2015/08/29(土曜日)
@大垣市ソフトピアジャパン

演習②
FrontISTRによる非線形解析

OpenCAE勉強会
SH

実施内容

- 実施概要
- Salomeのメッシュデータ出力
- EasyISTRについて
- 弾塑性解析①
- --EasyISTR設定
- --FrontISTR計算と結果処理
- 弾塑性解析②
- クリープ解析
- 粘弾性解析

実施概要①

・概要：演習1のSalome-meca(CodeAster)の弾塑性解析の例題と同じ問題をFrontISTRでもやってみるという趣旨です。
(同じ答えになるか比較してみる)

・ついでにFrontISTRがカバーしている非線形材料の代表的なものを紹介する。

実施概要②

•作業手順：

① SalomeのCADパートで形状を作成し、メッシュ作成するところまではほぼ同じなので詳細は省略

② メッシュ作成後のデータをUniversalファイルに出力(エキスポート)してEasyISTRに読み込みして条件を付ける

③ 解析をFrontISTRで実行

④ ParaViewポスト処理

⑤ Libreoffice Calcでグラフ作成する(詳細省略)

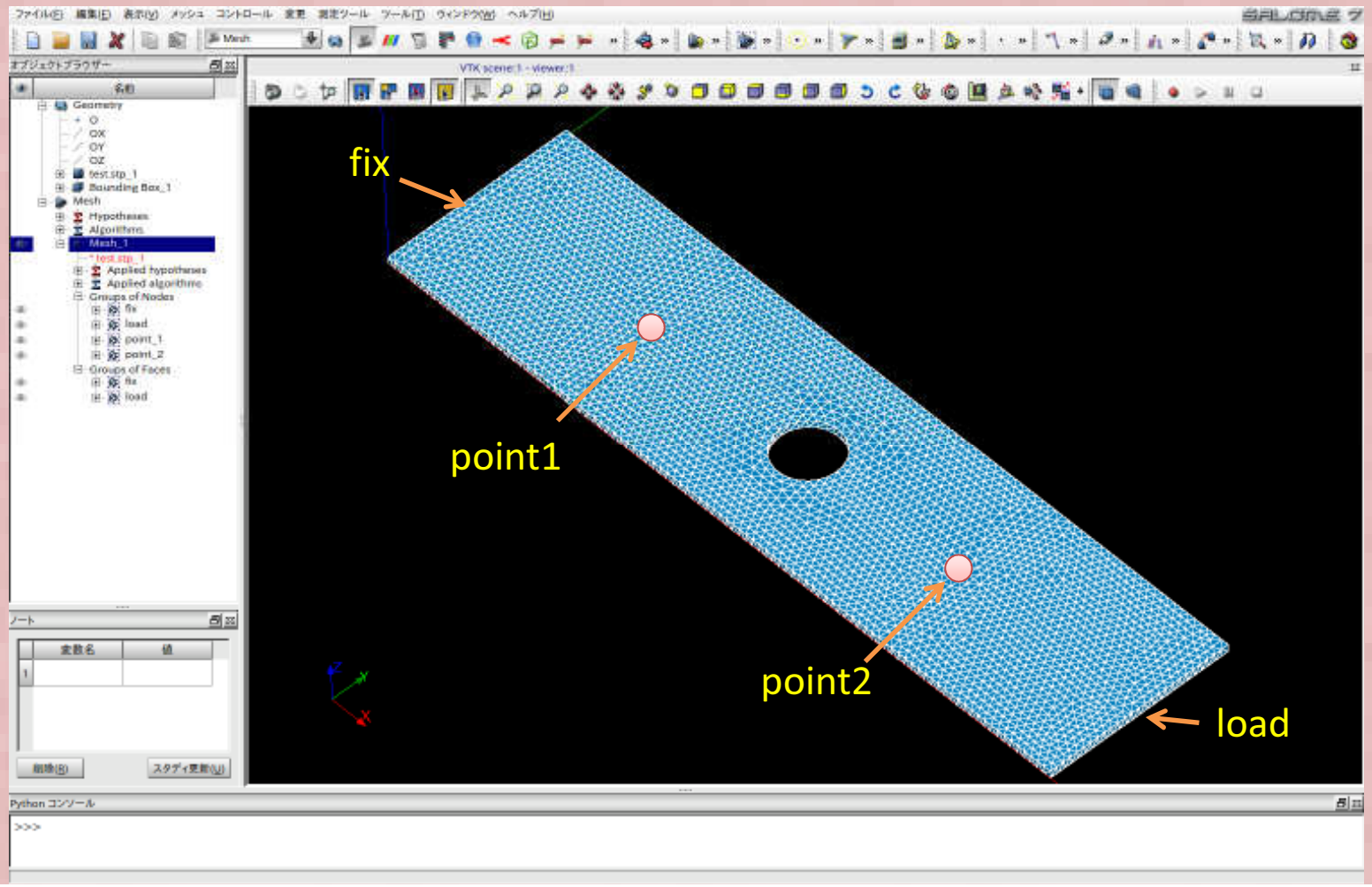
実施概要③

・なおSalomeの基本的な使い方は理解している前提で資料は作成してありますので、Salomeの詳細手順は省略してあります。

・使用ツール:Salome, EasyISTR, FrontISTR, ParaView, Libreoffice
・(FrontISTR Linuxバイナリは結構インストールが面倒なので
・インストール済のDEXCS-RDstarを使用します)

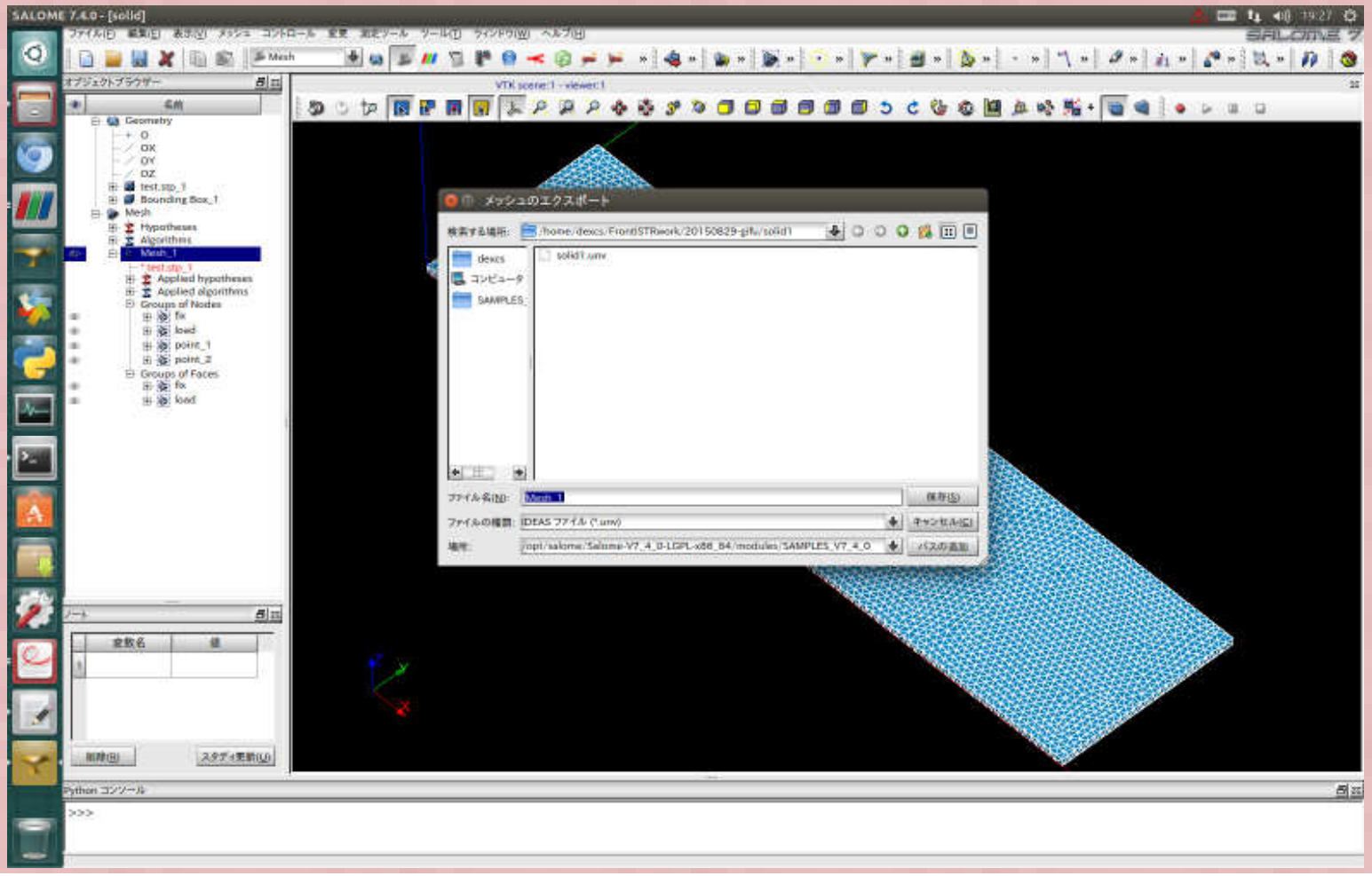
①Salome-HDFファイル読み込み

1) Salomeを起動し(DEXCS-RDstarにはSalomeしか入っていません)、演習1で作成した穴空平板のHDFファイル(または配布済のこの演習用のHDF)を読み込みします。
2) 特に形状修正はしないので、そのままMeshモジュールに切り替えてMESHを作成
3) メッシュにGeometryのグループをコピーする(されていない場合のみ)



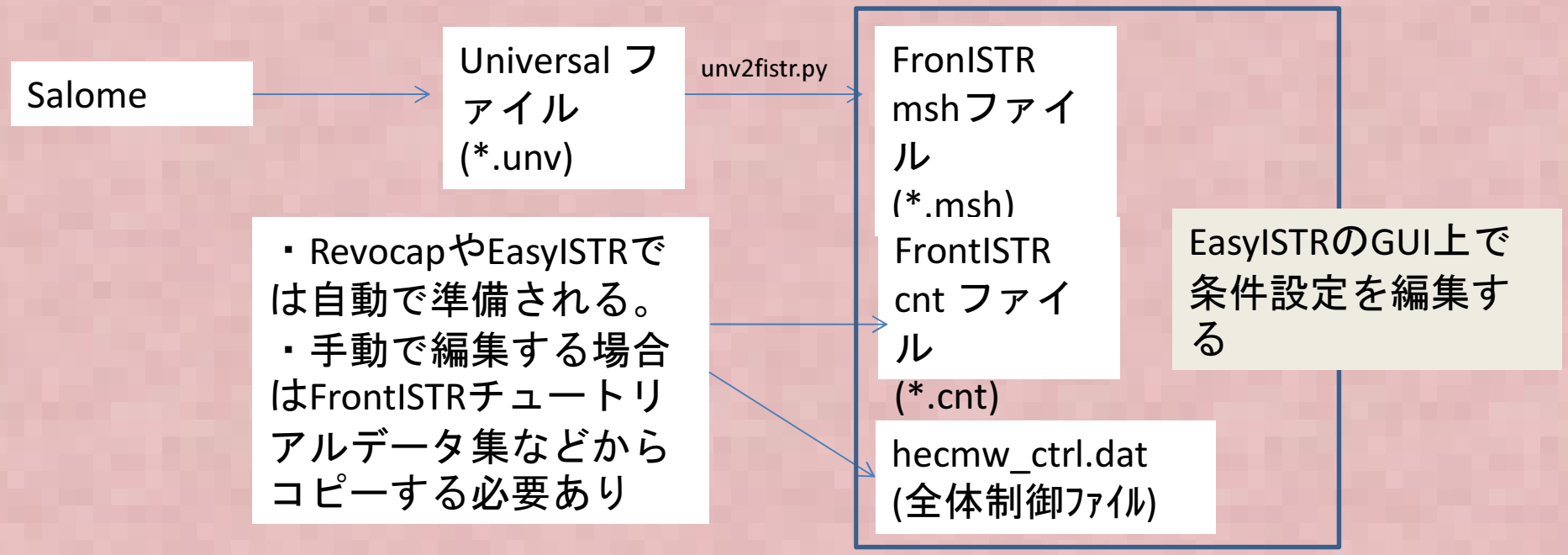
②Universal ファイル出力

Meshモジュールのエクスポートから Univaersal 形式ファイルを出力します。名前は”solid1.unv”とします。なお事前に各自のhome ディレクトリに ”solid1” という名前のフォルダを作成しておき、保存はこちらのフォルダ（ /home/”ユーザ名”/solid1） に保存するものとします。
（別に名前は何でも良いのですが、変更した場合は各自名前を置き換えて進めてください。）



③Salomeからの変換の流れ

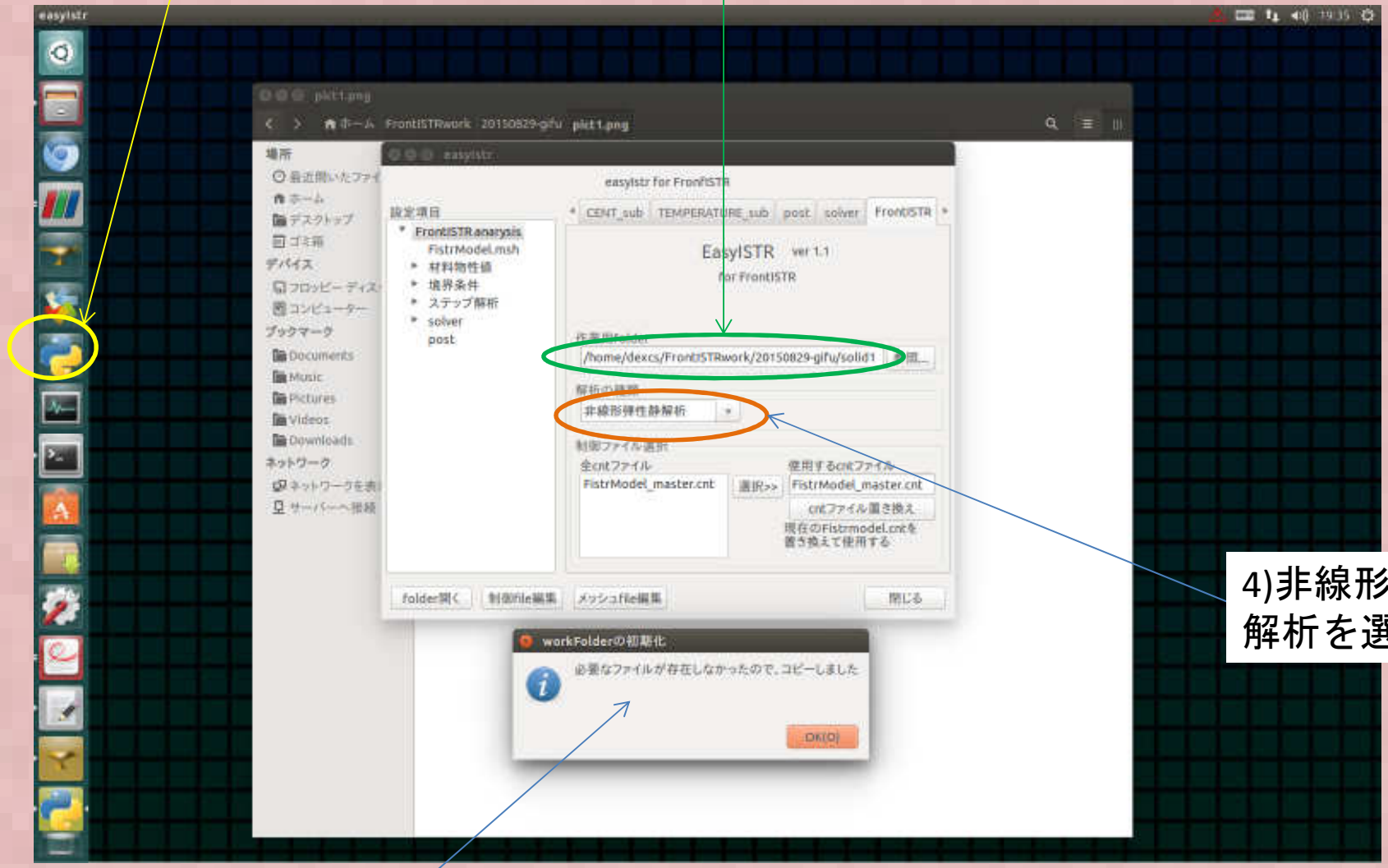
•以降ではUniversalファイルからFrontISTRのmshファイルに変換し、これとは別に必要なFrontISTRのコントロールファイルとhecmw_ctrl.dat の2ファイルをコピーし、3ファイルを設定する作業を藤井さん作成のEasyISTRを使って行います。



④ EasyISTRの起動

1) EasyISTRを起動する。

2) 作業用folderの設定を行います(さっきデータ保存した /home/****/solid1を指定する)



