

## 下水処理の最近の動向

佐 納 良 樹

信州大学繊維学部精密素材工学科

### Recent Advances in the Municipal Sewage Treatment

Yosiki SANO

*Department of Fine Materials Engineering, Faculty of Textile Sci. and  
Technol., Shinshu University*

**Key words:** Municipal sewage works, Biotechnology, Resourcing of excess sludge, Environment of city  
都市下水道, バイオテクノロジー, 余剰汚泥の利用, 都市環境

### はじめに

わが国の公共下水道は創設以来主として河川の汚濁防止及び雨水排除を目指して整備に努めて来た。その結果、平成6年度末までには普及率50%を目指すところまでに漕ぎつけた様である<sup>1)</sup>。その間、下水道を取り巻く社会的条件は大きく変ってきた。すなわち高度成長に伴う都市の肥大化のみでなく地球規模での環境汚染の防止さらには物質循環というとらえ方が芽生えたとともに、省エネルギーに強い関心が払われるようになった。このようなことから下水問題が単なる汚水の処理に止まらず広義の環境保全、処理水の再利用を含む資源の循環、汚水処理後の汚泥の利用、下水の保持する熱エネルギー利用の検討まで云々されるようになってきた。

さらに下水処理技術自体についても種々な角度から検討が加えられており、脱窒、脱リンを含む高度処理をより少ないエネルギーで実現すべく努力が払われている。本来、下水道はその設備に莫大な経費を要するに係わらず直接目に触れることの少ないところでその役割を果たす性質のものであるから一般人の関心を惹くことは稀である。

以上の観点から、下水処理にまつわる近年の状況を紹介し総合的な考察を試みる。

### 1. バイオテクノロジーの活性汚泥処理への応用

活性汚泥法は長年の実績を持ち、わが国では各種有機性排水処理法の主流を占める。本法は、種々な工夫

がされているとはいえ主流である標準活性汚泥法では余剰汚泥の大量発生が不可避であるし、曝気に要するエネルギーも莫大である。

そこで近年発達の著しい、遺伝子工学を含めたバイオテクノロジーの成果を下水処理に応用しようとする幾つかの試みが始まっている<sup>2,3)</sup>。

#### 1-1 遺伝子工学の利用

一般に微生物による物質変換機能の総括的表示法の一つである菌体収率はある範囲の中でほぼ一定の値を持つ。汚水処理ではこの収率は出来るだけ低いことが望ましい。また汚水処理の工程は開放の混合培養系であるから特定の微生物種の寄与を把握するのは困難であるが、有機物酸化能力の高い微生物種が優勢であることが望ましい。

これらに関連して、遠藤<sup>3)</sup>は下水処理に関する遺伝子操作生物の利用に言及し、複雑な生態系での有用遺伝子発現の困難性を指摘している。さらに橋本<sup>2)</sup>は下・排水処理や汚泥処理に対し高機能を持たせた組み替え微生物を固定化して原生動物などの捕食から防御することを提案している。

#### 1-2 包括固定化微生物の利用

筆者ら<sup>4)</sup>は活性汚泥を光硬化性樹脂、ホウ酸処理したPVAならびに反復凍結融解法により硬化させたPVAゲル<sup>5)</sup>に包括固定化し、これを糸状性バルキングの抑制に役立てられることを見いだした。図-1はC/N比の高い人工下水で予めバルキングを起こさせておいた汚泥に固定化活性汚泥を添加した効果である。無添加の汚泥においても漸時バルキングが終息に向か

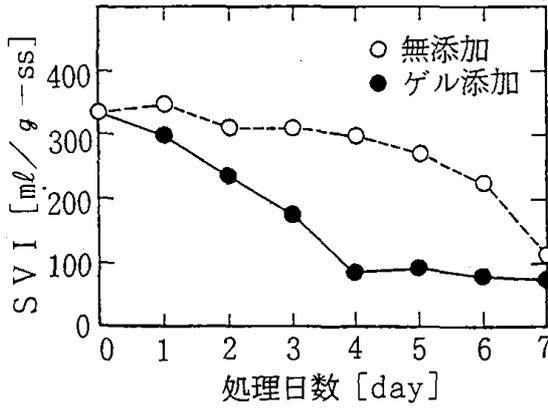


図-1 固定化微生物の添加によるバルキングの抑制

うとはいえ、SVIの低下は添加の場合の方が数日早かった。このような排水処理に限らず、微生物や酵素の固定化は活性の安定化をねらって行なわれることが多いが図2に示すように明らかに固定化によって保存性の向上が見られる。

