

OpenFOAM構造解析 ソルバの検証+

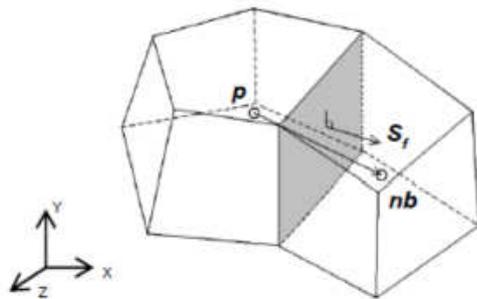
SH

Agenda

- OpenFOAM構造解析ソルバの検証抜粋
(by E.Nomura様)
- 有限体積法の構造解析問題への応用
- FOAM-extend4.0 版のインストール
- FOAM-extend4.0 :elasticNonlinerULfoamと
FEM結果との比較

有限体積法 (FVM)

- 有限要素法・差分法と違うのか？
→ 定式化が違います！ただ結果的に同じ代数方程式(連立方程式)問題に帰着することがある。
- ペンギンさんFN365さん等資料を参照ください。
- 有限体積法はコントロールボリューム＝セル(FEMでの要素)に出入りする収支が保存されるように定式化→ 質量保存/運動量保存法則



差分法: 微分方程式を直接差分近似
強形式: Strong form)
有限要素法: 弱形式(weak form)

FVMと非構造メッシュの線形弾性方程式への応用

- 原著論文:2000年～
INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING
Int. J. Numer. Meth. Engng. 2000
- Application of the finite volume method and unstructured meshes to linear elasticity
- H. Jasak¹; and H. G. Weller²

INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL METHODS IN ENGINEERING
Int. J. Numer. Meth. Engng. 2000; 48:267-287

Application of the finite volume method and unstructured meshes to linear elasticity

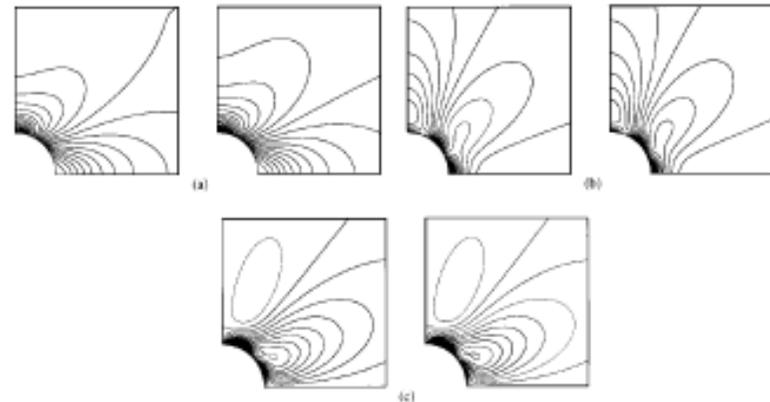
H. Jasak^{1,*†} and H. G. Weller²

¹ Computational Dynamics Ltd, Hythe House, 200 Shepherds Bush Road, London W6 7NY, U.K.

² Department of Mechanical Engineering, Imperial College of Science, Technology and Medicine, Exhibition Road, London SW7 2BX, U.K.

SUMMARY

A recent emergence of the finite volume method (FVM) in structural analysis promises a viable alternative to the well-established finite element solvers. In this paper, the linear stress analysis problem is discretized using the practices usually associated with the FVM in fluid flows. These include the second-order accurate discretization on control volumes of arbitrary polyhedral shape; segregated solution procedure, in which the displacement components are solved consecutively and iterative solvers for the systems of linear algebraic equations. Special attention is given to the optimization of the discretization practice in order to provide rapid convergence for the segregated solution procedure. The solver is set-up to work efficiently on parallel



ext版への非線形解析機能搭載

- Philip Cardiff 他 接触解析(医療関係への応用)→この資料はFVMとFEMの違いや特徴、定式化やOpenFOAMへの実装方法が詳しく書かれており必読！

23rd - 26th June 2014

9th OpenFOAM Workshop
University of Zagreb
Croatia

Nonlinear Solid Mechanics in OpenFOAM

Philip Cardiff

Željko Tuković

Aleksandar Karač

Alojz Ivanković

OpenFOAMで曲げ精度が出ない原因

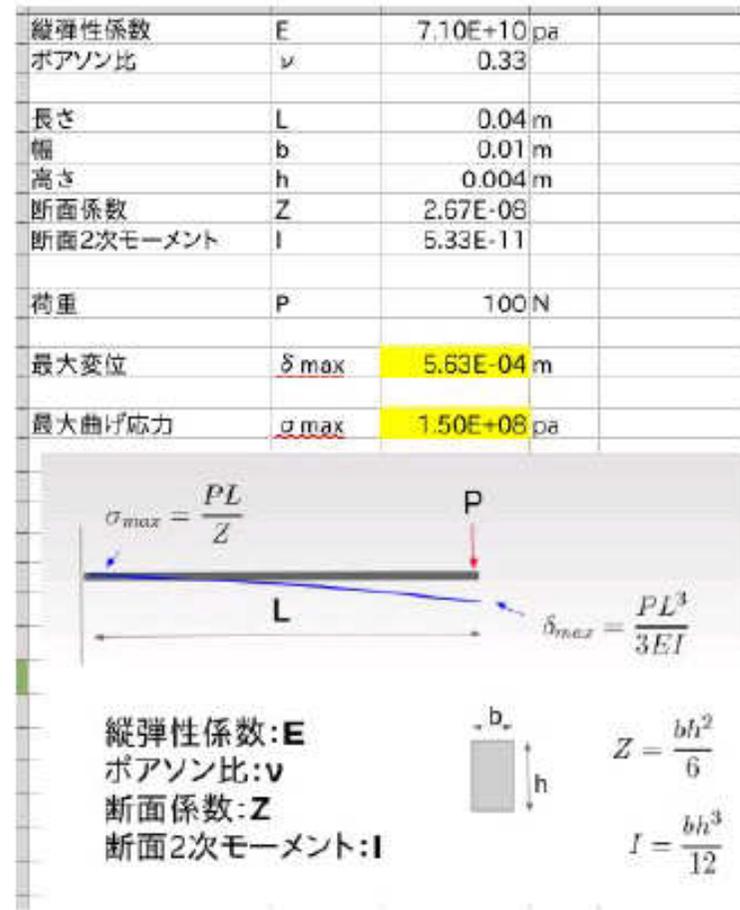
- 野村様のベンチマークで曲げの精度がOpenFOAMで悪かったのは、ある意味当然～
- 曲げ問題でFEMの一次要素を用いた場合に解析精度が極端に悪い問題は昔から有名(せん断ロッキング)
- FEMでは曲げ精度を改善するために特別な要素を用いる方法が複数検討されている。
 - 非適合要素を用いる方法 etc.
- OpenFOAMではこれらの対応がされていないため曲げの精度が悪いと想定される。
- しかしFEMでも同じ精度の古典的な要素を用いた場合は同じく精度が悪いことが想定されるので同じ条件で比較を行ってみる。
- コードの実装検証も時間があれば試みる

