

「富岳」 “Begins” ～ 「富岳」 から始まる未来世界 ～



理化学研究所 計算科学研究センター
センター長 松岡 聡

2020年11月17日

「富岳」の特徴

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

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。

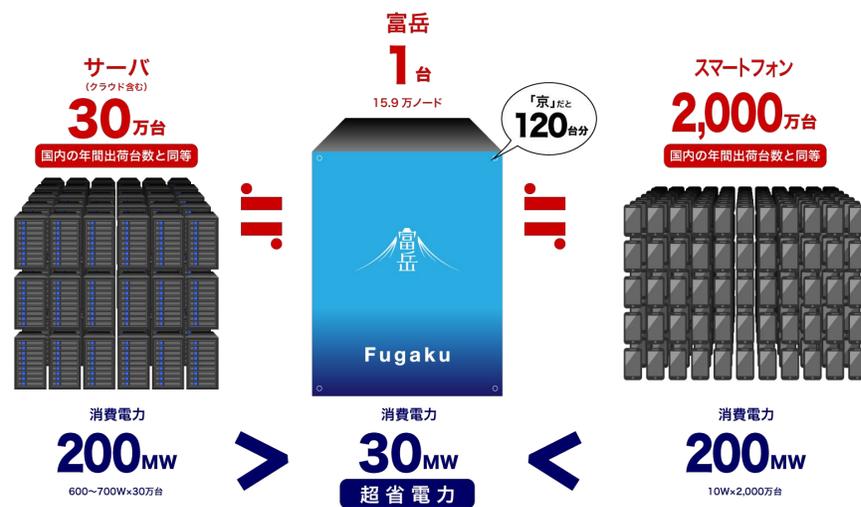
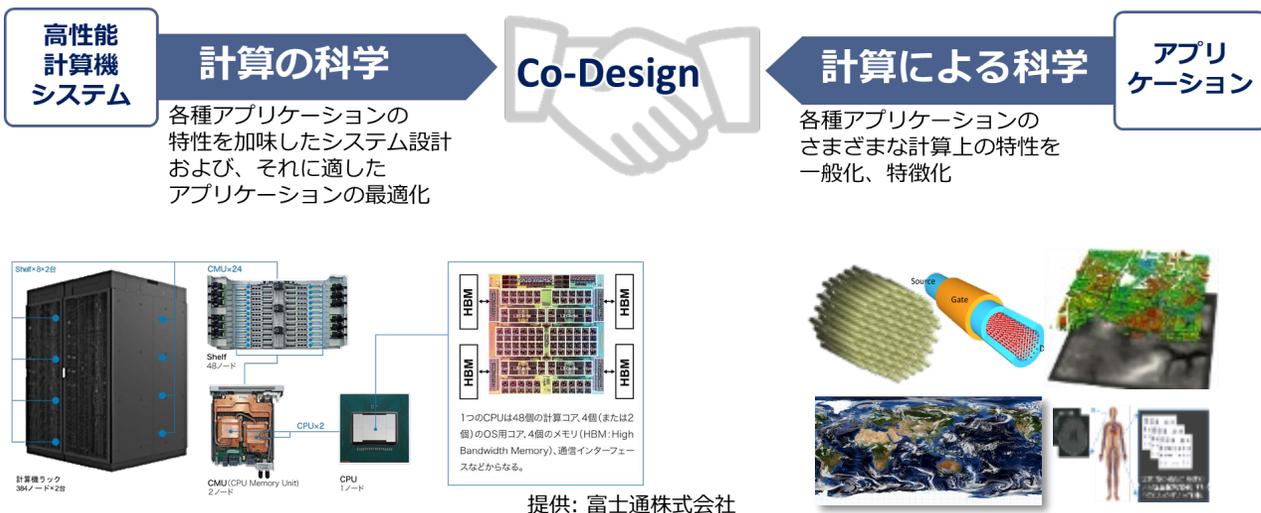


- 従来の米国製トップCPUの**3倍の性能**
- スマホで用いられる汎用Arm CPUの上位互換、あらゆるソフトに対応(パワポも)
- シミュレーションと共に**AI強化機能も**

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



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

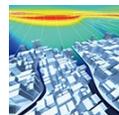
125倍以上
(GENESIS)



個別化・予防医療を
支援する
統合計算生命科学

8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

45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

120倍以上
(NICAM+ LETKF)

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

40倍以上
(NTChem)



革新的クリーン
エネルギーシステムの
実用化

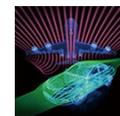
35倍以上
(Adventure)

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

30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

25倍以上
(FFB)

基礎科学の発展



宇宙の基本法則と
進化の解明

25倍以上
(LQCD)

「富岳」 ベンチマークテストで2期連続で4冠達成！

- 全系稼働の「富岳」がすべての大規模演算性能を示すベンチマークで圧倒的1位！
- AI性能（HPL-AI）では2エクサを達成し、エクサスケールマシンとして性能を発揮！

ベンチマークテスト	1位	スコア	単位	2位	スコア	単位	富岳の優位性
TOP500 (LINPACK)	富岳	442.0	PFLOPS	Summit (米国)	148.6	PFLOPS	2.97倍
HPCG	富岳	16.0	PFLOPS	Summit (米国)	2.93	PFLOPS	5.48倍
HPL-AI	富岳	2.00	EFLOPS	Summit (米国)	0.55	EFLOPS	3.64倍
Graph500	富岳	102,950	GTEPS	太湖之光 TaihuLight (中国)	23,756	GTEPS	4.33倍

