

加速するファインバブル技術の産業化

ファインバブル（微細気泡）の製造技術及び応用技術は日本発の革新技術であり、今世紀のイノベーション技術の一つである。関連産業として供給側では製造装置や計測器、需要分野には洗浄分野、水処理分野、農業・植物栽培分野、化学分野、医療・薬品分野などでの応用やプロセスが考えられており、多分野に生きる技術という特徴を有す。ファインバブル技術の優れた効果が各分野で認められ、産業の基盤的技術になる日も近いのではないかな。

2016 年 11 月



株式会社 旭リサーチセンター

主幹研究員 新井 喜博

東京都千代田区神田神保町1-105 神保町三井ビルディング

電話 (03) 3296-3095 (代)

ま と め

- ◆ファインバブルは $100\mu\text{m}$ 以下の泡と定義される。特定装置で人工作成できることが 21 世紀に入って確認され、普通の泡と異なる特性を持つことが示された。うち $1\mu\text{m}$ 以下の泡はウルトラファインバブルと呼ばれ、視認できない泡もある。ウルトラファインバブルは特殊な物理化学的性質を持っており、数ヵ月（最大 6 ヶ月）液中に存在することも証明された。（p1～6）
- ◆ファインバブル技術は日本でのカキ養殖の被害救済に起源を持つ。その後、今世紀中のファインバブル発生装置や計測技術の開発により、研究開発の礎が築かれた。（p3～10）
- ◆ファインバブル技術には、生物活性効果、洗浄効果、殺菌効果などがあり、それらは立証されている。国際標準化機構（ISO）では 2013 年 6 月にファインバブル技術の専門委員会が設置され、ファインバブルのサイズが定義された。（p4～6）
- ◆ファインバブルのメカニズムを明らかにし、ファインバブル技術の応用分野の発展のために測定方法、性能の評価方法などの国際標準化や認証方法などの確立を目指して 2012 年 7 月に産学官で一般社団法人ファインバブル産業会が設立され、ISO 国際標準化へ向けた活動に積極的に参加している。ファインバブルの測定方法、性能の評価方法、応用製品の仕様などの国際標準化が今後進められる予定である。（p7～11、18～20）
- ◆ファインバブル技術の応用分野には洗浄分野、水処理分野、農業・植物栽培分野、医療・薬品分野、化学分野、食品・飲料水分野、化粧品分野、液晶・半導体・太陽電池製造分野、新機能材料製造分野などがある。2015～23 年の間にファインバブル技術の関連システムや関連サービスが世界で高成長することが予測され、特に世界的には農業・植物栽培、養殖業など第一次産業で市場拡大が顕著になると見られる。（p11～17、22～24）
- ◆ファインバブル技術の特許出願は現在、日本の製造業（発生装置、計測機器含む）が主流だが、今後、応用分野の広がりや中国や韓国が伸びてくるとみられる。ファインバブル技術の用途開発が進んでおり、用途特許も増えていくと思われる。（p20～21）
- ◆ファインバブル技術、特にウルトラファインバブル技術の特長を生かす応用分野はすそ野の広い化学分野、医療・薬品分野（健康分野含む）などにあるだろう。ファインバブル技術へのこれからの課題と期待は、①ウルトラファインバブル技術の高機能なメカニズムを整理し活用する道を見い出すこと、②ファインバブル技術の適用が省エネルギー・低環境負荷につながるかを見極めること、③ファインバブル技術において日本の産学が目指す方向性を一致させ、ファインバブル技術の関連市場を戦略的に開拓すること、などである。それらの中でファインバブル技術国際標準化が同時に進展していくことが世界での市場開拓のために望ましい。（p24～26）

目 次

1. ファインバブルとは何か	1
2. ファインバブル（微細気泡）技術開発の歴史.....	3
2－1. ファインバブル技術の起源はカキ養殖の被害救済から.....	3
2－2. 国際標準化されたファインバブル技術.....	4
2－3. ファインバブル供給側の基盤技術の確立.....	6
3. ファインバブル技術の開発分野.....	9
3－1. 2013年にファインバブル技術を日本の革新技術として国が認知.....	9
3－2. ファインバブルの効果とメカニズム解明が開発の礎に.....	10
3－3. ファインバブル技術の応用分野の全体像.....	11
3－4. 洗剤や薬品を使わない洗浄：洗浄分野.....	13
3－5. 太陽電池ウエハの生産性向上に寄与：液晶・半導体・太陽電池製造分野....	14
3－6. 微生物を活性化し利用する排水処理：水処理分野.....	14
3－7. オゾンファインバブル水が食の安全・衛生に：食品・飲料水分野.....	14
3－8. 可能性が大きい第一次産業への適用：農業・植物栽培分野.....	14
3－9. 滅菌作用からその他の利用にも可能性：医療・薬品分野.....	15
3－10. 省エネルギーで低環境負荷のプロセスとなる化学分野.....	16
3－11. 効能が喧伝され玉石混淆にある食品・飲料分野、化粧品分野.....	17
4. ファインバブル技術の標準化と特許動向.....	18
4－1. ファインバブル産業会（FBIA）による標準化などの活動推進.....	18
4－2. ファインバブル技術の国際標準化活動の重視と開発しくみづくり.....	18
4－3. ファインバブル製品の国内登録制度もスタート.....	20
4－4. ファインバブル技術の特許動向.....	20
5. ファインバブル技術関連市場とまとめ.....	22
5－1. ファインバブル技術関連市場は世界に広がる.....	22
5－2. ファインバブル技術の今後への期待と課題.....	24
主な引用・参考文献	27

1. ファインバブルとは何か

気泡(バブル)は古くから排水処理の活性汚泥法による水質浄化等で利用されてきた。

ファインバブルという泡は、国際標準化機構 (ISO) により $100\ \mu\text{m}$ 以下の泡と定義される。ここでいうファイン fine とは微細なという意味である。通常の泡よりとても小さい泡であり、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の肉眼ではとても見えない泡 (ウルトラファインバブル) も含まれる。

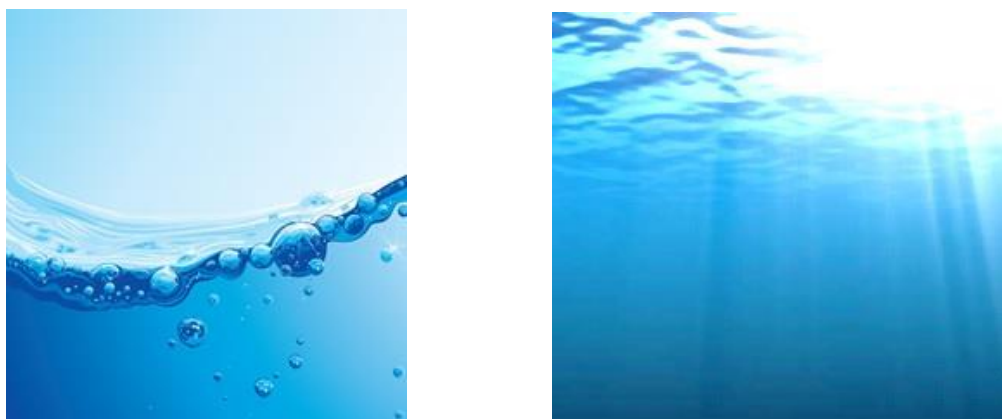


図1 通常のバブル (左) とファインバブル (右) のイメージ
(目に見えない泡を含む)

ファインバブルは特定の発生装置で人工的に作成できるようになった。このファインバブルが 21 世紀に入って安定的に作成・測定できるようになり、普通の泡で得ることがなかった特性と効果を示すことが、日本の発生装置企業と研究者を中心に徐々に解明されてきた。ファインバブル技術は私たちの生活に広範囲に役に立つ可能性が見えてきた。

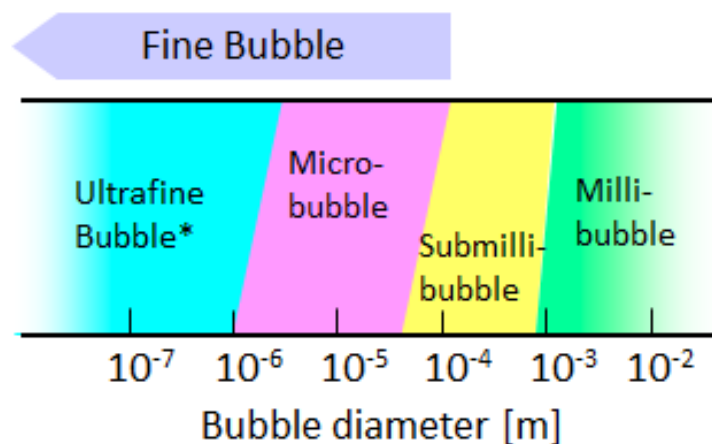


図2 ファインバブルの範囲

(出典: ファインバブル産業会 (FBIA))

ファインバブル技術は、泡の組成（ガスの種類）やサイズ・濃度によって、その作用なども様々あるため、応用分野の広がり大きいプロセス技術である。

ファインバブル技術は、今世紀における日本発のイノベーション技術になる期待もふくらんでいる。



図3 ファインバブル技術の活用の可能性

(出典：「ファインバブル活用事例集」、九州経済産業局、2016.3)

例えば、ファインバブル技術による水質浄化など環境分野、洗浄、燃焼改善、分離操作などの工業分野、食品殺菌や食品浄化洗浄などの食品分野、水耕栽培や農業用水への応用など農業分野、養殖魚などの漁業分野、造影剤への導入による病気診断や薬品への適用など医療・薬品分野での開発が進んでいる。その他、船舶の抵抗軽減、風呂への適用で血行促進による健康増進への効果、リラクゼーション、美容の生活分野などの幅広い分野でファインバブル技術の適用の有効性の検討が進められている。

