

SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

信頼性課 藤井 08/5/31

SalomeMecaの使い方 -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)  
(SalomeMeca 2008.1)

## 目次

1. はじめに
2. 解析方法
3. モデルの作成
4. メッシュの作成
5. 解析方法
  - 5-1. Code\_Aster の作成
  - 5-2. Code\_Aster を ASTK に Export
6. 線形熱応力解析
  - 6-1. Code\_Aster の編集
    - 6-1-1. 材料定数の定義
    - 6-1-2. 温度の設定と材料の設定
    - 6-1-3. 境界条件の設定
  - 6-2. 計算開始
  - 6-3. 結果の確認
7. 非線形熱応力解析
  - 7-1. Code\_Aster の修正
    - 7-1-1. 材料の修正
    - 7-1-2. 非線形解析 (STAT\_NON\_LINE) への変更
    - 7-1-3. 出力項目の修正、変更
  - 7-2. 計算開始
  - 7-3. 結果の確認
8. Code\_Aster

## 1. はじめに

P板製品の様に素子のはんだ付けされている製品で、部品の熱応力によってはんだに歪が発生して、はんだクラックに至るケースがある。この様な場合を想定して、はんだに生じるひずみ（塑性歪）の解析を行ってみる。基本編では、単純な四角柱のモデルを使ったが、ここではチップレジスタのはんだひずみを解析する。

## 2. 解析方法

モデルは、P板とチップレジスタのモデル「Solid-SMD-R.stp」、及びはんだ部のモデル「only-solder.stp」の2ヶのモデルを作っているため、これらのモデルをSalomeで読み込む。モデルの大きさは、適当に作っており、寸法はでたらめなので注意。

これらのモデルを読み込んだ後、Fuseで一体化し、partitionで分割してメッシュをきる。これにより、材料間で節点が共有された一体のモデルを作ることができ、このモデルを使って解析する。→「複合材料」を参照。

部品を連結、結合してAssyのモデルを作ることできるが、今回の場合、結合部近辺のひずみを問題にしているため、複合材で解析する。

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

### 3. モデルの作成

P板とチップレジスタのモデル「Solid-SMD-R.stp」とはんだ部のモデル「only-solder.stp」を読み込む。これらのモデルは、1/4にカットしたモデルにしている。

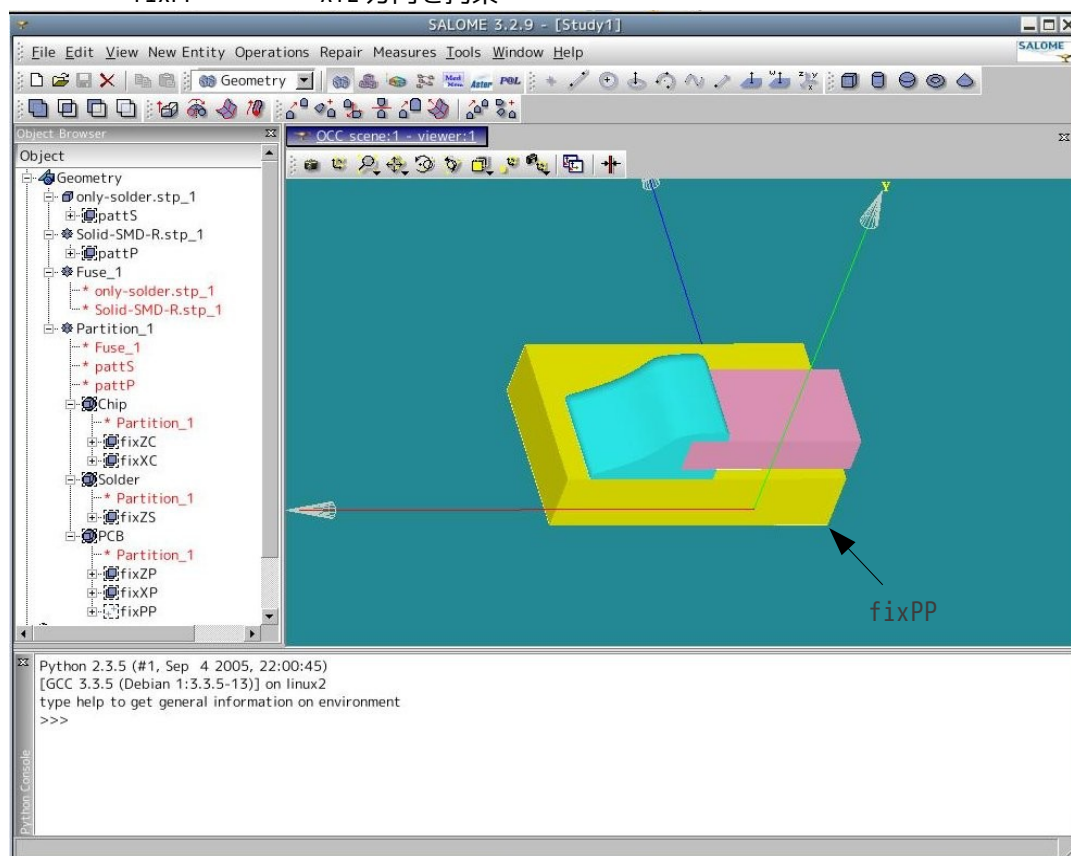
Fuseで一体化する前に、partitionで分割する面を定義しておく。分割面は、はんだとチップレジスタの境界面 (はんだ側：4面：PattS) とP板とはんだの境界面 (P板側：1面：PaatP) としている。

分割面を定義した後、「Operations」「Boolean」「Fuse」でモデルを一体化する。

一体化されたモデル「Fuse\_1」を「Partition」でモデルと境界面 (PattSとPattPの2ヶ) を指定して、分割する。できあがった分割モデル「Partition\_1」にボリューム名と解析に使用する面と点を定義する。

