

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「低炭素社会の実現に向けたエネルギーシステムに関する研究」領域)

サハラを起点とするソーラーブリーダー研究開発

(アルジェリア)

平成 24 年度実施報告書

代表者：鯉沼 秀臣

東京大学大学院新領域創成科学研究科・客員教授

<平成 22 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本プロジェクトのねらいは、サハラをはじめとする不毛の砂漠をシリコン太陽電池の原料のシリカ(SiO_2)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+S i 太陽光発電所)の増殖的建設の可能性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出発点の構築にある。アルジェリア国土の多くを占める世界最大のサハラ砂漠を新エネルギー資源として活用し、太陽光発電所の増殖に基づく地球エネルギー新体系の基盤研究・人材開発の起点とすることを試みる。

本プロジェクトの進捗状況としては、効率の悪い現状シーメンス法にとって変わる新プロセス実験や WebELS システムの活用実験などを着実に進めている。本プロジェクトの理論計算のメンバーはこの水素ラジカルの利用によって Si 析出反応の反応効率が大幅に改善できることを熱力学計算の精密化を図り、より現実に即した計算をベースに最適化を進めた。弘前大学のグループは新型反応炉を利用して、シリカの直接還元を行い、シリコンを得ることに成功した。また、東大、東京理科大学ではサハラ砂漠のいろいろな地点の砂を入手し、各種分析装置で不純物濃度を解析するとともに、シリカの高純化 (B,P レベル 1 ppm 以下) を行った。また、USTO でも選鉱プロセスの開発を開始した。

JICA 予算調達備品のアルジェリアへの導入については、調達備品は順次海外へ発送手配済みであったが、折しもアルジェリア人質事件が発生したため、調達備品の移送が中断している状況にある。オランの危険度が引き下げられれば、直ちに再開できるように準備を進めている。アルジェリア人の日本への渡航には全く支障がないため、アルジェリア研究者が日本滞在中に研究を進めることを増強させてプロジェクトを進めていく。

2. 研究グループ別の実施内容

(1) 研究題目：砂漠からのシリコン原料供給に関する検討及び太陽電池パネル・高温超伝導ケーブルの基礎的データの収集:鯉沼秀臣 (東京大学 新領域創成科学研究科)

①研究のねらい

サハラをはじめとする不毛の砂漠をシリコン太陽電池の原料のシリカ(SiO_2)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+S i 太陽光発電所)の増殖的建設の可能性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。

②研究実施方法

Si 製造の熱力学的プロセスデザイン、砂の高純度化、砂漠の砂 (シリカ : SiO_2) を原料とする Si 還元プロセス技術の開発

③当初の計画 (全体計画) に対する現在の進捗状況

Si 製造の熱力学的プロセスデザインについては、可能性のあるプロセスについてのギブスエネルギーの計算を行い、水素ラジカルの有効性が確認された。

比重選鉱によって、砂漠の砂の分離条件の確立とその不純物分析を行った。

熱力学計算に基づいて、原料 (シリカ、カーボン) を交互積層し、高周波誘導加熱炉によりシリコン生成を確認した。

砂漠の砂のアルカリ溶解プロセスについて、砂の結晶性と溶解率の関係を明らかにし、溶解収率を向上するプロセスを開発した。

④カウンターパートへの技術移転の状況 (日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

アルジェリア側で必要としている設備と本プロジェクトの研究方向について、内容のすりあわせを行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

東日本大震災の影響で、予定していた青森県での国際会議の開催を延期・変更して愛知県で開催した。また、今年1月のアルジェリア・イナメナスのテロ事件による機材の輸送、日本側からの渡航禁止による JCC の延期、ADRAR 国際会議に出席できなかった。

（2）研究題目：WebELS をベースとした情報フレームと教育システムの構築（上野晴樹・国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系）

①研究のねらい

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工学教育・研究を行う。

②研究実施方法

WebELS システムを活用するインフラの構築として、日本-アルジェリア間での WebELS を使った遠隔会議の実証実験、これに基づく改良、および人材育成を進めつつあり、現地研究者グループと連携、JICA 短期研究員の受け入れ、USTO および Saida 大学に導入する WebELS サーバー・会議システムの調達を行った。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

ネットワークインフラのレベルが高くないアルジェリアとの WebELS システム構築には、一つ一つ問題点をつぶしていくことが肝要である。複数回の実証実験および改良を通して、有用性を確認できたが、アルジェリアのネットワークインフラが予想以上に悪いことが明らかとなり、この問題の解決が緊急を要するという事実を共有した。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

