

海水を用いた閉鎖循環式養殖システムの脱窒促進の試み

キーワード：閉鎖循環式養殖、生分解性樹脂、脱窒

はじめに

近年、閉鎖循環式養殖が注目されています。閉鎖循環式養殖とは、魚の排出物や残った餌などで汚れた水をろ過して再利用する養殖の方式です。水を再利用するため、水資源を節約することができ、さらに汚れた水もほとんど出ないため、環境に優しいシステムといえます。また、外から病原菌が入りにくいという利点もあります。加えて、場所と電力供給源さえあればどこでも設置が可能で、天候に左右されず安定的に養殖生産が可能です。

閉鎖循環式養殖では、飼育水を浄化する過程で魚の排泄物などから発生する強毒性のアンモニアを、微生物の酸化作用によって中程度の毒性の亜硝酸態窒素や、弱毒性の硝酸態窒素と変化させます。これを「硝化（しょうか）」といいます。硝化された硝酸態窒素は、毒性は強くありませんが、放っておくと溜まり続け、高濃度になると成長阻害、免疫力低下、疾病発生など、魚の健康に悪影響を及ぼす可能性があります。

ここで、脱窒を行うこととなります。脱窒とは、脱窒菌により水中の硝酸態窒素を気体窒素に変え、空气中に排出することです。脱窒菌を増やすために、生分解性樹脂を用います。生分解性樹脂とは、自然界の微生物によって、最終的に水と二酸化炭素に分解される樹脂です。

本研究では、脱窒菌の活動が低下する低水温、かつ、塩分30‰以上の海水で、サケ科魚類のスモ

ルトの閉鎖循環飼育を行い、これまで前例のない生分解性樹脂を用いた脱窒試験を試みました。本研究は、三菱ケミカル株式会社と京都大学との共同研究を基に、三菱ケミカル株式会社が開発した脱窒菌を増殖させる生分解性樹脂（PBSA：ポリブチレンサクシネートアジペート）を含む脱窒剤を用いました。PBSAを含む脱窒剤には、試験用として海水環境下でより効率的な脱窒反応が期待できる鉄入りのもの（FePBSA）と、鉄が入っていないもの（PBSA）があります。海水中でのサケ科魚類の飼育は成長が良く、病気になりやすいため、海水での脱窒を成功させることは、今後の閉鎖循環式養殖システムの研究の大きな前進となります。

試験方法

脱窒試験の経路は図1に示した模式図のようになっています。飼育槽からの汚れた飼育水を、フィルターを敷き詰めた物理ろ過槽と硝化ろ材槽を通し、硝化ろ材を入れたタンク（96 L）に落とします。なお、ここでは硝化ろ材としてホタテ殻を用いました。タンクからポンプを使って一部を脱窒槽（17 L）、残りを飼育槽（200 L）に送ります。その際、どちらの経路でも殺菌のため、UV殺菌灯の中を通します。飼育槽の中で、餌の残りや魚の排泄物などは、飼育槽の下汚泥槽に溜まるようになっています。飼育水は、ヒーターで脱窒菌が活性化し、かつ、高くない水温である16℃に設定しました。

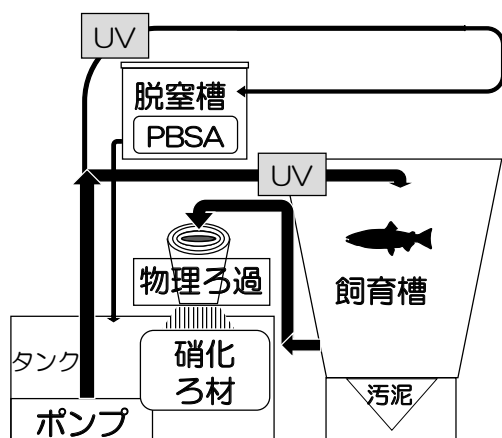


図1 脱窒試験の経路の模式図
(矢印は流れ、太さは流量を示す)

試験は全部で6区、すなわち、PBSA区、FePBSA区、脱窒槽に何も入れない区（対照区）を2つずつとしました。ここで、脱窒槽のPBSAおよびFePBSAに付く脱窒菌の絶対量を増やすために、飼育槽下に溜まった汚泥をPBSA区とFePBSA区のそれぞれ1区ずつの脱窒槽に1Lずつ入れました。