- ギガ (Giga) = 10の9乗 テラ (Tera) = 10の12乗 ペタ(Peta) = 10の15乗 エクサ(Exa) = 10の18乗
- フロップス(FLOPS: Floating Operations Per Second) 一秒あたりの(浮動)小数点演算性能
- テップス (TEPS : Traversed edges per second) グラフ処理の能力を表す単位

「富岳」 全系によるベンチマークテスト結果

シミュレーション

シミュレーション

AI

ビッグデータ

6月 415.5
11月 442.0

6月 13.4
11月 16.0

6月 1.42
11月 2.00

6月 70,980
11月 102,950

2.97
倍

5.48
倍

3.64
倍

4.33
倍



TOP500

(単位：PFLOPS)

HPCG

(単位：PFLOPS)

HPL-AI

(単位：EFLOPS)

Graph500

(単位：GTEPS)

浮動小数点の演算
での性能評価

実際にアプリケーションを
稼働させた性能評価

AI処理での
性能評価

ビッグデータ処理
での性能評価

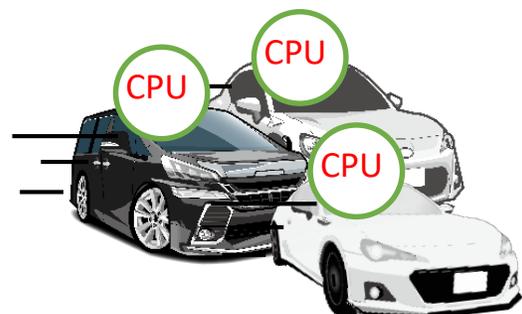
2位に対して 3倍から5.5倍近い性能差を実現

● 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

なぜ「アプリケーションファースト」なのに、主要スパコン性能ベンチマーク全てで一位が重要なのか？

- 富岳の目的は「ソサエティ5.0」早期実現を含む、国民の関心事に応えるための幅広い分野のアプリを世界トップレベルで加速すること
- それぞれのベンチマークは、一部のアプリをモデル化→もし富岳がその目的通りに設計されていれば、あらゆるベンチマークでトップ性能を示すはず。
- もし富岳が一部ベンチでしかトップ性能が出なければ、設計目的を全く満たしていない→よって、主要スパコンベンチマーク全てで一位が重要

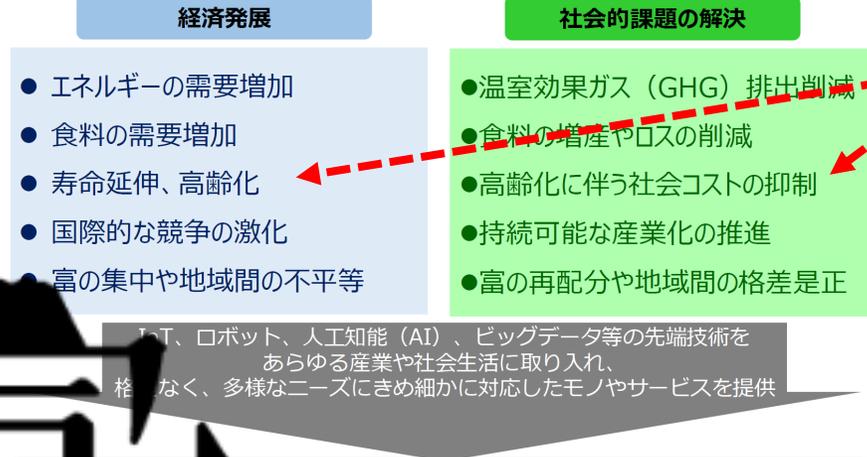
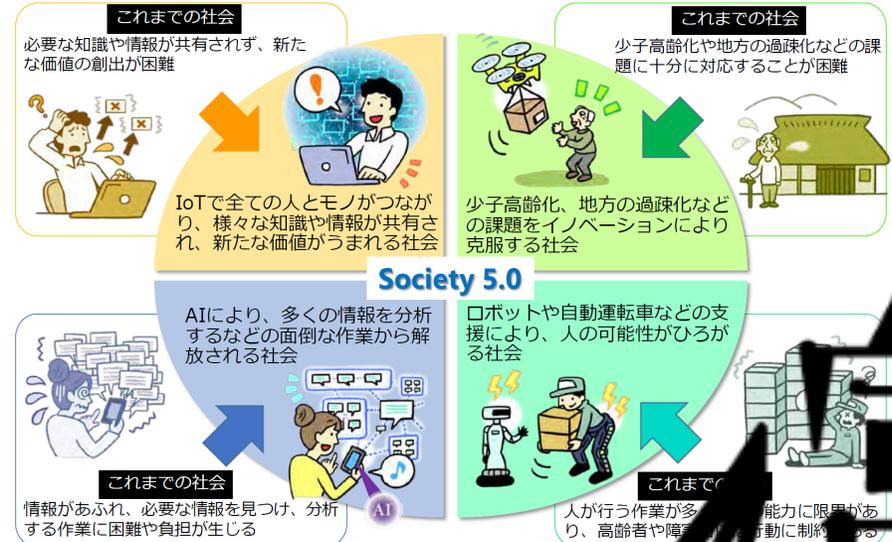


Society 5.0における「富岳」の中心的役割

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



[内閣府作成]

経済発展と社会的課題の解決を両立

サイバー空間と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

サイバー空間 (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**現実空間にフィードバック**



[内閣府作成]

[内閣府作成]

