

戦略的国際科学技術協力推進事業
日本－中国 研究交流
研究課題「太陽光熱複合発電における高効率
熱利用のための熱電材料開発とシステム評価」

研究終了報告書

研究交流期間 平成20年1月～平成23年3月

研究代表者：新野正之
((財)航空宇宙技術振興財団、参与)

1. 研究・交流の目的

本研究は、高効率熱電材料の研究成果を基にモジュール化を図り、評価システムによるフィールド試験を行い、熱電材料および光熱複合利用についての知見を得て、太陽エネルギーの高効率利用技術の展開に資することを目的とする。具体的には、日本側の太陽光追尾技術および太陽光熱複合発電性能評価手法と、中国側の熱電材料研究および熱電モジュール製作技術を組み合わせ、試験システムを製作して、日本・中国双方においてフィールド試験を実施した。

2. 研究・交流の方法

2. 1. 主に日本側チーム担当の研究

太陽熱利用システムの研究開発（設計・試作）を行った。当初、中温用熱電発電器（高温側 500℃、低温側 200℃）を組み込み、排熱を給湯用に蓄熱し、熱交換器を介して給湯するものとする予定であったが、中温用モジュール開発の進捗が芳しくなく、低温用熱電モジュールのみによるシステムに変更した。波長選択ミラーによる可視光成分の選択と太陽電池による光電変換については、システム効率の向上が見込める反面、コストの増大が当研究の遅滞に繋がることから見送ることとした。集光部における防汚／耐候性向上を目的とした光触媒に関する知見を得るために、追尾架台上にサンプルを固定した曝露試験を実施した。

2. 2. 主に中国側チーム担当の研究

中国側チームは、中温用熱電材料としてスクッテルダイト系熱電材料の研究を基に高効率中温用熱電発電モジュール開発を行った。日本側チームで設計した熱利用システムの集熱体仕様（サイズ、動作温度、入熱量）に応じて、モジュール化を図った。また、200℃程度の熱源に使用可能な低温用熱電モジュールを日本側のシステムに適合するように設計・製作した。実証試験を乾燥地域において実施した。また、日本で開発したシステムをベースとした大型複合発電システムを設置し、中国に於ける同システムの普及促進を図ることとした。

2. 3. 研究交流の経過

2008年1月～3月

・キックオフミーティングを開催し日中双方の材料技術研究／複合発電システム開発の連携の仕方、体制、開発スケジュールについて全体計画を策定した。

2008年4月～2009年3月

・研究交流ミーティング（中国側訪日2回／日本側訪中1回）、毎月1～2回の頻度で日本側チームにおける打ち合わせを行い、各研究者の分担箇所の進捗報告および研究予定について調整してきた。

・材料技術の研究→中温熱電材料の高性能化研究を継続するとともにシステム側からの熱工学設計要求に基づきモジュール化に向けて検討を開始した。防汚／耐候用光触媒膜の検討については、集光方式の変更にともない、フレネルレンズ表面への加工が対象となった。

・複合発電評価試験→低コスト追尾装置の試作・動作試験、熱利用システムの第一次試作、基礎試験を行うとともに装置改修と再構築について、双方の予算を見据えて本事業で可能な範囲・規模を詳細に検討した。

2009年4月～2010年3月

・研究交流ミーティング（日本側訪中1回）、ワークショップ（中国側訪日1回）、毎月1～2回の頻度で日本側チームにおける打ち合わせを行い継続して日中間の研究調整を実施した。

・材料技術の研究→モジュール評価とフィードバック。4個の中温用熱電モジュール試作品が中国側から提供されたが、酸化による劣化で所定の出力は確認されなかった。低温用熱電モジュールについては、前年度に要求仕様を中国側に提示しており、製作された100個が大幅に遅れ12月に提供された。

