

海水魚用展示蓄養水槽の開発

(食用活魚展示・蓄養のためのコンパクト水槽システムの開発)

研究企画課 兼 機械加工科 課 長 大 脇 博 樹

これまで漁獲地でしか食べられなかった新鮮な活魚を大消費地でも食べられるようにするためには、「漁獲地での蓄養」、「高密度・長時間の輸送」、「消費地での展示蓄養」を実現する必要がある。当センターではこれまでに、「漁獲地での蓄養」につながる「閉鎖循環式陸上養殖システムの開発」や、「高密度・長時間の輸送」を目指した「活イカ輸送システムの開発」を行い、それらを実現してきた。

本研究では、「消費地での展示蓄養」を実現するために、当センターが所有する海水浄化技術を活用して、水換えやメンテナンス間隔を大幅に伸ばすことが可能で、かつ飼育水に着色や悪臭が発生しない、新たな展示・蓄養水槽システムを開発することを目指した。

1. 緒言

水産業振興と新型コロナウイルス感染症により減少したものの今後改善が期待される訪日客向けの魅力ある商品開発が求められており、これまで水揚げ漁港でしか食べられなかった活魚を都会の料亭等で提供することは、この目的に大きくかなうものと思われる。また、水産県長崎は国内でも有数の漁獲量を誇っており、県内で水揚げされた魚の高付加価値化を図るために、消費地に生きたまま輸送すること、きれいに展示して高い価値を維持することは重要であり、漁業者だけではなく輸送事業者、販売者等、漁獲から販売に至るまでに関与する全ての事業者にも利益をもたらすことになる。

当センターでは、海水電解を利用した海水浄化システムの開発を行い、活イカ輸送装置の製品化・事業化等を実現してきた実績があり、漁獲地での輸送前の蓄養(図1)や大消費地への活魚の輸送を安価に行うことが可能となってきた^[1]。

地価や人件費の高い都会の料亭等で生きた魚介類(活魚)を展示・蓄養する水槽システムには、付属装置である海水浄化装置ができるだけコンパクトであること、水換えやメンテナンスの間隔をできるだけ伸ばせるシステムであることが求められる。しかしながら、従来の浄化システム(魚介類の排出物を生物ろ過技術により浄化する)では、浄化ユニットが大型にならざるを得ないだけでなく、微生物の活動の際に生成される着色有機物の蓄積により飼育水が茶褐色になり見た目が悪くなること、カビ等が発生して悪臭が生じやすく飼育魚にもおいが移ること等の問題があり(図2)、比較的短い頻度での水換えや水槽の掃除等のメンテナンスを行う必要があった。

これまで当センターで開発を続けてきた海水電解を

利用した海水浄化システムは、海水に溶存している臭化物イオンや塩化物イオン等のハロゲン化物イオンを陽極酸化して、次亜臭素酸や次亜塩素酸等のオキシダントを生成させ、魚介類が排出する有害成分であるアンモニアを窒素に直接変換することで飼育水の水質浄化を行う(式1、式2)。また、海水電解によって生成したオキシダントの殺菌効果によって微生物の繁殖



図1 漁獲地での活イカ蓄養



図2 生物濾過の影響で着色した展示水槽

を抑制することで、飼育水の着色や悪臭の発生を抑制できる。

この海水浄化システムは、従来使用されてきた生物ろ過システム^[2]と比較して著しく小容量であることも特長の一つであり、今回開発を目指している都会における活魚の展示蓄養水槽に適用するには最適の技術であると思われる。

本研究では、実際に店舗で利用できる展示蓄養水槽の開発を目指し、海水浄化システムの仕様を決定して試作機の製作を行い、実際の店舗での試験を実施する予定とした。

2. 検討内容

2. 1 試験材料および使用機器

蓄養水槽の製作には10 mm 厚の市販の透明アクリル板を、物理ろ過槽兼バッファータンクの製作には5 mm 厚の塩化ビニール板（グレー）を使用した。蓄養水槽上部には、飼育魚を入れるための開口部を準備し、5 mm 厚の透明アクリル板を蓋として使用した。

泡沫電解槽には、1 mm 厚のチタン板に白金修飾した陰極と、同様のチタン板両面に白金イリジウム修飾した陽極を利用した。チタン板のサイズは255 mm × 50 mm、修飾部は50 mm × 50 mm とし、両電極の修飾は株式会社ナカボーテックに依頼した。

今回使用した泡沫分離装置は、株式会社プレスカ製のKA式泡沫分離装置FSR-002Pで、同社の了解を得た上で泡沫槽内に前記した電極を設置する改造を行い、泡沫電解槽として利用した（図3）。

