

宇宙機開発における大規模CFD解析結果 の遠隔並列可視化



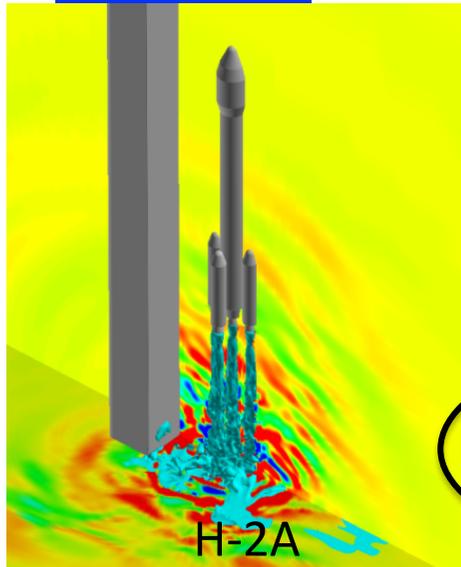
2011/02/16

宇宙航空研究開発機構(JAXA)
情報・計算工学(JEDI)センター

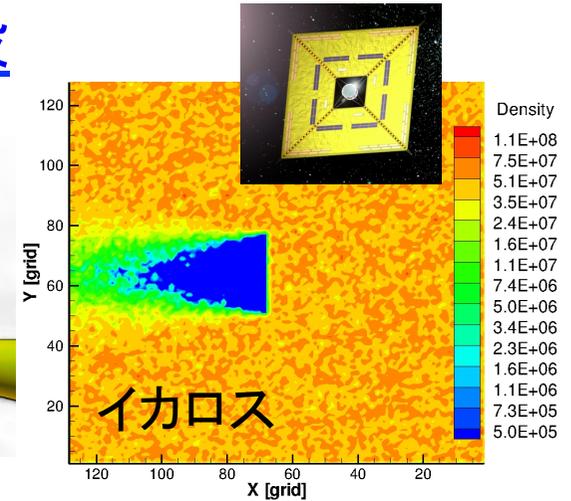
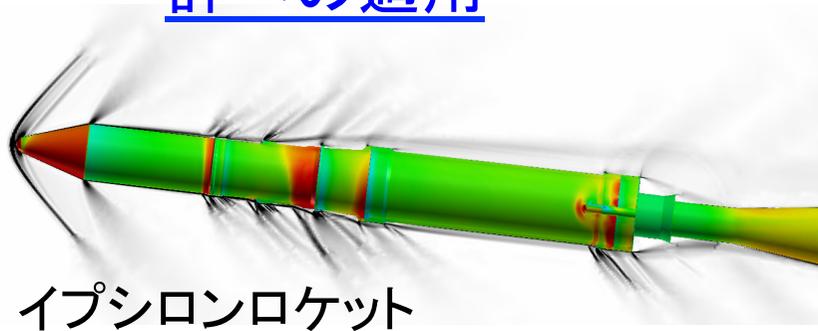
堤誠司, 高木亮治, 嶋英志

1. JAXA/JEDIセンター 紹介
2. 背景
3. 目的
4. 遠隔並列可視化システムの検討と構築
5. 性能評価
6. まとめと今後の課題

ロケット打上げ時 音響解析



次期基盤CFDの開発と設 計への適用

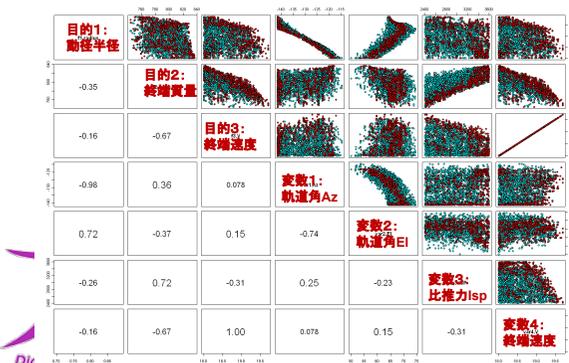


イカロス

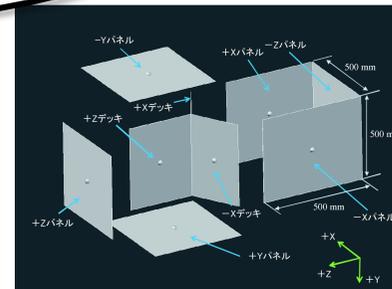
先端技術を活用した宇宙機開発のイノベーション

プラズマシミュレーション と衛星開発への応用

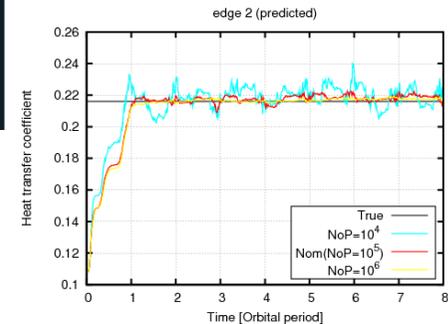
多目的設計探査を利用した 衛星軌道設計



次期太陽観測衛星
(SOLAR-C)



