

資格試験と例題による解説(7)

資格認定委員会試験委員会 (監修) 委員長 中山勝矢

第4回から第6回まで、主に真空容器における気体の発生と、それを除去するシステムについて、例題により解説してきた。今回は「真空計測」を取り上げることにしたい。

5. 真空計測

真空計測については用語、真空計の種類、動作原理と問題点、気体の種類依存性、使用可能な圧力範囲と可測限界、使用上の留意点、指示値と気体圧力との関係、校正方法、データの解釈、残留気体の測定などが出題の対象になる。

5.1 真空計の種類と圧力範囲

真空計は大きく分けて、全圧(真空)計と分圧(真空)計となる。低真空や中真空の領域では、気体の圧力 [Pa] を、直接、力 [N/m²] そのものとして測れる真空計(全圧計)がある。「機械的現象に基づく真空計」がそれに当たる。しかしこの種の真空計は、一般に高真空や超高真空の領域では使えない。そのため多くの真空計では気体の分子密度によって変化するさまざまな現象を利用している。つまり気体の圧力そのものを測っていないから、圧力に対する校正が要る。

利用される現象の一つは、測定する空間内の気体の輸送現象であり、もう一つは電離現象である。過去に試作、開発された真空計の名称と定義は、JIS Z 8126-3「真空用語—真空計及び関連用語」に記載があり、よく整理されている。目を通しておく必要のある資料である。

このJISには分圧計も名称と定義が整理されている。ただし分圧計とあっても、現状では実際に気体の分圧を個々に計測できるものはない。残留気体の種類とおおよその量を示すに過ぎず、残留気体(ガス)分析計と呼ばれることが多い。

個々の真空計にはおのずと利用できる圧力範囲があり、それを越えて使用することはできない。この利用可能な圧力範囲がいかなる理由で決まるかを訊ねられることがある。

真空の領域は低真空から高真空まではなほ広く、全領域を単独の真空計で計測することは実現していない。また真空容器内に存在する気体の組成も多くの場合単一ではない。それでいくつかの真空計を組み合わせるようになるが、そこに技術上の課題が存在するので、それぞれの真空計の特性を熟知していることが大切である。

次の例題は、真空計の特性が訊ねられた例である。

例題29 (2級)

真空計に関する次の説明文で、正しいのはどれか。

- (a) ピラニ真空計は大気圧のような粘性流領域を測定するための真空計である。
- (b) 電離真空計は信頼性が高く、指示値はそのまま真空容器内の気体の圧力を示している。
- (c) 冷陰極電離真空計なら大気圧から超高真空まで計測できる。

- (d) ベアード・アルパート真空計(B-A真空計)は超高真空用であり、低圧側には計測の限界がない。
- (e) スピンニングローター真空計を大気圧から働かせることはできない。

(b)は、正しそうに見えるが、指示値がそのまま気体の圧力を示すという記述は誤りで、必ず校正が必要である。また(d)は、低圧(低真空ではない)側にX線限界があることが考慮されていないので正しくない。正解は(e)である。

5.2 真空計の特性

いくらデジタル化されていても、真空計はスイッチオンで万事OKというほど簡単ではない。この計測値はいかなる真空計によるものか、その真空計にはどのような問題が隠されているか、それぞれの真空計の計測の限界は何によって起きるのかなどを、承知して測定値の解釈をする必要がある。

身近にあって親しんでいるはずのB-A真空計でも、一つ一つの構造が持つ意味までは考えずに使っていることが多い。よく見れば、B-A真空計は特異な構造をしている。そこにはそれなりの理由があるので、関心を持って正しく理解しておくことが大切である。

次の例題はB-A真空計の針状の集イオン電極に関するものである。この問題は、単純に知識を問う形にはなっていない。一見簡単そうに見えるけれども、それぞれは物理的な知識を踏まえた考察が必要なので、レベルが高い。それで1級に位置付けされた。

例題30 (1級)

B-A真空計において、計測領域を高真空領域から超高真空領域に拡張するために最も効果的であった改良点は次のどれか。

- (a) グリッド電極(集電子電極)に加える電圧を高くして、電子によるイオンの生成効率を増加させた。
- (b) 電子電流を増やし、生成イオンの数を増加させた。
- (c) 集イオン電極をグリッド電極(集電子電極)の中心部に置くことで集イオン効率を高めた。
- (d) 集イオン電極を細くし、グリッド電極(集電子電極)からの軟X線に照射される面積を減らした。
- (e) 電極全体を線状の構造にして、電極から発生する気体放出量を減少させた。

この例題は、電離真空計が持っている一般的な問題点とかわりがある。それだけに示された解答選択肢の内容を理解しておくことが大切である。(d)に比べて、他の方法は効果が少ないので、正解は(d)である。

物理量の測定だけから圧力が求まる真空計を、JISでは絶

対真空計と呼ぶ。機械的現象に基づく真空計のうち液柱差真空計（U字管真空計）やマクラウド真空計などがこれに相当する。隔膜真空計なども機械的な変位で圧力を測定するが、圧力に対して校正が必要である。

