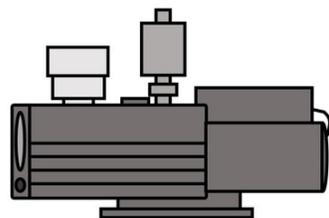


# 真空技術セミナー

# 真空技術の基礎

分子科学研究所 中本圭一



2025年3月7日

● 真空の定義

大気圧より低い圧力をいう

日本産業規格 (JIS)  
2019年 日本工業規格→日本産業規格

昔、ANELVAのラジオCMに

今からあなたに素敵な真空をお届けします・・・



これも真空

● 大気圧の圧力は

1気圧 = 1013.12 [hPa] ヘクト[h]は100 (1気圧は海面上の平均圧力)  
 $1013 \times 100$  [Pa] =  $1.0 \times 10^5$  [Pa]

現在圧力の単位は、1971年からパスカル[Pa]に統一され  
Torr, mbar, PSIなどは使用しない



Blaise Pascal  
1623-1662

● 圧力の単位Paとは

$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$  1 Nは1kgの物体に $1\text{m}/\text{s}^2$ の加速度を与える力

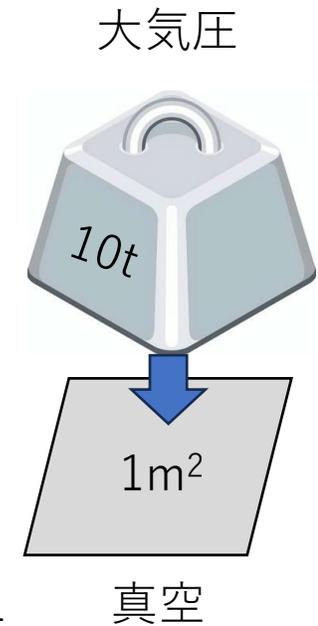
**大気圧で $1\text{m}^2$ にかかる重量は？**

加わる力 $F$ は、 $F = 1 \times 10^5[\text{Pa}] \times 1[\text{m}^2] = 1 \times 10^5[\text{kgm}/\text{s}^2]$

重量 $m$  は重力加速度 $g$  で割って  $m = 1 \times 10^5/9.8 = 10204[\text{kg}] \doteq$  **10t**

**爆縮に注意！**

真空装置のガラスベルジャーやビューイングポートに衝撃や傷をつけないように爆縮と言っても爆発です。



- なぜ真空が必要か？ 2つの理由

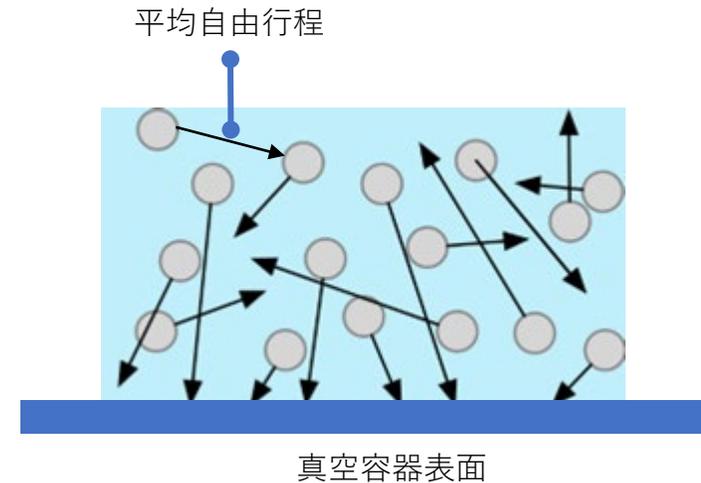
- ・ 分析に用いる電子や分子が、真空中の残留分子に当たらないようにするため

気体の平均自由行程  $l$  は

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot n \cdot \sigma} \quad \text{ここで、} n : \text{数密度}[\text{m}^{-3}] \quad \sigma : \text{有効断面積}[\text{m}^2]$$

