

## 平成23年度実施方針

バイオテクノロジー・医療技術部

## 1. 件名：

プログラム名 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  
(大項目) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発  
(中項目) 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

## 2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ニ

## 3. 背景及び目的・目標

## (1) 背景及び目的

「生物機能活用型循環産業システム創造プログラム」は、工業プロセスや環境関連分野へのバイオテクノロジーの利用を促進することにより、生物機能を活用した高度モノ作り社会の構築を図りつつ、廃棄物、汚染物質等の生分解・処理技術の高度化を通じ、環境に調和した循環型産業システムの創造を図るものである。本プロジェクトは上記プログラムの一環として、「微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発/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」を開発する。

我が国が取り組むべき火急の課題である、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には、物質生産プロセス（モノ作り）とその後処理の両面における技術開発が必要である。後処理においては、第3期科学技術基本計画（平成18年3月制定）における重点推進4分野の一つであるライフサイエンス分野において、「生物機能を活用した環境対応技術開発」が重要な研究開発課題として位置付けられる等、生物機能を活用した廃水、廃棄物の処理技術の高効率・高度化が求められている。

従来の産業における廃水・廃棄物処理技術は、①エネルギー多消費・廃棄物多排出、②低処理能力・対象廃棄物限定等といった課題を抱えている。例えば、①については、現行の廃水処理方法において、活性汚泥法が全体の約8割を占めており、その曝気に必要な電力量を石油換算エネルギーとして換算すると日本全体のエネルギー需要量の少なくとも約1.9%を占め、エネルギー消費量が多い。また、現在の廃水処理から発生する余剰汚泥や未利用有機性廃棄物の焼却・埋立処分に係るエネルギー・コストも相当なものになっている。現状のメタン発酵法においても、適用困難なものも含め年間発生する有機性廃棄物の総量約3億トンのうち、適用困難な対象の未利用食品廃棄物は年間約1,760万トンに上っている状況である。②については、産業が多様化する中、多種多様な産業廃水・廃棄物（高濃度廃水や難分解性物質を含む）に適用可能な処理技術の開発が必要とされている。

これまで、このような課題に対し様々な工学的アプローチによる高度化はなされてきたものの、微生物群自体については、依然としてブラックボックスのままであり、自然の摂理の域を出ていなかった。近年になり、我が国の関連研究開発プロジェクトをはじめ国内外において、廃水、廃棄物

の処理における主要な微生物群の分離、同定、機能解明及び主要微生物群のモニタリング技術等の開発が進められ、知見が集積されつつある。

そこで、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）は特定有用微生物（群）の人為的な安定的導入・維持技術、また空間配置・優占化技術（これらの技術を以下、「デザイン化技術」という）等を開発することにより微生物群の処理効率を大幅に向上させるなど、処理技術の課題を克服することを目指して本プロジェクトを実施する。

本プロジェクトでは、我が国の有する知見を活かしつつ、微生物群のデザイン化技術等を開発することにより、省エネルギーで余剰汚泥を大幅に削減し、コンパクトでメンテナンスが容易であり、あるいは多様な廃水・廃棄物への適用が可能になる高効率型廃水、廃棄物処理（主として活性汚泥法・メタン発酵法を対象）の基盤技術を確立し、微生物機能を活用した環境調和型産業システムの創造に資する技術を開発することを目的とし、以下の検討項目に従い研究開発を推進する。

#### ①微生物構成の最適化

構成微生物群に対し、その相互関係の解析・把握に基づき、特定有用微生物（群）を安定的に導入し優先化・維持する技術、例えば、電気エネルギーを消費する曝気（エアレーション）が少なくなる様な内生呼吸低減微生物（群）を導入・優先化する技術の開発。

#### ②微生物の空間配置の最適化

微生物と固体表面との相互作用及び微生物間の相互作用の解析により、集団を構成する安定有用微生物群を空間配置させ安定的に維持・優占化する固定化担体、DHSリアクター等を開発するとともに、これに伴う維持・優占化のための手法（固定化法、電気制御等）の開発。

