

xR技術を駆使した 大規模原子力データの可視化

河村拓馬

日本原子力研究開発機構システム計算科学センター

第35回CCSEワークショップ

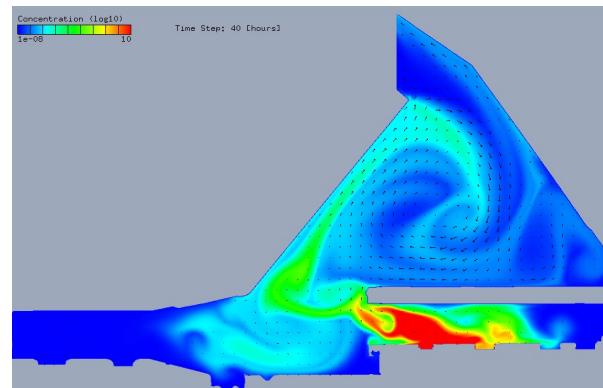
オンライン開催

2024年2月2日

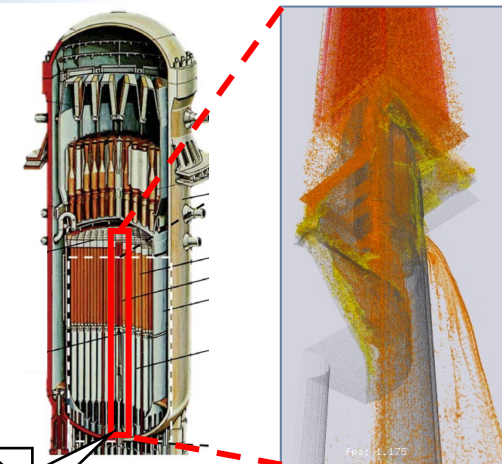


JAEAにおける可視化技術の活用

- 可視化とは？
 - 色と不透明度で物理値を表示
 - 視点変更で3次元を観察
 - 数秒オーダーの対話処理
- 粒子ベースの可視化技術
Particle-Based Volume Rendering,
PBVR
 - 対話処理可能なアプリケーション

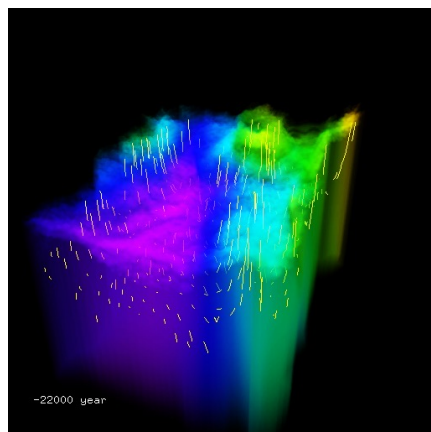


1F港湾汚染物質拡散解析
(CCSE/福島研究開発部門)



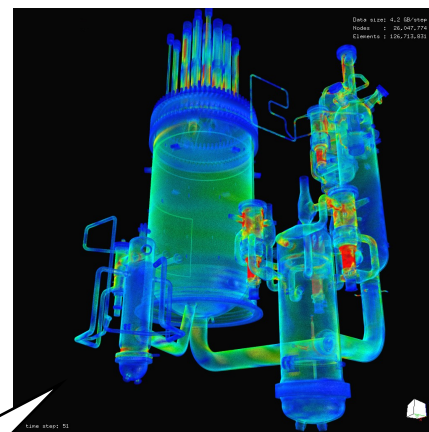
燃料溶融で複雑な
多変量データから
溶融挙動を確認

燃料溶融挙動解析
(原子力科学研究部門)

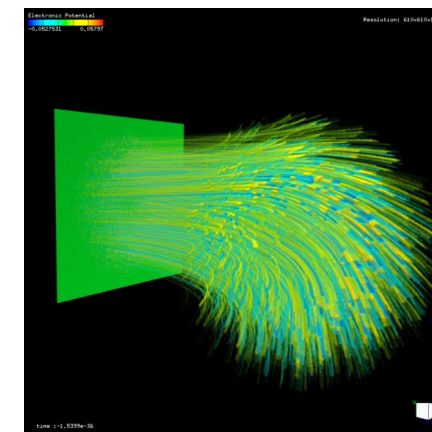


地下水流挙動解析
(核燃料・バックエンド研究開発部門)

耐震データで観察
の難しい応力集中
の領域を発見

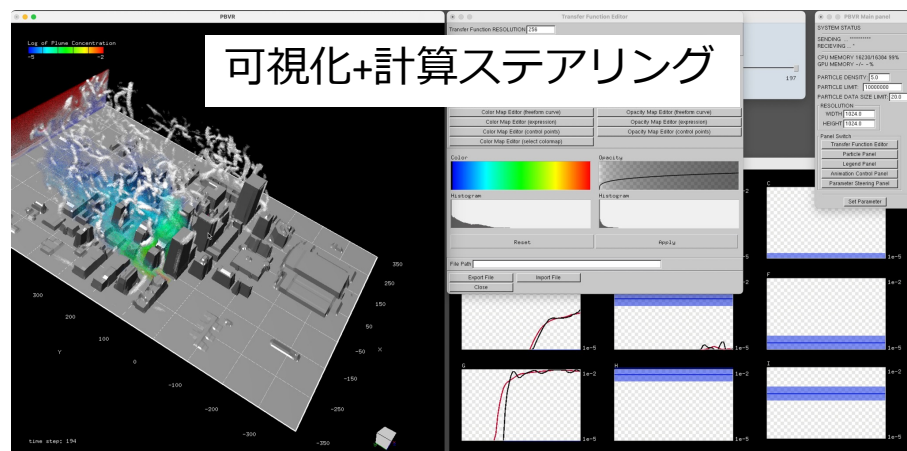


原子力施設耐震解析
(安全研究・防災支援部門)

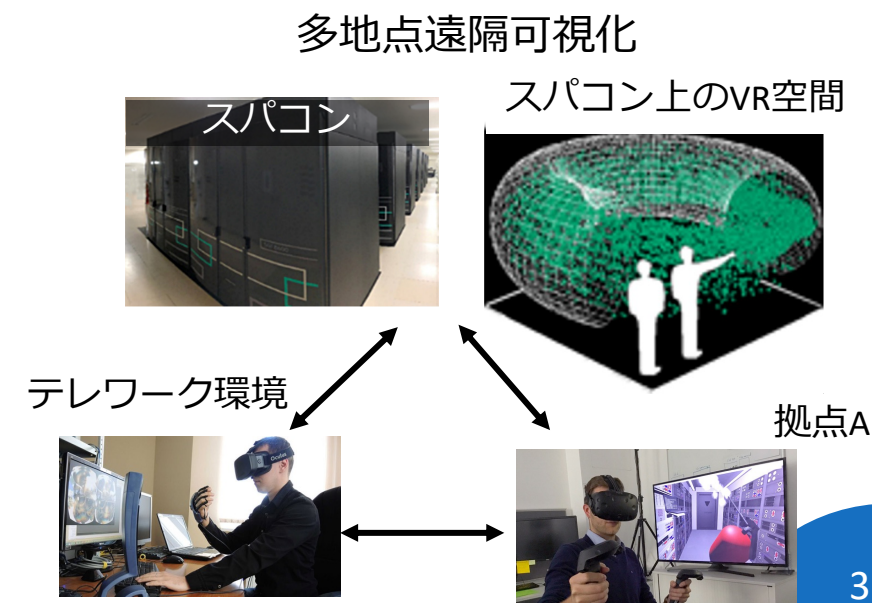
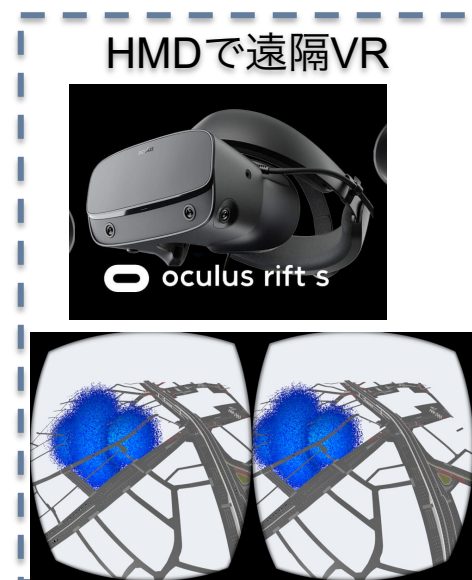


