

ファインバブル化した海水の計測

日本海(出雲市沖)-瀬戸内海(竹原市沖)-太平洋(伊豆大島沖)

野村 正人^{†1}, 佐々木 大五朗^{†2}

Measurement of Seawater with Fine Bubble Formation

— The Sea of Japan (offshore Izumo) — The Seto Inland Sea (offshore Takehara) —
The Pacific Ocean (offshore of Izu Oshima) —

Masato NOMURA^{†1} and Daigoro SASAKI^{†2}

Abstract

As a part of our research on fine bubble, we investigated the fine bubble aeration in seawater. The seawater used in the experiment was seawater from three different tidal currents surrounding the Japanese archipelago (offshore of Izumo on the side of the Sea of Japan, offshore Takehara in the Seto Inland Sea, and offshore of Izu Oshima in the Pacific Ocean), and the change of quality following the fine bubble aeration was measured. As a result, in the formation of fine bubble in the seawater collected from three locations with completely different geography surrounding the Japanese archipelago, it was revealed that the formation of fine bubble can progress efficiently with lower salinity (%) and lower proportion of Na⁺ ions with respect to the physical properties of the collected raw water. In addition, it was also confirmed that the amount of CO₂ dissolved in seawater was associated with the increase of the number of particles when fine bubble aeration was performed.

Keywords: fine bubble, Sea of Japan (offshore Izumo), Seto Inland Sea (offshore Takehara), Pacific Ocean (offshore of Izu Oshima),

1.緒言

近年, ファインバブル(Fine Bubble)に関する機能性についての研究が進み, その特異的な物性が明らかにされるようになると, その用途は農業, 水産業, 医療, 製造分野などで広く利用¹⁻⁸⁾されるようになり, 現在に至っている. そのファインバブルには気泡の大きさと水中で白濁するマイクロバブル(直径約 1~100 μ m)と水中で透明なウルトラファインバブル(ナノバブルから名称変更, 直径約 1 μ m 以下)の2種類があり, 用途の目的に合った開発⁹⁻¹⁷⁾とその改良が進んでいる. 現在もその気泡についての研究は機械工学や化学工学の分野¹⁸⁻²¹⁾で盛んに行われており, 産業界ではそれらの発生技術にともなう技術の国際標準化が提案²²⁻²⁵⁾されている. 一方, 今回の実験で使用した海水については日本海側の出雲市沖, 瀬戸内海の竹原市沖, および太平洋の伊豆大島沖で採取したものである. 日本海の表層は東シナ海から日本列島沿いに

北上(対馬海流)し, 津軽や宗谷海峡から流れ出ている. 瀬戸内海は潮汐の干満差が大きく, しかも複雑な地形と狭い海峡が多くあり, 潮流の速い海域である. また, 太平洋側の海流は黒潮(日本海流)と親潮(千島海流)が三陸海岸沖あたりでぶつかる海域があり, 「潮目」と云い水産資源の豊富な場所となっている. このような日本列島を取り囲む潮流の異なる海水をファインバブル処理した後の気泡(ファインバブル)について計測したので, これらの結果について報告する.

2.実験

2.1 実験試料

実験に使用した海水は2019年10月中旬に日本海側の出雲市沖と瀬戸内海の竹原市沖で採取した. また, 太平洋の伊豆大島沖の海水は同年の11月中旬頃に採取した

^{†1} 近畿大学名誉教授

^{†2} (株)テックコーポレーション

Professor Emeritus of Kindai University
Techcorporation Co.,Ltd.

ものである。

2.1 ファインバブルの生成装置

弊社が開発した製品であるファインバブル発生装置 FINEAQUA MN-20(100V, 稼働周波数 55Hz)で出雲市沖海水 22L, 竹原市沖海水 18L, および伊豆大島沖海水 15L に対して, 大気(空気)を流量 0.15L/min で所定時間(5~20 分間)吹き込む操作を行った。