・複合発電評価試験→中国側から提供された低温用熱電モジュールをシステムへの組み込み試験運転を開始する。それに合わせワークショップを開催し武漢理工大学の研究者と今後の研究計画について議論した。日本・中国双方でフィールド試験を行うが、中国での試験では、以前の協力事業（JST-NFSC 戦略国際 2005～2007）で製作して内モンゴル自治区烏海市に設置してある太陽追尾式発電システムを改造して実施することとした。

2010年4月～2011年3月

・研究交流ミーティングを継続するとともに当初1月に日本側5、6名程度で訪中する予定であったが、装置の改良などに予算を割いたため、3月に中国側の招聘により1名のみが訪中し最終の意見交換、プロジェクト進捗の総括を行った。

材料技術の研究→日本側の評価試験を受け改良を施し複数モジュールを組み込んだ発電ユニットに於いて所定の性能8%が確認された。

・複合発電評価試験→以前の研究交流事業の際に製作して設置した太陽光熱複合発電システム用の追尾架台を日本側が出向き部分改造を施して使用した（日中両国チーム共同）。詳細なデータ解析は、東日本大震災のため、調整や試験の実施が事業終了に間に合わなかった。並行して武漢理工大学は5kW級の実用型太陽光熱複合発電システムを製作、設置完了した。太陽複合発電とバイオ燃料を組み合わせることにより夜間でのエネルギー不足を補完する新しいシステムの検討を行い中国側に提案した。

3. 研究・交流実施体制

3.1 日本側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) 新野正之	(財)航空宇宙技術振興財団	参与	工博	研究統括
(研究者) 鈴木一行	(財)航空宇宙技術振興財団	課長	工博	熱電モジュール評価
(研究者) 木皿且人	(独)宇宙航空研究開発機構	主任 研究員		評価システム検討・設計
(研究者) 石川東一郎	(独)宇宙航空研究開発機構	研究員		評価システム検討・試験
(研究者) 矢野歳和	宮城大学食産業学部	教授	工博	熱工学検討・設計
(研究者) 高見和之	宇部日東化成(株)	主任 研究員	博士 学術	光触媒技術
(研究者) 長山博幸	(株)三菱総合研究所	室長	工修	社会性調査
(研究者) 遠藤長司	(財)航空宇宙技術振興財団	専務 理事		プロジェクト統括

3.2 相手国側

氏名	所属	役職	学位	役割
(リーダー) 張 清杰	武漢理工大学	副校長 ・教授	工博	研究統括

(研究者) 唐 新峰	武漢理工大学 新材料研究所	所長 ・教授	工博	熱電材料研究
(研究者) 翟 鵬程	武漢理工大学工学部	教授	工博	熱電材料作製プロセス
(研究者) 李 鵬	武漢理工大学工学部	副教授	工博	システム評価試験
(研究者) 沈 強	武漢理工大学工学部	教授	工博	熱電材料研究
(研究者) 趙 文俞	武漢理工大学工学部	教授	工博	熱電材料研究
(研究者) 李 如強	武漢理工大学工学部	副教授	工博	機械設計
(研究者) 易 法軍	武漢理工大学工学部	副教授	工博	構造力学評価
(研究者) 姜 从盛	武漢理工大学工学部	研究員	工博	熱電材料研究
(研究者) 陳 立東	中国科学院 上海硅酸塩研究所	副所長 ・教授	工博	熱電モジュール開発
(研究者) 江 莞	中国科学院 上海硅酸塩研究所	教授	工博	熱電モジュール開発

