

電子レンジによる金属缶加熱方法の研究

大製罐株式会社 先端技術研究所 パッケージソリューション研究室 犬丸彰子

1. はじめに

新型コロナの流行や、地震、水害などの天災を受け、改めて“缶詰”技術が注目されている。最近では缶詰の種類も増え、おつまみからご飯のお供、スイーツまで、缶詰で楽しむことができる。缶詰は常温で保管することができ、温めずに食べることができるが、上記のような缶詰に関しては、温めたほうがよりおいしく食べることができる。

缶詰を加熱する従来方法として、開封せずに湯煎する方法や、内容物を陶器や樹脂容器に取り出し電子レンジで加熱する方法が挙げられるが、どちらも手間がかかる。こうした手間をかけずに、金属缶に入った状態で電子レンジ加熱を行うと、金属から稀にスパーク（放電）が発生してしまう（第1図）。スパークを発生させず、安全に電子レンジで加熱できる金属缶を開発する為、スパーク発生・防止のメカニズムについて検証を行った。

2. スパーク発生条件、及びスパーク防止策について

家庭用電子レンジには、様々な庫内様式（回転



第1図 電子レンジ加熱時の金属缶からのスパーク



第2図 家庭用電子レンジ
(左：回転台タイプ、右：フラットタイプ)

台タイプ、フラットタイプ)、機能（レンジ機能、オーブン機能）が存在している（第2図）。

そこで、様々な種類、メーカーの電子レンジを用いて、金属缶の加熱テストを行い、スパークが発生する条件について調査を行った。

その結果、以下のことが判明した。

- ・スパークは缶底面周辺から発生する。
- ・回転台が金属製の電子レンジで発生しやすい。
- ・回転台が金属製の電子レンジを用いた際のスパーク発生率は27%（4回/15回）程度である。

上記の結果から、金属製回転台と缶底面の距離に着目し、スパーク防止策を検討することにした。また、スパーク防止効果をより明確にする為、マイクロ波を吸収しやすく、スパークが発生しやすい1wt%の塩水を金属缶底面に付着させた“過酷条件”を選定した。その結果、治具を用いて金属製回転台と缶底面の距離を10mm 離すことで、

第1表 金属製回転台と缶底面の距離に関するテスト結果

回転台と缶底面の距離 (mm)	スパーク発生回数 (回/n = 15)
0	14
1	4
5	4
10	0

回転台方式、過酷条件下、500 W × 1分加熱



第3図 高さ10mmの治具の上に金属缶を置いた際の様子
スパーク発生を抑制できることが分かった（**第1表**、**第3図**）。

さらに、上記の結果について、n増し検証を行った。スパーク防止策を行わなかった際の過酷条件下におけるスパーク発生率93%（信頼係数95%）よりサンプルサイズを算出し、合計400回の加熱テストを実施した。

高さ10mmの治具がないと、スパークが389回/400回発生するのに対し、高さ10mmの治具があると0回/400回にスパークを抑制できることが判明した（**第2表**）。

他のタイプの電子レンジを用いた際にも、同様の効果が得られるか確認する為、代表的な電子レンジを9台選出し、**第2表**と同様の過酷条件下で加熱テストを実施した（n=15）。その結果、全て

第2表 スパーク対策n増しテスト結果

水準	加熱時間(分)	n数	スパーク発生回数(回)
治具無し	5	100	96
	1	300	293
治具有り (高さ10mm)	5	100	0
	1	300	0

回転台方式、過酷条件下、500W出力

の電子レンジで治具のスパーク防止効果を確認することができた（**第3表**）。

3. スパーク現象について

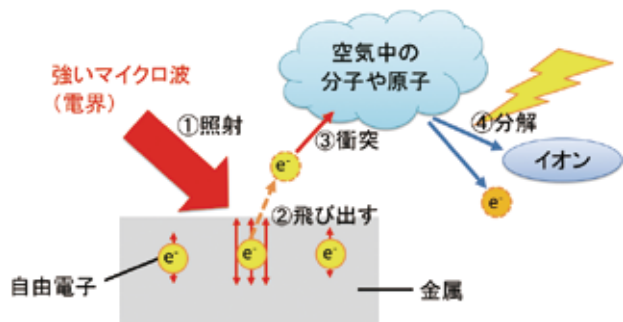
強い電界（マイクロ波）が金属表面に当たると（**第4図①**）、金属が持つ自由電子が金属表面から空気中に飛び出し（**第4図②**）、空気中の分子や原子に衝突する（**第4図③**）。衝突時にイオン分解が発生し、その際に新たな電子を放出し、これらが連続的に起こることでスパークが発生する（**第4図④**）。

このように、スパークの発生には強い電界（マイクロ波）の照射が鍵となる。一般的に、尖った部分はマイクロ波が集中しやすく、電界が高まりやすいと言われているが、金属缶を電子レンジ加熱した際、さらに電界を強める要因として、後述の2つの仮説を立て、検証を行った。

