

平成30年度  
諏訪湖貧酸素及び底質改善効果検証実験報告（資料）



平成29年秋と  
平成30年春に行われた  
諏訪市なぎさ公園前での  
事前実験風景

第2回諏訪湖創生ビジョン推進会議  
諏訪湖クラブ 沖野外輝夫  
平成31年2月12日

実験の背景と提案

- ・2016年夏に起こったワカサギを中心とする魚族の大量死もその原因の一つに底層の貧酸素化があると推測され、地元からは早期の対策実施が要望されている。
- ・対策の課題は、技術的には手法があっても、費用対効果を含めての効果、現実的な適用手法が未確認であることにある。
- ・そこで、今回その課題を解消するために現場での検証実験を提案、実行することとした。
- ・実験の成果をもとにして、諏訪湖の環境改善への取組に繋げ、現実的な実施手法を提案する

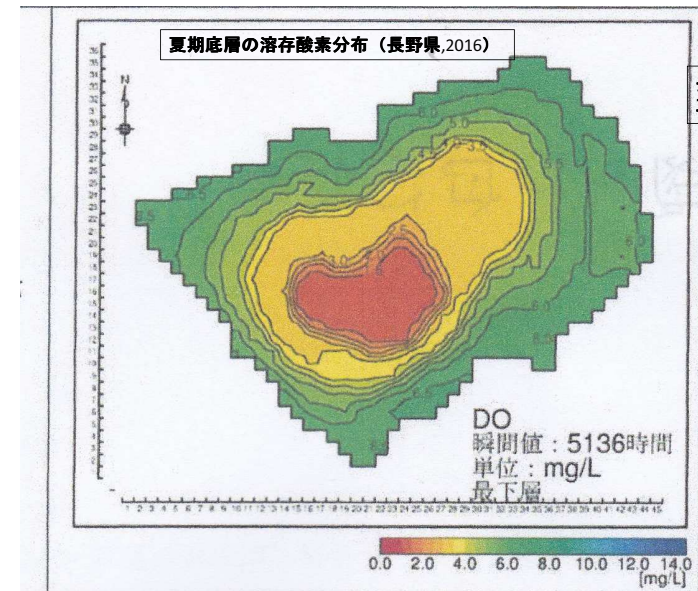
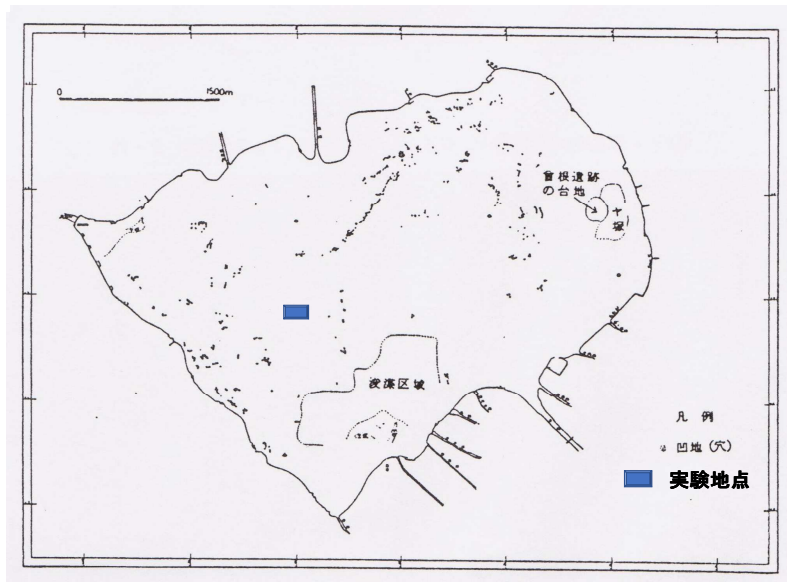
諏訪湖貧酸素及び底質改善効果検証実験の目的

