

# ウルトラファインバブル水を用いた塩サバおよびモッツァレラチーズの品質保持の検討

三上加奈子<sup>1</sup>, 河野慎一

## Effects of the Use of Ultrafine-Bubble Water on the Preservation Quality of Salted Mackerel and Mozzarella Cheese Products

Kanako Mikami<sup>1</sup> and Shinichi Kono

In this study, we examined the effects of ultrafine bubble (UFB) water on the quality of preservation of salted mackerel and mozzarella cheese products. The number of UFBs in UFB water containing oxygen and nitrogen gas was maintained at over  $10^8$  count/ml for 30 days. This result shows that UFBs of both gases were stable in water.

Moreover, the results suggested that lipid oxidation was inhibited to a greater extent in pickled salted mackerel treated with UFB 3% saltwater enclosing nitrogen gas than in that treated with 3% saltwater alone. UFB 0.5% salt water enclosing nitrogen gas also maintained the texture of Mozzarella cheese better than 0.5% salt water.

**KEY-WORDS** : ultrafine bubble, lipid oxidation, quality preservation

**キーワード** : ウルトラファインバブル, 脂質酸化, 品質保持

ファインバブルは直径 $100\mu\text{m}$ 以下の泡の総称であり、直径 $1\mu\text{m}$ 超の泡をマイクロバブル (MB)、直径 $1\mu\text{m}$ 以下をウルトラファインバブル (UFB) と定義されている<sup>1)</sup>。MB技術は、水耕栽培や魚類養殖における成長・生育促進 (酸素封入)、鮮魚の鮮度保持 (窒素封入)、工場内の洗浄や排水処理 (二酸化炭素・オゾン封入) などで実用化や報告例があり、食品加工分野への応用例として、マヨネーズの食感改善<sup>2)</sup> や原料野菜・カット野菜の洗浄・殺菌<sup>3) 4)</sup> で実用化されている。一方、UFB技術は新たな技術で大学や研究機関において様々な取り組みが報告されており、その実用化が期待されているところであるが、実用例はまだ少なく、高速道路の休憩施設に設置されているトイレの洗浄や太陽電池に用いられる

シリコンウェハーの製造などに活用されている<sup>a)</sup>。

また、近年、北海道の食品業界では、首都圏等の大消費地や海外へ向けた移輸出のための賞味期限の延長や品質保持に関する新たな技術開発が望まれている。

そこで本研究では、高品質な道産食品を供給する新たな品質保持技術の開発を行うため、UFB水を利用した食品の品質保持効果について塩サバとモッツァレラチーズを事例として取り上げ検討を行った。

### 実験方法

#### 1. UFBの調製方法と水中安定性評価

##### (1) UFB水の調製

本試験ではUFB発生装置 (ナノフレッシャー NF-

<sup>1</sup>現道総研中央水産試験場, Hokkaido Research Organization, Central Fisheries Research Institute

事業名: 経常研究

課題名: ウルトラファインバブル技術を用いた食品の品質保持効果の検証

WP0.4 (株)ナノクス) を用いて、酸素および窒素を水道水に封入し、UFB水を調製して試験に供した。調製は以下の方法で行った。すなわち、各気体のボンベとUFB発生装置を接続した後水道水中に沈め、気体を装置に供給するとともに発生装置を作動させてUFB水を調製した。水道水は100L用い、ガス供給量は1 L/minとし、窒素封入時は60分間、酸素封入時は40分間運転した。

## (2) UFBの水中安定性評価

1. (1)の方法により調製した窒素UFB水および酸素UFB水をそれぞれガラス製ネジ口瓶に満量入れて密閉し、5℃で保存した。保存中のUFB水の溶存酸素濃度(DO)および粒径・粒度分布を経時的(貯蔵1日, 10日, 21日, 30日)に測定し、UFB水の水中安定性を評価した。DOはDOメーター(ID-150 飯島飯島電子工業)により、粒径および粒度分布は粒子径測定装置(ナノサイトLM1 Malvern社)により測定した。

