

# 参考資料



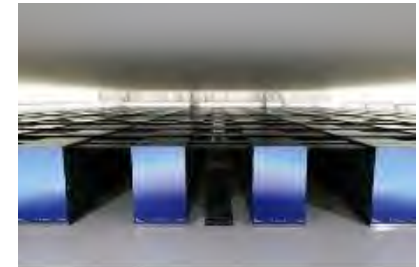


# スパコンは「創ってナンボ、使ってナンボ」



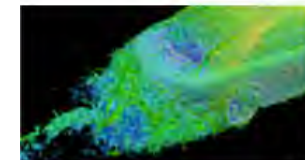
## ● 「創ってナンボ」

- 最先端のITをドライブ – ハイエンドCPU、超広帯域メモリ、超高速ネットワーク、超高速大規模ストレージ、超スケーラブルなアルゴリズム・ソフトウェア、超高性能ビッグデータ・AI。。。。
- 近年では民間でも国家並みの大規模スパコン・NVIDIA, Microsoft、GAFA…
- 富岳のA64FXは日本の半導体産業の復興



## ● 「使ってナンボ」

- Society5.0に代表される、国民の関心事の高い社会問題への適用
- 産業・ものづくりのあらゆる分野で活躍- おむつやトイレから最先端の自動車まで
- 富岳では新型コロナウイルス対策に活躍→産業への適用も
- **更に、現代ではその融合がイノベーションを生む => インフラへ**





# 世界のスーパーコンピュータを凌駕した「富岳」



- “アプリケーションファースト”による“ムーンショット”マシン開発に我が国を挙げて**挑戦!**
- 新規に開発された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。

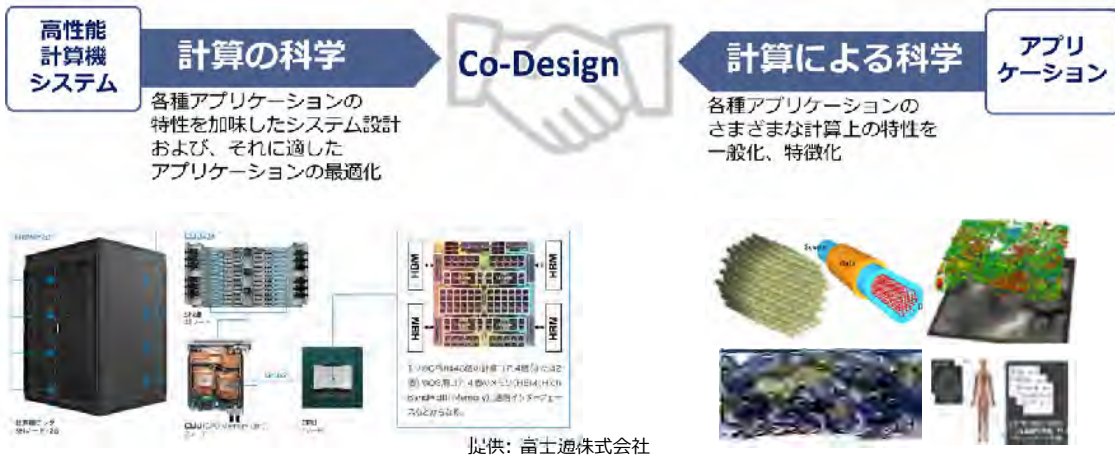


- 従来の米国製トップCPUの**3倍の性能**
- スマホで用いられる汎用Arm CPUの上位互換、あらゆるソフトに対応(パワポも)
- シミュレーションと共に**AI強化機能も**

全て同時達成はムーンショット的困難

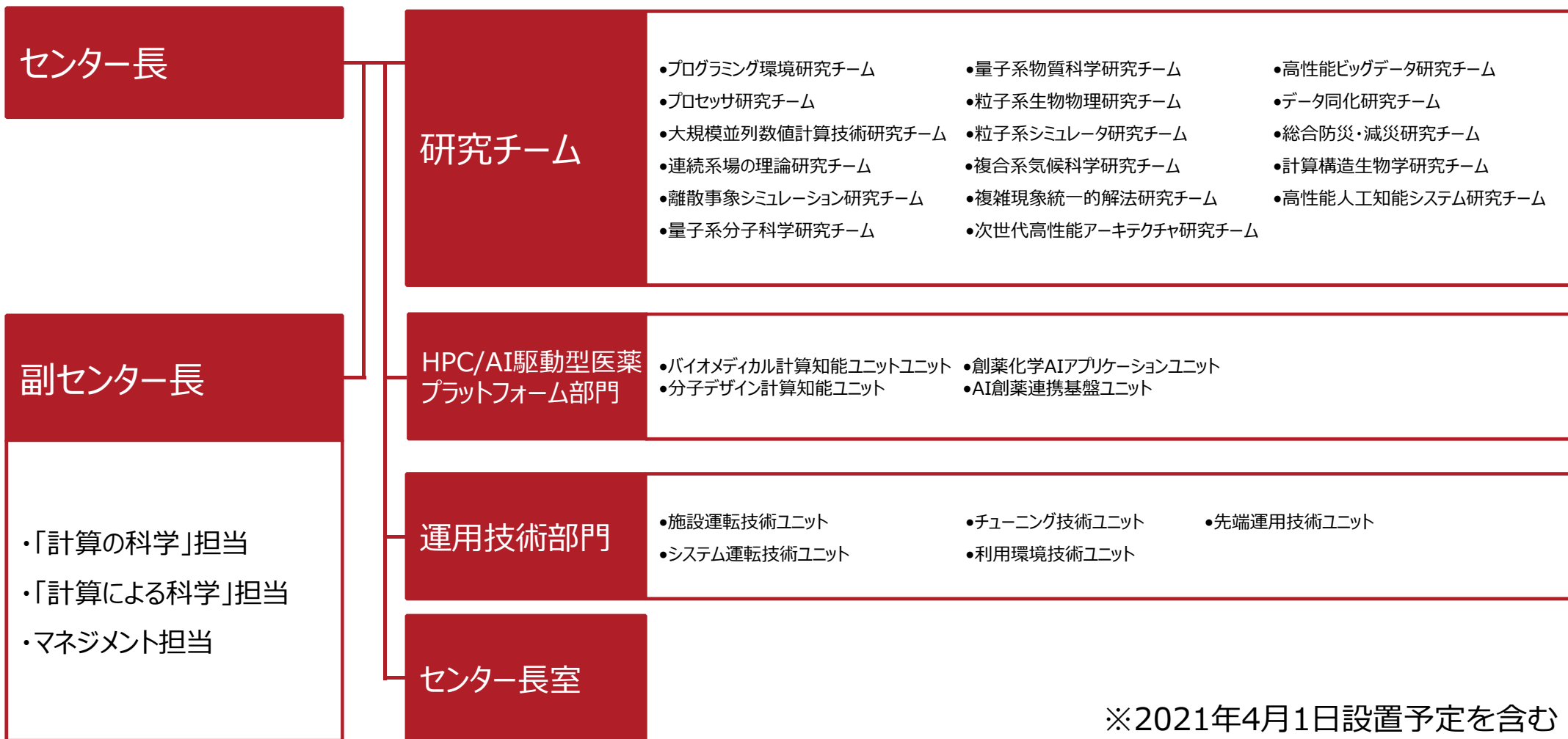
## ● コデザインで進められた「富岳」の開発

## ● 「富岳」2～3台で日本全体のITの1年分





# 理研 計算科学研究センターの組織



※2021年4月1日設置予定を含む



計算の科学



プログラミング環境  
研究チーム  
佐藤 三久



プロセッサ研究チーム  
佐野 健太郎



高性能人工知能  
システム  
研究チーム  
松岡 聡

複数の新チームを2021年度  
に立ち上げ予定



大規模並列  
数値計算技術  
研究チーム  
今村 俊幸



高性能ビッグデータ  
研究チーム  
佐藤 賢斗



次世代高性能  
アーキテクチャ  
研究チーム  
近藤 正章

HPCI/大学や海外、企業と  
の連携を更に強化

計算による科学



離散事象シミュ  
レーション  
研究チーム  
伊藤 伸泰



量子系分子科学  
研究チーム  
中嶋 隆人



量子系物質科学  
研究チーム  
柚木 清司



粒子系生物物理  
研究チーム  
杉田 有治



粒子系シミュレータ  
研究チーム  
牧野 淳一郎



複合系気候科学  
研究チーム  
富田 浩文



複雑現象統一的解法  
研究チーム  
坪倉 誠



連続系場の理論  
研究チーム  
青木 保道



総合防災・減災  
研究チーム  
大石 哲



データ同化  
研究チーム  
三好 建正



計算構造生物学  
研究チーム  
Florence TAMA

2021年4月1日設置予定

HPC/AI駆動型医薬  
プラットフォーム部門



バイオメディカル  
計算知能ユニット  
奥野 恭史



創薬化学AIアプ  
リケーション  
ユニット  
本間 光貴



分子デザイン計算  
知能ユニット  
池口 満徳



AI創薬連携基盤  
ユニット  
奥野 恭史

運用技術部門



施設運転技術  
ユニット  
塚本 俊之



システム運転技術  
ユニット  
宇野 篤也



チューニング技術  
ユニット  
南 一生



利用環境技術  
ユニット  
庄司 文由



先端運用技術  
ユニット  
山本 啓二

# 9つの「ポスト『京』重点課題」→多くの科学や社会への波及効果

① Innovative Drug Discovery



RIKEN Quant. Biology Center

② Personalized and Preventive Medicine



Inst. Medical Science, U. Tokyo

③ Hazard and Disaster induced by Earthquake and Tsunami




Earthquake Res. Inst., U. Tokyo

⑧ Innovative Design and Production Processes for the Manufacturing Industry in the Near Future




Inst. of Industrial Science, U. Tokyo

⑨ Fundamental Laws and Evolution of the Universe



CCS, U. Tsukuba

④ Environmental Predictions with Observational Big Data




Center for Earth Info., JAMSTEC

⑦ New Functional Devices and High-Performance




Inst. For Solid State Phys., U. Tokyo

⑥ Innovative Clean Energy Systems



Grad. Sch. Engineering, U. Tokyo

⑤ High-Efficiency Energy Creation, Conversion/Storage and Use



Inst. Molecular Science, NINS

1. 創薬
2. 生命科学
3. 複合災害予測
4. 気象・地球環境
5. エネルギー利用
6. クリーンエネルギー
7. デバイス・高性能材料
8. ものづくり
9. 基礎科学

これらに加え4つの萌芽的課題

1. 基礎科学
2. 社会経済現象
3. 太陽系内外惑星形成
4. 神経回路・人工知能



# 新型コロナウイルス対策に関する貢献

## - Society5.0的社會要求に対する迅速な対応 -



### 「富岳」による 新型コロナウイルスの治療薬候補同定

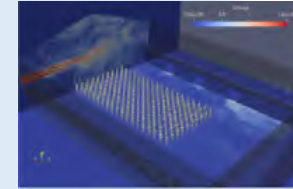


分子動力学計算により、約2000種の既存医薬品の中から、新型コロナウイルスの標的タンパク質に高い親和性を示す治療薬候補を探索・同定する。

(課題代表者；理化学研究所/京都大学 奥野 恭史)

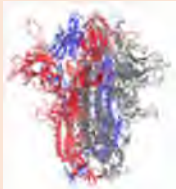
### 室内環境におけるウイルス飛沫感染の 予測とその対策

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

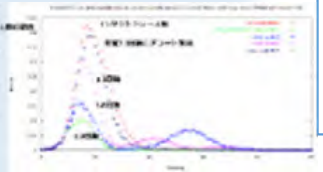


クライオ電子顕微鏡によって解かれたウイルス表面タンパク質の立体構造を初期モデルとして、その立体構造の動きを「富岳」を用いた分子動力学計算で予測する。

(課題代表者；理化学研究所 杉田 有治)

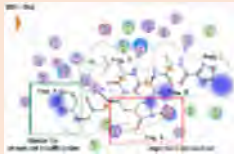
### パンデミック現象および対策の シミュレーション解析

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

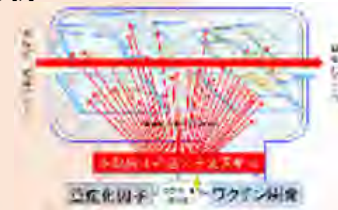


新型コロナウイルス関連タンパク質に対するフラグメント分子軌道計算を系統的に実施し、詳細な相互作用解析を行う。

(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)