2.2 測定項目

2.1)の項で, ファインバブル化したそれぞれの海水の物性変化については東亜 DKK 製 WM-32EP 型装置を使用して, 電気伝導率(以下, EC(s/m)と略す), pH, 酸化還元電位(以下, ORPと略す),および塩分濃度(%)を測定した。Na⁺濃度(ppm)は HORIBA 製 Na-11 で, dCO₂(溶存二酸化炭素量)測定は東和 DKK 製 CGP-31 装置で測定した。また, 粒子数(x10⁷ particles/mL)の解析はナノ粒子解析システム Nano Sight NS 500 装置 Malvern (社)製を用いて測定した。

3. 結果および考察

一般に海水中には主なイオンとして, ナトリウムイオン(Na⁺), マグネシウムイオン(Mg²⁺), カルシウムイオン(Ca²⁺), カリウム(K⁺), 塩化物イオン(Cl⁻), および硫酸イオン(SO₄²⁻)などが溶け込んでいるが塩分の存在量(g/kg)は変動する傾向がある。また, 海水に溶け込んでいる塩分(3~5%程度)や二酸化炭素が炭酸物質(炭酸, 酸性炭酸イオン, 炭酸イオン, および二酸化炭素イオン)として平衡状態を保っているなどの影響により, 海水は地域より pH8(8.0~8.3)程度の弱いアルカリ性になっている。これらのことをふまえて, 日本列島の周辺海域から入手した海水についてファインバブル処理した後の海水の物性について分析した。まず, 日本海側では対馬海流(暖流)とリマン海流(寒流)が混ざり合った海域に位置する出雲市沖の海水を 5 分, 10 分, および 20 分間ファインバブル処理した後の物性変化を Table-1 に, Fig.1 には粒子数の変化を示す。その結果, 原水に比べファインバブル化に費やす時間の経過により, 粒子数が約 4 倍に増加した数値が得られた。その海水の EC 値は一端減少するがその後, 僅かではあるが増加する傾向が認められた。このことは空気による海水のファインバブル化により海水中溶存酸素の富化が起こることが考えられるが窒素により溶存酸素が放散され, 同時に存在するいずれかの炭酸イオンも放散される影響によるものと考えられる。また, dCO₂ 量は時間の経過とともに約 2 倍量に増加する傾向(1.52 →5.70)が見られ, 一方, ORP はその値が高いと殺菌効果があり, アルカリ飲料水の指標として使用されている。そこで, 出雲市沖の海水をファインバブル処理すると, 空気中の酸素の脱気が行われる傾向が見られ数値はいったん減少する傾向にあり, 海水自体に含まれてい

る水分子が電子を失うと同時に様々な微量元素の間での酸化還元反応が起こっていることが推測されることから時間の経過とともに徐々に原水に戻る傾向にあるものと考察した。今回の空気を導入したファインバブル処理では空気中に存在している空気中に存在している水分子が電子を失って気体酸素遊離するなどの酸化反応起こり, 同時に二酸化炭素の吸収値が上昇(約 2 倍量)していることから気液接触反応が生起し, 一般的に云われている海水への二酸化炭素固定作用が働いていることを確認することができた。

Table-1 出雲市沖海水のファインバブル処理後の物性

	原水	FB(5分)	FB (10分)	FB (20分)
EC(s/m)	4.35	3.54	3.63	3.74
pH	7.69	7.9	7.9	7.89
TEMP (°C)	21.9	23	24	26.7
ORP (mV)	+226	+148	+165	+182
塩分濃度 (%)	2.7	2.18	2.28	2.3
Na ⁺ (ppm)	6500	6500	6200	6100
dCO ₂ (mg/L)	0.78	0.9	1.05	1.67
粒子数(x10 ⁷ particles/ml)	1.52	4.97	5.46	5.70

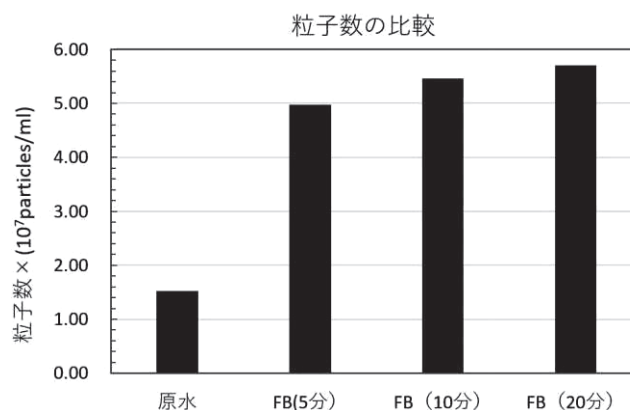


Fig.1 出雲市沖海水のファインバブル処理後の粒子数 (経時変化)

