

## オープンソース有限要素法構造解析コードFrontISTRの 先進的特長および産業応用の現状と課題

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



1998-2002



2002-2004

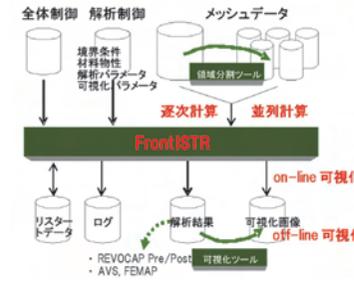


2005-2007

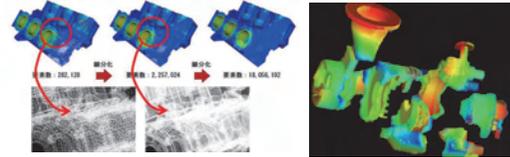
## Front ISTR ver.4.1 大規模アセンブリ構造対応構造解析ソルバー

- ・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

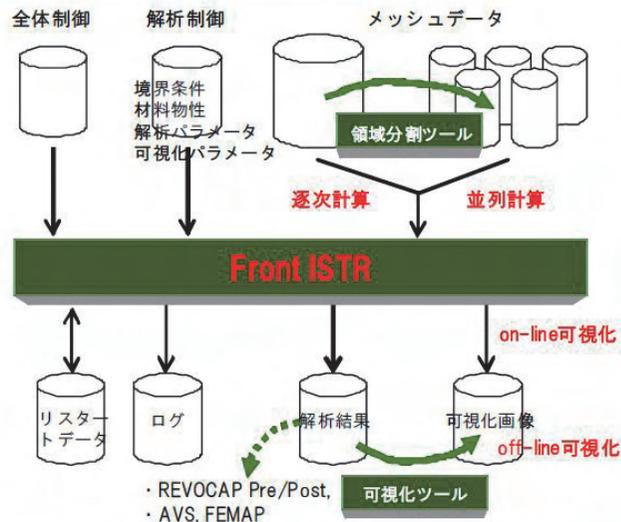


スパコンからノートPCまで



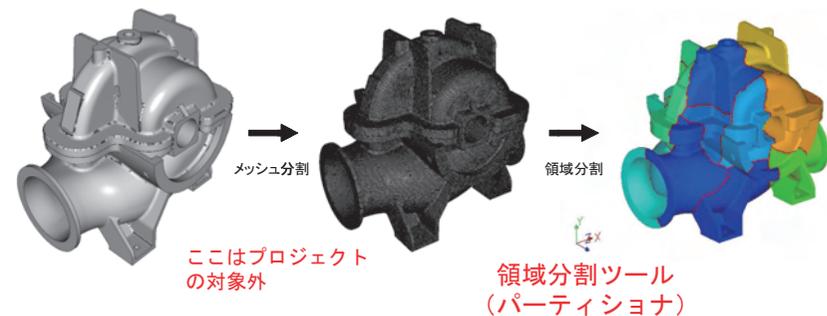
線形静解析	熱応力解析を含む
非線形静解析	材料非線形: 超弾性/弾塑性/熱弾塑性/粘弾性/クリープ等方/移動/複合硬化 幾何学的非線形: Total Lagrange法/Updated Lagrange法 境界非線形(接触): Lagrange乗数法、有限すべり、摩擦
線形動解析	陽解法/陰解法
非線形動解析	陽解法/陰解法 非線形静解析と同等の材料非線形/幾何学的非線形/境界非線形(接触)機能
固有値解析	ランチョス法、変形後解析機能
熱伝導解析	定常/非定常(陰解法)
要素タイプ	四面体/六面体/五面体/シェル/トラス 1次/2次、非適合モード、選択的次數低減積分
解析支援	境界条件ステ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

### 並列環境を意識しないシンプルな解析手順



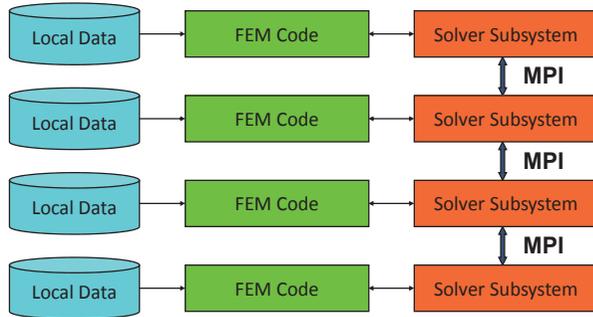
SPMD(Single Program Multiple Data)プログラミングにより、メッシュデータを領域分割ツール(同梱)で分割するだけで並列計算が実行されます。

