

酸素富化膜とその産業分野への応用

Oxygen Enrichment Membranes and their Applications in Industry

今 福 実*

Minoru Imafuku

1. はじめに

空気は人間にとって不可欠なものであり、また物を燃焼させるときや金属の製錬にも欠くことのできない重要な物質である。これは空気に含まれる21%の酸素がこれらのプロセスに大きな役割を果しているためである。ところで、21%の酸素を含む通常の空気の代わりに酸素をより多く含む空気を使用したらどうだろう。呼吸用であれば肺機能の弱い病人には大変効果があり、燃焼用であれば燃焼に必要な窒素量が少ないだけ燃焼温度が上がり燃焼効率の大巾なアップにつながる。このような通常空気より酸素濃度の高い空気は酸素富化空気と呼ばれ、この利用は種々の分野で計り知れない大きな効果をもたらす。特に昭和48年に端を発する石油ショック以来、たび重なる石油価格の高騰により省エネルギー技術が注目され、その中でも燃焼関係における酸素富化空気の利用が省エネルギーに大きな役割を果すことから、酸素富化膜による酸素富化空気の製造が一躍脚光を浴びた。以下にその開発状況と将来考えられる産業分野への利用について述べてみる。

2. 膜による酸素富化空気の製造原理

酸素富化空気の製法には後述するようにいくつかの方法がある。その中でとりわけ将来性を期待されている方法が、高分子製薄膜膜を利用した酸素富化膜技術である。大半の非多孔質高分子膜が、空気中の窒素より酸素を選択的に多く透過する性質を利用したもので、膜を透過させるだけで酸素濃度の高い空気を得られる。次に一般的な酸素富化空気の製造原理について述べる。

一般に非多孔質の膜によるガスの透過速度 Q ($\text{cm}^3(\text{STP})/\text{sec}$) は次の(1)式で表せる。

$$Q = \frac{K(P_1 - P_2)A}{l} \quad (1)$$

ここで、 K はガスの透過係数($\text{cm}^3(\text{STP}) \cdot \text{cm}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot \text{cmHg}$)、 P_1 、 P_2 は各々供給側と透過側の圧力(cmHg)、 A は膜面積(cm^2)、 l は膜厚(cm)である。

この式からわかるように、ガスの透過速度 Q は次の3つの要素により決定される。

- ① 膜素材のガス透過性：透過係数 K で示され、膜素材とガスの親和性によって決まり、値が大きいほどガスを多く透過する。
- ② 膜の構造：使用される膜厚が薄く、しかも面積を広く取れる膜ほど速度が増加する。膜厚は実験室的製法では $0.01 \mu\text{m}$ 程度まで可能であるが、工業的には $0.1 \mu\text{m}$ が限界といわれており、いかに薄くて丈夫な膜を作れるかが大きなポイントである。一方、膜面積は膜の形態により大きく異なり平膜と中空糸膜の2形態がある。モジュール化したときの膜充填面積は中空糸膜が平膜の約100倍あるといわれている。
- ③ 操作条件：ガスが透過するのは、供給側でガスが膜に溶解し、それから膜内を拡散して透過側に放出されるプロセスから成っている。この駆動力は供給側と透過側のガスの圧力差であるため、差圧が大きいほど速度は大きい。差圧発生法には、供給側を大気圧にし透過側を減圧にする減圧法と、供給側を加圧して透過側を低圧にする加圧法の2つが考えられ、コスト的に減圧法が優れているといわれている。

以上のように、膜の実用化にあたっては、透過速度をできるだけ大きくすることが開発のポイントになるわけだが、その中でも特に膜素材のガス透過性を示す透過係数の大きい膜を開発することが重要である。しかし空気から酸素富化空気を得るように、分離を目的とする際には、式(1)は酸素と窒素ガスの両方にあてはまるわけだから、両方のガスの速度が大きいだけでは酸素は濃縮されない。

