

ゼオライトフィルタを用いた 簡易SF₆/N₂混合ガス分離回収装置の実用化検討

Feasibility study of portable SF₆/N₂ mixture processing equipment

村瀬 洋[†] 依田正之[†] 澤 五郎[†] 猪原俊明^{††} 今井隆浩^{††} 豊田 充^{†††}

Hiroshi MURASE, Masayuki YODA, Goro SAWA, Toshiaki INOHARA, Takahiro IMAI, Mitsuru TOYODA

Abstract The authors once proposed to use a zeolite filter as portable SF₆/N₂ mixture processing equipment that condense SF₆ concentrations of the mixture and store processed gas. Performance test of a prototype filter showed that SF₆ is perfectly adsorbed and the exhausted gas from the filter is pure N₂ (undetectable level of SF₆ by gas chromatograph). The boundary of SF₆ adsorbed range has a steep front, indicating an effective operation of the filter. SF₆ fractions of the sorbate phase (solid phase) has been evaluated from the test result, and it is shown that high fraction is expected, for example 70% corresponding to processed mixture of 5% and 83% corresponding to processed mixture of 10%. The process of SF₆ release from and renewal of the filter by thermal swing adsorption (TSA) has also been investigated to find a commercially suitable temperature. The result indicates that about 150°C is suitable. Referring from these test results, discussions are made about the feasibility of this new concept portable SF₆/N₂ mixture processing equipment.

1. まえがき

六弗化イオウガス (SF₆) は、送変電機器をはじめ各種高電圧機器の絶縁媒体として幅広く使用され、機器の小型化と信頼性の向上に大きく寄与している。このSF₆は、大きな温暖化効果を持つことから^[1]、1997年の地球温暖化防止京都会議で排出規制の対象物質となった。SF₆を絶縁媒体としている高電圧機器は密閉構造で、しかも機器廃棄時のガス回収も管理されているため、SF₆が直接外部に排出される危険性は少ない。しかし、今後は使用量の削減に注力していく必要がある。この使用量削減策としてSF₆と窒素ガス (N₂) との混合ガスの利用が注目されている^[2]^[3]。絶縁性能の低下を極力抑えながらN₂で希釈し、SF₆量を大幅に削減しようとするものである。ところが、混合ガスは純粋なSF₆と異なり、液化による回収が困難で、混合ガス適用の高電圧機器開発、ならびにその実用化の大きな障壁となっていた。

著者らはこの障壁を取り除くべく、SF₆/N₂混合ガスからSF₆を分離・液化して貯蔵する方法について検討してきた^[4]。様々なガス分離法のなかで、ゼオライトと呼ばれる吸着剤による圧力操作法 (PSA: Pressure Swing Adsorption)^[5]を応用した試作装置を製作し、その性能について検討したものである。著者らはこの試作器による基礎検討から、

現地でのSF₆ガス回収を目的とした新しい簡易可搬形装置の実現可能性を得た。

本稿は、ゼオライトによるガス分離の原理について述べるとともに、先に提案した、現地でのSF₆ガス回収を目的とする新しい方式の可搬式装置の実用化の可能性について検討したものである。この方式は、SF₆に対するゼオライトの強い選択度を利用したもので、容器内にゼオライトを封入したのみという極めて単純な装置である。また、この装置はガス分離と同時に貯蔵の役割も果たしている。本装置はこのように、極めて単純であり、早い処理速度が期待できる。

2. ゼオライトによるガス分離の原理

ゼオライトは日本語名で「沸石」といい、天然産のものと合成のものがある。これはアルカリ土類金属を含む結晶性の含水アルミノケイ酸塩で、図1、図2に示すような三次元的網目構造をもっている。結晶構造内には空洞と呼ばれる孔を持ち、隣り合う空洞は細孔と呼ばれる通路で結ばれている。普通はこの空洞内に結晶水をもっているが、結晶を加熱乾燥すると結晶構造を保ったまま結晶水が離脱し、空洞の中に水や他の分子を吸着する能力を持つようになる。この空洞や細孔の大きさおよび吸着能力は、結晶内に含有するアルカリまたはアルカリ土類金属を他の金属に置換することで変化させることができる。現在一般的に市販されている合成ゼオライトの種類を表1に示す。

このようなゼオライトによるガス分離の機構について

[†] 愛知工業大学 工学部 電気工学科 (豊田市)

^{††} TM T&D 株式会社 研究開発部 (川崎市)

^{†††} TM T&D 株式会社 開閉装置部 (川崎市)

