

国名 アルジェリア	サハラを起点とするソーラーブリーダー研究開発
--------------	------------------------

I. 案件概要

事業の背景	アルジェリア経済は、石油や天然ガスなどのエネルギー部門に大きく依存しており、エネルギー部門が輸出の約98%、GDPの約50%、歳入の約75%を占めていた。それにもかかわらず、同部門の雇用吸収率は2%に過ぎず、2007年における失業率は11.8%であり、雇用の創出・新規産業の育成、そして産業を担う人材の育成が重要な政策課題となっていた。こうした状況の中で、アルジェリアはアフリカ大陸で広大な国土面積を有し、南部地域の太陽光日射量は一日当たり6kWh/m ² と東京の約2倍の規模であった。一方、アルジェリアの国土は約9割が砂漠（サハラ砂漠）であり、国土面積の3.5%が農地として活用されているのみであった。そのことから、①現状活用されていない砂漠の砂からシリコンを還元すること、②太陽光発電パネルの主材料として還元されたシリコンを活用すること、さらに、③還元されたシリコンを活用し、砂漠地帯に太陽光発電所を建設し、エネルギー生産拠点として活用すること、④共同研究を通じ研究人材を育成されていくこと、などについて大きな期待が寄せられていた。国際的には、アルジェリアは、アフリカ・エネルギー委員会（AFREC）の設立、アフリカ地域におけるクリーン開発メカニズム（CDM）の推奨、及び気候変動枠組条約締約国会議（COP）のアフリカグループ議長としてアフリカにおける地球温暖化防止対策の調査の推進などにおいて、主導的な役割を果たしてきた。										
事業の目的	本事業は、シリコン製造の新しい熱力学的デザインによるシリコン還元プロセスの開発及びアフリカ地域のエネルギー工学研究の拠点の形成を通じて、ソーラーブリーダーの持続的な拡大の可能性の検証、及び地球エネルギー新体系の基盤研究の確立を図った。 1. 想定された上位目標：なし 2. プロジェクト目標：ソーラーブリーダー（ソーラーシリコン工場と太陽光発電所）の持続的な拡大の可能性を検証し、地球エネルギー新体系の基盤研究（太陽光電池の性能、超伝導ケーブルの導入）、人材開発の基礎を確立する。										
実施内容	1. 事業サイト：オラン、サイーダ、アドゥラル 2. 主な活動：①シリコン製造の新しい熱力学的デザインによるシリコン還元プロセスの開発、②アフリカにおける太陽エネルギーの新しい活用方法の検討、③アフリカ地域のエネルギー工学研究の拠点の形成、及びWeb版遠隔教育システム（WebELS）を活用した遠隔教育・研究の実施 3. 投入実績 <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">日本側</td> <td style="width: 50%; border: none;">相手国側</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">1) 専門家派遣：46人</td> <td style="border: none;">1) カウンターパート配置：37人</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">2) 研修員受入：54人</td> <td style="border: none;">2) 土地・施設：オラン科学技術大学（USTO-MB）における日本人専門家用執務室、WebELS設置スペース、ラボラトリーでの供与機材設置用スペース</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">3) 機材供与：ソーラーパネル、走査型分析電子顕微鏡、現地間力顕微鏡、超純粋製造装置、ソーラーパネル性能試験装置、気象モニタリングシステム、WebELS用サーバー</td> <td style="border: none;">3) 現地業務費：カウンターパート職員給与、旅費、会議費等</td> </tr> </table>			日本側	相手国側	1) 専門家派遣：46人	1) カウンターパート配置：37人	2) 研修員受入：54人	2) 土地・施設：オラン科学技術大学（USTO-MB）における日本人専門家用執務室、WebELS設置スペース、ラボラトリーでの供与機材設置用スペース	3) 機材供与：ソーラーパネル、走査型分析電子顕微鏡、現地間力顕微鏡、超純粋製造装置、ソーラーパネル性能試験装置、気象モニタリングシステム、WebELS用サーバー	3) 現地業務費：カウンターパート職員給与、旅費、会議費等
日本側	相手国側										
1) 専門家派遣：46人	1) カウンターパート配置：37人										
2) 研修員受入：54人	2) 土地・施設：オラン科学技術大学（USTO-MB）における日本人専門家用執務室、WebELS設置スペース、ラボラトリーでの供与機材設置用スペース										
3) 機材供与：ソーラーパネル、走査型分析電子顕微鏡、現地間力顕微鏡、超純粋製造装置、ソーラーパネル性能試験装置、気象モニタリングシステム、WebELS用サーバー	3) 現地業務費：カウンターパート職員給与、旅費、会議費等										
事業期間	2010年11月～2015年12月	事業費	（事前評価時）309百万円、（実績）338百万円								
相手国実施機関	責任機関：高等教育・科学研究所（MHESR） 実施機関：オラン科学技術大学（USTO-MB） 協力機関：サイーダ大学、アドゥラル再生可能エネルギー開発ユニット（CDER アドゥラル）										
日本側協力機関	東京大学、東京工業大学、弘前大学、中部大学、東京理科大学、日本大学、東北大学、国立情報研究所（NII）、国立研究開発法人物質・素材研究機構（NIMS）、清水電設工業株式会社、太平洋セメント株式会社										