代表的な圧力ごとの平均自由行程

- ・  $1 \times 10^5[\text{Pa}] \rightarrow$  約70nm
- ・  $1[\text{Pa}] \rightarrow$  約10cm
- ・  $1 \times 10^{-5}[\text{Pa}] \rightarrow$  約1km



- ・ 残留分子が試料表面に吸着して、試料を汚染するのを防ぐため

$10^{-4}\text{Pa}$ の真空度では、室温で $1\text{cm}^2$ 当たり気体分子が入射する頻度は、 $2.85 \times 10^{13}$ 個/sec

吸着係数を1とすると、表面を1層覆う時間は、38.6sec  $10^{-8}\text{Pa}$ では107Hとなる

● 真空度による分類 日本産業規格 (JIS)

極高真空 ←  $10^{-8}$  ← **超高真空** →  $10^{-5}$  ← **高真空** →  $10^{-1}$  ← 中真空 →  $10^2$  ← 低真空 →  $10^5$  [Pa]

XPS等：表面分析装置  
FE電子銃

SEM, TEM観察室  
質量分析装置

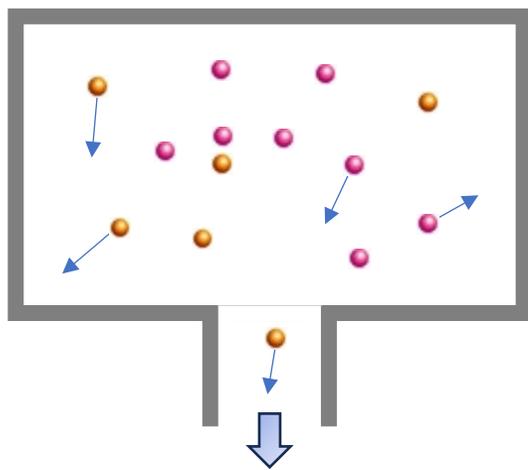
