



構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR、 汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAPの新バージョンのご紹介

解析事例と実行性能について

アドバンスソフト株式会社
技術第5部 主事研究員
大家 史

4.

内容一覧

■ 基本例題による解析

– 逐次処理の例題

- 弾性静解析
- 非線形準静解析

– 粘弾性解析, クリープ解析

- 非線形動解析

– 並列処理の例題

- 弾性静解析

– 大規模解析支援

- アセンブリ構造、メッシュ細分化(リファイナー)



• 基本的な操作方法の紹介
• 解析制御ファイルの指定方法の説明



• 並列解析の手順紹介



• 基本的な操作方法の紹介

■ 実行性能

– 増速率(CG法、直接法)PCクラスタ上での性能



基本例題一覧

チュートリアルガイドの例題

解析種別	モデル名	要素タイプ	要素数	節点数
弾性静解析	ヒンジ	四面体一次	579,772	121,850
超弾性解析 弾塑性解析 粘弾性解析 クリープ解析	シリンダー	六面体一次	432	629
超弾性解析 固有値解析	スプリング	四面体二次	4,6454	78,771
弾塑性解析	カン	四面体二次	7,236	14,119
接触解析	Hertz	六面体一次	168	408
接触解析	押し込み	六面体一次	2,888	4,000
弾性動解析 非線形動解析	片持ち梁	四面体二次	240	525
熱伝導解析	ブロック	六面体一次	32,160	37,386



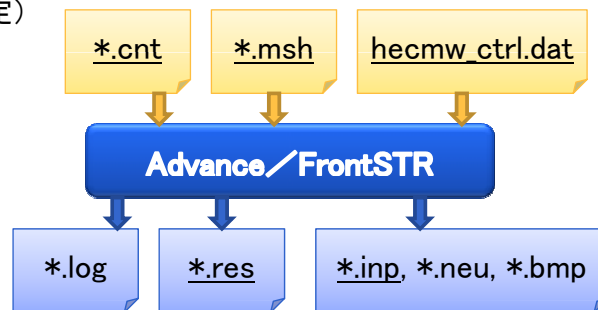
逐次処理による解析

実行の流れ

解析制御データ。解析に関する各種設定(解析タイプ, 境界条件, 材料設定, ソルバ設定)

メッシュデータ

全体制御データ。入出力ファイルを管理する



※下線があるファイルは REVOCAPで操作可能

解析結果のテキスト出力

FrontSTR用可視化ファイル

その他の可視化ファイル

実行コマンド

```
> fstr
```

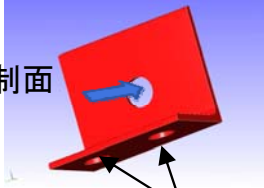


弾性静解析(ヒンジ)1

■ 解析モデル

要素数: 579,772
節点数: 121,850

強制面



拘束面

■ 解析制御ファイル

```
# Control File for FSTR
## Header
!VERSION
4
## Analysis control
!SOLUTION, TYPE=STATIC
### Boundary Condition
!BOUNDARY, GRPID=1
BND0, 1, 3, 0.000000
BND1, 1, 3, 0.000000
!CLOAD, GRPID=1
CL0, 1, 1.00000
### Step
!STEP
BOUNDARY, 1
LOAD, 1
!S-STATIC
```

制御ファイルのバージョン

解析の種類

境界条件などの設定

解析ステップ

各ステップ利用する境界条件および各解析条件のパラメータ設定を行う

解析の種類(TYPE)

- STATIC: 静解析
- HEAT: 熱伝導解析
- EIGEN: 固有値解析
- DYNAMIC: 動解析
- MODAL: モード応答解析

境界条件などの設定

- BOUNDARY: 変位境界条件
- CLOAD, DLOADなど: 荷重関連
- CONTACT: 接触条件
- VELOCITYなど: 動解析関連
- TEMPERATUREなど: 熱解析関連

解析条件

- S-STATIC: 静解析の設定
- S-VISCO: 準静解析の設定
- S-DYNAMIC: 動解析の設定
- S-HEAT: 熱解析の設定
- S-EIGEN: 固有値解析の設定