4)非線形弾性静解析を選択

3) 指定フォルダにコントロールファイル(*.cnt)と全体制御ファイルが無い場合は自動で必要なファイルをコピーするのでOKを押す

⑤ メッシュデータの変換

Salomeから出力したUniversal形式のファイルをFrontISTRのメッシュファイルに変換します。

1) FistrModel.msh 選択

2)ファイル名で先ほどのunvファイルを指定

3) unv2fistrを選択

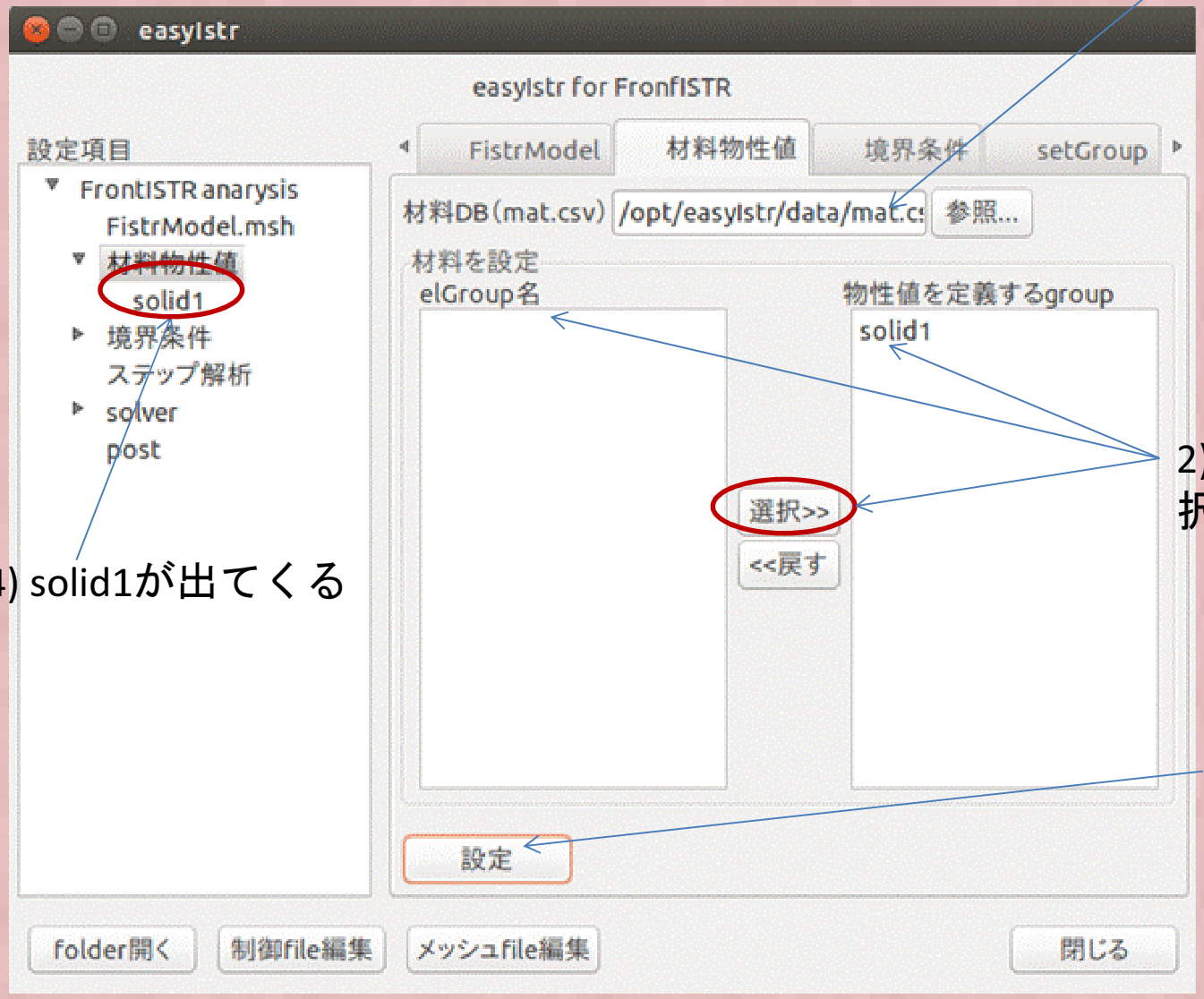
4) 変換ボタンを押す

5) Mesh変換しました
を確認後”OK”を押す

⑥材料物性値設定1

材料物性値設定を行います。

1) 材料DBを設定



2) elGroupでsolid1を選択

3) 設定を押す

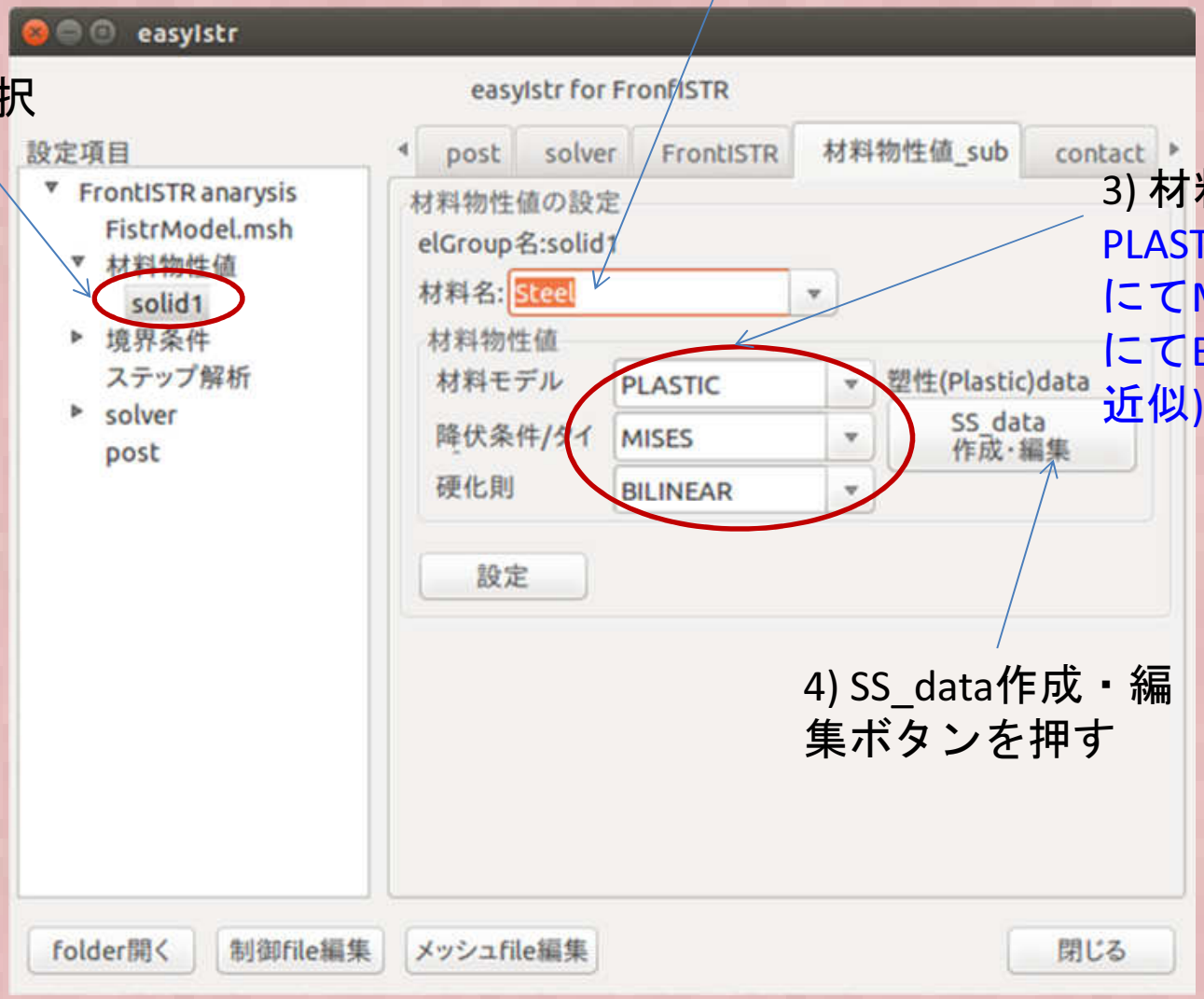
4) solid1が出てくる

⑦材料物性値設定2

材料物性値の中身を設定します。

2) 材料名の欄でとりあえず物性値の近い材料Steelを選択

1) solid1を選択



3) 材料モデルにてPLASTIC ,降伏条件にてMISES,硬化則にてBILINEAR(2直線近似)を選択

4) SS_data作成・編集ボタンを押す

⑧材料物性値設定3

Libreoffice-Calcが起動して、テキストのインポート画面が出てくる。

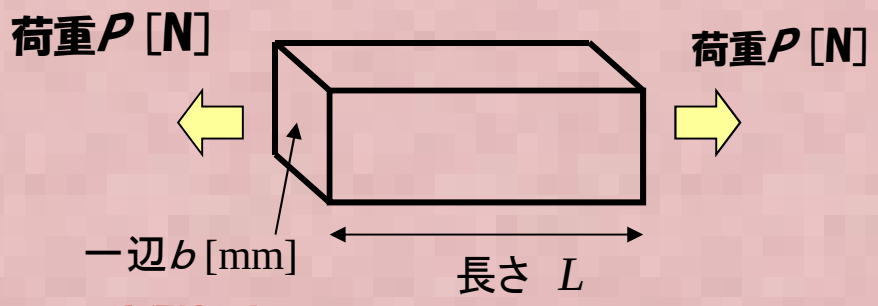
ここの画面は何も変更せず、このままOKを押します。

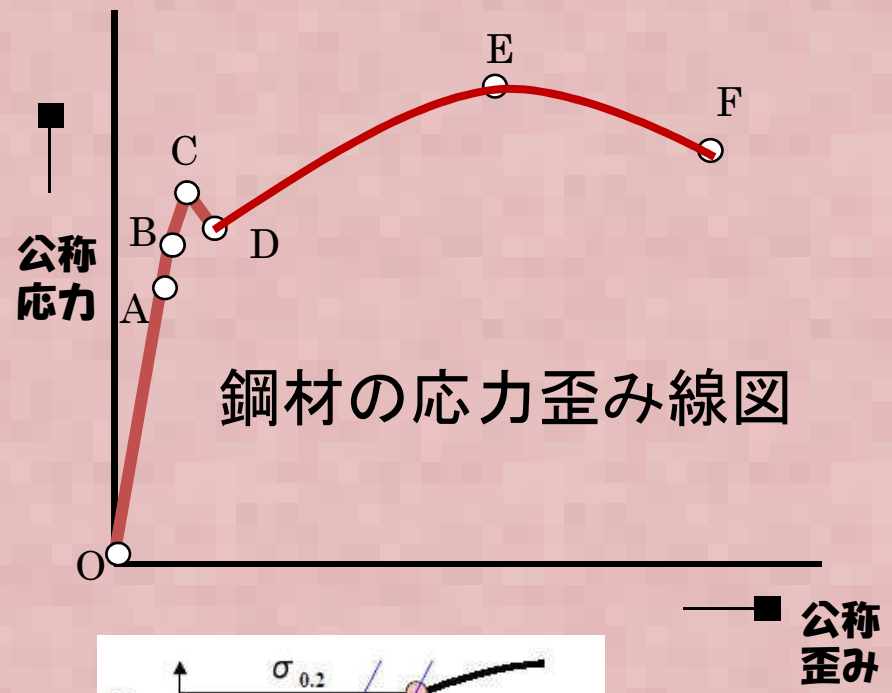
ここで一旦作業は休憩

塑性材料の定義について説明します

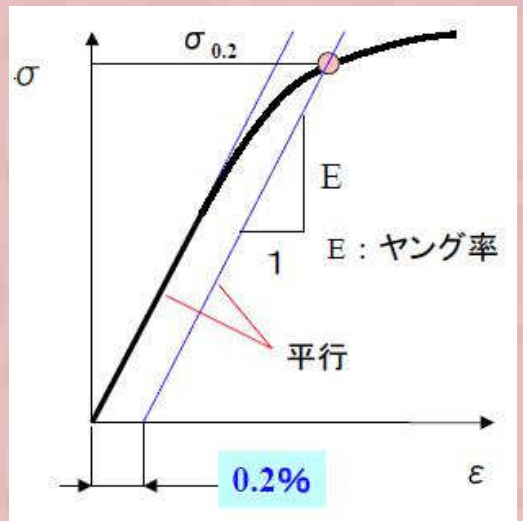
応力・歪み線図とは？

１軸引張り試験での破壊までの
公称応力と公称ひずみの関係
(鉄鋼材の応力ひずみ線図の例→)





A：比例限度
（応力・歪みは比例：フックの法則）
B：弾性限度
（ここまでは塑性歪みが生じない）
C：上降伏点
（降伏が始まる）
D：下降伏点
（降伏開始後に応力が下がる点）
E：引張り強さ
（応力・歪み線図での最大応力）
F：破断点



しかし一般金属材料(例えばアルミ）などでは、明確な降伏を示さないものも多く　⇒0.2%の塑性歪みが生ずる応力を0.2%耐力と呼び（JIS）降伏応力とすることがある(云々)

真応力と真ひずみ

- 一般の実験で得られる応力ひずみ線図は公称応力(σ_0)と公称ひずみ(ε_0)の応力ひずみ線図である。
- 公称応力(σ_0)と公称ひずみ(ε_0)はそれぞれ以下の式で定義されるように、荷重Fを初期の試験片断面積S_0で割ったものと伸びΔLを初期の試験片長さL_0で割ったものとして定義
- これに対して真応力は荷重Fを現在断面積Sで割ったもの、真ひずみは各時刻の伸びΔL（t）を現在の長さL(t)で割ったものの累積値として定義される。公称応力-公称ひずみと以下の関係が成立
- 解析ソフトでは応力ひずみを真応力-真ひずみの関係で定義するものがあるので、真応力-真ひずみの関係を求めておく必要がある。

$$\sigma_0 = \frac{F}{S_0}$$ 公称応力

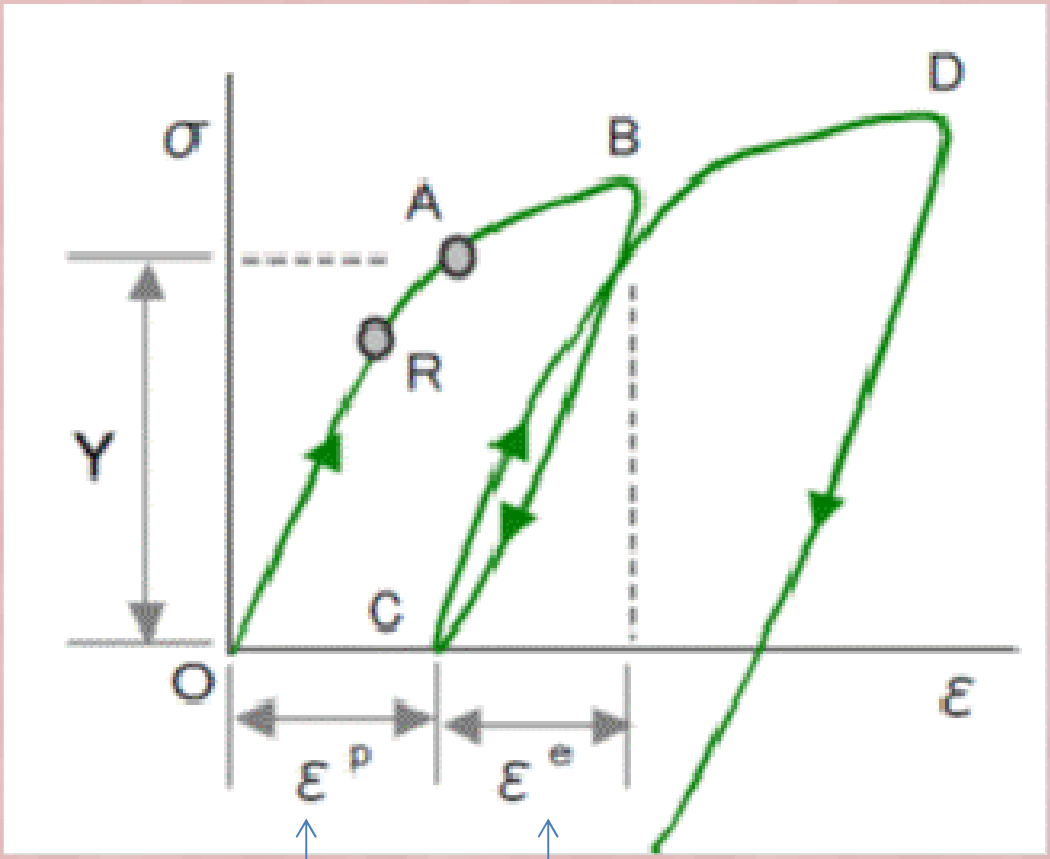
$$\varepsilon_0 = \frac{\Delta L}{L_0}$$ 公称ひずみ

$$\sigma = \frac{F}{S} = \frac{F}{S_0 \frac{L_0}{L_t}} = \frac{F}{S_0}\frac{L_t}{L_0} = \sigma_0(1+\varepsilon_0)$$ 真応力

$$\varepsilon = \int_{L0}^{Lt} \frac{dl}{L} = \ln(\frac{L_t}{L_0}) = \ln(\frac{L_0+\Delta L}{L_0}) = \ln(1+\frac{\Delta L}{L_0}) = \ln(1+\varepsilon_0)$$ 真ひずみ
(対数ひずみ)

-塑性ひずみとは-

・応力ひずみ線図にて、降伏応力Yを越える応力が作用した場合に荷重を完全に除荷した後に残留するひずみを塑性ひずみと呼びます(除荷後に残留する部分のひずみ)
・解析ソフトによっては応力-ひずみ関係を真応力-塑性ひずみ(相当塑性ひずみ)で定義するものがあるので、塑性ひずみー真応力線図を求めておく必要があります(というかFrontISTRとかABAQUS, Calculixがそうです)



塑性ひずみ　　弾性ひずみ

全(真)ひずみ＝
弾性ひずみ＋塑性ひずみ

$$\varepsilon = \varepsilon^{e} + \varepsilon^{p}$$

弾性ひずみ＝
真応力/ヤング率

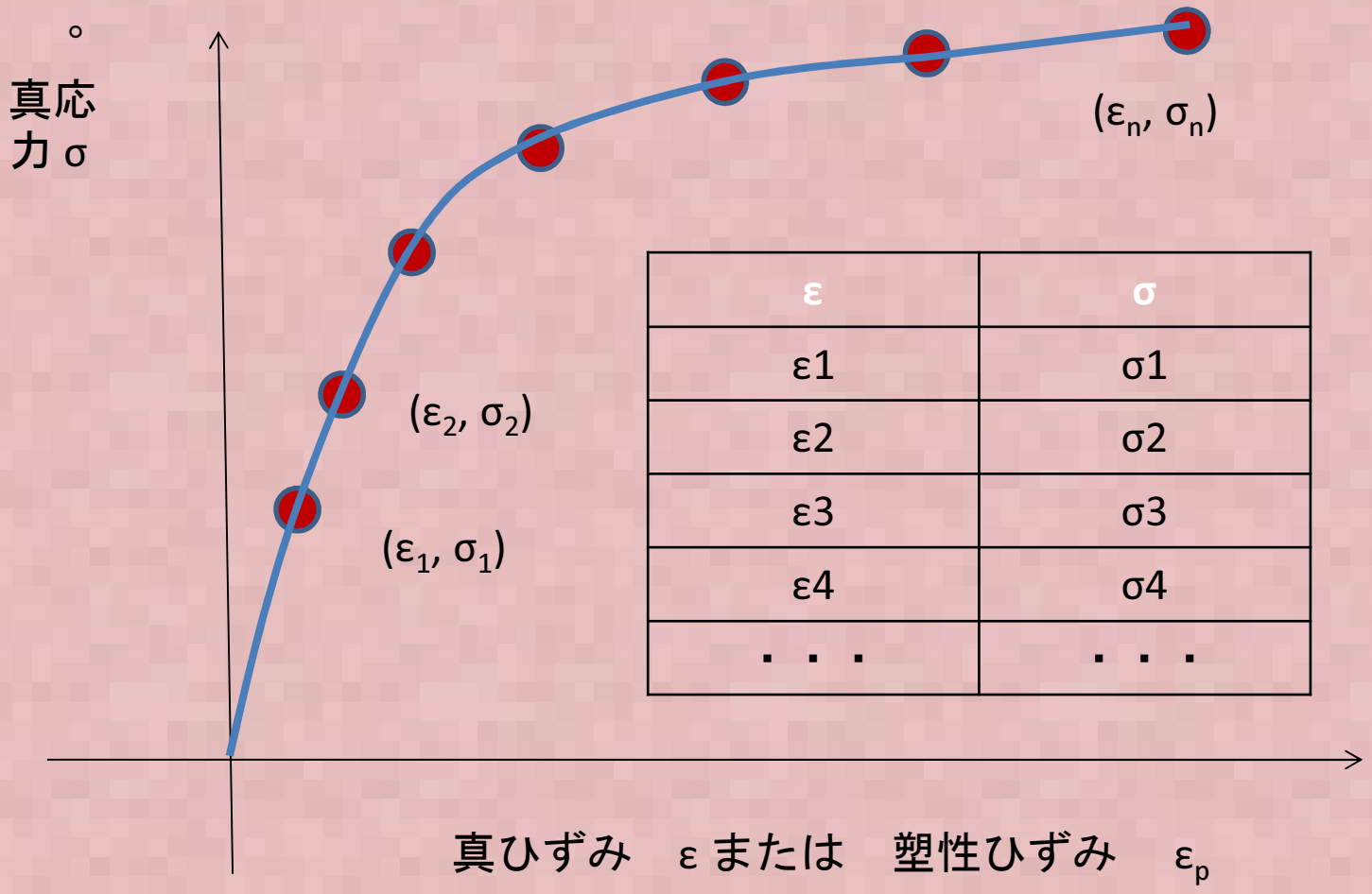
$$\varepsilon^{e} = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon^{p} = \varepsilon - \frac{\sigma}{E}$$

の関係があるので、真応力-真ひずみ線図から弾性ひずみ分を引いて塑性ひずみと真応力の関係が求め

構造解析での応力ひずみ関係モデル化手法 その1 -多直線近似-

多直線近似で真応力-真ひずみ(または塑性ひずみ)関係を実験結果に忠実に表現します。これが一般的に構造解析で一番多く使われています。
具体的には各真応力と塑性または真ひずみの値を表形式で記載していきます。



ε	σ
ε1	σ1
ε2	σ2
ε3	σ3
ε4	σ4
・・・	・・・

構造解析での応力ひずみ関係モデル化手法 その1 -多直線近似-の補足説明

FrontISTRのユーザマニュアルp.123から一部抜粋
-多直線近似(MultiLinear)　の応力ひずみ線図の設定例
PLASTIC(塑性),　Yield(降伏条件)＝ミーゼスの降伏条件
HARDEN(硬化則)=Multilinear (多直線)
Dependencies(依存性)=1 →　これは温度依存のある場合に使用します

```
!PLASTIC, YIELD=MISES, HARDEN=MULTILINEAR, DEPENDENCIES=1
 276.0,  0.0,    20.
 296.0,  0.0018, 20.
 299.0,  0.0053, 20.
 303.0,  0.008,  20.
 338.0,  0.0173, 20.
 372.0,  0.0271, 20.
```

降伏開始時塑性ひずみなので必ず"0"を指定する(0以外を指定するとエラーで落ちる)

降伏応力

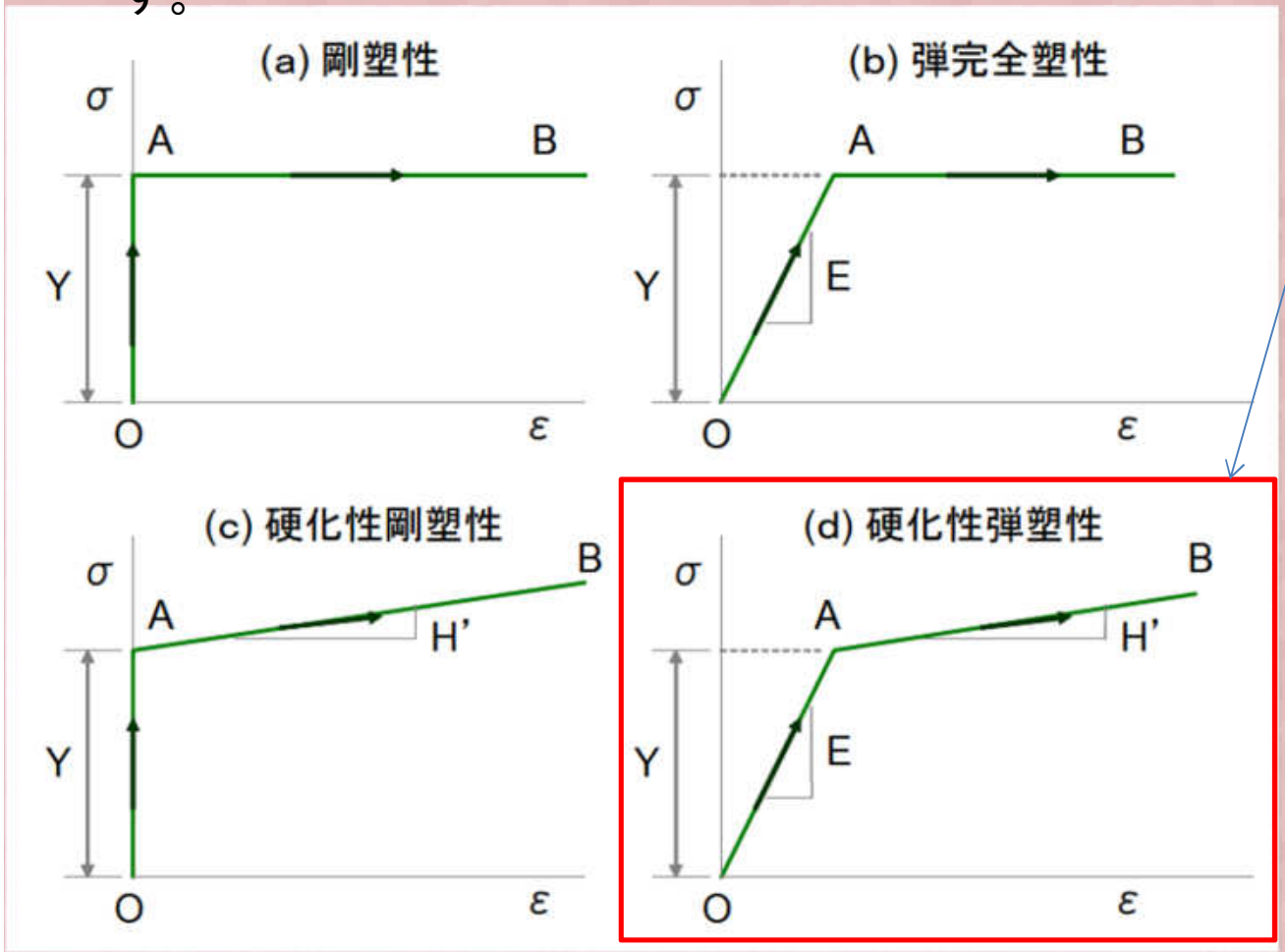
真応力

塑性ひずみ
(相当塑性ひずみ)

温度(ここでは℃で設定かな?)

