

マイクロ波加熱による昇温特性の分類 (第1報)

各種食品の温度分布

肥後温子, 島崎通夫

(青山学院女子短期大学)

平成元年2月2日受理

Patterns of Temperature-Rise in the Processed Foods by Microwave Oven (Part 1)

Temperature Distribution in the Processed Foods

Atsuko HIGO and Michio SHIMAZAKI

Aoyama Gakuin Women's Junior College, Shibuya-ku, Tokyo 150

In case of the microwave processing of various foods, we can hardly predict the mode of the temperature-rise in foods concerned. This temperature-rise is complicated phenomena depending much upon the food properties, and accordingly we have not hitherto had any available counter measures of coping with either excessive or uneven heating. As a first step of getting over these problems, we tried to measure the temperature-rise in various foods during and after the microwave processing, and to arrange the distribution pattern of temperature in foods, and got the following results.

(1) With regard to the temperature distribution observed on about 100 kinds of foods packed each in a plastic vessel commonly used, we can safely classify it into 3 groups: 1) The peak of temperature is seen at the periphery of the sample. 2) It is seen at the center. 3) No distinguished peaks.

(2) Foods representative of 1) are usual processed foods and some seasonings. And of 2) are dried foods, and those which are rich in fat or oil.

(3) Considerable correlation was observed between patterns of temperature-rise and water-content in foods.

(Received February 2, 1989)

Keywords: microwave マイクロ波, patterns of temperature-rise 昇温特性, temperature distribution 温度分布.

1. 緒 言

電子レンジの急速な普及によって、マイクロ波加熱法はきわめて身近な加熱手段として定着しつつあるが、利用頻度が高いわりに昇温特性について理解されておらず、誤解や混乱が生じている場合も多い。この最大の原因是、食品の昇温特性をわかりやすく整理し解説した資料がないためであろう。

マイクロ波加熱した食品の昇温特性に関しては古くから文献があり^{1)~3)}、温度分布や昇温速度について解析した報告もあるが⁴⁾⁵⁾、試料の平均温度ないし中心部温度のみが測定され^{1)~3)}、試料数も限られているので⁴⁾⁵⁾、多

数の食品に関して温度分布を含めた加熱パターンを知ることは困難である。一方誘電率の測定値から加熱パターンを予測することも可能であるが、測定例が少なく⁶⁾⁷⁾、また昇温に至るまでに考慮すべき要因が多く実用的でない。

マイクロ波加熱法では、2,450 MHz の限られた周波数帯を使うために、電磁波の吸収モードを反映した特有の昇温図を呈し、電子レンジを家庭で調理や再加熱に利用したり、マイクロ波を工場で殺菌や乾燥に利用する場合に、加熱むらや部分的な過加熱が問題になることが少なくない。今後マイクロ波を有効利用するためには、マ

イクロ波の加熱特性をわかりやすく整理し分類することが必要であろう。

本実験ではその第一段階として、多くの食品について昇温状態の像を総体的にとらえることにした。汎用型容器に 100 g の食品を詰める方法を用いたのは実用性を考慮したためであり、赤外線放射温度計を用いたのは温度分布を総体的に把握するためである。

2. 実験方法

(1) 電子レンジおよび容器の選定

1) 電子レンジの性能比較

本実験を行うための前段階として、各種電子レンジの加熱特性を調べた。本報では、日立電子レンジ MR-M33 (単機能、耐熱ガラスターンテーブル) と、同 MRO-5500 S (オーブン機能つき、陶器ターンテーブル) について試験結果を示す。両機種とも 2,450 MHz, 出力 500 W である。なお昇温特性を調べる試料として、積水樹脂製のアドヘア糊 J-500 を、複合ポリプロピレン 14 × 18 cm または 6 × 6 cm (透明) 容器に詰めたモデル系試料を使用した。アドヘア糊は糊中の非イオン界面活性剤の疊点現象によって 45°C 以上に達した部分が白濁するので、昇温特性が立体的に把握できる⁸⁾⁹⁾。

2) 容器の材質の影響

本実験を行う前段階として、試験容器の適性を試験した。このさい電子レンジは MR-M33 を用い、30 秒ごとの間欠加熱法で 2 分間の空炊きテストを行った。容器は容量 500 ml 前後の市販電子レンジ容器 6 種類 (本論中に記載) にメラミン容器を加えた 7 種類を用い、赤外線放射温度計で昇温部位と最高温度を計測した。

(2) 温度測定法

加熱後 30 秒ごとに取り出した試料の上部表面の放射熱量を、日本電気三栄製サーモトレーサ 6 T-61 赤外線放射温度計にすばやく記録させ、3 秒以内に庫内にもどして再度加熱する方法により、合計 4 枚の連続写真を撮影後、同操作を 2 度くり返し総計 8 枚の昇温パターン図を得た。赤外線放射温度計の計測は、5°C の温度差で 16 色表示、放射率 1.00、フレームタイム 2.0 秒とし、必要に応じて温度の実測値を表示するよう設定した (食品の種類によって放射率が若干異なるが、放射率がいづれも大きいところから 1.00 に設定した)。

(3) 各種食品試料

乾物、生鮮食品、加工食品、調味料など、水分、油脂、塩分含有率の異なる食品約 100 種類を試料とし、適宜フードプロセッサーで細断してみじん切りまたはペースト

状で使用した。なおこのさいに、食品中の表示、食品成分表、市販食品成分表を考照するか、または常法に従って分析し、各食品の水分、油脂、塩分含有率を求めた。

使用した食品を類別に示すと、次のようになる。

① 乾物・油脂食品類

米、小麦粉、干麺、胡麻、ラード、チョコレートなど、含水率の低い食品約 30 種。常温で流動性のある油類は除く (食品の水分 0~22, 油脂 1~100, 食塩 0~7.5 %)。

② 裸物・豆食品類

米飯、食パン、生麺、生菓子、豆腐、油揚げなど約 30 種 (食品の水分 27~80, 油脂 0.2~33, 食塩 0.1~1.2 %)。

③ 獣鳥魚肉食品類

豚かたまり肉、同挽肉、同味噌漬、タラ、ハム、かまぼこなど約 20 種 (食品の水分 54~82, 油脂 1~26, 食塩 0.1~2.6 %)。

④ 野菜・果実食品類

キャベツ、大根、同漬物、りんご、同ベビーフード用ペースト、とうもろこし缶詰めなど約 20 種。流動性のある果汁は除く (食品の水分 30~97, 油脂 0~2.2, 食塩 0.1~5.6 %)。

