

**地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)**  
**研究課題別中間評価報告書**

**1. 研究課題名**

サハラを起点とするソーラーブリーダー研究開発 (2010年11月～2015年11月)

**2. 研究代表者**

2. 1. 日本側研究代表者：鯉沼 秀臣 (東京大学 新領域創成科学研究科 客員教授)

2. 2. 相手国側研究代表者：Amine Boudghene Stambouli (オラン科学技術大学 (USTO)  
電気・電子工学部 教授)

**3. 研究概要**

化石燃料の消費量の急増により顕在化してきたエネルギー資源問題及び環境問題の解決に貢献する大規模自然エネルギーシステムの構築を目指す。この目的を、日本の先進技術とアフリカへの研究・教育支援を組み合わせ、グランドデザインし、世界最大のサハラ砂漠を出発点に想定した地球エネルギー新体系を構築する。具体的にはサハラをはじめとする不毛の砂漠をシリコン太陽電池(太陽電池級シリコン: SOG-Si)の原料のシリカ(SiO<sub>2</sub>)および日照の宝庫として活用し、ソーラーブリーダー(ソーラーシリコン工場+Si(シリコン)太陽光発電所)の増殖的建設と発電したエネルギーの低損失供給の可能性を実証する。

具体的な研究項目は以下の六つである。

1. 【Si製造の熱力学的デザイン、高純度SiO<sub>2</sub>の生成】Si製造の熱力学的プロセスデザインを行い、現在用いられている珪石ではなく、砂漠に豊富にある硅砂を原料とするSi還元プロセス技術を開発する。
2. 【Si還元プロセスのアルジェリア導入】砂を原料とするSi製造のテストプラントを構築し、アルジェリア側のSi還元プロセスを確立する。
3. 【太陽電池の性能試験】各種太陽電池の性能(効率、耐久性)の定量的データを蓄積し、課題と対策を整理する。また、砂漠地域における太陽電池の活用法についての検討を行う。
4. 【超伝導ケーブル導入にかかる問題点の抽出】高温超伝導ケーブルシステム運用に関する問題点の抽出と対策を提示する。
5. 【WebELS(Web-based E-Learning System)を活用した遠隔教育・研究】アフリカ地域のエネルギー工学研究の拠点を形成し、日本発の多機能遠隔教育・情報交流システム: WebELSを活用した複素エネルギー教育・研究を行う。
6. 【国際ワークショップの開催】日本アルジェリア国際会議を毎年開催する。

**4. 評価結果**

総合評価 (A: 所期の計画と同等の取り組みが行われ、成果が期待できる)

現地情勢の悪化による機材の搬入遅れなどもあったが、研究計画はほぼスケジュール通り実現されている。とくに研究計画の核心部である  $\text{SiO}_2$  の直接還元法の開発は、基礎レベルにおけるいくつかの検討が進んでいることも含め、順調に成果を挙げている。また、太陽光発電の実証、地中温度の測定、遠隔講義の実施などは、初期の計画と同等の取り組みがなされていると考えられる。

研究代表者のリーダーシップは、成果をしっかりと出していること、先方との連携が維持できていることを考えると妥当と言える。今後は、成果を確かなものにするため、参加する多くの研究者間の連携や意識共有を一層強めていく必要がある。

また、研究の最終目標は、サハラ砂漠におけるソーラーリーダーシステムの実現という壮大で長期的な課題であり、プロジェクト期間内に社会実装の入口まで到達するかどうかは厳しい状況である。しかし、うまくいけば潜在的には大きな可能性がある。

トルクメニスタンとの連携など今後の展開につなげることは重要だが、まずはアルジェリアとの SATREPS プロジェクトにおいて確実に成果を出して頂きたい。

#### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

##### 【当初の研究計画から見た進ちょく状況】

テロの発生など現地情勢の悪化によって機材の搬入が遅れたが、現時点では研究計画に記されている項目はほぼスケジュール通り実現されている。とくに研究の核心部である  $\text{SiO}_2$  の直接還元法の開発に見通しが立ち、弘前大学でアルジェリア人の留学生および研修生とともにテスト運転中の試験装置がアルジェリアに移設される予定が立つに至ったことは高く評価できる。

その一方で、研究の最終目的（サハラの砂を利用するソーラーリーダー研究開発）は壮大かつ長期的な課題で、 $\text{SiO}_2$  直接還元法の開発以外は計画に記された内容を実現しつつある段階で、レベルは高いとは言えない。相手国に設置した太陽電池パネルを使った研究は、さらに充実させていく必要がある。