解析に使用する面と点は、拘束する面と点であり、下記の様に設定する。

|        |          |
|--------|----------|
| Chip   | チップレジスタ  |
| fixZC  | Z方向を拘束   |
| fixXC  | X方向を拘束   |
| Solder | はんだ      |
| fixZS  | Z方向を拘束   |
| PCB    | P板       |
| fixZP  | Z方向を拘束   |
| fixXP  | X方向を拘束   |
| fixPP  | XYZ方向を拘束 |

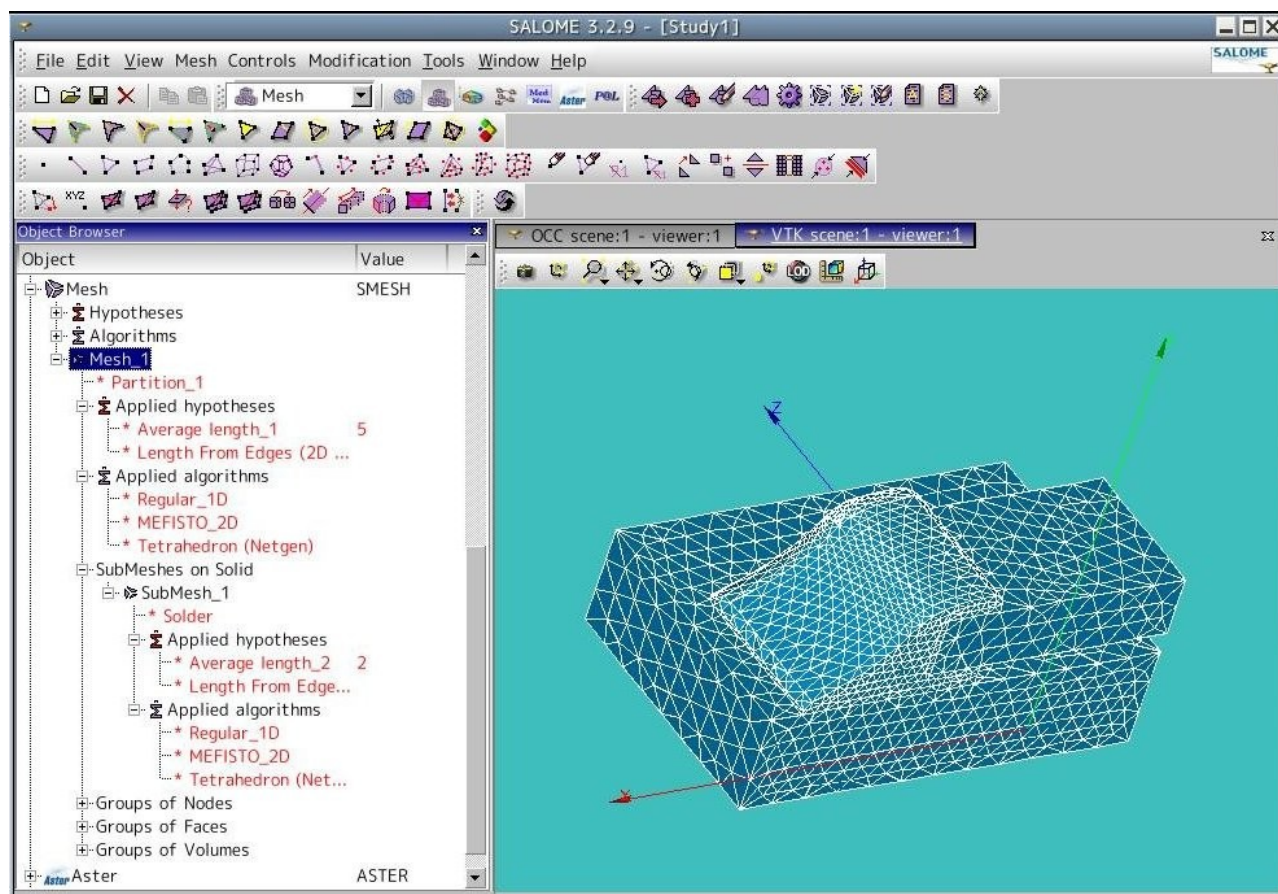


### 4. メッシュの作成

メッシュは、自動メッシュ (Automatic Length) でメッシュをきらずに、意識的に Average Length を設定してメッシュを切った。形状が複雑な為、Automatic Length では、メッシュが細くなり過ぎた為、Average Length を設定してメッシュを切った。また確認したいことは、はんだのひずみである為、チップレジスタとP板はメッシュを荒く、はんだは細かくメッシュを切った (Average Length を各々設定してメッシュを切る。)

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

全体 (Partition\_1) を「Mesh」「Create Mesh」で Average Length を「5」に設定してメッシュを切る。その後、はんだ (Solder) を指定して、「Mesh」「Create sub-mesh」で Average Length を「2」に設定してメッシュを切った。モデルの大きさは、適当に作ってあるので、Average Length も今回のモデルに合わせて設定しており、かなり大きな値になっている。(モデルの寸法が大き過ぎた。) メッシュ作成後、Geometry で設定したグループ化もメッシュに設定しておく。



### 5. 解析方法

解析方法は、ウィザードを使って基本となる Code\_Aster を作成する。この後、これを編集して熱弾塑性解析ができるようにする。

編集箇所が多いので、編集は Salome を使わずに ASTK を使って編集する。この為、Salome が作った Code\_Aster や結果ファイルなどを ASTK 側に転送 (export) し、ASTK 単独で読める状態にする。ASTK 側で解析を進め、結果ファイルを Salome の Post-Pro で読み込み可視化する。

#### 5-1. Code\_Aster の作成

Salome のウィザードを使って、基本となる Code\_Aster を作成する。comm ファイルは、`/home/caeuser/cae/solder-chipR/chip-sol.comm` に保存した。作成後、エラーがあるかどうかを確認する為に、実行しておく。