解析モデル

- ・モデル: 片持ち梁(先ほどのモデル)
- ・OpenFOAMメッシュ作成 → 同じメッシュでABAQUS / Calculix で計算する

検証その2 (片持ち梁の単純曲げ)

- メッシュ
- 材料物性
- 荷重の種別 (pressure / traction vector)
- 荷重変動速度
- 計算速度、並列性能
- 構造解析ソルバー (FrontISTR, etc) との比較
- その他...



FOAM-extend4.0 版の インストール①

- 野村さんからモデルをもらったが、FOAM-
etx4.0をインストールしていないので、インス
トールを行う。
- ソースからコンパイルするのは時間がかかる
ので、バイナリインストール検討
- バイナリはUbuntu16.0 4版/Windows64bit版
があるが、まず簡単なWindows版をインス
トールした→ 結果×

FOAM-extend4.0 版の インストール②

- SOURCE.FORGEのFOAM-EXTENDのHPからWindows版のバイナリインストールファイルをダウンロードする
- <https://sourceforge.net/projects/foam-extend/files/foam-extend-4.0/foam-extend-4.0-win-x64.zip>
- 上記とは別にParaView, OpenMPI_v1.6.1-x64をダウンロードしてインストールする。
- foam-extend-4.0-win-x64.zip を展開する
- 展開した etcの下にあるfoamWindowsEnvironment.bat ファイルをテキストエディタで開き、以下2行をインストールしたParaView, OpenMPIのインストール先のDirectoryに修正する。

```
set MPI_ROOTDIR=C:¥Program Files (x86)¥OpenMPI_v1.6.1-x64  
set PARAVIEW_HOME=C:¥DEXCS¥ParaView
```