- ・表層、底層の湖水を上下循環させることにより、諏訪湖の水質、底質の同時浄化による夏季底層貧酸素化の改善手法を検討すること。
- ・平成29年度より、地元企業、環境保全団体、大学等が協働して取り組んできた、ナノバブルによる諏訪湖の貧酸素及び底質改善の実証実験において、電源に太陽光パネルによる電力を用いてナノバブルを連続供給した場合の効果及び稼働の安定性について検証を行うこと
- ・以上の成果をもとにして、今後の諏訪湖の環境改善への取組に繋げるための提言を行うこと。

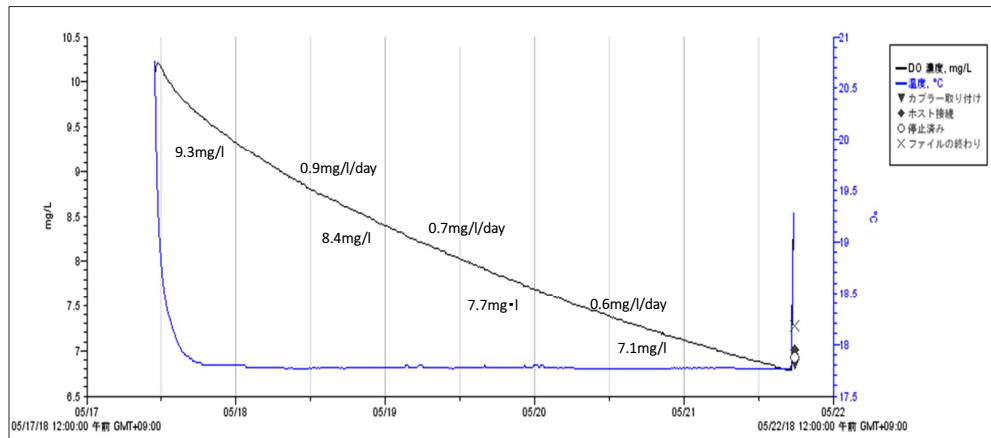
今回の実験計画と手法

実験の実施地点と方法

- ・岡谷市湊沖約500m、水深約6mに釣舟台船（幅5.75m、長さ12.0m）を四隅で係留する。
- ・台船上には機器装置類の電源としての太陽光発電装置（自然電源供給システム）
- ・水中ポンプ、エアコンプレッサー、ナノバブル発生装置、底層での排水装置（水循環システム）
- ・酸素、水温等の連続測定機器（水質モニタリングシステム）、機器管理、水中観察（映像監視モニタリングシステム）等の実験装置類を設置した。



**諏訪湖水酸素消費実験**  
2018年5月、水温：17.8℃、暗所



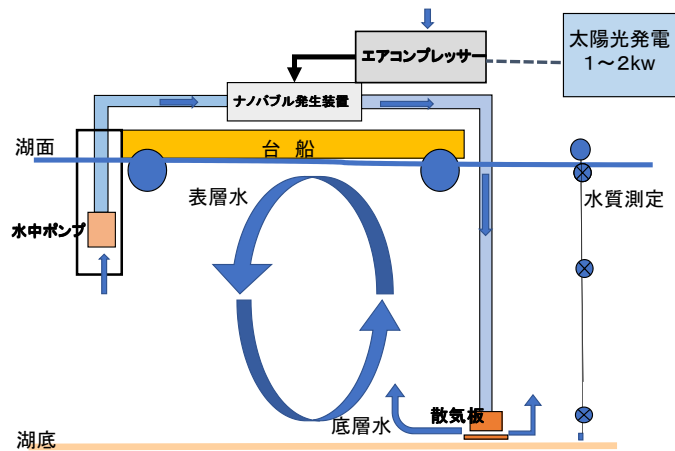
**現場本実験の装置の概要（図参照）**

- 実験装置の内容は予備実験で使用したものとほぼ同様で、水中ポンプ、エアコンプレッサー、ナノバブル発生装置、湖底散気板を接続した水循環・酸素補給システムと、周辺5か所での水質（水温、溶存酸素量）の連続測定装置である
- 電力供給システムとしての太陽光発電装置（電気容量約2kW）には蓄電装置を接続、夜間の運転にも使用可能とした

