

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：「高効率熱電変換による LNG 冷熱回収技術の開発」
2. 研究期間：令和元年 4 月～令和 4 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	李 哲虎	首席研究員	産業技術総合研究所	研究統括
研究参加者	山本 淳	総括研究主幹	産業技術総合研究所	モジュール作製
研究参加者	村田 正行	主任研究員	産業技術総合研究所	モジュール評価
研究期間中の全参加研究者数			9 名	

相手側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Miao Lei	Professor	Guangxi University	熱電材料開発
主たる共同研究者	Zhu Yu	Professor	Tianjin University,	熱電モジュール評価
主たる共同研究者	Wei He	Professor	Tianjin University of Commerce	発電システム開発
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、利用されず捨てられている LNG ガスの冷熱を電気に変換する熱電変換技術を確立することにより、省エネルギー化に貢献することを目的とする。そのため、中国グループの高性能熱電材料と産総研のモジュール開発技術を組み合わせ、国際共同研究を推進した。熱電モジュールは p 型と n 型の半導体が必要とする。本研究課題では、中国グループにて室温以下で高い性能を示す p 型と n 型の熱電材料の開発に成功した。産総研にて、それらの材料に対する電極の形成技術を開発し、界面抵抗の低い接着を得ることに成功した。さらに、これらにより得られた素子を用いて、室温以下にて高い発電性能を示す熱電モジュールの開発に成功した。また、低温発電システムのプロトタイプの開発にも成功した。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

熱電モジュールは p 型と n 型の半導体を必要とする。本研究課題では中国グループが低温で高い熱電性能を示す p 型及び n 型の材料を開発した。日本グループはこれらの材料に電極を形成し、熱電モジュールを組み上げ、性能評価を行った。その結果、開発したモジュールは高温側 300K、低温側 200K の温度条件下にて発電効率 1.8% と高い値を示した。我々はまた、液体窒素で冷却する低温発電システムのプロトタイプの開発にも成功し、より実際の発電環境に即した性能評価を行えるようになった。

5-2 国際共同研究による相乗効果

熱電モジュールの開発には、大きく分けて「高い熱電性能を示す材料」と、「耐久性の高いモジュール」の二つの開発要素がある。本国際共同研究では中国側の材料開発、日本側の高いモジュール開発技術と双方の強みを活かした研究開発を実施した。これにより、単独ではなし得なかった高い性能を持つ熱電モジュールの開発に成功した。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

本研究で開発された低温熱電モジュールの開発技術を基盤とし、今後さらに堅牢な電極形成技術を開発することにより、LNG の冷熱回収技術が社会実装されるものと期待される。

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

1. Project title : 「High Efficiency Thermoelectric Generator Technology for Utilization of LNG Cold Energy」
2. Research period : April 2019 ~ March 2022
3. Main participants :

Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Chul-Ho Lee	Prime Senior Researcher	AIST	Research Manager
Collaborator	Atsushi Yamamoto	Principal Research Manager	AIST	Development of thermoelectric modules
Collaborator	Masayuki Murata	Senior Researcher	AIST	Evaluation of thermoelectric modules
Total number of participants throughout the research period:				9

Partner-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Miao Lei	Professor	Guangxi University	Research Manager, development of materials
Co-PI	Zhu Yu	Professor	Tianjin University	Evaluation of thermoelectric modules
Co-PI	Wei He	Professor	Tianjin University of Commerce	Development of thermoelectric generator system
Total number of participants throughout the research period:				6

4. Summary of the international joint research

This project aims to establish thermoelectric conversion technology that can generate electric power from wasted cold energy of LNG gas and contribute to

energy conservation. We organized an international cooperation team among China groups that have a keen ability of developing high performance thermoelectric materials and AIST having technical capabilities of developing thermoelectric modules. As results, we succeeded to develop p- and n-type thermoelectric materials and modules that exhibit high performances below room temperatures.

