

アナモックス菌の塊と窒素ガス



あたらしい 農業技術

No.678

アナモックス菌と曝気制御による
養豚廃水の低コスト窒素除去法

令和3年度

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) 連続式活性汚泥法により処理を行う養豚廃水処理施設において、窒素を除去するアナモックス菌が増殖する運転条件を明らかにしました。
- (2) アナモックス菌のバイオフィームが存在する施設において、高い窒素除去率が得られる運転条件が0.3 mg/L以下の低い溶存酸素濃度(DO)と中性域(6.7-8.0)のpHであることを明らかにしました。
- (3) アナモックス菌のバイオフィームが低温期でも高い活性を示すことを明らかにしました。
- (4) 県内の複数の養豚排水処理施設において、アナモックス菌のバイオフィームの存在を確認しました。

2 技術、情報の適用効果

- (1) 活性汚泥処理を行っている既存の廃水処理施設にアナモックス菌を増殖させ、アナモックス反応を利用した廃水の窒素除去システムの導入が可能となります。
- (2) アナモックスプロセスの導入により、養豚廃水からの窒素除去能力の向上が期待されます。
- (3) 曝気ブローにインバーター制御を導入することで、アナモックス反応に最適なDOを維持するとともに、消費電力量を削減し、低コストで効率的な窒素高度処理を可能とします。
- (4) すでにアナモックス菌が自生している廃水処理施設では、窒素除去率を良好に維持するための曝気槽の管理に活用できます。

3 適用範囲

連続式活性汚泥法によって処理を行う養豚廃水処理施設

特に前処理に固液分離処理を行うなどで廃水のBOD/N比(有機物と窒素の比)が3未満と低く、硝化脱窒法による廃水の窒素除去が困難な施設

4 普及上の留意点

- (1) アナモックス菌以外にも赤色バイオフィームを形成する細菌が存在するため、アナモックス菌の増殖確認には、遺伝子学的解析、またはアナモックス活性の測定による菌の増殖確認が必要です。
- (2) アナモックス菌の増殖速度は遅いため、窒素除去に十分な菌量が確保されたと判断できる赤色のバイオフィームの発生が確認されるには、数か月を必要とします。

目次

はじめに.....	1
1 廃水処理と窒素除去.....	1
(1) 廃水の窒素除去プロセス.....	1
(2) あたらしい窒素除去プロセス「アナモックス法」.....	2
2 アナモックス菌が増殖する養豚廃水処理施設の概要.....	2
(1) 施設の運転条件調査.....	2
(2) 曝気槽内の環境.....	3
(3) 曝気槽内の環境と窒素除去能の関係.....	4
(4) アナモックス菌の活性と水温の関係.....	5
(5) アナモックスプロセス導入に向けた運転指針.....	6
3 県内養豚廃水処理施設におけるアナモックス菌の生育状況調査.....	8
おわりに.....	9
参考文献.....	9

はじめに

豚房面積 50 m² 以上の養豚場には水質汚濁防止法による無機態窒素（以下「窒素」）の排水基準が適用されま
す。窒素の一般基準は 100 mg/L ですが、窒素濃度が高い畜産廃水には暫定基準が設定されています。現時点（令
和 4 年 1 月）での暫定基準は 500 mg/L ですが、3 年ごとに見直しが行なわれており、いずれは一般基準まで引き
下げられる可能性が高いことから、畜産廃水の窒素除去対策は重要な課題となっています。そこで、従来の窒素
除去法より低コストで運転できる窒素除去法として注目されるアナモックス菌を利用した窒素除去を養豚廃水処
理に適用する方法について検討しました。

1 廃水処理と窒素除去

(1) 廃水の窒素除去プロセス

多くの養豚場では、尿や洗浄水などは活性汚泥法により浄化処理を行っています。活性汚泥法による処理プロ
セスを図 1 に示します。曝気を行うと、生育に酸素を必要とする好気性従属栄養細菌の働きで廃水中の有機物が
分解され、有機物の濃度の指標となる生物化学的酸素要求量 (BOD) が下がります。有機物のうち、尿素などの窒
素 (N) を含む化合物が分解されるとアンモニアを経てアンモニア態窒素 (NH₄-N) が生成されます。NH₄-N は好気
性菌であるアンモニア酸化細菌および亜硝酸酸化細菌の働きにより、亜硝酸態窒素 (NO₂-N) から 硝酸態窒素
(NO₃-N) へと酸化されます。これを「硝化」といいます。好気性従属栄養細菌に属する「脱窒菌」は、水中の酸
素が少なくなると、活動するために NO₂-N や NO₃-N に含まれる酸素 (O) を利用するため、酸素と離れた窒素 (N)
がガスとなって抜けていきます。これを「脱窒」といい、これにより廃水中の窒素濃度が下がります。