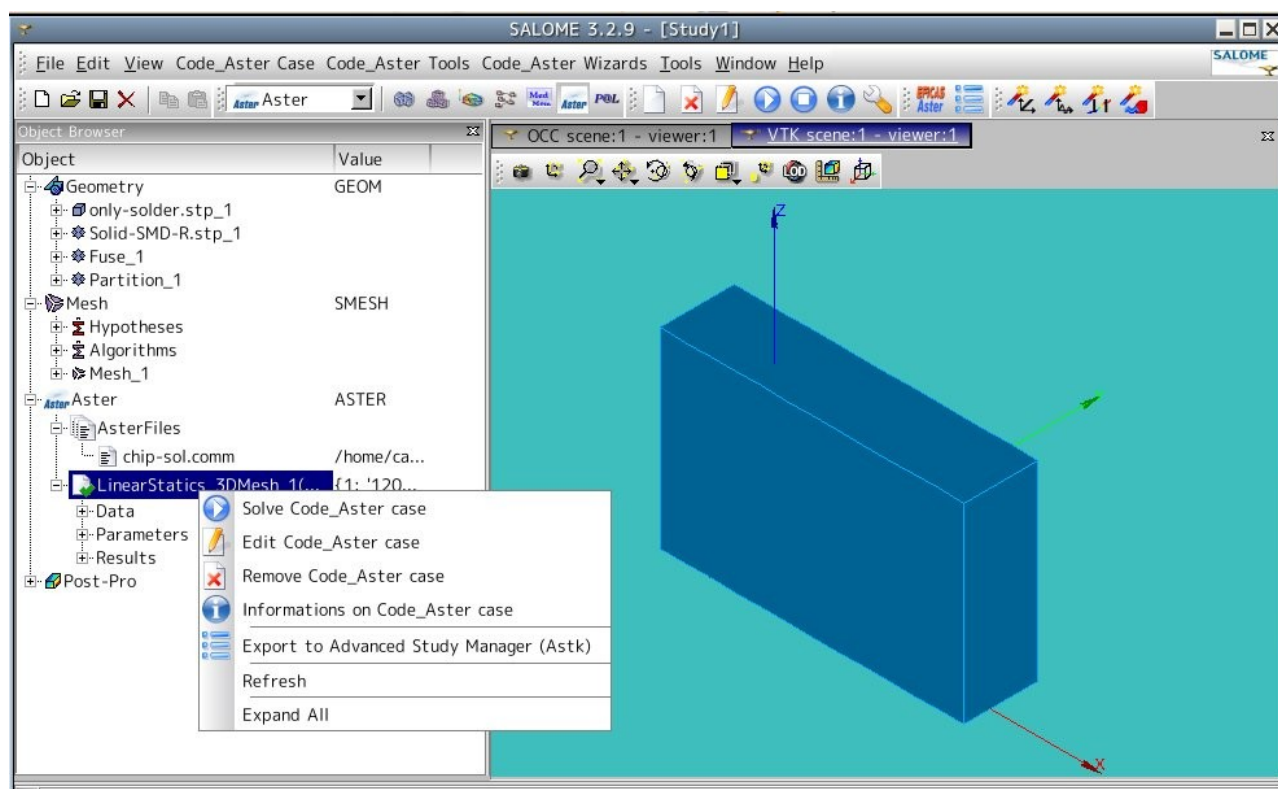
#### 5-2. Code\_Aster を ASTK に Export

基本となる Code\_Aster を ASTK に転送 (Export) する。Aster 画面上から「LinearStatic\_3DMesh\_1」を右

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

クリックして「Export to Advanced Study Manager (Astk)」を選択する。 選択すると、ASTKが起動するので、起動後、内容をそのまま保存して、ASTKを終了しておく。 保存場所は、commファイルと同じ場所に「solder-chip.astk」として保存した。

(起動した状態で、commファイルを編集するのが通常と思うが、今の状態では、EFICASが正常に起動せず、編集できない状態の為、ここではできあがったastkファイルを保存するにとどめておく。)