「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

都市モデル × AI × シミュレーション

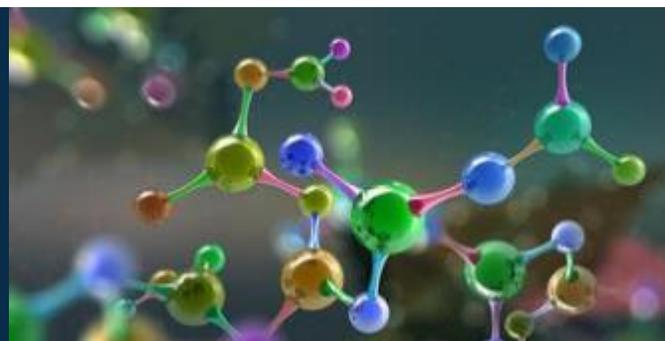
防災、減災

災害に強いまちづくり



材料 × AI × シミュレーション

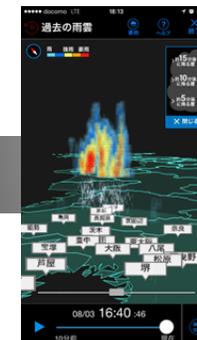
革新的バイオ素材・高機能品の機能設計技術



気象ビッグデータ × AI × シミュレーション

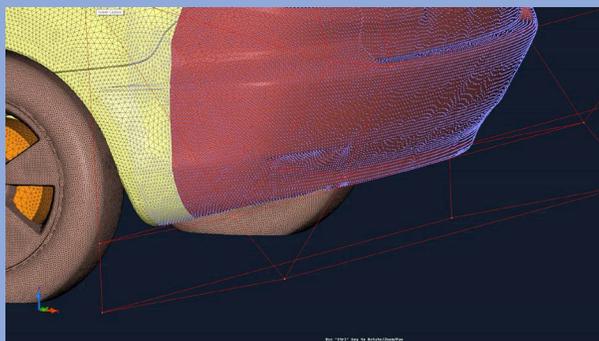
リアルタイム気象予報

ゲリラ豪雨を予測

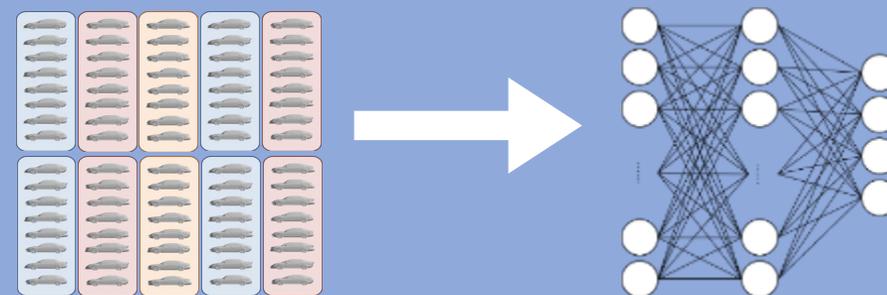


革新的ものづくりへの活用

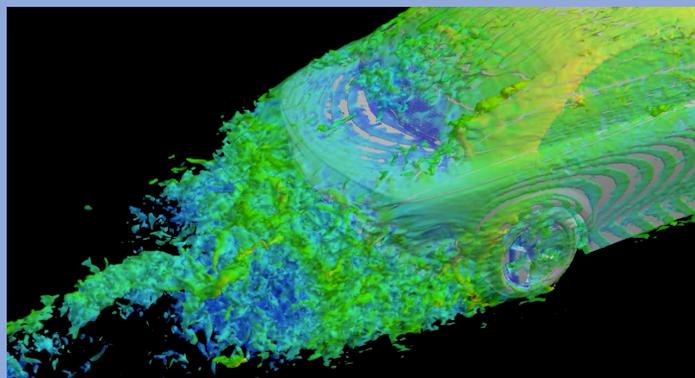
数百ケースの形状の異なる車体に対する
高精度空力シミュレーションの実施



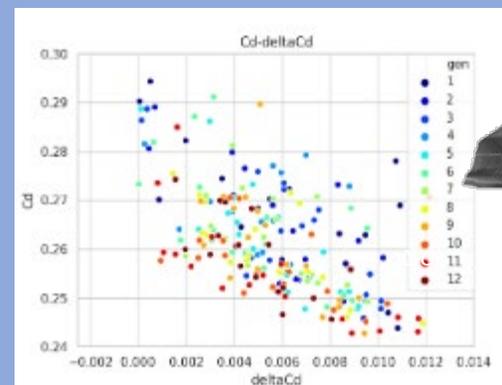
ニューラルネットワークによるサロゲートモデルの構築



AI技術を活用した自動車空力多目的最適化



進化アルゴリズムを活用した多目的最適化

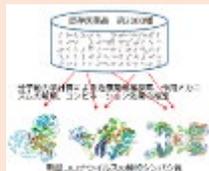


新型コロナウイルス対策に関する貢献

– Society5.0的社会要求に対する迅速な対応 –

医学的側面からの研究

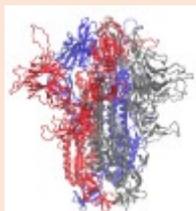
「富岳」による 新型コロナウイルスの治療薬候補同定



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)

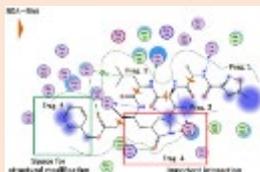
「富岳」を用いた新型コロナウイルス 表面のタンパク質動的構造予測



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)

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

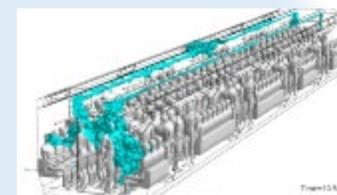


新型コロナウイルス関連タンパク質に対するフラグメント分子軌道計算を系統的に実施し、詳細な相互作用解析を行う。

(課題代表者；立教大学 望月 祐志)

