

## 白粥の自動蒸気抜き機能付レトルトパウチ詰における 電子レンジ加熱時の噴出メカニズムとその予防法

高橋英史\*・稲田有美子\*

The spouting mechanism and its prevention methods of rice porridge packed in retortable pouch with automatic steam release function by microwave heating.

HIDEHITO TAKAHASHI and YUMIKO INADA

---

The retortable pouch with automatic steam release function by microwave heating was recently developed. There are some good microwaveable pouches. We chose one of them which is the E-RP (electric-retort pouch) presented by Toyo Seikan Kaisha, Ltd. But, E-RP shows an only problem when rice porridge has been packed. It is a spout from a hole on the pouch which is automatically opened by microwave heating. It is a very dangerous phenomenon for consumers. Therefore prevention method against a spout was requested. A state of foam during microwave heating has observed by neutron radiography. Foam suddenly occurred at the same time when hole was opened. Foam was heaped up with rice and spouted at last. When 0.25% bittern is added in rice porridge, the spout is controlled. The inhibitory mechanism of the spout is speculated as follows. Magnesium ion in bittern gets into a membrane of foam, and the water molecule is removed by a membrane. Therefore foam burst easily and a spout is prevented.

---

\* (財)東洋食品研究所 (〒666-0026 兵庫県川西市南花屋敷4-23-2)

Toyo Institute of Food Technology (4-23-2, Minami-Hanayashiki, Kawanishi, Hyogo 666-0026)  
(2007. 1. 31受理)

## I. はじめに

レトルト製品でかつ、電子レンジにて容器ごと加熱できるレトルト製品が求められている。マイクロ波加熱による容器内圧上昇を利用し、自ずと容器の一部が開口すれば容器は壊れずに内容物は温まる。この方式で、パウチごとマイクロ波加熱できる製品が最近開発された。その一つに、東洋製罐(株)製のレトルトパウチ (electric-retort pouch : E-RP) がある。E-RPは自動的に蒸気を逃がす機能を有している。

内圧上昇を利用した方式のため、電子レンジによる加熱で過加熱となった場合、内容物によっては開口部より噴出することがあった。その内容物とは白粥である。噴出すれば電子レンジ庫内を汚すばかりか、消費者が火傷をする危険性があるので、防止策が必要となった。そこで、うるち米と水の容積比が1 : 7の七分粥を製造し、開口部が開口後30秒間以上、マイクロ波加熱を継続しても噴出しない白粥の処方を検討した。

にがりの添加で噴出が抑制できた。マイクロ波加熱中の食品の泡立ちのメカニズムを探るため、中性子ラジオグラフィを用い、泡の可視化も行ったので報告する。

## II. 自動開口機構

自動開口機構をE-RPを例として紹介する。パウチ上部隅にシール部とシール部内に貫通孔がある。このシール部はレトルト殺菌中には十分な強度を持つため、剥離することはない。しかし、マイクロ波加熱時には図1のようにパウチ膨張により応力が集中し、先に孔部分近傍のシール部が剥離し孔より蒸気が抜ける。また、湯煎時はシール部の剥離が起こるまでの内圧はかからず、開口しないため湯煎可能である。図2参照<sup>1)</sup>。

## III. 電子レンジ対応パウチと他容器との容器性能の比較

容器性能の比較を表1にまとめて示した。電子レンジ

対応パウチはアルミニウムを含まないため電子レンジにかけられるが、他の容器と比べて遮光性や酸素遮断性に劣るという点が特徴として挙げられる。

## IV. 実験方法

### 1. 白粥の製造方法

粥は米と水の割合により、一般的に、全粥、七分粥、五分粥、三分粥と呼ばれる分粥がある(表2参照)。容量比で米1に対し水5のものを全粥、水7のものを七分粥、水10のものを五分粥、水20のものを三分粥と呼ばれる。

