

## CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」

### 研究領域事後評価報告書

#### 総合所見

本研究領域は、戦略目標である「気候変動等により深刻化する水問題を緩和し持続可能な水利用を実現する革新的技術の創出」の達成を目指したもので、水資源、浄・造水処理、農・工・生活用水としての水利用、下・排水処理などを対象とした17件の研究課題から構成されている。これらの研究課題は水循環と水利用に関わる重要課題を概ね網羅しており、総合的に見てバランスの取れた適切な選択がなされている。

領域アドバイザーについては、海外で活躍する研究者を含め、分野を代表する研究者が選定され、かつ学界と産業界ともに高い評価を得ている研究総括、副研究総括の下で、研究領域の明確な運営方針が示された。本研究領域では「バーチャル・ネットワーク型研究所」としての領域運営が強く意識されており、チーム横断的な連携体制が構築され、ウィルス、膜処理制御、地下水、農業といった水に関わる社会的課題ごとに複数チームが強く連携することに成功している。このような強い連携体制の構築は、研究総括、副研究総括、領域アドバイザーがサイトビジットや勉強会などを実施し、強い指導力を発揮したことによるものと評価される。

本研究領域が対象とする学術分野は、水に関わる工学、理学、医学・生命科学、農学などの分野にまたがっていて、非常に広範であり、研究成果の科学技術への貢献も多分野にわたっているが、各分野において国際的に高い水準にあり、科学技術への大きな貢献が認められる研究成果が多数発表されており、本研究領域による研究成果の科学技術への貢献は高い。顕著な科学技術の進歩に資する成果として、ノロウィルスを特異的に捕捉する腸内細菌の発見、低濃度腸管系ウィルスを網羅的に一斉定量検出するメタゲノム解析手法の開発、微生物増殖制御手法の開発などが挙げられる。また、21世紀型都市水循環利用システムにおける研究成果が、再生水を安全に利用するための処理方法に関する国際規格（ISO/TC282）SC3「リスクと性能評価」に反映されるよう提案中であることも大きな貢献である。また、本研究領域の研究課題は、水利用に関わる社会的課題の解決を目指して設定されており、水利用に関わる社会的な課題を解決するための具体的な方策の提案は、水利用の科学技術イノベーション創出への貢献とつながるものである。より顕著な貢献を図る上で、個別のチームにおいて提示された社会還元や技術開発が、研究領域全体として目指すイノベーション創出の方向や統一されたメッセージとして、一層明確に示されることが望まれる。

ただし、特許出願数が国内 38 件、国際 3 件であったことは、基礎研究が多く含まれている本研究領域の特徴を考慮しても、出願数、特に国際特許出願数は多いとは言えない。

以上を総括し、本研究領域は総合的には優れていると評価できる。

## 1. 研究領域としての成果について

### (1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

#### ① 研究総括の狙いと研究課題の選考

戦略目標である「気候変動等により深刻化する水問題を緩和し持続可能な水利用を実現する革新的技術の創出」の達成に向けて、3 年度にわたり、合計 17 件の研究課題が採択された。それら 17 件の研究課題は、利用に適さない水や排水を安全・安心な水として利用するための水の質の問題、気候変動に伴う水循環の変化によって生じる水の偏在によって引き起こされる諸問題等、水資源、浄・造水処理、農・工・生活用水としての水利用、下・排水処理などを対象とし、水循環と水利用に関わる重要課題を概ね網羅している。地球規模から家庭までの様々なスケールを扱っていること、実社会へ適用可能な革新的技術とシステムの提案を目標とした研究に取り組んでいることから、総合的に見てバランスの取れた適切な研究課題が選考されたと評価できる。それぞれの研究課題は空間的あるいは機能的な面での位置づけが示されており、目指している課題解決の方向が一望できるようにもなっている。

あえて指摘するならば、社会科学的視点を内包する研究課題が数件にとどまっており、例えば、将来の水需要変化に関する社会科学的な視点からの検討、水利権などの制度に関する検討、国際河川における水紛争とその調整といった政策的な課題を主体的に扱う研究課題が含まれていれば、よりバランスが取れた選考になったものと思われる。