このシステムの補助システムとして以下の装置を付加している

- 船上の機器の稼働状況を陸上で監視するためのモニター装置、機器の異常作動を検知し、対処するためのブレーカー等をシステム内に組み込み、装置の安全性を高めた
- 現場での状況を視覚的に観察するために水中カメラを湖底に設置し、映像を陸上で直接観察し、映像の保存を可能とする仕組みとした。

## 現場実験装置の概要



台船への太陽光発電システムの設置作業

## 超微細気泡の作り方 (株)安斎管鉄資料より

- 超微細気泡の作り方には代表的なものに7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旋回方向より高速で液を圧入し、内部に旋回流を発生させ、上端中央の孔より噴出させる。この時、旋回流の回転軸付近は動圧分だけ減圧になるため、下端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 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成形させ超微細気泡を発生させる。



### ③ ベンチュリ式

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



### ④ 加圧溶解式

空気と水の混合を予圧し、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。そのキャビテーションによる衝撃波を発生させることで超微細気泡の発生が可能である。



### ⑤ 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。



### ⑥ 混合蒸気直接接触凝集式

予め蒸気と非凝縮性のガスを混合し、ノズルから冷却水中に混合蒸気と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。しかし非凝縮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。



### ⑦ 超微細孔式

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



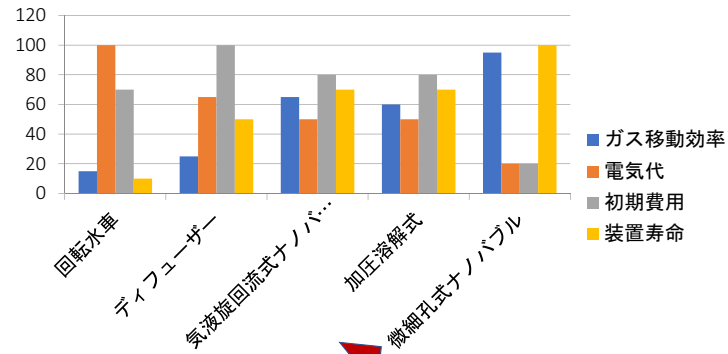
m c s section

## 各超微細気泡の特徴 (株)安斎管鉄資料より

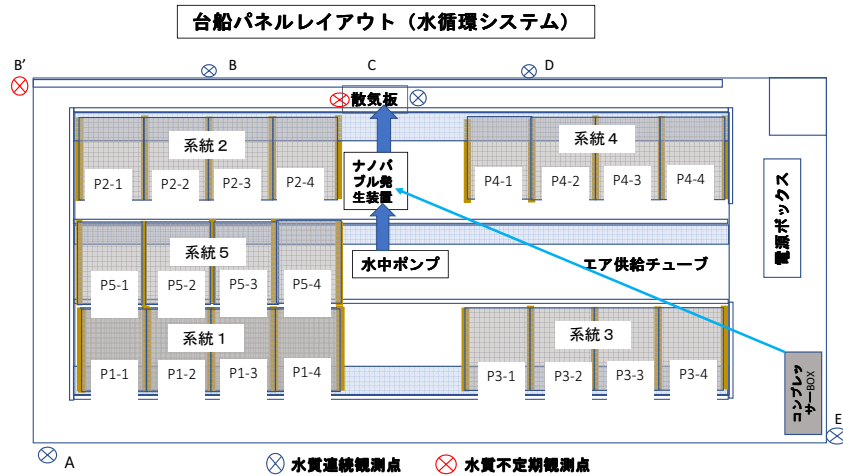
前ページのデバイスを生成するアプローチに分けると4通りの方法に分類出来る。

