

## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

分科会資料一部修正 平成21年8月31日

# 微生物群のデザイン化による 高効率型環境バイオ処理技術開発

プロジェクトの概要 (公開)

NEDO バイオテクノロジー・医療技術開発部

1 / 32

発表内容

公開

- I 事業の位置付け・必要性
  - II 研究開発マネジメント
  - III 成果
  - IV 実用化の見通し
- NEDO  
長谷川主査
- 藤田プロジェクト  
リーダー(PL)

2 / 32

## 社会的背景

### ○日本の課題

環境負荷の低減と省エネルギー化の促進による循環型産業社会の構築

### ○必要な技術開発

モノ作りとその後処理

(バイオマスニッポン総合戦略:廃棄物系バイオマスの利用促進)

### ○処理方法の技術的課題

エネルギー多消費、廃棄物多排出

## 微生物群デザイン化への経緯

微生物による環境浄化の開始

→環境因子の操作で微生物群集の優先化を制御

よりきめの細かな微生物群集の制御法

→SRT制御(汚泥滞留時間)や、アンモニア酸化などに効果

より安定した制御法が実用段階へ

→グラニュール、固定化、膜分離の導入

デザイン化技術の開発

→微生物の構成・空間配置等の制御



## デザイン化技術の定義

『微生物群の構成や配置等を  
人為的に制御する技術』

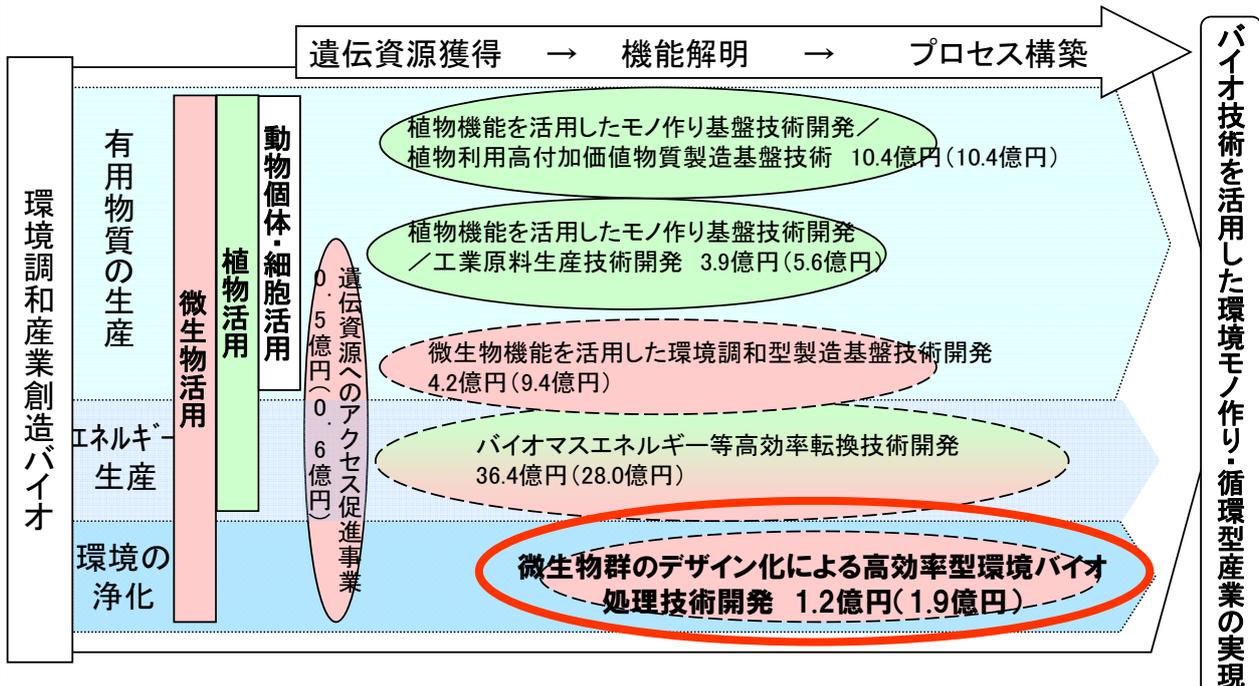
- 微生物構成の制御
- 微生物群の空間的配置の制御
- 微生物コミュニティの制御

## 事業の目的

微生物群のデザイン化技術を開発することにより、  
省エネルギー効果が大きく、廃棄物を大幅に削減する  
高効率型廃水・廃棄物等処理の基盤技術を確立する



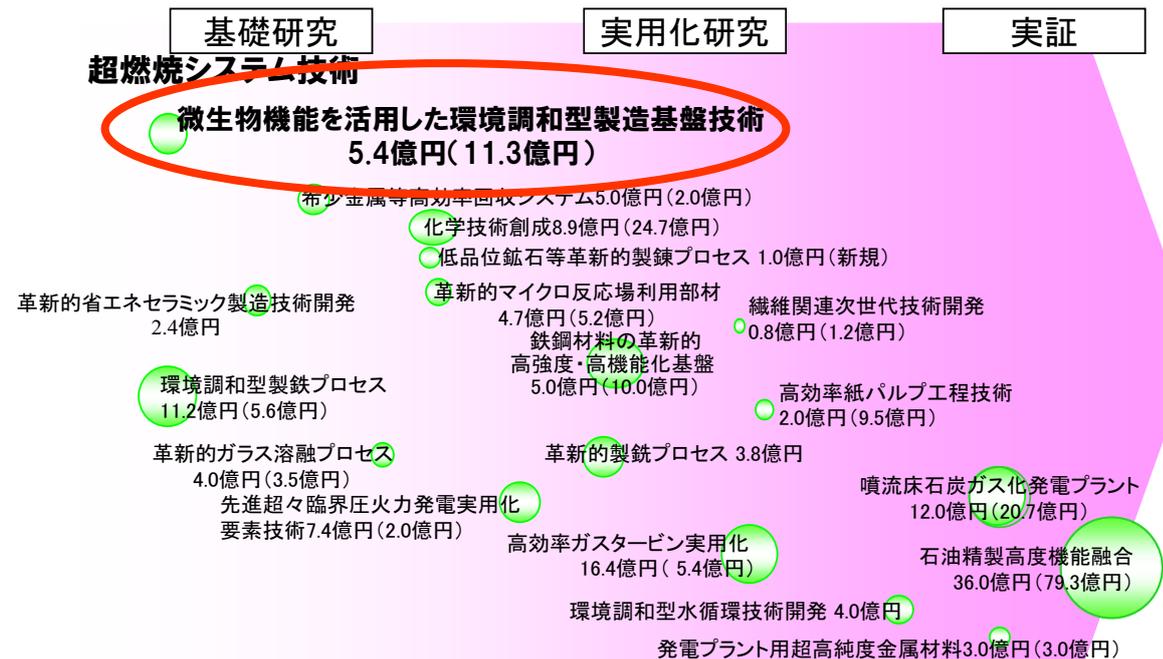
## 環境・安心イノベーションプログラムでの位置付け



※経済産業省イノベーションプログラム(IPG)21年度より抜粋

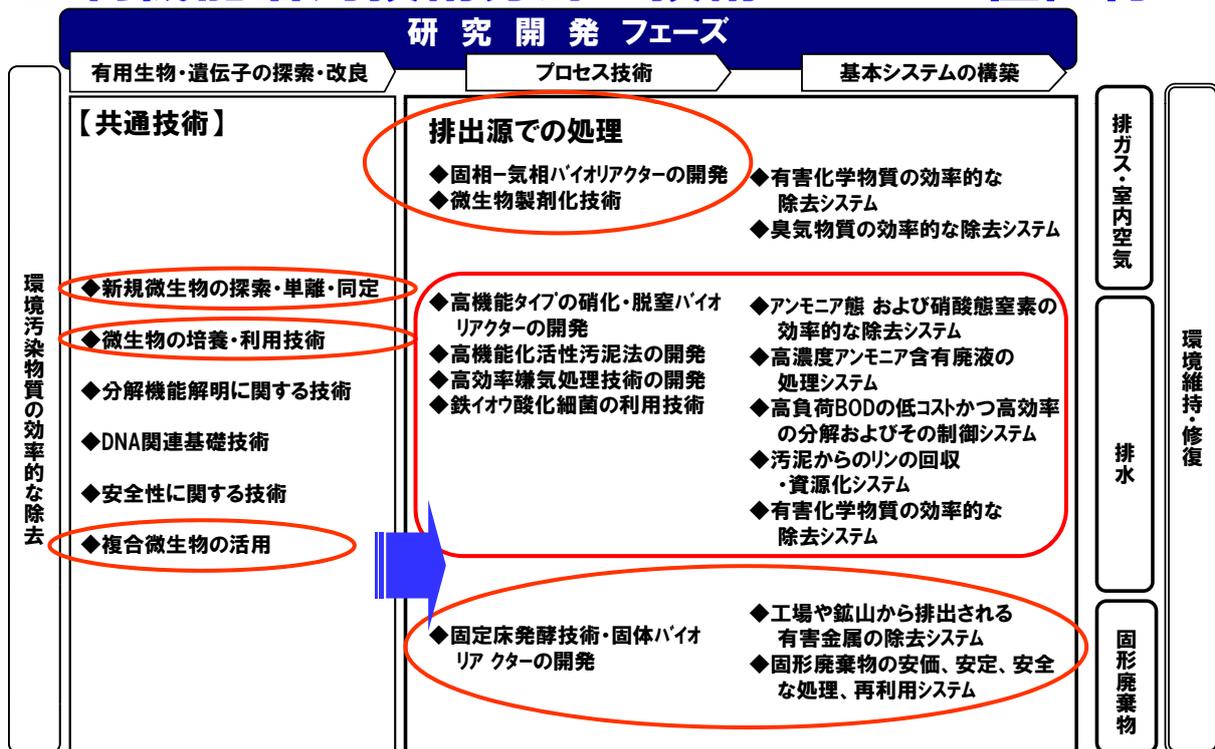
## エネルギー・イノベーションプログラムでの位置付け

### ①総合エネルギー効率の向上



※経済産業省イノベーションプログラム(IPG)21年度より抜粋

## 生物機能活用技術分野の技術マップでの位置付け



排ガス・室内空気

排水

固形廃棄物

環境維持・修復

## NEDOが関与する意義

### ○産学官の連携体制が必要

微生物による廃水・廃棄物処理技術は頭打ち(エネルギー多消費)

→微生物群自体はブラックボックス(基盤技術が未確立)

→基盤技術を大学で開発し企業へフィードバック

### ○日本オリジナルの技術として、産業の高度化へ大きく貢献

デザイン化技術が確立できれば、現行の静脈産業の問題点を解決

→日本オリジナルのプラットフォーム型技術を創出

→基本特許の取得が世界に先駆けて可能

→静脈産業の抜本改革による産業の高度化



**NEDOの事業委託が適切**

## 実施の効果（費用対効果）

### ○市場

現在の廃水処理市場： 約5,000億円

デザイン化技術が創出されると、市場のさらなる発展へ

### ○省エネルギー

・活性汚泥法 → 石油換算20.5万kl/年の省エネ効果

・メタン発酵 → 石油換算17.8万kl/年の省エネ効果

I 事業の位置付け・必要性

II 研究開発マネジメント

III 成果

IV 実用化の見通し

NEDO  
長谷川主査

藤田PL

## 最終目標

### ①好気性微生物処理

- ・有用微生物を人為的に安定的導入・維持する技術の開発
- ・従来の標準活性汚泥法の曝気処理プロセスの約3倍の高効率化、  
これによるエネルギー使用量の約2/3の削減を実現
- ・検証可能なテストプラント規模にて評価

### ②嫌気性微生物処理

- ・有用微生物を人為的に空間配置させ安定的に維持・優占化するための技術の開発
- ・従来のメタン発酵槽容積に比べて、約50%のコンパクト化によりシステム効率の向上を実現

## 中間目標

- ①・②について、技術面での見通しが確実に得られていること

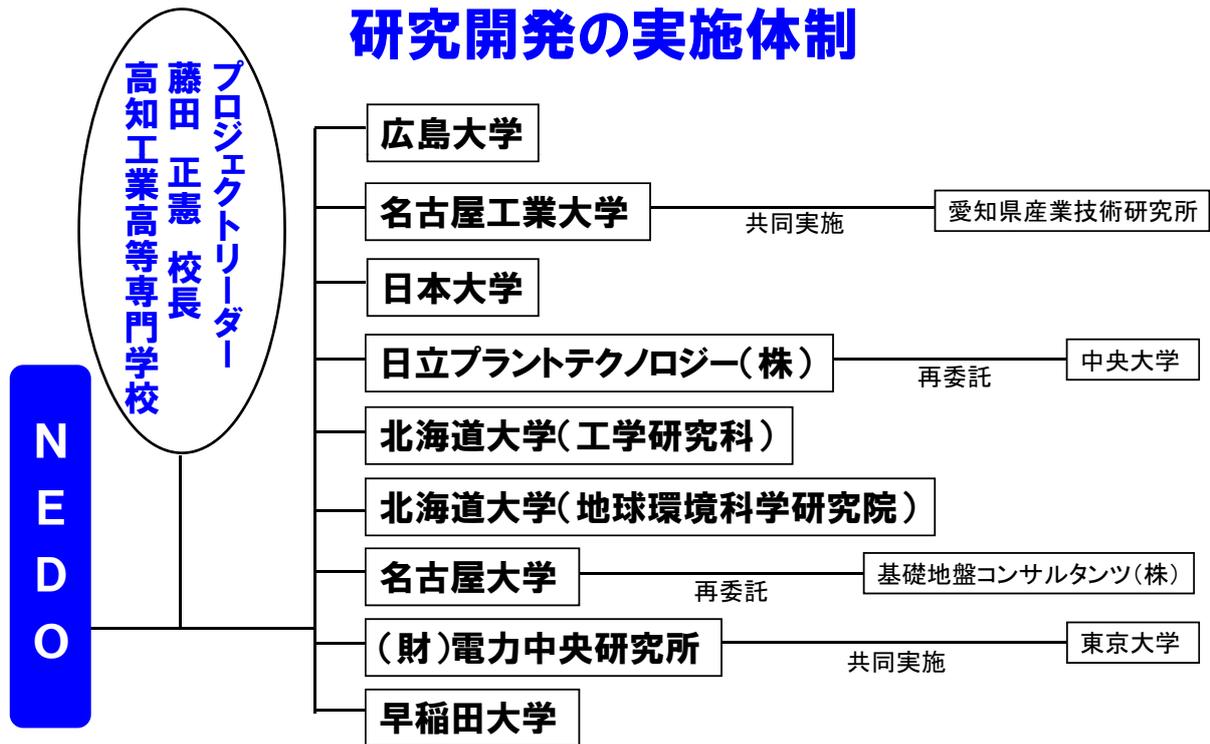
## 研究開発計画(内容・スケジュール・予算)

(単位:百万円)

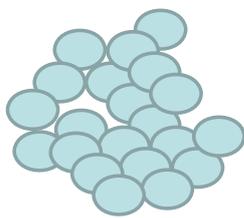
	2007	2008	2009	2010	2011	
好気性微生物処理 好気嫌気微生物処理 嫌気性微生物処理	I 有用微生物(群)の選抜と特性評価	→	→	→		
	II デザイン化技術の開発	→	→	→		
	III 微生物群の処理機能の評価	→	→	→	→	
	IV バイオエンジニアリング技術の開発			→	→	→
	V デザイン化微生物群の総合評価				→	→
開発予算	188	192	114			

※2009は契約額

## 研究開発の実施体制

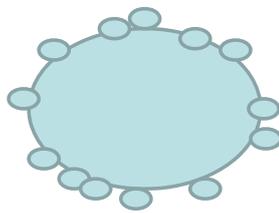


## デザイン化技術



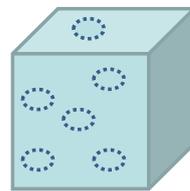
グラニュール

- 北海道大学 (工)
- 早稲田大学



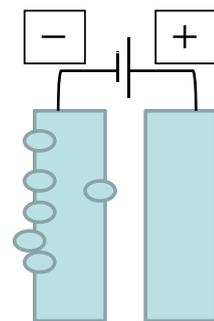
付着

- 広島大学
- 名古屋工業大学
- 日本大学
- 北海道大学 (地)
- 名古屋大学



包括固定化

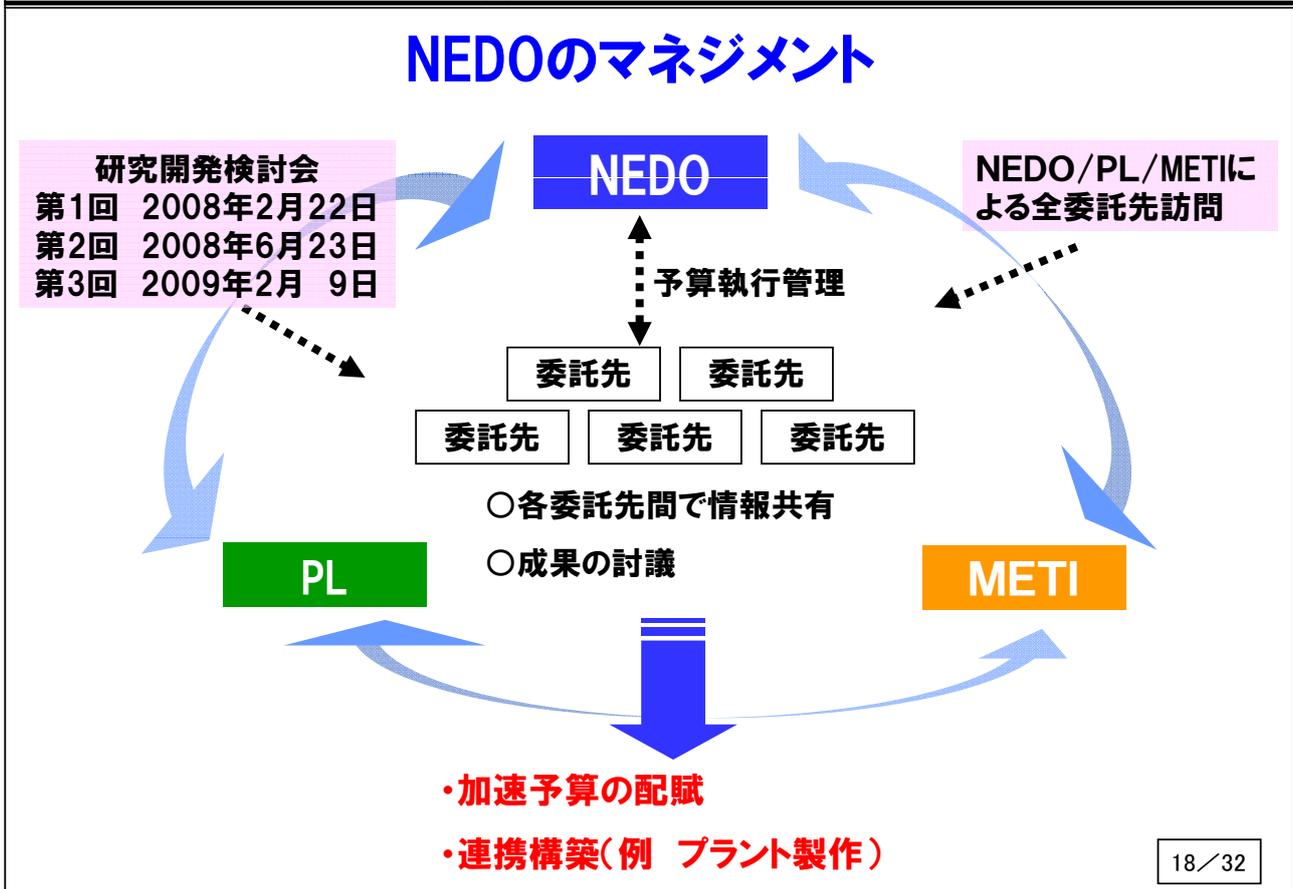
- 日立プラント



電気制御

- 電力中央研究所

	I 微生物(群)の選抜と特性評価	II デザイン化技術の開発	III 微生物群の処理機能の評価	IV バイオエンジニアリング技術の開発	V デザイン化微生物群の総合評価
① 好気性処理	包括固定(BOD、窒素)、 <b>廃水【日立プラント】</b>				
	<b>油脂分解微生物製剤、廃水(油脂)【名工大】</b>				
	<i>Cycloclasticus</i> 、 <b>流出油(PAHs)【日大】</b>				
② 好気嫌気処理	DHSリアクター、 <b>廃水(メタン、N<sub>2</sub>O、リン)【広大】</b>				
	ANAMMOX、 <b>廃水【北大(工)】</b>				
	バイオフィーム(基盤)、 <b>窒素・油・フェノール【北大(地)】</b>				
	グラニューール、 <b>廃水(窒素、リン)【早大】</b>				
③ 嫌気性処理	<b>メタン発酵、廃棄物(生ごみ)【電中研】</b>				
	<b>脱塩素菌・芳香族酸化分解菌、土壌(芳香族塩素化合物)【名大】</b>				



## NEDOのマネジメント例

### —連携構築—

#### 1. 一機通関型プラント

日立プラント、電中研、北大(工)、北大(地)

