

## SalomeMecaによる構造解析(線形・非線形)の紹介

1. 自己紹介
2. SalomeMecaの概要
3. SalomeMecaでできること(確認した項目)
4. 具体的実施例の紹介
5. 解析結果(非線形・動解析)の事例
6. まとめ
7. 付録(Code\_Asterのコマンドリスト)

2011/06/25

アンデン(株) 藤井 成樹

# 1. 自己紹介

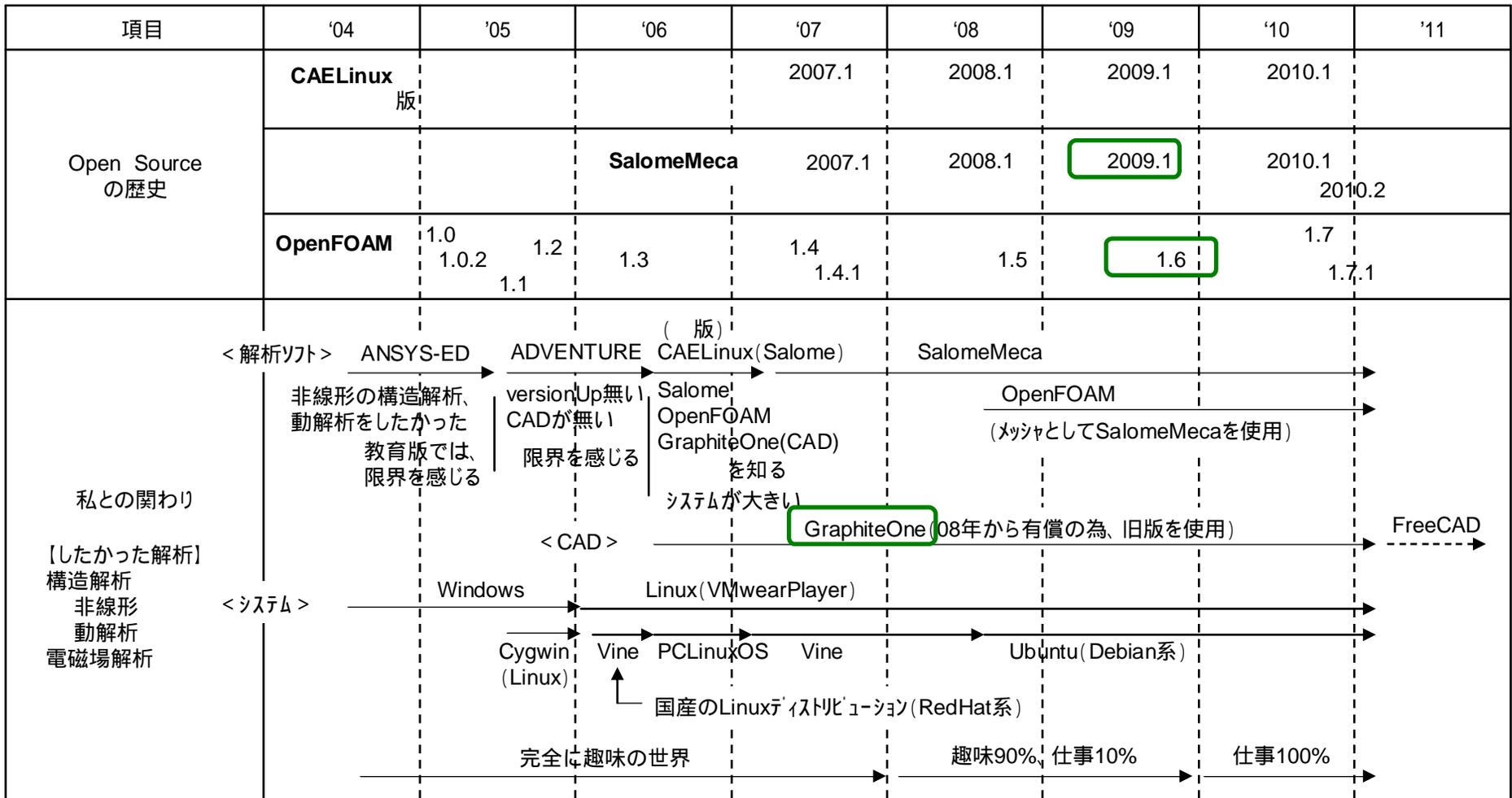
所属: アンデン(株) 第1技術部 DE開発

業務内容: CAE開発、活用が目的。

CAE解析内容は、構造解析(動解析、非線形含む)、電場、磁場、音場、熱流、流体解析など様々。

< 私とCAE解析との関わり >

     内を本格的に利用



←————→ この間で確認した内容を紹介