産業横断的に、環境改善や環境負荷低減に貢献するプロセス技術という点で注目されるのがファインバブル技術ということもできる。

2. ファインバブル（微細気泡）技術開発の歴史

2-1. ファインバブル技術の起源はカキ養殖の被害救済から

ファインバブルの発見は 1998 年と新しい。広島県の徳山高専の大成博文教授（当時）は広島県カキ養殖業者から被害改善の依頼を受けた。その前年（97 年）、赤潮で広島のカキは 45 億円という大損害を受けていた。大成教授は、水質浄化の研究者として、80 年頃から土木建築分野用の気泡発生装置の開発を進めていた。

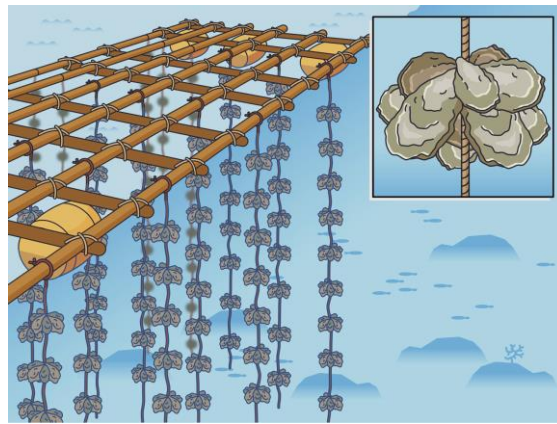


図4 カキ養殖（イメージ）

（出所：農林水産省）

大成教授は、開発中であった試作機を、カキ筏（いかだ）に適したものに改良し、海面下 10m に設置して実地実験を行った。この時の微細気泡は直径 $50\mu\text{m}$ 程（ビール泡の $1/1,000$ 程度）で、泡は水中を煙のように漂い消えていたという。効果は現れ、カキは死滅を免れた。98 年 12 月にこの装置を「巡回式微細気泡発生装置」として特許出願し、03 年 2 月に特許 3397154 を取得している。

この泡は、水の溶存酸素量を増やしただけでなく、生物活性効果を生んだと考えられた。従来の泡では得られない効果であった。この時、泡はマイクロバブルと呼ばれた。泡は気液二相の流体を高速巡回させる遠向心分離作用を応用した装置で発生させた。装置中央部とその周辺部にそれぞれ巡回する気体空洞部と液体部を形成させ、次にこの巡回気体空洞部を装置出口前後における巡回速度差により切断・粉碎し、泡を発生させた。

これがファインバブル技術の起源とされる。退官した同教授は 04 年にマイクロバブル発生装置を販売する㈱ナノプラネット研究所を山口県下松市に設立、創業し、現在も大分県国東市にて運営している。

この話題は当時、広くニュースで取り上げられた。その後、00年には北海道噴火湾のホタテ養殖、01年には三重県英虞湾の真珠養殖の改善で成果を出した。

2-2. 国際標準化されたファインバブル技術

ファインバブルは100 μm 以下の泡で、髪の毛（約80 μm ）の直径程度以下のすべての泡を対象を含む。この小さな泡の発生装置、及び泡の大きさや密度を測る計測装置が開発されファインバブル技術の芽生えとなった。現在、生物活性効果、洗浄効果、殺菌効果などが立証されている。それらを受け多分野での利用が期待されるようになった。

ファインバブルは図5のようにマイクロバブルとウルトラファインバブルの2種類がある。国際標準化機構（ISO）でサイズは定義されたが、組成気体の種類は問わない。

ファインバブル Fine-Bubble				ミリバブル / サブミリバブル Milli- / Submilli-Bubble	
	ウルトラファインバブル Ultrafine-Bubble [UFB]	マイクロバブル Micro-Bubble [MB]		ミリバブル / サブミリバブル Milli- / Submilli-Bubble	
泡の直径 同サイズの比較対象物	数十nm～1 μm ■ ウィルス（数十～100nm） ■ タバコの煙（数十～500nm）	1 μm ～100 μm ■ スギ花粉（約30 μm ） ■ 黄砂（500nm～5 μm ）		100 μm ～ ■ 通常の泡（数mm～） ■ 髪の毛の直径（約80～100 μm ）	
目視	不可能（無色透明）	可能（白濁）		可能	
動態	水中に長期残存（液中安定性） 数週間～数ヶ月の寿命がある 浮力よりも粘性力が大きい	非常にゆっくりと上昇 直径10 μm の気泡で約3mm/分 （ミリバブルの1/2000程度）		上昇速度が速い 直径1mmの気泡で約5～6m/分	
	ブラウン運動（微細振動）	水中で消滅		水面で破裂	

図5 ファインバブルとミリバブルの主な性状

（出典：ファインバブル産業会（FBIA））

ファインバブルのうちマイクロバブルは白濁して見える。例えば「マイクロバブル水」と呼ばれる。常温常圧で直径10 μm の空気気泡は水中を1分間に3mm程度で上昇する。他方、1 μm 以下の泡のウルトラファインバブルはナノサイズ領域に近いので、最初「ナノバブル」と呼ばれた。その後、国際標準化され、現在、以下のような理由により、ウルトラファインバブルと呼んでいる。

- ①欧米でナノリスク（ナノ領域物質群の生体への影響が未確定）ということがいわれ、生体へ悪影響を及ぼすイメージがあり、国際的な用語として適さない。
- ②実際に加圧溶解式の発生機から生じるウルトラファインバブルは直径 100～300nm と計測される。他方、ISO/TC229 のナノテクノロジーの規定は 100nm 以下であり、その範疇になく、ISO の呼称にそぐわない。
- ③健康・美容関係などでナノバブル水と称される商品名が多く、学術で定義するウルトラファインバブルを区別する。

なお、ナノバブルという表現は特許文書上でまだ残っている。

ウルトラファインバブルは可視光を散乱せず透明である、という特徴がある。これにより目視ではバブルの存在はわからない。そのため、ナノバブルの効能を謳う健康・美容関連製品の通販などで、詐欺的な問題が出たこともある。ウルトラファインバブルの計測方法が確立されていなかったためでもある。現在は計測方法が確立され、ウルトラファインバブル技術への疑念（泡の存在有無の問題）は、解消される方向にある。

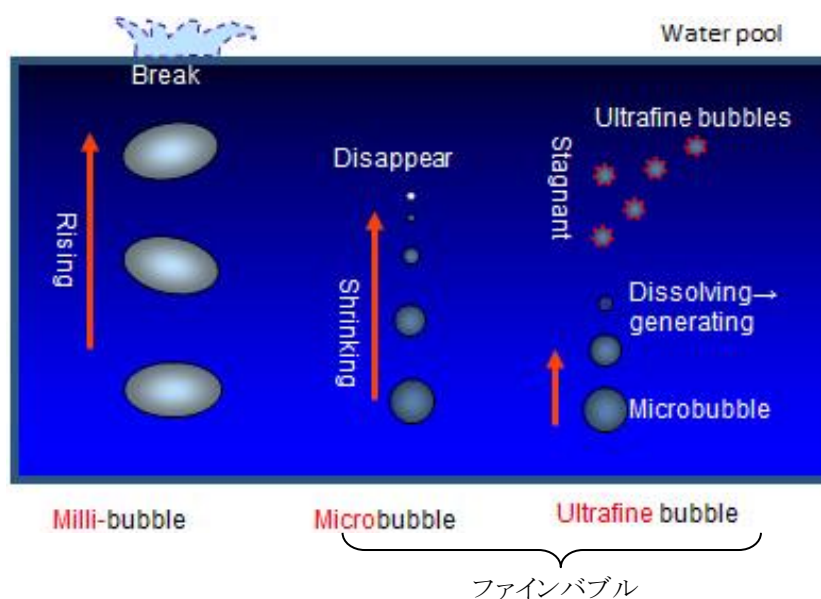


図6 ウルトラファインバブル、マイクロバブル、ミリバブルの挙動
(出典：ファインバブル産業会（FBIA））

図6で示すように水中で普通の気泡（ミリバブル）とファインバブルの間で挙動に差がある。ファインバブルでは液中に長く漂い泡内部のガスが圧縮される効果が生じ、表面にイオンが多く集まる効果（電荷濃縮）が生じる。大成教授はミリバブルとファインバブルの境界は、水中空気の場合は直径約 $65\mu\text{m}$ と推定した。現在では $50\mu\text{m}$ 以下が定

説となっている。また、消えたマイクロバブルがウルトラファインバブルになることが日本混相流学会年会 2005 で都並結依（徳山高専）らによって報告された。

ウルトラファインバブルを多数つくるには、マイクロバブルを原料とし、特定の刺激を与えて発生させる。ウルトラファインバブルは様々に特殊な物理化学的性質を持ち、製法や条件を選べば、数ヵ月（最大 6 ヶ月）液中に存在することが証明された。

2-3. ファインバブル供給側の基盤技術の確立

①マイクロバブルの発生方法

見えない泡も発生させることができるマイクロバブル発生装置は当初、めずらしい装置だった。今では多様な製品が販売されている。その発生原理は数種類に分類できる。生成するマイクロバブルのサイズやその分布、また寿命は発生原理や操作条件によって異なる。代表的なマイクロバブル発生方式を以下に記す。

