

## <その2> 食品用器具・容器包装に使用される添加剤に対する 電子レンジ使用時のマイクロ波の影響

研究協力者 阿部 裕  
研究協力者 山口 未来  
研究協力者 片岡 洋平  
研究代表者 六鹿 元雄

国立医薬品食品衛生研究所  
国立医薬品食品衛生研究所  
国立医薬品食品衛生研究所  
国立医薬品食品衛生研究所

### A. 研究目的

近年、電子レンジが広く普及したことにより、コンビニエンスストアやスーパーマーケットなどでは、電子レンジを利用してその場で、または持ち帰って温めて食べる商品の取り扱いが大幅に増えている。

電子レンジは、電気でマイクロ波を発生させ、そのマイクロ波が食品などに含まれる水分子を振動させることにより発熱させる、いわゆる誘電加熱により食品を温める電化製品である。一般的な使用条件では、加熱されるのは主に食品中の水分であることから、加熱後の食品の温度は水の沸点である100°Cを大きく超えることはない。

実際に我々が令和元年度の食品健康影響評価技術研究において、コンビニエンスストアで販売されている弁当や冷凍食品約35種類を対象に、蛍光式光ファイバー温度計を用いて電子レンジ加熱調理中の食品接触面の温度を測定した結果、最終的な温度は50~100°Cとなり、加熱調理途中で100°Cに到達しても加熱調理終了まで100°Cのままであった<sup>1)</sup>。一方、サセプター（アルミニウムの薄膜を合成樹脂フィルムに蒸着または貼り付けることでマイクロ波を吸収し、誘導加熱の原理により高温で加熱する）を用いたポップコーンやピザなどの製品では100°Cを超えることがあった。

Alinらはポリプロピレン（PP）製品にマイクロ波を照射したところ、酸化防止剤の

Irgafos 168 や Irganox 1010 の分解が認められ、さらに、油性食品の食品擬似溶媒としてイソオクタン（エタノールを10%含む）を用いた場合に製品が著しく膨潤し、overall migrationの量が大幅に増加することを報告している<sup>2)</sup>。しかし、この報告におけるマイクロ波の消費電力（ワット（W）数）および照射時間は、一般的な使用条件と比べて過酷な条件を用いていた。

坂本らは、ポリスチレン製使い捨て弁当容器に含まれる酸化防止剤の2,6-di-tert-butyl-p-cresol（BHT）が電子レンジ加熱によってサラダ油に溶出し、さらに加熱時間が長くなると溶出量が増加することを報告している<sup>3)</sup>。また尾崎らは、PP製の弁当容器を電子レンジ加熱すると、容器中の酸化防止剤やその分解物が食品へ移行すること、容器中の酸化防止剤の量が減少することなどを報告している<sup>4)</sup>。これらの報告における電子レンジ加熱による変化の要因として、マイクロ波照射による直接的な要因と食品および容器の温度上昇による副次的な要因が考えられるが、マイクロ波を照射した際の温度の上昇は避けることができないため、変化の要因に関する詳細な検討までは行われていない。

一方、河村らは、食品がガンマ線や電子線などの放射線照射を受ける際に食品包装材も同時に放射線照射を受けることに注目し、ガンマ線の合成樹脂製包装材への影響につ

いての検討を行っている。その結果、合成樹脂に使用される酸化防止剤や紫外線吸収剤そのものに対してガンマ線照射による影響は見られなかったが、PP やポリエチレンなどに含有されている添加剤については照射によって分解の促進や合成樹脂とのクロスリンクが形成される可能性があること、添加剤等の溶出挙動に変化が生じること、照射により酸、アルデヒド、ケトン、アルコールなどが生成することを報告している<sup>5-7)</sup>。

そこで本研究では、電子レンジの一般的な使用条件におけるマイクロ波の電子レンジ用合成樹脂製品に使用される添加剤、ならびに製品中に含有される物質に対する影響について、温度上昇を要因とする影響をできるだけ排除したうえで検証した。