スパッタ装置

低真空SEM

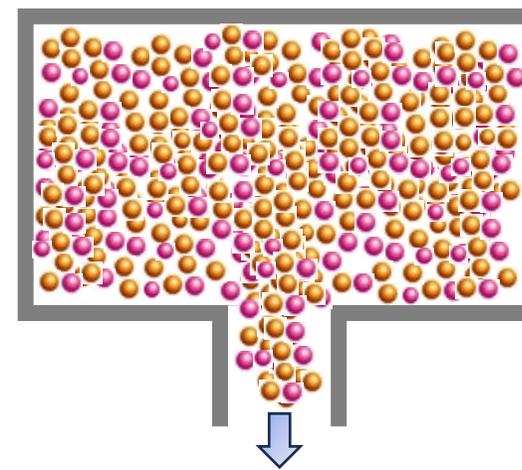
真空乾燥  
デシケーター



気体分子同士の衝突は無視でき、  
主に真空容器の壁に衝突しながら移動する



気体分子同士の衝突が主に発生し、  
気体分子が流体のように振る舞う



● 真空排気特性 理論的考察

真空容器からのガス放出 $Q_v$ 、リーク $Q_l$ が無い場合  
真空容器内の真空度 $P$ は

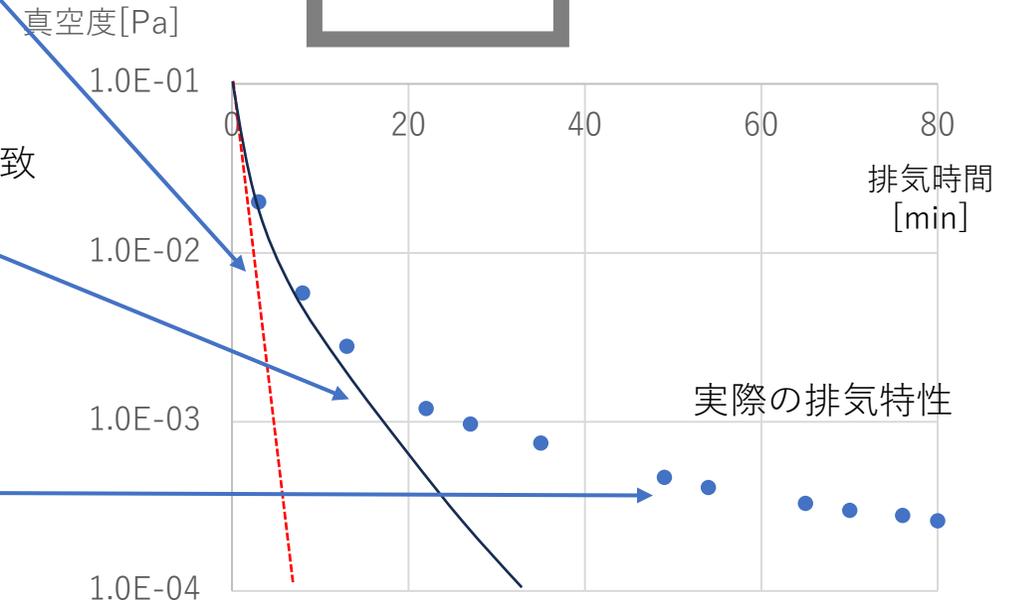
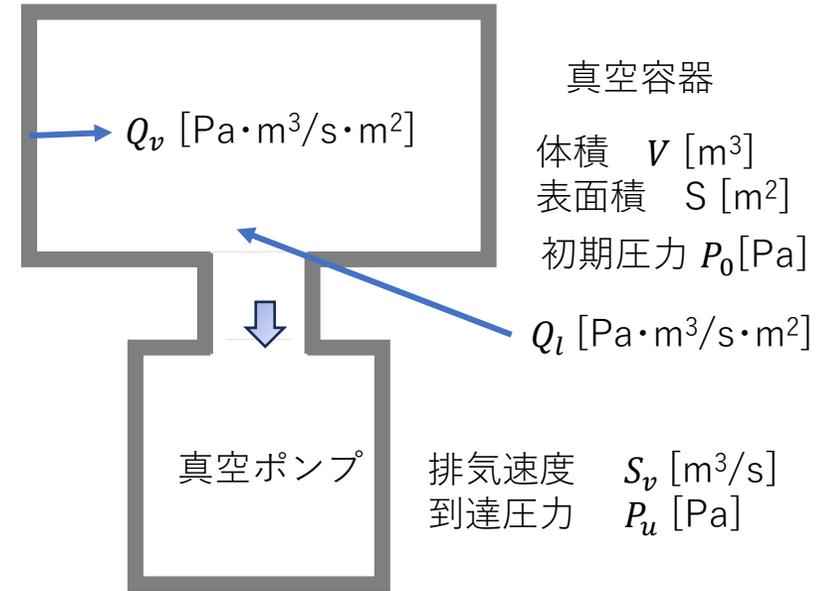
$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{S_v}{V} t} \quad \text{現実とは異なる}$$

真空容器からのガス放出 $Q_v$ を考慮に入れると

$$P = \left(P_0 - \frac{Q_v}{S_v}\right) \cdot e^{-\frac{S_v}{V} t} + \left(\frac{Q_v}{S_v} + P_u\right) \quad \text{最初の方だけ一致}$$

