

## ファインバブルによる植物性脂肪の水中での凝集

佐合 徹\*, 山崎栄次\*

### Application of Fine Bubble to a Globule Aggregation of Vegetable Fat in Water

Toru SAGO and Eiji YAMAZAKI

A purpose of this study is the control of fat globule aggregation by the application of fine bubble technology to the vegetable fat suspension. For different concentration of vegetable fat suspensions, the viscosity, the dissolved oxygen concentration, and the fat globule aggregation of the suspension were investigated. The fine bubble injection in the suspension was confirmed by the increased dissolved oxygen concentrations. The viscosity and the fat destabilization rate increased in the suspension by the fine bubble. In conclusion, the application of fine bubble technology to vegetable fat suspension can lead to increasing viscosity of fat suspension and to maintaining the fat destabilization which have an effect on food quality.

Key words: Vegetable Fat, 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まで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<sup>1)</sup>、クリーム製造中の酸化の抑制<sup>2)</sup>、清酒の貯蔵劣化の抑制<sup>3)</sup>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<sup>4)</sup>、農業分野での水耕栽培<sup>5)</sup>、水産分野でのカキ養殖<sup>6)</sup>に利用されており、さらなる展開が期待されている。

これまでに、我々は、脂肪を多く含み、泡を含有するアイスクリームの製造にファインバブルを利用することを試み、ファインバブルがアイスクリームのおいしさを示す指標の1つとなる脂肪の凝集を促進することを確認した<sup>7)</sup>。ファインバブルを利用して脂肪の凝集を制御できれば、アイスクリームだけでなく、乳化食品、その他脂肪を含む食品への応用が期待できる。そこで、アイスク

リームをはじめ多くの食品に使われている植物性脂肪を選択した。植物性脂肪は、乳由来の脂肪のような動物性脂肪とは、脂肪酸組成が異なるため、脂肪の物性変化、特に、脂肪の凝集の状態が動物性脂肪と異なると考えられる。従来、乳化剤のような食品添加物の使用や圧力・温度調整することで、脂肪の凝集を制御してきたが、ファインバブルを利用することで、原料費削減、品質向上等につなげることができれば、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。

本報では、ファインバブルによる植物性脂肪の凝集制御ができるか調べることを目的に、ファインバブル発生装置を用いて植物性脂肪を含んだ分散液にファインバブルを注入した時の脂肪凝集の確認と物性変化を測定したので報告する。

#### 2. 実験方法

##### 2. 1 植物性脂肪分散液の調製

植物性脂肪は、広く利用されている食用油脂(日

\* 食と医薬品研究課

清サラダ油, 日清オイリオグループ (株) 製) 1%, 3%, および 5% の分散液を総量 3 kg となるように配合し, 業務用ミキサー (MX-152SP, パナソニック (株) 製) にて 6 分攪拌して調製した. なお, 今回の調製では, 乳化剤は使用していない.

## 2. 2 ファインバブルの注入

ファインバブルの発生には, マイクロバブル発生器 (泡多郎 A-PW-04, ニッタ (株) 製) を用いた. この装置は, 気液混相流に旋回流を付加し吐出することで気相 (空気) が細かくされたファインバブルを発生させる仕組みである. 得られるファインバブルの粒子直径は, 2~50  $\mu\text{m}$  であった. ノズル 1 基あたりの吸気量は, 約 12 mL/min, 流量は, 3 L/min とした<sup>8)</sup>. この装置を用いて, 2.1 の分散液 3 L を 1~35 分間循環させてファインバブルを注入した.

## 2. 3 溶存酸素濃度の測定

植物性脂肪分散液中の溶存酸素濃度は, 生化学用高感度溶存酸素計 (オキシグラフ 9 型, セントラル科学 (株) 製) を用いて測定した.

## 2. 4 粘度測定

植物性脂肪分散液は, 動的粘弾性測定装置 (AR-G2, TA Instruments 製) を用いて粘度を測定した. 試料 2 mL を試料台の上に秤量し, 治具は 60 mm コーンプレート (角度 2°), 品温 20°C の条件で測定した. せん断速度 1~100 1/s まで変化させて行った. せん断速度に対する粘度を測定した.