##### 【新たな展開①・珪藻土、マイクロ波の利用】

珪藻土を  $\text{SiO}_2$  の原料とする相手国からの提案、マイクロ波を利用した  $\text{SiO}_2$  還元など新しい展開がある。珪藻土の利用は、ほとんど無尽蔵に存在する砂漠の砂から  $\text{SiO}_2$  を製造するという究極の目標からは外れるが、 $\text{SiO}_2$  製造の省エネ、低コスト化に有効といえ、実用プラントの立ち上げを容易にするという意味で大きな効果が期待できる。

##### 【新たな展開②・アルジェリア側の独自予算による展開】

研究のコアである、砂から  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2$  から  $\text{SiO}$  へのプロセス研究を中心に、アルジェリア側の強い関与が見られる。これらはアルジェリアの独自予算でも展開されており、相手側の研究機関の熱意が失われることなく、プロジェクトが進んでいることがうかがえる。

研究グループは、当初の予定だった硅砂ではなく、珪藻土から高純度  $\text{SiO}_2$  を精製するアイデアを実行に移しているが、これはアルジェリア側の研究者が既存論文などからヒントを見つけ、提案してきたものである。また、アルジェリア側は、日本側研究メンバーである清水電設工業(本社・尼崎市)のアドバイスで、マイクロ波の加熱で  $\text{SiO}_2$  を直接還元する装置(電子レンジを改造したもの)を独自予算で製作し、実験を始めた。Saida 大学にも、プロジェクトで設置した5種類の太陽光発電パネルに並列し、独自予算で購入した日本製の太陽光発電パネルを設置し、性能試験を進めている。

### 【成果の科学的・技術的なインパクト】

SOG-Si を製造する技術として、省エネ、経済性に優れた直接還元法の新しい手法を開発したことは大きなインパクトを生むと考えられる。水素ラジカルを導入した還元法はまだ不確定性が大きいようだが、さらに先の技術として可能性がある。一定の論文発表もあり、それなりの科学的インパクトはすでに得られていると考えられる。実際、日本とアルジェリアで交互に開催された国際会議や招待講演、論文発表などを通じた宣伝活動により、ソーラーブリーダーに関する研究開発は多くの企業や周辺国(トルクメニスタンやエジプト、チュニジア、モロッコなど)の関心を集めている。

## 4-2. 国際共同研究の実施体制について

### 【研究代表者のリーダーシップ】

$\text{SiO}_2$  の直接還元について、①高周波加熱による炭素熱還元法(弘前大学)、②水素ラジカルによる還元プロセス(独立行政法人・物質材料研究機構)、③マイクロ波加熱による還元法(清水電設工業・東工大)——の三つの研究グループを競わせ、よりよいものを見出そうとする努力をしている。3者を競わせることで、よりよいプロセスを開発する試みで、研究代表者の強いリーダーシップが感じられる。しかし、その一方で、研究の具体的な進捗・管理は研究を行うそれぞれの若手研究者に任せており、研究代表者以外にはプロジェクト全体の状況を把握していない恐れも見受けられる。システムとしての成立性を明確にしていこう、研究者間の連携強化、意識共有を強化することが必要である。

### 【相手国側のモチベーション維持】

現地よりも日本国内でアルジェリア人の人材育成を主に行う試みを継続したが、アルジェリア側のモチベーションは高く維持されているようである。2013年1月にテロ組織による日本人質死亡事件が発生し、プロジェクトが半年余り停滞したにもかかわらず、JICA 中間レビュー報告書でも、アルジェリア側のプロジェクトに対するモチベーションの高さが指摘されている。これは、JICA 研修生や文科省国費留学生制度などを利用し、現地から多くの研究者を受け入れ、日本国内で人材育成する試みを継続してきたことが大きいと考えられるという。JICA 研修生は短期も含めて年間10人以上、文科省の国費留学生は間もなく3人目が来日する予定である。

### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

#### 【原著論文】

原著論文が多数出ている。中間報告書に示された 62 件のうち、共同が 6 件、アルジェリア側が 20 件と、半数近くをアルジェリア側が占めている。アルジェリア側研究代表者の Stambouli 教授が論文投稿に積極的なこともあり、共著の論文も順調に増えている。

#### 【人材の育成】

日本人の学生のプロジェクトへの関与は、派遣が難しいこともあり、十分とはいえないが、本プロジェクトを通して中堅・若手の研究者が育っている。また、先方からの留学生・研修生の受け入れ、人材育成ともに積極的に行われている。先方の大学としても熱心に取り組んでいる様子が感じられる。

#### 【今後の研究の進め方】

ソーラセル生産の新しい安価なプロセス開発に向け、それぞれの要素技術の研究は進展しているようだが、システムとしての成立性は今後の努力に委ねられている。このため、システムとしての課題と対策の検討を早急に進めるべきではないか。他予算による類似研究との区分を明確にしつつ、SATREPS 事業として求められる研究成果をきちんと実現していく必要がある。

### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

#### 【人的交流の構築の見込み】

相手国政府、研究者との信頼関係をベースに、人材育成、ネットワークづくりが順調に進んでいる。共著の論文も出されて先方との連携も進んでおり、今後の展開も期待できる。

#### 【研究・利用活動の持続的発展性】

オラン科学技術大学を始めとするアルジェリア側関係者の熱意は大きく、本事業の成果を基にした研究・利用活動は持続的に発展していくことが期待される。アルジェリアの政策や予算、組織、技術的な観点から見ても、プロジェクト終了後も本研究が継続される可能性は高いと考えられる。

アルジェリアの公共投資五ヵ年計画は、太陽光発電を含むエネルギーの多様化を掲げており、政策的なサポートはプロジェクト後も継続する見通し。財政的なサポートも少なくともプロジェクト期間中は継続することは確実である。プロジェクトに参加する USTO、Saida 大学、CDER・Adrar (再生可能エネルギー開発センター・アドラル支所) にはソーラーブリーダー計画を推進するのに有利な人材が集まっており、USTO には太陽光発電と超伝導に関するマスター、ドクターコースが作られた。さらに、USTO にはソーラーブリーダー

の拠点を設立する計画もあり、プロジェクト終了後も日本との協力関係が維持される見通しとなっている。

### 【社会実装までの道筋】

将来の構想が大掛かりなだけに、不確定要素が大きい。トルクメスタンなど、アルジェリア以外の国や国際的な動きは実用化に向けて悪くない展開と思われるが、将来の送電先として想定されるEUとの関係など政治がらみの壁や、規模の拡大（複数の段階に及ぶ拡張ステップを要する）という解決すべき課題が残っており、プロジェクト終了後も二の矢、三の矢が必要であろう。

## 4-5. 今後の課題

今後、残りおよそ2年の国際共同研究期間で成果目標を達成するために、以下に示す課題に取り組んで頂きたい。

### (1) SiO<sub>2</sub>直接還元法の整理および砂からの一貫した生産

SiO<sub>2</sub>の直接還元には、①高周波加熱による炭素熱還元法(弘前大学)、②水素ラジカルによる還元プロセス(独立行政法人・物質材料研究機構)、③マイクロ波加熱による還元法(清水電設工業・東工大)——という三つのアプローチがある。本プロジェクトでアルジェリアに導入される直接還元炉は①の方式だが、今後の実用化にあたりどの技術を組み合わせればよいかについて、整理していく必要がある。水素ラジカル法についても将来技術としての見通しが明確になるまで進めて頂きたい。

今後は砂からSiO<sub>2</sub>、SiO<sub>2</sub>からSOG-Siの二つの工程に関し、原著論文が発表されるべきである。また、砂からSOG-Siへの一貫した生産が実証される必要がある。

### (2) 太陽光パネルの比較検討、WebELSの有効活用

太陽光パネルの比較検討においては、砂漠の特異な気候に適応したソーラーブリーダーの建設に有効な数値を収集するように意識する必要がある。また、WebELSシステムについてもシステムの改良が成果として強調されているが、それがプロジェクトのうえでどのように有効活用されたかが重要であり、今後はそのようなアウトプットを報告できるように運用を続けて頂きたい。

### (3) システムとしての成立性についての検討

砂からのSOG-Si生産という技術開発部分と、太陽電池の性能比較や超電導ケーブルの耐久性に関する検討は、ソーラーブリーダーの建設に向けたまとまりのある研究成果として示す必要がある。対象地域におけるソーラーブリーダーが経済性、メンテナンス性も含めてシステムとして成立することを明確にしつつ、日本企業や受け入れ国政府・企業体等の具体的な検討に資する情報が整理されることが望ましい。

(4) SATREPS プロジェクトの確実な遂行

研究代表者は相手国の大学幹部と信頼関係を構築するなどソーラーリーダー概念の国際的認知に精力的な活動を行っている。それはそれとして、本案件の後半の仕上げに向かう重要な時期であり、SATREPS プロジェクトとして確実に成果を挙げるようにして頂きたい。

(5) 社会実装に向けた道筋をどうつけるか

プロジェクトは4年目に入り、プロジェクト目標および予定された各成果は終了時までにはほぼ達成される見通しが立ってきた。今後は社会実装に向けた道筋をどうつけるかがプロジェクト終了までの課題と考えられる。トルクメニスタンなど同時に走ることになるプロジェクトの状況を研究者間で共有し、プロジェクト終了後の継続・発展体制を検討しつつ、アルジェリア側とも十分連携して研究を推進して頂きたい。

以上

