

「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発」

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）	17
評点結果	23

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
「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術開発」（事後評価）

分科会委員名簿

(平成21年9月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	いなもり ゆうへい 稲森 悠平	福島大学 理工学群共生システム理工学類 教授
分科会長 代理	きたわき ひでとし 北脇 秀敏	東洋大学 国際地域学部国際地域学科 教授
委員	えんどう ぎんろう 遠藤 銀朗	東北学院大学 工学部長／工学部環境建設工学科 教授
	すがはら まさたか 菅原 正孝	大阪産業大学 生活環境学部都市環境学科 教授
	ほうげつ あきひこ 宝月 章彦	有限会社神戸インターナショナルテクノロジー 代表取締役
	わたなべ ともひで 渡邊 智秀	群馬大学 大学院工学研究科社会環境デザイン工 学専攻 教授

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

概 要

		作成日	平成 21 年 9 月
プログラム名	省エネルギー技術開発プログラム		
事業(プロジェクト名)	無曝気・省エネルギー型 次世代水資源循環技術 の開発	PJ コード	P 0 6 0 3 9
事業担当推進部室・担当者	環境技術開発部		
0. 事業の概要	<p>廃水処理技術におけるエネルギー消費量および汚泥発生量をともに 70%以上削減しながら従来と同等の水質を得ることができる廃水処理システムを開発し実証するために、3年間にわたってプロジェクトを実施した。これまでに行ってきた種々の基礎研究を踏まえて、初年度にプロトタイプとして霧島市国分隼人クリーンセンターに 50m³/d 規模の実証試験装置を設計、製作した。2年目には、装置運転、データ採取および検討、基礎試験結果を踏まえた装置の改良、システムを完成するための後処理(SS処理)についても並行して実施した。3年目には、装置・システムの仕様を決定し一定の条件下で、年間の水質・温度等の変動に対応したデータ採取、負荷変動試験などを実施した。以下事業の概要について記載する。</p> <p>前段嫌気性処理に関する研究開発</p> <p>前段嫌気性処理に関する研究開発では、比較的低い濃度の廃水をエネルギー消費および汚泥発生量を抑えて処理するために、嫌気性処理技術のなかから UASB (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket) 法を採用した。UASB はこれまで BOD 濃度が数千 mg/L の高濃度廃水を高速処理するために用いられてきたが、ここでは、BOD 濃度が低く、SS の割合が高い廃水を対象に、無加温で処理できる条件を確立し、適用範囲を大幅に広げることを目的として検討した。実験室規模での無加温における有機物分解特性の評価では、下水中のトイレトペーパーに起因する繊維類の分解特性や分解に関与する微生物について解析し、水温と分解速度の関係を明らかにした。あわせてパイロットプラント</p>		

内の微生物についても解析し、年間の動態を明らかにした。嫌気性廃水処理プロセスの制御法の研究では、ラボプラントを用いて、下水を処理し、低水温時の分解状況と汚泥の有機物分解活性を明らかにした。また、UASB 内汚泥の保持量を調べ、その消長を明らかにした。

後段無曝気好気性処理に関する研究開発

後段無曝気好気性処理に関する研究開発では、スポンジを担体として用いた散水ろ床型の生物反応器である DHS (Down-flow Hanging Sponge reactor) を採用した。この装置の処理特性は、スポンジ担体の特性によるところが大きい。そこで、5 種類の担体を用いてその特性を評価し、キューブ型担体が総合的に優れていることを明らかにした。DHS 基礎技術研究では、キューブ型担体の一種である G3-2 の先行試験を行い、一定の性能を有することを明らかにした上でパイロットプラント実験に反映した。また、スポンジのセルサイズによる汚泥捕捉能力の違いや酸素供給能力の違いを明らかにした。さらに DHS 内の原生動物や細菌類の縦方向の分布等についても計測を行い、活性汚泥法との違いを明らかにした。

廃水処理トータルシステムの開発

廃水処理トータルシステムの開発では、UASB-DHS の組合せで、下水道放流基準を満たす水質を確保できることが明らかとなった。しかしながら、比較対象となる活性汚泥法に比べて、処理水 SS の除去性能が必ずしも優れていないことから、砂ろ過を組合せることでほぼ同等の水質が確保できることを実証した。さらに年間の水質データ、エネルギー消費のデータおよび系内の汚泥収支のデータを採取し、これを解析してエネルギー消費量、CO₂ 発生量、汚泥発生量、処理水質等を算出し本処理システムの評価を行った。

下水処理分野への適用に関する研究開発では、処理水 SS 濃度を改善するための砂ろ過装置に関する検討を実施し、比較的粒形の大きい 1.8mm 程度の粒径のものが閉塞等のトラブルに対応しやすいこと、処理水 BOD 濃度が高くなると圧力損失が増大するなどの特性を明らかにした。初年度よりラボスケールの UASB-DHS の実験装置を製作し、人工下水を用いて pH

	<p>5の酸性下水、pH9のアルカリ下水およびフェノール含有の悪質下水に対する適応実験を実施し、処理水質に影響がないことを明らかにした。また、小規模下水へ導入した場合のケーススタディを実施し、活性汚泥法に比べて、コスト削減が可能であることを明らかにした。</p> <p>システム普及促進のための研究では、有効な処理技術が求められている染色廃水とフェノール廃水を選定し、本システムが有望であることを明らかにした。また、パイロットプラントにおける大腸菌群数の挙動やスポンジに固定された微生物の酸素利用速度を明らかにした。</p>
<p>I. 事業の位置付け・必要性について</p>	<p>【NEDO関与の意義について】</p> <p>好気性微生物を利用した廃水処理技術である活性汚泥法は、処理水質は比較的良いが、曝気動力が所要動力の半分以上を占めるほど大きいことや、大量に発生する余剰汚泥の処理のために膨大なエネルギーを必要とするなどの欠点がある。これに対し嫌気性生物処理法は、所要動力が少なく汚泥発生量も少ないが、処理水質の面や、処理速度が遅いため滞留時間が長くなり処理設備が大きくなること、嫌気反応槽の加温が必要になる場合があるなどの欠点もある。</p> <p>我が国では、有機物濃度が低い生活系廃水等の処理には、活性汚泥法が採用される場合が多く、処理に大量のエネルギーが消費されている。一方で、有機物濃度が比較的高い食品産業等の廃水処理には、嫌気性処理であるUASB法（上向流嫌気性汚泥床法）が採用され、メタンガス回収も含めた省エネルギー化が図られている。しかしながら、嫌気性処理のみでは処理水質が放流基準に達しない場合が多いため、後段に曝気エネルギーを必要とする活性汚泥処理プロセスを設ける必要がある。このように、処理システム全体として省エネルギー型の廃水処理技術はいまだに確立されておらず、「省エネルギー技術開発プログラム」の一環として本課題の解決に取り組む必要がある。</p> <p>本事業では、所用動力が少なく、汚泥発生も少ない嫌気性処理法の利点と、良好な処理水質が得られる好気性処理法の利点の双方の特長を有し、かつ双方の欠点を克服し、省エネルギー性に優れた廃水処理技術の開発を行う。また、本プロジェクトにおいて省エネルギー型処理技術を確立させた後、海外においても本技術を広く普及させることで、グローバルな省エネルギー</p>

