

# 乾燥地域における灌漑再利用のための革新的下水処理技術開発の 国際研究拠点形成

実施予定期間：平成 23 年度～平成 28 年度

研究代表者：原田 秀樹（東北大学大学院工学研究科 教授）

国内参画機関：長岡工業高等専門学校、木更津工業高等専門学校、香川高等専門学校、新潟薬科大学

代表者：荒木信夫，上村繁樹，多川正，井口晃徳

## I. 概要

本研究では、乾燥地の途上国の人々の健康に重大な脅威を与えている劣悪な水環境汚染の修復と汚水灌漑におけるリスク低減のために、途上国自体の国情や社会経済的条件に合致した適用可能な下水処理技術を創成するための国際研究拠点を現地一体型の新たな枠組の国際共同研究体制の下、形成する。

## 1. 科学技術イノベーション (STI) 協力の目的・内容・

### 目標

本研究の目的は、乾燥地の途上国の人々の健康に重大な脅威を与えている劣悪な水環境汚染の修復と汚水灌漑におけるリスク低減のために、途上国自体の国情や社会経済的条件に合致した適用可能な下水処理技術を創成するための国際研究拠点を現地一体型の新たな枠組の国際共同研究体制の下、形成することである。具体的な実施内容は(1) (仮称) サステイナブル水研究センター一分室の設置、(2) エジプトに設置するパイロットプラントを用いて、現地オンサイト実験を実施して、途上国が適用可能な“self-sustainable”な衛生リスク低減技術としての新規下水処理システムの創成、(3) アフリカの乾燥地域に適用可能なリスク低減技術としての新規の (ミニマムコスト、ミニマムエネルギー消費型の) 下水処理技術を技術移転し、社会イノベーションの礎をつくる。

## 2. 拠点形成の実現可能性

エジプト側の代表者であるエジプト日本科学技術大学 (E-JUST) の Dr. Tawfik は 2003 年～2005 年に長岡技術科学大学原田研究室で JSPS ポスドク・フェローを行った経緯がある。その当時から今日にいたるまで Dr. Tawfik の研究テーマは、本申請研究の中核をなす Downflow Hanging Sponge (DHS) リアクターに関するものである。エジプト帰国後もエジプト国立研究センター (NRC)・水質汚濁研究部門 (WPRD) で DHS 技術の研究を一貫して継続し、その普及の基盤を築いている。このよ

うに、既に日本-エジプト間での研究協力体制は構築されており、エジプトでの拠点形成の機は熟している。

## 3. STI 協力の発展性・継続性

エジプトは、1997 年に、2017 年までに灌漑方法を改善し、下水処理水の農地への有効利用を推進するという「国土改造 20 年計画」という施策を打ち出している。E-JUST およびエジプト国の国立機関である National Research Centre との共同開発によって本提案技術が完成されれば、この「国土改造 20 年計画」にのっとりエジプト国内での普及を一気に促進させることができる。さらに、アフリカのリーダー国であるエジプトで貴重な成果が得られることで、周辺諸国への普及も早いと考えられる。とくに本申請の拠点となるエジプト日本科学技術大学は、エジプトのみならず中東・アフリカ諸国の経済・社会発展をリードする非常に優秀な人材を持続的に輩出するようになることを目的に設立されたことから、本提案技術の世界的な普及を鑑みたときに最適である。

## 4. 本プログラムにより取組を支援する必要性

本プロポーザルは、エジプト国に乾燥地域における灌漑再利用のための革新的下水処理技術を開発する国際研究拠点を形成しようとするものであり、対象国エジプトにおける科学技術研究の持続的発展をも考慮したものであるため、完成された技術を移転し、各国において普及および環境改善を図る目的である ODA や他の研究開発プログラムではカバーすることはできない。また JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS) で UASB-DHS システムがインドで展開しているが、インドとエジプトで同時に、異なるシステムに DHS 技術を適用することによって日本発のオリジナル技術の世界標準化にむけて相乗効果が期待出来る。

## 5. 期待される波及効果

プロジェクトが成功すれば、参画機関のあるエジプトのみならず、乾燥地を抱える途上国全体への連鎖的な広範囲の普及という大きなインパクトが期待でき、我が国の途上国地域への真の国際貢献として大きな意義を持つとともに、我が国の科学技術が世界に誇るべき知的資産の形成と云える。