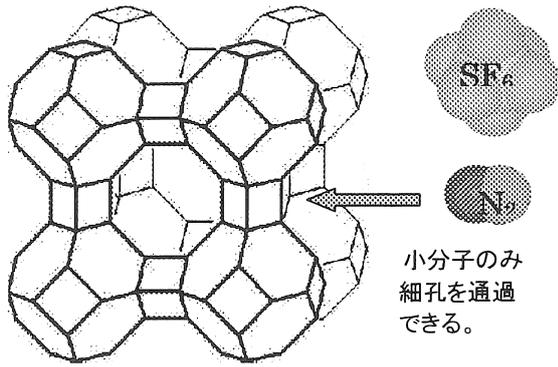


図1 A型ゼオライト結晶の単位骨格構造

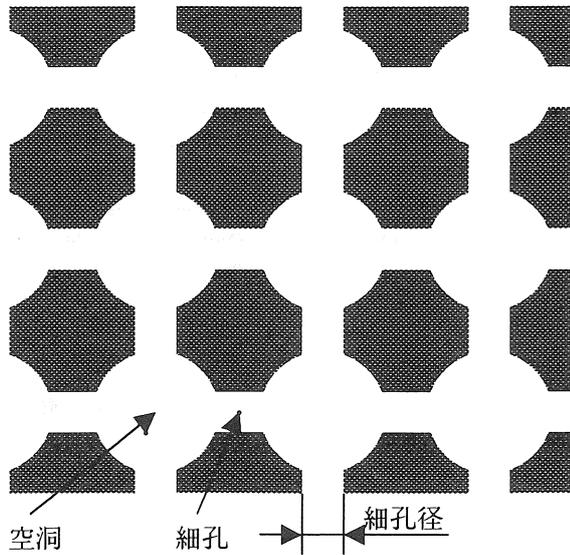


図2 A型ゼオライトの結晶模式図(結晶の断面図)

表1 市販の代表的合成ゼオライト

名称		細孔径	主要金属イオン
A 型	K-A	3Å	K ⁺
	Na-A	4Å	Na ⁺
	Ca-A	5Å	Ca ²⁺
X 型	Na-X	10Å	Na ⁺
	Ca-X	8Å	Ca ²⁺
Y 型		10Å	Na ⁺
L 型		8Å	K ⁺
Mordenite		7Å	Na ⁺
Chabazite		5Å	Na ⁺ , Ca ²⁺

は、「分子ふるい効果」と「極性効果(極性吸着力の差)」を挙げることができる。以下に両機構について概説する。

<分子ふるい効果> 細孔の構造は結晶格子によって決定されるため、同一種の細孔の大きさ、すなわち、細孔径は常に一定である。したがって、図1に示すように、細孔径より小さなサイズの分子は細孔を通りぬけ空洞に吸着されるが、細孔径より大きなサイズの分子は細孔を通り

ぬけることができず吸着されることがない。これが分子ふるい効果である^[7]。著者らの検討により、N₂分子の大きさは3.1~4.2Åであるのに対し、SF₆分子は5.5~6.1Åであることがわかった。細孔径が4~5Åのゼオライトを使用すれば、分子ふるい効果が期待できる。例えば表1に示す細孔径が5ÅのCa-A型と呼ばれるゼオライトを使用すれば、N₂分子のみ吸着し、ガス分離効果が期待できる。

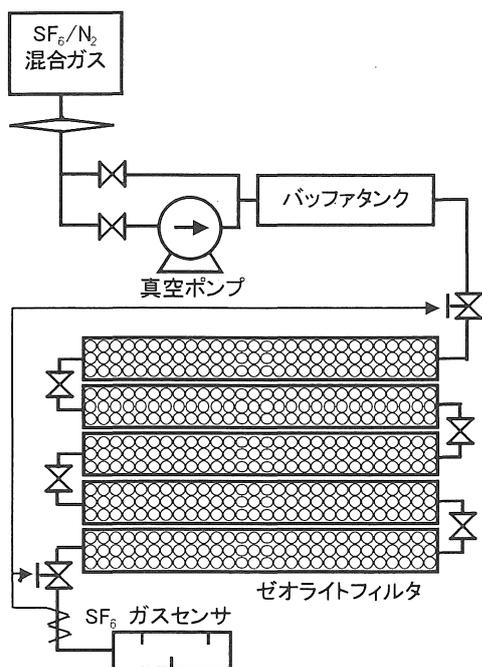
<極性効果(極性吸着力の差)> ゼオライトの吸着点は空洞内部の陽イオンであり、負イオンまたは分極した分子を強く吸着する。また近接した分子には分極を誘起して吸着する^[6]。このように、極性の強い分子がより強い引力を受け優先的に吸着する。すでに分子が吸着している状態で、より極性の強い分子が来た場合にはその分子に置換される。吸着の選択性の強い順に代表的気体分子を並べると次のようになる; H₂O > NH₃ > H₂S > SO₂ > SOF₂ > CO₂ > SF₆ > CF₄ > CO > N₂ > O₂ > Ar > H₂ この吸着の選択性によりガス分離効果が期待できる。SF₆とN₂を比較すると、SF₆がはるかに強く吸着される^[7]。ここで表1に示す細孔径が10ÅのNa-X型と呼ばれるゼオライトを使用すれば、SF₆分子も細孔を通り抜けて選択的に吸着され、またすでに吸着しているN₂分子に対して置換することにより、ガス分離効果が期待できる。

