

「将来のHPCIのあり方に関する検討WG報告書」について (＋私見)

小林広明

将来のHPCIのあり方に関する検討WG主査

東北大学

令和2年11月30日

「将来のHPCIのあり方に関する検討WG」の概要

主旨

- ・計算科学とデータ科学との融合・連携に係る研究が進展するなど、計算科学及び計算機科学の取り巻く状況は大きな変化。
- ・これまでにH P C I に集積された人材や計算機インフラ等を活かし、海外の状況を踏まえつつ、将来の日本の計算科学及び計算機科学の在り方について検討する必要。

検討事項

- ・将来のH P C I の在り方に関すること
- ・将来の計算科学・計算機科学の在り方に関すること
- ・海外の計算科学・計算機科学の状況に関すること

検討状況

- ・第33回HPCI計画推進委員会（平成29年6月29日）にて設置。平成31年6月までに7回開催。

委員一覧

大島 聡史	九州大学情報基盤研究開発センター 助教
鯉淵 道紘	国立情報学研究所アーキテクチャ科学研究系 准教授
◎ 小林 広明	東北大学大学院情報科学研究科 教授／東北大学サイバーサイエンスセンター センター長特別補佐／東北大学 総長特別補佐（ICT革新担当）
佐野 健太郎	理化学研究所計算科学研究機構 チームリーダー
○ 須田 礼仁	東京大学情報理工学研究所 教授
滝沢 研二	早稲田大学理工学術院 教授
伊達 進	大阪大学サイバーメディアセンター 准教授
本田 有機	気象庁数値予報課数値予報プログラム開発推進官
吉田 亮	統計数理研究所モデリング研究系 准教授／統計数理研究所ものづくりデータ科学研究センター センター長

8名 ◎：主査、○：主査代理（50音順、敬称略、肩書は当時）

将来のHPCIの在り方に関する検討WG ヒアリング実績

第1回

滝沢委員
「Space-Time Methods and Application」

鳥取大学 星健夫准教授
「100ナノ電子状態計算とデータ科学による有機デバイス材料研究」

気象庁予報部 石田純一数値予報班長（第4回より委員）
「数値予報開発の現状と更なる進展の可能性」

第2回

東京大学 藤田航平准教授
「地震分野におけるアプリケーション開発の現状と更なる進展」

理化学研究所革新知能統合研究センター 上田修功副センター長
「HPC×物理・社会モデル×AI＝シミュレーション科学」

理化学研究所計算科学研究機構 三好建正チームリーダー
「データ同化：シミュレーションと実測データを融合するデータサイエンス」

東京大学 藤堂眞治准教授
「計算科学ロードマップ／計算科学フォーラムについて」

第3回

吉田委員
「データ科学とアプリケーションの融合のあり方」

第4回

佐野委員
「ハードウェア開発の現状と更なる進展の可能性」

大島委員
「これからの計算ハードウェアの動向とその活用・普及について」

第5回

伊達委員
「情報基盤センターの現状と将来像について」

将来のH P C I のあり方に関する検討ワーキンググループ 報告書（概要）

◆H P C I の現状と課題

- ・ 文科省では、平成26年度からフラッグシップマシンとしてポスト「京」の開発に着手。令和3～4年の共用開始を目指し、順調に進捗。
- ・ 各大学の基盤センター等と連携し、H P C I も順調に運用されており、平成30年度末までの利用者はのべ11,685人。
- ・ 一方、計算科学分野や情報科学分野の動向として、①**利用分野拡大およびユーザーニーズの多様化**、②**アーキテクチャを巡る動向（半導体微細化の限界等）**、③**データ量の指数的增长**、④**情報分野における教育の充実** が指摘されている。

◆将来のH P C I のあり方について

- ・ 最先端の科学的成果を創出するためのH P C I を、引き続き整備・運用していくことは我が国の科学力、産業力等の維持・向上に必要不可欠。

将来のH.P.C.I.の姿を具体化していく上で、以下の4点に十分留意しながら検討すべき。

①アーキテクチャの多様性とプラットフォームの整備

- ・ 将来的にはH P C I には異なるアーキテクチャを混在させ、多様なアプリケーションによって適応すべき。フラッグシップマシンの定義や役割の再検討、H P C I の全体構成の長期的、俯瞰的視点からの検討が必要。
- ・ ユーザーの要望が多様化するため、多様なアプリケーション分野への適応、**計算基盤利用プロセスの高効率化、高生産化を実現するための取組（ソフトウェア、人材育成、利用支援等）の重要性**が増していく。

②データ利用基盤の構築

- ・ **大規模データ処理のインフラであるH P C I をそのニーズと整合性のとれているシステムとすべき。**
- ・ H P C I を用いた**データを作成者の合意のもと公共財として幅広くアクセスできる仕組み**の整備が必要。
- ・ 低レンテンシで高バンド幅なネットワークの存在が重要であり、**SINET**を引き続き増強していくべき。

③ボーダレス化の進展

- ・ 世界最高性能のスパコンを1つの国の技術と予算で作り上げることは困難になりつつあり、解析されるデータも国境を越えて収集されることが想定されるため、**H P C I 分野における国際連携（支援環境、体制、人材育成）を推進すべき**。具体的には、国内外の拠点が参画する計算・データ共有基盤の構築、大規模データの国内外共同解析プロジェクトの推進等。
- ・ 民間企業によるクラウド型サービスを研究者が利用することが常態化しつつあり、科学、産業を支える計算基盤として、**国と民間の境を取り去り、ユーザーからみて最適となる全体構成を実現すべき**。

