

〔技術賞受賞記念解説〕

# マイクロバブル発生装置の開発と技術的確立

\*徳山工業高等専門学校 大成博文†

## Development of Micro Bubble Generator and its Technological Establishment

Hirofumi OHNARI, Tokuyama College of Technology

(Received 20 April, 2006)

(KEY WORDS): micro bubble, technological development, venture business, patent strategy

### 1 はじめに

この数年、新技術としての「マイクロバブル」の検証が日本の第1次および第2次産業の多くの分野で大規模に始まっています。前者では、農漁業、後者では、電力・ガス、自動車、電化製品、排水処理、食糧、健康福祉、医療、環境など、わが国の主要な産業のほとんどの分野に及んでいます。

そう遅くない時期に、これらの検証の成果を踏まえた独創的な技術が続々と登場し、それらの展開とともに、新たな産業の基盤形成が図られることが予想されます。また、この実現で、マイクロバブル社会の建設が始まることとなります。

この度、このマイクロバブル技術の基盤形成に対して、「流体力学技術賞」をいただくことになり、真に光栄です。

本論では、マイクロバブル発生装置の開発過程をたどりながら、その技術的展開のいくつかを紹介させていただきます。

### 2 マイクロバブル発生装置の開発

事の始まりは、1980年代の初めに、ある下水処理装置の技術開発委員会に参加したことにありました。そこでは、世界12カ国で特許を取得していた曝気装置が一番優れているという判断があり、その装置を基本とした開発研究がなされていました。

私は、その装置に示されていた実験条件に疑問を持ち、その問題点を指摘しました。「何を若造が、いたいことをいって」とでも思ったのでしょうか、



図1 海水マイクロバブルが発生した瞬間

それとも、それまでに多額の開発費をつぎ込んでいたからでしょうか、誰も私の意見に耳を傾けませんでした。

ところが、実験が進むにつれ、いよいよ、その問題点が明らかになりました。結局、立派な透明水槽まで製作し、その問題点を目の前で示して、ようやく彼らは納得したのですが、これが契機となり、独自の曝気装置の開発を依頼されました。

そこで、世界特許となっていた問題の装置の解説書を読みましたが、そこに、いくつかの重大な流体力学の問題を見出しました。これらの問題解決を行うことで、新型装置ができあがり、それを「W1型」と呼ぶことにしました。

この装置は、圧搾空気を装置下部に入れて、4枚のらせん羽板に添って上昇させることによって気液二相流体を回転・混合させることによって、直径が数mmの「ミリバブル」と数十 $\mu\text{m}$ 前後の気泡の両方を発生させることを特徴としていました。

この実験を行いながら、なんとか微細な気泡のみ

\*〒745-8585 周南市久米 3538

† E-mail: oonari@tokuyama.ac.jp

を大量に発生させることができないかと思いましたが、それは、なかなか大変なことでした。当時は、「微細気泡」といえば、その直径が2, 3mmの気泡のことをいうとされていまして、それ以下のサイズの気泡の命名をどうするかについても、いろいろと検討しました。その過程で、「マイクロバブル」という用語がよいとなりましたが、その用語を調べてみると、「血管造影剤」の分野で、その用語法が使われているのみでした。

このマイクロバブルを大量に発生させたい、そうすれば、液体中での気体吸収効率が大幅に向上する、この「一念」を抱いて、さまざまな試みを行いました。それを成就するのに、約10年の歳月を要しました。結局、現在のマイクロ・ナノバブル発生装置が完成したのは1995年の秋ですが、上記W1型装置の改良を幾度も重ねてのことでした。

図1に、海水マイクロバブルが発生した様子を示しますが、均一のマイクロバブルが大量に発生していることが明らかです。

### 3 広島カキ養殖への適用

装置はできたものの、当初に期待したほどの性能は得られず、「この開発は失敗か」とさえ思える日々もありましたが、1998年のある日、広島にいる大学時代の友人から電話がかかってきました。

