

「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」

中間評価報告書（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）	5
評点結果	1 1

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」(中間評価)

分科会委員名簿

(平成21年7月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	のいけ たつや 野池 達也	日本大学 大学院総合科学研究科 環境科学専攻 教授 (東北大学 名誉教授)
分科会長 代理	いけもと りょうこ 池本 良子	金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授
委員	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
	もぎ こういちろう 茂木 康一郎	株式会社 環境新聞社 編集局総括担当 取締役 部長
	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
	やまぐち たかし 山口 隆司	長岡技術科学大学 環境・建設系 准教授

敬称略、五十音順

事務局：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

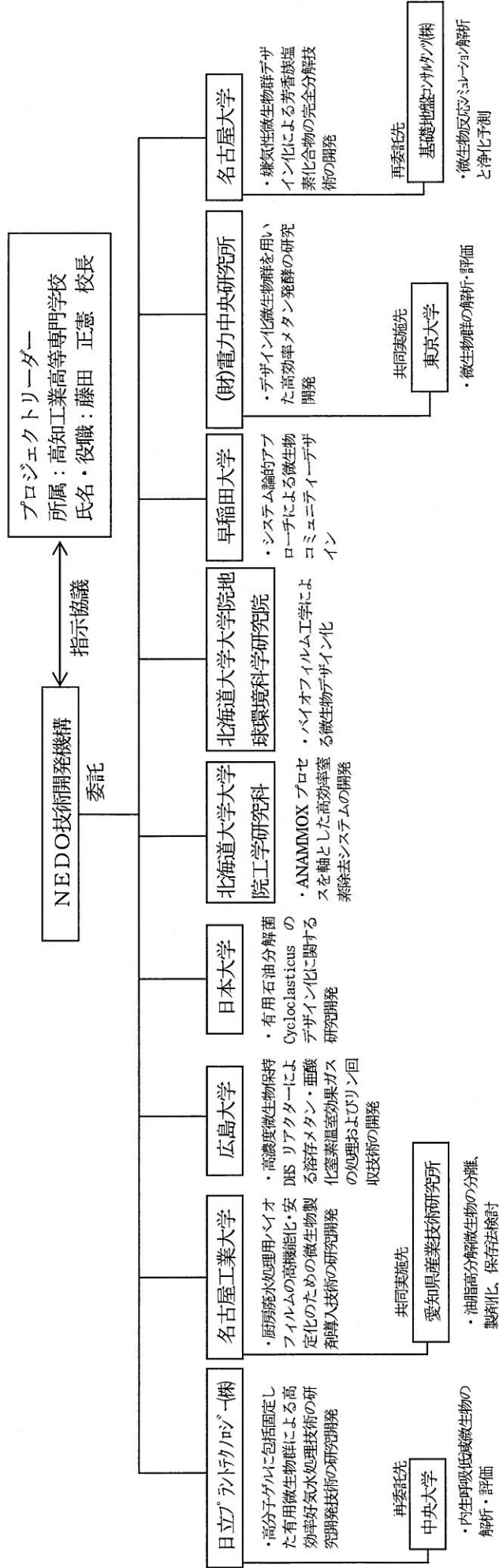
プロジェクト概要

作成日 平成21年7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・医療技術開発部 主査					
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>本事業は「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	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy
		一般会計					総額

