

## ジュール加熱（通電加熱）

交流を印加する電極を左右に一個ずつ設置し、電極間に挟んだ円柱形の食品を加熱調理するケースをイメージしたアプリ（固体熱伝導 + 対流熱伝達 + 電流の解析）です。加熱時における食品内部の温度の変化を考察します。

詳しい解析の手順や内容は、書籍「ことはじめ 加熱調理や食品加工における伝熱解析 -数値解析アプリでできる食品物理の可視化-」（近代科学社），7.2節でも解説しています。

Joule\_heating\_V62.pdf（説明）

Joule\_heating\_V62.exe

【アプリファイル名】 Joule\_heating\_V62.exe

## 【概要】

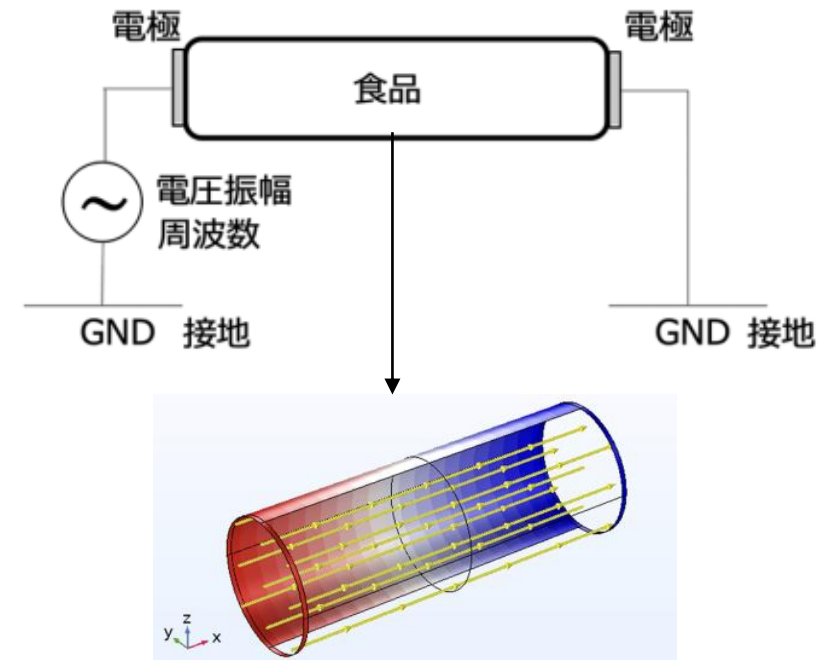
- 左右に設置した電極間に交流を通电し、電極間に挟んだ円柱形の食品をジュール（通电）加熱するケースをイメージしたアプリです。
- 円柱形の食品の姿勢と中心座標は水平で固定されています。
- 電流による通電加熱を行う際の食品の固体熱伝導 + 対流熱伝達を伴う非定常熱伝導解析を行います。
- 食品の密度、定圧比熱、熱伝導係数、電気導電率を変更することで、該当する食品のジュール加熱を計算します。
- 食品の温度分布、電位分布、電流密度ベクトル、食品中心の温度の時刻歴、食品の電極間軸方向での電位分布と電気導電率分布を表示できます。
- 電極の表面は断熱です。電極は固体熱伝導の非定常解析で温度を算出しています。電極と食品の接触面は連続です。

## 【このアプリの特徴/このアプリで解析できること】

- 電極電圧の振幅値と周波数を入力できます。交流周波数の上限は30kHz（ジュール加熱と呼べる範囲）です。
- 食品は水分（空間的・時間的に一定）があるものとし、食品の密度、定圧比熱、熱伝導率はいずれも水分質量分率と温度の関数として入力できます。関数は温度と水分質量分率の一次関数です。
- 食品の電気導電率は温度の一次関数として入力できます。
- 食品の長さや直径を入力できます。食品の長さや太さによる加熱への影響を調べることができます。
- 食品の側面は熱伝達係数および雰囲気温度を入力できます。