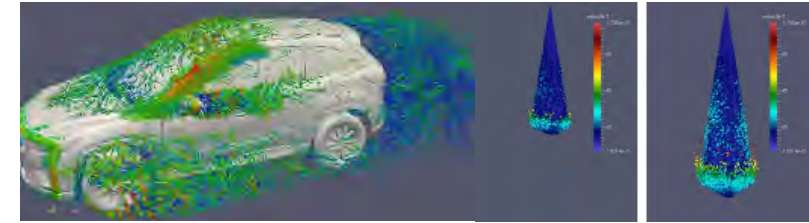


# フェースシールドの効果(坪倉チーム)



## フェースシールドの飛沫防御効果と飛散抑制効果 (マスクの代替)

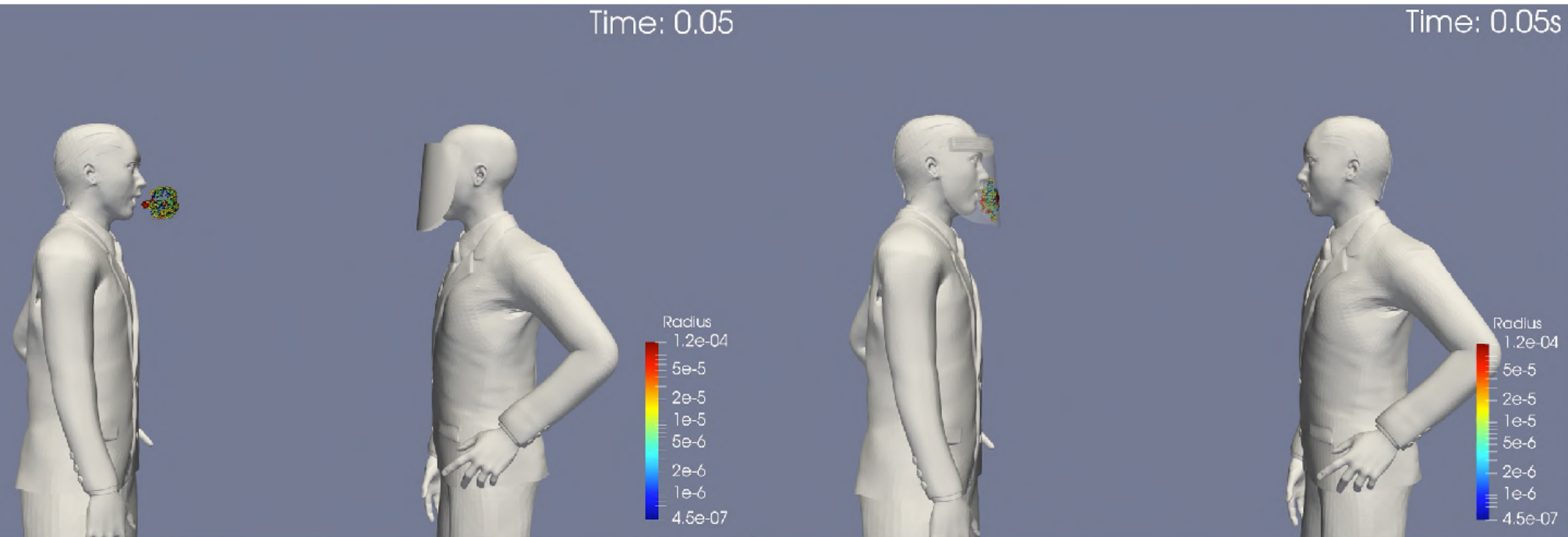
- 咳をした場合で検証
- 鼻と口で同時呼吸を想定.
- 色は飛沫のサイズ (赤 : 百マイクロン, 青 : 0.5マイクロン)



## 富岳の重点課題や成果創出プログラムでの流体・燃料噴射シミュレーションのCUBEを転用

感染者からの飛沫を防御する効果

感染している場合の飛沫の飛散を防御する効果 (マスクの代替)







# スパコンによる統合的飛沫感染リスク評価システムの開発と社会実装

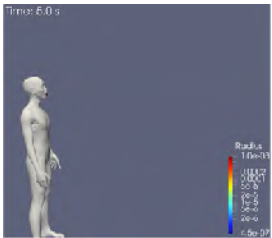
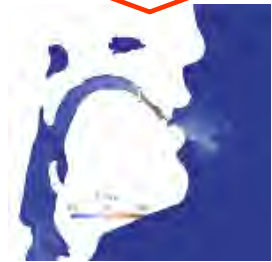


(坪倉ら、高度化+JST-CREST) 「ヒトはどのように、どのような確率で感染するか」

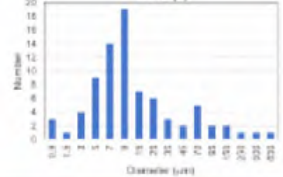
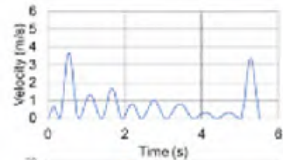
## 統合的飛沫感染リスク評価システムの概要

### 飛沫発生モデル

感染者の飛沫発生条件  
(呼吸, 発話, 咳...)

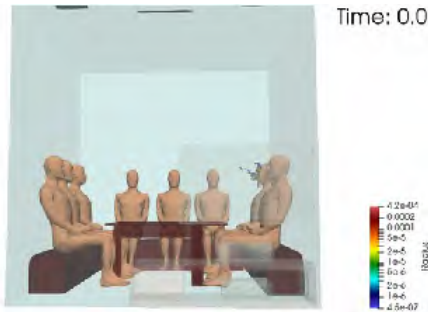


気流速度・粒径分布データ

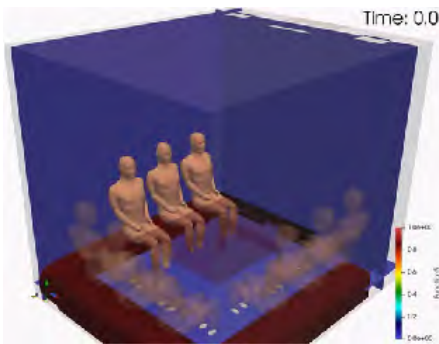


### 室内飛沫・エアロゾル飛散モデル

室内環境情報+人の配置状況



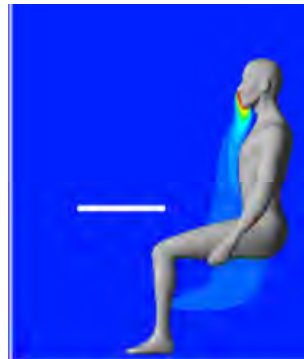
高精度気流・飛沫連成解析



高精度乱流シミュレーションに基づく室内空気質評価

### 数値人体モデル

被感染者の生体情報データ



人体吸気の精密な再現

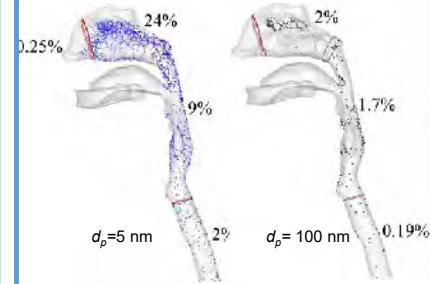


### 数値気道モデル

被感染者の生体情報・吸気状態



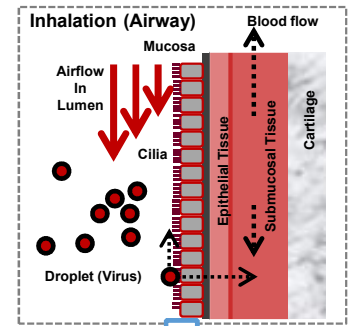
鼻腔・口腔から気管支まで再現



飛沫粒径に応じた気道内沈着分布の高精度予測

### 感染リスク推定モデル

被感染者の生体情報・対象ウイルスデータ



Bioregulation

(Host cells, Pathogen, Adaptive Immune System)

$$\frac{dT_T}{dt} = -\beta_T T_I V - \phi F T_T + \xi R \frac{dR}{dt} \quad (\text{Target Cells})$$

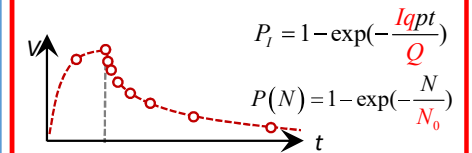
$$\frac{dI}{dt} = \beta_I T_I V - \kappa_F I F - \kappa_E I T_C - \delta_X I \quad (\text{Infected Cells})$$

$$\frac{dV}{dt} = \beta_E I - \delta_V V - \kappa_V V A \quad (\text{Virus})$$

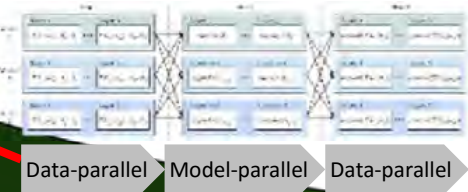
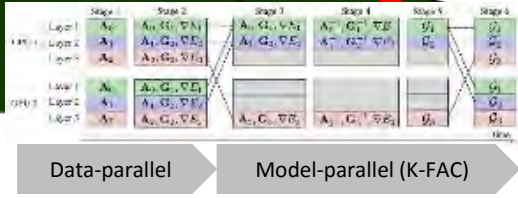
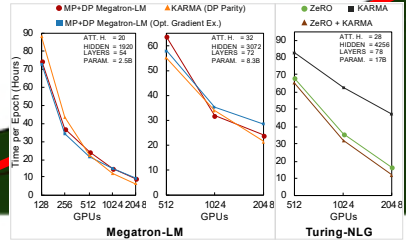
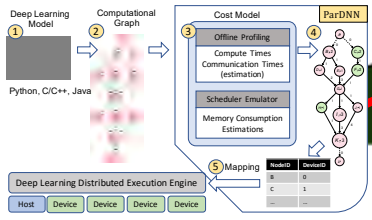
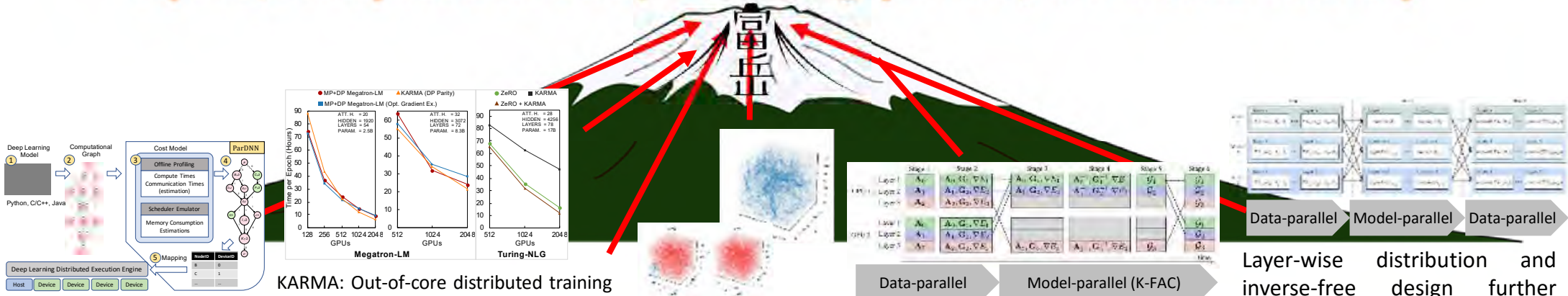
$$\frac{dF}{dt} = \beta_F I - \kappa_A F \quad (\text{Interferon})$$

$$\frac{dT_H}{dt} = \left[ \frac{\pi_{H2} D_M}{\pi_{H2} + D_M} \right] (1 - T_H / K_H) - \left[ \frac{\delta_{H2} D_M}{\delta_{H2} + D_M} \right] T_H \quad (\text{Helper T Cells})$$

感染リスクの定量評価



# Exploring and Merging Different Routes to O(100,000s) Nodes Deep Learning (SatoK, Matsuoka Teams)

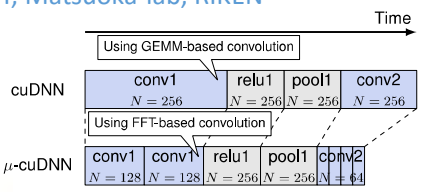


KARMA: Out-of-core distributed training (pure data-parallel) outperforming SoTA NLP models on **2K GPUs** [2]  
 AIST, Matsuoka-lab, RIKEN

A model-parallel **2nd-order method (K-FAC)** trains ResNet-50 on **1K GPUs** in 10 minutes [4]

Layer-wise distribution and inverse-free design further accelerate K-FAC [5]  
 UT Austin, UChicago, ANL

Non-intrusive graph-based partitioning strategy for large DNN models achieving superlinear scaling [1]  
 AIST, Koc U.



**Model-parallelism** enables 3D CNN training on **2K GPUs** with 64x larger spatial size and better convergence [3]  
 TokyoTech, NVIDIA, RIKEN, AIST

Layer-wise loop splitting accelerates CNNs [6]  
 Matsuoka-lab, ETH Zurich

Matsuoka-lab, LLNL, LBL, RIKEN

MocCUDA: Porting CUDA-based Deep Neural Network Library to A64FX and (other CPU arch.)  
 RIKEN, Matsuoka-lab, AIST

Engineering for Performance Foundation

## Merging Theory and Practice

Porting High Performance CPU-based Deep Neural Network Library (DNNL) to A64FX chip  
 Fujitsu, RIKEN, ARM



[1] M. Fareed et al., "A Computational-Graph Partitioning Method for Training Memory-Constrained DNNs", Submitted to PPOPP21  
 [2] M. Wahib et al., "Scaling Distributed Deep Learning Workloads beyond the Memory Capacity with KARMA", ACM/IEEE SC20 (Supercomputing 2020)  
 [3] Y. Oyama et al., "The Case for Strong Scaling in Deep Learning: Training Large 3D CNNs with Hybrid Parallelism," arXiv e-prints, pp. 1–12, 2020.  
 [4] K. Osawa, et al., "Large-scale distributed second-order optimization using kronecker-factored approximate curvature for deep convolutional neural networks," Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., vol. 2019-June, pp. 12351–12359, 2019.  
 [5] J. G. Pauloski, Z. Zhang, L. Huang, W. Xu, and I. T. Foster, "Convolutional Neural Network Training with Distributed K-FAC," arXiv e-prints, pp. 1-11, 2020.  
 [6] Y. Oyama et al., "Accelerating Deep Learning Frameworks with Micro-Batches," Proc. IEEE Int. Conf. Clust. Comput. ICC, vol. 2018-September, pp. 402–412, 2018.



