

## 固定化活性汚泥を用いる排水処理実験

岡山大学医学部細菌学教室 (主任: 金政泰弘教授)

板谷 勉, 平井 義一, 金政 泰弘

順正短期大学保健科

長 町 栄 子

(平成 3 年 8 月 27 日受稿)

**Key words** : 固定化活性汚泥, 固定化, 硝化, 排水処理

### 緒 言

公共水域, とりわけ湖沼等閉鎖性水域の生活排水に起因する汚濁は深刻であり, その防止対策は焦眉の課題である。

このような背景の下, 排水処理の効率化とそれに伴う施設のコンパクト化を目指して, 様々な処理方式が数多く研究されている。なかでも, 固定化微生物法は, 1) 特定の処理機能を有するが, フロック形成能のない微生物を排水処理に適用できる, 2) 有用微生物を高濃度に処理槽内に保持できる, 3) 沈殿池における処理水の固液分離が容易である, 4) 施設がコンパクト化できる等から活発な応用研究が実施されている<sup>1)~8)</sup>。今回, 固定化活性汚泥を排水処理に適用する際の基礎資料を得る目的で, その処理機能を従来の浮遊型の活性汚泥法の処理機能を対照として検討した。

### 装置及び方法

#### 1. 固定化活性汚泥の作成

硝化脱窒工程を有する既設の尿処理場の硝酸化槽水(槽中の浮遊物質濃度3,500mg/l, 以下MLSSと言う)中の活性汚泥を4℃, 5,500×g 10分間の遠心分離により濃縮後, 得られた濃縮汚泥を少量の上澄液に懸濁し, 濃厚汚泥懸濁液 (MLSS 60,000mg/l)を得た。次いで, 干畑ら<sup>9)</sup>の方法に準じて, 18%ポリアクリルアミドゲル内に包括固定化した。即ち, アクリルアミド水

溶液 (アクリルアミド36%, N, N'-メチレンビス (アクリルアミド) 2%, 3-(ジメチルアミノ)プロピオニトリル1%)と, 0.1%過硫酸カリウムを含む濃厚汚泥懸濁液を1:1の割合で混合した後, 内径3mmφのアクリルチューブ内で重合した。重合した円柱状のペレットは蒸留水で十分洗浄した後, 切断して2~2.5mmφ×7mmの固定化活性汚泥を得た。同様に, 活性汚泥を含まない同形のポリアクリルアミドゲルを作成した。

#### 2. 実験装置及び運転方法

実験に用いた装置は, Fig. 1に示すエアリーフト型の単一曝気槽である。槽有効容量は8.2ℓで, 槽下部から原水が供給され, 槽上部から処理水がオーバーフローして放流される構造になっている。本装置を3本使用し, 1本には上述の固定化活性汚泥ゲルを槽有効容量の18.3%(1.5ℓ, 最終MLSS濃度5,400mg/l)充填し, もう1本には活性汚泥を含まない, 固定化担体のみのゲルを同様に槽有効容量の18.3%(1.5ℓ)充填した。3本目の槽には何も充填せず, 槽内で自然に増殖してくる浮遊の活性汚泥を利用する従来の浮遊槽とした。以下, 固定化活性汚泥を充填した槽を固定化槽, 固定化担体のみを充填した槽を担体槽, 従来の浮遊槽を浮遊槽と呼ぶ。固定化槽, 担体槽及び浮遊槽の各槽に, 槽下部から原水として Table 1に示す人工下水を, 8.2ℓ/日の割合で連続的に供給し, 運転を開始した。また, 各槽とも槽下部から1ℓ/分の割合で空気