⑤ 調理済食品・調味料類

カレー、グラタン、佃煮、味噌、マヨネーズなど 20 種。流動性のある調味料は除く (食品の水分 40~80, 油脂 0~73, 食塩 0.3~10.5 %)。

(4) 温度分布の比較

結晶性ポリエチレンテレフタレート (通称 CPET) 9 × 12 cm に 100 g の食品を軽く押して詰め、おののの 1 個ずつターンテーブル中央部に置き、日立電子レンジ MR-M 33 にて 30 秒ごとの間欠加熱を行い、前記条件で赤外線温度計計測を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 電子レンジおよび容器

1) 電子レンジの性能比較

電子レンジを使う限り昇温特性に加熱器の影響が現れるので、食品間で昇温特性を比較する前段階として、電子レンジの性能を調べた。アドヘア糊を用いると、糊の白濁状態によって照射パターンが簡単に目視できる。

図 1 は、弁当型容器を用い、試料上面から糊の白濁状態 (すなわち昇温状態) を観察した結果である。同じメーカーの 2 機種 MR-M 33 と MRO-5500 S とを比較したところ、前者のほうが後者よりはるかに中央部が加熱されやすいことがわかった。

図 2 は、MR-M 33 に関して、各方向からの電波の入

マイクロ波加熱による昇温特性の分類（第1報）

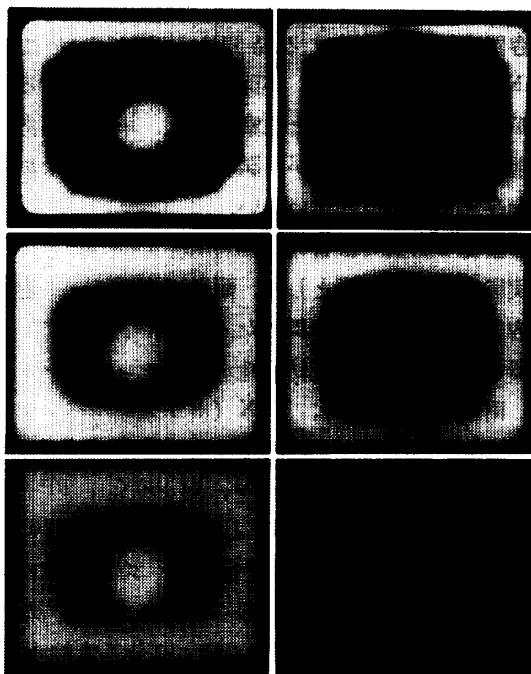


図 1. 電子レンジの性能比較 (1)

試料：アドヘア糊 1,000 g (14×18×4 cm). 左側：電子レンジ日立 MR-M 33 (単機能, 出力 500 W). 右側：電子レンジ日立 MRO-5500 S (オープン機能つき, 出力 500 W)

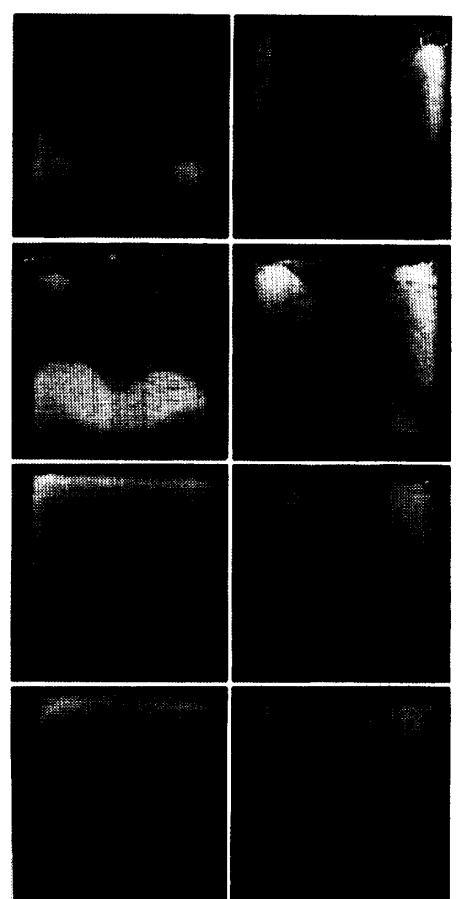


図 3. 電子レンジの性能比較 (3)

アドヘア糊 200 g を立方体容器 (6×6×6 cm) に詰め、加熱後に試料側面の昇温状態を観測したもの。左側：電子レンジ 日立 MR-M 33. 右側：電子レンジ 日立 MRO-5500 S.

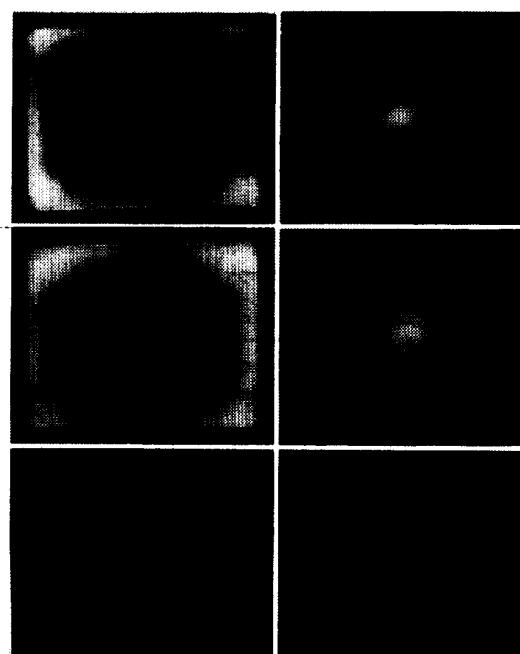


図 2. 電子レンジの性能比較 (2)

試料：アドヘア糊 1,000 g, アルミはく. 電子レンジ：日立 MR-M 33. 左側：上下面にアルミはくをかけて加熱, 右側：周囲四面にアルミはくをかけて加熱

