

# 第 1 章

## 真空技術への ファーストステップ

真空技術では、残留気体の影響が無視できるような状態であれば、そのような空間を真空として扱っています。

本章では日本工業規格での真空の定義、圧力の単位、真空の分類と特徴、混合気体である空気の組成とそれらの分圧について基本的事項を説明します。

## 1-1 ● 真空の定義と特質

---

### (1) 真空とは

「真空」という言葉は「空気などの物質のまったくない空間」や「何もない空虚な空間」などを表現するとき、私たちは日常生活での会話や文章の中でなにげなく使っています。はたして現在の科学技術で「物質のまったくない（だから重さのない）物理的な空間」を地球上でつくることはできるのだろうか。完全に「物質が何も存在しない空間」—原子や分子が1個もない空間—をつくることは現在の科学技術のレベルではできません。そこで今日の真空を利用した関連技術では、真空空間を利用する目的に応じて残留気体の影響が無視できるような状態であれば、そのような空間を「真空状態」として扱っているのが現状です。

### (2) 真空の歴史

歴史的にみると、人間が意図的に地上で最初に真空状態になっている空間をつくったのはイタリアの数学者であり、哲学者でもあるエヴァンジェリスタ・トリチェリ (E. Torricelli-1608 ~ 1647) といわれています。1643年のことです。この年は偶然にもイギリスの代表的な物理学者・数学者であり、重力による古典力学を考えた、かの有名なアイザック・ニュートン (I. Newton=1643 ~ 1727) の生まれた年にあたります。

トリチェリは図 1-1 のように一端を閉じた長さ 1 m ほどのガラス管に、重たい (比重 13.6) 水銀を満たし、水銀槽の中に倒立させてみせました。するとガラス管の上端の部分には透明な空間を残して、水銀槽の表面からおおよそ 76 cm の高さのところで水銀柱が止まったのです。この上部にできた透明な空間こそが、まさに“真空”であると彼は考えました。この水銀柱の高さはガラス管の太さを換えても、ガラス管を斜めに立てても、常に水銀槽の表面から垂直に測って 76 cm の高さのところで止まって、上部に透明な空間 (真空) ができたのでした。このことは、

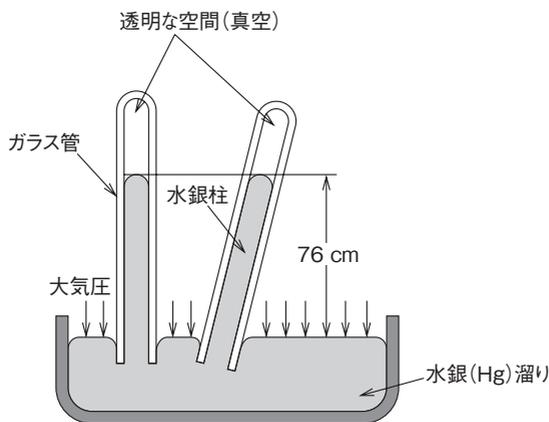


図 1-1 トリチェリの真空実験

いいかえると水銀の総量には関係なく水銀柱の高さだけが問題になることを示しています。これは“トリチェリの真空実験”としてよく知られています。

彼はこの真空実験をどのようにして思いついたのでしょうか。17世紀のはじめのころ、人々の暮らしは自給自足が当たり前でした。日々の生活を支える基盤になる住居には鉱石が多く使われていて、イタリアの鉱山では鉱石を採掘するために、多くの井戸掘り職人が活躍していました。そして職人の多くはポンプで汲み上げられる水の高さには、ある限界があることを長年の経験から身をもって知っていました。そこに注目したのがイタリアの物理学者、天文学者でもあり、大哲学者でもあるガリレオ・ガリレイ (G. Galilei = 1564 ~ 1642) で、トリチェリはガリレイの晩年における弟子の一人でした。

ガリレイはポンプで汲み上げられる水の高さの正確な測定を繰り返し、繰り返し実施して、その限界がほぼ10mであることを突き止めていました。そして井戸水がなぜ地下10mまでしか汲み上げられないのか、彼はその原因に考えをめぐらし、とうとう空気の重さ(大気圧)が関係しているのではないかと推測したのでした。当時の人々には肉眼で見るこ

とができない透明な空気に重さがあるというようなことには到底、考えが及ばなかったのです。今日では空気が重さを持っているというようなことは常識になっていますが、長い間、透明な気体には重さがあるはずがないと思われていたのです。

### (3) 大気圧の正体

今日では地球上のあらゆる物体の表面には  $1\text{ cm}^2$  当たりおよそ質量  $1\text{ kg}$  の重さに相当する力が作用していることが知られています (例題 1.1.1 を参照)。これが空気 (分子) の重さです。  $1\text{ m}$  四方の板にはなんと  $10$  トンの重さ (およそ普通のダンプカー 1 台の積載重量) に相当する力がかかっていることになるのです。この巨大な力こそが大気圧の正体です。

