

準備問題

[実験課題]



54th IChO 2022
International Chemistry Olympiad



TIANJIN, CHINA

国際化学オリンピック
中国 天津

物理定数・公式集

アボガドロ定数:

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

気体定数:

$$R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

標準圧力:

$$p^\ominus = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

標準大気圧:

$$P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 1.013 \text{ bar} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

摂氏温度における 0 度:

$$273.15 \text{ K}$$

ファラデー定数:

$$F = 9.6485 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$$

プランク定数:

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

電子の質量:

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

光の速さ:

$$c = 2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

光子 1 個のエネルギー:

$$E = hc/\lambda$$

理想気体の状態方程式:

$$pV = nRT$$

熱力学第一法則:

$$\Delta U = q + w$$

エンタルピー H :

$$H = U + PV$$

エントロピー S :

$$S = k_B \ln W$$

エンタルピー変化:

$$\Delta S = q_{\text{rev}}/T$$

ギブズ自由エネルギー:

$$G = H - TS$$

$$\Delta G^\ominus = -RT \ln K^\ominus$$

$$\Delta G^\ominus = -zFE_{\text{cell}}^\ominus$$

$$\Delta G = \Delta G^\ominus + RT \ln Q$$

反応 $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ における反応商:

$$Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

温度変化に対するエンタルピーの変化:

$$\Delta_r H^\ominus(T_2) = \Delta_r H^\ominus(T_1) + \Delta_r C_p^\ominus(T_2 - T_1)$$

温度変化に対するエントロピーの変化:

$$\Delta_r S^\ominus(T_2) = \Delta_r S^\ominus(T_1) + \Delta_r C_p^\ominus \ln(T_2/T_1)$$

ネルンストの式:

$$E = E^\ominus - \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_{\text{red}}}{c_{\text{ox}}}$$

クラウジウス-クラペイロンの式:

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \frac{\Delta_{\text{vap}} H^\ominus}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

ケルビンの式:

$$\ln \frac{p}{p_0} = \frac{2\sigma M}{\rho R T r}$$

標準電池電位の温度係数:

$$\frac{dE_{\text{cell}}^\ominus}{dT} = \frac{\Delta_r S^\ominus}{zF}$$

ラングミュアの吸着等温式:

$$\theta = aP/(1 + aP)$$

アレニウスの式:

$$\ln k = \ln A - E_a/RT$$

積分形式での速度式:

ゼロ次:	$[A] = [A]_0 - kt$
一次:	$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt$
二次:	$\frac{1}{[A]} = \frac{1}{[A]_0} + kt$
一次反応における半減期:	$t_{1/2} = \ln 2/k$
二次反応における半減期:	$t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$
速度定数の温度依存性:	$\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$
ランベルト-ベールの式:	$A = \epsilon lc$
水素イオンの有効活量係数	$\alpha_{Y(H)} = 1 + [H^+] \beta_1^H + [H^+]^2 \beta_2^H + \dots + [H^+]^6 \beta_6^H$
共存イオン効果係数:	$\alpha_{Y(N)} = 1 + [N] K_{NY}$
当量点における金属イオンの濃度	$pM'_{sp} = 1/2(\lg K'_{MY} - \lg c_M^{sp})$

訳注) sp は当量点 (stoichiometric point) を表す

元素の周期表

18

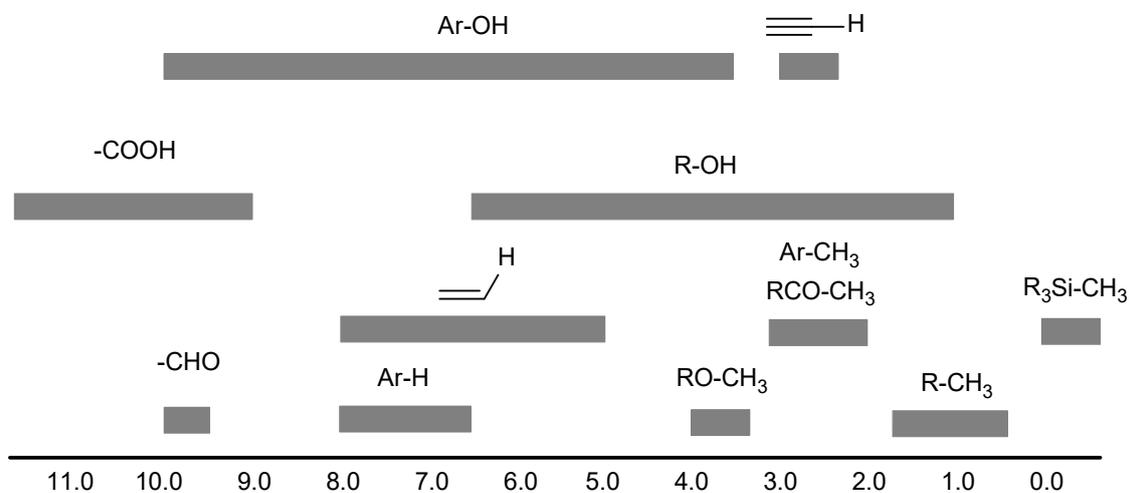
1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H 1.008	2 He 4.003	3 Li 6.941	4 Be 9.012	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18	11 Na 22.99	12 Mg 24.31	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.87	23 V 50.94	24 Cr 52.00	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.93	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.63	33 As 74.92	34 Se 78.97	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc -	44 Ru 101.1	45 Rh 120.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57-71 La 89-103	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.8	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197.0	80 Hg 200.6	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209.0	84 Po -	85 At -	86 Rn -
87 Fr -	88 Ra -	89-103 Ac -	104 Rf -	105 Db -	106 Sg -	107 Bh -	108 Hs -	109 Mt -	110 Ds -	111 Rg -	112 Cn -	113 Nh -	114 Fl -	115 Mc -	116 Lv -	117 Ts -	118 Og -

57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm -	62 Sm 150.4	63 Eu 152.0	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 175.0
89 Ac -	90 Th 232.0	91 Pa 231.0	92 U 238.0	93 Np -	94 Pu -	95 Am -	96 Cm -	97 Bk -	98 Cf -	99 Es -	100 Fm -	101 Md -	102 No -	103 Lr -

¹H NMR

水素の化学シフト値 (単位 ppm/TMS)



H-H カップリング定数 (単位 Hz)

Hydrogen type 水素の種類	$ J_{ab} $ (Hz)
R ₂ CH _a H _b	4-20
R ₂ H _a C—CR ₂ H _b	2-12
RH _a C=CRH _b	cis: 7-12; trans:12-18
R ₂ C=CH _a H _b	0.5-3
H _a (CO)—CR ₂ H _b	1-3
RH _a C=CR—CR ₂ H _b	0.5-2.5

IR スペクトル表

Vibrational mode 振動モード	σ (cm ⁻¹)	Intensity 強度
alcohol O—H (stretching) アルコール O—H (伸縮)	3600-3200	strong 強い
N—H (stretching) N—H (伸縮)	3500-3350	strong 強い
≡C—H (stretching)	3300	strong

$\equiv\text{C}-\text{H}$ (伸縮)		強い
$=\text{C}-\text{H}$ (stretching)	3100-3000	weak
$=\text{C}-\text{H}$ (伸縮)		弱い
$\text{C}-\text{H}$ (stretching)	2950-2840	weak
$\text{C}-\text{H}$ (伸縮)		弱い
$\text{C}\equiv\text{N}$ (stretching)	2250	strong
$\text{C}\equiv\text{N}$ (伸縮)		強い
$\text{C}=\text{C}$ (stretching)	2260-2100	variable
$\text{C}=\text{C}$ (伸縮)		様々である
$\text{C}=\text{O}$ (stretching)	1850-1690	strong
$\text{C}=\text{O}$ (伸縮)		強い
alkene $\text{C}=\text{C}$ (stretching)	1680-1600	weak
アルケン $\text{C}=\text{C}$ (伸縮)		弱い
aromatic $\text{C}=\text{C}$ (stretching)	1600-1400	weak
芳香族 $\text{C}=\text{C}$ (伸縮)		弱い
CH_2 (bending)	1480-1440	medium
CH_2 (変角)		中程度
CH_3 (bending)	1465-1440;1390-1365	medium
CH_3 (変角)		中程度
$\text{C}-\text{O}-\text{C}$ (stretching)	1250-1050 (several)	strong
$\text{C}-\text{O}-\text{C}$ (伸縮)	1250-1050 (複数)	強い
$\text{C}-\text{OH}$ (stretching)	1200-1020	strong
$\text{C}-\text{OH}$ (伸縮)		強い

可視光スペクトル



図 1

Broad Band Absorption Filter Spectra: 広帯域光吸収フィルターのスペクトル

Transmission (Percentage): 透過率 (パーセント%)

Wavelength (Nanometers): 波長 (ナノメートル nm)

Blue Region: 青色領域

Green Region: 緑色領域

Red Region: 赤色領域

安全指針

国際化学オリンピックに参加するすべての生徒は、化学実験室で適切かつ安全に実験を行う方法に関する基礎知識を身につけている必要がある。

参加するすべての生徒は、関連する全ての規則と安全手順を認識し、自身の国の特定の安全規則を遵守する必要がある。実験試験中の安全手順に疑問がある場合、生徒は遠慮なく最寄りの監督者に指示を仰ぐこと。

準備問題の実験問題は、適切な設備の整った化学実験室で、メンターの監督のもとでのみ行うことを想定している。各国で規制が異なるため、安全や廃棄物に関する具体的かつ詳細な指示は含めていない。メンターは、必要に応じて問題を慎重に調整する必要がある。

使用する化学物質に関する GHS 危険有害性情報（H 則）は、問題中に示されている。その意味は以下の通りである：

物理的危険性

- H225 引火性の高い液体および蒸気
- H226 引火性の液体および蒸気
- H251 自己発熱； 火災のおそれ
- H272 火災助長のおそれ； 酸化性物質
- H290 金属腐食のおそれ

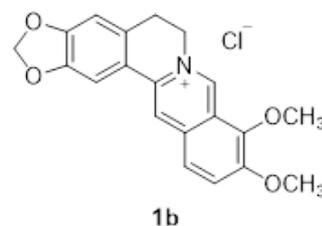
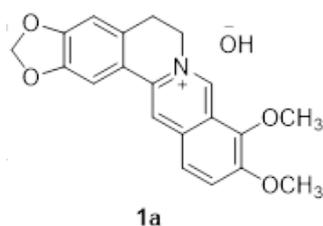
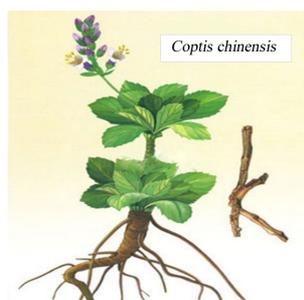
健康有害性

- H301 飲み込むと有毒
- H302 飲み込むと有害
- H303 飲み込むと有害のおそれ
- H304 飲み込んで気道に侵入すると生命に危険のおそれ
- H311 皮膚に接触すると有毒
- H312 皮膚に接触すると有害
- H314 重篤な皮膚の薬傷・眼の損傷
- H315 皮膚刺激

- H316 軽度の皮膚刺激
- H317 アレルギー性皮膚反応を起こすおそれ
- H318 重篤な眼の損傷
- H319 眼への強い刺激
- H331 吸入すると有毒
- H332 吸入すると有害
- H333 吸入すると有害のおそれ
- H334 吸入するとアレルギー、喘息または、呼吸困難を起こすおそれ
- H335 呼吸器への刺激のおそれ
- H336 眠気やめまいのおそれ
- H341 遺伝性疾患のおそれの疑い
- H350 発がんのおそれ
- H351 発がんのおそれの疑い
- H371 臓器の障害のおそれ