小型実証衛星 (SDS-1)



データ同化の衛星熱設計

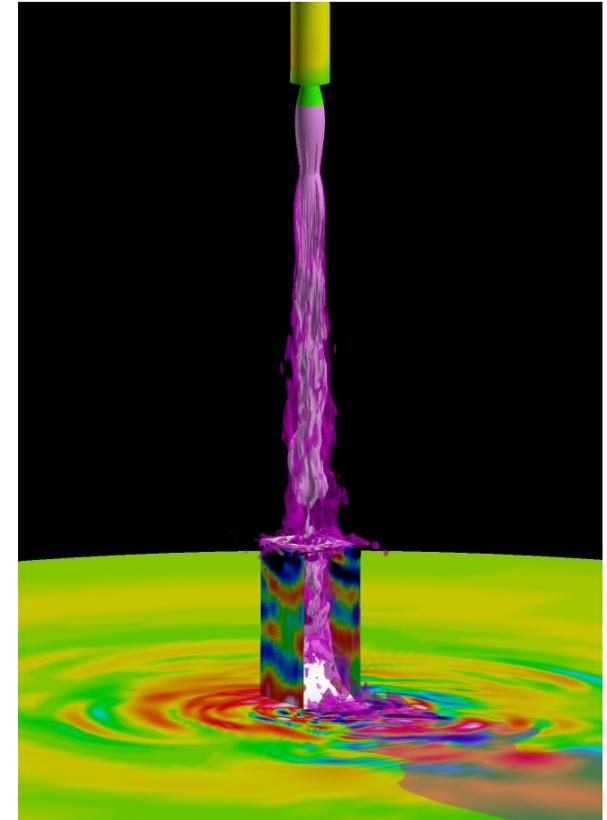
- 2009年度新スパコン(JSS,135TFlops)導入により計算規模が拡大
- 3次元の非定常流れ解析が主流となった.
(レイノルズ平均(RANS)ベース解析からラージエディーションシミュレーション(LES)解析へ)

例) ロケット打上げ時の音響解析

- ✓ メッシュ数⇒数千万～数億程度
- ✓ 低周波の解像⇒計算ステップ数の増加



1ケースあたり250GB～1TBの計算結果
(旧スパコンの約10倍)



イプシロンロケット

背景：遠隔利用環境

- ローカルマシンのリソース不足
 - ーメインメモリの容量不足
 - ーローカルディスクの容量不足

↳ 大規模データを扱えない

- ローカルマシンの処理性能不足
 - ーI/O, ポリゴン生成, レンダリング
- スパコンが遠隔地に所在
 - ー実転送速度 <20MB/s@bbcp, 7MB/s@scp
 - ー1ケース(500GB)転送時間: 7時間以上

↳ ステアリング性の低下

可視化処理(流れ場の解析)に限界

スパコン
調布航空宇宙センター



SINET3 (1GbE)



作業場所
相模原キャンパス ;

目的

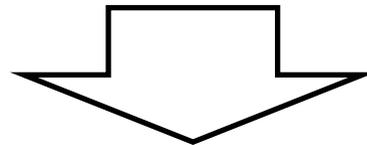
- 直面している大規模データの可視化解析を実施.
 - ✓ 遠隔地(調布)にあるJAXAスパコンの計算結果が対象.
 - ✓ ステアリング性の維持.
- 現スパコンによって想定される最大規模のデータ(5~10億点規模)に関しても可視化可能な環境を整備する.

【大規模データへの対応】

- 対象は数千万～10億メッシュ数の非定常データ

【ステアリング性の確保】

- ネットワーク性能: Sinet3 (実転送速度: 7MB/s@scp)



並列可視化・遠隔可視化を実現するハードウェア, ソフトウェア環境を検討.

可視化プロセスの並列化

データサイズ

計算結果
(バイナリ)

