

新型の超微細気泡(ナノバブル)発生装置を利用した淡水域における浄化実験

立命館大学生命科学部 教授

今中忠行

超微細気泡の歴史

- 微細気泡研究の歴史は意外と長い。1800年代の終わりに近い1894年、イギリス海軍が初めて高速魚雷艇をテストしていた時のことである。魚雷艇のプロペラが激しく振動し、その表面が激しく腐食することを見出した。この時に、回転するプロペラの表面に多数の泡が形成されるのを目撃し(図1参照)、原因はこの泡の生成と消滅に関係があるのではないかと仮説を立てた。プロペラを大きくしたり、回転数を減らしたりするとこの泡形成(cavitation)の問題が軽減された。しかし、魚雷艇はスピードが命、しかし、スピードを上げると致命的になるというジレンマに陥っていた。ここで、英国海軍は時の古典物理学の神様、レイリー卿(本名はJohn William Strutt)にこの究明を依頼した。卿は形成した泡(マイクロバブル)がプロペラ表面で爆縮(Collapse)する際に、激しい乱流、高熱、さらに高圧力も発生することを見出したのである。モデルを作って計算した(Rayleigh-Plesset Eq.)ところ、温度が一万度、圧力が一万気圧という結果を得た。科学研究の発端は常に現実味を帯び、しかも必要性に駆られている。因みに、このとき、やかんの湯が沸騰する直前に発する雑音はこのマイクロバブルが弾けることによる超音波であると指摘している。