# Fugaku HPL-AI Results Comparisons



- Compute units utilized (FP16)
  - A64FX: 32-element vector FP16 & FP64 mixed precision
  - GPUs: FP16 Matrix Engine (Tensor Core) & FP64 mixed precision
- FP16 vast difference in efficiency, while FP64 efficiency similar
- See our latest paper “Matrix Engines for High Performance Computing: A Paragon of Performance or Grasping at Straws?”  
<https://arxiv.org/abs/2010.14373>
- We will also release our code as OSS RSN to become a standard like HPL

	Main Processor	HPL-AI Measured Performance	FP16 Peak Performance (full machine)	Efficiency	HPL-AI Performance /Chip	Top500 /Linpack FP64 Measured Performance	FP64 Peak Performance	Efficiency
1. Fugaku	Fujitsu A64FX	<b>2.00 EF</b>	<b>2.14 EF</b>	<b>93.2%</b>	<b>12.6TF</b>	442.01 PF	537.21 PF	82.3%
2. Summit	NVIDIA V100	<b>0.55 EF</b>	<b>3.46 EF</b>	<b>15.9%</b>	<b>19.9TF</b>	148.60PF	200.79 PF	74.0%
3. Selene	NVIDIA A100	<b>0.25 EF</b>	<b>2.55 EF</b>	<b>9.8%</b>	<b>30.6TF</b>	63.46 PF	79.22 PF	80.1%

Note: Selene node count based on prerelease info<sup>41</sup>



Press releases

> 2020

> 2019

> 2018

> 2017

> 2016

> 2015

> 2014

> 2013

> 2012

> 2011

> 2010

> 2009

> 2008

> 2007

## Fujitsu, AIST, and RIKEN Achieve Unparalleled Speed on the MLPerf HPC Machine Learning Processing Benchmark Leveraging Leading Japanese Supercomputer Systems

**Fujitsu Limited, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, RIKEN**

**Tokyo, November 19, 2020**

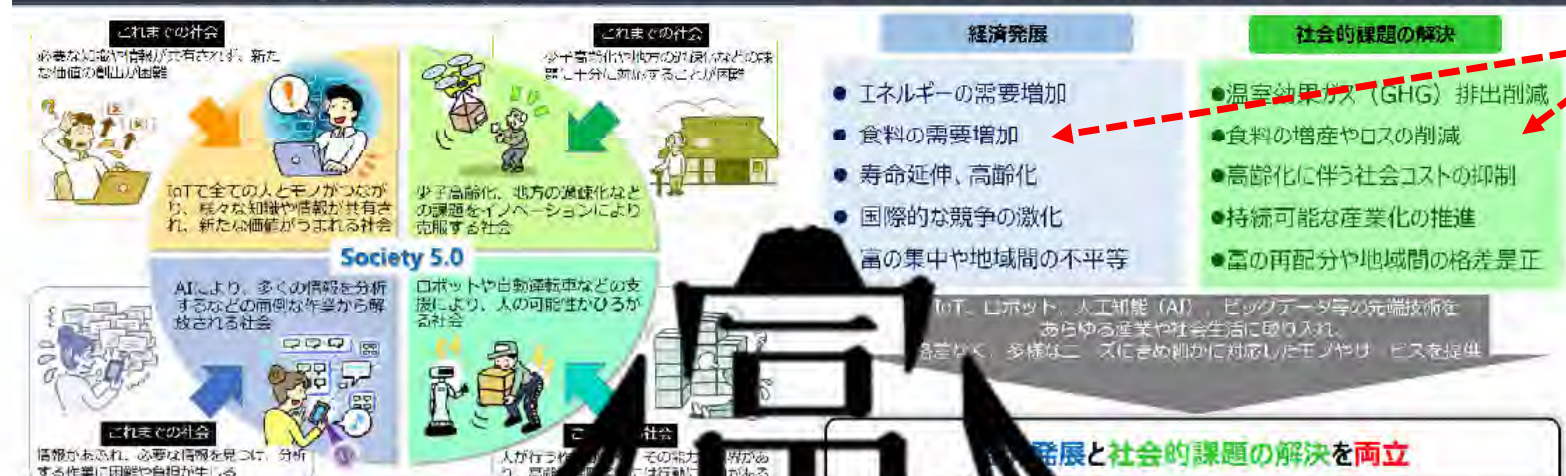
Fujitsu, the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), and RIKEN today announced a performance milestone in supercomputing, achieving the highest performance and claiming the ranking positions on the MLPerf HPC benchmark<sup>(1)</sup>. The MLPerf HPC benchmark measures large-scale machine learning processing on a level requiring supercomputers, and the parties achieved these outcomes leveraging approximately half of the "AI-Bridging Cloud Infrastructure" ("ABCI") supercomputer system, operated by AIST, and about 1/10 of the resources of the supercomputer Fugaku, which is currently under joint development by RIKEN and Fujitsu.

Utilizing about half the computing resources of its system, ABCI achieved processing speeds 20 times faster than other GPU-type systems. That is the highest performance among supercomputers based on GPUs, computing devices specialized in deep learning. Similarly, about 1/10 of Fugaku was utilized to set a record for CPU-type supercomputers consisting of general-purpose computing devices only, achieving a processing speed 14 times faster than that of other CPU-type systems.

The results were presented as MLPerf HPC v0.7 on November 18th (November 19th Japan Time) at the 2020 International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis (SC20) event, which is currently being held online.

# Society 5.0における「富岳」の中心的役割

## Society 5.0で実現する社会 経済発展と社会的課題の解決を両立する「Society 5.0」へ



富岳の「重点課題」「成果創出」とほぼ一致

## 経済発展と社会的課題の解決を両立 サイバー空間・フィジカル空間の高度な融合

イノベーションで創出される新たな価値により、格差なくニーズに対応したモノやサービスを提供することで、**経済発展と社会的課題を解決**を両立

フィジカル（現実）空間からセンサーとIoTを通じてあらゆる情報が集積（ビッグデータ）人工知能（AI）がビッグデータを解析し、高付加価値を**仮想空間**にフィードバック



「サイバーフィジカル」「デジタルツイン」等は正にシミュレーションそのもの

富岳はシミュレーション、ビッグデータ、AIの全てで世界一



# 「富岳」の政策的目標と実現に向けて



「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））

+

## ■ Society5.0実現への貢献、が新たに必要



新しい政策的目標の実現のため実施すべきこと

- ✓ Society5.0を担うユーザーへの利用拡大を図る
- ✓ それらユーザーが利活用できる環境整備（富岳の高度化）を、運用期間を通じて強力に行う

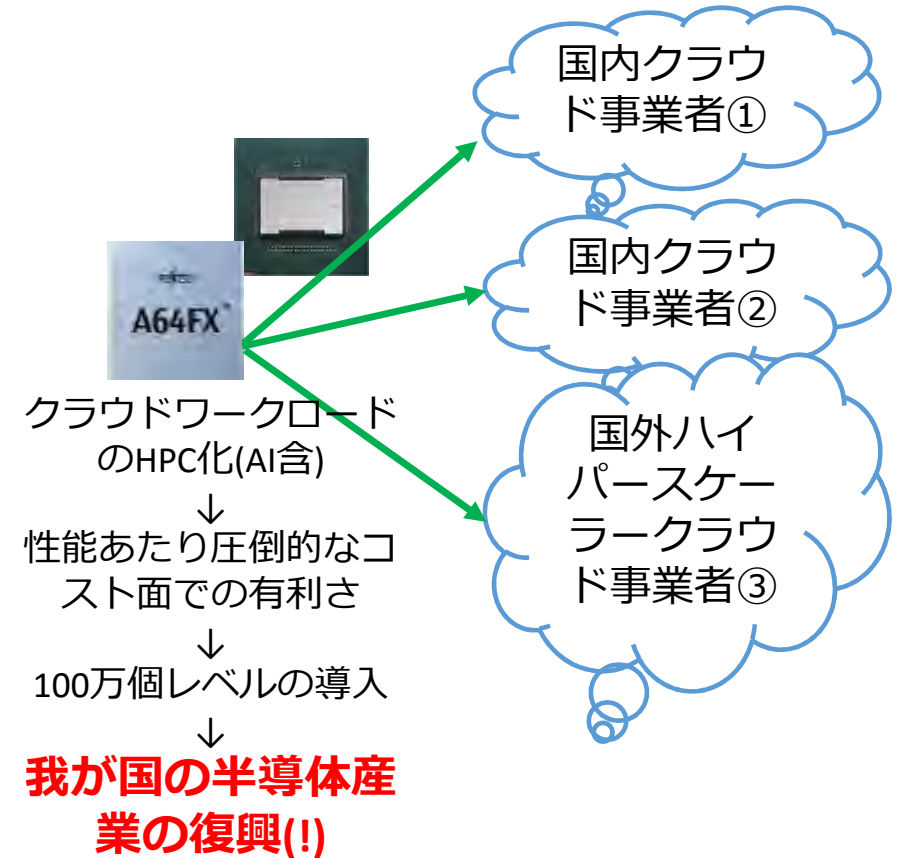
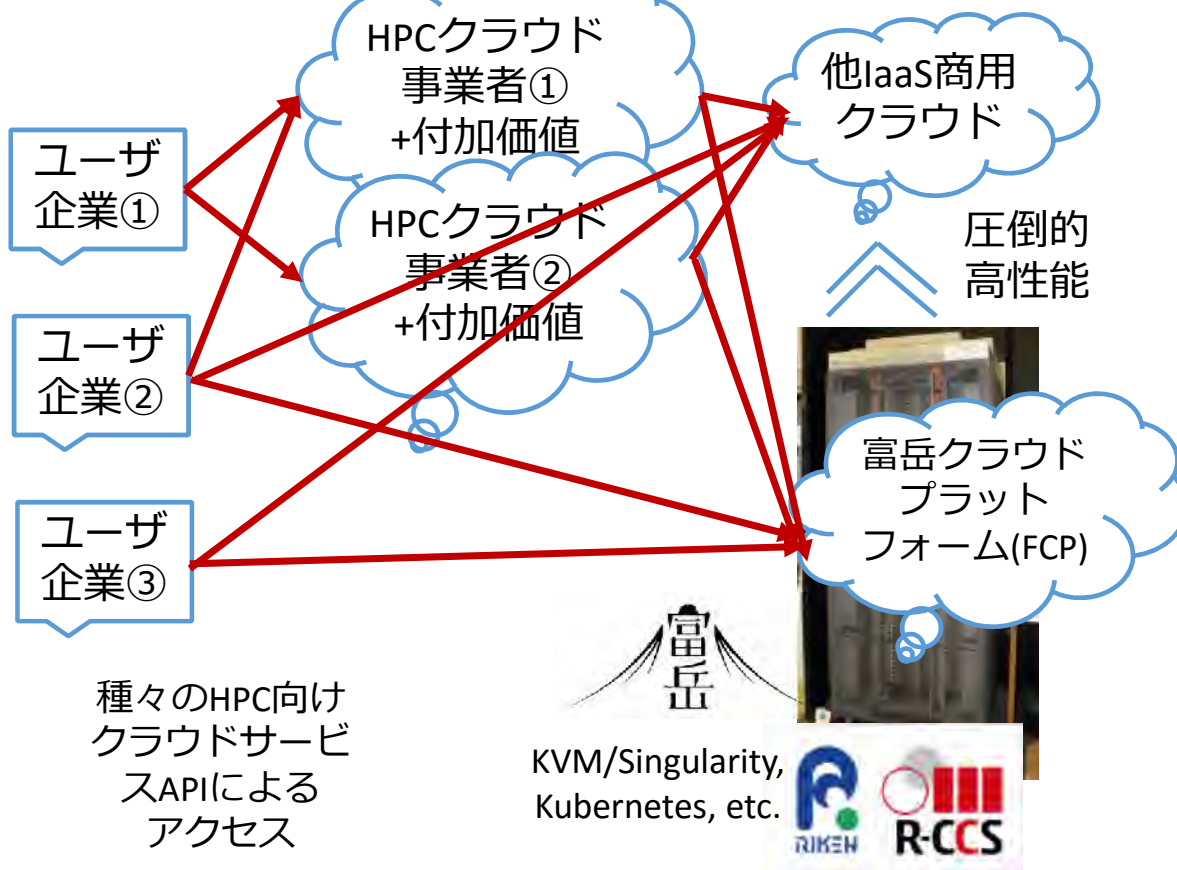


- 「富岳」 Society5.0推進枠と連動したパッケージ対応
  - ・ Society5.0に対する「富岳」の技術的取り組み
  - ・ Society5.0を担う潜在的ユーザーとの関係構築・発展
  - ・ ノウハウを有する機関（計算振興財団等）との協働
  - ・ 従来の企業利用枠（10%）に加えて更に5%を割りあて
- パッケージ対応のハブとなる拠点設置（コレド日本橋）など体制強化
- 「富岳」での新型コロナウイルス対策に関する研究を通じてノウハウ蓄積、その後も試行錯誤的な取組を建設的に行って手法確立へ
- 兵庫県・神戸市との連携

# 富岳のクラウド戦略

- HPCクラウド事業者と協業した富岳のIaaSとしてのクラウドAPIの整備、それを通じた企業等からの利用

- 富岳で研究開発されたA64fxおよびその派生Arm CPUのハイパースケールクラウドへの展開





# 「富岳」の“クラウド” 機能

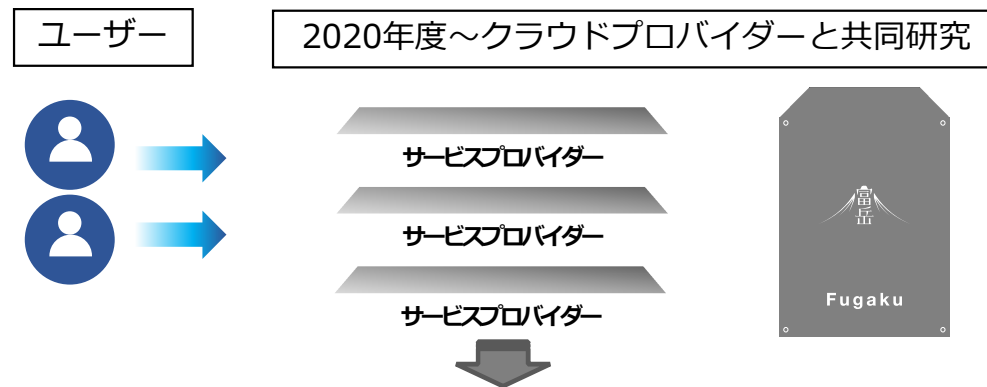


## 全ユーザーに提供するクラウド標準機能

- REST APIを用いた遠隔操作
- 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
- 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。2021年度以降本格運用へ
- 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



