

令和5年度入学試験問題

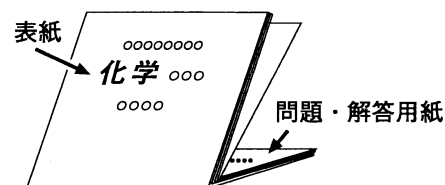
化学 402

(前期日程)

表紙も問題・解答用紙もすべて  
表面のみに印刷している。

(注意事項)

- 1 問題・解答用紙は、係員の指示があるまで開かないこと。
- 2 この表紙を除いて、問題用紙は7枚(その1～7)、解答用紙は4枚(その1～4)である。  
用紙の折り方は図のようになっているので注意すること。  
計算が必要な場合は、表紙、問題・解答用紙の裏面を利用すること。
- 3 解答は、解答用紙の指定された解答箇所を書くこと。指定された解答箇所以外に書いたものは採点しない。また、裏面に解答したものも採点しない。
- 4 解答開始後、各解答用紙の「受験番号」欄に受験番号をはっきりと記入すること。
- 5 配付した用紙はすべて回収する。

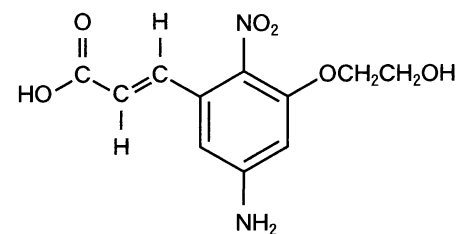


# 化学 402 問題用紙 (その1)

(注意) 第1問から第4問の解答にあたっては、以下の注意事項に従うこと。

1. 有機化合物の構造式は、特に指示のない限り右図に示す例にならって表すこと。
2. 原子量は、次の値を用いること。

H : 1.00, C : 12.0, N : 14.0, O : 16.0



構造式の例

第1問 下の問い (問1～6) に答えよ。

問1 元素の周期表の3～11族に属する金属元素には、単体もしくは酸化物が触媒としてはたらくものが多い。下線部(a)の名称を記せ。

問2 触媒は化学工業の要であり、燃料、汎用化学製品、医薬品の製造など、化学工業プロセスの90%以上は触媒反応に依存している。触媒のはたらきについて、「活性化エネルギー」および「反応速度」という語句を含めて50字程度で記せ。

問3 アンモニアを原料とする硝酸の工業的製法には、原子番号78の  を触媒とする酸化反応が含まれる。酸素でエチレンを酸化してアセトアルデヒドを合成する手法は、原子番号46の  と、原子番号29のCuの協働的な触媒作用により実現する。 と  はいずれも、有機化合物の不飽和結合に水素を付加させる還元反応の触媒としても有用であり、同様の触媒作用をもつ原子番号28の  は、脂肪油への水素付加による硬化油製造に広く用いられる。

から  にあてはまる元素を、元素記号で記せ。また、下線部(b)と下線部(c)の名称を、以下の選択肢の中から、一つずつ選んで記せ。

(選択肢) ソルバー法      接触法      オストワルト法      ハーバー・ボッシュ法      ワッカー法

## 化学 402 問題用紙 (その2)

(その1より続く)

問4 炭素、水素、酸素原子のみからなる分子量100以下の化合物Aと水素をそれぞれ1.00 molずつ、適切な触媒を用いて反応させたところ、化合物Bが得られた。不純物を含まない2.40 gの化合物Bを完全燃焼させたところ、二酸化炭素が5.28 gと水が2.90 g発生した。化合物Aと化合物Bはどちらも、金属ナトリウムと反応して水素を発生した。化合物Aに臭素を加えると臭素の赤褐色が消えたが、化合物Bに臭素を加えても臭素の赤褐色は消えなかった。化合物Aと化合物Bの構造式を記せ。また、解答に至るみちすじも記せ。

