

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) 分科会 資料 5.1

「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発  
プロジェクト」

事業原簿 【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 環境技術開発部
-----	------------------------------------

— 目 次 —

概 要	概要-1
プロジェクト用語集	用語-1
I. 事業の位置付け・必要性について	I-1
1. NEDO の関与の必要性・制度への適合性	I-1
2. 事業の背景・目的位置付け	I-3
II. 研究開発マネジメントについて	II-1
1. 事業の目標	II-1
2. 事業の計画内容	II-3
3. 情勢変化への対応	II-9
III. 研究開発成果について	III-1
1. 事業全体の成果	III-1
2. 研究開発項目ごとの成果	III.2.1-1
2.1 前段嫌気処理に関する研究開発	III.2.1-1
(有機物の可溶化とメタン化技術の研究開発)	
2.1.1 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発	III.2.1-1
2.1.2 無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価	III.2.1-9
2.1.3 嫌気廃水処理制御方法の研究	III.2.1-13
2.2 後段無曝気好気性処理に関する研究開発(新規DHSの開発)	III.2.2-1
2.2.1 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発	III.2.2-1
2.2.2 DHS基礎技術研究	III.2.2-10
2.3 廃水処理トータルシステムの開発	III.2.3-1
2.3.1 トータルシステムの開発	III.2.3-1
2.3.2 システム普及促進のための研究	III.2.3-7
2.4 下水処理分野への適用に関する研究開発	III.2.4-1
2.5 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	III.2.5-1
IV. 実用化、事業化の見通しについて	IV-1
添付資料:	
プロジェクト基本計画	添 1
技術戦略マップ	添 2
事前評価書・パブリックコメント	添 3
特許、論文等のリスト	添 4

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	P06039
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50m<sup>3</sup>/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。</p> <p>後段無曝気好気性処理に関する研究開発</p> <p>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</p>		

	<p>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。</p> <p>廃水処理トータルシステムの開発</p> <p>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、CO<sub>2</sub> 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。</p> <p>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pH5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><b>【NEDO関与の意義について】</b></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</p>

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。

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"> <li>・エネルギー消費量: 標準活性汚泥法に対して70%削減。</li> <li>・二酸化炭素排出量: 標準活性汚泥法に対して70%削減。</li> <li>・汚泥発生量: 標準活性汚泥法に対して70%削減。</li> <li>・処理水質 (BOD、SS、大腸菌群数): 標準活性汚泥法と同程度。</li> </ul> <p>設定根拠は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・消費エネルギー: 曝気プロアが不要、 汚泥処理に必要なエネルギー低減</li> <li>・CO2排出量: 同上</li> <li>・汚泥発生量: 嫌気性処理により汚泥発生量低減</li> <li>・処理水質: 嫌気-好気処理、高濃度微生物保持</li> </ul>				
【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。				

<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<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 10,000m<sup>3</sup> 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 10,000m<sup>3</sup> 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 10,000m<sup>3</sup> 未満)と比較し、水処理に係る汚泥発生量 85%削減を得た。これにより所期目標を達成した。</p> <p>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。</p> <p>個別研究項目に対する成果概要を以下に示す。</p> <p>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＞</p> <p>○水量 50m<sup>3</sup>/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<sub>Cr</sub> 容積負荷 0.99kg/m<sup>3</sup>/d、COD<sub>Cr</sub> 汚泥負荷 0.09kg/kgMLVSS/d において COD<sub>Cr</sub> 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。</p> <p>○水温(20℃以下、20～25℃、25℃以上)ごとに、COD<sub>Cr</sub> 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<sub>Cr</sub> 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。</p> <p>○水温 25℃以上において、HRT 4h、6h、8h、10h の運転条件で処理を行</p>
----------------------	--

	<p>った結果、COD<sub>cr</sub> 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。</p> <p>○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で、汚泥の沈降性を改善できることができた。</p> <p>&lt;無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価&gt;</p> <p>○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。</p> <p>○UASB 槽汚泥のセルロース含量分析により、冬季の水温の低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>&lt;嫌気廃水処理制御方法の研究&gt;</p> <p>○水温低下時(15℃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>&lt;反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発&gt;</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</p>
--	---

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。

○DHS では 4m 程度の流下長を確保することが望ましく、BOD 容積負荷は、活性汚泥法と同等程度(0.3~0.8kg-BOD/m<sup>3</sup>-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/m<sup>3</sup>/day(BOD 容積負荷は 2.4 kg-COD/m<sup>3</sup>/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<sup>-1</sup>、30 mm 角では 20.4 h<sup>-1</sup>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 50m<sup>3</sup>/d、UASB 水理学的滞留時間 9.7 時間、UASB 水面積負荷 0.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/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值 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

	<p>mg/L、SS 8.0 mg/L であった。</p> <p>○UASB-DHS-砂ろ過の汚泥発生量は、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.043kg-SS であった。</p> <p>○UASB-DHS-砂ろ過における水処理エネルギーは、下水 1m<sup>3</sup> 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 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.025kWh であった。</p> <p>○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 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.054kg-CO<sub>2</sub> 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 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.009kg-CO<sub>2</sub> であった。</p> <p>&lt; 下水処理分野への適用に関する研究開発 &gt;</p> <p>○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。</p> <p>○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。</p> <p>○小規模下水道への適用のコスト試算を行い、UASB-DHS シス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>&lt; システム普及促進のための研究 &gt;</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、BOD 容積負荷 0.2~0.8 kgBOD/m<sup>3</sup>/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/m<sup>3</sup>/day、総水理学的滞留時間 28.4 hr において、COD 除去率</p>
--	---

	<p>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) <math>3.8 \times 10^5</math>CFU/100mL に対し、UASB-DHS-砂ろ過消毒前大腸菌群数 <math>1.9 \times 10^5</math>CFU/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="557 745 1460 896"> <tr> <td data-bbox="557 745 778 842">研究発表・講演</td> <td data-bbox="778 745 1460 842">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="557 842 778 896">特許</td> <td data-bbox="778 842 1460 896">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>&lt;実用化、事業化の可能性に関する調査&gt;</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> <p>○技術動向と本開発技術の位置付け</p> <p>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。</p> <p>○市場動向</p> <p>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。</p> <p>○市場規模</p> <p>国内産業廃水処理分野で約 20,000 事業所、約 2,000 万 <math>m^3</math>/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 <math>m^3</math>/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。</p> <p>○省エネルギー効果</p> <p>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</p>				

	<p>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。</p> <p>○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。</p> <p>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	

プロジェクト用語集

番号	用語	説明
1	16S rRNA遺伝子	原核生物の細胞内に存在するタンパク質合成の場であるリボソームを構成する小サブユニットの一つが、16S rRNAである。「16S rRNA遺伝子」とは16S rRNAをコードしている遺伝子(転写により16S rRNAを生じるDNA領域)であり、細菌の系統分類の指標として広く認められている。
2	BLAST相同性	Basic Local Alignment Search Toolによって検索されたデータベース中に存在する遺伝子配列に対する遺伝子の相同性。
3	COD <sub>cr</sub> 汚泥負荷	反応タンク内単位MLSS量あたり、1日に流入するCOD <sub>cr</sub> 量kgCOD <sub>cr</sub> /(kgMLSS・日)のこと。
4	COD <sub>cr</sub> 容積負荷	反応タンクの単位容積あたり、1日に流入するCOD <sub>cr</sub> 量kgCOD <sub>cr</sub> /(m <sup>3</sup> ・日)のこと。
5	DDBJ	DNA Data Bank of Japanの略。NCBIと同様な機能を有するが、日本が監督している。
6	DGGE	DGGEとは、16S rRNA遺伝子に基づいた菌相構造解析手法の一種で、変成剤濃度勾配ゲル電気泳動(Denaturing Gradient Gel Electrophoresis)の略語である。DNA変成剤の濃度変化(勾配)をもたせたアクリルアミドゲルにおいて、DNA増幅産物を泳動すると、DNAの塩基配列(細菌の種)の違いに応じてDNAが分離し、細菌の種類と数に応じたDNAバンドのパターンが得られる。
7	DHS	Down-flow Hanging Sponge(下向流懸垂型スポンジ)の略称。気相中に配置されたスポンジを生物固定担体とした、曝気装置が不要な好気性処理法。流入廃水は反応槽上部で散水され、スポンジ担体周囲の酸素を取り込みながら流下する。
8	EGSB	Expand Granular Sludge Bed(膨張汚泥床)の略。UASB反応槽にGSSを多段に設置することにより高負荷時の気液固分離機能、汚泥保持量の増加を確保したもの。
9	FastGroup II	OTUを決定するための解析ソフトで、Yuらによって報告され、インターネットを通して解析を行うことが出来る。
10	GSS	UASB法装置の最上部に設けられたユニットで、この装置に入ってくるものは二酸化炭素、メタンなどのガスと汚泥および溶液である。固液分離が困難でこの種の方法がうまくいくか否かは、この装置の能力にかかっている。特にガスを内蔵した汚泥が流出しやすい。スタートアップ時に失敗するのはほとんど汚泥の流出によるもので。
11	HRT	水理学的滞留時間のことで、水や汚泥が池や槽に滞留する平均的な時間を表す。下水道では、最初沈殿池、最終沈殿池、生物反応槽、汚泥貯留槽などに用いられ、これらの設計や維持管理における重要な要素の一つである。
12	K <sub>la</sub>	酸素移動容量係数。水処理においてはある反応器における酸素の供給能力(速度)を表す。
13	LV	線速度(LV)とは、単位時間あたりにろ過塔などの断面積を通過する水の速度で、流量を断面積で割ることで計算される。
14	NCBI	National Center for Biotechnology Informationの略。遺伝子情報やアミノ酸情報などの国際的データベースでアメリカが監督している。
15	NL/kgCODremoved	メタン発酵処理において、除去された有機物量(ここではCOD)あたりの標準状態(0°C、1気圧)での発生ガス量を表す。
16	OTU	Operational Taxonomic Unitの略。遺伝子情報を取り扱う際に遺伝子情報の相同性から、遺伝子配列をグルーピングして、1つの固まりとして扱う際に用いられる。
17	PBS	Phosphate-buffered salineの略。リン酸塩緩衝液。
18	PSI	Percent sequence identityの略。FastGroupIIを用いて解析を行う際の設定パラメータの一つ。
19	rRNAコピー数	試料に含まれるrRNAを定量PCR法により測定した結果得られるrRNAの数。rRNAはタンパク質合成の場であるリボソームの構成するものであるため、細菌の活性が高い状態ではrRNAの含量も高いことが知られている。そのため、rRNAコピー数は試料中に存在する活性度の高い細菌の数を間接的に表すと考えられる。
20	RuMP経路	メタン酸化細菌がメタンを酸化する際、その中間代謝物であるホルムアルデヒドを同化する際に用いる代謝経路の一つ。
21	SBR	Sequential Batch reactor(逐次回分式反応器)の略。回分式反応槽を用いて、嫌気-嫌気、嫌気-好気などの処理を逐次的に行う。
22	SRT	活性汚泥法などの生物処理系における基本操作指標の一つ。系内に存在する生物体量(kg)を単位時間あたりに系外へ排除される生物体量(kg/日)で除した値。換言すれば、生物処理系に存在する生物の種類やその生理状態を規定する最も重

番号	用語	説明
23	SS汚泥負荷	反応タンク内単位MLSS量あたり、1日に流入するSS量kgSS/(kgMLSS・日)のこと。
24	SS容積負荷	反応タンクの単位容積あたり、1日に流入するSS量kgSS/(m <sup>3</sup> ・日)のこと。
25	SVI	活性汚泥の沈降性を表す指標の一つ。反応タンク内混合液を30分間静置した場合、1gの活性汚泥浮遊物質が占める容積をmL数で示し、MLSSとSVから次式で計算される。SVI=SV(vol%)×10,000/MLSS(mg/L) 一般には200以下が良好な状態。
26	UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (上向流嫌気汚泥床)の略。附着担体を用いずに、沈降性に優れた汚泥床を形成し、反応槽下部に原水を供給し、上部にGSS(気液固三相分離器)を備えた嫌気反応装置
27	ウォッシュアウト	増殖速度が遅い硝化細菌等の微生物が、その増殖速度に比較して余剰汚泥の引き抜き速度が大きく(SRTが短く)なった場合に、活性汚泥処理系外に徐々に排出されて、最終的に失われてしまうこと。
28	グラニュール	上向流式嫌気性汚泥ブランケット法や自己固定化法等において形成される粒状化汚泥。発生ガス等による暖やかな攪拌が形成・維持の必要条件の一つとなってい
29	クローニング	雑多な遺伝子プールから、遺伝子を単離してくること。今回の場合、PCR法により特異的に増幅された1本のチューブの中に混在する様々なrRNA遺伝子を1つずつに
30	スカム	沈殿池、重力濃縮タンク、消化タンク等の水面に発生するもので、繊維、毛髪、ごみなどが複雑にからみあったものと、油脂類を主成分とし、そのまわりに比較的小さな浮遊物が付着して成長したものと、更には両形態のものが混ざりあったものがある。
31	ディストリビュータ	流入水を反応槽内に均等に分配するための装置。特に本事業においては、DHS散水装置と同義。
32	定量PCR法	定量PCR法はその増幅産物を迅速に定量できるポリメラーゼ連鎖反応(PCR)の改良型である。これはDNA、あるいはRNAの逆転写により得られるcDNAのPCR増幅が行われる前の試料中のDNAやRNAの総量を間接的に測る方法である。目的の細菌由来の遺伝子配列が試料中に何コピー存在するのかを確かめる目的で利
33	プライマーペア	PCR法を用いて遺伝子を増幅する際に、その増幅領域の増幅基点となるためのプライマーの組み合わせ。

## I. 事業の位置付け・必要性について

### 1. NEDO 関与の必要性・制度への適合性

#### 1.1 NEDO が関与することの意義

##### 1.1.1 社会的な背景

下水道施設における電力・燃料消費量は、下水道普及率の増加に伴い年々増加傾向にある。図1.1-1 に示すように、2004年度の下水道における電力消費量は、約70億kwhであり、我が国の電力総消費量の約0.7%に達している。このような状況から、省エネルギー効果が高く、下水道のみならず事業所廃水及び生活排水への適用が可能な廃水処理技術の開発が求められている。具体的には所用動力が少なく、汚泥発生の少ない嫌気性処理の利点と、良好な処理水質が得られる好気性処理の利点の双方の特長を生かし、かつ双方の欠点を克服した省エネルギー性に優れた廃水処理技術の開発である。

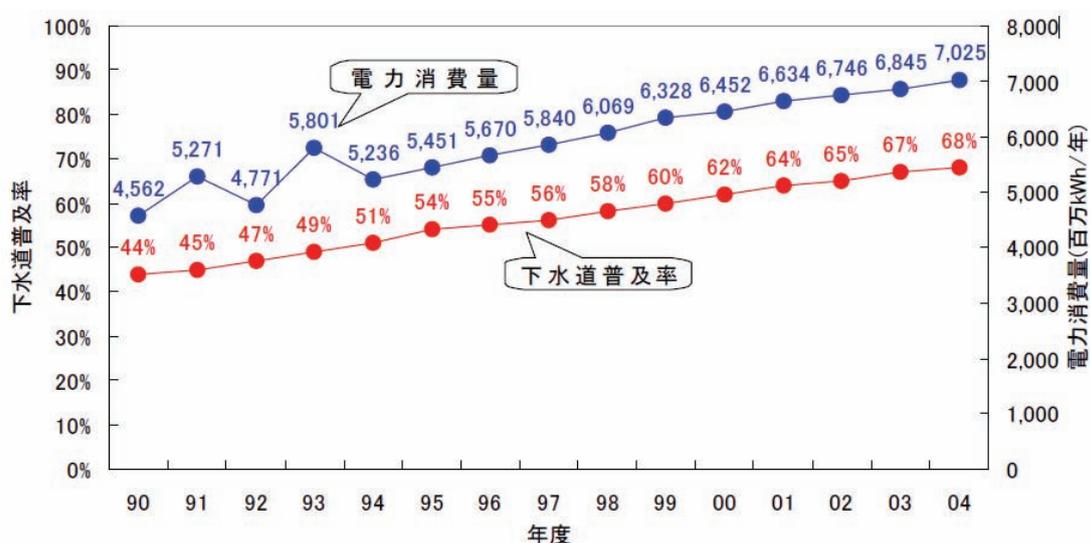


図1.1-1 下水道普及率と電力消費量の推移 (出典：下水道統計)

##### 1.1.2 研究開発の必要性

本プロジェクトは、廃水処理分野における省エネルギー性と放流水質の安全性向上を保持し、さらにこれらとトレードオフの関係にある低コスト化を両立させる廃水処理システムの構築を目的とした技術開発である。

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という利点があるものの、曝気動力が所要動力の半分以上を占めること、余剰汚泥の発生量が多く膨大な処理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、所要動力および汚泥発生量も少ないが、処理水質が活性汚泥法に比べ劣ることや、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。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 (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket: 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、嫌気性処理だけ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、「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として本課題の解決に取り組む必要がある。

### 1.1.3 技術的課題と NEDO の関与する意義

本プロジェクトでは、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ことを目的としている。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を進めることも視野に入れている。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、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と考えられる。

このように、微生物機能の解明等の先端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、産学官連携が不可欠である。このためには、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と考えられる。

また、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でき、また、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。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を得るために、NEDO・国の関与が必要不可欠である。

## 1.2 実施の効果

### 1.2.1 産業界への効果

微生物の酸化・還元機能を活用した省エネルギー型廃水処理技術の開発は、廃水処理技術分野におけるエネルギー問題と環境問題を同時に解決することを目指したもので、その意義は極めて大きいと考えられる。一例として、食品加工廃水処理では汚泥発生量が多く、汚泥発生量の少ない廃水処理技術への要望が高い。特に、中小企業が多い食品加工業界では低コストで維持管理が容易なプロセスが求められている。また、従来嫌気処理は高温消化が一般的であるが、本技術は低水温廃水に対しても適用可能であり、マーケットが広範になる。また、我が国のみならず電力事情の不安定な発展途上国等にも適用可能な廃水処理の技術開発として、その技術提供によって達成できる地球環境および人類の居住環境の

改善への貢献が期待でき、重要な技術開発成果を生み出すと考えられる。

### 1.2.2 費用対効果

本技術開発は、国内の生活排水・工場廃水のみならず、東南アジアをはじめとする電力事情の劣悪な発展途上国への波及効果を有し、グローバルな二酸化炭素の排出削減を図り、もって地球温暖化の抑制に貢献することが期待できる。

システムの前段に嫌気処理、後段に無曝気好気性処理を組み合わせることにより、従来型活性汚泥法の所用動力の60%を占める曝気ブローアを必要としないこと、汚泥発生量の70%削減により、総合的に廃水処理に必要なエネルギーの70%の省エネ効果が得られる。

本技術の対応可能な市場規模は、産業廃水と生活排水を対象にした場合、4兆円、省エネルギー効果は2030年において、56万kl/年と試算される。試算の根拠を以下に示す。

産業廃水について排出事業者数は20,00箇所あり、対象水量は20,000千m<sup>3</sup>/日とされる。このうち、1/3を顕在市場、さらに1/2が普及可能な市場、平均設備費を500千円/m<sup>3</sup>と仮定する。普及可能な市場規模は、

$$20,000 \text{ 千 m}^3/\text{日} \times 1/3 \times 1/2 \times 500 \text{ 千円/m}^3 = 1,666,667 \text{ 百万円} \approx 1.7 \text{ 兆円}$$

エネルギー原単位2.2kwh/m<sup>3</sup>、エネルギー削減量を70%、原油換算係数を0.243kwh/Lとすると、

$$20,000 \text{ 千 m}^3/\text{日} \times 1/3 \times 1/2 \times 2.2 \text{ kwh/m}^3 \times 365 \text{ 日/年} \times 0.243 \text{ kWh/L} = 455,301 \text{ kL/年} \\ \approx 46 \text{ 万 kL/年}$$

となる。

同様に、生活排水について、新設下水処理場を対象とすると10,000箇所が見込まれ、対象水量を10,000千m<sup>3</sup>/日、1/3を顕在市場、平均設備費を700千円/m<sup>3</sup>と仮定した場合、普及可能な市場規模は、

$$10,000 \text{ 千 m}^3/\text{日} \times 1/3 \times 700 \text{ 千円/m}^3 = 2,333,333 \text{ 百万円} \approx 2.3 \text{ 兆円}$$

エネルギー原単位2.2kwh/m<sup>3</sup>、エネルギー削減量を70%、原油換算係数を0.243kwh/Lとすると、

$$10,000 \text{ 千 m}^3/\text{日} \times 1/3 \times 2.2 \text{ kwh/m}^3 \times 365 \text{ 日/年} \times 0.243 \text{ kWh/L} = 91,060 \text{ kL/年} \\ \approx 10 \text{ 万 kL/年}$$

となる。よって、産業廃水及び生活排水について本システムを適応した場合、市場規模は、約4兆円、2030年時点で（原油換算）56万kl/年の省エネルギーを可能とすることが期待される。

## 2. 事業の背景・目的・位置付け

### 2.1 事業の背景

水循環技術の社会的ニーズが高まる中、「水の安全保障戦略機構」、「海外水循環システム協議会」の発足、「省水型・環境調和型水循環プロジェクト」(NEDO)が開始するなど、国内外の水問題解決に対する機運も高まっている。特に処理技術の省エネルギー化について注目されている。このような背景において、本プロジェクトの目指す目標を達成することは、社会的に極めて重要な役割を果たすことになる。

## 2.2 事業の目的と位置づけ

「エネルギーイノベーションプログラム」では、目的として「資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。」が掲げられている。本プロジェクトは、当該プログラムの中でも特に「総合エネルギー効率の向上」の一環として、目的の達成を目指し実施する。図1.1-2に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を示す。

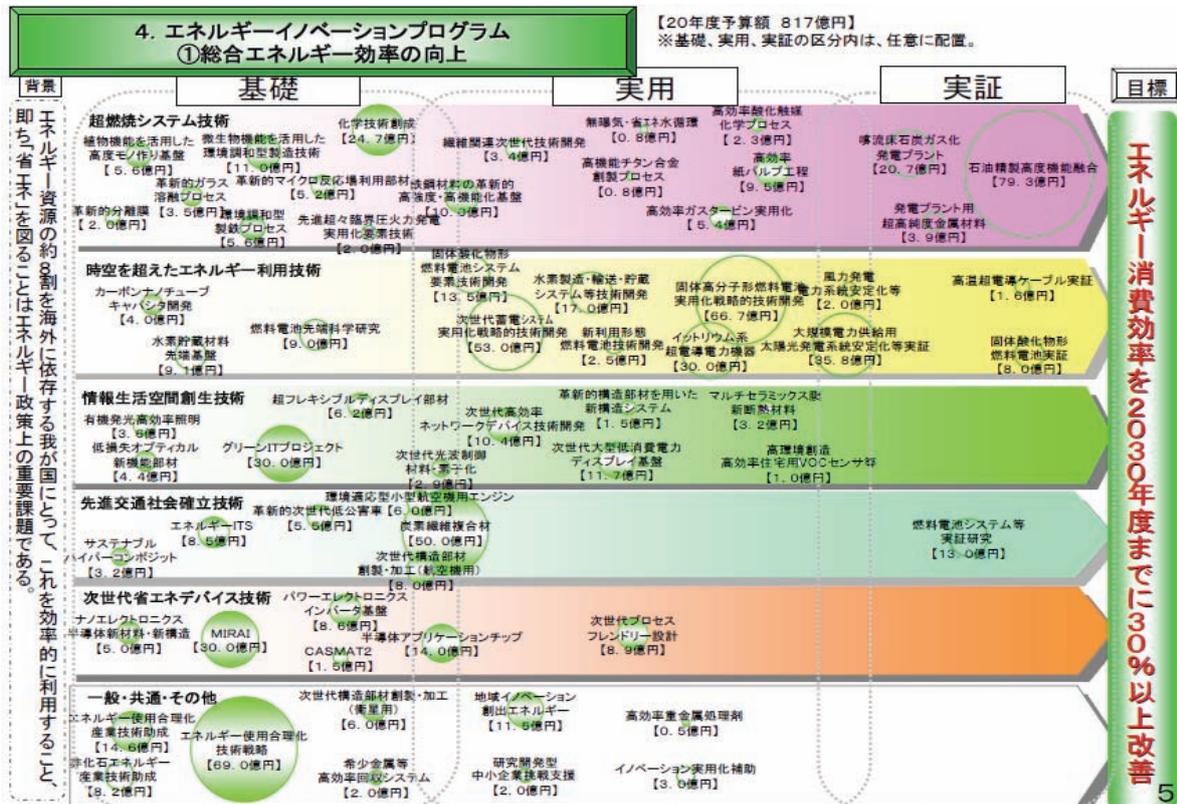


図 1.1-2 エネルギーイノベーションプログラムにおける本プロジェクトの位置づけ  
(出典：第27回産業構造審議会産業技術分科会研究開発小委員会)

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。

## II 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### 1.1 全体目標

前段嫌気性処理に UASB、後段好気性処理に DHS を用いることにより、省エネルギーでかつ廃棄物発生量の少ない廃水処理トータルシステムを確立する。比較的成分が一定で成果が妥当に評価でき応用範囲が広いという観点から、生活排水を実証の対象とし、従来法で広く用いられている活性汚泥法に対して、平成 20 年度において下記の性能を総合的に達成することを目標とする。

表 2.2-1 研究開発の全体目標と設定根拠

項目	目標値	設定根拠
エネルギー消費量	標準活性汚泥法に対して 70%削減	従来法 0.36kWh/m <sup>3</sup> -下水に対し
CO <sub>2</sub> 排出量	標準活性汚泥法に対して 70%削減	従来法 0.2kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> -下水に対し
汚泥発生量	標準活性汚泥法に対して 70%削減	従来法 0.29kg-SS/m <sup>3</sup> -下水に対し
処理水質	標準活性汚泥法に対して BOD、SS、大腸菌群数は同程度	従来法 BOD:5.0mg/L, SS:5.3 mg/L, 大腸菌群数:10 <sup>5</sup> ~10 <sup>6</sup> CFU/100mL に対し

#### 1.2 個別目標

全体目標を実現するため、かつ、効率よく研究開発をすすめるために、下記のとおり個別研究を設定した。

##### (1) 前段嫌気性処理に関する研究開発

###### ① 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

生活廃水等の低濃度で難分解性有機物を含む廃水に対しては、十分な安定性や効率を持つ嫌気発酵法が確立されていない。また、低濃度廃水は加温することはエネルギーが増大することから難しい。本研究開発では、実証プラントにおける連続廃水処理実験により低有機物濃度廃水の無加温メタン発酵技術を確立し、反応槽である UASB の滞留時間や上向流速等の設計基準や構造・COD<sub>Cr</sub>汚泥負荷量等の操作因子を明確にすることを目標とした。

###### ② 無加温嫌気処理における有機分解特性の評価

都市下水の有機物濃度は低く固形性の有機物を多く含むこと、常温条件下(15℃~25℃)では微生物群が不活性化すること等の理由から、適切なメタン発酵処理技術は未だ確立していない。本研究開発では、下水に含まれる固形有機物(SS)の低温条件下での分解特性評価(水温とSS分解との関連)を目標とし、回分集積培養試験を行った。また、UASB プラントの安定運転に関わる基礎データの収集を目標として、国分隼人クリーンセンター内に設置した実証規模下水処理 UASB プラントの保持汚泥性状(物性、微生物活性等)の把握を行った。

###### ③ 嫌気廃水処理制御方法の研究

嫌気処理では、増殖速度の遅い微生物を利用するため、ウォッシュアウトによる保持微生物量の減少によって、処理性能が低下することが懸念される。安定した処理性能を維持するためには、保持汚泥量の変動や固形成分の蓄積など汚泥性状変化の知見は重要である

が、温帯地域における実規模レベルのUASB の運転報告例は少ない。そこで本研究では、パイロットスケールUASB を無加温で長期連続運転し、温帯地域の下水処理UASB の処理性能と保持汚泥量の変動、性状の変化について定量的な知見を得る。

## (2) 後段無曝気好気性処理に関する研究開発

### ① 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

DHS では、スポンジを担体の素材に用いることで、スポンジ自体の保水能力によって廃水のHRTを確保するとともに、海綿構造の中に微生物を捕捉することで反応槽内の生物濃度を極限まで高める。DHS パイロットプラントを建設し、実廃水による実証試験を実施し、数種類の担体を試験し、最も適切な担体を選定する。その支持構造を確立し、有機物負荷、必要処理高さ等を確立する。

### ② DHS基礎技術研究

有機物負荷量による処理水質への影響、DHS の処理能力に関わる汚泥捕捉能力、酸素供給能力およびDHS に生息する微生物の種類を調査し、DHS の許容有機物負荷、担体設計基礎データおよび新型担体の能力を評価し実証プラントに反映する。

## (3) 廃水処理トータルシステムの開発

### ① トータルシステムの開発

実証プラントの運転管理を実施し、水質の同等性を得るための廃水処理システムを確立する。また、実験データを解析し、システムにおけるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub>発生量ならびに汚泥発生量を算定し、目標の達成度を明確化する。

### ② 下水処理分野への適用に関する研究開発

本研究開発の下水処理分野への適用のために、UASB-DHS (嫌気性-好気性処理システム)からの処理水の水質変動が大きい場合は変動を吸収して放流水質を安定化させ、BOD15mg/L以下を安定的に達成可能とする後処理システムの研究開発を行う。急速砂ろ過を検討することとし、下水処理への適用性について、ラボスケール実験および小規模パイロットプラント実験ならびに実証プラントにより実験・検討を行う。また、UASB-DHS システムおよび高度処理対応型システムについて、下水処理分野への適用性に関して評価を行う。評価は、実証プラントの運転データの解析結果および処理妨害物質の影響に関するラボスケール実験結果および小規模下水道への導入ケーススタディの検討を行う。

### ③ システム普及促進のための研究

下水などの生活排水以外の産業廃水について試験を行い、適用可能性を調査する。ラボスケールUASB-DHSシステムにより各種産業廃水を原水に用いた連続処理実験を行い、嫌気-好気反応槽の処理性能の評価を行い、嫌気-好気反応槽の装置運転最適化のための制御因子を明らかにする。大腸菌など衛生工学的特徴の評価および保持微生物の特性を代謝活性試験や分子生物学的手法を用いて明らかにする。

## 2. 事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容

ベンチスケールからパイロットプラント規模の連続式処理装置を製作し、これを用いて(1)「前段嫌気性処理技術の開発」と、(2)「後段好気性処理技術の開発」を並行して進め、(3)「処理システムの開発」によってシステム全体としての性能を確認した。実験データを基に実規模プラントの概念設計を行い、汚泥削減率や省エネルギー率の検証と、コストの試算を行った。また、必要に応じてラボテスト等により、各種産業廃水に対する適用性や、処理条件の変動に対する適応性等について検討した。本研究開発の下水処理分野への適用のために(4)「下水処理分野への適用に関する研究開発」、及び本研究開発の成果を広く普及させるため、(5)「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」を行った。

#### (1) 前段嫌気性処理技術の開発

生活廃水等の有機物濃度が比較的低く難溶性有機物を含む廃水を、無加温で高効率に処理できる嫌気性廃水処理技術を開発する。本研究開発では、ラボテストによるメタン発酵特性の把握や嫌気微生物の生態評価、実証プラントにおける連続廃水処理実験により低有機物濃度廃水の無加温メタン発酵技術を確立した。

##### ① 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

低有機物濃度、難溶性有機物を含む廃水に対する無加温メタン発酵に最適な嫌気反応槽の設計基準、および嫌気生物の高密度保持に最適な反応槽の構造に関する研究・開発を行った。

###### ①-1 UASBパイロットプラント設計・製作

実証プラントの設計、建設を行った。

###### ①-2 UASBパイロットプラント運転データ収集とデータ解析

実証プラントのデータ収集を行い、反応槽の設計基準、構造、操作因子の把握を行った。

###### ①-3 UASB設計・運転方法のとりまとめ

収集データや解析結果をとりまとめ、設計方法・運転方法を確立した。

##### ② 無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価

###### ②-1 ラボテストによる評価

常温嫌気条件下における有機物分解特性の把握と、有機物分解に関わる微生物の生態学的特性（基質分解活性や、菌叢構造など）の評価をラボテストで行う。回分培養等のラボテストにより有機物分解に及ぼす水温の影響評価を行った。

###### ②-2 パイロットプラントによる評価

実証装置の汚泥試料に対して活性評価、発酵特性や菌相の把握を行った。

##### ③ 嫌気廃水処理制御方法の研究

###### ③-1 ラボテストによる評価

低濃度廃水処理メタン発酵プロセスにおける有機物分解過程やマスバランスを把握すると共に、有機物分解の安定化や効率化のための嫌気処理方法（制御方法）の研究をラボテストで行った。ラボテストによる有機物のマスバランス把握等を行った。

###### ③-2 パイロットプラントによる評価

実証プラントにおけるマスバランス評価等を行った。

## (2) 後段好気性処理技術の開発

前段嫌気性処理装置から排出される廃水を、無曝気で放流レベルの水質まで処理できる好気性廃水処理技術を開発する。

### ① 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

スポンジ担体を核にした好気性反応槽の設計基準を明確にし、高濃度の微生物を保持しながら廃水の供給や通気を適切に行う構造に関する研究開発を実施した。また、実証プラントの運転を行い運転操作方法について研究開発を実施した。

#### ①-1 DHS担体構造の開発

スポンジの形状や、サポート材料の組合せにより、新たな担体を開発した。

#### ①-2 DHS担体支持構造等の開発

DHS担体を適切に保持し、容易に施工できる担体支持やリアクターの通気や廃水の分散方法等について長期にわたって品質が保持できる構造や施工方法を開発した。

#### ①-3 DHSパイロットプラント設計・製作

パイロットプラントのDHSを設計・製作した。

#### ①-4 DHS運転データ採取とデータ解析

パイロットプラントを運転し、運転データを取得する。採取したデータを動力学的な解析を行い、特性を把握する。所定の性能が得られる条件等を決定した。

#### ①-5 DHS設計・運転方法のとりまとめ

DHSの運転結果を踏まえ、廃水の入口条件等を考慮した設計データを取りまとめる。また、運転方法についてもノウハウを整理し、運転マニュアル等を作成した。

### ② DHS基礎技術研究

DHSのもつ基礎的な特性について解明した。

#### ②-1 濃度影響評価試験

有機物負荷量、入口濃度変動による処理水質への影響などの基礎データを取得した。

#### ②-2 新規担体評価試験

新規担体の形状についても先行して評価し、その成果を実証プラントに反映させる。

#### ②-3 DHS内生物特性評価

実験装置や実証試験装置のDHS内には従来の活性汚泥法等に比べ、好気性の広範な種類の微生物が生息している。そこで、DHSの機能や特性をしるためにDHS内に生息する微生物の種類や特性を調べた。

## (3) 処理システムの開発

前段嫌気性処理と後段好気性処理を組み合わせたシステム全体として、安定的に処理でき、エネルギー消費量が低く、汚泥発生量が少ない廃水処理技術を開発した。

### ① トータルシステムの開発

実証プラントの設計・製作と運転管理を実施し、前段嫌気性処理と後段無曝気好気性処理を有効に組み合わせる方法について研究開発を行った。

#### ①-1 パイロットプラントの設計・設置

パイロットプラントのUASBとDHSの組合せ技術や周辺技術を研究できるようにプロセス設計・設置を行った。

①-2 パイロットプラント運転計画および実験データ解析

トータルシステムとしての運転計画を策定し、それに基づく運転を実施し、データを採取した。採取したデータを動力的な解析を行い、特性を把握した。

①-3 高度処理対応型システムの設計検討

パイロットプラントの運転状況等を考慮しながら高度処理対応型システムについて設計等の検討を実施した。

①-4 高度処理対応型システム改造

①-3の検討結果をもとに高度処理対応できるシステム研究ができるようパイロットプラントの改造を検討した。

①-5 高度処理対応型システムの運転・解析

高度処理対応型システムの運転を実施し、データの採取と解析を実施した。

①-6 スケールアップの検討

トータルシステムとしてのスケールアップおよびFS等を実施し、システムの実用化レベルを向上させる。

② 下水処理分野への適用に関する研究開発（独立行政法人土木研究所）

本研究開発の下水処理分野への適用のために、UASB-DHS（嫌気性-好気性処理システム）からの処理水の水質変動が大きい場合は変動を吸収して放流水質を安定化させ、BOD15mg/L以下を安定的に達成可能とする後処理システムの研究開発を行った。候補技術としては、急速砂ろ過の検討を予定しており、下水処理への適用性について、ラボスケールおよびベンチスケール実験ならびに実証プラントにより実験・検討を行った。

また、UASB-DHSシステムおよび高度処理対応型システムについて、下水処理分野への適用性に関して評価を行った。評価は、実証プラントの運転データの解析結果および処理妨害物質の影響に関するラボスケールおよびベンチスケール実験結果に基づいて行った。

②-① UASB-DHSシステムに適した砂ろ過技術の基礎開発

UASB-DHSシステムからの処理水をより高度に処理して水質を安定化させるのに適した砂ろ過技術の基礎的開発を行った。実施にあたっては、平成18年度にラボスケールの実験装置を製作して模擬廃水を用いて室内で運転して実験を行うとともに、ベンチスケールの実験装置を製作して下水処理場内の実験施設に設置して実下水を用いて連続運転する実験を行った。これらの実験データを解析して砂ろ過技術の基礎的開発を行った。

②-② UASB-DHSシステムの下水処理分野への適用性評価

UASB-DHSシステムの下水処理分野への適用性について評価を行った。実施にあたっては、平成19年度におけるUASB-DHSシステムの実証プラントの運転結果および解析結果を用いるとともに、UASB-DHSシステムの処理性能に影響を及ぼすような妨害物質が流入した場合の処理安定性評価実験を行った結果もふまえて、我が国における下水水質、流入変動、温度条件等を勘案して、下水処理分野への適用性を評価するものとする。エネルギー回収の検討もを行い、下水処理分野への適用性の評価を行った。

### ③ システム普及促進のための研究

産業廃水は業種によって廃水に含まれる成分が大きくなるため、十分な性能が得られるか試験を行い検証する必要がある。そこで、業種別にいくつかの産業廃水を選定し、その処理特性を明らかにする試験を並行して行った。

#### ③-1 嫌気-好気反応槽を用いた各種廃水処理試験

嫌気-好気反応槽の適用廃水種拡大を目的とし、ラボスケールの嫌気-好気反応槽による有機性廃水試験を行った。平成19年度以降、廃水種を増やして連続処理特性を把握した。

