engineFoamの使用法について

moritam51@gmail.com

はじめに

・Tutorial/combustionにengineFoamの例題としてkivaTestがある。

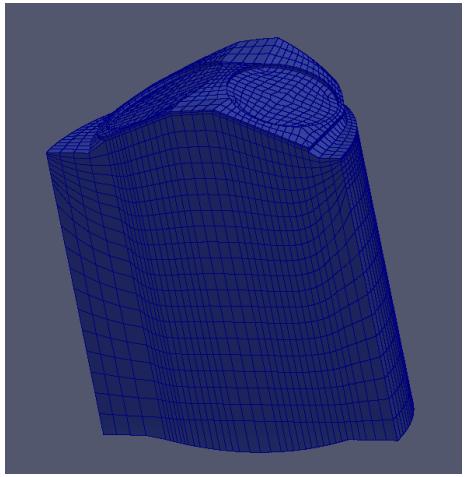
・ガソリンエンジン燃焼用の計算モデルであり、予混合火炎を対象としたXiFoamをベースとしてエンジン燃焼室の伸縮に対応したメッシュ変形機能や点火機能等を付加したものである。

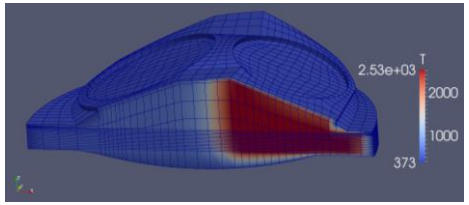
・圧縮行程と膨張行程について計算を行う。燃焼室内の流れを決定する吸排気バルブの開閉がある吸排気行程については計算ができない。

・メッシュ変形は最初に設定したメッシュの伸縮のみのスプリング方式（layered）であり、新たなメッシュ生成や消滅はない。そのため、複雑な燃焼室の場合、適切なメッシュでないとメッシュが歪んで計算が発散。

・メッシュ作成とモデル妥当性に懸念がある。

・簡単な燃焼室の場合に燃焼モデル等を検討したので報告する。



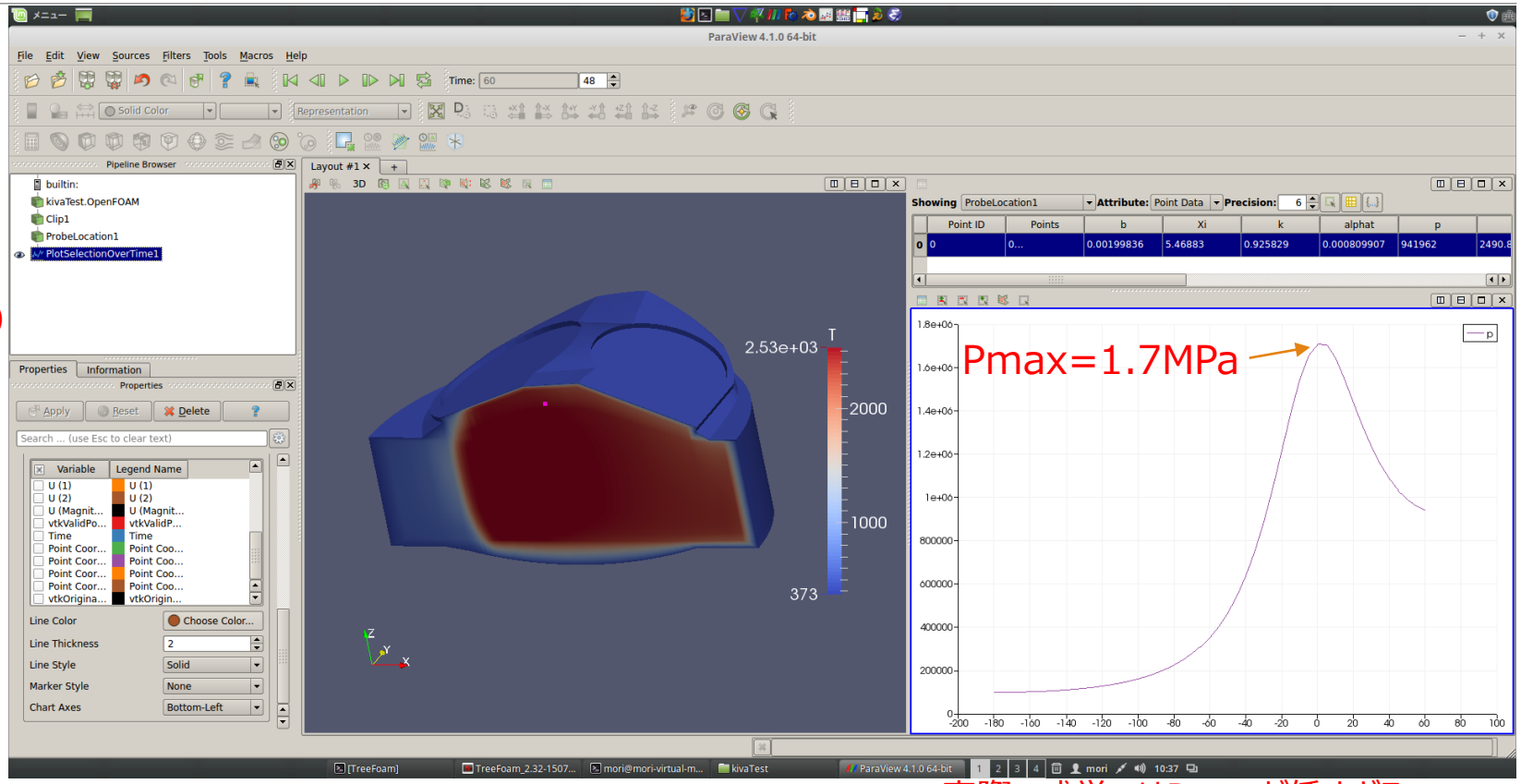


layeredメッシュ変形

KivaTest （Dexcs2015　OpenFOAM ver2.4）

＜エンジン諸元＞
ボア×ストローク
=92φ×84.23mm
行程容積=560cc
圧縮比=8.8
(engineCompRatioで確認)
＜運転条件＞
Ne=1500rpm
イソオクタン
ストイキ燃焼

θ=-180℃
P=0.1MPa
T=373K
U=(0,0,0)
フルスロットル条件



実際の感覚ではPmaxが低すぎる
（断熱圧縮の場合は$8.8^{1.4}$　=21倍の2.1MPa）
→モデルの妥当性が懸念

燃焼モデル

未燃割合 $$b = \frac{T_b - T}{T_b - T_u}$$

未燃割合の輸送方程式 $$\frac{\partial(\rho b)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u b) - \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{S_{ct}} \nabla b\right) = \rho_u S_u X_i |\nabla b|$$

乱流燃焼速度/層流燃焼速度 $$X_i = \frac{St}{Su}$$

Xiモデル	概要	パラメータ
transport	Xiの輸送方程式	なし
algebraic	Xiの代数式	XiCoef, XiShapeCoef, uPrimeCoef（3つ）
fixed	Xiは定数	時間ディレクトリ(-180）のXiファイルを指定

algebraicモデル

$$X_i = 1 + \{1 + 2X_i ShapeCoef(0.5 - b)\} X_i Coef \sqrt{\frac{u_p}{(S_u + S_{u_min})}} R_\eta$$