④人材育成

- ・ Society5.0の実現に向けた情報教育が推進されており、追い風となりうる状況。また、**高校生も含む学生を対象とした人材育成を強化すべき**。
- ・ アーキテクチャ、OS、コンパイラ、基本ライブラリ等の**システム系の技術を持続し続ける努力が必要**。
- ・ 高度な技能をもつ**支援要員のキャリアパス**を産学の関係者で検討すべき。

◆実現するための具体的な取組例

- ・ 将来的にH P C I に導入される可能性がある斬新な未開拓技術およびそれらを用いた計算機構成方式、基盤ソフトウェア・アルゴリズムを研究する基礎研究プロジェクト
- ・ 多様なアーキテクチャから構成されるH P C I 全体の有効活用を実証するための研究開発プロジェクト（ソフトウェア等の利用環境整備含む）
- ・ 海外のH P C との連携を推進するプロジェクト（国外拠点も参画する計算・データ共有基盤の構築、大規模データの国際共同解析プロジェクト等）
- ・ 潜在的ユーザーがH P C I を活用するための支援するための体制強化、利用支援人材のキャリアパス構築をH P C I 参画基盤が連携して実施するプロジェクト
- ・ 科学的課題・社会的課題を見据えつつ、その解決に必要な計算科学・データ科学的アプローチと、その実現に必要なネットワークも含めたH P C I 全体像を示すロードマップの策定
- ・ 技術研究開発プロジェクトからH P C I の利用に関するプロジェクトに跨ったワークショップの開催

◆ポスト「京」時代（2025年頃）

●引き続き計算科学（シミュレーション科学）の推進に必要なインフラ

- ✓エクサ級を必要とする従来型アプリ研究開発のさらなる発展に必須なインフラ
- ✓その一方、力ずくの計算からの脱却を目指してデータサイエンスとの融合も進められる

□AI-Driven simulation, Simulation Driven AI, その融合アプリの開発が活発に

- AI/MLによるモデリングの最適化・高度化・高精度化
- シミュレーションの高度化・最適化（ステアリング）
- シミュレーション結果の解析・高次情報の抽出

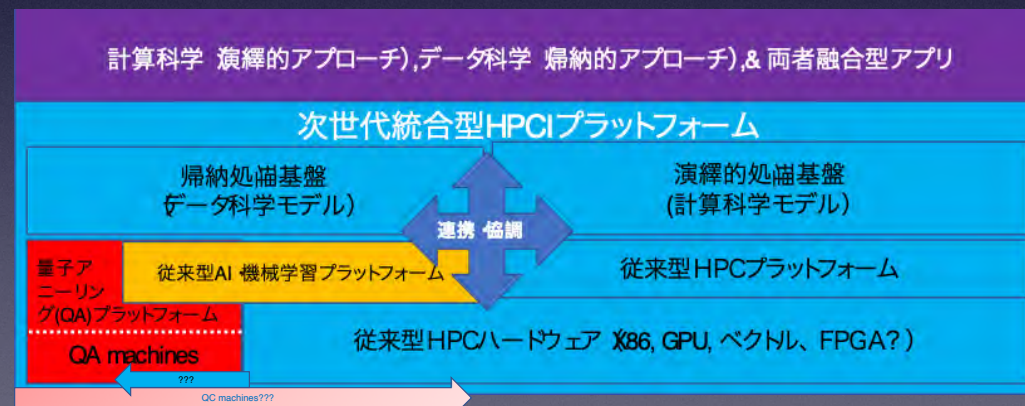
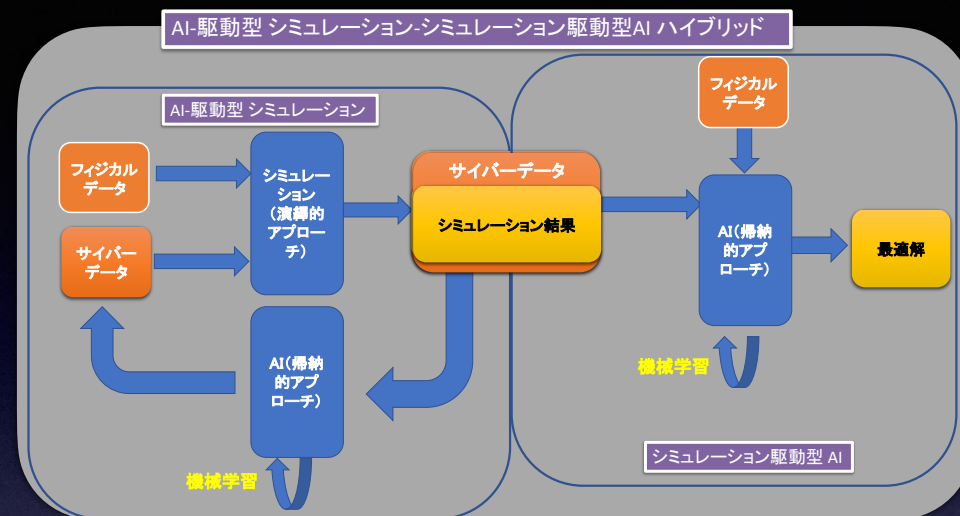
●その姿

- ✓従来型汎用プラットフォームにアプリケーションドメインに特化した専用機（加速器）を付加する形が進む
- ✓個を生かし、全体でオーケストレーションすることにより汎用性を目指す「アンサンブルアーキテクチャ」へ移行期間
- ✓ヘテロ構成を意識した利用環境（プログラミング）の研究開発が必須