表 1 マイクロバブルの各種発生方式

マイクロバブル発生方式		方式の説明	備考
2 大方式	旋回液流式	円筒状の発生器本体側面から接線方向にポンプを用いて液を高速で圧入し内部に高速旋回流を発生させる。この液回転運動に起因した圧力降下を利用し、下端面の小孔より自吸されたガスは、上端面中央の小孔でのせん断力により粉碎されマイクロバブルとなる。	バブル濃度は低いものが多い。
	加圧溶解式	気液混合物をポンプで加圧し、ガス成分を液中に過飽和まで溶解させる。未溶解気泡を分離し、過飽和液のみを減圧弁を経て常圧液中にフラッシュさせ、マイクロバブルを析出させる。	バブル径の均一化は難しい。バブル濃度は高い。
微細孔式		微細孔膜面に沿った高速液流により膜を通して液中に注入されたガスをせん断してマイクロバブル化する。	省エネに生成できる。バブル濃度は中ぐらい。

※この他、スタティックミキサー式、混合蒸気直接接凝縮式、超音波キャビテーション式、スパイラルキャビテーション式などの方式がある。（各種資料より ARC 作成）

上記のマイクロバブル発生法の装置及び操作法は、用途に応じて使い分けられる。

②さらに小さいウルトラファインバブルの発生方法

ウルトラファインバブルは主に生成されたマイクロバブルを原料として製造する。

図 7 のように、旋回液流式または加圧溶解式マイクロバブル製造法でマイクロバブルを生成し液を白濁させる。その後、製造装置毎に経験的ノウハウに基づきある条件下で

マイクロバブルを収縮させ、細くならなかったマイクロバブルは浮上分離させて、ウルトラファインバブル（透明液）を製造する。なお、ウルトラファインバブルを直接生成する方式も考えられている。

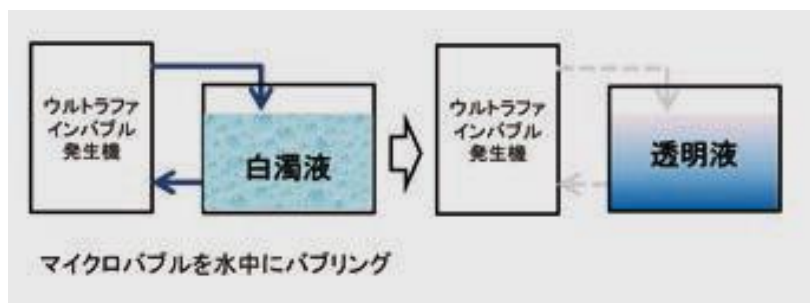


図7 代表的なウルトラファインバブルの製造過程

（出典：「ファインバブル技術のトレンドと課題」寺坂宏一、化学工学、第78巻第9号、2014）

このように生成したウルトラファインバブルは、泡の粒径が直径100～200 nmに最大ピークを持つ場合が多い。なお、ブラウン運動中のウルトラファインバブルはその物理化学的特性（圧力、温度、噴出、蒸発、溶解、各種反応など）を豊富に持つ。中でもバブルの電位的特性（泡はマイナス電荷を帯び、プラスに付着しやすい）に特長がある。液体の種類や水素イオン濃度などの液体の性質と気体の種類により、ウルトラファインバブルの特性を変えることができる。

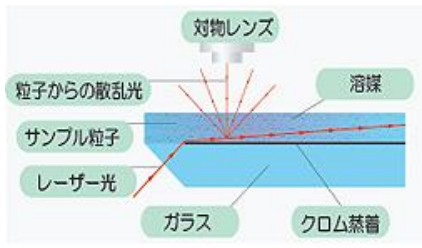
③ウルトラファインバブルの技術確立に重要であった計測技術

ウルトラファインバブルの大きさは可視光の回折限界以上で、光学式顕微鏡では観測できない。また、気泡は液中にあるため、測定に真空環境を必要とする電子顕微鏡などの分析装置による観測もできない。1 μ m以下のウルトラファインバブルの正しい計測（特に同サイズの粒子との区別できる計測）は泡の作用と効果の研究、応用において、重要なデータである。表2にファインバブルの主な計測方法と代表的測定機器を示す。気泡を維持し、液相と気相の状態を保った測定が必要不可欠である。

ウルトラファインバブルの計測には、主にレーザーを利用した動的光散乱法やブラウン運動追跡法が適用される。ただし不透明な溶液系には適さない。また溶液内の電気抵抗変化を計測する電気的検知帯法も使われるが、液中に存在する微細な固体粒子とウルトラファインバブルとを厳密に判別できないため、超純水など固体粒子が完全でない系

での計測に限られる。最近、液中に浮遊する固体微粒子と気体微粒子とを比重差により判別できる計測器も登場し、今後も測定精度向上が期待されている。

表2 主なファインバブルの計測法と製品例

	原理名	製造企業と製品例
1	動的光散乱法(DLS)	日機装
2	レーザー回折・散乱法 (散乱光分布から算出)	島津製作所
3	粒子軌跡解析法 (可視化したブラウン運動の速度から算出)	日本カンタム・デザイン 
4	共振式質量測定法	スペクトリス
5	電気的検知帯法 (通過するサンプルの電気抵抗変化から個数・濃度計測)	米ベックマン・コールター
6	画像解析法(ブラウン運動)	マイクロテック・ニチオン “ゼータ電位・粒径分布測定装置” (粒径分布測定(オプション))

(ファインバブル産業会 (FBIA) 等各種情報より ARC まとめ)

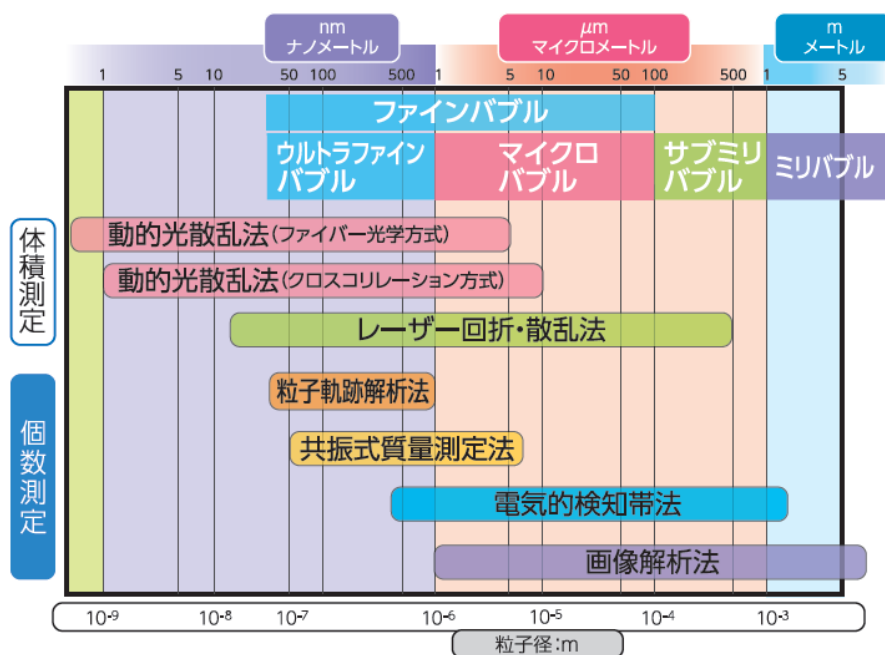


図8 バブルのサイズと測定法の範囲例
(ファインバブル計測技術の計測可能範囲の表示例)
(出典:ファインバブル産業会 (FBIA) 資料)

3. ファインバブル技術の開発分野

3-1. 2013 年にファインバブル技術を日本の革新技术として国が認知

2013 年 6 月、日本再興戦略の「日本産業再興プラン」、「戦略市場創造プラン」及び科学技術イノベーション総合戦略が閣議決定された。その中で、ファインバブル技術は新しい日本の優先課題推進枠として、経済産業省は 14 年度に 2 億円予算で「ファインバブル基盤技術研究開発事業」という名称で 1 年間、研究への開発支援を行った。

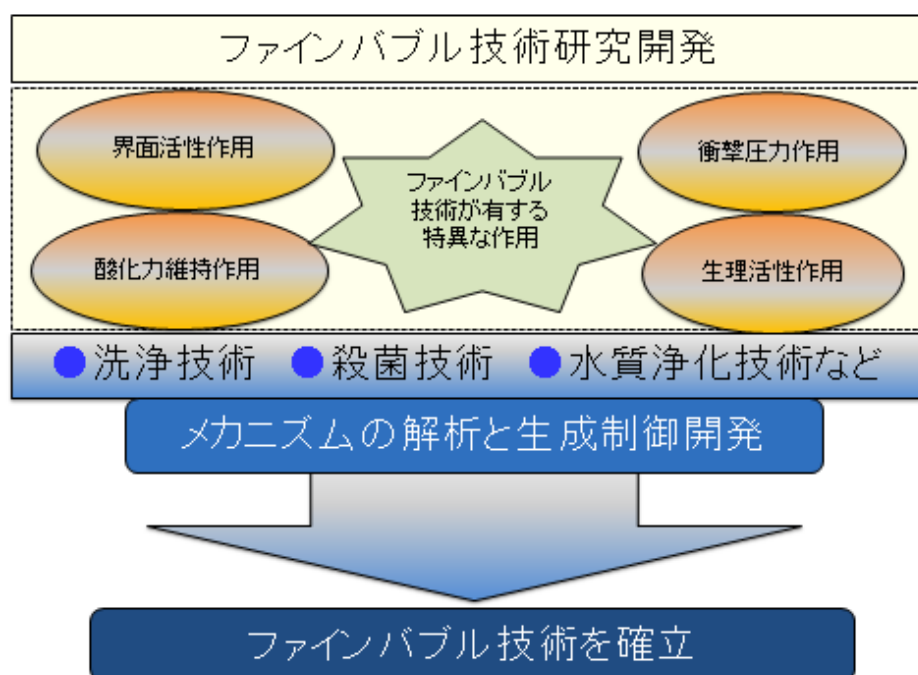


図9 ファインバブル技術研究開発内容
(2014 年度「ファインバブル基盤技術研究開発事業」(経産省) を基に ARC 作成)