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」

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

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



# (参考) 事例1 – アルテアエンジニアリング株式会社

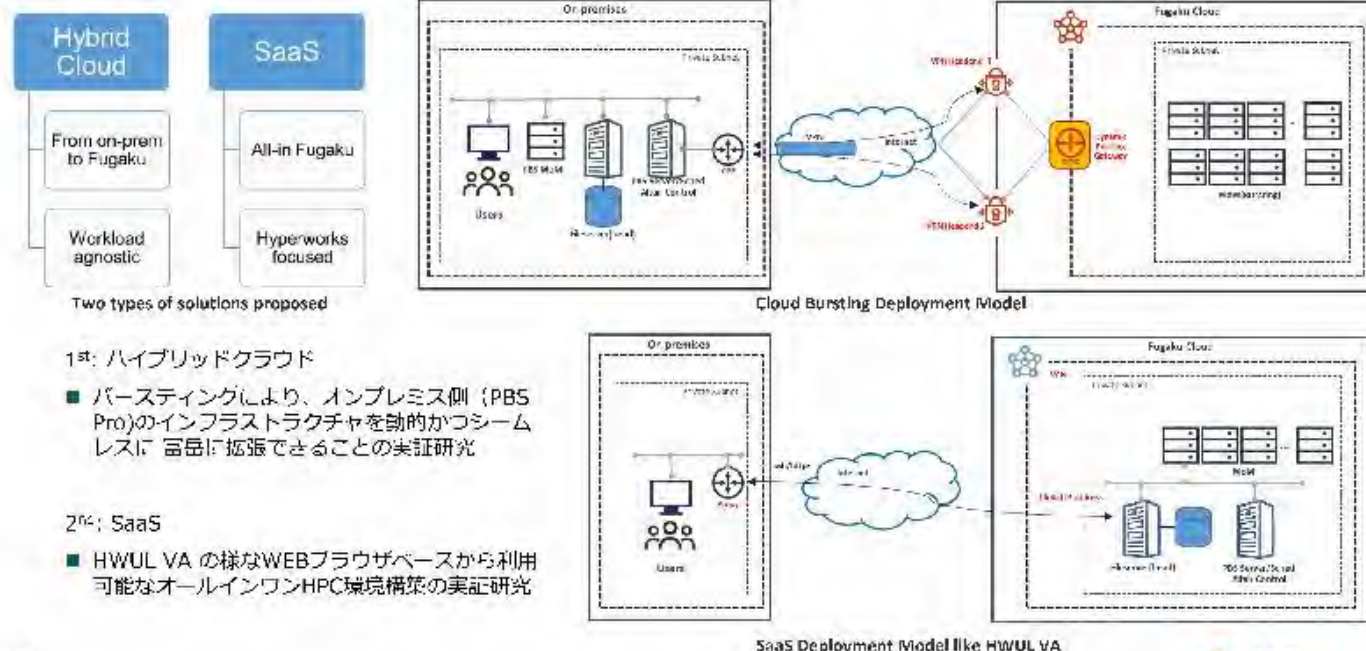


## “ヴォージュプロジェクト: Altair PBS WorksとRadiossを使用した富岳でのクラウド利用の共同研究”

### FCP構築へのアプローチ:

- RadiossのA64FX™へのポータリング、チューニング
- 「富岳」向けOpenStackへの Cloud Bursting機能の開発、インテグレーション
- Altair Access (WEBポータル) の Armへのポータリング及び PBS Pro とRadiossのインテグレーション
- Altair HWUL-VAと同等のクラウドサービスの構築、Radioss および最終的に他のオープンソースソルバー (OpenFOAM、ParaView) のインテグレーション

### 提案構成イメージ図



4





# (参考) 事例2 – エクストリーム-D株式会社



## “AXXE-L by XTREME-D とスーパーコンピューター富岳の接続実証実験”

### 開発項目 (主な機能抜粋) :

- AXXE-L UI の改良  
(富岳へのアクセスの簡略化)
- JupyterLab版「富岳」利用テンプレート  
(主にジョブサブミットと利用状況把握)
- 高速データ転送および管理  
(エクストリーム-D社DC  
←→FUGAKU←→顧客環境)

©2021 XTREME-D, INC. All Rights Reserved.

### AXXE-L プラットフォーム 概要ご紹介

・ オンプレミス環境を尊重したAll-in-Oneプラットフォームこそが 長期にわたり顧客が選択出来るプラットフォーム

利用者向け 実装機能	Jupyterによる 統合開発・実行環境	仮想デスクトップ 機能	AI データ分析 実行環境	エンドユーザーの 使い勝手を逸脱せずに 業界標準+OSSを 多用し開発
	リソース管理 スパコン選択機能	利用状況管理 レポート機能	ユーザーグループ 管理機能	エンタープライズに必要な機能と セキュリティを 維持するために 100%自社開発

顧客環境を尊重し高性能クラウドスパコンをつなぐ All-in-One プラットフォーム API

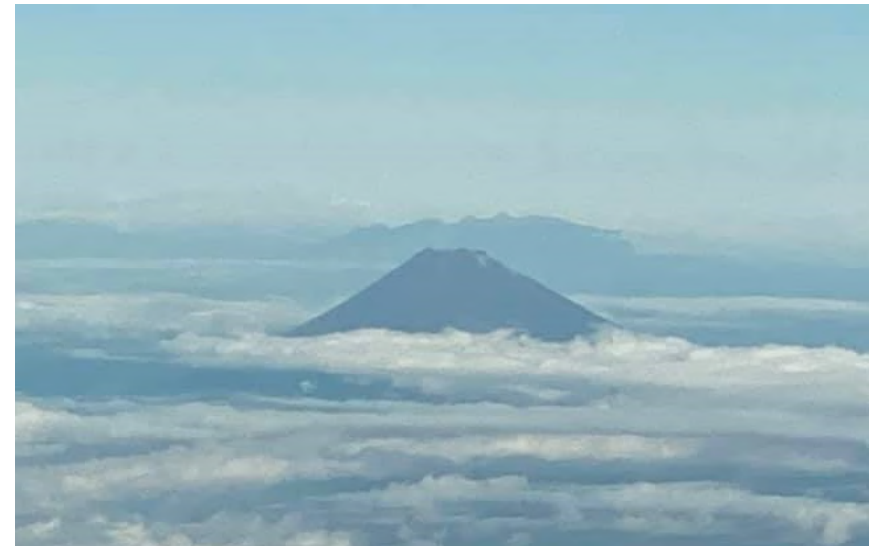
AXXE-L Managed IaaS	顧客データセンター オンプレミス環境	富岳 スーパーコンピューター	顧客が既存で利用中の パブリッククラウド
---------------------	-----------------------	-------------------	-------------------------

XTREME-D, INC.

# HPCIにおける計算資源

- フラッグシップ：「京」⇒「富岳」
- 第二階層資源（9大学+2国研）
- HPCIは富岳を中心とするが、その周辺で各計算規模・計算種類・計算手法を網羅的に支える第二階層資源が重要
- 2019年8月に「京」が停止してから「富岳」がスタートするまでは第二階層資源がHPCIを支えた
- 「富岳」が独立峰ならば、第二階層資源は「八ヶ岳」  
（八ヶ岳という山はないが数々の特徴的な連山が八ヶ岳を構成している）

「○○を中核とする…」が復活  
⇒ 「富岳」共用開始により主役が戻る



手前に富士山、後方に八ヶ岳を望む  
(写真提供：九州大学・安浦寛人先生)

# HPCI、High Performance Computing Infrastructure、とは

- HPCIは「富岳」をはじめとし、大学・研究機関のスーパーコンピューターや共用ストレージをNIIが設置・運用する高速な学術ネットワーク(SINET-5)で結び、シングルサインオンで利用できるスーパーコンピューティング環境。
- RISTが各機関から計算資源の提供を受け、これを利用するプロジェクトの募集・選定、利用者の支援・成果の発信を実施。

理研 R-CCS  
「富岳」



## SINET5

- : SINET Router
- : domestic line (100 Gbps)
- : domestic line (400 Gbps)
- : international line (100 Gbps)



筑波大学  
Cygnus



東京工業大学  
TSUBAME3.0



大阪大学  
OCTOPUS



九州大学  
ITO System



北海道大学  
Grand Chariot



東北大学  
AOBA-A



JCAHPC  
Oakforest-PACS



東京大学  
Oakbridge-CX



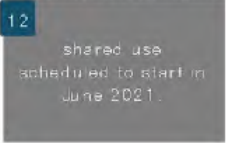
名古屋大学  
"Flow" Type 1



京都大学  
Cray XC40



海洋研究開発機構  
Next Generation Earth Simulator



産総研  
ABCI



# 世界に誇るHPCI

## ■ HPCIは世界に類をみないスーパーコンピューティング環境

2021年度に利用できる計算機資源の総量

**250 PFlopsx年**

高信頼の二重化共用ストレージ

**45.0 PB**

**HPCI** High Performance Computing Infrastructure

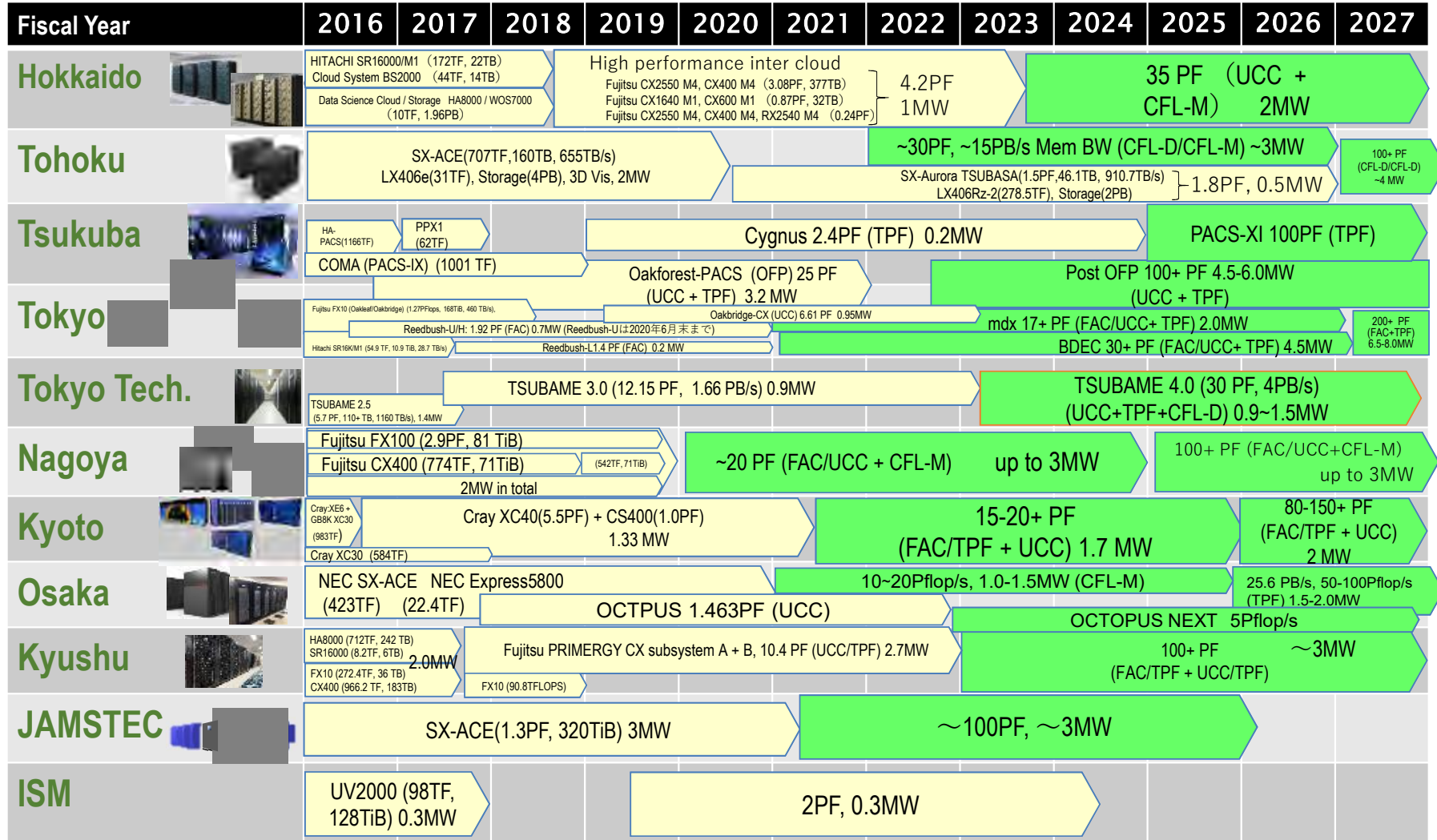
### 「富岳」の資源配分の考え方

スーパーコンピュータ「富岳」利活用促進の基本方針 文科省 令和2年7月17日



学術利用だけでなく、産業利用も積極的に推進

# HPCI 第二階層システムロードマップ(2020年11月現在)



Power is the maximum consumption including cooling



# 計算の 計算による 計算のための科学



## 理研 計算科学研究センター (R-CCS)

理研の12研究センターの一つであると同時に  
高性能計算科学における国家「知の拠点」センター



新しいコンピュータ・  
アーキテクチャや  
計算モデル

新しいデバイスの  
ためのアルゴリズムや  
プログラミングモデル

### 計算のための科学

さまざまな科学分野との連携により  
高性能計算を進化させる

光・量子・再構成可能コンピューティング・ニューロモル  
フィックコンピューティングなど、新しいコンピュ  
ーティングの概念を支える材料やデバイスの開発

新しいコンピューティング  
技術のための解析や  
シミュレーション

理研の他の研究センター  
および国内外の大学・  
研究機関との連携

R-CCSが橋頭保的な役割

新しいコンピューティング  
技術による計算の高度化

### 相乗効果と融合

### 計算の科学

高性能計算の本質となる  
コンピューティング技術の研究

ポストムーア時代を見据えた新たなコンピューティング技術、  
アーキテクチャ、アルゴリズム等の開発やプログラミング手  
法、ソフトウェア、計算機の運用技術、ビッグデータ・  
人工知能(AI)への対応を実現する手法  
の開発、など

