

マイクロ波加熱

マイクロ波源から2.45GHzの電磁波を庫内に導入し、直方体の庫内で円柱形の食品を電子レンジで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＋電磁波の解析）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），7.3節でも解説しています。

Microwaveheating_V62.pdf（説明）

Microwaveheating_V62.exe

【アプリファイル名】 Microwaveheating_V62.exe

【概要】

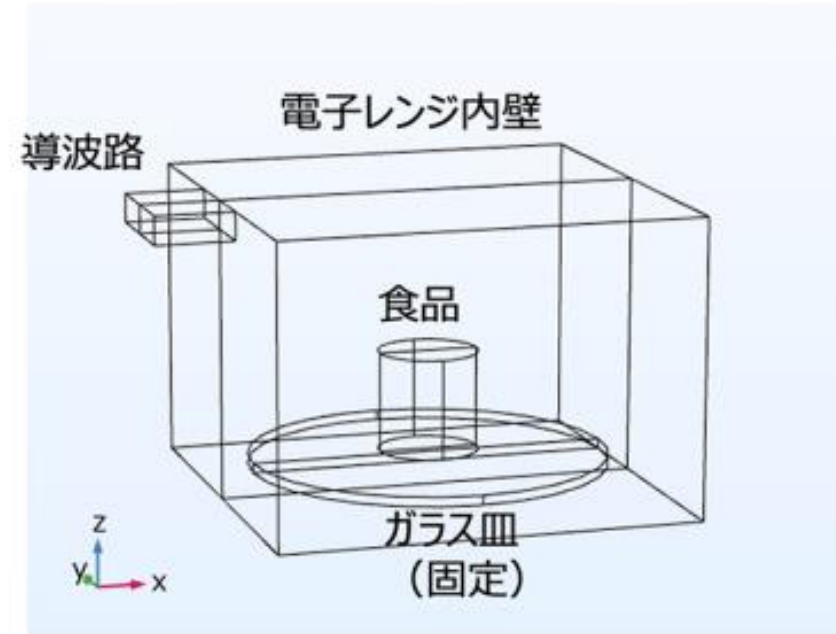
- ・直方体の庫内で**円柱形の食品**を**電子レンジ**で**加熱調理**するケースをイメージしたアプリです。
- ・2.45GHzの電磁波（マイクロ波）を電子レンジ庫内へ導入した際の**マイクロ波の周波数領域解析**を行い、食品の**非定常熱伝導解析**を行います。
- ・**食品は複素比誘電率**（実部 - j 虚部 = 60-j 20で既定）を与えています。ジャガイモに相当する数値です。**虚部の数値がマイクロ波による発熱量に影響します。**
- ・食品は密度(1050kg/m³)、定圧比熱(3640J/(kg・K))、熱伝導率(0.55W/(m・K))を既定しています。ジャガイモに相当する数値です。
- ・食品の表面は断熱条件としています。
- ・**固体伝熱 + 対流熱伝達 + 電磁波解析**を伴う食品の**非定常熱伝導**を行います。**電磁波解析で食品の吸収するマイクロ波エネルギーを算出し**、それを**発熱量とした食品の非定常固体熱伝導解析**を行っています。
- ・1周期あたりの電場分布や電磁エネルギーの吸収量の時間平均値の空間分布、温度の時間変化を表示します。

【このアプリの特徴/このアプリで解析できること】

- ・食品形状は円柱とし、高さのみ変更できます。その際、**高さは食品の半径rpot (31.5mm)を基準にして入力します。**
- ・マイクロ波の出力（アプリでは入力電力と表記）を設定できます。電子レンジの出力切替ボタンでの設定に対応しています。アプリではわかりやすくするために食品への入力電力（高周波出力）という表現していますが、実際にはマイクロ波は波動であり、物体にあたると反射するために食品内部に100%が吸収されるわけではありません。食品がない状態で電子レンジを動かそうとするとエラーになるのは、食品がないと電磁波エネルギーがマイクロ波出力装置に戻ってきて故障するのを防ぐためです。

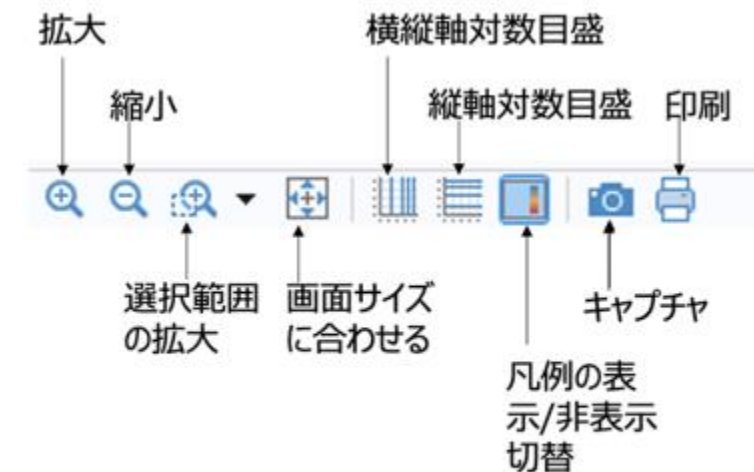
【モデルによる計算内容】

- 右図に示す 3 次元モデルを計算します。
- 周波数2.45GHzのマイクロ波が右図の導波路から電子レンジの庫内に導入され、マックスウェル方程式で電磁波が算出されます。
- 食品は円柱形であり、ガラス皿（固定）とは2mmほど離して設置しています。マイクロ波による温度上昇を固体熱伝導と切り離して検討したいためです。
- 食品の誘電特性は複素比誘電率で入力します。
- 電子レンジの内壁は銅を仮定した境界条件が既定されています。



【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。

このアプリでは温度と電磁場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電場及び損失」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、試料高さ（半径rpotを基準に1.5倍とする場合、 $rpot*1.5$ ）、入力電力を「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。

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

The screenshot displays the 'マイクロ波加熱' (Microwave Heating) application interface. At the top, a title bar reads 'マイクロ波加熱' with a red '注意事項!!' (Important!!) warning that says '計算完了まで数分かかります。' (It takes several minutes until calculation is complete). Below the title bar are several numbered steps:

- ① 入力 (Input):** Fields for '試料高さ H: rpot*2 m', 'H範囲: rpot*0.5~rpot*2 (ただし、試料半径rpot=31.5[mm] (固定))', and '入力電力 Pin: 1000 W'. A red box highlights the 'H範囲' field with a red '注意事項!!' label.
- ② 形状表示 (Shape Display):** A button with a red wireframe icon.
- ③ 計算 (Calculate):** A button with a blue equals sign icon.
- ⑥ レポート (Report):** A button with a document icon.
- ⑦ 実行状況 (Execution Status):** A progress bar and buttons for '計算中止' (Stop Calculation) and 'キャンセル' (Cancel).

Below these are two main plot areas:

- ④ 電場及び損失 (Electric Field and Loss):** Features a 3D plot of a microwave cavity with a cylindrical sample. The plot shows the electric field norm (V/m) with a color scale from 1 to 6.65×10^4 . The frequency is $freq(1) = 2.45E9$ Hz. The plot is titled '電場断面プロット' (Electric Field Cross-section Plot).
- ⑤ 温度結果 (Temperature Results):** Shows a 2D contour plot of temperature (degC) at $t = 3$ s. The plot is titled '温度 (degC)'. The color scale ranges from 8 to 22.2. A red box highlights the maximum temperature 'max: 22.1568' and the minimum temperature 'min: 8'.