## 2. SalomeMecaの概要

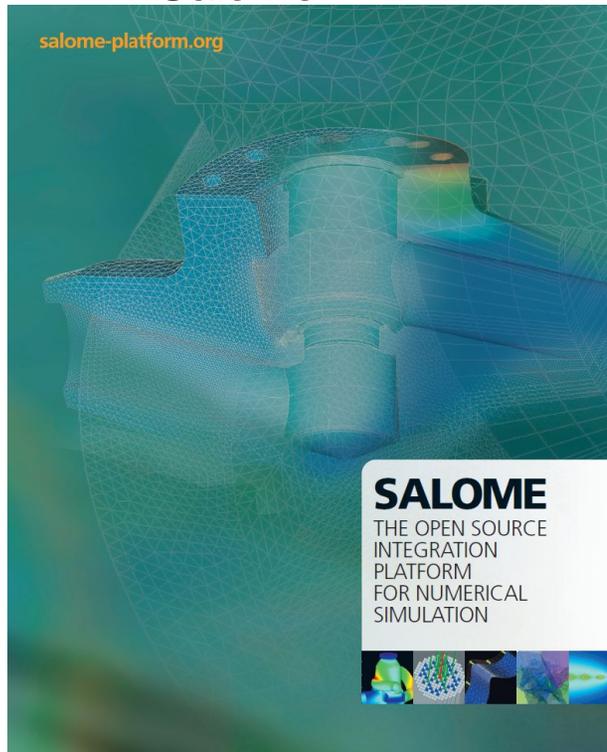
3/11

PrePostのSalomeにsolver(Code\_Aster)をマウントしたものの。  
Code\_Asterは、基本的に構造解析(線形、非線形(接触、塑性)、動解析が可能)用で、フランスの電力公社で開発。実力は、商用ソフトに匹敵。  
現在もバージョンアップが繰り返されている。

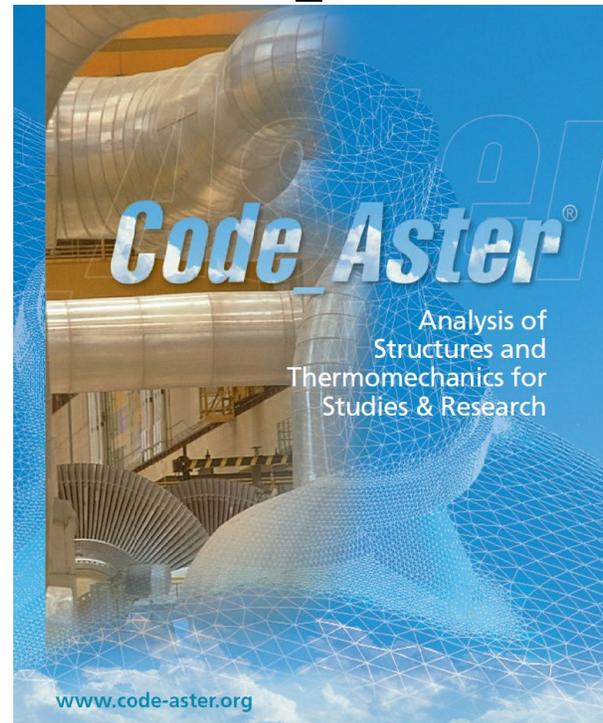
柴田先生のサイトに日本語訳が掲載されている

<http://opencae.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php?SALOME-Meca%BE%D2%B2%F0>

