

戦略的国際科学技術協力推進事業（日本－中国研究交流）

1. 研究課題名：「低質熱の回生技術を用いる低炭素化に関する研究開発」
2. 研究期間：平成23年4月～平成26年3月
3. 支援額： 総額 22,440,000円
4. 主な参加研究者名：

日本側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
	氏名	所属	役職
研究代表者	小林敬幸	名古屋大学大学院	准教授
研究者	黄 宏宇	名古屋大学大学院	技術補佐員
研究者	八神征義	名古屋大学大学院	技術補佐員
研究者	鬼頭 毅	名古屋大学大学院（日本学術振興会）	特別研究員
研究者	黒沼英明	名古屋大学大学院	博士課程2年
研究者	江崎丈裕	名古屋大学大学院	博士課程1年
参加研究者 のべ 8 名			

相手側（研究代表者を含め6名までを記載）

	氏名	所属	役職
研究代表者	LI Xuan-you	山東省科学院	教授
研究者	SHI Yong-chu	山東省科学院	教授
研究者	Li Tie	山東省科学院	教授
研究者	CHAI Ben-yin	山東省科学院)	教授
研究者	GENG Wen-guang	山東省科学院	副教授
研究者	Wu Jing	山東省科学院	上席技師
参加研究者 のべ 6 名			

5. 研究・交流の目的

現在、低炭素社会の構築は人類にとって非常に必要な課題となっている。二酸化炭素の主な排出源は、工業生産活動に伴う化石燃料の消費からである。生産プラントからは膨大な排出ガス、蒸気や排水が排出されている。さらには、これらの環境汚染物質に加え、膨大な排熱が環境に排出されている。これらの排熱を回収し回生することは、日中問わず、二酸化炭素の排出量を大幅に低減する重要な技術的課題である。

この20～30年、非常に多くの研究者が排熱回収の研究に従事している。しかし、多くの努力にも関わらず、200℃未満の低温排熱を対象にした研究開発においては大きな成果が得られたとはいえない。不安定な温度、流量、多種多様な排出源、分散した排出源、さらにはコスト採算性などの多くの取り扱いが困難な要因が、これらの技術の発展を抑制する結果となっている。また、現在使用されている排熱回収のための熱交換器においては、体積が大きく、低効率であり、生産コストが高いために利用が制限される。

大規模なエネルギー消費を伴う生産工場等では、排出ガスの流量が大きく、排出温度が低く制御されても排出熱量は非常に大きい。さらに、排出ガスは通常、非凝縮性ガスと凝縮性蒸気（スチーム）が含まれる。この場合、顕熱に加え潜熱も含まれる。この状況を鑑み、以下の工業生産プロセスを対象に想定し、膨大に排出される低温排熱を低コストで効率的に回収し回生する技術を協働で開発し、工業プロセス等の省エネルギー化に資する。

(1) 膨大な水が銑鉄の冷却に用いられ、その結果、膨大な100℃程度の蒸気と80℃程度

の温排水が排出されている製鉄所。

(2) 非凝縮成分に加え凝縮性蒸気を含むガスが 60～160℃の熱を伴って排出されている乾燥工程

## 6. 研究・交流の成果

### 6-1 研究の成果

日本側では、45～60℃の排熱を駆動源として、温熱を冷熱に効率よく転換・回生する熱駆動式冷凍機（吸着式冷凍機）を日本の企業と共同で開発し、10kW級の小型冷凍機の製品化に至った。さらに、性能に及ぼす作動環境の影響について実験的に明らかにした。

ここで開発された吸着式冷凍機は、中国ではかつて導入された例はなく、低温排熱で冷熱を生成することも実証されていなかった。そこで、冷凍機を実際に中国側に導入することとし、従来から当該分野で研究交流があった広州能源研究所、さらには、日本国内、中国の民間企業の協力を得て、中国国内で当該冷凍機の実用化を促進する協力関係を築いた上で、最終的に実機を中国国内に設置し、中国国内にて運転実証するに至った。

