

# 固体吸着材を用いた熱交換吸着塔の専用設計による CO<sub>2</sub>分離・回収技術開発

電子デバイス技術課 関口啓介、坂井雄一 機械情報システム課 中村陽文  
ものづくり研究開発センター 山本貴文

## 1. 緒言

地球温暖化や地球規模での気候変動への危機感からカーボンニュートラルに向けた取り組みや技術開発が世界的に盛んとなっている。化石燃料などの燃焼排ガス中からCO<sub>2</sub>を分離・回収する技術はCCS(Carbon dioxide Capture and Storage)と呼ばれ、非常に重要なカーボンニュートラル技術の一つとして注目を集めている。

CO<sub>2</sub>の分離・回収技術には、物理吸着法、化学吸収法、物理吸収法、膜分離法などがある。火力発電所などの大量のCO<sub>2</sub>排出源においては化学吸収法を用いることが一般的であるが、吸収剤に用いるアミン溶液は腐食性が高く、吸収塔内部の金属素材を腐食させる事例が報告されている。また、アミン溶液は水蒸気も多く吸収するため、水分を蒸発させて吸収剤を再利用するための投入熱エネルギーが大きいこともあり、コストや運用面で課題がある。

一方、物理吸着法の固体吸着材を用いる手法には高低圧力間の吸着量差を利用するPSA法(Pressure Swing Adsorption)と高低温間の吸着量差を利用するTSA法(Temperature Swing Adsorption)がある。TSA法は工場、ごみ焼却炉や一般家庭用ガス給湯器などから廃棄されている80℃以下の未利用低温廃熱が吸着材再生に活用できることに加え、吸着材に市販のゼオライトなどの固体吸着材を適用可能なことや、装置構成が簡素である利点を持つ。今回は、TSA法のCO<sub>2</sub>分離・回収性能を高める専用熱交換吸着塔に関する検討の経過について報告する。

## 2. TSAシステムの原理・構成

### 2.1 吸着等温線と吸脱着プロセス

TSA法によるCO<sub>2</sub>分離・回収では、吸着材の平衡吸着量の温度依存性を利用してプロセスを進行する。図1に代表的なゼオライトの吸着等温線イメージを示す。吸着等温線には各圧力(濃度)における平衡吸着量がプロットされている。吸着材は低温下で吸着量が大きく、高温下で小さい温度依存性をもっている。

仮に、吸着空気中のCO<sub>2</sub>が10 vol% (CO<sub>2</sub>分圧約10 kPa)であるとすると、温度20℃の吸着材はA mL-CO<sub>2</sub>/gの平衡吸着量を持つ。吸着工程完了後に吸着材を80℃まで加熱すると、同吸着容量においてCO<sub>2</sub>分圧が大気圧(101.3 kPa)以上に達し、脱着空気中のCO<sub>2</sub>濃度を高めてCO<sub>2</sub>を

分離・回収することができる。

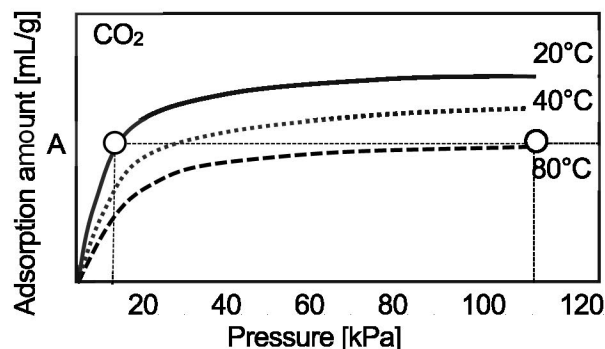


図1 吸着等温線イメージ

### 2.2 CO<sub>2</sub>分離・回収装置概要

図2にCO<sub>2</sub>分離回収装置概要図を示す。連続的な分離・回収を行うためには吸着と脱着工程を交互に切り替えるバッチ操作を行う必要がある。そのため吸着塔は2本配置される(図2は吸着塔Aが脱着、吸着塔Bが吸着工程を示す)。また、吸着工程中の吸着熱除去と脱着工程中の吸着材加熱のために冷水および温水配管が配置される。

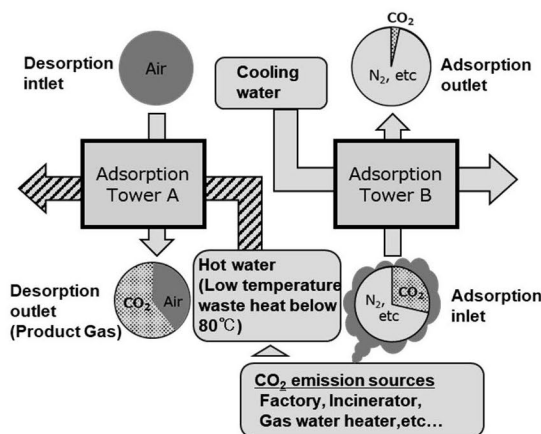


図2 CO<sub>2</sub>分離・回収装置概要図

### 2.3 熱交換吸着塔

TSA法において、吸着材を担持させた熱交換吸着塔の熱応答性(吸着時の迅速な吸着熱除去と脱着時の吸着材加熱)が分離・回収性能に大きく影響を与えることがこれまでの研究で明らかになっている。

