

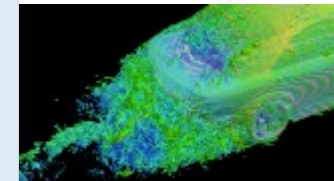
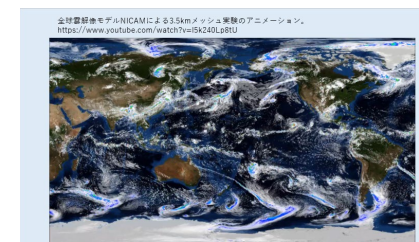
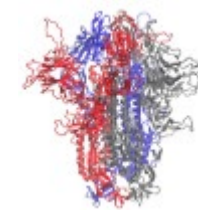
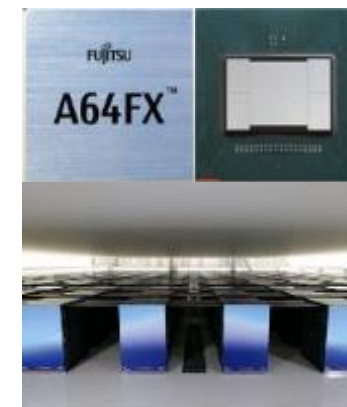
シミュレーション・ファーストによる富岳での Society5.0の推進



理化学研究所 計算科学研究センター
センター長 松岡 聡
WTISD 講演資料
2021年11月30日

国家プロジェクトとしてトップスパコンを研究開発する意義

- 米・欧・中による官民をあげた熾烈な研究開発競争 ⇒ 投与される国家資金は5000億～1兆円と、日本の数倍 why?
- 理由1: 民間では賄えないITの最先端を指向するムーンショット的・ハイリスクな研究開発
 - C.f. アポロ計画、核融合炉、...
 - 富岳も富士通が自らのイニシアティブで開発するのは不可能
- 理由2: 非常に高い二重の投資効果(RoI)
 - 国家所有の情報インフラとして: 富岳相当の(1100億)スパコン/クラウドを商用調達すると3000億円相当 → 3倍のROI
 - 応用による経済効果: Hyperion ResearchによるとROIは60倍程度
 - Society 5.0: SDGs Goalsに向けたDXの中心



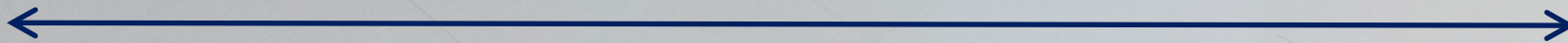
アプリケーションファーストスパコン「富岳」

高い計算性能



従来のスパコンアプリだけでなく
Society5.0-サイバーフィジカル
などへの幅広い分野へ対応

広い応用分野



汎用的なアーキテクチャにもとづいて開発

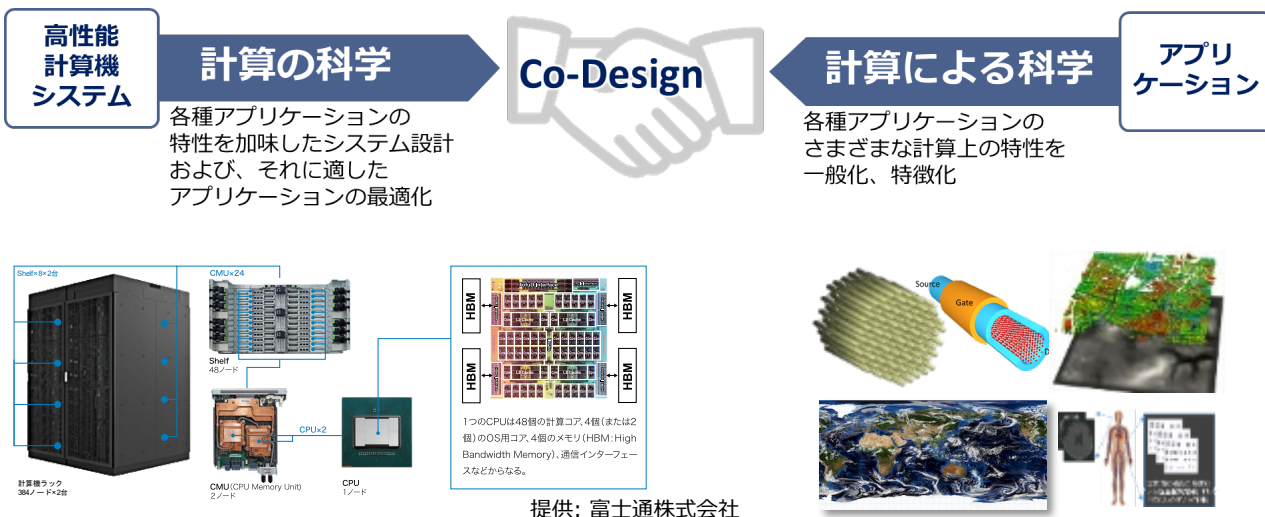
- “アプリケーションファースト”による“ムーショット”マシン開発に我が国を挙げて**挑戦**！
- 新規開発されたCPU「A64FX」など基幹となる技術を理化学研究所及び富士通、日本全国のスパコン研究者が参加して、**国家プロジェクトとして高い目標・ハイリスク開発を推進**



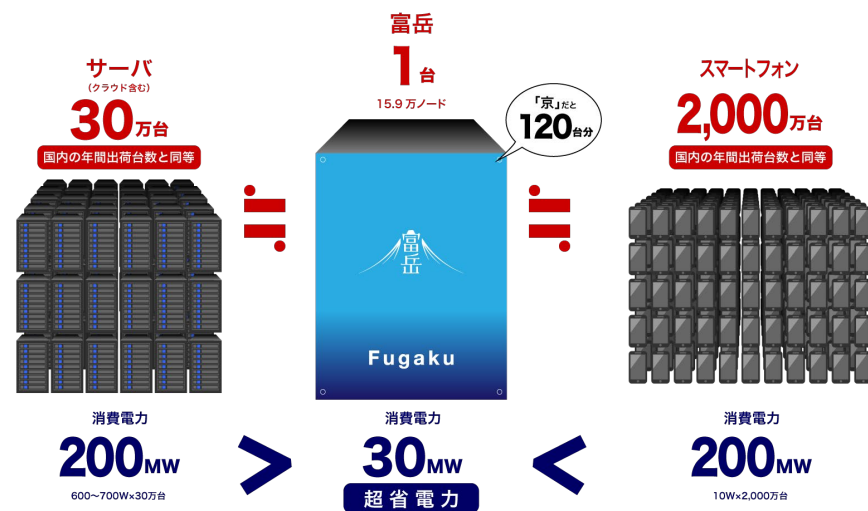
- 従来の米国製トップCPUの**3倍の性能**
- スマホで用いられる汎用Arm CPUの上位互換、あらゆるソフトに対応(パワポも)
- シミュレーションと共に**AI強化機能も**

全て同時達成は
ムーショット的困難

● コデザインで進められた「富岳」の開発



● 「富岳」2～3台で日本全体のITの1年分



富岳：世界をリードする最先端のITシステム

- **CPUとして：高性能計算向けとしては世界最高性能のCPU**

- サーバCPUとしては世界初の7nm
- 最先端のIntel, AMDのCPUと比較しても3倍程度の性能
- 同様に3倍の電力効率→GPUに比肩する効率
- Armの命令セットに完全準拠(μアーキテクチャは独自)→最新RHELがそのまま動く



- **ネットワークとして：世界最高の帯域と規模**

- CPU当たり実質400Gbpsのネットワーク帯域、0.5μ秒レイテンシ(通常はサーバあたり10~100Gbps、数十~数百μ秒レイテンシ)
- サーバCPUとして初めてNICだけでなくスイッチを内蔵→16万ノードを外部スイッチレスで完全結合、AOC10万本
- 総合6PetaByte/sのインジェクションバンド幅→GAFAM全IDCの総トラフィックの10倍

- **システムとして：クラウドDisaggregated アーキテクチャの世界初の実現**

- チップ内スイッチでCPUコア、メモリ、ネットワークが結合、システム全てのCPUコアは全てのメモリに対しRDMAで直接アクセス可能、L2までキャッシュインジェクション

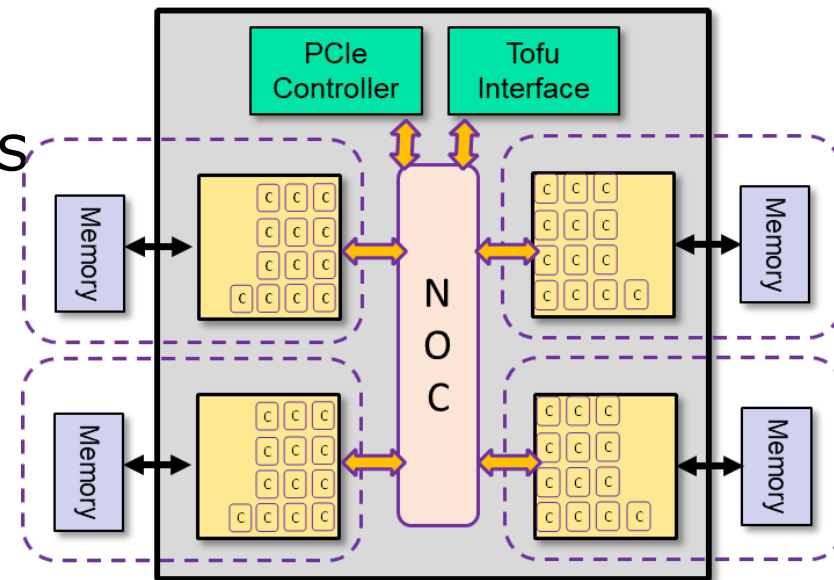
Fugaku's Fujitsu A64fx Processor is...

- **an Many-Core ARM CPU...**

- 48 compute cores + 2 or 4 assistant (OS) cores
- Brand new core design
- Near Xeon-Class Integer performance core
- ARM V8 --- 64bit ARM ecosystem
- Tofu-D + PCIe 3 external connection

- **...but also an accelerated GPU-like processor**

- SVE 512 bit x 2 vector extensions (ARM & Fujitsu)
 - Integer (1, 2, 4, 8 bytes) + Float (16, 32, 64 bytes)
- Cache + memory localization (sector cache)
- HBM2 on package memory – Massive Mem BW (Bytes/DPF ~0.4)
 - Streaming memory access, strided access, scatter/gather etc.
- Intra-chip barrier synch. and other memory enhancing features



- **GPU-like performance in real-world HPC especially CFD-- Weather & Climate (even w/traditional Fortran code) + AI/Big Data**

