

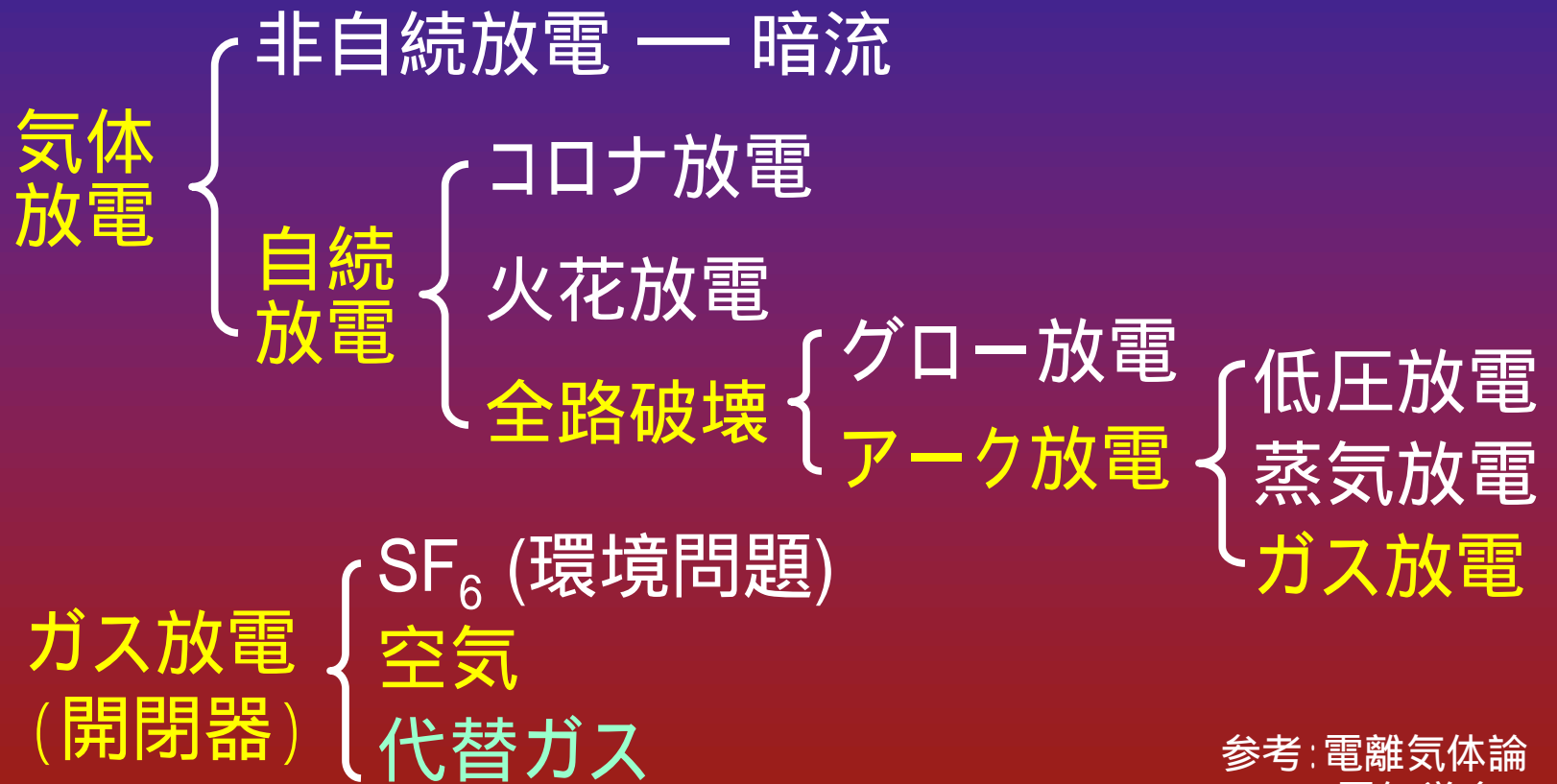
気中アークにおけるアークの 温度と圧力の数値解析

イエルザン・エスハフ（東光電気）

気中開閉器

- 開閉器は配電システムで使用される開閉保護装置で、SF₆ガス、真空および**気中開閉器**に分類される。
- **気中開閉器**は主に電圧6.6kV、電流300-600Aの架空配電システムで使用されている。
- 電流遮断時、接点が機械的に開いても、接点間の放電によって電流は交流零値まで流れる(**アーク電流**)。
- 開閉器の遮断性能を向上させるために、**アーク現象**の解明は大きな課題である。

アーク放電



参考: 電離気体論
(電気学会)

気中アーク

- 1気圧の気中アーク温度は太陽表面温度と同程度の5 000 ~ 6 000Kで、遮断電流や圧力によって10 000 ~ 20 000Kに達することがある。
- 加熱された気体の膨張、解離、分離など複雑な物理化学反応によって、空気の物性値が著しく変化する。
- 高温、高電圧、短時間(10 ~ 40msec)であるため、実験的に開閉器におけるアーク現象を詳細に観測・把握することは困難である。