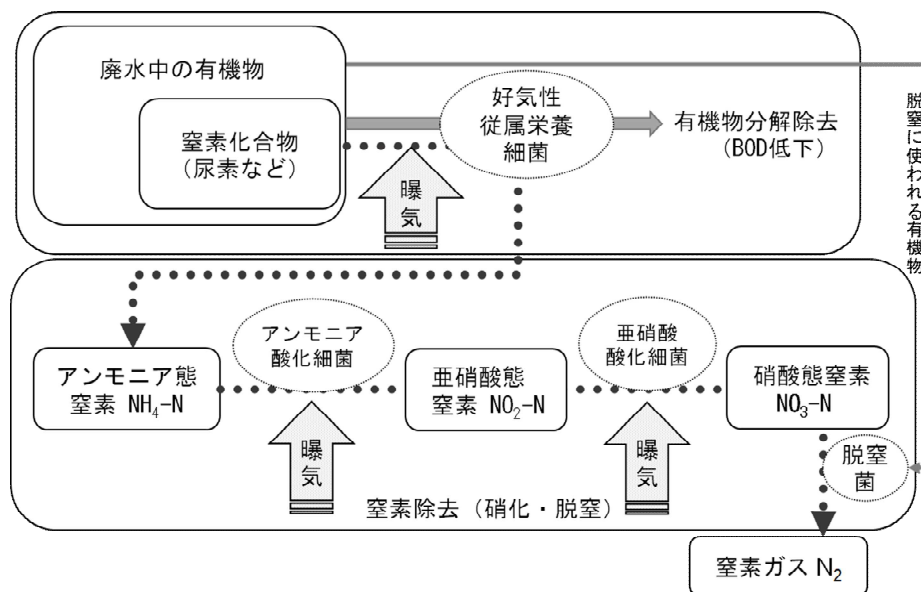


図 1 活性汚泥法による廃水の処理プロセス

この硝化と脱窒を組み合わせた窒素除去法を「硝化脱窒法」といいます。硝化脱窒法をより効率的に進めるに
は、酸素のある環境とない環境を作り出すことが必要で、その方法として硝化と脱窒を別の槽で行う方法や間欠
曝気などがあります。しかし、従属栄養細菌である脱窒菌の活動には有機物を必要とし、90 %以上の窒素除去を
行うには廃水の BOD と窒素の比 (BOD/N 比) が 3 以上必要とされています¹⁾。しかし、固液分離を行っている養豚
廃水の BOD/N 比は 3 未満と低いことが多く、その場合はメタノールなど有機物の添加が必要となるため廃水処理

のコストは上昇します。

(2) あたらしい窒素除去プロセス「アナモックス法」

窒素除去を行う高度廃水処理には低コストで取り組めるシステムが望まれており、「アナモックス反応」を利用した窒素除去プロセスが注目されています。アナモックス反応は1995年にオランダで発見された嫌氣的アンモニア酸化反応 (Anaerobic Ammonium Oxidation) のことで²⁾、酸素のない環境下でアナモックス菌により窒素除去が行なわれます。

硝化脱窒法とアナモックス法の比較を図2に示しました。硝化脱窒法では $\text{NH}_4\text{-N}$ をすべて $\text{NO}_3\text{-N}$ まで硝化する必要があることから大量の酸素を必要とし、曝気にかかる電気代のコストが大きくなります。一方、アナモックス法では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ が約1:1の割合でアナモックス菌に利用されて窒素が除去されるので、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のおよそ半量を $\text{NO}_2\text{-N}$ まで酸化するだけでよく、硝化脱窒法のような大量の曝気は必要ありません。また、アナモックス反応は有機物を必要としないために有機物の資材費がかからず、硝化脱窒法よりランニングコストがかかります。

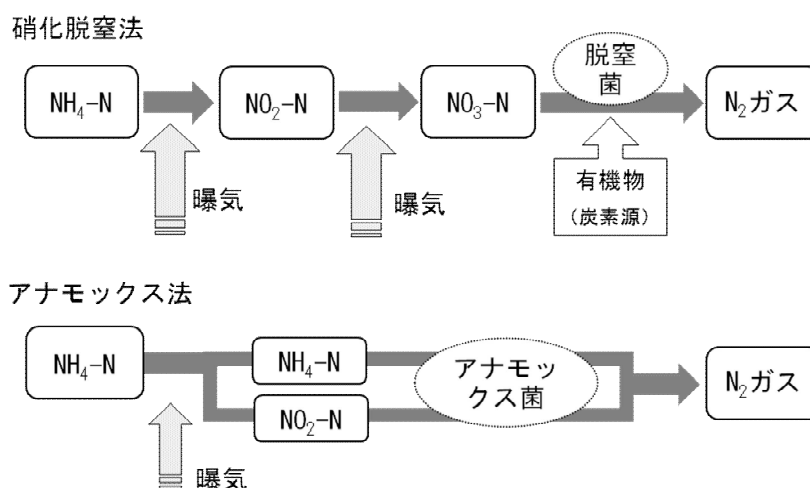


図2 硝化脱窒法とアナモックス法の比較

アナモックス菌は酸素を必要としない「嫌気性菌」です。アナモックス菌が増えると赤い塊 (バイオフィーム) を形成します。この赤いバイオフィームは、アナモックス反応による窒素除去に十分な菌量が確保された証拠となります。しかし、アナモックス菌が増える速度が他の細菌に比べて非常に遅く、十分な量を確保するのに時間がかかることがアナモックス法による窒素除去システムの普及のネックのひとつとなっていました。しかし、養豚廃水処理施設では、自然に増殖したアナモックス菌のバイオフィームが確認された施設が複数報告されています³⁾。養豚廃水以外の廃水処理施設でアナモックス菌が自然に増殖した例は国内では報告がなく、養豚廃水処理施設はアナモックス菌が増えやすい条件を備えている可能性が考えられます。