I/O

- ✓分散ファイルフォーマット
- ✓共有ファイルシステム

ポリゴン

ポリゴン生成

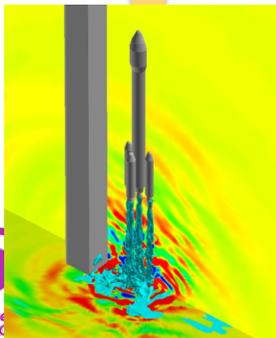
- ✓マルチCPUの利用

画像

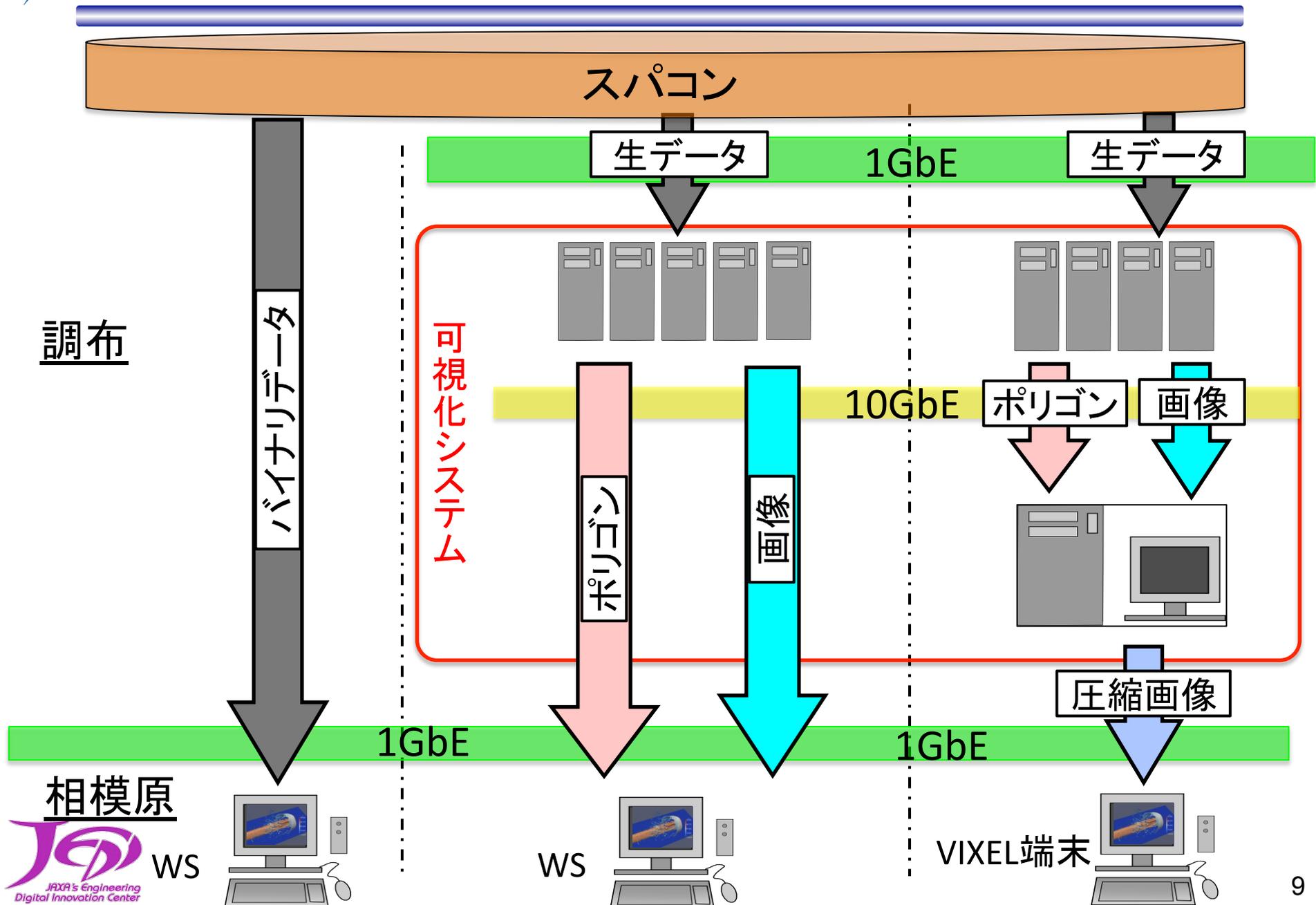
レンダリング

- ✓マルチGPUの利用

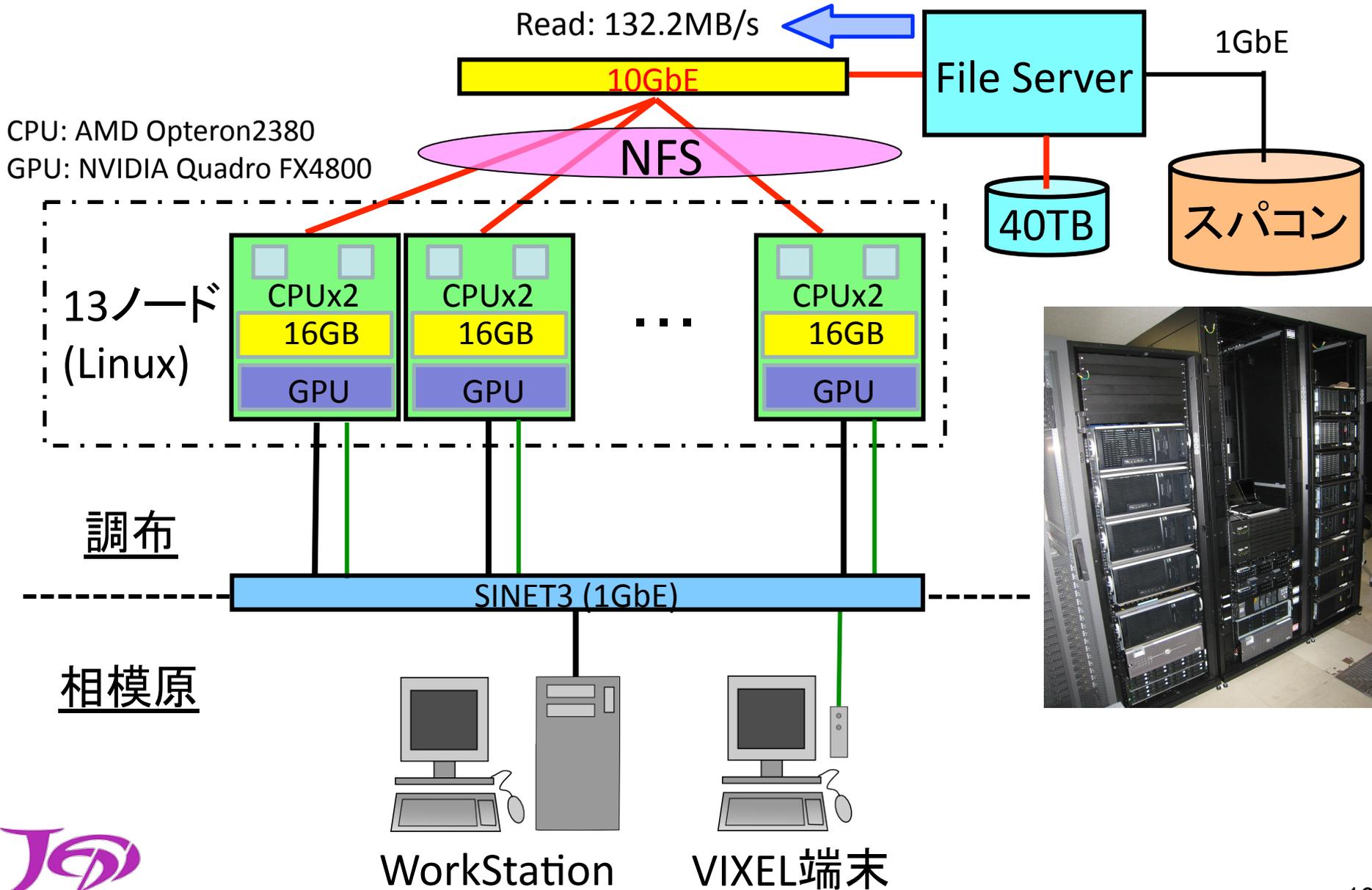
画面への出力