Advanced Power Management for HPC

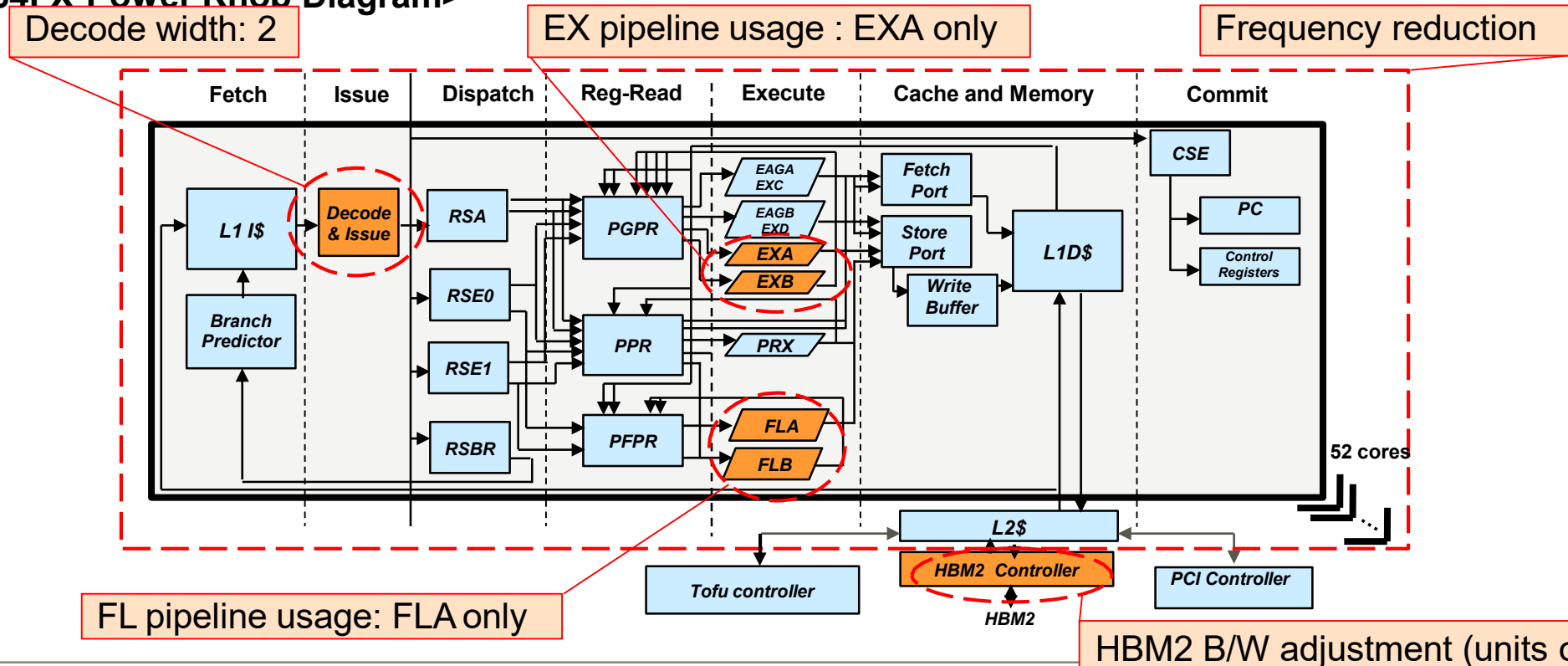
■ “Power knob” for power optimization

■ A64FX provides power management function called “Power Knob”

- Applications can change hardware configurations for power optimization

→ Power knobs and Energy monitor/analyzer will help users to optimize power consumption of their applications

<A64FX Power Knob Diagram>



Fujitsu Mission Critical Technologies

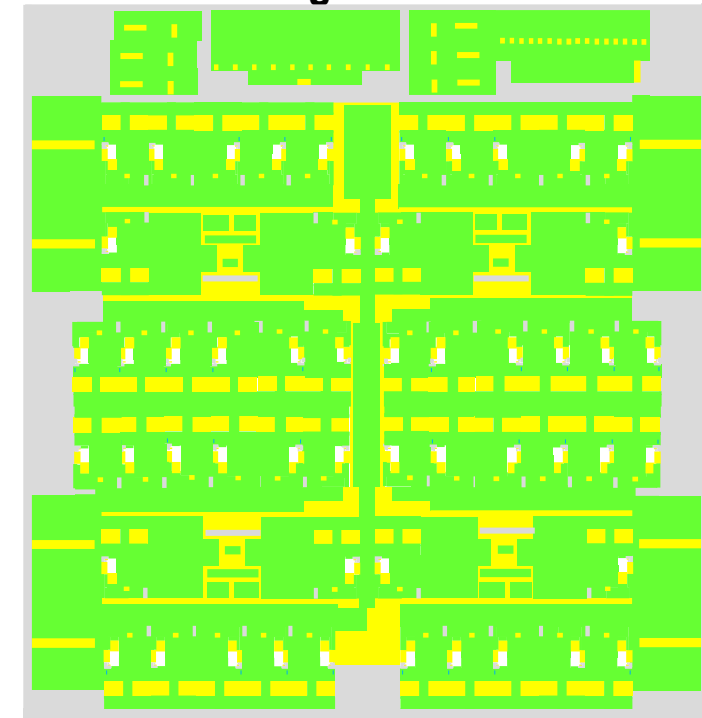
- Large systems require extensive RAS capability of CPU and interconnect
- A64FX has a mainframe class RAS for integrity and stability.
It contributes to very low CPU failure rate and high system stability

- ✓ ECC or duplication for all caches
- ✓ Parity check for execution units
- ✓ Hardware instruction retry
- ✓ Hardware lane recovery for Tofu links
- ✓ **~128.400 error checkers** in total

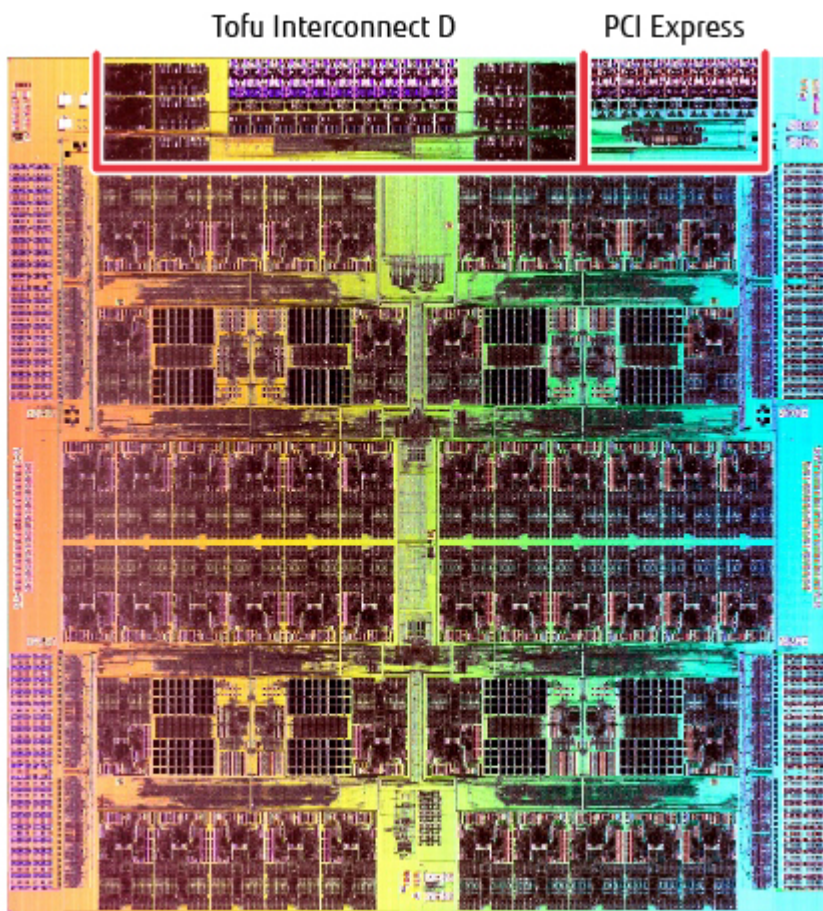
<A64FX RAS Mechanism>

Units	Error Detection and Correction
Cache (Tag)	ECC, Duplicate & Parity
Cache (Data)	ECC, Parity
Register	ECC (INT), Parity(Others)
Execution Unit	Parity, Residue
Core	Hardware Instruction Retry
Tofu	Hardware Lane Recovery

<A64FX RAS Diagram>



Green: 1 bit error Correctable
Yellow: 1 bit error Detectable
Gray : 1 bit error harmless



- Tofu-D logic Embedded into CPU die
- 25mm² die area (~6% of entire die)
- **Power: 8~9W (incl. SerDes&AOC, very low power c.f. 100GbE, EDR/HDR IB @ 25-30W)**
 - Constant irrespective of state
 - ~ 4~5 % of entire node
- **Directly connected to on-chip torus network**
 - No I/O bus inbetween e.g. PCI-E
 - Direct DMAC access to L2 cache
- **6-D torus router switch + DMAC**
 - ~160,000 low dimension switch on Fugaku
 - ~1.6 million ports total
- **CPU, Memory, and Tofu-D directly connected to on-chip Xbar & NW => disaggregated architecture**

■ 8B Put transfer between nodes on the same board

	Communication settings	Latency
Tofu1(K)	Descriptor on main memory	1.15 μ s
	Direct Descriptor	0.91 μ s
TofuD	To/From far CMGs	0.54 μs
	To/From near CMGs	0.49 μs

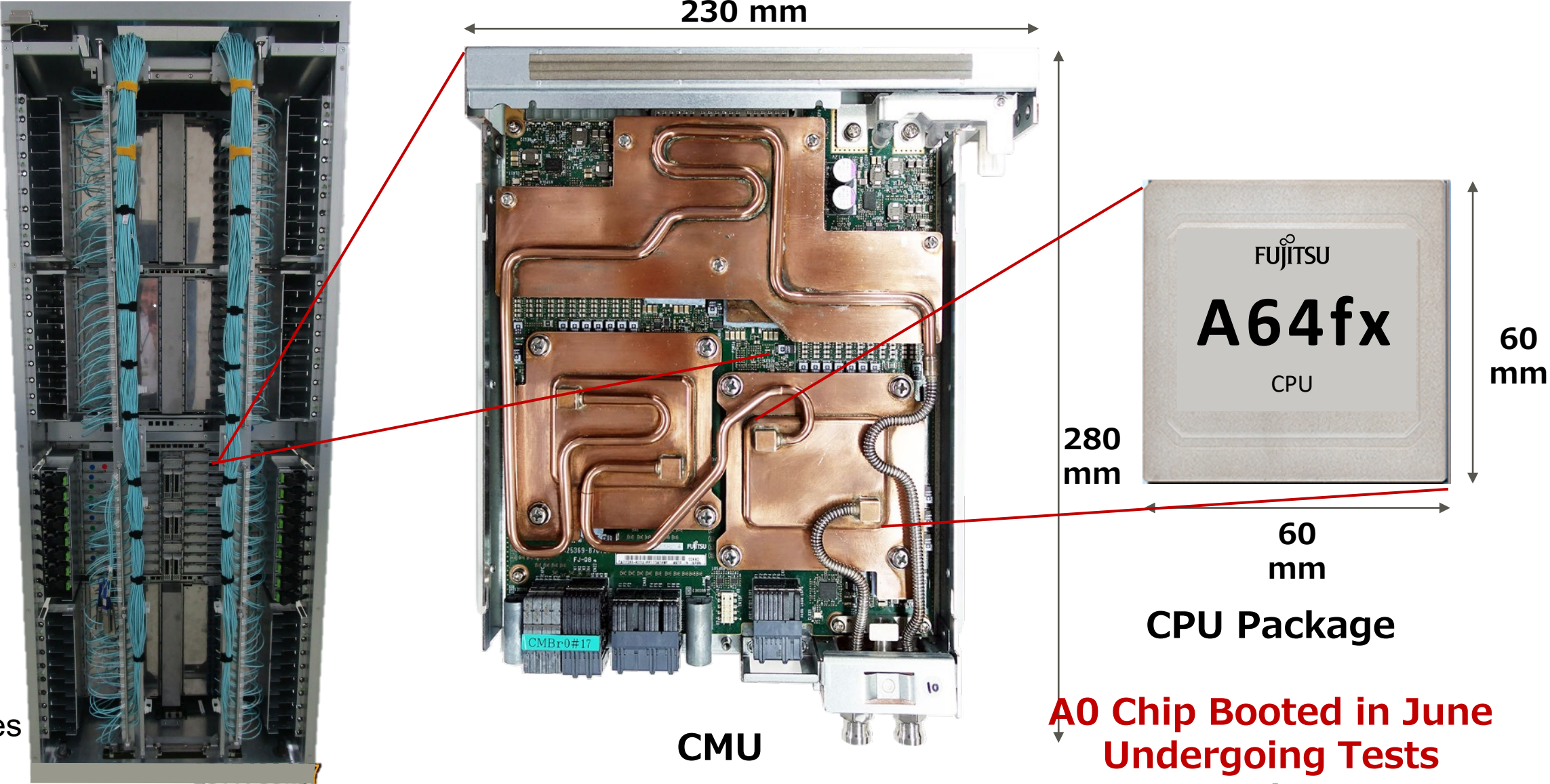
C.f. 100GbE in IDC
Latency 10~100 μ s

■ Total Injection Bandwidth

	Injection rate	Efficiency
Tofu1 (K)	15.0 GB/s	77 %
Tofu1 (FX10)	17.6 GB/s	88 %
TofuD	38.1 GB/s	93 %