つぎに, 年間を通じて気候的に温暖な瀬戸内海の竹原市沖で採取した海水について, ファインバブル化を行った。その結果についての物性変化を Table-2 に, Fig.2 には粒子数の変化を示す。日本海側の海水は四季を通じて対馬列島から日本海流れ込み北上し季節によって海流の海面の流れが変化する海水であるのに対して, 瀬戸内海の海水は下関海峡から入り込む暖流の対馬海流(黒潮の一部が入り込む)と太平洋側を流れている黒潮が豊後水道あたりで合流して瀬戸内海に入り込み, 季節により大きな干満差による海流の変化を繰り返していることが

見られる海水である。その海水をファインバブル化した後の物性を分析した。その結果、ファインバブル化による海水の ORP の変化については、原水(288)に対して経時的に減値する傾向があり、20 分後には ORP=248 の数値(約 15%減)を示した。また、瀬戸内海の海水では溶存 CO₂ の値は大きく、荒々しい海の想像がある日本海の海水に比べ、複雑な地形はあるものの温暖な瀬戸内の海では海水の流れが緩慢になり、海水自体が動きの遅い大きな溜水のような状態となっていることが考えられる。このようなことから、日本海の海水と比べてもすでに約 5 倍量の CO₂ が溶け込んでおり、今回の空気ファインバブル化処理した海水では高い溶存 CO₂ が存在していることから、溶存しにくい均衡された海水ではないかと考察した。このことは経時変化によるファインバブル化処理した後の海水に存在する粒子数にも見られ、一定時間(5 分間)を要して処理すれば経時変化に関係なく、一定量の粒子数しか溶存しないことが分かった。日本海に比べて、全体の海水の動きが静かな瀬戸内海では安定した日照時間の下で、適度な時間をかけて海流の動きによりバブリングが生じて、大気中に存在する CO₂ も溶存した後も維持されるものと考えられる。

Table-2 竹原市沖海水のファインバブル処理後の物性

	原水	FB(5分)	FB(10分)	FB(20分)
EC(s/m)	4.37	3.78	3.7	3.72
pH	7.39	7.38	7.37	7.35
TEMP (°C)	20	22	23.4	25.9
ORP (mV)	+288	+272	+262	+248
塩分濃度 (%)	2.71	2.26	2.25	2.36
Na ⁺ (ppm)	5900	5700	5700	5700
dCO ₂ (mg/L)	3.7	4.4	5.1	6.2
粒子数(×10 ⁷ particles/ml)	4.62	9.33	9.60	9.46

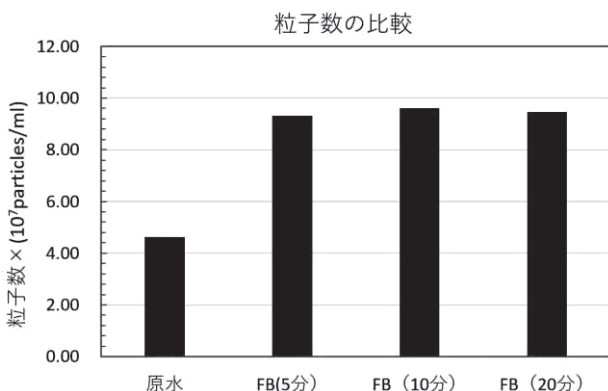


Fig.2 竹原市沖海水のファインバブル処理後の粒子数 (経時変化)