#### 2. 細胞外多糖の微生物製剤保護材への活用

名工大、日大

#### 3. 油分解微生物の包括固定化

日立プラント、名工大

19/32

## 追加的資金配分

#### ①好気性処理(日立プラント 32,000千円)

内生呼吸低減菌開発の加速化

→活性汚泥の微生物群集の解析、内生呼吸低減菌のスクリーニング法の検討を行い、内生呼吸低減菌を単離



DO反応制御装置

#### ②好気嫌気処理(北大(工) 6,200千円)

ANAMMOX細菌のゲノム解析による有用遺伝子の

特定・検証の加速化

→ANAMMOX 細菌グラニュール形成機構の部分解明



ANAMMOXグラニュール

20/32

I 事業の位置付け・必要性

II 研究開発マネジメント

III 成果

IV 実用化の見通し

NEDO  
長谷川主査

藤田PL

3. 研究開発成果について (1)(中間)目標の達成度

① 好気性処理

	従来	中間目標	成果	達成度
包括固定化	・曝気された酸素の約1/3を内生呼吸が消費	・内生呼吸低減菌の分離 ・高度な内生呼吸計測 ・菌の安定保持	・内生呼吸量 -40% ・亜硝酸型での低減 -25%	◎
油脂分解 微生物製剤	・残存油脂濃度 3000-10000 mg/L ・市販微生物製剤のグリストラップへの適用不可	【複合微生物製剤の開発】 ・残存油脂濃度 200 mg/L以下 ・油脂分解菌の単離 3種以上 ・微生物維持活性 3ヶ月間	・高効率油脂分解菌の発見	◎
<i>Cycloclasticus</i> による原油分解	・ <i>Cycloclasticus</i> 培養制御技術 なし 増殖 遅い ・従来法分解率 8.8%	・細胞外多糖の投与による芳香族分解促進の要因解明	・ <i>Cycloclasticus</i> の優占化期間の短縮 最短3.5日(世界最速) ・原油芳香族画分の分解率促進 41.2%(世界最高)	◎
バイオフィーム工学	・好気アンモニア除去 ・ナフタレン除去効率 ・フェノール除去効率	・アンモニア除去効率の向上 ・ナフタレン除去効率の向上 ・フェノール除去効率の向上	・ <i>Nitrosomonas</i> 細菌のアンモニア酸化活性 約2倍上昇 ・安定性 9週間 ・持続的分解活性 5倍以上 ・水草の生育促進 約2倍	◎

②好気嫌気処理

	従来	中間目標	成果	達成度
DHSリアクター	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来型嫌気性処理 CO<sub>2</sub>排出</li> <li>従来型硝化・ANAMMOX N<sub>2</sub>O排出</li> <li>活性汚泥法+従来法 リン回収コスト</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工排水中の溶存メタンの分解除去</li> <li>人工ガス中のN<sub>2</sub>Oの分解</li> <li>DHSリアクターを用いたリン濃縮技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人工排水中の溶存メタン HRT1時間で90%以上除去</li> <li>DHSリアクターによるN<sub>2</sub>Oの分解確認</li> <li>DHSリアクターによる人工排水中のリン濃縮32倍に濃縮</li> </ul>	◎
窒素除去 ANAMMOX反応	<p>【循環型硝化脱窒素法】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>窒素除去速度 1-2 kg-TN/m<sup>3</sup>/日</li> <li>酸素曝気 必要</li> <li>硝化液の循環ポンプ 必要</li> <li>脱窒反応用の外部炭素源 必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部分硝化-ANAMMOXシステムの構築</li> <li>ANAMMOX速度 25kg-TN/m<sup>3</sup>/日</li> <li>アンモニア酸化細菌の評価、安定維持</li> </ul>	<p>【部分硝化-ANAMMOXシステム】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>窒素除去速度 34 kg-TN/m<sup>3</sup>/日 (世界最高)</li> <li>硝化液の循環ポンプ 不要</li> <li>脱窒反応用の外部炭素源 不要</li> <li>発生汚泥 大幅に削減可能</li> <li>ANAMMOX細菌のゲノム解析 完了</li> </ul>	◎
ANAMMOX反応	嫌気アンモニア除去	・グラニューール形成機構の部分解明	ANAMMOX 細菌グラニューール形成機構の部分解明	○
システム論的 シミュレーション解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>要素還元的アプローチ</li> <li>経験的な試行錯誤を繰り返すアプローチ</li> </ul>	・シミュレーションモデルの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>微生物反応パラメータ 取得</li> <li>リアクター運転による水質データ 取得</li> <li>グラニューール内部の微生物生態構造データ 取得</li> <li>スケールの異なる2種類のモデルの新規構築、2つのモデルの結合手法の確立</li> </ul>	○

③嫌気性処理

	従来	中間目標	成果	達成度
微生物群集の電気制御技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>現行のメタン発酵処理施設の日平均容積効率 8.5 kg COD/m<sup>3</sup>/日</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>日平均容積効率 17.0 kg COD/m<sup>3</sup>/日 (コンパクト化率 50%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>日平均容積効率 18.8 kg COD/m<sup>3</sup>/日を達成 (コンパクト化率 45%)</li> <li>実験室規模でのメタン発酵槽 (250 ml)</li> </ul>	◎
微生物による土壌地下水中の脱塩素・芳香族分解	<ul style="list-style-type: none"> <li>微生物による、芳香族塩素化合物で汚染された土壌地下水に対する浄化技術 →実用化されていない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>嫌気性の条件下で脱塩素と芳香環分解を可能とすること</li> <li>事例として比較的水溶性の芳香族塩素化合物の流れ場での分解</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>嫌気性菌の組合せによる嫌気性完全分解技術の開発に成功 (世界初)</li> <li>ペンタクロロフェノール (50 μM)を対象に透過性反応浄化壁設計に必要な30日以内の完全分解を達成</li> <li>流れ場での1段反応系を実現しコンパクト化に成功</li> </ul>	◎

## (3) 知的財産権、成果の普及

	特許出願	新聞・雑誌等 掲載	プレス発表	受賞実績	口頭発表	論文発表		その他	合計
						国内	海外		
電中研	2				4		2		8
北大(工学)					7	1	6	1	15
名古屋大学					32	3	6	1	42
北大(地球)	1	5			35	2	8		51
名工大	2	5	1		2		1	2	13
広島大学	1			1	13	2			17
日本大学	1				4	1	1	1	8
早稲田大学					3				3
日立プラント					2		1		3
合計	7	10	1	1	102	9	25	5	160

## 油脂分解微生物製剤 &lt;名古屋工業大学&gt;

## 【新聞記事記載例】

- ① 日刊工業新聞 2009年7月8日 15面
- ② 日経産業新聞 2009年7月7日 11面

## ① 好気性処理

	最終目標	今後の課題
包括固定化	ANAMMOXとのハイブリッド化	<ul style="list-style-type: none"> <li>担体引抜アルカリ処理性能の評価</li> <li>実廃水のコンタミ防止効果等の評価</li> </ul>
油脂分解 微生物製剤	<ul style="list-style-type: none"> <li>残存油脂濃度値 100mg/L以下</li> <li>活性を半年間維持する製剤化技術の開発</li> <li>油脂分解菌が優占化する技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>複合微生物製剤の改良</li> <li>微生物製剤の保存期間の長期化</li> <li>バイオフィーム制御技術の高度化</li> </ul>
<i>Cycloclasticus</i> による原油分解	S-2 EPSと同等以上の活性を有する代替手段の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>新規培養支持体の開発</li> <li>新規培養条件の開発</li> <li>新規人工共生系の開発</li> </ul>
バイオフィーム工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>従来比、3倍のアンモニア除去効率を達成</li> <li>従来比、コスト1/3の炭化水素系廃棄物処理技術を完成(最終目標)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バイオフィーム化と新規ヘルパー細菌との共存作用の組み合わせ</li> <li>バイオフィーム工学技術の適用範囲の拡大</li> </ul>

27/32

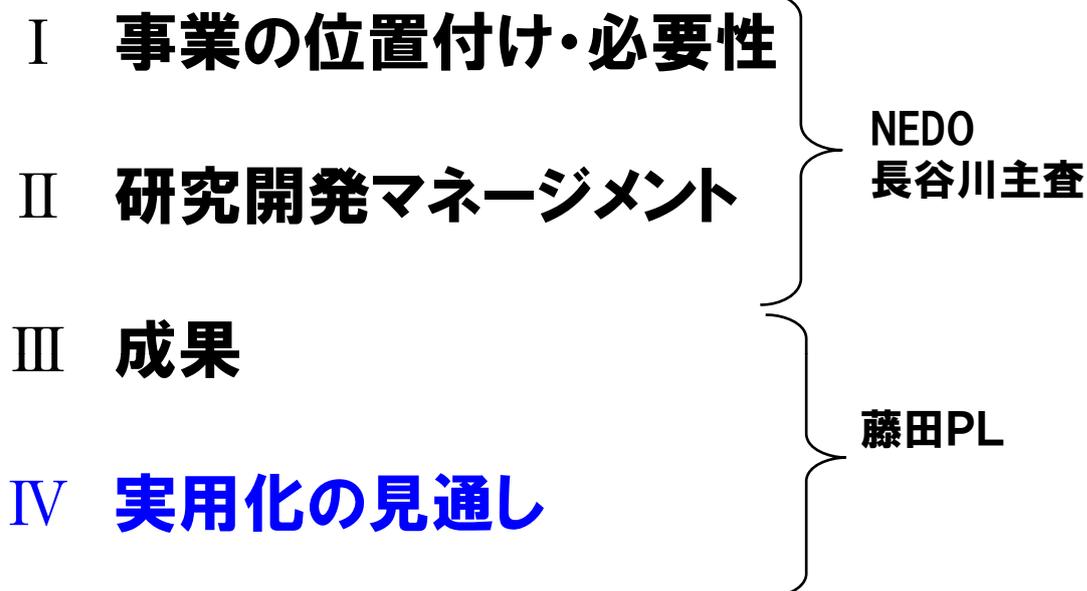
## ② 好気嫌気処理

	最終目標	今後の課題
DHSリアクター	実排水でメタン酸化、N <sub>2</sub> O分解、およびリン回収の実証	<ul style="list-style-type: none"> <li>実排水を用いたメタン酸化の実証</li> <li>N<sub>2</sub>O分解DHSを開発</li> <li>リン回収率の向上</li> </ul>
窒素除去 ANAMMOX反応	高効率部分硝化-ANAMMOXシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>スタートアップの効率化・安定化</li> <li>部分硝化反応の効率化、全体の窒素除去速度の高速化</li> <li>システム全体の高効率・安定化に向けた、ANAMMOX細菌の活性化、亜硝酸・酸素耐性の強化等の検討</li> </ul>
ANAMMOX反応	ANAMMOX 細菌グラニュール形成機構の詳細理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>ANAMMOX細菌グラニュール形成の促進</li> </ul>
システム論的 シミュレーション解析	システム論的アプローチに基づく微生物コミュニティデザイン手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>評価用実験データの蓄積</li> <li>シミュレーションモデルの改良(実験データとの整合性評価・モデル再構築)</li> </ul>

28/32

③ 嫌気性処理

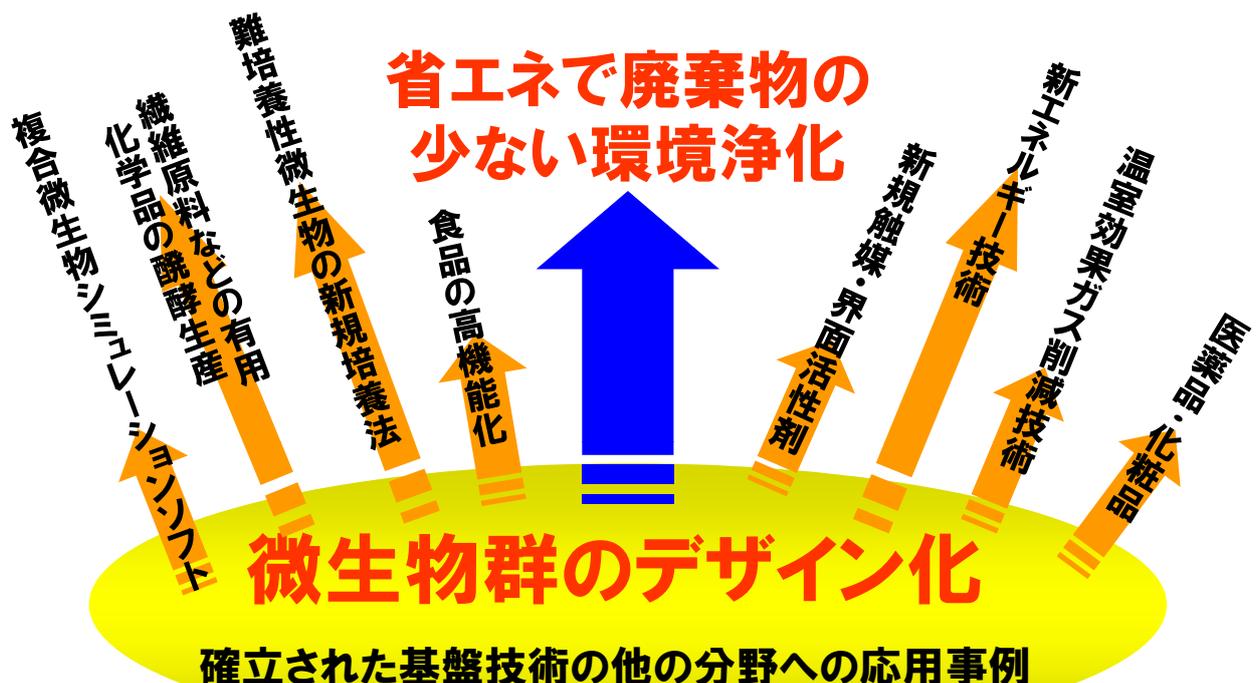
	最終目標	今後の課題
微生物群集の電気制御技術	発酵槽のサイズを数L規模にスケールアップ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオエンジニアリング技術</li> <li>・スケールアップによる技術立証</li> </ul>
微生物による土壌地下水中の脱塩素・芳香族分解	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ヘンタクロロフェノール(50 μM)の流れ場での1段反応系における30日以内での完全分解活性の長期維持</li> <li>・より難分解の疎水性芳香族化合物の封じ込め完全分解系の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・簡易安全性スクリーニング試験法をもとに、更なる有用微生物の獲得</li> <li>・嫌気封じ込め条件での完全分解系のデザイン化</li> <li>・シミュレーションによる実スケール予測</li> </ul>



## 実用化イメージ

- **包括固定化(日立プラント)**  
有機性廃水(畜産処理場、食品工場)に適用
- **油脂分解微生物製剤(名工大)**  
油脂含有廃水(外食産業・食品工場)の浄化
- **Cycloclasticusによる原油分解(日大)**  
海洋石油汚染の浄化、高塩濃度環境の排水処理、微生物製剤
- **DHSリアクター(広大)**  
下水および各種廃水処理
- **窒素除去ANAMMOX反応(北大)**  
半導体製造工程廃水・メタン発酵脱離液からの窒素除去
- **微生物群集の電気制御技術(電中研)**  
高効率メタン発酵槽による未利用食品廃棄物の処理
- **微生物による脱塩素・芳香族分解(名大)**  
汚染土壌の封じ込め浄化、底質・地下水の原位置浄化

## 環境浄化分野に留まらない波及効果



# 詳細説明

## Ⅲ 成果

## Ⅳ 実用化の見通し

1/75

# ①好気性処理

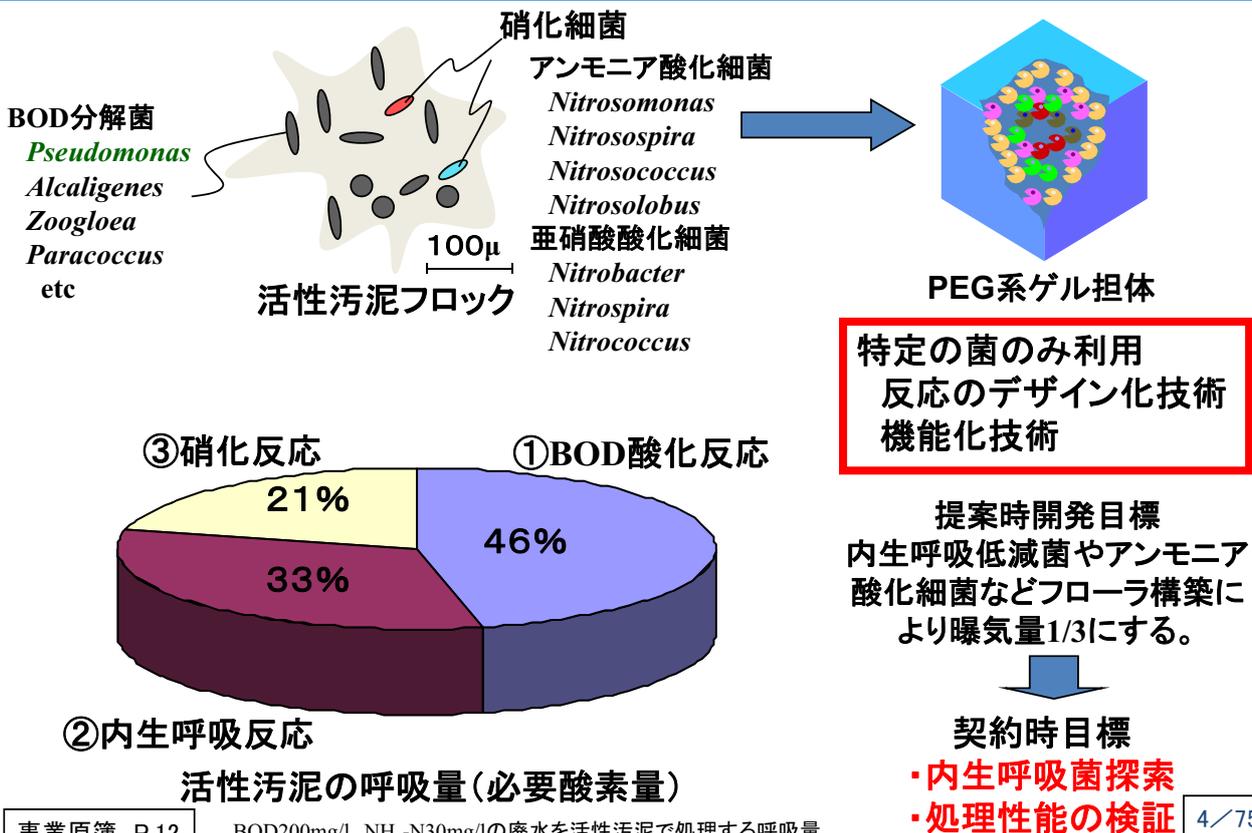
2/75

# 日立プラントテクノロジー

3/75

好気

## 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)



# 開発目標(最終目標)

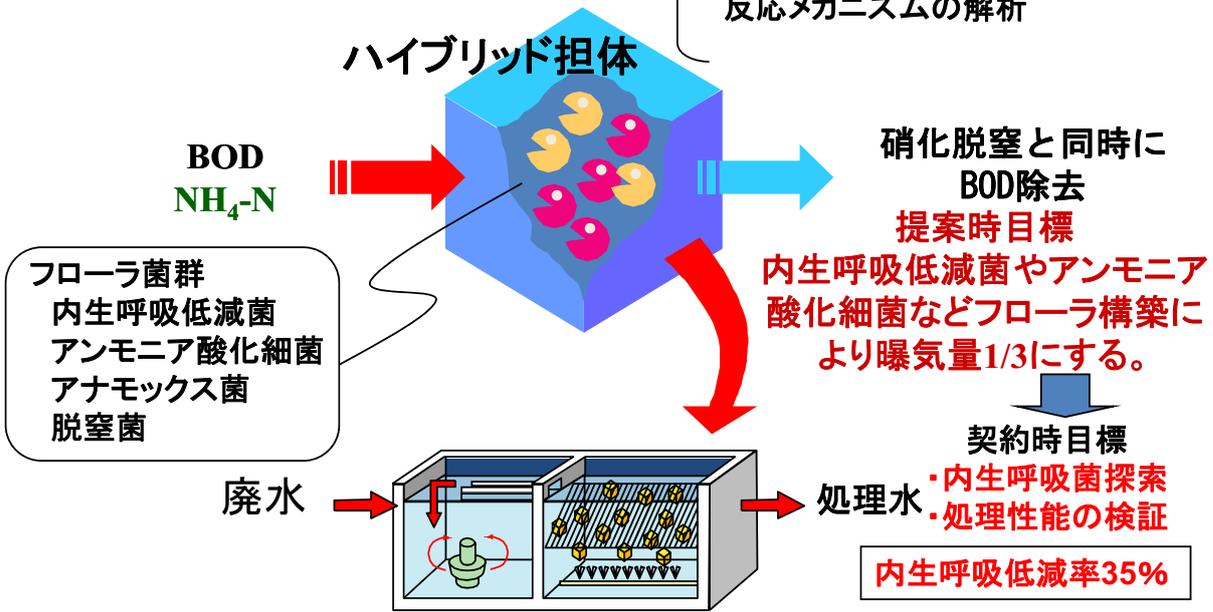
フローラの構築と処理性能の実証  
日立プラントテクノロジー

有用菌の包括固定化方法  
担体製造、コンタミ系での維持方法  
装置の製作、処理性能の検証

フローラ内部の細菌の相互作用解析

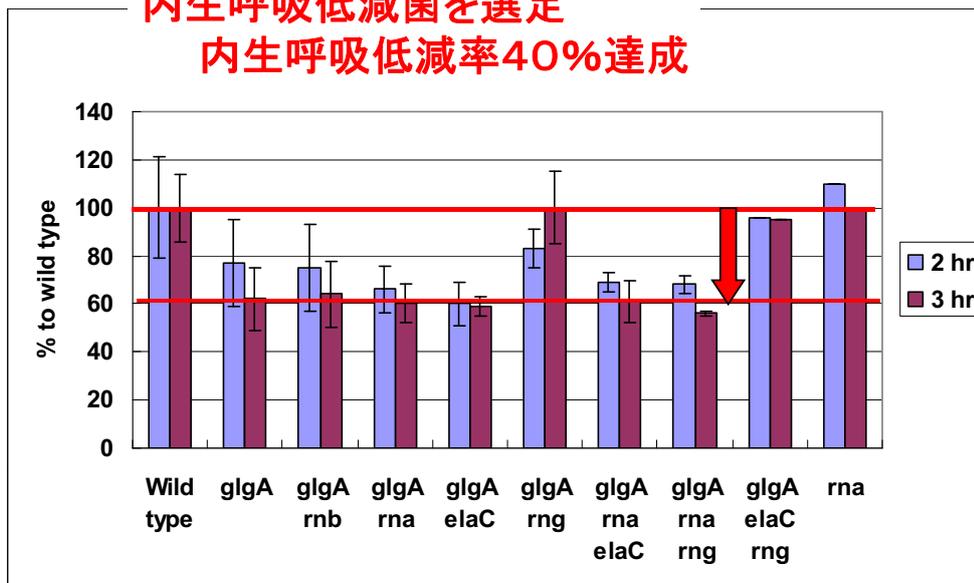
中央大学

内生呼吸低減菌の探索  
安定同位体トレーサを用いた  
反応メカニズムの解析



# 研究開発の成果①

内生呼吸低減菌を選定  
内生呼吸低減率40%達成



glgA: グリコーゲン合成欠損  
rnb, rna, elaC, rng: それぞれ異なるRNasesが欠損

- リン酸buffer中で、大腸菌を2および3時間インキュベーション後、内生呼吸率を測定
- 内生呼吸率は実験ごとの変動が多いので、Wild-type株に対しては、50回以上独立な測定を実施した
- 突然変異株に対しては5-20回の測定を実施 (glgA elaC rngおよびrna株については2回のみ)

