

資格試験と例題による解説(5)

資格認定委員会試験委員会

(監修) 委員長 中山勝矢

第3回と第4回には、真空容器の内部における気体の流れと気体の放出について、例題を使って説明した。第5回と第6回では「排気系」と題して、それらを除去する装置である真空ポンプと、真空ポンプを有効に使うための方法と問題点について解説する。

4. 排気系

4.1 真空ポンプの種類と名称

一般にポンプといえば、動力を使って流体に圧力や速度を与えることにより輸送する機械と定義されているが、真空ポンプの場合はやや異なる。真空ポンプには、こういった一般のポンプの定義よりも広い定義が与えられている。

すなわち、日本工業規格 JIS Z 8126-2 に

「真空を作り、改善し、保持する機器。基本的に異なっている二つの種類である気体輸送式ポンプ及び気体ため込み式ポンプに分類される。」

とある。

この定義では、空間から何らかの方法で気体を排除できる機能があればすべて真空ポンプと呼ぶという考え方が基本にある。まずこの点を知っておく必要がある。

真空ポンプのなかにも、一般のポンプの定義のとおり、真空装置内から一部の気体の容積を減じ圧縮して外部に排出するものもある。油回転ポンプのような機械式のポンプがそれに相当する。これに、ルーツポンプや往復動式ポンプを加えて容積移送式真空ポンプと呼ぶことになっている。一方で、拡散ポンプやターボ分子ポンプのように気体分子に特定な方向への運動量を与えて下流側へ送り出す運動量輸送式の真空ポンプがある。

ところが真空の分野には、気体を外部に運び出すことをせずに、吸着、凝固、化学反応による固化、埋め込みといったさまざまな方法で気体を補足し、空間から取り除いてしまうタイプのポンプがある。こちらの方は気体ため込み式と呼ばれ、やはり広く実用に供されている。

日本工業規格 (JIS Z 8126-2) には、ため込み式のものとして、ソーブションポンプ、ゲッタポンプ、サブリーメーションポンプ、ゲッタイオンポンプ、蒸発イオンポンプ、スパッタイオンポンプ、クライオポンプ、クライオソーブションポンプが挙げられているが、この他に非蒸発型のバルクゲッタポンプもある。

誌面の都合上それぞれのポンプについての詳しい説明は省くが、講習会での講義、テキスト、資料、参考書などによって、正しい名称、動作原理、作動領域、特長、欠点などを個別に、また総合的に把握しておく必要がある。

次に、真空ポンプ全体をどのくらい理解しているかを訊ねる目的で出された例題を掲げておく。

例題20 (2級)

真空ポンプは、動作原理により、(1)容積移送式真空ポンプ、(2)運動量輸送式真空ポンプ、(3)気体ため込み式真空ポンプに分類されるが、次のグループのうち、すべての真空ポンプが同じ分類に属するのはどれか。

- (a) 油回転ポンプ、ルーツポンプ、クライオポンプ
- (b) 油回転ポンプ、ソーブションポンプ、サブリーメーションポンプ
- (c) ターボ分子ポンプ、ルーツポンプ、拡散ポンプ
- (d) エジェクタポンプ、ソーブションポンプ、ゲッタイオンポンプ
- (e) ソーブションポンプ、ゲッタイオンポンプ、クライオポンプ

この例題に関しては、上に紹介した JIS の附属書にある「真空ポンプの分類」に目を通しておけば、難しいことではないと思われる。正解は(e)である。

4.2 真空ポンプの動作原理

いやしくも専門の真空技術者を指すのであれば、現在市販されている真空ポンプの動作原理くらいは理解しているべきだと考えて問題は作成されている。その例を次に示す。

例題21 (2級)

ターボ分子ポンプに関する次の文章の空欄を埋めるのに、最も適切だと思われる用語の組み合わせはどれか。

「ターボ分子ポンプは、高速で回転する円筒の周囲に軸に対して傾けて取り付けられた多数の羽(動翼)と、それに対して①に傾けて並べられた多数の固定羽(静翼)とを何段も積み重ねた構造になっている。回転する翼列の羽の②は、排気される気体分子の③に近いことが必要である。」

- (a) (1)同じ向き、(2)回転速度、(3)飛行速度
- (b) (1)逆の向き、(2)周速度、(3)2乗平均速度
- (c) (1)同じ向き、(2)回転速度、(3)平均速度
- (d) (1)逆の向き、(2)回転速度、(3)分子速度
- (e) (1)逆の向き、(2)周速度、(3)平均速度

いかめしい言葉がたくさん並んでいるが、内部の構造を理解していればそれほど難しい問題ではない。出題の形の例として紹介する。(e)が正解だが、正答率は約45%だった。

1級であれば現実の課題への対応が期待されるので、幅広く考察し、判断する能力を問うことになる。たとえば、「油回転ポンプで水蒸気を多量に含んだ気体を排気する場合、その正しい使い方は次のどれか」

という出題があり、これに対して選択肢を5つ示したことがあった。真空の利用は広い。真空乾燥、真空含浸、真空包

装、凍結乾燥などのように水蒸気を多量に含む気体を排気する必要が生じるので、このような出題があるわけである。

スパッタイオンポンプに関しては、次のような例がある。

例題22 (1級)