#### ③-2 嫌気-好気反応槽の制御因子の検討

上記③-1の結果から、装置運転最適化のための制御因子の検討を行った。

#### ③-3 嫌気-好気反応槽の衛生工学的特性評価

嫌気-好気反応槽の大腸菌等衛生工学的特徴を評価した。評価手法を確立し、パイロットスケール反応槽サンプルを用いて評価を行った。

#### ③-4 嫌気-好気反応槽の微生物生態評価

嫌気-好気反応槽に保持される微生物生態の特性を代謝活性試験、分子生物学的手法を用いて評価した。

### (4) 実用化、事業化の可能性に関する調査

実用化、事業化の可能性について客観的な判断を行うためのデータを提供することを目的に、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。

#### ① 技術動向調査

特許調査、文献調査により嫌気処理の技術動向を把握した。

#### ② 開発技術の市場調査

各種統計データから本開発技術の市場規模と波及効果を推定するとともに、アンケート調査により活性汚泥の省エネルギー化や汚泥減容化に対するユーザーの関心度を調査した。

#### ③ 開発技術普及の課題、ロードマップに関する調査研究

本開発技術の実用化、事業化までの課題、課題解決方法について調査し、普及までのロードマップを作成した。

表 2.2-2 研究開発のスケジュール

研究開発項目	平成18年度				平成19年度				平成20年度			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
(1) 前段 嫌気処理に関する研究開発												
① 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発		←										→
①-1 UASBパイロットプラント設計・製作		←	→			←	→					
①-2 UASBパイロットプラント運転データ収集とデータ解析				←								→
①-3 UASB設計・運転方法のとりまとめ							←	→				
② 無加温嫌気処理における有機物分解特性の評価		←										→
②-1 ラボテストによる評価		←	→									→
②-2 パイロットプラントによる評価					←	→						→
③ 嫌気廃水処理制御方法の研究		←										→
③-1 ラボテストによる評価		←	→									→
③-2 パイロットプラントによる評価					←	→						→
(2) 後段 無曝気好気性処理に関する研究開発												
① 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発		←										→
①-1 DHS担体構造の開発		←	→									→
①-2 DHS担体支持構造等の開発		←										→
①-3 DHSパイロットプラント設計・製作		←	→									→
①-4 DHS運転データ採取とデータ解析					←	→						→
①-5 DHS設計・運転方法のとりまとめ					←	→						→
② DHS基礎技術研究		←										→
②-1 濃度影響評価試験		←	→									→
②-2 新規担体評価試験							←	→				→
②-3 DHS内生物特性評価									←	→		→
(3) 廃水処理トータルシステムの開発												
① トータルシステムの開発		←										→
①-1 パイロットプラントの設計・設置		←	→									→
①-2 パイロットプラント運転計画および実験データ解析					←	→						→
①-3 高度処理対応型システムの設計検討						←	→					→
①-4 高度処理対応型システム改造								←	→			→
①-5 高度処理対応型システムの運転・解析									←	→		→
①-6 スケールアップの検討							←	→				→
② 下水処理分野への適用に関する研究開発		←										→
②-① UASB-DHSシステムに適した砂ろ過技術の基礎開発		←	→									→
②-② UASB-DHSシステムの下水処理分野への適用性評価					←	→						→
③ システム普及促進のための研究		←										→
③-1 嫌気-好気反応槽を用いた各種廃水処理試験		←										→
③-2 嫌気-好気反応槽の制御因子の検討							←	→				→
③-3 嫌気-好気反応槽の衛生工学的特性評価		←										→
③-4 嫌気-好気反応槽の微生物生態評価		←	→									→
(4) 実用化、事業化の可能性に関する調査												
①技術動向調査		←										→
②開発技術の市場調査					←	→						→
③開発技術普及の課題、ロードマップに関する調査研究									←	→		→
(5) 技術開発委員会の開催												
○印は委員会開催		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 2.2-3 研究予算の推移（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

## 2.2 研究開発の実施体制

本研究開発は、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 技術開発機構」とする。）が、公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約を締結する研究体を構築し、共同研究開発により実施した。共同研究開発に参加した各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDO技術開発機構が委託先決定後に指名する研究開発責任者（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した。

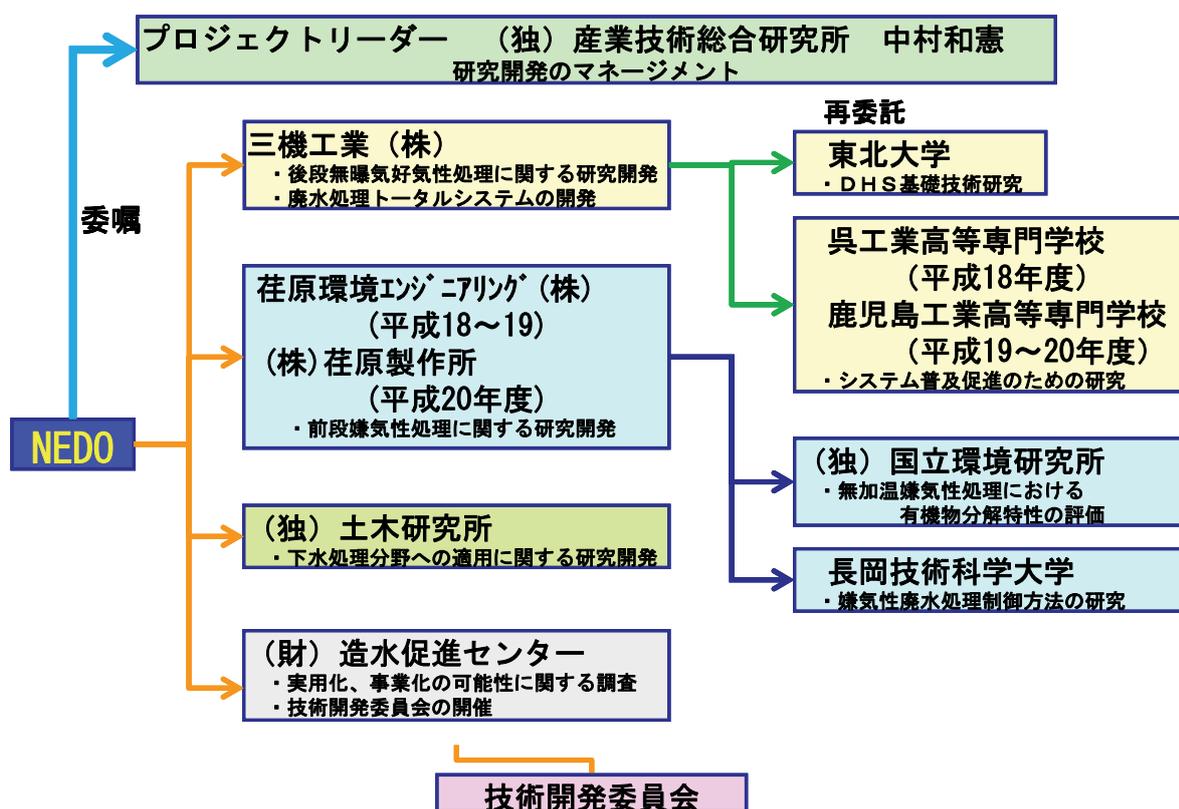


図 2.2-1 研究開発の実施体制

## 2.3 研究開発の運営管理

(1) 研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発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した。技術検討委員会においてプロジ

エクトの進捗状況についてプロジェクトリーダーからおよび共同研究者から報告を受け、外部有識者の意見を運営管理に反映させた。外部有識者の意見を実施内容に反映したのは以下の2点である。

省エネルギー率の比較には水処理だけでなく汚泥処理も含めるべきである。

省エネルギー率の比較には統計値だけでなく実際の処理場のデータとの比較も必要である。

以上の意見をふまえて目標値を設定し、データを採取するよう実施者に指示した。

表 2.2-4 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術開発委員会委員名簿

氏名	所属	役職
中村 和憲	産業技術総合研究所 評価部	主席評価役
浦瀬 太郎	学校法人片柳学園 東京工科大学応用生物学部	教授
鈴木 隆幸	科学振興機構科学技術連携群	主監補佐
吉村 和就	グローバルウォータ・ジャパン	代表
長野 晃弘	三機工業株式会社 技術開発本部研究開発部	研究開発部長
米山 豊	株式会社荏原製作所 経営企画統括部 経営企画室	副参事
岡本誠一郎	独立行政法人土木研究所 材料地盤研究グループリサイクルチーム	上席研究員
秋谷 鷹二	財団法人 造水促進センター	常務理事
原田 秀樹	国立大学法人 東北大学 大学院 工学研究科 土木工学専攻	教授
珠坪 一晃	独立行政法人 国立環境研究所 水圏環境研究領域	主任研究員
山内 正仁	独立行政法人 国立高等専門学校機構 鹿児島工業高等専門学校 土木工学科	准教授
山口 隆司	国立大学法人 長岡技術科学大学 環境・建設系	准教授

(2) 開発技術の普及を図るため、水処理ユーザーや報道機関等を対象に見学会を開催し、マスコミに対して事業のPRを行った。また海外に対してはインド ケムにおいて展示を行い、非常に関心度が高かった。CHEMICAL ENGINEERING に成果を発表するなど、国際的にも事業成果を発信した。

### 3. 情勢変化への対応

水循環技術の省エネルギー化に対する社会的要求は年々高まっている。

該当するプログラムが2008年に「省エネルギー技術プログラム」から「エネルギーイノベーションプログラム」に変更された。

2009年1月には、「海外水循環システム協議会」の発足、「省水型・環境調和型水循環プロジェクト」(NEDO)が開始するなど、水循環技術の社会的ニーズが高まり、特に省エネルギー化について注目されている。

そのような状況下において、プロジェクトについては計画について大きな変更を行わず、開発目標の達成に向けて確実な遂行を目指した。

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1 事業全体の成果

##### (1) 所期目標

新規な嫌気性処理-好気性処理システムによって、汚泥発生量やエネルギー消費量も少なく、二酸化炭素排出量削減に寄与する下記の目標値を満足できる廃水処理技術の開発を目的とした。

- ①消費エネルギー：活性汚泥法に対して 70%削減
- ②二酸化炭素排出量：同 70%削減
- ③汚泥発生量：同 70%削減
- ④処理水質：BOD、SS、大腸菌群数は現状活性汚泥法と同程度

##### (2) 目標に照らした達成状況

目標に照らした達成状況を表 1.1 に示す。

表 1.1 目標に照らした達成状況

目標	達成度	本開発 (UASB-DHS-砂ろ過)
エネルギー消費量： 活性汚泥法に対して 70%削減	◎	73%削減 (汚泥処理含めると推定 78%削減)
二酸化炭素排出量： 活性汚泥法に対して 70%削減	◎	73%削減 (汚泥処理含めると推定 77%削減)
汚泥発生量： 活性汚泥法に対して 70%削減	◎	85%削減
処理水質： 活性汚泥法と同程度 (放流基準 BOD 15mg/L, SS 40mg/L) (H17 下水道統計平均値 BOD 5.0mg/L, SS 5.3mg/L) (国分隼人クリーンセンター 消毒前大腸菌群数 $3.8 \times 10^5$ CFU/100mL)	○	BOD : 5.6 mg/L SS : 8.0 mg/L 消毒前大腸菌群数： $1.9 \times 10^5$ CFU/100mL

##### (3) 目標に対する成果の説明

###### 1) 開発システム

嫌気-好気反応槽を用いた次世代型水処理技術として、UASB-DHS を中核としたシステムを開発した。パイロットプラント (図 1-1) による実下水処理試験より、UASB-DHS は BOD の除去に優れる反面、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。

そこで、UASB-DHS の実用化を念頭に置き、SS 除去安定化のための装置を付加したシステム開発を行った。最も高度な処理水質が確保できるシステムとして UASB-DHS-砂ろ過システムが得られた。

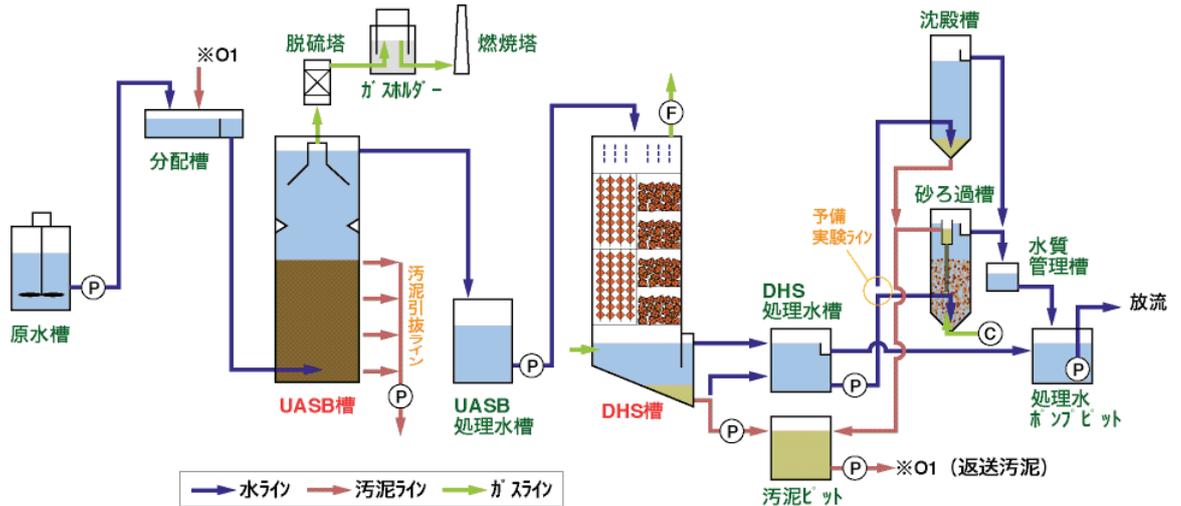


図 1-1 パイロットプラント (日処理量 50m<sup>3</sup>)

## 2) エネルギー消費量

UASB-DHS-砂ろ過システムにおけるエネルギー消費量を図 1-2 に示す。

水処理に係るエネルギーは、日処理量 10,000m<sup>3</sup> 未満の標準活性汚泥法に対して、UASB-DHS-砂ろ過では 72.9%減であった。

また、UASB-DHS では汚泥発生量がわずかであるため、汚泥処理に係るエネルギーは必然的にごく小さくなる。汚泥処理に係るエネルギーまで含めると、標準活性汚泥法に対して UASB-DHS-砂ろ過では 78.0%減が見込まれる。

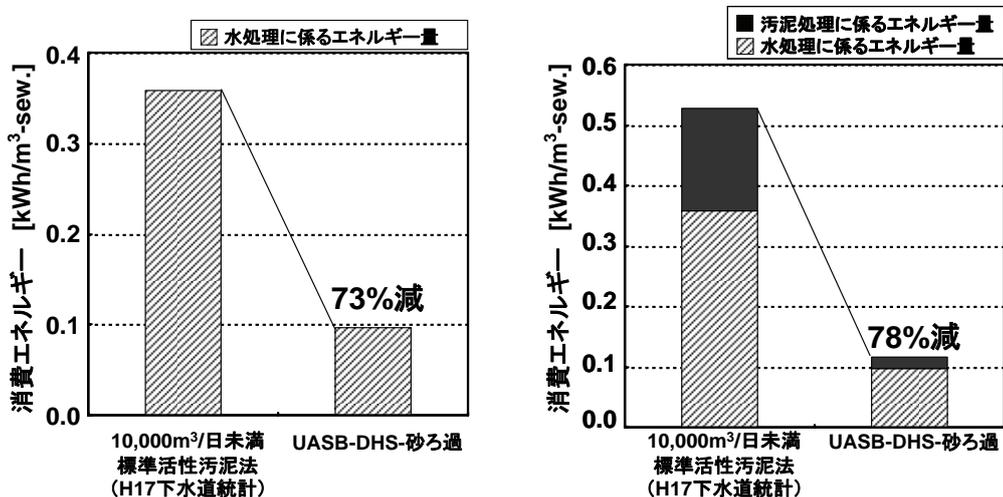


図 1-2 エネルギー消費量の比較 (左:水処理のみ, 右:水処理+汚泥処理)

## 3) 二酸化炭素排出量

前項で得られた消費電力量から、パイロットプラントおよび標準活性汚泥法における処理水量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。

結果を図 1-3 に示した。水処理に係る二酸化炭素排出量は、比較対象とした日処理量 10,000m<sup>3</sup> 未満の標準活性汚泥法に対して、UASB-DHS-砂ろ過では 72.9%減であった。

また、汚泥処理に係る二酸化炭素排出量まで含めると、標準活性汚泥法に対してUASB-DHS-砂ろ過では76.8%減が見込まれる。

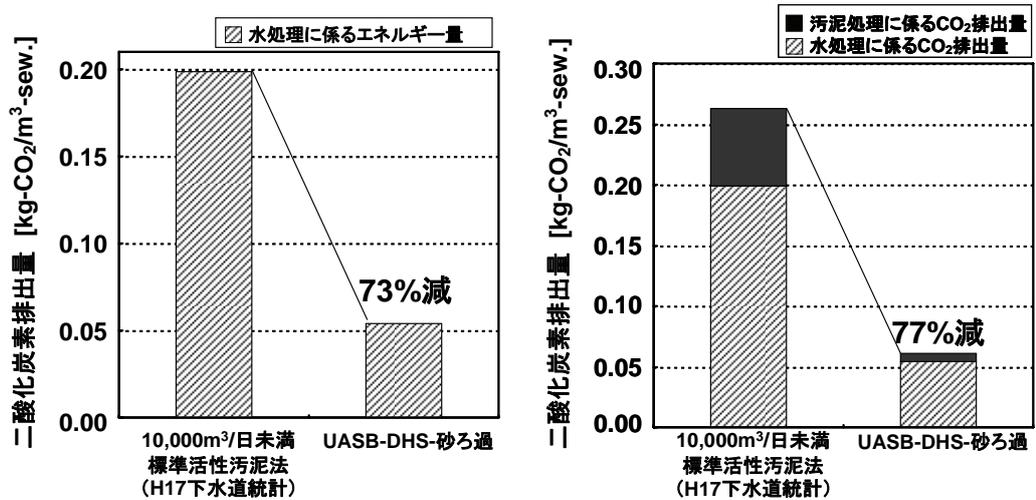


図 1-3 二酸化炭素排出量の比較 (左:水処理のみ, 右:水処理+汚泥処理)

#### 4) 汚泥発生量

トータルシステムにおける汚泥発生量を図 1-4 に示した。

標準活性汚泥法との比較において、UASB-DHS-砂ろ過で 85%の汚泥発生量削減効果が確認された。

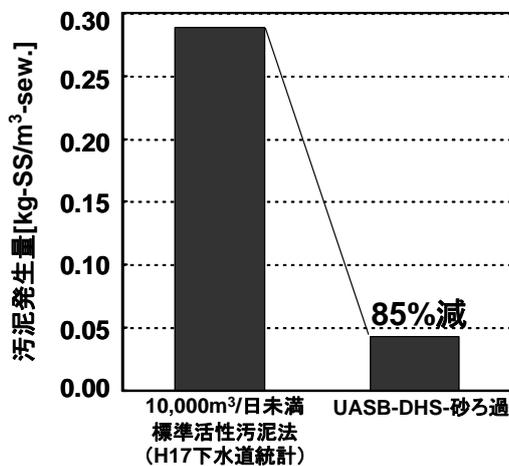


図 1-4 汚泥発生量の比較

#### 5) 処理水質

UASB-DHS-砂ろ過システムで得られた水質を、標準活性汚泥法との比較という観点から評価した。

まず、BOD および SS 除去について比較した (図 1-5)。比較対象とする活性汚泥法のデータは下水道統計<sup>2)</sup>から引用した。UASB-DHS-砂ろ過の BOD および SS 除去性能は、活性汚泥法と比較同等といえることができる。

ついで、大腸菌群、ふん便性大腸菌群除去について比較した。通常、処理水は塩素消毒後に放流されるため、一般的な統計情報からは標準活性汚泥処理直後の大腸菌群数を知ることはできない。そこでここでは、パイロットプラント設置先の個億部隼人クリーンセンター塩素消毒前の水質を調査し、開発システムとの比較に用いた（図 1-5）。UASB-DHS-砂ろ過は活性汚泥法と同等以上の大腸菌群/ふん便性大腸菌群除去能を示した。

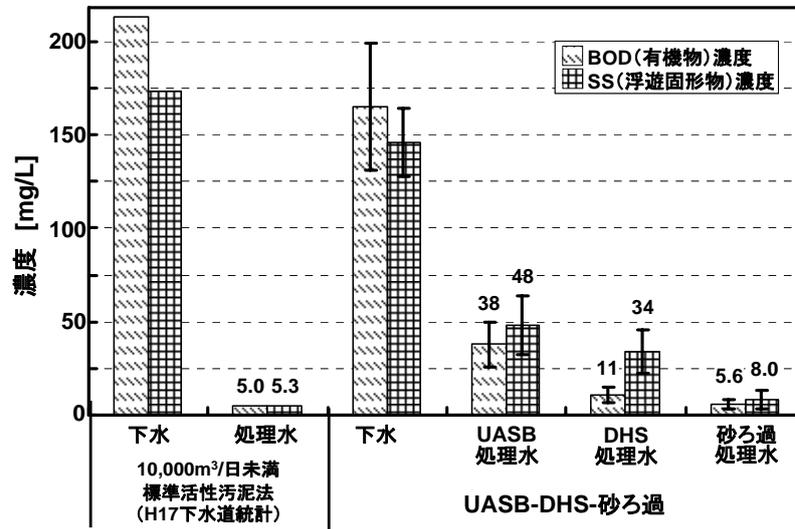
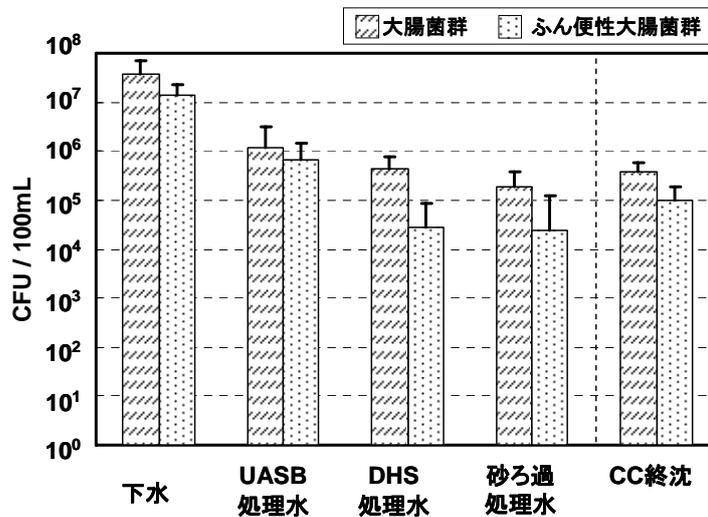


図 1-5 標準活性汚泥法との水質比較



(CC 終沈：国分隼人クリーンセンター採集沈殿池から採水)

図 1-6 標準活性汚泥法との水質比較

#### (4) 達成度の評価

開発システムは、標準活性汚泥法と比較し、水処理に係るエネルギー消費量 73%減、水処理に係る二酸化炭素排出量 73%減、汚泥発生量 85%減であり、目標を上回る成果が得られた。よって達成度は◎（大幅に達成）

また、処理水質（BOD、SS、大腸菌群数）は、BOD、SS について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り大腸菌群数は、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た。よって達成度は○（達成）

#### (5) 成果の意義

UASB-DHS による嫌気－好気処理システムは廃水処理に係わるエネルギーを大幅に削減すること、地球温暖化の原因となる CO<sub>2</sub> の発生を低減できること、二次廃棄物である汚泥発生量の抑制が可能であることが実証できた。また、この技術の普及により、生活に係わる基盤的なエネルギーや廃棄物を低減し、低炭素社会の実現に貢献できるものとする。

## 2. 研究開発項目ごとの成果

### 2.1 前段嫌気処理に関する研究開発（有機物の可溶化とメタン化技術の研究開発）

#### 2.1.1 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

##### (1) 研究の背景・目的・目標

生活廃水の UASB 処理については、近年では、グラニューールの生成にはこだわらず、沈降濃縮した汚泥を用いることで一定の成果をあげ、インドやブラジル等の比較的気温の高い地域で採用されるケースが増えてきた。しかしながら、無加温条件下における嫌気性微生物による有機物の分解およびメタン化に関するメカニズムについては十分把握できておらず、日本国内では、流入水温がさらに低いことから、さらなる技術開発が必要である。また、生活廃水等の低濃度で難分解性有機物を含む廃水に対しては、十分な安定性や効率を持つ嫌気発酵法が確立されていない。本研究開発では、実証プラントにおける連続廃水処理実験により低有機物濃度廃水の無加温メタン発酵技術を確立することを目標とした。

##### (2) 開発工程

本研究では霧島市国分隼人クリーンセンターに UASB パイロットプラント（有効容量 20m<sup>3</sup>）と小型 UASB 実験機（有効容量 1m<sup>3</sup>）を設置し、表 2.1.1-1 に示す工程で研究を行った。

H18 年度は UASB パイロットプラントの設計と製作を行い、H19 年度～H20 年度において運転データの取得とデータ解析を行い、UASB 設計・運転方法のまとめを行った。UASB パイロットプラントでは一定水量（50m<sup>3</sup>/d）で年間を通した UASB 処理成績（SS、COD<sub>cr</sub>）と汚泥性状の変化の把握を中心に行った。また、補完実験として小型 UASB 実験機を用い、高水温時（25℃以上）における HRT と UASB 処理成績の関係、鉄塩添加による汚泥性状改善効果の検討を行った。

表 2.1.1-1 研究の実施内容と工程

		H18 年度	H19 年度	H20 年度
UASB パイ ロットプ ラント	(1) UASB プラントの設計と製作	←→		
	(2) UASB 運転データ収集とデータ解析		←→	→
	(3) UASB 設計・運転方法のまとめ			←→
補完実験 小型 UASB	高水温時における HRT の検討			↔
	Fe 塩添加効果の検討			→

(3) 成果

1) 実験装置と実験方法

図 2.1.1-1 に UASB 実験装置の処理フローを示す。また、表 2.1.1-2 に UASB 実験装置主要機器の概略仕様を示す。

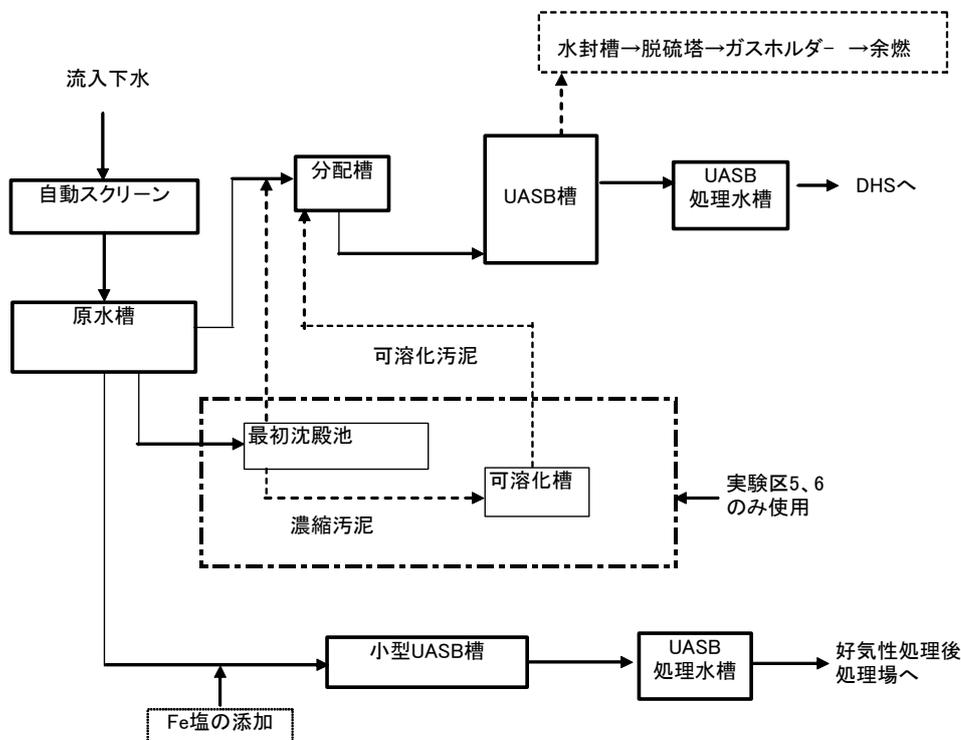


図 2.1.1-1 UASB 実験装置の処理フロー

表 2.1.1-2 UASB 実験装置主要機器の概略仕様

機器名称	概略仕様
自動スクリーン	目開き 2.5mm
原水槽	2m <sup>3</sup> (有効容量 1m <sup>3</sup> : 攪拌機付きタンク)
最初沈殿池	直径 1.4m × 深さ 3m (水面積負荷 32.5m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)
UASB 槽 (パイロットプラント)	1.5m × 2.8m × 5m 有効容量 20.2m <sup>3</sup> (HRT : 10h LV : 0.5m/h)
UASB 処理水槽 (パイロットプラント)	2m <sup>3</sup> (有効容量 1m <sup>3</sup> : 攪拌機付きタンク)
汚泥可溶化槽	2m <sup>3</sup> (有効容量 1m <sup>3</sup> : 攪拌機付きタンク、バンドヒーターで加温)
小型 UASB 槽	直径 0.5m × 高さ 5m 有効容量 0.94m <sup>3</sup> (HRT:4~10h)

UASB パイロットプラントは鋼板製角型槽 (有効容量 20.2m<sup>3</sup>、有効水深 5m) を用いた。最初沈殿池、可溶化槽は低水温時対策として設置した。補完実験に用いた小型 UASB 実験機は円筒形反応槽 (直径 0.5m × 高さ 5m、有効容量 0.94m<sup>3</sup>) のものを用いた。

## 2) UASBパイロットプラントの処理結果

図 2. 1. 1-2 に水温とガス発生量の変化を示す。また、図 2. 1. 1-3 に CODcr 処理の変化を示す。

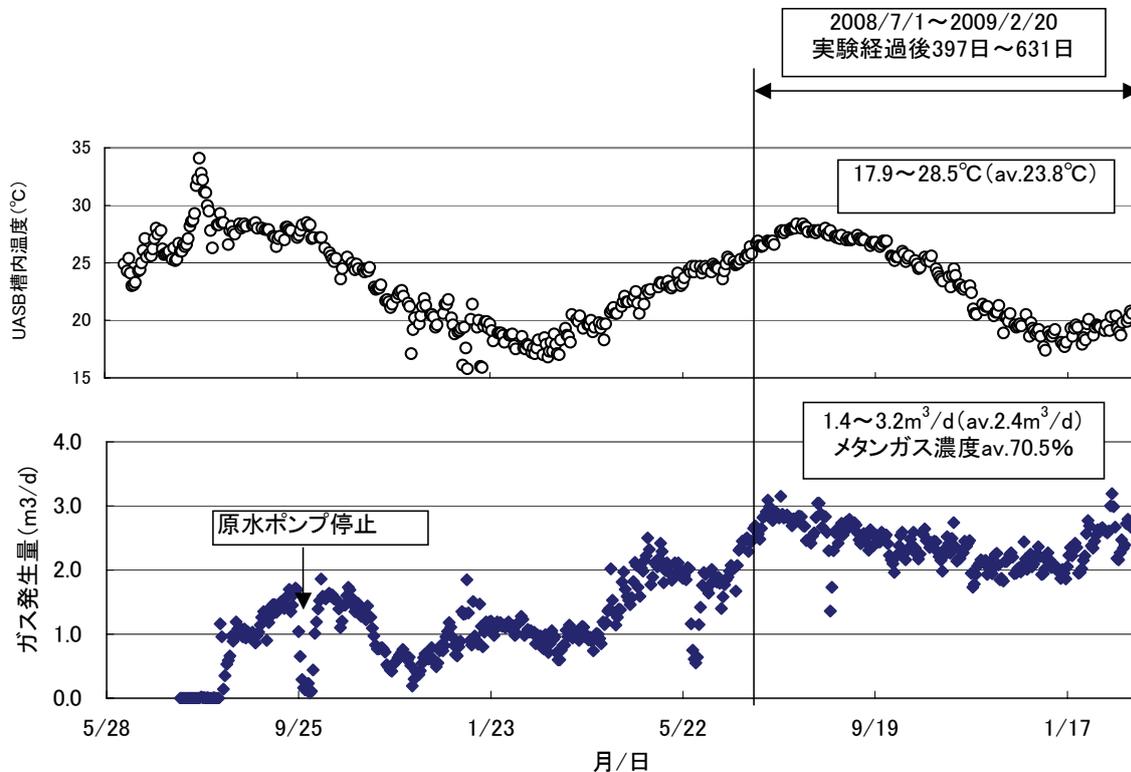
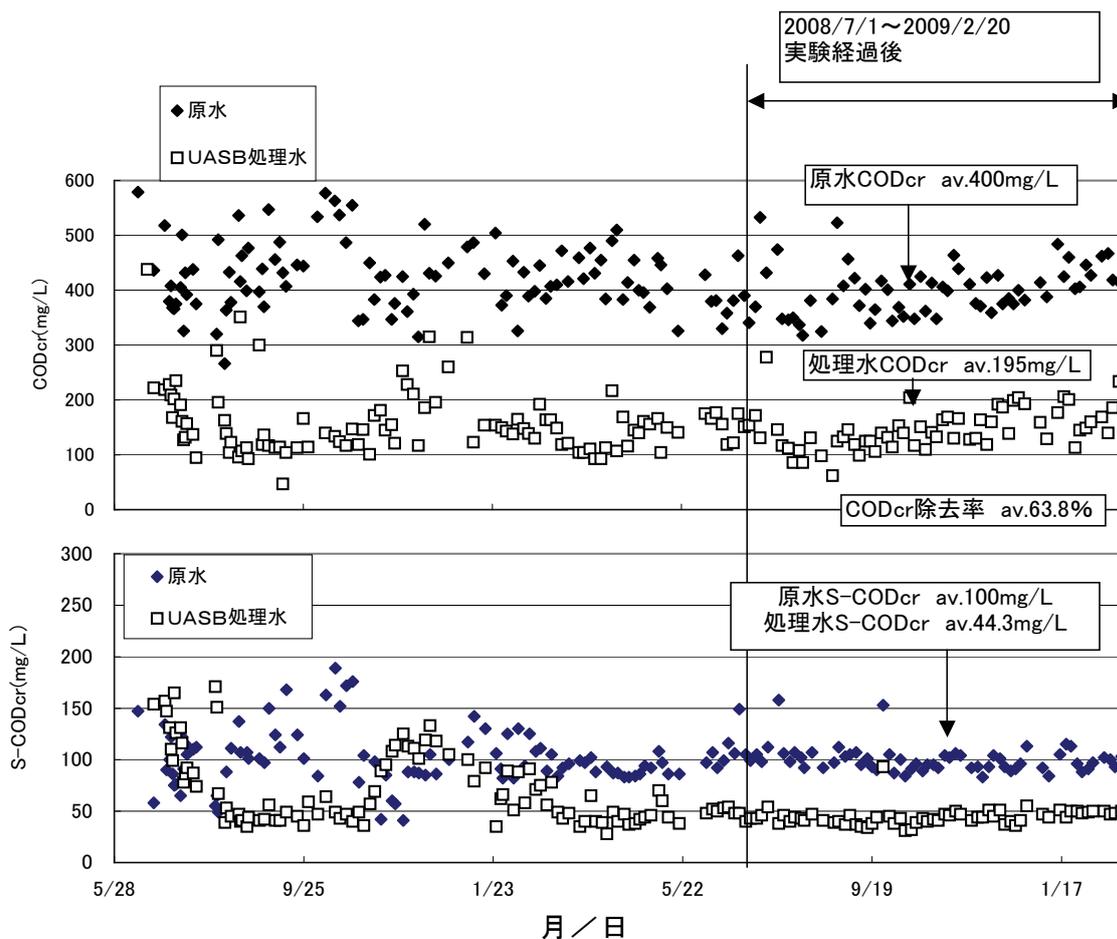


図 2. 1. 1-2 に CODcr 負荷とガス発生量の変化

下水の中温消化汚泥を種汚泥とし、下水を通水開始 1 年後には UASB 槽内の汚泥性状が改善され、発生ガス量も 2~3m<sup>3</sup>/d に安定した。

UASB 処理が安定した期間 (2008/7/1~2009/2/20、実験経過後 397~631 日) の UASB 処理結果を平均値で見ると、UASB 槽平均水温 23.8°C、CODcr 負荷 0.99kg/m<sup>3</sup>/d、CODcr 汚泥負荷 0.12 kg/kg MLVSS/d、の条件で、原水 CODcr 400mg/L に対し、UASB 処理水 CODcr 145mg/L、CODcr 除去率 63.8%、ガス発生量 2.4m<sup>3</sup>/d、メタンガス濃度 70.5%の安定した処理結果が得られた。なお、この期間における除去 CODcr あたりの汚泥転換率は 0.032(gMLVSS/gCODcr) あった。



2.1.1-3 CODcr 処理成績の変化

### 3) ガス発生量に及ぼす水温の影響 (UASB パイロットプラント実験結果)

水温 20℃以下、水温 20～25℃、水温 25℃以上の範囲に区別したときの、CODcr 汚泥負荷と流入下水あたりのガス発生量の関係について検討した。図 2.1.1-4 に結果を示す。

水温 25℃以上では CODcr 汚泥負荷 0.18kg/kgMLVSS/d おいて、0.045(m<sup>3</sup> ガス/m<sup>3</sup> 下水)、CODcr 汚泥負荷 0.15kg/kgMLVSS/d 以内では 0.05～0.06 (m<sup>3</sup> ガス/m<sup>3</sup> 下水) である。水温 20～25℃では CODcr 汚泥負荷 0.15kg/kgMLVSS/d で 0.04 (m<sup>3</sup> ガス/m<sup>3</sup> 下水) で、CODcr 汚泥負荷 0.2kg/kgMLVSS/d で 0.01 (m<sup>3</sup> ガス/m<sup>3</sup> 下水) と急激なガス量低下が見られる。水温 20℃以下においても同様な傾向にあった。

以上の結果より、水温 20℃において UASB 槽内汚泥負荷 0.15 kg/kgMLVSS/d 以下に維持することで安定した UASB 処理が得られことがわかった。

