

今注目の“日本発・驚異の微細気泡”をわかりやすく解説
ファインバブル活用事例集

ファインバブル FINE-BUBBLE 活用事例集

微細な気泡・ファインバブルが日本の産業を変える
環境、農業、食品、水産、医療・・・



経済産業省
九州経済産業局

はじめに

ここ数年、微細な気泡「ファインバブル」に関心が集まっています。バブルの特徴を上手く活用できれば、化学物質等を使用することなく、様々な機能を液体に付加することができるからです。

現在、各分野でファインバブルの活用に関する研究開発・応用化が進んでおり、環境、農業、食品、水産、医療等をはじめとする各方面で急速に活用が進むと考えられます。

ファインバブルが持つそれぞれの効果にはメカニズムの検証が十分に進んでいないものもありますが、日本発の革新的技術として、産学官が一体となって世界をリードしています。

本事例集では、今後利用が加速すると考えられるファインバブルについて、基本から活用事例までを分かりやすく紹介します。



日本が世界をリードする
「ファインバブル技術」
様々な分野において
活用の可能性があります！



1 ファインバブルとは

「ファインバブル」は、気泡のサイズによりマイクロサイズの「**マイクロバブル (Micro-Bubble: MB)**」とナノサイズの「**ウルトラファインバブル (Ultrafine-Bubble: UFB)**」(以前は

「**ナノバブル**」と呼ばれていた)の2種類に分類されています。これらは、単に気泡が小さいだけでなく、普段目にする数mmの気泡(ミリバブル)とは異なる様々な特徴を持っています(表1)。

表1 ファインバブルの定義と特徴

	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]	
泡の直径 <small>同サイズの比較対象物</small>	数十nm ~ 1μm ■ ウィルス (数十~100nm) ■ タバコの煙 (数十~500nm)	1μm ~ 100μm ■ スギ花粉 (約30μm) ■ 黄砂 (500nm~5μm)	100μm ~ ■ 通常の泡 (数mm~) ■ 髪の毛の直径 (約80~100μm)
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10μm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

出典) 一般財団法人ファインバブル産業会資料等を参考に環境テクノス作成

特徴① 見えない泡！

UFBは肉眼では見るできません。したがって、UFBが含まれる“UFB水”を見ても“無色透明”に見えてしまいます（写真1）。これは、UFBの気泡サイズ（ピークが100～200nm）が可視光線の波長よりも小さいため、光が殆ど散乱しないためです。

光学的に観測することができないという特徴のために、これまでは液体中でのUFBの存在が明確になっていませんでしたが、ここ数年で測定方法が確立され、効果のメカニズム検証が進んできました。

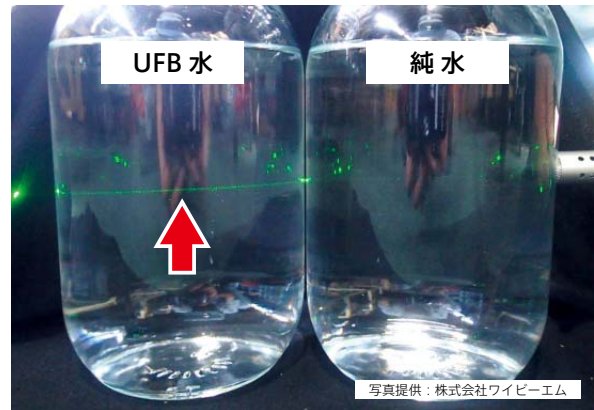


写真1 目に見えないウルトラファインバブル

水中のUFBは目に見えませんが、レーザーポインターの光をあてるとレーザー光を散乱するため、その軌跡を確認することができます。

特徴② 浮かない泡！

ファインバブルの特徴のひとつが水中での上昇速度が非常に遅いというものです。

通常のミリバブルは水中で急速に浮上し、水面で破裂しますが、MBは非常にゆっくりと上昇し、気泡内の気体が完全に溶解すると、水中で消滅してしまいます。ここで気体が溶け残った場合は、さらに気泡サイズが小さくなり*、UFBとなります（図1）。

上昇速度を比べてみると、例えば直径10μmのMBの場合、上昇速度は一般的な1mmの気泡と比べて1/2000程度です。この速さであ

れば、水の流れを活かして気泡を広範囲に拡散させることも可能です。

さらに小さな直径1μm未満のUFBになると、気泡は浮遊せずに液中に留まります。条件にもよりますが、液中で数週間から数ヶ月間の長期残存性能があるともいわれ、この性能は様々なことに応用することが可能です。

※球形の気泡に働く界面張力は、内部の気体を圧縮する力として機能（自己加圧効果）し、その力は気泡径が小さいほど強くなります。これにより、マイクロサイズの気泡（MB）は浮上しても膨張せずに収縮していきます。

