

準備問題



54th IChO 2022
International Chemistry Olympiad



TIANJIN, CHINA

国際化学オリンピック
中国 天津

序

2022年に中国の天津で開催される予定の、第54回国際化学オリンピックの準備問題を提供させていただくことを喜ばしく思います。大会規定に示されている通り、準備問題をすべての参加国に配布する目的は、試験問題の種類や難易度、安全面などについて生徒が理解するのを手助けすることです。(IChO 規約 § 10 参照) 加えて、問題の内容は、歴史や異文化など幅広い範囲の魅力的な話題を扱うことが意図されており、教育的で面白い問題となるよう慎重に選ばれています。生徒とメンターの皆さんには、これらの問題を解くことを楽しみながら、大会に向けて準備していただければと思います。この準備問題は、理論問題に6個、実験問題には3個の発展的学習分野を含みます。準備問題は、中等教育(高校)レベルで学ぶ化学の基本原則を適用して解くことができます。準備問題に含まれる発展的学習分野は、「発展的学習の内容 (Topic of Advanced Difficulty)」として明示され、それらの応用が問題のなかで説明されています。発展的学習分野は本大会試験のよい指標となるので、参加者はこれらの発展的学習分野もよく学習しておくことが期待されます。

この冊子の問題には、理論問題が28問、実験問題が9問含まれています。解答は2022年2月までに各国のヘッドメンターにメールで送られ、2022年6月までにIChO 2022のホームページで公開される予定です。これらの問題に関するコメント、指摘、修正、問い合わせを歓迎します。preparatory@icho2022.cnからご連絡ください。

国際化学オリンピックは、世界中の若者が化学の素晴らしさについて理解を深め、互いに刺激し合う良い機会です。同時に、世界中に友人をつくり、開催国の歴史や文化を楽しむ素晴らしい機会です。

COVID-19のパンデミックが始まってから2年が経過し、状況はまだ不透明ですが、2022年の夏に中国の天津で皆様にお会いできることを願っています。

謝辞

準備問題、本大会試験問題ともに、作成に多大なご尽力をいただいた問題作成者の皆様に深く感謝します。また、国際運営委員会のメンバーの皆様から貴重なご意見、ご指摘をいただいたことに感謝を申し上げます。

IChO2022 科学委員会

問題作成者

Gong CHEN	<i>(Nankai University)</i>
Liu-Ping CHEN	<i>(Sun Yat-Sen University)</i>
Fang-Yi CHENG	<i>(Nankai University)</i>
Peng CHENG	<i>(Nankai University)</i>
Lian-Yun DUAN	<i>(Peking University)</i>
Jin-Long GONG	<i>(Tianjin University)</i>
Dong-Sheng GUO	<i>(Nankai University)</i>
Jie HAN	<i>(Nankai University)</i>
Gang He	<i>(Nankai University)</i>
Zheng-Jie HE	<i>(Nankai University)</i>
Wan-Quan JIANG	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Quan LAN	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Ling-Ling LI	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Shu LI	<i>(Nankai University)</i>
Wan LI	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Yi-Jun LI	<i>(Nankai University)</i>
Yue LI	<i>(Nankai University)</i>
Guang-Xin LIANG	<i>(Shanghai Tech University)</i>
Ying-Jie LIN	<i>(Jilin University)</i>
Ding-Bin LIU	<i>(Nankai University)</i>
Yang LIU	<i>(Nankai University)</i>
Jian-Gong MA	<i>(Nankai University)</i>
Mei-Li PANG	<i>(Nankai University)</i>
Xiao-Hang QIU	<i>(Nankai University)</i>
Qi-Sheng SONG	<i>(Shandong University)</i>
Hong-Wei SUN	<i>(Nankai University)</i>
Ping-Ping TANG	<i>(Nankai University)</i>
Bai-Quan WANG	<i>(Nankai University)</i>
Yan-Guang WANG	<i>(Zhejiang University)</i>
Ying-Xia WANG	<i>(Peking University)</i>
Hua-Ping XU	<i>(Tsinghua University)</i>
Guang-Ming YANG	<i>(Nankai University)</i>
Qi-Zhi YAO	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Zheng-Gen ZHA	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Ming-Tao ZHANG	<i>(Nankai University)</i>
Xin-Xing ZHANG	<i>(Nankai University)</i>
Zhen-Jie ZHANG	<i>(Nankai University)</i>
Qi-Lin ZHOU	<i>(Nankai University)</i>
Ping-Ping ZHU	<i>(University of Science and Technology of China)</i>
Ya-Xian ZHU	<i>(Xiamen University)</i>

編集 Dong-Sheng GUO (*Nankai University*)

Hong-Wei SUN (*Nankai University*)

科学委員会委員長

Qi-Lin ZHOU (*Nankai University*)

無機化学部門長

Xiao-Hang QIU (*Nankai University*)

有機化学部門長

Ping-Ping TANG (*Nankai University*)

物理化学部門長

Hong-Wei SUN (*Nankai University*)

分析化学部門長

Yi-Jun LI (*Nankai University*)

実験課題部門長

Yi-Jun LI (*Nankai University*)

発展的学習分野

理論問題

1. 固体の構造、単位格子
2. 配位化学（錯体化学）：結晶場理論
3. 平衡定数と標準反応ギブズ自由エネルギーの関係、熱力学的データと電気化学的データの関係
4. 立体化学（次の事項を含む：分子の立体配座、対称性、軸不斉、面不斉、らせん不斉、立体特異的な反応、立体障害による反応選択性、隣接する官能基の効果、立体電子効果）
5. ^1H NMR（核磁気共鳴）分光法：化学シフト、積分値、カップリング、多重度
6. ペリ環状反応などの反応、イリドやカルベンなどの化学種