- 同じく etc のフォルダにある foamWindowsShell.bat ファイルをダブルクリックすると端末画面 (DOS 画面) が起動する

FOAM-extend4.0 版の インストール③

- stressFEMの例題を実行する: 実行方法はLinux 版とだいたい同じだがそのままだと動かないこともある。

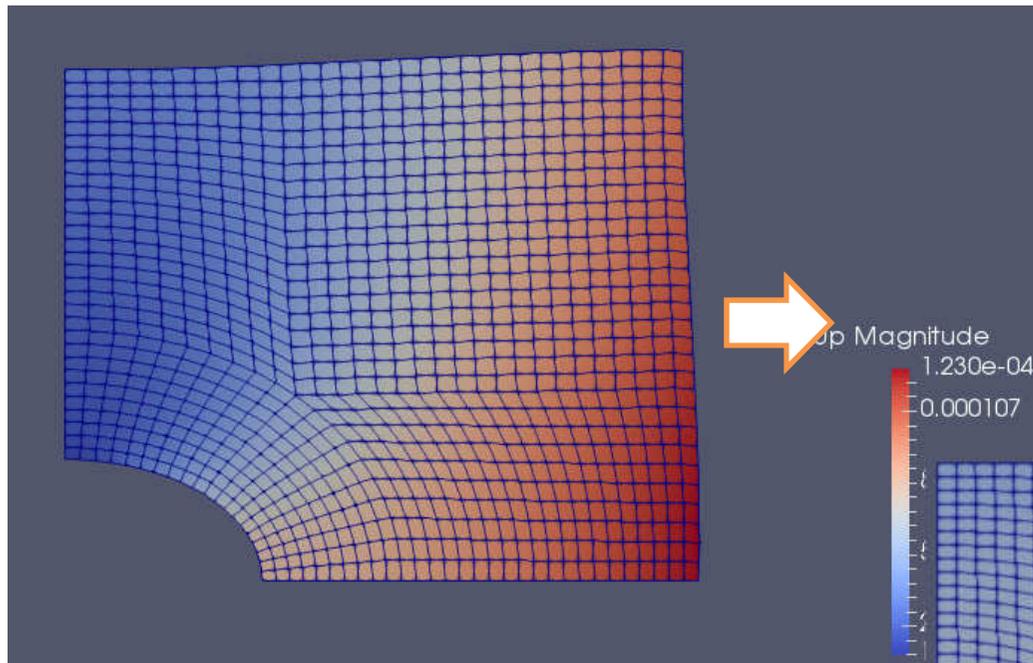
blockMesh / stressFemFoam

```
C:\workspace\foam\foam\bin> blockMesh
Block 0 wall size:
  0.000000 0.000000
  0.000000 0.000000
  0.000000 0.000000
Block 1 wall size:
  0.000000 0.000000
  0.000000 0.000000
  0.000000 0.000000
Writing to files...
Mesh information
boundary 0 4 10 10 10 10
nFaces 2142
nCells 1000
nEdges 4070
timeStepScheme: implicit
Patches
-----
patch 0 (front) 100 cells 20 faces left
patch 1 (back) 100 cells 20 faces right
patch 2 (left) 100 cells 20 faces west
patch 3 (right) 100 cells 20 faces east
patch 4 (top) 200 cells 20 faces top
patch 5 (bottom) 200 cells 20 faces bottom
patch 6 (inlet) 2000 cells 2000 faces frontAndBack

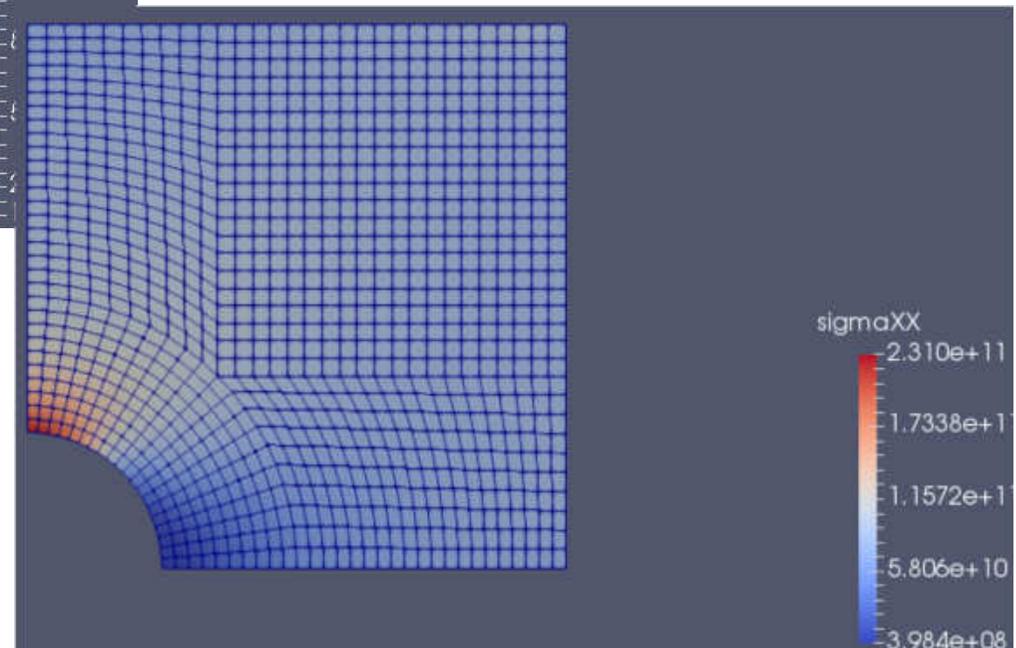
C:\workspace\foam\foam\bin> stressFemFoam
Iteration 0
Solve for U, Initial residual: 7.4500e+00, Final residual: 7.3900e+00, No iterations
Solve for U, Initial residual: 6.3000e+00, Final residual: 6.2400e+00, No iterations
Construct faw: 0.00 s, Diff faw: 0.0 s
Iteration 10
Solve for U, Initial residual: 7.4000e+00, Final residual: 7.3400e+00, No iterations
Solve for U, Initial residual: 6.2500e+00, Final residual: 6.1900e+00, No iterations
Construct faw: 0.00 s, Diff faw: 0.0 s
Iteration 20
Solve for U, Initial residual: 7.3500e+00, Final residual: 7.2900e+00, No iterations
Solve for U, Initial residual: 6.2000e+00, Final residual: 6.1400e+00, No iterations
Construct faw: 0.00 s, Diff faw: 0.0 s
Iteration 30
Solve for U, Initial residual: 7.3000e+00, Final residual: 7.2400e+00, No iterations
Solve for U, Initial residual: 6.1500e+00, Final residual: 6.0900e+00, No iterations
Construct faw: 0.00 s, Diff faw: 0.0 s
```

FOAM-extend4.0 版の インストール④

- ParaViewを起動して結果を確認(変位:1.234e-4m, Sxx=2.301e+11Pa)



野村さんの資料と比較して
妥当な結果と思われる



ElasticNonLinULSolidFoamの例題

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
¥*-----*/*
Build   : 4.0-8bc571ee487e
Exec    : elasticNonLinULSolidFoam
Date    : Jan 19 2018
Time    : 22:18:47
Host    : USER-HP
PID     : 1228
CtrlDict : "C:/docs/opencae/2018-01-20-OPENCAE/plate_bendEnd-raf.tar/plate_bendEnd-raf/system/controlDict"
Case    : C:/docs/opencae/2018-01-20-OPENCAE/plate_bendEnd-raf.tar/plate_bendEnd-raf
nProcs  : 1

// ***** //
Create time

Create mesh for time = 0

Reading incremental displacement field DU

--> FOAM FATAL IO ERROR:
file "C:/docs/opencae/2018-01-20-OPENCAE/plate_bendEnd-raf.tar/plate_bendEnd-raf/C:/docs/opencae/2018-01-20-OPENCAE/plate_bendEnd-raf.tar/plate_bendEnd-raf/timeVsRightTraction" does not exist

file: C:/docs/opencae/2018-01-20-OPENCAE/plate_bendEnd-raf.tar/plate_bendEnd-raf/C:/docs/opencae/2018-01-20-OPENCAE/plate_bendEnd-raf.tar/plate_bendEnd-raf/timeVsRightTraction at line 1.

From function IFstream::operator()
in file db/IOstreams/Fstreams/IFstream.C at line 167.

