

2007年1月24日

文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発
「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」
ワークショップ(第7回)

構造解析シミュレーション FrontSTR

～Winノートクラスタから地球シミュレータまで～

奥田洋司

東京大学 人工物工学研究センター

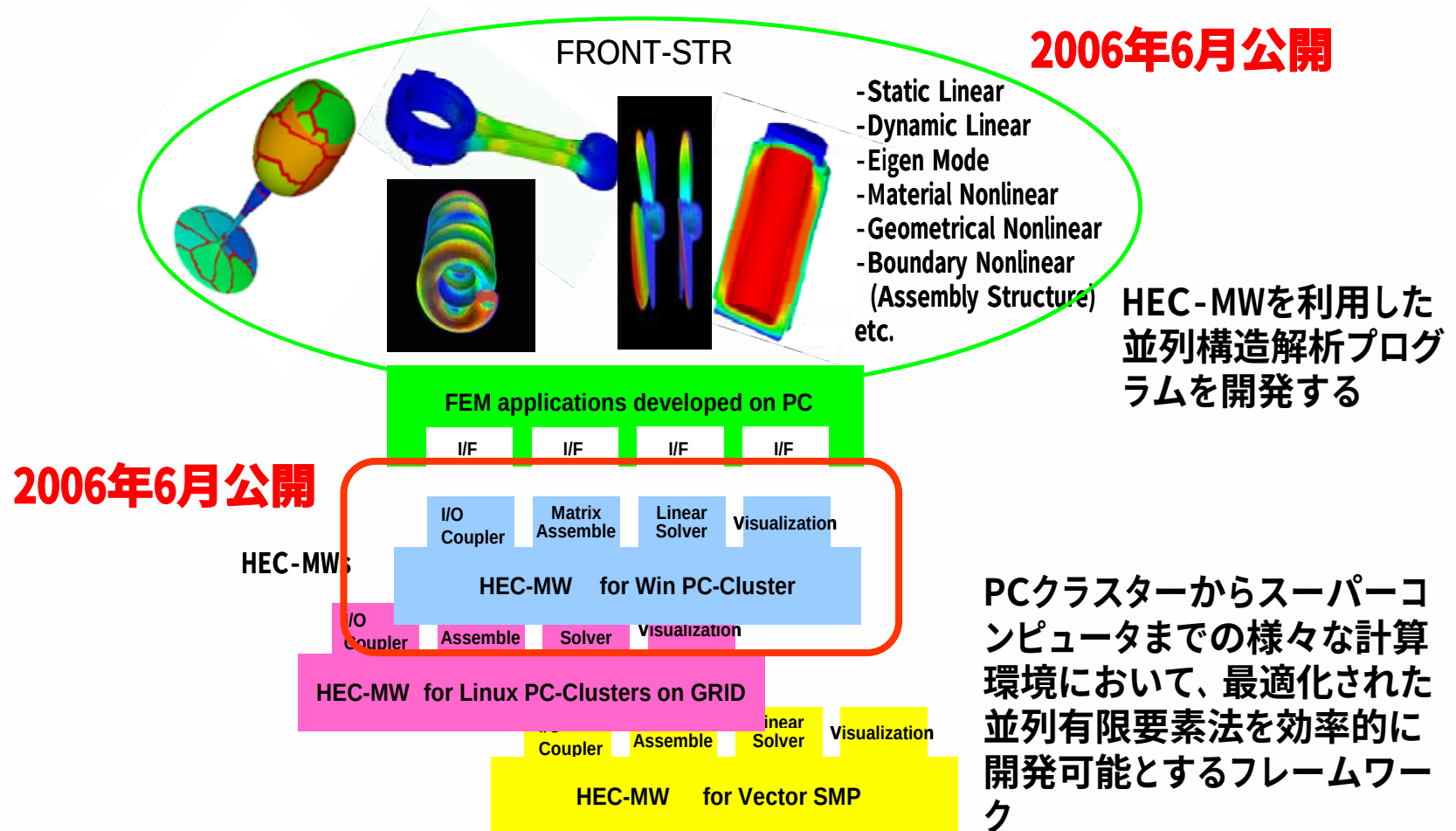
開発メンバー：

小笠原朋隆，陳莉，深堀安二，今井登，伊東聰（東京大学），長嶋利夫（上智大学），荒川貴道（アドバンスソフト（株））



RSS 21
Revolutionary Simulation Software

HEC-MWを基盤とするFrontSTR



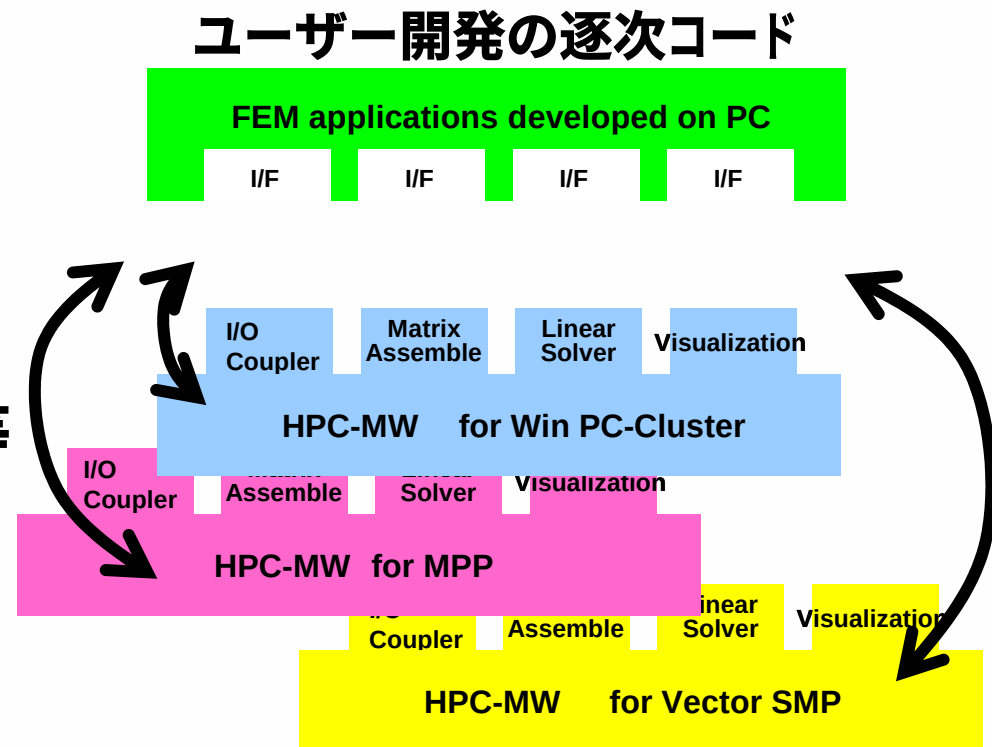
2006年8月 Ver.1.1 アップ (バグFix版)