I	① 旋回液流式	大きな泡をせん断力により小さな泡へと作り替えてゆく方法。水流に高い圧力が必要となり粘度の高い液体や異物の多い液体に使用出来ない場合が多々ある。	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ガス移動効率最大65%</li> <li>■ 大型化が困難</li> <li>■ 高圧ポンプが必要</li> <li>■ 高粘度液に不向き</li> <li>■ 異物を含む液に不向き</li> <li>■ 凍結または循環に不向き</li> </ul>
	② エゼクター式		<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 空気を自吸出来る</li> <li>□ 装置組み込みが可能</li> </ul>
	③ ベンチュリ式		
II	④ 加圧溶解式	既に溶けているガス分を泡として析出させる方法。加圧溶解式には高い水圧とガス圧が必要となる。超音波方式は超音波の発生装置が必要となる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ガス移動効率最大65%</li> <li>■ 高圧ポンプが必要</li> <li>■ 高温液 (20度以上) に不向き</li> <li>■ 超音波式は高価</li> <li>□ 中規模装置が可能</li> <li>□ 多くの実績がある</li> </ul>
	⑤ 超音波振動		
III	⑥ 混合蒸気直接接触凝集式	飽和水蒸気にガスを混入させ液中に吹き込み、微細気泡を生成する方法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 適用範囲が限られている</li> <li>■ 温度の制約がある</li> <li>□ 大規模装置が可能</li> </ul>
IV	⑦ 超微細孔式	セラミックスなどの超微細孔から直接液中に超微細気泡を生成する方法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ガス供給に圧が必要</li> <li>■ 半導体の洗浄に不向き</li> <li>□ 大規模装置が可能</li> <li>□ あらゆる液体及びガスに適用可能</li> <li>□ 最高レベルガス移動効率</li> <li>□ ランニングコストが安い</li> </ul>

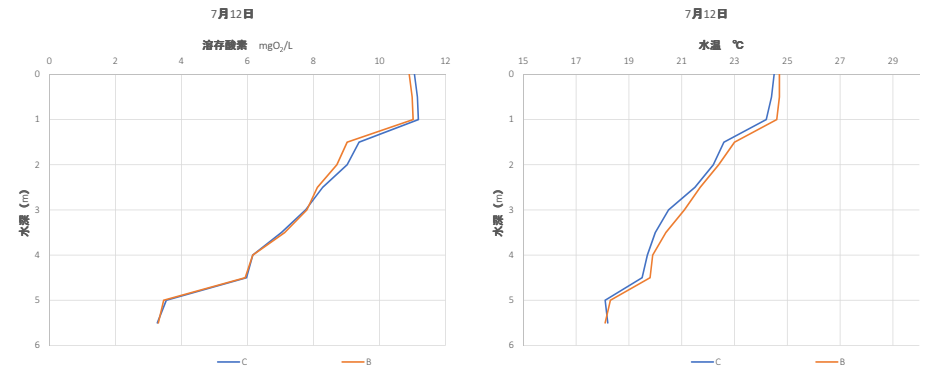
# 酸素供給方式の比較 (安齋管鉄資料より引用)

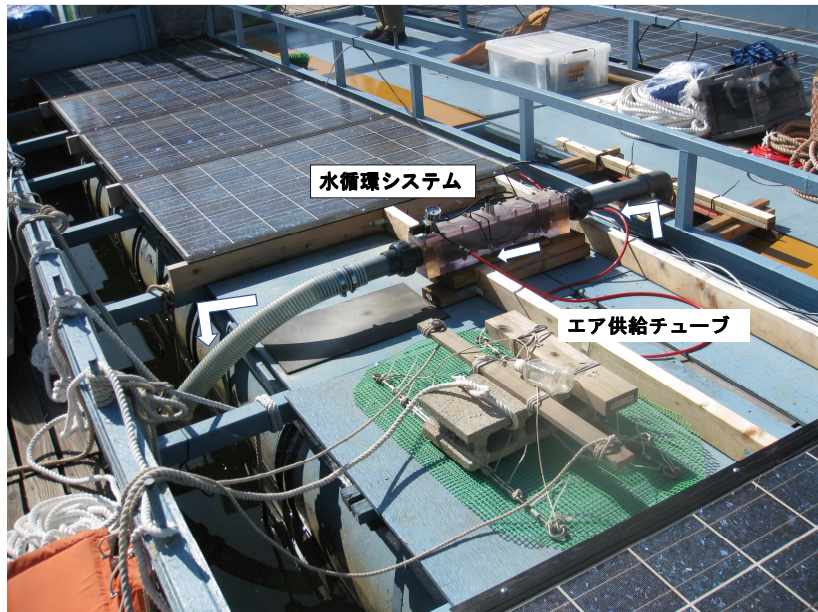


ガス移動効率：投入ガスがどれだけ液内に留まるのかを示している※回転水車については概算での評価である。  
 電気代：1kw辺りの酸素供給能力での比較であり送液ポンプ等の電力総計による。  
 初期費用：必要酸素量を同じとして仮定した場合の概算である。  
 装置寿命：ポンプやモーターを含めて装置寿命のもっと長い微細孔式を100とし比較した。

