

理 科

15:00~17:30

解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は55ページある。このうち、「物理」は2~11ページ、「化学」は12~28ページ、「生物」は29~47ページ、「地学」は48~55ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

科 目	総 合 入 試					学 部 別 入 試								
	理 系					医 学 部					歯 学 部	獣 医 学 部	水 産 学 部	
	数学重点選抜群	物理重点選抜群	化学重点選抜群	生物重点選抜群	総合科学選抜群	医 学 科	保 健 学 科							
							看 護 学 専 攻	放 射 線 技 術 科 学 専 攻	検 査 技 術 科 学 専 攻	理 学 療 法 学 専 攻	作 業 療 法 学 専 攻			
物 理	○	◎	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○
化 学	○	○	◎	○	○	○	○	◎	○	○	○	○	○	○
生 物	○	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	○
地 学	○	○	○	○	○									○

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)を、監督者の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

化 学

解答はすべて各問題の指示にしたがって解答用紙の該当欄に記入せよ。必要があれば、次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0, O = 16, Ca = 40

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$

水のイオン積： $K_w = 1.0 \times 10^{-14}(\text{mol}/\text{L})^2$

$\log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 3 = 0.48, \log_{10} 4 = 0.60, \log_{10} 5 = 0.70,$

$\log_{10} 6 = 0.78, \log_{10} 7 = 0.85, \log_{10} 8 = 0.90, \log_{10} 9 = 0.95$

1 I, IIに答えよ。

I 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

あるイオン結晶を気体状態の陽イオンと陰イオンに分けてばらばらにするのに必要なエネルギーをそのイオン結晶の格子エネルギーという。格子エネルギーを直接測定するのは困難であるが、ヘスの法則をもちいて間接的に求めることができる。

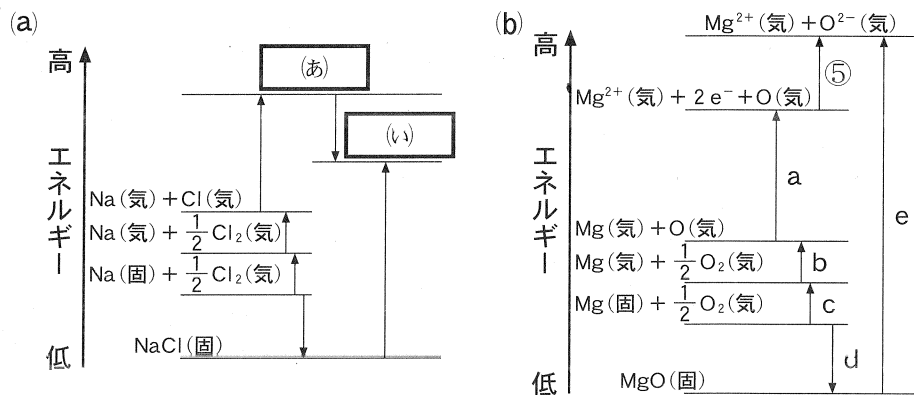
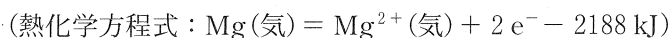


図1 NaCl結晶(a)およびMgO結晶(b)のボルン・ハーバーサイクル
(エネルギーの間隔は正確に数値を反映していない)

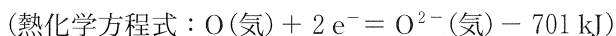
図1には、NaClおよびMgO結晶の格子エネルギーを考えるためのエネルギー図(ボルン・ハーバーサイクル)を示す。NaClおよびMgO結晶はいずれもNaCl型構造をもつことが知られており、この図において(固)は固体状態、(気)は気体状態を表す。

MgOに関して、①~⑤のエネルギー変化を用いることにより格子エネルギー(図1(b)のe)を求めることが可能であり、①~④のエネルギー変化は図1のa~dのいずれかと対応する。

