



| | |
|--------------|---|
| Title | 生物環境工学への挑戦 : 大阪大学最終講義 |
| Author(s) | 藤田, 正憲 |
| Citation | 藤田正憲教授業績集. 2005, p. 27-41 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/14224 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

最終講義資料 (2005年3月3日)

大阪大学最終講義

生物環境工学への挑戦

2005. 3. 3

藤田 正憲

1. 公害防止から環境へ

講座創設時(橋本教授):水質の制御が中心の研究
環境工学の低迷を経て、
(末石教授の刺激)

教授就任:地域・地球環境、循環型経済社会を見据えた研究へ

特に、
環境工学の中での化学・生物学の役割を意識
バイオを中心とした研究を志向

2. 私の生物環境工学

- ▶ 環境における化学物質・微生物の計測、解析
(環境要素の定量化)
- ▶ 人や生態系へのリスクの定量化と削減
(下水道、汚濁河川・湖沼など)
(難分解・微量化学物質、環境ホルモン)
(安心・安全・快適生活、自然との共生など)
- ▶ 汚染環境問題のソリューション
(負の遺産の解消)
- ▶ 循環型経済社会構築への取組み
(資源化、省資源・省エネルギー)
- ▶ 地球環境問題への取組み

これらの諸問題に生物の視点を導入する

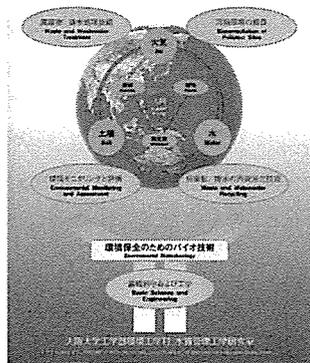
3. 環境問題への生物、生物機能適用の可能性

- ▶ 4分野をリストアップ
バイオトリートメント、バイオレメディエーション、バイオモニタリング、バイオリサイクル
- ▶ パンフレットを作成し、宣言
- ▶ 追い風:
POPs(環境ホルモン等)への関心
環境にやさしい技術への欲求
遺伝子レベルの環境認識(微生物生態系)の普及
バイオレメディエーションの実用化
バイオマス日本総合戦略

など

人と自然の共生にむけて

TECHNOLOGIES FOR SYMBIOSIS OF HUMAN AND NATURE



4. 生物環境工学の領域

- ▶ バイオトリートメント
- ▶ バイオレメディエーション
- ▶ バイオモニタリング
- ▶ バイオリサイクル

(水系でのバイオリスク関連は省略)

5. バイオトリートメント

5-1. 微生物を活用した処理技術の展開

- ▶ 活性汚泥法の高度化
ステップ流入、ファジィ、発泡制御
- ▶ 馴養における微生物生態系のダイナミズム
- ▶ 嫌気性微生物による産業排水処理
- ▶ バイオオーグメンテーションにおける導入微生物の挙動
- ▶ 特殊微生物による高度処理
カビ、白色腐朽菌、PVA
- ▶ 環境ホルモンの環境内挙動と微生物分解
- ▶ 埋立処分場・浸出水の微生物処理
- ▶ 遺伝子組換え微生物応用の可能性

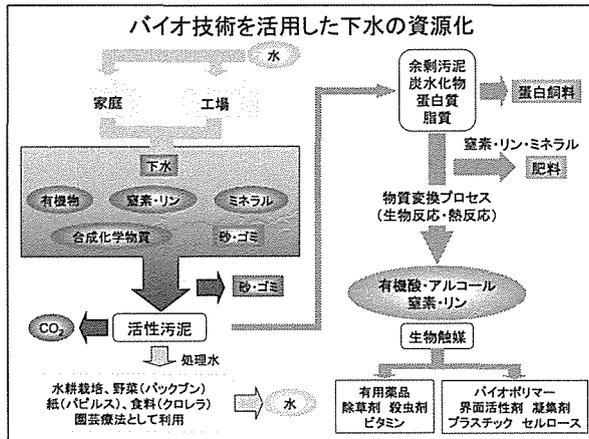
2. 水循環における下水道の役割

2-1. 下水道は資源の宝庫

- ▶ 水資源
- ▶ バイオマス(汚泥)資源

2-2. 下水道からの町づくり

- ▶ 水と緑の(自然共生型)町づくり
- ▶ ヒートアイランド対策
- ▶ 災害対策としての下水道施設
- ▶ 清潔な(衛生的)町づくり



3. 水循環に必要な水処理技術

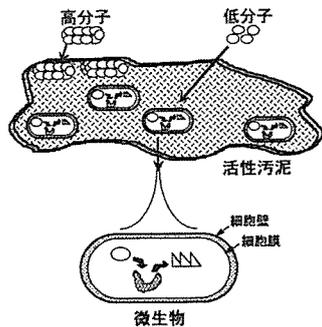
3-1. 水循環型社会と水質

- ▶ 用途に応じた(安心して使える)水質
- ▶ 病原菌からPOPsまで

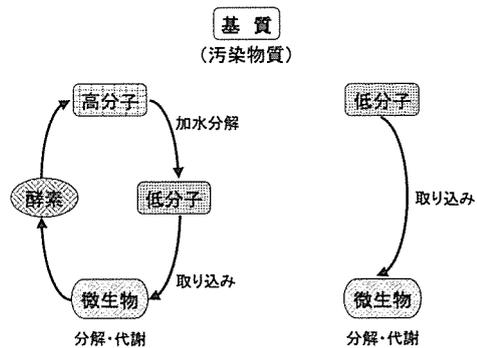
3-2. 水循環型社会における生物学的再生技術

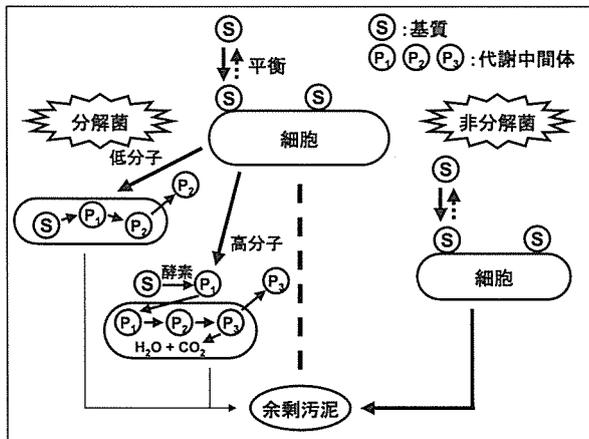
- ▶ 活性汚泥法の進化
- ▶ バイオソープション法の再発見
- ▶ 植物にも着目を