#### ③高機能微生物の利用

高効率窒素除去用 Anammox（アナモックス）菌の利用。

### (2) 目標

中間目標（平成21年度）

#### ① 好気性微生物処理技術における特定有用微生物（群）を人為的に安定的導入・維持するための技術の開発

- ・ 特定有用微生物（群）を選抜・評価し、それら集団を構成する微生物群に人為的に安定導入・維持するための技術面での見通しが確実に得られていること。
- ・ また、以上の開発された技術とその機能を最大限発揮させるためのバイオエンジニアリング技術の成果とを合わせて、従来の標準活性汚泥法の曝気処理プロセスの約3倍の高効率化を図る見通しが確実に得られていること。

#### ② 嫌気性微生物処理技術における特定有用微生物群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

- ・ 特定有用微生物群を選抜・評価し、それらを、集団を構成する微生物群内において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面での見通しが確実に得られていること。
- ・ また、デザイン化された微生物群の機能を最大限発揮させるためのバイオエンジニアリング技術を開発し、その成果を組み合わせ、従来のメタン発酵槽に比べて約50%のコンパクト化によりシステム効率の向上を実現する見通しが得られていること。
- ・ 従来のメタン発酵法では対応が困難であった性状・組成の有機性廃棄物の種類への適用拡大の見通しが確実に得られていること。

最終目標（平成23年度）

① 好気性微生物処理技術における特定有用微生物（群）を人為的に安定的導入・維持するための技術の開発

- ・ 特定有用微生物（群）を、人為的に安定導入・維持するデザイン化技術が開発されており、微生物群の処理機能の技術的有効性を評価する技術が開発されていること。
- ・ また、デザイン化された微生物群の機能を最大限発揮させるためのバイオエンジニアリング技術を開発し、その成果を組み合わせることにより、従来の標準活性汚泥法の処理プロセスの約3倍の高効率化を図ること。これにより、従来の標準活性汚泥法の処理プロセスでのエネルギー使用量の約2/3の削減を図ること。
- ・ さらに、実用化に資するための検証可能なテストプラント規模にて評価を行うこと。

② 嫌気性微生物処理技術における特定有用微生物群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

- ・ 特定有用微生物（群）を人為的に空間配置させ安定的に維持・優占化するデザイン化技術が開発されており、微生物群の処理機能の技術的有効性を評価するための技術が開発されていること。
- ・ また、デザイン化された微生物群の機能を最大限発揮させるためのバイオエンジニアリング技術を開発し、その成果を組み合わせることにより、従来のメタン発酵プロセスの約3倍の高効率化を図ること。
- ・ これにより、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するとともに、従来のメタン発酵法では対応が困難であった性状・組成の有機性廃棄物の種類への適用拡大を可能とすること。
- ・ さらに、実用化に資するための検証可能なテストプラント規模にて評価を行うこと。

4. 実施内容及び進捗（達成）状況

国立大学法人大阪大学名誉教授 藤田 正憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施した。最終年度に向け着実に成果が具現化し、プロジェクトは順調に推移している。プロジェクトリーダー、経済産業省生物化学産業課、NEDOで研究現場を訪問し、研究開発の進捗（達成）の確認、研究内容に関し助言、指摘などを行った。

4. 1 平成22年度（委託）事業内容

① 好気性微生物処理技術における特定有用微生物（群）を人為的に安定的導入・維持するための技術の開発

平成22年度までに、下水処理場活性汚泥などから単離した曝気エネルギー量低減のための内生呼吸低減菌について各種基質資化性、安定同位体による物質収支や内生呼吸特性など詳細に評価し、曝気量低減に向けた廃水処理活用での有用性を確認した。同時にこれら有用菌を用いた処理でのコンタミ防止策として「担体のアルカリ処理法」をビーカ規模合成廃水連続処理で実験し、コンタミ防止の安定性や経済性を確認した。

また、集団を構成する微生物群へ特定有用微生物（群）を安定的に導入する技術として、包括固定高分子ゲルの利用や高性能の各種担体の候補を選定でき、これらの候補菌株、例えば油脂分解能力を示す微生物の安定的な優占化・維持の評価の検討を行った。

