

フィンバブルで

400L/min OK ノズル使用

チリ・マゼラン海峡鮭養殖海底 60m の浄化実験

— マゼラン海峡海底汚染浄化プロジェクト — 2020. 8. 20

まとめ : (有)OK エンジニアリング 松永 大

実験



Jaime De La Cruz G.
Presidente

Fono +56 65 2 480460 | Movil +56 9 9218 8110
Ruta V 505, KM 3.5, Sector La Vara, Puerto Montt

www.kran-nanobubble.com

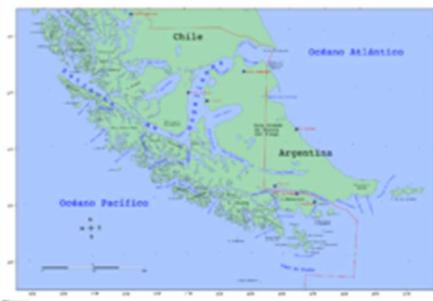
1. はじめに

マゼラン海峡海底浄化実験の一環として、Kran のエンリケ達は、現在、チリ・マゼラン海峡の海底浄化実験を行っている。いい結果が出ている。この実験で 400L/min OK ノズルを使い海底にフィンバブルを噴射している。

我々は、エンリケに浄化実験の目的を聞いてみた。Kran の Jame 社長から次のような回答が来た。「マゼラン海峡では鮭の養殖が行われている。海底には餌の残りや糞等が堆積し、海底は無酸素状態となる。鮭が収穫された後、その養殖場で再び鮭養殖する為には国の許可がある。その条件は、海底部の海水中に一定のレベルの溶存酸素を有することだけでなく、特定の細菌や藻類が存在しないことである。また、深さは少なくとも 50m、場合によっては 300m であっても、この規制がかかる。」「チリでは海峡の入江で長年鮭の養殖が行われており、海底には餌の残りや糞等が堆積し、鮭養殖に適さないほど環境が悪化している。海底を浄化し再び鮭養殖が出来るようにするのが、養殖業者と共にエンリケ達が行っているプロジェクトである。

世界中で海の入江等で魚養殖が行われており、大なり小なりにチリと同じような問題を抱えている。エンリケ達の実験成果は世界中に普及すると思われる。

ここではエンリケ達が行っている実験について、彼とのメール交換の内容を以下にまとめる。また、300m 海底浄化方法について私なりの提言をする。



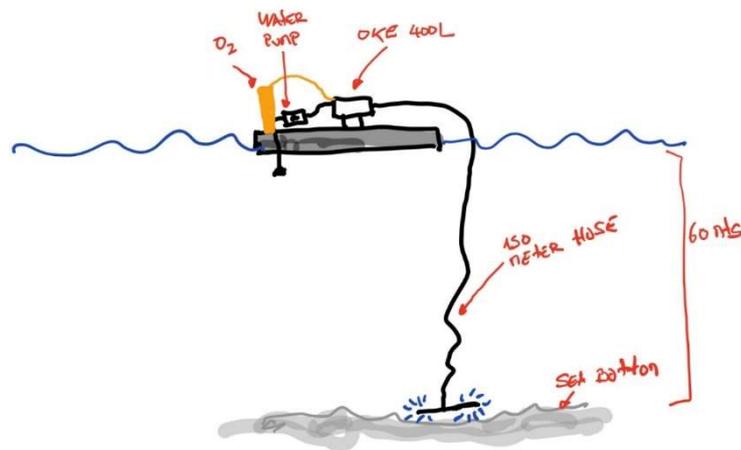
2. 海底浄化実験

(1) 実験条件

現在の実験条件は次のとおりである。

- ①ノズルの入り口で水圧は 6 バール (0.6MPa)
- ②ノズルの出口で水圧は 4.5 バール (0.45MPa)
- ③ファインバブルを海底に到達できるようにホース 150mに接続。
- ④酸素供給量は 6L/min
- ⑤パイプの直径は 2 インチ

(2) FB発生装置の概要



(3) 質問、疑問に対する回答

「我々は約 2 年前からチリの最南端のマゼラン海峡海底汚染を浄化しようと解決策を講じています。鮭養殖の収穫が終わった後、この地域で再び鮭を生産することができるように、海底を浄化する必要があります。海底部の海水の酸素化は、その目的の手段です。

