

電子レンジ加熱中のレトルトパウチ損傷の調査

稲田有美子*, 高橋 英史*

The Study on Damage of Retort Pouch during Microwave Heating

Yumiko Inada* and Hidehito Takahashi*

Materials of the microwavable pouch are damaged by contents and the heating condition by high-power range more than 750W. It is a remarkable phenomenon for a range which temperature is controlled by high-power on-off. The cause of the damage was examined with the model contents which were prepared from wheat flour, oil, fat, spices, essential oils, β -carotene and mineral salts. Penetration of microwave to center of the content is delayed by mineral salts, therefore, surface temperature of the viscous content rises. As that result, the oil staying near the surface is overheated and the pouch is damaged. If control of viscosity and the oil concentration is possible, the damage of the pouch can be prevented.

Key words : pouch, microwave, retort, damage, mineral salt, viscosity, oil, fat

電子レンジ加熱が可能なパウチを用いた場合であっても、内容物や加熱条件によっては、その界面付近に穴が開く等のトラブルが発生することがあった。電子レンジは高出力の断続的な加熱で温度調節を行うタイプのものに顕著である(図1)。その原因を内容物の特性より検討した。

図1 穴あき例(ビーフシチュー)
パウチ: バリアPET/ナイロン/PP
加熱: 500 W・3分間



実験方法

1. 供試包材

包材は市販品の3層自立型レトルトパウチ(12 μ mバリアPET/15 μ mナイロン/70 μ mポリプロピレン), および4層品(12 μ mPET/12 μ mバリアPET/15 μ mナイロン/70 μ mポリプロピレン)を使用した。

2. 供試材料

小麦粉, 油脂, 食材, 香辛料は市販品を, 金属塩等の試薬は和光純薬製を用いた。使用した香辛料は, ブラックペパー, ホワイトペパー, コリアンダー, ジンジャー, クミン, ガーリック, ナツメグ, クローブ, シナモン, オールスパイス, カルダモン, オレガノ, マジョラム, タイム, レッドペパー, カレーパウダー, ガラムマサラ, セロリシードである。

3. 小麦粉モデル溶液の調製

カレーやシチューのような粘性食品のモデルとして, 加熱糊化させたモデル液(以下, 小麦粉モデル液と略)を調製した。小麦粉濃度は目的に応じて0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 7.5, 10% (w/w) とした。

4. サンプルの調製

市販のカレー製品とシチュー製品の内容物を3層および4層パウチに150 gリパックし, 密封後, レトルト殺菌した。殺菌条件はシャワー殺菌シャワー冷却方式で121℃, 20分間。当所での調製品は常法にて調製したカレーおよびシチューをパウチに充填, 密封後, レトルト殺菌した。

また, 水のみ, 小麦粉モデル液+綿実油1%, 小麦粉モデル液+無機塩類+綿実油1%, 水+無機塩類の4種類を調製し150 g充填した。

*: 東洋食品研究所 食品加工研究室

全ての試料は考察の助けとなるよう塩分濃度と粘度を測定した。塩分濃度は、塩分分析計SAT-2A（東亜電波工業株）を用い、各試料の液体部のみ測定し、粘度の測定は、トキメック株製デジタル粘度計（DVL-B-II型）、VISCO THERMO COOL（VCH-400）で行った。各試料の液体部をトルビーカーに95～100 mlまたは300 ml入れ、80℃にて測定した。

5. 穴あき発生要因の調査

1) 各種成分の単独添加

10%小麦粉モデル液に表1に示した添加物をそれぞれ単独添加し、パウチに150 g充填後、殺菌した。油の浮遊、香辛料、精油、金属塩の調査のためのモデル液には、いずれも綿実油を1%添加した。精油と辛味成分の実験には香辛料2%中に含まれる精油相当濃度¹⁾を添加した。カプサイシンは50 mgをエタノール2.5 mlに溶解後、綿実油で50 mlに定容した1 mg/ml濃度のものを使用した。β-カロテンは予め綿実油に溶解したものを使用した。

2) 無機塩の混合添加

塩類の組合せによる影響の確認は、穴あきが発生した当所調製シチューの無機塩類の陽イオン濃度と同程度で行っ

た。塩化ナトリウム1.42%（陽イオンとして0.56%）、塩化カリウム0.36%（同0.19%）、塩化マグネシウム・6水和物0.08%（同0.01%）、硫酸銅・5水和物0.00024%（同0.00006%）、塩化カルシウム・2水和物0.07%（同0.02%）、硫酸鉄・7水和物0.002%（同0.0004%）である。これら6種類の組み合わせをかえた10%小麦粉モデル液（内容総量150 g）を調製し、密封後にレトルト殺菌し、750 W・3分間マイクロ波加熱した。