## 領域分割に基づく並列解析



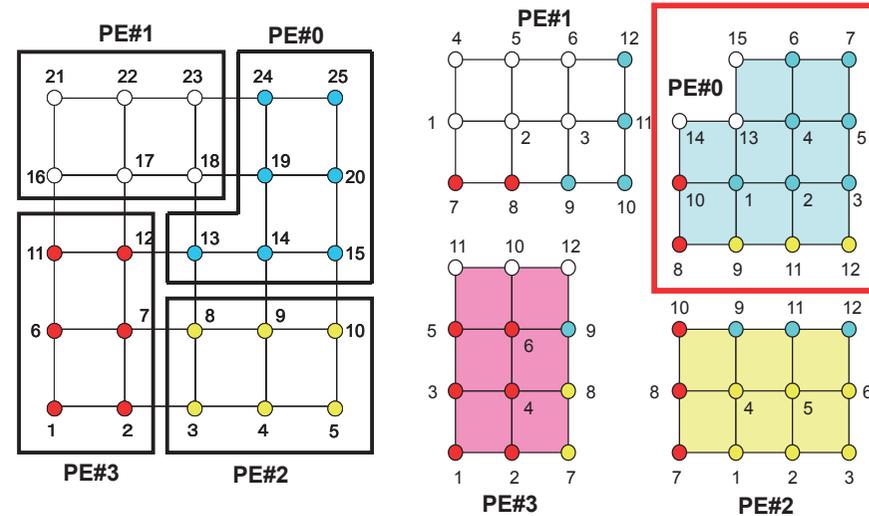
# SPMD Programming Style

- Local distributed data ...1 subdomain for a node
- FE analysis modules just consider local operation (element matrix assemble)
- Global operation occurs only in linear solver.



# Local Data Structure

Node-based Partitioning  
internal nodes - elements - external nodes



12

## FrontISTR Ver.4.1 の機能一覧

注: 赤字は平成23年度新規開発機能

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、 <b>接触解析機能</b>
固有値解析	ランチョス法、 <b>変形後解析機能</b>
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 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、 <b>並列接触解析用パーティショナ</b>

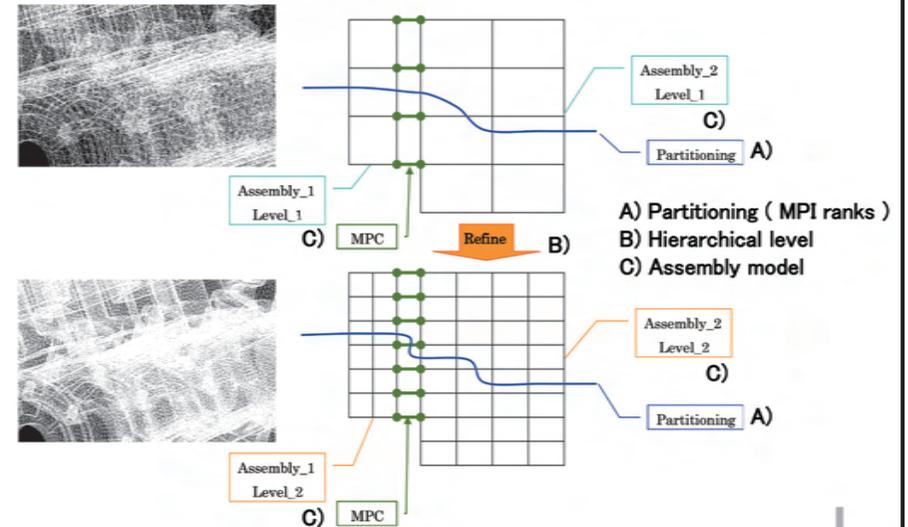
## FrontISTR Ver.4.1 の先進的特長

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 <b>および領域分割(MUMPSへのインターフェース)</b> )
並列可視化	サーフェス/ボリウムレンダリング、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