2 アナモックス菌が増殖する養豚廃水処理施設の概要

(1) 施設の運転条件調査

そこで、アナモックス菌のバイオフィームが確認された施設で、アナモックス菌が増える条件と、良好な窒素除去が行なわれる運転条件を調べました⁴⁾。調査対象としたのは飼養頭数約800頭で、1日あたり約 15 m^3 の廃

水が常時流入し、24時間連続曝気を行っている連続式活性汚泥法の施設です。施設の概要を図3に示します。アナモックス菌のバイオフィルムは曝気槽の水面下の壁面ほぼ全面に貼りついていました。また、赤い塊が沈殿槽の表面に浮くこともあります。この施設で、2年間にわたり水質と曝気槽内の環境を調査し、アナモックス菌が増殖する要因を分析しました⁴⁾。

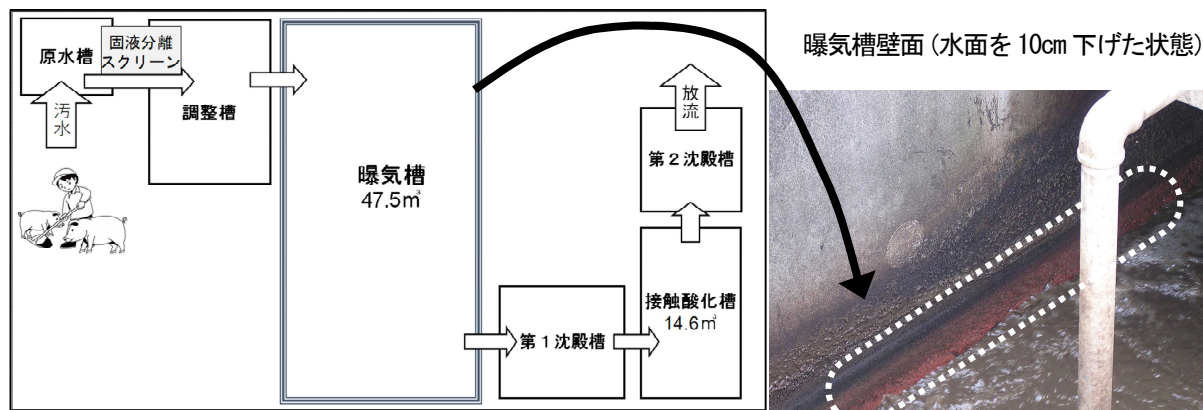


図3 アナモックス菌の増殖が確認された施設の概要図及びアナモックス菌のバイオフィルム（赤色の細菌の塊・点線内）

(2) 曝気槽内の環境

曝気槽内の環境の測定結果と既知のアナモックス菌生育条件との比較を表1に示します。溶存酸素濃度 (DO) は0.1-2 mg/Lの範囲で変動しましたが、0.3 mg/L以下の低い日がほとんどを占め、平均は0.31 mg/Lでした。これは1つの槽内で $\text{NH}_4\text{-N}$ の一部を $\text{NO}_2\text{-N}$ に変換するのとアナモックス反応を行う一槽型プロセスの条件内にありました。pHは6.0-8.1の間で推移しましたが、平均は7.4と中性域で、これもアナモックス菌の生育条件内にあてはまりました。水温は気候の変動に合わせて10-34℃の範囲で上下し、平均は23℃と最適温度より低い値で推移しました。窒素は多くの場合でアナモックス菌が利用する $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ が同時に検出されることが確認されました。汚泥滞留時間 (活性汚泥が槽内にとどまる時間) は25日以上と、アナモックス菌の増殖速度より長い時間が確保されていました。以上のことから、槽内の環境は水温を除いてはアナモックス菌の生育条件に当てはまっていることがわかりました。

表1 曝気槽内環境測定結果 (平均値 ± 偏差) と既知のアナモックス菌生育条件との比較

項目	測定結果	既知のアナモックス菌生育条件
DO	0.31 ± 0.39 mg/L	0.5 mg/L以下 (一槽型の場合)
pH	7.4 ± 0.5	6.7-8.5
水温	22.8 ± 6.7	最適温度 30-37℃
無機態窒素		
$\text{NH}_4\text{-N}$	92 ± 65 mg/L	$\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ があること
$\text{NO}_2\text{-N}$	43 ± 58 mg/L	
$\text{NO}_3\text{-N}$	13 ± 30 mg/L	
汚泥滞留時間	25日以上	菌が増殖する速度 9-11日より長い
BOD除去率	95%	有機物が少ない

この運転条件における廃水の平均BOD除去率は95%で、有機物の処理は良好に行われていました。流入水のBOD/N比は1.8と低く、硝化脱窒には不利な条件でしたが、無機態窒素の除去率は68%で、処理水の換算窒素濃度（用語解説7を参照）の平均値は82 mg/Lと排水基準値をクリアしていました。以上のことから、曝気槽で増殖したアナモックス菌が窒素除去に寄与しているものと考えられました。