3) 無機塩、油、粘度

上記の塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化マグネシウム濃度の合計値は1.86%である。この1.86%を以下無機塩濃度と表現する。無機塩濃度1.86%一定で、油の濃度を0%もしくは1%、小麦粉モデル液濃度を0, 3, 5, 6, 7, 10%としたモデル液を調製後、マイクロ波加熱し、パウチの損傷を調べた。

4) 粘度と油

無機塩濃度1.86%で小麦粉濃度を0～10%間の10種類の小麦粉モデル液を基本とし、そこに綿実油を0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0%ずつ添加し、それぞれを3層、4層パウチに150 g充填し、レトルト殺菌後、マイクロ波加熱による損傷を確認した。

表1 要因抽出のため単独添加した物質

因 子	物質名	濃度 (%)
油脂	綿実油	5.0
	ラード	5.0
油の浮遊	綿実油	0.2
	綿実油	2.0
香辛料	香辛料	0.2
	香辛料	2.0
精油	α-ピネン	0.02
	6-ジネロール	0.01
	1,8-シネオール	0.064
	シンナミックアルデヒド	0.043
	チモール	0.016
	オイゲノール	0.324
	カプサイシン	0.0005
辛味成分	カプサイシン	0.002
	ピペリン	0.2
	β-カロテン	0.00033
カロテノイド	β-カロテン	0.00033
食塩	塩	0.5
	塩	1.0
	塩	5.0
金属塩	塩化ナトリウム	5.0 (陽イオンとして 2.0%)
	塩化カリウム	1.91 (同 1.0)
	塩化マグネシウム・6水和物	1.96 (同 0.5)
	硫酸マグネシウム・7水和物	2.48 (同 0.5)
	硫酸銅・5水和物	0.039 (同 0.01)
	乳酸カルシウム・5水和物	3.84 (同 0.5)
	硫酸鉄・7水和物	2.49 (同 0.5)

6. 電子レンジ

省エネ法で単機能電子レンジとして区分されている機種の中で、出力は750 W一定であるが、タイマースイッチが入っている間に出力設定(500 W, 300 W, 170 W, 100 W)によって断続スイッチが周期的にON-OFFを繰り返して、被加熱物に与えるエネルギーを変化させるタイプの電子レンジを用いた。サンプル加熱の出力は500 Wもしくは750 Wとした。内容物によっては2分以内で温まるものもあるが実験は3分間の加熱とした。

7. 電子レンジの加熱むら

加熱むらは、ろ紙を格子状に立体的に組み合わせたもの、および、直径24 cmのろ紙に59.5 mg/mlの塩化コバルト溶液を均一に噴霧し、出力750 Wにてそれぞれ加熱し、ピンク色から青色への変色の過程を目視で調べた。さらに、塩化コバルト溶液を染みこませた長方形のろ紙を二つ折りにし、空気を充填したパウチに上部から被せ、マイクロ波加熱し加熱の開始点を観察した。

8. パウチの損傷確認

パウチの損傷程度は、目視にて、肌荒れ、クラック(穴あき)には至らず、内層のみ亀裂の入った状態、穴あきの有無、穴あきの位置を確認した。

結果および考察

1. 電子レンジの加熱むら

電子レンジの加熱むらが穴を開けているのではないかと推察されたので、加熱むらがどうか確認した。立体状模型からは加熱むらの程度は判断できなかった(図2)。平面状では中心部から加熱される様子が観察できた(図3)。自立型レトルトパウチでは、加熱は上部から始まったように見えるが、厚みの薄い部分から加熱が開始されたと見るのが妥当と思われた(図4)。これらの結果から、加熱むらと穴あきの関連性は把握できなかった。