問5 臭素はヨウ化カリウムと反応してヨウ素を遊離させる。一方、ヨウ素と臭化カリウムは反応しない。下線部(d)の化学反応式を記せ。また、下線部(e)の反応が進行しない理由を簡潔に記せ。

問6 メタノールを酸化すると、化合物Cを経て、ギ酸を生じる。化合物Cの構造式を記せ。また、化合物Cの性質について、正しく述べられているものを(a)~(k)のうちから全て選び、記号で記せ。

- (a) 水酸化ナトリウム水溶液中でヨウ素を加えると、ヨードホルムを生じる。
- (i) アンモニア性硝酸銀溶液に加えて加熱すると、銀が析出する。
- (u) 常温で液体である。
- (e) 水溶液中では弱塩基性を示す。
- (o) フェーリング液とともに加熱すると、酸化銅(I)が沈殿する。
- (k) 三量化すると、トリオキサンとなる。

## 化 学 402 問題用紙 (その3)

第2問 次の文章を読み、下の問い (問1～3) に答えよ。

ベンゼンを反応物として濃硝酸と濃硫酸を加えて反応させ、生成物である化合物 A を\*単離収率 60% で得た。次に得られた化合物 A の全量にスズと濃塩酸を加えて反応させ、生じた化合物 B を単離収率 80% で得た。化合物 B の全量に 1.00 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を加えていくと、ちょうど 480 mL 加えた時点で強塩基性になったので、ジエチルエーテルで抽出して化合物 C を単離収率 100% で得た。化合物 C の全量に酢酸と濃硫酸を加えて加熱して反応させ、アセトアニリドを単離収率 30% で得た。ただし、各反応において反応物以外の試薬は理論上必要な量を加えたものとする。

\*単離収率：化学反応において、反応物から生成物が理論的に生じる最大の量に対して、実際に得られた純粋な生成物の量の割合をパーセントで表した値。以下の式で表される： $(\text{実際に得られた純粋な生成物の量}) \div (\text{理論的に生じる生成物の最大の量}) \times 100$ 。

問1 下線部 (a)～(d)の化学反応の反応式を記せ。ただし、化学反応式に含まれる有機化合物は構造式で示すこと。

問2 下線部 (b)において、単体のスズ 1.00 mol と塩酸 2.00 mol だけを混ぜても反応して気体が発生する。その反応式を記せ。

問3 最初に用いたベンゼンの体積 [mL] と最後に得られたアセトアニリドの質量 [g] を有効数字 2 桁で記せ。  
また、解答に至るみちすじも記せ。ただし、ベンゼンの密度は 0.88 g/mL とする。

# 化 学 402 問題用紙 (その4)

**第3問** 化学平衡に関する次の文章< I >と< II >を読み、下の問い (問1~4) に答えよ。

< I > 塩の水溶液の性質は、その塩のもとになった酸と塩基の組み合わせによって異なる。酢酸ナトリウムは、弱酸と強塩基からなる塩であり、水に溶かすとほぼ完全に電離する。この電離によって生じる酢酸イオンの一部は、加水分解によって、酢酸と水酸化物イオンを生じ、以下の①式に示すような化学平衡の状態になる。



水溶液中では、酢酸イオンに比べて水分子は多量にあり、水の濃度は一定とみなせるので、①式に示す反応の平衡定数 (加水分解定数)  $K_h$  は、以下の②式で表すことができる。②式において、酢酸イオン、酢酸、および水酸化物イオンのモル濃度を、それぞれ、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ 、および  $[\text{OH}^-]$  とする。

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \text{-----} \quad \text{②}$$