(3) 曝気槽内の環境と窒素除去能の関係

排水処理のテキストなどでは、活性汚泥法では「DOは2 mg/L以上に保つ」とされています⁵⁾。しかし、この施設のDOは低く、このことが嫌気性菌であるアナモックス菌の生育および窒素除去に関する重要なポイントとなっていると考えられました。そこで、DOに着目して、窒素の処理状況との関係を調べました。

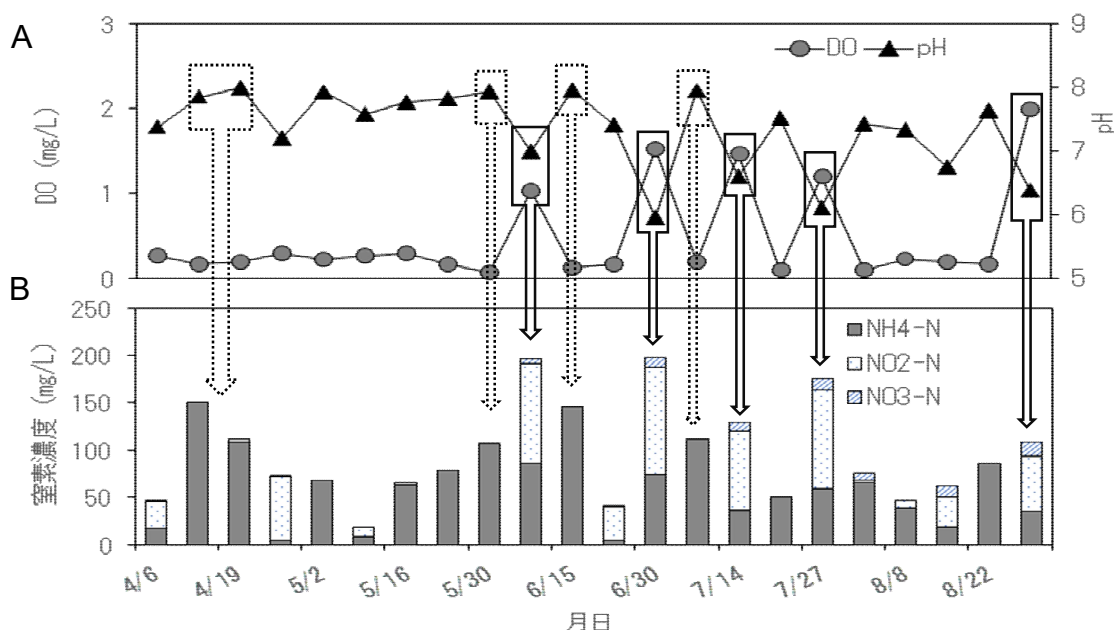


図4 曝気槽内環境の推移 (A) DOとpHの推移 (B) 窒素濃度の推移

□ はDOが上昇してpHが低下したとき、○ はpHが上昇したときで、それぞれ窒素濃度が100 mg/Lを超えたときを示す。

DOの変化が曝気槽の水質に及ぼす影響を図4に示しました。AはDOとpH、Bは窒素濃度の推移を示します。実線の矢印はDOが1 mg/L以上に上昇したときを示し、このときはpHが7.0以下（5回中4回は6.7以下）まで急激に下がり、NO₂-NやNO₃-Nが蓄積して窒素濃度が100 mg/Lを超えています。これは有機物や窒素の濃度の薄い廃水の流入などで曝気槽の負荷が急に下がったときに見られた現象で、DOが過剰となったために硝化が進み、NH₄-NがNO₂-Nに酸化されたことでpHが下降したものです。点線の矢印はDOが0.3 mg/L以下でpHが8以上のときを示し、このときはNO₂-NやNO₃-Nが検出されず、NH₄-Nが100 mg/L以上に上昇しています。これは濃度の濃い廃水の流入などで曝気槽の負荷が急に上がったときに見られる現象で、NH₄-Nの硝化が進んでない、つまり酸素が不足した状態にあることを示しています。

図5は、処理水の換算窒素濃度が一般基準をクリアしたときと超過したときの曝気槽のDOの平均値を示します。クリアしたときの平均DOは0.26 mg/Lで、表1に示した槽の平均値0.31 mg/L以内でした。一方、クリアできなかったときの平均DOは0.43 mg/Lと表1の平均値より高く、クリアしたときよりも有意に高い値でした。

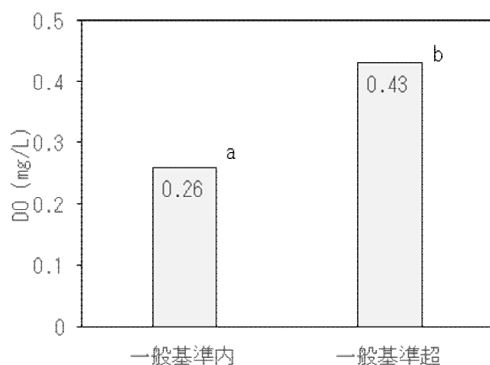


図5 処理水の排水基準達成状況とDOの関係

以上のことから、DOについては、目安として0.3 mg/L以下に保つことが良いと判断しました。DOは廃水処理に働く細菌の使い残した「余分な酸素」と考えると、DOを低く維持するのは曝気電力の削減にもつながる理にかなった方法といえます。