(会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	特別会計 (電多・高度化・石油の別)	188	192	114		494
	総予算額	188	192	114		494
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	高知工業高等専門学校 藤田正憲 校長 (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)	(株)日立プラントテクノロジー、名古屋工業大院工学研究科、広島大院工学研究科、日本大生物資源科学部、北海道大院工学研究科、北海道大院地球環境科学研究所、早稲田大ナノ理工学研究機構、(財)電力中央研究所、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。					
Ⅲ. 研究開発成果について	<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</p> <p>平成20年度までに、曝気エネルギー量低減のための内生呼吸を低減した微生物や外食厨房排水の油脂分解能力を示す微生物等の候補菌株の選抜を完了した。内生呼吸低減菌の評価法および装置や候補菌株の安全性の確認など特性評価も併せて進めた。</p> <p>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開始すると共に、石油分解菌では、安定的に優占化・維持される理由を明らかにし、その培養支持体の部分構造と機能を特定した。</p> <p>さらに“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の開発/好気性活性汚泥に使用される内生呼吸低減菌の開発”の加速化予算を執行し、内生呼吸低減菌の包括固定化担体の研究を推進した。</p> <p>[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)、名古屋工業大学大学院工学研究科(共同実施：愛知県産業技術研究所)、日本大学生物資源科学部]</p>					
	<p>② 好気嫌気性微生物処理技術における特定有用微生物(群)を人為的に安定的導入・維持するための技術の開発</p> <p>平成20年度までに高効率ANAMMOXリアクター、部分消化リアクターの開発、メタン酸化細菌のDHSリアクター内への優占化、バイオフィルムによる、有用微生物の長期安定化を行った。また、様々なスケールにおける実験データの予測が可能となるシミュレーションモデルを開発した。</p> <p>[広島大学大学院工学研究科、北海道大学工学研究科、北海道大学大学院地球環境科学研究所、早稲田大学ナノ理工学研究機構]</p>					
	<p>③ 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</p> <p>平成20年度までに、高効率処理を実現するために、優占的かつ安定的に維持すべき微生物群として、有機性廃棄物処理用のメタン菌(古細菌)や嫌気性の有機塩素化合物分解菌などの嫌気性分解微生物群の候補の集積を完了した。これら嫌気性菌の有機物の負荷の影響や獲得した微生物の組み合わせの効果、安全性など特性評価にも着手した。</p> <p>また“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の開発/アナモックス細菌のゲノム解析による増殖因子などの有用遺伝子の特定・検証試験”の加速化予算を執行し、新規な嫌気性アンモニア酸化菌(ANAMMOX)アナモックス細菌の増殖研究を推進した。また、有用微生物の特性に応じた各種担体利用の検討により、有機性廃棄物の分解速度の向上や有用微生物単独で分解困難な有機性廃棄物の分解等に寄与するような材質・形状の傾向を見出し、有用微生物群担体を電気制御することにより、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開発の目的を得た。</p> <p>[実施体制：電力中央研究所(共同実施：東京大学)、名古屋大学エコトピア科学研究所(再委託：基礎地盤コンサルタンツ)]</p>					
	投稿論文		論文発表 34件、口頭発表 102件、新聞・プレス・受賞等 12件			
特許		「出願済」6件				
Ⅳ. 実用化、事業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、事業化の一層の推進に取り組む。					
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 中間評価実施予定 24年度 事後評価実施予定				
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				

「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」
プロジェクト全体の研究開発実施体制



「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」(中間評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

資源制約の克服や持続発展可能な社会を形成するために環境バイオ処理技術開発の効率化が重要であり、本プロジェクトは環境安心及びエネルギーの両イノベーションプログラムの目標達成に寄与していると言える。また、プロジェクトリーダーが研究開発テーマ全般に精通しており、9つのチームの進捗及びチーム間の協力体制を適切に管理している。さらに、これまでの開発成果はチーム毎の中間目標を概ね達成している。

しかし、研究開発目標については、国内外で先行する技術水準を比較対象にして、個別テーマの目標値を再検討すべきである。また、最終目標はかなりハードルの高いものであり、これまでの研究開発の進捗に鑑み、最終目標の達成までの道筋を改めて設定すべきであると考えられる。

今後のプロジェクト後半では、処理プロセスの最適化、効率化が進められることにより、実用化や標準化に向けての知見が集積すると期待される。

2) 今後に対する提言

本プロジェクトに課せられた当初の2大最終目標に相応する研究課題ごとの目標を設定し、その上で残された期間の研究開発を遂行し、実用化を含む成果に達することが望まれる。また、本プロジェクトの開発成果が日本発のオリジナル技術として実を結び、公害問題を抱える新興国はもとより、開発途上国の下廃水・廃棄物処理等のインフラ整備にも貢献できるよう期待したい。

本プロジェクトにおける有用微生物の探索の研究、装置の開発、制御の研究について、それぞれの知見を上手く組み合わせることが重要である。実用化を見据えて現実性のある組合せを優先し、研究開発を進めていって欲しい。また、微生物によるバイオ処理技術に関しては多くの知見や実績があり、他の技術との優位性を明らかにしておく必要がある。

本プロジェクトの終了時には、微生物群の機能が依然としてブラックボックスのままであってはならず、物質分解やバイオガス化の著しい高速化の理由等を十分に解明することが望まれる。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