構造解析での応力ひずみ関係モデル化手法 その２ －単純化モデル－

2直線近似(Bilinear)で応力ひずみ関係を表します。これも弾性領域を無視して扱う剛塑性モデルと弾性領域も考慮する弾塑性モデルがあります。

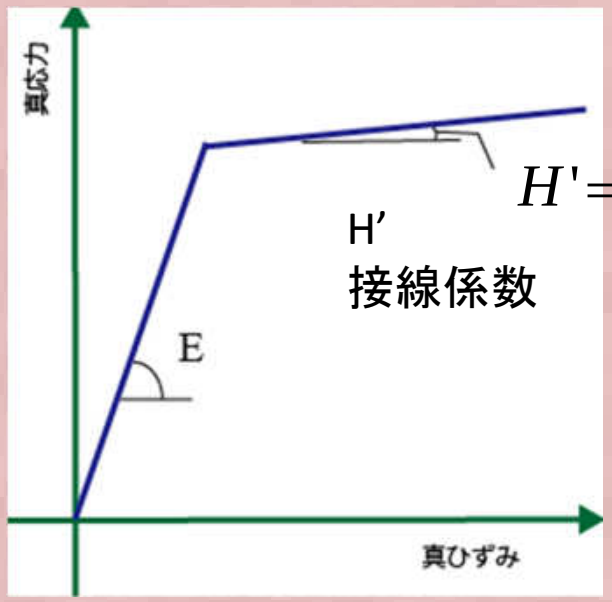


今回のFrontISTRの演習では(d)の硬化性弾塑性解析モデルの例題を行います。

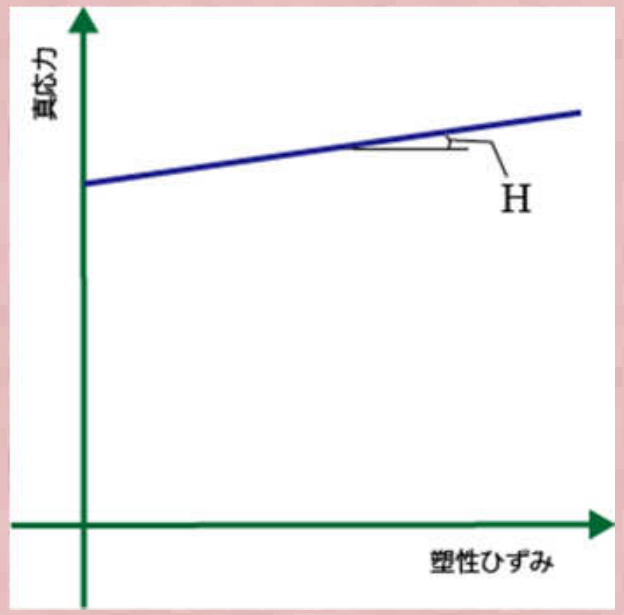
具体的には降伏応力Yと降伏後の傾きH
加工硬化係数または塑性係数を指定します。

構造解析での応力ひずみ関係モデル化手法 その2 －単純化モデルの補足説明－

- 2直線近似(Bilinear)の場合、降伏後の傾きH(加工硬化係数)とH’ (接線係数)は微妙に定義が異なるので注意が必要である。
- (しかし、実質上あまり値が変わらないことも多い)
- FrontISTRの場合は降伏応力Yと加工硬化係数Hで応力ひずみ線図を２直線近似できる。



$$H' = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$



加工硬化係数H

$$H = \frac{d\sigma}{d\varepsilon^p}$$

構造解析での応力ひずみ関係モデル化手法 その3 -モデル式による定義-

- Swift則やRAMBERG-OSGOOD則などのモデル化式の係数を指定することで応力ひずみ線図を定義します。
- FrontISTRではSwift則とRAMBERG-OSGOOD則の２つの式で応力ひずみ線図を定義できます。

$$\sigma = C(\varepsilon_p)^{\alpha}$$

N乗硬化則: パラメタC, αの2つ

$$\sigma = C(\varepsilon_0 + \varepsilon_p)^{\alpha}$$

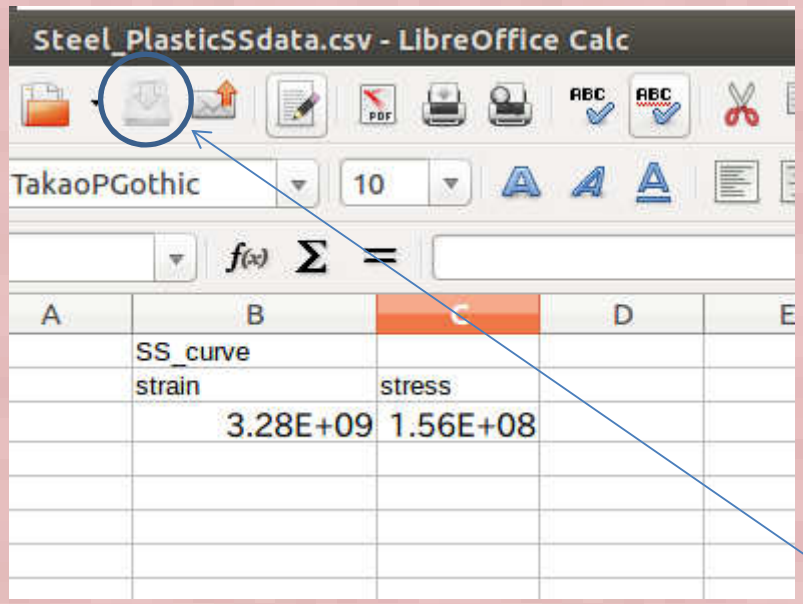
Swift則: パラメタC, α, ε_0の3つ

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left(\frac{\sigma}{D} \right)^n$$

RAMBERG-OSGOOD則
パラメタD, n, ε_0の3つ

⑨材料物性値設定4

２直線近似の応力-ひずみ線図(降伏応力Yと降伏後の傾きH 加工硬化係数）を指定します

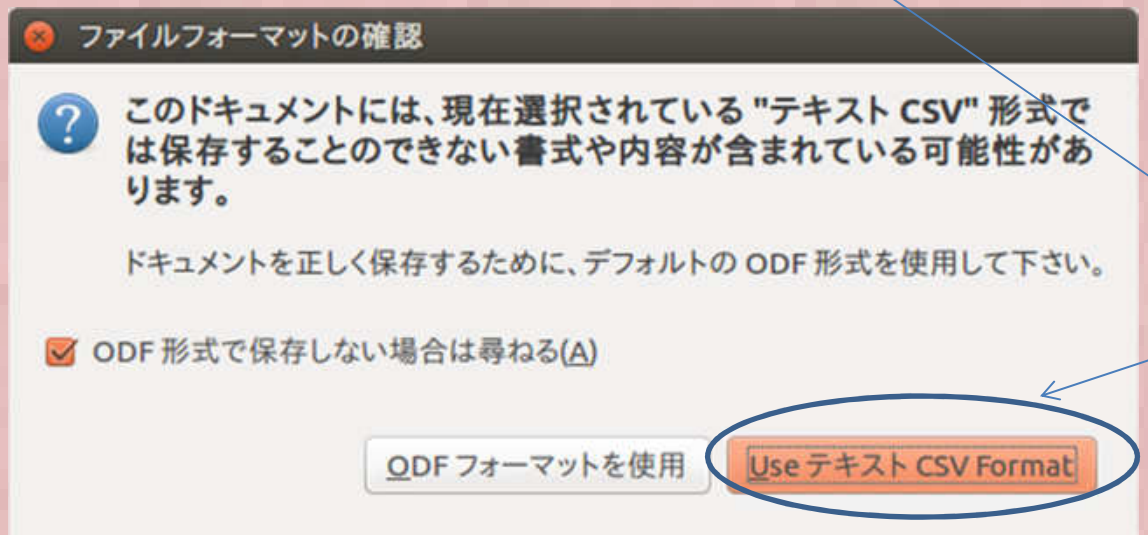


多直線近似の入力を流用しているのでStrainの表現がおかしいがここは我慢！

ここでふたたび作業に戻る。

Libreoffice-Calcが起動したら

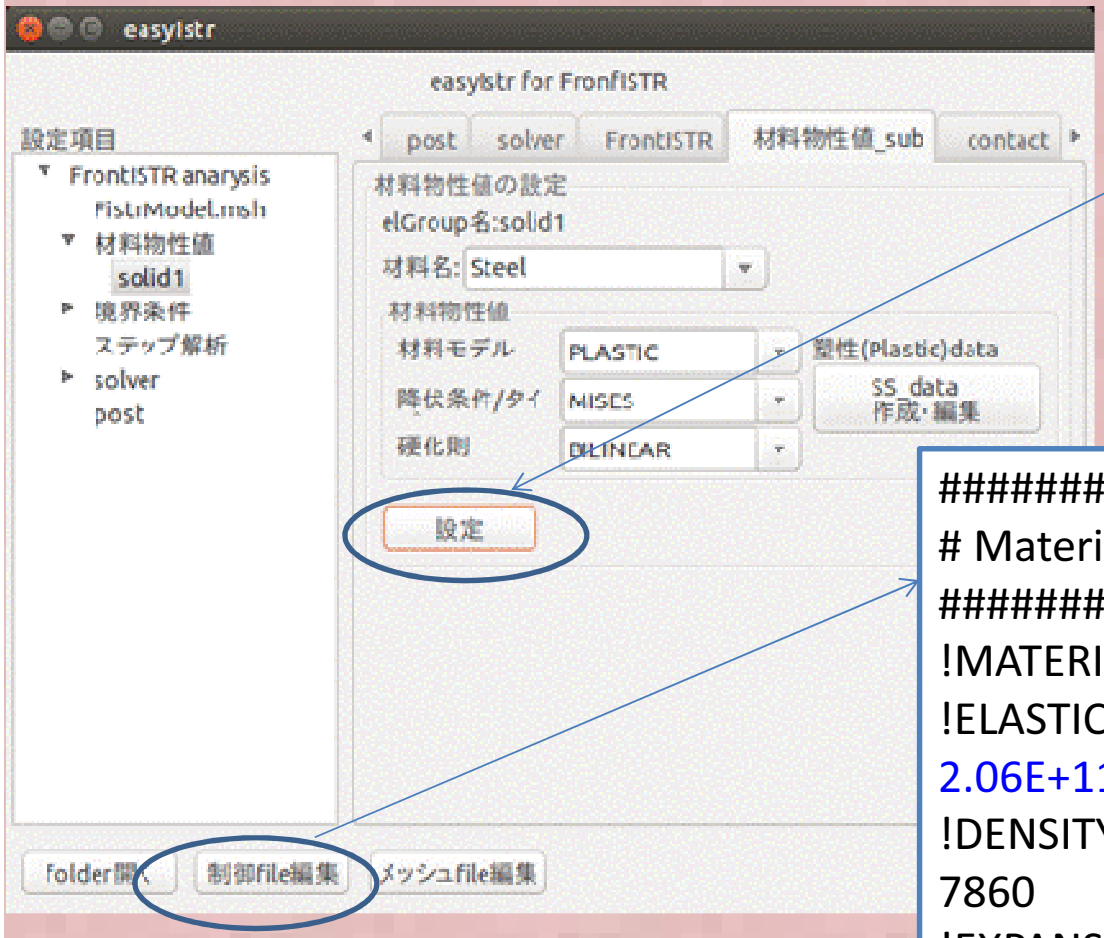
STRAINに3.283e+9
→　加工硬化係数H
3.283GPa
(3.283×10^9Pa)
STRESSに1.56E+8
→　降伏応力Y 156MPa
(1.56×10^6Pa)



を指定する。書き終わったら保存する。ファイルフォーマットを聞いてくるが、テキストCSVを指定する。

終わったらLibreOFFICEを終了しEasyISTRに戻る

⑩材料物性値設定5



1) 最後に設定ボタンを押して材料設定を完了する。

2) 制御ファイル編集を押すとテキストエディタが起動する。
材料が正しく割り当てられたか確認する。

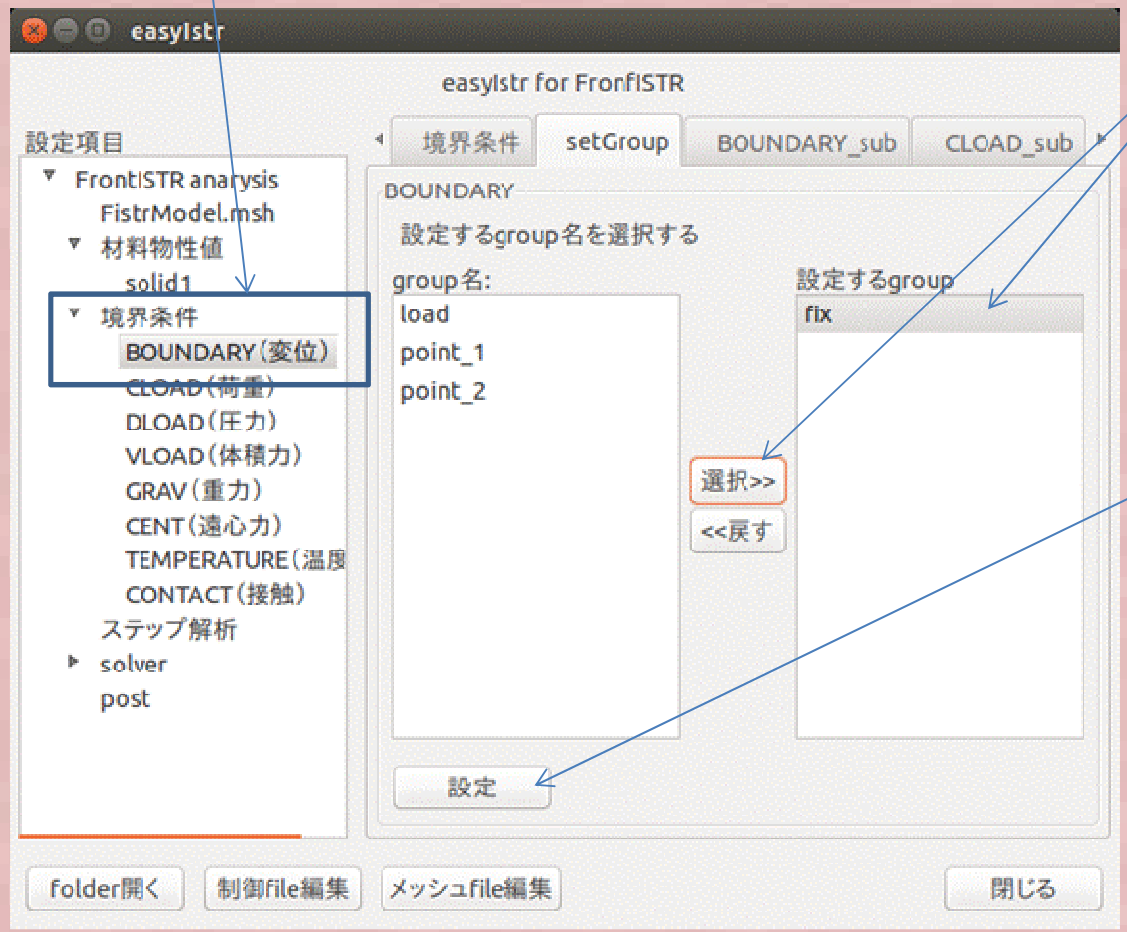
```
#############
# Material #
#############
!MATERIAL, NAME=Steel
!ELASTIC, TYPE=ISOTROPIC
2.06E+11, 0.29
!DENSITY
7860
!EXPANSION_COEFF, DEPENDENCIES=0
0.000012
!PLASTIC, YIELD=MISES, HARDEN=BILINEAR
1.56E+08, 3.28E+09
```

2.1e+11, 0.3
に修正しても良い

⑪境界条件設定

次に境界条件を設定する.

1)境界条件,　BOUNDARY(変位)を選択



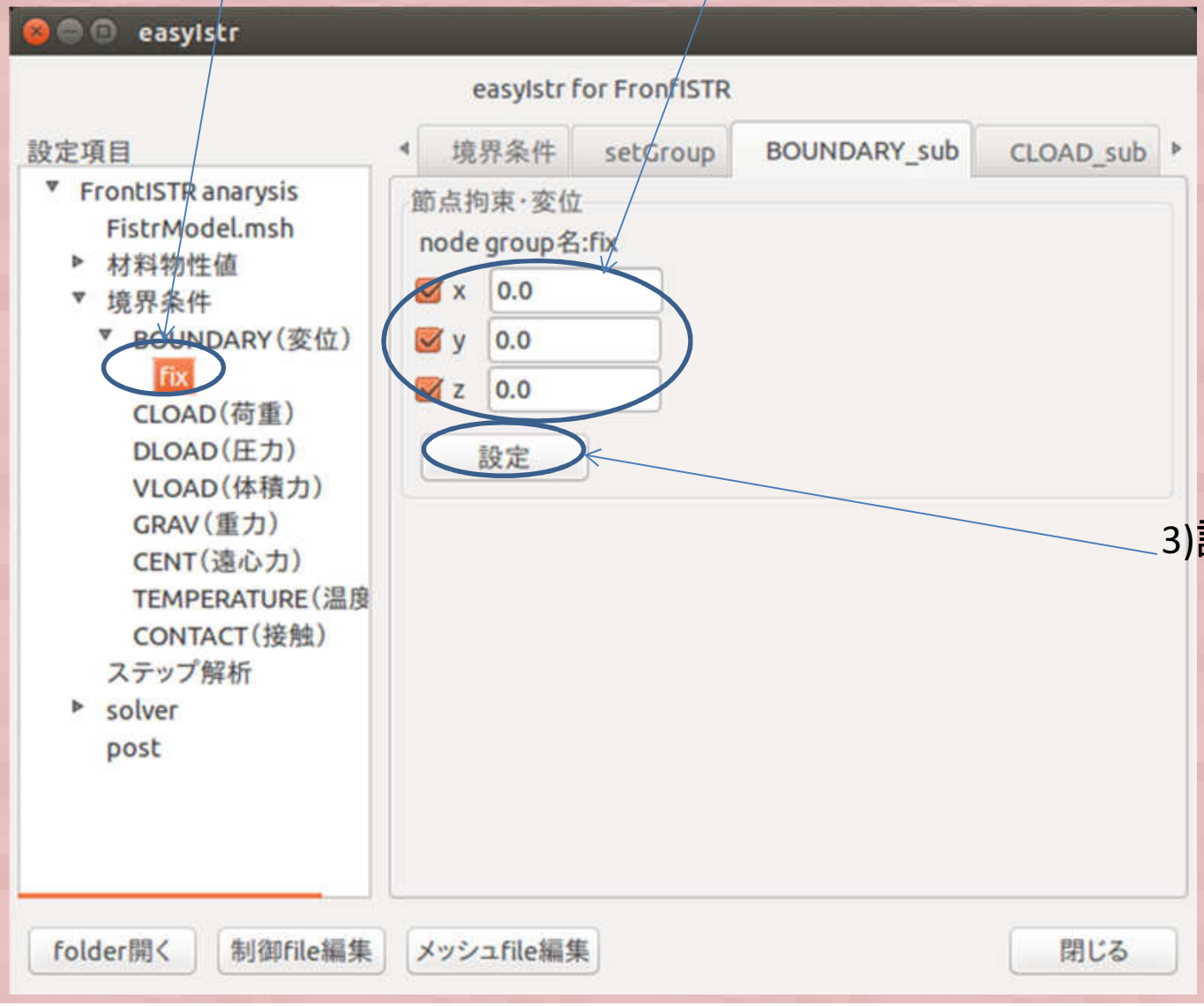
2) GROUP名から”fix”を選択して設定するgroupに移動させる

3) 設定を押す

⑪境界条件設定 その2

1) Fixを選択

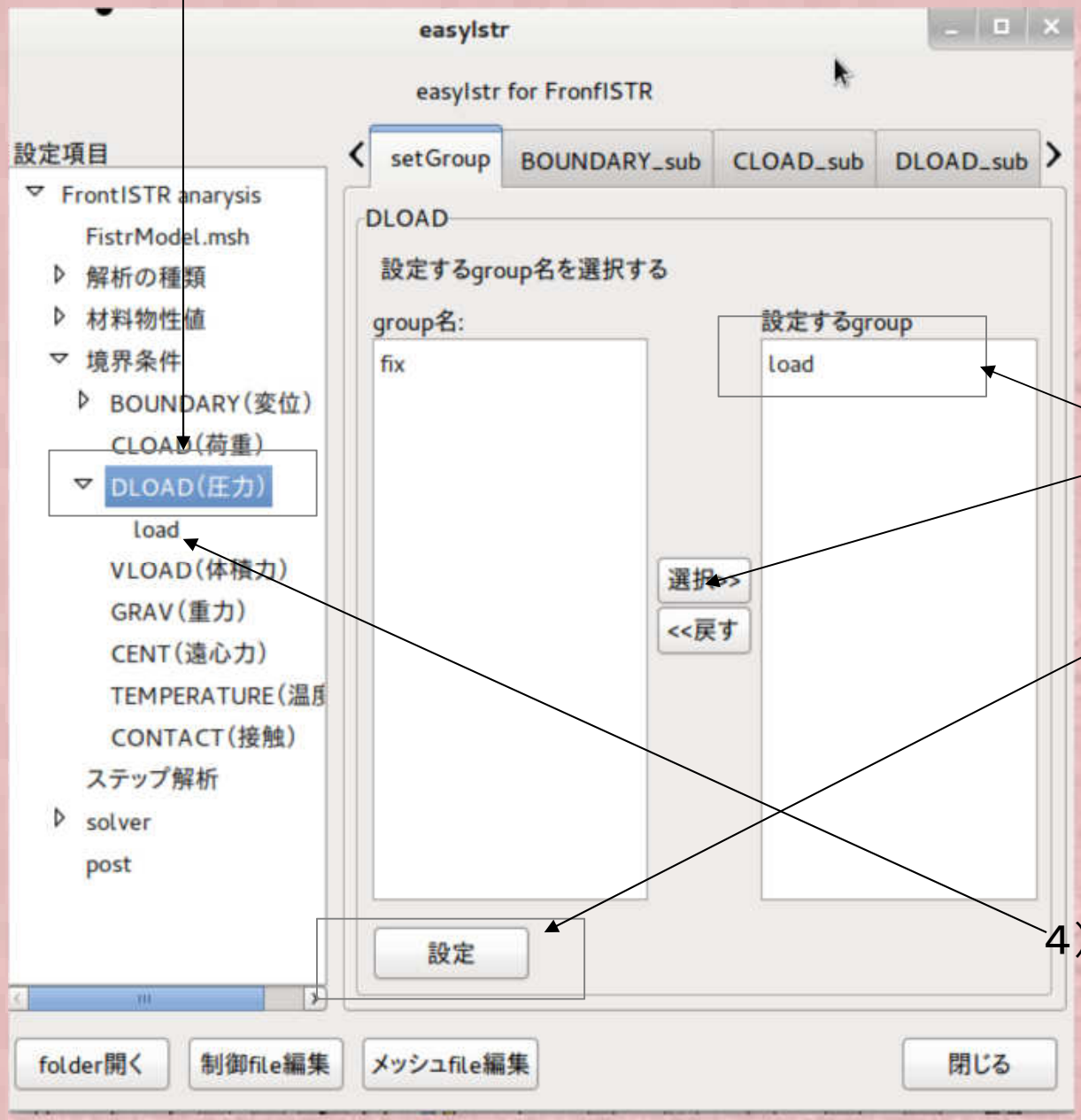
2) x=0.0, y=0.0, z=0.0 となっているのを確認



3)設定を押して完了

荷重条件設定　その１

1）DLOADを選択



2)loadを選択して
設定するGroupに移動

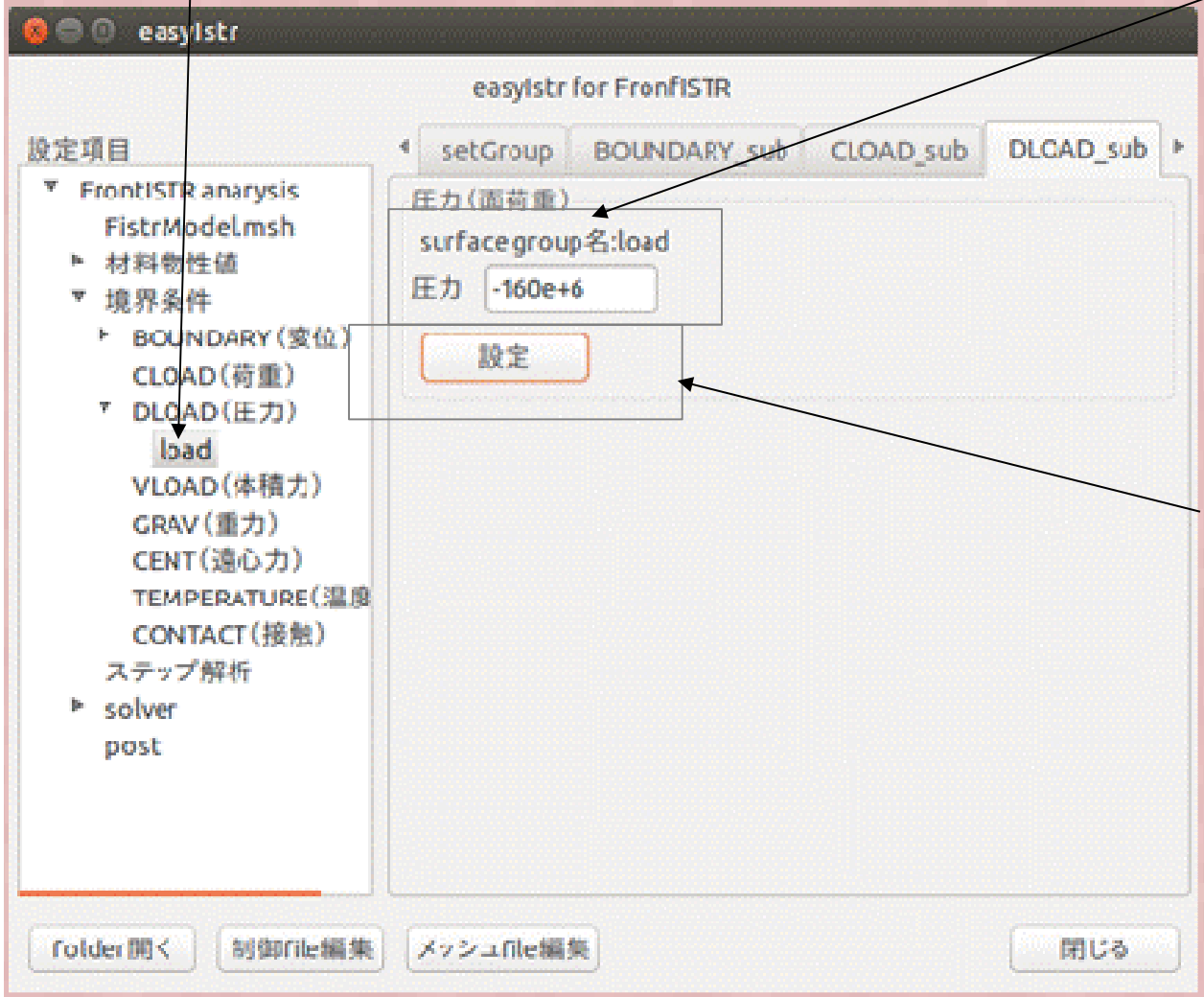
3）設定を押す

4）load がDLOADメニューの下に現

荷重条件 その2

1）loadを選択

2）圧力を指定
ここでは”-160e+6”Pa
= -160MPa を指定する
(圧力は引張方向に作用
させるのでマイナスを指定)