FOAM exiting

C:\docs\opencae\2018-01-20-OPENCAE\plate_bendEnd-raf.tar\plate_bendEnd-raf>
```

Error で終了?! → Windowsでの実行はあきらめて× → Ubuntuで実行

FOAM-extend4.0 版の インストール⑤

- Ubuntu16.04版をDEXCS OpenFOAM 2017の特別版(OS:Linux Mint)にインストール
- https://sourceforge.net/projects/foam-extend/files/foam-extend-4.0/foam-extend-4.0_amd64_Ubuntu1604_f500917.deb
- をDLして dpkg コマンドでインストールする
- 環境によって複数のライブラリが必要
- 私の環境では下記のライブラリが必要

FOAM-extend4.0 版の インストール⑥

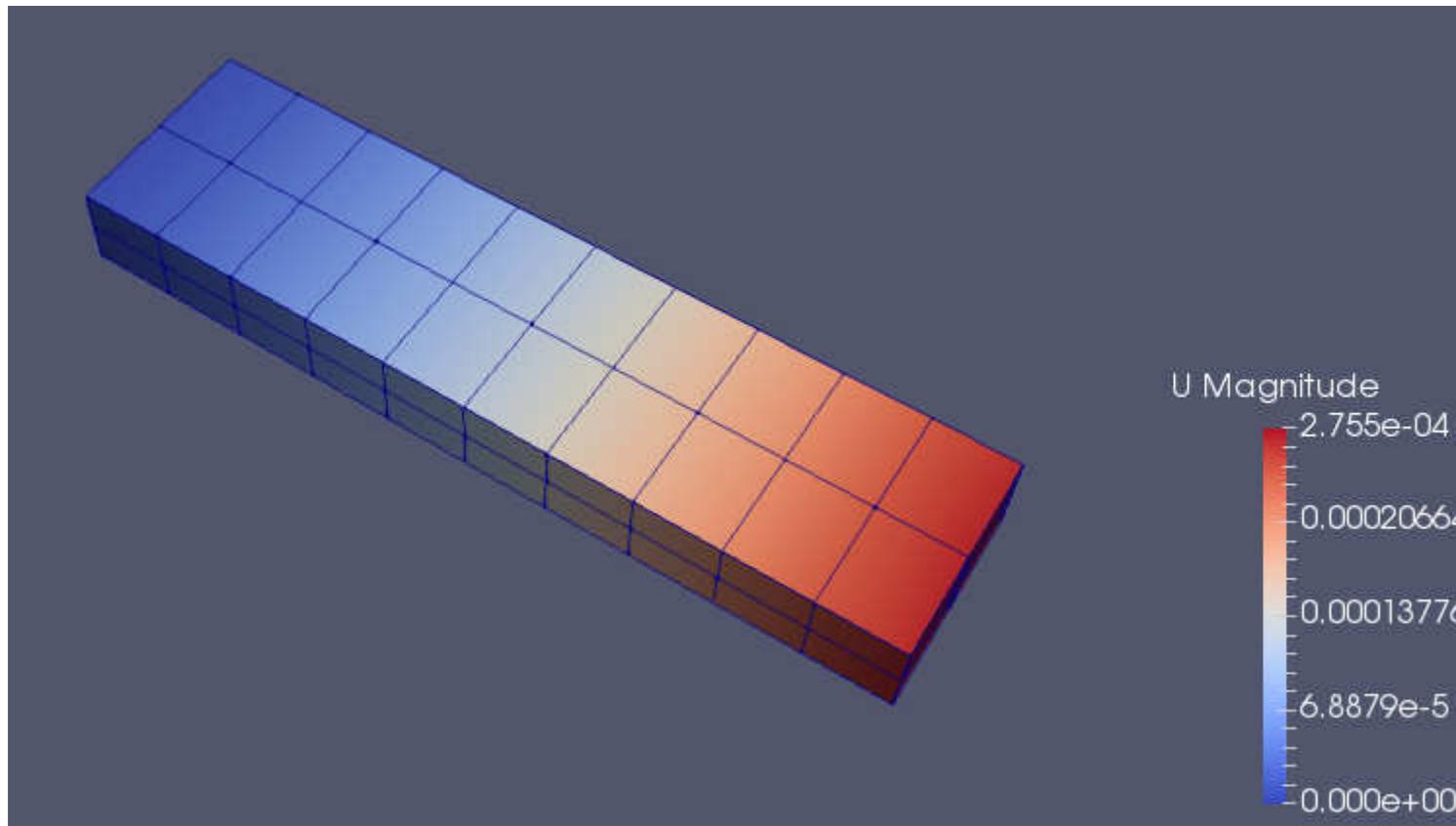
- Super User のID にて
- apt-get install paraview-python
- apt-get install hwloc
- apt-get install graphviz
- apt-get install libiberty-dev
- apt-get install mercurial
- apt-get install paraview-dev
- apt-get install rpm
- apt-get install subversion

最後に