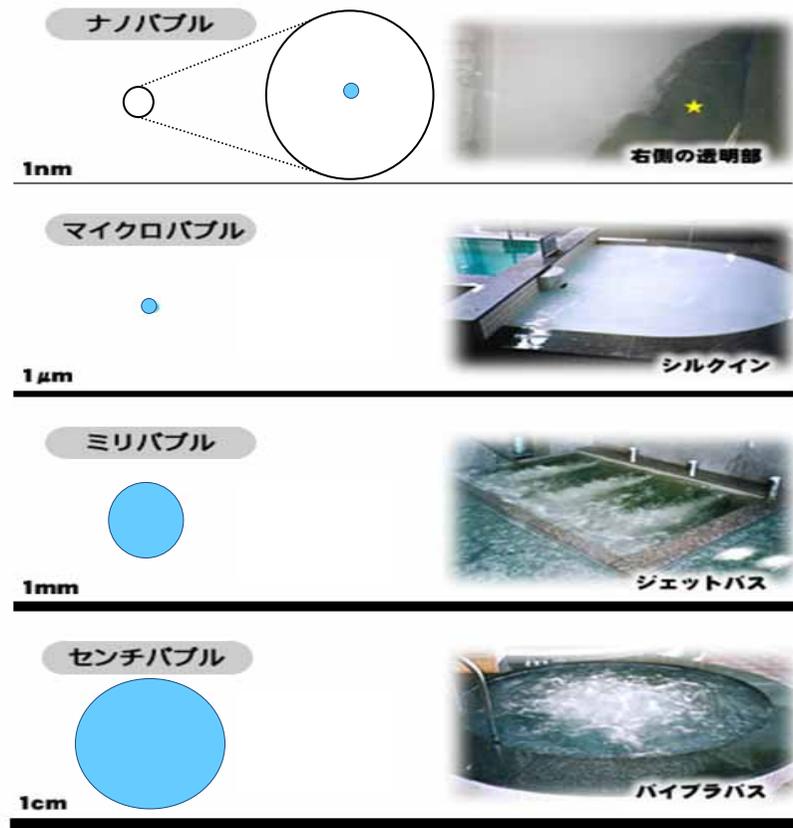


mes section

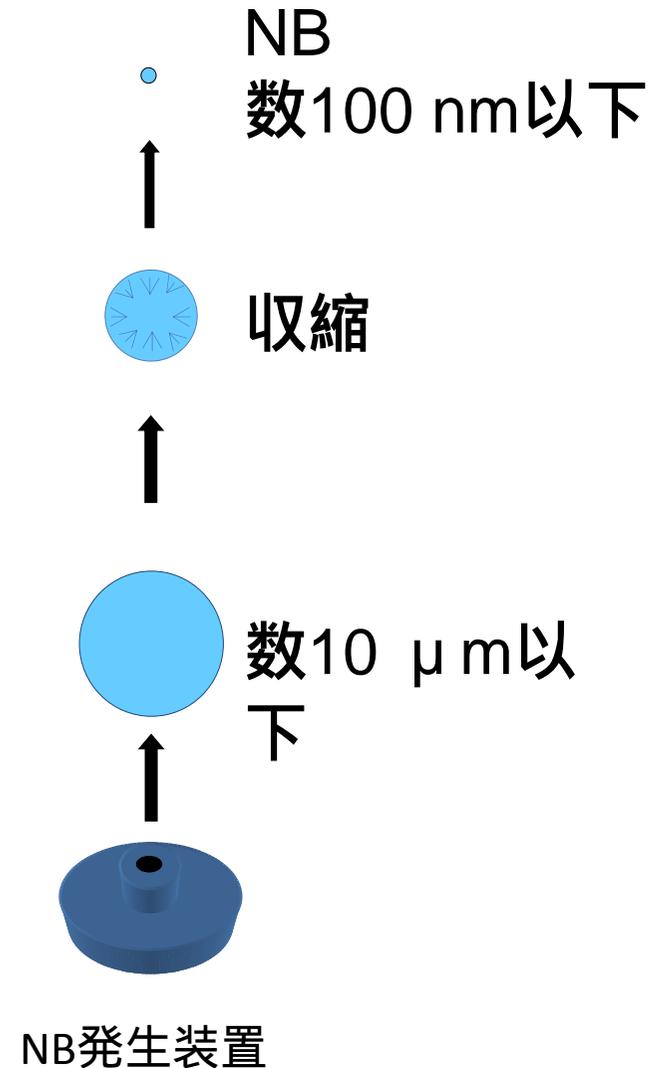
ナノバブル(NB)とは

定義

NB：一般的に $1\ \mu\text{m}$ 以下のナノ単位の微細な気泡



気泡の状態



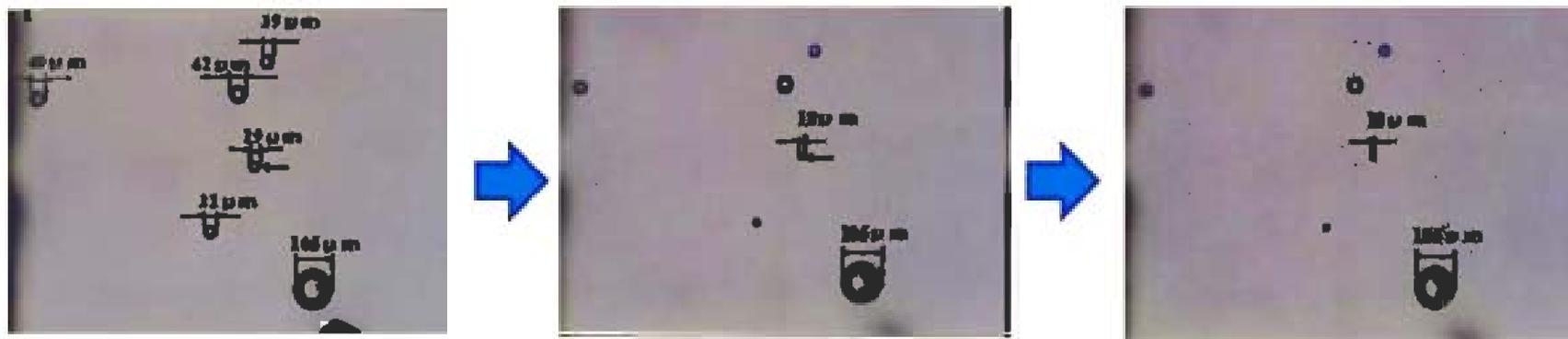
超微細気泡(マイクロナノバブル)とは

超微細気泡とは文字通り小さな気泡を意味しているが、どの位小さい気泡を超微細気泡と呼ぶべきか日本混相流学会においても様々な意見に分かれる。

しかし物理的な現象から分類するとおおよそ50ミクロン以下が適当と思われる。

50ミクロン以下の気泡は気液界面のイオンの力により収縮する、収縮することで気液界面のイオン濃度は高められ、また内部の圧力と温度は上昇し様々な現象を引き起こす。

我々はその様々な現象を利用し多くの可能性に取り組みたいと考える。



超微細気泡の作り方

超微細気泡の作り方には代表的なものに6種類の方式が存在する。

① 旋回液流式

円筒状の本体の内部に向けて接線方向より高速で液を圧入し、内部に旋回流を発生させ、上端面中央の孔より噴出させる。この時、旋回液流の回転軸付近は動圧分だけ減圧になるため、下端面の孔よりガスを吸引することが出来る。吸引されたガスは上端面の孔を通過する際に微細化され超微細気泡を発生する。

② 加圧溶解式

空気と水の混相を圧入し、溶解ガス成分を過飽和させた水を制作しておく。減圧弁を用いて水中にフラッシュさせると、過飽和分のガス成分が水中から超微細気泡となって析出する。メカニズムとしてはビールの泡と同様であり、より小さな超微細気泡の発生が可能である。

③ エゼクター式

ガス分散器内に意図的にキャビテーションが発生するように流路を变形させ超微細気泡を発生させる。

④ ベンチュリ式

流体流路の途中にストローと呼ばれる絞り部分があるベンチュリ中に、液体と気体を同時に流すと液流速の急激な変化により発生した衝撃波が気泡を粉砕して超微細気泡を発生させる。

⑤ 混合蒸気直接接触凝集式

予め蒸気と非凝集性のガスを混合し、ノズルから冷却水中に混合蒸気からなる気泡を分散させる。気泡中の蒸気成分は冷却され水化するため体積が著しく減少する。しかし非凝集性のガス成分の存在のため完全には凝集できずに超微細気泡を生成する。

