

資格試験と例題による解説(6)

資格認定委員会試験委員会 (監修) 委員長 中山勝矢

第5回に引き続き、排気系に関係した例題を示して解説を行う。今回は排気の方法に重点を移して説明をしていきたい。

4. 排気系 (続き)

4.4 真空ポンプの組み合わせ方

真空容器を大気圧から減圧していく場合、最初の段階には大気圧から働くポンプが必要である。これを粗引きポンプという。残念ながら多くの場合、この種のポンプの作動領域は高真空に達しないので、次の段階に入るためには別のポンプに切り替える必要がある。油回転ポンプと拡散ポンプの系はその一つの例である。

もし真空の利用が低真空、あるいは中真空の領域に限られる場合は、最初の段階のポンプのみで済ますことができる。しかし高真空、さらに超高真空が必要なら、2段階の複合的な排気系にしなければならない。

その場合、第1段階で使ったポンプを切り離してしまう場合と、第2段階のポンプを正常に動かすためのバックアップポンプとして直列につないで下流側で使う場合とがある。後者では粗引きポンプを補助ポンプと言い換えることができる。

一般に複数のポンプを切り替えて使うのには、かなり込み入った操作が必要になる。それは組み込まれる真空ポンプによっても異なるし、真空利用の対象によっても違ってくる。性能やコストでも変わるの当然である。

資格試験であるから、あまり特殊な事例を取り上げるわけにはいかない。それでも基本になる操作はあるから、真空システムに慣れているか否かを確かめるために出題することになる。次の例題はその一つである。

例題25 (2級)

次のような真空ポンプの組み合わせの中で、大気圧からの排気に利用できないものはどれか。

- (a) スパッタイオンポンプとチタンサブリメーションポンプからなる排気系
- (b) ドライポンプとターボ分子ポンプからなる排気系
- (c) スクロールポンプと油拡散ポンプからなる排気系
- (d) 往復動ポンプとルーツポンプからなる排気系
- (e) 油回転ポンプとターボ分子ポンプからなる排気系

まず初めに大気圧からの排気に使える真空ポンプをチェックしたらよい。ここではドライポンプ、スクロールポンプ、往復動ポンプ、油回転ポンプであろう。したがって、正解は(a)となる。

この場合、(d)のように、一方が必ずしも高真空用のポンプでないのでもっと迷うかもしれない。大気圧からの排気に

は問題なく、最後の段階で大きな排気速度を必要とするシステムなのだと理解しておけば済む。かつては大気圧からの排気に使えないと思われていた真空ポンプでも、その後の進歩により可能となっている例もあるので、最新の技術情報を調べておく必要がある。

この他に、バルブを操作してポンプを切り替えるタイミングを訊ねる出題や、排気時間を最適化する問もあり得る。

4.5 利用による選択

真空の利用は幅が広い。ただひたすら圧力を下げて、絶対真空に近づくことを願う場合もあれば、水蒸気や有機物の存在を極力嫌うシステムもある。また一方で、半導体製造装置のように内部でさまざまな化学反応を起こさせることもあるし、凍結した素材から水分を昇華させて乾燥品を作ることもある。さらに食品を真空包装したりすることもある。真空ポンプは利用目的に応じて、使用可能領域、特性、到達圧力、排気速度、価格、保守点検などから総合的に検討して選ばなければ役に立たない。

その一例として、次の例題を掲げておく。

例題26 (1級)

食品の真空包装に適した真空ポンプを選びたい。次の記述のうち最も妥当だと考えられるものはどれか。

- (a) 低温に保った固体表面で水蒸気を凝固させて除去できるから、クライオポンプがもっとも適している。
- (b) 高速で高真空まで排気できるから、ターボ分子ポンプが適当である。
- (c) 空気のある程度まで除去するのが目的であるので、油回転ポンプならどれでも利用できる。
- (d) 水蒸気以外にもいろいろな異物が飛び込むから、水封ポンプが適当である。
- (e) 包装する量が多いから、ルーツ形の機械式ポンプが適当である。

まず多量の水蒸気の排気にふさわしくないポンプを排除することから始める。いくら低温面を持っていてもクライオポンプはこのような目的には適していない。たちまち性能が落ちるか、停止してしまう。ターボ分子ポンプは、価格の点から見てこの仕事にはふさわしくない。

考えるべき点は水蒸気の排気だけではない。食品を排気する場合には、塩分を含む飛沫も加わるし、固形物の飛散もあり得る。異物の吸入に対して機構的に頑丈で、解体洗浄のようなメンテナンスの容易なものが望ましい。その点からいうと、ターボ分子ポンプはもちろんのこと、油回転ポンプやルーツポンプでも異物で運転停止が起きることが十分に予想される。そう考えたとき、最も妥当だと考えられるのは水封

ポンプで、(d)が正解となる。

なお水封ポンプというのは液封ポンプの一種で、回転部分のすきまを水で密閉し、周期的圧縮行程の最後にポンプの無効空間の減少を図っている回転式の容積移送式真空ポンプである。