#### ② 領域アドバイザーの構成

バーチャル・ネットワーク型研究所による効率的な領域運営の考え方に加えて、個別の研究チームの研究分野と活動内容に精通し、かつ本研究領域全体を俯瞰できる領域アドバイザーとして、国内の水関連学界の指導的立場にある研究者 6 名、民間企業出身者 2 名、米国在住の研究者 1 名が選定され、戦略目標に沿って設定された研究領域を効率的に運営した。水に関わる幅広い分野に対応可能な人選がなされていること、産業界の視点と国際的な視点がそれぞれ重視されていることから、領域アドバイザーの構成は十分適切であったと評価できる。

水は人々の暮らしと非常に深いつながりを持つものであり、さらに今後地球規模で予想される人口増加や気候変動への備えも必要である。このように社会と強く結びついた

分野におけるイノベーションとは「システム・サービス・行政と発見・発明は相互に刺激しながら発展されるものである」との認識に立って、学術分野・国際的視点だけでなく、産業界からも積極的な採用がなされており、領域アドバイザー主催の勉強会も7回実施するなど、適切な運営がなされた。

### ③研究領域のマネジメント

厳選した研究課題の採択に基づき、17チーム、600名を超える研究参加者で構成される研究チーム群に対して、適切な領域アドバイザーの選定と配置、バーチャル・ネットワーク型研究所というコンセプトでの領域運営等、適切なマネジメントが行われた。すなわち、チーム横断的な連携体制の構築、チーム合同ワークショップ・シンポジウムなどの開催によるチーム間連携の取り組み等がなされた。また、チェックアップミーティング、キックオフミーティング、成果報告会等による研究進捗状況の把握と評価、研究総括・副研究総括・領域アドバイザーによるサイトビジットでの個別の研究チームの指導の他、領域アドバイザー主導の勉強会で、各研究チームが領域アドバイザーと議論し、適切なアドバイスを受ける機会が設けられた。研究課題間等の連携の推進に際しては、総括裁量経費が積極的に活用され、チーム合同シンポジウムの開催や膜関連チーム連携など、複数チームへの予算追加が実施されている。また、雇用研究員の多くが、CREST研究期間を通して、助教・講師・准教授に33名、研究機関等に21名が着任するなど、人材育成における実績も評価できる。

総合的に見れば、各研究チームの多岐にわたる成果をポートフォリオ的に整理しながら、研究総括・副研究総括・領域アドバイザーのサイトビジットや個別指導によって、分野横断的な視点を持った運営を推進するというマネジメントが適切かつ効果的になされた。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは特に優れていたと評価できる。

## (2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

### ①得られた研究成果の科学技術への貢献

本研究領域が対象とする学術分野は、水に関わる工学分野（都市環境工学、水処理学、分析化学、化学工学、情報工学、水文・水資源学）、理学分野（地質学、土壌学、水文学、地下水学）、医学・生命科学分野（微生物学、ウイルス学）、農学分野（農学、林学、水産学、農業工学、土壌学）など、非常に広範であり、また本研究領域の研究成果には、複数の分野に関連しているものが多い。このような背景のもとで、17チームによって取り組

まれた研究課題について、合計 919 件の研究論文が発表され、そのうち国際誌が 654 件と、優れた研究実績をあげ、水分野の研究に与えた影響は大きい。

具体的な研究成果としては、ノロウイルスを特異的に吸着する細菌の発見、水処理微生物の活性を制御する技術の開発、全球氷河の長期変動に関する算定（IPCC 第 5 次評価報告書に採用）、山体地下水の構造解明、小型水質計システムの開発等が挙げられる。それぞれの分野で特筆すべき研究成果であり、国際的な水準からみても高いものと評価できる。

これらは研究チーム間の連携をとりながら進められたものであるが、重要なことは本研究領域の運営に際して研究総括が掲げた「水利用領域の研究対象と成果の範囲」コンセプトに沿って個別の研究が位置付けられ、基礎・基盤的な研究成果が具体的な応用や社会実装に結び付く形で意識的に進められたことが具体的な成果に結びついたことである。