◆ポスト「ポスト「京」」（ポスト富岳）時代（2035年頃）

●従来型HPCハードウェアプラットフォームとポストムーア型ハードウェアプラットフォームのバランスよい共存

- ハードウェアプラットフォームの仮想化が進み、ヘテロ構成を意識しない利用環境が必須
 - ✓利用者は必要な機能を統一的なプログラミング環境で利用可能に
- QCはアニーリング型に加えゲート型にも実用アプリで共存？従来型HPCとの境界はそれぞれの実用度次第で使い分け
- ✓その準備のために次世代領域開発事業「量子アニーリングアシスト型次世代スーパーコンピューティング基盤の開発」を推進中



文科省次世代領域開発事業「量子アニーリングアシスト型次世代スーパーコンピューティング基盤の開発」(PI 小林広明) 事業提案書より



HPCIの将来像（私見）

TOHOKU UNIVERSITY

● ポスト富岳時代のHPCIあり方

◆理想をいえば、特一定のアプリケーションドメインで高い実効性能を発揮できる、複数のフラグシップシステムの集合体としてHPCIのトップレイヤーを構成

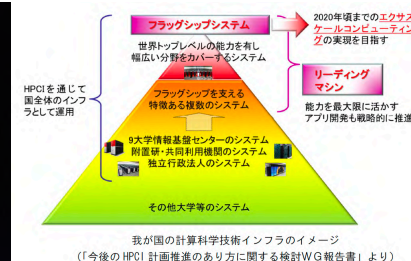
✓ムーアの法則を維持することが難しい状況において、One fits allはもはや無理なことから、次世代HPCIでは第1階層としてもDSAを生かしたシステムを複数配置し、アプリケーションのニーズに応じて適材適所で利用できる環境を整備する必要があるのではないか

✓ムーアの法則の維持が難しいと叫ばれているが、コンピュータを実装する上でシリコンがなくなることはない。要は「単一システムによる汎用性第一主義」の呪縛から脱却し、（一定の規模のアプリケーションドメイン、あるいは必要な機能実現のために）効果的にシリコンバジェットを活用した複数のDSAを汎用計算基盤と連携させてHPCIを構築するのが適切ではないか（ハードのヘテロ性はシステムソフトで隠蔽）

- 持続的なHPCIの維持・発展のために次のターゲットを3X?年とするのではなく、その前の28年頃も富岳を相補的かつ重層的に機能するTier-0のシステムの導入を別途計画し、21年、28年、35年と交互に一部重複する期間持たせたフラグシップシステムの開発・導入計画を策定すべきである。一本足打法的アプローチは予期せぬ危機に対して極めて脆弱である

● ポスト富岳時代のHPCIの構築に向けて

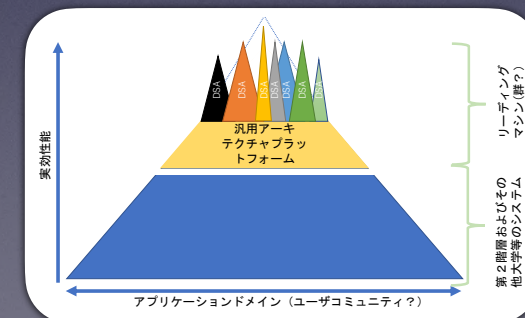
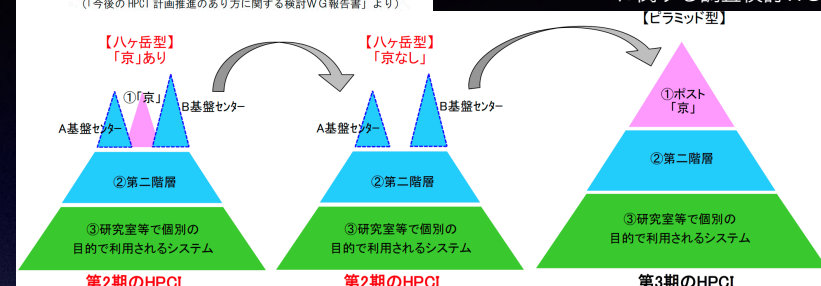
- （ネットワークのように気がついたらインフラはすべて中国製?とならないように）デバイス、ハードウェアプラットフォーム、システムソフトウェア、アプリケーション等それぞれのレイヤで世界をリードし、それらの垂直統合でHPCIの開発・整備が可能な日本の技術を維持・発展させる政策が必要。
✓技術を持たない相手とは対等な国際共同研究はあり得ない。
- これまでの計算資源共有の視点から、データ科学・オープンサイエンス時代では、データ資源の解析・蓄積・共有のためのインフラとしての機能も重要
✓ コンピューティング・ストレージ・ネットワークへのバランスのよい投資が必要