原料米には、うるち米 新潟県産コシヒカリBG無洗米(東友精米製)を用いた。米は水に1時間浸漬後に水切りした。吸水前の米の容積と水の容積の割合が1 : 7になるようE-RPに、浸漬後の米と注液として沸騰水を充填した。内容総量は200mlとした。ヒートシール後、シャワー等圧殺菌冷却方式にて115℃、17分間(F<sub>0</sub>=4)、レトルト殺菌を行い冷却した。他の分粥も表2に示した割合で充填し同様に製造した。150×140×41mmのサイズのE-RPを使用した。

### 2. 噴出確認に使用した電子レンジと噴出確認方法

噴出確認には5台の電子レンジを用い、下記の高周波出力で行った。①東芝(株)製 ER-9A 200W, 600W, 1,000W, ②サンヨー(株)製 EM-1600 1,600W, ③シャープ(株)製 RE-SC10-G 200W, 500W, ④松下電器産業(株) NE-S22F 300W, 600W, ⑤松下住設機器(株) NE-A40 600W。

噴出の抑制法検討の際、とくにことわりの無いかぎりは東芝(株)製のER-A9を用い実験を行った。マイクロ波加熱開始後から貫通孔が開口する迄の時間、貫通孔開口後から内容物が噴出する迄の時間を、それぞれ測定した。

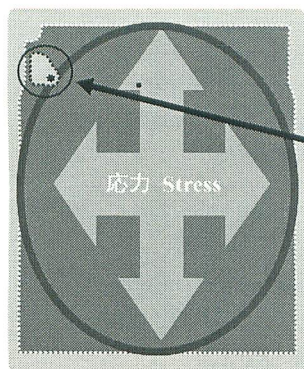


図1 応力の模式図  
Fig. 1 Scheme of stress

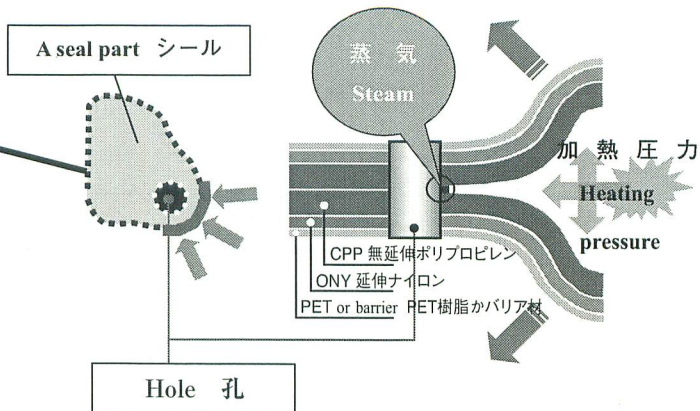


図2 E-RPの断面図  
Fig. 2 A cross section of E-RP

表1 容器性能の比較

Table 1 Comparison of container performance

Performance 性能	Container 容器形態		
	E-RP*	RP-F**	CAN 缶
Microwave oven fitness 電子レンジ適性	excellence 優	failure 不可	failure 不可
Visibility 内容物視認性	excellence 優	failure 不可	failure 不可
Light blocking 遮光性	good 良	excellence 優	excellence 優
Oxygen barrier 酸素遮断性	good 良	excellence 優	excellence 優
Expiration date 賞味期間	1 year 1年	2 years 2年	3 years 3年
Weight 容器重量	light 軽い	light 軽い	heavy 重い
Recycling リサイクル性	failure 不可	failure 不可	excellence 優

\*microwavable retortable pouch with steam release function, Non-Al laminated film.

\*\*conventional retortable pouch, Al laminated film.