そこで、ガスの分離には分離係数といわれるもう1

* 日本酸素膜技術本部技術開発センター

〒210 川崎市幸区塚越4-320

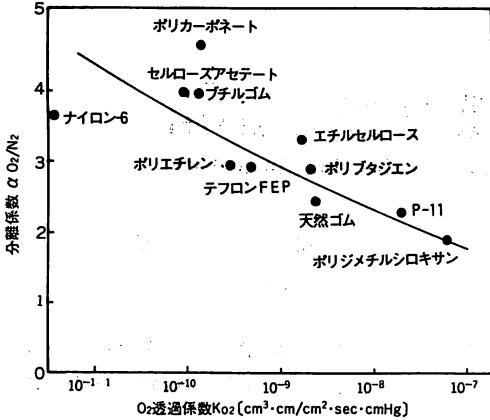


図-1 高分子膜の酸素透過係数と分離係数

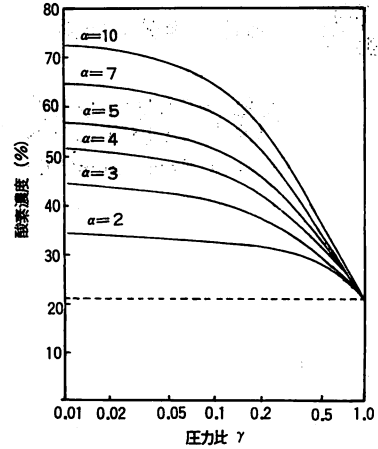


図-2 分離係数と酸素濃度の関係

つ重要な因子が必要である。濃縮したいガスをできるだけ多く通し、不要なガスを透過しない、すなわち選択性の大きいことが重要である。

一般にガスの分離係数 α は、供給側の2成分からなる混合ガスAおよびBのモル数を W_A および W_B とし、透過側のモル数を Y_A および Y_B とすると式(2)のように表せる。

$$\alpha_{AB} = \frac{Y_A/Y_B}{W_A/W_B} \quad (2)$$

この分離係数 α_{AB} は、実ガスを透過させて得られた数値から求められるものであって、通常の計算では理論的な分離係数である次式(3)を用いることが多い。

$$\alpha_{AB} = \frac{K_A}{K_B} \quad (3)$$

ここで K_A および K_B は純ガスAおよびBの透過係数である。 α_{AB} の値が大きいかほど目的とするガスの濃度が高くなり有利な分離膜といえる。このように膜でガスを分

離するにあたっては、目的とするガスの透過速度と不要なガスとの分離係数がともに大きいことが重要である。しかし膜素材の一般的性質としては、図-1のように透過係数と分離係数が相反する関係にあり、それゆえに優れた膜の開発は難しいといえる。

さて、以上の式を用いて空気から酸素富化空気を得るための膜性能や操作条件を考察してみる。空気中の酸素と窒素がそれぞれ式(1)が成立するとし、供給側(空気側)および透過側(酸素富化空気側)の全圧をそれぞれ P_1 および P_2 、また酸素および窒素のモル分率を X_O および X_N とすると、透過側の濃度比は酸素および窒素単独の透過速度の比に等しいので式(4)が得られる。

$$\frac{X_{O_2}}{X_{N_2}} = \frac{K_O (P_1 X_{O_1} - P_2 X_{O_2})}{K_N (P_1 X_{N_1} - P_2 X_{N_2})} \quad (4)$$

表1 最近の酸素富化膜材

膜 素 材	膜 形 態	性 能			メーカ	開発段階
		酸素透過係数	酸素透過量	分離係数		
		cm ³ (STP)/cm ² ·sec·cmHg	cm ³ (STP)/cm ² ·sec·cmHg			
ポリシロキサン/ポリスルホン	中空糸複合膜	—	9.7×10^{-6}	5.4	モンサント	コマーシャル
ジメチルシリコーン/多孔質ポリスルホン	スパイラル複合膜	5×10^{-8}	—	2.0	U O P	パイロット
ポリシロキサン/ポリカーボネート	平複合膜	1.7×10^{-8}	—	2.2	G E	パイロット
ポリスチレン/ポリジメチルシロキサン	"	4×10^{-8}	—	2.3	松下電器	試 販
ポリ(4-メチルペンテン-1)	"	—	1.8×10^{-4}	2.9	帝 人	—
含フッ素・オレフィン・シロキサン共重合体	"	—	3×10^{-4}	3.1	旭硝子	試 販
塩化ビニール・液晶・フッ化炭素	"	$1 \sim 3 \times 10^{-8}$	—	4~5	九州大学	研 究 中

ここで、記号右下の数値 1, 2 はそれぞれ供給側と透過側を示す。また $\alpha_{ON} = K_o/K_N$, $X_{O1} + X_{N1} = 1$, $X_{O2} + X_{N2} = 1$ であり、 $r = P_2/P_1$ とすると、透過側の酸素濃度 X_{O2} は式(5)の関係が成立する¹⁾。

$$X_{O2} = \frac{\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\alpha_{ON}(\alpha_{ON} - 1)rX_{O1}}}{2r(\alpha_{ON} - 1)} \quad (5)$$