### 計算による科学

高性能計算を活用し  
科学・社会の課題解決を目指す研究

高信頼性かつ高精度な解析・シミュレーションを用いた、  
生命科学、工学、気象・気候、防災・減災、物質科学、宇  
宙・素粒子物理学や社会科学などの研究、来る  
べきSociety5.0社会に向けた機械学  
習の応用開発など

高度な計算科学技術をもつ  
人材の育成

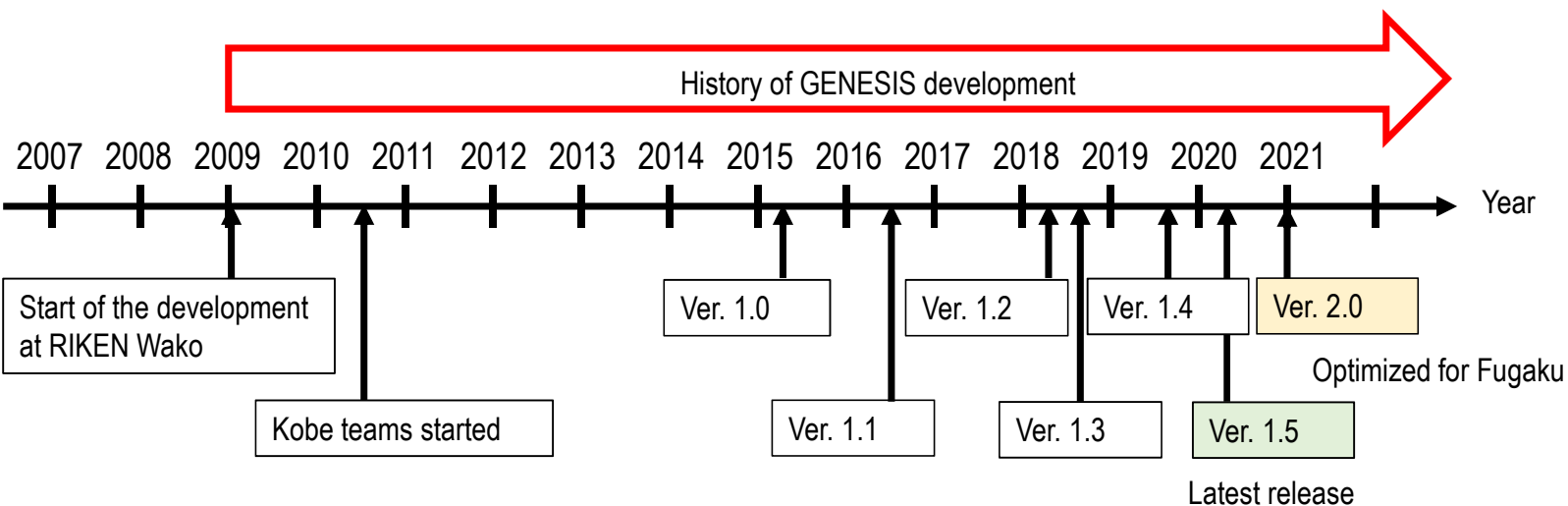
産業界との連携





# MD software GENESIS(重点課題・成果創出)

- GENESIS has been developed in RIKEN 理研で開発中のソフトウェア GENESIS
- It allows high-performance MD simulations on parallel supercomputers like K, Fugaku, Tsubame, etc.
- It is free software under LGPL license. フリーソフトウェアとして公開中

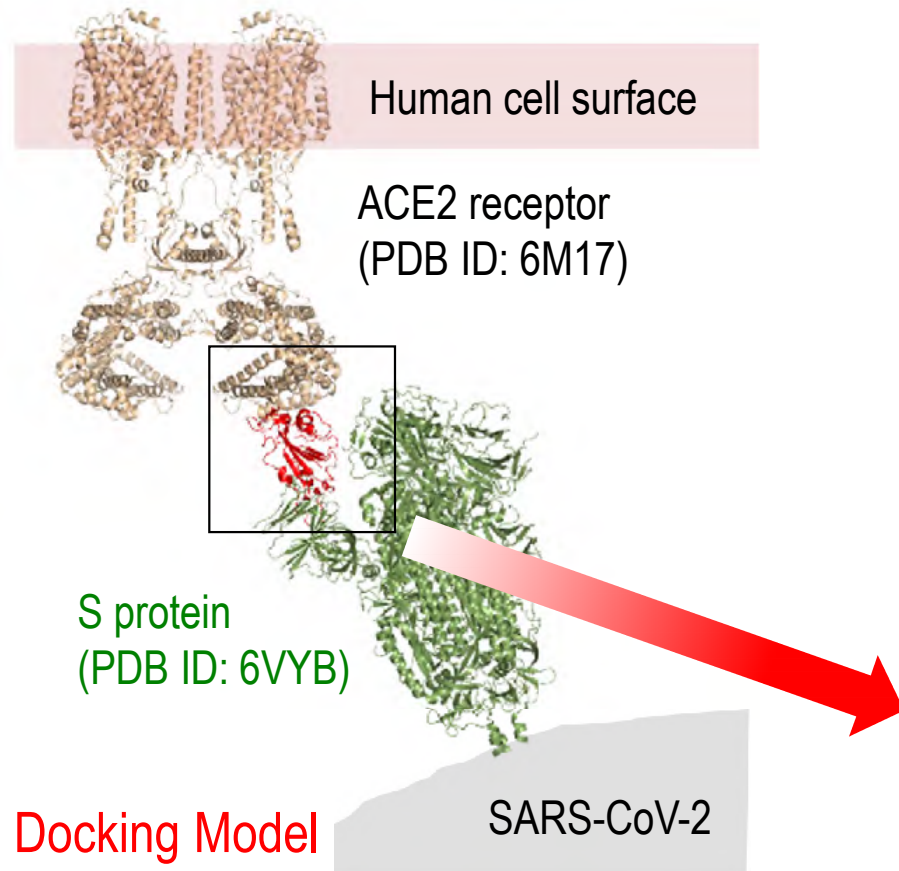


GENESIS developers

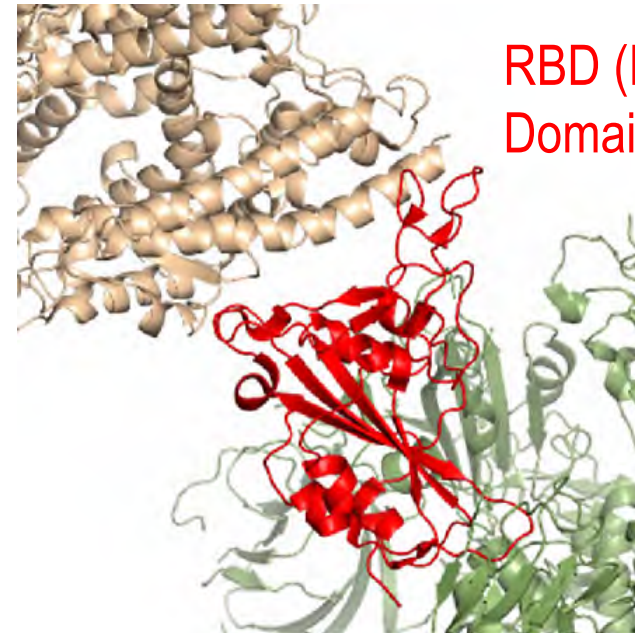


<https://www.r-ccs.riken.jp/labs/cbrt/>

# Entry of SARS-CoV-2 into Human Cell

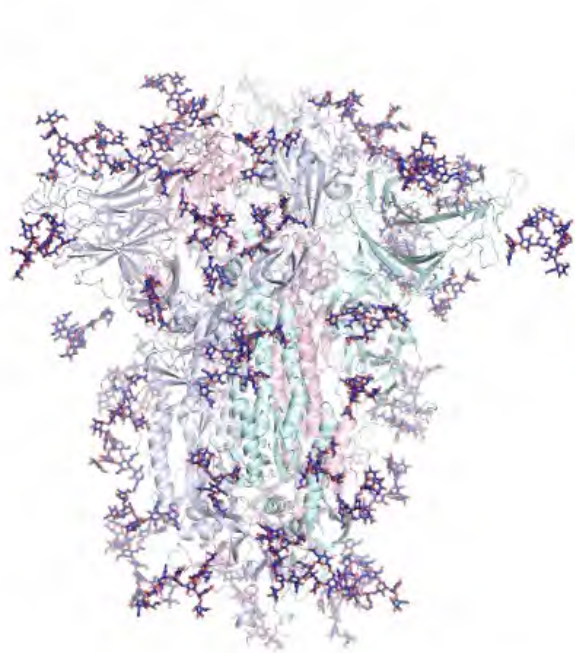


- ウイルス表面 ⇒ Spike protein (S-protein)
- ヒト細胞表面 ⇒ ACE2 receptor

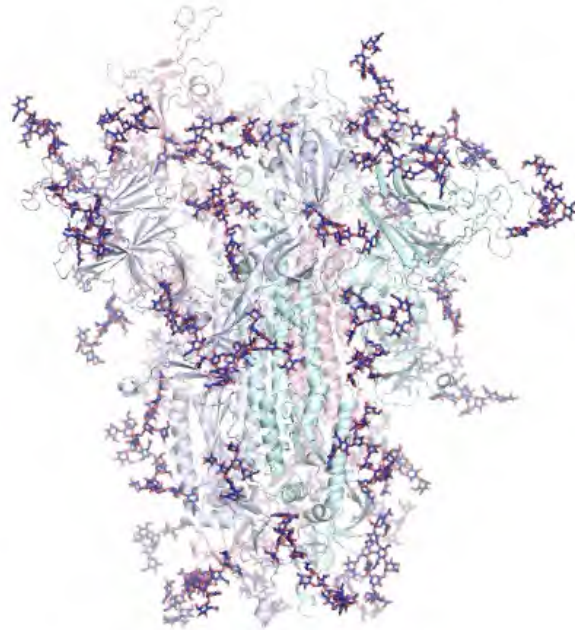


# Simulation models of SARS-CoV-2 S-protein

1  $\mu$ s-simulations starting from inactive down and active up forms



Inactive (Down)

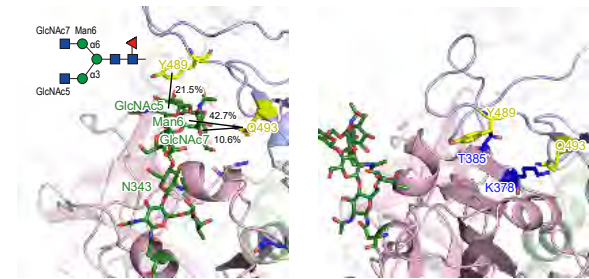


Active (Up)

