

生物科技在水污染防治方面之應用

林秋裕*

一、前　　言

先端科技可以帶動並提高許多科學技術的水準。在水污染防治方面，隨著生物、化學、物理等技術水準的提高，污染防治技術亦得以提昇。

生物科技（Biotechnology）是近年來世界各國所重視先端科技之一，它不但影響一個國家產業發展以及經濟能力，而且影響全世界人類的福祉。在我國，政府亦將此生物科技列為當前國家重點科技之一，由行政院國科會負責推動。目前此項尖端生物科技在國內所獲得重大突破的成果是利用融合瘤技術早期診斷癌症，以及藉遺傳工程獲得B型肝炎表面抗原兩項，最為國人所熟悉。此兩種生物科技係直接針對人類健康之技術，而實際上，生物科技之應用非常廣泛，包括醫藥品工業、醫療、酦酵食品工業、農業、水產以及環境保護技術等。

科技文明愈進步，人類生活水準愈高，對生活環境品質的要求也愈高；而經濟發展、社會繁榮與工業、農業發達的結果，卻使都市、工業及農業等廢棄物造成污染問題，日益威脅人類的生活環境。在水污染、空氣污染及固態廢棄物污染中，水與人類生活關係最密切，而且所產生之量最多（家庭污水每人每日的排放量約為200~300公升），因此水污染問題最早被人所重視，在這方面之污染防治技術也因此較為發達。同時，在環境保護方面具有重要角色的微生物都必需生存在含有大量水分之環境，因此，應用在環境污染防治技術上之生物科技都發足於淨水或廢水處理技術。本文將介紹在廢水處理應用方面之生物科技。

二、目前水污染防治技術之間題點及改善方法

在討論導入新技術的可能性時，首先應該對現有技術的問題點有所認識。包括污泥處理及處分兩技術的廢水處理技術問題點，可以歸納成下列三點：

- (1)目前的技術無法解決的。
- (2)以目前的技術無法達到預期的目標或是可信賴性甚低。
- (3)目前的技術花費太大。

當然，並不是目前所使用的水污染防治技術都有上述缺點，而是隨著新科技廢水的產生以及水質要求的提高，上述問題乃越見嚴重性。

* 逢甲大學水利工程系、土木水利研究所副教授

對於目前廢水處理技術問題的解決方法可以歸類成四種：

- (1)探討現有技術的改善方法。
- (2)從其他科學領域導入或移轉技術。
- (3)活用其他尚未被利用的廢水微生物。
- (4)利用遺傳工程改良微生物品種

對於第一種方法來說，目前所用者很多，如厭氣法除氮除磷；第三種方法有源自醣酵工業的微生物固定化；第三種方法包括目前尚未被充分應用的菌類、藻類、光合菌等；第四種方法則有遺傳基因重組等。表一列出目前的廢水及污泥處理方面應克服之問題及其可能的解決方法。

表一 廢水及污泥處理須改善之課題

改 善 內 容	問 題 類 型	解 決 方 法
活性汚泥鬆化現象之防止	2	2, 4
生物膜結合力向上	2	1, 2, 4
硝化作用之安定化	2, 3	1, 2, 4
改善溶氧速率	3	4
減少汚泥產生量	2	1, 2
提高磷去除率	2, 3	1, 2, 3, 4
難分解性物質之分解	1, 2, 3	1, 2, 3, 4
增加甲烷生成量	2, 3	2, 3, 4
自汚泥去除重金屬	1	3, 4
改善汚泥脫水性	1	3, 4

三、水污染防治方面之生物科技

1. 生物科技之定義

生物科技一詞，一般指遺傳基因重組或細胞融合等先端之生物技術而言；較確切之涵義應是以工學方法解析生命現象或生命體的機能而促進人類幸福（包括環境污染之防治等）之技術。此種技術應包含其相關的科學及技術。簡單而言，生物科技即為將生物或其一部之機能予以控制或利用，藉以改善人類本身之生活或增進維持健康之技術。

2. 廢水處理與微生物利用工業之差異

生物科技在微生物利用工業方面，尤其是藉遺傳基因重組或細胞融和等技術而「創造」新微生物，以付加、改良及提高新的生物機能等實用化方面均有顯著之進步。微生物利用工

業，以發酵為例簡單而言，係以人工方法控制微生物環境，並以一定的速度供給已知成分和濃度的基質（substrate）藉著機能和能力都已經知道的比較單純的微生物系之生物反應，在密閉系統內將微生物本身或其代謝物轉換成有價產品之技術。