第3表 様々な電子レンジを用いたスパーク対策テスト結果

No.	機能	庫内様式	回転台素材	マイクロ波照射位置	庫内容量(L)	出力(W)	スパーク発生回数(回)	
							治具無し	治具有り(高さ10mm)
1	家庭用レンジ	回転台	樹脂	横	13	500	4	0
2					22	500	11	0
3		フラット	-	下	17	500	0	0
4					23	500	1	0
5	家庭用レンジオープン	回転台	金属	横	16	500	12	0
6					19	500	13	0
7		フラット	-	下	13	500	12	0
8						1000	15	0
9					31	500	0	0
10					業務用レンジ	-	上	19
11	1900	15	0					

過酷条件下、加熱時間1分、n=15



第4図 スパーク現象

4. 金属缶からのスパーク発生・抑制メカニズムについて (仮説)

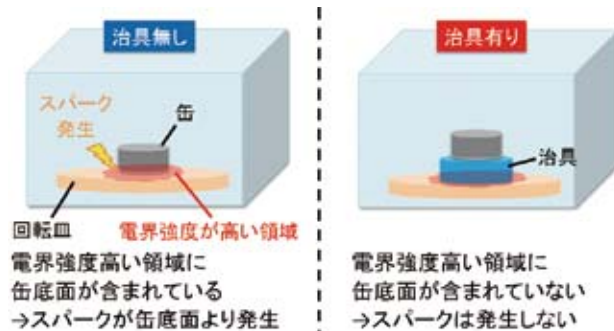
電子レンジの構造やマイクロ波加熱の原理より、金属缶を電子レンジで温めた際のスパーク発生・抑制メカニズムについて、以下の仮説を立てた。

仮説1：電子レンジ庫内の電界強度の偏り

元々、電子レンジ庫内の電界強度分布に偏りがあり、治具がないと電界強度が高い領域に缶底面が含まれてしまう為、缶底面付近からスパークが発生する。一方で治具があると、電界強度が高い領域に缶底面が含まれない為、缶底面からスパークが発生しない (第5図)。

仮説2：金属缶周辺の電界強度の増大

金属はマイクロ波を反射する性質を有しており、缶や金属製回転台周辺は元々、マイクロ波密度が



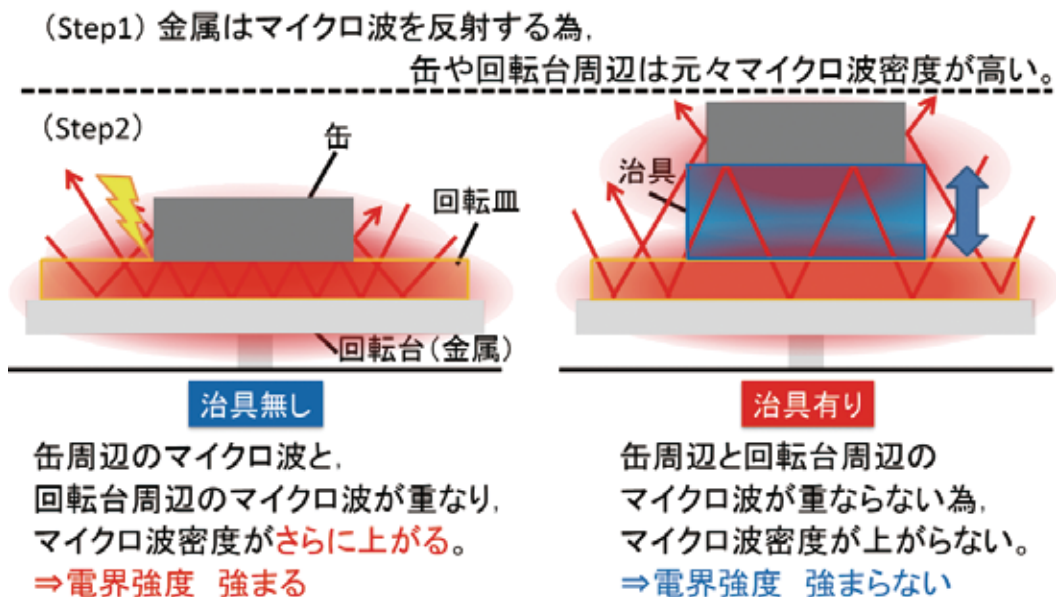
第5図 (仮説1) 電子レンジ庫内の電界強度偏り

高い状態である。治具がないと、缶と回転台のマイクロ波が重なり合ってしまう為、マイクロ波密度がさらに上昇し、金属缶周辺の電界強度が強まる。その結果、スパークが発生する。一方で、治具があると、缶と回転台のマイクロ波密度が低下する為、電界強度が強まらず、スパークは発生しない (第6図)。

