

物理化学実験のてびき

2019年度

上智大学 理工学部 物質生命理工学科

I 物理化学実験履修上の一般的注意

実験は複雑な自然現象や人為的現象を究明し、理解するのに大きな助けとなる。すなわち、自然現象や人為的現象に近い現象を特定の人為的条件のもとで起こし、その条件に応じて起きる単純化された現象を観測した結果を解析することにより、自然現象や人為的現象を解明するのである。このように実験は、自然現象を観測したり、仮説をたてたり、理論をつくったりして研究を進める経験科学である自然科学には、欠かすことのできないものである。従って、実験は①その目的を明確にして、②何が直接観測(測定)出来るのかをはっきりさせ、③それに必要な器具(測定器)を整えて行う。実験により直接得られるデータの精度は、用いた器具(測定器)や実験技術によって決まるが、そのデータの解析に当たってはデータの精度をよく吟味して行う必要がある。また、実験で得られた結果をその実験の目的以外の現象の究明や解析に結びつかないかどうかを検討するのも、自然を統一的に理解する上で重要なことである。一方、近年の計算機の発達が目覚ましく、計算化学の分野は急速に進展している。物理化学分野では、実験結果の解釈、実験結果の予測や比較のために量子化学計算が日常的に行われている。

以上のことを踏まえ、本実験では物理化学の基本的手法や装置の取り扱い方、計算化学の手法を学ぶことを目的としている。具体的には、原子・分子レベルでの微視的な観点から、質量分析、放射線計測、電子・振動スペクトルに関する実験を行う。また、機器分析としてガスクロマトグラフィーの基本を習得する。計算化学の課題では、単純ヒュッケル法と非経験的分子軌道法の演習と実習を行うことによって、計算機を用いた物理化学の実際を学ぶとともに分子軌道法に関する深い理解を得ることを目指す。

本実験では、学科実験の集大成として「仮説→計画→測定・計算→解析→考察→結論」という卒業研究の遂行に必須となる一連の方法論を身につける。そのため、レポートでは単に結果を報告するのではなく、実験データまたは計算結果から適切な解析・考察を行い、最大限の結論が引き出されているかを評価する。

I-1 実験実習に当たって

1. 実験実習を行うに相応しい身軽な服装で臨むこと。ハイヒール、サンダル、ブーツ等は底の低い安全な靴に履きかえる。また、長髪は縛るなどして、安全に実験を行えるよう、身だしなみに気をつける。
2. 化学薬品を扱う実験では保護眼鏡(色付きでない普通の眼鏡で代用可)を常に携帯し、実験の際に必ず着用すること。また、所定事項を記入した安全カードを携帯すること。
3. 実験時間中の喫煙、飲食は厳禁とする。
4. 関係のない機械、器具、薬品等には不用意に手を触れてはならない。
5. 電気器具のプラグをコンセントに差し込む前に、必ず主電源が切っていることを確認すること。その他のスイッチ等は、使用書の指示に従うこと。
6. 実験台上およびその周辺は整理整頓を心がけること。
7. 緊急時の処置、避難路、消火器、報知器の位置等については日頃から留意する。
8. 事故発生の場合は直ちに指導者に知らせること。
9. 火災の発生の場合は直ちに大声で周知し、適切な処置を講ずること。

I-2 実験時間、担当指導者

1. 実験時間は木・金曜日の13:30～17:05である。規定の時間内にその日の実験・実習が終了するよう計画的に行うこと。
2. 実験課題毎に担当指導者を定め指導する。実験上の不明な点、装置の故障等、各実験に関するすべての相談は担当指導者に申し出る。
3. 実験時間内に担当指導者の許可を受けずに実験室を離れた場合、欠席扱いとなることがある。

I-3 実験前の注意

1. あらかじめテキストを読み、実験を定められた時間内に計画的に行えるよう、ノートに実験内容をまとめておくこ

と。また不明な点は参考書などで調べ、出来るだけ理解しておくこと。

2. 必要な器具、薬品はテキストに表示されているから、実験前に確認し、実験台上に揃っていない物は担当指導者に申し出て補充し、余分な物は返却すること。過失による器具の破損・紛失の場合は、始末書を提出させる。

