

## 流動床式窒素除去プロセス :

### PABIO DENI (パビオ デニ)

Moving Bed Nitrogen Removal Process, PABIO DENI



(環) 製品開発室  
熊野 晋  
Susumu Kumano  
野中 信一  
Shinichi Nonaka

流動床式窒素除去プロセス PABIO DENI (パビオデニ) のベンチスケール実験による硝化、脱窒の単独処理性能の調査結果を紹介するとともに、海外における PABIO DENI の実績例及び処理性能を紹介する。

ベンチスケール実験では硝化に関して  $\text{NH}_4\text{-N}$  容積負荷  $0.9 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ 、脱窒に関しても  $\text{NO}_3\text{-N}$  容積負荷  $3.5 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$  でいずれも 98 % 以上の高い除去率が得られることが確認できた。海外の実績では約  $10^\circ\text{C}$  の低水温において HRT 3~6 hr で窒素除去が可能である。

This paper introduces the moving bed nitrogen removal process, PABIO DENI, at a bench-scale test in our laboratory and operation data in European countries.

A bench-scale test, using artificial wastewater demonstrated a high removal ratio as 98% or above with  $0.9 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$   $\text{NH}_4\text{-N}$  volumetric loading for nitrification and with  $3.5 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$   $\text{NO}_x\text{-N}$  for denitrification.

In operation data, it is possible to remove nitrogen for 3 to 6 hours even at a low temperature as  $10^\circ\text{C}$ .

#### Key Words :

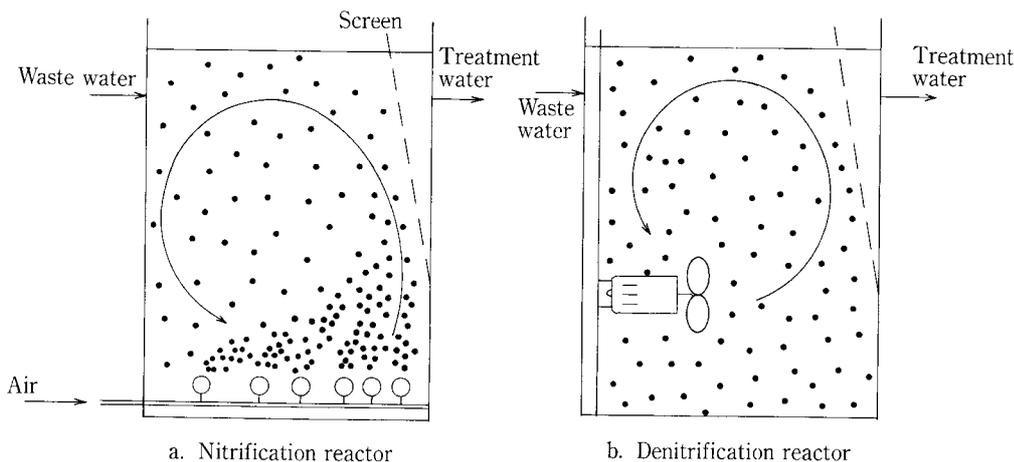
硝	化	Nitrification
脱	窒	Denitrification
M B B R		Moving Bed Biofilm Reactor
硝化細菌		Nitrifying bacteria
流動床		Fluidized Bed

#### まえがき

閉鎖性海域の富栄養化を防止するため1993年10月より窒素が新たに排水規制対象に加えられた。しかし、その施行に当たっては暫定基準が適用され、5年の猶予期間が設けられていたため、排水規制の本格的運用は1998年10月からとなる。現在、窒素含有排水を排出する工場等では、この規制に合わせ鋭意

対応策の検討がなされている状況である。

一般に、下水等の有機物と窒素を含む廃水では従来の活性汚泥法の処理工程の中に無酸素槽を設け、BODと窒素を同時に除去する活性汚泥循環変法が採用されるのが通常であった。しかしこの方式は、多大な設備面積を必要とするため、より省スペースで効率的な方法が望まれている。効率的な方法とし



第1図 PABIO DENI 装置概念図  
Fig. 1 Scheme of PABIO DENI

て、担体投入法、生物膜法等が開発されている。

既報<sup>1)</sup>で紹介したように流動床式生物膜処理装置 PABIO MOVER は省スペースで、しかも従来の固定床式生物膜法における担体の目詰まり等の欠点を解消した流動床方式の新しい処理装置である。この PABIO MOVER は反応槽に特殊な形状の担体を投入して流動化させるとともに、高活性の汚泥（微生物）を担体に付着保持させることでより高負荷処理が可能で、好気処理、嫌気処理のどちらにも適用でき、単に BOD 除去だけでなく窒素除去も同時に行うことが可能である。

流動床式窒素除去プロセス (PABIO DENI) は海外で多くの実績を有するが、窒素濃度や性状の異なる日本での各種の廃水に適用するに当たっては、硝化、脱窒それぞれの基本処理性能を把握する必要がある。今回、ベンチスケール実験による硝化、脱窒単独の除去能力調査結果を報告するとともに、海外の実績例を紹介する。