核融合プラズマ流体解析
(QST、旧核融合研究開発部門)

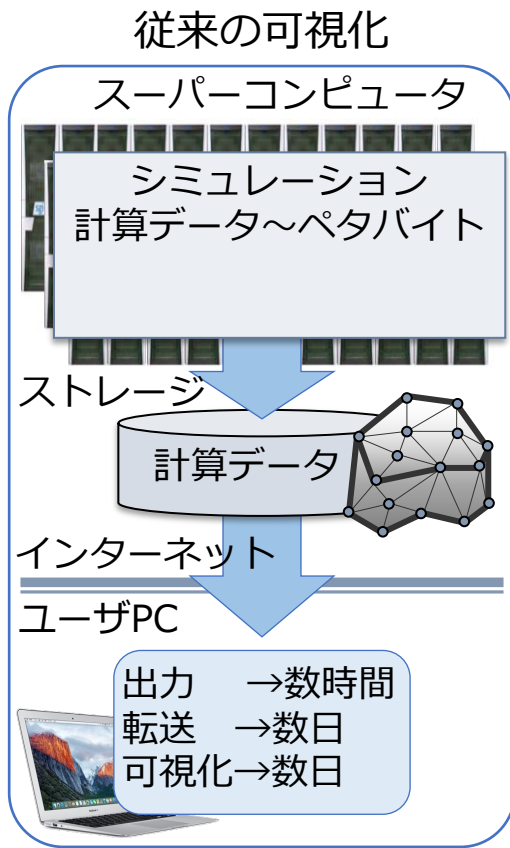
- 研究開発のDXによりxR技術を活用した可視化のニーズが増大
- 多数の専門家が関わる原子力分野の大規模シミュレーションを可視化する技術
 1. 解析⇔可視化のループを効率化
 2. VRによるリアリティの高い可視化
 3. 複数拠点の科学者で連携
- xR技術による大規模計算向けの可視化基盤
 1. 実時間可視化+計算ステアリング
 2. ヘッドマウントディスプレイ(HMD)で遠隔VR
 3. 多地点遠隔可視化



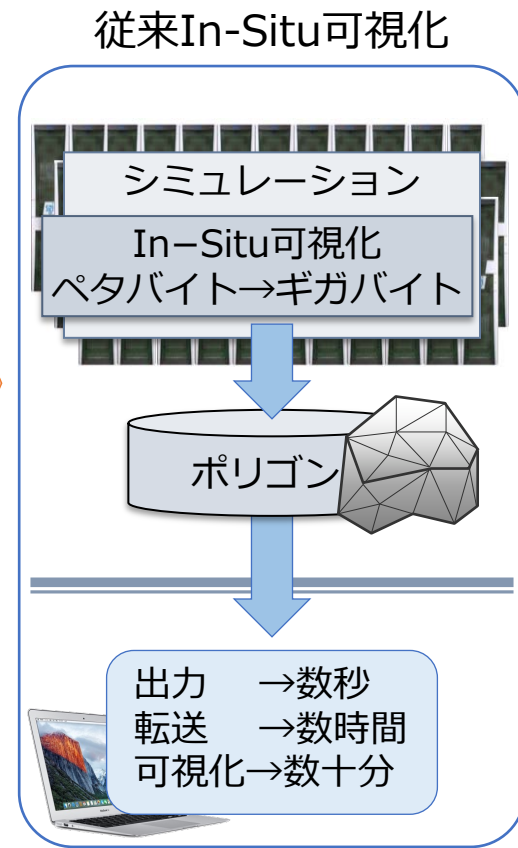
パラメータや境界条件を
変更しながら可視化



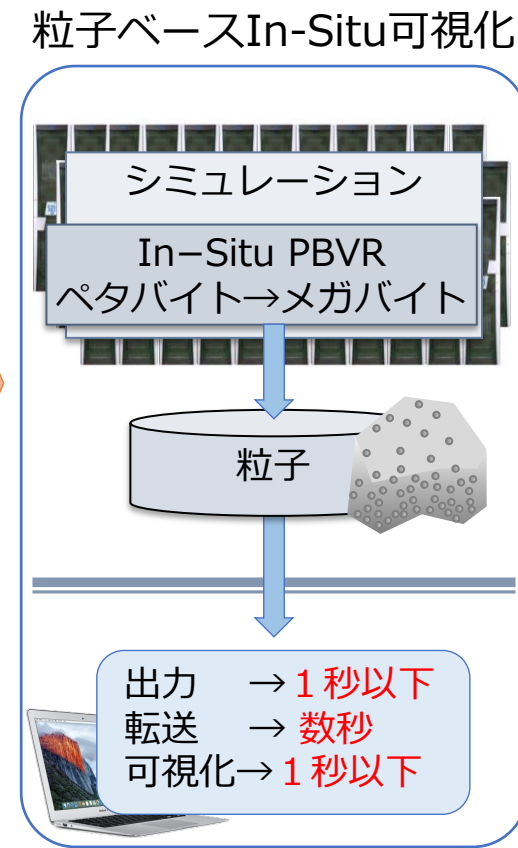
大規模可視化の課題と解決策



- 計算データをユーザPCへ転送
- 大規模データへの適用が困難



- ポリゴンに変換
 - 計算データの全領域に生成
- 可視化処理コストが高い



- 粒子に変換
 - 可視化に必要な部分に選択的に生成
- 可視化処理コストが低い

In-Situ PBVRを活用し解決

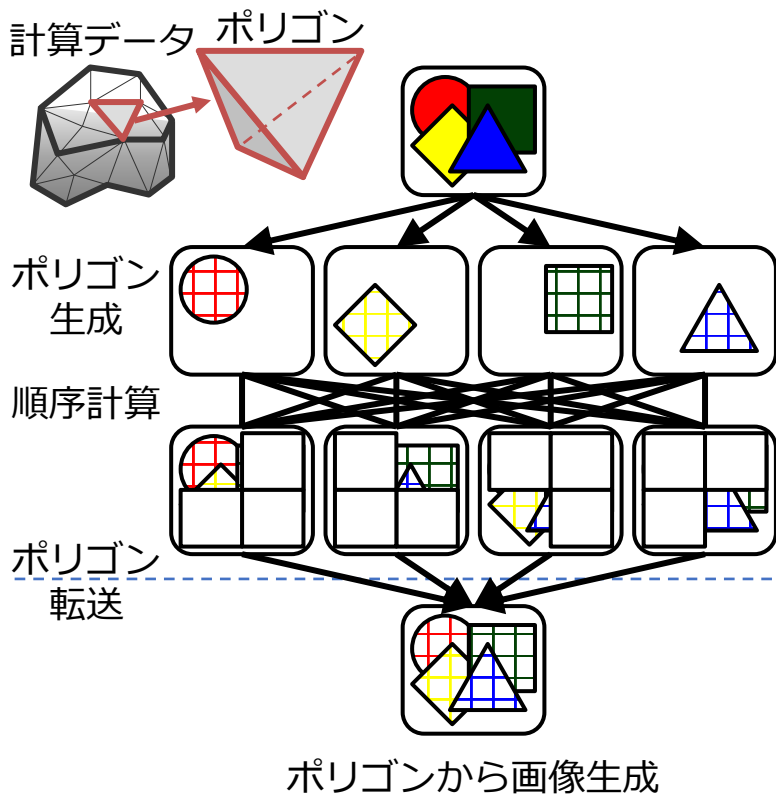
1. In-Situ計算ステアリング
2. In-Situ遠隔VR可視化
3. 多地点遠隔可視化

- 0. PBVRによる基盤技術
 - a. PBVRによる大規模データの可視化処理
 - b. In-Situ可視化フレームワークIn-Situ PBVR
- 1. In-Situ計算ステアリング
- 2. In-Situ遠隔VR可視化
- 3. 多地点遠隔可視化

- 0. PBVRによる基盤技術
 - a. PBVRによる大規模データの可視化処理
 - b. In-Situ可視化フレームワークIn-Situ PBVR
- 1. In-Situ計算ステアリング
- 2. In-Situ遠隔VR可視化
- 3. 多地点遠隔可視化