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。

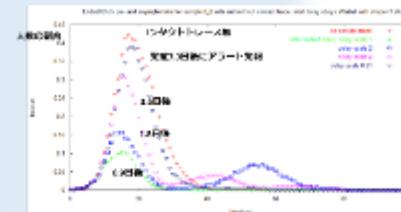


(課題代表者；理化学研究所/神戸大学 坪倉 誠)

社会的側面からの研究

パンデミック現象および対策の シミュレーション解析

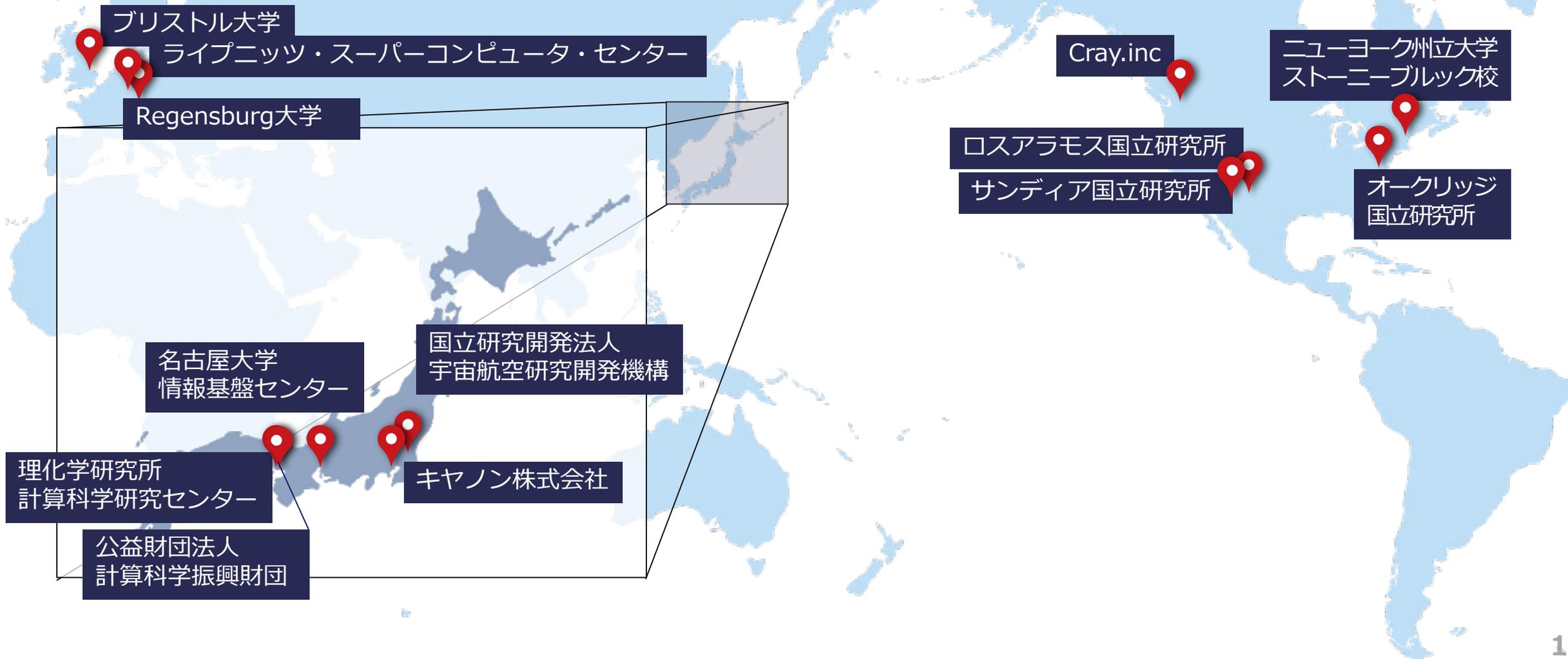
今後生じうる社会経済活動への影響を評価し、収束シナリオとその実現方法を探る。あわせてウイルスの変異などにより感染・発病の経過が変化した場合に起こりうる事象への対応を立案する。



(課題代表者；理化学研究所 伊藤 伸泰)

理化学研究所 計算科学研究センターは、スーパーコンピュータを用いた新型コロナウイルス対策研究のため本年3月に米国にて設立されたコンソーシアム (COVID-19 High Performance Computing Consortium) に参加。