## 1. PABIO DENI の概要

### 1.1 原理及び構造

PABIO DENI の硝化槽、脱窒槽の概念図を第1図に示す。硝化槽、脱窒槽内に充填した担体は、第1図 a, b に示したように硝化槽ではエアレーションによって、脱窒槽では機械攪拌によって流動化される。各々の槽には担体が出ないようにスクリーンを設けている。担体の材質は高密度ポリエチレン（密度  $0.92 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$ ）であり、形状は直径 10mm、高さ 7mm の円筒型である。円筒内は十字の仕切が、また周囲にはフィンが付いており、十字の仕切は担体強度のアップと表面積の増加に、フィンは攪拌効率の向上に役立っている。担体の充填率は硝化槽、

脱窒槽とも標準は約 70%（リアクター有効容積の 2/3）とされるが、この充填率は約  $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$  の生物膜の比表面積に相当する。

写真 1 に PABIO DENI で使用される攪拌機を示す。エネルギー効率の面では縦型より横型の方が効率的であるため、プロペラ型攪拌翼が採用される。

### 1.2 特長

本プロセスはその独特な担体形状により次のような特長を有する。

- ① 有効表面積が広く、高活性の微生物を保持できるため高負荷処理が可能である。
- ② 担体付着微生物による処理を行うので、返送汚泥が不要等汚泥管理、運転管理が容易である。
- ③ 担体の激しい攪拌、流動により増殖微生物による目詰まりがなく、逆洗が不要である。

## 2. 従来のプロセスとの比較

下水等の有機物 (BOD) と窒素を含んだ排水では、主として第2図に示す硝化液循環式脱窒法が適

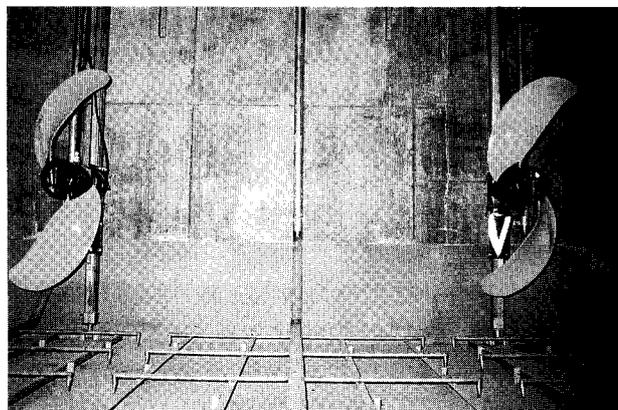
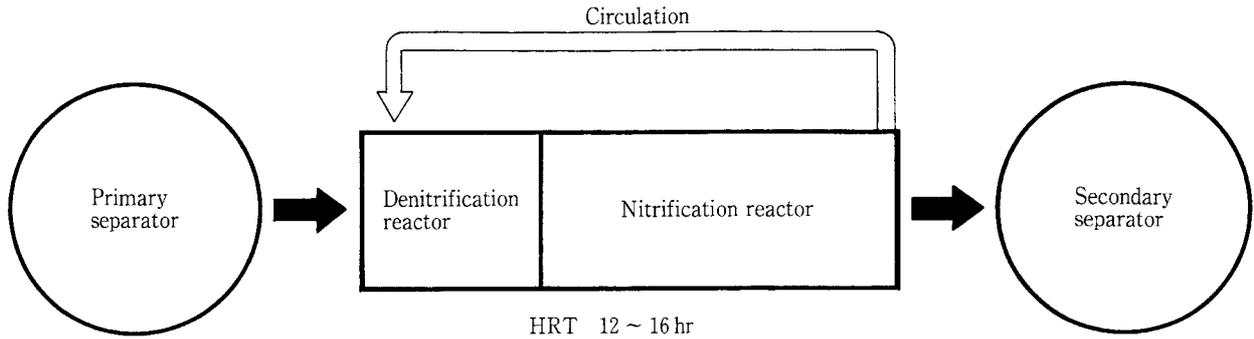


写真 1 脱窒槽の横型攪拌機  
Photo.1 Mechanical agitators in denitrification reactor



第2図 硝化液循環式脱窒法  
Fig. 2 Activated sludge process with circulation

第1表 PABIO DENI と従来法との比較  
Table 1 Comparison of PABIO DENI to conventional processes

		PABIO DENI	Activated sludge process with recirculation	Advanced nitrification process with recirculation
Carrier elements		Required	Not required	Required
Filling ratio of carrier elements (%)	Nitrification	50-70	—	10-20
	Denitrification	50-70	—	0
Type of sludge used		attached sludge	suspended sludge	attached and suspended sludge
Return sludge		Not-required	Required	Required
HRT (hr)	Nitrification	2-3	6-8	2-3
	Denitrification	2-3	6-8	4-5

用される。

担体を利用しない従来の方法は活性汚泥循環変法と称される。これは硝化処理液を脱窒槽に循環返送することによって脱窒反応に必要な水素供与体や硝化槽での pH 調整剤を節減する方法である。この方法では脱窒槽、硝化槽を合わせた HRT は一般に 12~16 hr 必要である。これに対し近年、硝化槽に担体を投入して硝化菌を固定化し菌体濃度を高めて処理する硝化促進型循環変法が下水道分野を中心に開発されており、HRT 8 hr で BOD と窒素の同時除去が可能である。ここで使用される担体は、包括固定型や結合型があり、材質は PEG, PP, スポンジ等のものがある。