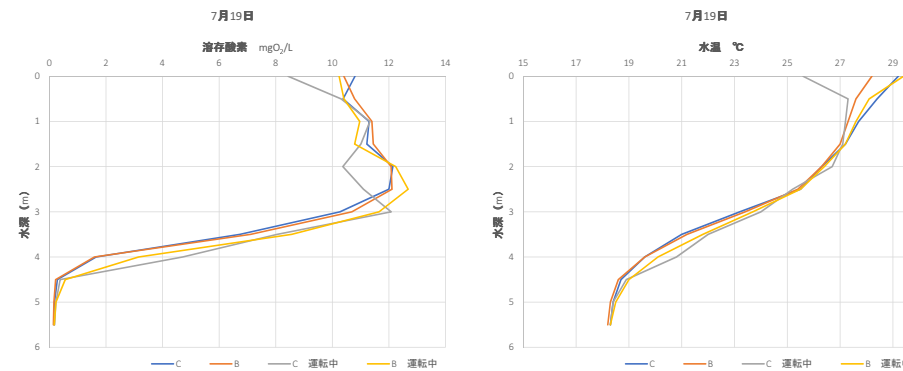


2018年7月12日水中ポンプ始動前の水温、DO  
 C：散気板至近、B台船北西端

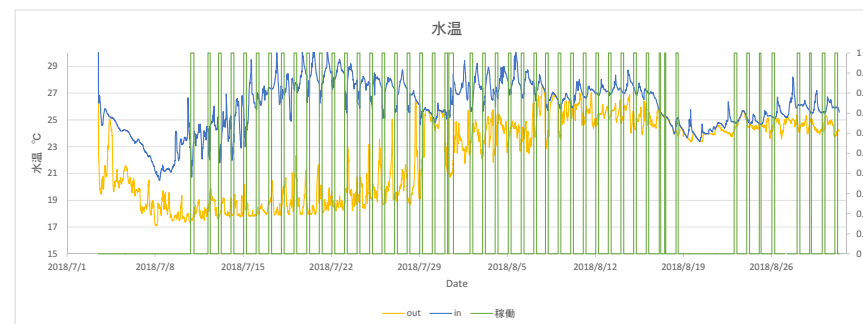
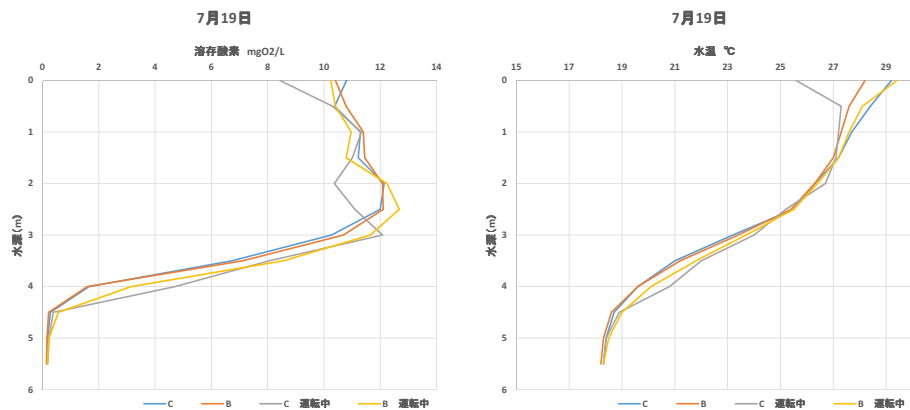




