

Salomeとその他の のオープンソースとの連携

OpenCAE学会員

SH

本日の発表内容

- 電気電子機器向けの解析事例
- 構造系オープンソース
- Salomeとその他解析ツールとのデータ交換
- オープンソースによる解析事例
- まとめ

電気電子機器向けの解析事例

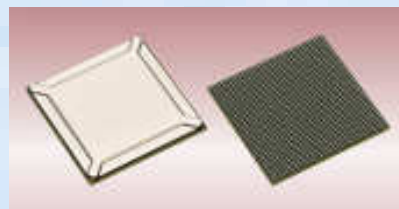
ノートPCの圧迫・熱応力時信頼性対策

◆ 圧迫など解析によるパッケージに剥離のないような構造提案

- ・鉛フリー半田の採用や薄型構造の進展により、底面圧迫で搭載BGA剥離発生有無の解析検証の重要性が増大。。。



QFPパッケージ

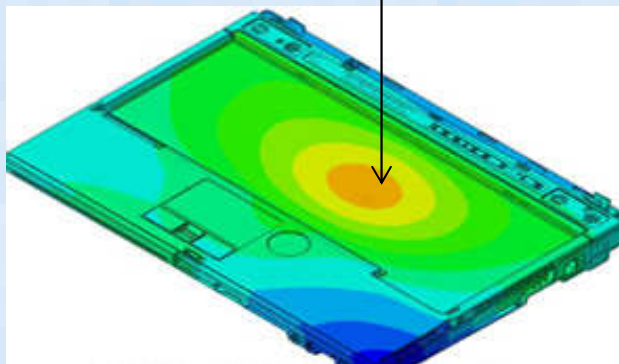


BGAパッケージ

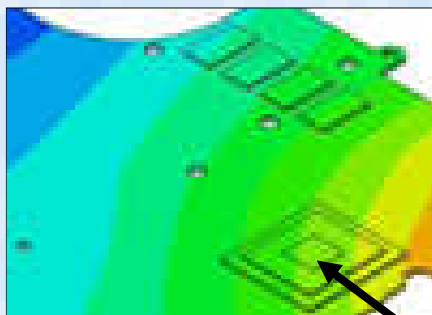
◇ 具体的な対策

- ・カバー形状の剛性強化など
- ・パッケージ搭載位置の変更など

圧迫荷重負荷

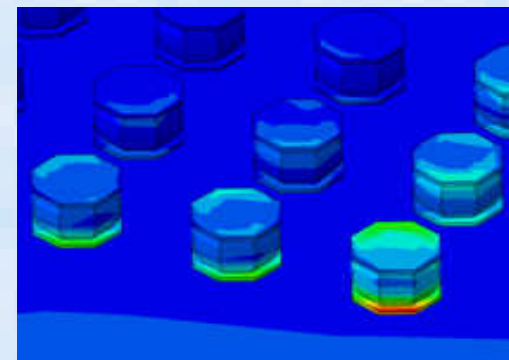


BGA圧迫解析全体変形図



BGAパッケージ

BGA圧迫解析基板変形図



BGA圧迫解析BGA応力分布

企業におけるオープンソース利用について

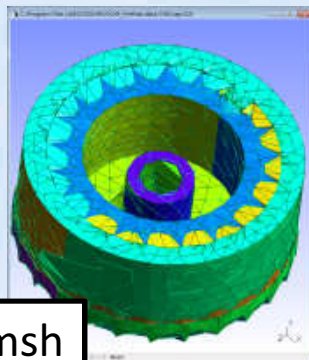
- 目的
 - 商業ソフトの代替(コストダウン)
 - 教育用途
 - パラメータSTUDYなど多数条件の実施
 - 類似設計評価などの定型パタンの解析
 - 大規模モデルでの解析
 - 既存ソフトでは対応できない機能の解析
- 課題
 - 機能が保障されない、バグあり
 - 教育サポートがない
 - 既存使用ツール混在、単一ツールでクローズしないため、複数ツール間連携が必要



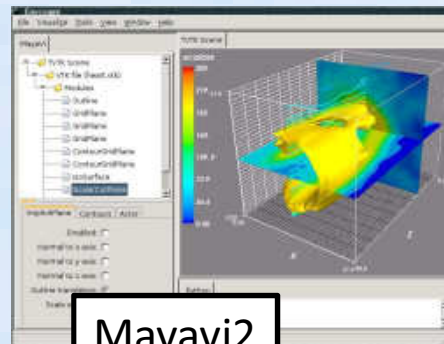
Salomeを例とした商業ソフト、オープンソース間データ交換について検討

OSS 3D-CAD/可視化ツール/メッシュャ

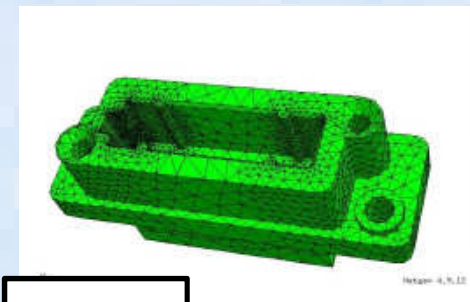
名前	URL	内容	License
Gmsh	www.geuz.org/gmsh	2D/3D自動メッシュ・形状作成	GPL
MayaVi	mayavi.sourceforge.net	データ可視化	BSD
MayaVi2	svn.enthought.com/enthought	データ可視化	OSL
Netgen	www.hpfem.jku.at/netgen	3D自動メッシュ	OSL
ParaView	www.paraview.org	データ可視化	BSD
Salome	www.salome-platform.org	2D/3D-CAD, 自動メッシュ	GPL
FreeCAD	sourceforge.net/apps/mediawiki/free-cad	3DパラメトリックCAD	LGPL
GoogleSketchup	sketchup.google.com/intl/ja/product/gsu.html	3Dモデラー	Free
Revocap	www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/dl/	3D自動メッシュ	独自
LS-PrePOST	www.lstc.com/lsp/ftp.html	LS-Dyna用のフリープリポスト	Free



Gmsh

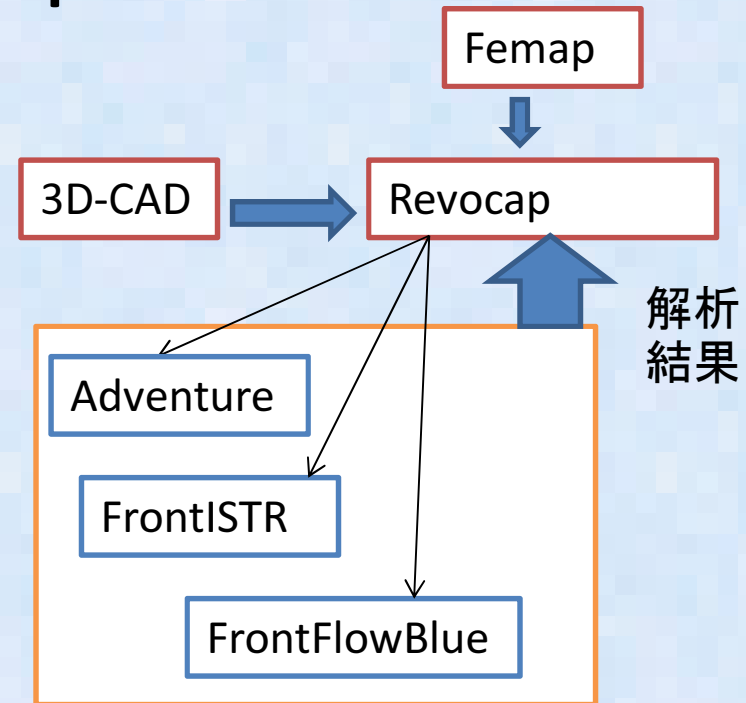
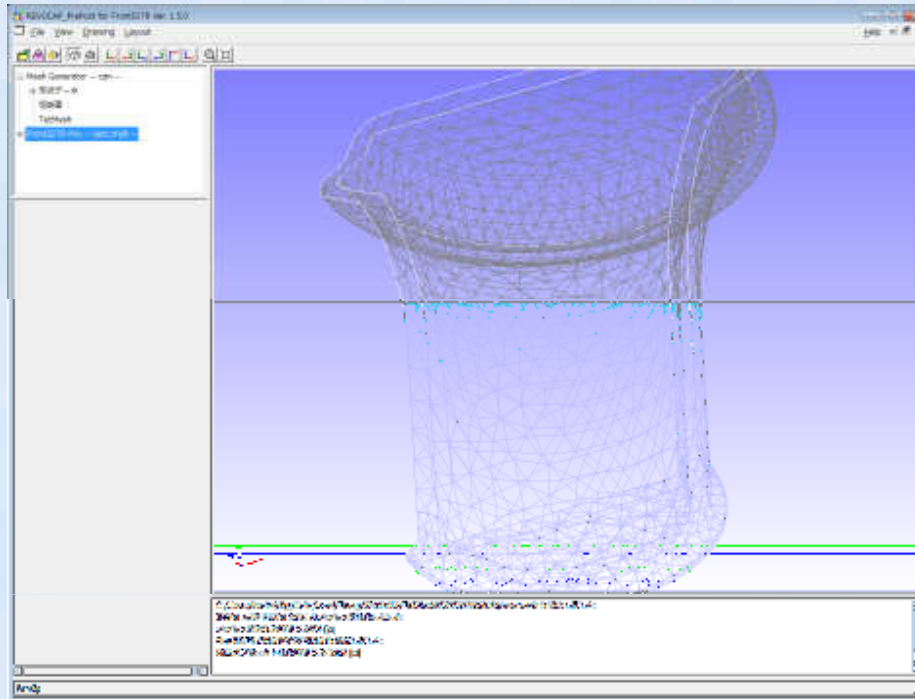


Mayavi2



Netgen

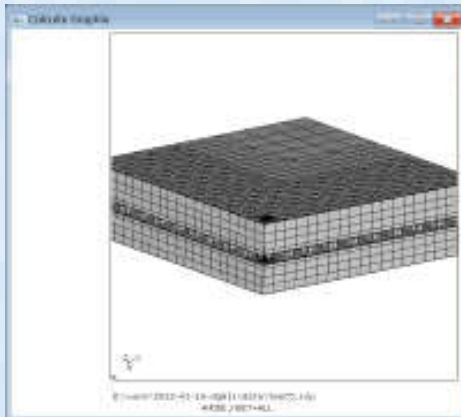
Revocap



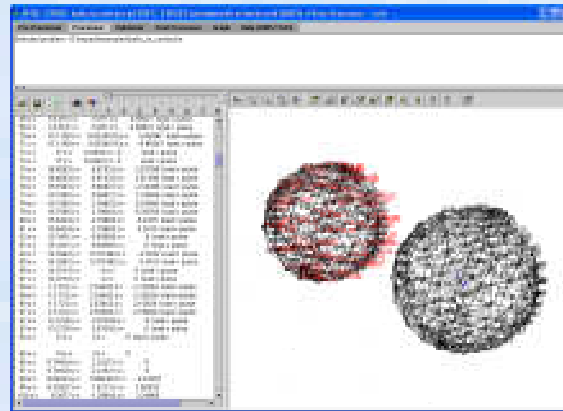
- 東大の提供するオープンソースソルバの共通GUI(プリポストと連成解析カップラー)
- 機能:
 - CADのデータ入力(IGES, STEP, BrepSolid, STL, Adventure PCM PCH, rnf(独自中間形式)(cad 部分はOpenCASCADEのライブラリ))
 - メッシュ作成(Adventure-TetMeshを利用)← 致命的欠陥
 - メッシュデータ入力(Adventure-TETMESH(msh), FrontISTR(msh), Femap Neutral(neu))
 - 境界条件設定(メッシュベースで設定、幾何形状に設定は不可;メッシュ後、要素の面グループを自動抽出)
 - 材料割り当て:材料物性ライブラリ
 - 解析データ出力(Adventure, FrontISTR, FrontFlowBlue, FrontMagnetic)
 - 解析結果表示(上記と同じ)
- 利点: Windows上で動作、日本メニュー、シンプルで使いやすい。Adventureのプリに使える
- 欠点: メッシャーとして10年以上前のAdventureのメッシャーしかサポートしていない

オープンソース構造解析ソルバ

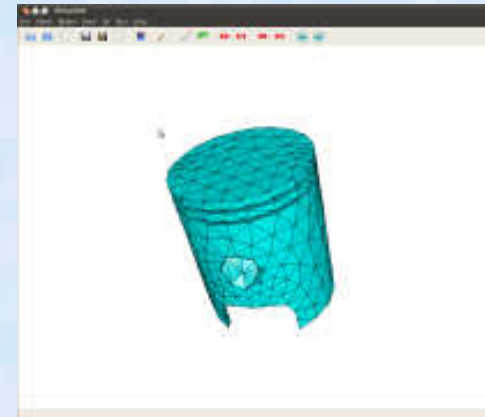
名前	URL	内容	License
Calculix	www.calculix.de	Abaqus的非線形構造解析	GPL
CodeAster	www.code-aster.org	非線形構造解析	GPL
FELyX	felyx.sourceforge.net	構造解析	GPL
Impact	impact.sourceforge.net	陽解法非線形解析ソルバ	GPL
Tahoe	sourceforge.net/projects/tahoe/	構造解析	OSL
WARP3D	cern49.cee.uiuc.edu/cfm/warp3d.html	構造解析(き裂解析)	GPL
Elmer	www.csc.fi/english/pages/elmer	連成解析ソルバ(構造解析)	GPL
Adventure	adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/jp/	大規模構造解析ソルバ	独自
FrontISTR	www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/dl/	大規模構造解析ソルバ	独自



