

新規電解槽の開発

(多機能型電解槽の開発)

食品・環境科 専門研究員 大脇博樹

国内における消費者の「魚離れ」が進行し、国民1人1日当りの水産物の摂取量が減少傾向にある一方、欧米での健康志向の高まりやアジア諸国、インド等の経済発展に伴って世界的には水産物の消費量が急速に増加し、水産物の貿易量も急速に増大している。今後も水産物の需要は拡大することが予測されるが、天然水産資源は有限であり、天然水産物の漁獲量は頭打ち状態となってきたことから、今後は養殖による生産量の増大が必要不可欠であり、生産された水産物を流通させるための鮮度保持技術の発展も重要な課題となる。また、生産された水産魚介類を生きたまま流通させる活魚輸送は、水産物の高付加価値化を目指す上では非常に重要である。

本研究開発では、海水電解を利用して海水魚介類を水換え無しで高密度・長時間飼育するための海水浄化システムの高度化を目指して、この海水浄化システムで利用するための新規電解槽の開発に取り組み、新たな構造の電解槽内の流れの解析や、この電解槽を使用した魚の飼育試験を実施して、その性能を確認した。

1. 緒言

世界的な水産物消費量の増大に伴って、世界的に漁業・養殖業を合わせた水産物生産量は増加し続けている。1960年以降、世界の漁業・養殖業を合わせた生産量は増加し続けているが、その中の漁船漁業生産量は1980年代後半以降頭打ち傾向が続いているのに対して、養殖業生産量は著しく伸びている¹⁾。天然資源の管理の重要性が示されていることもあって、今後養殖業の重要性は増していくものと思われる。

一方国内では、魚介類消費量の減少が続くなどマーケットが小さくなっているが、水産物の輸出は増加傾向にあり、特に経済成長の著しい東アジアに対しても長崎県産の高品質な水産物の輸出拡大が求められている。鮮魚については、県内の民間企業が20年程前から中国市場への輸出を行っており、鮮度保持の観点から2005年から航空便が利用され、その後輸出量は年々増加して高級品として高値で取引されている。しかしながら、航空便での活魚輸送は困難であり、活きたまま輸送する技術・装置の開発が求められている。

これらの背景のもと、当センターでは、海水魚を水換え無しに陸上で飼育するために必要となる海水浄化技術として、海水電解を利用した海水浄化システムの開発を行い、活イカ輸送装置の開発や閉鎖循環式陸上養殖システムの構築に向けた検討を行っている。

本研究開発では、上記海水浄化システムに適用するための、陽極水と陰極水を分離でき、海水を電気分解する際に問題となる陰極表面へのスケール析出を抑制できる新たな構造の電解槽を開発することを目的とし

た。電解槽を流れる飼育水の流速を速くすることで、陰極表面のスケール析出抑制が可能であることを確認しているが、流速を上げるために流量を増やすことは飼育システム全体の海水循環量を増やすことになり、コスト等の問題から現実的ではない。そこで、電解槽を通過する流量を増やさずに陰極表面の流れを速くすることで陰極へのスケール析出抑制を行うことを目指した。

本年度は、考案した電解槽内の流れの可視化を行いコンピュータシミュレーション結果と照合すること、本電解槽に使用する隔膜の選定、試作した電解槽を使ったクエの飼育試験を行って、陰極表面に析出するスケールの析出状況の確認を行った。

2. 実験方法

(1) 新規電解槽の構造

新たに開発・試作した電解槽の外観を図1に、内部構造のイラストを図2に示した。

電解槽の通水部には、外側に円筒形の陰極を、中心部に円柱状の陽極を配置し、その間に隔膜で覆った多数の貫通孔を有する塩化ビニル管(中筒)を設置して陰極水と陽極水が混合しない構造とした。飼育水は電解槽に流入する前に2流路に分岐し、陰極水は電解槽の側面から、陽極水は電解槽上部からそれぞれ流入する。陰極水側と陽極水側のそれぞれの流量は、電解槽に流入する前に設置したボールバルブを用いて制御した。陰極水の電解槽への流入部の断面積を小さく絞り、流入速度が速くなるよう工夫した。また、本年度は陰