実験課題 P1. ベルベリンの抽出と構造解析

ベルベリン **1** (訳注: 黄蘗の主成分) は、*Coptis chinensis* (訳注: 中国原産のオウレン属の植物) などの植物から得られる第 4 級アンモニウム塩の形をしたプロトベルベリン型アルカロイドである。**1a** は水酸化物である。ベルベリンは中国では古くから大衆薬 (家庭薬) として使用されていて、抗菌活性、抗原虫活性、下痢止め、強心作用など、さまざまな生物活性・薬理活性がある。ベルベリン塩化物 **1b** は黄色で、冷水には溶けないがエタノールや沸騰水に溶ける。(訳注: **1a** を塩酸で中和すると **1b** が得られることから原文では塩酸塩となっている。)



この問題では、*Coptis chinensis* の根を粉末にしたものからソックスレー抽出器を用いてベルベリン **1a** を抽出し、塩化物 (**1b**) に変換する。プロトン核磁気共鳴法 ($^1\text{H NMR}$) により **1b** の構造を解析する。

試薬

化学式	名称	状態	GHS 危険有害性情報
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	無水エタノール	液体	H225, H316, H319
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	アセトン	液体	H225, H316, H319, H336
HCl	塩酸 (1 mol L^{-1})	水溶液	H290, H314, H318
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	酢酸 (1%)	水溶液	H315, H319
H_2O	蒸留水	液体	危険性なし

器具・装置

保護メガネ	1 個
丸底フラスコ (50 mL)	4 個
冷却管	2 本
スパチュラ	3 本
天秤 (0.01 g の精度)	1 台
マグネチックスターラーと回転子	1 つずつ
パスツールピペット	4 本
ロート (小)	1 個
吸引ビン	1 個
アスピレーター	1 個
スタンド	1 本
ビーカー (100 mL)	2 個
三角フラスコ (100 mL)	2 個
ガラス棒	1 本
ロータリーエバポレーター	1 台
ソックスレー抽出器	1 個
スポイト	1 本
ハサミ	1 個
メスシリンダー (25 mL)	1 個
NMR チューブ (試料管)	1 本
時計皿	1 枚
氷浴	1 個
赤外線ランプ (800 W)	1 台
NMR 分光計	1 台

その他の消耗品

薬包紙

ろ紙

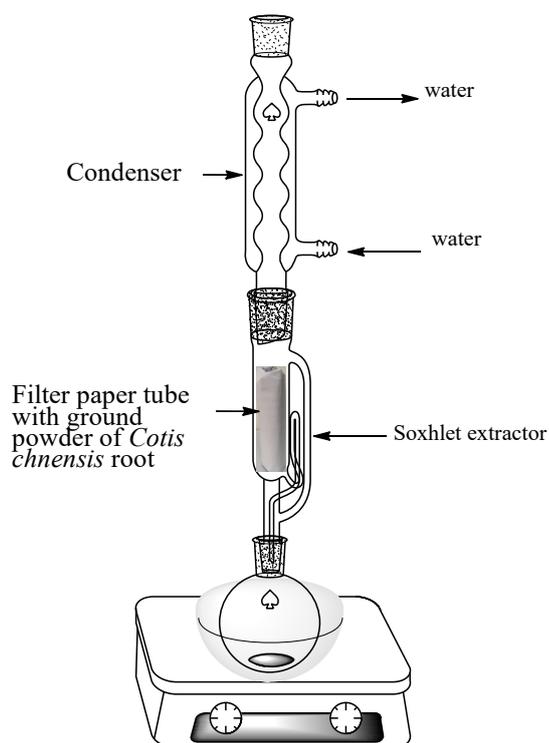
脱脂綿

Coptis chinensis の根 (代わりにメギ科、ケマンソウ科、ケシ科の植物を用いても良い)

(訳注：いずれもベルベリン **1a** を含むキンポウゲ目の植物である)

実験手順

1. 下図のように、ソックスレー抽出器と冷却管を取り付けた丸底フラスコ (50 mL) に 20 mL のエタノールを入れる。(訳注：エタノールは冷却管の上部から入れるのではなく、丸底フラスコに直接入れる)



Condenser: 冷却管、warer: 冷却水、Soxhlet extractor: ソックスレー抽出器 (円筒ろ紙の中に *Coptis chinensis* の根を粉碎した粉末を入れる)

2. ソックスレー抽出器の中の円筒ろ紙にすりつぶした *Coptis chinensis* の根の粉末 2 g を入れる。攪拌しながら水浴加熱で還流し、1 時間連続抽出する。
3. ソックスレー抽出器から丸底フラスコに溶液が完全に出たところで、直ちに加熱を

止める。

- 丸底フラスコを冷却した後、ロータリーエバポレーターで丸底フラスコ内のエタノールを可能な限り留去する。
- 丸底フラスコに 6 mL の酢酸水溶液 (1%) を加え、加熱して残渣を溶解する。
- 溶液を熱いうちにろ過して不溶物を取り除く。
- 塩酸 (1 mol L^{-1}) を、ろ液が濁るまで滴下する。
- ろ液を氷浴で冷却すると黄色の針状結晶が析出する。
- 結晶を吸引ろ取し、蒸留水で 2 回 (2 mL×2) とアセトンで 1 回 (2 mL) 洗浄する。
- 結晶を時計皿に移し、赤外線ランプ下で 15 分間乾燥させ、生成物 **1b** を秤量する。

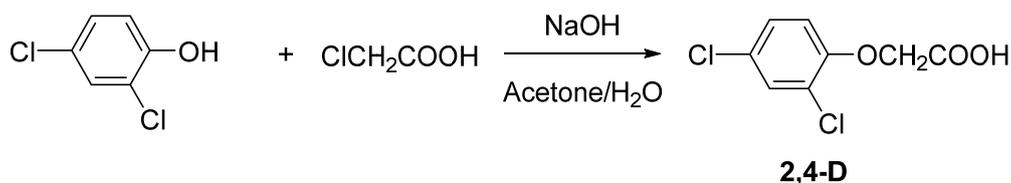
問題

- 収率を求めよ。
- 測定してもらった $^1\text{H NMR}$ スペクトルを解析せよ。

実験課題 P2. 2,4-ジクロロフェノキシ酢酸の合成と純度の評価

2,4-ジクロロフェノキシ酢酸 (2,4-D) は、広葉樹の雑草を駆除するために使用される浸透性除草剤であり、実験室での植物研究においても頻繁に使用される合成オーキシンでもある。2,4-D は古くから広範囲で使用されているため、環境への影響に関して最もよく研究されている除草剤の一つである。通常、2,4-D は指示書き通りに使用すれば人の健康や環境に害を及ぼすことはない。

近年、2,4-D の合成と応用に中国の多くの科学者が注目している。この課題では、2,4-ジクロロフェノールと 2-クロロ酢酸を原料として 2,4-D を合成し、酸塩基滴定により純度を評価する。



Acetone: アセトン

試薬

化学式	名称	状態	GHS 危険有害性情報
C ₆ H ₄ Cl ₂ O	2,4-ジクロロフェノール (教員から提供される)	固体	H302, H311, H314
C ₂ H ₃ ClO ₂	2-クロロ酢酸 (教員から提供される)	液体	H301, H311, H314, H318, H335
HCl	塩酸 (1 mol L ⁻¹)	水溶液	H301, H314, H318
NaOH	水酸化ナトリウム水溶液 (8 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H314, H318
C ₃ H ₆ O	アセトン	液体	H225, H316, H319, H336
NaOH	水酸化ナトリウム標準溶液 (0.1 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H314, H318
HCl	塩酸標準溶液	水溶液	H301, H314, H318

	(0.1 mol L ⁻¹)		
C ₂₀ H ₁₄ O ₄	フェノールフタレイン (PP) (0.2%エタノール溶液)	エタノール 溶液	H225, H319
Na ₂ CO ₃	無水炭酸ナトリウム	固体	H303, H319
C ₁₄ H ₁₄ N ₃ NaO ₃ S	メチルオレンジ (MO) (0.1%水溶液)	水溶液	危険性なし
H ₂ O	蒸留水	液体	危険性なし

器具・装置

保護メガネ	1 個
スタンド	1 本
三口丸底フラスコ (100 mL)	1 個
平栓	3 個
温度計(150 °C)	1 個
冷却管	1 本
ブフナーロート	1 個
ガラス棒	1 個
ハサミ	1 個
天秤 (0.01 g の精度)	1 台
天秤 (0.1 mg の精度)	1 台
スパチュラ	2 本
ビーカー (250 mL)	2 本
マグネチックスターラーと回転子	1 つずつ
スポイト	1 本
ゴム製ブロアー (天秤の周りにこぼれた試薬を吹き飛ばすためのゴム球)	1 個
メスシリンダー (25 mL)	1 個
時計皿	1 枚
氷浴	1 個
吸引ビン	1 個
アスピレーター	1 個
三角フラスコ (250 mL)	3 個
テフロンコック付きビュレット (50 mL)	2 本
ビュレットスタンド	1 台
ホールピペット (25 mL)	1 本
ピペッター	1 個

秤量瓶 (25 × 25 mm)	3 個
赤外線ランプ (800 W)	1 台

その他の消耗品

pH 試験紙

ろ紙

薬包紙

実験手順

I. 2,4-ジクロロフェノキシ酢酸の合成

1. 三口フラスコ (100 mL) に 2-クロロ酢酸 4.8 mL (80 mmol) を加え (この操作は教員に依頼すること)、さらにアセトン 20 mL、NaOH 水溶液 20 mL (8 mol L^{-1}) を加えて室温下で 5 分間攪拌する。
2. 13.0 g の 2,4-ジクロロフェノール (80 mmol) を反応容器に加え (この操作は教員に依頼すること)、90 °C で 1 時間攪拌する。
3. 反応液をビーカー (250 mL) に注ぎ、pH が 3~4 になるまで塩酸 (1 mol L^{-1}) を滴下する。
4. 氷浴で溶液を冷却し固体を析出させる。
5. 固体を吸引ろ過で回収し、蒸留水 (5 mL×2) で生成物を洗浄する。
6. 赤外線ランプを当てながら 15 分間乾燥させ、生成物を秤量する。

II. NaOH 標準溶液の較正

7. 三角フラスコ (250 mL) にフタル酸水素カリウム 0.4~0.6 g を「風袋差し引き」で正確に量り、蒸留水 50 mL を加える。

(訳注: decrement method を「風袋差し引き」と訳した。容器の質量を量り、試料を入れて質量を量り、その差を試料の質量とする方法。薬包紙や秤量瓶などで試料を直接量ったときに、吸湿や器壁への付着などで正確な値が得られないことを防ぐためである。)

- フタル酸水素カリウムが完全に溶解した後、PP を 2 滴加え、NaOH 標準溶液で終点まで滴定する。この滴定を 3 回繰り返す、NaOH 標準溶液の濃度を算出する。

III. HCl 標準溶液の較正

- 三角フラスコ (250 mL) に 0.20~0.25 g の無水炭酸ナトリウムを「風袋差し引き」で正確に量り、30 mL の蒸留水を加える。
- 炭酸ナトリウムが完全に溶解した後、MO を 2 滴加え、HCl 標準溶液で終点まで滴定する。この滴定を 3 回繰り返す、HCl 標準溶液の濃度を算出する。

IV. 生成物の純度分析

- 三角フラスコに 0.25~0.30 g の生成物を「風袋差し引き」で正確に量り、25.00 mL の NaOH 標準溶液を加えて 1 分間振り混ぜる。2 滴の PP を加え、HCl 標準溶液で終点まで滴定する。この滴定を 3 回繰り返す。

問題

- 操作 I における副反応を反応式で書け。
- I-6 の実験結果に基づいて収率を計算せよ。
- 生成物の純度を計算せよ。
- 生成物を直接 NaOH 標準溶液で滴定できないのはなぜか。
- 手順 11 で MO ではなく PP が指示薬として使われているのはなぜか。

