

<<奥田 洋司 (おくだ ひろし) 様>>

(略歴)

1985年 東京大学工学部原子力工学科卒業  
1990年 同大学院博士課程修了、工学博士  
1990年 東京大学講師、工学部精密機械工学科  
1994年 東京大学助教授、工学部システム量子工学科  
1996年 横浜国立大学助教授、工学部生産工学科  
2000年 東京大学助教授、工学系研究科システム量子工学専攻  
2003年 人工物工学研究センターへ配置換  
2005年 東京大学教授、人工物工学研究センター  
2012年 大学院新領域創成科学研究科人間環境学専攻へ配置換  
現在に至る

(研究分野)

並列有限要素法による構造・流体解析、ハイパフォーマンス・コンピューティング、固体地球シミュレーション、科学技術計算ミドルウェア、技術普及シミュレーション、知識伝搬モデリング、などの研究・教育に従事。イノベーション基盤シミュレーションソフトウェア「FrontISTR / HEC-MW」開発グループリーダー。

(所属学会)

日本機械学会、日本計算工学会、日本応用数理学会、日本原子力学会、日本シミュレーション学会、日本流体力学学会、SIAM

(受賞)

1996年 日本機械学会研究奨励賞  
2001年 International Conference on High Performance Computing and Networking Europe (HPCN2001), Best Paper Award  
2003年 International Conference on Computational Science (ICCS2003), Best Paper Award  
2004年 日本機械学会計算力学部門業績賞  
2005年 日本計算工学会論文賞  
2007年 日本機械学会フェロー  
2009年 JACM Fellow Award

(著書)

- (1) 計算力学シミュレーションハンドブック –超ペタスケールコンピューティングの描像-(丸善)(共編)
- (2) 並列有限要素解析[I],[II](培風館)(共編著)、ペタフロップスコンピューティング(培風館)(共編著)
- (3) 計算力学[VII]計算力学における超並列計算法(養賢堂)(共編著)
- (4) 有限要素法流れの解析(朝倉書店)(共著)、計算力学(岩波書店)(共著)、ほか。



# オープンソース構造解析ソフト FrontISTRのCoDesign

奥田 洋司

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻  
okuda@k.u-tokyo.ac.jp

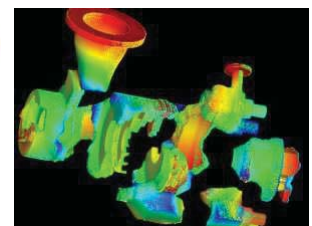
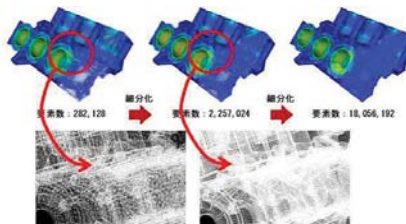
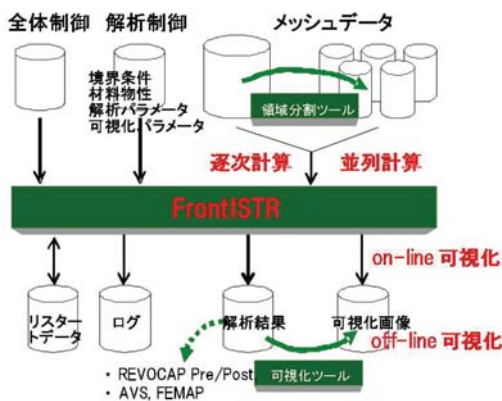


## Front ISTR

## Front ISTR ver.4.1 大規模アセンブリ構造対応構造解析ソルバー

- ・大規模並列FEMの基盤に, 充実した非線形構造解析機能を実装
- ・先進性と実用性を兼ね備えた構造解析ソフトウェア

### 並列環境を意識しないシンプルな解析手順



スパコンからノートPCまで

線形静解析	熱応力解析を含む
非線形静解析	材料非線形: 超弾性/弾塑性/熱弾塑性/粘弾性/クリープ等方/移動/複合硬化 幾何学的非線形: Total Lagrange法/Updated Lagrange法 境界非線形(接触): Lagrange乗数法、有限すべり、摩擦
線形動解析	陽解法/陰解法
非線形動解析	陽解法/陰解法 非線形静解析と同等の材料非線形/幾何学的非線形/境界非線形(接触)機能
固有値解析	ランチョス法、変形後解析機能
熱伝導解析	定常/非定常(陰解法)
要素タイプ	四面体/六面体/五面体/シェル/トラス 1次/2次、非適合モード、選択の次数低減積分
解析支援	境界条件ステップ制御、リスタート、ユーザーサブルーティン、並列接触解析用パーティショナ