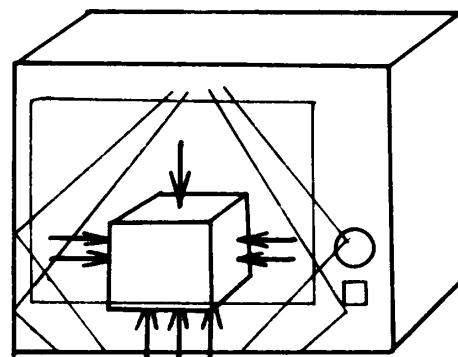


図 4. 立方体試料に入射する電波比率 (推定)

アルミはくで電波を遮蔽し、アドヘア糊が白濁する時間比較。電子レンジ日立 MR-M 33 使用。
上面のみ残しアルミはくをかける, 320 秒. 下面のみ残しアルミはくをかける, 100 秒. 横一面残しアルミはくをかける, 150 秒

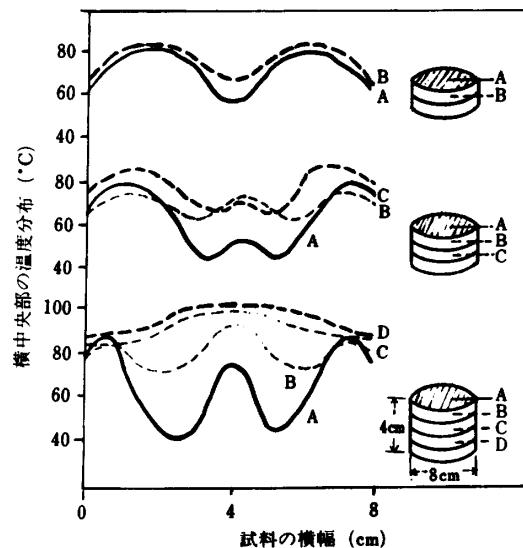


図 6. 赤外線放射温度計による上部表面および切断面の温度測定 (1)

試料: 大根 $8\text{ cm}\phi \times 2\sim 4\text{ cm}$, 1 cm 厚さに切断. 測定条件: 上より 2 分, 3 分, 4 分間加熱後, 上部表面と切断面を露出して赤外線放射温度計で測定

射量を調べたものである. アルミはくで試料容器の周囲をおおい, 上下面の電波のみ入射した場合には中央部が昇温しやすく, 上下面をおおうと中央部の昇温が遅れる傾向がみられた.

図 3 と 4 とは, 立方体容器を用いて各方面から入射する電波量を調べた結果である. 立方体側面の昇温状態(図 3)より, MR-M 33 は下面が昇温しやすいことが

わかる. なおアルミはくで立方体の各面を順にしゃへいして容器内の糊が白濁する時間を計測したところ, MR-M 33 は容器の上面, 側面, 下面より入射する電波比率が, およそ 1:2:3 と推察された. 単位表面あたりに入射する電波量の違いが, 試料の昇温図に少なからぬ影響を与えることは間違いない.

2) 容器の材質の影響

本実験を行う前段階として, 耐熱プラスチック容器の試料容器としての適性を調べた.

容器として, CPET (結晶性ポリエチレンテレフタート, 耐熱温度 230°C), TPX (ポリメチルベンゼン, 同 200°C), FRP (ガラス繊維強化不飽和ポリエステル, 同 200°C), PSU (ポリサルホン, 同 180°C), PP (ポリプロピレン, 同 140°C), MF (メラミン, 同 120°C), PS (ポリスチレン, 同 80°C) を用い, 30 秒ごとの間欠加熱で 2 分間加熱して, 加熱部位と最高温度を調べた(肥後温子, 池田二三男, 塚野 隆: 高分子素材センターとの共同研究, 未発表).

図 5 は, プラスチック容器の昇温状態の一例を示したものである. 試験した容器はいずれも容器中心部で最大の昇温を示し, hot spot が観測された. この昇温傾向は, 電波の浸透距離の大きい素材を誘電加熱した場合に認められる(カラー頁参照).

表 1 に, 容器を 2 分間空炊きした場合の温度を示した. 表中の誘電率は 1 MHz で測定された値であり, 本実験は $2,450\text{ MHz}$ で行っているが, 本実験の測定値と

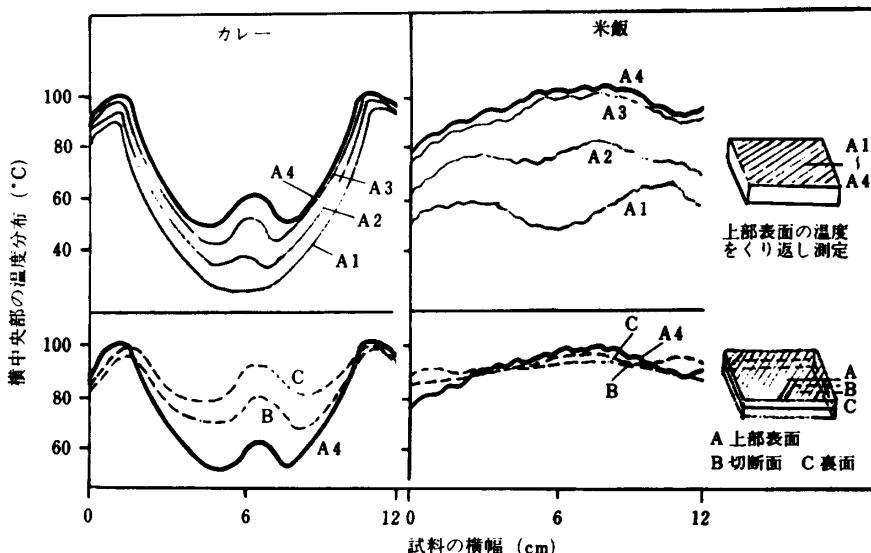


図 7. 赤外線放射温度計による上部表面, 切断面, 裏面の温度測定

試料: カレー $100\text{ g }9 \times 12 \times 1\text{ cm}$, 米飯 $100\text{ g }9 \times 12 \times 2.5\text{ cm}$. 測定条件: 上 2 枚は, 0.5, 1, 1.5, 2 分加熱後上部表面温度を測定. 下 2 枚は, 2 分加熱後上部, 切断面, 裏面温度を測定