実験課題 P3. 酵素によるタンパク質の消化

生命の中心分子として、タンパク質はほとんど全ての生物学的プロセスに関与している。トリプシンは、多くの脊椎動物の消化器系に通常見られる主要なタンパク質分解酵素のひとつである。トリプシンはタンパク質の短鎖ペプチドやアミノ酸への加水分解を触媒し、人体が新しいタンパク質を合成するための原料を提供する。

本課題では、カゼイン($M_w = 24$ kDa, 分子量 24,000)をアミノ酸に加水分解する触媒として、トリプシン(trypsin, TYP)を用いる。アミノ酸の濃度はホルムアルデヒド滴定法によって決定する。続いて、ラインウィーバー・バークプロット(Lineweaver-Burk plot、二重逆数プロット)を用いて、与えられた実験条件における TYP の最大反応速度(V_{\max})とミカエリス定数(K_m)を求める。

ミカエリス・メンテン式 (Michaelis–Menten equation) は次のとおりである。

$$V = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]}$$

両辺の逆数を取ると、

$$\frac{1}{V} = \frac{K_m + [S]}{V_{\max} [S]} = \frac{K_m}{V_{\max}} \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{\max}}$$

ここで、

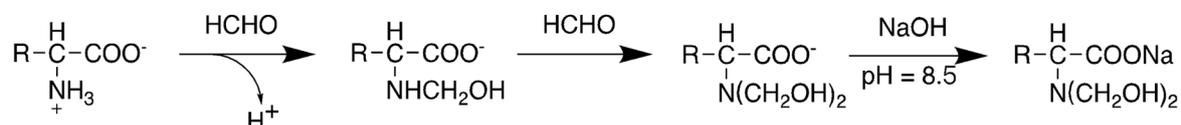
V : 反応速度

K_m : ミカエリス定数

V_{\max} : 最大反応速度

$[S]$: 基質濃度

ホルムアルデヒド滴定法は、ホルムアルデヒド共存下でアミノ酸を水酸化ナトリウムで滴定する方法である。反応スキームを以下に示す。



これらの化学反応によってアミノ酸の H^+ が遊離するため、水酸化ナトリウムで滴定することにより、溶液中のアミノ酸濃度を正確に決定することができる。

試薬

物質	名称	状態	GHS 危険有害性情報
H_2O	脱イオン水	液体	危険性なし
TYP	1 mg mL^{-1} TYP 溶液	水溶液	H315, H319, H334, H335
$\text{CH}_2\text{O}-\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$	ホルムアルデヒド-フェノールフタレイン混合溶液 (pH 7.0), 100 mL (詳細は指導教員向け実験手順に記載)	水溶液	H302, H315, H317, H318, H332, H341, H350, H371
カゼイン	三角フラスコに入った、濃度がそれぞれ異なるカゼイン溶液 (A-C) (下表参照)	水溶液	危険性なし
$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$	0.2%フェノールフタレインエタノール溶液 (PP)	エタノール溶液	H225, H319
NaOH	0.1 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液	水溶液	H290, H314

カゼイン溶液(Casein, A-C)のタンパク質濃度は次のとおりである。

記号	A	B	C
カゼイン濃度 (g L^{-1})	10	20	30

ガラス器具と装置

三角フラスコ(150 mL)	3 個
三角フラスコ(50 mL)	9 個
ビュレット(50 mL)	1 個
ホールピペット(10 mL)	3 本
ピペッター	1 個
プラスチック製パストゥールピペット	20 本
水浴	1 個
「廃液」と記載された廃液入れ容器(1 L)	1 本

指導教員向け実験手順

ホルムアルデヒド-フェノールフタレイン混合溶液 (pH 7.0) は、実験前に指導教員が調製しておく必要がある。

1. 36% ホルムアルデヒド溶液の原液を脱イオン水で希釈して、10% (m/v, 質量/体積) ホルムアルデヒド溶液 100 mL を調製する。
2. 0.2% ホルムアルデヒド-フェノールフタレイン混合溶液 1 mL を 10%ホルムアルデヒド溶液に加える。
3. 2 で調製した溶液を、 0.1 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液で滴定する。混合溶液の色が明るいピンク色へと変化するのが最初に認められた点を滴定の終点とする。
4. 溶液 100 mL をガラス瓶に移し、“ホルムアルデヒド-フェノールフタレイン混合溶液 (pH 7.0)”と表記する。

実験手順

I. トリプシンによるカゼインの触媒的加水分解

1. 50 mL の三角フラスコ 3 つに、それぞれホルムアルデヒド-フェノールフタレイン混合溶液を 5 mL ずつ加える。フラスコに 1 から 3 の番号を振る(フラスコ **1-3**)。
2. 150 mL の三角フラスコ 1 つに、カゼイン溶液 **A** 50 mL を加える。フラスコを 37 °C の水浴に入れて 10 分間静置する。
3. 手順 2 と同時に、トリプシン溶液の入ったボトルを 37 °C の水浴に入れて 10 分間静置する。
4. トリプシン溶液 5 mL を、先にカゼイン溶液 **A** を入れたフラスコに加える。よく混合し、タイマーをスタートさせる。
5. 2 分後、4 分後、6 分後に反応溶液 10 mL を採取し、それぞれ 1 から 3 の番号を振った 50 mL フラスコ(フラスコ **1-3**)に移す。
6. 実験を完結するために、手順 1-5 をカゼイン溶液 **B**、**C** についても同様に行う。

II. ホルムアルデヒド滴定法による、加水分解後のアミノ酸濃度の定量

7. 試料が入ったそれぞれの 50 mL 三角フラスコに、フェノールフタレイン エタノール溶液を 10 滴ずつ加える。

8. 50 mL 三角フラスコの内容物を 0.1 mol L^{-1} NaOH 水溶液で滴定する。溶液の色が最初に明るいピンク色に変化したところを滴定の終点とする。終点までに滴下した NaOH 水溶液の体積 (mL) を下の表に書き出す。

サンプルと フラスコ番号	カゼイン溶液 A			カゼイン溶液 B			カゼイン溶液 C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
NaOH 水溶液の 体積/ mL									

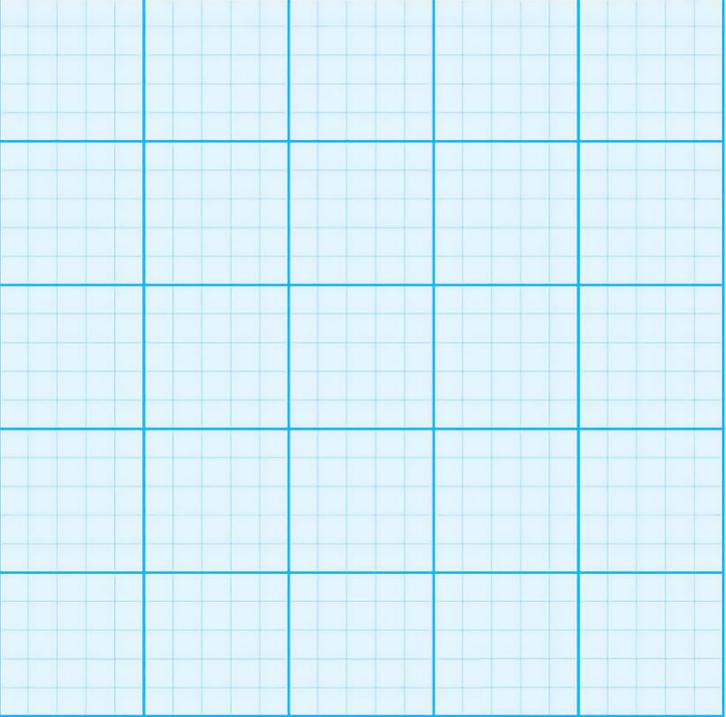
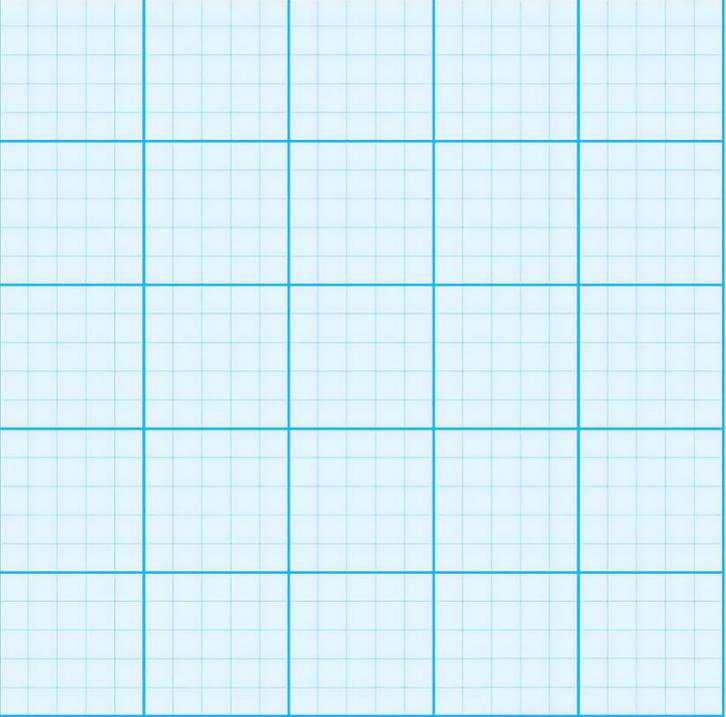
9. 50 mL と 150 mL の三角フラスコ中の全ての溶液を、「廃液」と記載された廃液入れ容器に入れる。

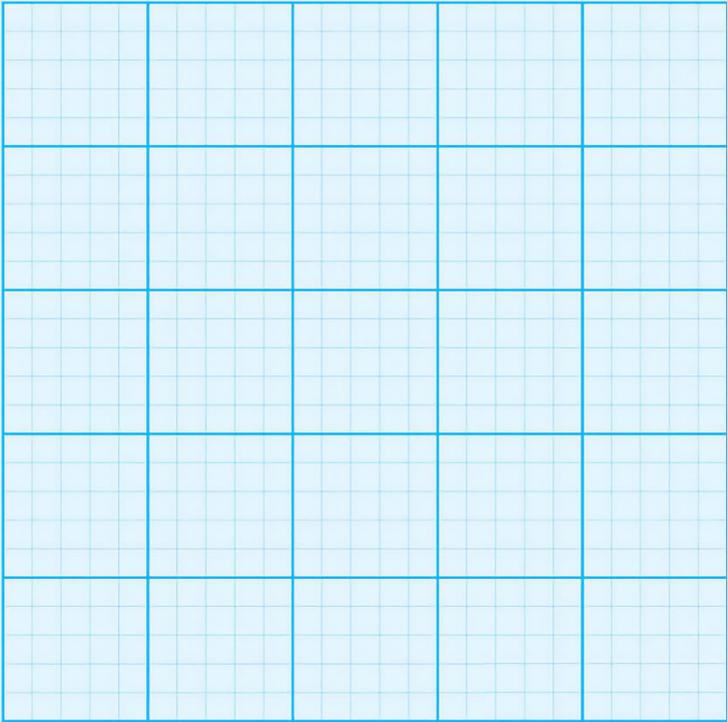
データ解析と問題

1. 滴定結果に基づいて、混合物中のアミノ酸の濃度を計算せよ。

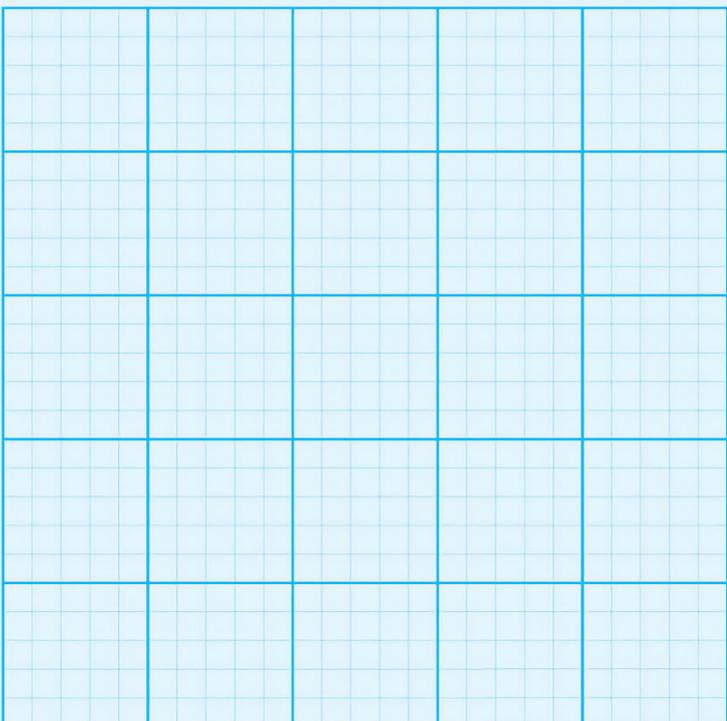
サンプルと フラスコ番号	カゼイン溶液 A			カゼイン溶液 B			カゼイン溶液 C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
アミノ酸の濃度 / mol L^{-1}									