$$u_p = uPrimeCoef \sqrt{\frac{2k}{3}}$$

$$R_\eta = \frac{u_p}{\sqrt{\varepsilon \tau_\eta}}$$

$$\tau_\eta = \sqrt{\frac{\mu_u}{\rho_u \varepsilon}}$$

combustionProperties

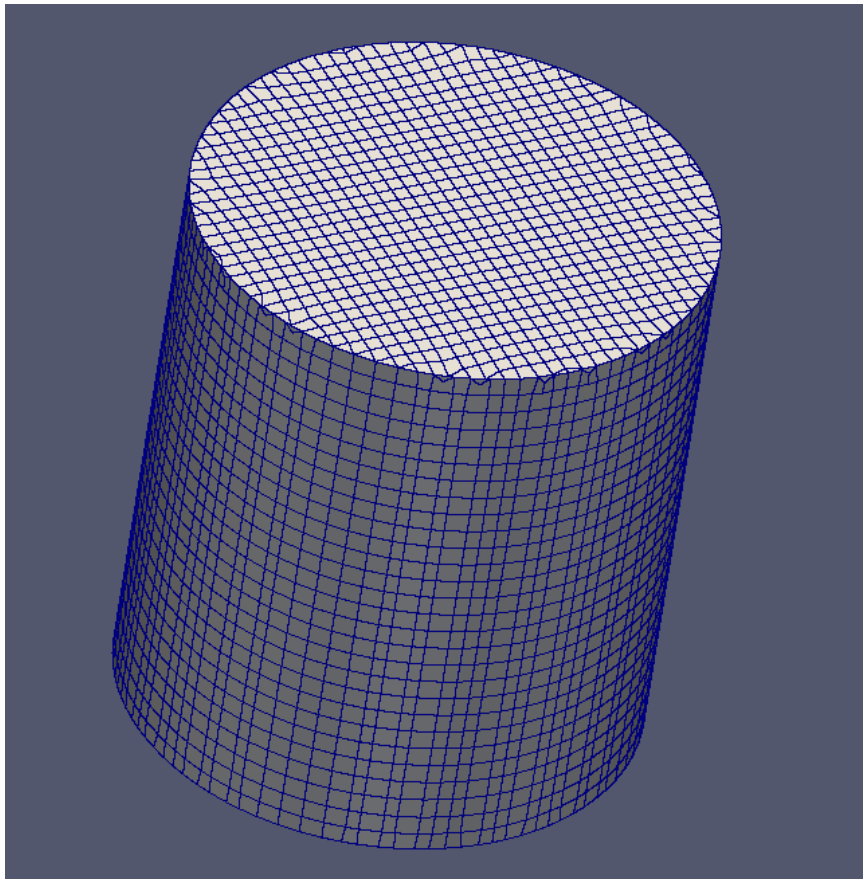
```
laminarFlameSpeedCorrelation Gulders;
fuel                IsoOctane;
Su                  Su [ 0 1 -1 0 0 0 0 ] 0;
SuModel             unstrained;
equivalenceRatio equivalenceRatio [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 1;
sigmaExt            sigmaExt [ 0 0 -1 0 0 0 0 ] 100000;
XiModel             transport;
XiCoef              XiCoef [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 0.68;
XiShapeCoef         XiShapeCoef [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 1;
uPrimeCoef          uPrimeCoef [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 1;
```

例題（形状以外はkivaTestと同様）

＜エンジン諸元＞
B（ボア）×S（ストローク）
=100φ×100mm
V(行程容積)=785cc
CR(圧縮比)=9

＜運転条件＞
Ne(エンジン回転数）=1500rpm
イソオクタン
ストイキ燃焼

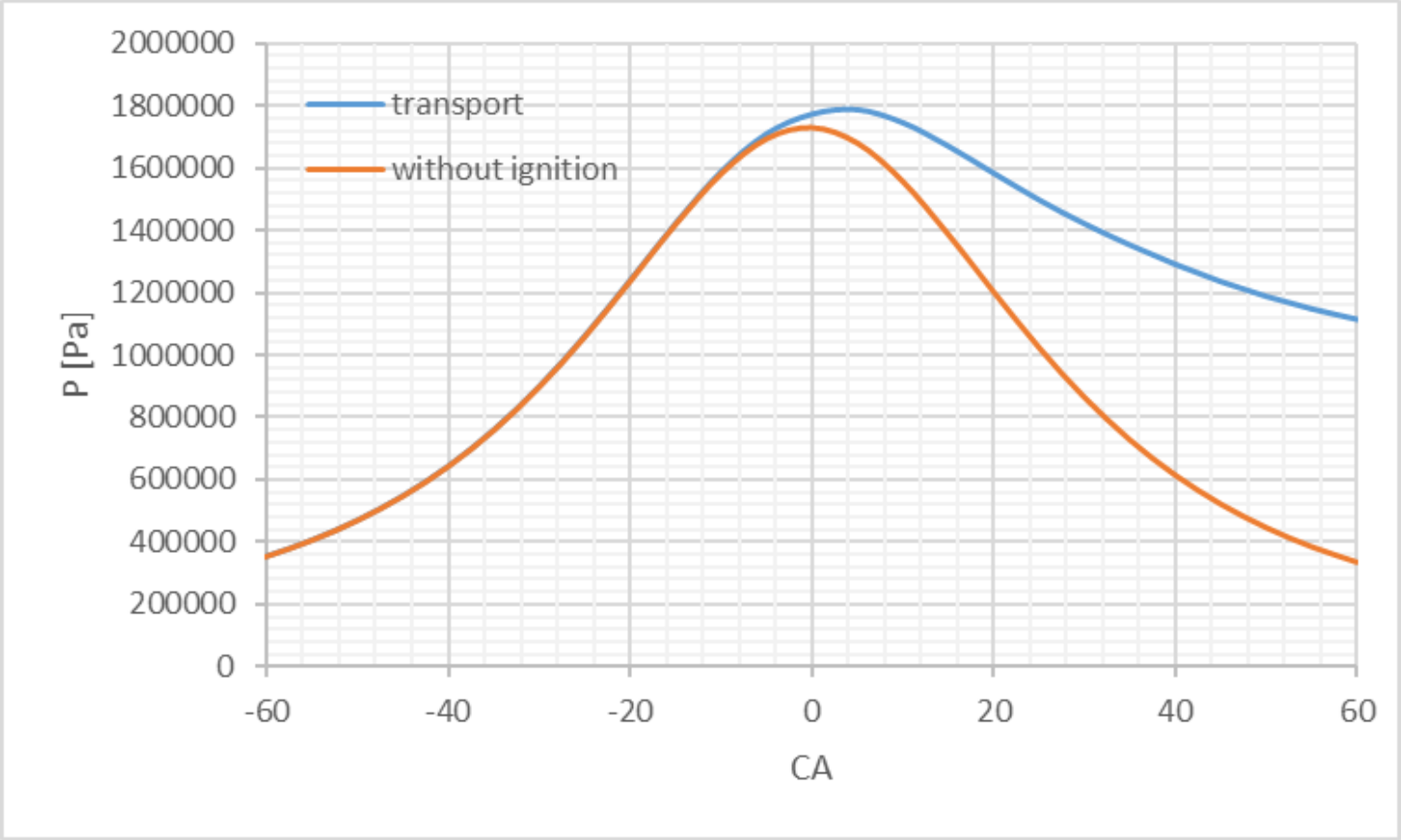
θ=-180℃
P=0.1MPa、T=373K、U=(0,0,0)
$k=4m^2/s^2$、$\varepsilon=450m^2/s^3$
フルスロットル条件