- **CPU「A64FX」搭載機が多く**の研究機関や企業で採用



參考資料

スーパーコンピュータ「富岳」の基本性能

- **総ノード数 : 158,976ノード**

- 384 ノード x 396 ラック = 152,064
- 192 ノード x 36 ラック = 6,912

(参考) 「京」 88,128 ノード

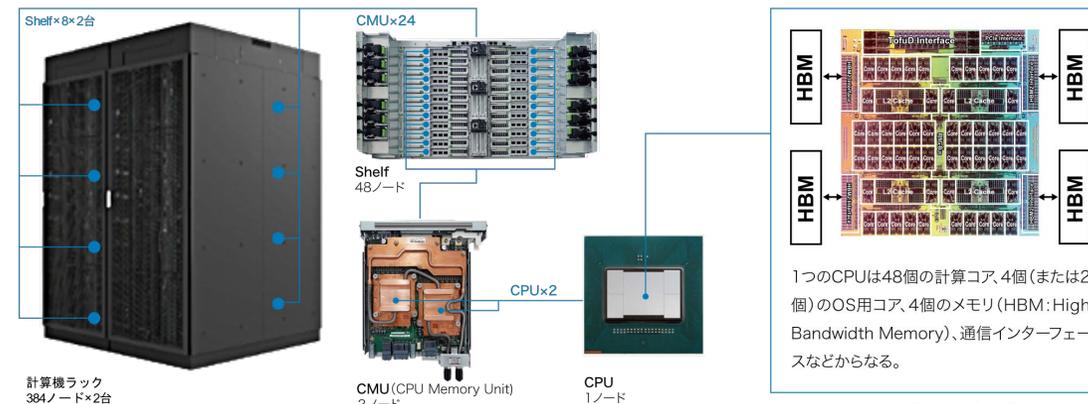
- **通常モード (CPU動作クロック周波数 2GHz)**

- 倍精度理論最高値 (64bit) 488 ペタフロップス
- 単精度理論最高値 (32bit) 977 ペタフロップス
- 半精度 (AI学習) 理論最高値 (16bit) 1.95 エксаフロップス
- 整数 (AI推論) 理論最高値 (8bit) 3.90 エксаオプス

- **ブーストモード (CPU動作クロック周波数 2.2GHz)**

- 倍精度理論最高値 (64bit) 537 ペタフロップス
- 単精度理論最高値 (32bit) 1070 ペタフロップス
- 半精度 (AI学習) 理論最高値 (16bit) 2.15 エксаフロップス
- 整数 (AI推論) 理論最高値 (8bit) 4.30 エксаオプス

- **理論総合メモリバンド幅 163ペタバイト/秒**



提供: 富士通株式会社

(参考) 単位

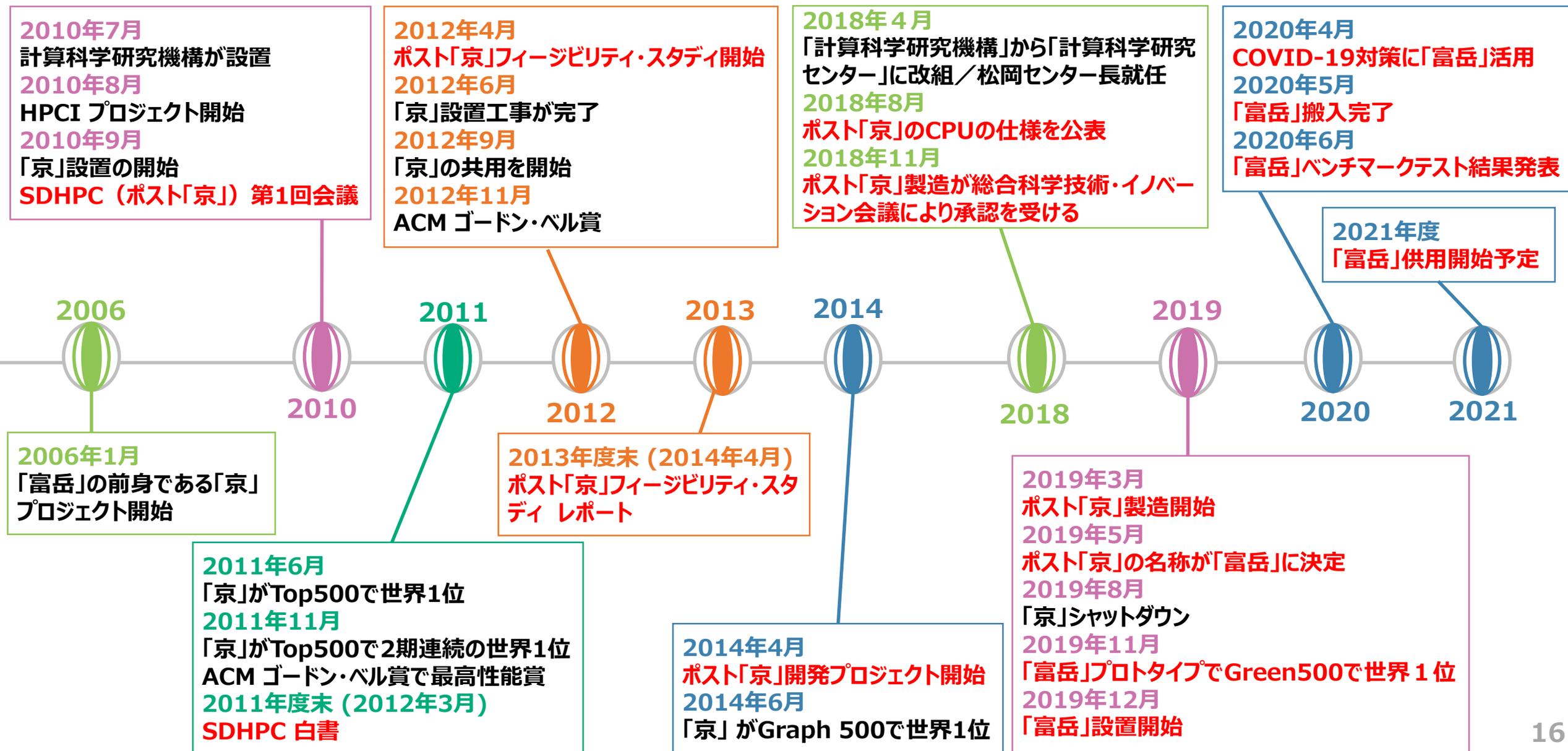
- ペタ(Peta)=10の15乗 エкса(Exa)= 10の18乗
- フロップス(FLOPS: Floating Operations Per Second) 一秒あたりの(浮動)小数点演算性能
- オプス (OPS: (Integer) Operations Per Second) 一秒あたりの整数演算性能