### Salome



### Code\_Aster



### 3. SalomeMecaでできること(確認した項目)

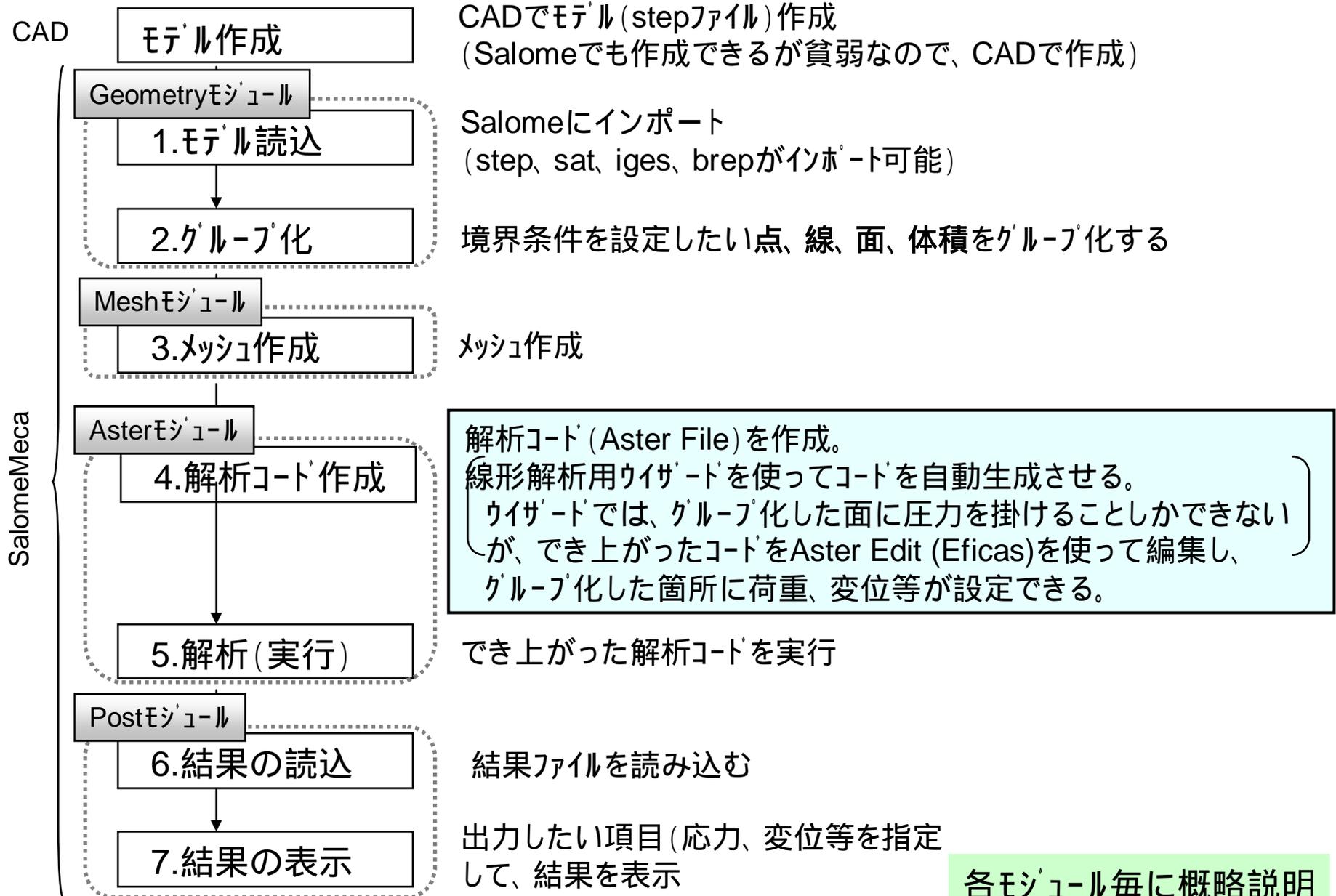
4/11

(SalomeMeca2007.1 ~ 2009.1で確認)

区分	No.	解析内容
線形	1	単一材料の構造解析
	2	特性が異なる複合材料の構造解析(節点を共有する、しない)
	3	熱応力(線膨張係数の異なる材料で構成されたモデルが温度変化したときに発生する応力)
	4	熱流解析(熱流束 $W/m^2$ を与えたときの温度分布)
非線形	5	接触解析(摩擦あり、摩擦なし)
	6	弾塑性解析
	7	接触と弾塑性解析
	8	非線形の熱応力(はんだの塑性ひずみ)
動解析	9	モーダル解析(共振周波数、共振モード)
	10	周波数応答(減衰あり、なし)
	11	過渡解析(時刻歴応答)
連成 連携	12	熱-構造の連成解析(4、2の連成解析)
	13	熱解析の結果(温度分布)をファイルに出力し、この結果を読み込んで構造解析

## 4. 具体的実施例

### 4-1. 解析手順



## 4. 具体的実施例

6/11

### 4-2. Geometryモジュール (モデル読込 グループ化)

インポート直後の画面

面をグループ化      メニューバーから「New Entity」>「Group」>「Create」

定義したい面をクリック

Salomeにインポート  
(step, sat, iges, brepがインポート可能)

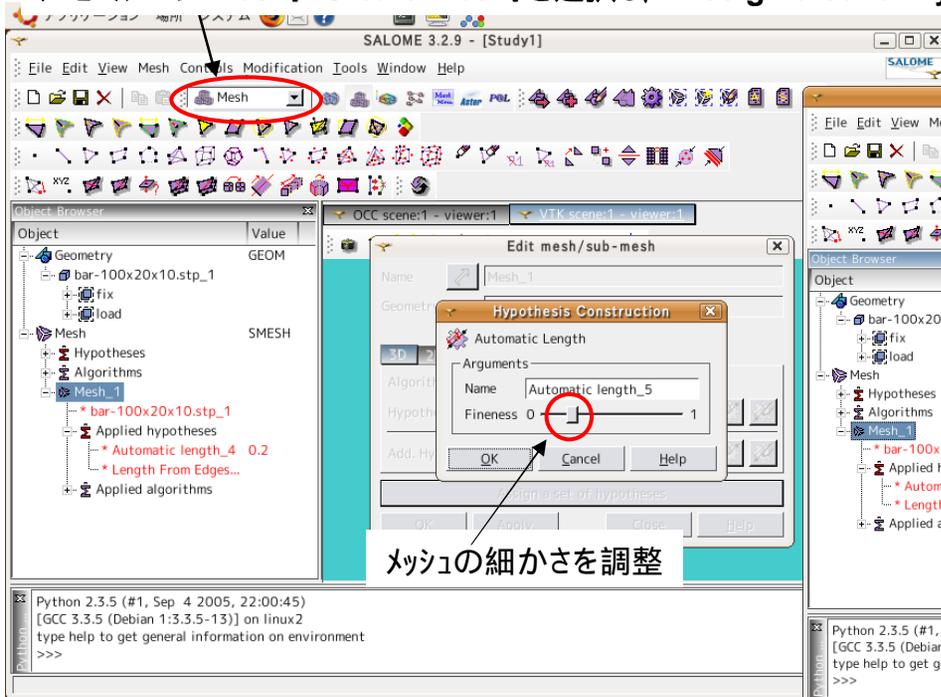
「fix」と「load」面をグループ化  
fix: 固定  
load: 圧力を印加