これは日本の代表的イノベーション技術開発の一テーマに「ファインバブル技術」を取り上げ、日本の革新技术としてファインバブル技術を国が認知したことを示している。

経産省での開発プロジェクトは、ファインバブルの生成量増大、高密度化、高安定化など発生機構とそれに伴う特異作用による特性やリスク評価など、ファインバブルの機能・効果のメカニズムに係る開発と、洗浄、殺菌、水質浄化という具体的な応用の開発であった。

なお、経産省の補助による研究開発事業は、経産省の研究予算がロボットへ重点シフ

トされたため、15 年度以降は行われていない。

国支援のプロジェクトとしては他に、14 年から省庁横断のプロジェクト SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）が開始され、次世代農林水産業創造技術（アグリイノベーション創出）研究開発が 16 年度まで実施されている。植物工場の中において、生育増進のためファインバブル制御技術の確立を目指す研究プロジェクトで、ファインバブル計測の国際標準化を出口戦略に位置付け、水耕栽培の促進研究が進められている。

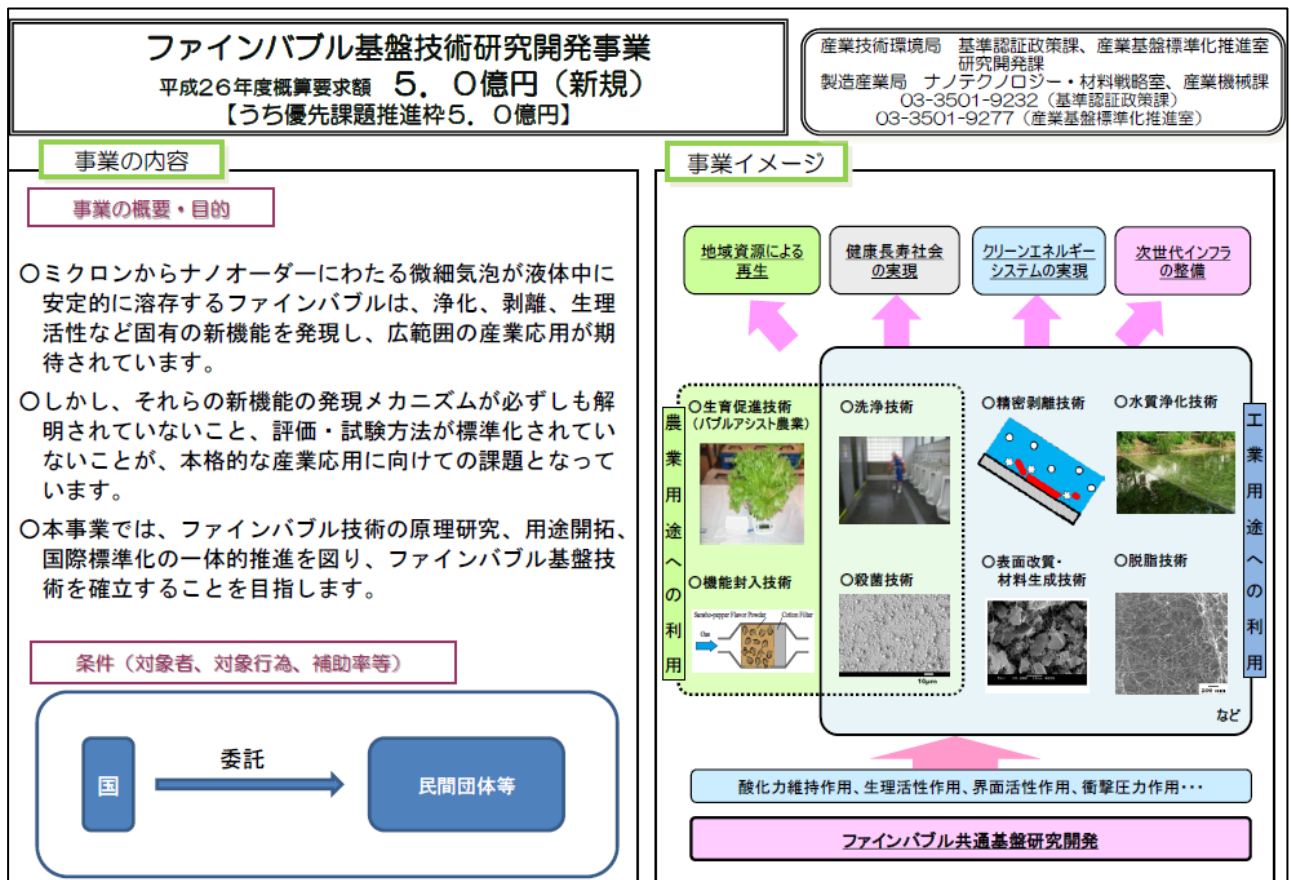


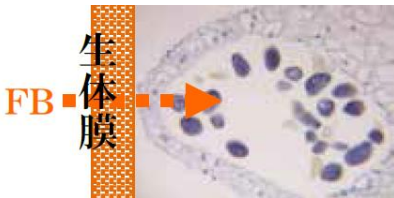
図 10 「ファインバブル基盤技術研究開発事業」の概要

平成 26 年度経産省概算要求 PR 資料（一般会計・産業技術環境局）より ※最終予算は2億円で実施された
http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2014/pr/pdf/sangi_05.pdf/

3-2. ファインバブルの効果とメカニズム解明が開発の礎に

このような研究開発もあり、21 世紀に入ってから正確な検証データに基づく研究が進み、ファインバブルの効果とそのメカニズムがわかるようになってきた（表 3）。これらがファインバブル技術の応用開発の礎になっている。

表3 ファインバブル技術の効果とメカニズム

ファインバブル技術の効果	ファインバブル技術の効果の説明・メカニズム(一部推定含む)
洗浄効果 (界面活性効果、 衝撃圧力効果)	 ファインバブル自身はマイナスに帯電、泡同士は結合せず、プラス帯電物質（汚れなど）を吸着する。また、液体の表面張力が下がり洗浄効果を発揮する。さらに、バブルが固体表面で崩壊する際、極微少のジェット流が発生し、洗浄効果を上げる。例えば、直径が 100nm の気泡内圧力は計算上約 30 気圧という高压になる。
触媒効果	比表面積が非常に大きく、流動性を持たせることで、界面での化学反応が促進される。
殺菌・消毒効果	 ファインバブル（マイクロバブル）の自己圧壊（衝撃波によって急激に潰れる）により生じたエネルギーで生成されたフリーラジカルやオゾンが菌やウイルスを攻撃し、殺菌・消毒へ。オゾンのウルトラファインバブル水が効果的。
脱臭効果	ウルトラファインバブルはマイナスに帯電し、プラス帯電物質（臭い）を吸着する。
微粒子吸着効果	ウルトラファインバブルはマイナスに帯電し、プラス帯電物質（粒子）を吸着する。
生体活性効果	 ウルトラファインバブルは細胞の隅々まで行き渡るため、生体へ吸収されやすくなる。酸素のウルトラファインバブル水が生体には効果的。オゾンと酸素のウルトラファインバブル水は魚介類への治療にも。水の溶存酸素濃度の改善効果もある。微生物の活性化で汚染物質の分解効果もある。
摩擦力低減効果	ウルトラファインバブルの存在により液体と固体との間の摩擦力が低減される。（船舶の省エネルギー航行、シリコンウエハ間の剥離）

（経産省資料より ARC まとめ）

3-3. ファインバブル技術の応用分野の全体像

ファインバブル技術のアプリケーション、応用分野は日々広がっている。ファインバブル産業会では図 11 のような応用技術分野を示した。応用分野が明示されたことで、ファインバブルの日本の発生装置メーカーも新たな用途開拓に取り組んでいる。



図 11 産業分野におけるファインバブル応用技術分野

(出典：ファインバブル産業会 (FBIA))

なお、ファインバブルの効果には洗浄効果、触媒効果、殺菌・消毒効果、脱臭効果、微粒子吸着効果、生体活性化効果、摩擦力低減効果などがあり、それらの効果を利用した現在の主な応用分野を表 4 に整理した。

表 4 ファインバブル技術の効果と応用分野の例示

ファインバブルの効果	ファインバブル技術の応用分野(代表例)
洗浄効果 (界面活性作用、 衝撃圧力作用)	・ 洗浄分野 (高性能洗浄水) ・ 液晶・半導体・太陽電池製造分野 (半導体洗浄) ・ 水処理分野
触媒効果 (触媒的效果)	・ 化学分野 (化学反応促進) ・ 新機能材料製造分野
殺菌・消毒効果	・ 化学分野 (酸化分解) ・ 食品・飲料水分野 (食品衛生管理、鮮度保持等) ・ 化粧品分野 ・ 農業・植物栽培分野 (養殖漁業) ・ 医療・薬品分野
脱臭効果	・ 水処理分野 (水質浄化処理) ・ 新機能材料製造分野
微粒子吸着効果	・ 水処理分野 (水質浄化処理) ・ 新機能材料製造分野
生体活性化効果	・ 農業・植物栽培分野 (植物の生長促進、養殖魚)
摩擦力低減効果	・ 液晶・半導体・太陽電池製造分野 (積層ウエハ分離)

(ARC まとめ)

以下にファインバブル技術の各応用分野の開発動向を示す。

3-4. 洗剤や薬品を使わない洗浄：洗浄分野

ウルトラファインバブルは長時間水中に存在でき、輸送保管も可能なことが明らかとなった。この特徴により工業的用途が広がった。例えば洗剤や薬品を使わないウルトラファインバブル水による産業プロセス分野での洗浄が期待される。ポリカーボネート成形加工製造プロセスでは表面付着異物の洗浄に用いられている。また、界面活性剤や有機溶剤を使用しにくい分野での洗浄への利用も考えられている。