### システム稼働後1週間後

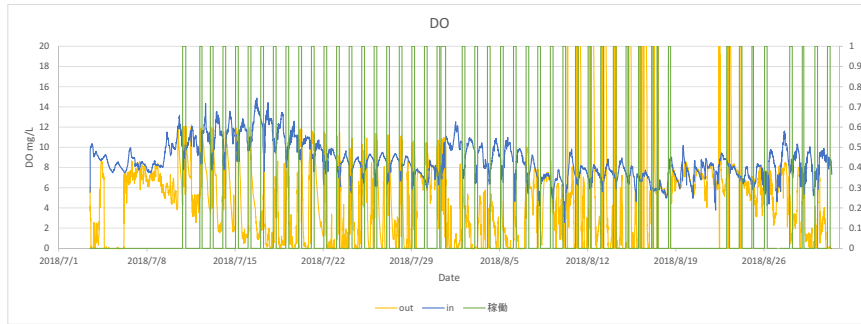


散気盤近く(out:水深5m)と表層水(in:水深1m)



装置が稼働すると、水中ポンプが吸い込む湖水の水温が下がり、散気盤近くの水温は上がる傾向にある。8月に入ると散気盤近くの水温上昇は小さい。

散気盤近く(out:水深5m)と表層水(in:水深1m)

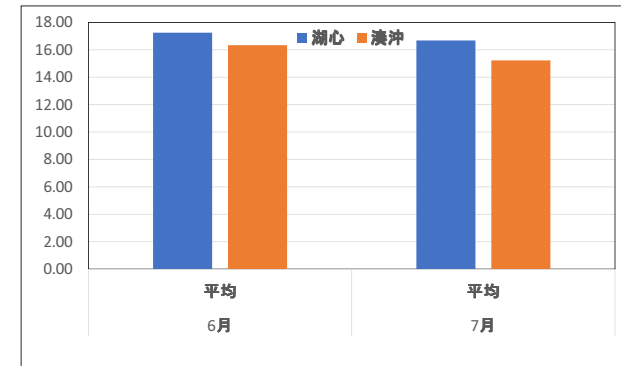


装置が稼働すると、水中ポンプが吸い込む湖水のDO濃度が下がり、散気盤近くのDO濃度は上がる。  
酸素供給装置を付けた8月10日以降は、極端にDO濃度が上昇する。  
8月25日以降は、DO濃度の上昇は見られない。

### 諏訪湖湖心と湊沖の底質（強熱減量(%)）

6月27日と7月26日試料の比較（信州大学、2018年）

\* コアサンプラーで採取したものの表層0-2cmの分析値（600℃で強熱、3回の平均値）



### 諏訪湖の底質状況と実験中の変化についてのコメント

\* 2016年～2017年の21地点の調査結果によると、釜口水門に近いNo.1、No.5の2地点を除くと、秋季の強熱減量観測値は15～19%、初夏は10～17%であり、初夏の方が秋季よりも強熱減量が低い傾向にある（吉原、2018）

\* その原因は、初夏は湖水の成層期であること、表層では湖内生産が活発に行われている時期であり、植物プランクトン等の沈降が少ないこと、湖内生産物が沈降するのは湖水が循環期に入る秋季になることが1977年当時の観測（沖野、他、1980）で確認されている。

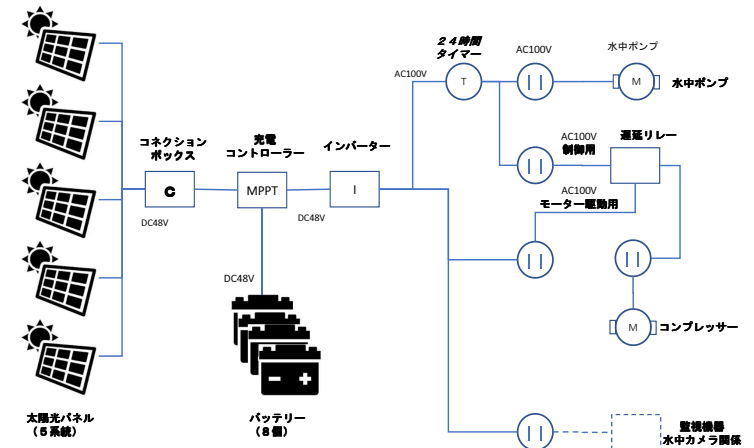
\* 冬季の西風が卓越する時期になると湖水が全面に攪拌され、結水によって湖水が沈静化すると湖水中のSS成分が一挙に湖底に沈降、春季には東風が卓越し一度湖底に沈降した底泥表層部は巻き上がり、風による攪拌により湖水全体に均一化する。その結果、湖底泥の強熱減量も均一化するとともに減少する

