

戦略的創造研究推進事業(ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「革新的省・創エネルギー
システム・デバイス分科会」
課題名「階層構造磁気蓄熱再生器を持つ磁気ヒー
トポンプの開発」

終了報告書

研究開発期間 平成26年10月～令和2年3月

研究開発代表者:川南 剛
(学校法人明治大学理工学部、教授)

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：明治大学 教授 川南 剛

研究開発課題名：階層構造磁気蓄熱再生器を持つ磁気ヒートポンプの開発

1.研究開発の目的

冷凍・ヒートポンプ技術の需要は近年ますます高まりつつあり、住居やオフィスの空調のほか、鉄道車両や航空機内の空調、輸送コンテナ内の冷凍、寒冷地における融雪など多くの用途が提案されている。さらに近年では、低環境負荷・省エネルギーの技術開発は地球環境保全の観点からますます重要になっており、フロン系冷媒を用いない高効率の革新的ヒートポンプ技術である磁気ヒートポンプは、低環境負荷・省エネルギー型“グリーンヒートポンプ技術”として急速に普及する可能性が見込まれる。本研究開発課題では、磁気ヒートポンプの温度領域の拡大と高効率化を目的とし、ブレイクスルー技術として、階層構造蓄熱再生器に着目し、最適な蓄熱再生器の構造設計と開発、Mn 系磁気熱量効果材料の高精度加工法の確立、階層構造を持つ kW 級磁気ヒートポンプの開発、に関する研究を推進し、磁気ヒートポンプの実用化を目指すものである。

2.研究開発の概要

(1)内容：本研究は、Mn 系磁気熱量効果材料を用いた磁気ヒートポンプの実用化を目指し研究を行ったものである。特に、従来の冷凍空調用の温度レベルから、60℃～90℃程度の加熱・熱回収温度レベルまでの展開を視野に入れるものである。磁気ヒートポンプ技術の実用化のためには、磁気ヒートポンプシステムの運転においては、AMR(Active Magnetic Regenerator)と呼ばれる蓄熱再生器が用いられるのが一般的である。AMR は磁気熱量効果材料に蓄熱再生の機能を持たせた熱交換器であり、励消磁によって温度変化を生じた磁気熱量効果材料の間隙を、熱移動をつかさどる熱交換流体が磁気冷凍サイクルにあわせて往復移動する構造を有する。この AMR による磁気ヒートポンプ装置の性能向上のためには、①AMR 最適構造の検討(明治大学、北海道立総合研究機構)、②Mn 系新材料の開発・合成手法の確立(九州大学、大電株式会社)、③システムの運転特性の予測および評価(東京工業大学、核融合科学研究所、サンデン・アドバンステクノロジー株式会社、公益財団法人鉄道総合技術研究所)、が必要となる。本研究課題では、以上の①から③の項目に対して研究ユニットを組織して詳細な検討を行い、磁気ヒートポンプの実用化に向けた様々な知見を得ることができた。

(2)成果：以下に本研究で得られた成果をまとめる。

- AMR の構造設計の検討の結果、AMR の構成には貫通構造が最適であることを見いだした。
- $T_c = -35^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ の広い温度域の Mn 系材料を開発した。また、キュリー点温度の制御技術を確立した。
- システム特性予測のための計算コードを開発し、実験、解析において温度スパン 30K 以上を達成する条件を見いだした。
- 上記の要素研究の成果を踏まえ、デモ装置を構築し性能評価を行った。

(3)今後の展開：本研究課題の最終年度において、実機を模擬したデモ装置を作製し、開発した Mn 系磁気熱量効果材料を用いてシステムの評価試験および材料を含めた耐久性に関する研究の継続を行っている。現状で残る課題としては、AMR 造形物の大量製造法の確立、磁気回路の高性能化、システムコストの低減が挙げられる。上記課題については、次年度以降の大型プロジェクトや科学研究費補助金に応募することを念頭に、引き続き(本事業終了後も)検討を続けていく予定である。一方で、磁気ヒートポンプ技術が適用されるアプリケーションの開拓も進めており、次世代のエネルギー問題の核となる水素液化などの極低温領域への展開も視野に入れている。

○Report summary (English)

Principal investigator: Meiji University, professor, Tsuyoshi Kawanami

R & D title: Development of Magnetic Heat Pump with Layered Active Magnetic Regenerator

1. Purpose of R & D

The demand for refrigeration and heat pump technology has been increasing in recent years, and many applications have been proposed, such as air-conditioning of houses and offices, air-conditioning of railway cars and aircraft, refrigeration in shipping containers, and snow melting in cold regions. The magnetic heat pump, which is a high-efficiency innovative heat pump technology that does not use CFC refrigerants, is expected to spread rapidly as a "green heat pump technology" with low environmental impact and energy saving. In order to expand the temperature range and improve the efficiency of magnetic heat pumps, we focus on a layered active magnetic regenerator (AMR) as a breakthrough technology, and promotes research on the following items for the practical application of the magnetic heat pump: (1) structural design and development of an optimal AMR; (2) development of high-precision processing method for Mn-based magnetocaloric materials; (3) development of a kW-class magnetic heat pump with a layered AMR.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

The present study is aimed at the practical application of a magnetic heat pump using Mn-based magnetocaloric materials. In particular, we are considering the development from the temperature level for conventional refrigeration and air conditioning to the level of heating and heat recovery in the range of 60°C to 90°C. In order to put a magnetic heat pump technology to practical use, a active magnetic regenerator called an AMR is generally used in the operation of magnetic heat pump systems. For the improvement of the performance of the magnetic heat pump system by AMR, it is necessary to (1) investigate the optimal structure of AMR (Meiji University, Hokkaido Research Organization), (2) develop new Mn-based materials and establish a synthesis method (Kyushu University, Dyden Corporation), and (3) predict and evaluate the operating characteristics of the system (Tokyo Institute of Technology, National Institute for Fusion Science, Sanden Advanced Technology Corporation, and Railway Technical Research Institute). In this research project, the research units were organized for the above items (1) to (3), and detailed investigations were carried out to obtain various knowledge for the practical application of magnetic heat pumps.

(2) Achievements:

The following is a summary of the results obtained in this study:

- We found that the through-hole structure is the most suitable configuration for the AMR,
- We have developed Mn-based materials with a wide temperature range from $T_c = -35^\circ\text{C}$ to 85°C . In addition, a technique to control the Curie point temperature was established,
- We developed a simulation code for predicting system characteristics and found the conditions to achieve a temperature span of more than 30 K in experiments and analyses,
- Based on the results of the above elemental studies, a demonstration device was constructed and its performance was evaluated.

(3) Future developments:

In the final fiscal year of the project, a demonstration device that simulates the actual system is prepared, and the evaluation tests of the system and the research on durability including the material are continued using the developed Mn-based magnetocaloric material. Currently, the remaining challenges include the establishment of a mass production method for AMR prototypes, the improvement of magnetic circuit performance, and the reduction of system costs. We will continue to study the above issues after the completion of this project, with a view to applying for large projects and Grants-in-Aid for Scientific Research in the next fiscal year and beyond. On the other hand, we are also developing applications where magnetic heat pump technology can be applied, with a view to developing it in the cryogenic region, such as hydrogen liquefaction, which is the core of the next generation of energy problems.