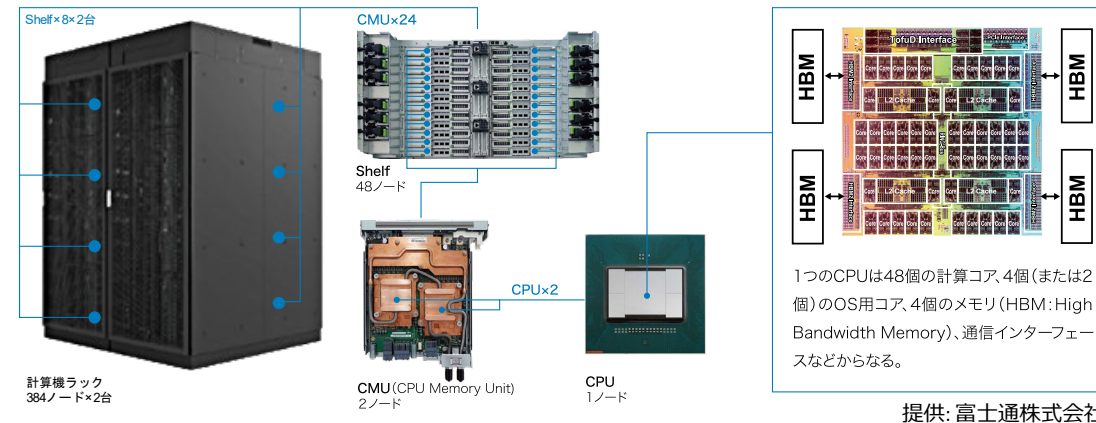
C.f. 100GbE in IDC
Bandwidth ~10GB/s

Post-K Chassis, PCB (w/DLC), and A64fx CPU Package



Fugaku Total System Config & Performance

- **Total # Nodes: 158,976 nodes**
 - 384 nodes/rack x 396 (full) racks = 152,064 nodes
 - 192 nodes/rack x 36 (half) racks = 6,912 nodes
- c.f. K Computer 88,128 nodes
- **Theoretical Peak Compute Performances**
 - Normal Mode (CPU Frequency 2GHz)
 - 64 bit Double Precision FP: 488 Petaflops
 - 32 bit Single Precision FP: 977 Petaflops
 - 16 bit Half Precision FP (AI training): 1.95 Exaflops
 - 8 bit Integer (AI Inference): 3.90 Exaops
 - Boost Mode (CPU Frequency 2.2GHz)
 - 64 bit Double Precision FP: 537 Petaflops
 - 32 bit Single Precision FP: 1.07 Exaflops
 - 16 bit Half Precision FP (AI training): 2.15 Exaflops
 - 8 bit Integer (AI Inference): 4.30 Exaops
- **Theoretical Peak Memory Bandwidth: 163 Petabytes/s**



- C.f. K Computer performance comparison (Boost)
 - 64 bit Double Precision FP: 48x
 - 32 bit Single Precision: 95x
 - 16 bit Half Precision (AI training): 190x
 - K Computer Theoretical Peak: 11.28 PF for all precisions
 - 8 bit Integer (AI Inference): > 1,500x
 - K Computer Theoretical Peak: 2.82 Petaops (64 bits)
 - Theoretical Peak Memory Bandwidth: 29x
 - K Computer Theoretical Peak: 5.64 Petabytes/s

Traditional Clouds eg EC2

Fugaku AI (DL4Fugaku)
RIKEN: Chainer, PyTorch, TensorFlow, DNNL...

Live Data Analytics
Apache Flink, Kibana,

Math Libraries
Fujitsu: BLAS, LAPACK, ScaLAPACK, SSL II
RIKEN: EigenEXA, KMATH_FFT3D, Batched BLAS, ...

Cloud Software Stack
OpenStack, Kubernetes, NEWT...

Compiler and Script Languages
Fortran, C/C++, OpenMP, Java, python, ...
(Multiple Compilers supported: Fujitsu, Arm, GNU, LLVM/CLANG, PGI, ...)

Batch Job and Management System

Hierarchical File System

ObjectStore
S3 Compatible

~3000 Apps supported by Spack

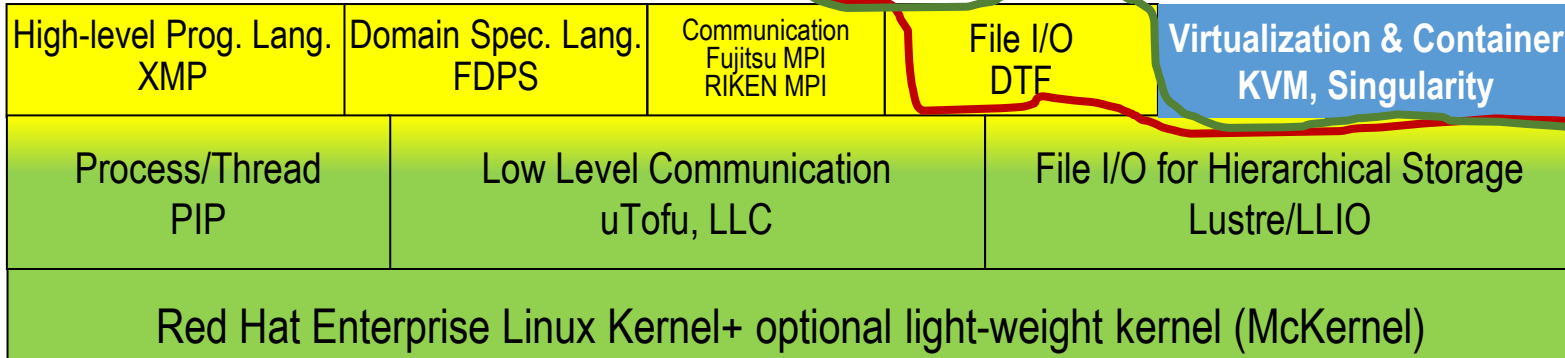
Open Source Management Tool
Spack and other DoE ECP Software

Tuning and Debugging Tools
Fujitsu: Profiler, Debugger, GUI

Red Hat Enterprise Linux 8 Libraries

Fugaku and future HPCI systems

Most applications will work with simple recompile from x86/RHEL environment to the Arm processor.
LLNL Spack automates this.



Traditional HPC system eg K-computer

「富岳」世界スパコン性能5冠達成

(4冠は2020年6月～4期連続、MLPerf HPCは2021年11月初)

シミュレーション
(クラシック)

442.0

2.97
倍

148.6

TOP500

(単位：PFLOPS)

浮動小数点の演算
での性能評価

シミュレーション
(モダン)

16.0

5.48
倍

2.93

HPCG

(単位：PFLOPS)

実際にアプリケーションを
稼働させた性能評価

AI
(深層学習)

2.00

1.42
倍

1.41

HPL-AI

(単位：EFLOPS)

AI処理での
性能評価

ビッグデータ
(グラフ処理)

102,955

4.33
倍

23,756

Graph500

(単位：GTEPS)

ビッグデータ処理での
性能評価

スループット性能
(深層学習)

1.29

1.77
倍

0.729

ML Perf HPC
(CosmoFlow)

(単位：モデル数 / 分)

AI処理の
総合性能評価

2位に対して 約1.4倍から5.5倍の性能差を実現

「富岳」が制覇した4部門の概要

Simulation

- LINPACK（**密行列**の連立一次方程式の**直接解法**）は、科学技術計算性能のクラシックなスパコンベンチマーク。
- Top500リストは、LINPACKの実行性能を指標として、世界で最も高速なスーパーコンピュータの上位500位までを定期的にランク付けするベンチマークランキングの老舗。1993年に発足、ランキングを年2回（6月、11月）発表している。
- 近年、Top500の高ランク達成が自己目的化し、実際のアプリケーションの性能との乖離が指摘されている。

AI

- 低精度混合演算を用いることを認めたHPL（High-Performance LINPACK）の性能を計測するベンチマーク。
- 低精度演算での演算能力を評価することで、ディープラーニングなどのAI処理の性能を評価することを目的とする。
- HPL-AIは2019年11月にルールが公表されたため、今回が初めてのベンチマークランキングの発表となる。

Top500



HPCG



HPL-AI



Graph500



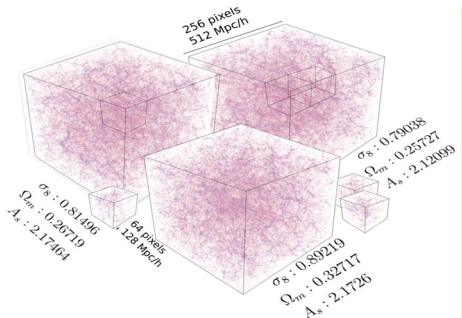
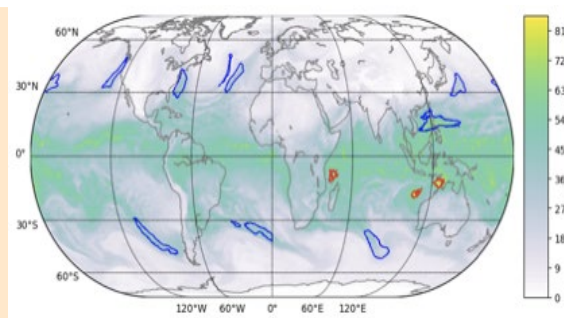
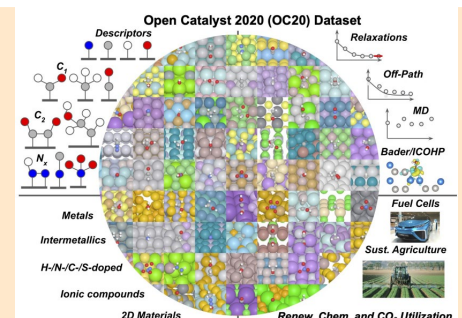
- **疎行列**の連立一次方程式の**反復解法**である共役勾配法（conjugate gradient method）を用いた新たなスパコンベンチマーク。
- LINPACKが要求する性能要件とアプリケーションで求められる性能要件との乖離から、**産業利用など実際のアプリケーションでよく使われるCG法のプログラムで性能を評価するために提案された。**
- 演算性能よりは、むしろメモリアクセス性能がベンチマークの結果を大きく左右する。

