leonardo (イタリア)	2023	Intel Xeon Platinum 8358 32C 2.6GHz	NVIDIA A100 SXM4 64 GB	汎用CPU + GPGPU
第7位	5	148.6	Summit (アメリカ)	2018	IBM POWER9 22C 3.07GHz	NVIDIA Volta GV100	汎用CPU + GPGPU
第8位	New	138.2	MareNostrum 5 ACC (スペイン)	2023	Intel Xeon Platinum 8460Y+ 32C 2.3GHz	NVIDIA H100 64GB	汎用CPU + GPGPU
第9位	New	121.4	Eos NVIDIA DGX SuperPOD (アメリカ)	2023	Intel Xeon Platinum 8480C 56C 3.8GHz	NVIDIA H100 SXM5 80 GB	汎用CPU + GPGPU
第10位	6	94.6	Sierra (アメリカ)	2018	IBM POWER9 22C 3.1GHz	NVIDIA Volta GV100	汎用CPU + GPGPU
32位	24	22.2	ABCI 2.0 (日本・産総研)	2021	Intel Xeon Platinum 8360Y	NVIDIA A100 SXM4	汎用CPU + GPGPU
33位	25	22.1	Wisteria/BDEC-01 (Odyssey) (日本・東大)	2021	富士通 A64FX	-	汎用CPU
50位	New	17.2	AOBA-S (日本・東北大)	2023	NEC Vector Engine Type 30A 16C 1.6GHz	-	ベクトル演算器
53位	41	16.6	TOKI-SORA (日本・JAXA)	2020	富士通 A64FX	-	汎用CPU
77位	63	10.0	地球シミュレーター (日本・海洋研)	2021	AMD EPYC 7742	NEC Vector Engine Type20B	(汎用CPU+) ベクトル演算機
442位	400	2.2	NM-3 (日本・Preferred Networks)	2020	Intel Xeon 8260M	Preferred Networks MN-Core	汎用CPU + 専用プロセッサ

# スパコンアーキテクチャのトレンド

## 2023年秋時点のトレンド

- 最先端のスーパーコンピュータにおいては、CPUに加えてGPUなどの加速部（アクセラレータ）を有し、計算の一部を加速部で処理することで高性能化、省電力化を図ることがさらに一般的になってきている。
- 特に、近年、NVIDIA社またはAMD社のGPUを加速部として採用した大型の計算機が複数登場。特にNVIDIA製のGPUが主流となりつつある。生成AIの学習向けの計算のみならず、TOP500といった倍精度演算においても、これらのGPUを採用したスーパーコンピュータが高い性能を示している。

## スーパーコンピュータアーキテクチャの長期的な変化



## GPUを採用した主要なスーパーコンピュータ（計画中のものも含む）

米国	欧州	日本
<ul style="list-style-type: none"><li>• Summit (OLNL、2018-、GV100)</li><li>• Frontier (ORNL、2022-、MI250X)</li><li>• Eagle (Microsoft Azure、2023-、H100)</li><li>• <u>Venado (LANL、2024-、H200)</u></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• LUMI (EuroHPC/CSC、2023-、MI250X)</li><li>• Leonardo (EuroHPC/CINECA、2023-、A100)</li><li>• MareNostrum5ACC (EuroHPC/BSC、2023-、H100)</li><li>• <u>JUPITER (EuroHPC/JSC、2024-、H200)</u></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ABCI2.0 (産総研、2021-、A100)</li><li>• <u>TSUBAME4.0 (東工大、2024-、H100)</u></li></ul>

# スーパーコンピュータ開発の国際動向

★ 米国・欧州・中国など、世界各国で、研究開発インフラとして、スーパーコンピュータの開発が加速



## 米国：安全保障と産業競争力の為の優位性確保

- 世界の主要なロジック半導体メーカーの大半を国内に有しており、HPC分野でも世界をリード
- 「米国のイノベーションおよび国家安全保障における重要・新興技術」において「先進コンピューティング」(Advanced Computing)の一部として Supercomputingを重要な技術分野として指定（2022/2）
- BIS(米国産業安全保障局)が対中国へのスーパーコンピュータ等に利用される半導体関連技術の開発・輸出をさらに規制強化（2022/10）
- DOEでは**エクサスケール(～1EFlops(=1,000PFlops))スパコンを3機導入する計画。うち2機は既に運用開始。**  
Frontier(2022～,1.1EFLOPS)、Aurora(2023～,0.6EFLOPS(2023秋時点))、El Capitan(2023予定,>2EFLOPS(理論性能))



## 欧州：エクサスケールスパコンの戦略的整備、域内開発技術の確保

- 加盟国の取組みを基本としつつ、EU域外技術依存によるセキュリティ・データ保護リスク等を踏まえ、EU内でのHPC基盤構築の為のEuroHPC JU（33カ国）による世界トップレベルのスパコンの新設を目指しており、**2021年から2027年の期間に約70億ユーロの予算を確保。**
- 既に3機のプレエクサスケールスパコンが運転を開始（LUMI、Leonardo、MareNostrum5）。今後、2機のエクサスケールスパコンを整備する計画。
- エクサスケールスパコンのうち1機は、**JUPITER（ドイツ）で、NVIDIAのGH200GPUを採用し、域内で初めてエクサスケールを達成する見込み（2024年）**
- また、2021年より、**独自開発の加速部を含むHPCシステム開発プロジェクト（EUPILOT）を開始し、域内で設計、開発力の底上げを図る。**