- ① MgO(固)の生成熱：602 kJ/mol
- ② Mg(固)の昇華熱：148 kJ/mol
- ③ O₂(気)の結合エネルギー：498 kJ/mol
- ④ Mg(気)から2電子を取り除きMg²⁺(気)を生成するために必要なエネルギー：2188 kJ/mol



- ⑤ O(気)が2電子を受け取りO²⁻(気)を生成するために必要なエネルギー：701 kJ/mol



一方、格子エネルギーは、結晶構造を考慮した静電エネルギーの観点からも推定可能であることが知られている。クーロン力に基づく静電エネルギーは、構成する陽イオンおよび陰イオンのそれぞれの価数に比例し、隣接する陰イオンと陽イオン間の距離に反比例することが知られており、格子エネルギーに大きく寄与する。

問1 図1の (あ) および (い) に入る最も適切な原子、イオンまたは電子の組合せを、他の状態の表記にならって答えよ。

問2 ①および②について、図1における対応するエネルギー変化をa~dの中から選び、それぞれの熱化学方程式を答えよ。

問 3 MgO の結晶の格子エネルギー [kJ/mol] を整数で求めよ。

問 4 格子エネルギーの化合物による違いに関して次の(1), (2)に答えよ。

(1) ハロゲン化ナトリウムの結晶はいずれも NaCl 型構造をもつ。この中で、最も格子エネルギーが大きいと予想される化合物を化学式で答えよ。

(2) 格子定数が比較的近い NaF と MgO において、その格子エネルギーを比較したとき、どちらの格子エネルギーが大きいと予想できるか。化合物を化学式で答え、その理由を 30 字以内で答えよ。ただし、句読点も 1 文字と数える。

問 5 マグネシウムの単体と酸化銅(II)の粉末を混合し加熱すると、酸化マグネシウムと銅の単体が生成した。この反応の反応熱 [kJ/mol] を求め、整数で答えよ。ただし、酸化銅(II)の生成熱は 156 kJ/mol である。

II 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

気体の水素 H_2 、ヨウ素 I_2 からヨウ化水素 HI が生成する反応(式(1))は可逆反応であり、十分に時間が経つと平衡状態に達する。



H_2 、 I_2 、 HI の濃度をそれぞれ $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ 、 $[\text{HI}]$ とする。実験の結果、 HI の生成速度 v_1 と HI の分解速度 v_2 は次のように表されることがわかった。

$$v_1 = k_1[\text{H}_2][\text{I}_2]$$

$$v_2 = k_2[\text{HI}]^2$$

ここで、 k_1 と k_2 はそれぞれの反応の速度定数である。

反応の初期条件として 20 L の容器に 0.50 mol の H_2 と 0.50 mol の I_2 を入れ、反応中の温度を一定に保った。反応開始から 1 分後に 0.080 mol の HI が生成した。反応開始から 1 分後までの HI の平均の生成速度と H_2 の平均の減少速度はそれぞれ (A) mol/(L·min) と (B) mol/(L·min) である。また、この反応時間における H_2 と I_2 の平均モル濃度は (C) mol/L である。この段階では HI の分解が無視できると仮定すると、平均の速度と平均のモル濃度から k_1 は (D) L/(mol·min) と求めることができる。

問 1 (A) ~ (D) に入る数字を有効数字 2 桁で答えよ。

問 2 平衡時の H_2 、 I_2 、 HI の濃度をそれぞれ a 、 b 、 c とする。この可逆反応の濃度平衡定数 K_c を a 、 b 、 c により表すと $K_c =$ (1) となる。また、 k_1 と k_2 により K_c を表すと $K_c =$ (2) となる。

(1) と (2) にあてはまる数式を記せ。

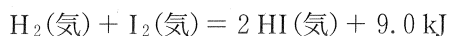
問 3 この反応が平衡に達したとき容器内に HI が 0.80 mol 存在していた。平衡後の容器に 0.10 mol の H_2 と 0.10 mol の I_2 をさらに加えた。その後平衡に達したとき、 HI は何 mol になるか。有効数字 2 桁で答えよ。