\* 今回の実験地点は、吉原(2018)のst.3,4,18,21に近く、強熱減量は12～13%でこの時期の諏訪湖の強熱減量の平均値に近い

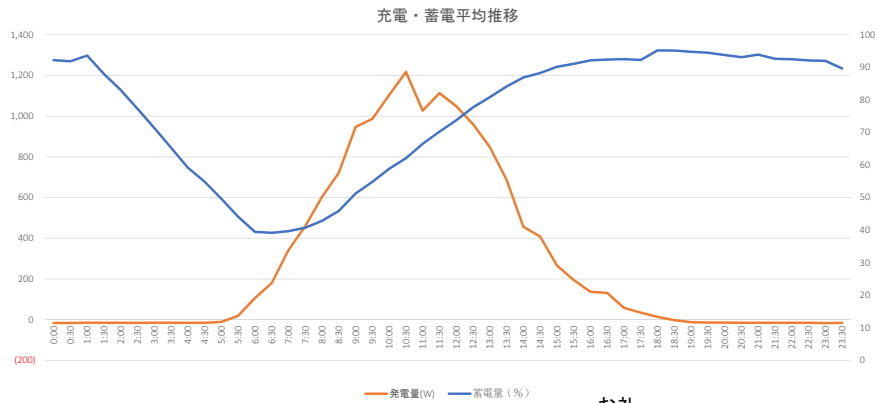
\* 成層期の底泥強熱減量の高い、黒色部分は湖底泥のごく表層に限られ、剥離しやすい状態にある

\* 2018年6月27日と7月27日の試料（表層2cm）の強熱減量を比較すると、湖心と湊地区（実験現場）それぞれに減少しているが、湖心における減少率よりも湊地区での減少率の方が高く、底質の改善傾向が認められる