気中開閉器における課題

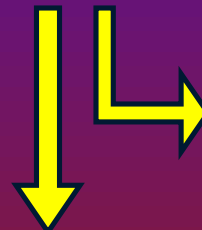
- コストダウン
- コンパクト化

遮断性能の向上

アーク特性

機構の改良

アブレーション効果を考慮したアーク温度、圧力および高温ガスの挙動を把握する



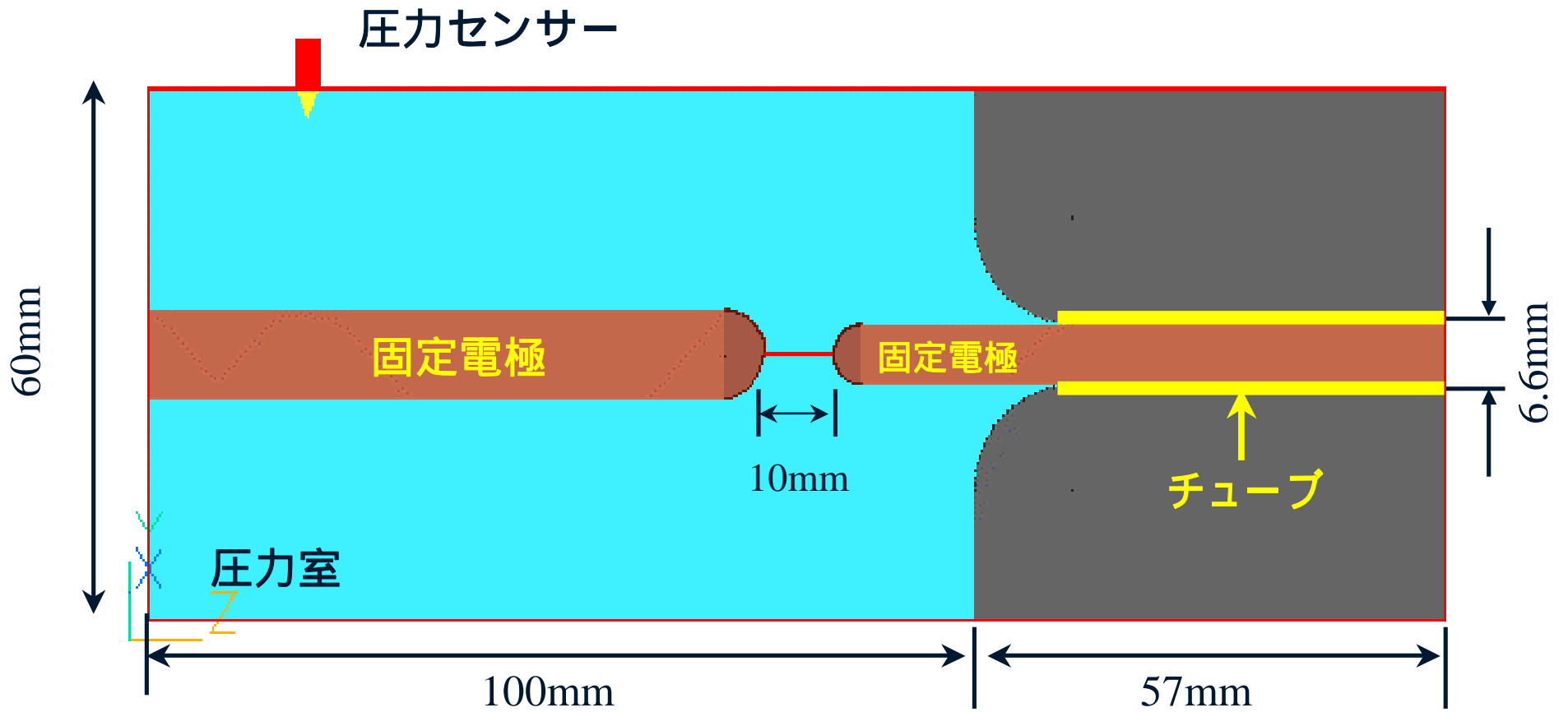
研究の目的と概要

- 遮断電流，圧力室容積，チューブ材料などによる圧力，アーク温度と高温ガス流の把握。これらによる開閉器遮断性能への影響を調査する。

簡易モデル(固定電極，セラミックスチューブ)で物性値と解析ツールの妥当性を確認する。

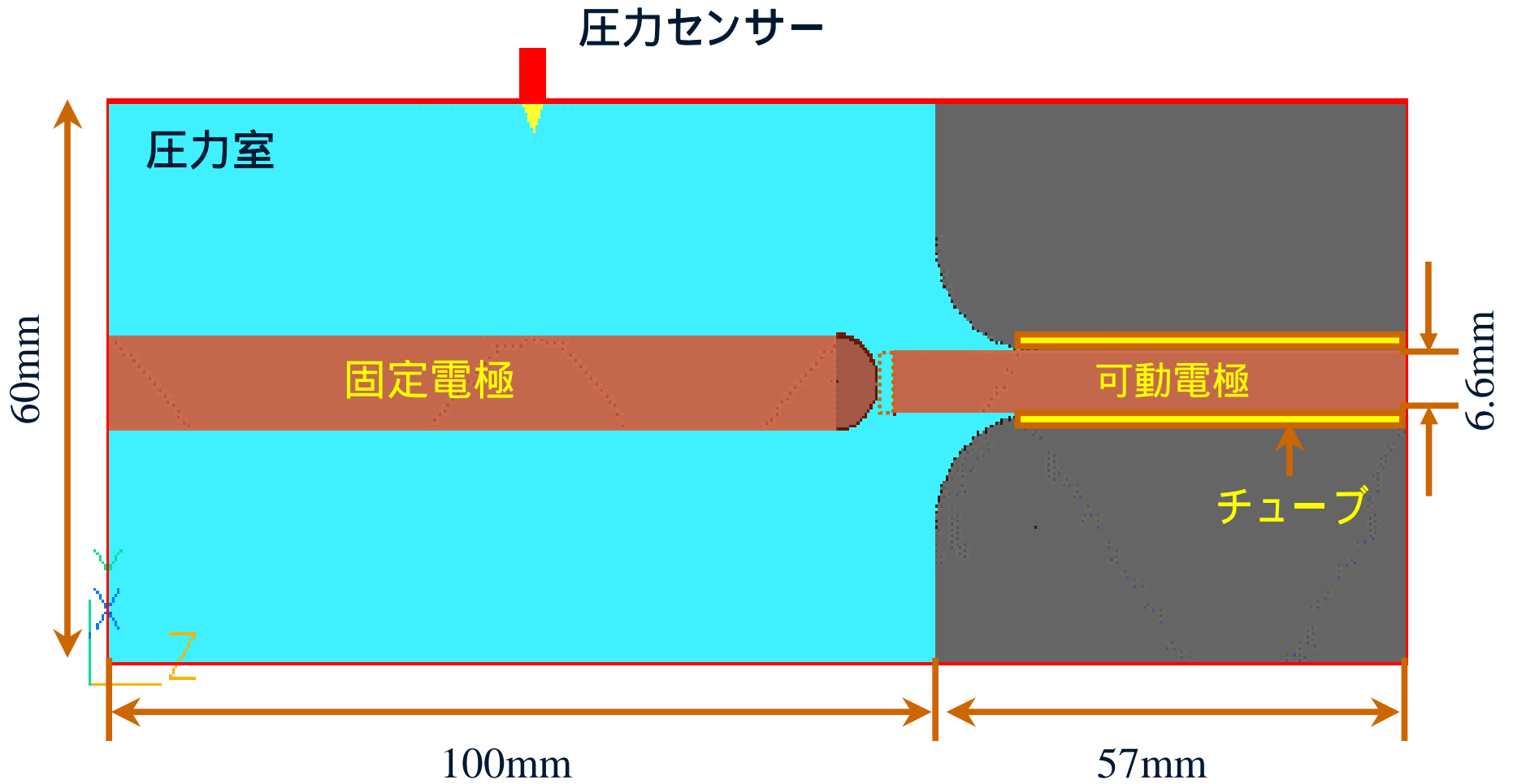
可動電極モデルにおけるアーク温度と圧力の数値解析を行う。

- 三次元熱流体解析ソフトウェアPHOENICS



チューブ: セラミックス

固定電極開閉器モデル



チューブ：セラミックス

可動電極開閉器モデル

解析条件

	固定電極	可動電極
アブレーション	なし	なし
電流密度	一様分布	一様分布
乱流モデル	-	-