＜燃焼室＞円筒
＜メッシュ＞24536セル
snappyHexMeshで作成

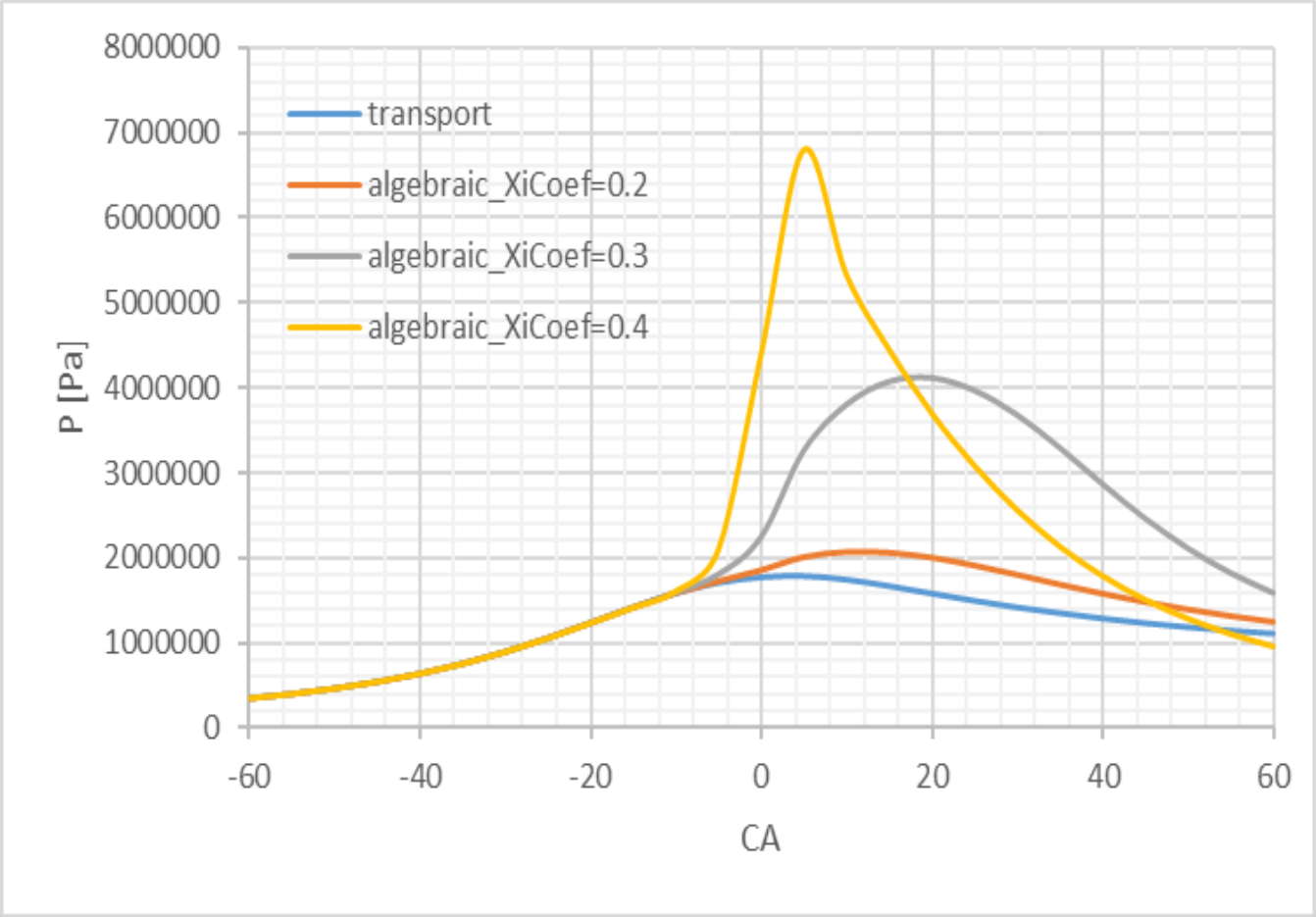
＜点火位置＞
(0.03　0　0.091)
＜点火時期＞
θ=-15°ATDC

乱流燃焼モデル（transportの場合）



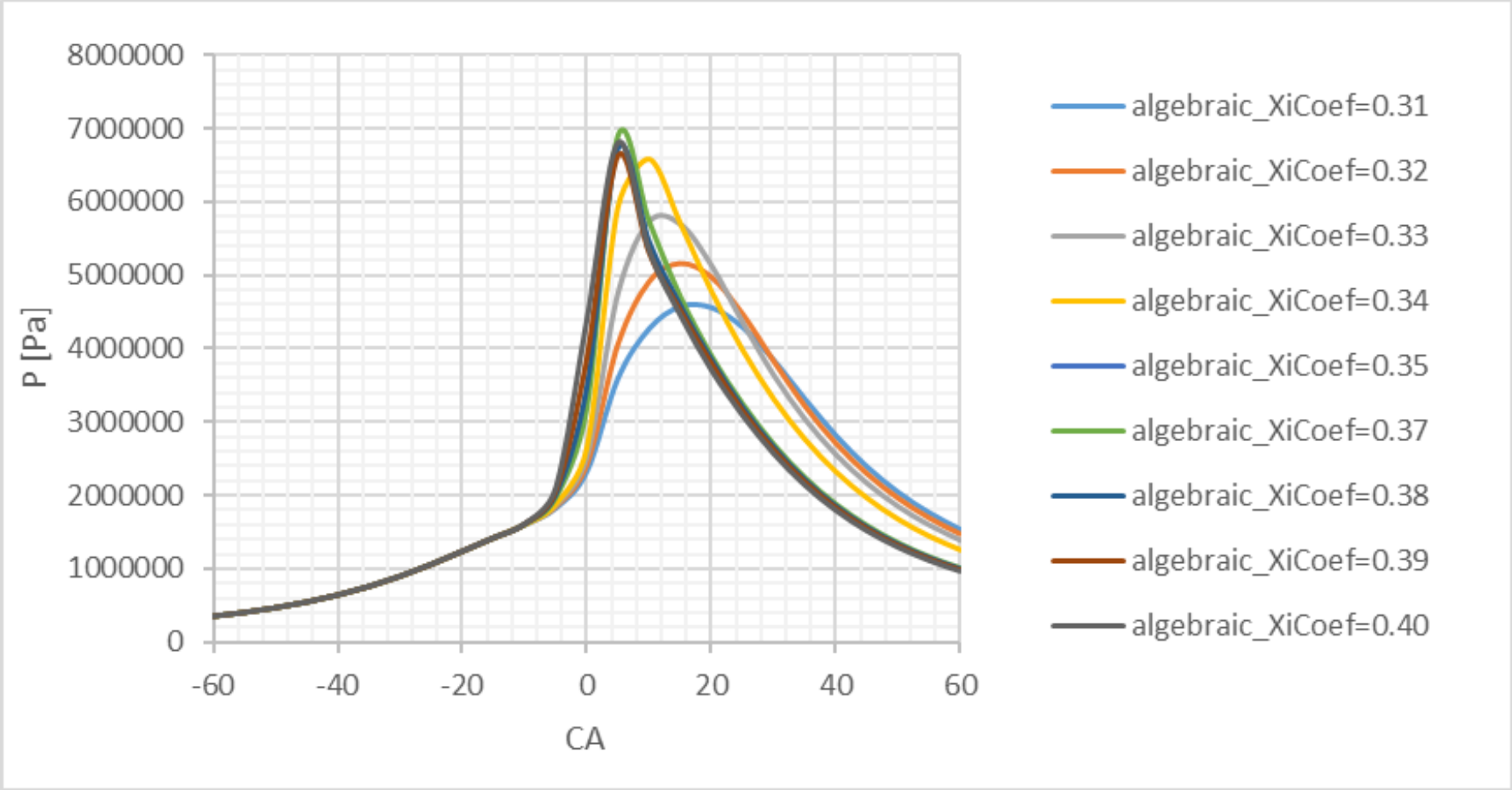
乱流燃焼モデル（algebraicの場合）XiCoefの影響

XiShapeCoef=1
uprimeCoef=1



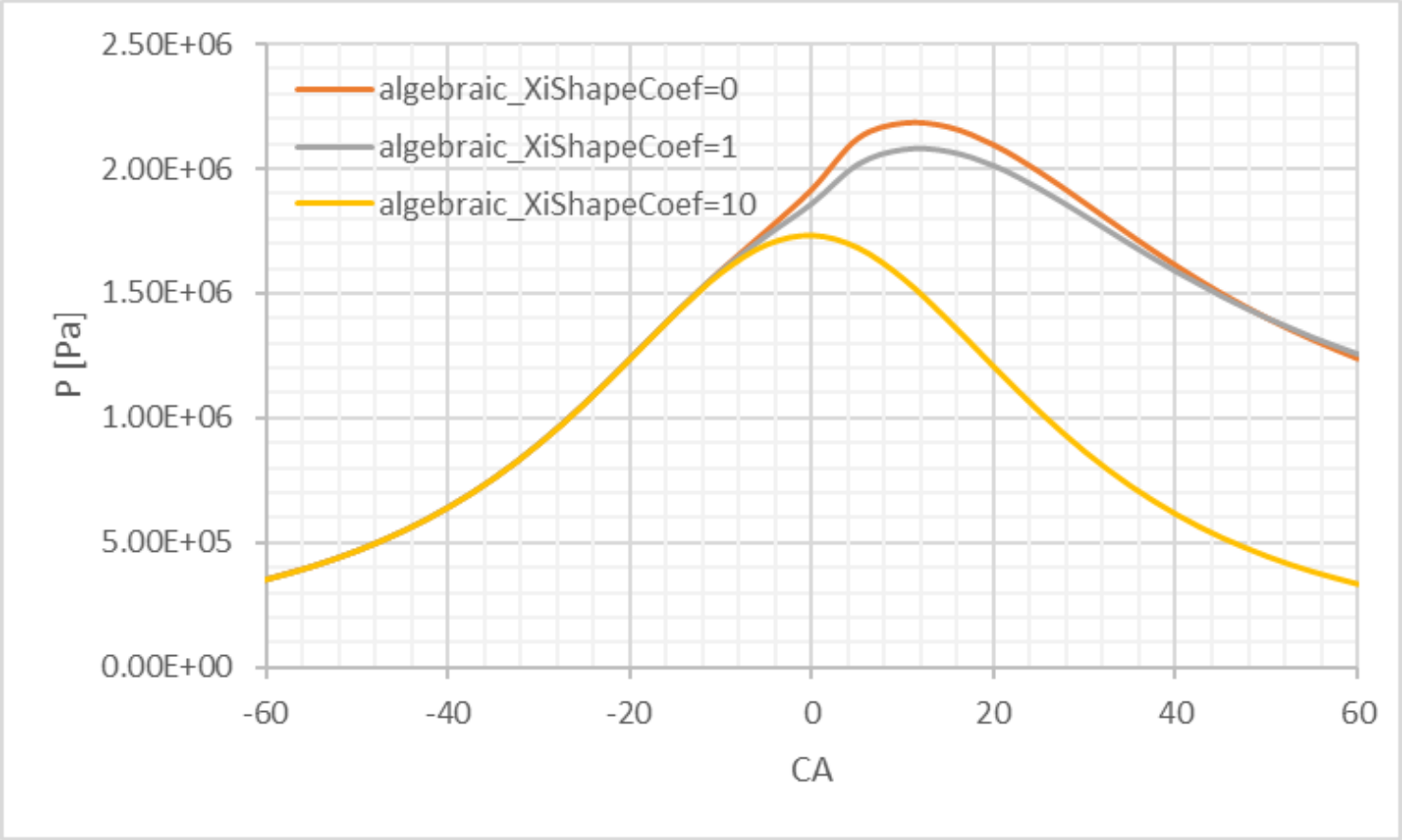
乱流燃焼モデル（algebraicの場合）XiCoefの影響

XiShapeCoef=1
uprimeCoef=1



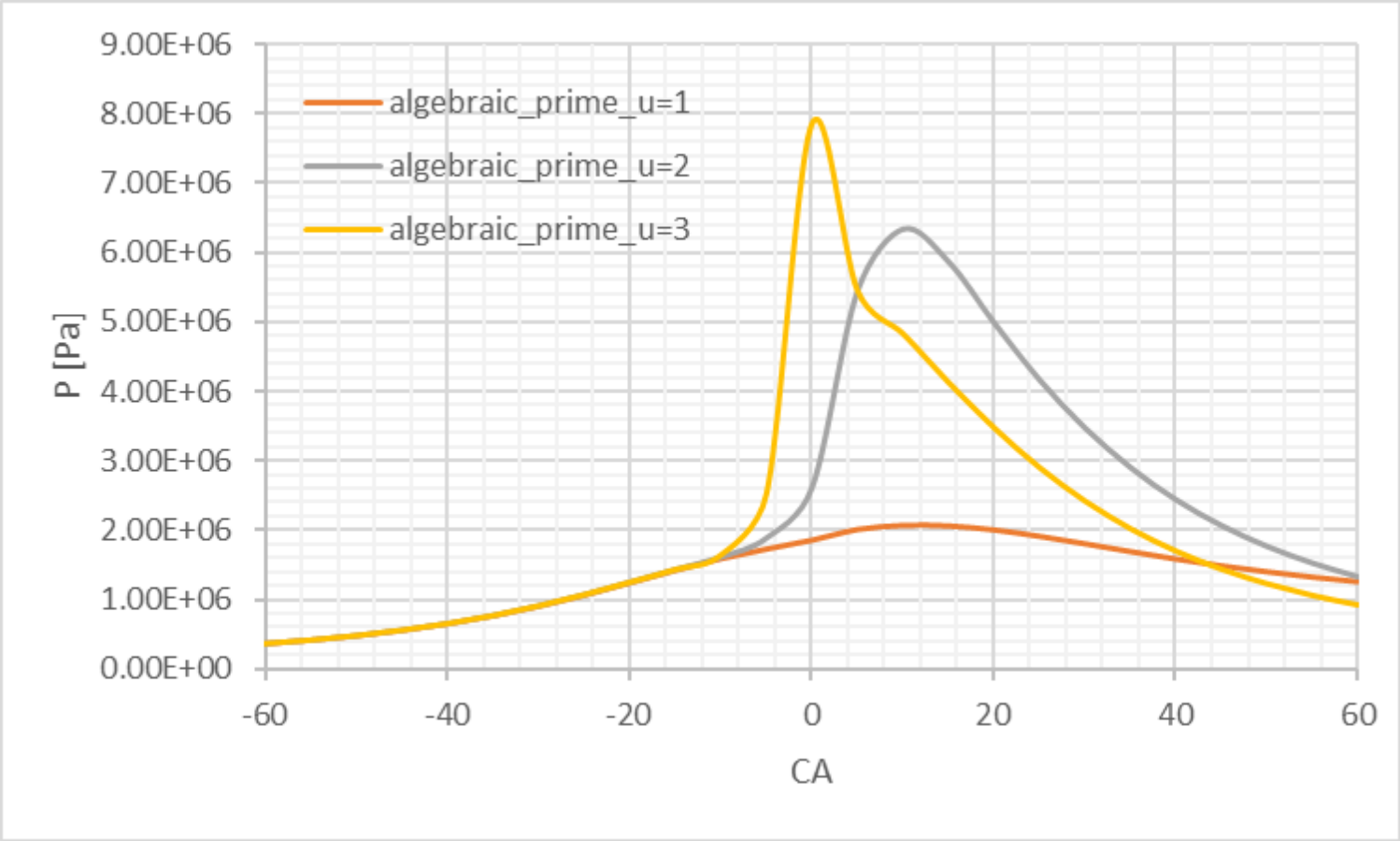