活性汚泥フロックと微生物細胞の模式図



微生物による汚染物質(基質)の分解

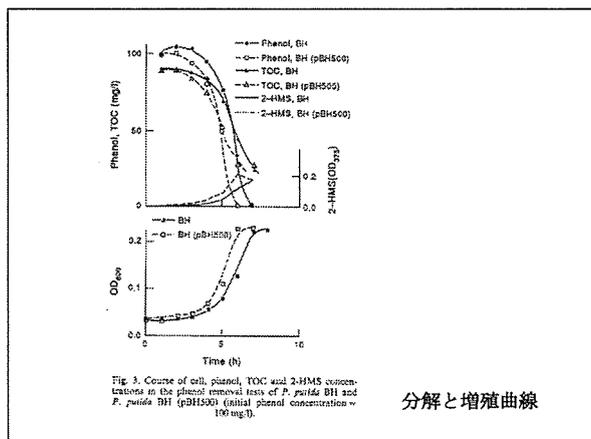
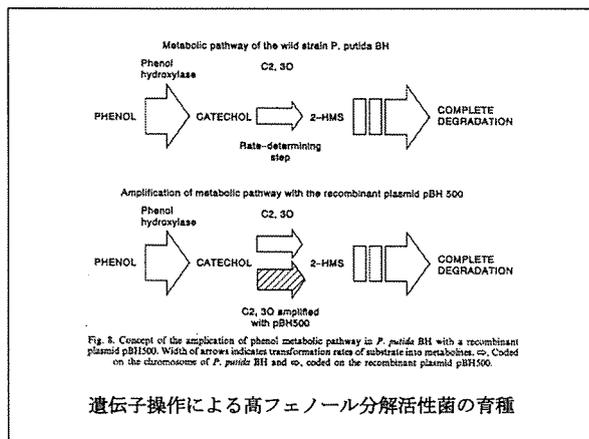




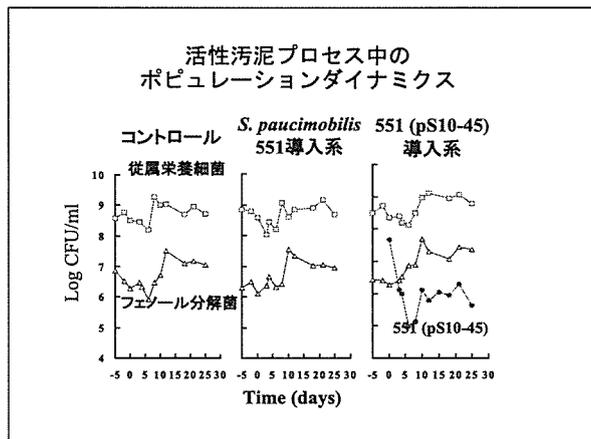
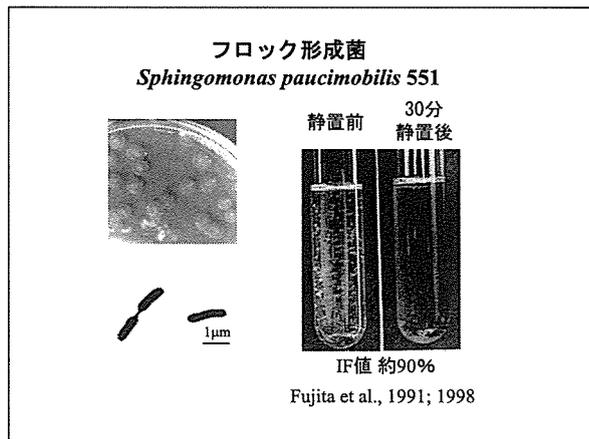
2. 水代謝のための污水处理技術 — 活性汚泥法のさらなる発展に向けて —

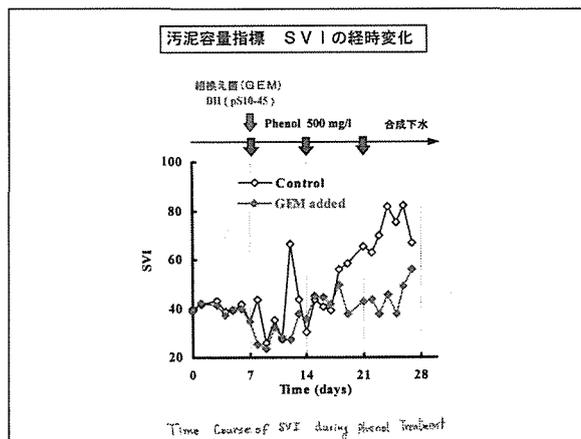
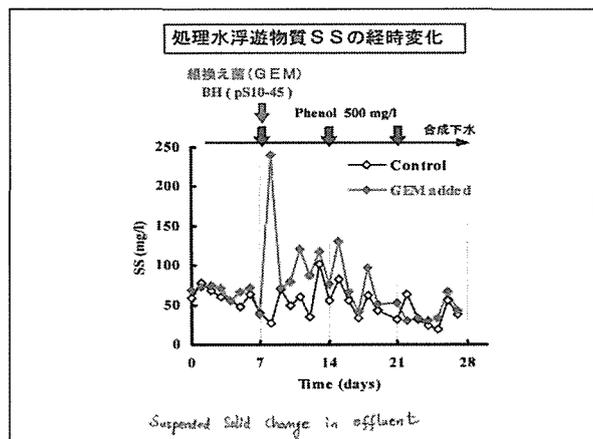
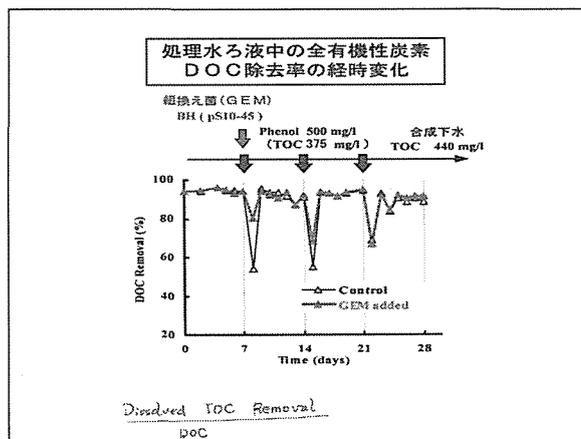
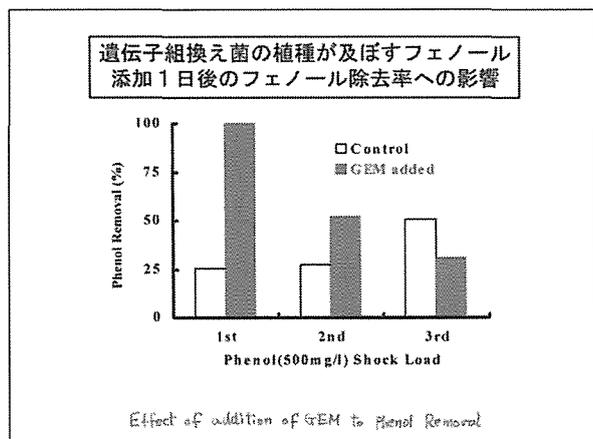
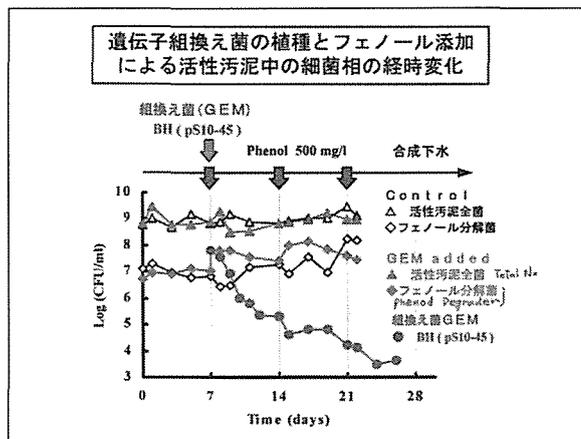
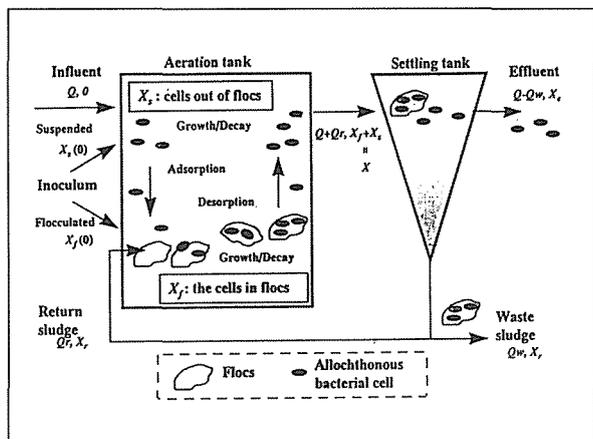
(4) 分解機能強化のための遺伝子工学手法の活用