ここで、 $\beta = (\alpha_{ON} - 1)(X_{O1} + r) + 1$ である。

(5)式は、供給側の酸素濃度 X_{O1} および供給側と透過側の圧力比 r が決まり、膜の分離係数 α_{ON} がわかれば、透過側で得られる酸素富化空気の酸素濃度が決まることを意味している。ここで、供給側の酸素濃度 X_{O1} は 0.21 であるから、分離係数 α_{ON} をパラメータとして、圧力比 r と得られる酸素濃度 X_{O2} の関係をプロットすると図-2 が得られる。

図より透過側酸素濃度は、圧力比が 1.0~0.2 の範囲で大きく変化するのに対し、0.2 以下では変化が小さいことがわかる。圧力比の発生工程が膜分離に要する動力の大半を占めることを考慮すると、分離係数の大きい膜を使用して圧力比を小さくしたほうが得策である。しかし、分離係数を大きくすると膜の一般的特性として図-1 のように透過係数が小さくなる傾向があるため、膜の採用にあたっては、透過係数と分離係数のどちらを重視すべきか、技術的、経済的見地から十分検討する必要がある。以上のことから、最近その 2 つの係数の大きい膜の開発が表 1 のようにさかんに行われている。

3. 膜の開発状況

初期に開発された酸素富化膜の透過係数 K_o は 10^{-9} オーダーで、窒素との分離係数 α_{ON} が 3.4 と分離性に優れたエチルセルロース膜であった。しかし、膜厚が 25 μm もあったため透過速度が小さく大規模用には適さなかったといわれている。その後、透過係数の大きいシリコン膜が開発されて注目を浴びた。しかし、この膜は強度が弱いため薄膜化が難しくやはり透過速度の面で満足できるものではなかった。そこで、1976 年にアメリカの GE 社は強度を高めるためシリコンポリカーボネート共重合体膜を開発、0.015 μm の薄膜化に成功し酸素富化膜の実用化に先鞭をつけた。

わが国にあっては、松下技研がポリスチレンとメチルシロキサンの 3 次元共重合により、加工性の優れた 0.1 μm の薄膜を開発した。大阪瓦斯との共同で酸素富化燃焼システムに利用し現在フィールドテスト中である。特に、わが国はエネルギー資源に乏しいため省

エネルギー技術に関心が強く、とりわけ、燃焼への酸素富化空気の利用が大きな効果をもたらすことから、国をあげてこの技術の開発に力を入れている。その中で、共通基盤型石油代替エネルギー開発制度に基づく酸素富化膜燃焼技術研究組合が昭和 57 年に設立され、旭硝子、帝人、東洋紡績、東レの 4 社が大型モジュールの開発に取り組んでいる。

さらに最近では、九州大学の梶山教授らのグループがブレンド膜による分離係数の大きい (4~5) 薄膜の製作に成功しており、今後の展開が期待される²⁾。

このように、ここ 10 年間における技術革新はめざましいものがあり、今後も種々優れた膜の開発が予想されることから、近い将来には工業用装置が登場してくるものと考えられる。

4. 酸素富化空気の製造コスト³⁾

膜法による酸素富化空気の製造は、相変化を伴わないためエネルギー消費が少なく、また、装置がシンプルで運転や保守管理も容易なことから非常に有利な方法といわれている。そこで、将来実用化される時点において、膜法から得られる酸素富化空気の価格がはたしていくらになるのか気になるところである。現在でも酸素富化空気は、図-3 のように深冷法から得られる高純酸素や PSA 法 (圧力再生吸着法) からの酸素を空気で希釈して種々の分野に使われている。従ってこれらの方式と同等か、あるいは安価に製造される必要がある。そこで、ここではこれらの従来法と比較するために膜による製造コストを試算してみる。なお、深冷法と PSA 法はすでに多くの実績があるためかなり正確なコストを知ることができるが、膜法は医療用を除き実用化されていないため、推算の域を出ない。