### 3. 分粥の程度、出力、袋サイズが、噴出に与える影響

分粥の程度、出力、袋サイズを変更した場合、噴出に与える影響を調べた。分粥の程度は全粥、七分粥、五分

粥、三分粥とし、電子レンジの出力は200W、600W、1,000W、1,600Wとし、袋のサイズは横×高さ×幅が150×140×41および150×160×41 (mm) の2種類とした。マイクロ波加熱を3分間の設定でスタートし、スタートから開口する迄の時間、開口後から内容物が噴出する迄



表2 水分量の違いによる白粥の物理特性

Table 2 Physical property of rice porridges with different water content

Rice : Water ratio (by volume) 米 : 水 (容量比)	Commonly used name 俗称	Viscosity of finished product 出来上がりの粘度
1 : 5	Zengayu 全粥	sticky, on the hard side ねっとりして、固め
1 : 7	Nanabugayu 七分粥	regular porridge, softer, smoother 一般的な粥、さらりとしている
1 : 10	Gobugayu 五分粥	a very soft pasty かなり汁気がある
1 : 20	Sanbugayu 三分粥	high fluidity 流動性大

の時間や温度を測定することで、噴出に与える影響を調べた。

#### 4. 噴出抑制法の探索

##### 1) 製造法改良の場合

使用する原料の米と水を変え噴出抑制できないか調べた。

①吸水後の乾煎り米：米を水に1時間浸漬、水切り後、フライパンにて乾煎り。②炊飯米：米を水に1時間浸漬、水切り後、炊飯した米。③炊飯米の水洗：米を水に1時間浸漬、水切り、炊飯、水洗、水切りした米。④精米度合：精白米の精米度合を高めた米（商品名ミネラルこしひかり：有度米穀にて精米）。⑤硬水：注液に硬水のミネラルウォーター（エビアン：エビアンカルピス伊藤忠ミネラルウォーター（株））。⑥発芽玄米：発芽玄米（GEN：（株）横手産業支援センター）。⑦もち米：原料米にもち米（（株）神明）。いずれも七分粥とし600Wで噴出の程度を調べた。

##### 2) 澱粉添加の場合

澱粉を添加した場合に噴出が抑制できないかを調べた。

①上新粉（（株）向井珍味堂）の添加濃度0.5%、2%、4%、②バレイショ澱粉（（株）山本貢資商店）の添加濃度0.5%、2%、4%、③白玉粉（北尾商事（株））の添加濃度2%、④本くず（（株）山本貢資商店）添加濃度2%となる

よう注液を調製した。いずれも一度沸騰させた後、注入して七分粥を製造し600Wで噴出の程度を調べた。

##### 3) 消泡的役目のある成分添加の場合

注液に消泡的役目のあるものを添加して噴出が抑制できないかを調べた。

①レシチン（キューピー（株）ヨークランPL）0.5%、②ビタミンE 0.05%、③植物油0.5%、④胚芽油含有製品（昭和産業（株）お釜にボン）0.5%、⑤消泡剤O-50D（三菱化学フーズ（株）デカグリセリンオレイン酸エステル）0.01%を、それぞれの濃度で添加して七分粥を製造し600Wで噴出の程度を調べた。

##### 4) 塩類の添加

注液に食品添加物用塩類を添加して噴出が抑制できないかを調べた。

①塩化マグネシウム0.05%、0.375%、②硫酸カルシウム0.5%、2%、③塩化カリウム0.5%、1%、④塩化ナトリウム0.5%、1%を、それぞれの濃度で添加して七分粥を製造し600Wで噴出の程度を調べた。

##### 5) になり、海水の添加

5社の市販になり製品（表5参照）を用い最適添加濃度を検索した。米の吸水量、になり添加量を差し引いた容量の沸騰水を注入した。海水（沖縄県平安座島沖で採水）は5%添加した。いずれも七分粥を製造し600Wで噴出確認を行った。