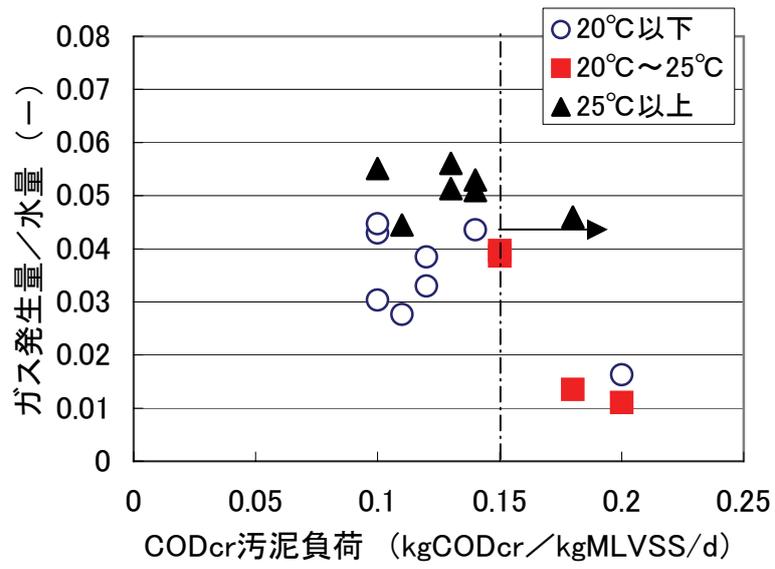


図 2.1.1-4 各水温における CODcr 汚泥負荷と流入下水あたりのガス発生量の関係

#### 4) HRT と UASB 処理成績の検討結果（小型 UASB 実験機による補完実験）

水温 25℃以上において、HRT 4～10h に変えた時の UASB の CODcr 除去率、処理水 SS 性状の比較を行った。

図 2.1.1-5 に HRT と CODcr 除去率、UASB 処理水 SS 濃度との関係を示す。小型 UASB 実験機では GSS 3 段構造であり、当初 GSS にスカム多くたまる傾向にあったため、定期的に GSS よりスカムを除去した。ここでの CODcr 除去率、UASB 処理水 SS 濃度はこれらスカムが処理水に流出したことを想定し、スカム排出量／積算水量より、処理水 SS、処理水 CODcr 濃度にスカム由来のものを加えた。

CODcr 除去率は HRT 8h で 65%、HRT 6h で 60%、HRT 4h で 50% と急に低下する傾向にあった。一方、UASB 処理水 SS 濃度は HRT が長くなるにつれて低下する傾向にあった。UASB 処理後段の DHS 処理において、UASB 処理水 SS 濃度は 50mg/L 程度に維持することが好ましいと考えられた。

以上のことを考慮すると、水温 25℃以上の条件での UASB 処理での最適 HRT は 8h 以上と考えられた。

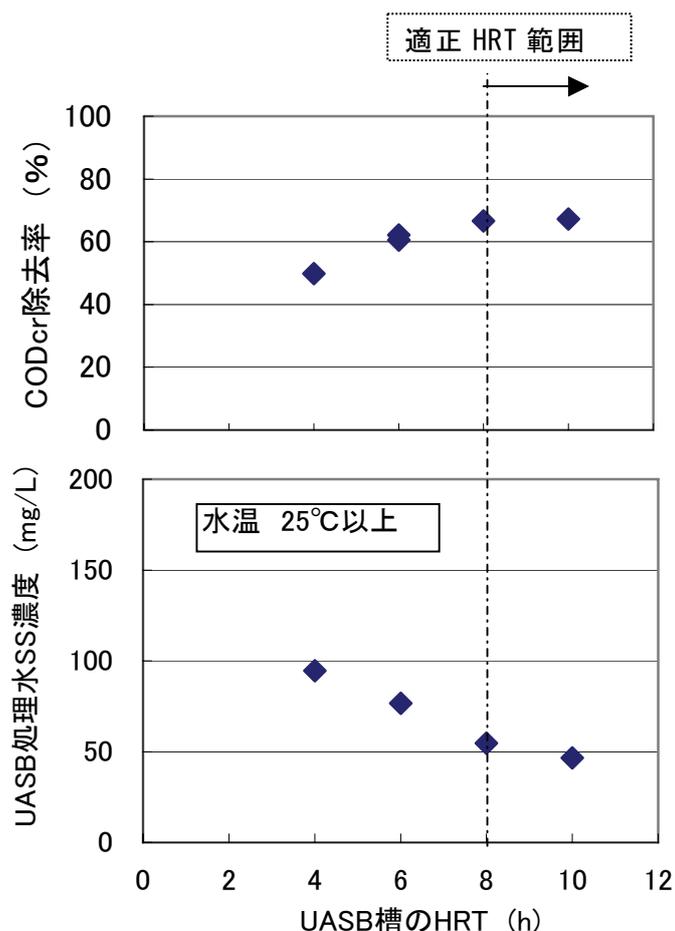


図 2.1.1-5 HRT と CODcr 除去率、UASB 処理水 SS 濃度との関係

5) Fe 添加による汚泥性状改善効果に関する検討結果（小型 UASB 実験機による補完実験）

本プロジェクトに先駆けて UASB+DHS のパイロットプラント実験を行っている長岡市下水処理場での UASB 汚泥と国分隼人実験での UASB 汚泥の沈降性に差があった。汚泥分析結果より、長岡下水汚泥の方が、汚泥中の Fe と S 含有率が高いことがわかった。流入下水中の  $\text{SO}_4$ 、Fe 濃度には差がないことより、通水期間の違いにより汚泥中の Fe、S 無機成分が多くなることで汚泥の沈降性に差が出ることが予測された。

そこで、小型 UASB 実験機を用いて、HRT 8h の一定条件で、鉄塩添加（Fe 2~4mg/L）による汚泥性状改善効果について検討した。

図 2.1.1-6 に鉄塩添加前後の小型 UASB 実験機槽鉛直方向の MLSS 濃度分布を示す。鉄塩添加前（08/11/20）における MLSS 濃度は槽下部で MLSS 35000mg/L、槽底部から 2m 位置で MLSS 10000mg/L であった。一方、鉄塩添加後（09/2/12）では、槽底部 MLSS 45000mg/L、槽底部から 2m 位置で MLSS 20000mg/L であり、汚泥濃度が改善された。以上の結果より、Fe 塩添加により汚泥性状改善効果があることがわかった。

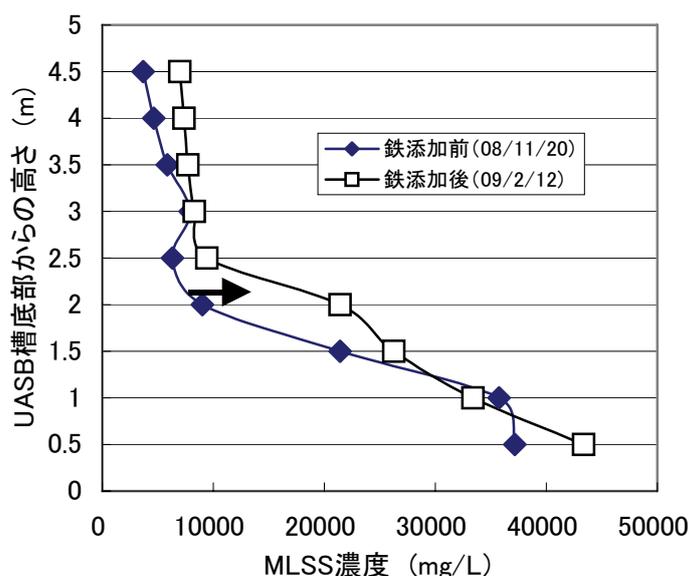


図 2.1.1-6 鉄塩添加前後の小型 UASB 実験機槽鉛直方向の MLSS 濃度分布

#### (4) 達成度

以上の成果は、共同研究業務実施計画で挙げたパイロットプラント実験データ収集・解析し、UASB 設計・運転方法に反映する事項をほぼ達成している。

- ① 下水の中温消化汚泥を種汚泥とし、下水を通水開始 1 年後には UASB 槽内の汚泥性状が改善され、発生ガス量も  $2\sim 3\text{m}^3/\text{d}$  に安定した。
- ② 水温  $20^\circ\text{C}$  において UASB 槽内汚泥負荷  $0.15\text{ kg/kgMLVSS}/\text{d}$  以下に維持することで安定した UASB 処理が得られことがわかった。
- ③ 水温  $25^\circ\text{C}$  以上の条件での UASB 処理での最適 HRT は 8h 以上と考えられた。
- ④ Fe 塩添加により汚泥性状改善効果があることがわかった。

#### (5) 成果の意義

今回の現地実験で使用した UASB パイロットプラントは有効容量  $20\text{m}^3$ 、寸法  $1.5\text{m}\times 2.8\text{m}\times 5\text{m}$  (有効水深) 規模で、流入配管、GSS 部等の設備仕様 (材質は別) は実施設を想定したものである。したがって、UASB パイロットプラントより得られた以下の実験結果は実設備を設計、運転する上で貴重なものとなった。

- ① 水温 ( $18\sim 20^\circ\text{C}$ ) において  $\text{COD}_{\text{cr}}$  汚泥負荷  $0.15\text{kg}/\text{kgMLVSS}/\text{d}$  以下に維持すれば、スカムによる GSS 部の汚泥閉塞などトラブルはなく、安定した UASB 処理ができることが確認できた。
- ② 高水温 ( $25^\circ\text{C}$ ) において、HRT と UASB 処理成績の関係が得られた。

また、消化汚泥を種汚泥として UASB を立ち上げ運転した場合、スタートアップ期間が長くかかる問題があり、今回の実験でも、安定した UASB 処理になるまで 1 年かかった。この対策として、補完実験で流入下水に鉄塩を添加することにより、汚泥性状を改善することが出来た。この成果を実際の立ち上げ運転時に応用し、スタートアップ期間を短縮できる可能性がでてきた。



水 SS とほぼ同程度であった。また、下水 SS の集積培養系と同様に水温 10℃～15℃の条件で活性が大きく低下した。

以上の結果、都市下水に含まれる固形有機物嫌気分解は、水温 20℃未満で大きく低下すること、また固形有機物の分解速度は 20℃で 0.02 gCOD/gVSS/d 程度であることが明らかになった。

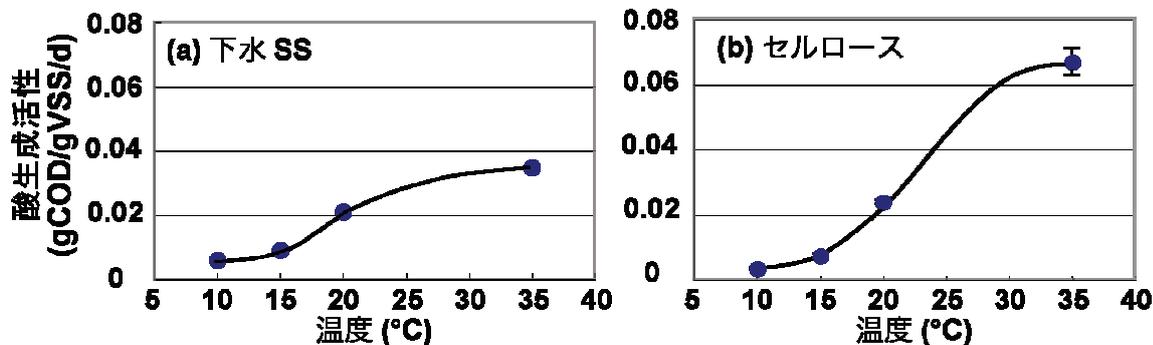


図 2.1.2-1 集積培養体の酸生成活性の温度依存性評価、(a)下水 SS、(b)セルロース

## 2) 実証 UASB プラント 保持汚泥の物理的性状の評価

実証 UASB プラントにおける汚泥保持に関する基礎データ収集のため、保持汚泥濃度、汚泥沈降指標 (SVI)、セルロース含量の測定を行った。図 2.1.2-2 に実証 UASB 装置の保持汚泥濃度と SVI の経日変化を示した。実証 UASB プラントでは、実験開始時に中温消化汚泥を植種したが、汚泥の流失が生じ、54 日目に再植種を行った。その結果、85 日目には、一時的に汚泥濃度が 23 gSS/L (17 gVSS/L) 程度にまで増加するが、汚泥の沈降性は改善せず、

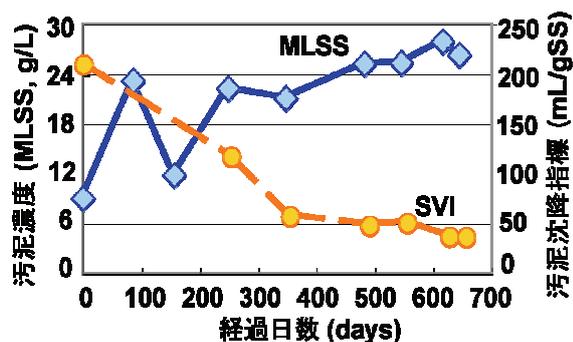


図 2.1.2-2 UASB 槽保持汚泥濃度と汚泥沈降指標の変化

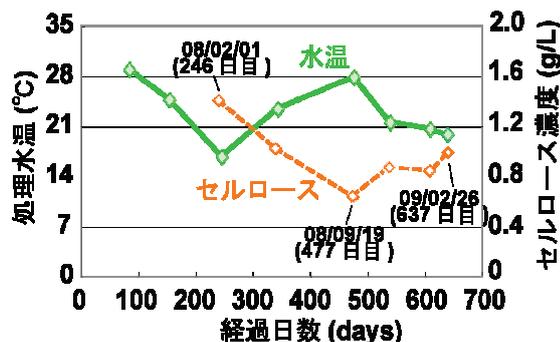


図 2.1.2-3 処理水温と保持汚泥セルロース濃度の経日変化

155 日目には、汚泥濃度は 13 gSS/L (9 gVSS/L) 前後にまで低下した。

運転開始後 246 日目以降は、保持汚泥の沈降性が改善されると共に、保持汚泥濃度が徐々に増加し、最終的に 25-28 gSS/L (19-21 gVSS/L) に達した。また、最終的な保持汚泥の汚泥沈降指標 (SVI) は、50 mL/gSS 以下と良好な沈降性を示した。

セルロースは、流入固形有機物の中でも微生物分解が困難な成分であるため、UASB リアクターの処理水温と保持汚泥に含まれるセルロース濃度との関連を調査した (図 2.1.2-3)。その結果、水温の低い (16.7℃) 2008 年 2 月 1 日には、約 1.3 g/L 存在したセルロースが

夏季の水温上昇に伴い（2008年9月19日、水温27.8℃）減少することが分かった。その後、水温低下に従いセルロースの再蓄積が観察された。これより、冬季の水温低下により、保持汚泥中に下水由来の固形有機物（セルロース等）が蓄積し、水温の上昇に伴い捕捉された固形有機物の微生物分解が進行することが明らかになった。

### 3) UASB プラント保持汚泥のメタン生成活性と菌相構造の解析

図 2.1.2-4 には、実証プラント UASB 保持汚泥のメタン生成活性の変化を示した。メタン生成活性は、20℃条件下で、酢酸、プロピオン酸、セルロース、コントロール（基質無添加）の各基質について測定した。また図中には、汚泥試料採取時の UASB 槽の水温も示した。

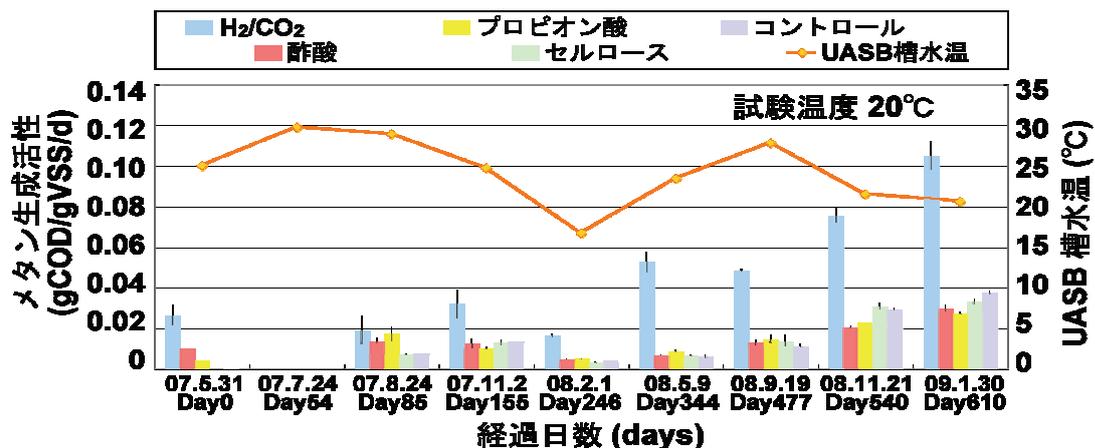


図 2.1.2-4 実証 UASB プラント保持汚泥のメタン生成活性の変化（試験温度 20℃）

これより、保持汚泥のメタン生成活性は水素からの活性が高く、それ以外の基質からの活性は、水素基質からの活性の 1/3～1/5 程度であった。汚泥の沈降性が悪く、汚泥濃度の低かった 246 日目までは、保持汚泥のメタン生成活性は UASB 槽水温の上昇と下降に伴い増減した。汚泥の沈降性が向上した 344 日目以降は、メタン生成活性は経時的に増加する傾向にあった。特に 477 日目以降は、水温が低下したにも関わらず、メタン生成活性は継続的に増加した。これより、UASB 槽の汚泥保持能の向上は、汚泥中へのメタン生成細菌等の集積化を促進し、水温等の変動に対する安定性が確保出来ることが分かった。最終的な保持汚泥の 20℃におけるメタン生成活性は、酢酸やセルロース基質に対して約 0.03 gCOD/gVSS/d 程度であった。

また別途行った、小型 UASB を用いた下水処理試験において、都市下水に鉄塩を添加することで、汚泥中への硫化鉄の沈積を促し、汚泥の沈降性向上が図れる事を明らかにした。

保持汚泥の菌相構造解析の結果、メタン生成細菌として酢酸資化性 *Methanosaeta* 属細菌、水素資化性 *Methanobacterium* 属細菌の優占化が確認され、細菌数の増加に伴う保持汚泥のメタン生成活性の増加を確認した。また、一般的な中温メタン発酵では、ファーミキューテス門に属するクロストリジウム属細菌が主に酸生成反応を担っているが、下水処理 UASB ではバクテロイデス門に属する酸生成細菌が多く存在し、有機物の分解に関与していることが明らかになった。

#### (4) 達成度

- ①下水に含まれる固形有機物を用いた集積培養試験により、固形有機物の分解速度と水温との関係を明らかにし、UASB 槽の負荷条件設定のための情報を得た。
- ②実証 UASB 槽汚泥の物性解析により、低水温期（冬季）における UASB 槽への固形有機物（セルロース）の蓄積と、高水温期（夏季）における分解の様相を明らかにした。
- ③実証 UASB 槽汚泥の物性とメタン生成活性の評価より、保持汚泥の沈降性向上と汚泥のメタン生成活性の増加に密接な関係を見だし、沈降性を考慮した植種汚泥の選択や、鉄塩の添加による沈降性向上法など、下水処理 UASB 槽における効率的汚泥保持（運転の安定化）に関する基礎知見を得た。
- ④実証 UASB 槽汚泥の菌相解析結果より、下水の常温嫌気処理には、酢酸資化性 *Methanosaeta* 属、水素資化性 *Methanobacterium* 属のメタン生成細菌の寄与が確認され、酸生成細菌としてはバクテロイデス門に属する細菌の寄与が確認された。

#### (5) 成果の意義

下水処理 UASB 槽の保持汚泥性状に関する知見は乏しく、常温下で運転される UASB 槽の適切な設計（運転条件の決定）を行うことが困難であった。本事業を通じて、UASB 槽保持汚泥の沈降性向上によるメタン生成活性の維持と低水温期における処理安定化など、UASB 法の都市下水処理への適用のための実用的な知見を初めて得ることが出来た。また、下水の嫌気処理に関わる主要な細菌群を同定し、将来的な技術最適化のための基礎知見を得ることが出来た。さらに学会発表などを通じ、研究成果の発信を積極的に行った。

### 2.1.3 嫌気廃水処理制御方法の研究

#### (1) 研究目的

UASB 法は、インドやブラジル等の熱帯・亜熱帯地域では、下水処理にも適用されている。今後は、温帯地域でも UASB 法による下水処理が期待されている。この場合の課題の一つに、水温が低下する冬季においても安定した処理性能を維持することが挙げられる。水温低下時の UASB では、微生物活性の低下が低下するため、固形成分の蓄積が懸念される。過剰な固形成分の蓄積は汚泥性状を悪化させるため、ウォッシュアウトが誘発される。嫌気処理では、増殖速度の遅い微生物を利用するため、ウォッシュアウトによる保持微生物量の減少によって、処理性能が低下することが懸念される。安定した処理性能を維持するためには、保持汚泥量の変動や固形成分の蓄積など汚泥性状変化の知見は重要であるが、温帯地域における実規模レベルの UASB の運転報告例は少ない。

そこで本研究では、パイロットスケール UASB を無加温で長期連続運転し、温帯地域の下水処理 UASB の処理性能と保持汚泥量の変動、性状の変化について定量的な知見を得ることを目的とした。

#### (2) 開発工程

低温かつ低濃度排水である温帯地域の下水処理メタン発酵プロセスにおける有機物分解過程やマスバランスを把握すると共に、有機物分解の安定化や効率化のための嫌気処理方法（制御方法）の検討をラボテストおよび実証プラントを通して行う。

平成18年度は無加温メタン発酵における有機物の分解特性や保持生物の生態学的構造について検討し、嫌気反応槽の設計条件に反映する。実証プラントの嫌気反応槽の設計・作製を行う。

平成19年度は低濃度対応型UASBの性能確認と運転方法の確立を行う。処理性能の評価としてSS、COD<sub>Cr</sub>、BODを、保持汚泥特性の評価としてMLSS、MLVSS、グラニューール粒径、SVI、VSS/SSの測定を行う。

平成20年度は平成18年度から連続運転して得られたデータを解析し、定量的に評価を行う。

#### (3) 研究成果

##### 1) 研究装置および方法

##### ① 実験装置

本実験で用いたパイロットスケール UASB リアクター（以下、UASB）は高さ 4 m、内径 0.56 m の金属製カラム上部に、GSS (Gas-Solid Separator) を備えた構造とした。UASB の全容積は 1,148 L（カラム容量 1,022 L、GSS 容量 126L）であり、HRT の算出は UASB 全容積を用いて行った。

##### ② 実験方法

UASB は長岡中央浄化センター内に設置した。供給下水は、本センターの分流・スクリーン通過後、容量約 1 m<sup>3</sup> のタンクに一時貯留（HRT：約 6 時間）した下水とした。植種汚泥として、本センターの中温消化汚泥を約 500 L 用いた。UASB は、HRT24~12 時間で

約 80 日間馴養運転後、HRT を 8 時間に設定し、この時を連続処理実験開始日とした ( $t=0$ )。UASB は外気温下で運転を継続した。なお、UASB 運転に際して、下水や UASB への pH 調整剤、SS 凝集剤等の薬品投入は行わなかった。分析は下水試験法に準拠した。

## 2) 実験結果および考察

### ① 連続運転下水処理性能

図 2.1.3-1 に連続運転における水温(A)、SS(B)、全 COD(C)、メタン生成量(D)の経日変化を示す。SS は流入下水で  $125 \pm 70$  (平均 $\pm$ 標準偏差) mg/L、処理水で平均  $37 \pm 30$  mg/L であり、UASB による SS 除去率は平均  $69 \pm 20\%$  を達成した。全 COD は流入下水で  $350 \pm 140$  mg/L、処理水で平均  $120 \pm 40$  mg/L となり、全 COD 除去率は  $63 \pm 13\%$  となった。冬期の処理水質は、約 80 日間にわたり  $15^\circ\text{C}$  以下の水温が続いたにもかかわらず、全 COD で平均  $127 \pm 49$  mg/L(除去率  $59 \pm 12\%$ )、SS で平均  $43 \pm 33$  mg/L(除去率  $63 \pm 23\%$ )と安定していた。このため本 UASB は、HRT8 時間の運転条件下で、Uemura ら (2000) の報告と同様に、水温が低下した際にも処理水質を維持できることを示した<sup>2)</sup>。得られたバイオガスの平均的な組成は、メタン  $69 \pm 9\%$ 、窒素  $29 \pm 11\%$ 、二酸化炭素  $4 \pm 1\%$  レベルであった。

### ② UASB における COD 分解特性

図 2.1.3-2 に UASB 高さ方向の溶解性 COD の変化を示す。溶解性 COD は、UASB 下部 0.3 m にて増加した後、UASB 上部に向かって低下する傾向を示した。これは、UASB に流入した固形有機物が保持汚泥に捕捉された後、加水分解されるためと考えられ、同様の傾向は Uemura ら (2000) によっても確認されている<sup>1)</sup>。夏期では、UASB 下部において COD 分解が卓越するため、高さ 1 m 程度で、溶解性 COD は約 100 mg/L で安定した。一方、冬期では、溶解性 COD の分解速度が低下し、高さ 3 m 以上でようやく 100 mg/L 前後の水質が得られた。すなわち、水温の低下に伴い UASB における流入固形有機物の加水分解速度および溶解性 COD の分解速度が低下した場合、汚泥床下部だけでなく、中部および上部においても徐々に有機物分解が進行することで、安定した処理水質を維持していたと言える。

### ③ 保持汚泥濃度の変遷

図 2.1.3-3 に UASB カラム有効容積当りの平均 MLSS および MLVSS を示す。平均 MLVSS は、1 年スパンでは平均 MLVSS は冬期に上昇し、夏期に低下する変動を見せた。また全運転期間では徐々に増加する傾向を示したが、その増加速度は遅く ( $2.3$  mgVSS/L $\cdot$ year)、定常状態には到達しなかった。このため MLVSS は、今後さらに増加することが示唆された。

下水処理 UASB において保持汚泥のメタン生成活性と加水分解速度を維持するためには、水温が  $25^\circ\text{C}$  以上では 15 日以上 SRT を、 $15^\circ\text{C}$  以下では 100 日以上 SRT を維持することが求められる<sup>2)</sup>。温帯地域(水温:  $16\sim 25^\circ\text{C}$ )で優れた処理性能を発揮した UASB の SRT は 450 日確保されていた<sup>3)</sup>。本 UASB における SRT は、約 250 日に達していたことから、この長い SRT が安定した処理性能に寄与していると考えられる。

図 2.1.3-4 に UASB における保持単位汚泥量あたりの全 COD 負荷を示す。負荷は、保持

汚泥濃度の増加に伴って低減し、運転期間後期には 0.05 gCOD/gVSS/day 程度に低く維持されており、この結果、UASB は冬期においても安定した処理性能を維持していた。これは、汚泥濃度が高く保たれることで、水温低下に伴う加水分解速度の低下を補っていたと言える。

#### ④ 保持汚泥性状

低濃度排水である都市下水 UASB の処理においても分散状の中温消化汚泥から優れた処理性能や沈降性の鍵となるグラニューールが形成された。また、冬期においてもグラニューールを維持することがわかった。SVI は運転継続に伴って徐々に低下し、173 日目以降 20~60 mL/g 程度となったが、これは植種した消化汚泥がグラニューール化したことによると考えられる。これは、SVI が 20~40 mL/g であり良好な沈降性を有していたとの報告<sup>4)</sup>と一致しており、本 UASB が安定した汚泥性状を維持していたことを示している。

図 2.1.3-5 に VSS/SS の経日変化を示す。VSS/SS は運転開始後 200 日以後から、温度に依存して変動する傾向を示し、温度の低下とともに増加した後、温度の上昇とともに低下した。セルロースは、UASB 下部に一時蓄積した後分解し、蓄積量は冬期に増え、下記に減少する傾向が見られた。このため本 UASB では、水温が低い時には固形性有機物の蓄積が進行し、逆に水温が高いときには固形性有機物の分解が促進されたと考えられる。

本 UASB の保持汚泥は、運転初期を除けば SVI の変化が少なく、冬期に未分解有機物の蓄積は確認されるものの気温の上昇とともに分解し、スカムなどの蓄積は確認されなかったことから、UASB 汚泥床全域で良好な汚泥性状を維持していたと考えられる。

### 3) 結論

本研究では UASB リアクターにより無加温、HRT 8 時間の条件で、夏至の連続処理を行いその処理特性および保持汚泥性状を評価した。以下に得られた知見を示す。

① UASB は水温が 10~28℃の条件において、流入下水の全 COD、SS はそれぞれ平均で 350 mg/L、125 mg/L であり、処理水ではそれぞれ平均で 120 mg/L、37 mg/L であった。UASB は安定した処理性能を発揮した。

② 溶解性 COD 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。

③ 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/g を維持し、良好な沈降性を示した。

④ 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。

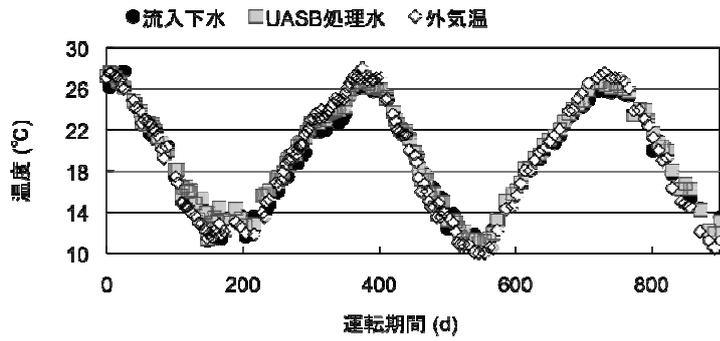


図 2.1.3-1(A) 水温および外気温の経日変化

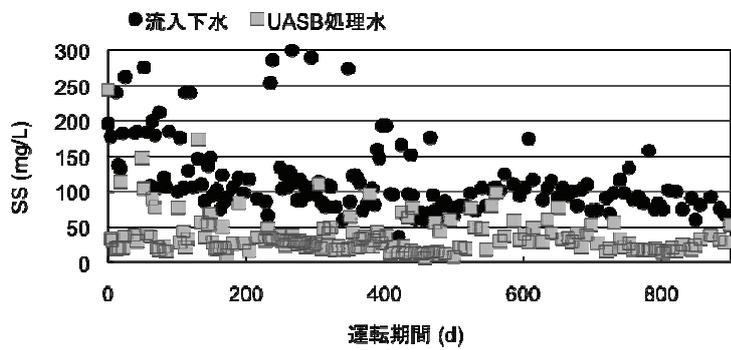


図 2.1.3-1(B) SSの経日変化

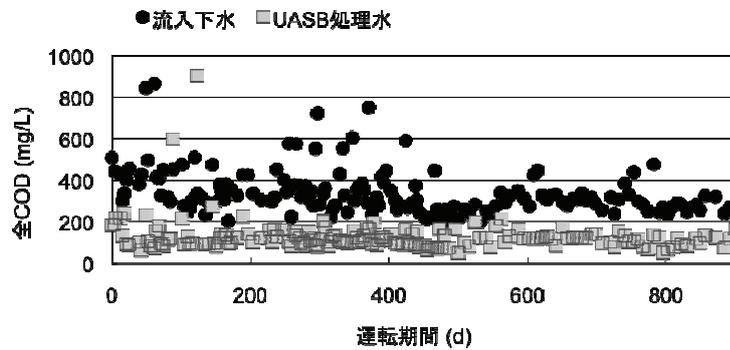


図 2.1.3-1(C) 全CODの経日変化

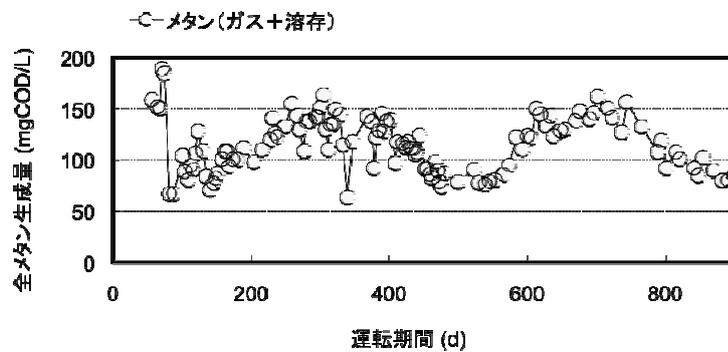


図 2.1.3-1(D) 全メタン生成量の経日変化

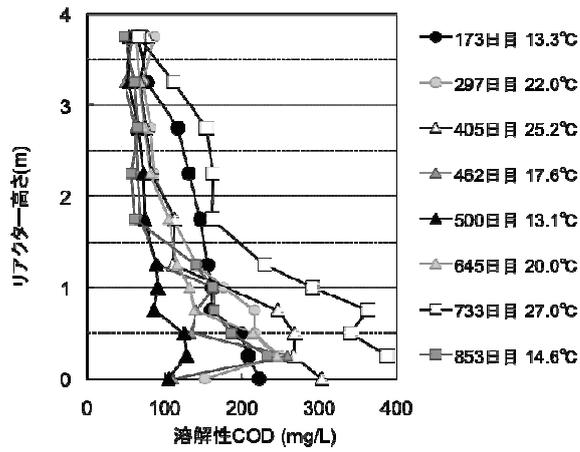


図 2.1.3-2 溶存性 COD のプロファイル

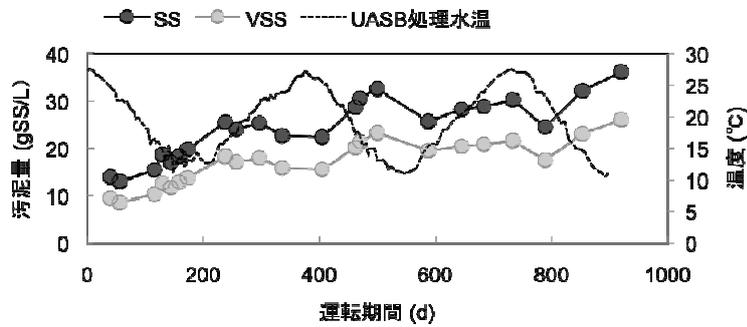


図 2.1.3-3 MLSS および MLVSS の経日変化

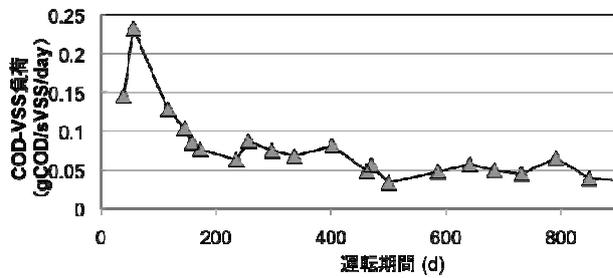


図 2.1.3-4 全 COD 汚泥負荷の経日変化

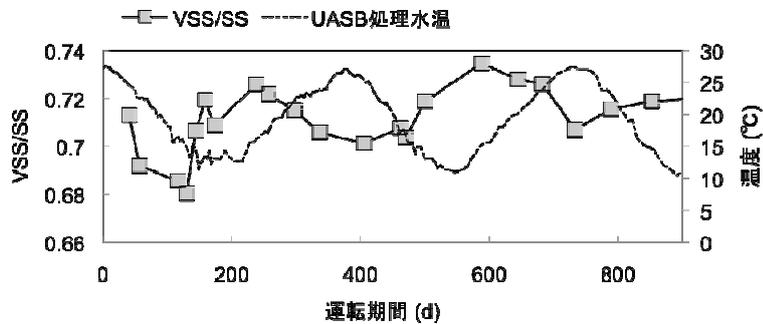


図.2.1.3-5 VSS/SS 比の経日変化

#### (4) 達成度

HRT 8 時間、水温 10~28℃の条件で運転した実下水処理 UASB について以下の項目を明らかにすることができた。

- 1) COD 除去率、SS 除去率はそれぞれ平均 63%、69%を達成した。冬期においても処理性能は維持できる。
- 2) 中温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汚泥が形成されることが確認された。
- 3) 長い汚泥滞留時間(SRT)と良好な汚泥性状維持が冬期に水温が低下する温帯地域における処理性能の維持に重要であることが示唆された。

#### (5) 成果の意義

本研究で得られた成果は、検討事例の少ない温帯地域（平均気温：15~20℃程度）の下水を対象とした UASB 法の処理性能および保持汚泥性状の基礎的知見の蓄積として意義がある。また、得られた結果は適切な設計条件を設定する上で重要な情報になる。

## 2.2 後段無曝気好気性処理に関する研究開発

### 2.2.1 反応槽の設計基準、構造、操作因子に関する研究開発

#### (1) 研究の背景・目的・目標

DHS の先行技術として散水ろ床が知られている。散水ろ床法では担体として、初期では碎石、後にプラスチックメディアが採用されてきた。これらの担体は内部に空隙を持たない構造であり、担体自体に保水性がないため、散水された廃水は直ちに反応槽内を下降し、廃水中有機物が生物分解されるのに十分な水理学的滞留時間（HRT）を確保し難い。さらにこれらの問題に加え、悪臭の発生などもあって、国内では標準活性汚泥法に取って代わられた経緯がある。

これに対し DHS では、スポンジを担体の素材に用いることで、スポンジ自体の保水能力によって廃水の HRT を確保するとともに、海綿構造の中に微生物を捕捉することで反応槽内の生物濃度を極限まで高めることを図った。これを実廃水処理レベルで実現するために、DHS パイロットプラントを実際に試作・運転し、その中で DHS 反応槽の設計基準・構造・操作因子を最適化することが望まれた。この課題に対応すべく、DHS パイロットプラントを建設し、実廃水処理試験を行った。

#### (2) 開発工程

鹿児島県霧島市国分隼人クリーンセンターに DHS パイロットプラントを設置し、表 2.2.1-1 に示す工程で、実廃水処理試験を行った。

DHS パイロットプラントの運転は、主として二つの目的のもとに行った。第一の目的は、種々の担体、ディストリビュータの性能調査であり、H19 年度～H20 年度初期においてデータ採取・解析を行った。第二の目的は、実廃水（UASB 処理水）処理における性能安定性の実証であり、第一の目的から得られた成果に基づいた DHS の改造を行った上で、H20 年度において長期連続運転を行った。

なお、これら二つの目的のための運転期間を併せると、プラントの総運転期間は 631 日に及んだ。

表 2.2.1-1 DHS パイロットプラントの実証試験工程

年度 月 項目	H19 年度												H20 年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
分析・データ採取																								
水質関係																								
汚泥関係																								
担体等選定期間																								
担体交換																								
ディストリビュータ交換																								
担体統一																								
性能安定性調査機関																								
24hr 連続モニタリング																								
中間季																								
冬季																								

(3) 成果

1) DHS パイロットプラント設計・製作とスポンジ担体の開発

DHS パイロットプラントの平面寸法は横幅 2.4m×奥行 2.4m であり、担体充填部を横幅 1m×奥行 1m に 4 分画した。このことにより、最大 4 種類の担体を並列に充填し、それぞれの処理性能を比較できるようにした。担体保持汚泥のサンプリングおよび槽内流下水のサンプリングのためのサンプリング口を、計 16 箇所設けた。DHS 槽下部に 2 箇所の吸気口を取り付け、槽天井部の排気口からファンで能動的に槽内換気する構造とした。

DHS 廻りの機器配置図を図 2.2.1-1 に示した。DHS パイロットプラントには UASB 処理水を DHS 上部のディストリビュータから散水供給した。DHS 上部には空気供給のための排気ファンを設置した。DHS 処理水は DHS 処理水槽へ一時貯留し、最終的には国分隼人クリーンセンター最初沈殿池に返送した。DHS 後段には SS の水質の向上を図るため、高度処理設備として移動床式砂ろ過器/沈殿槽を備えたが、その詳細は 2.3 廃水処理トータルシステムの開発で述べる。