3. ゼオライトフィルタによるガス分離

混合ガス処理過程の概略を図3に示す。本提案のSF₆ガス回収装置は、低濃度SF₆混合ガスをゼオライトフィルタに流すのみという単純な構成である。混合ガスをゼオライトフィルタに流すために、入り口のガス圧を大気圧よりも高くし、出口のガス圧は大気圧と等しくしている。処理すべき混合ガスの圧力が入り口の設定圧力よりも高い場合は、圧力調整器を通してバッファタンクに設定ガス圧の処理ガスを貯蔵した後、このガスをゼオライトフィルタに流す。一方、処理すべき混合ガスの圧力が設定ガス圧より低い場合には、真空ポンプおよびコンプレッサにより設定ガス圧まで加圧してバッファタンクに貯蔵し、その後ゼオライトフィルタに流す。このようにしてゼオライトフィルタには常に一定方向のガス流が確保される。ゼオライトフィルタ入り口の設定圧力は一般に、大気圧よりわずかに高い圧力でよく、高出力のコンプレッサを必要としない。

ゼオライトフィルタには、N₂に比較してSF₆を選択的に吸着するゼオライトを充填する。本研究では、公称細孔径が10ÅのNa-X型と呼ばれるゼオライトを選択する。

ここではゼオライトによるガス分離の機構として、「極性効果(極性吸着力の差)」を応用する。先にも述べたように、ゼオライトの吸着点は空洞内部の陽イオンであり、負イオンまたは分極した分子を強く吸着する。また近接した分子には分極を誘起して吸着する^[6]。分子の種類によって分極しやすさが異なり、したがって吸着される程度が

図3 可搬式 SF₆/N₂ 混合ガス処理装置の概略

異なることが知られている。SF₆とN₂を比較するとSF₆ははるかに強く吸着される^[7]。この効果は、N₂に対するSF₆の「選択度」で表現される^{[8] [9]}。この選択度の定量的考察については、後述の吸着ガスのSF₆濃度、吸着量、処理可能ガス量の項目で詳述する。

ゼオライトフィルタを出るガスは純粋なN₂と考えてよく、大気中に放出する。しかし、ゼオライトの吸着が進み、SF₆の吸着量が飽和に達すると、ゼオライトフィルタを通過するガスにはSF₆が含まれるようになる。このときゼオライトフィルタの出口に設置したSF₆ガスセンサが反応し、ゼオライトフィルタ入り口と出口のガス配管ガスバルブを閉じ、このゼオライトフィルタの役割を終える。

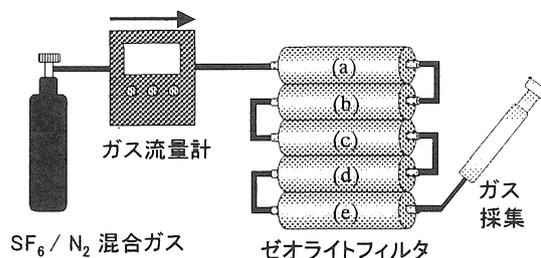
4. ゼオライトフィルタによるSF₆吸着試験

ゼオライトフィルタによるSF₆の除去特性を確認するために、一定濃度の混合ガスを一定量流し、各部のSF₆濃度の時間的変化を測定する。これにより、ゼオライトフィルタ内の気相SF₆濃度分布、最終的な液相SF₆濃度、処理可能ガス量を考察する。

<調査方法> ゼオライトフィルタに充填する吸着剤は、細孔径10ÅのNa-X型ゼオライトで、長さ550mm、内径90mmの円柱容器5本に総量10kgを充填している。調査に用いたゼオライトフィルタの外観を図4に示す。調査方法の概略を図5に示す。5個の円柱容器を直列に接続し、一方の端からSF₆濃度が5%の混合ガスを、一定



図4 ゼオライトフィルタの外観

図5 ゼオライトフィルタによるSF₆分離特性試験構成

流量を保ち連続的に注入する。この状態で各円柱容器の出口のSF₆濃度を定期的に測定する。各円柱容器を区別するため、ガスの入り口から順に(a)、(b)、(c)、(d)、(e)と呼ぶことにする。本調査は室温、すなわち約20°Cの温度のもとで実施している。