```
dpkg -i foam-extend-4.0_amd64_Ubuntu1604_f500917.deb
```

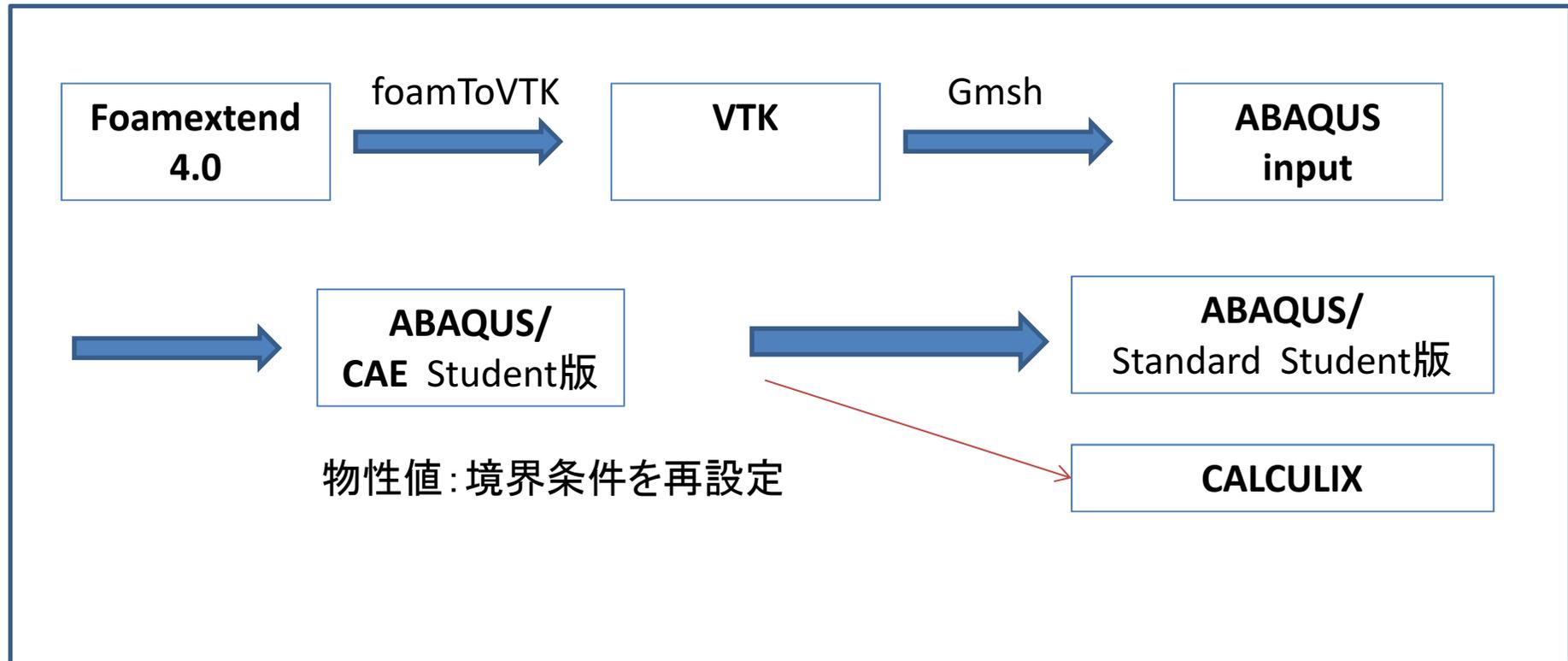
ElasticNonLinULSolidFoam計算結果反り

反り計算結果: $U_{max}=2.755e-4(m)$: なんか野村さん計算の答えと違うが?
おおむねあっているのでOK? (2X2X10分割)

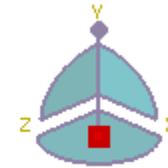
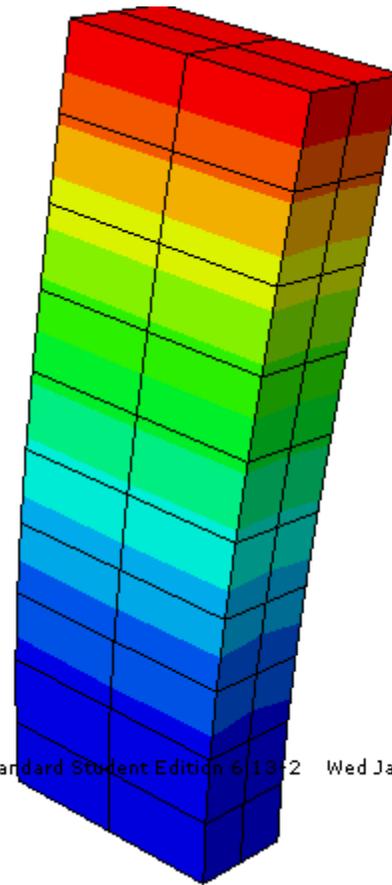
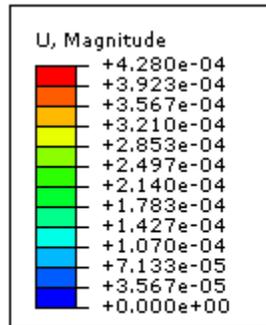


OpenFOAMのメッシュデータを ABAQUSのメッシュデータに変換

- 以下の手順でメッシュデータを変換して計算



ABAQUS計算結果①



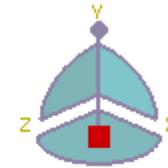
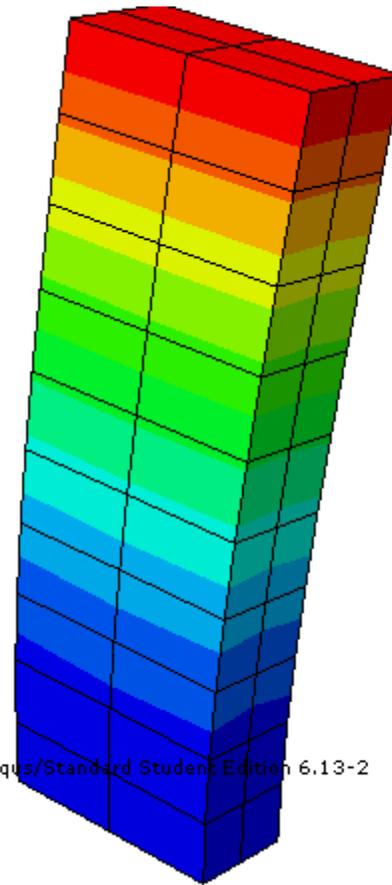
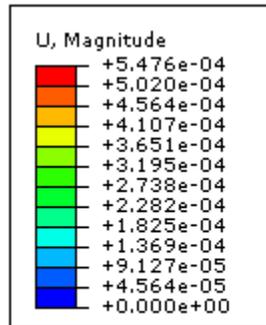