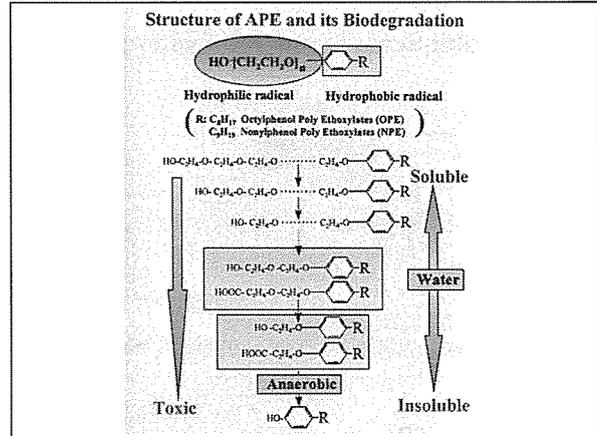
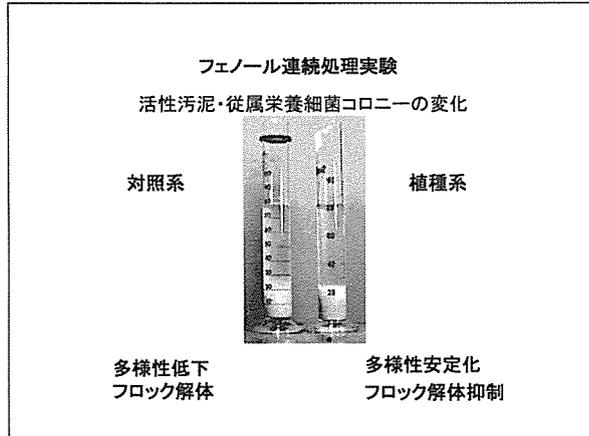
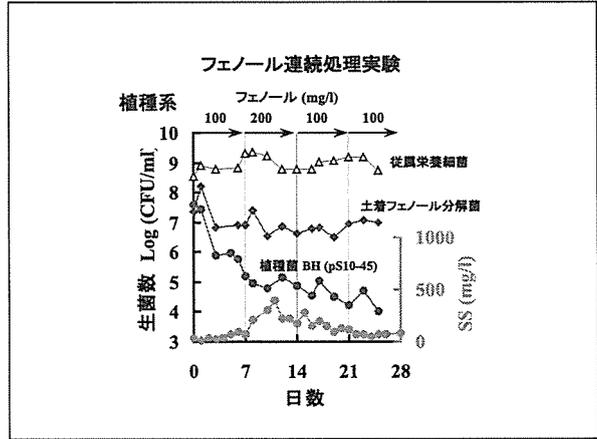
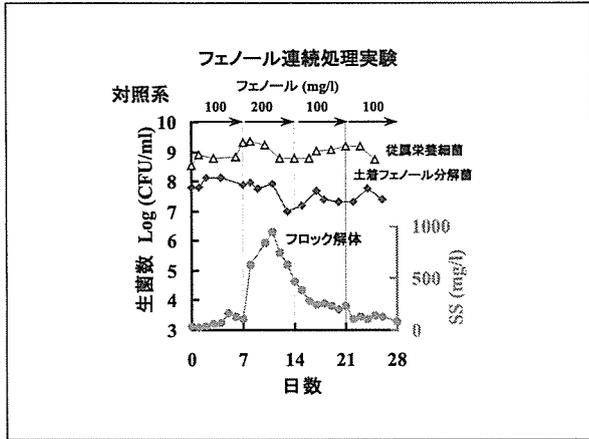
- 1) 高機能微生物の検索・分離・育種
- 2) 遺伝子操作による機能向上の例
 - ・新たな分解経路の開発
 - ・分解速度の飛躍的向上
- 3) 特定機能微生物の活性汚泥内での保持
 - ・施設による対応：分離膜、固定化等、
 - ・微生物的対応：フロック形成菌の利用等