実験課題

1. 吸引ろ過
2. ソックスレー抽出器の使用
3. 生成物の同定のための TLC（薄層クロマトグラフィ）の使用

注意

以下の発展的内容・技術について生徒が準備しておく必要はない：

理論問題

錯体の磁気モーメント(μ)、巻き矢印を用いた反応機構、酸化的インドール-エノラートカップリング、バージェス試薬、デス-マーチン ペルヨージナンを用いた酸化反応、ピニック酸化、メーヤワイン-ポンドルフ-ヴァーレイ還元、スワーン酸化

実験課題

分光光度計の使用、ロータリーエバポレーターの使用、(シリンジや風船を用いた) 禁水性の化合物の使用

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 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

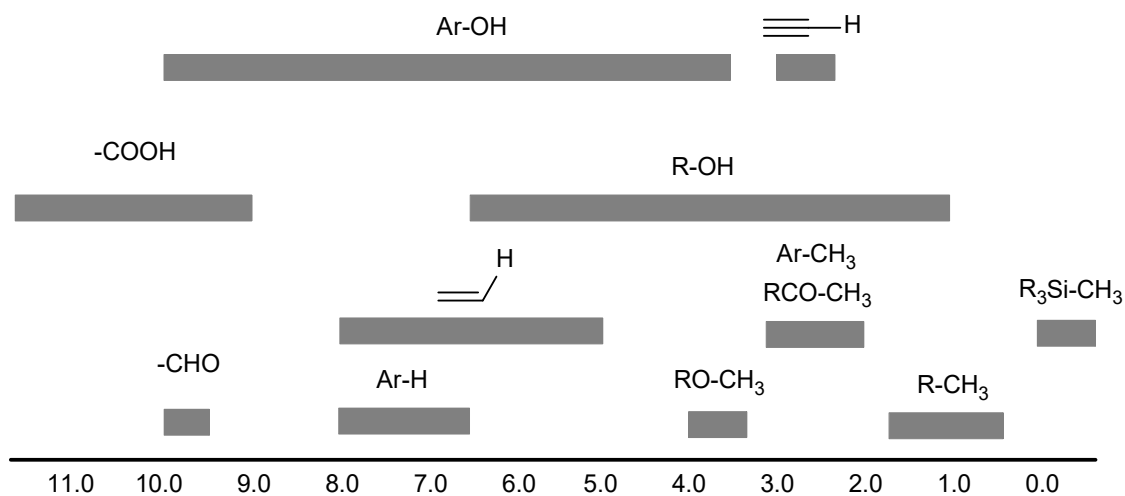
元素の周期表

1 1 H 1.008																	18 2 He 4.003
3 Li 6.941	4 Be 9.012											13 5 B 10.81	14 6 C 12.01	15 7 N 14.01	16 8 O 16.00	17 9 F 19.00	10 Ne 20.18
11 Na 22.99	12 Mg 24.31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	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	38 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	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	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)
$\text{R}_2\text{CH}_a\text{H}_b$	4-20
$\text{R}_2\text{H}_a\text{C}-\text{CR}_2\text{H}_b$	2-12
$\text{RH}_a\text{C}=\text{CRH}_b$	cis: 7-12; trans: 12-18
$\text{R}_2\text{C}=\text{CH}_a\text{H}_b$	0.5-3
$\text{H}_a(\text{CO})-\text{CR}_2\text{H}_b$	1-3
$\text{RH}_a\text{C}=\text{CR}-\text{CR}_2\text{H}_b$	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
$\equiv\text{C}-\text{H}$ (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

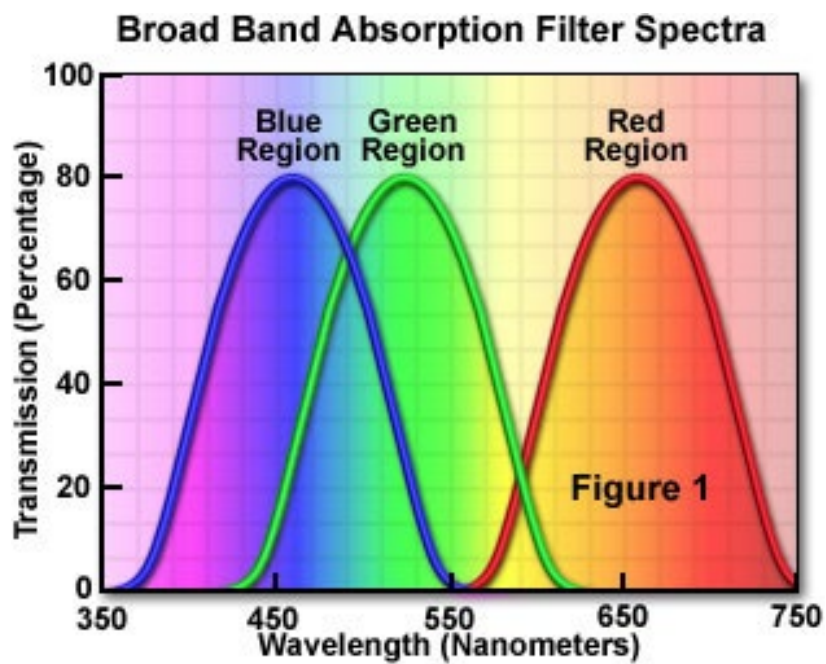


図 1

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