### 電源システムイメージ図



## 平均充放電状況

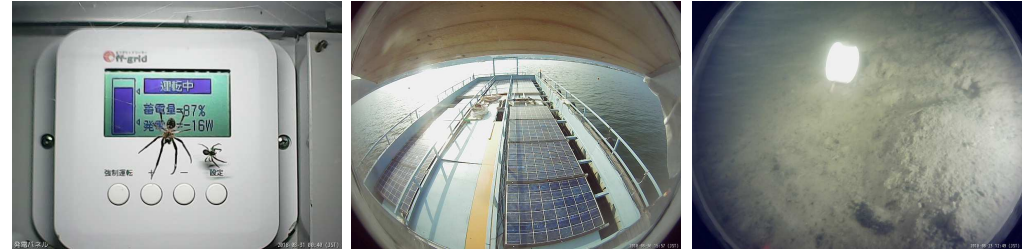


お礼  
市川先生のデータが大変役に立ちました。

Copyright : IT Management consultation room Mori no  
Kumasan, 2018

25

## 陸上でのモニターによる監視 左：蓄電、放電の稼働状況、中：実験船上全体、右：湖底状況



## まとめ1. ナノバブルによる貧酸素の改善効果

- \* 表層水を底層に送り込む水循環システムの場合、  
表層の酸素過飽和状態の湖水は物理的な刺激により大きな泡を形成し、  
水中に溶け込むよりも泡が巨大化して浮上、  
水面より大気中に放出される傾向が強い。  
今回の実験規模で上下の水を交換しただけでは底層の貧酸素化解消効果は少ない。
- \* エアコンプレッサーによる大気の供給は期待されるほど効果は大きくない。  
むしろ送り込んだ水を表層に戻す、水循環効果（エアリフト効果）が大きい
- \* 空気の代わりに酸素を送り込めば  
大気の場合よりも単純に5倍の溶け込みになり、効果は増大するが、  
泡が小さいことで底層での残留効果が大きいことの方が底層酸素の増加に寄与している  
（ナノバブルの水中残存性効果）
- \* 現在の能力での水循環システムは  
低酸素解消効果の面的広がりが狭く、散気点を中心として半径5m程度であり、  
従来の知見（その地点の水深を半径とする範囲）と変わらない
- \* 効果を高めるには、  
水を横方向に強力に吹き出すとともに近辺に一時的な壁を作り水の混合効果を高める工夫が必要

## まとめ2. ナノバブルによる底質の改善効果

- \* 今回の実験地点の強熱減量は12~13%で  
この時期の諏訪湖全域の強熱減量の平均値に近い
- \* 成層期の底泥強熱減量の高い、黒色部分は  
湖底泥のごく表層に限られ、剥離しやすい状態にある
- \* 湖底カメラの映像では  
水循環システムの稼働により底泥表面が剥離し、  
黒色から白色に変化している様子が観察された。  
これは底泥の物理的な変化であり、  
有機物の生物化学的分解ではないが、  
水中に剥離、浮遊した懸濁性の有機物は  
底泥表面に沈着している状態よりも 分解しやすくなる
- \* 水中に懸濁した底泥有機物はナノバブル化した酸素により分解されやすい

### まとめ3. 湖上における太陽光パネルによる電源確保の安定性

1. バッテリー収容庫内温度が50℃を超えるので  
断熱塗装、ファン設置等の検討が必要
2. 48Vシステムのためバッテリーの増設が4個単位になり高価になるため、  
24Vシステムを検討する必要がある
3. 太陽光パネルが高温(午後2時以降)時に発電能力が極端に落ちる  
(最大時(1500W)の約半分(800w以下)に低下)ので、バッテリーは24台必要
4. 制御及び監視系の電源は独立した形で作ることが必要
5. 運転タイマーについてはインターネット経由で制御できるものが必要
6. システム全体で使用する機器部品については  
稼働最高温度が50℃以上、できれば60℃以上のものを選定する必要がある

### 今後の展開へのコメント

- 1 水深4m以深の水域全体を対象とする貧酸素解消対策は極めて困難
2. 今回のナノバブルを利用した水中への酸素補給システムは  
堀や池などの酸素条件の改善には有効である  
広い面積の湖へ応用する場合には沿岸域を対象とすれば効果的
3. その場合には、  
水域を何らかの方法で区切り、閉鎖性を増す工夫が必要
4. 諏訪湖の場合には、対象沿岸水域を区切って、一般電源を利用し、  
連続的に湖水を取り込み、排出する過程でナノバブル装置を利用し、  
湖に戻す循環システムを考える。  
その際に酸素発生装置が組み込めればより効果的。
5. このような沿岸水域を数か所  
(例えば、諏訪市側：初島内側、下諏訪側：漕艇場、岡谷側：噴水域、など) 設定し  
沿岸域から水質改善を行い、沖合への影響を高めていく段階的浄化戦略が必要
6. ワカサギが逃げ込める水域を作る、という観点も必要(水温、酸素、隠れ家)
7. ナノバブルの副次的効果として沈水植物の生育制御(炭酸ガス濃度の低減)が考えられる

### 実施団体と協力団体、役割

1. 実施団体
  - (株)信州みんなの自然エネルギー：報告書作成、経理事務等
  - 諏訪湖クラブ：実験計画の立案、現場作業等
2. 協力団体
  - 信州大学山地水環境教育研究センター(底質、水質分析等)
  - 公立大学法人諏訪東京理科大学(水中モニタリング)
  - 長野県水産研究所諏訪支所
  - 諏訪湖セーリング協会、諏訪湖漁業協同組合、貸船協会
  - 諏訪湖ロータリークラブ、民宿「みなと」、(株)千代田ポンプ、牛山鉄工所、  
(株)ネクストエナジー、(株)安斎管鉄