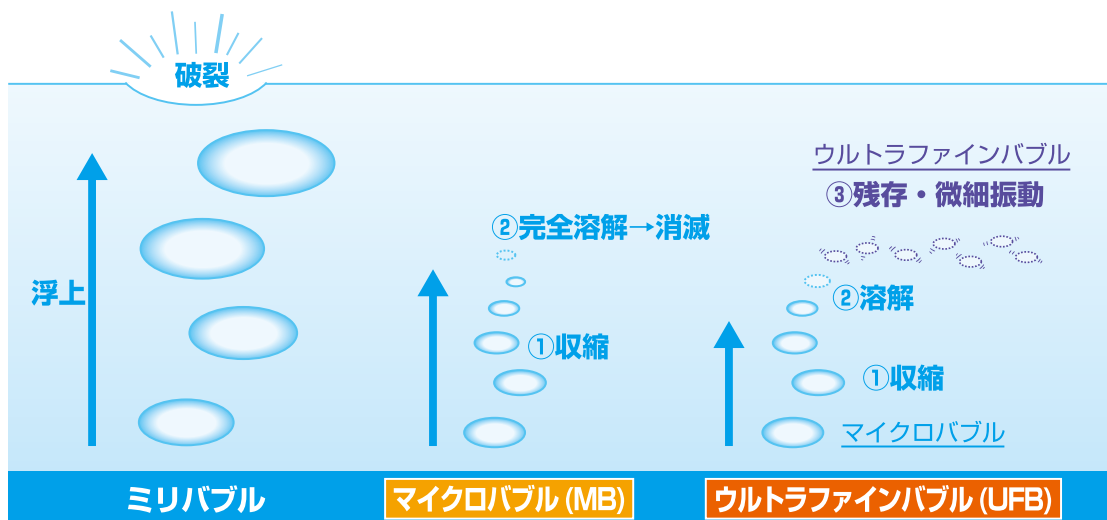


図1 ファインバブルの生成プロセス

出典）一般財団法人ファインバブル産業会資料等を参考に環境テクノス作成

2 ファインバブルの効果

ファインバブルの見た目に関する特徴について前頁で説明しましたが、それ以外にもファインバブルには様々な物理的な特徴があります^{1, 2)}。それらの特徴を上手く組み合わせることで様々な効果を得ることができます(表2参照)。活用方法次第では、**従来使用していた薬品や化学物質が不要になる可能性もあり、環境配慮面の効果も期待できます。**

● 気体溶解効果

ファインバブルを活用すれば、**液体中に気体を多量かつ効率的に溶かすことができます。**これは、気体溶解量に大きく影響を及ぼす単位体積あたりの液体との接触面積が大きいことに加えて、気泡内部が高圧で気体を溶解しやすいというファインバブルの特徴を十分に活かした効果です。

● 気体封入効果

活用の幅が大きく広がりつつあるのが、UFBが液中に長く留まることを活かした「気体封入効果」です。**気泡の中に目的に応じた気体を封入することで、ファインバブルに更なる機能を付加することができます。**

例えば、オゾンは強力な洗浄殺菌能力と有機物分解能力を持っており排水処理などに活用されていますが、これをUFBに封入すれば含有濃度が高まり、処理効率をな大幅に向上させることが可

能となります。医療分野での活用や香りの封入など新しい使い方も続々と開発されていますが、本効果は**従来から知られている効果の増強や持続性の向上を高める可能性**があります(図2)。

● 生理活性効果

「生理活性」は農業や医療・健康分野などで注目されている効果です。UFBは植物の根などから吸収されやすいため、酸素等を植物に供給する

表2 ファインバブルの代表的な効果

MB	UFB	効果	概要
○	○	気体溶解	高効率で気泡中のガスを液体に溶かすことができる。飽和度を超えて溶解させることも可能。
○	○	物理的吸着	液に含まれる物質・微粒子に対して凝集作用を発揮し、フロック形成に寄与する。有用資源の固液浮上分離などに活用することも可能。
△	○	洗浄	MBが消滅する際に局所的に放出されるエネルギー(発光、高温高圧、衝撃波など)が付着物質の剥離に効果を発揮する。
	○	気体封入	各種ガス(O ₂ , O ₃ , N ₂ 等)の気泡を液中に長期間・安定的に存在させることで、UFB含有水の機能向上や新しい効果を付与することができる。
	○	生理活性	UFBは皮膚や根から浸透しやすく、人体では体内血流の改善・体内温度の上昇、植物では成長促進効果などが報告されている。



図2 ファインバブルに封入する気体とその機能

ための効果的な手段となります。植物の成長が促進された事例も数多く報告されており、特に生育コントロールなどを厳格に行う植物工場やビニールハウス等での活用が期待されます。

◎その他の効果

ファインバブルの電気的特性や MB 消滅時に放出される高エネルギーなどによる「**吸着効果**」や「**洗浄効果**」も、事業レベルでの活用が始まっています（事例参照）。

③ ファインバブルの発生方式と発生装置

非常に微細な気泡を発生させるために、様々な方式が考案されており（表3）、メーカー各社から MB・UFB の発生装置が販売されています。

UFB の発生方式については、UFB を直接発生させる方式もありますが、気体を高速でせん断する「高速巡回液流式」と加減圧を活用する「加圧溶解式」が主流です。両方式とも MB と UFB を同時に発生させ、その後 MB の自然脱泡を待ち、残存するものを UFB とするものです^{1, 3, 4)}。

発生装置を選定するにあたっては、装置自体のコストはもちろんですが、**気泡径のピーク・分布、気泡密度・濃度、発生量、生成時間***、消費エネルギーなどを総合的に判断する必要があります。

④ 世界に広がるファインバブル市場

ファインバブル技術の市場は、発生器等のコア製品にとどまらず、様々なサービスやシステムとして発展していく事が予想されます。

現在の市場は技術をリードしている日本を中心としたものですが、国際標準化の作業も進みつつあり、**今後は世界規模で急速に市場が拡大する**と考えられています。最新の調査では、その市場規模（世界）が、2020年で約4兆円、2030年には約13兆円にまで拡大する可能性があると言われています（図3）⁵⁾。