スパッタイオンポンプの動作について、誤った記述をしている文は次のどれか。

- (a) 放電電流を圧力で除した値は、排気するガス種によらずほぼ一定になる。
- (b) 正常動作中のポンプではペニング放電が起きている。
- (c) 排気速度が小さければ放電電流も小さい。
- (d) 圧力が高すぎると放電電流は圧力に比例せず急増する。
- (e) 圧力が低くなくても放電電流が減少しなくなることがある。

この例題に関しては、使ったことがないから知らない、自社の取扱商品にないから知らないといったつぶやきが聞こえてきた。それでは、真空の専門家といえないのではないだろうか。ここでは(a)が誤っている文章である。したがって(a)を選択すれば正解である。そして、1級の真空技術者としては、この放電によりどのようにして気体分子が排気されていくかについても、理解しておいて欲しいのである。

ドライポンプについても例外ではない。ドライポンプは、半導体事業からの強い要請に応える形で、日本の真空業界が世界に先駆けて開発し、市場に提供したものである。基本的な考えは、真空システムから油蒸気の原因になるものを除くという点にあった。しかし商品開発としてはもっぱら油を使用しない回転ポンプに集中し、現在ドライポンプといえ、油(あるいは他の液体)を使用しない回転ポンプを指すようになってきている。(JIS Z 8126-2を参照)

この件については、2級に出題された例を紹介しよう。

例題23 (2級)

油汚染の懸念がない真空装置をドライなシステムと呼ぶことが多いが、日本工業規格ではポンプの分類上、ドライポンプに含めない真空ポンプがある。それは次の真空ポンプのうちでどれか。

- (1)クロー形ポンプ、(2)スパッタイオンポンプ、(3)多段形ルーツポンプ、(4)ソープションポンプ、(5)スクリュウ形ポンプ。
- (a) (1)と(2)
- (b) (2)と(3)
- (c) (2)と(4)
- (d) (3)と(4)
- (e) (4)と(5)

該当するのは(2)と(4)である。いきなりこの5つのポンプから正解を選ぶとしたら5択方式にならない。正解が2つになるからである。それで選択肢は組み合わせ型となっている。ここでは、(c)を選べば正解である。

この方式は、該当するものが1つのときもあれば3つのときもあるとして選択肢を複雑にすることが可能である。そうするとすべてを完全に理解していないと正しい選択ができ

ないわけで、当然レベルは高くなる。

4.3 排気速度

排気速度というのは、真空ポンプの吸入口を通る気体の体積流量であると定義されている。体積流量だからSI単位系(MKSA単位系とも言う)では m^3/s (あるいは $m^3 s^{-1}$)と表現される。排気速度に圧力を乗じればポンプが単位時間に排気している気体の量つまり流量($Pa m^3 s^{-1}$)となる。

ところが実際問題としては、排気速度を吸入口のところで正確に測ることは非常に難しい。どの部分で測れば正しい値が得られるのだろうか。そのために多くの実験が行われ、規格が作られてきている。油回転ポンプのような容積移送式真空ポンプと、油拡散ポンプのような運動量輸送式真空ポンプの一つである蒸気噴射真空ポンプに関しては、その性能試験方法がJIS B 8316-1, B 8317-1として決められている。対応する国際規格はISO 1607-1, 1608-1である。

またターボ分子ポンプに関しては、日本真空協会の団体規格JVIS 005がある。しかしそれ以外の真空ポンプについては、まだ確定された性能試験方法の規格がない。この点は覚えておく必要がある。

真空ポンプの排気速度の測定法には考慮すべきことが沢山あり、約束ごととして規格の形に纏められつつある。これはJISでもISOでも同じである。約束ごとといっても、社会に通用しているわけだから、十分に理解しておく必要がある。

例題24 (1級)

高真空領域を排気する真空ポンプの排気速度を決定するためには日本工業規格(JIS)にしたがったテストドームによる試験を行う必要がある。この試験に関する説明で、正しいのは次のうちのどれか。

- (a) この方法で得られた排気速度は、ポンプの吸入口における排気速度だと見なしてよい。
- (b) 気体の導入方法について配慮すれば、テストドームの形状は自由に決めて差し支えない。
- (c) 真空計は、できるだけポンプ吸入口のフランジ面に近いところに取り付ける必要がある。
- (d) 導入する気体としては、室内の通常の空気を使う。
- (e) 気体は、計測に対し流れによる誤差を与えないために真空計よりも下流で導入する。

ここで迷うのは(d)ではないだろうか。日本工業規格(JIS)では「3.3 試験気体」に「特に指定のないかぎり乾燥空気を用いる」となっている。室内の空気とは書いてない。真空計の校正は、原則として窒素を使って行われるが、大型ポンプの試験といった実際面から規格の規定は乾燥空気になっている。

テストドームを用いた排気速度の測定は、既知の流量をドームに導入し、ポンプの吸入口での圧力で除して求める方法である。ポンプ吸入口での圧力は実際には測定できないので、その位置と圧力(入射頻度)が等価な場所に真空計を設置する必要がある。このためテストドームの構造も、形状(縦横比など)、気体導入導管の位置や向き、真空計の位置など詳しく定められている。正解は(a)である。(続く)