FrontISTRによる並列接触解析のプログラムの解説(つづき)（ver 4.4）

先端力学シミュレーション研究所
殷　峻

2015年11月27日
第23回FrontISTR研究会

内容

- FrontISTR接触機能の概要
- 接触の定式化
- 接触プログラムの解説

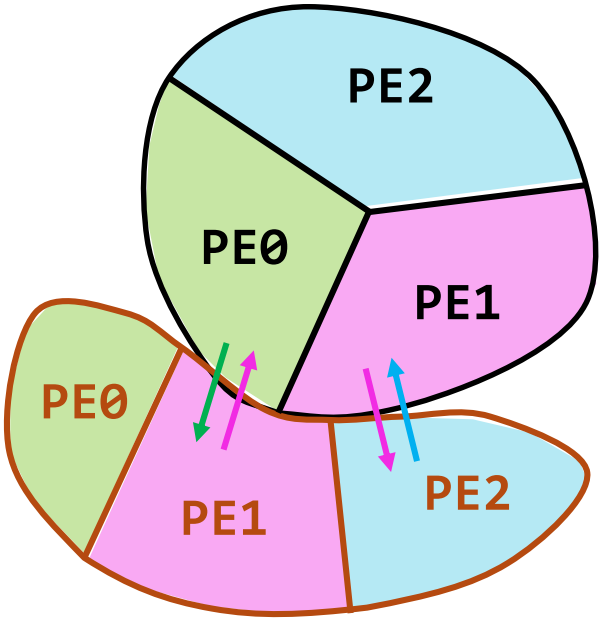
第21回FrontISTR研究会(9/28)

- FrontISTR並列接触機能の概要
- 並列接触プログラムの解説
- チュトリア接触解析例

2015.2.17の公開版FrontISTR　ver 4.4

FrontISTR並列接触機能の概要(1/6)

- 分散並列接触解析の課題
  - ＊領域分割
    解析途中に変えたくない
  - ＊領域間の接触探索
    出来るだけ避けたい
  - ＊接触処理のロードバランス
    均等にしたい

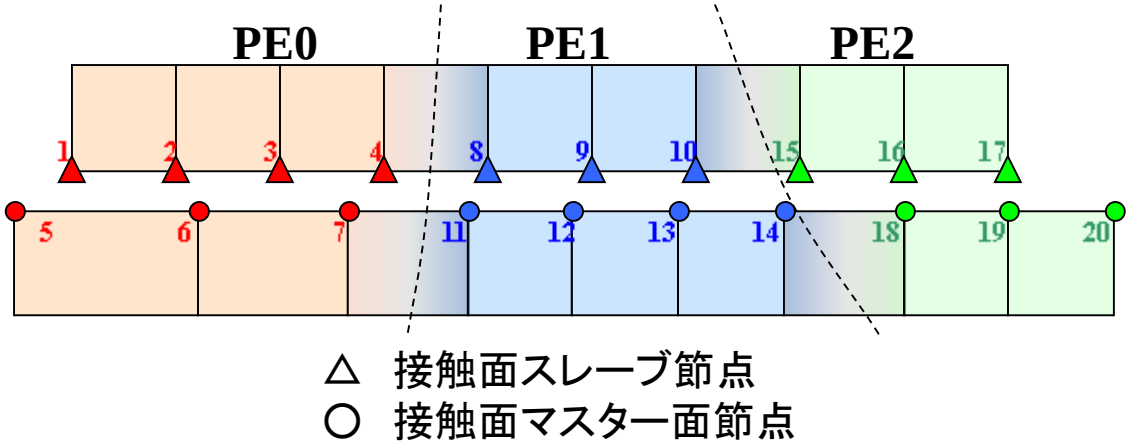


接触ペア情報はどのように領域を持たせるのか？

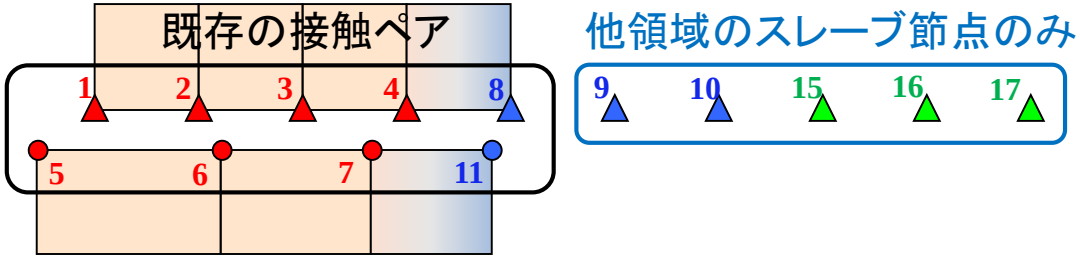
FrontISTR並列接触機能の概要(2/6)

- 領域の接触ペア情報の持ち方：スレーブ節点

全体領域分割



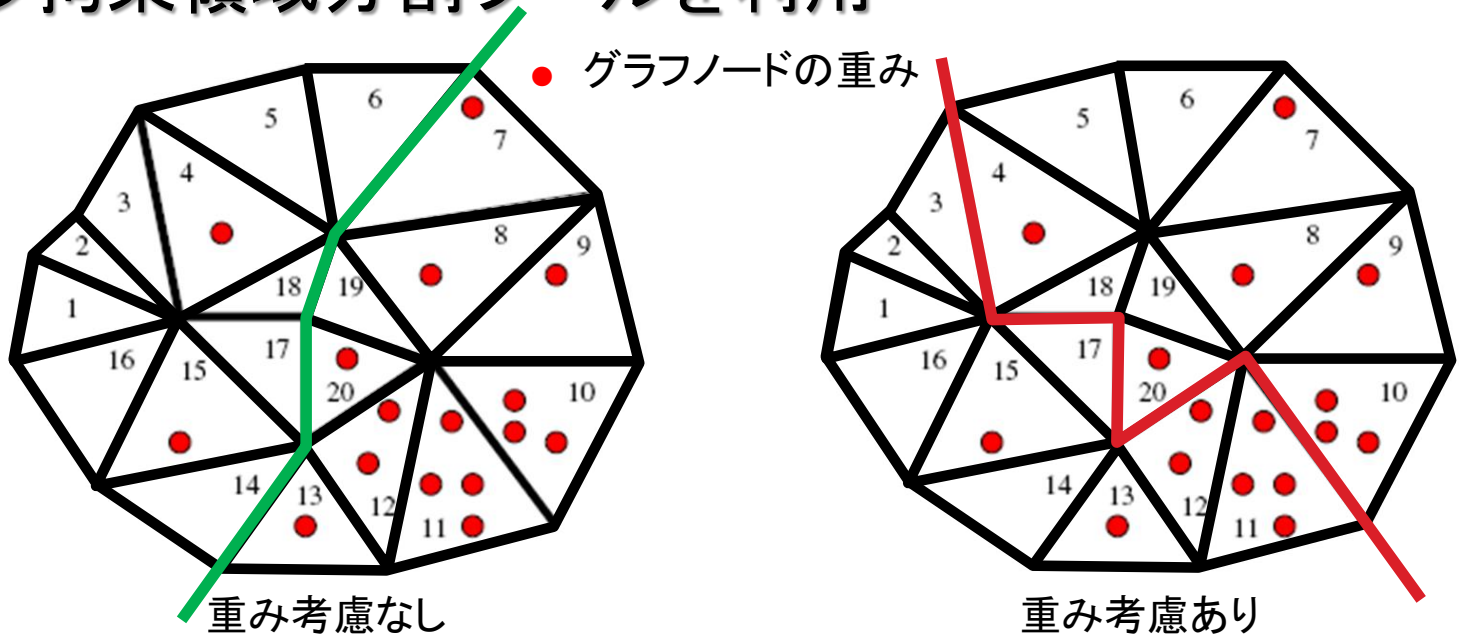
領域PE0の接触ペア情報



接触ペアのスレーブ節点をすべての領域が持てば

FrontISTR並列接触機能の概要(3/6)

