

(第12回) 2016年度・研究助成報告

研究題名	大気圧非平衡プラズマにおける粉末食品の味覚コントロール技術の開発
研究期間	2016年4月1日～2018年3月31日
研究機関・所属 研究者名	宮崎大学・教育学部・湯地敏史

1. 2016 (2017) 年度研究成果の概要

本研究では、乾燥粉末食品原料に大気圧非平衡放電プラズマ中から生じる OH ラジカルを照射することで、低温で且つ簡易的な手法で、栄養素、色、香り及び風味を損なわずに、一般生菌及び大腸菌などを滅菌する技術を提案する。プラズマ発生用高周波パルス電源を用いた大気圧非平衡 DC パルス放電プラズマジェットにより、プラズマガスに Ar + O₂ 混合ガスを用いて、乾燥粉末食品にプラズマ照射することで、プラズマ照射時間に比例して、一般生菌数及び大腸菌群の滅菌効果が向上することを明らかとした。特に、一般生菌及び大腸菌などを滅菌することで、乾燥粉末食品の風味や酸化を抑えられるものと示唆する。乾燥粉末食品にプラズマ照射することで、プラズマ照射時間に比例し、照射時間が 10 倍になると菌数が、50%まで半減し、一般生菌数の滅菌の処理能力が向上することが確認できる。同様に、大腸菌群については、殺菌効果が働くことが明らかとなった。これらの結果は、プラズマから生じるラジカルや大気中の水蒸気と反応してできる酸化力や滅菌性の優れた OH ラジカルが一般生菌及び大腸菌群の菌の不活化作用に大きく影響をもたらしていることを明確化した。

2. 助成期間内での研究成果の概要

本研究では、乾燥粉末食品原料に大気圧非平衡放電プラズマ中から生じる OH ラジカルを照射することで、低温で且つ簡易的な手法で、栄養素、色、香り及び風味を損なわずに、一般生菌及び大腸菌などを滅菌する技術を提案する。プラズマ発生用高周波パルス電源を用いた大気圧非平衡 DC パルス放電プラズマジェットにより、プラズマガスに Ar + O₂ 混合ガスを用いて、乾燥粉末食品にプラズマ照射することで、プラズマ照射時間に比例して、一般生菌数及び大腸菌群の滅菌効果が向上することを明らかとした。

図 1 は、実験装置図を示す。同図より、プラズマ発生用高周波 DC パルス電源(ハイデン研究所; PHF)及び大気圧プラズマジェット電極(ハイデン研究所製; PJ)を使用して、プラズマ投入電力を 0.5 kW 及び印可電圧 1.0 KV としてプラズマを発生させた。プラズマガスには、アルゴン(5.0 L/min)と酸素(1.0 L/min)の混合ガスを用いている。実験に用いた大気圧プラズマジェット電極の特徴は、トーチ上流部で誘電体バリア放電を比較的広い領域で発生させることができ、活性種を効率良く生成させることができる。

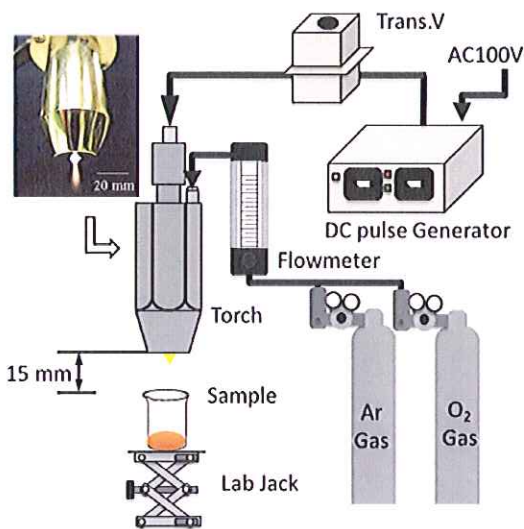


Fig.1 Experimental of setup



Fig.2 Picture of dry food powder

大気圧プラズマジェット電極の特徴は、トーチ上流部で誘電体バリア放電を比較的広い領域で発生させることができ、活性種を効率良く生成させることができる。また、誘電体が挿入されていないトーチ下流部では、アーク放電を発生させている。本装置は、高周波パルス電源により印加した1つのパルス波形の高周波成分（立ち上がり部分）で、無声放電を発生させて、その後、パルス電圧がピーク値に達するとアーク放電を発生させるメカニズムである。パルス波によって電圧を印加しているために、放電時間は数 μs と短く、電磁ポンピング作用はDCプラズマジェットに比べて小さい特徴を有する。トーチ内においては、プラズマガス流量を5.0 L/minで導入し、ノズル径が小さいためにノズル出口の流速を速めて、これにより得られる力と電磁ポンピング作用の両方を利用することで、トーチ上部の無声放電によって生成された活性種を効率よく噴出することが可能とした。同様に、電圧を間欠的に印加しプラズマガス流量も多いため、結果的に電極の加熱を防ぎ比較的低温なプラズマを得ることができている。

