

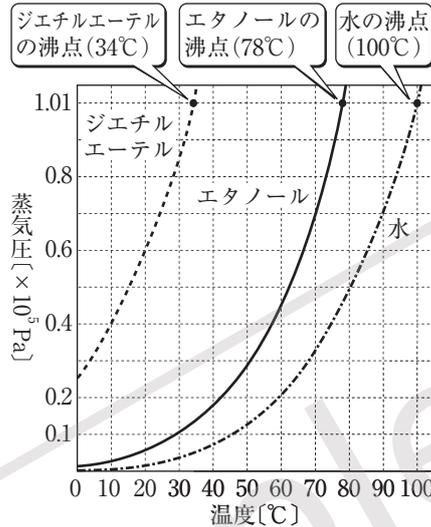
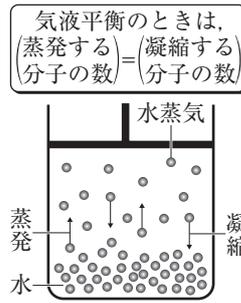
目次

第1講	結晶格子	2
第2講	ボイル・シャルルの法則と状態方程式	10
第3講	混合気体, 理想気体と実在気体	18
第4講	分子間力と沸点, 蒸気圧	26
第5講	溶液の濃度と溶解度	34
第6講	沸点上昇と凝固点降下	42
第7講	浸透圧, コロイド溶液	50
第8講	熱化学方程式	58
第9講	ヘスの法則	66
第10講	電池	74
第11講	電気分解	82
第12講	反応速度と化学平衡	90
第13講	電離平衡よ溶解度積	98
第14講	1族(アルカリ金属), 2族元素とその化合物	106
第15講	両性元素とその化合物	116
第16講	遷移元素とその化合物	124
第17講	金属イオンの反応	132
第18講	炭素・ケイ素, 窒素・リン	140
第19講	酸素・硫黄, 17族(ハロゲン)元素	150
第20講	有機化学の基礎	160
第21講	炭化水素	168
第22講	アルコール, アルデヒド, ケトン	176
第23講	カルボン酸, エステル, 油脂	184
第24講	芳香族炭化水素	192
第25講	酸素を含む芳香族化合物	198
第26講	窒素を含む芳香族化合物	206
第27講	合成高分子化合物	214
第28講	糖類	222
第29講	アミノ酸とタンパク質	230
第30講	繊維, 酵素, 核酸	238
	資料	246

3 蒸気圧と沸点

容器に液体を入れて密閉し放置すると、液体が気体(蒸気)になる([1])する速さと、気体(蒸気)が液体になる([2])する速さが等しくなり、見かけ上 [1]も [2]も起こっていないような状態になる。これを気液平衡という。気液平衡のときに蒸気圧を示す圧力を飽和蒸気圧または単に蒸気圧という。同じ物質の場合、蒸気圧は温度だけで決まり、温度が高いほど蒸気圧は [3]い。温度と蒸気圧の関係を示す曲線を蒸気圧曲線という(右図)。

ふたのない容器に液体を入れて加熱すると、最初は液体表面だけから [1]が起こるが、温度が高くなると液体内部からも [1]が起こり、内部に気泡が見られる。この現象を [4]といい、 [4]が起こる温度を沸点という。 [4]は、蒸気圧が外圧に等しくなったときに起こる。したがって、沸点は外圧によって変わる。沸点は、ふつう外圧が通常の大気圧である $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ のときの値で表す。分子間力が強い物質ほど蒸気圧は [5]いので、沸点は [6]くなる。



↔ 状態変化を表す語句は覚えておこう。

- 固体 → 液体 融解
- 固体 ← 液体 凝固
- 液体 → 気体 蒸発
- 液体 ← 気体 凝縮
- 固体 ↔ 気体 昇華

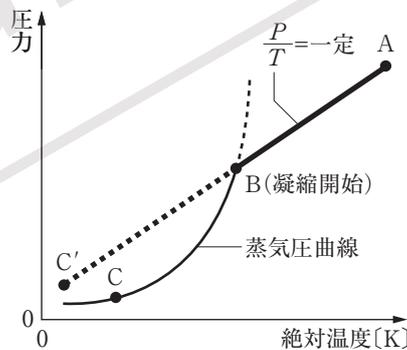
↔ 液体の上には、そのときの温度の蒸気圧に相当する蒸気必ず存在する。同じ物質の蒸気圧は、液体の量や蒸気の体積には関係なく、温度だけで決まる。