<調査結果> 表2に補助吸着塔への5% SF₆混合ガス注入量を6lit/minとした時の調査結果を示す。また表3には、12lit/minとした時の調査結果を示す。図中trなる記号は、ガスクロマトグラフで65ppm未満のごく微量のSF₆が検出されたことを示す。注入量を12lit/minとした時のゼオライトフィルタ入り口のガス圧は約0.12MPa(abs)であった。

<考察> 表2、表3ともに、ゼオライトが活性な間はゼオライトフィルタから流出するガスにSF₆は含まれず(観測されず)、純粋なN₂であることを示している。したがって、このガスを大気中に放出することには問題がなく、このフィルタが十分な機能を有していることがわかる。

表2に示すガス流量6lit/minにおいて、容器(e)の出口でSF₆が観測されるまでの時間は9.5hである。この時間内での混合ガス処理量は、

$$6 \times 9.5 \times 60 = 3420 \text{ (lit)}$$

となる。また、吸着されたSF₆はおおよそ次の値となる。

$$3420 \times 5 / 100 = 171 \text{ (lit)}$$

表2 補助吸着塔各容器出口の排出ガス SF₆ 濃度 (6 lit/min)

時間 (h)	各容器出口の SF ₆ 濃度 (%)				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
0.5	0	0			0
1.5	0	0			0
2.0	0	0			0
2.5	0.02	0			0
3.0	3.74	0			0
3.5	4.21	0			0
4.0	4.44	2.17	0		0
5.0	4.82	4.33	0		0
6.0	4.91	4.68	2.99	0	0
7.5	4.80	4.80	4.33	2.09	0
8.5	4.85	4.68	4.59	3.74	0
9.5	4.97	4.91	4.80	4.44	2.41

表3 補助吸着塔各容器出口の排出ガス SF₆ 濃度 (12 lit/min)

時間 (h)	各容器出口の SF ₆ 濃度 (%)				
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
0.5	tr				0
1.0	3.69				0
1.5		0			0
2.0		3.42	0		0
2.5			0		
3.0			3.33	0	
3.5				tr	0
3.75				1.55	0

これらの結果、10kg のゼオライトにより処理できる 5% SF₆ 混合ガス量の上限は 3420 lit といえる。また 10kg のゼオライトに吸着される SF₆ は 171 lit となる。

一方、表2に示す 12 lit/min では、供試ガスがなくなり途中で調査を打ち切ったものの、6 lit/min の場合と同様な結果となることが予想できる。

次に、ゼオライトへの SF₆ の吸着領域が時間の経過と共にどのように変化するかを検討する。この変化を目視化するために、SF₆ 濃度の調査結果が豊富な表2に示す結果をグラフ化する。結果を図6に示す。実線は容器(a)出口の SF₆ 濃度変化カーブを他の容器出口の SF₆ 濃度カーブ立ち上がり測定点に一致するように平行移動させたものである。容器(b)の測定点は、このカーブによく一致しているが、容器(c)および(d)の測定点はこのカーブからずれている。すなわち、点線で示すように、SF₆ 濃度変化が緩やかになっている。いずれにせよ、本図から、SF₆ を吸着した領域と未吸着の領域はかなり明確な境界を有することがわかる。この結果は、ゼオライトフィルタから排気される N₂ 中に SF₆ が多少なりとも観測されたときには、殆どの吸着剤が SF₆ を吸着しきった状態にあることを意味しており、吸着剤を効率的に使用する上で極めて好都合と言える。

本稿では具体的な結果を示さないが、SF₆ 濃度 1% の混合ガスについても同様な調査を実施している (6 lit/min)。

上述と同様な手法で計算した 1% 混合ガス処理量は、ゼオライト 10kg あたり 4575 lit で、SF₆ 吸着量は 45.75 lit となる。

5. ゼオライトフィルタへの吸着量に関する考察

ここでは、これまでの調査結果と文献に記載されている平衡吸着量をもとに、様々な SF₆ 濃度の処理ガスについて、20℃、1気圧のもとで 10kg のゼオライトに吸着される SF₆ 量、吸着ガスの SF₆ 濃度および処理可能ガス量を考察する。これらの値は、本可搬式簡易混合ガス処理装置を設計するうえで重要なパラメータとなる。