Calculix

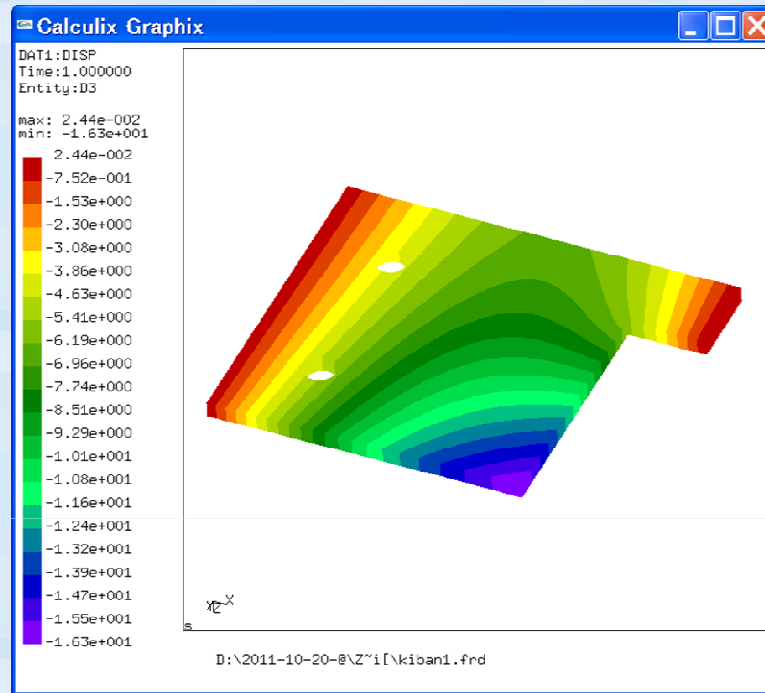


Impact

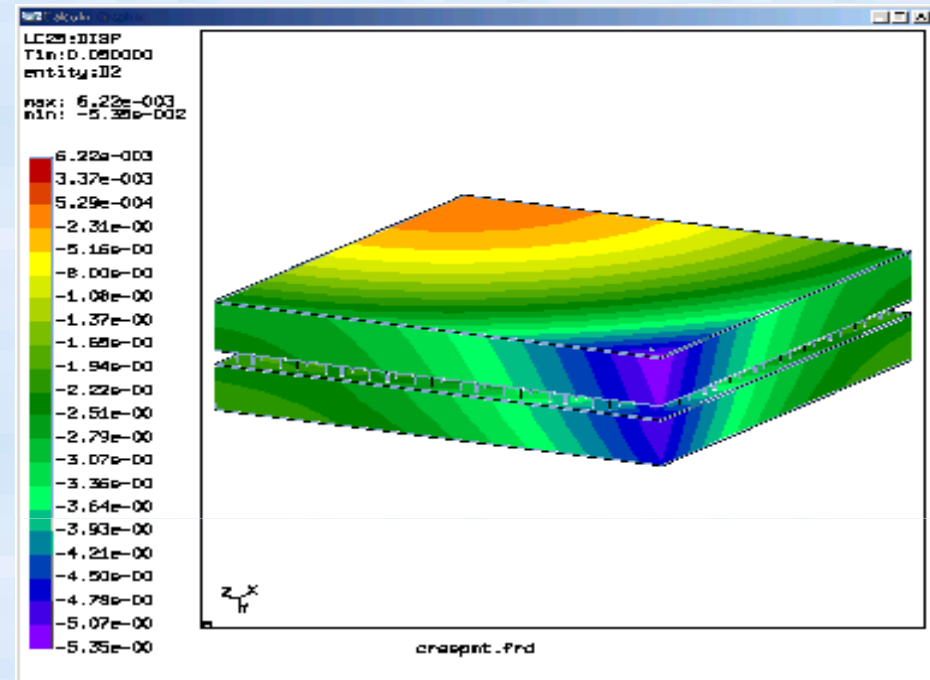


Elmer

Calculixについて



基板の反り解析



電子パッケージの反り解析

- 商用ソフトABAQUSと同様の入力書式をもつオープンソース ABAQUSを仕事で使っている人は文法を勉強しないでそのまま使える。知らない人もABAQUSのマニュアルを見れば大体使い方が分かる。(テキスト入力ベースのモデラー、メッシャー、ソルバ、POSTを包含した非線形構造解析ソフト、一部流体解析も可能)
- <http://www.bconverged.com/calculix/> Windowsの実行バイナリを公開
- 非線形(大変形、接触解析、材料非線形(塑性、クリープ、温度依存etc)が可能
- 課題;あまり大規模な計算(10万メッシュ以上?)には対応していない模様

FrontISTRについて

HEC-MWを基盤とするFrontSTR

2008年3月 Ver.1.2

HEC-MWを利用した並列構造解析プログラム

WinノートPC群によるFrontSTR並列計算

FEM applications developed on PC

並列有限要素解析 [II] FrontISTR

PCクラスタからスパコンまでの様々な計算環境において、最適化された並列有限要素法を効率的に開発可能とするフレームワーク

『並列有限要素解析 [II] FrontISTR』
FrontSTRを使いこなす、
培風館, 2008.

1.1億自由度ポンプモデル
(日立プラントテクノロジー)

ダブルポリウレタンポンプのケーシング
(日立プラントテクノロジー)

V8エンジン
(Spatial Japan)

過給機タービンインペラ
(日立 先進製造技術)

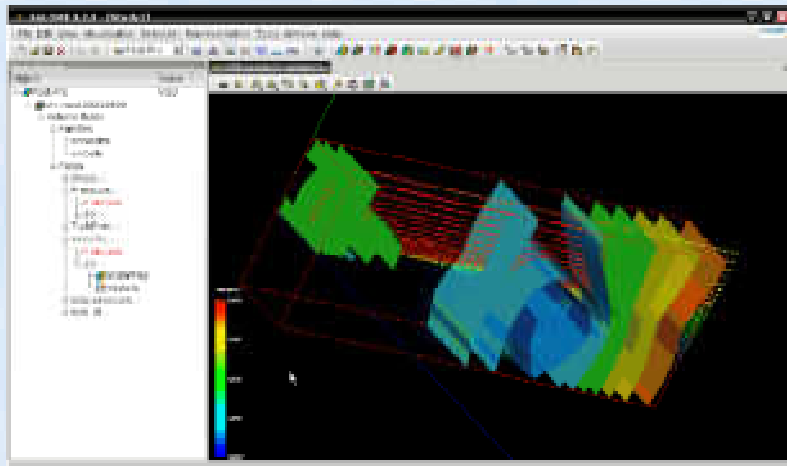
HEC-MWによるDtransu-3D-ELの並列化
(三菱マテリアル)

- FrontISTRとは東大が国プロで開発しているオープンソースソフトウェア
- 有限要素法構造解析ソフトウェア各種非線形解析機能を有する
- 分散領域メッシュ+反復法ソルバによるノード間並列解析機能を有する
- ライセンスフリー(商業利用時は独自契約が必要)
- プリはRevocap, MeshはABAQUSに似た独自書式
- 変形・応力解析機能
 - 線形静解析, 非線形静解析, 大変形解析
 - 材料非線形解析(弾塑性・超弾性・粘弾性・クリープ・ユーザ定義材料)
 - 接触解析(拡張ラグランジュ、ラグランシュ法)
 - 陽解法は非接触解析のみ
 - 陰的時間積分法による接触を考慮した過渡解析(衝突)をサポート予定(2012/6~?)

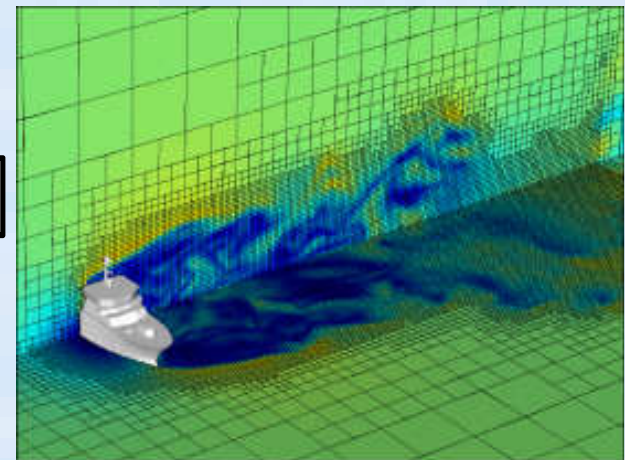
オープンソース流体解析ソルバ

名前	URL	内容	License
OpenFOAM	www.opencfd.co.uk/openfoam	汎用流体解析(FVM toolBox)	GPL
CodeSaturne	rd.edf.com	汎用流体解析(Salome 連携)	GPL
FEATFlow	www.featflow.de	非圧縮性NS方程式ソルバ	GPL
Gerris	gfs.sourceforge.net	非圧縮性NS/Euler方程式ソルバ	GPL
FrontFlowRed	www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/rss21/	熱流体解析(FVM)	独自
FrontFlowBlue	www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/dl/	大規模流体解析(FEM)	独自

CodeSaturne
-Salomeから
起動した例



Gerris



Salomeについて

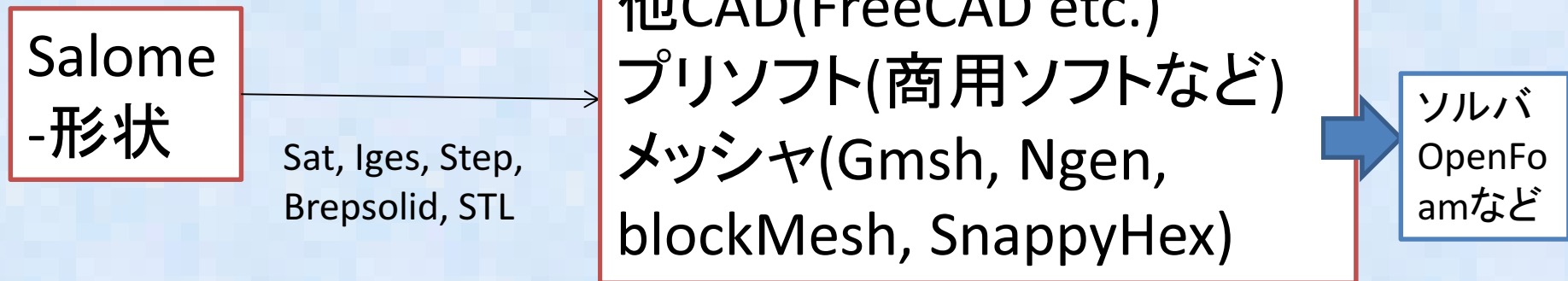
- オープンソースの数値解析シミュレーションのための統合化プラットフォーム
(3次元モデリング(形状作成)とメッシング機能をもつGUIのツール)
- SALOMEの公式サイト: <http://salome-platform.org>
- Salomeと構造解析オープンソースのCodeAsterを一体化したものがSalome-meca CodeAsterの関連モジュールとして <http://www.code-aster.org/> で公開
- Dexcs-OpenFOAMを既にインストールしている人は本家のサイトからLinuxユニバーサルのtarファイルをダウンロードして展開すれば多分?動く。

Salomeのデータ入出力①

- Salomeとデータをやり取りする方法は
 - 形状データ
 - メッシュデータとして2種類の方法がある。
- 形状データ入力 : SAT,IGES,BREPsolid,Step
- 形状データ出力 : STL,SAT,IGES,BREPsolid,Step
(CADカーネル : OpenCASCADE))
- メッシュ入力 : dat(Salome独自テキスト形式),
med(Salome独自binary), unv(I-deas形式)
- メッシュ出力 : STL, dat, med, unv

Salomeのデータ入出力②

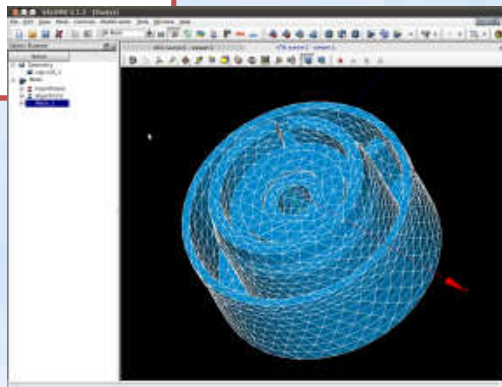
- データ出力例1: Salomeを3D-CADとして形状データだけ利用
-想定: 3Dモデラーとして利用。メッシュ作成は他のソフトで作成する方が
良い(6面体メッシュや、OpenFOAMの解析、メッシュの規則配列など)



- データ出力例2: Salomeを解析プリ(メッシャー)として利用
-想定: CodeAster以外で(構造)解析を行いたい場合

Salome形状
Mesh

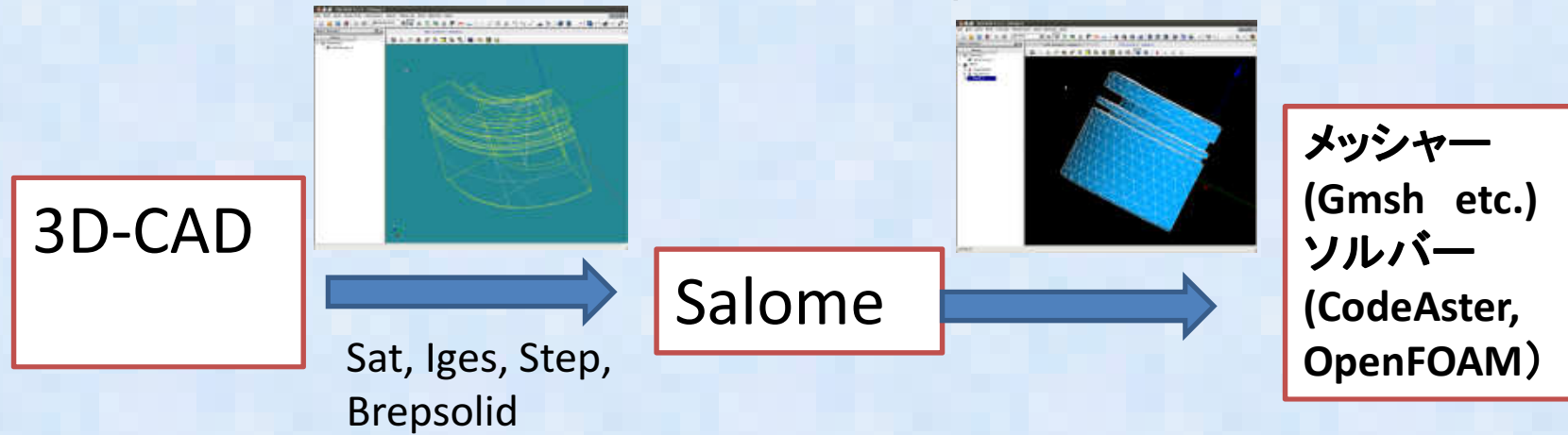
dat, med, unv



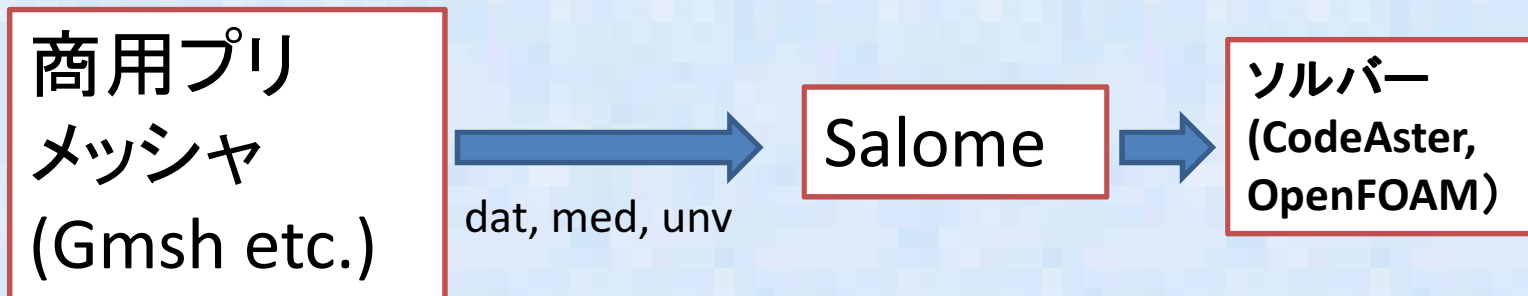
プリソフト(商用ソフトなど)
メッシュヤ(Gmsh, etc)
ソルバ(Calculix, OpenFOAM etc.)

