

必要ならば以下の数値を用いなさい。

H=1.0, C=12.0, N=14.0, O=16.0, Si=28.1, S=32.1, Cl=35.5, Cu=63.5, Pb=207.2

気体定数： $8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$

ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$, 重力加速度： 9.81 m/s^2

$\log_{10} 2 = 0.30$, $\log_{10} 3 = 0.48$, $\log_{10} 7 = 0.85$

化学（マーク解答問題）

〔I〕 つぎの（1）～（10）の文中，（ A ），（ B ）にもっとも適合するものを，それぞれA群，B群の（ア）～（オ）から選び，マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

（1） 塩素分子は塩素原子どうしが（ A ）である。常温常圧下で35.5 gの純粋な塩素ガスを捕集した。この塩素ガスに含まれる中性子の数は約（ B ）個である。

A：（ア） イオン結合で結びつき，塩素分子の電子式に現れる電子の数は14個

（イ） イオン結合で結びつき，塩素分子の電子式に現れる電子の数は16個

（ウ） 共有結合で結びつき，塩素分子の電子式に現れる電子の数は2個

（エ） 共有結合で結びつき，塩素分子の電子式に現れる電子の数は14個

（オ） 共有結合で結びつき，塩素分子の電子式に現れる電子の数は16個

B：（ア） 6.0×10^{23}

（イ） 1.0×10^{25}

（ウ） 1.1×10^{25}

（エ） 2.1×10^{25}

（オ） 2.2×10^{25}

（2）（ A ）や（ B ）の反発する力は，（ A ）どうしがもっとも大きく，（ A ）と（ B ）の間，（ B ）どうしの順に小さくなる。このことから分子の立体的な形を推定することができる。たとえば，メタン分子中の結合角 $\angle\text{H}-\text{C}-\text{H}$ ，アンモニア分子中の結合角 $\angle\text{H}-\text{N}-\text{H}$ ，水分子中の結合角 $\angle\text{H}-\text{O}-\text{H}$ を比べると， $\angle\text{H}-\text{C}-\text{H}$ がもっとも大きく， $\angle\text{H}-\text{N}-\text{H}$ ， $\angle\text{H}-\text{O}-\text{H}$ の順に小さくなる。

A：（ア） 非共有電子対

（イ） 共有電子対

（ウ） 不對電子

（エ） 陽イオン

（オ） 陰イオン

B：（ア） 非共有電子対

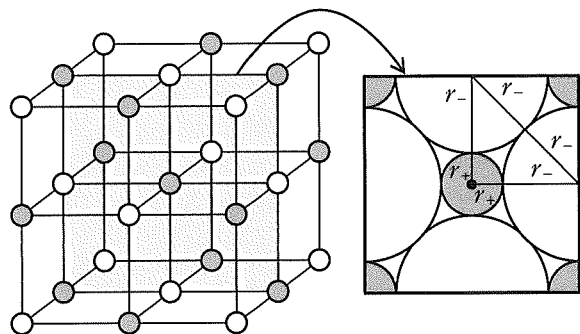
（イ） 共有電子対

（ウ） 不對電子

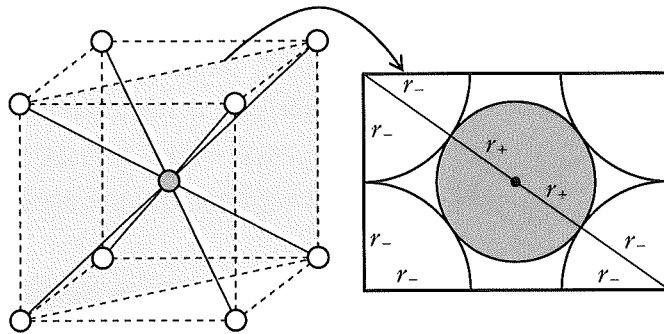
（エ） 陽イオン

（オ） 陰イオン

- (3) 左下図は NaCl 型結晶の、右下図は CsCl 型結晶の模式図と断面図である。陽イオンの半径 r_+ と陰イオンの半径 r_- の比 r_+/r_- が (A) より大きく (B) より小さいと左下図の NaCl 型結晶に、(B) より大きいと右下図の CsCl 型結晶になりやすい。