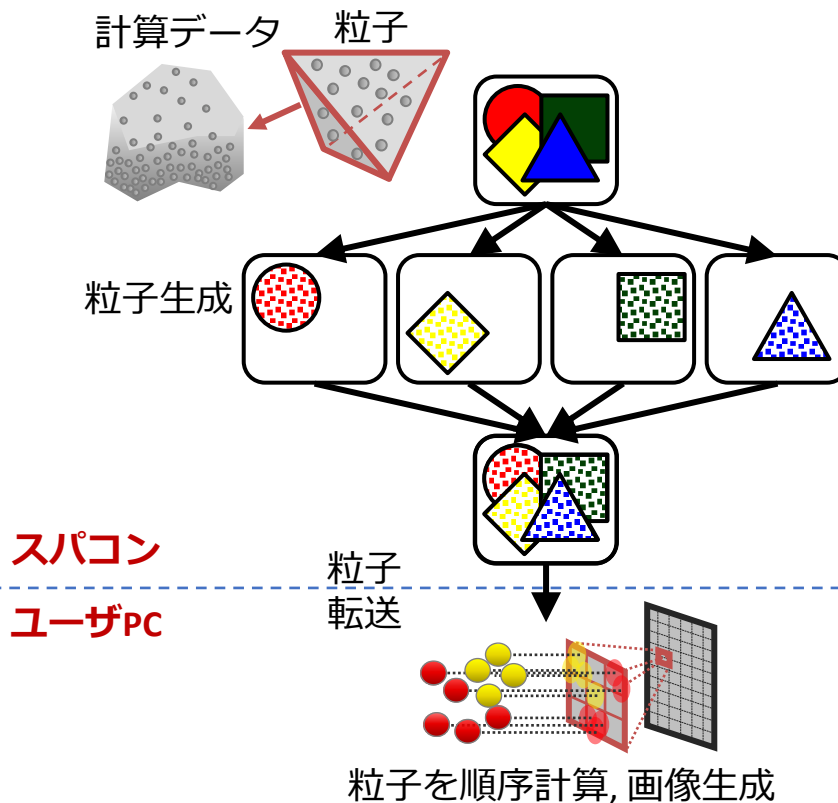
従来のポリゴンベース可視化

- ポリゴンに変換(TB)
 - 元データの全領域にポリゴンを生成
- スパコン上の並列処理で順序計算
- 視点変更により再計算が必要



粒子ベースボリュームレンダリング(PBVR)

- モンテカルロ法による粒子生成(MB)
 - 不透明度から画素に映る粒子のみ生成
- PC上で描画時に順序計算
- 再計算無しに視点変更が可能



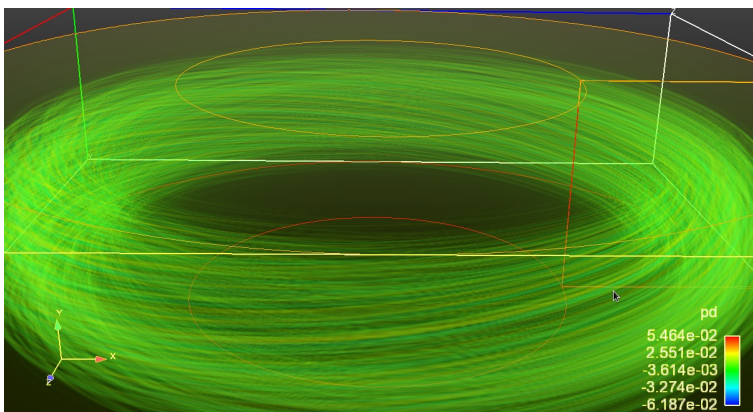
課題 大規模データでは可視化処理速度が低下

- 膨大なポリゴンは転送困難
- 順序計算のために演算器間で多量の通信が発生
- 視点変更が困難

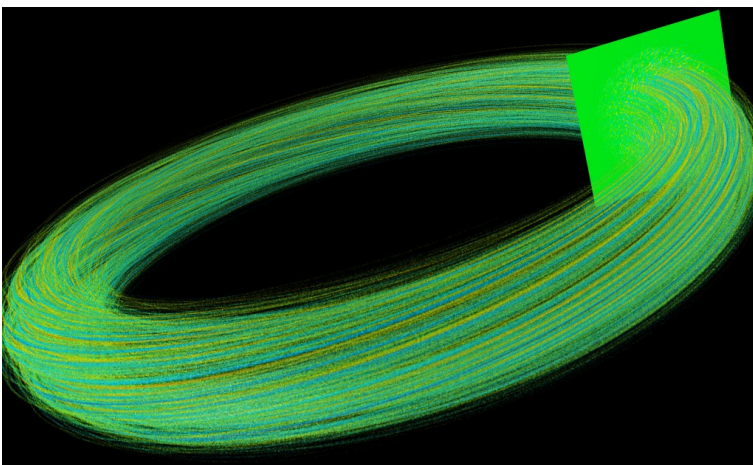
粒子データが圧縮されることに着目し遠隔可視化モデルを構築

- 圧縮された粒子データをユーザPCへ転送
- 順序計算を伴う描画処理はユーザPC上で処理
- 視点変更が容易

事例 約2億格子のプラズマ乱流データを対象に
汎用可視化ツールEnSightと比較



EnSight



PBVR

実験環境		
Client	CPU	Xeon E5
	GPU	Quadro K5000
Server	Intel Xeon E5 (48 cores)	
Network	3.4 [MB/sec]	

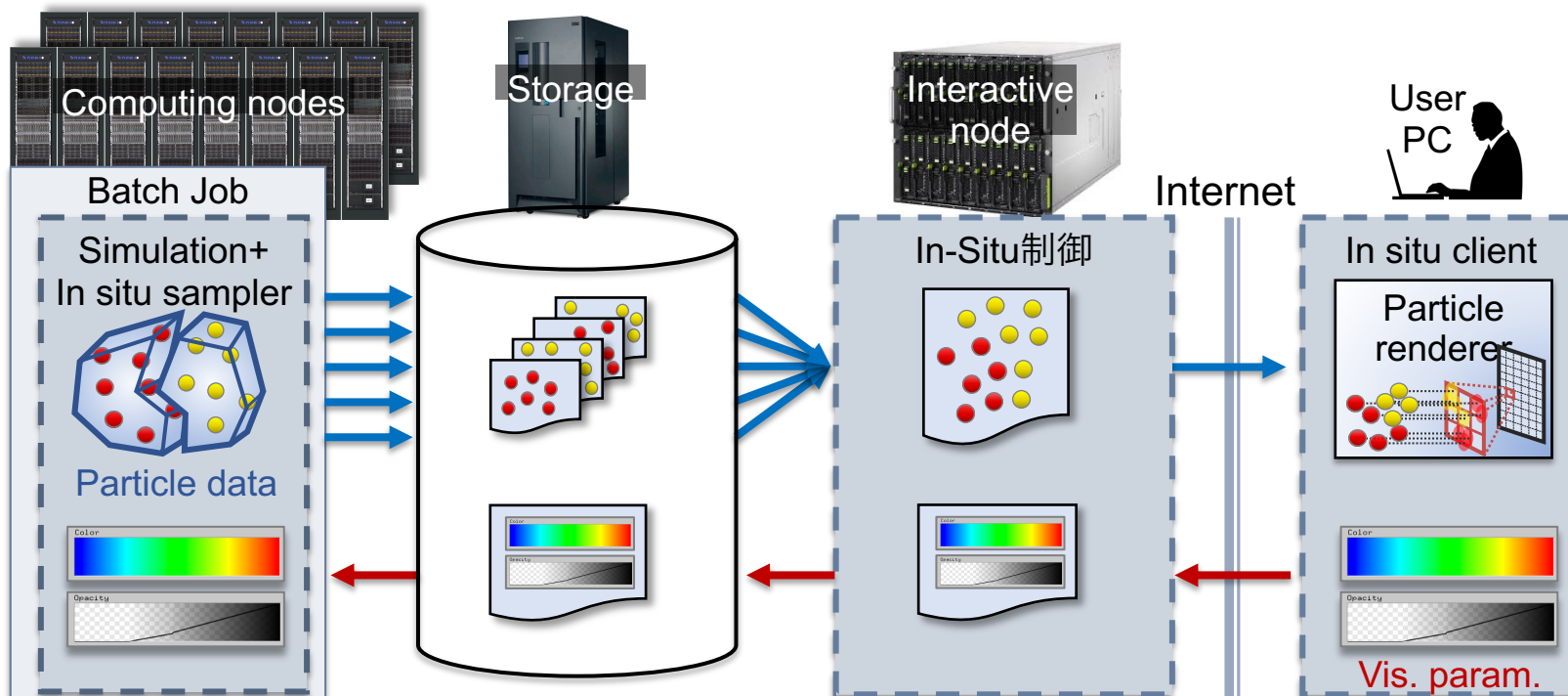
元データ サイズ	粒子データ サイズ
~1 TB	~260 MB

	PBVR	EnSight
粒子生成[sec/step]	52	-
転送[sec/step]	75	-
合計 [sec/step]	128	3873
描画速度[fps]	60	2.7