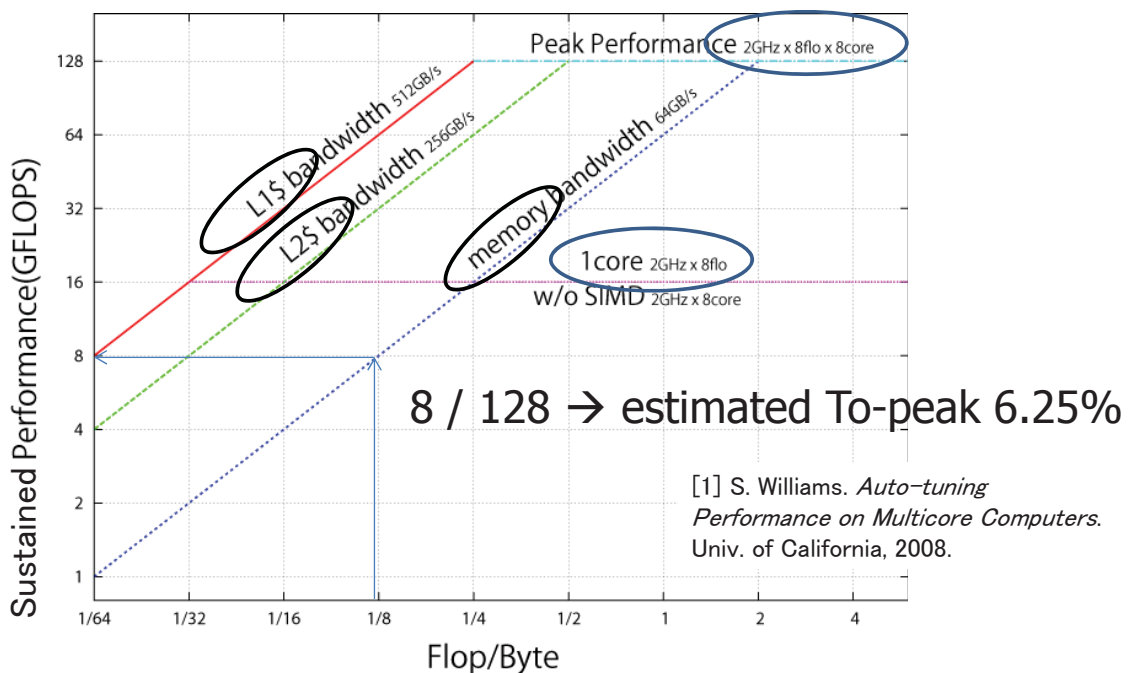
## 研究開発の狙い

- 未来のニーズに挑戦できる「先進性」
  - 先端的スパコンへの対応
  - 実機まるごと解析(アセンブリ構造体)に必要な10億～100億メッシュ規模までの解析を実現
  - 拡張性の高いFEMミドルウェアと構造解析アプリ
  
- 目の前のニーズに対応できる「実用性」
  - 充実した非線形解析機能
  - 超並列計算機, オフィス環境, CAEクラウド

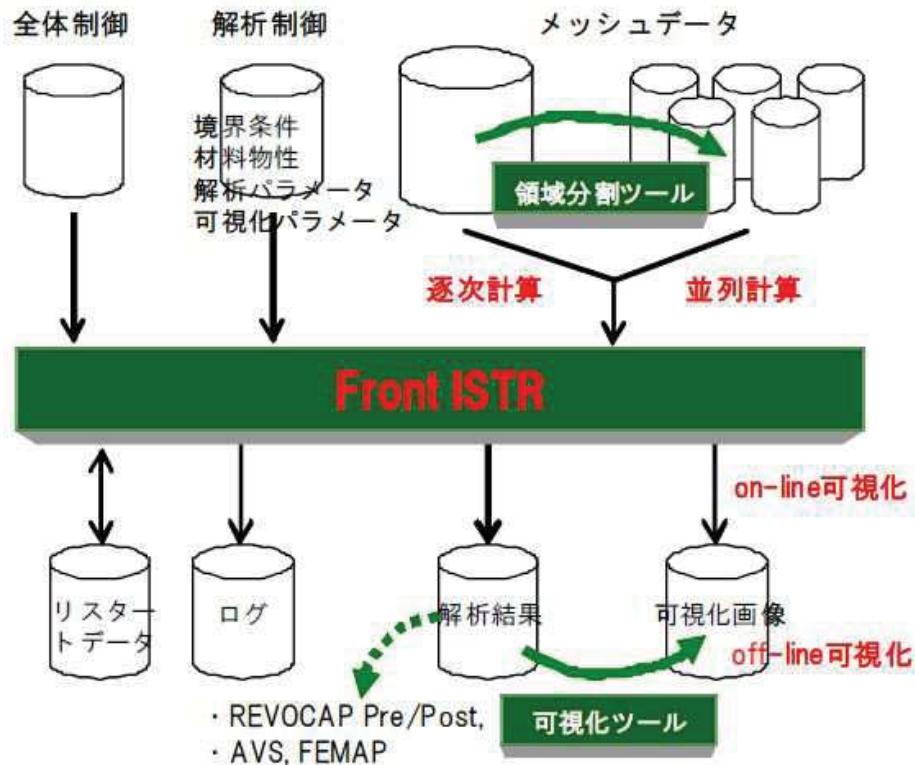


## Performance Model

- The K-computer's roofline model based on William's model[1].
- Sustained performance can be predicted w.r.t. applications' Flop/Byte ratio.