マイクロ波加熱による昇温特性の分類 (第1報)



図 5. 耐熱プラスチック容器を空炊きした場合の昇温図の一例 (肥後温子, 池田二三男, 塚野 隆: 高分子素材センターとの共同研究, 未発表)

容器の材質: ポリサルホン (19×13×3 cm, 600 ml). 加熱時間: 0.5, 1, 1.5, 2 分 (左上, 左下, 右上, 右下). 温度測定: サーモトレーサ 6T-61 赤外線放射温度計

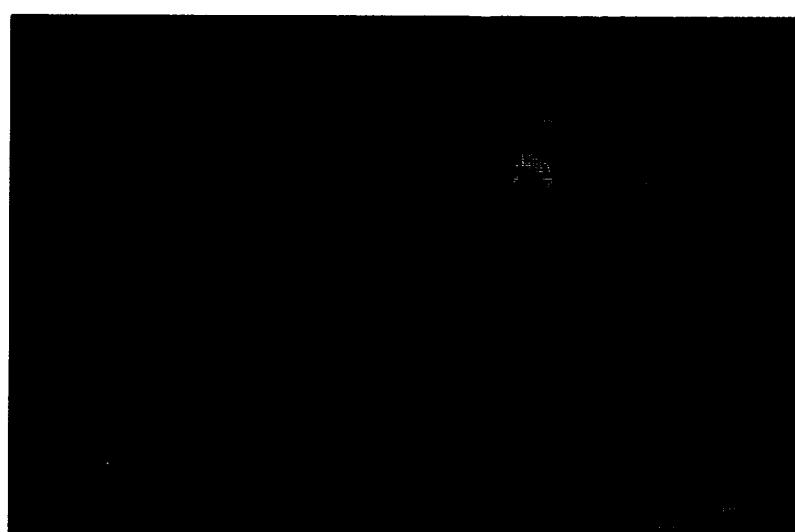


図 8. 赤外線放射温度計によるカレーライスの上部表面温度測定

試料: 左半分カレー 250 g, 右半分米飯 250 g. 加熱時間: 1.5, 3, 4.5, 6 分 (左上, 左下, 右上, 右下)

表 1. 耐熱プラスチック容器を空炊きした場合の温度 (肥後温子, 池田二三男, 塚野 隆: 高分子素材センターとの共同研究, 未発表)

容器の材質	TPX	PP	PS	CPET	PSU	FRP	MF
2 分加熱後の最高温度 (°C)	45	55	75	85	95	110	165
容器の大きさ 縦×横×高さ (cm)	13 φ×5 (520 ml)	14×10×5 (520 ml)	12×12×8 (1 l)	11×15×4 (500 ml)	19×13×3 (600 ml)	18×12×4 (600 ml)	11 φ×4
表示耐熱温度 (°C)	200	140	80	230	180	200	120
比誘電率 (ϵ_r) 1~10 MHz	2.1	2.2	2.4~3.0	3.0~3.2	3.1~3.2	5.5~6.5	7.0~9.5

加熱方法: 図 5 と同じ. 誘電率: 厚生省食品化学レポートおよびプラスチック成形材料取引便覧による. TPX: ポリメチルベンゼン, PP: ポリプロピレン, PS: ポリスチレン, CPET: 結晶性ポリエチレンテレフタレート, PSU: ポリサルホン, FRP: ガラス繊維強化不飽和ポリエステル, MF: メラミン.