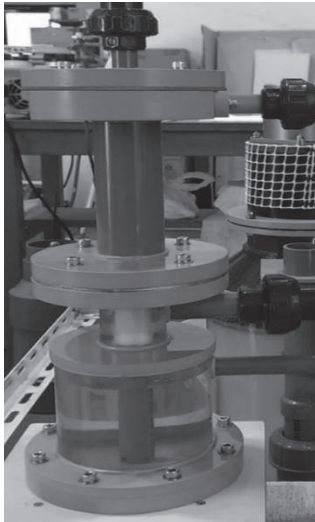


図1 電解槽の外観

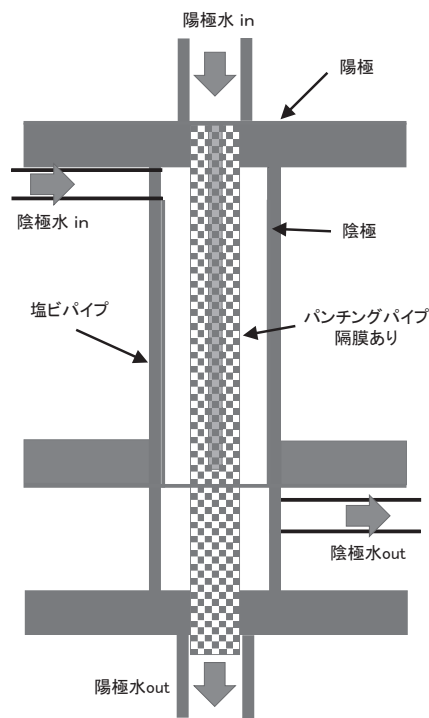


図2 電解槽内部構造イラスト

極と中筒間の流れを均質化するための部品を取り付けてスケール析出の抑制に取り組んだ。

(2) 新規電解槽内の流れの解析と流れの可視化

電解槽側面から流速を速くした飼育水を陰極側に導入して、陰極と中筒間をらせん状の旋回流として流すことで流量を増やさずに流速を上げる工夫をした。

昨年度の報告書²⁾に記載した電解槽内の流れのシミュレーション結果にて、電解槽の陰極と中筒間でらせん状の旋回流が生じていること、電解槽出口付近ではそ

の流れが遅くなり、スケールの析出につながっていることを報告した。

本年度は、電解槽の最外筒となる部分を透明塩化ビニル管に置換した装置を製作し、流体内にトレーサ粒子（粒径0.6 mm～1.2 mmのネオライトサンド）を混入させて流れを可視化し、その粒子の2次元平面内の速度および方向を非接触で求める流体計測手法である粒子画像速度測定法（PIV：Particle Image Velocimetry）を用いて陰極側の流速を算出した。

(3) 隔膜の選定

今回開発した電解槽では、飼育水のpH調整と溶存二酸化炭素濃度を下げる機能を付与するために、陽極水と陰極水を分離する必要があった。電解槽の構造を工夫することで隔膜を使用せずに陽極水と陰極水を分離することも可能であったが、陽極側の閉塞等のトラブルにより陰極水側に陽極水（オキシダントが含まれる）が混入すると、短時間で飼育魚が全滅する可能性が高いため、今回は隔膜を利用することにした。

隔膜に求められる物性は、海水魚を飼育する上で支障のない程度に陽極水と陰極水を分離できること、電解電圧が低いことである。今回は、株式会社ユアサメンブレンシステムの表1に示したA、B、Cの3種類の多孔質メンブレンフィルターを用いて検討を行った。

表1 評価した隔膜の物性

	A	B	C
厚さ (mm)	0.11	0.17	0.22
平均孔径 (μm)	0.4	2.5	—
電気抵抗 (Ω・dm ²)	0.0007	0.0003	0.0018
透水性能 ^{注)} (mL/min/cm ²)	24	272	0.05

(注：50.7 kPa, 25 °Cにおける評価)

(4) 新規電解槽を使用したクエの飼育試験とスケール析出状況の確認

図3に電解槽の評価を行うために行ったクエの飼育試験システムの外観を、図4にその流路図を示した。

使用したクエは約550 g/尾を20尾で計約11 kg、飼育水槽（200 L容）、沈殿槽、物理濾過槽（20 L）、泡沫分離装置（(株)プレスカ製FSR-002P）、温度コントロール装置（26 °Cに維持）（図4には記載無し）、前記電解槽、反応槽、活性炭槽、循環ポンプ、酸素供給装置を備えた飼育システムを構築して、15 L/分で飼育水を循環・浄化し、3日毎に飽食給餌を行いなが