弾性静解析(ヒンジ)2

■ 解析制御ファイル

```
### Section
!SOLID SECTION, EGRP=Solid0,
MATERIAL=ST
### Material
!MATERIAL, NAME=ST
!M-ELASTIC
210000.0, 0.3
!DENSITY
7850.0
### Solver Setting
!SOLVER, METHOD=CG, PRECOND=1, NS
ET=0, ITERLOG=YES, TIMELOG=YES
反復回数 10000, 2
打ち切り誤差 1.0e-06, 1.0, 0.0
```

セクション定義

全ての要素はセクション設定を行う必要がある

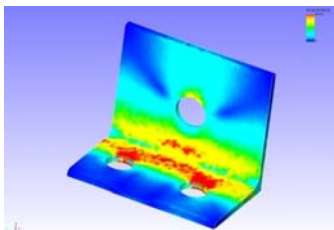
弾性材料の設定
ヤング係数と密度

材料の種類

- M-ELASTIC: 弾性材料
- M-PLASTIC: 塑性材料
- M-HYPERELASTIC: 超弾性材料
- M-VISCOELASTIC: 粘弾性材料
- M-VISCOPLASTIC: 粘塑性材料

ソルバ設定

- ソルバ選択(METHOD)
 - CG, CG2: 共役勾配法
 - DIRECT2: 直接法 など
- 前処理手法(PRECOND)
- ソルバ収束履歴出力(ITERLOG)
- ソルバ計算時間出力(TIMELOG)



解析結果
変形およびミーゼス
応力コンター図



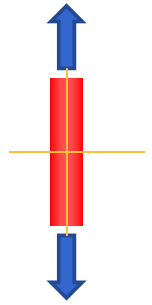
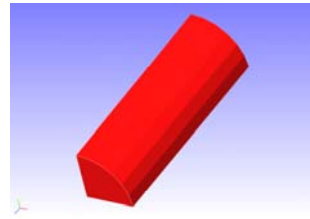
非線形準静解析(シリンダー)

■ 共通(粘弾性解析・クリープ解析)

- モデル

- 丸棒の1/8モデル

要素数: 432
節点数: 629



- STEP

- 解析ステップを指定する

BOUNDARY(境界条件), C(D)LOAD(荷重条件), CONTACTなどはSTEP以下に指定することで解析で利用されるようになる

ステップ数を 5にする 各ステップにおける
収束判定閾値

!STEP, SUBSTEPS=5, CONVERG=1.0e-5

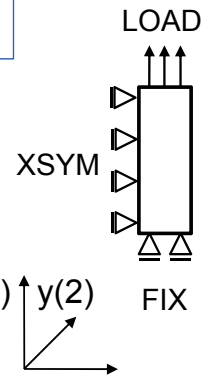
BOUNDARY, 1

IS-VISCO
0.2, 2.0

粘弾性解析を行う設定
時間増分値、経過時間

!BOUNDARY, GRPID=1
LOAD, 3, 3, -5.0
FIX, 3, 3, 0.0
XSYM, 1, 1, 0.0
YSYM, 2, 2, 0.0

ステップを適用する対象
BOUNDARYのGRPID=1に適用
するという意味。



粘性体モデルの設定

■ 粘弾性体モデル

!MATERIAL, NAME=MAT1

!M-ELASTIC
206.9.0.325

弾性材料の指定を行う

!M-VISCOELASTIC
0.5, 1.0

粘弾性材料の指定

γ_i (せん断変形Prony係数), τ_i (relaxation time)

粘弾性構成式

$$\sigma(t) = U^0 \mathbf{I} + \int_{-\infty}^t g(t-s) \frac{d}{ds} \left(\text{dev} \left[\frac{\partial \bar{W}^0}{\partial \mathbf{e}(s)} \right] \right) ds$$

$$g(t) = \gamma_{\infty} + \sum_{i=1}^N \gamma_i \exp \left[-\frac{t}{\tau_i} \right]$$