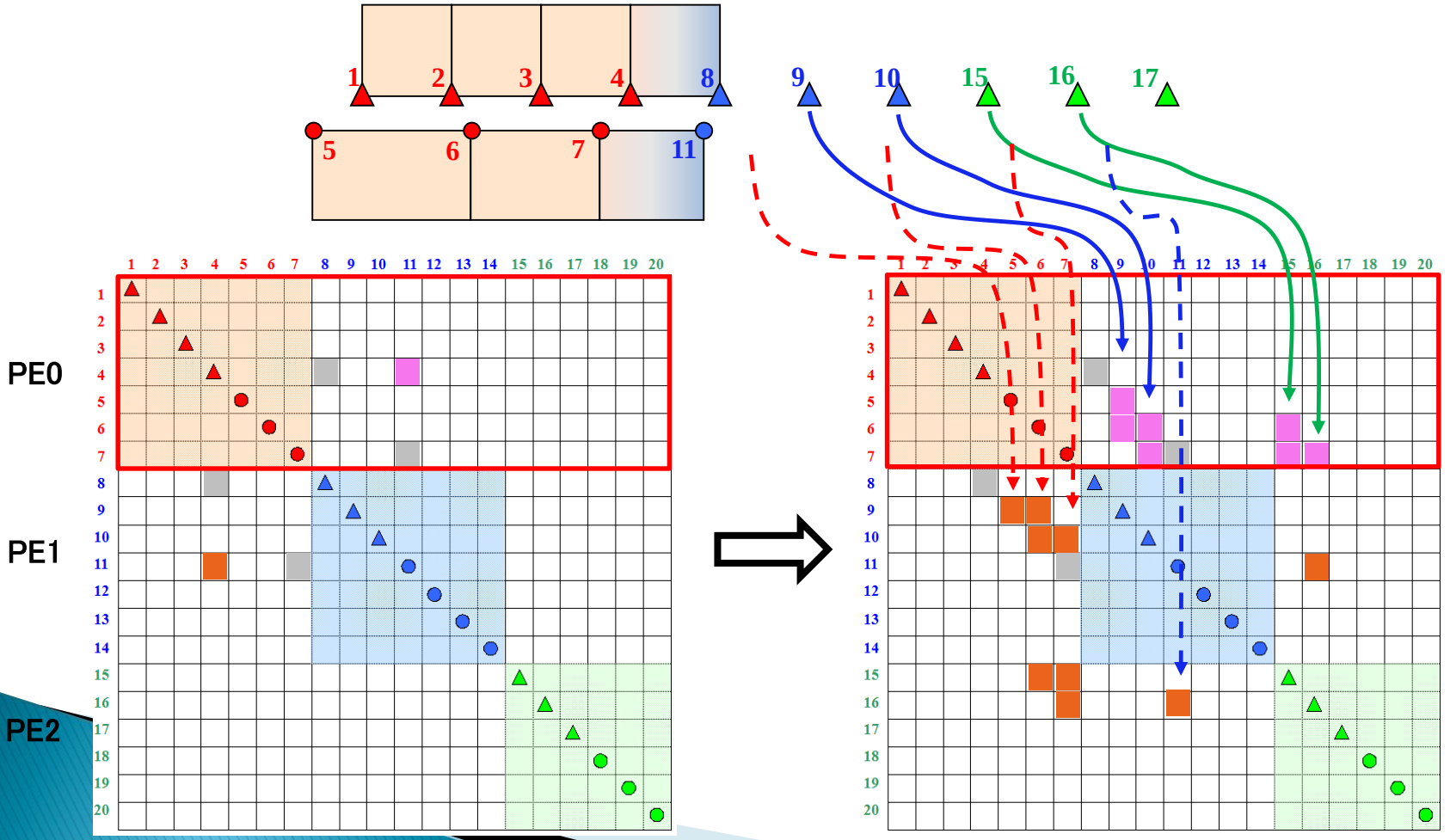
- 接触処理のロードバランス：接触ペアのマスター面
  均等的に各領域に分布するには、
  多拘束領域分割ツールを利用



接触ペアのマスター面節点に重みをつけて領域分割する
（Metis 4.0.3の　METIS_mCPartGraphRecursive
　　METIS_mCPartGraphKway　を利用）

FrontISTR並列接触機能の概要(4/6)

- 領域毎の接触判定及び接触剛性の作成

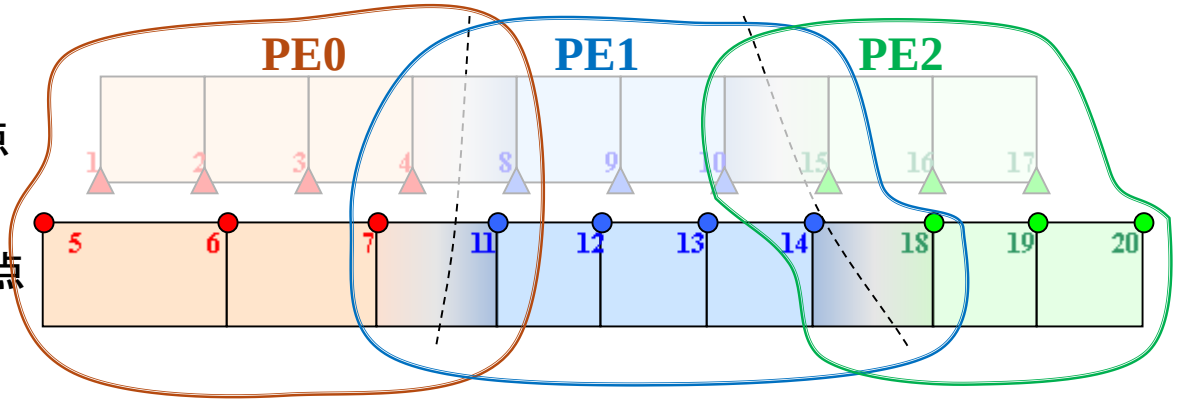


FrontISTR並列接触機能の概要(5/6)