論文発表件数は国内誌 265 件、国際誌 654 件であったが、特許出願件数は国内 38 件、海外 3 件であった。研究実績としての研究論文数は評価できる一方で、水分野における今後の海外への展開やマーケットの拡大を考えると、海外特許の出願件数が 3 件であったことは、決して十分とは言えない。

以上により、研究成果の科学技術への貢献については高い水準にあると評価できる。

## ②研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

社会的課題を解決するためのアイデアが新技術を生み、それが科学技術イノベーション創出に貢献するというコンセプトに基づき、本研究領域の研究課題は、水利用に関わる社会的課題の解決を目指して設定されている。従って、各研究課題の研究成果は、基礎科学的な現象解明にとどまらず、様々な課題の解決に貢献する科学技術の確立を目指したものである。

例えば「膜処理制御」に関しては、膜分離活性汚泥法（MBR）における大幅なエネルギー消費量の削減、膜技術、UV 技術、凝集技術、オゾン処理などの組み合わせによる省エネルギーで安全性の高い水再生技術の提示、有機物のファウリングを抑制する膜の開発、耐塩素性ポリアミド膜の開発等、社会での実用化につながる新技術が開発された。また、ノロウイルスへの対処という喫緊の社会的課題についても、ウイルスの挙動把握と感染制御に関する多くの研究成果をあげている。水道行政・関係者のリスクマネジメントに利用可能な放射性物質移流拡散シミュレータの開発も、喫緊の社会的課題（原発事故）に対処できる研究成果の例として挙げることができる。これらのチームは、相互に連携

しつづ研究を推進しており、科学技術イノベーション創出を実現するには様々な科学的知識に基づく技術革新が必要とされることを考えると適切な運営と評価できる。

これらの研究事例からも明らかなように、本研究領域の研究成果は、水利用に関わる社会的な課題を解決するための具体的な方策を提案しており、それらは水利用の科学技術イノベーション創出へとつながっている。よって、これらの研究成果は、科学技術イノベーションの創出に大いに貢献しうるものと高く評価できる。本研究領域では、特許は企業が中心となって出願されたが、これは大学等と企業等の連携がよく、企業からも魅力的な研究成果が得られたことを示している。

以上により、研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献については、特に高い水準にあると評価できる。

## 2. 研究領域の活動・成果を踏まえた今後の展開等についての提言

### (1) 本研究領域の活動や成果を、科学技術の進歩へと展開させるための方策

水のあり様やその利用形態は地域によって異なる。水・食料・エネルギーは持続的な地域発展の基盤であり、水資源管理も、他の2者との関係においてなされなければならない。本研究領域においては、広い範囲で水資源管理を考えるために連携を重視した研究チーム構成としたが、実際に社会に成果を還元することを考えると、エネルギー政策をも考慮した社会科学的な視点や経済学的な視点も含めた展開があってもよかったのではないかと考える。本研究領域で取り上げたいいくつかの地域において、ターゲットエリアを限定した、より学際的なチーム研究の積み重ねによって次の科学技術が生まれるのではないかと考える。例えば、水利用の深刻化には、気候変動等に伴う水供給の変化だけでなく水需要の変化も大きく関与する。将来の水需要の変化は、先進国と開発途上国等、地域によって事情が大きく異なり、最終的には個別の流域管理となる。これまでの一連の研究成果に、人口動態、土地利用変化、社会構造の変化、それらに伴う水需要の変化、水に関わる政策のあり方に関する社会科学的な議論をより積極的に重ね合わせることで、新たな知見が得られると思われる。

また、類似した課題や同様の考え方・アプローチが適用できる研究課題の連携による研究展開によって、研究開発を加速できる研究課題がある。特に、膜分離、微生物制御、ノロウイルスの挙動と制御および水質計測等、研究チーム間のより横断的な連携を図ることが望まれる。

