

アイスクリーム製造におけるウルトラファインバブル水の利用

佐合 徹*, 山崎栄次*

Application of Ultra Fine Bubble Water to Ice Cream Manufacturing

Toru SAGO and Eiji YAMAZAKI

The purpose of this study is to control the fat globule aggregation with ultra fine bubble water to ice cream manufacturing. The fat globule aggregation, the physical changes during the freezing process, and the micro structure of the ice cream were investigated with or without ultra fine bubble. Both of the rate of fat destabilization and increase in viscosity were decreased in the ice cream mix with the ultra fine bubble. In conclusion, the application of ultra fine bubble water to ice cream manufacturing could lead to maintain the fat destabilization.

Key words: Ultra Fine Bubble, Viscosity, Fat Aggregation, Ice Cream

1. はじめに

ファインバブルとは、液体の中にナノメートルサイズからマイクロメートルサイズの気体が分散した系で存在する気泡である。近年、ファインバブルの利用は広がりを見せており、例えば、食品分野での食用油の分離¹⁾、クリーム製造中の酸化の抑制²⁾、清酒の貯蔵劣化の抑制³⁾に活用されている。また、食品分野以外でも環境分野での排水処理⁴⁾、農業分野での水耕栽培⁵⁾、水産分野でのカキ養殖⁶⁾に利用されており、さらなる展開が期待されている。ファインバブルは、泡表面がマイナスに帯電していること、泡の中に空気だけでなく単体の気体を含むことが出来ること、および食品添加物ではないことから、前述のような利用がされている。その中でも、ナノメートルサイズの気体が分散したウルトラファインバブルは、非常に微細な泡であるため、液体中での安定性が非常に高く、効果が大きいと期待されている⁷⁾。

これまでに、我々は、糖と脂肪を多く含むアイスクリームミックス（以下、ミックス）の中にフ

ァインバブルを注入し、アイスクリームを製造した。アイスクリームが製造される仕組みは以下のとおりである。ミックスを攪拌し、凍結（フリージング）させると、氷核が発生し成長すると同時に、脂肪球の破壊、凝集が促進され、空気を包接し増粘される。ファインバブルを注入した結果、ファインバブルがアイスクリームのおいしさや口どけを示す指標の1つとなる脂肪の凝集を促進することを確認した⁸⁾。

本報では、ウルトラファインバブル水によるアイスクリームのおいしさや口どけに関する脂肪凝集を制御できるか調べることを目的に、ミックスにファインバブルを注入するのではなく、ミックスの原料水に窒素または空気のウルトラファインバブル水を用いてアイスクリームを製造し、脂肪凝集の確認と物性変化を測定し評価した。以上の結果より、ウルトラファインバブル水を利用すると、脂肪凝集率および粘度上昇を制御できることが明らかとなったので報告する。

2. 実験方法

2. 1 ウルトラファインバブル水の提供

* 食と医薬品研究課

ウルトラファインバブル水は、IDEC 株式会社より提供を受けた。ウルトラファインバブル発生器 (Ultrafine Galf FZ1N-10 形, IDEC 製) を用い、得られたウルトラファインバブルの粒子平均径は、100 nm 以下であり、個数濃度は、10 億個 / mL 以上であった。ウルトラファインバブル水のガス種を空気 (大気)、または窒素 (窒素ボンベ使用) とし、それぞれ空気ウルトラファインバブル水、窒素ウルトラファインバブル水とした。なお、粒子平均径や個数濃度は、IDEC 株式会社が測定した。工業研究所にてアイスクリームの調製に使用した後、残りのウルトラファインバブル水を IDEC 株式会社が測定したところ、粒子平均径と個数濃度に作製時との違いは無かった。

2. 2 アイスクリームの調製

既報⁸⁾のミックスの配合と同様に、脱脂粉乳 (明治脱脂粉乳, 明治製) 8.9 %, 生クリーム (フレッシュクリーム, 中沢フーズ製) 30.1 %, 砂糖 (グラニュー糖 GIG2, 伊藤忠製糖製) 12 %, 20 %加糖卵黄 (加糖凍結卵黄 20, キューピー製), 2.1 節のウルトラファインバブル水 46.6 %を総量 3 kg となるように混合し、75 °C, 10 分の殺菌後、氷水にて冷却したものを使用した。なお、今回の調製では、乳化剤は使用していない。

フリージングは、ミックス 3 L を試料とし、バッチフリーザー (ハイパートロン IV, エフ・エム・アイ製) にて凍結・攪拌し、製品温度 -4.5 °C となったところで取り出した。その後、容量 100 mL の紙製カップに充填し、-40 °C の急速冷凍庫 (プラストチラー EF20.1, エフ・エム・アイ製) にて硬化することによりアイスクリームを製造した。また、乳の濃さ、ざらつき、後味の 3 項目について、7 段階評点にて専門パネル 4 名で官能評価を行った。