分解と増殖曲線





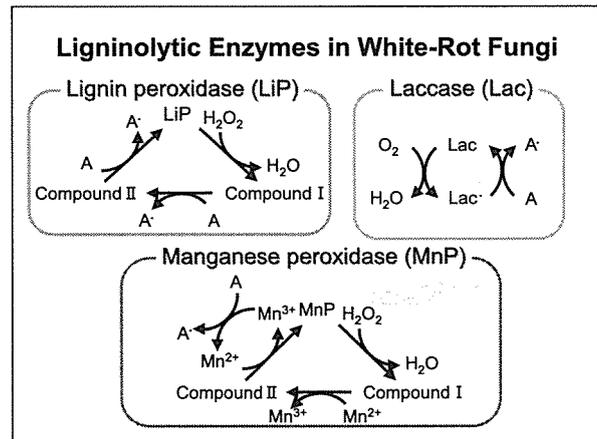


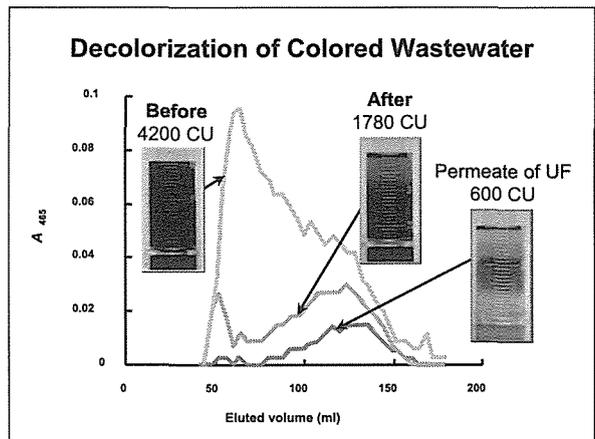
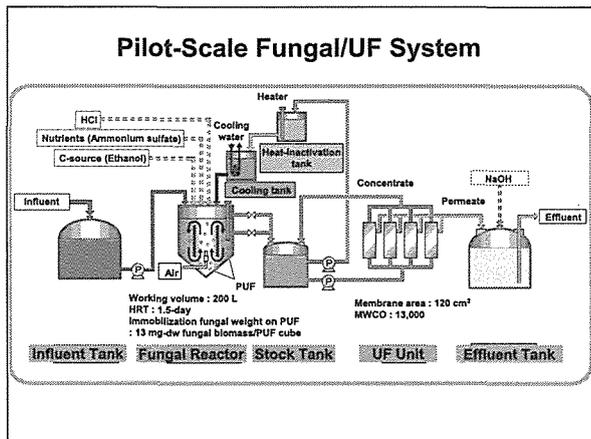
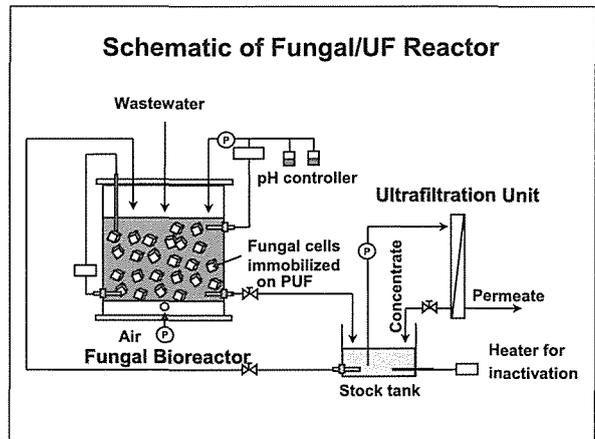
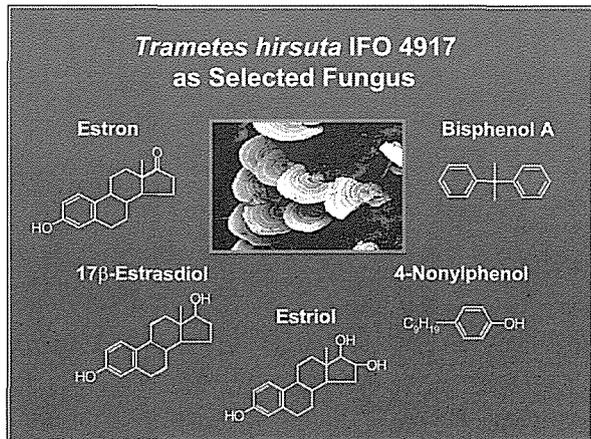
Biotreatment Example:
**Fungal Bioreactor for Efficient
 Decolorization and EDs Degradation**

Landfill Leachate Treatment

- Complex Mixture of Recalcitrant Natural Pigments and Hazardous Chemicals like EDs
- Ordinal Biological System Cannot Function

↑
 Application of White-Rot Fungi





Treatment Performance of Fungal/UF System

| Color and EDs | Influent | Effluent | Removal (%) | |
|---------------|--------------|----------|-------------|-----|
| Color (CU) | 1260 | 400 | 68 | |
| EDs (mg/l) | NP | 1.6 | <0.1 | >94 |
| | OP | 2.9 | 0.32 | 89 |
| | DEHP | 1.1 | 0.6 | 45 |
| | Benzophenone | 0.13 | <0.025 | >81 |

5. バイオトリートメント

5-2. 植物を活用した処理技術の展開

- ▶ 酸素輸送と水質浄化
- ▶ 植物根圏の環境学
- ▶ 水質浄化と資源生産
- ▶ 分子育種による浄化機能の強化
- ▶ 水質浄化にかかわる植物のデータベース化

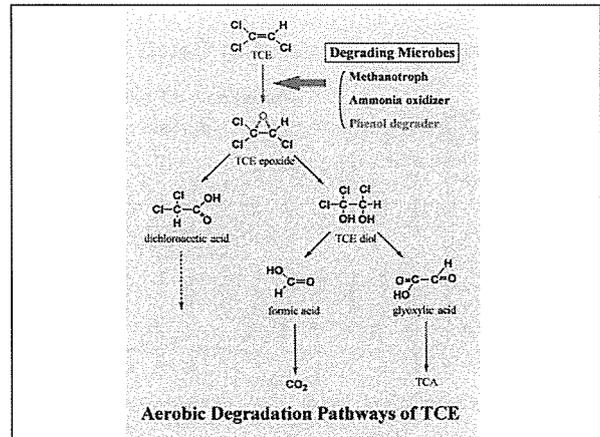
6. バイオレメディエーション

6-1. 微生物による環境修復

- ▶ 有機化学物質のバイオレメディエーション
- ▶ 無機元素汚染とバイオレメディエーションの可能性
- ▶ 微生物の開放系利用におけるバイオセーフティ

6-2. 植物を利用した環境修復の将来性

- ▶ 植物による重金属汚染対策 (Cdを例に)



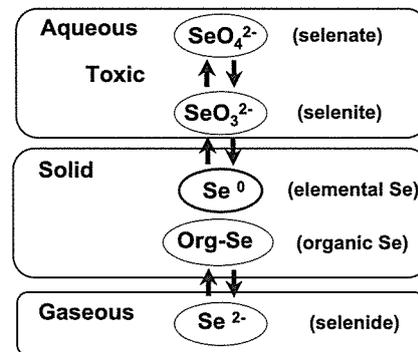
Biorecovery Example: Selenium Recovery from Wastewater Using Selenate-Reducing Bacterium

Se in Industrial Wastewater; Loss of Rare Metal

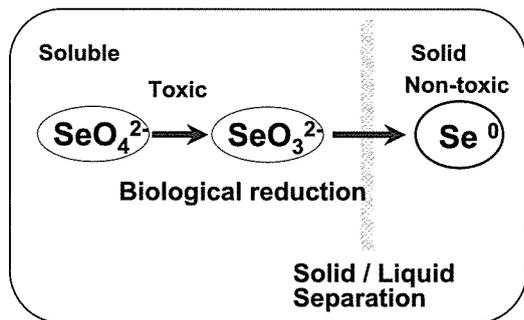
- High Cost in Physico-chemical Process for Se Recovery
- Low Efficiency for Selenate (SeO_4^{2-})

Application of Biological Selenate Reduction

Bio-cycle of Selenium

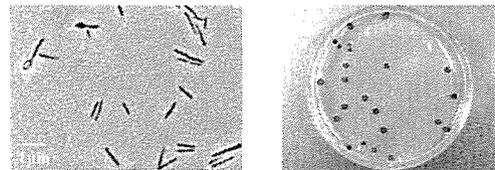


Concept of Bacterial Se Recovery

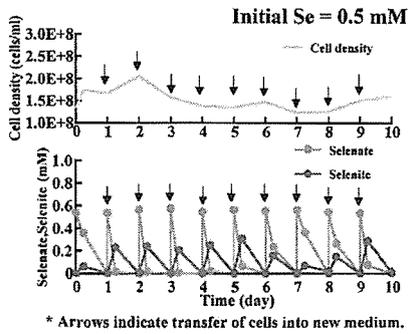


Bacillus sp. strain SF-1

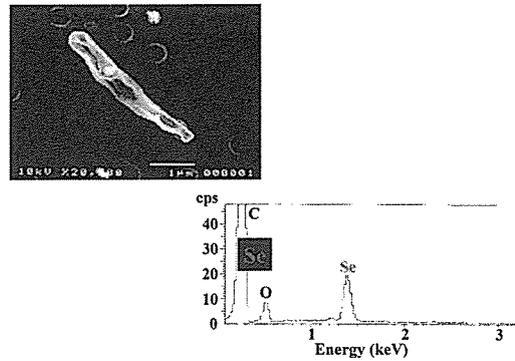
Source — Se-contaminated sediment
Physiology — Gram Positive
Facultative Anaerobic
Spore-forming Rod