4. 研究成果

4. 1 研究成果の自己評価

- 計画以上の成果がでた 計画通りの成果がでた
 計画とは異なるが有益な成果がでた 計画ほどの成果はでなかった
 いずれでもない

4. 2 研究成果の自己評価の根拠

A) 材料技術の研究成果

- ・中温用熱電発電材料の研究開発については、これまでに武漢理工大学にて行われてきた材料研究を継続して、その成果を上海硅酸塩研究所でのモジュール化につなげることを目的として、研究が実施された。日本側での評価試験を基に上海硅酸塩研究所で改良が施されて、複数モジュールを組み込んだ発電ユニットに於いて所定の性能 8%が確認された。
- ・太陽追尾式熱電発電システムに用いるための低温用熱電モジュールについては、要求仕様を中国側に提示して、製作された 100 個が提供された。低温用熱電モジュールを発電ユニットに組み込んだ時の発電効率は 3~4%で、100 個からの出力は約 120W である。

B) 複合発電システムの研究成果

- ・太陽光を追尾して、フレネルレンズで集熱体に集光し、熱電モジュールで発電する試験システムを製作した。日本側では宮城大と内モンゴル自治区烏海市に設置した（後者は以前の事業（JST-NFSC 戦略国際 2005~2007）の装置の改良）。太陽熱のみによる熱電発電の実証試験は世界初の試みであった。日本側での試験用システムについては、装置の大部分ができた 2010 年 2 月 8 日の宮城大に於けるワークショップの時点で、プレス発表（NHK、

民放の地元各局と新聞各社)を行い大きな反響を得た。また、月刊誌「OHM」2011年2月号(オーム社)では、熱電発電特集が組まれて、太陽エネルギー利用の有力な実証事例として表紙写真や記事中で本システムが紹介された。

・武漢理工大学に於いては研究の成果を基に添付写真に示す5kW級の実用型太陽光熱複合発電システムを製作、設置済みであり、5月以降に予定されている今後の実証運転の結果が期待される。

・本研究では、低コストで製作できる太陽光追尾装置の設計も重要な要素であった。まず、2007年から敷地の一部を無償で借用できた宮城県利府町役場において、太陽電池パネルを搭載した現行型追尾装置の運用試験を続け、細部の改良を施したものを宮城大学に設置して熱電発電ユニットを搭載した。

・この太陽光追尾装置の実績に注目した利府町が、役場庁舎での太陽光発電システムとして本設計を用いた太陽光追尾式を選択して、22基(太陽電池44kW分)を導入した。利府町では、町の環境対策事業として広報にも力を入れた結果、各方面から大きな反響を得ている。当装置は今回の東日本大震災の際もなんら被害を受ける事無く発電を続け系統電力が遮断されている庁舎に電気を供給し続け独立分散型発電システムの威力を発揮している。

C) 総合的な成果のまとめ

・低温用熱電モジュールを発電ユニットに組み込んだ時の発電効率は3~4%で、100個からの出力は約120Wである。この効率・出力はおおよそ初期の予定通りである。中温用熱電モジュールは複合発電システムへの組み込みまでは至らなかったものの小型発電ユニットに於いては当初の目標である8%を達成した。

・光量差分センサーによるターンテーブル2軸駆動太陽光追尾装置を低コストかつ高信頼性を意図して設計・製作・運用した結果、本研究の実施に有益な装置としてだけでなく、太陽光発電システムに関わる新規事業の展開に大きく寄与することとなった。

・中国側では、今回の共同研究による5kW級の実証機開発を経て太陽光・熱の複合利用を目指した大型研究開発プロジェクト(100kW級)として展開しようとしている。

4. 3 研究成果の補足

・防汚/耐候性光触媒膜の検討については、光触媒コートサンプルを数種の比較用サンプルと同時に太陽光追尾架台に搭載して曝露試験を実施した。効果の確認には長期間を要するため、今後も継続していきたい。