2. 3 脂肪球凝集率の測定

脂肪球凝集率をレーザ回折式粒度分布測定装置 (SALD2100, 島津製作所製) を用いて測定した。製造したアイスクリームの脂肪球凝集率を次のとおり算出した。ミックスの脂肪球粒度分布においてその累積分布が全粒子の 90 % を占める際の粒径を指標とし、アイスクリームの脂肪球粒度分布から指標とした粒径以下の累積分布 (X %) を求めた。このミックスと作製したアイスクリームの累積分布の差 ($90-X$) を求め、この割合をアイスクリームの脂肪球凝集率 (%、製造工程中に発生した脂肪球凝

集の割合) とした⁹⁾。

2. 4 スモールスケールでのプロセス評価

2.2 節のように調製したミックスを約 10 °C に調温し、動的粘弾性測定装置 (AR-G2, TA Instruments) のアルミ製円柱状容器 (内径 37 mm, 高さ 64 mm) に 25 g 入れ、デンプンの糊化特性評価システム (Starch pasting cell) により、攪拌・凍結 (フリージング) を行った⁹⁾。運転条件は、攪拌治具と容器のギャップを 1.0 mm とし、攪拌速度 15 回転/秒、冷却速度 1.0 °C/分とした。

2. 5 アイスクリームの X 線 CT システムによる構造観察

2.2 節のように製造したアイスクリームを容量 10 mL のプラスチック製カップに充填したものを試料とし、X 線 CT システム (Microfocus X-Ray CT System inspeXio SMX-225CT、島津製作所製) を用いて構造を観察した。

3. 結果と考察

3. 1 ウルトラファインバブル水による脂肪球凝集率の抑制

既報⁸⁾より、ミックスにファインバブルを注入することで、脂肪球凝集率を上昇させることができた。ただし、アイスクリームの脂肪球凝集率が高いと濃厚な味となるが、バターのような脂肪の塊になってしまい、口に含んでも溶けにくくなる。そこで、ウルトラファインバブル水をミックスの原料として利用することで、脂肪球凝集率がどのようになるかを調べた。

蒸留水、空気ウルトラファインバブル水、および窒素ウルトラファインバブル水を利用して製造したアイスクリームの脂肪球凝集率を図 1 に示す。空気、窒素ウルトラファインバブル水を用いることで、脂肪球凝集率の低下が認められ、特に、窒素ウルトラファインバブル水を用いたアイスクリームが、最も脂肪球凝集率が低くなった。ウルトラファインバブルの表面の電荷がマイナスに帯電して反発しあうため、ミックス中の脂肪球の凝集が抑えられたことが考えられる。さらに、ガス種を窒素とすると、空気に比べて脂肪の酸化や変性を防ぐことができたことにより、脂肪の凝集が抑えられた可能性がある。

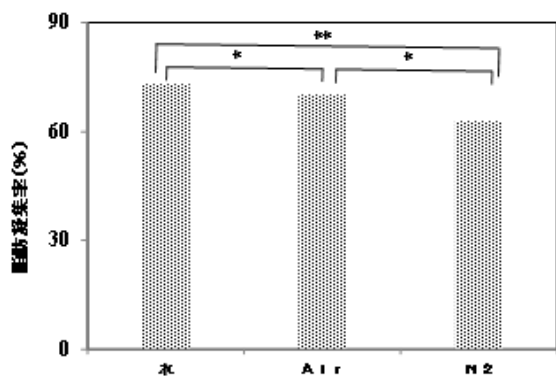


図1 原料水がアイスクリームの脂肪凝集率に及ぼす影響

(水：蒸留水, Air：空気マイクロファインバブル水, N2：窒素マイクロファインバブル水)

*, **: 蒸留水と比べ, それぞれ 5 %, 1 % 水準で有意差あり

3.2 ウルトラファインバブル水によるアイスクリーム製造中の粘度上昇の抑制

フリージング時の粘度の上昇は, 温度が下がりミックス中の水の凍結による氷結晶の成長と, 攪拌を行うことで脂肪が凝集されることなどに起因する⁹⁾.

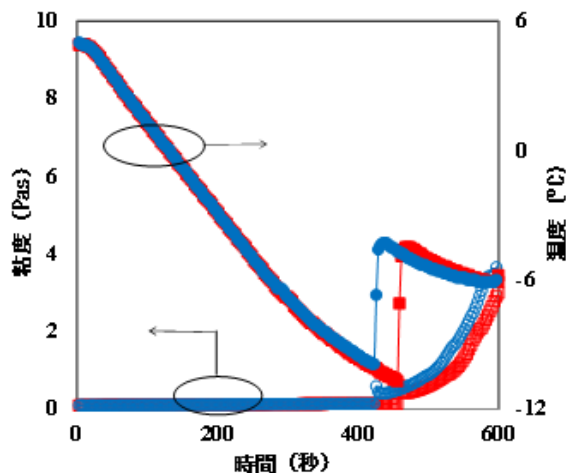


図2 ウルトラファインバブル水によるミックスの温度変化と粘度変化

蒸留水：温度 (●), 粘度 (○)
窒素ウルトラファインバブル水：温度 (■), 粘度 (□)

ウルトラファインバブル水を利用した場合のフリージング工程におけるミックスの粘度変化, 温度変化を図2に示す. 蒸留水を用いた時と比べて, 窒素ウルトラファインバブル水を用いた時は, 粘度の上昇開始時間が遅く, 凍結温度となる -9.8°C を境にして温度が上昇する時間も遅いことが分かった. アイスクリームのような脂肪含有食品では, 3.1節のように脂肪の凝集が急激に進行すると, 製造中に問題となるチャーニング(バターのような状態になる)の発生が考えられる. これまで食品添加物の添加, 脂肪分量の上限値の設定といった配合を工夫することで, 粘度を制御していたが, ウルトラファインバブル水を利用し, 脂肪の凝集を遅らせることで改善できると考えられる.