これらの硝化促進型の処理方法と PABIO DENI との比較を第1表に示す。PABIO DENI は次の2点が大きな特徴であり、反応槽の HRT は 3~4 hr で窒素除去が可能である。

- ① 硝化槽と脱窒槽に担体を投入する。
- ② 浮遊汚泥を再利用しないので返送汚泥が不要

### 3. ベンチスケール基礎実験

工場廃水等、原水の窒素濃度が異なる各種廃水への適用性、HRT 及び容積負荷の影響、担体付着汚泥量などの確認を目的としてベンチスケール実験を行った。

#### 3.1 装置及び方法

##### 3.1.1 装置

実験には第1図に示した構造の硝化槽及び脱窒槽を各々2基使用し、1基は滞留時間の影響を、他の1基は容積負荷の影響を調査した。硝化、脱窒槽の有効容積は各々5, 3.5 L であり、担体を有効容積の2/3量投入した。担体の流動化は硝化槽は曝気用空気によって、脱窒槽は縦型攪拌機にて行った。硝化槽では硝化の進行に伴って pH が低下するため、pH コントロールを行ったが、pH センサーは槽上部に設置し、pH 調整剤には 1% の NaOH を使用した。脱窒槽には水素供与体としてメタノールを使用した。投入量はメタノールの不足が除去律速とならないように 3.5 g/g 流入 NO<sub>3</sub>-N に設定した。

第 2 表 合成廃水の組成

Table 2 Composition of artificial wastewater

	Substance	Concentration
Nitrification	NH <sub>4</sub> Cl	12 ~ 125 as N
	NaHCO <sub>3</sub>	50 ~ 500 as CaCO <sub>3</sub>
Denitrification	NaNO <sub>3</sub>	35 ~ 150 as N
Nitrification and denitrification	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1 ~ 10 as P
	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	1 ~ 10 as Mg
	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1 ~ 10 as Ca
	FeCl <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	0.2 ~ 2 as Fe

### 3. 1. 2 実験原水

実験には第 2 表に示した組成の合成廃水を使用した。原水の NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>3</sub>-N 濃度はそれぞれ実験目的により 12~125 mg/L, 35~150 mg/L の範囲で変化させた。

### 3. 1. 3 実験条件

実験条件の変更にあたっては除去率 90 % を目安とした。実験期間中の硝化及び脱窒槽の水温は 22~26 °C であった。

### 3. 1. 4 計算式

滞留時間 (HRT) 及び容積負荷 (LD<sub>v</sub>) の計算は次式で示すように有効容積を基準とした。

$$HRT = \frac{V}{Q_i/24} [\text{hr}] \quad \dots\dots(1)$$

$$LD_v = \frac{Q_i \times C_i \times 10^{-3}}{V} [\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}] \quad \dots\dots(2)$$

V : 硝化槽 (脱窒槽) 有効容積 [L]

Q<sub>i</sub> : 原水流量 [L/d]

C<sub>i</sub> : 原水 NH<sub>4</sub>-N (NO<sub>x</sub>-N) 濃度 [mg/L]

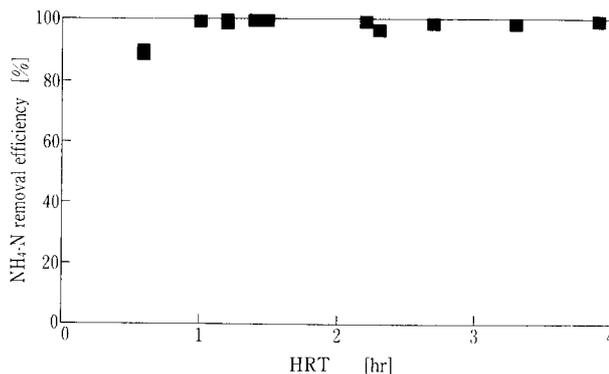
注記) NO<sub>3</sub>-N と NO<sub>2</sub>-N の合計を NO<sub>x</sub>-N と表示

## 3. 2 結果及び考察

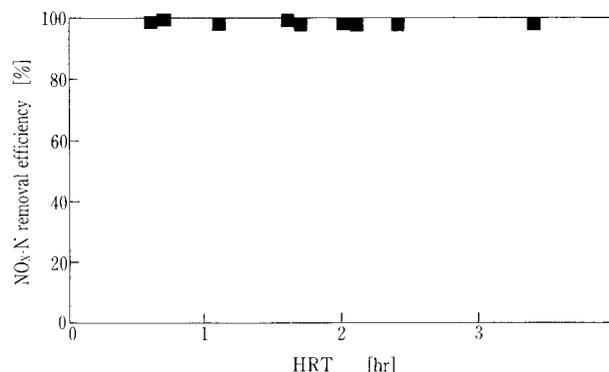
### 3. 2. 1 HRT の影響

原水の NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N 濃度をそれぞれ 13~25 mg/L, 35~50mg/L に固定し, HRT を段階的に短縮した。