図2 加熱むらの確認(立体)
単機能電子レンジ・750 W A: 0秒 B: 15秒加熱 C: 30秒加熱

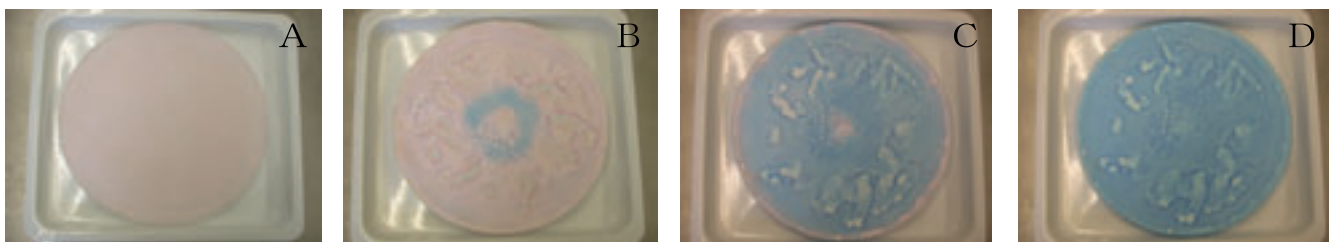


図3 加熱むらの確認
単機能電子レンジ・750 W A: 0秒 B: 15秒加熱 C: 30秒加熱 D: 45秒加熱

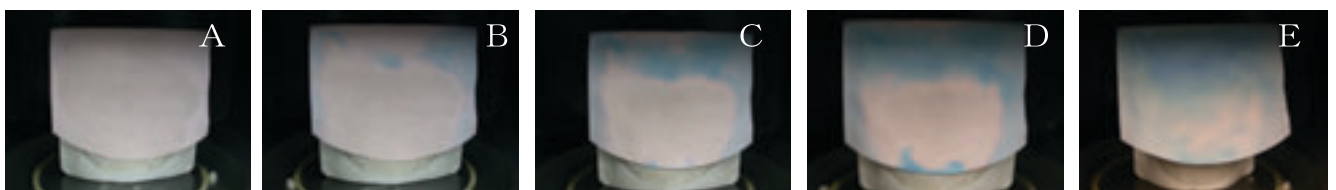


図4 熱の伝わり方
単機能電子レンジ・750 W A: 0秒 B: 15秒加熱 C: 30秒加熱 D: 45秒加熱 E: 60秒加熱

2. 包材耐性

1) 市販品のリパック

市販品と当所調製品の14種類を用い、内容物の違いがパウチの損傷に与える影響を確認した結果を表2に示した。

市販品の内容物は、4層パウチに穴あきや肌荒れを生じさせたので、仮に使用するパウチを3層から4層に変更しても、本実験で供試したタイプの電子レンジで加熱する限りにおいては、穴の開く可能性がある。

表2 内容物組成がパウチ損傷に与える影響

内容物 (リパック)		容器と加熱条件		3 層		4 層	
		500 W・3分	750 W・3分	500 W・3分	750 W・3分	500 W・3分	750 W・3分
A社	カレー (中辛)	×	×	×	×	×	×
A社	カレー (甘口)	×	×	×	×	×	×
B社	カレー (中辛)	×	×	△	×	△	×
B社	カレー (辛口)	△	△	△	△	△	△
B社	カレー (中辛)	△	△	△	△	△	△
B社	カレー (中辛)	△	△	△	△	△	△
B社	カレー (中辛)	×	×	△	△	△	△
C社	カレー (辛口)	×	×	△	△	△	△
C社	カレー (超辛口)	×	×	△	×	△	×
D社	カレー (中辛)	×	×	△	△	△	△
E社	ビーフシチュー	△	×	△	△	△	△
F社	カレー (辛口)	×	×	△	×	△	×
当所調製品	カレー	×	×	×	×	×	×
当所調製品	ビーフシチュー	×	×	△	△	△	△

○：肌荒れ，クラック，穴あきなし △：肌荒れ有り ×：クラック，穴あき有り

2) 粘度および塩分濃度

塩分濃度は、市販のビーフカレーは1.07～1.42%の範囲内であり、当所製では0.92%だった。ビーフシチューは、市販品1.19%，当所製1.36%であった。

粘度の低い市販品では殆ど穴あきは見られず、粘度の高い製品で穴あきが発生する傾向にあったため、小麦粉モデル液、カレー、シチューのそれぞれの粘度を測定し、市販品の粘度と同等になる、小麦粉モデル溶液の濃度を求めた。

80℃・ローターNo.3・60 rpmにて測定した結果、市販のビーフカレーは791～1839 mPa・sの粘度範囲内で、これに該当する小麦粉モデル液濃度は6～8%であった。市販の

ビーフシチューは713 mPa・sの粘度であり、該当する小麦粉モデル液濃度は6%であった。

3) レトルト殺菌の影響

3層と4層のパウチを用い、レトルト殺菌の有無が包材に与える影響を調べた結果を表3に示す。

パウチに与える損傷が大きいのは、内容物充填後にレトルト殺菌を施した方であった。小麦粉溶液で粘度をつけ、無機塩類を含む内容物を3層パウチに充填したレトルト殺菌後のパウチの損傷が最も大きかった。無機塩類を含んでも水であれば穴は開かなかった。