乱流燃焼モデル（algebraicの場合）XiShapeCoefの影響

XiCoef=0.2
uprimeCoef=1

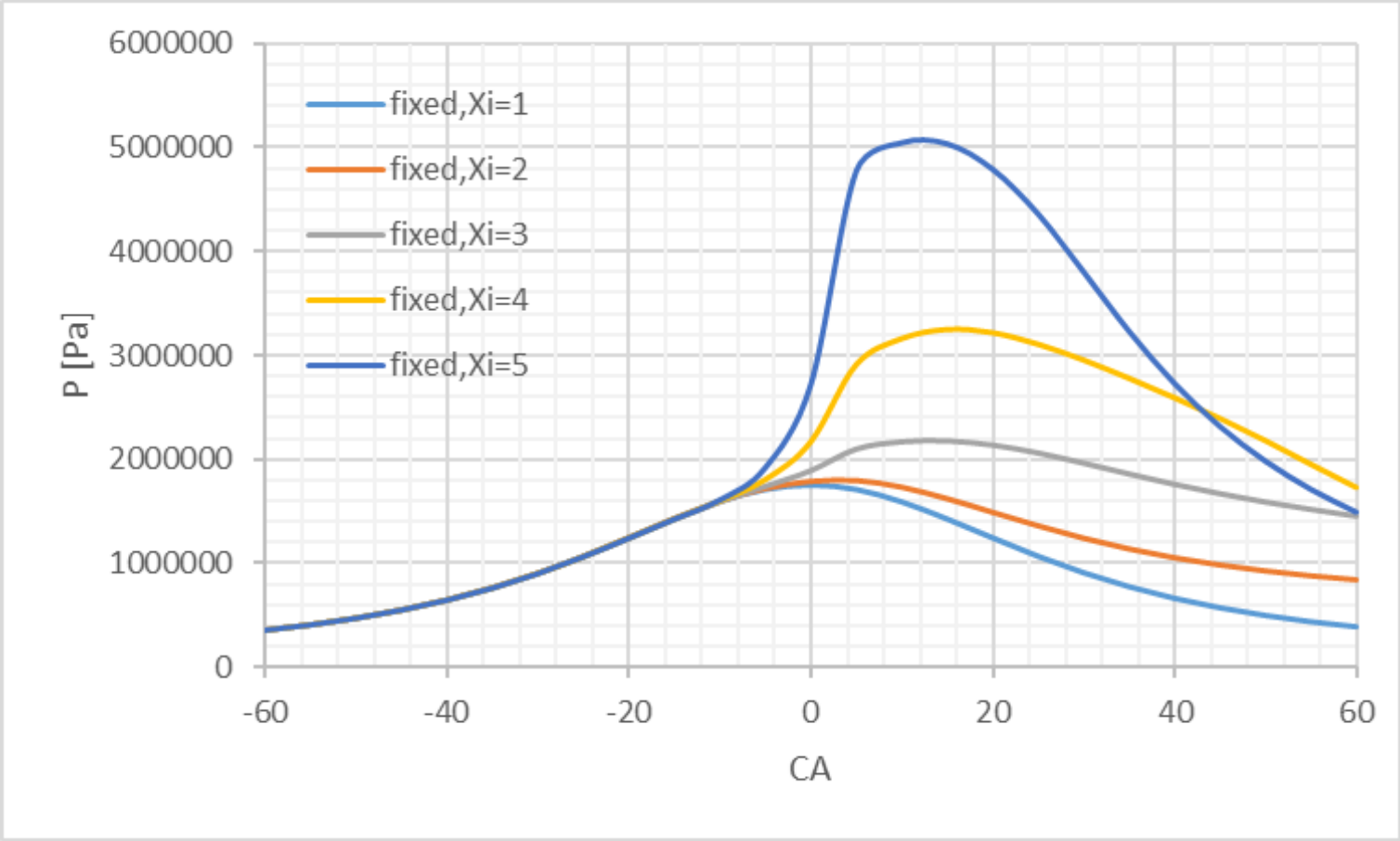


乱流燃焼モデル（algebraicの場合）uprimeCoefの影響

XiCoef=0.2
XiShapeCoef=1

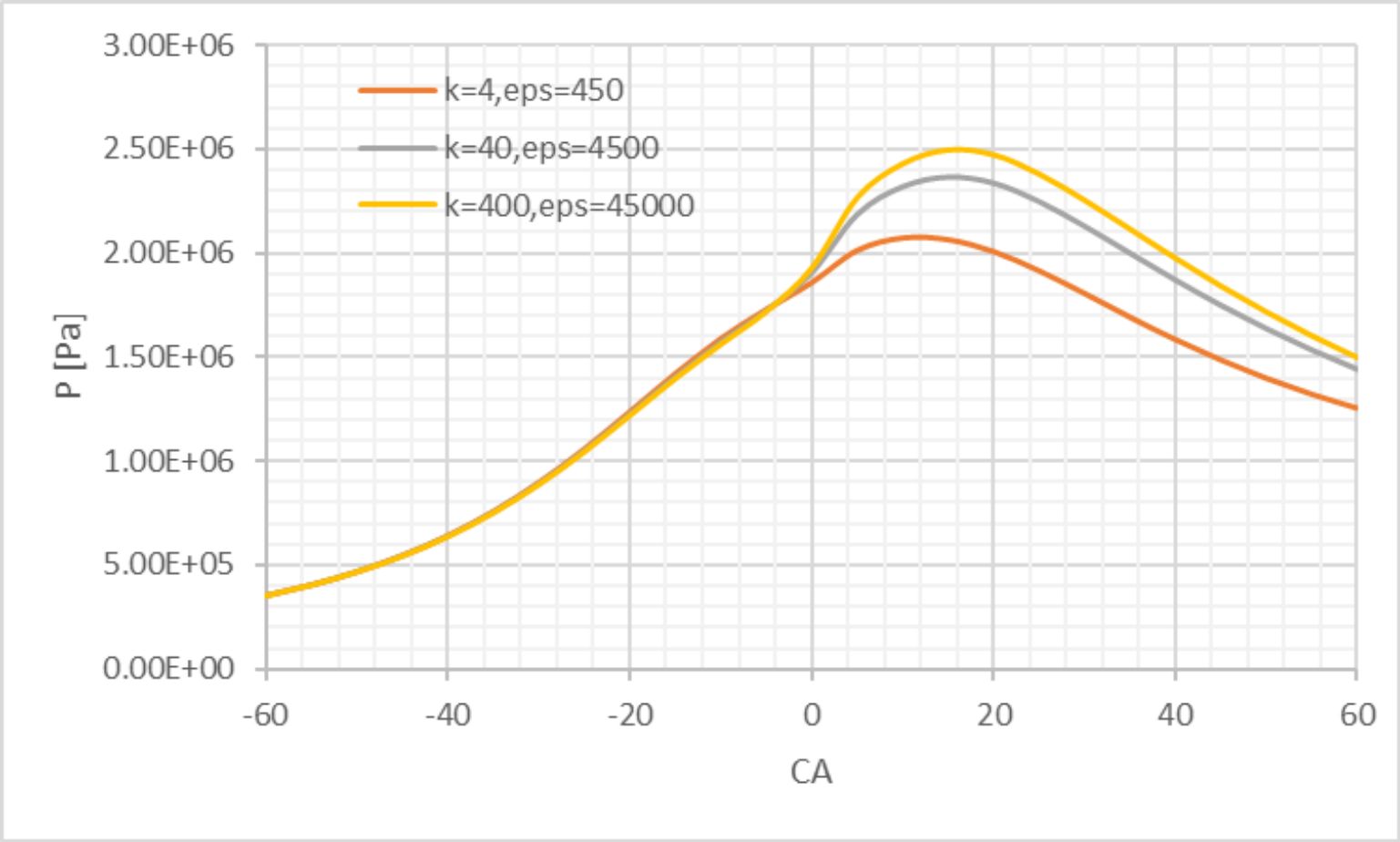


乱流燃焼モデル（fixedの場合）



初期条件の影響

XiCoef=0.2
XiShapeCoef=1
uPrimeCoef=1



スワール流れの設定

```
engineMesh      layered;
conRodLength    conRodLength [ 0 1 0 0 0 0 0 ] 0.165;
bore            bore [ 0 1 0 0 0 0 0 ] 0.10;
stroke          stroke [ 0 1 0 0 0 0 0 ] 0.10;
clearance       clearance [ 0 1 0 0 0 0 0 ] 0.0111;
rpm             rpm [ 0 0 -1 0 0 0 0 ] 1500;
swirlAxis       (0 0 1);
swirlCenter     (0 0 0.056);
swirlRPMRatio   swirlRPMRatio [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 2.0; //=SR  スワール数
swirlProfile    swirlProfile [ 0 0 0 0 0 0 0 ] 3.11; //=SP  周速分布
```