Big Data

- 超大規模グラフの探索能力で計算機を評価するベンチマーク。
- ソーシャルネットワークなど、実社会における複雑な現象を表現するビッグデータである大規模グラフ（頂点と枝によりデータ間の関連性を示したもの）の解析力を評価する。
- 演算能力だけでなく、メモリ性能、ネットワーク性能が重要！
- 「京」は2014年6月 1位、2014年11月 2位、2015年6月から2019年6月まで 1位

●スーパーコンピュータの深層学習アプリケーションでの性能評価

- 今回対象となる3つの大規模深層学習モデル

モデル	CosmoFlow	DeepCAM	Open Catalyst
内容	 「Cosmological Parameters from the Dark Matter Distribution」より	 「Exascale Deep Learning for Climate Analytics」より	 「The Open Catalyst 2020 (OC20) Dataset and Community Challenges」より
モデルの用途	シミュレーションデータからの宇宙論パラメータの予測	シミュレーションデータからの地球規模の異常気象現象の特定	触媒システムの量子力学的特性の予測

- 2つの測定方法

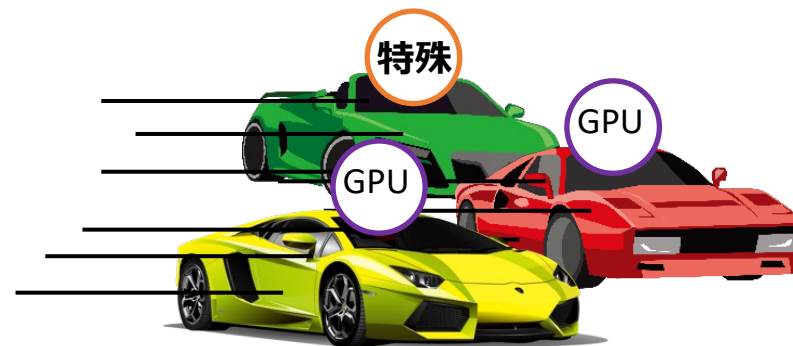
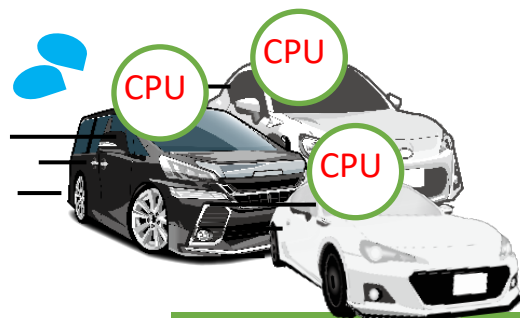
方式	生成モデル数	測定量	実際の用途
単一モデル学習 (strong scale)	1	学習に掛かる時間	決まったパラメータで学習
多数モデル学習 (weak scale)	複数	単位時間に学習できるモデル数	試行錯誤によるAIモデル学習

- コロナの影響で、実際の表彰式での富岳の表彰は初めて



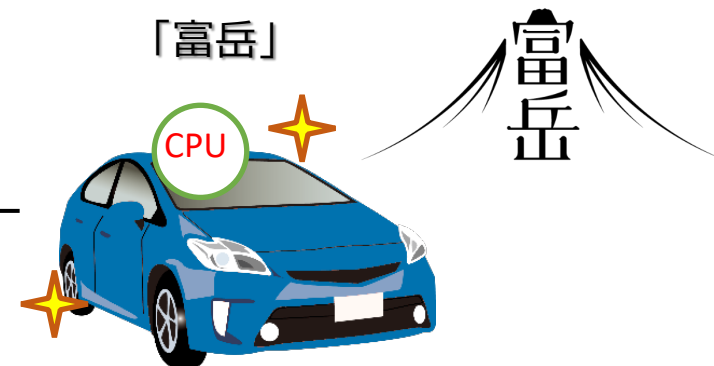
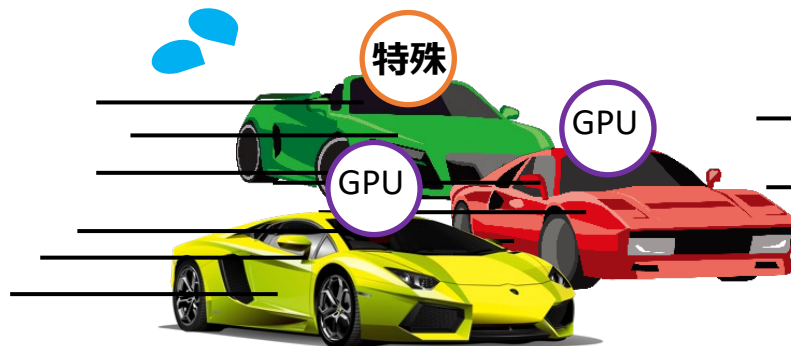
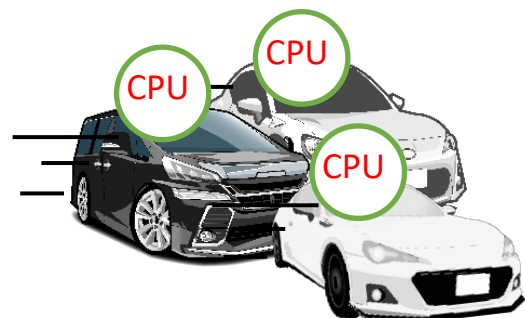
「富岳」ランキング1位獲得！ 何がすごいのか？

● 最近のスパコンランキング



GPU搭載スパコンや特殊スパコンが上位を独占

● 今回のスパコンランキング



汎用CPU搭載スパコンが圧倒的世界1位に！
「国プロ」としての「ムーンショット」研究開発の成果

Co-Designされたターゲットアプリケーション

富岳開発目標：「実アプリで京コンピュータ比で数十倍、最大100倍以上」

社会的・科学的課題（9重点課題）に向けた、アプリケーション性能向上の見込み

健康長寿社会の実現



生体分子システムの
機能制御による
革新的創薬基盤の構築

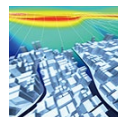
131倍以上
(GENESIS)



個別化・予防医療を
支援する
統合計算生命科学

23倍以上
(Genomon)

防災・環境問題



地震・津波による
複合災害の統合的
予測システムの構築

63倍以上
(GAMERA)

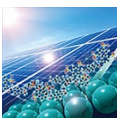


観測ビッグデータを活用した
気象と地球環境の
予測の高度化

127倍以上
(NICAM+ LETKF)

**平均
70倍**

エネルギー問題



エネルギーの高効率な
創出、変換・貯蔵、利用
の新規基盤技術の開発

70倍以上
(NTChem)



革新的クリーン
エネルギーシステムの
実用化

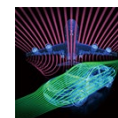
63倍以上
(Adventure)

産業競争力の強化



次世代の産業を支える
新機能デバイス・
高性能材料の創成

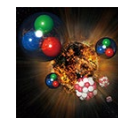
38倍以上
(RSDFT)



近未来型ものづくりを
先導する革新的設計・
製造プロセスの開発

51倍以上
(FFB)

基礎科学の発展



宇宙の基本法則と
進化の解明

38倍以上
(LQCD)

新型コロナウイルス対策に関する貢献

－ 「富岳」の性能を活かしたSociety5.0的社会要求に対する他国に無い迅速な対応 －



「富岳」による 新型コロナウイルスの治療薬候補同定

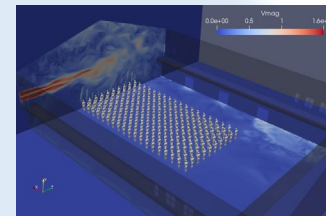


分子動力学計算により、約2000種の既存医薬品の中から、新型コロナウイルスの標的タンパク質に高い親和性を示す治療薬候補を探索・同定する。

(課題代表者；理化学研究所/京都大学 奥野 恭史)

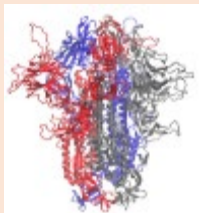
室内環境におけるウイルス飛沫感染の 予測とその対策

通勤列車内、オフィス、教室、病室といった室内環境において、新型コロナウイルスの特性を考慮した飛沫の飛散シミュレーションを行い、感染リスク評価を行った上で、感染リスク低減対策の提案を行う。



(課題代表者；理化学研究所/神戸大学 坪倉 誠)

「富岳」を用いた新型コロナウイルス 表面のタンパク質動的構造予測



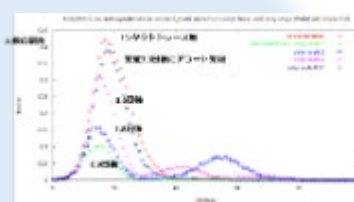
クライオ電子顕微鏡によって解かれたウィルス表面タンパク質の立体構造を初期モデルとして、その立体構造の動きを「富岳」を用いた分子動力学計算で予測する。

(課題代表者；理化学研究所 杉田 有治)



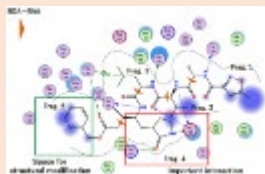
パンデミック現象および対策の シミュレーション解析

今後生じうる社会経済活動への影響を評価し、収束シナリオとその実現方法を探る。あわせてウイルスの変異などにより感染・発病の経過が変化した場合に起こりうる事象への対応を立案する。



(課題代表者；理化学研究所 伊藤 伸泰)

新型コロナウイルス関連タンパク質に対する フラグメント分子軌道計算

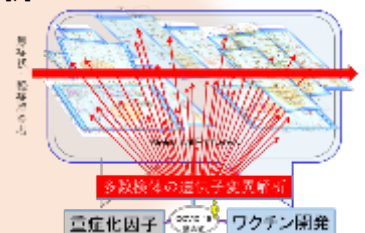


新型コロナウイルス関連タンパク質に対するフラグメント分子軌道計算を系統的に実施し、詳細な相互作用解析を行う。

(課題代表者；立教大学 望月 祐志)

新型コロナウイルス感染症重症化 に関するヒト遺伝子解析

新型コロナウイルスの重症化例および軽症ないし無症状感染例について、全ゲノムシーケンスを用いた解析を実施し、スパコンシミュレーションによる重症化リスク関連遺伝子変異を同定する。

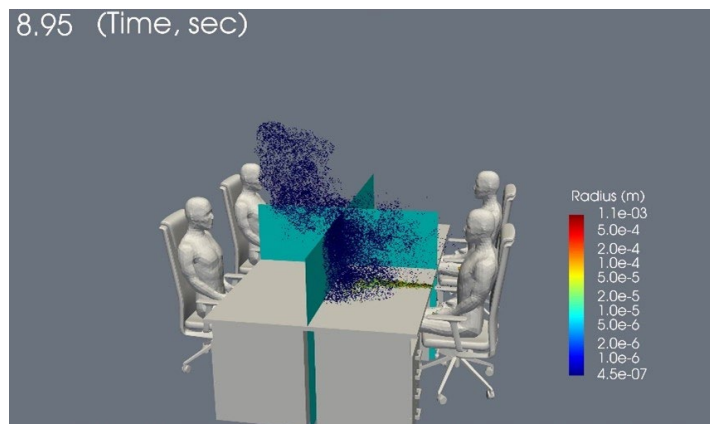


(課題代表者；東京医科歯科大学 宮野 悟)

富岳の2021ACMゴードン・ベル賞ファイナリスト

最終発表は米国ミズーリ州セントルイスのアメリカズ・センター及びオンラインで開催される国際会議において、
現地時間11月18日（木）12時30分（日本時間11月19日（金）3時30分）より行われる。