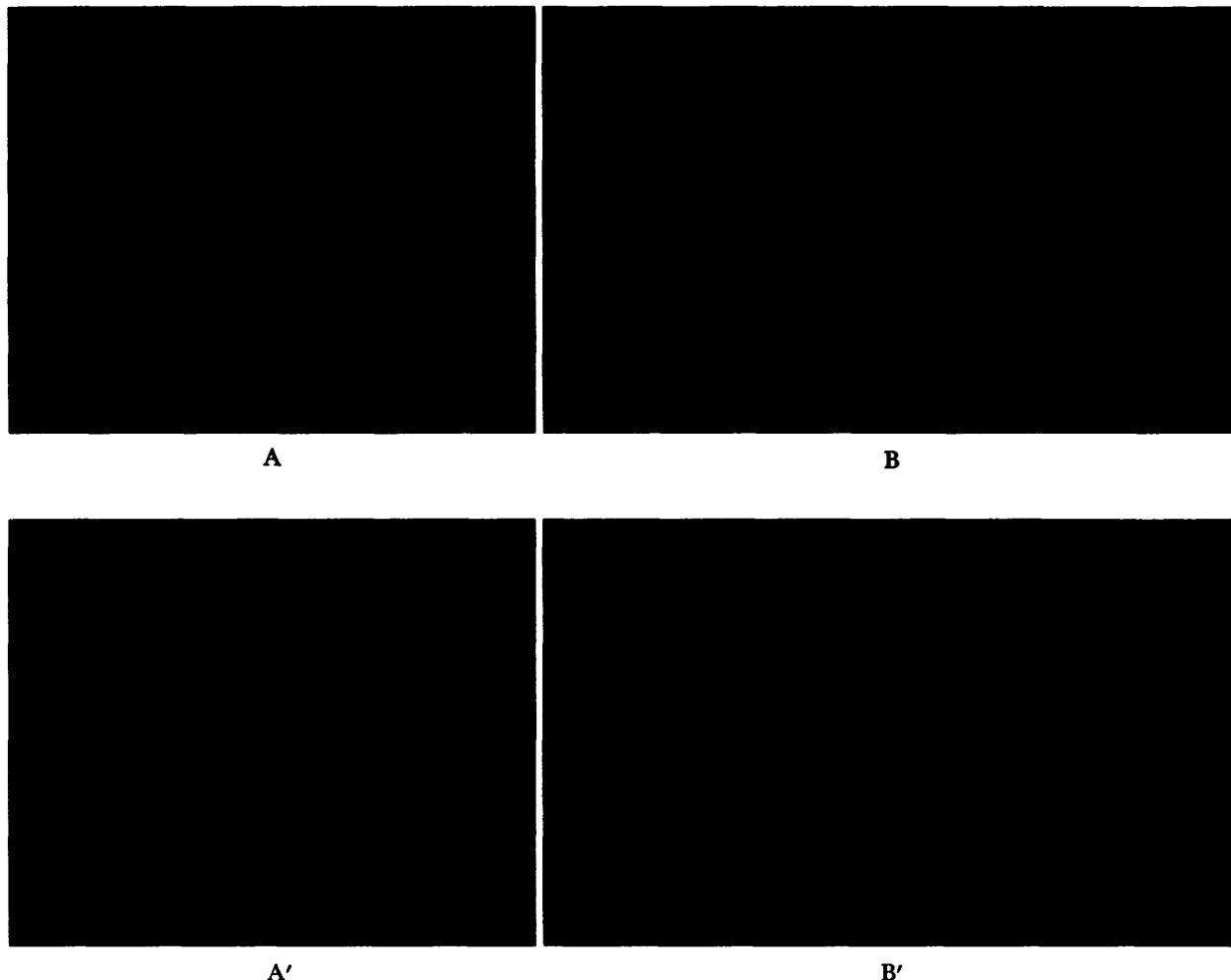


図 9. 赤外線放射温度計による上部表面および切断面の温度測定 (2)

A, A'：骨付もも肉 (-18°C に冷凍) 7分間加熱. A：上部表面, A'：骨に沿って切断した内部（骨のまわりがよく加熱されている). B, B'：骨付もも肉 (-18°C) 表面に全重量の 2% NaCl 添加後, 7分間加熱. B：上部表面, B'：骨に沿って切断した内部（生の部分が残る)

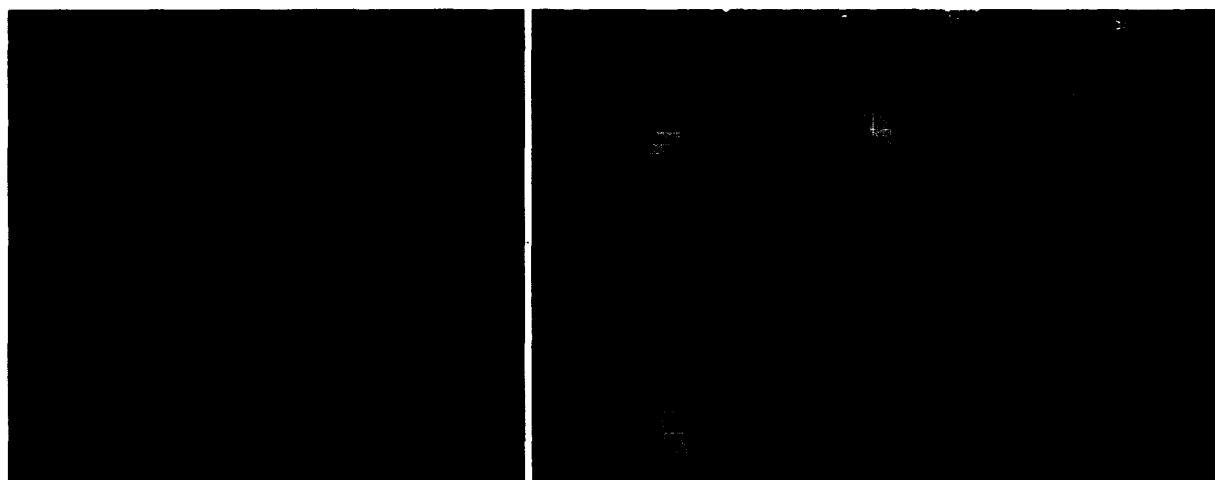


図 10. レトルト米飯の昇温状態

試料：レトルト白飯 $12 \times 13 \text{ cm}$, 200 g (左), レトルト山菜飯 $12 \times 13 \text{ cm}$, 200 g (右). 測定条件：2分加熱後, 上部表面温度を測定

マイクロ波加熱による昇温特性の分類 (第1報)



図 11. ココナッツバターの昇温図

加熱時間 : 0.5, 1, 1.5, 2 分, それぞれ 22-80, 25-115, 35-130, 50-150°C (最低温度-最高温度)



図 12. 赤だし味噌の昇温図

加熱時間 : 0.5, 1, 1.5, 2 分, それぞれ 28-95, 35-100, 47-105, 55-110°C (最低温度-最高温度)

1 MHz における誘電率との間に正の相関が認められ, CPET 容器は容器自体の発熱量が少なく耐熱温度が高い点で, テスト容器として優れていると判断された。

(2) 温度測定

1) 赤外線放射温度計による測定条件の検討

局所的な昇温部までまとめて検出できるなど, 赤外線放射温度計には優れた特徴があるが, 露出面の計測しかできない難点がある。そこで, 露出表面の温度が, 試料の総体的な温度とどのように関係するか調べた。

図 6 と 7 (p. 588) とは, あらかじめ切断したり, またはプラスチックフィルムをはさみながら層状に重ね, 加熱後すばやく内部を露出させて各部の温度を計測した結

果である。図にみられるように, 本実験条件では開放状で加熱した上部表面の計測値に次のような興味ある結果が得られた。

上部表面温度は内部の温度分布に比べて, ① 加熱むらがより大である。② 昇温速度のきわめて遅い部分が存在する。なお, ③ 上部温度に試料内部の温度分布が少なからず反映されているのも事実である。

食品の場合には, 昇温の遅れや加熱むらが食品の品質に及ぼす影響が大きく, この両者が効率よく計測できる点で, 上部表面温度の計測は有意義であり, 以上の結果は赤外線放射温度計により上部表面温度を測定することの妥当性を示す結果と考えられる。