表3 レトルト殺菌と内容物組成によるパウチ損傷程度

内容物充填後の殺菌 マイクロ波加熱条件		無し		有り	
		500 W・3分	750 W・3分	500 W・3分	750 W・3分
水のみ	3 層	○	○	△	○
	4 層	○	○	○	○
小麦粉液*	3 層	○	○	○	○
	4 層	○	○	○	○
小麦粉液* + 無機塩類	3 層	△	△	×	×
	4 層	△	△	△	×
水+無機塩類	3 層	○	○	○	○
	4 層	○	○	○	○

○：肌荒れ，クラック，穴あき無し △：肌荒れ有り ×：クラック・穴あき有り

*：無機塩や油を含まない低粘度のモデル液では、マイクロ波加熱時にパウチの蒸気抜き孔から内容物が漏れ出る場合があったので、その抑制のため小麦粉濃度は10%，綿実油1%とした。

3. 穴あき発生要因の抽出

1) 油

綿実油 5 %を含む 3 層パウチの場合, 500 W・3 分間の加熱で肌荒れは生じなかったが, 油が乳化した状態では 750 W・3 分間の加熱で僅かに肌荒れした。ラード 5 %の添加では, 750 Wでも肌荒れは生じなかった。

油をモデル液の界面に重層した場合, 750 W・3 分間の加熱では, 界面ではなく上部に少しの肌荒れを生じた。同条件で無機塩類を添加すると, 500 W・750 Wのいずれの場合も, 界面に肌荒れ・クラックが生じた。油の重層がなくても無機塩類添加で肌荒れが生じたため, 油脂は乳化状態であれ, 界面上に浮遊する状態であれ, それ単独では穴を開けないと考えられ, 他の要因と相乗的に働きパウチに損傷を与えると考えられた。

2) 香辛料と精油成分

香辛料濃度 0.2 %では, 500 W・3 分間, 750 W・3 分間加熱とも, 損傷が無いが僅かに肌荒れした程度である。2 %と高濃度とした場合, ブラックペパーが特に肌荒れを生じ易く, ホワイトペパー, ジンジャー, カルダモン, シナモン, オレガノ, クローブも肌荒れを生じた。実際の食品では 2 %も香辛料を添加することはないので, 香辛料は穴あきの直接原因ではないと考えられた。しかし, 香辛料含有の精油がパウチ損傷に関連するとも考えられたので, α -ピネン, 6-ジングロール, 1,8-シネオール, シンナミクアルデヒド, チモール, オイゲノールを 3 層, 4 層のパウチに添加し実験した。結果, いずれの精油も肌荒れ, クラック, 穴あきに影響しなかった。したがって, 精油は穴あきの原因物質ではなかった。

3) 辛味成分

一般的なカレー中のカプサイシン濃度は, 甘口 0 ~ 0.5 ppm, 中辛 0.5 ~ 1.5 ppm, 辛口 1.5 ~ 2.5 ppmである²⁾。過剰量の 0.75 mg/150g (5 ppm), 3.0 mg/150g (20 ppm) を添加した場合, パウチの損傷は少しの肌荒れ程度だったので, 辛味成分のカプサイシンは穴あきの原因物質ではなかった。

ペパー 2 %に相当する過剰量のピペリンを添加しても, 肌荒れが発生しなかったことから, ピペリンも原因物質ではなかった。

4) カロテノイド

β -カロテンは五訂成分表³⁾によるとレトルトパウチ詰ビーフカレー, ビーフシチューにはそれぞれ 180 μ g/100g, 730 μ g/100g含まれており, 150 gに換算すると, それぞれ 0.27 mg, 1.10 mgとなる。過剰量の 50 mg/150g添加しても 750 W・3 分間の加熱で, 僅かな肌荒れしか生じないことから, β -カロテンも直接原因成分ではなかった。

5) 食塩

食塩濃度が, 0.5, 1.0, 1.5 %と高くなるにつれて, マイクロ波の出力 (500 W, 750 W) を問わず, 肌荒れの程度は強まった。これは, マイクロ波の特性の一つである, 無機塩が加わるとマイクロ波の半減深度が浅くなり, ふちが良く加熱される現象のためと考えられる。

6) 金属塩

食塩濃度を高めると肌荒れが強まったため, 他の陽イオンでも同様に生じるか確認した結果を表 4 に示す。750 W・3 分間加熱後もクラックや穴あきは生じなかった。この結果から, 金属塩を単独で過剰量を添加しても穴あきは発生しないことがわかった。