最後に、太平洋側を流れている海流には暖流である黒潮(日本海流)と寒流である親潮(千島海流)があり、その年の気候状況によっては、これらの海流が合流する海域が大幅に移動することが知られている。そこで、日本列島の太平洋側で沿岸に近い位置にある伊豆大島沖で採取した海水について、ファインバブル化を行った。その結果についての物性変化を Table-3 に、Fig.3 には粒子数の変化を示す。前述した日本海海、および瀬戸内海の海流(原水)とは異なる点としては、EC 値と Na⁺濃度(ppm)が大きく異なる他に、大きな海流の流れが見られる海域では溶存 CO₂ 値が小さいことが特徴の海水であることを確認することができた。このことから、海流の移動により海水表面が波動風などの影響により、波立つが長い潮流の中で空気中の CO₂ の固定化が進まないなどの要因により日本海側の海水と同じような数値になっているものと考えられる。3 地点で最も高い ORP 値を示した太平洋側の海水をファインバブル化すると ORP 値は若干上がる傾向が見られる一方、海水に溶解している Na⁺イオン濃度値が小さい(原水では 4,000ppm)ことなどの影響と考えられることから、空気を導入した今回のファインバブル化処理では空気中に存在する CO₂ の吸収による固定化が進み、3 地点の海水の中では一番大きく、約 4 倍量近い CO₂ 量 (0.97→4.1) が溶け込む傾向があることを確認することができた。また、ファインバブル化処理の粒子数を測定したところ、短時間(5 分間)で処理した場合には、存在している Na⁺濃度値が低いことからファインバブル化が一気に進むことを確認することができた。

Table-3 伊豆大島沖海水のファインバブル処理後の物性

	原水	FB(5分)	FB(10分)	FB(20分)
EC(s/m)	3.26	2.79	2.7	2.73
pH	7.29	7.29	7.29	7.27
TEMP (°C)	18.2	20.3	21.9	24.8
ORP (mV)	+315	+332	+335	+322
塩分濃度 (%)	1.96	1.64	1.49	1.6
Na ⁺ (ppm)	4000	3800	3800	3700
dCO ₂ (mg/L)	0.97	3.7	4.1	4
粒子数(×10 ⁷ particles/ml)	3.76	8.60	6.43	6.30

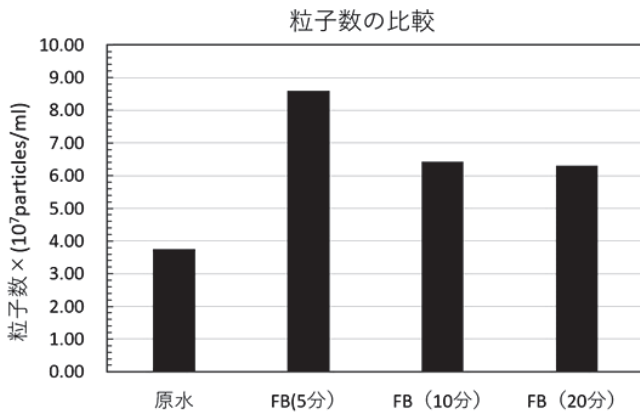


Fig.3 伊豆大島沖海水のファインバブル処理後の粒子数 (経時変化)

以上、今回行った日本列島周辺の地形が全く異なる3地点で採取したそれぞれの海水のファインバブル化では、原水中に存在している塩分濃度(%)とNa⁺イオンの存在割合が低いほど、採取した原水の物性によっては効率良くファインバブル化が進むことを明らかにすることができた。また、いずれの海水も稼働前よりもMN-20装置を利用することにより、粒子数が増加することも確認することができた。このようなことから、水産業を始めとする農産業などへの応用も考えられることから、それぞれの多岐にわたる分野での用途拡大が期待される。

