

戦略的国際共同研究プログラム(SICORP)

日本－中国共同研究

終了報告書 概要

1. 研究課題名：「集光型太陽光システムとその排熱利用潜熱分離空調の研究開発」
2. 研究期間：2016年8月～2019年3月
3. 主な参加研究者名：
日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	党 超鋌	准教授	東京大学大学院新領域創成科学研究科	研究の取りまとめ
主たる共同研究者	飛原 英治	教授	東京大学大学院新領域創成科学研究科	システムの全体設計
主たる共同研究者	高尾 幸来	教授	福岡大学工学部	フィールド試験の実施と評価
主たる共同研究者	坂東 茂	主任研究員	電力中央研究所社会経済研究所 (東京大学大学院新領域創成科学研究科客員准教授)	スマートグリッドに適合する発電・熱利用システムの知能制御手法
研究参加者	齋藤 静雄	助手	東京大学大学院工学研究科	太陽電池冷却器の開発
研究参加者	東 朋寛	博士学生	東京大学大学院新領域創成科学研究科	デシカント空調開発
研究期間中の全参加研究者数			6 名	

中国側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Yuyan JIANG	Professor	Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences	研究の取りまとめ
主たる共同研究者	Shangfeng WANG	Professor	South China University of Technology	冷却器と蓄熱システムの設計
主たる共同研究者	Song GAO	Senior Researcher	China Architecture Design and Research Group	フィールド試験実施
研究参加者	Dazhong YUAN	Associate Professor	Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences	太陽光集光システムの設計
研究参加者	Jianghong WU	Professor	South China University of Technology	吸着冷凍機的设计
研究参加者	Chaohong GUO	Associate Professor	Institute of Engineering Thermophysics,	

			Chinese Academy of Sciences	
研究期間中の全参加研究者数		6 名		

4. 国際共同研究の概要

本研究は、高集光倍率太陽光発電システムの開発とその排熱を有効利用することで、発電効率26%、総合利用効率70%、有効利用効率45%以上を実現可能な太陽エネルギー利用システムの開発と、快適な室内温・湿空間を実現する。また、スマートグリッドに適合する発電・熱利用システムの知能制御手法の開発と10kW/100kW級のデモ用システムの構築、長期運転性能の検証を行い、将来の大規模な普及により更なる省エネルギー効果が期待される。

研究開発には、下記の項目を中心に行う。

- ・ マイクロチャネル・高効率なヒートパイプ技術を駆使した高性能な太陽電池冷却技術の開発による高倍率集光発電の実現。
- ・ 太陽電池の確実な冷却と高効率な熱回収による発電・熱同時利用システムの実現。
- ・ カスケード利用可能な吸着冷凍機とデシカント空調用の最適な吸着材の開発とシステムの最適化。
- ・ 低温排熱駆動可能なデシカント空調の開発とデシカント空調・ヒートポンプハイブリッドシステムの開発による潜顕熱空調の実現。
- ・ スマートグリッドのデマンドレスポンスに適する太陽光コージェネレーション
- ・ システムの動的な運転特性の把握と天候予測情報を用いた最適運転手法の確立。

日本側は、マイクロチャネル冷却器と太陽熱利用空調システムの開発経験を活かして、高性能な太陽電池冷却技術の開発とデシカント空調用の最適な吸着材利用法の開発とシステムの最適化を行う。またスマートグリッドに適合する発電・熱利用システムの知能制御手法も開発する。中国側は高熱流束冷却技術とヒートパイプ技術が得意なため、中規模な太陽光発電システムの開発と蓄熱・吸収冷凍機システムの最適化および実証実験を行う。

5. 国際共同研究の成果

5-1 共同研究の学術成果

本研究は、高集光倍率太陽光発電とその排熱を有効利用するシステムの開発を目的としている。日本側は、新しい技術の開発の観点から、ディッシュ型の高集光倍率集光器と高熱流束対応二相流マイクロチャネル冷却器の開発を中心に研究を行った。また、高温回収排熱利用小型デシカント空調などの開発により、目標の発電効率26%、総合利用効率70%、有効利用効率45%の実現と快適な温・湿空間の創出は概ね達成出来た。同時に、中国側はより実用に近いフレネルレンズ型集光システムの開発と蓄熱・吸収冷凍機システムの最適化および実証実験を行い、それぞれの開発目標達成のめどが立った。