2成分混合ガスの吸着において、それぞれの成分の平衡圧力を P₁, P₂ とおき、吸着量を N₁, N₂ とおくと、成分 1 の選択度と呼ばれる値 S は次式で与えられ、温度が一定の場合は定数とみなすことができる^[8]。

$$S = (N_1/P_1)/(N_2/P_2) \quad (1)$$

一定圧力、一定温度のもとで成分 1 の単独吸着量を N₁'、成分 2 の単独吸着量を N₂' とおけば次式が成立する^[9]。

$$N_1/N_1' + N_2/N_2' = 1 \quad (2)$$

成分 1 (SF₆) の単独吸着量は文献 [7] の結果から、温度 20℃、では 10kg の 13X ゼオライトにおいて 360 lit と推測できる。また、成分 2 (N₂) の単独吸着量は文献 [9] の結果から 140 lit と推測できる。すなわち、

$$N_1' = 360, N_2' = 140 \quad (3)$$

ここで、処理ガスの濃度を x% とおけば、次の式が成立する。

$$P_1 = X/100, P_1 + P_2 = 1 \quad (4)$$

(3)式、(4)式で N₁'、N₂'、P₁、P₂ が与えられるので、(1)、(2)式に加えてなんらかの条件が与えられれば、残りのすべて S の値として 44 を得る。すなわち、

$$S = 44 \quad (6)$$

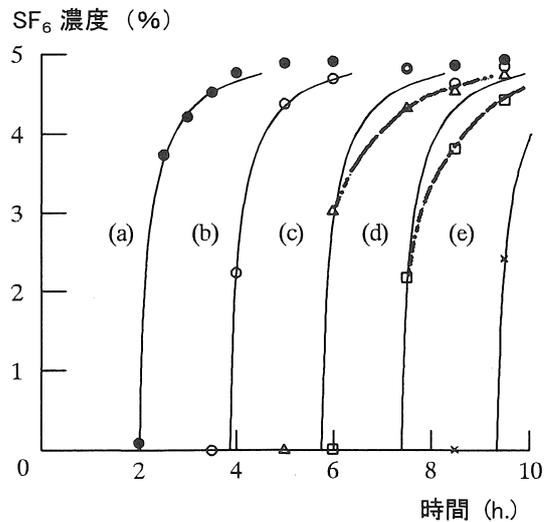


図6 補助吸着塔各容器出口の排出ガス SF₆ 濃度変化

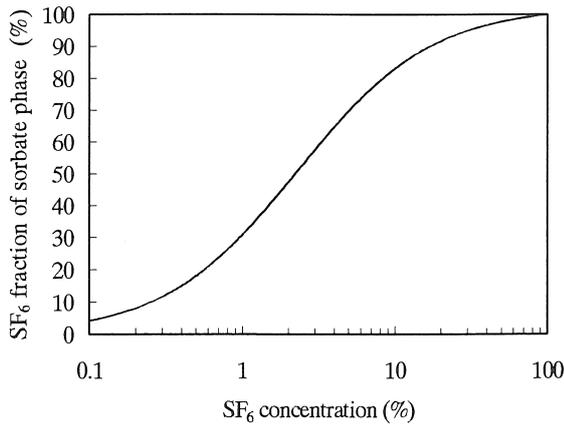


図7 処理ガスSF₆濃度と吸着相SF₆濃度との関係

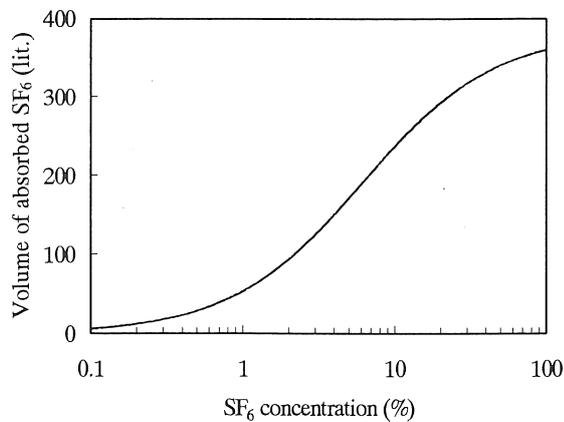


図8 処理ガスSF₆濃度と10kgゼオライトへのSF₆吸着量

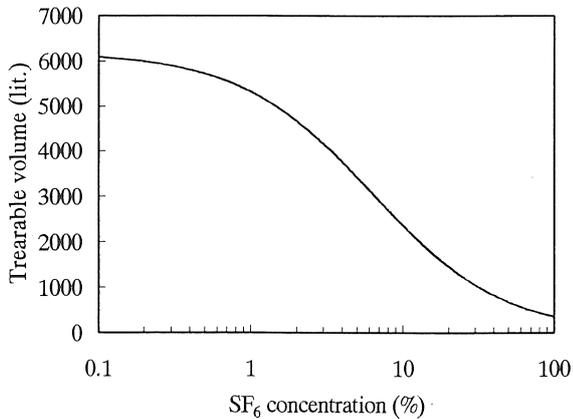


図9 処理ガスSF₆濃度と10kgゼオライトによる処理可能量

選択度 S の値が与えられれば、様々な x に対して N_1, N_2 の値が計算できる。20°C、1気圧のもとでゼオライトに吸着される吸着相のSF₆濃度、10kgのゼオライトに吸着されるSF₆量、および処理可能ガス量の上限を図7、図8、図9に示す。