◎泡のサイズとその効果

効果の中には MB・UFB のどちらでも得られるものがありますが、**活用する場面に応じて最適なサイズの気泡（MB・UFB）を選択することが重要**です。例えば、広範囲にわたり気体を溶解させたい場合は、気泡発生効率の面で MB の方が優位になることがあります。逆に、水槽のようなところに、飽和量を超えて気体を溶解させたい場合は UFB が優位になるかもしれません。

表3 ファインバブルの主な発生方式

	発生原理	代表的な発生方式
MB	液体の流動を伴う	巡回液流式、スタティックミキサー式、エジェクター式、ベンチュリー式、加圧溶解式
	液体の流動を伴わない	細孔式、回転式、超音波式、蒸気凝縮式、電気分解式
UFB	MB と同時生成	高速巡回液流式、加圧溶解式
	UFB の直接生成	界面活性剤添加微細孔式、超音波キャピテーション式

※ MB と UFB を同時生成する方式は、生成した液体を繰り返し処理することで高濃度の UFB を生成する「バッチ処理」の採用が一般的です。装置の選定に当たっては、予めバッチ処理の時間等を確認することも重要です。

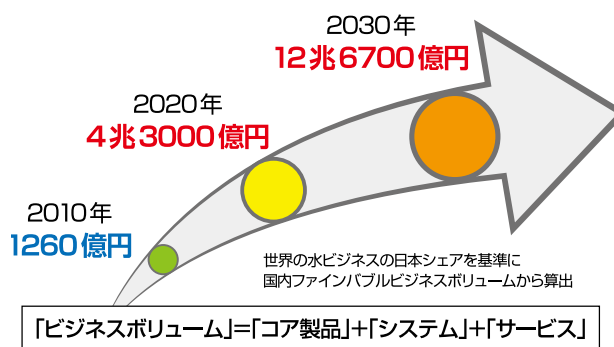


図3 ファインバブルの市場規模予測（世界）
出典）平成24年度国際標準化推進事業（株式会社ベンチャーラボによる推計）

5 ファインバブルの活用事例

これまではファインバブルの基礎について説明を行いました。ここではファインバブル活用のヒントになるように、今後活用が期待される各分野（表4）においてMBもしくはUFBを活用している事例を紹介します。

掲載事例のうち数事例については、ファインバブルの導入から今後の展開までをストーリー形式で紹介しています。

なお、紹介する事例については、個々の事業者で効果検証が行われているものもありますが、中には科学的に原理が解明されていないものもあります。本事例集は、掲載事例の効果・実績を保証するものではありませんので、**ファインバブル活用の検討にあたっては発生装置のデモ機等を活用の上、事前に効果を確認しておくことをおすすめします。**

表4 ファインバブルの活用可能分野および活用例

環境	農業	食品	水産業
 <ul style="list-style-type: none"> - 土壌浄化 - 地下水浄化 - 工場排水処理 - 汚泥減容化 - 有害物分解 - 藻類除去 - 凝集SSの浮上分離 <p>など</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 農畜産物の ・成長促進 ・収量増加 ・品質向上 - 鮮度保持 - 液肥 - 生産管理 (植物工場等) <p>など</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 鮮度保持 - 酸化防止 - 風味の付与 - 食感の付与 - 香りの付与 <p>など</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 水産物の ・成長促進 ・収量増加 ・品質向上 - 養殖環境改善 - 鮮度保持 <p>など</p>
洗浄	産業	美容	その他
 <ul style="list-style-type: none"> - トイレ洗浄 - 生産ライン洗浄 - 塩害対策 - 配管汚れ除去 - ガラス鱗状痕対策 - 洗濯機 - 野菜・食品 <p>など</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 精密剥離 - シリコンウエハー 薄膜分離 <p>など</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 温泉 (気泡風呂) - 洗顔・頭皮洗浄 - ナノテク化粧品 - シャワーヘッド <p>など</p>	 <ul style="list-style-type: none"> - 医療、医薬品 - 船舶 - 製紙 - 日用品 - エネルギー - 水族館 <p>など</p>

《事例①》

環境 ファインバブルを活用した高効率排水処理

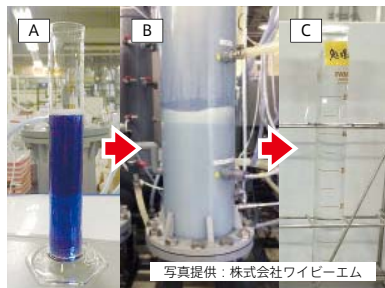
排水処理の分野では、処理原水に対してMBもしくはUFBを添加することにより、**処理効率が改善**する事例が多数報告されています。

一般的な排水処理には微生物による生物分解が活用されますが、ファインバブルの気体溶解効果を活かすことで、水中の酸素濃度を微生物がより活動しやすい高濃度に保つことができます。MBを使用した場合の溶存酸素濃度は通常のエアレーション実施時よりも高いため、高効率の排水処理が期待できます。