2021年ゴードン・ベル賞COVID-19研究特別賞 「富岳」を用いたCOVID-19の飛沫・エアロゾル拡散モデル 感染症疫学のデジタルトランスフォーメーションに初めて成功

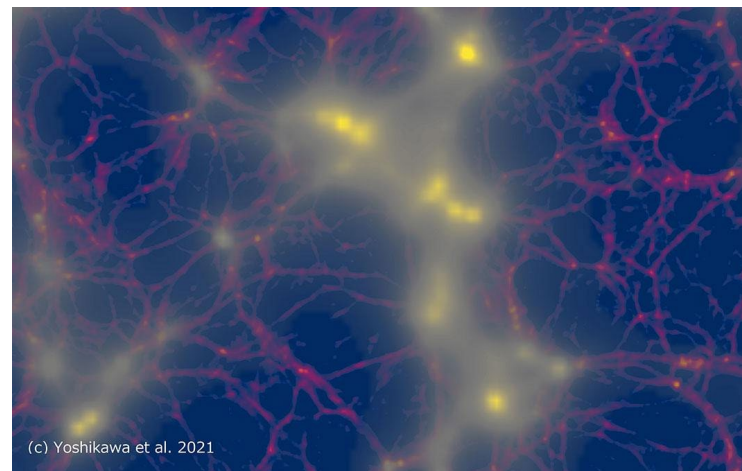


坪倉誠チームリーダー
理化学研究所
計算科学研究センター
複雑現象統一的開放研究
チーム
(神戸大学大学院システム
情報学研究科教授)

パーティションの高さの影響（提供：理研・
豊橋技科大，協力：京工繊大，阪大）



「富岳」を用いた宇宙ニュートリノの数値シミュレーション 大規模宇宙構造におけるニュートリノの 運動に関する大規模数値シミュレーションの実行に成功 ブラソフシミュレーションと呼ばれる全く新しい手法を世界で初めて採用



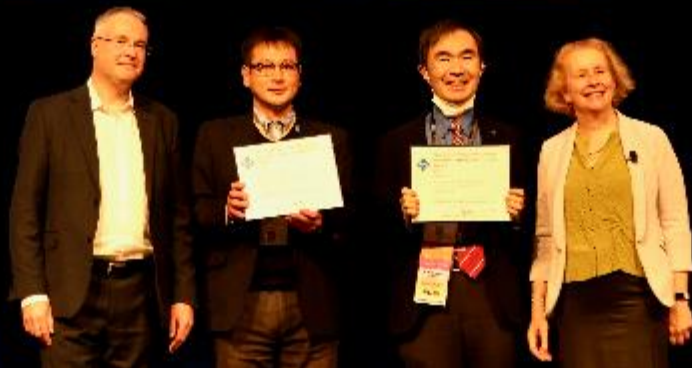
吉川耕司 講師
筑波大学
計算科学研究センター



ACM Gordon Bell Special Prize in HPC-Based COVID-19 Research
Winner

Digital Transformation of Droplet/Aerosol
Infection Risk Assessment Realized on
Fugaku for The Fight Against COVID-19

RIKEN Center for Computational Science, Kobe University,
Tokyo Institute of Technology



*ACM Gordon Bell Special Prize for High
Performance Computing-Based COVID-19
Research*

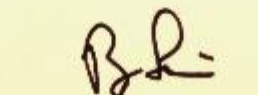
2021

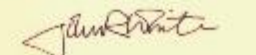
PRESENTED TO

*Kazuto Ando, Rahul Bale, ChungGang Li,
Satoshi Matsuoka, Keiji Onishi, and
Makoto Tsubokura*

*FOR Digital transformation of droplet/aerosol infection risk,
assessment realized on "Fugaku" for the fight against COVID-19*

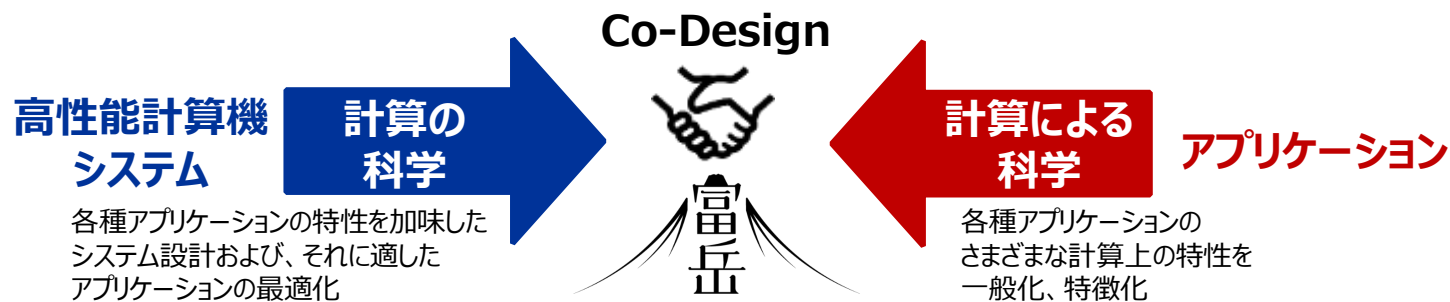

ACM PRESIDENT


AWARDS COMMITTEE CO-CHAIR


AWARDS COMMITTEE CO-CHAIR

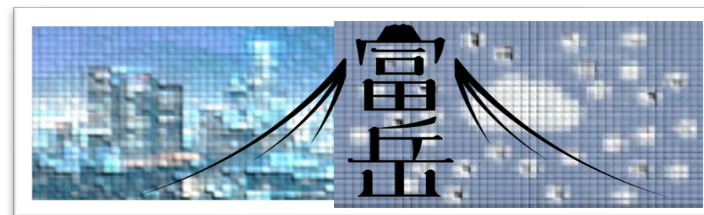
Society 5.0実現に資する「富岳」の開発

- ・社会ニーズに基づくアプリケーションとハードウェアの「コ・デザイン」で国家プロジェクトとして開発。
- ・Society5.0実現に貢献するポテンシャルを有する。



- ・フィジカル空間現象に加えてサイバー空間でのITのシミュレーションも必須。
- ・両者を同時に融合して全体をシミュレーションする（AI解析含む）ことではじめて全体最適が可能に。

サイバー空間

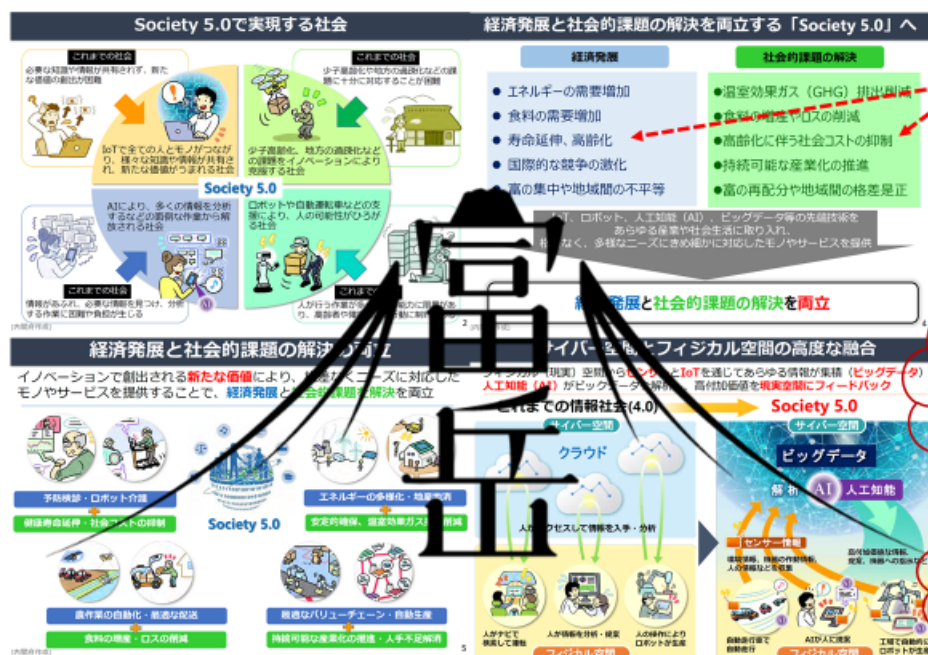


高度な融合

フィジカル空間



Society 5.0の「実現」へ



- サイバー世界
(サイバー空間)

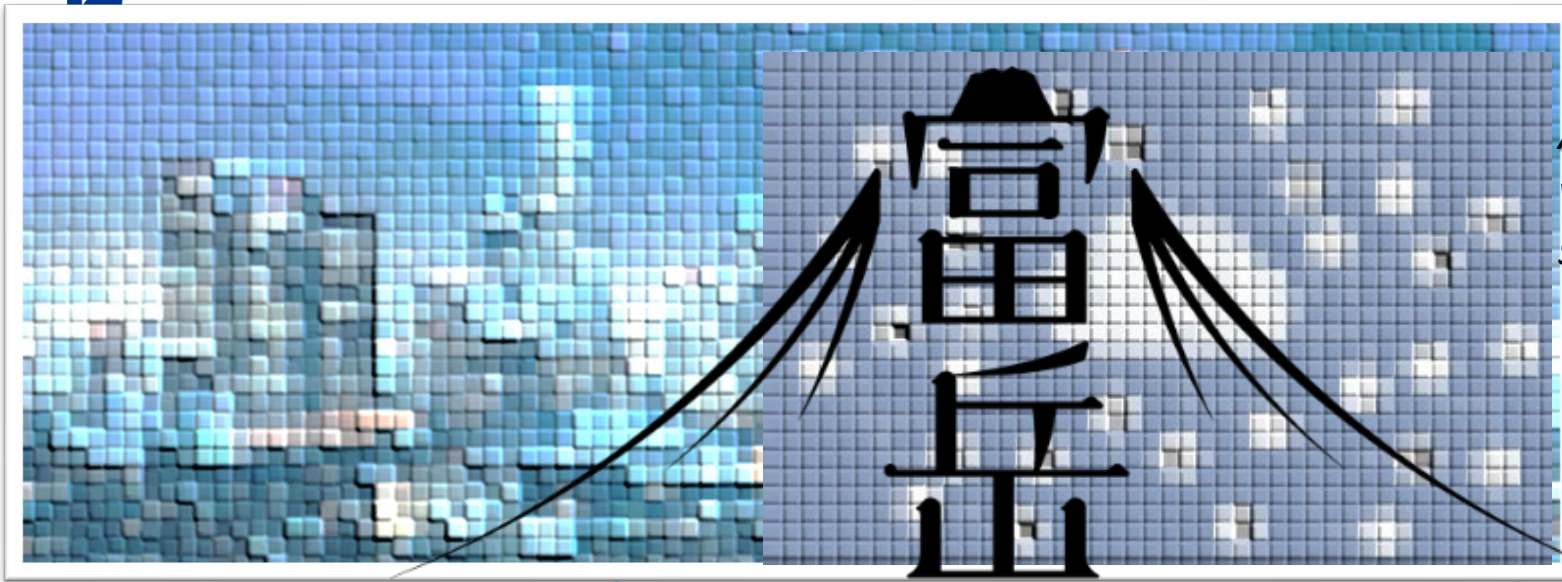


同時に結合して全体を
(「富岳」上で) シミュレーション



- 物理世界
(フィジカル空間)

- 物理世界=>HPC分野が培ってきて富岳で世界一になった様々な分野の高度なシミュレーション(第一原理およびAIによる予測を含む)
- サイバー世界=> 単なる挙動のシミュレーションだけでなく、IoTからクラウドに至る実際のプログラムの実行
 - 富岳はIoTで主流のArduinoなどのArmプロセッサのプログラムをVM環境で直接実行可能=>デバッグを含む詳細なシステム開発が可能