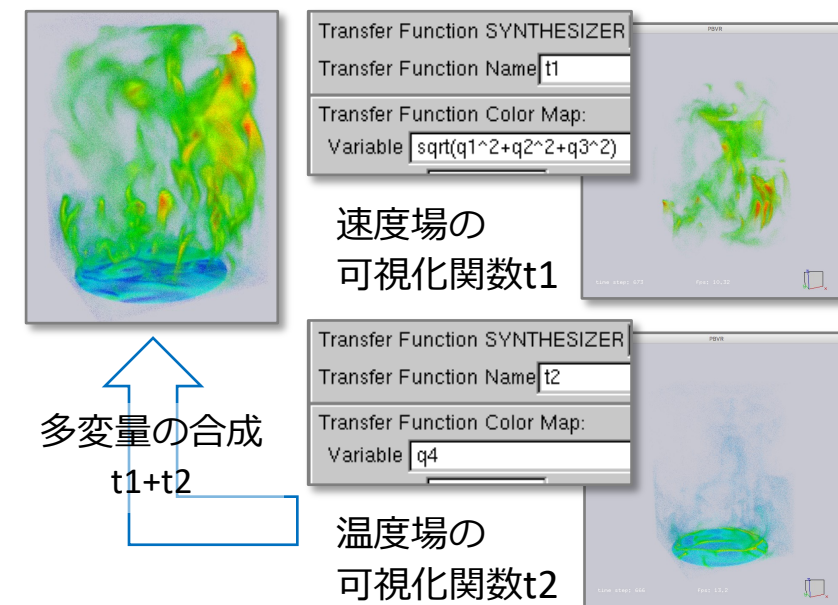
- 小さなデータサイズ
 - ・ 大規模な元データの数千分の一
- 超並列処理に適したモンテカルロ法
 - ・ EnSightの22倍以上高速
- 秒間60フレームで対話的な視点変更

結果

- メガバイト規模の粒子を用いてポリゴンよりも高速なデータ転送
- スパコン上で実時間の可視化処理を実現
- 実時間の視点変更を実現



多変量可視化の設計



PBVRによる並列可視化

- 並列処理コストが小さい →1秒以下
- 可視化データが小さい →数10MB
- データ転送コストが小さい →数秒

優位性

- 米国DOEのIn-Situ可視化アプリより **数十倍高速**な実時間処理

In-Situ制御

- パラメータファイルを通じて非同期に可視化処理を制御する技術

優位性

- シミュレーションを阻害せずに可視化パラメータを設計する対話処理

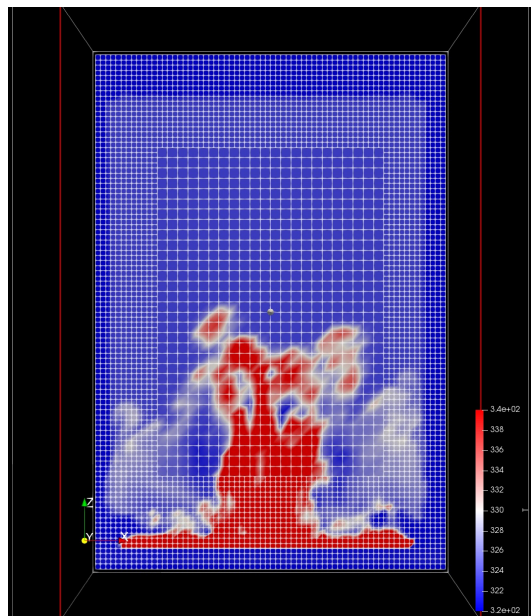
多変量データ可視化

- 多変量データと色・不透明度の関係を代数式で設計する手法

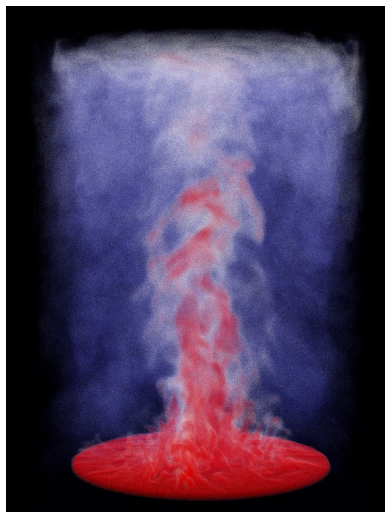
優位性

- 多変量、多次元データに対する専門家のイメージを形にする可視化

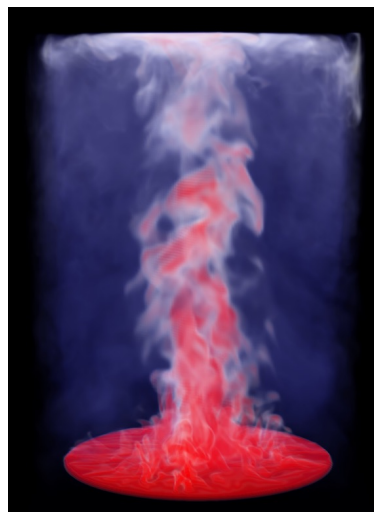
適合格子細分化(AMR)シミュレーションへの適用



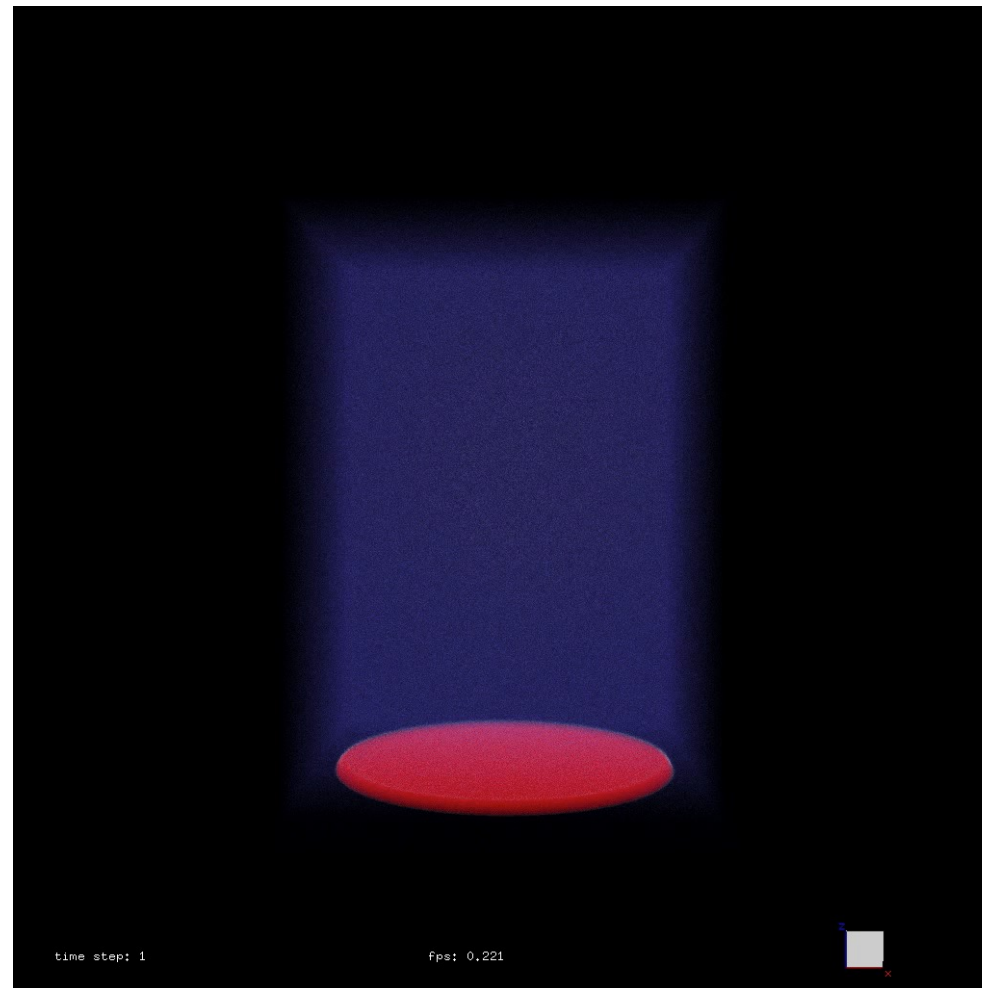
AMRデータの断面(1/64)



PBVR



ParaView



HPE SGI8600 (1 node spec.)

