欧米諸国におけるバイオテクノロジー開発状況

Topics in sewage treatment by means of biotechnology in the world

中山大樹*

バイオテクノロジー、即ち生物利用技術を水処理に役立てようという研究が世界中で進められているが、近い将来、水処理技術に革命的な影響を及ぼすことになりそうなのは、「バイオ」の方では環境毒の生分解に役立つ微生物の探索ないし育種、「テクノロジー」の方では、省エネルギーどころかエネルギー生産型の2次処理技術、即ち、下水の直接嫌気処理であろう。紙数に限りがあり、原典の呈示が有益かと思われるので、この点に的を絞って、最近の文献に現れた海外の研究の一端を紹介しよう。

1. 嫌氣的2次処理技術

下水処理の第1標的はBODであって、BOD除去のために莫大な量のエネルギーが投入されている。ところが、BODのもととは、主として有機物、即ち高エネルギー炭素化合物なのだから、「BODエネルギー」を使ってBODを除去するのが最も合理的であると言えよう。

これに役立つのが、嫌気消化と、それに続くガス化反応、主としてメタン発酵であるが、繁殖が遅い貴重なメタン菌を使い捨てにしない技術の開発に成功すれば、社会的波及効果が絶大である。その為の嫌氣的バイオリアクターの基本的な型は、ほぼ出揃った感がある。

1) 上向流嫌気性汚床：比重が1より大きい汚材を詰めたシリンダーの下部から原水を入れ、処理水を上部から流出させる方式である。消化槽汚泥等を加えて長く運転していると、汚材の表面が嫌気性生物膜で被われ、メタンと二酸化炭素を主とするバイオガスが発生するようになる。1960年代から、硝化液の脱窒素用に研究されていた方式だが、Oak Ridge National Laboratoryから、ANFLOW(anaerobic upflow fixed film bioreactor)の名で、メタン生産を兼ねた下水の2次処理への適用が発表され¹⁻³⁾、1981年に

は、早くも、そのためのワークショップが開かれており⁴⁾、化学工業⁵⁾、製薬⁶⁾、革なめし^{7,8)}、廃水、熱処理した余剰汚泥からの浸出水^{9,10)}、酸性乳清¹¹⁾などの処理に用いられて、その有用性が証明され、ゼラチンを用いた酸生成段階だけへの応用にも成功している¹²⁾。

尚、ついでながら、汚泥の170℃でいどの熱処理による脱水性向上については、日本でも注目されるようになって来たが、早くから多くの研究報告が出ている¹³⁻²³⁾。

さて、ANFLOW法は、立ち上がりがおそいが、順調に動き出せば、ショック・ロード²⁴⁾、pHや温度の変化²⁵⁾、毒物^{26,27)}などに強いことが報告されているが、これは好気処理の場合、完全混合方式より、plug flow方式の方が環境変化に強いことから頷ける。

汚材としては、石英塊⁸⁾、セラミック製Raschig ringや、プラスチック球²⁸⁾、porous clay¹¹⁾、孔をあけたポリウレタン材²⁹⁾など、いろいろなものが試みられており、また塊状活性炭を詰めるとフェノール類がよく分解することが報告されている³⁰⁻³²⁾。

2) 嫌気性流動汚床：エアリフトなどによって水流をおこして担体を循環させる完全混合方式(Biological fluidized bed reactor, BFB)は、空気曝気³³⁻³⁶⁾や酸素曝気³⁷⁾による固定化活性汚泥法として広く試みられており、無氣的(anoxic)におこなえば、脱窒素にも使える³⁸⁻⁴¹⁾。この方式を嫌気処理に用いたのが嫌気性流動汚床で、メタン菌のフォスファターゼ活性とメタン生成活性の関係⁴²⁾、負荷⁴³⁾や温度⁴⁴⁾変動に対する安定性などを在来型の完全混合方式と比較研究するのに適している。酸生成槽とメタン発酵槽を分離した2槽方式も試みられており⁴⁵⁾、上が開いた円錐形のリアクターに、菌膜をつけた石炭粒を流動させて乳清を嫌気処理する研究⁴⁶⁾などもある。流動床は完全混合のモデル実験には最適だが、強い水流を生じさせるための電力消費量が多いのが難点と言えよう。

3) 嫌気性膨張床：前述の嫌気性流動床では、運転

* 山梨大学工学部環境整備工学科教授
Ohoki NAKAYAMA

中は、担体の占める容積が、沈降時の倍以上になる。この膨張を10~20%程度に留めるようにしたのが、anaerobic attached film expanded bed process (AAFEB)である。そのためには、担体の比重を1.02~1.2、粒径を20~30 μm 、廃水の流速を、10~20mm/時ぐらいに設定すればよい。

つまり、上向流嫌気性汙床と嫌気性流動床の長所を組み合わせたようなものになる。目づまりを気にせずに、担体粒子をこまかく、固液接触面積を広くすることができ、しかも電力が少なくてすむ^{47, 48)}。