II. 評価結果

【評価の制約】

- 新型コロナウイルスの流行を受け、本事後評価では質問票の送付・回収、関係者への電話でのインタビューによって得られた情報を分析し、評価判断を行った。事業対象地の踏査は行っていない。

【留意点】

- 本 SATREPS 事業では、想定された上位目標はプロジェクト・デザイン上設定されていなかったため、本事後評価では期待された正のインパクトの一部として「社会実装に向けた取組み」を検証した。

1 妥当性	【事前評価時・事業完了時のアルジェリア政府の開発政策との整合性】 本事業は、国の再生エネルギー及び省エネルギーの開発を重点とする「国家行動計画 2009」及び「国家行動計画 2014」というアルジェリアの開発政策に合致していた。 【事前評価時・事業完了時のアルジェリアにおける開発ニーズとの整合性】
-------	---

¹ SATREPS とは、「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム」（Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development）を指す。

本事業は、砂漠の砂のシリコンを利用して砂漠地帯に太陽光発電所を建設し、本 SATREPS 事業の共同研究を通じて研究人材を育成するというアルジェリアにおける開発ニーズに合致していた。

【事前評価時における日本の援助方針との整合性】

本事業は、事前評価時における日本のアルジェリアへの援助方針の重点分野の一つである「産業基盤の整備を促進するための基盤技術の強化及び産業人材の育成への技術協力」と合致していた²。

【評価判断】

以上より、本事業の妥当性は高い。

2 有効性・インパクト

【プロジェクト目標の事業完了時における達成状況】

事業完了時まで、プロジェクト目標は達成された。事業完了時におけるソーラーブリーダー（ソーラーシリコン工場と太陽光発電所）の検証状況は次のとおり。一番目に、本SATREPS事業のコアの技術である高純度シリコンの生成、シリコン還元は日本・アルジェリア国側双方で行われ、砂からのシリカ還元は達成された。二番目に、エネルギー収支・コストについても現行のシリコン製造を下回る結果が出た。なお、USTO-MBでは独自に珪藻土からのシリコン還元の実験も進められ、成功した。三番目に、2015年6月のテストプラントの据え付け完了後、計画どおりアルジェリアでも砂からのシリコン還元に関する研究が継続している。四番目に、5種類の太陽電池が設置され、少なくとも2年間の運用記録が得られ、効率や信頼性などの太陽電池の性能に関する定量的データが計画通り蓄積された（指標1）。

