

ファイン（ナノ・マイクロ）バブル水の産業への応用

戸部廣康

（独）国立高専機構・高知高専

2015.3.30 受理

1. はじめに

1) ファインバブルは非線形現象

日本で最初にノーベル賞（物理学賞）を受賞した湯川秀樹博士の言葉に、「自然は曲線を創り、人間は直線を創る」¹⁾ というのがある。人間は自然現象を理解・記述する為に、先ずその現象を構成する要素を見つけ出し、その要素毎に分析・理解した後、それらの各要素の分析結果を統合して、その現象の全体像を明らかにするという手法である。この手法を要素還元主義という。曲線（非線形）を直線（線形）で近似することは、微分・積分法という数学・数式を用いて可能である。しかし、系を構成する多要素が非線形相互作用する場合は困難であり、例えば天気予報や地震の予知などは、スーパーコンピューターを用いても未だ不十分な状態である。又、生物現象も所謂「複雑系」であり、例えば一つの酵素反応は数式で表すことは出来るが、ヒトの体内で起こっている全ての酵素反応がどの様に統合され、生命現象を支えているのか、その全体像を理解することは難しい。

一般に流体現象は非線形性が強く、ある現象・系において測定可能な一つのパラメーターを決め、その経時的な変化を装置で測定しても、現象・系が別の系へ遷移し、そのパラメーターの測定が困難に、或いは無意味になる場合が多い。従って、所謂スケールアップにおいて、小さい系で得た数字を、線形的に大きな系に移しても、予想通りの結果が得られない。そこで、パラメーターを変化させ、得た結果を又パラメーターに反映させるという試行錯誤のループを繰り返す必要がある。実例として、バブル発生装置の設計と製造がある。京極²⁾の報告によれば、旋回型マイクロバブル発生に最も重要な点は、「旋回流の渦が崩壊するノズル出口の曲率半径」であるとのことである。又、例えば10nmの直径のファインバブルのみを発生させることは現在の技術では不可能であり、幅を持たせて10～100nmのバブルを発生させるとしても、装置の設計と製造との試行錯誤が必要であり、時間も要する。

2) 機能水としてのファインバブル水

機能水には以下のようなものが知られている。

- ① 電解水：アルカリイオン水（飲用アルカリ性電解水：pH9～10、陰極側 $\text{OH}^- + \text{H}_2$ 、胃腸症状改善）、酸性電解水（次亜塩素酸水：強酸性、弱酸性および微酸性；陽極側 HClO 、食品添加物殺菌料）、強アルカリ性電解水（pH11以上、陰極側 $\text{OH}^- + \text{H}_2$ 、油脂・タンパク質性汚れの洗浄除去）、オゾン水（殺菌料）
- ② 超純水：電子部品の洗浄
- ③ 超臨界水、亜臨界水：物質を溶媒する能力（プラスチックの分解等）
- ④ 海洋深層水：飲用；RO膜処理後ミネラル調整添加
- ⑤ ファイン（ナノ・マイクロ）バブル水：（空気、 N_2 、 O_2 、 CO_2 、 O_3 等）

⑤のファインバブル水の歴史は比較的新しく、世の中に広く認知されるようになったのは、ここ10年程である。ファインバブル水は、「水と気体の相互作用」によって生ずるものであり、上記の機能水①～④とは異なる機能を有している。この機能は、用いる気体の種類により、又バブルのサイズ（直径）により、多様な機能を示す。これらの多様な機能を完全に理解するまでには未だ至っておらず、バブルの作用機序の解明は不十分である。しかしながら、ファインバブル水の実用は、色々な分野で進んでいる。

3) ファインバブル水ビジネスの現状

一言で現状を表すとすれば、「理論より、実用・応用」ということになる。前述のように、ファインバブルは気体と液体の相互作用から生ずる微細気泡であり、流体現象である。流体現象は一般に非線形性が強く、その解析には困難が伴う。前述の様に、バブル発生器の設計・製造においては試行錯誤が必要となり、開発に時間を要する。又、発生するバブルのサイズ（直径）やその個数・分布は、発生器の構造や水の特性（温度、pH、粘性等）に依存するので解析が難しく、性能保