Se Recovery by Sequencing Batch Reactor



Recovery of Elemental Selenium



Bioremediation Example: Arsenic Extraction from Contaminated Soil Using Arsenate-Reducing Bacterium

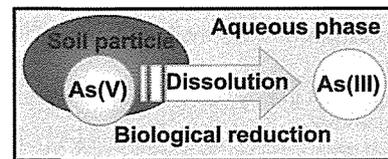
Conventional Remedial Technologies for As-Contaminated Soil

- High Cost in Physico-chemical Processes for Remediation of As-contaminated Soil
- Residual Risk of As Leaching in Containment and Solidification/Stabilization Methods

Application of Biological Arsenate Reduction as A Cost-effective and Safe Alternative

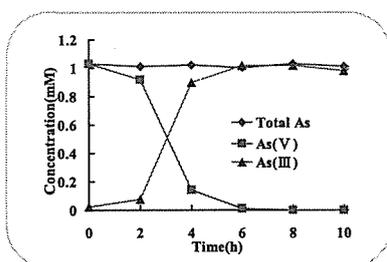
Concept of Biological As Extraction

Degree of adsorption to soil particles:
Arsenate [As(V)] > Arsenite [As(III)]

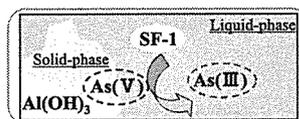
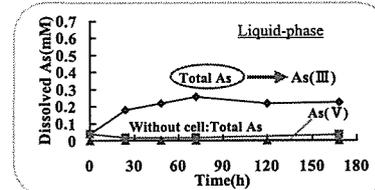


Bioremediation process for removing arsenic from contaminated soils and/or sediments

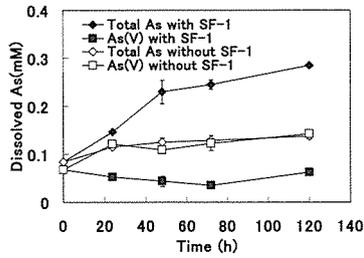
Reduction of As(V) to As(III) by *Bacillus* sp. SF-1 in Liquid Cultures



Arsenic Dissolution from Al-As(V) Precipitates by *Bacillus* sp. SF-1



Arsenic Dissolution from a Soil Amended with As(V) by *Bacillus* sp. SF-1



7. バイオモニタリング

7-1. 免疫化学を利用した環境計測

- ▶ ELISAによる微量環境汚染物質の計測

7-2. 遺伝子レベルでの微生物モニタリングと環境技術への応用

- ▶ 遺伝子解析による生態系の認識
- ▶ 特定遺伝子の挙動からみた微生物生態系の変化
- ▶ バイオセーフティ

～代表的な測定方法～

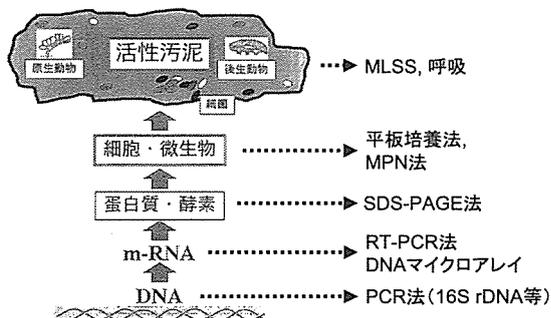


図-1 セントラルドグマと活性汚泥

表 1 免疫原および酵素標識抗原

| LAS | APE |
|---|--|
| $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{CH}(\text{CH}_2)_m\text{CH}_3$ $(n+m=6-11)$ | $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ $(\text{OC}_2\text{H}_4)_m\text{OH}$ $(n=8, 9 \quad m=0-20)$ |
| ハプテン (R) | |
| NaSO_3 $(\text{CH}_2)_x\text{COOH}$ | C_9H_{19} $(\text{OC}_2\text{H}_4)_y\text{OCOC}_2\text{H}_4\text{COOH}$ |
| 免疫原 | R-CONH-BSA |
| 酵素標識抗原 | R-CONH-HRP |

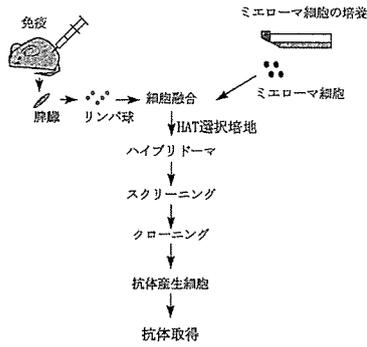


図 3 モノクローナル抗体作成方法

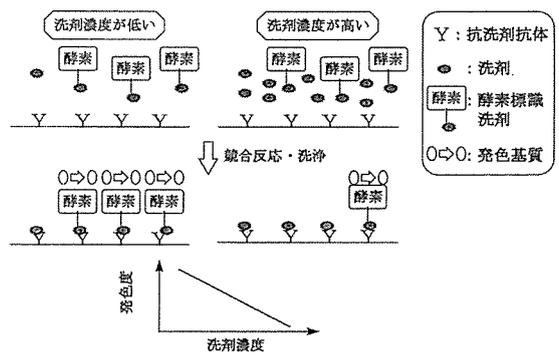


図 2 競合法

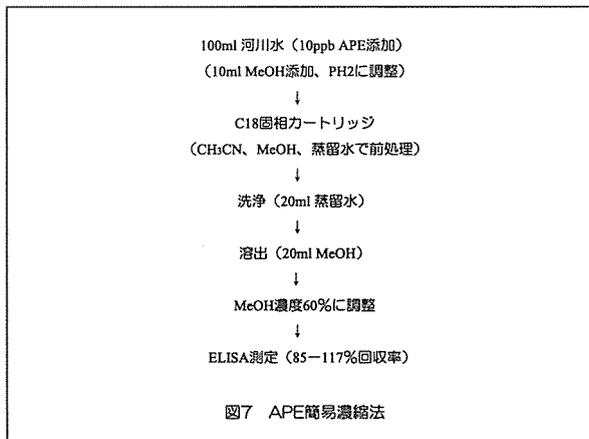
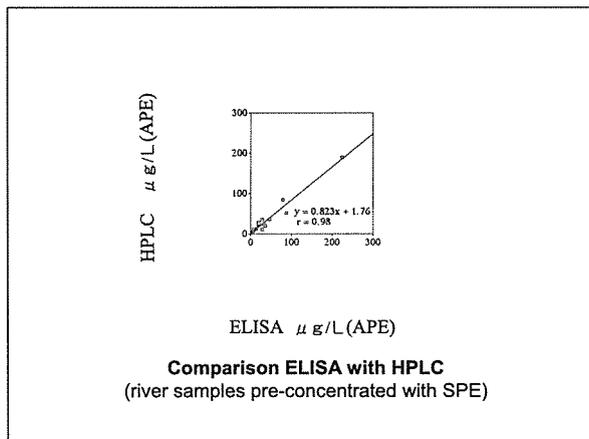