洗浄のうち市場の大きなものとして半導体や液晶パネルの前工程洗浄がある。産業総合研究所ではシリコンウエハ洗浄での薬品（劇薬）に代わって、ウルトラファインバブル技術を利用する研究を進めている。

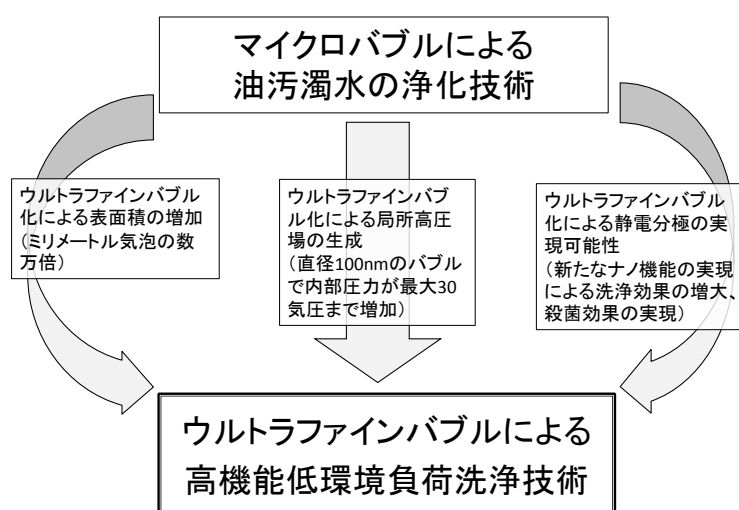


図 12 ウルトラファインバブルによる洗浄効果の可能性

（出典：産業技術総合研究所）

洗浄分野の先進導入例に NEXCO 西日本（西日本高速道路）がある。同社はファインバブル技術を使った省資源技術に早期に取り組み、サービスエリアのトイレ施設の洗浄に導入、15 年度にサービスエリアへの導入率 76%を達成した。12 年に設立した関連会社製造のバブル生成装置を用い、ファインバブル水噴霧後、拭取清掃し、洗浄効率をアップした。水の使用量が従来の 1%程度と劇的な環境負荷低減を実現しており、節水技術として注目される。また、橋などの構造物付着の塩分をファインバブル水によってほぼ

除去できる効果を得たため、道路設備の延命化という大きなコスト削減につながることで期待できる。ファインバブル技術の低環境負荷の洗浄技術の先駆けであり、臨海地での建築物への塩分除去の実用化に向け先鞭をつけた。

3-5. 太陽電池ウエハの生産性向上に寄与：液晶・半導体・太陽電池製造分野

洗浄に近い分野での産業プロセスへの応用として、液晶・半導体・太陽電池製造分野がある。ウエハの薄膜化につれ、枚葉剥離を超音波で行う際に破損リスクが増加したため、超音波付与の代替にファインバブル水を用いている。ファインバブル技術によりウエハ間隙にできるバブル層が摩擦力低減効果をもたらし、ウエハ枚葉の剥離がスムーズになり、生産性向上に貢献している。

3-6. 微生物を活性化し利用する排水処理：水処理分野

06年頃に半導体工場の排水処理で、ナノバブル（当時の呼名）の微生物活性作用から汚染物質の分解を促進できるとの報告があった。シャープは06年から半導体の福山工場、有機系と窒素系の難分解性化合物の廃液処理（分解促進）に利用している。処理槽でファインバブルを発生させ微生物をより活性化し、処理能力を高めた。

3-7. オゾンファインバブル水が食の安全・衛生に：食品・飲料水分野

食品分野では、殺菌剤の残留問題及びその洗浄による排水処理問題を抱えている。これに対し、人体に無害であるオゾンのファインバブル水が食品出荷前工程での殺菌に利用されている。バブルの粒径・濃度も制御できるようになり、技術の信頼性も高まりつつある。野菜などの食材の出荷時の殺菌洗浄に利用される実用例も多く、食の安全・衛生に貢献している。

この他、微粒子吸着効果により食品や飲料などの香り付与への展開も進められている。

3-8. 可能性が大きい第一次産業への適用：農業・植物栽培分野

空気あるいは酸素のウルトラファインバブル水には生理活性効果と界面活性作用とし

て溶存酸素の改善効果があり、農作物の生長を促進すると多く報告されており、トマトやレタスなどの水耕栽培を行う植物工場において実績をあげている。植物の生長促進効果について東京大学大下誠一教授は、ウルトラファインバブルの生体活性効果に焦点をあてて、メカニズム解明の研究を進めている。

なお、二酸化炭素ガスのウルトラファインバブル水によるセシウム洗浄効果も研究されている。セシウムなどの放射性核種は通常+（プラス）に帯電して農作物の表面に付着している。二酸化炭素ガスはセシウムを抽出しやすいことから、二酸化炭素ガスのウルトラファインバブル水のセシウムへの強い洗浄力が研究され、農作物への洗浄利用が考えられている。

魚の養殖においては酸素のウルトラファインバブルの利用が進んでいる。酸素のウルトラファインバブルは溶存酸素の改善効果による養殖魚の顕著な成長促進と、殺菌効果による養殖場の水質浄化などにも役立っている。魚の出荷段階では窒素のウルトラファインバブル水による出荷前洗浄がある。これは酸化を防止し、魚の鮮度保持に利用されている。世界の漁業・養殖業の生産量に占める養殖業の割合は49%まで上昇しており、魚の養殖業の分野での利用のすそ野はたいへん大きいと見込まれる。

3-9. 滅菌作用からその他の利用にも可能性：医療・薬品分野

オゾンのウルトラファインバブル水の滅菌作用を利用して、医療用機器の消毒・殺菌への利用が進んでいる。サルモネラ菌、大腸菌、インフルエンザウイルスの殺菌効果が確認されている。エボラウイルスの殺菌効果もカナダのグループで検証中である。

それらのメカニズムとして、細菌などと同じ大きさのマイナス保有電荷を有すウルトラファインバブルが細菌に吸着、細菌の構成分子の水素イオンを水酸基ラジカルから抜き取り、電荷を除去、細菌の表面上の突起物がなくなり、細菌は生物として活動できなくなり死滅する、という説が提示されている。

また、薬品分野としてドラッグデリバリー（DDS）への応用が期待されている。例えば、リポソーム（細胞膜と同じ材料で作られた小さな小胞）内に治療薬剤とウルトラファインバブルを同時に入れ、血液に投入し、患部を通過した時にリポソームに超音波をあて

ると、リポソーム膜が破れ薬剤を患部に投与できるという可能性が期待されている。

また、オゾンのウルトラファインバブル水を使う歯周病対策の研究もある（東京医科歯科大）。医療用の超音波造影剤としての利用も研究されている。

表 5 医療・薬品分野へのウルトラファインバブルの応用

オゾンのウルトラファインバブルによる医療分野での応用

- ・臓器保存液
- ・院内感染対策と洗浄（滅菌、消毒薬として）
産業技術総合研究所 高橋正好 <https://staff.aist.go.jp/m.taka/wari.pdf>
- ・歯周病の治療（オゾンナノバブル水）

酸素ウルトラファインバブル水による医療分野での応用

- ・動脈硬化性の病気の抑制（自治医科大）
- ・腎硬化等臓器への保護作用効果（同上）
- ・動脈硬化形成の予防（同上） <http://www.reo-ri.co.jp/oyo/index.html>

（各種情報より ARC まとめ）

なお、生体内でのバブル消失や生体膜に対しては、副作用が起こらないかの検証が必要で、まだ解決すべき課題がある（日本マイクロ・ナノバブル学会 大平猛代表理事）と指摘されている。

3-10. 省エネルギーで低環境負荷へのプロセスとなる化学分野

省エネルギーで低環境負荷の化学プロセスにファインバブル技術の活用が考えられている。例えば、ファインバブル技術を用いた化学プロセス（例えば新規有機合成手法の研究開発など）が行われている。代表的な開発チームは静岡大学化学バイオ工学の間瀬暢之研究室で、クリーンで安全な環境調和型の化学合成プロセスの研究を進めている。気体を液体に溶かす新手法開発などがある。

また、ファインバブル技術を利用した機能性素材製造の開発の研究がある。例えば、ファインバブルの急速収縮を利用し、無機物結晶や有機物結晶作成の開発などが構想されている。また、ファインバブル表面に金属膜を持つ中空粒子の製造の開発などがある。

3-11. 効能が喧伝され玉石混淆にある食品・飲料分野、化粧品分野

食品・飲料、化粧品の分野では数多くのファインバブル技術の効能（付加価値）を謳う製品がすでに多数出回っている。成功している代表例では窒素ファインバブル入りのマヨネーズがある。酸化を防止でき保存に適し、口当たりも改良され低カロリーにもなり、調理の応用の幅を広げることに貢献した。

食品・飲料分野、化粧品分野では、中にはファインバブルをあまり含まないものや実証されていない効能を示しているものもある。後述する FBIA の“ファインバブル製品登録”制度などによる市場の健全化が必要な分野となっている。

ファインバブルの気体種とサイズ毎のそれぞれの機能を以下の図 13 にまとめた。現段階で確認されている効果を整理したものであり、今後もファインバブルの機能が新たに発見される可能性は高い。