Geometryモジュールでsolidモデルを定義 (point, edge, face, volume) する

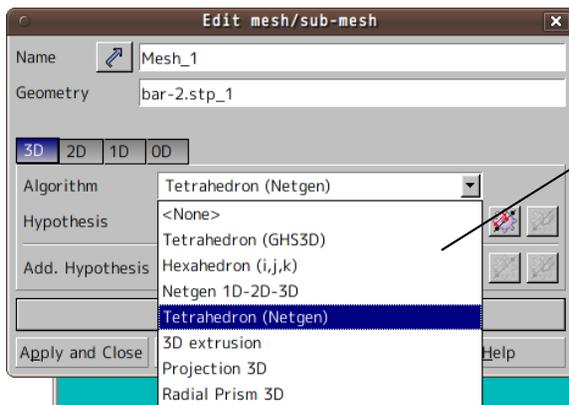
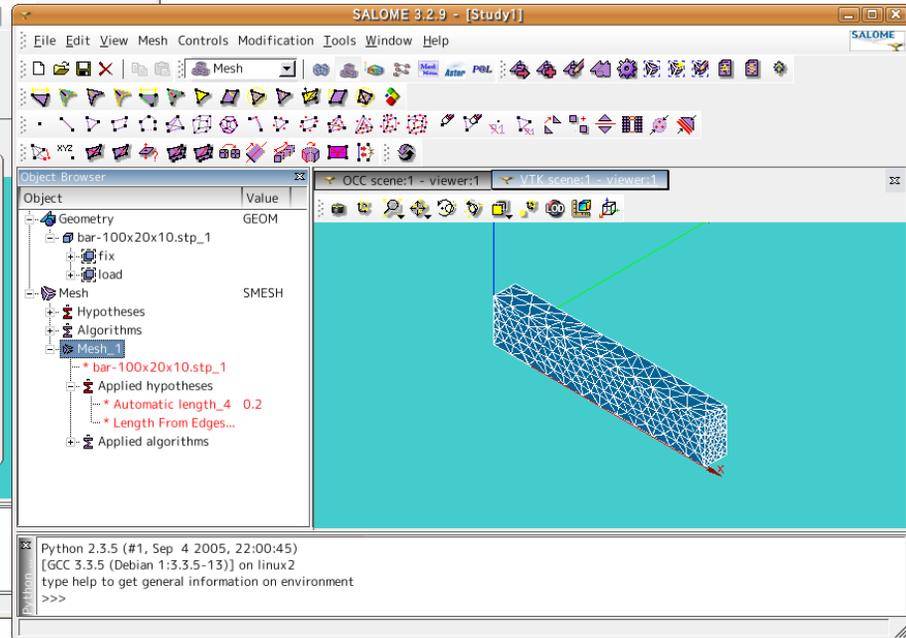
## 4. 具体的実施例

### 4-3. Meshモジュール (メッシュ作成)

メニューの「Mesh」「Create Mesh」を選択し、「Assign a set of hypotheses」をクリック



でき上がったメッシュ

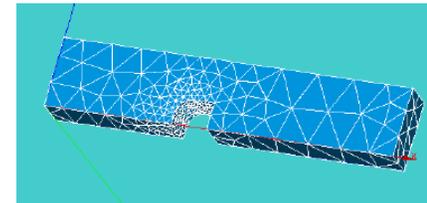


メッシュ作成は、

- ・Tetrahedron (GMS3D)
- ・Hexahedron (I,j,k)
- ・Netgen 1D-2D-3D
- ・Tetrahedron (Netgen)
- ・3D extrusion
- ・Projection 3D
- ・Radial Prism 3D

が選択できる。

細かい箇所は、細かく切っても可能



Meshモジュールでメッシュ作成する

# 4. 具体的実施例

## 4-4. Asterモード(解析コード作成 解析)

ウイザード終了後画面

クリックしてウイザード開始

Aster Edit (Eficas)で解析コード確認

材料定数の設定  
E:ヤング率  
NU:ポアソン比

境界条件の設定

fix面の変位:各方向0 (fix面を固定)