コストは、同一方式においてすらプロセスの条件によって異なるため、一概に比較するのは難しい。そこ

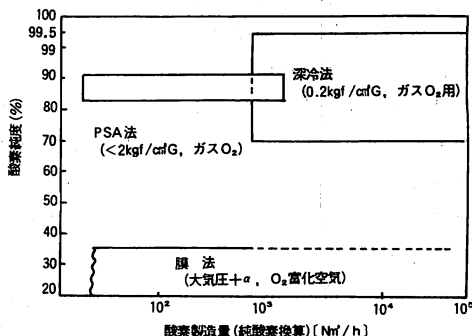


図-3 方式別酸素製造容量と純度

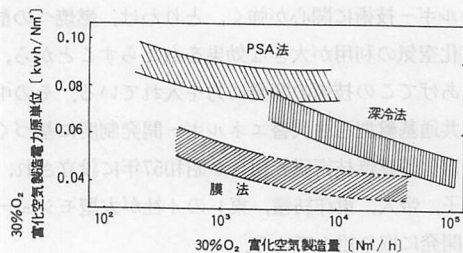
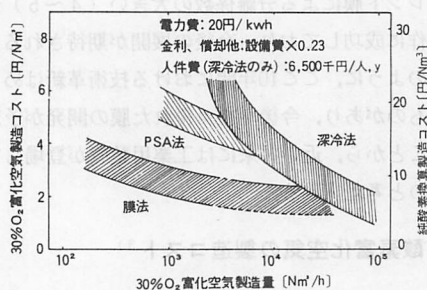


図-4 電力原単位の比較

図-5 30% O₂ 富化空気の製造コスト

で、ここでは次の条件を設定し、酸素富化空気として最も用途が広いと考えられる30%酸素富化空気の製造コストを算出し比較する。

- ① 各方式の酸素ガス製造条件
 - (i) 深冷法：ガス酸素製造法
製品 95% O₂ (0.2kgf/cm²G)
 - (ii) PSA法：加圧法
製品 90% O₂ (0.1kgf/cm²G)
 - (iii) 膜法：減圧法
製品 30% O₂ (0.1kgf/cm²G)
- ② 90% O₂以上の製品を産する深冷法とPSA法は、得られた酸素を空気で希釈して膜法の製品と同じ純度と圧力にするものとする。
- ③ 深冷法とPSA法は、それぞれ“30%酸素富化空気製造量”に必要な量に相当する製品を産するプラントを単独に設置するものとする。
- ④ 膜法の試算は、種々の文献値^{4, 5, 6)}と情報を基に平均的な値を採用して計算した。

まず、酸素製造に必要な主なユーティリティは電力である。省エネルギーとコストの観点から電力原単位を比較することが重要であり、それを図-4に示した。図よりPSA法は他の2法に比べて相当の電力を必要としあまり適するとはいえない。一方、膜法と深冷法は共に小さく、特に小規模段階における膜法の有利性が目立つ。しかし、図示していないが10万Nm³/h以上においては、深冷法のスケールメリットが生かされ深

冷法が小さくなる。

次に30%酸素富化空気の製造コストを試算し、図-5に示した。図より、数万Nm³/h以下では膜法が、それ以上では深冷法が安い。PSA法は一部の製造規模で深冷法より安価であるが、全体的に有利性は認められない。試算結果は以上のとおりであるが、これはあくまでも前述の条件下で、しかも最もシンプルなケースを想定して算出したものであるため、次の点を考慮すると一概に結論づけるのは危険と思われる。

- ① 膜法は現在数+Nm³/hの試作品しか製作されておらず、それ以上の規模はまったくの推算であり信頼性に乏しい。
- ② 深冷法は酸素にだけ費用を乗せたコストである。実際は連産品として同量以上の窒素も製造可能なためそれに費用を按分すると酸素コストは相当安くなる。また、深冷法の装置容量は前記条件のように必要量に応じた単独プラントを対象にしたが、場合によっては超大型プラントの製品の一部を使用することもあり、酸素富化空気製造量が少量であっても相当安くなる。

上記の他にも種々コストを左右する要因が考えられ、またコスト以外の面においてもそれぞれ長所短所を有しているため、装置の採用に際しては慎重なる検討が必要であろう。

5. 酸素富化膜の産業分野への応用

現在のところ酸素富化膜が工業的に使用されている例は、医療用を除けば極めて少ない。しかし、将来酸素富化空気が安価に製造されるようになればいろいろな分野へ利用できるものと考えられる。その利用方法は大きく分けると次の3つに分類できよう。