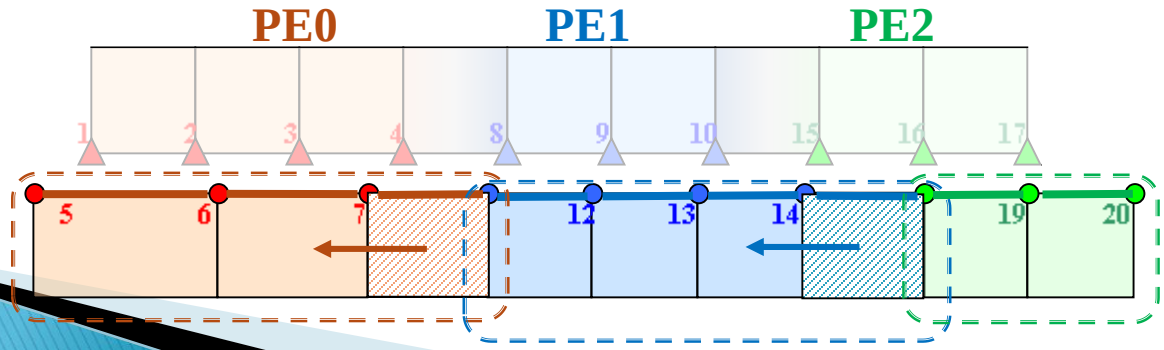
- 袖領域で2重接触判定の回避

△　接触面スレーブ節点

○　接触面マスター面節点



袖領域のマスター面は1つ領域のみに接触判定を行う



FrontISTR並列接触機能の概要(6/6)

- 行列マトリクスへの足し込み
  ＊行列格納方法　CRS　→　COO
  ＊COOに対応する行列ソルバMUMPSを利用

- まとめ
  ＊内部パティショナで全体→局所メッシュの作成
  ＊局所メッシュに付加接触ペアの情報の追加
  ＊他領域の接触項を含む剛性行列構造体の追加
  ＊行列格納式COO　＋　MUMPSソルバ

並列接触プログラムの解説(1/5)

- インストール方法

```
$ ./setup.sh -p --with-paracon --with-mumps --with-parmetis
```

- 入力ファイルの用意と設定

メッシュファイル　：　*.msh ← 単一領域モデル
解析制御ファイル　：　*.cnt

全体制御ファイル　：　hecmw_ctrl.dat

```
!MESH, NAME=fstrMSH, TYPE=HECMW-DIST        ×
!MESH, NAME=fstrMSH, TYPE=HECMW-ENTIRE      ○
```

並列接触プログラムの解説(2/5)

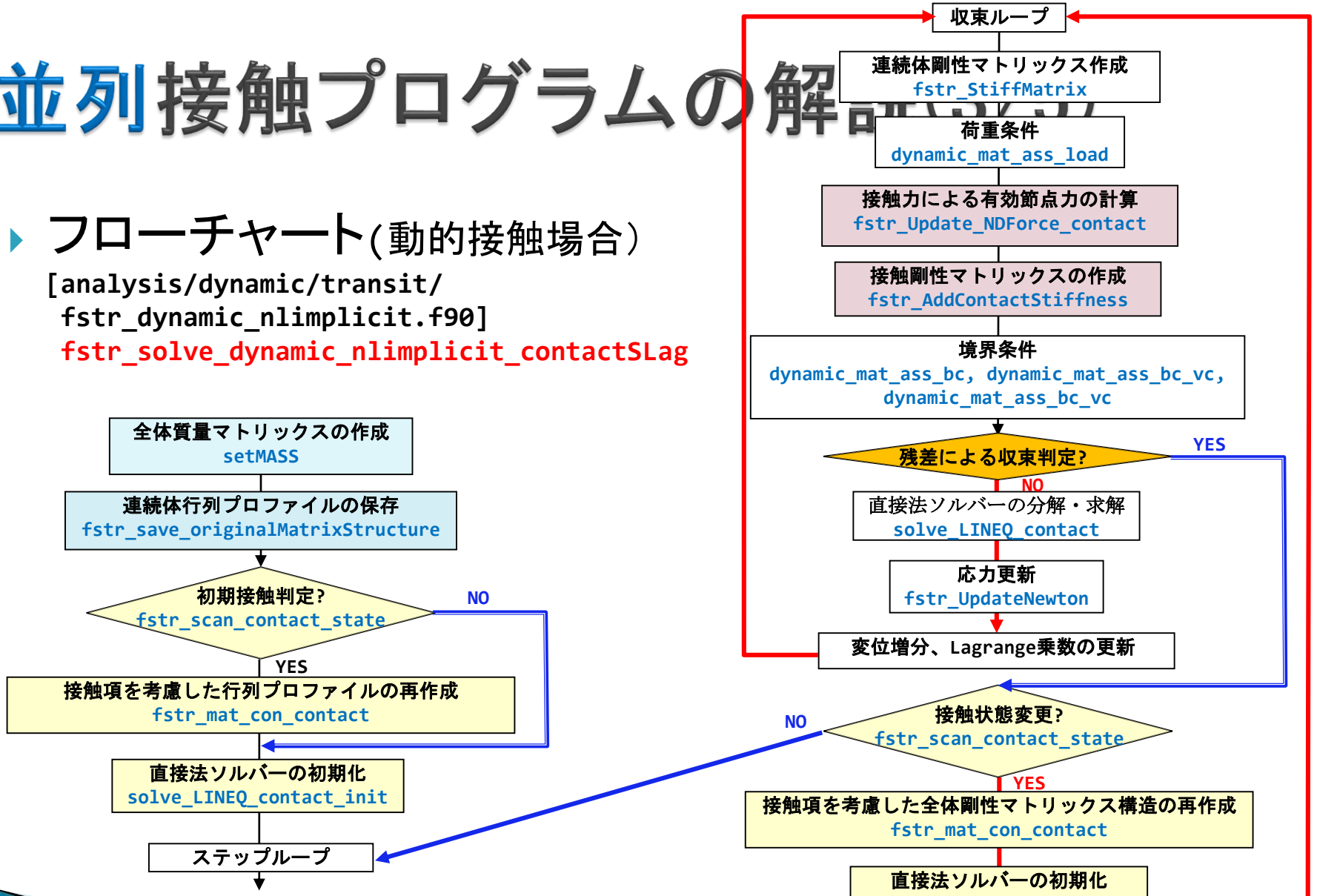
- ソースコードの構成1（領域分割・局所メッシュ）

```
[main¥fistr_main_contact.f90] fstr_main
call paraContact_DomainPartition            → 領域分割

  [lib¥m_fstr_para_contact.f90] paraContact_DomainPartition
  call Mak_MeshToNodal                      → 全体メッシュグラフの作成
  call paraContact_MarkMasterNode           → マスター面節点に重み付き

  function METIS_mCPartGraphRecursive       → pmetisを呼び出す(np <8)
  function METIS_mCPartGraphKway            → kmetisを呼び出す(np >=8)

  call paraContact_GetLocalMesh_all_new     → 局所メッシュの作成
  call paraContact_CreateExportImport       → 通信テーブルの作成


  静的非線形
  [main/fistr_main.f90] fstr_nonlinear_static_analysis
  call fstr_solve_NLGEOM

  動的非線形
  [main/fistr_main.f90] fstr_linear_dynamic_analysis
   call fstr_solve_dynamic
```

