

スチームコンベクションオーブン加熱

高温の熱源をオーブンの上下に一個ずつ設置し、スチームを充満させた雰囲気の中で、円柱形のパテ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＋水分移動の解析）です。加熱時における食品内部の温度および水分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），7.1節でも解説しています。

Steam_convection_V60.pdf（説明）

Steam_convection_V60.exe

【アプリファイル名】 Steam_convection_V60.exe

【概要】

- ・オーブンの上下に各1個の放射熱源を設置し、水蒸気雰囲気の中で、食品を加熱調理するケースをイメージしたアプリです。
- ・食品内部の水分移動は拡散現象として取り扱います。空隙率が小さい円柱形の食品を仮定しています。
- ・円柱形の食品の姿勢と中心位置は固定されています。
- ・放射熱源と食品表面の間の放射伝熱を計算しています。放射熱源の表面放射率（輻射率）は既定値(0.8)を使います。
- ・食パン表面の強制対流熱伝達を計算しています。
- ・放射伝熱 + 固体熱伝導 + 対流熱伝達 + 水分移動（潜熱考慮）を伴う食品の非定常熱伝導解析と蒸発潜熱を考慮した水分移動解析を行います。
- ・放射熱源の温度は固体熱伝導で算出しており、温度の時刻歴のプロットを行えます。
- ・食品の温度分布表示、水分分布表示、中央部の3点位置での温度あるいは水分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】

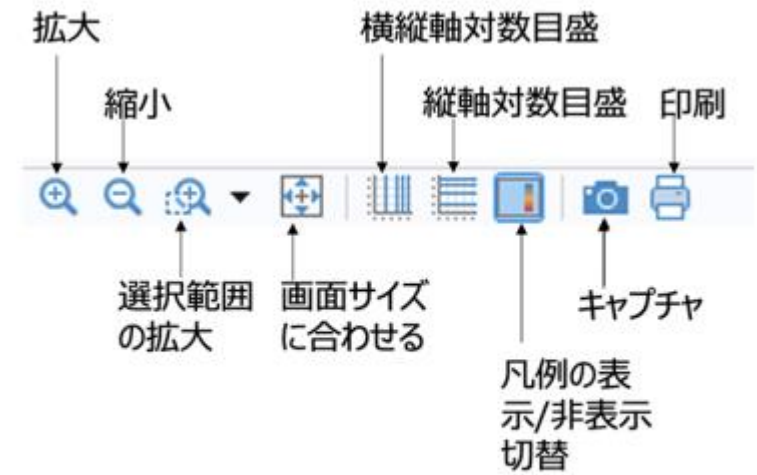
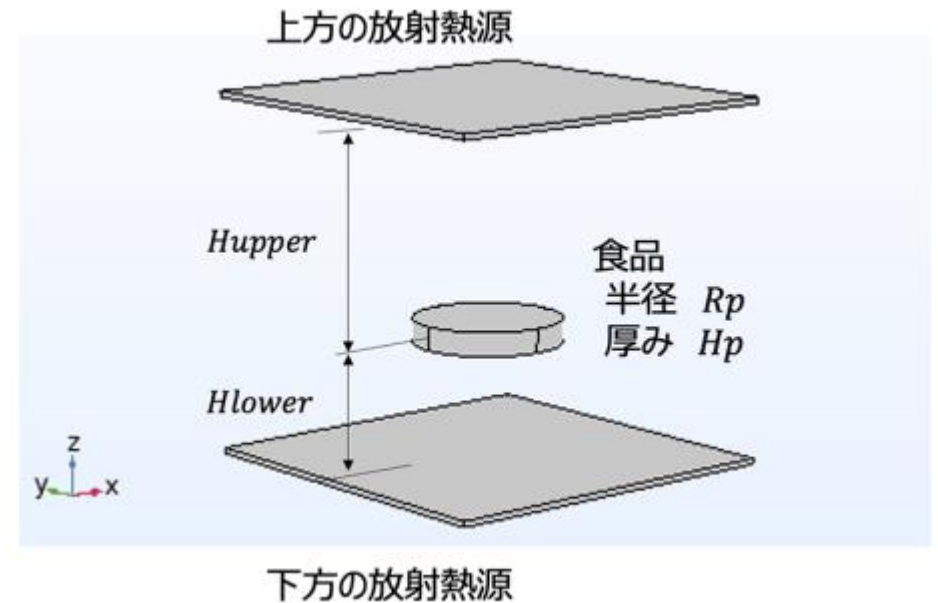
- ・上下の放射熱源の出力は各々、ワット数で設定できます。
- ・出力および食品からの距離を変えることで、上下の放射熱源の影響を検討できます。
- ・食品の密度、定圧比熱、熱伝導率を変更することで、該当する食品のスチームコンベクションオーブン加熱を計算します。
- ・水蒸気雰囲気温度（一定）と水蒸気量（バルク値、一定）を設定することで、スチームコンベクションオーブンの特徴を水蒸気温度と水蒸気量で表現できます。
- ・食品の表面放射率(輻射率)を入力できます。
- ・食パン表面の強制対流熱伝達係数は数値を自由に入力できます。