硝化及び脱窒処理における HRT と硝化率及び NO<sub>x</sub>-N 除去率の関係を第 3, 4 図に示す。硝化処理では HRT 1 ~ 4 hr の範囲で概ね 98 % 以上の硝化率が得られ, HRT 0.5 hr においても約 90 % の硝化率が得られた。一方, 脱窒処理では HRT



第 3 図 硝化槽 HRT と硝化率の関係  
Fig. 3 Influence of HRT on the NH<sub>4</sub>-N removal efficiency



第 4 図 脱窒槽 HRT と NO<sub>x</sub>-N 除去率の関係  
Fig. 4 Influence of HRT on the NO<sub>x</sub>-N removal efficiency

0.5~3.5 hr の範囲で 98 % 以上の NO<sub>x</sub>-N 除去率が得られた。本流動床式の硝化, 脱窒処理では HRT が 0.5 hr 以上であれば, HRT に影響されことなく 90 % 以上の高い除去効率が得られることが確認できた。

### 3. 2. 2 容積負荷の影響

HRT をそれぞれ所定時間に固定し, 原水 NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>3</sub>-N 濃度をそれぞれ 125 mg/L, 150 mg/L まで段階的に高めた。

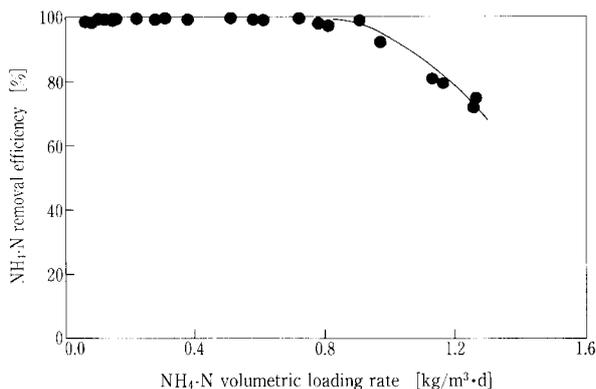
硝化, 脱窒処理における容積負荷と硝化率及び NO<sub>x</sub>-N 除去率の関係を第 5, 6 図に示す。硝化処理では NH<sub>4</sub>-N 容積負荷 0.9 kg/m<sup>3</sup>·d 以下で 98 % 以上の硝化率が得られた。NH<sub>4</sub>-N 負荷と除去速度の関係で示すと第 7 図のようになり, NH<sub>4</sub>-N 除去速度は 0.9 kg/m<sup>3</sup>·d で一定の値となる。これは NH<sub>4</sub>-N 容積負荷 0.9 kg/m<sup>3</sup>·d 以下で処理した場合 98 % 以上の硝化率が得られることを示している。

一方, 脱窒処理では第 6 図に示したように NO<sub>x</sub>-N 容積負荷 3.5 kg/m<sup>3</sup>·d の高い負荷でも 98 % 以上の

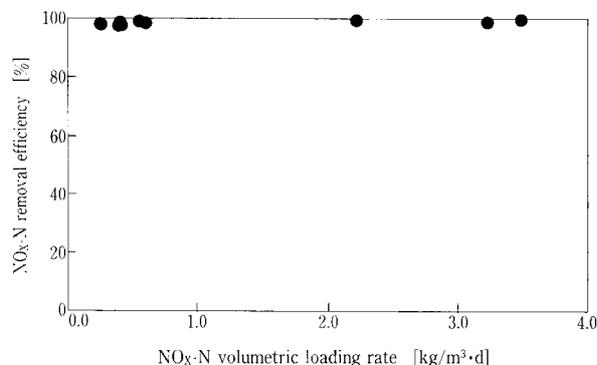
NO<sub>x</sub>-N 除去率が得られている。脱窒については実験を継続して限界負荷を確認中である。

### 3. 2. 3 担体付着汚泥量

超音波洗浄器（日本エマソン(株)ブランソニック 2210 DTH型, 47 kHz, 125 W) を用いて, 次の手順で担体付着汚泥を剥離させ, 剥離液の SS 濃度を測定することによって担体付着汚泥量を求めた。ここで, 担体付着汚泥量は有効容積基準の保持 SS 濃



第 5 図 NH<sub>4</sub>-N 負荷と硝化率の関係  
Fig. 5 Relation between NH<sub>4</sub>-N volumetric loading rate and NH<sub>4</sub>-N removal efficiency.



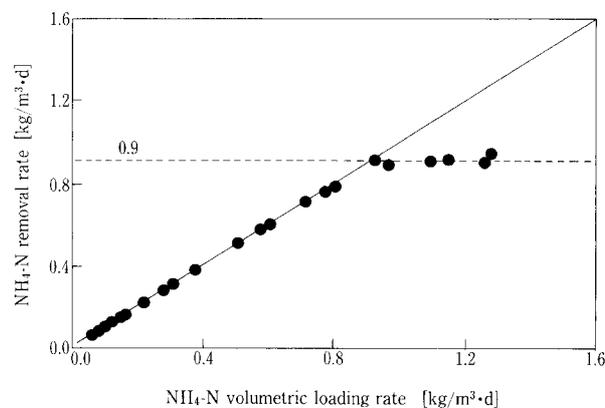
第 6 図 NO<sub>x</sub>-N 負荷と NO<sub>x</sub>-N 除去率の関係  
Fig. 6 Relation between NO<sub>x</sub>-N volumetric loading rate and NO<sub>x</sub>-N removal efficiency.