表 4 金属塩添加結果

添加試薬	濃度 ^a (%)	パウチの損傷程度
塩化ナトリウム	2.0	△
塩化カリウム	1.0	△
塩化マグネシウム	0.5	△
硫酸マグネシウム	0.5	△
硫酸銅	0.01	○
乳酸カルシウム	0.5	○*
硫酸鉄	0.5	○*

750 W, 3 分間

○: 肌荒れ, クラック, 穴あき無し ○*: 肌荒れしているが, 程度はかなり軽い
△: 肌荒れ有り ×: クラック, 穴あき有り ^a 陽イオンとしての濃度

7) 無機塩の混合物

塩化ナトリウム 1.42 %, 塩化カリウム 0.36 %, 塩化マグネシウム・6 水和物 0.08 %, 硫酸銅・5 水和物 0.00024 %, 塩化カルシウム・2 水和物 0.07 %, 硫酸鉄・7 水和物 0.002 %らを混合し, 充填したモデル液では, 穴あきが発生した。これら 6 種類の組み合わせをかせ, 試験した結果, 塩化ナトリウム, 塩化カリウム, 塩化マグネシウム・6 水和物の共存時に穴あきが発生した (図 5)。共存しない場合は穴あき・クラックは発生しなかった。



図 5 パウチ損傷の様子

パウチ構成: バリア PET/ナイロン/PP
塩化ナトリウム 1.42 %, 塩化カリウム 0.36 %, 塩化マグネシウム 0.08 %添加品
750 W・3 分間

4. 無機塩濃度, 粘度 (小麦粉溶液濃度), 油濃度とパウチ損傷の関係

無機塩, 粘度, 油の三要素が絡む場合に, パウチがマイクロ波による損傷を受け易いと考えられた。電子レンジ加熱可能なパウチに充填された内容物で, 最も無機塩濃度の高い製品は, 温めた後に麺や白飯にかけるタイプのパスタソース (無機塩濃度約 2%) や丼の具である。製品中の無機塩のほとんどは, 味付けのために添加された食塩由来であり, 塩味の点から無機塩濃度が 2% を超えることは, 電子レンジ加熱対応製品ではほとんどない。塩味のない製品は現存せず, 仮に塩分が少なくても野菜由来のカリウムが内容物中に存在するので, パウチ詰製品のほとんどの無機塩濃度は 1~2% である。

無機塩, 粘度, 油の三要素が絡み, かつマイクロ波加熱時のパウチ損傷度合を表 5 に示す。500 W・3 分間と 750 W・3 分間で損傷度合に違いは無かった。

小麦粉モデル液濃度が 6% 以上は, いずれの区でも中~大程度の肌荒れもしくは穴あきが発生した。

これから, 粘度と油濃度が低ければパウチ損傷は防止できることが示唆された。

マイクロ波は無機塩類 (Na, K, Mg) に当たると半減深度が浅くなり, 内容物中心への浸透が遅くなるため, 内容物外側 (界面や容器接触面) の温度が上昇する。さらに内容物に粘性があると, 界面に滞留する液状の油が生じ, その油が過加熱となり穴を開けると推察した。

参考文献

- 1) Donner R. Tainter, Anthony T. Grenis: Spices and Seasonings A Food Technology Handbook SECOND EDITION, WILEY-VCH, (2001).
- 2) 岩井和夫, 渡辺達夫: トウガラシ 辛味の科学, 幸書房, (2000).
- 3) 香川芳子: 五訂食品成分表, 女子栄養大学出版社, (2004).

表 5 無機塩濃度, 粘度 (小麦粉モデル液濃度), 油濃度, マイクロ波加熱がパウチ (3, 4 層) 損傷に影響する領域

小麦粉モデル液 濃度 (%)・粘度 (mPa・s)・ローターNo.			1.86				
			無機塩濃度 (%)				
			油の濃度 (%)				
			0	0.25	0.50	0.75	1.00
0	0.8	5	○	○	○	○	○
1	0.9	5	○	○	○	○	○
2	3.8	5	○	○	○	○	○
3	73.6	2	○	○	○	△	×
4	146.5	2	○	○	△	×	×
5	294	3	○	○	×	×	×
6	527	3	×	×	×	×	×

○: 肌荒れ・穴あき無し △: 3 層のみ中~大程度肌荒れ・穴あき有り, 4 層では肌荒れ・穴あき無し

×: 中~大程度の肌荒れ・穴あき有り

無機塩合計濃度: 1.86% (1.42%NaCl, 0.36%KCl, 0.08%MgCl₂・6H₂O)

マイクロ波加熱: 500 W・3 分間と 750 W・3 分間で損傷の違い無し

粘度: 80℃, いずれのローターも 60 rpm で測定