

理 科

＜監督者の指示があるまで開いてはいけない＞

1. 受験票に指定した2科目について、解答を別紙の解答用紙に記入しなさい。
2. 下書きや計算は問題用紙の白紙部分を利用しなさい。
3. 記入中でない解答用紙は必ず裏がえしにしておきなさい。
4. 問題用紙は各科目の試験終了後持ち帰ってもよい。
ただし、試験途中では持ち出してはいけない。

問 題 目 次

物 理	1	～	3	ページ
化 学	4	～	8	ページ
生 物	9	～	16	ページ

化 学

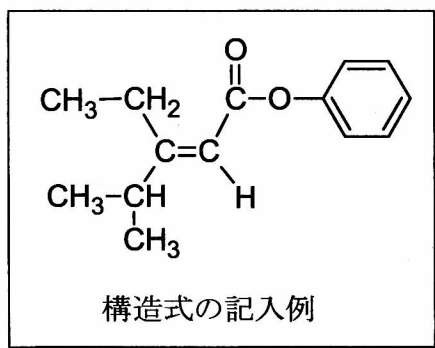
答えは、すべて解答用紙に記入せよ。複数解答が必要な場合は、記入は順不同でよい。計算値の答えは、指示がなければ有効数字3桁で記せ。

必要ならば、次の値を用いよ。原子量 $H = 1.00$, $C = 12.0$, $N = 14.0$, $O = 16.0$, $Na = 23.0$ 。

気体定数は $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{l}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ とし、すべての気体は理想気体とする。

答えに字数の指示がある場合、字数には、句読点、数字、アルファベットおよび記号もそれぞれ一文字として数えよ。

構造式は次の記入例にならって記せ。



1. 次の文を読み、下記の問い(問1～問7)に答えよ。

窒素と酸素からなる化合物は窒素酸化物と呼ばれ、主に、5種類が存在する。これらのうち、 NO_x と呼ばれ大気汚染物質の主因のひとつである A と NO_2 は、分子を構成する一部の原子が、閉殻構造をとっていない特殊な化合物である。固体の N_2O_5 は二種類の構成成分 NO_2^+ と NO_3^- からなる B 結晶である。 N_2O_5 は酸性酸化物であり、水と反応して硝酸を生成する。工業的には、硝酸は、アンモニアの酸素酸化を含む二段階の酸化過程で得られる気体を水に溶解して合成される。アンモニア合成のハーバー・ボッシュ法では、C を高めるために鉄を主成分とする触媒を用いて、高温(400～600℃)・高圧($2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^7 \text{ Pa}$)で反応を行う。 N_2O_5 を気化させると、不可逆的に N_2O_4 と O_2 に分解する。このとき生成する混合気体の実際の圧力は、その化学反応式から予想される圧力以上に大きい。

問 1. 空欄 A に入る分子式を記せ。

問 2. 空欄 B , C に入る最も適切な語句を記せ。

問 3. 下線部①の「閉殻」について、50文字以内で説明せよ。

問 4. 下線部②の化学反応式を、固体の N_2O_5 に含まれる二種類の構成成分について、それぞれ分けて記せ。

問 5. $\text{N} \equiv \text{N}$ 結合、 $\text{H}-\text{H}$ 結合および $\text{N}-\text{H}$ 結合の結合エネルギーはそれぞれ、945, 436, 391 kJ/mol である。これらをもとに、気体の原料から気体のアンモニア 1 mol が生成する際の熱化学方程式を記せ。ただし、熱化学方程式中に物質の状態を記す必要はない。

問 6. ハーバー・ボッシュ法の反応は平衡反応であるが、この平衡反応でアンモニアの生成率が向上するようにするためには、理想的な反応条件として反応温度と圧力は、ア) 高温・高圧、イ) 高温・低圧、ウ) 低温・高圧、エ) 低温・低圧のうちどれが最も適切であるか。ア～エの記号で答えよ。