### 6. 線形熱応力の解析

非線形の熱応力を解析する前に、線形の熱応力を解析してみる。

現在のCode\_Asterは、線形の構造解析(圧力の負荷で応力解析)になっている為、まず線形の熱応力解析に変更する。これが確認できてから、非線形解析に移る。

#### 6-1. Code\_Asterの編集

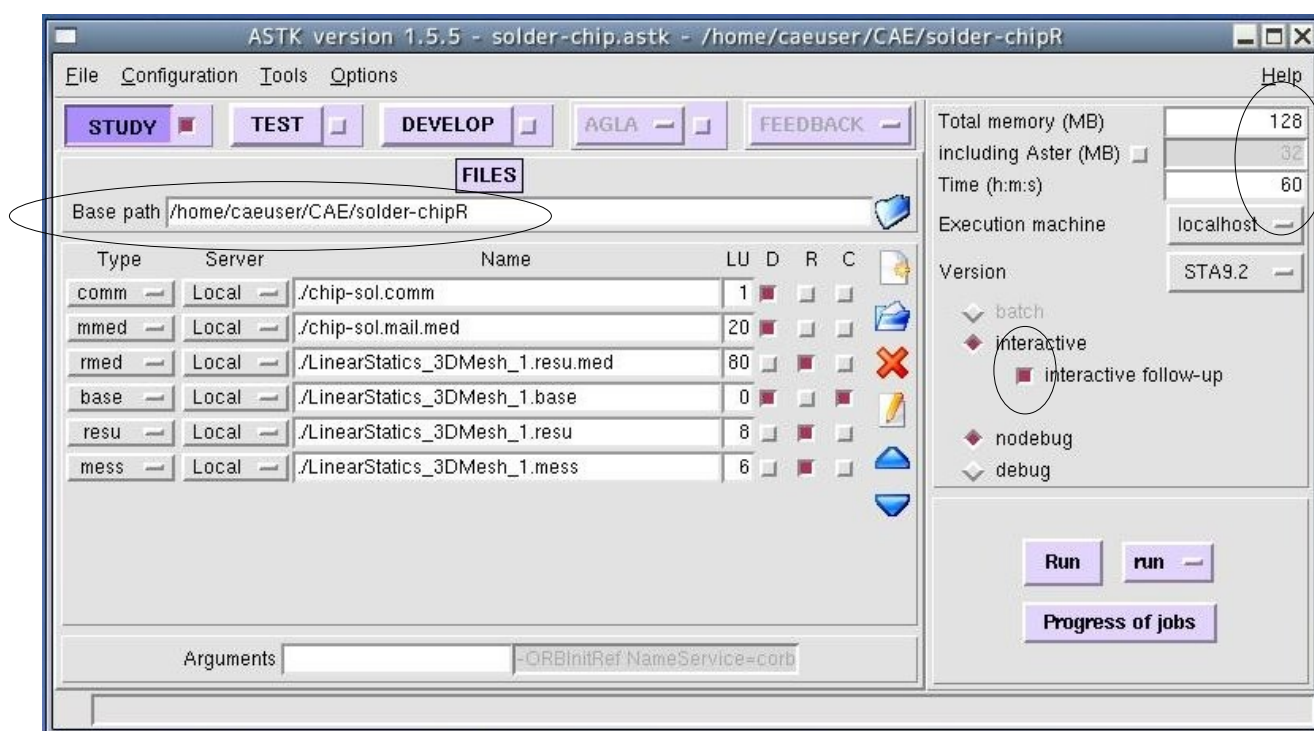
パネルバー上のEFICASアイコンをクリックしてEFICASを起動して、5-2項で保存したastkファイルを読み込む。

読み込んだ後は、Base pathを正しく設定し、interactive follow-upボタンをONする。メモリ設定、制限時間の値を確認し、問題があれば変更しておく。(メモリはデフォルトで32MBなので、少な過ぎる。Salomeのデフォルト(128MB)に変更しておいた方が無難。)

以上の設定後、まず、変更内容を保存しておく。

この後、テキストボックス内の「chip-sol.comm」を右クリック、「Open」を選択して、EFICASを起動して、Code\_Asterを編集する。

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)



## 6-1-1. 材料定数の定義

材料は、下記材料を使用する。

| 材料名     | 材質                                     | ヤング率 (MPa) | ポアソン比 | 線膨張係数 (1/°C) | 降伏点 (MPa) |
|---------|--|------------|-------|--------------|-----------|
| はんだ     | Sn60                                   | 17640      | 0.4   | 26.7e-6      | 17.64     |
| チップレジスタ | アルミナ (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 309680     | 0.2   | 7.0e-6       |           |
| P板      | ガラエポ                                   | 22540      | 0.3   | 14.0e-6      |           |

この為の材料を下記のように定義する。

```

DEFI_MATERIAU          Sn60          #はんだ Sn60
ELAS
  E                    17640        #ヤング率
  NU                   0.4          #ポアソン比
  ALPHA                26.7e-6      #線膨張係数
DEFI_MATERIAU          Al2O3        #アルミナ
ELAS
  E                    309680
  NU                   0.2
  ALPHA                7e-6
DEFI_MATERIAU          GlassEP      #P板 (ガラエポ)
ELAS
  E                    22540
  NU                   0.3
  ALPHA                14e-6

```

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

### 6-1-2. 温度の設定と材料の設定

温度変化は、 $-30^{\circ}\text{C}$ → $80^{\circ}\text{C}$ まで変化させる事とする。ここまで変化させた時のはんだひずみを求める。参照温度 ( $-30^{\circ}\text{C}$ ) は、材料に関連付ける。設定温度 ( $80^{\circ}\text{C}$ ) は、設定温度を定義した後、材料に関連付ける。この為、まず、設定温度 ( $80^{\circ}\text{C}$ ) を下記のように定義する。

```

CREA_CHAMP          tempS          #tempSとして定義
TYPE_CHAM           NOEU_TEMP_R    #節点温度として定義
OPERATION           AFFE
b_affe_modele
AFFE
  TOUT              OUI
  NOM_CMP           TEMP
  VALE              80              #80°Cを定義

```

定義後、設定温度を材料に関連付ける。またこの時、参照温度や材質も以下の様に関連付ける。

```

AFFE_MATERIAU      MATE
MAILLAGE           MAIL
AFFE
  AFFE_1
    GROUP_MA       Solder
    MATER           Sn60
  AFFE_2
    GROUP_MA       Chip
    MATER           Al203
  AFFE_3
    GROUP_MA       PCB
    MATER           GlassEp
AFFE_VARC
  GROUP_MA         (Solder,Chip,PCB) #Solder,Chip,PCBを
  CHAMP_GD         tempS             #設定温度 80°Cに設定
  B_CHAMP_GD
  NOM_VARC         TEMP
  VALE_REF         -30              #参照温度 -30°Cに設定

```

### 6-1-3. 境界条件の設定

材料と温度の設定が終わったので、境界条件を設定する。

モデルが1/4のモデルなので、カットした面を面に垂直方向で拘束する。これにより、X方向、Y方向は拘束されるが、Z方向が拘束されていない為、P板の一部(点)をXYZ方向に拘束する。

以下が、ツリーの構造。

```

AFFE_CHAR_MECA     CHAR
MODELE             MODE
DDL_IMPO
  DDL_IMPO_1
    GROUP_MA       (fixZP,fixZS,fixZC)
    DZ              0.0