一を進めることもできると考えられる。

このような技術開発は、単独研究機関により取り組むことは困難であることから、例えば、低濃度廃水の無加温処理を目的とした嫌気性反応槽の最適化、低コストで処理水質が優れた無曝気好気処理槽の最適化、処理水の衛生学的安全性評価、保持微生物叢の評価、システム全体の安定性を維持し、かつ悪臭等の2次公害を発生しないためのシステム技術開発など、個々の技術を開発する研究機関がチームとして取り組むことにより実施することが望ましい。このように微生物機能の解明、技術開発に関わる研究機関と、開発技術の事業化が可能な企業が参画し、共同研究開発体制を構築するためには、産学官連携による技術開発体制の確立が不可欠である。このためには、チームとして研究開発集団を纏め上げるリーダーシップ、多額の費用、一定の研究期間が必要となることから、国家的なプロジェクト型研究開発が最も適している。

下水や廃水の処理という「公共財的性格を有する財・サービス」の提供を目的とした本技術開発の成果は、我が国の廃水処理における、省エネルギー対策にも大きく貢献しうることから、NEDO・国の関与は妥当と判断できる。







開発技術の適用範囲は、有機物系の各種産業廃水から生活廃水に至るまで広い範囲が想定され、実用段階における費用対効果は十分に期待できると推定される。以上のように、省エネルギーならびに環境負荷低減という国家的見地からの要望を満足する成果が期待できる。

【実施の効果について】

本事業は、廃水処理分野における喫緊の課題である省エネルギー性の向上と放流水質の安全性、さらにトレードオフとなりがちな低コスト化を両立させることでより確実な省エネルギー成果の確保を狙うものである。

本事業の成果は、国内のみならず、まだ下水道の整備が進んでいないODA対象国などにおいて、実効を発揮することが期待される。

II. 研究開発マネジメントについて

【事業の目標】	<p>平成20年度において、廃水処理システム全体として以下の性能を達成することを目標とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エネルギー消費量：標準活性汚泥法に対して70%削減。 ・二酸化炭素排出量：標準活性汚泥法に対して70%削減。 ・汚泥発生量：標準活性汚泥法に対して70%削減。 ・処理水質（BOD、SS、大腸菌群数）：標準活性汚泥法と同程度。 <p>設定根拠は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・消費エネルギー：曝気ブローが不要、 汚泥処理に必要なエネルギー低減 ・CO2排出量：同上 ・汚泥発生量：嫌気性処理により汚泥発生量低減 ・処理水質：嫌気-好気処理、高濃度微生物保持 				
【事業の計画内容】	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	
	前段嫌気処理に関する研究開発				
	後段無曝気好気性処理に関する研究開発				
	廃水処理トータルシステムの開発				
	下水処理分野への適用に関する研究開発				
	嫌気性処理技術の動向と国内産業における適用性総合調査研究				
	成果とりまとめ				
【開発予算】 (単位 百万円)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	総額

	特別会計				
		71	84	66	221
	企業				
		71	84	66	221
	総予算額				
		142	168	132	442
【開発体制】	経産省担当原課	経済産業政策局 産業施設課			
	運営機関	(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構			
	プロジェクトリーダー	(独)産業技術総合研究所 評価部 首席評価役 中村和憲			
	共同研究先	三機工業(株)、(株)荏原製作所、(独)土木研究所、(財)造水促進センター			
	再委託先	(国)東北大学、(国)長岡技術科学大学、(独)国立環境研究所、(独)鹿児島工業高等専門学校、(独)呉工業高等専門学校			
【情勢変化への対応】	基本計画の変更なし。				
Ⅲ. 研究開発成果について	<p>目標に対する成果を以下に示す。</p> <p>①エネルギー消費量：標準活性汚泥法に対して70%削減 パイロットプラントを用いて検討したシステムのうち、最も高度な処理水質が得られる UASB-DHS-砂ろ過システムのエネルギー消費量を調査した。統計データより抽出した小規模活性汚泥法（日処理量 10,000m³ 未満）と比較し、水処理に係るエネルギー消費量73%削減を得た。これにより所期目標を達成した。</p> <p>②二酸化炭素排出量：標準活性汚泥法に対して70%削減 パイロットプラントを用いて検討したシステムのうち、最も高度な処理水質が得られる UASB-DHS-砂ろ過システムの二酸化炭素排出量を調査した。統計データより抽出した小規模活性汚泥法（日処理量 10,000m³ 未満）と比較し、水処理に係る二酸化炭素排出量73%削減を得た。これにより所期目標を達成した。</p> <p>③汚泥発生量：標準活性汚泥法に対して70%削減 パイロットプラントを用いて検討したシステムのうち、最も高度な処理水質が得られる UASB-DHS-砂ろ過システムの汚泥発</p>				

生量を調査した。統計データより抽出した小規模活性汚泥法（日処理量 10,000m³ 未満）と比較し、水処理に係る汚泥発存量 85%削減を得た。これにより所期目標を達成した。

④処理水質（BOD、SS、大腸菌群数）：標準活性汚泥法と同程度

UASB-DHS-砂ろ過処理水質は、BOD 濃度、SS 濃度について下水道水質基準を満たし、統計データより得られた標準活性汚泥法処理水質と同等であった。大腸菌群数は、消毒前大腸菌群数について活性汚泥法と同等以上の水質を確保し、既存の塩素消毒技術での消毒が可能であることが示された。これにより所期目標を達成した。

