



Title	担体を用いた嫌気-無酸素-好気法による窒素-リン同時除去
Author(s)	阿部, 庄治郎; 西村, 孝彦; 五井, 正季 他
Description	第3回衛生工学シンポジウム (平成7年11月9日 (木) -10日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 1 水処理、廃棄物処理 . 1-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 3, 36-41
Issue Date	1995-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7879
Type	departmental bulletin paper
File Information	3-1-8_p36-41.pdf



1 - 8

担体を用いた嫌気-無酸素-好気法による 窒素-リン同時除去

○阿部庄治郎、西村孝彦、五井正季（川崎市下水道局）
三島浩二（荏原総合研究所）

1. はじめに

川崎市では、高度処理施設の実施にむけて、平成4年度より担体投入型嫌気-無酸素-好気法（media-anaerobic-anoxic-oxic process, M-AAO）による、リン・窒素同時除去を目的とするパイロット実験を行っている。その結果、生物反応タンク滞留時間8~9時間で、T-N 10mg/ℓ以下、T-P 0.5mg/ℓ程度の処理水がえられることが明かとなった。本報告は、M-AAOの処理概要とそこで得られた若干の所見を報告する。

2. 実験方法

(1) 実験装置

プラント規模を表-1に示す。各タンクの容量比は嫌気：無酸素：好気=1.5：4.5：3.0である。図-1にパイロットプラントのフローシートを示す。好気タンクに固定化担体を投入した。その素材はポリエチレングリコールを主成分とする粒径5mmのポリマーの球体で親水ゲルである。

表-1 パイロットプラント規模

	寸法(mm)	有効容積(m ³)
嫌気タンク	幅900×長1125×高1835	1.53
無酸素タンク	幅900×長3380×高1840	4.80
好気タンク	幅900×長2250×高1840	3.20
最終沈殿池	径1930×高2800	6.44

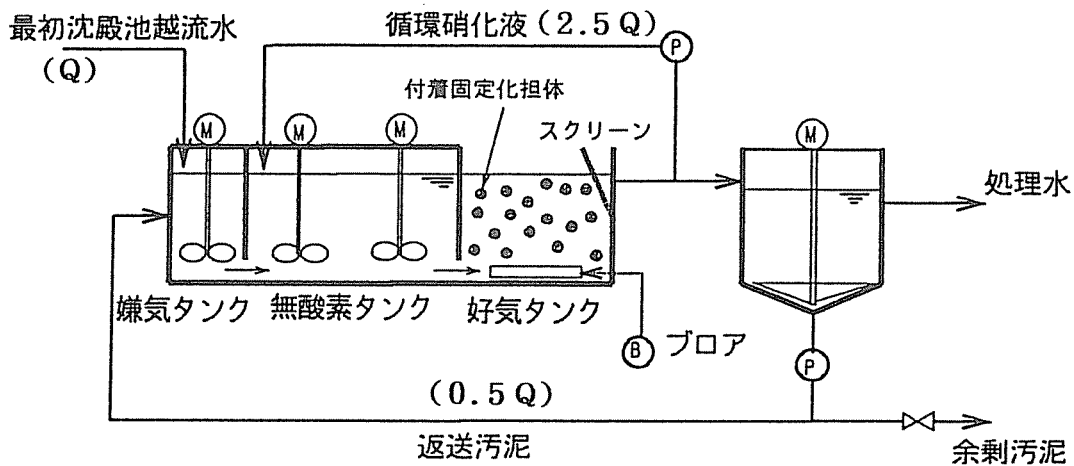


図-1 パイロットプラントの水処理フローシート

(2) 実験方法

原水は、稼働中の麻生環境センター初沈越流水を用い、一定流量による連続流入とした。

担体投入率は種々検討の結果、好気タンク容量に対して、見掛け容積比で20%(V/V)とした。実験区分は、水温、滞留時間により4区分に分けた。MLSSは1760~3140mg/ℓ、BOD-SS負荷は0.08~0.14 (kgBOD/kgMLSS/日)、T-N汚泥負荷は