在廢水之生物處理方面，則是將在質和量變動都很大的混合基質（即廢水等），利用能自然增殖的混合培養系的食物鏈關係，在開放系統的環境下予以分解或氣體化，同時排放出需要另行處理或處分之廢棄污泥（增殖的菌體）。廢水處理在本質上屬於消費性技術，通常沒有營收利益可圖；可是因為是屬於混合培養系的技術，因此對於流入基質在質或量上的變動具有較大之應變能力。

如上面所舉例說明的，廢水的生物處理與微生物利用工業在本質上有所差異，在發酵生產技術上所研究開發出來之各種生物技術即可能無法直接應用於廢水處理方面，同時，其適用範圍也有一定的限制。此種技術在轉移應用上除要考慮設置成本及操作成本（醣酵工程可以生產具有高價值之產品）外，亦要考慮下列數點：(1)應用於開放系統時對於其他生物沒有不良的影響；(2)不得破壞自然的生態系統或干擾物質循環；(3)微生物的機能與能力應能繼續發揮；(4)設備及程序要單純，操作要簡單。然後再加上(1)處理水質的改善，(2)能源節約型或低成本化，(3)自放流水回收有用物質，以及(4)處理設備之一貫化等水處理之特殊要求，應該是廢水處理新技術開發之具體目標。

3. 應用於水污染防治之生物科技轉移之研究

為了達到上述之目標，酵素及微生物固定化技術之開發，酵素及微生物「銀行」之開發，遺傳基因重組之新品種微生物之開發，與物理化學處理法相結合之新技術之開發，以及這些技術在實際廢水處理上之適用性研究等，均是目前新型廢水處理系統之研究課題。圖一列出利用生物科技所做的新型廢水處理系統之開發情形。

為了開發這些新技術並達到實用化的目的，一般的研究流程是(1)基礎研究，(2)模型實驗研究，(3)大型模型實驗之實用化研究，(4)設有實驗用設備之實際處理設施之設置，(5)設備之改良。

四、新廢水處理系統之開發研究

圖二列出目前應用生物技術來開發新的廢水處理法之一般研究方向，其中最具有實用化可能性的是酵素及微生物固定化技術，最受水污染防治專家之重視。

水污染防治技術上所運用之生物技術，均是自自然界或污水污泥等物質中分離出具有特殊機能之特定細菌，再以圖三所示之方法育種培養。此類在水污染防治方面有用而具有特殊機能之微生物，包括(1)絮狀物（floc）形成菌，(2)生物膜附着促進細菌，(3)生物多元體（biopolymer）生產菌，(4)難分解性物質之分解菌，(5)脫氮菌，(6)硝化菌，(7)蓄積磷之細菌，(8)重金屬溶出細菌（自含有重金屬之污泥溶出重金屬，有利於污泥再利用），(9)蓄積重金屬之細菌，(10)惡臭分解菌，(11)毒性物質分解菌，(12)低 pH、低溫度，低含氧量或低有機物濃度之各種有機物之分解菌，(13)厭氣性有機物分解之酸生成菌。(14)甲烷生成菌，(15)光合成細菌，以及(16)藻類等。