4) 上向流嫌気性汚泥ブランケット：オランダの Wageningen 農科大学の Lettinga らによって考案された方法である⁴⁹⁾。シリンダーに嫌気消化汚泥を入れ、下から上に向かって有機廃水をゆっくり流していると、次第に汚泥の粒状化が進み、特に担体を加えなくても、嫌気性膨張床のような様相になる。しかし、洗い流しを防ぐため、上の方に広い余裕 (blanket) を持たせる必要があるので、upflow anaerobic sludge blanket process (UASB) と呼ばれる。

糖蜜廃液などの場合は単槽でよいが⁵⁰⁾、一般には、酸生成、ガス化の2槽建てにする方がよい^{51, 52)}。また、上端に内部沈殿槽の役をする装置をつけたものや⁵³⁾、UASBの上に、その約半分の高さの充填材槽を重ねて、こまかい汚泥粒を捕捉するようにした、UASB と上向流嫌気性汙床の混合型なども試みられている⁵⁴⁾。

汙材を加えなくても“pelettization”ないし“natural immobilization”がおきる現象について、いろいろと研究されているが^{55~57)}、酢酸とプロピオン酸を基質としてpH 6で運転した時、生ずるペレットを走査電顕でしらべると⁵⁸⁾、*Methanothrix soehngeni*⁵⁹⁾様の糸状メタン菌が、からまり合っているという。

5) 下向流嫌気性汙床：ハネカム型塔式撒水汙床に廃水を満たして、ゆっくり流下させるようなもので、anaerobic downflow stationary fixed film (DSFF) reactor と呼ばれ、National Research Center of Canada で開発され^{60~63)}、農産廃棄物^{64~66)}、や産業廃水^{67~69)}の処理にも効果を挙げている。

汙材としては、サンドペーパーで傷をつけた厚さ3mmのアクリル板で作った2.4cm角の格子水路⁷⁰⁾、同じく磁性のもの⁷¹⁾、needle-punched polyester (3mm thickness, 280 g/m², Texel Inc., Beauce Nord, Quebec, Canada) biofilm support^{72, 73)}、red clay grain tile, gray potters clay formed into cylinder, Cloisonyl (a light polyvinyl ch-

loride), etched glass⁷³⁾などが試みられている。

固定汙床の常として環境変化やショックロードに強く⁷²⁾、Geotextile (Texel Inc., 375g/m²)を用いた場合、走査電顕でしらべると、汙材の表面が*Methanosarcina*でおおわれていたという⁷³⁾。

2. 嫌気処理の微生物学

ルーメンをはじめとする動物消化管内の嫌気性マイクロフロラにくらべて、非常におくれているが、最近、嫌気処理槽や自然界の嫌気生物に関する研究が激増している。

1) 嫌気細菌：上向流嫌気性汚泥ブランケットで、*Methanothrix*が⁵⁸⁾下向流嫌気性汙床で*Methanosarcina*が⁷³⁾優占生育していたことは既述のとおりであるが、豚糞嫌気消化槽中の菌は、*Peptostreptococcus*, *Eubacterium*, *Bacteroides*, *Lactobacillus*, *Peptococcus Clostridium*, *Streptococcus*が主で*Bacteroides*を除けば、意外に、すべてグラム陽性菌であり、消化産物は酢酸に収斂するという⁷⁴⁾。木質廃物の嫌気消化槽では、最初*Methanosarcina*が多いが、4ヶ月経過後は、*Methanothrix*に変わって来た⁷⁵⁾。思いがけないものとして、葡萄糖を基質とした集殖培養に於ける、脂肪酸、二酸化炭素、水素の主な生産菌は*Anaerobasplasma*、二酸化炭素と水素からのメタン生産菌は*Methanoplasma, elizabethii*と、いずれもマイコプラズマであったり⁷⁶⁾、アイスランドの55~97°C, pH3~9の温泉から、*Thermoanaerobic ethanolicus*, *Clostridium thermoacetum*, *C. thermohydrosulfuricum*などの新菌が得られたり⁷⁷⁾、海の底泥から、メタノール、トリ、ジ、モノメチルアミンからメタンを生産し、水素・二酸化炭素系には作用しない、オムスビ型の細胞から成る新属新種、*Methanococcoides methylutens*が分離されたり⁷⁸⁾、牛のルーメンから、キシラン、ペクチン、アラビノガラクトン等を分解するスピロヘータ *Treponema bryantii*が見つかったり⁷⁹⁾、多くの新発見が続いている。