問 4 HI の見かけ上の生成速度は $v_1 - v_2$ で与えられる。上記の初期条件で反応が進行し、HI が 0.40 mol 生成した。問 1 の k_1 を用いて k_2 を求め、その上で、HI の見かけ上の生成速度 [mol/(L・min)] を有効数字 2 桁で答えよ。

問 5 この反応に触媒として作用する白金を加えた。触媒の有無以外の条件が同じであるとき、この触媒の存在により変化するものを次の(あ)～(お)の中からすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) 活性化エネルギー
- (い) 平衡定数
- (う) 反応速度
- (え) 平衡に達する時間
- (お) 平衡時の生成物の分圧

問 6 反応中の温度を上昇させると式(1)の反応の平衡はどうか。また、温度を一定に保ったまま反応容器の体積を増加させると式(1)の反応の平衡はどうか。それぞれについて、以下の(か)～(く)の記述の中で正しいものを一つ選び、記号で答えよ。ただし、式(1)の反応の熱化学方程式は以下となる。



- (か) 右向きに平衡が移動する。
- (き) 左向きに平衡が移動する。
- (く) 平衡は変化しない。

2

I, IIに答えよ。

I 原子番号 20 までの非金属元素の単体と同素体に関する次の文章を読み、問 1～問 5 に答えよ。

単体 A は大気中に含まれており、その同素体である単体 B は単体 A に強い紫外線をあてると生じる。単体 C と単体 D は同素体の関係にあり、単体 C は赤褐色の粉末で、マッチ箱の側葉などに使われている。一方、単体 D は毒性が強く、空气中で自然発火するため、水中に保存される。単体 E と単体 F は標準状態(温度：273 K、圧力： 1.013×10^5 Pa)で共に正四面体形の構造が繰り返された結晶構造をとり、同素体ではないが同一族の元素の関係にある。また、単体 F の結晶の電気伝導度は単体 E の結晶よりも高い。単体 G の水溶液は漂白剤や消毒剤に用いられ、アルコール消毒液の代替として新型コロナウイルスを除去する際にも使われている。

問 1 単体 A と単体 B の化学式を答えよ。

問 2 単体 B を検出するとき使用する反応として最も適切なものを(あ)～(お)から一つ選び、記号で答えよ。

- | | |
|---------------|----------|
| (あ) ヨウ素デンプン反応 | (い) 炎色反応 |
| (う) ビウレット反応 | (え) けん化 |
| (お) 銀鏡反応 | |

問 3 単体 C、単体 D、単体 E の名称を答えよ。

問 4 単体 F の単位格子は立方体であり，図 1 のように面心立方格子(立方体の各面の中心，および各頂点に白色の○で表された原子が存在)のすき間に原子(灰色の●で表す)が入り込んだ構造となる。すき間に入り込んだ原子(灰色の●)は，原子全体がこの単位格子に属している。単体 F の単位格子の一辺の長さ a (図 1)を 5.5×10^{-8} cm，単体 F を構成する原子の原子半径を 1.1×10^{-8} cm としたとき，単体 F の充填率[%]を有効数字 2 桁で答えよ。ただし，原子はある一定の原子半径をもつ球であると仮定し，円周率は 3.14 とする。