アルジェリアから若手 IT 研究者を JICA 短期研究員として受け入れ、9週間の集中研修を行い、その成果を国際会議投稿論文として纏めた。更に、SATREPS 枠の国費留学生候補として総合研究大学院大学を通して推薦中である。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

アルジェリア側で WebELS を使った e-Learning を推進するためにチームを構成してもらえたので、今後の連携がより期待できる。

（3）研究題目：シリコン還元プロセスにおける低エネルギー化と高収率化手法の開発（角谷正友・物質質・材料研究機構 光・電子材料ユニット ワイドギャップ機能材料グループ）

①研究のねらい

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研究実施方法

反応系に水素ラジカルを導入した新しい Si 還元プロセス技術について研究を進めている。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

パルス熱プラズマから発生した水素ラジカルを利用することで SiO₂ と炭素の混合体から Si が生成することを確認した。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

アルジェリア側のメンバーが 8 月に NIMS を訪問して、パルス熱プラズマ等の実験施設を見学して SiO₂ からの還元反応に関する議論を行った。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

パルス熱プラズマにより、Si を生成する上で水素ラジカル効果がテトラクロロシラン材料の方がトリクロロシランよりも大きいことを確認した。これは、別途再処理を必要とする副生成物を有効活用できる結果として重要である。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

- ① 本年度発表総数 15 件（国内 0 件、国際 15 件）
- ② 本プロジェクト期間累積件数（国内 3 件、国際 35 件）

(共同)

1. Koinuma H, Fujioka H, Hannachi S, Kitamura Y, Shimizu M, Kurokawa K, Stambouli A.B., "SSBFI: Sahara Solar Breeder Foundation, International", 2AJAS Proc in press
2. "Sahara solar breeder project" Koinuma H, Tsubouchi K, Itaka K, Stambouli A, McGraw-Hill Yearbook of Science and Technology in press
3. A. B. Stambouli, Z. Khiat, S. Flazi, and Y. Kitamura, "A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues", Renewable & Sustainable Energy Reviews, **16**(7), 4445-60, 2012.
4. A. B. Stambouli, H. Koinuma, "A primary study on a long-term vision and strategy for the realisation and the development of the Sahara Solar Breeder project in Algeria", Renewable & Sustainable Energy Reviews, **16**(1), 591-598, 2012.

(日本側)

1. M. Sumiya, T. Akizuki, K. Itaka, M. Kubota, K. Tsubouchi, T. Ishigaki, and H. Koinuma, "Effect of hydrogen radical on decomposition of chlorosilane source gases", accepted in J. of Phys. Conference Series
2. S. Chunwijitra, A. J. Berena, H. Okada, H. Ueno, "Advanced Content Authoring and Viewing Tools Using Aggregated Video and Slide Synchronization by Key Marking for Web-Based e-Learning System in Higher Education", IEICE Transactions on Information and Systems, 2012, accepted.
3. A. J. Berena, S. Chunwijitra, H. Okada, H. Ueno, "Shared Virtual Presentation Board for e-Meeting in Higher Education on the WebELS Platform," under publication review on Human-Centric Computing and Information Sciences, a Springer Open Journal. 2012. Under review
4. Harada, T; Ohkubo, I; Lippmaa, M; Sakurai, Y; Matsumoto, Y; Muto, S; Koinuma,