- (参考) 「京」との比較 (「富岳」ブーストモード)

- 倍精度理論最高値 (64bit) 48倍
- 単精度理論最高値 (32bit) 95倍
- 半精度 (AI学習) 理論最高値 (16bit) 190倍
- ※「京」は、いずれの精度でも11.28 ペタフロップス
- 整数 (AI推論) 理論最高値 (8bit) 1,500倍以上
- ※「京」は、2.82 ペタオプス(64bit)

- 理論総合メモリバンド幅 29倍 ※「京」は5.64ペタバイト/秒

注釈) ここで示した数値は理論最高値であり、実際の速度は各種ベンチマークや、実アプリケーションによって測定される。



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！**

※賞状は2020年6月のもの

- 「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

「Society5.0」実現に向けたプラットフォーム化へ

- **「富岳Arm」 IoT主流のArmエコシステム・オープンソース**
 - A64fx CPU：世界最速の汎用プロセッサ(x86, Arm含)
 - HPC・クラウド・AI・IoT全て包括するオープンソース汎用ソフトウェアスタック
 - VM, コンテナ、Spack Package Managerなど、各種管理、デプロイ
- **「富岳AI」の開発**
 - PyTorch, TensorFlow等の高速実装をDNNL for A64fx, Eigen等をベースに開発
 - 富士通・理研・Arm社等との産学連携による開発体制
 - その他各種HPCとAIの融合
- **「富岳クラウドサービス（FUGAKU Cloud Platform (FCP))」に向けたクラウドプロバイダとの連携**
 - 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8社と共同研究を開始。
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
- **「富岳ライブストリーム」で多数のIoTストリームデータのアプリケーションへの提供**
 - 種々の研究機関・企業と連携し、一定期間以上保存される観測データの格納・分析・学習・推論機構を提供
- **「富岳Society5.0利用枠」新設：産業界・自治体・アカデミアの連合利用など**

日本がAIで劣勢を跳ね返すには

- 莫大な学習データの収集
 - ✓ 今後の日本の政策により、統計的に有意なサンプル数は収集可能
- 高性能AIインフラ
 - ✓ Deep learning世界トップレベルのABCIの15~20倍以上の性能
- 高度人材
 - ✓ 上記条件が揃えば世界から人材が集まる



GAFAに対抗し、追い越すことも可能

(ABCIでは既に富士通・ソニーが一部達成)

- ◆ 「富岳試作機評価環境の利用に関する覚書」を富士通と締結し、「富岳」上にAIフレームワークを創り上げ「富岳」を中心とした世界トップクラスのAI学習・推論・利活用の計算機環境基盤を構築する。
- ◆ **大規模AIベンチマーク「HPL-AI」(2020年6月創設)に向け研究開発を行い、2期連続世界一位を獲得。**



超高速なAIソフトウェアを「富岳」、商用機、クラウド等に展開しSociety5.0の中心的なインフラとする。

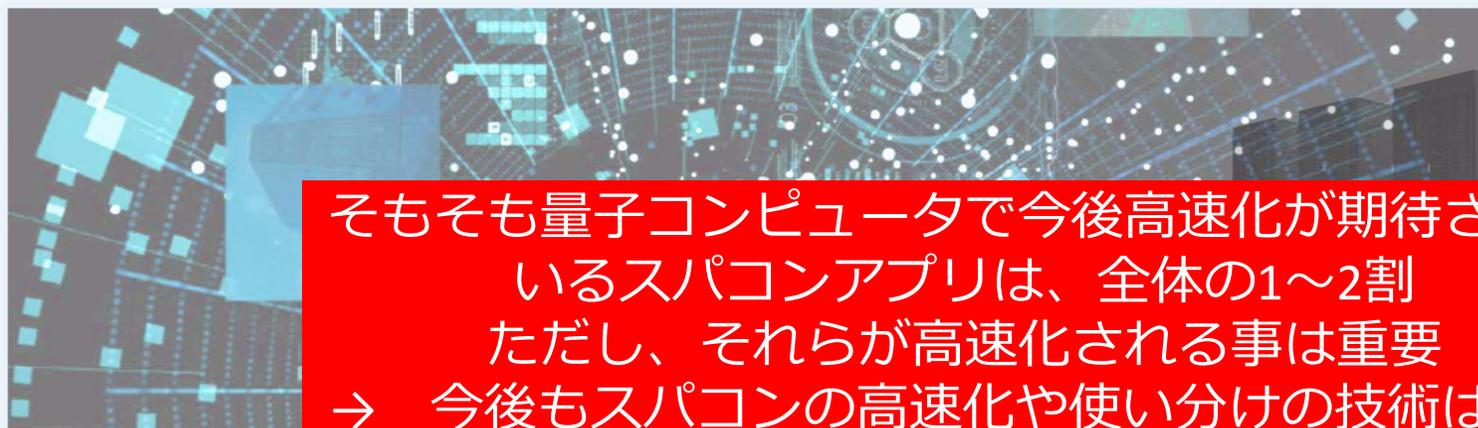
量子コンピュータにスパコン（富岳）は不可欠



- 量子ゲート素子開発のための物理シミュレーション
 - ✓ 多くの素子開発がスパコンのMaterial Informaticsをベースに実施中
- 量子アルゴリズムのシミュレーション
 - ✓ 米国、フランスで実際にスパコン上でシミュレーションを通じ研究中
- 量子超越性を比較・検証するためのHPCI
 - ✓ Googleの量子超越性の主張根拠とIBMの反証もスパコンで行われている