DHS 用のスポンジ担体は、2 種類のキューブ型担体と 3 種類のカーテン型担体を用意した。キューブ型担体、カーテン型担体の仕様を、表 2.2.1-2 にそれぞれ示す。

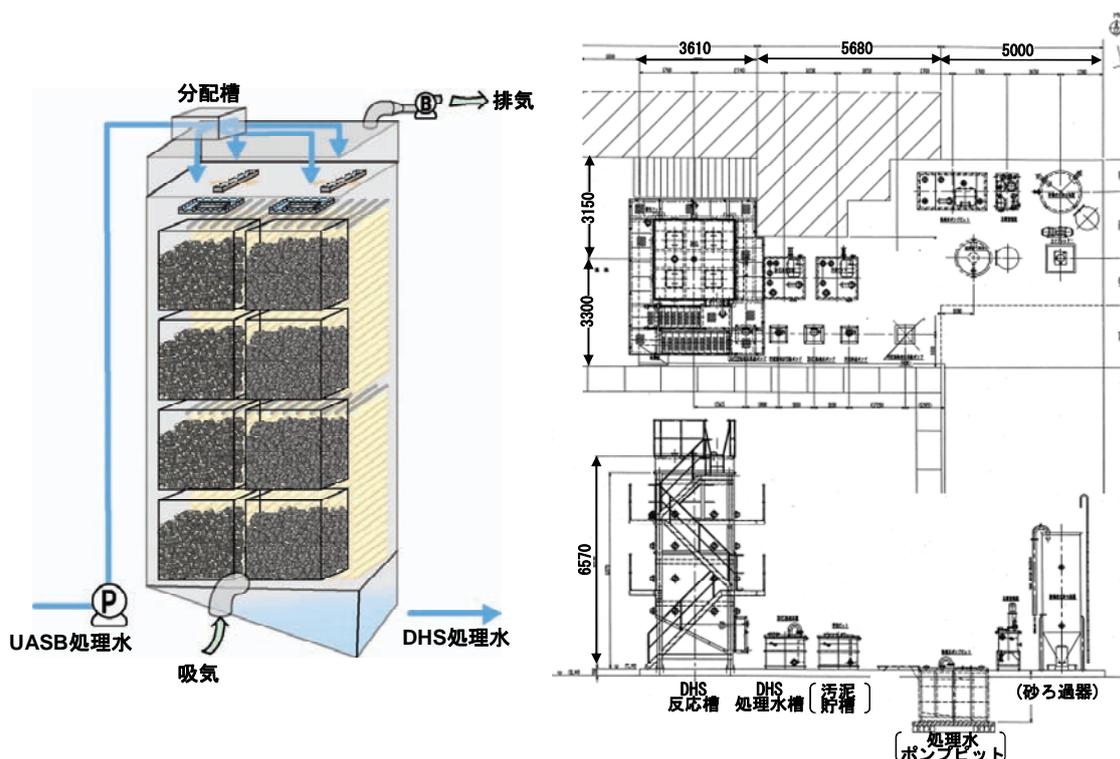
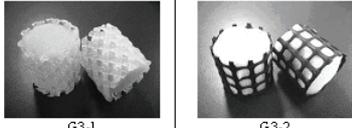
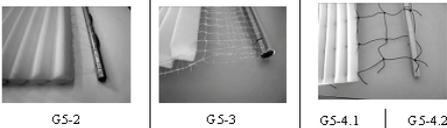


図 2.2.1-1 DHS パイロットプラント 模式図と周辺機器配置図

表 2. 2. 1-2 DHS 担体仕様

担体種						
	G3-1		G3-2		G5-4.1   G5-4.2	
スポンジ	材質	ポリウレタン		ポリウレタン	ポリウレタン	
	セル径 [mm]	φ 0.89		φ 0.89	φ 0.89	
	サイズ [各 mm]	L34 × D34 × H34		L890 × D24 × H1900	L890 × D24 × H1900	L890 × D24 × H1600
	空隙率 [体積 %]	98.5%		98.5%	98.5%	
スポンジ保護材	材質	ポリプロピレン		縦糸	網	
	形状	ネットリング		網	網	
	サイズ [各 mm]	OD φ 35 × ID φ 28 × H35		糸ピッチ 50	網目 100 × 100	
スポンジ充填率 [体積 %]	41 %		37 %	37 %	37 %	31 %

キューブ型担体は図 2. 2. 1-2 に示すように、DHS 内のかご状カートリッジにランダムに充填し使用した。カーテン型担体は図 2. 2. 1-3 のように槽内に懸垂した。



図 2. 2. 1-2 カゴ状カートリッジに充填されたキューブ型担体

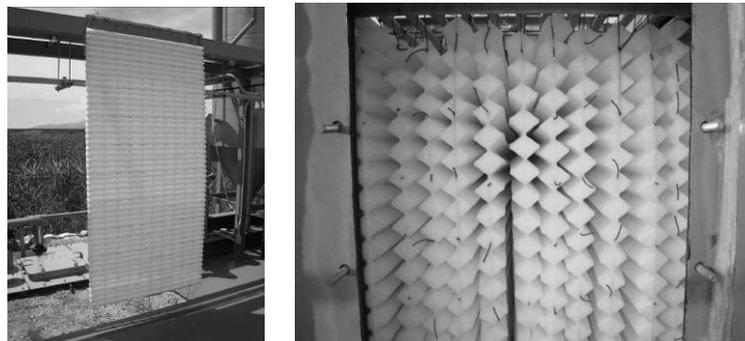


図 2. 2. 1-3 カーテン型担体 (G5-4) : 単体(左)および DHS 内懸垂状況(右)

前述のように DHS パイロットプラントは平断面が約 2m × 約 2m であり、内部を約 1m × 約 1m × 4 区画に分割した。ディストリビュータ (散水器) もそれに合わせて 4 基設置した。

ディストリビュータの試作に当たり条件として、動力を必要としないこと、施工性のよい簡素なものであること、を挙げた。これを踏まえ、正方形の樋に一定間隔の三角堰を切った形状の散水装置とした (図 2. 2. 1-4)。

キューブ型担体では垂直方向だけでなく水平方向にも担体間の連絡があるため、固定式散水器を使用した場合も、担体最上層を除き、流入水は概ね満遍なく担体全体にいきわたることが目視観察された。しかし一方で、カーテン型担体では水平方向に隣り合う担体間

の縁が切れているため、より厳密な散水機構が要求されることが明白となり、カーテン型担体用に可動式（電動）（図 2.2.1-4）の散水機を設計し、運転 125～360 日の期間適用した。

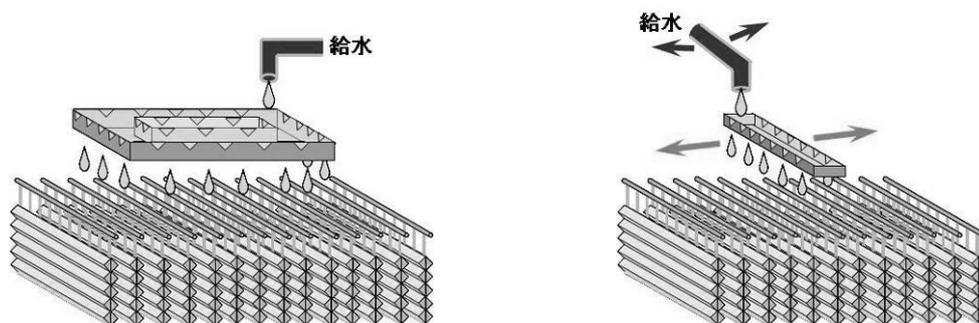


図 2.2.1-4 固定式散水器（左）と可動式散水器（右）

DHS 担体別処理水質を図 2.2.1-5 に示す。DO は、流入がほぼ 0 mg/L に対して、いずれの担体も 5 mg/L 以上を維持した。反応槽内へのスポンジ充填率が 50%を超える G3-2 担体でも、酸素の供給が十二分に果たされることが示された。G5-4.1 担体で、処理水中の SS 濃度、BOD 濃度が変動する傾向があった。これは、担体支持体の強度不足によるスポンジのゆがみにより、偏流や短絡流が生じたためと考えられる。

図 2.2.1-6 は、DHS 担体毎の保持汚泥濃度の経日変化と総保持汚泥量を示す。スポンジ 1L あたりの保持汚泥濃度はカーテン型担体よりもキューブ型担体のほうが安定して高い値を示した。また当然ながら、充填率が高い担体のほうが、槽内に保持できる汚泥総量は大きくなる。結果として、高充填密度キューブ型担体である G3-2 が、生物保持量という観点から優れていることが示された。

キューブ型担体 G3-1、G3-2 は処理水質に大きな違いはなかったものの、保持生物量（VSS 量）の点で G3-2 のほうが優れていた。G3-2 は G3-1 よりも薄い担体保護材を用いたが、強度の面でのトラブルも認められなかった。また、施工性という観点からも、カゴ状のカートリッジに担体を投げ入れるだけでよく、取扱いが容易であった。

カーテン型担体は、目的の処理性能を得るためのスポンジの充填密度を最小限にできると考えられた。実際に、処理水質の観点からは担体充填率の低さにもかかわらず一定の処理能力を示した。しかしながら、G5-2 担体ではスポンジが支持材から滑落する問題が生じ、G5-3、G5-4 では支持材である樹脂繊維網が加重に耐えられず破断する場合があるなど、強度面で不安が残った。また、カーテン型ではキューブが頼りもディストリビュータに高い散水精度が求められた。以上より、試作した担体のうち、G3-2 が生物保持量、ハンドリングの両面から優れているといえる。

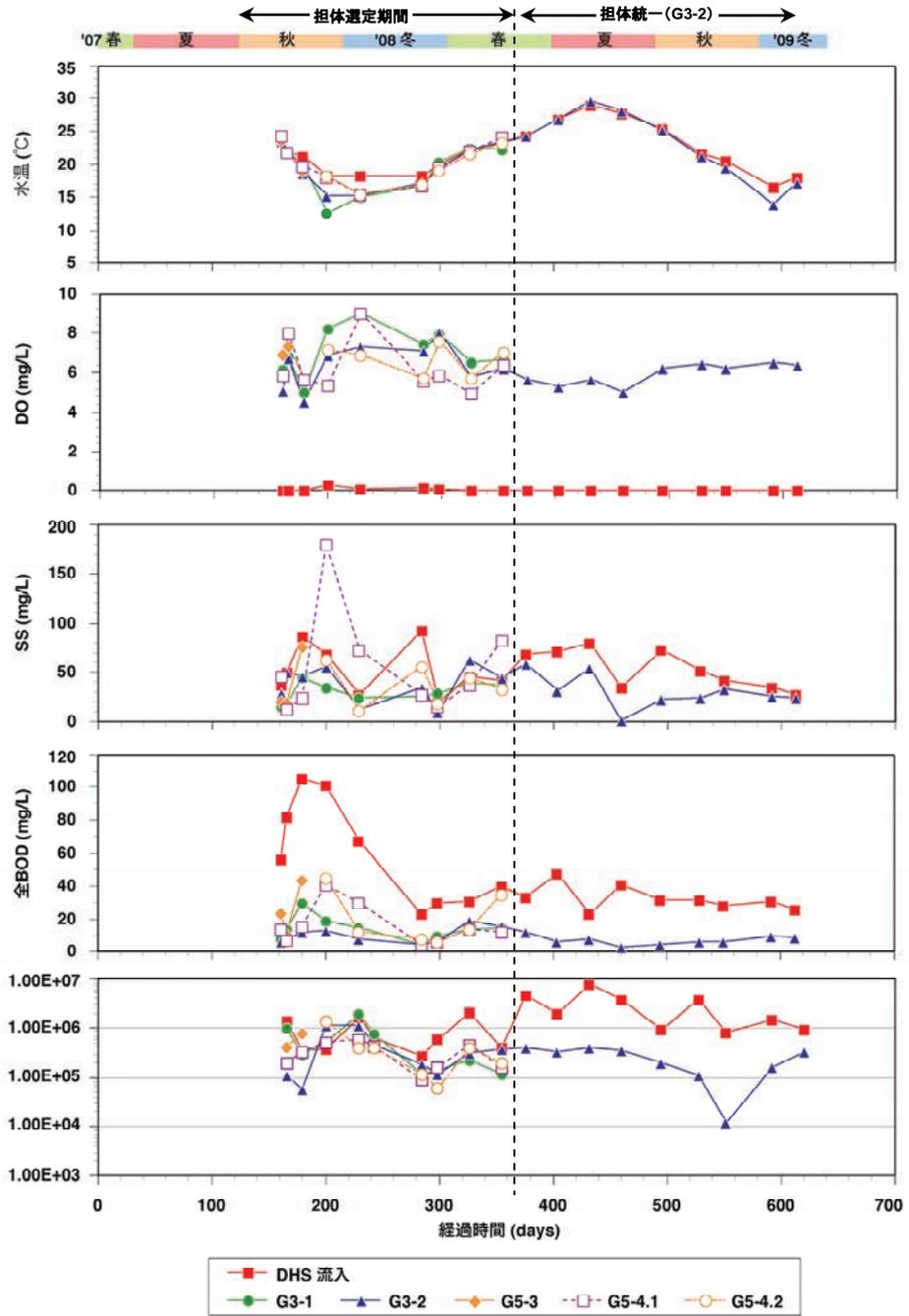


图 2. 2. 1-5 DHS 担体別处理水质

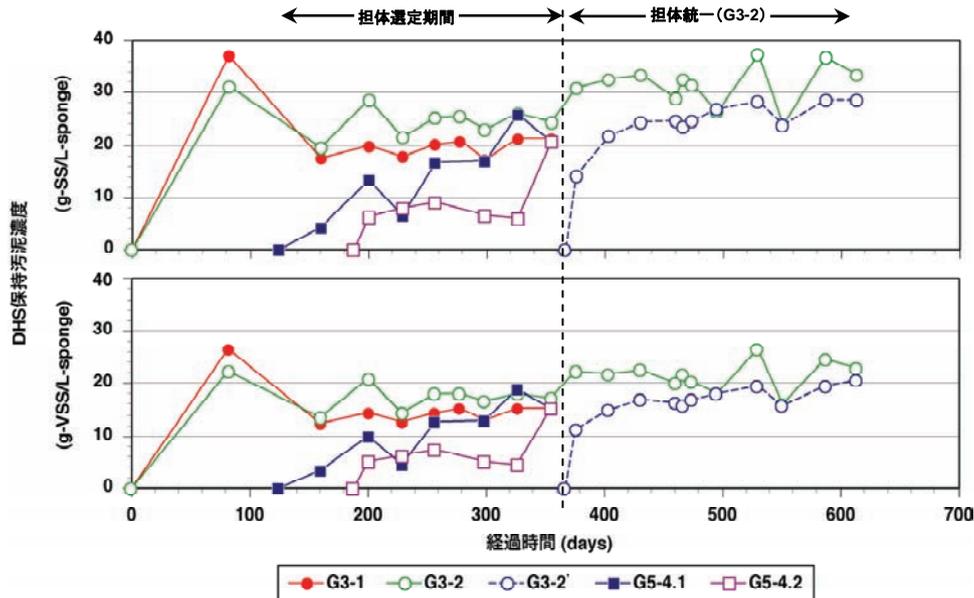


図 2. 2. 1-6 DHS 担体別保持汚泥濃度

## 2) DHS パイロットプラント処理性能

図 2. 2. 1-7 は、DHS 流入・流出水における SS の経日変化を示す。DHS に対するスポンジ容積負荷、MLSS 負荷は、DHS 流入水である UASB 処理水の水質に依存する。流入下水の水温が 20℃ 付近まで低下した 2007 年秋季前半におけるスポンジ容積負荷は、0.80 kg-SS/m<sup>3</sup>-sponge/d 以下であった。このとき DHS 流出 SS は、35 mg/L であった。2007 年秋季後半から 2008 年冬季前半にかけての流入下水の水温が 20℃ を下回る運転条件では、UASB 汚泥の流出が顕著となり、DHS に対する負荷が 1.29 kg-SS/m<sup>3</sup>-sponge/d (0.04 kg-SS/kg-MLSS/d) と大幅に上昇した。このとき、DHS 処理水質も著しく悪化し、100 mg/L 以上の流出を記録した。2008 年冬季から春季前半は、処理水量を一時的に 40m<sup>3</sup>/d にして、UASB 保持汚泥の流出を抑える措置を施した。その後の定格運転 (2008 年春季：平均水温 22.8℃) は、スポンジ容積負荷 0.72 kg-SS/m<sup>3</sup>-sponge/d (平均流入 SS 71mg/L) に対して、平均流出 SS 33 mg/L の処理水質を得た。2008 年夏季 (平均水温 27.5℃) は、スポンジ容積負荷 0.63 kg-SS/m<sup>3</sup>-sponge/d (平均流入 SS 62mg/L) に対して、平均流出 SS 32 mg/L の処理水質を得た。2009 年冬季 (平均水温 18.6℃) は、前年のような大幅な負荷変動はなく、スポンジ容積負荷 0.56 kg-SS/m<sup>3</sup>-sponge/d (流入 SS 57 mg/L) に対して、平均流出 SS 45 mg/L の処理水質を得た。

図 2. 2. 1-8 は、DHS 流入・流出水における全 BOD の経日変化を示す。UASB-DHS システムにおける DHS に対する全 BOD の流入負荷は、UASB 保持汚泥流出と同時期である 2007 年秋季を除き、通年して 0.50 kg-BOD/m<sup>3</sup>-sponge/d (0.02 kg-BOD/kg-MLSS/d、平均流入全 BOD 47 mg/L) 以下で流入し、平均流出全 BOD は 14mg/L 以下 (平均流出溶解性 BOD 4mg/L) を得た。溶解性 BOD については、通年して処理性能は安定しており、負荷が急激に上昇した UASB 汚泥流出時においても処理は可能であった。

すなわち、DHS では、BOD に関しては流入負荷変動にかかわらず一定の処理水質を確保できるが、SS の処理においては流入水質 (前段 UASB 処理水質) の影響を受けやすいといえる。

図 2.2.1-9 は、DHS 反応槽の水質プロファイルを示す。季節の移り変わりによる顕著な差は無かった。D0 は、両担体共、流下過程で上昇している様子が確認でき、流下 1m で既に 4 mg/L 以上を示した。SS は、流下途中で濃度が増加する場合があった。これは、担体からの汚泥の剥離や局所的に堆積した汚泥が反応槽内部で洗い流されたものと考えられる。

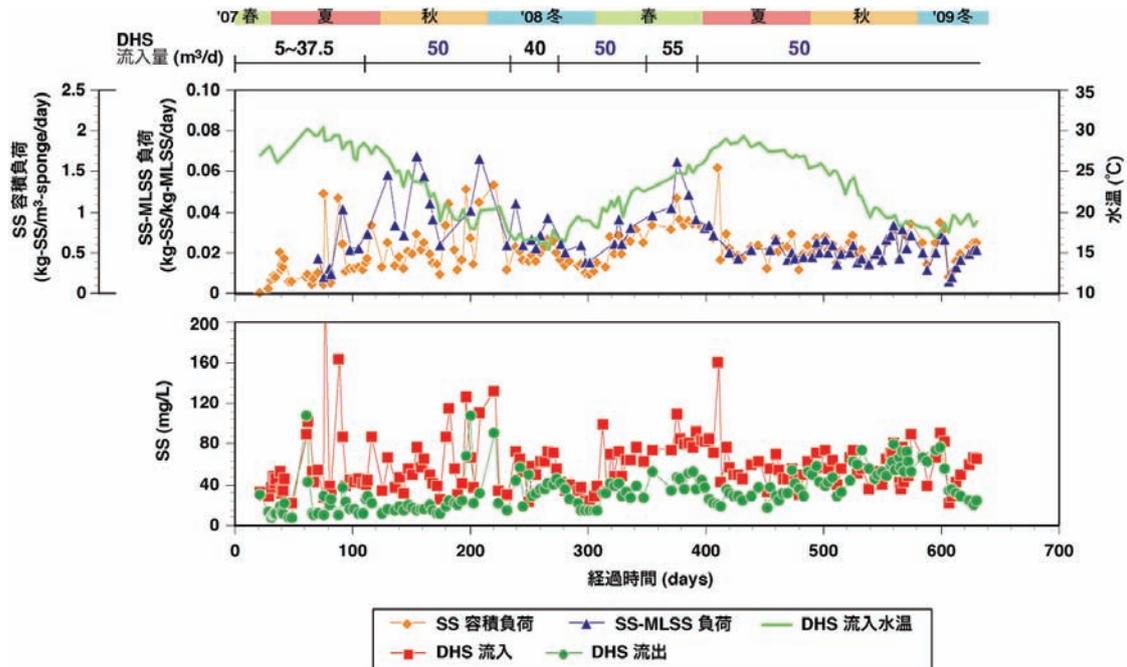


図 2.2.1-7 DHS 流入・流出水の SS 経日変化

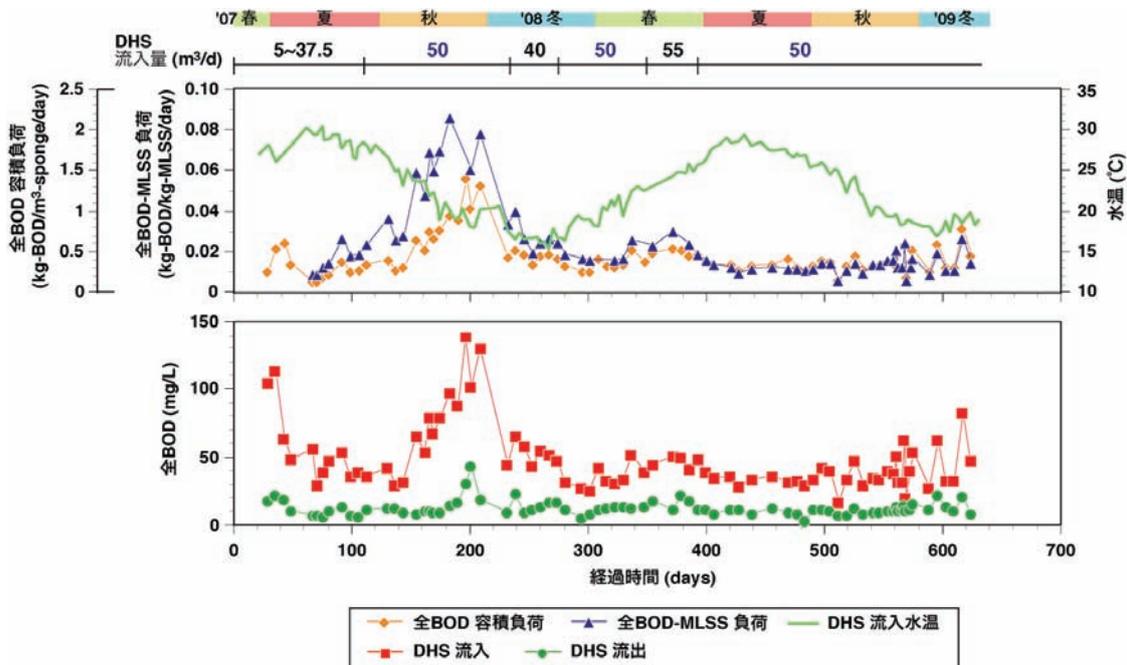


図 2.2.1-8 DHS 流入・流出水の全 BOD 経日変化

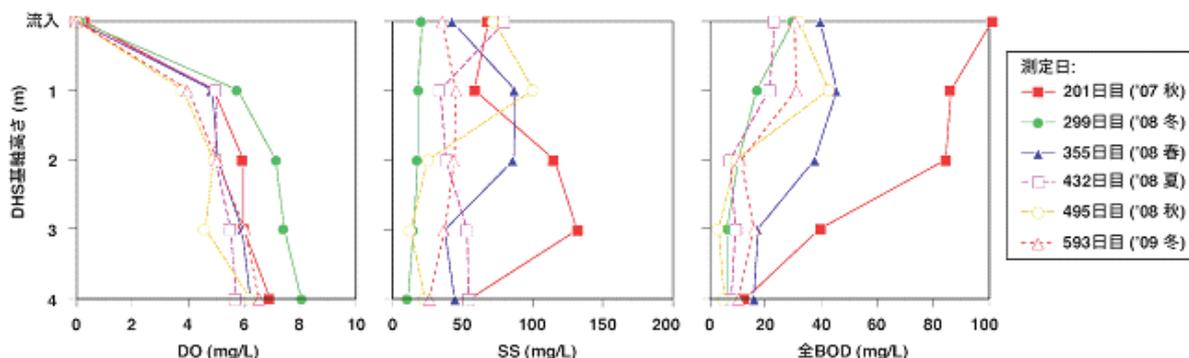


図 2.2.1-9 DHS 水質プロファイル

### 3) DHS 設計基準・構造・操作因子

DHS パイロットプラントでは、UASB パイロットプラントの処理水を流入水としたため、DHS の許容流入負荷を明確に示すようなデータは得ていない。しかしながら、後述 (2.2.2 DHS 基礎技術研究) の濃度影響評価試験の結果からは、溶解性の有機物に関して活性汚泥法と同等以上の流入負荷を許容できることが示された。よって BOD 容積負荷は、活性汚泥法と同等程度 (0.3~0.8kg-BOD/m<sup>3</sup>-sponge/d) で設計するのが妥当である。なお、DHS パイロットプラントでは、運転期間を通じて、DHS 流入負荷 0.5kg-BOD/m<sup>3</sup>-sponge/d 以下であった。

DHS パイロットプラントの高さは、DHS 高さ方向の水質分布からみて、4m 程度の流下長を確保することが望ましい。ディストリビュータは、流入水分散機能に優れた、かつ簡素な構造のものがよい。キューブ型担体に対しては、DHS パイロットプラントで用いたようなシンプルな散水柵が適用できることが示された。

DHS 法は活性汚泥法とは異なり、反応槽からの汚泥引抜きは行わないことが前提である。(余剰汚泥は反応槽内で自己酸化するか、処理水に混入して少しずつ流出する)。そのため、活性汚泥法のように槽内の汚泥量を逐次管理する必要はない。また、UASB 処理水を流入水とする場合、流入水の調整 (pH、温度など) は必要がない。しかしながら、槽内を換気するためのファンのメンテナンス、ディストリビュータ (散水器) の定期的な清掃は、最低限の管理項目として求められる。

### (4) 達成度

DHS パイロットプラントを建設し、実廃水処理試験を行う中で、スポンジ担体の開発を行い、DHS 反応槽の設計基準・構造・操作因子について知見を得ることができた。

キューブ型、カーテン型のスポンジ担体を並行して開発することで、両者の特徴を明確に示すことができた。結果として、開発品の中では、キューブ型担体が、強度、所要散水精度の面で取扱いが容易であることが示された。

DHS パイロットプラントの高さは、DHS 高さ方向の水質分布からみて、4m 程度の流下長を確保することが望ましく、BOD 容積負荷は活性汚泥法と同等程度 (0.3~0.8kg-BOD/m<sup>3</sup>-sponge/d) で設計するのが妥当であることが示された。

また、槽内を換気するためのファンのメンテナンス、ディストリビュータ (散水器) の

定期的な清掃は、最低限の管理項目として求められることを明示した。

以上より、所期目的を達成できたといえる。

#### (5) 成果の意義

複数の担体を試験し、その中で最も充填率の高い担体が性能面で優れていたことは、装置をコンパクトにできる面で有効である。2年間連続で運転し、安定した水処理実績を得たことで、構造面も含めてDHSの実施設計ができるようになった。また、水質のプロファイルや汚泥濃度の経年変化からDHS内の汚泥や生物の挙動がわかり、汚泥の引抜や洗浄操作をすることなく、運転が可能であることが示された。これにより汚泥管理がほとんど必要なく維持管理が容易であることも実証できた。

## 2.2.2 DHS 基礎技術研究

### (1) 研究の背景・目的・目標

本研究は、DHS の基礎的な特性の把握を目的とした。具体的には、有機物負荷量による処理水質への影響、DHS の処理能力に関わる汚泥捕捉能力、酸素供給能力について調査した。また新規 DHS 担体である G3-2 の機能・特性を評価するにあたり、パイロットスケールの DHS を制作し長期連続運転を行い、DHS に生息する微生物の種類を調査した。

### (2) 開発工程

本研究は、表 2.2.2-1 に示す実施内容と工程で研究を行った。実施内容は、DHS 担体の基礎的特性の把握、新規担体（G3-2）評価試験、DHS 内生物特性評価とした。

表 2.2.2-1 研究の実施内容と工程

	H18年度	H19年度	H20年度
<DHS担体の基礎的特性の把握>			
①濃度影響評価試験	←→	→	
②汚泥捕捉能力評価試験	←→		
③酸素供給能力調査	←→		
<新規担体（G3-2）評価試験>			
①パイロットスケールDHSの処理性能評価	←→	←→	←→
②稼働中パイロットスケールDHSにおけるG3-2担体の酸素供給能力調査		←→	
③窒素除去特性評価	←→	←→	←→
<DHS内生物特性評価>			
①微小動物定量評価		←→	←→
②細菌群集構造解析		←→	←→

### (3) 成果

#### 1) 濃度影響評価試験

DHS 単独の有機物評価を検討するために、プロピレングリコールを主成分とする人工模擬廃水を作成し流入量を段階的に高めてそのときの応答を調査した。図 2.2.2-1 は COD 容積負荷と COD 除去率の関係を示す。COD 除去率は、COD 容積負荷 4 kg-COD/m<sup>3</sup>/d（BOD 容積負荷は 2.4 kg-BOD/m<sup>3</sup>/d）まで平均 95 %以上を得た。COD 容積負荷 6 kg-COD/m<sup>3</sup>/d（BOD 容積負荷は 3.6 kg-BOD/m<sup>3</sup>/d）での COD 除去率は平均 75%程度まで低下した。従来の活性汚泥法ではアルコール系廃水の処理を行った場合、BOD 容積負荷 0.9-1.2 kg-BOD/m<sup>3</sup>/d で BOD 除去率が 90%を下回る<sup>1)</sup>。このことから DHS 単独の単一成分除去は十分に優れていることが分かった。

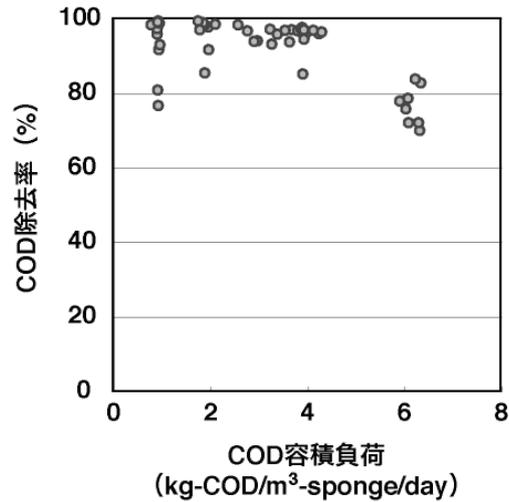


図 2.2.2-1 COD 容積負荷と COD 除去率

### 2) 汚泥捕捉能力評価試験

図 2.2.2-2 は 30mm 角スポンジ上部より活性汚泥 2,000 mg-SS/L を供給したときの、スポンジセルサイズの違いによる汚泥捕捉濃度を示す。0.56 mm、0.63 mm、1.92 mm のスポンジは、表面短絡や内部短絡により汚泥を捕捉する機能は無かった。一方、セルサイズが 0.83 mm、1.25 mm のスポンジは、理論値 2 g-SS/L-sponge 以上を保持しており、フィルター効果と汚泥を捕捉する能力を十分に有していることを確認した。

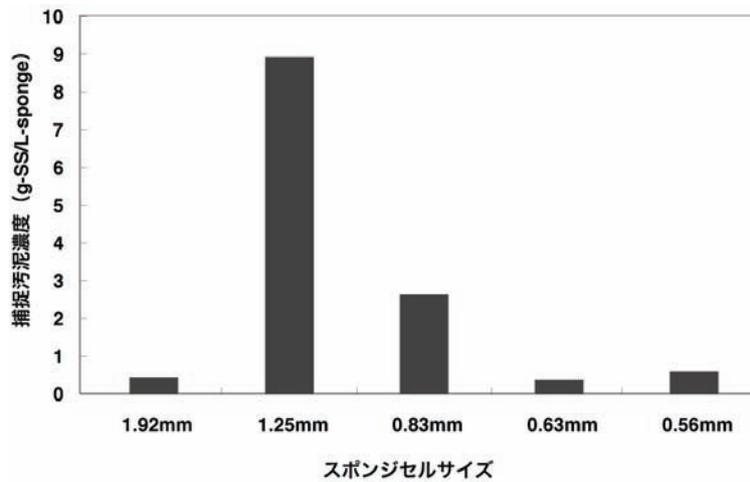


図 2.2.2-2 スポンジセルサイズの違いによる捕捉汚泥濃度

### 3) 酸素供給能力調査

担体スポンジサイズ、スポンジ間隔の有無による総括酸素移動容量係数 (kLa) の比較を行った。本試験においてスポンジサイズは 15 mm 角、30 mm 角、45 mm 角の担体を用いた。45 mm 角担体に関してはサイズの大きさからスポンジが水の自重で変形してしまい、定常的な滴下状態が保てなかった。図 2.2.2-3 は、キューブ型担体の大きさ (15 mm 角、30 mm 角)・ギャップの有無における kLa を示す。ギャップの有無による kLa については、明確な差は無く、D0 の供給能力だけを考慮すると担体間に隙間を作らずとも、水がスポンジを滴下する過程で十分に酸素を取り込めることが分かった。スポンジサイズの大きさに関して

は、サイズが小さいほど酸素供給能力に優れることが分かった。ギャップ無し 15 mm 角担体の  $K_{La}$  は  $46.6 \text{ h}^{-1}$ 、30 mm 角担体の  $K_{La}$  は  $18.8 \text{ h}^{-1}$  であった。

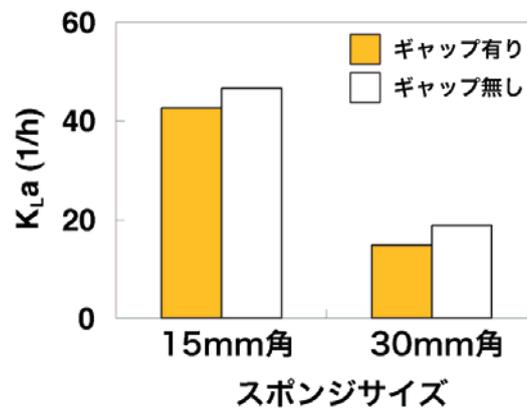


図 2.2.2-3 キューブ型担体の大きさ・ギャップの有無における  $K_{La}$

#### 4) 新規担体評価試験

DHS パイロットプラントの建設に先立って、新規担体 G3-2 を適用した  $3.4 \text{ m}^3/\text{d}$  規模の DHS を製作し、実廃水処理性能を調査した。本実験装置は水温の制御を行わず、外気温度条件で運転した。季節により流入下水の水温は  $10\text{--}28^\circ\text{C}$  と大きく変動した。

図 2.2.2-4 は、SS 濃度と温度の相関を示す。DHS の SS 除去性能は、温度が低くなると低下する傾向が見られた。また DHS 流入に比べ、DHS 流出の方が近似曲線の傾きが小さいことから、DHS は前段 UASB に比較して温度の影響による処理能の低下が緩和されているといえる。

図 2.2.2-5 は、BOD 濃度と温度の相関を示す。DHS 流入の BOD 濃度は温度にかかわらずばらつきが大きいですが、やはり水温が低いほど処理能の低下が認められた。一方、DHS 流出水は全運転期間を通して温度によるばらつきがほとんど確認されなかった。

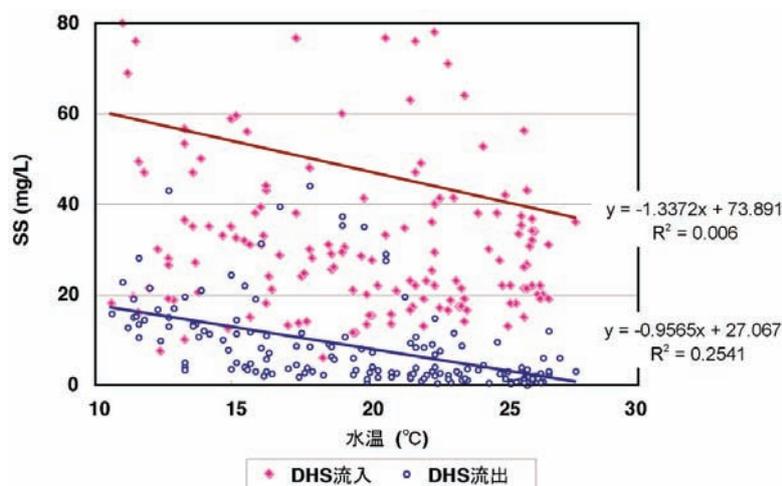


図 2.2.2-4 SS 濃度と温度の相関

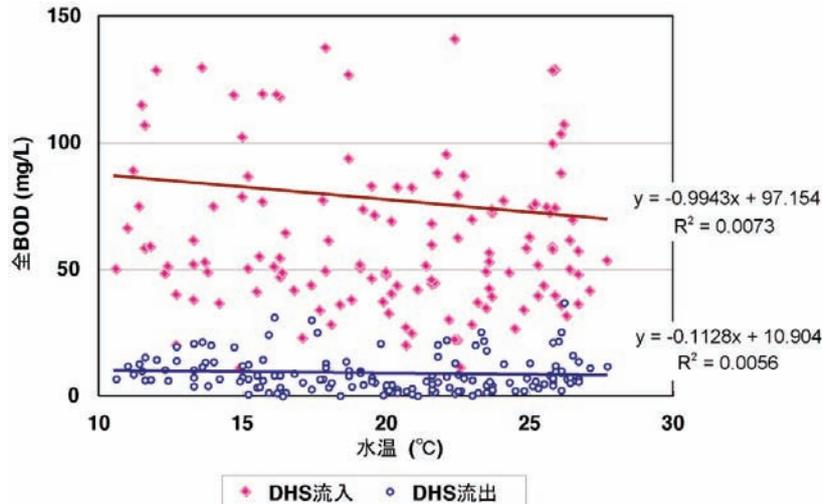


図 2.2.2-5 BOD 濃度と温度の相関

図 2.2.2-6 は、G3-2 担体のスポンジ状態がバージンであるものと汚泥保持後および保持汚泥滅菌後の DO を示す。それぞれの状態の酸素供給能力は流下直後から優れており、流下 5 分後から DO 4mg/L 程度を有していた。それ以降、汚泥が保持された担体に関しては、保持微生物による有機物酸化や内生呼吸により DO を消費していた。本試験では  $K_{La}$  を測定するにあたり、その有機物酸化や内生呼吸を無視した滅菌処理後の汚泥保持単体についても DO を測定した。その結果、担体内に汚泥が捕捉された状態でも DHS 担体は、物理的に酸素を取り込めることが明らかとなった。

