

養豚排水中の硝酸性窒素等に関する現地調査

斎藤憲夫¹⁾、高柳晃治、加藤大幾²⁾、岩渕守男³⁾、木下強⁴⁾

1)現 芳賀農業振興事務所、2)現 畜産振興課、3)現 農業大学校、4)現 那須農業振興事務所

要 約

栃木県内の養豚農家 22 戸に対して排水処理施設の管理状況を調査したところ、処理水の硝酸性窒素等が 100mg/L を超えた施設が 7 戸、事例としては 10 件確認された。処理方式毎に比較した際には、回分式活性汚泥法よりも連続式活性汚泥法において硝酸性窒素等が高い結果となった。処理水の硝酸性窒素等が 100mg/L を超えた 10 件のうち、アンモニアが優位となっており良好な活性汚泥処理が行われていないと想定されるものを除いた 7 件の硝酸性窒素等の平均値は 228mg/L であった。

背景及び目的

水質汚濁防止法における排水基準には pH、生物化学的酸素要求量（以下、BOD）、浮遊物質量（以下、SS）などの生活環境項目だけでなく、人の健康に係わる被害のおそれのある物質（有害物質）に関する項目もあり、畜産においては「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物（以下、硝酸性窒素等）」が該当する。硝酸性窒素等に対する規制は、一般排水基準では 100mg/L であるが、畜産排水では暫定排水基準が定められており、2001 年は 1,500mg/L であったものが、2016 年には 600mg/L、2019 年には 500mg/L に引き下げられており、いずれは一般排水基準値まで引き下げられることが想定される。

特に、養豚では尿汚水を浄化処理後に排出するケースがほとんどであり、暫定排水基準の漸減措置に対応していくことが今後の重要な課題となっている。

一方、養豚排水における硝酸性窒素等は処理施設によって大きな変動があると指摘されており¹⁾、その濃度によって講じるべき対策が違ってくと想定される。そこで、栃木県内の養豚農家の排水処理施設（以下、処理施設）における施設の概要及び硝酸性窒素等の動向など、現状を把握するため調査を実施した。

材料及び方法

(1) 調査対象農家

栃木県内の養豚農家 22 戸を無作為に抽出し調査した。

(2) 調査方法

調査農家 1 戸あたり、夏季と冬季の 2 回について、処理水、原汚水及び曝気水を採取した。

処理水は、回分式活性汚泥法の処理施設（以下、回分式処理施設）では曝気槽から、連続式活性汚泥法の処理施設（以下、連続式処理施設）では沈殿槽から排出されたものをそのまま採取した。

原汚水は、構造上採取できない処理施設もあつ

たことから可能なかぎり採取することとし、畜舎から排出された直後のピット等から採取した。

曝気水は、原則曝気槽が稼働中に採取した。なお、複数の曝気槽が連続されている場合は、最大容量の槽から採取した。

(3) 調査年月日

ア 夏季

平成 29 年 7 月 5 日～8 月 20 日、平成 30 年 6 月 28 日～9 月 25 日

イ 冬季

平成 29 年 11 月 24 日～平成 30 年 3 月 7 日、平成 31 年 1 月 8 日～3 月 13 日

(4) 分析項目

ア 処理水

pH、BOD、SS、大腸菌群数、アンモニア態窒素濃度（以下、NH₄-N）、亜硝酸態窒素濃度（以下、NO₂-N）、硝酸態窒素濃度（以下、NO₃-N）、硝酸性窒素等（NH₄-N×0.4+NO₂-N+NO₃-N で算出）、総窒素濃度（以下、T-N）、色度、透視度