量子コンピュータの実現には、トップスパコンの開発と利用が必要



そもそも量子コンピュータで今後高速化が期待されているスパコンアプリは、全体の1~2割
ただし、それらが高速化される事は重要
→ 今後もスパコンの高速化や使い分けの技術は必須



- 標準OSディストリビューションの採用
- Armv8 Linux標準とバイナリ互換：
OpenHPC、SPACKなどArm HPCエコシステムが充実、Python/Rubyなどのスクリプト言語で運用性が向上
- オープンソースコミュニティ上で機能開発し取り込み、エコシステムに貢献

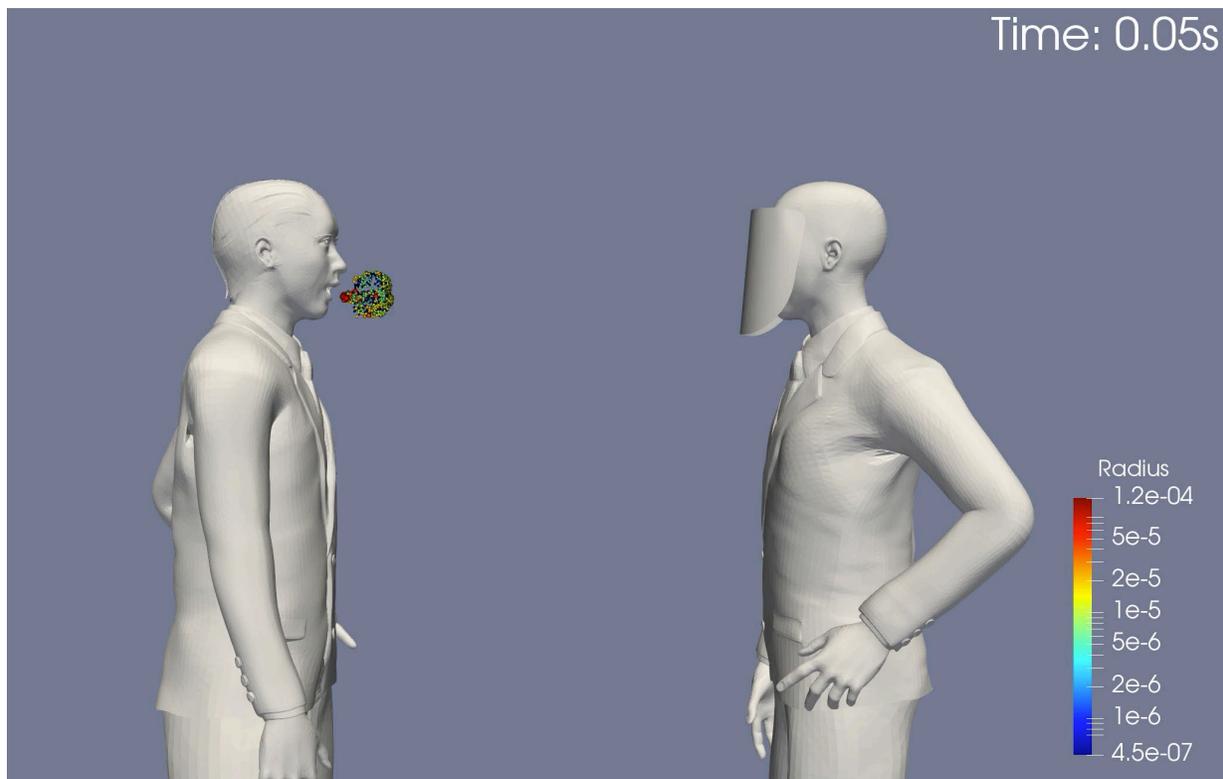


Arm、Linuxのオープンソースコミュニティの
活動やコラボレーションによって、多数のアプリやシステムが容易に利用可能

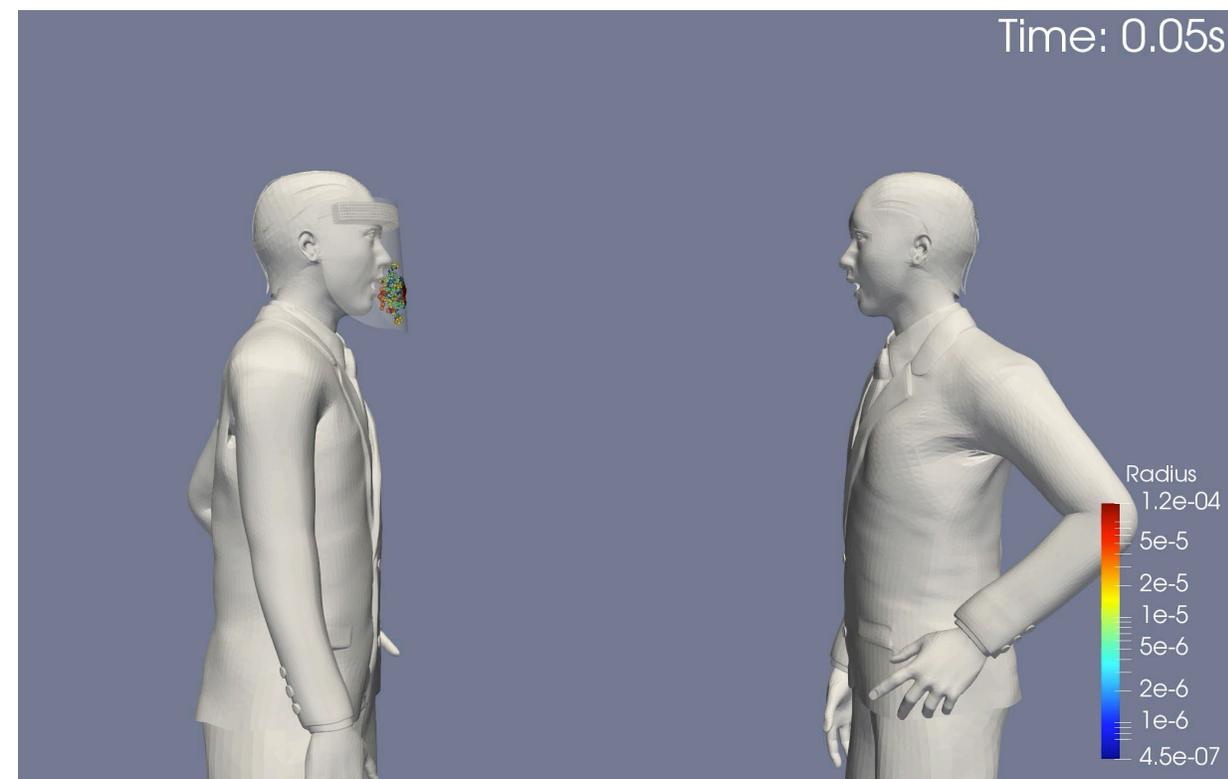
フェイスシールドの飛沫防御効果と飛散抑制効果（マスクの代替）はどの程度なのか？

- 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：百ミクロン, 青：0.5ミクロン）

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）



10月13日に合同説明会で発表

ステアリングメンバー