我々は 100mの深さでファインバブルを動作する必要があるので、6バール(0.6MPa)の圧力を 400 L/min OKノズルにかけると流量が約 520L/minに増えます。これでいいのか。どのような影響があるか。およびそれがナノバブル生成プロセスにどのような影響を与えるかをよりよく理解したいと考えています。

宍道湖のシジミに関する情報を添付していただきありがとうございます。」(付録で資料添付)

Q 1 この実験で 400 L/min ノズルを使用している場合、流量が約 520L/min になりますが、これはナノバブル（UFB）の生成に影響がありますか？

A 1 問題ありません。OKノズルに6バール（0.6MPa）の水圧をかけたので流量が 520L/min になるのは当然です。ファインバブルの発生に良い結果になると考えます。

Q 2 マイクロバブル（MB）とナノバブル（UFB）の比率はどれくらいで、400 L/min の流れに関して大きく異なりますか？

A 2 正確には分かりませんが、単位体積当たりのバブル発生数はあまり変わらないと考えています。その理由は、水圧6バール（0.6MPa）を400L/min OKノズルにかけたにもかかわらず、背圧と管内抵抗等によりOKノズルの吐出量が 520L/min と少ないからです。

高い圧がかかることで、吐出量が約 120L/min 増えた分、1 分間当たりのファインバブル（FB）の数は約 30% 増えます。

マイクロバブル（MB）は、ISOによりバブル径 1 μm 以上と決まりました。0.6MPa の水圧がかかると 5 μm 以下のマイクロバブルはナノバブルになります。その分ナノバブル（UFB）が多くなると考えます。

水深 60m の海底では約 0.6MPa の水圧がかかり、また、海底までのパイプ内の水圧は 0.4MPa 以上がかかるので、酸素の供給量にもよりますが、溶存酸素も多くなります。これは加圧溶解の原理です。

濟州島でのヒラメ養殖の例から Do 値が大きくなるのも推測できます。現状は OK ノズルに 6L/min の酸素を供給して Do 値が 330% になっているとのこと。10L/min の酸素を供給すると Do 値は 400% 近くに上昇するでしょう。海底 60m の水圧は約 0.6MPa なので、Do 値約 600% が飽和となります。ナノバブル（UFB）を長く安定させる為には、海底での酸素飽和状態に近づけるほうが良いと考えます。

したがって、酸素の供給を 10~15L/min に増やし、Do 値を 400~500% 位にしたらどうでしょうか。

ぜひこの条件で実験してください。

3. 実験風景の写真



チリ・マガリャネス海峡（マゼラン海峡）の入江



OKノズルを搭載したFB発生装置：KРАН 製

[\(https://kran-nanobubble.com/\)](https://kran-nanobubble.com/)



海底で T 型噴射ノズルから酸素ファインバブルを噴射

4. 実験結果について

- (1) 実験の主目的である海底部の海水の有酸素化はいい状況である。
400L/minOKノズルに 6L/min の酸素を供給し、海底で T 型噴射ノズルから酸素ファインバブル水を噴射することで海底近傍の Do 値は 300% となった。
- (2) 汚染源の海底堆積物も非常に少なくなり、浄化されつつある。いい結果が出ている。
有害な細菌と藻の分析結果はまだである。
- (3) さらに 500L/minOKノズルを 2 個追加し実験を続けることになった。
(2020. 8. 11、500L/minOKノズルを 2 個、チリに出荷)
また今後、水深 300m の海底を浄化する為、30 バール (3.0MPa) 耐圧の 2000L/minOKノズルの導入を計画中である。

5. 考察

- (1) OKノズルに酸素を供給し、酸素ファインバブル水を海底に噴射することによって高効率で Do 値を高めることができ、貧酸素化対策は達成されることは明らかになった。

供給された酸素はほとんど溶解し、残りがファインバブルと考えられる。濟州島でのヒラメ養殖の例では、OKノズルに供給する酸素の量によって Do 値が比例して高まることが分かっている。

大気圧の時で酸素を海水に溶解させると、Do 値の MAX は 450% 近傍となる。エンリケ達の大気圧時の酸素溶解実験でもこのようなデータが出ていて、「12L/min の酸素を供給しても Do 値は 430%、44mg/L に増加し、酸素化プロセスが非線形であると仮定する。」との連絡メールがあった。

確かに大気圧であればエンリケの主張通りかも知れないが、今回の実験は海底 60m であり海底の水圧は約 6bar (0.6MPa) である。水圧 0.6MPa なので Do 値の MAX は、大気圧時より上がる。