ODB: platebendingend-raf.odb Abaqus/Standard Student Edition 6.13.2 Wed Jan 17 14:11:49 GMT+09:00 2018

ステップ: Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
基本変換: U, Magnitude
変換変換: U 変換倍率: +9.372e+00

Umax= 0.000428005mm

要素タイプ:C3D8(選択低減積分:B-BAR要素)

ABAQUS計算結果②



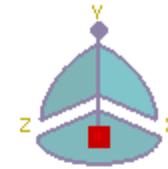
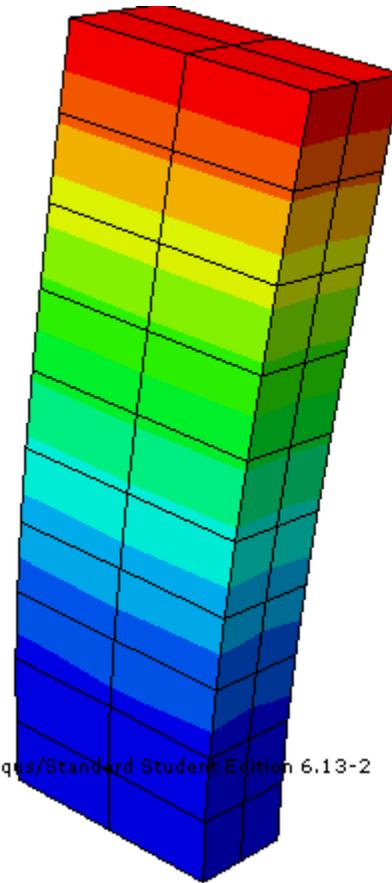
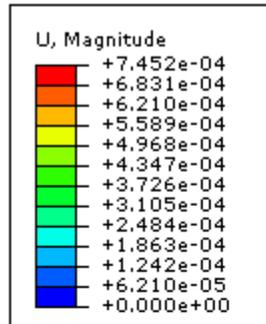
ODB: platebendingend-raf-c3d8i.odb Abaqus/Standard Student Edition 6.13-2 Wed Jan 17 14:23:34 GMT+09:00 2018

ステップ: Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
基本変数: U, Magnitude
変形変数: U 変形倍率: +7.325e+00

Umax= 0.000547634mm