弁当工場からの排水処理において、生物処理での負荷を低減するために酸素UFBが使用された事例^{※1}もあります。この事例では、**生物処理(活性汚泥処理)の前段(流量調整槽)に酸素UFBを添加**することにより、流量調整槽前後のBOD(生物化学的酸素要求量)濃度を1,179mg/lから527mg/lに低減しています(滞留時間10時間)。このケースでは、**余剰汚泥発生量についても1/2程度に縮減**しており、ランニングコストを抑えることも可能です。

一方、産業系の排水処理には微生物処理が困難な難分解性有機物や色度の除去が必要なため、より酸化力の強いオゾンによる高度処理が広く使われています。しかしながら、オゾン処理はコスト負担が大きく、その高効率化が求められています。ファインバブルはこのオゾン処理との相性が良く、**通常のオゾンバブリングと比較してオゾンMBは10倍近い効率を得た**という報告⁶⁾があります。また、オゾンMBに封入することでオゾンの強酸化力を生む要素であるフリーラジカルの発生量が劇的に増加すると報告⁷⁾されており、これも高効率化を後押しするものと考えられます。

■ 情報提供元：ワイビーエム株式会社(※1)、ほか文献等を参照



【上】工場排水の処理に使用されているUFB発生装置「フォームジェット」／【下】難分解物質ブルー液晶着色廃液脱色処理の様子(A: 原水 B: オゾンUFB反応(約3分間) C: 処理水)

《事例②》

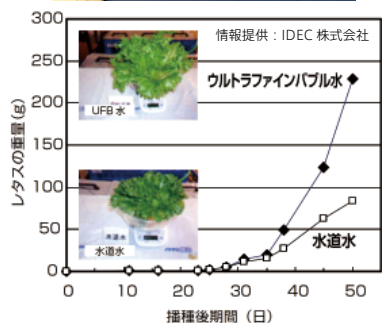
農業 UFBによる農作物の成長促進

農業分野におけるファインバブル活用は他分野より進んでいます。既に、野菜、果物(いちご)、花き(バラ等)、水稻などに対してUFBもしくは酸素UFBと養液等を組み合わせて供給し、**農作物の成長促進に繋がった**多くの事例があります。

通常の水で育てたものと実績比較をすると、養液土耕方式によるいちご高設栽培(酸素UFB水供給)で総収穫量が24%増加・糖度0.9度増加^{※1}、ミニトマト(4種)の水耕栽培(UFB水供給)で収穫量約20%増加・糖度約2度増加^{※2}、植物工場におけるレタス水耕栽培(酸素UFB水供給)で重量が約2.5倍に向上(播種後50日)^{※3}といった結果が報告されています。

その他にも、UFB活用に伴う追加的な効果として、根部の成長促進、根腐れが発生しない、バクテリア繁殖抑制効果なども報告されており、植物工場やハウス等で環境制御を行っている場合や高付加価値な商品作物の生産には特に大きなメリットが期待できます。

■ 情報提供元：ワイビーエム株式会社(※1)、株式会社Ligagic(※2)、IDEC株式会社(※3)



【上】稲苗の育苗でUFBが活用された事例では、根の長さが通常のものと比べて2倍以上に成長している。／【下】レタス栽培の重量比較のグラフ。UFB水による栽培の優位性が重量の差に表れている。

《事例③ / 活用ストーリー》

食品 ファインバブルで食感にこだわったマヨネーズを創る



【上・中】ファインバブルを活用した『キューピーシェフスタイルマヨネーズ』のパッケージとマヨネーズ。業務用マヨネーズのラインナップのひとつとして多くのユーザーに使われている／【下】マヨネーズを拡大した様子。マイクロサイズのバブルが多く含まれていることがわかる。

キューピー株式会社は1998年から主力商品のひとつであるマヨネーズの製造にファインバブルを活用しています。同社のマヨネーズには様々なラインナップがありますが、ファインバブルが活用されているのは『シェフスタイルマヨネーズ』および『ハーフ（惣菜用）』の業務用2種です。

“ふっくらとして口どけの良い食感”をマヨネーズに与えたい。これが同社がファインバブル導入を決めたきっかけです。マヨネーズの製造工程にはミキサーによる原材料の攪拌プロセスがありますが、混ぜ合わされた原材料の空気を抜いて（脱気）再びミキサーに掛けるのが通常です。一方、ファインバブルを使った2製品では、前段の脱気後に窒素ガスを吹き込み、後段のミキサーで50 μm以下のマイクロレベルまで窒素ガスの泡を細かくします。産学連携の研究成果も活用しながら、適切な泡のサイズを見つけるまで試行錯誤を重ね、ようやく2003年に『シェフスタイルマヨネーズ』の商品化にたどり着いたといいます。

ファインバブルの活用は、食感だけでなく味や見た目にもプラスの効果を生み出しました。酸味をやわらげる効果は惣菜用のマヨネーズに適しており、2008年に『ハーフ（惣菜用）』として商品化されました。また、惣菜用のマヨネーズには、惣菜と混ぜ合わせた際の保水性（素材から抜けてしまった水分を抱える能力）が特に求められますが、同商品の保水性は従来品よりも高いという結果が出ています。惣菜を販売するにあたって、野菜等から抜けた水分がパッケージ中に溜まってしまうと、見た目が悪くなってしまいますが、このマヨネーズを使うと水分が抜けにくいので、加工商品の付加価値にもなっています。