- ① 従来、空気を使用している分野で空気の代わりに使用する方法（燃焼関係や金属製錬など）。
- ② 空気ではほとんど用を足さないが、わずかな酸素エンリッチで大きな効果を得られる用途（低カロリー物質の燃焼）。
- ③ 酸素あるいは窒素製造装置の補助機器としての利用（空気分離装置など）。

以下にこれらの代表的利用例について述べてみる。

5.1 高温工業炉における酸素富化空気の利用効果

キューボラやガラス溶解炉など燃焼熱を利用する高温工業炉においては、多くのエネルギーが消費されるためいろいろな省エネルギー技術が研究開発されている。その中の1つとして酸素富化空気を使用して省エネ

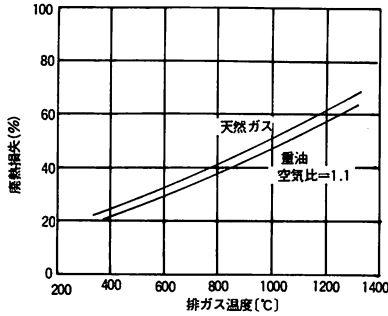


図-6 排ガスによる廃熱損失

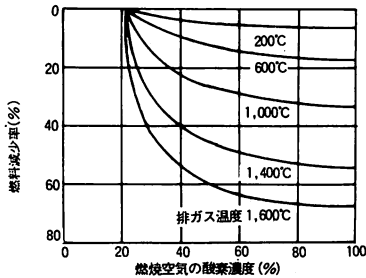


図-7 酸素濃度と燃料減少率の関係

ギーを図る技術が注目されている。

空気の代わりに酸素富化空気を使用すると、窒素量が減少するため燃焼ガスの容積が減り、火炎温度が上昇する。このため排ガス量も減少し廃熱損失量が小さくなり、結果的に熱効率が上昇し省エネルギーをもたらす。図-6は排ガス温度に対する廃熱損失を示したもののだが、その熱損失量は多大なものである。このように、効果が相乗的に作用して大きな効果を生みだし、実炉においては図-7¹⁾のような燃料減少率が達成されることが報告されている。

次に、これらの炉に酸素富化空気を使用するには、その価格がいくらになれば経済的に成り立つのか、参考までに検討してみる。図-8は、図-7の燃料減少率を基に、酸素富化空気の酸素濃度をパラメーターとして、排ガス温度に対する酸素富化空気の使用でき得る最高価格を示した図である。例えば60円/kgの重油を燃料にした場合、炉の排ガス温度が1000°Cの時、25% O₂ 富化空気を使用するには、その価格が約0.5円/Nm³以下でなければコスト的なメリットは得られない。同様に35% O₂ 富化空気なら約2円/Nm³以下でなければならない。もし重油価格が2円/kgなら酸素富化空気の価格は図から得られる数値に2/60を掛けた価格になる。なお、実用化にあたっては、上記コストの他に排ガス減少に伴う炉のコンパクト化など種々の条件を考慮す

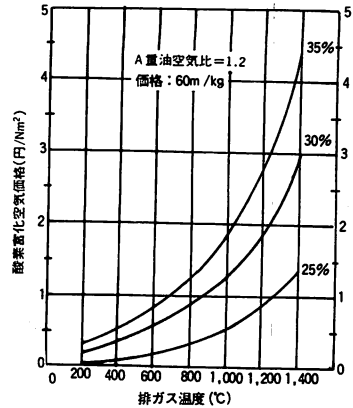


図-8 排ガス温度に対する酸素富化空気価格

る必要があるため、単純に図-8の結果だけから可能性を結論づけられないのは当然である。

次に個々の炉における酸素富化空気使用によるメリットについて述べる。

(1) キュボラへの酸素富化⁸⁾

鑄鉄溶解用キュボラへの酸素富化は古くから試みられており、深冷法による酸素の大量生産に伴い安価な酸素が利用できるようになった現在では、わが国でもいくつかの鑄物工場で実用化されている。膜法による酸素富化空気が将来安価に得られれば、この分野での利用が可能になる。

酸素富化方法としては、大別すると送風空気の酸素濃度を高める富化方法と直接ベッドコークス層へ酸素を吹込む方法とがある。いずれもベッドコークスの燃焼速度を早め、より高い高温域をつくりだすことによって溶解効率を高めようとするものである。キュボラは通常昼間操業のため、操業時間内での溶解速度のアップは生産性の向上に寄与する。わが国では簡単な設備ですむ前者の富化方法が一般的であり、酸素の富化率も1~3%程度の範囲で使用されることが多い。表2にはその操業例を示した。主な効果としては、生産量の増大の他、湯温の昇温やカーボン量の増加など品質の改善に効果がある。またキュボラの立上り時間の短縮、気温の高い夏季における酸素の効果は大きい。