Hiroaki Kobayashi, Tohoku University

「今後のHPCI計画推進のあり方に関する検討WG報告書」

「スーパーコンピューティングに関する調査検討WG資料」



HPCに関する開発型産学連携研究の必要性・成果の波及効果

～将来のHPCIシステムのあり方に関する調査研究(2012-2013)～

★ レイテンシコアの高度化・効率化による将来のHPCIシステムに関する調査研究

- 東京大学, 九州大学, 富士通, 日立, NEC
- ✓ 富岳 A64FX with SVE, FX-1000

★ 演算加速機構を持つ将来のHPCIシステムに関する調査研究

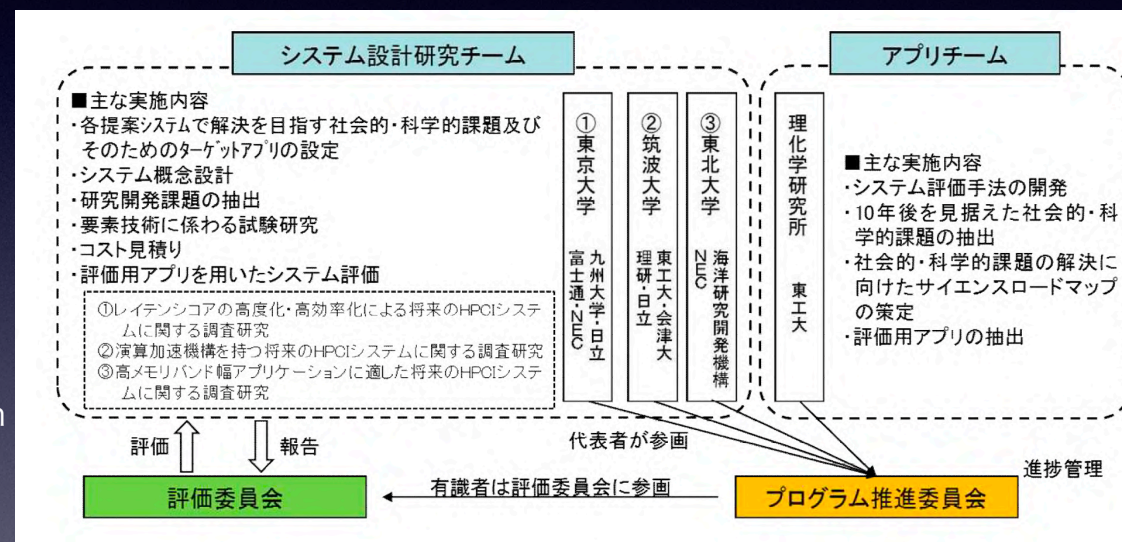
- 筑波大学, 東工大, 理研, 会津大, 日立,
- ✓ (たぶん) PEZY?

★ 高メモリバンド幅アプリケーションに適した将来のHPCIシステムのあり方の調査研究

- 東北大学, JAMSTEC, NEC
- ✓ SX-Aurora TSUBASA (高性能Vector-Engine with 6-Ch HBM2),
- ✓ 高性能計算技術開発(NEC)共同研究部門の設置 (東北大学)