Simulation of City,
Infrastructures + Society
+ Natural Phenomenon

AI Inference
for physical
smart city

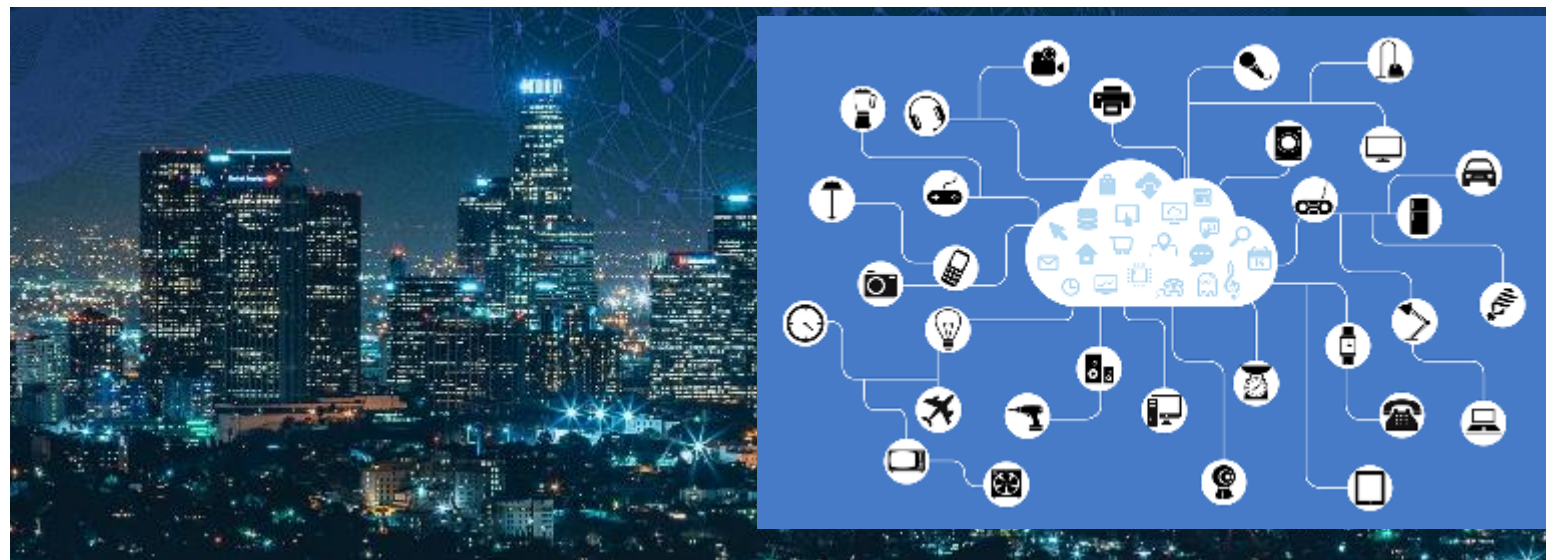
AI Training
w/virtual
smart city

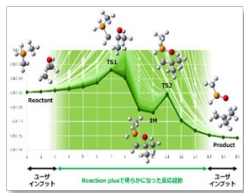
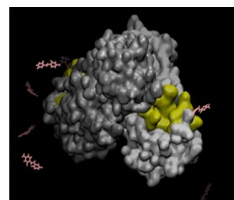
Physical smart city
experiments do not scale beyond
a few hundred sensors & limited
geography



Digital twin of the entire smart
city on Fugaku as a shareable
smart city R&D

- Sim of city phenomena
 - Infrastructure e.g traffic
 - Natural phenomenon incl. disasters
 - People & interactions
- Sim of city IT infrastructure
 - 100K's IoT sensors
 - 5G and optical NW
 - Cloud and SC²⁵

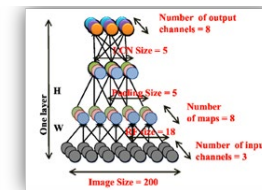




First Principle
Based
Simulation

Training Data
Synthesis
Acceleration via
Surrogates,
Pareto
optimization

Empirical AI-
Based
Prediction



Trajectory
Correction

Inter/Extra
polation

Data
Assimilation

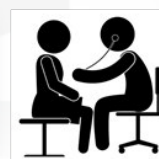
Big Data
Instrumentati
on

Prediction &
Actuation

Live Data
Training

What are the
fundamental theories that
define such relationships
between compute,
intelligence, and data?
(Collaborations with Riken
AIP, AIST AIRC, ISM, NII,...)

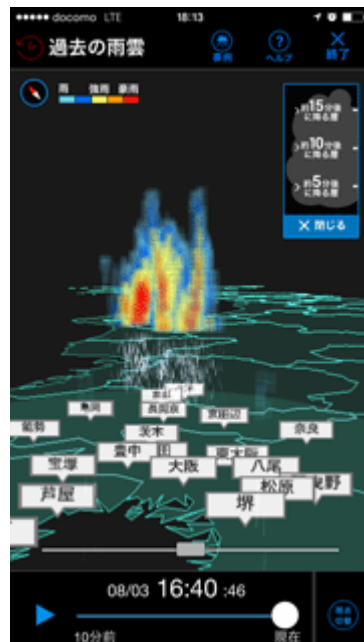
What will be the
underlying system
(HW&SW) that will
facilitate such
convergence effectively?
(Collaborations with HPCI,
Industry...)



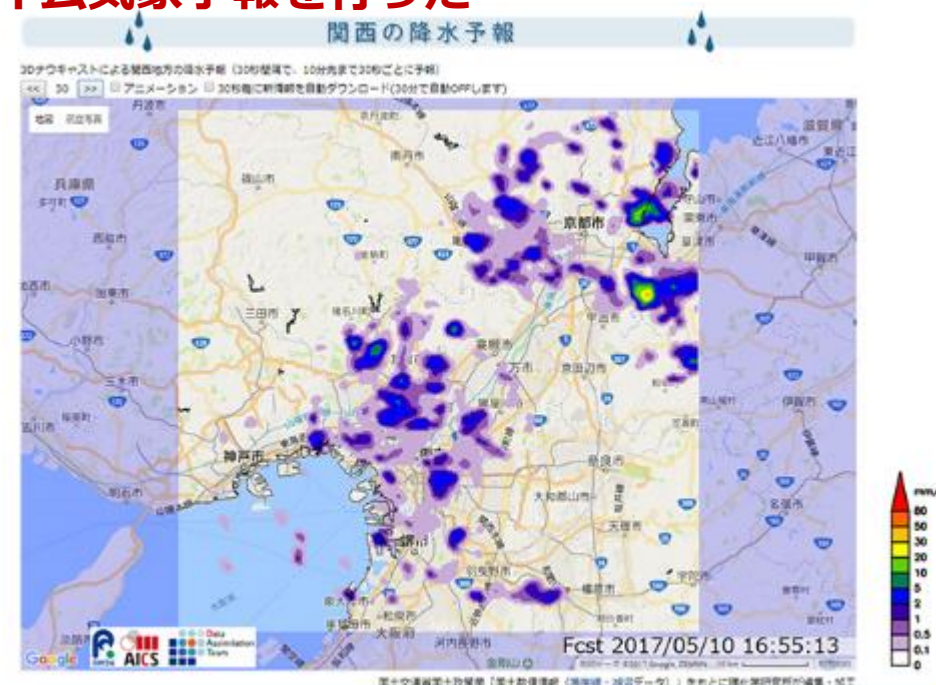
HPC (&Cloud) Infrastructure

R-CCS三好チーム：AI、ビッグデータとシミュレーションが融合した、リアルタイム気象予報：東京オリンピックでの社会実装実験

- 大阪・神戸のNICTフェーズドアレイ気象レーダを用いた降水短時間予報について、2017年に予報業務許可を取得し、現在までリアルタイムで予報の公開を行っている
- 気象予報士が常駐し、予報を随時確認した上でWebサイト上で配信(平日9時~5時のみ)
- 共同研究契約を結んでいる株式会社エムティーアイが別に予報業務許可を取得し、スマートフォンアプリ「3D雨雲ウォッチ」(2019/9時点でダウンロード数247,000以上)により予報を配信
- 富岳の1/10を用いて東京オリンピックのリアルタイム気象予報を行った



<https://www.mti.co.jp/?p=21823>



たったの10分で!!



増水直前



増水時

1.34 m  わずか10分!!

(出典: 気象庁パンフレット)

神戸市の都賀川
5名の方が流され死亡
(2008年7月28日)