6. 生命倫理・安全面への配慮について

特になし

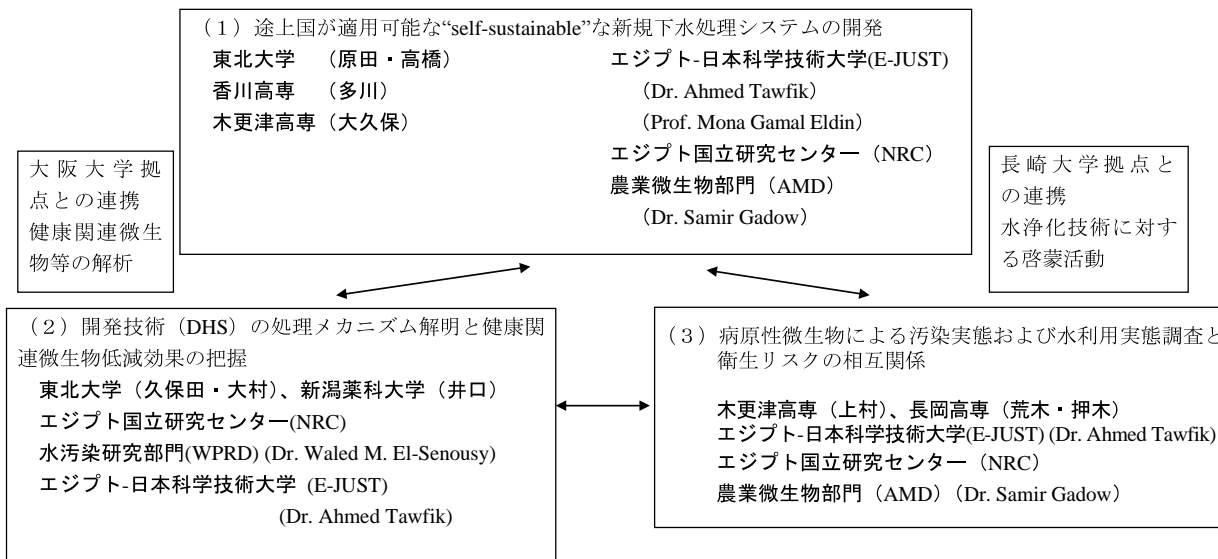
7. 実施体制

東北大学に設置する水インフラを核とした未来志向型社会イノベーション拠点を核として、長岡高専、木更津

高専、香川高専、新潟薬科大学と研究グループ組織して、**国外参画研究機関**（エジプト日本科学技術大学、国立研究センター）と緊密に連携しながら**現地研究拠点型**の実証的研究を推進する国際共同研究体制によって、途上国の実状に合致した適用可能な超低コスト・エネルギー節約型の新規の下廃水処理システムの実用化のための国際研究拠点を構築する。

(4) 国際研究拠点 水インフラを核とした未来志向型社会イノベーション拠点 (E-JUST 分室) の形成

日本側：原田以下、全研究参画者、エジプト側：市村以下、全研究参画者



氏名	所属機関名・職名	提案プロジェクトにおける役割
◎原田 秀樹	東北大学・教授	研究代表者・新規下水処理システムの開発・研究拠点形成
大村 達夫	東北大学・教授	開発技術(DHS)の処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握・研究拠点形成
荒木 信夫	長岡工業高等専門学校・教授	灌漑水の利用実態と病原微生物による汚染実態調査・研究拠点形成
○上村 繁樹	木更津工業高等専門学校・教授	灌漑水の利用実態と病原微生物による汚染実態調査・研究拠点形成
多川 正	香川高等専門学校・准教授	新規下水処理システムの開発・研究拠点形成
○久保田 健吾	東北大学・准教授	開発技術(DHS)の処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握・研究拠点形成
高橋 優信	東北大学・助教	新規下水処理システムの開発・研究拠点形成
大久保 努	木更津工業高等専門学校・准教授	新規下水処理システムの開発・研究拠点形成
井口 晃徳	新潟薬科大学・助教	開発技術(DHS)の処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握・研究拠点形成

押木 守	長岡工業高等専門学校・ 助教	灌漑水の利用実態と病原微生物による汚染 実態調査・研究拠点形成
------	-------------------	------------------------------------

平成 28 年 1 月 24 日現在

## 8. 各年度の計画と実績

(提案書様式 6-6「年次計画概要」をベースに積算、業務計画との整合に留意して記載する。)