load面の圧力:0.1

線形静的構造解析用solver

ウイザードに従って入力し解析コードを作成

解析:右クリックして、「Solve Code\_Aster case」を選択して解析

ウイザードでは、限られた解析しかできないが、解析コードを編集する事で、それ以外の解析が可能

Asterモードで解析コード作成し、実行する。  
解析コードを編集する事で、各種解析が可能

## 4. 具体的実施例

9/11

### 4-5. その他の境界条件(変位・荷重)、その他解析(非線形など)

境界条件のコード

AFFE_CHAR_MECA		境界条件の設定 (構造解析)
変位の設定	DDL_IMPO GROUP_MA GROUP_NO DX,DY,DZ	変位の設定 体積、面、線のグループ名に設定 点のグループ名に設定 変位の方向を設定
荷重の設定	FOACE_NODALE FOACE_ARETE FORCE_FACE FORCE_INTERNE TOUT GROUP_MA GROUP_NO FX,FY,FZ	点荷重の設定 (一点当たりの荷重) 線荷重の設定 (単位長さ当たりの荷重) 面荷重の設定 (単位面積当たりの荷重) 体積荷重の設定 (単位体積当たりの荷重、密度にすると自重を設定) 全てのモデルに設定 体積、面、線のグループ名に設定 点のグループ名に設定 荷重の方向を設定
面圧の設定	PRES_REP GROUP_MA	圧力の設定 (面に垂直に働く圧力) 面のグループ名に設定
連結	LIAISON_MATI	部品の連結 (結合)
変形の	GROUP_MA DX,DY,DZ	変形を規制する方向を定義。全方向規制: 変形しない (形状を保つ)
接触の設定	CONTACT METHOD APPARIEMENT RECHERCHE PROJECTION GROUP_MA_MAII GROUP_MA_ESCL	部品同士の接触 解を求める方法を設定 解の予測方法を設定 接触する本体側の面を設定 接触する部品の面を設定

この部分の設定を変更することで、各種境界条件の設定が可能になる。

解析用のSolver (確認したsolver)

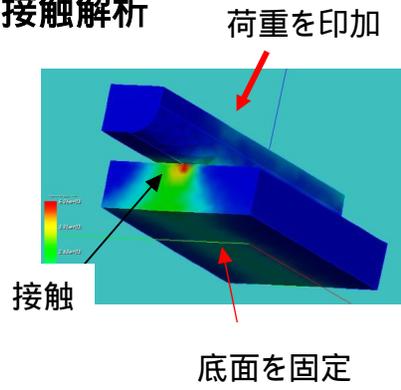
Solver名	内容
MECA_STATIQUE	線形構造解析
STAT_NON_LINE	非線形構造解析
DYNA_LINE_HARM	周波数応答解析
DYNA_LINE_TRAN	時刻歴応答
THER_LINEAIRE	線形温度解析