FrontSTRの革新性・差別化ポイント

- **大規模並列分散環境への対応**
 - 従来の汎用コードの限界
 - NLS (ナショナル・リーダーシップ・スパコン) における構造解析ソフトウェア
 - さまざまな環境 (OS, プロセッサタイプ) における効率的な大規模並列構造解析 (とくにWin環境)
- **RSS21革新的連成シミュレーション・システムへのI/F**
- **HEC-MW上での構築**
 - 有限要素解析アプリケーションの効率的な改良, 新規開発

HEC-MWの提供する機能

- データ入出力 (単一・分散領域)
- 線形ソルバ
 - 反復法・直接法
 - ブロック処理
- 有限要素処理
 - 行列演算
 - コネクティビティ生成 等
- 可視化
- ユーティリティ
 - 領域分割 等



HEC-MWを用いたプログラムイメージ

```
program sample_main
```

```
  use hecmw
```

1) hecmwモジュールを“USE”

```
  implicit none
```

```
  type (hecmwST_local_mesh) :: hecMESH
```

2) hecmwモジュールで定義された構造体の変数宣言

```
  type (hecmwST_matrix ) :: hecMAT
```

```
  character(len=HECMW_FILENAME_LEN) :: name_ID
```

```
  call hecmw_init
```

3) hecmwサブルーチンをコール

```
  call hecmw_get_mesh(name_ID, hecMESH)
```

```
  .....
```

```
  ..... FE algorithm
```

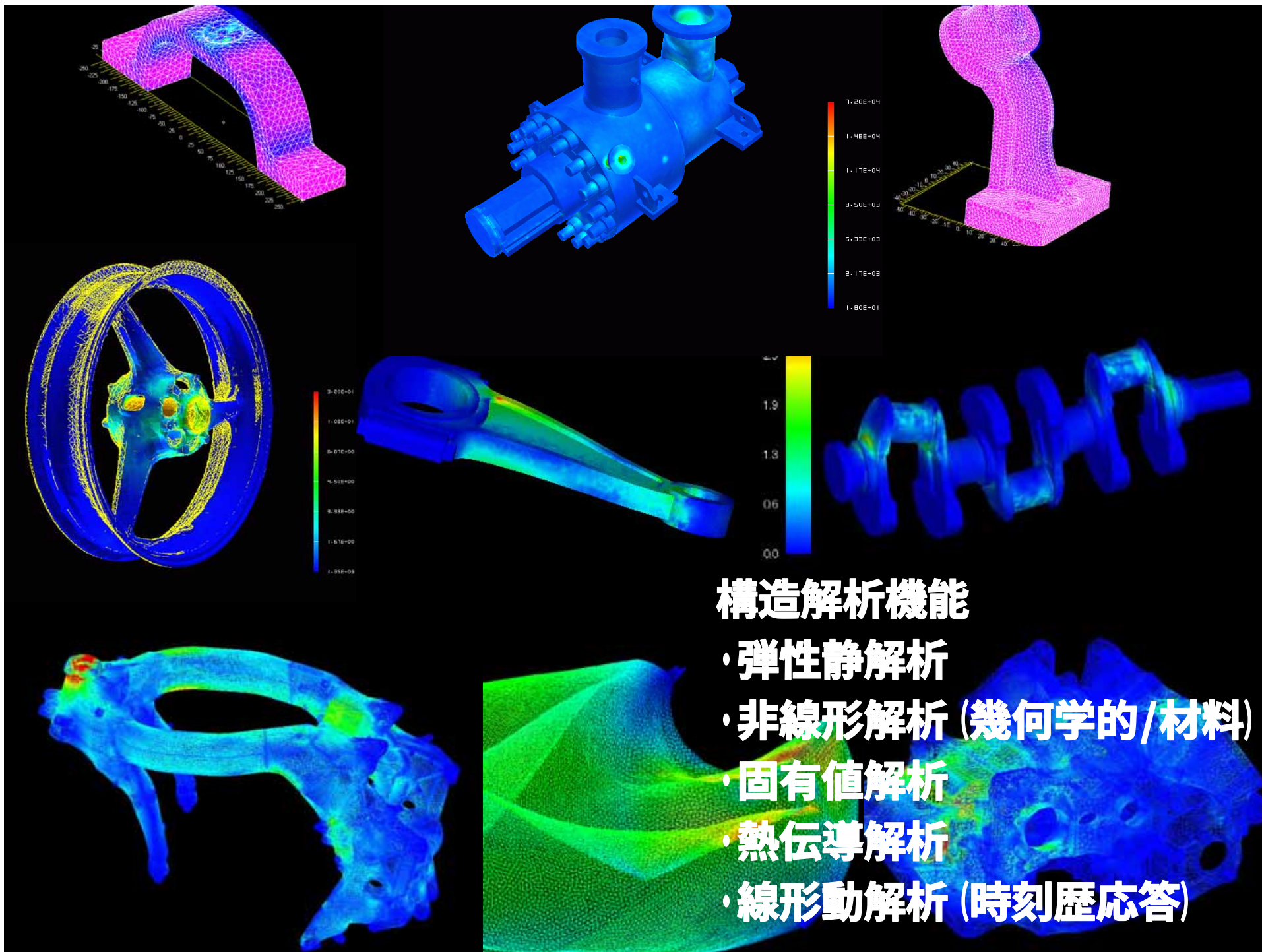
```
  .....
```

```
  call hecmw_solve_33 (hecMESH, hecMAT)
```