5-2 国際連携による相乗効果

研究計画の策定段階、率直な意見交換によりそれぞれの強みを引き出し、最終目標を共有しながらそれぞれの実力と経験を生かすような計画を作成した。研究の前段階、研究訪問及びインターネットの会話システムによる個別交流により、日本側は中国側に対して太陽光発電・熱回収コージェネレーションシステムの構成、熱駆動空調システムのメカニズムと解析手法、高性能デシカント材の開発及び相変化伝熱技術などの助言を行った。中国側は人材派遣により、日本側の研究に直接貢献した。また、共同に国際ワークショップの実施など、多国間協力と交流の基盤を構築し、もっと広い範囲での二国間の技術者同士の

研究交流を実現できた。双方の参加する若い研究者の国際意識の醸成と研究能力の向上にも貢献している。

5-3 共同研究成果から期待される波及効果

太陽光のコージェネレーション利用手法の開発は、幅広い分野の知識の活用と多くの新規開発が必要である。本研究での成果は、太陽エネルギー利用拡大のみならず、幅広い分野の活用と新規分野の開拓に役に立つ。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
Japan—China Joint Research Program
Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Research of Concentration Photovoltaic System Combined with Efficient Waste-Heat Driving Air-Conditioning System 」
2. Research period : Aug. 2016 ~ Mar. 2019
3. Main participants :
Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Chaobin Dang	Associate Professor	Graduate School of Frontier Science, The university of tokyo	Manage the entire research project
Co-PI	Eiji Hihara	Professor	Graduate School of Frontier Science, The university of tokyo	Overall design of the system
Co-PI	Kourai Takao	Professor	Faculty of Engineering, Fukuoka University	Conduct the field test
Co-PI	Shigeru Bando	Chief Researcher	Central Research Institute of Electricity Research Institute of Social Economics	Intelligent control method of power generation and heat utilization system adapted to smart grid
Collaborator	Shizuo Shitoh	Assistant Professor	Faculty of Engineering, the University of Tokyo	Development of solar cell cooler
Collaborator	Tomohiro Higashi	Doctoral student	Graduate School of Frontier Science, The university of tokyo	Desiccant air conditioner
Total number of participants throughout the research period: 6				

China-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Yuyan JIANG	Professor	Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences	Manage the whole project
Co-PI	Shangfeng WANG	Professor	South China University of Technology	Cooler and heat storage system design
Co-PI	Song GAO	Senior Researcher	China Architecture Design and Research Group	Conduct field test
Collaborator	Dazhong	Associate Professor	Institute of Engineering	Design of solar light collection system

	YUAN		Thermophysics, Chinese Academy of Sciences	
Collaborator	Jianghong WU	Professor	South China University of Technology	Design of adsorption refrigerator
Collaborator	Chaohong GUO	Associate Professor	Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences	Design of heat pipe cooler
Total number of participants throughout the research period:				6

4. Summary of the international joint research

In this research, development of a solar energy utilization system capable of achieving 26% power generation efficiency, 70% overall utilization efficiency, and 45% or more effective utilization efficiency by developing a high concentration solar power generation system and effectively utilizing its waste heat to achieve a comfortable indoor temperature and humidity environment. In addition, development of intelligent control method of power generation and heat utilization system suitable for smart grid, construction of demonstration system of 10kW / 100kW class, verification of long-term operation performance, further energy saving effect by future large-scale spread is expected.

Research and development will focus on the following items.