Salomeのデータ入出力③

- データ入力例: Salomeに3D-CAD形状入力-想定: Salome-Meca(CodeAster)で解析
一般的にはこのケースが一番多い



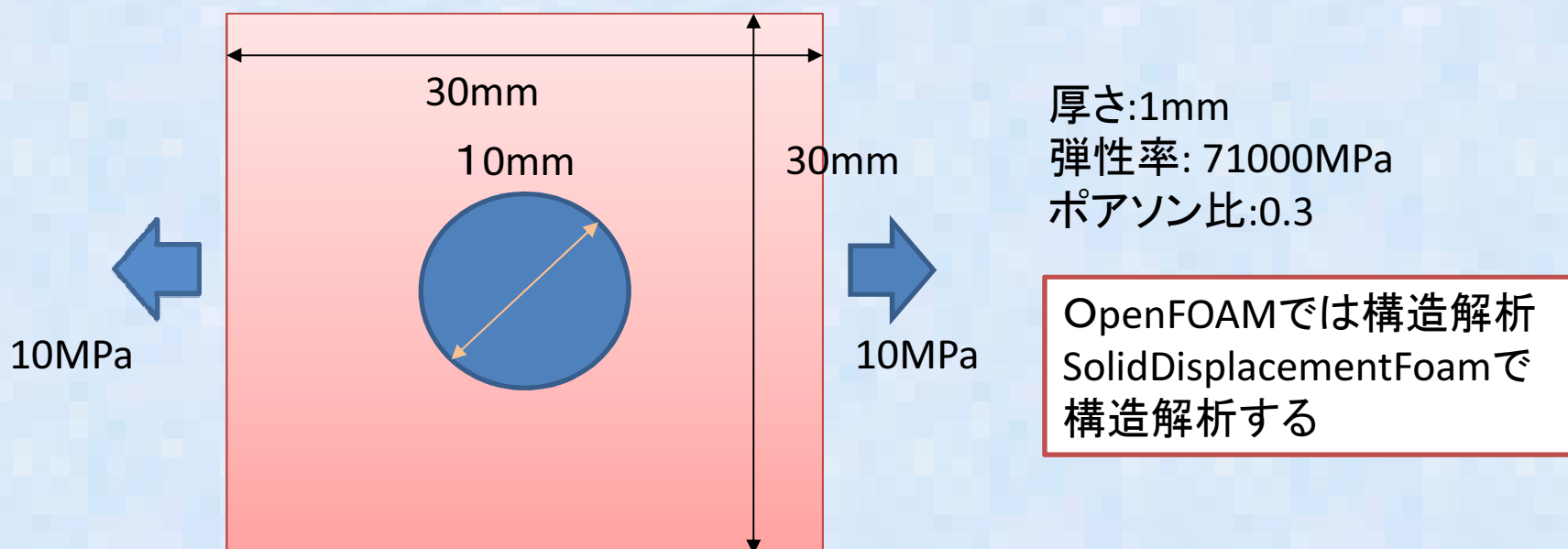
- データ入力例: Salomeにメッシュデータを入力
-想定: 商業ソフトなどでメッシュ作成済(過去に解析をしたもの、しかも複雑なメッシュデータで作り直しはしんどい)をCodeAsterで解析したい場合など



商業ソフトからはI-Deasのunv形式での出力があれば出力するか無い場合、Nastran形式などGmshで読める形式で出力する。
Gmshはmed形式出力をサポートするので、Gmsh経由でデータ転送

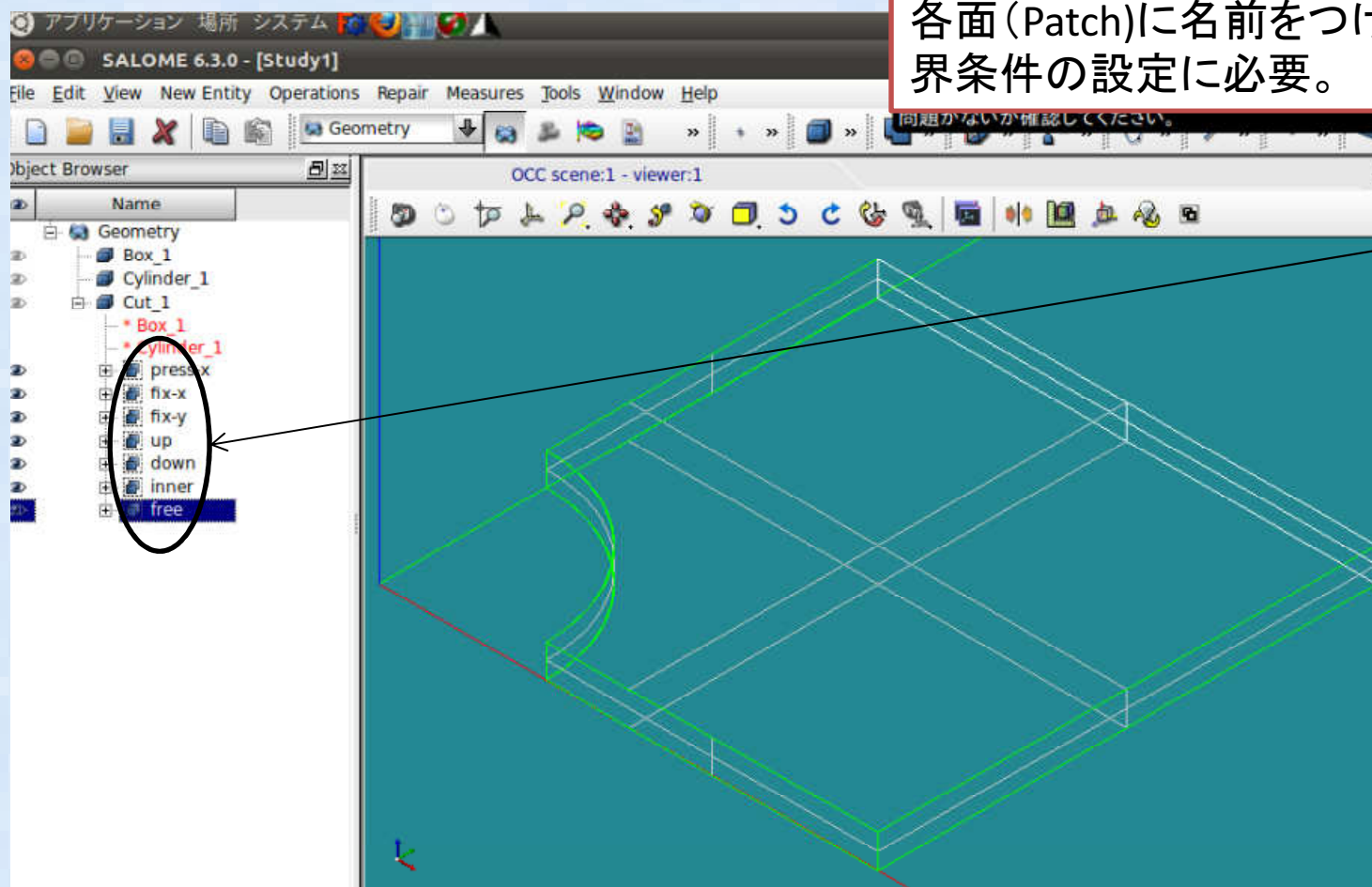
データ出力例2: Salomeを解析プリ(メッシャー)として利用
-メッシュデータを他のソルバに渡す例を提示

- SalomeからデータをOpenFoamへメッシュデータとして渡して、解析する例題として、以下のような穴あき平板の線形弾性応力解析

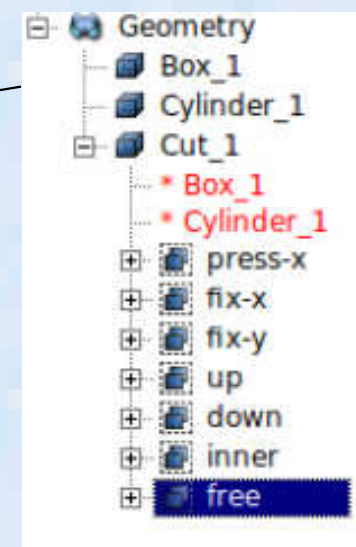


データ出力例2: Salomeを解析プリ(メッシャー)として利用 -メッシュデータを他のソルバに渡す例を提示

- SalomeはDexcs-Salome2011を利用

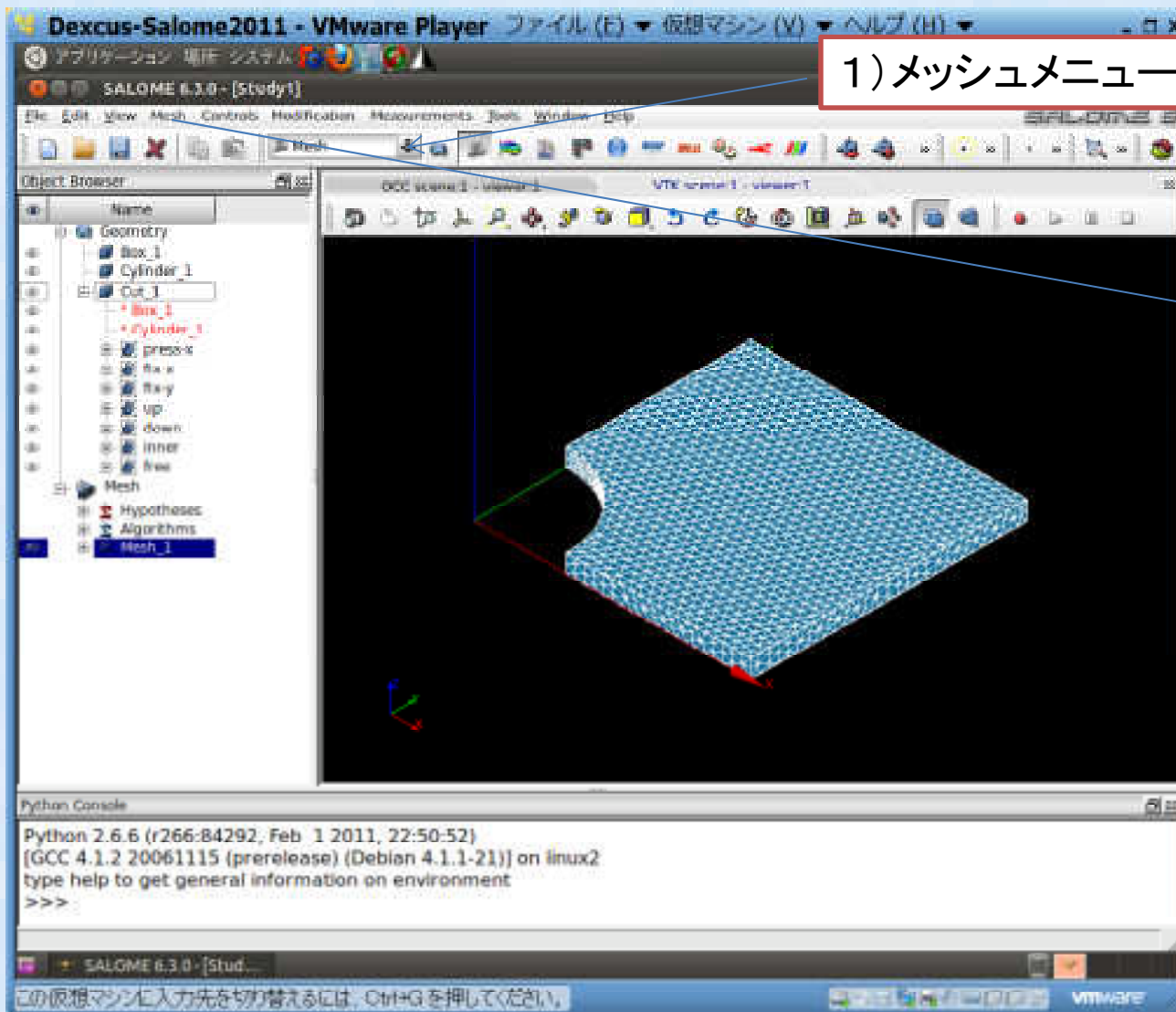


各面(Patch)に名前をつけておく。これは境界条件の設定に必要。



データ出力例2: Salomeを解析プリ(メッシャー)として利用 -メッシュデータを他のソルバに渡す例を提示

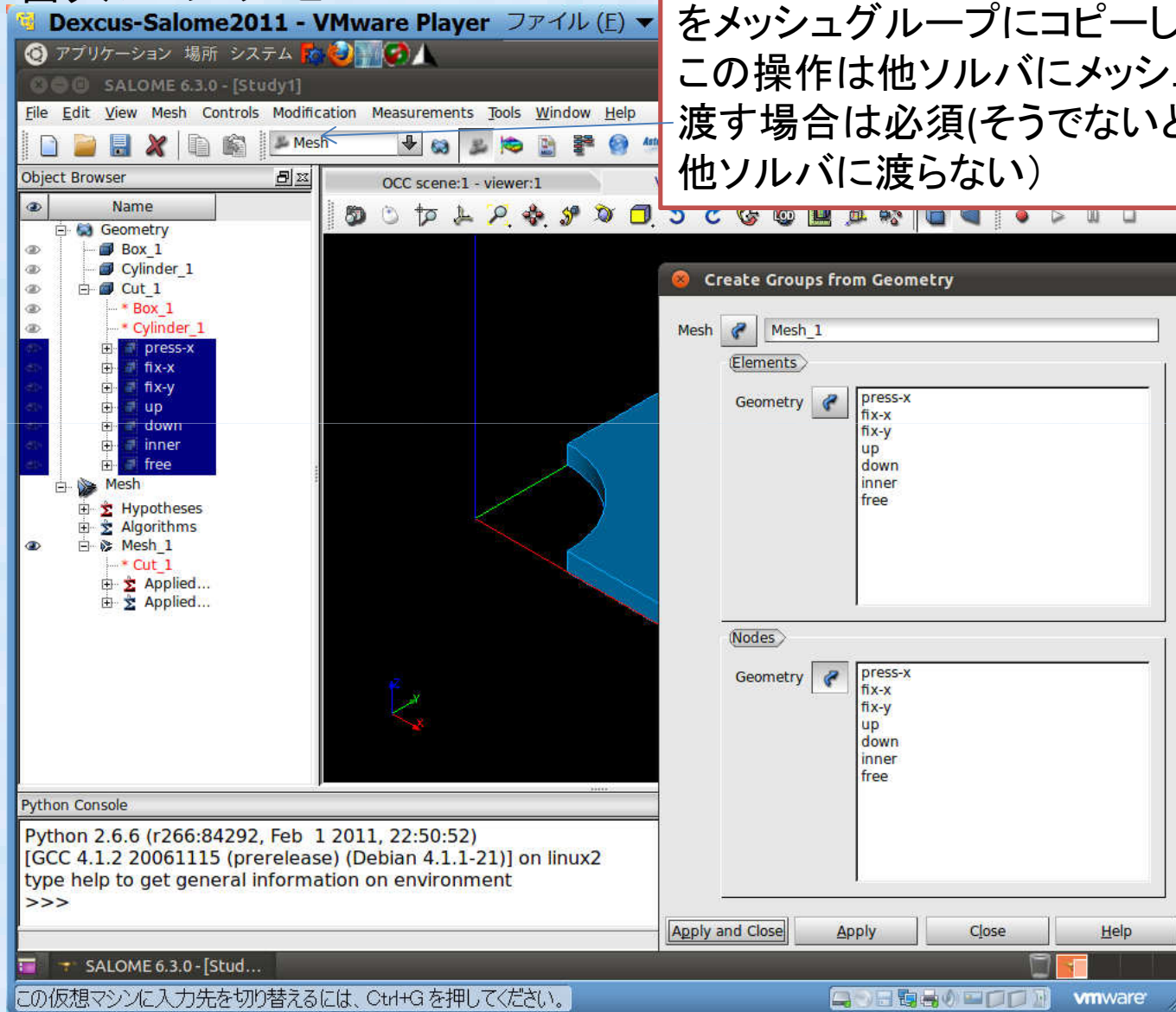
- Meshメニューでメッシュ作成、ここではサイズ1mm、 1次要素でメッシュ



データ出力例2: Salomeを解析プリ(メッシャー)として利用 -メッシュデータを他のソルバに渡す例を提示

- 面グループのコピー

1)メッシュメニューで形状データ面グループをメッシュグループにコピーしておく
この操作は他ソルバにメッシュデータで渡す場合は必須(そうでないと面グループが他ソルバに渡らない)