一定時間経過後は $e^{-\frac{S_v}{V} t}$ は減少してくるので

$$P = \frac{Q_v}{S_v} + P_u$$



● 真空排気 理論的考察 つづき

真空容器内の最終到達真空度  $P_{eq}$  は

$$P_{eq} = \frac{Q_V}{S_V} + \frac{Q_l}{S_V} + P_u$$

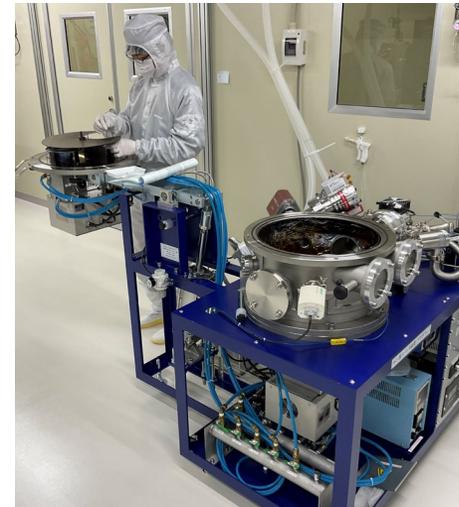
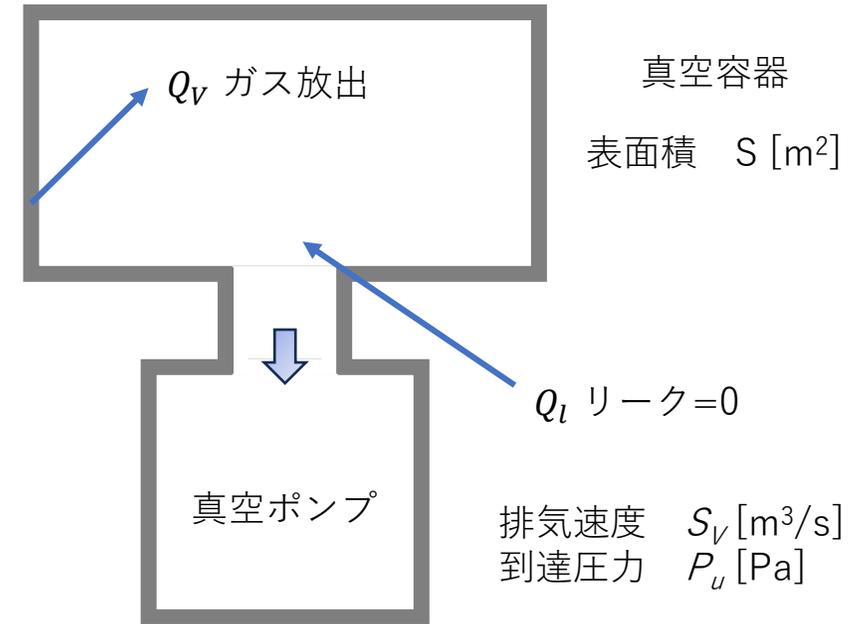
真空容器の表面積  $0.5[m^2]$ 、SUSのガス放出  $2.9 \times 10^{-5}[Pa \cdot m^3/s \cdot m^2]$

真空ポンプの排気速度  $300[l/s]$ 、到達真空度  $1.0 \times 10^{-6}[Pa]$

真空容器にリークが無い  $Q_l=0$  とすると

$$P_{eq} = 2.9 \times 10^{-5} \left[ \frac{Pa \cdot m^3}{s \cdot m^2} \right] \times 0.5 [m^2] \times \frac{1}{0.3} \left[ \frac{s}{m^3} \right] + 1.0 \times 10^{-6} [Pa]$$