```

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```
DDL_IMPO_2
GROUP_MA      (fixXC,fixXP)
DX            0.0
DDL_IMPO_3
GROUP_MA      fixPP
DX            0.0
DY            0.0
DZ            0.0
```

以上で Code\_Aster の編集は、終了したので、編集結果を保存して、EFICAS を終了する。

### 6-2. 計算開始

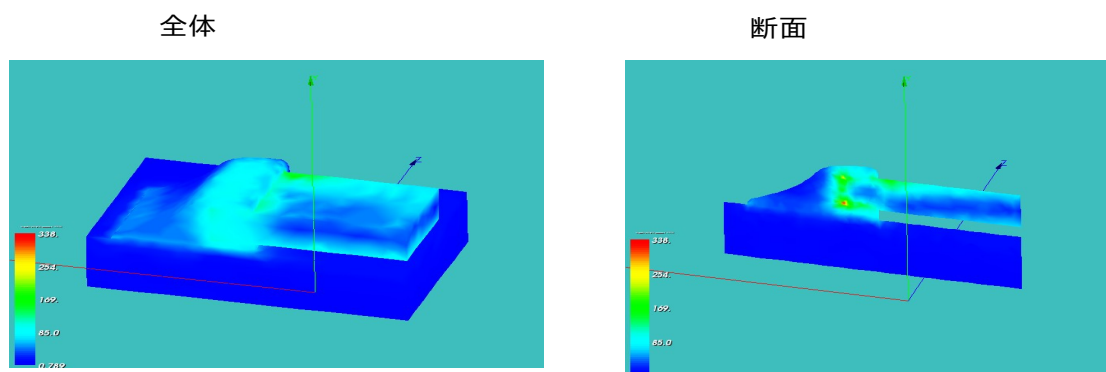
ASTK 画面のメモリ設定、制限時間、interactive follow-up ボタンを確認後、「Run」ボタンをクリックして、計算を開始する。

### 6-3. 結果の確認

エラー無く計算が終了すると、結果ファイルは、「./LinearStatics\_3DMesh\_1.resu.med」にあるので、このファイルを、Salome の Post-Pro 画面から Import する。

結果が読み込まれると、結果を確認することができる。 下記参照。

線形の弾性解析では、最大応力はチップ先端部で 338MPa 発生していることがわかる。 この大きさでは、はんだは、当然塑性変形している事になる。(降伏点が 17.64Mpa の為)



## 7. 非線形熱応力解析

前項で線形の弾性解析を実施したが、ここで非線形の弾塑性熱応力を解析する。

方法は、線形で作成した Code\_Aster を非線形用に修正する。

### 7-1. Code\_Aster の修正

修正箇所は、非線形材料への変更と非線形解析 (STAT\_NON\_LINE) となる。修正に先立ち、線形の計算結果が残っているフォルダ (/home/caeuser/cae/solder-chipR/) のコピーを作り、コピーしたフォルダの名称を/home/caeuser/cae/solder-chipR-pl/に変更しておく。このフォルダ内にある comm ファイル (chip-

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

sol.comm) と astk ファイル (solder-chip.astk) もそれぞれ「chip-sol-pl.comm」「solder-chip-pl.astk」に変更しておき、この comm ファイルを非線形用に変更する。

これにより、線形解析の結果を保存しておくことができる。

ASTK を起動し、solder-chip-pl.astk を読み込む。読み込んだ後、ファイル名が異なっているので、これを修正しておく。この修正の後には、通常どおり編集できる。

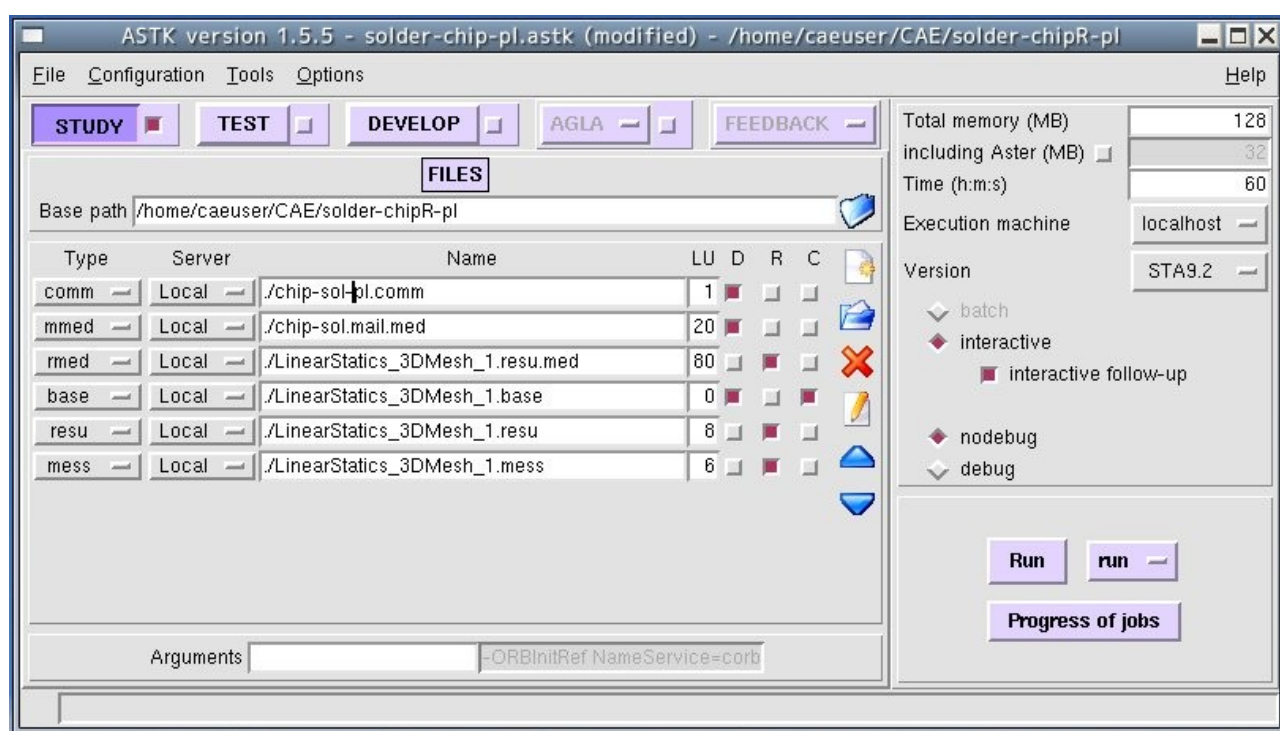
修正は、base path を正しく設定し、この後、各テキストボックス内のフォルダ名を全て