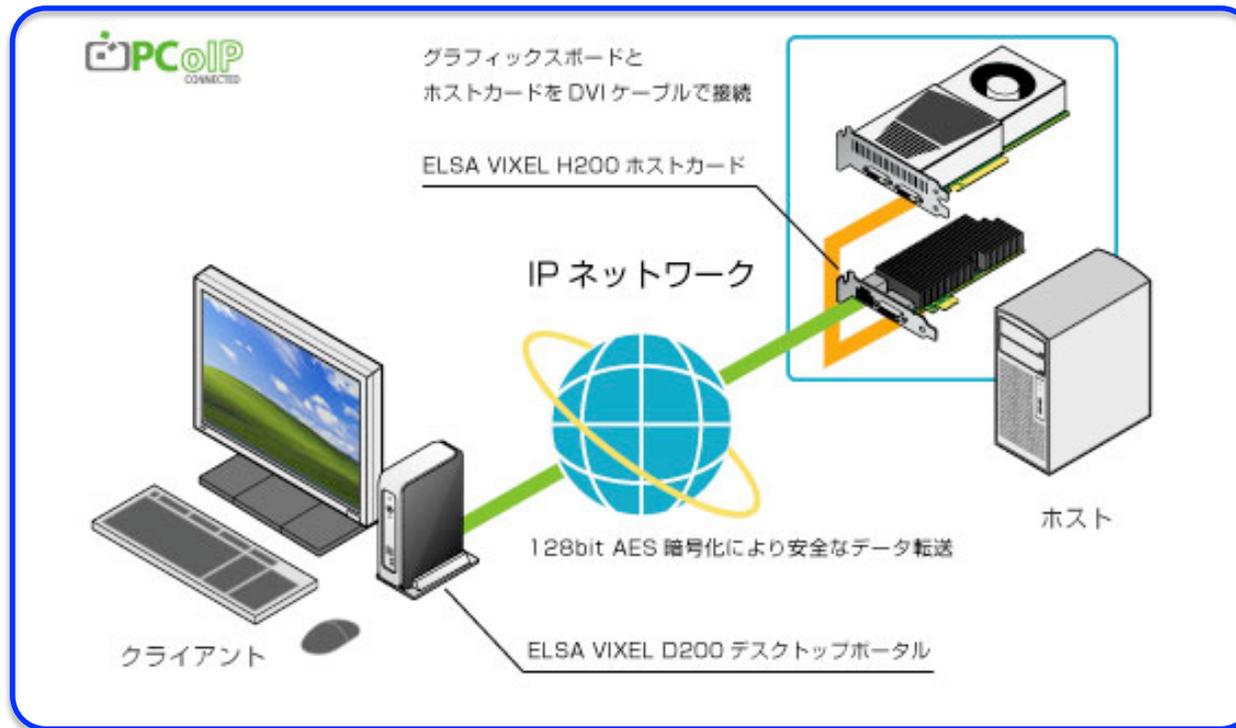
遠隔可視化手法



ハードウェア構成



VIXEL



http://www.elsa-jp.co.jp/products/remotegraphics/vixel_v200/index.html

特徴

- 3D処理に対応したリモートデスクトップ環境
- ハードウェア圧縮した画像&動体部分のみ転送
⇒ 転送するデータサイズの最小化
- クライアント側は弁当箱サイズの専用端末