輻射モデル	IMMERSOL	IMMERSOL
座標次元	円筒座標二次元	円筒座標二次元
計算 t	10 μ sec	10 μ sec

質量，運動量，エネルギー方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u) = 0 \quad \dots \dots (1)$$

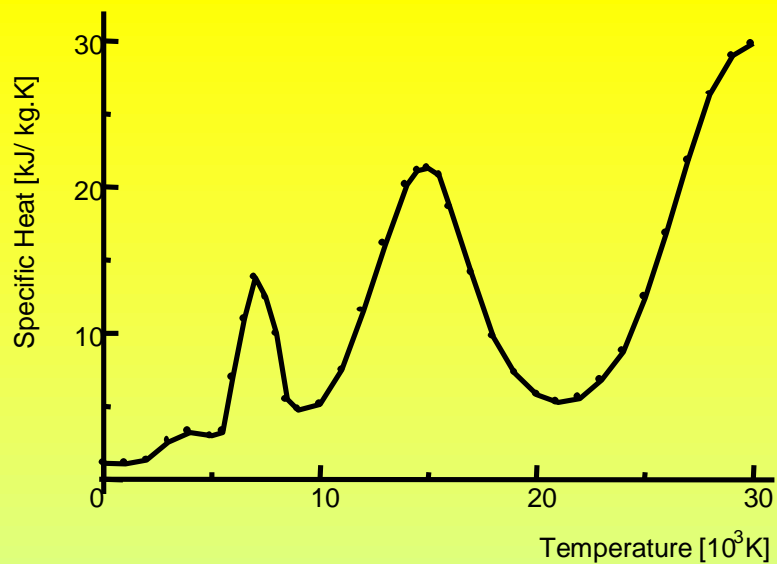
$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u^2) + \frac{\partial}{\partial z} (u w) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u w) + \frac{\partial}{\partial z} (w^2) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\mu r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad \dots \dots (3)$$