### a. 平成 23 年度

#### (1) 計画

本研究におけるフィージビリティ・スタディーを実施する。

#### (2) 実績

エジプト E-JUST に排水処理技術を核とする研究拠点を形成するために、そのフィージビリティを調査した。まず、本プロジェクトが当該プログラムの持つ意図をより明確に表すために、研究タイトルを「乾燥地域における灌漑再利用のための革新的下水処理技術開発の国際研究拠点形成」とした。

サブテーマ 1 においては、下水インフラおよび処理状況の調査、エジプト国及び日本国内の実験実施拠点候補地の選定を行った。実際現在 New Borg El-Arab に建設中の下水処理施設 (DHS リアクター建設予定地) は農地灌漑用水として利用する予定であることが確認された。また、調査した 89 か所のエジプト国内の下水処理量のうち、仮に初沈処理、活性汚泥処理を行っている処理場に提案の DHS システムを付加することで、エジプト国内の 80%以上の下水処理を農地灌漑用水として再利用する可能性を秘めていることが判明した。

エジプト国現地実験として、研究拠点である E-JUST より近く、現在建設中の New Borg El-Arab 下水処理場に設置することについて了解が得られ、日本国内研究者 (東北大学、香川高専、木更津高専)、E-JUST および下水処理場の技術者が連携で実施していくことになった。日本国内にも DHS システムを設置することも了解を得ており、エジプト国との比較が可能であり、実施段階の準備が整ったといえる。

本プロジェクトにおけるテーマ 2 では、当初「衛生リスクの検出・定量技術・モニタリング技術の確立と開発技術 (DHS) の衛生リスク低減効果の把握」というタイトルを掲げた。FS 調査を行い相手国側の要望や実情を考慮した結果、テーマ 2 では「開発技術 (DHS) の処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握」と設定することが、効果的に本研究プロジェクトの推進や人材育成・拠点形成につながると判断した。研究テーマ 2 における DHS 処理メカニズムの解明および健康関連微生物の検出・定量技術が確立されることで、各周辺国に DHS 技術を移転・普及する上で最適運転条件の提案および迅

速な衛生リスク管理評価が行えるものと考えられる。

テーマ 3 の FS により、エジプト及び周辺国の政府の主要な統計上からは、衛生リスクを評価するに足るデータが欠如していることが判明した。したがって、本プロジェクトを円滑に推進するためには、データの収集を継続するとともに、モデル地域における実態調査を行うことで、衛生リスク評価のためのデータベースを構築することが、まずは最優先であるとの結論を得た。

サブテーマ 4 では、採択コメントにあった啓蒙活動を積極的に推進するために、E-JUST の市村禎二郎教授を研究グループに、長崎大学拠点を研究協力機関として迎えた。

以上、フィージビリティスタディを通して、当該分野に対する社会的ニーズが高いこと、エジプト国における研究・人的資源、拠点形成環境などが十分備わっていることが明らかとなった。

### b. 平成 24 年度

#### (1) 計画

##### (a) 新規下水処理技術の創成

国内 DHS リアクター設置および運転開始、エジプト DHS リアクター製作。

##### (b) 処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握

サンプリング場所の選定と予備調査。

##### (c) 下水の灌漑利用と灌漑水の病原微生物による汚染実態調査

調査方法の確立。

#### (2) 実績

24 年度は、国際研究拠点を形成するために、東北大学と E-JUST で MoU 締結の調整がなされた (平成 25 年 4 月締結予定)。

サブテーマ 1 においては、エジプト国での現地実験に用いる DHS リアクター (処理量 200 m<sup>3</sup>/日規模) の建設について、部材の製作・調達は国内で行い、それを輸送してエジプト現地に設置する計画とした。24 年度において DHS リアクター部材の制作および DHS リアクター用担体の調達は完了した。リアクター建設予定地については、23 年度に候補地とされた New Borg El-Arab 下水処理場の建設が進んでおらず、DHS リアクターに供給する原水が確保できない懸念があったため、New Borg El-Arab 市長らとの調整により、DHS リアクターを集落廃水ポンプ場に設置することを取り付けた。制作が完了した DHS リアクターは輸送を待つ段階であり、そのための免税措置の申請準備を E-JUST と進めて

いる。また、国内での現地実験に用いる DHS リアクターについては、処理量 20 m<sup>3</sup>/日規模の実験プラントの建設が完了した。

サブテーマ 2 においては、DHS 技術の微生物学的な処理メカニズムを明らかにすることを目的に、これまでに得られてきた実規模 DHS リアクターの微生物コミュニティデータを精査し、微生物群集構造の統計的な比較解析および重要微生物の把握を行った。サンプリング場所については、エジプト国内の下水処理場の予備調査の結果、カイロ近郊の活性汚泥プロセスおよびオキシデーションディッチ法について調査をする提案がなされた。そこで得られる微生物学的な知見とサブテーマ 1 で得られるリアクター水質データを比較検討し、DHS 最適運転条件の決定に必要な基礎データの蓄積・補完をカウンターパートと共同で行う。