上記の実機導入の件に加え、中国側で開発された閉ループヒートパイプ排熱回収技術は、歴史的には赤池らによって日本で発見（発明）され報告された知見であるが、装置コストが能力と比較して高く工業プロセスに応用が図られることはほとんど見当たらなかった。今般、山東省科学院にて当該技術が数10～100kWレベル（この出力は、自動車1台の出力に相当）の熱プロセスに応用可能な出力に引き上げられ、工業プロセスにて適用可能なスケールとレベル、さらには低コストで実用化可能となるまでに至った。

本研究期間内では工業プロセスに適用し、実装するまでに至らなかったが、シミュレーションとそれぞれの要素技術の試験結果から、当初に想定した、工業プロセスに提供可能な大容量ヒートパイプで低温排熱を回収し、吸着式冷凍機によって冷熱に転換する実用プロセスを実証することができた。

また、大容量ヒートパイプが100℃以上の環境においても駆動可能であることが示されたことから、当初、日本側の研究計画には含めていなかった150℃レベルの排熱を蓄熱し、さらには排熱の温度レベルを回生（昇温）させる技術についても研究を加速させることに繋がった。

### 6-2 人的交流の成果

当該共同研究を通じて、中国の省エネルギー技術の実勢を理解し、中国における機器コストの情勢を理解することを通じて、中国におけるエネルギー利用状況を把握し、互いに対策が必要な技術範囲と条件を理解するに至った。

日本が有する省エネルギー技術を理解してもらい機会となり、中国に移転可能な技術とその適用性について検討する機会を提供できた。研究交流を通じて、エネルギー利用プロセスを設計する必要性を理解し、PFDを用いた設計の有用性を共有できた。

また、研究担当の学生も中国側に訪問し、研究交流し、日本側に所属する中国人留学生も相互理解を促進するばかりでなく、将来の中国国内における人的ネットワークを構築するためにも積極的に参画し研究交流する環境を整えた。その間、中国側、日本側のそれぞれの強みと弱みを理解する契機となり、お互いの長所を発展させることの重要性を理解できた。

さらに、中国国内の研究者同士（当該山東省科学院と他の中国科学院の機関、特に広州能源研究所）の交流を構築し発展させることにも貢献できたと考えている。

7. 主な論文発表・特許等（5件以内）

相手側との共著論文については、その旨を備考欄にご記載ください。

論文 or 特許	<ul style="list-style-type: none"> <li>・論文の場合： 著者名、タイトル、掲載誌名、巻、号、ページ、発行年</li> <li>・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</li> </ul>	備考
論文	Lihua Dong, Hongyu Huang, Noriyuki Kobayashi, Development of an All-in-one Type Adsorption Heat Pump for Heating Application, International Journal of Chemical Reactor Engineering, 9 (1), 2011, 1542-6580, DOI: 10.1515/1542-6580.2502	
論文	Zhaohong He, Tao Lu, Hongyu Huang, Huafang Guo, Noriyuki Kobayashi, Yong Chen. Research progress in new types of adsorber. Chemical Engineering (China). 2011, 39(10): 34-38	
論文	Tsuyoshi Kito, Noriyuki Kobayashi, Output characteristics evaluation of heat upgrading operation in $\text{CaBr}_2/\text{H}_2\text{O}$ chemical heat pump, J. Japan Society of Energy and Resources, 33(3), 1-8	
論文	Zhaohong He, Hongyu Huang, Zhixian Lin, Haoran Yuan, Noriyuki Kobayashi, Huafang Guo, Yong Chen, Study on adsorption desiccant based hybrid air conditioning system. Advanced Materials Research. 2012, 516-517:1196-1200	
論文	Zhaohong He, Hongyu Huang, Haoran Yuan, Noriyuki Kobayashi, et al. Study and theoretical calculation on new type of adsorption chiller. Applied Mechanics and Materials. 2013:1867-1873	