↔ 蒸気圧が、通常の大気圧である $1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ に等しくなったときの温度が沸点である。富士山頂 (3776 m) では、大気圧が $6.3 \times 10^4 \text{Pa}$ 程度なので、水の沸点は 87°C くらいになる。

4 蒸気圧と液体の存在の有無

密閉容器(容積一定)中の気体の温度を下げていくと、圧力は右図のように変化する。

- ・最初、圧力は絶対温度に比例して小さくなる(右図A→B)。
- ・圧力が蒸気圧に等しくなると [2]が始まる(右図B)。
- ・以後は気体と液体が共存するので圧力は蒸気圧曲線にそって変化する(右図B→C)。



このときの液体の有無は次のように判断する。すべて気体だと仮定すると、圧力は図の直線AC'にそって変化する。この直線と蒸気圧曲線とを比較すると、実際の圧力(図の実線)は常に低い方の値になる。したがって、次のことがいえる。

- すべて気体だと仮定して計算した圧力を P とすると、ある温度で
- $P < \text{蒸気圧} \Rightarrow$ 気体だけ(液体は存在せず) \Rightarrow 真の圧力 = [7]
- $P = \text{蒸気圧} \Rightarrow$ [2]開始の瞬間 \Rightarrow 真の圧力 = $P = \text{蒸気圧}$
- $P > \text{蒸気圧} \Rightarrow$ 液体と気体が共存している \Rightarrow 真の圧力 = [8]

↔ 図を見ると、
 ・気体だけで液体が存在しないA→Bの間は、直線AB < 蒸気圧
 ・凝縮が始まるBでは、B = 蒸気圧
 ・気体と液体が共存しているB→Cの間は、直線BC' > 蒸気圧となっている。