2) 嫌気性真菌：ニュージーランドの Cawthron Institute では、牛や羊のルーメン内の嫌気性カビ *Neocallimastix frontalis*の研究を進めている。これは、楕円体の本体に、分岐した根が生えたような形でルーメン壁に貼りついたようなもので⁸⁰⁾、糖を発酵し⁸¹⁾、リグニンや⁸²⁾、ヘミセルロース⁸³⁾を分解し、*Methanospirillum hungates*といっしょにいと、セルラーゼ生産性が向上し⁸⁴⁾、*Methanosarcina ba-*

keri および *Methanobrevibacter* sp. と三者混合培養すると、セルロースをメタン化する⁸⁵⁾。

今のところ、嫌気消化装置からは、嫌気性真菌や、ルーメンに居るような原虫などは見つかって居らず、これらを接種する試みも、これからの課題であろう。

3. 環境毒等の生物処理

文明生活に伴って排出されて環境を汚染し、やがては人体に害を及ぼす物質には、重金属や難分解性有機化合物等がある。

1) 重金属対策：硫酸還元菌が生産する硫化水素を利用した重金属除去の研究は、恐らく、日本が最も進んでいるが、欧米でも、嫌気処理による産業廃水や⁸⁶⁾ 廃棄処分地浸出水⁸⁷⁾ からの重金属除去の研究がはじまっている。尚、硫酸還元菌による硫化水素生産は、メタン発酵の敵とされて来たが、*Desulfovibrio vulgaris* と *Methanosarcina barkeri* は、水素移動に於いて協力関係にある⁸⁸⁾ とか、河口底泥中では、硫酸イオンはメタノール、トリメチルアミン等のメタン化に、かえって促進的に作用するとか⁸⁹⁾、沿岸底泥から、0.1 mM以上の硫化イオンの存在がメタン生成のための必要条件であるような好熱性メタン菌が発見されたとか⁹⁰⁾、フルフラールの嫌気分解に *Desulfovibrio* が注役を演ずるなど⁹¹⁾、硫酸還元菌の積極的評価につながる研究が出て来ている。

2) PCB等の生分解：イリノイ大学の Chakrabarty らは、プラスミド操作による炭化水素等の生分解を扱って来たが⁹²⁻⁹⁴⁾、塩化芳香族化合物⁹⁵⁻⁹⁹⁾、その一端としてのPCB分解に成功している^{100,101)}。その個々の成果もさることながら、遺伝子工学を駆使した手法に、教科書的な意義があろう。PCB^{102,103)}やパラチオン¹⁰⁴⁾の生分解などについては、他にも多くの研究がある。

3) 難分解性化合物の嫌気分解：最後に、嫌気処理に戻ろう。海底堆積物による複雑な第4級アミンのメタン化¹⁰⁵⁾、嫌気性流動床¹⁰⁶⁾等によるクロロフェノール類の嫌気分解、含窒素多環芳香族化合物のメタン化¹¹⁰⁾、フルフラールやグアヤコール¹¹¹⁾、フタル酸エステル¹¹²⁾等の嫌気分解、脱塩素、開環、メタン生成という3つの型の菌の協力下における、3-クロロ安息香酸のメタン化¹¹³⁾、硫酸還元菌によるアントラニル酸の嫌気分解¹¹⁴⁾、ポリエチレングリコールや¹¹⁵⁾トリハロメタンは¹¹⁶⁾、嫌氣的に扱う方が分解しやすいという報告¹¹⁶⁾、新しく考案した手法でしらべたところ、100種類の化学

物質が、嫌気菌群によってメタン化した¹¹⁷⁾など、嫌気処理による環境浄化の将来に希望をいだかせる報告が少くない。

尚、嫌気処理は硝化に結びつかないので、脱窒素に関しては、画期的な技術の開発が期待される。

引用文献

- 1) Genung, R.K., and Pitt, W. W., Jr., "Development of A Wastewater Treatment System Based on a Fixed-Film Anaerobic Bioreactor." Proc. of the Seminar/Workshop Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 199 (1981).
- 2) Genung, R. K., et al., "Energy Conservation and Scale-Up Studies For A Wastewater Treatment System Based On a Fixed-Film Bioreactor." Biotechnol. Bioeng. Symp., **10**, 295 (1980).
- 3) Koon, J. H., et al., "The Feasibility of An Anaerobic, Upflow, Fixed-Film Process for Treating Small Sewage Flows." Proc. U. S. Dept. of Energy, Energy Optimization of Water and Wastewater Management for Municipal and Industrial Applications Conf., Dec. 10-13, 1979, New Orleans, La. ANL/EES-TM-96, **1**, 193 (1980).
- 4) U. S. Dept. of Energy, Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50 (1981).
- 5) Ragan, J. L., "Celonese Experience with Anaerobic Filters." Proc. of tnc Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CN SV-TM-50, 129 (1981).
- 6) Jennett, J. C., and Rand, M. C., "A Comparison of Anaerobic vs. Aerobic Treatment of Phamaceutical Waste." Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 77 (1981).
- 7) Friedman, A. A., et al., "New Observation With Anaerobic Fixed Film Reactors." Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 95 (1981).
- 8) Arora, H. C. and Chattopadhyaya, S. N.: Anaerobic contact filter process: a suitable method for the treatment of vegetable tanning effluents. Water Pollution control, **79**(4), 501-506 (1980).
- 9) Donovan, E. J., Jr., "Treatment of High Strength Wastes By An Anaerobic Filter." Proc. of the Seminar/

- Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 179(1981).
- 10) Hydrosience, Inc., "Pilot Scale Anaerobic Filter Treatment of Heat Treatment Liquor, Final Report." Report # EPA-600/2-81-114 (1981).
 - 11) Wildenauer, F.X. and Winta, J. : Anaerobic digestion of high-strength acidic whey in a pH-controlled up-flow fixed film loop reactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 22(5), 367 ~ 372 (1985).
 - 12) Breure, A.M., Van Andel, J. G., Burger-Wiersma, T., Guijt, J. and Verkuijlen, J.: Hydrolysis and acidogenic fermentation of gelatin under anaerobic conditions in a laboratory scale upflow reactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 21(1/2), 50~54 (1985).
 - 13) Hang, R.T., "Sludge processing to optimize digestibility and energy production." *J. Water Pollut. Control Fed.*, 49, 1713 (July 1977).
 - 14) Feliciano, D.V., "Bringing about an end to ocean dumping." *J. Water Pollut. Control Fed.*, 53, 276 (March 1981).
 - 15) Haug, R.T., et al., "Effect of thermal pretreatment on digestibility and dewaterability of organic sludges." *J. Water Pollut. Control Fed.*, 50, 73 (January 1978).
 - 16) "Task II Report: Waste Activated Sludge Processing Studies for the Joint Water Pollution Control Plant." Los Angeles County Sanitation Districts (October 1976).
 - 17) Haug, R.T., et al., "Anaerobic Filter Treats Waste Activated Sludge." *Water and Sew. Works.* (February 1977).
 - 18) Vesilind, P.A., "Design of Prototype Thickeners from Batch Settling Tests." *Water and Sew. Work* (July 1968).
 - 19) Gossett, J.M., and McCarty, P.L., "Heat Treatment of Refuse for Increasing Anaerobic Biodegradability." *Civil Engineering Tech. Rep. No. 192*, Stanford University. (January 1975).
 - 20) Garrison, W. E., and Horvath, R. W., "Parallel Evaluation of Belt Filter Presses and Low Speed Scroll Centrifuges." presented at Seventh U.S. and Japan Conf. on Sew. Treatment Technol., Tokyo, Japan. (May 1980).
 - 21) LeBrun, T. J., and Tortorici, L., "Thermal Pretreatment Anaerobic Digestion Study." Report to the LA/OMA Project by the Los Angeles County Sanitation Districts. (July 1978).
 - 22) Trubiano, R. P., et al., "Pilot Studies of Municipal Sludge Dewatering Equipment." Rep. to the LA/OMA Project by the Los Angeles County Sanitation Districts (December 1980).
 - 23) Haug, R. T., LeBraun, T. J. and Tortorici, L. D. : Thermal pretreatment of sludges—a field demonstration. *J. WPCF*, 55, 23~34 (1983).
 - 24) Young, J. C., "Performance of Anaerobic Filters Under Transient Loading and Operating Conditions." *Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment*, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 159 (1981).
 - 25) Speece, R. E., et al., "Methane Fermentation Toxicity Response: Contact Mode." *Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment*, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 11 (1981).
 - 26) Parkin, G. E., et al., "A Comparison of the Response of Methanogens to Toxicants: Anaerobic Filter vs. Suspended Growth Systems." *Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Treatment*, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 37 (1981).
 - 27) van denBerg, L., and Lentz, C. P., "Effects of Film Area To Volume Ratio, Film Support, Height, and Direction of Flow on Performance of Methanogenic Fixed Film Reactors." *Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus For Wastewater Treatment*, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 1 (1981).
 - 28) Braun, R.: Anaerobic filter treatment of molasses distillery slops. *Water Res.*, 16(7), 1167~1171 (1982).
 - 29) Frostell, B.: Anaerobic treatment in a sludge bed system compared with a filter system. *Journal WPCF*, 53(2), 216~222 (1981).
 - 30) Cross, W. H., et al., "Anaerobic Activated Carbon Filters For the Treatment of Wastewaters Containing Phenols" *Proc. of the Seminar/Workshop, Anaerobic Filters: An Energy Plus for Wastewater Management*, Jan. 9-10, 1980, Howey-In-The-Hills, Fla., ANL/CNSV-TM-50, 59 (1981).
 - 31) Khan, K. A., et al., "Anaerobic Activated Carbon Filter For the Treatment of Phenol-Bearing Wastewater." *J. Water Pollut. Control Fed.*, 53, 1519 (1981).
 - 32) Suidan, M. T., et al., "Anaerobic Carbon Filter for Degradation of Phenols." *J. Environ. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 107, 563 (1981).
 - 33) Jeris, J. S., et al., "Secondary Treatment of Municipal Wastewater With Fluidized Bed Technology." in *Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater*, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.) Halsted Press. 112 (1981).
 - 34) Wheeldon, D. H. V., and Bayley, R. W., "Economic Studies of Biological Fluidized Beds for Wastewater Treatment." in *Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater*, P. F. Cooper and B.