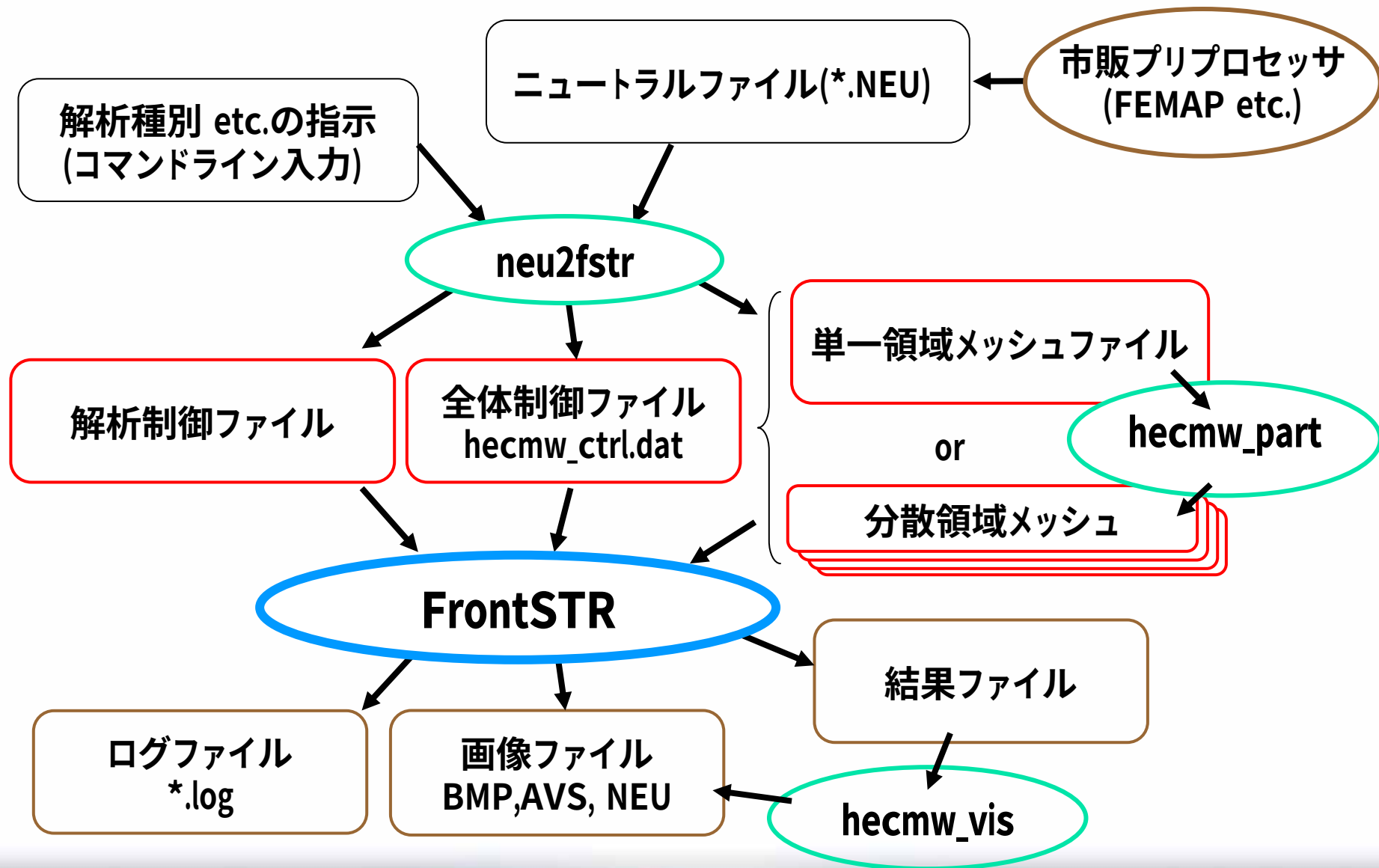
```
  call hecmw_finalize
```

```
end program sample_main
```

- アプリ開発者が関与するソース量は大幅に減少
- 並列演算, オーダリング, 並列データ入出力が隠蔽
- アプリはSPMD型の並列プログラム
- 分散領域のデータに対して並列計算を実行



FrontSTR 入出力系図 (1/2)



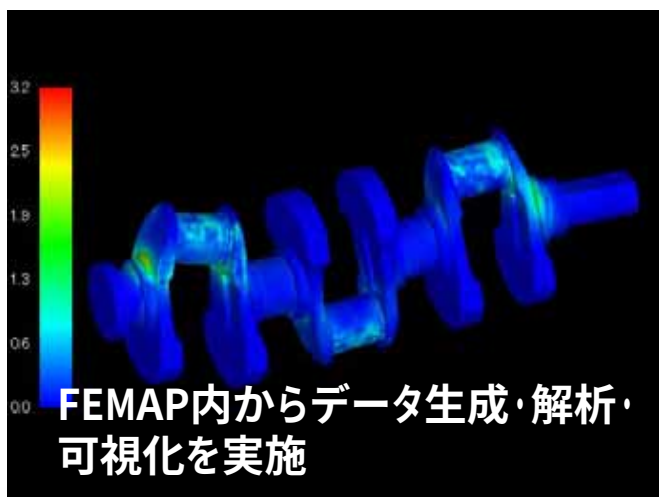
FrontSTR 入出力系図 (2/2)

FEMAP + FrontSTR^{Pre}

FEMAP内からデータ生成・解析・可視化を実施するための拡張機能
(開発協力: 寺坂・陳 (東大))



FEMAPのメニューバー



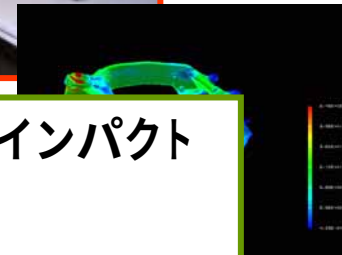
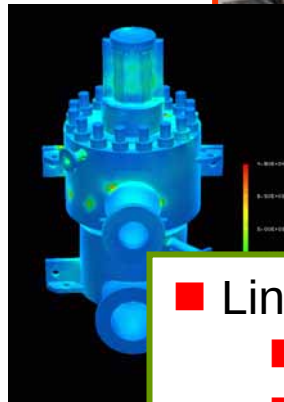
地球シミュレータでの性能

- オーダリング, ベクトル化等の最適化はHEC-MWでサポート
(FrontSTR部分のプログラムは同じ)
- 弾性解析ベンチマークにおいて, データサイズを変更して並列性能を比較 (実行時間: sec)
- 対ピーク性能比 40% 以上, Itanium2 (1.4GHz)の30~40倍のスピード

PE数 節点数	1 PE	2 PE	4 PE	8 PE	16 PE	(並列化率)
2万	1.42	0.784	0.443			1→4PEで 3.2倍 (91.7%)
100万		70.1	35.8	17.9		2→8PEで 3.9倍 (99.2%)
170万		137	67.8	35.1	17.6	2→16PEで 7.8倍 (99.5%)

オフィスでのWindows環境におけるHEC

WinノートPC群によるFrontSTR並列計算実験



■ LinuxクラスタからWinオフィス環境でのHECへ →普及に大きなインパクト

- Dual Core、省スペース、多目的
- 閉じた有線 (ギガビットEther) LANでFrontSTR
- 無線LANで日常業務
- Win用MPIの安定化、クラスタOSの普及、64ビット化