HEC-MW機能概要

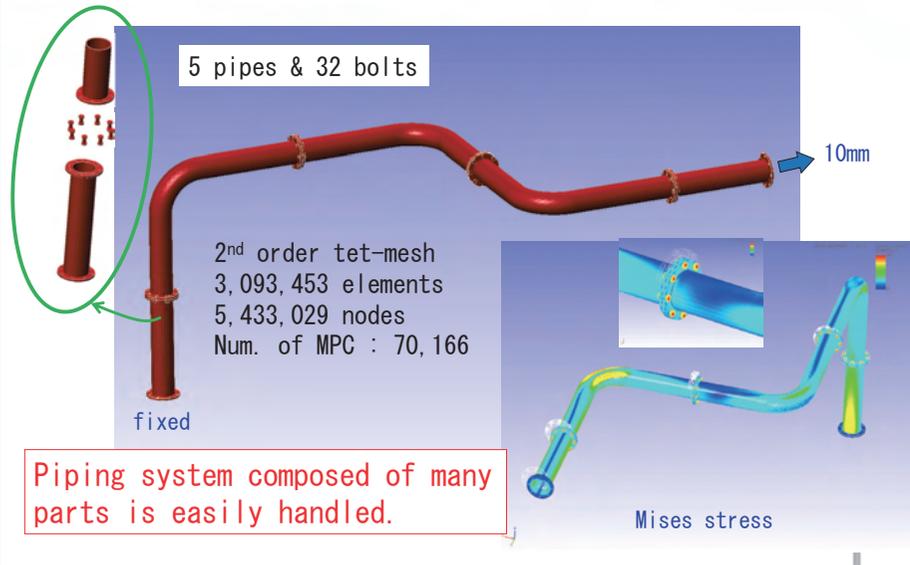
- FrontISTRはHEC-MW(並列有限要素法基盤ライブラリ)の上に構築されている
- ネストされた非構造格子による階層モデル
- 複数の独立したメッシュによるアSEMBルモデル
- REVOCAP\_Refinerによる高解像度モデル
- アSEMBルモデル/階層モデルに対応した並列通信テーブル
- アSEMBルモデル対応・並列線形ソルバー

Data structure for assembly structures with parallel and hierarchical gridding



13

Assembled Structure: Piping composed of many parts



Strong Scale with Refiner

解析対象 機械部品の静応力解析(四面体2次要素)

東京大学 FX10

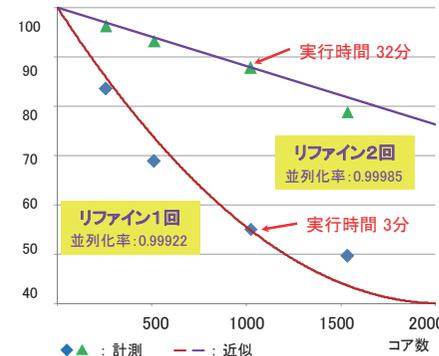
SPARC64 Ixf(1.848 GHz)  
× 1CPU (16コア)/ノード

リファイン	要素数	節点数
なし	684,807	1,008,911
1回	5,478,456	7,707,758
2回	43,827,648	60,089,084

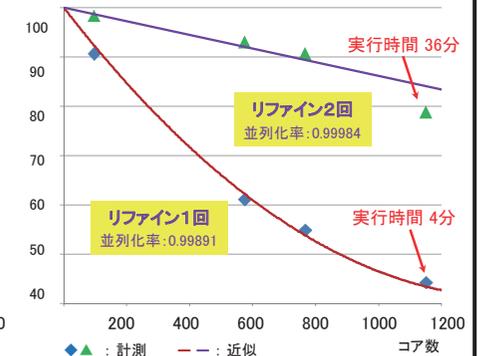
FOCUSスパコン

Intel Xeon L5640(2.26GHz)  
× 2CPU (計12コア)/ノード

並列化効率 ( $T_1 / (n \times T_n)$ )