NaCl 型結晶の模式図と網掛け部分の断面図

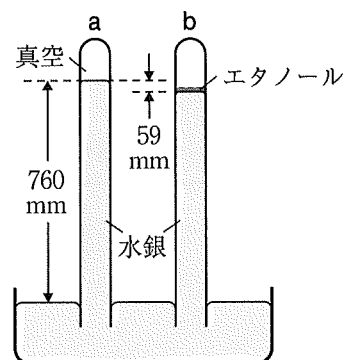


CsCl 型結晶の模式図と網掛け部分の断面図

- A : (ア) $\sqrt{2} - 1$ (イ) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ (ウ) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (エ) $\sqrt{3} - 1$ (オ) $\frac{\sqrt{3}}{2}$
 B : (ア) $\sqrt{2} - 1$ (イ) $\frac{\sqrt{3}}{3}$ (ウ) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (エ) $\sqrt{3} - 1$ (オ) $\frac{\sqrt{3}}{2}$

- (4) 右図 a のような装置を用いると、水銀柱の高さから大気圧を測定することができる。大気圧が 1.013×10^5 Pa の場合、水銀柱の高さは 760 mm となる。右図 b のように 25℃ でガラス管の中にエタノールを入れたとき、水銀の液面に微量のエタノールが残った状態で水銀柱の高さが 59 mm 低くなった。このことから、25℃ におけるエタノールの蒸気圧は (A) kPa であることがわかる。

生活用水の利用にも大気圧は大きくかかわっている。以下の①～④のうち、正しい記述は (B) 個である。ただし、井戸水の水面の位置は変わらないものとする。



- ① 地面から 5 m 低い位置に水面のある井戸水を、地面に設置した十分に強力なポンプで地面まで吸い上げられる。
 ② 地面から 5 m 低い位置に水面のある井戸水を、井戸水の中に設置した十分に強力なポンプで地面まで押し上げられる。
 ③ 地面から 15 m 低い位置に水面のある井戸水を、地面に設置した十分に強力なポンプで地面まで吸い上げられる。
 ④ 地面から 15 m 低い位置に水面のある井戸水を、井戸水の中に設置した十分に強力なポンプで地面まで押し上げられる。

- A : (ア) 0.59 (イ) 0.79 (ウ) 5.9 (エ) 7.9 (オ) 59
 B : (ア) 0 (イ) 1 (ウ) 2 (エ) 3 (オ) 4

(5) 25℃において $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 塩酸の pH は (A) である。この塩酸を純水で 10^5 倍に希釈した溶液の pH は 7 より大きくはならない。これは (B) からである。

A : (ア) 1.5 (イ) 1.7 (ウ) 2.3 (エ) 2.5 (オ) 2.7

B : (ア) 水に電離平衡が存在する

(イ) $[\text{H}^+] = x \text{ mol/L}$ のとき, pH は厳密には $-\log_{10} x$ にはならない

(ウ) 純水には水酸化物イオンが含まれない

(エ) 大量の純水で希釈すると, 塩化水素と水分子の間に水素結合が働く

(オ) 大量の純水で希釈すると, 塩化水素が局所的に濃縮されて水素イオン濃度が増える

(6) 充電した鉛蓄電池の負極および正極の標準電極電位は, それぞれ -0.35 V および $+1.70 \text{ V}$ である。そのことから, 鉛蓄電池の起電力は (A) V と見積もられる。放電を続けると電圧が徐々に低下するが, 充電によって起電力は回復する。以下の①～⑤のうち, 鉛蓄電池について正しい記述は (B) 個である。

- ① 放電を続けると電解液の溶質の濃度は低下する。
- ② 放電により正極表面にも負極と同じ固体が生成するが, 正極の質量変化量は負極の質量変化量の 2 倍となる。
- ③ 放電時に負極表面に生成する固体は白色である。
- ④ 充電を行う場合, 外部電源の正極を鉛蓄電池の負極に, 外部電源の負極を鉛蓄電池の正極に接続し電流を流す。
- ⑤ 鉛は電解液である希硫酸に良く溶けるため, 大きな電流を取り出せる。

