



Title	機械式散気装置を用いた生物担体法の開発
Author(s)	照井, 竜郎; 井上, 一彦; 赤嶺, 和浩 他
Description	第8回衛生工学シンポジウム (平成12年11月16日 (木) -17日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 7 水処理 3 . 7-3
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 8, 266-271
Issue Date	2000-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7248">https://hdl.handle.net/2115/7248</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	8-7-3_p266-271.pdf



7-3

機械式散気装置を用いた生物担体法の開発

照井竜郎、井上一彦、赤嶺和浩、吉田 弘、一瀬正秋 (アタカ工業株式会社)

1. はじめに

近年、下水処理場等の生活排水処理施設は、閉鎖性水域における富栄養化対策を目的に窒素・リン除去システムに転換されてきている。従来、窒素除去は微生物による硝化脱窒反応により行う場合が多いが、硝化菌は増殖速度が遅く、大きな反応槽が必要となる。このため、既存の処理施設において窒素除去システムに変更する際には、反応槽を拡張する必要が生じ、また、新たに処理施設を建設する際にも、敷地確保の問題があり、省スペース型の処理システムが望まれている。硝化槽に生物付着担体を添加することにより硝化菌を高濃度に保持して、硝化反応の高速化を行う処理システムは、現在までいくつか開発されてきている。今回、機械式散気装置を適用した処理システムの開発を目的にパイロット装置による連続試験を行った。

試験内容は担体の流動状態の把握、処理性能の把握および担体摩耗状況の確認を行うためのものとした。

2. 試験装置の概要

図 2-1 に試験装置のフロー、表 2-1 に設計諸元を示す。

S 県 M 浄化センターに試験装置を設置し、浄化センターへの流入原水の一部を試験用として調整槽へ送水した。処理方式は循環式活性汚泥法の硝化槽に担体を投入したものである。担体の仕様を表 2-2 に示す。

硝化槽の機械式散気装置は、ドラフトチューブエアレータ (DTA) と呼ばれており、ドラフトチューブ内に設置されたインペラにより下降流が発生し、インペラ下方に送風される空気を細断して、その結果生ずる気液混合流によって槽内の攪拌および酸素供給を行うものである。

表 2-1 試験装置設計諸元

設計水量 (m <sup>3</sup> /日)	100
HRT (h)	8 硝化槽 3.2 脱窒槽 4.8
循環水量 (m <sup>3</sup> /h)	流入量の 2 倍
返送汚泥量 (m <sup>3</sup> /h)	流入量の 0.5 倍
MLSS (mg/L)	2,000~3,000

表 2-2 担体仕様

形状	中空円筒型
寸法	6mmφ × 5mmH
材質	親水性ポリウレタン
比重	1.03
添加率 (対硝化槽)	15% (見掛容量) 4.8% (真容量)

