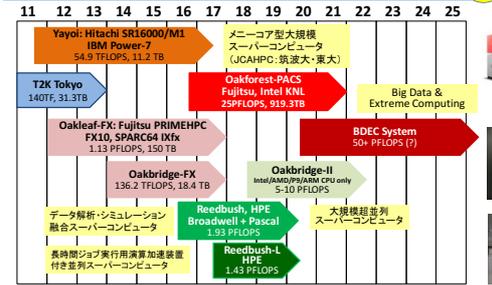


## 変遷を遂げるスーパーコンピューティング 1

- EFLOPS: 10<sup>18</sup>実数演算/秒, US-DOE: 2021年(A21)
- スーパーコンピューティングの質的な変化・多様化
  - 大規模シミュレーション+データ+機械学習・3つの柱
  - 「計算科学+データ科学+機械学習」融合による「知的」な計算科学へ
- 消費電力軽減
  - ムーア則終焉へ向けても課題
  - 多様なワークロード, HW
  - CPU, GPU, FPGA, 量子・Neuromorphicチップ, 専用チップ等
  - 計算時間・計算量の削減

## 東大センターのスパコン: 6年周期 2



## 東大センター: 現状のシステム 3

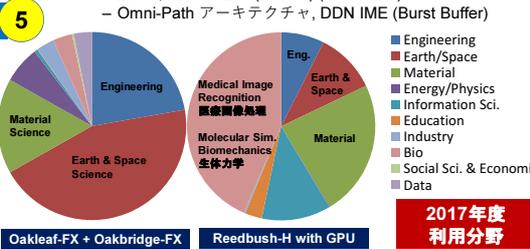
- Oakleaf-FX (富士通 PRIMEHPC FX10)
  - 1.135 PF, 京コンピュータ商用版, 2012.4 ~ 2018.3
- Oakbridge-FX (富士通 PRIMEHPC FX10)
  - 136.2 TF, 長時間実行用, 2014.4 ~ 2018.3
- Reebush (HPE, Intel BDW + NVIDIA P100 (Pascal))
  - データ解析・シミュレーション融合スーパーコンピュータ
  - 2016年7月~2020年6月
  - 東大情基セ初のGPU搭載システム
  - Reebush-U: CPU only, 420 nodes, 508 TF (2016.7)
  - Reebush-H: 120 nodes, 2 GPUs/node: 1.42 PF (2017.3)
  - Reebush-L: 64 nodes, 4 GPUs/node: 1.43 PF (2017.10)
- Oakforest-PACS (OFF) (富士通, Intel Xeon Phi (KNL))
  - JCAHPC (筑波大 CCS + 東大 ITC)
  - 25 PF, 世界第12位 (2018.6) (日本第2位)
  - Omni-Path アーキテクチャ, DDN IME (Burst Buffer)

## 東大センターの中長期的展望 4

- 新利用分野開拓: 2015年度から本格着手
  - これまで計算科学分野が中心
  - データ科学・深層学習・人工知能
    - ゲノムデータ解析, 医用画像処理等での利用は既に始まっている(東京大学ゲノム医学研究機構, 医学部附属病院との共同プロジェクト)
- 計算科学・データ科学を融合した新研究手法創成・活用
- BDECシステム (Big Data & Extreme Computing)
  - 2020年秋以降運用開始予定
  - Reebushはそのプロトタイプ
  - 東大柏IIキャンパス新研究棟に設置

## BDEC (Big Data & Extreme Computing) 5

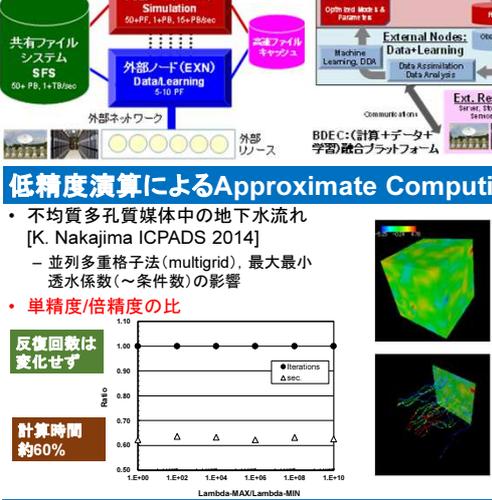
- (計算+データ+学習)融合向けプラットフォーム, 60+PF
- 異なるアーキテクチャによる, 計算科学向け「内部ノード」, データ処理・データ同化・学習向け「外部ノード」を有する
  - Hierarchical, Hybrid, Heterogeneous (h3)
  - 外部ノードは全体の10%程度, 60PB以上の共有ファイルシステムと外部・内部ノードが共有するファイルキャッシュシステム
- 外部ノードの各ノード
  - 外部計算資源(サーバー, ストレージ, データベース, センサー等)と直接通信可能, 観測データ等のリアルタイム処理を含むデータ処理, 学習等に利用し, 内部ノードでの計算とも連携する
  - NVRAM搭載予定, 量子デバイス, FPGA等も視野に
- 想定されるアプリケーション
  - (大気+海洋)連成+データ同化
  - 地震シミュレーション+リアルタイムデータ同化
  - リアルタイム災害シミュレーション(洪水, 地震, 津波)



## エクサスケール・ポストムーア時代 6

- 消費電力削減が最も大きな課題
  - 既に重要な課題
  - 計算・データ移動・通信の削減が必要
- 量子コンピューティング, FPGAなど
  - グラフ処理・探索・データタタリング等限られた処理には有用
- いかにして消費電力を削減するか?
  - 低精度・変動精度演算による計算量・計算時間削減
  - データ駆動アプローチ (Data Driven Approach, DDA)による計算ケース削減