酵素與微生物固定化技術之開發

一固定化方法之研究

一生物反應器之研究

一生物感應器之研究

酵素與微生物銀行之開發

一微生物分離與分類技術之開發

一酵素評價

一酵素與微生物之保存和大量培養

藉遺傳基因開發處理之生物新種

一生物新種在廢水處理上之適用問題

一藉遺傳基因重組等技術開發處理用之生物新種

一藉細胞融合技術開發處理用之生物新種

與物理學處理法相組合之新技術

一物理化學處理法之評價

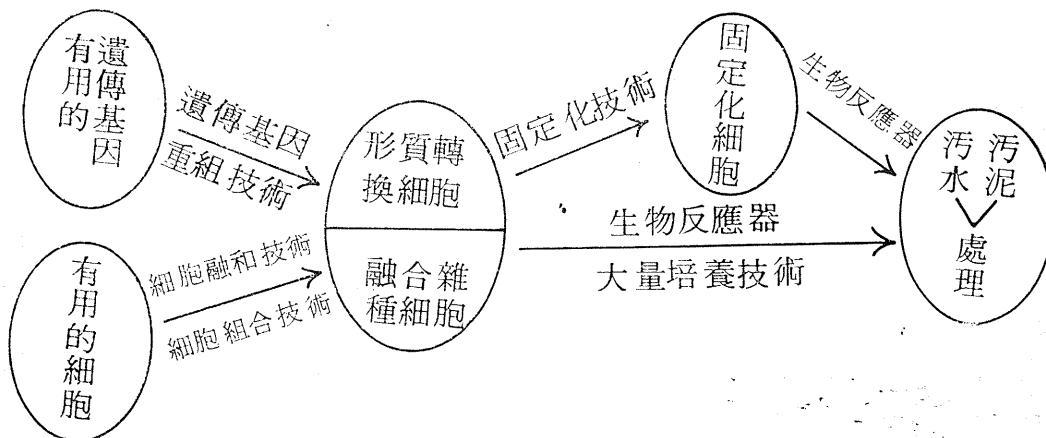
一系統化之研究

新技術在實際廉水處理上之適用問題

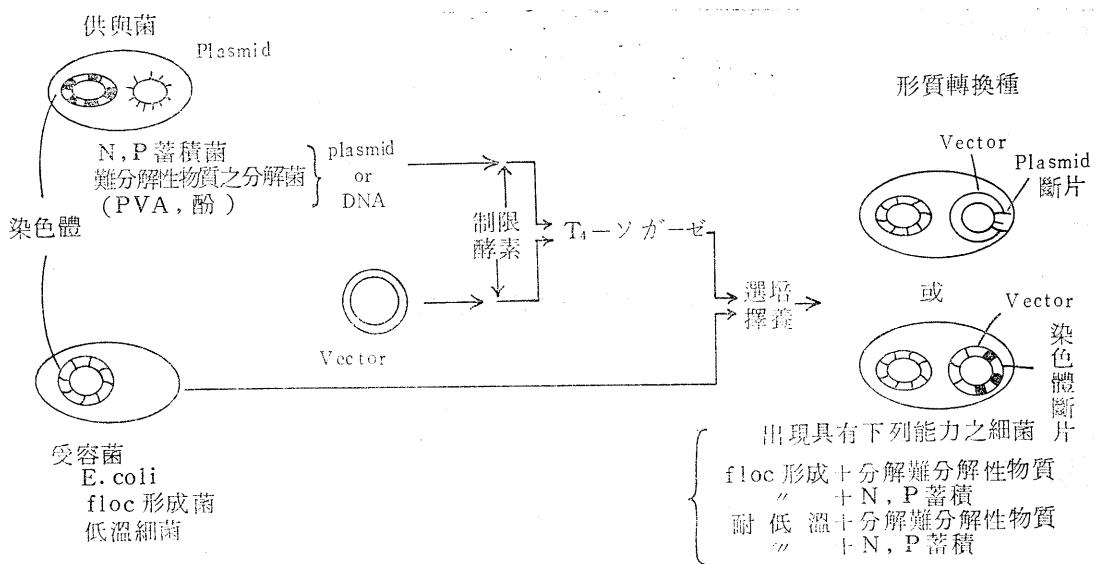
一廢水處理系統上之適用研究

一化糞池上之適用研究

圖一 利用生物科技之新型廢水處理系統



圖二 生物科技污水及污泥處理上之應用



圖三 形質轉換法之育種方式

1. 廢水處理用途上具有特殊能力的硝化菌及磷蓄積菌的分離、保存及大量培養

除氮以及除磷是未來的廢水處理工作所無法迴避的課題。此種除氮和除磷技術目前雖已有二、三種已開發成功的硝化脫氮或同等除氮除磷方法，但是均會大量增加處理費用。基於節省能源的觀點，開發研究與硝化、除氮、除磷有關的特殊能力菌或是可以在特定環境下行特殊代謝的路逕，將是重要的研究課題。