イ 原汚水

pH、BOD、SS、大腸菌群数、硝酸性窒素等、T-N、色度

ウ 曝気水

pH、活性汚泥濃度（以下、MLSS）

結果及び考察

(1) 処理方式

22 戸全てが曝気槽を用いた活性汚泥法を採用しており、11 戸が連続式処理施設、11 戸が回分式処理施設であった。処理後の排水は 17 戸が放流していた。

また、脱窒処理や膜処理を導入している農家はなかった。

(2) 処理水の結果概要

調査した 22 戸の農家において、計 43 回の調査を行ったが、処理水の各種分析値については表 1 に示した。

表1 養豚排水処理施設の処理水の水質検査結果

区分	pH	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌群数 (個/cm ³)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	硝酸性窒素等 (mg/L)	T-N (mg/L)	色度	透視度	
全体 n = 43	7.30 ±0.7	62 ±101	67 ±111	547 ±1,086	103 ±384	7.8 ±25.6	39 ±81	88 ±167	136 ±300	334 ±303	16 ±11	
時期	夏季 n = 22	7.40 ±0.51	87 ±131	67 ±123	313 ±502	57 ±88	8.4 ±28.3	35 ±80	65 ±84	95 ±100	299 ±250	17 ±11
	冬季 n = 21	7.19 ±0.75	35 ±39	67 ±95	804 ±1,439	150 ±539	10.7 ±29.7	40 ±66	92 ±184	131 ±343	328 ±303	15 ±12
処理 方式	連続式 n = 21	7.31 ±0.81	46 ±43	30 ^b ±38	455 ±772	173 ±538	12.6 ±35.3	59 ±103	141 ^a ±222	206 ±413	311 ±336	19 ±11
	回分式 n = 22	7.28 ±0.44	76 ±133	102 ^a ±142	631 ±1,301	35 ±60	3.2 ±7.1	21 ±45	38 ^b ±49	70 ±65	356 ±265	13 ±11

※上段: 平均値、下段: 標準偏差 異符号間に p=0.05水準で有意差あり

硝酸性窒素等の平均は、全体で 88mg/L、夏季は 65mg/L、冬季は 92mg/L であった。また、連続式処理施設では 141mg/L、回分式処理施設では 38mg/L であり、有意水準 p 値 0.05 で有意差が認められた。この原因として、曝気停止時間がない連続式処理施設では、有機物の比較的多い曝気槽が嫌気状態にならないため、回分式処理施設よりも脱窒が進まなかったためと考えられた。

硝酸性窒素等が 100mg/L を超えていた施設は、連続式処理施設が 4 戸、回分式処理施設が 3 戸の計 7 戸であった。内訳は、夏季のみ超えていた施設が 2 戸、冬季のみ超えていた施設が 2 戸、夏季冬季ともに超えていた施設が 3 戸であり、事例としては 10 件であった。

pH の平均は、全体で 7.30、夏季は 7.40、冬季は 7.19、連続式処理施設では 7.31、回分式処理施設では 7.28 であった。

BOD の平均は、全体で 62mg/L、夏季は 87mg/L、冬季は 35mg/L、連続式処理施設では 46mg/L、回分式処理施設では 76mg/L であった。

SS の平均は、全体で 67mg/L、夏季は 67mg/L、冬季は 67mg/L であった。連続式処理施設では 30mg/L、回分式処理施設では 102mg/L であり、有意水準 p 値 0.05 で有意差が認められた。回分式処理施設では 300mg/L を超える事例が 4 件あり、連続式処理施設と比べて回分式処理施設では沈殿時間に制限があるため沈降汚泥の越流が起りやすいためと考えられた。

(3) 処理水の硝酸性窒素等の濃度分布

処理水の硝酸性窒素等の濃度について、連続式処理施設と回分式処理施設に分けて階層別の事例数を図 1、図 2 に示した。

連続式処理施設では、100mg/L 以下の事例が全体の 2/3 を占めるが、200mg/L 以上の事例が 3 件と比較的高濃度まで散在していたのに対して、回分式処理施設では、概ね 50mg/L 以下となっており、最大でも 200mg/L 以下であった。