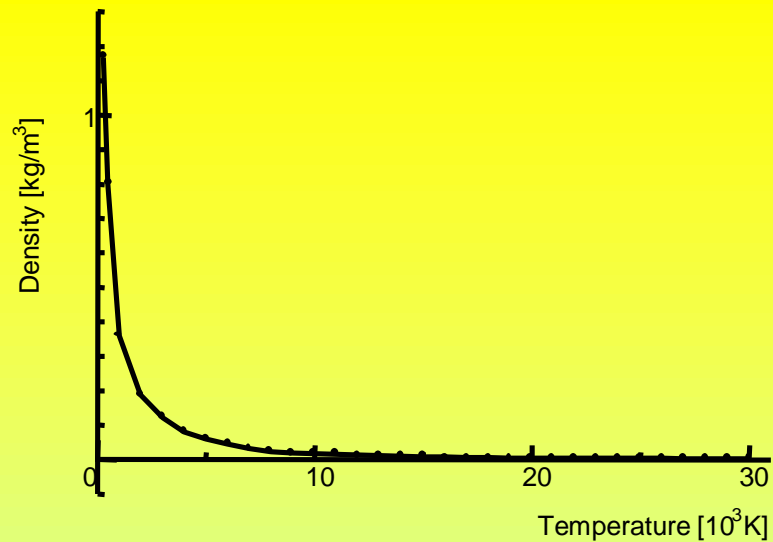
$$\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{r}{C_p} \frac{\partial h}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{C_p} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + q_{arc} - q_{rad} \quad (4)$$

ρ: 密度, k: 熱伝導率, h: エンタルピー, μ: 粘性係数, Cp: 比熱

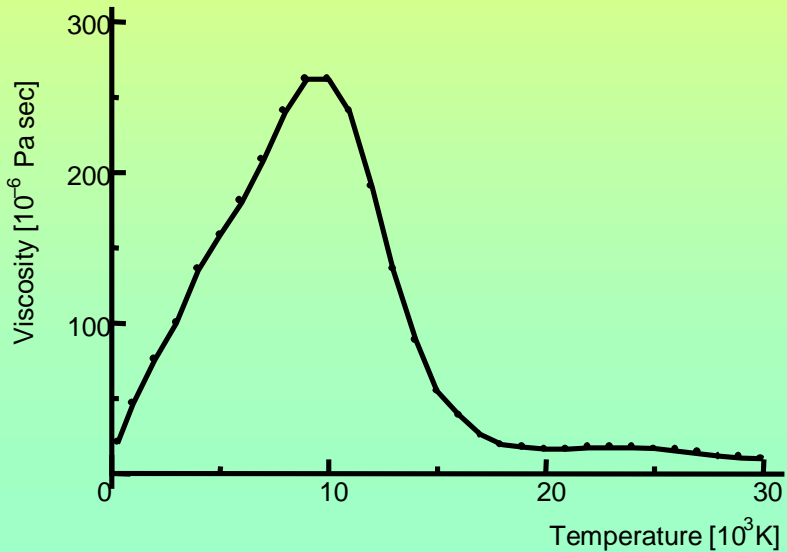
r, z: 径と軸方向座標, u, w: 径軸方向速度, q_{arc}, q_{rad}: 入力と輻射エネルギー