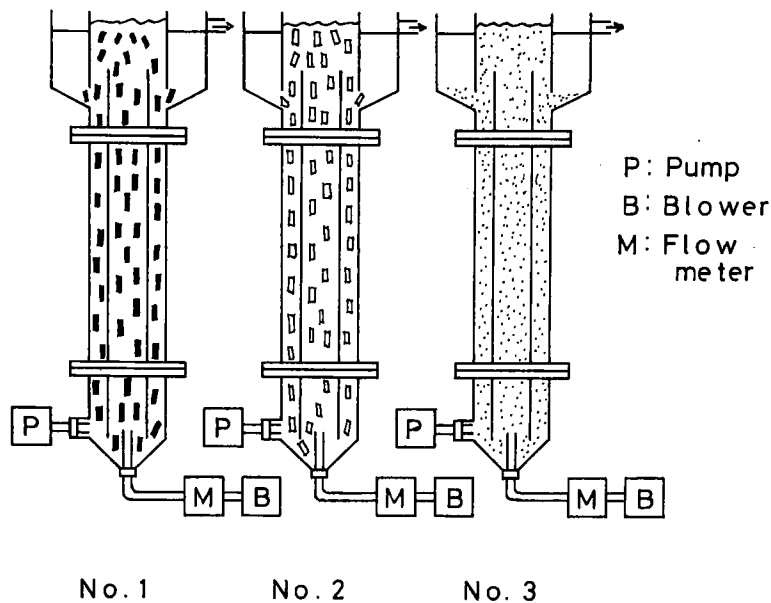


Fig. 1 Apparatus for the sewage treatment.

No. 1: the immobilized activated sludge gel packed tank.

No. 2: the immobilizing carrier packed tank.

No. 3: the free activated sludge tank.

を送り、槽内を好気状態にすると共に、槽液を混合攪拌した。BOD 負荷量は $0.16\sim 0.2\text{kg}/\text{m}^2/\text{日}$ であった。装置は室内で春季の5月から冬季の12月まで7カ月間運転し、その間1週間に1度の頻度で、原水（人工下水）及び処理水を採用し、水質分析結果から3者の処理機能を比較

検討した。装置の運転期間中の水温は、 $15.5^\circ\text{C}$ から $28.5^\circ\text{C}$ であり、処理水温としては比較的温かな条件であった。

### 3. 水質分析

採取した原水及び処理水は、水素イオン濃度 (pH)、生物化学的酸素要求量 (BOD)、ケルダール態窒素 (Kj-N)、亜硝酸態窒素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ )、硝酸態窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) について分析した。分析方法は、工場排水試験方法 JIS K0102<sup>10)</sup> に準じた。

Table 1 Components of the influent of the sewage treatment

Sumino <i>et al.</i> <sup>9)</sup>	
	Amount(g/l)
Peptone	21
Meat extract	16
Urea	4
NaCl	1.2
KCl	0.56
MgSO <sub>4</sub>	0.4
N <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	4.0
CaCl <sub>2</sub>	0.56

\* This solution was used as the raw water after 100-fold dilution.

## 結果及び考察

### 1. 原水及び処理水の pH

排水処理の処理機能を評価する際、処理水の pH は大きな指標となり得る。特に、処理水中のアンモニアや亜硝酸あるいは硝酸の蓄積はその pH 変化となって現れる。そこで、運転開始後、処理機能が安定するのに必要と考えられる90日目までの固定化槽、担体槽及び浮遊槽の各槽処理水と原水の pH 変化を Fig. 2 に示した。固定化槽処理水の pH は、運転開始後20日目までは8.0前後であり、原水 pH7.2から7.5よりも高

い値であった。これは、原水中の有機態窒素の分解によるアンモニアの生成によるものと推定された。その後徐々に低下し始め、28日目以降急激に低下し、アンモニアがさらに酸化されて、亜硝酸あるいは硝酸が蓄積したことを推定させた。一方、担体槽処理水及び浮遊槽処理水の pH は運転開始40日目以後から徐々に低下し始め、急激な低下が認められたのは、47日目以降であり、固定化槽に比べて20日間の遅れが認められた。この主たる原因は、固定化槽内には運転開始当初から活性化汚泥が固定化された状態で充填されているが、担体槽及び浮遊槽には汚泥が充填されていないためと考えられる。即ち、担

体槽及び浮遊槽では槽内で新たに活性化汚泥が生成された後に原水が処理されるのに対し、固定化槽では運転開始当初からゲル内の汚泥により流入水が浄化される。しかも、その後新たに活性汚泥が生成されて来ると、ゲル及び活性汚泥の両者によって処理されるためと考えられた。

したがって、実際に新たな排水処理施設が稼動した場合、活性汚泥が生成され処理機能が安定するまでの運転初期の間は、固定化活性汚泥が補完的に作用して、それまで処理不十分であった運転初期の処理水の水质改善に貢献出来るものと考えられた。

次に、浮遊槽、担体槽及び固定化槽の全運転期間中の各槽処理水 pH の各月平均値をまとめると、Fig. 3のごとくであった。いずれの槽の処理水 pH 値も運転開始時の5月を除き4.5から7.2と、原水 pH が6.9から7.3であるのに比較して低く、硝化が進行していることを推定させた。さらに、固定化槽の処理水 pH の値は、常に浮遊槽あるいは担体槽の処理水 pH の値より低かった。このことは、各槽の処理機能が安定した場合でも、固定化槽が他の2槽より硝化については有利であることを推定させた。