サブテーマ 3 においては、灌漑水の実態調査を、西ナイルデルタを流れる Eduk ドレインと Umoum ドレインを対象に 2 期に分けて行った。各ドレイン合計 24 地点からサンプルを採水し水質分析を行った結果、3 地点の大腸菌濃度が 10<sup>3</sup> CFU/ml を超える値で検出され、灌漑利用には十分な注意が必要となる結果となった。

サブテーマ 4 においては、環境浄化概念の啓蒙活動を行うにあたり、25 年度に E-JUST とワークショップを開催することを取り付けた。当該補助研究期間においては、Alexandria Language School と Sidi Gaber Language School の 2 校（各校約 50 名）で、水質浄化に関する講義と模擬実験を実施した。

以上、国際研究拠点の形成に向けて体制が整いつつあるなかで、国内においては実験プラントの設置により水質データの収集が始まった。灌漑水の利用実態調査も着実に成果が得られリスク評価に必要なデータベースの構築が着実に進められた。

## c. 平成 25 年度

### (1) 計画

#### (a) 新規下水処理技術の創成

エジプト DHS リアクター輸送・設置・担体投入および運転開始。

スタートアップに関する情報の獲得。

#### (b) 処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握

解析法の確立。

#### (c) 下水の灌漑利用と灌漑水の病原微生物による汚染実態調査

調査地域の決定。

#### (d) アウトリーチ活動：3 プロジェクト合同シンポジウム開催

リアクター運転開始に伴いアレキサンドリアにて開催

## (2) 実績

25 年度は、エジプト国における政情不安から活動が一部停滞したため、当該国での計画の進捗に若干の遅れが見られるが、国内パイロットプラントの効果的な利用および政情不安前にエジプト側研究者と共同で行ってきた内容から、全体計画には影響がないレベルに抑えることが出来ている。

サブテーマ 1 においては、エジプトパイロットプラントの設置およびオンサイト実験が開始できなかったが、ようやく輸送業者および現地での据付業者が決まり、平成 26 年度秋期セットアップ完了の目途が立った。下水インフラの検証及びエジプト国と日本国内との比較実証実験については、実下水を通水した連続実験を 24 年度から継続して行ってきた。これまで 25 年度期間中は機器・リアクター等のハード面のトラブルは発生しておらず、システムとしての処理水質も当初目的のエジプトの灌漑水質をほぼ満足（衛生学的指標が未達成）するなど、システムのスタートアップ時における知見を得ることができた。

サブテーマ 2 においては、下水および灌漑水中のウイルスなどについてサブテーマ 3 と連携しながら、データを蓄積する方針を決定した。また、解析法の確立のために、国内の初沈-DHS システムを用いた実験を行うこととした。微生物群集構造解析による処理メカニズム解明方法については、解析手法をほぼ確立し、その群集構造を明らかにしたことで、他の下水を処理する DHS システムとの共通性・特異性を明らかにした。

サブテーマ 3 においては、ドレインの本流から支流へと調査対象を拡大し汚染調査を行ったところ、Umoum ドレインの支流が最も都市下水による汚染が著しかったことから、調査地域として決定することが出来た。また 26 年度に実施予定のヒアリングの予備的調査を前倒しして行った。これらの成果により、西アレキサンドリア地方の灌漑水の汚染状況とリスク評価を行うための大腸菌濃度のデータベースの構築が進んでいる。

サブテーマ 4 においては、東北大学に「水インフラを核とした未来志向型社会イノベーション拠点」を設置し、その分室を E-JUST に設置する目処がたった。また、長崎大学のアフリカ拠点（ケニア）を訪問し、国際研究拠点の形成には何よりも活動の理念を明確化することが大事であること、そしてその理念に基づいて必要な設備の選定、組織的な活動、人材の確保・育成、資金運用などについて具体的な方向性を決定していくことが重要であることを学び、本プロジェクトにおける国際研究拠点の形成と将来的な発展のための情報を収集することが出来た。

26年度は、エジプト現地の実験プラント水質データの収集を実施しながら、微生物学的な知見と比較検討し、DHS 最適運転条件の決定に必要な基礎データの蓄積・補完をカウンターパートと共同で行う。