さらに“一機通関システム”の加速化予算を執行し、実廃水処理試験に向けて実証装置を作製し、実証試験研究を開始した。

[実施体制:株式会社日立プラントテクノロジー(再委託:学校法人中央大学)、国立大学法人広島大学大学院工学研究科、国立大学法人北海道大学工学研究科、国立大学法人北海道大学大学院地球環境科学研究院]

② 嫌気性微生物処理技術における特定有用微生物群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

平成20年度までに開発した特定有用微生物群を人為的に維持したデザイン化微生物群担体に対して通電による電位制御効果をメタンガス生成、有機物除去能から評価し、有機性廃棄物の高負荷条件でも安定的な処理能力を発揮する設定電位を確認した。また、微生物群集の解析により電位制御された発酵槽内で、有用微生物群が安定的に維持されることを確認した。これらの結果から、デザイン化微生物群担体の有用微生物群を維持・優占化する技術開発の見通しが得られた。

さらに平成22年度には“一機通関システム”の加速化予算を執行し、実廃棄物処理試験に向けて実廃棄物に想定される阻害物質がデザイン化微生物群担体の処理性能に及ぼす影響確認等を行った。

[実施体制:財団法人電力中央研究所(共同実施:国立大学法人東京大学)、国立大学法人北海道大学工学研究科、国立大学法人北海道大学大学院地球環境科学研究院]

4. 2 実績推移

	19年度	20年度	21年度	22年度	合計
実績額推移 需給勘定(百万円)	188	192	170	108	658
特許出願件数	1	5	1	1	8
論文発表数	6	9	19	14	48
フォーラム等(件)	28	52	22	31	133

予算実績額；加速予算も含む。

5. 事業内容

国立大学法人大阪大学名誉教授 藤田 正憲氏をプロジェクトリーダーとし、以下の研究開発を実施する。実施体制については、別紙を参照のこと。

5. 1 平成23年度(委託)事業内容

省エネルギー効果が大きく高効率の廃水・廃棄物等処理を目指し、微生物群の構成や配置等を人為的に制御する技術等を開発するため、以下の技術開発を行う。

① 好気性微生物処理技術における特定有用微生物(群)を人為的に安定的導入・維持するための技術の開発

下記研究開発テーマ:1)、2)及び4)、5)が該当する。

② 嫌気性微生物処理技術における特定有用微生物群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

下記研究開発テーマ:3)及び4)、5)が該当する。

#### 1) 有用微生物群による高効率好気水処理技術の研究開発

「担体のアルカリ処理法」を組み込んだ亜硝酸型硝化反応装置を、アナモックス装置と連動させ一体処理型廃水処理を行う。一体処理での亜硝酸型硝化反応の処理安定性や亜硝酸型硝化反応の処理操作因子、および本技術適用による経済性を評価する。有用菌として担体へ包括固定化したアンモニア酸化細菌を用いる。評価に当たり担体内部のアンモニア酸化細菌の種類や量、亜酸化窒素ガス排出量などを解析する。また、亜硝酸型硝化反応によるエネルギー低減量などを最終評価する。

[実施体制：株式会社日立プラントテクノロジー（再委託：学校法人中央大学）]

#### 2) 高濃度微生物保持 DHS リアクターによるリン回収技術の開発

5mgP/L のリン含有模擬排水に対して、密閉型 DHS リアクターを用い、リアクター内の環境を嫌気と好気に繰り返すことで、リン除去と共に 100mgP/L 以上のリン濃縮液として回収できることをこれまで実証した。しかし、リン回収率はリン回収濃縮液のリン濃度を高めようとする と低下する。この原因が好気条件に切り替えた直後の好気処理水に微生物保持担体に残っている濃縮リン含有液が含まれているためと考えられたため、平成 22 年度は好気条件に切り替えた直後の 1 時間は処理水を放流せずに、密閉型 DHS リアクターに循環させてポリリン酸蓄積細菌にリンを取り込ませる対策を考案し、処理実験を行ったところリン回収率が飛躍的に向上した。しかし、リン回収率はまだ 70% 程度に留まっている。この解決策にはリン負荷を制御しながら運転する必要があり、平成 23 年度は、下水処理場に設置するパイロットプラントを用いて、実下水からリン回収率 80% で 100mgP/L の濃縮液が回収できることを実証する。