↔ P と蒸気圧を比較して、小さいほうが真の圧力! $P = \text{蒸気圧}$ のときは凝縮が始まる瞬間である。

解答 3 ① 蒸発 ② 凝縮 ③ 大き ④ 沸騰 ⑤ 大き ⑥ 高
 4 ⑦ P ⑧ 蒸気圧

基本問題演習

1 分子の極性についての次の記述ア～エの中に、正しいものが二つ含まれている。正しいものの組み合わせを、下の①～⑥から一つ選べ。

ア メタン CH_4 分子は、四つの C-H 結合の極性が互いに打ち消し合って、分子全体として無極性である。

イ ホルムアルデヒド HCHO 分子は、C=O 結合に極性がなく、分子全体として無極性である。

ウ 四塩化炭素分子 CCl_4 は、四つの C-Cl 結合の極性のため、分子全体として極性を示す。

エ アンモニア NH_3 分子は、三つの N-H 結合の極性が互いに打ち消し合わず、分子全体として極性を示す。

- ① アとイ ② アとウ ③ アとエ
④ イとウ ⑤ イとエ ⑥ ウとエ

2 次のA群とB群からそれぞれ沸点の最も高い化合物を選んだとき、その組み合わせとして最も適当なものを、右の表の①～⑥から一つ選べ。

A : ア CH_4 イ CCl_4 ウ CBr_4

B : a H_2O b H_2S c H_2Se

	A	B
①	ア	b
②	ア	c
③	イ	a
④	イ	b
⑤	ウ	a
⑥	ウ	c

ヒント

↔ 分子の極性は「化学基礎」の範囲だが、復習の意味もかねて出題してみた。

ア メタン CH_4 分子は、正四面体の中心にC原子が、四つの頂点にH原子がある、正四面体形の構造である。

イ C=O のような異なる原子間の結合には、極性が…。

ウ 四塩化炭素 CCl_4 分子は、メタンと同様な正四面体形の分子である。

エ アンモニア NH_3 分子は、三角錐形の構造である。

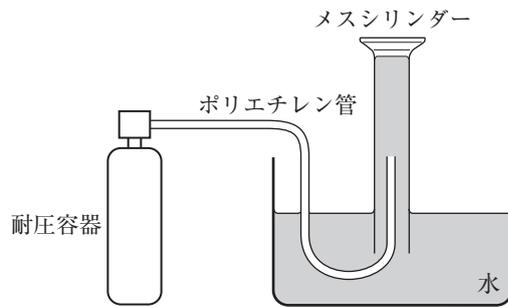
ヒント

↔ 分子間力が強いほど沸点は高くなるので、分子間力が最も強い化合物を選べばよい。

A どれも正四面体形の無極性分子である。一般に、似た構造の分子では、分子量が大きいほど分子間力が強い。

B どれも折れ線形の極性分子であるが、水はO-H結合の極性が非常に大きく、分子間に水素結合をつくる。

3 水への溶解度が無視できる気体の分子量を求めるため、右図に示す装置を使って、次のa～dの順序で実験した。



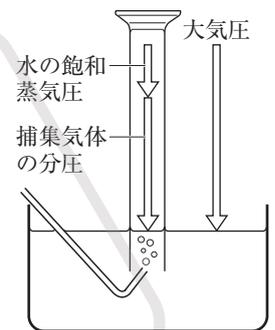
- 気体がつまった耐圧容器の質量を測定したところ、 W_1 [g]であった。
- 耐圧容器から、ポリエチレン管を通じて気体をメスシリンダーにゆっくりと導き、内部の水面が水槽の水面より少し上まで下がったとき、気体の導入をやめた。メスシリンダーの目盛りを読んだところ、気体の体積は V_1 [L]であった。
- メスシリンダーを下に動かし、内部の水面を水槽の水面と一致させて目盛りを読んだところ、気体の体積は V_2 [L]であった。
- ポリエチレン管を外して耐圧容器の質量を測定したところ、 W_2 [g]であった。

実験中、大気圧は $P_{\text{大気}}$ [Pa]、気温と水温は常に T [K]であった。水の蒸気圧を $P_{\text{水}}$ [Pa]、気体定数を R [Pa \cdot L/(K \cdot mol)]とすると、気体のモル質量[g/mol]はどのように表されるか。最も適当なものを、次の①～⑥から一つ選べ。ただし、ポリエチレン管の内容積は無視できるものとする。

- $\frac{RT(W_1 - W_2)}{(P_{\text{大気}} + P_{\text{水}}) V_1}$
- $\frac{RT(W_1 - W_2)}{P_{\text{大気}} V_1}$
- $\frac{RT(W_1 - W_2)}{(P_{\text{大気}} - P_{\text{水}}) V_1}$
- $\frac{RT(W_1 - W_2)}{(P_{\text{大気}} + P_{\text{水}}) V_2}$
- $\frac{RT(W_1 - W_2)}{P_{\text{大気}} V_2}$
- $\frac{RT(W_1 - W_2)}{(P_{\text{大気}} - P_{\text{水}}) V_2}$

ヒント

状態方程式を使って気体のモル質量を求めればよいが、気体を水上置換で集めている点がポイント。液体の上には、その液体の蒸気が必ず存在する。水上置換でメスシリンダーに気体を集めたときも、メスシリンダー内の気体は、捕集した気体と水蒸気の混合気体になっており、その二つの分圧の和が大気圧とつり合っている。



したがって、捕集気体の分圧を P とすると、次式が成り立つ。

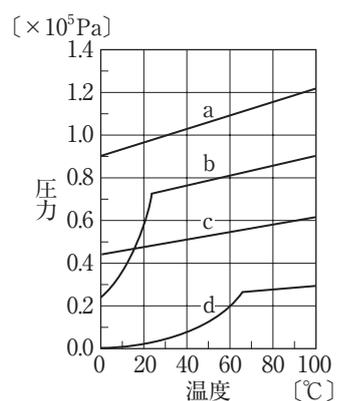
$$P + P_{\text{水}} = P_{\text{大気}}$$

ただし、この式が成り立つためには、メスシリンダーの内外で圧力が等しくなければならない。“同じ高さの液面で圧力が等しい”から、メスシリンダーの内外で液面を揃える必要がある。