- Atkinson (Eds.) Halsted Press, 306 (1981).
- 35) Nutt, S. G., et al., "Steady and Non-Steady State Performance of the Aerobic (Oxygenic) Biological Fluidized Bed," in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Halsted Press 145 (1981).
 - 36) Sehic, O. A., "Fluidized Sand Recycle Reactor for Aerobic Biological Treatment of Sewage," in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Halsted Press, 179 (1981).
 - 37) Sutton, P. M., et al., "Dorr-Oliver's Oxitron SystemTM Fluidized Bed Water and Wastewater Treatment Process," in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Halsted Press 285 (1981).
 - 38) Hancher, C. W., Taylor, P. A. and Napier, J. M. Operation of a fluidized Bed bioreactor for denitrification. *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, No 8, 361~378 (1978).
 - 39) Cooper, P. F., and Wheeldon, D. H. V. "Complete Treatment of Sewage in a Two Fluidized Bed System," in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Halsted Press, 121 (1981).
 - 40) Francis, C. W., and Hancher, C. W. "Biological Denitrification of High Nitrate Wastes Generated in the Nuclear Industry," in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Halsted Press (1981).
 - 41) Gregory, R., and Sheiham, I., "Biological Fluidized-Bed Denitrification of Surface Water. The Economics of a Remedy for Nitrate in Drinking Water," in Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater, P. F. Cooper and B. Atkinson (Eds.), Halsted Press, 329 (1981).
 - 42) Bull, M. A., et al., "The Distribution of Bacterial Activity in an Anaerobic Fluidized Bed Reactor." *Water Res. (G. B.)*, **18**, 1017 (1984).
 - 43) Barnes, D., et al., "Influence of Organic Shock Loads on the Performance of an Anaerobic Fluidized Bed System." *Proc. 38th Ind. Waste Conf., Purdue University, Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich.*, 715 (1984).
 - 44) Kelly, C. R., and Switzenbaum, M. S., "Temperature and Nutrient Effects on the Anaerobic Expanded Bed Treating a High Strength Waste." *Proc. 38th Ind. Waste Conf., Purdue University, Ann Arbor Sci. Publ., Ann Arbor, Mich.*, 591 (1984).
 - 45) Bull, M. A., Sterritt, R. M. and Lester, J. N. An Evaluation of single and separated phase anaerobic industrial wastewater treatment in fluidized bed reactors. *Biotechnol. Bioeng.*, **26**, 1054~1065 (1984).
 - 46) Boening, P. H. et al., "Anaerobic fluidized bed whey-treatment. *Biotechnol. Bioeng.*, **24** (11), 2539~2556 (1982).
 - 47) Switzenbaum, M. S. and Jewell, W. J.: The anaerobic attached film expanded bed reactor for the treatment of dilute organic wastes. U. S. Dept. of Energy Report TID-29398. Available from Natl. Tech. Information Service, U. S. Dept. of Commerce, Springfield Va. (1978).
 - 48) Jewell, W. J., Switzenbaum, M. S. and Morris J. W.: Municipal wastewater treatment with the anaerobic attached microbial film expanded bed process. *Journal WPCF*, **53** (4), 482~490 (1981).
 - 49) Lettinga, G., Van Velsen, A. F. M., Hobma, S. W., de Zeeuw, W. and Klapwijk, A.: Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnol., Bioeng.*, **22**, 699~734 (1980).
 - 50) Pette, K. C., et al., "Full-Scale Anaerobic Treatment of Beet-Sugar Wastewater." In *Proc. 35th Ind. Waste Conf. (1980)*, Purdue Univ. (Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, Mich.) 635 (1981).
 - 51) Ghosh, S., "Advanced Two-Phase Digestion of Sewage Sludge." In "Symposium Papers: Energy From Biomass and Wastes VIII." D. L. Klass, (Ed.), *Inst. Gas Technol., Chicago, Ill.*, 853 (1984).
 - 52) Ghosh, S., et al., "Two-Stage Upflow Anaerobic Digestion of Concentrated Sludge." *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, **13**, 351 (1983).
 - 53) Van Der Meer, R. R. and de Veeter, R.: Anaerobic treatment of wastewater: the gas-liquid-sludge separator. *Journal WPCF*, **54** (11), 1482~1492 (1982).
 - 54) Guiot, S. R. and van den Berg, L.: Performance of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and a filter treating sugar waste. *Biotechnol. Bioeng.*, **27**, 800~806 (1985).
 - 55) Hulshoff Pol, L. W., J. de Zeeuw, C. T. M. Velzeboer and G. Lettinga. Granulation in UASB-reactors. *Water Sci. Technol.* **15**:291~305 (1983).
 - 56) Hulshoff Pol, L. W., J. Dolfing, W. de Zeeuw, and G. Lettinga. Cultivation of well adapted pelletized methanogenic sludge. *Biotechnol. Lett.* **5** 329~332 (1982).
 - 57) Hulshoff Pol, L. W., J. Dolfing, K. van Straten, W. J. de Zeeuw, and G. Lettinga. Pelletization of anaerobic sludge in upflow anaerobic sludge bed reactors on sucrose containing substrates, p. 636~642, In M. J. Klug and C. A. Reddy (ed.), *Current perspectives in microbial ecology. American Society for Microbiology, Washington, D. C.* (1984).