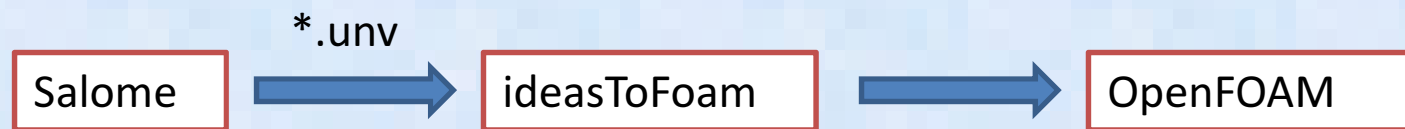


この仮想マシンに入力先を切り替えるには、Ctrl+Gを押してください。

SalomeからOpenFOAMへのデータ変換

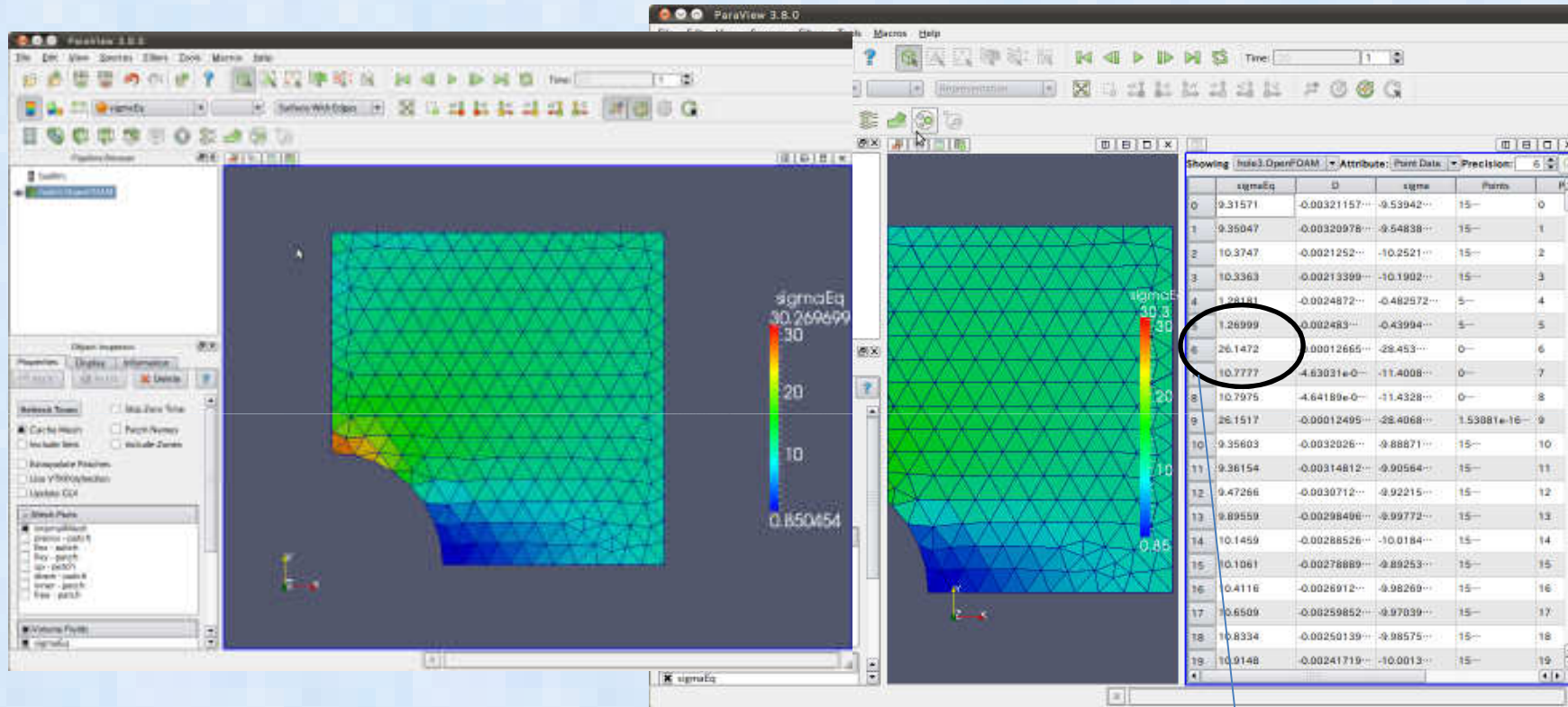
SalomeのメッシュデータのOpenFoamへの変換

- SalomeからOpenFoamのデータに変換するにはOpenFoamのユーティリティ ideasToFoamを使う。
- Salomeから事前にメッシュデータをIdeasのunv形式で出力しておく。
- OpenFoam作業ディレクトリを準備しておく、ここではチュートリアル例題 SolidDisplacementFoamのplateHoleの例題を作業ディレクトリに丸ごとコピーしてした(何も無いとエラーで落ちる)
- 作業ディレクトリの上に**.*unv ファイルを置いて、ideasToFoam を実行 constant の下のpolyMeshの中身だけ、Salomeメッシュデータに置き換えられる
- 物性値とか、境界条件は手で適時修正する



データ出力例2: Salomeを解析プリ(メッシャー)として利用 -メッシュデータを他のソルバに渡す例を提示

- OpenFoamでの計算



▪ SolidDisplacementFoamで計算完了: 相当応力のコンターでは最大応力は30.26MPaとなっているが、SpreadSheetで確認すると最大で26.1MPaとなっており、Salome-meca, Calculixの計算結果とほぼ一致した

SalomeからCalculixへのデータ変換

- Calculixは <http://www.calculix.de/> にある Windows版は <http://www.bconverged.com/products.php> から Downloadできる。
- SalomeからCalculix(ABAQUS)形式に出力するのはMedabaを使う。
<http://www.caelinux.org/wiki/index.php/Proj:MedAba> からLinuxのソースと実行バイナリがダウンロードできる。
- Salomeからは中間ファイル `** .med` で出力する(例:hole1.med)。
Calculix(ABAQUS)形式の `** .inp` に変換してくれる。

• 使い方

```
sakai-desktop:/mnt/hgfs/Dwork/medaba$ ./medaba10-64bit hole1
```

のようにMedファイルを置いて端末からコマンド実行する。拡張子(.med)ははずす。

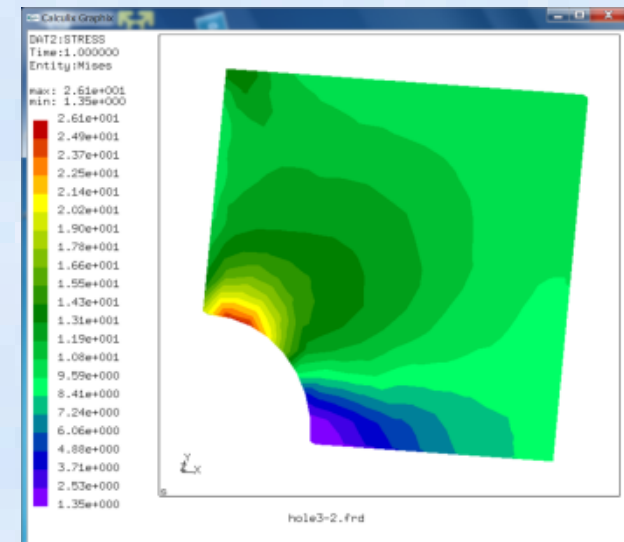
指定しないと

```
usage: medaba MED_filename (without extension .med)exiting
```

のように使い方が表示

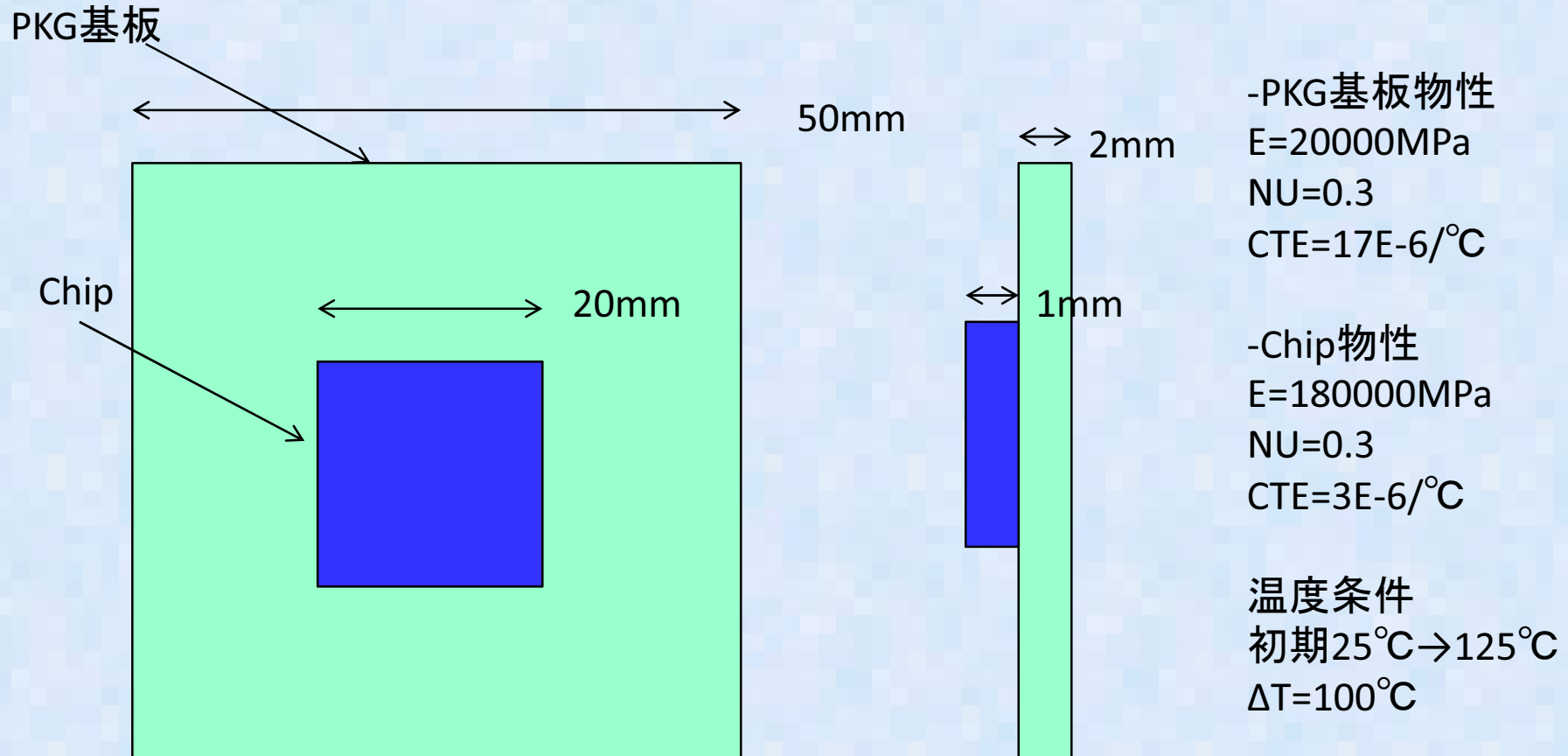
Salome-mecaと同じ拘束最大応力:26.1MPa

→ 大体Salome-Meca/OpenFOAMの結果と同じになった



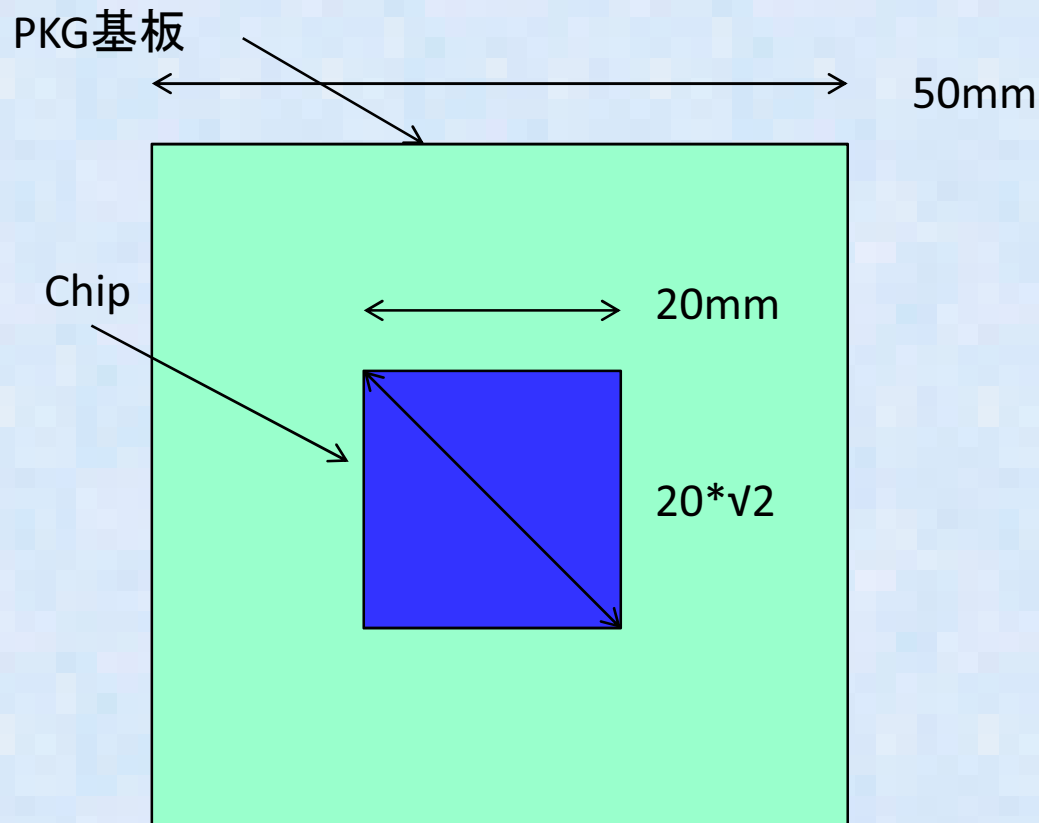
熱応力にたいする例題

- ここでまた簡単な基板の上にチップを実装した電子パッケージの例題で反りなどを計算し理論解と比較する。モデルはSalomeで作成し、解析はCalculixで計算する。



熱応力にたいする例題

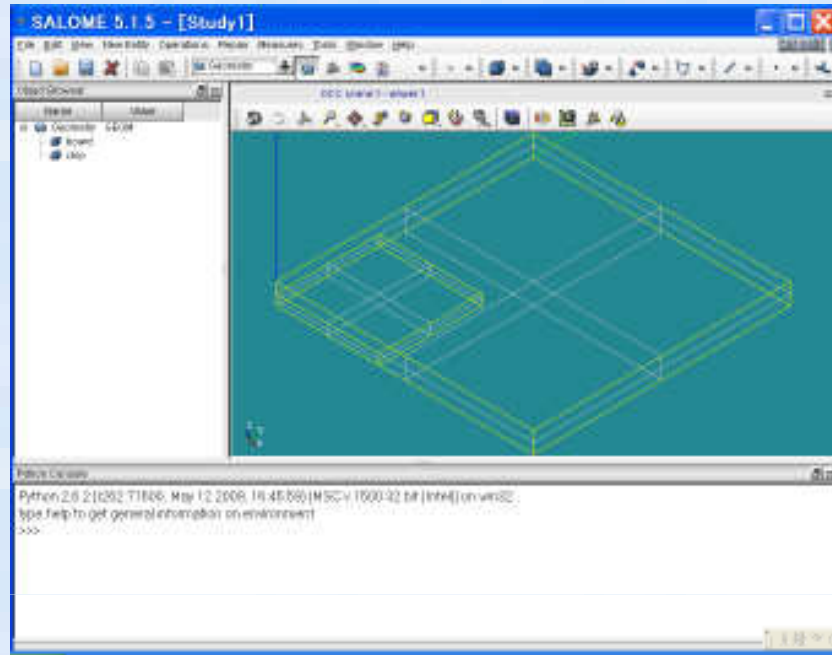
- バイメタルの式にパラメータを代入して
- 反り理論解を計算する。 $L=10*\sqrt{2}=14.14\text{mm}$ で
- チップの対角長を代入