2. 原水及び処理水のケルダール窒素

排水処理施設においては、有機態窒素あるいはアンモニア態窒素は好気条件下で亜硝酸あるいは硝酸に酸化される。そこで、原水及び各槽処理水中のケルダール態窒素（以下 Kj-N という）の追跡を行った。運転開始直後から90日間の原水中及び各槽処理水中の Kj-N 濃度の値を追跡した結果が Fig. 4である。固定化槽処理水中の Kj-N 濃度は運転開始直後から徐々に低下し始め、28日目以降53日目まで急激に低下し、それ以降は安定に推移した。一方、浮遊槽及び担体槽処理水中の Kj-N 濃度は40日目以降急激に低下し、安定した値で推移したのは53日目以降であった。即ち、原水中の Kj-N からの亜硝酸あるいは硝酸への酸化は、固定化槽の方が浮遊槽あるいは担体槽より速く進行することが示唆された。また、処理水中の Kj-N 濃度の低下のパターンは、処理水の pH の変化と類似の傾向を示し、処理水 pH の変化が、処理水中の Kj-N の亜硝酸あるいは硝酸への移行を反映したものと

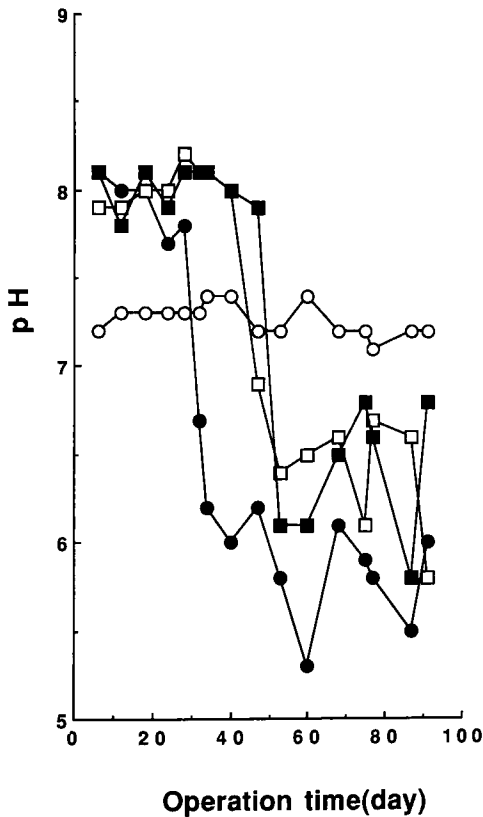


Fig. 2 Variation profile of pH of the influent and the effluent.  
 ○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

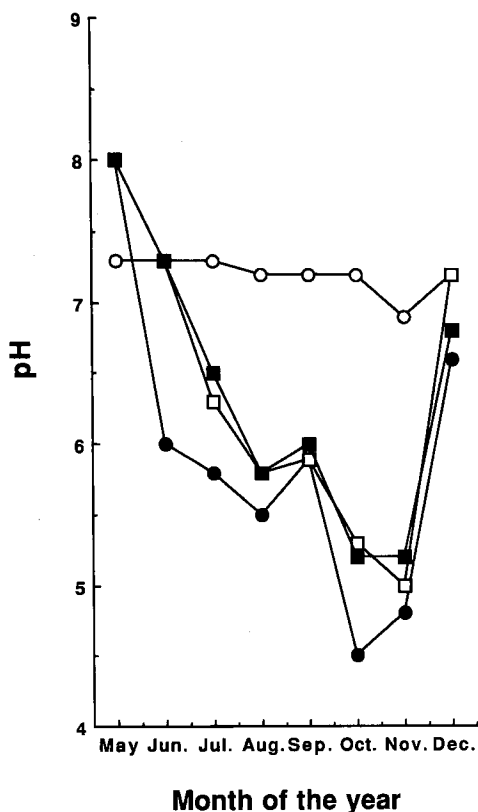


Fig. 3 Monthly variation of pH of the influent and the effluent.