「去年、赤潮でカキが全滅したから、それを何とかしてくれ」という依頼でした。「『何とかしろ!』といわれても、広島のカキすら食べたことがないのに」と反発を覚えました。結局、見学にきたカキ養殖漁師の次の一言で、本格的に取り組むことを決めました。

「この泡だったら、なんとかなるかもしれん」

カキ筏用装置を、これまた試行錯誤を繰り返しながら製作し、カキ筏の上では立ちすくみながらのマイクロバブル実験を行いました。

水中10mに置いた装置から大量に発生したマイクロバブルの様は壮観でした。海の底が白くなり、それが横に広がり、しばらくしないと水面までには上がってこないのです。それを見ていたカキ養殖漁師は不思議そうでした。

図2に、カキ筏でマイクロバブルを発生させたときの様子が示されていますが、その右側ではマイクロバブルが滞留して充満している様子が示されています。

成果は、意外にも、すぐに出てきました。まだ、

稚貝段階のカキでしたが、通常のカキが5割、6割と死に始めているのに、わずかの期間ですが、マイ



図2 カキ筏で発生したマイクロバブル

クロバブルを与えたカキは、ほとんどが生きていました。

これには、「ほんとうか?」と、わが目を疑うほどでしたが、事実は事実で、その翌日には地元紙の1面にカラー写真入りで、「ミクロナ気泡 はや成果」という同行記者の記事がでかどかど載りました。夏場に向けて、赤潮に打ち勝つためには、マイクロバブルでカキを元気にし、体力をつけさせるしかない、イソップ物語の「アリ」の労働のように、せっせとマイクロバブルがカキに与えられました。

ある日、筏の上で、カキがみごとに成長していることに気がつきました。その成長したカキは約30年前のものと同じになり、「幻のカキ」といわれていた「若ガキ」が復活することになりました。

結果的に、前年度ほどの赤潮の大発生は起こりませんでした。その過程で、マイクロバブルによる「カキの生理活性」という、非常に重要な特性を見出しました。続いて、翌年の夏には広島県史上初の「夏ガキ」出荷という快挙も実現され、これらの成果が、NHKニュース7で3回も放映されるなど、さまざまな社会的反響を得ることができました。

この広島カキ養殖の成果は、北海道ホタテ養殖、三重県などの真珠養殖の改善に受け継がれ、地元のみなさんに喜ばれました。

その後も、各地の水産養殖業の復興や沿岸海域の環境蘇生に、マイクロバブル技術が適用されるようになり、文字通りの全国的普及がなされました。

この実現は、多くの支援者のみなさんの賜物のおかげですが、その一人である全国規模の漁協組合の幹部のSさんが、いつも口癖として漁民にいわれていた次の言葉が思い出されます。

「大成先生は、水産養殖を研究されている専門家

ではありません。工学博士ではありますが、水産に関しては素人です。今まで水産技術は、残りものというか、新技術が最後に普及する分野といわれてきました。しかし、この先生は、最先端のマイクロバブル技術を、しかも最初に、私たちの水産分野に持ってきてくれました」

#### 4 マイクロバブルとは何か

マイクロバブルとは「その発生時に、10～数十 $\mu\text{m}$ の直径を有する気泡」と定義されています。なぜ、「発生時」か、という理由は、ほとんどのマイクロバブルが時間的に変化し、しかも収縮することにあります。このバブルの寿命は意外に短く、数十秒～数分前後で、収縮率の大きい「マイクロナノバブル（気泡径が10 $\mu\text{m}$ 前後から数百nmの気泡）」に変化し、最後には溶解して無くなります。

この収縮運動を微視的に観察しますと、従来から考えられていた常識とは、ずいぶん異なる特徴が明らかになってきました。

マイクロバブルの収縮は、その気体の圧力を増すことを促しますが、それが進むと、気泡内の気体が部分的に噴出し、それによって、気泡が左右に揺れて上昇するとか、クルリと回る現象まで見出されてきました。これらは、空中で風船の口を開けたまま飛ばす様に似ています。

また、マイクロバブルが負電位を有すること、マイクロバブルを含む水の水素イオン濃度が変化することなど、ミリメートルサイズの気泡には認められない固有の特徴が見出され、これを気泡の「サイズ効果」と呼ぶことにしました。