(2) 熱風炉への酸素富化⁸⁾

熱風炉は高炉への送風を加熱するための切替式蓄熱炉で、燃料としては、従来高炉ガス(BFGともいう)を使用していたが、送風温度の高温化に伴い高炉ガスだけでは必要な温度が得られず、これに転炉ガス(LDG)、コークス炉ガス(COG)、液化石油ガス(LPG)等を添加し、高炉ガスの発熱量を高めて燃焼する

表2 キュボラの操業例

項目	空気操業	酸素富化操業	摘要
炉の型式	水冷式熱風キュボラ		
生産能力 (t/h)	5		
製品	粒状黒鉛鋳鉄		
酸素濃度 (%)	20.9	25.1	
酸素富化率 (%)	—	4.2	
生産量 (t/h)	4.8	6.1	+27.1%
出湯温度 (°C)	1517	1557	+40°C
コークス比 (kg/t)	150	146	-27%
酸素原単位 (Nm ³ /t)	—	35.2	
コークス低減量(kg/Nm ³ O ₂)	—	0.11	
溶湯中炭素量 (%)	3.97	0.14	+4.3%

表3 酸素富化法による熱風炉の操業例

	BFG-LPG	BFG-O ₂
酸素濃度 (%)	21	30.5
酸素富化率 (%)	—	9.5
Bガス原単位(Nm ³ /t 銑鉄)	581	731
LPG原単位(kg/t 銑鉄)	9.5	—
酸素原単位 (Nm ³ /t 銑鉄)	—	33
熱風温度 (°C)	1070	1070

注) BFGのみの空気燃焼における熱風温度は970°Cであった。

ようになっている。これに対してこれらのガスを添加することなく、または添加量を減らし、酸素富化空気で燃焼させ必要な送風温度を得る方法も考えられる。表3は実際の操業炉を用いて実施した例を示す。操業炉では高炉ガスに液化石油ガスを添加して昇温していたが、酸素富化方法で十分昇温でき、炉内壁の損傷をもたらすことなく操業できることが証明されている。

(3) セラミックス焼成炉への酸素富化⁹⁾

大阪瓦斯がセラミックス焼成など高温プロセスに酸素富化空気を使用した場合の省エネルギー効果を確認している。空炉を用い酸素富化空気の酸素濃度をパラメーターにして約1,600°Cまで昇温し、炉温に対する省エネルギー率を求めている。

次に、実際にセラミックを焼成してその省エネルギー効果を検討している。表4のように空気を使用したヒートパターン1に対し、28% O₂ 富化空気を用いたヒートパターン2は約25%の省エネルギー率を示し、また26% O₂ 富化空気を用い昇温を早めたヒートパターン3のケースは、約25%の省エネルギー率の他に、操炉時間を約18%短縮できる結果を得ている。

これらの実験は、松下技研が開発したポリジメチルシロキサン系の薄膜を使用したもので、30% O₂ 前後の富化空気をモジュール1個当たり70~80Nm³/h製造す

表4 セラミック焼成試験結果

	パターン1	パターン2	パターン3
O ₂ 濃度 (%)	21	28	26
ガス消費量 (m ³) (13A)	17.6	13.0	13.3
焼成時間 (m/h)	6.5	6.5	5.5
最大ガス量(瞬間) (h)	6.4	4.9	6.8
排ガス中の残存O ₂ 濃度 (%)	0~0.3	0~0.3	0~0.3
排ガス温度 (°C) (max)	860	680	790
予熱空気温度 (°C) (max)	365	305	345
消費エネルギー比率	100	73.9	75.6
省エネルギー率 (%)	—	26.1	24.4

ることができる。これに要する電力を0.1kwh/Nm³程度として、1kwhを発電するのに2,450Kcalの熱を要するとすれば、前例の場合実質10数%の一次エネルギーの節約になるという。従って実用に際しての経済性は、設備費を上記10数%の枠内に抑えることができるかどうかにかかってこよう。