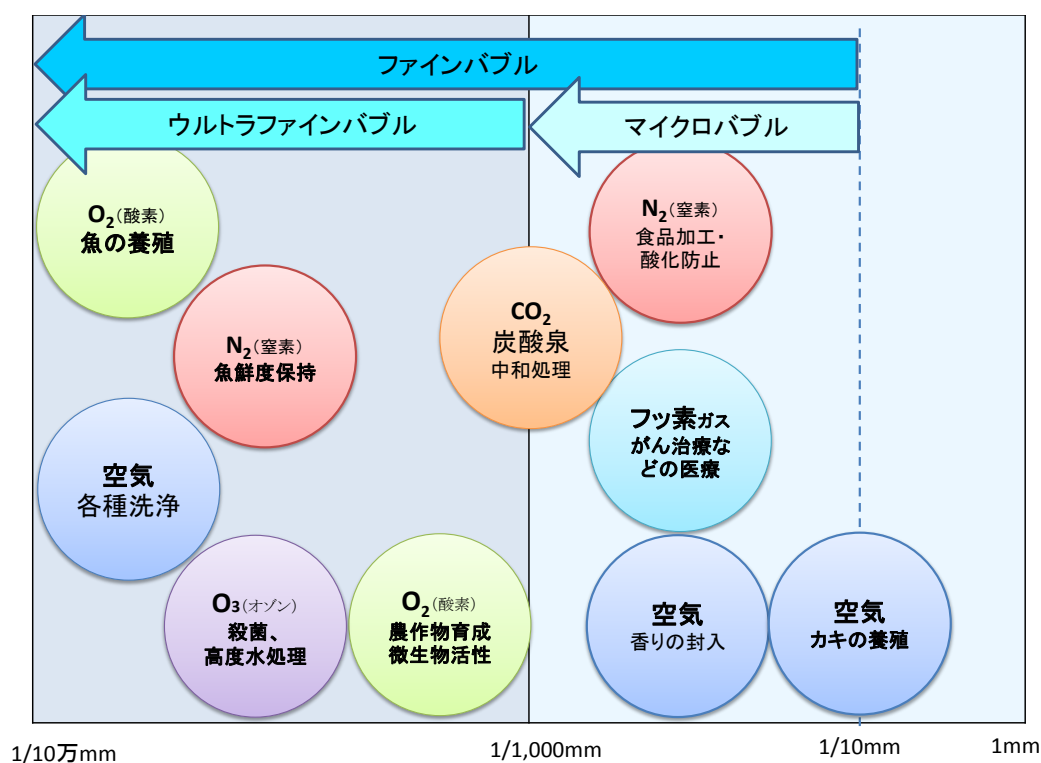


図 13 ファインバブルの気体種・サイズと機能の整理

（「ファインバブル活用事例集」、九州経済産業局、2016.3 などより ARC まとめ）

4. ファインバブル技術の標準化と特許動向

4-1. ファインバブル産業会（FBIA）による標準化などの活動推進

ファインバブル技術の効果やメカニズムがほぼ明確になった 2012 年 7 月、産官学の 30 社・機関により一般社団法人ファインバブル産業会（FBIA）が設立された。最新の 16 年 10 月時点で、65 社・機関より構成される。発生装置、計測器メーカーやユーザー企業、大学がファインバブル技術発展のため、定義、測定方法、性能の評価方法などの標準化や認証方法の確立を目指し、活動している。FBIA はファインバブル技術の産業化を促進するため、正確な定義、計測方法、応用方法の国際標準化の推進役も担っている。同組織では「ファインバブルは日本発の技術であるが、世界的な産業発展の前提となる国際規格の創成、国際的認証技術の確立を実施し、関連産業の発展や技術開発の進展を行う」という認識の下で、国際標準化活動に重点を置いた。

国際標準化策定を進め健全な世界の市場を形成できた“光触媒技術”の進め方にならい、経産省はファインバブル技術の国際標準化策定で世界に先行するため、ファインバブル技術を戦略技術に位置付け「トップスタンダード制度」に 13 年 2 月認定した。これによりファインバブル技術は国内 JIS 認証より先に、国際標準化を目指している。

ファインバブル技術の定義、測定方法、性能評価法の標準化や認証方法の統一は国際的製品・技術の普及に繋がり産業拡大をもたらし、定義などの確立は結果として関連の世界市場全体への利益を増す、という国の考えを反映している。

4-2. ファインバブル技術の国際標準化活動の重視と開発しくみづくり

ファインバブル技術の国際標準化は、世界中のユーザー・関係者の共通認識として 13 年 6 月、国際標準化機構（ISO）の TMB（技術管理評議会）会議で専門委員会 ISO/TC281（Fine Bubble Technology）を設置することが加盟国間で認められ、日本が幹事国となった。ISO 本部は TC281 委員会を普及前段階にある萌芽技術の標準をつくるモデルとみなしている。13 年 12 月に TC281 第 1 回会合が英（議長国）、中、露、韓、仏、独、日の参加があり京都で開催された。“ファインバブル技術を科学に裏打ちされた技術”と認定し、またグローバルに通用する技術にすることが決議された。その後、アジア諸国など

が増え参加国は 15 カ国になった。ファインバブルの国際標準化は、国際安全規格体系のピラミッド構造のように「基本規格」、「計測方法規格」、「個別応用規格」の三階層構造を日本が提案し認められ、規格づくりが進められている。

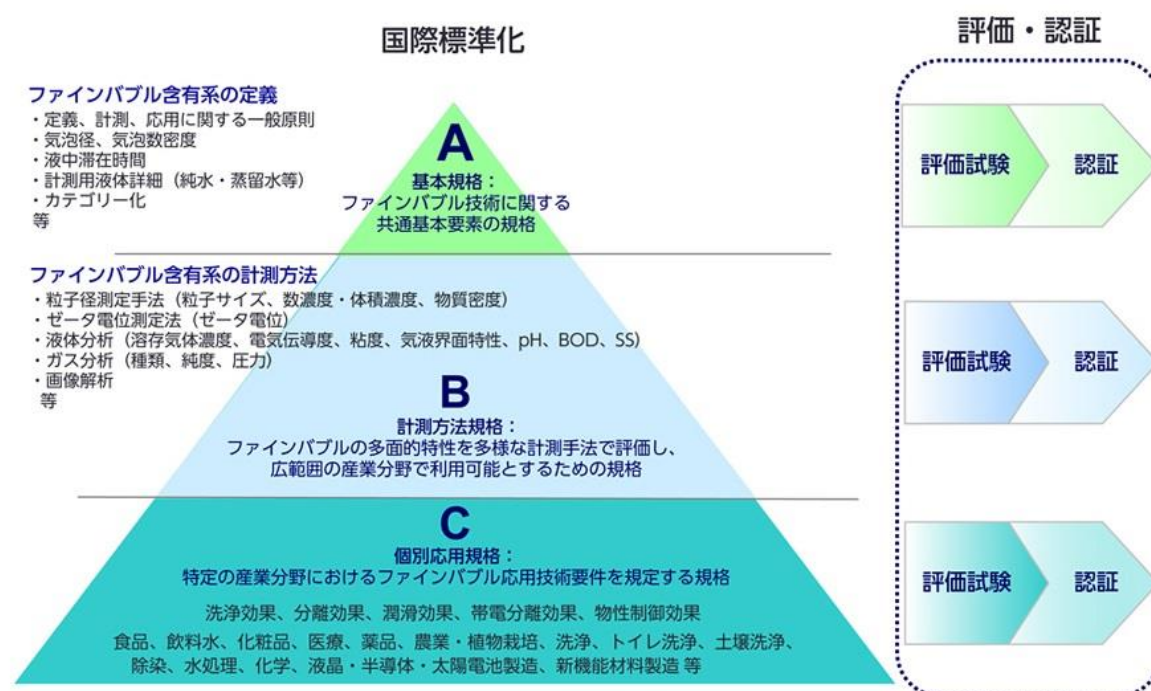


図 14 ファインバブル技術の国際標準化の三階層構造

（出典：ファインバブル産業会（FBIA））

「基本規格」ではファインバブル技術の一般原則を定め、「計測方法規格」ではグループ規格でシステムの計測方法について規格を定めている。下層の「個別応用規格」では 14 年 9 月から審議グループが設立され、幹事国と議長は日本が務め、医療・薬品分野という新しい分野を含めて日本人 4 人がエキスパートを担当している。「個別応用規格」の次回総会は 16 年 11 月にロンドンで開催される。

ISO ではファインバブル技術に対し、基本規格で気泡径、気体密度、液中滞在密度、比較対象のベースとなる計測用液体などを定め、計測方法の規格でレーザー回折・散乱法、ブラウン運動トラッキング法、共振・質量測定法、動的光散乱法、画像解析法などを定め、アプリケーション応用規格で洗浄、水処理、土壌洗浄・除染、農業・植物栽培、飲料水、食品、薬品、医療、化学などにおいて規格の検討を行っている。アプリケーション応用規格は、ファインバブル技術への参入事業者にとり特に重要な規格となっている。

くであろう。

なお、国内認証に関しては、FBIA が自らの認証事業として、会員メーカーを対象にまもなく開始される予定である。

4-3. ファインバブル製品の国内登録制度もスタート

ファインバブル産業会（FBIA）ではファインバブルのサイズ計測法の確立に伴い、15年6月からファインバブル技術の適用製品・サービスを認定する活動を行っている。

FBIA が技術適用製品・サービスを審査し、ファインバブル技術が用いられていることを実際の測定で確認し、登録証を与えるしくみである。染色、洗浄技術、シャワーヘッド、食品加工などの事業者が関心を示している。15年6月からはFBIAの登録証を発行し、正しい製品・サービスの公表を開始している。