## B. 研究方法

### 1. 試料

予備検討には市販の PP 製器具容器包装 16 検体を用いた。このうち 4 検体 (PP1~PP4) を試験に用いた。内訳は保管容器 (PP1)、調理器具 (PP2)、お椀 (PP3)、弁当箱の内側の区切り部分 (PP4) 各 1 検体である。いずれも電子レンジで使用可能と表示されており、耐熱温度は 120°C または 140°C であっ

た。これらはインターネット等で購入した。

## 2. 試薬等

### 1) 試薬

水：特に記載のない場合は、オルガノ社製ピューリック<sup>®</sup>で製造した超純水を用いた。

ヘキサン、ジクロロメタン：残留農薬・PCB 試験用、2-プロパノール：HPLC 用、イソオクタン：特級、純度 >99.0%、ギ酸：LC/MS 用、純度約 99%、1 mol/L ギ酸アンモニウム溶液：HPLC 用、以上富士フィルム和光純薬株式会社製

アセトン：残留農薬・PCB 分析用、シクロヘキサン：HPLC 用、以上シグマアルドリッチジャパン製

メタノール：LC/MS 用、純度 >99.8%、関東化学株式会社製

### 2) 標準品

本研究で用いた添加剤の標準品に関する情報は表 1 にまとめた。

### 3. 装置

電子レンジ：業務用 (温度センサーを挿入できるように上部に 4 カ所穴あけ加工したもの)、NE-1802 (パナソニック株式会社製)

表 1 本研究で用いた添加剤

化合物名 (化学名)	種類	CAS No.	販売元*	純度**	保持時間 (min)	GC-MS		
						定量イオン (m/z)	確認イオン (m/z)	
2,6-ジ- <i>tert</i> -ブチル- <i>p</i> -クレゾール	BHT	酸化防止剤(フェノール系)	128-37-0	A	> 99.0%	4.77	205	220, 145
3-(3,5-ジ- <i>tert</i> -ブチル-4-ヒドロキシフェニル)プロピオン酸ステアリル	Irganox1076	酸化防止剤(フェノール系)	2082-79-3	A	> 98.0%	13.11	530	515, 219
1,1,3-トリス(2-メチル-4-ヒドロキシ-5- <i>tert</i> -ブチルフェニル)ブタン	Topanol CA	酸化防止剤(フェノール系)	1843-03-4	B	-	13.38	339	544, 205
3,3'-チオジプロピオン酸ジドデシル	DLTDP	酸化防止剤(チオール系)	123-28-4	A	> 90.0%	13.17	143	514, 329
3,3'-チオジプロピオン酸ジミリスチル	DMTDP	酸化防止剤(チオール系)	16545-54-3	A	> 94.0%	14.36	143	357, 178
垂リン酸トリス(2,4-ジ- <i>tert</i> -ブチルフェニル)	Irgafos168	酸化防止剤(リン酸系)	31570-04-4	A	> 98.0%	12.55	441	147, 191
2-ヒドロキシ-4-メチルキソベンゾフェノン	Seesorb101	紫外線吸収剤	131-57-7	A	> 99.0%	7.50	227	151, 105
2-(2-ヒドロキシ-5-メチルフェニル)ベンゾトリアゾール	Tinuvin P	紫外線吸収剤	2440-22-4	A	> 99.0%	7.65	225	168, 196
フタル酸ビス(2-エチルヘキシル)	DEHP	可塑剤	117-81-7	A	> 98.0%	9.67	149	167, 279
O-アセチルケエン酸トリブチル	ATBC	可塑剤	77-90-7	A	> 97.0%	8.55	185	259, 129
モノバルミチン	MP	界面活性剤	542-44-9	A	> 95.0%	9.55	239	299
オレイン酸アミド	OA	滑剤	301-02-0	C	-	8.97	59	72

\*A: 東京化成工業株式会社、B: シグマアルドリッチジャパン、C: 富士フィルム和光純薬株式会社

\*\* -: 表示なし

恒温槽：ST-120 (エスベック株式会社製)  
蛍光式光ファイバー温度計：AMOTH FL-2000 (安立計器株式会社製)

ガスクロマトグラフ-質量分析計 (GC-MS)：7890 GC, 5975C MSD (Agilent Technologies 社製)