ソフトウェア

	並列化機能			Server-Client間 転送データ形式	長所/短所
	I/O#	ポリゴン 生成	レンダリ ング		
FieldView	Plot3d形式 (ブロック単位)	○	×	・ポリゴン	シンプルで使い易 い/高価！
Enight	Plot3d形式 (自動分割)	○	○	・ポリゴン ・画像+イメージ 重畳	多機能/複雑な仕 様, 高価！
ParaView	・VTK MultiBlock形 式 ・XDMF形式 (HDF5)	○	○	・ポリゴン ・画像+イメージ 重畳	無料, カスタマイ ズ可能/マニユア ルが殆どない, 不 完全な機能が多 い.

構造格子のみに着目

➤ データ(構造格子)

FieldView: MultiBlock PLOT3D

Enight: MultiBlock PLOT3D

ParaView: VTK MultiBlock

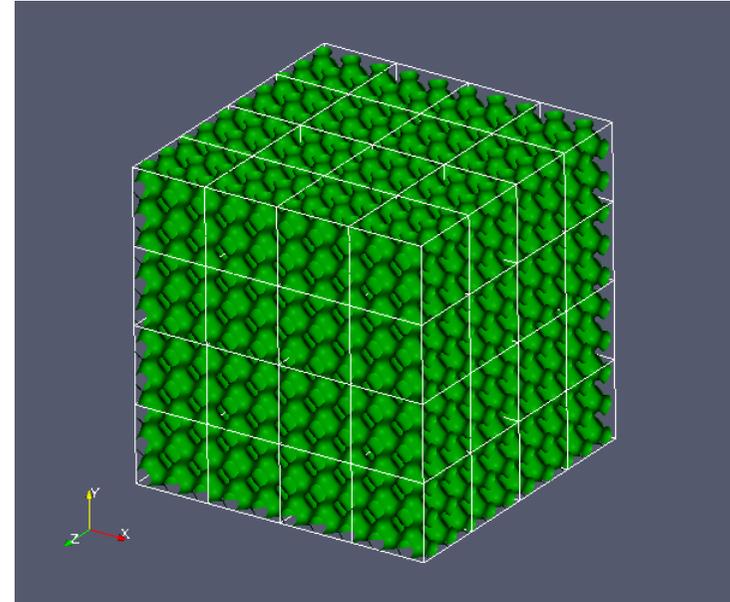
➤ 評価項目

(@5ノード, 1ノードはフロントエンド)