3)設定を押す

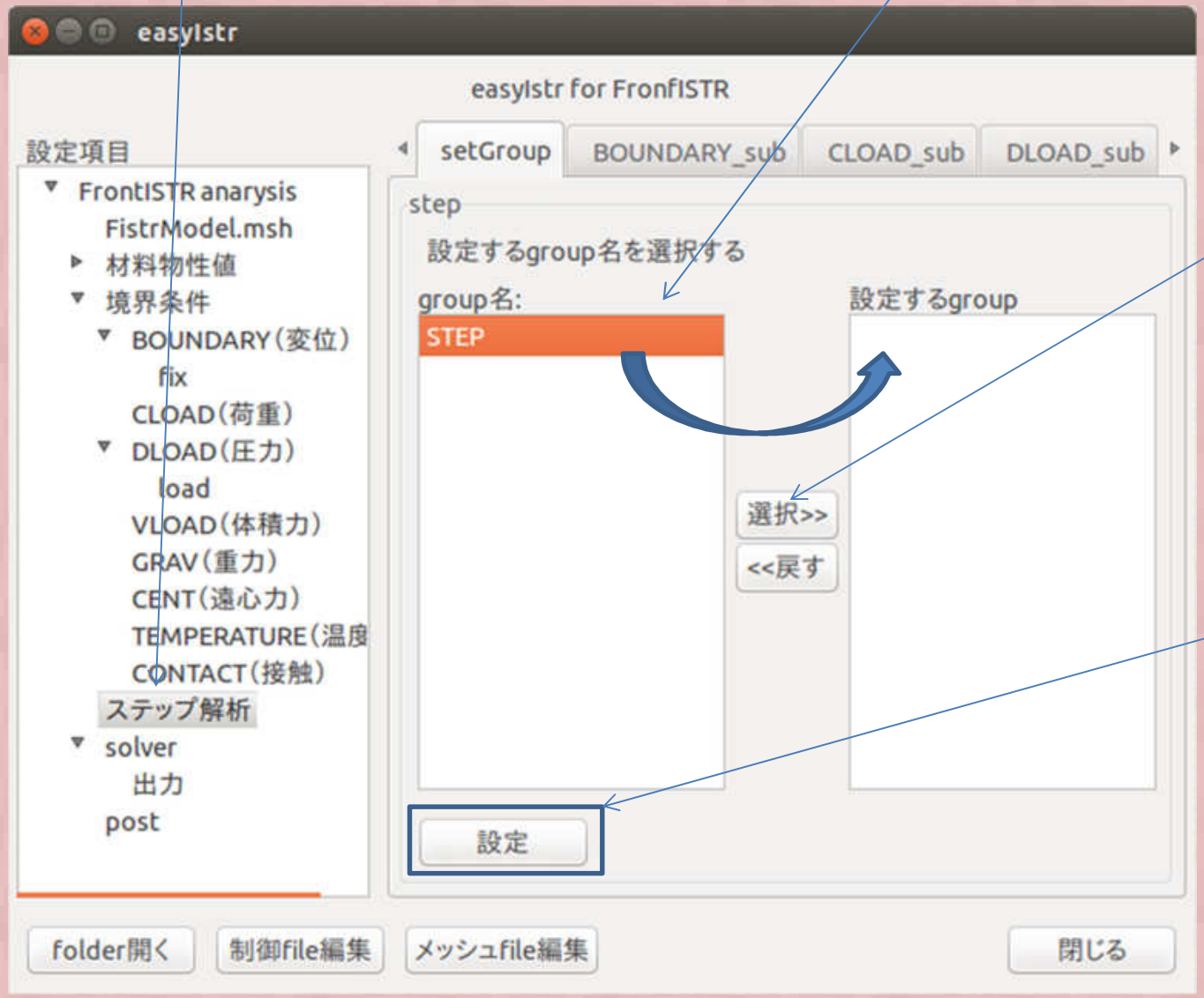
Step設定 その1

1)Step解析を選択

2)Stepを選択

3)Stepを選択

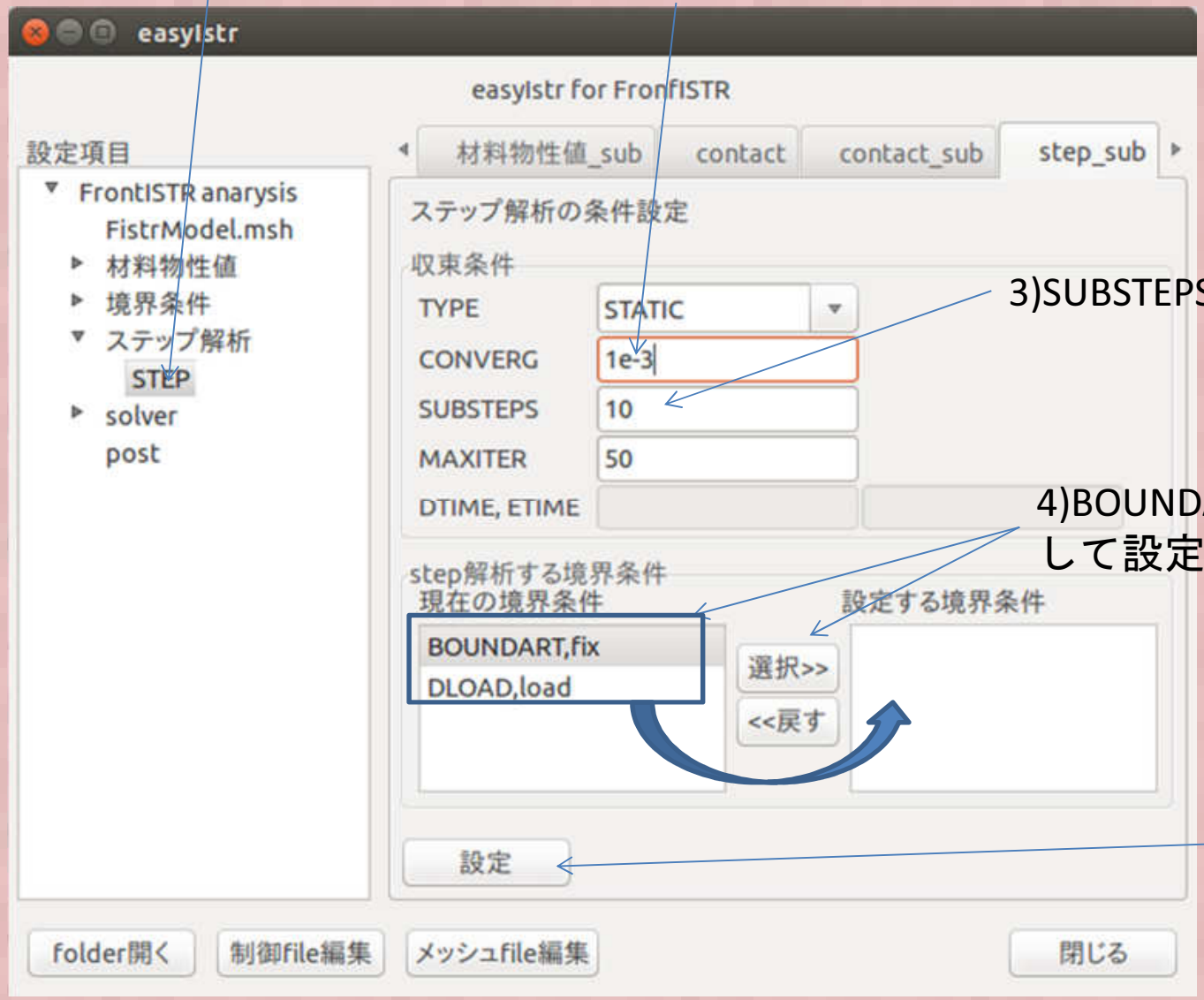
4)設定を選択



Step設定 その2

1)STEPを選択

2)CONVERGEを”1e-6” → “1e-3” に変更



3)SUBSTEPSを”1” → “10” に変更

4)BOUNDARY, DLOADを選択
して設定する境界条件に移動

5)設定を押す

Step設定って何？

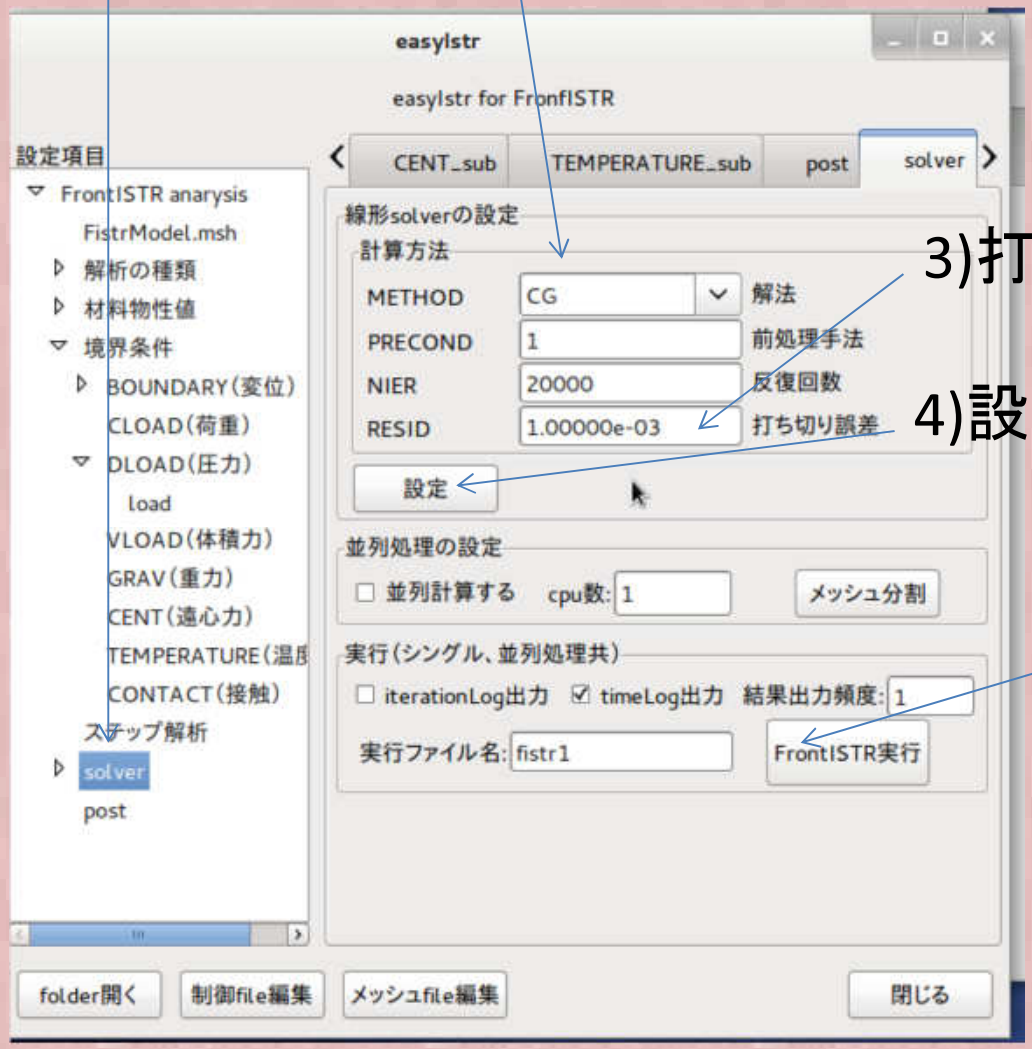
ところでここで行っているStepの設定って意味が分かりますか？

–構造解析のステップとはいわばシミュレーション荷重負荷条件の定義の一種と言えます。
–今回の場合、片側を固定してもう一方の端に力を加えるわけですが、そのような荷重や拘束状況の定義の固まりが１つのStepとして定義されます。
–こういったステップの概念は単純な１回だけの線形静解析の場合はあまり意味がありません（というのも1Stepしか無いので)。
–ある力をここに加えたあと、次のStepで荷重を変更したり、温度を掛けたりと非線形の履歴を考慮した複数Stepの解析などで意味を持ち、これをうまく活用するよって複雑な状況を再現することも可能になります(例えば製造プロセスの解析など)。
–非線形解析では1Stepの解析といえども、その荷重をどのように掛けるかで
–Step定義の必要性が出てきます。
–今回の解析では弾塑性を考慮した非線形解析のため
–荷重を１０分割(SUBSTEPS=10)して徐々に荷重増加させていくという
–Step内の荷重増分を設定しています。
–SUBSTEPSを多くすると計算が収束しやすくなりますが、
–その分計算時間が掛かります。
–ABAQUSなどの商用ソルバでは最初小さな荷重増分から
–スタートして、増分量を自動で調整する自動時間増分
–機能があります(CodeAsterでも使えますが)
–残念ながら現在FrontISTRには自動時間増分機能がありません。

solverの設定

1)SOLVER

2)METHOD CG法を選択する。



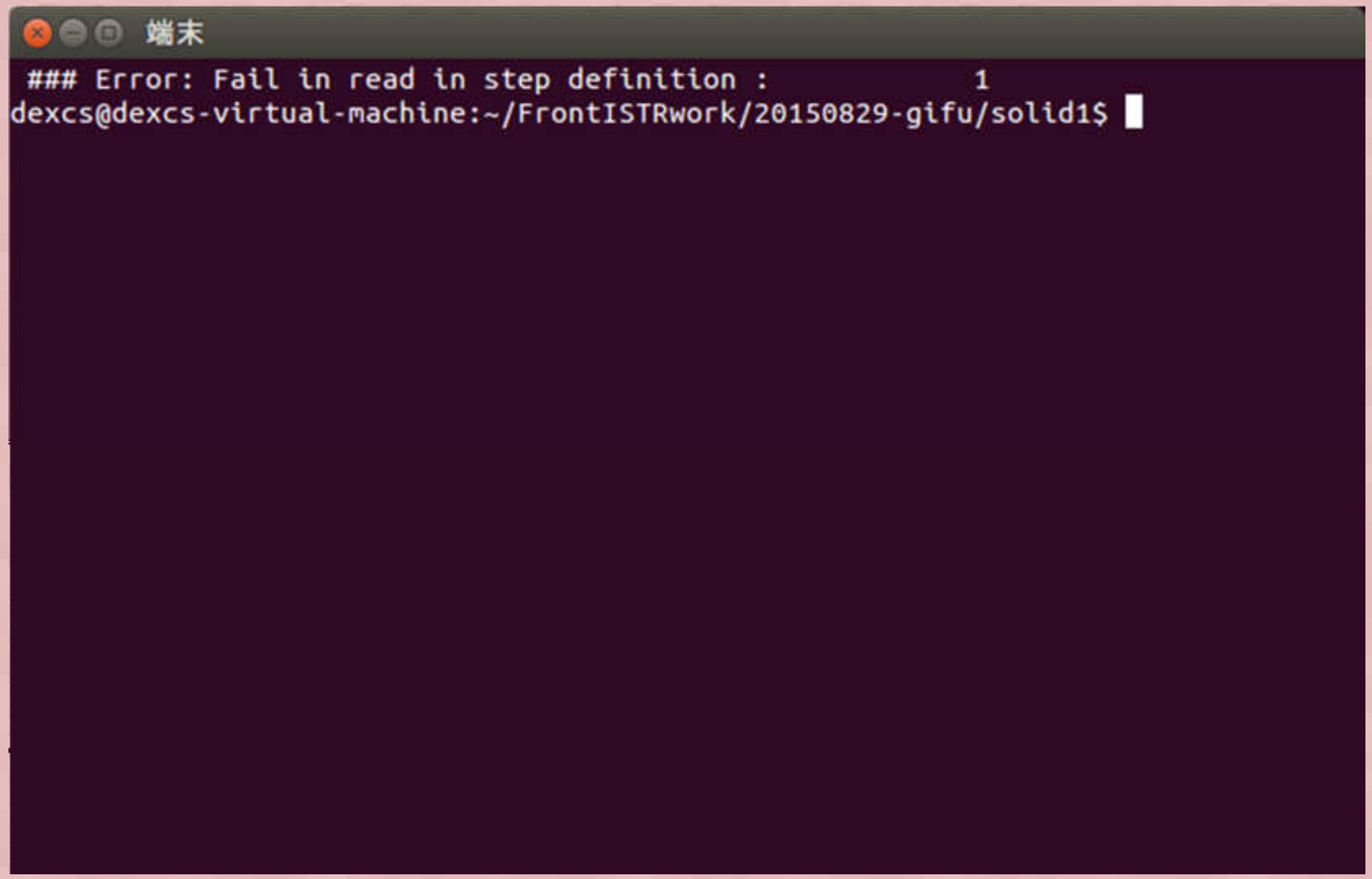
3)打ち切り誤差を1e-03 に変更する。

4)設定を押す。

5)FrontISTR実行を
とりあえず押してみる。

エラーで落ちます！

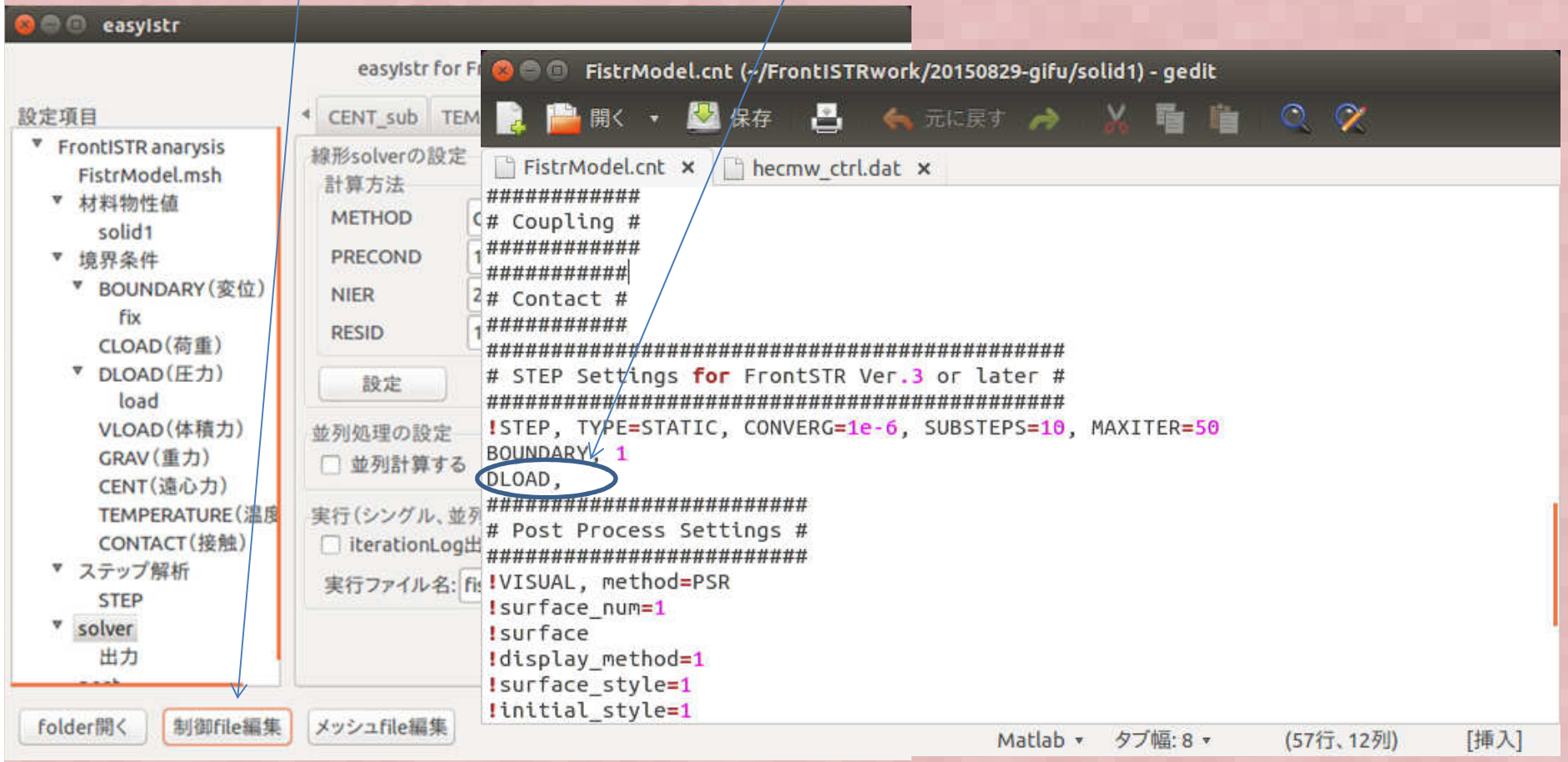
ここまで上手く行った人はFrontISTRの実行を押すと下記のエラーにて異常終了すると思います。これはEasyISTRのバグですので気にしないでください～。