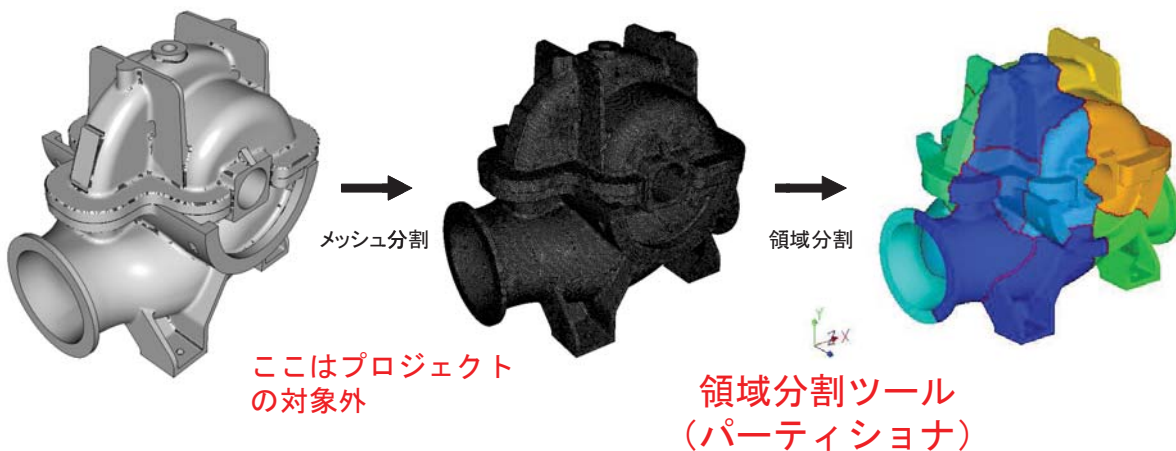


## 並列環境を意識しないシンプルな解析手順



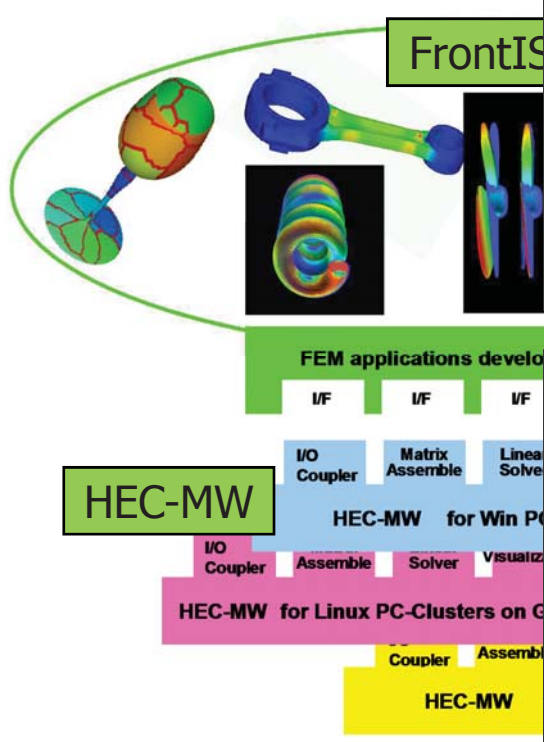
SPMD(Single Program Multiple Data)プログラミングにより、メッシュデータを領域分割ツール（同梱）で分割するだけで並列計算が実行されます。

## 領域分割に基づく並列解析



- ・フラットMPI : ノード間もノード内もMPI (領域数:多)
- ・ハイブリッド並列 : ノード間MPI, ノード内OpenMP (領域数:少)

# FrontISTR built on HEC-MW



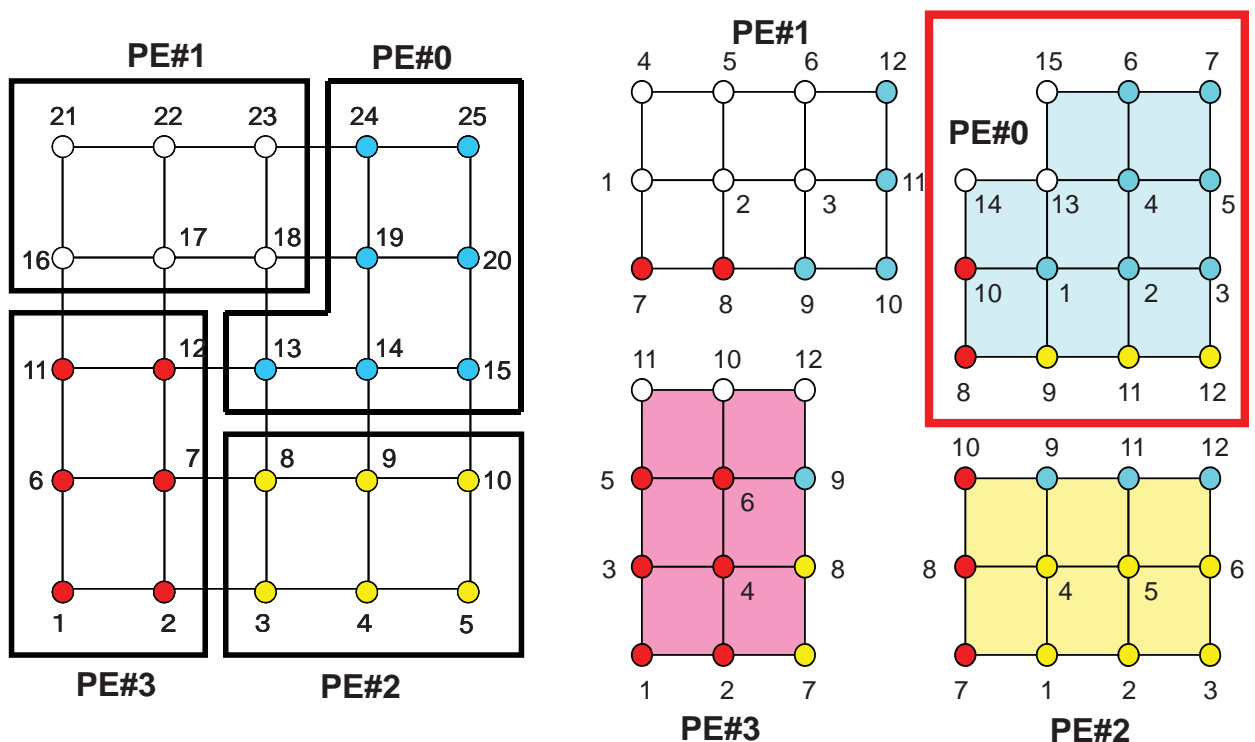
- Nonlinear analysis functions
  - Hyper-elasticity/Thermal-elastic-plastic/Visco-elastic/Creep, Combined hardening rule
  - Total/Updated Lagrangian
  - Finite slip contact, Friction

- Advanced features of parallel FEM
  - Hierarchical mesh refinement
  - Assembly structure
  - Up to  $O(10^5)$  nodes
- Portability
  - From MPP to PC
  - CAE cloud

Nonlinear structural analysis functions have been deployed on a parallel FEM basis: HEC-MW.