このことから、水質汚濁防止法における硝酸性

窒素等の暫定排水基準が漸減された場合、回分式処理施設よりも連続式処理施設における対応が困難であることが示唆された。

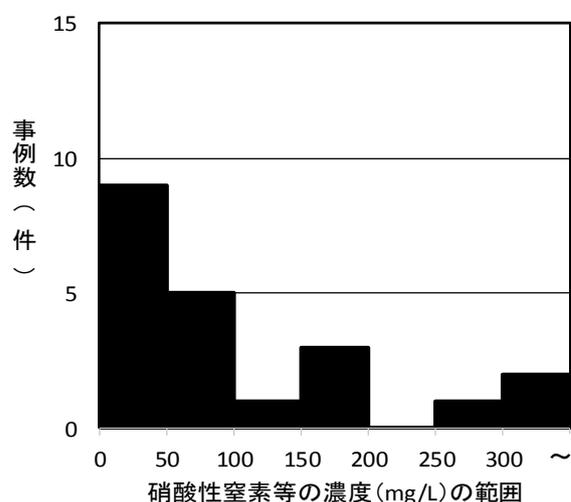


図1 連続式処理施設の硝酸性窒素等の濃度分布

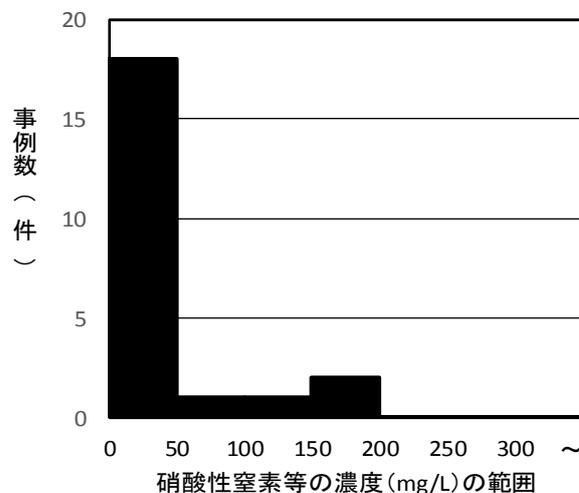


図2 回分式処理施設の硝酸性窒素等の濃度分布

養豚排水中の硝酸性窒素等に関する現地調査

(4) 処理水の硝酸性窒素等が高い事例の特徴
 硝酸性窒素等が 100mg/L を超えていた事例 10 件について、その成分構成を確認すると、NO₂-N と NO₃-N の合計が NH₄-N より高かった事例は 7 件であり、残りの 3 件では NH₄-N が優位であった。
 一般に、活性汚泥施設からの処理水で NH₄-N が優位であることは、良好な活性汚泥処理が行われていないと判断し、まずは十分な曝気量を確保するなど活性汚泥を改善することが重要であると想定される。
 したがって、それらの 3 件を除いた 7 件の事例が今後の硝酸性窒素等の低減対策に係る試験で想定すべき対象と考えられる。なお、7 件の平均

値は 228mg/L であり、その範囲は 162～ 437mg/L の範囲に分布していた。

また、硝酸性窒素等が 100mg/L を超えていないものの、NH₄-N が 100mg/L を超えていた事例が 5 件あった。

(5) 原汚水及び曝気水の結果概要

原汚水及び曝気水の各種分析値については表 2 及び表 3 のとおりであった。

各分析項目ではばらつきが非常に大きく有意差は認められなかったが、原汚水について夏季より冬季で NO₃-N 以外の項目が高い傾向であり、曝気水について連続式処理施設より回分式処理施設で MLSS が高い傾向であった。

表 2 養豚排水処理施設の原汚水の水質検査結果

区分	pH	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌群数 (10 ⁴ 個/cm ³)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	色度	
全体 n = 40	7.86 ±0.58	5,044 ±2,796	5,438 ±6,449	34.9 ±53.4	1,559 ±1,025	0.6 ±1.6	1 ±3	1,650 ±996	7,631 ±12,031	
時期	夏季 n = 19	7.59 ±0.41	4,570 ±2,850	3,696 ±3,325	32.6 ±68.6	1,127 ±782	0.1 ±0.1	1 ±3	1,375 ±937	4,467 ±3,656
	冬季 n = 19	8.13 ±0.60	5,925 ±2,568	7,662 ±8,016	39.1 ±29.6	1,992 ±1,057	1.0 ±2.2	1 ±4	1,926 ±977	10,794 ±16,004
処理 方式	連続式 n = 16	7.68 ±0.55	4,948 ±3,293	6,217 ±7,827	17.4 ±19.5	1,511 ±933	0.6 ±1.4	2 ±5	1,531 ±990	7,563 ±15,632
	回分式 n = 22	7.99 ±0.55	5,465 ±2,382	5,288 ±4,868	48.3 ±64.4	1,599 ±1,093	0.5 ±1.7	0 ±0	1,748 ±990	7,686 ±7,953