その他各種solverあり

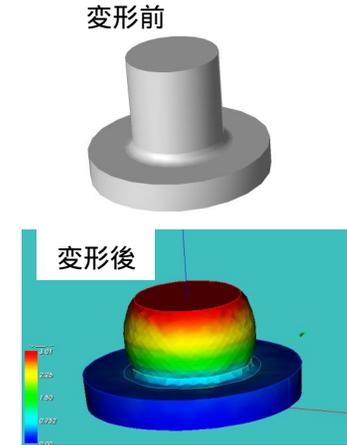
解析するsolverを変更することで、各種解析が可能になってくる。

# 5. 解析結果(非線形・動解析)の事例

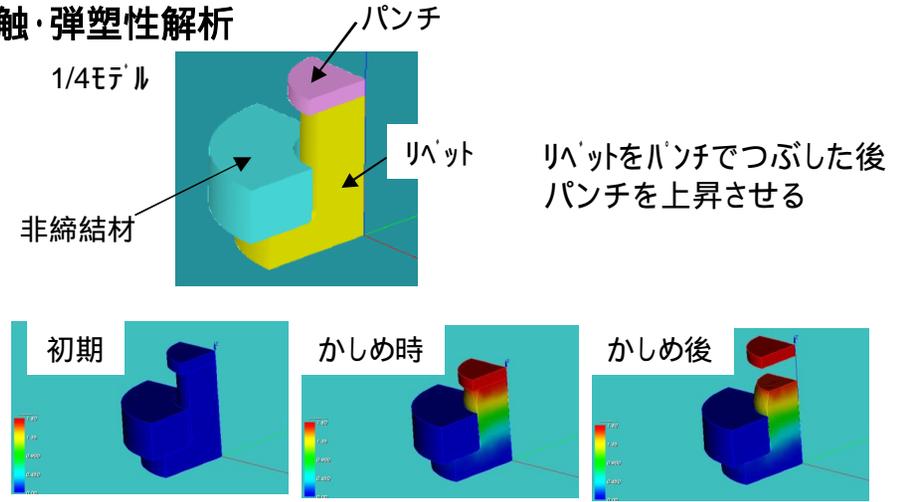
## 接触解析



## 弾塑性解析

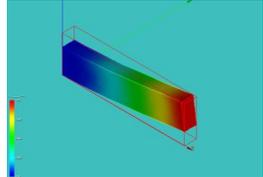


## 接触・弾塑性解析

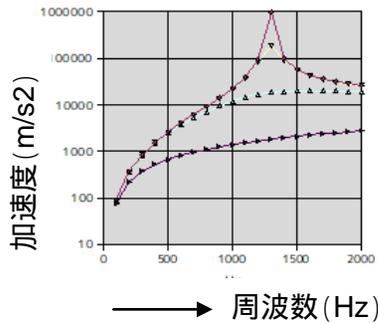


## 周波数応答

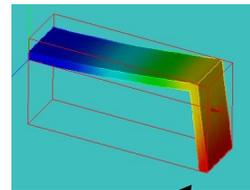
片持ちはりの周波数応答



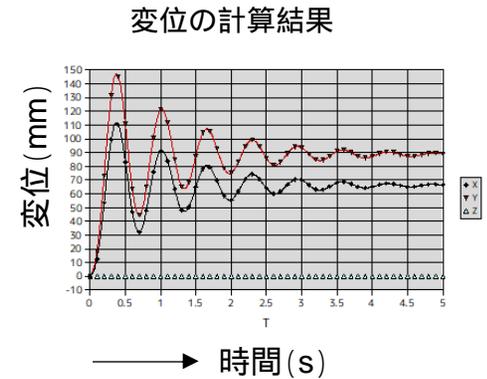
固定部を振動させたときの先端部の周波数応答を計算



## 過渡解析(時刻歴応答)



先端の端面に荷重を掛けたときの変位を計算



非線形、動解析結果の事例をピックアップした商用ソフトに匹敵する性能

SalomeMecaは、GUIで操作でき、直感的に理解できる。  
通常の構造解析(線形・非線形)であれば、解けてしまう実力を持っている。  
解析用solver(Code\_Aster)のドキュメントは、500MBに及び、  
今回紹介した事例はホンの一部。(solverは多数あり)  
根気と時間を掛ければ、無限の可能性が広がる。  
ネックは、言葉。

基本的にドキュメントの類は、フランス語。  
フランス語のドキュメントを英語に機械翻訳したドキュメント(500MB)があり、  
これを参考にして解読した。  
機械翻訳のため、インデントがずれて読みにくい。

< SalomeMecaのその他の利用(メッシュとして利用) >

SalomeMecaのグループ化(face、volumeをグループ化)の機能を利用して、メッシュを切り  
UNV形式で保存することで、グループ化されたメッシュファイルが出来上がる。  
UNV形式をFOAM形式に変換することで、Salome側で定義したface名、volume名が  
OpenFOAM側に受け継がれ、patch名やfaceZone、cellZone(及びfaceSet、cellSet)  
を名前付きで読み込むことができる。  
SalomeMecaをOpenFOAMのメッシュとして利用できる。  
今は、この利用が多い。

# 7. 付録(Code\_Asterのコマンドリスト)

Code\_Aster コマンドリスト

1/6

Code-Aster コマンドリスト

目次

1. 定義	
DEFI_FONCTION	関数の定義
DEFI_LIST_REEL	データ定義
DEFI_MATERIAU	材料の定義
MACRO_MATR_ASSE	マトリックスの定義
2. 作成	
CREA_CHAMP	Field作成
LIRE_RESU	結果の読み込み
3. 設定	
AFFE_CHAR_MECA	境界条件の設定
AFFE_MATERIAU	材料の設定
AFFE_MODELE	モデルの設定
CALC_VECT_ELEM	ベクトル(変動負荷)の設定
ASSE_VECTEUR	ベクトル(変動負荷)を計算
4. 計算(Solver)	
MECA_STATIQUE	線形構造解析の Solver
STAT_NON_LINE	非線形構造解析の Solver
DYNA_LINE_HARM	周波数応答解析の Solver
DYNA_LINE_TRAN	時刻歴応答解析(動解析)の Solver
THER_LINEAIRE	線形温度解析の Solver

1. 定義

DEFI_FONCTION		関数の定義
関数定義 y=f(x)	NOM_PARA INST EPSI NOM_RESU SIGM VALE	パラメータ名(X軸) 直接入力 ひずみをパラメータとする。 結果の名前(Y軸) 応力をパラメータから計算する。 関数の値を入力
DEFI_LIST_REEL		データ定義
データ定義	DEBUT INTERVALE JUSQU_A NUMBER PAS	初期値 データ間隔 最終値 分割数を指定 データ間隔で指定 分割数=(JUSQU_A - DEBUT) / PAS
DEFI_MATERIAU		材料の定義
弾性	ELAS E NU ALPHA	弾性の特性値を定義する。 ヤング率 ポアソン比 線膨張係数

Code\_Aster コマンドリスト

2/6

RHO	密度
AMOR_ALPHA	粘性減衰係数：運動速度に対する
AMOR_BETA	粘性減衰係数：ひずみ速度に対する
THER	温度の特性値を定義する
LAMBDA	熱伝導率
TRACTION	特性値を DEFI_FONCTION で定義した関数に置き換える。
SIGM	応力は、定義した関数で求める。