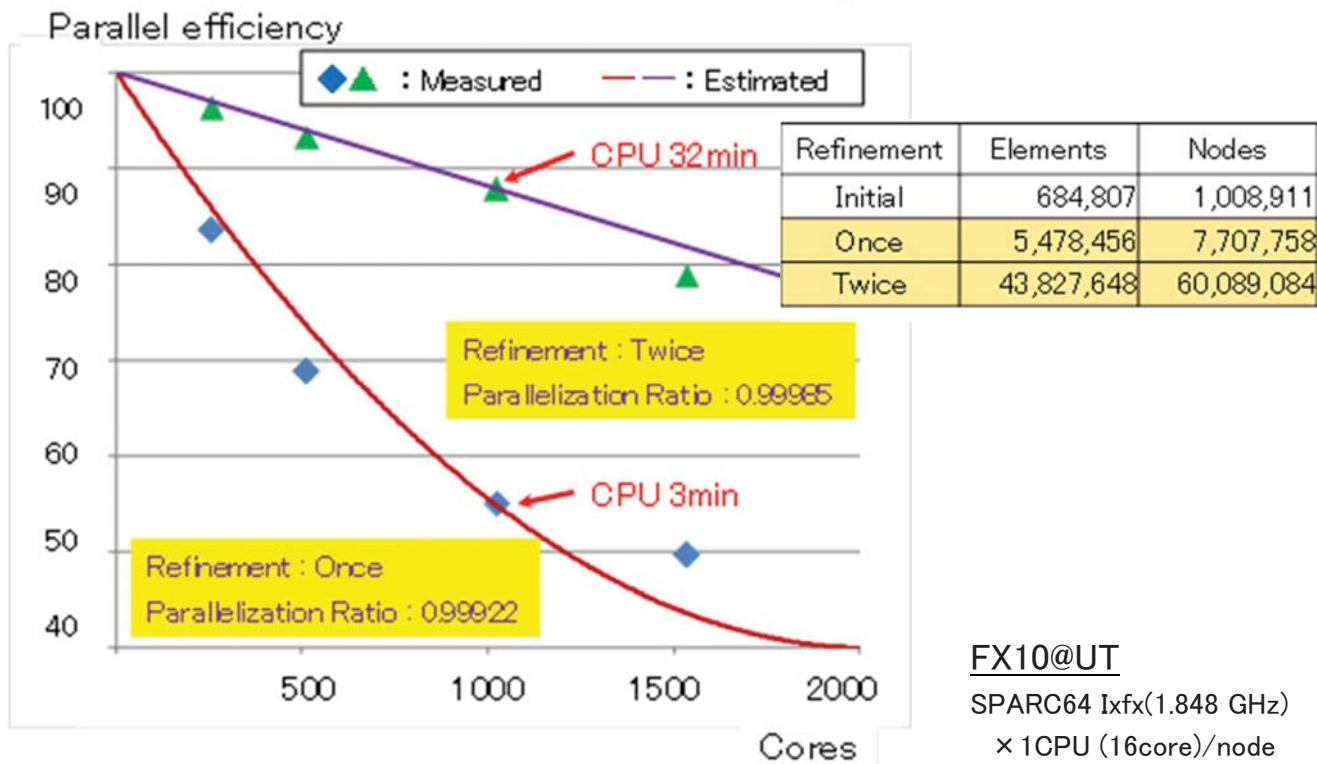
## Local Data Structure

Node-based Partitioning  
internal nodes - elements - external nodes



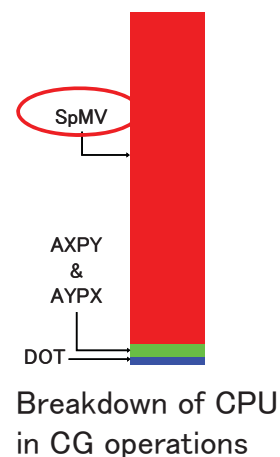
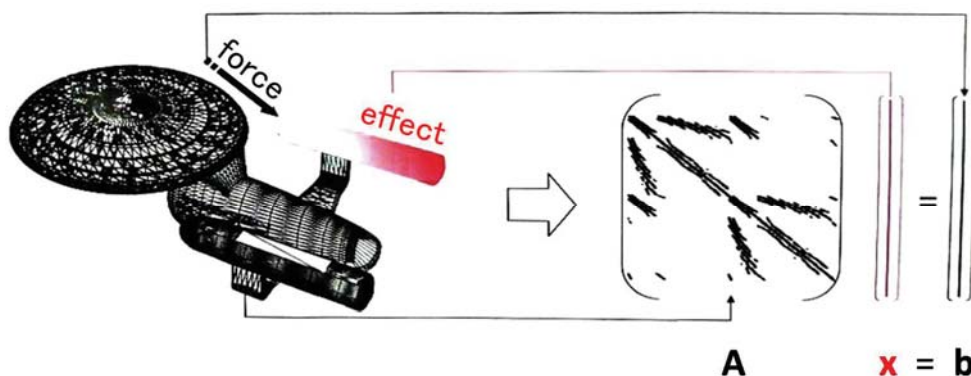
# Strong Scale with Refiner