$$= 4.8 \times 10^{-5} [Pa]$$



分子研にあるスパッタ装置

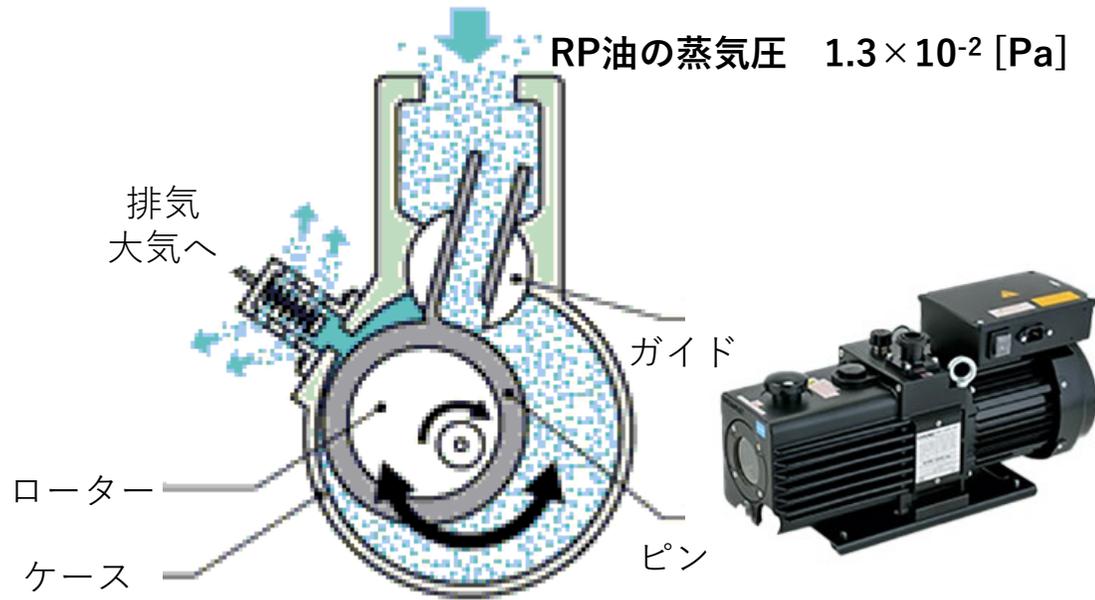
● 油回転ポンプと油拡散ポンプの構造

油回転ポンプ RP(Rotary Pump) 大気圧～10 [Pa]

粘性流領域

吸気

RP油の蒸気圧  $1.3 \times 10^{-2}$  [Pa]



停止時に吸気口部を大気圧にしないと油が上がってくる  
フォアライントラップやオイルミストトラップが使われる

**保守**

定期的に油の補充が必要

設備ネットワークアーカイブ資料にビデオあり

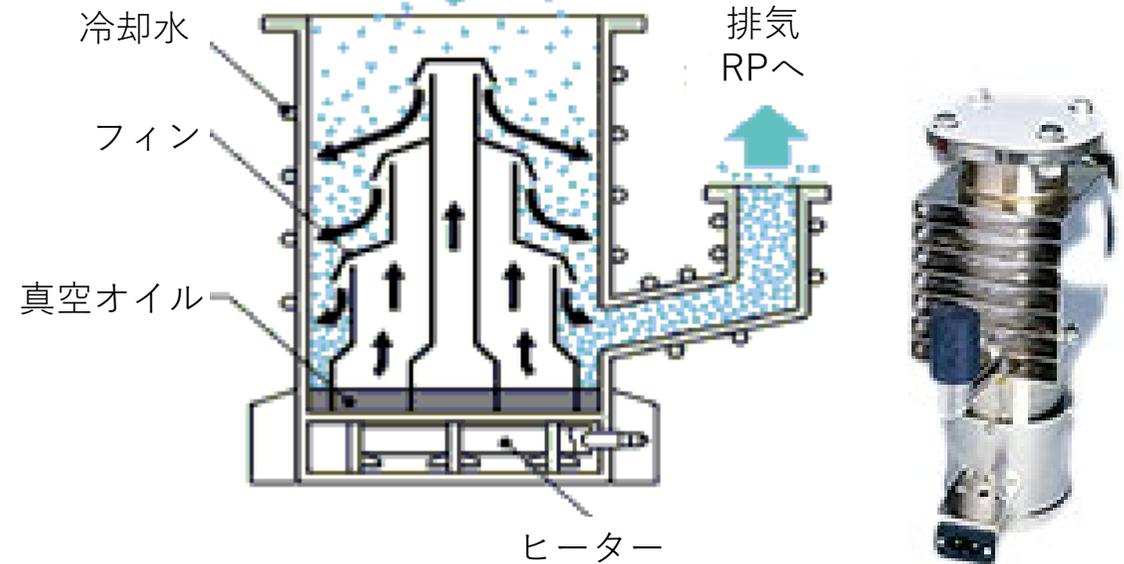


油拡散ポンプ DP(Diffusion Pump) 100～10<sup>-4</sup> [Pa]

分子流領域

吸気

DP油の蒸気圧  $7 \times 10^{-6}$  [Pa]