## 5. 中性子ラジオグラフィーを用いた泡噴出の様子の可視化

容器からの白粥の噴出はマイクロ波加熱時にしか起きない。そのため、マイクロ波照射中の泡の様子を可視化することで、新たな知見の獲得を試みた。

電子レンジはマイクロ波が外部に漏れないよう遮蔽構造をとっているため、作動中の扉が閉まった状態では、レンジ内部を外から鮮明に見ることはできず、通常のCCDカメラでは内部の様子を鮮明に撮影できない。

そこで、中性子ラジオグラフィーによる泡の可視化を行った。

日本原子力研究開発機構の東海研究所のJRR-3中性子ラジオグラフィー装置を使い、イメージインテンシファイヤーを用いたCCDカメラで、30コマ/秒、シャッタースピード1/1,000秒にセットし、電子レンジで600W加熱しながらの内容物の挙動を撮影した。神戸大学工学部機械工学科の竹中信幸教授に撮影していただいた。

## V. 結果

### 1. 分粥の程度、出力の違いによる噴出時間や温度

米の割合を変えた粥を製造し、電子レンジ加熱した場合の結果を表3に示した。

表3 分粥での噴出時間

Table 3 The Spout time in various pouched porridges

rice : water (volume ratio) 米 : 水 (容量比)	Commonly used name 俗称	Spout time* (sec.) 噴出時間 (秒)
1 : 5	Zengayu 全粥	23~Not spout out 23~噴出せず
1 : 7	Nanabugayu 七分粥	5~17
1 : 10	Gobugayu 五分粥	3~8
1 : 20	Sanbugayu 三分粥	7~12

\*開口から噴出するまでの時間

The time it took to boil over since a hole opened.

米の割合により、開口後から噴出迄の時間の差はあるものの、いずれの割合でも噴出することが分かった。

米の割合の多い方が、開口後噴出する迄の時間が長い傾向にあったが、いずれにせよ、米の割合や電子レンジの出力に関係なく、白粥は噴出することが判明した。

噴出時の温度は、電子レンジの出力、米の割合に関係なく100~104℃だった。

### 2. 袋のサイズ

2種類の袋の間には、ほとんど差がなく、袋のサイズと白粥噴出は無関係であった。

### 3. 噴出抑制法の探索結果

#### 1) 製造法改良の効果

白粥のため、使用できる原料に限られる。さらに、出来上がり製品の色も白色でなければならない。なるべく添加物を加えず、米と水のみで噴出を解決できないか検討した。

吸水後の乾煎り米、炊飯米、炊飯後に水洗したもの、表面を多く削った米、発芽玄米、もち米、硬水を用い検討したが、いずれも噴出した。特に炊飯後に水洗したもの、発芽玄米の噴出がひどく、もち米の噴出程度は軽い傾向だった。

#### 2) 澱粉添加の効果

粘度が関係しているのではないかと推定し、米の主成分である澱粉添加でどう変化するか調べた。パレイショ澱粉

4%, 本くず2%を添加したものは噴出しなかった。しかし、団子状となり、白粥と呼べるような状態ではなかった。

### 3) 消泡的役目のある成分添加の効果

泡の破れにくさが噴出原因と推察されたので、気泡の破泡促進を狙い、消泡的役目のあるものを添加した。

レシチン、ビタミンE、植物油、胚芽油、消泡剤を添加した。これら全てにおいて、開口後から60秒間経過しても噴出しなかった(表4参照)。しかし、消泡剤を除くこれらを白粥に添加すると、やや黄色みを帯びた。したがって、上記物質の添加は、消費者が購入にあたり抵抗感を抱くかもしれない。

### 4) 塩類添加の効果

塩化マグネシウム0.375%, 硫酸カルシウム2.0%, 塩化カリウム1.0%, 塩化ナトリウム1.0%添加した場合、

開口から噴出迄の時間は60秒以上あり、噴出抑制効果が期待できた。しかし、いずれも味に影響を及ぼし、にがい、えぐいといった味となるため、単体で用いることは実用的でない。