2. 廢水處理用微生物的細胞融合、突變及遺傳基因重點

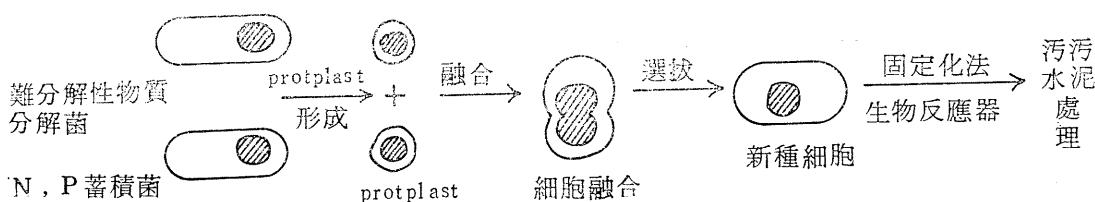
藉細胞融合、突變以及遺傳基因重組等生物技術在發酵工程上頗具前瞻性；可是在廢水處理技術上由於是屬於開放系統，目前能運用的生物技術只限於利用細胞融合與突變來創造新種微生物。至於利用遺傳基因重組技術來改善廢水處理技術一事，即使能製造出具有特殊機能之新品種微生物，也將因這些微生物不太可能在自然界（開放系統）形成優勢菌，以及以目前的技術水準而言染色體外因子（plasmid）之安定性有限，無法得到機能要有永久性之要求。雖然如此，藉遺傳基因的控制將可闡明微生物的特殊機能、混合培養系的複合機能及環境適應性等機轉，再藉著這種理解將可以促使水污染防治技術往前邁一步。

圖四列出藉細胞融合法達到改善水污染防治技術之簡單流程。

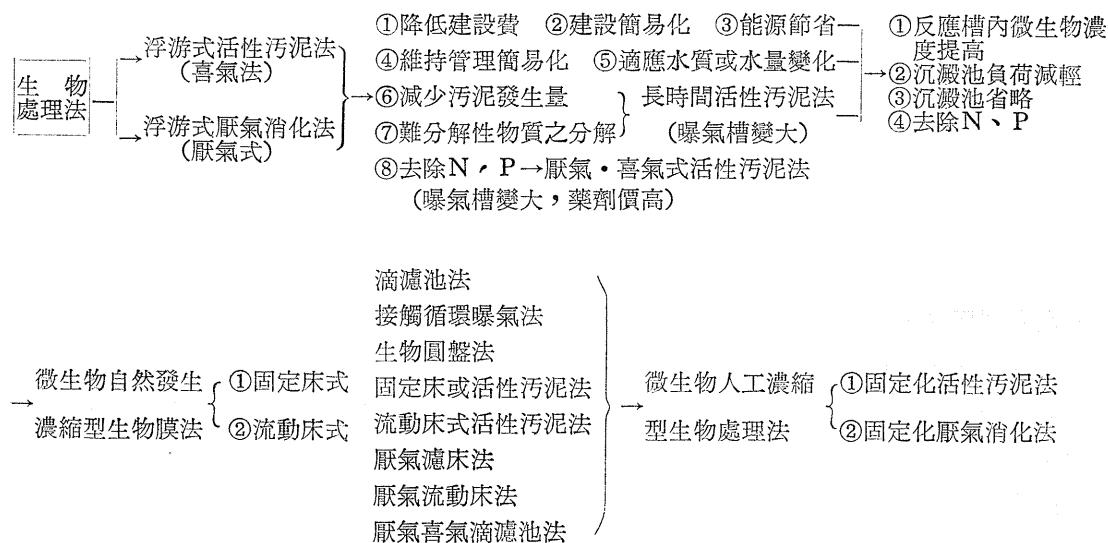
3. 微生物的固定化利用

在微生物利用工業方面，酵素及許多微生物之固定化利用頗受重視，例如以固定化酵母來大量生產乙醇已經達到實用化的階段。在廢水生物處理方面，如圖五所示，從自然發生濃縮型的固定床式或流動床式的固定化微生物，到反應槽內微生物的高濃度化及效率化，是反應槽微生物高濃度化的變遷史。