⑥ 超音波振動

超音波の振動を液中に伝え液中でキャビテーションを起こし超微細気泡を発生させる。

⑦ 超微細孔式

ナノレベルの微細孔より気相を噴出させ更に微細孔境界に液流を与えることで気相が微細に切断され超微細気泡を発生させる。



超微細孔式ナノバブル発生装置の特徴

安定： 高粘性液体や泥水の中でも使用可能。
微生物にも悪影響を与えない。

ランニングコストが極めて安価： 静かに運転でき、
消費電力が曝気装置の50分の1、巡回液流式の
5分の1

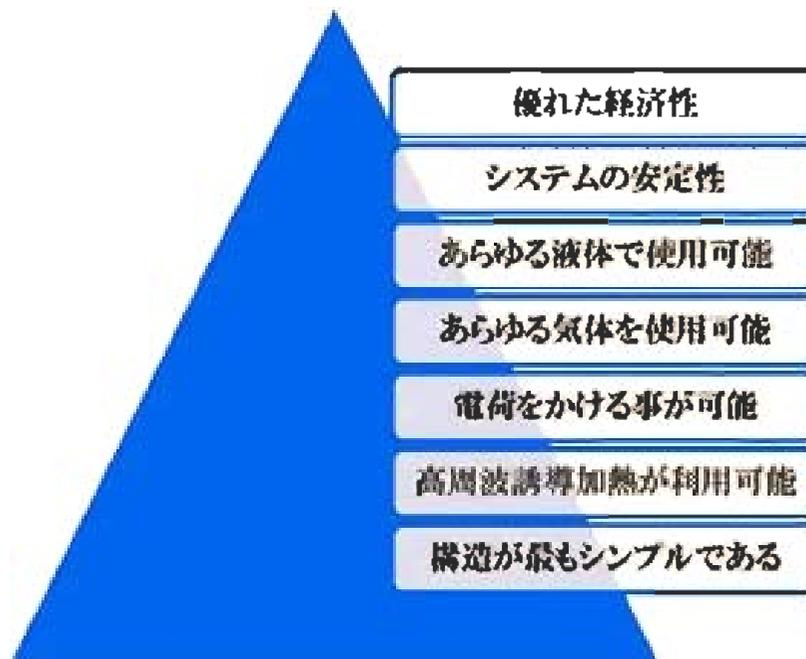
装置価格が巡回液流式より安価

装置サイズと形状が可変

長期使用が可能

弊社の超微細気泡発生装置の優位性について

- 弊社が世界で唯一作り上げた超微細孔式超微細気泡発生装置はもともとエネルギーを使わずに穏やかに気泡を発生します。
- 泡を作る為に必要な気相の圧力は液相との差圧で0.05Mpa
- 泡を作る為に必要な液相の流速は1m/sec
- 同じ量の空気を液中に溶かすエネルギーは、通常曝気の1/50 旋回液流式の1/5



超微細孔式ナノバブル発生ノズル





**超微細孔式の場合はナノバブルが中心であるため
透明になり、水中に長く滞在する**



水中への微細気泡導入

微細気泡導入前



微細気泡導入後



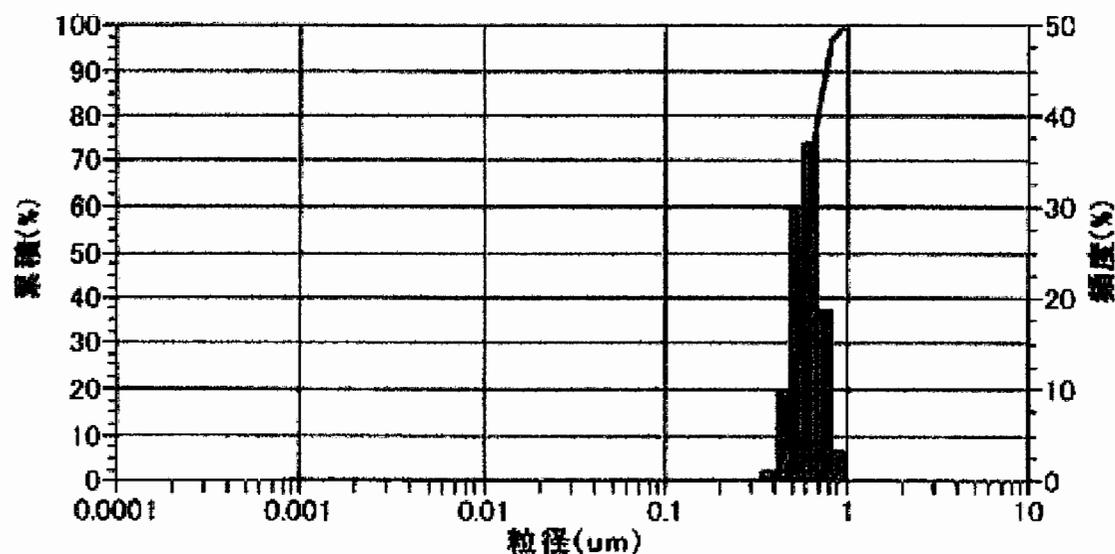
乳白色に見える
(微細気泡が水中に滞留している)

200リットルの貧酸素水を1分で酸素飽和

巡回液流式の場合はマイクロバブルが中心になるため
白濁しやがて上昇して系外に出る

粒度分布測定結果

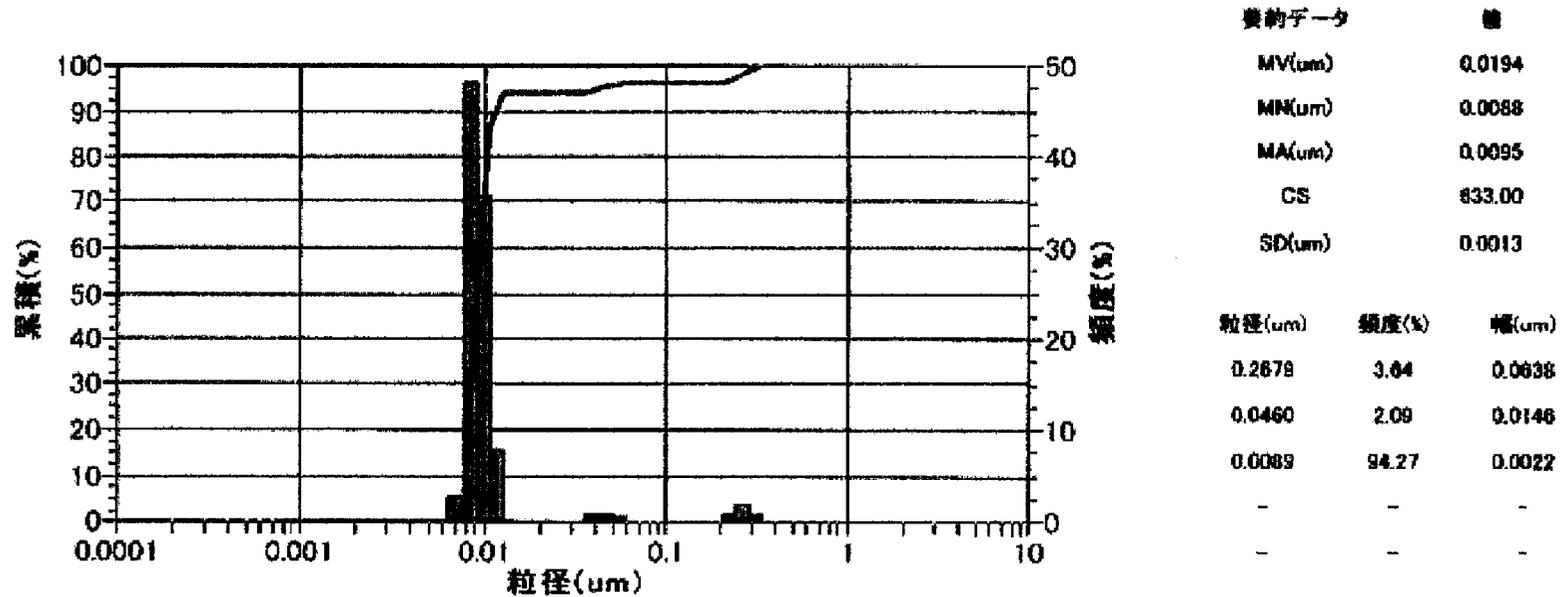
光学台	Nanotrac	サンプルID1	- ガス体 エアー 01
レコードNo.	214	サンプルID2	-
計測日時	2008/12/12	タイトル	① マイクロバブル発生装置 NISHIKEN XB-S2
計測時間	17:05	シリアルナンバー	U1763