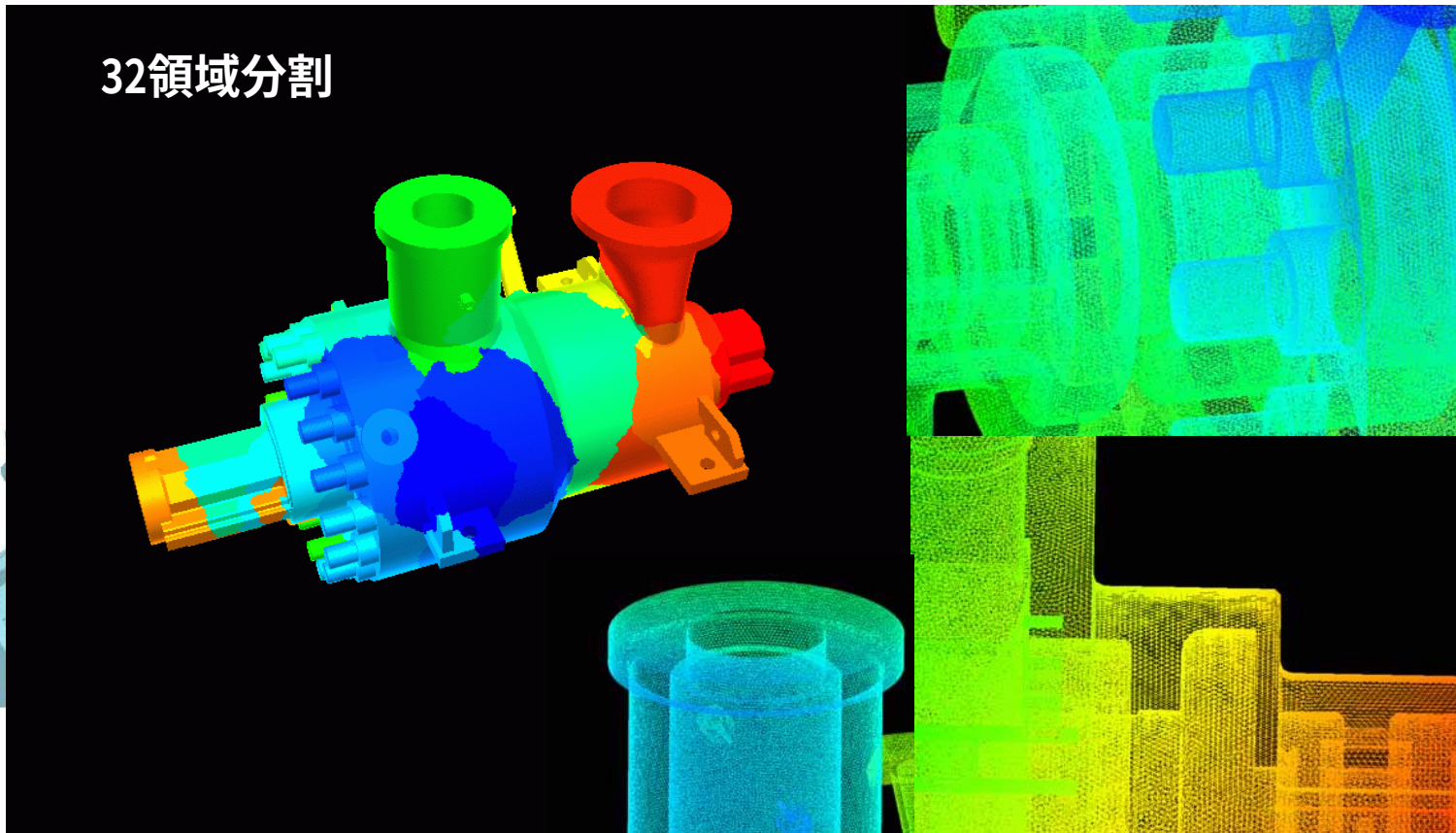
■ コンロッド (9.4万節点) 585sec(1PE) → 42sec(16PE, 14倍)

■ フレーム (51.7万節点)

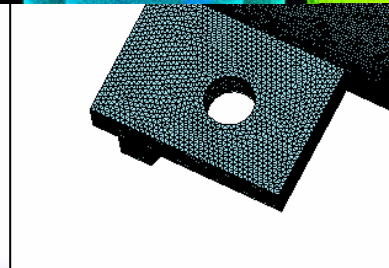
- 2,550sec(16PE) 参考) Xeonクラスタ(16PE) 4,852sec
- CG反復1,000回の計算 1,080sec(4PE) → 190sec(16PE, 5.7倍)