図2は、実験に使用した乾燥粉末食品原料である桑の葉微粉末を示す。桑の葉微粉末の1.0g中に含まれる一般性菌数は 4.2×10^4 (g/個)で、大腸菌群が陽性のものを使用した。一般的に一般生菌数とは、ある一定条件下で発育する中温性好気性生菌数を意味し、食品の微生物汚染の程度を示す最も代表的な指標である。食品の安全性、保存性、衛生的取扱いの良否などの総合的な評価判断に用いられており、サルモネラ属菌群や腸管出血性大腸菌O157等が挙げられる。また大腸菌群とは、グラム陰性の無芽胞桿菌で、乳糖を分解して酸とガスを産生するすべての好気性又は、通性嫌気性菌とされており、微生物の菌種を指定しない。

通常、桑の葉微粉末は、健康補助食品として青汁などに使用されている。主な成分は、カロチン、カルシウム、ビタミンB1及び鉄分が含まれており、たんぱく質やミネラル類が豊富で、食物繊維などの栄養素を多く含んでおり、血中のコレステロール値や中性脂肪値を改善する効果が挙げられる。

図3は、図2同様に、実験に使用した乾燥粉末食品原料であるモロヘイヤ粗粉末を示す。桑の

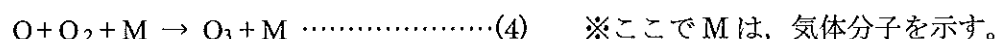
葉微粉末の 1.0g 中に含まれる一般性菌数は 3.6×10^5 (g/個)で、大腸菌群が陽性のものを使用した。モロヘイヤ粗粉末の主な成分は、ビタミン E, ビタミン Kをはじめ、カルシウム, カリウム, 鉄分水溶性植物繊維が多く含まれている。ほうれん草より栄養素が高いことや粘り気のあるムチン成分が多いことでも知られている。

実験手順は、桑の葉微粉末を 50 mL のビーカーに 20g 入れて、プラズマ電極から放出されるプラズマガスにより、乾燥粉末食品（桑の葉微粉末及びモロヘイヤ粗粉末）が飛散しないように、トーチ先端部から桑の葉微粉末の距離を 15 mm とした。プラズマの照射時間を 1 分、5 分及び 10 分として、2 分ごとに 1 度微粉末全体にプラズマが照射されるように微粉末をかき混ぜた。実験における一般生菌数と大腸菌群の検査方法については、一般生菌数用のペトリフィルム AC 培地と大腸菌群用のペトリフィルム CC 培地を使って、100 倍の希釈液を使用して Petrifilm™ 法により検査した。

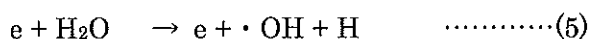
図 3 は、Petrifilm™ 法により得られたプラズマ処理時間における桑の葉微粉末 1.0g あたりのペトリフィルム AC 培地の一般生菌の分布写真を示す。同図より、フィルム培地上の赤い点のコロニーがプラズマ照射時間の増加により減少していることが明らかに確認することができる。

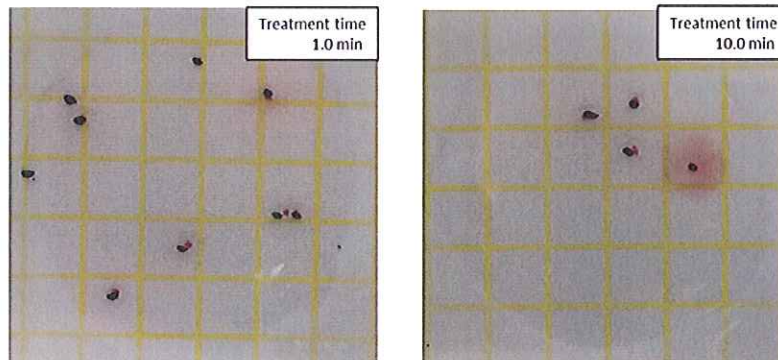
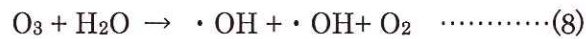
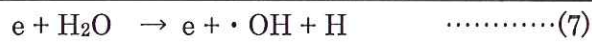
図 4 は、Petrifilm™ 法により得られたプラズマ処理時間に対する桑の葉微粉末 1.0g あたりのペトリフィルム AC 培地により検査された一般生菌数との関係と Petrifilm™ 法により得られたプラズマ処理時間における桑の葉微粉末 1g あたりのペトリフィルム CC 培地の大腸菌群の分布写真を示す。同図より、プラズマ照射時間が 1 分の場合は、一般性菌数は 1.8×10^4 (g/個)で、プラズマ照射時間が 10 分の場合は、一般性菌数は 8×10^4 (g/個)で約 1/2 倍まで減少し滅菌されていることが確認できる。同時に、大腸菌群は全く存在せず陰性であることが分かる。