また、事業完了時における地球エネルギー新体系の基礎研究、人材開発の基礎確立状況については、次のとおり。一番目に、日本への学生の派遣などを通じ、今までの研究成果から人材育成は着実に行われた。二番目に、本SATREPS事業で導入された技術のプラットフォーム構築のため、太陽電池・超伝導に係る博士号・修士号のコースがUSTO-MBに設置された。サハラソラブリーダー（SSB）の枠組みの下で、11件の修士論文と5件の博士論文が提出された。このように、本SATREPS事業を通じて、研究機関としての組織力も強化された。三番目に、アルジェリアの研究者・学生は、本SATREPS事業により日本より供与された機材及び技術を生かして、現地でも研究は続けられていた。四番目に、WebELSを活用した遠隔教育システムが確立され、USTO-MBは日本の大学と共同研究に係る覚書を締結した。USTO-MBまたはサイダ大学において継続的に研究を行う上で、サイダ大学の実験サイトは大いに役立った。パンアフリカン大学水エネルギー科学研究所（アルジェリアのトレムセン大学のセンターオブエクセレンス）などの他大学も本SATREPS事業の研究成果に関心を示していた（指標2）。

【事業効果の事後評価時における継続状況】

事業完了以降、事業効果は継続している。珪砂を原料とするシリコン還元プロセス、シリコン製造テストプラント、太陽光電池など本SATREPS事業により産出された主要な研究成果は、アルジェリアのエネルギー半導体技術研究センター（CRTSE）で活用されている。例えば、CRTSEでは、①原材料の処理と濃縮及びシリコンの結晶成長、②太陽光発電やシリコンエレクトロニクスなどの多様な産業向けの結晶成長技術の基礎に特化した知識の活用及び開発、などに関する研究を行っている。また、日本の大学・研究機関とUSTO-MBとの協力関係は維持されており、砂と珪藻土からのシリコン還元に関する共同研究が行われている。2019年11月にUSTO-MBで開催された再生可能エネルギーとエネルギー変換に関する国際会議に、日本人の教授とアルジェリアの研究者が共同で参加した。

【想定された上位目標の事後評価時の達成状況】

上位目標は設定されなかったため、想定された正のインパクトの一部として、「社会実装に向けた取組み」について検証を行った。本 SATREPS 事業で得られた科学的知識と研究成果に基づいて、「アルジェリアのエネルギー転換とエネルギー安全保障のための戦略的エネルギー研究とイノベーション計画」（2020年～2030年）が、再生可能エネルギーと省エネルギーの開発のための国家戦略の策定を担当する公的組織である再生可能エネルギー及び省エネルギー委員会によって策定された。本 SATREP 事業のアルジェリア側代表研究者は、専門家としてこの計画の策定に関与し、助言を与える立場にあったことから、本 SATREP 事業の研究成果を政策面に反映させることができた。産学連携体制の確立については、再生可能エネルギー高等委員会が中心になり準備を進めている。

【事後評価時に確認されたその他のインパクト】

日本の大学・研究機関と USTO-MB との協力は、①サイダにおける太陽電池モジュールのモニタリング及び評価、②サイダ大学に設置された太陽電池モジュールの実験計画法によるモデリング、③太陽電池モジュール・エミュレータの実験的実施、④アルジェリアの屋外条件下での5つの異なる太陽光発電モジュール技術の性能評価、など関連分野での共同活動の領域が拡大した。

【評価判断】

以上より、本事業の有効性・インパクトは高い。

プロジェクト目標及び上位目標の達成度

目標	指標	実績
(プロジェクト目標) ソーラーブリーダーの持続的な拡大の可能性を検証し、地球エネルギー新体系の基盤研究、人材開発の基礎を確立する	(指標1) ソーラーブリーダー（ソーラーシリコン工場と太陽光発電所）の検証状況	達成状況：達成（継続） (事業完了時) <ul style="list-style-type: none"> 本 SATREPS 事業のコアの技術である高純度シリコンの生成、シリコン還元は日本・アルジェリア国側双方で行われ、砂からのシリカ還元は達成された。 エネルギー収支・コストについても現行のシリコン製造を下回る結果が出た。なお、USTO-MB では独自に珪藻土からのシリコン還元の実験も進められ、成功した。 2015年6月のテストプラントの据え付け完了後、計画どおりアルジェリアでも砂からのシリコン還元に関する研究が継続している。