- 58) Brummeler, E.T. Pol, L.H. Delfing, J. Lettinga, G., and Zehnder, A. J. B., Methanogenesis in an upflow anaerobic sludge blanket reactor at pH6 on an acetate propionate mixture, *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(6), 1472-1477 (1985).
- 59) Huser, B. A., K. Wuhrmann, and A. J. B. Zehnder. *Methanothrix soengenii* gen. nov. sp. nov. a new acetotropic non-hydrogen oxidizing methanobacterium. *Arch. Microbiol.* 132:1-9. (1982).
- 60) K. J. Kennedy and L. van den Berg, "Effects of temperature and overloading on the performance of anaerobic fixed film reactors," *Proceedings of the 36th Purdue Industrial Waste Conference, Lafayette, IN, 1981*, p. 678.
- 61) K. J. Kennedy and L. van den Berg, "Use of fixed film reactors for production of methane from waste," *Proceedings of the Third Bioenergy Research and Development, Ottawa, Canada, 1981*, p. 96.
- 62) K. J. Kennedy and L. van den Berg, "Effect of height on the performance of anaerobic downflow stationary fixed film (DSFF) reactors treating bean blanching waste," *37th Purdue Industrial Waste Conference, West Lafayette, IN, 1982*, pp. 71-77.
- 63) K. J. Kennedy and R. L. Droste, "Effect of influent concentration on the start-up of anaerobic downflow stationary fixed film (DSFF) reactors," *Proceedings of the 38th Purdue Industrial Waste Conference, Lafayette, IN, May 1983*.
- 64) Kennedy, K. J., and L. van den Berg. Continuous vs. slug loading of downflow stationary fixed film reactors digesting piggery waste. *Biotechnol. Lett.* 4:137-142. (1982).
- 65) Kennedy, K. J., and L., van den Berg. 1982. Anaerobic digestion of piggery waste using a stationary fixed film reactor. *Agricultural Wastes* 4:151-158. (1982).
- 66) Lo, K. V., A. J. Whithead, P. H. Liao, and N. R. Bulley. Methane production from screened dairy manure using a fixed film reactor. *Agricultural Wastes* 9:175-188. (1984).
- 67) Hall, E. R., B. E. Jank, and M. Jovanovic. 1981. Energy production from high strength industrial waste water, p.125-129, In *Proceedings of the Third Bioenergy Research and Development Seminar, Ottawa, Canada.* (1981).
- 68) van den Berg, L., and K. J. Kennedy. Support materials for stationary fixed film reactors for high-rate methanogenic fermentations. *Biotechnol. Lett.* 3:165-170. (1981).
- 69) van den Berg, L., K. J. Kennedy, and M. F. Hamoda. Effect of type of waste on performance of anaerobic fixed film and upflow sludge bed reactors. *Proceedings of the 36th Purdue Industrial Waste Conference, Lafayette, Ind.* (1981).
- 70) Liao, P. H., and Lo, K. V.: Methane production using whole and screened dairy manure in conventional and fixed film reactors. *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 266-272 (1985).
- 71) Samson, R. van den Bag, L. and Kennedy, K. J.: Mixing Characteristics and startup of anaerobic downflow stationary fixed film (DSFF) reactors *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 10-19 (1985).
- 72) Kennedy, K. J., Muzar, M., and Copp, G.: Stability and performance of mesophilic anaerobic fixed-film reactors during organic overloading. *Biotechnol. Bioeng.*, 27, 86-93 (1985).
- 73) Harvey, M., Forsberg, C.W., Beveridge, T. J., Pos, J. and Ogilvie, J. R.: Methanogenic activity and structural characteristics of the microbial biofilm on a needle punched polyester support. *Appl. Environ. Microbiol.*, 48(3), 633-683 (1984).
- 74) Lannotti, E.L., Fischer, J. R., and Sievers, D. M., Characterization of bacteria from a swine manure digester. *Appl. Environ. Microbiol.*, 43(1), 136-143 (1982).
- 75) Zinder S. H., Cardwell, S. C., Anguish, T. Lee, M. and Koch, M.: Methanogenesis in a thermophilic (58°C) anaerobic digester, *Methanobrevibacter* sp. as an important aceticlastic methanogen. *Appl. Environ. Microbiol.*, 47(4), 796-807 (1984).
- 76) Rose, C. S., and Pirt, J., "Conversion of Glucose to Fatty Acids and Methane: Roles of Two Mycoplasmal Agents." *J. Bacteriol.*, 147, 248 (1981).
- 77) Ljungdahl, L. G., et al., Some Aspects of Thermophilic and Extreme Thermophilic Anaerobic Microorganisms." *Trends Biol. Ferment.*, 18, 397 (1981).
- 78) Sowers, K. R. and Ferry, J. G.: Isolation and Characterization of a methylotrophic marine methanogen *Methanococcoides methylutens* gen nov. sp. nov. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45(2), 684-690 (1983).
- 79) Paster, B. J., and Canale-palola E.: Physiological diversity of rumen spirochetes; *Appl. Environ. Microbiol.*, 43(3), 686-693 (1982).
- 80) Banchoff, T.: Rumen anaerobic fungi of cattle and sheep. *Appl. Environ. Microbiol.*, 38(1), 148-158 (1979).
- 81) Mountfort, D. and Asher, R. A.; Role of catabolite regulatory mechanisms in control of carbohydrate utilization by the rumen anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 46(6)