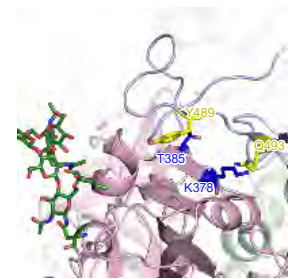
RBD in chain A takes up form

Spike proteinと周囲の水分子を合わせると70万原子を超える巨大な系になる。「富岳」の演算能力を使って高速な計算を実現した。

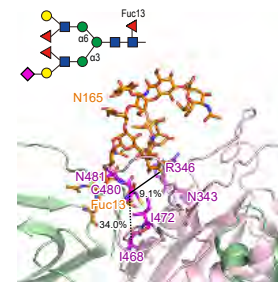
Predicted glycan-protein interactions



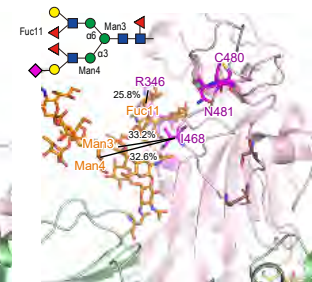
N343 in Down



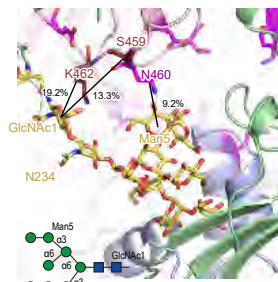
N343 in Up



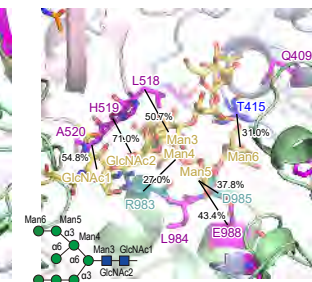
N165 in Down



N165 in Up

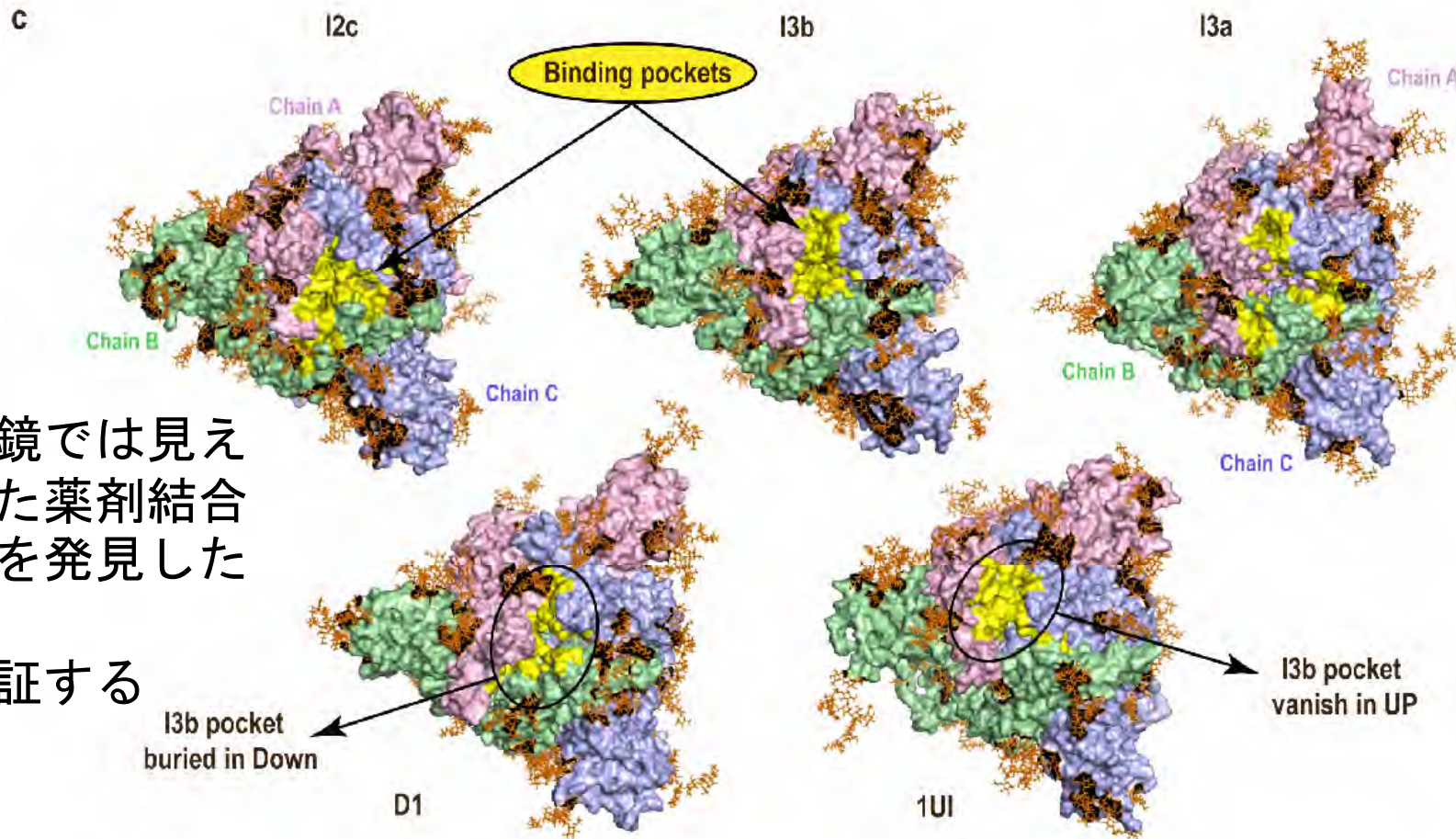


N234 in Down



N234 in Up

# Cryptic binding pockets in Spike Protein are found in Intermediate Structures



電子顕微鏡では見えない隠れた薬剤結合ポケットを発見した

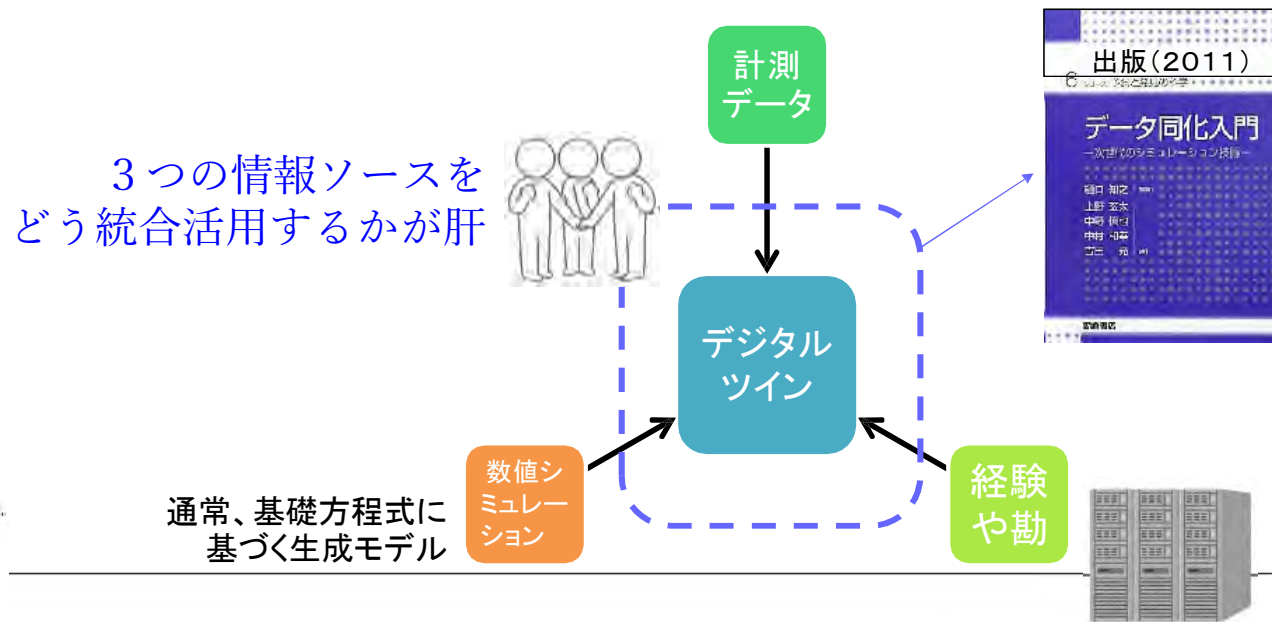
実験で検証する

# デジタルツインとCPS(Cyber Physical System)

両者のコンセプトに違いはない

IoTにより、仮想空間上の生成モデル(シミュレータ)の緻密さ、リアルタイム性が向上しただけの違い

物理世界の出来事を、そっくりそのままデジタル上にリアルタイムに再現する



サロゲートシミュレータの構築とその基盤となる理論の確立

樋口知之

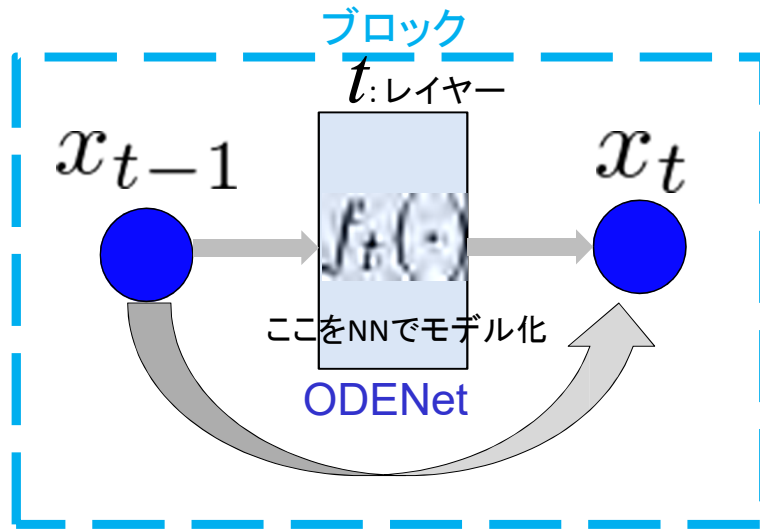
中央大学理工学部 教授  
AI・データサイエンスセンター 所長

博士(工学) 東京大学  
博士(工学) 東京大学

新井 隆平 企業技術開発推進員 (AI) 担当  
日本AI学会 理事

企業技術開発推進員 (AI) 担当  
企業技術開発推進員 (AI) 担当

# 常微分方程式と深層学習 (2019以降)



オイラー法による積分と見なせる  
NeurIPS Best paper (2019, Jan)

$$x_t = f_t(x_{t-1}) + x_{t-1}$$

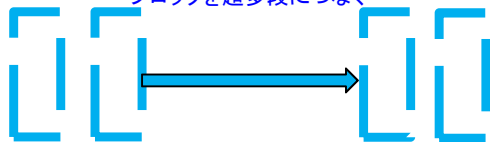


パラメータを統一 → 連続値レイヤー  
(つまり、連続時間)に対応

$$\frac{dx(t)}{dt} = f_t(x_t)$$

力学系の学習と見なせる

ブロックを超多段につなぐ



ResNet (2015)  
画像解析への応用がターゲットではあったが

各種DNN ↔ 積分法

<https://www.slideshare.net/DeepLearningJP2016/dlneural-ordinary-differential-equations>

時間積分は、細かい時間幅にくぎって実施した方が精度が良い  
→ Deep Network (多段) が良い理由

サロゲートシミュレータの構築とその基盤となる理論の確立

樋口知之

中央大学理工学部 教授  
AIデータサイエンスセンター 所長

東京大学 教授  
東京大学 特任准教授

新国立大学 企業技術開発推進室 (AI) 室長  
日本AI学会 理事

東京大学 大学院 工学系研究科 情報科学専攻 准教授  
東京大学 大学院 工学系研究科 情報科学専攻 准教授



# データ科学とシミュレーションの融合による革新的ものづくり

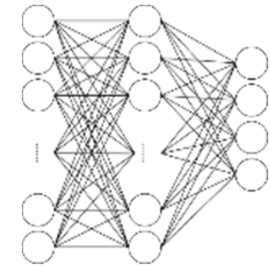
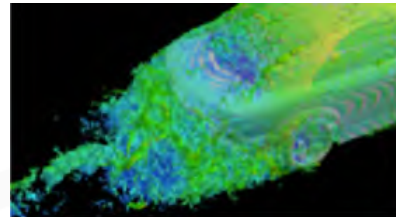
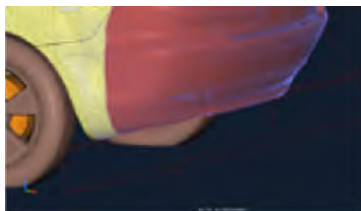
- 機械学習、深層学習、データ同化、多目的最適化等のデータ科学とHPCシミュレーションとを融合させた新たなものづくり技術の研究開発
- 高精度HPCシミュレーション結果をビッグデータとして機械・深層学習によるAI構築
  - 様々な形状に対して瞬時に性能を評価するサロゲートモデルを構築する。これによりリアルタイム空力評価が可能となり、デザイナーとエンジニアの協働設計や、性能多目的最適化が可能となる
  - 複雑なシミュレーションを高速に行えるリダクションモデルを構築する。これによりデジタルツインを実現し、リアルワールド性能評価や、自動運転AIトレーニングの高速化が可能となる



# AI技術を活用した自動車空力多目的最適化

- ニューラルネットワークによるサロゲートモデルの構築

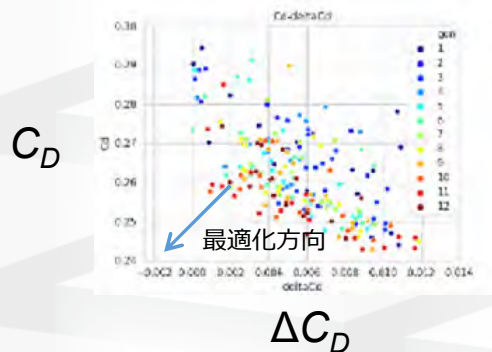
- 数百ケースの形状の異なる車体に対する高精度空力シミュレーションの実施
- 車体形状を入力、空力性能を出力とするニューラルネットワークの構築



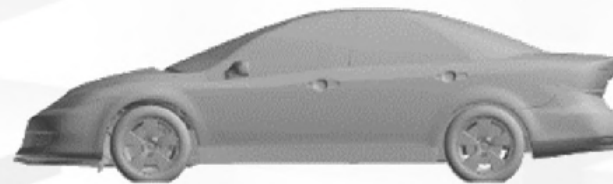
Max epoch	10000
Batch size	100

- 進化アルゴリズムを活用した多目的最適化

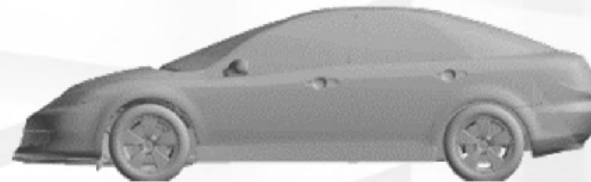
- 性能最適化エンジンにニューラルネットを組み込み低燃費車や高操安性能車を提案



低燃費車



横風安定車





# 都市丸ごとシミュレーション

「都市丸ごとシミュレーション技術」とは  
 都市のデジタルツイン  
 解析モデルが集合した実物と「瓜二つ」の都市モデル  
 都市の丸ごとシミュレーション  
 都市のデジタルインを使う、広域・高解像度シミュレーション



神戸の街の約42万棟の建物とその基礎、それを支える地盤、地盤内埋設管を仮想空間内に再現

国土交通データPF

統合的かつ  
 定量的リスク  
 評価

広域・高解像度  
 多数シナリオ  
 リスク定量化  
 統合的可視化

「公が使える」: 行政における効率化(港湾, 道路, 河川のバランスの取れた俯瞰的整備施策の立案), 効率的な国土レジリエンス化の推進.