★ アプリケーション分野から見た将来のHPCIシステムのあり方の調査研究

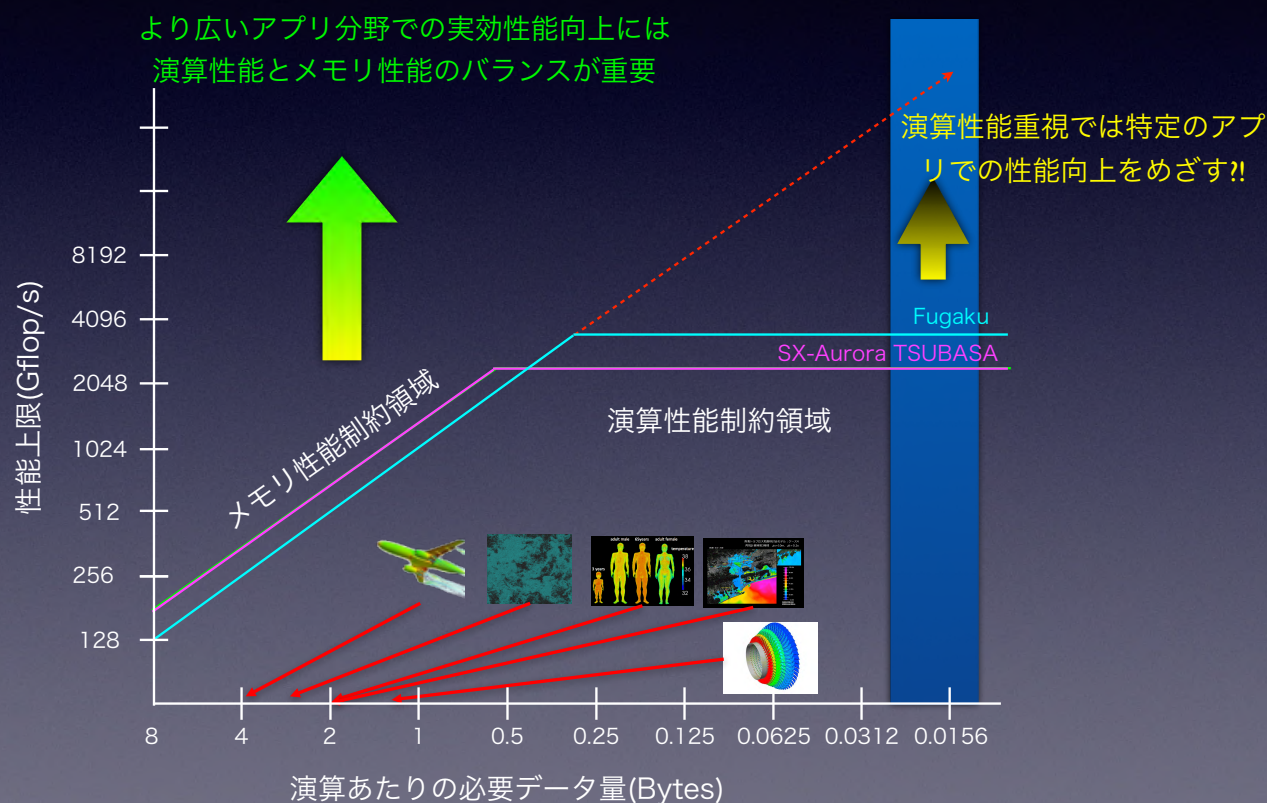
- 理研, 東工大
- ✓ 計算科学ロードマップ



「将来のHPCI システムのあり方の調査研究」事後評価結果報告書より

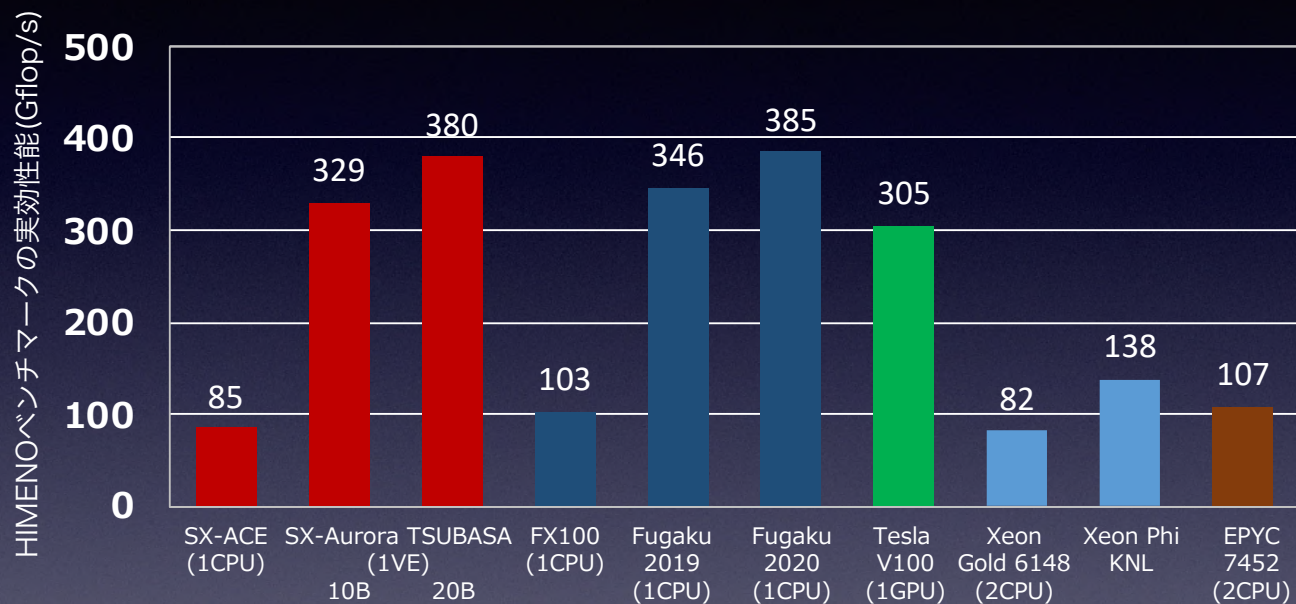
その取り組み・成果はその後の我が国全体のHPC技術力の向上とHPCIの高度化,さらにはそれらを支える人材育成に大いに貢献

ピーク性能の向上で特定アプリに特化するか、演算性能とメモリ性能の バランスでより広いアプリでの実効性能向上をめざすか ～限られたシリコンバジェット・電力バジェットをどこに投資するか！？～



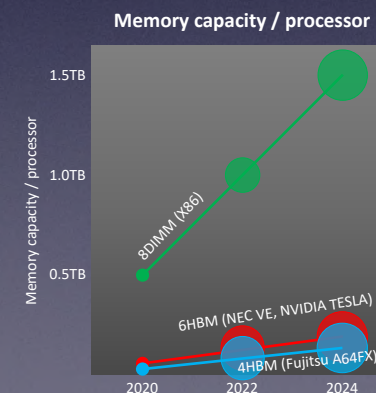
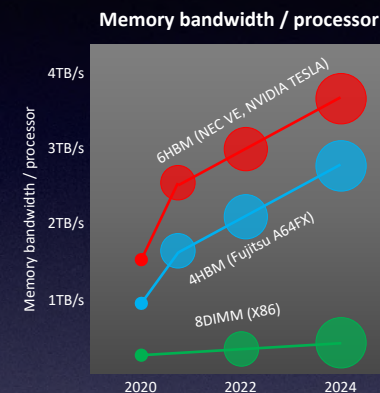
Rank	Name	Cores	Rmax (Tflop/s)	Rpeak (Tflop/s)	Rmax/ Peak
1	Fugaku	7,299,072	415,530.00	513,854.70	80.87
2	Summit	2,414,592	148,600.00	200,794.90	74.01
3	Sierra	1,572,480	94,640.00	125,712.00	75.28
4	Sunway TaihuLight	10,649,600	93,014.60	125,435.90	80.87
5	Tianhe-2A	4,981,760	61,444.50	100,678.70	61.03
6	HPCS	669,760	35,450.00	51,720.80	68.54
7	Seiene	272,800	27,580.00	34,568.60	79.78
8	Grontera	448,448	23,516.40	38,745.90	60.69
9	Marconi-100	347,776	21,640.00	29,354.00	73.72
10	Piz Daint	387,872	21,230.00	27,154.30	78.18

