

資格試験と例題による解説(10)

資格認定委員会試験委員会 (監修) 委員長 中山勝矢

第10回は、これまでと同様に例題を使って真空システムに関する出題を解説していきたい。

真空を使うシステムは、多種多様である。しかも低真空から超高真空というように圧力領域が広く、扱う対象も多岐にわたっている。細部に立ち入ることは混乱を招きかねない。ここでは、排気系、計測器、漏れ試験などに関する個々の問題ではなく、装置を全体として見るという立場で、解説を試みたい。

8. 真空システム

8.1 真空システムの圧力領域

当然のことながら真空システムは、使う目的によって圧力領域も残留気体の種類も異なる。真空包装や凍結乾燥の装置は低真空領域で使われるものであり、残留気体の大部分は水蒸気である。成膜用のスパッタリング装置なら、残留気体の主要な成分はアルゴンであろう。

真空技術者は、真空を利用する装置が所期の役割を果たしているときの圧力領域とその理由、またそのとき存在する主要な気体、あるいはその流量などについて、概念的にでも理解していなければならない。

次に掲げた例題は、この点を訊ねたものである。

例題41 (2級)

真空中ではさまざまなプロセスが行われるが、真空装置にはそのプロセスに相応しい圧力領域が要求される。次の説明のうち、誤っているのはどれか。

- (a) スパッタリング法では、成膜は超高真空中で行うのが普通である。
- (b) 金属蒸着は高真空で行わないと美しい膜が作れない。
- (c) 電子顕微鏡を中真空で作動するのは無理である。
- (d) 真空包装を行うには低真空で十分である。
- (e) イオン注入は、通常高真空中で行われている。

この問題は、真空技術の専門技術者であれば、常識の範囲にある事柄と考えて作られている。もちろん講習会のテキストの内容も参考にしている。この例題はその一つである。

スパッタリング法では、真空装置に希ガスを導入してスパッタリングを行うのが普通だから、超高真空で行うということとはあり得ない。金属の蒸着は、残留気体が多ければ膜が多結晶化や化合物化して美しい膜ができない。イオン注入や電子顕微鏡では、イオンや電子の平均自由行程が十分に長くなければ散乱のために性能が落ちてしまう。正解は(a)である。

「誤っているのはどれか」と訊ねる形なので、ハードルは決して高くない。これが、2級に出題されることになった理由である。

8.2 真空システムの計画

真空システムを計画するにあたっては、目指すプロセスに相応しい圧力領域と残留気体の種類を考慮して、排気系を決めていくことになる。ところが実際はそれだけではすまない。

生産設備であれば、初期投資を低く抑えたいのか、維持管理をどう考えるか、排気時間を短縮して運転効率を向上させる必要はないのか、高価になっても性能本位でいくのかといった多角的な検討もおざりにできない。そしてそれらに適した排気系や計測器を選んでシステムを構成していくのであるが、検討課題には操作の手順も含まれる。

このように考えていったとき、出題には、真空システムに関する総合的なものも含まれることが分かる。

例題42 (2級)

10^{-7} Pa 台の超高真空が得られる実験装置を作りたいと考えている。そのときに出た次の意見のうちで、正しいと思われるものはどれか。

- (a) カタログをみて到達圧力が 10^{-7} Pa と書いてある真空ポンプを選べばよい。
- (b) ベーキングという操作をするから、真空ポンプ自体の到達圧力は問題ではない。
- (c) アルミニウム材は蒸気圧が高いから超高真空用には適さない。
- (d) 300°C 程度のベーキングをするのなら金属ガスケットを使うべきである。
- (e) 気体放出を抑えるためには、真空容器や部品はステンレス鋼製に限るべきである。

この例題では、計画の前提を「 10^{-7} Pa 台の超高真空が得られる実験装置を作りたい」と、単純化してある。したがって2級での出題となった。前提が複雑になれば、当然1級の問題となり得る。この例題の正解は(d)である。

8.3 システムの運転手順

真空装置を複数のポンプで排気するとき、どの段階でどのバルブを開き、あるいは閉じるといった最適手順があるはずである。システムの運転が自動化されていても、真空技術者はその手順が決まった理由を、真空技術的に把握している必要がある。

主排気系が油拡散ポンプで、これに補助ポンプとして油回転ポンプが接続している場合、下流からの有機物蒸気によって真空容器が汚染されないようにすることが大切である。

いま、油拡散ポンプと主なる真空容器との間にバルブ1が、油拡散ポンプの排出口と油回転ポンプの間にバルブ2が、油回転ポンプと主なる真空容器の間にバルブ3があったとして、「これらの3つのバルブを、どのような順序で、

いかなる段階で開閉していくのが正しいか」を訊ねる問題があった。(実際の試験問題では図が添付されていた。)