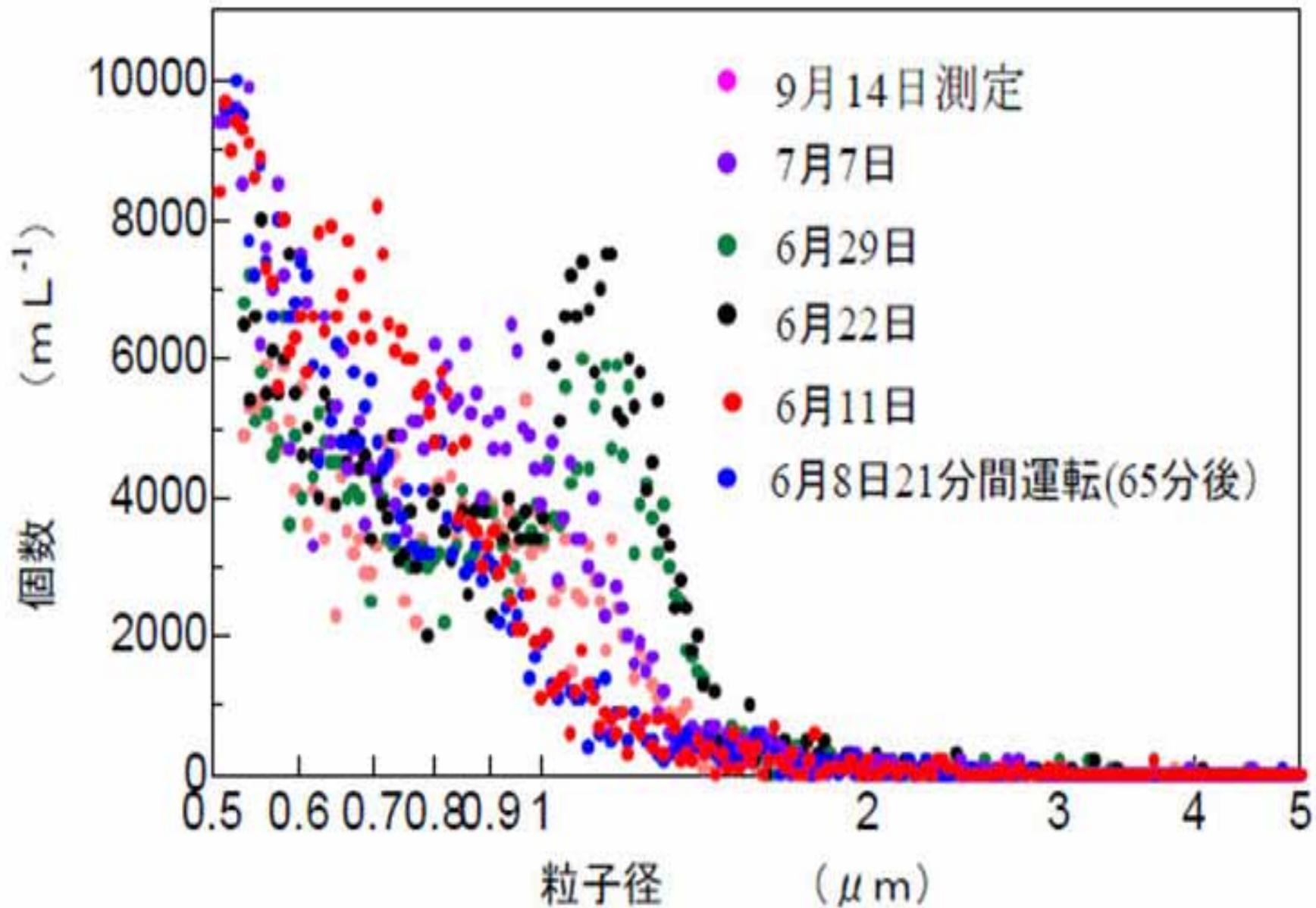


要約データ		値
MV(μm)		0.8100
MN(μm)		0.5590
MA(μm)		0.5920
CS		10.13
SD(μm)		0.1050
粒径(μm)	頻度(%)	幅(μm)
0.6030	100	0.2099
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

粒度分布測定結果

光学台	Nanotracs	サンプルID1	- ガス体 エア- 02
レコードNo.	215	サンプルID2	-
計測日時	2008/12/12	タイトル	② マイクロバブル発生装置 NISHIKEN XB-S2
計測時間	17:11	シリアルナンバー	U1763