応 用 問 題 演 習

1 次の物質ア～エを、それぞれ容積 1 L の容器に入れて密閉し、0～100℃の範囲で温度を変化させた。そのときの各容器内の圧力変化を右図に示す。直線または曲線 a～d と物質との組み合わせとして最も適当なものを、表の①～⑥から一つ選べ。

- ア 0.02 mol の酸素
- イ 0.04 mol の窒素
- ウ 0.01 mol の水
- エ 0.03 mol のジエチルエーテル

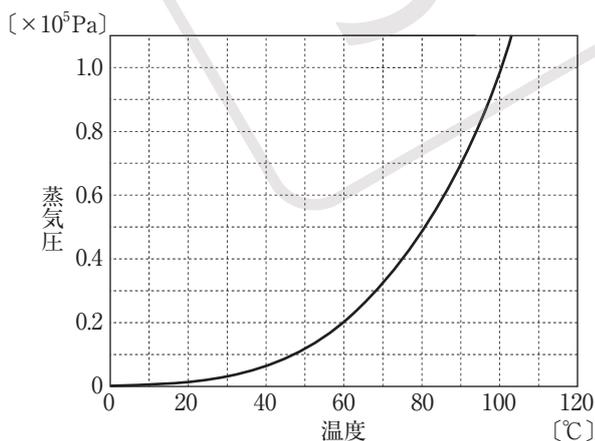


	a	b	c	d
①	ア	イ	ウ	エ
②	ア	ウ	エ	イ
③	ア	エ	イ	ウ
④	イ	ウ	ア	エ
⑤	イ	エ	ウ	ア
⑥	イ	エ	ア	ウ

2 蒸気圧に関する次の文の ・ に当てはまる数値の組み合わせとして最も適当なものを、右の表①～⑥から一つ選べ。ただし、気体は理想気体とし、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$ とする。

次の図は水の蒸気圧曲線を示す。大気圧が $8.0 \times 10^4 \text{Pa}$ のとき、水は ℃で沸騰する。また、水 0.10 mol を容積 22.4 L の真空容器に入れたとき、60℃において容器内の圧力は Pa である。

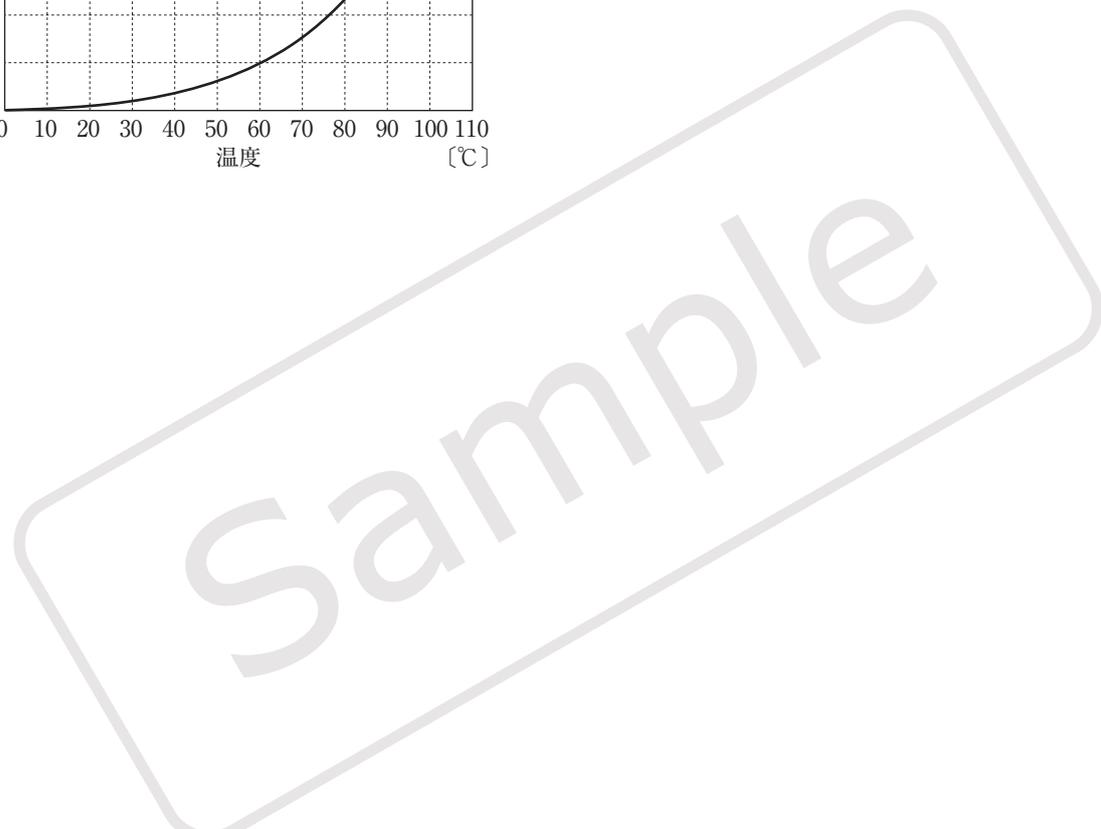
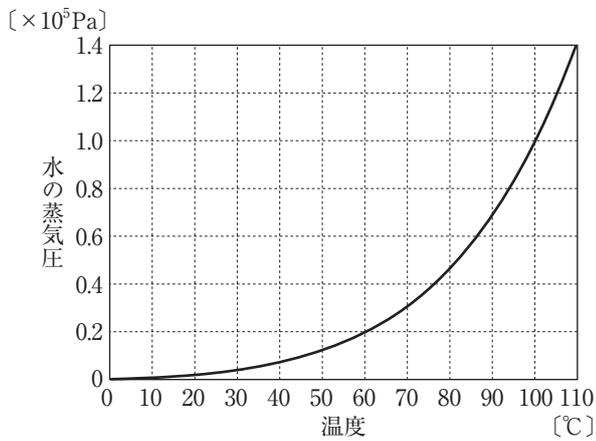
	a	b
①	94	1.0×10^4
②	94	1.2×10^4
③	94	2.0×10^4
④	100	1.0×10^4
⑤	100	1.2×10^4
⑥	100	2.0×10^4