CPU: 2x Intel Xeon Gold 384GB

GPU: 4x NVIDIA Tesla V100, 32GB

- デブリ空冷模擬実験
- AMR 格子 (約3000万格子)
- 2 nodes, 8 GPUs
- 回線速度 3MB/s

In-Situ PBVR

Particle size : 180[MB]

Particle gen. : 17.8 [s/step]

Transfer : 60.1 [s/step]

Rendering : 0.01 [s/step]

(91 Frame/s)

ParaView Catalyst

Rendering : 388 [s/step]

(0.002 Frame/s)

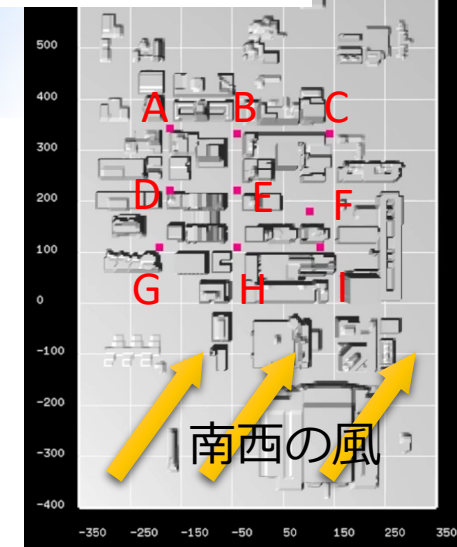
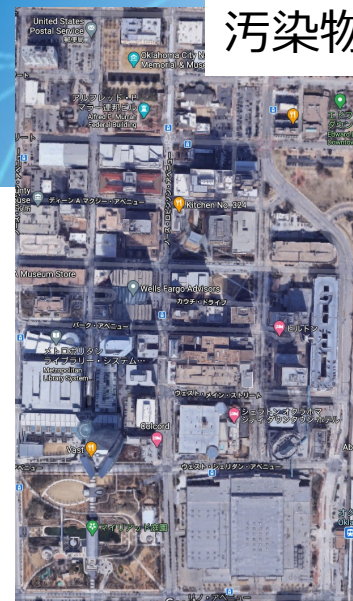
- 全体性能は~5倍、
- 視点変更速度は~3万9千
- 実時間の対話的操作が可能

- 0. PBVRによる基盤技術
 - a. PBVRによる大規模データの可視化処理
 - b. In-Situ可視化フレームワークIn-Situ PBVR
- 1. In-Situ計算ステアリング
- 2. In-Situ遠隔VR可視化
- 3. 多地点遠隔可視化

In-Situ計算ステアリング

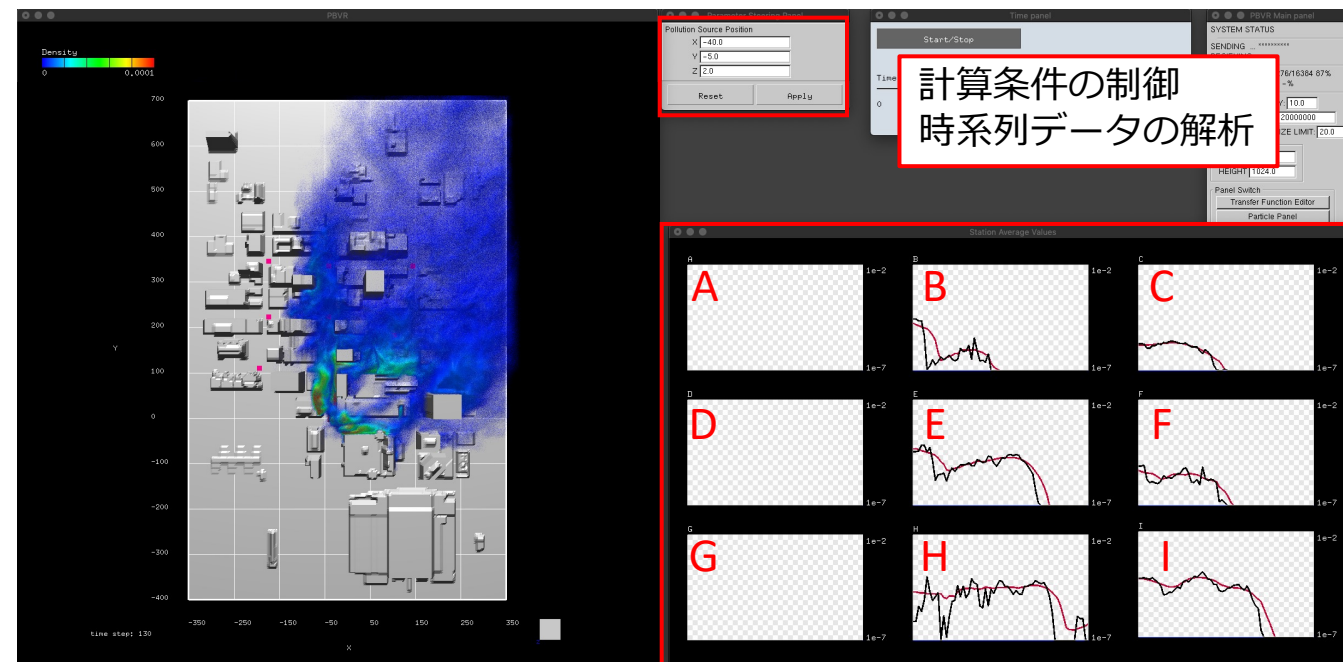
- シミュレーションの計算条件を対話的に制御
 - 計算実行中に計算パラメータや境界条件を変更しながら可視化
 - シミュレーション側に計算条件入力用の機能追加が必要