証も難しい。更に、微生物・植物細胞・動物細胞・ヒトへの作用については、色々な生理作用が認められるにもかかわらず、その作用機序の解明は未だ不十分である。

一方、ファインバブルを検出・定量する機器やバブルの表面電荷（ゼータ電位）測定器も開発され、新しい段階に入りつつある。従って、ファインバブルの理解については未だ不十分ではあるが、その実用・応用については、広範な産業・サービス分野に広がりつつあり、将来期待が持てる技術である。経済産業省もこの技術を日本発の技術の一つとする為、「国際標準化」を急いでいる。バブルの評価・測定法、基準値の設定、関連規則・法律の設定等を日本が「国際標準化」すれば、この技術を国際的に、日本に有利な形で展開できる。

ファインバブル関連情報のキーワードを、新聞³⁾から求めると、「未知の泡、活用広がる：野菜おいしく／トイレ洗浄／廃液処理」、「新産業の創出推進、利用法：アイデア次第、安全・将来性高く」、「異業種タッグ世界へ／農工連携（植物工場等）」、「日本発のバブル技術の、世界標準化を急ぐ」というキーワードをピックアップ出来る。従って、現在はファインバブルは未知の泡であり、それ故に可能性の大きい、「理論より、実用・応用が先行」している技術なのである。

2. 学会・経済産業省の方針

1) 「微細気泡産業会」の設立

ファインバブル技術を発展・推進させるため、産学官連携の組織として「微細気泡産業会（FBIA：Fine Bubble Industries Association）」⁴⁾が設立された。

- ・名称：一般社団法人 微細気泡産業会
- ・設立：平成 24 年 7 月 23 日
- ・会長：矢部 彰（独立行政法人 産業技術総合研究所 理事）
- ・活動：① 国際標準化（ISO/TC281 の国内審議団体として国際規格及び JIS 規格案の策定）
② 認証事業（ファインバブルのサイズ、量等の測定法に関する認証システムの構築）
③ 基盤技術研究開発
④ 基礎情報収集/提供事業

ファインバブル水の経済規模（ビジネスボリューム）を、FBIA 公表の数字を元にグラフ化すると、図 1 のようになる。ビジネスボリュームは、「コア製品、システム、及びサービスの総計」で表わしている。今か

ら 15 年後の 2030 年には、国内・海外とも非常に大きい経済規模になり、国内では 8,500 億円、海外では 12.67 兆円になると予測されている。

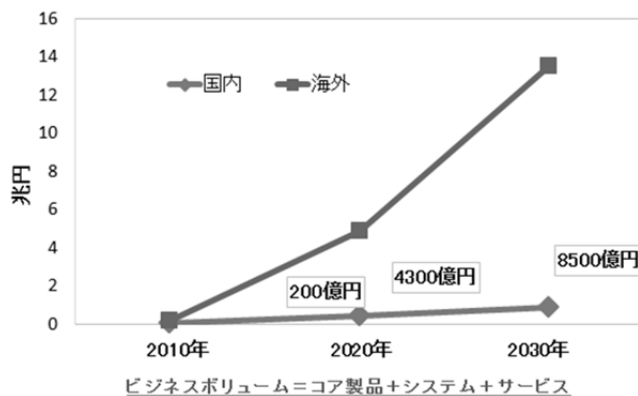


図 1. ファインバブル水ビジネスの将来の経済規模

マスコミでは、FBIA の活動は、以下の様に報道されている。

- ① FBIA が国際標準化機構（ISO：International Organization for Standardization）に、ファインバブルの技術専門委員会（TC：Technical committee）の設置を提案⁵⁾（日刊工業新聞、2013.2.27）
- ② FBIA は国際標準規格の確立を目指す⁶⁾（日刊工業新聞、2014.9.12）
- ③ FBIA は、日本でファインバブル技術の国際会議を開催し、当該 TC の国際幹事国を引き受け⁷⁾（経済産業省 News Release、2013.10.21）