PCクラスタによる1億自由度ポンプの静解析

32領域分割

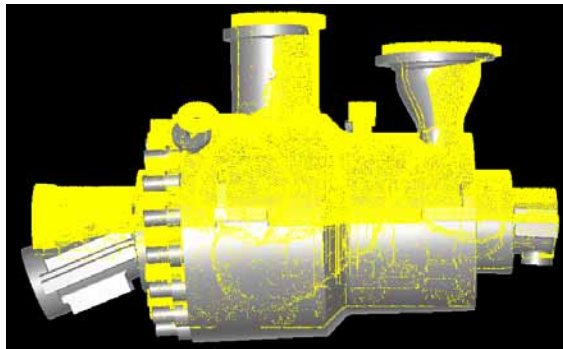


節点数： 36,728,129
要素数： 26,289,770
自由度数： 110,184,387
使用要素： 四面体2次要素

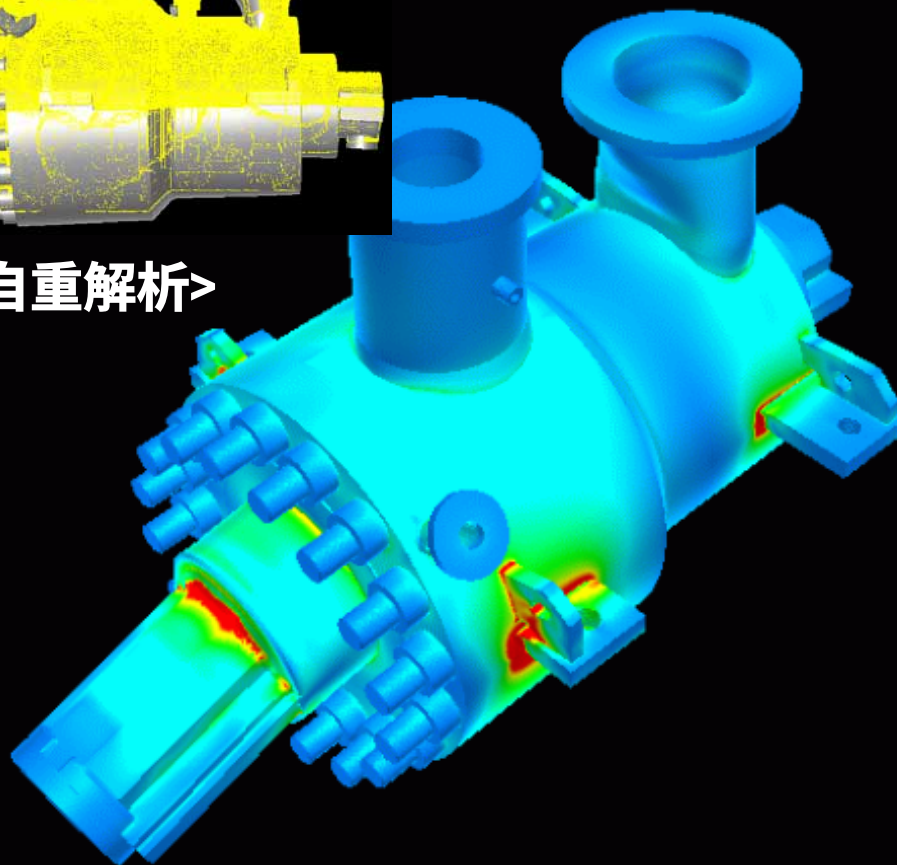


静解析 (自重、内圧) および
可視化機能について大規模
問題への適用性を実証

PCクラスタによる1億自由度ポンプの静解析



<自重解析>



ミゼス応力コンター(単位: kgf/mm²)

計算機:

Itanium2 Cluster, 1.4GHz,
32PE 使用

使用メモリ: 120 GB

計算時間: 27.3 (h)

CG反復: 10,249 回

<内圧解析のとき>

計算時間: 約24 (h)

CG反復: 8,557 回

<HEC-MW可視化処理>

計算機:

Xeon Cluster, 2.8GHz,
32PE 使用

Rendering処理枚数: 12枚

処理時間: 1時間弱

(ファイル渡しバージョン、うち5~7割がI/O)

並列直接法ソルバー

- 直接法の安定性を重視
- 並列化により記憶容量と計算時間の増大に対応
- 並列性能は反復法よりは劣る

PE数	加速率
1	1.0
2	1.8
4	3.3
8	4.5

行列分割による並び替え

$$Ax = b$$

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & C_1 \\ & A_{22} & C_2 \\ B_1 & B_2 & D \end{pmatrix}$$

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_0 \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_0 \end{pmatrix}$$

$$D' = D - B_1 A_{11}^{-1} C_1 - B_2 A_{22}^{-1} C_2$$

$$b'_0 = b_0 - B_1 A_{11}^{-1} b_1 - B_2 A_{22}^{-1} b_2$$

として

$$D' x_0 = b'_0 \rightarrow x_0$$

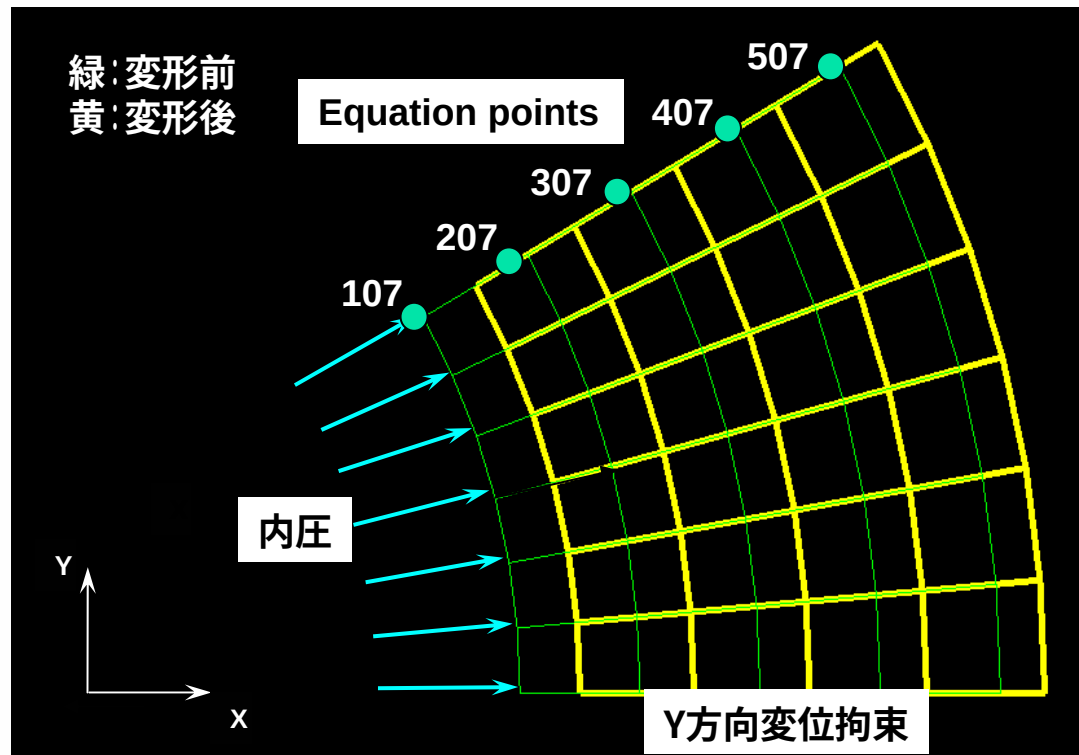
$$A_{11} x_1 = b_1 - c_1 x_0 \rightarrow x_1$$

$$A_{22} x_2 = b_2 - c_2 x_0 \rightarrow x_2$$

密行列の並列解法

逐次直接法ソルバーの分散
実行 (A_{11}^{-1}, A_{22}^{-1} の計算)

MPC機能 (1/2) !EQUATION

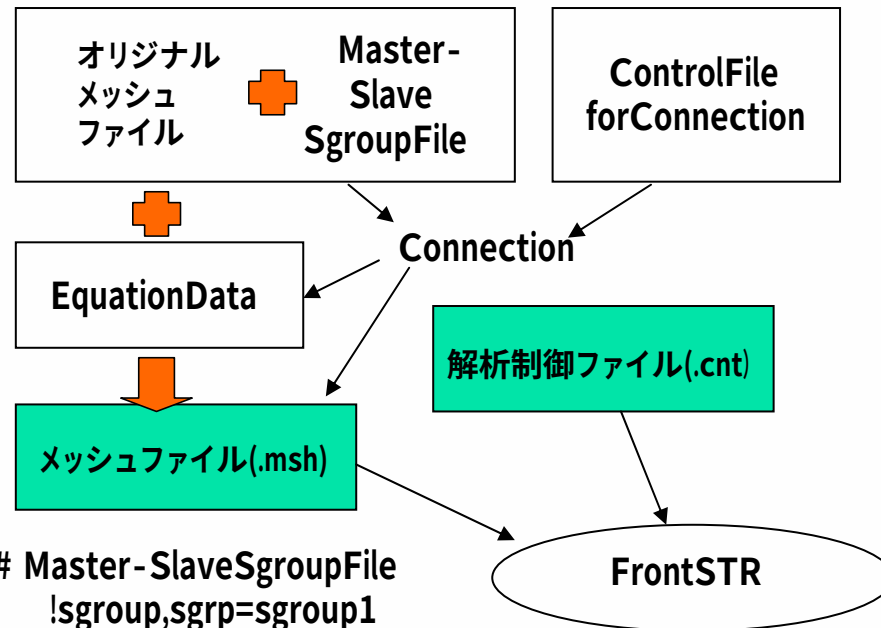


!EQUATION

```
2
107, 1, 1.0, 107, 2, -1.73205
2
207, 1, 1.0, 207, 2, -1.73205
2
307, 1, 1.0, 307, 2, -1.73205
2
407, 1, 1.0, 407, 2, -1.73205
2
507, 1, 1.0, 507, 2, -1.73205
```