今回の実験では OK ノズルに 6L/min の酸素を供給して Do 値が 330% になっているとのことなので、10L/min の酸素を供給すると Do 値は 400% を超えるものと考ええる。

海底 60m の水圧は約 0.6MPa なので、「気体の溶解度は圧力に比例する」とのヘンリーの法則からすると、Do 値は約 600% が飽和となると考えている。海底部でウルトラファインバブル (UFB) の寿命を長くする為には、海底部の海水を酸素飽和状態に近づけるほうが良いと考える。したがって、酸素の供給を 10~15L/min に増やし、Do 値を 400~600% 位にしたら海底汚染の浄化処理能力は格段に高まると考える。この酸素供給量で実験する価値はある。実際に海底 60m で噴出している海水の Do 値を測定してください。エンリケが持っている Do 計の MAX は何%ですか。

Do 値 500% 以上の測定実験は、大気圧中でも出来る。OK ノズルの吐出側に高い背圧をかけることで出来るでしょう。試してください。

海底の汚染処理がほぼ終了したら、酸素供給量をコントロールする必要がある。海底での高すぎる Do 値は海底の生態系を壊す可能性があるからである。このことは注意する必要がある。

- (2) 海面近くの海水を取水しているので、海面近くの好気性バクテリアが海底の汚染物質を処理していると考えられる。ウルトラファインバブルがバクテリアを活性化しバクテリアの増殖により処理能力もアップしている

ことが想像できる。また、好気性バクテリアの増殖で害になる細菌を駆逐する可能性もある。また、酸素ファインバブルが問題の細菌を酸化殺菌している可能性もある。

(3) 鮭の養殖中でも海水にファインバブルを与えることにより海底のみならず養殖場全体を浄化し、薬品等の使用量も極力少なくなり、良質の鮭が生産できると考える。

(4) ファインバブルを使用した鮭養殖場海底浄化は、エンリケ達が初めてであろう。このプロジェクトの成功が世界に広がるだろう。

このプロジェクトは、良質の鮭を供給するだけでなく、海の汚染を回復し美しい海、安全な海を保持できる。

これは国連が提唱している SDGs 精神そのものである。

6. 300m海底浄化方法の提案

(1) ファインバブルが底面に沿い拡散

私は数年前から深い海、湖の浄化方法、特に琵琶湖底部の有酸素化の方法について考え続けていた。

ある時、湖湖底浄化の簡単な方法を閃いた。そのヒントは日常的に行っている小型OKノズルの性能テスト中にあった。



1L/ min未満の小型OKノズルの性能テスト時、水槽の水面から垂直に底に向けてファインバブルを噴射すると底に向かって水流ができる。その流れに沿ってファインバブルが下降し、底に着くと、底面に沿って広がることを日常的に目撃していた。目に見えるマイクロバブルで径が小さいと水の流れに沿って下方向に流れることも知っていた。

この現象が湖底部の貧酸素対策の最もシンプルな方法であることに気が付いた。

気づいた。

この貧酸素対策方法を「垂直対流酸素化浄化方式」と名付ける。

(2) 「垂直対流酸素化浄化方式」を展示

私はエンリケから海峡の 300m 海底浄化の話聞いて、深い海底の浄化方法について上記のような垂直対流酸素化浄化方式が現実的であることを確信した。

2019 年 10 月、「びわ湖環境ビジネスメッセ 2019」に展示した。

「垂直対流酸素化浄化方式」を可視化した展示品とした。



(3) 300m 海底浄化方法について

「この 300m の海底は、プユワピ湾 (Puyuhuapi Fjord) です。私たちが実験を行なっているマゼラン海峡の海底は 100m です」とのエンリケからのメールが入った。

海底の浄化方法は、60m 海底浄化に使用した「T 型噴射ノズル方式」と新提案の「垂直対流酸素化浄化方式」の 2 つの方式がある。どの方式を選択するか明確な基準はない。判断基準としては、海底の深さ、海底地形の状態、潮の流れ等であろう。

方式 1 T 型噴射ノズル方式 (宍道湖方式)

海底で T 型噴射ノズルを使ってファインバブル噴射させる方式もある。しかし、深さ 300m 海底となると難しい課題も出てくる。

<メリットは>

- 深さ 50m 前後では T 型噴射ノズルのジェット噴射で海底を耕すことができるので、処理スピードが速い。
- 浄化した場所が明確
- ピンポイントで浄化できる。