○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

と推定された。

次に、原水及び処理水中の Kj-N の各月平均濃度を Fig. 5 に示した。全運転期間を通じて、固定化槽処理水中の Kj-N 濃度は、浮遊槽及び担体槽処理水中の Kj-N 濃度に比べて低かった。このことは、浮遊槽及び担体槽中に汚泥が生成され、処理機能が安定した後でも、固定化槽の方が他の 2 槽よりも Kj-N の亜硝酸あるいは硝酸への酸化能が優れていることを示唆した。

### 3. 原水及び処理水の酸化態窒素

酸化態窒素は生物的脱窒反応の基質となる。このため、排水処理施設においては、その生成量は以後の嫌気条件下での脱窒処理効率を大き

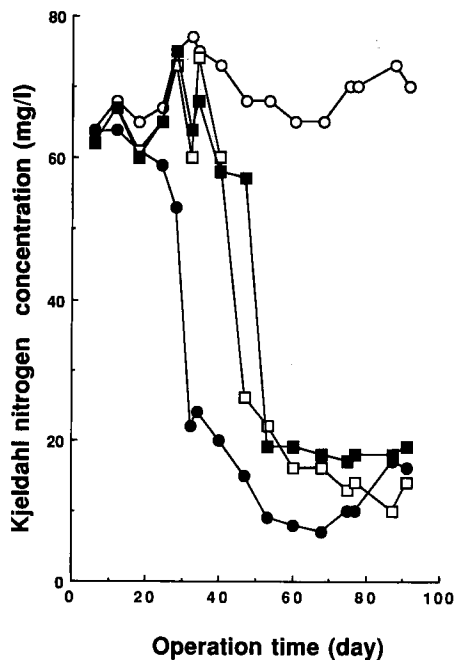


Fig. 4 Variation profile of Kjeldahl nitrogen concentration of the influent and the effluent.

○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

く左右する。そこで、各槽の処理水中の亜硝酸態窒素及び硝酸態窒素等酸化態窒素(以下  $\text{NO}_x\text{-N}$  という)について調べた結果を Fig. 6 及び Fig. 7 に示した。固定化槽では、運転開始 24 日目以降処理水中の酸化態窒素濃度の急激な上昇が認められたのに対し、担体槽及び浮遊槽各槽処理水中の酸化態窒素濃度の上昇が認められたのは 40 日目から 47 日目以降であった。さらに、固定化槽処理水中の酸化態窒素濃度は、全運転期間を通じて担体槽及び浮遊槽処理水中の酸化態窒素濃度より高く Kj-N の亜硝酸あるいは硝酸への酸化能は固定槽が最も優れていることが明らかとなった。とくに、10 月から 12 月の水温の低下する期間でこのことは顕著であった。これは水温の低下により、担体槽及び浮遊槽内の浮遊の活性汚泥の処理機能が不安定となる条件

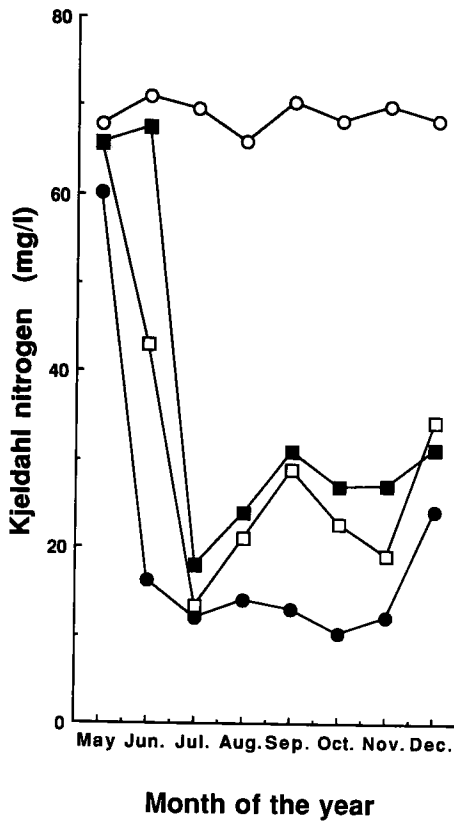


Fig. 5 Monthly variation of Kjeldahl nitrogen concentration of the influent and effluent.  
 ○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

下でも、固定化槽内では浮遊の活性汚泥と固定化活性汚泥の双方が機能し、安定な処理を行うことが出来たためと考えられた。

4. 原水及び処理水の BOD

排水処理施設の機能は、まず有機物の除去機能で評価される。即ち、有機物の除去効率の低い処理施設は評価が低くなる。そこで、運転期間中の原水及び各種処理水の月別の平均 BOD 濃度を Fig. 8 にまとめた。Fig. 8 のごとく原水 BOD 濃度 200mg/l から 270mg/l に対し、処理水 BOD 濃度が 20mg/l 以下となったのは、固定化槽では運転開始 2 カ月後であり、担体槽お