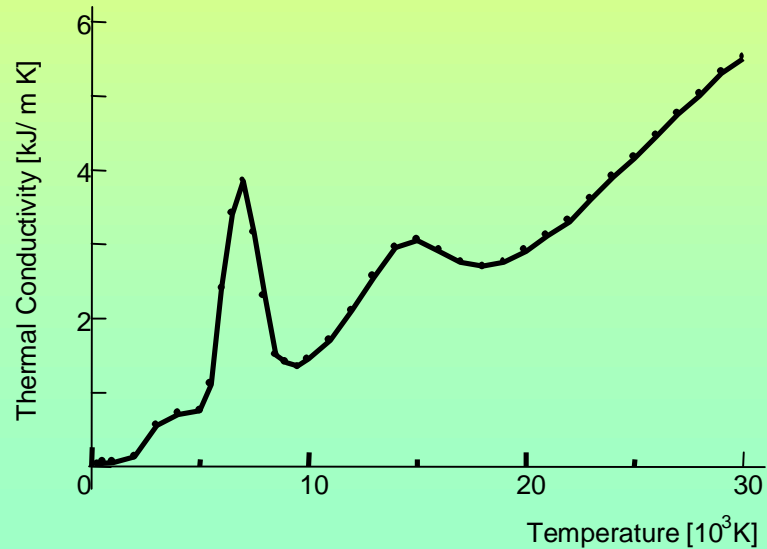
(a) Specific Heat



(b) Density



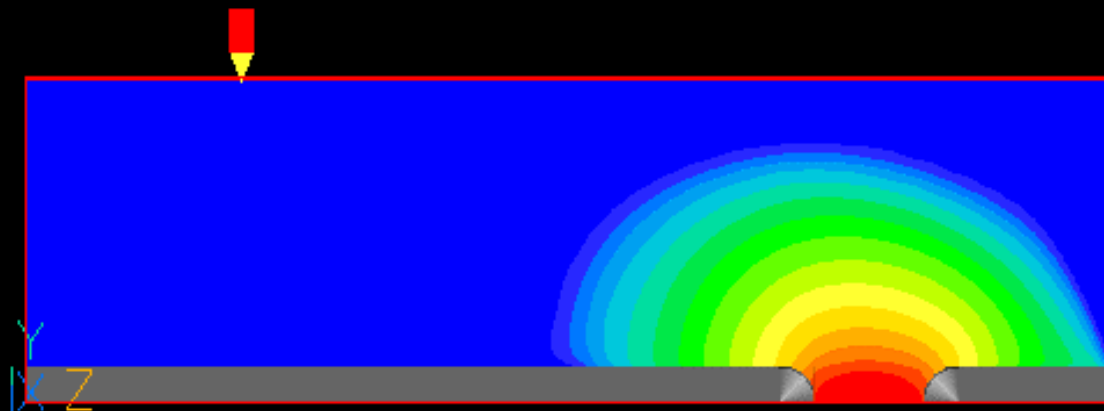
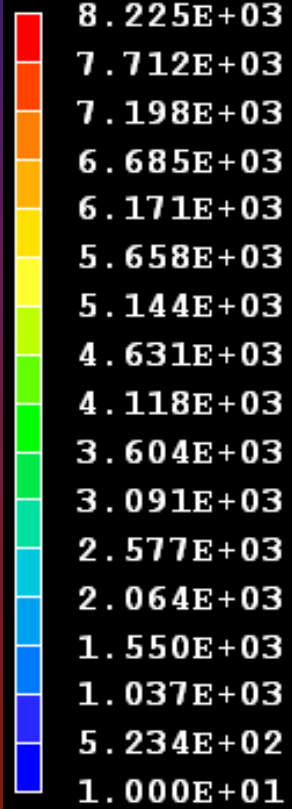
(c) Viscosity