3.3 ウルトラファインバブル水がアイスクリームの構造に及ぼす影響 (X線CTシステムによる評価)

ウルトラファインバブル水を用いて試作したアイスクリームの画像写真を図3に示す. ウルトラファインバブル水を用いると, アイスクリームの気泡径がやや小さかった. 今回の装置の解像度は $1\ \mu\text{m}^2$ 以上であり, アイスクリームを口にした時の味の感じ方に影響すると言われている数 $10\ \mu\text{m}$ 以上の気泡径を確認した. 気泡径が小さいことで, 空気が味に与える影響を和らげ, 口に含むと強くアイスクリームの味や冷たさを感じることができると推察できる.

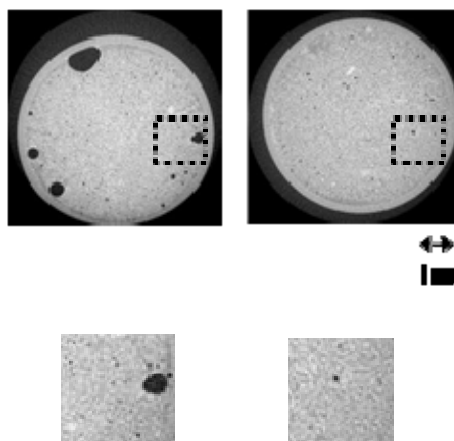


図3 ウルトラファインバブル水がアイスクリームの構造に及ぼす影響 (画像写真)

(左上：蒸留水の断面, 右上：窒素ウルトラファインバブル水の断面,
左下：左上点線囲み部分の4倍拡大,
右下：右上点線囲み部分の4倍拡大)

4. 結論

ウルトラファインバブル水を原料の一つとすることで、アイスクリームの脂肪凝集を制御することを目的として実験を行った。その結果、ウルトラファインバブル水を用いると、アイスクリームの脂肪凝集率が下がること、製造中の粘度上昇を抑えること、およびアイスクリームの後味が残らないことを確認した。ウルトラファインバブル水により、ウルトラファインバブルがマイナスに帯電していることが原因と考えられる。これまで、食品添加物の使用、脂肪分量の抑制、圧力・温度の調整、またはミックスへのファインバブル注入で、脂肪球凝集率、および粘度上昇を制御していたが、ウルトラファインバブル水の利用で対応できる可能性が認められた。ウルトラファインバブル水を利用し、原料費削減、品質向上等につながれば、食品製造事業者の利点となるだけでなく、消費者への新たな訴求点となりうる。今後、アイスクリーム以外の脂肪を含有する食品の製品開発へのウルトラファインバブル水の利用が期待される。

謝辞

本研究の遂行にあたり、農林水産省「知」の集積と活用場 農林水産・食品産業ファインバブル研究開発プラットフォームの方々（プロデューサー松井氏、コーディネーター佐藤氏、I D E C（株）前田氏、荻野氏）から貴重なご助言を賜りましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 寺坂宏一：“ファインバブル技術のトレンドと課題”。化学工学会誌, 78(9), p580-584 (2014)
- 2) 小松恵徳ほか：“ナノろ過処理・脱酸素加熱殺菌クリームの特性”。日本食品科学工学会誌, 56(9), p490-494 (2009)
- 3) F. Kobayashi et al.: “Quality evaluation of sake treated with a two-stage system of low pressure carbon dioxide microbubbles”. J. Agric. Food. Chem., 62(48), p11722-11729 (2014)
- 4) K. Terasaka et al.: “Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge”. Chem. Eng. Sci., 66(14), p3172-3179 (2011)
- 5) 水口義久ほか：“マイクロバブルを用いたトマトの水耕栽培に関する研究”。日本機械学会第24回バイオフィロンティア講演会講演論文集, p3-4 (2013)
- 6) 大成博文ほか：“マイクロバブル技術によるカキ養殖効果”。水工学論文集, 46, p1163-1168 (2002)
- 7) 安田久一：“ナノろ過処理・脱酸素加熱殺菌クリームの特性”。日本音響学会誌, 73(7), p427-431 (2017)
- 8) 佐合 徹：“アイスクリーム製造におけるファインバブル技術の利用”。三重県工業研究所研究報告, 40, p27-31 (2016)
- 9) 佐合 徹ほか：“アイスクリーム少量製造技術の開発および粘度、温度変化の可視化”。日本食品工学会誌, 16(4), p291-296 (2015)