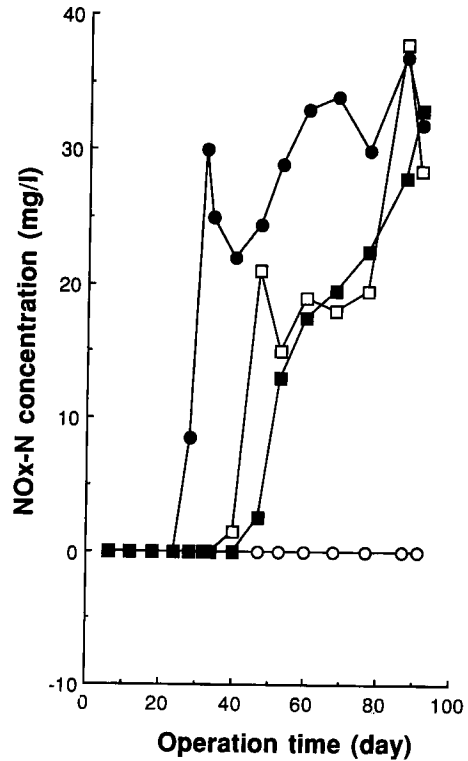


Fig. 6 Variation profile of oxidized nitrogen concentration of the influent and the effluent.  
 ○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

よび浮遊槽では 3 カ月後であった。しかし、固定化槽、担体槽及び浮遊槽各槽の処理水 BOD 濃度に顕著な差は認められなかった。これは、固定化活性汚泥ゲル作成に用いた汚泥が硝酸化槽汚泥であったこと、あるいはゲル作成時の固定化剤の影響による活性の低下などが考えられた。したがって、固定化する活性汚泥を選択し固定化剤の種類を選定することによって、固定化活性汚泥の活性をさらに高め、BOD 処理機能を上げることが可能であると思われた。

今回の実験で、浮遊の活性汚泥に対する固定化活性汚泥のある程度の優位性が示された。しかし我々の行った検討結果より、更に改善すべ

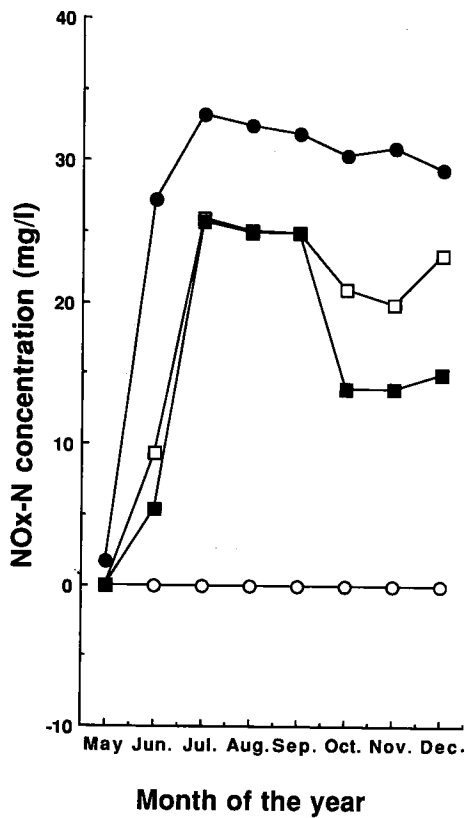


Fig. 7 Variation profile of oxidized nitrogen concentration of the influent and the effluent.