汚染物質拡散解析の事例

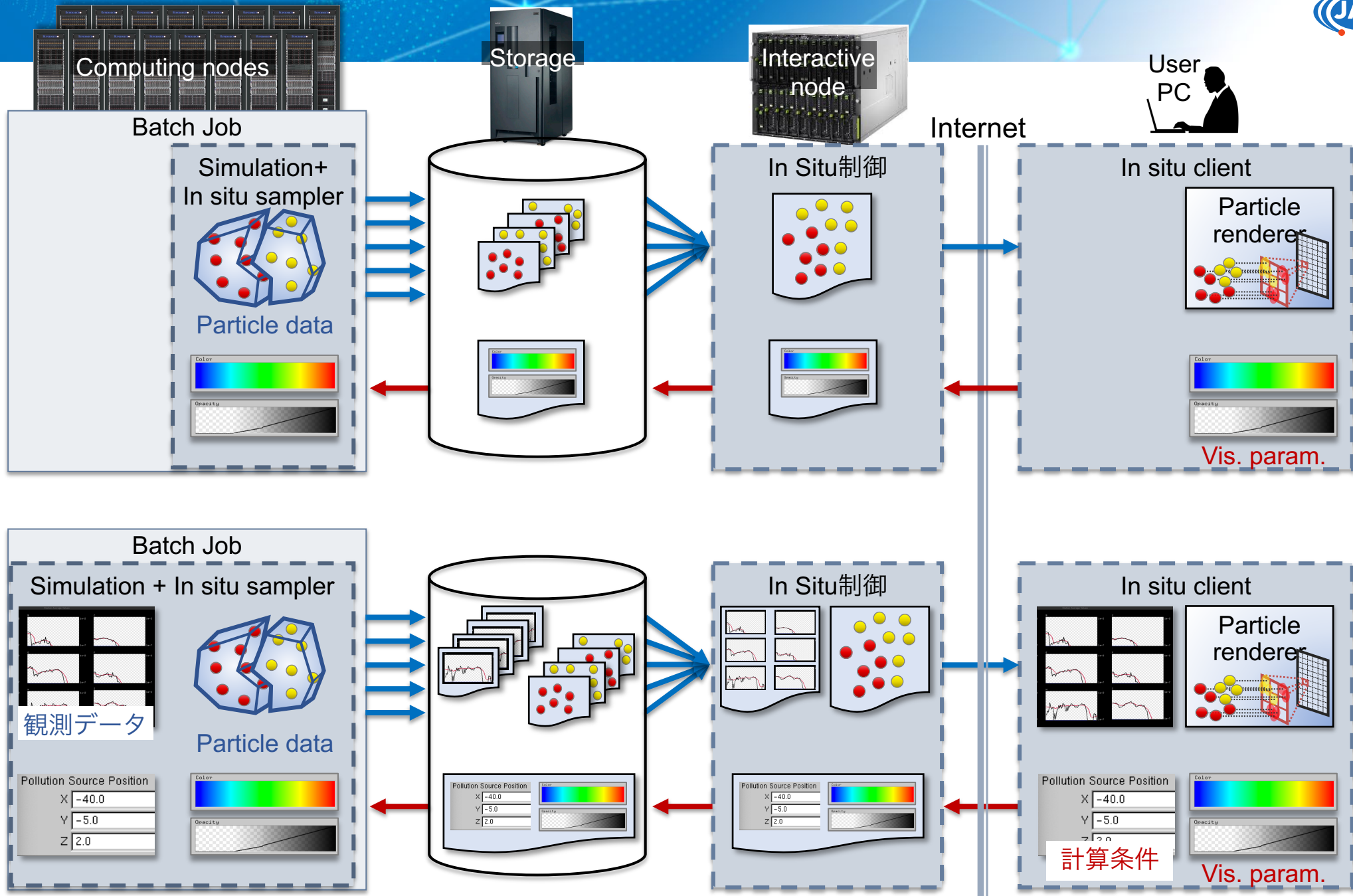


米国オクラホマシティの建物高さデータ

- 時系列データの統計解析機能
 - 計算空間に観測点を設定
 - 観測点上の時系列データを情報可視化
 - 可視化と同時にデータ取得するためシミュレーション側の変更無し



In-Situ SteeringのGUI



In-Situ PBVR

In-Situ ストリーミング

In-Situ計算ステアリング

実時間汚染物質拡散解析における事例

- 従来手法による計算条件の制御→**~1日/フィードバック**
 - ~1TB/shotの観測データを生成
 - 従来アプリで可視化し、計算条件を変更し、再実行
- In-Situ PBVRを活用した計算条件の制御→**実時間フィードバック**

HPE SGI8600 (1 node spec.)