$\theta = 30^\circ$ 境界線上の全ての節点について $\delta x = \sqrt{3} \cdot \delta y$
をEQUATIONデータで指定

MPC機能 (2/2) マスター・スレーブ結合



```

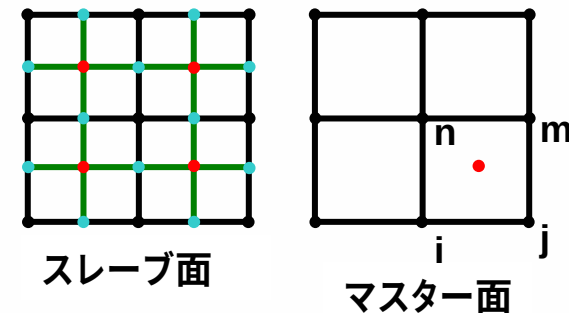
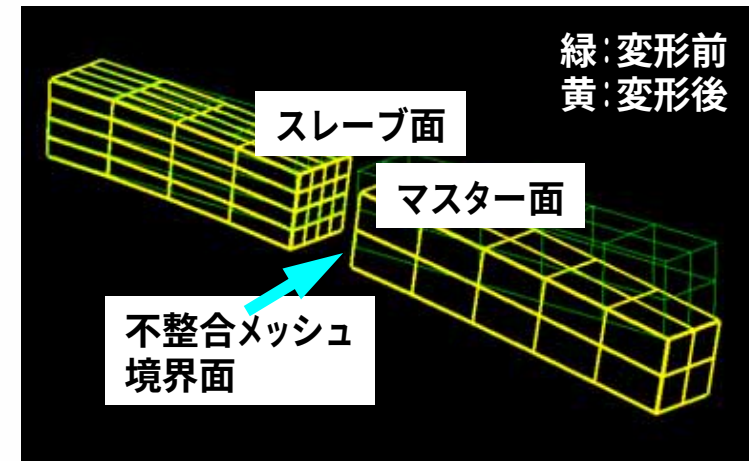
# Master-SlaveSgroupFile
!sgroup,sgrp=sgroup1
!sgroup,sgrp=sgroup2
  
```

ControlFile for Connection

```

!connection,master=sgroup1,slave=sgroup2,x=0.0,y=0.0,z=1.0
!connection,master=sgroup3,slave=sgroup4,x=0.0,y=0.0,z=1.0
  
```

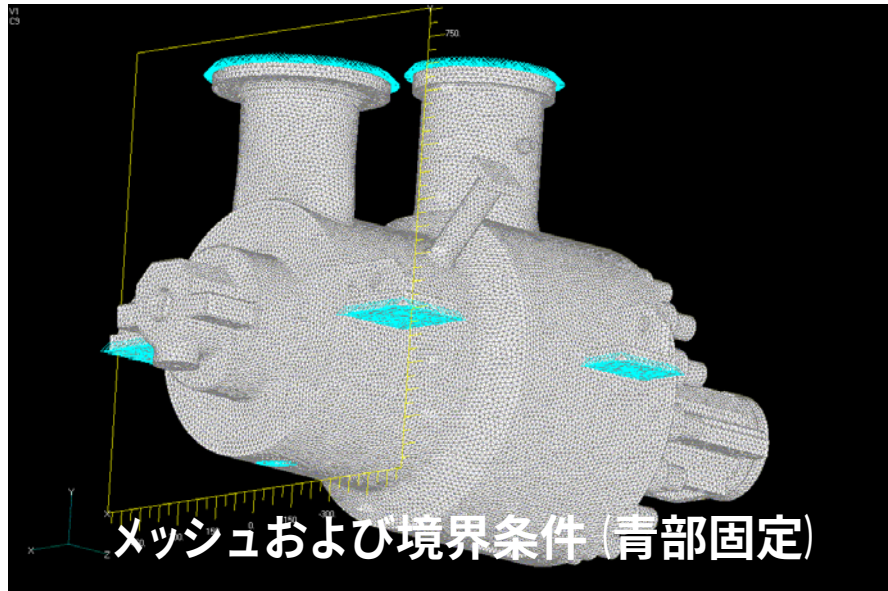
master: マスター面を定義したsgroup名
 slave: スレーブ面を定義したsgroup名
 x: スレーブ面からマスター面への法線ベクトルのx成分
 y: スレーブ面からマスター面への法線ベクトルのy成分
 z: スレーブ面からマスター面への法線ベクトルのz成分



<重みの決定>

スレーブ面の全ての節点について、マスター面と接する点の座標と要素面 i, j, m, n を法線ベクトルから求め、その点の重みを決定し、独立変数の係数として!EQUATIONデータを自動生成

動解析機能の検証 中規模ポンプ (戦略Pの実証例題) の打撃試験



計算機: Xeon Cluster, 2.80GHz, 32PE

使用メモリ: 704 MB

Δt : $5.0E-8$ (s)

総ステップ数: 5,000,000 ステップ

<陽解法>

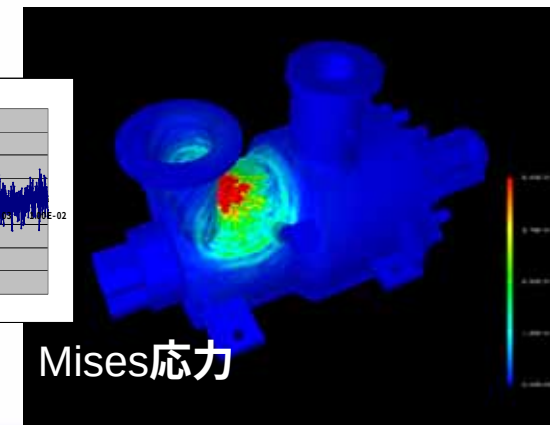
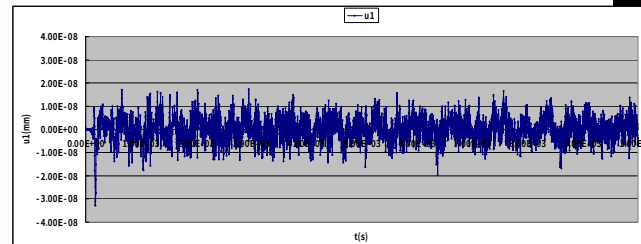
計算時間: Total 約58 (h)