個別研究項目に対する成果概要を以下に示す。

①前段嫌気処理に関する研究開発

<反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発>

○水量 50m³/d（HRT10h）の処理条件で、UASB 槽内汚泥濃度が高くなった期間（実験経過後 397 日以降）の処理成績（平均値）は 水温 23.8℃、COD_{Cr} 容積負荷 0.99kg/m³/d、COD_{Cr} 汚泥負荷 0.09kg/kgMLVSS/d において COD_{Cr} 除去率 63.6%、SS 除去率 68.7%の安定した処理結果が得られた。

○水温（20℃以下、20～25℃、25℃以上）ごとに、COD_{Cr} 汚泥負荷と流入水量あたりのガス発生量の関係について検討した。その結果、COD_{Cr} 汚泥負荷 0.15kg/kgMLVSS/d 以上になるとガス発生量が低下する傾向にあった。

○水温 25℃以上において、HRT 4h、6h、8h、10h の運転条件で処理を行った結果、COD_{Cr} 除去率、処理水 SS 濃度から判断すると、UASB 処理においては HRT 8h 以上が必要であることがわかった。

○原水に塩化第二鉄を 2～4mg/l (asFe) 添加することで、短期間で汚泥中の鉄含有率を上げることにより、汚泥の沈降性を改善できることができた。

<無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価>

○集積培養試験により下水に含まれる固形有機物の分解進行と水温との関連を調査し、水温 20℃未満で固形有機物の分解速度が大きく低下することが明らかになった。

○UASB 槽汚泥のセルロース含量分析により、冬季の水温の低

	<p>下に伴う固形有機物の蓄積と夏季の水温上昇に伴う固形有機物分解の進行の様相を明らかにした。</p> <p>○UASB 槽汚泥の汚泥保持能の改善（沈降性向上と保持汚泥濃度の増加）により、メタン生成細菌の集積化と保持汚泥のメタン生成活性の増加が生じることを明らかにした。</p> <p>○UASB 槽汚泥の菌相構造解析により、下水の常温嫌気分解には、未培養バクテロイデス門に属する酸生成細菌群と Methanosaeta 属および Methanobacterium 属のメタン生成細菌群が寄与していることが明らかになった。</p> <p><嫌気廃水処理制御方法の研究></p> <p>○水温低下時(15°C 以下)においても、COD 除去率は 59±12% となり処理性能を維持した。</p> <p>○COD soluble は冬季では処理水と同じレベルに達するのに高さ 3.25m(HRT:6.5 時間)要したが、夏季では高さ 1.25m(HRT:2.5 時間)で同様のレベルに達することから、冬季では十分な反応時間が確保されることにより、処理水質は維持されることが示された。</p> <p>○保持汚泥濃度は運転約 850 日で初期の 9gVSS/L から 23gVSS/L まで増加した。この結果、汚泥負荷は 0.06 gCOD/gVSS/day の低いレベルに達した。</p> <p>○消化汚泥を植種汚泥とした場合においても、良好なグラニューールが形成されることが確認された。その結果、SVI は 20～60mL/gSS を維持し、良好な沈降性を示した。</p> <p>○保持汚泥の平均 VSS/SS 比は冬季に 0.73 と最大になり、夏季には 0.70 と最小となった。またセルロースは冬季に蓄積し、夏季に分解した。未分解有機物の蓄積は水温低下時に起こり、水温の上昇に伴って分解することが示唆された。</p> <p>②後段無曝気好気性処理に関する研究開発</p> <p><反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発></p> <p>○キューブ型2種類とカーテン型3種類のスポンジ担体の性能調査を行った。先行のラボスケール実験（後述<DHS 基礎技術研究>）とあわせて考察したところ、高密度充填仕様キューブ型担体（G3-2）が生物保持量、施工性の面で優れることが明らかとなった。</p> <p>○DHS では 4m 程度の流下長を確保することが望ましく、BOD</p>
--	---

容積負荷は、活性汚泥法と同等程度（0.3～0.8kg-BOD/m³-sponge/day）での設計が妥当であることが明らかとなった。

○DHS では余剰汚泥の引抜きは不要であり、UASB 処理水を流入水とする場合、流入水の調整（pH、温度など）は必要ないが、DHS 排気ファンおよびディストリビュータ（散水器）のメンテナンスは必要となることが望ましい。

<DHS 基礎技術研究>

○DHS 単独での有機物許容負荷を明らかにするため、ラボスケールにおいて、溶解性有機物であるプロピレングリコール処理実験を行った。COD 容積負荷 4 kg-COD/m³/day（BOD 容積負荷は 2.4 kg-COD/m³/day）での平均除去率は 95%以上であった。

○スポンジによる汚泥捕捉に関する基礎実験を行った。セルサイズが 0.83 mm、1.25 mm のスポンジが汚泥補足に優れることが示された。

○DHS の総括酸素移動容量係数（KLa）を調査した。15 mm 角スポンジ KLa は 40.9 h⁻¹、30 mm 角では 20.4 h⁻¹であることが示された。

○新規担体である高密度充填仕様キューブ型担体（G3-2）の性能確認試験を、DHS パイロットプラントによる実証試験に先立って、ラボスケールにおいて行った。G3-2 担体の保持汚泥濃度は次第に増加し、およそ 27 g-VSS/L（40 g-SS/L）で安定した。

○微生物生態学的な視点から DHS を評価するため、前記ラボスケール DHS リアクターから保持汚泥を採取し、微生物群集解析を行った。高次の微生物である後生動物、原生動物は、汚泥 1 mg-SS あたりの個体数は活性汚泥と同程度であった。細菌群集は高さ方向に変化しており、水質プロファイルを反映する結果を得た。

③廃水処理トータルシステムの開発

<トータルシステムの開発>

○システムには実下水を流入させ、処理水量 50m³/d、UASB 水理学的滞留時間 9.7 時間、UASB 水面積負荷 0.5m³/m²/時、DHS 水理学的滞留時間 2.5 時間で運転した。

○UASB-DHS は BOD の除去に優れるが、水温低下時に SS の

除去が不安定になることが明らかとなった。

○UASB-DHS-砂ろ過システムで最も高度な水質が得られた。下水道法における放流水質基準は BOD 15mg/L 以下、SS 40mg/L 以下であり、H17 下水道統計標準活性汚泥法処理水平均値は BOD 5.0mg/L、SS 5.3mg/L である。これに対し、UASB-DHS-砂ろ過処理水は BOD 5.6 mg/L、SS 8.0 mg/L であった。

