

I 次の文章を読んで、問いに答えよ。

物質の状態には、固体・液体・気体の3つの状態がある。これを物質の三態という。物質の状態は温度と圧力に対応して定まる。固体・液体・気体のそれぞれが安定な温度と圧力の領域を表した図を状態図といい、通常、縦軸に圧力、横軸に温度をとる。この図中で固体・液体・気体の3つの状態が同時に存在する温度と圧力の点を三重点という。液体と気体の境界線は蒸気圧曲線に対応し、三重点から高温・高圧側に延び、ある温度・圧力で境界線はなくなる。この点を臨界点という。臨界点では液体と気体の密度が等しくなり、それらの区別ができなくなる。臨界点よりも高い温度と圧力の状態を **ア** といい、その状態における物質を **イ** という。臨界点よりも低い温度と圧力では、物質は液体と気体の境界線で示される温度で **ウ** する。

問1 文中の空欄 **ア** ~ **ウ** にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問2 CO₂の三重点の圧力は大気圧よりも高く、ドライアイスは液体のCO₂よりも密度が大きい。CO₂を三重点の温度より高く、臨界点の温度未満の一定温度で三重点よりも低い圧力から加圧を続けた場合、CO₂の状態はどのように変化するか。簡潔に説明せよ。

問3 私たちが良く知っているH₂Oの性質をもとにして、H₂Oの三重点圧力が大気圧よりも高いか低い、また三重点温度が大気圧下での氷の融解温度よりも高いか低いについて判定することができる。その理由について説明せよ。

問4 単一成分からなる固体を臨界点よりも高い一定圧力条件下で、低温状態から時間あたり一定の熱量を加えて過熱していった時の温度変化を、縦軸に温度、横軸に加熱時間をとった図として描きなさい。なお、物質による比熱の大きさの違いとその温度依存性は無視してよい。図は概略的でよい。

Ⅱ 植物の成長に不可欠で、特に土中で不足する元素に窒素、リン、カリウムがある。これらの元素は肥料の三要素と呼ばれる。次の問いに答えよ。

問1 窒素肥料のひとつとして用いられる尿素の化学式を答えよ。

問2 肥料として散布されたアンモニアは、硝酸イオンという形で植物に吸収される。硝酸イオンは、アンモニウムイオンから土中の細菌（亜硝酸菌と硝酸菌）の働きにより作られる。細菌を介したこの反応を、ひとつの化学反応式で表せ。

問3 リン鉱石（リン灰石）に硫酸を作用させると過リン酸石灰が得られ、リン肥料として用いられる。過リン酸石灰が生じる反応を化学反応式で表せ。

問4 リン酸は十酸化四リンを水に溶かして加熱すると得られる。この反応を化学反応式で表せ。

問5 リン酸をリン鉱石と作用させると、植物に対する有効成分が過リン酸石灰より多い重過リン酸石灰が得られる。この反応を化学反応式で表せ。

Ⅲ 次の文章を読んで、問いに答えよ。

通常は水に溶けない非極性分子であっても、界面活性剤を添加すると水と混じり合うようになる。このような作用を乳化作用という。例えば、アイスクリームの製造においては、脂肪分を水に均一に分散させるために、乳化剤であるレシチンがよく使われる。レシチンは脂質の一種のリン脂質であり、親水性の **ア** 基と疎水性の炭化水素基を両方含むので、界面活性剤としてのはたらきを示す。界面活性剤の分子は、水溶液中で 疎水性の部分を内側に、親水性の部分を外側にして 集団 を形成する。

界面活性剤は、衣類や食器の汚れを落とすためにも用いられる。衣類についた油脂の汚れは、そのままでは水に溶けないが、界面活性剤の作用により水に分散させることができる。このような洗剤として、高級脂肪酸のナトリウム塩やカリウム塩である **イ** が古くからよく使われてきた。このような塩の水溶液は **ウ** 性である。これに対して、合成洗剤は強酸と強塩基からなる塩なので、水溶液は **エ** 性を示し、マグネシウムイオンやカルシウムイオンの存在下においても、洗浄能力の低下が少ない。脂肪酸の塩は、水酸化カリウムなどの塩基によって油脂を加水分解することで得ることができる。このような加水分解反応はけん化と呼ばれる。

問1 文中の空欄 **ア** ～ **エ** にあてはまる最も適当な語句を答えよ。

問2 下線部 a のような集団を何と呼ぶか答えよ。

問3 ある脂肪酸のグリセリンエステル ($C_{57}H_{92}O_6$, モル質量 872 g/mol) 1.00 g をけん化するために必要な水酸化カリウム (KOH, モル質量 56.0 g/mol) の質量を求めよ。なお、有効数字は3桁とする。