※上段: 平均値、下段: 標準偏差

表 3 養豚排水処理施設の曝気水の水質検査結果

区分	pH	MLSS (mg/L)	
全体 n = 38	7.50 ±0.7	5,035 ±2,486	
時期	夏季 n = 20	7.50 ±0.67	5,131 ±2,517
	冬季 n = 18	7.50 ±0.65	4,929 ±2,446
処理 方式	連続式 n = 17	7.64 ±0.90	3,425 ±2,248
	回分式 n = 21	7.38 ±0.33	6,339 ±1,815

※上段: 平均値、下段: 標準偏差

(6) 硝酸性窒素等と他の水質との相関

本試験で調査した処理施設において硝酸性窒素等の値が高くなる要因を考察するため、(4) で述べた NH₄-N が優位な 3 件を除く 40 件について、硝酸性窒素等と処理水の各分析項目との間の相関係数を算出したところ表 4 のとおりであった。

なお、硝酸性窒素等は、NH₄-N×0.4+NO₂-N+NO₃-N で算出され、NO₃-N と NH₄-N とでは排水処理における生成過程が異なるため、これらについても相関を算出した。

また、NO₂-N は NO₃-N 及び NH₄-N と比較して値が小さく、寄与する割合が低いと考えられるため、相関を算出しなかった。

硝酸性窒素等及び NO₃-N は、T-N との間に強い正の相関が認められ、お互いの相関も強かったが、硝酸性窒素等及び T-N に占める NO₃-N の割合が高いためであると考えられる。

一方、硝酸性窒素等と NH₄-N と間にも弱い正の相関が認められた。

硝酸性窒素等と pH との間に負の相関が認められ、pH が 6.5 以下において硝酸性窒素等が 250mg/L 以上の事例が 2 件分布していた (図 3)。

NH₄-N は、BOD との間に、連続式処理施設において弱い正の相関が認められたが全体では相関が認められなかった。

この要因としては、夏季の事例において BOD が 300mg/L 以上の事例が 2 件あったためと考えられ

る。一般に BOD が 160mg/L を超えることは、良好な処理が行われているとはいえないため考察から外し、300mg/L 以上の 2 件を除いた 38 件の分布図をとると図 4 のとおりであり、弱い正の相関が認められた。

なお、これら 38 件で相関係数を算出したが、表 4 と比較して大きな差異はみられなかった。

表 4 硝酸性窒素等、NO₃-N 及び NH₄-N と処理水の各分析項目との相関

区分	変数x 変数y	pH	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌 群数 (個/cm ³)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	硝酸性 窒素等 (mg/L)	T-N (mg/L)	色度	透視度
全体 n = 40	硝酸性窒素等	-0.512 *	-0.136	-0.019	-0.137	0.146	0.279	0.932 *	—	0.915 *	0.076	0.128
	NO ₃ -N	-0.454 *	-0.137	0.053	-0.200	-0.058	-0.010	—	—	0.869 *	0.148	0.108
	NH ₄ -N	0.142	0.114	-0.140	0.238	—	-0.056	-0.058	0.146	0.388 *	-0.239	0.007
時期 夏季 n = 20	硝酸性窒素等	-0.575 *	-0.162	-0.084	-0.124	0.145	0.277	0.931 *	—	0.918 *	0.071	-0.064
	NO ₃ -N	-0.470 *	-0.138	-0.034	-0.207	-0.038	-0.025	—	—	0.882 *	0.115	-0.024
	NH ₄ -N	0.077	0.055	-0.089	0.343	—	-0.089	-0.038	0.145	0.393	-0.170	-0.242
冬季 n = 20	硝酸性窒素等	-0.543 *	-0.168	-0.067	-0.096	0.138	0.490 *	0.859 *	—	0.826 *	-0.064	0.374
	NO ₃ -N	-0.466 *	-0.162	0.067	-0.222	-0.122	0.058	—	—	0.766 *	0.046	0.270
	NH ₄ -N	0.251	0.089	-0.179	0.308	—	-0.038	-0.122	0.138	0.445	-0.271	0.203
処理 方式 連続式 n = 19	硝酸性窒素等	-0.550 *	-0.172	0.312	-0.218	0.072	0.216	0.930 *	—	0.931 *	0.414	-0.059
	NO ₃ -N	-0.433	-0.189	0.347	-0.280	-0.086	-0.096	—	0.930	0.907 *	0.415	-0.006
	NH ₄ -N	0.107	0.609 *	0.093	0.368	—	-0.139	-0.086	0.072	0.310	-0.145	-0.322
回分式 n = 21	硝酸性窒素等	-0.427	-0.135	0.124	-0.076	0.187	0.434 *	0.928 *	—	0.809 *	-0.009	0.127
	NO ₃ -N	-0.527 *	-0.161	0.223	-0.179	-0.165	0.248	—	—	0.615 *	0.119	0.048
	NH ₄ -N	0.263	0.055	-0.184	0.203	—	0.157	-0.165	0.187	0.570 *	-0.284	0.249