## 研究開発の成果②

酸素の有効消費効率:  $E = (\text{外生呼吸}) / (\text{外生呼吸} + \text{内生呼吸})$

$$E = X_{\min} \times [(1 + y) \times r_1] / [(X_{\min} \times r_1) + (X \times r_2)]$$

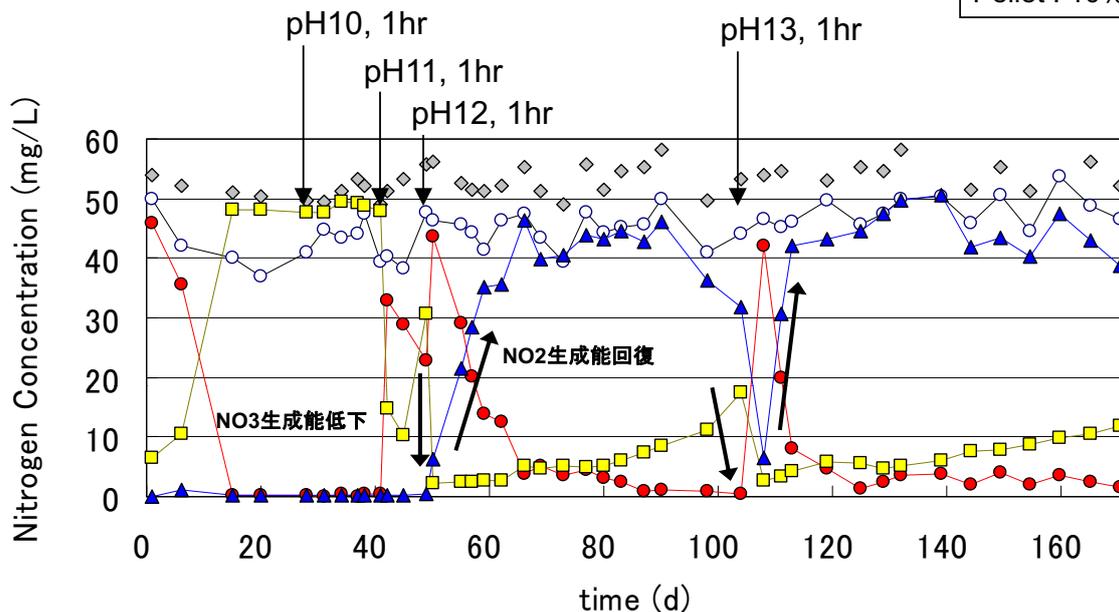
ここで、 $y$ は増殖収率、 $r_1$ は外生呼吸率、 $r_2$ は内生呼吸率、 $X_{\min}$ は排水処理に最小限必要なバイオマス量、 $X$ は現存バイオマス量である。

- 活性汚泥等より約200株を分離。重複を排した**30株**について、酸素有効消費効率を測定。
- 活性汚泥中には、酸素有効消費効率が異なるさまざまな菌が生息する。
- 内生呼吸の高い菌が多数存在し、それが活性汚泥の酸素有効消費効率を下けているものと考えられる。
- 酸素有効消費効率が良いものはGamma-Proteobacteria。
- これらを含め固定化すれば、酸素有効消費効率は約2倍上昇し、内生呼吸は9割近く減少させることが可能であろう。

## 研究開発の成果③

担体をアルカリ洗浄→亜硝酸酸化細菌を排除  
(不要な細菌の排除技術を確立)

HRT : 3hr  
Temp. : 20°C  
Pellet : 10%(v/v)



○ Inf. NH4-N    ◇ Inf. T-N    ● Eff. NH4-N    ▲ Eff. NO2-N    ■ Eff. NO3-N

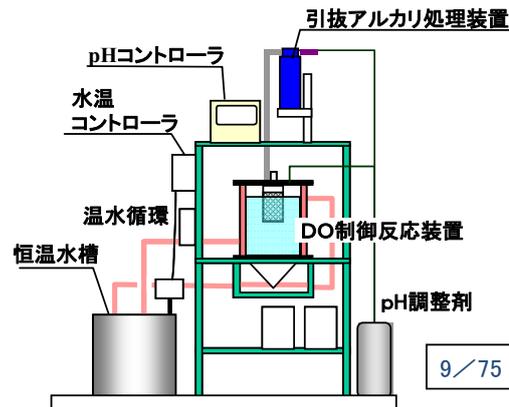
# 中間目標の達成度、課題と対策

## 中間目標の達成度

検討課題	得られた結果
有用菌の安定保持方法の検討	固定化材料分子量4,000プレポリマーを選定 担体アルカリ処理によるコンタミ防止。 亜硝酸型硝化技術を開発。
内生呼吸計測方法の検討	<sup>13</sup> C培養菌体による高度な 内生呼吸定量方法を確立
内生呼吸低減菌の探索	低内生呼吸菌を活性汚泥より分離 遺伝的改変による内生呼吸を低減を達成 低内生呼吸菌を包括固定化することにより、 内生呼吸を大幅に低減できると思われる。

## 課題と対策

- 担体引抜アルカリ処理性能の評価
- 有機性廃水、実廃水でのコンタミ防止効果の評価
- BOD処理性能の評価
- 必要酸素量低減効果の評価



# 中間目標(基本計画の値)の達成度

1000m<sup>3</sup>/日、BOD200mg/L、NH<sub>4</sub>-N30mg/Lでの必要酸素量

	プロセス	曝気量	開発課題
従来技術 活性汚泥法		100	—
従来技術 循環変法		80	—
NEDO 新技術 中間成果		74	低濃度アンモニアでの亜硝酸型維持
NEDO 新技術 最終成果		32	担体内部の菌の配置濃度、密度

# 名古屋工業大学

11 / 75

好気

## 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

従来 『グリーストラップ』: レストラン・食堂等の厨房排水に含まれる油分を分離する装置



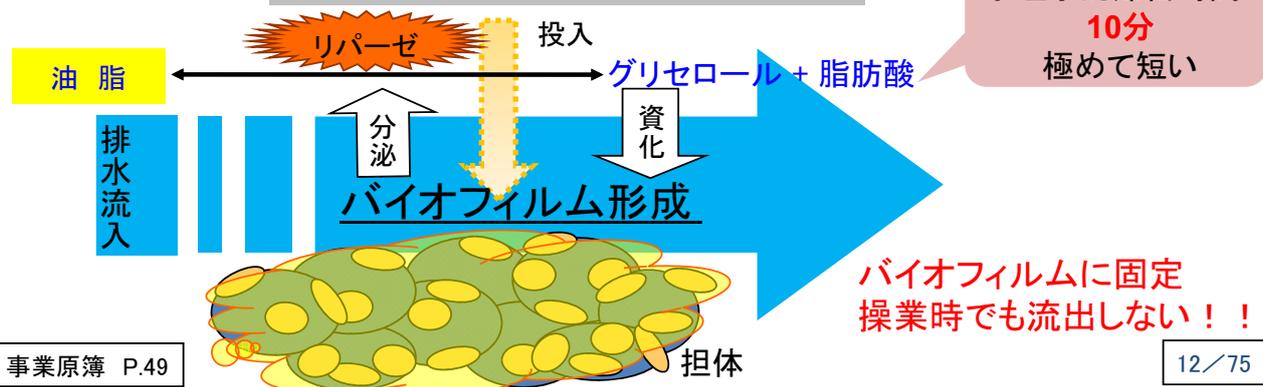
(名工大生協のグリーストラップ)

- ・容量以上の油分がすぐに蓄積、  
清掃・回収頻度が増加
- ・酷い悪臭・汚れ、清掃・回収が大変  
(不衛生な環境なので、敬遠される作業)
- ・放置すると、害虫の発生源や配管詰まりの原因
- ・清掃業者に依頼すると莫大な費用が必要

油分を槽内で消滅させる技術が切望

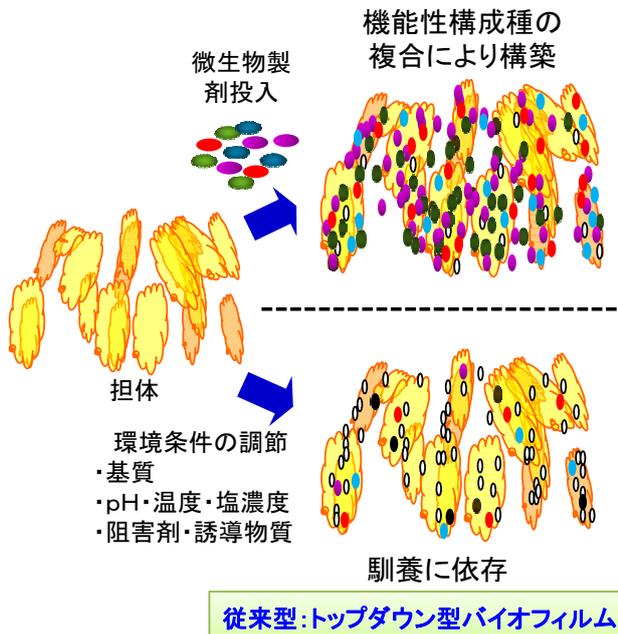
本技術

微生物製剤(油脂分解菌など)による構築と制御



# 開発目標(最終目標)

ボトムアップ型バイオフィーム: 新型バイオフィーム(新規の概念、世界初!!)



- 優位性
- ・迅速な構築
  - ・目的微生物のポピュレーションが高い
  - ・排水種に応じた制御
  - ・変動に対する迅速対応

- ① 残存油脂濃度値 100mg/L以下
- ② 微生物活性を半年間維持する製剤化技術の開発
- ③ 油脂分解菌が優占化する技術の開発

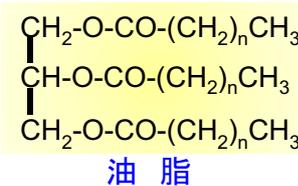
活性汚泥法の曝気プロセスの3倍の高効率化とエネルギー使用量の2/3の削減

# 研究開発の成果①

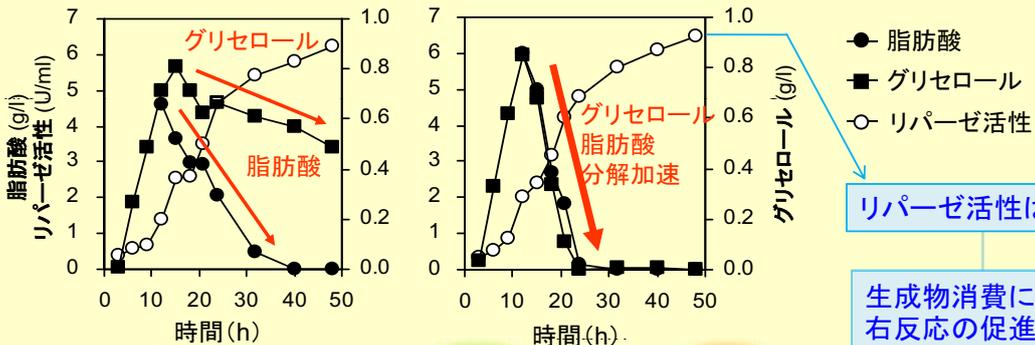
## 油脂分解微生物製剤の開発

機能の異なる微生物を複合化!!

(特願2009-79299)



オンサイト(グリーストラップ内)の条件下で効果を発揮できる微生物製剤を開発!! (特願2009-79432)

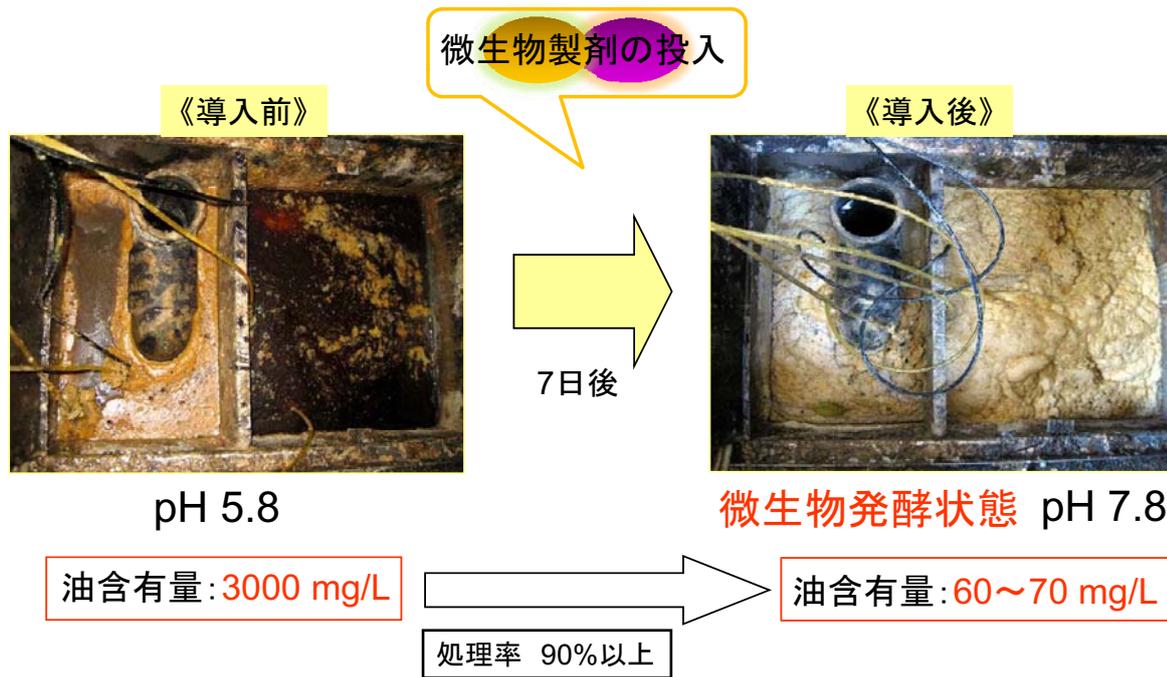


リパーゼ分泌細菌      リパーゼ分泌細菌+グリセロール分解酵母

《グリーストラップ条件下 (pH6)、含植物油3Lファーメンター培養》

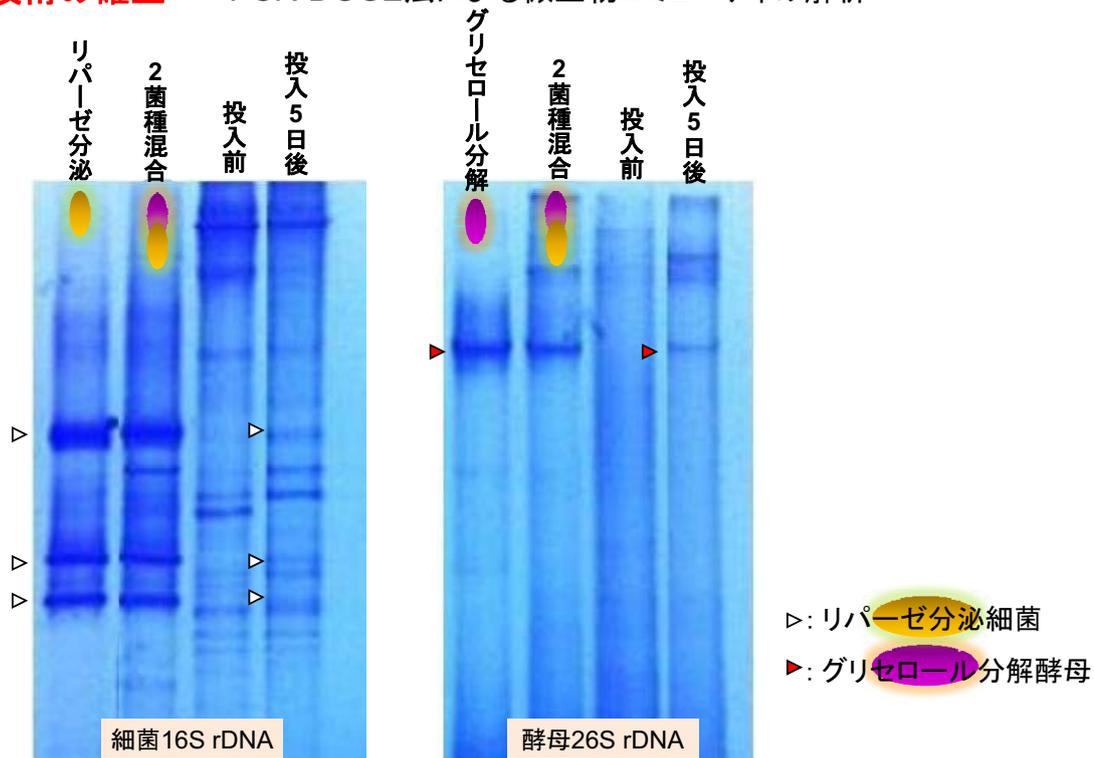
# 研究開発の成果②

実証試験の実施 名工大大学生協グリーストラップにて



# 研究開発の成果③

品質管理技術の確立 PCR-DGGE法による微生物コミュニティの解析

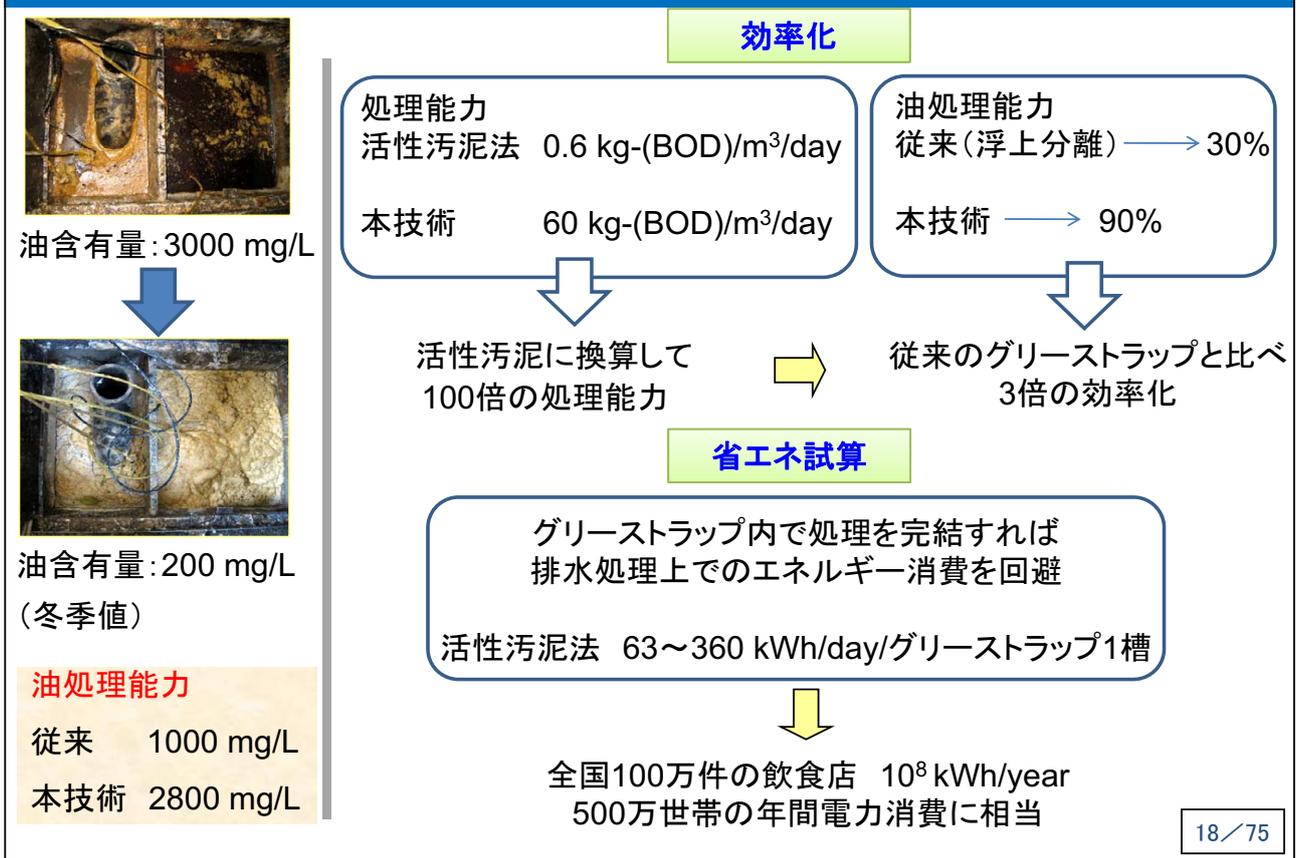


微生物製剤の定着を確認＝短い滞留時間でも流出せず

# 中間目標の達成度、課題と対策

従来	中間評価までの達成度	最終評価までの見込み
<p>①流入油脂濃度値 3000 mg/L～10000 mg/L ・大学生協のグリーストラップの値</p> <p>②グリーストラップ処理能力 1000 mg/L ・残存油脂濃度:2000～7000 mg/L</p> <p>③市販微生物製剤の性能 ・グリーストラップの環境であるpH6での活性が低い ・pHを調整しさらにバイオフィームを利用すれば残存油脂濃度400 mg/L</p>	<p>①残存油脂濃度値 200mg/L以下(目標達成)</p> <p>②油脂分解菌を3種類以上単離(ほぼ目標達成) ・グリーストラップの環境下で高活性の微生物製剤の開発に成功</p> <p>③微生物活性を3ヶ月間維持する製剤技術(75%達成) ・1ヶ月間は活性を保持。3ヶ月では1%ほどの生存率。これを10%に引き上げる</p> <p>④ポピュレーション解析技術(目標達成) ・PCR-DGGE法の適用</p> <p>⑤複合微生物製剤の開発(目標達成) ・共生微生物を利用した新技術を開発</p>	<p>①残存油脂濃度値 100mg/L以下 ・自治体の排出目標値は30mg/L ・中間で60mg/Lを達成。課題は冬季(200mg/L)</p> <p>②微生物活性を半年間維持する製剤化技術の開発 ・添加剤の検討</p> <p>③油脂分解菌が優占化する技術の開発 ・付着により微生物がグリーストラップ内に残存する技術を開発</p>
<p>高効率油脂分解菌を発見 微生物製剤の品質管理技術を確立</p>		<p>複合微生物製剤の改良 バイオフィーム制御技術の高度化</p>