問4 合成洗剤とは異なり、高級脂肪酸の塩は、マグネシウムイオンなどを多く含む硬水の中では洗浄能力が大きく低下する。その理由を答えよ。

問5 乳化作用の他にも、界面活性剤の別のはたらきが汚れの除去に役立っている。このはたらきがどのように汚れの除去に寄与するかを答えよ。

IV 日本酒の製造に使われるある種の酵母は、アルコール発酵と共にフルーティーな香りの香気成分を生産する。この香気成分の化学構造式を決定するために実験を行った。以下の問いに答えよ。

問1 この香気成分を精製したところ、常温において無色の液体で、炭素、水素、酸素の3元素のみからなり、分子量144の有機化合物であることがわかった。この化合物10.00 mgを完全燃焼させると、二酸化炭素24.44 mg、水10.00 mgを生じた。この香気成分の組成式と分子式をそれぞれ求めよ。必要があれば以下の値を用いよ。

原子量 H = 1, C = 12, O = 16

問2 この化合物に水酸化ナトリウム水溶液を加え加熱したところ、エチルアルコールとある種の酸のナトリウム塩を生じた。もとの化合物においてエチルアルコールは酸と結合していたものと考えられるが、この結合を何結合というか答えよ。また、この反応で塩として生じた有機酸はカルボキシ基をもつものと考えられるが、このような酸は一般に何酸と言われるか答えよ。

問3 問2で生じた有機酸においては、多数の構造異性体が考えられる。その中で炭化水素部分に枝分かれをもつ構造異性体はいくつあるか答えよ。また、これら構造異性体の中で不斉炭素原子をもつ化合物はいくつあるか答えよ。

V 次の文章を読んで、問いに答えよ。

ゼオライト（沸石）は天然に産出する鉱物で、吸着剤をはじめとして様々な用途に用いられている。さて、鉄含有ゼオライトを用いて、メタンからメタノールを合成できることが、1990年代に報告されていた。その反応機構はよく分かっていなかったが、2016年になって、その活性部位〔以下 α -Fe(II)と略す〕の構造や反応機構などに関する新たな知見が報告された。下図は、この報告についての論評（J.A. Labinger; *Nature* 536 巻, 280-281 頁, 2016 年）のなかで述べられた反応機構を簡略化して示したものである。

250℃のもとで鉄含有ゼオライトを N_2O で処理すると、その酸素原子が α -Fe(II)の鉄原子に結合する（下図）。この酸素の反応性は高く、メタンは、図に示すような段階を経て室温でメタノールに変換される。現時点では、まだ克服すべき問題があるため実用化の段階にはないが、この研究がさらに発展すれば、室温でメタンをメタノールに効率的に変換できる時代が訪れるかもしれない。

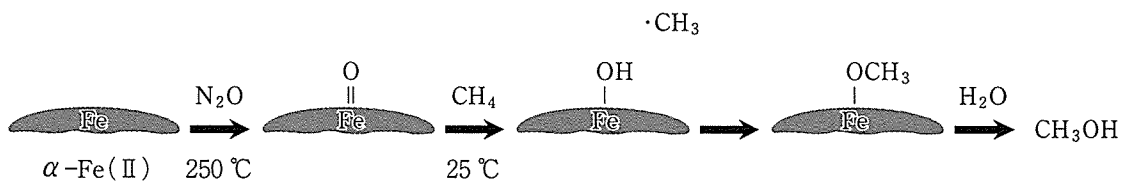


図 α -Fe(II)上で起きるメタンのメタノールへの変換（概略図）

価標については、図のように Fe と O の間についてのみ示した。

問1 N_2O は窒素酸化物の一種である。 N_2O は何と呼ばれる化合物か。

問2 図中、 $\cdot\text{CH}_3$ は、メタン分子から生じたラジカル（メチルラジカル）を示している。解答欄にその電子式を書け。

問3 少なくとも現段階では、鉄含有ゼオライトは上記反応の触媒とは言えない。では、触媒の特徴とは何かを簡潔に述べよ。

問4 メタノールは、現在工業的には高温・高圧下で触媒を用いて合成されている。(A) 解答欄の化学反応式を完成させよ。(B) 解答欄Aの化学反応式中の「触媒」を化学式で示せ。

問5 Fe を含む触媒作用のある化合物として Fe_3O_4 が知られている。さて、 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を用いて、ある化合物が工業的に合成されている。該当する反応を化学反応式を用いて示せ。

問6 メタノールは、かつて植物から得られていた。その方法について、材料名を含めて簡潔に述べよ。

[以下余白]