制御fileを編集する

1)制御ファイル編集を押す

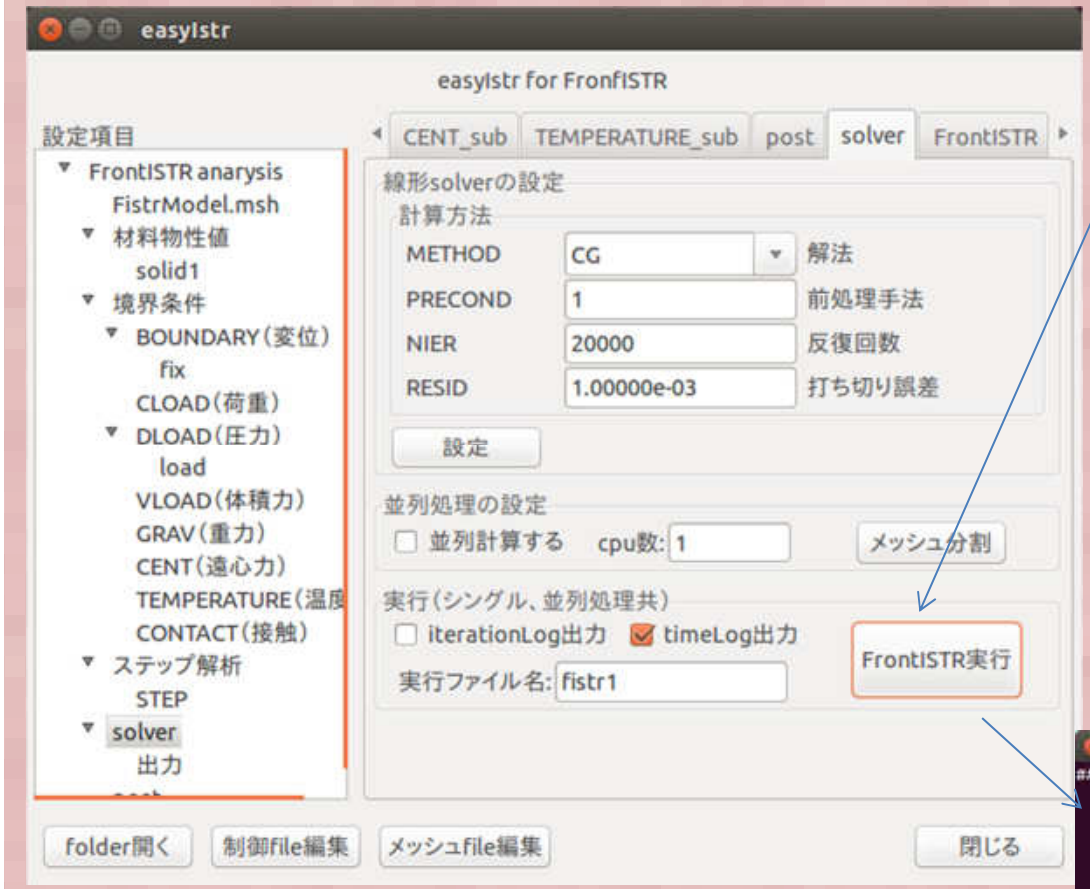
2)制御ファイル(FistrModel.cnt)がGedit画面で起動するのでSTEPを修正する



上記の　“DLOAD, “ → “LOAD, 1” に変更する。
終わったら保存してGEDITを終了

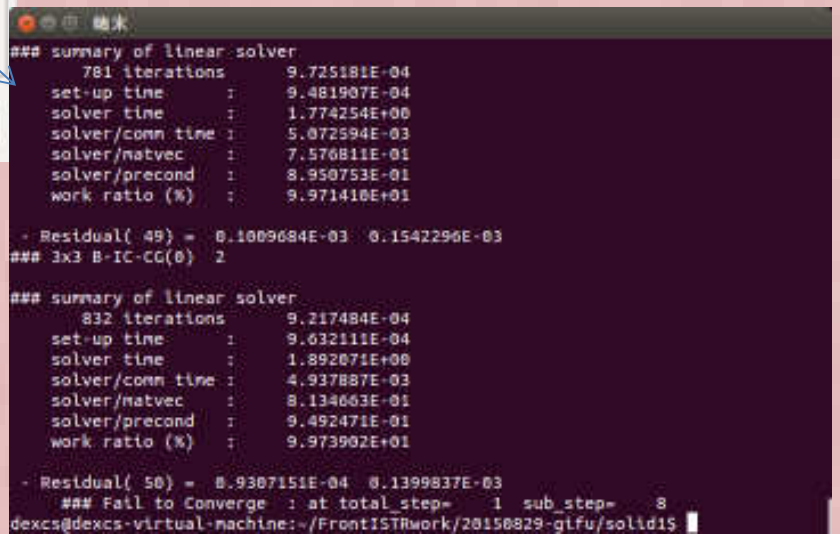
```
##########################################
# STEP Settings for FrontSTR Ver.3 or later #
##########################################
!STEP, TYPE=STATIC, CONVERG=1e-6, SUBSTEPS=10, MAXITER=50
BOUNDARY, 1
LOAD, 1
```

とりあえずこれで再実行！



1) FrontISTR実行を再度押す

2)今度は途中までは実行できるが、
7SUB-STEPくらいで
Fail to Cobverge
(未収束)のエラーで終了！

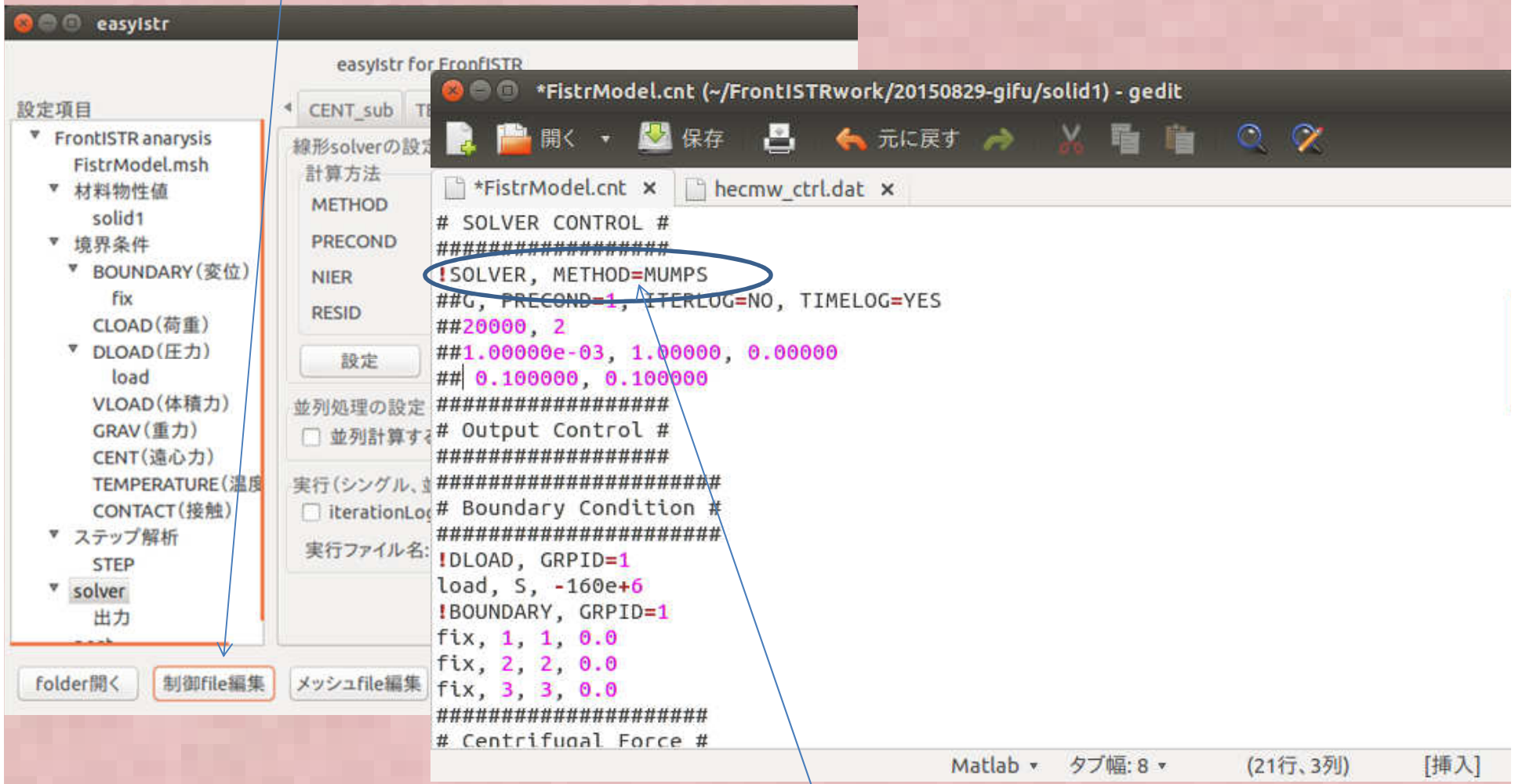


```
### summary of linear solver
      781 iterations        9.725181E-04
    set-up time       :     9.481907E-04
    solver time       :     1.774254E+00
    solver/comm time  :     5.072594E-03
    solver/matvec     :     7.576811E-01
    solver/precond    :     8.950753E-01
    work ratio (%)    :     9.971410E+01

 - Residual( 49) =  0.1009684E-03  0.1542296E-03
### 3x3 B-IC-CG(0)  2

### summary of linear solver
      832 iterations        9.217484E-04
    set-up time       :     9.632111E-04
    solver time       :     1.892071E+00
    solver/comm time  :     4.937887E-03
    solver/matvec     :     8.134663E-01
    solver/precond    :     9.492471E-01
    work ratio (%)    :     9.973902E+01

 - Residual( 50) =  0.9307151E-04  0.1399837E-03
    ### Fail to Converge  : at total_step=    1  sub_step=    8
dexcs@dexcs-virtual-machine:~/FrontISTRwork/20150829-gifu/solid1$
```

3)非線形解析で収束しない場合は
色々パラメータを調整していくと
収束する場合もあるのですが
構造解析ではめんどくさい時は
安定している直接法をSolverに使用し

制御fileを編集するその2

1)制御ファイル編集を押す



2)制御ファイル(FistrModel.cnt)がGedit画面で起動するので
”!SOLVER, METHOD=CG” → ”!SOLVER, METHOD=MUMPS” に修正する
また後ろの3行はコメントアウトするか削除する。終わったら保存し、gedit終

FrontISTRをコマンドラインから実行

- EasyISTRの画面からソルバ実行すると制御ファイルがおかしくなることがあるので端末から直接コマンド実行する

```
端末
dexcs@dexcs-virtual-machine:~/FrontISTRwork/20150829-gifu/solid1$ fistr1
 fstr_setup: OK

 loading step=    1
  substep=           1   0.0000000000000000       0.10000000000000001
  [MUMPS]: Analysis and Factorization completed.
  [MUMPS]: Solution completed.
  relative residual =   9.2627882334287036E-013
 - Residual(  1) =  0.6614777E-05  0.1000000E+01
Start visualize PSF 1 at timestep 1
  substep=           2  0.10000000000000001       0.20000000000000001
  [MUMPS]: Factorization completed.
  [MUMPS]: Solution completed.
  relative residual =   9.1295012488229694E-013
 - Residual(  1) =  0.6827931E-05  0.1000000E+01
Start visualize PSF 1 at timestep 2
  substep=           3  0.20000000000000001       0.30000000000000004
  [MUMPS]: Factorization completed.
  [MUMPS]: Solution completed.
  relative residual =   9.4409057000580698E-013
 - Residual(  1) =  0.1751565E-03  0.1000000E+01
Start visualize PSF 1 at timestep 3
  substep=           4  0.30000000000000004       0.40000000000000002
  [MUMPS]: Factorization completed.
```

“fistr1” を端末に直接入力する。

これで無事完了するハズ？

```
端末
  relative residual =   1.0474197916387017E-014
 - Residual( 16) =  0.1414741E-02  0.5735428E-02
  [MUMPS]: Factorization completed.
  [MUMPS]: Solution completed.
  relative residual =   9.9134785390659751E-015
 - Residual( 17) =  0.1222464E-02  0.4847646E-02
  [MUMPS]: Factorization completed.
  [MUMPS]: Solution completed.
  relative residual =   9.7668394156789924E-015
 - Residual( 18) =  0.1059172E-02  0.4116896E-02
  [MUMPS]: Factorization completed.
  [MUMPS]: Solution completed.
  relative residual =   9.0794162663496710E-015
 - Residual( 19) =  0.9199309E-03  0.3510520E-02
Start visualize PSF 1 at timestep 10
### FSTR_SOLVE_NLGEOM FINISHED!

 ====================================
    TOTAL TIME (sec) :     41.16
           pre (sec) :      0.07
         solve (sec) :     41.09
 ====================================
 FrontISTR Completed !!
dexcs@dexcs-virtual-machine:~/FrontISTRwork/20150829-gifu/solid1$
```