問 7. 下線部③の理由は、生成する気体である N_2O_4 の一部が可逆的に NO_2 に解離するためである。固体の N_2O_5 がすべて分解して生成する N_2O_4 と O_2 からなる混合気体の状態方程式から求められる予想全圧力を P_i 、解離度(生成した N_2O_4 のうち NO_2 に解離した割合)を α ($0 \leq \alpha \leq 1$) として、(i)実際の全圧力 P_r を P_i と α を用いて式で表せ。また、(ii)この平衡反応の圧平衡定数 K_p を P_i と α を用いて式で表せ。

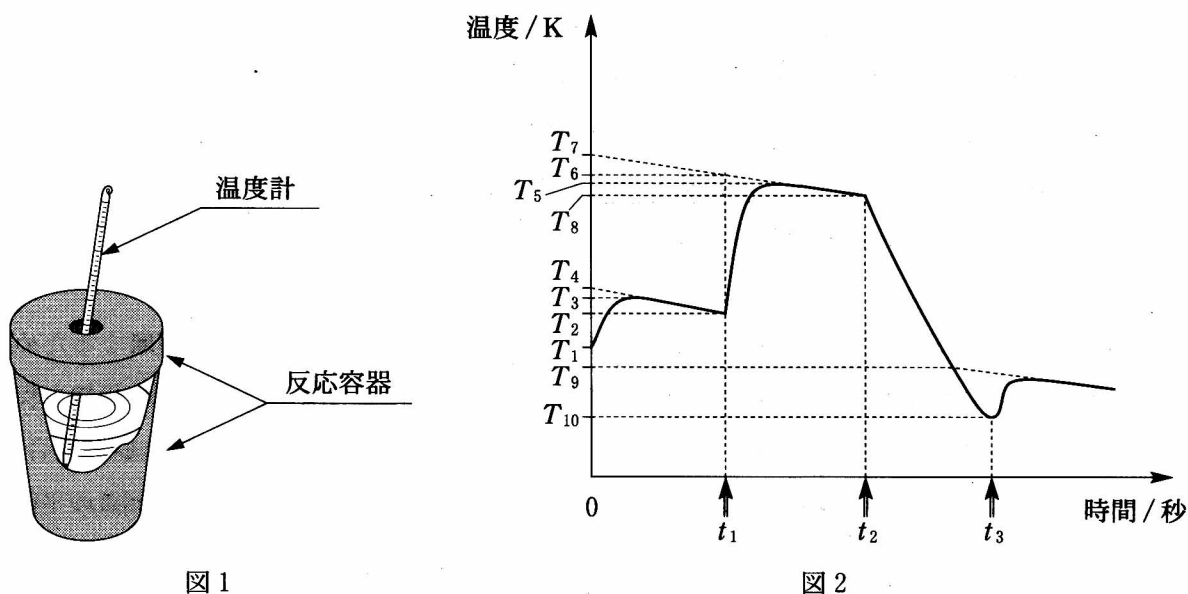
2. 次の文を読み、下記の問い(問1～問3)に答えよ。ただし、水溶液の比熱は全て同一で $CJ/(g \cdot K)$ であるとし、希塩酸および希水酸化ナトリウム水溶液の希釈熱は無視すること。

図1のような反応容器を用いて、温度の変化を測定しながら、次のような実験を行った。まず、反応容器に温度 T_1 の水 89.6 g を加え、次に、温度 T_1 の固体の水酸化ナトリウム $1.00 \times 10^{-2}\text{ mol}$ を一気に加え反応容器を振った。その後、時間 t_1 秒後に、温度 T_2 の 1.00 mol/kg の希塩酸 10.0 g を一気に加え反応容器を振った。時間 t_2 秒後に、この反応容器を外部から急激に冷却すると、内部温度は徐々に低下した。時間 t_3 秒で温度 T_{10} になった後、内部温度はわずかに上昇した。この発熱は、過冷却状態にある水の A 熱によるものである。その後、内部温度は再びゆっくり低下した。温度 T_9 は 273.15 K よりわずかに低い温度であった。水酸化ナトリウムを加えた時点をも 0 秒として、測定された反応容器の内部温度の時間変化を図2のグラフに示す。