## 2. 5 脂肪球凝集率の測定

植物性脂肪分散液の脂肪球凝集率はレーザー回折式粒度分布測定装置 (SALD2100, 島津製作所 (株) 製) を用いて測定した. 脂肪球凝集率の計算は, ファインバブル注入前の試料の脂肪球粒度分布範囲においてその累積分布が全粒子の 90% を占める粒径を  $A \mu\text{m}$  とした場合, ファインバブルを処理した時の脂肪球粒度分布範囲から指標とした粒径  $A \mu\text{m}$  以下の累積分布  $X\%$  を求めた. そして, 注入前後の累積分布の差 ( $90-X$ ) を求め, この割合を脂肪球凝集率 (製造工程中に発生した脂肪球凝集の割合) とした<sup>9)</sup>.

## 3. 結果と考察

### 3. 1 溶存酸素濃度増加によるファインバブル注入の確認

ファインバブル発生器を運転開始前の溶存酸素濃度を基準として, 注入時間 30 秒ごとの溶存酸素濃度変化 (図 1) を示す. 5% の植物性脂肪を含む分散液において, 注入開始 30 秒後から植物性脂肪を含む分散液の溶存酸素濃度は増加した. 植物性脂肪 1% と 3% の分散液についても同様の傾向が見られた. 南川らは, マイクロサイズのバブルを発生させることで溶存酸素濃度が増加し, 水質の浄化につながることを報告している<sup>10)</sup>. 溶存酸素濃度の増加は, 液体にファインバブルが含まれている判断材料となる. このことから, 溶存酸素濃度の増加は, ファインバブルが植物性脂肪を含む分散液に注入されていることが推定される.

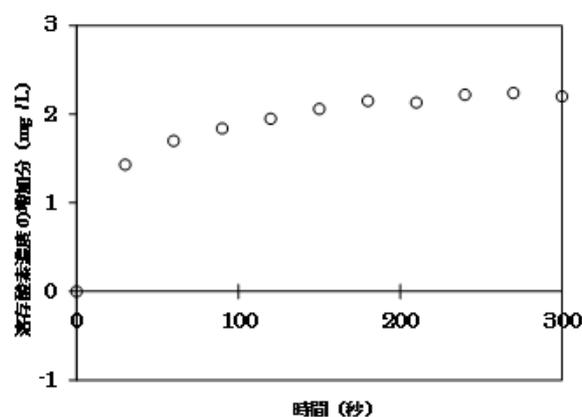


図 1 ファインバブル注入時間が溶存酸素濃度に及ぼす影響

(運転開始前の溶存酸素濃度を基準とした.)

### 3. 2 植物性脂肪分散液の粘度の上昇

ファインバブルを 35 分間注入した 3% 植物性脂肪を含む分散液を試料とした時のせん断速度 1~100 1/s まで変化させた時の 20°C での粘度変化 (図 2) を示す. 品温 20°C では, ファインバブルを注入すると, 粘度は高くなる傾向がみられた. 植物性脂肪 1% と 5% の分散液について同様の傾向を確認した. また, ファインバブル注入前の分散液の粘度は, その濃度が上昇するにつれて, 増加することがわかった. 以前の研究において, アイスクリームミックスは, 脂肪球の凝集が進行することで, 粘度が上昇することを報告した<sup>11)</sup>. また, 清水は, 灯油と界面活性剤を原料として, 膜乳化法により調製したエマルジョンの液滴径が大きくなると脂肪の凝集が進行し, 粘度が上昇すると報告している

12). この結果は、ファインバブルを3%植物性脂肪の分散液に注入する過程において、脂肪球の凝集が進み、粘度の上昇が起きたと考えられる。高粘度であることは、脂肪含有食品製造中の組織形成に良い影響を与え、かつ、凝集した脂肪の濃厚な風味を演出できる可能性がある。これまで食品添加物の添加や、加圧、加熱することで、粘度を制御していたが、ファインバブルの利用により増粘させることが可能と考えられる。