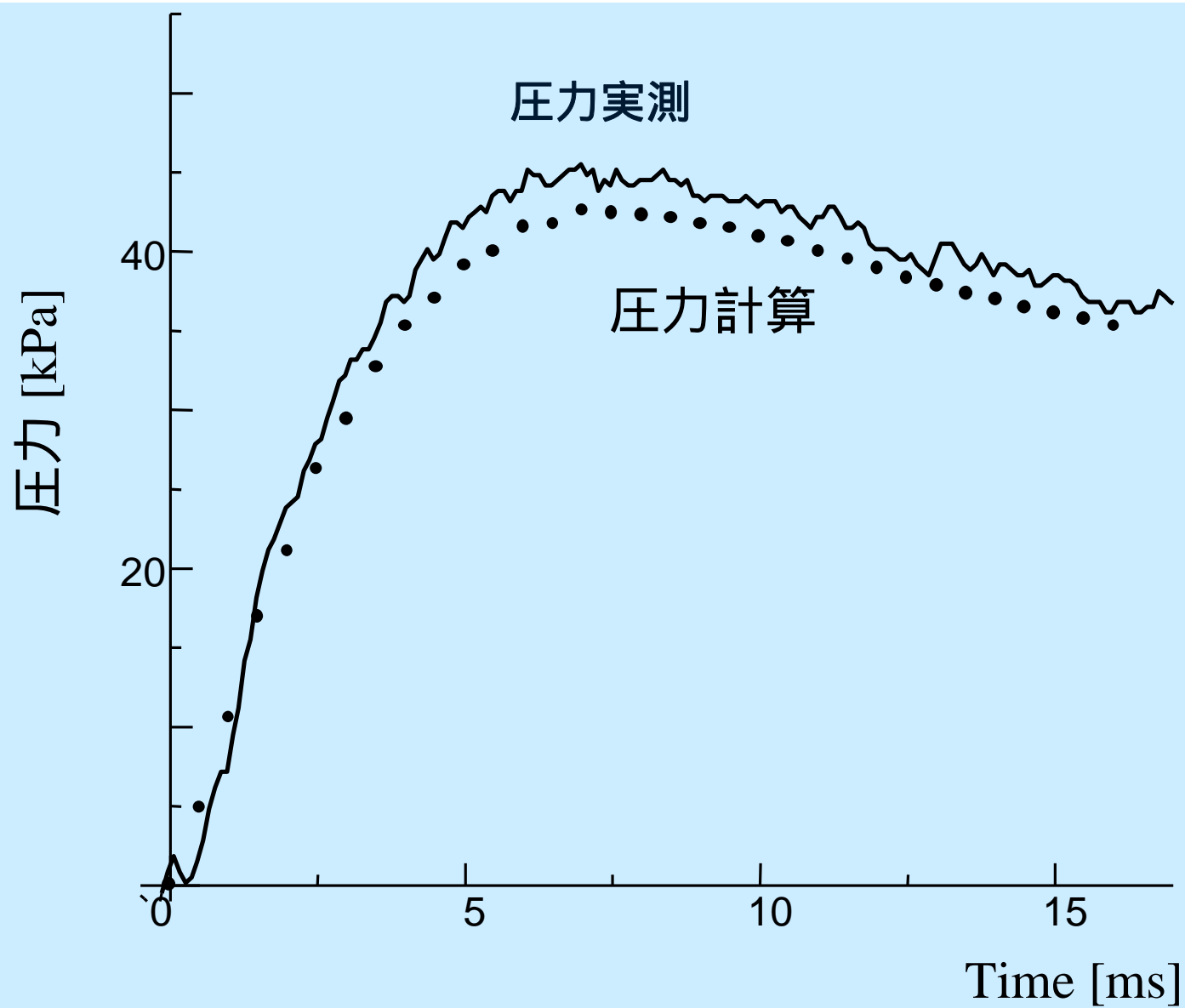


(d) Thermal Conductivity

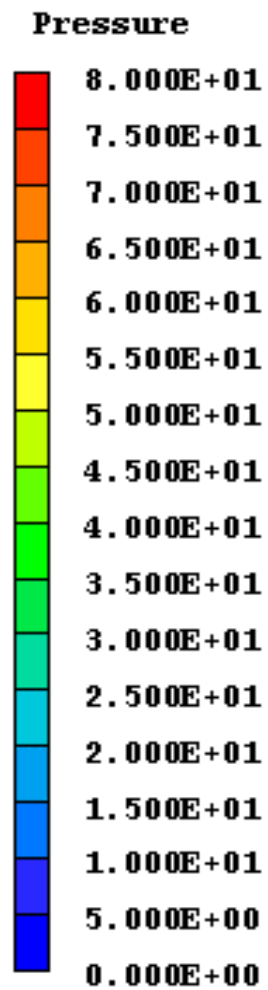
温度 (t=3ms , 固定電極)

Temperature

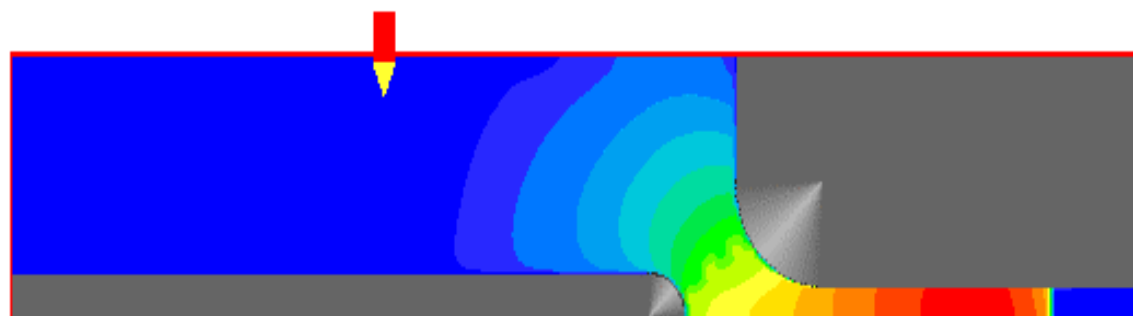
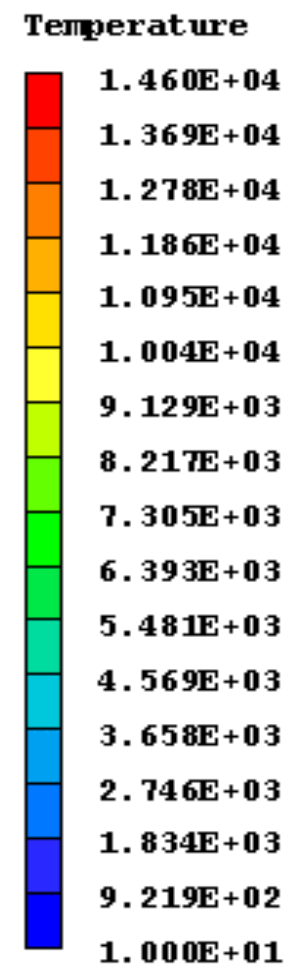




計算と実測の圧力(固定電極)