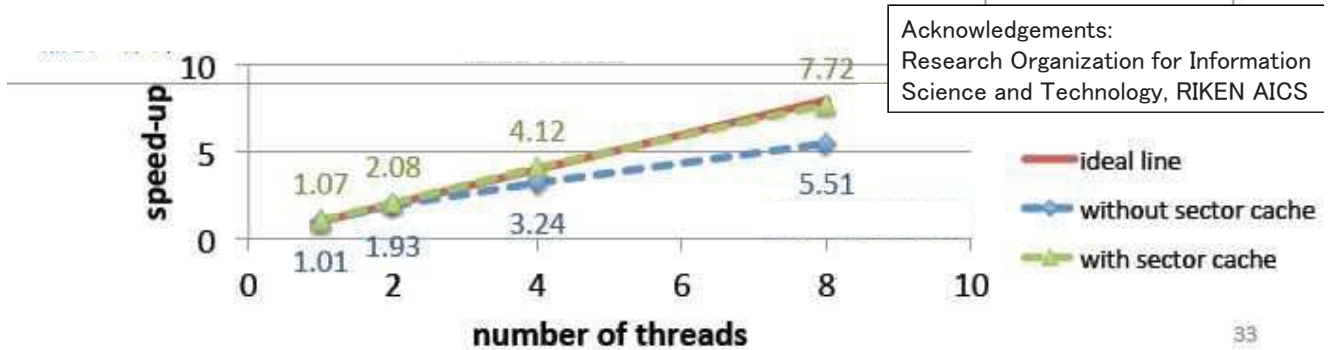
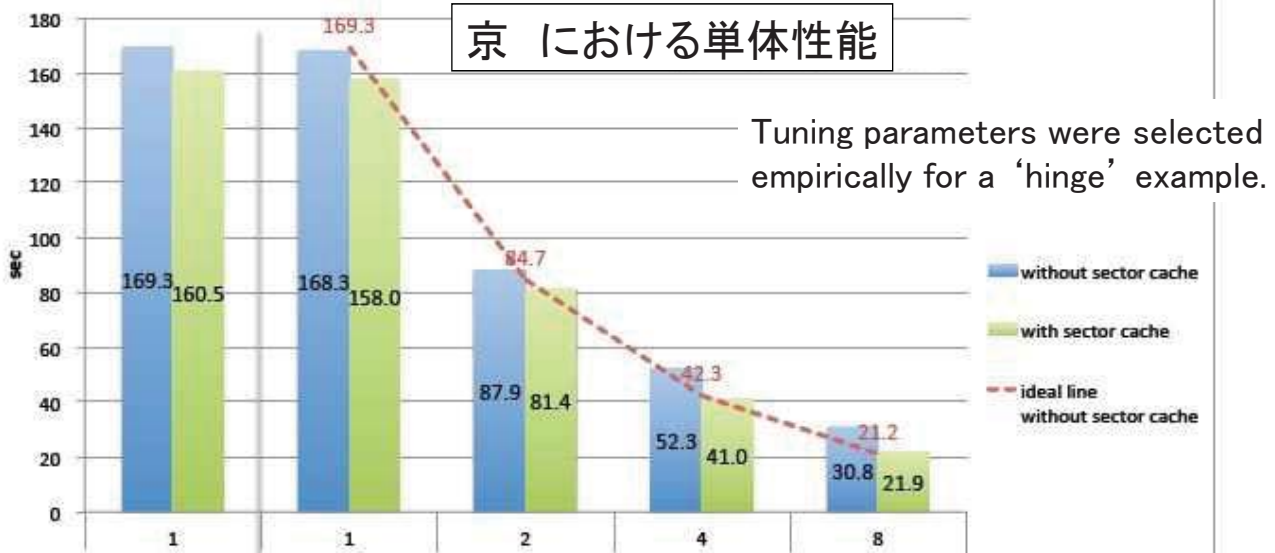
- Static linear analysis of machine part
- 2<sup>nd</sup> order tetra element
- PCG ( $\epsilon=10^{-6}$ )



## FEM, Iterative Solvers and SpMV

- In FEM, continuous media is discretized and converted to a system of linear equations.
- Matrices are sparse and usually stored in compressed format, such as CSR.
- SpMV (sparse-matrix vector product) is a hotspot for iterative equation solvers.