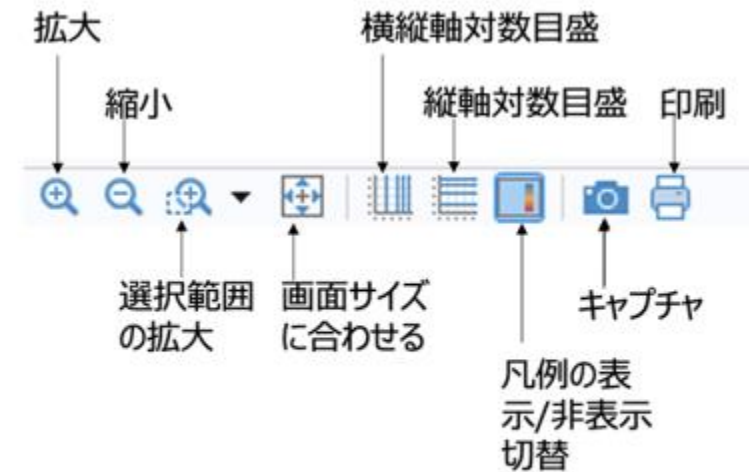
## 【モデルによる計算内容】

- ・ 右図に示す円柱状の 3 次元モデルを計算します。
- ・ 食品は円柱形を仮定しており、長さで入力できます。食品の長さ = 電極間距離、食品の直径 = 電極直径です。
- ・ 電極は円形をしています。
- ・ 電位は正弦波としており、電極電圧振幅と周波数で与えることができます。電極で電圧振幅として与えます。
- ・ 電気導電率（導電率）を与えることで、ジュール発熱量を計算します。
- ・ 食品表面（両端の電極面以外）に対流熱伝達係数（熱伝達係数）を入力します。



## 【アプリでよく使うボタン】

右図を参照。



アプリでよく使うボタンの位置と意味

## 【アプリ使用手順】

1) まず初めに実施することは「①入力」をデフォルト設定のままで、「③計算実行」をクリックします。すると「⑦実行状況」で計算の進捗がわかります。

このアプリでは温度と電流（電位、電界を含む）の計算が行われます。「⑤温度結果」に横向きで並ぶ項目を順に試してみます。「④電場の結果」に横向きで並ぶ項目を順に試してみます。

2) 続いて、例えば、食品の長さ、電極電圧振幅や周波数を「①入力」で変更後、「②形状表示」で食品形状を確認し、「③計算実行」をします。

### ジュール加熱

②  
形状表示

③  
計算実行

⑥  
レポート

⑦ 実行状況

計算中止 キャンセル

① 入力

試料長さ 7.5[cm] 試料直径 2.8[cm]

【試料の物性の温度依存性の形式】  
試料物性(SI単位)=係数\_0+係数\_1\*T+係数\_Ww\*Ww 注意事項!!

水分質量分率Ww: 0.761

**試料密度** 物性値評価温度 40[degC]

rho\_sample\_0 1295.72 kg/m<sup>3</sup>

rho\_sample\_1 -0.0559[kg/m<sup>3</sup>/K]

rho\_sample\_Ww -284.43[kg/m<sup>3</sup>]

**試料定圧比熱**

Cp\_sample\_0 668.0 J/kg/K

Cp\_sample\_1 2.5[J/kg/K/K]

Cp\_sample\_Ww 2442.9[J/kg/K]

**試料熱伝導率**

k\_sample\_0 0.276 (W/m/K)

k\_sample\_1 -0.0004[W/m/K/K]

k\_sample\_Ww 0.4302[W/m/K]

**試料導電率**

sigma0\_sample\_0 -2.8351 S/m

sigma0\_sample\_1 0.0113[S/m/K]

初期温度 10[degC] 雰囲気温度 20[degC]

熱伝達係数 2[W/m<sup>2</sup>/K]

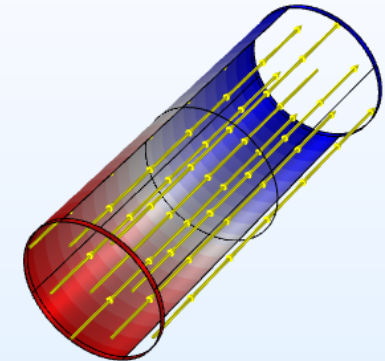
電極電圧振幅Vp: 50[V] V

周波数 f0: 20000 Hz

出力時間間隔 10[s] 最終時間 300[s]

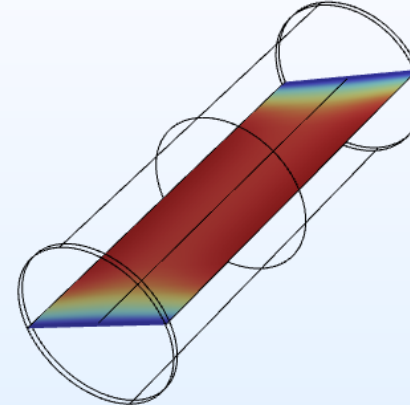
④ 電場の結果 電位と電流流線表示 中心軸上電位と導電率 (最終時刻)

表面プロット: 電位; 流線: 電流密度



⑤ 温度結果 中央断面温度(時刻:s) 300 中心温度履歴 動画: 中央断面温度変化

Time=300 s 中央断面温度



degC

▲ 18.1

18

17.5

17

▼ 16.8

8.85 e-12 AUTO 8.5 e-1 850 e-1 0.85

解および表の更新

Time (s)	Tc (degC)	rho_output (kg/m <sup>3</sup> )	Cp_output (J/(kg*K))	k_output (W/(m*K))	sigma_
0.0000	40.000	1061.8	3309.9	0.47812	0.70349