5.2 金属製錬への利用

酸素富化空気は、すでに銅の製錬に使用されており、製鉄においても以前の高度成長期にさかんに使用された。これらは、いずれも酸素を空気中で希釈した酸素富化空気だが、将来膜法により安価な酸素富化空気を得られれば各種の金属製錬、精製に利用されるものと考えられる。利用目的ならびにその効果は、前述した高温工業炉の場合とほぼ同じであるが、まとめると次のようになる。

- ① 炉内に吹き込まれる酸素量が増加するため、反応速度が大きくなり、その結果炉の処理能力が増加する。また排ガス量が少なくなるため廃熱ロスが減少し高温操業が可能になり、排ガス処理設備も小さくすることができる。
- ② 重油やコークス等補助燃料を減らすことができる。
- ③ 硫化鉍製錬の場合には、排ガス中のSO₂濃度を高くすることができ、SO₂の回収が経済的³⁾になる。
- ④ 転炉や亜鉛の還元反応では、排ガス中のCO濃度を高くすることができ、よりカロリーの高いガスが得られ利用価値が高くなる。

5.3 酸素や窒素製造装置の補助機器としての利用

酸素製造を目的とした深冷空気分離装置やPSA装置の予備分離器として、酸素富化膜を利用する方法が考えられる。また、逆に酸素富化膜の原料側で得られる酸素富化空気を窒素製造装置にも利用可能である。

空気の代わりに30% O₂ 富化空気を使用すると、単純に約5割の増産が可能になる。酸素富化空気の製造コストより増産効果が大きければ、酸素製造コストの低下が図れる。この場合、空気はコストがかかっていないため、使用する酸素富化空気は相当安くなければ実用化は難しい。しかし小型装置のように酸素製造コストが高いケースにおいては将来十分可能性があると思われる。酸素富化空気が0.5円/Nm³程度なら、時間当たり200Nm³以下の規模で採算がとれるものと考えられる。

5.4 その他の応用例

(1) 未使用燃料の利用拡大

石油ショック以来、省エネルギー技術はかなりの進歩を遂げたが、空気では燃焼しにくい低発熱量の石炭や石油系オフガスなど有効に利用されていない燃料が残されている。石炭の場合では、気体燃料にするためのガス化に酸素富化空気を使用すると中カロリー程度のがスが得られ、さらにこれを酸素富化空気で燃焼させれば、高カロリー燃料を空気で燃やした場合とほぼ同程度の効果が得られる。1例として天北地区の褐炭をボイラー燃料として発電に使用すれば年間150万klの原油節減が図れるといわれている。

(2) 自動車および海洋分野への応用

車体重量の軽量化と熱効率の向上を目指し、自動車業界ではセラミックエンジンの開発に力を入れている。このエンジンに酸素富化空気を使用すればさらに効果がでる。自動車の場合は、酸素富化空気を得るための動力を比較的容易に取り出せるため、膜モジュールのコンパクト化が図れば、実用化しやすい分野であろう。

海洋分野¹⁰においては、現在人工エラにより海中から酸素を分離する技術が主に医学的見地から進められている。当面、海底作業や軍用潜水艦には大変有用なものとして注目されている。また、将来の海底居住には欠かせないものとして考えられている。

5.5 医療への利用

最後に工業用ではないが、現在実用化している唯一の酸素富化膜の利用例として医療分野への利用について述べる。比較的大規模な工業的酸素富化空気の利用は、面積の大きい膜の工業的製法の確立やモジュール技術の遅れから開発が遅れているのに対し、医療分野では肺気腫、重症肺結核患者や喘息患者等の呼吸空気発生用としてかなり進んでいる。従来、医療分野では大病院のように酸素を大量に消費する場合にあっては、

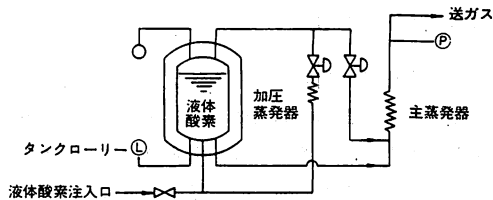


図-9 液体酸素貯槽からの酸素供給

表5 酸素富化器の性能

項目	A社	B社
酸素濃度 (%)	40	40
湿度 (%RH)	75以上	5×室内RH
流量 (ℓ/分)	0~6	3~9
騒音 (dBA)	45以下	50
スタートアップ (秒)	10	15
膜耐久性 (年)	2	3
重量 (kg)	—	50