```
/home/caeuser/CAE/solder-chipR/chip-sol.comm
```

↓

```
./chip-sol-pl.comm
```

の様に変更する。上記の例は、comm ファイルの為、ファイル名も修正する。comm ファイル以外は、path の部分を「.」に変更すれば済む。



### 7-1-1. 材料の修正

現在の材料は、線形の材料になっているので、非線形の材料に全て変更する。 (はんだ以外にも非線形の材料に変更する。(全て非線形に変更しないとエラーが発生する。))

非線形の材料とする為、にまずファンクション (応力-ひずみ曲線) を定義する。

```
DEFI_FONCTION      SnPb_pl      #はんだ
  NOM_PARA          EPSI
  NOM_RESU          SIGM
  VALE              (0.001,17.64,10,17.64) #降伏点以降は応力が上昇しないと仮定。
DEFI_FONCTION      AlO_pl      #アルミナ
  NOM_PARA          EPSI
  NOM_RESU          SIGM
  VALE              (10,3096800,20,3096800) #降伏点を充分大きな値に設定
DEFI_FONCTION      GlEp_pl     #ガラエポ
  NOM_PARA          EPSI
```



## SalomeMeca の使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```
NOM_RESU          SIGM
VALE              (10,225400,20,225400)      #降伏点を充分大きな値に設定
```

定義した応力ひずみ曲線のファンクションを材料の定義に TRACTION として追加する。

```
DEFI_MATERIAU     Sn60
ELAS
TRACTION
  SIGM            SnPb_p1                    #応力-ひずみ曲線を定義
DEFI_MATERIAU     Al203
ELAS
TRACTION
  SIGM            AlO_p1
DEFI_MATERIAU     GlassEp
ELAS
TRACTION
  SIGM            GlEp_p1
```

### 7-1-2. 非線形解析 (STAT\_NON\_LINE) への変更

新しく STAT\_NON\_LINE を作り、MECA\_STATIQUE を削除して置き換える。非線形の STAT\_NON\_LINE は、1 回で負荷をかけ、そこで解が収束するように何回か計算を繰り返し、答えを求めていく。通常の非線形は、1 回で負荷を掛けずに、徐々に負荷を掛けていき、最終的に解を求めるが、熱応力に関しては、材料 (AFFE\_MATERIAU) で負荷を掛けているため、何回かに分けて負荷を掛けていくことができない。

STAT\_NON\_LINE を作成する前に以下を作成しておく。

```
DEFI_LIST_REEL    pass1
DEBUT             0.0
INTERVALE
  JUSQU_A         1.0                      #0~1 までを
  NOMBRE          1                       #1 個に分割 (1 回で負荷を掛ける)
```

この後に、以下の STAT\_NON\_LINE を作成する。

```
STAT_NON_LINE     RESU
MODELE            MODE
CHAM_MATER        MATE
EXCIT
  CHARGE          CHAR                    #拘束条件のみの為、FONC_MULT は、不要
COMP_INCR
  RELATION        VMIS_ISOT_TRAC
  FEFORMATION     SIMO_MIEHE
b_not_rese
INCREMENT
  LIST_INST       pass1
NEWTON
  PREDICTION      TANGENTE
  REAC_ITER       1
CONVERGENCE
```

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```

RESI_GLOB_RELA      1e-6
ITER_GLOB_MAXI      30
ARCHIVAGE
LIST_INST           pass1
ARCH_ETAT_INIT      OUI
CHAM_EXCLU          VARI_ELGA

```

STAT\_NON\_LINE の作成後は、MECA\_STATIQUE を削除しておく。

### 7-4-3. 出力項目の修正、変更

MECA\_STATIQUE を削除したことにより、出力関係のコマンドにエラーが発生するので、これを修正する。また、はんだひずみ (塑性ひずみ) を求めるため、出力項目にひずみを加える。この為、以下のように修正する。

要素解については、以下のように修正。

```

CALC_ELEM           RESU
MODELE              MODE
CHAM_MATER          MATE
RESULTAT            RESU
b_noil
  b_toutes
    OPTION           (EPSI_ELNO_DEPL,EQUI_ELNO_SIGM,EQUI_ELNO_EPSI)

```

節点解についても以下のように修正。

```

CALC_NO             RESU
RESULTAT            RESU
OPTION              (EPSI_NOEU_DEPL,EQUI_NOEL_SIGM,EQUI_NOEL_EPSI)

```

出力項目については、以下のように修正する。出力は、変位、相当ひずみ、相当応力の3項目とした。