表 2. 食品の詰め方による昇温状態の変化

試 料	加熱後の 最低-最高温度 (℃)	備 考	加熱時間 (分)
小 麦 粉			
粉状	75-120	中央加熱	2
同圧縮	80-135	中央加熱傾向進む	2
カステラ			
荒碎き	85-115	やや中央加熱	2
同圧縮	90-140	中央加熱傾向進む	2
米 飯			
粒状	60-80	ほぼ均一加熱	1
同圧縮	65-90	2カ所になだらかな昇温部	1
市販レトルト (200g)	65-95	5カ所に明瞭な昇温部	2
胡 麻			
粒状	60-120	中央加熱	2
荒挽き	60-130	中央加熱傾向進む	2
ペースト	70-140	中央加熱傾向さらに進む	2
大 根			
かたまり	50-80	やや端部加熱	1
みじん切り	45-80	やや端部加熱	1
豚もも肉			
かたまり	45-90	端部加熱	1
挽肉	55-85	端部加熱が緩和	1
カ レ ー			
具入り	35-85	端部加熱	1
ルーのみ	35-85	端部加熱	1

汎用型容器に 100g の食品を詰めて加熱後、赤外線放射温度計で測定

統いて実用的な見地から、しばしば電子レンジ加熱の対象となる食材について、赤外線放射計による計測を試みた（カラー頁参照）。

図 8 は盛り合わせ食材についての昇温状態を、上部表面より計測した結果である。カレーは縁だけが先に昇温し、米飯は全体がほぼ同時に昇温する。図 8 の結果は、図 7 との類似点も多く、上部表面温度の計測によって食材の総体的な昇温傾向が予測されることが改めて確認された。

図 9 は冷凍鶏もも肉を解凍即加熱した場合の昇温図を示している。鶏肉表面に塩分を添加すると、縁のみ先に昇温する現象 (edge run away) が起きて内部昇温が遅れる傾向がある。この現象は古くから加熱むらの原因として注目され、塩分添加によって電波の浸透距離が小さくなることが一因とされてきた⁹⁾。

2) 食品の粒度と詰め方の影響

食品の粒度や詰め方によって昇温状態が異なることが予想されるので、食品を切断したり、磨碎したり、詰め

方を変えて試験した。

表 2 から、① 食品を圧縮して詰めた場合には部分的に昇温する傾向があり、一方、② 食品を磨碎した場合には胡麻のように昇温する場合も降温する場合もあることがある。図 10 は、きわめて圧縮された状態にあるレトルト米飯において、明瞭なホットスポットが観測された結果を示しており、比較的平均に加熱される食材も、圧縮するとこのように電波集中の影響がみられることがある（カラー頁参照）。

①の圧縮する操作と、②の胡麻を磨碎して詰める操作とは、ともに食材間の空間を減らし密度を高める結果となり、密度を高くすると昇温速度が上がる傾向があると考えられる。

3) 加熱時間の影響

100g ずつ汎用型容器に詰め、30秒ごとの断続加熱法を4回くり返して、合計2分間の加熱を行った。測定した代表的な昇温図を図 11 と 12 (p. 591) に示した。

マイクロ波加熱による昇温特性の分類（第1報）

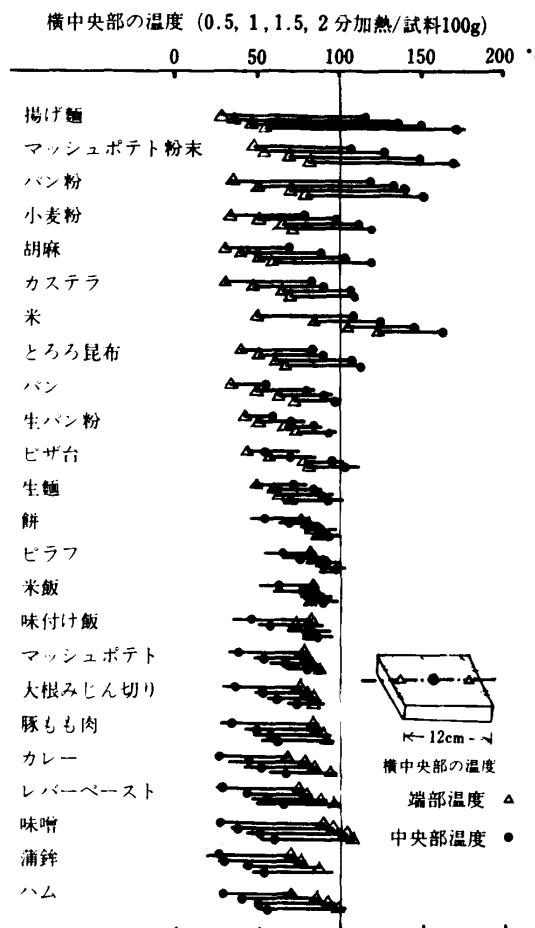


図 13. 汎用型容器に詰めた食品の昇温過程
横中央部の温度 (0.5, 1, 1.5, 2 分加熱/試料 100 g)

図にみられるように、① ココナッツバターは食品の中央部のみがスポット状に加熱され、加熱時間を延長しても中央加熱傾向は変わらず、中央部にスポット状の焦げが発生した。② 赤だし味噌は端部のみが先に昇温し、加熱を延長しても端部加熱傾向は変わらず、端部に変質と焦げが発生した。

上例でみると、食品によって常に類似の加熱傾向がくり返されるので、昇温部位の特徴に従って食品を分類することが可能である。

(3) 昇温部位の測定

図 13 は、端から 1 cm 内側を端部温度、端から 6 cm 内側を中央部温度として昇温過程を示したものである。加熱時間にかかわらず中央部が昇温している場合と、端部が昇温している場合が認められた。

(4) 昇温パターンの分類

1) 食品の種類による昇温パターンの分類

電子レンジで 2 分間加熱した各種食品の昇温図から、上部表面の中心線沿いに観測される昇温曲線を読み取り、

各部の昇温状態の特徴から食品をパターン別に分類しようと試みた。

図 14 (p. 594) に、類似した昇温パターンを集めた。

① 端部加熱食品：ハム、かまぼこなどの魚肉加工食品、カレーなどの調理済食品、味噌などの調味料は、端から 0.5~2 cm の範囲で常に最高温度が記録された。

② 中央部加熱食品：パン粉などの乾物や、チョコレートなどの油脂食品は、試料中央部（端から 6 cm 内側）で常に最高温度が記録された。

③ 比較的平均加熱食品：①、② 以外に、端と中央部の温度差が少ない食品と、加熱時間によって昇温部位が若干変わる食品があり、生鮮食品の大部分と調理済食品、加工品の一部がこの分類に入る。この中をさらに、やや端部加熱とやや中央部加熱とに分けることも可能である。