図 2.2.2-7 は、G3-2 担体のスポンジ状態における酸素吸収能を示す。スポンジ担体は、汚泥を保持するとバージンな状態の  $K_{La}$   $6.3 \text{ h}^{-1}$  から  $4.4 \text{ h}^{-1}$  に低下した。しかしながら、微生物による有機物酸化や内生呼吸に必要な DO は保持していたことから、汚泥保持後における  $K_{La}$  の低さは処理における許容範囲内と判断する。

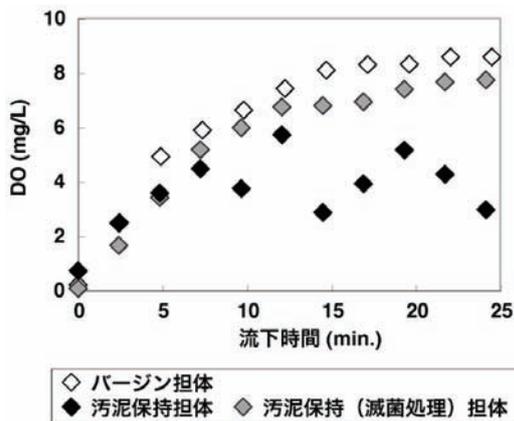


図 2.2.2-6 G3-2 担体通過水の DO

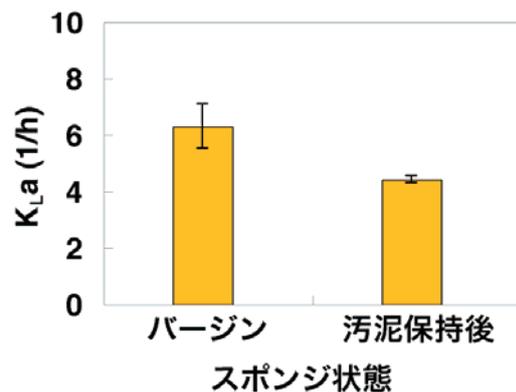


図 2.2.2-7 G3-2 担体の酸素吸収能

UASB-DHS は、有機物除去を担うシステムとして開発されているが、栄養塩除去への対応を検討することは本システムの普及を考える上で欠かせない。ここでは、有機物と同時に窒素の挙動をモニタリングし、新規担体 (G3-2) を適用した DHS の窒素処理特性を調査した。

ケルダール性窒素の除去性能は、水温が  $20^{\circ}\text{C}$  以上の夏季において特に高く、DHS 流出濃

度は最高で 0.2 mg-N/L (除去率 99.4%) に達した。アンモニア性窒素は、ほぼ完全に硝酸性窒素にまで硝化反応が進行した。一方、水温が 15°C を下回る冬季においてケルダール性窒素の除去能力は低下し、DHS 流出濃度は最大で 12.1 mg-N/L (除去率 64.2%) となった。これは低温により硝化細菌の活性が低下したためと考えられる。

また、好気性処理である DHS は 35% 程度の窒素の処理が可能であった。流出する窒素態の殆どは硝酸性窒素であった。硝酸性窒素をさらに除去する場合は、DHS の後段に脱窒槽を設けるか、UASB-DHS システムの場合、DHS 処理水を UASB に返送するなどの操作が必要となる。

図 2.2.2-8 は、DHS 基軸高さでの窒素態の挙動 (DHS 水温 25.6°C) を示す。流入のアンモニア性窒素は、20~25 mg-N/L であり、流下長 2.5 m で 0.3 mg-N/L 以下まで除去 (除去率 99%) されていた。アンモニア性窒素は硝酸性窒素にまで酸化され、硝化反応の進行を確認した。また、亜硝酸性窒素の蓄積はなかった。

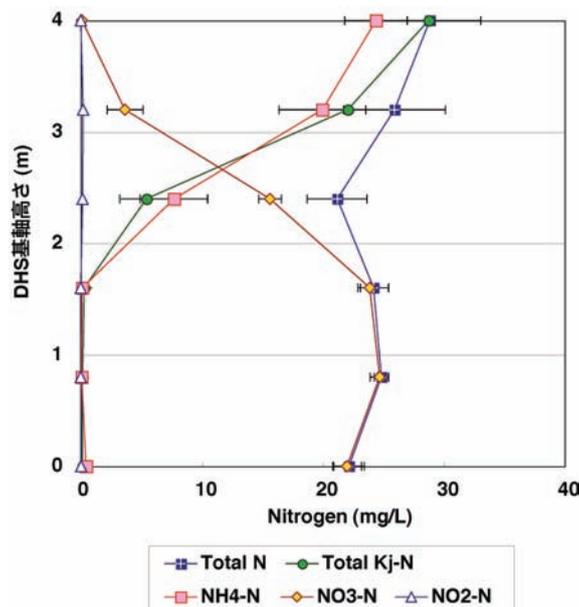


図 2.2.2-8 DHS 基軸高さでの窒素態の挙動

### 5) DHS 内生物特性評価

DHS 内の微小動物の生態系を把握するために、顕微鏡観察により定量・定性評価した。図 2.2.2-9 は DHS および活性汚泥に生息する微小動物群の定量結果を示す。DHS 保持汚泥中に生息する微小動物は、高次の栄養レベルの原生動物である肉質虫類、繊毛虫類、また後生動物である線虫類、輪虫類、貧毛類そしてミジンコなどであった。原生動物の 1 mg-SS あたりの個体数は、活性汚泥と同程度であった。後生動物の個体数は、原生動物を下回るが、活性汚泥より多様性が認められた。DHS に最も多く存在した肉質虫類は、流下長 0.4m で 2200 個体/mg-SS、流下長 3.2m で 4700 個体/mg-SS となり、流下が進むにつれ個体数が増加していた。これらの肉質虫類は、有機物汚泥負荷が低く硝化反応が進行している生物処理反応槽に出現することが確認されている<sup>2)</sup>。DHS はリアクター上部で速やかに有機物が分解され、下部で硝化反応が進行していたことから、肉質虫類がリアクター下部に多数生息していたと考えられる。一方、後生動物の個体数は流下方向で減少する傾向にあった。

後生生物が多く生息していた流下 0.4m の個体数は、線虫類で 50 個体/mg-SS, 輪虫類で 40 個体/mg-SS, 貧毛類で 20 個体/mg-SS, ミジンコが 10 個体/mg-SS であった。

DHS に生息する微小動物の個体数は、汚泥 1 mg-SS あたりでは活性汚泥と同程度であるが、DHS は活性汚泥法に比べて単位容積あたりの保持汚泥濃度が 10~20 倍と極めて高いため、故に多数の微小動物が生息することを示した。

一般に、散水ろ床法などの生物膜法は活性汚泥法と比較して 20~30% 余剰汚泥の発生量が少なく、これは微生物生態系の高次栄養レベルの生物である原生動物や後生動物などの微小動物の捕食による汚泥減量効果による影響であると報じられている<sup>3)</sup>。DHS も散水ろ床法と同様に生物膜法と類似のシステムであり、汚泥減量に寄与する微小動物を高濃度に保持可能である。さらに DHS は、有機物汚泥負荷が低いため増殖ポテンシャルが活性汚泥よりも低く、自己酸化活性の高い汚泥を高濃度に保持できる<sup>4)</sup>ことが、余剰汚泥発生について高い抑制能を有する主な要因であると考えられた。

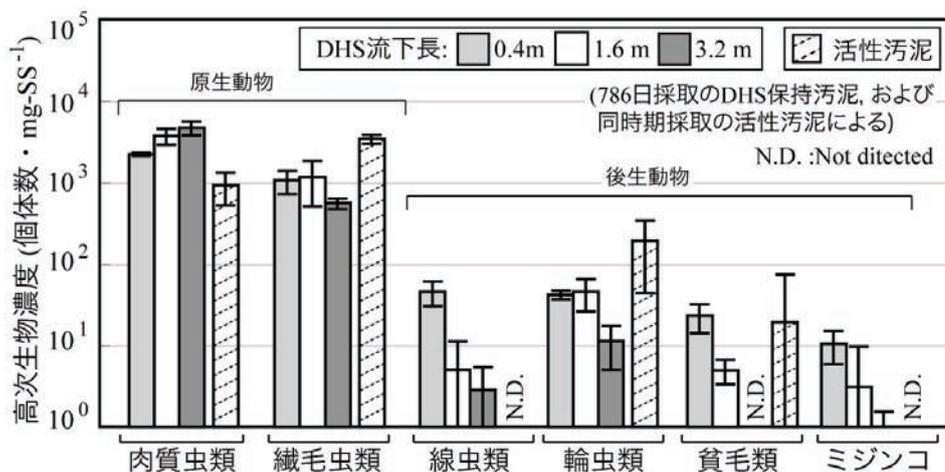


図 2.2.2-9 DHS および活性汚泥における微小動物個体数

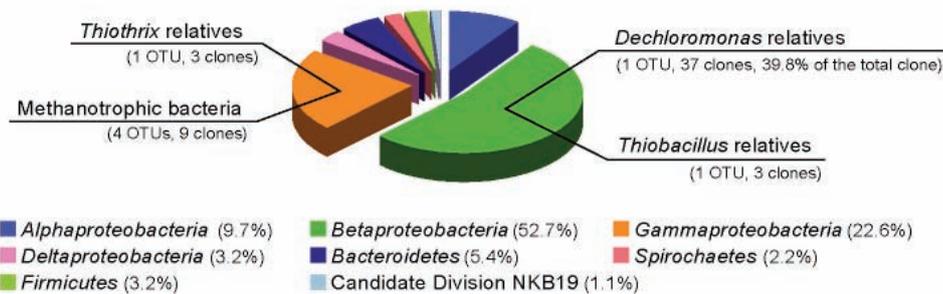
### 5-2) 細菌群集構造解析

DHS の機能や特性を把握するために、基軸方向での微生物群集構造解析を行った。

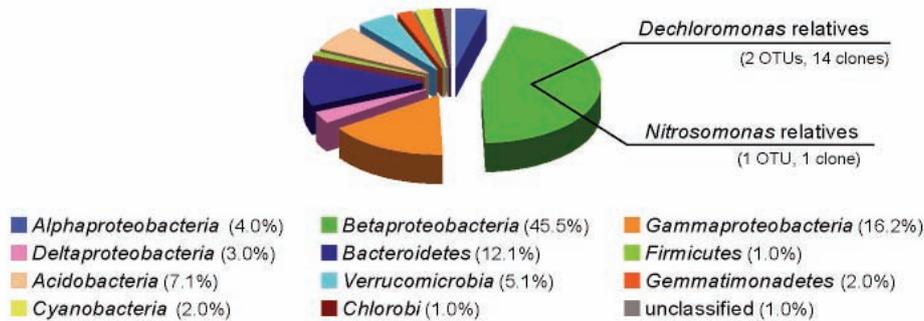
図 2.2.2-10 は、クローニング解析結果を示す。クローニングによる解析はボックス 1、4、8 から汚泥を採取し、それぞれ 93、99、96 クローン、総数 288 クローンを解析した。配列については、V3 領域を含む約 500 塩基を解析した。うちボックス 8 からの 1 クローンはキメラの可能性が高く、解析から排除した。門・網レベルでの分類結果を図 6.3.3-2 に示す。全てのボックスにおいて *Betaproteobacteria* および *Gammaproteobacteria* 網に属するクローンが優先していた。この他 *Alphaproteobacteria* 網、*Bacteroidetes* 門、*Firmicutes* 門、*Acidobacteria* 門、*Verrucomicrobia* 門、*Nitrospirae* 門が数%以上存在した。次に塩基配列情報を用いて FastGroup II<sup>5)</sup> で identity 97% の条件で OTU 分類を行ったところ、ボックス 1、4、8 においてそれぞれ 32±0、68.5±0.5、61.3±0.6 (試行回数 20 回) の OTU が得られた。FastGroup II による解析結果で異なる結果が得られた OTU グループについては、そこに属するクローンの塩基配列情報同士の相溶性および系統解析ソフト ARB<sup>6)</sup> を用いて OTU を決定した。その結果、ボックス 1、4、8 においてそれぞれ 32、70、61 の OTU が得られた。各 OTU の代表配列は DDBJ に登録した。ボックス 1 において OTU がボッ

クス 4、8 に比べて半数ほどしかない理由は、塩基配列を解読したクローンの約 40% (37 クローン) が *Dechloromonas* 属に近縁なクローンで 1 つの OTU を形成したためである。*Dechloromonas* 属に近縁なクローンで形成される OTU は、ボックス 4 でも 2 OTU 得られ、合計 14 クローン (10 クローンと 4 クローン) と全体の約 14% を占めていた。しかしながらボックス 8 では 1 OTU でそのクローン数は 3 クローンにまで減少した。*Dechloromonas* 属に近縁なクローンの OTU の他に DHS 高さ方向に特徴的な変化を見せたのは、*Gammaproteobacteria* 網のメタン酸化細菌に近縁なクローンで構成される OTU (ボックス 1 で 4 OTU、9 クローン)、硫黄酸化細菌に近縁なクローンで構成される OTU (ボックス 1 で 2 OTU、5 クローン)、*Gammaproteobacteria* 網の *Xanthomonadaceae* 科のクローンクラスターに属するクローンで構成される OTU (ボックス 8 で 11 クローン)、アンモニア酸化細菌あるいは亜硝酸酸化細菌に近縁なクローンで構成される OTU (ボックス 4 および 8 のみで検出) であった。

DHS1: 93クローン解析して、32のOTUが得られた。



DHS4: 99クローン解析して、70のOTUが得られた。



DHS8: 95クローン解析して、61のOTUが得られた。

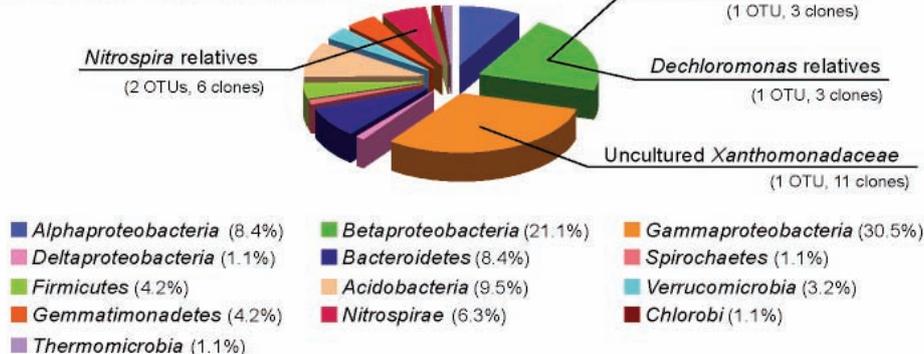


図 2.2.2-10 クローニング解析結果

#### (4) 達成度

以上の成果は、DHS の基礎的な特性を明らかとし、DHS パイロットプラントの担体選定・運転方法に反映する事項を達成した。

##### <スポンジ担体の基礎特性>

- ①濃度影響：高い有機物負荷を許容できることを明らかにした。プロピレングリコールを主成分とした廃水を用いて、有機物負荷を上昇させたときの応答を調査したところ、COD 容積負荷  $4 \text{ kg-COD/m}^3/\text{d}$  (BOD 容積負荷は  $2.4 \text{ kg-BOD/m}^3/\text{d}$ ) での平均除去率は 95 % 以上であった。
- ②汚泥捕捉能力：担体に汚泥を捕捉する上で、担体を使用しているスポンジのセルサイズは重要である。セルサイズが 0.83 mm、1.25 mm のスポンジについて汚泥を捕捉する物理的特徴を有していることを明らかにした。この結果は実証プラントへの担体の選定に反映した。
- ③酸素供給能力：スポンジサイズが小さいほど酸素供給能力に優れることを明らかにした。15 mm 角担体の  $KLa$  は  $46.6 \text{ h}^{-1}$ 、30 mm 角担体の  $KLa$  は  $18.8 \text{ h}^{-1}$  であった。

##### <新規担体 (G3-2) 評価>

- ①有機物処理性能：新規に G3-2 担体を用いた DHS は水温  $10\sim 28^\circ\text{C}$  の温帯地域の気候であっても有機物の除去は十分に可能であることを実証した。ただし、水温  $15^\circ\text{C}$  以下においては固形性有機物の除去率の低下が確認された。
- ②酸素供給能力：担体内に汚泥が捕捉された状態でも、DHS 担体は物理的に酸素を取り込めることがわかった。
- ③窒素除去特性：水温が  $20^\circ\text{C}$  以上の夏季においてケルダール性窒素の除去率は、99.4% に達した。アンモニア性窒素は、硝酸性窒素にまで硝化反応が進行していた。一方、水温が  $15^\circ\text{C}$  を下回る冬季においてケルダール性窒素の除去率は低下し、64.2% となった。

##### <DHS 内生物特性評価>

- ①微小動物定量評価：DHS 保持汚泥中の微小動物は、高次の栄養レベルの生物が確認された。DHS に生息する微小動物の個体数は、汚泥  $1 \text{ mg-SS}$  あたりでは活性汚泥と同程度であったが、DHS は活性汚泥法に比べて単位容積あたりの保持汚泥濃度が 10~20 倍と極めて高いため、多数の微小動物が生息することを示した。
- ②細菌群集構造解析：DHS 微生物群集構造は高さ方向に変化しており、高さ方向において水質プロファイルを反映する微生物の存在を明らかにした。

#### (5) 成果の意義

今回の基礎実験では、これまで不明となっていたスポンジ担体の特性を明らかにした。そこで得られた成果を基に新規 G3-2 担体を選定し、 $3.4 \text{ m}^3/\text{d}$  のパイロットスケール DHS にて性能・特性評価した結果が、 $50 \text{ m}^3/\text{d}$  のパイロットプラント DHS への反映に至った。すなわち、実施への導入を想定した担体の選定と、今後のより高性能な新規担体の開発においても貴重な結果となった。

#### 参考文献

- 1) 小笠原光彦, 遠矢泰典, BOD 負荷, 活性汚泥プロセスの設計・運転・操作因子, 井出哲夫編, 水処理工学 (1976), 229-230, 技法堂出版, 東京
- 2) 日本下水道協会 (1997), 下水試験方法上巻.
- 3) 林紀男 (2003), 地球環境調査計測辞典第 2 巻-陸域編, フジテクノシステム.
- 4) 田中秀治ら (2009), 下降流懸垂型スポンジ (DHS) リアクター保持汚泥の酸素利用速度測定, 第 43 回日本水環境学会年会.
- 5) Yu et al., (2006), FastGroupII: a web-based bioinformatics platform for analyses of large 16S rDNA libraries, BMC Bioinformatics, Vol. 7, pp. 57.
- 6) Ludwig et al., (2004), ARB: a software environment for sequence data, Nucleic Acids Res., Vol. 32, pp. 1363-71.

## 2.3 廃水処理トータルシステムの開発

### 2.3.1 トータルシステムの開発

#### (1) 研究の背景・目的・目標

UASB-DHS を中核とした廃水処理システム（以降、トータルシステム）の構築を意識した試験・評価を、行った。トータルシステムの開発では、実用化、普及を念頭においたときに求められる水質安定性確保のための設備付加まで含め、UASB-DHS パイロットプラントを用いた性能確認を行った。

#### (2) 開発工程

H18 年度にパイロットプラントの UASB と DHS の組合せ技術や周辺技術を研究できるようにプロセス設計・設置を行った。H19 年度からおよそ 2 カ年に渡り、実下水を用いた性能実証試験を行った。表 2.3.1-1 に実証試験工程を示す。

表 2.3.1-1 トータルシステム実証試験工程

年度 月	H19年度												H20年度											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
UASB関係																								
種汚泥投入10m <sup>3</sup> 、追加投入10m <sup>3</sup>			○			○(追加投入)																		
UASB循環運転/UASB+DHS処理水循環運転		↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	
原水通水運転/原水+DHS処理水循環運転			↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	
原水通水運転						97.5	50			40														
最初沈殿地複合運転						12/5	2/5																	
汚泥可溶化運転																								
DHS関係																								
担体交換 カーテン型一部交換 DHS2/4区画交換							↔																	
担体交換 カーテン型一部交換 DHS1/4区画交換								↔																
担体交換 キューブ型へ担体統一 DHS3/4区画交換																								
トータルシステム																								
DHS用沈殿池増設																								
汚泥返送運転																								
予備調査 水量変動運転																								
予備調査 24時間サンプリング																								
夏季運転データ取得期間																								
水量変動運転																								
24時間サンプリング																								
中間季運転データ取得期間																								
水量変動運転																								
24時間サンプリング																								
冬季季運転データ取得期間																								
水量変動運転																								
24時間サンプリング																								
データとりまとめ																								

#### (3) 成果

##### 1) UASB-DHS パイロットプラント

パイロットプラントは、2.1.1 で示した UASB プラントと 2.2.1 で示した DHS プラントを組み合わせ、さらに付帯設備を追加したものとした。パイロットプラントのフローを図 2.3.1-1 に示した。付帯装置は、UASB で発生するバイオガスの脱硫塔および燃焼焼却装置、汚泥減量を促進するための可溶化設備、処理水の SS 濃度を高度処理するための沈殿槽／砂ろ過器、処理水塩素消毒槽、などを備えた。

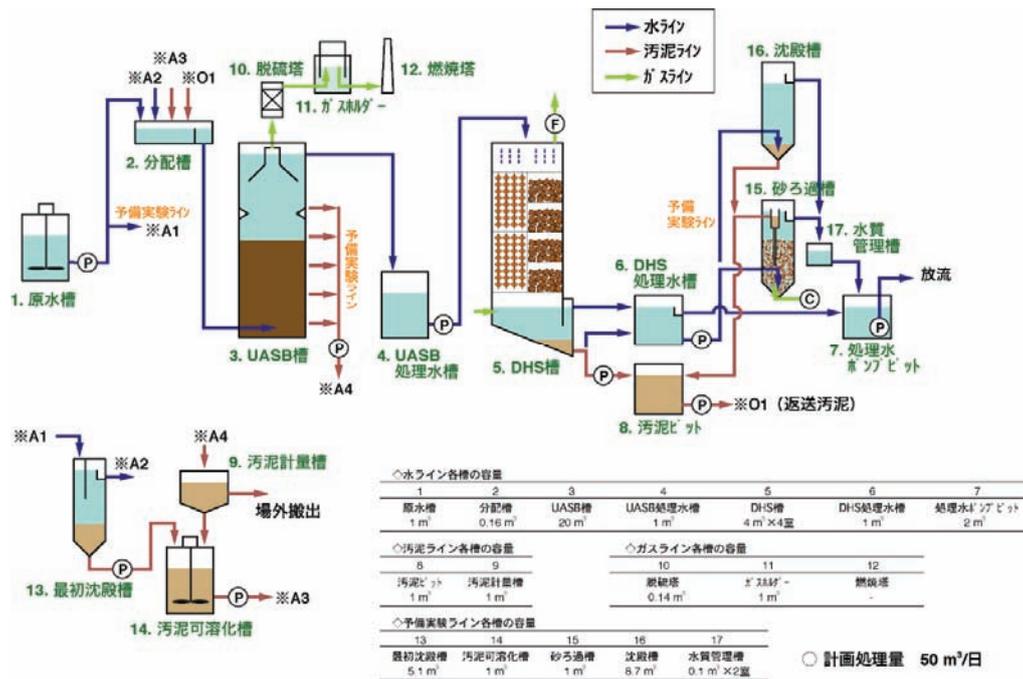


図 2.3.1-1 パイロットプラント概要

## 2) 処理水質

実証試験前半において、夏季、中間季、冬季にわたる運転データの蓄積を行い、UASB-DHSはBODの除去に優れること、一方で、特に水温低下時にSSの除去が不安定になることが明らかとなった(図2.3.1-2)。

SS除去の安定化を図るために、トータルシステムとして図2.3.1-3に示すフローを扱った。図2.3.1-4に各フローのSS処理性能を示す。UASB-DHSの後段に砂ろ過を付加したシステムがSSの処理に卓越した。

そこで、運転361日目から、UASB-DHS-砂ろ過システムでの長期運転を行った(図2.3.1-2)。期間中の水質(平均値±標準偏差)は、流入水BOD  $165 \pm 34$  mg/L、流入水SS  $146 \pm 18$  mg/L、に対し、処理水BOD  $5.6 \pm 2.6$  mg/L、処理水SS  $8.0 \pm 5.0$  mg/Lであった。なお運転条件は、UASB水理学的滞留時間9.7時間、水面積負荷  $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ 、DHS水理学的滞留時間2.5時間、BOD容積負荷  $0.45 \text{ kg-BOD}/\text{m}^3\text{-sponge}/\text{d}$  以下であった。

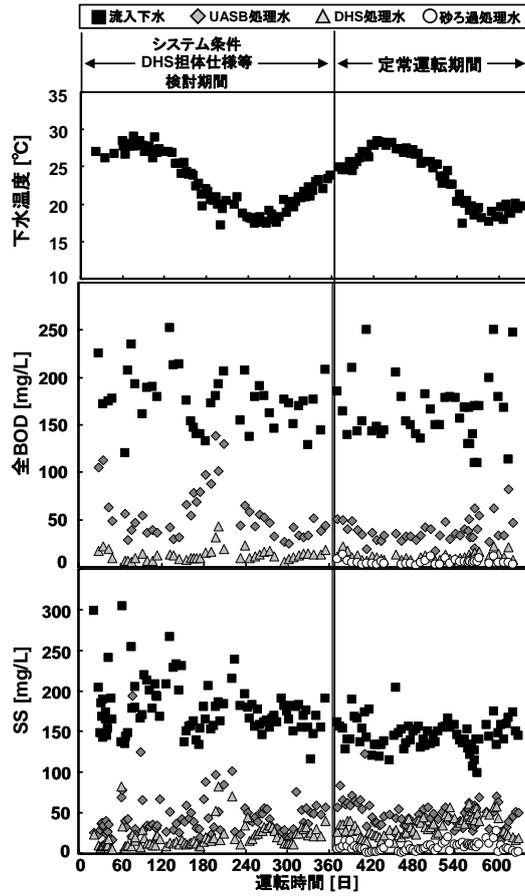


図 2.3.1-2 水質経時変化

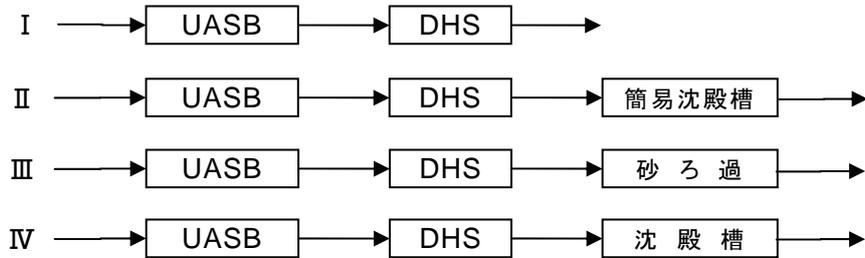


図 2.3.1-3 トータルシステム検討フロー

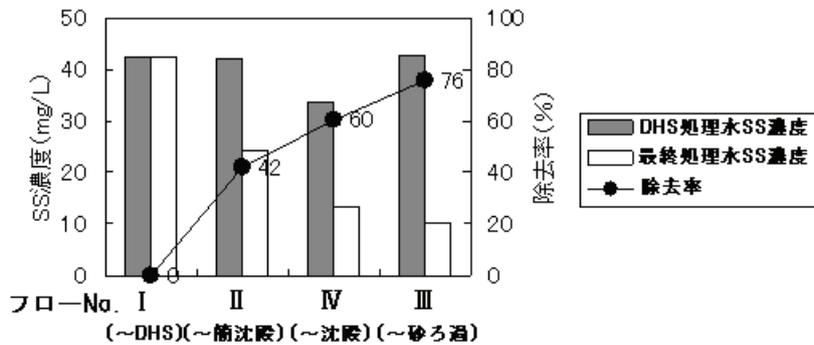


図 2.3.1-4 フローごとの処理水 SS 濃度

### 3) 汚泥発生量

トータルシステムにおける汚泥発生量を図 2.3.1-5 に示した。汚泥発生量は、UASB で発生する余剰汚泥、および、DHS 後段の砂ろ過/沈殿槽における除去 SS の和（乾燥重量；DS）とした。図 2.3.1-5 には標準活性汚泥法における汚泥発生量を併記した。値は文献<sup>1)</sup>より求めた。標準活性汚泥法の汚泥発生量は、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.29kg-DS であった。

①UASB-DHS-砂ろ過（砂ろ過洗浄汚泥→UASB 返送）システムにおける汚泥発生は、UASB からの余剰汚泥のみである。このシステムでのモニタリング期間は 42 日間と比較的短かったこともあり、汚泥発生量は下水 1m<sup>3</sup> 処理あたりほぼ 0kg-DS と極小であった。

②UASB-DHS-砂ろ過（砂ろ過洗浄汚泥→汚泥処理）、③UASB-DHS-沈殿槽（沈殿汚泥→汚泥処理）における汚泥発生量は、UASB の余剰汚泥と砂ろ過/沈殿槽の除去 SS の合計量である。②の汚泥発生量は下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.04kg-DS、③では下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.02kg-DS であった。これら 2 システムの汚泥発生量の差は、砂ろ過と沈殿槽の SS 除去能の差であると言い換えることができる。即ち、沈殿槽では、汚泥発生量は小さいものの、最終処理水中に混入して放流される SS 量が砂ろ過よりも大きくなる。

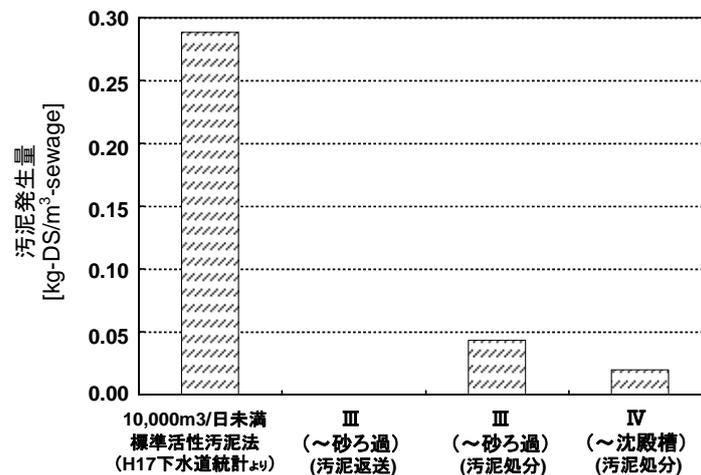


図 2.3.1-5 トータルシステムにおける汚泥発生量

### 4) 消費エネルギー量

UASB-DHS システムの消費エネルギーを、パイロットプラント負荷電流・電圧の実測調査をベースに行った。UASB-DHS システムで基本となる動力は、DHS 槽内換気のためのファン、揚水ポンプ、余剰汚泥引抜ポンプである。これらに加え、SS 高度処理を行う場合、沈殿槽や砂ろ過器に係る動力も必要となる。パイロットプラントでは、移動床式の砂ろ過を DHS 後段に採用した長期データを採取した。移動床式砂ろ過では、ろ材洗浄のためのエアリフトが必要動力である。

パイロットプラントから発生した汚泥の処理に係るエネルギーを実測することは不可能であったため、統計データから算出される汚泥処理エネルギーを用いて推定値を求めた。まず、パイロットプラントから排出される汚泥量 (kg-DS/m<sup>3</sup>-sew) を SS 収支 (実測) から求め、次いで下水道統計<sup>2)</sup>から汚泥重量あたりの処理エネルギー (kWh/kg-DS) を計算し、これらに乗じることで、パイロットプラントにおける処理水量あたりの汚泥処理エネルギー (kWh/m<sup>3</sup>-sew) を推定した。

下水 1m<sup>3</sup> 処理あたりのトータルシステム消費エネルギーを図 2.3.1-6 に示す。比較対象として、文献<sup>1)</sup>から求めた標準活性汚泥法における処理水量あたりの消費エネルギーを併記した。標準活性汚泥法では下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり水処理エネルギー0.359 kWh、汚泥処理エネルギー 0.168 kWhであった。

これに対して、①UASB-DHS-砂ろ過(洗浄汚泥返送)では下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり水処理エネルギー0.097kWh、汚泥処理エネルギー0.00kWh(短期間での検討のため、汚泥発生量が過小評価の恐れがある)であった。

②UASB-DHS-砂ろ過(洗浄汚泥処分)では、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり水処理エネルギー0.097kWh、汚泥処理エネルギー0.025 kWhであった。

③UASB-DHS-沈殿槽(沈殿汚泥処分)では、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり水処理エネルギー0.049kWh、汚泥処理エネルギー0.011 kWhであった。

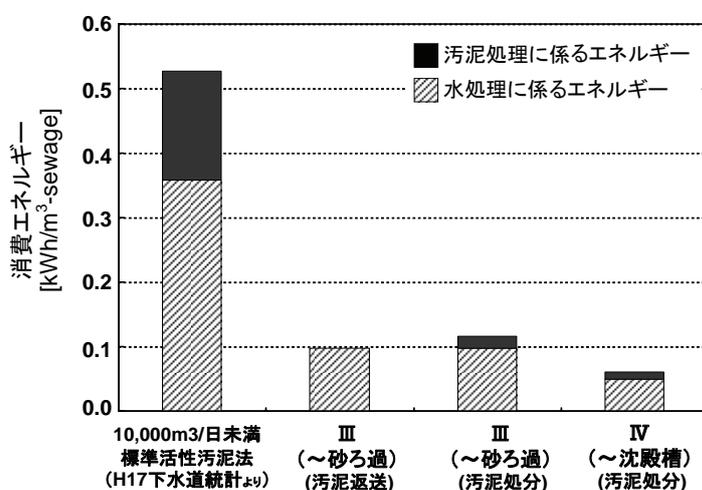


図 2.3.1-6 トータルシステムにおける消費エネルギー

### 3) 二酸化炭素排出量

前項で得られた消費電力量から、パイロットプラントおよび標準活性汚泥法における処理水量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量を算出した。算出は文献<sup>2), 3)</sup>に基づいて行った。

結果を図 2.3.1-7 に示した。比較対象とした日処理量 10,000m<sup>3</sup> 未満の標準活性汚泥法では、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり、水処理に係る二酸化炭素排出量 0.199 kg-CO<sub>2</sub>、汚泥処理に係る二酸化炭素排出量 0.064 kg-CO<sub>2</sub>であった。

これに対して、①UASB-DHS-砂ろ過(洗浄汚泥返送)では下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり、水処理に係る二酸化炭素排出量 0.054 kg-CO<sub>2</sub>、汚泥処理に係る二酸化炭素排出量 0.000 kg-CO<sub>2</sub>(短期間での検討のため、汚泥発生量が過小評価の恐れがある)であった。

②UASB-DHS-砂ろ過(洗浄汚泥処分)では、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり、水処理に係る二酸化炭素排出量 0.054 kg-CO<sub>2</sub>、汚泥処理に係る二酸化炭素排出量 0.009 kg-CO<sub>2</sub>であった。

③UASB-DHS-沈殿槽(沈殿汚泥処分)では、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり、水処理に係る二酸化炭素排出量 0.027 kg-CO<sub>2</sub>、汚泥処理に係る二酸化炭素排出量 0.004 kg-CO<sub>2</sub>であった。

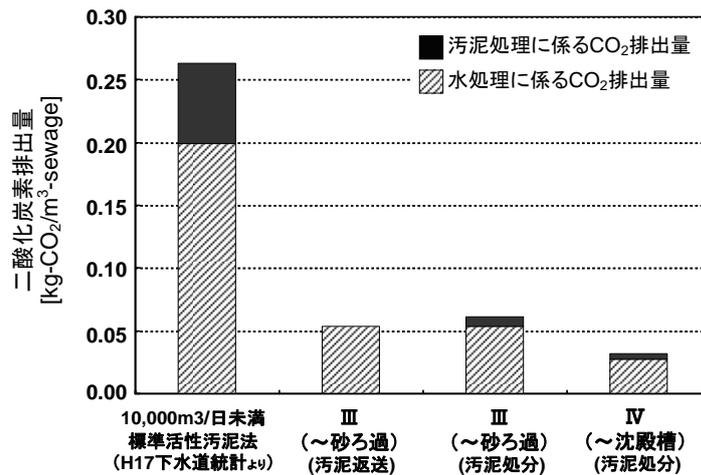


図 2.3.1-7 トータルシステムにおける二酸化炭素排出量

#### (4) 達成度

UASB-DHS を用いた処理フローの検討の結果、UASB-DHS-砂ろ過システム（処理水量 50m<sup>3</sup>/d、UASB 水理学的滞留時間 9.7 時間、UASB 水面積負荷 0.5m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/時、DHS 水理学的滞留時間 2.5 時間）で最も高度な水質が得られることが分かった。処理水質は BOD 5.6 mg/L、SS 8.0 mg/L であった。

また、UASB-DHS-砂ろ過システムの汚泥発生量、消費エネルギー量（水処理）、二酸化炭素排出量（水処理）を調査したところ、それぞれ、下水 1m<sup>3</sup> 処理あたり 0.043kg-DS、0.097kWh、0.054kg-CO<sub>2</sub> であった。

以上のように、実用化を念頭においたシステム開発、またその性能確認を果たすことができた。よって、所期目的を達成できた。

#### (5) 成果の意義

UASB-DHS-砂ろ過システムによって、下水道法における放流水質基準（BOD 15mg/L 以下、SS 40mg/L 以下）を十分達成でき、標準活性汚泥法の処理水質<sup>1)</sup>（BOD 5.0mg/L、SS 5.3mg/L）と同等程度の処理水質が得られたことは、UASB-DHS の実用性を示す重要な結果である。また、汚泥発生量、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量の調査によって、本システムが二次廃棄物排出抑制、省エネルギー、地球温暖化抑止に貢献できる技術であることが示された。

## 2.3.2 下水処理分野への適用に関する研究開発

### 2.3.2.1 研究の背景・目的・目標

本研究開発の下水処理分野への適用のために、UASB-DHS（嫌気性－好気性処理システム）からの処理水の水質変動が大きい場合は変動を吸収して放流水質を安定化させ、BOD15mg/L以下を安定的に達成可能とする後処理システムの研究開発を行った。候補技術としては、急速砂ろ過を検討することとし、下水処理への適用性について、ラボスケール実験および小規模パイロットプラント実験ならびに実証プラントにより実験・検討を行った。

また、UASB-DHS システムおよび高度処理対応型システムについて、下水処理分野への適用性に関して評価を行った。評価は、実証プラントの運転データの解析結果および処理妨害物質の影響に関するラボスケール実験結果および小規模下水道への導入ケーススタディの検討結果に基づいて行った。

### 2.3.2.2 研究の内容・工程

研究の内容および工程は表 2.3.2-1 に示す通りである。詳細を以下に述べる。

#### (1) UASB-DHS システムに適した砂ろ過技術の基礎開発

UASB-DHS システムからの処理水をより高度に処理して水質を安定化させるのに適した砂ろ過技術の基礎的開発を行った。実施にあたっては、まずラボスケールの実験装置を模擬廃水を用いて室内で運転して基礎検討のための実験を行った。次に、小規模パイロットプラントの実験装置を製作して下水処理場内の実験施設に設置して実下水を用いて連続運転する実験を行った。これらの実験データを解析して砂ろ過技術の基礎的開発を行った。