FrontISTR Completed!!
が出たら完了。

Postその1

・次に結果処理を行う。再びEasyISTR画面に戻って<u>データ変換</u>を行う

2) データ変換を押す

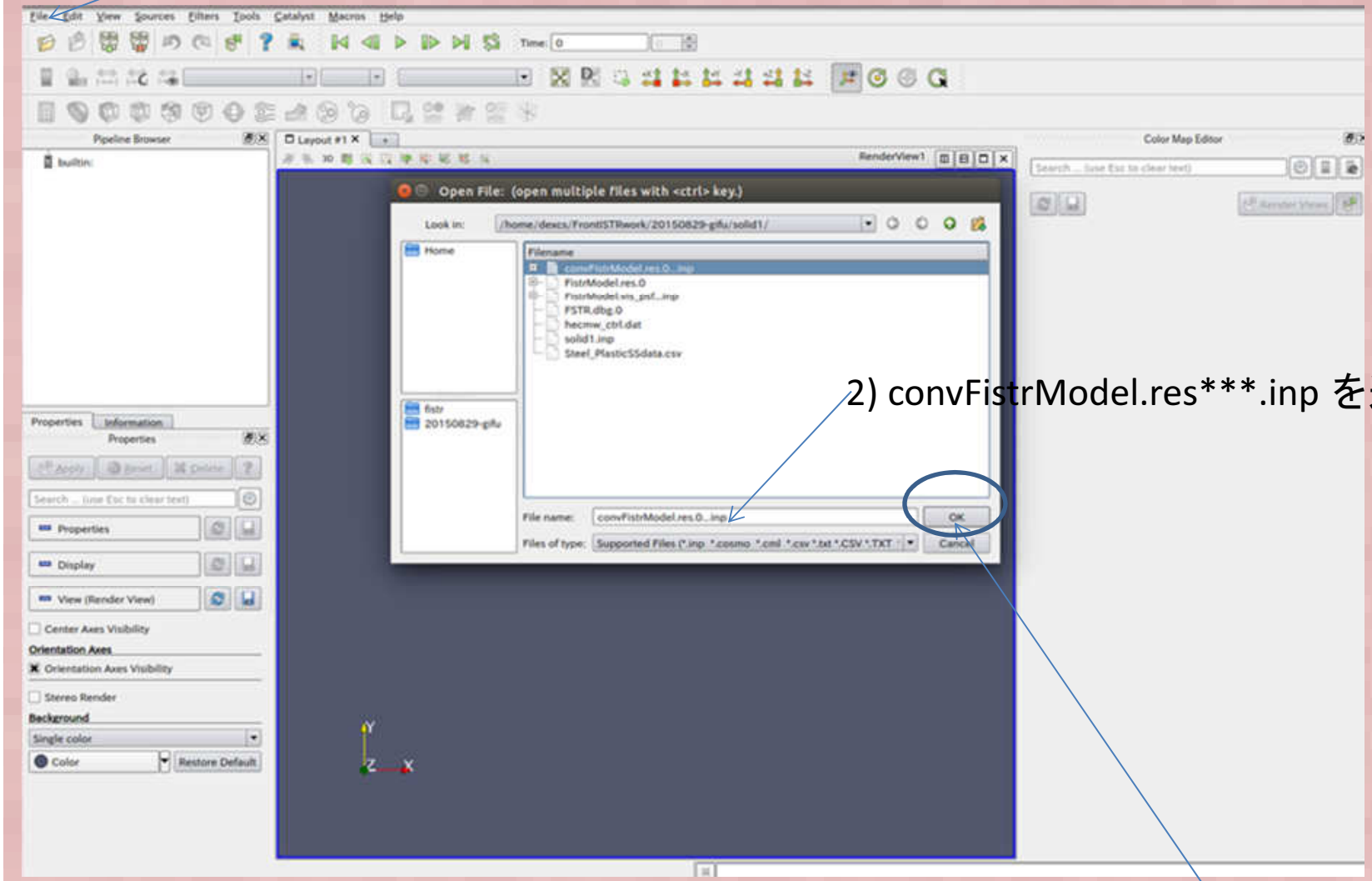
3) Paraview用にデータ変換しましたとメッセージが出力

4) Paraviewを起動

ParaViewの起動

ParaViewが起動するので、convFistrModel.res***.inp を選択してOKを押します

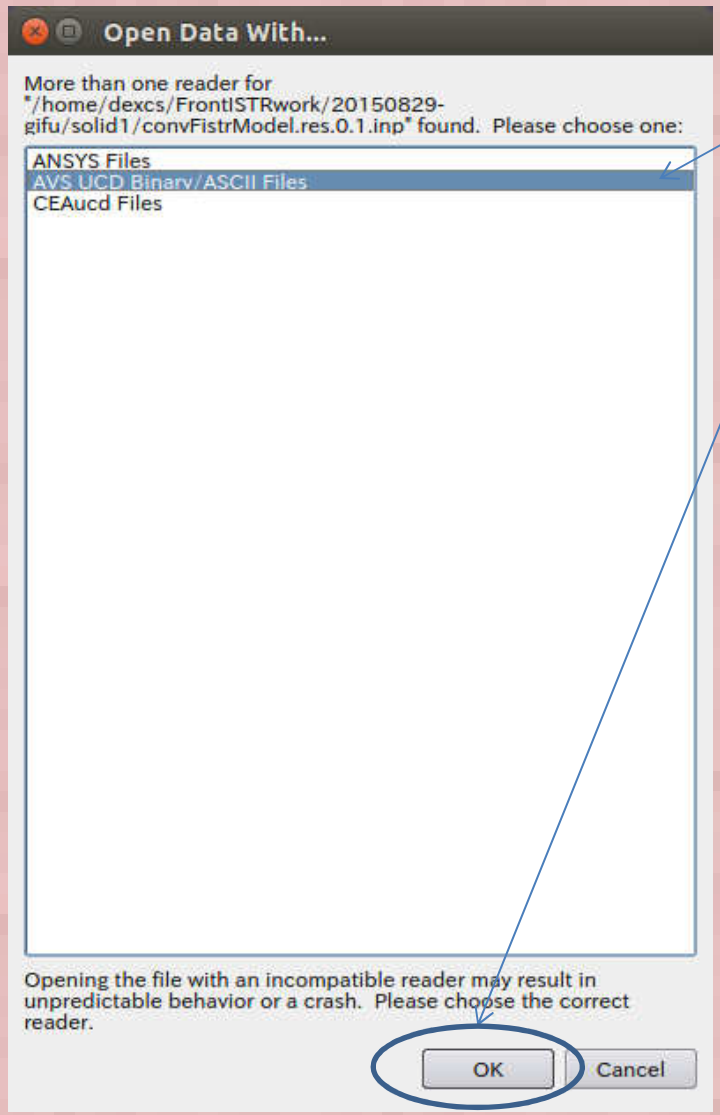
1) File のOpenを押す



2) convFistrModel.res***.inp を選択

3) OKを押す

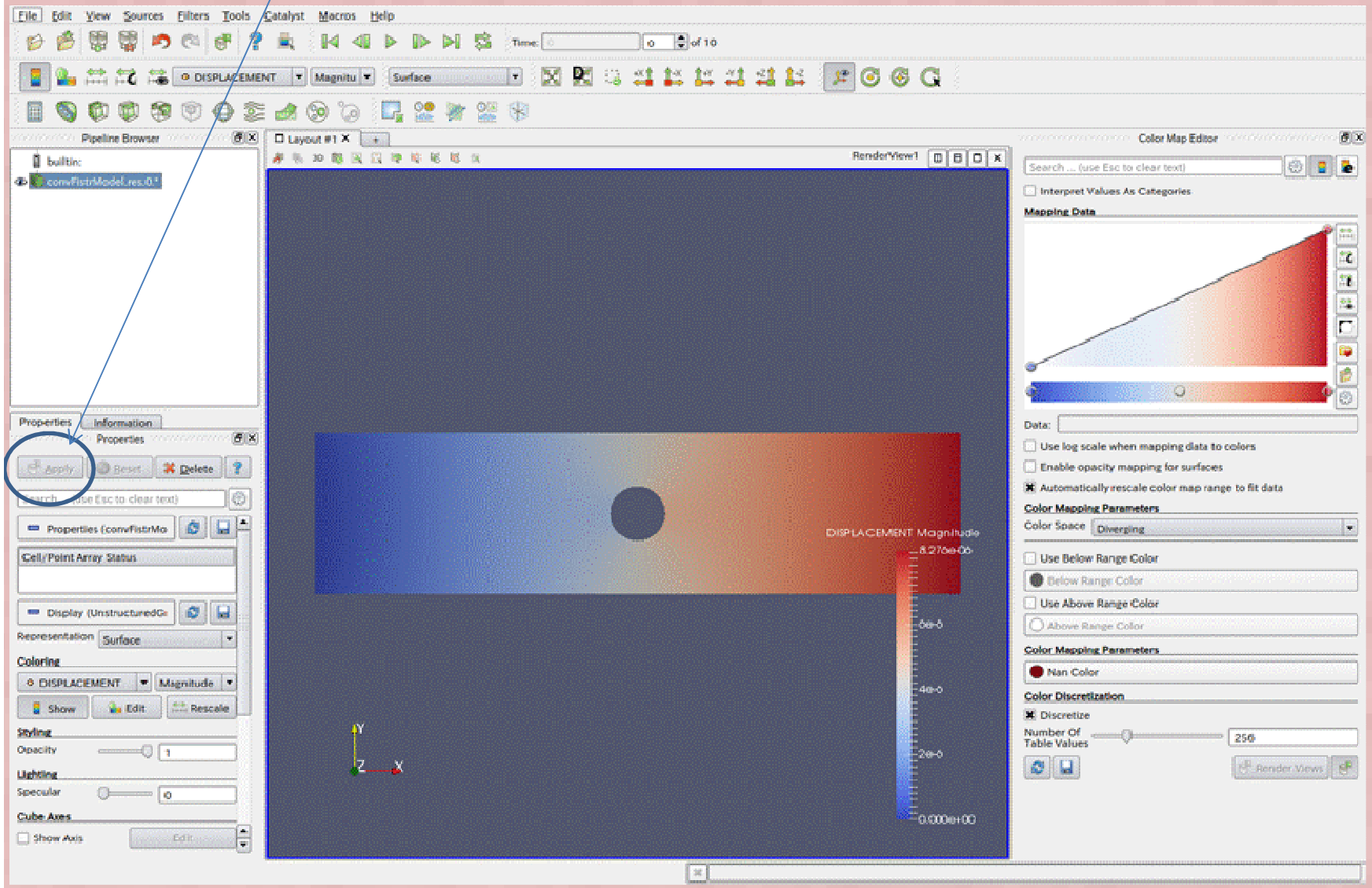
ParaViewの起動その2



- 1)AVS UCD形式を選択
- 2)OKを押す

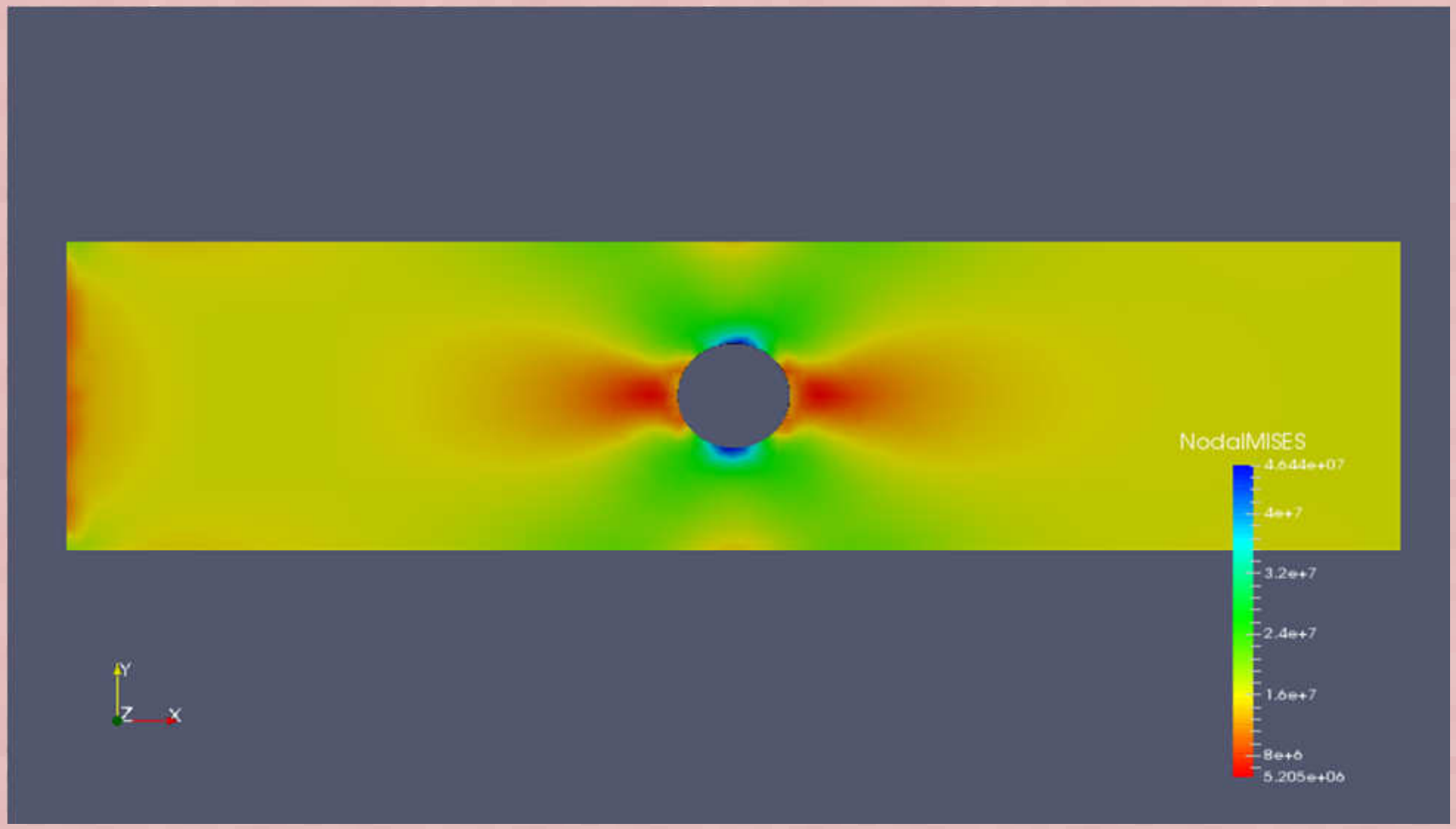
ParaView結果処理

Apply を押すと下記画面が表示される。



応力分布図の表示

•NodelMisesを選択するとミーゼス応力分布が表示される。



荷重と変位関係プロット　その１

- ParaViewを使って変位と荷重の関係をPlotする(FrontISTRにはCodeAsterのように時刻歴に指定した節点Groupの変位をテキスト出力する便利な機能はありません！)
- また結果ファイルには変位と時間の関係しか出力されていないので、一旦時間と変位の関係をParaViewからテキスト出力して、これをLibreoffice-Calcなどで編集して荷重と変位の関係に変換する必要がある。

荷重と変位関係プロット　その2

- FistrModel.mshをEasyISTRなどで開き、テキスト編集モードにする。ファイルの最後の方に節点Group名をつけたNgroupの定義部分があるのでこれの中からGroup名 point_1, point_2 の節点Group名(Ngroup)を見つける

・それぞれpoint_1, point_2 の節点番号をメモします。

・ParaViewのPoint番号はNode 番号と必ずしも対応しないので厄介なのですが、連番になっていれば**Node 番号– 1** になっています

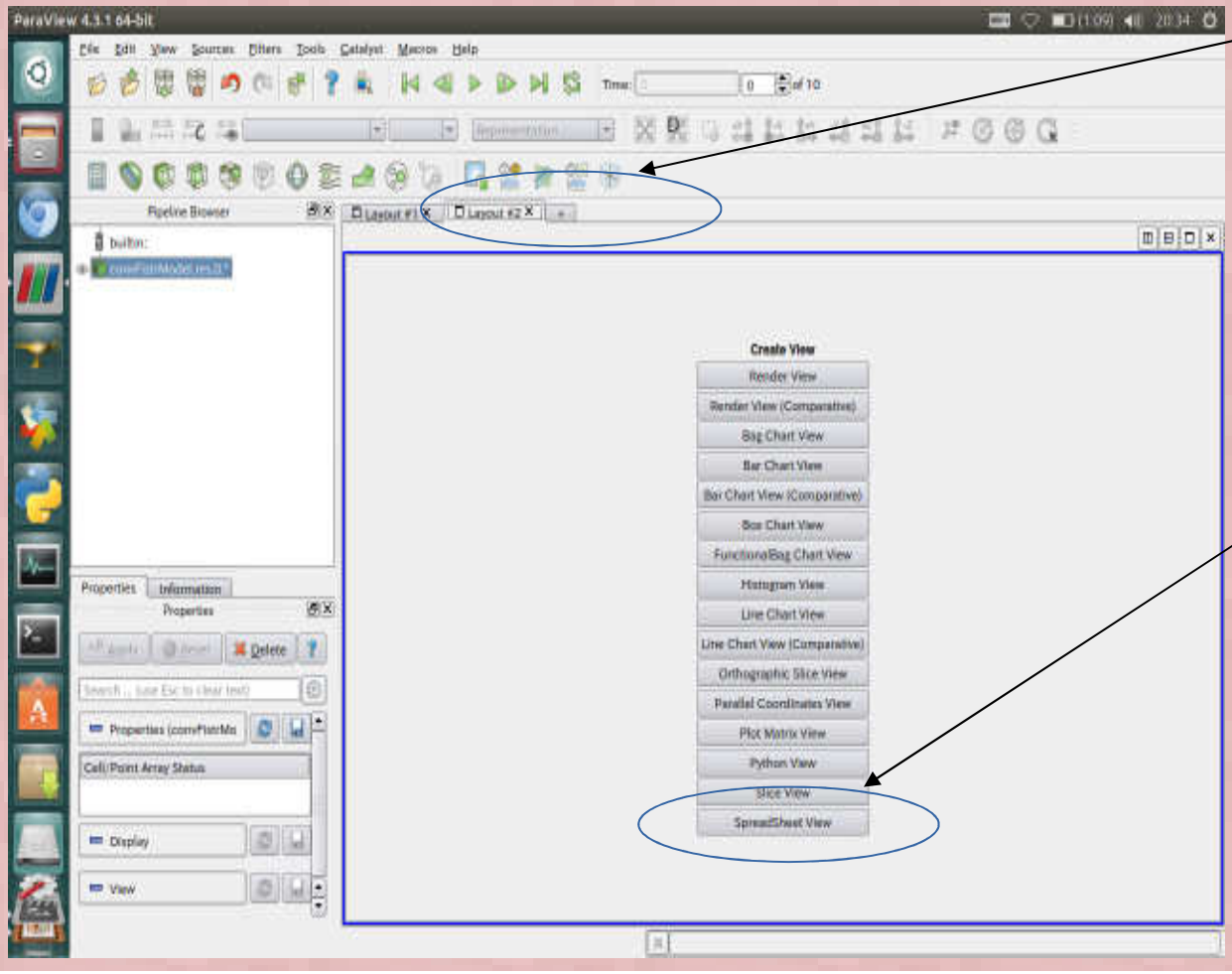
```
!NGROUP, NGRP=load
21, 22, 23, 24, 27, 28, 567, 568,
803, 804, 805, 806, 807, 808
!NGROUP, NGRP=point_1
3
!NGROUP, NGRP=point_2
15
!END
```

Point_1 = Node 3
→　ParaViewではPoint2

Point_2 = Node 15
→　ParaViewではPoint14

荷重と変位関係プロット　その3

- ParaView新規Layoutを開いてSpreadSheet Viewを起動する



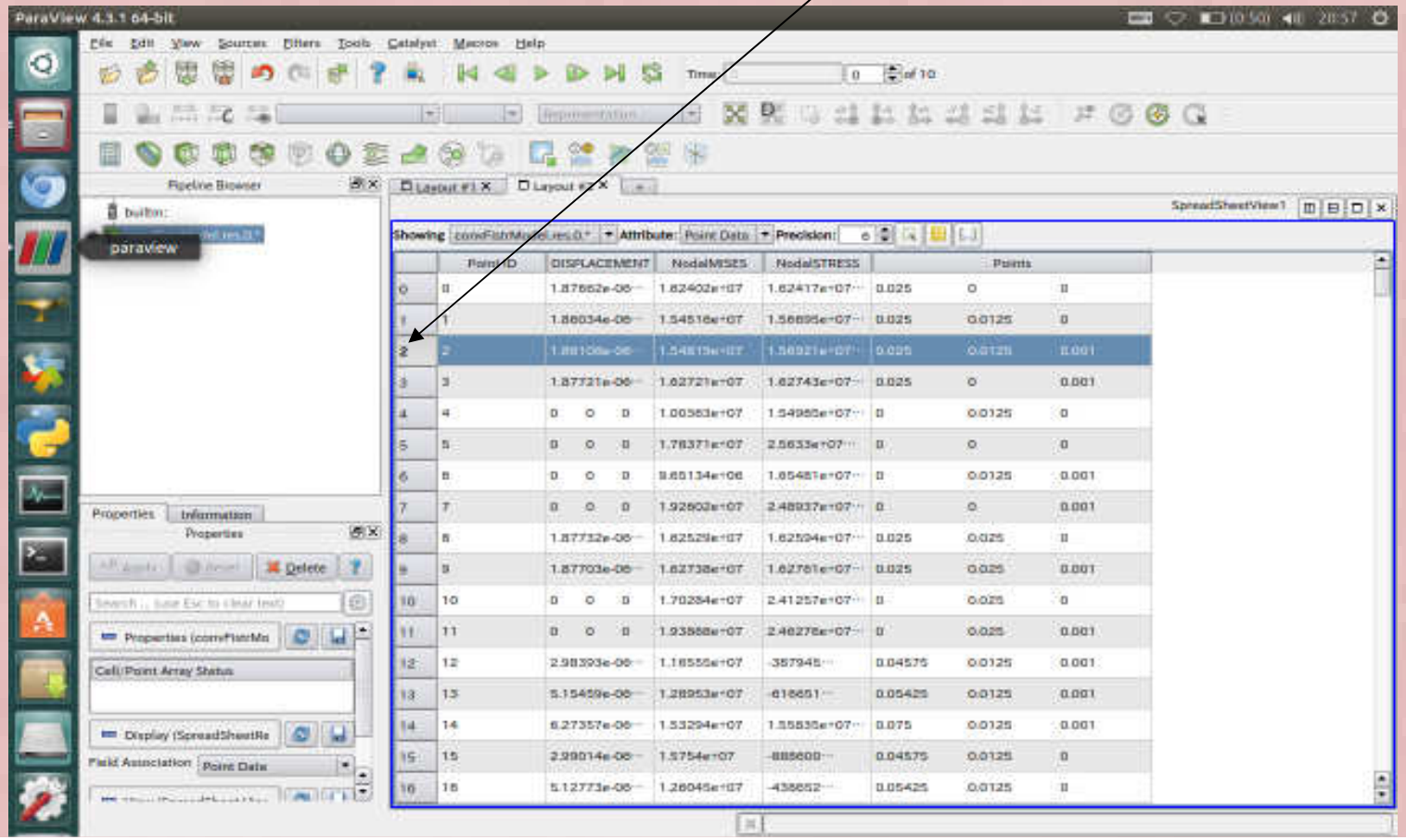
１）新規Layout(+マークをクリックする)

２）Spread Sheet Viewを選択する

荷重と変位関係プロット　その4

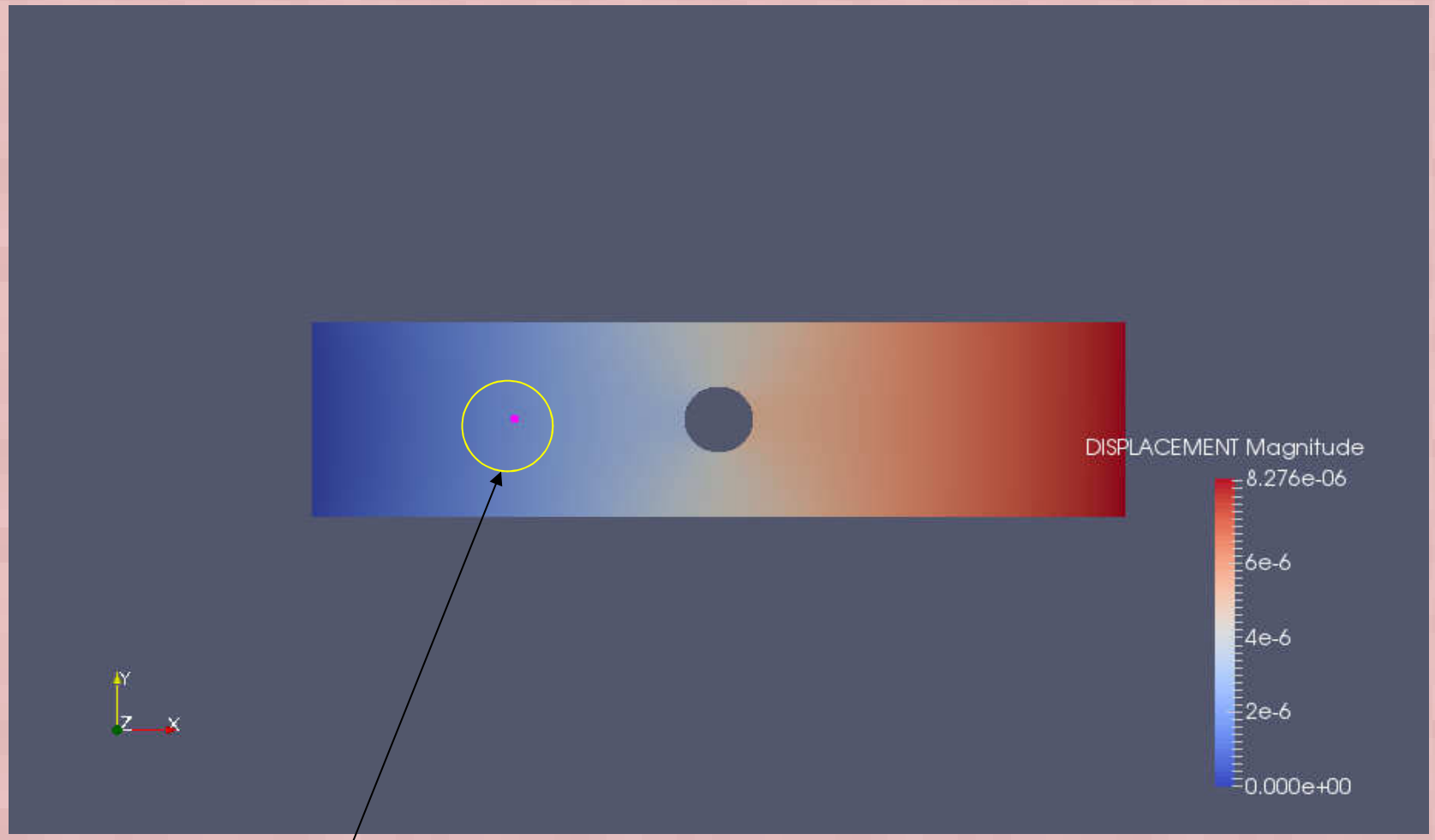
•Spread Sheet 上で先ほどメモしたNode番号– 1 （例えばPoint_1=Node 3ではPoint2 を選択)

Spread Sheet 上のPoint 2 を選択します（行ごと選択)