度に換算して表した。

担体付着汚泥剥離手順は次のとおりである。

- 担体 20~50 ケを採取。(付着汚泥量により加減)
- 100~120 mL のビーカーに担体を入れ, 純水 50~100 mL 及び専用洗剤 0.5~1 mL を注入し洗浄器にセット。
- 温度を 50 °C に保ち 30 分間超音波処理。(付着量が多い場合は b,c の操作を 2 回行う)
- 洗浄後の汚泥剥離液の液量及び SS 濃度を測定。

測定結果を第 3 表に示すが, 硝化, 脱窒ともに担体付着汚泥量は容積負荷に比例して増加する傾向が見られた。実験における最大負荷での付着汚泥量は硝化槽で 992 mg/L, 脱窒槽で 3 020mg/L であった。汚泥付着状況を写真 2 に示すが, 大部分は内部に付着しており, 外周部は薄い生物膜であることが判る。本実験では SS を含まない合成廃水を使用しているため VSS/SS 比は約 0.95 と高く, 付着汚泥のほとんどは菌体とみなすことができる。なお, 槽内の浮遊汚泥量は硝化, 脱窒ともに非常に少なく, いずれも 10 mg/L 以下であった。



第 7 図 NH<sub>4</sub>-N 負荷と NH<sub>4</sub>-N 除去速度の関係  
Fig. 7 Relation between NH<sub>4</sub>-N volumetric loading rate and NH<sub>4</sub>-N removal rate

### 第 3 表 担体付着汚泥量測定結果

Table 3 Amount of attached biomass on the carrier elements

Item	N loading	Nitrification reactor			Denitrification reactor	
		0.61 kg/m <sup>3</sup> ·d	0.97 kg/m <sup>3</sup> ·d	1.27 kg/m <sup>3</sup> ·d	0.50 kg/m <sup>3</sup> ·d	3.48 kg/m <sup>3</sup> ·d
Amount of attached biomass (mg/L)		289	755	992	457	3 020
VSS/SS ratio	(-)	0.94	—	0.96	—	0.96
Activity of N reduction (kg/kg·d)		1.48	1.18	1.02	1.07	1.15

\* N means NH<sub>4</sub>-N for nitrification or NO<sub>x</sub>-N for denitrification

第 4 表 硝化細菌測定結果

Table 4 Result of measurement of the nitrifying bacterias

NH <sub>4</sub> -N loading	Nitrate bacteria		Nitrate bacteria	
	MPN/mL	MPN/mgSS	MPN/mL	MPN/mgSS
0.47 kg/m <sup>3</sup> ·d	4.9×10 <sup>5</sup>	2.2×10 <sup>7</sup>	4.9×10 <sup>5</sup>	2.2×10 <sup>7</sup>
0.54 kg/m <sup>3</sup> ·d	3.3×10 <sup>5</sup>	8.7×10 <sup>6</sup>	4.9×10 <sup>5</sup>	1.3×10 <sup>7</sup>

第 5 表 所要 HRT (原水NH<sub>4</sub>-N=40mg/L)

Table 5 HRT on the N removal process

HRT	Nitrification reactor hr	Denitrification reactor hr	Total hr
24 °C	1.1	0.3	1.4
10 °C	3.7	1.0	4.7

### 3. 2. 4 単位 SS 当たりの除去能力

硝化, 脱窒槽の単位 SS 当たりの NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>x</sub>-N 除去能力を付着汚泥量測定結果と連続処理における容積負荷及び除去率から求めた。

硝化槽の単位 SS 当たりの NH<sub>4</sub>-N 除去能力は第 3 表に示したように平均 1.22 kg/kg·d の範囲で, 脱窒槽の NO<sub>x</sub>-N 除去能力は平均 1.11 kg/kg·d であった。合成排水を使用したときの 20°C における NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>x</sub>-N 除去能力はそれぞれ 0.25, 0.31 kg/kg VSS·d であったとの報告例があるが, 実験結果はこれらの値と比較すると 3~4 倍高いことになる。本装置では担体が激しく流動しているため, 担体に付着した生物膜は過剰に肥大することなく一定の厚みが維持され, 基質や酸素の拡散速度が大きいこと, 及び常に世代更新された活性の高い菌体が保持されることが高い除去能力が得られる要因と推測される。

前述の推論を硝化槽内の硝化細菌数から検討した。硝化細菌数は担体 50 ケを超音波処理し, 汚泥剥離液を MPN 法により測定した。測定結果を第 4 表に示すが, 亜硝酸菌 (アンモニア酸化細菌) は 3.3~4.9×10<sup>5</sup> MPN/mL, 硝酸菌 (亜硝酸酸化細菌) は 4.9×10<sup>5</sup> MPN/mL であった。これらの値は SS 量当たりに換算して表すと 0.87~2.2×10<sup>7</sup> MPN/mg となる。