いま、酢酸ナトリウム水溶液の pH (水素イオン指数) を求めたい。この水溶液中における酢酸ナトリウムのモル濃度を  $c$  [mol/L]、①式に従って酢酸イオンが加水分解される割合を  $h$  とすると、 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{OH}^-] = ch$  となり、 $c$ 、 $h$  を用いて、 $K_h = \boxed{\text{ア}}$  と表される。ここで、 $h$  は 1 に比べて著しく小さく、 $1 - h \doteq 1$  ( $h > 0$ ) とみなせるから、 $K_h = ch^2$  と近似することができる。一方、 $K_h$  は、酢酸を水に溶かしたときの電離定数を  $K_a$  [mol/L]、水のイオン積を  $K_w$  [(mol/L)<sup>2</sup>] とすると、 $K_a$ 、 $K_w$  を用いて、 $K_h = \boxed{\text{イ}}$  と表すことができる。ここで、 $K_h$  を表す式 ( $K_h = ch^2$  と  $K_h = \boxed{\text{イ}}$ ) を統合して考えると、この水溶液中の水素イオン濃度  $[\text{H}^+]$  は、 $K_a$ 、 $K_w$ 、 $c$  を用いて、 $[\text{H}^+] = \boxed{\text{ウ}}$  と表される。ここから、酢酸ナトリウム水溶液の pH は、 $K_a$ 、 $K_w$ 、 $c$  を用いて、 $\text{pH} = \boxed{\text{エ}}$  と求められる。

< II > 気体 A と気体 B を、容積 1.00 L の密閉容器に入れて、ある一定の温度  $T$  [K] に保つと、気体 C が生じ、以下の③式  
のような可逆反応で表される化学平衡の状態になった。



③式中の A、B、C は、それぞれ気体 A、B、C 分子の化学式、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  は、係数を表す。ただし、気体 A、B、C は、理想気体であるとし、それらの気体の分子のふるまいは、気体の状態方程式に従うものとする。いま、③式の反応が化学平衡の状態になっているとき、容器内の気体 A、B、C の物質質量 [mol] はそれぞれ  $n_A$ 、 $n_B$ 、 $n_C$ 、気体 A、B、C の分圧 [kPa] はそれぞれ  $p_A$ 、 $p_B$ 、 $p_C$  であった。この反応における、圧平衡定数  $K_p$  は、 $n_A$ 、 $n_B$ 、 $n_C$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、温度  $T$  [K] および気体定数  $R$  [Pa·L/(K·mol)] を全て用いて、 $K_p = \boxed{\text{オ}}$  と表される。また、③式における右向き (正反応) の反応速度を  $v_1$  [mol/(L·s)]、左向き (逆反応) の反応速度を  $v_2$  [mol/(L·s)] とするとき、化学平衡の状態では、 $v_1 = v_2$  が成り立つ。

# 化学 402 問題用紙 (その5)

(その4より続く)

問1 文章中の **ア** ~ **オ** にあてはまる式を記せ。また、**オ** については、理論式を用いて解答に至るみちすじも記せ。

問2 下線部(a)について、次の(1)~(3)に示す塩の水溶液は、酸性・中性・塩基性のいずれの性質を示すか、それぞれ記せ。

- (1) 硫酸ナトリウム      (2) 硫酸水素ナトリウム      (3) 塩化アンモニウム

問3 下線部(b)について、③式の反応において温度を上昇させたとき、平衡が左へ移動した。この反応における反応熱の絶対値が  $Q$  [kJ] であるとき、 $Q$  の正負を表す符号を明らかにして、③式の反応についての熱化学方程式を記せ。

問4 下線部(c)について、表1の条件1~3に示された初期濃度となるように気体A、Bを密閉容器に入れ、各条件において、③式における右向き反応(正反応)の初期速度を求める実験を行った。表1では、 $2 \times [X]$ 、 $2 \times [Y]$  は、それぞれ  $[X]$ 、 $[Y]$  の2倍であることを表し、 $4 \times v_0$ 、 $8 \times v_0$  は、 $v_0$  のそれぞれ4倍、8倍であることを表している。気体Aのモル濃度を  $[A]$  [mol/L]、気体Bのモル濃度を  $[B]$  [mol/L]、反応速度定数を  $k$  とするとき、表1の実験結果から決定される、 $v_1$  を表す反応速度式を記せ。