・装置メーカーも販売会社とともに震災に強い再生エネルギー利用の分散型発電システムとして営業活動を展開している。

・太陽の光と熱の複合利用の概念が今後の地球温暖化に向けた学校教育に活用出来るとして地元ベンチャー企業が商品化(商品名;ソーラーツインザラス)に着手している。

5. 交流成果

5. 1 交流成果の自己評価

- 計画以上の交流成果がでた 計画通りの交流成果がでた
 計画ほどの交流が行われなかったが成果はでた
 計画ほど交流成果がでなかった
 いずれでもない

5. 2 交流成果の自己評価の根拠

A) 調整会議、ワークショップ等の開催の実績と成果

・2008年6月に上海および西安において、中国側チームの研究者との調整会議を行い、太陽光追尾システムの開発、中温モジュール開発と全体計画の調整について議論した。

・2008年9月には、武漢理工大学の研究者が来日して、仙台において開催された傾斜機能

材料 (FGM) 国際シンポジウムにおいて成果報告を行った。またその後、宮城県利府町に設置した追尾型太陽光発電システムを視察するとともに、ワークショップ形式での進捗報告を行い今後のスケジュールの調整を行った。

- ・2008年12月には、上海硅酸塩研究所の研究者が来日して、熱電発電モジュールの開発の具体的プロセスについて意見交換を行った。
- ・2009年10月に武漢において、中国側チームの研究者との調整会議を行い、双方の研究進捗の報告をするとともに仙台に於ける次回ワークショップ開催の企画内容を討議した。
- ・2010年2月には、武漢理工大学の研究者が来日して、宮城大学に設置されている新型の追尾型太陽熱発電システムを視察するとともに、ワークショップ形式での進捗報告を行い、それを基に今後のスケジュールの調整を行った。
- ・2010年9月には日本・中国双方の研究者が内モンゴル自治区烏海市に設置してある太陽追尾式発電システムの改修工事を実施した。

B) 研究交流により得られた成果のまとめ

- ・中国側で製作した太陽光複合発電システムは、日本側の基本概念を基に簡素化・大型化した5kW級システムであり、国策として太陽熱利用を進める中国での実用化が期待される。

5. 3 交流成果の補足

- ・中国側の得意とする低コストの低温用熱電発電モジュールと日本独自のシステム概念が融合し世界初の太陽光・熱複合発電システムを実現させた。
- ・中温用熱電モジュールについては、日本側の評価試験を基に実験室規模の小型発電ユニットに於いて当初の目標である8%を達成し熱電技術の実用化に明るい見通しを与えた。
- ・中国側では、中国版 NEDO プロジェクトとして大型研究開発プロジェクト (100kW 級) を展開しようとしている。
- ・今回の成果がエジプトでの太陽エネルギー利用に評価される等、太陽の光、熱複合利用の概念が今後の地球規模の展開に繋がっていることが期待される。
- ・日中双方に大学等の研究機関が参画しておりこれまでに多くの学生が研究に従事している。これらの人材が今後の日中交流の礎になってくれるものと期待される。

6. 主な論文発表・特許出願

論文 or 特許	・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年 ・特許の場合： 知的財産権の種類、発明等の名称、出願国、出願日、 出願番号、出願人、発明者等	特記 事項
特許	特許権、二重差分式太陽光入射方向検出機構、日本、平成20年6月3日、 特願2008-145420、財団法人航空宇宙技術振興財団、新野正之、鈴木一行、 木皿且人、石川東一郎	
論文	木皿且人、石川東一郎、吉田裕之、鈴木一行、太陽追尾装置に用いる差分 式太陽位置検出アルゴリズムの追尾精度に関する検討、太陽／風力 エネルギー講演論文集、p403、2010	
論文	Toshikazu Yano, Kana Hoyama, Satoru Suginome, Yuki Ishii, Takahiro Orikasa, Masayuki Niino, Kazuyuki Suzuki, Katsuto Kisara and Toichiro Ishikawa, COMBINED SYSTEM BOTH HEAT AND ELECTRIC POWER UTILIZING WOOD BIOMASS, THERMOELECTRIC CONVERTER AND SOLAR ENERGY, Proceedings of the International Conference on Renewable Energy 2010, 27June-2July, Pacifico Yokohama, Japan, O-He-1-6, 2010	