○UASB-DHS-砂ろ過の汚泥発生量は、下水 1m³ 処理あたり 0.043kg-SS であった。

○UASB-DHS-砂ろ過における水処理エネルギーは、下水 1m³ 処理あたり 0.097kWh であった。また、汚泥発生量から推定される汚泥処理エネルギーは下水 1m³ 処理あたり 0.025kWh であった。

○UASB-DHS-砂ろ過における水処理に伴う二酸化炭素排出量は、下水 1m³ 処理あたり 0.054kg-CO₂ であった。また、汚泥発生量から推定される汚泥処理エネルギーは下水 1m³ 処理あたり 0.009kg-CO₂ であった。

<下水道処理分野への適用に関する研究開発>

○UASB-DHS 処理水質を低水温時に実験的に悪化させて、DHS 後段処理としての砂ろ過技術の適用性を検討した。粒径 1.8mm のアンスラサイト単層砂ろ過でろ過速度 100~200m/d では、DHS 処理水の SS を最大 27mg/L まで増加させても砂ろ過後では最大 13mg/L であり放流水基準 40mg/L 未満を余裕をもって達成できた。しかし、その際に DHS 処理水の BOD は最大で 45mg/L まで増加し、有機汚濁の溶解性の割合が約 80%と高かったため、砂ろ過後でも放流水基準 15mg/L 未満を達成できなかった。従って、UASB-DHS の処理水質悪化時に、DHS 後段処理としての砂ろ過技術の追加だけで常に放流水基準への適合を担保することは難しいと考えられ、UASB-DHS の運転条件の変更等の適正な運転管理を併せて行う必要があることが示唆された。

○処理に阻害をもたらすおそれのある水質への適応性調査を行い、下水で想定される範囲の pH5.0~9.1 の変動およびフェノール性排水 5mg/L の突発的流入に UASB-DHS が対応できることを示した。

○小規模下水道への適用のコスト試算を行い、UASB-DHS シス

	<p>テムが維持管理費において標準活性汚泥法比で約 2 割削減できる可能性があり、導入検討時に経済性の問題が阻害要因となる可能性が低いことを示した。</p> <p>○UASB-DHS システムに小型の嫌気性消化槽を組み合わせることで汚泥を循環させることで汚泥発生量を抑制し、エネルギー回収を促進できる可能性があることを示した。</p> <p><システム普及促進のための研究></p> <p>○ラボスケールにおいて、染色廃水連続処理実験を行った。流入廃水には染色実排水を用い、B OD 容積負荷 0.2~0.8 kgBOD/m³/d、総水理学的滞留時間 29 時間において、BOD 除去率 90%以上、SS 除去率 90%程度を得た。加えて、着色度基準で 60%程度の脱色が確認された。また、汚泥発生量は従来の処理法と比較してもごく小さいことが示された。</p> <p>○引き続き、ラボスケールにおいてフェノール含有廃水連続処理実験を行った。流入フェノール濃度 1500 mg COD/L、COD 容積負荷 1.4 kg COD/m³/day、総水理学的滞留時間 28.4 hr において、COD 除去率 95%以上が得られた。</p> <p>○UASB-DHS の衛生工学的特性評価を行った。標準活性汚泥法消毒前大腸菌群数 (国分隼人クリーンセンター) 3.8×10⁵CFU/100mL に対し、UASB-DHS-砂ろ過消毒前大腸菌群数 1.9×10⁵CFU/100mL であり、UASB-DHS システムは、活性汚泥法と同等以上の大腸菌群除去能を有することが示された。</p> <p>○UASB 後段の DHS の微生物生態評価のために、DHS パイロットプラントから汚泥を採取し、酸素利用速度 (OUR) および微小動物相解析を解析した。OUR の垂直分布から、DHS 上部で有機物が積極的に酸化されることが示された。また、DHS OUR は既往文献から得られた標準活性汚泥法 OUR と同等程度であった。微小動物相解析結果から、DHS は活性汚泥よりも多様な高次微生物群集を保持することが示唆された。</p> <table border="1" data-bbox="592 1697 1500 1854"> <tr> <td data-bbox="592 1697 815 1798">研究発表・講演</td> <td data-bbox="815 1697 1500 1798">論文発表 13 件、口頭発表 48 件、マスコミ、広報誌発表 9 件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 1798 815 1854">特許</td> <td data-bbox="815 1798 1500 1854">出願済み 3 件、出願準備中 2 件</td> </tr> </table>	研究発表・講演	論文発表 13 件、口頭発表 48 件、マスコミ、広報誌発表 9 件	特許	出願済み 3 件、出願準備中 2 件
研究発表・講演	論文発表 13 件、口頭発表 48 件、マスコミ、広報誌発表 9 件				
特許	出願済み 3 件、出願準備中 2 件				
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p><実用化、事業化の可能性に関する調査></p> <p>技術動向・市場動向、市場規模、波及効果、実用化までのロードマップに関する調査を行った。</p>				

○技術動向と本開発技術の位置付け

本開発技術は UASB、低温（常温）嫌気処理、産業廃水と生活排水を含めた幅広い適用分野への対応、後処理の DHS など、最近の技術開発動向と一致した要素技術より成り立っており、目標達成のための手段としての合理性がある。省エネルギー性、汚泥減容化などの効果に着目してシステムを作り上げているところが新規性を有していると言える。

○市場動向

水処理ユーザーへのアンケート調査により、活性汚泥処理の省エネルギー化、汚泥発生量の低減への関心度が非常に高いことが分かった。

○市場規模

国内産業廃水処理分野で約 20,000 事業所、約 2,000 万 m³/日の市場があると推定される。生活排水処理分野では下水道未整備地域に今後建設される処理場だけでも処理水量約 1,000 万 m³/日、人口約 3,500 万人の潜在需要があると推定される。市場動向調査より、2030 年における普及率で、事業所廃水処理設備更新需要の 1/6、生活排水で下水道等未整備人口 1/3、程度の普及が可能と推定される。海外市場はアジアを中心に、産業廃水で国内市場の約 5 倍、生活排水の国内市場の約 9 倍の市場規模があると推定される。