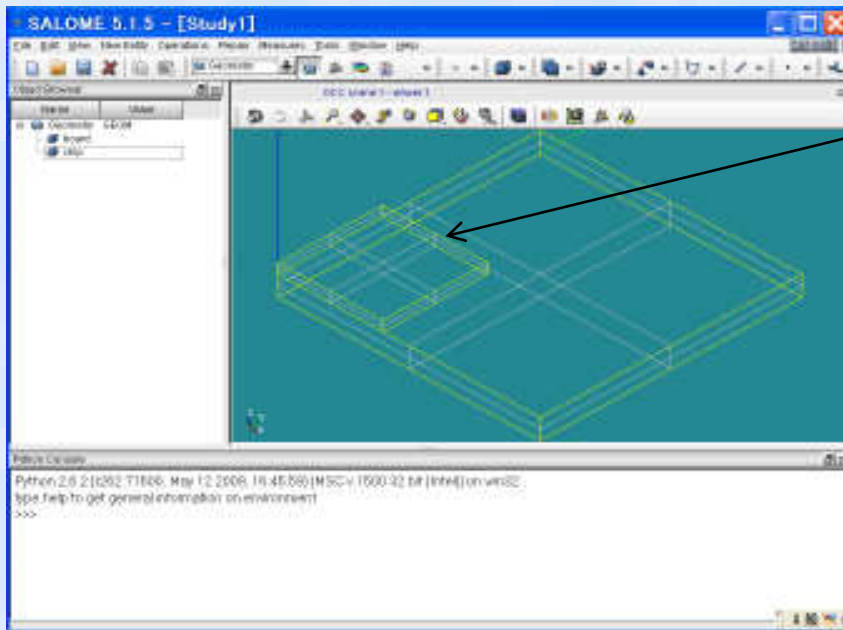
E1	180000
E2	20000
a1	3.00E-06
a2	1.70E-05
dT	100
L	14.14214
t1	1
t2	2
I1	0.0833333
I2	0.666667
Y	28333.33
A	4.154321
delta	-0.0674

チップ部の最大反りは0.067mm

熱応力にたいする例題

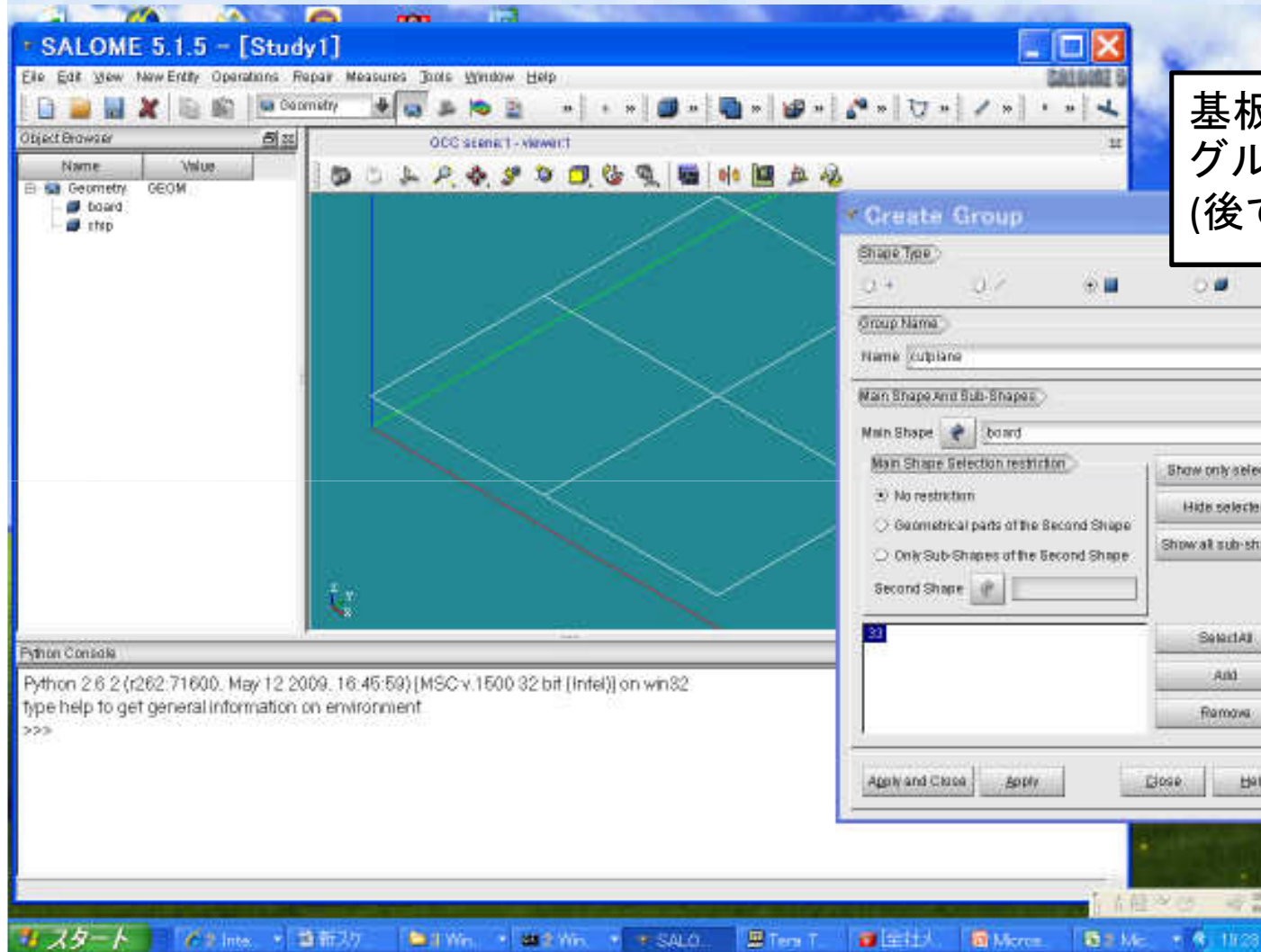


¼でモデル化しますので
□25mmと□10mmの箱を
2つ作成



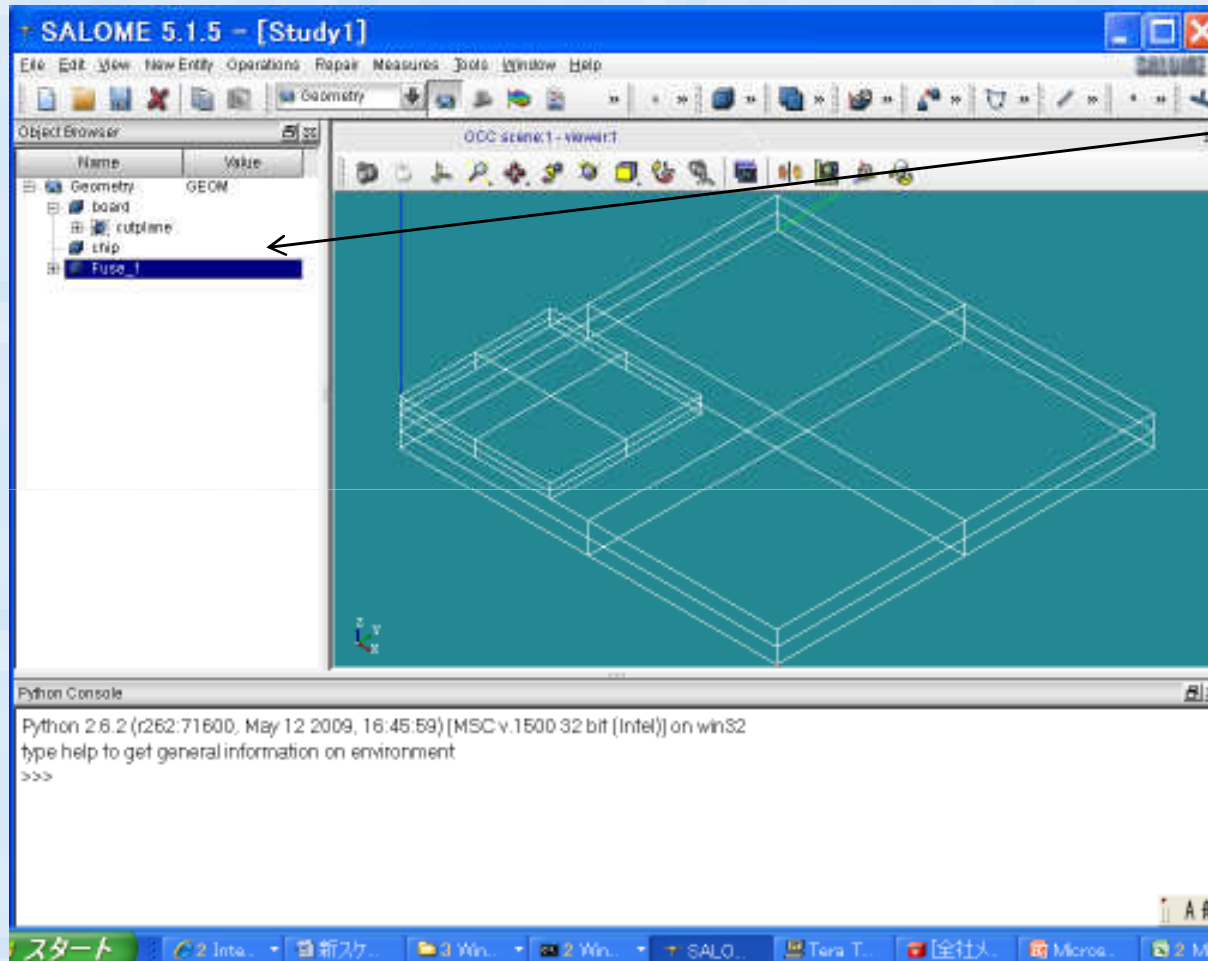
ChipをTranslateコマンドで
2mm上に移動

熱応力にたいする例題



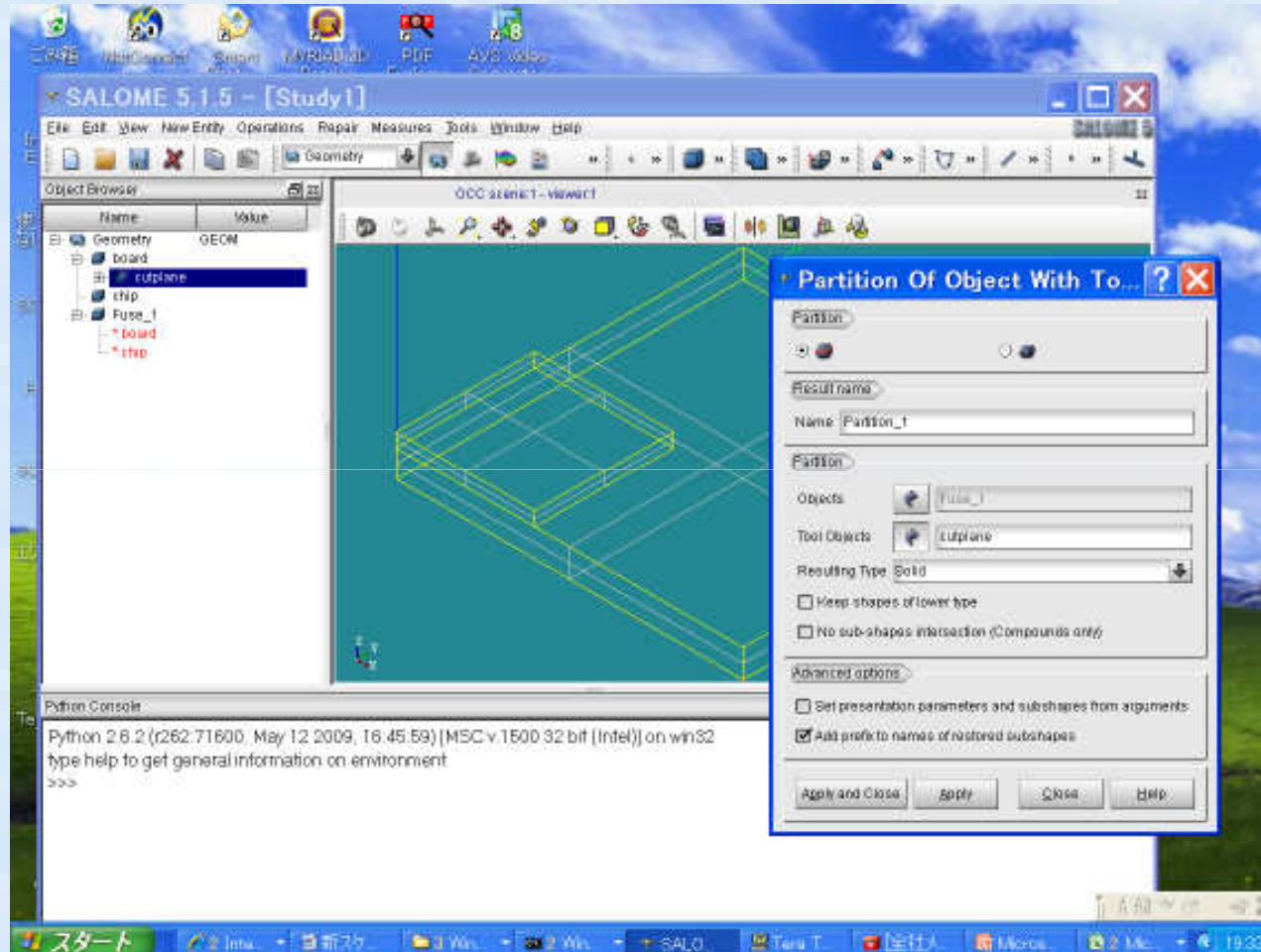
基板の上面を分割面としてグループ化する。
(後で使う)