■ クリープ(粘塑性体)モデル

!MATERIAL, NAME=MAT1

!M-ELASTIC
206.9.0.325

弾性材料の指定を行う

!M-VISCOPLASTIC, TYPE=NORTON
1.e-10, 5.0, 0.0

粘塑性材料の指定

A, m, n(Norton則: いずれも材料係数)

Norton則(時間硬化則)

$$\dot{\bar{\epsilon}}^c = A \sigma^n t^m$$



非線形動解析

■ 片持ち梁例題

- モデル

要素数: 240
節点数: 525



■ 制御ファイルの設定1

- 非線形材料設定

■ 例として超弾性体

超弾性体

材料モデルの指定

!MATERIAL, NAME=MAT1

~
!M-HYPERELASTIC, TYPE=NEOHOOKE
1000.0, 0.00005

材料定数の設定 ※!ELASTIC, !DENSITYも設定する

- 動解析設定(直接時間積分法)

!SOLUTION, TYPE=DYNAMIC
~
!STEP
!S-DYNAMIC, METHOD=EXPLICIT
1.0000e-6, 1.0000e-4

動解析の設定
時間増分値、経過時間

!STEP以下に!S-DYNAMICを設定し、
METHODで時間積分法を指定する。

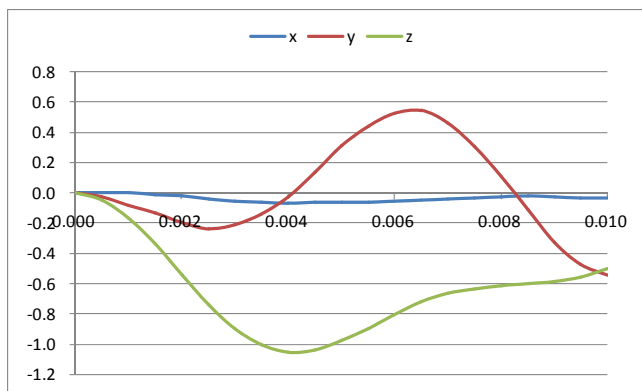
METHOD	説明
NEWMARK	Newmark- β 法: 陰解法
HHT	HHT法
EXPLICIT	陽解法(中央差分法)



