

## オーブン焼き加熱調理

オーブン庫内に高温の熱源を設置し、それによる放射伝熱で直方体の食パンを加熱調理するケースをイメージしたアプリ（放射伝熱 + 固体熱伝導 + 対流熱伝達の解析）です。加熱時における食品内部の温度変化を考察します。

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），6.4節でも解説しています。

Oven\_heating.pdf（説明）

Oven\_heating\_V60.exe

【アプリファイル名】 Oven\_heating\_V60.exe

## 【概要】

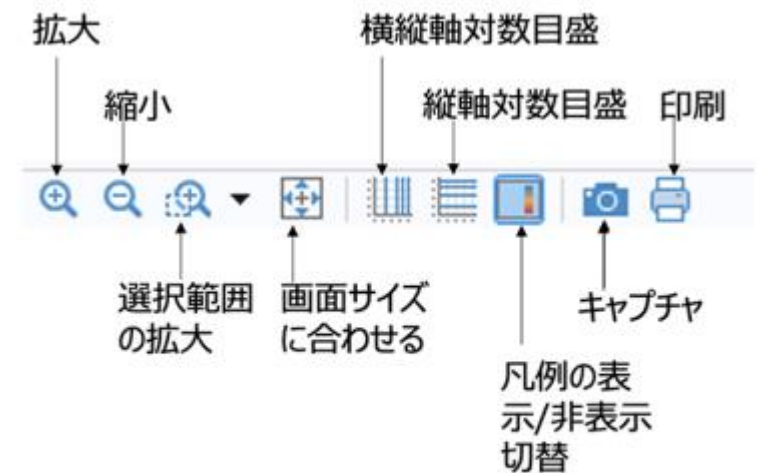
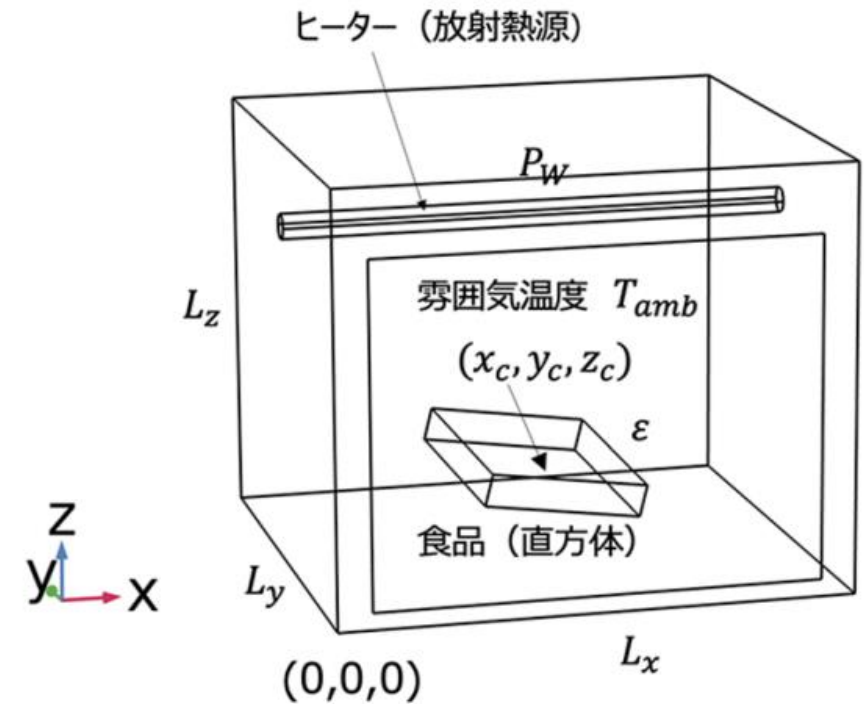
- ・電気ヒーターのついた直方体の**オープン庫内**で**食パン**のような**直方体**を**加熱調理**するケースをイメージしたアプリです。
- ・電気ヒーターでは、電流はモデル化せず、**発熱源をもつ非定常熱伝導**を計算しています。以後、放射熱源と記載します。
- ・**放射熱源、オープン庫内壁、食品表面の間の放射伝熱**を計算しています。放射熱源および内壁の表面放射率（輻射率）は既定値（両方とも0.8）を使います（食品の表面放射率(輻射率)のみ入力可）。
- ・**放射熱源の表面および食パン表面の対流熱伝達**を計算しています。放射熱源の表面の熱伝達係数は既定値(100W/(m<sup>2</sup>K))を使います。
- ・**放射伝熱 + 固体熱伝導 + 対流熱伝達**を伴う食パンの**非定常熱伝導解析**を行います。
- ・食品の表面温度分布表示、中央部の3点位置での温度の時刻歴のプロットを行えます。