【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。
- ・ 上下の放射熱源は各々に、出力 P_w をワット数で入力します。
非定常固体熱伝導を解析して温度を算出しています。
- ・ 上下の放射熱源の表面温度と表面放射率（輻射率）と食品の表面温度と表面放射率（輻射率）によって放射伝熱解析を行います。
- ・ 庫内の雰囲気温度 T_{amb} を考慮します。ただし、一定値とします。
- ・ 上下のヒーターの食品からの距離 H_{upper} , H_{lower} を指定します。
- ・ 食品表面の表面放射率(輻射率) ϵ を入力します。
- ・ 食品表面に強制対流熱伝達係数を入力します。
- ・ 水分移動を計算します。食品境界では蒸発潜熱を考慮しています。
雰囲気中の水分濃度と温度による影響を算出しています。

【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「⑧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水分移動の計算が行われます。

「⑤温度動画、←温度、温度→」で動画あるいは時刻のコマ送りによる表示ができます。

「⑥水分動画、←水分、水分→」で水分移動の動画あるいはコマ送り表示ができます。

「⑥ 3点温度と水分」「含水率M」で時刻歴のプロットができます。

2) 続いて、例えば、上下の熱源の位置や出力を「①入力」で変更後、「②形状表示」で熱源位置を確認し、「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

スチームコンベクションオープン加熱

利用可能変数 rho_p: 食品密度 (食品密度の入力値をもつ) M_H2O: 水のモル質量 (18 g/mol) 食品定圧比熱 Cp=a0+a1dT+a2(dT)^2+a3*(dT)^3, dt=T[degC]

注意事項!!

① 入力 加熱計算600分固定 強制対流熱伝達係数W/(m^2K) 25[W/(m^2*K)]
食品初期温度: 22 °C 潜熱 J/mol
食品密度 rho_p: 1100 kg/m^3 2.3e6[J/kg]*M_H2O
食品定圧比熱Cp: a0 3017.2 a1 2.05 a2 0.24 a3 0.002 J/(kg-K)
初期水分濃度: 0.78*rho_p/M_H2O
空气中水分濃度: 0.02*rho_p/M_H2O mol/m^3
食品半径: 31 mm
食品厚み: 10 mm
食品表面放射率: 0.2
上方放射源高さ位置: 10 cm
下面放射源高さ位置: 10 cm
上面放射源出力: 200 W
下面放射源出力: 400 W
雰囲気温度: 135 °C

② 形状表示
③ 計算実行
⑩ レポート
⑧ 実行状況

④ 3点の温度・水分・含水率の表示
3点温度 3点水分濃度 含水率M
点番号: 下13, 中14, 上15
計算中止 キャンセル
外部へのテキスト取り出し スクロール可

Time (min)	温度 (degC): (0,0,0)	温度 (degC): (0,0,Hp/2)	温度 (degC):
0.0000	22.000	22.000	22.000
10.000	61.526	59.360	70.482
20.000	93.283	87.999	95.833
30.000	115.15	107.64	113.16
40.000	131.68	122.35	126.09
50.000	144.77	133.92	136.22
60.000	155.68	143.52	144.58
70.000	165.11	151.78	151.75
80.000	173.48	159.09	158.07
90.000	180.95	165.59	163.66

⑤ 温度動画 ← 温度 → 温度 ⑦ 熱源表面温度
Time=10 min 表面温度および内部複数断面温度
degC
▲ 103
100
95
90
85
80
▼ 76.7

⑥ 水分動画 ← 水分 → 水分 3点温度と水分 含水率M
Time=0 min 表面水分濃度および水分濃度複数断面表示
mol/m^3
▲ 4.77×10^4
4.77
▼ 4.77×10^4