# 中間目標(基本計画の値)の達成度

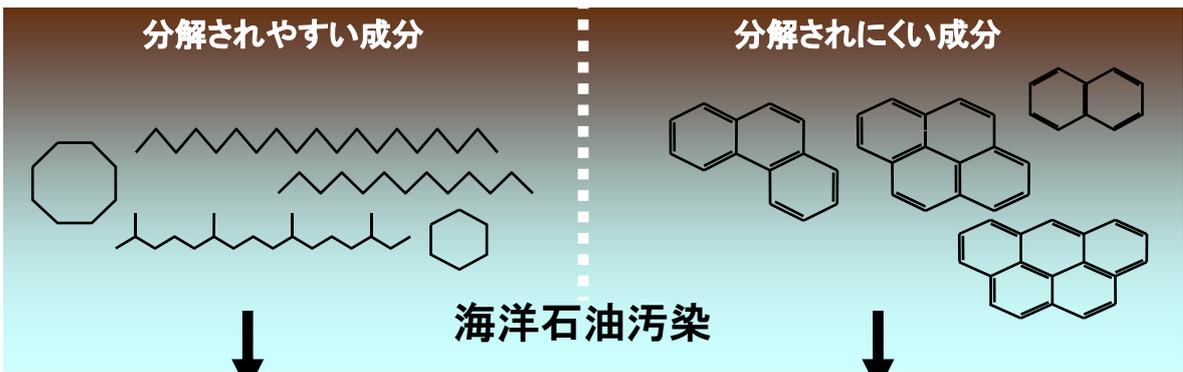


# 日本大学

好気

## 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

千種以上の炭化水素の集合体と複合微生物系



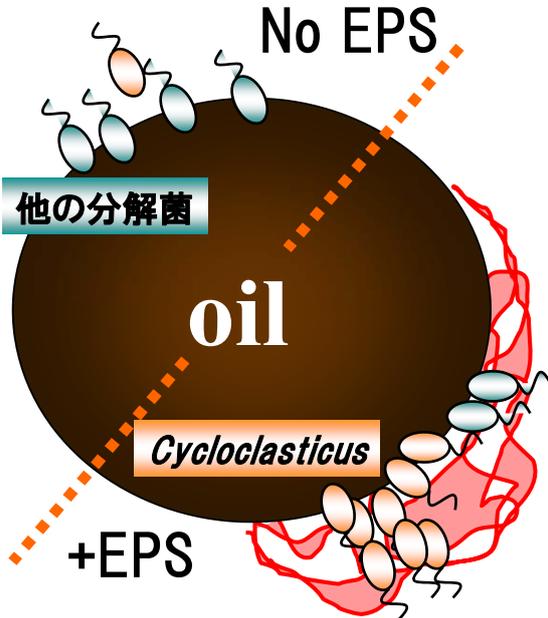
従来法	<i>Alcanivorax</i> 属細菌	主要分解菌	<i>Cycloclasticus</i> 属細菌
無機塩類などの投与による微生物の活性化	2日～1週間ぐらいで優占化に至る	優占化至るまでの期間	20日～2ヶ月である程度主要な群集となる
	数日～2週間ぐらいで大部分が分解	分解に要する期間	一부분解されるが多くの高分子のものは残留

微生物群集構造を変化させ、多環芳香族炭化水素(PAHs)を短期間で分解させる技術開発が望まれる。

- *Cycloclasticus*属細菌のデザイン化技術
- *Rhodococcus*由来の細胞外多糖(S-2 EPS)の利用

# 開発目標(最終目標)

EPSの投与→ *Cycloclasticus*の優占化  
 →PAHsの分解促進  
 (本研究開発にて)  
 →理由を解明→代替手段の開発



理由の仮説  
 これまでに得られたゲノム情報、EPSの化学構造などから、S-2EPSの投与による分解促進機構は、**S-2EPSが石油表面に局所環境をつくり、分解菌群に棲みかを与え、また、鉄などのPAHsの分解に必須な微量元素の濃度を局所的に高めることで、結果として、最もPAHsの分解に優れているCycloclasticusが優占化し、PAHs分解が促進される、と考えられた。**

中間目標  
*Cycloclasticus* がS-2EPSの投与により複合微生物群集の中で、**短期間で優占化し、PAHsの分解が3倍以上促進される理由を明らかにする。**

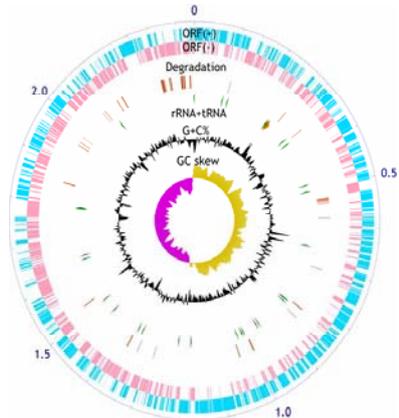
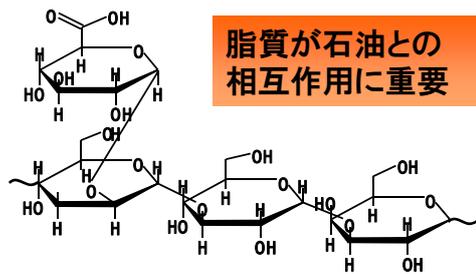
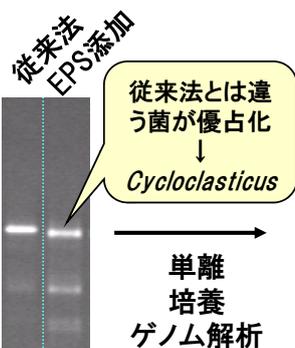
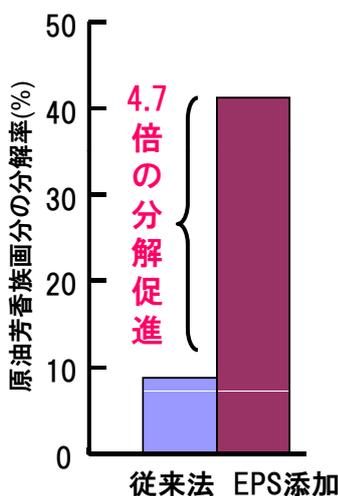
最終目標  
 その情報に基づいたバイオリメディエーションなど**産業技術として展開可能な代替手段(物質、培養条件、人工共生系など)を開発する。**

# 研究開発の成果①

先行研究による成果

*Cycloclasticus* の培養制御の支持体として見出された**S-2EPS**は、GlcA-Man-Glc-Galの繰り返し構造を有する酸性多糖であり、分子内にスアリン酸とパルミチン酸を含む**ポリフィリックな構造**を有している。

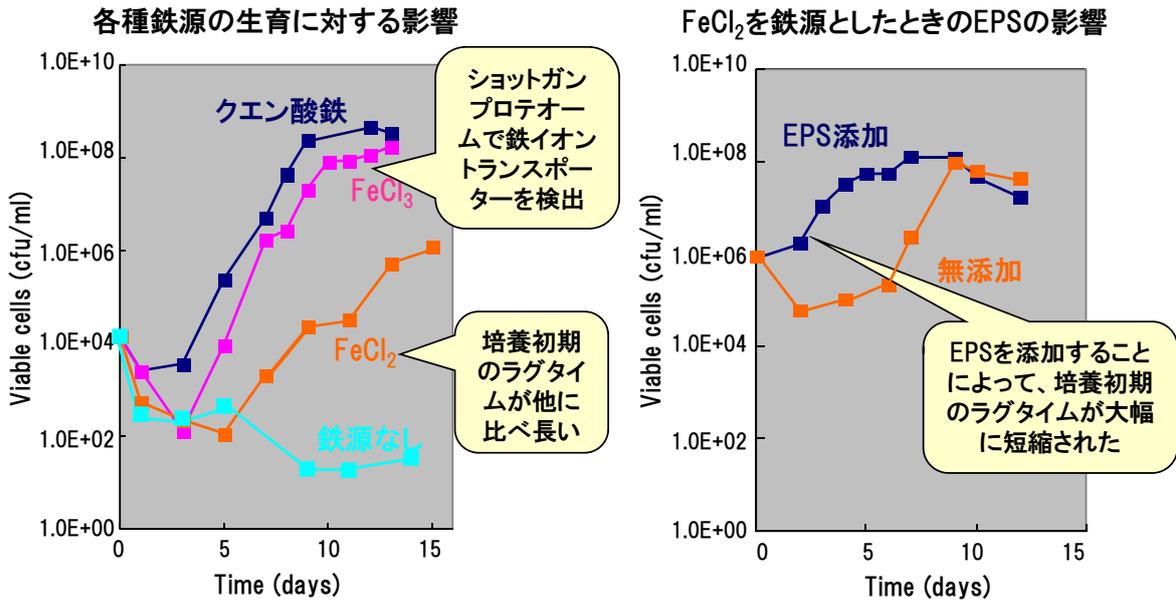
海洋複合微生物群の原油芳香族画分(10000 ppm)の分解に対するS-2EPSの影響



**これらの複合的な研究の結果、(前スライドの)仮説を導き出した。**

# 研究開発の成果②

【検討項目】微量元素の獲得に関する検討 → *Cycloclasticus*の生育に対する鉄源の影響

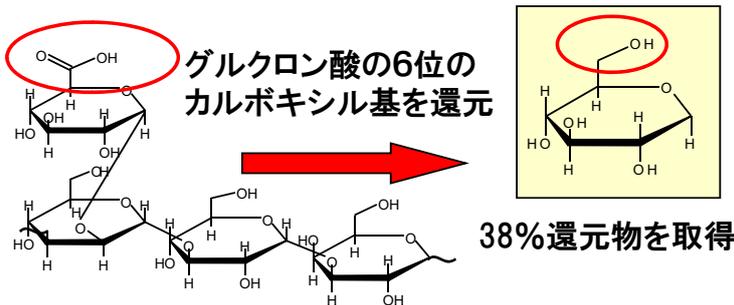


ゲノム情報からは、*Cycloclasticus* は有機鉄しか利用できないと考えられたが、今回の結果から、無機鉄も利用できることが明らかとなり、さらに、新しく鉄に関するトランスポーターも見出された。また、EPSが培養初期にFeCl<sub>2</sub>の利用をサポートしていることが示唆された。

→EPSが鉄の局所的高濃度化に関与

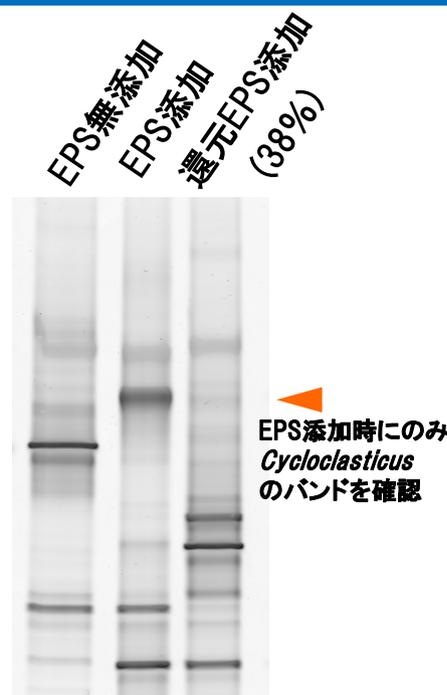
# 研究開発の成果③

【検討項目】基質への吸着と安定した生育の場の確保  
→S-2 EPSのカルボキシル基が複合微生物系内での *Cycloclasticus*の優占化に与える影響



フェナントレン(phn, 10000 ppm)とヘキサデカン炭素源とした複合培養系での群集構造変化をDGGEで解析した。その結果、EPS無添加条件では同菌の優占化は確認できず、phnの分解率も6.9%と低かったが、EPSの添加により優占化の抑制が解除され(矢印)、分解率も36.1%と約5.2倍上昇した。

一方で、EPSの還元処理により *Cycloclasticus*の優占化は抑制された。



・ *Cycloclasticus*の優占化にはS-2 EPSのカルボキシル基が重要  
・ 鉄の局所的な高濃度化に関与?

# 中間目標の達成度、課題と対策

## 従来

従来法による原油芳香族画分の分解率8.8%



当グループの先行研究

S-2 EPSの投与により、原油芳香族画分の分解率を41.2%まで上昇

従来法より4.7倍の促進効果  
優占化に至るまでの期間を最短3.5日に短縮

## 中間目標

①PAHsの分解の3倍効果  
→分解率41.2%で従来法の約5倍を既に達成済み

②S-2 EPSの重要な部分構造と機能を解明する  
→カルボキシル基、脂質の重要性と機能を解明、ほぼ目標達成

## 最終目標

①新規培養支持体の開発  
→S-2 EPS、市販の多糖類等の修飾、改変による機能強化  
②新規培養条件の開発  
→鉄源の種類、供給法等の検討による機能強化  
③人工共生系の開発  
→EPS生産菌などとの共培養による機能強化

S-2 EPSにより促進される理由を解明

これまでの情報を基にした代替手段の開発

# 中間目標(基本計画の値)の達成度

## 技術面での見通し

*Cycloclasticus*の培養支持体の部分構造と機能を解明した。

## 3倍の効率化

- ・優占化に至るまでの期間  
20日～2ヶ月 → **最短3.5日 5.7倍**
- ・分解性(10000 ppm、2週間、複合培養系)  
原油芳香族画分  
8.8% → **41.2% 4.7倍**  
フェナントレン(+ヘキサデカン)  
6.9% → **36.1% 5.2倍**

## ②好気嫌気処理

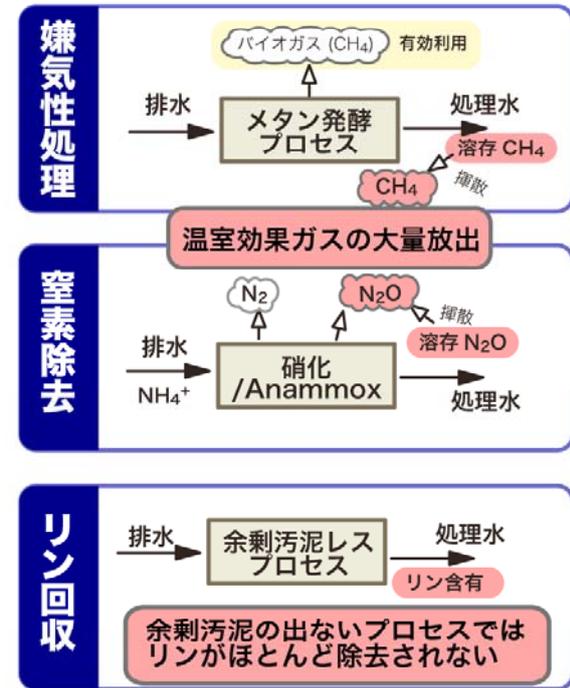
27 / 75

広島大学

28 / 75

# 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

## 既存の排水処理プロセスの課題

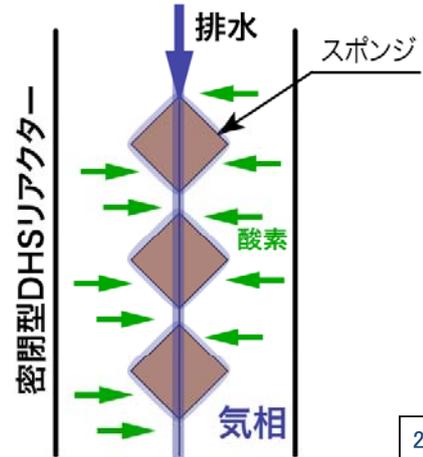


事業原簿 P.75

## 密閉型DHSリアクターの利点

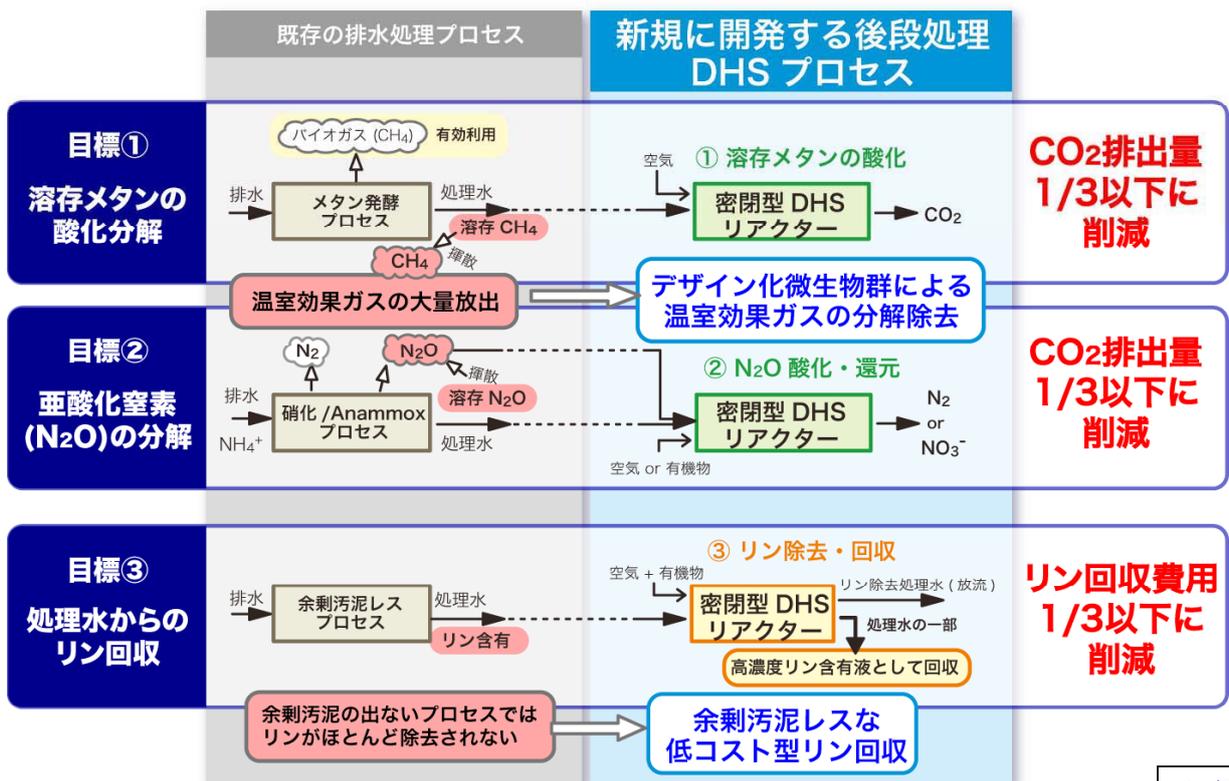
微生物の生育環境を空気供給(送風)のコントロールで好気・嫌気などに自由にデザインできる

処理対象にあわせた最適な微生物叢をデザイン化できる



29 / 75

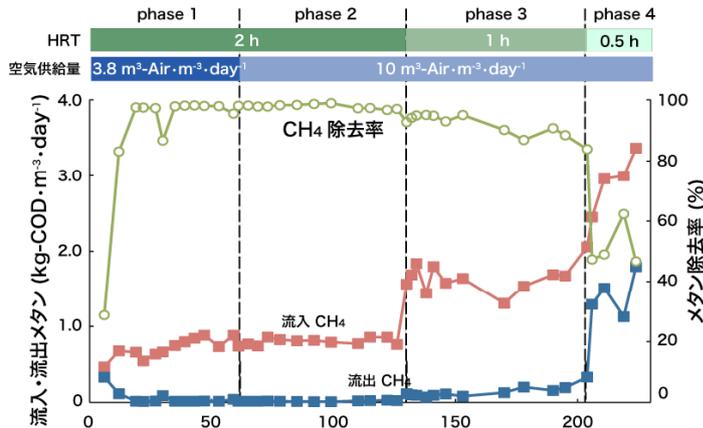
# 開発目標(最終目標)



30 / 75

# 研究開発の成果①

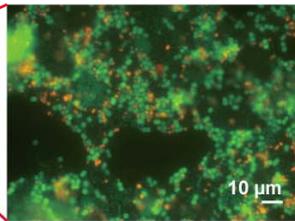
## 人工排水を用いた溶存メタン酸化分解実験



メタン酸化細菌をDHS  
リアクター内に優占化



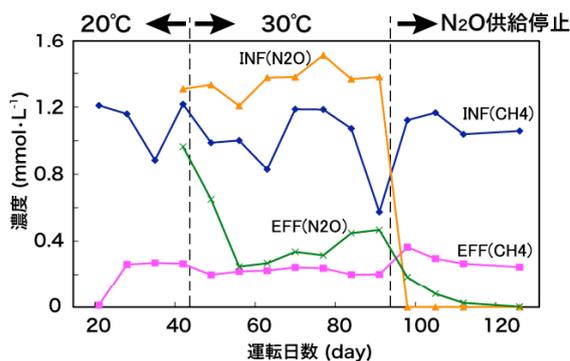
HRT 1時間、メタン負荷  
2 kgCOD·m<sup>-3</sup>·day<sup>-1</sup>  
メタン除去率90%以上  
を達成



赤：全細菌 (EUB338)  
緑：メタン酸化細菌  
(Gm705)

# 研究開発の成果②

## メタンを炭素源とした亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)の分解(脱窒)



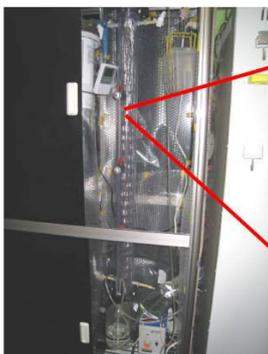
● 微生物の増殖と亜酸化窒素の減少を確認  
N<sub>2</sub>O除去速度0.14 kg-N·m<sup>-3</sup>·day<sup>-1</sup>