超高速液体クロマトグラフ-質量分析計 (UPLC-MS)：UPLC H-class plus, Xevo TQD (日本ウォーターズ株式会社製)

#### 4. マイクロ波処理

添加剤 (100 mg)、もしくは約 5 mm 角または約 1×2 cm に切断した試料をガラス製時計皿に採り、電子レンジに入れ 500W で 1 分間マイクロ波を照射した。室温で放冷後、同様の操作を 2 回繰り返し、計 3 回マイクロ波を照射 (500W・1 分間×3 回) した。

#### 5. 測定条件

##### 1) GC-MS

カラム：DB-5MS (15 m×0.25 mm, 膜厚 0.1 μm, Agilent Technologies 社製)

オーブン：50°C → 20°C/min 昇温 → 320°C (15 分間保持)

キャリアーガス (流量)：He (1 mL/min)

注入口温度：250°C

注入方式：スプリット (スプリット比 10:

1)

トランスファーライン温度：280°C

MS イオン源温度：230°C

MS 四重極温度：150°C

測定モード：SIM モード

定量イオン：表 1 に示した。

##### 2) UPLC-MS

カラム：ACQUITY UPLC BEH C8 1.7 μm (2.1×100 mm, 日本ウォーターズ社製)

A 液：1 mM ギ酸アンモニウム 0.1%ギ酸

水溶液

B 液：1 mM ギ酸アンモニウム 0.1%ギ酸含有メタノール

グラジエント：B 75% → 10 分間 → B 100% (6.5 分間保持) → 0.1 分間 → B 75% (3.9 分間保持)

流速：0.25 mL/min

カラム温度：40°C

オートサンプラー温度：10°C

注入量：5 μL

Desolvation gas 温度：500°C

Desolvation gas 流量：1000 L/min

Cone gas 流量：50 L/min

Cone 電圧：40 V

測定イオンモード：ポジティブモード

定量イオン ( $m/z$ )：647 (Irgafos 168), 663 (Irgafos 168 酸化物)

#### 6. 添加剤の分析

添加剤およびマイクロ波処理した添加剤をアセトンで洗いこみながら全量を 50 mL 容のメスフラスコに移した。さらにアセトンを加えて 50 mL に定容した。この液をアセトンで 100 倍に希釈したものを試験溶液とし GC-MS で測定した。

#### 7. 製品中の含有物の分析

約 5 mm 角に切断した試料またはこれをマイクロ波処理したものを 0.2 g 採り、20 mL 容褐色ガラス瓶に入れ、シクロヘキサン・2-プロパノール (1:1) 混液 (CH・2PrOH 混液) を 4 mL 加え、40°C で一晩静置した。室温に戻した後、ろ過してろ液および CH・2PrOH 混液による洗液を 5 mL 容メスフラスコに移し、さらに CH・2PrOH 混液を加え 5 mL に定容したものを試験溶液とし、測定は GC-MS の SIM モードで行った。

## 8. 製品からの溶出物の分析

### 1) 溶出試験

約 1×2 cm に切断した試料またはこれをマイクロ波処理したものに金属製のクリップを付け、あらかじめ 60℃ に加温した 8 mL の水またはイソオクタンに入れ、水の場合は 95℃・30 分間、イソオクタンの場合は 60℃・90 分間水浴中で加温した。その後、すみやかに試料を取り出し、試験溶液とした。なお、空試験としてクリップのみで同様の操作を行った。

### 2) 測定

試験溶液が水の場合は UPLC-MS の SIR モード、イソオクタンの場合は GC-MS の SIM モードで測定した。

## C. 研究結果及び考察

### 1. マイクロ波処理条件の検討

合成樹脂やガラス等はマイクロ波をほとんど吸収しないが、一部の添加剤や空気中の水分はマイクロ波を吸収して発熱するため、マイクロ波を照射した際の温度の上昇は避けることができない。実際に空の時計

皿の表面に温度センサーを固定し、一般的な消費電力である 500W でマイクロ波処理したところ、徐々に温度が上昇し、1 分後に約 50℃、3 分後に約 80℃、5 分後には約 100℃ となった (図 1)。