他にも、真空装置との組み合わせを問うたものがある。

例題27 (1級)

次の真空装置と真空ポンプとの組み合わせで、不適当なものはどれか。

- (a) 真空蒸着装置とターボ分子ポンプ
- (b) スパッタ成膜装置とスパッタイオンポンプ
- (c) CVD (化学気相蒸着) とターボ分子ポンプ
- (d) 粒子加速器とクライオポンプ
- (e) 電子顕微鏡とスパッタイオンポンプ

これなどは実際に装置を扱っている人にとっては難しいとは思われないが、出題されたときの正答率は約55%だった。正解は(b)である。

4.6 残留気体の種類と排気系

真空装置の中に見出される気体の種類は、装置内壁からの放出気体、利用の目的にしたがって発生する気体などの他、真空ポンプが原因となって生じる気体もある。

加熱脱ガス操作をしていない真空装置で広く見られる有機物蒸気は、油回転ポンプと拡散ポンプに起因することが多かった。その対策としてドライポンプが開発され、普及したのであり、またターボ分子ポンプやクライオポンプが広く使われるようになった背景でもある。

しかしながら、ターボ分子ポンプでは分子量の小さい水素やヘリウムに対して、吸気口圧力と排気口圧力との比(圧縮比)が他の気体に比べて十分に大きくないので、これらの気体の上流側における分圧が高くなる傾向がある。したがって、これらの気体を多量に扱うときには注意が肝要である。

クライオポンプでは、平衡蒸気圧の高い水素やヘリウムが排気されにくいので装置内に残留するおそれがある。水素やヘリウムに対しても十分な排気速度を持つようにする研究も数多くなされているが、原理的に難しいことは否めない。

スパッタイオンポンプでは、放電によってイオン化された希ガスのアルゴンがチタン壁に叩き込まれ一旦排気された(空間から除かれた)ものの、次に飛来するイオンの衝撃により再放出されるという現象がある。また、チタンの触媒効果により二次的な気体分子が生成され、空間に残留することもある。

見方を変えるならば、気体の種類によって排気速度が異なる、あるいは到達圧力が異なる、残留気体に違いが出るということが、真空ポンプ固有の特性として存在するという事である。この点は十分に理解しておく必要がある。

たとえば油回転ポンプが排気しにくい気体として、水素、ヘリウム、ネオンが挙げられている。ドライポンプでは水素とヘリウム、ターボ分子ポンプや拡散ポンプでヘリウムを挙げる資料もある。

油拡散ポンプでは、作動油の熱分解生成物が上流に逆流することが知られている。バルクゲッターポンプは水素の吸着・吸収に効果があるのだが、超高真空や高真空で水素の放出も見られ、平衡状態が出現するものと考えられている。このようにとくにため込み式の真空ポンプでは、ポンプに起因する残留気体に留意する必要があることが分かる。

当然のことだが、これに関連した出題はあり得る。排気系を設計し、扱うときには、こういったことを常に念頭に置くことが極めて大切だからである。

残留気体に関しては複雑になりがちである。その例を次に示す。

例題28 (1級)

ターボ分子ポンプとその補助ポンプとして回転式のドライポンプが付いているステンレス鋼製真空装置がある。この装置を、大気圧から排気を始めたところ、加熱脱ガス操作をしないで到達圧力が 1×10^{-5} Paになった。装置内に残留している気体に関して、このとき出た意見のうちで正しいと思われるものは次のどれか。

- (a) 器壁からの放出気体が主であるから、高真空での残留気体の大部分は有機物だろう。
- (b) 加熱脱ガス操作をしていないから、大部分は水蒸気だろう。
- (c) 大気圧から排気したから、やはり大気成分の酸素と窒素が相当に残っているはずだ。
- (d) 圧力は 1×10^{-5} Paに低下したが、ポンプの圧縮比から考えて大部分は水素のほうである。
- (e) このようなオイルフリーの排気系を使っていれば、有機物の残留はまったく考える必要がない。

これは、総合的に考えなければならない問題である。ポンプ個別の課題だけを切り離して考えるだけでは現実から離れてしまう。正解は(b)である。

薄膜作製装置に関連して

「残留ガスを調べていたら質量電荷比 $M/Z=40$ のところにピークが存在し、アルゴンと見なされた。アルゴンの出現に関して述べられた次の意見のうちで、考えられないものはどれか」

として、選択肢がいくつか記載された。その中には「スパッタイオンポンプに取り込まれたアルゴンの放出」というのがあった。これ以外はアルゴン溶接に起因するもの、ステンレス鋼容器の材料に起因するもの、漏れによるもの、スパッタリング成膜のときに残ったものといったものだった。

実務面から考えたら、初めから一つの答えを想定できることなどは珍しい。あらゆることを考えて、そこから消去法で一つにしばっていくことが多い。それができることが真空技術のベテランなのであろう。

次の8月号では「計測」をとりあげる。なお紹介した例題は、実際に出題されたのに手を加えてある。(続く)