こうして、「ファインバブル技術」は、社会に認知されるようになって来たのである。

2) 経済産業省の予算処置

経済産業省はファインバブル基盤技術研究開発事業として、平成 26 年度概算要求：5 億円がなされている⁸⁾。用途としては、以下のことが挙げられている。

- ① 農業用途への利用：生育促進技術、洗浄技術、機能封入技術、殺菌技術
- ② 工業用途への利用：精密剥離技術、水質浄化技術、脱脂技術、表面改質・材料生成技術

ファインバブルの有する「酸化力維持作用、生理活性作用、界面活性作用、衝撃圧力作用等」の応用が期待されているのである。

3. ファインバブルの特性

ファインバブルとは、直径 1nm~100 μ m の微細気泡であり、所謂ナノバブル及びマイクロバブルを包括するものである。ファインバブルの作成に用いる気体には、主に、空気、窒素、酸素、二酸化炭素、オゾンがあり、目的に応じて選択できる。空気・酸素・オゾンには酸化作用があり、窒素・二酸化炭素は嫌氣的である。又、二酸化炭素は水に良く溶解する。ファインバブルは次の特徴を有する⁹⁾。

- ① 上昇速度（ストークスの式で表す）：上昇速度は遅く、長時間水液中に存在する。直径 10 μ m の気泡の上昇速度は、3mm/min 程度である。
- ② 自己加圧（ヤングラプラスの式で表す）効果：界面（気相一液相）間で界面張力により加圧が生じる。気泡の大きさに反比例して加圧が高まる（理論上は無限大に）。加圧効果により、気体が効果的に溶解する（ヘンリーの法則）。
- ③ 表面電位特性：負に帯電。バブル同士は反発するので結合が無く、気泡濃度は減少し難い。
- ④ 自己圧壊：バブルの自己圧壊により水や窒素が分解され、ラジカルを生成する。生成メカニズムについては諸説有り。

ファインバブルは、その大きさにより、特性が大きく異なる（図 2；文献 10 より改変）。「大きいバブルはそのまま上昇し、水面で破裂する。直径 50 μ m 程度のマイクロバブルは収縮して小さくなり、水に溶けて消滅する。直径 100nm 程度のナノバブルでは、収縮して圧壊してエネルギーとラジカルを放出する」と考えられている。

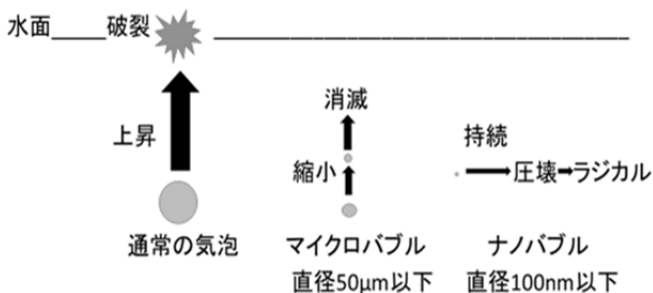


図 2. バブルサイズ（直径）の大きさとそれらの特性¹⁰⁾

又、ナノサイズのバブルとマイクロサイズのバブルの機能とは、大きく異なる可能性があり、ナノバブルは「単にマイクロバブルを小さくしたもの」という認識には注意を要する。