一方、コンビニエンスストアなどで販売されている弁当の大部分の加熱時間は 2~6 分程度である<sup>1)</sup>。一部の PP 製の弁当箱やコップなどには、「電子レンジ加熱は 500W で 2 分まで」や「500W で 30 秒間まで」などと記載されているものもあった。

本研究では、一般的な使用におけるマイクロ波の影響を確認することを目的としていることから、できるだけ温度上昇による影響を排除するため、対象物質または試料に対し温度が 50℃ 未満の条件下で 3 分間マイクロ波を照射することとした。そのため連続したマイクロ波照射 (500W) の時間は 1 分間とし、その照射を 3 回繰り返すこととした。すなわち本研究では、電子レンジで 500W・1 分間のマイクロ波を照射して電子レンジから取り出し、室温で放冷後、同様の操作を 2 回繰り返してマイクロ波処理とした。

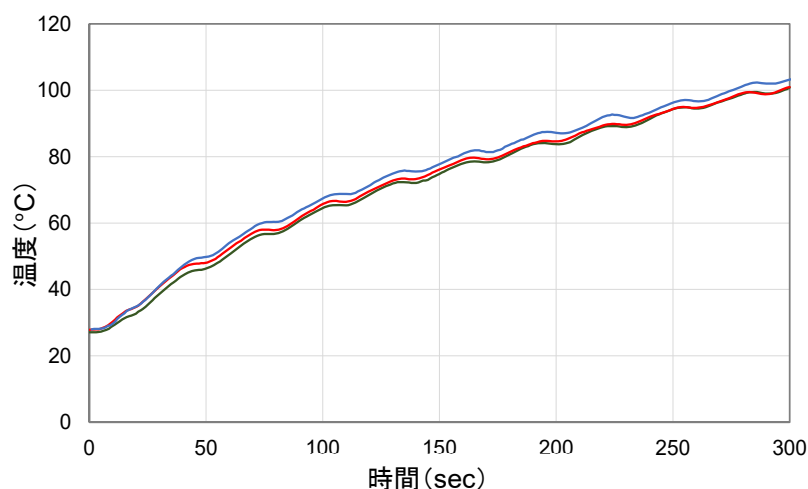


図 1 マイクロ波処理 (500W) による時計皿の表面温度変化 (n=3)

## 2. 添加剤に対するマイクロ波の影響

### 1) 代表添加剤の選択

合成樹脂製の器具・容器等のうち、電子レンジで使用できるものはほとんどが PP 製である。コンビニエンスストアで販売している弁当の中には、ポリスチレン (PS) と記載された商品もあるが、ほとんどは、食品接触面は PP となっている多層材である。そこで、過去の報告<sup>4)9)</sup>や、本研究報告書の〈その1 合成樹脂製器具・容器包装に含有される非意図的添加物質の探索〉において検出された添加剤等の中から、酸化防止剤6種 (フェノール系3種、チオール系2種、リン酸系1種)、紫外線吸収剤2種、可塑剤2種、界面活性剤1種および滑剤1種を選択し、これらを代表添加剤とした。代表添加剤の名称、CAS No.、販売元、純度などは表1にまとめた。

### 2) マイクロ波処理による影響の確認

代表添加剤およびマイクロ波処理 (500W・1分間×3回) した代表添加剤を

GC-MS で測定し、それぞれの定量イオンのピーク面積値を求め、未処理のピーク面積値を100として比較した (図2)。その結果、いずれの添加剤においても有意な差 ( $p > 0.05$ ) はなく、マイクロ波処理による変化は認められなかった。さらに、マイクロ波処理した代表添加剤から得られた試験溶液を GC-MS のスキャンモードで測定し、クロマトグラムを確認したところ、いずれの添加剤においても分解物等のピークは確認されなかった。したがって、一般的な使用条件では、マイクロ波は添加剤に対して直接影響を与えないと考えられた。

## 3. 製品に対するマイクロ波の影響

河村らは合成樹脂製品へのガンマ線照射により、一部の添加剤の減少、溶出挙動の変化が生じたことを報告している<sup>5,6)</sup>。そこで、電子レンジで使用可能な PP 製品を対象に、一般的な使用を想定したマイクロ波処理の有無により製品中の添加剤の含有量および溶出量に変化が生じるかの確認を行った。