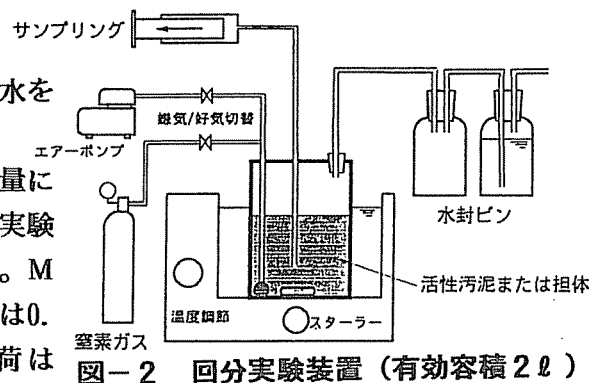


図-2 回分実験装置（有効容積2ℓ）

表-2 回分実験方法

脱窒素実験の方法	りん摂取実験の方法
嫌気タンク条件 ①原水と返送汚泥をパイロットプラント流量比に従って混合し回分装置に投入 ②水封ビンを連結し、窒素ガスで酸素を追い出した後に密閉 ③KNO ₃ を添加し(15mg-N/l)、嫌氣的に攪拌 ④一定時間毎にサンプリングし、速やかにろ液を採取して分析	無酸素タンク条件 ①嫌気タンク流出汚泥と循環硝化液をパイロットプラント流量比に従って混合し、回分装置に投入 ②水封ビンを連結し、窒素ガスで酸素を追い出した後に密閉 ③嫌氣的に攪拌 ④一定時間毎にサンプリングし、速やかにろ液を採取して分析
無酸素タンク条件 ①嫌気タンク流出汚泥と循環硝化液をパイロットプラント流量比に従って混合し、回分装置に投入 ②水封ビンを連結し、窒素ガスで酸素を追い出した後に密閉 ③KNO ₃ を添加し(10mg-N/l)、嫌氣的に攪拌 ④一定時間毎にサンプリングし、速やかにろ液を採取して分析	好気タンク条件 ①無酸素タンク流出汚泥を回分装置に投入 ②エアレーションを開始 ③一定時間毎にサンプリングし、速やかにろ液を採取して分析

0.03~0.04 (kgBOD/kgMLSS/日) の範囲で行った。好気タンクのDOは、3mg/lを目安にし、日平均 2.9~3.9mg/lの範囲で行い、嫌気タンクのORPは-393~-338mV、無酸素タンクは-189~-141mVであった。回分実験の装置・方法は、各々図-2、表-2に示した。

水質分析は週2回を原則とし、原水と各処理水は自動採水器による1時間毎のコンポジットサンプルによった。分析方法は概ね下水試験法(1984年版)に従った。

3. 実験結果

(1) 処理結果

平成5年8月~6年3月までのプラント運転結果を図-3に示す。各実験区の水質結果を表-3に示す。

第1区~3区は、滞留時間9時間で、その内訳は嫌気1.5時間、無酸素4.5時間、好気3.0時間である。この期間の原水BODは、45~107(平均76)mg/l、処理水は1~8(平均4)mg/lで、除去率は88~99(平均95)%であった。処理水ATU-BODは1~6(平均3)mg/l、N-BODは低い値であった。原水SSは30~74(平均48)mg/lに対して処理水1~11(平均4)mg/lであった。