- ・ Realization of high-power concentrated power generation through the development of high-performance solar cell cooling technology that makes full use of microchannels and highly efficient heat pipe technology.
- ・ Realization of photovoltaic and heat cogeneration system by reliable cooling of solar cells and high efficiency heat recovery.
- ・ Development and system optimization of optimal adsorbents for cascaded adsorption refrigerators and desiccant air conditioning.
- ・ Development of latent air conditioning by development of desiccant air conditioning that can be driven by low temperature exhaust heat and development of desiccant air conditioning and heat pump hybrid system.
- ・ Solar cogeneration suitable for demand response of smart grid
- ・ Establish dynamic operating characteristics of the system and establish optimal operation method using weather forecast information.

The Japanese side will develop high-performance solar cell cooling technology, develop optimum adsorbent usage for desiccant air conditioning, and optimize the system, making use of the development experience of microchannel cooler and solar thermal air conditioning system. We will also develop intelligent control methods for power generation and heat utilization systems that fit smart grids. As the Chinese side is good at high heat flux cooling technology and heat pipe technology, development of medium-scale solar power generation system and optimization and demonstration experiment of heat storage and absorption refrigerator system will be conducted.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

The purpose of this study is to develop a system that makes effective use of high concentration solar power and its waste heat. From the viewpoint of development of new technologies, the Japanese side focused on the development of a high-condensing light collector with a dish type solar concentrator and a two-phase flow microchannel cooler

compatible with high heat flux. In addition, development of high-temperature recovery waste heat utilization small desiccant air conditioning etc. has achieved. The target of Japanese side is the creation of a comfortable temperature and humidity space with the realization of the target power generation efficiency 26%, total utilization efficiency 70%, effective utilization efficiency 45%. At the same time, the Chinese side designed a more practical Fresnel lens type solar tracing and collection system, at the same time designed and optimized heat storage and absorption chiller system.

5-2 Synergistic effects of the joint research

At the planning stage, we made efforts to draw out each strength by heart-to-heart discussions, and to generate plans that harness each ability and experience while sharing the final goal. The Japanese side provided advice to the Chinese side on the design principle of the solar power generation and heat recovery cogeneration system, the mechanism and analysis method of the heat-driven air conditioning system, and the development of high performance desiccant material through research visit and individual exchange by the internet communication system. The Chinese side directly contributed to the Japanese side's research by dispatching human resources. In addition, we have established a platform for multilateral cooperation and exchange, such as the implementation of an international workshop jointly, and we have been able to realize research exchanges between engineers from a wider range of countries. It also contributes to fostering international awareness and improving research capabilities of young researchers who participate in both sides.

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

The development of solar cogeneration applications requires the use of a wide range of knowledge and many new developments. The results of this research will be useful not only for expanding solar energy utilization, but also for the utilization of a wide range of fields and the development of new fields.

共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文（相手側研究チームとの共著論文）

・査読有り：発表件数：計 3 件

- (1) Tengqing Liu, Shuangfeng Wang, Yansheng Xu, Chaobin Dang, " Experimental investigation of mass flow rate difference between forward flow and reverse flow of sub-cooled R-22 through stepped short tube orifices ", *Applied Thermal Engineering*, 124, 1292-1300, (2017)
- (2) Sihui HONG, Yongle TANG, Chaobin DANG, Shuangfeng WANG, Experimental research of the critical geometric parameters on subcooled flow boiling in confined microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116, 73-83 (2018)
- (3) Sihui Hong, Siqiang Jiang, Yanxin Hu, Chaobin Dang, Shuangfeng Wang, Visualization investigation of the effects of nanocavity structure on pool boiling enhancement, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 136, 235-245 (2019)