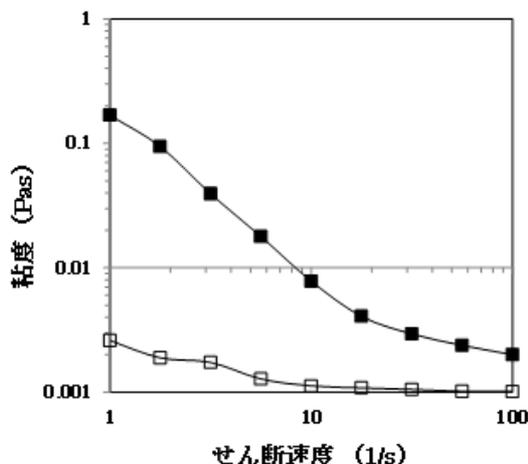


図2 植物性脂肪を3%含んだ分散液のせん断速度が粘度に及ぼす影響 (20°C)

■ : ファインバブル注入35分後の分散液  
□ : ファインバブル注入前の分散液

### 3.3 植物性脂肪分散液の脂肪球の凝集促進

1%、3%、および5%の植物性脂肪を含む分散液のファインバブル注入時間に対する脂肪球凝集率の関係 (図3) を示す。1%分散液は、注入時間を長くすることで、脂肪球凝集率の上昇が認められ、3%と5%の分散液は、15~20分を経過すると、脂肪球凝集率の上昇はほぼ止まった。また、3%分散液が、5%分散液と比べて、脂肪球凝集率は高くなった。分散液の脂肪分の濃度によって、脂肪球凝集率の上昇の程度が変わる要因としては、ファインバブル注入前の脂肪球の凝集状態が異なることが考えられる。脂肪分の濃度やファインバブルの注入時間を設定することで、脂肪凝集を制御できることが示唆された。アイスクリームのような脂肪含有食品では、脂肪の凝集が急激に進行すると、製造中に問題となるバターのような塊ができる。今回の結

果をもとにファインバブルによる脂肪の凝集を制御できれば、前述のような現象を防ぐことに役立てられる。

小久保らは、アイスクリームにおいて攪拌・凍結後の温度によって脂肪球凝集率が異なると報告している<sup>9)</sup>。幅広い温度帯でのファインバブル注入品の脂肪の凝集能を検証する必要がある。また、脂肪球凝集率を指標として、効率化、低コストを目指した他のファインバブル発生装置の比較検討も望まれる。

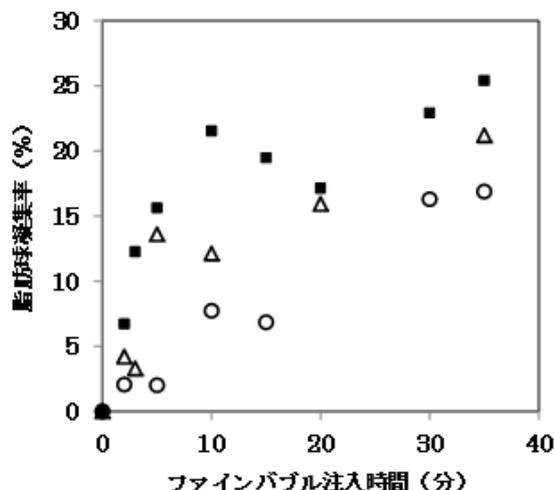


図3 植物性脂肪を含んだ分散液のファインバブル注入時間が凝集率に及ぼす影響 (○ : 1%, ■ : 3%, △ : 5%)

### 4. 結論

植物性脂肪を含む分散液にファインバブルを注入したところ、溶存酸素濃度の増加から、ファインバブルの存在を確認した。ファインバブルの注入により、植物性脂肪を含む分散液の脂肪球凝集率が高くなり、結果として、脂肪球の凝集が促進され、分散液の粘度を上昇させた。これまで、食品添加物を用いることや圧力・温度調整することで、脂肪球凝集率を制御していたが、ファインバブルの利用で対応できる可能性が認められ、また、その物性改良にもつながる可能性が示された。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応用が期待できる。

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) 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)
- 8) 男成妥夫：“オゾンマイクロバブルと超音波照射による洗浄”. 分離技術,40(3), p12-17 (2010)
- 9) 小久保貞之ほか：“アイスクリームの脂肪球凝集に及ぼすダッシャータイプとその回転数の影響”. 日本食品科学工学会誌,42(3), p183-189 (1995)
- 10) 南川久人ほか：“微細気泡の最新技術”. NTS, p172-184 (2006)
- 11) 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)
- 12) 清水正高：“エマルションの粘度特性に及ぼす液滴径の影響”. 宮崎県工業技術センター研究報告, 53, p13-18 (2008)