表4 抗APEモノクローナル抗体の交差反応性

| 化合物 | 交差反応 (%) |
|----------------------------------|----------|
| 非イオン界面活性剤 | |
| APE | |
| NonylphenoIEthoxylates | |
| 酸化エチレン鎖数10 (NP10EO) | 100 |
| NP7, 5EO | 107 |
| NP5EO | 136 |
| NP2EO | 87 |
| Octylphenol Ethoxylates (OP10EO) | 128 |
| AlkylEthoxylates (AE) | <0.2 |
| Polyethylene Glycol | <0.2 |
| 陰イオン界面活性剤 | |
| LAS | <0.2 |
| 石けん | <0.2 |
| SDS | <0.2 |
| Alkylether Sulfate | <0.2 |
| Phenol | <0.2 |

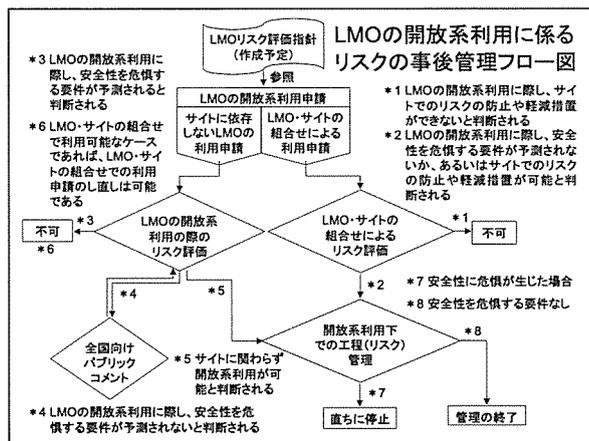


遺伝子組換え微生物 (GEMs)の
 バイオレメディエーションへの応用

汚染環境の迅速、安全、低コスト修復への要求

↓

GEMsの利用による
 より迅速なバイオレメディエーションへの期待

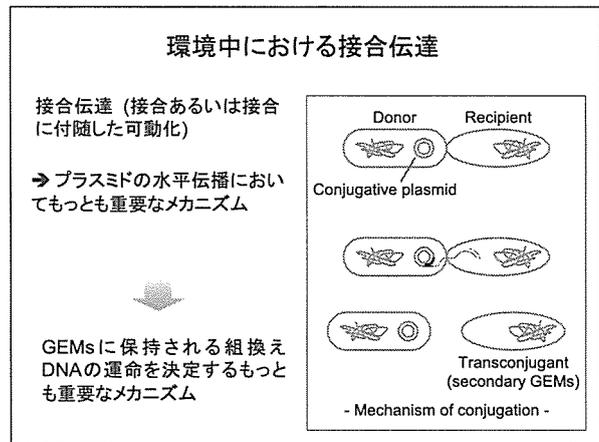
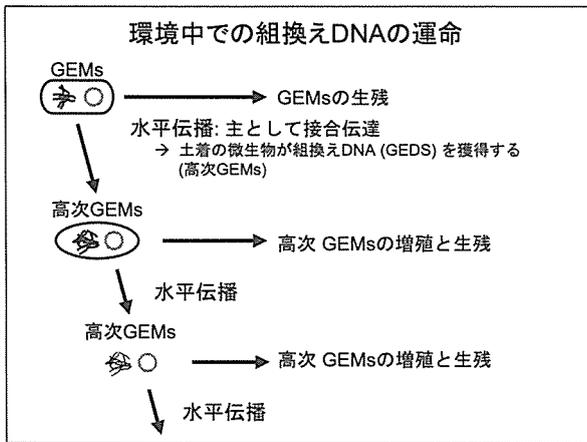


LMOの環境利用におけるリスク評価の考え方

事前評価
 → 宿主、ベクター、挿入DNA毎にGEMsのリスクを評価

事後評価
 → 環境中へのGEMsの意図的放出に伴うリスク(バックグラウンドリスクとの比較からの付加的リスク)の定量化
 → 事業継続・中止の判断基準の設定

想定されるバイオリスク
 ▶ 高等生物(ヒト、家畜、農作物など)への有害性(病原性)
 ▶ 生態系の機能(物質循環・エネルギーフローなど)と多様性の改変



8. バイオリサイクリング

8-1. 生物反応を利用した資源リサイクル

- ▶ 好気性微生物による資源化・コンポスト化
- ▶ 廃棄物からの有価物生産
- ▶ 収穫した水生植物からのエタノール生産



コンポスト発酵



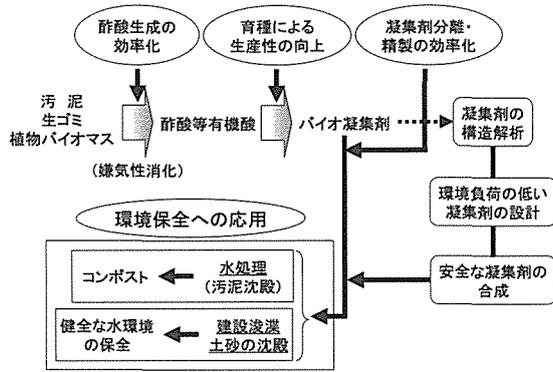
4-3. 下水汚泥からのバイオ凝集剤生産

- (1) バイオ凝集剤生産戦略
- (2) *Citrobacter* sp. TKF04株によるバイオ凝集剤生産
- (3) 化学組成、分子量および構造の推定

4-4. 水生植物からのエタノール生産

- ▶ ポタヌキクサ、ホテイアオイの糖類組成
- ▶ ミジンコウキクサの利用

汚泥よりのバイオ凝集剤生産戦略



未精製凝集剤の化学組成

| | |
|--------|--------|
| 灰分 | 24.0 % |
| 全糖 | 10.0 % |
| ヘキソース | 5.7 % |
| ヘキソサミン | 29.4 % |
| 蛋白 | N.D. |
| 元素 | |
| 炭素 | 31.4 % |
| 窒素 | 5.0 % |
| 炭 | 1.6 % |