### 5) にがり、海水の添加効果

色や味に与える影響が少なく、気泡の破泡を促進させるにがり製品および添加濃度を検討した結果、「沖縄のにがり」(粗製海水塩化マグネシウム:販売者 沖縄物産企業連合)を内容総量に対して0.25%添加した場合に、色調や味に影響を与えずに噴出抑制できることが分かった。

対照となる無添加の白粥E-RP詰は、加熱開始から貫通孔開口迄の時間は125秒、開口後から内容物が噴出迄の時間は5秒であった。「沖縄のにがり」を0.25%添加した場合、600Wで加熱開始から貫通孔開口迄の時間は

表4 E-RP詰白粥における食品添加物の噴出抑制効果

Table 4 Effect of food additives on prevention to spout of rice porridge from E-RP pouch

Additive 添加物	Concentration (%) 添加濃度	The open time* (sec.) 開口時間 (秒)	The spout time** (sec.) 噴出時間 (秒)
Additive-free 無添加	-	125	5
Vitamin E ビタミンE	0.05	137	Not boil over 噴出せず
Lecithin レシチン	0.5	65	Not boil over 噴出せず
Germ oil 胚芽油 (炊飯改良剤)	0.25	137	Not boil over 噴出せず
Vegetable oil 植物油	0.25	131	Not boil over 噴出せず
Antifforming agents 消泡剤	0.01	121	Not boil over 噴出せず
Bittern にがり	0.25	118	55
Seawater 海水	5.0	86	53
Magnesium chloride 塩化マグネシウム	0.05	115	44

\*加熱開始から開口迄の時間。600W加熱時。

The time before the pouched rice porridge's hole opening from heating start. Output of 600W in a microwave oven.

\*\*開口から噴出迄の時間。

The time it took to boil over since a hole open.



118秒、開口後から内容物噴出迄の時間は55秒であった(表4参照)。

海水を5%添加したものは、開口後から53秒間、噴出迄の時間を延長させることができた。

にがり、海水を添加することが効果的であることが分かったので、にがり中のどの成分が噴出抑制に効果を発揮するのかを調べるため、市販のにがり製品の主要な無機物を測定した。その結果を表5に示した。

にがりには、一般的に、塩化マグネシウムを主成分とし、カリウム、カルシウム等のミネラルを含んでいる。市販

品では、ナトリウム濃度は0~約3%、マグネシウム濃度は約1~約5%の範囲でばらついていた。最も噴出抑制効果のあった「沖縄のにがり」ではナトリウムとマグネシウムの濃度が高かった。

噴出抑制に寄与率の高い無機成分イオンを探す実験を次のように行った。

6) にがり中の個々の成分と噴出抑制効果

七分粥に「沖縄のにがり」0.25%添加と同程度の陽イオンモル濃度となるように標品を添加し、開口後から噴出迄の時間を調べて表6に示した。

表5 市販のにがり製品の無機組成

Table 5 Inorganic composition of commercial "Nigari" (bittern) products

Inorganic components 無機成分	"Nigari" Products				
	A*	B	C	D	E
	A社	B社	C社	D社	E社
Sodium ナトリウム	2870	-	-	2380	470
Magnesium マグネシウム	3780	3210	3890	4710	850
Potassium カリウム	316	952	1140	1200	230
Calcium カルシウム	23	14	16	-	2

\*A shows Nigari made in Okinawa's company, otherwise each letter shows product of different company.