#### (2) UASB-DHS システムの下水処理分野への適用性評価

UASB-DHS システムの下水処理分野への適用性について評価を行った。実施にあたっては、UASB-DHS システムの実証プラントの運転結果および解析結果を用いるとともに、UASB-DHS システムの処理性能に影響を及ぼすような妨害物質が流入した場合の処理安定性評価実験を行った結果もふまえて、我が国における下水水質、流入変動、温度条件等を勘案して、下水処理分野への適用性を評価した。また、平均気温が高い地域として、九州・沖縄地方の小規模下水道への導入を想定したケーススタディにより、適用性を評価した。さらに、エネルギー回収等の高度処理対応型システムについても実験プラントにより検討を行った。これらにより、下水処理分野への適用性の評価を実施した。

表 2.3.2-1 研究の内容・工程

	H18 年度	H19 年度	H20 年度
(1)UASB-DHS システムに適した砂ろ過技術の基礎開発	←	→	
(2)UASB-DHS システムの下水処理分野への適用性評価		←	→

### 2.3.2.3 成果

#### (1) UASB-DHS システムに適した砂ろ過技術の基礎開発

##### 1) 方法

UASB-DHS-砂ろ過システムの小規模パイロットプラント実験装置を製作して下水処理場に設置し、実下水を用いて自然の気温条件下で連続運転を行い、低水温、高負荷による処理性能低下時において、砂ろ過の追加による処理水質安定化の可能性について検討した。実験装置を図 2.3.2-1 に示す。

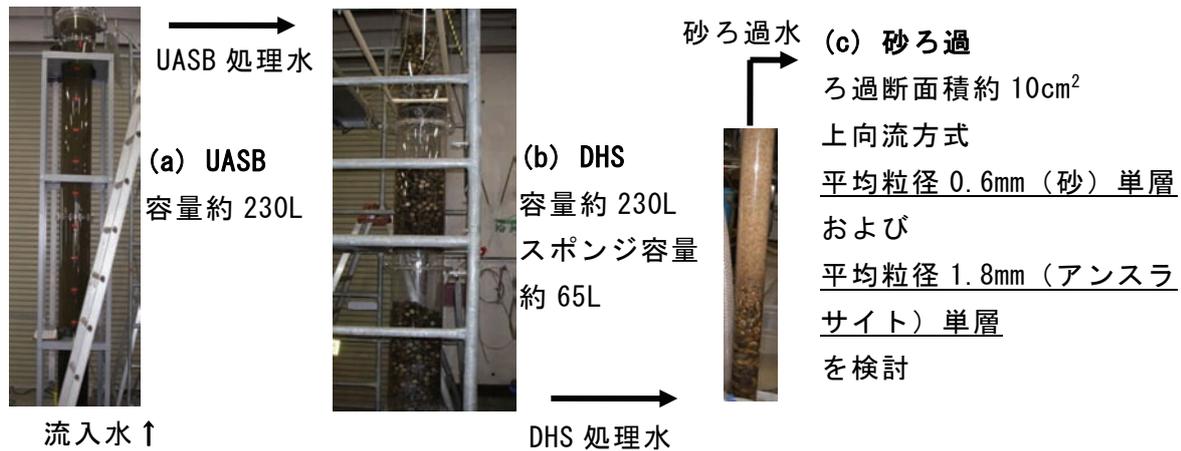


図 2.3.2-1 UASB-DHS-砂ろ過システム実験装置

##### 2) 結果

処理水質の図 2.3.2-2 より、夏期の運転期間（7月～9月、88～176日目）は高水温（流入水平均 25.9℃）かつ低負荷（HRT12時間）の好条件であったため、UASB-DHS 処理水は常に BOD10mg/L 以下で BOD 除去率は平均 95%以上あり、砂ろ過（粒径 0.6mm）は不要であった。

冬期の運転期間（12月～1月、2.3.22～299日目）は低水温（流入水平均 17.4℃）かつ高負荷（HRT10時間）で夏期より悪条件に設定したため、UASB-DHS 処理水質は悪化し、砂ろ過（粒径 1.8mm）後でもほとんど常に BOD15mg/L 以上となった。DHS 処理水中の有機汚濁は溶解性の割合が高くなったため（全 COD<sub>Cr</sub> の約 80%が溶解性）、砂ろ過では十分に除去されず、UASB-DHS-砂ろ過システムの BOD 除去率は 85%程度に低下した。SS は 40mg/L 以下に常に制御できたものの、BOD 除去についての砂ろ過の効果は限定的であった。

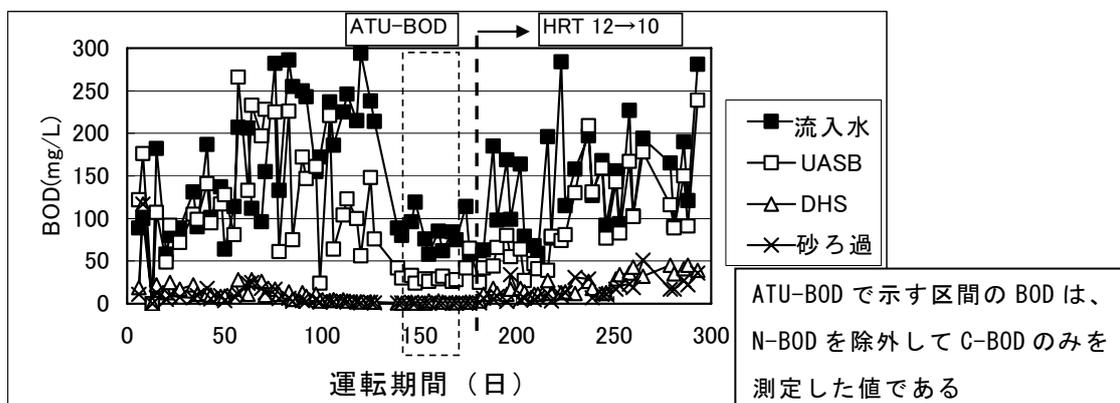


図 2.3.2-2 UASB-DHS-砂ろ過システムの処理水質 (BOD)

砂ろ過のろ材の違いの影響については、夏期が粒径 0.6mm の砂、冬期が粒径 1.8mm のアンラサイトで単純比較は難しいが、冬期の DHS 処理水の水質悪化により、粒径 1.8mm でも砂ろ過層の閉塞・圧力損失の急増等によるトラブルがしばしば発生しており、粒径が小さいとさらに閉塞しやすくなることから、可能な範囲で粒径が大きめのろ剤を選んだ方が運転管理が容易になると考えられた。

## (2) UASB-DHS システムの下水処理分野への適用性評価

### 1) 処理影響物質に対する水処理安定性に関する評価

(方法) 水処理に影響を与える可能性のある水質の下水として、下水道法等の法令の許容範囲で想定して、酸性排水 (pH7.4 より pH5.0 へ段階的に低下)、アルカリ性 (pH7.4 より pH9.1 へ段階的に上昇)、フェノール性排水 (フェノール 5mg/L) がそれぞれ流入した場合の水処理安定性について、ラボスケールの実験装置 (UASB 容量約 16L、DHS: スポンジ容量約 4L) を用いて 20°C 条件下で人工下水による連続運転を行い、実験的検討を行った。

(結果) 図 2.3.2-3 に示す通り、酸性側で pH5.0 まで、アルカリ性側で pH9.1 までのいずれの流入水質の場合も処理に深刻な影響は見られなかった。UASB の COD 除去率がやや低下した場合でも後段の DHS において十分な処理が行われ、トータルの処理性能に影響はなく、砂ろ過も不要であった。また、フェノール性排水 (フェノール 5mg/L) の流入による影響実験の結果については、排水の流入による処理影響はほとんど見られなかった。産業排水処理分野ではより高濃度のフェノールを含む排水の嫌気処理が実施されているが、それらは十分な馴致期間の確保あるいはフェノール処理に適した微生物の選択的利用等により実施されているのに対して、本実験では特にフェノールに馴致していない通常の下水生物処理においてフェノール性排水が突発的に流入した場合に、処理に深刻な影響が起こらないかを確認するためのものであったが、5mg/L 程度は許容範囲であると考えられた。

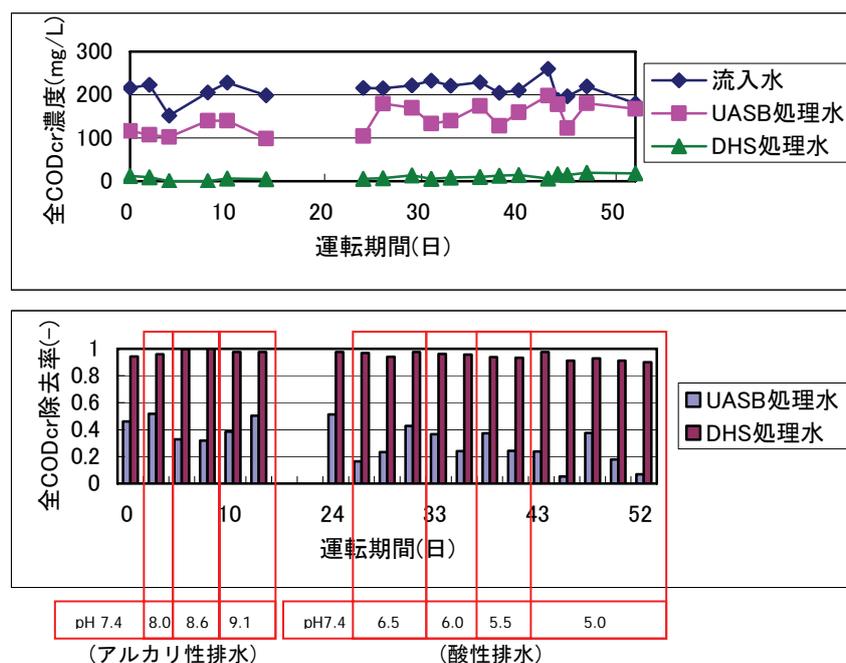


図 2.3.2-3 アルカリ性および酸性排水の処理影響評価実験の結果

2) 小規模下水道を想定したケーススタディによる評価

(方法) 平均気温が高い九州・沖縄地方の下水処理場の維持管理費に占める汚泥処理費および燃料費の割合を「平成 18 年度版下水道統計((社)日本下水道協会)」により算出し、UASB-DHS での年費用削減率を試算した。また、UASB-DHS の導入に際して、汚泥発生量およびエネルギー消費量の高度な抑制のために建設コストを増加することが可能か検討した

(結果) 対象地域の下水処理場の汚泥処理費およびエネルギー費の割合は維持管理費の約 25%であった。よって、UASB-DHS システムにより、エネルギー消費量・汚泥発生量を 70%削減すると、維持管理費の約 18% ( $25 \times 0.7 = 17.5\%$ ) の削減が可能と考えられた。

表 2.3.2-2 に示す年費用の試算例より、UASB-DHS システムの建設費が同規模の活性汚泥処理システムと同等と仮定すると、処理場の建設費および維持管理費の年費用に対する削減率は約 8~11%となる。

表 2.3.2-2 小規模下水道を想定したケーススタディにおける年費用試算例

計画人口 P(人)	日平均 Qa(m <sup>3</sup> /d)	日最大 Qd(m <sup>3</sup> /d)	建設費 C(百万円)	償却年数 Y(y)	年当たり建設費 Cy(百万円/y)	維持管理費 M(百万円/y)	年費用合計 CM(百万円/y)
1,000	300	429	245	33	7	12	19
5,000	1,500	2,143	1,557	33	47	40	87
10,000	3,000	4,286	2,259	33	68	61	129

計画人口 P(人)	維持管理費削減率 R(%)	維持管理費削減額 Mr(百万円/y)	年費用削減率 CMr(%)
1,000	18	2	11
5,000	18	7	8
10,000	18	11	8

(建設費・維持管理費の推定は、「効率的な汚水処理施設整備のための都道府県構想策定マニュアル(案)」(平成 13 年、(社)日本下水道協会)より)

また、建設コストの償却年数を検討した図 2.3.2.3.2 より、例えば活性汚泥システムと比較して、仮に建設費が 10~20%程度割高になっても、15~27 年で回収可能であることが分かる。逆に、実際の建設費が活性汚泥法と同等かより低ければ、原価償却年数の短縮が可能になる。従って、UASB-DHS システムの下水処理分野への導入にあたり、経済性の問題が阻害要因となる可能性は低く、むしろ促進要因となる可能性も十分あるものと考えられた。

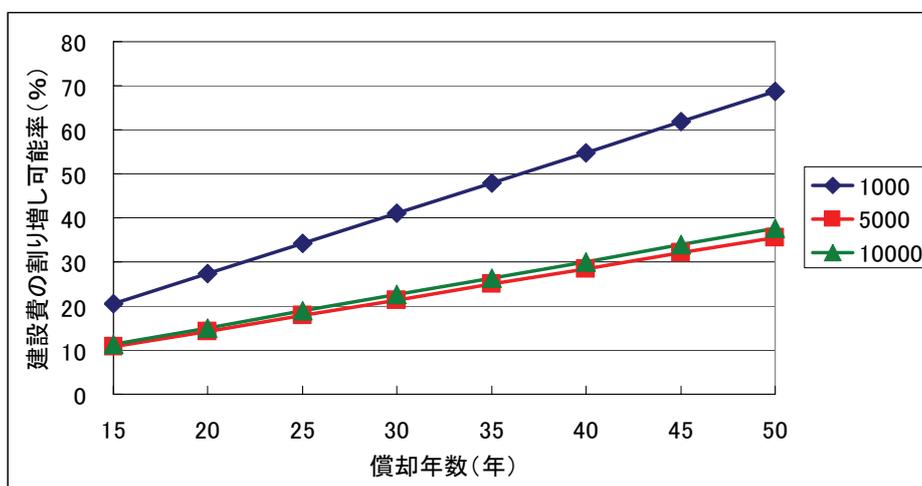


図 2.3.2.3.2 小規模下水道を想定したケーススタディにおける償却年数と建設費の関係

### 3) 高度処理対応型システムに関する評価

(方法) 高度処理対応型システムに関する検討として、エネルギー回収の向上および UASB 汚泥発生量の制御に関する検討のため、UASB-DHS システムと嫌気性消化槽を組み合わせた実験プラント (UASB 容量約 230L、DHS スポンジ容量約 65L、嫌気性消化槽容量は UASB の 20%の約 46L) を下水処理場に設置し、UASB に実下水 460L/d (HRT12 時間) を流入させて温度制御なし (流入水温は 14.4℃~23.2℃で平均 17.9℃) で運転した。

UASB と嫌気性消化槽の間で汚泥を 2.3L/d で 1 日 1 回循環させる運転条件で (UASB の流入水量に対する汚泥循環率 0.5%、嫌気性消化槽の SRT20 日)、1~35 日目 (Run 0) の予備運転後に、36~109 日目 (Run 1) の運転を行い、110 日目以降 (Run 2) は循環量を 2 倍の 4.6L/d (UASB 汚泥循環率 1.0%、嫌気性消化槽 SRT10 日) として 141 日目まで運転した。

(結果) 運転が安定した Run1 および Run2 について、T-COD (全 COD<sub>Cr</sub>)、VS の除去およびメタンガス回収の状況を図 2.3.2-5 に、COD 物質収支を図 2.3.2-6 にそれぞれ示した。

水処理は、いずれの条件でも問題がなかった。メタンガスは、実験装置の不具合により嫌気性消化槽・UASB とともに精確に回収できず、ガス発生量の定量的評価はできなかった。

Run1 の UASB 汚泥循環率 0.5%、嫌気性消化槽 SRT20 日の条件では、嫌気性消化槽における汚泥分解速度よりも UASB における汚泥蓄積速度が大であり、UASB に汚泥が蓄積された。

Run2 で汚泥循環率を 2 倍にすると、嫌気性消化槽における汚泥分解速度が UASB における汚泥蓄積速度を上回り、UASB 汚泥の嫌気性消化槽における分解が進んだため、UASB 汚泥が減少し、UASB+嫌気性消化槽全体の COD 除去のほとんどが嫌気性消化槽でなされていた。

ここで、UASB の HRT (12 時間)、汚泥循環率 (0.5%)、嫌気性消化槽の容積比 (20%) および嫌気性消化槽の SRT (20 日) の間には、次の関係式 (式 2.3.2-1) が成立する。

$$\frac{\text{UASB の HRT}}{\text{嫌気性消化槽の SRT}} \times \frac{\text{嫌気性消化槽の容積比}}{\text{汚泥循環率}} = 1 \dots (\text{式 2.3.2-1})$$

実際には、UASB の HRT は主として流入水量・水質により決定されることから、汚泥制御のために操作可能な因子は、残りの 3 因子となる。例えば汚泥循環率を変えずに (0.5%) 嫌気性消化槽の容積比を 2 倍 (40%) にして SRT を 2 倍 (40 日) にする場合と、汚泥循環率を 2 倍 (1%) にして嫌気性消化槽の容積比を変えずに (20%) に SRT を 1/2 倍 (10 日) にする場合とを比較すると、後者の方が嫌気性消化槽への有機物供給速度が高くなり、嫌気性消化に過負荷にならない範囲では、有機物分解速度も大になると考えられる。

従って、UASB と嫌気性消化槽を組み合わせたシステムでは、汚泥循環率を操作因子として、UASB の汚泥量を容易に制御することが可能と考えられた。

循環率が過大になると、UASB 汚泥が減少しすぎて水処理に影響が発生するおそれがあるとともに、汚泥循環等に要するエネルギーの増大を招くことから、流入水質、HRT、汚泥性状等を考慮して循環率を適切に設定することが重要である。

以上より、UASB と嫌気性消化槽を組み合わせることで、汚泥発生量の抑制と水処理性能の維持を両立しつつ、メタンガス回収によるエネルギー高度利用も達成可能であると考えられた。効果のより詳細な評価については、ガスの回収可能量の確認などについて、今後

さらなる実験的検討と技術開発が必要であろう。

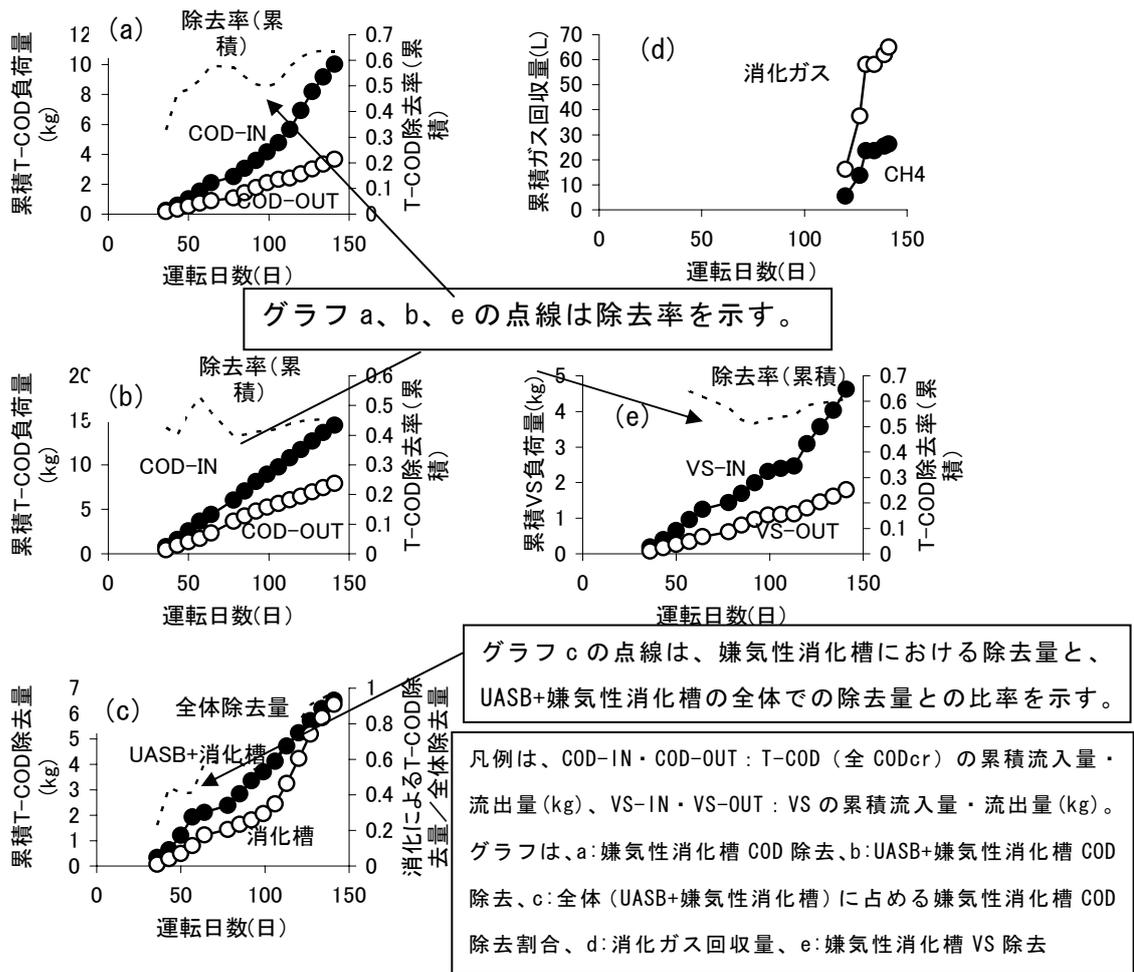


図 2.3.2-5 高度処理対応型システムの UASB+嫌気性消化槽部分における有機物処理特性

Run	全体に対する除去率	全体に対する除去率	総除去率	
Run1	25% 嫌気性消化槽 ↑分解 2.4 槽内の除去率 51%	17% UASB ↑分解・蓄積 1.68 UASB内の除去率 14%	42% 全体 ↑分解・蓄積 4.1	処理水→ 5.6 ←流入水 9.8
Run2	84% 嫌気性消化槽 ↑分解 3.9 槽内の除去率 74%	-32% UASB ↑分解・蓄積 -1.52 UASB内の除去率 -25%	51% 全体 ↑分解・蓄積 2.4	処理水→ 2.3 ←流入水 4.7
Run1+2	44% 嫌気性消化槽 ↑分解 6.4 槽内の除去率 63%	1% UASB ↑分解・蓄積 0.16 UASB内の除去率 1%	45% 全体 ↑分解・蓄積 6.5	処理水→ 7.9 ←流入水 14.4

図 2.3.2-6 高度処理対応型システムの UASB+嫌気性消化槽部分における有機物収支

(全 CODcr (kg) および除去率)

#### 2.3.2.4 まとめと今後の課題

##### (1) UASB-DHS システムに適した砂ろ過技術の基礎開発

UASB-DHS システムへの砂ろ過追加による処理水質安定化の検討を行った結果、夏期の高水温時の処理水質は良好で安定しており、砂ろ過は不要であった。冬期の低水温時に高負荷で処理水質が悪化した場合で、処理水中に溶解性有機物が多くなった状況下では、砂ろ過の効果は限定的であり、運転条件の変更など他の対策の併用が必要と考えられた。

##### (2) UASB-DHS システムの下水処理分野への適用性評価

UASB-DHS システムの処理影響物質に対する水処理安定性に関する実験的検討を行った結果、現実的に想定される流入下水の水質の範囲内では、酸性、アルカリ性またはフェノール性排水が流入しても水処理への影響は少なく、UASB-DHS システムの実下水への適用に問題はないと考えられた。

小規模下水道を想定したケーススタディによる検討の結果、UASB-DHS システムでは活性汚泥法と比較して維持管理費が約 2 割削減可能と想定され、建設費もあわせた年費用の約 1 割を削減できる可能性があるなど、経済性で有利となりうることが分かった。費用関数を用いた試算であり、かつ開発した UASB-DHS システムの実際の建設費用についても現時点では不確定要素があるなど、精度に課題が残るものの、少なくとも導入に当たり経済性が阻害要因となる可能性は低く、むしろ促進要因となりうるものと考えられた。

高度処理対応型システムに関する検討の結果、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発生量を抑制し、エネルギー回収を促進できる可能性が示された。効果のより詳細な評価については、さらなる実験的検討が必要であり、今後の技術開発が必要と考えられた。

### 2.3.3 システム普及促進のための研究

#### (1) 研究の背景・目的・目標

無曝気・省エネルギー型排水処理システム（UASB-DHS）完成後、下水などの低濃度排水以外への本システムの普及促進を円滑にするため、産業廃水について試験を行い、下水以外への適用可能性を調査する必要がある。そこで、本章では、ラボスケール UASB-DHS システムにより各種産業廃水を原水に用いた連続処理実験を行い、嫌気-好気反応槽の処理性能の評価を行い、嫌気-好気反応槽の装置運転最適化のための制御因子の検討、大腸菌など衛生工学的特徴の評価、および、保持微生物の特性を代謝活性試験や分子生物学的手法を用いて評価を行うことを目的とした。

これらの目的を達成することにより、下水以外の排水へ無曝気・省エネルギー型排水処理システム（UASB-DHS）が、普及促進が円滑に進めることができるようにすることを目標とした。

#### (2) 開発工程

##### 1) 染色廃水処理試験

生活排水だけでなく、広範な廃水種への UASB-DHS 適用を検討するため、模擬工場排水として染色廃水を想定し、平成 18、19 年度において連続処理実験を行い、HRT、流入 COD 濃度などの運転制御方法について最適な条件を模索した。

##### 2) フェノール含有廃水処理試験

平成 19、20 年度においてフェノール含有廃水を対象とした連続処理実験を行い、HRT、流入 COD 濃度などの制御因子について最適な条件を模索した。

##### 3) 嫌気-好気反応槽の衛生工学的評価

嫌気-好気反応槽の衛生工学的評価は、平成 19、20 年度にわたり、大腸菌群（*T. coli*）およびふん便性大腸菌群（*F. coli*）のモニタリングを行い、それらの除去性能の評価を行った。また、各プロセスにおける消毒コストの低減効果について評価するために、次亜塩素酸ナトリウムを用いた塩素消毒実験を行い、消毒理論に基づいて各プロセスの必要消毒剤量を計算した。

##### 4) 嫌気-好気反応槽の微生物生態評価

微生物反応に依拠する処理技術を論じるうえで、プロセスを担う微生物の活性や生態系を知ることは重要である。平成 20 年度は、DHS パイロットプラントから汚泥サンプルを採取し、その微生物活性および微生物生態系を解析することで、嫌気反応槽（UASB）後段における好気反応槽（DHS）の微生物生態評価を試みた。

表 2.3.3-1 開発工程表

項 目	平成18年度				平成19年度				平成20年度			
	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
染色廃水処理試験	←			→								
フェノール含有廃水処理試験					←							→
嫌気-好気反応槽の衛生工学的評価						←						→
嫌気-好気反応槽の微生物生態評価									←			→

(3) 成果

1) 染色廃水処理試験

実廃水を用いた、UASB-DHS の染色廃水処理へ適用性評価を行った。流入廃水は、染料を含んだ染色廃水と原反の糊（ポバール等）を除去する際に発生する糊抜き廃水の混合水とした。表 2.3.3-2 に染色廃水の組成を示す。図 2.3.3-1 は、本実験で使用した実験装置の概要を示す。リアクターへの植種は、UASB には下水処理汚泥を使用した。リアクターの運転温度は UASB では加温水を循環することで 25～30℃に調節し、DHS は無加温にて運転を行った。処理のフローは、中性に pH 調整した染色実排水を、前段 UASB の下部より連続供給し、後段 DHS に散水した。DHS 処理水の一部は UASB 流入下部に返送し、残りは最終沈殿槽にて浮遊物質・汚泥の除去を行った後、最終処理水として排出した。

表 2.3.3-2 染色廃水の組成

項目	単位	
pH	[-]	7.25
ORP	[mV]	-201
全BOD	[mg/L]	250
溶解性BOD	[mg/L]	204
SS	[mg/L]	201
着色度	[-]	6364

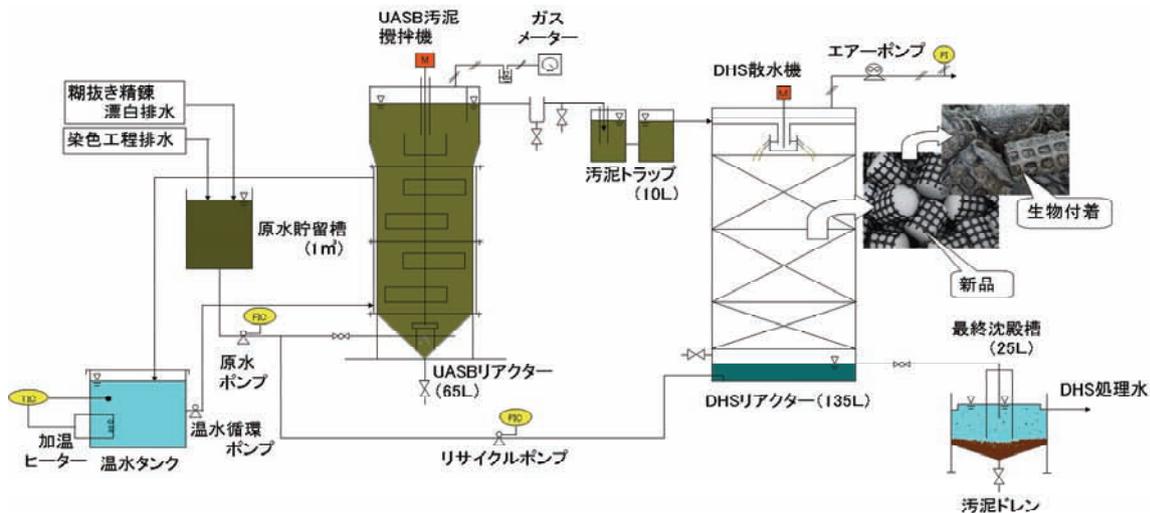


図 2.3.3-1 本連続処理実験で使用した UASB-DHS プロセスの処理フロー

リアクターは総 HRT20～26 時間で運転を開始した(UASB HRT=6.4～8.5 時間、DHS HRT=13.3～17.7 時間)。このとき、原水性状は染色廃水：糊抜き廃水=3:1 (v/v) の混合比であり、BOD 容積負荷は 0.6～1.2 kgBOD/m<sup>3</sup>/d であった。植種汚泥性状に起因する UASB からの汚泥の流出が観察されたため、運転開始後 50 日目に、総 HRT を 48 時間 (UASB HRT=16 時間、

DHS HRT=32 時間) に変更し、汚泥を追加投入して運転を再開した。その後、汚泥の流出が減少を確認し、67 日目に総 HRT (48 時間) はそのままに原水性状を染色廃水：糊抜き廃水=6:1 (v/v) に変更して実験を継続した。このとき、BOD 容積負荷は 0.1~0.7 kgBOD/m<sup>3</sup>/d であった。117 日目以降は、総 HRT を 29 時間 (UASB HRT=9 時間、DHS HRT=19 時間) に短縮し、BOD 容積負荷 0.2~0.8 kgBOD/m<sup>3</sup>/d で運転した。

BOD 処理状況を図 2.3.3-2 に示す。総 HRT20~26 時間のとき、原水 BOD 168~324 mg/L (平均 240 mg/L)、UASB 処理水 BOD 36~276 mg/L (平均 146 mg/L)、DHS 処理水 BOD 7~140 mg/L (平均 42 mg/L) であった。UASB では、植種汚泥の流出もあり、経時的に除去率が低下し、運転 49 日目には除去率が 7% になった。しかしながら、後段の DHS によって BOD 除去性能は補われ、UASB-DHS システムとしては BOD 除去率 80 % 程度を得た。

植種汚泥を追加し、UASB の汚泥流出を抑えるため総 HRT を 48 時間にした期間では、原水 BOD 97~463 mg/L (平均 276 mg/L)、UASB 処理水 BOD 77~275 mg/L (平均 174 mg/L)、DHS 処理水 BOD 6~94 mg/L (平均 33 mg/L) であった。UASB における BOD 除去率は、原水 BOD 濃度の変動の影響を大きく受け、16~58 % (平均 35 %) であった。UASB-DHS システムとしては、期間中 BOD 除去率は漸増し、最終的に除去率 98 % を示すまでにいたった。

汚泥の流出が解消されたと判断し、総 HRT を 29 時間に短縮した期間では、原水 BOD 93~315 mg/L (平均 199 mg/L)、UASB 処理水 BOD 57~243 mg/L (平均 128 mg/L)、DHS 処理水 BOD 2~14 mg/L (平均 8 mg/L) であった。良好な BOD 除去性能が得られ、除去率は UASB で 37% 程度、UASB-DHS システムとして 91~99 % であった。

以上のとおり、初期植種汚泥の沈降性の問題で UASB からの汚泥流出というトラブルがあったものの、十分な馴致の後には、UASB-DHS システムが染色工場排水由来の BOD を 90 % 程度除去できることが示された。

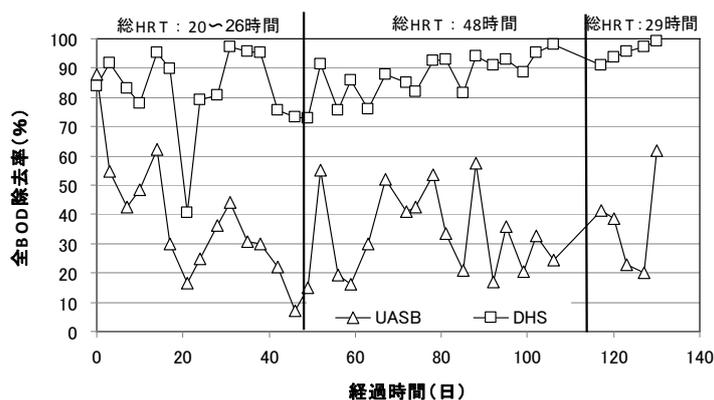


図 2.3.3-2 全 BOD 除去率

総 HRT を 29 時間に短縮した期間の脱色状況は、原水着色度 2600~11000 (平均 7000)、UASB 処理水着色度 2400~6600 (平均 4300)、DHS 処理水着色度 500~4500 (平均 2900) であった。除去率は安定傾向を示し、UASB-DHS システムでは 53~80 % を得た。

本研究における流入水は、混合染料 (黒色を呈した) であったため脱色の定量評価が容易ではなく、リアクターの制御因子の決定も難しかったが、少なくとも今回の UASB-DHS システムの仕様を踏襲することで、染色工場排水の着色を 60 % 程度除去できるといえる。

完全な脱色には、例えば凝集法などを用いる必要があると想定されるが、染色廃水を直接凝集脱色する場合に比べ、使用薬品量、汚泥発生量の点から、UASB-DHS-凝集法による脱色のメリットは大きいと考える。従来の凝集法のみ relied 処理法と比べ、薬品使用量は 2/3 に抑えることができた。また、リアクター運転期間中、汚泥の引抜きは一切行わなかった。

## 2) フェノール含有廃水処理試験

嫌気-好気反応槽の制御因子の検討は、フェノール含有廃水の連続処理実験結果で得られた値から試験装置最適化を行った。主に生物処理に影響する HRT、流入 COD 濃度などの因子から最適な運転条件を検討した。

実験に使用した UASB-DHS プロセスの処理フローは図 2.3.3-3 に示す。UASB-DHS プロセスの各リアクター容積は、UASB が 22 L (11 L×2)、DHS が 34.6L である。UASB リアクターの温度はウォータージャケットを用いて中温条件 (35 °C) に制御し、DHS リアクターの温度は無加温で運転した。UASB で発生するバイオガスは、脱硫塔で硫化水素を吸着除去した後、ガスメーターでガス量を測定した。連続処理実験は表 2.3.3-3 に示すように 5 条件について行った。

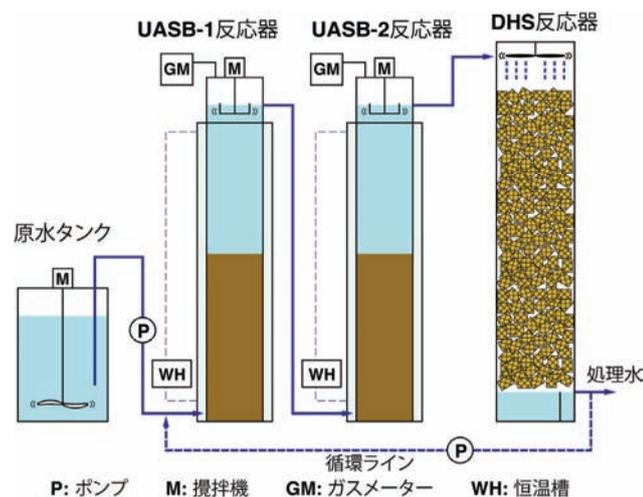


図 2.3.3-3 UASB-DHS プロセスの処理フロー

表 2.3.3-3 連続処理実験の運転条件

Run	実験期間	実験日数	全HRT (hr) (UASB/DHS)	UASB 線流速 (m/hr)	炭素源 (mg/L) フェノール/酢酸
1	0~81	82	47.2 [9.2×2/28.8]	0.17	500/250
2	82~92	11	47.2 [9.2×2/28.8]	0.17	652/0
3	93~153	61	28.4 [9.2×1/19.2]	0.17	652/0
4	154~274	120	28.4 [9.2×1/19.2]	0.17	870/0
5	275~370	95	28.4 [9.2×1/19.2]	0.17	1087/0

植種汚泥は、UASB リアクターには中温 (35°C) グラニュール汚泥 (0.418kgVSS/UASB リアクター) を、DHS リアクターには国分隼人クリーンセンターの活性汚泥を用いた。

連続処理実験期間中は、冬期間では3～15℃で、夏期間では最高35℃程度になる期間もあった。

表 2.3.3-4 に各 RUN における実験結果をまとめたものを示す。Run 3 の 93 日目以降は、COD 容積負荷 1.4kgCOD/m<sup>3</sup>/d、HRT 28.4 時間で、UASB リアクターと DHS リアクターの全 COD 除去率は各々64.6%と 99%の良好な処理性能を得た。Run 4 では、UASB リアクターと DHS リアクターの全 COD 除去率は各々46.2%と 99.6%であった。RUN 5 では、流入 COD 濃度を 2500 mg/L に上昇させ、COD 容積負荷を 2.3 kgCOD/m<sup>3</sup>/d の運転条件で、UASB リアクターの全 COD 除去率が 30.3%まで急激に低下し、処理性能が低下した。フェノール除去率が 40%程度まで低下した原因は、フェノール濃度が 1000mg/L 以上になるとメタン生成菌が阻害を受けることが考えられた。しかし、無曝気好気性処理の DHS リアクターは、UASB リアクターの処理性能が悪化したにも関わらず、全 COD 除去率が 99.3%以上と安定した処理性能を得た。

以上の結果から、流入 COD が 1500mg/L 程度のフェノール含有廃水であれば、総 HRT28.4 時間程度でフェノール含有廃水の処理が可能であると考えられる。