将来的には、メタン酸化DHSと統合し、  
単一リアクターで温室効果ガスを除去

● 今後は微生物を解析し、  
亜酸化窒素分解菌を特定する

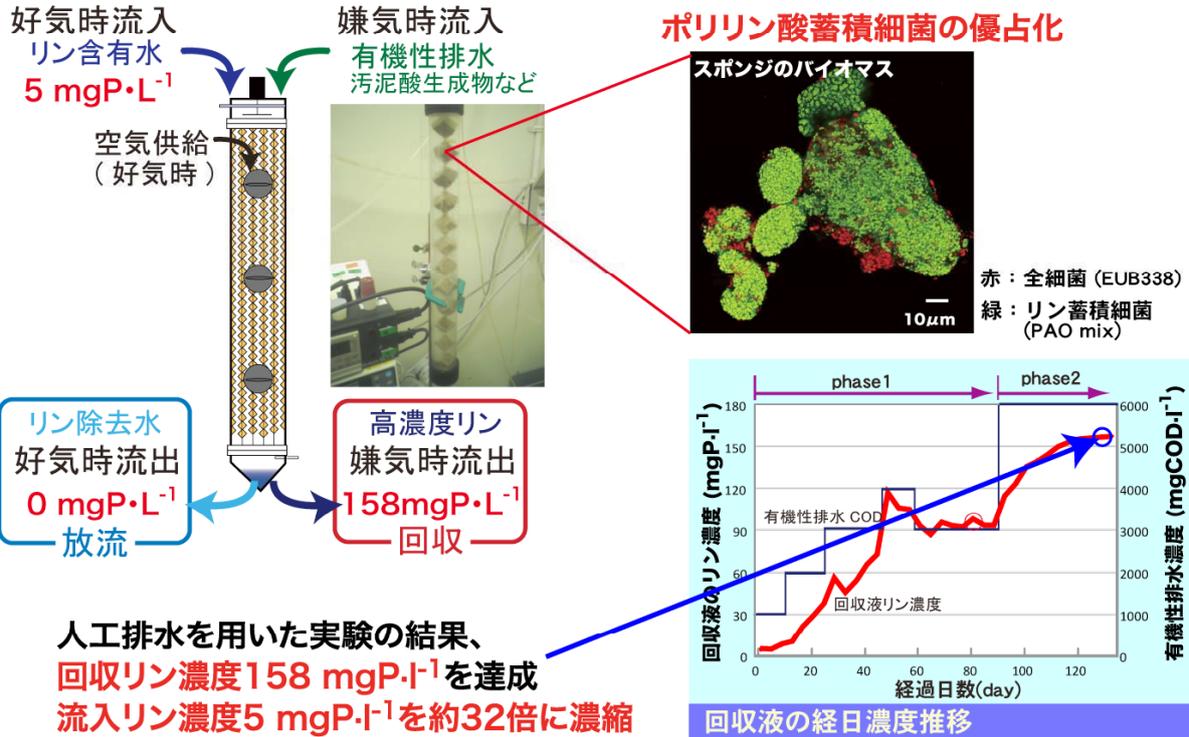
● 亜酸化窒素の酸化分解処理も検討中



DHSリアクターの  
スポンジの様子

# 研究開発の成果③

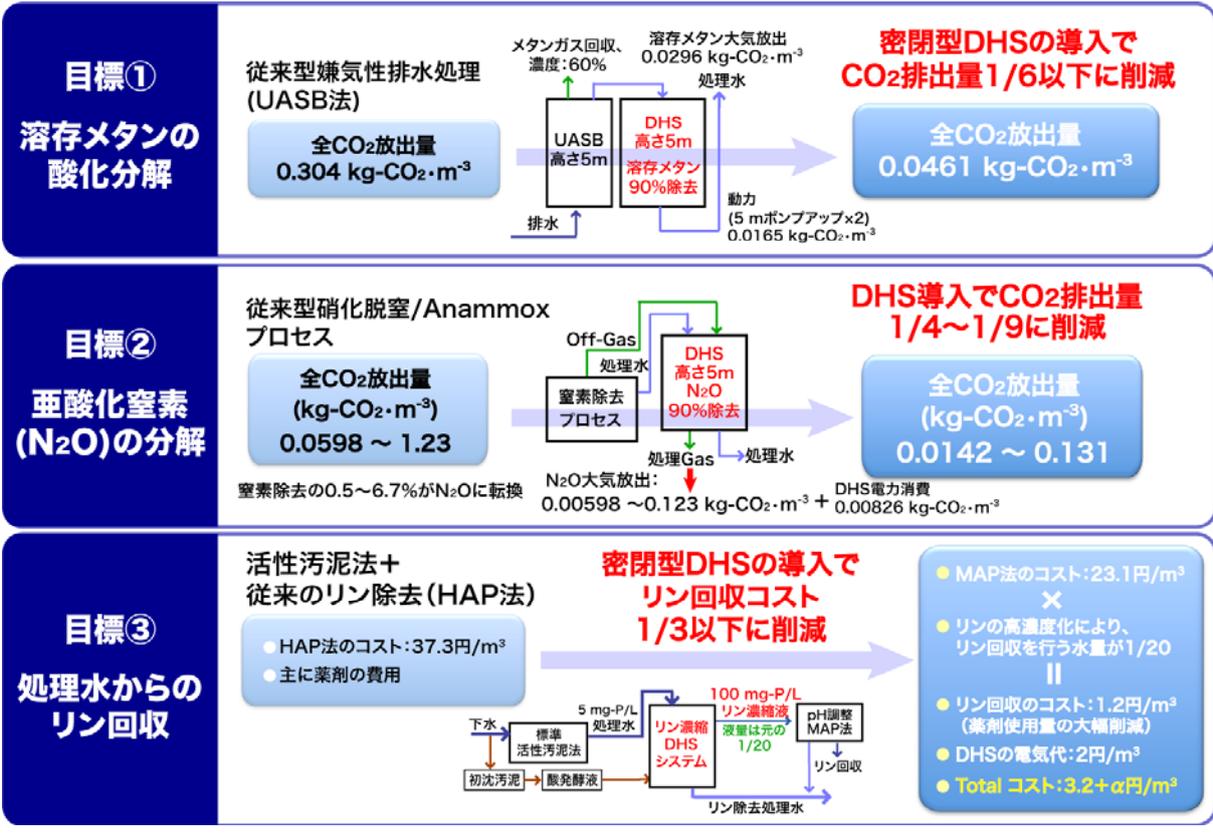
## 密閉型DHSによる新規なリン回収(特願2009-044797)



# 中間目標の達成度、課題と対策

従来	中間目標	最終目標
従来型嫌気性処理による CO <sub>2</sub> 排出量: $0.304 \text{ kg}\text{-CO}_2\cdot\text{m}^{-3}$ 算出根拠: 事業原簿2.6.2.4参照	人工排水中の溶存 メタン90%以上除去 CO <sub>2</sub> 排出量80% 以上削減可能	実排水で実証 CO <sub>2</sub> 排出量1/6に削減 $0.046 \text{ kg}\text{-CO}_2\cdot\text{m}^{-3}$ 算出根拠: 事業原簿2.6.2.4参照
従来型硝化・anammoxによる CO <sub>2</sub> 排出量: $0.06\text{-}1.23 \text{ kg}\text{-CO}_2\cdot\text{m}^{-3}$ 算出根拠: 事業原簿2.6.3.4参照	DHSリアクターで N <sub>2</sub> Oの分解を確認 分解速度 $0.14 \text{ kg}\text{-N}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{day}^{-1}$ を達成	N <sub>2</sub> Oを90%以上分解 CO <sub>2</sub> 排出量1/4に削減 $0.014\text{-}0.13 \text{ kg}\text{-CO}_2\cdot\text{m}^{-3}$ 算出根拠: 事業原簿2.6.3.4参照
活性汚泥法+従来法によるリン回収コスト $37.3 \text{ ¥}\cdot\text{m}^{-3}$ 算出根拠: HAP法による回収の場合 事業原簿2.6.4.4参照	人工排水を用いてリン を100 mg·l <sup>-1</sup> 以上(元の 20倍以上)に濃縮 処理水量削減による リン回収コストの削減	実排水で実証 リン回収コスト1/3 以下に削減 $3.2 \text{ ¥}\cdot\text{m}^{-3}$ 算出根拠: 特願2009-044797 事業原簿2.6.4.4参照

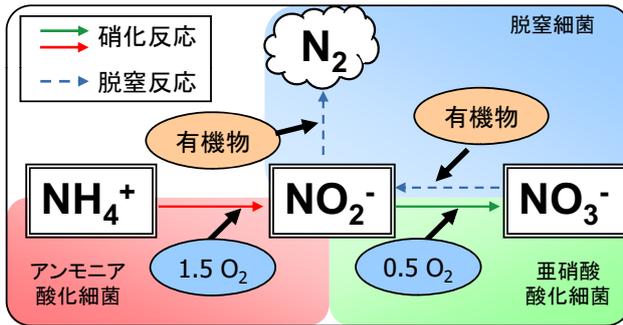
# 中間目標(基本計画の値)の達成度



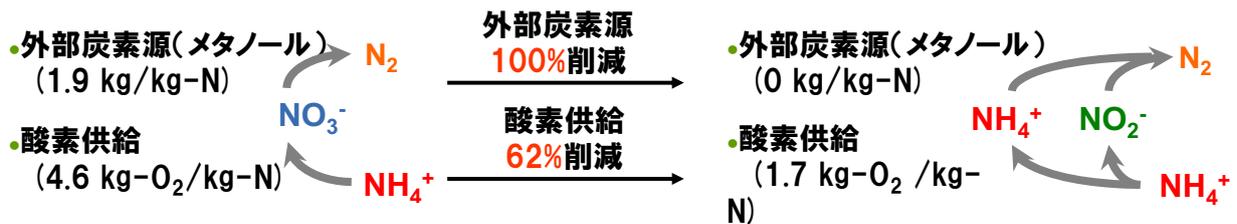
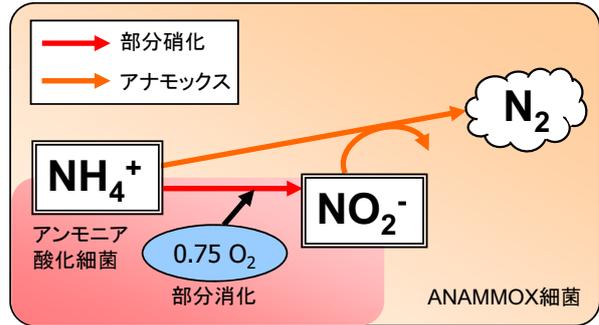
北海道大学(工学)

# 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

## 従来の硝化・脱窒反応による窒素除去



## ANAMMOX反応による窒素除去



- ◆ ANAMMOX反応から温室効果ガス(N<sub>2</sub>Oガス)は発生(部分硝化)
- ◆ 余剰汚泥の発生量も大幅(最大70%)に削減される。

超省エネルギー型の生物学的窒素除去プロセスとして期待

# 開発目標(最終目標)

嫌気性アンモニア酸化 (ANAerobic AMMonium OXidation: ANAMMOX) 法を軸とした高効率・省エネルギー、低コスト型窒素除去システムを開発する。

## 部分硝化—嫌気性アンモニア酸化(ANAMMOX)プロセスを提案

### バイオデザイン化技術

アンモニア性窒素の亜硝酸までの部分硝化およびANAMMOX細菌の増殖促進を図るために微量のヒドロキシルアミン(NH<sub>2</sub>OH)添加

### バイオモニタリング化技術

各種分子生物学的手法および各種マイクロセンサーを用いてバイオフィーム内 *in situ* の微生物群集構造と機能を随時解析

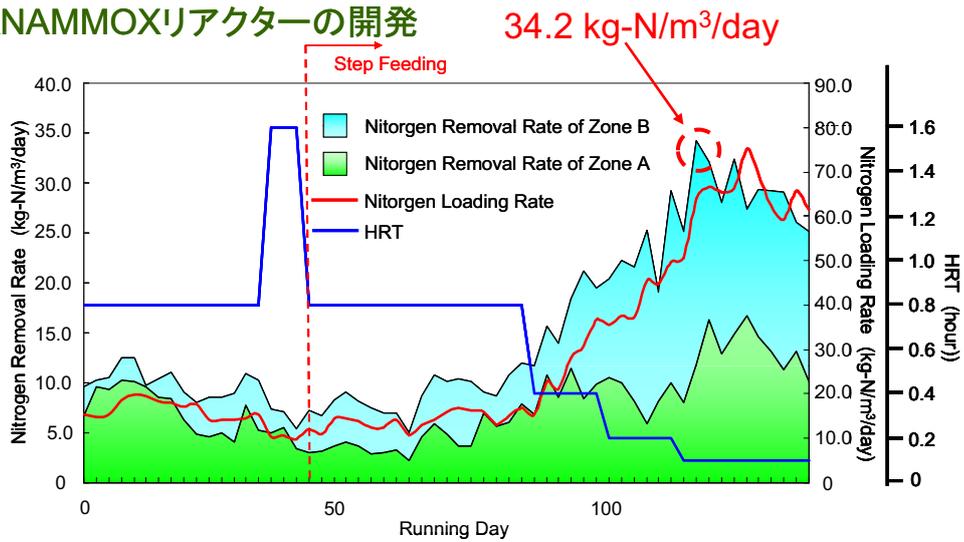
従来の硝化液循環型活性汚泥法と比較して、

- ◆ 10倍以上の窒素除去速度 (12Kg-TN/m<sup>3</sup>/day)
- ◆ 50%以上のトータルランニングコストの削減

高効率・省エネルギー、低コスト型窒素除去システムの構築

# 研究開発の成果①

## 高効率ANAMMOXリアクターの開発



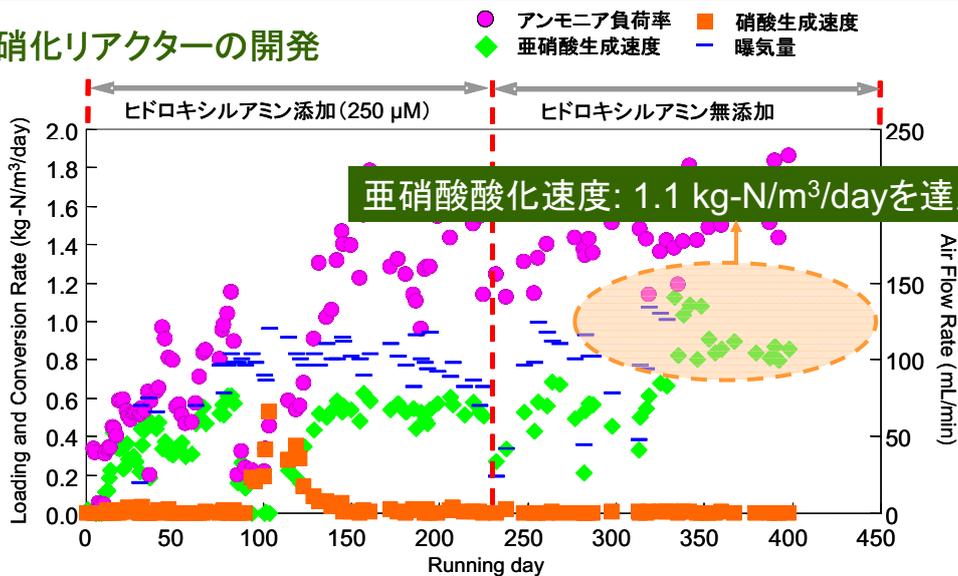
- ◆ 最大窒素除去速度 34.2 [kg-N m<sup>-3</sup> day<sup>-1</sup>]を達成 (世界最高)
- 既往の研究      Lab-scale (人工基質)      : 9.8 kg-N/m<sup>3</sup>/day
- Pilot-scale reactor      : 4-5 kg-N/m<sup>3</sup>/day
- ◆ 従来の硝化-脱窒法      都市下水      : 1-2 kg-N/m<sup>3</sup>/day

既存技術、先行技術に対して“約15倍”の効率化

39 / 75

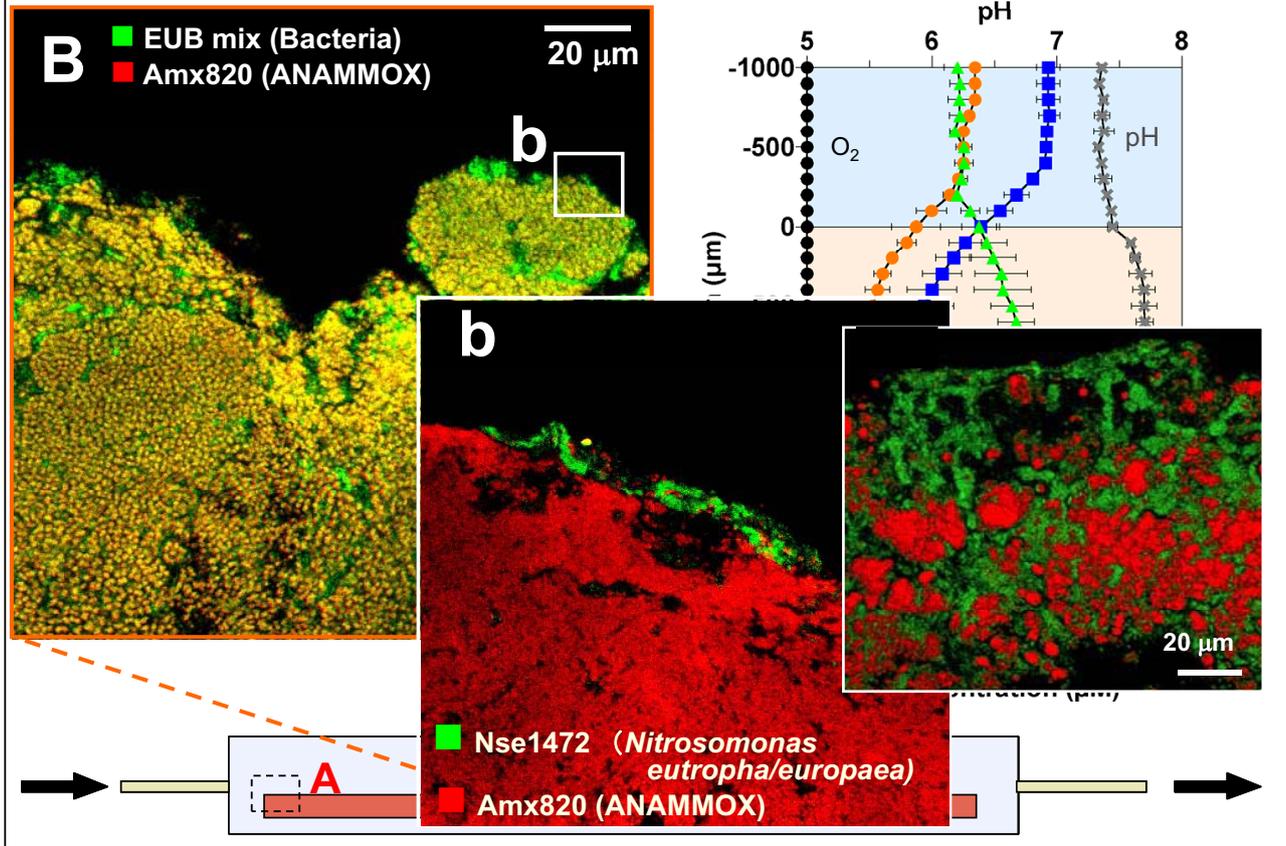
# 研究開発の成果②

## 部分硝化リアクターの開発



- 既存技術、先行技術に対して同等の効率だが、
- ◆ 酸素供給 (62%削減)、外部炭素源の供給 (100%削減)
  - ◆ N<sub>2</sub>Oの生成が無い、余剰汚泥の削減等により、大幅なエネルギーおよびコストの削減を達成。 ➡ 高効率化

# 研究開発の成果③



## 中間目標の達成度、課題と対策

### 従来

#### 循環型硝化脱窒素法

##### 根拠となる数字

- 窒素除去速度: 1-2 kg-TN/m<sup>3</sup>/day
- 酸素ばっ気が必要: 1モルのNH<sub>4</sub><sup>+</sup>に対し2モルの酸素が必要
- 硝化液の循環のためにポンプが必要
- 脱窒反応のために外部炭素源が必要な場合がある。

### 中期目標

#### 部分消化-Anammoxシステム

##### 根拠となる数字

- 窒素除去速度: 34 kg-TN/m<sup>3</sup>/day (世界最高速度を達成)
- 酸素ばっ気が必要: 1モルのNH<sub>4</sub><sup>+</sup>に対し0.75モルの酸素が必要
- 硝化液の循環のためにポンプが不要
- 脱窒反応のために外部炭素源が不要
- 発生汚泥が大幅に削減可能(嫌気性かつ独立栄養性細菌なので)
- リアクター内のAnammox細菌のゲノム解析を完了

最低でも15倍の高速化・高効率化・省スペース化を達成

### 最終目標

#### 高効率部分消化-Anammoxシステム

##### 根拠となる数字

- スタートアップの効率化・安定化
- 部分消化反応の効率化を図り、全体の窒素除去速度の高速化
- Anammox細菌のゲノム情報を基に、Anammox細菌の活性化、亜硝酸および酸素耐性の強化、などを検討し、システム全体の高効率・安定化を達成する。

新規のAnammox細菌を発見  
部分消化—Anammoxシステムを開発

ゲノム情報を基にAnammox細菌の能力向上  
部分消化—Anammoxシステムの最適化

## 中間目標(基本計画の値)の達成度

研究項目	概要(中間目標の達成度)
①人工廃水を処理する部分硝化－ANAMMOX並列リアクターの開発	部分硝化－ANAMMOX並列型リアクターを作成した。この時のANAMMOXリアクターの最大窒素除去速度6.2 Kg-TN/m <sup>3</sup> /dを達成した。(達成率85%)
②部分硝化プロセスの最適条件の検討	②NH <sub>2</sub> OH(濃度250 μM)を添加することで、迅速かつ安定的な部分消化反応を立ち上げることに成功した。(達成率85%)
③ANAMMOXプロセスの最適条件の検討	③二段ステップ流入式上向流バイオフィルムリアクターを構築した。最大窒素除去速度34.2 Kg-TN/m <sup>3</sup> /dを達成した。この値は、従来の硝化-脱窒法と比較して約30倍高い速度である。(達成率120%)
④分子生物学的手法およびマイクロセンサーによる微生物群集解析	④部分消化リアクターおよびANAMMOXリアクター内に存在する微生物群集構造を16S rRNA遺伝子解析およびFISH法により解析した。In Situ ANAMMOX活性を微小電極で測定した。(達成率100%)
⑤ANAMMOX細菌のメタゲノム解析	⑤我々のANAMMOXリアクターに存在するANAMMOX細菌のゲノムを決定するために、メタゲノム解析を行った。今後は、ゲノム情報を基に、ANAMMOXリアクターの効率化、安定化を図る予定である。(達成率100%)