原水T-Nは、16~42(平均30)mg/l、処理水は6~11(平均8.3)mg/l、除去率55~78(平均72)%であった。低水温期の第3区

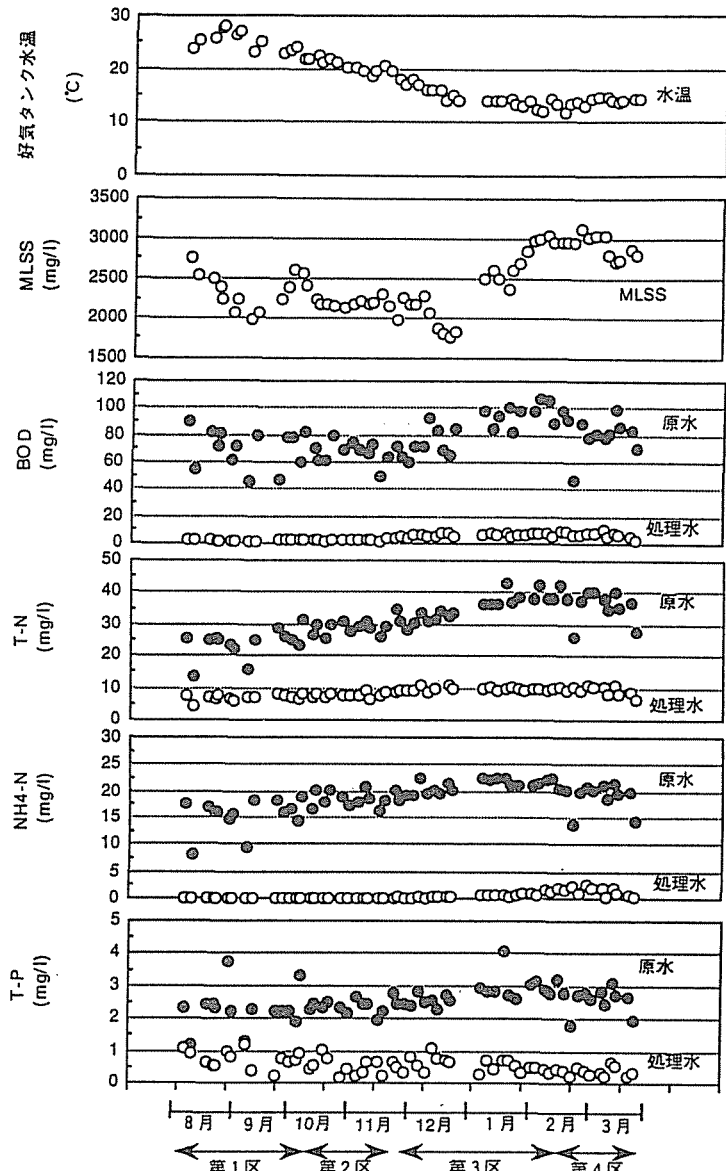


図-3 パイロットプラント運転成績経日変化

で平均 9.9mg/l であった。処理水窒素の内訳は、平均値で有機態窒素 2.1mg/l、NH₄-N 0.3mg/l、NO₂-N 0.1mg/l、NO₃ 5.9mg/l であり、NH₄-N 除去率は 99% と高く、ほぼ完全な硝化を達成していた。

原水 T-P は、1.3~3.2 (平均 2.5) mg/l、処理水 0.2~1.2 (平均 0.6) mg/l、除去率 19~93 (平均 74)% で、高温水期の第 1 区は 72%、中・低温期の 2, 3 区は 82% と高くなった。処理水リンの内訳は、平均で、溶解性リン 0.4mg/l、非溶解性リン 0.2mg/l であった。第 4 区は低水温、滞留時間 8 時間で、内訳は、嫌気 1.3 時間、無酸素 4 時間、好気 2.7 時間である。

原水 T-N は 26~40 (平均 36) mg/l、処理水は 6~11 (平均 9) mg/l、処理水の NH₄-N は平均 1.4mg/l 残留した。原水 T-P は 1.8~3.1 (平均 2.6) mg/l、処理水 0.2~0.6 (平均 0.4) mg/l であり、他区に較べてリン除去率は向上していた。

(2) 各反応タンクの処理状況

第 3 区の 1 月 18~19 日、4 時間毎の水質分析結果から、各反応タンクの溶解性 BOD、NH₄-N、NO_x-N、及び PO₄-P の状況を示したのが、図-4 である。

(a) 嫌気タンク

原水 PO₄-P 濃度 1.5mg/l が 8.6mg/l に増加し、溶解性 BOD は 32mg/l から 8mg/l に低下した。BOD 除去率は 74% である。これは、嫌気・好気法と同様に、脱リン能力をもつ微生物