表 2.3.3-4 各 RUN における実験結果

	COD容積負荷(kgCOD/m <sup>3</sup> /day)		HRT(時間)		流入COD濃度(mg/L)	COD除去率(%)	
	全体	UASB	UASB	DHS		UASB	DHS
RUN 1	0.2	0.5	18.4	28.8	1500	79.1	99.4
RUN 2	0.8	2.0	18.4	28.8	1500	88.4	98.7
RUN 3	1.4	3.9	9.2	19.2	1500	64.6	99.0
RUN 4	1.8	5.2	9.2	19.2	2000	46.2	99.6
RUN 5	2.3	6.5	9.2	19.2	2500	30.3	99.3

### 3) 嫌気-好気反応槽の衛生工学的評価

大腸菌群およびふん便性大腸菌群のサンプリングは下水、UASB 処理水、DHS (G3①、G3②、混合処理水) 処理水、砂ろ過処理水、クリーンセンター終沈池処理水について、月 1 回行った。T. coli はデソオキシコール酸塩寒天培地、F. coli は mFC 寒天培地を用いて、それぞれ 37.0℃、44.5℃で 24 時間培養し、メンブレンフィルター法によりコロニー数(CFU/100mL)を計測した。

消毒実験は、F. coli を測定対象とした。各サンプルを 300mL コミカルビーカーに 150mL 取り、塩素濃度を変えた 4 パターン (表 2.2.2-5) で実験を行った。

表 2.3.3-5 消毒実験条件：塩素濃度

サンプル	1	2	3	4
下水	0.27	1.33	1.99	2.65
UASB	0.03	0.13	0.27	0.53
DHSG3①	0.05	0.11	0.13	0.19
G3②	0.05	0.08	0.13	0.19
混合	0.03	0.05	0.13	0.26
砂ろ過	0.03	0.08	0.13	0.19

表 2.3.3-6 モニタリング結果の総括

サンプル	T.coli(CFU/100ml)		F.coli(CFU/100ml)	
下水	3.73E+07	± 3.46E+07	1.36E+07	± 8.54E+06
UASB	1.21E+06	± 1.89E+06	6.76E+05	± 7.25E+05
G3-2①	2.31E+05	± 3.29E+05	2.03E+04	± 6.03E+04
G3-2②	3.32E+05	± 7.11E+05	2.33E+04	± 7.33E+04
DHS混合	4.23E+05	± 4.84E+05	2.73E+04	± 9.54E+04
砂ろ過	1.90E+05	± 1.97E+05	2.35E+04	± 1.02E+05
クリーンセンター	3.80E+05	± 2.17E+05	1.02E+05	± 8.11E+04

パイロットプラントの T. coli および F. coli のモニタリングの結果の総括を表 2.3.3-6 に示す。測定期間中下水の T. coli、F. coli の幾何平均に大きな変動はなかった。UASB における処理性能は実験期間中、比較的安定しており、その対数除去率は T. coli で平均 1.49log、F. coli で 1.30log であった。また、DHS 処理水混合、砂ろ過、クリーンセンター終沈処理水の T. coli および F. coli の濃度は、それぞれ、概ね 10<sup>5</sup>/100mL、10<sup>4</sup>/100mL のオーダーであり、下水濃度ベースの対数除去率にも大きな差は見られなかった。

結果として、UASB-DHS-砂ろ過システムは、既存の活性汚泥法（クリーンセンター終沈処理水）と比較して、同等以上の大腸菌除去性能を示した。

各サンプルにおける消毒剤削減効果の結果を表 2.3.3-7 に示す。本実験で F. coli を対象に、かつ、削減効果の基準として WHO の基準を用いたのは、日本の排水基準が T. coli を対象に 3000/mL=3×10<sup>5</sup>/100mL と高く、ほぼ表 2.3.3-6 に示す二次処理対の T. coli の実測結果と変わらなかったからである。また今後、本システムを世界的に普及することを鑑みて、世界標準をターゲットとすることが妥当であると考えた。下水と比べ、UASB では 76.6%カット、DHS 処理水混合では 87.7%カットできることがわかった。砂ろ過処理水と DHS 混合処理水の必要塩素量が、G3①および G3②よりも大きかったのは、消毒実験に用いたサンプルの水質が比較的劣悪なものを用いたためである。したがって、G3①、G3②および砂ろ過の各処理水における消毒剤投入量は、DHS 処理のみの場合と大差ないと考えられた。

表 2.3.3-7 消毒コストの評価と結果

	下水	UASB	G3①	G3②	DHS混合	砂ろ過
No (幾何平均)	1.65×10 <sup>7</sup>	4.85×10 <sup>5</sup>	2.41×10 <sup>4</sup>	3.12×10 <sup>4</sup>	3.30×10 <sup>4</sup>	3.14×10 <sup>4</sup>
Nt (WHO基準)	1.00×10 <sup>3</sup>					
log (Nt/No)	-3.74	-2.21	-0.91	-1.02	-1.04	-1.02
a	0.146	0.428	0.667	0.720	0.415	0.354
C (mg-Cl/L)	2.169	0.508	0.151	0.146	0.266	0.298

但し、 $\log(N_t/N_0) = -0.434 \cdot a \cdot C \cdot t$

$N_0, N_t$ : それぞれ 0 分後、 $t$  分後の細菌濃度 (CFU/100mL),

$a$ : 比例定数,  $C$ : 塩素濃度 (mg-Cl/L),  $t$ : 消毒時間 (分)

#### 4) 嫌気-好気反応槽の微生物生態評価

国分隼人クリーンセンターに設置した UASB-DHS パイロットプラントから採取した DHS 汚泥につき、酸素利用速度 (OUR) 解析および微小動物解析を行った。

本研究では、DHS パイロットプラントからスポンジ担体に付着した状態で汚泥を採取、そのまま密閉容器に封入し、容器気相の酸素濃度変化をモニタリングした (図 2.3.3-4)。

DHS 高さ方向 1、2、3、4m からサンプル (汚泥付担体) を採取し、測定条件を整えるために持込み基質を洗浄用バッファーにより予め除去した。

持込み基質を除去したサンプルを、人工基質 (表 2.3.3-8) 60mL とともに直ちに密閉容器 (図 2.3.3-4) に封入した。

容器底部の人工基質をチューブポンプにより循環滴下することで DHS リアクターでの散水を再現し、その間、気相中の酸素濃度変化を酸素濃度計で計測した。

表 2.3.3-8 人工基質組成

$\text{CH}_3\text{COO}\cdot\text{Na}$	150 mg/L (as ThOD)
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	21.75 mg/L
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	8.5 mg/L
$\text{Na}_2\text{HPO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$	44.6 mg/L
$\text{MgSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$	22.5 mg/L
$\text{CaCl}_2$	27.5 mg/L
$\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.25 mg/L
pH	7.2

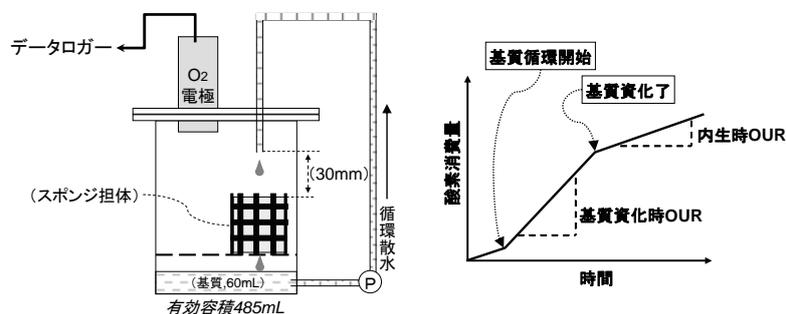


図 2.3.3-4 測定および OUR の算出

反応槽内高さごとに OUR を測定し、OUR の垂直分布を求めた。結果を図 2.2.2-5 に示す。OUR は、特に基質 (酢酸) 資化時において、反応槽上部で高い値を示した。このことから、DHS では上流側の反応槽上部で積極的な有機物酸化が行われると考えられる。

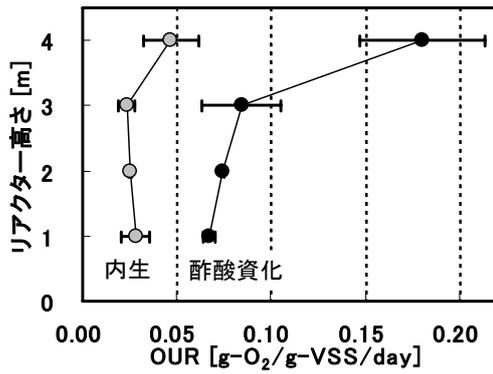


図 2.3.3-5 OUR の垂直分布

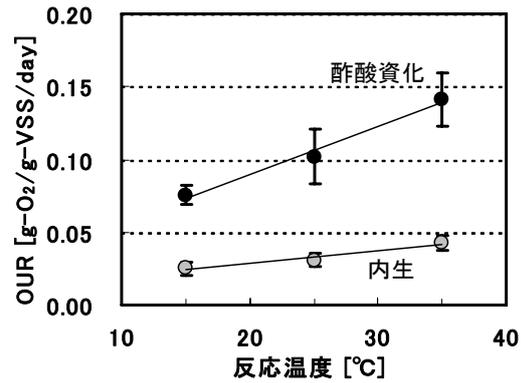


図 2.3.3-6 反応温度の影響

反応温度ごとの OUR を図 2.2.2-6 に示した。基質(酢酸)資化時、内生時とも 15~35°C において反応温度と OUR に正の相関が得られ、35°C では 15°C のおよそ 2 倍の OUR が確認された。

UASB 後段 DHS 微小動物相解析結果を図 2.3.3-7 に示した。

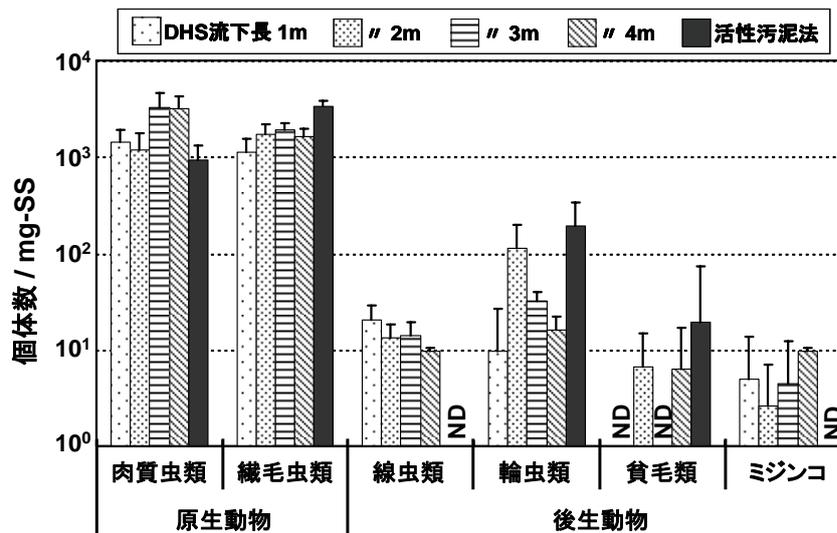


図 2.3.3-7 DHS 微小動物相

DHS の汚泥 1 mg-SS あたりの原生動物の個体数は、高さ方向の分布に大きな違いはなく、同時に活性汚泥と同程度であることが明らかとなった。後生動物の個体数は、高さ方向でばらつきが多かったものの、活性汚泥では出現しなかった分類群が検出された。つまり、活性汚泥よりも微小動物群の多様性が高いという結果を得た。このことから、DHS のスポンジ担体は微小動物を定着させるのに適した形状を有しているといえる。

#### (4) 達成度

UASB-DHS では、一定の馴致期間と滞留時間を設けることで、染色廃水、フェノール含有廃水を処理できることが示された。

UASB-DHS では、大腸菌群、ふん便性大腸菌群の処理について標準活性汚泥法と同等以上の能力を有することが示唆された。

DHS 内の微生物は活性汚泥微生物と同等の酸素利用速度を示し、また、活性汚泥法よりも多様な高次微生物（原生動物、後生動物）により構成されることが示唆された。

以上の通り、嫌気-好気反応槽の処理性能について知見を得ることができた。これをもって、所期目的は達成できたと考える。

#### (5) 成果の意義

非生活系廃水の実処理試験を行い、UASB-DHS が有機性廃水処理の分野で広く適用できる可能性を実証したことは意義深い。加えて、標準活性汚泥法と同等、あるいはそれ以上の大腸菌群の処理能力を持つことが明示されたことは、UASB-DHS-砂ろ過が、衛生工学的に優れた装置であることを意味する。また、DHS の OUR 測定は、実機設計の重要な資料となる。

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

##### 1. 実用化、事業化の可能性に関する調査

###### (1) 目的および内容

実用化、事業化の可能性について客観的な判断を行うためのデータを提供することを目的に、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。

###### (2) 調査結果と考察

###### 1) 嫌気性処理に関する技術動向調査

水循環設備は安全性・安定性が強く求められ、突飛な技術、リスクのある技術は普及しにくいと考えられる。また、盛んの研究開発が行われている技術はそれだけ社会のニーズが高いと考えられる。そこで、最近の技術動向に照らして本開発技術はどの様に位置付けられるのかについて調査を行った。

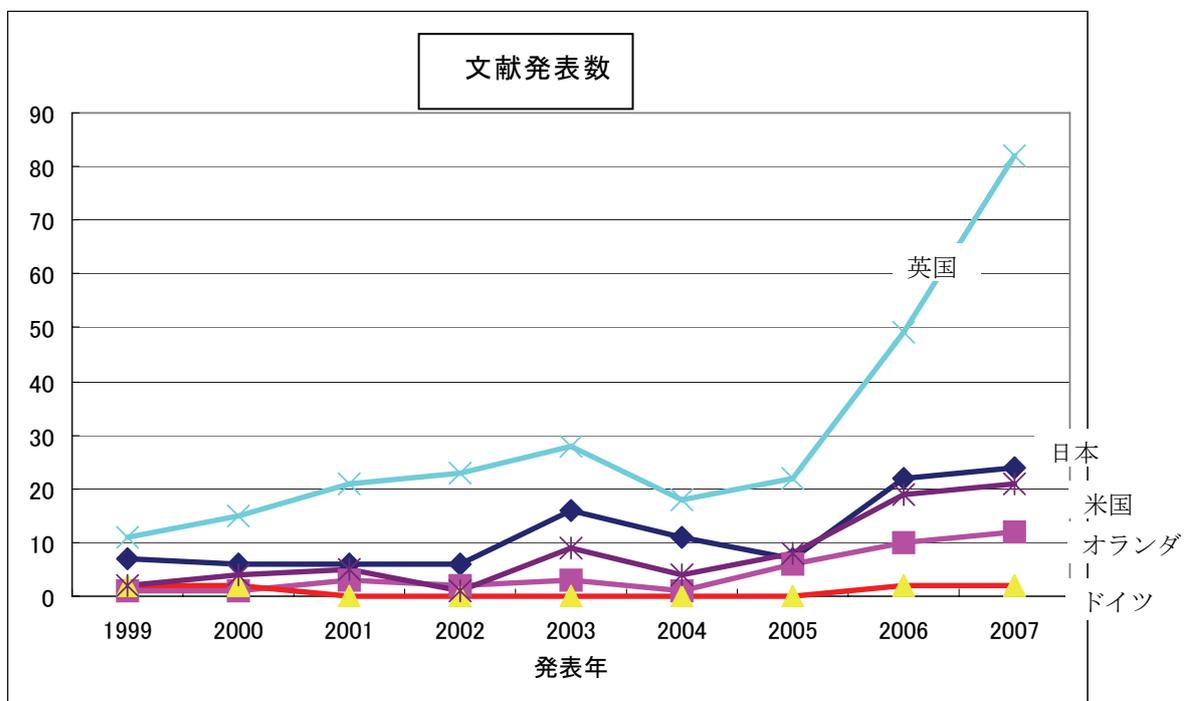


図 1.1 嫌気処理の文献発表数の推移

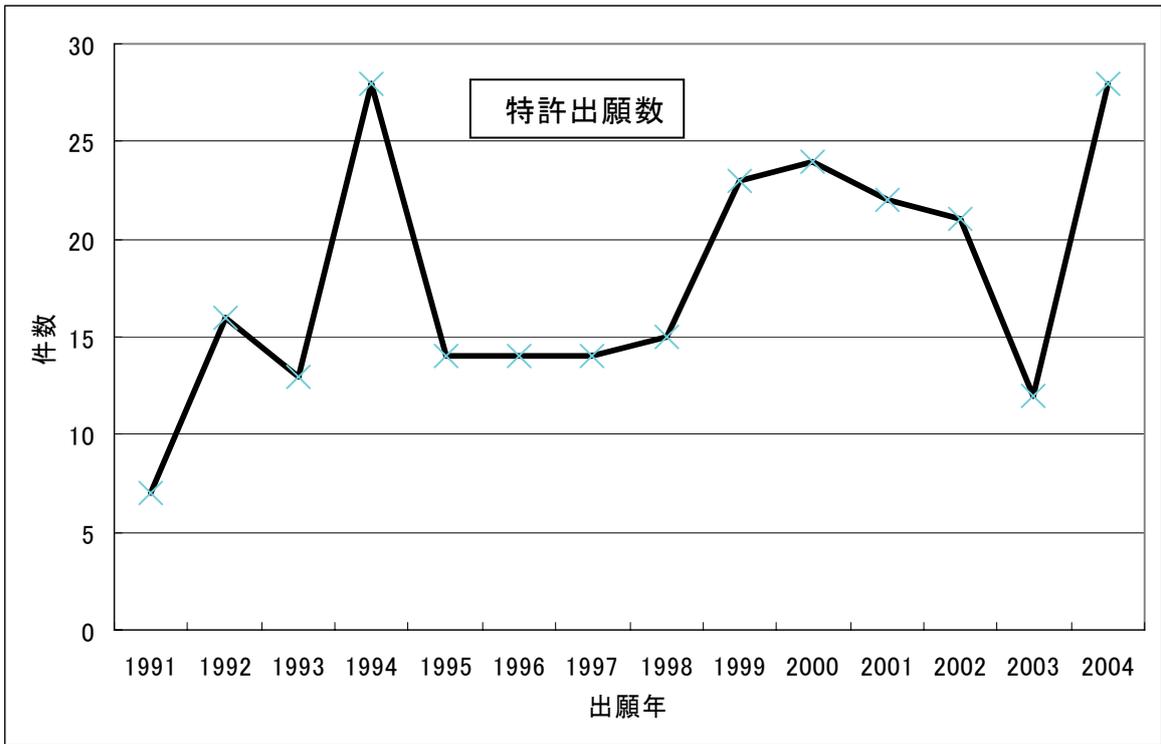


図 1.2 嫌気処理の特許の出願件数の推移

出典：文献については（独）科学技術振興機構（JST）の文献情報検索サービス、特許情報については（独）工業所有権情報・研修館の特許電子図書館のサイトを利用。検索式：（廃水処理 or 排水処理を含む）and（嫌気性 or メタン発酵を含む）

全体の傾向として、以下のようなことが言える。

- ①水処理分野での嫌気処理の応用研究・技術開発は近年盛んに行われている。
- ②下水処理における嫌気処理の応用研究は増える傾向にある。
- ③嫌気処理の研究開発における反応槽はUASBが多い。

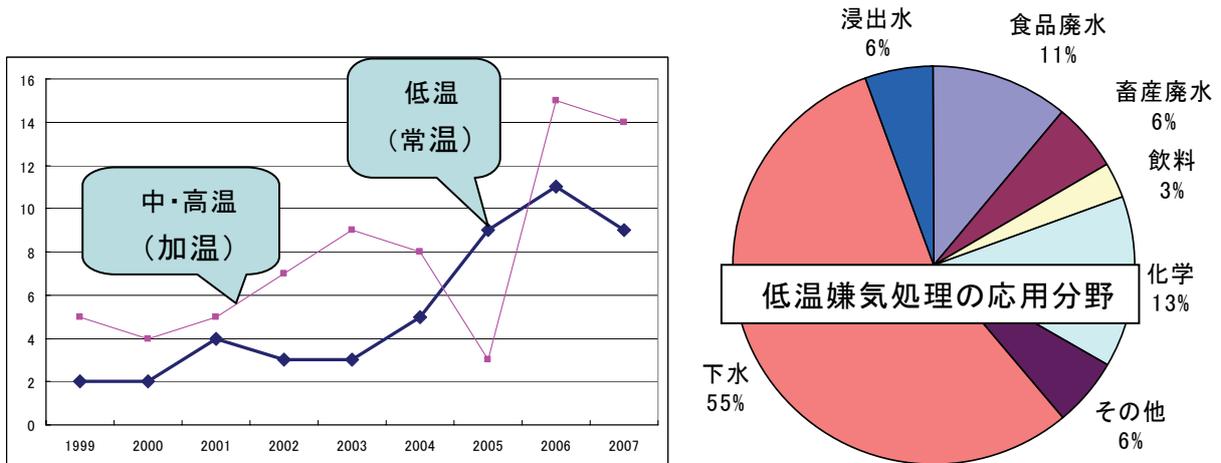


図 1-3 嫌気処理技術開発における反応槽の温度

出典：同上

低温嫌気処理低温（常温＝非加熱）で嫌気処理を行う研究も最近増える傾向にある。低温での処理対象は下水が圧倒的に多い。ただし実験装置の規模から推定して実用レベルの研究は少ないようである。また、好気性処理技術として DHS ついても既に多くの文献発表がなされている。

本開発技術の技術要素は 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 などであり、最近の文献や特許に見られる技術動向とマッチしており、この点からも普及の可能性が大きいと考えられる。

## (2) 開発技術の市場性調査

開発技術の実用化、事業化のためには十分な市場規模があること、また開発技術に対するユーザーの関心が高いことが不可欠である。

### 1) 市場規模の調査

産業廃水については、食品・飲料、繊維・染色、紙パルプ、印刷、化学、石油製品、ゴム製品、電子部品・デバイス、輸送機械工場などの有機性廃水が排出され、活性汚泥処理等の生物学的処理を行っている可能性がある業種を普及対象とし、廃水量については製造プロセスからの廃水と考え、業種ごとの新規補給水量から原料及びボイラ用水量を差し引いて推定した（平成 18 年度工業統計より）。生活排水については、上水道と下水道の普及人口のギャップ＝給水人口－処理区域人口 の生活排水処理設備が新たに必要と仮定し、さらに給水量≒生活排水量と仮定して対象水量を求め、1 箇所当たりの処理水量を 1,000m<sup>3</sup>/日と仮定して事業所数を推定した（平成 18 年度下水道統計、および平成 18 年度日本の水資源より）。

表 1-1 本開発技術の推定市場規模

適用分野	事業所数	対象水量	平均設備費	成功率	普及年数	市場規模
		千m <sup>3</sup> /日	千円/m <sup>3</sup>	-	年	百万円/年
産業廃水分野 (食品・飲料、繊維・染色、紙パルプ、印刷、化学、石油製品、ゴム製品、電子部品・デバイス、輸送機械など)	20,000	20,000	500	1/6	30	55,556
生活排水 (新設下水処理場)	10,000	10,000	700	1/3	30	77,778

国内産業廃水処理分野で約 20,000 事業所、約 2,000 万 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日、人口約 3,500 万人の潜在需要があると推定される。

海外市場については、Assessment of Water Resources and Water Availability in the World; Prof. I. A. Shiklomanov, 1996 (WMO 発行) の生活用水、工業用水の需要量から市場規模を推定した。

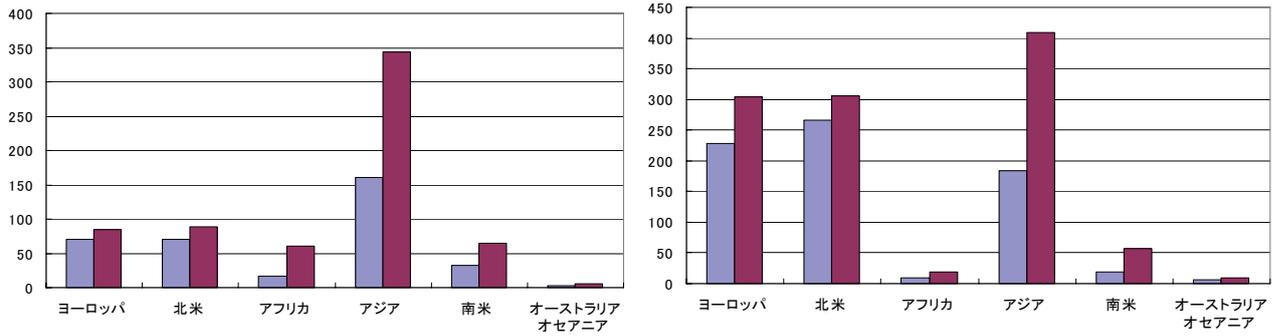


図 1.4 1995 年■と 2025 年■における生活用水（左図）と工業用水の需要（右図）  
 （単位：十億ト/年、出典：Assessment of Water Resources and Water Availability in the World; Prof. I. A. Shiklomanov, 1996 (WMO 発行)）

アジアにおいて人口増加と経済発展に伴い、生活用水、工業用水とも需要が大幅に増加するとされており、アジアを中心とした大きな海外市場が存在する。

## 2) ユーザーの関心度

約 500 社の水処理ユーザーアンケートを行い、食品、繊維、化学、輸送機械の 4 業種、135 事業所から回答があった。このうち活性汚泥処理を行っている 51 事業所に現状の活性汚泥処理に関する満足度を訪ねた。このうち問題あり、または改善の必要ありと回答した事業所は約 33%であり、このうち 36%は省エネルギー化、37%はコストの低減を要望した（図 1-5）。また、今後開発が期待される水処理関連技術について、期待の強さを点数化したところ、汚泥減容化みたいする期待度が高いことが分かった。

また開発が期待される水関連技術については汚泥減容化技術への期待が高い（図 1-6）。

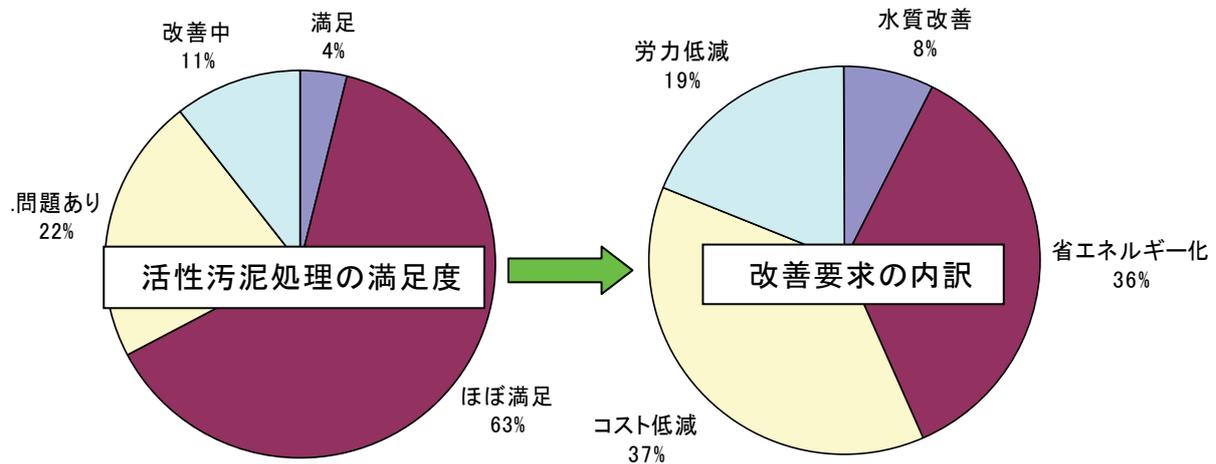


図 1-5 活性汚泥処理に関する要望

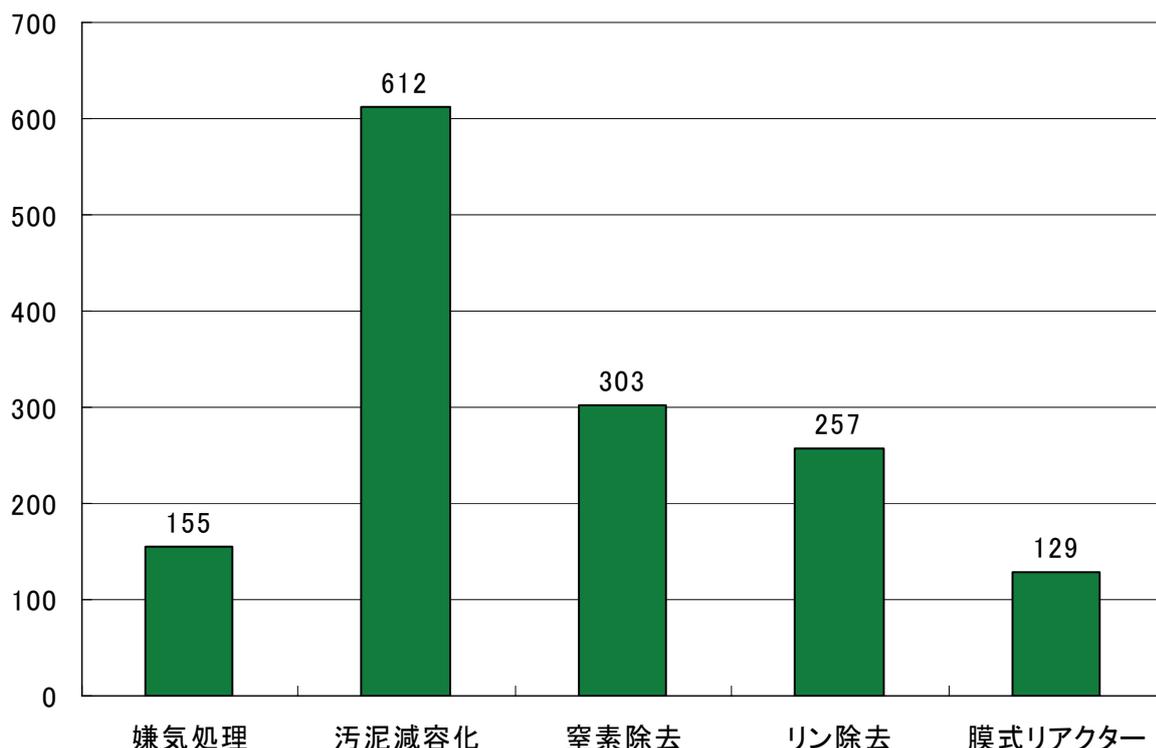


図 1-6 開発が期待される水処理関連技術

注記：水処理分野で開発が期待される技術について期待度には大小があるため、期待度大を4点、期待度中を2点、期待度小を1点、回答なしを0点として期待度を算出した

### 3) 市場調査の成果

調査の結果、国内産業廃水処理分野で約 20,000 事業所、約 2,000 万 m<sup>3</sup>/日（1 事業所平均約 1000m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/日、人口約 3,500 万人の潜在需要があると推定され、国内での市場規模が大きく、普及による経済効果は大きい。またアジアを中心とした大きな海外市場が存在することも明らかになった。アンケート調査の結果より、活性汚泥処理の省エネルギー化、汚泥の減容化というユーザーの期待に添った開発技術であることが明らかとなり、本開発技術が普及の可能性が大きいことが明らかになった。

#### (3) 波及効果

##### 1) 省エネルギー効果

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し、省エネルギー効果を算出した。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 の省エネルギー効果が期待される。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。

##### 2) 汚泥減容効果

上記と同じ普及率を見込むと、本技術の普及により国内産業分野で汚泥発生量、11,551 千ト、最終処分量、573 千トの削減が見込める。生活排水処理分野で汚泥発生量、27,149 千ト、

最終処分量で 152 千トンの削減が見込め、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。

#### (4) 実用化、事業化の課題とロードマップ

本開発技術普及の課題としては、産業分野、生活排水処理分野とも実績が少ないため、まず実績を積み重ねることが必要である。産業分野ではバイオエタノール製造廃水、フェノール含有廃水での受注が有望であり、この実績を足がかりに各種産業廃水への普及を図っていくものとする。小規模産業廃水向けには設備費低減のため、仕様の標準化、ユニット化が課題であり、これを早期に実施し OEM での普及を図っていくものとする。

生活排水分野では、新設処理場への普及に関しては認可団体による型式認定等の問題をどうクリアするか、また既設処理場の更新需要に関しては窒素、リン除去、既設水槽の本システムへの改造などのニーズにどう対応していくかが課題であり、これらの課題克服には時間を要すると考えられるので、普及については中長期的にならざるを得ないと思われる。

海外市場については、インドでの等の経験をふまえ、現地の受け入れ機関（国、地方政府、業界団体等）との連携、国内設計会社との連携、現地水処理メーカーとのパートナーシップの確立が不可欠と思われ、これが当面の課題である。これらの課題を比較的短期間で克服し、海外市場での普及・実用化を図っていくものとする。

上記の検討結果を図 1-7 のロードマップに纏めた。

分野	課題	短期	中期	長期
		2009～2014年	2015～2024年	2025～
国内産業水	実績がないコストダウン各種廃水への適用	バイオエタノール廃液処理で実績標準化・ユニット化処理データの蓄積	普及・実用化	
国内排水生活	型式認定既設対応総量規制対応	普及方法の検討（普及対象の絞り込み）既設への対応検討 N、P除去	普及・実用化（新規小規模）	普及・実用化（既設大規模）
海外市場	案件形成	相手受け入れ機関現地企業との連携設計会社とのパートナーシップ確立	普及・実用化	

図 1-7 普及・実用化までの課題とロードマップ

## 2. 実用化、事業化の見通し

本開発の成果は、省エネルギー、二酸化炭素発生量、汚泥減容化、処理水質のすべてにおいて目標に到達しており、最近の技術動向や市場のニーズにもマッチしている。また普及可能な市場の規模は大きく、東南アジア等の電力事情が良くない国への普及の可能性もある。普及のために幾つかの課題もあるが、解決困難なものはなく、比較的短期間で課題を解決し、普及が進むものと考えられる。

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。以下に5つの政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-1. 総合エネルギー効率の向上

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

## 2. 政策的位置付け

### ○ エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
  2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
  3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
  4. 新エネルギーに関する技術
  5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術
- 以上が位置づけられている。

### ○ 新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

### ○ 第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

### ○ 経済成長戦略大綱（2006年7月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

1. 省エネルギーフロントランナー計画
  2. 次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
  3. 新エネルギーイノベーション計画
  4. 原子力立国計画
  5. 資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化
- 以上が位置づけられている。

### ○ 京都議定書目標達成計画（2005年4月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

## 3. 達成目標

### 3-I. 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、エネルギー消費効率を2030年度までに少なくとも30%改善することを目指す。

#### 4. 研究開発内容

##### 4-I. 総合エネルギー効率の向上

###### 4-I-i. 共通

###### (1) エネルギー使用合理化技術戦略的開発（運営費交付金）

###### ①概要

省エネルギー技術開発の実効性を高めるために、シーズ技術の発掘から実用化に至るまで、民間団体等から幅広く公募を行い、需要側の課題を克服し得る省エネルギー技術開発を戦略的に行う。

###### ②技術目標及び達成時期

中長期的視点に立った省エネルギー技術戦略を構築し、技術開発の相互連携によりシナジー効果が発揮され技術開発が促進されるよう、超燃焼システム技術、時空を超えたエネルギー利用技術、省エネ型情報生活空間創生技術、先進交通社会確立技術、次世代省エネデバイス技術の技術群に重点化して、省エネルギー技術戦略に沿った技術開発を戦略的に推進する。

###### ③研究開発時期

2003年度～2010年度

###### 4-I-ii. 超燃焼システム技術

###### (12) 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発（運営費交付金）

###### ①概要

所用動力が少なく、汚泥発生も少ない嫌気性処理の利点と、良好な水質が得られる好気性処理の利点の双方の特長を生かし、かつ双方の欠点を克服した、省エネルギー性に優れた廃水処理技術を開発する。

###### ②技術目標及び達成時期

2008年度までに、既存技術で廃水処理を行った際に発生する汚泥量の70%削減を実現し、廃水処理に要するエネルギーの70%削減を実現する廃水処理システムを開発する。

#### 5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

##### 5-I. 総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークアプローチの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

#### 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したものは、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

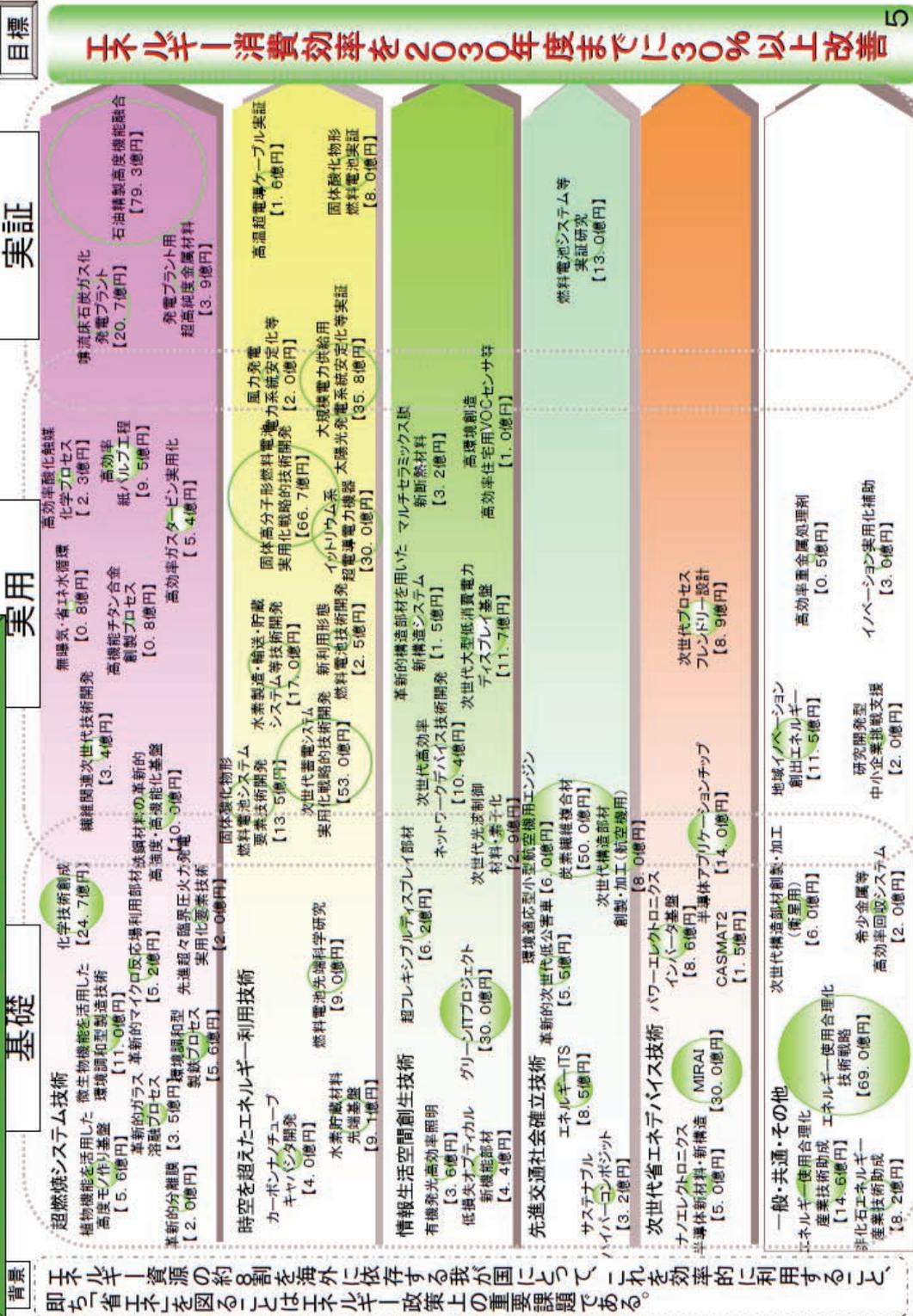
また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池／水素エネルギー利用プログラム基本計画（平成16・02・03産局第6号）は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第8号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第10号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第12号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第11号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成16・06・04産局第13号）は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第14号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第9号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第17号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第12号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成17・03・25産局第13号）は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画（平成17・03・29産局第2号）は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成17・03・31産局第19号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第15号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第18号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第17号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成18・03・31産局第16号）は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成19・03・26産局第1号）、新エネルギー技術開発プログラム基本計画（平成19・03・20産局第4号）、燃料技術開発プログラム基本計画（平成19・03・19産局第7号）、電力技術開発プログラム基本計画（平成19・03・16産局第3号）、原子力技術開発プログラム基本計画（平成19・03・23産局第2号）は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。