#### d. 平成 26 年度

##### (1) 計画

###### (a) 新規下水処理技術の創成

エジプト DHS リアクター輸送・設置・担体投入および運転開始。

スタートアップに関する情報の獲得。

連続処理運転に関する情報の獲得。

###### (b) 処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握

国内 DHS パイロットプラントの解析。

###### (c) 下水の灌漑利用と灌漑水の病原微生物による汚染実態調査

当該地域におけるヒアリング調査。

###### (d) アウトリーチ活動：3 プロジェクト合同ワークショップ開催

リアクター運転開始に伴いアレキサンドリアにて開催

##### (2) 実績

平成 26 年度はエジプト国に DHS パイロットリアクターが設置され、稼働開始するなど本プロジェクトにおいて重要な成果が得られた。また、水インフラを核とした未来志向型社会イノベーション拠点（E-JUST 分室）を設置した。そして本プログラム参画 3 大学合同ワークショップが行われるなど、拠点形成が着実に進行している。

サブテーマ 1 においては、場所変更後の詳細設計、設置、施工計画の見直しを行い、7 月に船輸送、8 月に基礎工事を開始した。リアクター設置については、リアクター部品を載積した輸送貨物が港で停滞したため設置完了に時間を費やしたが、試運転終了後、ボルグエルアラブ市にて建設された初沈との接続を確認し、実際の下水の供給を開始した。現在は設計負荷の 50% の 100m<sup>3</sup>/日の処理水量で連続供給試験を継続しており、有機物除去特性を主に連続処理を行っている段階である。

また、先行して初沈-DHS プロセスの連続運転を継続している国内パイロットプラントの DHS は、処理時間と処理水質（有機物、浮遊物質、栄養塩類、衛生学的指標項目など）との関係や、下水温度と処理特性における温度依存性などに関して、エジプト DHS の今後の運転・管理において指針となる有用なデータを得た。

サブテーマ 2 においては、国内パイロットプラントのスポンジ汚泥を定期的にサンプリングし、その微生物群集構造解析をパイロシーケンシングにより行い、高さ方向での

微生物群集構造の違いと処理プロセスの関係に関する知見を得た。また、国内パイロットプラントを用いたウイルス除去性能についてモニタリングを開始した。季節において多少の変動はあるものの、本 DHS はおよそ 1/10~1/100 まで下水中のノロウイルス GII 型を低減可能であることが示された。またノロウイルスを含めた典型的な水系感染症を引き起こす 12 種類のウイルスについて検出・定量可能な Dynamic array real-time PCR によるウイルス定量系の構築を開始した。

サブテーマ 3 においては、調査対象である Dishody ドレインの最上流にあたる下水処理場のプロジェクトマネージャーである Henry 氏と、現在の下水処理場の運転状況などについてヒアリングした。また H27 年度に予定しているドレインの灌漑水の水質調査における協力の約束を得た。

サブテーマ 4 においては、アフリカ 3 プロジェクトの合同ワークショップを開催し、エジプト高等教育省大臣、アフリカ開発銀行をはじめ、多数の要人が来訪された。サイトツアーでは、実際に DHS により短時間で下水が浄化される様子を視察し、初沈-DHS プロセスの有効性とその期待を研究機関一同認識することができた。合同ワークショップの様子は地元のテレビ、ラジオのニュースにも広く報道された。

27 年度は、エジプト DHS による実証試験および国内 DHS による高度浄化を目指した連続運転試験を実施しながら、それに係わる処理メカニズム解明、衛生リスク調査についてカウンターパートと共同で行う。

#### e. 平成 27 年度

##### (1) 計画

###### (a) 新規下水処理技術の創成

連続処理運転に関する情報の獲得。

これまで開発してきた初沈-DHS システムと比較して、より高度な浄化を目指した運転方案の探索（国内）（衛生学的指標項目、窒素除去・形態把握、臭気除去など）

###### (b) 処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握

DHS リアクターの解析。

###### (c) 下水の灌漑利用と灌漑水の病原微生物による汚染実態調査

水系感染症に関する水質調査。

当初、大腸菌群だけでの測定を予定していたが、現地の水系感染症に関わる微生物を文献調査したところ、現地実情に即した測定項目についても検討した方がいいということになったため、Dishody ドレインの水質調査について、ウイルスや寄生虫卵などの測定項目を追加し、実施する。