○省エネルギー効果

本開発技術の普及により、国内産業分野で 19 億 kwh/年、原油換算で 46 万 KL、国内生活排水処理分野で 4 億 kwh/年、原油換算で 10 万 KL の省エネルギー効果が期待され、国内産業と生活排水の分野合計で原油換算 56 万 KL の省エネルギー効果が期待される。また本技術の普及により、国内産業と生活排水の分野合計で 725 千トンの最終処分量削減が見込める。これは現状の汚泥の最終処分量 7,370 千トンの約 10%に相当する。

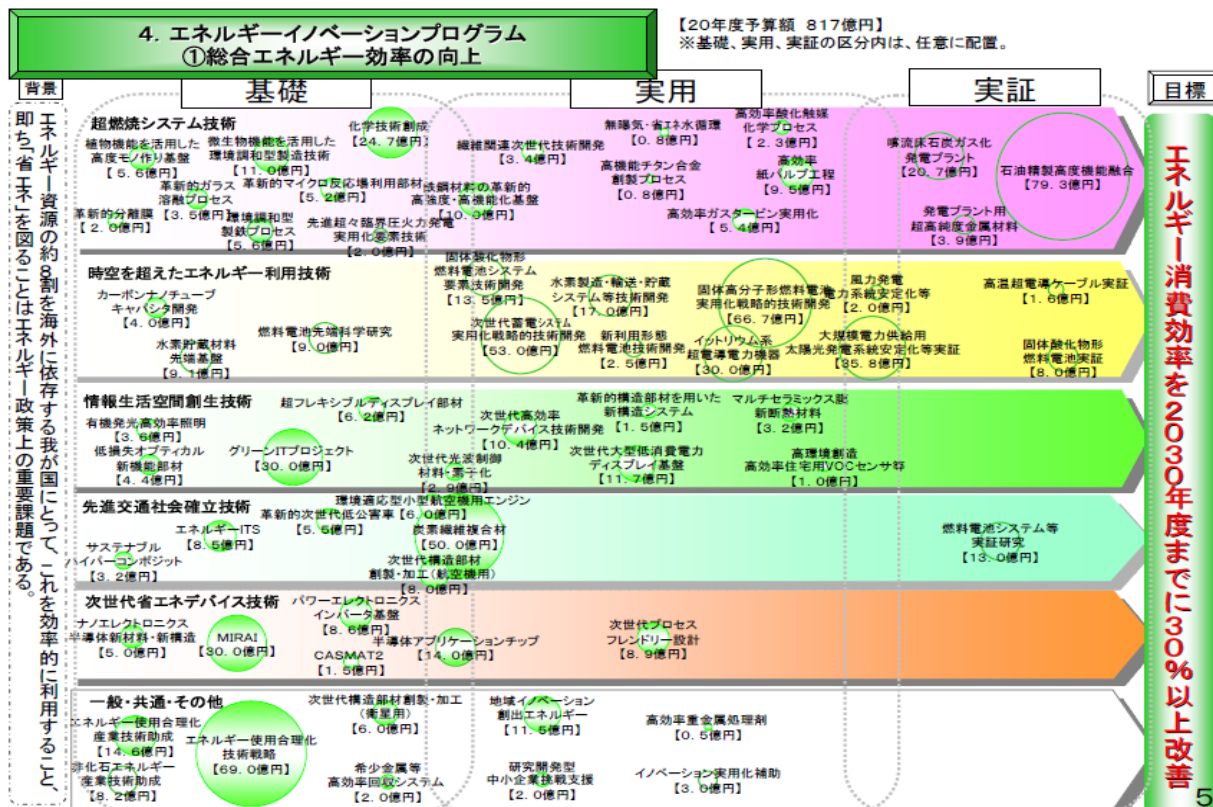
○実用化までの課題を整理し、産業分野、下水分野及び海外での実用化までのロードマップを作成した。

本技術は設備更新期間が長い既設下水処理場への普及はハードルが高いものの、省エネルギー、低コストを武器に、新規の生活廃水処理や、廃水処理のコスト削減にめざとく比較的更新期間が短い民間の工場廃水処理、さらには下水道整備が遅れている ODA 対象国、下水道設備はあるが放流水質が基準を満

	<p>たしていない中進国等海外への普及が見込まれる。</p> <p>○実用化、事業化の可能性</p> <p>本開発技術は本開発技術の目標は、活性汚泥の省エネルギー化、コストの低減、汚泥減容化を希望するユーザーニーズにマッチしており、普及を見込める市場の規模は大きい。したがって普及の可能性は大きいと考えられる。</p>	
V. 評価に関する事項	事前評価	平成17年度実施 担当部環境技術開発部
	中間評価以降	平成21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	平成18年3月 制定
	変更履歴	

技術分野全体での位置づけ

(分科会資料 5-1 より抜粋)