また、DOが0.3 mg/L以下の条件において一般基準を達成したときのpHの分布は6.7-8.0の範囲にあり、おおむね中性の範囲にあるときに良好な窒素除去が行われることがわかりました。

(4) アナモックス菌の活性と水温の関係

この施設では水温がアナモックス菌の最適温度より低いにもかかわらずアナモックス菌が増えていることから、アナモックス菌が低温でも活動している可能性が考えられました。そこで、1、4、7、10月と四半期ごとにバイオフィームから剥離して曝気槽内に浮遊するグラニュール（粒状の菌の塊・表紙写真）を採取し、水温とアナモックス菌の関係について調べました⁶⁾。図6は、それぞれのグラニュール採取日の間（1月は採取日前3か月間）の平均窒素除去速度と水温を示したものです。水温は低温期（11-4月）と高温期（5-10月）では有意に高温期が高かったものの、全窒素除去速度は水温の変化にかかわらずほぼ一定で差を認めませんでした。これは、水温が下がっても窒素除去の能力は低下しなかったことを示しています。

図7はそれぞれのグラニュールのアナモックス菌DNA量を示します。DNA量は水温の低い1月から4月にかけて上昇し、4月に最大となりました。これは低温期にアナモックス菌が増えていることを示しています。

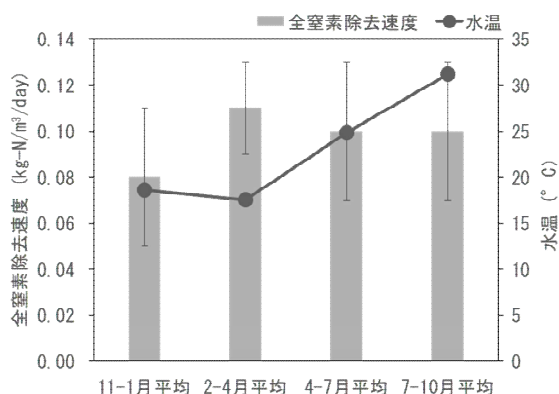


図6 全窒素除去速度と水温の四半期別推移

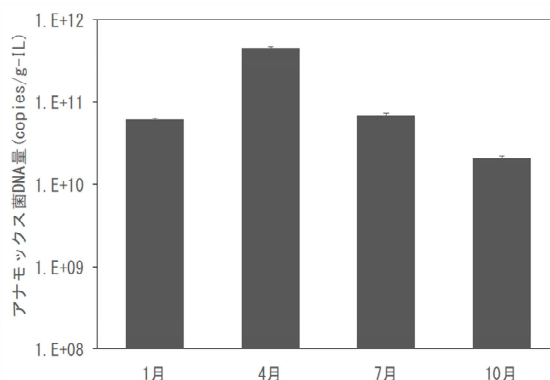


図7 グラニュールのアナモックス菌DNA量の推移
※参考文献6の図を一部改変。

図8Aはそれぞれのグラニュールのアナモックス菌の活性を10-35℃の範囲で5℃刻みに測定した結果を示します。4月のグラニュールがどの温度帯でも最も高い活性を示しました。最大活性を示した温度は、低温期（1月と4月）では30℃、高温期（7月と10月）では35℃と異なっていました。最大活性がほぼ等しい1月と7月と比較すると、1月のグラニュールは15-25℃と温度を下げても7月のグラニュールより高い活性を保っていました。図8Bはそれぞれのグラニュールにおいて、最大のアナモックス活性を示した温度における活性を100

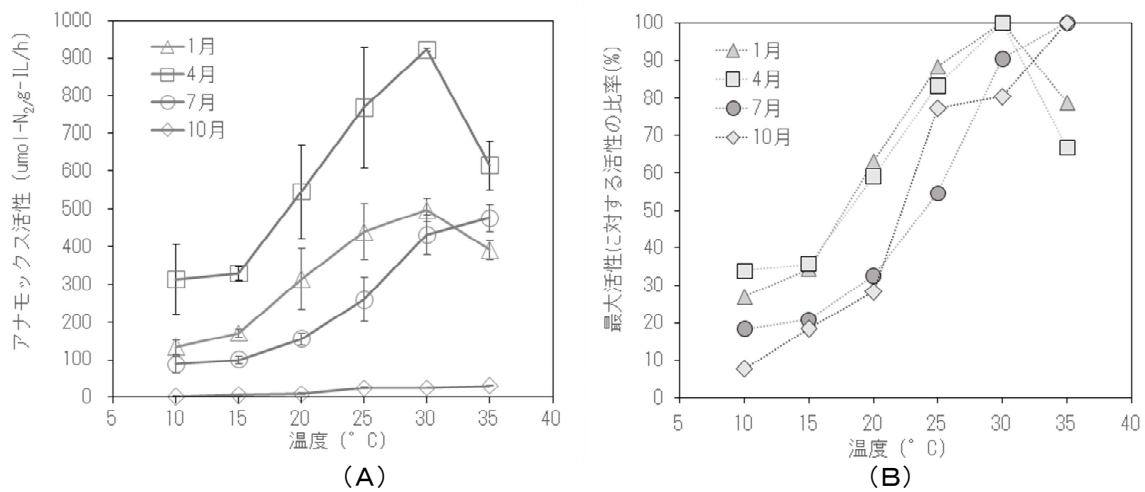


図8 四半期別に採取したグラニュールの温度別アナモックス活性の比較 (A) 温度とアナモックス活性の関係 (B) 最大活性を示した温度における活性を100としたときの活性の比率の推移

