

# 「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」

## 事後評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
プロジェクト概要 .....	2
評価概要（案） .....	6
評点結果 .....	11

## はじめに

本書は、第31回研究評価委員会において設置された「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」（事後評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成24年4月19日））において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第32回研究評価委員会（平成24年10月10日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成24年10月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会「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」分科会  
（事後評価）

分科会長 遠藤 銀朗

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会  
「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」

(事後評価)

分科会委員名簿

(平成24年4月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	えんどう ぎんろう 遠藤 銀朗	東北学院大学 工学部 環境建設工学科 教授
分科会長 代理	ふるかわ けんじ 古川 憲治	前熊本大学 大学院自然科学研究科 複合新領域科学専攻 教授
委員	はらだ ひでき 原田 秀樹	東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻 教授
	みたに ゆたか 三谷 優	サッポロビール株式会社 価値創造フロンティア研究所 研究主幹
	むらかみ たかお 村上 孝雄	地方共同法人 日本下水道事業団 理事
	やすい ひでなり 安井 英斉	北九州市立大学 国際環境工学部 エネルギー循環化学科 教授

敬称略、五十音順

# プロジェクト概要

## 概要

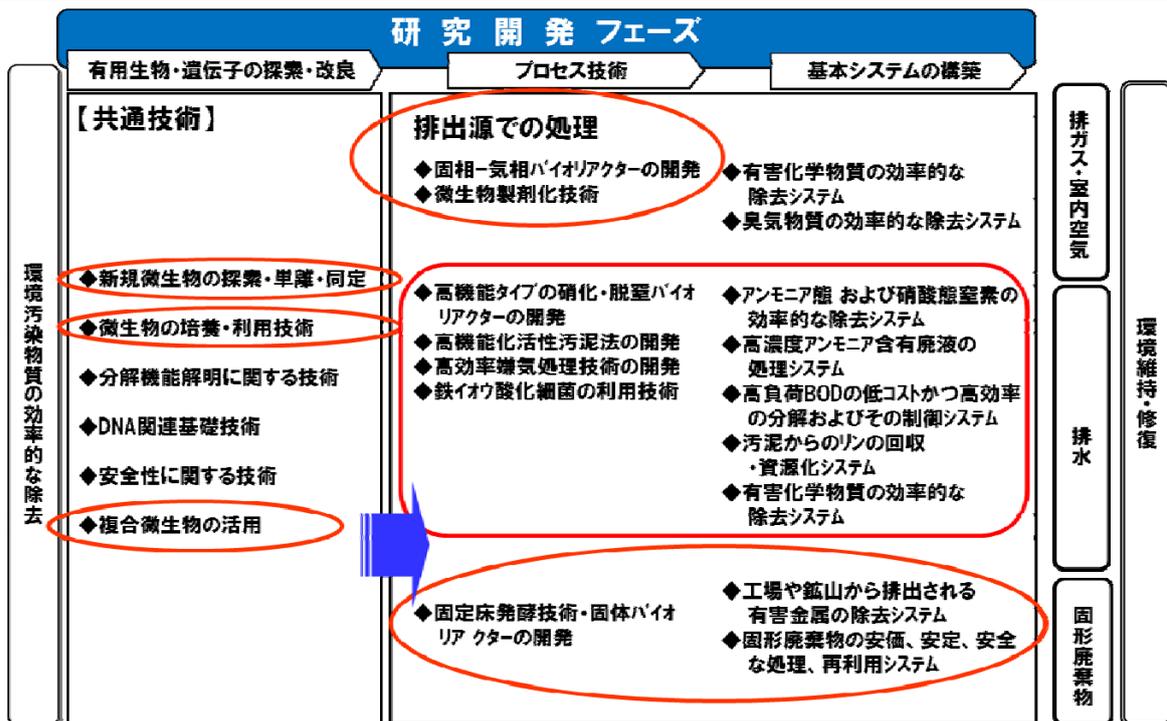
		作成日	平成24年4月				
プログラム（又は施策）名	生物機能活用型循環産業システム創造プログラム						
プロジェクト名	微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発	プロジェクト番号	P07024				
担当推進部/担当者	バイオテクノロジー・医療技術部 主査 長谷川 義基(H.21年度から事後評価まで)						
0. 事業の概要	<p>従来の産業における廃水・廃棄物処理技術は、①エネルギー多消費・廃棄物多排出、②低処理能力・対象廃棄物限定等といった課題を抱えている。これまで、このような課題に対し様々な工学的アプローチによる高度化はなされてきたものの、微生物群自体については、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いと考えられる。このため、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「デザイン化技術」と呼ぶ）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が必要とされている。</p> <p>そこで本事業では、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の大幅削減、コンパクトで容易なメンテナンス、あるいは多様な廃水・廃棄物への適用が可能な高効率型廃水、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。</p>						
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>「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し、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。本事業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。</p>						
II. 研究開発マネジメントについて							
事業の目標	<p>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曝気処理プロセスの約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曝気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。</p> <p>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。</p>						
事業の計画内容	主な実施事項	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	
	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						→
	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						→