並列接触プログラムの解説(3/3)

- フローチャート(動的接触場合)

[analysis/dynamic/transit/
fstr_dynamic_nlimplicit.f90]
fstr_solve_dynamic_nlimplicit_contactSLag



並列接触プログラムの解説(4/5)

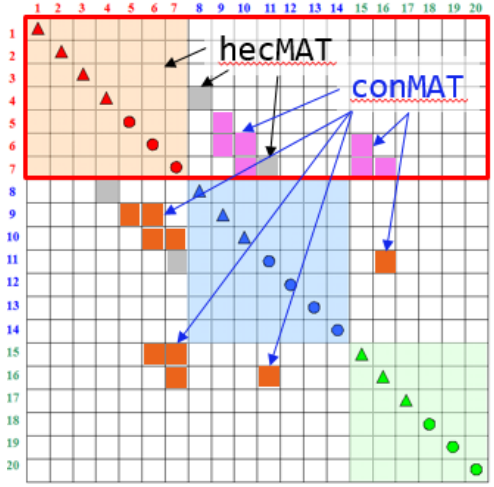
- ソースコードの構成2(接触項構造体の分離)

  hecMAT: 連続体要素に関わる行列構造体(他領域なし)
  conMAT: 接触に関わる行列構造体(他領域を含む)

接触行列プロファイルの作成:
[src¥analysis¥static¥fstr_mat_con_contact.f90]
```
subroutine fstr_mat_con_contact(cstep,hecMAT,fstrSOLID,fstrMAT,infoCTChange,conMAT)
```

接触力と接触剛性の作成:
[src¥analysis¥static¥fstr_mat_con_contact.f90]
```
subroutine fstr_Update_NDForce_contact(cstep,hecMESH,hecMAT,fstrMAT,fstrSOLID,conMAT)
subroutine fstr_AddContactStiffness(cstep,iter,hecMAT=conMAT,fstrMAT,fstrSOLID)
```

分散行列ソルバの分解・求解:
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_contact.f90]
```
subroutine solve_LINEQ_contact(hecMESH,hecMAT,fstrMAT,rf,conMAT)
```



並列接触プログラムの解説(5/5)

- ソースコードの構成3(ソルバ初期化・行列格納式)

```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_contact.f90] solve_LINEQ_contact_init
  call solve_LINEQ_mumps_contact_init                    → MUMPSソルバの初期化

  [src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_MUMPS_contact.f90] solve_LINEQ_MUMPS_contact_init
  call sparse_matrix_contact_init_prof                   → 全体メッシュグラフの作成

     [src¥analysis¥static¥sparse_matrix_contact.f90] sparse_matrix_contact_init_prof
     call sparse_matrix_para_contact_set_prof            → COO格納式、他領域項も作成
```

- ソースコードの構成4(マトリクス・ベクトルの代入及び分解・求解)

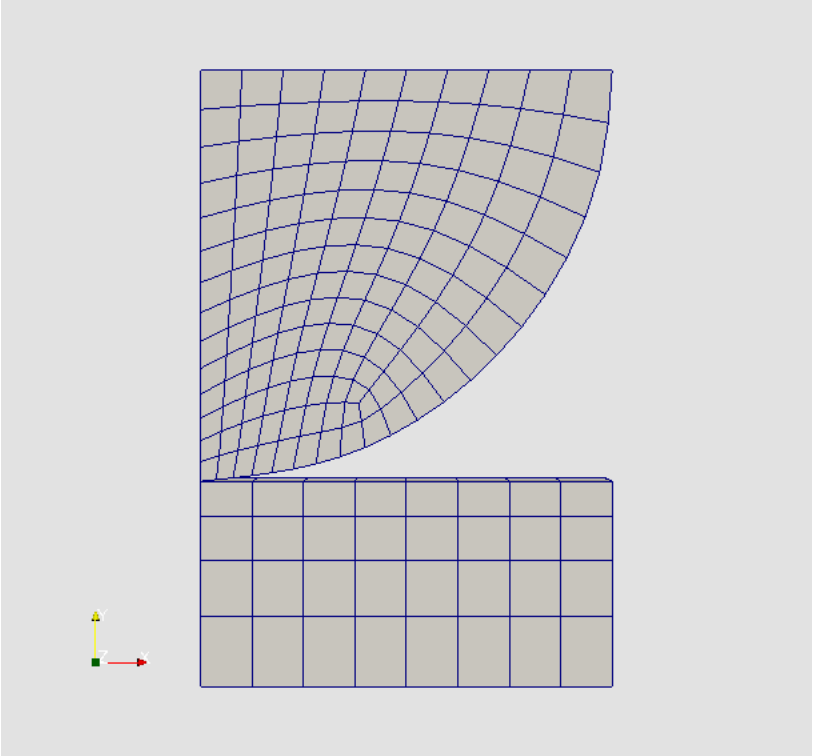
```
[src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_contact.f90] solve_LINEQ_mumps_contact
  call solve_LINEQ_contact                               → ソルバの分解・求解

  [src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_MUMPS_contact.f90] solve_LINEQ_contact
  call solve_LINEQ_mumps_contact                         → MUMPSソルバの分解・求解

     [src¥analysis¥static¥solve_LINEQ_MUMPS_contact.f90] solve_LINEQ_MUMPS_contact
     call sparse_matrix_para_contact_set_vals            → 左辺マトリクスの足し込み
     call sparse_matrix_para_contact_set_rhs             → 右辺ベクトルの足し込み

     call hecmw_mumps_wrapper                            → MUMPSの行列分解・求解
```

チュトリア接触例-1 Hertz接触

- ¥tutorial¥09_contact_hertz¥　静的

  cgs3.cnt

  cgs3.cnt



- 解析モデル

  ＊要素数:　168　六面体要素

  ＊節点数:　408

  ＊解析条件:

  　弾性材料

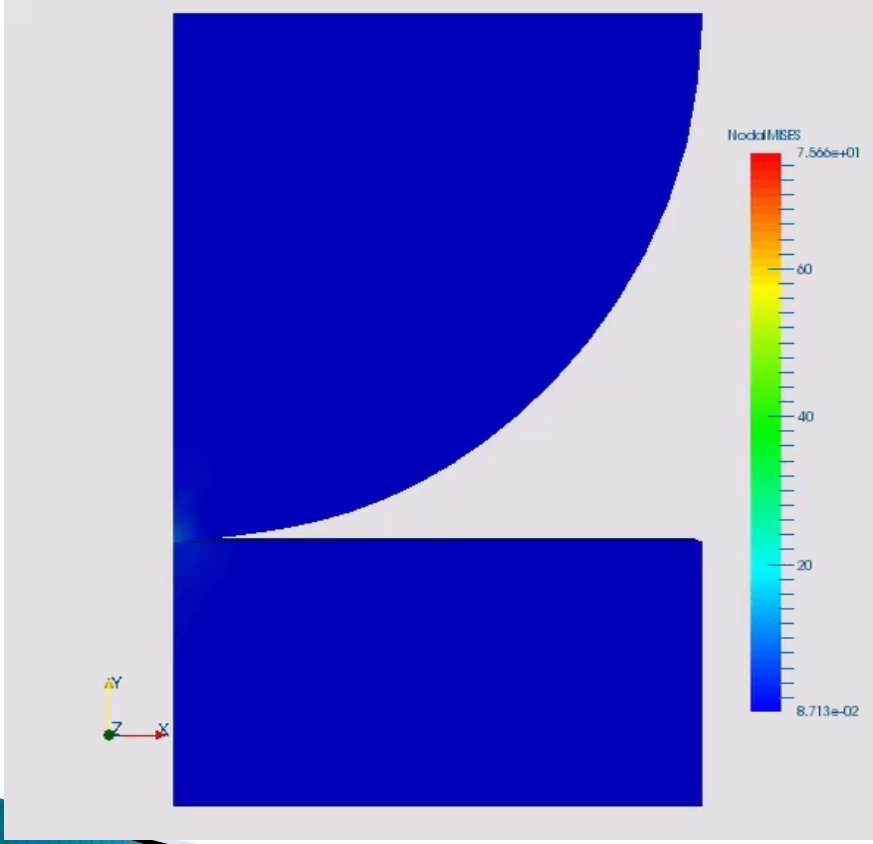
  　摩擦なし

  　Y負方向に強制変位

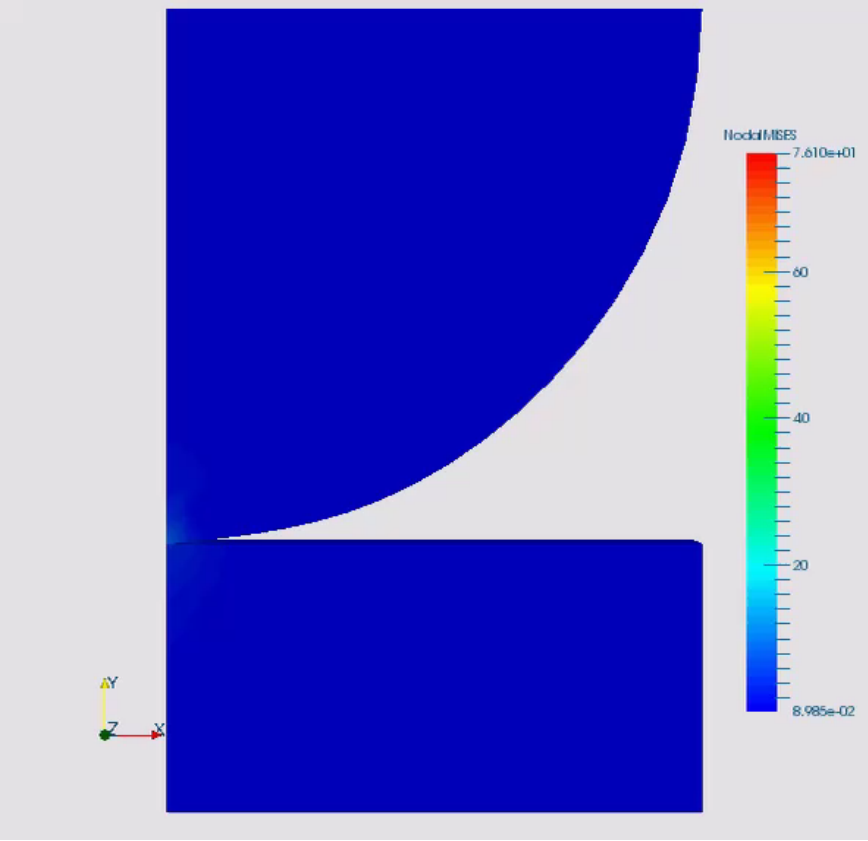
  　　-0.306 / 30step

チュトリア接触例-1 Hertz接触

- ミセス応力の分布変化



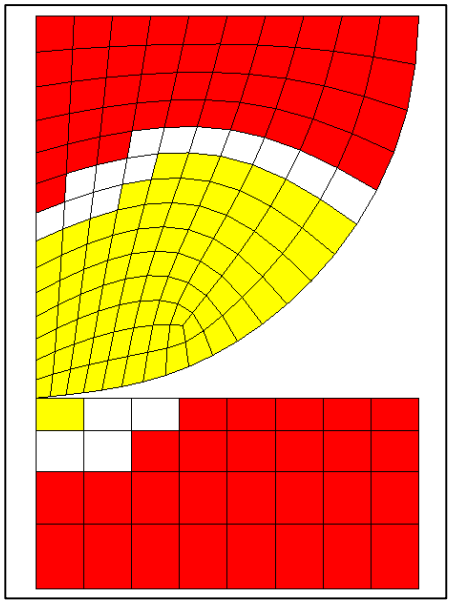
拡張Lagrange乗数法+CGソルバ



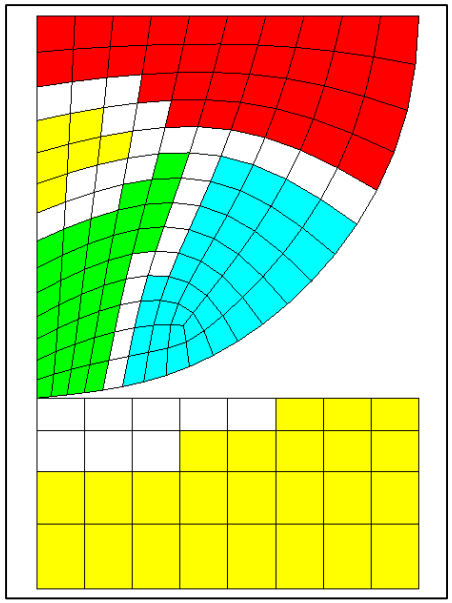
Lagrange乗数法+MUMPSソルバ

チュトリア接触例-1 Hertz接触

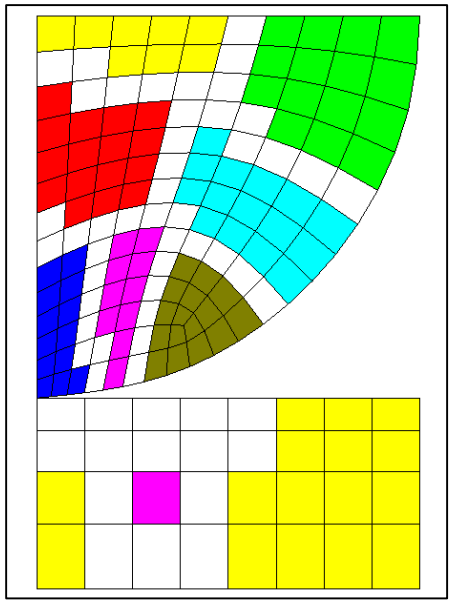
- 並列効果の比較(1,2,4,8並列の計算時間)



