

技術紹介

PSA 式ガス発生装置スケールアップ時の性能予測手法

Method of prediction for performance when scaling up PSA

武井 宏之\*  
TAKEI Hiroyuki

長坂 徹\*\*  
NAGASAKA Toru

1. はじめに

様々なガスの分離、精製、回収に利用される PSA 式ガス発生装置（以下「PSA」）はスケールアップによりその性能が変化することがある<sup>1)</sup>。よって、要求されるガスの純度、回収率、製品ガス発生量などの仕様を満たすためには、何らかの方法でスケールアップの影響を予測して適切な設計マージンを設ける必要がある。

スケールアップの影響を確認する一般的な手法として、パイロット試験の実施<sup>2)</sup>やシミュレータによる検討<sup>3)</sup>が挙げられる。この内、シミュレータによる検討は比較的短時間で費用をかけずにスケールアップの影響を検討することができる。特に、平衡吸着量の差を利用する平衡分離型 PSA はスケールアップによる性能変化が大きいと予想されたため、これに対応可能なシミュレータの開発を実施した。CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> 平衡分離 PSA の例を通じて、開発したシミュレータによるスケールアップ時の性能予測手法を紹介する。

2. 吸着剤層温度分布の違いによるスケールアップ時の性能変化

吸着剤で物理吸着を行うとガス吸着時に発熱し、脱離時に吸熱する。このため、PSA ではガスの吸着脱離により吸着剤層内に温度分布が生じる。この時、塔径の大きな吸着塔と小さな吸着塔では外気への放熱量や吸着塔の熱容量が異なるため、装置をスケールアップすると吸着剤層の温度分布に違いが生じる。このため、小型装置の運転結果を基に決定した運転条件が大型装置で最適な運転条件とならない場合がある。この性能変化を予測するためには吸着剤層温度分布の違いを正確に推算しなければならないが、そのためには放熱量と熱容量を正確に見積もる必要がある。

3. CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> 平衡分離 PSA 用シミュレータ

図1に開発した CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> 平衡分離 PSA 用シミュレータのインターフェイスを示す。本シミュレータは流量、温度、圧力、濃度、切替時間などの運転条件、吸着塔の形状に関する情報、死容積の大きさの他、原料ガスと製品ガスの量を与えることで、物質移動係数、吸着平衡、吸着熱に関する情報を考慮して製品ガスの回収率と純度を求めることができる。

放熱量については、従来<sup>3)</sup>より蓄積したデータを基に決定した伝熱係数を用いて計算しており、正確な検討が可能となっている。一方、熱容量についてはこれまで吸着剤層の熱容量のみを使って温度を推算していたが、本シミュレータでは吸着塔の熱容量を含み入れた値を適用することにより、規模の異なる吸着塔でも吸着剤層温度分布の予測を可能とし、スケールアップによる影響の予測に使用できるようにした。

吸着筒	吸着筒内径	mm	計算開始サイクル番号	
	吸着材充填量	kg	計算終了サイクル番号	
	吸着材充填高さ	mm	結果出力サイクル間隔	
	吸着筒密度	kg/m <sup>3</sup>	結果出力充填高さ1	mm
	吸着筒比熱	J/(kg・K)	結果出力充填高さ2	mm
	吸着筒熱伝導率	W/(m・K)	結果出力充填高さ3	mm
	吸着筒下部空筒体積	L	結果出力充填高さ4	mm
	吸着筒上部空筒体積	L	結果出力充填高さ5	mm
	製品タンク体積	L	結果出力充填高さ6	mm
流量	気温	°C	結果出力充填高さ7	mm
	大気圧	kPa(a)	結果出力充填高さ8	mm
	原料中窒素モル分率	%	結果出力充填高さ9	mm
	原料中メタンモル分率	%	初期窒素モル分率	mol%
	原料流量	NL/min	初期メタンモル分率	mol%
	製品流量	NL/min		
	均圧1工程流量	NL/min		
	均圧2工程流量	NL/min		
	排気体積流量	L/min		
工程	加圧吸着工程時間	sec		
	均圧1工程時間	sec		
	均圧2工程時間	sec		
	待機工程時間	sec		

図1 CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> 平衡分離 PSA 用シミュレータのインターフェイス

\* 開発本部 山梨研究所 プロセス技術部 吸着技術課  
\*\* 開発本部 技術サポートセンター

#### 4. スケールアップ時の性能予測

開発したシミュレータが  $\text{CH}_4/\text{N}_2$  平衡分離 PSA のスケールアップによる影響の予測に使用できるかどうかを確認するため、同じ高さで塔径 300A と 40A の 2 種類の吸着塔を用いて評価した。ガス空塔速度が同じになるようにスケールアップした同様の条件にて実験を行い、それぞれについてシミュレーションを実施した。図 2 に今回検討した  $\text{CH}_4/\text{N}_2$  平衡分離 PSA のフローを示す。