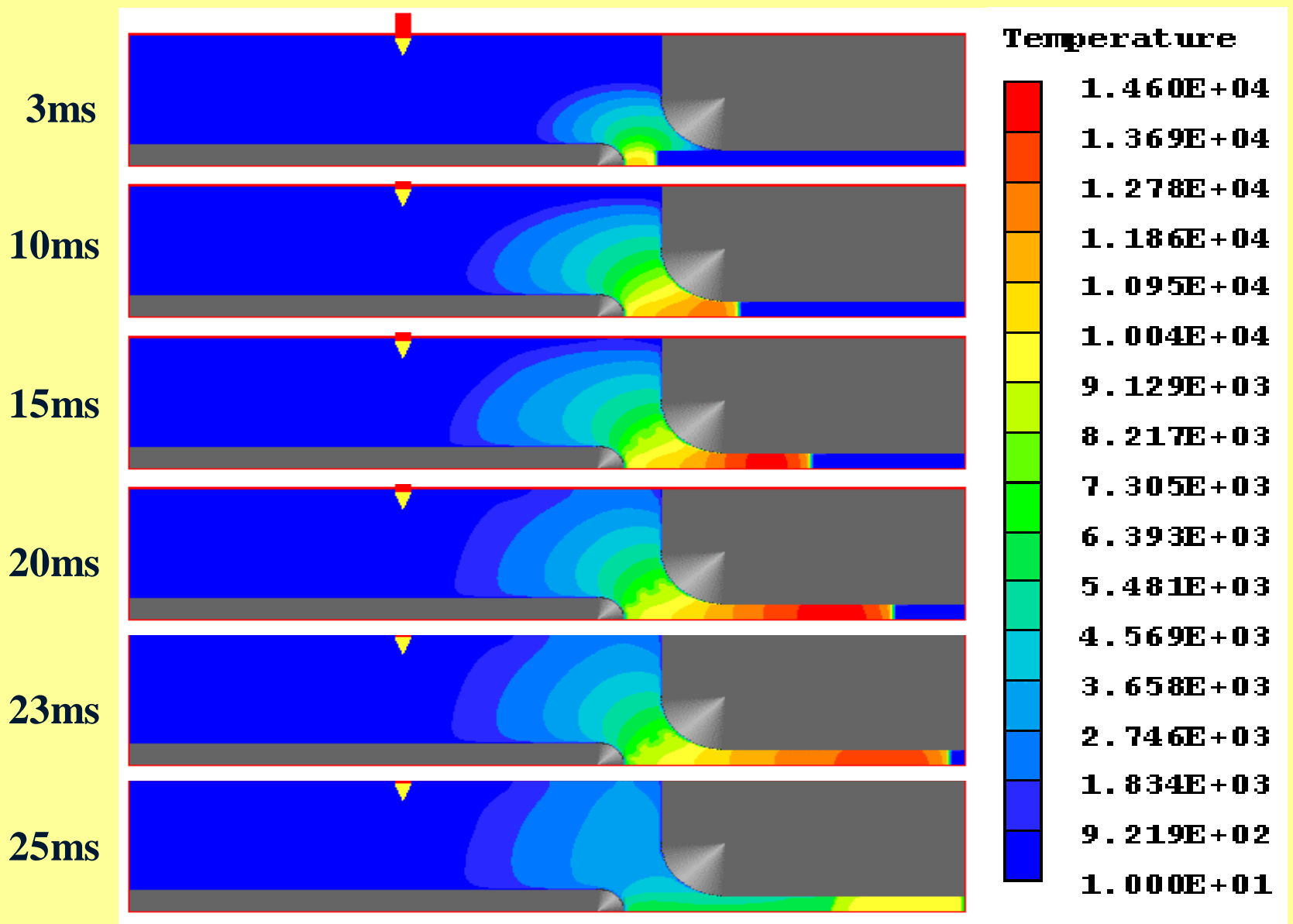


圧力分布

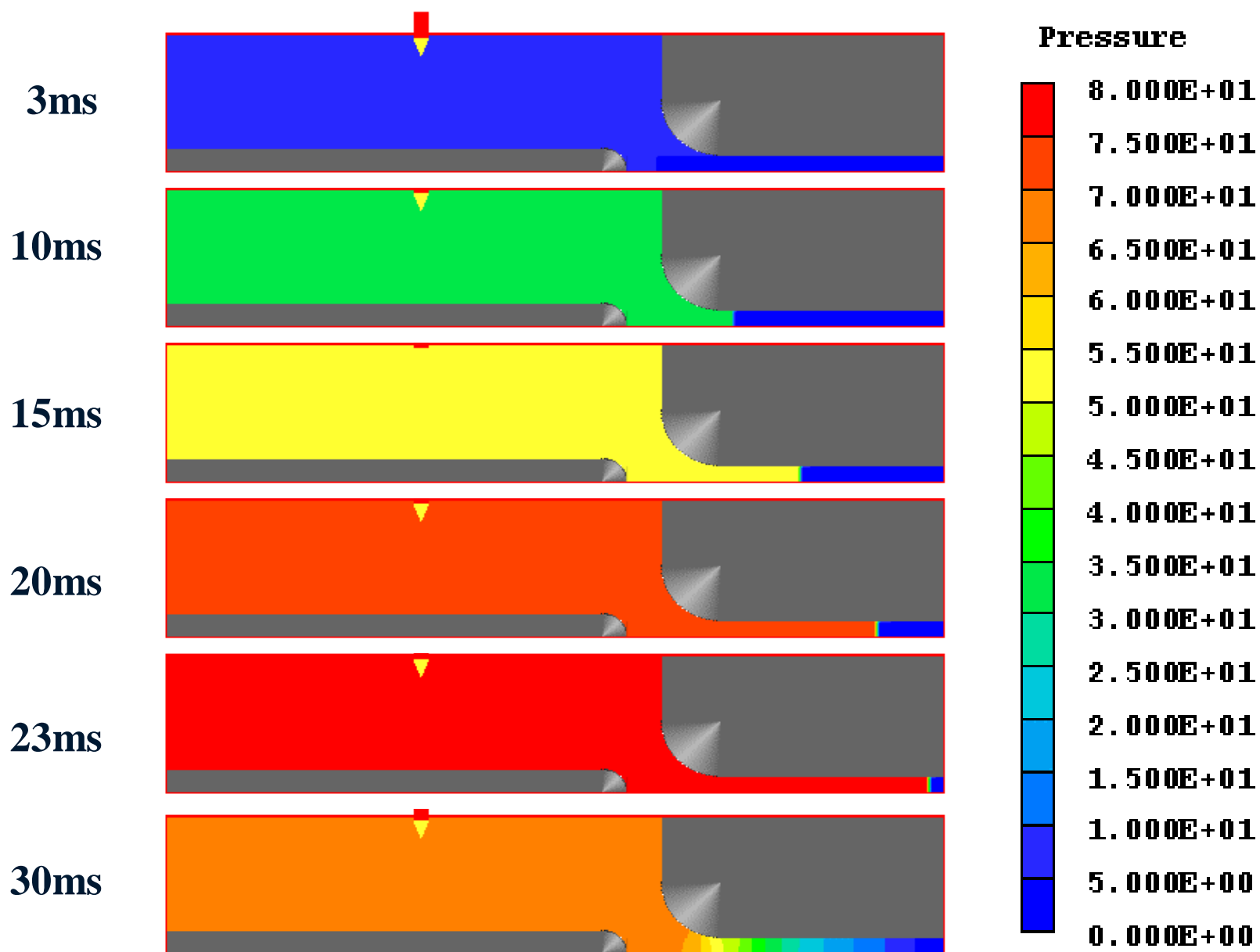


温度分布

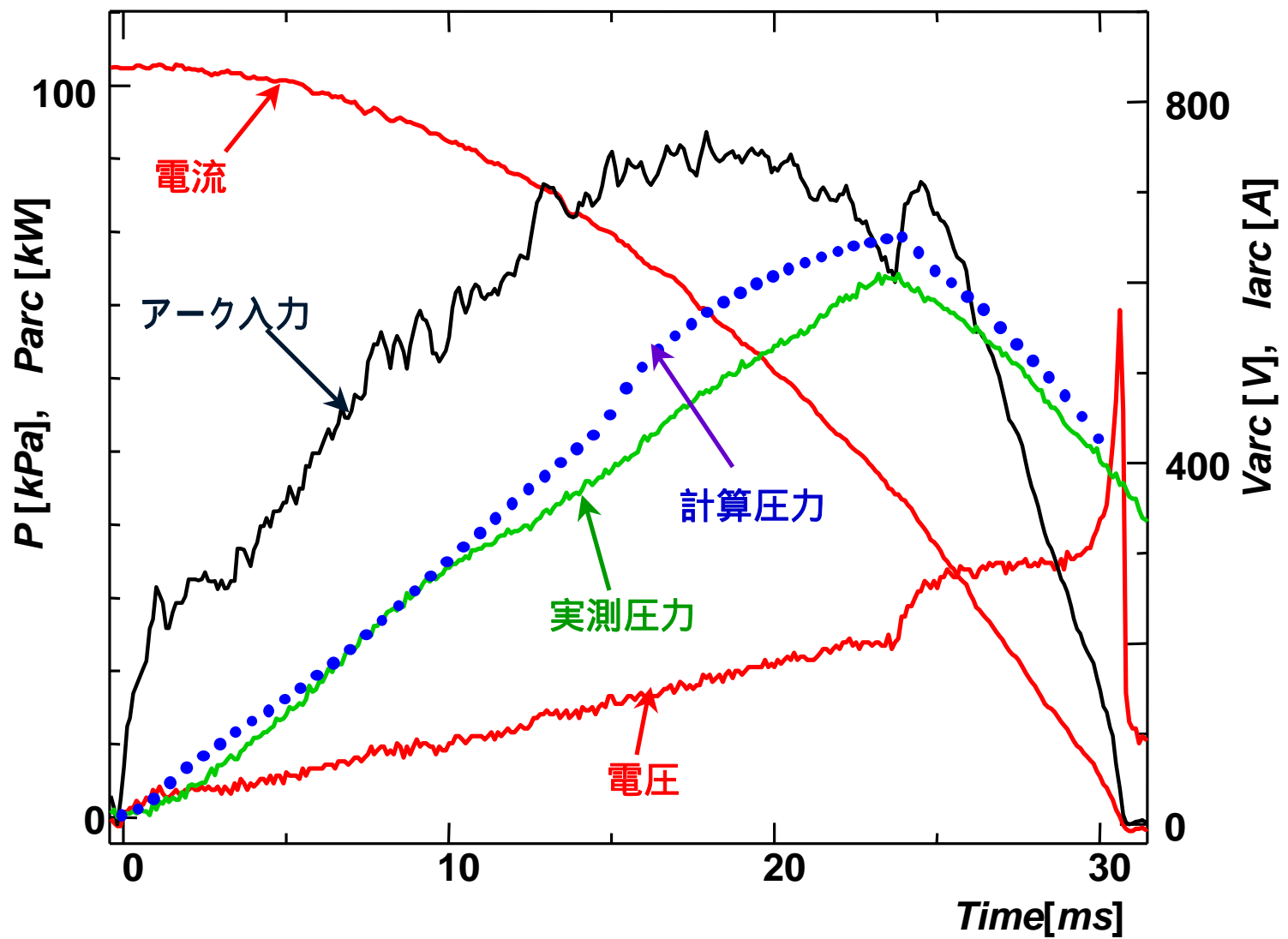
20msにおける圧力と温度分布(可動電極)



温度分布（可動電極）



压力分布（可動電極）



計算と実測の圧力(可動電極)

まとめ

- 固定電極と可動電極モデルにおいて、圧力の計算値は傾向として実測値と一致する結果が得られた。
- 計算で用いた空気の物性値は妥当で、熱流体解析ソフトウェアPHOENICSによるアーク温度、圧力の数値解析は可能であると思う。