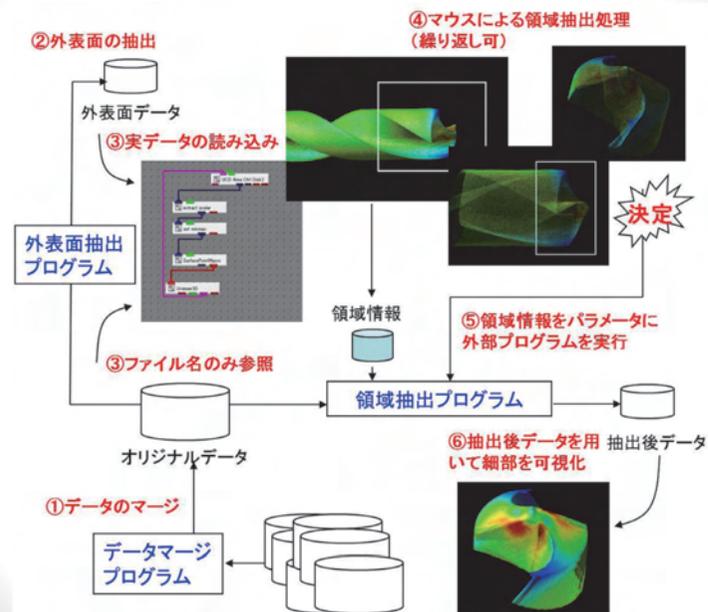
並列化効率 ( $T_1 / (n \times T_n)$ )



## 大規模可視化におけるChallenges

- ① 階層分散データ構造
- ② ズーミング／マルチスケール可視化
- ③ CAEクラウド化
- ④ 対話処理とバッチ処理
- ⑤ V&V／シミュレーションナビゲータ
- ⑥ データ共有リポジトリ

## 操作手順例



## 実施中の産業応用実証例題(\*)

- 船体ブロック溶接の残留応力評価
- 複合材料伝動ベルトの接触挙動評価
- 高速鉄道のレール・車輪間の接触挙動評価
- 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
- コンクリート構造物原子力建屋の構造信頼性評価
- 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、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。

## ユーザー会/コミュニティの構想(1/2)

### ねらい

- 公開版FrontISTRの利用、メンテナンス、改良が長期間にわたり持続することを目的とし、情報交換および産官学マッチングを図る場を提供する。
- ユーザー会のワークを通じてソフトや資料のpolish-upを行い、成果を出版する。
- 2種類のユーザー(プログラムの中味まで理解し改良して利用しようと考えているユーザー、マニュアルに従って利用するエンドユーザー)両方を対象とする。

### 体制

- イノベーション(生研CISS)および産学協会の協賛アクティビティ(日本計算工学会GreenCAEプロジェクト、他に相談中あり(日本応用数学会、日本シミュレーション学会、日本原子力学会計算科学技術部会))をゆるく包含するコミュニティを母体にする。
- それらの母体で格付けすると同時に、広報市場としても利用する。

## ユーザー会/コミュニティの構想(2/2)

## 運営内容

- セミナー開催 + WEB上に資料やデータをアーカイブ
- 内容は、理論編、プログラミング編、実践編、産業応用編、の題材を適宜織り交ぜる。
- 「理論編」 プログラムの背景にある理論、固体力学、各種非線形解析、有限要素法、並列計算手法、連立一次方程式の解法、など
- 「プログラミング編」 理論編の内容がどう実装されているかの解説、FrontISTRを改良して使えるようになる程度までのプログラム解説。
- 「実践編」 エンドユーザーの立場からの使い方の解説やhands on。プログラム一式のダウンロード、コンパイル、入出力データ、例題解析、可視化、など
- 「産業応用編」 実機問題への適用例の紹介、共同研究テーマにつながる話題提供、など各種の情報交換。

17

## イノベFrontISTR 平成24年度計画(予定を含む)

- 実証例題解析(継続)、当初からの「狙い」の達成
- 機能の増強
  - 実証例題解析の実施に新たに必要となる要素、解析機能、便利機能
- 可搬性の強化・最適化
  - 京・FX10、地球シミュレータ
- マニュアルの整備
  - H23年度の検討結果への対応、英文化
- ユーザー会支援
  - 「理論編」、「プログラミング編」、「実践編」、「産業応用編」
  - ベンチマーク問題の拡充とデータ提供 念頭におくソフト: ABAQUS, NASTRAN, ADVC

具体的な改善予定の例)  
異方性、粘弾性特性の温度依存性、出力形式の柔軟化、周波数応答解析、並列接触解析(分割様式の一  
般化)、ファイルI/Oのスリム化、など

18