² 外務省「ODA 国別データブック 2011」。

<p>(指標 2) 地球エネルギー新体系の基礎研究、人材開発の基礎確立状況</p>	<ul style="list-style-type: none"> 5種類の太陽電池が設置され、少なくとも2年間の運用記録が得られ、効率や信頼性などの太陽電池の性能に関する定量的データが計画通り蓄積された。 <p>(事後評価時)</p> <ul style="list-style-type: none"> 珪砂を原料とするシリコン還元プロセス、シリコン製造テストプラント、太陽光電池など本 SATREPS 事業により産出された主要な研究成果は、アルジェリアのエネルギー半導体技術研究センター (CRTSE) で活用されている。例えば、CRTSE では、①原材料の処理と濃縮及びシリコンの結晶成長、②太陽光発電やシリコンエレクトロニクスなどの多様な産業向けの結晶成長技術の基礎に特化した知識の活用及び開発、などに関する研究を行っている。 <p><u>達成状況：達成 (継続)</u></p> <p>(事業完了時)</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本への学生の派遣などを通じ、今までの研究成果から人材育成は着実に進められた。 本 SATREPS 事業で導入された技術のプラットフォーム構築のため、太陽電池・超伝導に係る博士号・修士号のコースが USTO-MB に設置された。サハラソラブリーダー (SSB) の枠組みの下で、いくつかの修士論文と博士論文が提出された。このように、本 SATREPS 事業を通じて、研究機関としての組織力も強化された。 アルジェリアの研究者・学生は、本 SATREPS 事業により日本より供与された機材及び技術を生かして、現地でも研究は続けられていた。 WebELS を活用した遠隔教育システムが確立され、USTO-MB は日本の大学と共同研究に係る覚書を締結した。 USTO-MB またはサイダ大学において継続的に研究を行う上で、サイダ大学の実験サイトは大いに役立った。パンアフリカン大学水エネルギー科学研究所 (アルジェリアのトレムセン大学のセンターオブエクセレンス) などの他大学も本 SATREPS 事業の研究成果に関心を示していた。 <p>(事後評価時)</p> <ul style="list-style-type: none"> 日本の大学・研究機関と USTO-MB との協力関係は維持されており、砂と珪藻からのシリコン生産に関する共同研究が行われている。2019 年 11 月に USTO-MB で開催された再生可能エネルギーとエネルギー変換に関する国際会議に、日本人の教授とアルジェリアの研究者が共同で参加した。
---	---

出所：質問票及びインタビュー回答

3 効率性

事業期間は計画内どおりであったが、事業費は計画を上回った (計画比：それぞれ 100%、125%)。アウトプットは計画通り産出された。よって、効率性は中程度である。

4 持続性

【政策面】

エネルギー転換・再生エネルギー省により制定された「アルジェリアのエネルギー転換とエネルギー安全保障のための戦略的エネルギー研究とイノベーション計画」(2020年～2030年)では、再生可能エネルギーへの転換及び一層の省エネルギーの達成に向けた研究成果の統合を行うためのエネルギー安全保障分野における科学研究データベースの確立に重点を置いている。本SATREPS事業で得られた研究成果は、このデータベースに統合されることが予定されており、国家戦略計画の実施のために活用されることが期待されている。