また主排気系がクライオポンプである真空システムの場合でも、大気圧から排気を始めるのなら、クライオポンプによる排気に移行できる圧力になるまでバルブなどでクライオポンプを封止し、補助ポンプであらかじめ所定の圧力になるまで排気しておかなければならない。

逆に大気圧に戻すときの手順も、真空容器を汚染しないという観点から注意深く決める必要がある。

例題43 (2級)

次の文は、高真空装置を大気圧に戻すときの操作について述べたものである。正しいのはどれか。

- (a) 作業を迅速に行うために、装置やポンプのすべての大気導入弁を開いている。
- (b) 短時間の後に排気を始めるのだから、工場内の空気をそのまま導入している。
- (c) 主容器に付いている大気導入弁から乾燥空気を入れるようにしている。
- (d) 乾燥窒素を導入するのであれば、主ポンプの下流側にある弁からでも差支えない。
- (e) 主容器に付いている大気導入弁を使って乾燥窒素を入れるのであれば、主ポンプをバルブで封止する必要はない。

すべての大気導入弁を開く、あるいは主ポンプの下流側の弁から工場内の空気を導入するといったことは、主容器を汚染する原因になるから極力避けるべき事柄である。主容器に付けてある大気導入弁を使って、乾燥空気を入れるのが正しい。乾燥窒素を使うことは望ましいが、経済的ではないし、また主ポンプの下流側から入れたのでは汚染の原因になる。大気圧に戻すときは、主ポンプはバルブで封止しておくのが常識である。したがって正解は(c)である。

8.4 P-Q 曲線

現在でも、大気圧から超高真空まで単一動作で排気できるポンプはない。どうしても途中で真空ポンプを切り替える必要がある。ここに真空技術的な問題が生まれる。

それぞれの真空ポンプには、通常その性能を示すグラフが開示されている。たとえば吸入圧力 P と排気速度 S との関係、あるいは吸入圧力 P と吸入量 Q との関係といったものである。

前者を $P-S$ 曲線、後者を $P-Q$ 曲線と呼んでいる。複数の真空ポンプを組み合わせたときには、それぞれの性能から見て適切なものであるか、実際に運転をしたときに支障が出ないか、十分に総合特性を吟味しておく必要がある。

一例として、油拡散ポンプと油回転ポンプとの系を考えてみたい。大気圧から排気する場合、まだかなりの流量がある段階で拡散ポンプに切り替えると回転ポンプが排気しきれないで、油拡散ポンプがいわゆる糞詰まりの状態、つまりブ

レークダウンの状態になってしまうことがある。

つまり回転ポンプの排気速度が不十分であるときは、そのときの流量を回転ポンプが処理しきれず、油拡散ポンプの排出口付近の圧力が高くなってしまふ。もしその圧力が、油拡散ポンプが動作可能な背圧を越えているときは、油拡散ポンプは機能停止の状態になる。これがブレークダウンの状態といわれるものである。これを避けるために $P-Q$ 曲線を使って、どのあたりの圧力で切り替えるのがよいのか検討が行われているのである。

8.5 排気時間

生産装置の場合、処理すべき品物を入れたり(ローディング)、出したり(アンローディング)するたびに、大気圧へ戻したり排気したりする操作を繰り返す。したがって排気に時間がかかることは装置の稼働率を低下させ、経済的には不利な状況を作り出すことになりかねない。

そこが実験室で使用される装置と、根本的に違うところであろう。低真空装置なら、計算通りの排気時間で所要の圧力を得ることができるが、高真空を目指すとき器壁からの放出気体の影響で排気時間の予想が極めて難しくなるのが現実である。このことは既に述べたところである。

この種の問題は、真空技術としては無視できない。十分に理解しておく必要がある。次に例題は、このことに関連して出題されたものである。

例題44 (1級)

一般に排気曲線は、真空容器の表面からの気体の放出速度の変化を反映したものとなることが知られている。ステンレス鋼製の真空容器をターボ分子ポンプで排気した場合、最もよく見られる排気曲線は次のどれか。(試験に出題されるときには、解答選択肢(a)~(e)のそれぞれに、排気時間を横軸に、圧力を縦軸にした簡単な説明図が付けてある)

- (a) 排気から10時間後、一定値となる。
- (b) 両対数目盛りで描くと、傾きがほぼ「-1」の直線になる。排気から10時間後でもこの傾きは持続する。
- (c) 両対数目盛りで描くと、傾きがほぼ「-1/2」の直線になる。
- (d) 片対数目盛りで描くと、排気から10時間後には直線になる。
- (e) 両対数目盛りで描くと、最初は傾きがほぼ「-1/2」で、10時間を過ぎると傾きが「-1」の直線になる。

ここでは、概念的なことしか訊ねていない。実際は図やグラフを作って排気時間の予測を行うが、その裏にある気体放出のメカニズムを理解した上で設問を読み、解答をすることが望ましい。この例題の正解は(b)である。

今回は「真空の利用」をテーマに取り上げる予定である。

(続く)