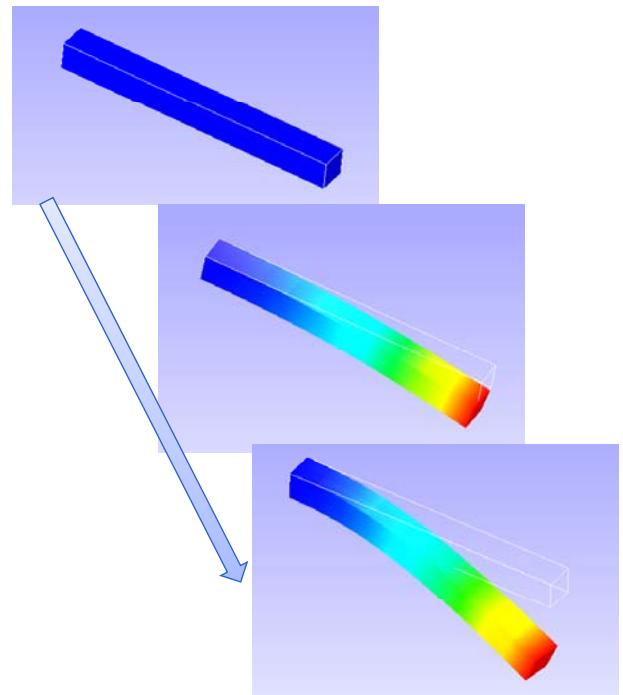
9

非線形動解析の結果

■ 片持ち梁例題



モニタリング節点の変位時系列



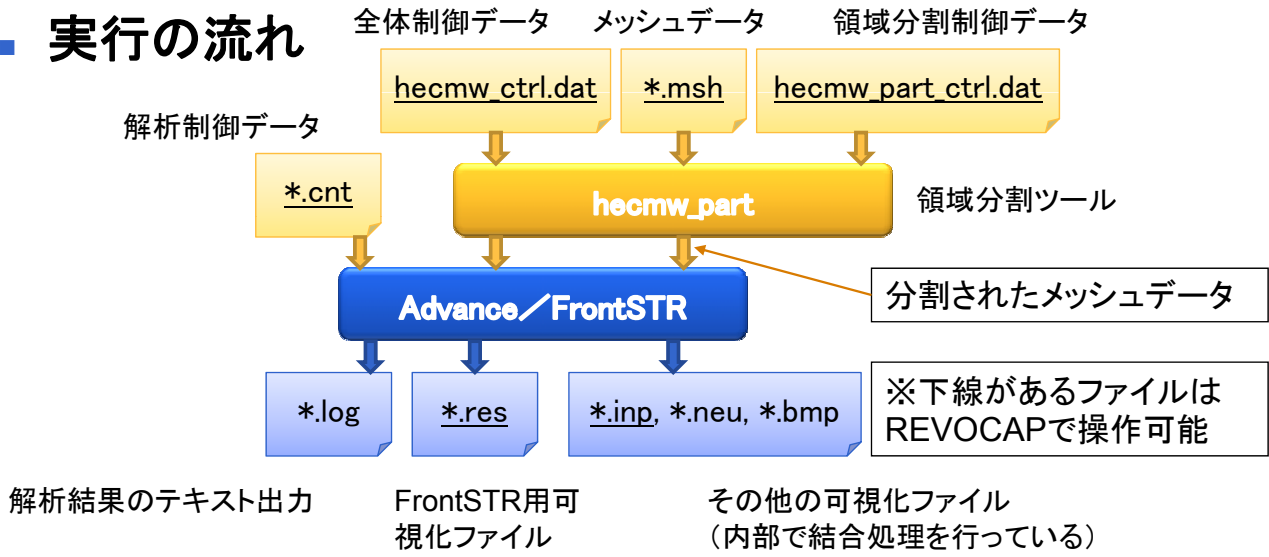
変位コンター



10

並列処理による解析

■ 実行の流れ



■ 実行コマンド



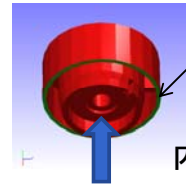
```
> hecmw_part
> mpirun -np (並列数) fstr
```

並列処理の解析例

■ 弾性静解析(キャップ)

- モデル

要素数: 684807
節点数: 1008911

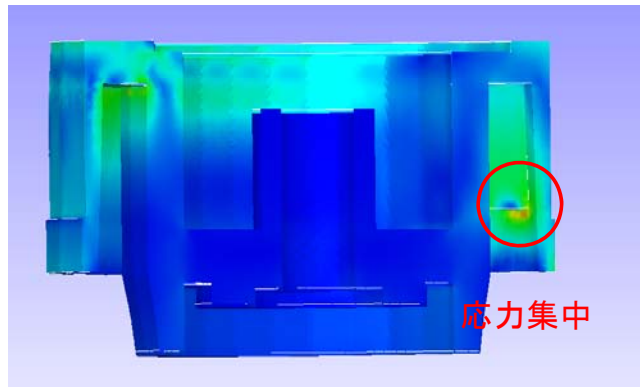
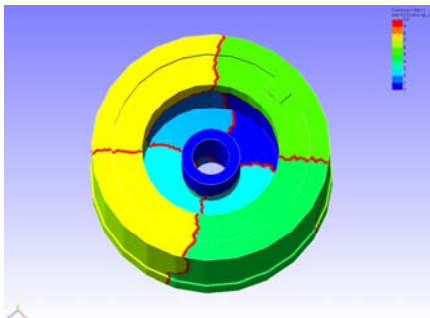