- 1331~1338(1983).
- 82) Windham, W. R. and Akin, D.E.: Rumen fungi and forage fiber degradation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 48(3), 473~476(1984).
 - 83) Perce, P.P. and Banchop, T.: Glycosidases of the rumen anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis* grown on cellulosic substrates. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(5), 1265~1269(1985).
 - 84) Mountfort, D. O. and Asher, R.A.: Production and regulation of cellulose by two strains of the rumen anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(5), 1314~1322(1985).
 - 85) Mountfort, D. O., Asher, R. A. and Banchop, T.: Fermentation of cellulose to methane and carbon dioxide by a rumen anaerobic fungus in a triculture with *Methanobrevibacter* sp. strain RAI and *Methanosarcina barkeri*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44(1), 128~134(1982).
 - 86) Pahl-Wabnegg, E. u. Kross, H.: Biologische Schwermetallentfernung bei Industrieabwassern. *gwf-Wasser/Abwasser*, 125, H.9, 424~426(1984).
 - 87) Cameron, R. D. et al.: Trace methods and anaerobic digestion of leachate. *Journal WPCF*, 52(2), 282~292(1980).
 - 88) Hatchikan, C. E., Le Gall, J. and Belaich, J.: Energetics of growth of a defined mixed culture of *D. Desulfovibrio vulgaris* and *Methanosarcina barkeri*: interspecies hydrogen transfer in batch and continuous cultures, *Appl. Environ. Microbiol.*, 46(5), 1152~1156(1983).
 - 89) Oremland, R.S. and Polcin, S.: Methanogenesis and sulfate reduction: competitive and noncompetitive substrates in estuarine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 44(6), 1270~1276(1982).
 - 90) Ronnow, P. H., and Gunnarsson, L. A. H., "Sulfide-Dependent Methane Production and Growth of a Thermophilic Methanogenic Bacterium." *Appl. Environ. Microbiol.*, 42, 580, (1981).
 - 91) Srune, G., Schoberth, S. M, and Sahm, H.: Growth of a strictly anaerobic bacterium on furfural (2-furaldehyde). *Appl. Environ. Microbiol.*, 46(5), 1187~1192(1983).
 - 92) Chakrabarty, A. M.: Plasmids in *Pseudomonas*. *Annu. Rev. Genet.* 10:7~30. (1976).
 - 93) Farrell, R., and A. M. Chakrabarty: Degradative plasmids: molecular nature and mode of evolution, p.97~109. In K. N. Timmis and A. Puhler (ed.), *Plasmids of medical, environmental and commercial importance*. Elsevier/North-Holland Publishing Co., Amsterdam. (1979).
 - 94) Chakrabarty, A. M.: Plasmids and dissimilation of synthetic environmental pollutants, p. 21~30. In C. Stuttard and K. R. Rozee (ed.), *Plasmids and transposons: environmental effects and maintenance mechanisms*. Academic Press, Inc., New York. (1980).
 - 95) Chatterjee, D. K., S. T. Kellogg, D. R. Watkins and A. M. Chakrabarty: Plasmids in the biodegradation of chlorinated aromatic compounds, p. 519~528. In S. B. Levy, R. C. Clowes, and E. L. Koenig (ed.), *Molecular biology, pathogenicity and ecology of bacterial plasmids*, Plenum Publishing Corp., New York. (1981).
 - 96) Kilbane, J. J., D. K. Chatterjee, J. S. Karns, S. T. Kellogg, and A. M. Chakrabarty: Biodegradation of 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid by a pure culture of *Pseudomonas cepacia*. *Appl. Environ. Microbiol.* 44: 72-78. (1982).
 - 97) Karns, J. S., J. J. Kilbane, S. Duttgupta, and A. M. Chakrabarty: Metabolism of halophenols by 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid-degrading *Pseudomonas cepacia*. *Appl. Environ. Microbiol.* 46:1176~1181. (1983).
 - 98) Kilbane, J. J., D. K. Chatterjee, and A. M. Chakrabarty: Detoxification of 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid and from contaminated soil by *Pseudomonas cepacia*. *Appl. Environ. Microbiol.* 45:1697~1700. (1983).
 - 99) Karns, J. S., Kilbane, J. J., Duttgupta, S. and Chakrabarty, A. M.: Metabolism of halophenols by 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid-degrading *Pseudomonas cepacia*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 46(5), 1176~1181(1983).
 - 100) Kamp, P. F., and A. M. Chakrabarty: Plasmids specifying p-chlorobiphenyl degradation in enteric bacteria, p. 275~285. In K. N. Timmis and A. Puhler (ed.), *Plasmids of medical, environmental and commercial importance*. Elsevier/North-Holland Publishing Co., Amsterdam. (1979).
 - 101) Furukawa, K. and Chakrabarty, A. M.: Involvement of plasmids in total degradation of chlorinated biphenyls. *Appl. Environ. Microbiol.*, 44(3), 619~626(1982).
 - 102) Masse, R., Messier, F., Peloquin, L., Ayotte, C. and Sylvestre, M.: Microbial biodegradation of 4-chlorobiphenyl, a model compound of chlorinated biphenyls. *Appl. Environ. Microbiol.*, 47(5), 947~951(1984).
 - 103) Sylvestre, M., Masse, R., Ayotte, C., Messier, F. and Fauteux, J.: Total biodegradation of 4-chlorobiphenyl(4CB) by a two-membered bacterial culture. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 21, 192~195