※参考文献6の図を一部改変。

としたときの各温度での活性の比率を示します。低温期のグラニュールは温度を下げても活性の低下がゆるやかで、高温期のグラニュールより高い活性を維持していました。これらの結果から、アナモックス菌は低温に順応し、低温下でも活動できることが確認され、アナモックス菌の既知の最適温度まで加温を行わなくても、アナモックス法による窒素除去が適用できる可能性が示されました。

(5) アナモックスプロセス導入に向けた運転指針

以上の結果を踏まえ、養豚廃水処理施設の曝気槽でアナモックス菌を増やし、アナモックス反応を利用した窒素除去プロセスを導入するための指針案を作成しました (表2)。DOは0.3 mg/L以下と低濃度に維持しますが、pHが8.0以上と高い場合には、硝化のための酸素が不足している可能性があることから曝気量を増やします。pHは6.7-8.0の範囲になるよう、曝気量や廃水の投入量で調整します。廃水の投入量は、廃水の濃度が低い (負荷量が少ない) ときは増やし、逆に濃度が高い (負荷量が多い) ときは減らすのが原則です。DOとpHは合わせて

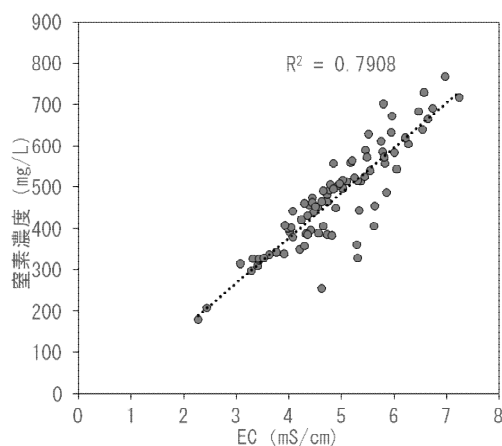


図9 廃水の窒素濃度とECの関係

測定することが望ましいですが、DOの測定機器が高額なため、用意できない場合はpHを曝気量の目安とすることができます。pHメーターなら数千円で購入でき、測定も容易に行えます。また、廃水の窒素濃度は電気伝導度 (EC) と高い相関があり (図9)、ECを計ることで負荷量の増減の目安とすることができます。窒素濃度が高い (負荷量が増える) ときはECが上がり、低い (負荷量が減る) ときは下がるので、これも曝気量調節の目安とすることができます。pHとECを同時に測定できるメーターもあり、日常の管理には便利なツールです。ぜひ、曝気槽の日常の管理の中にこれらの測定を取り入れてみてください。

表2 アナモックスプロセス導入のための運転指針

項目	測定値	判断
DO	≤0.3	曝気量は適正 ただしpH>8.0以上は曝気不足のおそれ
	>0.3	曝気量が多い pHの下降は硝化の進みすぎを示唆
pH	>8.0	曝気不足、または廃水の負荷量が多い NH ₄ -Nの酸化（硝化）が進んでいない
	6.7-8.0	適正
	<6.7	曝気過多、または廃水の負荷量が少ない NO ₂ -N、NO ₃ -Nの蓄積の可能性

曝気量の調節には、曝気ブローアのモーターをインバーター制御するのが効率的で、消費電力量の削減が期待できます。当センターでは、曝気槽にDO測定センサーを設置し、槽内のDOの上昇時にはインバーターと連動して曝気ブローアの回転数を抑制するシステム（図10）を試験的に導入しました。濃度が低い廃水が流入したときのDOの上昇が抑制され、処理水の換算窒素濃度は55 ± 30 mg/L（2021年1-12月）と、一般基準を維持する安定した窒素除去が行なわれています。さらにブローアの出力が15-30%削減され、処理水1m³あたり約24円（消費電力量の14%）のコスト削減を達成しています。