表6 E-RP 詰白粥の噴出時間における無機塩類添加の効果

Table 6 Effect of addition of some inorganic salts on the spout time of rice porridge packed in E-RP pouch

The additive 添加物	The addition concentration (mg/100 g) 添加濃度	Cation molarity after dissociation (mmol) 解離後の陽イオンモル濃度	The spout time (sec.) 噴出時間 (秒)
NaCl	18.5	3.2 as Na <sup>+</sup>	5
MgCl <sub>2</sub>	37.5	3.9 as Mg <sup>2+</sup>	32
KCl	1.5	0.2 as K <sup>+</sup>	5
CaSO <sub>4</sub>	0.2	0.0015 as Ca <sup>2+</sup>	12

表7 E-RP 詰白粥の噴出抑制に効果的な無機塩類濃度

Table 7 Effective concentration of some inorganic salts to prevent spouting of rice porridge packed in E-RP

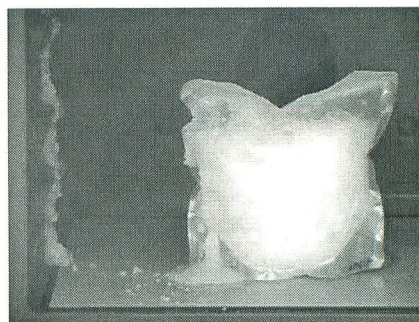
The additive 添加物	The addition concentration (mg/100 g) 添加濃度	Cation molarity after dissociation (mmol) 解離後の陽イオンモル濃度	The spout time (sec.) 噴出時間 (秒)
NaCl	1000	170.9 as Na <sup>+</sup>	61
MgCl <sub>2</sub>	50	5.2 as Mg <sup>2+</sup>	44
KCl	500	67.0 as K <sup>+</sup>	62
CaSO <sub>4</sub>	500	36.7 as Ca <sup>2+</sup>	45

塩化マグネシウムを添加したものは、他の成分を添加したものに比べ、はるかに微量で抑制効果のあることが分かった。この結果から、噴出抑制にはにがり中のマグネシウムの寄与率が高いと推定した。

次に、七分粥において「沖縄のにがり」0.25%添加と同程度の噴出抑制効果（開口後から噴出迄30秒間以上噴出を抑制）を示す、標品の添加濃度を調べた。その結果と解離後の陽イオンモル濃度を表7に示した。各添加物を表7の濃度で添加した場合、開口後噴出に至る迄の平均時間も示した。開口後噴出に至る迄の平均時間は、いずれも30秒以上だった。塩化ナトリウムは平均61秒間と長かったが、添加濃度は1,000mg/100gと高く、そのままでは塩辛く食べられなかった。塩化マグネシウムは添加濃度50mg/100gと、他3成分と比べて低濃度でありながら平均44秒間だった。少量で噴出抑制効果を示したマグネシウムが、噴出抑制に寄与していると推察した。

#### 4. 中性子ラジオグラフィーを用いた泡噴出の可視化

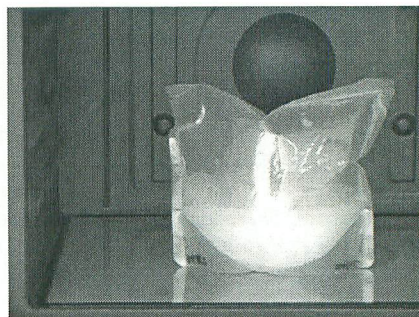
中性子ラジオグラフィーでは水素が多いほど暗く写るので、水の動きを見ることができる。これを利用して、マイクロ波照射中の容器詰食品内の様子を撮影した<sup>2)</sup>。図3は、にがり無添加の対照品を600Wで加熱し貫通孔が開口後、30秒が経過した直後に扉を開けて、デジタルカメラで撮影した写真である。同条件下で、にがり添加品を撮



Spout occurred.

図3 電子レンジで加熱したE-RP 詰白粥噴出

Fig. 3 Rice porridge packed in E-RP heated in microwave oven.