表-3 実験区処理水質

		第 1 区	第 2 区	第 3 区	第 4 区
pH	原水 (-)	7.4 (7.4~7.6)	7.5 (7.5~7.7)	7.6 (7.6~7.8)	7.7 (7.6~7.9)
	処理水 (-)	7.5 (7.3~7.6)	7.3 (7.2~7.4)	7.2 (7.1~7.3)	7.3 (7.3~7.4)
M7 汚濁度	原水 (mg/l)	134(108~142)	148(140~155)	161(154~180)	143(115~157)
	処理水 (")	57(49~ 63)	58(54~ 61)	63(55~ 69)	64(56~ 74)
SS	原水 (mg/l)	41.3(30.0~48.0)	41.1(36.0~48.0)	57.8(42.0~74.0)	56.0(32.0~96.0)
	処理水 (")	2.4(1.5~ 5.0)	2.8(1.4~ 4.0)	6.9(2.0~10.5)	5.6(1.5~ 9.5)
BOD	原水 (mg/l)	67.4(45.1~82.6)	68.6(50.2~79.8)	91.5(65.4~107)	79.1(46.8~99.0)
	処理水 (")	1.8(0.8~ 3.0)	2.8(1.5~ 3.9)	6.8(4.8~ 8.3)	6.6(2.5~10.5)
溶解性 BOD	原水 (mg/l)	31.9(17.0~45.7)	31.8(24.7~36.0)	44.9(35.4~59.0)	35.3(25.5~45.8)
	処理水 (")	1.4(0.5~ 1.8)	0.7(0.5~ 1.1)	2.0(0.9~ 3.4)	2.1(0.9~ 3.4)
COD _{mn}	原水 (mg/l)	40.7(27.2~45.0)	41.8(35.5~46.1)	51.7(46.6~58.8)	54.3(35.3~66.1)
	処理水 (")	8.4(7.2~ 9.4)	8.9(8.1~ 9.6)	11.1(9.8~13.2)	10.1(7.5~11.3)
T-N	原水 (mg/l)	23.8(15.7~28.6)	29.8(26.2~34.8)	37.0(32.5~42.3)	35.6(26.0~40.4)
	処理水 (")	6.9(6.2~ 7.9)	7.9(6.5~ 9.4)	9.9(9.2~10.8)	9.2(6.3~10.7)
NH ₄ -N	原水 (mg/l)	15.6(9.5~18.2)	18.8(16.3~20.8)	21.7(20.1~22.5)	19.0(13.8~21.5)
	処理水 (")	0.1(tr.~ 0.1)	tr.(tr.~ 0.1)	0.8(0.2~ 1.5)	1.4(0.2~ 2.5)
NO ₂ -N	原水 (mg/l)	tr.	tr.(tr.~ 0.1)	tr.(0~0.1)	0.1(tr.~0.1)
	処理水 (")	tr.(tr.~ 0.1)	0.1(tr.~ 0.1)	0.1(0~ 0.2)	0.1(tr.~0.2)
NO ₃ -N	原水 (mg/l)	0.1(tr.~ 0.2)	0.1(0~ 0.1)	0.1(0~ 0.1)	0.1(tr.~0.3)
	処理水 (")	5.6(5.2~ 6.5)	6.0(5.6~ 6.8)	5.9(4.5~8.2)	4.4(3.7~4.8)
T-P	原水 (mg/l)	2.18(1.29~2.46)	2.38(1.97~2.76)	2.82(2.53~3.15)	2.56(1.78~3.10)
	処理水 (")	0.62(0.22~1.20)	0.45(0.16~0.77)	0.51(0.25~0.71)	0.37(0.21~0.64)
溶解性 P O ₄ -P	原水 (mg/l)	1.35(0.74~1.57)	1.54(1.26~1.84)	1.87(1.72~1.93)	1.54(1.11~1.73)
	処理水 (")	0.56(0.08~1.10)	0.37(0.04~0.73)	0.28(0.01~0.49)	0.16(0.01~0.45)
MLSS	(mg/l)	2210(1970~2500)	2170(1990~2300)	2590(1760~3040)	2910(2710~3140)
VSS 含率	(%)	78.9(75.0~80.1)	81.2(75.0~84.8)	81.4(78.1~90.0)	80.5(78.9~82.9)
SVI	(ml/g)	197 (161~240)	249 (225~314)	185 (163~225)	254 (192~333)
リン含有率	(%-SS)	2.87(2.63~3.13)	2.99(2.73~3.20)	3.00(2.79~3.22)	3.06(2.87~3.25)
窒素含有率	(%-SS)	7.72(7.49~7.97)	8.81(8.44~9.05)	9.45(8.86~10.7)	9.84(9.45~10.2)