【制度・体制面】

USTO-MB、サイダ大学、CDERアドゥラル、CRTSEは、本SATREPS事業の研究成果を活用する役割を担っている。本SATREPS事業の供与機材は、USTO-MB及びサイダ大学により稼働及び維持管理が行われている。アルジェリア国内の約100名の学生が本SATREPS事業と関連する研究活動を継続的に進めている。アルジェリア及び日本の大学との間の協力関係は、共同研究の推進という形で継続されている。また、政府機関と研究者との間の協調メカニズムが出来つつあり、再生可能エネルギー開発とエネルギー効率向上のためエネルギー・気候変動の専門家で構成される諮問委員会が設立される等、官学政策対話の強化が進められている。

【技術面】

USTO-MB 及びサイダ大学からの支援の下、研究者同士または外部人材との知識の交換・共有を行いながら、研究者は彼らの研究能力の維持及び向上に努めており、SATREPS 事業の研究成果を基に、しばしば、新たな研究プロジェクトも立ち上げられている。また、アルジェリアのいくつかの大学では、多くの修士及び博士論文のテーマとして SATREPS 事業の研究分野が取り上げられている。彼らは、大学に十分なエネルギーを供給し、さらに Sonelgaz (国営電力会社) の送電システムに接続するために、USTO-MB に大規模な太陽光発電システムを設置する研究を 2017 年 10 月提出の博士論文の枠組みで行った。WebELS 及びそのユーザー・マニュアルは活用されている。国内および国際的な大学および研究機関は、WebELS を使うことにより、インターネット通信速度が遅い地域でも、遠隔教育、オンライン会議、および国際会議を問題なく行うことができるなど恩恵を受けている。USTO-MB とサイダ大学の研究施設を運営・維持するためのスキルと知識は、専門的知識を有する人材の支援を受けながら、維持・改善されてきた。

【財務面】

本SATREPS事業の供与機材の最低限の維持管理に十分な費用は、USTO-MB及びサイダ大学の年間予算配分を通じて、高等教育科学研究省により配分されている。これらの実績から、運営維持管理予算については、今後数年間は確保される見通しである。しかしながら、本SATREPS事業に関連する研究のさらなる発展を考えると、長期的にはエネルギー転換・再生エネ

ルギー省や高等教育科学研究省による資金調達、あるいは国際協力プログラムなどによる追加的な財政支援を得ることが望ましい。

【評価判断】

本事業によって発現した効果の持続性は高い。

5 総合評価

本事業のプロジェクト目標は達成され、事業の成果は、本 SATREPS 事業の研究成果に基づいたソーラーブリーダの拡大に関する継続的な研究活動を通じて活用されてきた。効率性については、事業費が計画を上回った。以上より、本事業の評価は非常に高いといえる。

III. 提言・教訓

実施機関への提言：

- 本 SATREPS 事業の成果を維持するための予算はこれまで確保されているが、アルジェリア政府の再生可能エネルギー部門の開発に対する重要性、および新規プロジェクトでの成果の工業化の見通しを考えると、本 SATREPS 事業のインパクトの拡大のためには、研究成果の活用のために一層の財政的支援が推奨される。

JICA への教訓：

- アルジェリアと日本の研究者間の良好な関係構築のもと、アルジェリアの研究者は本 SATREPS 事業の成果を活用する意欲が高く、事業完了後も日本人研究者を含む関係者とのコミュニケーションを通じて、継続的な活用を達成している。主な理由は次のとおり。
 - 本 SATREPS 事業のみではなく JICA 課題別研修や文部科学省国費外国人留学生制度のような他の協力スキームによる研修プログラムの実施は、研究者相互の豊富な交流の機会を生み出した。
 - アルジェリアと日本の研究者との間で、定期的かつ遠隔的に研究結果を頻繁に共有及びする慣行を確立した。
 - ソーラーブリーダの開発におけるアルジェリアのサハラ砂漠がもつポテンシャルに注目した研究テーマは、日本の研究者だけでなく、炭化水素以外にエネルギー源を多様化することを目指すアルジェリア当局にとっても、非常に興味深いものであった。



ソーラーパネルの設置



アルジェリアのサハラ砂漠にあるアドゥラル（事業サイト）の視察