これらの図を見ると、大きな選択度の値によりかなり効率のよい吸着、貯蔵が可能であることがわかる。たとえば、

5%濃度の混合ガスを処理した場合、吸着ガスの濃度は70%程度となり14倍に、10%濃度では83%、8.3倍に濃縮されることがわかる。また図8によれば、多量のSF₆が吸着され、ゼオライトフィルタをSF₆貯蔵タンクとして使用する可能性を示唆している。

6. ゼオライトフィルタからのSF₆回収と吸着剤の再生

現地での作業は、ゼオライトフィルタに処理ガスを流すのみである。しかし、最終的にはゼオライトフィルタに吸着されたSF₆を脱着/回収し、ゼオライトフィルタを再生するとともに、回収した混合ガス中のSF₆を液化貯蔵することで再利用する必要がある。

ゼオライトフィルタはSF₆分子を強力に吸着しているために、一度吸着されたSF₆を脱着し回収することは容易ではない。この脱着を比較的短時間に実施する方法として、吸着剤の温度を上昇する加熱操作法(TSA)が知られている。ここでは、SF₆の液化貯蔵に関する言及は避け、TSAによるSF₆回収およびゼオライトフィルタの再生に注目し実験的検討を推進する。

<試験手順と方法> 様々な温度におけるSF₆の脱着速度を次の手順で調査する。すなわち、ガラス製のビーカに新品のゼオライトを入れ、全体をステンレス製の圧力容器に入れる。ゼオライトが吸着している空気等を除くため数時間の真空処理後、SF₆を大気圧まで封入しゼオライトに吸着させ、各種温度の大気雰囲気の下でのゼオライトの重量変化を測定する。

<試験結果> 図10にゼオライトの重量変化を示す。縦軸はSF₆を吸着した初期の状態の重量を基準とした重量の減少率(%)を表し、横軸はゼオライトを恒温槽に入れてからの時間(min)を表す。

<考察> 図10は、ゼオライトの温度が高くなるに従い、より速やかにSF₆を脱着する様子をよく表している。

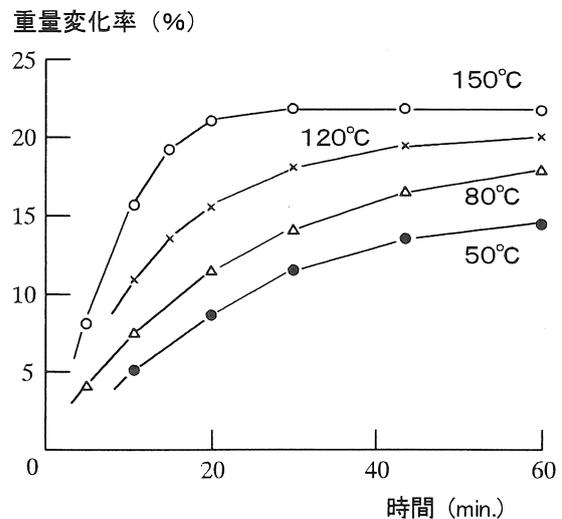


図10 各温度におけるゼオライトのSF₆脱着速度

温度が 150°C の場合を除いて、60 分以内では最終的な平衡状態には達していない。すなわち、150°C では 30 分未満で脱着が完了しているのに対し、120°C 以下では 60 分でも脱着が完了しないことがわかる。

乾燥剤としてのゼオライトの再生法、すなわち水分の脱着法として、加熱したパージガス(たとえば N_2)を挿入する加熱再生が知られている。このパージガスの温度は 200~300°C が適当とされている^[10]。しかし、 SF_6 の脱着では上述の結果から 150°C 程度で十分と考えられる。ただし、本研究で扱う SF_6 は回収が前提であるので、パージガスを挿入する方法は適切ではない。パージガスの挿入は処理すべき混合ガスを多量に作り出すことにつながるからである。したがって、加熱真空処理が必要となる。この時、真空ポンプの能力に見合った最適な脱着温度が存在する事も考えられる。

7. 可搬型簡易 SF_6 回収装置の諸元検討

本装置の最大の特徴は、装置の単純さにある。最終的には工場内に持ち込み、回収ガスの液化処理が必要となるものの、現地では、処理したいガスをゼオライトフィルタに通すだけという極めて単純な作業ですむ。したがって、早い処理速度と、低い電力消費量が期待できる。