- H; Oshima, M, "*Large Tunnel Magnetoresistance in Epitaxial Oxide Spin-Filter Tunnel Junctions*", *Advanced Functional Materials*, **22**(21), 4471-75, 2012.
5. Fujimoto, E; Sumiya, M; Ohnishi, T; Lippmaa, M; Takeguchi, M; Koinuma, H; Matsumoto, Y, "*Development of a new laser heating system for thin film growth by chemical vapor deposition*", *Review Of Scientific Instruments*, **83**(9), 2012.
 6. Harada, T; Ohkubo, I; Lippmaa, M; Sakurai, Y; Matsumoto, Y; Muto, S; Koinuma, H; Oshima, M, "*Spin-Filter Tunnel Junction with Matched Fermi Surfaces*", *Physical Review Letters*, **109**(7), 2012.
 7. Sila Chunwijitra, Arjule John Berena, Hitoshi Okada, Haruki Ueno, "*Authoring Tool for Video-based Content on WebELS Learning System to Support Higher Education*", *JCSSE 2012*, May, pp 317 - 322, 2012.
 8. Haemori, M; Itaka, K; Yamaguchi, J; Kumagai, A; Yaginuma, S; Fukumoto, H; Matsumoto, Y; Yamamoto, T; Koinuma, H, "*Field-effect transistors of the block co-oligomers based on thiophene and pyridine*", *Thin Solid Films*, **520**(13), 2012.
 9. Shin, JM; Lee, HS; Cha, SY; Lee, S; Kim, JY; Park, N; Cho, YC; Kim, SJ; Kim, SK; Bae, JS; Park, S; Cho, CR; Koinuma, H; Jeong, SY, "*Strong ferromagnetism in Pt-coated ZnCoO: The role of interstitial hydrogen*", *Applied Physics Letters*, **100**(17), 4445-48, 2012.
 10. Seunghun Lee, Bum-Su Kim, Seung-Wan Seo, Yong Chan Cho, Sung Kyu Kim, Jong Pil Kim, Il-Kyung Jeong, Chae Ryong Cho, Chang Uk Jung, Hideomi Koinuma, Se-Young Jeong, "*A study of the correlation between hydrogen content and magnetism in ZnCoO*", *J. App. Phys*, **111**(7), 2012.
 11. Lee, S; Kim, WK; Cho, YC; Seo, SW; Bae, JS; Cho, CR; Koinuma, H; Jeong, SY, "*Ferromagnetic spin ordering in amorphous Co-doped InGaZnO based on the Co-H-Co complex*", *Epl*, **98**(1), 2012.
 12. Cho, YC; Lee, S; Nahm, HH; Kim, SJ; Park, CH; Lee, SY; Kim, SK; Cho, CR; Koinuma, H; Jeong, SY, "*Conductive and ferromagnetic contributions of H in ZnCoO using H-2 hot isostatic pressure*", *Applied Physics Letters*, **100**(11), 2012
 13. Y. Sakurai, I. Ohkubo, Y. Matsumoto, H. Koinuma, M. Oshima, "*Influence of substrates on epitaxial growth of B-site-ordered perovskite La(2)NiMnO(6) thin films*", *Journal of Applied Physics*, **110**(6), 2011.
 14. W. K. Kim, S. Lee, Y. C. Cho, H. Koinuma, S. Y. Jeong, J. M. Shin, C. R. Cho, J. S. Bae, T. Y. Kim, S. Park, "*Stable high conductive amorphous InGaZnO driven by hydrogenation using hot isostatic pressing*", *Applied Physics Letters*, **98**(12), 2011.
 15. S. Ito, T. Shimazaki, M. Kubo, H. Koinuma, M. Sumiya, "*Communication: The reason why +c ZnO surface is less stable than -c ZnO surface: First-principles calculation*", *Journal of*
 16. T. Harada, I. Ohkubo, M. Lippmaa, Y. Matsumoto, M. Sumiya, H. Koinuma, M. Oshima, "*Modulation of the ferromagnetic insulating phase in*

- Pr(0.8)Ca(0.2)MnO(3) by Co substitution*", *Physica Status Solidi-Rapid Research Letters*, **5**(1), 34-36, 2011.
17. Sila Chunwijitra, Arjulie John Berena, Hitoshi Okada, Haruki Ueno, "*Design of Suitable Meeting Management Model for WebELS Meeting to Meet the Business Situations*", *The First International Conference on Advanced Collaborative Networks, Systems and Applications (COLLA 2011)*, pp. 52-57, 2011
 18. Sila Chunwijitra, Arjulie John Berena, Hitoshi Okada, Haruki Ueno, "*Authoring Tool based on Flash Technology for WebELS Learning System to Support Higher Education*", *Technical Committee on Knowledge-based Software Engineering (KBSE)*, 2011
 19. A.J. Berena, S. Chunwijitra, H. Ueno, Z. He, P. Sriprasertsuk, "*e-Meeting Solution for Higher Education on the WebELS Platform*", *Proceedings of the International Conference on Education, Informatics, and Cybernetics 2011*, Orlando, Florida, November 29-December 2, 2011, ISBN-978-1-936338-44-3, pp.19-24.
 20. A.J. Berena, S. Chunwijitra, H. Okada, H. Ueno, "*Shared Virtual Presentation Board for e-Meeting on the WebELS Platform*", submitted to *Springer Open Journal - Human-centric Computing and Information Sciences* (under review).
 21. Zheng He, Haruki Ueno, *WebELS: A M-Learning System Based on WebELS System*, *Proceedings of The 4th International Conference on Computer Science and Software Engineering (CSSE 2011)*, 2011.
 22. Ueno, H., Berena, A.J., Sriprasertsuk, P., *Internet-based On-line Distribution of Conference by WebELS*, *Proceedings of 1st Asia-Arab Sustainable Energy Forum (AASEF)*, p.4., 2011.
 23. 上野晴樹、「グリーンAIの期待と課題—環境・エネルギーの視点から」、第25回人工知能学会全国大会論文集、3H1-OS6-5、pp.1-2, 2011 (招待講演)
 24. 上野晴樹、「クラウド型汎用e-LearningシステムWebELSによる国際会議のオンライン配信実験と評価」、*信学技報*, vol. 111, no. 316, AI2011-33, pp. 23-28, 2011年11月。
 25. 鯉沼秀臣、「地球を救う革新的材料技術—ゼロエクセルギー酸化物の化学とサハラソーラーブリーダー計画—」、*未来材料*、2010年11月号