脱窒菌は15℃以上を好みますが、本試験は恵庭市にあるさけます・内水面水産試験場のふ化飼育室で行い、調温していても水量の少ない脱窒槽は室温の影響を受けやすく、脱窒菌にとって厳しい低温の時期に脱窒を試みるため、厳冬期の2025年1月23日に、できるだけ同じサイズのギンザケ（平均体重188.9g）を14尾ずつ入れるところから始めました。

魚を飼い始めると、硝化が進み、硝化が進むと次のような化学式により H^+ が増え、pHが下がります。 $NH_4^+ + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$

pHが7未満に下がると脱窒菌の活性が落ちるため、pHが7未満になったときに重曹を添加することでpHを上げPBSAに付いている脱窒菌を増やすことを試みました（図2）。しかし、一度にあまりたくさん重曹を入れると急激なpHの変化により魚の生育に影響を及ぼすことがあります。よって、小分けにして少しずつ入れることが重要

となります。今回は、一日10gを上限とし、タンクに添加しました。

次に、脱窒菌の好む嫌気的環境にするため、脱窒槽に入る流量が1～3L/分程度であったのを、240ml/分と少なく設定しました。さらに、1月27日～2月4日にPBSA汚泥添加区以外の区、2月21日～2月27日にPBSA区、PBSA汚泥添加区、FePBSA区の脱窒槽への通水を数日間停止しました。その結果、脱窒槽内の溶存酸素（DO）は、通水を止めたPBSA区およびFePBSA区では急激に下がっていましたが、対照区ではほとんど下がっていませんでした（図3）。全期間を通して、PBSA区、FePBSA区では、DOが7mg/L以上になることはほとんどありませんでした。中でも、比較的初期の頃から脱窒が順調に行われていたと考えられるFePBSA汚泥添加区では、常に4.5mg/L以下を保っていました（図3）。

タンクからの水が供給されないと、DOは下がりますが、水温も下がりすぎてしまうので注意が必要です。1時間おきに測定するようにセットした脱窒層内の水温ロガーの結果では、通水中は15℃近くあったのが、通水停止中の夜間には水温が10℃近くにまで下がっていました。

DOが下がると、酸化還元電位（ORP）にも影響があります。ORPとは、水中の電子を与える能力（還元力）や電子を受け取る能力（酸化力）を示す電位（電圧）で、単位はmV（ミリボルト）です。ORPが高いということは、酸化的環境で、酸素が多く微生物の分解が活発ということになります。ORPが低いということは、還元的環境で、酸素が少なく、脱窒が進みやすいということです。すなわち、通水を止め、DOを下げるとORPが下がります。脱窒が進む範囲よりもさらにORPが下がると、魚類にとって有毒な硫化水素が発生します。温度やpH等により硫化水素が発生する

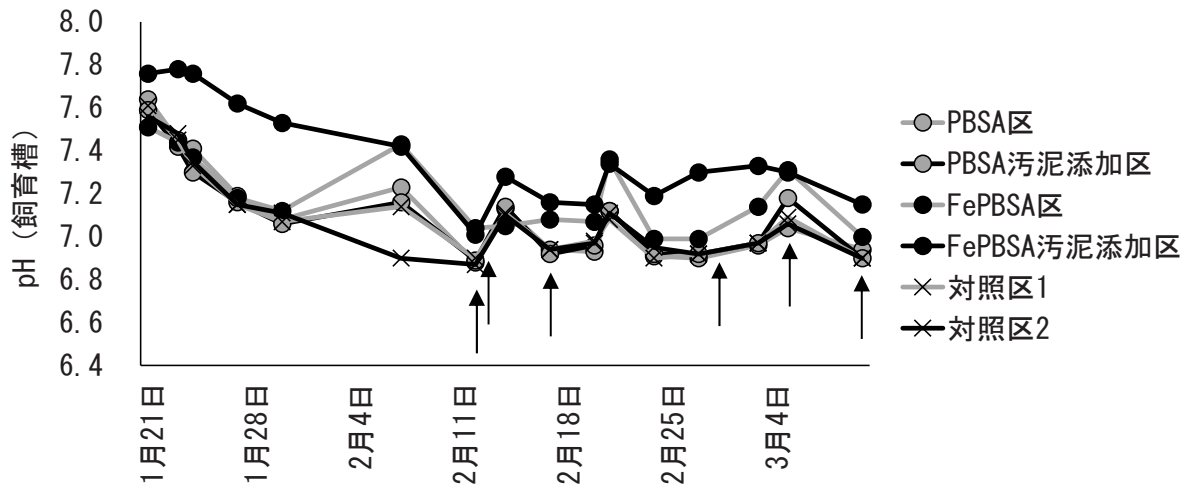


図2 飼育槽のpHの推移 (矢印は重曹を添加した日)