・査読無し：発表件数：計 0 件

*原著論文（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文）：発表件数：計 6 件

・査読有り：発表件数：計 6 件

- (1) Zuozhou Chen, Akihiko Shimizu, Eiji Hihara, Chaobin Dang, " Experimental Investigation on Characteristics of Shock Wave Inside Ejectors", *日本冷凍空調学会論文集* 33 (1) (2016)
- (2) Zuozhou CHEN, Chaobin DANG, Eiji HIHARA, Investigations on driving flow expansion characteristics inside ejectors, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 108, Part A, 490-500, 2017
- (3) Zuozhou CHEN, Xu JIN, Akihiko SHIMIZU, Chaobin DANG, Eiji Hihara, " Effects of the nozzle configuration on solar-powered variable geometry ejectors ", *Solar Energy*, 150, 275-286 (2017)
- (4) Zuozhou CHEN, Xu JIN, Chaobin DANG, Eiji HIHARA, " Ejector performance analysis under overall operating conditions considering adjustable nozzle structure *International Journal of Refrigeration* ", *International Journal of Refrigeration*, 84, 274-286 (2017)
- (5) Higashi Tomohiro, Zhang Li, Saikawa Michiyuki, Dang Chaobin, and Hihara Eiji, Theoretical and experimental studies on isothermal adsorption and desorption characteristics of a desiccant-coated heat exchanger, *International Journal of Refrigeration*, 84, 228-237 (2017)
- (6) Juan Shi, Gonghang Zheng, Zhenqian Chen, Chaobin Dang, Experimental study of flow condensation heat transfer in tubes partially filled with hydrophobic annular metal foam, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, In Press (2019)

・査読無し：発表件数：計 0 件

*その他の著作物（相手側研究チームとの共著総説、書籍など）：発表件数：計 0 件

*その他の著作物（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など）：発表件数：計 0 件

2. 学会発表

*口頭発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 0 件（うち招待講演：0 件）

*口頭発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 10 件（うち招待講演：1）

*ポスター発表（相手側研究チームとの連名発表）

発表件数：計 0 件

*ポスター発表（相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表）

発表件数：計 0

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

2017年8月16日～20日：中国側PI Jiang 教授と日本側PI 党超鋌氏と共同委員長を務めたクリーンエネルギー利用伝熱問題の国際ワークショップ（International workshop on heat transfer in green energy utilization）を中国科学院にて開催した。日本側 Co-PI 飛原英治氏（東京大学）により基調講演を行い、日本側で行っている高倍率発電、発電・熱利用コージェネレーションシステムの開発状況を紹介した。そのほか、米国からヒートパイプの権威 Amir Faghri 教授（University of Connecticut）、日本から凝縮伝熱の専門家宇高義男教授（横浜国立大学）、中国から太陽熱利用の権威 Chongfang Ma 教授（北京工業大学）による基調講演を行い、中国の若い研究者約 40 名による研究発表を行った。参加者は 100 名を超える。

4. 研究交流の実績

短期人材交流訪問

2017年7月1日～8日1日：中国側 Co-PI Wang 教授（華南理工大学）は東京大学一ヶ月訪問した。

2017年7月30日～8月3日：日本側PI 党超鋌氏（東京大学）が中国科学院工程熱物理研究院を訪問し、高倍率集光発電技術、熱利用ヒートポンプ技術についての研究交流を行った。

2017年8月16日～8月20日：日本側PI 党超鋌氏（東京大学）が中国科学院工程熱物理研究院を訪問し、中国側PI Jiang 教授と共同主催するクリーンエネルギー利用伝熱問題の国際ワークショップの準備状況の打合せを行った。

2017年10月27-28日：中国側PI Jiang 教授は東京大学訪問し、双方の研究進捗について意見交流を行った。

2018年3月20日～21日、日本側PI 党超鋌氏（東京大学）が華南理工大学を訪問し、華南

理工大学担当の蓄熱システム及び吸着冷凍機の進捗状況についての意見交流を行った。

長期人材交流訪問

2017年3月8日～5月8日：中国側 co-PI Wang 教授（華南理工大学）が JSPS のサポートで客員研究員として東京大学 2 ヶ月滞在し、相変化伝熱の理論解析と実験計測手法について共同研究を行った。

2017年4月1日～2018年1月10日：中国側共同研究者 Cong Guo 博士を日本側の経費で1年雇用し、高熱流束冷却器の開発に従事していた。

2018年10月1日から2年間：中国側 co-PI Wang 教授（華南理工大学）の推薦により、洪思慧博士（華南理工大学）が JSPS の外国人特別研究員プロジェクトのサポートで2年間東京大学にて高熱流束冷却器の開発に従事している。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数：0 件

6. 受賞・新聞報道等

特になし

7. その他

特になし

以上