そこで彼の考えた結論は、ポンプで汲み上げられる水の高さに限界があるのは、この大気圧が影響しているのではないかということでした。そこで、大気圧の重要性とその役割がはじめて人々に強く認識されたのです。そこで、水がポンプによって汲み上げられる限界が地下  $10\text{ m}$  ならば、水の重さの  $13.6$  倍ある水銀\*ではその限界は  $76\text{ cm}$  程度の高さになるはずであるとトリチェリは考えたのです。

そこで、トリチェリは水銀槽の中に倒立させた重たい水銀柱を支えている力は、水銀槽の表面を大気圧が押しているためであり、“トリチェリの真空実験” でできた透明な空間こそが真空であることを発表しました。しかし当時、アリストテレスの「自然は真空を嫌う」という説があまりにも広く信じられていたので、一般の人々には真空の存在を認めることができなかったのです。その後、ゲーリケやパスカルらによっていろいろな真空の実験が実施されてから、すこしずつトリチェリの真空実験に

\* 水銀は常温で液体である唯一の金属で、またもっとも密度の大きい ( $13.6\text{ g/cm}^3$ ) 液体でもあります。ちなみに金 (Au) の密度は  $19.3\text{ g/cm}^3$  ( $20^\circ\text{C}$ )、鉄 (Fe)  $7.9$ 、銅 (Cu)  $8.9$ 、鉛 (Pb)  $11.4$  です。水銀の密度は金属の鉛よりも大きいことになりました。このように独特な特性をもっている水銀ですが、現在では人体の有害物質に認定されていて、使用が制限されています。

よってできた真空の存在をようやく認めることができたのでした。

また、標高の高い山の頂上では空気が希薄になり、すなわち気圧が低くなるのですから、当然、この水銀柱の高さが低くなることも実験によって確かめられていました。この時代から大気圧（1気圧）の大きさは水銀柱を76 cmの高さまで押し上げるとしたのでした。

これを、**標準大気圧**（標準気圧 normal atmospheric pressure）\* といひ、記号 atm で表しています。

$$\begin{aligned} \text{標準大気圧 } 1 \text{ atm} &= 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ Torr} \\ &= 101325 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa} = 101 \text{ kPa} \\ &= 1013 \text{ mbar} \text{（ミリバール）} \\ &= 1013 \text{ hPa} \text{（ヘクトパスカル）} \end{aligned}$$

#### （4） 大気圧を測る

現在でも標準的な気圧計は水銀柱の高さを精密に測って気圧を知るもので、フォルタン（Fortin）型水銀気圧計として広く用いられています。この気圧計はトリチェリの実験装置を改良したもので、水銀槽の液面にかかる大気圧とガラス管内部の水銀柱の高さとの釣り合いから気圧を測定するものであり、容易に大気圧の正確な値を知ることができます。

#### （5） 真空の定義

このようにしてできた真空は、いろいろな技術分野に利用することができます。

真空技術で利用できる圧力の領域は大気圧  $10^5 \text{ Pa}$  からおよそ  $10^{-11} \text{ Pa}$  のきわめて広い範囲です。このため、大気圧近傍と  $10^{-8} \text{ Pa}$  程度の真空の領域はそれぞれ物理的にも真空技術的にも極端に異なっていて、同じ真空環境であってもまるで別世界の様相を呈しているのです。

さて、このように広い圧力範囲を扱う真空技術では真空をどのように

\* 標準大気圧は4年に一度開かれる国際度量衡総会の開催地であるフランスのパリと同緯度の平均海面の平均気圧を基にしています。

定義しているのでしょうか。日本工業規格 JIS Z 8126-1、真空技術—用語—第1部：一般用語では、

真空とは「**通常の大気圧より低い圧力の気体で満たされた空間の状態**」  
**備考—圧力そのものをいうものではない、**となっています。

この真空の定義は国際標準化機構 ISO の考え方でもあります。この定義で、真空技術で扱う真空は単に巨視的（マクロ）な圧力、すなわち単位面積に垂直にはたらく力の大きさだけではなく、「低い圧力の気体で満たされた空間の状態」ですから高真空領域では微視的（ミクロ）に見た原子・分子レベルの考え方が必要であるということになります。また、この JIS の定義で大気圧より低い圧力の気体のところを、けっして1気圧よりも低い圧力の気体としてはいけません。この定義で大気圧を1気圧としないで、通常の大気圧より低い圧力としているのは、大気圧が緯度、高度、気象などにより変動することを考慮しているのです。

#### 真空の定義

- 日本工業規格 JIS Z 8126-1

通常の大気圧より低い圧力の気体  
で満たされた空間の状態

〔備考〕 圧力そのものをいうものではない

## （6）真空環境の度合い

真空環境の度合いを表現するには圧力だけでなく、空間内に含まれる分子や原子の密度で表現してもよいはずですが。圧力の大きさは分子や原子の密度に比例していますから、密度で表現したほうがより正確な表現になるはずですが。しかし、このような表現は現時点では一般的ではないので、真空の度合いを数量的に表現するときには圧力の単位で表しています。圧力を力学的な力として測定できるのは、せいぜい大気圧から