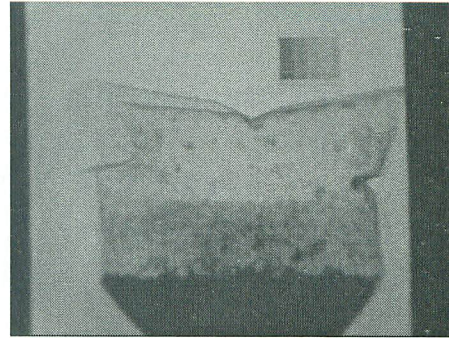
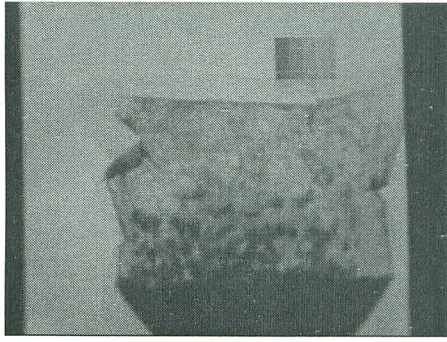


No spout occurred.

図4 電子レンジで加熱したE-RP 詰にがり添加白粥噴出せず

Fig. 4 Rice porridge with added "Nigari", bittern packed in E-RP heated in microwave oven.





左：にがり無添加製品噴出の様子。右：にがり添加製品は噴出せず。黒影は米粒を示す。泡は米粒を上部まで巻き上げた。  
Left : Product without Nigari showed the spout. Right : Product with Nigari, spout did not occurred.  
Dark shadow shows rice grains. Form raised up ricegrains to the top of pouch.

図5 600W電子レンジ加熱中におけるレトルトパウチ詰白粥の中性子ラジオグラフィー画像  
Fig.5 Neutron radiography of rice porridges in retort pouch heated in microwave oven at 600W.

影した写真が図4である。図3から噴出の様子が分かる。

図5は、にがり無添加の対照品を600Wで加熱中に中性子ラジオグラフィーで撮影した映像の1コマである。黒い部分は厚みのある米粒である。最下部には米粒が沢山あるが、泡が立ち上がり始めると、泡が米粒を巻き上げ、泡と一緒に貫通孔から米粒が噴出する様子が撮影できた。図4と図5(左)は、同一内容物である。図5(右)は、にがりを添加した白粥E-RP詰の電子レンジ加熱中の様子を示した。

撮影の結果、マイクロ波加熱により、まず袋上端部の内容物が殆ど存在しない部分から加熱され、加熱が進むと減圧沸騰が起り、泡が突然発生することが分かった。にがり添加の場合は、膜の強さが変わっているように見られた。白粥の場合、個々の泡が単独したバブリング状態ではなく、幾重にも泡が重なりあったフォーミング状態であった。

## VI. 考察

### 1. 加熱時間

うるち米の澱粉が糊化する温度範囲は61~77.5℃のため、約80℃まで加温しなければ、ご飯や白粥はおいしく食べることができない。人が電子レンジを使う理由は、

短時間でご飯や白粥を約80℃以上まで加温し、おいしく食べるためである。白粥200g入りE-RP詰の場合、600Wで80℃超となるのは加熱開始後から80~90秒後である。したがって、90秒以上あれば白粥200g入りE-RP詰はおいしく食べることができる。表4に示したように、そのにがり無添加では、加熱開始から開口迄に約120秒かかり、おいしく食べられる90秒後には、まだ開口していない。開口以前に加熱を停止させれば問題がないように思われるが、開口後わずか5秒で内容物が噴出する。このわずか5秒というのが問題である。

にがり添加品では、開口後から内容物噴出迄55秒間あるため、上記問題を解決することができた。

## 2. 噴出メカニズムの推定

### 1) タンパク質について

タンパク質は細胞壁やプロテインボディーと呼ばれる部分に含まれ、全てのデンプン粒を包んでいる<sup>3)</sup>。白米にはタンパク質が6%含まれている。その中には性質の異なるグルテリン、アルブミン、グロブリン、プロラミンの4種類が含まれており、グルテリンが最も多い。プロテインボディーは澱粉粒と混在している。プロテインボディーは炊飯後もタンパク顆粒として残るとの報告がある<sup>4)</sup>。タンパク質には起泡性があるため、噴出の一要素