# 4. エネルギーイノベーションプログラム ①総合エネルギー効率の向上

【20年度予算額 817億円】  
※基礎、実用、実証の区分内は、任意に配置。



## (エネルギーイノベーションプログラム)

## 「無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発」基本計画

環境技術開発部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

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、比較的処理水質は良いが、所要動力の半分以上を占めるほど曝気動力が大きいことや、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ことなどの欠点がある。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、処理水質が放流基準に適合しないこと、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なことなどの欠点がある。

日本では、有機物濃度の低い生活系廃水等の処理については、多くの場合活性汚泥法が採用されており、エネルギーの大量消費につながっている。一方で、有機物濃度が比較的高い食品産業等の廃水の処理については、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、メタンガス回収による省エネルギー化が図られている。しかし、嫌気性処理のみでは処理水質が放流基準に到達しないため、後段にエネルギー消費量の多い活性汚泥処理を設ける必要がある。全体システム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、エネルギーイノベーション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。

本研究開発では、嫌気性処理と好気性処理の双方の長所を生かし、かつ双方の欠点を克服した、新規な嫌気性-好気性廃水処理システムの研究開発を行う。具体的には、曝気動力が不要（無曝気）で、良好な処理水質が得られ、有機物濃度の低い廃水にも対応でき、エネルギー消費量および汚泥発生量を大幅に削減できる廃水処理技術の実用化開発を行うことにより、二酸化炭素排出量削減による地球温暖化抑制に大きく寄与するとともに、国内外に広く通用する次世代水資源循環技術を確立することを目的とする。

## (2) 研究開発の目標

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。

- ・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。

## (3) 研究開発内容

ベンチスケールからパイロットプラント規模の連続式処理装置を製作し、これを用いて「①前段嫌気性処理技術の開発」と、「②後段好気性処理技術の開発」を並行して進

め、「③処理システムの開発」によってシステム全体としての性能を確認する。実験データを基に実規模プラントの概念設計を行い、汚泥削減率や省エネルギー率の検証と、コストの試算を行う。また、必要に応じてラボテスト等により、各種産業廃水に対する適用性や、処理条件の変動に対する適応性等について検討する。

① 前段嫌気性処理技術の開発

生活廃水等の有機物濃度が比較的 low 難溶性有機物を含む廃水を、無加温で高効率に処理できる嫌気性廃水処理技術を開発する。

② 後段好気性処理技術の開発

前段嫌気性処理装置から排出される廃水を、無曝気で放流レベルの水質まで処理できる好気性廃水処理技術を開発する。

③ 処理システムの開発

前段嫌気性処理と後段好気性処理を組み合わせたシステム全体として、安定的に処理でき、エネルギー消費量が低く、汚泥発生量が少ない廃水処理技術を開発する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、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 技術開発機構」とする。）が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定後、共同研究契約等を締結する研究体を構築し、共同研究開発（NEDO 技術開発機構の負担割合：1/2）により実施する。

共同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の最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体には NEDO 技術開発機構が委託先決定後に指名する研究開発責任者（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。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省及び研究開発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、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成 18 年度から平成 20 年度までの 3 年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義なら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21年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

得られた研究開発成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

#### ②知的基盤整備事業または標準化等との連携

得られた研究開発成果については、知的基盤整備事業または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報(TR)制度への提案等を積極的に行う。

#### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて受託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、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号ハに基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

### (1) 平成18年3月、制定。

### (2) 平成20年6月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

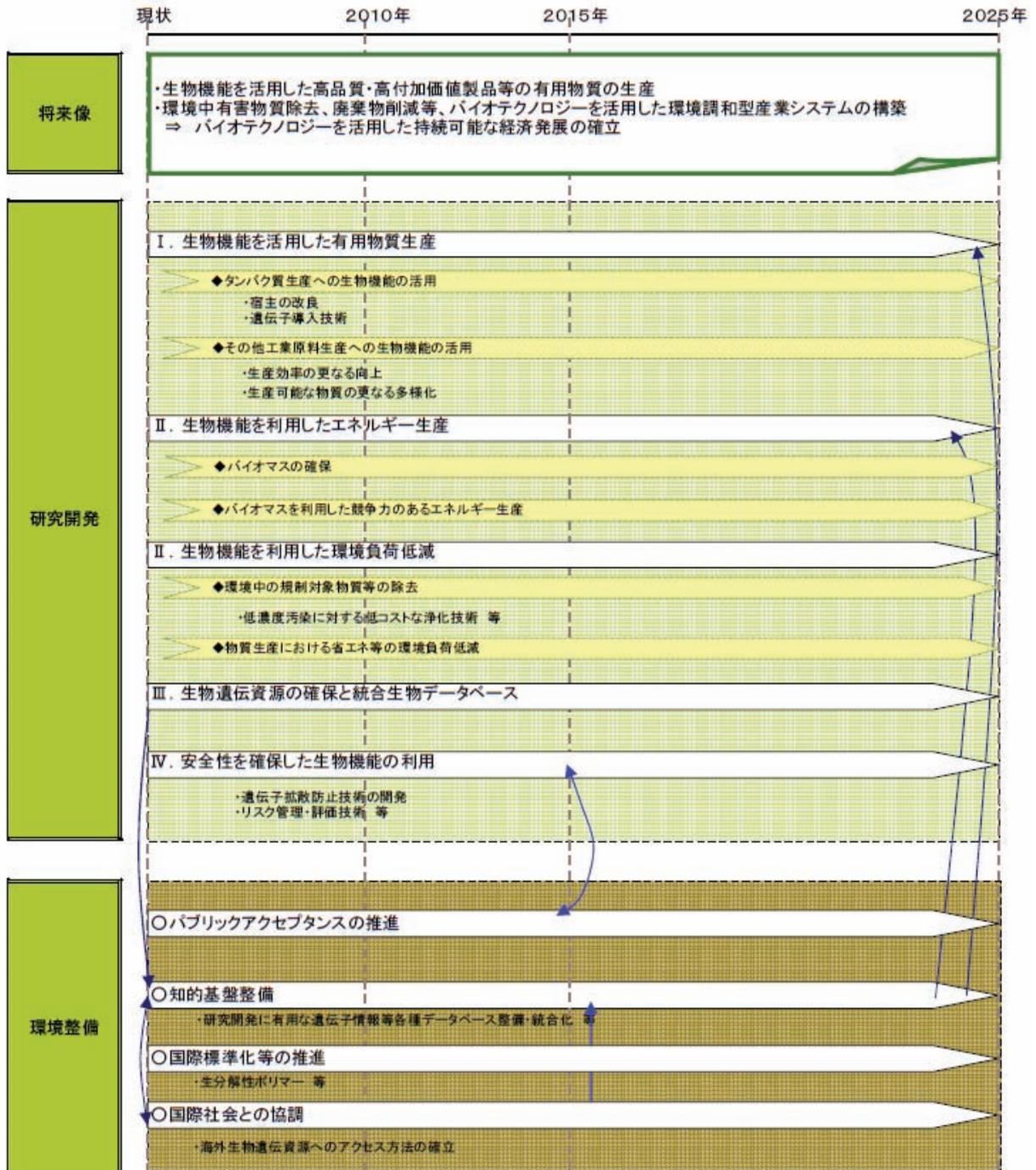




## 3R分野のロードマップ【2】

技術区分 大区分	技術区分 小区分	対象物等	詳細技術	重要 テーマ	短期					中期		長期		
					～2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2015年	2020年	2025年	2030年
バイオマス	腐敗化系 処理技術	汚泥系バイオマス(下水汚泥)	浮遊技術		下水汚泥の浮遊技術									
			蓄積技術	①	下水汚泥の蓄積技術									
	発酵系 処理技術	汚泥系バイオマス(下水汚泥)	汚泥発酵量を削減する下水処理技術	①	汚泥発酵量を削減する下水処理技術									
			水質系バイオマス	高効率発電(小規模)技術		高効率発電(小規模)								
		ガス化改質+燃料化(GTL, 水素製造)技術		ガス化改質+燃料化(GTL, 水素製造)技術										
		高効率ガス化改質+燃料化(GTL, 水素製造)技術	①②③	高効率ガス化改質+燃料化(GTL, 水素製造)										
		高効率エタノール発酵技術	①②③	高効率エタノール発酵技術										
		石炭直接発電技術	①②③	石炭直接発電										
	バイオマス エネルギー技術 の開発	食品系バイオマス	高効率メタン発酵技術(排し液での利用)		高効率メタン発酵技術									
			家庭用エネルギー転換技術(メタン, 水素などへの転換)		家庭用エネルギー転換技術(メタン, 水素などへの転換)									
			水素発酵技術		水素発酵技術									
			高効率BOF製造技術	①	BOF製造									
	汚泥系バイオマス(下水汚泥)	高効率メタン発酵技術	高効率メタン発酵技術	①	高効率メタン発酵技術									
			水素発酵技術	②	水素発酵技術									
			部分燃焼ガス化発電		ガス化発電									
バイオマスのマテリアル利用技術	水質系バイオマス	リグノフェノールの用途技術		リグノフェノールの用途技術										
	食品系バイオマス	堆肥化技術(大規模での高品質化)	②	堆肥化技術(大規模での高品質化)										
有用物質回収技術	汚泥系バイオマス(下水汚泥)	N/P回収型下水処理技術	②	N/P回収型下水処理技術										

## グリーンバイオ分野の導入シナリオ





## グリーンバイオの技術マップと重要技術(4)

3. 生物機能を利用した環境への農業生産(緑)		技術・制度に対するニーズ	技術課題	技術シーズ	日本の競争力	世界的ニーズ	市場規模
<p>環境で低炭素な高効率汚染物質の抽出方法 (土壌、大気、水)</p> <p>物質生産における省エネ等の環境負荷低減 ・環境に配慮した生産プロセスの構築</p>	<p>技術・制度に対するニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・環境汚染物質の検出・迅速計測法</li> <li>・環境汚染物質の検出・迅速計測法</li> <li>・環境汚染物質による迅速測定</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規バイオアッセイ法の開発</li> <li>・環境汚染物質による迅速測定</li> </ul>	<p>技術シーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新規バイオアッセイ法の開発</li> <li>・環境汚染物質による迅速測定</li> <li>・バイオアッセイ法の開発</li> <li>・環境汚染物質による迅速測定</li> </ul>	<p>日本の競争力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>世界的ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>市場規模</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	
	<p>汚染物質・有害物質の削減 ・環境中への抽出削減</p>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有害物質の削減のための技術</li> <li>・有害物質の使用量削減</li> <li>・有害物質・有害物質の分解・処理技術の確立</li> <li>・分解・処理期間の短縮</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バイオプロセスによる安定で高効率の生産技術開発</li> <li>・目的物質の分離・精製技術の高度化</li> <li>・有害物質を低減あるいは利用しない新たなバイオプロセスの確立</li> <li>・有害物質を低減あるいは利用しない新たなバイオプロセスの確立</li> <li>・分解・処理期間を短縮とする有用微生物・遺伝子の開発</li> <li>・上記の有用微生物・遺伝子を効果的に利用できる新たなプロセスの確立</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有用微生物のスクリーニング技術</li> <li>・有用遺伝子のスクリーニング技術</li> <li>・有害物質・有害物質の分解・処理技術</li> <li>・有害物質を低減あるいは利用しない新たなバイオプロセスの確立</li> <li>・有害物質を低減あるいは利用しない新たなバイオプロセスの確立</li> <li>・分解・処理期間を短縮とする有用微生物・遺伝子の開発</li> <li>・上記の有用微生物・遺伝子を効果的に利用できる新たなプロセスの確立</li> </ul>	<p>日本の競争力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>世界的ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>市場規模</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>

4. 生物機能を利用するための共通基盤 環境ニーズ・社会ニーズ		技術・制度に対するニーズ	技術課題	技術シーズ	日本の競争力	世界的ニーズ	市場規模
<p>共通基盤構築</p>	<p>技術・制度に対するニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・生物遺伝資源の活用に関する技術</li> <li>・生物遺伝資源の活用に関する技術</li> <li>・生物遺伝資源の活用に関する技術</li> <li>・生物遺伝資源の活用に関する技術</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> </ul>	<p>日本の競争力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>世界的ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>市場規模</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	
	<p>共通基盤構築</p>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> </ul>	<p>技術課題</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> <li>・有用微生物・細菌等の選抜・保存・検出</li> </ul>	<p>日本の競争力</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>世界的ニーズ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>	<p>市場規模</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○</li> <li>○</li> <li>○</li> </ul>

※グリーンバイオ分野の技術の普及については、国産型を構築するための国際的な連携、海外バイオテクノロジー産業の向上、ガイドラインの策定等、各種社会政策を推進することが重要。

## 事前評価書

	作成日	平成17年10月28日
1. 名称 (コード番号)	無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発	
2. 推進部署名	環境技術開発部	
3. 事業概要	<p>(1) 事業内容</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比較的処理水質はよいが、曝気動力が大きく、大量の余剰汚泥が発生し、この処理にエネルギー（コスト）を必要とすることなどの欠点を有する。これに対し嫌気性微生物処理法は所用動力が少なく、汚泥発生も少ないが、処理水質放流基準に達さないこと、分解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なことなどの欠点がある。好気性処理と嫌気性処理の特長を生かし、処理水質が良好で汚泥発生量が少なく、省エネルギー的な廃水処理技術は、いまだ確立されていない。</p> <p>日本では比較的高濃度の食品廃水処理等で嫌気処理である UASB 法が採用され、省エネルギー化が図られているが処理水質は放流基準に到達しないため、後段に活性汚泥処理が必要になる。放流基準を満足し、省エネルギーかつ低コストで国内外に通用する処理技術の開発が望まれている。また、量的に最も多い低有機物濃度廃水の処理に対応する嫌気性処理技術の開発が必要になる。</p> <p>新規な嫌気性処理-好気性処理システムによって、無曝気で廃水中の BOD、窒素の除去を可能とする。汚泥発生量やエネルギー消費量も少なく、二酸化炭素排出量削減に寄与する次の目標値を満足できる廃水処理技術を開発する。本技術の最終開発目標は以下のとおりとする。</p> <p>①消費エネルギー：現状活性汚泥法に対して70%削減          ②CO<sub>2</sub>排出量：同70%削減          ③汚泥発生量：同70%削減          ④処理水質：BOD、SS、大腸菌群数は現状活性汚泥法と同程度</p> <p>(2) 事業規模：総事業費 5.4 億円（共同研究：NEDO 負担率 1 / 2）          (3) 事業期間：平成 18 年度～20 年度（3 年間）</p>	

#### 4. 評価の検討状況

##### (1) 事業の位置付け・必要性

日本国内で生活排水処理に使われる電力は約60億kwh/年であり、原油換算で145万klに相当する。また、事業所廃水処理については約240億kwh/年と想定され、原油換算で580万klに相当する。このような事情から、省エネルギー効果が高く、国内の生活排水及び事業所廃水への適用が可能な廃水処理技術の開発が望まれている。

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の利点と、良好な処理水質が得られる好気性処理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、こういった省エネルギー技術を確立させた後、海外において広く普及させることで、グローバルな省エネルギーを進めることもできると考えられる。

##### (2) 研究開発目標の妥当性

前段の嫌気処理と後段の無曝気好気性処理を組み合わせることにより、従来型活性汚泥法の所用動力の約60%を占める曝気ブローを必要としないこと、汚泥発生量の70%削減により、同じく所用動力の約30%を占める汚泥処理設備動力が低減できることを総合して廃水処理に必要なエネルギーの70%の省エネ効果が得られる。

本技術は生活廃水や事業所廃水等現状活性汚泥法で処理されている廃水の処理に広く応用が可能であり、2030年時点で（原油換算）33.5万klの省エネルギーを可能とすることが期待される。

生活廃水等、常温、低濃度廃水に対する効果的な嫌気処理技術、放流基準を満足し、省エネルギーかつ低コストで国内外に通用する好気性処理技術、システム全体の安定性を維持し、かつ悪臭等の二次公害を発生しないためのシステム技術は確立されておらず、研究開発目標として十分に高いレベルにある。

##### (3) 研究開発マネジメント

単独研究機関による技術開発は困難であり、例えば、低濃度廃水の無加温処理を対象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、微生物機能、廃水処理技術の研究機関と、開発技術の事業化が可能な企業との共同研究開発として実施するため、産学官連携により、総合的な開発に結びつける実施体制を想定する。

嫌気処理と好気処理からなる廃水の省エネルギー型処理技術としては複数の方式が想定されるため、これらの内から公募選考により、最適な実施体制にて開発を実施する。

開発期間は3年とするが、短期間での技術確立→事業化のような企業インセンティブを促すマネジメントを推進する。

(4) 研究開発成果

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。

(5) 実用化・事業化の見通し

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たしていない中進国等海外への普及が見込まれる。

国内での市場規模としては、2030年における普及率で、生活排水で下水道等未整備人口(約33%)の1/3、事業所廃水処理設備更新需要の1/6程度が見込まれる。

(6) その他特記事項

・本事業は省エネルギー、水質改善、低コスト化を同時に成立させる廃水処理技術開発である。さらに最近普及が進んだ膜分離技術やオゾン処理技術を組み合わせることにより水資源循環が可能となり、水環境の保全や漏水対策に資する技術である。

5. 総合評価

本事業は、廃水処理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の向上を促し、これと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、より確実に廃水処理の省エネルギーを達成するために特に重要な技術開発である。また、関係要素技術が多岐に亘り、産学官連携体制での実施が望まれることから、NEDO主導の委託で実施するべき事業である。

(注) 事業の全体像がわかる図表を添付すること。



1. パブリックコメント募集期間

平成18年2月8日～平成18年2月15日

2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>

計2件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
<p>研究開発の目的・目標</p> <p>この計画のニーズには、完全に同意するが、その開発方向については、かなりの懸念をもっている。</p> <p>通産省で実施した「アクアルネッサンス'90」では、希薄な汚水を、常温付近での嫌気性消化により無曝気条件で省エネ型の水処理の実現を目指し、かなりの成果をあげるとともに、課題も浮き彫りになった。嫌気性処理の課題は今でも基本的に変わっていないと思われる。</p> <p>好気性処理については、酸素が必須であり、無曝気で行うのは原理的にも非常に困難である。空気曝気の代わりになる候補技術は、大量の水処理には高コストあるいは高エネルギー消費となることは避けられないと予想され、本計画の成果達成には容易ならぬものが感じられる。</p>	<p>嫌気性処理の適用についてはある程度の制約条件は避けられず、好気性処理についても無曝気で低コスト・省エネを実現するにはかなりの工夫を要すると考えられ、それだけ本開発計画の技術的ハードルは高いと認識しております。しかし、嫌気性処理と好気性処理の双方の長所を生かし、かつ双方の欠点を克服する最適な組み合わせによって、全体システムとして省エネルギーを実現することは可能であると考えております。</p>	<p>反映無し</p>
<p>その他</p> <p>具体的な開発内容のご提案</p>	<p>他の応募案件と併せて採択審査の場で判断したいと思っておりますので、公平性の観点から、現段階でのコメントを差し控えさせていただきます。是非、応募していただければと思います。</p>	<p>反映無し</p>

以上

添付資料：特許、論文等のリスト

<論文発表・学会発表>

論文（査読あり） 12 件

- 1) 小野寺崇, 大久保努, 山口隆司, 原田秀樹, 上村繁樹, 大橋晶良: 実規模 DHS リアクターにおける硝化およびふん便性大腸菌群の除去性能特性, 下水道協会誌, Vol. 46, No. 561, 106-115, 2009.
- 2) 松永 健吾, 小野寺崇, 上村繁樹, 山田真義, 山内正仁, 大久保努, 高橋優信, 久保田健吾, 原田秀樹, 山口隆司: 下水処理 UASB 後段の DHS における余剰汚泥量の抑制要因の評価, 環境工学論文集, 46, 2009 (accepted).
- 3) 大矢明子, 小野寺崇, 山口隆司, 珠坪一晃, 荒木信夫, 多川正, 山崎慎一, 米山豊, 大橋晶良, 原田秀樹: 下水処理 UASB リアクターの処理特性 および保持汚泥性状評価 環境工学論文集, 46, 2009 (accepted).
- 4) 服部賢, 小地沢俊宏, 渡辺悠介, タンドカール・マダン, 久保田健吾, 李 玉友, 原田秀樹: DHS リアクターによる無曝気方式硝化プロセスの処理特性: 環境工学研究フォーラム, Vol. 45, pp. 317-324, 2008.
- 5) 小野寺崇, Doni SUGIYANA, Madan TANDUKAR, 上村繁樹, 長野晃弘, 山口隆司, 大橋晶良, 原田秀樹: 新型汚泥保持担体を適用した第 6 世代型 DHS 反応器における下水処理性能, 土木学会論文集 G, Vol. 64, No. 2, pp. 78-87, 2008.
- 6) 大久保努, 原田秀樹, 小野寺崇, 上村繁樹, 山口 隆司, 大橋晶良: 開発途上国のためのエネルギー最小消費型下水処理技術の開発, 土木学会論文集 G, Vol. 64, No. 2, 187-195, 2008.
- 7) Tawfik, A., El-Gohary, F., Ohashi, A., Harada, H. Optimization of the performance of an integrated anaerobic-aerobic system for domestic wastewater treatment. Wat. Sci. Tech., 58(1): 185-194, 2008.
- 8) 上田基成, 荒木信夫, 濱口威真, 山崎慎一, 珠坪一晃, 山口隆司, 2 槽式 UASB-接触酸化処理システムにおける脱窒素細菌群の動態解析, 環境工学研究論文集, 45, 389-397(2008)
- 9) 倉本恵治, 高橋優信, 角野晴彦, 山口隆司, 西尾尚道: 多段嫌気性反応槽 (UASB) と下降流懸下式スポンジ (DHS) 反応槽を組み合わせた高濃度有機性廃水処理システムの開発. 水環境学会誌. 30: 83-88, 2007.
- 10) Tandukar, M., Ohashi, A., Harada, H. : Performance comparison of a pilot-scale UASB and DHS system and activated sludge process for the treatment of municipal wastewater. Water Res., 41: 2697-2705, 2007.
- 11) 下向流スポンジキューブ懸垂型 (DHS) リアクターの処理性能に及ぼすスポンジサイズの影響, 上村繁樹, 丸山陽佑, 大橋晶良, 高橋克夫, 鈴木紗織, 原田秀樹, 高石斌夫, 山口隆司, 下水道協会誌. 44: 94-103, 2007.
- 12) 硫黄サイクル活性型 UASB/DHS システムによる低温低有機性排水 (不凍液排水) 処理技術の開発, 高橋優信, 山口隆司, 角野晴彦, 荒木信夫, 山崎慎一, 長野晃弘, 珠坪一晃, 原田秀樹, 環境工学研究論文集, 43, 353-358, 2006.

論文（査読なし） 1件

1) 山下洋正：無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発，土木技術資料，第50巻11号，pp.48-49，2008.

口頭・ポスター発表 48件

1) 津曲譲太，山内正仁，山田真義，長野晃弘，山口隆司，高橋優信：フェノール含有廃水を処理対象としたUASBリアクターのグラニューール汚泥の性能評価，土木学会第64回年次学術講演会，pp.105-106，2009.

2) 大浦一恵，渡辺悠介，久保田健吾，李 玉友，原田秀樹：DHSリアクターに用いられるスポンジ担体の物理的キャラクタリゼーション，土木学会東北支部技術研究発表会，Ⅶ-23，2009.

3) 田中秀治，米山豊，原田秀樹：無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発，第46回下水道研究発表会，2009.

4) 田中秀治，高橋優信，加藤 薫，長野晃弘：下向流懸垂型スポンジ（DHS）リアクター保持汚泥の酸素利用速度測定，第43回日本水環境学会年会，2009

5) 加藤 薫，田中秀治，高橋優信，米山 豊：実証規模UASB/DHSシステムによる無曝気・省エネルギー型下水処理技術の開発，第43回日本水環境学会年会，2009.

6) 大矢明子，山口隆司，珠坪一晃，米山 豊，荒木信夫，上村繁樹，原田秀樹：下水処理UASBリアクターの保持汚泥量の挙動および性状の定量的評価，第43回日本水環境学会年会 2009年3月 山口大学.

7) 松永健吾，小野寺崇，山口隆司，山田真義，山内正仁，上村繁樹，高橋優信，長野晃弘，大久保努，久保田健吾，原田秀樹：下水処理UASB後段のDHSにおける保持汚泥特性の定量的評価，第43回日本水環境学会年会，2009.

8) 對馬育夫，Wilasinee Yoochatchaval，窪田恵一，山口隆司，米山豊，珠坪一晃：無加温下水処理UASBリアクターにおける主要酸生成細菌の同定，2009.3（日本水環境学会年会）

9) 大浦一恵，渡辺悠介，松永健吾，原田秀樹：DHSリアクターの酸素移動特性，第43回日本水環境学会年会，2009.

10) 服部 賢，久保田健吾，李 玉友，原田秀樹：DHSリアクターによる省エネルギー方式硝化プロセスの処理特性，第43回日本水環境学会年会，2009.

11) 津曲譲太，山田真義，山内正仁，長野晃弘：高濃度フェノール排水を対象としたUASB/DHSシステムの連続処理特性，第43回日本水環境学会年会，2009

12) K. MATSUNAGA, T. ONODERA, T. YAMAGUCHI, A. NAGANO, S. UEMURA, K. KUBOTA, H. HARADA : Quantitative evaluation of the characteristics of retained sludge in down-flow hanging sponge (DHS) reactor applied as post treatment of UASB treating municipal wastewater, The international symposium proceedings of "Green technology for Global carbon cycle in Asia, Nagaoka, 170, 2009.

13) A. OHYA, T. YAMAGUCHI, K. SYUTSUBO, Y. YONEYAMA, N. ARAKI, S. UEMURA, H. HARADA : Evaluation of removal efficiency and sludge property in a UASB reactor treating sewage at moderate condition, The international symposium proceedings of "Green technology

for Global carbon cycle in Asia, Nagaoka, 175, 2009.

14) M. TAKAHASHI, H. TANAKA, K. KATO, A. NAGANO, Y. YONEYAMA, K. KUBOTA, H. HARADA : Development of energy-saving sewage treatment technology by combining of UASB and DHS reactor, The international symposium proceedings of "Green technology for Global carbon cycle in Asia, Nagaoka, 193, 2009.

15) Takahashi, M., Tanaka, H., Kato, K., Nagano, A., Yoneyama, Y., Kubota, K. and Harada, H., Development of energy-saving sewage treatment technology by combining of UASB and DHS reactor, Green Technology for Global Carbon Cycle in Asia, Nagaoka, Japan, 2009.

16) 服部 賢, 小地沢俊宏, 渡辺悠介, タンドカール・マダン, 久保田健吾, 李 玉友, 原田秀樹 : DHS リアクターによる無曝気方式硝化プロセスの処理特性, 環境工学研究フォーラム, Vol. 45, pp. 317-324, 2008.

17) 杉江恒彦, 窪田恵一, Yoochatchaval W., 對馬育夫, 草野真一, 山口隆司, 米山豊, 珠坪一晃 : 都市下水の嫌気処理における有機物分解特性の評価, 第 45 回環境工学研究フォーラム, 同講演集, 35-37 (2008.11.28-30, 大阪工業大学)

18) 杉江恒彦, 窪田恵一, Wilasinee Yoochatchaval, 對馬育夫, 草野真一, 山口隆司, 米山 豊, 珠坪一晃 : 都市下水の嫌気処理における有機物分解特性の評価, 土木学会環境工学委員会, 大阪工業大学 大宮キャンパス, 2008.

19) 田畑龍之介, 津曲讓太, 山田真義, 山内正仁, 高橋優信, 長野晃弘 : 高濃度フェノール廃水を対象とした UASB/DHS 処理プロセス処理特性, 第 18 回九州沖縄地区高専フォーラム, p.44, 2008.

20) 久保田健吾, 林 幹大, タンドカール・マダン, 山口隆司, 原田秀樹 : 都市下水処理 UASB+DHS システムにおける DHS リアクターの微生物叢解析, 土木学会第 63 回年次学術講演会, VII-007, 2008.

21) 服部 賢, 渡辺悠介, 小地沢俊宏, タンドカール・マダン, 久保田健吾, 李 玉友, 原田秀樹 : DHS リアクターによる無曝気硝化プロセスの開発, 土木学会第 63 回年次学術講演会, VII-013, 2008.

22) 高橋優信, 田中秀治, 加藤 薫, 長野晃弘, 米山 豊, 山口隆司, 久保田健吾, 原田秀樹 : UASB-DHS システムによる無曝気・省エネルギー型下水処理技術の開発, 土木学会第 63 回年次学術講演会, 7-005, 2008.

23) 山田真義, 津曲讓太, 山内正仁, 長野晃弘, 山口隆司 : 中温 UASB と無加温 DHS を組み合わせた高濃度フェノール廃水処理システムの性能評価, 土木学会全国大会第 63 回年次学術講演会, CD-ROM, 2008.

24) 松永健吾, 小野寺崇, 上村繁樹, 長野晃弘, 久保田健吾, 原田秀樹, 山口隆司 : DHS (Down-flow Hanging Sponge) の保持汚泥特性とその減量化ポテンシャルの評価, 第 63 回土木学会全国大会, 7-019, pp.37-38, 2008.

25) 松永健吾, 上村繁樹, 山田真義, 山内正仁, 久保田健吾, 原田秀樹, 山口隆司 : 下水処理に適用した DHS における保持汚泥特性の評価, 第 26 回土木学会関東支部新潟会, 2008.

26) 服部 賢, 小地沢俊宏, Tandukar Madan, 李 玉友, 原田秀樹 : 常温・無曝気での DHS リアクターの硝化能力の把握, 土木学会東北支部, VII - 44, 2008.

- 27) 對馬育夫, Yoochatchaval W., 珠坪一晃: 低温馴養グラニューールの微生物群集構造解析-低温廃水処理へのメタン発酵技術の適用-, 第 11 回日本水環境学会シンポジウム, 同講演集, 85 (2008. 9. 17-18, 関西大学千里山キャンパス).
- 28) 大矢明子, 珠坪一晃, 米山 豊, 荒木信夫, 上村繁樹, 原田秀樹, 山口隆司: 無加温下水処理 UASB リアクター保持汚泥性状の定量的評価, 第 11 回日本水環境学会シンポジウム 2008 年 9 月 関西大学
- 29) 田中秀治, 高橋優信, 米山豊: 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の実証試験経過報告, 第 45 回下水道研究発表会, 2008.
- 30) 松永健吾, 草野真一, 小野寺崇, 井口晃徳, 山口隆司, 荒木信夫, 久保田健吾, 原田秀樹: Down-flow Hanging Sponge (DHS) リアクターから発生する余剰汚泥量, 第 42 回日本水環境学会年会, 2008.
- 31) 海鋒 充, タンドカール・マダン, 小野寺崇, 山口隆司, 長野晃弘, 久保田健吾, 李玉友, 原田秀樹: DHS リアクターに用いられるスポンジ担体の物理的キャラクタリゼーションに関する研究, 第 42 回日本水環境学会年会, p. 81, 2008.
- 32) 林 幹大, 久保田健吾, タンドカール・マダン, 草野真一, 松永健吾, 李玉友, 長野晃弘, 山口隆司, 原田秀樹: DHS リアクター汚泥の微生物叢解析, 第 42 回日本水環境学会年会, pp. 82, 2008.
- 33) 對馬育夫, Wilasinee Yoochatchaval, 山口隆司, 山村茂樹, 米山豊, 珠坪一晃: 常温メタン発酵における主要酸生成細菌の同定と動態評価, 第 42 回日本水環境学会年会, 名古屋大学, 2008.
- 34) 小地沢俊宏, 服部賢, 渡辺悠介, タンドカール・マダン, 李玉友, 原田秀樹, DHS リアクターによる無曝気硝化プロセスの開発, 第 42 回日本水環境学会年会, p. 292, 2008.
- 35) Hayashi, M., Kubota, K., Yamaguchi, T., Li, Y. Y. and Harada, H., Microbial community structure in a down-flow hanging sponge (DHS) reactor, The 8th Symposium on Global Renaissance by Green Energy Revolution, pp. 115, 2008.
- 36) Takahashi, M., Tanaka, H., Kato, K., Nagano, A., Yoneyama Y. and Harada, H., Development of energy-saving sewage treatment technology by combining of UASB and DHS reactor, 21 century COE Nagaoka, Japan, 2008.
- 37) MATSUNAGA, K., ONODERA, T., YAMAGUCHI, T., NAGANO, A. and HARADA, H., Characteristic of retained sludge in UASB and DHS system for the treatment of municipal wastewater, The 8th International Symposium Global Renaissance by Green Energy Revolution, p. 104 (B18), 2008.
- 38) Kochizawa, T., Hattori, K., Watanabe, Y., Madan, T., Li, Y. Y. and Harada, H., Evaluating the potential of DHS for the treatment of high strength ammonia wastewater, The 8th Symposium on Global Renaissance by Green Energy Revolution, p. 115, 2008.
- 39) Yamada, M., Tagawa, T., Yamauchi, M., Araki, N., Uemura, S., Yamazaki, S., Nagano, A., Takahashi, M., Harada, H. and Yamaguchi, T., Process performance of lab-scale UASB/DHS system treating dye wastewater and phenol-containing wastewater, Proceedings of the 8th International Symposium the 21<sup>st</sup> Century's COE Program "Global Renaissance by Green Energy Revolution", Nagaoka, Japan, p.132, 2008.

- 40) 對馬育夫, Wilasinee Yoochatchaval, 山口隆司, 山村茂樹, 米山豊, 珠坪一晃 : Identification and detection of psychrotolerant cellulose-degrading bacteria, Proceeding of the 21st Century 's COE, pp.123, the 8th Symposium on Global Renaissance by Green Energy Revolution, 2008.1.22, (Nagaoka University of technology).
- 41) Tsushima I., Yoochatchaval W., Yamaguchi T., Yamamura S., Yoneyama Y., Syutsubo K. : Investigation of a novel psychrotolerant cellulose-degrading Bacteroidales species. The 12<sup>th</sup> International Symposium on Microbial Ecology - ISME 12, (2008), Abstracts, 12, 977
- 42) 草野真一, 小野寺 崇, 山口隆司, 珠坪 一晃, 荒木信夫, 大橋晶良, 原田秀樹 : 実下水処理 UASB リアクターの保持汚泥特性の評価, 第 44 回環境工学フォーラム, (2007 年 11 月)
- 43) 小地沢俊宏, 渡辺悠介, Tandukar Madan, 李 玉友, 原田秀樹 : DHS リアクターによる無曝気硝化プロセスの開発, 第 62 回土木学会全国大会, 7-232, 2007.
- 44) 小野寺崇, スギヤナ・ドニー, 山口隆司, 上村繁樹, 長野晃弘, 大橋晶良, タンドカール・マダン, 原田秀樹 : 新型スポンジ担体を適用した第六世代型 DHS における下水処理性能, 土木学会第 62 回年次学術講演会, pp. 377-378, 2007.
- 45) 松永健吾, 草野真一, 小野寺崇, 山口隆司, 上村繁樹 : UASB+DHS-G3.2 を組み合わせた下水処理システムの性能評価, 第 25 回土木学会関東支部新潟会, pp. 338-339, 2007.
- 46) 尾崎正明, 山下洋正, 原田秀樹 : 無曝気・省エネルギー型次世代水資源循環技術の開発, 第 44 回下水道研究発表会, 2007.
- 47) 對馬育夫, Wilasinee Yoochatchaval, 山口隆司, 山村茂樹, 米山豊, 珠坪一晃 : 常温メタン発酵における主要酸生成細菌の生態学的特性評価, 第 10 回日本水環境学会シンポジウム講演集, pp.46-47, 熊本県熊本市, 2007.
- 48) 中村猛利, 田村英輔, 河島正明, 大橋晶良, 原田秀樹 : 担体改良型 DHS リアクターの下水処理性能評価について, 第 25 回土木学会関東支部新潟会, Vol. 24, pp. 410-411, 2006.

<マスコミ発表、広報> 9 件

- 1) 建設産業, 2006 年 6 月 22 日, p. 6
- 2) 読売新聞, 2007 年 8 月 28 日, p. 33
- 3) 南日本新聞, 2007 年 8 月 28 日, p. 10
- 4) 建設通信, 2007 年 9 月 28 日, p. 5
- 5) 環境新聞, 2007 年 9 月 19 日, p. 7
- 6) 電気新聞, 2007 年 8 月 29 日, p. 3
- 7) 日本経済新聞, 2008 年 5 月 19 日, p. 13
- 8) Chemical Engineering, Oct., p. 14, 2008, A process that requires less energy to treat sludge efficiently.
- 9) 国土交通, 第 62 巻 3 号, p. 27, 2009, 良質な環境の保全と創造に挑む-研究所における最新動向-

<特許> 5件(内出願準備中2件)

- 1) 浄化装置の汚水散布構造 2008年5月16日 特願2008-130108
- 2) 汚水浄化装置の浄化帯の吊下構造 2008年5月16日 特願2008-130109
- 3) 汚水浄化装置の浄化帯 2008年5月16日 特願2008-130110
- 4) 散水式生物学的水処理装置内汚泥量制御方法 出願準備中
- 5) 出願準備中(名称未定)