A社のデータ

ナノバブルによる微生物の活性化

実験



栄養培地に大腸菌を植菌し、
生育を測定した

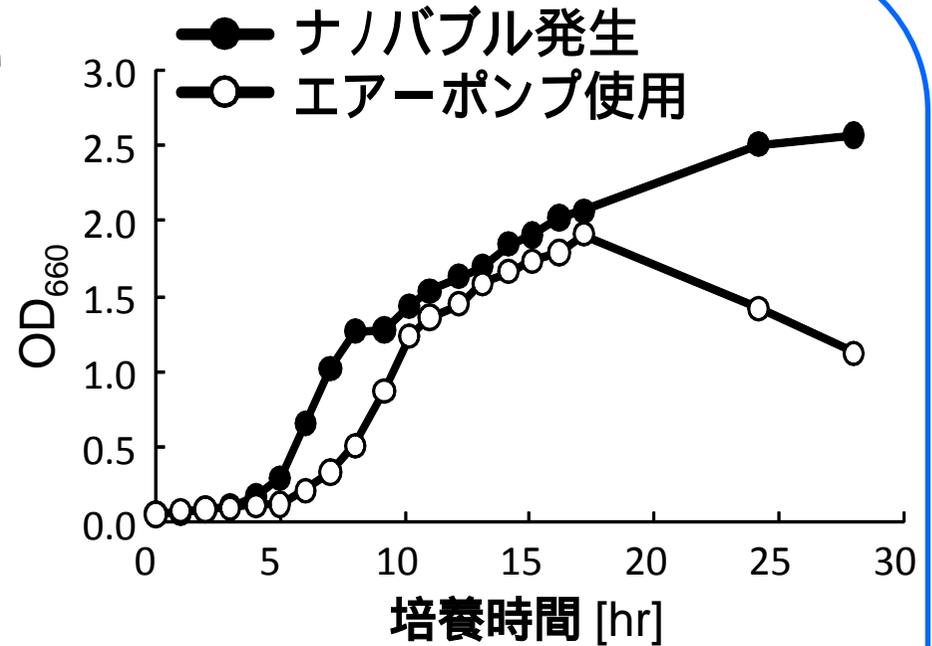


Fig. 5. ナノバブル使用時の
大腸菌の増殖曲線

ナノバブル発生により、大腸菌の生育は良くなった

ナノバブルを利用し、微生物による琵琶湖湖底の浄化を目指す

【方法】

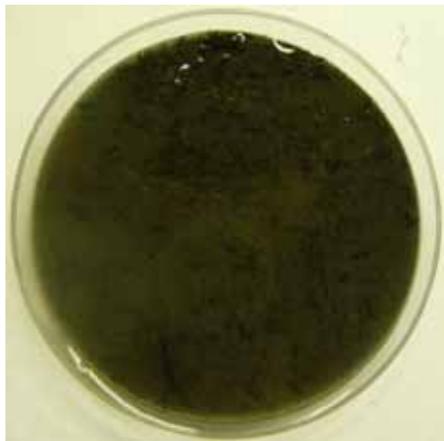
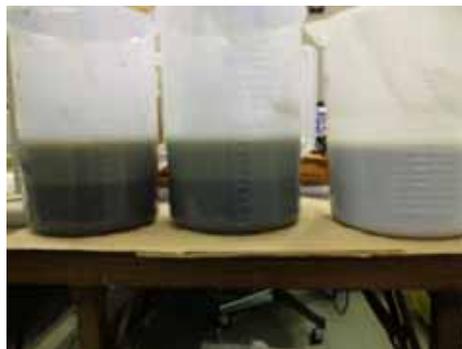