2. 上の表のデータに基づいて、アミノ酸の濃度を時間に対してプロットし、酵素によるタンパク質加水分解反応の初速度 (v_{10} , v_{20} , v_{30}) を計算せよ。

	$v_{10} = \quad \text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
	$v_{20} = \quad \text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

	$v_{30} = \quad \text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$
--	---

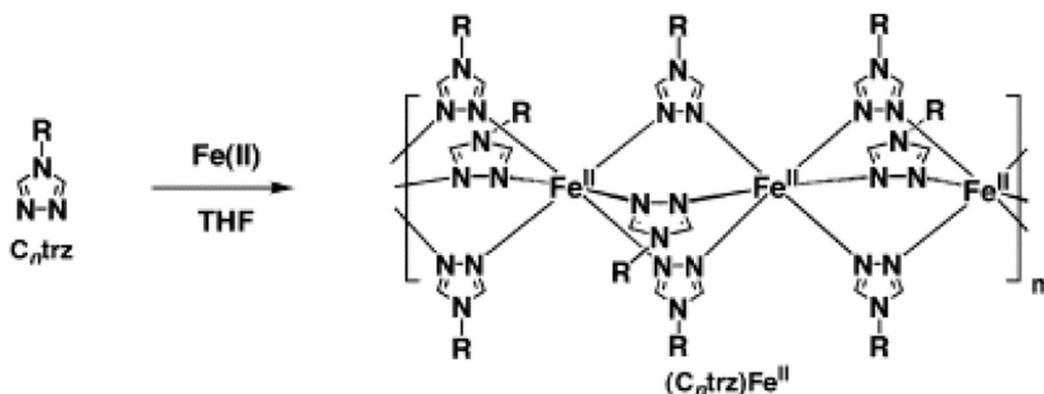
3. ラインウィーバー・バークプロット（二重逆数プロット）を用いて、与えられた実験条件における TYP の最大反応速度 (V_{\max}) とミカエリス定数 (K_m) を求めよ。

	$K_m = \quad \text{mol L}^{-1}$
	$V_{\max} = \quad \text{mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

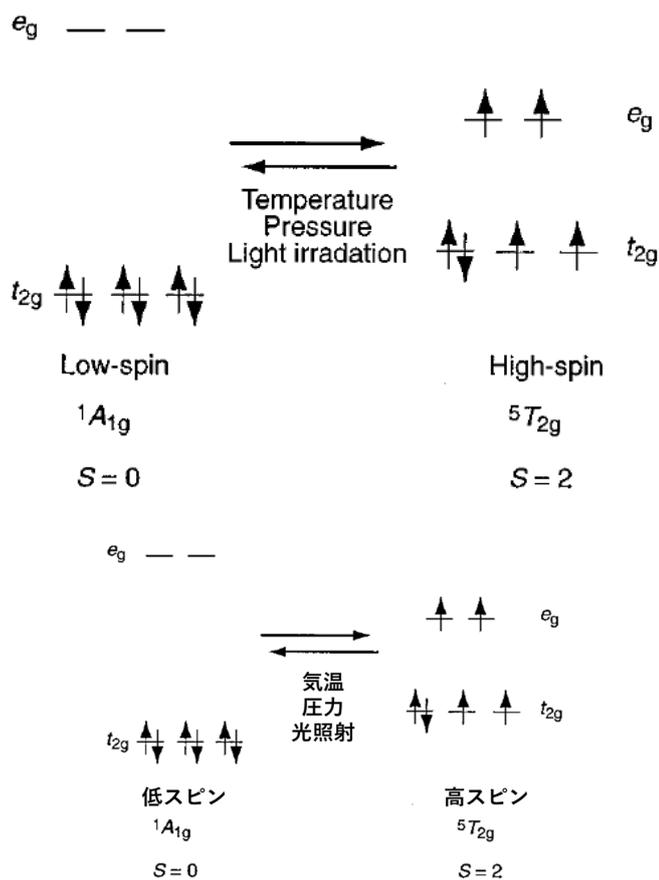
実験課題 P4. 熱変色するスピנקロスオーバー特性をもつ素材の合成

錯体の中心イオンの殆どは部分的に満たされた d 軌道を持っている。特定の配位子場において、 d 電子は高スピン、低スピンという 2 種類の配置を取りうる。外部環境が変化すると d 電子配置の相転移が起こり、スピנקロスオーバー (SC) 現象と呼ばれるスピン状態の変化をもたらす。この現象により色や磁性、その他の性質が変化する。

配位化合物において、中心イオンの配位子場の強さは配位子や配位モード、溶媒の影響を受ける。八面体の配位子場で中心イオンの電子配置が $d^4 \sim d^7$ であり、かつ結晶場分裂パラメーター Δ の大きさがスピン対生成エネルギー P に近いとき、金属イオンは外部環境 (温度、圧力、光励起など) によって高スピン状態 (HS) と低スピン状態 (LS) の間で SC を起こす場合がある。最もよく研究された SC 錯体は $[\text{Fe}^{\text{II}}(4\text{-R-trz})_3]_m^{2+}$ (4-R-trz = 4 位置換-1,2,4-トリアゾール) である。



これらの錯体では鉄(II)イオンは八面体配位子場で $3-d^6$ の電子配置を取っており (下図参照)、SC が起こる条件を満たしている。 $d-d$ 遷移はどちらのスピン状態でも起こり、それぞれ特定の波長で弱い吸収を示す (スピン許容で対称禁制な遷移だから)。例えば $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{BF}_4)_2\}_m$ (Htrz = 1H-1,2,4-triazole) は 345 K より低温では LS 状態であり、510 nm に特定の吸収を持つ。一方 345 K より高温では、赤外領域に吸収を持つ HS 状態となる。このような変化の過程は温度に対して非常に敏感に応答し、また再現性が高い。



試薬

化学式	名称	状態	GHS 危険有害性情報
$\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	過塩素酸鉄(II)水和物	固体	H272, H315, H319, H335
$\text{Fe}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	テトラフルオロホウ酸鉄(II) 六水和物	固体	H302, H312, H314, H318, H332
$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$	L-アスコルビン酸	固体	危険性なし
$\text{C}_2\text{H}_3\text{N}_3$	1H-1,2,4-トリアゾール (Htrz)	固体	H302, H319
$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	無水エタノール	液体	H225, H319

ガラス器具・装置

- ・ はかり 1 個
- ・ 攪拌子、ヒーター付きマグネチックスターラー 1 式
- ・ アスピレーター 1 台

- ・ブフナー漏斗 1 個
- ・吸引瓶 1 個
- ・オーブン 1 個
- ・ビーカー(50 mL) 1 個
- ・ピペット(1000 μ L) 1 個
- ・ピペット(2 mL) 1 個
- ・ガラス棒 1 本
- ・試験管(5 mL) 2 個
- ・温度計付きウォーターバス 1 個

その他の器具

- ・ろ紙
- ・薬包紙

実験手順

I. $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{BF}_4)_2\}_m$ の合成

1. 50 mL ビーカーに 0.88 g の $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ と 0.54 g の 1H-1,2,4-トリアゾールを加える。
2. Fe^{2+} の酸化防止剤として 0.05 g のアスコルビン酸を加える。
3. 25 mL の無水エタノールを加え、室温で 15 分かき混ぜる。
4. 吸引ろ過により固体を回収し、無水エタノール 2 mL で 2 回洗浄する。
5. 生成物を 50 $^{\circ}\text{C}$ のオーブンで 15 分間乾燥させる。

II. $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{ClO}_4)_2\}_m$ の合成

6. 50 mL ビーカーに 0.89 g の $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ と 0.54 g の 1H-1,2,4-トリアゾールを加える。
7. Fe^{2+} の酸化防止剤として 0.05 g のアスコルビン酸を加える。
8. 25 mL の無水エタノールを加え、室温で 15 分かき混ぜる。
9. 吸引ろ過により固体を回収し、無水エタノール 2 mL で 2 回洗浄する。
10. 生成物を 50 $^{\circ}\text{C}$ のオーブンで 15 分間乾燥させる。

III. 二つの錯体のスピン変換特性の確認

11. 二本の試験管にそれぞれ $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{BF}_4)_2\}_m$ と $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{ClO}_4)_2\}_m$ の粉末を少量取る。
12. ウォーターバスで試験管を熱する。様子を観察し、試験管内の生成物の色が変わったときの温度を記録する。
13. 試験管をウォーターバスから取り出し、室温まで冷やす。様子を観察し、試験管内の生成物の色が変わったときの温度を記録する。

結果

錯体	収量(g)	室温における 錯体の色	室温における Fe^{2+} のスピン 状態	SC 温度
$\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{BF}_4)_2\}_m$				
$\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{ClO}_4)_2\}_m$				

問題

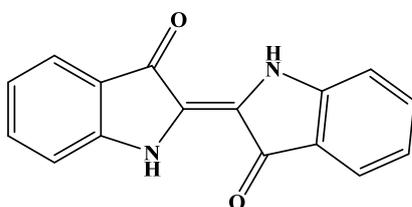
1. 手順 I での化学反応式を書き、収率 (%) を計算せよ。
2. 手順 II での化学反応式を書き、収率 (%) を計算せよ。
3. 実験の結果から、室温での錯体 $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{BF}_4)_2\}_m$ と $\{[\text{Fe}(\text{Htrz})_3](\text{ClO}_4)_2\}_m$ の磁気モーメント (μ) を計算すると、 μ_B (ボーア磁子) 単位でそれぞれどのような値となるか。その組み合わせとして適切なものを、次の (a)~(d) から選べ。

(a) 0 と 0 (b) 0 と 4.90 (c) 3.87 と 3.87 (d) 4.90 と 4.90

実験課題 P5. 板藍根からのインディゴの抽出、化学合成と絞り染め体験

インディゴは、古来より利用された繊維染料のひとつであり、今なお世界中で広く用いられる青色染料である。伝統的なデニムの青はインディゴ染色によるものである。古代においては、人類は種々の植物から天然インディゴを抽出、加工してきた。植物の例として、板藍根(ばんらんこん、radix isatidis)、タデ属インディカ(*polygonum indica*)、タイセイイ(*isatis indigotica*)、ウッドブルー、ホースブルーなどが挙げられる。しかしながら、その高価さゆえに、インディゴ染料が広範に使用されることはなかった。1879年に、バイヤー(Baeyer)がインディゴの化学合成法を開発した。これは今日ではバイヤー-ドリュースェンインディゴ合成法(Baeyer-Drewsen indigo synthesis)と呼ばれる

漢方薬の原料として広く用いられる板藍根は、清熱、解毒、涼血、咽頭痛の緩和などの薬効がある。それと同時に、染料としても長い間利用されており、その用途は多岐にわたる。板藍根の主要な染色成分はインディゴである。インディゴは青色の粉末であり、水やアルコールにわずかに溶ける。分子式は $C_{16}H_{10}N_2O_2$ 、融点は $390-392^{\circ}C$ である。構造式は下記のとおりである。