ら水換え無しで1か月間飼育した。飼育水浄化のための電解電流値は適宜調整した。飼育水量は150Lであったため、クエの飼育密度は7.3%であった。1週間毎に電解槽を分解して陰極表面へのスケールの析出状況を確認した。

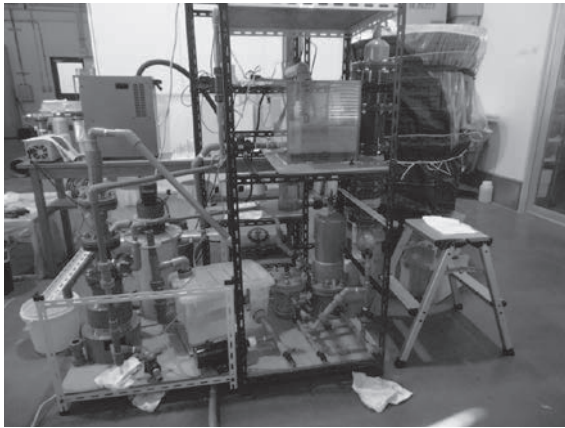


図3 クエの飼育試験システム外観

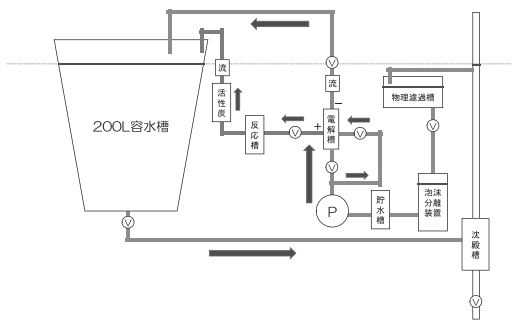


図4 クエの飼育試験システム流路図

3. 結果および考察

(1) 新規電解槽内の流れの解析と流れの可視化

コンピュータシミュレーション結果では、陰極側流量が1.5 L/minでは旋回流は起こらないが、2.5 L/min以上であれば旋回流が生じること、流量が大きくなるほど旋回流の速度は大きくなることが確認された。

図5に最外筒となる部分を透明塩化ビニル管に置換した装置を示した。この透明電解槽にトレーサ粒子を流して、高速度カメラで撮影した動画とPIVソフトウェアを用いて測定を行った。その結果、コンピュータシミュレーションで陰極と中筒間で確認された旋回流が起こっていること、流量が大きくなるほど旋回流の速度が大きくなることが確認された。

流速の計算結果と動画から得られた流速では一致し

ない点もあったものの、横軸方向の流速等は一致しており、今回の解析方法が電解槽の構造を検討する際に有力なツールとして活用できることが確認できた。

(2) 隔膜の選定

隔膜の選定に際しては、図4に示したシステムを使用した。飼育魚は入れずに評価を行った。

表1に示した3種の隔膜を使用して、電流値を0.3 Aから1.0 Aまで変化させた際の電圧を測定した結果を図6に示した。平均孔径が最も大きく電気抵抗が最も小さかったBが最も電解電圧が低かったが、その差は小さく、今回の隔膜の選定には電解電圧を考慮する必要がなかった。

AとCは陰極側出口のオキシダント濃度は検出限界以下であり、陽極水と陰極水の混合は認められなかったが、平均孔径が最も大きかったBを使用した際には、陰極側出口で微量のオキシダントが検出されたことから、魚を入れた試験には使用できないことが確認された。そこで、クエの飼育試験ではCの膜を使用した。