開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	総額
	特別会計（需給）	188	154	114	73	101	630
	加速予算		38	57	35		130
	総予算額	188	192	171	108	101	760
開発体制	経産省担当原課	製造産業局生物化学産業課					
	プロジェクトリーダー	藤田正憲 大阪大学名誉教授					
	委託先（*委託先が管理法人の場合は参加企業数も記載）	[全期間](株)日立プラントテクノロジー, 広島大院工学研究科, 北海道大院工学研究院, 北海道大院地球環境科学研究所, (財)電力中央研究所 [~H21fy]名古屋工業大院工学研究科, 日本大生物資源科学部, 早稲田大ナノ理工学研究機構, 名古屋大エコトピア科学研究所					
情勢変化への対応	研究の進捗に伴い、追加的資金配分、またプロジェクト内の連携体制を構築した。また、中間評価後に実施体制を変更した。						
Ⅲ. 研究開発成果について	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 曝気量とメタノール添加量の削減需要が見込まれる消化汚泥脱水ろ液、産業排水処理に向けて、硝化抑制技術を用いた窒素除去システムを開発した。 実下水を用いてリン除去・回収 DHS リアクターの開発を行った。 バイオフィルム工学による活性汚泥法の効率化・安定化を目指し、具体的には硝化槽の性能の鍵となるアンモニア酸化細菌および Anammox 菌についてその特性をバイオフィルム形成の点から理解し、バイオフィルム形成による安定化を行った。 [実施体制：株式会社日立プラントテクノロジー（再委託：中央大学）、広島大学大学院工学研究科、北海道大学大学院地球環境科学研究所]						
	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 Anammox プロセスについて最適条件の検討、Anammox 細菌のメタゲノム解析を行った。 固定床（担体）メタン発酵による安定化と電気による微生物群の制御技術の開発、およびこれらの組合せによる効率的なメタン発酵処理技術の開発を行った。 [実施体制：北海道大学工学研究科、電力中央研究所（共同実施：東京大学）]						
	投稿論文	論文発表 47 件、口頭発表 148 件、新聞・プレス・受賞等 12 件					
	特許	「出願済」7 件（内外国出願 0 件）					
Ⅳ. 実用化の見通しについて	本事業では、開発したデザイン化技術や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組み合わせることにより処理の高効率化を図るのに加えて、実用化に資するための検証可能なテストプラント規模での評価を行うなど実用化の推進に取り組んだ。						
Ⅴ. 評価に関する事項	事前評価	18 年度実施 担当部 バイオテクノロジー・医療技術開発部					
	中間評価以降	21 年度 中間評価実施 24 年度 事後評価実施					
Ⅵ. 基本計画に関する事項	作成時期	19 年 3 月 作成					
	変更履歴	20 年 7 月 変更 研究開発の目的の記載を改訂					
		22 年 3 月 変更 研究開発の目標を改訂					
		23 年 7 月 根拠法を改訂					

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料6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