インディゴは板藍根の中ではインドキシルグリコシドとして存在する（訳注：原文では indigo glucoside と記載されていたが、インドキシル β -D-グルコシド、インディカンのことを指していると思われる）。インディゴは2分子のインドキシルグリコシドが縮合して生成する。インドキシルグリコシドは水やエタノールに容易に溶解するが、インディゴはわずかにしか溶けない。

化学試薬

化学式	名称	状態	GHS 危険有害性情報
CH ₄ N ₂ O ₂ S	二酸化チオ尿素	固体	H251, H302, H315, H319, H335
CaO	酸化カルシウム	固体	H315, H318
NaOH	水酸化ナトリウム	固体	H290, H314, H318
NaCl	塩化ナトリウム	固体	危険性なし
NaOH	水酸化ナトリウム水溶液 (3 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H314, H318
C ₂ H ₅ OH	エタノール水溶液 (75%)	水溶液	H225, H319
C ₂ H ₅ OH	エタノール水溶液 (95%)	水溶液	H225, H319
H ₂ O ₂	過酸化水素水 (30%)	水溶液	H302, H315, H318, H333, H335
C ₃ H ₇ NO	N,N-ジメチルホルムアミド (DMF)	液体	H226, H303, H312, H319, H332
C ₇ H ₅ NO ₃	2-ニトロベンズアルデヒド	固体	H302, H315, H319, H335
C ₃ H ₆ O	アセトン	液体	H225, H316, H319, H336
CHCl ₃	トリクロロメタン (クロロホルム)	液体	H302, H315, H319, H331, H351
C ₁₆ H ₁₀ N ₂ O ₂	インディゴ	固体	H335
H ₂ O	蒸留水	液体	危険性なし

ガラス器具・装置

- 1 精密天秤 (最小表示 0.1 g)
- 3 ガラスビーカー (250 mL × 2, 100 mL)
- 3 メスシリンダー (100 mL, 50 mL, 10 mL)

- 1 三角フラスコ (50 mL)
- 1 乳鉢
- 1 ガラス棒
- 1 ブフナーろうと
- 1 吸引瓶
- 1 パスツールピペット
- 1 メスフラスコ, 10 mL
- 1 紫外可視分光光度計 (訳注:問題文に登場せず)
- 1 石英分光セル (訳注:問題文に登場せず)
- 1 はさみ
- 1 ピンセット

その他の使用品

pH 試験紙

薄層クロマトグラフィー(TLC)用プレート、キャピラリー、展開槽

薬包紙

ろ紙

スパチュラ

綿布

板藍根の粉末あるいは枝葉[タデ属インディカ(*Polygonum indica*)、タイセイ(*Isatis indigotica*)、ウッドブルー、ホースブルーでも代替可能]

実験手順

注意: (a) 抽出実験では板藍根を一定の時間浸潤させる操作を要するが、この間目を離してはいけない。(b)手袋を着用すること! 過酸化水素水には強力な酸化作用がある。もし皮膚に付着した場合は、ただちに流水で洗い流すこと。(訳注:皮膚が白く変色し、激しい痛みを伴う)(c)二酸化チオ尿素を加えた後は、染色液は強アルカリ性で強い還元性を持つ。やけどに注意すること!

I. 板藍根からのインディゴの抽出

1. 板藍根粉末 5.0 g を 250 mL ビーカーに加える。(新鮮な板藍根の枝葉 15.0 g で代替しても良い。この場合、前もって細かく切断しすりつぶしておくこと)
2. 75%エタノール水溶液 100 mL を加え、30 分間浸潤させる。(補足:この間、下の写真に示すように、絞り染めに使う布を糸で括っておくとよい。布は綿布が望ましい)



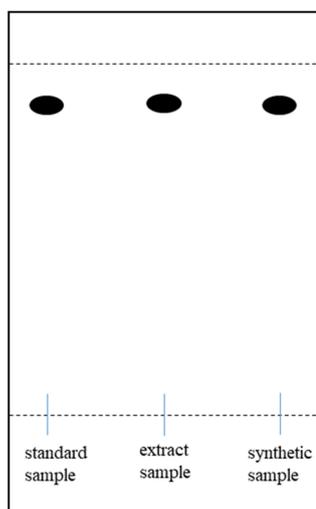
3. 蒸留水 50 mL と酸化カルシウム 2.0 g をビーカーに加えてよく混ぜる。
4. 3 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液を滴下して pH が 9-11 の範囲に収まるように調整し、30 秒待つ。
5. 30%過酸化水素水を滴下する。溶液中に多量の青色の物質が出現して、インディゴの青色沈殿が生じる。
6. 吸引ろ過して、暗青色の固体をろ取する。母液は染色用に保存する。ろ取した固体を 95%エタノール水溶液 (2 mL × 3) で洗浄し、続けて蒸留水 (2 mL × 3) で洗浄する。
7. 80 °C のオーブンで 1 時間加熱して、高純度のインディゴ粉末を得る。

II. インディゴの合成

8. 2-ニトロベンズアルデヒド 0.1 g とアセトン 2 mL を 50 mL 三角フラスコに加え、固体が解けるまで振とうさせる。
9. 蒸留水 25 滴(約 1.25 mL)と 3 mol L^{-1} 水酸化ナトリウム水溶液 15 滴(約 0.75 mL)をゆっくり加え、インディゴの暗色沈殿を形成させる。そのまま静置し、10 分間反応させる。
10. 吸引ろ過で結晶をろ取し、ろ液が無色になるまで蒸留水で結晶を洗浄する。
11. 結晶を 95%エタノール水溶液 2 mL で 3 回洗浄する。

III. インディゴの分析

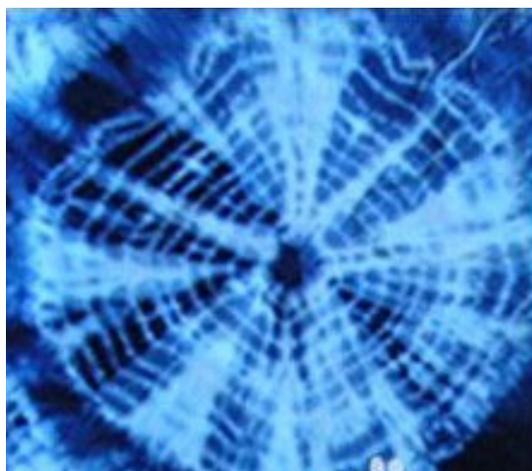
12. TLC 分析: 展開溶媒はクロロホルム:エタノール = 9:1 (V/V)。下の図に示すように、Rf 値、スポットの形状、色が標品と一致するかを確認する。



訳注) standard sample: 標品、extract sample: 抽出品、synthetic sample: 合成品

IV. インディゴを使った絞り染め

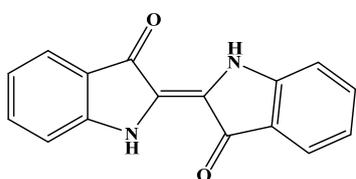
13. 二酸化チオ尿素 0.70 g、水酸化ナトリウム 0.70 g、塩化ナトリウム 0.10 g を板藍根の母液に加え、均一になるようにかき混ぜる。
14. 絞った布を溶液に 5 分間浸す。(デザインはあなた次第である。)
15. 布を取り出して 100 mL ビーカーに入った 30%過酸化水素水 40 mL に浸す。
16. 布を取り出して洗濯用洗剤に 5 分間浸し、余分な染料を洗い流す。
17. 室温で乾燥させて、下の写真のようにまだら模様染まった布を得る。



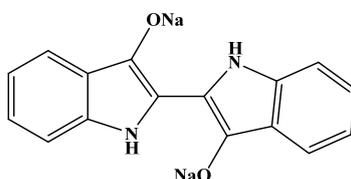
問題

1. 二酸化チオ尿素は染色過程で最初に加える。これはインディゴの水への溶解性を高め、布繊維にしっかりと固着させるためである。このときインディゴはインディゴ白へと変換される。この構造式は(1)である。その後 NaOH を加えると、構造式は(2)となる。次に NaCl を加えると、構造式は(3)となる。最後に過酸化水素水に浸すことで、構造式は(4)となる。

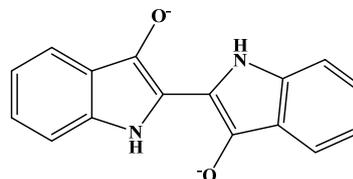
構造式(1)~(4)を書け。



A



B



C

2. インディゴ染色で起きる化学反応を記述せよ。

3. **A, B, C** の溶解性の順番は、() < () < () である。

実験課題 P6. 台所の生ごみからカーボンドットを合成する

カーボンドットは球形ないしは球形に近い新しいタイプの量子ドットであり、その大きさは2-10 nm程度である。カーボンドットは毒性が低く、優れた生体適合性と水溶性をもつため、バイオマーカーやバイオイメージングの分野で広く応用されている。

カーボンドットは、一般に水熱法や電気化学合成などにより実験室において合成される。しかし、家庭において野菜や果物の皮などの台所から出る生ゴミからカーボンドットを合成することもできる。

この課題では、実験室において実験手順Iにしたがってスイカの皮からカーボンドットを合成し、合成したカーボンドットを実験手順IIにしたがって鉄(III)イオンの検出に応用する。もし、感染拡大の状況のため、設備の整った実験室で実験を完遂できなくても、実験手順IIIに従って自宅で炭素ドットを合成することもできる。

試薬

化学式	名称	状態	GHS 危険有害性情報
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Fe(III)標準溶液 (0.01000 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H303, H314, H318, H335
H_2O	蒸留水	液体	危険性なし

ガラス器具と装置

ナイフ 1本

精密天秤 (0.1 gの精度) 1台

ホウロウ皿(24 × 18 cm²) 1枚

オーブン 1台

乳鉢と乳棒 1組

ビーカー (100mL) 3個

超音波洗浄機 1台

ピペット (1 mL、5 mL、20 mL) 各1本

ガラス製ブフナーろうと 1 個
石英セル 2 個
紫外線ランプ 1 個
メスフラスコ (250 mL) 1 個
マグネチックスターラー 1 台
攪拌機と攪拌子 1 組
蛍光分光光度計 1 台
ジューサー 1 台
ベーキングトレイ 1 枚
家庭用オーブン 1 台
紙幣鑑識灯 (簡易型紫外線ランプ) 1 個

その他

スイカの皮
メンブレンフィルター (孔径0.22 μm)

実験手順

I. 実験室におけるカーボンドットの合成

1. スイカの皮を洗浄後、300 g を秤量し、1 cm ほどの大きさに切り、ホウロウ皿の上に広げる。
2. ホウロウ皿をオーブンの中に入れ、200°C で 2 時間焼くことで炭化したスイカの皮を得る。
3. よく冷ましてから炭化物 3 g を乳鉢で粉碎し、100 mL のビーカーに入れる。
4. ビーカーに蒸留水 30 mL を加える。超音波洗浄機を用いて炭化物を水中に分散させる (10 分間)。
5. ブフナーろうとに 孔径 0.22 μm のメンブレンフィルターを入れ、吸引ろ過によりろ液を回収する。

6. ろ液 1.00 mL を 250 mL のメスフラスコに取り、蒸留水で標線まで希釈して炭素ドット標準溶液を得る。これを **A** とする。

7. **A** の一定量を石英セルに取り、365 nm の紫外光下で蛍光を観察する。

II. カーボンドットによる Fe(III) の検出

8. **A** 2.50 mL を 2 個の 100 mL ビーカーそれぞれに取り、表 1 にしたがって鉄(III)標準溶液($0.01000 \text{ mol L}^{-1}$)と蒸留水をそれぞれ加え、10 分間攪拌する(600 rpm)。

9. 励起波長を 365 nm に設定し、2 つのビーカーの蛍光スペクトルを記録し、表 1 にデータを書き込む。

表 1 : 濃度が異なる Fe^{3+} 溶液の蛍光

加えた Fe(III)標準溶液 ($0.01000 \text{ mol L}^{-1}$ の体積 / mL	加えた蒸留水の体積 / mL	蛍光強度 / a.u.
0.00	20.00	
20.00	0.00	