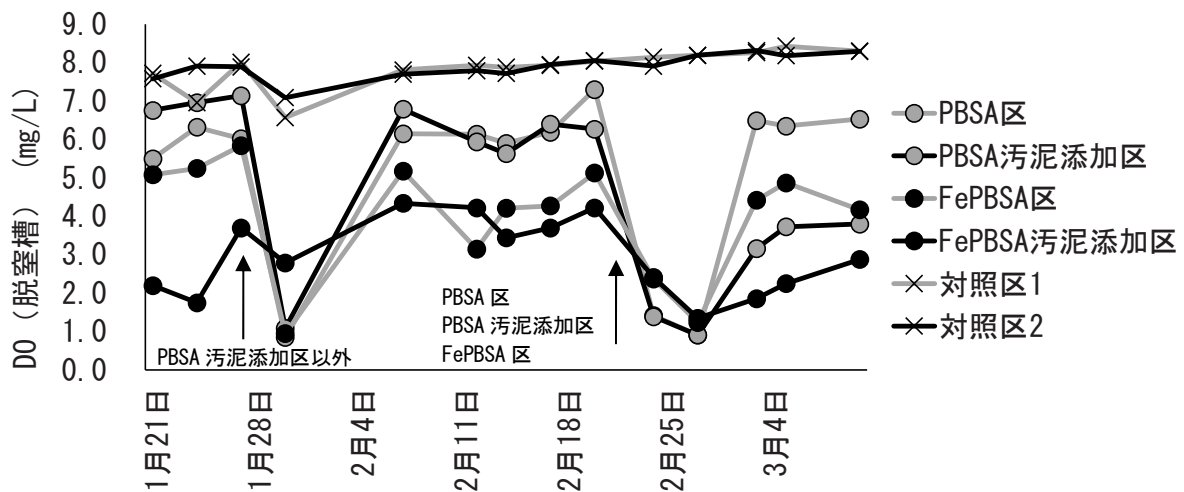


図3 脱窒槽のDOの推移 (矢印は通水を停止した日と区)

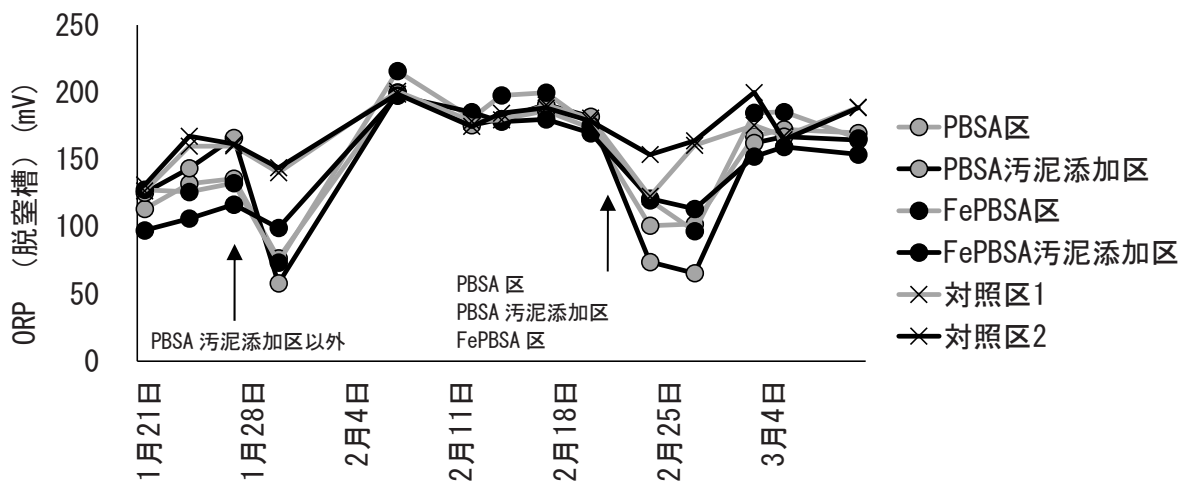


図4 脱窒槽のORPの推移 (矢印は通水を停止した日と区)