表1 気体Aおよび気体Bの初期濃度と反応の初期速度の関係

	気体Aの初期濃度 [mol/L]	気体Bの初期濃度 [mol/L]	右向き反応(正反応)の 初期速度 [mol/(L·s)]
条件1	$[X]$	$[Y]$	$v_0$
条件2	$[X]$	$2 \times [Y]$	$4 \times v_0$
条件3	$2 \times [X]$	$2 \times [Y]$	$8 \times v_0$

# 化学 402 問題用紙 (その6)

第4問 次の文章を読み、下の問い(問1～6)に答えよ。

ペプチドは、 $\alpha$ -アミノ酸のアミノ基とカルボキシ基がペプチド結合で縮合した有機化合物であり、我々の生命活動の維持に欠かせない物質である。その一方、様々な病気の原因に関係するペプチドも存在する。例えば、アルツハイマー病の発症に関与するアミロイド $\beta$ ペプチドは、約40分子の $\alpha$ -アミノ酸がペプチド結合を介して縮合したポリペプチドである。このペプチド結合を部分的に加水分解すると、 $\alpha$ -アミノ酸4分子が結合したペプチドであるテトラペプチドP1が得られる。

$\alpha$ -アミノ酸の一般式を図1に示す。記号Rは、 $\alpha$ -アミノ酸の炭素原子に結合する原子または原子団を表す。代表的な $\alpha$ -アミノ酸の名称およびRを表1にまとめた。テトラペプチドP1は表1に示した $\alpha$ -アミノ酸のうち、異なる4種類のアミノ酸から構成されている。

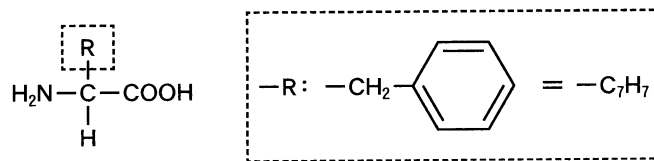
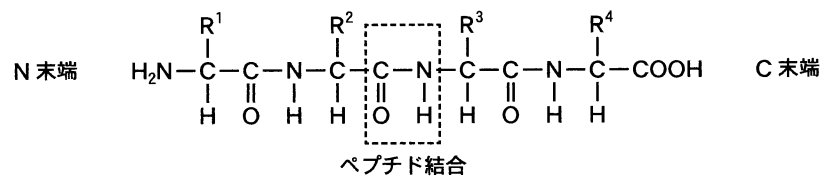


図1  $\alpha$ -アミノ酸の一般式

表1 代表的な $\alpha$ -アミノ酸

名称	-R	名称	-R
アラニン	-CH <sub>3</sub>	リシン	-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> N
アスパラギン酸	-C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	フェニルアラニン	-C <sub>7</sub> H <sub>7</sub>
システイン	-CH <sub>3</sub> S	セリン	-CH <sub>3</sub> O
グリシン	-H	チロシン	-C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> O

ペプチドの一末端にはアミノ基(N末端)が、もう一方の末端にはカルボキシ基(C末端)がある。N末端を左にして、以下の一般式に示すテトラペプチドP1について考えることにする。R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup>, R<sup>4</sup>はそれぞれ原子または原子団を表す。



# 化 学 402 問題用紙 (その7)

(その6より続く)

テトラペプチド P1 のアミノ酸配列を調べるために、以下の操作を行った。

操作 ① テトラペプチド P1 の水溶液に濃硝酸を加えて加熱すると、黄色を呈した。また、水酸化ナトリウム水溶液と酢酸鉛水溶液を加えて加熱しても沈殿は観測されなかった。