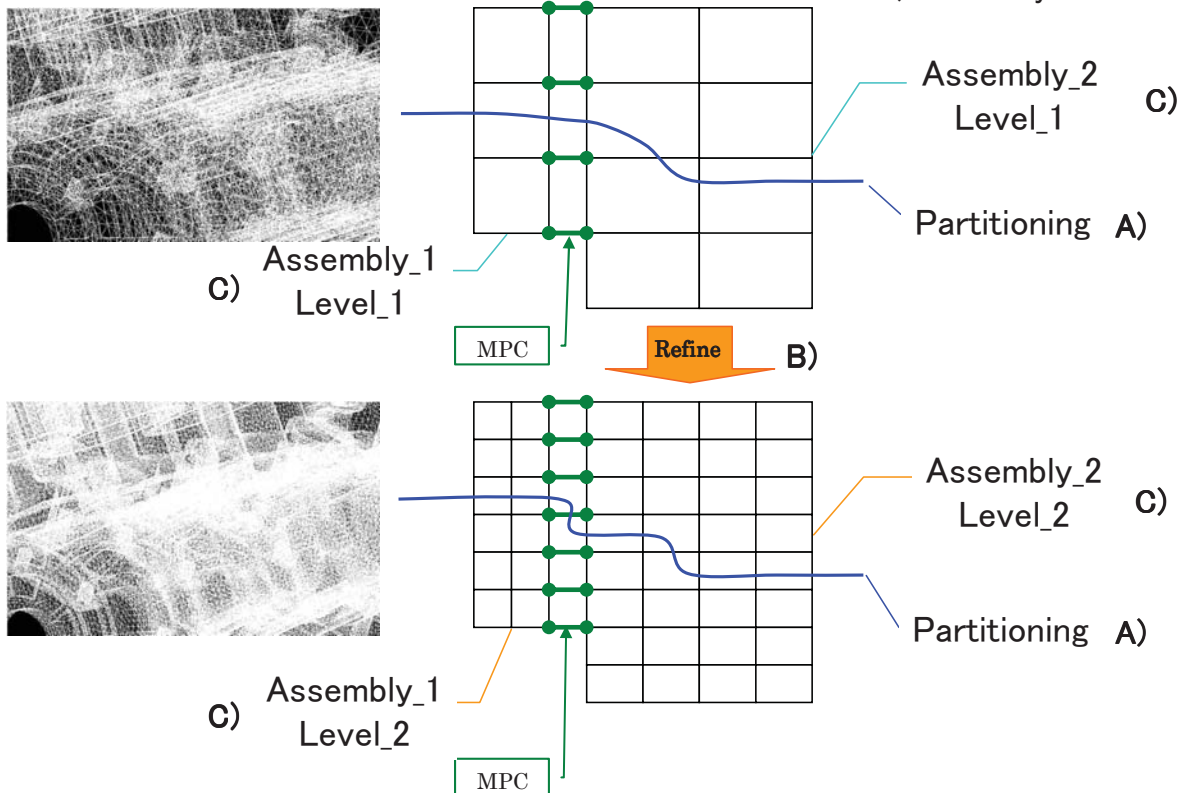
33

## FrontISTR Ver.4.1 の先進的特長

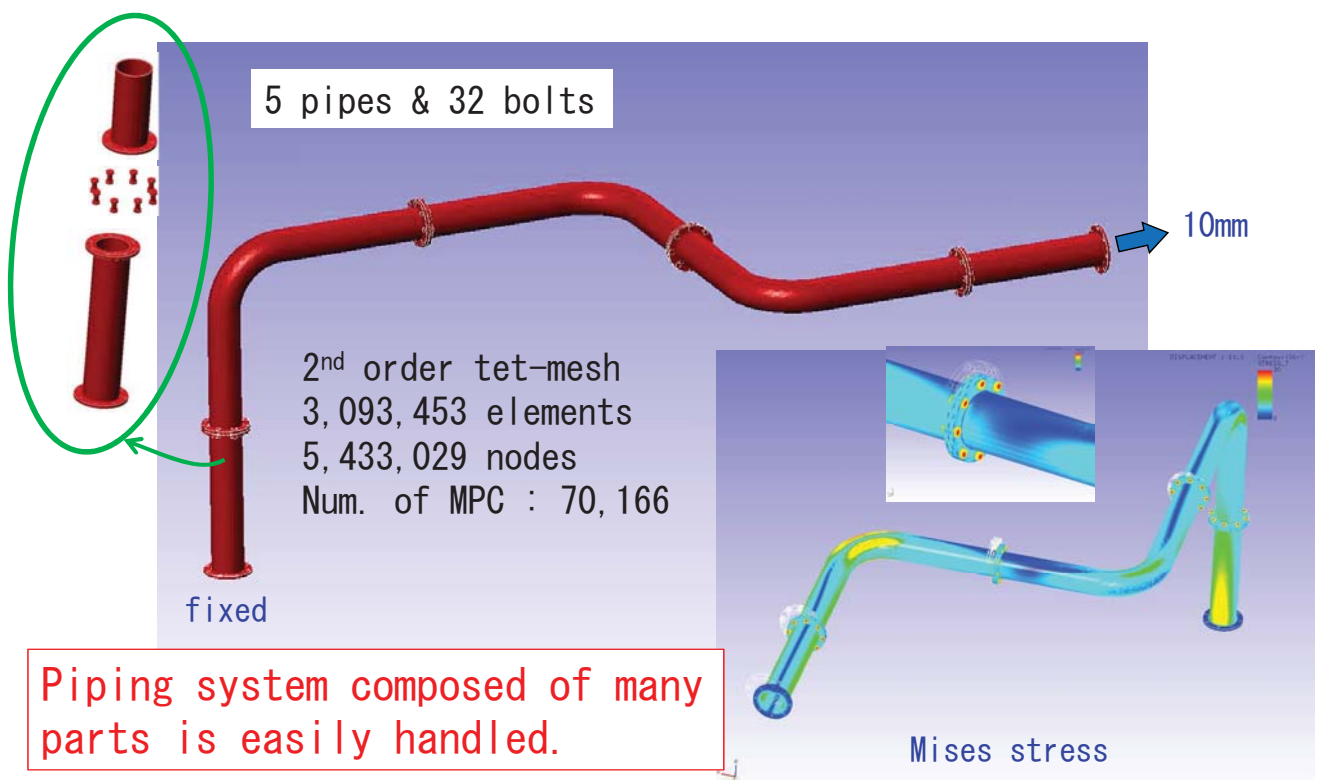
階層メッシュ 細分化	大規模高精度モデルをREVOCAP_Refinerにより容易に自動作成
アセンブリ構造	接合面ペア指定とMPC処理付反復法による柔軟な部品アセンブル
マルチグリッド 解法	階層メッシュ利用による反復法ソルバーの収束加速
大規模ノード数 対応	局所化データ構造により、 $O(10^5)$ ノードまで並列性能を発揮
並列ソルバー	各種前処理付き反復法(領域分割)／直接法(行列分割および領域分割(MUMPSへのインターフェース))
並列可視化	サーフェス／ボリュームレンダリング、on-line可視化
連成解析	REVOCAP_Couplerを介したFrontFlowとの流体・構造連成解析

# Data structure for assembly structures with parallel and hierarchical gridding

- A) Partitioning ( MPI ranks )
- B) Hierarchical level
- C) Assembly model



## Assembled Structure: Piping composed of many parts



## 産業応用(に限らないが)における課題

### 技術的課題

- 充実した非線形解析機能(トータルなシステムとしての完成度)
- 並列直接法(線形ソルバー)
- プログラミング柔軟性と演算性能の妥協点
- メモリウォール問題
- グリッド・クラウド
- 不確実性の考慮(メッシュ不整を含む)

### Logistics

- 恒常的な維持管理
  - 問い合わせ対応、WEB管理、プログラム管理、データ管理
- 利用技術、プログラミング情報のドキュメント化(日英)と継承
- 改良に向けた産官学連携プロジェクト
  - 競争的資金、共同研究
  - 委託開発ではなく共同開発
  - 秘密保持と公開性
- 認証コード化