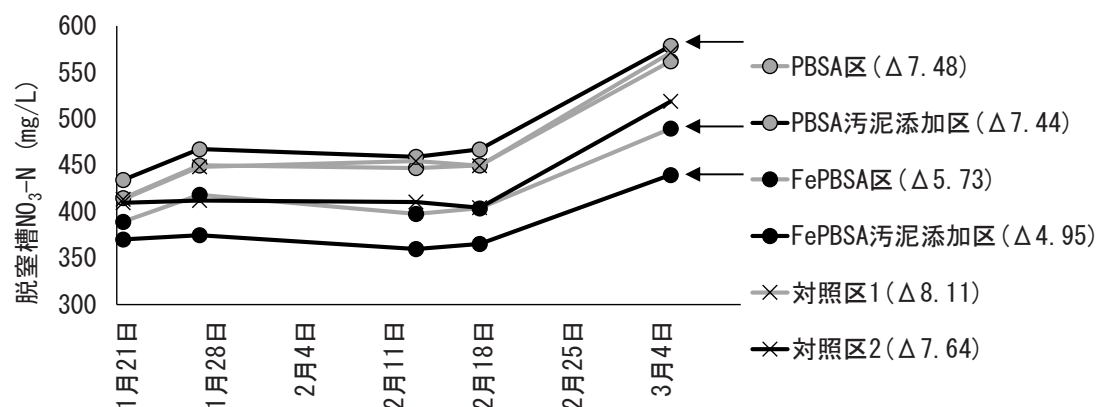


図6 脱窒槽のNO₃-Nの推移(矢印は脱窒が開始したと判断できる区、(Δ)は、2/18~3/5の傾きを示す)

ORPの濃度は異なりますが、以前に硫化水素が発生したときの状況から、当試験では、マイナス50 mV以下を目安にしてORPの測定を続けました。1月30日にPBSA汚泥添加区で58 mVとなったのが最低値で、マイナス50 mVになることはありませんでした(図4)。

結果

PBSA汚泥添加区、FePBSA区、FePBSA汚泥添加区で、脱窒槽内に窒素の気泡が確認されました(図5)。また、脱窒槽内の硝酸態窒素の推移をみると(図6)、FePBSA区および汚泥を添加した2区では、2月18日以降の増加が対照区に比べて明瞭に緩やかになり、脱窒の効果が現れ始めたことを示しています。よって、これら3つの区では脱窒の機能が適切に働いていることが確認されました。汚泥を添加しなかったPBSA区は、この条件下での脱窒はうまくいきませんでした。なお、魚は試験期間内に対照区1、PBSA区およびFePBSA区では1尾、対照区2とFePBSA汚泥添加区で3尾の斃死がありました。

おわりに

北海道の冬季のような厳しい寒さの中で、海水の閉鎖循環系における脱窒に成功したことは、他

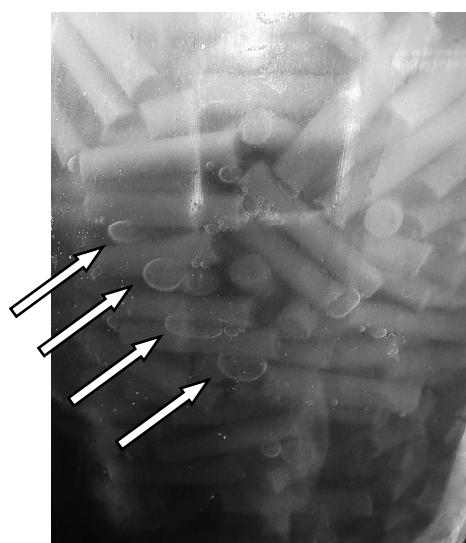


図5 脱窒槽の中にできた窒素の気泡(矢印は気泡の位置)

地域においても同様の脱窒プロセスが有効に機能することを示唆しています。

ここで使用した生分解プラスチックの脱窒材は、三菱ケミカルグループより、生分解性樹脂コンパウンド『FORZEAS™(フォゼアス)』として販売されることが決まり、寒冷地での閉鎖循環式養殖への活用が期待されます

(https://www.m-chemical.co.jp/products/departments/mcc/sustainable/product/1209172_7166.html (2025年7月24日閲覧))。

(室岡瑞恵 さけます内水試内水面資源部
報文番号B2497)