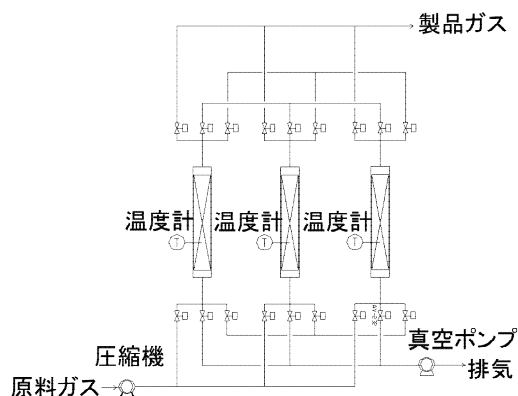


図 2  $\text{CH}_4/\text{N}_2$  平衡分離 PSA のフロー

##### 4.1 吸着剤層温度

図 3 に実験とシミュレーションの温度の比較を示す。なお、各実験ともに吸着塔内の同じ高さ位置の温度を代表して示している。

各実験ともにガスの吸着による温度上昇と脱離による温度低下が確認できる。40A の吸着塔による実験では吸着により  $32.4\text{ }^\circ\text{C}$  に上昇した後、脱離により  $24.8\text{ }^\circ\text{C}$  に低下しており、その変動幅は  $\Delta 7.6\text{ }^\circ\text{C}$  となっている。一方、300A の吸着塔では吸着により  $45.2\text{ }^\circ\text{C}$  に上昇した後、脱離により  $25.3\text{ }^\circ\text{C}$  に低下しており、その変動幅は  $\Delta 19.9\text{ }^\circ\text{C}$  となっている。40A の吸着塔では、吸着剤の熱容量より吸着塔の熱容量が大きく上回るため見掛けの比熱が大きくなり、温度の変動が抑制されるが、300A の吸着塔では、吸着塔と吸着剤の熱容量の差が縮小し、見掛けの比熱が小さくなり温度の変動幅が大きくなっていることが確認できる。シミュレーションはこれら実測の温度に対し  $\pm 10\%$  以内の精度で推算できているとともに、吸着塔の大きさの違いによる温度変化の違いを

よく表すことができています。以上より、開発したシミュレータは、吸着塔の熱容量を考慮することでスケールアップによる吸着剤層温度分布の違いを精度よく推算できることが確認できた。

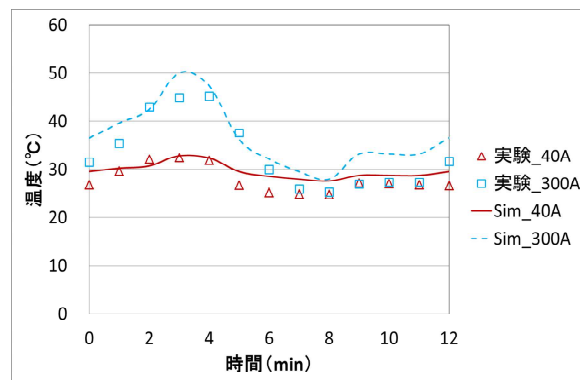


図 3 実験とシミュレーションの温度の比較

##### 4.2 PSA 性能

本 PSA は  $\text{CH}_4$  と  $\text{N}_2$  の両方を回収することが可能だが、今回は  $\text{N}_2$  を製品ガスとして評価した。図 4 に製品ガス純度と製品ガス発生量および製品ガス純度と製品ガス回収率の塔径毎の比較を示す。なお比較のため製品ガスの発生量は吸着剤 1 t あたりの値としている。

40A の吸着塔による実験では、不純物濃度 1.3 % の時の製品ガス発生量  $111\text{ Nm}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$  なのに対し、300A の吸着塔による実験では不純物濃度 1.2 % の時の製品ガス発生量  $98\text{ Nm}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$  となっていることから、同等の不純物濃度における製品ガス発生量のスケールアップによる性能変化は  $-12\%$  である。一方、実験と同条件でシミュレーションを実施したときの不純物濃度 1.0 % における製品ガス発生量は 40A の吸着塔による実験が  $111\text{ Nm}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$  に対し 300A の吸着塔による実験が  $102\text{ Nm}^3/(\text{h}\cdot\text{t})$  となっており、実際に対し 10 % 以内の精度で予測できている。またスケールアップによる性能変化を  $-8\%$  と見積もっており実験と同等の性能変化を予測している。なお製品ガス回収率についても同様の変化を予測している。

以上より、開発したシミュレータはスケールアップによる影響の予測に活用できると判断した。

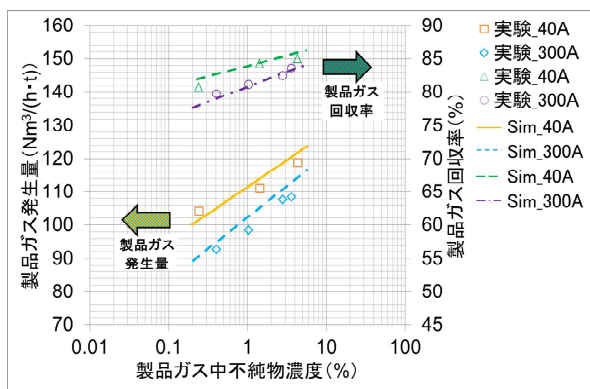


図4 製品ガス純度と PSA 性能の関係

## 5. まとめ

CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>分離の例より、平衡分離 PSA シミュレータに吸着塔の分を考慮した熱容量を適用することで、規模の異なる吸着塔の吸着剤層温度分布の変化を正確に推算することができ、その際の性能変化を予測可能であることが確認できた。これにより、平衡分離 PSA のスケールアップによる影響を予測することができるようになり、適切な設計マージンを設けることが可能である。

### 参考文献

- 1) 清水博. 吸着技術ハンドブック. 763-765, 1993.
- 2) 竹内擁. 最新吸着技術便覧プロセス・材料・設計, 84-85, 1999.
- 3) 浦上達司, 長坂徹, 菱沼一弘, 飛弾野龍也, 藤江和彦. 酸素 PSA プロセスのシミュレーション. 日本酸素技報, 17, 1998.