値は、変数xと変数yの相関係数 * : p=0.05で有意差あり

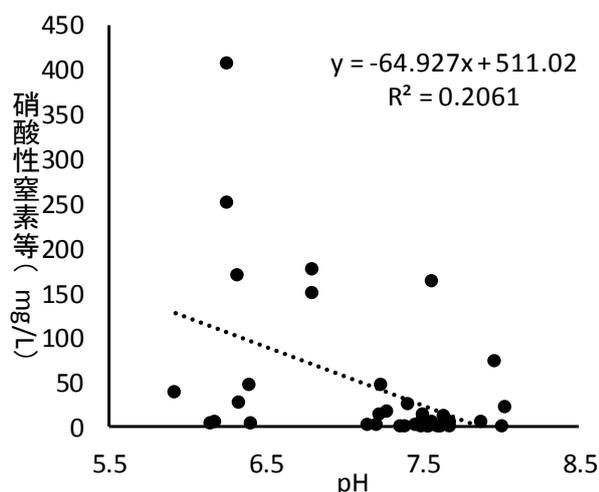


図 3 硝酸性窒素等と処理水 pH の分布図

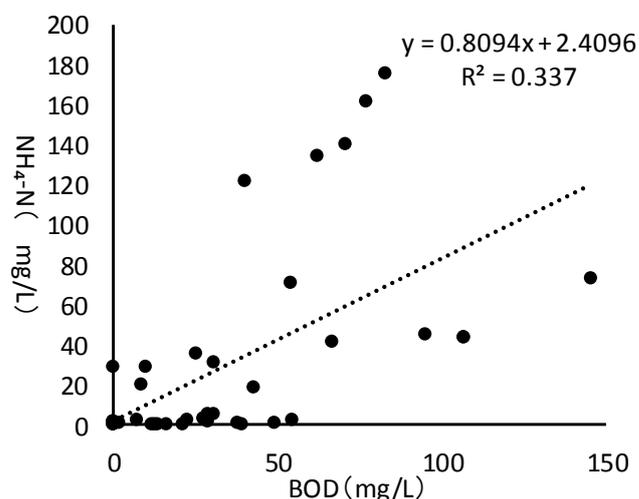


図 4 NH₄-N と BOD の分布図

養豚排水中の硝酸性窒素等に関する現地調査

表5 処理水中の硝酸性窒素等、NO₃-N 及び NH₄-N と原污水等の各分析項目との相関

区分	変数x 変数y	原污水 の pH	処理水 への pH変動	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	大腸菌 群数 (個/cm ²)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	T-N (mg/L)	色度
全体 n = 38	硝酸性窒素等	0.165	-0.445 *	-0.108	-0.041	-0.028	-0.013	0.075	0.188	-0.018	-0.035
	NO ₃ -N	0.097	-0.333 *	-0.145	-0.006	-0.092	-0.064	-0.134	-0.089	-0.046	-0.005
	NH ₄ -N	0.063	0.061	0.154	0.013	0.060	0.107	-0.114	-0.102	0.214	-0.070
夏 n = 19	硝酸性窒素等	0.369	-0.639 *	-0.144	-0.115	-0.063	-0.080	0.336	-0.057	-0.064	0.033
	NO ₃ -N	0.290	-0.452 *	-0.212	-0.080	-0.174	-0.122	-0.106	0.010	-0.103	0.037
	NH ₄ -N	-0.059	0.097	0.188	-0.062	0.059	0.046	-0.080	-0.160	0.264	-0.001
冬 n = 19	硝酸性窒素等	0.114	-0.460 *	-0.082	0.036	0.048	-0.009	0.105	0.294	-0.019	0.001
	NO ₃ -N	-0.008	-0.310	-0.063	0.106	0.001	-0.061	-0.135	-0.155	-0.002	0.070
	NH ₄ -N	0.329	-0.079	0.007	0.048	0.095	0.181	-0.112	-0.037	0.154	-0.156
連続式 n = 18	硝酸性窒素等	0.377	-0.629 *	-0.202	-0.221	0.267	-0.273	0.274	0.141	-0.196	-0.031
	NO ₃ -N	0.289	-0.414	-0.259	-0.145	-0.321	-0.263	-0.193	-0.191	-0.188	-0.002
	NH ₄ -N	-0.118	0.133	0.211	-0.139	0.196	-0.021	-0.130	-0.167	0.224	-0.057
回分式 n = 20	硝酸性窒素等	0.223	-0.402	0.185	0.280	0.021	0.301	-0.152	-0.063	0.295	-0.062