また、集積培養したグリコーゲン蓄積細菌とポリリン酸蓄積細菌のゲノム解析の比較および実証試験結果を基に最適な嫌気/好気時間などの DHS リアクターの操作・運転方法を確立する。

[実施体制：国立大学法人広島大学大学院工学研究科]

#### 3) デザイン化微生物群を用いた高効率固定床メタン発酵の研究開発

平成 22 年度までに試作および模擬生ごみで性能評価した数 L スケールの通電型メタン発酵槽に対して、実廃棄物（有機系窒素廃水等）を用いた処理性能を確認し、従来の処理法と比較して通電型メタン発酵槽の優位性を証明する。

また、発酵機能の特徴付けている微生物群の解析によりその特徴を評価し、電気による微生物群のデザイン化の基本技術を立証する。

[実施体制：財団法人電力中央研究所（共同実施：国立大学法人東京大学）]

#### 4) 嫌気性アンモニア酸化 (ANAMMOX) プロセスを軸とした高効率窒素除去システムの開発

部分硝化リアクターと ANAMMOX リアクターの個々のさらなる効率化・安定化を図る。部分硝化—ANAMMOX 並列型リアクターにおける  $N_2O$  の生成量を定量し、従来の硝化—脱窒プロセスと比較し ANAMMOX プロセスの優位性を検討する。

平成 20 年度に解析した ANAMMOX 細菌 (*B. anammoxidans*) のゲノムドラフトシーケンス情報を精査するとともに、重要な代謝酵素遺伝子や炭素固定（同化反応）経路などを、*Kunenia stuttgartiensis* のデータと比較検討する。

また、実廃水を用いたプラント実験を行い実用化の可能性を検討する。

[実施体制：国立大学法人北海道大学工学研究科]

## 5) バイオフィルム工学による微生物のデザイン化の研究開発

前年度に引き続き、アンモニア酸化細菌 (*Nitrosomonas europaea*) の活性を促進あるいは阻害する従属栄養細菌 (ヘルパー細菌およびインヒビター細菌) がそれぞれ生産する原因因子の特定を目指す。

またバイオフィルムや包括固定ゲル中におけるそれぞれの細菌の効果についても検討する。活性汚泥処理法の効率および安定性に問題のある高塩濃度高温廃水の処理に適した新規アンモニア酸化細菌を取得する。ANAMMOX 細菌のグラニュール形成機構の解析についてゲノム情報の活用と膜タンパク質の発現解析を継続する。

原油汚染土壌浄化に対するバイオフィルム工学の有効性をナフタレン分解細菌とアルカン分解細菌についてそれぞれ検証する。

水生植物根圏のバイオフィルム特異的なアルカン分解制御機構に関する解析を行なう。

以上で得られる最終成果を廃水・廃棄物の高効率処理技術へ集約させる。

[実施体制：国立大学法人北海道大学大学院地球環境科学研究院]

## 5. 2 平成23年度事業規模

### 委託事業

需給勘定 101百万円 (継続)

(注) 事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他の重要事項

### 6. 1 評価の方法

NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の事後評価を平成24年度に実施する。

### 6. 2 運営・管理

研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルを最大限に活用して効率的に研究開発を推進する観点から、研究体制には、研究開発責任者 (プロジェクトリーダー) を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省、プロジェクトリーダー及び実施者の責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、研究開発検討会議を実施し、運営管理に反映させる。

### 6. 3 複数年度契約の実施

平成22～23年度の複数年度契約を行う。

### 6. 4 中間評価結果に基づく変更等

平成21年に実施された中間評価結果に基づき、委託先を集約するとともに、これまでに蓄積さ

れてきた微生物のデザイン化技術研究の成果をもとに、実廃水システムの実証プラントを作製することとした。

## 7. スケジュール

### 7. 1 本年度のスケジュール

平成24年2月下旬・・・第6回研究開発検討会議開催（平成23年度研究結果報告会）

## 8. 実施方針の改定履歴

(1) 平成23年3月10日、制定

(2) 平成23年7月7日、非化石エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律の施行により、根拠法を改定。

(別紙) 本事業の実施体制図

「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」実施体制