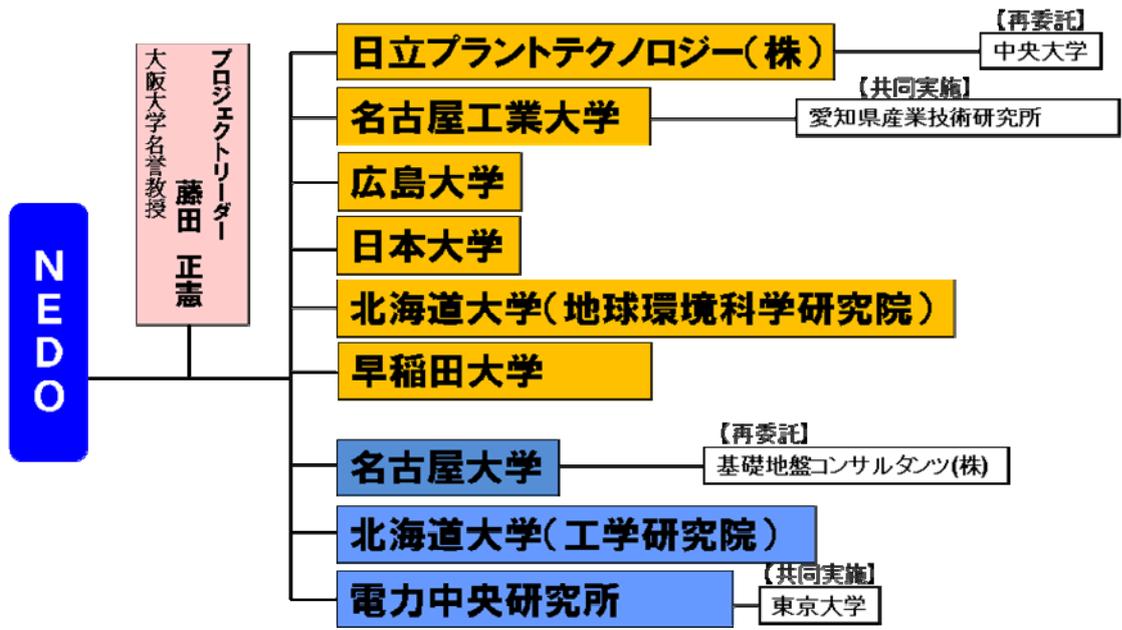


※生物機能活用技術分野の技術戦略マップ(2009)より抜粋

「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」  
 全体の研究開発実施体制

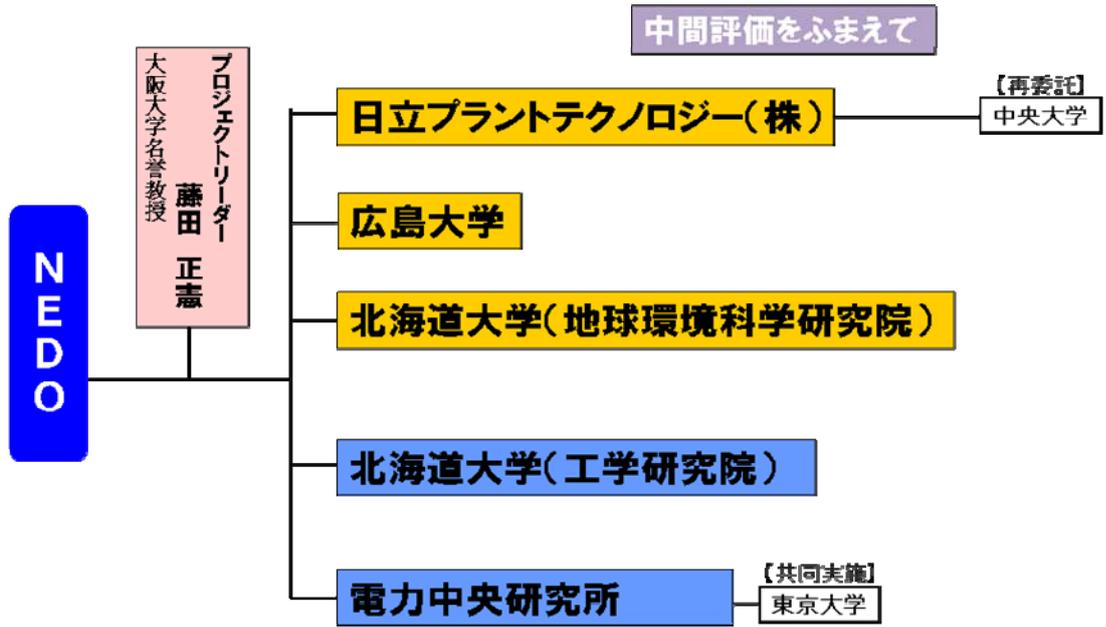
H19—21年度

研究開発の実施体制 (H. 19-21年度)



H22—23年度

研究開発の実施体制 (H. 22-23年度)



# 「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」

## (事後評価)

### 評価概要 (案)

#### 1. 総論

##### 1) 総合評価

微生物群のデザイン化による高効率処理技術の開発という全体目標に対して、廃水・廃棄物処理微生物生態系の人工的構築・人工的制御という観点から有望な成果が多く得られている。これまで複合微生物系を使うバイオ処理において、処理を担う微生物群集についてはブラックボックスとして取り扱われ、制御がなされてきた。これに対して、バイオ処理の中心を担う微生物を特定し、その微生物が十分に能力を発揮できるよう、微生物の機能的特性を理解したうえで最適な空間配置を考えるというコンセプトのもと、意欲的な目標を掲げ研究開発に取り組んだ点は評価できる。

しかし、開発された諸技術は、実用化という視点からは、個別の研究課題における達成度に差異が見られる。一部のテーマでは基礎的段階の研究で終わっているものがある。今後、実用化に近い技術は早期の実用化を計り、基礎的とはいえ革新的な技術に繋がる可能性のある新規な知見が得られているものについては、それらの知見を生かした技術の実用化に結実することを期待したい。