海水魚の飼育試験には、平均654 g/尾の天然カワハギ13尾（計8.5 kg、飼育密度1.7%）を使用した。

残留オキシダントの定量には、株式会社共立化学研究所のパックテストWAK-CLO-DPを、アンモニアの定量には同WAK-NH4-4を使用した。

溶存酸素濃度の測定には、飯島電子工業株式会社製ID-100を使用した。

2. 2 新規泡沫電解槽の開発

前記した修飾電極を用いた海水電解では、主に陰極表面で水素が生成し、陽極表面で臭素や塩素が生成した後、多量の水と反応して次亜臭素酸や次亜塩素酸等のオキシダントが生成する（陽極反応のみ式（1）オキシダントの生成反応）。陰極表面の水素生成に伴って陰極表面に接する海水がアルカリ性になることから、溶解度の低下したカルシウムイオンやマグネシウムイ

オンがそれぞれ炭酸カルシウムと水酸化マグネシウムとして陰極表面に析出してスケールとなる。この陰極表面へのスケール析出に伴って、電解電圧が高くなることや電解槽の流路を塞ぐ等の問題が発生することになる。

- ・オキシダントの生成反応



- ・脱アンモニア反応

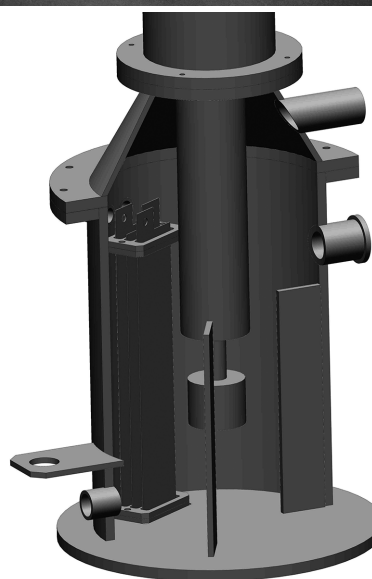
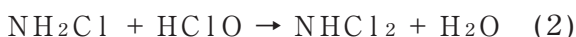


図3 泡沫分離槽内部への電極設置図

本研究にて開発する展示蓄養水槽は、店舗内部への設置が想定されることから、頻繁にメンテナンスを行うことができない。従って、電極表面のスケール析出を抑制して、メンテナンス頻度を低くする必要がある。

今回開発する電解槽は、有機物の除去を目的として用いる泡沫分離装置の内部に電極を設置したもので、泡沫槽内部の激しい水流により、陰極表面のスケール析出を抑制すること、電極表面で生成したオキシダントを効率的に拡散して、飼育水中に存在するアンモニアと効率的に反応させる効果が期待される。結果として海水浄化ユニット全体の小容量化にも寄与できるものと思われる。

2. 3 展示蓄養水槽システム試作機の製作

令和2年度に試作した装置（図4：水槽容量500L透明アクリル水槽、泡沫電解槽、物理ろ過槽兼バフータンク、活性炭槽、温調装置、流量計）を用いた試験を行った結果、泡沫電解槽から流出するスケールの除去が必要なこと、外気が高温多湿の場合に飼育水槽表面に結露が発生すること等の問題点が確認された。そこで、物理ろ過槽に交換が容易なフィルターマットを増設し、流出するスケールを簡便に系外へ除去できるように改造した。また、飼育水槽前面を二重化して（図5）結露を防止し、高温多湿の条件下でも飼育水槽内部に飼育されている海水魚の遊泳状態が目視できるようにした。

2. 4 海水魚飼育試験

試作した展示蓄養水槽システムを使用して、カワハギの飼育試験を実施した（図6）。カワハギ13尾（計8.5kg、飼育密度1.7%）を飼育水槽に入れ、水温20℃、無給餌にて2週間飼育した。飼育開始4日目には飼育水中のアンモニア濃度が7ppmに達したため電解電流値0.5Aで電解を開始した。飼育水中のアンモニア濃度は電解開始後徐々に低下し、電解開始から2日後には検出限界以下となった。その間、飼育水pHは7.6から7.5と低下した。飼育開始6日目から14日目までかけて徐々に電流値を1.5Aまで上げたところ、アンモニア濃度は検出限界以下が維持され、飼育水pHは7.5から7.3まで低下した。

2週間の無給餌飼育の後、給餌飼育を2週間行って、電流値を適切にコントロールすることでアンモニア濃度の増加を抑制できることを確認した。この飼育期間中、通常の海水魚飼育で実施する飼育水槽への曝気は