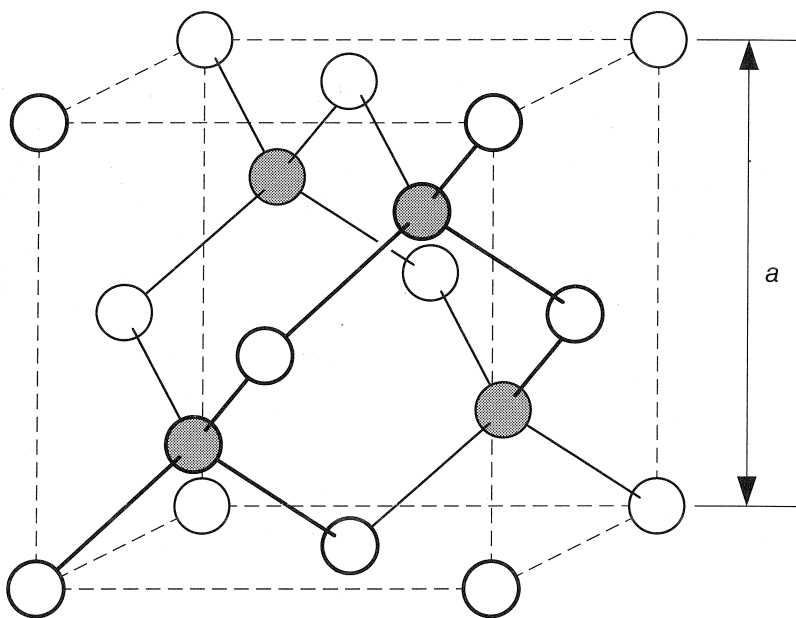


図 1

問 5 下線部(i)について，そのような効果が表れるのは単体 G と水の反応により生じるある化合物が電離したときに強い酸化作用をもつためである。その化合物名を答えよ。また，その化合物から生じるイオンの酸化作用を表すイオン反応式を示せ。

II 典型金属元素には、人間生活と密接に関係するものが多い。典型金属元素に関する以下の問 1～問 5 に答えよ。

問 1 地球上の同位体の存在比は各元素でほぼ一定であるが、厳密には若干のばらつきがある。そのため元素の原子量にも若干のばらつきがある。

${}^6\text{Li}$ の相対質量を 6.02, ${}^7\text{Li}$ の相対質量を 7.02 として、リチウムの原子量が 6.94 から 7.00 までの幅をもつとき、 ${}^7\text{Li}$ の存在比は何%から何%の幅を持つか。有効数字 2 桁で答えよ。ただし ${}^6\text{Li}$ と ${}^7\text{Li}$ 以外のリチウムの同位体の存在比を 0% とする。

問 2 ナトリウム塩とカリウム塩の化学的性質はよく似ているので、用途によっては一方で他方を代替できる。例えば脂肪酸のカリウム塩には油汚れを落とす作用があり、脂肪酸のナトリウム塩と同様に、洗剤として用いられる。また、食肉製品の発色剤として硝酸カリウムの代わりに硝酸ナトリウムを用いてもよい。

しかし、カリウム塩にはナトリウム塩で代替できない重要な用途があり、工業的に製造されるカリウム塩の大半はこの用途のために用いられる。この重要な用途が何かを答えよ。

問 3 リチウムイオン電池や鉛蓄電池のように、充電可能な化学電池を二次電池という。ノートパソコンや自動車のバッテリーは、化学電池を直列につないで、起電力の整数倍の電圧で放電できるようにしたものである。鉛蓄電池に関する以下の(1)、(2)に答えよ。

(1) 鉛蓄電池の全体の反応を化学反応式で表せ。

(2) 鉛蓄電池の起電力はおよそ何 V か。以下から最も近いものを選んで数値で答えよ。

2 V 4 V 6 V 8 V 10 V

問 4 2 族元素に関する次の文章を読み、以下の(1)～(3)に答えよ。

水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の飽和水溶液は石灰水と呼ばれ、強い塩基性を示す。この水溶液中で $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はほぼ完全に電離しているので、その溶解度から pH を計算できる。一方、水酸化マグネシウム $\text{Mg}(\text{OH})_2$ はほとんど水に溶けないので、飽和水溶液であってもその塩基性は弱い。一般に、難溶性の強電解質の飽和水溶液の濃度は、その化合物の溶解度積から計算できる。

(1) 水 100 g に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は 0.15 g まで溶ける。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和水溶液のモル濃度 [mol/L] を有効数字 2 桁で答えよ。ただし水溶液の密度を 1.00 g/mL とする。

(2) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和水溶液の pH を計算して小数第 1 位まで答えよ。ただし $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の電離度を 1.00 とする。

(3) $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 飽和水溶液の pH を計算して小数第 1 位まで答えよ。ただし $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の溶解度積を $K_{\text{sp}} = 1.5 \times 10^{-11} (\text{mol/L})^3$ とし、電離度を 1.00 とする。