## (2) 実績

平成 27 年度はエジプト国に設置した DHS パイロットリアクターの連続運転モニタリングを行い、本プロジェクトにおいて重要な成果が得られた。また、各サブテーマにおいても成果が出てきており、拠点形成が着実に進行している。

サブテーマ 1 においては、前年度に引き続き設計負荷の 50%の 100 m<sup>3</sup>/日、HRT（水理的滞留時間）1.5 時間の処理条件で連続供給試験を継続し、エジプトにおける通年の水質モニタリング成果を得ることができた。通年試験後の平成 28 年 1 月には、スポンジ担体を追加投入し、設計負荷の 200 m<sup>3</sup>/日、HRT 1 時間での連続供給試験に向けて段階的に処理水量をシフトしている。

また、先行して初沈-DHS プロセスの連続運転を継続している国内パイロットプラントの DHS は、HRT 4 時間および 3 時間の処理条件で運転を行った。特に栄養塩類や衛生学的指標の低減効果に関して、エジプト DHS の今後の運転・管理において重要となるデータ収集を継続した。

サブテーマ 2 においては、国内パイロットプラントのスポンジ汚泥の定期的なサンプリングを継続し、その微生物群集構造解析をパイロシーケンシングにより行った。加えて、スポンジ 1 つずつによる微生物群集構造の違いを解明するために、パイロシーケンシングによる解析を行った。ウイルス除去性能については、引き続きモニタリングを行うと共に、エジプト国で稼働中の DHS リアクターのモニタリングも National Research Center の Prof. Dr. Waled のグループと共に開始した。この他、ノロウイルスを含めた典型的な水系感染症を引き起こす 12 種類のウイルスについて検出・定量可能な Dynamic array real-time PCR に

よるウイルス定量系を構築し、モニタリングサンプルの定量を開始した。

サブテーマ 3 においては、調査対象である Dishody Drain の灌漑水の病原性ウイルスの測定を行った。病原性ウイルスの中でも特にノロウイルスに着目し、灌漑水を使用する農民に対する微生物学的リスクと障害調整生命年（DALY）を定量化した。

サブテーマ 4 においては、ケニアのナイロビで行われた、長崎大学主催のアフリカ 3 プロジェクトの合同ワークショップに参加し、エジプト国ボルグ・エル・アラブ市に設置しているデモンストレーション・プラントでの処理成績と技術概要を紹介して、アフリカ諸国からの参加者達の関心をよびおこした。また、エル・ゴハリ E-JUST 学長からも DHS 技術のアフリカ諸国への技術移転の意欲が表明されて、本プロジェクトのアフリカへの展開の礎を作った。また、エジプトの高校生を対象とした環境教育では、連続処理運転を行っている DHS リアクターを実際に見学し、経験に基づいた教育を行った。

## f. 平成 28 年度

### (1) 計画

#### (a) 新規下水処理技術の創成

新規下水処理技術の創成。

#### (b) 処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握

低減効果の把握および処理メカニズムの解明。

#### (c) 下水の灌漑利用と灌漑水の病原微生物による汚染実態調査

調査結果のまとめとデータベース作成。

9. 年次計画

取組内容	FS	1年度目	2年度目	3年度目	4年度目	5年度目	実施機関終了後
(1) 途上国が適用可能な "self-sustainable" な新規下水処理システムの開発 (東北大学・木更津高専・香川高専・E-JUST)	フィージビリティ・スタディ →	国内下水処理場設置DHSリアクターを用いた基礎的運転パラメーターの獲得					
		エジプト国下水処理場にDHSリアクター設置			エジプト設置DHSリアクターによる実証試験		
							エジプト周辺国への展開 ----->
(2) 開発技術 (DHS) の処理メカニズム解明と健康関連微生物低減効果の把握 (東北大学・新潟薬科大学・E-JUST・NRC)	フィージビリティ・スタディ →	サンプリング箇所の選定・予備調査		国内DHSパイロットプラントの解析			
			解析法の調査および確立		DHSリアクターの解析		
							処理メカニズム解明と低減効果の把握・啓蒙活動への活用 ----->
(3) 灌漑水の利用実態と病原微生物による汚染実態調査 (長岡高専・木更津高専・E-JUST)	フィージビリティ・スタディ →	調査方法の確立と調査場所の選定		灌漑水利用実態調査と汚染実態調査			
							データベースの構築と啓蒙活動への活用 ----->
(4) 研究拠点の形成 (全参画機関)	キックオフワークショップ →			シンポジウム →	シンポジウム →		研究拠点としてアフリカ・中東地域への科学技術貢献 ----->