## 2. 塩サバの製造におけるUFB塩水利用による脂質酸化抑制効果の検討

### (1) UFB塩水に浸漬した塩サバの調製

UFB水を製造工程に用いた際の水産物の品質保持効果を確認するため、UFBの塩水を調製し、浸漬時における水産物の脂質酸化を測定した。塩水のUFB水調製は3%塩水65Lを用いて1. (1)に準じて行い、また、1. (2)と同様に保存して試験に供した。原料は北海道産冷凍サバ(ラウンド)を用いた。塩サバは以下の方法で調製した。すなわち、冷凍品を5℃で一晩解凍した後三枚におろして塩水に浸漬した。サバは24尾を用い1個体から2枚のフィレを作成し、一方は3%塩水(無処理区)に、他方はUFB塩水2種(酸素UFB区、窒素UFB区)に各12枚ずつ24時間浸漬した後液切りした。これを真空包装して3Dフリーザ(KQF 古賀産業株)にて急速冷凍後-30℃で分析まで保管した。

### (2) TBARS量の測定

脂質の酸化物量測定はチオバルビツール(TBA)法で行った<sup>5)</sup>。すなわち、細切肉5gに蒸留水を加えてポリトロンにて破碎(10,000rpm, 30sec)後、蒸留水で50mlにメスアップし抽出液とした。抽出液1mlにTBA試薬2mlを加え、100℃で15分加熱し、これを冷却後、遠心分離して上清の吸光値(532nm)を測定して、チオバルビツール酸反応生成物(TBARS)量を脂質酸化物量として算出した。

### (3) 臭気成分の測定

GC-MS分析試料は各区分TBARS中央値の6サンプル

を均質化した試料を用いた。

これを揮発性成分測定用20ml容量のバイアル瓶に1g採取し、ヘッドスペース部を窒素置換した後、内部標準試薬として0.1%(v/v)のシクロヘキサナール水溶液1μLを加え、混合して密閉した。試料を封入したバイアルを40℃で20分間予備加熱した後に固相マイクロ抽出ファイバー(SPMEファイバー:50/30μm DVB/CAR/PDMS, Merck)に揮発性成分を40℃で30分吸着させ、GC/MS-QP2020NX(島津製作所)に供した。キャリアガスはヘリウム、キャリアガス流速は線速度36.0cm/sec、カラムはDB-WAX UI(30m×0.25mm I.D., 膜厚0.25μm, アジレント・テクノロジー)、注入口温度は250℃とし、スプリットレスモードで試料導入した。カラムの昇温条件は、35℃で3分間保持し、240℃まで毎分2℃昇温して3分間保持とした。検出された各成分はマススペクトルライブラリ(NIST)との比較により同定した。

## 3. UFB塩水を用いた浸漬液によるモッツァレラチーズの品質保持効果の検討

UFB塩水を用いた浸漬液によるチーズの品質保持効果を検討するため、2. (1)と同様に0.5%塩水を用いて酸素および窒素UFB塩水を調製した。モッツァレラチーズは市販の一口サイズのを液切りして用いた。容量200mlラミコンカップにモッツァレラチーズ5個と0.5%食塩水を満量入れて密閉し、10℃で3日間貯蔵した(無処理区)。また、酸素および窒素UFB塩水を用いて同様に調製後保存し、それぞれ酸素UFB区および窒素UFB区とした。

官能評価は食品加工研究センター職員10名をパネルとし、この3区分のモッツァレラチーズについて、表1に示した7つの評価項目について行った。評価は無処理区を基準(0点)として-3から3の7段階で評価し平均値を算出した。

表1 官能評価項目

外観	①	溶けていない
物性	②	手応えがある
食感	③	弾力がある
	④	繊維感がある
	⑤	歯ごたえがある
風味	⑥	風味が強い
	⑦	風味が良い

実験結果および考察

1. UFBの水中安定性

UFB調製前の水道水のDOは10.2mg/Lであった。この原水を用いて調製した直後の窒素UFB水のDOは0.42mg/Lであり、貯蔵1日目には1.0mg/L、10日目には1.6mg/L、21日目には2.6mg/L、30日目には3.2mg/Lと貯蔵期間が長くなるにつれて上昇した。一方、調製直後の酸素UFB水のDOは41.2mg/L、貯蔵1日目には38.3mg/L、10日目には35.7mg/L、21日目には29.7mg/L、30日目には22.6mg/Lと貯蔵期間が長くなるにつれて低下したが、5℃における飽和酸素量12.4mg/Lよりも著しく高かった。