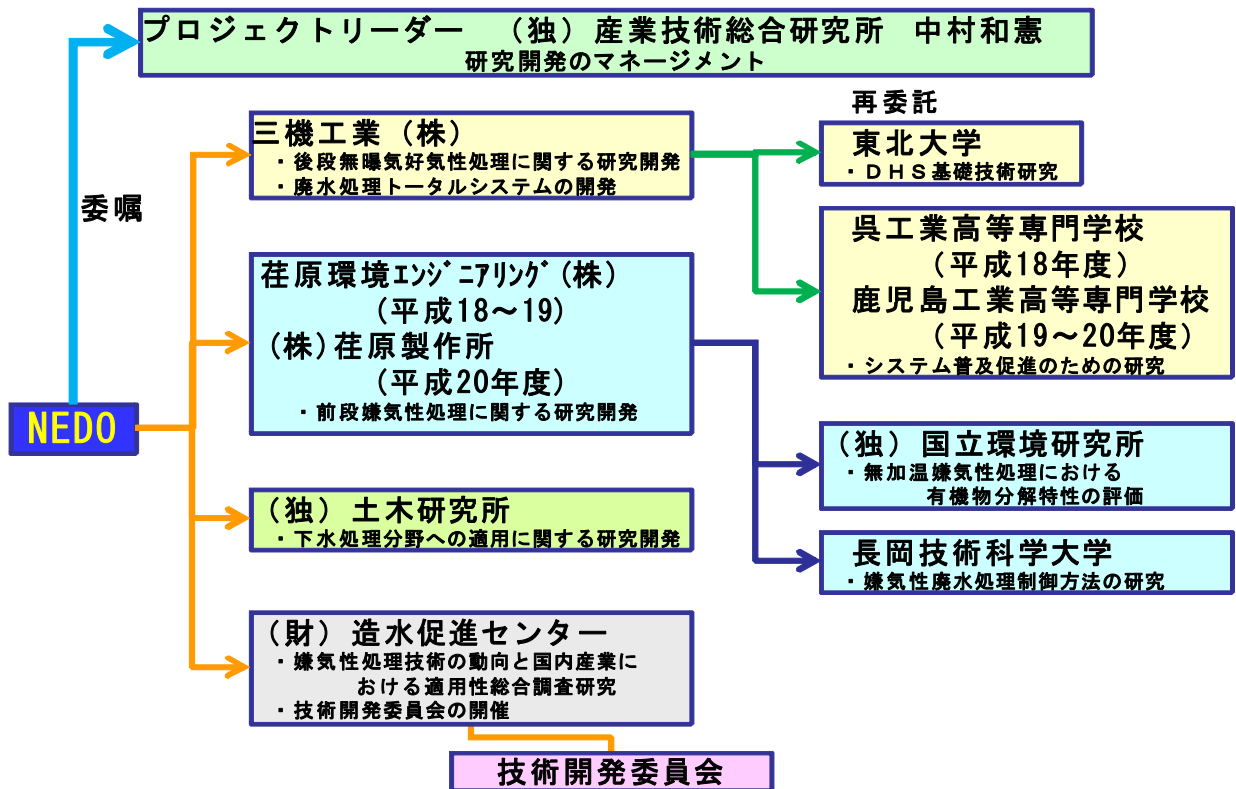


エネルギーイノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置づけ
 (出典：第27回産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会)

技術戦略マップにおいては、3R分野の「汚泥系バイオマスを対象とした汚泥発生量を低減する廃水処理技術」及び、「グリーンバイオ分野の生物機能を利用した環境への負荷低減技術」に該当する。

「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発」

全体の研究開発実施体制



「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発」(事後評価)

評価概要 (案)

1. 総論

1) 総合評価

現行の下水・産業排水処理設備は、副生成物による環境負荷への影響と運転費の削減という点で課題を残している。本プロジェクトで掲げたエネルギー消費量、CO₂ 排出量、汚泥発生量の 70%削減という高い目標値をいずれもクリアしている点、および処理水質が標準活性汚泥法と同等で、しかもほぼ年間を通して安定した運転ができる可能性が高いという点で、本プロジェクトにおける開発技術は高く評価できる。また、下水を処理対象とした場合のシステム設計や操作に関わる基本データの収集も十分になされている。本開発技術は、我が国のみならず、開発途上国への適用にも有利であり、大きな成果が得られたといえる。

一方で、本研究開発では、設備費、維持管理費に対する説明が不十分なので、今後、建設費、維持管理費の算出根拠・前提をさらに詳しく示すべきである。その上で、改善のための課題や、経済的に適用可能な範囲を明確にする必要がある。また、標準活性汚泥法と同等の水質を得るために砂濾過処理が必要となるため、処理に必要な用地面積についても検討する必要がある。また UASB から発生する温暖化ガスの一種であるメタンガスの有効利用や適切な処理も今後の課題とすべきであろう。

2) 今後に対する提言

本システムの実用化の推進やリスク回避のためにも、実験の前提条件を明確化すべきである。UASB のスタートアップには時間が掛かり DHS のスタートアップは短時間で完了できる。UASB のスタートアップ時間を短縮できなければ、トータルプロセスとして余分な装置設備が必要となるので、それを回避する方法を今後の開発課題とすべきである。また、成果の普及のため、DHS 槽で使用する担体コストの低減に向けた材質や形状等について検討すべきである。

用地費、建設費、維持管理費、運転・維持管理の容易さ等あらゆる要素を考慮して本技術が「適正技術」となるような条件を取りまとめる必要がある。本技術を普及させる上では本技術に対する全ての代替案と、上記の条件を比較する必要がある。設計・運転・維持管理マニュアルの整備を検討すべきである。

適用市場は日本にもあるが、本技術が適する市場は、低緯度の開発途上国にも有ると考える。海外からの技術移転の要望に対応できる態勢（技術情報のエン

エンジニアリング化、許諾条件、特許使用権、対価など)の整備を望みたい。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本システムの実用化の推進やリスク回避のためにも、実験の前提条件を明確化すべきである。UASBのスタートアップには時間が掛かりDHSのスタートアップは短時間で完了できる。UASBのスタートアップ時間を短縮できなければ、トータルプロセスとして余分な装置設備が必要となるので、それを回避する方法を今後の開発課題とすべきである。また、成果の普及のため、DHS槽で使用する担体コストの低減に向けた材質や形状等について検討すべきである。

用地費、建設費、維持管理費、運転・維持管理の容易さ等あらゆる要素を考慮して本技術が「適正技術」となるような条件を取りまとめる必要がある。本技術を普及させる上では本技術に対する全ての代替案と、上記の条件を比較する必要がある。設計・運転・維持管理マニュアルの整備を検討すべきである。

適用市場は日本にもあるが、本技術が適する市場は、低緯度の開発途上国にも有ると考える。海外からの技術移転の要望に対応できる態勢(技術情報のエンジニアリング化、許諾条件、特許使用権、対価など)の整備を望みたい。

2) 研究開発マネジメントについて

研究開発目標として、明確かつ高い数値目標が具体的に設定されている。それらの目標を達成するための要素技術が組み合わされており、基本技術の導入、現象面の解析などが行われている。また、開発課題についての技術や知見を有する実施者で構成される事業実施の適正な体制となっている。プロジェクトリーダーによる開発事業の統括・進行管理も十分になされたと評価できる。運営も技術開発委員会、定例会議、進捗フォローアップミーティングなどの会議体で頻繁にかつ適正に執行されたと考えられる。

しかし、研究開発目標は排水処理の主流である標準活性汚泥法との比較で設定されている。エネルギー消費やCO₂発生量などはライフサイクルで評価することが望ましい。また、国内での他のシステムとの競合を考えると、N、Pについても目標を掲げるべきであった。