2並列



4並列



8並列

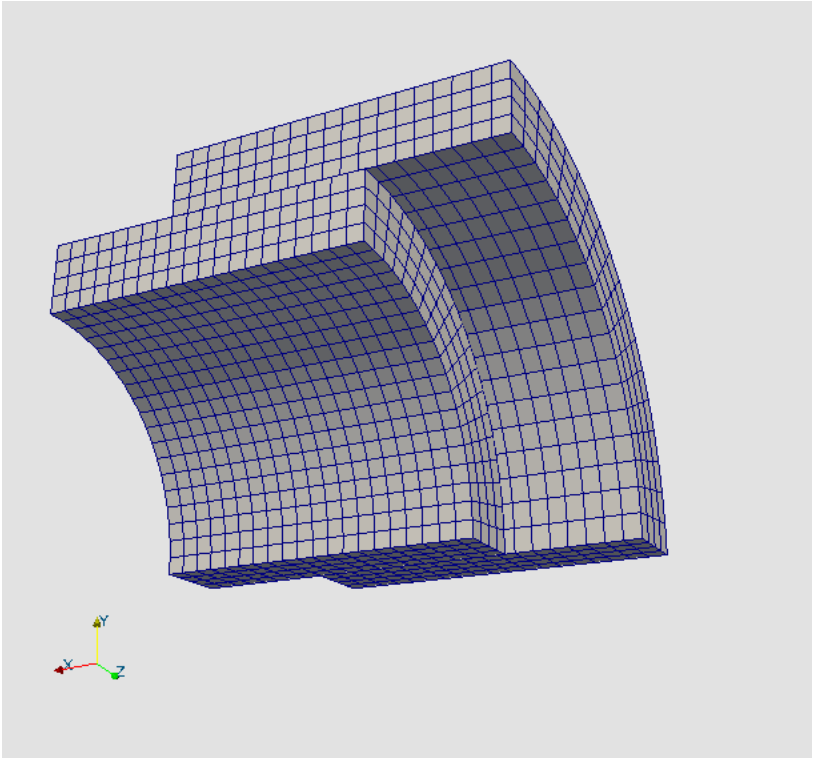
	計算時間(秒)	スピードアップ
1cpu	3.10	1
2cpu	2.06	1.5
4cpu	1.49	2.08
8cpu	1.57	1.97

チュトリア接触例-2 円筒押し込み

- ¥tutorial¥10_contact_2tubes¥　静的

  2tubes.cnt

  2tubes.cnt



- 解析モデル

  ＊要素数:　2888　六面体要素

  ＊節点数:　4000

  ＊解析条件:

  　弾性材料

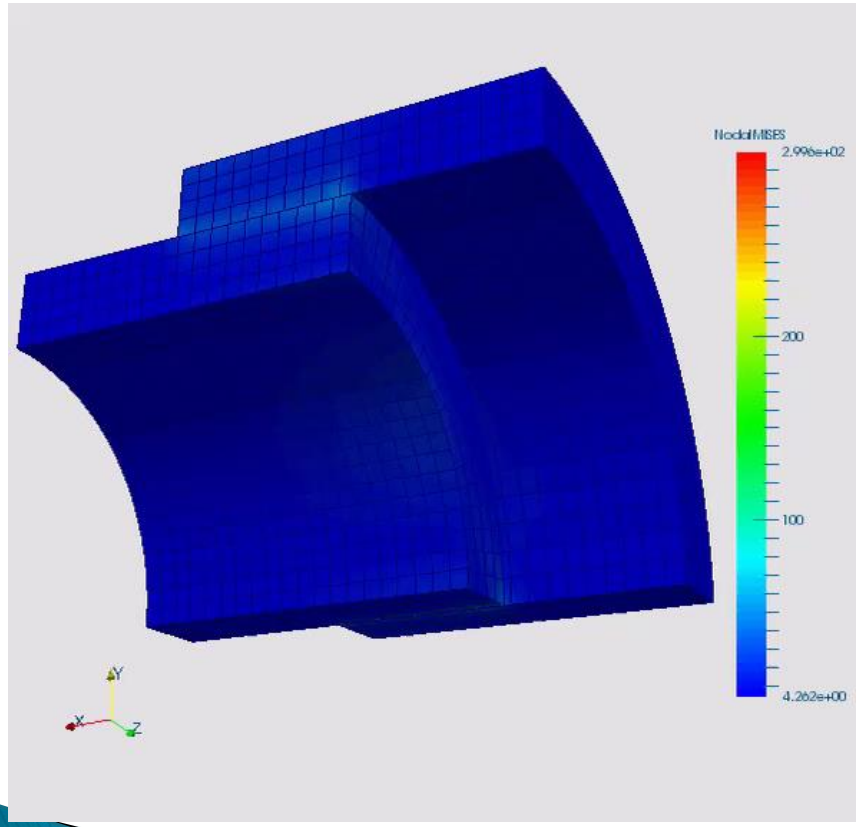
  　摩擦　なし/あり　摩擦係数0.2

  　X負方向に強制変位

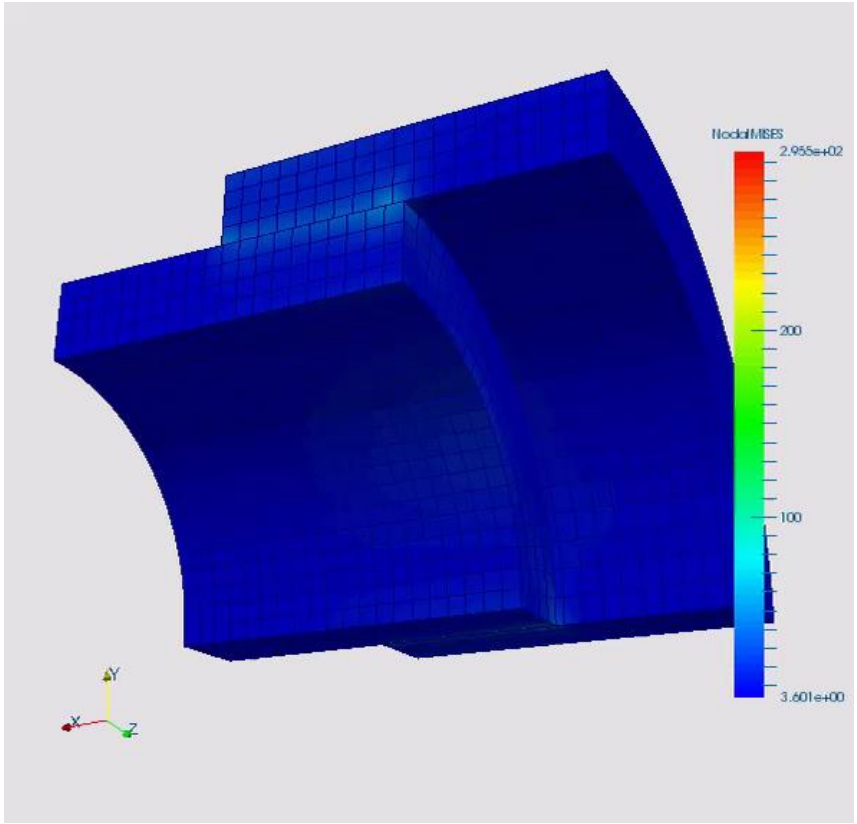
  　-1.0 / 30step

チュトリア接触例-2 円筒押し込み

- ミセス応力の分布変化



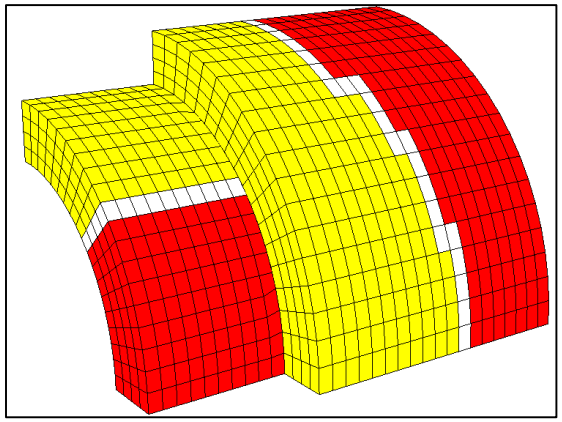
摩擦なし



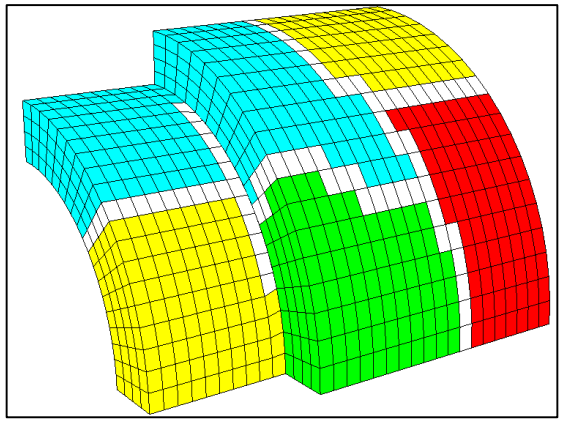
摩擦あり

チュトリア接触例-2 円筒押し込み

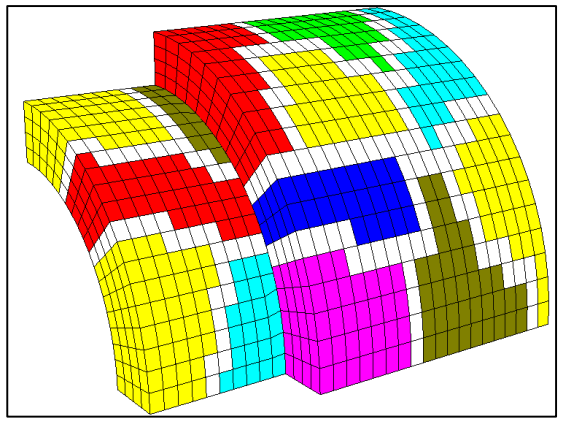
- 並列効果の比較(1,2,4,8並列の計算時間)



2並列



4並列



8並列

	計算時間(秒)	スピードアップ
1cpu	108.89	1
2cpu	65.05	1.67
4cpu	43.03	2.53
8cpu	31.04	3.51

摩擦なし

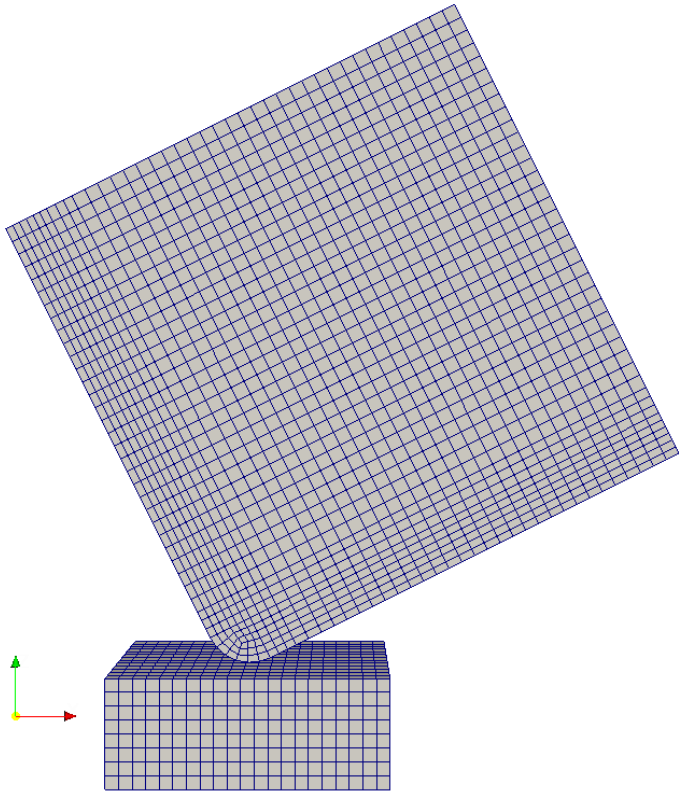
	計算時間(秒)	スピードアップ
1cpu	134.98	1
2cpu	81.06	1.67
4cpu	52.61	2.57
8cpu	38.64	3.49

摩擦あり

チュトリア接触例-3 落下接触解析

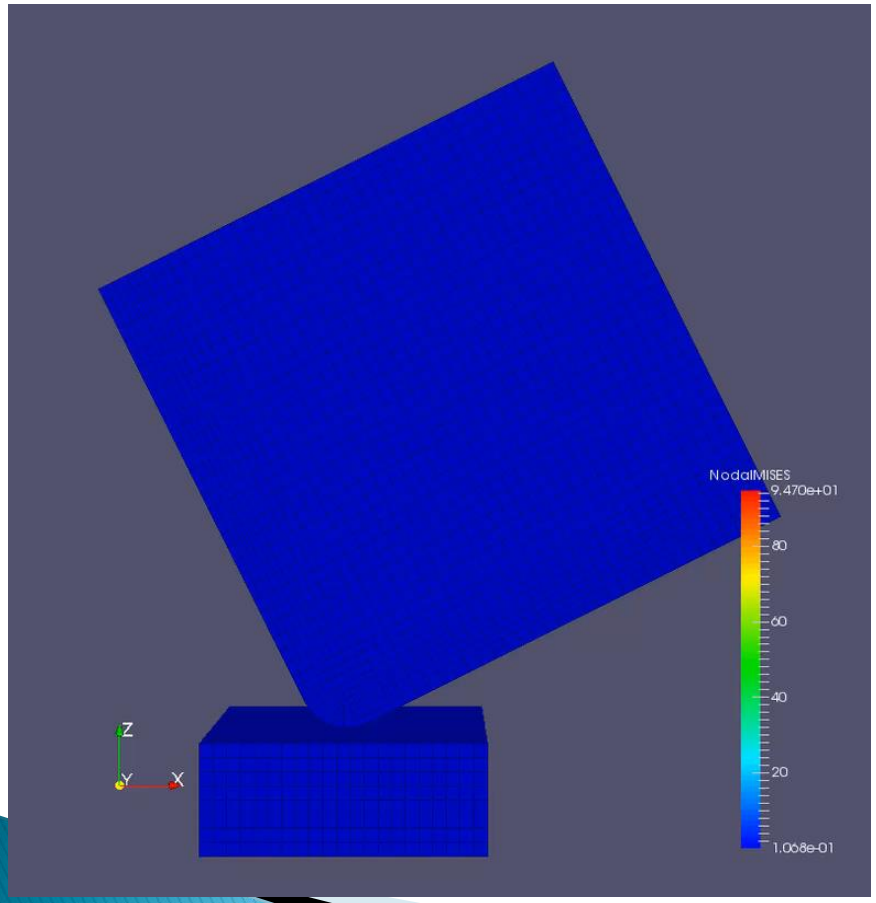
- ¥tutorial¥14_dynamic_plate_contact¥　動的
  plateToGround.cnt
  plateToGround.msh