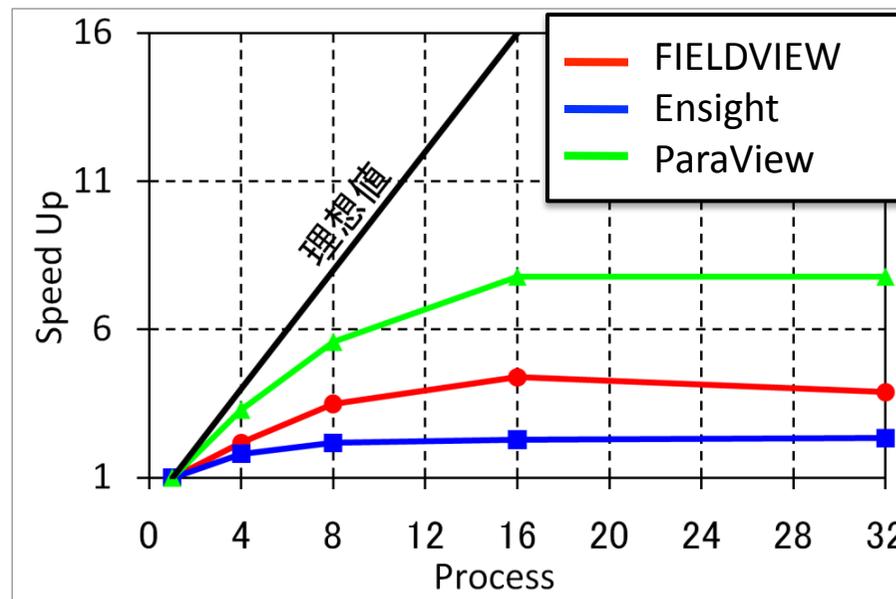
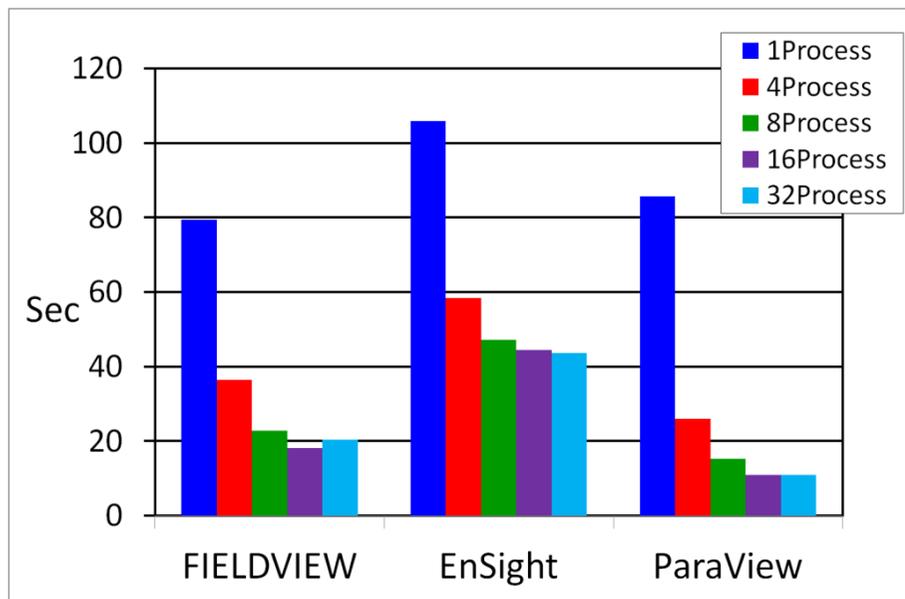
✓ I/O時間

✓ 等値面描画時間

#ポリゴン生成+レンダリング



1.3億メッシュデータ
(4.2GB, 19Mポリゴン)



$$\text{Speed Up} = \frac{\text{(非並列時の処理時間)}}{\text{(n並列時の処理時間)}}$$

- 並列度に応じて高速化
- 分散ファイルフォーマットは高速 (ParaViewのVTK MultiBlock)
- 16並列で高速化率は飽和 ⇒ 10GbE+NFSv3の限界.