荷重と変位関係プロット　その5

そのまま Layout 1 に切り替えて、Point_1 の場所がハイライト選択されているかを画面で確認する

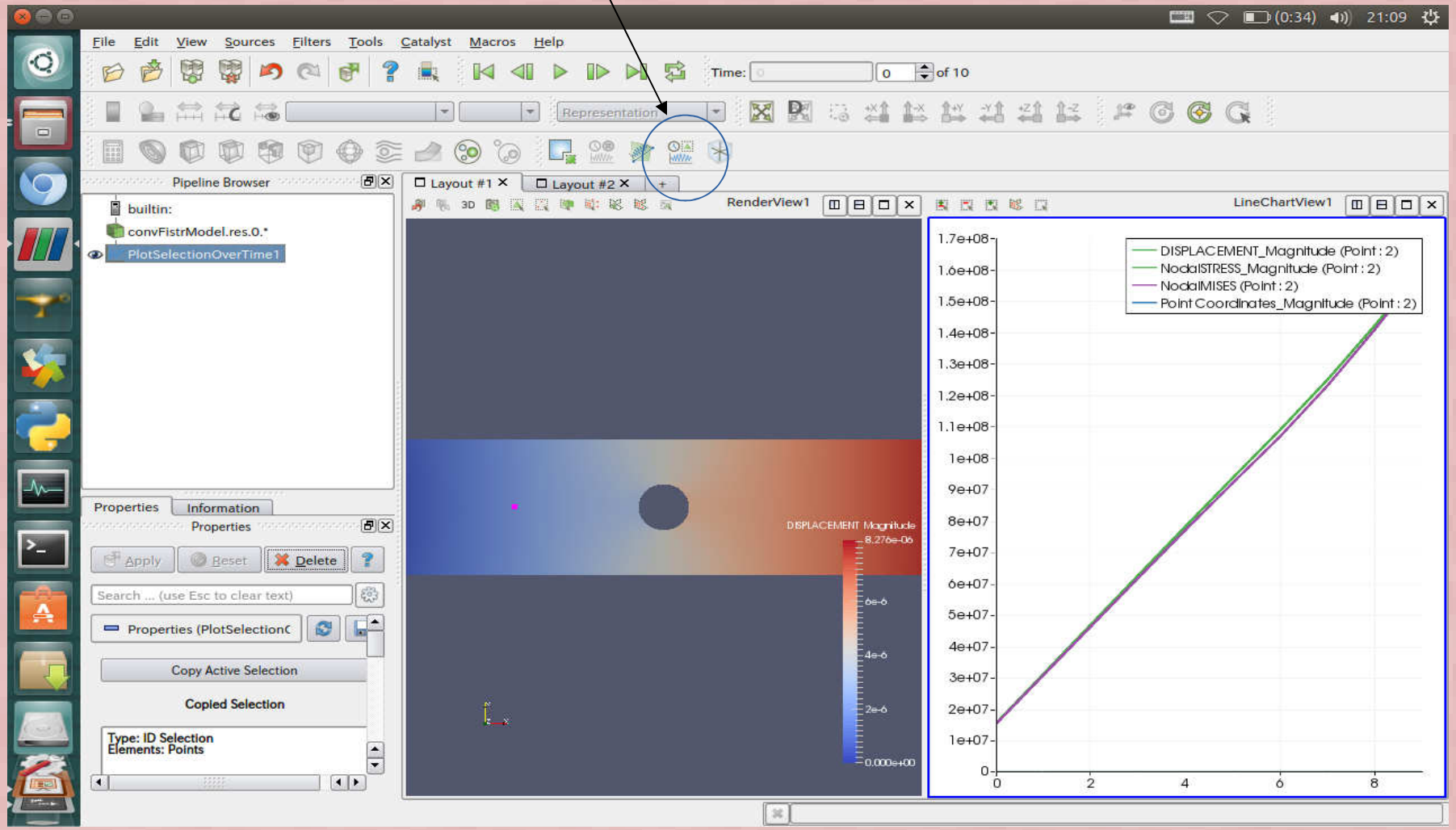


Point 1 が選択されているかを確認する

荷重と変位関係プロット　その6

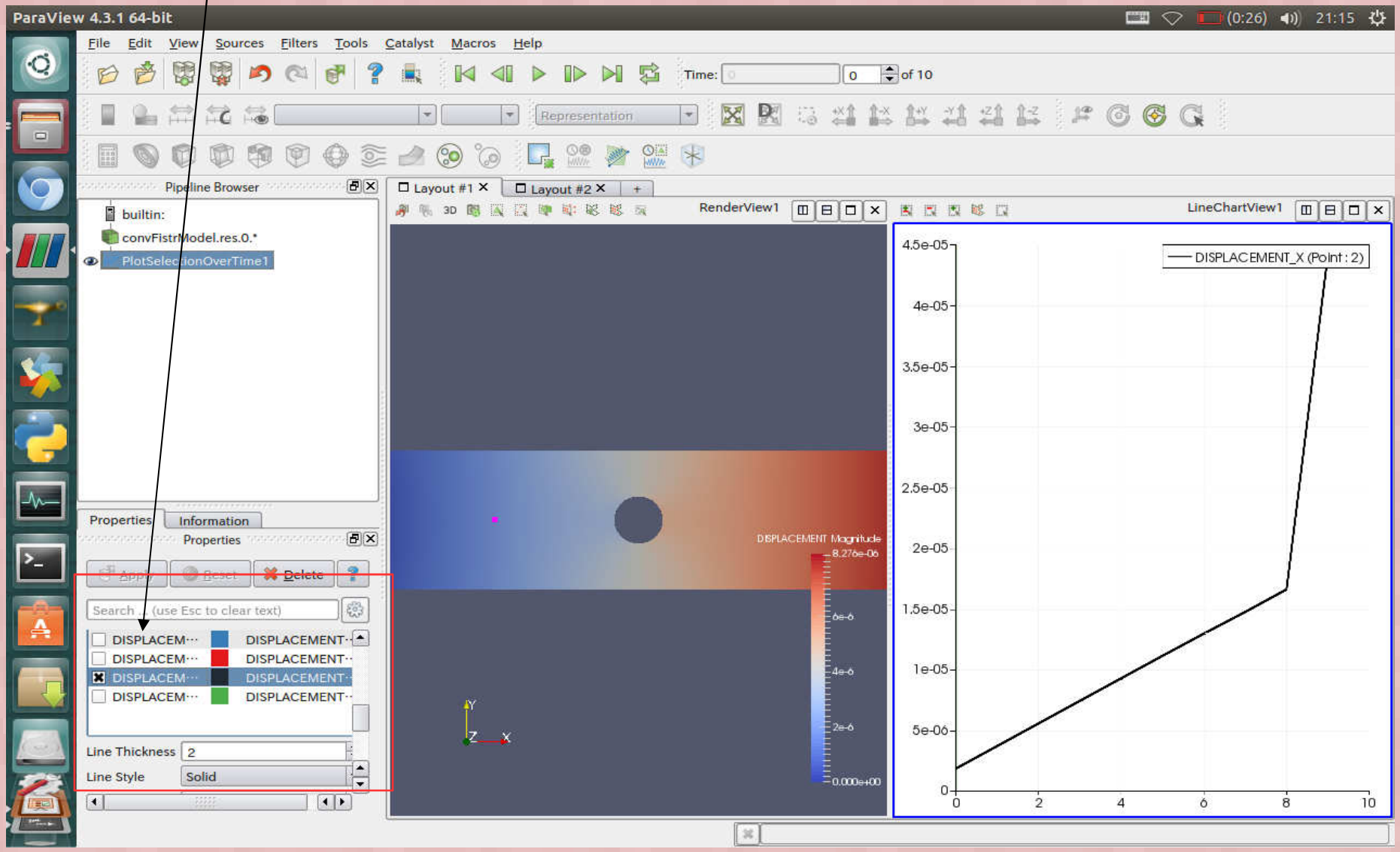
そのままの画面で　Plot Selection Over Time を選択する

新規Graph画面が横に現れる



荷重と変位関係プロット　その7

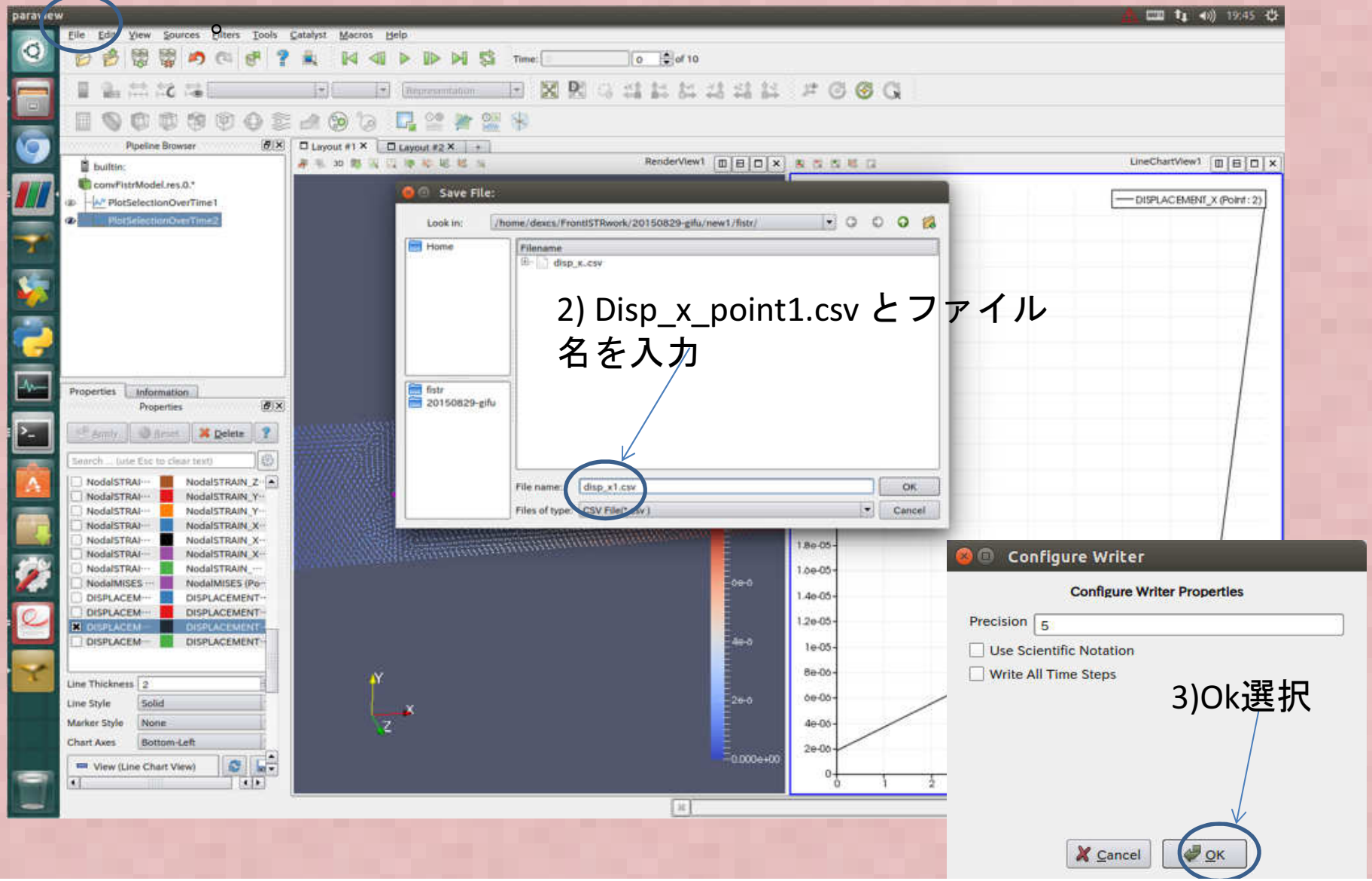
Properties 画面にてDisplacemen Xだけを選択しなおして
他はチェックを外す



荷重と変位関係プロット　その8

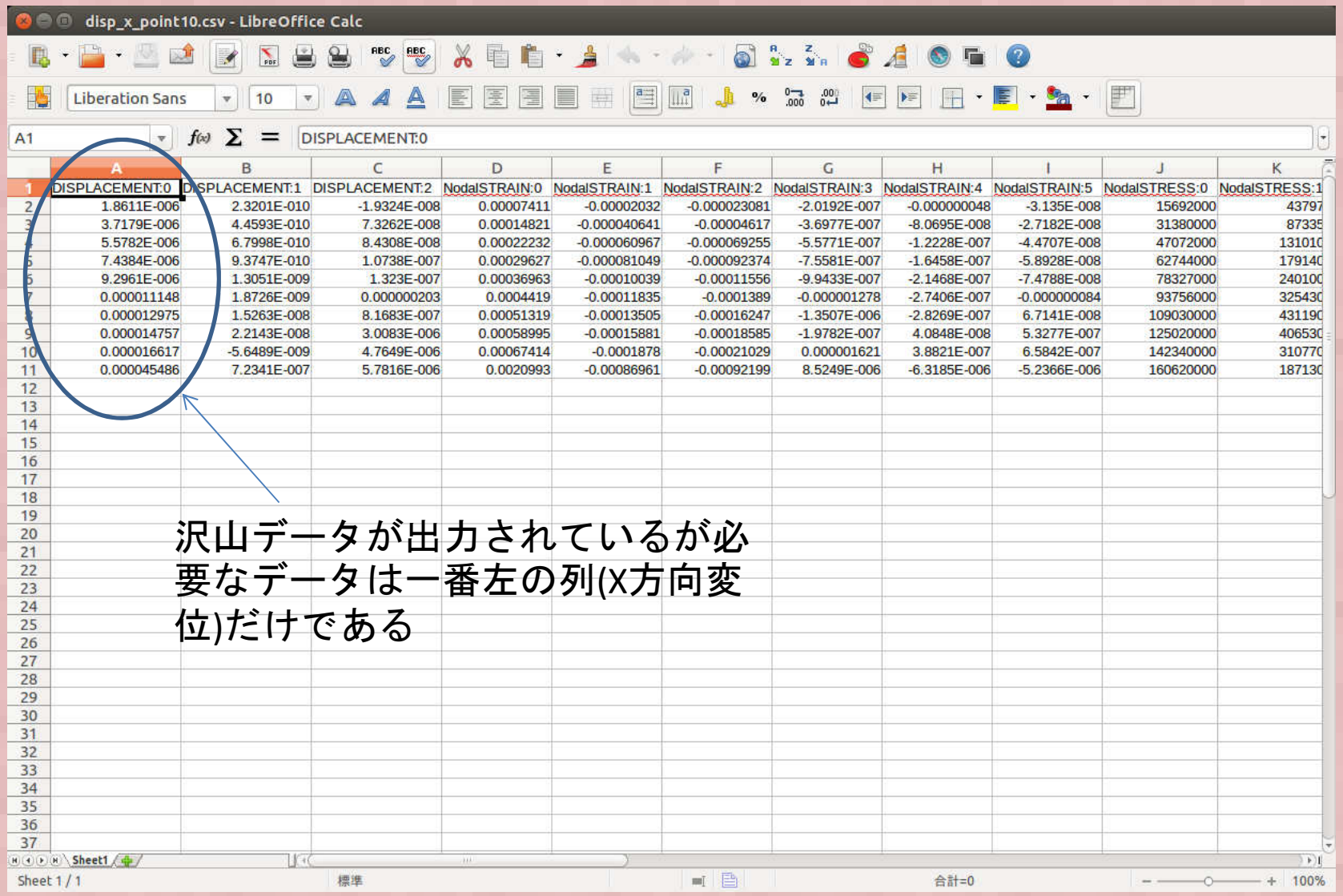
1）File
の
Save Data

Fileメニューの Save Data を選択し、CSV形式で保存する。
名前は何でも良いが、例えば”disp_x_point1.csv”とかで保存する



荷重と変位関係プロット　その9

出力したcsvファイルをダブルクリックしてLibreOffice-Calcで開く



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	DISPLACEMENT:0	DISPLACEMENT:1	DISPLACEMENT:2	NodalSTRAIN:0	NodalSTRAIN:1	NodalSTRAIN:2	NodalSTRAIN:3	NodalSTRAIN:4	NodalSTRAIN:5	NodalSTRESS:0	NodalSTRESS:1
2	1.8611E-006	2.3201E-010	-1.9324E-008	0.00007411	-0.00002032	-0.000023081	-2.0192E-007	-0.000000048	-3.135E-008	15692000	43797
3	3.7179E-006	4.4593E-010	7.3262E-008	0.00014821	-0.000040641	-0.00004617	-3.6977E-007	-8.0695E-008	-2.7182E-008	31380000	87335
4	5.5782E-006	6.7998E-010	8.4308E-008	0.00022232	-0.000060967	-0.000069255	-5.5771E-007	-1.2228E-007	-4.4707E-008	47072000	131010
5	7.4384E-006	9.3747E-010	1.0738E-007	0.00029627	-0.000081049	-0.000092374	-7.5581E-007	-1.6458E-007	-5.8928E-008	62744000	179140
6	9.2961E-006	1.3051E-009	1.323E-007	0.00036963	-0.00010039	-0.00011556	-9.9433E-007	-2.1468E-007	-7.4788E-008	78327000	240100
7	0.000011148	1.8726E-009	0.000000203	0.0004419	-0.00011835	-0.0001389	-0.000001278	-2.7406E-007	-0.000000084	93756000	325430
8	0.000012975	1.5263E-008	8.1683E-007	0.00051319	-0.00013505	-0.00016247	-1.3507E-006	-2.8269E-007	6.7141E-008	109030000	431190
9	0.000014757	2.2143E-008	3.0083E-006	0.00058995	-0.00015881	-0.00018585	-1.9782E-007	4.0848E-008	5.3277E-007	125020000	406530
10	0.000016617	-5.6489E-009	4.7649E-006	0.00067414	-0.0001878	-0.00021029	0.000001621	3.8821E-007	6.5842E-007	142340000	310770
11	0.000045486	7.2341E-007	5.7816E-006	0.0020993	-0.00086961	-0.00092199	8.5249E-006	-6.3185E-006	-5.2366E-006	160620000	187130

沢山データが出力されているが必要なデータは一番左の列(X方向変位)だけである

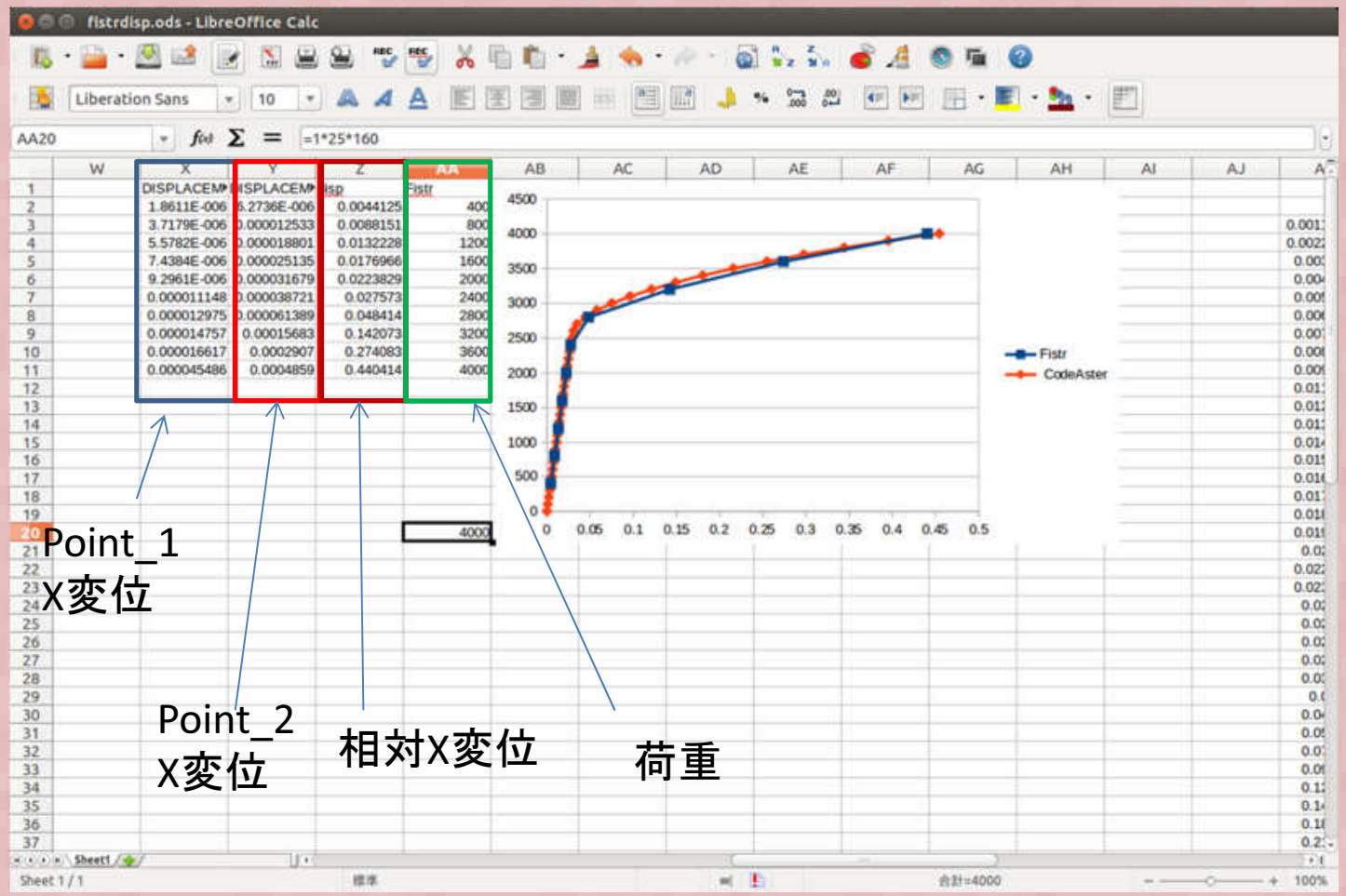
荷重と変位関係プロット　その10

- 同様にPOINT_2(についてもCSVデータを出力する。
- 2つのCSVをCalcで同時に開いて以下を操作
- POINT_2のX方向変位とPOINT_1のX方向変位の差分が標点間の相対変位になるのでPOINT_2のX方向変位からPOINT_1のX方向変位を引いた列を作成する
- 最終全荷重は圧力×断面積＝160MPa×1mm×25mm＝4000N
- 時間STEPは10STEPに分割しているので、各STEPでの荷重は4000N×STEP数×(1/10) で計算できる

→ 例) STEP1=400N, STEP2=800N, ・・・, STEP10=4000N

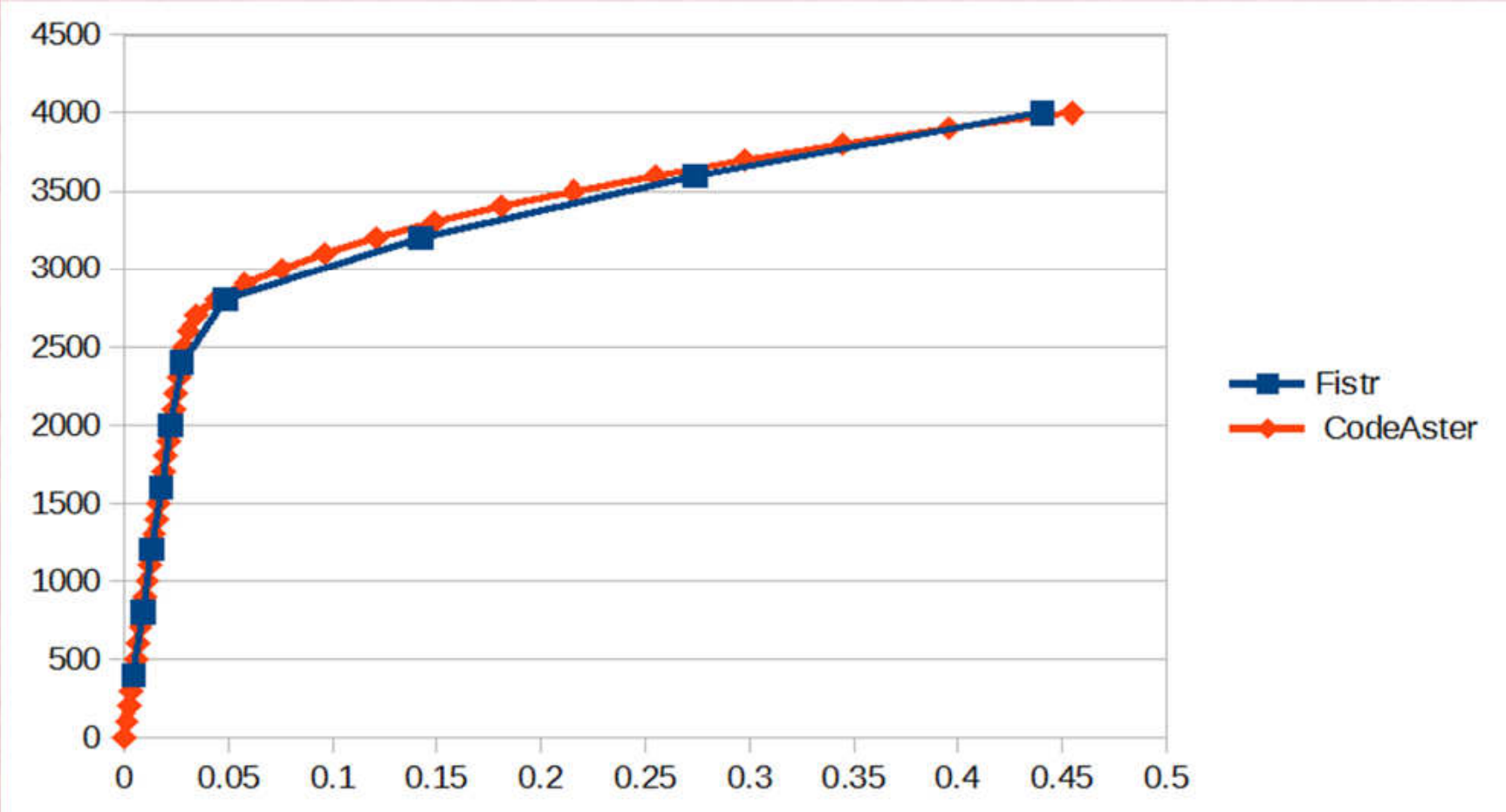
荷重と変位関係プロット　その11

- 以上のデータから下記のような相対変位と荷重の曲線関係から以下のグラフをPLOTできる
- 参考のため、CodeAsterの荷重変位曲線を重ねてPlotしている。



荷重と変位関係プロット　その12

- 以上にて弾塑性解析①の演習は完了
- FistrはCodeAsterと比べて出力が粗いがこれはstep分割が粗いため



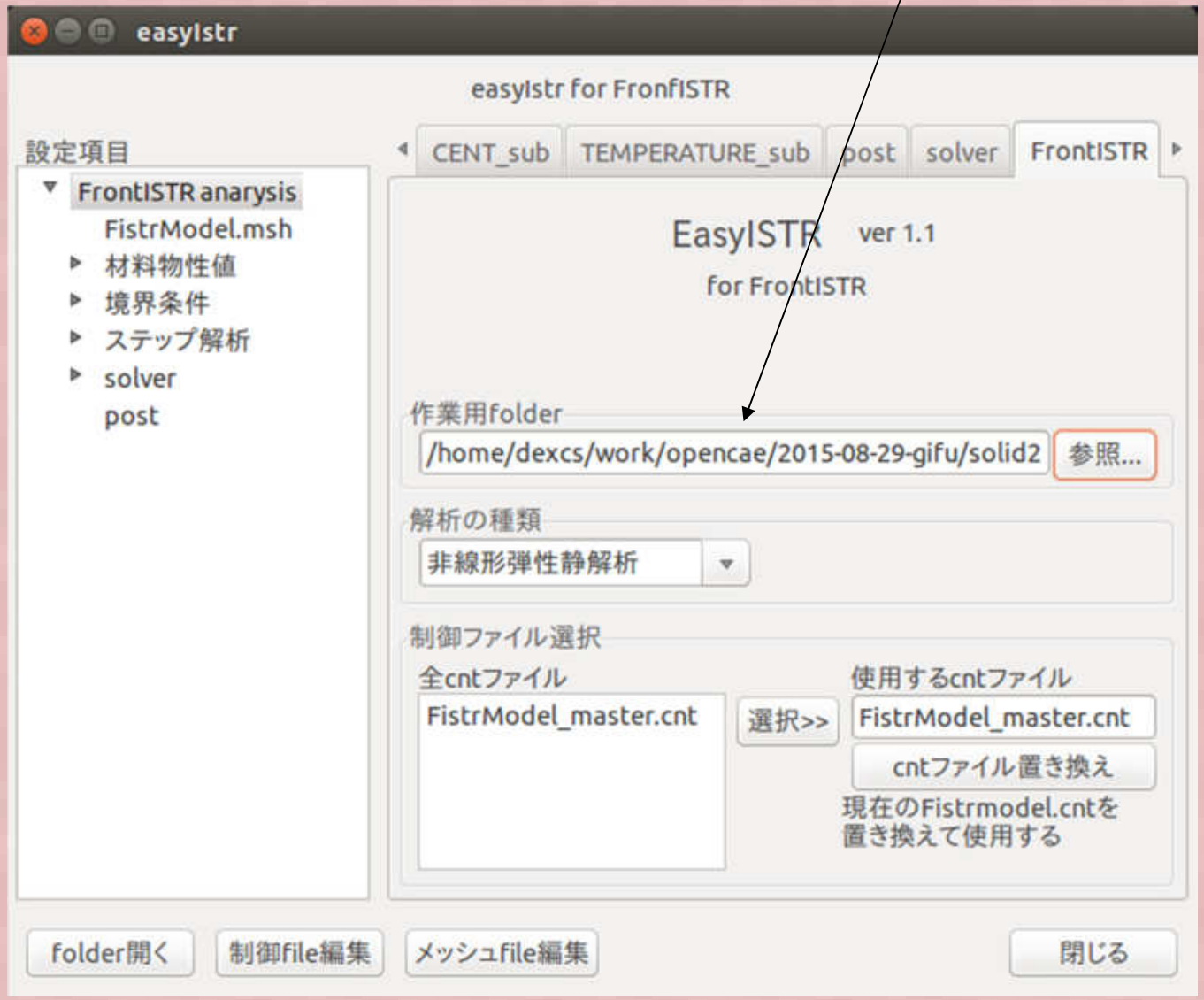
弾塑性解析その２①

次に塑性モデルを二直線モデルから多直線近似モデルに置き換える。

・弾塑性解析①にて演習を行ったモデルを利用して演習を行う。
・別にフォルダを作成する。例えば”solid2”
・新規に作成した”solid2”フォルダに”FistrModel.cnt”,
“FistrModel.msh”, “hecmw_ctrl.dat”の3つのファイルをコピーする。
・EasyISTRを再起動し、フォルダにsolid2を指定する