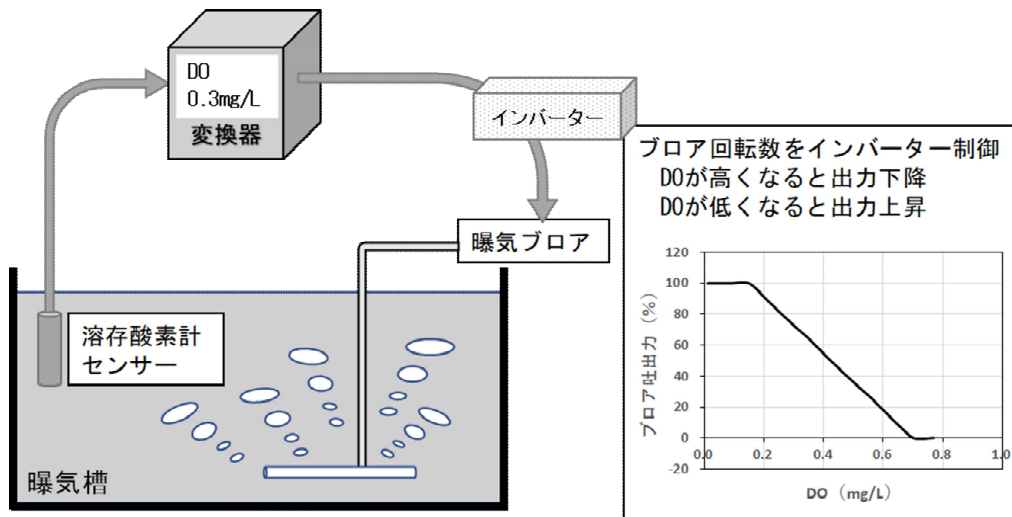


図10 曝気槽のDOを指標とした曝気制御システムの概略図

3 県内養豚廃水処理施設におけるアナモックス菌の生育状況調査

アナモックス菌を利用した窒素除去プロセスの県内養豚廃水処理施設への導入の可能性を確認するため、養豚廃水処理施設の槽内環境およびアナモックス菌の存在の可能性について調査を行いました。6つの連続式活性汚泥処理施設における調査結果を表3に示します。

表3 県内養豚廃水処理施設における調査結果（連続式活性汚泥処理）

施設名	廃水濃度等			処理状況			アナモックス菌		曝気槽内環境 (生育範囲内は○)	
	BOD (mg/L)	窒素 (mg/L)	BOD/N比	BOD 除去率 (%)	窒素 除去率 (%)	換算窒素 濃度 (mg/L)	菌DNA量* (log10 copies /g-vss)	赤色バイ オフィル ム	DO	pH
A	873	320	2.7	92.1	33.5	73	6.24	×	高	○
B	4065	1560	2.6	99.2	87.1	62	6.79	○	○	○
C	4540	1320	3.4	100	86.4	133	7.01	○	高	○
D	1710	520	3.2	99.3	96.6	7	4.89	×	○	○
E	2068	800	2.6	98.4	73.9	58	5.1	×	高	○
F	2658	1400	1.9	99.8	50.7	205	4.18	×	○	高

※ アナモックス菌 DNA 量は曝気槽活性汚泥中の量を示す。

流入水の BOD や窒素濃度は施設により異なり、4施設では BOD/N 比は3未満でした。いずれの施設も BOD 除去率は高く、有機物は良好に処理されていることが確認されましたが、一方で、窒素除去率には 33.5-96.6 % と差を認めました。DNA（遺伝子）量の測定により、すべての施設で活性汚泥中にアナモックス菌がいることが確認されました。なかでも菌量の多かった施設 B と C ではアナモックス菌の赤いバイオフィルムが確認されました。

廃水の BOD・窒素濃度ともに高い一方で流入水の BOD/N 比は 2.6 と低く、窒素除去には厳しい状況にあったものの、換算窒素濃度は一般基準 100 mg/L をクリアしていました。この施設 B の運転条件は前章で示したアナモックス菌の生育条件に一致していたことから、アナモックス菌が良好な窒素除去に寄与している可能性が示されました。一方、施設 C では、DO が 1.1 mg/L と適正範囲より高い値でした。処理された排水の pH は 5.8 と低く、排水中の窒素は 89 % が NO₃-N と硝化が進んでいる状態であり、換算窒素濃度は一般基準を超過していました。これらの排水の状態から判断して、調査時には曝気が過剰な状態にあり、アナモックス菌の活動には不利な条件にあったと考えられました。なお、この施設については廃水の BOD/N 比も高く、調査時には通常と異なる環境であった可能性もあることから、継続的な観察が必要と考えられました。

施設 A では、活性汚泥中のアナモックス菌が多かったものの、DO がアナモックス菌の生育範囲より高めであったことから、曝気量を抑えて DO を下げることでアナモックス菌のバイオフィルムが発生し、調査時には 33.5 % と低迷していた窒素除去率が改善される可能性が考えられました。施設 E も同様な条件にあると考えられます。施設 F の場合は窒素除去率が 50.7 % と低く、処理された排水には NH₄-N が高濃度に残留して pH が 8.6 と高く、換算窒素濃度も一般基準を超過していました。BOD 除去率は 99.8 % と良好でしたが、有機物の処理で酸素が消費されてしまい、NH₄-N の硝化に必要な酸素が不足していたと考えられました。この施設は廃水の窒素濃度が高いことに加え BOD/N 比が 1.9 と低く、硝化脱窒法を行うにはきわめて不利な条件にあることから、アナモックス法の適用が望ましいと考えられました。したがって、この施設で窒素除去率を改善するには、まず曝気量を増やし、pH が適正範囲に入るよう硝化を進める必要があると判断されました。そのようにアナモックス菌の生育条件に寄

せていくことでアナモックス菌が増え、窒素除去の改善につながる可能性が考えられます。

一方、窒素除去率もよく、換算窒素濃度も基準値を大きく下回った施設Dは廃水の濃度が比較的薄く、BOD/N比が3.2と高かったことから、低いDOのもとで硝化脱窒により窒素除去が行われていたと考えられました。連続曝気であっても、曝気槽のDOが低い条件下では硝化と脱窒が同時に起こり窒素が除去されます⁷⁾。このような施設では、アナモックス菌を増やさなくても、pHの測定など日常の管理に注意を払うことで良好な窒素除去が行なわれると考えられます。