43 / 75

# 北海道大学(地球環境)

44 / 75

# 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

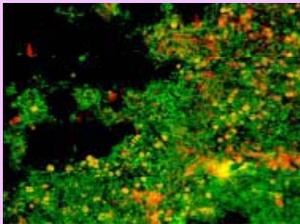
## 現状と課題



1. 好氣的活性汚泥処理法による窒素化合物除去に要する経費高



2. ボイラー原料油など原油は偏在する環境汚染物質・処理費用高のため放置され、ブラウンフィールド問題となっている



3. 細菌による原位置処理技術の経費高と二次汚染問題(細菌残留)

## 本技術の優位性・新規性

1. バイオフィーム工学による硝化槽の効率化・安定化  
・新規活性汚泥細菌によるアンモニア酸化細菌(AOB)の活性増強  
・AOBのバイオフィーム形成による安定化  
・Anammox 菌グラニューール安定化

2. バイオフィーム工学を利用した原油分解細菌群の安定導入法の技術基盤開発

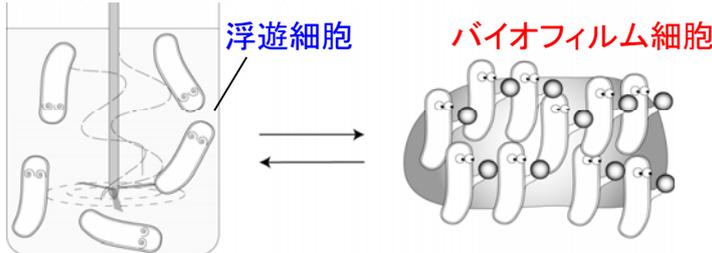
3. 植物との共生関係を利用した炭化水素分解細菌群のデザイン化と現場への導入法の開発  
・植物根に形成した分解細菌群バイオフィームによる汚染物質の持続的分解  
・浄化後、植物の除去と同時に導入細菌群を回収可能



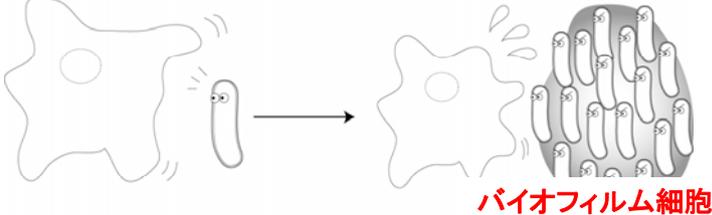
ウキクサ根圏

# 開発目標(最終目標)

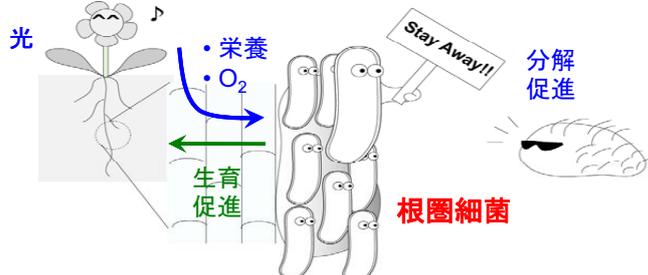
1. 微生物間相互作用の活用 → 効率化



2. 微生物定着性の向上 → 効率化



3. 植物-細菌間相互作用の活用 → 効率化



1-1. アンモニア除去速度:  
30 mM NH<sub>4</sub>/ 2days/  
*Nitrosomonas* (OD<sub>600</sub>=0.01)

1-2. Anammox 細菌グラニューール形成機構の理解と促進

1-3. *Nitrosomonas* および Anammox 技術を 3倍効率化

2. 原油分解速度を10倍効率化

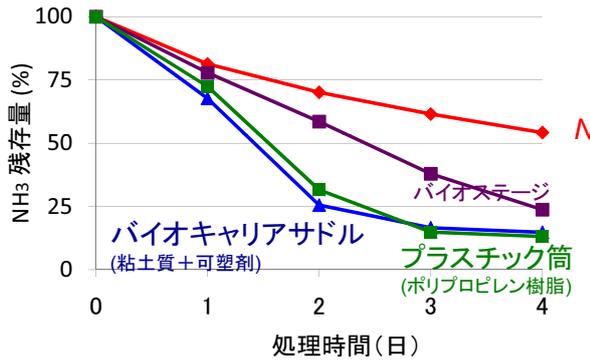
3. 水質汚染物質分解速度および持続期間を10倍効率化



従来比、コスト3分の1のアンモニアおよび炭化水素系廃棄物処理技術を完成

好気  
嫌気

# 研究開発の成果①

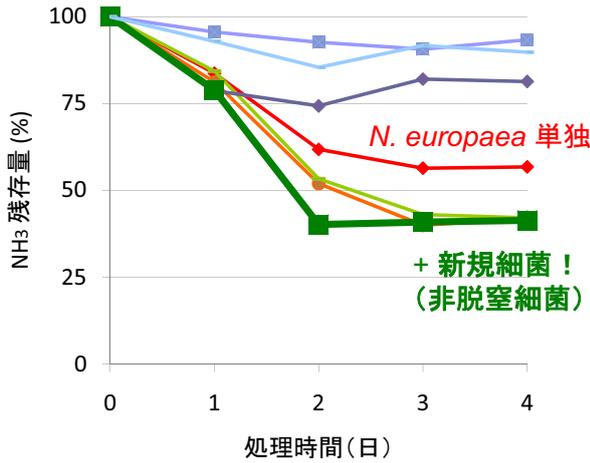


*N. europaea* 単独のバイオフィルム工学によりアンモニア除去の効率化約3倍 (2日後に残存量 約3分の1)に成功!

*N. europaea* 浮遊  
↓ 効率化  
*N. europaea* 固定化 (バイオフィルム化?)



活性汚泥より発見した新規細菌との共培養によりアンモニア除去の効率化 (2日後に1.5倍の速度)を達成!



複合バイオフィルム工学による微生物群デザイン化技術の完成を目指す

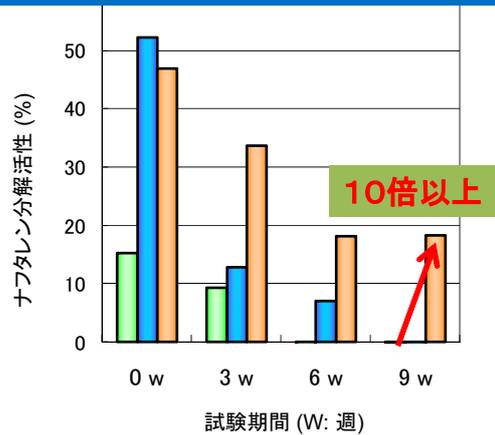
好気

# 研究開発の成果②

石油汚染土壌への適用



厚田油田(北海道石狩)



days 0 2 7 14 21 28 35 42 49 56 63 70

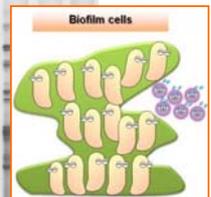
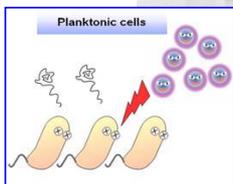
従来技術: 10週間後に分解細菌は死滅

0 2 7 14 21 28 35 42 49 56 63 70

バイオフィルム工学: 10週間後分解細菌が生存



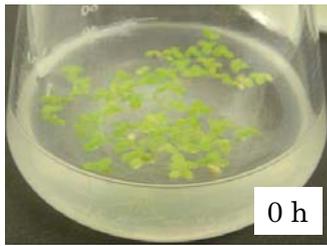
16SrRNA-PCR/DGGE 法による解析



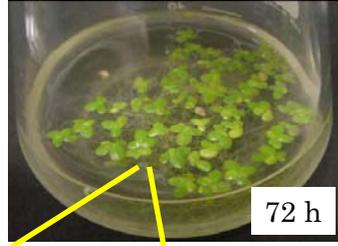
バイオフィルム工学により土壌浄化技術の効率化(9週間後に10倍以上)に成功

好気

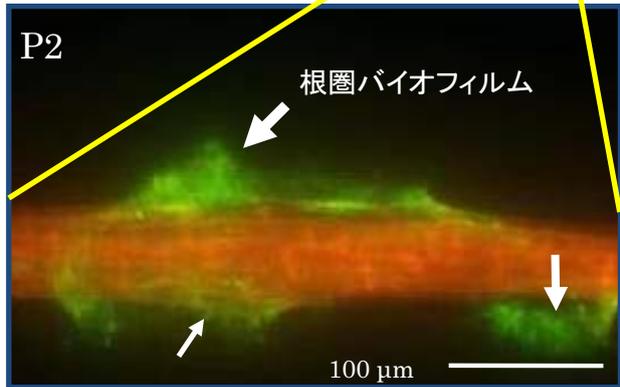
# 研究開発の成果③



0 h



72 h



P2

根圏バイオフィーム

ca.  $1 \times 10^8$  CFUs / root

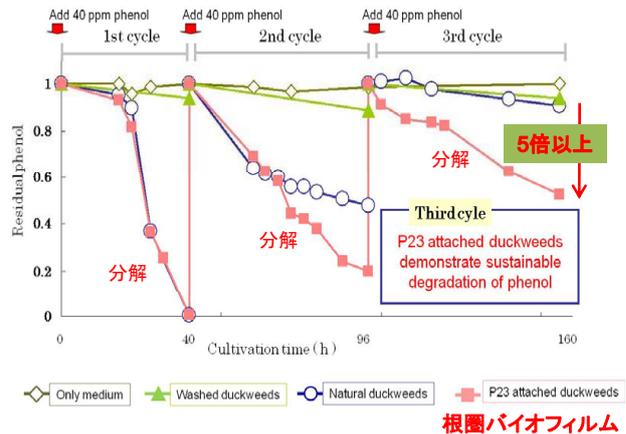
・栄養塩(リン、窒素)添加無用

・浄化後の細菌残留性を回避



二次汚染問題を同時に解決

さらに！根圏バイオフィームにより植物の生育が促進することを発見した



根圏バイオフィームによる持続的水質浄化技術(160時間後に5倍以上効率化)

好気  
嫌気

# 中間目標の達成度、課題と対策①

従来

中期目標

最終目標

(1) 好気アンモニア除去  
対象実験値より、アンモニア除去速度(従来):  
7.5 mM NH<sub>4</sub>/ 2 days/  
Nitrosomonas (OD<sub>600</sub>=0.01)

担体表面でバイオフィーム化

新規ヘルパー細菌との共存

(1) 嫌気アンモニア除去  
ブラックボックスとしてANAMMOX細菌を利用

ゲノム  
タンパク  
解析

(1-1) 好気アンモニア除去  
実験値より、アンモニア除去速度(今回): **バイオフィーム化**  
17 mM NH<sub>4</sub>/ 2 days/  
Nitrosomonas (OD<sub>600</sub>=0.01)

Nitrosomonas細菌単独のバイオフィーム化により、アンモニア酸化活性が約3倍上昇することを初めて示した。

(1-2) アンモニア除去効率  
実験値より、アンモニア除去速度(今回): **ヘルパー細菌共存**  
15 mM NH<sub>4</sub>/ 2 days/  
Nitrosomonas (OD<sub>600</sub>=0.01)  
Nitrosomonas細菌の活性を約2倍促進する全く新しいヘルパー細菌を発見した！

(1) 嫌気アンモニア除去  
ANAMMOX細菌グラニュール形成機構の部分理解

ゲノム  
タンパク  
解析

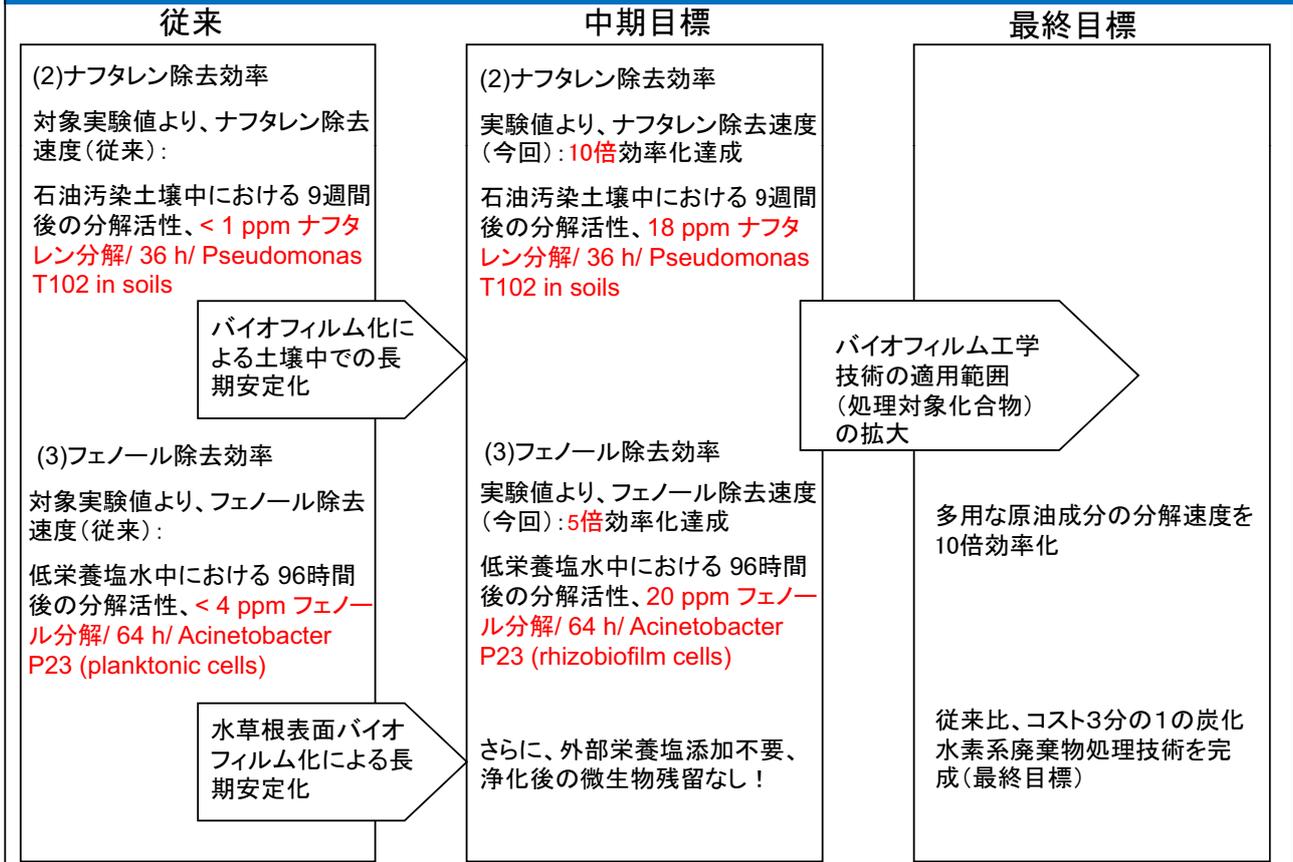
(1) 好気アンモニア除去  
実験値より、アンモニア除去速度(最終目標):  
30 mM NH<sub>4</sub>/ 2 days/  
Nitrosomonas (OD<sub>600</sub>=0.01)

バイオフィーム化と新規ヘルパー細菌との共存作用の組み合わせ

従来比、3倍のアンモニア除去効率を達成(最終目標)

(1) 嫌気アンモニア除去  
ANAMMOX細菌グラニュール形成機構の詳細理解  
ANAMMOX技術を3倍効率化

# 中間目標の達成度、課題と対策②



# 早稲田大学

# 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

## 環境バイオ処理技術



どんな微生物? (メンバー・名前)  
 どれくらい? (数・割合)  
 どのように, どこに? (場所・空間特性)  
 何をしている? (機能・活性)

多くのコンポーネントから構成される**複雑系**

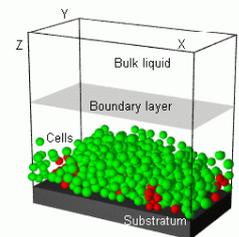
個々の現象を個別・詳細に解析しても系全体の理解に結びつけることは難しい

➡ 要素還元的な方法論(従来法)の限界

### 本技術のアプローチ 方法

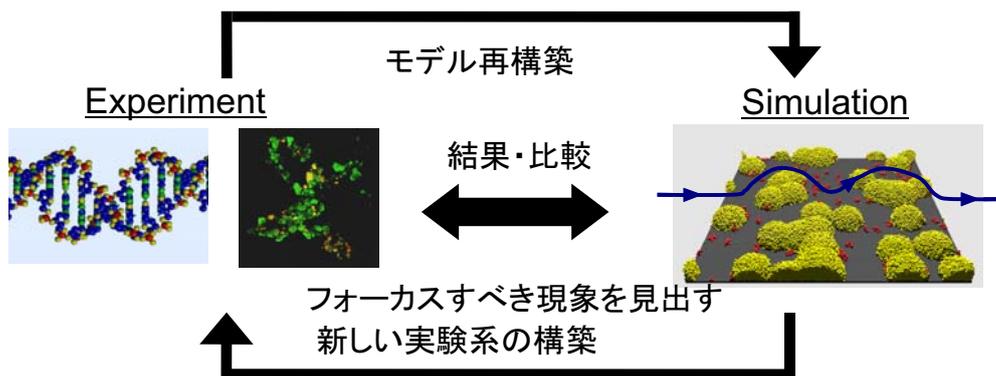


**システム論的アプローチ**  
 シミュレーション支援に基づくシステムデザイン



事業原簿 P.109

# 開発目標(最終目標)



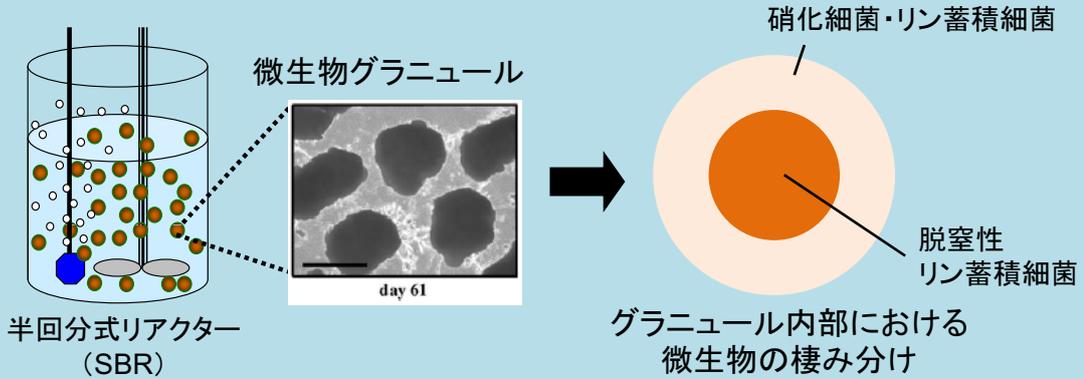
微生物コミュニティで起こる様々な現象の**因果関係・支配因子**の解析

微生物のデザイン化を  
**強力にサポートするシミュレーション技術の開発**

# 研究開発の成果①

## シミュレーションモデル(マクロモデル&マイクロモデル)の構築①

モデル対象: 窒素・リン同時除去型リアクター



マルチスケールモデリング

マクロモデル

(リアクター内グラニューール個数・水質の予測)

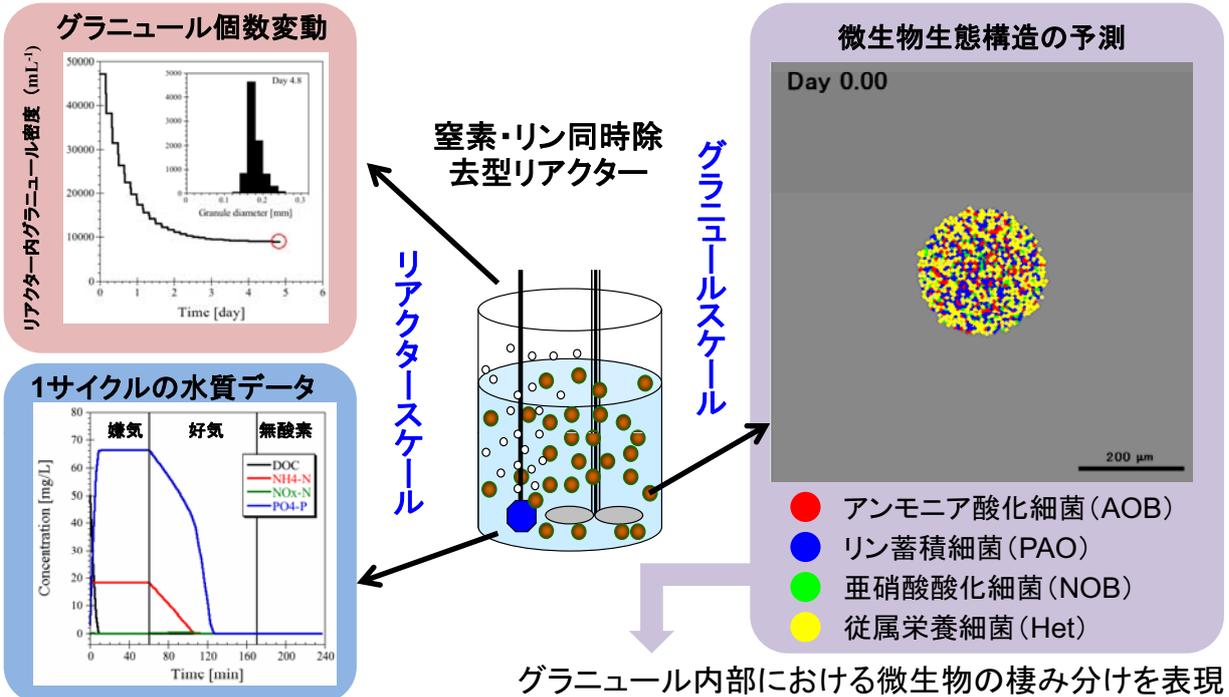
マイクロモデル

(微生物生態構造・水質の予測)