III. 家庭におけるカーボンドットの合成

10. スイカの皮を洗淨後、細かく切り、ジューサーで絞る。

11. 搾りかす 30 g をベーキングトレイに敷き詰める。トレイを家庭用オーブンに入れ、 $220 \text{ }^{\circ}\text{C}$ で 1 時間焼成すると、炭化したスイカの皮が得られる。

12. 冷却後、麺棒やすり鉢で炭化物をすりつぶして微粉末にし、1000 mL のキッチンカップに入れる。

13. 約 300 mL の飲料水を加え、スプーンでかき混ぜ、20 分間放置する。

14. ガーゼ (100 メッシュ) でろ過し、ろ液を得る。

15. 約 5 mL のろ液をとり、約 120 mL の飲料水で薄める。暗所で紙幣鑑識灯を用

いて蛍光を観察する。

問題

1. この実験において、カーボンドットの素材となりうるものを全て選べ。
(a) グルコース (b) タンパク質 (c) セルロース (d) でんぷん
2. 「この課題において、放出された蛍光の波長は照射された光の波長より短い。」
この結論は正しいかどうか。次のうちから選べ。
(a) 正しい (b) 正しくない (c) 判断できない

実験課題 P7. 水相での *N*-アセチルフェニルアラニンの合成と純度分析

この問題は2つのパートで構成される。はじめにアルカリ水溶液中でフェニルアラニンと無水酢酸から *N*-アセチルフェニルアラニンを合成する。続いて酸塩基滴定により生成物の純度を分析する。

試薬

化学式	名称	状態	GHS 危険有害性情報
$C_6H_5CH_2CH(NH_2)CO_2H$	フェニルアラニン	固体	危険性なし
$(CH_3CO)_2O$	無水酢酸 (指導教員から貰う)	液体	H226, H302, H314, H318, H332, H335
HCl	塩酸 (6 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H314, H318
HCl	塩酸 (2 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H314, H318
NaOH	水酸化ナトリウム水溶液 (1.0 mol L ⁻¹)	水溶液	H290, H314, H318
$C_8H_5KO_4 \cdot 2H_2O$	フタル酸水素カリウム二水和物	固体	危険性なし
C_2H_6O	無水エタノール	液体	H225, H316, H319
$C_{20}H_{14}O_4$	フェノールフタレイ ン (PP, 0.2%エタノール溶液)	エタノール溶液	H225, H319
CH_2Cl_2	ジクロロメタン	液体	H315, H319, H336, H351
N/A (混合物なので書けない)	石油エーテル (ヘキサンで代用する。ペンタンでも代用可)	液体	H225, H304, H315

CH ₃ COOC ₂ H ₅	酢酸エチル	液体	H225, H319, H333, H336
H ₂ O	蒸留水	液体	危険性なし

器具・装置

丸底フラスコ (100 mL)	1 個
マグネチックスターラーと回転子	1 組
冷却管	1 本
ビーカー (100 mL)	1 個
ガラス棒	1 本
ブフナーろうと	1 個
シリンジ (5 mL)・ステンレス針付き	1 本
試薬ビン (500 mL)	1 個
メスシリンダー (100 mL)	1 個
三角フラスコ (250 mL)	3 個
ビュレット (50 mL)・テフロン製コック付き	1 本
ビュレットスタンド・クランプ付き	1 台
秤量瓶 (25 × 25 mm)	2 個
氷浴	1 個

その他の用具

TLC プレート、キャピラリー、展開槽

pH 試験紙

実験手順

I. *N*-アセチルフェニルアラニンの合成

1. フェニルアラニン 1.0 g と NaOH 水溶液 25.0 mL (1.0 mol L⁻¹) を、回転子を入れた丸底フラスコ (100 mL) に入れる。フェニルアラニンが完全に溶解するまで攪拌する。
2. シリンジで無水酢酸 2.0 mL を加え (この操作は教員に依頼すること)、激しく攪拌しながら 40 分間還流する。

(注：この段階では温度が上昇する。無水酢酸を扱うときの注意：可燃性と腐食性があるので、皮膚や目への接触を避け、皮膚の損傷や催涙を防ぐこと。)

3. 室温まで冷却した後、溶液をビーカー (100 mL) に注ぎ、ガラス棒でかき混ぜながら pH が 1~2 になるまで塩酸 (6 mol L^{-1}) を滴下する (pH 試験紙で確認する)。溶液から結晶が析出するはずである (試験紙で pH を調べるときの注意：シャーレまたは時計皿の上に置いて用いる)。
4. ビーカーを氷浴につけて完全に結晶を析出させる (結晶が析出しないときの対処：フラスコを激しく振って結晶を析出させる)。
(訳注：フラスコの壁面をスパチュラやガラス棒でこすって刺激を与えると結晶が析出してくることがよくある。これを推奨する。)
5. ブフナー漏斗で減圧ろ過し、生成物を塩酸 (2 mol L^{-1} , $5 \text{ mL} \times 3$) で洗浄する。ヘキサンと酢酸エチル (1:1) を展開溶媒として、シリカゲル G プレートで TLC を行い、生成物を確認する (生成物を少し取りジクロロメタンに溶かす (約 1%))。
(シリカゲルプレートはシリカゲルを接着剤でガラス板に塗り付けて作成してある。)
6. 100°C のオーブンで 30 分乾燥させたのち、秤量して収率を算出する (100°C を超えないように注意すること。収率は、生成物の実際の収量を理論収量で割って求める)。

II. NaOH 標準液の校正

7. 試薬ビン (500 mL) に NaOH 溶液 (1 mol L^{-1}) 25 mL と蒸留水 475 mL を入れ、よく振って混合する。
8. フタル酸水素カリウム 0.2~0.3 g を「風袋差し引き」で三角フラスコ (250 mL) に正確に量り入れ、蒸留水 30 mL を加える。
9. フタル酸水素カリウムが完全に溶解した後、PP を 2 滴加え、NaOH 標準液で終点まで滴定する。この滴定を 3 回繰り返す、NaOH 標準液の濃度を算出する。

III. 生成物の純度分析

10. 三角フラスコ (250 mL) に 0.20~0.25 g の生成物を「風袋差し引き」で正確に秤量し、20 mL の無水エタノールを加えて溶解させる。蒸留水 30 mL を加え、よく振り混ぜる。
11. PP を 2 滴加え、NaOH 標準液で終点まで滴定する。滴定を 3 回繰り返し、生成物の純度を算出する。

問題

1. ペプチドやタンパク質の合成において、*N*-アセチルフェニルアラニン¹を合成する目的は何かを説明せよ。
2. この実験で、リトマスではなく PP を指示薬として使用したのはなぜかを説明せよ。
3. 滴定の終点を、ピンク色に呈色した後に 30 秒間色が消えなかった時点、とするのはなぜかを説明せよ。

実験課題 P8. 反応の種類と化学的論理（オンライン実験）

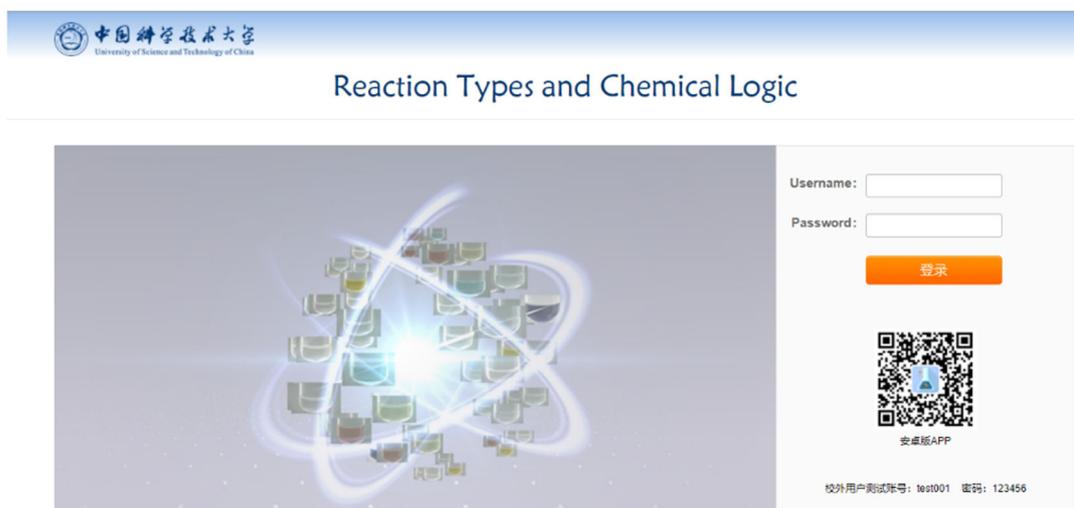
このオンライン実験の目的は、科学者がどのようにして物質に関するデータを収集・整理し、論理的な結論までたどり着くのかについて、理解を助けることである。最初に、化学実験室で一般的に用いられている数種類の無機の酸や塩基、塩の間の化学反応について学ぶ。その後、それらの中からランダムに選ばれたいくつかの「未知試料」の同定を行う。注意深い観察と記録を行い、そして化学的論理に基づいて未知試料が何かを判断することが求められる。

オンライン実験操作

1. <https://prj15.xnfz.cmet.ustc.edu.cn/> にログオンする

ユーザー名(username): test001, パスワード(password): 123456

(注：Android の携帯電話を使用している者は、ログオンページの QR コードを読み込み、アプリをダウンロードすることで、携帯電話で実験を行うことができる)



2. メインページの手順 A (Procedure A) の「既知試薬一覧 (Matrix of Known Reagents)」をクリックし、一般的な酸・塩基・塩の色や pH、およびそれらの間の反応について学ぶ。各化合物の反応について記録する必要がある場合は、メインページの「観察事項の表のテンプレート (observation table template)」をクリックし、既知の試薬について観察したことをまとめるための表をダウンロードする。

Reaction Types and Chemical Logic

[Purpose of the Experiment](#) 实验目的

[Background](#) 实验背景

[Experimental Procedure](#) 实验步骤

A. [Observation of Reactions Between Known Solutions](#) 已知化合物之间的化学反应

[Matrix of Known Reagents](#) 已知化合物反应矩阵

[Observation Table Template](#) 反应现象观察表

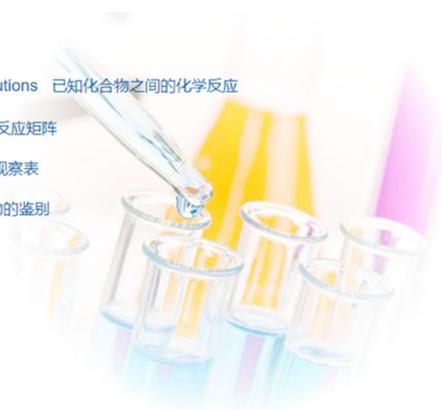
B. [Identification of a Set of Unknowns](#) 未知化合物的鉴别

[Start Quiz](#) 考试

C. [Lab Report Form](#) 实验报告单

[Video Demonstration](#) 实验操作演示

[Copyright](#) 版权



3. 手順 B の「試験を開始する (Start Quiz)」をクリックすると、7×7 の未知試料のランダムな組み合わせが表示される。未知試料は A から G の名前がついている。ボタンをクリックすると、未知試料どうしの反応を観察することができる。表の縁にある A から G のボタンをクリックすると、混合前の未知試料溶液の画像と、溶液を滴下した pH 試験紙が表示される。
4. 「同定する (Identify)」をクリックし、解答欄の各未知試料の箇所と同定した結果を入力する。回答をオンラインで提出 (Submit) すると、点数をすぐに確認できる。次ページ以降の記載内容は、web サイトの内容を翻訳したものである。