2. 作成

CREA_CHAMP		Field作成
Fieldの定義	TYPE_CHAM NOEU_TEMP_R	Fieldを定義 節点温度として定義する
Fieldの設定	AFFE TOUT NOM_CMP VALE	Fieldを設定 モデルの全てに設定 Fieldの名称 Fieldに設定する値
LIRE_RESU		結果の読み込み
	TYPE_RESU FORMAT MODELE UNIT FORMAT_MED NOM_CHAM NOM_CHAM_MED TOUT_ORDER	結果のタイプ 結果のフォーマット 結果を DEFI_MODELE で定義したモデルに設定する ユニット数 MED フォーマットで 読み込むデータの名称 読み込むデータの項目名

3. 設定

AFFE_CHAR_MECA		境界条件の設定(構造解析)
変位の設定	DDL_IMPO GROUP_MA GROUP_NO DX,DY,DZ	変位の設定 体積、面、線のグループ名に設定 点のグループ名に設定 変位の方向を設定
荷重の設定	FOACE_NODALE FOACE_ARETE FORCE_FACE FORCE_INTERNE TOUT GROUP_MA GROUP_NO FX,FY,FZ	点荷重の設定(一点当たりの荷重) 線荷重の設定(単位長さ当たりの荷重) 面荷重の設定(単位面積当たりの荷重) 体積荷重の設定(単位体積当たりの荷重、密度にすると、自重を設定) 全てのモデルに設定 体積、面、線のグループ名に設定 点のグループ名に設定 荷重の方向を設定
面圧の設定	PRES_REP GROUP_MA	圧力の設定(面に垂直に働く圧力) 面のグループ名に設定
連結	LIAISON_MAIL GROUP_MA_MAIT GROUP_MA_ESCL	部品同士の連結(結合) 本体の部品(Volume) 小さい部品の接合面(Face)。接合面が本体からはみ出ない。
変形の規制	LIAISON_UNIF GROUP_MA DX,DY,DZ	定義したグループの変形を規制する 変形を規制するグループ名を定義 規制する方向を定義。全方向規制:変形しない(形状を保つ)

Code Aster コマンドリスト

3/6

接触の設定	CONTACT METHOD APPARIEMENT RECHERCHE PROJECTION GROUP_MA_MAII GROUP_MA_ESCL	部品同士の接触 解を求める方法を設定  解の予測方法を設定 接触する本体側の面を設定 接触する部品の面を設定
温度の設定	TEMP_CALCULEE	REA_CHAMP で定義した温度 Field で線膨張を計算する。 古いコマンドなので使用を控える。代わりに AFFE_MATERIAU/AFFE_VARC を使用する。
AFFE_CHAR_THER 境界条件の設定 ( 温度解析 )		
境界条件	TEMP_IMPO GROUP_MA TEMP FLUX_REP GROUP_MA FLUN	温度を設定 定義したグループ名に温度を設定 温度の値を入力 熱流を設定 定義したグループ名に熱流を設定 熱流量の値を入力
AFFE_MATERIAU 材料の設定 ( 定義した材料をモデルに設定する )		
材料の設定	AFFE TOUT GROUP_MA MATER	DEFI_MATERIAU で設定した材料をモデルに設定 モデル全体に設定 体積のグループ名に設定 DEFI_MATERIAU で定義した材料を設定
変数を設定	AFFE_VARC CHAMP_GD NOM_VARC VALE_REF	新たな変数を設定 CREA_CHAMP で設定した変数 ( Field ) を指定 Field の名称 参照する値 ( Field が温度の場合は参照温度 )
AFFE_MODELE モデルの設定		
モデル	AFFE TOUT PHENOMENE MODELISATION	設定 全てを対象 現象を設定 ( THERMAL or MECANIQUE ) モデル ( 2D or 3D )
MACRO_MATR_ASSE マトリックスの設定		
モデル	MODELE CHAM_MATER	モデルの設定 材料の設定
	CHARGE NUM_DDL	境界条件を設定
マトリックス の設定	MATR_ASSE MATRICE OPTION RIGI_MECA MASS_MECA AMDR_MECA	マトリックスを設定 マトリックス名を定義 マトリックスの種類を設定 剛性 ( ばね ) マトリックス ( 構造解析用 ) 質量マトリックス ( 構造解析用 ) 減衰マトリックス ( 構造解析用 )
CALC_VECT_ELEM 変動負荷 ( ベクトル ) の設定		
変動負荷を設 定	OPTION CHAR_MECA CHARGE	変動負荷の境界条件 構造解析の境界条件を変動負荷として設定 変動負荷とする境界条件を指定