環境バイオ処理技術開発の効率化は、今日要請されている資源制約の克服や持続発展可能な社会を形成するために重要な研究課題であり、環境安心及びエネルギーの両イノベーションプログラムの目標達成にとっても必要不可欠な事業である。また、本プロジェクトは、学術的な基礎的知見の集積が必要であり、工業利用の上で広く社会に普及させることも必要である点から公共性が高く、NEDO の関与が妥当である。

しかし、新規技術の開発であり、国内及び国外へ普及させるための計画や支援の方策の検討も必要であろう。

本プロジェクトの研究開発成果が日本発のオリジナル技術として実を結び、公害問題を抱える新興国はもとより、開発途上国の下廃水・廃棄物処理等のインフラ整備に貢献できるよう期待したい。

2) 研究開発マネジメントについて

プロジェクトリーダーが研究開発テーマ全般に精通しており、各チームの進捗及びチーム間の協力体制を適切に管理している。特に、チーム同士で新たな連携を構築しようとするマネジメントは、本プロジェクトの更なる発展に直接的につながるため、高く評価したい。

しかし、研究開発目標については、基本計画の最終目標に相応する 9 チームの目標を設定することが望まれる。その際、国内外で先行する技術水準を比較対象にして、個別テーマの目標に落とし込むことを再検討すべきである。

3) 研究開発成果について

成果は、中間目標を概ね達成しており、世界初の内容や世界トップレベルの内容を含んでいる。特に、微生物生態の解析、新規プロセス開発は学術上、工業上の意義が高いと考えられる。

しかし、最終目標の達成可能性については、ハードルがかなり高く、これまでの研究開発の進捗に鑑み、最終目標の達成までの道筋を改めて設定すべきであるとする。

今後、特許出願に差しつかえない基礎的な研究成果等に関しては、可及的速やかに国内外に向けて公表して欲しい。

4) 実用化の見通しについて

9つの研究開発テーマの中には実用化の期待できる成果を上げているものも見られ、関連分野への波及効果も期待できる。

しかし、微生物によるバイオ処理技術に関しては多くの知見や実績があり、

他の技術との優位性を明らかにしておく必要がある。また、9つの研究開発テーマの中には、実用化イメージ・出口イメージが明確に示されていないものも見られるので、NEDO プロジェクトの趣旨に基づき、実用化イメージ・出口イメージを再設定して欲しい。