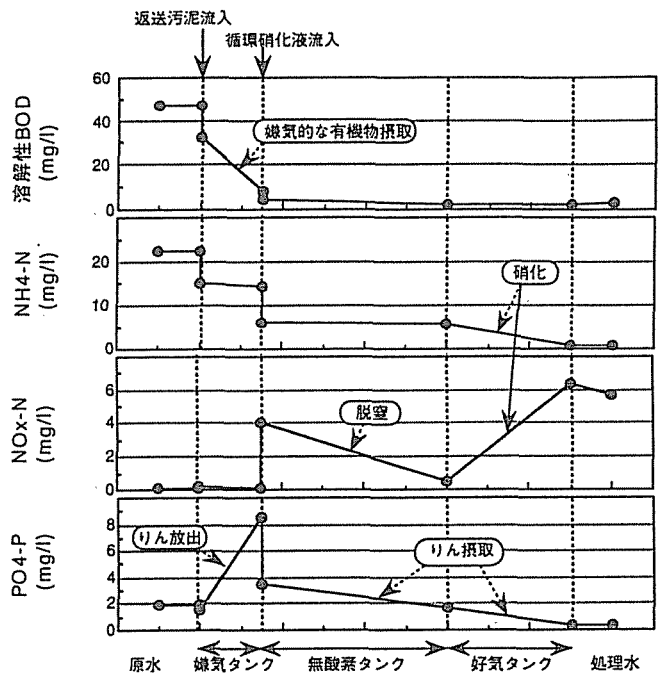


図-4 反応タンクにおける水質変化 (第 3 区)

が $PO_4 - P$ の放出に伴い、有機物を嫌氣的に摂取したものと考えられる。この時のリン放出量と有機物摂取量の比率 $\Delta P / \Delta BOD$ は 0.3 ($gP/gBOD$) であった。

(b) 無酸素タンク

溶解性 BOD が、 $4.3mg/l$ から $2.3mg/l$ に低下し、 $NO_x - N$ は $4.1mg/l$ から $0.8mg/l$ に減少した。一方、 $PO_4 - P$ も $3.5mg/l$ から $1.7mg/l$ に減少した。脱窒作用に伴い低下した溶解性 BOD の比率 $\Delta BOD / \Delta N$ は 0.6

($gBOD/gN$) で通常の報告値 $2.5 \sim 2.6$ より著しく小さかった。リン除去率は 51% と高かった。

(c) 好気タンク

$NH_4 - N$ が $5.9mg/l$ から $0.6mg/l$ に低下し、同時に残留有機物の減少が認められた。硝化反応は固定化担体と活性汚泥に負うが、固定化担体が寄与する部分が多いと考えられる。 $PO_4 - P$ が $1.7mg/l$ から $0.4mg/l$ に低下し、除去率 76% である。

(d) 最終沈殿池

$NO_x - N$ が $6.5mg/l$ から $5.9mg/l$ 、 $PO_4 - P$ が $0.39mg/l$ から $0.334mg/l$ に低下した。微量な脱窒、リン摂取現象がみられた。返送汚泥のろ液中には、 $NO_4 - N$ が常時 $0.8mg/l$ 以下、 $PO_4 - P$ が $1.4 \sim 1.9mg/l$ 存在していた。