同様の実験をモロヘイヤ粗粉末においても行なったが、一般性菌数は減少させることはできたが、大腸菌群については、陽性のままで死滅させることはできなかった。桑の葉微粉末に大気圧非平衡プラズマ処理することにより、一般生菌数の減少による滅菌と大腸菌群の陰性による殺菌の主な原因としては、大気圧非平衡プラズマに使用した Ar + O₂ 混合ガスとプラズマ中から放出される電子または大気中の水蒸気が反応して、酸素分子や水分子が乖離し酸素原子が生成され、これまでの研究により、報告されている酸化力や滅菌性の優れたオゾンや OH ラジカルがこれらの化学反応式のプロセスにより生成される。以下に、大気圧非平衡プラズマ中のオゾン生成プロセスの化学反応式を示す。



寿命は短い酸化力や滅菌性の優れた OH ラジカルは、雰囲気中にオゾンと水分子が存在すると OH ラジカルの生成が減少することなく常時生成される。寿命が短いながらも随時生成されながら滅菌・殺菌効果を増大させて各種菌の不活化作用に大きく寄与していることが検討できる。以下に、OH ラジカルの生成プロセスのメカニズムを示す。





(a) Treatment time 1.0 min

(b) Treatment time 10.0 min

Fig.3 Picture of AC 3M™ Petrifilm™ in Staph Express Count Plate (in Mulberry).

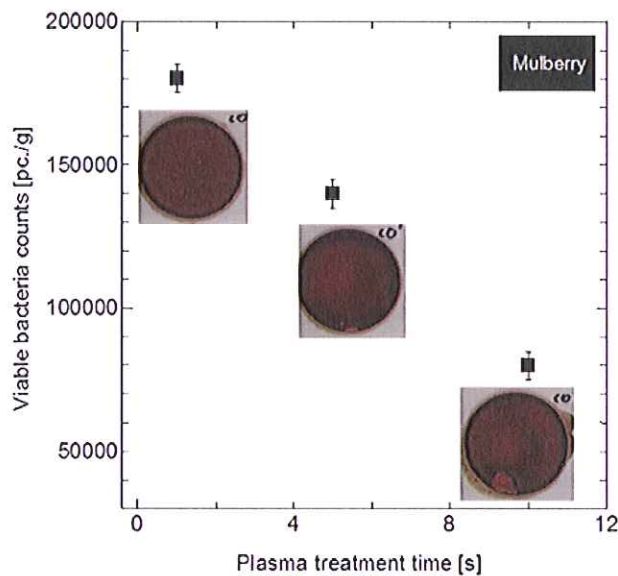


Fig.4 Relationship between plasma treatment time and Variety bacteria count and CC 3M™ Petrifilm™ in Staph Express Count Plate (in Mulberry).

3. 研究発表

国際会議

No.1 T. Yuji, Y. Okamura, H. Kinoshita, N. Mungkung, Y. Suzaki: “Atmospheric-pressure Non-equilibrium DC Pulse Discharge Plasma Jet for Plasma Sterilization Treatment Techniques in Dry Powder Foods”, 6th International Conference on Plasma Medicine (ICPM-6), Abstract P3-72-10. September 4-9, 2016, Bratislava, Slovakia

論文

No.1 T.Yuji, N.Mungkung, P. Chansri, K.Nakabayashi, H.Kinoshita, Y.Suzaki, and M.Onomura: “Sterilization Treatment Techniques for Dry Powder Foods by Atmospheric-pressure Non-equilibrium DC Pulse Discharge Plasma Jet”, IEEE. Plasma Sci. (Submitted) (2018)