このように、ファインバブルを活用したマヨネーズ商品は、当初期待していた食感の他にも味や保水性など商品価値を高めるプラスの効果を持っており、業務用マヨネーズラインナップの定番となって、多くのユーザーからこだわりを持って使われています。

■ 情報および写真提供元：キューピー株式会社

《事例④ / 活用ストーリー》

水産 UFB による鮮度保持で高品質な鮮魚を海外にも届ける



【左】水槽投入型のUFB発生装置『ナノフレッシュャー』は、延縄船漁槽での活用が広がっている（次頁本文参照）。／【右】UFB発生装置のコア技術「ラモンドナノミキサー」は駆動部を持たない流体混合器。

北九州で鮮魚の卸売販売等を手掛ける丸福水産株式会社は、2012年頃から水産物の鮮度保持にウルトラファインバブル（UFB）を活用しています。鮮魚には、その鮮度によって刺身用、煮付け用、加工用などのランクがありますが、時間が経てば経つほどランクは下がり、商品価値が低下してしまいます。同社は、UFBを活用した鮮度保持を行うことで鮮魚のランクダウンを防ぐ技術を独自開発し、高品質な商品を長期間・遠方まで供給できる体制を整えています。

この鮮度保持技術は、鮮魚を高濃度のUFB海水で一定時間浸漬するというものですが、顧客ニーズに応じてUFBに使用する気体を“窒素”と“酸素”で使い分けることで更なる高付加価値を生み出しているのが



【上】24時間が経過した養殖ハマチの切り身。UFB洗浄を行うことで血合いの部分の変色が抑えられており、身の張りがあり、切り口の角も立っている。／
【下】同じく24時間が経過したアルゼンチン赤エビもUFB洗浄を行うと頭部の変色が殆ど無い。



同社が実施した、酸素UFBを利用した陸上養殖におけるウマズラハギの成長比較（成長促進効果の例）。酸素UFBを活用すると、出荷可能サイズに成長するまでの期間を数ヶ月短縮できたという。

特徴です。

高品質な刺身用鮮魚は一般的に1日程度で鮮度が落ち、刺身用として販売できなくなりますが、輸送前後（仕入れ時と小売店舗到着時）で**鮮魚を窒素UFB海水に浸漬（浸漬時間は魚種により異なる）することで、鮮魚の酸化と細菌増殖を防止し、長期間の鮮度保持が可能になりました。**鮮魚の鮮度指標であるK値や一般生菌数の推移を測定した結果、5～7日程度は鮮度保持できることが確認されており、同社は鮮魚販売のターゲットを海外にも広げています。

一方、**鮮魚の商品価値に大きく影響を及ぼす見た目（魚本来の色）を重視する場合は、酸素UFBを選択**します。鮮度保持期間は窒素には劣りますが、2～3日程度は鮮度保持が可能であり、鮮魚が消費者の目に触れる小売店や飲食店での販売に特に大きな効果を発揮します。酸素を使うと鮮魚の酸化が促進され、余計に鮮度が落ちるのではないか、と考えてしまいますが、これについては、独立行政法人水産総合研究センターの研究により、UFB技術で飽和濃度を超える超高酸素濃度環境（酸化を抑制し酸素化を促進する環境）を造ることで、鮮魚内部に酸素が行き渡り、鮮魚本来の色が保持されることが明らかになっています。

丸福水産は、1995年から同社のラモンド事業部においてハニカム構造による流体混合装置『ラモンドナノミキサー』の研究開発に取り組み、その技術を活かしたUFB発生装置を独自に開発しました。2008年には同事業部を分離独立させた株式会社ナノクスを設立し、更なる技術向上によりUFB発生装置の販売を開始・展開しています。最近では、近海マグロ延縄船の漁槽でのマグロ保存技術として同社のUFB発生装置『ナノフレッシャー』が広まりつつあり、薬を使わないマグロの保存方法として注目されています。

■ 情報および写真提供元：丸福水産株式会社／株式会社ナノクス

《事例⑤ / 活用ストーリー》

洗浄 UFBを活用したトイレ洗浄で水の使用量が1/100に



【上】UFBを活用したトイレ洗浄の様子。UFB水は噴霧して湿らせる程度で良い。／【下】噴霧したUFB水はモップで簡単に拭き取ることができる。

サービスエリアやパーキングエリアといった高速道路の休憩施設にあるトイレは誰もが利用する施設であり、その清潔さ・快適さが高速道路利用者の満足度に大きく影響を与えます。西日本高速道路株式会社（NEXCO 西日本）は『**世界一きれいなトイレを目指す**』ため、その一環として**トイレ洗浄にウルトラファインバブル（UFB）を活用**しています。

休憩施設のトイレは24時間365日いつでも利用する空間です。しかしながら、従来の清掃方法では大量の水を床面に散布して清掃していたため、デッキブラシで洗浄して水を回収するまでの間、トイレの利用は制限されていました。一方、UFBを活用した洗浄は、UFBを含んだ水道水で床面を湿らせる程度に散布しモップで拭き取るだけで従来と同等の洗浄効果が得られます。この方法であれば、**清掃時間を大幅に短縮**できるだけでなく、**床面の乾燥も早い**ため、利用者への影響を最小限に抑えることができます。

（続く）



【上】新たに開発された小型 UFB 発生装置『BUVITT』。NEXCO 西日本はこの装置を全施設に設置する予定。／【下】Ligaric 社の UFB 発生装置は農分野（写真は農業分野の例）でも活用され始めている（詳細は事例②参照）。