(3) 窒素・リンのマスバランス

代表例として、第3区の窒素・リンのマスバランスを図-5に示す。これは、原水及び処理水のコンジットサンプルデータ、汚泥発生量の推算値、汚泥中の窒素、リン含有率から求めたものである。

結果から、原水中の窒素の 20% が余剰汚泥となり、 54% が脱窒、 26% が処理水として流出した。脱窒素の 85% は、無酸素タンク、残りは最終沈殿池および嫌気タンクで行われたものと考えられる。

リンは原水リンの 82% が余剰汚泥に、残り 18% が処理水として流出した。

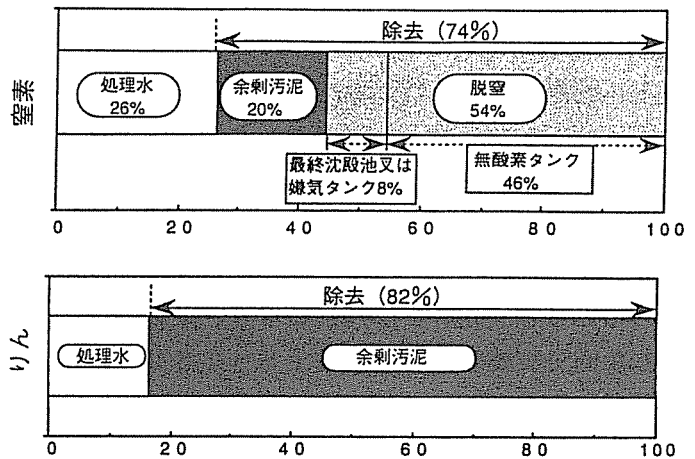


図-5 窒素、リンのマスバランス (第3区)

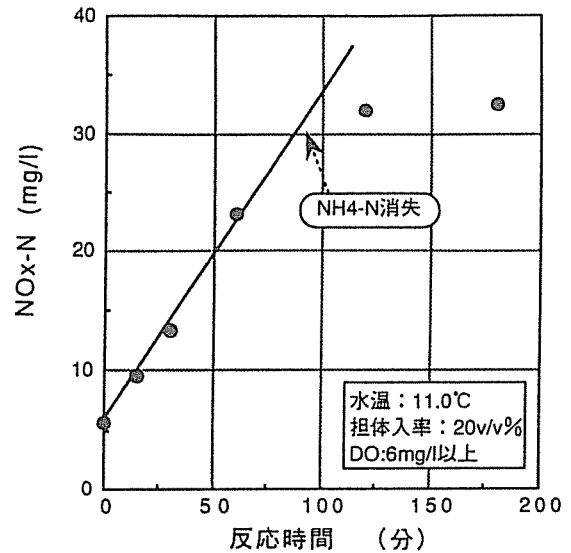


図-6 固定化担体の硝化回分実験例

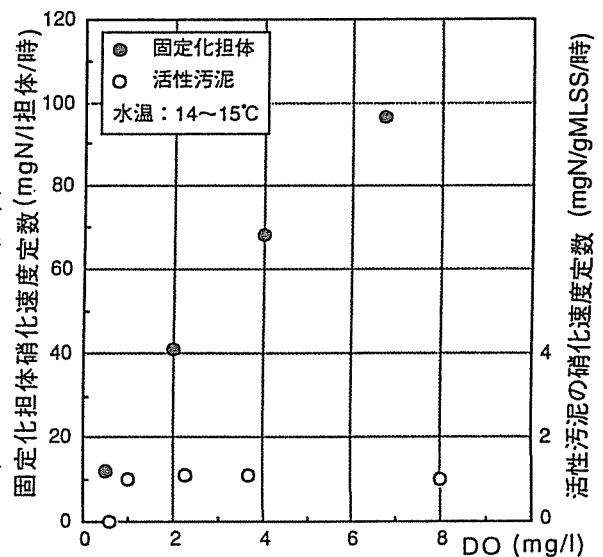


図-7 固定化担体および活性汚泥の硝化速度定数の DO 依存性

4. 回分実験結果

(1) 固定化担体及び活性汚泥の硝化速度

パイロットプラントの好気タンクから固定化担体を取り出し、軽く水洗した後、硝化速度を測定した。DOは6mg/l以上とした。図-6にその一例を示す。直線勾配により、担体の硝化速度を求めると88 (mgN/l 日) となり、定期的な測定した回分実験結果の範囲は76~139 (mgN/l 日) となった。