Fig. 6 琵琶湖南湖より
採取したヘドロ



➤測定方法

樽を棒で攪拌する。
↓
ポリ容器に容れる。
↓
五分間沈殿するのを待つ
↓
サンプリング

➤測定項目

- 温度
- 透視度
- 懸濁物質
- pH
- 生菌数

経時変化を観察・測定した。

【方法・結果】 懸濁物質量変化

➤ 孔径1 μm のガラスろ紙を用いて測定した。

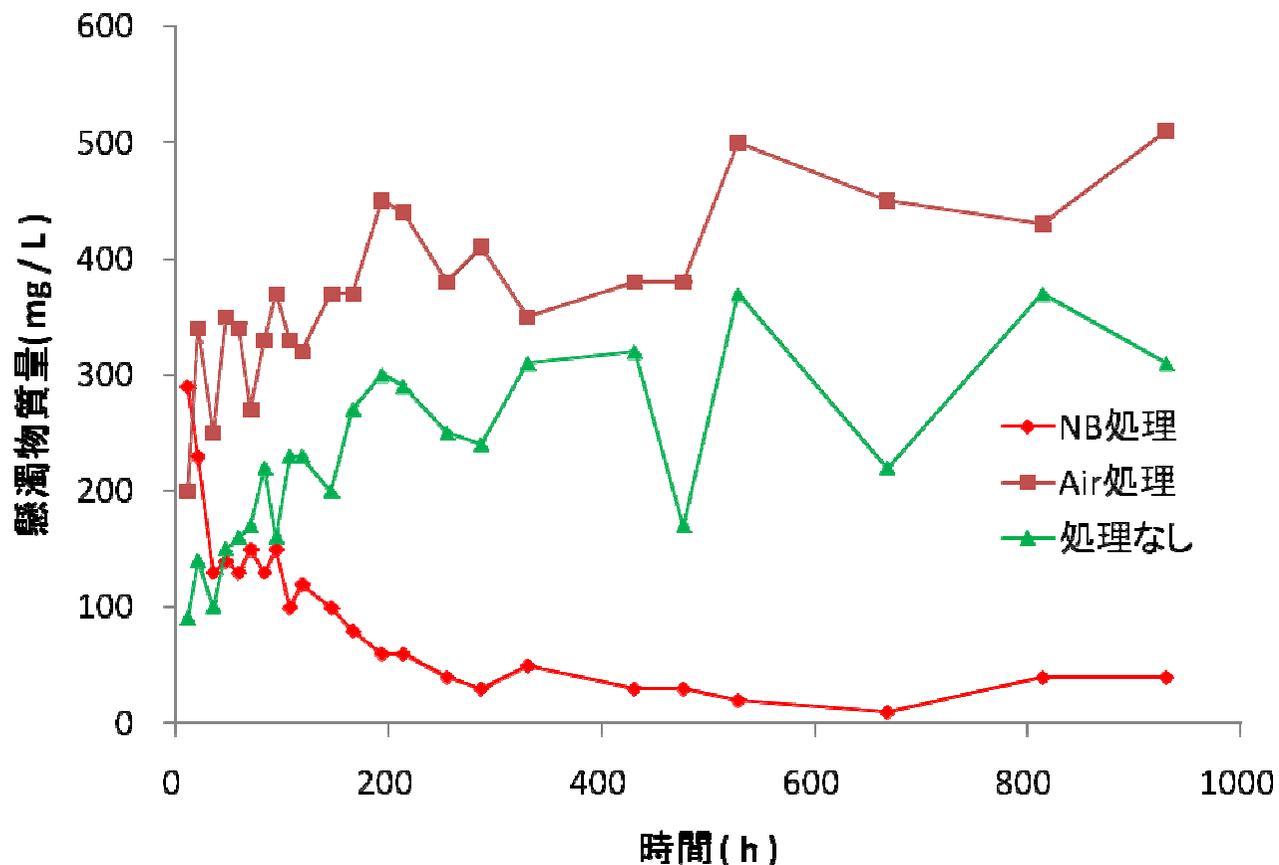


Fig. 10 懸濁物質量変化

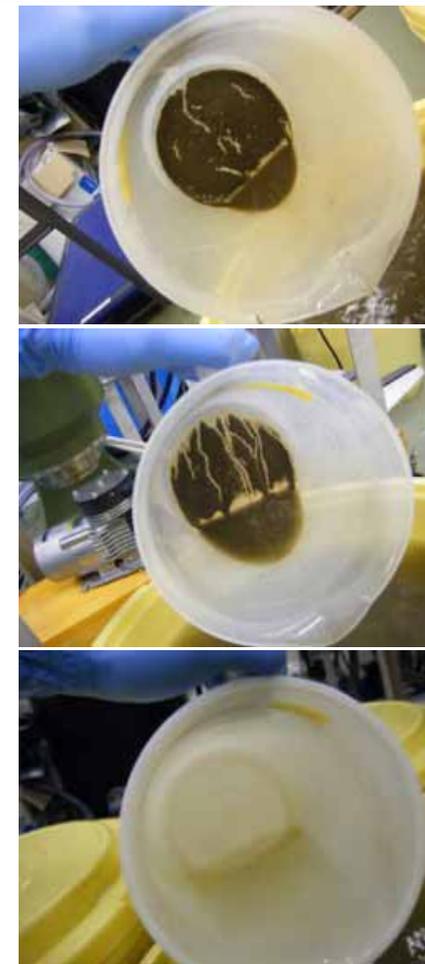
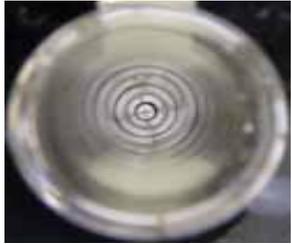