```

IMPR_RESU
FORMAT              MED
b_format_med
  UNITE             80
RESU
  RESU_1
    MAILLAGE        MAIL
    RESULTAT         RESU
    b_info_med
    b_sensibilite
    b_partie
    b_extrac
      NOM_CHAM       DEPL          #変位を出力
    b_cmp
      NOM_CMP        (DX,DY,DZ)    #XYZ 方向の合成変位
    b_topologie
  RESU_2

```

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```

MAILLAGE          MAIL
RESULTAT          RESU
b_info_med
b_sensibilite
b_partie
b_extrac
  NOM_CHAM        EQUI_NOEU_EPSI      #節点解の相当ひずみを出力
  b_cmp           #オプションは、不要
b_topologie
RESU_3
MAILLAGE          MAIL
RESULTAT          RESU
b_info_med
b_sensibilite
b_partie
b_extrac
  NOM_CHAM        EQUI_NOEU_SIGM     #節展開の相当応力
  b_cmp
  NOM_CMP         VMIS               #フォンミーゼスの相当応力 (function で関連付)
  b_topologie

```

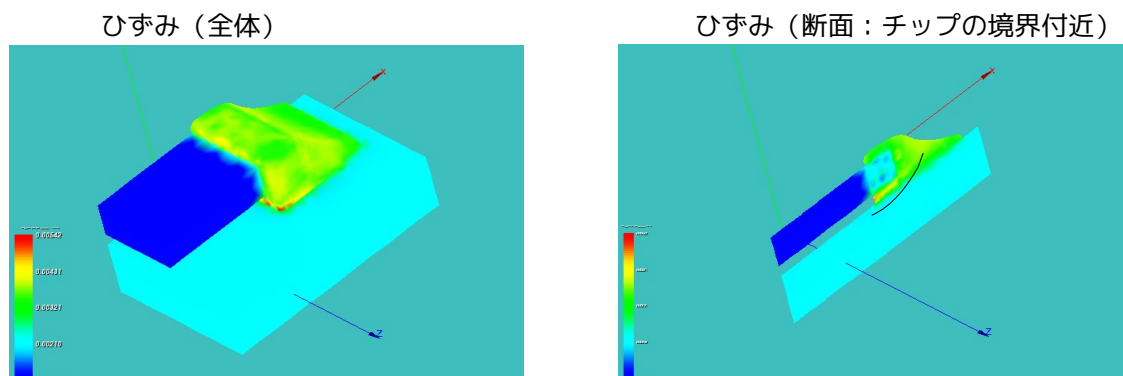
以上を修正し、保存後 EFICAS を終了する。

### 7-2. 計算開始

ASTK 画面上で、「Run」ボタンをクリックして計算開始させる。(線形解析と同じ。)  
警告は出るが、エラーは無く、計算は終了。線形解析の場合は警告が出ていないので、Code\_Aster のコードを見直す事が必要か。警告の内容は、フランス語なので良くわからず。

### 7-3. 結果の確認

結果ファイルは、/home/caeuser/CAE/solder-chipR-pl/LinearStatic\_3DMesh\_1.resu.med なので、このファイルを Salome 側の Post\_pro 画面上で Import して可視化する。  
可視化した結果が下図となる。最大ひずみは、0.542%の歪が発生している。発生箇所は、チップの境界付近で発生している。チップとP板に挟まれた部分のはんだひずみが大きく、ここからはんだフィレット部に向かって、歪が延びている。クラックもこの方向に発生すると考えられる。



非線形の弾塑性解析を行っている為、はんだは、塑性変形している。定義した応力ひずみ曲線は、降伏点

## SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

以降水平線になる（降伏点以降はひずみは増えるが、応力は増えない。）様に定義した。この為、はんだ部の応力は、降伏点（17.64MPa）の値を示しているはずである。応力のコンタ図からはんだ表面の応力を確認すると、約17.5MPaを示しており、理論どおりの結果。

### 8. Code\_Aster

以下に、線形、非線形解析のCode\_Asterを示す。

----- chip-sol.comm (線形解析) -----

```
DEBUT();
```

```
SnPb_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(0.001,17.64,
                    10.0,17.64,
                    ),);
```

```
Al0_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(1.0,309680.0,
                    10.0,3096800.0,
                    ),);
```

```
GlEp_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(1.0,22540.0,
                    10.0,225400.0,
                    ),);
```

```
Sn60=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=17640.0,
                    NU=0.4,
                    ALPHA=26.7e-6),);
```

```
Al203=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=309680.0,
                    NU=0.2,
                    ALPHA=7e-6),);
```

```
Glasp=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=22540.0,
                    NU=0.3,
                    ALPHA=14e-6),);
```

```
MAIL=LIRE_MAILLAGE(FORMAT='MED',);
```

```
MODE=AFPE_MODELE(MAILLAGE=MAIL,
                    AFPE=_F(TOUT='OUI',
                    PHENOMENE='MECANIQUE',
                    MODELISATION='3D',),);
```

```
MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,
                    MAILLAGE=MAIL,
                    ORIE_PEAU_3D=_F(GROUP_MA='fixXC',),);
```

```
tempS=CREA_CHAMP(TYPE_CHAM='NOEU_TEMP_R',
                    OPERATION='AFPE',
                    MODELE=MODE,
```

SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```

AFFE=_F(TOUT='OUI',
        NOM_CMP='TEMP',
        VALE=80.0,));

```

```

MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
                  AFFE=( _F(GROUP_MA='Solder',
                           MATER=Sn60,)),
                  _F(GROUP_MA='Chip',
                     MATER=Al203,)),
                  _F(GROUP_MA='PCB',
                     MATER=GlasEp,)),
                  AFFE_VARC=_F(GROUP_MA=('Solder','Chip','PCB'),
                              CHAMP_GD=tempS,
                              NOM_VARC='TEMP',
                              VALE_REF=-30.0,));

```

```

CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
                   DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA=('fixZP','fixZS','fixZC'),
                                   DZ=0.0,)),
                   _F(GROUP_MA=('fixXC','fixXP'),
                      DX=0.0,)),
                   _F(GROUP_NO='fixPP',
                      DX=0.0,
                      DY=0.0,
                      DZ=0.0,)),));

```