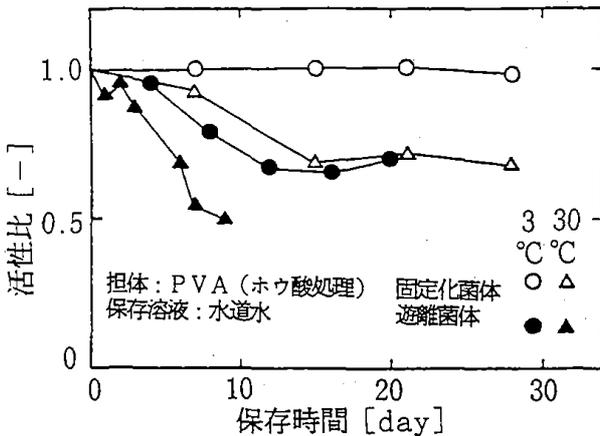


図-2 固定化菌体と遊離菌体の保存性の比較

橋本<sup>2)</sup>はホウ酸処理したPVA固定化活性汚泥による人工下水の連続処理試験をおこない、従来より2~6倍の高負荷域でもT-Nの40%程度除去出来たし、相対的に余剰汚泥の発生量を抑制し得ると述べている。その他、窒素除去の一方法として硝化細菌の包括固定化による効率的脱窒プロセスの提案<sup>6,7)</sup>包括固定化担体の添加と嫌気-好気法の組合せによるN、P及びCODの効率的除去についても論じられている<sup>7)</sup>。

## 2. 新しい処理設備

活性汚泥法は最もよく普及し操作のノウハウも完備

しているとはいえ、余剰汚泥が多量に発生する弱点は如何ともしがたい。余剰汚泥量が少なく負荷変動にも強い処理法としては散水濾床法に代表される生物膜法が各所(特にヨーロッパ<sup>8,9)</sup>)で多用されてきたが、固定床型生物膜法では決定的な弱点として有効接触面積が小さく処理効率は低い。この欠点を補うものとして流動層(床)式生物膜法が有望視される。

元来、流動層は気相接触分解装置として威力を発揮したが、流動化による流体-固体間伝熱および物質移動の良さから反応装置としてだけでなく、乾燥にも使用されている<sup>10)</sup>。三相流動層を用いた排水処理の実験的検討は平田ら<sup>11)</sup>によりフェノール除去の場についておこなわれた。亀井ら<sup>12)</sup>はポリアクリルアミドゲルに固定化した活性汚泥をもちいて人工排水の連続処理を試みた。これらは広義の生物膜法であるが流動化をおこなっているため、標準的活性汚泥法より高い負荷に耐える様である(表-1)。ただ、この場合ゲルビーズの周囲に増殖する糸状微生物が液に浮遊するため流出液のSSが高くなり今後検討すべき課題が残っている。

## 3. 余剰汚泥の利用

現行の標準活性汚泥法では流入BODの40%が余剰汚泥となって排出される。これの処理処分はいまや重大な段階に達しており、2次的環境汚染につながる危険性がある。また、物質のリサイクルの観点から余剰汚泥の積極的利用法が探索されるようになった。

物質循環の点から云えば汚泥を形成する有機物を無機化せずに山元還元するのが理想的であるが次善の策として汚泥の焼却・熔融処理が優勢になりつつある。

脱水ケーキを1400°C以上の高温で熔融しSi、Alなどが結晶または非結晶の状態を固化したものを建設資材に使用するという事は一部実用化されている<sup>13)</sup>。

この方法はケーキを一旦焼却する方法より安定化が良好といわれているが、なお今後の実績を待つ必要がある。現在では汚泥(乾物)の55%は焼却灰化により減量・安定化が行なわれている。焼却により体積は10分の1に減量するとはいえ、焼却灰の埋め立て適地も次第にひっばくしてきたことから、その有効利用も種々検討されている。表-2<sup>14)</sup>は実施状況の一端であるが、土木建築資材(例えば道路路床材)やタイル原料として利用するにせよ加え得る焼却灰の量は10%程度に抑えられている点でまだ今後検討すべき点が多い。