一方、DOの影響をみたのが図-7である。担体の硝化速度はDOに大きく依存していることが認められた。しかし、活性汚泥の硝化速度はDO = 1mg/l以上のときもほぼ一定であった。

図-8から無酸素タンクの脱窒現象では、残留NO_x-Nが反応時間と共に直線的に減少し、その時の脱窒速度は1.4 (mgN/gMLSS/時) であり、数日にわたる測定結果では、0.7~1.9 (mgN/gMLSS/時) の範囲であった。また、図-9から脱窒速度はBOD-SS負荷と比例関係が認められた。

(2) 活性汚泥のリン放出・摂取速度

嫌気タンク内でのPO₄-Pの放出は、時間経過と共に直線的に増加し、嫌気タンクでのリン放出速度は0.8~2.4 (mgP/gMLSS/時) であった。一方、リン摂取反応は、無酸素タンクと好気タンクで認められるが、図-8から、NO_x-Nが一定量残留している間は、PO₄-Pの減少が認められ、脱窒反応中はリン摂取反応が同時進行していることが判った。この時点でのリン摂取速度は0.1~0.4 (l/gMLSS/時) で、平均0.2 (l/gMLSS/時) であった。

好気タンク内でのリン摂取反応は回分試験結果から、リン摂取速度定数は0.5~1.2 (l/gMLSS/時) で、平均0.6 (l/gMLSS/時) で、好気タンクでは無酸素タンクの3倍のリン摂取速度定数であることが解った。