4. ファインバブルの発生原理と発生装置、及び測定技術

1) ファインバブルの発生原理

ファインバブルの発生原理には、代表的なものとして旋回剪断方式と加圧溶解方式がある。旋回剪断方式は、水をポンプでシリンダーに押し込んで旋回流を生じさせ、これにより水の乱流を起こす。同時に気体をシリンダー内へ自吸させ、シリンダー出口で圧力が開放されるので、旋回流の剪断力を用いて気柱を一気に破碎し、ファインバブルを発生させる方式である。加圧溶解方式では、気体を加圧しながら水に過飽和になるまで溶解した後、一気に減圧して溶解した気体を開放する方式であり、その時、気泡核により過飽和が破られ、ファインバブルが発生する。両方式には、以下に示す様に、それぞれに長所・短所がある。

旋回剪断方式（乱流の剪断力方式）

長所：駆動部が少ないので故障が少ない。

短所：バブル発生量が少ない。圧力損失が大きくポンプ圧（水圧）が必要。

加圧溶解方式（加圧浮上方式）

長所：バブル発生量が多い。

短所：清水に限る。駆動部が多く故障の可能性が高い。装置が大きい。

剪断方式の発生器では稼働部が少なく、破損可能性が低いので故障が少なく有利である。従って、この方式は、発生器の設計・開発・製造にも有利である。

2) ファインバブルの発生装置

（独）国立高専機構・徳山高専の大成教授により、1995 年に「旋回型マイクロバブル発生器」が考案・発明された。旋回型発生器は、「水の旋回流中心部に気体を注入し、遠心分離を利用して微細気泡を放出する装置」と説明されている（図 3；文献 11 より引用）。

3) ファインバブルのサイズ・濃度（個数/体積）・分布、及びゼータ電位の測定法

ファインバブルのサイズ、濃度及び分布の測定方法には以下の 4 つがある（図 4；文献 4 より引用）。

① ナノ粒子トラッキング解析法：可視化したブラウン運動の速度から、粒子径を算出（測定範囲は直径 40nm~1 μ m）

② 動的散乱法：粒子のブラウン運動による散乱光の揺らぎから算出（直径 1nm~10 μ m）

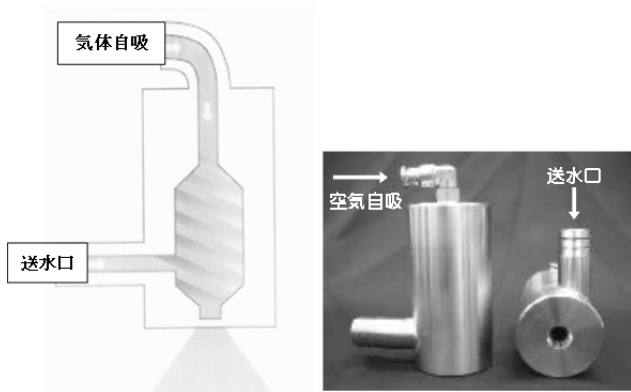


図3. 大成氏考案のマイクロバブル発生器の構造¹¹⁾

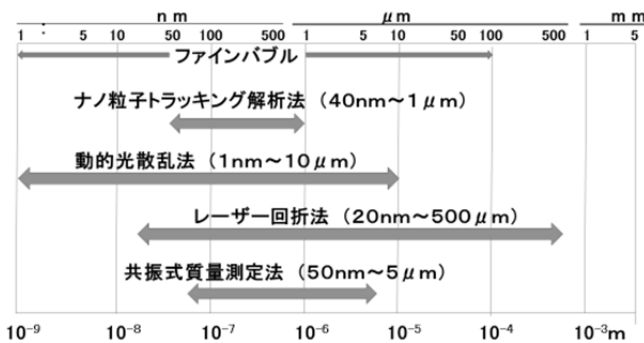


図4. ファインバブル径の検出可能範囲の比較¹¹⁾

- ③ レーザー回折法：散乱光分布から算出（直径 20nm～500μm）
- ④ 共振式質量測定法：カンチレバー（片持ち梁の構造体；管の一端を固定し、他方の端は可動とする U 字型管）内のマイクロ流路を流れる粒子による、共振周波数変化から粒子径を算出（50nm～5μm）