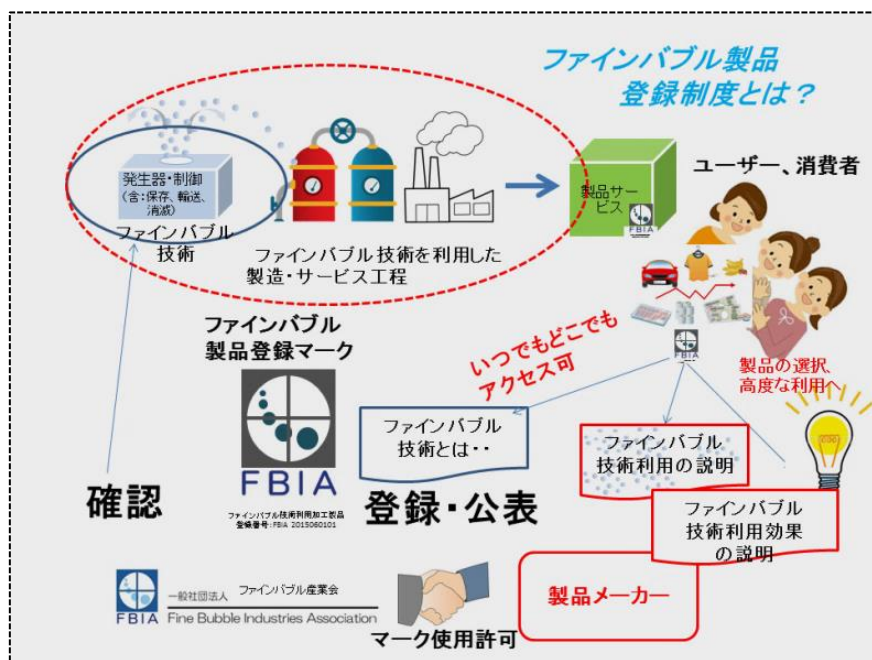


図 15 ファインバブル製品の国内登録制度・全体像

（2015 年 6 月から試験実施を開始）（出典：ファインバブル産業会（FBIA））

4-4. ファインバブル技術の特許動向

ファインバブル技術について、国内公開特許件数では年間百数十件程度であり、利用分野が広いにもかかわらず出願件数は少ない。今後は用途開発が進むことが予測されて

おり、用途特許が増えていくと思われる。

近年、中国と韓国がファインバブル技術分野に注目しており、両国から特許出願数が増えているとみられ、ファインバブル技術の製品開発や応用分野を考える際に、ファインバブル技術の利用の市場でもある中国、韓国の特許出願動向をウォッチしていく必要性がある。

特許出願では、現状では日本の企業や大学が先行し、「微細気泡」が出願特許の要約か請求項に入る特許出願では出願年が 2007～08 年にピークで年間 180 件前後があり、その後年間 100 件程度である。水、排水または下水処理に関するテーマの出願が多い。

ファインバブルの国内特許出願状況は、国内事業者、研究者の出願が多い状況である。「マイクロバブル」、「ナノバブル」、「微細気泡」、「微小気泡」を要約または請求項に含む 93 年 1 月～13 年 11 月に公開された日本国公開特許公報約 4,000 件の分析がある（「ファインバブル技術に関する技術動向」（VALUENEX コンサルティング社、14 年 1 月））。

ファインバブル技術のコアとなる「微細気泡発生装置」の領域においては、パナソニック、シャープの出願が上位を占めるが、ファインバブル産業会（FBIA）やその会員企業で発生装置メーカーの IDEC も出願が多い。「水処理装置」の領域ではシャープの出願が最多で、日立製作所、東芝が続く。「洗浄装置」の領域ではパナソニック、三菱電機、TOTO の出願が多い。その他領域では、例えば「エンジン関連」領域では、噴射燃料中に微細気泡を混入し効率向上させたエンジン技術がある。また、「培養液」領域では、マイクロバブルにより溶存酸素量を高めた培養液を利用した水耕栽培システム技術などがある。

5. ファインバブル技術関連市場とまとめ

5-1. ファインバブル技術関連市場は世界に広がる

ファインバブル技術の関連市場は応用機械装置にとどまらずに、その関連システム、関連サービスの市場が大きくなり、それらが国内外で立ち上がる可能性が高い。「ファインバブル技術の海外市場調査」(ファインバブル産業会 (FBIA) による 14 年調査) では、2023 年のファインバブル技術関連の世界市場を 6.4 兆円と予測した。ファインバブル技術を使用する関連システムとサービス市場は、17 年頃より世界での市場が伸び始め、20 年に 3.8 兆円、23 年に 5.5 兆円になることを示した。

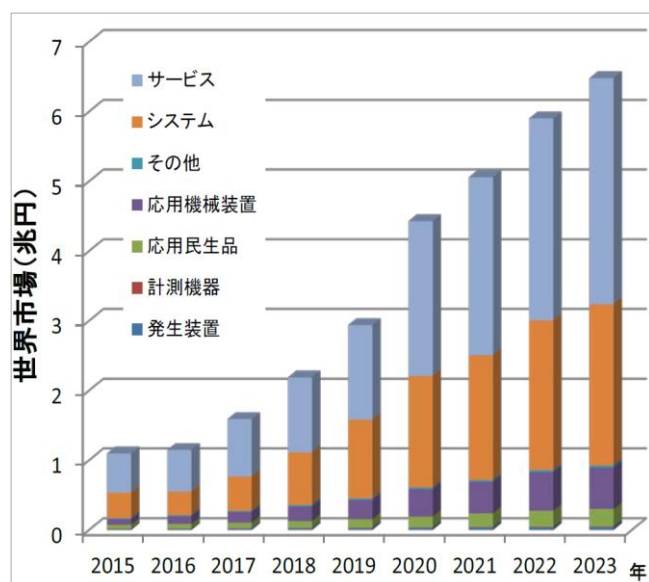


図 16 ファインバブル技術関連世界市場の予測

(出典:「ファインバブル技術の海外市場調査」、2014 年 2 月、ファインバブル産業会 (FBIA))

ファインバブルをつくる、測るという発生装置や分析装置で日本メーカーは先行した。応用市場の開拓も日本が早いと予測されるが、将来のファインバブル技術関連の世界市場では農畜や水産に関するシステムやサービスが最も多いとし、第一次産業での世界市場は 23 年に 3.8 兆円と予測した。そこでは日本市場は世界の 7~9%程度とされる。

なお、市場予測は関連市場の分野を洗浄分野 (IT 洗浄/半導体向け、建物向け配管洗浄、臨海施設向け付着塩分除去)、水産分野 (鮮度保持のための魚介類洗浄/殺菌、養殖、その他船などへの洗浄)、農畜分野 (植物工場向け、水耕栽培、野菜の洗浄による消毒/殺菌、酸素供給)、その他・環境 (水質浄化、汚水生物処理、土壌浄化、医療向け、食品/飲料工場向け) の 4 つに大まかにわけ、推計している。

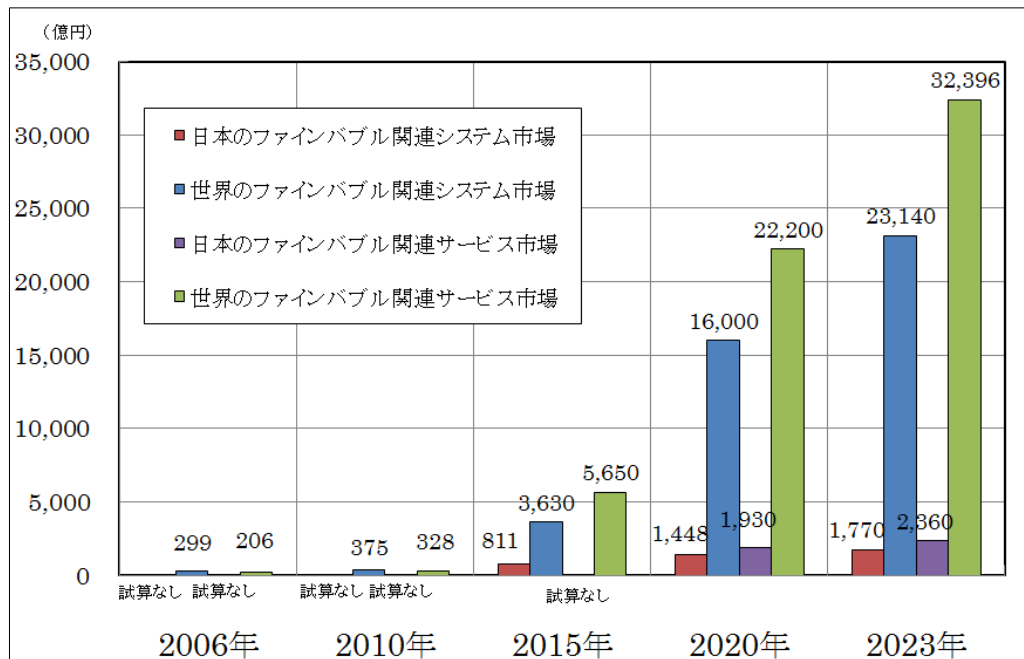


図 17 世界のファインバブル技術のシステムとサービスの市場予測

(出典:「ファインバブル技術の海外市場調査」、2014 年 2 月、ファインバブル産業会 (FBIA))

※(経済産業省【平成 25 年度国際標準共同研究開発事業】の成果の一部である)

ファインバブル技術の市場は発生装置と計測装置から立ち上がった。次いでファインバブル技術の効果が明確な養殖業、食品関係や洗浄装置会社などが市場を形成した。成長期にはファインバブル技術の関連システムやサービスを行う企業が市場の中心者になることが予測される。参考のためにファインバブル技術に関連した事業を展開している主な一部上場企業例を下表 6 に示した。