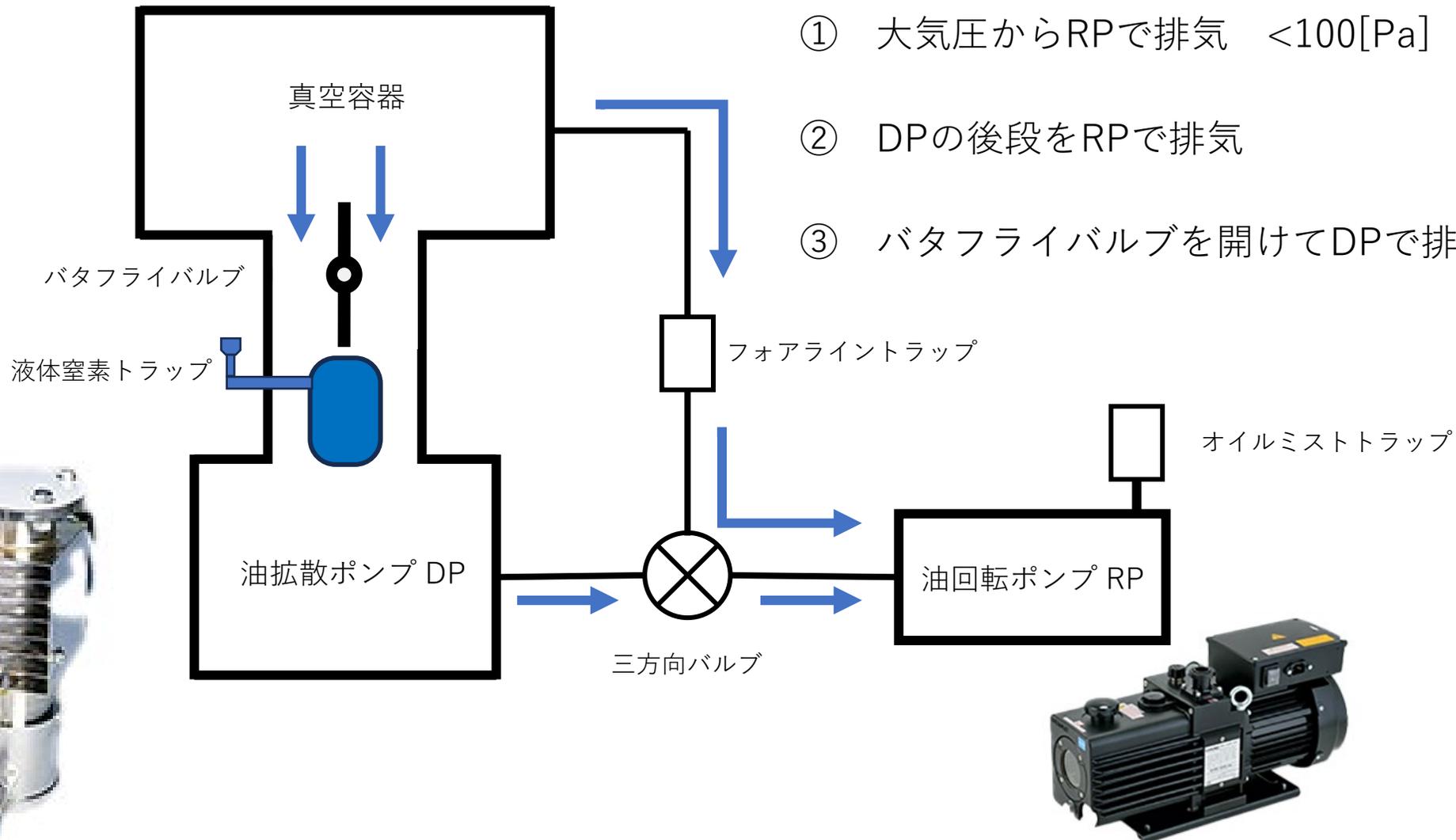


ヒータのため起動・停止に15分以上かかる  
多くのDPでは水冷が必要

**保守**

冷却水の漏れがないか点検が必要

● 真空排気手順



- ① 大気圧からRPで排気 <math><100[\text{Pa}]</math>
- ② DPの後段をRPで排気
- ③ バタフライバルブを開けてDPで排気