A : (ア) 0.35 (イ) 1.05 (ウ) 1.35 (エ) 1.70 (オ) 2.05

B : (ア) 1 (イ) 2 (ウ) 3 (エ) 4 (オ) 5

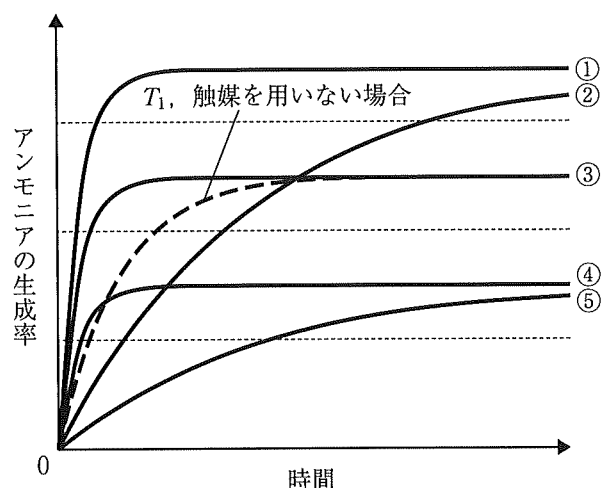
(7) 以下の化合物のうち, メタノールと少量の濃硫酸を作用させるとエステルとなる化合物は (A) 種類あり, 塩化鉄(Ⅲ)水溶液により呈色する化合物は (B) 種類ある。

ニトロベンゼン	フェノール	安息香酸	1-ナフトール
o-キシレン	ベンジルアルコール	サリチル酸	

A : (ア) 1 (イ) 2 (ウ) 3 (エ) 4 (オ) 5

B : (ア) 1 (イ) 2 (ウ) 3 (エ) 4 (オ) 5

- (8) 窒素と水素からアンモニアを合成する反応は発熱反応である。平衡状態に達するまでの時間や平衡状態でのアンモニアの生成率は、温度や触媒により変化する。アンモニアの生成率の時間変化は、温度 T_1 で触媒を用いない場合に右図の破線となる。温度を T_1 から T_2 に上昇させると、破線から (A) に変化する。温度 T_1 に保ったまま Fe_3O_4 を主成分とする物質を触媒として用いると、破線から (B) に変化する。



- A : (ア) 実線① (イ) 実線② (ウ) 実線③ (エ) 実線④ (オ) 実線⑤
 B : (ア) 実線① (イ) 実線② (ウ) 実線③ (エ) 実線④ (オ) 実線⑤

- (9) アミンはアンモニアの水素原子を一つ以上炭化水素基で置き換えた構造の化合物の総称である。芳香族アミンはアンモニアより (A) が弱く、脂肪族アミンはアンモニアより (A) が強い。芳香族アミンの一つであるアニリンは (B) によって酸化され赤紫色を呈する。

- A : (ア) 酸性 (イ) 塩基性 (ウ) 親水性
 (エ) 疎水性 (オ) 揮発性
 B : (ア) 希硫酸 (イ) さらし粉水溶液 (ウ) 水酸化ナトリウム
 (エ) スズと塩酸 (オ) フェーリング液

- (10) (A) はビスフェノールA $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$ とホスゲン COCl_2 の縮合重合によって得られる合成高分子である。平均分子量が 2.29×10^4 の (A) は高分子鎖1本に平均して (B) 個のベンゼン環が含まれる。

- A : (ア) エポキシ樹脂 (イ) 尿素樹脂 (ウ) フェノール樹脂
 (エ) ポリカーボネート樹脂 (オ) メラミン樹脂
 B : (ア) 90 (イ) 120 (ウ) 180 (エ) 240 (オ) 360

化学（記述およびマーク解答問題）

〔Ⅱ〕 つぎの文章を読んで、問1、問4、問6、問9の答をマーク解答用紙の該当欄にマークし、その他の答を記述解答用紙の該当欄に記入しなさい。

人類は火をあやつることを知り、また道具と言葉を使って文明を発展させてきた。火、すなわち燃焼で放出される熱を使うことで、金属の精錬やガラスの加工が可能となり、さらにこれらを使いこなすことでさまざまな化学製品を製造して現在の暮らしに役立てている。