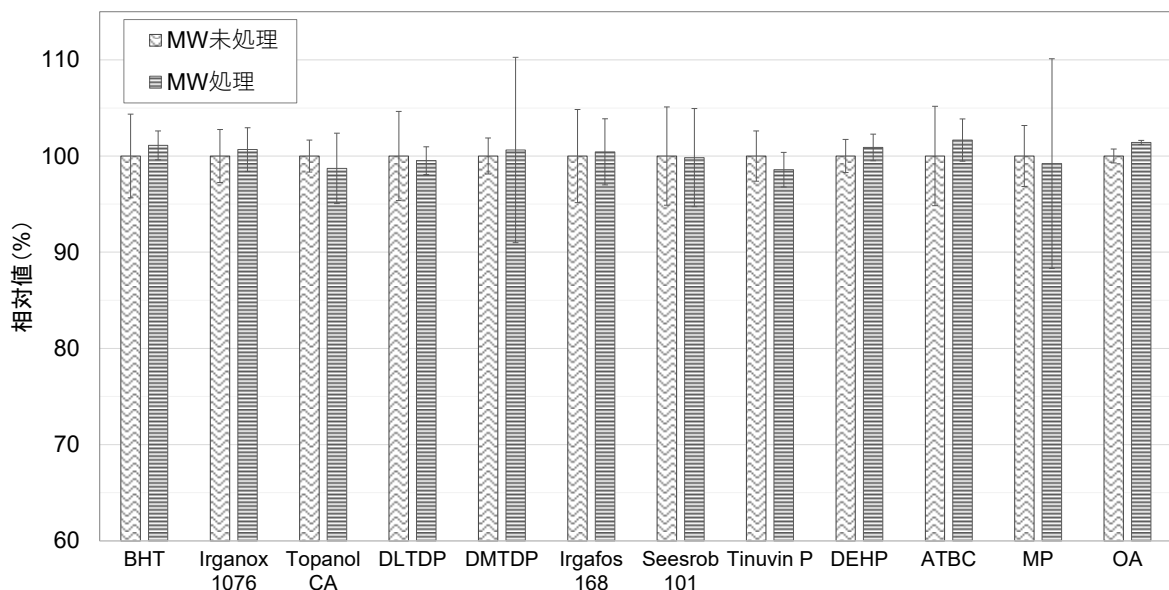


図2 マイクロ波処理による添加剤への影響

数値は、各化合物のマイクロ波未処理のピーク面積値を100としたときの相対値 (n=3)