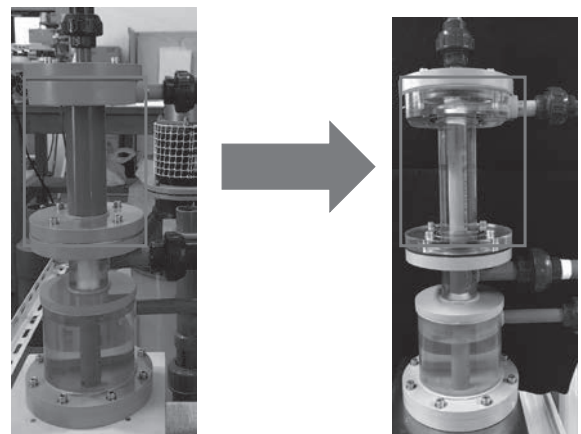


図5 透明電解槽の制作

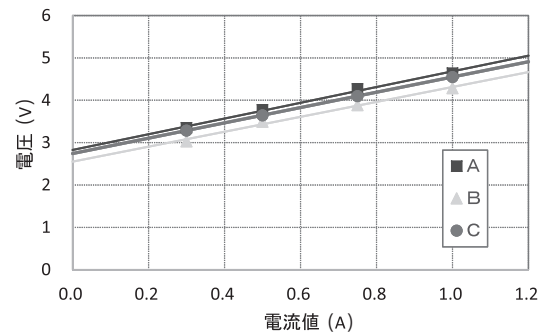


図6 隔膜の電流値-電圧曲線

(3) 新規電解槽を使用したクエの飼育試験とスケール析出状況の確認

1 か月間の飼育期間中、クエの斃死等の問題は発生しなかった。この間、飼育水中のアンモニア濃度が 0.5 ppm から 10 ppm の範囲で推移するよう電流値を調整した。

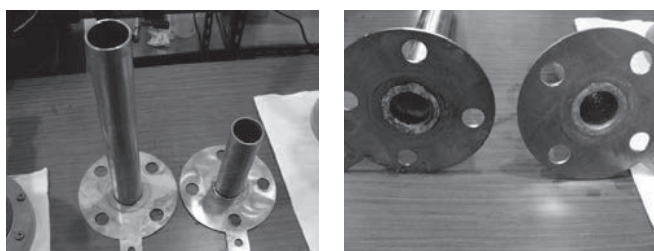
陽極水中の過剰のオキシダントは、電解槽と飼育水槽の間に設置した活性炭槽で分解される。電解槽で分離された陰極水は、活性炭槽を通過せずに飼育水槽に戻るため、オキシダントを含む陽極水との分離が不十分な場合は、飼育水槽中にオキシダントが流入することになるが、今回の試験中は飼育水中にオキシダントが混入することはない、陽極水と陰極水の分離が問題なく行われていたことが確認された。

電解槽は、1 週間に 1 度分解して陰極のスケール析出状況を目視にて確認した。昨年度の評価では、約 2 週間で電解槽出口付近の陰極表面に多量のスケール析出が確認されたが、今年度の改良した電解槽では 4 週間後でもほとんどスケールの析出が確認されなかったことから、その改良の効果を確認することができた。



上面（流入口付近）からの視点 下面（流出口付近）からの視点

図7 対策前のスケール析出状況（2週間目）



上面（流入口付近）からの視点 下面（流出口付近）からの視点

図8 対策後のスケール析出状況（4週間目）

4. 結 言

2 年間実施した本研究開発により、陰極水と陽極水を分離でき、1 か月間以上メンテナンス不要な電解槽を開発することができた。陰極表面の流速を大きくすることでスケールの析出が抑制されることはわかっていましたが、通常の電解槽で流速を上げることはシステム

全体の流量を上げることと等しく、大容量の飼育水槽では実現できなかったが、本電解槽を利用することでこの相反する要求を満たすことが可能となった。

この電解槽を利用することにより、飼育水中の溶存二酸化炭素濃度のコントロールを行うこと、経時的な pH の低下を抑制することが可能となるため、今後の閉鎖循環式陸上養殖システムや長時間・高密度の活魚輸送システムへの適用が期待される。

謝 辞

電解槽内の流れの可視化を実施していただいた、独立行政法人国立高等専門学校機構 佐世保工業高等専門学校 物質工学科 城野祐生 准教授と物質工学科 山田雄士氏に謝意を表す。

参考文献

- [1] “第 2 章 第 3 節 水産業をめぐる国際情勢” 水産白書, 平成 29 年度版, 水産庁, 2017, pp. 97-102.
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/29hakusyo/attach/pdf/index-13.pdf>, (参照 2018-7-20).
- [2] 大脇博樹：新規電解槽の開発 長崎県工業技術センター研究報告, No.47, pp.35-36, 2018.