③ 次の文の ・ に入れる数値の組み合わせとして最も適当なものを、右の表の①～⑤から一つ選べ。

	a	b
①	100	90
②	100	60
③	100	50
④	82	60
⑤	82	50

下の図は水の蒸気圧曲線を示す。ピストン付きの密閉容器に水 0.020 mol と窒素 0.020 mol を入れ、容器内の圧力を $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ に保ちながら 110°C まで加熱して、水を完全に蒸発させた。この圧力を保ちながら温度を下げていったとき、 $^\circ\text{C}$ で水が凝縮し始めた。さらに温度を $^\circ\text{C}$ まで下げたとき、容器には 0.025 mol の気体が残った。



問題 1

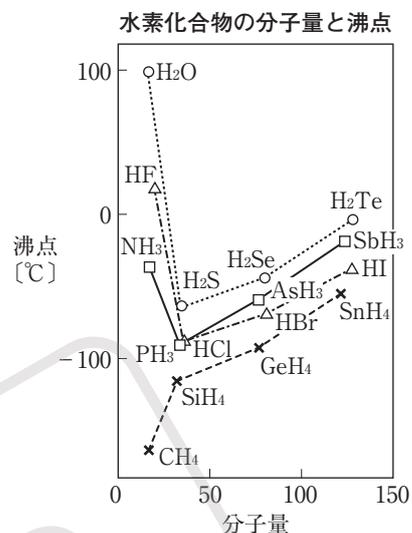
次の文は水素化合物の分子量と沸点の関係を示した右図に関するものである。〔1〕～〔11〕に適切な語句を入れて、文を完成させよ。

多数の分子が〔1〕力によって互いに引き合い、規則正しく配列してできた結晶を分子結晶という。図中の化合物は分子結晶を形成する。ダイヤモンドの炭素原子間にみられる〔2〕結合や、塩化ナトリウムのナトリウムイオンと塩化物イオンの間の〔3〕力による〔4〕結合に比べて、〔1〕力による結合力は小さい。このため、〔2〕結合の結晶や〔4〕結合によって形成された結晶と比べ、分子結晶を形成する化合物の多くは融点や沸点が低い。