著者らのグループでは、上記の③レーザー回折法の機械（図5；文献12から改変）を用いて、旋回剪断方式のバブル発生器で生成したファインバブルを測定しているが、バブルのサイズ（径）は大きく2つのグループに分かれた。即ち、径100nmサイズを中心とするバブル、及び径10μmサイズを中心とするバブル、これら2種類のバブルの混在であった。発生するバブルの径は、個々の発生器の構造に依存し、又、水流速度、及び水の物理化学的性質（温度、pH、電解質等）により影響を受けるので、その点を考えておかなければならない。

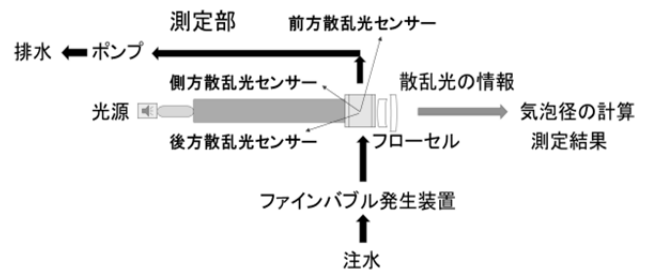


図5. レーザー回折法の原理¹²⁾

又、ファインバブルの発生分布が、時間経過に応じて変化する可能性もある。バブル発生時のサイズは径9μm付近が多く、10秒後では3.5μm付近と1μm付近のバブルの混在であり、30秒後には主に1μm付近のバブルが観測された¹³⁾。時間の経過と共に、発生バブルの径とバブルの分布の変化が生ずるのである。

ファインバブルのゼータ電位は、電気泳動光散乱法（レーザードップラー法）¹⁴⁾により測定できる。その測定原理は、「水溶液中の粒子（ファインバブルはマイナス荷電）は電荷に応じて電気泳動され、その時粒子に光を照射して得られる散乱光のドップラーシフト量から、電気泳動速度を求めることができる。従って、粒子の電荷、即ちゼータ電位を測定する事ができる」というものである。一般に、波動（電磁波）を発する物体（発信源）と、その波動を受ける観測者とが相対的に、互いに遠ざかる場合には振動数は減少し（波長は長波長へシフト）、互いに近づく場合には振動数は増加する（波長は短波長へシフト）。それらのシフト値は、両者の相対速度に依存する。

5. 産業への応用

1) 工業分野への応用

工業分野では、①船舶の航行時に発生する「海水による摩擦抵抗」の低減（実験では3%の燃料節約効果が得られた）¹⁵⁾、②水中資源の回収及び洗浄（半導体のシリコンウエハーの分離と洗浄等）^{16,17)}、③原発・火力発電所で用いる高圧ボイラーの防食剤ヒドラジンの分解^{18,19)}、④熱交換機等に付着する海洋生物の付着防止²⁰⁾、⑤マイクロバブルクーラント（冷却剤）による金属の切削加工²¹⁾、⑥マイクロバブルを利用した液体燃料の予混合燃焼²²⁾等がある。