○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

き点は多々あると考えられるので、それらに検討を加えることによって処理効率の高いシステムの開発を目指したい。

### 結 論

固定化活性汚泥を排水処理に応用するため、その処理機能を従来の浮遊法の活性汚泥の処理機能を対照に検討した。その結果、以下に示す

### 文 献

- 1) 設楽惣助, 渡辺 昭, 鈴木達彦: 固定化微生物による汚水処理の基礎的研究(1)―脱窒菌固定化の試み―. 下

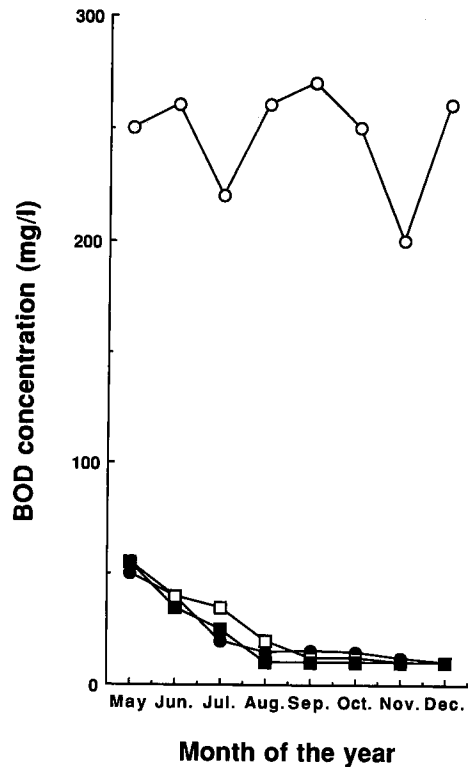


Fig. 8 Monthly variation of BOD concentration of the influent and the effluent.

○ : the influent, ● : the effluent from the immobilized gel packed tank, □ : the effluent from the immobilizing carrier packed tank, ■ : the effluent from the free activated sludge tank.

結論を得た。

固定化活性汚泥を用いることによって、従来の浮遊法の活性汚泥処理方式より高い処理機能を得ることが可能である。特に、低水温期におけるケルダール態窒素の亜硝酸あるいは硝酸への移行を高める点において固定化の方法は優れている。更に、固定化する活性汚泥の選択、あるいは固定化剤の選定によって処理効率を上げることが可能である。

- 水道協会紙 (1983) Vol. 20, No. 234, 31—36.
- 2) 設楽惣助, 渡辺 昭, 鈴木達彦: 固定化微生物による汚水処理の基礎的研究(2)—固定化脱窒菌の活性比較—, 下水道協会紙 (1984) Vol. 21, No. 236, 1—11.
  - 3) 橋本 奨, 古川憲治, 濱 宏: 活性汚泥の固定化とその浄化能に関する研究—PVA 凍結法について—, 下水道協会誌 (1986) Vol. 23, No. 261, 16—22.
  - 4) 橋本 奨, 古川憲治, 濱 宏: 活性汚泥の固定化とその浄化能に関する研究—PVA ホウ酸法について—, 下水道協会誌 (1986) Vol. 23, No. 262, 41—47.
  - 5) 角野立夫, 昆 正浩, 森 直道, 中島一郎: 包括固定化微生物を用いた排水処理技術, 用水と排水 (1985) Vol. 27, 1024—1029.
  - 6) 橋本 奨: 生物処理技術と微生物固定化技術の問題点, 水質汚濁研究 (1986) Vol. 9, 684—689.
  - 7) 市村國宏, 三島浩二, 渡辺 昭: 光架橋性樹脂プレポリマー包括固定化法による硝化菌の固定化, 用水と排水 (1987) Vol. 29, 742—749.
  - 8) 浦野紘平, 窪田清宏: 固定化微生物による排水処理研究の現状と課題, 用水と排水 (1988) Vol. 30, 851—863.
  - 9) 千畑一郎: 固定化酵素, 講談社, 東京 (1980), pp 78.
  - 10) 工場排水試験方法 JIS K0102, 財団法人 日本規格協会, 東京 (1986).

**Basic study on nitrification and the BOD  
removal of the sewage using  
immobilized activated sludge**

**Tsutomu ITADANI<sup>1)</sup>, Eiko NAGAMACHI<sup>2)</sup>,  
Yosikazu HIRAI<sup>1)</sup> and Yasuhiro KANEMASA<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Department of Microbiology,  
Okayama University Medical School,  
Okayama 700, Japan

<sup>2)</sup>Department of Health and Welfare,  
Junsei Junior College, Takahashi,  
Okayama 716, Japan

(Director : Prof. Y. Kanemasa)

Activated sludge obtained from the night soil treatment plant was immobilized using acrylamide and nitrification and the BOD removal of the sewage were studied by using the immobilized activated sludge which was packed in a single treatment tank.

The findings indicated that the ratio of nitrification in the immobilized gel tank was larger than that in the free activated sludge tank in every operation period, and the rate of BOD removal in the immobilized gel tank was roughly equal to that in the free activated sludge tank in this condition.

The findings indicated that the application of immobilized activated sludge to the sewage treatment enabled the sewage treatment process to be more efficiency and compact.