5. 考 察

(1) 低水温期の担体と活性汚泥の硝化作用にかかわる割合を検討してみると、まず、窒素マスバ

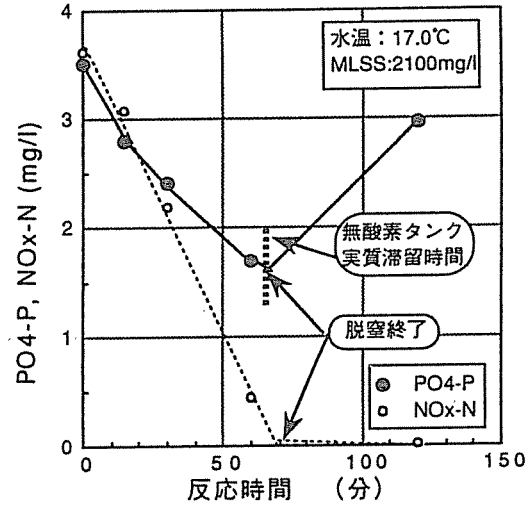


図-8 無酸素タンク条件のリン摂取回分実験結果

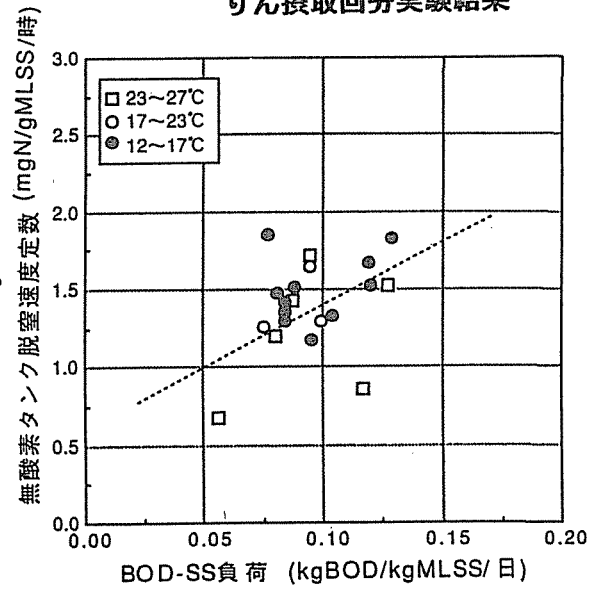


図-9 BOD-SS負荷と無酸素タンク脱窒速度定数の関係

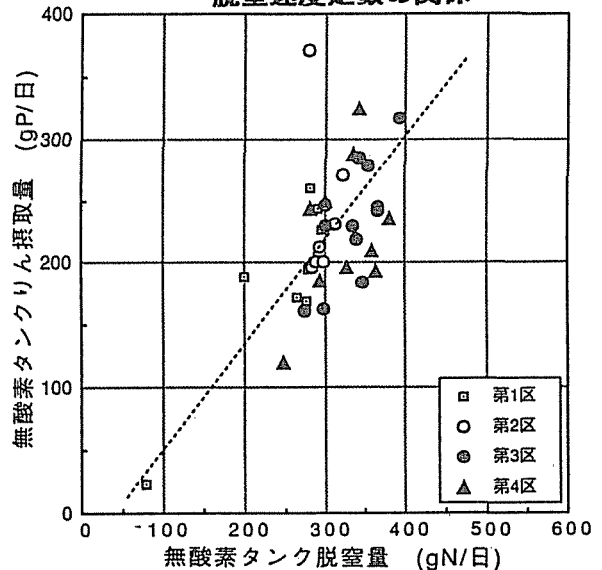


図-10 無酸素タンクにおける脱窒量とリン摂取量の関係

ランスから、硝化速度の平均は、 $0.2 \text{ (KgN/m}^3 \text{ タンク/日)}$ となる。一方、活性汚泥の硝化速度定数は回分実験から $0.2 \text{ (mgN/gMLSS/時)}$, MLSS は $2,910 \text{ mg/ℓ}$ であるので、好気タンクの活性汚泥の硝化速度は $0.014 \text{ (KgN/m}^3 \text{ タンク/日)}$ となる。したがって、固定化担体分 ($0.2 - 0.014$) = $0.196 \text{ (Kg-N/m}^3 \text{ タンク/日)}$ となり、硝化全体の 93% が固定化担体、残り 7% が活性汚泥寄与分と考えられる。

(2) 無酸素タンクでのリン摂取量と脱窒素の関係を図-10に示した。図から無酸素タンクでは、脱窒素量とリン摂取量は比例関係にあり、その比率 $\Delta P / \Delta N$ は 0.75であった。

6. ま と め

- (1) 反応タンク滞留時間 8~9 時間で $T-N$ 10 mg/ℓ 以下、 $T-P$ 0.5 mg/ℓ の処理水が得られた。
- (2) 低水温期でも、固定化担体のもつ高い硝化能力で $\text{NH}_4 - \text{N}$ をほぼ完全に硝化した。
- (3) 低水温期でも、硝化反応の 93% は固定化担体によるものと考えられた。
- (4) 固定化担体の硝化速度は DO の依存性が高い。
- (5) 無酸素タンクの脱窒素速度定数は、 BOD-S S 負荷に比例して増加傾向を示し、 BOD-S S 負荷 $0.1 \text{ (KgBOD/KgMLSS/日)}$ に対し、脱窒速度は $1.5 \text{ (mgN/gMLSS/時)}$ 程度であった。
- (6) リン摂取反応は、無酸素タンク、好気タンクで共に認められ、リン摂取速度定数は好気タンクで無酸素タンクの約 3 倍である。
- (7) 無酸素タンク内でリン摂取と脱窒現象が同時に進行しているのは、リン摂取と脱窒能力を有する微生物の働きによるものと推察された。

<参考文献>

- 1) 中村ほか：担体投入型嫌気-無酸素-好気法による高度処理実験
第 31 回下水道研究発表会講演集 P. P. 428~430(1994)
- 2) 三島ほか：担体投入型嫌気-無酸素-好気法の窒素・リン同時除去に関する一考察
第 31 回下水道研究発表会講演集 P. 425~427(1994)
- 3) 岡部ほか：担体投入型嫌気-無酸素-好気法によるりん・窒素同時除去に関する研究
(投稿中)