2つのスケールにおけるモデル化に成功

# 研究開発の成果②

## シミュレーションモデル(マクロモデル&マイクロモデル)の構築②



様々なスケールにおける実験データの予測が可能

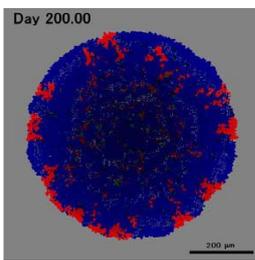
# 研究開発の成果③

## 取得実験データによるシミュレーションモデルの整合性評価

窒素・リン同時除去型  
リアクターの運転

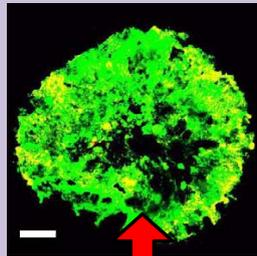


形成グラニューール



シミュレーション結果

FISH法による微生物コミュニティの**実験的**解明

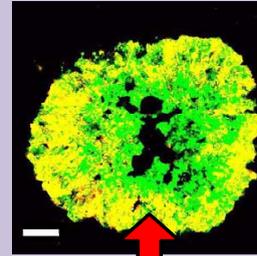


全細菌



アンモニア  
酸化細菌

(アンモニア酸化細菌)  
主に好気部位に点在



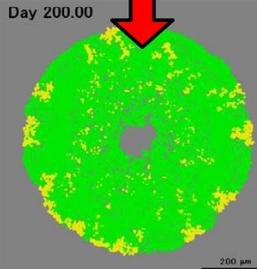
全細菌



リン蓄積  
細菌

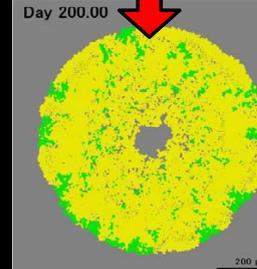
Bar, 200μm

(リン蓄積細菌)  
グラニューール内で優占化



アンモニア  
酸化細菌

その他の  
生細菌



リン蓄積  
細菌

その他の  
生細菌

マイクロモデルによるシミュレーション結果

# 中間目標の達成度、課題と対策

従来

プロセス開発における  
従来のアプローチ

試行錯誤 経験  
実験の繰り返し

→ 非効率的

中間目標

シミュレーションモデル構築・  
評価用実験データ取得

- ①微生物反応パラメータの  
取得(目標達成)
- ②リアクター運転による水質  
データ・グラニューール内部  
の微生物生態構造データ  
の取得(目標達成)

シミュレーションモデル構築

- ③スケールの異なる2種類  
のモデルの新規構築、お  
よび2つのモデルの結合  
手法の確立(目標達成)

最終目標

システム論的アプローチに  
基づく微生物コミュニティ  
デザイン手法の確立

課題

(構築したシミュレーション  
モデルが満たすべき条件)

- ・ 実験データとの整合性
- ・ 予測可能性

システム論的アプローチの適用  
(シミュレーションモデルの構築)

適用先:  
窒素・リン同時除去型リアクター

評価用実験データの蓄積

シミュレーションモデルの改良

- ・ 実験データとの整合性評価とモデル再構築
- ・ 実際的な応用を見据えたブラッシュアップ

# ③嫌気性処理

# 電力中央研究所

# 開発概要(従来の課題と本技術の新規性) ①

## メタン発酵



生ごみなどの固形廃棄物

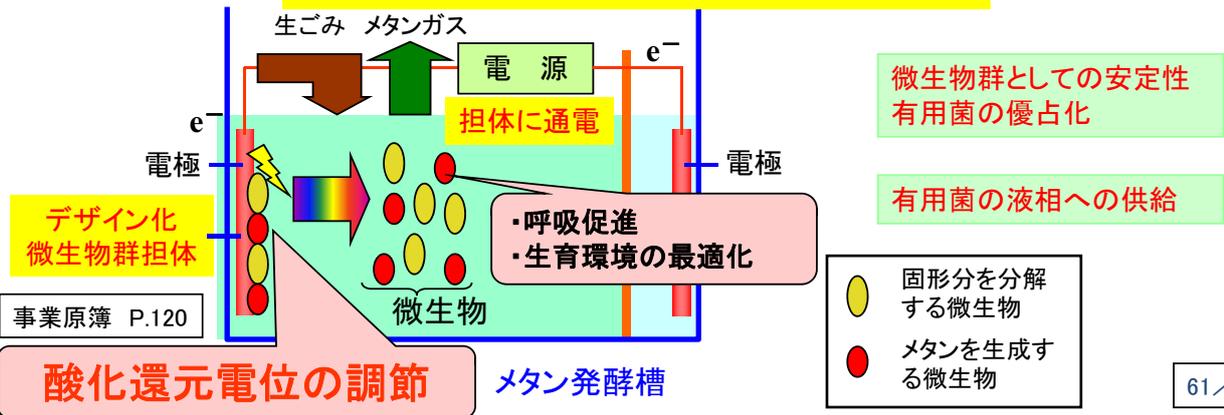
### 従来の課題

- ・固形廃棄物を対象とした場合、高負荷条件での安定性に難
- ・微生物群内の主要微生物の特定や機能解明は行われているが、反応に関与する微生物群を制御する(デザイン化する)技術が無い

### 新規性

固定床(担体)メタン発酵の安定化を目指し、電気による微生物群のデザイン化技術を開発

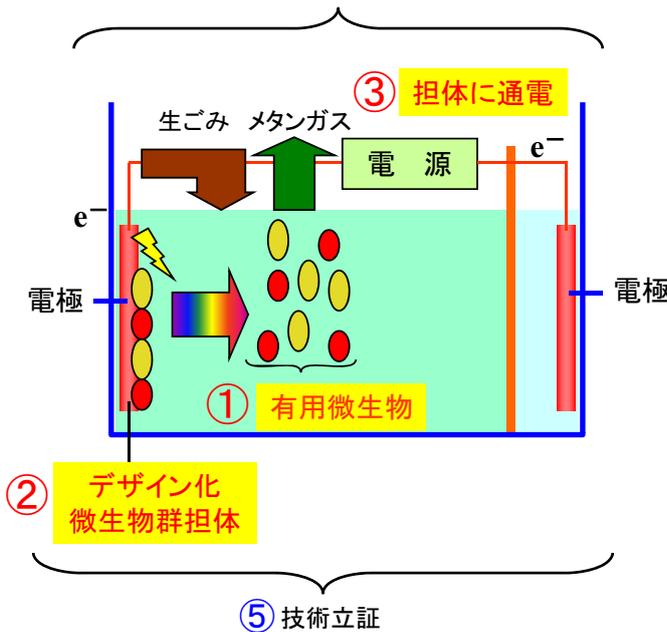
## デザイン化微生物群担体の電気制御



# 開発目標(最終目標) ②

④ バイオエンジニアリング技術

①、②、③:H19-21 ④、⑤:H22-23



① 模擬廃棄物の分解に適した有用微生物群の取得と維持

② デザイン化微生物群担体の作成技術の開発

③ 電気によるデザイン化微生物群担体の制御技術の開発

④ デザイン化微生物群担体のためのバイオエンジニアリング技術の開発

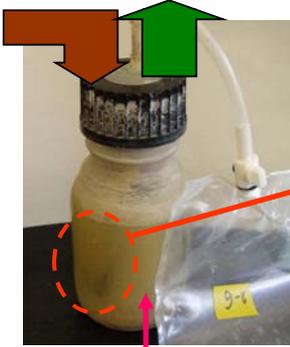
⑤ デザイン化微生物群担体を用いた固定床メタン発酵による技術立証

従来のメタン発酵槽容積に比べて約50%のコンパクト化によりシステム効率を向上

# 研究開発の成果①

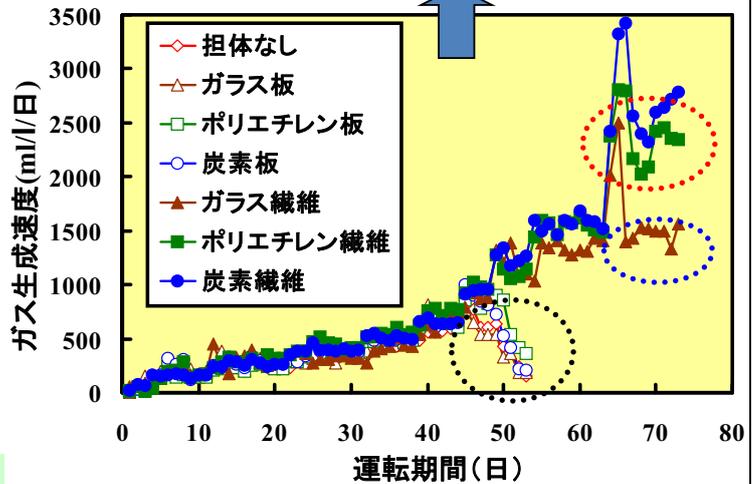
## 有用微生物群の取得とデザイン化微生物群担体の作成

模擬生ごみ メタンガス



高濃度の模擬生ごみを分解できる微生物群の取得に成功

用いる担体の性状によってメタンガス生成能力が異なる



性状の異なる担体を使用した検討により

担体の性状として、  
3次元構造+高い空隙率

微生物量が増大

メタンガス生成能力の増大  
有機物除去能力の増大

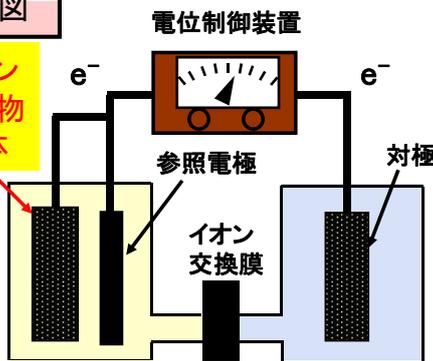
担体を選定し、デザイン化微生物群担体を作成

# 研究開発の成果②

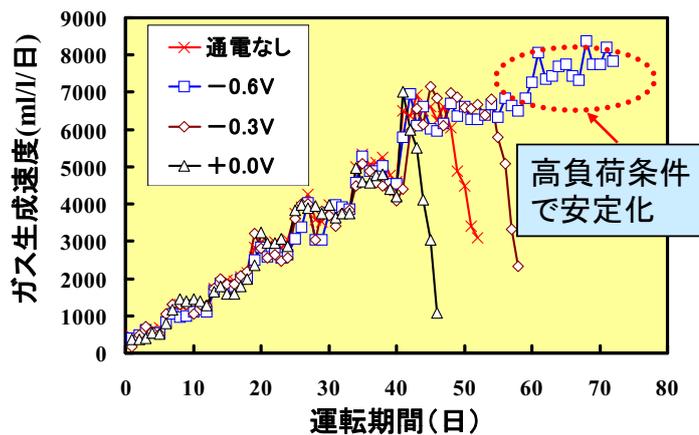
## 電気によるデザイン化微生物群担体の制御(発酵槽の性能)

実験装置の模式図

デザイン化微生物群担体 (作用極)



実験装置の写真



高負荷条件で安定化

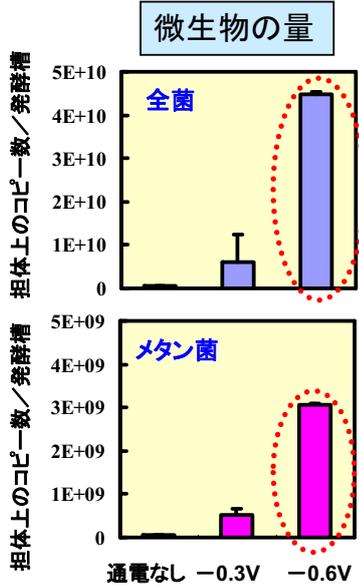
デザイン化微生物群担体 + 電気制御

通電による効果(-0.6V)  
・メタンガス生成能力の維持  
・有機物除去能力の維持

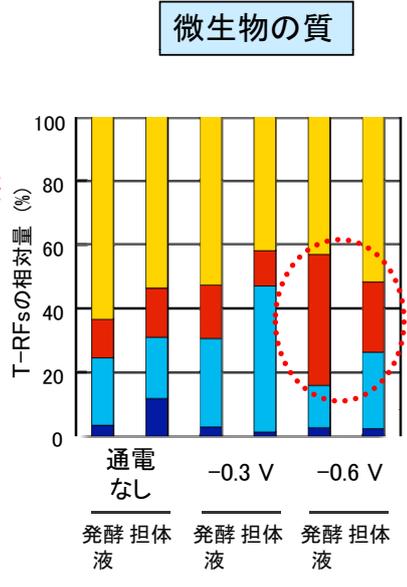
デザイン化微生物群担体の維持

高負荷条件での安定化に成功

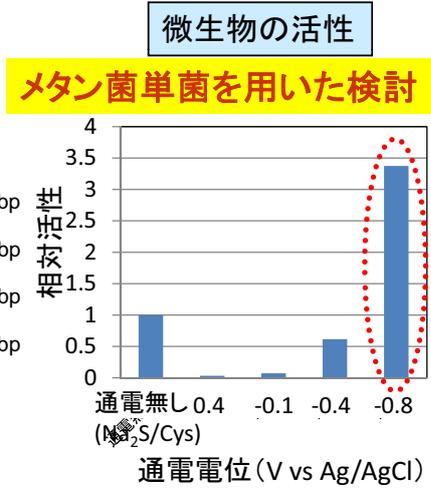
## 電気によるデザイン化微生物群担体の制御(微生物群集構造)



担体上で全菌、メタン菌量が増加



酢酸資化性メタン菌の割合が増大



メタン生成活性の増加

電気制御による効果を再確認

デザイン化微生物群の制御に成功

# 中間目標の達成度、課題と対策

### 従来

#### 【現状の能力】

生ごみ等を対象として稼働している現行のメタン発酵処理施設

日平均容積効率:  
8.5 kgCOD/m<sup>3</sup>/日

### 中間目標

#### 【目標値】

従来の50%にコンパクト化

日平均容積効率:  
17.0 kgCOD/m<sup>3</sup>/日

#### 【達成度】

実験室規模での容量  
250mlのメタン発酵槽

日平均容積効率:  
18.8 kgCOD/m<sup>3</sup>/日

従来の45%にコンパクト化

### 最終目標

#### 【目標値】

従来の50%にコンパクト化

日平均容積効率:  
17.0 kgCOD/m<sup>3</sup>/日

#### 【課題】

発酵槽のサイズを数L規模にスケールアップ



基本技術の立証

目標達成

#### 【確立された新技術】

- ・有用微生物群の取得
- ・デザイン化微生物群担体の作成
- ・通電によるデザイン化微生物群の制御技術の確立

#### 【対策】

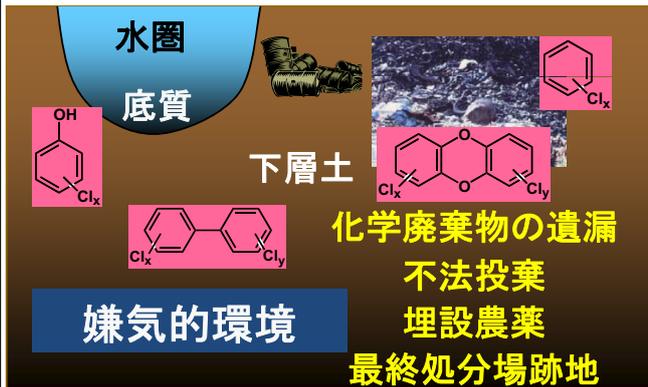
- ・バイオエンジニアリング技術
- ・スケールアップによる技術立証

# 名古屋大学

嫌気

## 開発概要(従来の課題と本技術の新規性)

嫌気性脱塩素・芳香族分解微生物のデザイン化による嫌気完全分解系の構築



- 嫌気環境に残留する芳香族塩素化合物
- 広範囲の物理化学的処理は非現実的

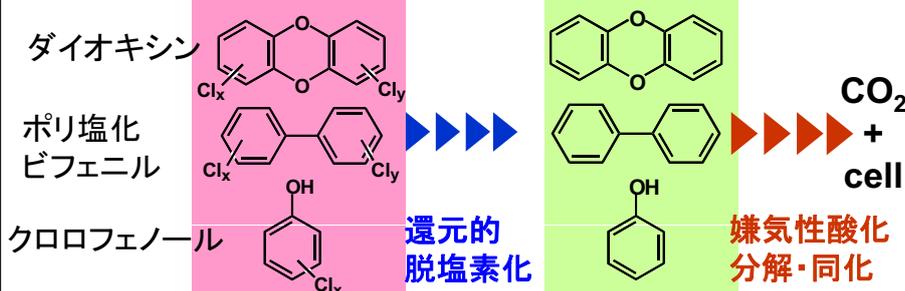
原位置生物分解技術が切望される

原位置生物分解技術における課題

- 浄化には、嫌気的脱塩素反応と好氣的芳香環分解反応の組合せが必要
- 嫌気・好気の切り替えは莫大なエネルギーと費用のため実行不可能

芳香族塩素化合物の新規な嫌気性完全分解方法

優位性

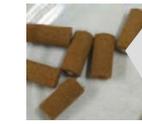
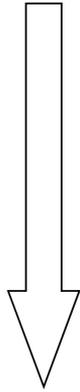


- 嫌気・好気切り替え不要
- 酸素供給系不要
- 容積効率高
- 安価
- 分解ステージ制御不要
- 不均一な原位置やドラム缶保管中の浄化実施可能

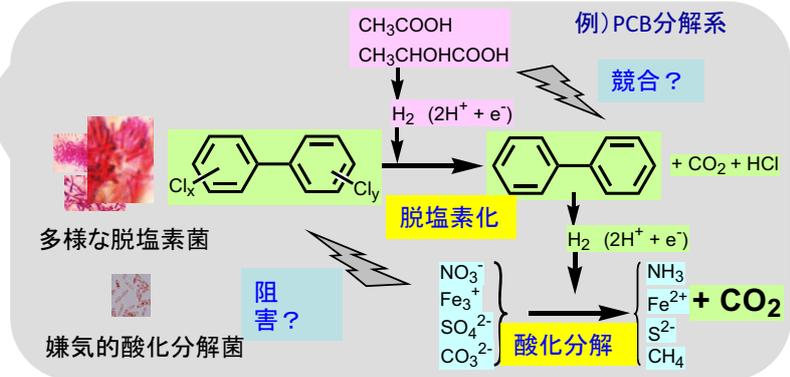
# 開発目標(最終目標)

## 開発項目

1. デザイン化に必要な有用嫌気性微生物群の取得  
嫌気性脱塩素菌(群)、嫌気性酸化分解微生物(群)
2. 簡易な微生物安全性スクリーニング試験法の開発
3. 有用嫌気性微生物群のデザイン化に適した担体合成法の開発
4. 嫌気性脱塩素菌群と嫌気性酸化分解菌群のデザイン化による完全分解技術の開発
5. シミュレーションによる組合せ技術の適応性の評価



無機多孔性担体による異種微生物デザイン化



還元的脱塩素菌+嫌気性酸化分解菌の無機多孔性資材上へのデザイン化による芳香族塩素化合物の嫌気完全分解系の構築

## 最終目標

親水性芳香族塩素化合物の流れ場における高効率嫌気完全分解  
疎水性難分解の芳香族塩素化合物の嫌気封じ込めによる完全分解の実現

# 研究開発の成果①

## デザイン化に必要な嫌気微生物群の獲得に成功

芳香族塩素化合物	脱塩素菌	中間産物	嫌気的酸化菌	最終産物	完全分解系
ペンタクロロフェノール	<i>Firmicutes</i> を主とする微生物群	フェノール	硫酸還元微生物群 鉄還元微生物群	CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	回分系成功 連続系成功
フサライド	<i>Firmicutes</i> を主とする微生物群 <i>Dehalobacter</i> sp.	4-Cl-phthalide	集積中	—	連続系で脱Cl成功
PCB	<i>Firmicutes</i> を主とする微生物群 <i>Dehalobacter</i> sp.	biphenyl, monoCB <sub>s</sub>	集積中	—	—



新規脱塩素菌 *Dehalobacter* sp. の単離に成功

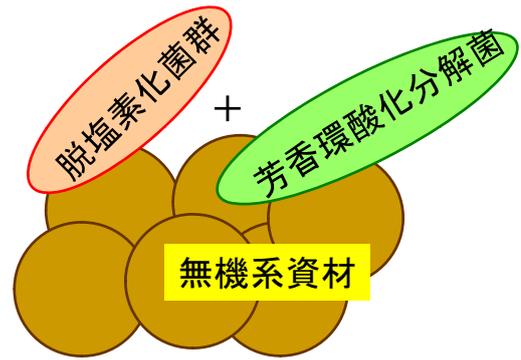
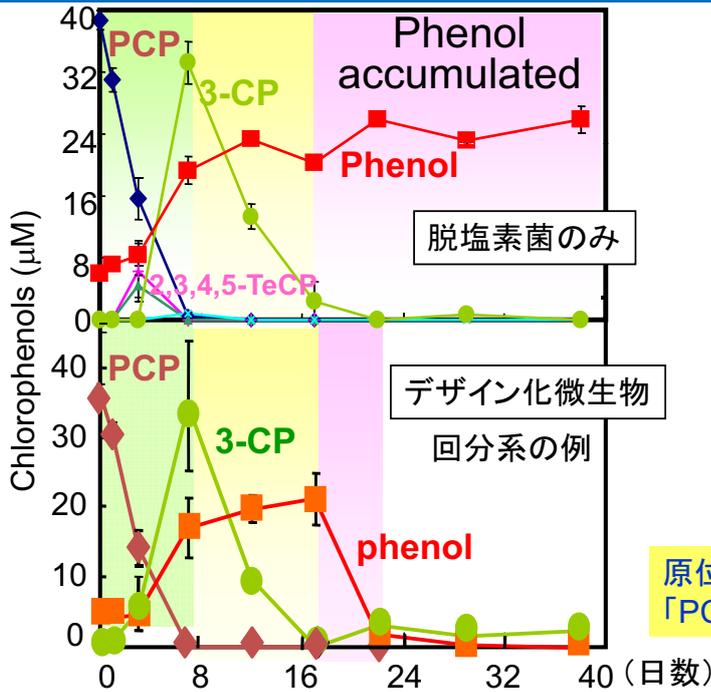
広く環境中に分布する安全な微生物