floc 形成菌



圖四 細胞融合法之育種方式

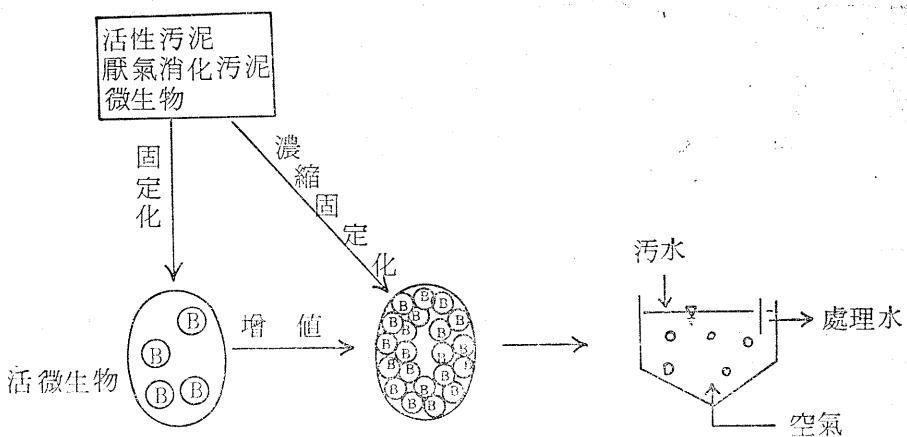


圖五 生物處理法之反應槽內微生物濃度之變遷

固定化的目的一般是：(1)使混合培養系維持高濃度的菌體，(2)保護具有特殊機能的菌種並使其機能安定地發揮（製造密閉系的環境），(3)反應槽之一貫化以及程序作業之單純化。在廢水處理技術上，微生物固定法有如下之優點：(1)在自然情況下無法形成優勢之細菌可以達到優勢；(2)改善污泥與液體之分離性；(3)污泥生成量極少。

由於自然發生型的固定化微生物在濃度（厚度）上有一定之限度，因此人工濃縮法或內部增殖之固定化利用（圖六）正大受注目。目前在實驗中的廢水處理法有利用 PVA——冷凍法或 PVA——硼酸法將活性污泥或微生物固定在海綿等媒體之處理法。一般而言，將固定化微生物法應用在廢水處理必須考慮以下數點：

- (1) 將微生物高濃度固定化之後是否能使反應充分進行？
 - (2) 固定化後微生物（膜）內部是否能有足夠的空間供再繁殖或進行代謝反應？
 - (3) 依固定化後的物理形狀而言，固定化的量與微生物量並不一定成正比增加。
- 根據這些論點，在處理像廢水一類含有多種複雜成分的有機物時，將所有微生物（或細



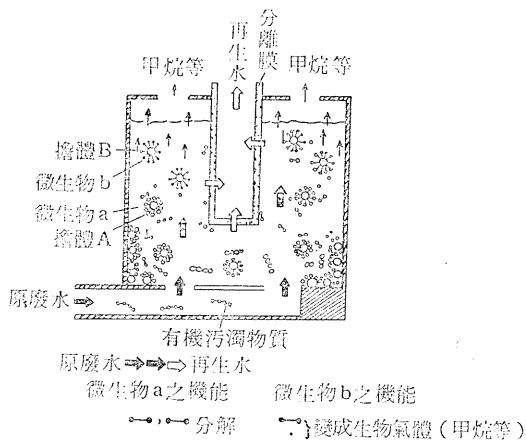
圖六 固定化微生物之利用

菌) 不分彼此的全部予以固定化，並不是行得通的好辦法。正確的方法應該是只固定某些(或一、兩種) 具有特殊機能之細菌羣(例如硝化菌、脫氮菌、難分解性有機物之分解菌、酚分解或氰化物分解菌等等)。

與人工固定化相對的有一種微生物自體形成的粒狀體(granular)。所謂粒狀體係水處理微生物本身分泌生物多亢體(biopolymer)，然後在特定環境下形成之粒狀物。對於此種微生物粒狀體之形成機構若能瞭解，再配合人工濃縮固定技術將能固定化技術更進一步。

4.生物反應器(Bioreactor) 與精密滲透膜之組合

將生物反應器與精密滲透膜組合(圖七) 藉以強化生物反應器之機能，是日本通商產業



圖七 生物反應器與精密滲透膜之組合

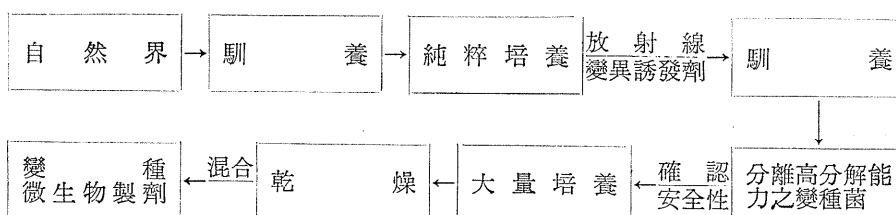
省於1983年開始着手開發做為水資源再生利用之一種技術(該計劃稱為90年代水質革命)。這是利用微生物將廢水中之污染物予以分解後，再採用由陶瓷等新素材製成之高性能選擇性滲透膜未分解之物質加以分離。