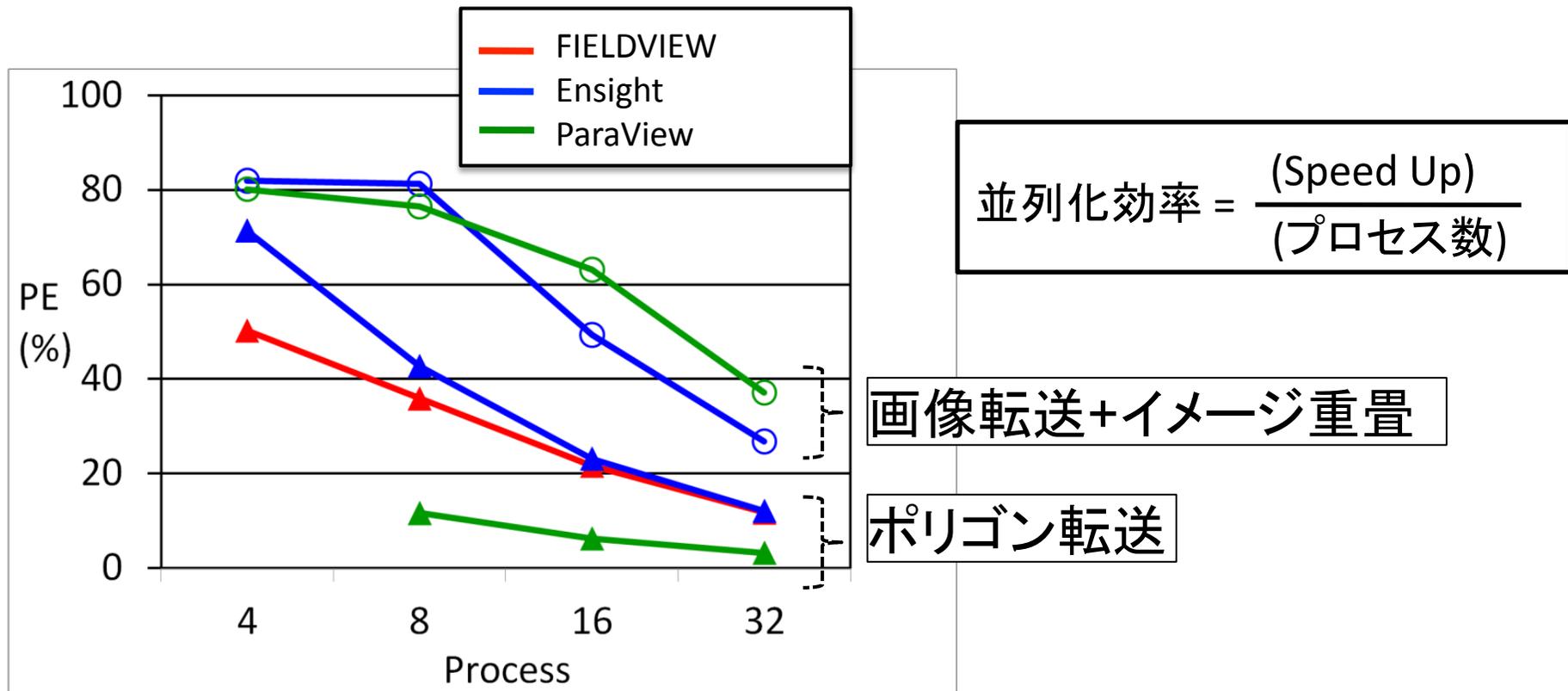
ネットワーク帯域の限界

- ファイルサーバから可視化ノードへのデータ転送速度
 - 10GbE
 - 分散ファイルシステム: NFSVer3.0
 - **132.2MB/s** by Bonnie++ (SequentialRead)
- オープンソースB 32並列時のI/O時間
 - 23GBのVTK MultiBlockファイルを読み込み: 123 sec
 - **178MB/s**のRead速度

これ以上のI/O速度を稼ぐには...

- **共有ファイルシステムの変更** (Lustre, GPFS, Panasasといった高速ファイルシステムの利用)
- **I/OレベルのROI機能**(Region Of Interest)や間引き読み込みなどが**必要**

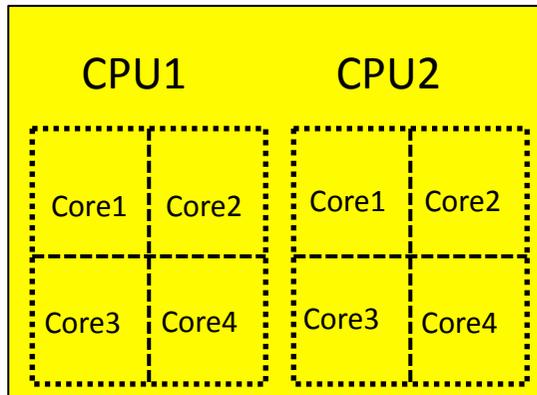
等値面描画(ポリゴン生成+レンダリング)



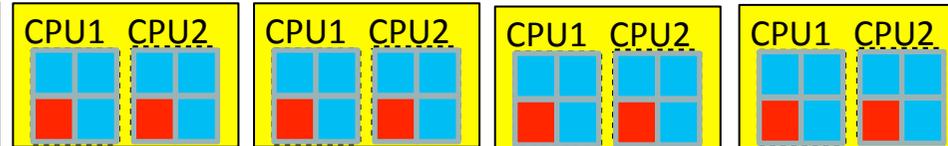
- ▶ 画像転送+イメージ重畳の方がポリゴン転送よりも高い並列化効率を得られた。
- ▶ 8並列まで80%程度を維持し、その後並列化効率は低下。

並列化効率低下の原因

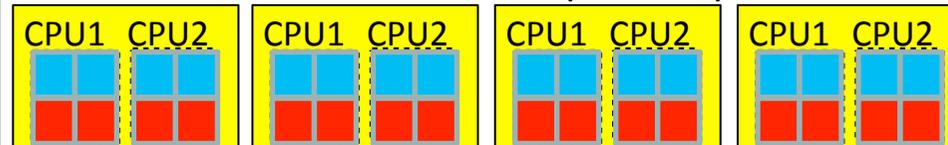
1ノードのCPU構成



8並列時のCPU使用状況(4ノード)



16並列時のCPU使用状況(4ノード)

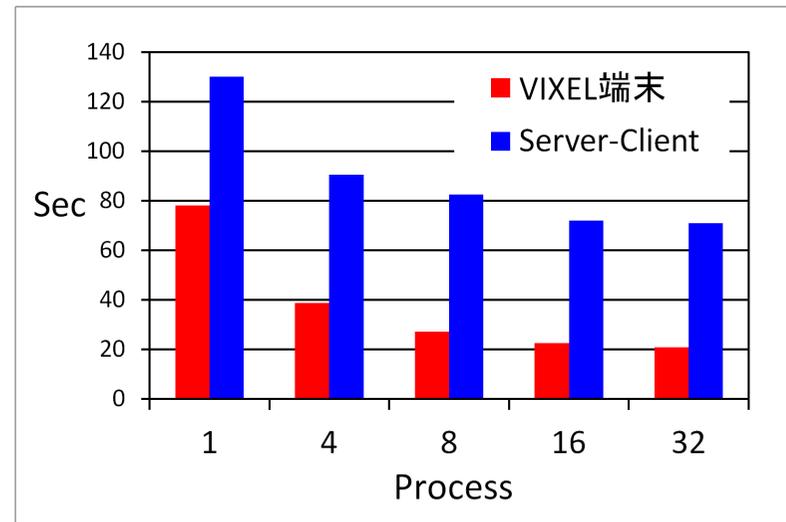


- 16並列時には1CPU内のコアが2つ使用
⇒ CPUのメモリバンド幅が飽和.
- むやみにスレッド数を稼いでも並列化効率が上がらない.
- コア数よりもCPU数を増やした方が費用対効果の点では有効か.