2) 昇温パターンの総括的分類

図 15 (p. 595) は、本実験のために用意した 100 種類以上の食品を、次の基準に従って五つのパターンに分類したものである。

① 端部加熱食品：端部が昇温しやすい状態が 2 分間持続し、最低温度との間に 40°C 以上の温度差が認められたもの

② 中央部加熱食品：中央部が昇温しやすい状態が 2 分間持続し、最低温度との間に 40°C 以上の温度差が認められたもの

③ 比較的平均加熱食品：端部加熱傾向、中央部加熱傾向のいずれも示さず、比較的温度差が少なかったもの

④ やや端部加熱食品：端部が昇温しやすい状態が 2 分間持続するが、比較的温度差が少なかったもの

⑤ やや中央部加熱食品：中央部が昇温しやすい状態が 2 分間持続するが、比較的温度差が少なかったもの

以上の結果は、実際に電子レンジで再加熱の対象となる調理済食品、および加熱調理の対象となる生鮮食品の大部分が、端部加熱ないしやや端部加熱に分類され、比較的平均に加熱されるのは米飯や生麺などのごく一部であることを示すものであり、電子レンジで加熱する場合に、必ずしも内部加熱効果、均一加熱効果が期待できないことが示唆される。

(5) 食品の成分組成と昇温パターンとの関係

マイクロ波の浸透深さは、被加熱物の密度、温度、成分組成などの影響を受けて変化すると言われるので⁹、食品成分のうち、水分、油脂、食塩濃度と昇温パターンとの関係を調べた。その結果、図 16 (p. 595) に示したように、含水率と昇温パターンの間にはかなりの相関性

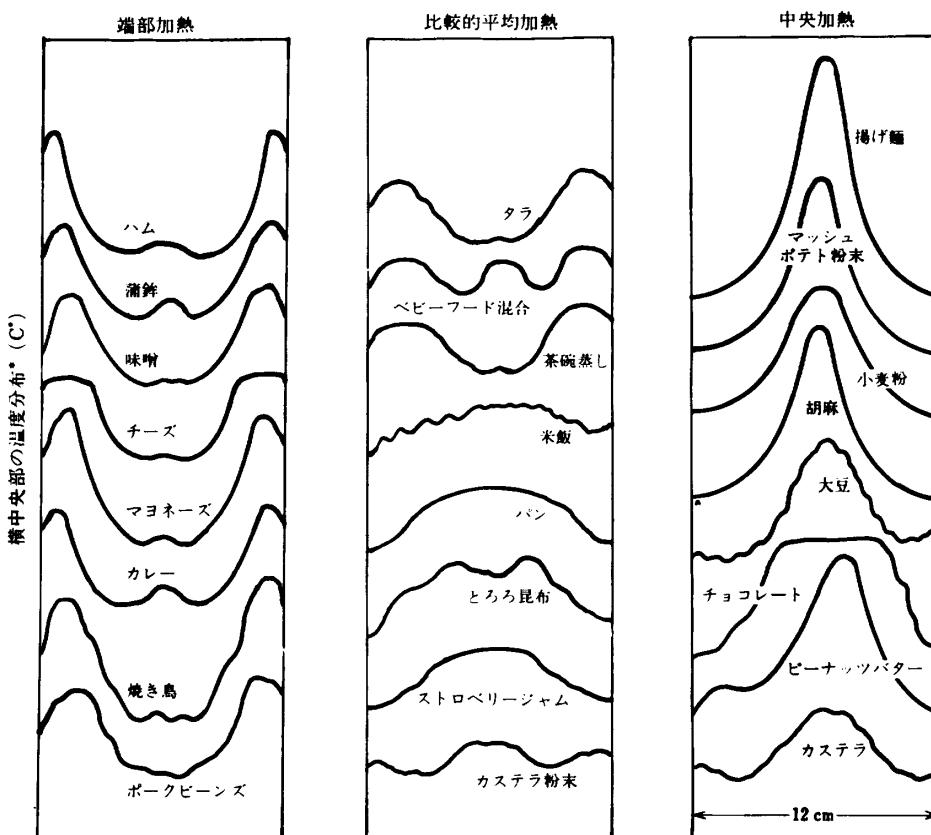


図 14. 汎用型容器に詰めた食品の温度分布

* 赤外線放射温度計による昇温図を温度分布に直したもの

が認められた。

① 含水率 70 % 以上では例外なく端部加熱の、含水率 20 % 以下では例外なく中央部加熱の傾向が認められた。その中間の水分領域では、一部例外的に端部が強く加熱される食品が含まれるもの、端部と中央部との温度差が少ないと認められた。

② 含水率が低いにもかかわらず端部が強く加熱される食品として、マヨネーズ、チーズ、味噌、ソーセージ、ポークピーンズなどがあげられた。これらはいずれも、塩分濃度の高い食品である。

③ 2 分加熱後の最高温度について比較すると、含水率の高い食品では例外なく 110°C 以下、含水率 20 % 以下では例外なく 120°C 以上を示した。含水率が高いと、比熱が大きい、気化熱を消費するためと考えられる。

以上の結果は、食品の含水率と昇温パターンとの間に密接な関係があること¹⁰⁾、しかし塩分濃度など他の成分の影響も無視できないことを示している⁹⁾¹¹⁾。

4. 要 約

電子レンジの普及率が高いわりに、マイクロ波利用の

基礎となる昇温特性について理解されていないので、食品の昇温状態を総合的に把握する目的で実験した。

約 100 種類の食品を長径 12 cm の汎用型容器に詰め、加熱後の昇温パターンを赤外線放射温度計によって測定したところ、次の結果が得られた。

(1) 食品のなかには著しく端部が昇温しやすいものと、逆に中央部が著しく昇温しやすいものがあり、加熱時間を延長してもその傾向は変わらなかった。

(2) 加熱部位の特徴に従って、種々の食品を、端部加熱、やや端部加熱、比較的平均加熱、やや中央部加熱、中央部加熱に分類した。その結果、生鮮食品と調理済食品の多くがやや端部加熱と端部加熱に分類された。