Solver部 約0.04 s / 1STEP

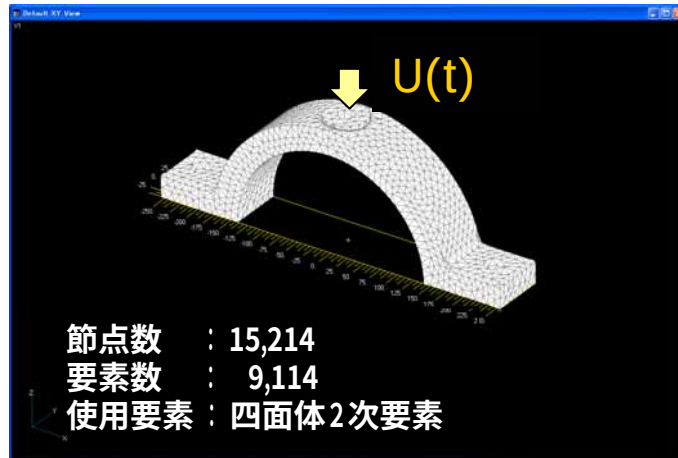
節点数 : 311,580
要素数 : 1,368,583
使用要素 : 四面体1次要素

最大要素辺長 : 34.0 mm

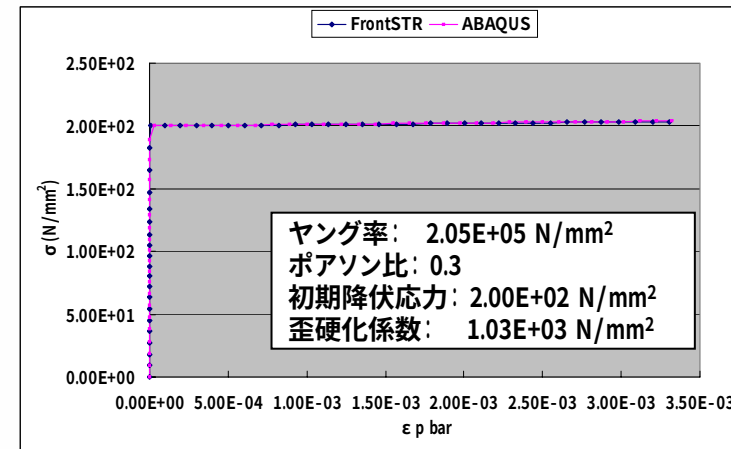
最小要素辺長 : 0.9 mm



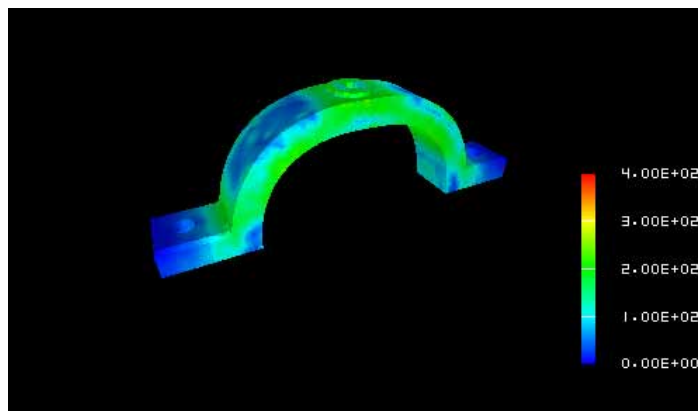
幾何学的非線形および材料非線形を考慮したかみ合いモデルの解析



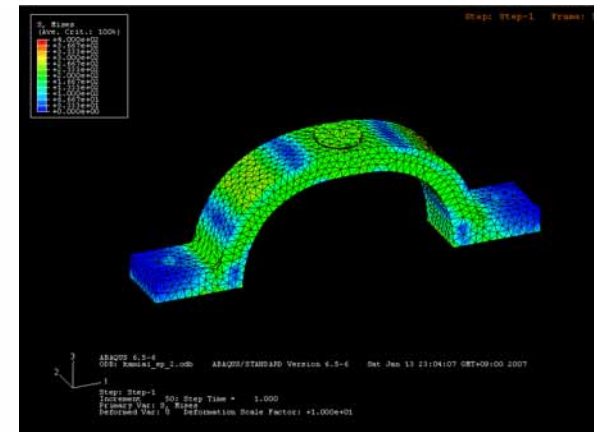
メッシュおよび境界条件



強制変位点における相当応力-相当塑性歪関係



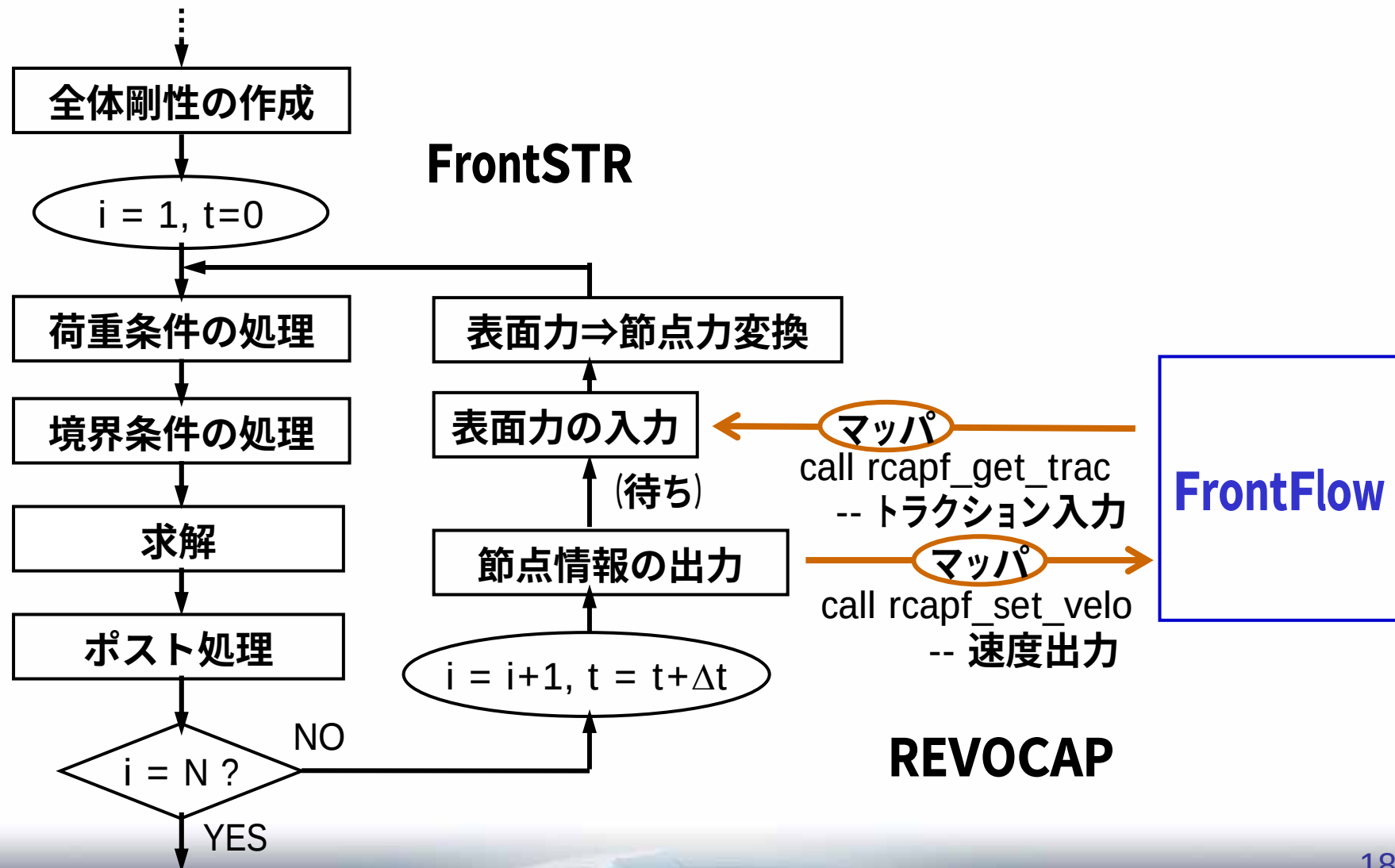
FrontSTR