4. 参考文献

- 高橋宏昌, 喜久田利弘, 立花克郎, 新しい超音波技術の医療利用, *検査技師*, **18**(12), pp.1305-1307(2013).
- 西原一寛, 前田重雄, 特集II-4 ファインバブル技術の食品工業への応用, ウルトラファインバブルの発生・計測と食品, 農業, 洗浄分野への応用, *食品と開発*, **Vol.49**, No.3, pp. 26-28(2014).
- 寺坂宏一, ファインバブル技術の最前線, *日本エネルギー学会*, **93**(11), pp.1022-1024(2014).
- 前田重雄, ウルトラファインバブルの生成・計測と産業洗浄分野への応用(特集 ファインバブルの洗浄への応用), *産業洗浄技術情報誌*, **16**, pp.21-25(2015).
- 前田重雄, ウルトラファインバブルの生成と農業分野および産業分野への応用(特集 拡大するファインバブル利用), *静電気学会誌*, **40**(5), pp.230-234(2016).
- 新井喜博, 加速するファインバブル技術の産業化, *ARC リポート(RS-1007: ㈱旭リサーチセンター)*, pp.1-26(2016).
- 立花克郎, ウルトラファインバブルの研究開発=医療応用への挑戦=, *超音波テクノ*, **30**(3), pp.10-13(2018).
- Matthes S., Thomas B., Ohde D., Hoffmann M., Bubenheim P., Liese A., Tanaka S., Terasaka K., Schlueter M., Fujioka S., *J.Chem. Engi. Jap.*, **Vol.53**(10), pp.577-584(2020).
- Weijjs J. H., Seddon J. R. T., and Lohse D., Diffusive shielding stabilizes bulk nanobubble clusters, *Chem. Phys. Chem.*, **Vol.13**, pp.2197-2204(2012).
- 島岡治夫, 特集II-3 ファインバブル技術の食品工業への応用, ファインバブルの測定について, *食品と開発*, **Vol.49**, No.3, pp. 24-25(2014).
- Yasui K., Grieser F., Choi P. K., Enomoto N., Harada H., Okitsu K., and Yasui K., *Eds.(Elsevier, Amsterdam, 2015)*, Chap. 3, "Dynamics of acoustic bubbles", in *Sonochemistry and the Acoustic Bubble*, pp.41-83.
- Yasui K., Tuziuti T., Kanematsu W., and Kato K., Dynamic equilibrium model for a bulk nanobubble and a microbubble partly covered with hydrophobic material, *Langmuir*, **Vol.32**, pp.11101-11110(2016).
- 安永 望, 高田 誠, ファインバブルによる洗浄技術とその応用, *表面技術*, **68** 巻 6 号, pp.313-316(2017).
- 島岡治夫, ファインバブルの計測法, *表面技術*, **68** 巻 6 号, pp.326-330(2017).
- 安井久一, 小特集 -音波と気泡- ウルトラファインバブル, *日本音響学会誌*, **73** 巻, 7 号, pp.424-431(2017).
- 綾 信博, 平澤誠一, ファインバブル技術の研究開発と活用の可能性, *FRAGRANCE JOURNAL*, **46**(3), pp.35-41(2018).
- 鈴木 薫, 李 和樹, 梅村靖弘, 胡桃 聡, 皆藤 孝, 塩野光弘, 三浦 光, 小野 隆, 田辺光昭, 吉田幸司, 木村元昭, ファインバブルの発生と応用に関する研究, *日本大学理工学部理工学研究所, 研究ジャーナル*, **2018**(143), pp.8-19(2018).
- 牛田晃臣, 長谷川富市, 天木桂子, 中島俊之, 高橋尚之, 鳴海敬倫, *日本機械学会論文集(B 編)*, **77**(5), pp.1219-1228(2011).
- 中村宣貴, ファインバブルによる洗浄・殺菌技術(特集 食卓の安全を守る殺菌および検査技術) - (食品殺菌の新技术) -, *冷凍*, **91**(1065), pp.522-526(2016).
- 藤本弘明, 服部香名子, 大矢 勝, マイクロバブル含有シャワーによる皮膚表面に吸着した界面活性剤の除去性, *日本家政学会誌*, **67**(9), pp.491-496(2016).
- 山口庸子, ファインバブルの水系洗浄への導入, *オレオサイエンス*, 第 **17** 巻 第 9 号, pp.421-426(2017).
- 綾 信博, 特集II-2 ファインバブル技術の食品工業への応用, ファインバブル技術国際標準化の現状, *食品と開発*, **Vol.49**, No.3, pp. 22-23(2014).
- 経済産業省, 国際標準化・認証への取り組みについて(資料1), 2014年5月.
- 綾 信博, ファインバブルの基礎と洗浄への応用, 特集ファインバブルの洗浄への応用, *産業洗浄, 日本産業洗浄協議会*, **No.16**, pp.8-16(2015).
- 寺坂宏一, 氷室昭三, 安藤景太, 秦 隆志, ファインバブル入門, *㈱日刊工業新聞社出版*(2016), pp.22-33.