硝化促進運転を行っている下水処理場の活性汚泥混合液中の硝化細菌は 1×10<sup>7</sup>~10<sup>8</sup> MPN/mL で存在する場合が多いと言われている<sup>3)</sup>。活性汚泥の MLSS 濃度は通常 2 000~3 000 mg/L であるため SS 当たりにすると 4×10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup> MPN/mg となり, 本法と活性汚泥の硝化細菌数は大差ない。本法の付

着細菌の活性度が高いことを示唆している。

### 3. 3 硝化・脱窒プロセスの所要 HRT の検討

ベンチ実験結果を基に, 無機性のアンモニア含有廃水を対象とした硝化・脱窒プロセスにおける所要滞留時間を求めた。原水 NH<sub>4</sub>-N 濃度は下水と同程度の 40 mg/L として, 後述のヨーロッパでの実績値と比較した。計算に当たっては NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>x</sub>-N 除去速度を各々 0.9, 3.5 kg/m<sup>3</sup>·d とし, 温度換算は(3)式により行った。

$$K_2 = K_1 \cdot \theta^{(T_2 - T_1)} \quad \dots\dots(3)$$

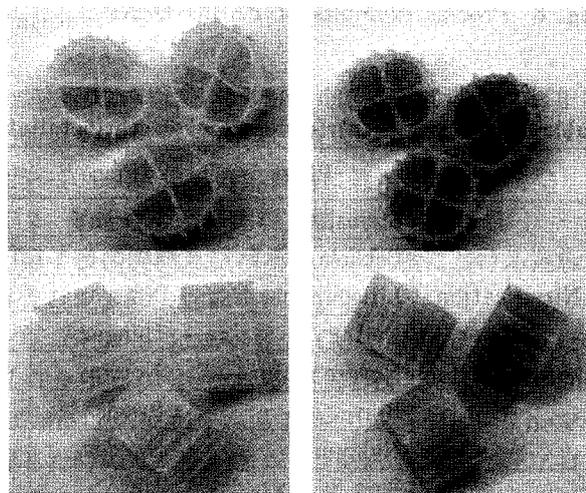
ここで,

K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>: T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> での NH<sub>4</sub>-N (NO<sub>x</sub>-N) 除去速度 [kg/m<sup>3</sup>·d]

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>: 硝化槽 (脱窒槽) の水温 [°C]

θ: 温度係数 [-] (=1.09)

硝化, 脱窒を合わせた反応槽の HRT は第 5 表に示したように温度 24 °C のとき 1.4 hr, 10 °C のとき 4.7 hr となる。10 °C の HRT はヨーロッパでの実

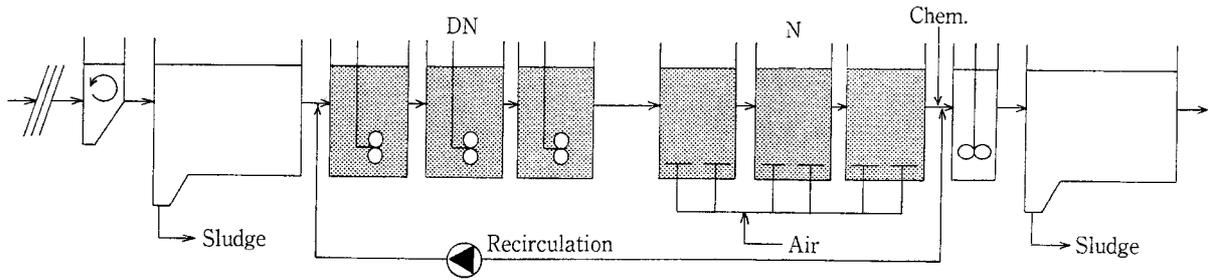


硝化槽  
Nitrification reactor

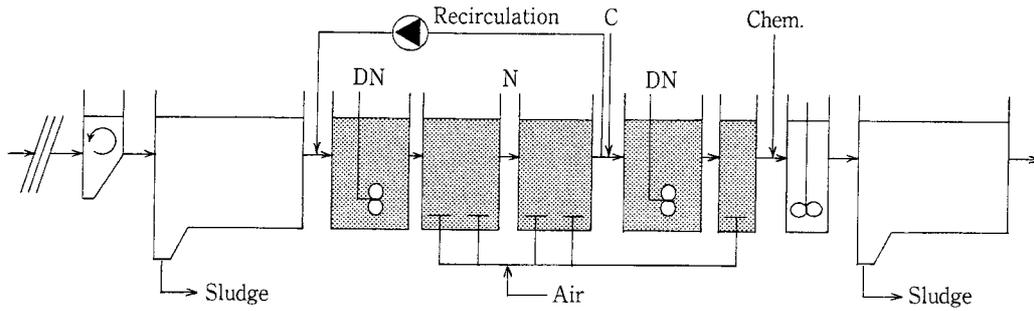
脱窒槽  
Denitrification reactor

写真 2 生物膜付着状況

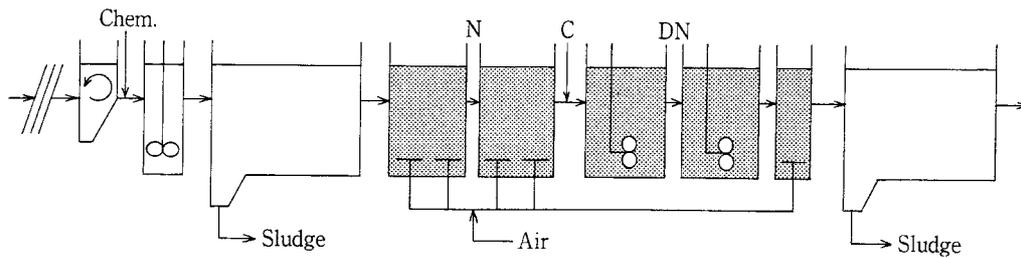
Photo. 2 Biofilm formed on carrier elements