人々の暮らしや、工業製品の製造、また物資や製品の輸送のために、多くのエネルギーが必要であり、石炭、石油、^(問1)天然ガスといった化石資源も多く消費されている。現在、都市ガスとして天然ガスが用いられているが、かつては^(問2)高温でコークスに水蒸気を反応させて得られる混合気体が用いられていた。これらの化石燃料を用いる火力発電に伴い発生する二酸化炭素を回収する方法として^(問3)化学吸収法がある。また、再生可能エネルギーを利用した発電も進められている。電力供給の効率を高める目的で、送電網へのリチウムイオン二次電池の試験導入も始まっている。

人類は古くから^(問4)金属を利用してきた。金属鉱物の精錬で作られるさまざまな金属製品は、橋、船舶、鉄道といった交通、物流を支え、建物を作る際にも多く使われている。また、送電線や信号線としても^(問5)銅が大量に用いられてきた。これまで電話線として銅線が用いられていたが、近年では光ファイバーや無線通信に代替されつつある。

スマートフォンやコンピューターの作動には、多くの電子素子およびそれらが組み合わされた集積回路（IC）が用いられている。^(問6)ケイ素はシリコンとも呼ばれ、ICや太陽電池などに幅広く利用されている。単体のケイ素は天然には存在しないため、^(問7)珪砂（主成分 SiO_2 ）を炭素で還元して得ている。リチウムイオン電池は携帯機器から電気自動車などへ利用が拡大しているが、ケイ素は非常に大きな理論容量を持つ負極材としても期待されている。

人類は日常の暮らしのなかで多くの上水を利用しているが、第一次産業のみならず、火力や原子力の発電所、さらには化学工業で大量の水を必要としており、水資源の確保も重要な課題の一つである。水資源に乏しい地域や船上では、^(問8)海水から淡水を得ている。

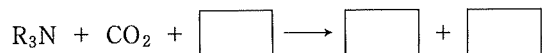
人類はさまざまな化学反応を見出し、ものづくりを進化させて、豊かな暮らしを作り上げてきた。現在では^(問9)環境にいつそう配慮した技術開発が進められている。

問1 液化天然ガスの主成分はメタンである。メタンの特徴について正しいものをつぎの（ア）～（オ）からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- （ア） 薄い青色である。
- （イ） 無臭である。
- （ウ） 完全燃焼するときに 1 mol あたり放出される熱量は、水素と比べて約半分である。
- （エ） プロパンと比べて、沸点が高い。
- （オ） 実験室ではメタンガスは水上置換で捕集する。

問2 この混合気体を生成する反応の化学反応式を書きなさい。

問3 第三級アミンは水素イオンを受け取るので、その水溶液は二酸化炭素と反応し、二酸化炭素を取り込む。この反応を、下記の空欄に適切な化学式を入れて、イオンを含む反応式として完成させなさい。ただし、第三級アミンの化学式は R_3N とする。



問4 金属に関する記述について正しいものをつぎの(ア)～(オ)からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- (ア) ボーキサイトを精錬してアルミニウムを得るには大量の電力が必要だが、より少ないエネルギーでアルミニウムはリサイクルできる。
- (イ) 鉄は工業的には鉄鉱石を水素で還元して得ているので、製鉄に伴う二酸化炭素の放出は少ない。
- (ウ) 銅の電解精錬の際に銀や金などの貴金属を陰極側で得ることができる。
- (エ) 銀は金属のうちで電気や熱をもっともよく導く。
- (オ) 金や白金は単体として産出する。

問5 粗銅の電解精錬で純銅を 127 g 得るために 100 A の電流を流した場合、何分かかかるか、小数点以下を四捨五入し整数で答えなさい。ただし、流した電流はすべて銅の溶出と析出に用いられるものとする。

問6 ケイ素に関する記述について正しいものをつぎの(ア)～(オ)からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- (ア) 地殻中の元素の割合を質量パーセントで比べるとケイ素がもっとも多い。
- (イ) 単体のケイ素はダイヤモンドと同様の結晶構造をとる。
- (ウ) 単体のケイ素は金属と似た光沢をもつ。
- (エ) 二酸化ケイ素は酸性酸化物である。
- (オ) シリカゲルは微細な空間と疎水基を多くもつため油をよく吸着する。

問7 2000 K にて、 SiO_2 (液) と C(固) の反応で Si(液) 1 mol を得る反応の化学反応式を書きなさい。また、この反応は発熱反応か吸熱反応か。解答用紙の正しいほうに○をつけ、反応で出入りする熱量の絶対値を kJ 単位で答えなさい。必要に応じて以下に示す 2000 K における反応の説明を参考にしなさい。