## 低精度演算によるApproximate Computing 9



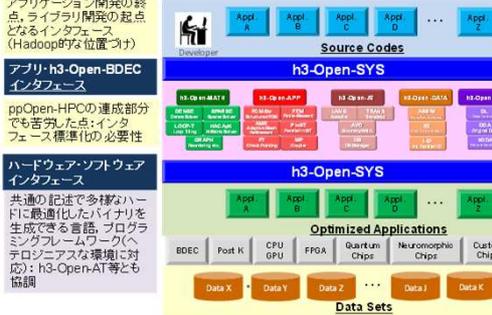
## データ駆動アプローチ (DDA) 10

- 科学技術シミュレーション
  - 非線形, 膨大なパラメータスタディ
  - ケース数削減が重要: 消費電力削減
  - 気象分野におけるデータ同化・アンサンブルシミュレーション
    - (例) 中期予報では50-100ケースのアンサンブルシミュレーションを実施, 実際は1,000ケース以上必要
    - 機械学習等によって最適なパラメータが選択されれば, 100ケースで従来の1,000ケースと同等の精度の高い解が得られる可能性がある
- Data Driven Approach (データ駆動アプローチ, DDA)
  - 計算科学 (+ 観測) + 機械学習の融合, 機械学習による最適パラメータ自動選択
  - O(10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup>) 教師データ必要
  - これまでの成功例は非常に特殊なケースに限られる (簡単なモデル)
- 気象アンサンブルシミュレーションの例
  - [Miyoshi et al. 2014], 京4K+ノード
  - ケース数が少ないとノイズ多い⇒局所化必要⇒遠方の観測の影響を考慮できない, (e)~(f)

## h3-Open-BDEC (計算+データ+学習) 7

- BDECシステムの能力を最大限活用し, 科学的発見を持続的に促進するために, (計算+データ+学習)融合による科学を容易に実現する革新的ソフトウェア基盤「h3-Open-BDEC」を世界に先駆けて開発
- 機械学習を計算科学に融合した新手法である「階層型DDA (Data Driven Approach)」は, 実行ケース数を従来の10分の1程度に減少させ, 科学・工学の研究開発プロセスの効率化, 消費電力削減にも貢献
- 低精度・変動精度演算による計算量・計算時間削減
- h3-Open-BDECを様々なアプリケーションに適用, 効果を検証し, 改良したソフトウェアをポスト京, 次世代HPC計算機資源等へ展開し, (計算+データ+学習)融合によるシミュレーションの普及を図る

## 異機種統合コンテナによる統合・制御・通信 13

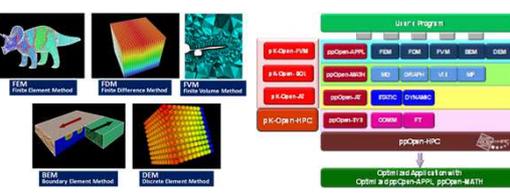


## 階層型DDA (hDDA)によるh3-Open-ML 11

- 計算量の少ない簡易モデル(または局所モデル)を機械学習に基づき生成
  - 適応格子 (Adaptive Mesh Refinement, AMR)
  - モデル縮減 (Model Order Reduction, MOR)
  - メッシュ行列
  - Surrogate Model
  - UQ (Uncertainty Quantification)
  - WCCM XIII (2018年7月) では多数の発表例
- 大規模向け汎用的フレームワークの必要性

## ppOpen-HPC/pK-Open-HPC 8

- h3-Open-BDECは, JST/CRESTで開発した, ppOpen-HPC (自動チューニング機構を有するアプリケーション, 開発・実行環境), pK-Open-HPCと同様のアイデアに基づいている [K.Nakajima et al. 2015]



## BDEC+h3-Open-BDECの特徴・独創性 14

- BDECシステム
  - (計算+データ+学習)融合を実現する世界初のプラットフォーム
  - 内部ノード・外部ノード, リアルタイム処理
- h3-Open-BDEC
  - (計算+データ+学習)融合のために, 本来, 各分野の専門家の緊密な協力が必要があるが, h3-Open-BDECは計算科学の専門家のみで融合アプリケーションを開発可能な画期的な基盤である
  - 米国のA21計画では, 多様なワークロードに対応するための統合的なソフトウェア基盤の必要性が述べられているものの, 具体的な計画はまだなく, 数値ライブラリなど個別の研究開発に留まっており, h3-Open-BDECは世界に先駆けた試みである
  - ケース数10分の1, もしくは「10倍と同等の精度」
    - 防災・気候変動・気象⇒安全・安心な社会
    - ものづくり系シミュレーション⇒設計プロセス効率化
  - 将来: ソース公開, 様々なスパコン(ポスト京など)への展開

## リアルタイム地震シミュレーション・データ同化 12

- 次世代全国地震データ流通基盤システム (JDxnet)
  - 地震計観測データをリアルタイムでSINET経由で取得可能 (100Hz/3-dir/s/O(10<sup>3</sup>) pts) (気象庁, 防災科技研, 地震研)
  - ベクターバ(地震研)に集約, O(10<sup>2</sup>)GB/day⇒BDEC利用
  - 自治体, 産業界も含めればO(10<sup>3</sup>)点
- 外部ノード
  - リアルタイムデータ取得
  - データ同化
  - 地下モデル改良
- 内部ノード
  - 大規模シミュレーション繰り返し実施



http://ppopenhpc.cc.u-tokyo.ac.jp/  
https://github.com/Post-Peta-Crest/ppOpenHPC

連絡先: 中島研吾(東京大学情報基盤センター)  
nakajima@cc.u-toyo.ac.jp