外周を固定

内部を押し込む

■ 要素分割と結果

下図のように8分割し並列処理を行った。

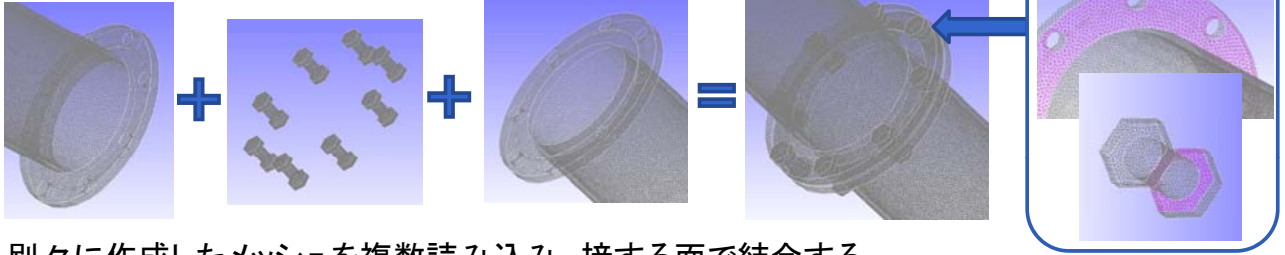


ミーゼス応力コンター図(断面)



アセンブリ構造の設定方法

■ データ作成方法



- 別々に作成したメッシュを複数読み込み、接する面で結合する。
- メッシュデータの!EQUATIONを用いてこれを表現する。
- 各自由度において係数 $A_i \times$ 節点変位 U_i の総和が定数 B になる関係式を作成して入力する。

$$\sum_i^n A_i U_i = B$$

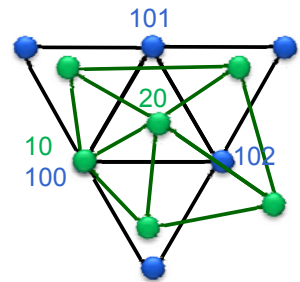
項数n → 2, 0.0 ← 定数B

10, 1, 1.000, 100, 1, -1.000

4, 0.0

20, 1, 1.000, 100, 1, -0.333, 101, 1, -0.333, 102, 1, -0.333

赤: 係数
 緑・青: 節点番号
 黒: 自由度



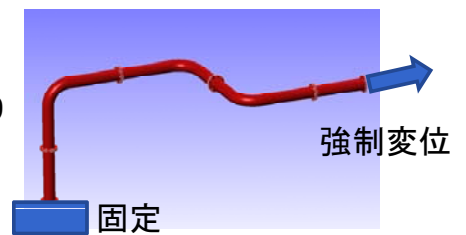
- 定数Bが0の場合は省略可能
- 節点番号の箇所は節点グループも指定できる

→ Advance/REVOCAP
 で自動化

アセンブリ構造一事例

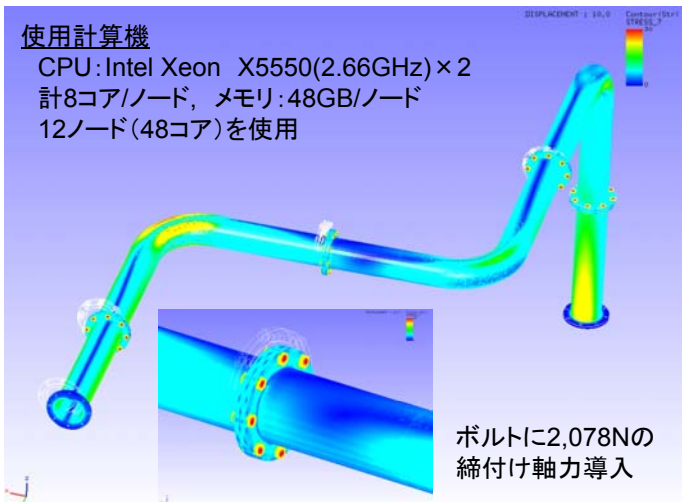
■ 解析結果と収束状況

パイプ5部品+ボルト32部品構成配管モデルの線形静解析
 四面体二次要素 要素数: 3,093,453 節点数: 5,433,029
 MPC条件数: 70,166節点×3自由度