(3) 食品の含水率と昇温パターンとの間にかなり相関性が認められ、含水率 70 % 以上ではほぼ例外なく端部加熱の、20 % 以下ではほぼ例外なく中央部加熱の傾向がみられた。含水率 20 ~ 70 % では比較的平均に加熱されるものがみられた。

(4) 含水率の割に端部が昇温しやすい食品には、すべて塩分が含まれていた。

マイクロ波加熱による昇温特性の分類 (第1報)

乾物・油脂食品類 穀物・豆食品類 獣鳥魚肉食品類 野菜・果実食品類 調理済食品・調味料類

中央加熱	揚げ麩 α-米 ココナツバター パン粉 乾麩 マッシュポテト粉末 胡麻 こしあん粉末 ケーキミックス 小麦粉 黄な粉 高野豆腐 あられ チョコレート ピーナッツバター	ドーナツ カステラ
	米 とろろ昆布	生パン粉 カステラ粉 ピザ台 バイ生地 油揚げ あん パン
やや中央加熱	生麩 餅 団子ベースト ピラフ	ストロベリージャム
	米飯 味付け飯 ゆで麩 吸水米粉 吸水大豆 焼きそば	もやし
比較的平均加熱	米がゆ 豆腐	マッシュポテト 混合フルーツベースト
	鶏挽き肉 牛肉挽き肉 シーチキン 牛肉スライス 鶏もも 鶏ももかたまり肉 タラ 牛ももかたまり肉 レバー	コロッケ
やや端部加熱	キーパッセ 玉ねぎ 大根みじん切り 小松菜 人参みじん切り 野菜ベースト 伍詠コーン	茶碗蒸し グラタン
	こんにゃく たくあんスライス	
端部加熱	鶏照り焼き チキンベースト タラ味噌漬 レバーベースト ハム ソーセージ 薙鉢	カレー シチュー コーンスープ マヨネーズ ミートソース ケチャップ 味噌 グレービーソース

図 15. 各種食品の昇温状態の温度分布による分類 (100 g の食品を 9×12 cm の汎用型容器に詰めて電子レンジで加熱した場合)

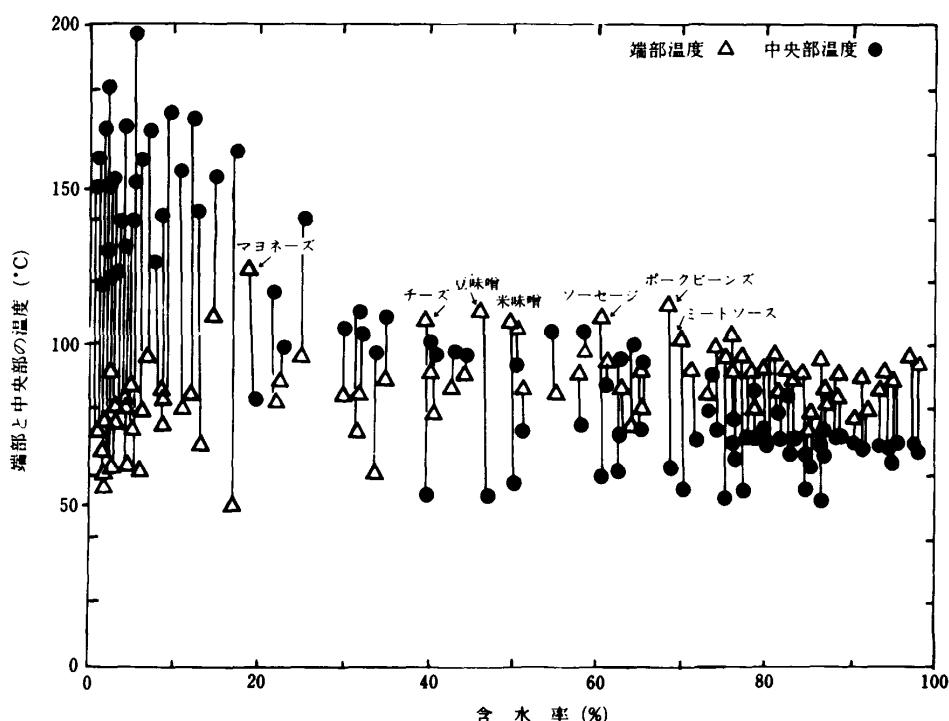


図 16. 電子レンジで加熱した食品の各部温度と含水率との関係 (100 g の食品を汎用型容器に詰めて 2 分間断続加熱した場合)

含水率のわりに著しく端部が加熱されやすかった食品名を図中に示す。

本実験のために測定の便宜をお図りいただいたガデリウス㈱、日本電気三栄㈱、容器を提供していただいた出光石油㈱、岐阜プラスチック㈱に感謝します。

引用文献

- 1) 露木英男, 首藤 醇: 食品工業, **11**下, 97 (1969)
- 2) 宮川久連子, 梅木皆代: 大阪市大家政学部紀要, **17**, 23 (1969)
- 3) 渡辺 渉, 小林 晃, 石塚郁郎, 斎田貞夫: 食品工業技術, **1** (9), 69 (1962)
- 4) 中沢文子, 高橋淳子, 高田昌子: 家政誌, **40**, 35 (1989)
- 5) Kubota, K., Araki, H., Suzuki, K. and Esaka, M.: *J. Fac. Appl. Biol. Sci.*, **25**, 1 (1986)
- 6) Smith, R.B. (ed.): *Industrial Applications of Microwave Energy*, IMPI, Box 634, University of Alberta, Canada (1978)
- 7) 柴田長吉郎: 工業用マイクロ波応用技術, 電気書院, 東京 (1986)
- 8) 山浦逸雄: 電子通信学会技術報告, **EMCJ 81-83**, 31 (1981)
- 9) 肥後温子: 電子レンジ・マイクロ波食品利用ハンドブック, 日本工業新聞社, 東京 (1987)
- 10) Mudgett, R.E., Goldblith, S.A., Wang, D.I.C. and Westphal, W.B.: *J. Microwave Power*, **15**, 27 (1980)
- 11) 肥後温子, 島崎通夫: 青山学院女短大紀要, **40**, 59 (1986)