2) 農業・水産業分野への応用

農業・水産業分野では、以下の応用例が報告されている。

- ① マイクロバブルの植物成長促進作用（レタス等の葉物野菜に有効）¹⁶⁾：空気マイクロバブルを用いた水耕栽培により、成長促進作用を認めた。
- ② ホテイアオイを用いた水浄化作用²³⁾：先ず、ホテイアオイをファインバブル入り水耕栽培にて生育させ、そのホテイアオイの力で、水を浄化する装置である。
- ③ 窒素肥料の節約²⁴⁾：植物（キュウリ、ミニトマト等）の生育促進作用に加えて、窒素肥料代の節約にも有効である（実験データでは 25%分を節約）。
- ④ 二酸化炭素マイクロ・ナノバブルによる青果物の殺菌（塩素消毒より安全）²⁵⁾：塩素系殺菌剤である次亜塩素酸ナトリウム（発ガン性の報告有あり）より、安全と言われている。
- ⑤ 二酸化炭素マイクロバブルによるシアノバクテリアの光合成の促進²⁶⁾：光合成細菌であるシアノバクテリアの光合成の効率を上げる事が出来る。
- ⑥ ファインバブルによる香り（山椒）の導入¹⁶⁾：香料の一つである山椒の香りを抽出し、ファインバブルに封入する技術である。
- ⑦ 酸素や空気ファインバブルを用いたアサリや魚養殖での貧酸素対策²⁷⁾：夏季に起こる貧酸素海水による養殖アサリ（長崎県・諫早湾）の死滅防止や、養殖魚の貧酸素対策として用いられている。
- ⑧ 養殖牡蠣の成長促進¹¹⁾：空気或いはオゾンのファインバブルで、養殖牡蠣の成長促進を認めた。東日本大震災で被害を受けた、宮城県での牡蠣の養殖にもファインバブルが用いられている。
- ⑨ 窒素マイクロバブル（低酸素）による魚肉の鮮度保持²⁸⁾：酸化による魚肉の劣化を防ぐ為、窒素バブルによる嫌氣的状態での魚肉を保存することが出来る。
- ⑩ 空気マイクロバブルによるヒトやペットの洗浄²⁹⁾：風呂やシャワーヘッドにファインバブル水を送り、ヒトやペットの体の洗浄に用いている。

3) サービス業分野への応用

サービス業では、高速道路のサービスエリア内やビルのトイレ清掃³⁾等にファインバブルが利用されている。

4) 医療分野への応用

医療分野では、以下の応用例が報告されている。

- ① オゾンマイクロバブルによる歯科領域での殺菌³⁰⁾：超音波発生装置とオゾンマイクロバブルを組

み合わせて、歯茎の殺菌に用いられている。

- ② オゾンマイクロバブルによるノロウイルスの不活化^{31,32)}：オゾンマイクロバブルの強力な酸化力により、ノロウイルスを不活化出来る。
- ③ 超音波血管造影剤として利用^{33,34)}：ファインバブルが超音波造影剤として有用であることが偶然に発見された。空気と水（血液）とは音波の伝播の仕方が異なるので、超音波の反射量を測定し、明瞭な体内画像を得る事が出来る。空気ファインバブルの寿命は短く、血液に溶解するので、ファインバブルは人体に無害と考えられているが、安全性に関する科学的証拠は未だない。用手攪拌法では直径 10~100 μm 、超音波攪拌法では数 μm のバブルを発生する。毛細血管の直径は 6 μm であるので、このバブルは毛細血管内も通過できる。
- ④ ファインバブルが圧壊する時生ずる、一酸化窒素 NO による血行促進作用^{35,36)}：バブルが圧壊する時ラジカルが生じ、 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \Rightarrow 2\text{NO}$ という反応が起こり、この NO の血管拡張作用により、血行が促進されると考えられている。
- ⑤ 免疫増強作用³⁷⁾
- ⑥ 動脈硬化の治療³⁸⁾
- ⑦ 心臓機能の改善³⁹⁾

上記の⑤~⑦の作用は、ファインバブルが肝細胞を刺激して生産させる、インシュリン様成長因子（Insulin-like Growth Factor-1 ; IGF-1）によるものと考えられている。ファインバブルはマイナス荷電を有する為、その電氣的効果で直接細胞に働きかけ、IGF-1 の生産を促進すると考えられている。IGF-1 は、細胞の生存・増殖・分化に関与する因子であり、外傷等で細胞死や損傷が生じた場所で、緊急的に細胞内部で生産され、細胞分裂・増殖を促進し、傷などの修復の指令（シグナル）となる物質である。IGF-1 には上記の⑤~⑦の作用以外に、糖尿病やアルツハイマー型認知症への効果等、アンチエイジング作用が期待されているが、一方、発ガンやガン増殖の可能性も指摘されており、注意が必要である。^{40,42)}