## 【このアプリの特徴/このアプリで解析できること】

- ・発熱源（放射熱源）の出力はワット数で設定できるので、簡単に熱源制御できます。
- ・食パンの姿勢はx,y,zの各軸周りの回転角 x・y・z 成分を、プラスマイナス10度の範囲で回転させることができ、**食パン姿勢が加熱に対する影響を考察**できます。
- ・食品の表面放射率(輻射率) は入力できます。
- ・食パン表面の熱伝達係数は自然対流あるいは強制対流における数値を自由に入力でき、**オープン庫内の異なる対流条件を計算**できます。
- ・食品の密度、定圧比熱、熱伝導率の数値を変更することで、**該当する固体食品のオープン焼き加熱を計算**できます。

## 【モデルによる計算内容】

- ・ 右図に示す 3次元モデルを計算します。
- ・ 食品の中心位置を入力します。  
※右図では $(x_c, y_c, z_c)$ 。アプリでは食品中心座標 $(Xbc, Ybc, Zbc)$ 。  
原点 $(0,0,0)$ はオープン庫内の左手前に設定しています。
- ・ ヒーターは放射熱源として扱い、出力 $P_w$ をワット数で入力します。  
電気ヒーターの中空部分も固体とみなして非定常熱伝導を解き、ヒーター表面温度を算出しています。
- ・ 食品表面の表面放射率(輻射率)  $\epsilon$ を入力します。
- ・ 食品表面での熱伝達係数を入力します。
- ・ 庫内の雰囲気温度 $T_{amb}$ を考慮します。  
ただし、一定値を取るものとします。
- ・ このアプリは対流熱伝達が無い場合の計算を同時に行うことで、対流熱伝達の影響を検討できるようにしています。



## 【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。

このアプリでは対流なしの計算も同時に行われます。「④対流なしの場合～温度プロット」の右横で時刻を選択後、温度プロットをクリックします。対流なし動画でアニメーション表示できます。