MATRIX OF UNKNOWN REAGENTS

Set Number: 4251

X	A	B	C	D	E	F	G
A	X	B+A	C+A	D+A	E+A	F+A	G+A
B	A+B	X	C+B	D+B	E+B	F+B	G+B
C	A+C	B+C	X	D+C	E+C	F+C	G+C
D	A+D	B+D	C+D	X	E+D	F+D	G+D
E	A+E	B+E	C+E	D+E	X	F+E	G+E
F	A+F	B+F	C+F	D+F	E+F	X	G+F
G	A+G	B+G	C+G	D+G	E+G	F+G	X

Countdown : 0h-25m-46s

 Identify

Reaction Types and Chemical Logic

反応の種類と化学的論理

Purpose of the Experiment 実験の目的

Background 実験の背景

Experimental Procedure 実験手順

A. Observation of Reactions Between Known Solutions 既知試薬溶液間の反応の観察

Matrix of Known Reagents 既知試薬一覧

Observation Table Template 観察事項の表のテンプレート

B. Identification of a Set of Unknowns 未知試料の同定

[Start Quiz](#) 試験を開始する

C. [Lab Report Form](#) 実験報告書

[Video Demonstration](#) 操作説明の動画

[Copyright](#) 著作権

実験の目的

1. 沈殿生成や気体の発生など、いくつかの異なる様式の溶液反応を観察し、記録する。
2. 反応混合物の変化を観察することにより、異なる種類の反応があることを認識する。
3. 観察したことを記録し、化学反応式を正しく書く技術を養う。
4. 化学的な論理的思考力を鍛える。

実験の背景

この実験は、注意深く観察し、自分の知識をもとに未知試料に関する情報を識別する方法を学ぶことができるように設計されている。科学研究者は、常に結果が未知である実験を行っているが、知識や経験、細かなことまで見逃さない注意力をもちいて新たな発見へとつながる結論を導いている。

2 つの溶液を混ぜ合わせたときの変化を観察することは、溶液の同定の助けになる。最初に、一度に既知の溶液 2 つを混ぜ合わせ、結果を表にまとめる。その溶液の中からいくつかは「未知試料」としてランダムに割り当てられ、それらの同定を行う。

論理的にまとめた表を作ると、分析が容易になるだろう。表の中のデータを整理すると、各試薬の反応性をまとめることができる。未知試料の反応性を既知試料の反応性と比較することで、未知試料の同定を行うことができる。

実験手順

A. 既知試薬溶液間の反応の観察

1. 表の端にある既知化合物の名前には、それぞれ静置した溶液の写真と溶液を 1 滴付けた pH 試験紙の画像のリンクがある。



2.  のアイコンをクリックすると、その行の化学種の溶液がその列の溶液に加えられる動画が表示される。各反応では、0.2 M の溶液が概ね同体積混合される。

3. あらかじめ用意した表に、観察した事項を記録すること。

Hydrochloric Acid 塩酸 HCl	Sulfuric Acid 硫酸 H ₂ SO ₄	Ammonia アンモニア NH ₃	Sodium Hydroxide 水酸化ナトリウム NaOH	Sodium Carbonate 炭酸ナトリウム Na ₂ CO ₃	Sodium Chloride 塩化ナトリウム NaCl	Barium Chloride 塩化バリウム BaCl ₂	Cobalt(II) Chloride 塩化コバルト(II) CoCl ₂	Copper(II) Nitrate 硝酸銅(II) Cu(NO ₃) ₂	Copper(II) Sulfate 硫酸銅(II) CuSO ₄
--	---	---	--	--	--	--	--	--	--

<u>Hydrochloric Acid</u> 塩酸 HCl											<u>Hydrochloric Acid</u> 塩酸 HCl
<u>Sulfuric Acid</u> 硫酸 H_2SO_4											<u>Sulfuric Acid</u> 硫酸 H_2SO_4
<u>Ammonia</u> アンモニア NH_3											<u>Ammonia</u> アンモニア NH_3
<u>Sodium Hydroxide</u> 水酸化ナトリウム NaOH											<u>Sodium Hydroxide</u> 水酸化ナトリウム NaOH
<u>Sodium Carbonate</u> 炭酸ナトリウム Na_2CO_3											<u>Sodium Carbonate</u> 炭酸ナトリウム Na_2CO_3
<u>Sodium Chloride</u> 塩化ナトリウム NaCl											<u>Sodium Chloride</u> 塩化ナトリウム NaCl
<u>Barium Chloride</u> 塩化バリウム BaCl_2											<u>Barium Chloride</u> 塩化バリウム BaCl_2

<u>Cobalt(II)</u> <u>Chloride</u> 塩化コバルト(II) CoCl_2										<u>Cobalt(II)</u> <u>Chloride</u> 塩化コバルト(II) CoCl_2
<u>Copper(II)</u> <u>Nitrate</u> 硝酸銅(II) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$										<u>Copper(II)</u> <u>Nitrate</u> 硝酸銅(II) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$
<u>Copper(II)</u> <u>Sulfate</u> 硫酸銅(II) CuSO_4										<u>Copper(II)</u> <u>Sulfate</u> 硫酸銅(II) CuSO_4
	<u>Hydrochloric Acid</u> 塩酸 HCl	<u>Sulfuric Acid</u> 硫酸 H_2SO_4 4	<u>Ammonia</u> アンモニア NH_3	<u>Sodium Hydroxide</u> 水酸化ナトリウム NaOH	<u>Sodium Carbonate</u> 炭酸ナトリウム Na_2CO_3	<u>Sodium Chloride</u> 塩化ナトリウム NaCl	<u>Barium Chloride</u> 塩化バリウム BaCl_2	<u>Cobalt(II) Chloride</u> 塩化コバルト(II) CoCl_2	<u>Copper(II) Nitrate</u> 硝酸銅(II) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	<u>Copper(II) Sulfate</u> 硫酸銅(II) CuSO_4

B. 未知試料の同定

1. A4 の紙 1 枚または 2 枚全体に観察事項の表(表 1)を印刷するか、または手書きで書き写す。各観察事項を記録するために十分なスペースを確保しておくこと。
2. 色、泡の発生、沈殿の生成など、反応を詳細に観察し記録する。
3. 色の変化と沈殿生成を区別すること。(すなわち、「溶液が着色した」のか「不透明になった」のかを区別すること。)

表 1 既知の試薬に関する観察事項の表

	HCl	H ₂ SO ₄	NH ₃	NaOH	Na ₂ CO ₃	NaCl	BaCl ₂	CoCl ₂	Cu(NO ₃) ₂	CuSO ₄
HCl										
H ₂ SO ₄										
NH ₃										
NaOH										
Na ₂ CO ₃										
NaCl										
BaCl ₂										
CoCl ₂										
Cu(NO ₃) ₂										
CuSO ₄										
	HCl	H ₂ SO ₄	NH ₃	NaOH	Na ₂ CO ₃	NaCl	BaCl ₂	CoCl ₂	Cu(NO ₃) ₂	CuSO ₄
Color of solution 溶液の色										
pH										

表 2 未知試料に関する観察事項の表

	A	B	C	D	E	F	G
A							
B							
C							

	A	B	C	D	E	F	G
D							
E							
F							
G							
	A	B	C	D	E	F	G
Color of solution 溶液の色							
pH							

C. 実験報告書

- 1. 未知試料の組み合わせの番号を実験ノートにすぐに記す。この番号を記していないと、実験指導者は答案を採点することができない。
- 2. 表の端の行または列の文字をクリックすると、混合前の溶液と溶液を滴下した pH 試験紙の画像を見ることができる。表の内部のボタンをクリックすると、未知試料同士を混合させたときの反応を観察することができる。例えば、「B+A」のボタンを押すと、未知試料 A がピペットを通じて試験管内の未知試料 B に加えられる様子が動画で再生される。
- 3. 「未知試料に関する観察事項の表」を用意し、表に観察したことを記録する。

- 4. かならず1時間以内に答案を提出すること。1時間以内に提出しなければ、試験の点数は0点となる。試験は2回しか受けることができない。(訳注：本準備問題におけるアカウントでは何回も試験を受けることが可能である。)

著作権

- 1. このオンライン実験は中国科学技術大学の無機化学実験コースのグループが設計したものであり、著作権は中国科学技術大学化学実験教室が保有している。ご協力いただいた UW-Madison (ウィスコンシン大学マディソン校) 化学科の John W. Moore 教授と Chad C. Wilkinson 博士、Rachel L. Bain 博士に感謝の意を表す。
- 2. 題材となった実験系は、J. Scott、D. Shaw、S. Mellon、C. Somers、S. Nurrenbern、J. March の6氏によって確立された。動画は、J. Maynard、L. Plank、K. W. Lam、A. Hellernbrand の4氏によって演出・撮影が行われた。著作権© 2014 ウィスコンシン大学マディソン校化学科
- 3. このシステムは安徽学舟软件科技有限公司によって制作された。

実験課題 P9. 重金属イオンの性質と同定 (オンライン実験)

重金属やその化合物は、医療や健康、材料、エネルギー、近代産業などの分野の研究において、常に注目の的である。ほとんどの重金属元素や重金属化合物は有毒であるため、私たちの生活において重金属イオンを同定することは重要な問題である。

重金属元素の外殻の d 軌道や f 軌道は通常、不対電子をもっており、その不対電子は可視光によって励起されることがある。そのため、ほとんどの重金属イオンには色がついている。重金属イオンの化学反応では、溶液に目視で判断可能な変化が見られる。この性質を利用し、化学反応による変化を観察することで、重金属イオンを同定することができる。このオンライン実験では、生徒の健康にも環境にも悪影響を与えることなく、各反応で何が起きているかを生徒がはっきりと理解することができ、異なる重金属イオンの化学的性質や同定の仕方について生徒が習得することができる。

Experiment procedure

実験の手順

1. <https://prj16.xnfz.cmet.ustc.edu.cn/> にログオンする

ユーザー名(username): test001, パスワード(password): 123456

(注：Android の携帯電話を使用している者は、ログオンページの QR コードを読み込み、アプリケーションをダウンロードすることで、携帯電話で実験を行うことができる)

Virtual Experiment on Properties and Identification of Heavy Metal Ions Based on the Principles of Green Chemistry

重金属离子的性质与鉴定绿色化综合虚拟实验



2. メインページの手順 A (Procedur A) の「既知の試薬の一覧 (Matrix of Known Reagents)」をクリックし、重金属イオンの性質や陰イオンと混合したときに起こる反応について学ぶ (訳注: 当該ページには重金属イオンと陰イオンが羅列された行列があり、それぞれを混合したときの様子を記録した動画が閲覧可能である)。各イオンの反応を記録する必要がある場合は、メインページの「観察事項の表のテンプレート (observation table template)」をクリックし、既知の試薬について観察したことをまとめるための表をダウンロードする。

Properties and Identification of Heavy Metal Ions

- [Purpose of the Experiment](#) 实验目的
- [Background](#) 实验背景
- [Experimental Procedure](#) 实验步骤
 - [A. Observation of Reactions Between Known Solutions](#) 重金属离子的化学性质学习
 - [Matrix of Known Reagents](#) 重金属离子反应矩阵
 - [Observation Table Template](#) 反应现象观察表
 - [B. Identification of a Set of Unknowns](#) 未知重金属离子的鉴别
 - [Start Quiz](#) 考试
 - [C. Lab Report Form](#) 实验报告单
 - [D. Multiple-Choice Questions](#) 课后习题
- [Demonstration](#) 实验操作演示
- [Supplementary Materials](#) 教辅材料
- [Copyright](#) 版权



3. 手順 B の「試験を開始する (Start Quiz) 」をクリックすると、 5×10 の未知の試料のランダムな組み合わせが表示される。未知の試料は A から O の名前がついている。ボタンをクリックすると、未知の試料どうしの反応を観察することができる。A から O のボタンをクリックすると、未知試料の混合前の溶液の画像が表示される。