熱応力にたいする例題



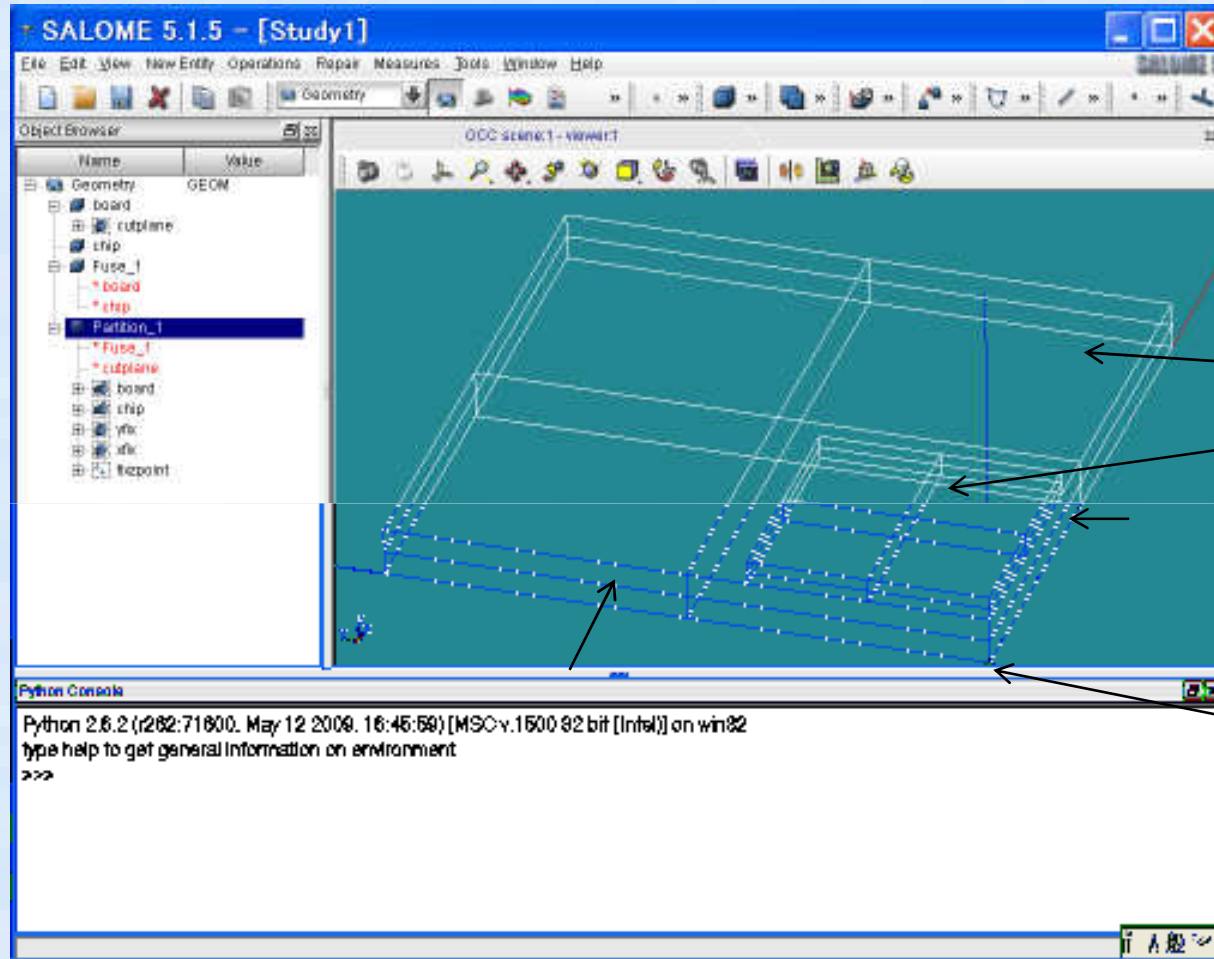
ChipとBoardを
ブーリアン演算
のFuseコマンド
で結合して、新
しいSolid
(Fuse1)を作成
する。

熱応力にたいする例題



- Fuse1をOperationのPartitionコマンドで元のBoardとchipエリアに分割する。
- ここで先ほどのCutplaneを使用する。

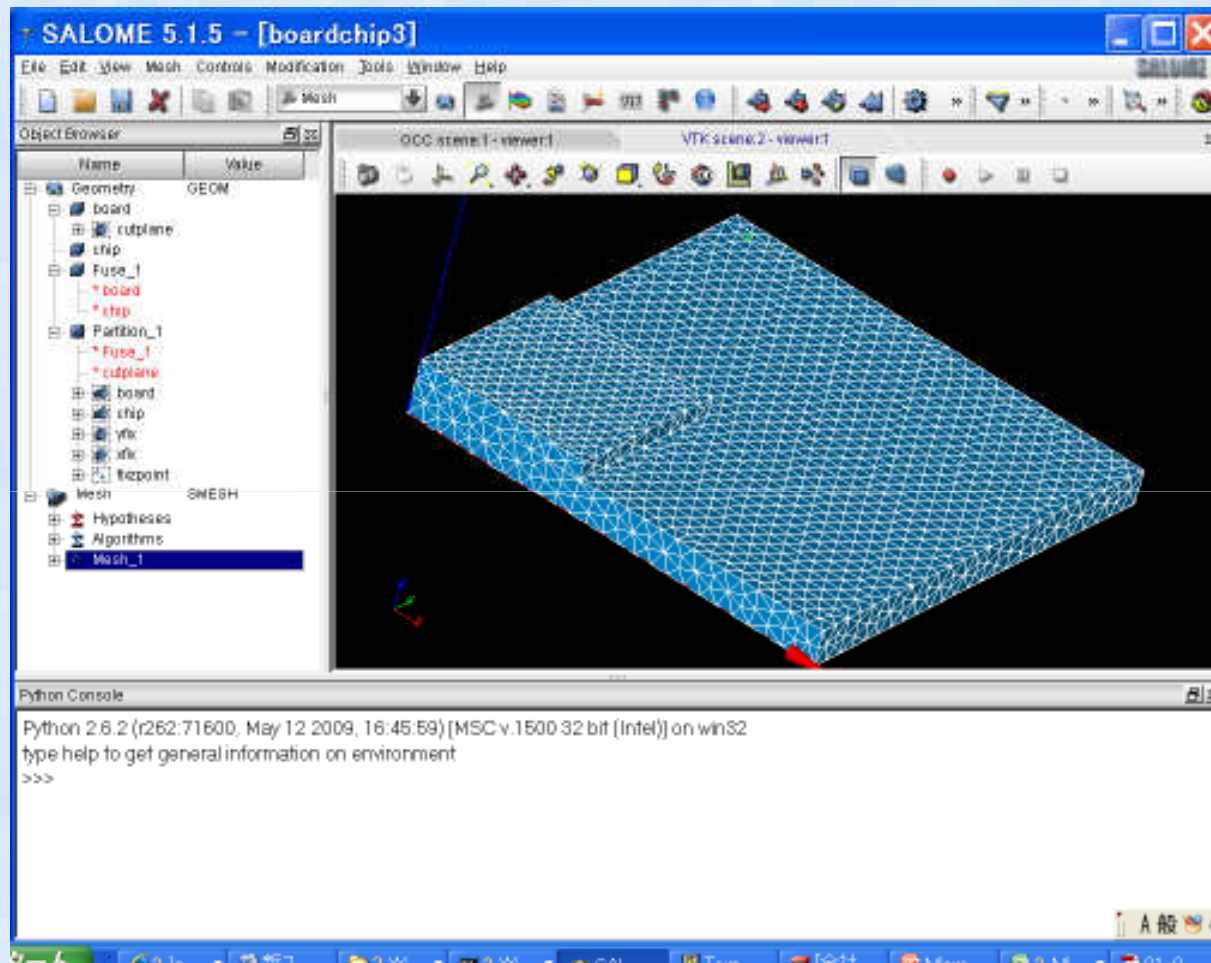
熱応力にたいする例題



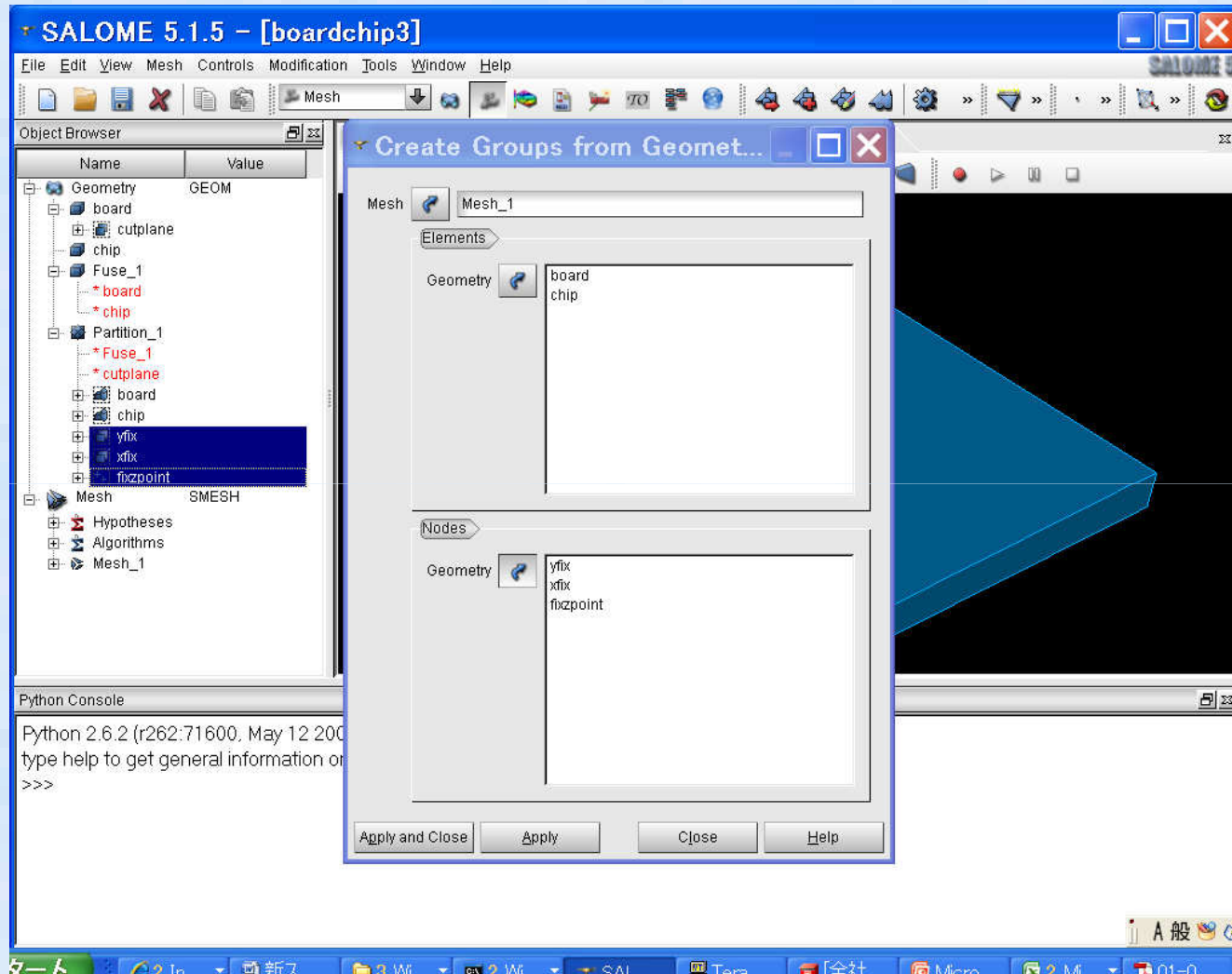
- できたPartition1のソリッドに以下の形状グループを作成する
- Solid: Board, Chip
 - Surface: xfix, yfix (対象境界面)
 - Point: zfix(基板底の中心点 1点)