対流ありの場合については「⑤対流熱伝達条件の場合～温度プロット」で同様のことを行います。

④の3点比較グラフで対流の有無の比較を行います。

2) 続いて、例えば、食品の中心座標や回転角を「①入力」で変更後、「②形状表示」で食品の姿勢を確認し、「③計算実行」をします。

視野変更→マウス操作：左ドラッグ→回転、右ドラッグ→平行移動、中央ドラッグ→拡大縮小

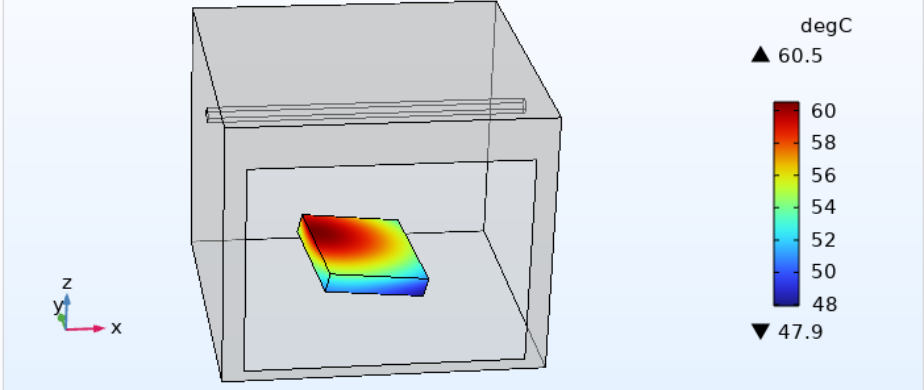
オープン加熱：自然及び強制対流式

⑦ 実行状況

② 形状表示 ③ 計算実行 ⑥ レポート

④ 対流なしの場合 温度プロット(min) 10 対流なし動画 3点比較グラフ

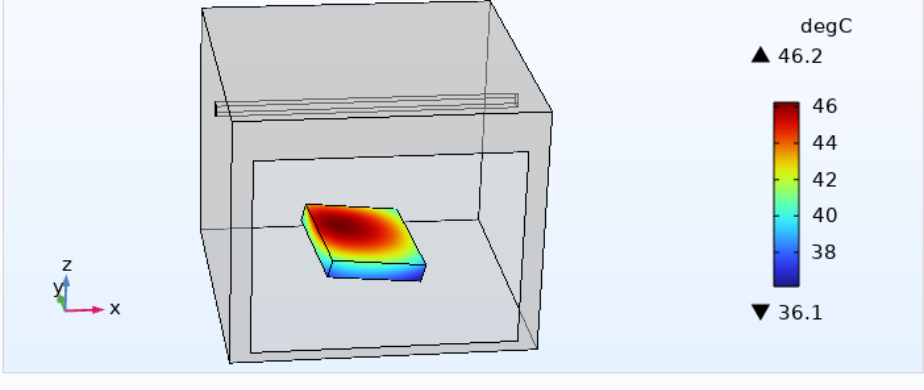
h<sub>b</sub>=0 W/(m<sup>2</sup>\*K), 時間=10 min 断熱条件：温度(degC)



degC  
▲ 60.5  
▼ 47.9

⑤ 対流熱伝達条件の場合 温度プロット(min) 10 対流熱伝達条件動画

h<sub>b</sub>=5 W/(m<sup>2</sup>\*K), 時間=10 min 対流熱伝達条件：温度(degC)



degC  
▲ 46.2  
▼ 36.1

① 入力 (比較のために断熱条件での計算を自動実行)

雰囲気温度 Tamb:	30	°C
出力 Pw:	1	kW
食品中心座標 Xbc:	Lx/2	m
食品中心座標 Ybc:	Ly/2	m
食品中心座標 Zbc:	5[cm]	m
熱伝導率 k <sub>b</sub> :	0.5	W/m/K
定圧比熱 Cp <sub>b</sub> :	2000	J/(kg·K)
密度 rho <sub>b</sub> :	60	kg/m <sup>3</sup>
初期温度 Tini:	25	°C
輻射率 eps <sub>b</sub> :	0.3	
熱伝達係数 h <sub>b-n</sub> :	5	W/m <sup>2</sup> /K
回転角x成分 kaku <sub>x</sub> :	10	deg
回転角y成分 kaku <sub>y</sub> :	10	deg
回転角z成分 kaku <sub>z</sub> :	10	deg
加熱時間:	10	min
表示時間ステップ:	1	min

入力パラメタの制約事項

入力時の注意：半角で入力すること。演算式を使う場合、掛け算記号は\*、割り算記号は/、足し算は+、引き算は-を使う。例：平面中心からx方向へ5cmのところは、Lx/2+5 [cm] と設定。  
オープン庫内のサイズ：Lx=Ly=30cm, Lz=25cmで固定。  
食品サイズは10[cm]×10[cm]×2[cm]で固定。  
食品中心座標：xbc,ybc,zbcは例の通りLx,Ly,Lzを使って演算式で入力可あるいは数値を入力可。その場合15[cm]と [ ]で単位を明示すること。  
食品の回転角：x軸、y軸、z軸周りにプラス/マイナス10度の範囲で入力。  
注意：食品の大きさを考慮して、オープン庫内に食品が接触しない数値を設定のこと。

注意事項!!