今後のプロジェクト後半で処理プロセスの最適化、効率化が進められることにより、実用化や標準化に向けての知見が集積すると考えられる。

個別テーマに関する評価

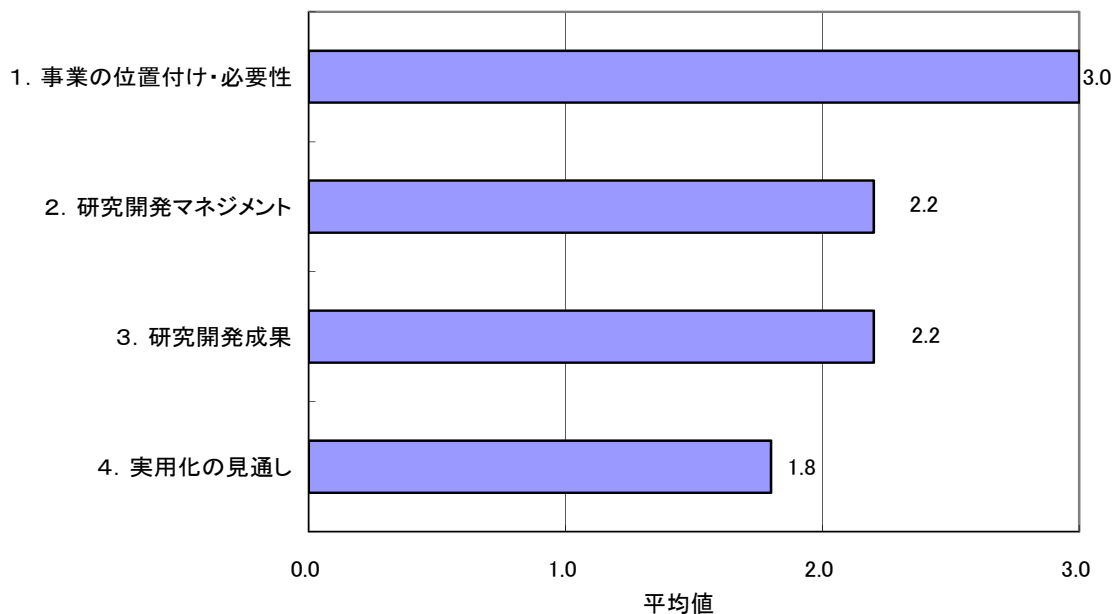
	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
好気性処理	<p>3チームとも中間目標値を概ねクリアする成果を出している。また、内生呼吸低減菌の選択的増殖による酸素消費量低減、油脂分へのフィルム形成による分解効率化、難分解性石油汚染成分の共生微生物系による分解促進は、仮説と方針が明確で目標達成への経過が分かり易い。さらに、具体的なプロセス・技術の開発に加えて、新たな技術展開に直結するための基礎研究も積極的に進めていることが特筆される。</p> <p>しかし、不要な細菌の排除のために担体をアルカリ洗浄する技術については、pHのかなり高いアルカリ剤を用いており、洗浄排液の処理が実用上の問題にならないかを再検討して欲しい。また、油脂分解微生物に関しては多くの知見や実績があり、他の技術との優位性を明らかにしておく必要がある。最終目標値が100mg/Lというのは、排水基準値よりも高いので再検討すべきである。</p>	<p>実用化イメージが明確に示されており、有機性廃水処理の分野はもとより、外食産業・食品工場等の油脂含有廃水、石油汚染の浄化等に期待が持てる。</p> <p>しかし、油脂分の分解微生物デザインについては、小規模施設および店舗も対象となるので、デザイン化の思想にメンテナンスフリー（エアレーションなし）に耐える微生物フィルムの構築を盛り込んで欲しい。</p> <p>内生呼吸低減菌デザイン技術を適用できる処理ニーズは国内外共に多いので、コスト低減の検討も進めて欲しい。また、油脂分の効率的分解テーマと石油汚染の分解促進テーマについては、成果の受取手の技術レベルに関して情報が得られなかったので、今後の事業を通して明らかにして欲しい。</p>	<p>今後は、これまで純粋培養体・純粋基質で行われた実験結果から複合微生物系・実排水による実用化実験へ移行した場合に生ずる問題点を、基礎科学的に検討して欲しい。</p> <p>各研究課題が掲げている最終目標はかなりハードルの高いものであるが、5年間という余裕ある研究期間が与えられており、基礎的研究を含めて実用化に至るまでの徹底した研究を完成する好機である。しかも、NEDOの研究目的に叶っており、地球環境保全と循環型社会の形成のために大きく貢献できる日本発の技術なので、是非ともプロジェクトリーダーの下に世界初の環境バイオ処理技術を創造して欲しい。</p>

<p>好気嫌気処理</p>	<p>成果は中間目標値をクリアしつつ、溶存メタン・亜酸化窒素分解、リン回収に関して新規な微生物反応器開発に成功し、部分硝化-Anammox (アナモックス) 菌システムでコンパクト化を達成している。また、バイオフィルム化とヘルパー微生物利用で除去速度の高速化を達成し、実験による微生物反応速度の取得を成している。</p> <p>しかし、Anammox 反応によるアンモニア性窒素除去については、既に実用化され、国内外において実プラントが稼働している。また、他の機関でも鋭意研究されているので、従来の生物学的硝化脱窒素プロセスによる窒素除去機能との比較ではなく、現今のAnammox プロセスの窒素除去機能に対する本研究開発における Anammox プロセスの優位性を追究して欲しい。</p> <p>Anammox 細菌に関する分子生物学的手法による研究開発に終始することなく、実用化に資するための検証可能なテストプラント規模の実験が待たれる。</p>	<p>排水中の窒素・リンについては2009年度から第6次総量規制が導入される予定で、リン回収に対する社会的ニーズも高まっている。密閉型DHS (Down-flow Hanging Sponge) リアクターや高効率部分硝化-Anammox システムなどが実用化されれば、その波及効果は大きい。Anammox プロセスの研究課題以外においては、実用化を目指した研究の取り組みが見られる。</p> <p>DHS リアクターによる研究開発では純粋基質が用いられてきたが、実排水には有機物質、浮遊物質その他多種類の物質が含有する。特に、メタン発酵消化液はメタンのほか高濃度有機物を含有し、DHS リアクターが目詰まりや他の障害をもたらすので、本プロセスの適用の可能な、実排水の性状についても、明らかにすべきである。</p>	<p>新規プロセスの研究開発と共に、エネルギー効率、コンパクト化、二酸化炭素排出低減効果、コストなどの定量的な検討が進んでいるので、今後は、最適条件設定など明らかになった操作因子の制御の自動化等を進めることで、次のステップである実廃水への適用を考慮した装置の検討、部分硝化とAnammox を組み合わせたシステムの効率化の検討などが待たれる。</p> <p>DHS リアクターの実用化により、溶存メタンの酸化分解・亜酸化窒素の分解除去が可能になり、CO₂ 排出量を大幅に削減できるので、最終目標に温室効果ガス削減効果を追記することが望まれる。</p> <p>各研究課題が掲げている最終目標はかなりハードルの高いものであるが、5年間という余裕ある研究期間が与えられており、基礎的研究を含めて実用化に至るまでの徹底した研究を完成する好機である。しかも、NEDO の研究目的に叶っており、地球環境保全と循環型社会の形成のために大きく貢献できる日本発の技術なので、是非ともプロジェクトリーダーの下に世界初の環境バイオ処理技術を創造して欲しい。</p>
---------------	---	---	--

