

生体情報工学実験

題目：R F 高周波電流加温

1. まえがき

機械情報工学実験では、電子レンジで使用しているような周波数の高い電磁波（数百MHz以上）を用いた加温技術を実験的に学んだ。一方、周波数が低い場合には、電磁波というよりも、むしろ高周波電流加温として取り扱われる。

ここでは、R F（Radio Frequency）波帯と呼ばれる13.56MHzの高周波電流による加温実験を行い、高周波電磁波加温との違いを確認する。

2. 目的

マイクロ波加温技術と比較しながら、高周波電流加温の基礎技術を理解する。具体的には、有限要素法による温度分布計算および加温システムによる寒天の加温実験をととして、加温のメカニズムを理解する。

3. 実験方法

図1は、実験で使用する加温システムの概略を示している。円形状の接地板電極を非加温体の外部に接触させる。もう一方の針状電極は、予め、切断しておいた寒天中央部に刺入しておく。電極に高周波電流を流すと、ジュール熱により寒天が加温される。

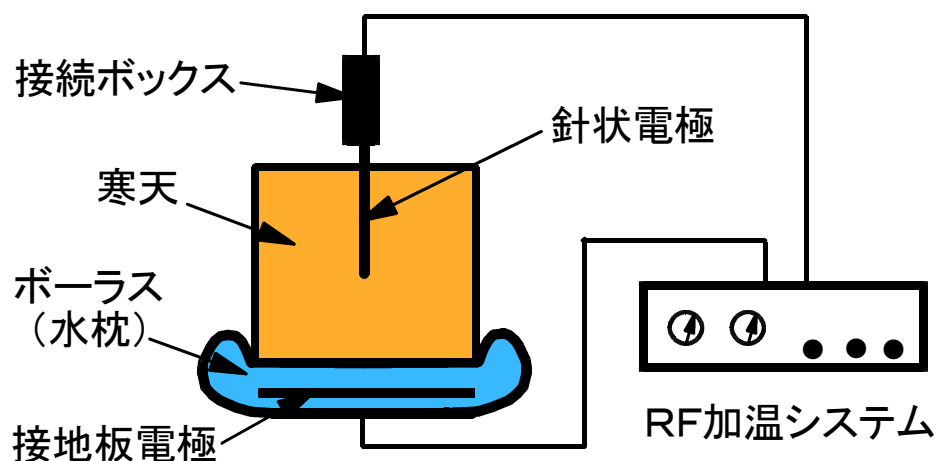


図1 加温システムの概略

(1) コンピュータ・シミュレーションによる温度分布推定

加温実験を実施する前に、ここでも工学の広い分野で応用されている有

限要素法（FEM：Finite Element Method）を用いて、寒天内部の温度分布を予測する。図2に、計算モデルの寸法を示す。寒天の直径は18cm、高さは13cm、針電極の直径は1mm、寒天内に刺入している長さは8cmとする。そして、接地電極の直径は13cmとする。

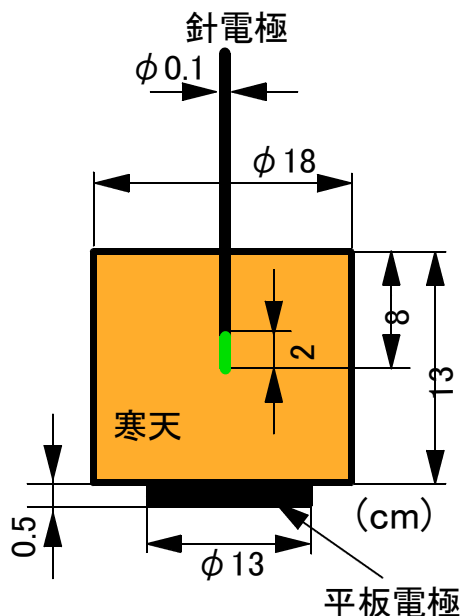


図2 解析モデルの概略

(a) 電磁界計算

周波数が数十MHz帯では、その電磁界分布計算は、前期に行った空洞共振器内部の電磁界分布計算方法とは異なる。この実験で使用する高周波電流は、13.56MHzであり、その波長は、生体内部では、数十cm程度であるため、準定常状態と考えることができる。すなわち、次式のラプラス方程式を解いて、複素電位（ ϕ ）を微分し、電界（ E ）を求める。