Code Aster コマンドリスト

ASSE_VECTEUR		変動負荷 ( ベクトル ) の計算
変動負荷を計 算	VECT_ELEM NUM_DDL	CALC_VECT_ELEM で設定した変動負荷
4. 計算		
MECA_STATIQUE		線形構造解析を実行
モデル	MODELE CHAM_MATER	モデルを設定 AFFE_MATERIAU で設定した材料を設定
境界条件	EXCIT CHARGE	境界条件を設定 AFFE_CHAR_MECA で設定した境界条件を設定
STAT_NON_LINE		非線形構造解析を実行
モデル	MODELE CHAM_MATER	モデルを設定 AFFE_MATERIAU で設定した材料を設定
境界条件	EXCIT CHARGE FONC_MULT	境界条件を設定 AFFE_CHAR_MECA で設定した境界条件を設定 境界条件の倍率を DEFI_FONCTION で定義した関数で変化させる。
非線形の計算 方法	COMP_ELAS DEFORMATION TOUT COMP_INCR RELATION VMIS_ISOT_TRAC DEFORMATION SMALL PETIT PETIT_REAC  GREEN SIMO_MIEHE INCREMENT LIST_INST NEWTON REAC_INCR MATRICE PRIDITION TANGENT REAC_ITER 0 or 1 CONVERGENCE RESI_GLOB_RELA ITER_GLOB_MAXI ARCHIVAGE PAS_ARCH LIST_INST ARCH_ETAY_INIT CHAM_EXCLU VARI_ELGA	弾性変形の関係を指定 変形を指定 ( 大変形 or 微小変形 ) モデル全体に指定 ( 省略可 ) 塑性変形の関係を指定 関係 フォンミーゼスの等方硬化則 変形を指定 微小変形 ( ひずみが 5% 以下の場合 ) 接触問題では PETIT を選択する ( 収束が早い ) 微小変形 ( ただし、大変形の近似として使用可能。大変形と する時は、各ステップを非常に小さい間隔にする ) 微小変形、大回転 大変形、大回転 ( 塑性変形の場合 ) 計算間隔を設定 DEFI_LIST_REEL で設定した間隔で計算させる ニュートン法で計算させる  解の予測方法を指定 tangent で予測 各 Iteration step における予測 1: 予測した値に置き換える ( 収束が早くなる ) 収束に関する設定 ここで指定した公差 ( 1e-6 ) 以下まで計算させる ここで設定した回数まで計算させる
DYNA_LINE_HARM		高波数応答解析を実行

Code Aster コマンドリスト

5/6

周波数応答	MATR_MASS MATR_RIGI MATR_AMOR LIST_FREQ EXCIT VECT_ASSE COFE_MULT	MACRO_MATR_ASSE で定義した質量マトリックス名を設定 MACRO_MATR_ASSE で定義した剛性 (ばね) マトリックス名を設定 MACRO_MATR_ASSE で定義した減衰マトリックスを設定 DEFI_LIST_REEL で設定した周波数範囲で計算する 計算する内容を設定 ASSE_VECTEUR で設定した変動負荷で計算する 負荷させる負荷の係数
DYNA_LINE_TRAN 時刻応答解析 (動解析) を実行		
モデル	MODELE CHAM_MATER	モデルの設定 材料を設定
時刻応答	MATR_MASS MATR_RIGI MATR_AMOR NEWMARK DELTA EXCIT CHARGE INCREMENT LIST_INST	質量マトリックスを設定 剛性マトリックスを設定 減衰マトリックスを設定 NEWMARK 法で計算 計算間隔を設定 境界条件を設定 定義した境界条件を指定 計算間隔を設定 DEFI_LIST_REEL で定義した計算間隔を設定
THER_LINEAIRE 線形温度解析を実行		
	MODELE CHAM_MATER EXCIT CHARGE	モデルの設定 材料を設定 境界条件 設定し他境界条件セット

Code Aster コマンドリスト

6/6

	RESULTAT : XYZ 方向の変位を出力 NOM_CHAM DEPL NOM_CMP DX, OY, DZ ここで方向を指定 RESULTAT : 相当歪を出力 NOM_CHAM EQUI_NOEU_EPSI 指定せず 節点解がそのまま使える RESULTAT : 相当応力 (弾性解析) NOM_CHAM EQUI_NOEU_SIGM 指定せず 節点解がそのまま使える RESULTAT : 相当応力 (弾塑性解析) NOM_CHAM EQUI_NOEU_SIGM NOM_CMP VMIS ここで計算方法を指定 例は、フォンミーゼス応力を指定 RESULTAT : (周波数応答) NOM_CHAM ACCE 加速度の場合 NOM_CHAM VITE 速度の場合 NOM_CHAM DEPL 変位の場合
--	--

5. 出力

CALC_ELEM 要素解を求める		
モデル	MODELE CHAM_MATER	モデルを設定 AFFE_MATERIAU で設定した材料を設定
結果	RESULTAT OPTION EPSI_ELNO_DEPL EQUI_ELNO_SIGM EQUI_ELNO_EPSI	定義した solver の名称 求める要素解 要素の変位 要素の応力 要素のひずみ
CALC_NO 節点解を求める		
結果	RESULTAT OPTION EPSI_NOEU_DEPL EQUI_NOEU_SIGM EQUI_NOEU_EPSI	定義した solver の名称 求める節点解 節点の変位 節点の応力 節点のひずみ
IMPR_RESU 結果を出力		
出力	FORMAT MED UNIT RESU RESULTAT NOM_CHAM NOM_CMP	出力形式 MED フォーマットで出力 桁数を指定 出力項目を指定 定義した solver の名称 出力項目名を指定 出力項目の計算方法を指定 以下が設定した例