演算・メモリ性能バランスのよいシステムでピーク演算性能に頼らずとも高い実効性能を引き出すことが可能



ピーク演算性能 (TF)	0.256	2.15	2.45	1.12	2.7	3.38	7	3.07	3.456	2.4
ピークメモリ性能 (TB/s)	0.256	1.22	1.53	R:0.24 W:0.24	1.024	1.024	0.90	0.256	0.446*	0.410
メモリ・演算性能比 B/F	1.00	0.57	0.62	0.43	0.38	0.30	0.13	0.08	0.13	0.17
実行効率 (%)	33.2	15.3	15.5	9.2	12.8	11.4	4.4	2.7	4.0	4.5

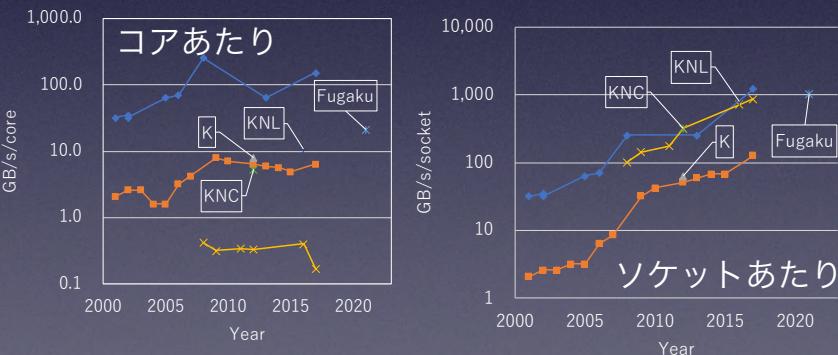
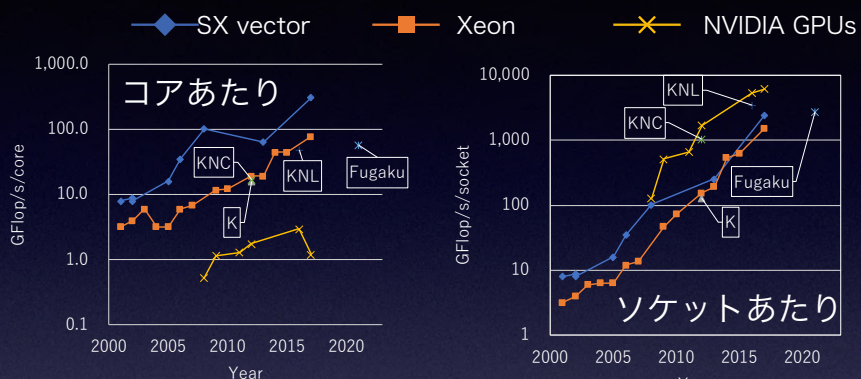
*Stream benchmark result



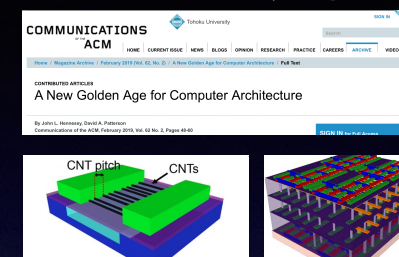
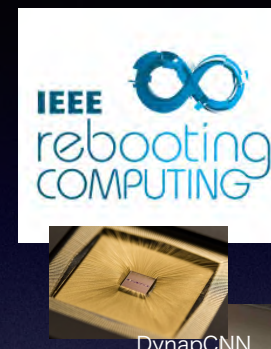
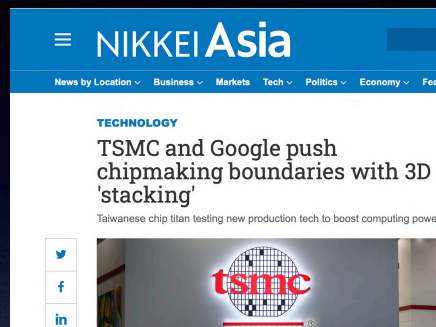
演算・メモリバンド幅の性能トレンド、 及びMore Moore, Beyond CMOS, Post-Moore時代のコンピューティング技術の多様性

演算性能

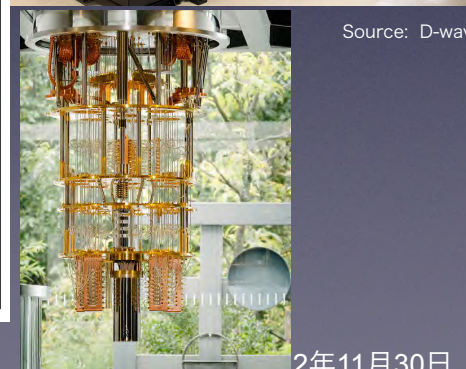
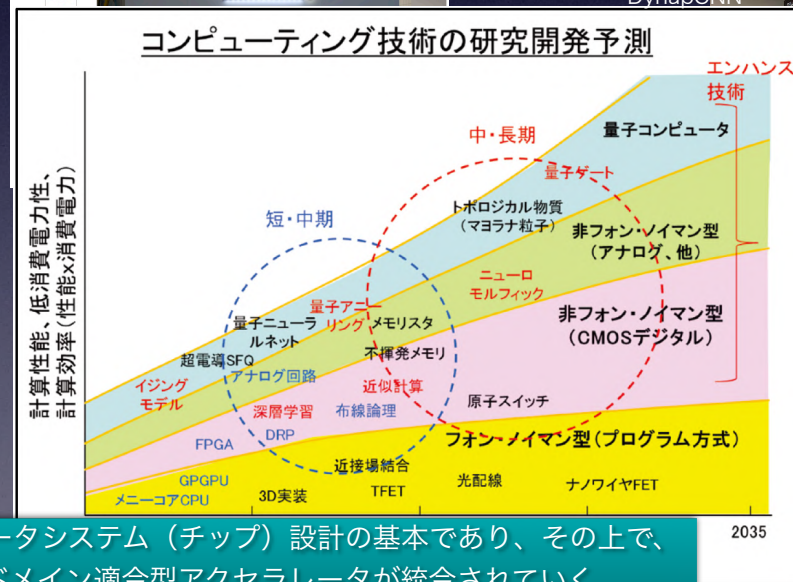
メモリバンド幅性能