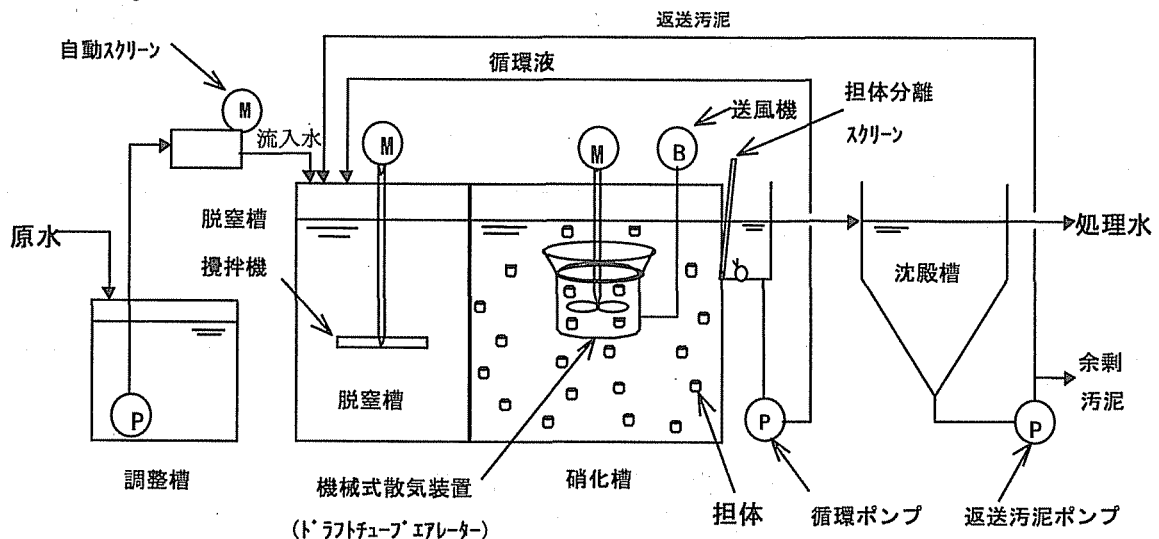


図 2-1 試験装置フロー

### 3. 担体流動調査

#### 1) 実験方法

硝化槽内の担体の流動状態を確認するため、DTA のインペラの回転数を変化させて担体の槽内分布および DTA の消費動力を測定した。1L サンプラーにより硝化槽内液を採取し、その中に含まれる担体の嵩容積を測定し、担体濃度とした。サンプリング箇所は図 3-1 のように水槽の上部、中部、底部の 3 箇所にて行った。実験時の送気量はいずれも 100L/min 程度とした。

#### 2) 実験結果

測定した消費動力を硝化槽容量で除した値を動力投入密度とし、担体濃度との関係を図 3-2 に示す。動力投入密度の上昇にともない、上部の担体濃度は上昇し、中部と底部の担体濃度は減少した。動力投入密度が 55W/m<sup>3</sup> 以上になると、上部、中部および底部ともほぼ同一の値で安定した。この傾向から担体が槽内で均等に分散する動力投入密度は 55W/m<sup>3</sup> 以上のときであると考えられる。

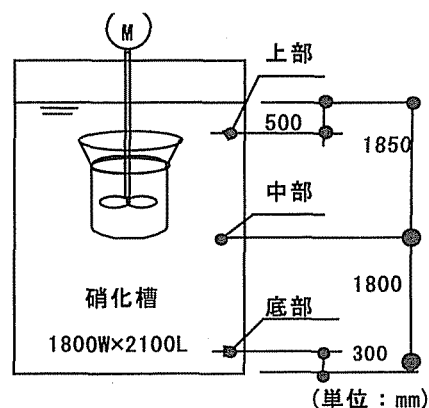


図 3-1 サンプリング箇所

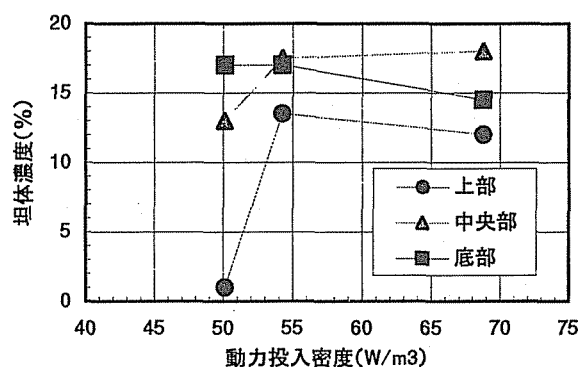


図3-2 担体分布(送気時)

### 4. 処理性能

#### 1) 運転条件

試運転調整後の平成 12 年 1 月以降の運転条件を表 4-1 に示す。

表 4-1

RUN No.	RUN1-1	RUN 2-1	RUN 3-1	RUN 1-2	RUN 2-2	RUN 3-2	RUN 4-1	RUN 3-3
期 間	H12 1.15~2.10	2.11~3.1	3.2~3.30	3.31~4.4	4.5~4.7	4.8~4.14	4.15~4.28	4.29~6.15
原水量(m <sup>3</sup> /日)	42	60	101	42	60	110	125	110
H R T (h)	設定値	19	14	8	19	14	8	6.5
	反応槽	19.0	14.0	8.1	19.0	14.0	7.4	6.5
	硝化槽	7.6	5.6	3.2	7.6	5.6	3.0	2.6
	脱窒槽	11.4	8.4	4.8	11.4	8.4	4.4	3.9
循環液量 (原水量 Q に対し)	2.3Q	1.6Q	1.9Q	2.8Q	1.6Q	1.8Q	1.9Q	2.0Q
返送汚泥量 (原水量 Q に対し)	1.0Q	0.6Q	0.6Q	0.5Q	0.6Q	0.5Q	0.4Q	0.3Q
硝化槽水温 (°C) (平均値)	7.5 ~ 12.8 (10.3)	7.8 ~ 10.4 (9.0)	10.1~ 14.1 (12.3)	10.1~ 14.7 (13.9)	12.9~ 14.6 (13.8)	13.8~ 15.6 (15.1)	14.0~ 17.9 (15.9)	17.5~ 26.0 (21.0)
	硝化槽 MLSS (mg/l) (平均値)	1281~ 4525 (2779)	2401~ 3287 (2972)	1846~ 3223 (2380)	1974~ 2732 (2327)	2668~ 2775 (2711)	2348~ 2636 (2508)	1727~ 2650 (2370)
BOD・SS 負荷 (kg/kg・日)	→	0.09	→	→	→	0.21	0.27~ 0.41	0.21
BOD 容積負荷 (kg/m <sup>3</sup> ・日)	→	0.28	→	→	→	0.51	0.70~ 0.71	0.42
T-N・SS 負荷 (kgN/kg・日)	→	0.031	→	→	→	0.07	0.07~ 0.12	0.07
T-N・容積負荷 (kgN/m <sup>3</sup> ・日)	→	0.09	→	→	→	0.17	0.18~ 0.20	0.14
NH <sub>4</sub> -N・SS 負荷 (kgN/kg・日)	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.05	0.04~ 0.07	0.06