UFB 洗浄のメリットはそれだけではありません。トイレの清潔さを短時間の清掃で維持できるので、**清掃スタッフの作業負荷が減り**、スタッフの満足度も高まっているといいます。また、**UFB 水使用前と比較して洗浄水の使用量がおよそ 100 分の 1 に減り**、原則として洗剤を使用しないことから**“環境にやさしく”かつ“経済的”な清掃方法**といえます。

現在はその活用の幅も広がっています。中水（再生処理水）をフラッシング水として使用しているトイレでは、中水に UFB を付加することで**尿石が便器に付着するのを緩和**しています。また、トイレ清掃以外にも、鋼製橋梁の橋桁部における塩類の高圧洗浄にも UFB 水が効果を発揮しています。

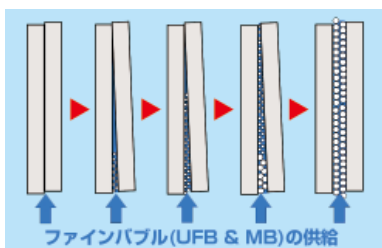
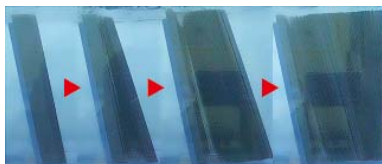
NEXCO 西日本は平成 21 年頃から UFB 水を活用したトイレ清掃の導入を拡大し、平成 24 年には UFB 発生装置メーカー株式会社 Ligaric（リーガレック）を設立するなど、積極的に洗浄分野での UFB 活用に取り組んでいます。現在は、地域の拠点で UFB 水を製造し、各休憩施設に運搬して使用する方式が主ですが、新たに各休憩施設に設置できる小型の UFB 発生装置『BUVITT』（20L タンク内蔵型）を開発し、平成 27 年度より 5 年間で普及率を 100% にするとしています。なお、平成 27 年度には事業エリア内にある約 300 箇所の休憩施設のうち約 8 割で UFB によるトイレ洗浄を行う計画です。

Ligaric 社を中心に、UFB 洗浄に適したバイオ洗剤や休憩施設の污水処理技術の開発も並行して進んでおり、最近では東北や関東でも UFB による洗浄導入が進むなど、同社の技術・ノウハウの展開が拡大しています。

■ 情報および写真提供元：西日本高速道路株式会社／株式会社 Ligaric

《事例⑥》

産業 UFB を活用したシリコンウェハの分離



【上】ファインバブル水中の太陽電池シリコンウェハインゴットの様子。密着した薄膜ウェハが、時間が経つにつれ（写真の右側に向かって）分離していくのがわかる。／【下】ウェハ分離のプロセス。ウェハの隙間には、UFB から MB へと次第に大きなバブルが浸透し、ウェハ 1 枚 1 枚を分離していく。

太陽電池のシリコンウェハ（以下「ウェハ」という）は、シリコンの塊（インゴット）を薄くスライスして造られ、それらが積み重なった状態で次の工程に供給されます。供給されたウェハは加工のために 1 枚ずつ分離する必要がありますが、近年コストダウンのための技術向上により、急速に薄膜化（厚さ数百マイクロン）が進んでいます。この薄膜化が進めば進むほど、分離工程でウェハが割れ、歩留まりに大きく影響していました。

その解決手段として、ウルトラファインバブル（UFB）が微細な隙間に入り込みやすいという性質が活用されています。供給されたウェハの塊（ウェハが積み重なった状態）に一定割合のマイクロバブル（MB）と UFB を供給すると、**ナノサイズの UFB がウェハの隙間に入り込んでギャップを広げるとともに、引き続きサイズの大きな MB が入り込んで 1 枚 1 枚を簡単に分離**することができるのです。ウェハは、その後 1 枚ずつ搬出されますが、各ウェハの隙間に形成されたバブル層がクッションの役割を果たしています。

■ 情報および図提供元：IDEC 株式会社

【参考】(一社)ファインバブル産業会 (FBIA) の取組と地方創生協議会の設立

ファインバブルは日本発の革新的技術ですが、産業発展の前提となる規格の創成、認証技術の確立を早急に実施しなければ、関連産業の発展や技術開発の進展に支障が生じる可能性があります。

(一社)ファインバブル産業会 (FBIA) は、産学官が連携してファインバブル技術の国際標準化、認証及び技術開発、共通基盤情報の収集などを総合的に行うプラットフォームとして、ファインバブル産

業の健全な市場形成を行い、産業全体の加速的発展を目指した活動を行っています。

また、ファインバブル技術利用の多くが地方発で、中小・ベンチャー企業も多数参画していることから、新産業創出・地方創生のコア技術としての期待も高まっています。この動きをサポートするため、関係機関による情報交換/政策提言を行うための『ファインバブル地方創生協議会』が設立されています。