	NO ₃ -N	0.076	-0.352	0.142	0.250	0.015	0.167	-0.117	-0.019	0.193	-0.021
	NH ₄ -N	0.255	-0.035	0.107	0.243	0.070	0.223	-0.111	-0.110	0.220	-0.102

値は、変数xと変数yの相関係数 * : p=0.05で有意差あり

硝酸性窒素等、NO₃-N 及び NH₄-N と原污水の各分析項目との間の相関係数を算出したところ表5のとおりであった。なお、pHについては原污水のpHだけでなく、原污水から処理水へのpH変動についても相関係数を算出した。

原污水についてはすべての分析項目で硝酸性窒素等などとの相関は認められなかったが、これは各分析項目のばらつきが非常に大きかったためと考えられる。

一方、原污水から処理水へのpH変動は、硝酸性窒素等及びNO₃-Nとの間に弱い正の相関が認められた。処理水のpHとの硝酸性窒素等及びNO₃-Nとの間の相関より強いとはいえないものの、原污水のNO₃-Nは非常に低いため、処理過程で生成されたNO₃-Nの影響と考えられた。

まとめ

本試験の調査により、栃木県内の養豚排水の処理状況を把握することができた。

また、処理水の硝酸性窒素等についてその濃度分布が明らかとなり、22戸の処理施設のうち7戸で100mg/Lを超える事例がみられた。すなわち約3分2は100mg/Lを超える事例がみられなかったものの、7戸のうち4戸では100mg/Lを超えたのは夏季または冬季の調査時のみであり、硝酸性窒素等の標準偏差の大きさを考慮すると、年間を通じて常に硝酸性窒素等が100mg/L以下である施設はより少なくなる

ことも考えられる。したがって、水質汚濁防止法における硝酸性窒素等の排水基準が100mg/Lまで引き下げられる可能性を想定し、安定して硝酸性窒素等を100mg/L以下まで処理することが可能な技術を開発することが必要であると考えられた。

一方、硝酸性窒素等が100mg/Lを超えた事例の中にはNH₄-NがNO₃-Nより優位である事例があり、硝酸性窒素等が100mg/L以下であってもNH₄-Nが優位な事例もあった。これらは活性汚泥施設としては良好な状態とはいえず、十分な曝気量を確保するなど曝気槽の活性汚泥を改善する必要があると考えられた。

また、BODやSSが300mg/Lを超える事例があり、余剰汚泥の越流などが示唆された。このような事例では、余剰汚泥やスカム（沈殿槽上部の浮遊物）を取り除く必要があると考えられた。

良好に管理されていると考えられる処理施設では、NH₄-NとBODの間には弱いながらも正の相関があることから、処理水の状態がより良好なほど硝酸性窒素等の一部であるNH₄-Nが低くなるといえる。一方、処理過程で生成されるNO₃-Nを少なくすることは難しいため、硝酸性窒素等低減の対策としては、まず処理施設を良好な状態で管理することが重要であり、それでも硝酸性窒素等の排水基準値を超過することが懸念される場合、NO₃-Nを処理する過程を取り入れる必要があると考えられた。

参考文献

- 1) 一般財団法人 畜産環境整備機構、(2018)、畜産污水の処理技術マニュアル ー処理の基本から高度処理までー、p7