酸素および窒素UFB水のUFB数はそれぞれ $3.1 \times 10^8$ 個/mlおよび $2.9 \times 10^8$ 個/mlであり、貯蔵20日目以降有意に低下したが、貯蔵30日間を通して $2.4 \times 10^8$ 個/ml以上を維持しており、本試験におけるUFB水の調製・貯蔵方法では30日間 $10^8$ 個/ml以上のUFB数を保持することが確認された。また、酸素UFB水の最頻粒径は貯蔵30日間69nmから80nm、窒素UFB水では63nmから80nmで推移し、貯蔵期間を通じて直径1μm以下のウルトラファインバブルサイズであった。これらのことから本試験におけるUFB調製方法および保存方法において30日間UFBは安定的に保持されることが確認された。

なお、本試験ではUFBの数や粒径の測定には特殊な装置である粒子径測定装置が必要なため、簡易的測定法としてDOによるUFB水の状態を把握することを試みた。その結果、貯蔵中において、窒素UFB水のDOは上昇し、酸素UFB水のDOは低下するのに対し、粒子径測定ではUFB数が保持されており、両者の相関が確認出来なかったことから、DO測定によるUFB水の状態を推測することおよび安定性を確認することは難しいと考え

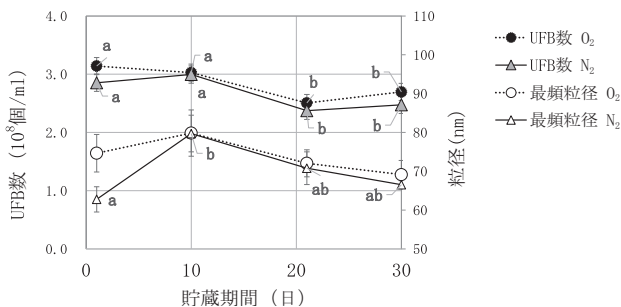


図1 UFB水貯蔵中のUFB数及び最頻粒径の変化

エラーバーは標準誤差を示す (n = 5)  
異なるアルファベット間に有意差があることを示す (Tukey-Kramer、P < 0.05)

られた (図1)。

2. 塩サバの製造におけるUFB塩水利用による脂質酸化抑制効果の検討

高度不飽和脂肪酸を含む水産加工品の品質保持で最も大きな課題の一つは脂質酸化であり、「魚臭さ」の原因とされている。そこで、脂質含量の高いサバを原料に用いて、塩サバ加工品製造におけるUFB塩水の脂質抑制効果について検討を行った。塩サバ魚肉のTBARSを測定した結果、個体差が大きく、無処理区と窒素および酸素UFB水区の間で有意差が認められなかったが、酸素UFB水区のTBARSは無処理区より高く、窒素UFB水区は低い傾向であった。さらに、GC-MSにより脂質酸化等により由来する魚臭成分である1-プロパナールや1-ヘキサナールといったアルデヒド類や、1-ペンテン-3-オールや1-オクテン-3-オールといったアルコール類を分析した結果、窒素UFB水区では、無処理区や酸素UFB水区に比べて魚臭成分のピーク比が低く、窒素

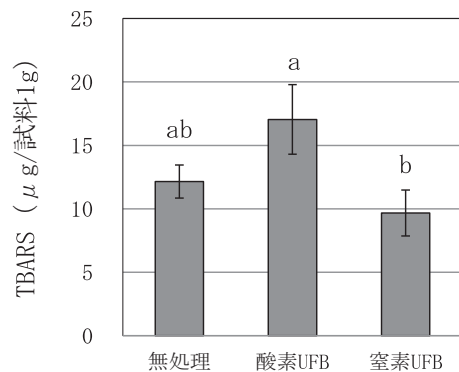


図2 浸漬塩水別塩サバのTBARS

エラーバーは標準誤差を示す (無処理: n = 24、酸素UFBおよび窒素UFB: n = 12)  
異なるアルファベット間に有意差があることを示す (Tukey-Kramer、P < 0.05)

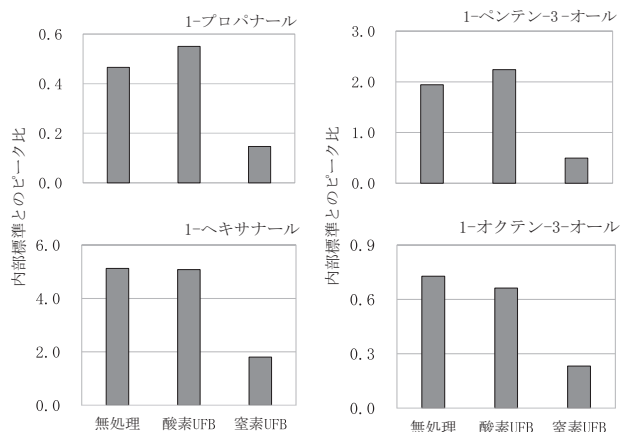


図3 浸漬塩水別塩サバの魚臭成分

UFB塩水への浸漬により塩サバの魚臭成分を低減できる可能性が示唆された。以上のことから、塩サバ製造時の塩水浸漬工程にUFB塩水を用いた場合、酸素UFB水では脂質酸化抑制効果はなかったが、窒素UFB水では脂質酸化が抑制されることが示唆された（図2, 3）。