<p>嫌気性処理</p>	<p>嫌気性細菌によるメタン発酵及び芳香族塩素化合物の嫌気性処理技術は、地球温暖化防止・循環型社会の形成に大きく貢献するものであり、中間目標に向かって鋭意研究開発が進められている。特に、メタン発酵の酸化還元電位制御に着目して試験を行ったことは興味深く、単純化されたテーブルスケールだが再現性のある結果が得られている。また、芳香族塩素化合物の微生物分解の一貫嫌気分解技術開発は処理コスト低減に貢献し意義深い。</p> <p>しかし、デザイン化微生物群担体に通電することにより、酸化還元電位が最適に維持され、メタン発酵の高効率化が得られた研究成果については、加水分解細菌、酸生成細菌及びメタン生成古細菌から構成される原核微生物群集が何故どのような理論で、基質の有機物の物質分解を高速に行うことが可能となるのか明確にして欲しい。</p>	<p>芳香族塩素化合物の微生物分解は、目標とする好気微生物技術と同等の処理速度を達成し、これに基づく概算の F/S が実施されており、早期の実用化が期待される。</p> <p>酸化還元電位によるメタン発酵の高効率化については、固形物濃度が低く、メタン発酵微生物が過度に増えない処理系への適用が期待できるので、まずはこのプロセスをターゲットに実液の原水を用い、パイロット規模で長期間試験を行い、実用化イメージを明らかにしていくことが望まれる。</p> <p>電荷チャージを前提とする技法は固定床を選択せざるを得ないとすると、実用プロセスの適用範囲に制限が生じるであろうが、将来、リプレース可能な嫌気処理の対象は具体的に何で、嫌気処理プロセスの何割を占めるのか普及対象について仮説提案して欲しい。</p>	<p>微生物反応のブラックボックスから脱却することが本プロジェクトの狙いなので、メカニズムの解明は特に大切である。得られた知見の理論化・再整理が充実していけば、世界最高水準の技術に育つであろう。</p> <p>芳香族塩素化合物の嫌氣的分解・原位置処理技術は産業界としてリスク管理面の有用性が非常に高い技術であり、技術開発の加速を期待する。</p> <p>各研究課題が掲げている最終目標はかなりハードルの高いものであるが、5年間という余裕ある研究期間が与えられており、基礎的研究を含めて実用化に至るまでの徹底した研究を完成する好機である。しかも、NEDO の研究目的に叶っており、地球環境保全と循環型社会の形成のために大きく貢献できる日本発の技術なので、是非ともプロジェクトリーダーの下に世界初の環境バイオ処理技術を創造して欲しい。</p>
--------------	---	--	---

3. 評点結果

3. 1 プロジェクト全体



評価項目	平均値	素点 (注)					
		A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.2	B	C	A	B	A	B
3. 研究開発成果について	2.2	B	B	B	A	B	B
4. 実用化の見通しについて	1.8	B	C	B	A	C	B