- ・ C(固) 1 mol が O_2 (気) 0.5 mol と反応して CO(気) 1 mol が生成すると、119 kJ の熱が放出される。
- ・ C(固) 1 mol が O_2 (気) 1 mol と反応して CO_2 (気) 1 mol が生成すると、397 kJ の熱が放出される。
- ・ Si(液) 1 mol が O_2 (気) 1 mol と反応して SiO_2 (液) 1 mol が生成すると、935 kJ の熱が放出される。

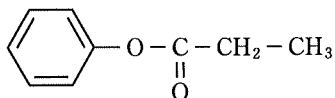
問 8 海水の淡水化技術として逆浸透法がある。NaCl を $4.5 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$ 、 MgCl_2 を $3.4 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 含む水溶液から 300 K において逆浸透法で淡水を得たい。そのために必要な理論上最小の圧力を、単位を Pa として有効数字 2 桁で答えなさい。なお、塩はすべて電離するものとする。

問 9 地球環境に関する記述について正しいものをつぎの (ア) ～ (オ) からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- (ア) 雨水は大気中の二酸化炭素を吸収して弱酸性を示す。
- (イ) 石油から硫黄分を取り除く脱硫や排出ガスから窒素酸化物を取り除く脱硝は、酸性雨対策に有効である。
- (ウ) メタンは温室効果をもつ。
- (エ) 火力発電で得た電力を用いて水を電気分解して水素をつくり、燃料電池で水素と酸素の反応で電力をつくると、全体として二酸化炭素が排出されない。
- (オ) 乳酸を原料とする生分解性高分子は、使用後にリサイクルされている。

〔Ⅲ〕 つぎの文章を読んで、問1、問3、問8の答をマーク解答用紙の該当欄にマークし、その他の答を記述解答用紙の該当欄に記入しなさい。問2、問4、問9は記入例にしたがって構造式を示し、問6は構造式を含む化学反応式を示しなさい。

(記入例)



Wさん：2022年の(問1) ノーベル化学賞はクリックケミストリーの開発でした。先生、この化学について教えてください。

先生：触媒を用いて(問2) アルキンに有機アジドを付加させて、簡単につなぐことができる反応です。

Wさん：(問3) アルカンやアルケンでなくアルキンを使うのですね。高校でも(問4) アセチレンの付加反応は学びます。

先生：その一種です。また、アルキンの構造を変えることにより触媒なしでも進行します。

Wさん：アルキンの構造を変えるというのはどういう意味でしょうか。

先生：アルキンは、直線構造を湾曲させることで、反応性が格段に向上します。その結果、特別な触媒がなくとも反応するようになります。

Wさん：湾曲させるという発想はすごいですね。どのように湾曲させるのですか？

先生：環状構造にするのです。たとえば、六員環の炭素どうしの結合の一つを三重結合にすると、その三重結合と隣の炭素を含む連続した4つの炭素原子は直線状にはなれないですね。そのように、(問5) アルキンを環状構造に含めれば、簡単に反応するようになります。

Wさん：面白い反応ですね。ただ、分子をつなぐという意味では、高校で学ぶ脱水縮合反応や(問6) ジアゾカップリングではだめなのでしょうか？

先生：もちろんそれらも分子をつなぐことができる反応ですが、それらの反応条件では他の官能基が反応する、(問7) 低濃度では反応が非常に遅いなどの問題が生じることがあります。これに対してクリックケミストリーでは、(問8) タンパク質などがあるなかでも、容易に反応できるのです。

Wさん：なるほど、今までできなかった化学反応ができるようになったのですね。

先生：そのとおりです。現在もクリックケミストリーは進化し続けていて、同じような発想でアルケンも反応させることができます。たとえば、有機アジドの代わりに(問9) テトラジンという化合物を使うことで、アルケンのクリック反応も開発されています。

Wさん：よくわかりました。反応開発は日進月歩なのですね。

問1 過去にノーベル化学賞を受賞した人物に関する記述について適切なものをつぎの(ア)～(オ)からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- (ア) オストワルト：窒素と水素からアンモニアを合成
 (イ) 田中耕一：タンパク質のための質量分析法の開発
 (ウ) ハーバー：アンモニアを原料として硝酸をつくる工業的製法の開発
 (エ) 野依良治：フラレンの発見
 (オ) 吉野 彰：リチウムイオン電池の開発

