



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on the Performance Enhancement of the Adsorption Heat Pump applied Natural Meso-porous Material [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	賀, 方
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第15189号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/87249
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	He_Fang_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 賀方

審査担当者 主査教授 長野克則
副査教授 林基哉
副査教授 田部豊
副査准教授 葛隆生

学位論文題名

Study on the Performance Enhancement of the Adsorption Heat Pump applied Natural Meso-porous Material

(天然メソポーラス材料を用いた吸着式ヒートポンプの性能向上に関する研究)

世界的な生活環境の向上と共に空調用,特に冷房用エネルギー需要が増加している.一方,夏季には産業排熱や太陽集熱器の余剰熱など 100℃未満の低温排熱が未利用のまま大量に環境に放出されている.これら低温の温熱から冷熱を発生できる熱駆動ヒートポンプがある.中でも固体吸着材をバッチ式で利用する吸着式(AHP)は吸収式に比べて熱源温度が80℃以下の温度域でも冷却能力があまり低下しないことから,欧州や中東などで導入されている.しかし,低温熱利用のため熱効率が低いこと,冷熱出力当たりの筐体が大いこと,吸着材として用いる人工ゼオライトの価格が高く初期投資が大いことなどの課題から導入件数は多くはない.普及のためには熱効率の向上,そして低価格な吸着材の研究開発が必要である.所属する研究室ではこれまで宗谷地方で豊富に産出される天然メソポーラス材料である稚内層珪質頁岩(WSS)に塩化リチウムなどの塩化物を担持させたWSS複合吸着材について長年,研究がなされてきたが,近年このWSS複合吸着材が低圧下においてAHPへ応用できることが実証された.本論文ではWSS複合吸着材を用いたAHPのさらなる性能向上を目指し,熱・物質回収による熱効率向上効果をラボスケールAHP試験機から実験的に明らかにすると共に,吸着材内3次元熱・物質移動数値解析プログラムを開発し,計算から最適運転条件を見出している.本論文の成果とその評価を要約すると以下ようになる.

第1章,第2章は研究背景,およびAHP関連技術と研究の最新動向調査である.AHPに用いられる吸着材・吸着質の種類と特徴,性能向上のサイクルなどを網羅的にまとめ,これを踏まえ本研究の位置づけを行い,研究目的を述べている.

第3章はWSS複合吸着材担持熱交換器を用いたAHPの性能評価のため冷却能力1kW級AHP試験機を用いたラボスケール実験である.コルゲート熱交換器表面に吸着材を塗布した吸着材充填熱交換器を製作し,標準試験条件(各熱交換器送水温度は再生側80℃,吸着側30℃,凝縮側30℃,蒸発側20℃,吸脱着1サイクルの周期は14分間)における熱効率COPと単位吸着材質量当たりの冷却能力SCPを測定した.その結果,COPとSCPはそれぞれ0.45,0.41kW/kgであり,過去の研究と比べて高い値であることを示している.次に,熱効率上昇のために直列方式(SHR)とパッシブ方式(PHR)の2種類の熱回収導入効果の検討を行い,COPが1.20倍に向上すること,吸着器側出口水温が再生・吸着の中間温度になる時点まで熱回収運転を行うのが良いことを明らかにしている.

第4章は熱効率を向上させる吸着材充填方法について,冷却能力100W級AHP試験装置を用い

た実験的検討である。従来の Dip-coating を改良してコルゲート型熱交換器に本吸着材塗液をより緻密にコーティングする。ここでは“Dip-HEX”及び“Dip-Filled-HEX”という吸着材コーティング量の異なる2種類の吸着材一体型熱交換器を製作した。吸着材が30%多くコーティングされた“Dip-Filled-HEX”の標準試験条件における性能は、SCPが若干低下するもののCOPは15%向上する結果を得ている。また、10秒間の物質回収を行うと“Dip-Filled-HEX”のCOPとSCPはそれぞれ0.50, 0.64 kW/kgに向上する結果を得ている。これらの結果からAHPに用いる吸着材一体型熱交換器として“Dip-Filled-HEX”が最良であるという見解を得ている。

第5章は吸着材内の熱物質同時移動3次元数値解析プログラムの開発と性能予測である。計算から熱回収を導入するとCOPが1.20倍向上すること、熱回収に最適な操作条件は実験結果と同じく再生・吸着の中間温度であることを示している。一方、計算では水蒸気回収導入による性能向上効果はわずかとこの結果となったが、これは水蒸気回収により回収されるエンタルピーが熱回収で回収されるものと同じであり相乗効果は乏しいとの知見を解析から説明している。

これを要するに、著者はWSS複合吸着材を用いた吸着式ヒートポンプ(AHP)のさらなる性能向上を目指し、熱回収と物質(水蒸気)回収による熱効率向上効果をラボスケールAHP試験機から実験的に明らかにすると共に、吸着材内3次元熱・物質移動数値解析プログラムを開発し、計算から性能向上の機構と方法を詳細に検討した上で最適運転条件を見出している。これはエネルギー環境工学、空調工学、冷凍工学の進展、そしてカーボンニュートラル社会の実現に寄与するところ大である。よって著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。