一方、この数年間で国内市場は大きく減少してきている。高温対応、廉価担体、処理水質、処理水利用など、海外も視野に入れた開発の見直しがあっても良かったと考える。

3) 研究開発成果について

本事業で実施したUASB-DHSシステムのパイロットプラントによる実証試

験を通して、砂濾過を付加した上ではあるが、エネルギー消費量や汚泥発生量の低減に対して設定された高い目標を達成した。後段は従来の散水ろ床法の短所をかなり改善しており、優位性が認められる。更に、本システム全体では優位性が際立っている。低温下におけるセルロースの分解状態の把握、DHSにおける食物連鎖による低汚泥発生現象の把握など新しい知見も多く得られている。投入予算以上の成果が得られたと言える。

論文や学会発表などの研究成果の発表がよく行われており、一般へ向けての情報発信も報道機関を通じてなされている。

しかし、小規模活性汚泥法の最新の技術情報もきちんと把握して、建設費、維持管理費、維持管理の難易、環境影響などの視点から、それとの比較を行ったうえでユーザーへの情報提供はまだ十分ではない。SS除去のため、砂濾過を付加する必要があるので、処理に直接必要な施設の占有面積や建設費の増加分について、経済面を含めたシステムを総合評価する必要がある。

また、特許等の知的財産の事業化戦略における有効性がやや不明確である。成果の受取手に対して、技術導入のメリットとなる点をより分かりやすく説明することが必要である。

4) 実用化、事業化の見通しについて

産業廃棄物の約44%を占める汚泥の発生の大幅な低減が可能であり、かつ、生物処理による曝気動力の大幅な削減と、それらに伴う地球温暖化ガス排出量の削減を可能にする排水処理システムに対する潜在市場ニーズは大きい。比較的小規模の国内産業排水処理の分野では、標準化・ユニット化により、かつて多くの浄化槽が普及したように事業化が進む可能性がある。また大規模の生活排水処理（下水道等）においても複数の系列の一部の増設に、本システムを導入することにより実績を積める可能性がある。

しかし、事業化に至る道筋は必ずしも具体的とは言えない。実用化を促進するため、産業排水処理・下水処理等における国内外での技術普及の具体的実施シナリオを示す必要がある。産業界への普及という点では、もっと多くの具体的な業種や排水の種類を挙げると分かりやすい。また、より多様な廃水に対する処理が可能となるよう、窒素またはりん除去処理にも取り組むことを希望する。

個別テーマに関する評価

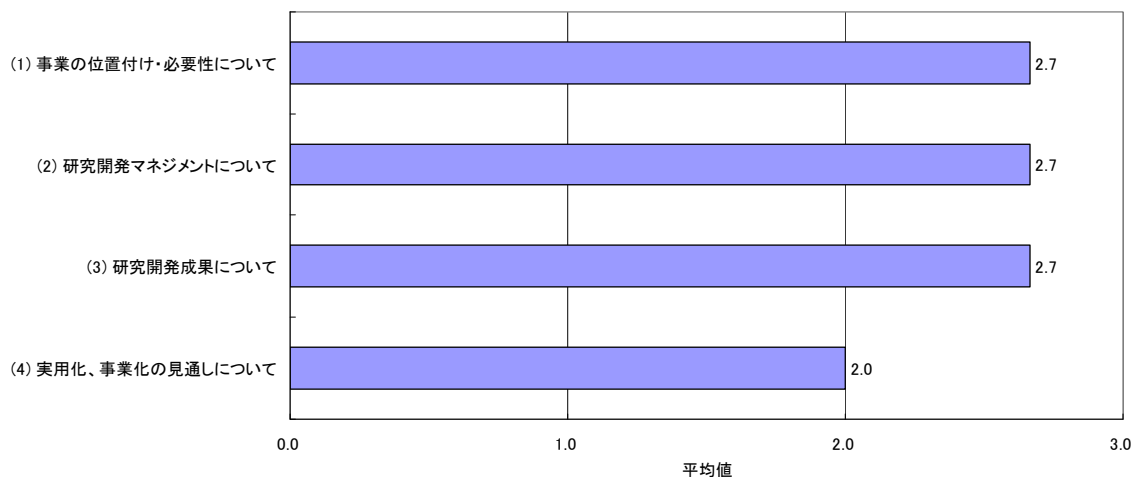
	成果に関する評価	実用化の見通しに関する評価	今後に対する提言
前段嫌気性処理技術の開発	<p>下水の処理が UASB プロセスによって実施できることを立証した研究開発として評価できる。低水温期を含んで安定的に処理可能な負荷条件等の運転条件や除去速度および保持汚泥量の変動状況等の装置設計や操作の基礎となるデータを長期的に収集し、その特性を明らかにした。しかも、保持汚泥の菌相構造解析を行い、槽内での有機物分解に寄与する微生物群に関する知見を得ている。</p> <p>しかし、嫌気性処理が安定期に至るまでに相当の期間を要している。また、低温期における UASB リアクター内へのセルロースの蓄積は UASB プロセスの成立を困難にする大きな要因となる。これらのプロセス阻害要因をどのように解決すべきかが今後の課題である。</p> <p>更には、実用化する際の設計諸元の決定方法や維持管理指針などは未だ十分とは言えない。種汚泥の確保の安定方策のマニュアルをつくることを検討してほしい。</p>		<p>温度や異なった流入排水の負荷濃度などに対してどのような設計を行うかなど設計面のノウハウの蓄積が必要と考える。現場で運転状況をモニタリングし、対応が取れるような簡易な指標（例えば槽鉛直方向の一定の高さにおける SVI など）を確立しておくことが本技術の普及の上で重要であろう。こうした知見を踏まえ、本技術を普及させてゆく際には維持管理マニュアルの作成などが望まれる。</p>

<p>後段好気性処理技術の開発</p>	<p>微生物保持効果が大きく、かつ酸素供給機能も十分備えた、耐久性のある担体を開発・導入したことで、エネルギー非消費型でかつ汚泥の発生がほとんどない、安定した好気性水処理を達成したことは高く評価できる。また、本方式による下水処理性能をパイロット規模プラントで実証した点も高く評価できる。</p> <p>DHS 槽内の担体の流下方向における微生物群集解析や生息する微小生物の観察を行い、槽内での浄化の機構や汚泥発生が極めて少ない原因を明らかにしており、学術的にも意義がある。</p> <p>しかし、DHS リアクターへの流入 SS が高濃度となる際のリアクター流出 SS の上昇をいかに抑制するかは、今後の研究課題と考える。比較のために、DHS 槽と既存の類似プロセスである散水ろ床の槽容積あたりの効率や処理速度の相違が数値化されていることが望まれる。スポンジに比べて保護材のネットリングが高価ということから、コスト低下に努力することが普及・展開を図る上で重要といえる。</p>		<p>インドでの 6 年間の運転実績を十分に分析し、その経験をフィードバックして行くことが望ましい。窒素除去性能のアップおよびリン除去のための付加的な方法・付加的プロセスについても、今後の進展を期待したい。</p> <p>ランニングコストについては問題ないといえるが、イニシャルコストをいかに低減するかが重要である。</p>
---------------------	--	--	--