### 3. UFB塩水を用いた浸漬液によるモッツァレラチーズの品質保持効果の検討

モッツァレラチーズの品質保持で最も大きな課題の一つであるチーズの溶解防止効果について、UFBによる品質保持効果を検討した。官能評価の結果、無処理区に比べ、酸素UFB水区および窒素UFB水区では、物性の評価項目である「②手応え」、食感の評価項目である「③弾力」および「⑤歯ごたえ」の評価が高く、その傾向は酸素UFB水区より窒素UFB水区で大きかった。このことから、窒素UFB水の浸漬によるモッツァレラチーズの食感維持効果が示唆された。ファインバブルは、マイナスに帯電しており、極性が異なる粒子を吸着するとされている<sup>6)</sup>。また、疎水性分子や疎水性表面を持つ粒子を吸着するとされている。これらの化学的な性質が影響し、モッツァレラチーズの物性に影響を与えたと推定される。しかし詳細な理由は不明であり、更なる検討が必要である（図4）。

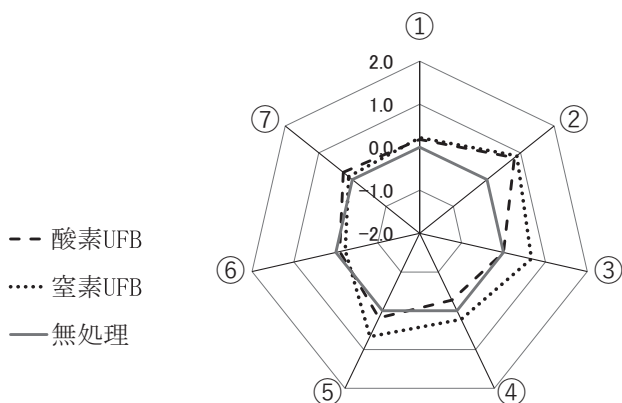


図4 UFB塩水を用いた浸漬液によるモッツァレラチーズの官能評価結果

被験者：食加研職員10名

評価点：無処理区（0.5%食塩水浸漬）を基準（0点）として-3点から3点の7段階で評価した平均値

## 要約

UFB水は、窒素および酸素のいずれの封入気体に関わらず30日間、UFB数 $10^8$ 個/ml以上を維持しており安定していることを確認した。塩サバ製造に窒素UFB塩水を用いて処理した場合、無処理のものに比べて脂質酸化が抑制されることが示唆された。またモッツァレラチーズの浸漬液に窒素UFB塩水を用いた場合では無処理に比べて食感が維持されることが示唆された。

## 文献

- 1) 寺坂宏一, 氷室昭三, 安藤景太, 秦隆志 (2016). ファインバブル入門, ファインバブル学会連合, 日刊工業新聞社, pp.31-32.
- 2) ファインバブル活用事例集 追補版 (2018). 経済産業省 九州経済産業局, p.7.
- 3) 久保園隆康 (2017). オゾンのファインバブル (マイクロバブル) を用いたカット野菜洗浄システムの開発, Fooma技術ジャーナル, pp.35-39.
- 4) 甲純人 (2018). 食品の安全性を支えるさまざまな技術 マイクロバブルオゾンを活用したカット野菜の新洗浄・殺菌システム 塩素系殺菌の不具合とマイクロバブルオゾン殺菌の導入メリット, クリーンテクノロジー, pp.10-14.
- 5) R.E.McDonald and H. O. Hultin(1987). Some Characteristics of the Enzymic Lipid Peroxidation System in the Microsomal Fraction of Flounder Skeletal Muscle, *J Food Sci*, 52, 15-21.
- 6) 寺坂宏一, 氷室昭三, 安藤景太, 秦隆志 (2016). ファインバブル入門, ファインバブル学会連合, 日刊工業新聞社, p.39 p.126.

## 引用URL

- a) ファインバブルマガジン, ファインバブルの活用事例 <https://finebubble.net/example>