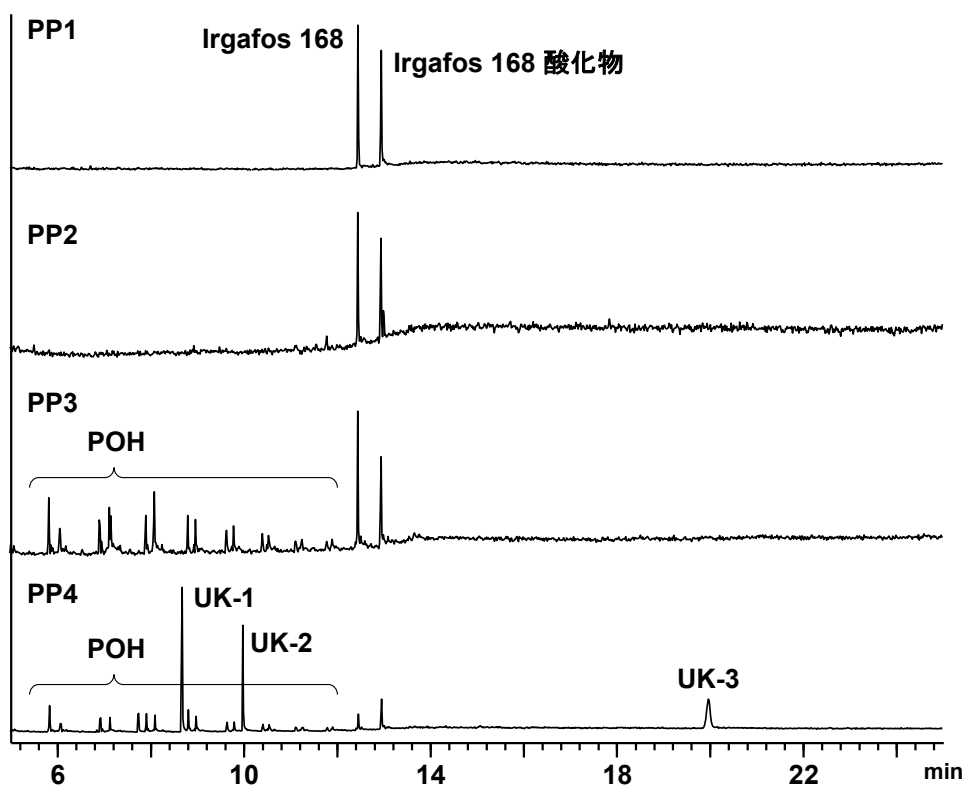


図3 PP製品から得られた試験溶液の代表的なトータルイオンクロマトグラム  
POH：脂肪族炭化水素

### 1) 試料の選択

検討に用いる試料を選択するため、市販のPP製弁当箱、保存容器、コップなど16種類を入手した。これらをCH<sub>2</sub>PrOH混液により40℃で一晩抽出し、得られた抽出液をGC-MSで測定した。得られたクロマトグラムから市販製品をグループ1～3に分類した(図3)。

グループ1は、主にIrgafos 168およびその酸化物を含む製品とし、5種の製品がこれに該当した。このうち、含有量の比較ではPP1、溶出量の比較ではPP2を代表試料とし、Irgafos 168およびその酸化物の含有量および溶出量を比較した。

グループ2は、グループ1から検出されたIrgafos 168およびその酸化物に加え、＜その1 合成樹脂製器具・容器包装に含有される非意図的添加物質の探索＞と同様に、

直鎖または分岐の脂肪族炭化水素(polyolefin oligomeric hydrocarbons, POH)に由来する複数のピークが検出された製品とした。9種の製品がこれに該当し、このうちPP3を代表試料とし、Irgafos 168およびその酸化物、POHのうちピーク強度が大きかった10種類(POH-1~POH-10)を対象として、これらの含有量および溶出量を比較した。

グループ3(PP4)は、グループ2に加えて、保持時間8.68、9.98および19.98の未知ピークが検出された製品とし、2種の製品がこれに該当した。このうちPP4を代表試料とし、Irgafos 168およびその酸化物、POHのうちピーク強度が大きかった10種類(POH-1~POH-10)、3本の未知ピーク(UK1~UK3)を対象として、これらの含有量および溶出量を比較した。

表2 マイクロ波処理とマイクロ波未処理の残存量の比較

化合物	保持時間 (min)	PP1	PP3	PP4
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Irgafos 168	12.47	95 ± 1	103 ± 7	107 ± 14
Irgafos 168酸化物	12.97	96 ± 13	93 ± 9	98 ± 7
POH-1	4.64	N/A	96 ± 9	105 ± 2
POH-2	4.91	N/A	101 ± 8	104 ± 3
POH-3	5.85	N/A	97 ± 13	98 ± 2
POH-4	6.08	N/A	97 ± 10	106 ± 6
POH-5	6.94	N/A	96 ± 3	104 ± 1
POH-6	7.14	N/A	98 ± 14	97 ± 8
POH-7	7.74	N/A	N/A	104 ± 5
POH-8	7.91	N/A	92 ± 10	99 ± 4
POH-9	8.11	N/A	95 ± 6	100 ± 17
POH-10	8.81	N/A	97 ± 5	98 ± 3
UK-1	8.68	N/A	N/A	98 ± 6
UK-2	9.98	N/A	N/A	98 ± 6
UK-3	19.98	N/A	N/A	102 ± 13

数値は各化合物の定量イオンにおけるマイクロ波未処理の面積値を 100 としたときのマイクロ波処理の面積値を相対値で示したもの(%, n=3)