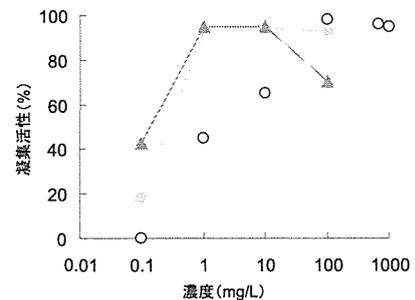
N.D.: 蛋白は検出されなかった

凝集剤の各種粒子に対する効果比較

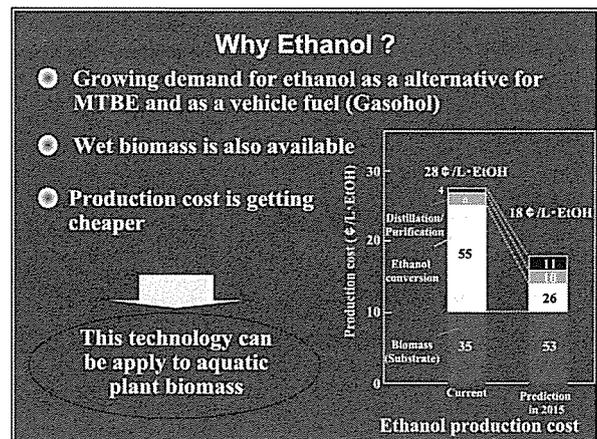
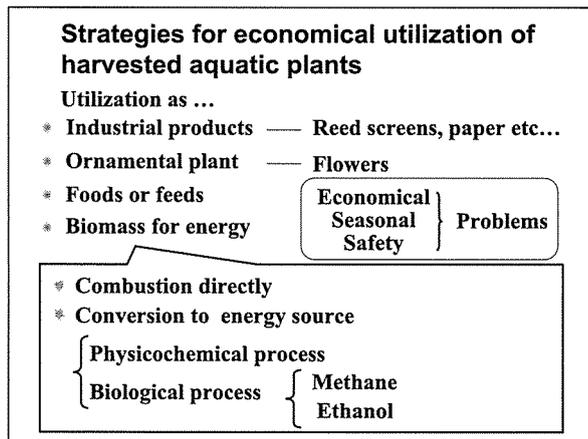
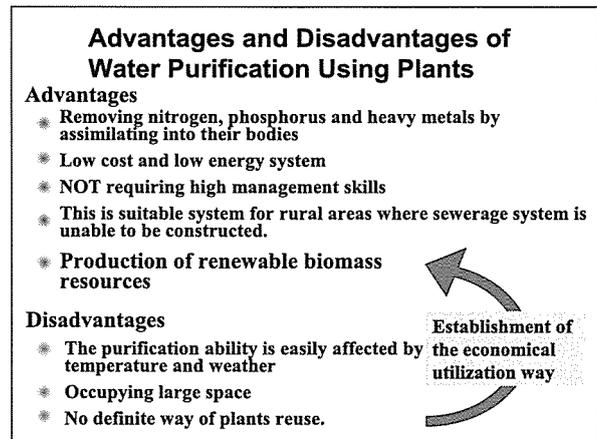
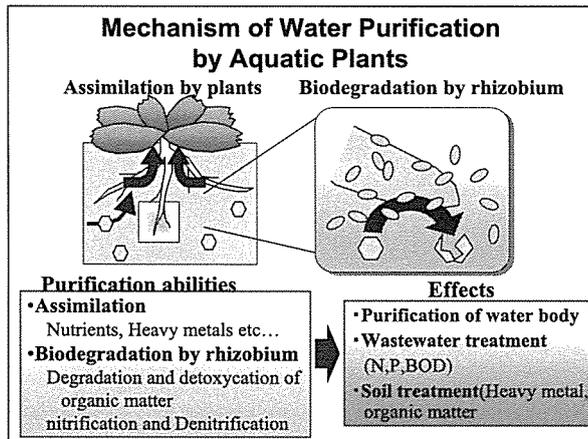
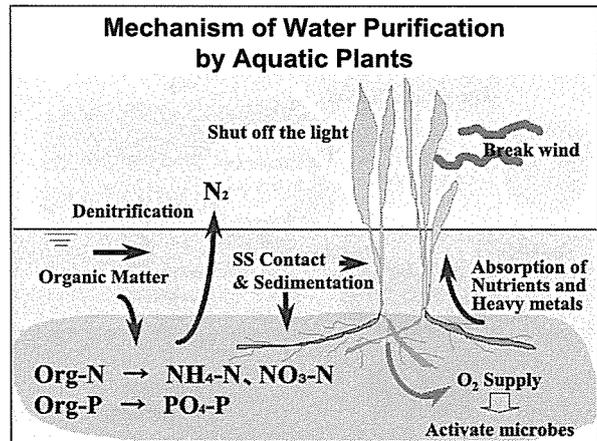
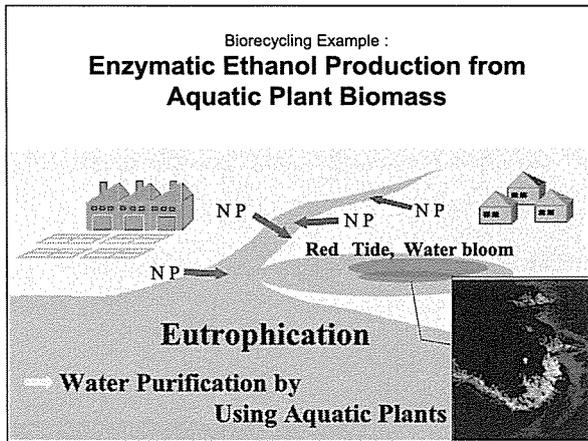
| 粒子 | バイオ凝集剤 | PAC | PAA |
|---------|--------|------|------|
| ケイ藻土 | 79.7 | 41.4 | 83.1 |
| セルロース粉末 | 42.0 | N.A. | N.A. |
| 活性炭粉末 | 82.1 | N.A. | 88.6 |
| ペントナイト | 96.1 | N.A. | N.A. |
| カオリン | 96.7 | 48.7 | 73.0 |
| 土壌 | 95.1 | 17.3 | 82.8 |
| 乾燥酵母 | 22.5 | N.A. | 12.4 |
| 活性汚泥 | 74.0 | 64.5 | N.A. |