5. Outcomes of the international joint research

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

China groups developed p- and n-type thermoelectric materials that exhibit high thermoelectric performances below room temperatures. AIST group formed electrodes on those materials, fabricated thermoelectric modules and evaluated their performances of power generation. As results, the thermoelectric modules exhibited high conversion efficiency of 1.8% with hot- and cold-side temperatures of 300K and 200K, respectively. We also succeeded to develop a prototype of low-temperature power-generator system.

5-2 Synergistic effects of the joint research

To apply thermoelectric conversion technology for practical use, developments of high thermoelectric materials and highly durable thermoelectric module are essential. In this international joint research project, both high abilities of material research in China and thermoelectric module development in AIST were complementary contributed to the research. As results, highly efficient thermoelectric modules were successfully developed that cannot be achieved individually.

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

The thermoelectric conversion technology utilizing wasted cold energy of LNG gas will be put to practical use after developing further robust electrodes based on the present technique of fabricating low-temperature power-generating thermoelectric modules.

国際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) 発表件数 : 計 1 件

・査読有り : 発表件数 : 計 1 件

(1) Y. Peng, L. Miao, C. Liu, H. Song, M. Kurosawa, O. Nakatsuka, S. Y. Back, J. S. Rhyee, M. Murata, S. Tanemura, T. Baba., T. Baba, T. Ishizaki, and T. Mori, "Constructed Ge Quantum Dots and Sn Precipitate SiGeSn Hybrid Film with High Thermoelectric Performance at Low Temperature Region", *Adv. Energy Mater.*, 2103191 (2021) DOI: 10.1002/aenm.202103191

*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 4 件

・査読有り : 発表件数 : 計 4 件

(1) J. Sirimart, J. Hayashi, Y. Kawamura, K. Kihou, H. Nishiate, C. H. Lee, and C. Sekine, "Effect of partial Yb filling on thermoelectric properties of skutterudite compound RhSb_3 ", *Jpn. J. Appl. Phys.* 58, 081006 (2019) DOI: 10.7567/1347-4065/ab2e1e

(2) T. Tanishita, K. Suekuni, H. Nishiate, C. H. Lee, and M. Ohtaki, "A strategy for boosting the thermoelectric performance of famatinite Cu_3SbS_4 ", *Phys. Chem. Chem. Phys.* 22, 2081 (2020) DOI: 10.1039/C9CP06233E

(3) Y. Kimura, H. Kunioka, K. Kihou, H. Nishiate, H. Usui, Y. Tokunaga, T. Iida, K. Kuroki, and C. H. Lee, "Thermoelectric properties of $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{ZnAsO}$ ", *J. Electron. Mater.* 49, 6715 (2020) DOI: 10.1007/s11664-020-08439-6

(4) S. Iwasaki, S. Adachi, R. Matsumoto, Y. Takano, M. Yamaguchi, K. Kihou, C. H. Lee, and Y. Kamihara, "Oxygen Deficiency Dependence of Pressure Effects on Superconducting Critical Temperatures of Perovskite-related Mixed-anion Layered Compound $\text{Sr}_2\text{VFeAsO}_{3-\delta}$ ", *J. Phys. Soc. Jpn.* 89, 114712 (2020) DOI: 10.7566/JPSJ.89.114712

・査読無し : 発表件数 : 計 0 件

該当なし

*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

該当なし

*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 2 件

- (1) 李哲虎, 熱電材料の最前線, ふえらむ, 25, pp.31, 2020
- (2) 李哲虎, マイクロ・ナノ熱工学の進展, エヌ・ティー・エス, pp.57, 2021

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 7 件 (うち招待講演: 5 件)

* 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 1 件

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

該当無し

4. 研究交流の実績 (主要な実績)

- ・ 2020年7月16日: キックオフミーティング、オンライン
- ・ 2020年12月8日: チームミーティング、オンライン
- ・ 2021年10月27日: チームミーティング、オンライン

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

該当無し

7. その他

該当無し