## 中国：対中輸出規制を乗り越え、国を挙げての開発強化

- 科学技術イノベーション14次五カ年計画（2021～2025年）にて、集積回路を7つの基礎核心分野の1つに指定し、研究開発を推進。
- 7つ（天津、深圳、長沙、済南、広州、無錫、鄭州）の国家超級計算センターを中心に研究開発を実施
- 2016年のTaihuLightを最後に、フラッグシップスパコンのTOP500への登録は行われていない。
- 2022年の国際会議で発表された情報によれば、**純国産CPU New Sunwayを用いて、1.5エクサ級のスパコンの運用を達成。**加速部を持たないCPUの並列により、大規模化が図られてきた。

# スーパーコンピュータ分野の日米国際協力



## 日米科学技術協力協定 <1988年7月20日締結>

Agreement between the Government of the United States of America and the Government of Japan  
on Cooperation in Research and Development in Science and Technology



## エネルギー等研究開発のための協力に関する実施取極 <2013年4月30日締結>

(文部科学省 (MEXT) -エネルギー省 (DOE) 間)

Implementing Arrangement Between the Department of Energy of the United States of America and the Ministry of Education, Culture, Sports and Technology of Japan Concerning Cooperation in Research and Development in Energy and Related Fields

※本実施取極で明記された協力分野

(核融合科学, 高エネルギー物理学, 原子核物理学, 計算機科学, 量子ビーム技術, 基礎エネルギー科学, 生物及び環境科学, その他合意される分野)



※日米科学技術合同高級委員会にて  
(2013年4月30日)

(協力分野の一つとして):

## ハイパフォーマンスコンピューティングに関する協力取極

(文部科学省 (MEXT) -エネルギー省 (DOE) 間)

Project Arrangement Concerning Computer Science and Software Related  
to High Performance Computing for Open Scientific Research

○締結日: 2014年6月23日

○協力分野: 計算機科学およびソフトウェア

○取極の主な内容

- ・同取極下での研究協力による研究結果や情報の取り扱いについて明記
- ・取極下で "Committee" を設け、年に一回以上実施し具体的な協力内容を調整

<Committee 開催実績> 第1回: 2014年12月 (神戸)、第2回: 2015年9月 (シカゴ)、第3回: 2016年2月 (東京)、  
第4回: 2017年9月 (ホノルル)、第5回: 2018年3月 (東京)、第6回: 2019年5月 (シカゴ)、第7回: 2023年2月 (神戸)

⇒DOEアルゴンヌ研究所 (米国)、理化学研究所 (日本) を主要な実施機関として協力を推進

# スーパーコンピュータ分野の日EU国際協力

## 日EUデジタルパートナーシップ<2022年5月12日～>

### JAPAN-EU DIGITAL PARTNERSHIP



- 第28回日EU定期首脳協議が開催（東京）され、日本側は経済産業省、デジタル庁、総務省、EU側は欧州委員会通信ネットワーク・コンテンツ・技術総局が中心となり、日EUのデジタル分野におけるパートナーシップを締結。
- 具体的な優先事項として、半導体、5G/Beyond 5G、**HPC及び量子**、サイバーセキュリティ、人工知能（AI）、デジタル連結性などが定められている。



## 日EUデジタルパートナーシップにおけるHPCに関する記載

### High Performance Computing (HPC) and Quantum technology

52. Both sides should explore modalities of reciprocal access for researchers to their respective supercomputing and quantum computing infrastructures, notably the utilisation of the “Fugaku” and EU/EuroHPC, JU’s LUMI, Leonardo and MareNostrum supercomputers (once they are operational), in conformity with the respective supercomputers’ access policy.

### 日EUデジタルパートナーシップ、フィンランド有する「LUMI」を踏まえた具体的な取組

#### 文部科学省とEU(フィンランド)との取組



- 2023年1月25日に日EUデジタルパートナーシップに基づき、日EUHPCワークショップを開催。文部科学省とEuro HPCが主導し、バイオ、マテリアル、気象・気候の分野の日EU研究者間での研究内容等の情報交換を行った。日本側の参加者以下のとおり。
  - バイオ(理研杉田TL、理研Florence TAMA TL)
  - マテリアル(理研中嶋TL、NIMS館山氏)
  - 気象・気候(理研大石TL、東大佐藤教授)
- 2023年9月5日にフィンランド大使館主催のスパコンセミナーに参加。文部科学省の他、日本側からはR-CCS松岡センター長、富士通マハジャン氏が出席。フィンランド側はCSCコスキ氏、FCAIのアンティ・ホンケラ博士、サミュエル・カスキ氏が出席。



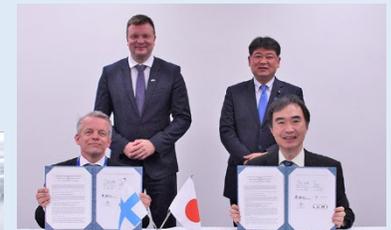
#### 理化学研究所とCSCとの取組



- 2022年5月11日に日EUデジタルパートナーシップで、HPC分野が優先事項として設定されることを念頭に、理化学研究所計算科学研究センター（R-CCS）とCSC-ITとの間で協力覚書（MOC）を締結した。
- 協力覚書の主な観点は、**ベンチマークのデータ等の交換・分析、マッチメイキング**（LUMIに関する公募の協力、「富岳」利用の小規模実行課題の融通）、**グリーンHPCオペレーション**（効率的な運転方法の探索）、**AI分野についてFCAIとの連携**など。



スーパーコンピュータ「LUMI」



MOC締結の様子(2022.5.11)  
左上:スキナリ大臣  
左下:CSC コスキMD  
右上:田中副大臣(当時)  
右下:R-CCS松岡センター長