以上に示したように、養豚廃水処理施設には広くアナモックス菌が存在することが確認されました。また、廃水のBOD/N比が3以下で、窒素除去率が低い施設があることがわかりました。そのような施設では槽内の環境をアナモックス菌の生育範囲に合わせ、アナモックス菌を増殖させて曝気槽内に共存させることで窒素除去率の改善が図られるものと考えられます。

おわりに

養豚経営を維持・発展させていくには、環境対策への取り組みが不可欠ですが、金銭的な利益を生まない環境対策においては、なるべくコストのかからない方法が望まれています。アナモックス法は従来の硝化脱窒法に比べ、消費電力量を削減できる環境にやさしい窒素除去プロセスです。養豚廃水では、曝気槽の条件を整えることでアナモックス菌が自然に増えて窒素除去が行なわれる可能性が示されました。硝化脱窒法では窒素除去が困難な養豚廃水においては、曝気槽内にアナモックス菌を共生させて、環境にもお財布にも優しい窒素除去プロセスが導入される施設が増えることが期待されます。

この研究の一部は、農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業 28008A および 28008AB」の支援を受けて実施しました。謹んで御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Osada, T., Haga, K., & Harada, Y., 1991, Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. *Water Res.* 25(11), 1377-1388.
- 2) Mulder, A., Graaf, A. A., Robertson, L. A., Kuenen, J. G., 1995, Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiol. Ecol.* 16(3), 177-184.
- 3) Waki, M., Ishimoto, C., Suto, R., Nagamine, T., Matsumoto, T., Uenishi, H., Yasuda, T., Fukumoto, Y., 2021, An Analysis of Operation Conditions and Microbial Characteristics in Swine Wastewater Treatment Plants with Spontaneously Enriched Anammox Bacteria. *Processes.* 9, 1010.
- 4) Ishimoto, C., Sugiyama, T., Matsumoto, T., Uenishi, H., Fukumoto, Y., Waki, M., 2020, Full-scale simultaneous partial nitrification, anammox, and denitrification process for treating swine wastewater. *Water Sci. Technol.* 81, 456-465.
- 5) 中村作次郎, 2003, 養豚場の廃水処理, 有限会社ベネット, 東京, 125
- 6) Ishimoto, C., Waki, M., Soda, S., 2021, Adaptation of anammox granules in swine wastewater treatment to low temperatures at a full-scale simultaneous partial nitrification, anammox, and denitrification plant. *Chemosphere.* 282, 131027
- 7) Waki, M., Yasuda, T., Fukumoto, Y., Béline, F., Magrí, A., 2018, Treatment of swine wastewater in continuous activated sludge systems under different dissolved oxygen conditions: Reactor operation and evaluation using modelling. *Bioresour. Technol.* 250, 574-582

用語解説

1) 廃水と排水

本書では、廃水は豚房施設から処理施設に流入する汚水のこと、排水は処理後の河川等に放流される廃水のことと定義した。

2) 連続式活性汚泥法

廃水を連続的に曝気槽に投入し、曝気を行って活性汚泥の好気性微生物の働きにより廃水を処理する方法のこと。

3) 好気性従属栄養細菌

好気性＝酸素を好む、従属栄養＝炭素の栄養源として有機物を必要とするの意味で、生育に酸素と有機物を必要とする細菌のこと。廃水処理においては、有機物の分解処理過程や脱窒過程において必要不可欠な細菌。堆肥化の過程においても重要な細菌で、良質な堆肥づくりに送風や切り返しによる酸素供給が重要とされるのはこの性質のためである。一方で好気性だが有機物を必要としないアンモニア酸化細菌や亜硝酸酸化細菌は好気性独立栄養細菌という。

4) 間欠曝気

廃水に空気を吹き込み、活性汚泥の細菌に酸素を供給する曝気処理のうち、曝気と曝気停止を定期的に繰り返して行う曝気処理のこと。

5) 窒素

養豚廃水には、尿素やアミノ酸などの炭素を含む有機態窒素と、アンモニアなどの炭素を含まない無機態窒素が含まれる。本書では無機態窒素を「窒素」と定義した。廃水処理の過程では有機態窒素が分解されて無機態窒素が生成される。有機態窒素と無機態窒素の合計が全窒素。

6) 無機態窒素

アンモニア、アンモニウム態窒素（アンモニアが水に溶けイオン化したもの、本書ではアンモニアと合わせてアンモニアとした）、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を指す。

7) 換算窒素濃度

水質汚濁防止法において定義される排水中の無機態窒素濃度のこと。次に示す式により換算して排水基準値としている。一般基準は100 mg/L。

換算窒素濃度 = アンモニア（アンモニウム態窒素）濃度×0.4 + 亜硝酸態窒素濃度 + 硝酸態窒素濃度

8) 窒素除去速度

廃水処理過程における窒素の処理能力の指標とする数値のことで、廃水処理施設の容積1m³あたりの1日あたりに除去される窒素の量を示す。

畜産技術研究所中小家畜研究センター資源循環科 上席研究員 石本史子