● 真空ゲージ

10<sup>-8</sup> ← 超高真空 → 10<sup>-5</sup> ← 高真空 → 10<sup>-1</sup> ← 中真空 → 10<sup>2</sup> ← 低真空 → 10<sup>5</sup> [Pa]



← ピラニーゲージ →



← ペニングゲージ →



組み合わせたゲージも多い  
絶対真空度を必要としない  
分析装置に多い 安価

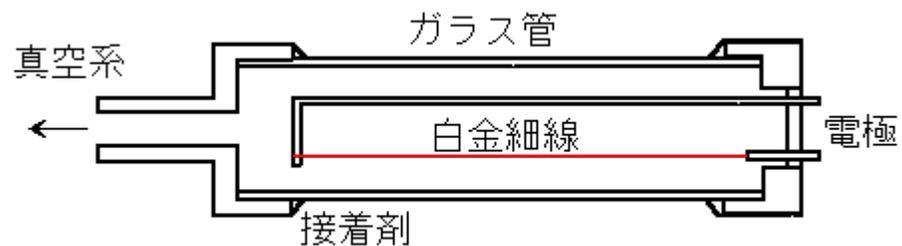
← 電離ゲージ(B-Aゲージ) →



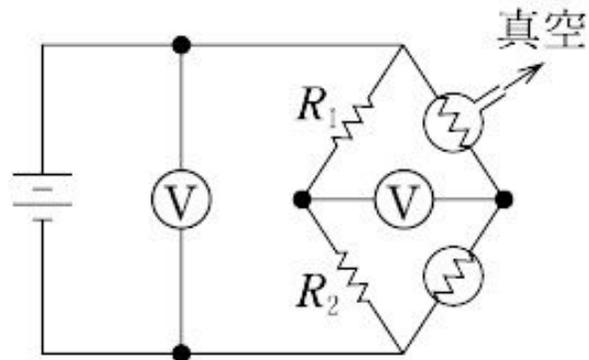
表面分析装置等超高真空を  
必要とする装置に使用

## ● 真空計の原理

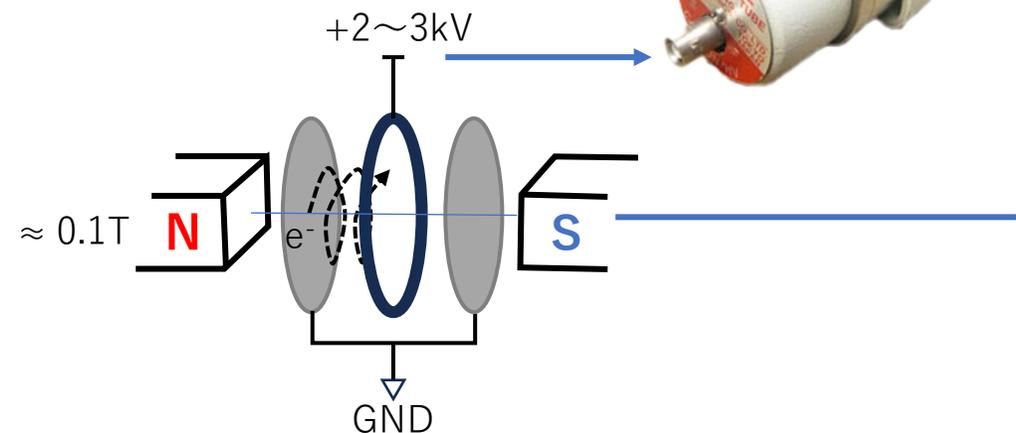
ピラニーゲージ (大気圧)  $\sim 10^{-1}$  [Pa]



細い白金線に電流を流し、気体分子の衝突によって奪われる熱を白金線の抵抗値の変化をブリッジ回路で検出



ペニングゲージ  $1 \sim 10^{-4}$  [Pa]