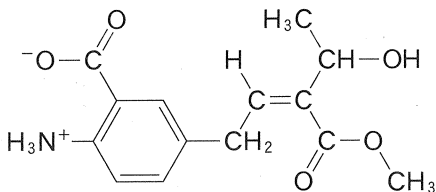
問 5 以下の記述(か)～(さ)のうち、誤りを含むものを3つ選び、記号で記せ。

- (か) アルミニウムの単体はアルミナの電気分解により製造される。アルミナの融点は高いので、工業的にはこれを加熱融解した氷晶石に溶かして熔融塩電解(融解塩電解)する。
- (き) ジュラルミンは亜鉛を主成分とする合金であり、密度が小さく強度が大きいので、航空機の機体材料などに用いられる。
- (く) 水銀の化合物にはアセチレンの付加反応を触媒するものがある。日本ではかつて、このような水銀化合物が工業的に触媒として用いられていた。
- (け) スズは古くから利用されてきた金属元素のひとつで、青銅、ブリキなどに用いられる。
- (こ) セッケンのコロイドは、コロイド粒子が負電荷を帯びた疎水コロイドである。そのため硬水(Ca^{2+} や Mg^{2+} を多く含む水)の中ではコロイド粒子が沈殿し、洗浄力が低下する。
- (さ) 負極活物質にアルカリ金属の単体、正極活物質にマンガンの酸化物を用いた電池をアルカリマンガン乾電池という。

3

I, IIに答えよ。なお、構造式は記入例にならって記せ。

(記入例)



I 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

フェノール類に含まれる化合物Aはパラ位に置換基をもち、その分子式は⁽ⁱ⁾ $C_8H_{10}O$ で表される。Aのナトリウム塩を高温・高圧下で二酸化炭素と反応させたのち、塩酸を作用させて化合物Bへと変換した。Bをエタノールおよび濃硫酸と反応させてエステルCとした。次にBとCの混合物を無水酢酸と作用させたところ、⁽ⁱⁱ⁾化合物D、Eおよび酢酸が生成した。一方、過マンガン酸カリウムを用いて、Aを酸化したところ、Aよりも炭素原子の数が一つ少ない化合物Fが得られた。

問1 Aと同じ分子式 $C_8H_{10}O$ をもち、次の実験結果1, 2の両方にあてはまる芳香族化合物の異性体は全部でいくつあるか、数字で答えよ。なお、立体異性体が存在する場合は区別して数えよ。

(実験結果1) 金属ナトリウムと反応して、水素が発生した。

(実験結果2) 塩化鉄(III)水溶液を加えても、呈色しなかった。

問 2 下線部(i)について、フェノールはプロペン(プロピレンともいう)を用いたクメン法で工業的に合成されている。プロペンに関する次の記述(あ)～(き)のうち、正しいものをすべて選び、記号で答えよ。

- (あ) エタノールと濃硫酸を混合して加熱することで進行した脱水反応により発生する。
- (い) シス形とトランス形の立体異性体が存在する。
- (う) 1分子に対して、ニッケルなどを触媒として水素1分子を付加させると、2分子のプロパンが生成する。
- (え) 赤褐色の臭素水に通すと付加反応が進行し、1,2-ジブロモプロパンが生成するとともに、溶液が脱色する。
- (お) 塩素との反応により生じる1,2-ジクロロプロパンを熱分解すると、塩化ビニルとなる。
- (か) 付加重合すると、分子内に二重結合をもつ熱可塑性樹脂ポリプロピレンとなる。
- (き) その構造異性体として、最も小さい環式の飽和炭化水素であるシクロプロパンがある。