〔1〕力はいくつかに分類されるが、その一つとしてファンデルワールス力が知られている。分子の形が似た化合物を比較した場合、〔5〕が大きいほどファンデルワールス力は大きくなり、沸点が高くなる。分子の形がすべて〔6〕形である図中の 14 族元素の水素化合物がその傾向をよく表している。

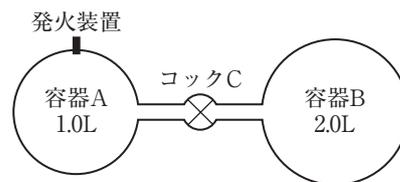
図中の水素化合物の水素原子と各原子は〔2〕結合によって結ばれている。原子が共有電子対を引き付ける能力を〔7〕とよび、〔7〕が大きな原子ほど、電子を引き付けやすい。このため、異種の原子間で〔2〕結合をつくる場合には、その結合に〔8〕が生じる。そして、〔8〕がある〔2〕結合によって分子が形成された場合、分子全体としての〔8〕は、その分子の形によって決定される。例えば、 H_2S のような〔9〕形の分子の場合、正と負の電荷の中心が一致しないため、〔8〕分子となるが、 SiH_4 のように〔6〕形の場合は一致し、〔10〕分子となる。 SiH_4 に比べ、同程度の〔5〕をもつ PH_3 , HCl , H_2S の沸点が高いのは、それらが〔8〕分子であり、互いの分子間に〔3〕力が働くからである。

希ガス元素を除いた周期表において、〔7〕は同じ周期では右にある原子ほど、同じ族では上にあるものほど大きくなる。15, 16 および 17 族元素の水素化合物で、 NH_3 , H_2O および HF に関してはその沸点がそれぞれ同じ族の水素化合物に比べ、異常に高い。これは、〔7〕の大きい原子と水素原子が〔2〕結合をつくっている分子の場合には、隣接する分子間において、一方の分子の〔7〕の大きい、負に帯電した原子が、もう一方の分子の正に帯電した水素原子と引き合うため、通常の〔8〕分子よりも分子間で強い引力が働くからである。この引力による結合を〔11〕結合という。



問題 2

次の文を読み、あとの(1)~(5)に答えよ。ただし、気体はすべて理想気体とし、液体の体積および液体に対する気体の溶解は無視できるものとする。また、原子量は、 $H = 1.0$, $C = 12$, $O = 16$ とし、気体定数は $8.31 \times 10^3 \text{Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$, 27°C での水の飽和蒸気圧は $3.6 \times 10^3 \text{Pa}$ とする。答えの数値は有効数字2桁で記せ。



右上の図のようにコックCによって連結された耐圧密閉容器A, Bがある。容器A, 容器Bの内容積はそれぞれ1.0 L, 2.0 Lである。また、容器A内には発火装置が内蔵されている。ここで、容器以外の連結部の内容積および発火装置の体積は無視できるとする。この実験装置を用いて、以下の実験を順に行った。

操作1 コックCを閉じた状態で、容器Aにメタン CH_4 0.096 g, 容器Bに酸素 0.48 gを入れて、ともに 27°C に保った(状態1)。

操作2 容器A, 容器Bを 27°C に保ったままコックCを開け、気体を混合した。やがて容器A, 容器B内の混合気体は同一の組成となり、圧力も等しくなった(状態2)。

操作3 容器A内の発火装置を用いて、容器Aと容器Bの中の混合気体中のすべてのメタンを完全燃焼させた。燃焼後、容器A, 容器Bを 27°C に保ち平衡状態とした(状態3)。

- (1) 状態1における容器A内の圧力を求めよ。
- (2) 状態2における混合気体の全圧を求めよ。
- (3) 下線部のメタンの完全燃焼によって生成した水の物質量を求めよ。
- (4) 状態3において、水は液体と水蒸気の両方の状態で存在する。このうち、液体として存在する水の物質量を求めよ。
- (5) 状態3において、酸素と二酸化炭素は気体として存在し、水は液体と水蒸気間の気液平衡に達している。状態3における“酸素と二酸化炭素の分圧の和”を求めよ。また、状態3における容器内の全圧を求めよ。