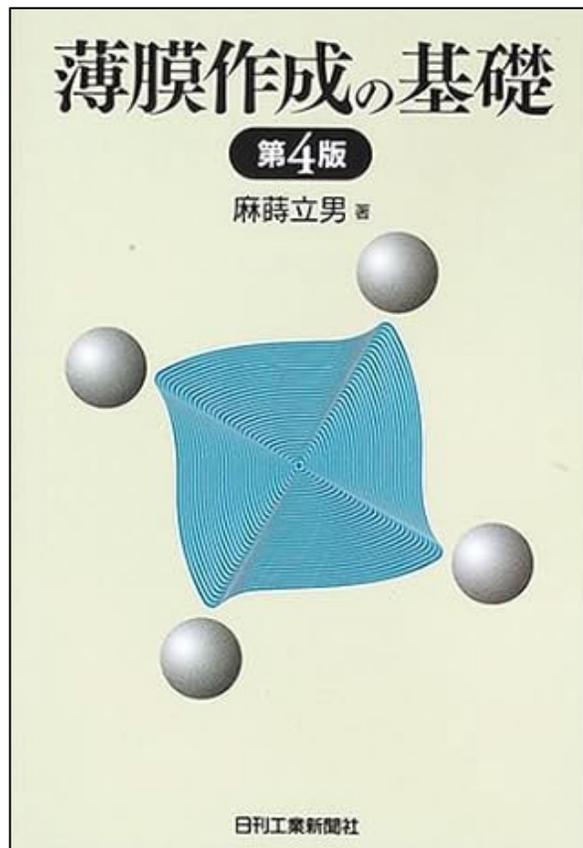


冷陰極電離真空計

平行平板電極間(陰極)に環状電極(陽極)を置き、磁界で電子の飛程を長くすることで、低い圧力でも持続的に放電を起こさせる

電離を安定させるため、ごく少量の放射性物質が入っている場合がある  
廃棄時には注意

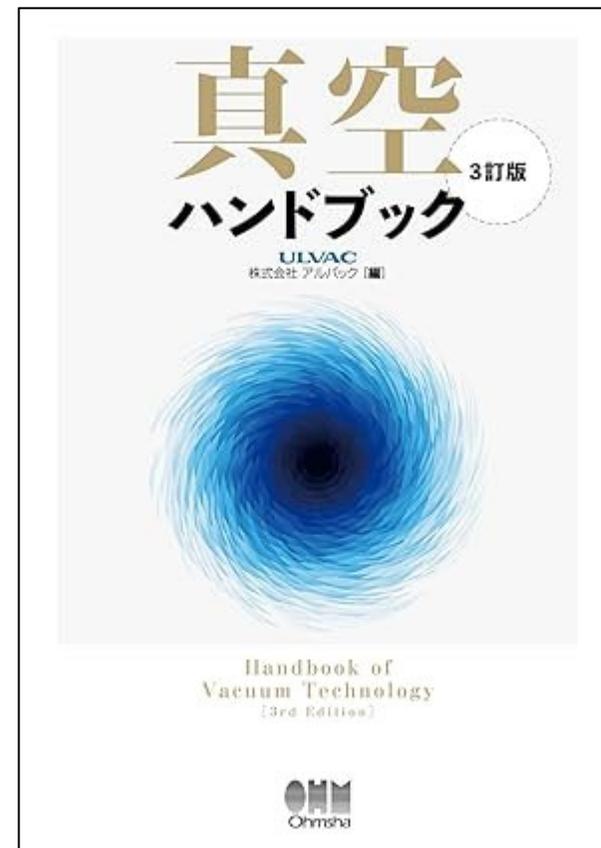
● 参考図書



スパッタ、蒸着を行う人には最適  
真空全般も詳しく説明されている  
¥ 4,180



基本的な内容が中心  
詳細な応用には向かない可能性あり  
¥ 1,760



真空装置設計実務者には必携の書  
価格が高いため、機関での購入がおすすめ  
¥12,000

ご清聴ありがとうございました