問 3 下線部(ii)エステルに関連する次の記述(く)～(す)のうち、誤りを含むものをすべて選び、記号で答えよ。

- (く) スクロースのヒドロキシ基をすべてアセチル化すると、水に溶けにくくなる一方で、有機溶媒に溶けやすくなる。
- (け) ポリ酢酸ビニルを水酸化ナトリウム水溶液中で加熱すると、酢酸ナトリウムとポリビニルアルコールが生じる。
- (こ) 爆薬として用いられるニトログリセリンは、硝酸 3 分子とグリセリン 1 分子からなる硝酸エステルである。
- (さ) 不飽和脂肪酸を多く含む油脂は、飽和脂肪酸のみからなるもの比べて分子間力が弱く、融点が高く室温で固体となりやすい。
- (し) 1-ドデカノールと硫酸を脱水縮合して生成した硫酸水素ドデシルを水酸化ナトリウムで中和して得られる塩は、中性の界面活性剤として使用されている。
- (す) 酸性条件下で油脂 0.5 mol を完全に加水分解したのち、水酸化カリウムで中和したところ脂肪酸のカリウム塩 1 mol が得られた。

問 4 C, D および E を含むジエチルエーテル溶液から、それぞれの化合物に分離させる操作を行った。この操作に関する以下の記述において、
[ア] ~ [オ] にあてはまる最も適切な語句または数字を、次の(そ)~(み)の中からそれぞれ一つ選び、記号で答えよ。

ジエチルエーテル溶液を [ア] に移し、 [イ] を加えてよく振り混ぜた。しばらく静置したのち、水層のみを取り出した。残った有機層が入った [ア] に [ウ] を加えてよく振り混ぜた。しばらく静置したのち、水層のみを取り出した。取り出した各水層には十分量の [エ] を加え、水層に含まれていた化合物をそれぞれ遊離させた。最後に残った有機層に含まれていた化合物 1 mol に対し、酸性条件下、理論上 [オ] mol の水分子が反応すると B になる。

- | | |
|--------------------|------------------|
| (そ) 駒込ピペット | (た) メスフラスコ |
| (ち) 分液ろうと | (つ) ビーカー |
| (て) 飽和食塩水 | (と) アンモニア性硝酸銀水溶液 |
| (な) 塩化鉄(III)水溶液 | (に) 希塩酸 |
| (ぬ) 飽和炭酸水素ナトリウム水溶液 | (ね) 二酸化炭素 |
| (の) 80% エタノール水溶液 | (は) 飽和さらし粉水溶液 |
| (ひ) 水酸化ナトリウム水溶液 | (ふ) 酢酸鉛(II)水溶液 |
| (へ) 0.5 | (ほ) 1 |
| (ま) 2 | (み) 4 |

問 5 F の構造式を記せ。

II 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

核酸とは、核酸塩基と糖およびリン酸が結合して形成されるヌクレオチドが脱水縮合によって多数連結したポリヌクレオチド鎖である。核酸は糖の種類によってDNAとRNAに分類される。DNAは糖部分が であり、核酸塩基部位としてアデニン、グアニン、シトシン、チミンのいずれかをもち、2本のポリヌクレオチド鎖で構成されている。2本のポリヌクレオチド鎖は、特定の核酸塩基同士で複数の水素結合を形成し特異的に塩基対をつくり、⁽ⁱ⁾ 図1に示す繰り返し構造を形成する。図1に示すDNAに特徴的な構造は 構造とよばれ、⁽ⁱⁱ⁾ a で示される1周期の長さは、 3.4×10^{-9} mで、10個の塩基対が含まれる。一方でRNAは糖部分が であり、核酸塩基部位はチミンにかわって が含まれる。DNAは遺伝情報の保存を担い、RNAはその遺伝情報からタンパク質を合成する際の転写、翻訳に関わっている。