一方で、



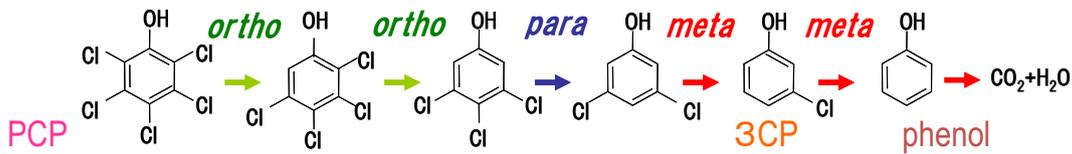
微生物群に対する病原性有無の簡易判定法を考案

# 研究開発の成果②

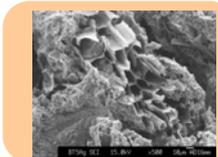


ペンタクロロフェノール (PCP)嫌気完全分解のデザイン化に成功

原位置の透過性反応浄化壁設計に必要な「PCP(50μM)を30日以内の分解」を達成



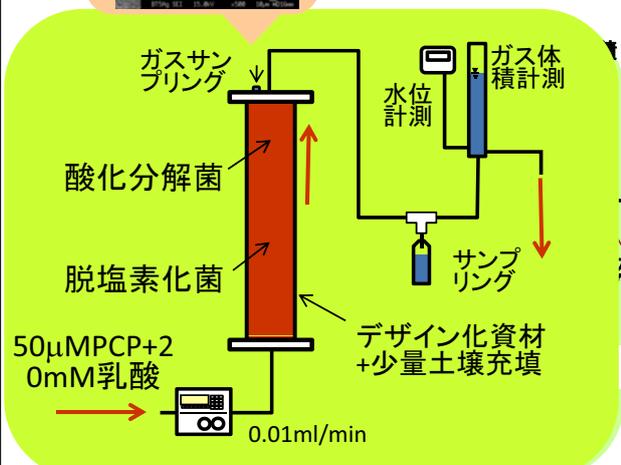
# 研究開発の成果③



## ● 最適資材開発

材料選択と製造プロセスによる

嫌気微生物に適した資材特性解明と合成法に目処



## ● 連続浄化試験

クロロフェノール完全分解を、2カラムから1カラムシステムへ微生物デザイン化によりコンパクト化成功

→ 透過性反応壁として適用を可能に

## ● 予測モデルの開発

微生物バイオマスに基づく分解活性予測モデルの開発

室内実験と現場パラメータから、環境浄化速度を予測する方法論を開発

→ 現地における微生物分解速度および浄化期間の高精度予測が可能に



透過性反応浄化壁

# 中間目標の達成度、課題と対策

従来技術	中間目標	最終目標
<p>有害な多塩素化芳香族塩素化合物の微生物完全分解には、嫌氣的脱塩素反応と好氣的酸化分解反応が必要 嫌気と好気の分解ステージ制御が必要(実際には不可能)</p> <p>根拠資料 Furukawa: Biosci Biotech Biochem, 70: 2335-48 (2006) Ehlers&amp;Rose: Water Environ. Res. 78:701-708 (2006)</p>	<p>① 嫌気性脱塩素菌(群)と嫌気性酸化分解微生物(群)の取得(ほぼ目標達成)クロロフェノール類</p> <p>② 簡易な病原菌検出法の開発(目標達成)病原菌の特異的性質に注目</p> <p>③ 有用嫌気性微生物群のデザイン化に適した担体の性質解明(ほぼ目標達成)合成担体での確認試験中</p> <p>④ 嫌気性脱塩素菌群と嫌気性酸化分解菌群のデザイン化による完全分解技術の開発(ほぼ目標達成) 原位置浄化に必要な50μMクロロフェノールの回分系での分解(&lt;30日)を世界に先駆け達成、流れ場でも分解成功。</p> <p>⑤ 回分系シミュレーションモデル構築(ほぼ目標達成)微生物バイオマスに基づく活性推定モデル</p>	<p>① 嫌気性脱塩素菌(群)と嫌気性酸化分解微生物(群)の取得ポリ塩化ビフェニル・ダイオキシン類</p> <p>② 簡易な新規微生物安全性スクリーニング試験法の開発 実施例の蓄積</p> <p>③ 有用嫌気性微生物群のデザイン化に適した担体合成法の開発最適化合成法の確立</p> <p>④ 嫌気性脱塩素菌群と嫌気性酸化分解菌群のデザイン化による完全分解技術の開発 流れ場に加えて、疎水性芳香族化合物の嫌気封じ込め完全分解系の構築</p> <p>⑤ 流れ場シミュレーションモデルによる組合せ技術の適応性の評価 原位置流れ場シミュレーションモデル</p>
<p>新規Dehalobacter属菌の発見 嫌気性脱塩素菌と嫌気性酸化分解菌の嫌気デザイン化により、 世界に先駆けペンタクロロフェノール完全分解に成功</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>流れ場でのクロロフェノール類(50μM)完全分解(30日未満)能力の長期維持</li> <li>ポリ塩化ビフェニル・ダイオキシン類等の嫌気封じ込め 完全分解系の構築</li> </ul>	

# 中間目標(基本計画の値)の達成度

- 比較的亲水性の芳香族塩素化合物を対象に、嫌気性脱塩素菌と嫌気性芳香族酸化分解菌を選抜し、無機担体上へのデザイン化による嫌気性での芳香族塩素化合物完全分解を可能にする。(100%達成)  
実用化可能な嫌気+嫌気微生物技術の開発に成功した。
- デザイン化微生物群の活性を高める条件を明らかにし、透過性反応壁として必要な活性(50μMのペンタクロロフェノールを30日以内に完全分解)を、従来技術の50%コンパクト化をした反応場で達成する。(90%達成)  
回分系では既に達成(50μMを24日で完全分解)  
従来のコンセプトである嫌気+好気微生物技術(非実用化技術)と同容積反応場(2カラムシステム)で同等の速度(16日程度)で完全分解を達成  
嫌気+嫌気微生物技術の50%コンパクト化反応場(1カラムシステム)で、26日で85%完全分解を達成。更に活性向上を行う。

## 省エネルギーおよび低コスト化の試算

想定場面: PCP表層土汚染~地下水汚染の浄化処理  
(広さ1,000m<sup>3</sup>、地下水面GL-3m、不透水層GL-7m)

従来技術: 遮水・掘削除去・熱脱着 47,780千円、453t-CO<sub>2</sub>

本技術: 嫌気+嫌気微生物デザイン化技術 31,360千円、168t-CO<sub>2</sub>

# PJ成果のまとめ

## 好気性処理

- 活性汚泥法  
内生呼吸低減率  
40%達成(目標35%)
- 高効率油脂分解  
従来のグリーストラップ  
と比べ3倍の効率化
- 石油分解  
*Cycloclasticus*の培養  
支持体の部分構造と  
機能を解明

## 好気嫌気処理

- 部分硝化-ANAMMOX  
世界最高の窒素除去速度  
達成  
システムの省スペース化
- バイオフィルム工学  
アンモニア除去の効率  
約3倍
- 溶存メタン酸化分解  
人工排水中の溶存メタン  
90%以上除去
- シミュレーションモデル構築  
パラメータの取得  
2つのモデルの構築・結合

## 嫌気性処理

- 高効率メタン発酵  
従来の45%のコンパクト化
- 芳香族塩素化合物の  
一貫嫌気分解  
従来の嫌気+好気技術  
に比べ約1/2のコンパクト化

2年後に最終目標を達成できる見込み

# 詳細説明

## Ⅲ 成果

## Ⅳ 実用化の見通し

1/13

# ①好気性処理

2/13

# 実用化への見通し・波及効果

必要酸素量 = ① + ② + ③

1000m<sup>3</sup>/日、BOD200mg/L、NH<sub>4</sub>-N30mg/Lを処理したときの必要酸素量

	従来法 活性汚泥法	従来法 循環変法	開発目標値 中間	開発目標値 最終
①BOD酸化	1.30	0.75	0.84	0.40
②内生呼吸	0.90	0.90	0.80 (△10%)	0.28
③硝化	0.60	0.60	0.44 (△25%)	0.22
合計	2.8(100)	2.25(80)	2.08(74)	0.9(32)

注) 従来法は井出「水処理工学」技報堂(1986)を参考に計算

単位 × 1000kg-O<sub>2</sub>/日

## 中間目標 → 達成

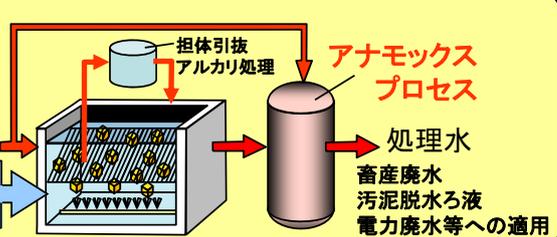
内生呼吸量 △40%  
亜硝酸型での低減 △25%

事業原簿 P.145

## 最終目標

アナモックスとの  
ハイブリッド化

内生呼吸低減型  
硝化プロセス



# 実用化への見通し・波及効果

## 実用化(出口)

個別排水への適用  
(油脂含有排水)



### グリーストラップ

- ・外食産業
- ・ホテル食材センター等

### 油処理

- ・食品工場など



## 波及効果(技術の汎用性)

### 微生物製剤

品質管理・保存技術

### ボトムアップ型機能性 バイオフィルム

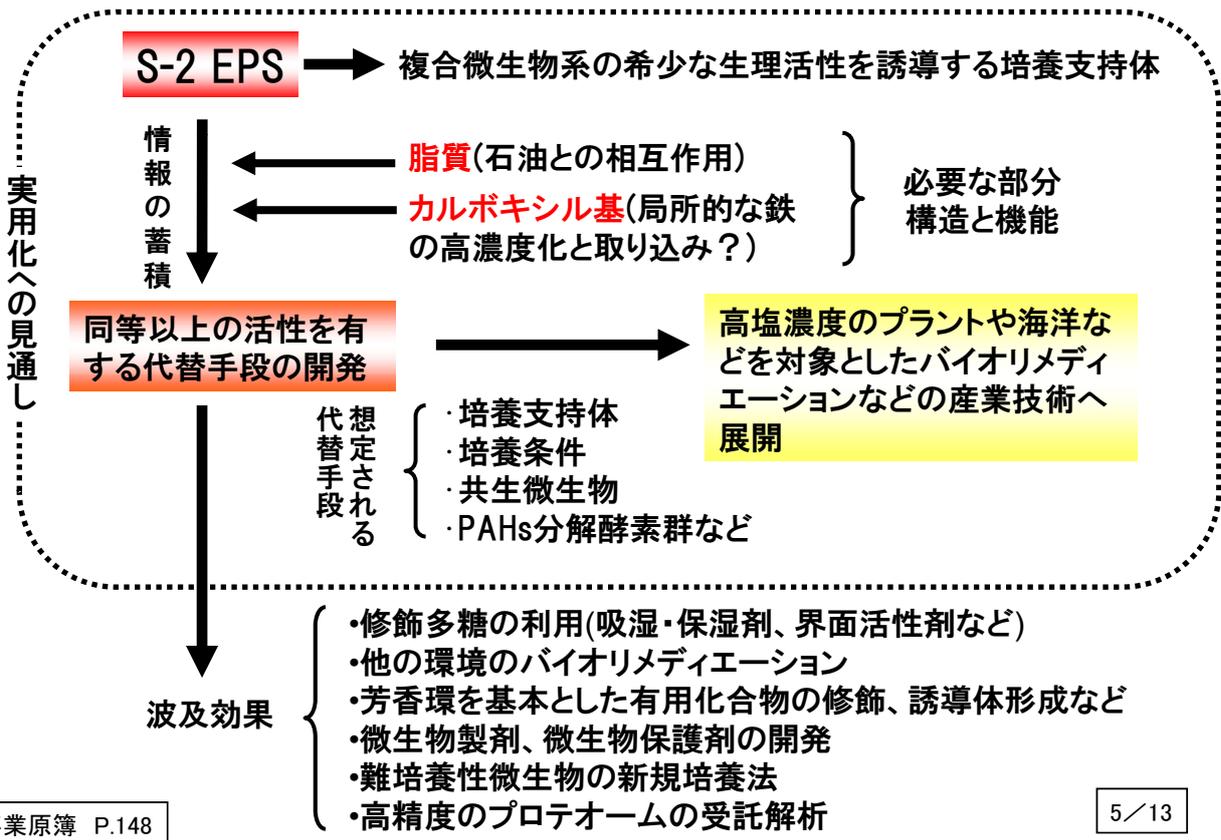
- ・微生物洗剤
- ・種汚泥・コンポスト
- ・特殊廃水処理
- ・環境水の浄化
- ・バイオレメディエーション
- ・工業用微生物触媒



事業原簿 P.147

4/13

# 実用化への見通し・波及効果



## ②好気嫌気処理

# 実用化への見通し・波及効果

## DHSリアクターの実用化への見通し

- 今までの検討で、DHSを用いたメタン酸化およびリン回収は当初想定した以上の良い結果を得た。
- 本技術の基盤である好気性DHSリアクターの性能はインドや国内の下水処理場で既に実証済み。



プロジェクトを推進し、実排水を用いてその性能を実証すれば、問題なく実用化が期待できる。



インドで稼働中のDHS実証プラント

## 波及効果

従来の下水・排水処理技術にDHSリアクターを組み合わせる事で、環境対応型排水処理システムとして日本の技術を世界にアピールできる。

# 実用化への見通し・波及効果

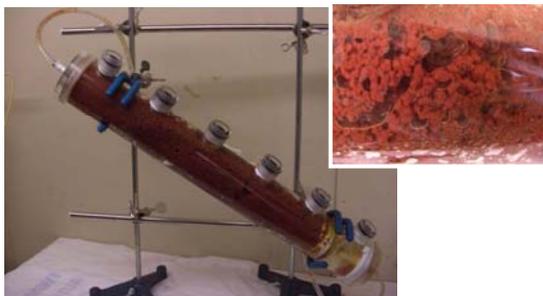
## 1. 窒素の排出規制の強化

■閉鎖性水域へ排出される排水の窒素・リンについては、2009年度から第6次総量規制の導入

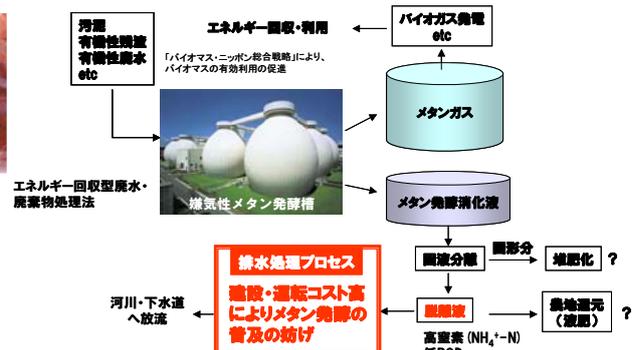
## 2. 嫌気性消化の促進

■嫌気性メタン発酵＋部分硝化—ANAMMOX反応の開発

- ◆ 脱離液の処理コスト・エネルギーの削減
- ◆ 汚泥焼却処分のための消費エネルギー(化石燃料の消費)及び CO<sub>2</sub>発生量の削減
- ◆ メタンガスによる利用可能なエネルギーの回収・補填
- ◆ 汚泥埋め立て用地の残余年数を延長化



事業原簿 P.150 超高速Anammoxリアクター



# 実用化への見通し・波及効果

## 実用化

- ・ 工業廃水処理硝化槽への適用による窒素除去コストダウン
- ・ 全国の原油汚染土壌(ブラウンフィールド)への適用による土地活用
- ・ 湖沼汚染水への適用による水質浄化



工業廃水、火力発電所廃水処理槽

## 波及効果

- ・ デザイン化微生物群環境修復キットの発売
- ・ 根圏細菌によるバイオマス燃料用植物増産



石狩市厚田油田跡の石油汚染土壌

# 実用化への見通し・波及効果

## 実用化(出口)イメージ

微生物デザイン化に基づく  
新規プロセス

プロセスの有効性・  
性能の予測

要求

回答

高効率化したい  
環境バイオプロセス

仮想実験  
(シミュレーション)

最適化するための  
操作手順の取得

## 波及効果(技術の汎用性)

生態構造(構成種・空間配置)の制御が重要な環境バイオ処理技術全般(※)における**処理効率の飛躍的向上・開発コストの低減**

※バイオフィルム, グラニュール, 包括固定, フロックなど

# ③嫌気性処理



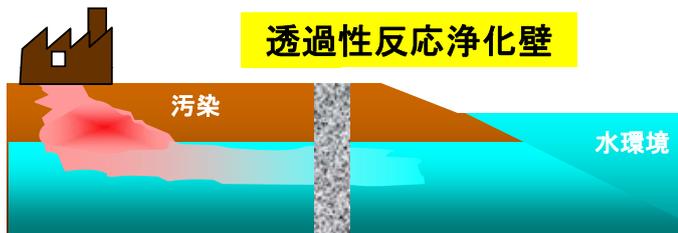
# 実用化への見通し・波及効果

## 嫌気性脱塩素・芳香族分解微生物のデザイン化による嫌気完全分解系の構築

### 実用化(出口)

#### 達成目標

- ・ 流れ場における高効率な嫌気完全分解
- ・ 嫌氣的封じ込めによる完全分解の実現



### 波及効果(技術の汎用性)

#### 開発しつつある要素技術

- ・ 有用嫌気性微生物資材
- ・ 簡易病原微生物スクリーニング
- ・ オーギュメンテーション技術
- ・ 原位置シミュレーション



#### 波及効果

- ・ 底質や工場用地等での化学物質バリア
- ・ 各種微生物技術の安全性試験
- ・ 微生物の環境への新規導入方法
- ・ 現地の自然減衰における浄化期間予測



ドラム缶保管  
汚染土の浄化

微生物担体+ベントナイト  
の層状システム

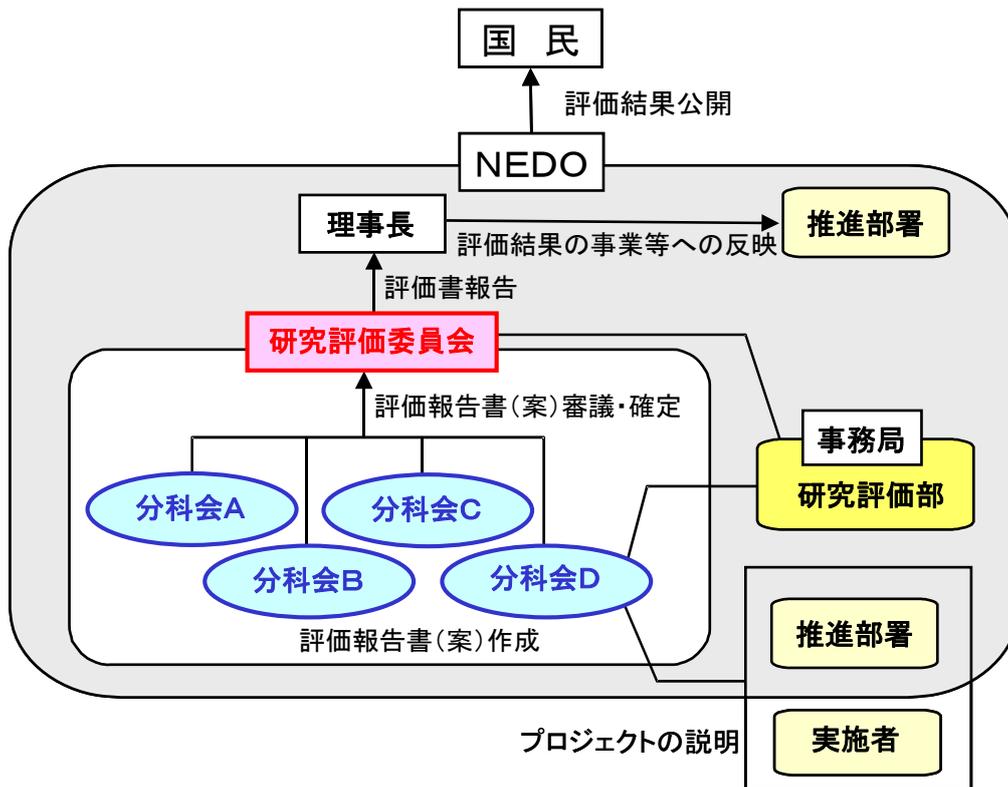


## 参考資料 1 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



## 1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において。

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
- 社会に対する説明責任を履行するとともに、  
経済・社会ニーズを取り込む
- 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を  
促進する

としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

## 2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題その他社会的ニーズ  
関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、分科会委員名簿にある6名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構研究評価広報部が担当した。

## 3. 評価対象

平成19年度に開始された「微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発」プロジェクトを評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

#### 4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、研究実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

#### 5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべき者である。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料 1-7 頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 環境安心イノベーションプログラム、エネルギーイノベーションプログラムの目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 2. 研究開発マネジメントについて

#### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。

#### (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われ

る体制となっているか。

#### (4)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### 4. 実用化の見通しについて

##### (1) 成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。

##### (2) 波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 標準的評価項目・評価基準（中間評価）

2008. 3. 27

### 【中間評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第17回研究評価委員会（平成20年3月27日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1・・・、2・・・、3・・・、4・・・が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)・・・、(2)・・・が標準的評価基準、それぞれの基準中の・・・が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの中間評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 2. 研究開発マネジメントについて

##### (1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法をを経由する場合、研究管理法が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。

- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

## 4. 実用化、事業化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

### (2)事業化までのシナリオ

- ・ コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

### 3. 研究開発成果について

#### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### 4. 実用化の見通しについて

##### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

##### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

#### 3. 研究開発成果について

##### (1)中間目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

##### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

##### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### (5)成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見込みか。
- ・ 最終目標に向け、課題とその解決の道筋が明確に示され、かつ妥当なものか。

### 4. 実用化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

#### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO 技術開発機構）研究評価部が委員会の事務局として編集しています。

平成21年9月

NEDO 技術開発機構

研究評価部

統括主幹 竹下 満

主幹 寺門 守

担当 森山 英重

\* 研究評価委員会に関する情報は NEDO 技術開発機構のホームページに掲載しています。

(<http://www.nedo.go.jp/iinkai/kenkyuu/index.html>)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地  
ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162