「京」の後の時代を支えるスパコン、情報処理2019.12より



CNFET & 3D CN Chip by Stanford Univ.

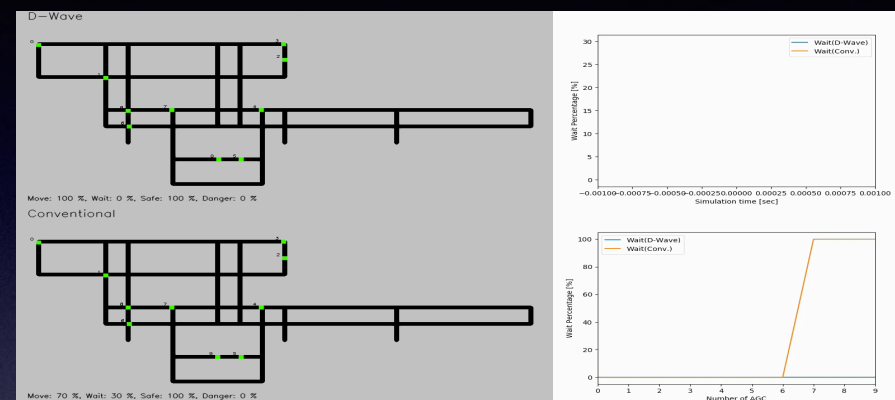
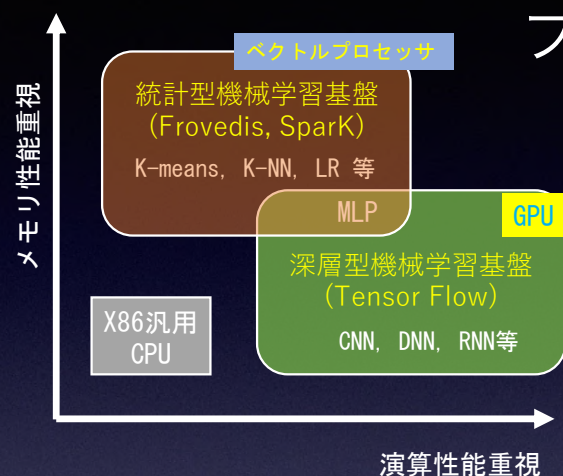


- Mooreの法則が終焉しても、シリコン(CMOS)はコンピュータシステム (チップ) 設計の基本であり、その上で、またはそれと共に新たな素子・情報処理技術によるアプリドメイン適合型アクセラレータが統合されていく
- ★ビルや道路などインフラ構築におけるコンクリートや鉄のような位置づけになる？！
- ★ひたすらピークを引き上げることを目指すだけでなく、アプリケーションの実行効率を高めることが第一

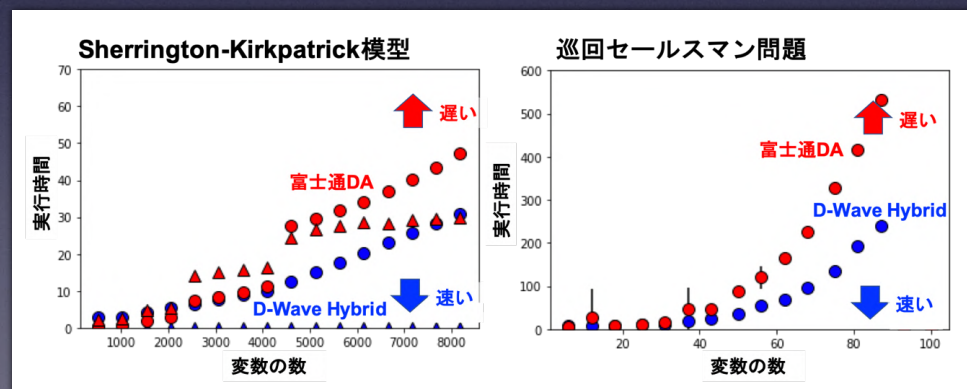
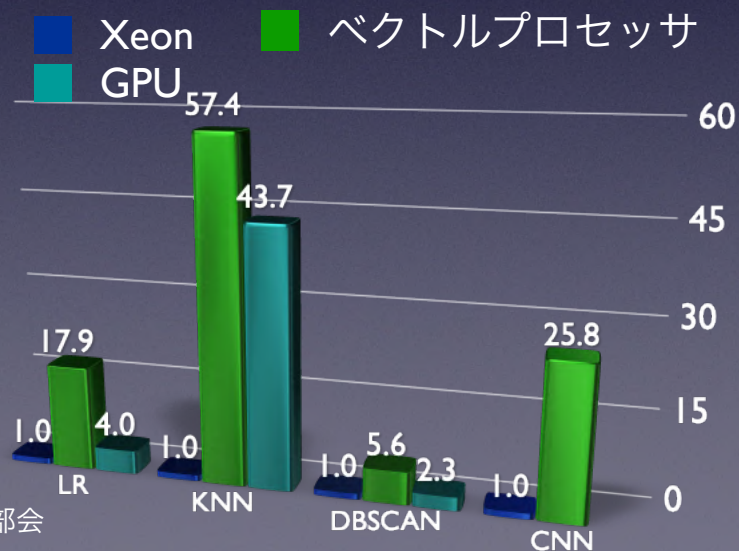
次世代計算基