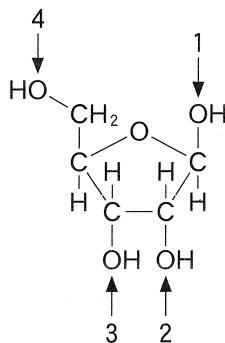


図1

(注) 塩基対は省略し、主鎖のみを示している。

問 1 (A) ~ (D) にあてはまる適切な語句を記せ。

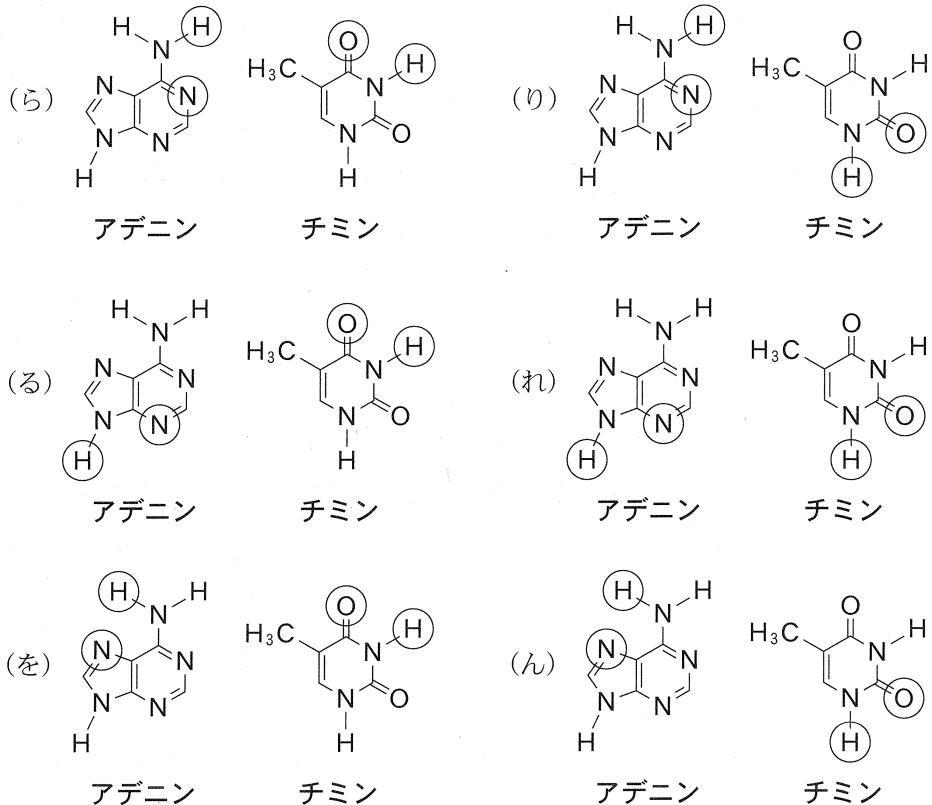
問 2 RNA を構成するポリヌクレオチド鎖において、リン酸が結合するヒドロキシ基を以下の構造中の番号から二つ選び、数字で答えよ。



問 3 下線部(i)に関連して、化合物の性質を述べた(む)~(よ)の文章のうち、水素結合が影響しているものをすべて選び、記号で答えよ。

- (む) マレイン酸は加熱によって無水マレイン酸を生じるが、立体異性体であるフマル酸は加熱をしても酸無水物を生じない。
- (め) 絹のような感触をもつナイロンは強度と耐久性に優れた合成繊維である。
- (も) ポリエチレンテレフタレートは飲料容器として使える強度をもつ。
- (や) フッ化水素は大気圧下において塩化水素よりも沸点が高い。
- (ゆ) タンパク質は二次構造として α -ヘリックス構造や β -シート構造をとる。
- (よ) 多糖であるセルロースは還元性を示さない。

問 4 核酸塩基であるアデニンとチミンを表す構造式について、それぞれ二つずつ原子を丸で囲んだ。DNA の (B) 構造中で形成される水素結合に関与する原子を示した組み合わせとして正しいものを次の(ら)～(ん)の中から選び、記号で答えよ。



問 5 下線部(ii)に関連して、図1のように (B) 構造を形成したときの DNA の長さが 5.1×10^{-2} m であり、含まれる核酸塩基の組成(各塩基数の割合)のうちシトシンが 20 % を占める DNA について以下の(1)、(2)に答えよ。

- (1) この DNA 中に含まれる塩基対の数を有効数字 2 桁で答えよ。
- (2) この DNA 中に含まれるアデニンの数を有効数字 2 桁で答えよ。