<https://weather.riken.jp/> 過去事例

予報開始時刻: 2021/07/30 14:30:00

<< 解析 2021/07/30 14:30:00 >>

予測

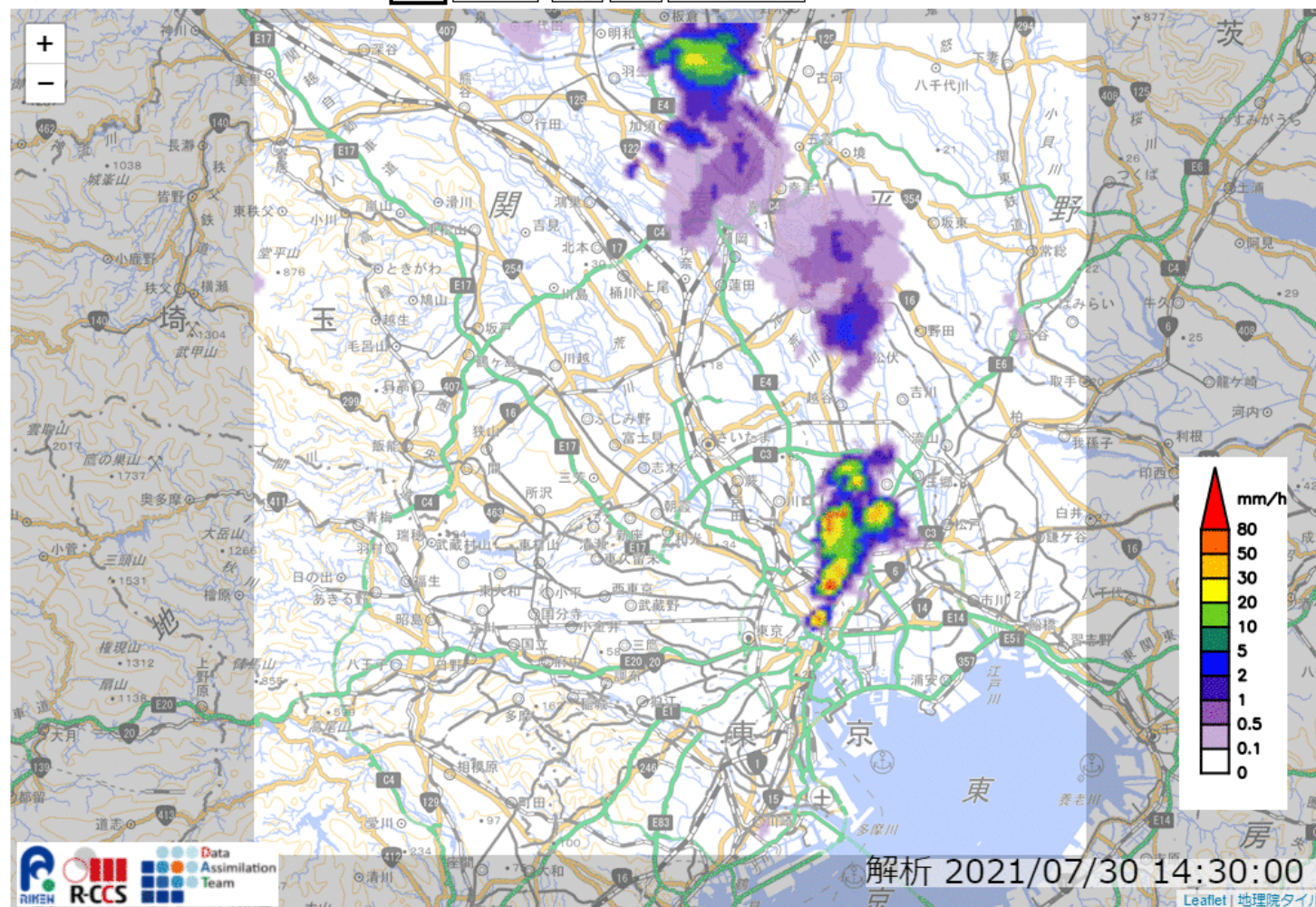
確率予測

観測

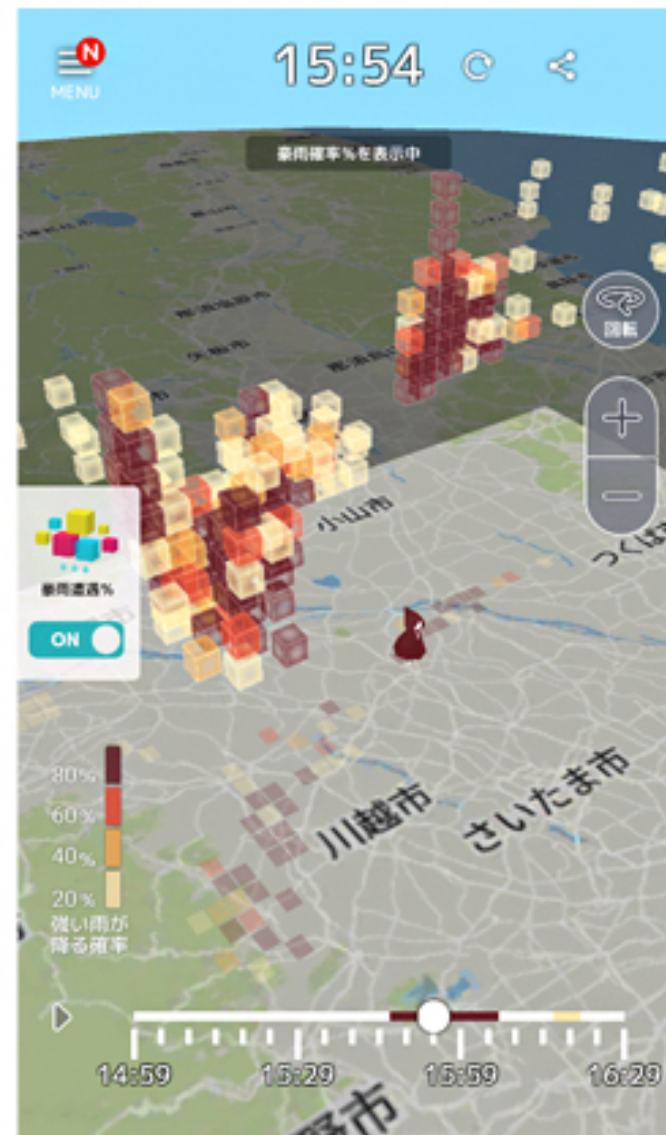
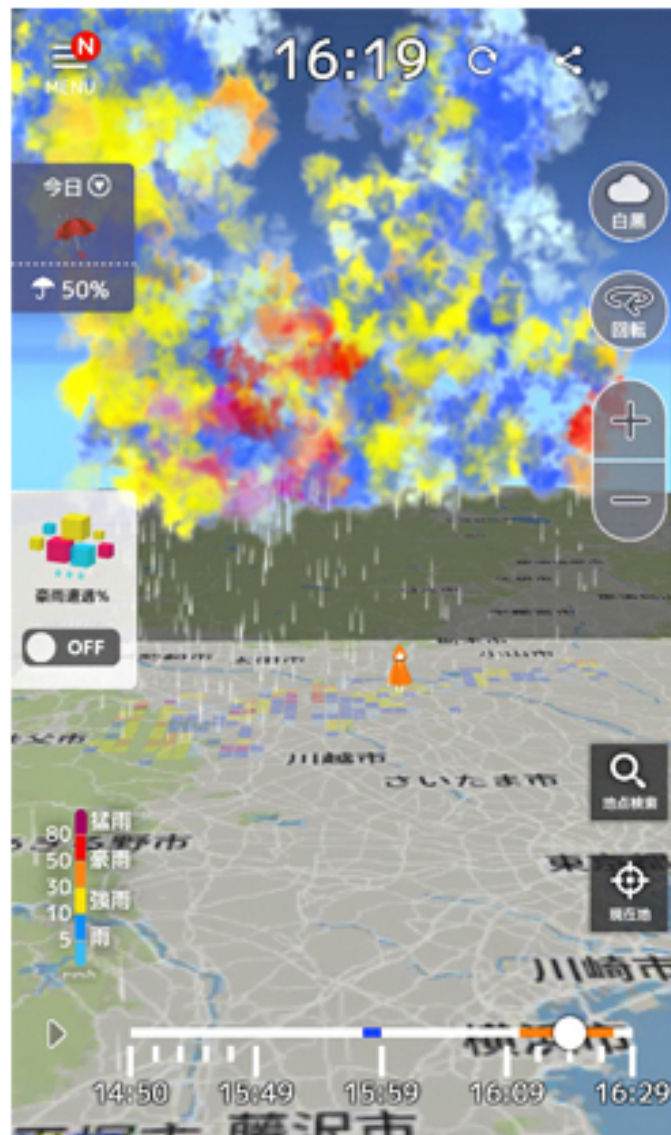
解析

気象庁レーダー

☐ アニメーション



スマホアプリ「3D雨雲ウォッチ」 (エムティーアイ)

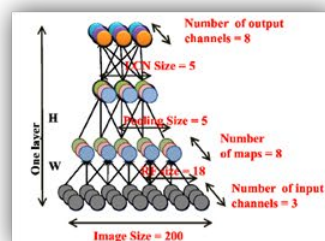


少人数・低コスト・超効率化を実現する創薬DX[奥野]

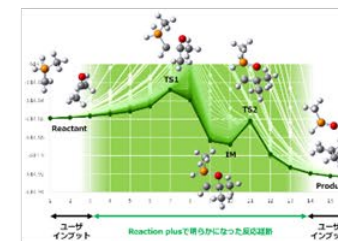
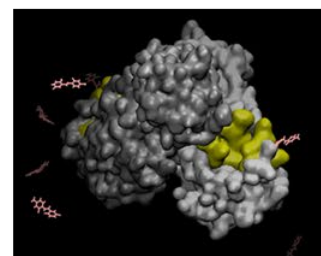
スパコンを機軸にしたHPC/AIによる創薬デジタルトランスフォーメーションは 欧米と対等への唯一の道



データサイエンス・AI



シミュレーション



従来の創薬ではお金も人も
足りない日本は欧米メガ
ファーマに太刀打ちできな
い=>創薬のDXが必須

- 個々の研究機関、企業は世界トップレベルの研究開発力を有するが、いざという時に統合化できず、総合力で負ける
- 欧米に比べて、日本の製薬企業は規模・資本力が弱い → リスクがとれない。いざという時にスピードで負ける
- 治験・承認プロセスのコスト、スピード、人的リソース、体制の問題が依然ある
-

「富岳」がつくるSociety5.0: シミュレーション×AI×リアルワールドの融合



航空機フライト試験を代替する近未来型設計技術の先導的実証研究

課題責任者 河合 宗司 東北大学 大学院工学研究科 航空宇宙工学専攻

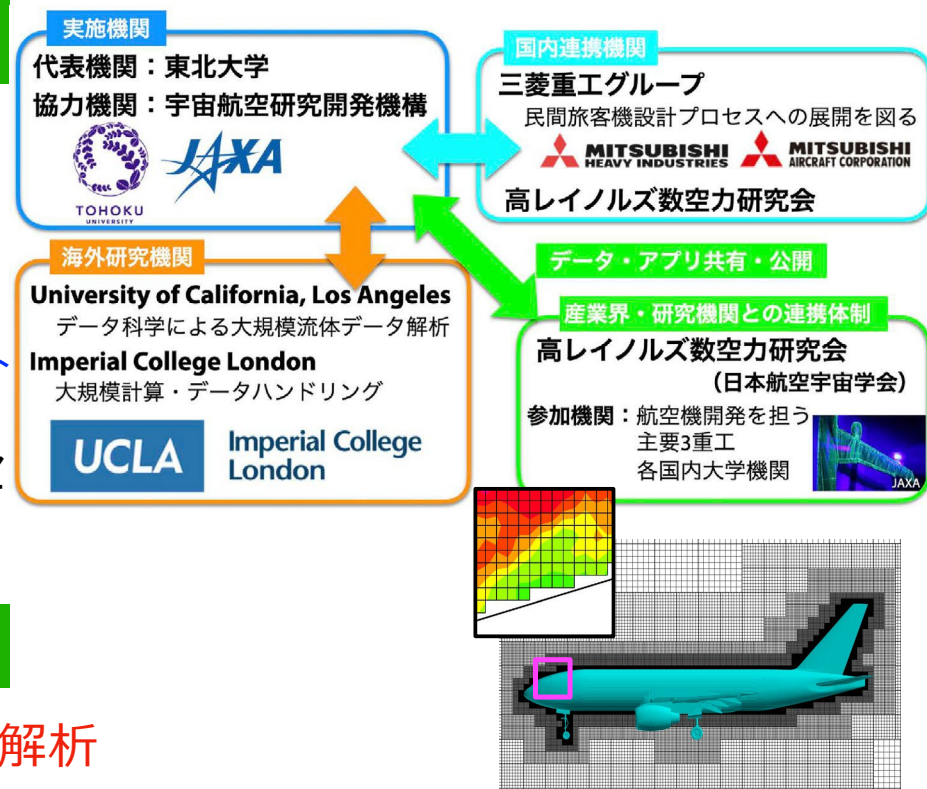
概要・目的

- 高度な計算科学により、ものができる前の設計初期段階で航空機設計上の重要課題（最大揚力・失速，主翼空力弾性）を評価可能とすることで，実機フライト試験を代替する新たな設計プロセス技術を先導的に実証することを目的とする

高忠実・航空機全機LES解析による航空機空力設計のパラダイムシフト

→ 実機フライト試験の大幅削減による開発コスト・リスクの低減

- 国内航空機開発メーカーとの連携のもと民間旅客機設計開発プロセスへの展開を試みる



航空機全機複雑形状・実飛行レイノルズ数の空力予測評価

「富岳」で初めて可能となる高忠実な実機・実飛行条件($Re_c \sim 10^7$)の解析

高速・高忠実な階層型等間隔直交格子・圧縮性LESソルバー
FFVHC-ACE

複雑形状に対する格子生成の自動・高速化 壁面近傍をモデル化したLES (壁面モデルLES)