ここでは、これまでの調査、検討から得た本提案の新しいガス処理装置の諸元や性能を、著者らが先に開発した SF_6 回収装置試作器^[5]と比較する。

6.1 ガス分離装置としてのゼオライトフィルタ

表 4 に、ゼオライトフィルタと SF_6 ガス回収装置試作器^[5]の性能比較を示す。比較は、供給ガス圧を得るための真空ポンプ、コンプレッサを含まない状態で、 SF_6 ガス回収装置試作器の性能は、大気に放出する純粋な N_2 を得るための補助吸着塔を含まない状態での値とする。ゼオライトフィルタのガス分離装置としての性能は、表 3 の SF_6 吸着試験結果から得た値である。ゼオライトフィルタの処理速度 12 lit/min は、上限を求めた値ではなく確実に処理できる実績値である。 SF_6 ガス回収装置試作器の処理量上限は、液化タンク容量 3.4 lit に保存できる上限を示している。ゼオライトフィルタの体積は、フィルタ容器とガス配管をすっぽり収納できる直方体の体積とする。

表 4 によれば、ゼオライトフィルタの体積が試作器に比べて 1/34.5 と小さいにもかかわらず、処理量上限を除いて試作器と同程度もしくは上回る性能を有していることがわかる。特に低い供給ガス圧、極めて低い残留 SF_6 濃度が魅力的と思われる。

処理速度や処理量上限については、本来装置体積を同一にした状態で比較すべきと考える。そこで、ゼオライトフィルタのガス流路長を変えないで断面積を 34.5 倍とすることで両者の体積を同一とする場合を考える。ただし、ゼオライトフ

表 4 SF_6 ガス分離装置としてのゼオライトフィルタと SF_6 ガス回収装置試作器^[5]との性能比較
(5% SF_6 混合ガスの処理、20°C での実験値)

比較項目	ゼオライトフィルタ	試作器
処理速度	12 lit/min	13 lit/min
処理量上限	3420 lit	15900 lit
装置体積	28.5 lit	984 lit
供給ガス圧	0.12 MPa	0.30 MPa
大気放出ガス SF_6 残留濃度	0 % (65 ppm 未満)	0.36 %
濃縮ガスの SF_6 濃度	70 %	60 %

ィルタには、 SF_6 吸着の際の発熱の問題があり、冷却用の空間が必要となることが考えられるが、ここではこの空間を無視して考察する。

このとき単純に計算すれば、処理速度、処理量上限ともに 34.5 倍の 414 lit および 118000 lit となることが期待できる。すなわち、同じ装置体積で試作器を大きく上回る処理速度が得られ、処理量の上限も試作器を凌駕することがわかる。

これまでの議論は、ゼオライトフィルタを現地で使用する状況を前提としている。実際には、工場にゼオライトフィルタを持ちかえり、吸着している SF_6 を脱着して回収し、液化貯蔵するとともに、ゼオライトフィルタを再生する作業が伴うことを明記しておく必要がある。ただ、図 8 の考察から、5%の混合ガスを処理した場合でも吸着ガスの濃度は 70%程度であることがわかり、脱着回収後の液化はそれ程困難ではないと考えられる。

6.2 ガス貯蔵装置としてのゼオライトフィルタ

ゼオライトフィルタは最終段階の SF_6 貯蔵装置ではないが、工場での SF_6 回収までは貯蔵装置として使用する必要がある。ゼオライトフィルタを SF_6 貯蔵装置として使用する場合、温度変化に伴う内部圧力変化がフィルタ容器設計上重要な要素となる。図 1 に内部圧力の周囲温度依存性の実験結果を示す。吸着ガスは純粋 SF_6 とした。2本の曲線は初期条件が異なる。上方の曲線は、0°C、0.1MPa(abs)の下で SF_6 を吸着した場合、下方の曲線は 18°C、0.1MPa(abs)の下で SF_6 を吸着した場合の周囲温度変化に対する内部圧力の変化を示す。上方の曲線で、周囲温度が 0°C から 40°C に上昇すると内部圧力は 0.1MPa から 0.46MPa に上昇している。この 0.46MPa をゼオライトフィルタ容器の最大使用圧力とすることを提案する。

表 5 にて、 SF_6 ガス貯蔵装置としてのゼオライトフィルタと一般的に使用されている SF_6 液化ストレージタンクの諸元を比較する。ストレージタンクの貯蔵可能量は、その容積全てを液化 SF_6 が充填できるものとする。

液化タンクと比較したゼオライトフィルタは、 SF_6 貯蔵密度が低い点が短所となるが、容器の最大使用圧力を小さくできる点が大きな長所となる。また、本表には現れてこ