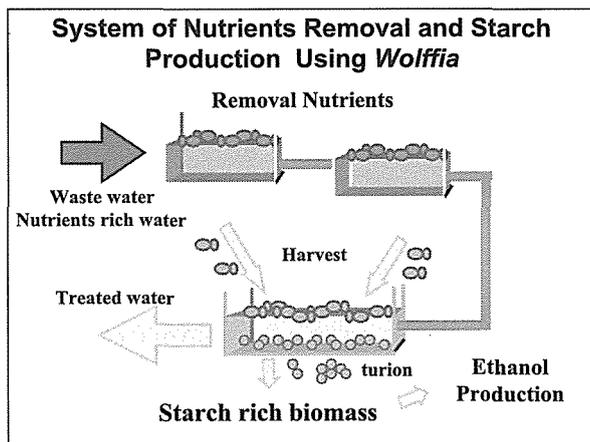
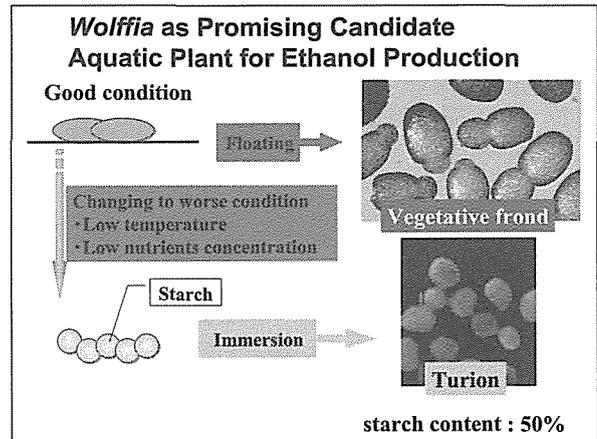
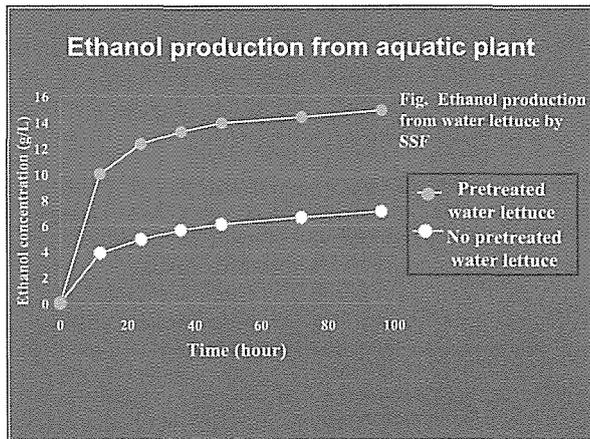
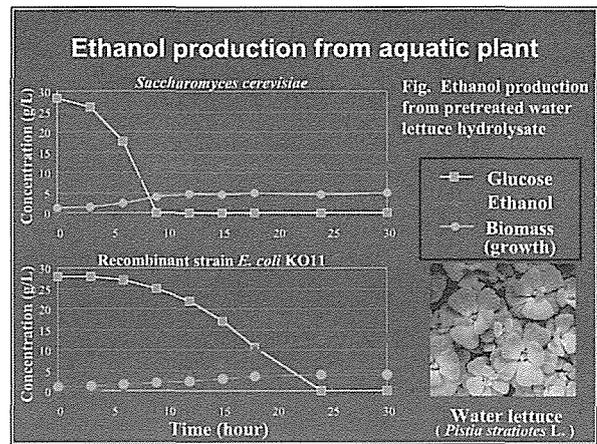
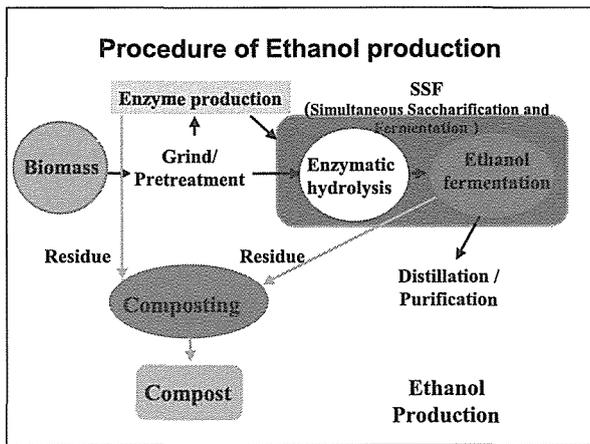
N.A.: 活性なし(< 10 %)

バイオ凝集剤とポリアクリルアミド、ポリ塩化アルミニウムの凝集活性比較



* 未精製凝集剤 ▲ PAA ○ PAC





- ### 9. 生物環境工学の将来と若い人への期待
- (1) バイオトリートメントでは
- ▶ コンソーシア(微生物生態系)に存在する少数の機能微生物の自由自在な制御
 - 難分解性物質(POP)の効率的な分解の可能
- (2) バイオレメディエーションでは
- ▶ 導入した微生物の安全性(バイオリスク)の評価
 - ▶ 高機能微生物の検索・分離・育種
 - ▶ 汚染環境における微生物制御技術の開発
 - 微生物による浄化の促進と低コスト化
 - ▶ 植物による重金属吸収の効率化

9. 生物環境工学の将来と若い人への期待

(3) バイオモニタリングでは

- ▶ 環境変化で色・形態・増殖などが変わる花や微生物
→ バイオ指標による環境の総合的な評価

(4) バイオリサイクル

- ▶ 水素生産／バイオ電池
- ▶ 有価物回収／抽出

新たな課題:

- ▶ バイオコントロール
(コロージョン、ファウリングなど)
- ▶ バイオセーフティ(バイオリスク)

謝 辞

生物環境工学への挑戦にご協力いただいた先生、社会人、学生に感謝します。

まず、古川憲治先生(熊本大学)、岩堀恵祐先生(静岡県立大学)、池道彦先生(現助教授)、森一博先生(山梨大学)、立田真文先生(富山県立大学)、清和成先生(現助手)には、研究室の一員として支えていただきました。

大学院生であった、Zafar I. Bhatti博士(カナダ)、牧秀明博士(国立環境研究所)、陳昌淑博士(明知大学校)、柳秀林博士(韓国)、宮田直幸博士(静岡県立大学)、李泰鎬博士(釜山大学校)、惣田訓博士(大阪大学)、柏雅美博士(海洋研究開発機構)、石垣智基博士(国立環境研究所)、Bandunee C. Liyanage博士(スリランカ)、Nguyen V. Hung博士(ベトナム)、浅野昌弘博士(龍谷大学)、陳曼瑜博士、Le D. Trung博士(VAST-HCMC)、Hia Hui Ching博士(シンガポール)、山村茂樹君(DC3)は、在学中一心同体となって研究を進めてくれました。

謝 辞

また、山川公一郎博士(竹中工務店)、武尾正弘先生(兵庫県立大学)、川越保徳先生(熊本大学)、Silvana D. Perdomo博士(ウルグアイ)は、学外にあって共同で研究をすすめ、博士号を取得されました。

なお、最後の審査まで付き合えませんでした、三嶋大介君(DC3)、Ruttapol Lertsjrisopon君(DC2)、Erica Danzlさん(DC2)、井上大介君(DC2)、Pham Manh Hoai君(DC2)、遠山忠君(DC2)、瀧寛則君(社会人DC2)は、最後まで手を抜かず目標を目指してください。

謝 辞

さらに社会人大学院生として指導したり、論文博士としてお付き合いした方々からは、研究室では得られない知的刺激をいただきました。ここに氏名を記して感謝いたします。

明賀春樹博士(オルガノ)、廣辻淳二博士(三菱電機)、中村裕紀博士(日立プラント)、三島浩二博士(荏原製作所)、吉田輝久博士(日立機電)、川口幸男博士(日本下水道事業団)、五十嵐操博士(月島機械)、古川誠司博士(三菱電機)、若山正憲博士(日本下水道事業団)、江口正浩博士(オルガノ)、神谷俊行博士(三菱電機)、浜本洋一博士(西原環境テクノロジ)、郷田泰弘博士(日本エンパイロケミカルズ)、石田浩昭博士(クリタ)、小川幸正博士(大林組)、北川政美博士(荏原製作所)、片岡静夫博士(タクマ)、和木美代子博士(畜産草地研究所)、池田由起博士(ゾネフラウ)

最後に

これまで研究室で学生として、研究生として同じ目的を持って研鑽した多くの方々、また学外にあって共同研究などを通じて知的刺激を与えていただいた方々のおかげで、楽しい大学生活を送らせて頂きました。さらに、ベトナムとの交流を通じ日越に多くの知人が得られました。その他、中国、韓国、欧米諸国など海外の方々とも楽しい交流をさせてもらいました。もちろん今しばらくは続けたいと願っています。皆さん、ありがとうございました。さようなら。