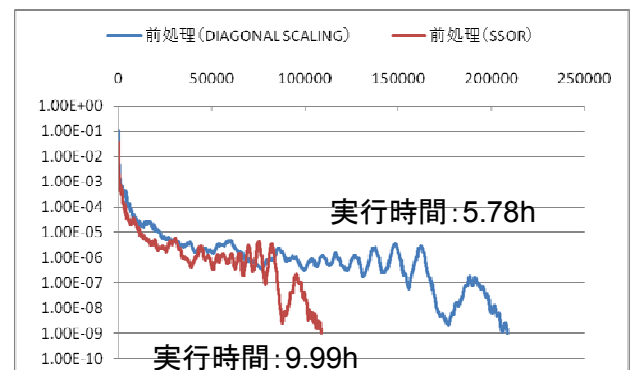


使用計算機

CPU: Intel Xeon X5550(2.66GHz)×2
 計8コア/ノード, メモリ: 48GB/ノード
 12ノード(48コア)を使用



ミーゼス応力分布



CG法の収束状況

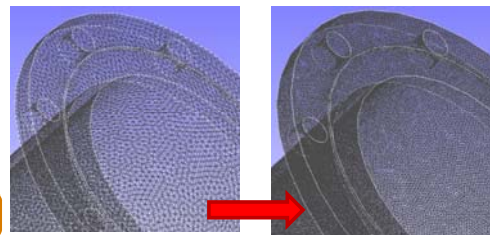


メッシュ細分化(リファイナー)

■ 設定方法

全体制御データhecmw_ctrl.datの!MESH
カードにオプションを設定するのみ

```
!MESH, NAME=fstrMSH, TYPE=HECMW-DIST, REFINE=1  
Mesh.in
```

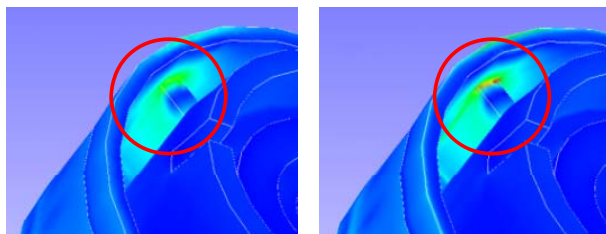


リファイン1回で要素数が8倍になる

■ ポスト処理

出力ファイルは、リファインされた要素情報で出力されるため(自動生成された要素情報が含まれる)、可視化表示するにはツールでコンバートする必要がある。

```
> rmerge
```



rmergeでコンバート後も応力
集中はそのまま、表示される

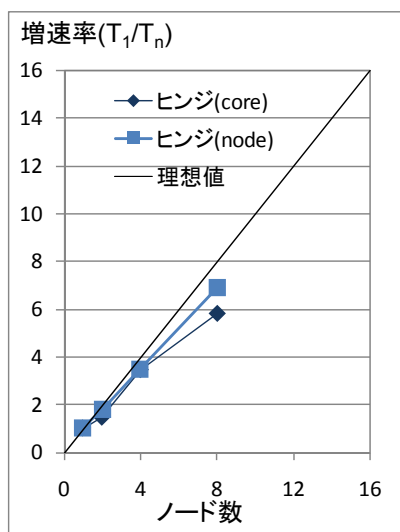


リファインなし

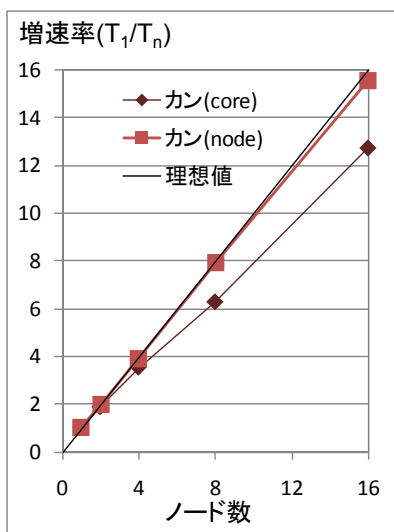
リファインあり

増速率(PCクラスタ・CG法)