#### 5 マイクロバブルの発生方法

マイクロバブルの発生には、気液二相の流体を高速回転させることで起こる遠心分離作用を応用します。まず、装置中央部とその周辺部に、それぞれ回転する気体空洞部と液体部を形成させ、次に、この回転気体空洞部を装置出口前後における回転速度差によって切断・粉碎することで大量のマイクロバブルを発生させます。

図3に、マイクロバブル発生装置の一例を示します。これは、M2-LM型装置と呼ばれるステンレス製のものです。

この装置においてマイクロバブルを発生させている様子を超高速度カメラで撮影しましたが、なんと、

その回転速度は、毎秒400～600回転にも達していました。

そこで、回転する機械装置を調べてみましたが、それは、スペースシャトルに装備されているターボジェットエンジン級と同程度でした。同時に、サルモレラ菌などの生物モーターの回転数にも近いことから、それらの優れた機能性を考えると、「超高速回転流体力学」という魅力的な課題が生まれてきたような気がしています。なかでも、この回転による気液二相流体の静電摩擦・分極作用がもたらす効果などが注目されています。

同時に、このような発生方法で生まれたマイクロバブルの性質は固有のものであり、他の発生方法による微細な気泡とは、生理活性作用の有無、電位特性、水素イオン濃度の変化などにおいて、本質的に異なる特性を有することが明らかになりつつあります。

なかでも、「加減圧制御式（高圧下で気体を溶解した後に減圧して気泡を発生させる）」で発生させられた「白濁泡」には注意が必要です。この泡では血流促進などが特徴である「生理活性作用」がまったく認められず、水素イオン濃度などの水の物性値においても相反する傾向が認められました。

市場には、このような識別が明確でない商品もあり、「淡水の白濁泡には気をつけろ！」といわざるをえません。



図3 マイクロバブル発生装置(M2-LM型)

#### 6 マイクロバブル技術の確立

マイクロバブル技術の構築において、最初に遭遇した困難は、その基盤が、自らにも社会にも存在しなかったことでした。

その第1は、文字通りの「死ぬか生きるか」を左右する水産現場における技術として試されたことにあります。広島カキでは98年の赤潮による45億円の

被害を受け、北海道ホタテでは、耳吊り作業時だけでも3、4割が死んでいました。

99年の三重真珠では、国産真珠の8、9割が死ぬという状況があり、いずれも、それらの翌年からの取り組みを開始しましたが、それは裸でライオンやトラの檻のなかに入るようなものでした。しかも、その猛獣たちと戦う武器はマイクロバブルしかなく、正直なところ、「神様、仏様、マイクロバブル様」という気持ちでいっぱいでした。

第2は、マイクロバブル技術の基盤形成には、その基礎としての物理学、化学、生物学の3つが必要だったことであり、私には、真に情けない話ですが、流体力学という最前者に属する知識しかなかったことでした。40歳代半ばを過ぎて、まったく新しい分野の勉強を開始することには勇気が要りましたが、常に押し寄せてくる「待ったなし」の現場に対応しているうちに、その勇気を発揮するのかどうかを逡巡する余裕も無くなっていました。

第3は特許構築の問題でした。マイクロバブルを大量に発生させる装置が開発されていないのですから、マイクロバブルに関する研究事例があり得ないことは当然のことでしたが、いろいろ調べて、初めて、その独創性・新規性に気がつきました。これを早めに国内外で独自に特許化し、その構築を実現したことが重要であり、現在は、主要16カ国における特許戦略を練り上げる段階に到達しています。

第4は、冒頭で述べたように広大な適用分野が存在したことです。マイクロバブルの特徴は、液体中での気体吸収効率を高めるだけでなく、その生物活性作用を発揮することにあります。この作用は、血流促進、体温の高温維持、物質代謝や成長促進などの諸現象によって確かめられています。