①/constant/engineGeometryに
スワールに関するkeywordを追加

②計算の前に次のユーティリティを実行
$engineSwirl

スワール流れの設定(swirlProfile)

$$v_{eff} = \omega \cdot J_1\left(\frac{2SP}{B} r\right)$$

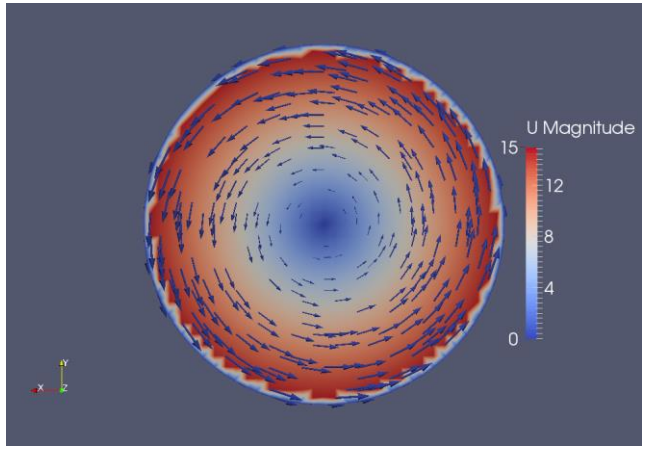
中心からの距離

Bessel関数

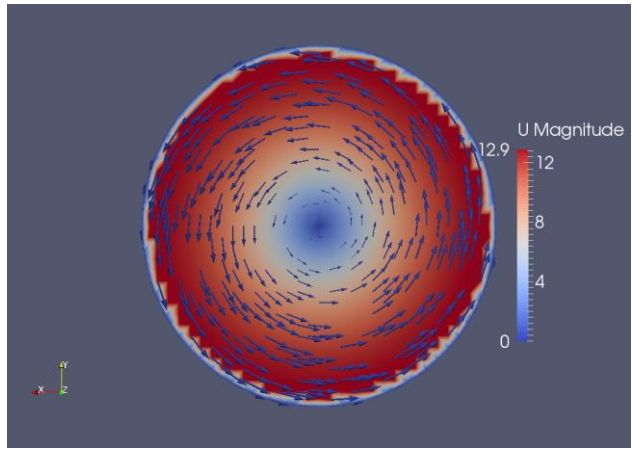
$$\omega = \frac{0.125 \cdot B \cdot SP \cdot v_\theta}{b}$$

$$v_\theta = \frac{2\pi \cdot SR \cdot rpm}{60}$$

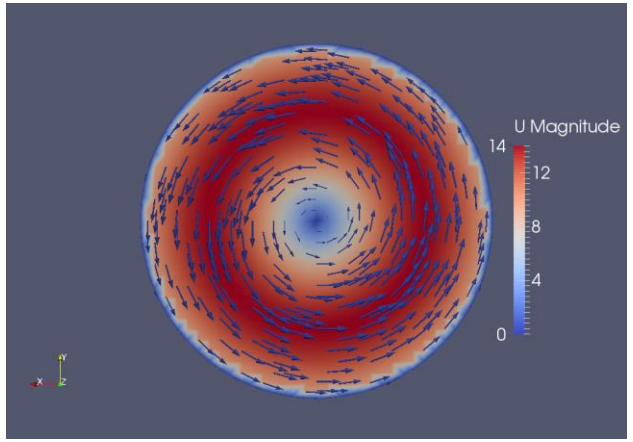
$$b = \frac{2J_1(SP)}{SP} - J_0(SP)$$



SP=1.0



SP=2.0

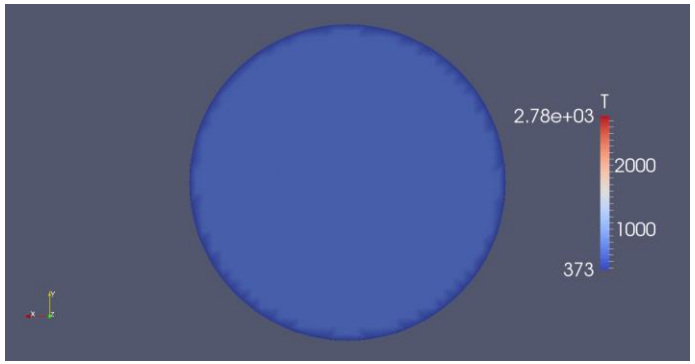


SP=3.0

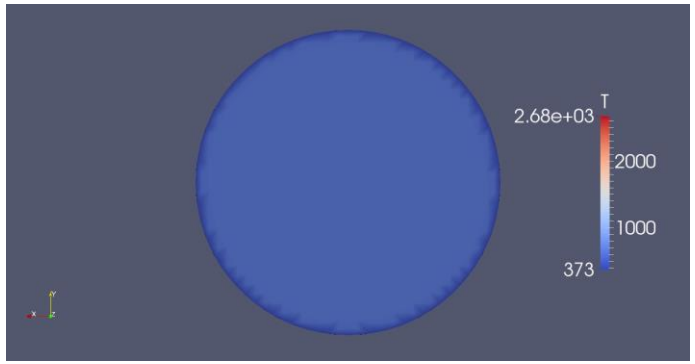
スワールの影響

XiCoef=0.2
XiShapeCoef=1
uPrimeCoef=1

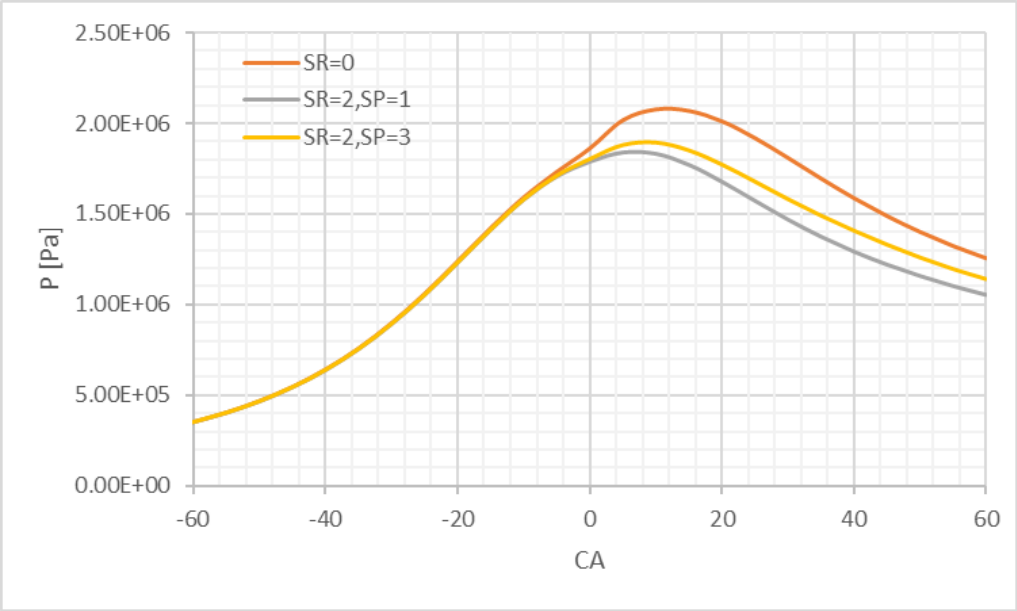
・スワールなしの方が、圧力が高く燃焼性がよい。
・スワール分布は中心で流速が早くなる方が、燃焼性がよくなる。