→ LESが可能なレイノルズ数を飛躍的に向上

物体非適合格子における壁面モデルLES

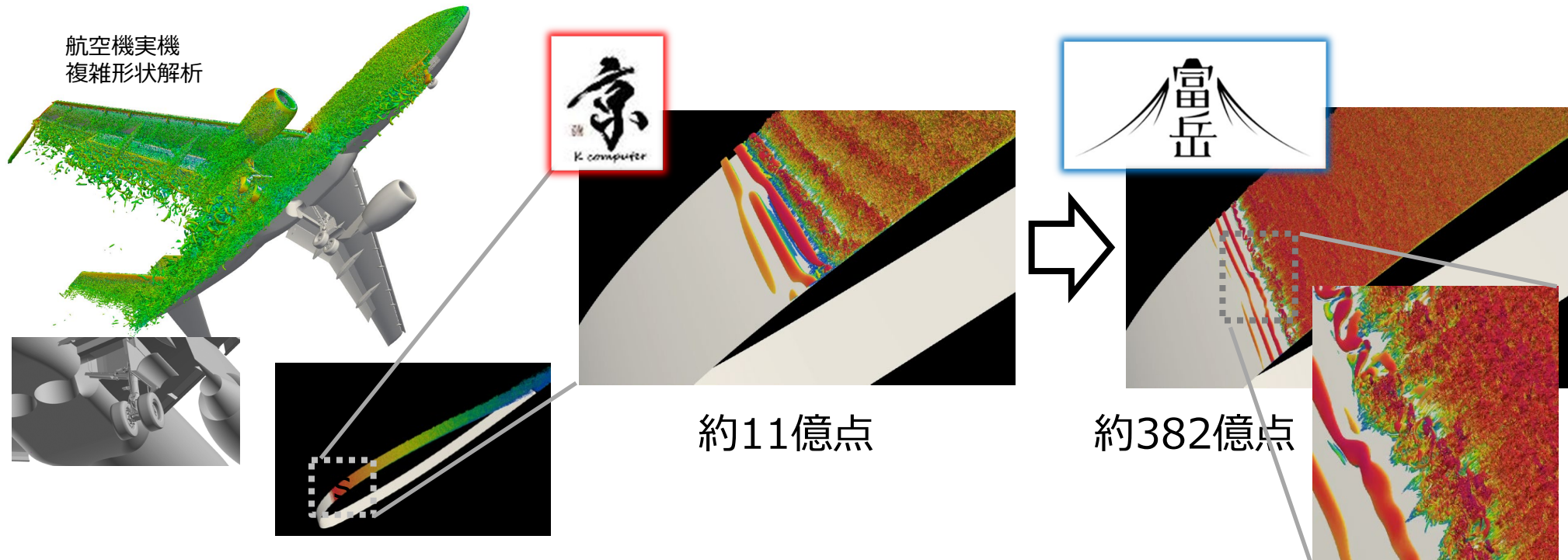
安定・高忠実な非散逸圧縮性計算スキームの開発

出典：2020年度 HPCIフォーラム資料
(2021/03/09)

「富岳」を活用した航空機の近未来型設計

(実施者：東北大学 等)

- 実機フライト試験を代替する新たな民間旅客機的设计開発プロセス技術の実証
- 「富岳」で初めて可能となる高忠実な実機・実飛行条件の解析に挑む



主翼の空気の流れを実飛行高レイノルズ数で大規模準直接解析に世界で初めて成功

- ✓ 実機フライト試験をスパコン上のシミュレーションで代替し、民間旅客機的设计開発期間・リスク・コストの抜本的削減を目指す。

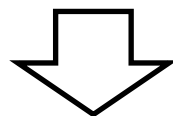
「富岳」は、（総合科学技術・イノベーション会議（CSTI）中間評価結果（2018年11月）等による）

■シミュレーションを中心にした計算科学の研究基盤

（科学的な面での成果創出（「京」時代から継続））

+

■Society 5.0実現への貢献、が新たに必要



理研は、「富岳」運用者の立場から対応するべく、計算科学研究センターに、
『**「富岳」 Society5.0推進拠点**』を新設（2021年4月、於：東京日本橋）
【拠点長：計算科学研究センターセンター長 松岡 聡】

目標「IT発で**Society5.0・SDGsへの貢献（ソリューションの提供）**の道筋を切り拓く」

- ・センター全体での「デジタルツインのシミュレーション」「シミュレーション・データ・AIの連携」の研究開発の強力な推進にあわせ、
- ・制度的・政策的動きとパッケージとなり、（必要に応じて提案をし、）
- ・**産業界など幅広い主体との連携**を創出・発展させ、
- ・**ソリューションの(試行的)創出**とそれをモデルにして**ソリューション創出を促進**
（新型コロナ対応プログラムでの実績や県市COE事業を活かして）
- ・そのため、**計算科学振興財団(FOCUS)、富士通**と、さらには**JSOL／理研数理との協働体制**

【機能・体制】

- ・ 理研計算科学研究センター(R-CCS)のSociety5.0対応の先鋒部隊であり、Society5.0を担うであろう**新たな主体との連携窓口**。
- ・ ノウハウを有する公益財団法人**計算科学振興財団との協働**チーム。
- ・ 立地を活かし新たな主体候補はもちろん、理化学研究所の本部・革新知能統合研究センター（AIP）、(株)理研数理等と円滑に連携。

お問合せ等は **r-ccs-s5support@riken.jp** へ。

ウェブ： <https://www.r-ccs.riken.jp/about/s5-office/>

【すでに始まっている関連動向】

- ・ **飛沫シミュレーション**にて、**迅速な産学官連携が新たに構築**され、成果を社会に発信。
(令和3年版科学技術・イノベーション白書にて好事例として紹介)
- ・ 「富岳」**政策対応枠で4件**が始動。
- ・ 文部科学省にて「富岳」利用制度の一つとして「**Society5.0推進枠**」（「富岳」計算資源の5%を割当）が**新設**され、詳細設計中。
- ・ 「富岳」公募制度にて**簡便な利用を可能**とする枠組み（申請から**2週間程度**で結果通知）が創設。
(一般財団法人高度情報科学研究機構が運営するウェブ参照。 <https://www.hpci-office.jp/>)

「富岳」の“クラウド”機能

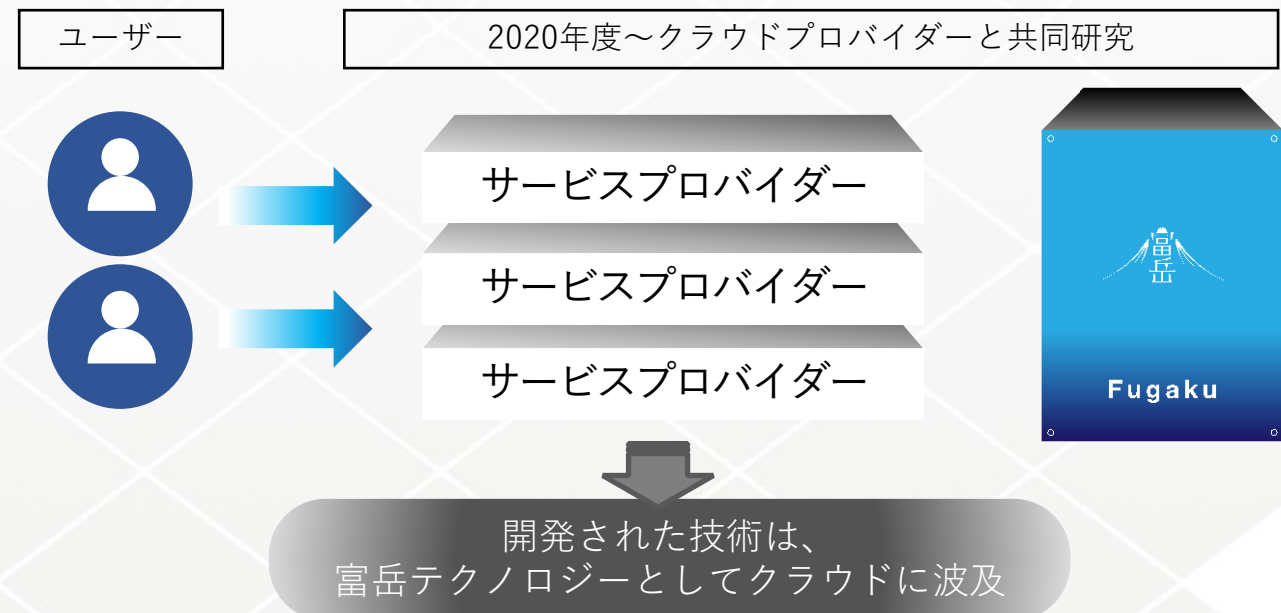
全ユーザーに提供するクラウド標準機能

- REST APIとVPNを用いたシームレスでセキュアなアクセス
- コンテナ技術を用いた仮想環境
- SINETを用いた広帯域なインターネットとの接続
- 富岳第2階層ストレージへの多様なアクセス方法の提供
- SINETクラウド接続サービスを用いたパブリッククラウドとの直接接続



富岳クラウドプラットフォーム Fugaku Cloud Platform (FCP)

- より使いやすく多様なサービスを提供
- 実現のためにサービスプロバイダーと共同研究を実施
- 各共同研究パートナーがバリューアッドなサービスを実証実験として展開。需要が見込めるサービスについては、富岳の正式サービス化を目指す
- 開発された技術は、富岳テクノロジーとしてクラウドに波及



富岳クラウドプラットフォーム Fugaku Cloud Platform(FCP)



- 富岳の全てのユーザは基本的なクラウド機能が標準のクラウドAPIで利用可能
- 更に2020年度「富岳クラウドサービス」のためクラウドプロバイダと共同研究を開始
- 富岳クラウド機能によるサービス基盤の構築と、その上での利用サービスの開発と実証
- 2021年度以降 本格運用へ
- 「HPCクラウドの売上は2023年に76億ドルになることが見込まれる」

<https://www.r-ccs.riken.jp/library/topics/200213.html>

出典: Worldwide Public Cloud Services Spending Will More Than Double by 2023, According to IDC 03 July 2019
International Data Corporation (IDC)

官民一体のスーパーArmクラウド
 同一クラウドユーザ環境・同一ソフトウェアスタック
 ユーザニーズに応じ資源を使い分け

例：企業は研究フェーズでは無料あるいは安価に富岳で行い、開発フェーズでは民間IDCや商用クラウドに同じ環境で移行し、コストをかけて秘匿性を守る
 スパコンによる最先端の計算技術の民間移行を容易に



理研・神戸R-CCS
 富岳



民間IDCでの
 FX1000/FX700の採用



商用クラウド
 例：Amazon EC2
 Arm Graviton2

FCPのサービスは現行の利用制度の範囲内で利用可能

- 利用者は、サービスプロバイダーが提供するサービスを経由して富岳を利用（ただし、富岳の利用（ジョブ／コマンド等の実行）は利用者本人によって利用者が持つアカウントの権限で実行）
- 必要に応じて、利用者とサービスプロバイダーが共同で課題申請することを想定（その場合、課題代表者は利用者であることが望ましい）

計算資源枠とFCPのコラボレーション例

“機動的課題” “試行課題”

一般利用枠と産業利用枠で募集される小規模な資源量の課題。随時申込が可能。

（Sクラス100万NH/年、SSクラス10万NH/年）

FCPのサポートにより、
HPC習熟度の低いユーザーも利用可能に

× FCP

“Society5.0推進枠(仮称)”

Society5.0の実現により、社会的に重要な課題の解決に直接的に資する取組（AI、スマートシティ、リアルタイムデータ活用等）を、「富岳」の機能・性能の活用により推進

FCPの多様なサービスで
「富岳」の新しい活用を推進

× FCP



Society 5.0 推進枠(仮称)*

*: 政策対応枠(枠外)より5%程度をSociety 5.0推進枠(仮称)として検討。