a. Pre-denitrification of primary effluent



b. Combined pre- and post-denitrification of primary effluent



c. Post-denitrification of pre-precipitated wastewater

N : Nitrification reactor    C : Carbon source  
 DN : Denitrification reactor

第 8 図 PABIO DENI 窒素除去プロセス例  
 Fig. 8 Process examples of PABIO DENI

第 6 表 海外での PABIO DENI の実績(下水処理)  
 Table 6 Records of performance overseas installation(Wastewater treatment)

	Plant	Place	Year of completion	Size P.E.	Reactor Volume m <sup>3</sup>	Type of process*
Nitrification and Denitrification	Steinsholt	Norway	1990	625	50	a
	Bekkelaget	Oslo	Test line 1992-93	15 000	595	c
	Lillehammer	Norway	1994	70 000	3 840	b
	Dejtar	Hungary	1995	3 000	206	a
	Nordre Follo	Norway	1997	40 000	3 700	c
	Bjuv	Sweden	1997	16 000	171	c
	Nykoping	Sweden	1998	70 000	3 660	a
Nitrification	Bury St.Edmonds	UK	1995	40 000	500	Nitrification
	Braintree STW	UK	1998	28 000	2 360	Nitrification
	Great Dunmow STW	UK	1998	8 000	650	Nitrification

\* Type of processes show in Figure 8  
 P.E.means "population equivalents"

第7表 実機及びパイロット実験における運転条件及びT-N除去性能

Table 7 Operating conditions and removal capacity of T-N at Full-scale or Pilot running

		Guadalix (Spain)	Bekkelaget (Norway)	Bekkelaget (Norway)
Process		a	b	c
Full-or Pilot-scale		Pilot	Pilot	Full
Nitrification and Denitrification HRT (hr)		6	3.5-4	2.5-3
Addition from external carbon source COD <sub>Cr</sub> /T-N(g /		0	2.9	4.7
Recirculation ratio (%)		400	50-150	0
Water temperature (°C)		15-20	7-18	7-18
Wastewater	BOD (mg/L)	185	—(99.4)*	58
	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	297	159	191
	SS (mg/L)	74	53	98
	T-N (mg/L)	35	24	28
	NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	27	19	21
	T-P (mg/L)	7.8	2	1.7
	COD <sub>Cr</sub> /T-N (-)	8.5	6.6	6.8
	BOD/T-N (-)	5.3	(4.1)*	2.1
T-N removal efficiency (%)		75	>80	>85

\*Calculated as "COD<sub>Cr</sub>=1.6 BOD"

第8表 Lillehammer WWTP 主要データ

Table 8 Key data for the Lillehammer WWTP.

Design flows:	-Dry weather	26 000 m <sup>3</sup> /d	Details for one biological train:		
			Reactor	Empty bed volume	Mode*
Primary settling:	-Max. wet weather	43 000 m <sup>3</sup> /d			
	-Total surface area	600 m <sup>2</sup>			
Moving Bed Biofilm Reactors:	-Water depth	2.5 m	1	180 m <sup>3</sup>	AN/AE
	-Total empty bed volume	3 840 m <sup>3</sup>	2	180 m <sup>3</sup>	AN/AE
Flocculation (4 reactors in series):	-Specific biofilm surface area	325 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	3	180 m <sup>3</sup>	AN/AE
	-Water depth	5.5 m	4	380 m <sup>3</sup>	AE
	-Total volume	600 m <sup>3</sup>	5	380 m <sup>3</sup>	AE
	-Water depth	5.5 m	6	176 m <sup>3</sup>	AN/AE
Secondary settling:	-Total surface area	860 m <sup>2</sup>	7	176 m <sup>3</sup>	AN/AE
	-Water depth	3.5 m	8	176 m <sup>3</sup>	AN
			9	92 m <sup>3</sup>	AE
			Total	1 920 m <sup>3</sup>	

\*AE=aerobic reactor, AN/AE=reactor can be either anoxic or aerobic.