図-9のごとく液体酸素を低温貯槽に保有し使用量に応じて自動的に蒸発器でガス化し、配管で各病室へ供給している。また家庭療法や小病院のように使用量が少ない場合は、酸素ガスを充填した高压容器を室内などに持ち込み、これを減圧して使用している。しかし高压容器の使用は、容器1本に酸素が7ℓしか入っていないため容器交換頻度が高く、また容器重量が約60kgもあるため非常に取扱いが不便である。また大病院の入院患者にあっては、できれば家庭で治療したい患者が増加するなど、安くて安全で、しかも取扱いの容易な酸素発生装置が求められていた。これらの要求に応えるものとして開発されたものの1つが酸素富化膜装置である。特に入院費用が高く装置を保険で使用できるアメリカでの普及が早く、わが国でも最近使用された。このようなニーズが実用化を早めた理由だが、その他に、膜面積が小さいため製膜が容易であること、装置費がかなり高価でもいわゆる特殊用途のため比較的普及されやすい分野であったことなどがあげられる。

表5に示したように、大きさは家庭用小型冷蔵庫くらいで、通常は40% O₂ 富化空気を0~6 ℓ/分の範囲で流量を変えることができる。これを呼吸することで、正常人より動脈血酸素分圧³⁾の低い患者の血液による体内への酸素運搬が改善される。

モレキュラーシーブスを用いた吸着方式の装置も、従来から簡便な発生装置として使用されているが、安全性や騒音の点で膜法のほうが優れているといわれ今後の伸びが期待されている。

6. おわりに

酸素富化膜の開発状況とそれから得られる酸素富化空気の産業分野への応用について述べた。プロセスの上から利用可能と考えられる用途の大半は、大きな効果をもたらすことが種々の実験から明らかにされている。問題は経済性であろう。酸素の透過性に優れた膜素材の開発、コンパクトなモジュールの製作とシステム化が今後の大きな課題といえる。すでに医療用は実用化されており、対象ガスは異なるが水素や炭酸ガス用も多くの実績ができてきた。遠からず、工業用酸素富化膜装置も実用化されるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 宮内照勝他2名：東京大学工学部総合試験所年報Vol.34, 287, (1975)
- 2) 日経産業新聞, 1984年7月14日号
- 3) 酸素分離および富化技術を中心としたガス分離技術および膜の産業利用技術資料集成(1983), (株)フジ・テクノシステム
- 4) 技術革新が産業構造に及ぼす影響の計量予測(1982), 産業研究所
- 5) 酸素富化燃焼システムによる省エネルギー燃焼技術の現状と展望(1982), (株)サイエンスフォーラム
- 6) 大矢晴彦：省エネルギーからみた膜分離技術, 化学工場, Vol. 26, No 1 (1982), 86~91.
- 7) Industrial Heating No 6 (1981)
- 8) 加勢範雄：省エネルギーと酸素利用技術, ケミカル・エンジニアリング, Vol. 26, No 2 (1981) 31~36
- 9) 井藤博達, 渡部正樹：酸素富化燃焼の省エネルギー効果と課題, 省エネルギー, Vol. 34, No 9 (1982)
- 10) 山路禎三：注目される酸素富化膜とその応用, MOL, Vol. 20, No 7 (1982) 21~28

1) 宮内照勝他2名：東京大学工学部総合試験所年報Vol.34,

新刊洋書紹介

電気加熱要覧 1984—1985

工業技術・応用・装置に関する公式ガイド

- <原 題> Electroheat Directory, 1984—1985
The Official guide to Industrial Techniques,
Applications and Equipments Suppliers
- <編 集> British National Committee for Electroheat
- <発 行> Energy Publications (Newmarket, U.K.)
- <体 裁> A 4 版, 223ページ, ペーパーバック
- <発行年> 1984年
- <ISBN> 0 905332 33 4
- <価 格> £ 7.50

本書は1982年に出版され好評を博した同名書の改訂版である。改訂版には、レーザとプラズマ加工に関する最新技術が一章独立して補足されている。

本書の主な構成はつぎのようになっている。

- ・一般的な電気加熱
- ・非金属の加熱と乾燥
- ・液体とスチームの加熱
- ・接合のための加熱
- ・冶金用の加熱処理
- ・レーザとプラズマ加工

各章はそれぞれ、(1)技術と応用、(2)メーカーリスト、(3)製品リストに分類されており、必要な情報をすぐに引き出すことができる。

省エネルギー関係者には有効なハンドブックであろう。