飲食店におけるマウスガードの効果（一般的な形状の検討）

協力メンバー

- ・飲食店を活用した対策の実効性の確認
- ・飲食用フェイスシールドの開発

行政との連携

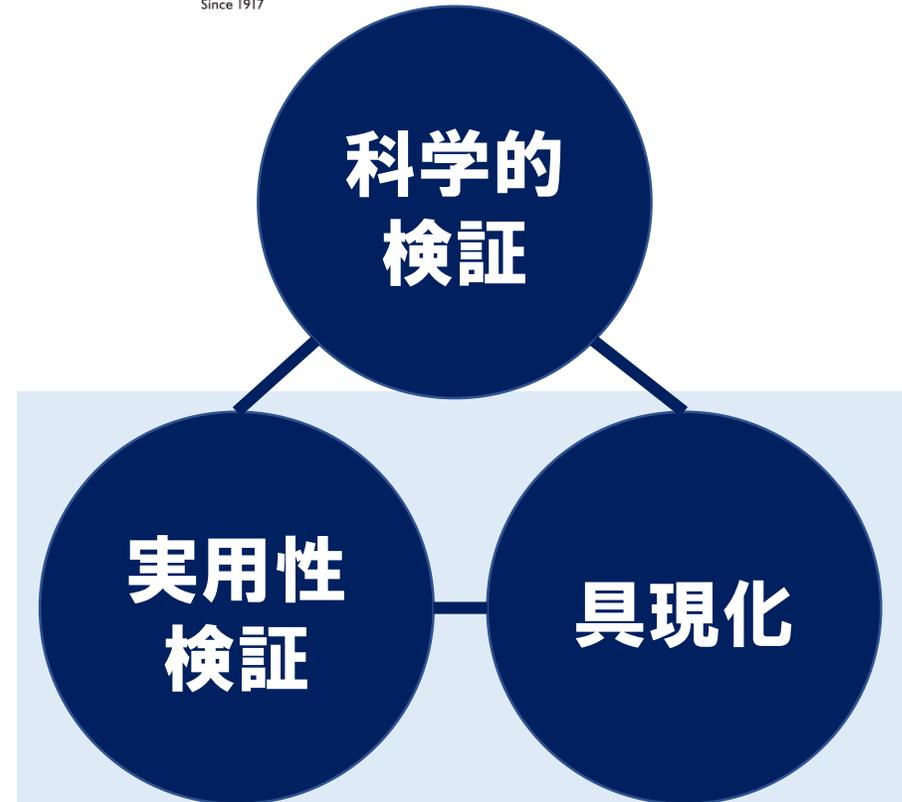
「富岳」を活用した科学的知見をもとに、企業が実効性ある現実の対策を実施する協働取組
= Society5.0実現のための取り組み

理化学研究所様と協働に至った経緯

《新型コロナウイルスに関する研究》



《三者の役割分担》



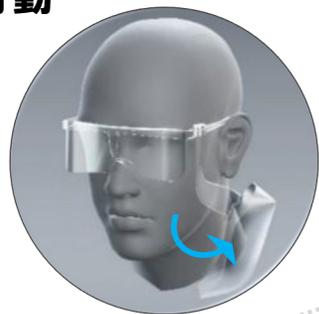
“利便性”と“安全性”を踏まえ具現化

①簡便さ(装着、使用)

メガネタイプの装着方式で
誰でも直感的に、簡単に着脱可能

②飲食のしやすさ

飲食時はワンタッチで
口鼻前のシールドが可動



③表情が見える

フレーム・シールドともに透明素材を採用



④見た目

フレームパーツを極力削減し
見た目に配慮

⑤運用面

シールドパーツは簡単に
着脱が可能

⑥安全性

理化学研究所様の検証をふまえた
シールド構造の検討



※画像はプロトタイプです

引き続き開発を推進、もうすぐ第一段の製品が完成



富岳

スマートシティ(スーパーシティ)構想において必要となる
大規模なシミュレーション・AI・ビッグデータを可能にするのが
「富岳」