「民が使える」: シミュレーション統合により, 設計の合理化からコスト削減, それによる国際競争力の向上, インフラ投資の呼び込みと金融市場の創出, 民間投資による国土レジリエンス化の推進

- 経験則にもとづいて行われている従来の被害予測を、シミュレーションにもとづく科学的に合理的な予測に置き換えるための都市丸ごとシミュレーション技術の開発が進んでいる
- 物理的な被害だけでなく、マルチエージェントでの避難や経済の大規模シミュレーションも開発が進められている



飯塚敦教授: IES (神戸モデル) 社会実装「技術研究組合」より

# White Paperの章構成

## 1.はじめに

## 2.スーパーコンピュータの技術動向

### 2.1 ハードウェア・テクノロジートレンド

#### 2.1.1 デバイス

#### 2.1.2 プロセッサ

#### 2.1.3 メモリ技術

#### 2.1.4 データ転送技術

#### 2.1.5 ASIC/FPGA

#### 2.1.6 その他

### 2.2 システムアーキテクチャの技術動向

#### 2.2.1 ノードアーキテクチャ

#### 2.2.2 インターコネク

#### 2.2.3 ストレージ

### 2.3 システムソフトウェアの技術動向

#### 2.3.1 基盤ソフトウェア

#### 2.3.2 大規模並列/高性能計算

#### 2.3.3 プログラミング環境

#### 2.3.4 性能解析ツール

#### 2.3.5 利用高度化ツール

#### 2.3.8 資源管理

#### 2.3.9 外部資源連携

### 2.4 数値計算ライブラリ/ミドルウェア/ アルゴリズムの技術動向

#### 2.4.1 数値計算ライブラリ

#### 2.4.2 数値計算ミドルウェア

#### 2.4.3 数値計算・アプリケーションを支える重要技術

### 2.5 運用に関する技術動向

#### 2.5.1 スパコン利用の枠組み

#### 2.5.2 従来のスパコン利用方式

#### 2.5.3 クラウドとHPC

#### 2.5.5 新しい利用形態

#### 2.5.6 設備と運用技術

## 3. アプリケーションの要求性能分析

### 3.1 アプリケーションの次世代システムに対する要求性能

### 3.2 要求性能に対するアプリケーション分析

#### 3.2.1 汎用システム型要求アプリケーション

#### 3.2.2 メモリ性能要求アプリケーション

#### 3.2.3 演算性能要求

#### 3.2.4 ネットワーク性能要求

#### 3.2.5 ポスト処理性能要求

## 4. 次世代(2028年頃)システムの検討

### 4.1 汎用システム型

#### 4.1.1 メニーコアCPU型

#### 4.1.2 メニーコアCPU & GPU混載型

#### 4.1.3 その他(ベクトルプロセッサ)

### 4.2 専用システム混載型および新たな可能性

#### 4.2.1 CPU拡張型

#### 4.2.2 アクセラレータ主体型 / ヘテロジニアス型

#### 4.2.3 Processing-In-memory主体型

#### 4.2.4 アプリケーションの要求性能に対する評価

## 5. 次世代型運用への要求

### 5.1 新しい利用形態とシナリオ

### 5.2 データアーカイブ・流通

### 5.3 設備・管理

### 5.4 ユーザ利用・課金モデル

## 6. 技術課題と研究開発ロードマップ

### 6.1 デバイス・アーキテクチャ

#### 6.1.1 汎用システム型

#### 6.1.2 専用システム混載型

#### 6.1.3 PIM混載型

### 6.2 システムソフトウェア

#### 6.2.1 基盤ソフトウェア

#### 6.2.2 大規模並列/高性能計算

#### 6.2.3 プログラミング環境

#### 6.2.4 データフレームワーク

#### 6.2.5 性能解析ツール

#### 6.2.6 利用高度化ツール

#### 6.2.7 資源管理

#### 6.2.8 外部資源連携

### 6.3 数値計算ライブラリ・アルゴリズム

#### 6.3.1 数値計算ライブラリ

#### 6.3.2 数値計算ミドルウェア

#### 6.3.3 数値計算・アプリケーションを支える 重要技術

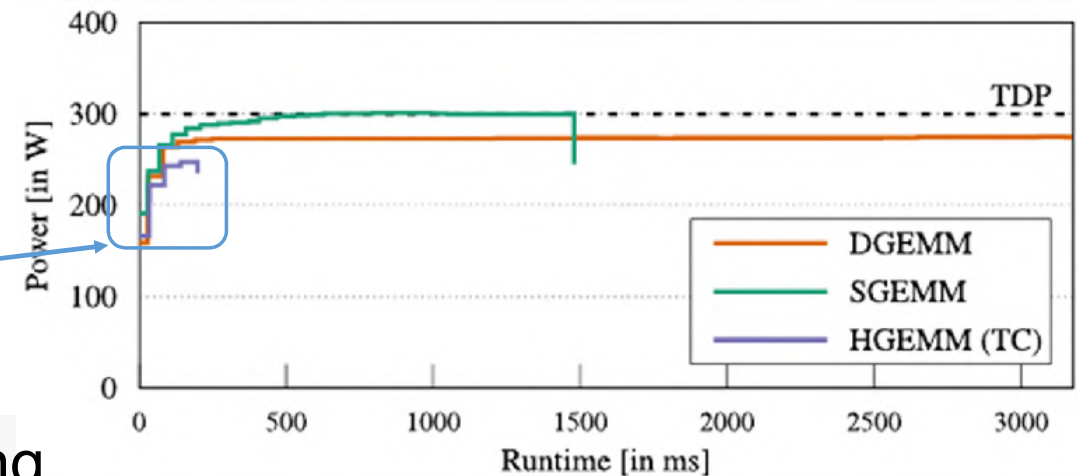
## 7. おわりに

# Motivation – Scalar → Vector → Matrix?

- **Vectors** units can efficiently **increase performance** and energy efficiency (2.3x higher energy eff. w/ AVX2)
- Going from vector to **matrix units** seems like a **natural extension** (→ clear runtime and power benefit for FP16 GEMM)
- *Counter-question:* Are MEs really what we should be spending our silicon on, given that Moore's law is dying out?

Precision	Vector extension	Walltime	Energy-efficiency
DGEMM	—	34.22 s	1.23 Gflop/J
	AVX2	12.49 s	2.92 Gflop/J
SGEMM	—	16.79 s	2.65 Gflop/J
	AVX2	6.36 s	5.92 Gflop/J

**Energy-eff. of Vector Extensions on a Intel Xeon CPU (measured with PCM)**



**Power consumption evaluation of GPU cores and TCs on a single Tesla V100 GPU**

# GEMM in... Deep Learning Workloads

- How much does DL generally benefit from MEs?
- Identifying TC kernels from profiling on Tesla V100
  - **Avg. 2x** (eg. ConvNets) and up to 4x (for Transformers)
  - Not as high as GEMM (**7.6x**)
  - Yet substantial speedup (→ justifies TCs)
- Recall: speedup partially result of lower precision and MEs

Benchmark	Speedup	% TC	% TC comp	% Mem
BERT	3.39x	50.86	55.26	7.97
Cosmoflow	1.16x	0.04	0.05	22.90
VGG16	1.71x	12.30	12.74	3.45
Resnet50	1.97x	16.32	16.78	2.76
DeepLabV3	1.75x	16.33	16.44	0.69
SSD300	1.78x	8.55	8.66	1.32
NCF	0.97x	22.37	26.79	16.50
GEMM	7.59x	20.08	99.90	79.90
GRU	3.67x	6.59	7.48	11.94
LSTM	5.69x	11.63	13.85	16.03
Conv2D	1.12x	0.27	0.32	16.78
Attention	3.49x	44.49	58.19	23.55

## Throughput Improvement from FP32 to Mixed Prec. + TCs

%TC: percentage of time on TCs (relative to total time); %TC comp: comp. time spent on TCs excl. data move.; and %Mem: time for data mov. between host->dev

- **Note: assuming AI/ML loads cont. to be formulated as dense matrix ops**

# GEMM in... 77 traditional HPC Workloads

Set	Name	Sci. / Eng. / AI Domain	Name	Sci. / Eng. / AI Domain	Name	Sci. / Eng. / AI Domain
TOP500	HPL	Math/Computer Science	HPCG	Math/Computer Science		
ECP	AMG	Physics and Bioscience	miniAMR	Geoscience/Earthscience	SW4lite	Geoscience/Earthscience
	CoMD	Material Science/Engineering	miniFE	Physics	SWFFT	Physics
	Laghos	Physics	miniTRI	Math/Computer Science	XSBench	Physics
	MACSio	Math/Computer Science	Nekbone	Engineering (Mechanics, CFD)		
RIKEN	FFB	Engineering (Mechanics, CFD)	mVMC	Physics	NTChem	Chemistry
	FFVC	Engineering (Mechanics, CFD)	NGSA	Bioscience	QCD	Lattice QCD
	MODYLAS	Physics and Chemistry	NICAM	Geoscience/Earthscience		
SPEC CPU	blender(R)	Math/Computer Science	exchange2	Artificial Intelligence	omnetpp	Math/Computer Science
	cam4(R)	Geoscience/Earthscience	fotonik3d	Physics	perlbench	Math/Computer Science
	namd(R)	Material Science/Engineering	gcc	Math/Computer Science	pop2	Geoscience/Earthscience
	parest(R)	Bioscience	imagick	Math/Computer Science	wrf	Geoscience/Earthscience
	povray(R)	Math/Computer Science	lbm	Engineering (Mechanics, CFD)	roms	Geoscience/Earthscience
	bwaves	Physics	leela	Artificial Intelligence	x264	Math/Computer Science
	cactuBSSN	Physics	mcf	Math/Computer Science	xalancbmk	Math/Computer Science
	deepsjeng	Artificial Intelligence	nab	Material Science/Engineering	xz	Math/Computer Science
SPEC OMP	aplu331	Engineering (Mechanics, CFD)	fma3d	Physics	mgrid331	Engineering (Mechanics, CFD)
	botsalgn	Bioscience	ilbdc	Engineering (Mechanics, CFD)	nab	Chemistry
	botsspar	Math/Computer Science	imagick	Math/Computer Science	smithwa	Bioscience
	bt331	Engineering (Mechanics, CFD)	kdtree	Math/Computer Science	swim	Geoscience/Earthscience
	bwaves	Engineering (Mechanics, CFD)	md	Material Science/Engineering		
SPEC MPI	[d]leslie3d	Engineering (Mechanics, CFD)	[l]GemsFDTD	Physics	socorro	Material Science/Engineering
	[d]milc	Lattice QCD	lu	Engineering (Mechanics, CFD)	tachyon	Math/Computer Science
	fds4	Engineering (Mechanics, CFD)	[l]wrf2	Geoscience/Earthscience	tera_tf	Geoscience/Earthscience
	GAPgeofem	Physics	pop2	Geoscience/Earthscience	zeusmp2	Engineering (Mechanics, CFD)
	lammgs	Material Science/Engineering	RAXML	Bioscience		

# GEMM in... 77 traditional HPC Workloads

## Measurement methodology to identify GEMM kernels

- Created a **Score-P library wrapper** for all dense compute functions of **MKL** ((C)BLAS, PBLAS, ScaLAPACK, etc.)
- TOP500, ECP, and Fiber proxies:
  - Kernel isolation; compiler settings; input selection acc. to previous work [1]
  - **Link against Score-P wrapper** and manual instrument all source-code location referring to GEMM or Fortran's `matmul` intrinsic
- SPEC benchmarks (unfortunately all external libraries striped out):
  - Prioritize GNU compilers (with `-O3 -march=native`) and `mtrain` input set
  - Find **compute-intensive kernels with Intel Advisor** → Manually inspect 598 source code locations → **instrument all GEMM ops** (via Score-P)

# Summary & Conclusion

We have shown that:

- Less than 54% of CPU cycles was consumed by workloads which could have called GEMM in 1 year of RIKEN's K computer operation
- Less than 9% of Spack's (scientific) software directly links to BLAS
- Occurrence/**usage of matrix operations** in our experiments is **underwhelming** (excluding DL and HPL)
- In 77 benchmarks: **only 3.4% of time** in aggregate spend in GEMM
- **Typical speedup is  $\approx 2x$  in DL** workloads (up to 4x possible) despite the 8x theoretical advantage of tensor cores for GEMM
- Lower precision TCs can be used to emulate high-prec. GEMM ops
- There are a **few opportunities; but no clear evidence** signaling that the future of **HPC would be radically transformed** by MEs

● 研究開発技術の概要

- 2028年頃に100倍の性能を広範囲のアプリで達成可能な計算機アーキテクチャを探索

● 解決すべき課題（なぜ研究開発するのか）

- ポストムーア時代に広範なアプリを加速する汎用計算機システムの構成原理は未確立
- 専用アクセラレータではなく、メモリやネットワークのバンド幅向上を基本とした汎用な計算機アーキテクチャは何か？
- それに必要なシステムソフトウェアは何か？

富岳Next 世代の  
**ノードアーキテクチャ**  
 構成方式と必要な  
**システムソフト**を探索

研究開発内容

個々の技術要素を探索

有望な技術要素を統合し、目標とするノードアーキテクチャ案を確立

2023～ 開発へ  
 ステージアップ

課題1.1 ベンチマークアプリの**性能特性解析**と**性能モデリング**による、既存方式の改善点と探求すべき方向性の明確化

ルーラインモデルにより、性能100倍達成のための方向性が明らかに。既存方式の改善点とその例を提示。非ノイマン型などについても視野に

課題1.2 データ転送能力向上を性能向上につなげることが可能な**再構成型ベクトルデータフローアーキテクチャ (CGRA)**の探求

CGRAのアーキテクチャモデルとシミュレータを構築し、簡易なベンチマークを実施済。今後はアーキの拡張とコンパイラ等ツールを開発し、評価

課題2 超深化・超広帯域の**革新的メモリアーキテクチャ**の探索、およびそれに対応する**システムソフトウェア**の探求

性能モデリングと共に、複雑化・階層化するメモリシステム特性を調査済。それを生かすシステムソフトウェアや新しいメモリシステムを探索

課題3 汎用性とソフトの連続性を重視した高い実効バンド幅と冷却効率が得られる**ニアメモリ計算方式**の探求

チップレット型 ニアメモリ計算方式 McIM (massive cores in memory side) の評価環境を構築中。アーキと性能最適化技術を探索

これまでの進捗と最終目標の達成見込み



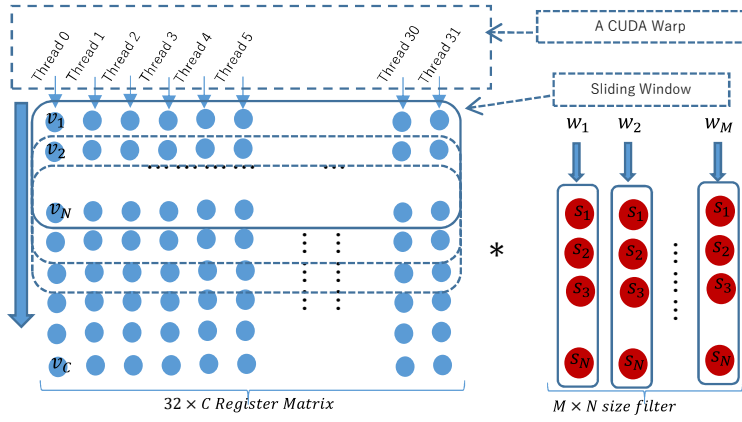
# Pushing the Limits for 2D Convolution Computation On GPUs

[Chen et. al., ACM/IEEE SC19]