CPU: 2x Intel Xeon Gold (3.0GHz, 24 cores), 384GB RAM

GPU: 4x NVIDIA Tesla V100, 32GB

実験条件

- 4Km²、4m解像度
- 3階層のAMR格子
- 総格子数~1.3x10⁸
- 8nodes, 32GPUs

1ステップの処理性能

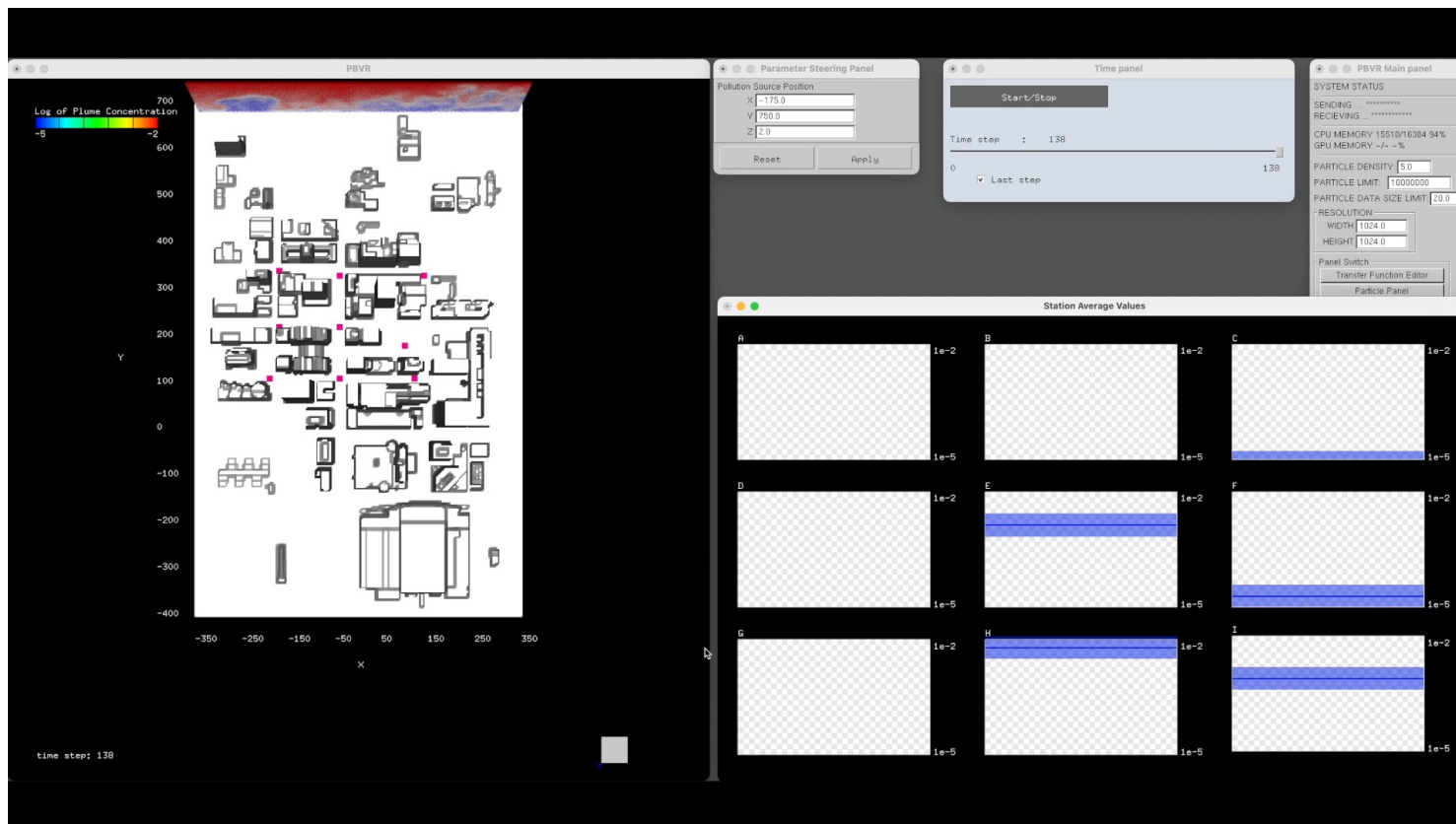
- In-Situ PBVR: 1秒未満
- ParaView: 数百秒

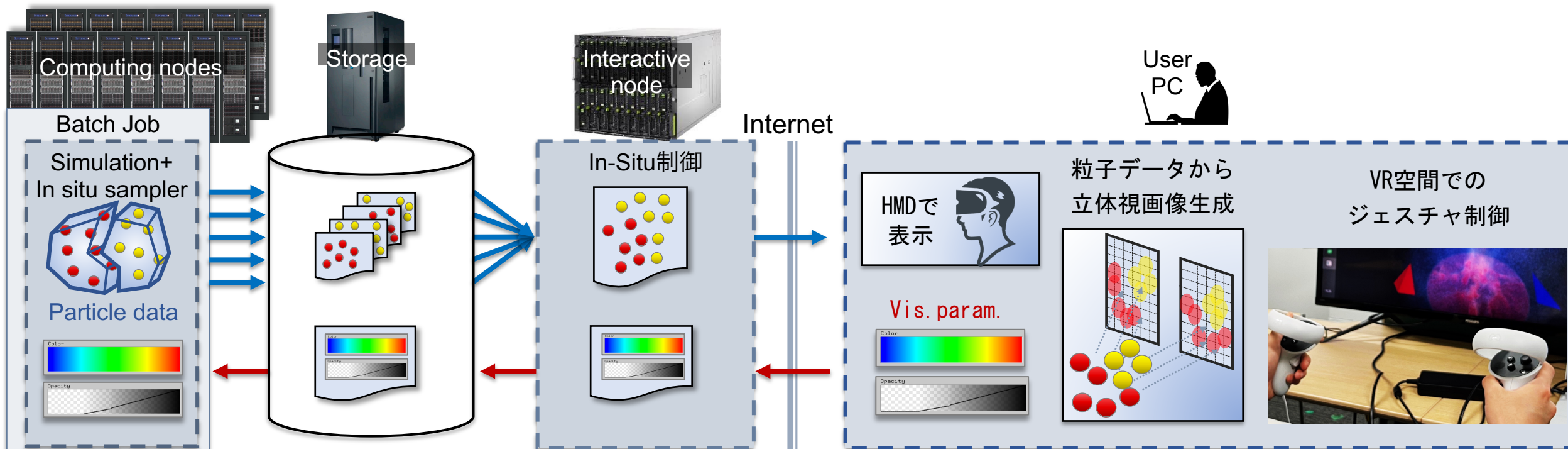
→In-Situ PBVRだからこそ可能

オクラホマシティ汚染物質拡散模擬実験

- 南西の風
- 市内に9つの観測点A~I
- 各点の汚染物質観測値を青で表示
- 観測値を再現する汚染源を探索

→逆問題に対するhuman-in-the-loop解析



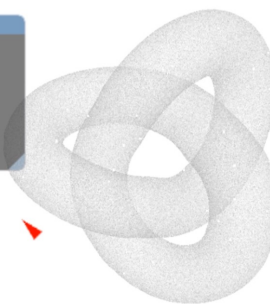
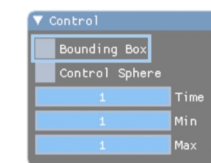


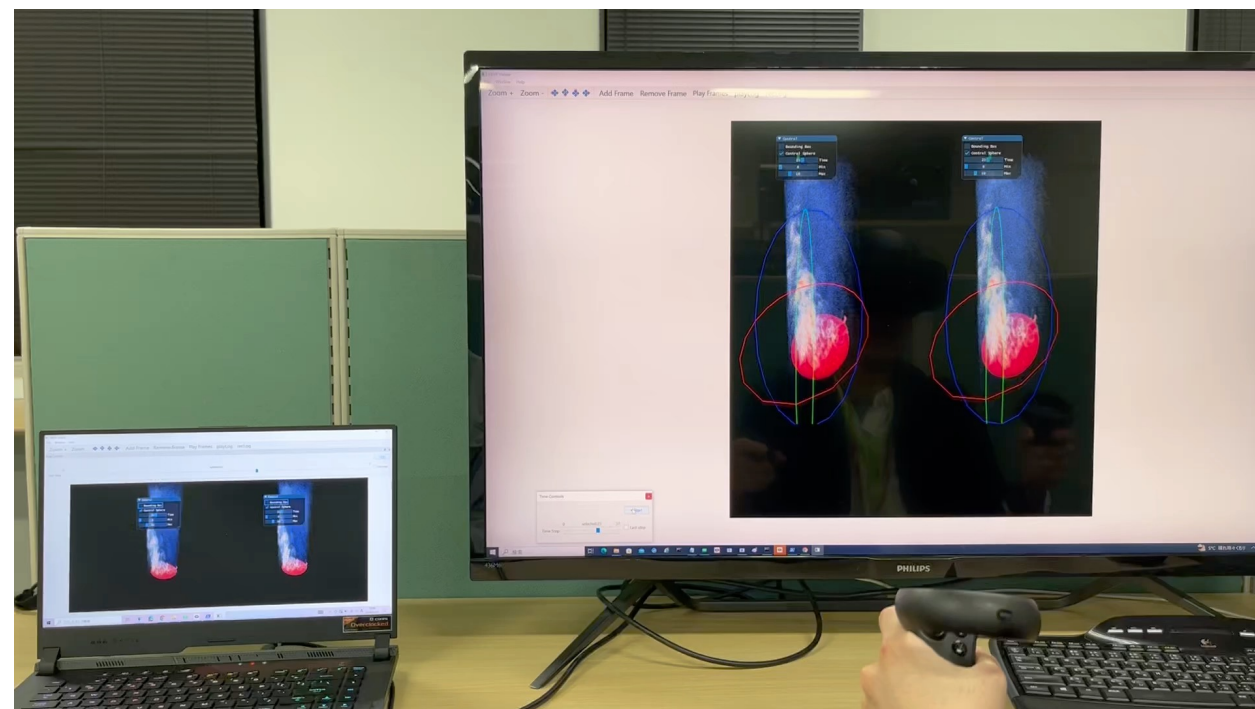
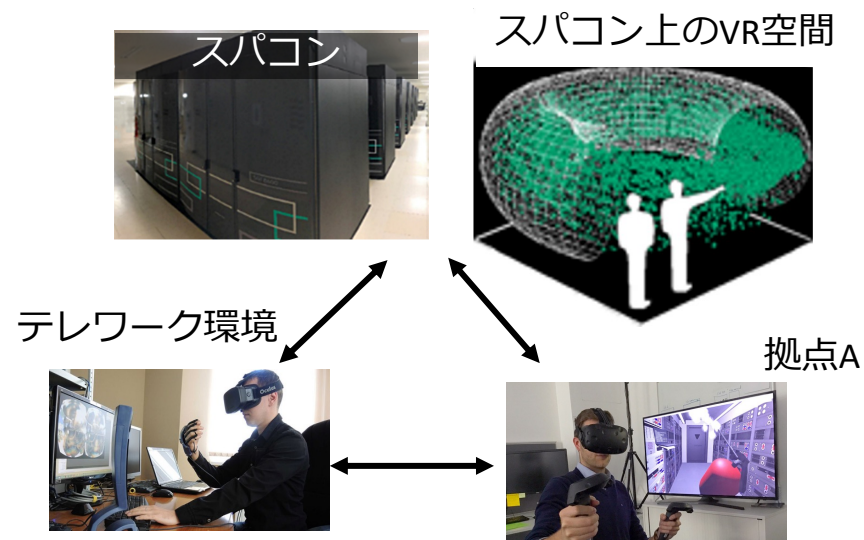
立体視画像生成