##### 2) 今後に対する提言

生物学的廃水・廃棄物処理の新技術の研究と開発に本プロジェクトの成果がどのように利用できるかを明示することが必要と考えられる。また、得られた成果をさらに多くのタイプの廃水および廃棄物の処理に適用するには、どのような検討課題が残されているかについて明らかにすることが必要と考える。そのためには、実用化の段階にあるテーマについて、実施者は開発した技術の適用先を決定し、実プラント規模での実証試験の実施を検討して欲しい。

また、実用化イメージにおいて、一気通貫型システムが提案されているが、本プロジェクトで開発した技術の実用化においては、この形だけにこだわらず、各構成技術の個別の実用についても、ニーズがあれば積極的に推進して行くべきである。

今後、有望な新規技術が開発されたことを実施者は広く PR して、積極的な情報提供を図って欲しい。

#### 2. 各論

#### 1) 事業の位置付け・必要性について

廃水・廃棄物処理の微生物群の人為的制御という基盤技術の開発は、基礎的研究の色彩が濃く、民間企業のみで推進するよりも大学他の研究機関と緊密な共同研究体制で推進すべきであり、NEDOの関与は妥当である。

バイオ技術を活用して、エネルギー消費効率を改善する新規な環境浄化技術の開発は、内外のニーズが高く、国際競争力の強化や省エネルギーに特に資すると考える。今後、発展途上国にも適用可能な、我が国独自のバイオ処理技術が確立されることを期待したい。

一方、「微生物群のデザイン化」は生物処理技術全般に活用可能な目標概念と言えるが、その適用領域が本プロジェクトの目的や課題設定から明確には見えてこない点は改善が必要であったと考える。

#### 2) 研究開発マネジメントについて

研究開発目標は十分に戦略性を有し、非常に高い意欲的な目標を設定していることは評価できる。また、プロジェクトリーダーには全体を統括するための適任者が選任されており、プロジェクトリーダーの指導の下、適切かつ円滑な運営がなされた。