要素タイプ:C3D8I(非適合要素)

ABAQUS計算結果③



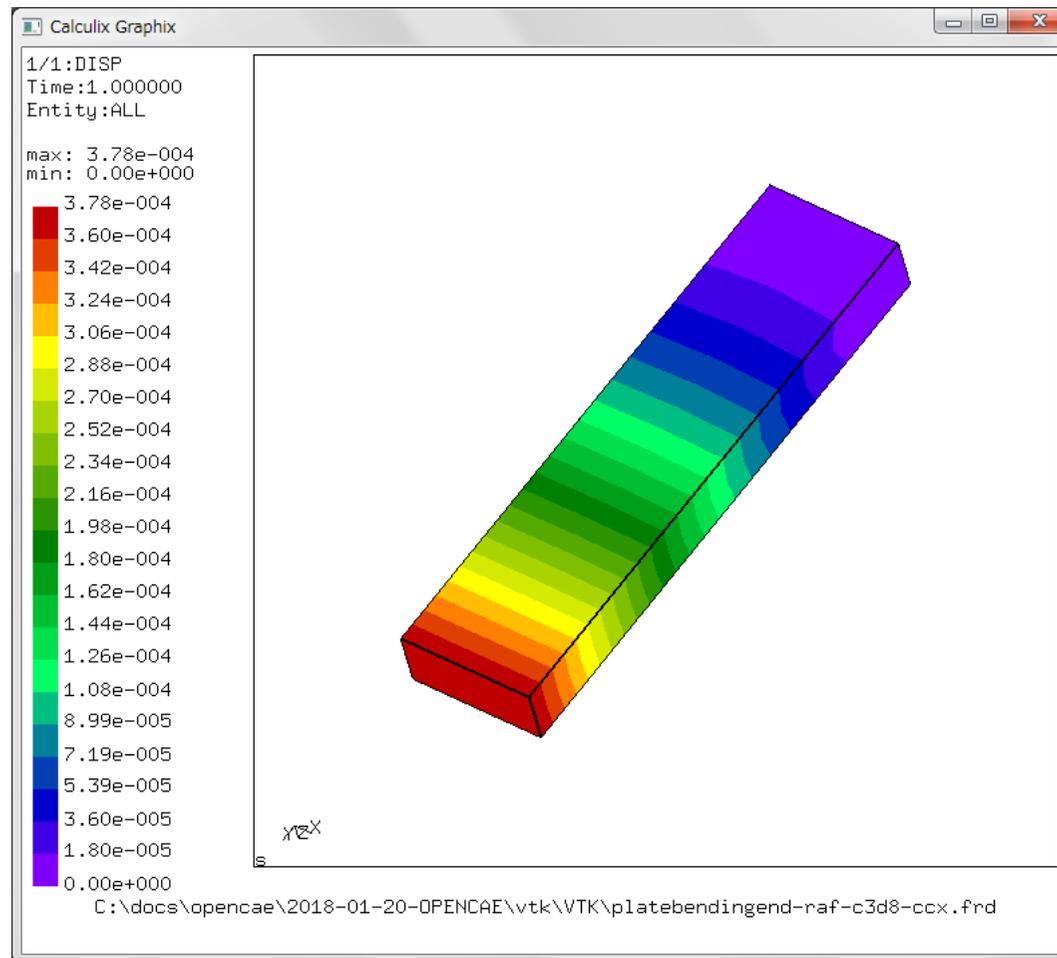
ODB: platebendingend-rafc3d8r.odb Abaqus/Standard Student Edition 6.13-2 Wed Jan 17 14:26:32 GMT+09:00 2018

ステップ: Step-1
Increment 1: Step Time = 1.000
基本変数: U, Magnitude
変形変数: U 変形倍率: +5.382e+00

Umax= 0.000745248mm

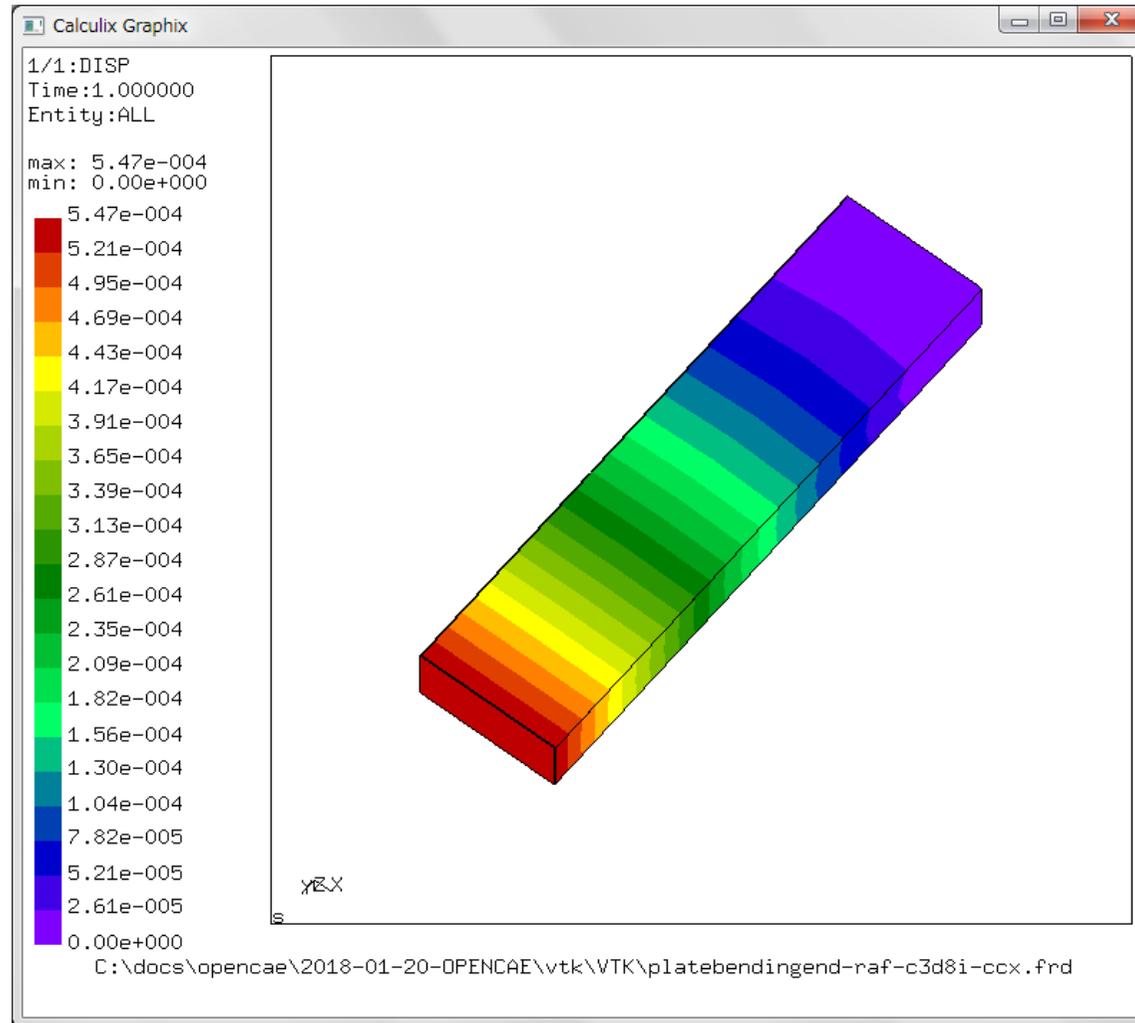
要素タイプ:C3D8R(低減積分)

Calculix計算結果①



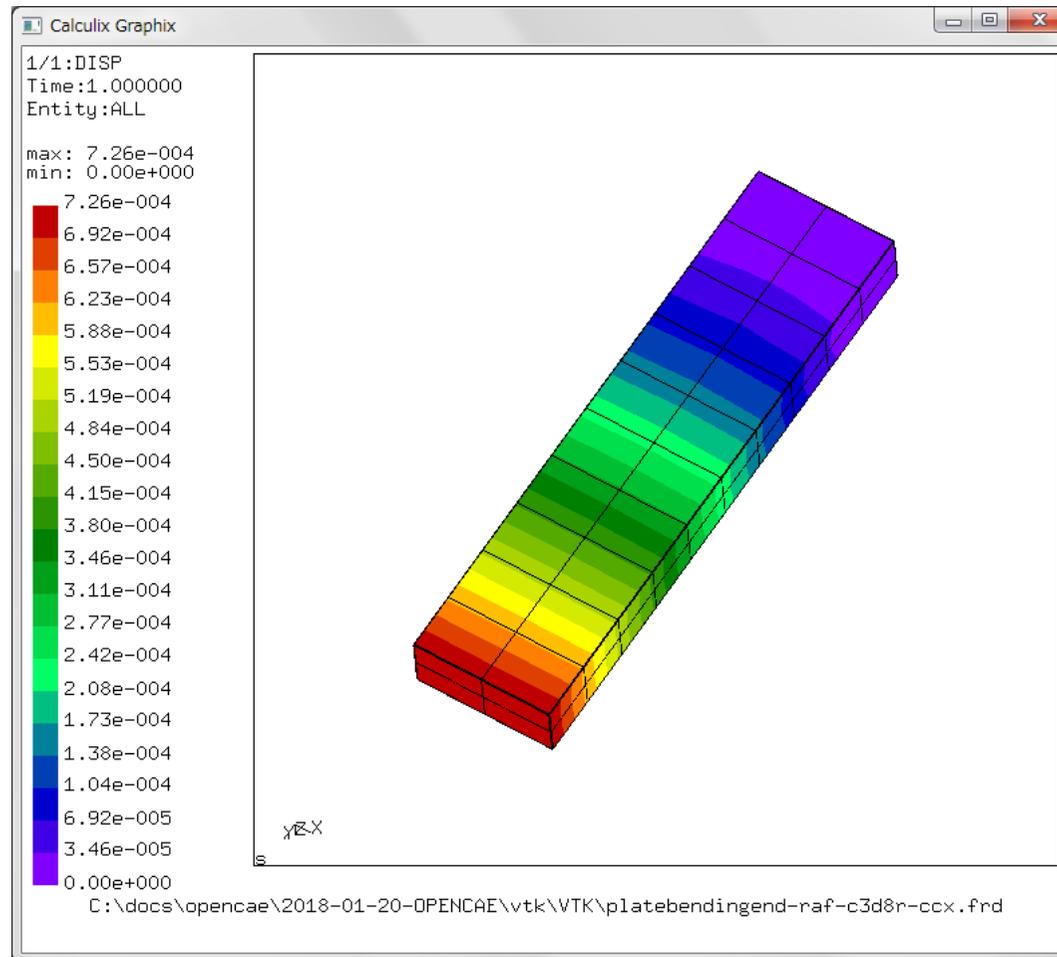
Umax= 3.775737e-004 mm 要素タイプ:C3D8(アイソパラメトリック要素)

Calculix計算結果②



Umax= 5.473856e-004 mm 要素タイプ:C3D8I (非適合要素)

Calculix計算結果③

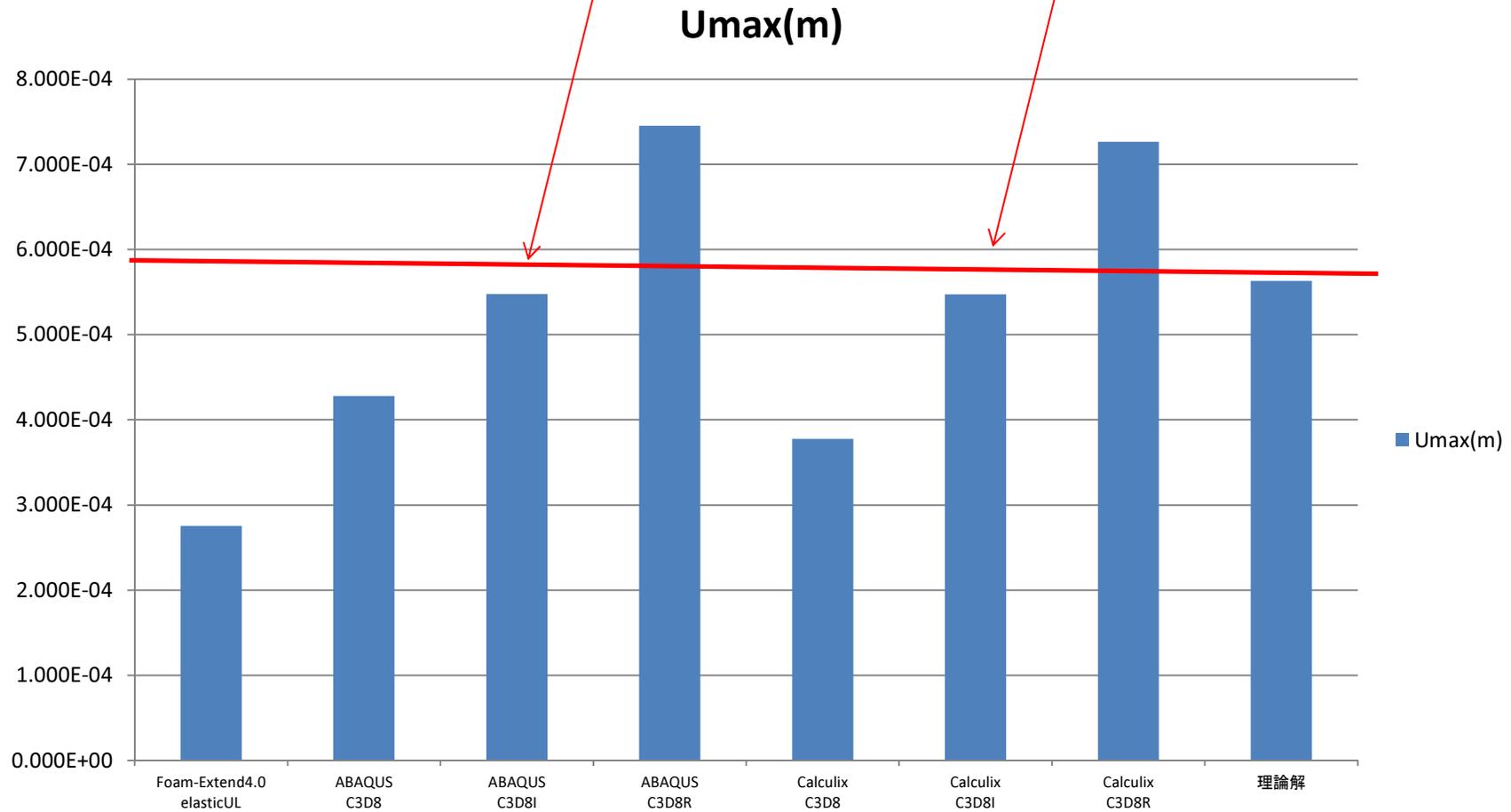


Umax= 7.263780e-004 mm 要素タイプ:C3D8R (低減積分)

追加計算結果のまとめ

Mesh:2x2x10

	Foam-Extend4.0	ABAQUS C3D8	ABAQUS C3D8I	ABAQUS C3D8R	Calculix C3D8	Calculix C3D8I	Calculix C3D8R	理論解
Umax(m)	2.755E-04	4.280E-04	5.476E-04	7.452E-04	3.776E-04	5.474E-04	7.264E-04	5.63E-04



まとめ

- FOAM-extend4.0 ElasticNonLinULSolidFoamの精度確認のために、同一メッシュ数でのABAQUS/Calcuixの解析結果と比較を行った
 - ABAQUS/Calcuixの非適合要素の解析結果は理論解に近く、ほぼ同じ値で妥当な結果
 - ABAQUS/Calcuixの通常要素(C3D8)の解析結果は理論解より小さく、ABAQUS/Calcuixの低減積分要素の解析結果は理論解より大きな結果となる
 - ElasticNonLinULSolidFoamの解析結果はCalcuixの通常要素(C3D8)の解析結果より更に小さく、同じメッシュサイズのFEM解析結果いずれとも一致しなかった？