問 1. 反応容器に使う材料は、発泡ポリスチレンおよびステンレスのうち、どちらが適切か。その適切である理由を含めて 50 文字以内で答えよ。

問 2. 水酸化ナトリウムの塩酸との中和熱 (kJ/mol) を $T_1 \sim T_{10}$ のうちの適切な温度および C を用いて式で表せ。

問 3. 空欄 A に入る適切な語句を答えよ。



3. 次の文ⅠとⅡを読み、下記の問い(問1～問5)に答えよ。

Ⅰ. 合成高分子は通常、分子量の小さい化合物が多数重合した構造をもっている。合成高分子Aは、工業的には、アジピン酸とヘキサメチレンジアミンを重合させて得られる。一方、実験室でAをつくる場合は、アジピン酸の代わりに試薬Bを用いてヘキサメチレンジアミンと重合させる。いま、合成したAの0.680 gを適当な溶媒に溶かして100 mlとし、27.0℃で浸透圧を測定したところ、 5.00×10^2 Paを示した。また、Aは、引っ張っても分子と分子がずれにくいという性質をもっており、^①女性用の靴下やエアバッグなどに用いられている。

問 1. (i) 試薬Bの示性式を示せ。また、(ii) 実験室でAをつくる場合、アジピン酸の代わりに試薬Bを用いる理由を40文字以内で記せ。ただし、試薬Bは化合物名で記せ。

問 2. Aの1分子中に存在するアミド結合は平均何個かを記せ。ただし、計算過程において、Aの両端のHとOHは無視せよ。

問 3. 下線部①の性質をAがもつ理由を、Aの分子構造と関連づけて40文字以内で記せ。

Ⅱ. タンパク質は多数のアミノ酸がペプチド結合によって連なったものであり、各タンパク質はそれぞれ特定の生物機能を果たしている。たとえば、酵素は生体内の反応の触媒作用を担うタンパク質であり、無機触媒にはない特徴がある。^②

生体内での機能を担う酵素Cについて以下の実験を行った。酵素Cに濃硫酸と触媒を加えて分解すると、C中の窒素は、すべて硫酸アンモニウムに変換された。この溶液に濃い水酸化ナトリウム水溶液を十分に加えて加熱し、アンモニアを発生させた。この発生したアンモニアをすべて^③0.0250 mol/lの希硫酸 20.0 mlに捕集したのち、0.0200 mol/lの水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、中和点までに30.0 mlが必要であった。

問 4. 下線部②の酵素による触媒反応の特徴を3つ、それぞれ5文字以内で記せ。

問 5. 下線部③の希硫酸 20.0 mlに捕集されたアンモニアは何 mgかを記せ。

4. 次の文を読み、下記の問い(問1～問5)に答えよ。

化合物Aは、炭素、水素、酸素からなり、分子式 $C_xH_yO_z$ をもつ、無色の液体である。化合物Aの元素分析を行うため、化合物Aを14.8 mgとり、完全燃焼させたところ、二酸化炭素が35.2 mg、水が18.0 mg得られた。また、化合物Aの2.00 gをすべて気化させて体積を測定したところ、227℃、 1.01×10^5 Paで1110 mlであった。

化合物Aを酸化すると化合物Bが得られた。化合物Bの水溶液にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると、黄色の結晶を生じた。化合物Aの異性体で、炭素鎖に枝分れをもつ化合物Cを二クロム酸カリウムの硫酸酸性水溶液で穏やかに酸化すると還元性を示す化合物Dが得られた。また、化合物Aを、触媒として硫酸の存在下、加熱すると分子内で反応が起り、三種類の不飽和化合物を生じた。分子式 $C_{11}H_{14}O_2$ をもつ化合物Eを加水分解すると、ベンゼン環をもつ化合物Fと化合物Aの異性体である化合物Gが得られた。化合物Gは酸化されにくい物質である。

問 1. 下線部①の分子式をもつ異性体は立体異性体も含めて何種類あるか。その数を記せ。

問 2. 下線部②の反応を化学反応式で示せ。ただし、有機化合物は示性式で記せ。

問 3. 化合物Cの1.50 molを化合物Dに酸化するには、理論上何molの二クロム酸カリウムが必要かを記せ。

問 4. 下線部③の三種類の不飽和化合物の構造式を、立体異性体が存在するならそれらも区別して示せ。

問 5. 化合物Eの構造式を示せ。