運転当初は、硝化槽水温が 10~13℃と低く、硝化菌の増殖には厳しい条件であったため、HRT を長くし運転を行った。その後、硝化の状況に応じて HRT を短縮していく過程で実験データを採取した。

2) 水質の経時変化

図 4-1,2 に NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N の経日変化を示す。

RUN1-1 の運転当初では流入 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N が 15mg/l に対して、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 除去率は 20%程度であり、硝化反応はほとんど進行していなかった。硝化が進行しない原因として、低水温の影響が大きいと考えられたが、設備的にも硝化液循環ラインが閉塞し硝化液が脱窒槽に流入していなかったことや最終沈殿池に搔寄機がなく的確な汚泥管理がされていないこと等も考えられた。硝化が進行していない状態で運転を継続すると、脱窒による BOD 除去量が少なくなり、硝化槽へ流入する BOD が増加する。この結果、硝化槽内では BOD 酸化菌が比較的多く増殖し、担体に接触する頻度が増加して担体に付着していき、硝化菌が担体に付着しにくい状況になることが予想された。

この対応として硝化促進のための以下の対策を施し、H12.1.19 から運転を開始した。

- ① 硝化液循環配管の改造、最終沈殿池汚泥かき寄せ機の設置
- ② 脱窒反応を促進のための脱窒槽への NaNO<sub>3</sub> の添加

この結果、H12.1.20 の NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 除去率は 35%前後と以前の倍近くの値になり、硝化反応が進行してきているものと推定できた。なお、H12.2.4 頃まで硝化槽、脱窒槽とも NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N が高くなっているのは NaNO<sub>3</sub> 添加のためである。

硝化反応が進行し始めたので、RUN2-1 で 14h、RUN3-1 で 8h と短縮していった。この間の状況は、HRT14h では流入 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N が 16~18mg/l に対して除去率は 33.9~59.7%となり、また、目標としている HRT8h では流入 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N が 15.9~24mg/l に対して除去率は 35~45.7%であり NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N のほぼ完全除去は達成できなかった。

硝化をさらに促進させるためには、浮遊汚泥中の硝化菌を増殖させ、担体への硝化菌の付着を助長し、付着の硝化菌量の増加を図ることや水温上昇による硝化菌活性の上昇させることが必要である。浮遊汚泥中の硝化菌を増殖させるには ASRT (好氣的汚泥滞留時間) を確保する必要がある。

硝化率 (Kj-N 除去率) 80%以上可能な ASRT と水温の関係は次式のように示される。<sup>1)</sup>

$$ASRT = 20.65 \times \exp(-0.0639 \times t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ASRT : 硝化に必要な好気状態の汚泥滞留時間 (h)

t : 槽内水温 (°C)

