電子レンジ用ハイパワーセンサを用いた冷凍食品の解凍検出

正員 窪田 哲男 (東京理科大学)

非会員 菊池 厳夫 (日立ホームテック)

正員 越地 耕二 (東京理科大学)

非会員 周 英明 (東京理科大学)

Defrosting Detection for Frozen Foods using High Power Sensor for Microwave Oven

Tetsuo KUBOTA, Member (Science University of Tokyo), Itsuo KIKUCHI, Non-Member (Hitachi Hometec, Ltd.)

Kohji KOSHIJI, Member, Eimei SHU, Non-Member (Science University of Tokyo)

キーワード: 電子レンジ, マイクロ波, 方向性結合器, 冷凍食品, 解凍

1. まえがき

冷凍食品の普及に伴って手早く解凍できる電子レンジを用いての解凍が一般家庭では行われるようになってきている。

ところが電子レンジにおいての解凍は、冷凍食品の初期冷凍保存温度の違い、あるいは冷凍状態から解凍状態に移る過程での食品のマイクロ波誘電特性の著しい変化により解凍むらが生じるため、冷凍食品を失敗なく解凍できる電子レンジの開発が望まれている。本報告ではこれらの点に注目し、先に提案した電子レンジ用に開発したガラスエポキシ両面基板上に構成したループ型方向性結合器方式のハイパワーセンサを用いて⁽¹⁾、冷凍食品の解凍に至るまでの状態変化を、伝送されるマイクロ波の反射係数 Γ から捉え、最適解凍状態の検出を試みた。

2. 冷凍食品のマイクロ波に対する誘電特性

マイクロ波は食品(誘電体)に照射されると食品内部に浸入して誘電体損失として発熱する。このときの単位体積あたりの誘電体損失 P は、周波数を f (Hz)、電界を E (V/m)、比誘電率を ϵ_r' 、誘電正接を $\tan \delta$ とすると、

$$P = 0.556 \times 10^{-10} f E^2 \epsilon_r' \tan \delta \quad (\text{W/m}^3) \quad \text{---(1)}$$

により定まる。ここで、 $\epsilon_r' \cdot \tan \delta$ を損失係数(loss factor)と呼び、マイクロ波加熱の目安としている⁽²⁾。この損失係数は、食品の種類や温度等により変化する。特に温度による損失係数の変化は著しく、食品の冷凍状態、冷蔵状態、および常温状態では図1に示すように大きく異なった値をとる⁽³⁾。図1から食品が冷凍された状態では、冷蔵、常温状態に比べ損失が少なく、冷蔵、常温状態では損失がきわめて大きいことが解る。また冷凍状態から冷蔵状態に移る過程に損失係数が急激に変化する最大氷結晶生成帯(-5°C~-1°C近傍)と称する温度領域があり、この領域で食品は調理のしやすい最適解凍状態となっている。したがって、この損失係数の変化が捉えられれば食品の解凍状態を検出することができる。そこで、ハイパワーセンサを用いて、これらの誘電特性の変化を、反射係数 Γ の変化

で捉え最適解凍状態の検出を試みた。反射係数 Γ は食品にマイクロ波が照射された時の入射波と反射波の比から求められ、入射波電圧を V_i 、反射波電圧を V_r とすると、

$$\Gamma = V_r / V_i = |\Gamma| e^{j\theta} \quad \text{---(2)}$$

で表される⁽⁴⁾。

図1 食品の温度と損失係数

Fig.1 Loss factor of various foods as a function of temperature.

3. ハイパワーセンサによる解凍状態の検出

図2にマイクロ波加熱したときの冷凍食品の温度に対する反射係数 Γ の変化を、ハイパワーセンサを用いて検出するための測定系を示す。

図2 ハイパワーセンサによる解凍状態検出の測定系

Fig.2. Measurement system for defrosting detection using High Power Sensor.