スワール無し



スワール有り

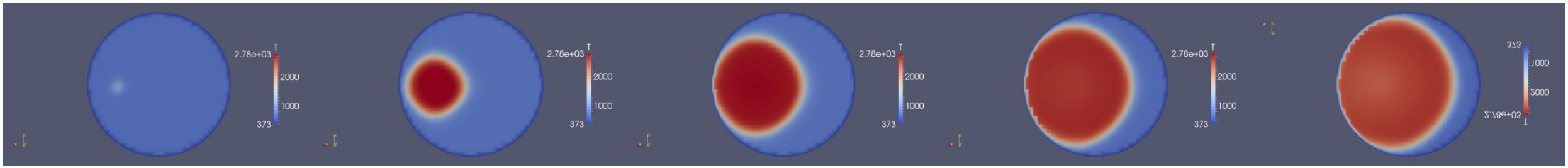


スワールの影響

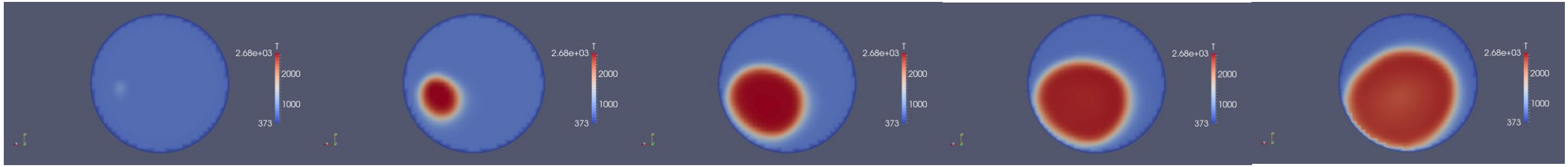
スワールによって火炎が流されるが、伝搬領域はやや小さい。

XiCoef=0.2
XiShapeCoef=1
uPrimeCoef=1

swirlRPMRatio=0

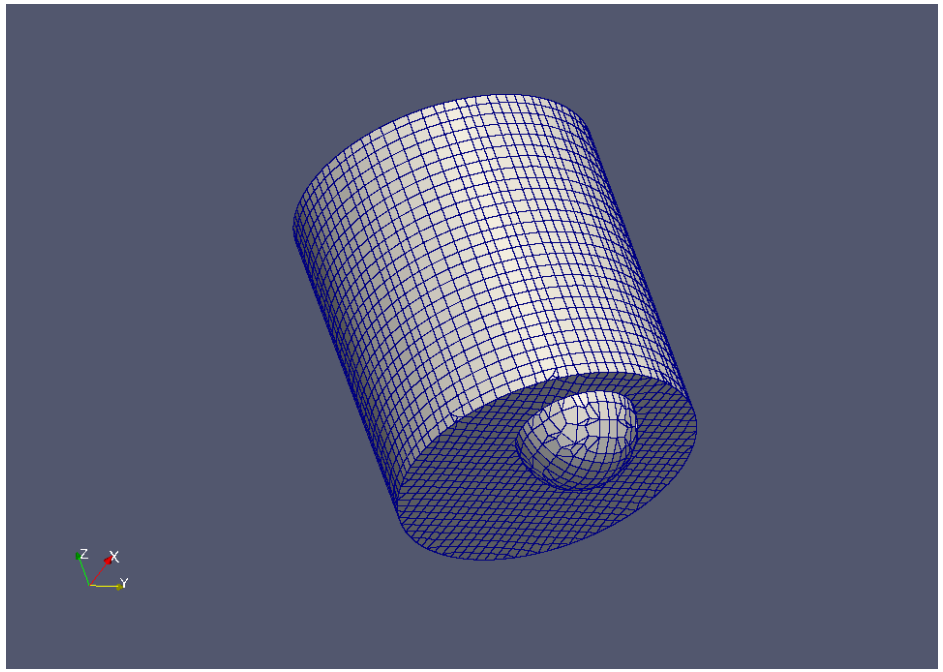


swirlRPMRatio=2



-10CA　5CA　20CA　35CA　50CA

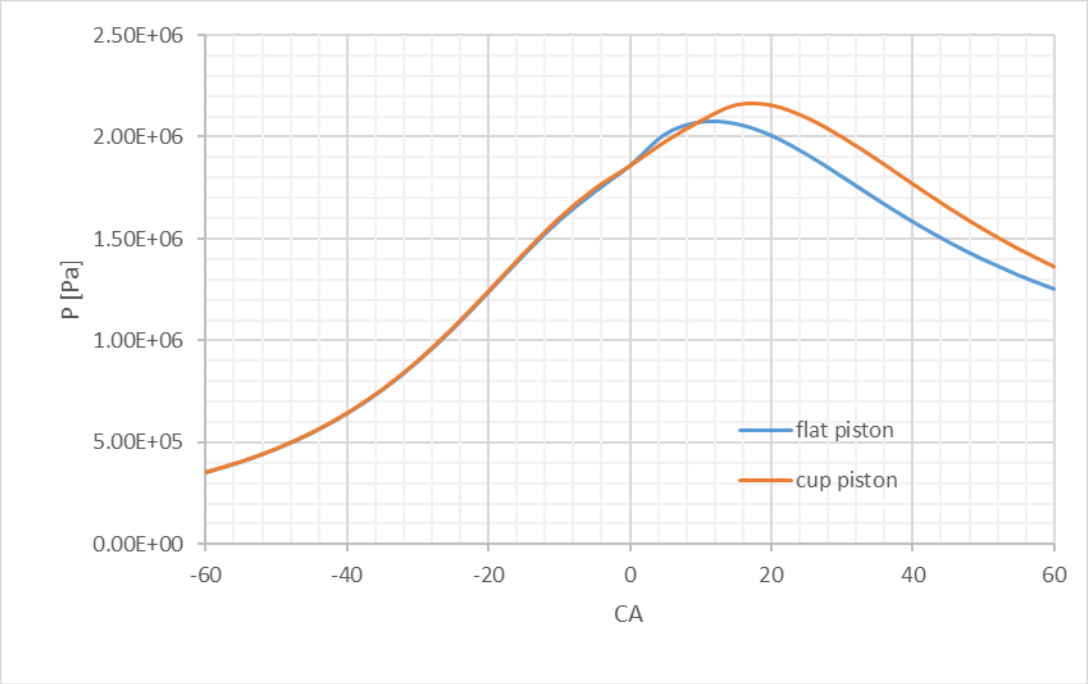
燃焼室形状の影響



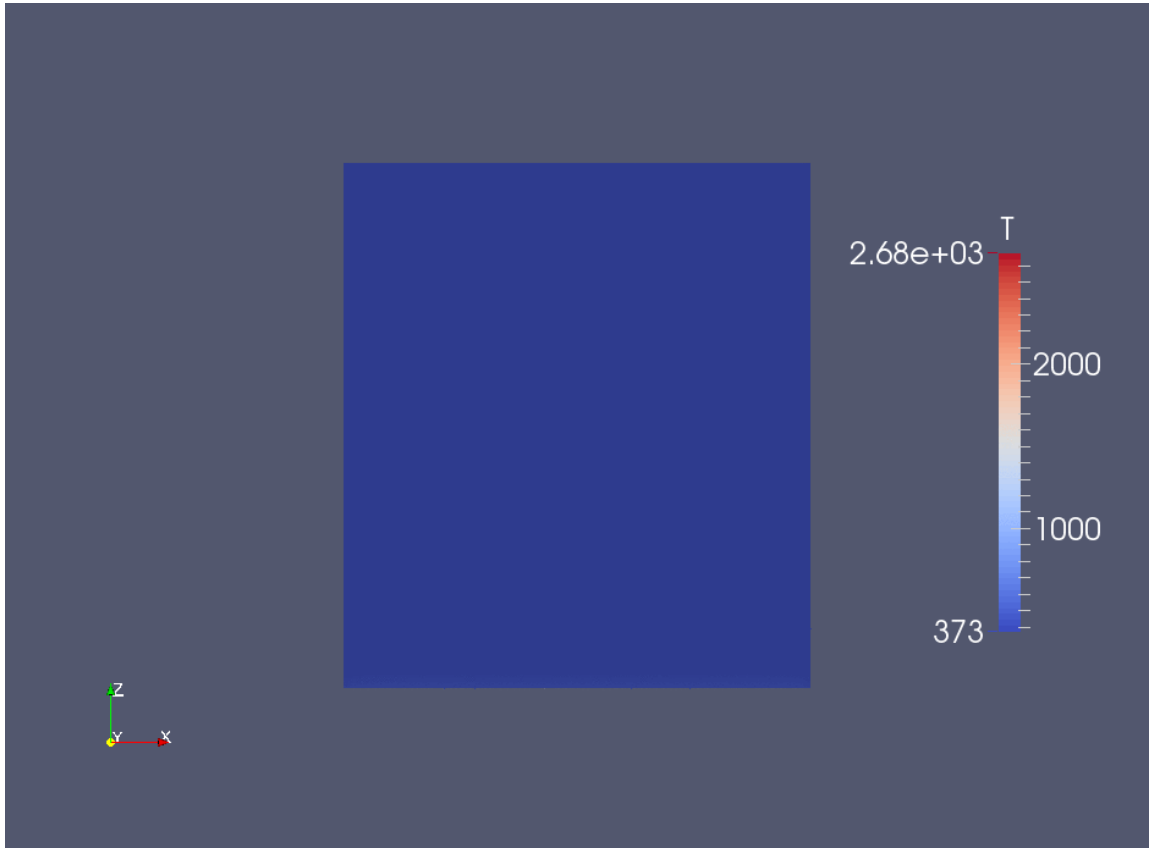
半球カップ（直径40mm）　中心(0.02,0,0)　点火位置（0.02,0,0.105）
セル数　19471