6. まとめ及び将来への展望

- 1) ファインバブル（気体-液体相互作用）は非線形現象であるが、ファインバブルの物理化学的特性（粒径、体積・分布、ゼータ電位等）を定量・評価する技術が確立されつつあり、「ファインバブル技術の国際標準化」も進展すると考えられる。従って、ファインバブル技術は、疑似科学から科学として認

知される段階に入っている。

- 2) 農業、水産業、水の改質・浄化等において、所謂「多様な外の環境」でファインバブル技術を用いる場合には、様々な技術が必要となる(例えば、バブル発生器への異物の目詰まりへの対応)。
- 3) ファインバブルの生物(微生物・植物・動物・ヒト)への生理作用のメカニズム解明も未だ不十分であるが、発展の可能性は大きい。
- 4) アジア(タイ等)や欧米、海外への進出も有望である。
- 5) 実用・応用分野も益々広がっていくと予想される。例えば、JAXAには日本独自の有人宇宙船開発構想があり、長期宇宙探検では空気と水の再利用システムの構築が重要である。近い将来、HIIA ロケットでファインバブル発生器を国際宇宙ステーション・希望へ運び、そこで「安全・安心・低コストのファインバブル水を宇宙飛行士の飲料水にする実験」⁴³⁾を実施する計画がある。

7. 参考文献

- 1) 池内了：疑似科学入門。岩波新書 1131、p125, 2008.
- 2) 京極敏達：巡回型マイクロバブル発生ノズルの開発。筑波大学工作ニュース、No.3, pp2-4, 2011.
- 3) 日刊工業新聞：2014.2.17
- 4) 微細気泡産業会資料(パンフレット)、及びホームページ <http://www.fbia.or.jp/>
- 5) 日刊工業新聞：2013.2.27
- 6) 日刊工業新聞：2014.9.12
- 7) 経済産業省 News Release、平成 25 年 10 月 21 日
- 8) 経済産業省・産業技術環境局、製造産業局、2014.
- 9) ja.wikipedia.org/wiki/マイクロバブル
- 10) 高橋正好(産業技術総合研究所)：マイクロバブルおよびナノバブルに関する研究。
<http://staff.aist.go.jp/m.taka/>
- 11) 大成博文：マイクロバブル発生装置の開発と技術的確立。ながれ、**25**: pp.191-195, 2006、及び aireau-microbubble.com/microbubble/equipment.html
- 12) 株式会社島津製作所のカタログ
- 13) <http://www.idea-techno.com/pd/micro-bubble/aqua-air/aqua-air.html>
- 14) 大塚電子(株)のカタログ
- 15) http://www.jsme-fed.org/newsletters/2003_1/1-1.html
流体工学部門：活動内容：ニューズレター
- 16) IDEC(株)のカタログ
- 17) GSCN(Green Sustainable Chemistry Network),NEWS LETTER No.47
- 18) 三菱重工技法、**46(2)**、発電技術特集, 2009.
- 19) <http://matome.naver.in/odai/2133259671378992201>
- 20) 火力原子力発電 別冊 (CD-ROM) 2009 年 2 月 発行
- 21) 岩井学、西崎匡、鈴木清 ほか：マイクロバブルクーラントによる旋削加工の試み。精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 2006 年度精密工学会秋季大会、447-448, 2007.
- 22) <http://kaken.nii.ac.jp/d/p/19560188.ja.html>
- 23) 大成博音、中田陽、大成博文 ほか：マイクロバブルの植物活性機構。土木学会第 60 回年次学術講演会、409-410, 2005.
- 24) 松永大：ループ流式マイクロバブル発生型ノズルの開発。 <http://www.k3.dion.ne.jp/~matrix/> , p3, (有) OK エンジニアリング, 2008.11.15.
- 25) www.nakashima-foundation.org/kieikai/pdf/21/16.pdf 明治大学研究・知財戦略機構・研究推進員 小林史幸
- 26) 仲本準、藤田健作、張 凱：藻類による CO₂ 高効率固定にむけた CO₂ マイクロバブルの利用。 sucra.saitama-u.ac.jp/modules/xoonips/download.php?file_id=3782
- 27) 株式会社ワイビーエムのカタログ
- 28) 丸福水産(株)及び(株)ナノスクのカタログ
- 29) store-shopping.yahoo.co.jp/sessuimura/231220400416.html 「エコショップ節水村マイクロバブル発生装置 μ-Jet」
- 30) mnb-sc.jp/category/meeting 一般社団法人「日本マイクロ・ナノバブル学会」第 3 回学術総会 医学領域 II、iii、2014.
- 31) <http://www.reo-ri.co.jp/images/ozonnano.jpg>
- 32) 高橋正好：マイクロバブルを用いたウイルス不活化技術。 *Journal of the JIME*, **43(1)**, 64-69, 2008.
- 33) 上山智嗣、宮本誠共著：マイクロバブルの世界。森北出版(株)、2011.
- 34) 堀純也 ほか：マイクロバブルを用いた血液回路可視化法の検討。 *医器学*, **80(3)**, 205-210, 2010.
- 35) <https://twitter.com/toyohiko03/14283617890>
- 36) <http://asahi.com/articles/SEB201303010016.html> 「朝日新聞デジタル：微細な泡、便利の秘密 福岡・有明高専グループ、解明か」 (Google 検索)