<p>処理システムの開発</p>	<p>本プロジェクトで開発した UASB、DHS、砂濾過を基本構成要素とするトータルシステムとしての下水処理性能が把握できており、当初の目標を達成した。また、下水のみならず産業廃水や毒物含有廃水への応答の検討も行い、トータルプロセスとしての安定性を確認した点も評価できる。標準活性汚泥法に比較して、同等の処理水質を半日程度の滞留時間で概ね安定的に達成しつつ、運転時における汚泥発生量、電力消費量ならびに二酸化炭素排出量を大幅に低減可能であることを実証した点は高い評価に値する。</p> <p>しかし、冬季における UASB リアクターの性能維持、特にセルロース分解活性の維持について、まだ十分に確立した方法が見出されていない。また、運転初期の運転マニュアルの適正化が必要といえる。</p>	<p>主要な下水処理法である標準活性汚泥法と比較して、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量および汚泥処理コストの大幅な削減が可能であることを、トータルプロセスとして実証したことは評価できる。国内では、寒冷地を除いた中・小規模産業排水処理への適用の可能性があり、海外では、低緯度開発途上国を中心に、下水、産業排水処理への適用の可能性が有ると考える。</p> <p>しかし、本システムを事業化し、普及させる場合には、本システムが標準活性汚泥法以外のシステムも含めた代替案の中で、比較優位に立つ条件を整理する必要がある。更には、プラント建設コストの低減のため、課題抽出を行い、対策を具体化することが必要である。</p> <p>また、SS 対策上砂濾過付加施設の組み込みを適正化（砂以外の適正ろ材も含め）した運転システムを地域特性に応じて対応するマニュアルの構築を希望する。</p>	<p>第三者機関による経済評価と、商品化のための課題抽出が重要と考える。実用化、普及に向けたシナリオ策定と実施状況のモニタリング、関連情報の開示も重要と考える。</p> <p>本技術を開発途上国の生活排水処理等に適用する場合、同じく無曝気処理方式である安定化池法との比較で優劣を競う可能性が考えられる。その場合、土地の省スペース化や、砂濾過を付けた場合の水質の良さなどのメリットと、建設費の高さというデメリットを整理し、競い合えるよう戦略を立てておく必要がある。</p>
------------------	--	--	---

評点結果

[プロジェクトに全体に対する評価]



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

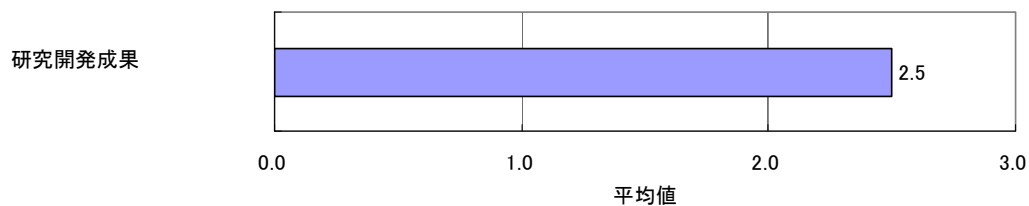
(注) A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

<判定基準>

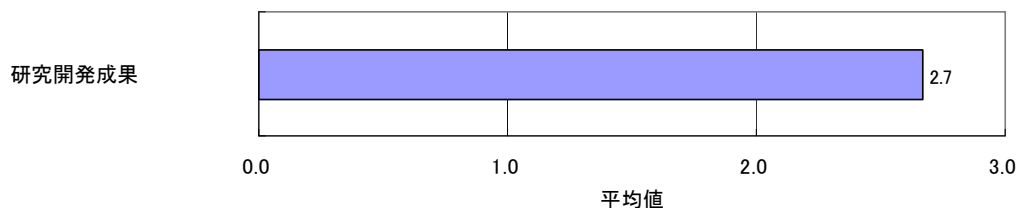
(1) 事業の位置付け・必要性について	(3) 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
(2) 研究開発マネジメントについて	(4) 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

[個別テーマに対する評価]

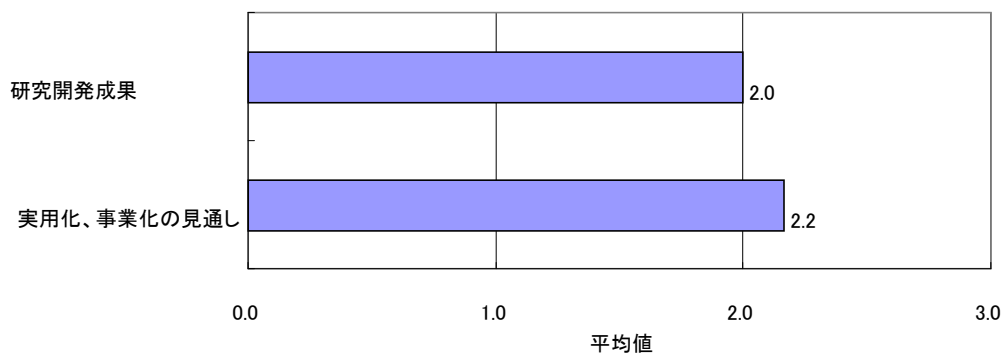
1. 前段嫌気性処理技術の開発



2. 後段好気性処理技術の開発



3. 処理システムの開発



個別テーマ	平均値	素点 (注)							
1. 前段嫌気性処理技術の開発									
研究開発成果	2.5	A	B	A	B	B	A		
2. 後段好気性処理技術の開発									
研究開発成果	2.7	A	A	A	B	B	A		
3. 処理システムの開発									
研究開発成果	2.0	A	B	B	C	C	A		
実用化、事業化の見通し	2.2	A	A	B	C	C	A		

(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 → A
- ・よい → B
- ・概ね妥当 → C
- ・妥当とはいえない → D

(2) 実用化・事業化の見通しについて

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