しかし、研究成果の実用化の方向性は十分に理解できるものの、実用化に繋げるために今後なされる必要のある課題の整理については、必ずしも十分ではないように見えた。また、研究開発過程で明らかになったことを踏まえ、限られた予算と時間であったがゆえに、中間評価以降はさらに重点テーマを絞ってもよかったのではないかと考える。さらに、実用化を見据えるために商用設備ベンダー企業をもっと増やしてもよかった。

#### 3) 研究開発成果について

本プロジェクトの開始に当たって設定された数値目標を含む目標値に対して、個別テーマごとにやや差があるが、得られた研究の成果はそれらをほぼ達成していると評価できる。また、いくつかのテーマでは、新たな技術領域を開拓しており、世界に誇れる研究成果を挙げていることから、これらの成果を実用化に結び付けて欲しい。

一方で、日本オリジナル技術を創成しているにもかかわらず、必ずしも知的財産権等の取扱いが適切に行われているとは言えないものもあり、それらについては早急な知的財産権の登録作業を推進すべきである。

また、研究開発成果についての情報発信は重要であり、実施者は今後、成果の対外的公開と普及をどのように推進するかについて検討を行うべきである。

#### 4) 実用化の見通しについて

個々のテーマにおいては、いくつかの独創的で有意義な研究成果があがっており、今後さらに微生物群のデザイン化による高効率型バイオ処理技術の開発が進捗すると考えられる。

また、それぞれの個別テーマを連結させた一貫型システムが提案されており、実用化イメージ・出口イメージが示されていることは一定の評価をすることができる。

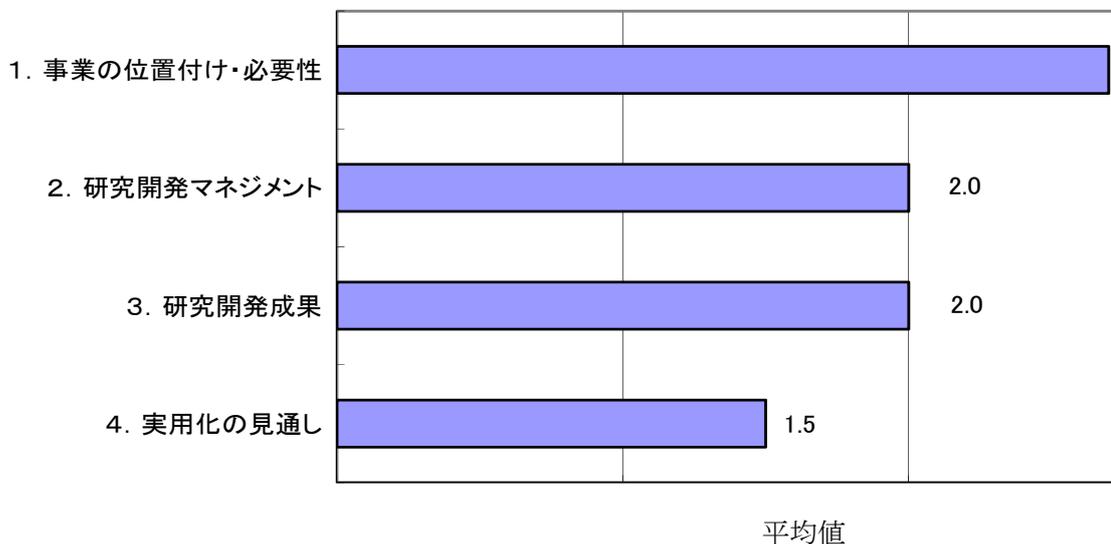
但し、いくつかのテーマにおいて、研究としての出口イメージおよび実用化イメージが明確にはなっていないものがある。また、要素技術の開発がグループごとに個別で行われていて、成果を実用化につなげるための全体としての体制がやや不十分であった。特に、嫌気微生物処理については、研究がベンチスケール規模の試験プラントのみで行われていることから、実用化のイメージをつかむことができない。スケールアップした処理装置での研究開発に早急に取り組んで欲しい。