## FrontISTR Ver.4.1 の構造解析機能一覧

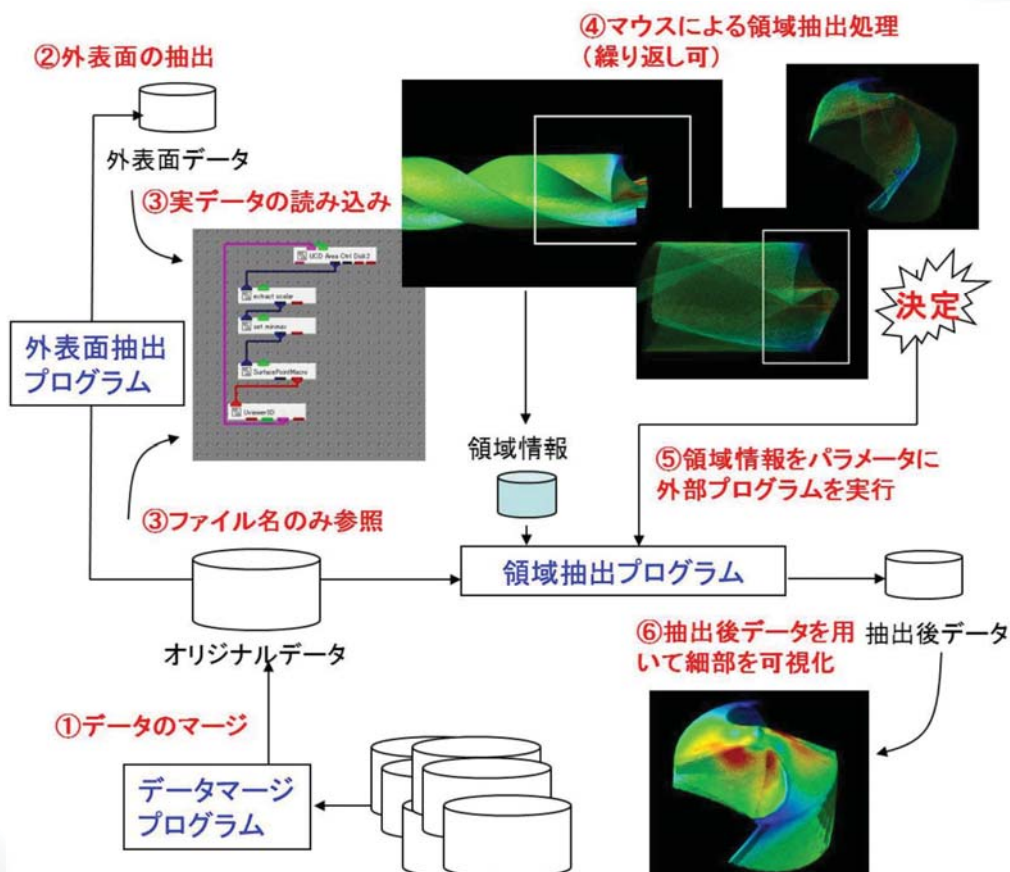
線形静解析	熱応力解析を含む
非線形静解析	材料非線形: 超弾性/弾塑性/熱弾塑性/粘弾性/クリープ 等方/移動/複合硬化 幾何学的非線形: Total Lagrange法/Updated Lagrange法 境界非線形(接触): Lagrange乗数法、有限すべり、摩擦
線形動解析	陽解法/陰解法
非線形動解析	陽解法/陰解法 非線形静解析と同等の材料非線形/幾何学的非線形/境界非線形(接触)機能
固有値解析	ランチョス法、変形後解析機能
熱伝導解析	定常/非定常(陰解法)
要素タイプ	四面体/六面体/五面体/シェル/トラス 1次/2次、非適合モード、選択的次數低減積分
解析支援	境界条件ステップ制御、リスタート、ユーザーサブルーティン、並列接触解析用パーティショナ

実施中の大規模実証例題(＊)

- 高速鉄道のレール・車輪間の接触挙動評価
- 船体ブロック溶接やキャスクなど大規模構造物の残留応力評価
- 複合材料伝動ベルトの接触挙動評価
- 接触荷重・熱荷重下における電子機器の構造信頼性評価
- 発電用大型蒸気タービン動翼の流体・構造連成
- 充填ゴムのひずみ評価
- 脳動脈瘤などの生体系非定常流体・構造連成
- 地震時における地盤・原子力建屋の動的挙動評価
- 複雑構造押し出し成型の効率化

・(＊)企業との共同研究の枠組み等を通じて実施、予定を含む  
 ・一部、HPCI「京」、地球シミュレータの産業利用枠や一般公募枠を利用。センター支援による最適化(行列保持形式の変換)  
 ・引き続き、ユーザー会との連携、共同研究テーマの提案を歓迎します。