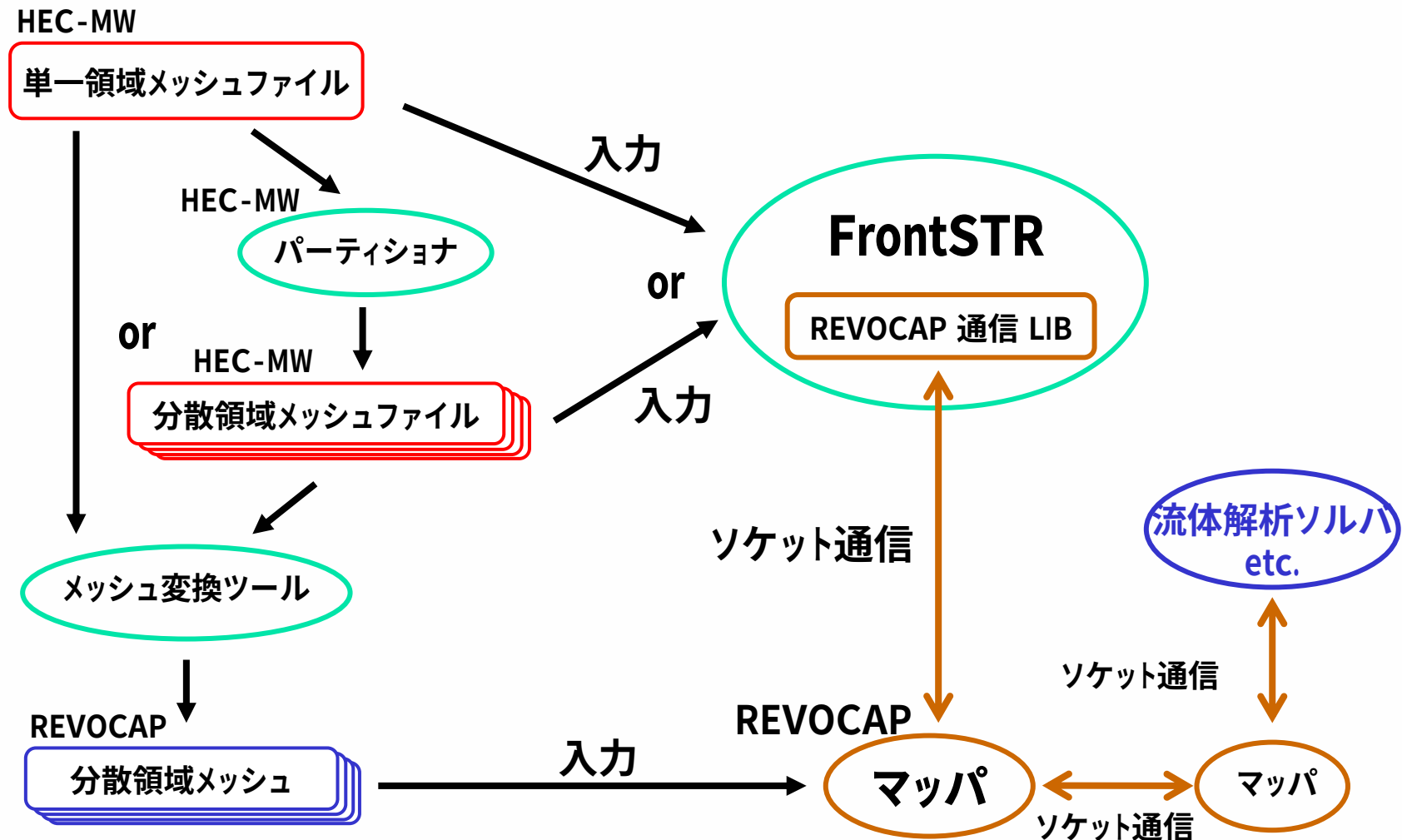
ABAQUS

最終ステップにおけるvon Mises相当応力分布図

弱連成 FrontSTR/REVOCAP/FrontFlow



FrontSTR と REVOCAP の入出力関係



今後の予定

- 普及に向けてのロバスト化と公開
 - HEC-MW
 - 行列演算機能の高度化と整備
 - 開発者向けドキュメント, テンプレート整備
 - FrontSTR
 - 産業応用事例の拡充 (固有値・動解析・非線形解析・アセンブリ解析)
 - 並列直接法の高度化
 - オフィス環境等、各種OS環境への適用、産業界での利用促進
- 機能拡充
 - REVOCAPとの連成機能実装と実証連成問題
 - 地球シミュレータにおける性能評価・大規模解析 (続き)
 - 自由度混合のためのデータ構造修正