表 6 ファインバブル技術に関連し展開している主な企業例

分類	企業名	会社概要	ファインバブル技術に関連する製品等
発生・計測装置	戸上電機製作所	配電事業に関する製品(佐賀)	ファインバブル発生装置
	IDEC	各種制御機器等(大阪)	ウルトラファインバブル発生装置
	KYB エンジニアリングアンドサービス	油圧緩衝器等輸送用機器(東京)	ウルトラファインバブル発生装置
	島津製作所	計測機(京都)	ウルトラファインバブル計測装置
	堀場製作所	計測機(京都)	ウルトラファインバブル計測装置
応用製品	キュービー	食品等(東京)	食品の開発
	丸大食品	食品等(大阪)	食品の開発
	資生堂	化粧品等(東京)	化粧用素材の開発
	日東精工	水処理施設(京都)	ファインバブル洗浄装置
	シャープ	家電等電気機械(大阪)	ファインバブル洗浄装置の開発
システムやサービス	西日本高速道路	高速道路管理等(大阪)	ウルトラファインバブル製品の利用
	カネカ	化成品、機能性樹脂等(大阪)	ウルトラファインバブルによる除染等の開発
	大陽日酸	産業用ガス等(東京)	ウルトラファインバブル利用システム
	燦キャピタルマネージメント	投資事業(大阪)	ウルトラファインバブル装置の海外販売代理店

(ARC まとめ)

ファインバブル技術による殺菌・消毒効果、生体活性効果を利用して、農業・漁業や食品製造などの現場で実用が進み、それらの分野だけでも大きな市場を形成する見込みである。ファインバブルの発生装置や計測装置の技術で先行している日本企業は同市場でも優位性を持ち、その強みを生かしつつ、世界市場を目指すことが懸命であろう。

ファインバブル技術で農業・漁業の生産性を支援することは、今後世界的に顕著になる食糧問題への対策になり、世界への貢献につながる。消臭や衛生管理の関係市場でもファインバブル技術は世界に利用され、貢献するだろう。

5-2. ファインバブル技術の今後への期待と課題

ファインバブル技術でさらに今後広がりが見込まれる用途を下表 7 にまとめた。

表 7 今後想定されるファインバブル技術の分野と用途

ファインバブル技術の分野(効果)		今後想定される用途
化学分野	a. 吸着・凝集効果 b. 浮上・分離効果 c. 接触面の増加 (触媒の効果) d. 微粉体生成	○液中懸濁物質の除去 ○油水分離・高能率分解 ○高度濾過及びその前処理 ○VOC(揮発性有機化合物)の除去 ○燃料等への物質添加(資源の有効利用、燃費削減) ○冷却塔への散水による省エネ(気化促進) ○ナノ物質の分散など新機能製品の製造
医療・薬品分野	a. 剥離効果 b. 殺菌・消毒効果 c. 接触面の増加	○動脈硬化の予防 ○臓器保存(窒素等置換) ○診断治療用薬剤 ○洗浄による院内感染対策
健康分野	a. 温熱作用 b. 殺菌・消毒効果 c. マイナスイオン効果 d. 温泉効果	○皮膚病予防 ○口内殺菌・虫歯予防 ○皮下血行促進 ○頭皮の清浄化 ○安全で低コストの滅菌装置
洗浄分野	a. 剥離効果 b. 再付着防止	○食器洗浄機、洗濯機(洗浄力向上、洗剤使用量削減など) ○機能性のある入浴用品 ○その他民生品への応用
食品・飲料水分野	a. 接触面の増加 b. 分散作用	○食品・飲料の安全な酸化防止(窒素等置換)、防腐剤代替 ○スプレードライ食品への応用 ○乳製品、油脂製品
化粧品分野	a. 乳化作用 b. 分散作用	○化粧品の安全な高機能化

(各種情報より ARC まとめ)

特にウルトラファインバブル技術の特長を生かす応用分野では化学分野、医療・薬品分野(健康分野含む)などは、すそ野の広がりがあり期待される。ウルトラファインバ

ブル技術が持っている触媒的效果、殺菌・消毒効果などの高機能なメカニズムを整理し、それらを活用・展開することは重要で、新たに大きな用途が生まれる期待がある。医療・薬品分野でのファインバブル技術の導入は今後の医療・薬品分野の進歩への一助をなす可能性もある。生体内での副作用的な効果が発現しないことを確かめて、慎重でありつつも導入が期待される分野ではないだろうか。

このようにファインバブル技術は日本が取り組むテーマとして有意義で、有望であるということもできる。

なお、ファインバブル技術、特に目に見えないウルトラファインバブル技術における課題は、種々の効果のメカニズムや相互関係にまだ未解明な部分があることである。

「(ファインバブル技術が) より信頼される技術として発展するため、さらなるメカニズムの解明、研究開発の深掘りや定量的測定と評価が必要である」と“ファインバブル基盤技術研究開発事業(経産省国プロ技術開発)”の事後評価(16年1月)でも指摘されている。それらの評価を得ることは、より省エネで効率の良い方法が見いだされることにつながっていくものと考えられる。

以下の表8にファインバブル技術のこれからの課題と期待をまとめた。

表8 ファインバブル技術のこれからの課題と期待

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">○ウルトラファインバブル技術の高機能なメカニズムの整理と活用
(従来見出し出されていないファインバブル技術の機能発現含む)○ファインバブル技術導入による省エネルギー、低環境負荷への効果の見極め
(代替技術より優り、導入されるためには、省エネ・省資源という付加価値が必要)○日本の産学によるファインバブル技術で目指す方向性の一致
学:国内外での学会融合、技術交流(開発状況の開示)による技術向上
国際標準化による世界標準上での技術レベルのアップ
産:ファインバブルをつくる、測る企業を入れた地域での利用技術の向上
(複数の産業や自治体を巻き込んでいくしかけを含む) |
|---|

(ARC まとめ)

また、国際標準化を進めることは新技術の育成に大事な取り組みである。標準化によって世界の誰でも開発が行えると共に、不適切な製品などが駆逐される効果もある。フ

ファインバブル産業会（FBIA）のファインバブル製品の登録制度は、それを後押しするものと位置付けられる。

世界での市場開拓のためにも、ファインバブル技術の国際標準化は欠かせないため、ISO の場において中国や韓国を含む国内外の研究者や関係者は、小さな差異や利害関係を超えて標準化へ協力していく体制づくりが望まれる。

最後に、研究開発の一つにウルトラファインバブルの生成制御方法、という大きなテーマがある。例えば機械動力源を用いることなく、ウルトラファインバブルを発生させ、気泡径を的確に調整できる装置への期待がある。ウルトラファインバブルの径を均一化させると、それぞれの泡の保有電荷量（ゼータ電位という）が等しくなり、ウルトラファインバブルを均一に分散させることもでき、エネルギーをあまり使わなくとも、ウルトラファインバブルの高濃度化が可能になるといわれる。これらへの探求する研究の成果も徐々に出ている。

ウルトラファインバブルの生成制御は基本的技術だが、省エネルギーでウルトラファインバブルを生成するプロセスという特長を有し、機能性の高いウルトラファインバブルを高濃度で発生する方法を手に入れることでもある。それを日本で開発する意義は大きく、各種産業への影響力は大きいと推定される。

以上

◆主な引用・参考文献

- ・「マイクロバブルおよびナノバブルに関する研究」、産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 研究主幹 高橋正好、<https://staff.aist.go.jp/m.taka/takahashi2.pdf>
- ・「小さな気泡の不思議な世界」、産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門 研究主幹 高橋正好、<https://staff.aist.go.jp/m.taka/announce.html>
- ・戦略的国際標準化加速事業・国際標準共同研究開発事業「ナノ・マイクロバブル技術に関する国際標準化報告書」2013年3月、一般社団法人微細気泡産業会
- ・「ファインバブル基盤技術研究開発事業事前評価報告書」2013年8月、経済産業省 産業構造審議会産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会評価ワーキンググループ
- ・「ファインバブル技術の海外市場調査」、2014年2月、一般社団法人ファインバブル産業会
- ・「農林水産系のファインバブル技術開発」の概要と府省間連携の状況、2014年3月、経済産業省産業技術環境局産業基盤標準化推進室
- ・「ファインバブル技術のトレンドと課題」、化学工学 第78巻 第9号(2014.6)、慶應義塾大学理工学部教授 寺坂宏一
- ・「ファインバブル洗浄イノベーション」(2014 洗浄総合展 FBIA セミナー資料)、2014年10月、一般社団法人ファインバブル産業会
- ・第5回ファインバブル国際シンポジウム資料、2014年12月、一般社団法人ファインバブル産業会
- ・「ファインバブル技術の最前線」、環境浄化技術、2015.7-8 Vol.14、No.4、2015年7月、日本工業出版(株)
- ・「産業洗浄 No.16 ファインバブルの洗浄への応用」、日本産業洗浄協議会、2015.10
- ・“ファインバブル応用事例全国 MAP”、2015年11月10日、一般社団法人ファインバブル産業会
<http://www.fbia.or.jp/case/>
- ・「ファインバブル基盤技術研究開発事業 事後評価報告書」、経済産業省第28回産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ資料、2016.1
- ・「ファインバブル活用事例集」、経済産業省九州経済産業局、2016.3
http://www.kyushu.meti.go.jp/press/1601/160126_1_8.pdf
- ・「超微細な泡(ファインバブル)が暮らしと企業を変える(慶應義塾大学理工学部教授 寺坂宏一氏に聞く): SPECIAL INTERVIEW」、京都銀行、2016.5

<本リポートのキーワード>

マイクロバブル、ウルトラファインバブル、国際標準化、ファインバブル技術

〔注〕 本リポートは、ARC ホームページ (<http://www.asahi-kasei.co.jp/arc/index.html>) から検索できます。

このリポートの担当

主幹研究員 新井喜博

お問い合わせ先 (03) 3296-7057
E-mail: arai.yc@om.asahi-kasei.co.jp

注：内容の無断転載を禁じます。