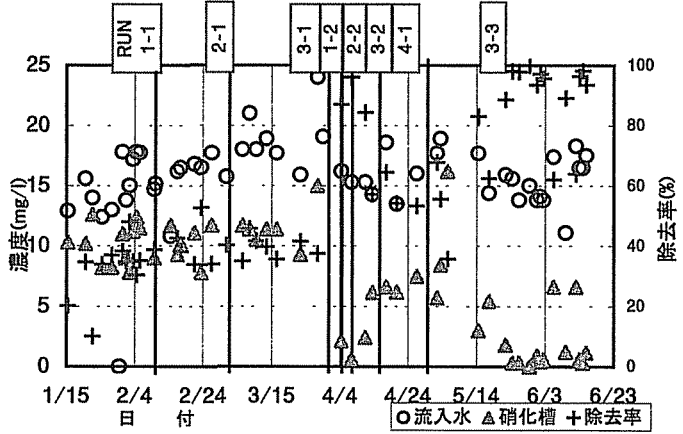


図4-1 NH<sub>4</sub>-N経日変化

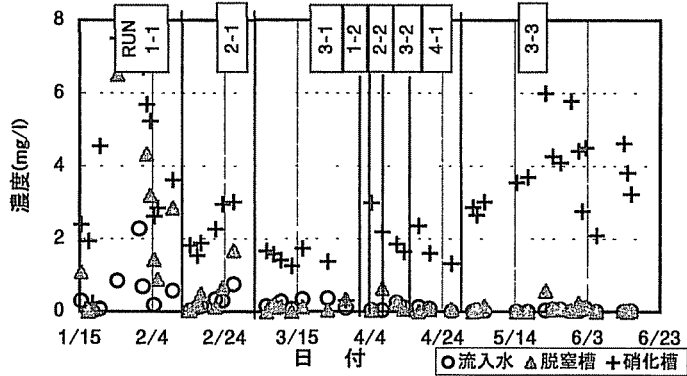


図4-2 NO<sub>3</sub>-N経日変化

RUN1-2 からは再度 HRT を大きくし、MLSS を高く保ち、この ASRT を満たす運転を行なった結果、RUN2-2 の HRT14h でも  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去率は 96% と硝化能力は向上した。RUN3-2 から HRT を 8h、さらには RUN4-1 で 6.5h と短縮したが、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去率は低下していき、H12.4.28 には 53% 前後となった。このため RUN3-3 では HRT を 8h にもどし、継続して運転した結果、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去率が上昇して行き、H12.5.24 には 98% となり、以降 H12.6.15 までほぼ 90% 以上を維持した。

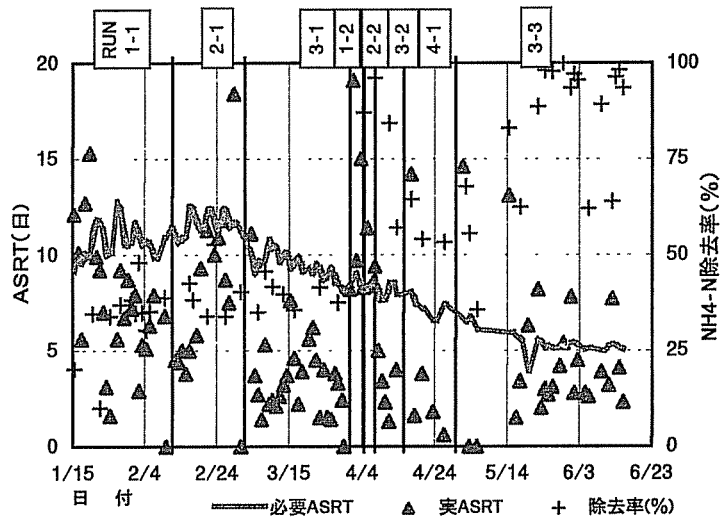


図4-3 ASRTと窒素除去率

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去率が上昇し、硝化槽内の  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  が低減するに伴い、図 4-2 に示されるように  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  が上昇し、硝化が十分行われていた。

以上の状況について ASRT の観点から検討するために図 4-3 に  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  と ASRT の経日変化を示す。図中の必要 ASRT は式(1)により算出したものである。

図 4-3 から、RUN1-1 から RUN3-1 の間、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去率が 50% 未満となっている原因は、実際の ASRT が必要 ASRT を満足していないためと推察される。

RUN1-2 から RUN2-2 まで必要 ASRT を満たす運転を行った結果、以後、必要 ASRT が満足されていなくても  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  除去率がしだいに上昇し、90% 以上確保でき、硝化槽の  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  も急速に上昇した。このことから、ASRT を満足する状況を維持することにより、浮遊汚泥中に硝化菌が増加し、その結果、担体に硝化菌が付着・増殖し、ASRT が満足されなくても硝化が進行したことが考えられる。H12.5.24 以降、HRT8h において硝化槽内  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  はほぼ 1.0mg/l 以下と安定した。表 4-1 に処理性能を示す。BOD、SS および T-N とともに良好な処理結果であった。