因であると推察する。

## 2) 粘性多糖類について

平成10年に、中国農業試験場品質特性研究室が、冷水可溶の新規粘性多糖物質がジャポニカうるち米に15%含有することを発見した<sup>5)</sup>。分子量数万～数百万で結晶度の低い低分子の水溶性アミロペクチンの物質らしいということが報告されている。この粘性多糖類も白粥噴出の一要因と考えられる。

## 3) 白粥のマイクロ波加熱と湯煎による違い

湯煎では長時間加熱しても、起泡や噴出は起こらない。わずか1～2分間で80℃に到達するような急激なマイクロ波加熱が、起泡や噴出の原因ではなからうか。電子レンジ中に放出されるマイクロ波は、1秒間に24億5,000万回も電界の向きが反転する。その急激な反転に合わせ、食品中のわずかに+と-の電気を帯びた水分子は回転しようとするが、水はそのような速さで動けないので、水と水の分子がぶつかり合い摩擦が生じ摩擦熱が生じ、温度が上昇する。この急激な温度上昇が泡立ちの引き金と考えられる。

## 4) 泡の薄化過程の概念と白粥の泡

泡は、内側は気体、外側の膜部分は液体である。一般的に、気泡が浮上し泡沫となった場合、泡沫同士が合一し泡は大きくなり、さらに、大きな泡同士が合一してより大きな泡となる。泡が大きくなると膜厚は薄くなり、やがて破けて泡は消滅するという過程を辿る。ところが、E-RP 詰の白粥は泡が大きくなっても破泡しない。

気相と水相の界面付近にタンパク質が存在した状態で、エネルギーが加わると泡沫が生じる<sup>6)</sup>。E-RP 白粥は、まさにマイクロ波をエネルギーとした状態にあると言え、泡沫が生じやすい。エネルギーが継続的に与えられる過加熱状態では、泡は消滅しにくいと言える。

## 5) 噴出抑制の推定されるメカニズム

白粥噴出のメカニズムは次のように推定した。白粥を

電子レンジにかけると、マイクロ波により急激に加熱される。そのため、タンパク質や澱粉周辺の水の動態変化が急激に起こり<sup>7)</sup>、タンパク質と粘性多糖類が複合した粘着性の気泡が生成する。そこへ、澱粉分子も付着し泡の膜の粘着性が増大し膜が破けにくくなるため、泡の上に泡が積もり、米粒を巻き上げながら噴出する。

豆乳ににがりを添加し豆腐として固める。これは視点を換えれば、豆乳中の水分がにがりにより排除され固まる。白粥ににがりを添加した場合も同様の現象が起ると考えられる。よって、噴出抑制メカニズムは次のように推定する。

泡の膜に、にがり中のマグネシウムが入り込むと、泡立ちに関与していた膜中の水分子が排除され、泡がもろく破泡しやすくなり、噴出が抑制される。

白粥へのにがり添加は、消費者に抵抗なく受け入れられるのではないか。また、海水でも効果があったことから、海水を希釈して使い“沖縄の海水で炊きあげたお粥”という、うたい文句にすればさらにイメージが良いのではなからうか。

## VII. 参考文献

- 1) 東洋製罐(株)：技術資料より引用。
- 2) 竹中信幸：泡のエンジニアリング(中性子線計測)、(株)テクノシステム、(2005)。
- 3) 倉沢文夫：米とその加工、(株)建帛社、(1984)。
- 4) 齋尾恭子：食総研報、58、1～6、(1994)。
- 5) 堀野俊郎他：公開特許公報 特開平10-234315 米から抽出できる水溶性の新規糖質
- 6) 北島直文：日本農芸化学会誌、65、147～152、(1991)。
- 7) 肥後温子・野口 駿：日本食品科学工学会誌、45、426～434、(1998)。