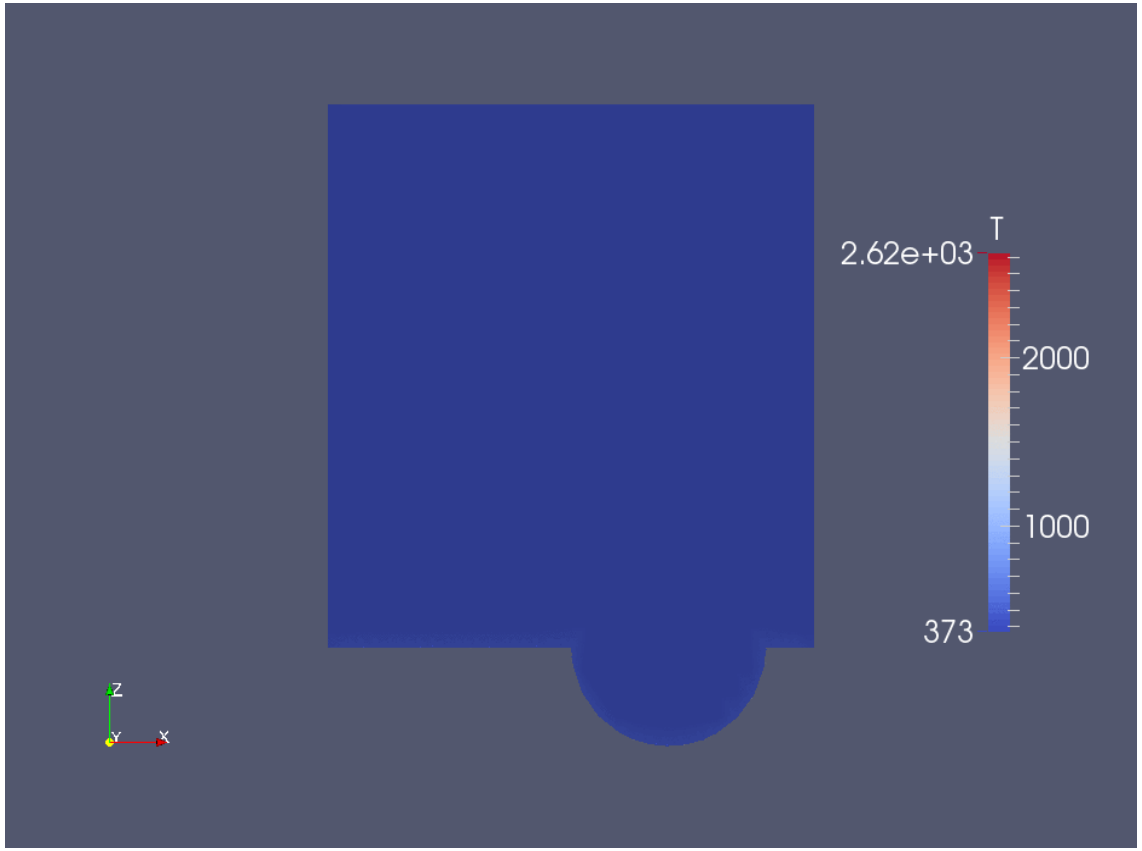
XiCoef=0.2
XiShapeCoef=1
uPrimeCoef=1

フラットなピストンより、カップ型の方が燃焼性がよい

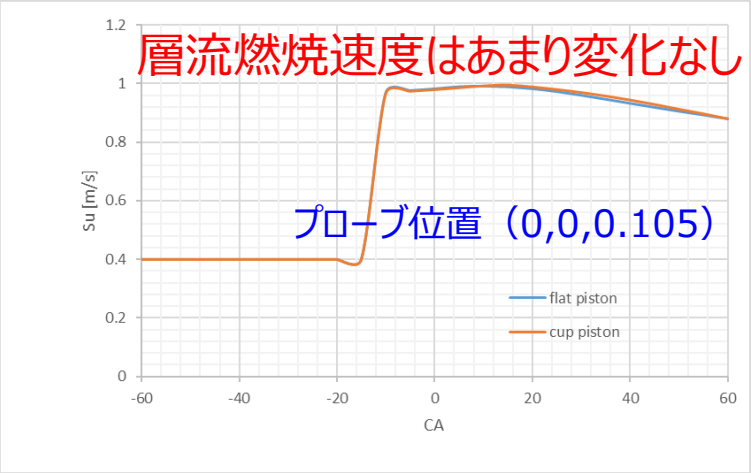


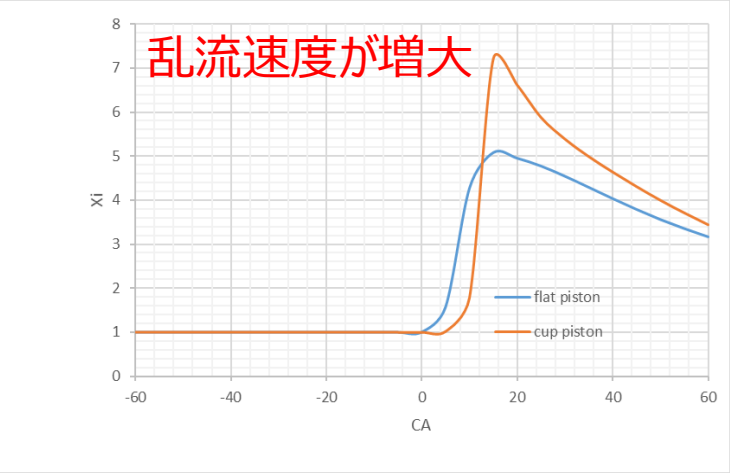
燃焼室形状の影響

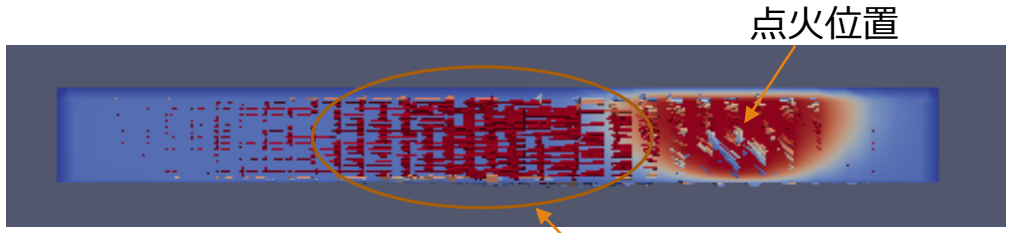




燃焼室形状の影響

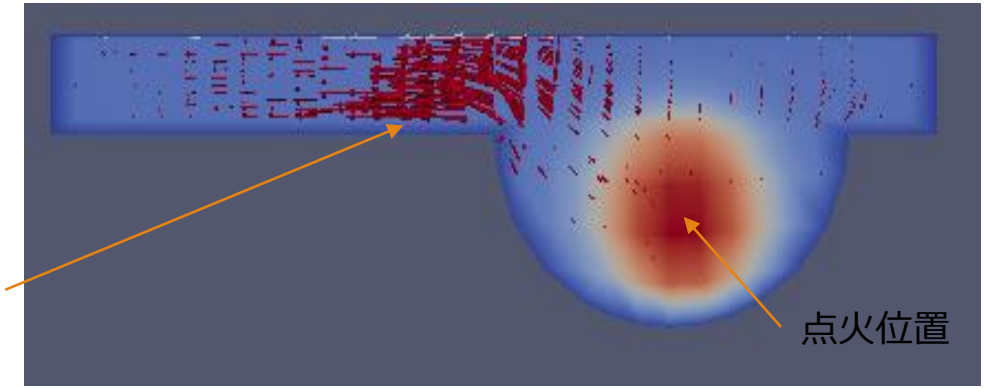






θ=0CA

未燃領域へ大きな流れが発生



終わりに

・engineFoamの乱流モデルのパラメータ設定方法、スワールの影響、燃焼室形状の影響を調べた。

・乱流速度モデルとしてalgebraicモデルで実験結果との調整ができる可能性がある。

・円柱状領域のメッシュが伸縮する部分でメッシュ形状が歪んでいなければ計算は可能。