N/A: ピークが検出しなかったので適用外とした

定量イオン (m/z) : 71 (POH-1~POH-10), 91 (UK-1 および UK-2), 313 (UK-3)

## 2) 含有量の比較

代表試料およびマイクロ波処理 (500W・1分間×3回) した代表試料から得られた試験溶液を GC-MS で測定し、未処理の代表試料から得られたピーク面積値を 100 とし、マイクロ波処理後の面積の相対値を算出し、マイクロ波処理による含有物の量の変化の有無を確認した (表 2)。

その結果、マイクロ波処理の試料から得られた各物質の相対値は 92~107%となり、マイクロ波未処理の試料との有意な差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。さらに、マイクロ波処理した代表試料の試験溶液を GC-MS のスキャンモードで測定し、クロマトグラムを確認したところ、いずれの試料においても分解物等のピークは確認されなかった。したがって、今回検討したような一般的な使用範囲でのマイクロ波の照射であれば、

製品に含有される成分に対して直接影響を与えないと考えられた。

## 3) 溶出量の比較

### ① 溶出条件の検討

電子レンジ用器具容器包装は様々な種類の食品が使用される。電子レンジによる加熱では数分であるが、その温度は 100°C 程度まで上昇する。したがって「一般食品」および「油脂および脂肪性食品」に対して 100°C を超えて使用することを想定した溶出条件で溶出試験を行うこととした。

「一般食品」を想定した溶出条件は、食品衛生法の規格基準における溶出条件にしたがい、水を浸出用液として 95°C・30 分間とした。一方、「油脂および脂肪性食品」を想定した溶出試験は、規格基準ではヘプタンを浸出用液として 25°C・1 時間と規定され

ているが、高温での使用を想定した場合の溶出条件としては不十分と考えられた。一方、食品用器具／容器包装に関する食品健康影響評価指針においては、100℃を超えて使用するPP製品の溶出条件は、95%エタノールを浸出用液とする場合は60℃・2日間、イソオクタンを浸出用液とする場合は60℃・90分間と設定されている<sup>10)</sup>。そこで、本研究では、イソオクタンで60℃・90分間の溶出条件を用いて溶出試験を行い、マイクロ波処理による溶出量の変化の有無を確認した。

## ② 溶出量の変化

代表試料およびマイクロ波処理した代表試料から試験溶液を調製し、浸出用液が水の場合はUPLC-MSのSIRモードで、イソオクタンの場合はGC-MSのSIMモードで測定し、Irgafos 168およびIrgafos 168酸化

物のピーク面積値を比較した。またGC-MSの場合はPOH(POH-1～POH-10)およびUK-1～UK-3についても測定した。グループ1の試料は形状等を考慮してPP2を用いた。

水を浸出用液とした場合は、いずれの物質も溶出しなかった。そのため、マイクロ波処理による溶出挙動の変化の有無を確認することはできなかった。

一方イソオクタンを浸出用液とした場合は、Irgafos 168およびその酸化物がいずれも2 µg/mL程度溶出した。また、UK-3を除くその他の物質の溶出も認められた。そこで、これらのピーク面積値を比較し、マイクロ波処理による溶出挙動の変化の有無を確認したところ、いずれの物質についてもピーク面積に有意な差は認められなかった(p > 0.05) (表3)。

表3 マイクロ波処理とマイクロ波未処理の溶出量の比較

化合物	保持時間 (min)	PP2	PP3	PP4
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Irgafos 168	12.47	99 ± 4	99 ± 7	94 ± 9
Irgafos 168酸化物	12.97	96 ± 17	108 ± 20	94 ± 3
POH-1	4.64	N/A	99 ± 7	97 ± 4
POH-2	4.91	N/A	104 ± 12	105 ± 9
POH-3	5.85	N/A	98 ± 3	108 ± 7
POH-4	6.08	N/A	105 ± 9	107 ± 12
POH-5	6.94	N/A	100 ± 25	98 ± 3
POH-6	7.14	N/A	107 ± 9	94 ± 11
POH-7	7.74	N/A	N/A	103 ± 5
POH-8	7.91	N/A	93 ± 11	96 ± 9
POH-9	8.11	N/A	105 ± 10	93 ± 7
POH-10	8.81	N/A	91 ± 9	95 ± 7
UK-1	8.68	N/A	N/A	93 ± 6
UK-2	9.98	N/A	N/A	94 ± 5
UK-3	19.98	N/A	N/A	N/A