ここでは、冷凍食品を終端部を短絡した導波管 (WRJ-2) の内部に挿入し、発振周波数2450(MHz)のマグネトロンにより加熱を行っている。反射係数検出のためのハイパワーセンサは2450(MHz)における結合度が43.6(dB)、方向性が20.6(dB)で⁽¹⁾、マグネトロンマウントと冷凍食品の挿入されている導波管の間に挿入され、図3に示すように導波管天井部中央のスリット部に設置されている。

図3 導波管のスリット部に設けられたハイパワーセンサ
Fig. 3. High Power Sensor attached to slit on the waveguide wall.

マイクロ波加熱中の食品の温度測定には、光ファイバの先端に蛍光体を塗布した素子からなるフロロプチック光ファイバ式温度計 (LUXTRON model-755) を用い、マイクロ波に対する相互の影響をなくしている。マグネトロンの出力は約300Wで、冷凍食品として、それぞれ50、100、200gの冷凍マッシュポテトを用いた。ハイパワーセンサからの入射波電圧および反射波電圧の検波出力と冷凍マッシュポテトの温度データはマイクロ波加熱中パーソナルコンピュータにより毎秒1個の割合で自動測定され、各温度ごとの反射係数 Γ を計算している。図4にこの測定結果を示す。

図4 冷凍マッシュポテトの温度と反射係数の測定結果
Fig. 4. Reflection coefficient of frozen mashed-potato as a function of temperature obtained from measurement.

図4において反射係数 Γ は-20°C~-10°C近傍では大きな値をとるが、温度が最大氷結晶生成帯に近づくにつれて減少して、最大氷結晶生成帯において最小値をとり、さらに温度の増加とともに上昇に転じていることがわかる。冷凍食品サンプルとしてこの他に冷凍マグロ、冷凍エビ、冷凍ロールイカについても同様の結果が得られた。これらの

結果は、最大氷結晶生成帯内にある反射係数 Γ の最小値を捉えることにより最適解凍状態の検出が可能であり、ハイパワーセンサによりこの状態の検出が出来ることを示している。

4. まとめ

ループ型方向性結合器から成る電子レンジ用ハイパワーセンサで測定される反射係数 Γ を用い、冷凍食品の最適解凍状態の検出が可能であることを確認した。今後はさらに重量センサ等を併用したきめ細かな解凍検出を試みたい。

(平成7年10月5日受付)

文 献

- (1)窪田哲男, 越地耕二, 周英明: 「電子レンジ用ハイパワーセンサ」, 電学論Vol. 115-D, NO12, 1551~1552(1995)
- (2)山下榮吉: 「応用電磁波工学」, 近代科学社, 193~198(1992)
- (3)N. E. Bengtsson, P. O. Risman: "Dielectric Properties of Foods at 3GHz as Determined by a Cavity Perturbation Technique", Journal of Microwave Power (6)2, 107~123(1971)
- (4)中島将光: 「マイクロ波工学」, 森北出版, 14~15(1975)

窪田 哲男

(正員) 1949年10月生。72年千葉工業大学電子工学科卒業。72年(株)日立ホームテック入社, 96年4月より東京理科大学大学院理工学研究科に社会人入学, 電子レンジに関するマイクロ波技術開発の研究に従事, 82年日本電機工業会技術賞受賞。IEEE, 電子情報通信学会, 日本家政学会会員。

(非会員) 1941年8月生。65年茨城大学工学部電気工学科卒業。65年日立熱器具(株)入社(現在(株)日立ホームテックに社名変更), 92年(株)日立製作所ライティング事業部熱器部部長を経て95年から(株)日立ホームテック設計部長。

(正員) 1947年7月生。78年東京理科大学大学院理工学研究科博士課程修了。電波システム, 環境電磁工学, 医用電子工学の研究に従事, 現在同大学理工学部助教授。工学博士。IEEE, ASAI0, 電子情報通信学会, 日本人工臓器学会, 日本ME学会, 回路実装学会等の会員。

(非会員) 1933年7月生。56年6月台湾大学工学部電機工学科卒業。68年3月東京理科大学大学院理工学研究科電子工学専攻博士課程修了。マイクロ波回路、医用電子工学、プリント回路の電磁特性の研究に従事, 現在東京理科大学理工学部教授。工学博士。