(一社)ファインバブル産業会 (FBIA) の取り組みに関するお問い合わせ先



(一社)ファインバブル産業会事務局
TEL : 03-6432-4242
E-mail : info@fbia.or.jp

【参考文献】

- 1) 柘植秀樹：マイクロバブル・ナノバブルの基礎，日本海水学会誌，第 64 巻 第 1 号（2010）
- 2) 芹澤昭示：マイクロ/ナノバブルの基礎，日本マリンエンジニアリング学会誌，第 46 号 第 6 号（2011）
- 3) 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，第 78 巻 第 9 号（2014）
- 4) 寺坂宏一：ファインバブルの基礎と計測及び応用，NITE 主催セミナー配布資料（2014）
- 5) 一般社団法人微細気泡産業会：ナノ・マイクロバブル技術に関する国際標準化報告書（2013）
- 6) 高橋正好：マイクロバブルを利用した排水処理技術，日本海水学会誌，第 64 巻 第 1 号（2010）
- 7) 穴戸道明ら：マイクロバブルの基礎特性と応用分野，鶴岡工業高等専門学校研究紀要，第 49 号（2015）

ファインバブル FINE-BUBBLE 活用事例集

ファインバブル活用事例集

平成 27 年 12 月初版発行
平成 30 年 1 月 第四版発行

経済産業省 九州経済産業局 資源エネルギー環境部 資源エネルギー環境課
〒812-8546 福岡市博多区博多駅東 2 丁目 11 番 1 号
TEL : 092-482-5499 FAX : 092-482-5398
E-mail : k-kanene@meti.go.jp

※本事例集は経済産業省の委託事業で作成したものです。
委託先：一般財団法人九州産業技術センター（九州環境エネルギー産業推進機構 (K-RIP)）
業務請負：環境テクノス株式会社

※本事例集は九州経済産業局及び九州環境エネルギー産業推進機構 (K-RIP) の Web サイトからダウンロードすることができます。

ファインバブルを導入したいとお考えの皆様へ

2015年に発行した『ファインバブル活用事例集』では、ファインバブルの導入にあたって、事前の効果確認作業が重要なことを示しました。特に、ウルトラファインバブル（UFB）は肉眼で見ることができないため、効果確認作業を適切に行わなければ、導入しても効果を正しく測れない・効果が発現しないことがあるからです。この追補版では、実際に UFB を導入する前の効果確認作業の基本的な流れと、注意すべきポイントについて解説します。

ファインバブル FINE-BUBBLE 活用事例集

追補版

補 [準備編] ウルトラファインバブル導入の前に

ここでは UFB 発生装置を導入するまでの流れを示します（図1）。UFB の効果を得るためには、特に Step1 ～ Step3 の流れに配慮する必要があります。各 Step の詳細は次ページをご覧ください。