操作手順例



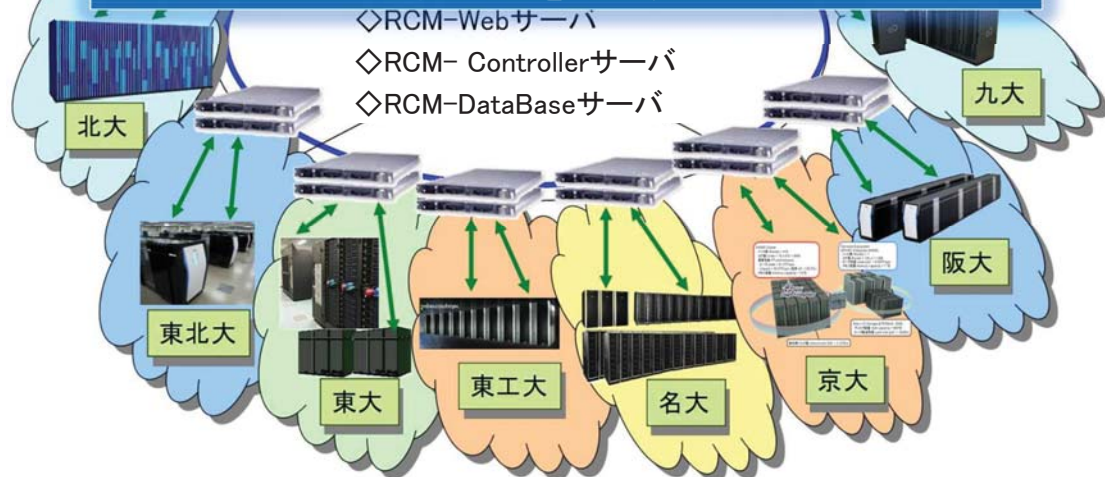
第17回計算工学講演会 2012年5月29-31日 京都教育文化センター

# スパコンCAEクラウド概念図

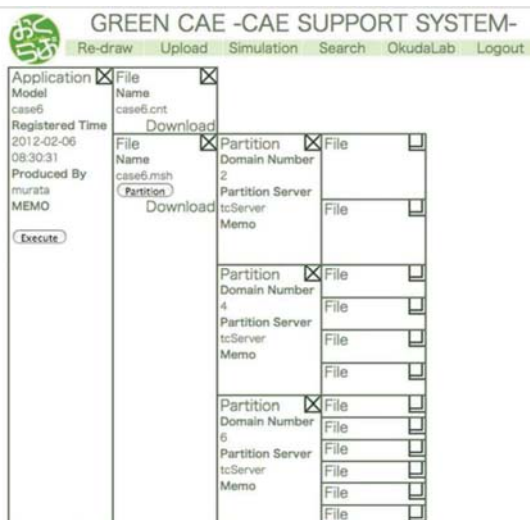
## RCMの基本機能

- ・テンプレートによる作業の自動化
- ・データベースをもとにしたファイルの管理・バックアップ
- ・ユーザ管理
- ・サーバ群の操作

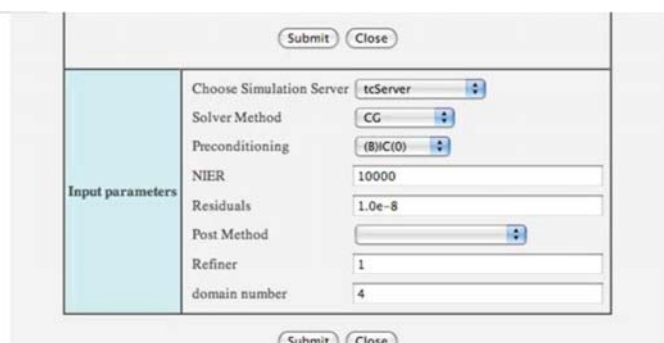
XML要素で書かれたジョブ (job要素) を組み合わせてテンプレートと呼ばれる作業フローを作成する。



# FrontISTR 各コンポーネントの実行画面サンプル



独自UIによるパラメータ入力画面



解析パラメータ入力



解析結果DBのサムネイル表示

# 並列FEM(FrontISTR) 各コンポーネント



メッシュ登録

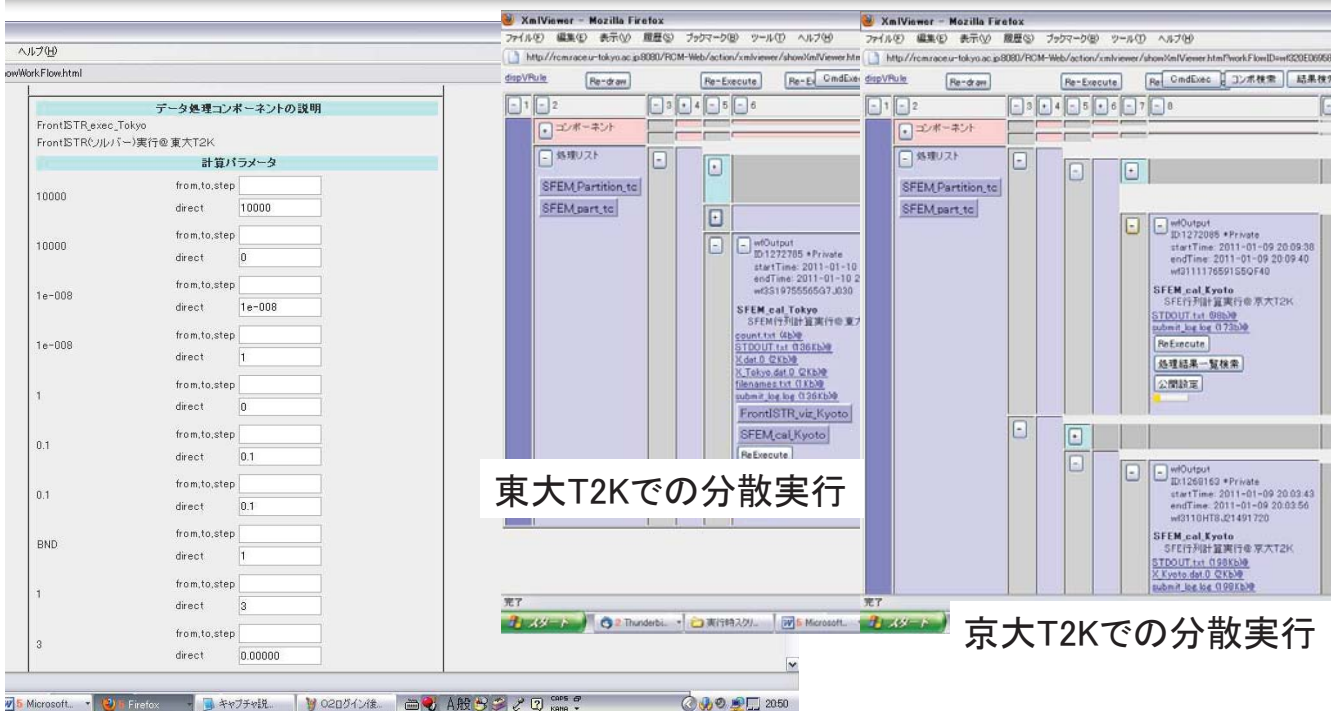


領域分割



ソルバー設定

# 並列FEM(FrontISTR)の複数拠点分散実行



東大T2Kでの分散実行

京大T2Kでの分散実行

## FEM計算パラメータの設定

## 産業応用(に限らないが)における課題

### 技術的課題

- 充実した非線形解析機能(トータルなシステムとしての完成度)
- 並列直接法(線形ソルバー)
- プログラミング柔軟性と演算性能の妥協点
- メモリウォール問題
- グリッド・クラウド
- 不確実性の考慮(メッシュ不整を含む)

### Logistics

- 恒常的な維持管理
  - 問い合わせ対応、WEB管理、プログラム管理、データ管理
- 利用技術、プログラミング情報のドキュメント化(日英)と継承
- 改良に向けた産官学連携プロジェクト
  - 競争的資金、共同研究
  - 委託開発ではなく共同開発
  - 秘密保持と公開性
- 認証コード化