問2 以下の構造式で表されるアルキンと有機アジドの付加反応では、それらの分子量の合計と等しい分子量の五員環をもつ化合物が得られる。この付加反応で得られるすべての化合物を構造式で書きなさい。

なお、有機アジドは一般的に RN_3 と表記される有機化合物であり、1つの窒素が負電荷、別の窒素が正電荷を帯びた電氣的に中性な化合物である。

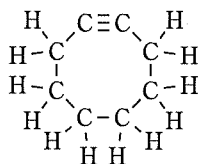


問3 アルカン、アルケン、アルキンの性質について正しいものをつぎの(ア)～(オ)からすべて選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- (ア) アセチレンは赤熱した鉄に触れると、ベンゼンを生じる。
 (イ) 4つの炭素からなるアルカン、アルケン、アルキンにはそれぞれ構造異性体が2つずつ存在する。
 (ウ) ろうそくの主成分は炭素数の多いアルカンである。
 (エ) エタン、エチレン、アセチレンのうち炭素間の結合距離がもっとも短いのはアセチレンである。
 (オ) エチレンとアセチレンに臭素を十分量作用させると、結果的に同じ化合物が生成する。

問4 アセチレンに触媒を用いて、ある気体分子を付加させると化合物Xが得られる。これにブタジエンを加えて共重合させると、石油ホースなどに用いられる合成ゴム NBR が得られる。化合物Xの構造式を書きなさい。

問5 反応性と安定性を考慮して、八員環の環状アルキンがクリック反応に用いられる。以下の環状アルキンの化合物名を答えなさい。



問6 ジアゾカップリングに用いられる塩化ベンゼンジアゾニウムは、低温では安定に存在するが、温度があがると分解するため氷冷しながら反応を行う必要がある。水溶液中でおこるこの分解の化学反応式を書きなさい。ただし、有機化合物には構造式を用いなさい。

問7 1 mol/L のアルキン **A** と 1 mol/L の有機アジド **B** を用いてクリック反応を行ったところ、生成物 **C** の濃度が下表のように変化した。時間 0 ～ 1000 s および時間 10000 ～ 11000 s において **C** が生成する平均の反応速度をそれぞれ有効数字 2 桁で答えなさい。

時間 [s]	A [mol/L]	B [mol/L]	C [mol/L]
0	1.0000	1.0000	0.0000
1000	0.5000	0.5000	0.5000
2000	0.3333	0.3333	0.6667
3000	0.2500	0.2500	0.7500
4000	0.2000	0.2000	0.8000
5000	0.1667	0.1667	0.8333
6000	0.1429	0.1429	0.8571
7000	0.1250	0.1250	0.8750
8000	0.1111	0.1111	0.8889
9000	0.1000	0.1000	0.9000
10000	0.0909	0.0909	0.9091
11000	0.0833	0.0833	0.9167
12000	0.0769	0.0769	0.9231

問8 タンパク質は高次構造をとっており、特有な機能の発現に影響するため構造を保持する必要がある。たとえば、ミオグロビンは筋肉中に含まれ、**D** を中心とした円盤構造の色素をもち、そこに酸素が結合することによって機能を発現する。また、タンパク質はポリペプチド鎖の側鎖間の **E** や、システインによって形成される **F** によって複雑に折りたたまれている。**D**－**E**－**F** の組み合わせとしてもっとも適しているものをつぎの (ア) ～ (オ) から選び、マーク解答用紙の該当欄にマークしなさい。

- (ア) 鉄－共有結合－ジスルフィド結合

(イ) 鉄－水素結合－ジスルフィド結合

(ウ) 銅－水素結合－ジスルフィド結合

(エ) 銅－共有結合－ペプチド結合

(オ) 銅－水素結合－ペプチド結合

問9 テトラジン $C_2H_2N_4$ は六員環構造の化合物であり、いくつかの異性体が存在するが、クリック反応で使われるテトラジンには分子内に窒素原子が 3 つ以上連続して結合する部分は含まれていない。このクリック反応で使われるテトラジンの構造式を書きなさい。

[以 下 余 白]