2022年11月30日

AI・機械学習・ビッグデータ解析でもプラットフォームを適材適所で活用

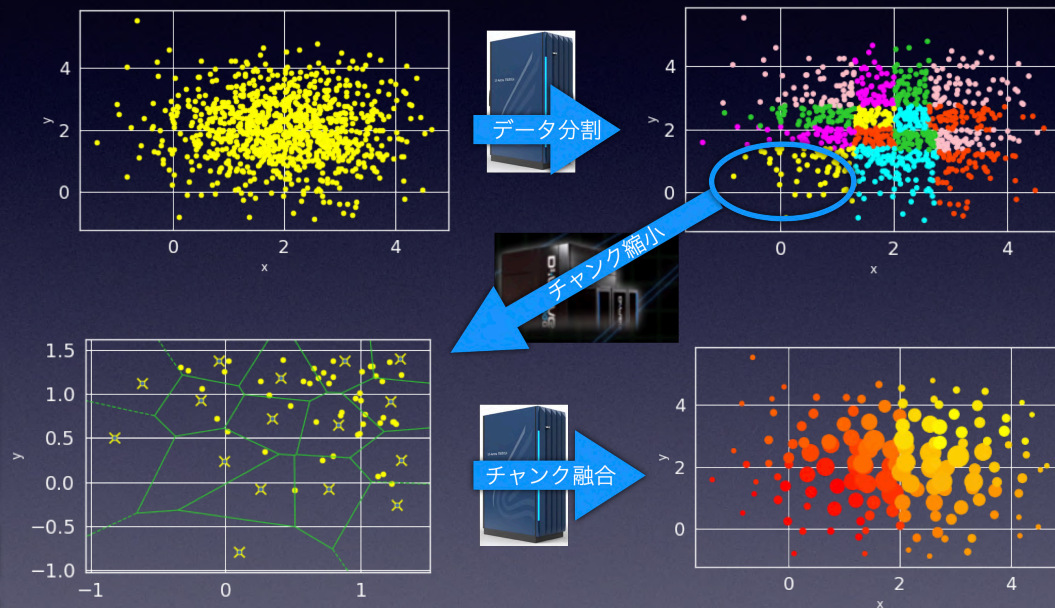
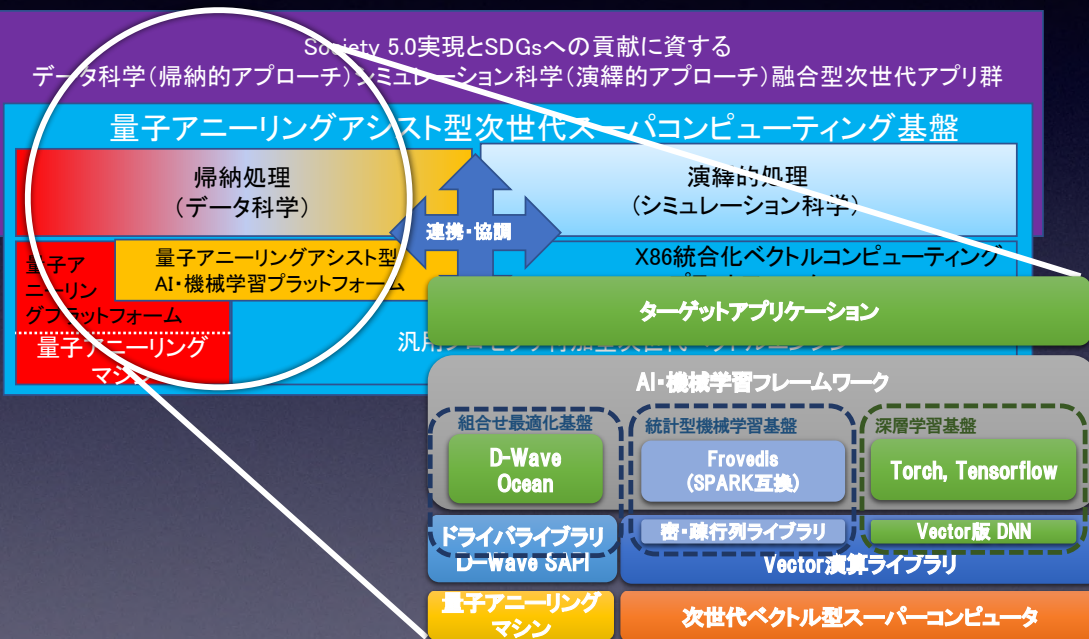


量子アニーリングによる最適化 大関真之准教授提供



文科省次世代領域開発事業「量子アニーリングアシスト型次世代スーパーコンピューティング基盤の開発」(PI 小林広明) R1成果報告書より

量子アニーリング・古典的コンピューティング・ハイブリッド型 階層型凝集クラスタリングの開発



文科省次世代領域開発事業「量子アニーリングアシスト型次世代スーパーコンピューティング基盤の開発」(PI 小林広明) R1成果報告書より

量子アニーリングマシンの過去・現在・未来