FieldViewを用いて以下の2つを比較.

- VIXEL端末
- ポリゴン転送を利用したServer-Client機能

等値面描画時間



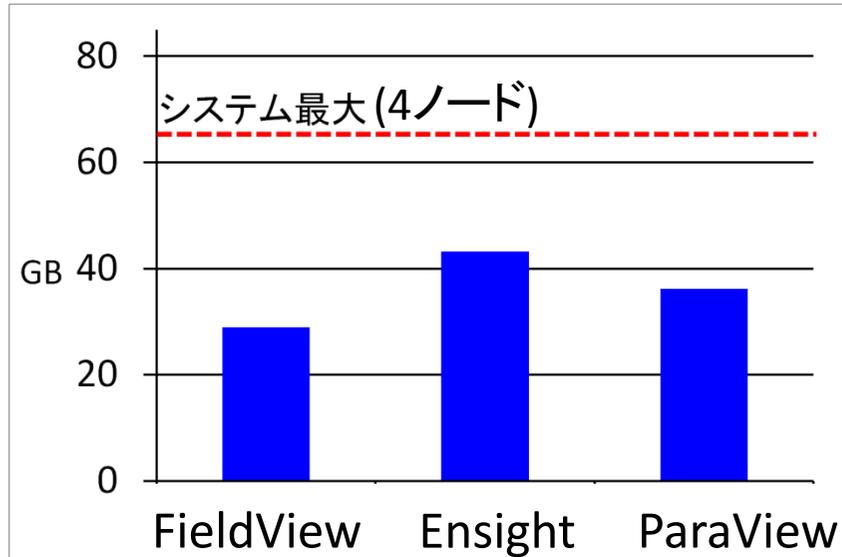
- 最大210%程度VIXELが高速 ⇒ ポリゴン転送は通信量大
- ただし...

FieldViewのServer-Client機能でも遠隔利用は十分可能. 一方, SINET3経由でのVIXEL端末利用するとネットワーク負荷の大きい昼間は頻繁に切断し, 現実的には使用できなかった#.

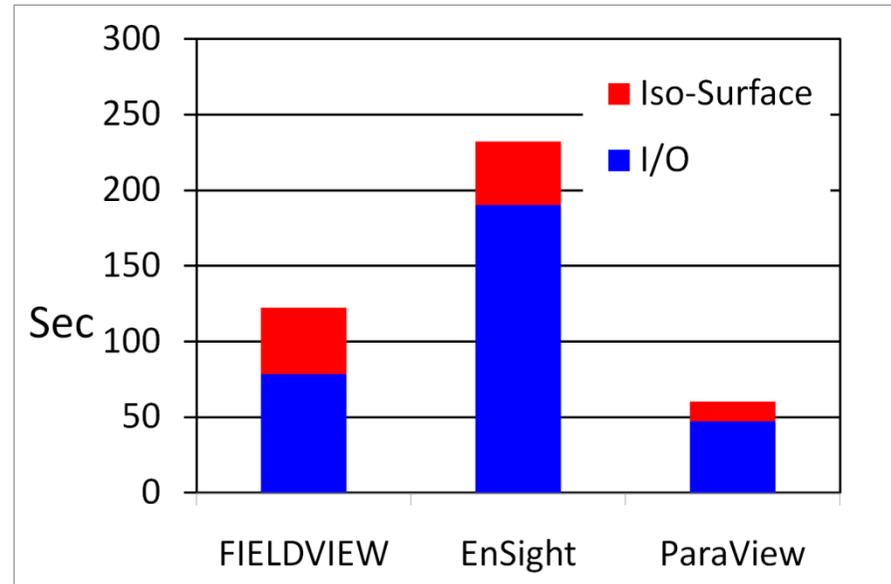
#本来は社内LAN環境での利用が想定されているようである.

大規模可視化へ(7億点メッシュデータ)

メモリ消費量



所要時間(32並列)



- メモリには十分余裕あり.
- 5ノードで7億点データの可視化がステアリング性を保ったまま実施可能.
- I/O時間の割合が大きく, 全処理時間の60~80%を占める.
⇒ I/Oがボトルネック

➤ 並列性能

- I/O: 可視化プロセスの60~80%を占めるボトルネック. 分散ファイルフォーマット有効.
- 描画: 画像転送+イメージ重畳が高い並列化効率を示す

➤ 遠隔可視化性能

- 現ソフトのSever-Client機能でもそこそこ可視化解析が可能.

➤ 大規模可視化

- 現行システムの5ノードを使用すれば7億点データまでステアリング性を維持