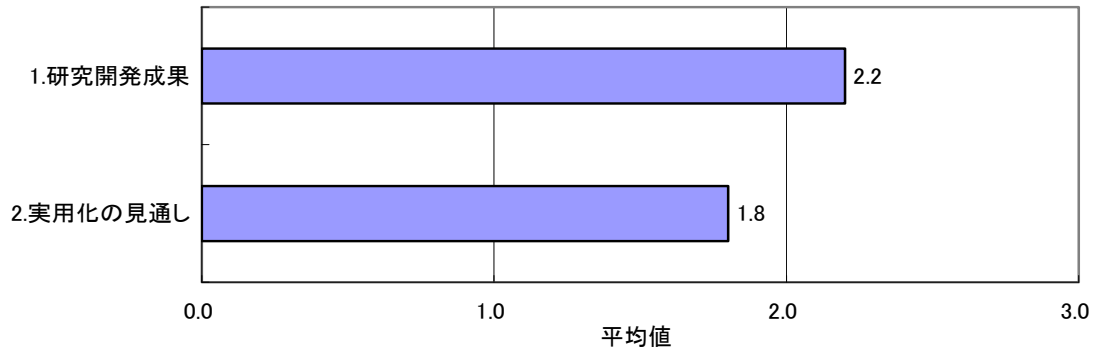
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

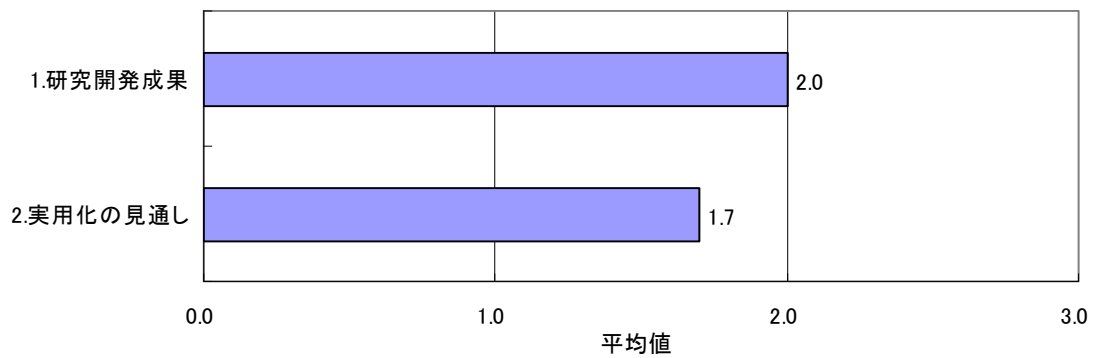
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

3. 2 個別テーマ

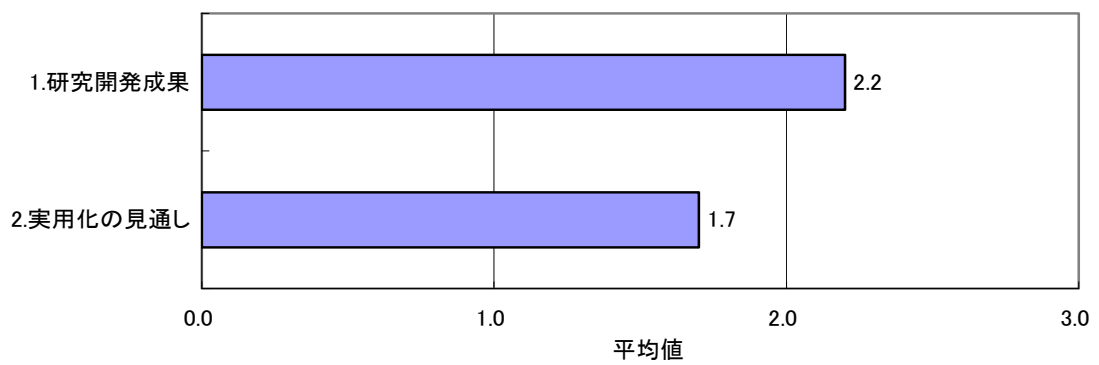
3. 2. 1 好気性処理



3. 2. 2 好気嫌気処理



3. 2. 3 嫌気性処理



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)					
3. 2. 1 好気性処理							
1. 研究開発成果について	2.2	B	B	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	1.8	B	B	B	A	C	C
3. 2. 2 好気嫌気処理							
1. 研究開発成果について	2.0	C	B	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	1.7	C	C	B	A	C	B
3. 2. 3 嫌気性処理							
1. 研究開発成果について	2.2	B	B	B	A	B	B
2. 実用化の見通しについて	1.7	B	C	B	B	C	B

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