績値とはほぼ同じであり、低水温時でも短い HRT で処理可能なことが確認できた。

#### 4. 海外における事例紹介<sup>4)</sup>

PABIO MOVER プロセスは、国内ではまだ BOD 除去の実績であるが、海外においては BOD 除去のみならず窒素除去についても多くの実績がある。ここでは、パイロット実験を含めた海外における PABIO DENI について処理性能等を紹介する。

##### 4.1 処理プロセス

第8図に PABIO DENI を示す。プロセスには大きく分けて循環式脱窒処理(第8図a)、2段式循環脱窒処理(第8図b)、直列式硝化脱窒処理(第8図c)がある。流入原水の水質及び目標とする処理水質によってこれらのプロセスが使い分けられる。

第6表に実績を示すが、上記 a~c のプロセスの他に硝化処理単独への適用を含めて、処理人口 625~70 000 人規模の処理場に適用されている。

##### 4.2 処理性能及び実機実績

第7表に実機及びパイロット実験における運転条件及び窒素除去性能を示す。

プロセス a はスペイン Guadalix で行われたパイロットテストであるが、T-N 35 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 297 mg/L の廃水を水温 15~20 °C, HRT 6 hr で処理した時の T-N 除去率は 75 % であった。プロセス b はノルウェー Bekkelaget で行われたパイロットテストで、T-N 24 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 159 mg/L の廃水を水温 7~18 °C, HRT 3.5~4 hr で処理したときの T-N 除去率は 80 % 以上であった。プロセス b

第 9 表 無機窒素除去性能  
Table 9 Removal of inorganic N

	Flow (m <sup>3</sup> /d)	Water temp. (°C)	Inorganic N		
			Infl.(mg/L)	Effl.(mg/L)	% removal
Average	7 900	6.3	17.2	3.1	82
Minimum	7 600	6	16.1	2.2	74.5
Maximum	8 300	6.5	17.7	4.1	87.6

は a より廃水の T-N, COD<sub>Cr</sub> 濃度が低いため, a より短い HRT で処理ができると考えられる。プロセス c はノルウェー Bekkelaget での実機運転実績であるが T-N 28 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 191 mg/L の廃水を水温 7~18 °C, HRT 2.5~3 hr で処理した時の T-N 除去率は 85 % 以上であった。上記に示したようにプロセスの HRT は廃水の T-N, COD<sub>Cr</sub> 濃度により変化するが低水温期でも 6 hr 以下で処理可能である。

#### 4. 3 Lillehammer のプロセス

Lillehammer のプロセスを例として, PABIO DENI の設備, 仕様, 処理性能の詳細を紹介する。

##### 4. 3. 1 処理フロー

Lillehammer の処理フローは第 8 図のプロセス b に相当し, 第 1 脱窒槽 3 槽 : (R1~R3), 硝化槽 2 槽 : (R4~R5), 第 2 脱窒槽 3 槽 : (R6~R8), 再曝気槽 1 槽 : (R9), の構成からなっている。第 8 表に設備の主要データを示すが, 第 1 脱窒槽の 3 槽目と第 2 脱窒槽の前 2 槽は好気槽としても利用できるように散気装置を設置しており, プロセス a や c にも変更が可能である。なお, 水素供与体は第 2 脱窒槽に各々供給できるようになっており, 苛性ソーダ等の中和剤は使用していない。

##### 4. 3. 2 処理結果

実際の運転に当たっては, R1, R2 を第 1 脱窒槽, R3~R5 を硝化槽として使用し, R6 を溶存酸素 (DO) を減少させるための無酸素槽, R7, R8 を第 2 脱窒槽, R9 を再曝気槽として使用された。なお, 硝化液は R6 から R1 へ返送され, 水素供与体 (エタノール) は R7 に投入されている。R6 を無酸素

槽にすることによりエタノール添加量を低減できる工夫がなされている。

この処理フローでの T-N の処理水質を第 9 表に示す。平均水温が 6.3 °C と低いながらも無機性窒素の除去率は平均で 82 % であり, 最小でも 74.5 % と処理は良好に行われている。

#### む す び

今回, ベンチスケール実験結果及び海外の実績例により, PABIO DENI の処理性能を紹介したが, 従来の方法に比べて優れていることが示された。現在, 各種廃水に対応したプロセスを確立すべく実験継続中であるが, 下水道分野への適用についても実証試験を計画中で, この詳細については次回報告したい。

PABIO DENI は担体付着微生物による処理を行うため, 返送汚泥が不要で運転管理が容易である。また本法は短い滞留時間で窒素除去が可能であることから, 廃水処理設備のための敷地に余裕のない日本では非常に有用であると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 川島ら : 神鋼パンテック技報, Vol. No.1 (1997) p.18
- 2) 財土木研究センター建設省総合技術開発プロジェクト : バイオテクノロジーを活用した新排水処理システムの開発報告書(下水道編), (平成 3 年 2 月) p.634
- 3) 下水試験方法 上巻 (1997 年度版, p.609)
- 4) Rusten, B.; Silludalen, J. G. and Bungum, S.: Moving Bed Biofilm Reactors and for Nitrogen Removal-From Initial Pilot Testing to Start-Up of the Lillehammer WWTP. Proceedings, WEFTEC' 95, Miami Beach, Florida, Oct. 21-25, 1995, Vol 1, p. 615-626

連絡先

熊 野 晋 環境装置事業部  
製品開発室  
TEL 078-992-6532  
FAX 078-992-6503  
E-mail s.kumano@pantec.co.jp

野 中 信 一 環境装置事業部  
製品開発室  
担当課長  
TEL 078-992-6532  
FAX 078-992-6503  
E-mail s.nonaka@pantec.co.jp