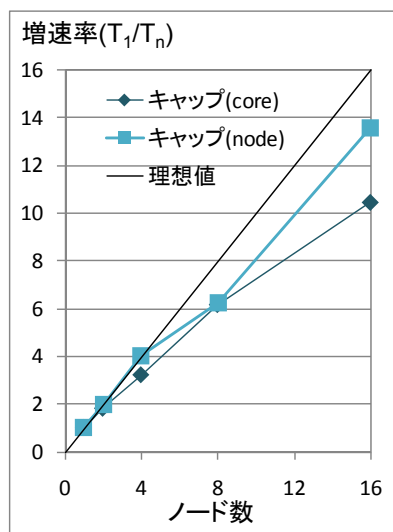
■ Linux(CentOS), AMD Opteron 2.4GBx4コア 16GB 16ノード



節点数
121,850



節点数
14,119



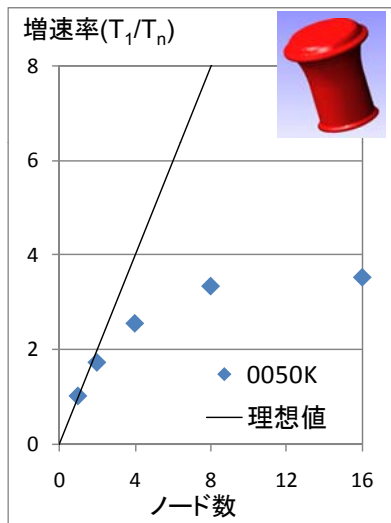
節点数
1008,911



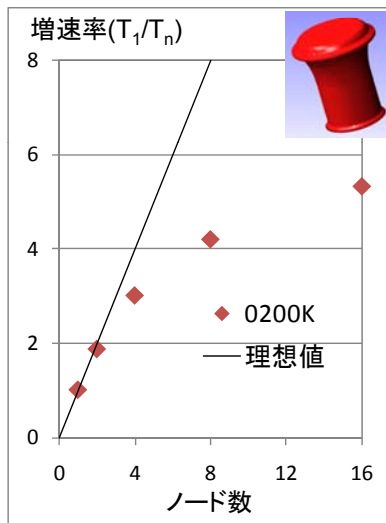
ノード分散した方(node)が、マルチコア(core)で並列化するより高速

増速率(PCクラスタ・直接法)

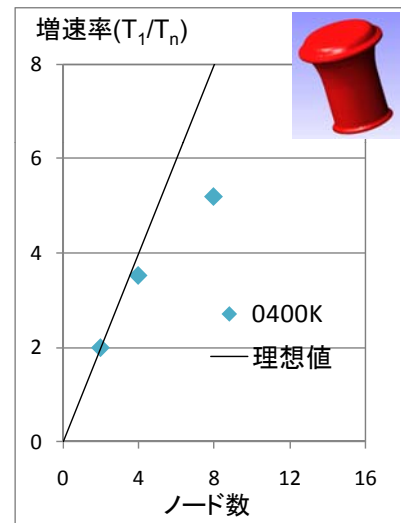
■ Linux(CentOS), AMD Opteron 2.4GBx4コア 16GB 16ノード



節点数54,558



節点数214,436



節点数386,074

同形状で節点数が異なるモデルの解析



上記PCクラスタで795,552節点(約240万自由度)の解析が可能であることを確認

17

まとめ

■ 基本例題による解析

- 解析制御データの設定方法(逐次処理)
 - 全体の構成(弾性静解析)、粘弾性・粘塑性解析、非線形動解析
- 並列処理の方法
- 大規模解析支援 ➡ アセンブリ構造、メッシュ細分化

■ 実行性能

- 並列化効率(PCクラスタ)
 - ノードを分散した方がパフォーマンスがよい
 - 240万自由度を直接法で解析可能

■ 最後に

- REVOCAPとセットで使うと設定作業の手間が大幅に削減される



18