- In-Situ PBVRで使用している可視化ライブラリKVS(C++)を両眼用に拡張
- HMDのSDKを利用

VRコントローラーによるジェスチャ制御

- オブジェクトの回転・拡大/縮小・平行移動をVR空間の手で動かす感覚で操作
- タイムステップ操作パネルをVR空間に移植
- 伝達関数の移植はこれからの課題





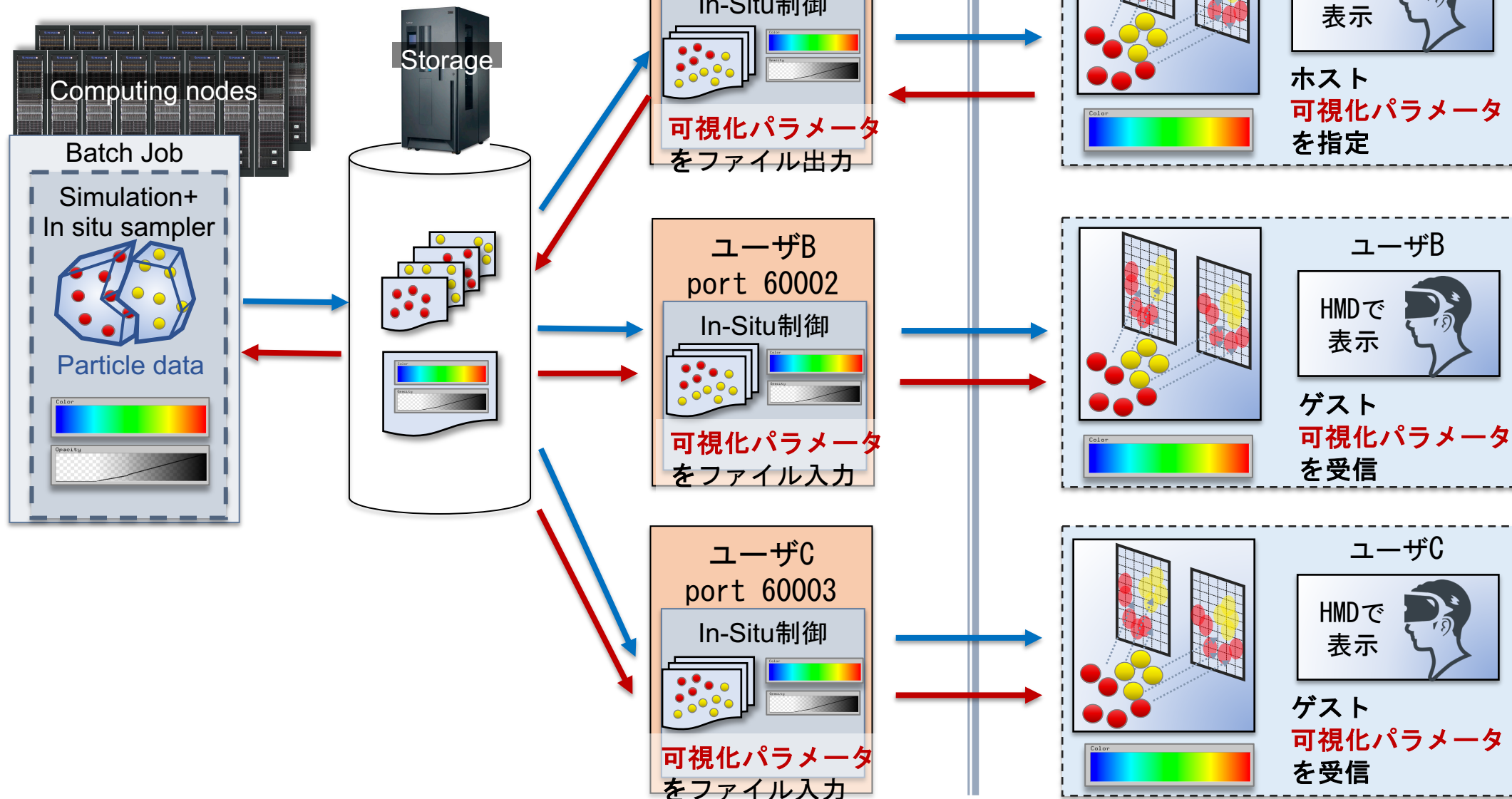
- 複数ユーザが可視化を共有
- 可視化パラメータを変更するため解析の主となる「ホスト」と「ゲスト」を設定

- SGI8600上の熱対流計算の可視化を2台のPCで共有
- 左のPCが「ゲスト」、右のPCが「ホスト」
- 着目点を指定する緑色のグリフの位置をホストが操作し、ゲストが共有する

多地点遠隔可視化

Interactive node

User PC

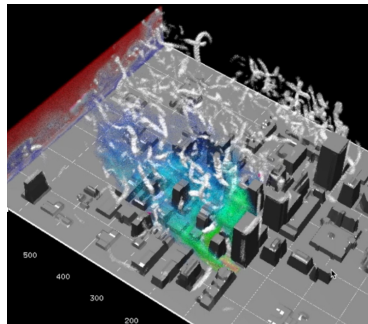


- 遠隔可視化モードの切り替え
 - クラサーバモード：ストレージ上のデータを可視化
 - In-Situモード：スパコンの計算と結合

- 表示デバイスの切り替え
 - ディスプレイ
 - HMD

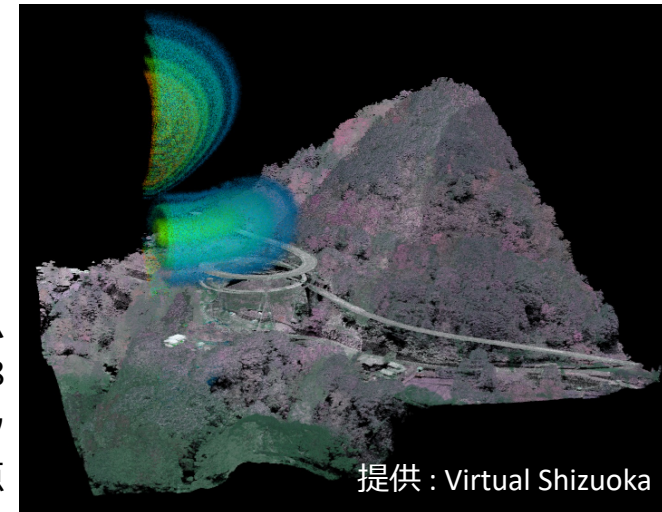


- 多変量可視化機能
 - 代数式で多変量向けの伝達関数を設計
 - ボリュームレンダリング、等値面、断面等
 - 物理量の合成を定義



- 3次元点群データの可視化
 - LAS形式に対応
 - 既存の可視化と合成表示

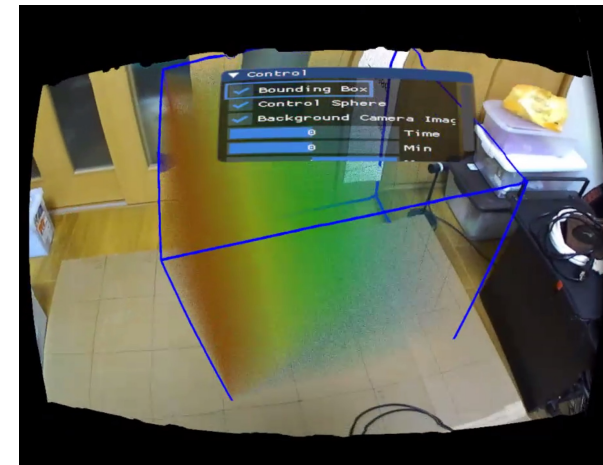
1/4水素ボリューム
256x128x128
静岡県熱海市の航空計測データ
~14,551,000点



提供：Virtual Shizuoka

公開前の機能

- 多地点連携可視化
 - 複数拠点で可視化を共有
- MR(Mixed Reality)機能
 - PBVRによる可視化と現実の風景を合成



- 原子力分野の大規模シミュレーションではxR技術を活用した可視化のニーズが増大
- 圧縮された粒子データにより大規模シミュレーションの実時間可視化が可能なIn-Situ PBVR ← 活用
 - In-Situ可視化・計算ステアリング
 - スパコン上のシミュレーションを実時間で可視化・解析し、計算条件にフィードバックすることで直感的なパラメータ最適化を実現
 - 多地点遠隔VR可視化
 - 遠隔地の専門家とHMD上のVR空間を共有し、上記解析をさらに効率化
- 今後の展望
 - VR空間における情報可視化機能や可視化パラメータGUIの開発
 - 点群データ、カメラ画像等の現実空間データとシミュレーションによる仮想空間データを融合したデジタルツインのxR可視化

オープンソースのIn-Situ PBVR

https://ccse.jaea.go.jp/software/In-Situ_PBVR/
<https://github.com/CCSEPBVR/CS-IS-PBVR>



The screenshot shows the website for In-Situ PBVR. The header includes the JAEA and CCSE logos and navigation links for English, information, access, and contact. The main content area is titled "In-Situ可視化フレームワーク : In-Situ PBVR (In-Situ Particle Based Volume Rendering)". It features a sidebar with a list of software tools including PBVR, In-Situ PBVR, VRKVS, PARCEL, EigenK, QPBLAS, QPBLAS-GPU, QPEigen_K, and PIMD. The main content area displays the "IS-PBVR v2.2 (2023/11/10)" release, with a "ダウンロード" (Download) section containing links for "バイナリ" (Binary) and "マニュアル" (Manual) in both Japanese and English. Below this, the "IS-PBVR v2.1 (2023/03/27)" release is also shown with similar download links.