これらの困難を徐々に克服するとともに、マイクロバブルの特徴を引き出すことで、その技術的確立が実践的になされるようになりました。

## 7 VB（ベンチャービジネス）の創成

2004年5月に、マイクロバブル技術の移転会社であるVB（㈱ナノプラネット研究所）を創設しました。おかげで3年目に入った今日まで順調な発展を遂げ、わが国の主要企業300社とも取引を行うまでに至りました。

このなかには、早くも重要な成果を収めた企業もあり、なかでもシャープ福山工場における半導体工場の排水処理効率の飛躍的向上が小さくない注目を

集めています。これは、マイクロバブルで微生物を約2倍に増殖させたことで、10倍希釈していた排水を、逆に2倍濃縮して水処理を行うという「前代未聞の快挙」が実現されたことでした。

山口県長門市の俵山温泉の白猿の湯に新設されたマイクロバブル風呂も静かな人気を集めています。図4に、その白猿の湯の二号湯に設置されているマイクロバブル発生装置の様子を示します。

この温泉は、水素イオン濃度が10弱の名湯であり、かつては大分県の別府温泉と肩を並べる盛況ぶりを呈していました。しかし、最近では湯客が減少し続け、長期低落から脱することができず、亭主が出稼ぎに行く旅館も出るほどでした。

ところが、白猿の湯の新設を契機に湯治客が前年度比で78%も増え、山口県の温泉では唯一のV字回復を遂げるという驚くべき事例が生まれています。マイクロバブル風呂の評判もよく、血行促進で身体がポカポカになるという声が寄せられています。

このように、マイクロバブル技術は、今後も社会のなかで確実な発展を遂げることが予想されます。それに応じて、その中核となるべき㈱ナノプラネット研究所の役割もより重大になると思います。

ある著名な経済学者は、小さいが「若くて強い」企業が21世紀に生き残るといい、今日のVBが大きく発展する次の3つの必要条件を指摘しています。

- ①技術ノウハウの蓄積力と技術開発力に優れる
- ②知財構築力と知財戦略の展開力に優れる
- ③情報ネットワークの核形成力に優れる

㈱ナノプラネット研究所は、この①と②に関する基盤形成を行い、これに③を加える準備をしていますが、この3課題を、ともに実現することが重要です。



図4 俵山温泉白猿の湯のMB装置

## 8 おわりに

2004年6月27日付けの日本経済新聞のサイエンス欄に、マイクロバブルの特集記事が掲載されました。その冒頭には、次の言葉が示されています。

「もしかしたら、近い将来バブル景気が再来するかもしれない」

興味をそそる書き出しですが、その取材を受けた当事者の私は、その記事を何度も読み返すうちに、次のように考えるようになりました。

「バブルで『バブル景気』を再来させるには、どうすればよいか」

もちろん、この場合の「バブル」とは、マイクロバブルのことですが、そのマイクロバブル技術を用いて、バブル景気を再生させるための7つの必要条件を考えてみました。

- ① 独創的技術開発に成功
- ② 主要な大企業が利用
- ③ 学会が動き、多くの研究者が研究を行う
- ④ 大ヒット商品が生まれる
- ⑤ 普及本がベストセラーを重ねる
- ⑥ 中小企業の大群が動く
- ⑦ 国民の大多数が歓迎する

このうち、①～③については、かなりの可能性が認められるようになり、④、⑤が当面する課題となっています。最も肝心の⑥、⑦の実現には、それにふさわしい「アイデアと仕組みづくり」が必要と思われていますが、この実現は容易ではありません。

そこで、その試みの一つとして、マイクロバブル技術に関する研究を総合的に発展させることを目的として、高専間連携によるプロジェクトを発足させました。

周知のように、全国55の国立高専は一つの「機構」に再編成されましたが、このスケールメリットを生かして地道な共同研究を全国的に発展させ、その視野からの社会貢献を実現させることをめざしています。

その最初の取り組みとして、8月末には神戸市においてマイクロバブル技術に関する全国シンポジウムを開催します。

以上のように、マイクロバブル技術を発展させることについては、少なくない課題や困難もありますが、それは、それだけ切り拓くべき「未来の扉」が多いことを示しています。

本受賞を契機として、ますます、その扉の探索に努めさせていただきます。