操作 ② テトラペプチド P1 のペプチド結合を完全に加水分解すると、異なる 4 種類の  $\alpha$ -アミノ酸 A, B, C, D が得られた。4 種類のアミノ酸のうち、アミノ酸 B, C, D は旋光性を示し、アミノ酸 A は旋光性を示さなかった。

操作 ③ テトラペプチド P1 に対してペプチドの C 末端からアミノ酸を段階的に切り離す酵素であるカルボキシペプチダーゼを作用させると、トリペプチド P2 とアミノ酸 B が生成した。トリペプチド P2 の溶液に濃硝酸を加えて加熱しても、色の変化は無かった。中性条件下でトリペプチド P2 の電気泳動を行うと、P2 は陽極側に移動した。

操作 ④ トリペプチド P2 に対してペプチドの N 末端からアミノ酸を段階的に切り離す酵素であるアミノペプチダーゼを作用させると、ジペプチド P3 とアミノ酸 C が生成した。

操作 ⑤ アミノ酸 B と無水酢酸との反応により、 $C_{13}H_{15}NO_5$  の分子式をもつ化合物 E が得られた。ジペプチド P3 と無水酢酸を反応させた後、ペプチド結合のみを加水分解すると、化合物 F とアミノ酸 A が得られた。化合物 F は、ニンヒドリン反応を示さなかった。

操作 ⑥ 1.00 mol のアミノ酸 C に酵素を加えると分解され、1.00 mol の二酸化炭素と 1.00 mol の  $\alpha$ -アミノ酸 G が生成した。アミノ酸 G の分子量は 100 以下であった。

操作 ⑦ 元素分析の結果、化合物 F の構成元素とその質量比は、炭素 44.4%、水素 5.9%、窒素 7.4%、酸素 42.3%であった。化合物 F は、1 つの不斉炭素原子を含んでいた。

問 1  $\alpha$ -アミノ酸 A, B, C, D の名称を、表 1 から選んで記せ。

問 2 下線部 (a) の反応名を記せ。

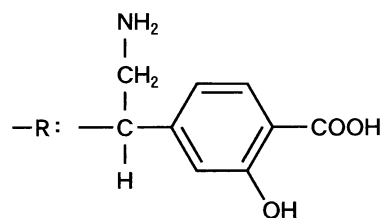
問 3  $\alpha$ -アミノ酸 G の構造式を記せ。立体異性体と電離の状態は考慮しなくて良い。

問 4 下線部 (b) について、この現象を引き起こした  $\alpha$ -アミノ酸は A, B, C, D のうちどれか。記号で記せ。

問 5 下線部 (c) について、無水酢酸と反応した  $\alpha$ -アミノ酸 B の官能基を全て記せ。

問 6 テトラペプチド P1 に含まれる  $-R^1, -R^2, -R^3, -R^4$  で表された原子または原子団の化学構造を、以下に示す例に従って記せ。立体異性体と電離の状態は考慮しなくて良い。

(原子団の例)





## 化 学 402 解答用紙 (その1)

### 第1問

問 1																					
問 2																					
	50																				
問 3	ア						イ						ウ								
	下線部 (b)											下線部 (c)									
問 4	化合物 A											化合物 B									
	(みちすじ)																				
問 5	反応式																				
	理由																				
問 6	構造式																				
	記号																				
															小 計						点

化 学 402 解答用紙 (その2)

第2問

問1	(a)			
	(b)			
	(c)			
	(d)			
問2				
問3	ベンゼンの 体積		アセトアニリド の質量	
	(みちすじ)	mL	g	

化 学 402 解答用紙 (その3)

第3問

問1	ア		イ			
	ウ		エ			
	オ					
	( <input type="checkbox"/> オ の解答に至るみちすじ )					
問2	(1)		(2)		(3)	
問3						
問4						

化 学 402 解答用紙 (その4)

第4問

問1	A		B	
	C		D	
問2				
問3				
問4				
問5				
問6	$-R^1$		$-R^2$	
	$-R^3$		$-R^4$	