## 個別テーマに関する評価

	研究開発成果について	実用化の見通しについて及び今後の提言
好気性処理	<p>個別テーマ毎に完成度に差が見られるものの、全体的には目標を達成しており、新技術の開拓に結びつく成果が得られていると評価できる。亜硝酸型硝化は、メタン発酵脱離液を処理対象に加速予算でパイロットプラントを建造し、連続実証処理試験を行い良好な処理成績を得るとともに、有用な知見を得ており、これらの成果は十分評価に値する。DHS（下降流懸垂型スポンジ）リアクタでは、3つの意欲的な目標を掲げ全ての目標を達成できていることも評価できる。また、バイオフィーム分野において、学術的に高く評価できる新規な知見を明らかにしている。</p>	<p>亜硝酸型硝化、DHS リアクタについては、パイロットプラント試験で十分な研究成果を出しており、実用化イメージおよび出口イメージが明確になっている。また、廃水の微生物処理に関する新しい基礎知見とその応用方向についても成果が得られており、それらを踏まえてさらに高度な研究開発へと向かう見通しも示している。</p> <p>一方、亜硝酸型硝化については、実証規模プラントあるいは実施設を用いた実用化研究の実施が望まれる。また、DHS リアクタによるリン回収については、リンの濃縮効果やその安定性、スケールアップに関する課題を検討してゆくことが重要である。バイオフィーム工学のさらなる進展のためには、出口イメージから研究コンセプトを見つめなおすことを行ってもよいのではなかろうか。</p> <p>また、いずれの個別テーマにおいて、プロジェクト終了後の次の研究ステップ・開発計画に関する説明が少ない。実施者は、本プロジェクトによって得られた新規知見について、ぜひ今後も研究を継続することによって、環境技術分野において新プロセス開発へのインパクトと波及効果のある新しい技術概念として完成して欲しい。</p>

<p>嫌気性処理</p>	<p>いずれの個別テーマも目標値をクリアし、一部では特に画期的な研究成果が得られている。<b>anammox</b> リアクタで世界最高レベルの <math>\text{NH}_4\text{-N}</math> 除去速度を達成し、リアクタ内に優占する <b>anammox</b> 細菌が <i>Ca. Brocadia sinica</i> であることを明らかにしている。また、マイクロセンサーを使って <b>anammox</b> グラニュール内の <math>\text{NH}_4^+</math> と <math>\text{N}_2\text{O}</math> 濃度のプロファイルを明らかにするとともに、<b>anammox</b> グラニュール内での <math>\text{N}_2\text{O}</math> 発生は他栄養の脱窒細菌由来の可能性が高いとの有用な知見を得ており、これらの成果は学術的に高く評価できる。通電型固定床メタン発酵処理では、模擬生ごみ、下水汚泥を対象に数値達成目標をクリアしている点は評価できる。</p> <p>但し、窒素除去システムの開発については、<b>anammox</b> の研究に使ったリアクタは小さなもので実用化が見えない状況にあり、高速の窒素除去が可能なリアクタの開発を期待する。また、除去効率の追求だけではなく、亜酸化窒素の発生抑制方策について今後の研究が必要と考えられる。通電型固定床メタン発酵処理では、なぜ通電によって微生物処理能力が高まるのかを学術的に明らかにする必要がある。</p>	<p>生物処理プロセスの微生物生態系解析技術の分野において優れたいくつかの手法開発を行っており、それらの手法は当該分野の多くの微生物群解析に応用可能である。</p> <p>しかし、実施された研究は、いずれもベンチスケールレベルのものである。部分硝化－<b>anammox</b> リアクタについては基礎研究であることから、応用研究を実施した上で、スケールアップが可能か検討を行う必要がある。通電型固定床メタン発酵処理については、スケールアップして各プロセスの性能の評価を行う必要がある。その上で、技術としての出口イメージとして、初期投資および維持管理費等の費用とそれによる効果との比較の点で実現可能かどうかについて、判定がなされる必要がある。</p> <p>現在研究に使っている <b>anammox</b> リアクタではスケールアップが難しく、優占する <b>anammox</b> 細菌の特性を生かしたりリアクタの開発が必要である。また、実用化には <b>anammox</b> 汚泥の大量培養が必要であるが、これについての検討も必要である。通電型固定床メタン発酵処理では、固形性有機物の可溶化反応が律速となることが予想され、電極近傍での酸化還元電位の人為的制御のみでは高効率化に対して、いまだ解決すべき技術的問題点が多く残されている。</p>
--------------	--	--