H.Vannak 他は、ペレット状の吸着材をアルミ製の直交型熱交換器に封入した吸着塔と同じ熱交換器の伝熱フィンに吸着材を薄くコーティングを行った吸着塔におけるCO<sub>2</sub>分離・回収性能の比較実験を行った<sup>1)</sup>。その結果、コ

ーティングを行った吸着塔では、吸着材重量がペレット封入の吸着塔に対して半分以下にも関わらず、同等の分離・回収性能が得られた。これは、吸着材が伝熱フィンから直接熱を得られることによって、コーティングを行った吸着塔が高い熱応答性をもつためと考えられている。

### 3.実験方法

表 1 に今回シミュレーションにより検討した直交型熱交換器の仕様を示す。従来の直交型熱交換器 HEX1 と同等の伝熱面積を有する熱交換器モデル(HEX2,3)を作成した。吸着時の温度 293 K の状態から脱着工程に移行し、温度 353 K の温水が流量  $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  で配管内を流れる条件での非定常伝熱シミュレーションを実施した。3D モデリングとシミュレーションには、それぞれ Solid works2021 および COMSOL Multiphysics5.6 を用いた。

表 1 熱交換器モデル仕様

	Heat transfer area [cm <sup>2</sup> ]	Volume [cm <sup>3</sup> ]
HEX1(Conventional orthogonal heat exchanger)	1,247	75.2
HEX2	1,206	74.3
HEX3	1,235	93.1

### 4. 実験結果

図 3 に温水流入開始から 5 秒後の伝熱シミュレーション結果、図 4 に各熱交換器の体積平均温度の時間経過を示す。30 枚の平板フィンをもつ直交型熱交換器 HEX1 の熱応答性が最も高い結果を示した。HEX2 は伝熱面積および体積を HEX1 と同等とし、ラティス形状化による熱応答性向上を狙ったが、温水配管を中央に 1 本だけ配置し

たために熱応答性が低く留まったと考えられる。ハニカム状の伝熱部とした HEX3 は HEX1 と同等の熱応答性であった。ハニカム化により応答性は高まるが体積増による熱容量増加が熱応答性低下の要因とみられる。

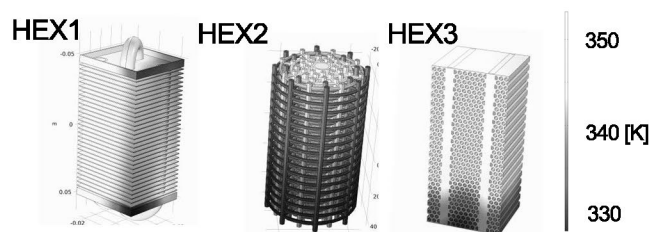


図 3 伝熱シミュレーション結果 (t=5.0 s)

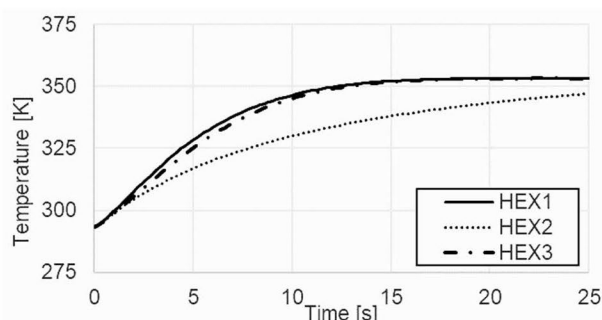


図 4 体積平均温度の時間経過

### 5. 結言

今回、伝熱シミュレーションを用いて高い熱応答性が得られる吸着塔(熱交換器)形状を検討した。しかし、従来の直交型熱交換器を上回る熱応答性を得られなかった。体積(熱容量)および温水配管のレイアウトについて今後検討を継続する。また、実際のプロセスでは低圧損性も必要となることから圧損解析も同時に実施する予定である。

### 参考文献

1)H.Vannak *et al.* :Separation and purification Technology 325(2023) 124688

キーワード： CO<sub>2</sub>分離・回収、吸着、熱交換器

## Developing CO<sub>2</sub> Separation and Desorption Performance Through The Design of The Heat Exchange Tower Support Solid Adsorbents

Electronics and Device Technology Section; Keisuke SEKIGUCHI and Yuichi SAKAI  
 Mechanics and Digital Engineering Section; Takafumi NAKAMURA  
 Monozukuri Research and Development Center; Takafumi YAMAMOTO

In this study, the heat exchangers to improve CO<sub>2</sub> capture performance of low-temperature-heat-driven temperature swing adsorption (TSA) were investigated. Previous research has shown that the heat exchange efficiency of adsorption towers has a significant impact on separation and recovery performances. Using 3D modeling and simulation, we try to design the shape of heat exchanger that would provide higher heat efficiency than a conventional orthogonal heat exchanger.