```

RESU=MECA_STATIQUE(MODELE=MODE,
                  CHAM_MATER=MATE,
                  EXCIT=_F(CHARGE=CHAR,));

```

```

RESU=CALC_ELEM(reuse =RESU,
              MODELE=MODE,
              CHAM_MATER=MATE,
              RESULTAT=RESU,
              OPTION=('SIGM_ELNO_DEPL','EQUI_ELNO_SIGM'),
              EXCIT=_F(CHARGE=CHAR,));

```

```

RESU=CALC_NO(reuse =RESU,
            RESULTAT=RESU,
            OPTION=('SIGM_NOEU_DEPL','EQUI_NOEU_SIGM'),));

```

```

IMPR_RESU(FORMAT='MED',
          UNITE=80,
          RESU=_F(MAILLAGE=MAIL,
                 RESULTAT=RESU,
                 NOM_CHAM=('SIGM_NOEU_DEPL','EQUI_NOEU_SIGM','DEPL',)),));

```

```

FIN();

```

SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

----- chip-sol-pl.comm (非線形解析) -----

DEBUT();

```
SnPb_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(0.001,17.64,
                    10.0,17.64,
                    ),);
```

```
AlO_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(10.0,3096800.0,
                    20.0,3096800.0,
                    ),);
```

```
G1Ep_pl=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='EPSI',NOM_RESU='SIGM',VALE=(10.0,225400.0,
                    20.0,225400.0,
                    ),);
```

```
Sn60=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=17640.0,
                    NU=0.4,
                    ALPHA=26.7e-6,),
                    TRACTION=_F(SIGM=SnPb_pl,,));
```

```
Al203=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=309680.0,
                    NU=0.2,
                    ALPHA=7e-6,),
                    TRACTION=_F(SIGM=AlO_pl,,));
```

```
GlasEp=DEFI_MATERIAU(ELAS=_F(E=22540.0,
                    NU=0.3,
                    ALPHA=14e-6,),
                    TRACTION=_F(SIGM=G1Ep_pl,,));
```

```
MAIL=LIRE_MAILLAGE(FORMAT='MED',);
```

```
MODE=AFFE_MODELE(MAILLAGE=MAIL,
                    AFFE=_F(TOUT='OUI',
                    PHENOMENE='MECANIQUE',
                    MODELISATION='3D',),);
```

```
MAIL=MODI_MAILLAGE(reuse =MAIL,
                    MAILLAGE=MAIL,
                    ORIE_PEAU_3D=_F(GROUP_MA='fixXC',),);
```

```
tempS=CREA_CHAMP(TYPE_CHAM='NOEU_TEMP_R',
                    OPERATION='AFFE',
                    MODELE=MODE,
                    AFFE=_F(TOUT='OUI',
                    NOM_CMP='TEMP',
                    VALE=80,),);
```

```
MATE=AFFE_MATERIAU(MAILLAGE=MAIL,
                    AFFE=_F(GROUP_MA='Solder',
```

SalomeMeca の使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```

        MATER=Sn60,),
        _F(GROUP_MA='Chip',
            MATER=Al203,),
        _F(GROUP_MA='PCB',
            MATER=GlasEp,),),
    AFFE_VARC=_F(GROUP_MA=('Solder','Chip','PCB'),
        CHAMP_GD=tempS,
        NOM_VARC='TEMP',
        VALE_REF=-30,),);

CHAR=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MODE,
    DDL_IMPO=( _F(GROUP_MA=('fixZP','fixZS','fixZC'),
        DZ=0.0,),
        _F(GROUP_MA=('fixXC','fixXP'),
            DX=0.0,),
        _F(GROUP_NO='fixPP',
            DX=0.0,
            DY=0.0,
            DZ=0.0,),),);

ramp=DEFI_FONCTION(NOM_PARA='INST',VALE=(0.0,0.0,
    1.0,1.0,
    ),);

pass1=DEFI_LIST_REEL(DEBUT=0.0,
    INTERVALLE=_F(JUSQU_A=1.0,
        NOMBRE=1,),);

RESU=STAT_NON_LINE(MODELE=MODE,
    CHAM_MATER=MATE,
    EXCIT=_F(CHARGE=CHAR,),
    COMP_INCR=_F(RELATION='VMIS_ISOT_TRAC',
        DEFORMATION='SIMO_MIEHE'),),
    INCREMENT=_F(LIST_INST=pass1,),
    NEWTON=_F(PREDICTION='TANGENTE',
        REAC_ITER=1,),
    CONVERGENCE=_F(RESI_GLOB_RELA=1e-6,
        ITER_GLOB_MAXI=30,),
    ARCHIVAGE=_F(LIST_INST=pass1,
        ARCH_ETAT_INIT='OUI',
        CHAM_EXCLU='VARI_ELGA'),);

RESU=CALC_ELEM(reuse =RESU,
    MODELE=MODE,
    CHAM_MATER=MATE,
    RESULTAT=RESU,
    OPTION=('EPSI_ELNO_DEPL','EQUI_ELNO_SIGM','EQUI_ELNO_EPSI'),);

RESU=CALC_NO(reuse =RESU,
    RESULTAT=RESU,
    OPTION=('EPSI_NOEU_DEPL','EQUI_NOEU_SIGM','EQUI_NOEU_EPSI'),);

```

SalomeMecaの使いかた -- 9.1 熱応力、弾塑性解析 (はんだ付け)

```
IMPR_RESU(FORMAT='MED',
          UNITE=80,
          RESU=(_F(MAILLAGE=MAIL,
                  RESULTAT=RESU,
                  NOM_CHAM='DEPL',
                  NOM_CMP=('DX','DY','DZ',),),),
          _F(RESULTAT=RESU,
              NOM_CHAM='EQUI_NOEU_EPSI',),),
          _F(RESULTAT=RESU,
              NOM_CHAM='EQUI_NOEU_SIGM',
              NOM_CMP='VMIS',),),);

FIN();
```