熱応力にたいする例題

tetra2次要素を使ってメッシュを作成する。メッシュサイズは1mmとした。

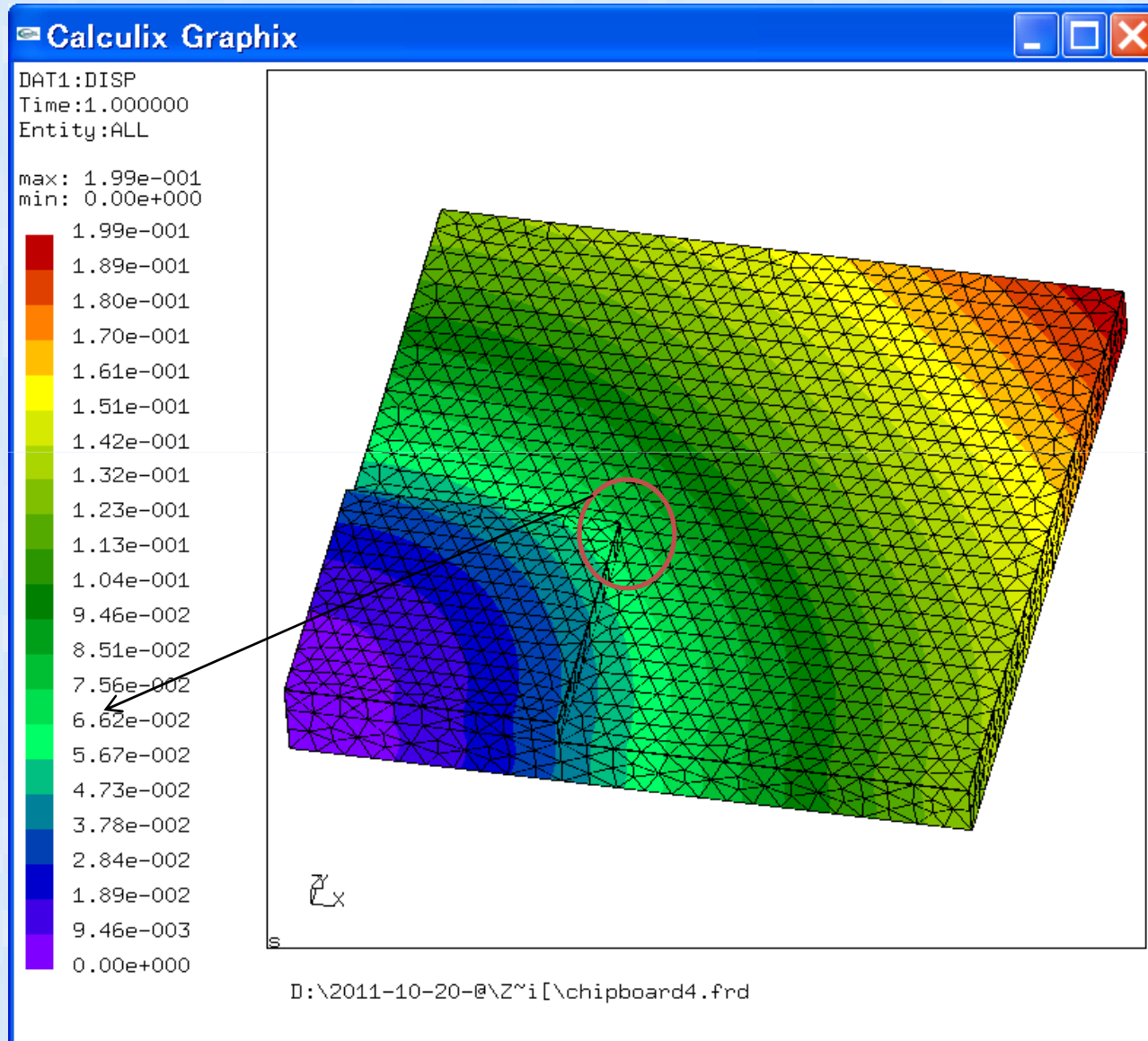


熱応力にたいする例題



メッシュデータの中にCreate Groups from Geometryからグループを作成する。

熱応力にたいする例題

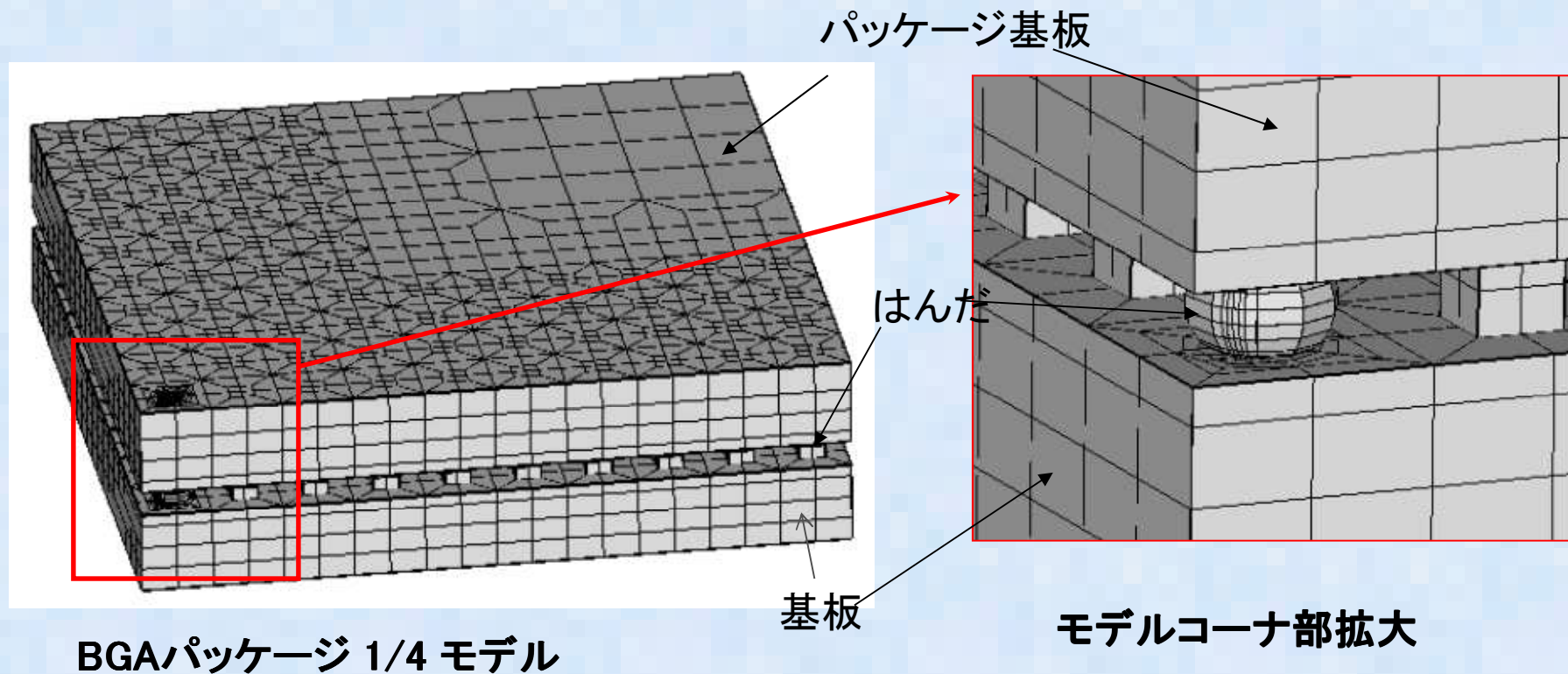


・Calculixで計算を実施、事前に手作業で初期温度、境界条件などの設定をテキスト編集で実施する必要あり

-反りの分布図を見るとチップコーナの反りは0.062mmで理論計算の0.067mmに概ね一致する結果となっている。

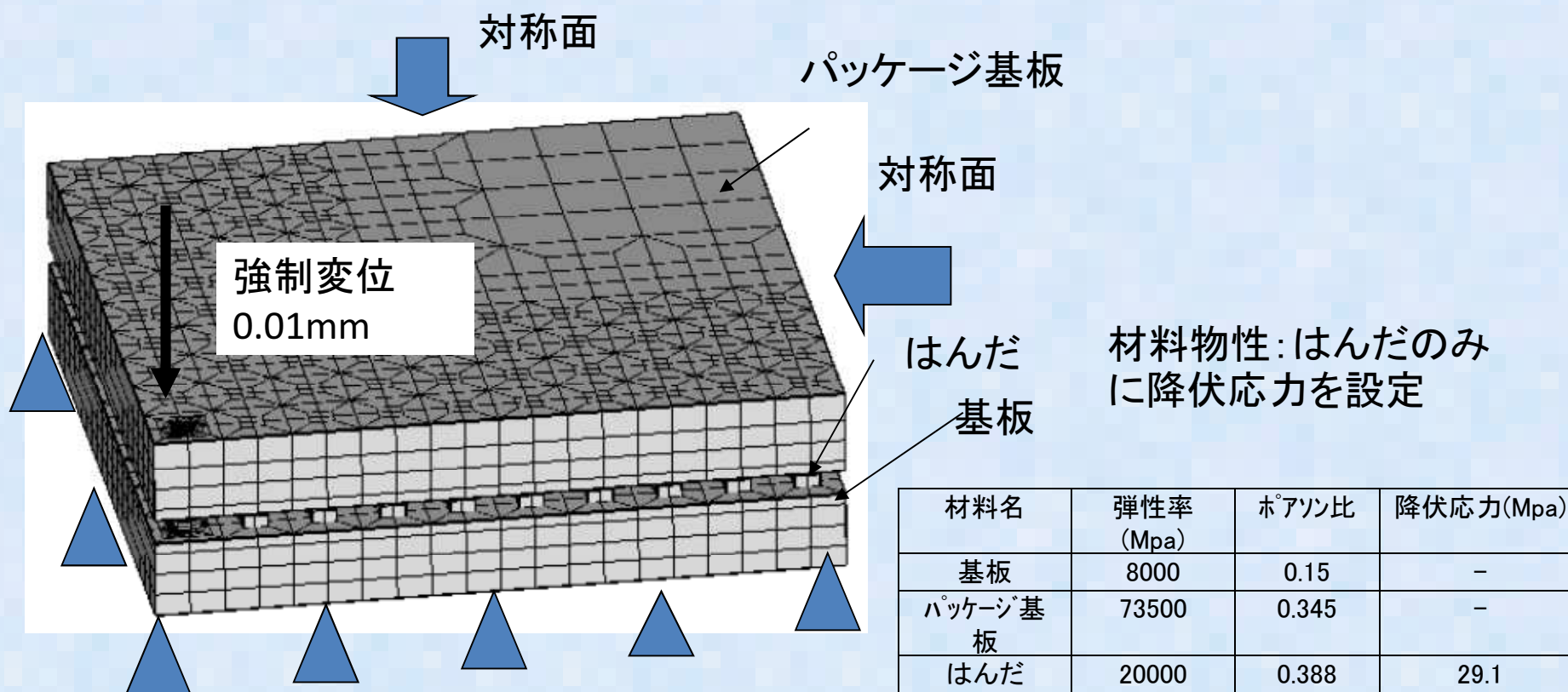
機械的荷重にたいする強度解析

- 弾塑性問題の簡易パッケージモデルベンチマーク
- 解析モデル概要：以下のBGAパッケージのパッケージコーナ節点に強制変位0.01mmを
- 負荷して直下のBGAバンプに発生する応力、塑性ひずみをFrontISTR, Calculix, ABAQUSなどオープンソルバと比較、結果妥当性を検証
- 節点数：18000, 要素数：15000



機械的荷重にたいする強度解析

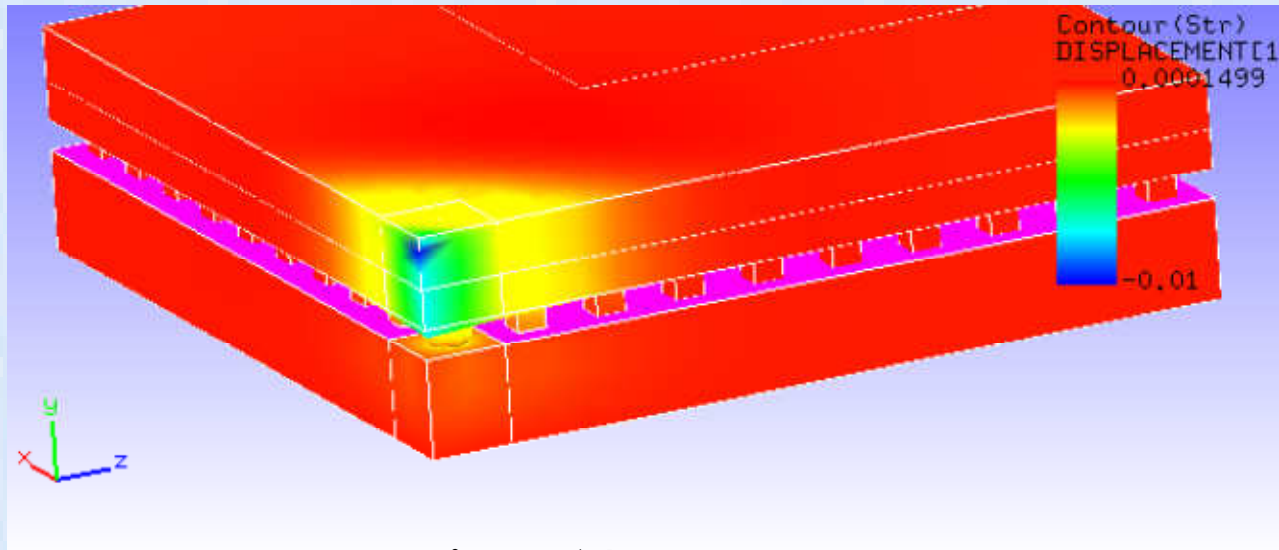
- 弾塑性問題の簡易モデルベンチマーク
- 荷重・拘束条件：パッケージコーナ節点に強制変位0.01mmを負荷、
- 基板底面は固定



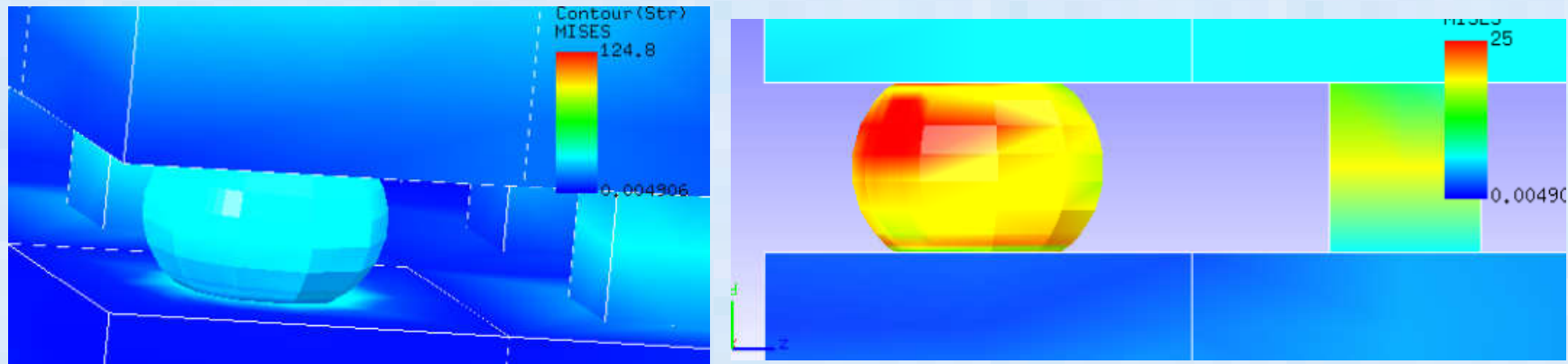
BGAパッケージ1/4モデル荷重・拘束条件

機械的荷重にたいする強度解析

FrontISTRを用いた計算結果



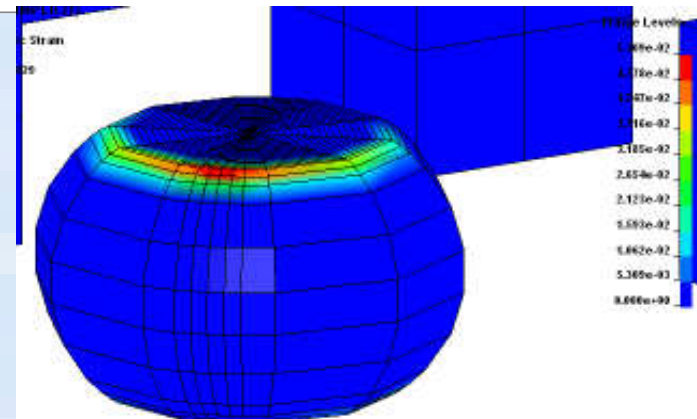
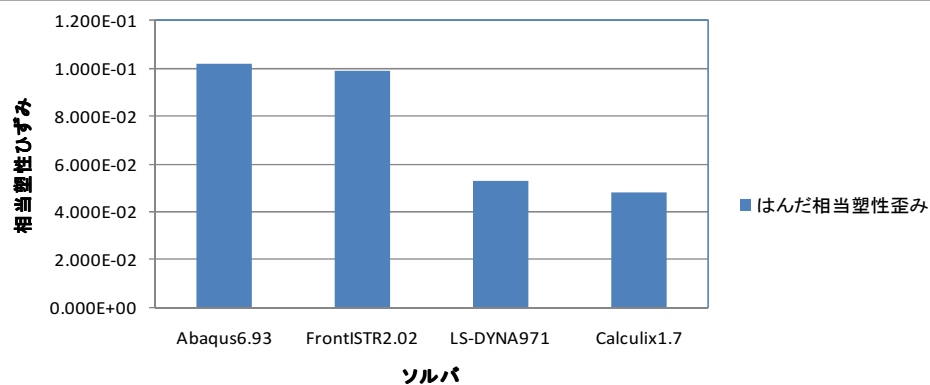
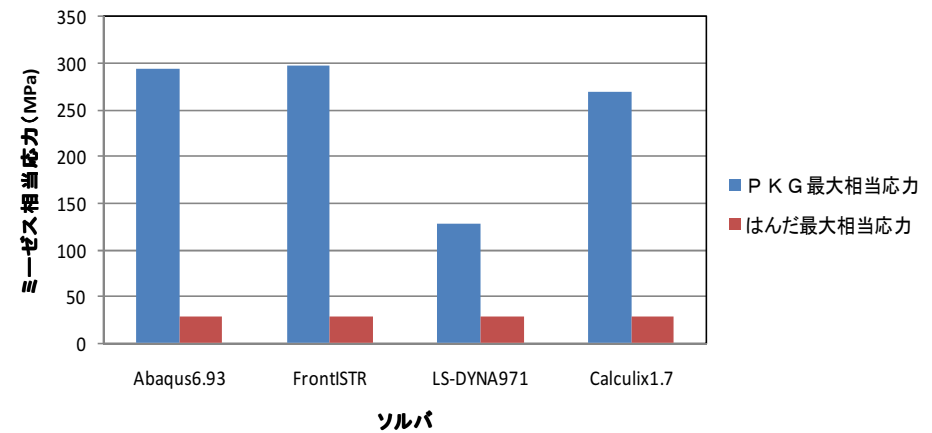
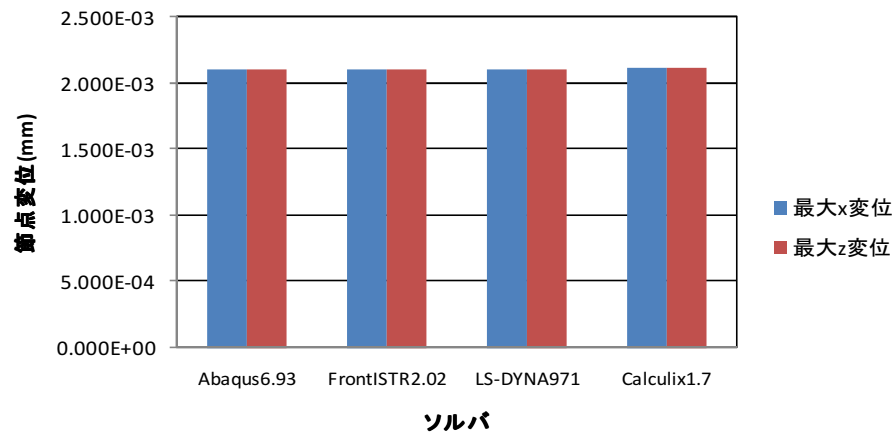
パッケージ変形図