多くの場合、真空計の動作条件（パラメータ）を変えると感度（真空計の指示された読みの変化と相当する圧力変化との比）が変わってしまう。電離真空計では感度係数 K を「与えられた気体に対して、定められた動作条件の下でのイオン電流を、イオン化のための電子電流と圧力の積で除した値」と定義する。それぞれの電流を I_i, I_e と書けば、

$$K = \frac{I_i}{I_e \times p}$$

である。この K は電子電流や電子加速電圧（グリッドの電圧）、気体の種類、圧力などによって少なからず変化する。

通常は校正を行ったときの動作条件で目盛り付けをしてあるので、こういったことはあまり表に出ないが留意すべきである。電離真空計の感度係数 K が動作条件によってかなり複雑に変化するのには、イオン化に関与する電子の数、電子のエネルギーによるイオンの生成効率の違い、イオンの再結合などが影響するからである。また電離真空計においては、気体ごとに感度係数が異なる。それで基準の気体（多くの場合、窒素）に対する感度係数の比を比感度と呼んでいる。

ピラニ真空計でも、適正な動作範囲を越えて圧力が高い領域になると感度が大幅に変化することが知られている。感度が極端に低くなった場合、気体の圧力が高まっても指示値に変化がないということになり、事故につながる。

いまここで出てきた感度、感度係数、比感度、X線限界などは、いずれも真空計測では欠かすことのできない概念である。これに関する例題を次に掲げる。

例題31（2級）

日本工業規格では真空計測に関する用語が定義されている。

(A)~(E)はその一例である。空欄(ア)~(オ)にあてはまる適切な用語を(1)~(5)の中から選んで順に並べなさい。

- (A) 熱陰極電離真空計で、集電子電極から放出される軟 X 線によって、主として集イオン電極から放出される光電子による残留電流に対応する窒素相当圧を(ア)という。
- (B) 与えられた気体に対して、電離真空計の定められた動作条件の下でのイオン電流を、イオン化のための電子電流と圧力との積で除した値を(イ)という。
- (C) 真空計に指示された読みの変化と相当する圧力変化との比を(ウ)という。
- (D) 窒素に関する感度で補正した圧力値を(エ)という。窒素に対して校正された真空計の場合は、その真空計の読み値である。
- (E) 真空計のある気体に関する感度と、その真空計の同一条件下における同一圧力の窒素の対する感度の比を(オ)という。

用語：(1)感度 (2)電離真空計の感度係数 (3)窒素相当圧（または窒素換算圧） (4) X 線限界 (5)比感度

- (a) (2), (4), (5), (3), (1)
- (b) (2), (3), (5), (1), (4)

- (c) (3), (1), (4), (2), (5)
- (d) (4), (2), (1), (3), (5)
- (e) (4), (2), (5), (1), (3)

この例題は非常に長い。読み間違いしないようにしないとイケない。全体は日本工業規格 (JIS) から取ってあるから、最も基本的な出題である。ただ文章に空欄を作り、そこに当てはまる言葉を選ばせるだけでなく、解答選択肢ではその順序を問うなど、少々手が混んでいる。正解は(d)である。

5.3 残留気体の分析

全圧計型の真空計では、残留気体が水素であろうと水蒸気であろうと、アルゴンが混ざっているのが区別して測定することはない。気体の種類と組成をもっと詳しく知りたければ、残留気体分析計を使うことになる。

現在市販されているものは、ほとんどすべて、イオン化室で気体を電子でイオン化している。この点は熱陰極電離真空計と同じである。生成したイオンはイオン化室から引き出された後に質量/電荷比にしたがって分離される。

分離の方法には、電界（高周波電界を含む）、あるいは磁界を使うもの、電界と磁界の両方を使うもの、それに飛行時間の違いを利用するものがある。分離できる原理については、講義のテキストや参考書を見て理解していただきたい。

得られる結果は、質量/電荷比ごとのイオン電流値であり、それぞれの気体についてイオンの生成効率と随伴するピーク（フラグメント電流）の大きさが把握されていれば、連立方程式を解くことで原理的には分圧を算出できる。しかし実際には、気体分子の種類が予め分からない場合が多く、正確な解析は極めて難しいのが現状である。ここでは、残留気体分析計そのものに関する例題を紹介しておく。

例題32（1級）

残留気体分析計について述べた次の文章のうち、正しいものはどれか。

- (a) すべての残留気体分析計では、イオンの軌道の偏向を利用している。
- (b) 四極子形質量分析計は柱状の高周波電極を持っている。
- (c) 四極子形質量分析計はイオンの分離のため磁界を必要とする。
- (d) 高周波電場を用いた残留気体分析計は、これまでに試みられたことがない。
- (e) 四極子形質量分析計は飛行時間の差を測定する形式の分析計である。

この例題は広く使われている四極子形質量分析計（Qマスともいう）について訊ねたものである。日ごろ使っているとだけでは少々さびしい。やはり構造と機能に立ち入って理解することが期待される。正解は(b)である。

他には、イオン化法について問う問題があった。

今回は「材料・部品・組立」を取り上げる。(続く)