Fig. 11 沈殿したサンプル
(上)Air処理,(中)処理なし
(下)NB処理

➡ NB処理によって、懸濁物質量が著しく低下した。

【方法・結果】 透視度変化



▶ サンプルを透視度計を用いて測定した。

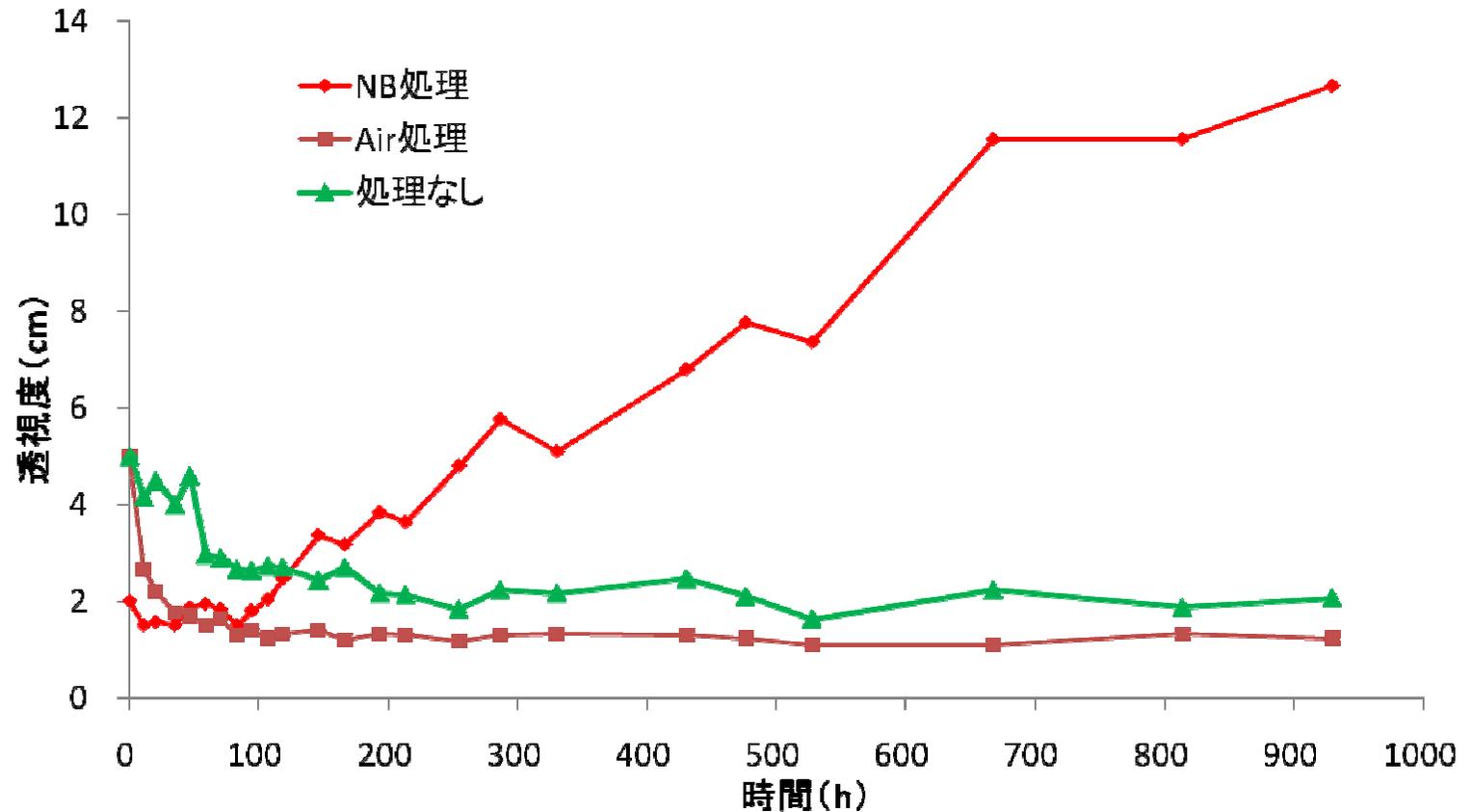


Fig. 12 透視度計
上: マーカー

Fig. 13 透視度変化

➡ NB処理により、透視度の著しい上昇が見られた。

【結果】 樽の様子



Fig. 14 測定開始0日目



Fig. 15 測定開始12日目



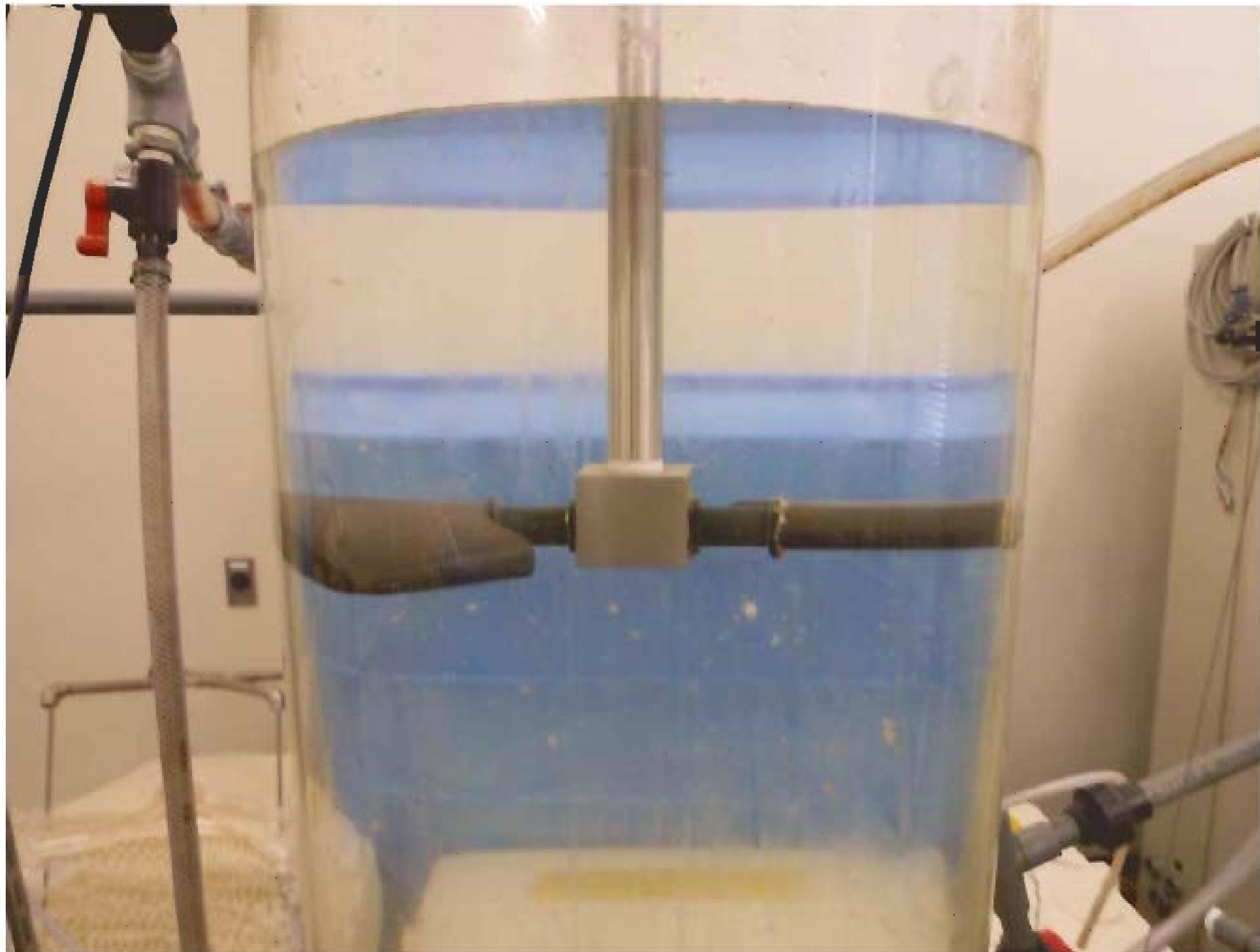
Fig. 16 測定開始39日目

処理なし・Air処理

- あまり変化が見られない。

NB処理

- 透明度が上がっている。

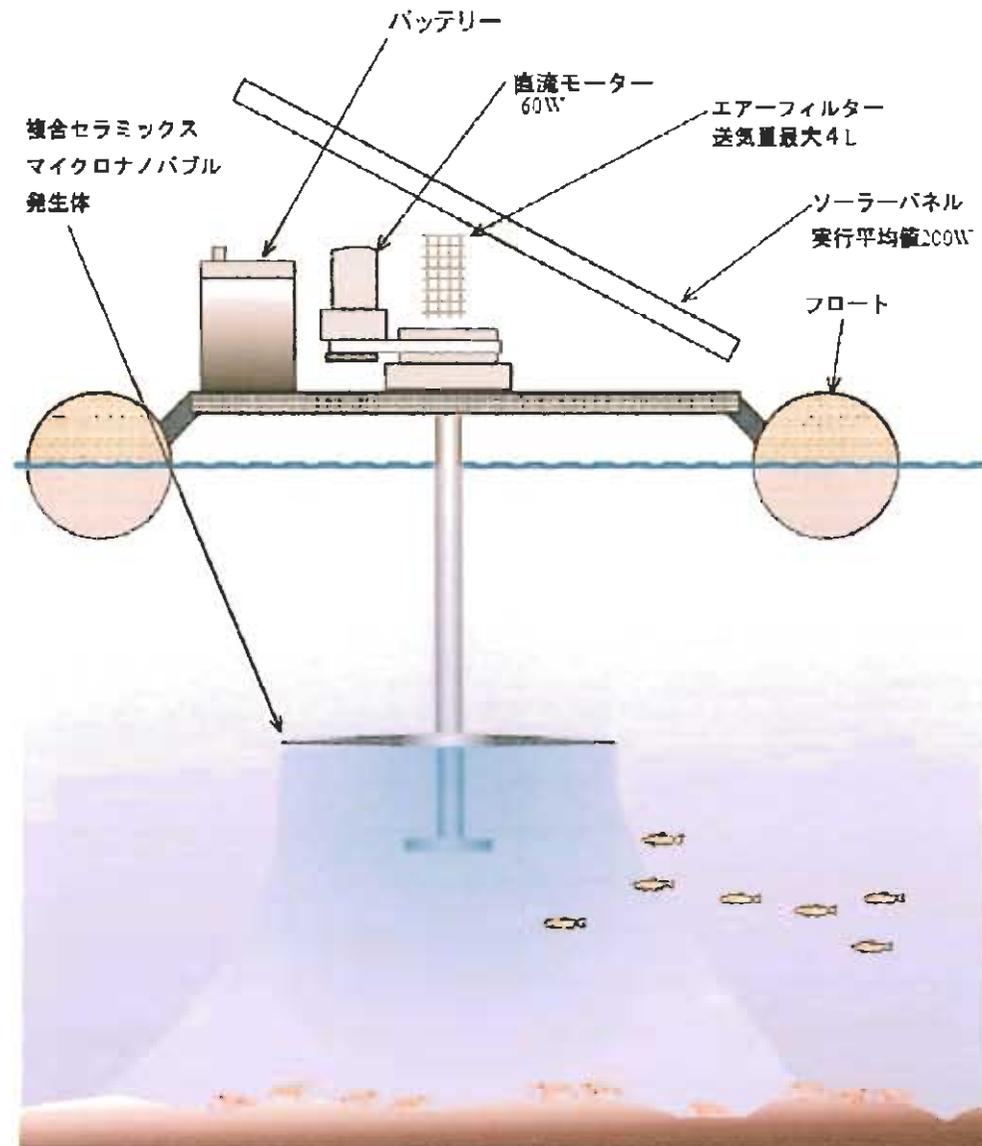


【装置概略】



◇ソーラーパネルは 30 度の固定とし、2 段羽の回転翼はそれぞれ逆回転し力を中和する。生成された微細気泡は水流に乗り湖底深くまで到達する。

【装置構造】



◇湖沼では底部が最も酸素が欠乏しやすく、エビなどの甲殻類が真っ先に死滅してしまします、超微細気泡は最も効率よく湖沼の環境を改善します。

【装置概略】

本装置は太陽光エネルギーにより外部から給電することなく自立的に動作し、水中に超微細気泡を送り込む、超微細気泡は効率よく水中に溶け水質の改善を促す。従来の酸素溶解方法に比較すると、本装置は 1/100 で同量の酸素を溶解させることができる。

〔機器仕様〕

○太陽光発電ユニット	: 実行発電量 200 W 2㎡
○回転モーター	: 直流モーター、DC12V 最高回転数 2000 r p m