数値は各化合物の定量イオンにおけるマイクロ波未処理の面積値を100としたときのマイクロ波処理の面積値を相対値で示したもの(%, n=3)

N/A: ピークが検出しなかったので適用外とした

定量イオン(m/z): 71 (POH-1～POH-10), 91 (UK-1 および UK-2), 313 (UK-3)



このように、今回一般的な使用を想定してマイクロ波を照射したが製品に含有される成分の溶出挙動に変化はなかった。したがって、通常使用する程度のマイクロ波は製品の物性やポリマー構造に対しても、食品衛生上問題となるような影響を及ぼさないと考えられた。

#### D. 結論

電子レンジで加熱調理できる製品へのマイクロ波の影響に関する基礎的な検討を行った。本年度は、PP製品に汎用される酸化防止剤、紫外線吸収剤、可塑剤などの12種類の添加剤そのものへの一般的な使用条件でのマイクロ波照射の影響を確認した。また、PP製品中に含有される物質の残存量および溶出量の変化についても検証した。

その結果、一般的な電子レンジの使用条件でマイクロ波を照射しても、添加剤そのものへの影響、製品中の化合物の残存量および溶出量への影響は確認されなかった。以上の結果から、電子レンジの一般的な使用ではマイクロ波の影響はほとんどなく、食品衛生上の懸念はないと考えられた。

今後は、対象とする添加剤や樹脂の種類を増やして更なる検討を行うとともに、揮発性成分への影響、繰り返しマイクロ波処理したときの影響、過剰な条件で使用したときの影響等について検討する予定である。

#### E. 参考文献

- 1) 六鹿元雄ら：合成樹脂製器具・容器包装のリスク評価における溶出試験法に関する研究、平成29～令和元年度 食品健康影響評価技術研究 研究成果報告書 (2019)
- 2) Jonas Alin and Minna Hakkarainen: Microwave Heating Causes Rapid Degradation of Antioxidants in Polypropylene Packaging, Leading to Greatly Increased Specific Migration to Food Simulants As Shown by ESI-MS and GC-MS, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59, 5418-5427 (2011)
- 3) 坂本広美、松坂綾子、伊藤理美子、遠山優子：使い捨て弁当容器から溶出するスチレンダイマー及びトリマーの定量、食品衛生学雑誌、41, 200-205 (2000)
- 4) 尾崎麻子、植原一嘉、山口之彦、大垣寿美子、藤田忠雄：電子レンジ加熱による弁当容器から食品への酸化防止剤の移行、生活衛生、49, 357-364 (2005)
- 5) 河村葉子、三浦麻記子、三浦由希子、山田 隆：酸化防止剤及び紫外線吸収剤に対する $\gamma$ 線の照射影響、食品照射、33, 1-9 (1998)
- 6) 河村葉子、佐山佳代、山田 隆：食品用ポリエチレン、ポリプロピレン及びポリスチレン製品へのガンマ線照射の影響：添加剤及びその他の化合物、食品照射、35, 7-14 (2000)
- 7) 河村葉子、佐山佳代、山田 隆：食品用ポリエチレン、ポリプロピレン及びポリスチレン製品へのガンマ線照射の影響：揮発性物質、食品照射、35, 15-22 (2000)
- 8) 河村葉子、米沢里香、前原玉枝、山田 隆：食品用ポリプロピレン製品中の添加剤の分析、食品衛生学雑誌、41, 154-161 (2000)
- 9) 羽石奈穂子、金子玲子、船山恵一、荻野周三：食品用プラスチック製品に含有される酸化防止剤の分析法、東京都健康安全研究センター年報、54, 121-125 (2003)
- 10) 食品安全委員会、食品用器具及び容器包装に関する食品健康影響評価指針 (2019)