- (1985),
- 104) Reddy, B. R. and Sethunathan, N.: Mineralization of parathion in the rice rhizosphere. Appl. Environ. Microbiol., **45** (3), 826~829 (1983).
- 105) King, G. M., "Metabolism of Trimethylamine, Choline, and Glycine Betaine by Sulfate-Reducing and Methanogenic Bacteria in Marine Sediments." Appl. Environ. Microbiol., **48**, 719 (1984).
- 106) Mosey, F. E., "Anaerobic Biological Treatment of Food Industry Wastewaters." Water Pollut. Control (G. B.), **80**, 273 (1981).
- 107) Boyd, S. A. and Shelton, D. R.: Anaerobic biodegradation of chlorophenols in fresh and acclimated sludge. Appl. Environ. Microbiol., **74** (2), 272~277 (1984).
- 108) Boyd, S. A., Shelton, D. R., Berry, D. and Tiedje, J. M.: Anaerobic biodegradation of phenolic compounds in digested sludge. Appl. Environ. Microbiol., **46** (1), 50~54 (1983).
- 109) Boyd, S. A., and Shelton, D. R., "Anaerobic Biodegradation of Chlorophenols in Fresh and Acclimated Sludge." Appl. Environ. Microbiol., **47**, 272 (1984).
- 110) Wang, Y. T., et al., "Anaerobic Biodegradation of Indole to Methane," Appl. Environ. Microbiol., **48**, 1058 (1984).
- 111) Benjamin, M. M., et al., "Anaerobic Toxicity and Biodegradability of Pulp Mill Waste Constituents. Water Res. (G. B.), **18**, 601 (1984).
- 112) Shelton, D. R., et al., "Anaerobic Biodegradation of Phthalic Acid Esters in Sludge." Environ. Sci. Technol., **18**, 93 (1984).
- 113) Shelton, D. R., and Tiedje, J. M., "Isolation and Partial Characterization of Bacteria in an Anaerobic Consortium That Mineralizes 3-Chlorobenzoic Acid." Appl. Environ. Microbiol., **48**, 840 (1984).
- 114) Balba, M. T. M., et al., "Anaerobic Metabolism of Aromatic Compounds by Microbial Associations Isolated from Saltmarsh Sediment." Biochem. Soc. Trans., **9**, 230 (1981).
- 115) Dwyer, D. F. and Tiedje, J. M.: Degradation of ethylene glycol and polyethylene glycols by methanogenic consortia. Appl. Environ. Microbiol., **46** (1), 185~190 (1983).
- 116) Bouwer, E. J., et al., "Anaerobic Degradation of Halogenated 1- and 2-Carbon Organic Compounds." Environ. Sci. Technol., **15**, 596 (1981).
- 117) Shelton, D. R., and Tiedje, J. M., "General Method for Determining Anaerobic Biodegradation Potential." Appl. Environ. Microbiol., **47**, 850 (1984).

最新刊図書

1984・1985年版

汚泥研究年報

変貌する汚泥処理

B 5判・350頁 定価12,000円 (送料無料)

執筆者：京都大学 平岡正勝 日本下水道事業団 栗林宗人 他40名

主な内容

第1章 変貌する汚泥処理技術

第1節 総括

第2節 濃縮

第3節 嫌気性消化システム

第4節 脱水

第5節 乾燥・焼却

第6節 溶融

第7節 コンポスト

第8節 港湾底質処理技術

第2章 各省庁における汚泥処理・処分研究開発の現状と展望

第1節 建設省における汚泥処理・処分研究開発の現状と展望

第2節 通商産業省における汚泥処理処分研究開発の動向

第3節 厚生省における汚泥処理処分研究開発の動向

第4節 運輸省における汚泥処理処分の研究開発の現状と展望

第5節 農林水産省における汚泥処理処分の研究開発の現状と展望

第3章 汚泥研究レビュー

1. 日本における汚泥研究論文

2. 外国における汚泥研究論文

第4章 汚泥に関する主要論文概要

既刊汚泥年報

1983汚泥年報 定価 9,000円

主要テーマ：汚泥からのエネルギー回収、資源化及び都市ごみと下水汚泥の混合処理

1982汚泥年報 (在庫切れ)

1981汚泥年報 定価 6,000円

主要テーマ：省エネ下の汚泥処理

1980汚泥年報 定価 5,000円

主要テーマ：汚泥の脱水技術

申込先 〒550 大阪市西区京町堀 1-14-25(京ニビル) TEL06-443-6445 環境技術研究会