- 解析モデル
  ＊要素数:　8232　六面体要素
  ＊節点数:　10712
  ＊解析条件:
    板:弾塑性
    地面:弾性
    板は初期速度　-4427.0mm/sec
    時間刻み　1.e-8sec　200ステップ
    摩擦なし

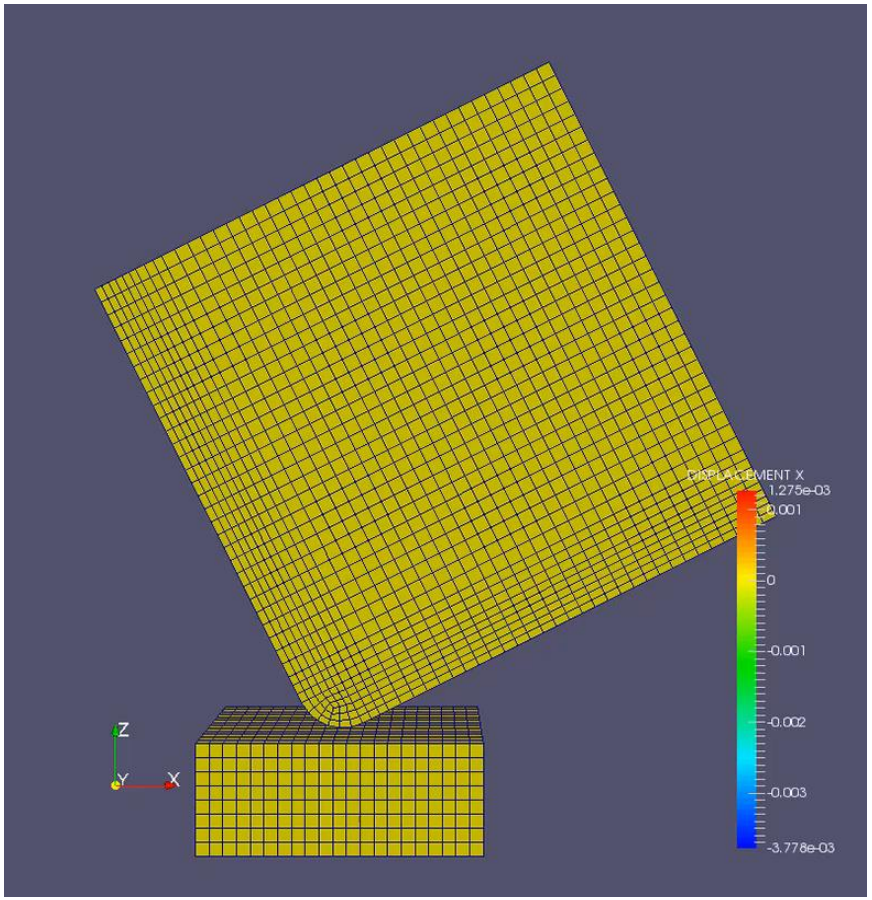


チュトリア接触例-3 落下接触解析

- 解析結果



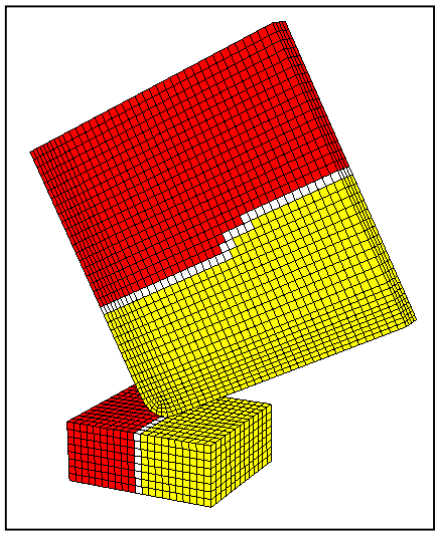
ミセス応力の時刻歴



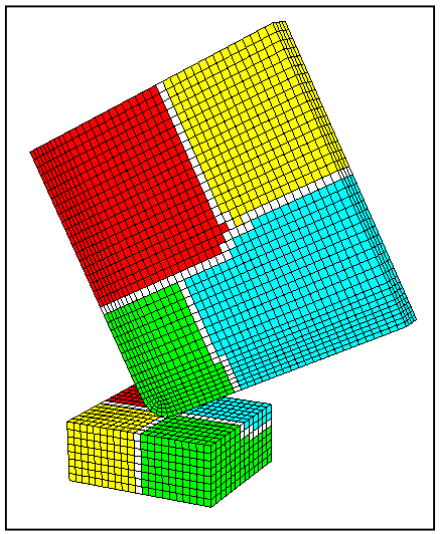
変位X成分の時刻歴

チュトリア接触例-3 落下接触解析

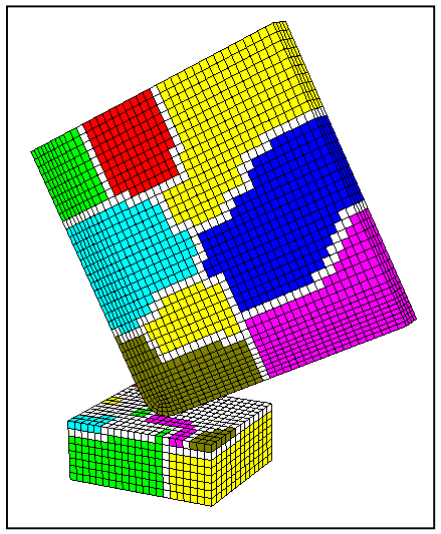
- 並列効果の比較(1,2,4,8並列の計算時間)



2並列



4並列



8並列

	計算時間(秒)	スピードアップ
1cpu	2631.32	1
2cpu	1530.46	1.94
4cpu	857.13	2.83
8cpu	523.90	5.02