## (2) 本研究領域の活動や成果を、社会還元や産業化・実用化に向けて実現させるための方策

基礎・基盤的研究によって得られる個別の知識・知見がそのまま出口の応用や、社会での実装につながるものではない。本研究領域においては、「気候変動等により深刻化する水問題を緩和し持続可能な水利用を実現する革新的技術の創出」という戦略目標のもと、今後数十年間にわたる水量・水質変化の予測とその変化への対応が複数チームで議論された。また、主に開発途上国における水不足を想定し、水処理に基づく再生水利用や節水型農業技術の開発も複数チームで検討された。このように、具体的目標のもとに様々な知識・知見を獲得し、それらを様々な技術革新につなげることが科学技術イノベーションの創出につながる。今回の研究体制やチームワークの在り方を一層深化させていくことが望まれる。

水浄化や水利用については、開発技術の製品化と実装、そして海外への展開を担う企業との一層の連携と他機関（他研究チーム、企業等）との協働、海外の大学・研究機関、ユーザーや現地企業等との連携等によるオープンイノベーションの推進も期待したい。

本研究領域で得られた研究成果の社会実装においては、国内外の行政機関との連携が重要となる。いくつかの研究チームはすでに地方自治体等、行政機関との交流実績があるが、研究成果の社会還元と実用化に向けて、行政機関との密接な連携を進めることが必要不可欠である。そのためにも、研究成果について利用者が理解し利用しやすくする方策や多様な利用者や対象を考慮した階層的な取り組みも必要である。

産業化に関しては、良い研究成果はその分野で関連する企業が自ずと導入などを検討するが、日本企業は個別技術のレベルは高いものの、流域管理や地域管理におけるノウハウを積む経験に乏しく、システムやそれに基づく地域マネジメント力は弱い。特に、農業利用や環境保全技術に関しては、実用化までには長い時間を要するため、何らかの社会的支援システムによる初期立ち上げのフォローが必要である。実証的研究成果を数多く出して、成果をアピールする必要がある、継続的な研究を行うための資金獲得が必要となる。また、研究成果の実用化においては、開発された各種のプラント、システムの構築と持続的運用に必要なコストを実用レベルまで下げることが不可欠となる。特に、開発途上国への導入が想定されているプラントやシステムではコストダウンが必須である。

長期的な環境保全などに関するテーマについては、社会実装に向けたフォローアッププロジェクト的なものがあると良いと考える。

### (3) その他の提言

水に関する諸問題は、地球規模の観点で極めて深刻である。特に開発途上国においては、人々の暮らしが水に関わる問題によって深刻な状況であり、水資源管理についても不十分な場合が多い。これらの開発途上国との良好な関係の維持等を目的とした国際的貢献活動は活発であり、その中で日本のプレゼンスをどう示すか、今日の大きな課題である。本研究領域が取り上げたような、地球規模で必要性の高い研究分野の活力を低下させず、世界的な科学技術イノベーション創出につながる技術開発の芽をより多く作り出せるような研究環境を維持することは重要である。同時に、先端的な技術とともにその先の途上国支援の枠組みを明確に持つことも必要である。個別技術は、地域理解とそれに基づく地域マネジメント分野との更なる連携強化が求められ、その分野横断的な力をつけた若手研究者の育成も急ぐ必要がある。

今後の日本社会は、人口減少と高齢化により大きく変化することが予想されているが、海外支援の枠組みで行われた研究成果は、将来日本に適用可能なものとなる期待は高く、本研究領域が関係する分野の発展は、上述したように国際社会の枠組みの中でも重要である。研究の結果が直ちに科学技術イノベーションの創出に至るのではなく、研究の過程や結果から得られた知識を科学技術イノベーション創出に向けて統合するという視点で、この分野の研究ポテンシャルを維持していくことが重要である。

特許数、特に国際出願数に関しては、大学などの研究者が自らの費用負担で特許出願を行うことは通常困難である。大規模研究開発プロジェクトにおいては、国際的にも価値のある知的財産権が生じる可能性も高いため、その権利を研究者個人の責任だけではなく出願できる方策を強化することも重要である。日本発の価値の高い技術やシステムの知的財産（特に大学などの研究者の発明の場合）の保護を推進するシステムの強化についての考慮も必要である。