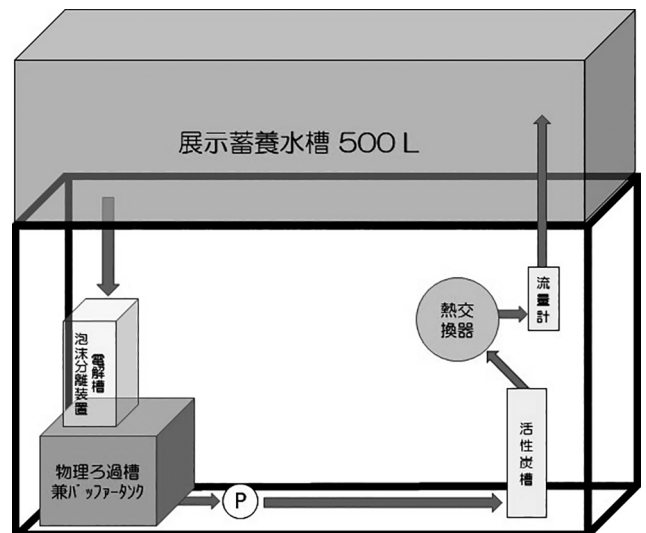


図4 展示蓄養水槽システム流路図



10 mmの空隙

図5 飼育水槽前面の二重化



図6 カワハギの飼育試験状況

行なわなかったが、飼育水の溶存酸素濃度は7.1 から7.3 と適正な値で維持されていた。

海水魚の1 か月間の飼育期間を通じて、飼育水の着色等は認められず、蓄養水槽中で残留オキシダントは検出されなかった。泡沫電解槽からのスケールは沈殿槽にて回収することができており、活性炭槽の閉塞による流量低下等は認められなかった。陰極へのスケールの析出等の汚損は認められなかった。

3. 考察

海水魚を水換え無しで陸上飼育する場合、従来の生物ろ過では飼育水槽容量の40% から50% に相当する浄化槽が必要であったが、当センターで開発した海水電解を利用したシステムでは飼育水槽容量の約10% で同等の浄化能力を得ることが可能であり、著しい小容量化を達成していた。本研究にて新たに開発した泡沫電解槽は、泡沫分離槽と電解槽への配管やバルブが不要となることによる小容量化に貢献する他、オキシダントとアンモニアの反応効率の向上にも寄与し、余剰のオキシダントを分解する活性炭槽を小容量化することができた。本システムで使用する活性炭は高価であるため、活性炭槽の小容量化はシステム全体のコストダウンにも貢献できる。海水浄化システムの容量は、当初蓄養水槽容量の10% と見込んでいたが、今回の海水浄化システムでは、泡沫電解槽を利用することで蓄養水槽容量の5% と更なる小容量化を達成することができた。また、配管接続を不要にしたことによって、海水浄化ユニットの設置スペースの自由度が増す等、大きな効果もたらされた。

この泡沫電解槽は、泡沫分離装置の本来の機能である溶存酸素濃度の維持と懸濁物質の除去^[2] についても問題なく実現できており、電解機能を付与したことによる問題点は見出されなかった。

海水魚を入れた試験は1 か月間と短い期間ではあったが、電極表面へのスケール析出が無かったこと、泡沫電解槽後の物理濾過槽で簡便にスケール回収ができたことから、長期に渡って簡便なメンテナンスで対応可能となることが確認された。また、生物ろ過システムでは、浄化システム配管内に大量のバイオフィームが生成することによる流量低下が生じることが知られており、大掛かりな清掃作業を定期的実施する必要があるが、本研究で開発したシステムでは、浄化システム内（展示蓄養水槽から排出されて展示蓄養水槽に戻るまで）へのバイオフィームの形成が認められてお

らず、結果として流量低下も生じないため、バイオフィームを除去するための定期的な清掃作業も必要ないことが確認された。

4. 結言

本研究は当初、活魚の販売現場（スーパーや活魚店等）での現場試験まで実施し（図7）、試作機に更なる改良を加える予定であったが、新型コロナウイルスのまん延により現場試験を行うことができなかった。そのため、現場での使い勝手等を考えた細かな修正が必要となる可能性も否定できない。

本研究では、実際に現場適用できる展示蓄養水槽を開発することを目的としており、単なる技術開発ではなく、水槽の見た目や魚の取り出しやすさ、清掃の容易さ等も重要な検討課題となる。また、本展示蓄養水槽を利用した活魚輸送・販売についてもそのビジネスモデルを確立させる必要があり、装置の製作担当企業だけでなく、活魚の輸送販売業者等との連携体制構築も重要となる。これらを実現するためには、両者が立ち会っての現場での試験が不可欠であり、今後の課題として残っている。

また、試作機の現場での検証と同様、装置の製造コストの検証も実施しておく必要がある。特に、温調装置については、設置場所（例えば屋外か店内か）の温



図7 現場試験を想定していた店舗内部

度管理状況によっても求められる能力が異なるため、精査が必要である。また、本システムで最も高価な装置である泡沫分離装置の選定も製造コストに大きく影響するため、その必要能力の見極めも重要となる。現在完成している装置構成では、当初目標とした製造原価の40%高となっているが、実際の使用環境によってコストダウンを図ることができる可能性は残っている。

現在、協力企業との連携により現場試験に取り組んでおり、早期の事業化を目指したい。

参考文献

- [1] 大脇博樹、桑原浩一、山本純弘、横山文彦、秋月俊彦、狩野伸自、長崎県工業技術センター研究報告、No. 44, pp.1-4, 2015.
- [2] Yoshihisa Yamamoto, Bull. Soc. Sea Water Sci., Jpn., 69, pp.225-237, 2015.
- [3] 鈴木祥広、鈴木孝彦、鷺巣勇士、米加田徹、河野智哉、越塩俊介、横山佐一郎、酒井正博、伊丹利明、水産増殖、No. 56(4), pp.479-485, 2008.