表 - 1 三相流動層による BOD の除去

	BOD負荷 (g-BOD/l·day)	汚泥負荷 (g-BOD/g-MLSS·day)	滞留時間 (h)	BOD除去率 (%)
実験 I	0.45	0.36	4.0	82.6
実験 II	0.45	0.12	4.0	86.7
実験 III	2.10	2.10	4.0	85.6
標準活性 汚泥法	0.3~0.8	0.2~0.4	8	85~95

表 - 2 汚泥焼却灰の有効利用<sup>14)</sup>

汚泥形態	利用分野	利用方法及び調査及び実施状況
石灰系焼却灰	土木 建築 資材	道路用路盤・路床材 ：場内道路で施工 軟弱地盤改良材 ：再生利用業者へ譲渡 コンクリート用細骨材 ：下水道コンクリート製品等の試作と現場施工 ：園芸用コンクリート製品等の試作と現場施工
	窯業 資材	タイル原料 ：タイル製品試作と現場施工 陶器原料 ：製品試作
高分子系焼却灰	農業用 資材	園芸用土壌改良材 ：再生利用業者へ譲渡
	土木 建築 資材	道路用路盤・路床材 ：場内道路で現場施工 運動公園用路盤・路床材 ：場内で現場施工実験 コンクリート用細骨材 ：空洞コンクリートブロック製品の試作
	窯業 資材	タイル原料 ：セラミックスとの50%混入タイル製品の試作
	農業用 資材	園芸用土壌改良材 ：場内で現場実験中

#### 4. 下水保有熱の利用

下水特に都市下水道は人口密集地帯の周辺に設置されるから、これの再利用を考える場合有利な点も幾つか挙げられる。すなわち量的に膨大であること、同一の季節内では温度の変動幅が狭いなどの諸特性を積極的に利用しようというアイデアがある。

多雪地域では下水処理水を融雪用水として利用するところも出始めたようだ<sup>15)</sup>、熱供給事業（地域的な温熱、冷熱の供給）の分野から温度差エネルギー源と

して下水の廃熱利用が検討されている<sup>16)</sup>。後者は廃熱源の温度と外気の温度差を利用してヒートポンプで汲み上げようとするものである。

融雪以外の利用については、いずれも今日明日に実現するものではないが膨大な処理水を全く利用せずに放流することは今や考えるべきでなくなりつつある。その点、汚泥の利用に較べ、より価値の高い資源利用になる可能性もある。

#### 5. 都市環境の保全及び下水道の多目的利用

##### 5-1 雨水対策

冒頭でもふれたように元来、下水道の布設目的の重要な項目として雨水による浸水防止があった。しかしその後の高度成長期の産物としての水域の水質悪化が余りにも顕著であったために、雨水対策が後回しになったといえる<sup>17)</sup>。

現在、特に大都市を中心に行なわれている対策は雨水流出抑制のための工夫として、雨水貯留槽、地下調整池、透水性舗装等がある<sup>18)</sup>。雨水対策に関連して問題なのは合流式下水道における越流水による公共用水域の汚染である<sup>19)</sup>。これについては、下水道の歴史の古い欧米で、合流式が多いために深刻な問題になっているようである<sup>20)</sup>。根本的には合流式をすべて分流式にするのが最善であろうが勿論現実的でない。いまのところ越流水の一時貯留、固液分離設備等に頼らざるを得ないようである。

##### 5-2 都市景観

大都市ではその肥大化に並行して人工施設の設営が優先される反面、精神的やすらぎが犠牲になり易い。しかし、真に質のよい市民生活には便利さ、快適さのほかに精神的な安心感が是非必要である。

このような観点から、下水道を都市の水環境形成要素として把握しようとする考え方が起こりつつある<sup>21,22,23)</sup>。しかし、そのような考え方、構想を実現させるには下水道に対する見方を根本から変えたとともに豊かな想像力が必要である。効率一辺倒では決して答えは出てこないであろう。

最近、大都市の下水道施設の上部空間をテニスコートや公園として有効利用がはかられている<sup>24)</sup>。それ自体は、用地難の都会としては当然の対策であるが上記の積極的水環境の形成という点からは離れる方向であるように思われる。