<デメリットは>

- 300m の深さになると T 型噴射ノズルの操作性が悪い。
- 固定での T 型噴射ノズルの安定設計が必要。
- 30 バール (3 MPa) のポンプ、3 MPa 耐圧の OK ノズルが必要。
- 400m のホースになる。

方式2 「垂直対流浄化方式」

この方式についての原理は上記した。

ファインバブル噴射口を沈める位置は、海深さの1/3位の深さまででいいと考える。その理由はOKノズルそのものの圧力損失は0.01～0.02MPa位と非常に小さいので海水の吐出圧はほぼ保たれて下向きの強い対流を発生させるからである。

＜この方式のメリット＞

- 海中に入れるホース長さは約100mで良く、操作性が簡単。
ホース端面にはホースの振れを止める重り兼用の噴射口を設ければいい。海流がある場合は、流れだけを考慮すればいい。
- ファインバブルが海底の広域に拡散し、広範囲を浄化できる。
- 30バール(3.0MPa)に耐えるファインバブル発生ノズルがいない。
- 13バール位(1.3MPa)位の水圧を出すポンプでいい。

7. バイパス回路方式の提案

(1) 酸素とバイパス回路でOKノズル有効利用

OKノズルに酸素を供給する場合はメイン配管とは別にOKノズルを組み込んだバイパスを設けると大きな効果を発揮する。

右の写真は韓国済州島の砂底ヒラメ養殖のバイパス回路に300L/min OKノズルを取付けた写真である。80m先にある10個の養殖池にDo値100%の海水を供給している。酸素供給量は約10L/minである。



供給量を増やせば比例してDo値は高くなる。海水の場合効果的である。

(2) 500L/min OKノズルでDo値100%の海水を20000L/min確保

海水の場合、OKノズル単独の回路で酸素を供給するとDo値を500%近くまで高めることが出来る。したがってDo値100%の水が欲しい場合は、小さいOKノズルでもバイパス回路を組めば、4、5倍の吐出量の水を確保できることになる。配管途中のバイパス回路にあるOKノズルに適度の背圧がかかっていることも条件である。

例えば、500L/min OKノズルを使用した場合、メイン配管に 1500L/minの海水を流せば Do 値 100%の海水を 20000L/min 確保できることになる。当然、酸素供給量は 500L/min を 400% にする酸素量が必要となる。

—以上—



ファインバブルで 宍道湖の湖底浄化

6.4 漁業分野

【応用例③】 宍道湖のシジミ対策 を取材 島根県 100Lと500L/min OKノズル使用

- ① 2012年7月、100Lノズルを導入。
- ② 1年後位からシジミ漁獲高が上がる。
- ③ 2014年8月、500Lを宍道湖漁協が導入。



(1) 斐伊川河口 シジミ船の係留場所

この川の上流では良質の砂鉄が採れている。砂鉄を取った後の砂はシジミ対策にも使用されている。



(2) 功を奏したシジミ対策 ファインバブルとジェット噴射のコラボ

- ① 砂鉄をとった後の砂をシジミ対策として湖底に撒く。
 - ② 下写真の道具ジェット噴射器で湖底をジェット水で耕す。
 - ③ シジミの産卵期には消防ポンプで水をかき回し塩分濃度を一定にする。
 - ④ 2012年7月100LOKノズルを原氏が導入。
 - ⑤ 漁の後、仲間の漁師達と輪番で、毎日2時間、写真のジェット噴射器でファインバブルを噴射し湖底を耕す。
 - ⑥ その結果、徐々にシジミが増えた。
- ＜この成果は＞
ファインバブルとジェット噴射器のコラボで効果を上げたと考えられる。



(3) 湖底攪拌噴射装置 一大型 2015年8月に500L/minOKノズルを導入

- ① 100LOKノズルを使用して成果が出たので今回は、央道湖漁業協同組合として購入。
- ② 初めての試運転に取材も兼ねて立合いました。500L/min OKノズルに対してジェット噴射器の吐出量が少ないことが判明。噴射口を太くするよう提案。



(4) 500L/min OKノズルを使用

- 消防ポンプを利用してOKノズルに圧力水を送る



消防ポンプ



Mouth of river Hii



Jet-Nozzie



Used 500L/min OK nozzle



Fire pump