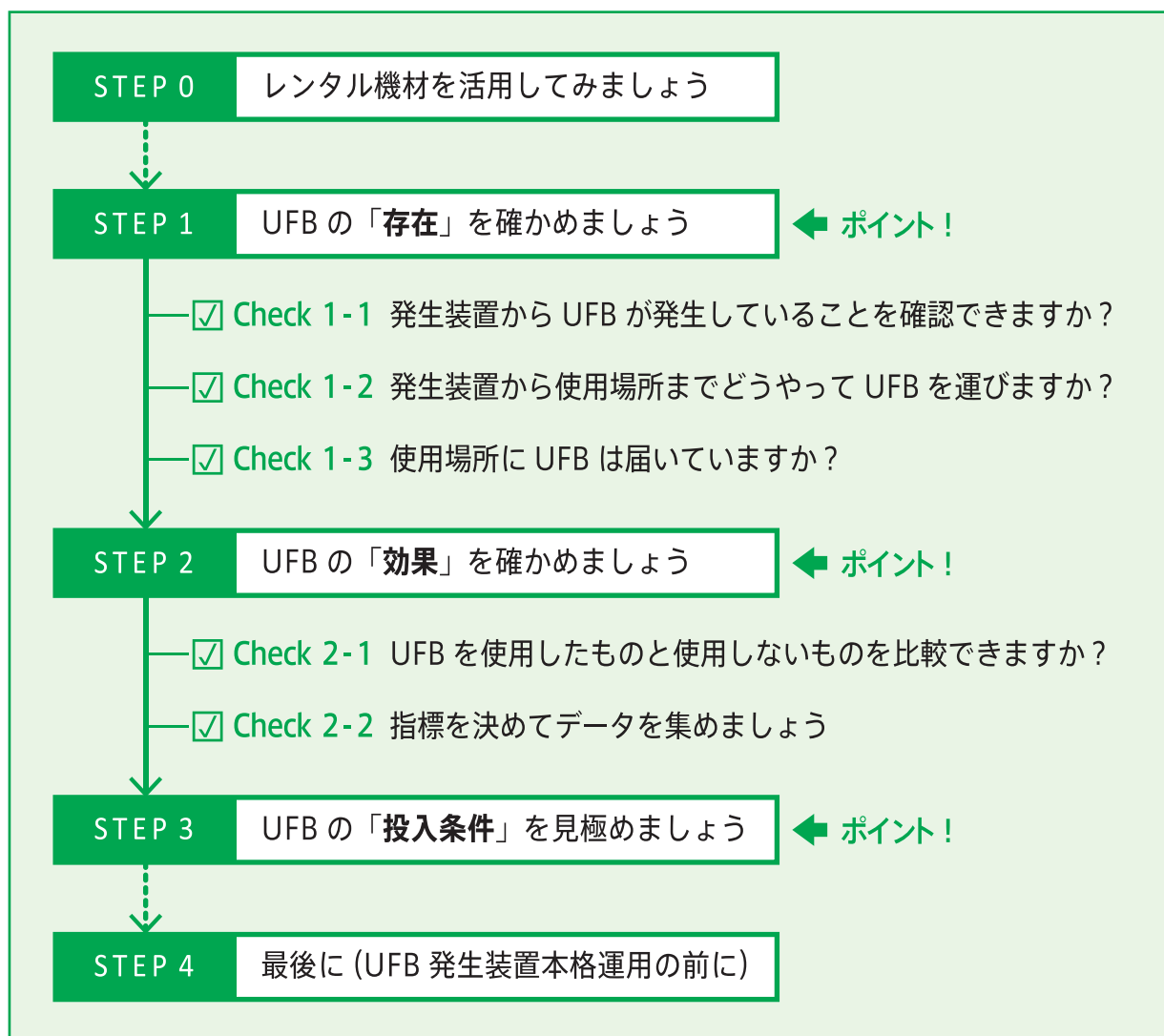


図1 UFB 導入までの流れ

● Step 0 レンタル機材を活用してみましょう

UFB 導入の事例は徐々に増えつつあり、導入に係る知見が蓄積されはじめています。しかしながら、UFB 活用が見込まれる分野は幅広く、まだ十分に知見が得られていない分野もあります。また、成功事例があったとしても、適用する環境が異なれば、同じ効果が得られるとは限りません。UFB 発生装置導入の前に、効果の有無を確認してみましょう。

この作業には、一部の UFB 発生装置メーカーが販売する UFB 水を使用することもできますが、できれば機材をレンタル^{*}し、実際の使用条件に合わせて確認することをお勧めします。

^{*}レンタル機材については装置メーカーにお尋ねください

● Step 1 UFB の存在を確かめましょう

発生装置を設置したら、正常に UFB が造り出されていることを確認しましょう。もし、発生装置から UFB の使用箇所が離れている場合は適切に UFB が送り届けられているかを確認することも忘れてはいけません (図 2)。

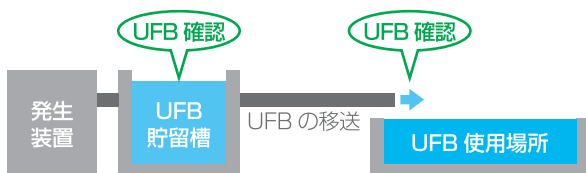


図 2 UFB の存在を確認すべき場所

UFB が途中で減っている、または届いていないという場合は、UFB の移送方法に問題があるかもしれません。方法を再確認してみましょう。

UFB 量を測定するには採取したサンプルを専用の装置で分析する必要があります。この分析の詳細・注意点については、発生装置メーカーもしくは(一社)ファインバブル産業会^{*}指定の UFB 試験ラボにお尋ねください。 ^{*} URL <https://www.fbia.or.jp>

【注意】UFB が減ってしまう！

UFB の特徴は気泡が長期間残存することですが、これが成り立つのは安定した条件下で UFB が保存された場合です。貯蔵中や移送中に振動や温度変化など物理的な力が加わることで気泡が減少してしまいます。こうしたことから、使いたい時・場所に必要な量の UFB があることを確かめることは大切です。

UFB サンプルの保管・輸送は慎重に！

分析用の UFB サンプルの採取や保存、輸送方法については、(独)製品評価技術基盤機構(NITE)の Web サイト^{*}(ファインバブル技術情報)に詳しい説明があります。事前に確認しておきましょう。

^{*} URL <http://www.nite.go.jp/gcet/fb/>

● Step 2 実験で効果を確認めましょう

UFB の効果を測定する確実な方法は、UFB を使用するものと使用しないもの (UFB を使用しないこと以外は同条件にしたもの) を比較することです。

一般的に工業分野の実験は再現性が高く検証が比較的容易ですが、一次産業分野の場合は天候や栄養分の分布など UFB 添加以外の環境を同じにすることが難しいため、**実験条件や指標の設定が重要**になります。専門家に相談するなどし、**適切な実験計画を立てて検証に臨みましょう。**

なお、測定したデータは、今後 UFB の活用を進める上で非常に重要な情報となります。**実験データは正しく記録し蓄積していきましょう。**

● Step 3 UFB 投入条件を見極めましょう

UFB は単純に多くの量を添加すれば良いのではなく、**使用する対象・時期によって濃度や量を調整する必要がある**かもしれません。例えば、農作物の種類によっては UFB を投入しない方が良い時期があるようです。Step 2 の実験データ等を踏まえて、**最大の効果を引き出すための最適な UFB 投入条件を見つけ出しましょう。**

● Step 4 発生装置本格運用の前に

UFB による効果が確認できれば、いよいよ本格運用が始まります。新しく発生装置を購入した際には、その装置から仕様通りの UFB が発生していることを再確認しましょう。

ファインバブル活用事例集 追補版 平成 30 年 1 月発行

経済産業省 九州経済産業局

資源エネルギー環境部 資源エネルギー環境課

〒812-8546 福岡市博多区博多駅東 2 丁目 11 番 1 号

TEL : 092-482-5499 / E-mail : k-kanene@meti.go.jp

^{*}本追補版は経済産業省の委託事業で作成したものです。

委託先：一般財団法人九州産業技術センター(九州環境エネルギー産業推進機構(K-RIP))
業務請負：環境テクノス株式会社

ファインバブル
FINE-BUBBLE
活用事例集

2018年1月