上述廢水處理新系統有如下之特色：(1)既可處理廢水又可達到水資源再生利用；(2)大幅

降低污泥發生量（達50%）；(3)設備呈一貫單純化；(4)既節省能源亦可回收能源；(5)操作維護簡單。但是此種新技術在目前尚有不少課題尚待解決，例如微生物品種之培育，高濃度菌體之保持方法（即微生物之固定方法）耐微生物及耐藥品性等分離膜之開發。以整體而言，處理系統之自動化控制以及對負荷突變之應變能力改善等，是本技術開發上的另一重要課題。

5.微生物製劑

微生物羣體在活性污泥法及生物膜法扮演著廢水淨化之主要角色，但是廢水淨化系統常因微生物羣生態系統之變化而不易穩定的淨化效率。基於此種限制，將特定有用之微生物予以乾燥保存，而在必要時添加於處理系統內，即所謂之「微生物製劑」即應運而生。此種微生物製劑一般是自自然界將具有淨化能力的有用微生物予以分離出來，再經由人工突變技術以加強淨化機能或提高安定性，製成粉末狀或粒狀以利保存和使用（圖八）。突變微生物製劑之特徵有(1)屬於混合菌種，(2)遺傳基因突變，(3)不含病原體，(4)含有各種輔助劑成分如氮磷營養劑、酵素劑、活性劑、吸附劑、共役代謝劑等，(5)性質安定，以及(6)頗具基質特異性（specific characteristics）。突變微生物一般為 *Bacillus*, *Aspergillus*, *Pseudomonas* 等屬之細菌。



圖八 生物製劑之製造方法

在廢水處理方面，污泥膨化之防止、發臭與發泡之抑制、土壤空隙阻塞之防止，活性炭與沸石之再生等均可利用突變微生物製劑。但是此種生物製劑在處理系統中之生物化學機轉尚未明白，是有待研究的課題。

五、結語

水汚泥防治技術是生物、化學、物理與土木、機械、電機等基礎與應用科學之大結合，其發展與推動則是屬於社會各種階層力量的大整合；生物科技的導入只不過是其中之一例而已。在當前提倡科技與學術研究大整合之際，本文結語僅列舉當前日本政府在水污染防治方面所做兩大研究計劃做為國內羣策羣力的參考。一個是以建設省土木研究所為中心的所謂バイオフォーカスWT計劃，包括

- (1) 酵素及微生物固定化技術的開發
- (2) 酵素及微生物「銀行」的開發
- (3) 藉遺傳基因重組技術開發新微生物品種
- (4) 生物處理與物理化學處理相結合的新技術
- (5) 新技術在實際處理系統上之應用

另一個集團研究計劃是アクアルネッサンス'90則以通商產業省為中心，包括：

- (1) 有利微生物的探索與培養
- (2) 高效率生物反應器的研究與開發
- (3) 高性能分離膜系統的研究與開發
- (4) 自動控制技術的研究與開發
- (5) 副產品資源化的研究與開發
- (6) 總系統的開發與研究

參 考 資 料

1. 橋本獎：バイオテクノロジーとは一下水生物處理からの視點一，月刊下水道，vol. 8, No. 8, 1985.
2. 富士原寛：アクアルッサンス'90 計畫の研究開發目標，月刊下水道，vol. 8, No. 8, 1985.
3. 遠矢泰典，小林滋：下水處理のためバイオテクノロジーに關する研究，月刊下水道，vol. 8, NO. 8, 1985.
4. 野中徹一：下水道におけるバイオテクノロジー（その 2），下水道設備，第16號，1985, 10.
5. 中村秀樹：下・廢水等の再生利用——現況と將來——，下水道協會誌，vol. 22 No. 258, 1985, 11.
6. 中村榮一：下水道におけるバイオテクノロジーの活用，月刊下水道，vol. 9, No. 1, 1986.