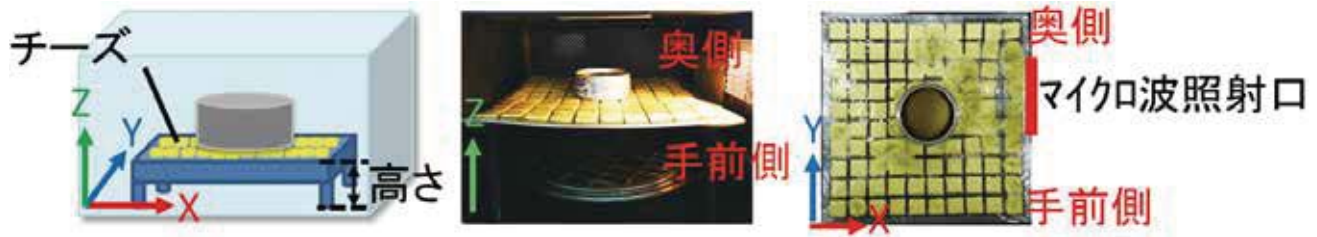
これらの仮説を検証する為、以下の2つの手法で電子レンジ庫内の電界強度分布を可視化し、検証を行った。

5. 電子レンジ庫内の加熱ムラ調査 (検証1)

マイクロ波が集中する (電界強度が高い) 領域は食品が温まりやすい性質を持つことから、様々な高さの台の上にチーズを敷き詰め、その上に缶



第6図 (仮説2) 金属缶周辺の電界強度増大



第7図 チーズを用いた加熱ムラ調査
(左：概略図，中央：テスト時の様子，右：テスト後の様子)

を置いて電子レンジ加熱を行った(第7図)。チーズの焼ける位置，焼け焦げ方を確認することで，マイクロ波高密度領域を可視化した。

比較の為，マイクロ波を透過する紙コップを中央に置いた際の，加熱ムラ調査も併せて実施した(第4表)。これらの検証結果より，以下のことが明らかとなった。

- ①缶を加熱すると缶の高さ位置に関わらず，缶底面周辺は激しくチーズが焼ける(マイクロ波密度が高い)。
- ②一方，紙コップ底面周辺のチーズはほとんど焼けていない(①は金属缶特有の現象である)。
- ③缶の位置が高くなるにつれ，缶底面周辺のチーズの焼け具合が緩和する傾向がある(マイクロ波密度が低下している)。

6. 電界強度分布シミュレーション (検証2)

マイクロ波高密度領域を可視化するもう1つの手法として，電界強度分布シミュレーションを活用した。下表の条件にて，レンジ庫内の電界強度分布，及び金属缶表面の電界強度を算出した(第5表)。

その結果，以下のことが明らかとなった。

- ④缶底面周辺の電界強度は高くなる傾向が見られた。
- ⑤一方，マイクロ波を透過するガラスコップ周辺の電界強度は高まっていない(④は金属缶特有の現象である)。
- ⑥缶の位置が高くなるにつれ，缶周辺の電界強度や缶表面の電界強度が減少する傾向が見られた。

以上の検証を総括すると，電子レンジ庫内で電

第4表 加熱ムラ調査結果

高さ	0cm	3cm	6cm	9cm
金属缶				
紙コップ				

加熱条件：500W×45秒，n=1，赤点線：金属缶配置位置，青点線：紙コップ配置位置

第5表 電界強度分布シミュレーション結果

E Field [V/m]	缶	缶+治具 (高さ 10mm)	ガラスコップ
缶表面電界強度 (平均)	12,108 V/m	10,344 V/m	-

回転台タイプ、500W×1分、周波数 2.45GHz



第8図 電子レンジ対応缶製品イメージ
(左：店頭陳列時、右：電子レンジ加熱時)

界強度の偏りは多少あるものの、それ以上に金属缶と金属製回転台との相互作用である仮説2：金属缶周辺の電界強度増大により、缶底面周辺からスパークが発生していると推察される。

したがって、缶底面からのスパーク発生を抑制するには、金属製回転台と缶底面の距離を離すことが有効であると考えられ、電子レンジを用いた加熱テスト結果と一致する結論が得られた。

7. おわりに

金属缶を電子レンジで加熱した際、スパークを発生させることなく、安全に加熱できる“スパーク防止策”の考案、及び、スパーク発生/抑制メカニズムについて仮説を構築し、検証することができた。現在、より具体的な製品化へ向け、下記について取り組んでいる。

- ・加熱時に治具代わりに使用できる樹脂容器の検討 (第8図)。
- ・電子レンジ対応缶に適した内容物の検討。
- ・消費者の誤使用を防止したデザインの検討。

最後に、より多くの消費者に安全に使用いただける“電子レンジ対応缶”の開発に今後も取り組んで参ります。