

# 高熱伝導性炭素繊維を利用した伝熱促進技術 ~ 潜熱蓄熱, 化学蓄熱への応用 ~

九州大学大学院工学研究院 化学工学部門 深井研究室

E-MAIL: jfkai@chem-eng.kyushu-u.ac.jp

URL: http://htx.chem-eng.kyushu-u.ac.jp/~jfkai/

## 【研究目的】

現在、化石燃料の枯渇や温室効果ガスの大量排出など地球環境問題の観点からエネルギーの有効利用が求められている。なかでも余剰エネルギーを蓄え、必要に応じて放出する蓄熱技術は、エネルギー有効利用に欠かすことのできない技術のひとつである。この蓄熱技術において、潜熱蓄熱材は装置をコンパクトにするなどのメリットを有するが、潜熱蓄熱材の熱伝導率は小さい( $10^{-1} \sim 10^0 \text{ W/mK}$ )ので、設計で要求される放熱・蓄熱速度を得ることが難しいことがある。さらに、熱エネルギー有効利用機器として期待されている吸着式ヒートポンプ、水素貯蔵合金槽などの化学蓄熱・ヒートポンプでは、粒子充填層内での反応を利用するが、粒子充填層の有効熱伝導率は小さい( $10^{-1} \sim 10^0 \text{ W/mK}$ )。このような蓄熱材の低熱伝導率を補うために、フィン付きチューブ、ハニカム、多孔質体などによる伝熱促進が検討されているが、コスト面での課題が残され実用化に至っていない。

本研究室では、ビッチ系炭素繊維の熱伝導率が高いことに注目し、それを利用した熱エネルギー利用機器内部の伝熱促進を検討している。

このほか、炭素繊維が高熱伝導性であることに加え、熱的・化学的に安定であるという性質を利用して、工場から排出される高温の腐食性ガスの廃熱回収装置の性能改善も現在検討中である。

## 【炭素繊維の形態】

短繊維を混入する方法は古くから検討されているが、熱的に不連続なので、伝熱促進の効果が薄れる。そこで、ブラシ状とシート状の炭素繊維を、図1のように伝熱管に配置することを提案している。また、設置する炭素繊維量は体積分率で最大でも2-3%であり、蓄熱密度の減少を極力抑える努力をしている。

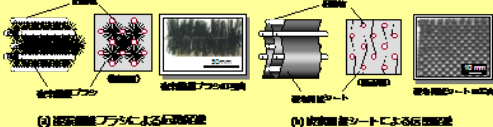


図1 伝熱管群における炭素繊維の利用形態

## 【潜熱蓄熱槽への応用】

ブラシ状とシート状の炭素繊維（繊維の熱伝導率 =  $200 \text{ W/mK}$ ）を伝熱管群に配置した小型蓄熱槽（蓄熱材 = パラフィン,  $0.2 \text{ W/mK}$ ）を用いて、蓄熱槽内部の熱特性を検討した。また、伝熱管群を模擬した実験装置（図2）を用いて、伝熱管群内の伝熱機構を詳細に検討した。これらの成果に基づいて、蓄熱槽の温度特性を予測できる3次元数値解析コードを開発した（図3）。

伝熱管本数の増加、フィン付管使用などとのコスト面での比較も行い、本蓄熱槽がコスト的にも優れているという結論を得ている。さらに、オフィスビルの空調システムに、本蓄熱槽（蓄熱材 = パラフィン、炭素繊維の体積分率 =  $1.5 \text{ vol.}\%$ 、容積  $15 \text{ m}^3$ ）を導入し、暖房用蓄熱槽として設計通りの熱出力が得られることを実証している（図4, 5）。

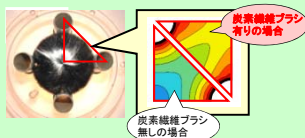


図2 伝熱管群内の伝熱（炭素繊維ブラシ）

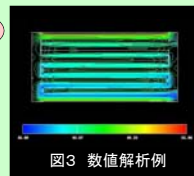


図3 数値解析例

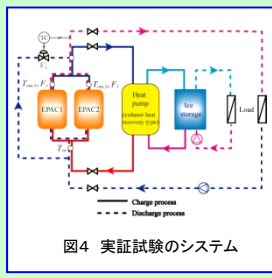


図4 実証試験のシステム

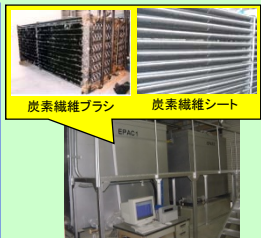


図5 蓄熱槽(EPAC)と伝熱管群

## 【化学蓄熱槽への応用】

化学蓄熱、特に水素吸蔵合金を対象とした伝熱促進を現在検討中である。水素吸蔵・放出反応はそれぞれ発熱・吸熱反応であり、温度に大きく依存する平衡反応であるため、充填槽内の熱除去と熱供給の速度が反応速度を向上させる。

基礎研究として、円筒容器内半径方向の熱伝導性を高めるため、放射状に炭素繊維を設置できるブラシ状の炭素繊維を用いて検討した（図6）。図中の炭素繊維が充填層部分に占める体積分率は1%である。水素吸蔵合金の粒子径は  $100 \mu\text{m}$  程度と比較的小さいため、炭素繊維は粒子を充填の妨げとならない。水素吸蔵合金に対して効果を検証したところ、 $500 \text{ W/mK}$  の炭素繊維（体積分率 1%）を用いた場合、反応時間は約半分に短縮された（図7, 8）。

さらに、充填層内で生じる熱・物質移動、反応を考慮した数値解析コードを開発し、炭素繊維を設置した場合の伝熱モデルを組み込んで実験結果の評価・性能予測を行っている。図9に示すように、炭素繊維ブラシを設置することで水素吸蔵反応（発熱反応）による層内温度の局所的な上昇を緩和し、より均一に（全体的に）反応が進行していることがわかる。

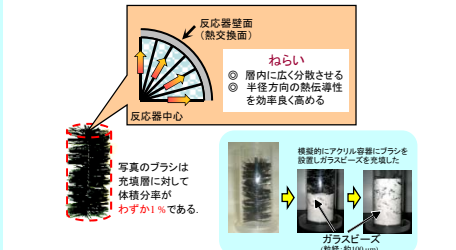


図6 炭素繊維ブラシを用いた粒子充填層の伝熱促進法

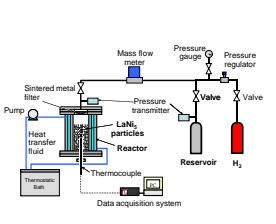


図7 実験装置の概略

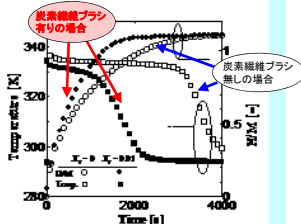


図8 水素吸蔵合金による水素吸蔵反応（供給水素圧一定）

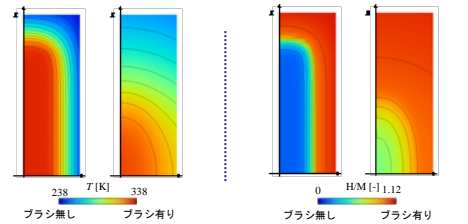


図9 数値解析例