BGA応力分布

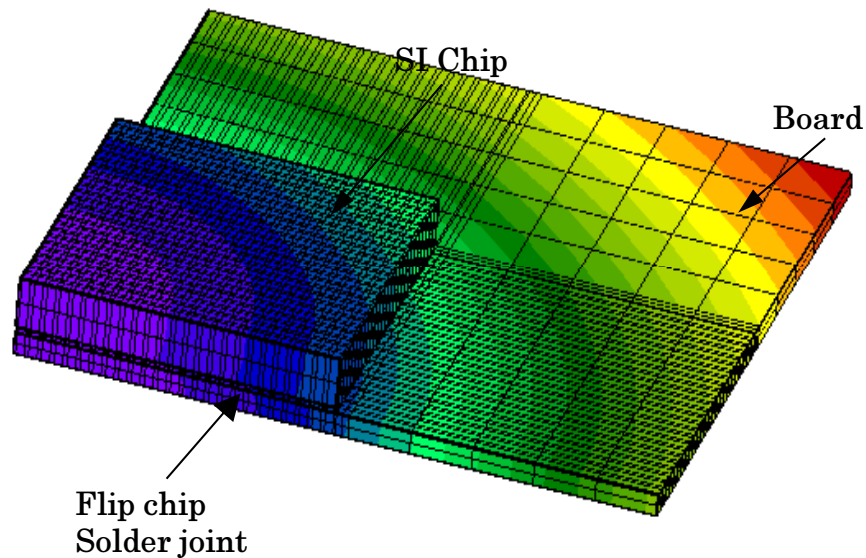
b. 機械的荷重にたいする強度解析 -ABAQUSとその他ソフト比較結果-

	Abaqus6.93	FrontISTR2.02	LS-DYNA971	Calculix1.7
最大x変位	2.104E-03	2.097E-03	2.11E-03	2.12E-03
最大z変位	2.104E-03	2.097E-03	2.11E-03	2.12E-03
P K G 最大相当応力	2.936E+02	2.973E+02	127.18	270.015392
はんだ最大相当応力	2.910E+01	2.910E+01	29.09	29.10095037
はんだ相当塑性歪み	1.016E-01	9.877E-02	5.28E-02	4.83E-02



LSIフリップチップ実装パッケージ解析モデル

- LSIフリップチップパッケージでのパラメータStudy



Electronic package simulation model

温度条件:リフロー加熱を想定した温度変化

221°C(初期) ⇒ 25°C(室温)

設計変数:パッケージ基板材料特性

縦弾性率と線膨張係数(各温度)

目的関数:LSIチップ応力、基板反り量、

はんだの最大相当塑性ひずみ

を最小化

汎用非線形構造解析FEM:ABAQUS v6.7

フリーソルバ:

CalculiXv(ABAQUS比較)

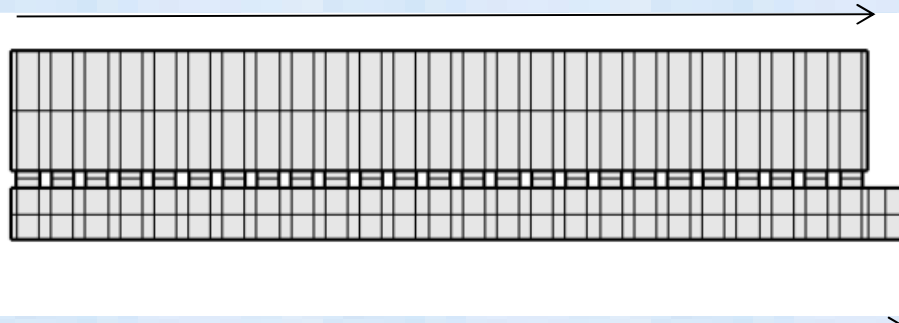
<http://www.calculix.de/>

※上記モデルから自動化スクリプトを利用し、自動的にパラメータの数値を変更し、多数の計算結果を得て、結果をマイニングソフトによって分析

電子パッケージモデル(2)

- 解析モデル寸法と設計変数

LSI Chip
□25mm

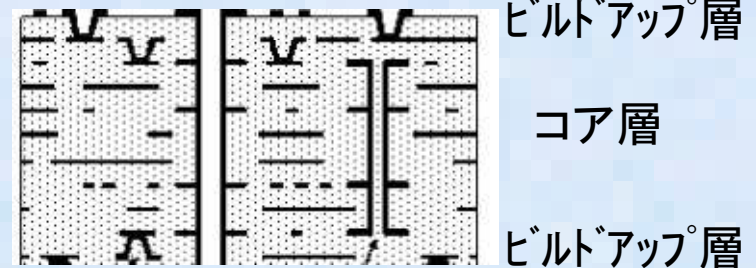


Package Board
□33mm

パッケージ基板に用いられるビルドアップ基板はビルドアップ層・コア層・銅配線の複合材→マクロな材料物性をコントロール可

パッケージ基板材料物性 基準値

温度(°C)	弾性率(MPa)	線膨張係数(1/K)
25	10339	2.26E-05
50	10150	2.22E-05
75	10024	2.23E-05
100	9730	2.49E-05
125	8960	2.60E-05
150	7560	2.01E-05
175	5964	1.34E-05
200	4648	1.18E-05



パッケージ用ビルドアップ基板積層構成詳細

※設計変数: パッケージ基板の材料特性

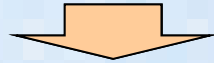
各温度弾性率(25-200°C温度) = 1000 ~ 50000MPa 31分割

ポアソン比 = 0.1 ~ 0.49 7分割

各温度線膨張係数(25-200°C温度) = $5 \times 10^{-6} \sim 60 \times 10^{-6}$ (1/K) 15分割

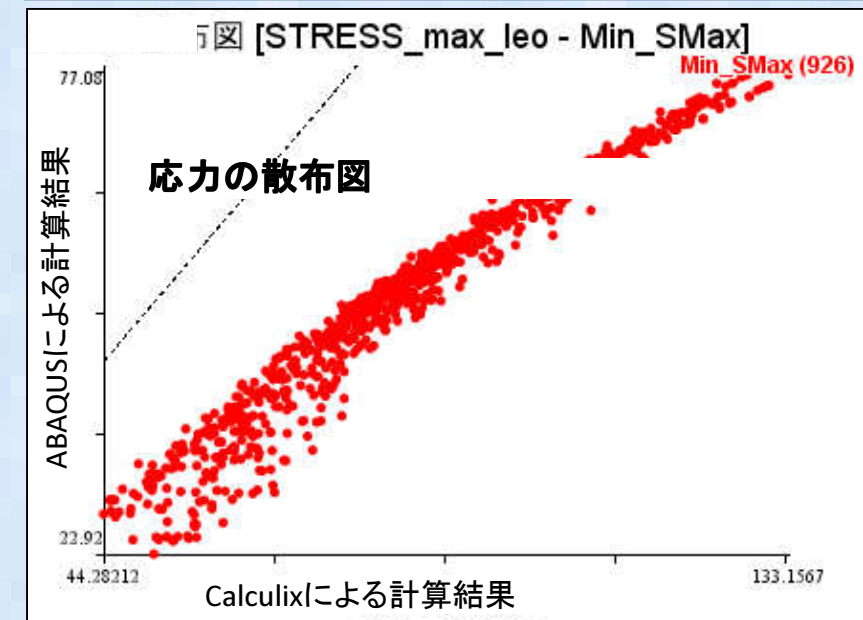
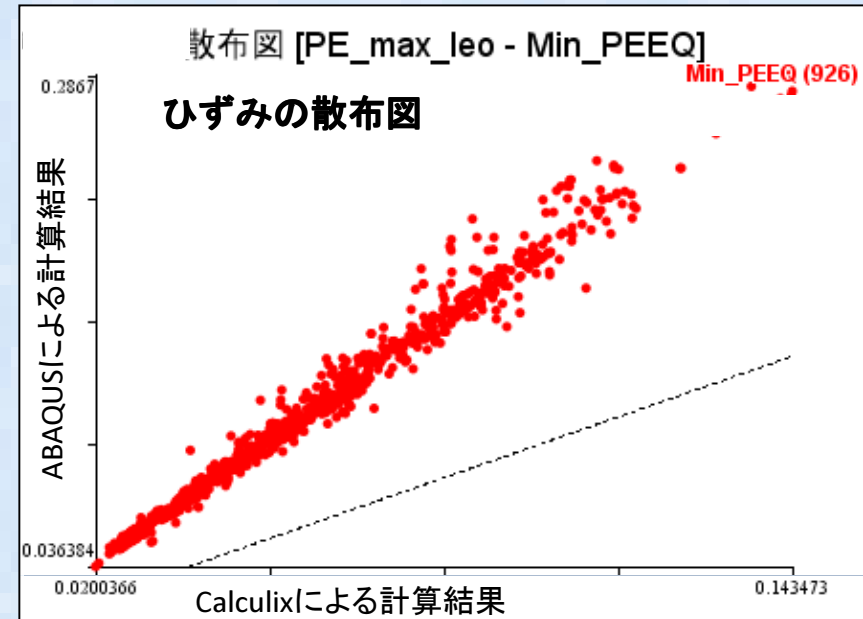
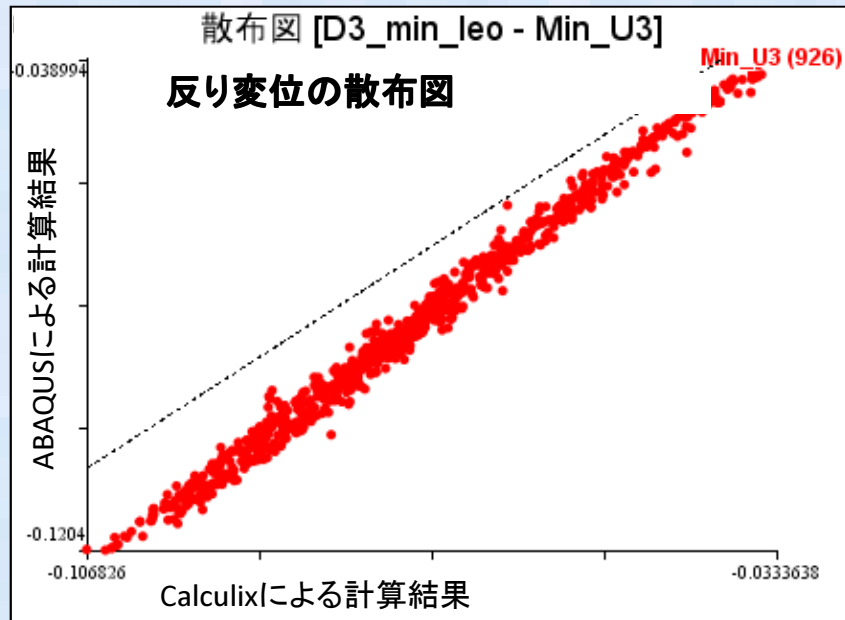
ABAQUSとCalculixの比較

- 同じモデルを与えた時の、OSSソルバ:Calculixと、商用ソルバ:ABAQUS6.7の反り変位、応力、ひずみの計算結果比較
 - 横軸はCalculix、縦軸はABAQUS
 - 点線は $x=y$ の直線
- 歪み、反り変位、応力ともおよその線形性
 - ただし、ひずみや応力の絶対値は異なる点あり



Calculixのマイニング結果はABAQUSと同傾向

商用ソフト:ライセンス数の制限で並列実行に制約

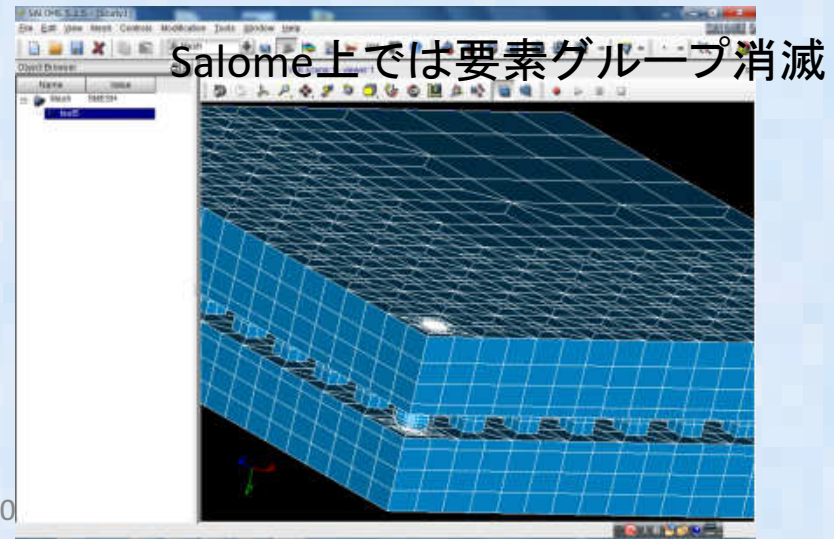
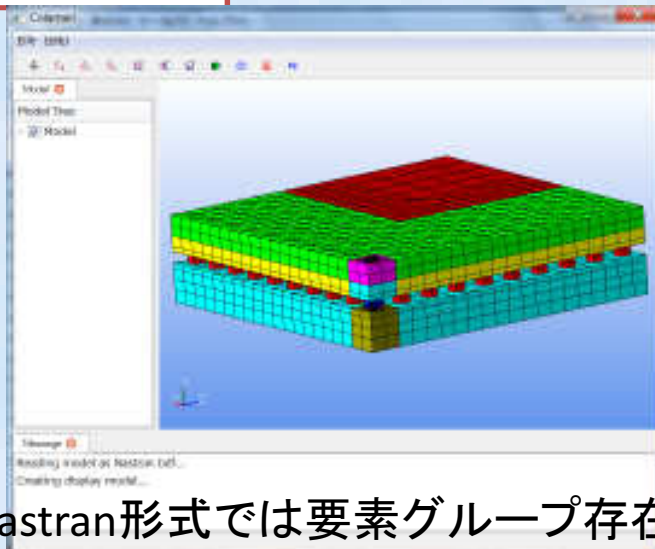
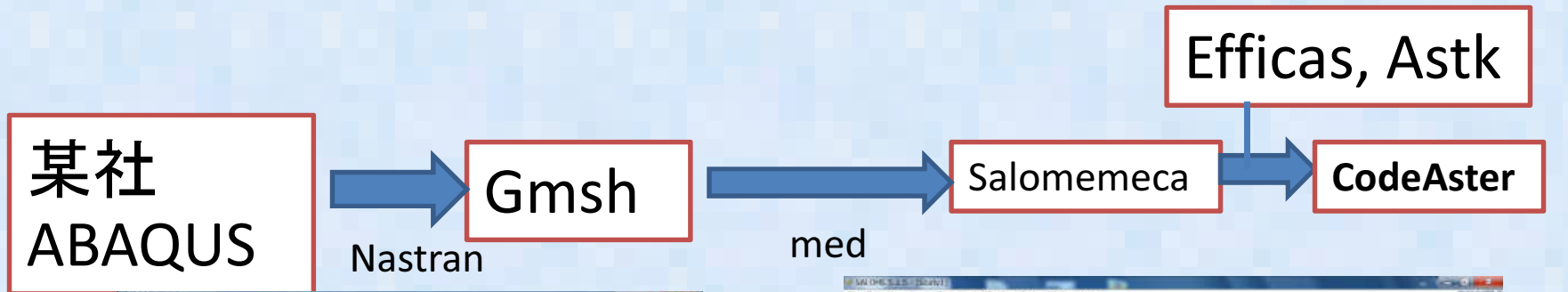


結論

- Salomeと他のオープンソースとの連携方法を調査、中間ファイルを経由することでOpenFOAM, Calculix, FrontISTRなどにデータを変換し、計算可能であることを確認した。

今後の課題&ご質問

- 過去別ソフトで解析したメッシュデータをCodeAsterに変換して解析するために、Salomeへの読み込み方法を検討した。
 - Nastran形式でGmshに読み込んで、Gmshからmed形式で出力することでメッシュは読み込みできたが要素グループ情報が消える。
 - ご質問: どなたか良い変換方法を御存じでしたら御教授ください。



質疑応答内容

- Create Group から Geometryあれば参照して容易にグループ分けできる(MK氏?)
- 商用ソフトでUnvファイル出力すればグループ分けがされたまま読み込みできる
- Calculixは今どの程度機能あるのか(KZ)?
→ 非線形材料は粘弾性はないがそそこ使える。接触解析も機能はあるが未検証(HS)