

高田 保之

九州大学 大学院工学研究院
教授

固気液相界面メタフルイデイクス

§ 1. 研究実施体制

(1) 「高田」グループ

① 研究代表者: 高田 保之 (九州大学大学院工学研究院、教授)

② 研究項目

・濡れ性の微細制御および複雑構造伝熱面内相変化現象

(2) 「小山」グループ

① 主たる共同研究者: 小山 繁 (九州大学大学院総合理工学研究院、教授)

② 研究項目

・高性能炭素系吸着材の開発と吸着式ヒートポンプ・冷凍サイクルへの展開

(3) 「大宮司」グループ

① 主たる共同研究者: 大宮司 啓文 (東京大学大学院工学系研究科、教授)

② 研究項目

・ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化

・ナノ細孔における物質の吸着・移動現象の解析と制御

・高機能湿度制御材料・システムへの応用

§ 2. 研究実施の概要

(A) 濡れ性の微細制御および複雑構造伝熱面内相変化現象 (高田グループ)

親水・撥水複合伝熱面を用いて沸騰熱伝達における発泡開始過熱度の低下と限界熱流束の向上を目指しているが、その場合に溶存空気の影響が特に重要であることを見出し、空気が混入しない密閉型沸騰実験系と混入する開放型とを比較することでそのメカニズムを明らかにした。その知見をループ型サーモサイフォン (LTS) に応用すべく、10kPa 程度まで減圧した環境での沸騰実験を実施するとともにデータセンターに適合する形状の LTS 実験系を構築した。並行して、原子炉にも応用できる大面積高性能徐熱技術としてナノ流体とハニカム多孔体を組み合わせた実験も行い、限界熱流束が約 3.2 MW/m^2 (従来比 3 倍以上) と極めて大きな熱流束を達成できることを明らかにした。この値は伝熱面サイズ $\phi 30\text{mm}$ 以上におけるチャンピオンデータである。これら製品指向の研究とともに基礎学理の蓄積にも努め、沸騰開始を左右する固液界面ナノバブルの安定性について原子間力顕微鏡を用いて調べたり、微細構造を有する表面での動的濡れ現象や濡れ性が引き起こす分子の輸送現象についての理解を深めた。

(B) 高性能炭素系吸着材の開発と吸着式ヒートポンプ・冷凍サイクルへの展開 (小山グループ)

吸着式ヒートポンプは排熱や太陽熱から得られる低温熱を有効活用して冷熱・温熱を製造する技術である。本研究で開発した球状フェノール樹脂を原料とした活性炭吸着材は、吸着式ヒートポンプの性能向上につながる細孔径および細孔容量を誘導することを材料開発の指針として調製した。本年度は、開発した活性炭の平衡吸着量を測定するとともに、動的吸着特性を分析し^{B-1)}、その結果、従来の活性炭を大幅に上回る飽和吸着量を有するとともに、吸着式ヒートポンプが稼働する相対圧 0.1~0.3 における有効吸着量が従来の活性炭に比べて 1.5 倍以上に拡大されていることを確認した。また、吸着式冷凍システムのシミュレーションによって開発活性炭を用いた場合のシステム性能を予測し、従来の活性炭を用いる場合と比較して冷凍能力が約 20%、COP が約 10%改善できる可能性を明らかにした。

(C) ナノ細孔における吸着・移動現象の制御と高機能相界面の創成 (大宮司グループ)

メソポーラスシリカなどの規則性ナノ細孔に閉じ込められた水の相状態や吸着・移動特性の基礎メカニズムを解明し、得られた知見をデシカント空調システムの設計開発へ応用展開することを目的とする。(1)ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化、および(2)ナノ細孔における物質の吸着・移動現象の解析と制御に取り組み、(3)高機能湿度制御材料・システムの創成を目指している。本年度は(1)については、(2)での移動現象の解析により評価するためのメソポーラスシリカの合成を継続するとともに、多孔質材料の表面物性評価を行う手法として、極低相対圧からのガスおよび蒸気吸着等温線の測定法もとに「吸着特性評価装置」として特許出願を行った。また、(3)でのチップ製作に必要な手法として、メソポーラスシリカの配向制御を行い、特定の条件下では細孔が基板に垂直に配向しうることを示した。(2)については、メソポーラスシリカへの水蒸気吸着脱着について重量法による測定を継続し、異なる材料の吸着・脱着緩和曲線を比較し、評価する方法を検討した。また、毛管蒸発現象の分子動力学シミュレーションを行い、凝縮水の移動、および脱着のプロセスを明らかにした。(3)については、吸着・移動・脱着のプロセスを評価するチップの設計をするとともに、様々な湿度制御システムについて検討した。

代表的論文:

- [1] Biao Shen, Bambang Joko Suroto, Sana Hirabayashi, Masayuki Yamada, Sumitomo Hidaka, Masamichi Kohno, Koji Takahashi, Yasuyuki Takata, “Bubble activation from a hydrophobic spot at “negative” surface superheats in subcooled boiling”, Applied Thermal Engineering, in press, Available online 22 October 2014 (DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.10.054)
- [2] Ibrahim I. El-Sharkawy, Kutub Uddin, Takahiko Miyazaki, Bidyut Baran Saha, Shigeru Koyama, Hyun-Sig Kil, Seong-Ho Yoon, Jin Miyawaki, “Adsorption of ethanol onto phenol resin based adsorbents for developing next generation cooling systems”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.81, 2015, 171-178, 2015 (DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.10.012)