表 4-1

	反応槽流入	処理水	除去率(%)
pH (-)	6.9	6.0	-
BOD (mg/l)	82	3.0	96
SS (mg/l)	228	14	94
T-N (mg/l)	25.6	6.1	77
Kj-N (mg/l)	25.6	2.4	90.6

## 5. 硝化速度

### 1) 連続試験

連続試験装置の硝化槽について  $\text{NO}_x\text{-N}$  の物質収支から算出した硝化速度の経日変化を図 5-1 に示す。

この硝化速度は硝化槽内浮遊汚泥量あたりの硝化速度である。硝化速度は、H12.4 月中旬までは  $\text{NH}_4\text{-N}$  負荷を上昇させても増加せず、1mgN/gSS・h 程度で

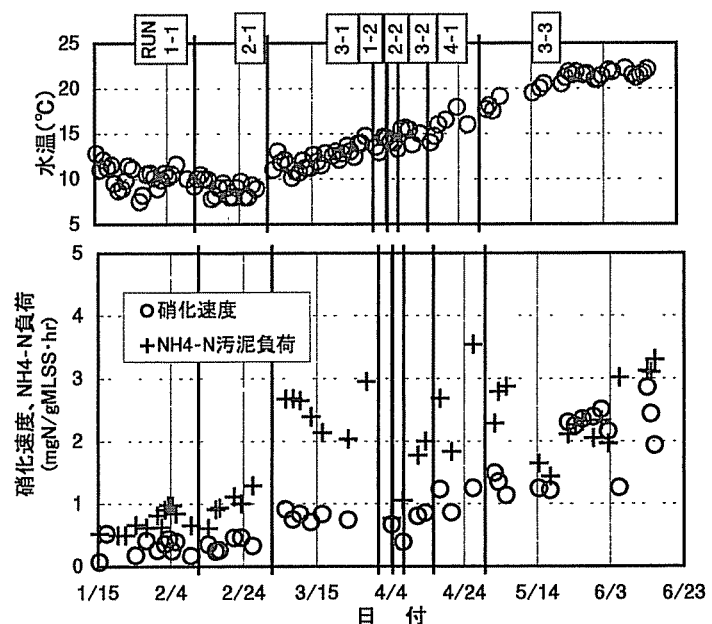


図5-1 硝化速度(連続試験)

あった。この値は既に報告されている活性汚泥のみの循環式硝化脱窒法と同等であった<sup>2)</sup>。

これは運転開始からまでは水温がほとんど 15℃以下であり、硝化菌の活性が低いことが考えられる。4月中旬以降水温が 15℃以上になるに従い、NH<sup>4</sup>-N 負荷に応じて硝化速度は上昇していき、水温約 22℃で最大 3mgN/gSS・h と既に報告されている値の 1.5 倍程度になった<sup>3)</sup>。

## 2) 回分試験

連続試験における担体および汚泥を採取し、回分試験にて硝化速度を測定した結果を図 5-2 に示す。

汚泥硝化速度は連続試験継続とともに上昇した。文献では、汚泥硝化速度は水温の指数関数的に増加することが知られている<sup>4)</sup>。汚泥硝化速度測定時の水温における文献値を図 5-2 に示した。水温より文献値が大きく変化するが、文献値と汚泥硝化速度の値の差は約 0.5mgN/gSS・h で変化しなかった。

担体の硝化速度も連続試験継続とともに上昇し、最大 56mgN/L 担体・h であった。上昇する状況が汚泥の硝化速度と同様であったが、この原因が馴養段階での担体の硝化菌量の増加か、水温の影響なのかは不明瞭である。

回分試験の結果から、連続試験装置硝化槽の担体投入量および汚泥量を加味し、連続試験での担体と汚泥の硝化量を算定し、各々の全硝化量に対する比率を硝化寄与率として図 5-3 に示す。担体の硝化寄与率は経過日数とともに上昇し、汚泥よりも担体の硝化能力が増加していることが判明した。

連続運転装置が設計流量で十分硝化し、担体へ硝化菌が十分付着したと推定される状態になったのは初夏で水温が高い時期であった。連続試験を継続し低水温における硝化速度を調査する必要がある。

## 6. 担体の摩耗

担体の摩耗状況を把握するために、連続試験装置の担体をサンプリングし、付着している汚泥を洗浄後、乾燥重量を測定した。新品の担体の乾燥重量を 1 とし、各サンプルの乾燥重量を図 6-1 に示す。運転開始後約 8 ヶ月で約 1.3% 摩耗していることが判明した。摩耗量の把握は担体交換時期を推定する重要であり今後も継続する予定である。