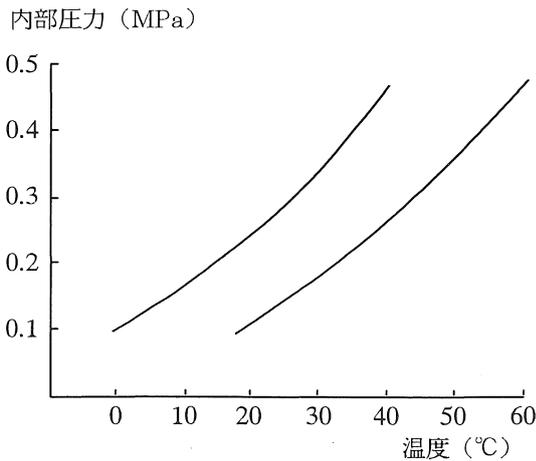


図 1.1 ゼオライトフィルタ内部圧力の周囲温度依存性

表 5 SF₆ ガス貯蔵装置としてのゼオライトフィルタと液化ストレージタンクとの性能比較 (20°Cでの比較、純 SF₆ を吸着させた場合)

比較項目	ゼオライトフィルタ	液化タンク
タンク内ガス相のガス圧力	0.1 MPa	2.1 MPa
貯蔵密度	0.125 kg/lit	1.37 kg/lit
SF ₆ 1kg を貯蔵するための重量	ゼオライト：4.6kg タンク：4.1kg 計：8.7kg	タンク：0.79kg
タンク最大使用圧力	0.46 MPa (abs)	4.0 MPa (abs)

ないが、ゼオライトフィルタへの貯蔵は液化装置が不要である点も現地で使用する場合の大きな長所となる。

8. むすび

ゼオライトによるガス吸着の選択性を SF₆/N₂ 混合ガスからの SF₆ 回収/N₂ 排気に応用したゼオライトフィルタの簡易試作装置を製作してその動作試験を実施した。そして、このガス分離装置としての特性を考察するとともに、SF₆ 貯蔵装置としての特性も考察した。その結果、次の結論を得た。

(1) つよい吸着の選択度により、ゼオライトフィルタを通過したガスは純粋な N₂ で、残留 SF₆ をガスクロマトグラフで検出できないレベルとすることが可能であることを確かめた。

(2) ゼオライトフィルタへの吸着ガス SF₆ 濃度は処理ガスからかなり濃縮され、5%のガスを処理した場合、70%となる。このガスを脱着/回収して SF₆ を液化するのは容易と考えられる。

(3) TSA を利用した補助吸着塔からの SF₆ 脱着/回収は、150°C程度の温度が適切と思われる。

(4) ゼオライトフィルタは簡易的な SF₆ 貯蔵タンクとしても利用できる。このタンクの特徴は、タンクの最高使用圧力が 0.46MPa(abs)と低い点にある。

本研究により、ゼオライトフィルタのガス分離装置としての性能およびガス貯蔵タンクとしての性能が確認された。本装置は構造が単純で、高い処理ガス圧力を必要としないことから、簡易可搬形混合ガス処理装置として大きな威力を発揮するものと確信する。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), "Climate Change 1995," J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, New York, 22(1996)
- [2] L.G. Christophorou, J.K. Olthoff, and R.J. VanBrunt, "Sulfur Hexafluoride and the Electric Power Industry", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.13, No.5, 20(1997)
- [3] L.G. Christophorou, J.K. Olthoff, and D.S. Green, "Gases for Electrical Insulation and Arc Interruption: Possible Present and Future Alternatives to Pure SF₆," NIST Technical Note 1425, November 1997
- [4] M. Toyoda, et al. "Application of Pressure Swing Adsorption to SF₆ Separation and Liquefaction from SF₆/N₂ Mixtures", 2000 IEEE PES Winter Meeting, Paper No. 2000WM-475
- [5] 村瀬、他：「ゼオライトを用いた SF₆/N₂ 混合ガス分離回収装置の開発」、電学論 B, 121 巻 10 号, 1394-1401 (2001)
- [6] Ralph T. Yang, "Gas Separation by Adsorption Process", Imperial College Press
- [7] D. Berg and W. M. Hickam, "Sorption of sulfur hexafluoride by artificial zeolites", J. Phys. Chem. Vol.65, 1911(1961)
- [8] W. Sievers and A. Mersmann, "Single and Multicomponent Adsorption Equilibria of Carbon Dioxide, Nitrogen, Carbon Monoxide and Methan in Hydrogen Purification Processes", Chem. Eng. Technol. 17, 325(1994)
- [9] Jong-Nam Kim et al. , "Non-Isothermal Adsorption of Nitrogen-Carbon Dioxide Mixture in a Fixed Bed of Zeolite-X", J. of Chem. Eng. Of Japan, Vol.27, No.1, 45(1994)
- [10] G.M.Lukchis, "Adsorption Systems", Chemical Engineering / August 6, 83(1973)

(受理 平成15年 3月19日)