$$\nabla(\sigma + j\omega \varepsilon) \nabla \phi = 0 \quad (1)$$

$$E = - \text{grad } \phi \quad (2)$$

ここで、 E ：電界、 ϕ ：電位、 ω ：角周波数、 ε ：誘電率、 σ ：導電率。

さらに、上式を種々の境界条件のもとに解き、その電磁界分布計算結果から次式を用いて加温熱エネルギー（ W_h ）分布を求める。

$$W_h = \frac{1}{2} \sigma |E|^2 \quad (3)$$

(b) 温度分布計算

温度分布計算については、空洞共振器加温と異なる点はない。以下のとおりである。電磁エネルギーによって加温された寒天内の温度(T)分布は、次式の熱伝導方程式を解いて求めることができる。

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \text{div}(\kappa \text{grad} T) + W_h \quad (4)$$

ここで、 T : 温度、 t : 時間、 W_h : 電磁波による加温熱エネルギー、 ρ : 体積密度、 c : 比熱、 κ : 熱伝導率。

表1 寒天の物性値

ϵ_r	σ (S/m)	κ (W/m $\cdot$ °C)	ρ (kg/m ³)	c (J/kg $\cdot$ °C)
75	0.61	0.6	1000	4200

4. 実験

(1) コンピュータ・シミュレーション

1) 図3に示す計算モデルを作成する。

(a) 接地板電極: 直径18cm、厚さ0.5cm

(b) 針電極: 直径0.1cm、寒天内刺入深さ8cm

(c) 寒天ファントム: 直径18cm、高さ13cm

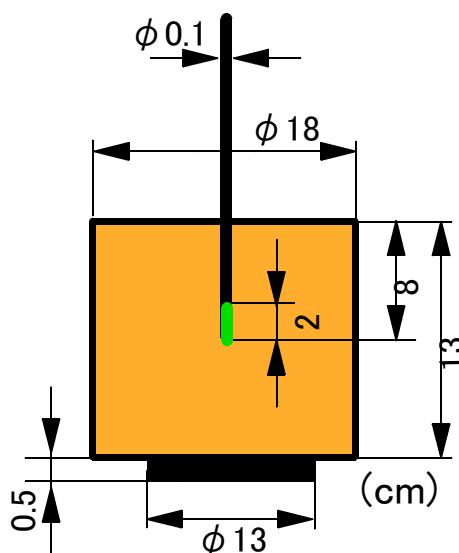


図3 計算モデルの寸法

2) 電磁界分布を計算する。

(a)電気力線を画面に表示し、観察すること。

(b)電界強度分布を画面表示し、観察すること。

3) 温度分布を計算する。

(a)寒天内の温度分布は、どのような分布形状か。

画面表示し、プリンタ出力せよ。

(b)寒天内の温度プロファイルを描く。

(a)でプリンタ出力した画像から読み取ってグラフ化すること。

なお、コンピュータを使用した3次元モデルの作成および有限要素法計算については、マニュアルを参照のこと。**(持ち出し厳禁!、コピー不可!)**

(2) 加温実験

1) 使用する機器

(a)加温装置

(b)寒天(中央部で切断してある)

(c)赤外線サーモカメラ

(加温終了直後、寒天中央断面の熱画像を撮像する)

2) 実験条件

(a)加温電力: 3W

(b)加温時間: 2分

3) 測定項目

(a)加温終了直後の寒天断面の熱画像を撮像し、これをプリンタ出力すること。

(b)熱画像のプリンタ出力から断面内の温度プロファイルを描くこと。

なお、加温装置の操作方法については、マニュアルを参照のこと。**(持ち出し厳禁!、コピー不可!)**

5. まとめと考察

(1) コンピュータ・シミュレーション結果、実験結果を比較、整理すること。

(2) (1) で温度プロファイルの異なる原因を考察すること。