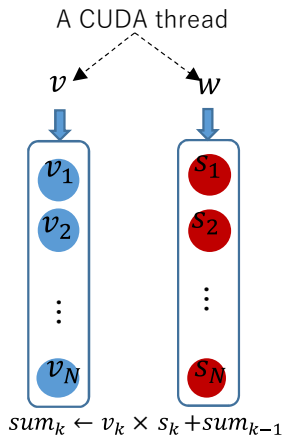
## Background of 2D convolution

- Convolution on CUDA-enabled GPUs is essential for Deep Learning workload
- A typical memory-bound problem with regular access

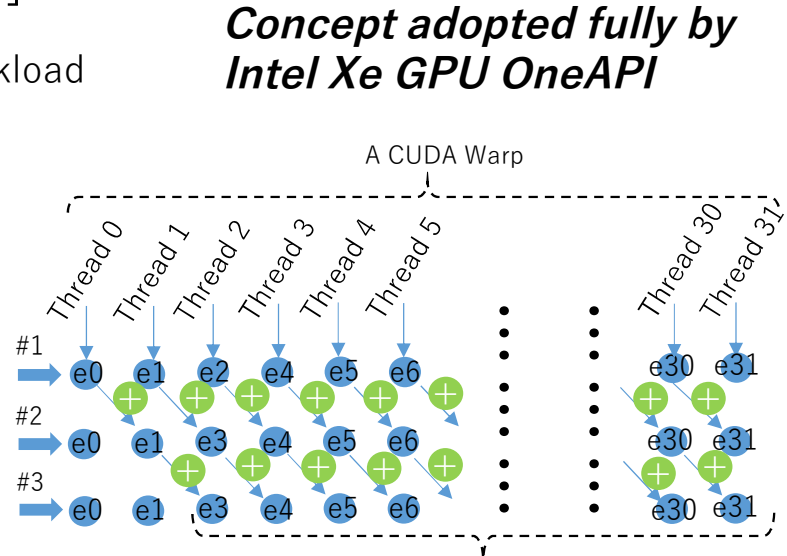
## Method



(1) Register Cache



(2) Compute partial sums

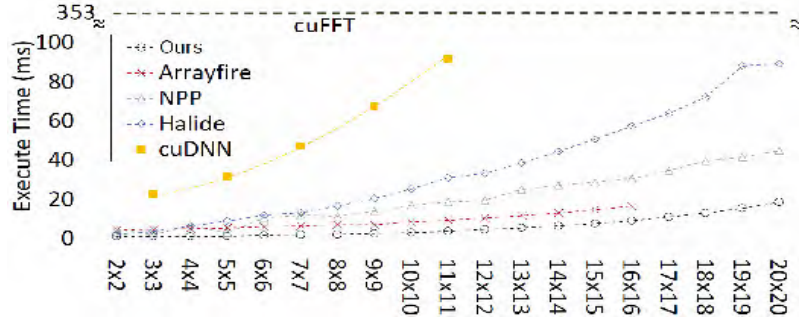


(3) Transfer partial sums

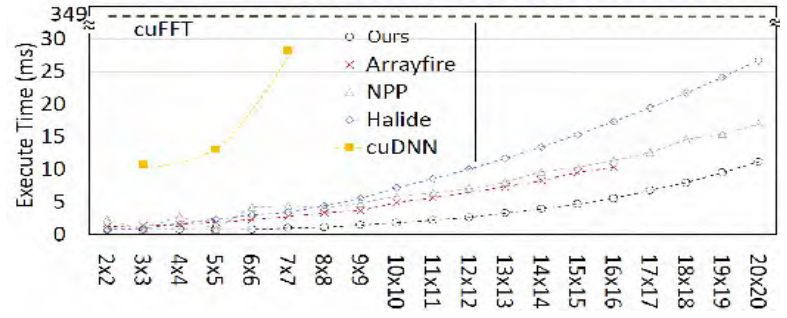
## Evaluation

- a single Tesla **P100** and **V100** GPUs
- Single precision

*Point: Vector lane shuffle datapath can fully emulate Systolic Array efficiently*



Evaluation on Tesla **P100** GPU



Evaluation on Tesla **V100** GPU

[1] Peng Chen, Mohamed Wahib, Shinichiro Takizawa, Satoshi Matsuoka. Pushing the Limits for 2D Convolution Computation On CUDA-enabled GPUs

# 「確率的コンピューティングが拓く計算機科学の未来」 (応募中)

## ● 背景

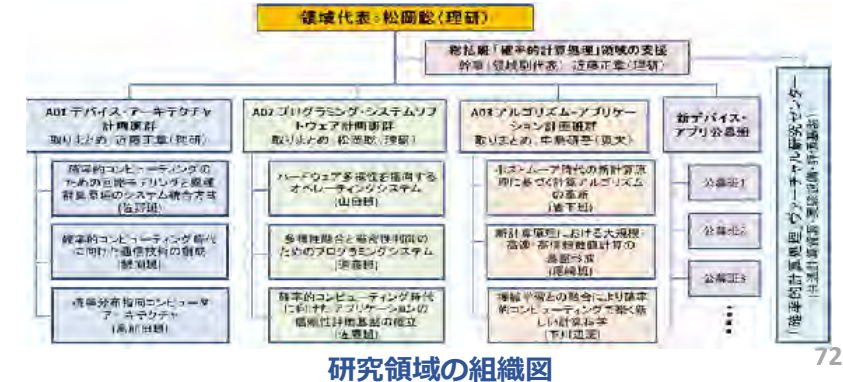
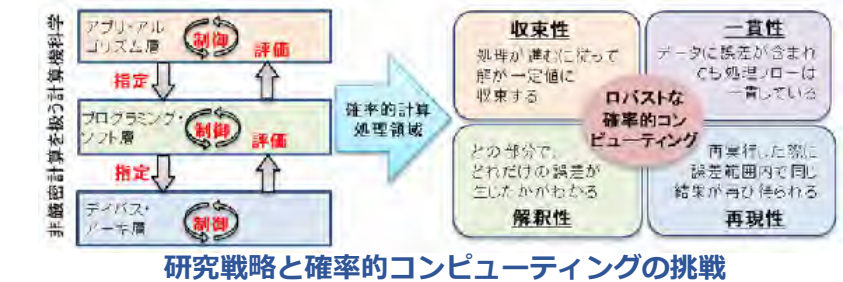
- 1960年代以来指数的な計算機の性能向上をもたらした「ムーアの法則」も近く終焉すると予測されている
- 持続的な性能向上には**新計算原理**や**新規デバイス**の利用が不可欠  
→格段に高性能な反面**ノイズ耐性に弱い**／**結果に不確定要素含む**



将来の計算機科学として「**確率的コンピューティング**」が必要

## ● 「確率的コンピューティング」領域

- 解くべき問題に応じて誤差を許容しつつ必要十分な精度で確からしい解を導き出す情報処理技術の確立
  - 計算処理における非厳密性の度合いを「指定」「制御」「評価」できる手段を計算機科学の理論体系として構築
  - 情報処理結果に対して「収束性」・「一貫性」・「解釈性」・「再現性」を提供
  - ニューロモーフィックや量子コンピューティングとも相補的
- ポストムーア時代を担う計算機科学研究者とコミュニティの育成
- 富岳NEXTへの成果展開（各種ソフトウェアや設計資産）
  - R-CCSの研究者が中心的な役割（代表／取りまとめはR-CCS幹部およびPI）





# 新たな付加価値：PCI を使った将来拡張の可能性



- テクノロジ変更によるスケジュール延伸の際、拡張可能性を検討することとした
- 拡張部として**FPGAクラスタ試作システムを開発**、富岳による**実機試験**を実施
- PCIを使った**富岳の将来拡張の可能性を、技術的に実証**した
- 本技術は、富岳の高度化のみならず**将来の高性能アーキ探索研究にも資するもの**

## ● 拡張方式の検討

- 筐体設計を変更せず、PCIeスロットを外部に引出す拡張を検討
- 汎用の**広帯域ネットワークとソフトウェアブリッジ**により接続する方式を採用

## ● 拡張部アーキテクチャ

- **Society5.0の様々な用途**に対応可能な機能拡張を考慮
- メニーコア**CPUと異なる特性を持つFPGA**による拡張を検討

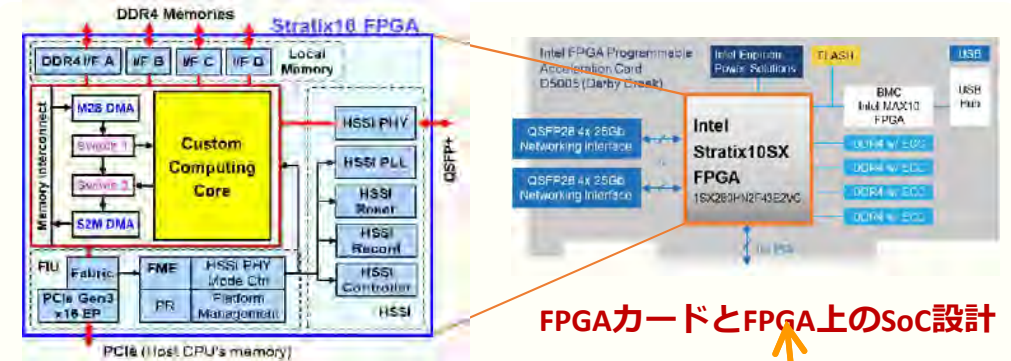
**FPGA (Field-Programmable Gate Array)**

- 回路再構成可能な半導体デバイス
- マイクロソフトやAmazon等、データセンターやクラウドでの産業利用が進む。高い潜在能力
- プログラミングやシステム運用の技術は未成熟

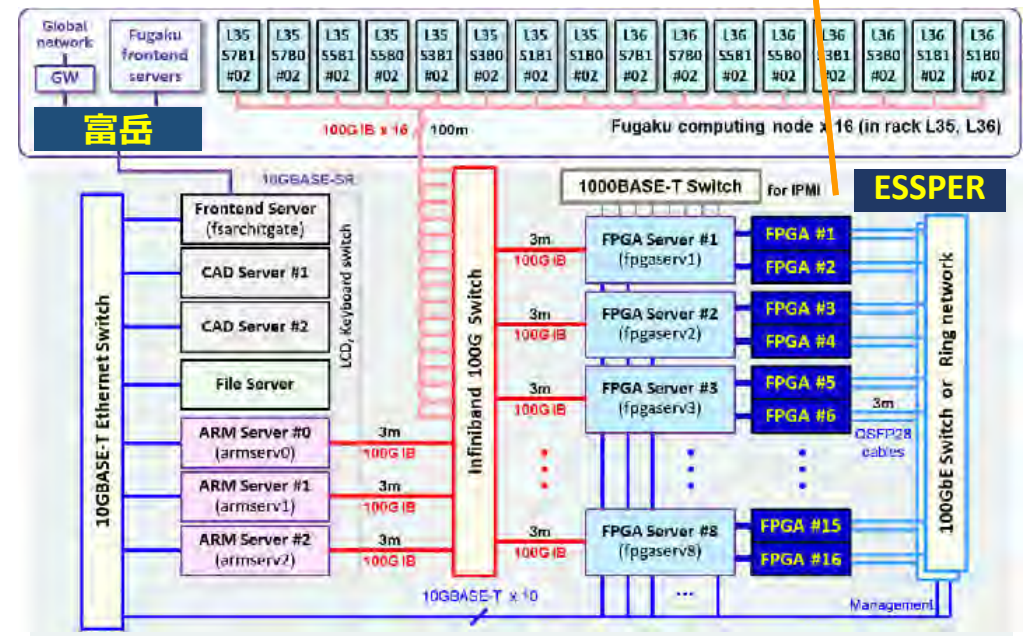
## ● 試作システム開発と富岳との接続実験

- **FPGAクラスタ試作システム ESSPER** を開発 (図)
  - FPGA SoC、FPGA間専用網、遠隔化ドライバ、HW抽象化レイヤ、資源管理ソフト等のシステムスタックを開発。RPCによるタスク呼出しを検討
  - 富岳側では、FPGA等のカスタム資源を指定可とするジョブスケジューラ拡張
- 試作システムと富岳を接続した**実機試験**により、**技術を実証「富岳」計算ジョブから、FPGA書換えやタスクオフロードが可能**

- **本システムを利用した高度化研究を計画** (国内大学との共同研究を含む)



FPGAカードとFPGA上のSoC設計



拡張部試作システム ESSPER と富岳との接続



# FPGAクラスタ試作システム *ESSPER* と「富岳」との接続



- Infiniband EDR (100G) ネットワークにより接続
  - 「富岳」計算ノード <-- IB EDR スイッチ --> FPGAクラスタ
  - 「富岳」ジョブから FPGAカードの機能を利用可



# 人材育成に関する取組





# 理研 計算科学研究センターの人材育成への取組



## ■従来のスクール、 インターンシップ等の強化

2019年度に初の日本開催となった「国際サマースクール」、2020年度で10回を迎える「KOBE HPC サマースクール」など計算機を使った演習交えたスクールやワークショップ等、国内外の学生らを対象に多様なプログラム実施。

研究チームでの**実習生・研修生**の受入に加え、**連携大学院**により、大学と連携協力して学生の研究教育指導を推進。

さらに、企業との共同プログラムによるインターンシップ、地元自治体や神戸大・兵庫県立大との連携により、強化策の検討に着手。

### KOBE HPC サマー/スプリングスクール



企業共同  
インターンシップ



兵庫県・神戸市  
COE形成推進事業



国際サマースクール

## ■SuperCon+「富岳」(新たな取組)

高校生・高専生が参加するスーパーコン(1995年～東工大と大阪大によるプログラミングコンテスト)と「富岳」との協力企画を新たに推進。2021年のスーパーコンから「富岳」の本格的組み込みの検討に着手。

2020年度は中止となった本選の参加チームを対象に2020年9月13～22日に**高校生・高専生「富岳」チャレンジ～SuperCon本選出場者によるスパコン甲子園!**～、として開催



連携大学院

©Supercomputing Contest

<https://www.gsic.titech.ac.jp/supercon/main/attwiki/76>