MATRIX OF UNKNOWN REAGENTS

Set Number: 5109

X	A	B	C	D	E
F	F+A	F+B	F+C	F+D	F+E
G	G+A	G+B	G+C	G+D	G+E
H	H+A	H+B	H+C	H+D	H+E
I	I+A	I+B	I+C	I+D	I+E
J	J+A	J+B	J+C	J+D	J+E
K	K+A	K+B	K+C	K+D	K+E
L	L+A	L+B	L+C	L+D	L+E
M	M+A	M+B	M+C	M+D	M+E
N	N+A	N+B	N+C	N+D	N+E
O	O+A	O+B	O+C	O+D	O+E

Countdown : 1h-59m-6s

 Identify

4. 「同定する (Identify) 」をクリックし、解答欄に同定した結果を数字で入力する。回答をオンラインで提出 (Submit) すると、点数がすぐに確認できる。
5. メインページの手順 D にある「選択肢問題 (Multiple- Choice Questions) 」に回答する。次ページ以降の記載内容は、web サイトの内容を翻訳したものである。

Properties and Identification of Heavy Metal Ions

重金属イオンの性質と同定

[Purpose of the Experiment](#) 実験の目的

[Background](#) 実験の背景

[Experimental Procedure](#) 実験手順

A. [Observation of Reactions Between Known Solutions](#) 既知試薬溶液間の反応の観察

[Matrix of Known Reagents](#) 既知の試薬一覧

[Observation Table Template](#) 観察事項の表のテンプレート

B. [Identification of a Set of Unknowns](#) 未知試薬の組み合わせの同定

[Start Quiz](#) 試験を開始する

C. [Lab Report Form](#) 実験報告書

D. [Multiple-Choice Questions](#) 選択肢問題

[Demonstration](#) 操作説明の動画

[Supplementary Materials](#) 補助教材

[Copyright](#) 著作権

実験の目的

1. 重金属イオンと一般的な陰イオンの反応を観察する。
2. 重金属イオンの化学的性質について習得する。
3. 観察したことを記録し、化学反応式を正しく書く技術を養う。
4. 化学的な論理的思考力を鍛える。

実験の背景

科学研究者は、常に結果が未知である実験を行っているが、知識や経験、細かなことまで見逃さない注意力をもちいて新たな発見へとつながる結論を導いている。一連の実験の目的は、科学者がどのように物理量データを収集・整理し、論理的な結論までたどり着くのかについて、理解を助けることである。

この実験は、注意深く観察し、自分の知識を使っていくつかの未知のイオンを同定する方法を学ぶことができるように設計されている。最初に、一度に既知の溶液2つを混ぜ合わせ、結果を表にまとめる。その溶液の中のいくつかが「未知試料」としてランダムに割り当てられ、それらの同定を行う。データを表に整理する作業を通して、各試薬の反応性をまとめ、「既知試料」同士の反応性と「未知試料」同士の反応性を比較することができるだろう。

金属を重金属として分類するための標準的な定義は存在しない。ほとんどの重金属は大きな原子番号、原子量をもっており、密度は 4.5 g cm^{-3} よりも大きい。重金属の性質は多様性に富むため、重金属やその化合物は常に材料科学や物理学、化学などの分野における重要な研究対象となってきた。しかし、多くの重金属元素とその化合物は有毒である。かつて

は重金属化合物に関する実験はごく小スケールで行われて、反応の結果はしばしば観測することが困難であったが、そのような配慮を施してもなお、生徒の健康や環境への潜在的な有害性があった。

ほとんどの重金属イオンには色がついており、重金属イオンの化学反応では、溶液にはっきりとした変化が見られる。この性質を利用し、化学反応による変化を観察することで、重金属イオンの化学的性質を可視化することができる。このオンライン実験の動画を見ることにより、生徒は生徒の健康にも環境にも悪影響を与えることなく、各反応における変化を明快に理解することができる。各生徒は自分ひとりでこの実験を行うこと。このオンライン実験は、生徒が異なる重金属イオンの様々な性質を学び記憶して、将来の研究や仕事における確固たる基礎を築く一助となる。

実験手順

A. 既知試薬溶液間の反応の観察

1. 表の端にある既知化合物の名前には、それぞれ静置した溶液の写真のリンクがある。

2.  のアイコンをクリックすると、その行のイオンの溶液にその列の溶液が加えられる動画が表示される。各反応では、0.2 M の溶液が概ね同体積混合される。（水銀イオンの溶液は、他の溶液と比べて濃度が低い。）

3. あらかじめ用意した表に、観察した事項を記録すること。

	Ammonia アンモニア NH_3	Hydroxide anion 水酸化物イオン OH^-	Carbonate anion 炭酸イオン CO_3^{2-}	Sulfate anion 硫酸イオン SO_4^{2-}	Sulfide anion 硫化物イオン S^{2-}	Chloride anion 塩化物イオン Cl^-	Bromide anion 臭化物イオン Br^-	Iodide anion ヨウ化物イオン I^-	
Chromium(III) cation クロム(III)イオン Cr^{3+}									Chromium(III) cation クロム(III)イオン Cr^{3+}
Manganese(II) cation マンガン(II)イオン Mn^{2+}									Manganese(II) cation マンガン(II)イオン Mn^{2+}
Iron(II) cation 鉄(II)イオン Fe^{2+}									Iron(II) cation 鉄(II)イオン Fe^{2+}
Iron(III) cation 鉄(III)イオン Fe^{3+}									Iron(III) cation 鉄(III)イオン Fe^{3+}
Cobalt(II) cation コバルト(II)イオン Co^{2+}									Cobalt(II) cation コバルト(II)イオン Co^{2+}
Nickel(II) cation ニッケル(II)イオン Ni^{2+}									Nickel(II) cation ニッケル(II)イオン Ni^{2+}
Copper(II) cation 銅(II)イオン Cu^{2+}									Copper(II) cation 銅(II)イオン Cu^{2+}
Zinc cation 亜鉛イオン Zn^{2+}									Zinc cation 亜鉛イオン Zn^{2+}
Strontium cation									Strontium cation

ストロンチウム イオン Sr^{2+}									ストロンチウム イオン Sr^{2+}
Silver cation 銀イオン Ag^+									Silver cation 銀イオン Ag^+
Cadmium cation カドミウム イオン Cd^{2+}									Cadmium cation カドミウム イオン Cd^{2+}
Mercury(I) cation 水銀(I)イオン Hg_2^{2+}									Mercury(I) cation 水銀(I)イオン Hg_2^{2+}
Mercury(II) cation 水銀(II)イオン Hg^{2+}									Mercury(II) cation 水銀(II)イオン Hg^{2+}
Lead(II) cation 鉛(II)イオン Pb^{2+}									Lead(II) cation 鉛(II)イオン Pb^{2+}
	Ammonia アンモニア NH_3	Hydroxide anion 水酸化物イオン OH^-	Carbonate anion 炭酸イオン CO_3^{2-}	Sulfate anion 硫酸イオン SO_4^{2-}	Sulfide anion 硫化物イオン S^{2-}	Chloride anion 塩化物イオン Cl^-	Bromide anion 臭化物イオン Br^-	Iodide anion ヨウ化物イオン I^-	

B. 未知試料の同定

1. A4 の紙全体に観察事項の表(表 1)を印刷、または手書きで書き写す。各観察事項を記録するために十分なスペースを確保しておくこと。

2. 記録としては、色の変化、泡の発生、沈殿の生成などを記し、明確かつ簡潔に行う。

色の変化と沈殿生成を区別すること。（すなわち、溶液が着色したのか不透明になったのかを区別すること。）

表 1 既知の試薬に関する観察事項の表

		NH ₃	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	
Ion イオン	Color 色									
Cr ³⁺										Cr ³⁺
Mn ²⁺										Mn ²⁺
Fe ²⁺										Fe ²⁺
Fe ³⁺										Fe ³⁺
Co ²⁺										Co ²⁺
Ni ²⁺										Ni ²⁺
Cu ²⁺										Cu ²⁺
Zn ²⁺										Zn ²⁺
Sr ²⁺										Sr ²⁺
Ag ⁺										Ag ⁺
Cd ²⁺										Cd ²⁺
Hg ₂ ²⁺										Hg ₂ ²⁺
Hg ²⁺										Hg ²⁺
Pb ²⁺										Pb ²⁺
		NH ₃	OH ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	S ²⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	

表 2 未知の試料に関する観察事項の表

		A	B	C	D	E	
Ion イオン	Color 色						
F							F
G							G
H							H
I							I
J							J
K							K
L							L
M							M
N							N
O							O
		A	B	C	D	E	

C. 実験報告書

- 1. 未知試料の組み合わせの番号を実験ノートにすぐに記す。この番号を記していないと、試験監督は答案を採点することができない。
- 2. 表の端の行または列の文字をクリックすると、混合前の溶液の画像を見ることができる。表の内部のボタンをクリックすると、未知試料同士を混合させたときの反応を観察することができる。例えば、「F+A」のボタンを押すと、未知試料 A がピペットを通じて試験管内の未知試料 F に加えられる様子が動画で再生される。

- 3. 「未知の試料に関する観察事項の表」を用意し、表に観察したことを記録する。
- 4. かならず2時間以内に答案を提出すること。2時間以内に提出しなければ、試験の点数は0点となる。試験は2回しか受けることができない。（訳注：本準備問題におけるアカウントでは何回も試験を受けることが可能である。）

D. 選択肢問題

1. 次の陽イオンが S^{2-} と反応した時、他の陽イオンとは異なる様式の反応が起こるのはどれか？

- A) Fe^{3+}
- B) Fe^{2+}
- C) Zn^{2+}
- D) Ni^{2+}

2. 次の陽イオンが I^- と反応した時、他の陽イオンとは異なる様式の反応が起こるのはどれか？

- A) Pb^{2+}
- B) Ag^+
- C) Cu^{2+}
- D) Hg^{2+}

3. Zn^{2+} または Ag^+ の溶液に $NH_3 \cdot H_2O$ を加えると、速やかに沈殿が生成するのが観察される。そこに、さらにアンモニアを加えると、沈殿は徐々に溶解する。このような変化が起こる理由は、化学平衡が _____ シフトするためである。

- A) 酸塩基平衡から沈殿生成平衡に
- B) 沈殿生成平衡から錯形成平衡に

- C) 沈殿生成平衡から酸塩基平衡に
- D) 錯形成平衡から沈殿生成平衡に

4. ある溶液に、 Mg^{2+} と少量の Mn^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} が溶解している。 Mg^{2+} の存在を確認したい場合、ほかの3個の陽イオンに干渉されることなく Mg^{2+} の存在を確認することができる

陰イオンはどれか？

- A) Br^-
- B) I^-
- C) SO_4^{2-}
- D) S^{2-}

5. 工業的に用いられている硫酸銅(II)には、 Fe^{2+} や Fe^{3+} が不純物として含まれていることがある。このような硫酸銅(II)の純度を高めるためには、次のどの試薬を用いることがで

きるか？

- A) NaOH
- B) NH_3
- C) SO_4^{2-}
- D) Cl^-

著作権

- 1. このオンライン実験は中国科学技術大学の無機化学実験コースのグループが設計したものであり、著作権は中国科学技術大学が保有している。
- 2. ご協力いただいた UW-Madison (ウィスコンシン大学マディソン校) 化学科の John W. Moore 教授と Chad C. Wilkinson 博士、Rachel L. Bain 博士に感謝の意を表する。
- 3. 題材となったの実験系は、J. Scott、D. Shaw、S. Mellon、C. Somers、S. Nurrenbern、J. March の6氏によって確立された。動画の一部は、J. Maynard、L.

Plank、K. W. Lam、A. Hellernbrand の 4 氏によって演出・撮影が行われた。著作権

© 2014 ウィスコンシン大学マディソン校化学科

- 4. 補助教材は以下より:

「ハウスクロフト無機化学」, アラン・シャープ, キャサリン・ハウスクロフト,

アメリカ合衆国:ピアソン, 2012 年 3 月 31 日, (ISBN 978-0273742753)