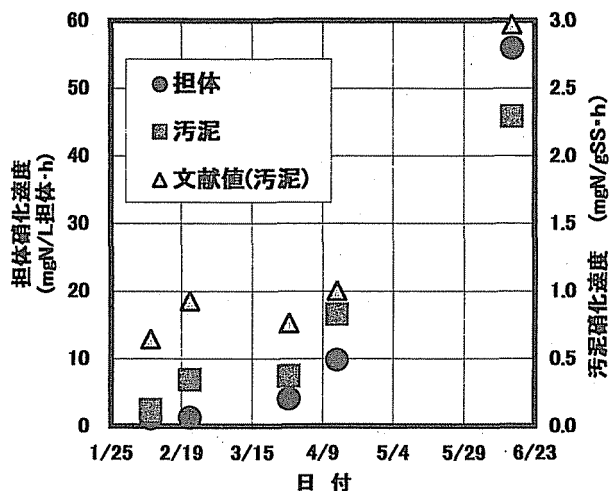


図5-2 硝化速度(回分試験)

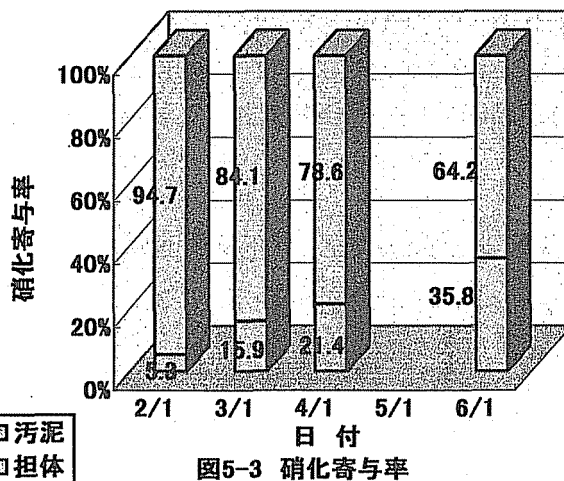


図5-3 硝化寄与率

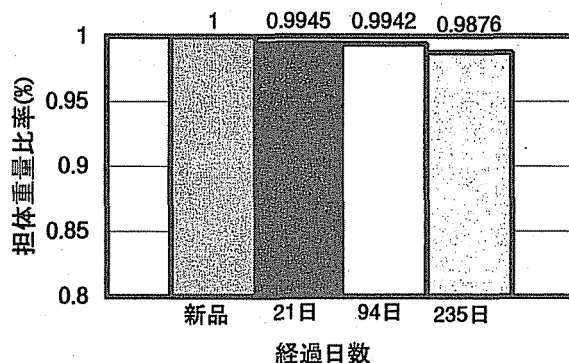


図6-1 担体重量比率

## 7. まとめ

機械式散気装置を用いた生物担体法についてパイロット試験による連続試験を行うことにより以下の知見を得た。

- (1) 硝化槽で担体を均一攪拌するのに必要な機械式散気装置の動力投入密度は  $55\text{w/m}^3$  以上であった。
- (2) 連続試験は冬季から立ち上げたが、水温とともに硝化性能は上昇し、5月中旬には、 $\text{NH}_4\text{-N}$  除去率が 70%、6月には 100%近くになり、 $\text{Kj-N}$  の除去率は 90%以上、 $\text{T-N}$  除去率は 70%以上と良好な結果を得た。
- (3) ASRT、硝化速度の検討から、浮遊汚泥の硝化速度以上に硝化が進行しているのは、担体の硝化菌によるものと推定される。
- (4) 回分試験の結果、連続運転の経過とともに汚泥と担体の硝化速度が上昇し、特に担体は硝化寄与率が増加していることが判明した。今後は、担体に硝化菌が十分付着した段階で、冬季でデータ採取し、水温に対する本処理システムの硝化能力を評価する必要がある。
- (5) 担体の重量は8ヶ月経過で、新品に対し 1.3%程度摩耗した。今後も運転を継続し、摩耗状況を把握していく予定である。

最後に、今回の試験にあたり、浄化センターの方々をはじめ、関係者の方々に感謝の意を深く表します。

### <参考文献>

- 1) 「下水道施設計画・設計指針と解説 後編-1994-」建設省都市局下水道監修
- 2),3),4) 「活性汚泥循環変法の技術資料」'86.11 日本下水道事業団技術開発部編集