○減速比	: 1/10 ギヤ 減速 1/5 プーリーによる減速 1/2
○プロペラ回転数	: 最大 200rpm、ツインローター式
○バッテリー	: DC12V ドライバッテリー 60Ah
○気泡発生体	: 200 × 150mm8 枚 (最大 4 L/min)
○主要部材	: アルミニウム 保護コーティング含む
○フロート	: 150L × 4 最大波浪高 1 m
○外寸	: フロート対角距離 2, 8 m 高さフロート上 1 m 水中一段目ウイング 1 m、二段目 1.5 m
○耐環境温度	: 5℃以上 45℃以下 (外気温度)
○設置条件	: 水深 2 m 以上、水流の穏やかな所
○総重量	: 150 k g f (ドライコンディション)
○消耗品	: ポンプシリンダー/約 2 年、エアーフィルター/1 年 バッテリー/約 2 年
○定期点検	: 1 月に一回エアーフィルターの清掃 6 ヶ月に一度バブルウイングの目視点検
○係留	: ロープ等による固定を行う。
○保証	: 1 年以内に弊社に起因する原因で装置が故障した場合、弊社規定の修理を行います。但し自然災害、人的操作による故障、消耗品の劣化は別途相談とさせていただきます。

実験計画

- ・このフロートを立命館大学びわこ・くさつキャンパスにある自然池に設置して水質改善を試みる。
- ・このフロートは太陽電池パネルで発電し、それを蓄電して夜も利用するので、外部からの給電は不要である。
- ・長期間(6ヶ月以上)にわたる装置の運転実績を確認する。
- ・各測定点について、定期的に水質(溶存酸素、COD = 化学的酸素要求量、BOD = 生物化学的酸素要求量、TOC = 全有機炭素量)を測定する。
- ・もしこの実験が成功したら、このシステムをより大型の水域に応用する。