(アルジェリア)

1. A. B. Stambouli, L. Patrick, and B. Alexandre, "PDE-Based Enhancement of Color Images in RGB Space", *IEEE Transactions on Image Processing*, **21**(5), 2500-12, 2012.
2. A. B. Stambouli, "*Algerian renewable energy assessment: The challenge of sustainability*", *Energy Policy*, **39**(8), 4507-4519, 2011.
3. A. B. Stambouli, "*Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives*", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, **15**(2), 1169-1181, 2011.
4. A. Meharrar, M. Tioursi, M. Hatti, A. B. Stambouli, "*A variable speed wind generator maximum power tracking based on adaptive neuro-fuzzy inference system*", *Expert Systems with Applications*, **38**(6), 7659-7664, 2011.

5. S. Bettahar, A. B. Stambouli, P. Lambert, "Numerical scheme for efficient colour image denoising", *Computers & Mathematics with Applications*, **61**(9), 2903-2913, 2011.
6. A. B. Stambouli, "Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives", *Renew Sust Energ Rev*, **15**, 1169-1181, (2011).
7. F. Z. Zerhouni, M. H. Zerhouni, M. Zegrar, M. T. Benmessaoud, A. B. Stambouli, A. Midoun, "Proposed Methods to Increase the Output Efficiency of a Photovoltaic (PV) System", *Acta Polytech Hung*, **7**, 55-70, (2010).
8. F. Z. Zerhouni, M. Zegrar, M. T. Benmessaoud, A. B. Stambouli, A. Midoun, "Optimum Load Matching by an Array Reconfiguration in Photovoltaic Generators", *Energ Fuel*, **24**, 6126-6130, (2010).
9. M. T. Benmessaoud, F. Z. Zerhouni, M. Zegrar, A. B. Stambouli, M. Tioursi, "New approach modeling and a maximum power point tracker method for solar cells", *Comput Math Appl*, **60**, 1124-1134, (2010).

(2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 (国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数 (国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 研究題目: 砂漠からのシリコン原料供給に関する検討及び太陽電池パネル・高温超伝導ケーブルの基礎的データの収集

① 研究者グループリーダー名: 鯉沼秀臣 (東京大学 新領域創成科学研究科・客員教授)

② 研究項目

- ・ 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。
- ・ 砂を原料とする Si 製造のテストプラント構築とアルジェリア側 Si 還元プロセスの確立。
- ・ 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。
- ・ 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の提示
- ・ サハラソーラーエネルギー技術開発ワークショップの開催 (日本・アルジェリア交互: 2011-2016)

(2) 研究題目: 高純度シリカから太陽電池級シリコンへ還元するプロセスの開発

① 研究者グループリーダー名: 伊高健治 (弘前大学 北日本新エネルギー研究所・准教授)

② 研究項目

- ・ 高純化したシリカ (SiO₂) を原料とする Si 還元プロセス実験室技術
- ・ アルジェリアに導入するシリコン還元用装置の設計とアルジェリア側 Si 還元プロセスの確立

(3) 研究題目: WebELS をベースとした情報フレームと教育システムの構築

① 研究者グループリーダー名: 上野晴樹 (国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系・名誉教授)

② 研究項目

- ・ 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。

(4) 研究題目:シリコン還元プロセスにおける低エネルギー化と高収率化手法の開発

① 研究者グループリーダー名:角谷正友 (物質・材料研究機構次世代太陽電池センター・主幹研究員)

② 研究項目

- ・ シリコン還元プロセスにおける低エネルギー化と高収率化手法を開発する。

以上