## 評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	B	A	A	B
1. 事業の位置付け・必要性について	2.7	A	A	B	A	A	B
2. 研究開発マネジメントについて	2.0	B	A	B	D	A	B
3. 研究開発成果について	2.0	B	B	B	C	A	B
4. 実用化の見通しについて	1.5	C	B	C	B	B	C

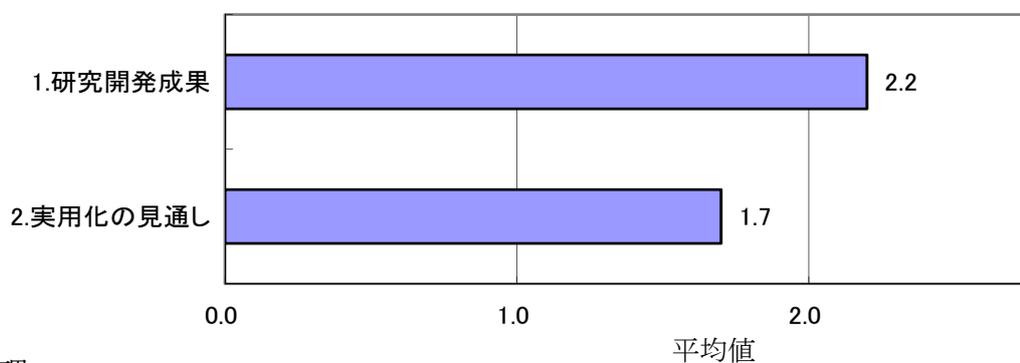
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

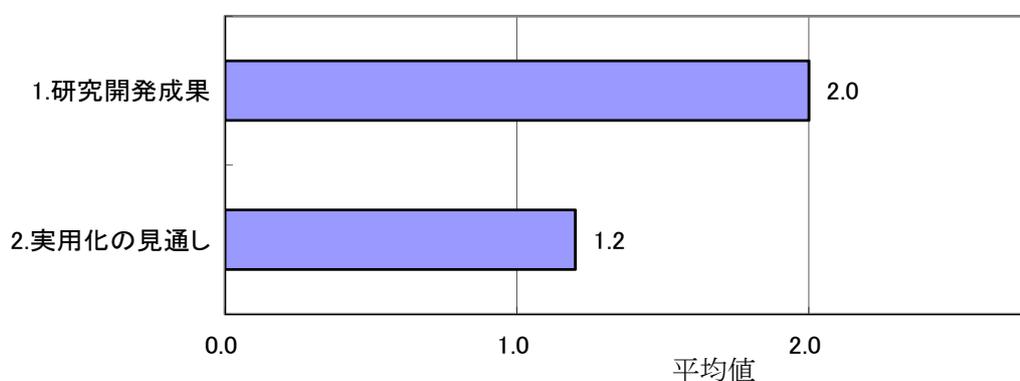
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

## 評点結果〔個別テーマ〕

### 好気性処理



### 嫌気性処理



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)					
好気性処理							
1. 研究開発成果について	2.2	B	A	B	C	A	B
2. 実用化の見通しについて	1.7	B	B	B	C	B	C
嫌気性処理							
1. 研究開発成果について	2.0	B	B	B	C	A	B
2. 実用化の見通しについて	1.2	C	B	C	C	C	C

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

#### 〈判定基準〉

#### 1. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

#### 2. 実用化の見通しについて

- A ・明確
- B ・妥当
- C ・概ね妥当であるが、課題あり
- D ・見通しが不明