### 5-3 下水管断面空間の利用<sup>25)</sup>

下水管路は都市の地下に細密なネットワークを形成している。一方、21世紀にむけて高度情報化時代がまさに全力疾走を開始しつつある。大量の情報伝達媒体として光ファイバーケーブルの布設が必要になるがそのための空間として下水管路の利用が注目されている。すでに小規模には東京都や大阪府で下水道施設間を結ぶ情報通信サービスに利用しているという。

下水管路が地下にあるため風雨、落雷から保護されることになり安定性のあるサービスが期待される。

### おわりに

明治期に近代下水道が導入されて以来、約100年が経過した。この間、経済的理由や社会的資本に対する考え方により遅々として普及しなかったが今日漸く本格的に取り組む情勢が整ってきた。

勿論、目下の最重点課題は普及率の向上であるがそれとともに下水道の果たす役割がより広汎になり総合的にとらえる必要性が高まってきた。

本稿ではこのような情勢の一部を紹介した。多少なりとも認識を新にして頂けるならば幸いである。

### 引用文献

- 1) 塩路勝久：下水道技術五ヶ年計画の概要，下水道協会誌，第32巻，380号，9-12 (1995)
- 2) 橋本 奨：バイオテクノロジー活用の高機能型活性汚泥法，p.52-65，技報堂出版 (1989)
- 3) 遠藤銀朗：下水処理のための遺伝子工学と遺伝子生態学，下水道協会誌，第30巻，351号，36-42 (1993)
- 4) 有賀 修，河原由美子，中島賢生，藤井昭雄，佐納良樹：バルキングの抑制と固定化微生物の保存条件，環境技術，第17巻，34-40 (1988)
- 5) O. Ariga, H. Takagi, H. Nishizawa and Y.

Sano: Immobilization of Microorganisms with PVA Hardened by Iterative Freezing and Thawing, J. of Fermt. Technol., Vol. 65, 651-658 (1987)

- 6) 竹島 正：包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法，下水道協会誌，第31巻，373号，18-28 (1994)
- 7) 船越泰司，茂木勝三：包括固定化担体による生物学的窒素・りん同時除去システム，同誌，第31巻，368号，8-15 (1994)
- 8) 化学工学協会編：排水の高度処理と再利用，p. 127 (1979)
- 9) 日本下水道協会編：最近の西ドイツ排水処理技術の現況 (1985)
- 10) 白井 隆：流動層，科学技術社 (1958)
- 11) 化学工学協会「排水の生物処理」研究会：廃水生物処理における化学工学，p.40-46 (1980)
- 12) 亀井康行，松浦昭博：信州大学繊維学部卒業論文 (1983)
- 13) 大川昌俊，山下 博，伊藤秀明：下水汚泥の建設資材への有効利用，下水道協会誌，第27巻，315号，63-73 (1990)
- 14) 西村徳教：焼却灰のタイル利用，同誌，第27巻，315号，17-20 (1990)
- 15) 下山勝弘：消・融雪の先駆け—青森市，同誌，第27巻，314号，25-26 (1990)
- 16) 日本熱供給事業協会：熱供給事業，p.12-13 (1992)
- 17) 岩井重久，大西義昭，竹内忠雄，内田信一郎，松井三郎，村田秀太，大浜 巖：都市における下・排水処理の今後の課題 (座談会)，環境技術，第16巻，589-597 (1987)
- 18) 藤田昌一：雨水の流出抑制，下水道協会誌，第31巻，371号，42-43 (1994)
- 19) 竹石和夫：合流式下水道の改善，同誌，第28巻，327号，44-52 (1991)
- 20) 宮原 茂，横山博一，大脇英樹，吉村元宏：合流式下水道の改善について (座談会)，同誌，第28巻，327号，32-39 (1991)
- 21) 妻木知加雄：下水道からみた水環境・都市環境の構想について，同誌，第30巻，350号，9-13 (1993)
- 22) 大木義一：都市下水路の親水化と緑化，同誌，第30巻，350号，28-31 (1993)
- 23) 大場康久：下水道は都市環境問題の救世主たりう

下水処理の最近の動向

- るか, 同誌, 第31巻, 365号, 15-21 (1994)
- 24) 中嶋靖夫: 施設の上部利用によるまちづくり, 同誌, 第29巻, 336号, 16-20 (1992)
- 25) 川崎 直, 渡辺 聡, 小座間国夫: 下水道の多目的利用とPR, 同誌, 第30巻, 354号, 96-107 (1993)
- (受付 1995年2月10日)