

高田 保之

国立大学法人 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)

濡れ性と微細構造を制御することで伝熱面の大幅な性能向上を目指した研究を行っている。特に、出口技術として想定されるデータセンター用のループ型サーモサイフォンに要求される安定した沸騰開始と高い熱流束の共存を目指してその環境を模擬した沸騰実験を行ったところ、撥水斑点の付与が熱伝達率を低過熱度域で約 5 倍、比較的高熱流束域で約 3 倍向上させることがわかった。この結果は熱抵抗で比較して過去に報告されているどの平坦伝熱面よりも高性能である。一般的に撥水斑点は間欠沸騰の抑止効果を有し、小径・小ピッチの面ほど高性能であるが減圧によって間欠沸騰へ遷移して伝熱性能が急に劣化する場合があることもわかった。ハニカム多孔質体を用いた限界熱流束の向上に関しては、毛管限界モデルの妥当性を実験で確認するとともに、高熱流束時においても限界熱流束到達直前までは多孔質体内部はほぼ水で満たされていて、限界熱流束が発生した時に一気に内部に乾燥域が広がることで壁温の急上昇が生じることが明らかとなった。さらに、固液界面ナノバブルの安定性実験や diffuse-interface 法を用いた相変化のシミュレーション技術の開発についても着実な進展を得た。

### (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)

本年度は、本研究で開発した球状フェノール樹脂を原料とした球状活性炭の吸着式ヒートポンプ吸着材としての適用性を評価すべく、反復吸脱着 (サイクル) 特性およびサイクル特性評価後の細孔構造および形状評価を実施した結果、10 回の吸脱着操作においても優れた有効吸着量を保持すること、そして細孔構造および形状に変化がないことを確認した。また、球状活性炭の表面官能基量制御により見かけの吸脱着速度の向上が図れる可能性を見出した。さらに、球状活性炭にジフルオロメタンを吸着させた場合の吸着量の測定及び吸着速度の解析を実施し、吸着現象のシミュレーションを利用して拡散係数を同定するための手法を確立した。

### (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し、(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、実験においては 3 種類の規則的な細孔構造をもつメソポーラスシリカを合成し、特に毛管凝縮・毛管蒸発が起こる領域において、ステップ状に相対湿度を変化させた時の吸着・脱着の緩和曲線を計測し、モデルを用いて水蒸气流束を定量的に評価した。ステップ幅が十分に大きい場合、メソポーラスシリカの種類に依らず初期の水蒸气流束は蒸気相と細孔入口の化学ポテンシャル差によって決まること、また、いずれのメソポーラスシリカにおいても、ステップ幅によって緩和時間が異なることを明らかにした。理論解析においてはナノ細孔が水蒸気と接している系について GCMC と MD を組み合わせた GCMD シミュレーションを行い、毛管凝縮、毛管蒸発過程の分子シミュレーションを行った。蒸気相と細孔入口の化学ポテンシャル差が大きいときは、水蒸气流束は化学ポテンシャル差によって決まり、細孔内部の水の状態 (層状吸着、ブリッジング、ポアフィリング) にはあまり依存しないが、蒸気相と細孔入口の化学ポテンシャル差が小さくなると、細孔内部の

水の状態によって吸着, 脱着の流束が変化する様子が捉えられた. 実験と理論解析は定性的には同じ傾向を示した. 今後, ナノ細孔内部の水の移動について, ナノ細孔が液体の水と接している系と水蒸気と接している系の比較, および細孔構造や表面状態の影響の明確化に取り組む予定である. デシカント材料の評価のみならず, 沸騰伝熱面の評価にも繋がると考えられる. また, 応用研究としては, これらのデシカント材料の性質を考慮した機械要素設計に展開することを予定している.