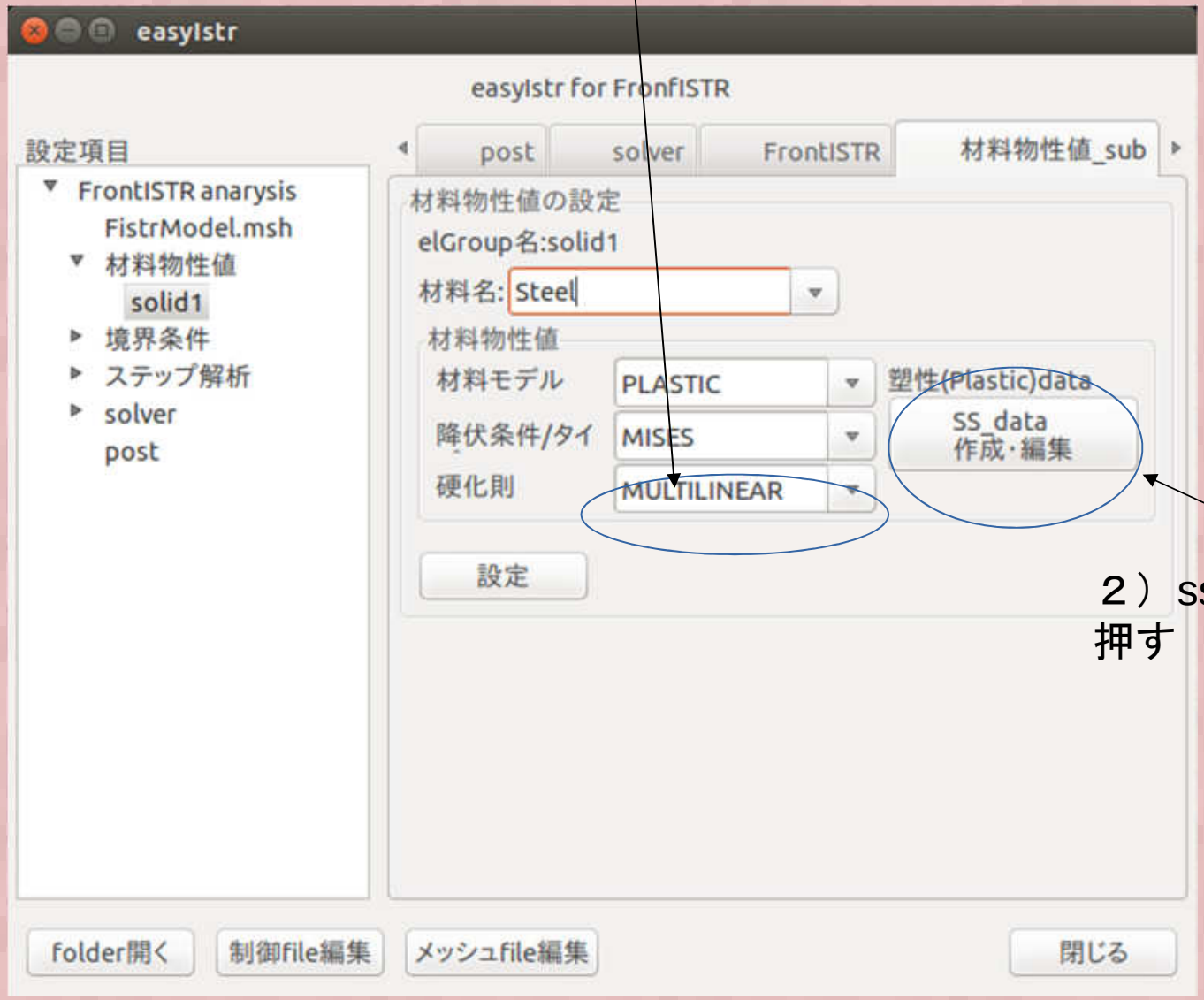
弾塑性解析その２②

EasyISTRを再起動しフォルダにsolid2を指定する



弾塑性解析その２③

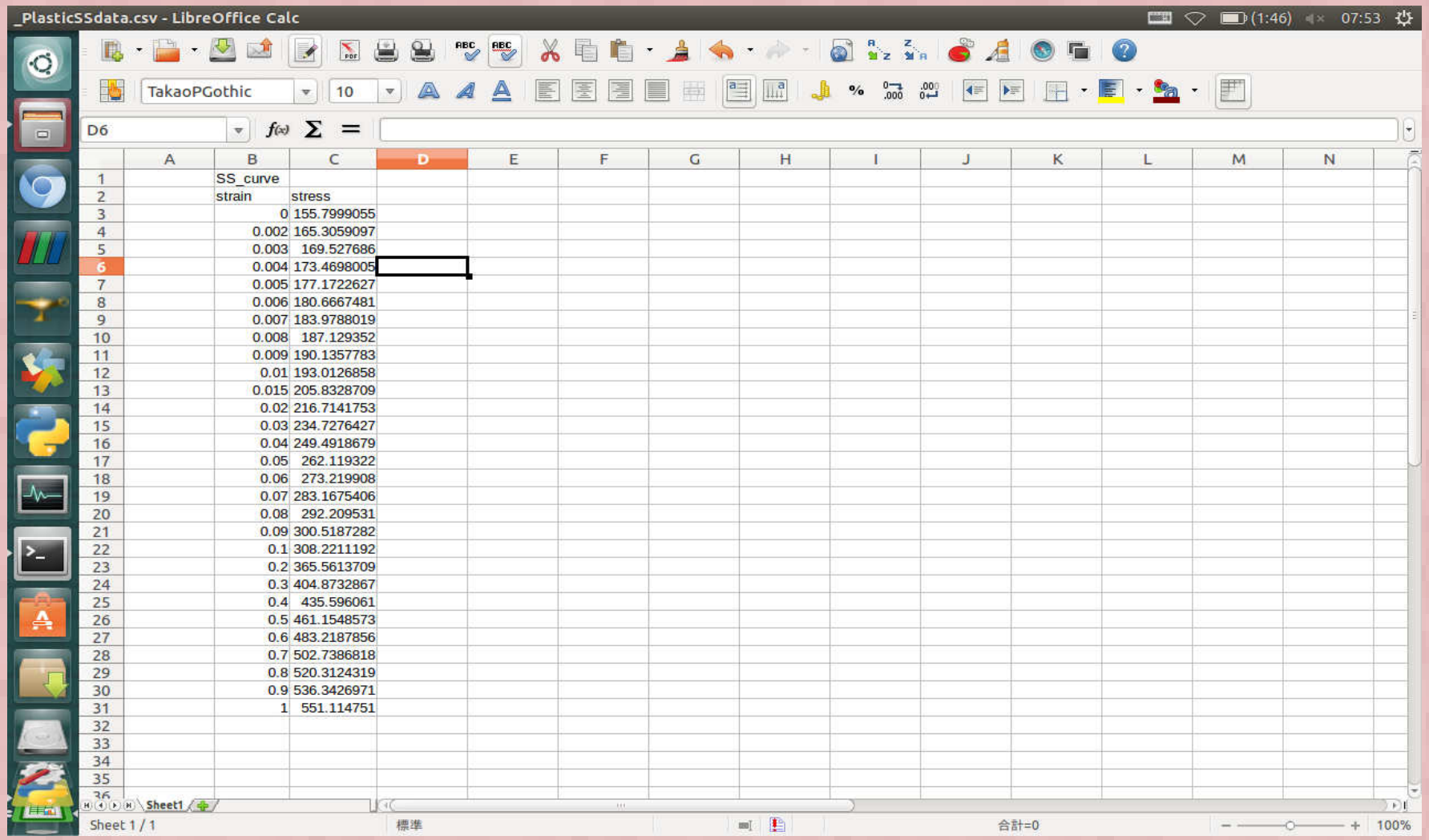
１）塑性材料の指定画面にて　硬化則　MULTILINEAR選択



２）ss_data作成・編集を押す

弾塑性解析その２④

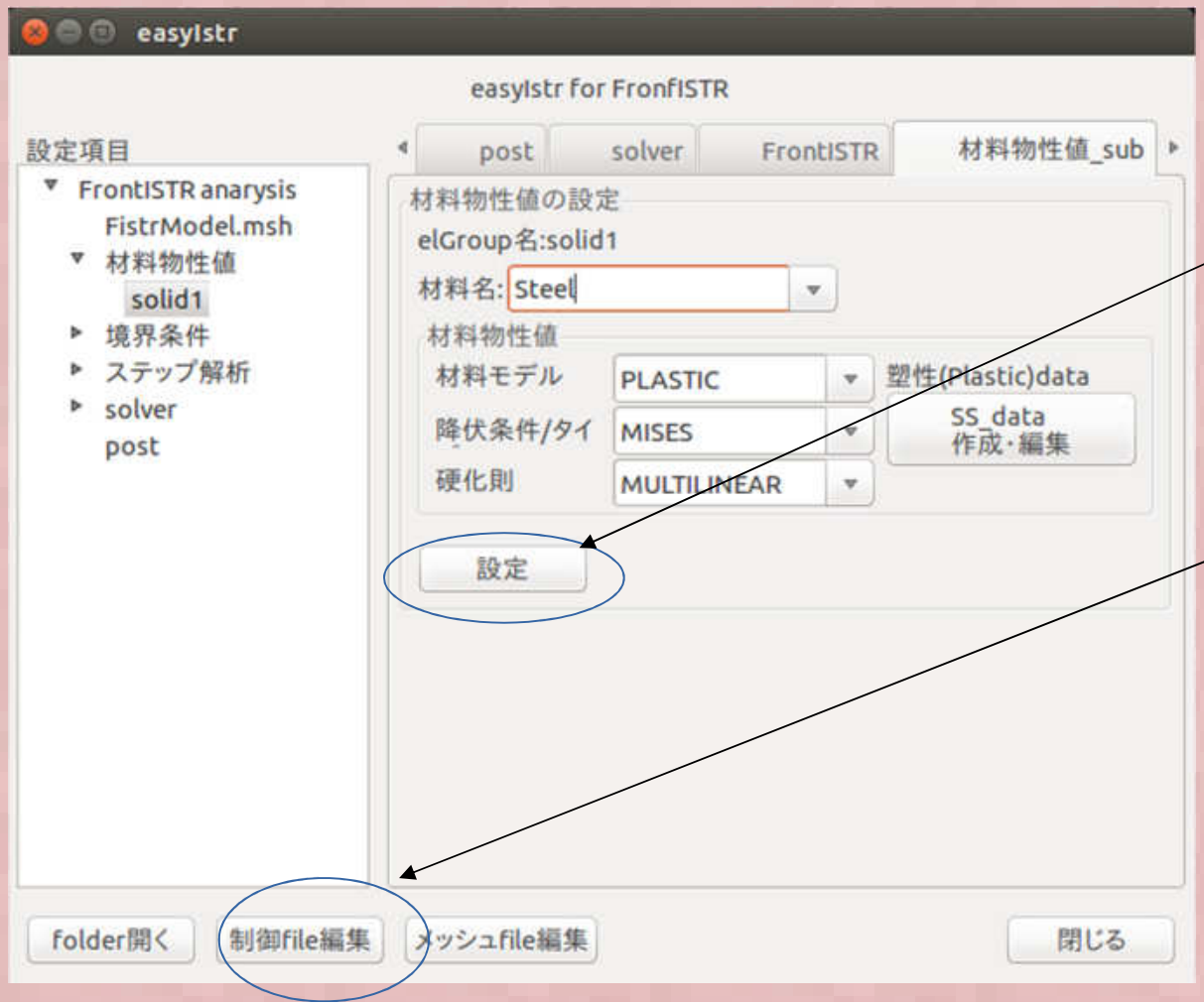
塑性ひずみ-真応力線図を提供すみ別ファイルSS-DATA.xlsから張りつける



	A	B	C
1		SS_curve	
2		strain	stress
3		0	155.7999055
4		0.002	165.3059097
5		0.003	169.527686
6		0.004	173.4698005
7		0.005	177.1722627
8		0.006	180.6667481
9		0.007	183.9788019
10		0.008	187.129352
11		0.009	190.1357783
12		0.01	193.0126858
13		0.015	205.8328709
14		0.02	216.7141753
15		0.03	234.7276427
16		0.04	249.4918679
17		0.05	262.119322
18		0.06	273.219908
19		0.07	283.1675406
20		0.08	292.209531
21		0.09	300.5187282
22		0.1	308.2211192
23		0.2	365.5613709
24		0.3	404.8732867
25		0.4	435.596061
26		0.5	461.1548573
27		0.6	483.2187856
28		0.7	502.7386818
29		0.8	520.3124319
30		0.9	536.3426971
31		1	551.114751

弾塑性解析その２⑤

・終わったLibre-office-Calcを保存して終了



１）設定を押す

２）制御ファイルの編集を押し、CNTファイルを開き応力ひずみ線図が正しく設定されているか確認する

弾塑性解析その２⑥

FistrModel.cnt (~/work/opencae/2015-08-29-gifu/solid2) - gedit

開く　保存　元に戻す

FistrModel.cnt　hecmw_ctrl.dat

```
############
!MATERIAL, NAME=Steel
!ELASTIC, TYPE=ISOTROPIC
2.10E+11, 0.30
!DENSITY
7860
!EXPANSION_COEFF, DEPENDENCIES=0
0.000012
!PLASTIC, YIELD=MISES, HARDEN=MULTILINEAR
155799905.4536, 0
165305909.6501, 0.002
169527685.9941, 0.003
173469800.5227, 0.004
177172262.6508, 0.005
180666748.0654, 0.006
183978801.8735, 0.007
187129352.0034, 0.008
190135778.2529, 0.009
193012685.8147, 0.01
205832870.8676, 0.015
216714175.2594, 0.02
234727642.7332, 0.03
```

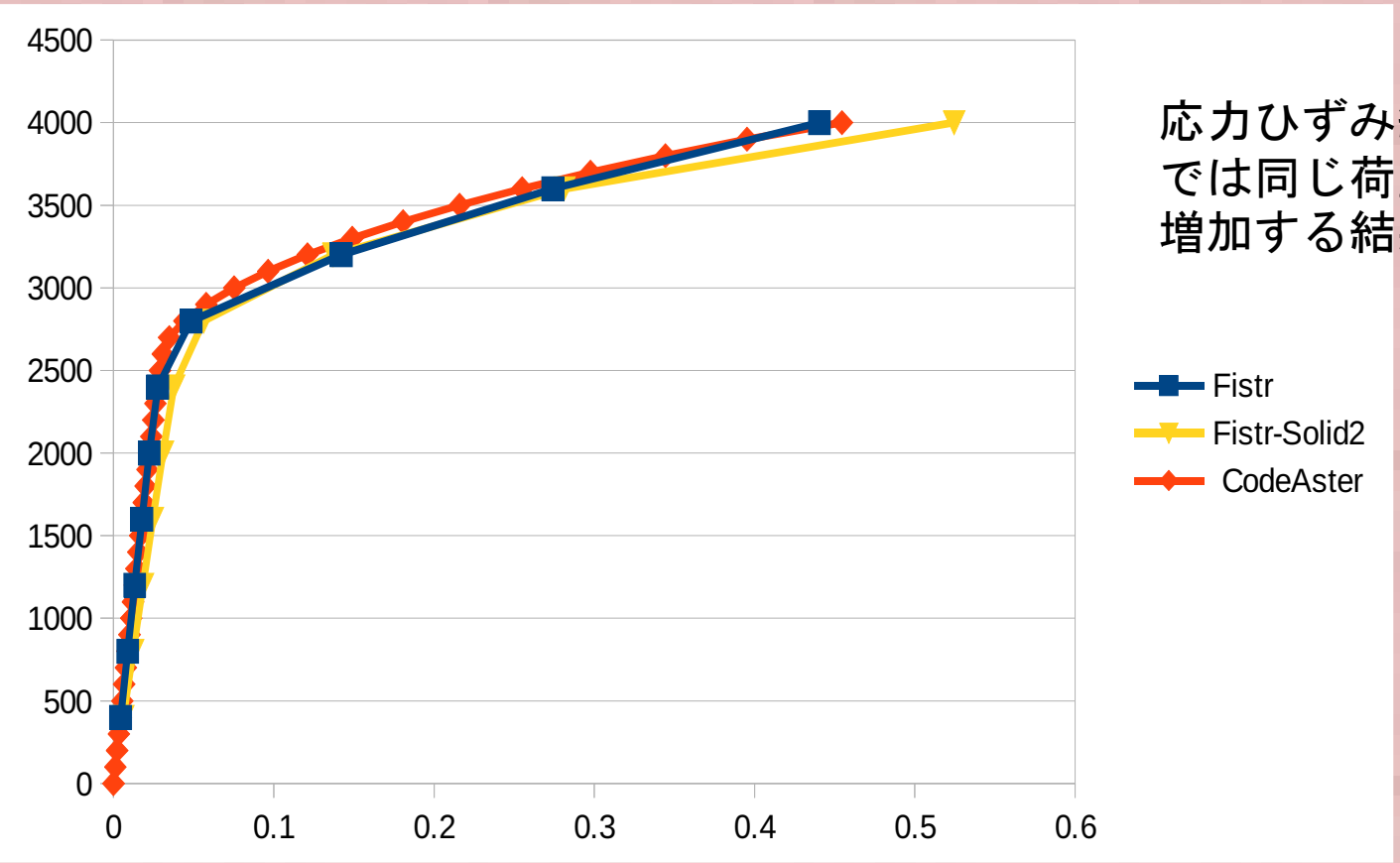
Matlab　タブ幅: 8　(66行、8列)　[挿入]

応力ひずみ線図のデータが
挿入されていることを確認

データが正しいことを確認し
たらコマンドラインか、
EasyISTRから
FrontISTRコマンドを実行

弾塑性解析その２⑦

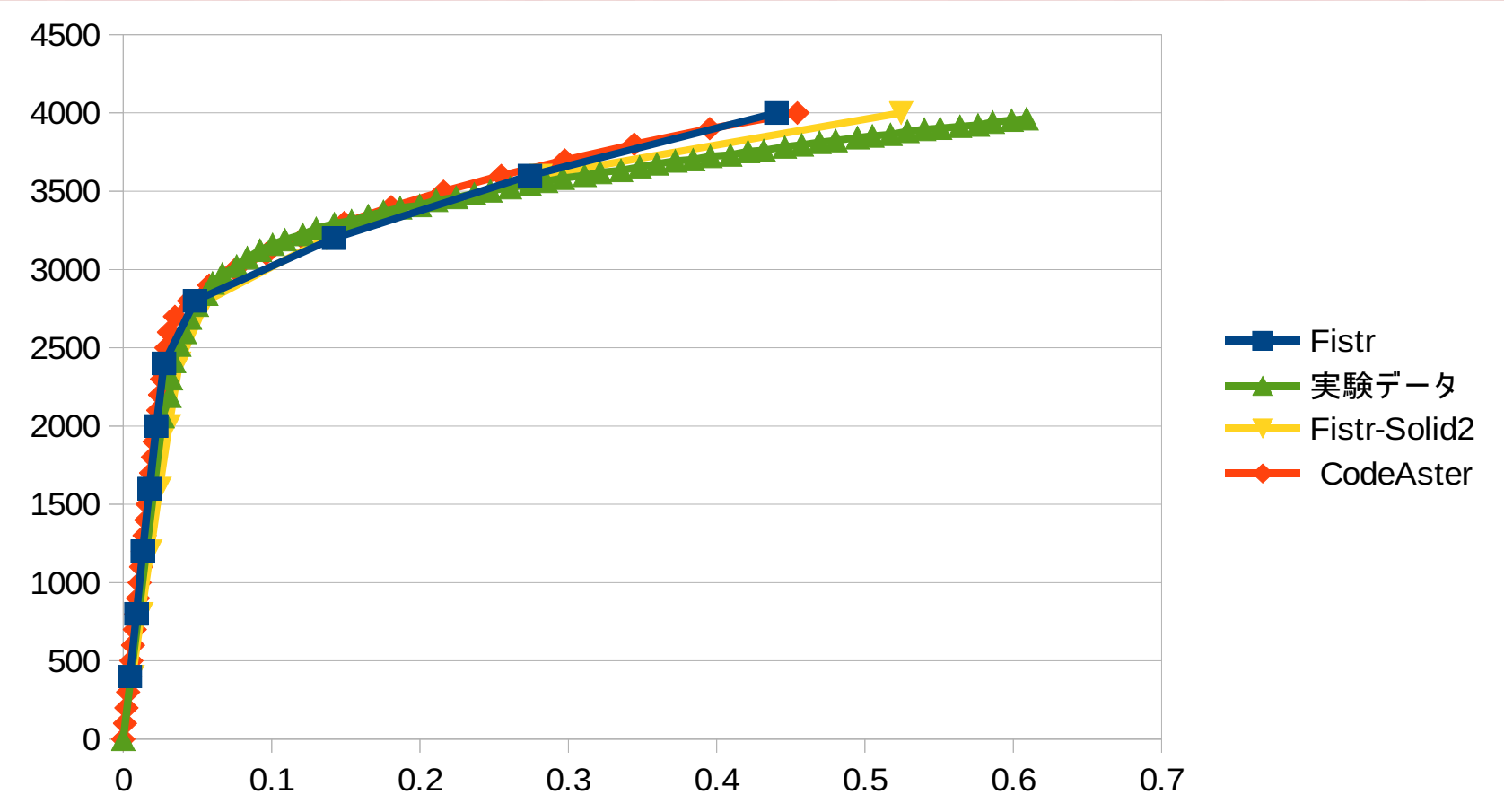
以下弾塑性解析１と同様にPOST処理し、荷重と変位の関係を結果処理してPlotする。



応力ひずみ線図を用いた解析では同じ荷重に対して変位が増加する結果となった。

弾塑性解析その２⑧

実験データと比較するとその2の方が実験データに近い結果となっていることが確認できた。



クリープ・粘弾性解析

- クリープ・粘弾性解析では弾性・弾塑性解析と異なり、荷重負荷時間や経過時間の影響が現れる点が異なる。
- 代表的な現象にクリープ・応力緩和がある
- クリープ：一定荷重を負荷して一定時間保持しておくと変位が増加していく現象

- 応力緩和：一定変位で保持状態を保っていると応力が時間とともに低下して行く現象

→ この続きは別資料にて提供予定