- 37) <http://www.tradekorea.com/product/detail/P342593/Immunoactivating-Micro-Bubble-Generator.html>
- 38) Ghanem A, *et al.*: Ultrasound-induced stimulation of microbubbles reduced scar formation and improves left-ventricular function after acute myocardial infarction in mice. *JACC*, **59**, Issue 13, 2012.
- 39) Dornier J, *et al.*: Ultrasound-mediated stimulation of microbubbles after acute myocardial infarction and reperfusion ameliorates left-ventricular remodeling in mice *via* improvement of borderzone vascularization, *PLoS One.*, **8(2)**, e56841, 2013.
- 40) Nair A, *et al.*: Novel polymeric scaffolds using protein microbubbles as porogen and growth factor carriers, *Tissue Engineering: part C*, **16(1)**, 23-32, 2010.
- 41) http://kaminonayami.net/blog/2008/06/post_274.php
- 42) <http://chirotic.exblog.jp/19398657>
- 43) <http://www.reo-ri.co.jp/index.html> 株式会社 REO 研究所、ニュースリリース 2012 年 11 月 27 日 (火)

Application of the fine (nano and micro) bubble-technique to the industries

Hiroyasu TOBE

(Independent administrative agency) National Institute of Technology, Kochi College

The interaction between water and air bubble is described on the base on the non-linear mode reaction. But, recently, we have been able to analyze, characterize and estimate the size, the number (concentration) and the distribution of the gas bubbles by using the advanced technology. In the primary industry (agriculture and fishery), the fine air and O₂ bubble water can improve the un-aerobic condition and stimulate the growth rate of many kinds of plants, fishes and oyster. On the other hand, the fine N₂ and CO₂ gas bubble water can keep un-aerobic condition. We can store the raw meat of fishes for a long time using the fine N₂ bubble. The photosynthesis of cyanobacteria is enhanced by the addition of the fine CO₂ bubble. In the secondary industry, the computer silicon wafer are washed and cleaned up by using the fine bubble system. The drag reduction in ships is improved by the application of the fine bubble technology. In the medical field, the fine O₃ gas bubble has antiviral and bactericidal activities. The NO gas produced by the reaction in the fine air bubble water has many good effects to human health, such as anti-high blood pressure and anti-arteriosclerosis. The fine air bubble is also utilized to enhance the contrast of the image of blood vessel in the ultrasonic diagnostic imaging system. The study on the biological safety to human body is required before we use the fine bubble-technique.