I-4 実験中の注意

1. 全ての実験に共通の器具は、所定の位置で使用する。
2. 実験記録用のノートには、測定値は無論のこと、測定条件や実験中に起きたどのような些細なことでも全て書き留めるようにする。別紙にデータを記し、これを後でノートに書き移すようなことは、書き移すときの書き誤りを防ぐためにも原則として行ってはならない。また、書き誤りは「消しゴム」で消去せず、斜線などの印によって消した方がよい。後日データを検討するときに必要なかもしれない。
3. 時間的に連続して得られる測定値は、測定中にノートに記入すると同時に、方眼紙にグラフを描き、測定値の妥当性を検討しながら測定を進めること。一般の測定の場合も、測定値を方眼紙にプロットして、測定中に甚だしい誤りがないかをチェックせよ。
4. 実験室内には引火性の薬品があるから、火の取り扱いには十分注意せよ。
5. 廃棄物は、可燃性の物(紙など)、不燃性の物(ガラスなど)ごとに、それぞれ別の容器に捨てること。廃液は、溶媒ごとに指定された容器に入れること。溶媒を安易に水道の流し台に捨ててはならない(厳禁)。
6. 使用した器具は必ず洗浄する。破損、不足の場合は必ず補充しておくこと。
7. 実験台の戸棚、引き出しに実験器具を入れてはいけない。

I-5 実験後の注意

1. 実験終了後、器具が全部揃っていることを確認し、担当指導者の点検を受ける。手続きを怠った者は、その実験を行わなかったものとみなすことがある。

I-6 レポートの書き方

レポートに記載すべき項目を以下①~⑨に示した。ただし、課題毎にレポートの記載方法が指示されている場合にはそれに従うこと。

- ① 実験題目
- ② 提出者氏名(学生番号)、(共同実験者名(学生番号))
- ③ 提出年月日
- ④ 実験日(日付) (必要に応じてその日の気温と気圧を記載)
- ⑤ 実験の目的
- ⑥ 実験の原理
実験の理論的背景について記述し、観測(測定)するデータおよび解析方法について説明する。
- ⑦ 実験方法
使用した装置、その操作方法等を、実験結果と関係のあるものを中心にして、出来るだけ具体的に書く。
- ⑧ 測定結果
直接測定したデータをよく整理して表にする。また必要があれば、グラフにする。次に、実験の目的に合った解析を行い、結果を導く。
- ⑨ 考察
得られた結果を、用いた装置の精度や実験操作の正確さおよび解析方法等を考慮して考察する。できれば、得られた実験結果と目的以外のものとの関係を考察する。必要ならばグラフを付ける。グラフはEXCELなどを利用して作成してもよい。

II 単位・単位の換算表等

II-1 SI基本単位と物理量

物理量	量の記号	SI単位の名称	SI単位の記号
長さ	l	メートル metre	m
質量	m	キログラム kilogram	kg
時間	t	秒 second	s
電流	I	アンペア ampere	A
熱力学温度	T	ケルビン kelvin	K
物質の量	n	モル mole	mol
光度	I_v	カンデラ candela	cd

II-2 SI接頭語

倍数	接頭語	記号	倍数	接頭語	記号
10	デカ	deca da	10^{-1}	デシ	deci d
10^2	ヘクト	hecto h	10^{-2}	センチ	centi c
10^3	キロ	kilo k	10^{-3}	ミリ	milli m
10^6	メガ	mega M	10^{-6}	マイクロ	micro μ
10^9	ギガ	giga G	10^{-9}	ナノ	nano n
10^{12}	テラ	tera T	10^{-12}	ピコ	pico p
10^{15}	ペタ	peta P	10^{-15}	フェムト	femto f
10^{18}	エクサ	exa E	10^{-18}	アト	atto a

II-3 特別の名称と記号をもつSI組立単位

物理量	SI単位の名称と記号	基本単位表現
周波数 frequency	ヘルツ hertz Hz	s^{-1}
力 force	ニュートン newton N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力, 応力 pressure, stress	パスカル pascal Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー, 仕事, 熱量 energy, work, heat	ジュール joule J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率, 仕事率 power	ワット watt W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
電荷 electric charge	クーロン coulomb C	$s \cdot A$
電位 electric potential	ボルト volt V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量 electric capacitance	ファラド farad F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗 electric resistance	オーム ohm Ω	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
物理量	SI単位の名称と記号	基本単位表現
コンダクタンス electric conductance	ジーメンズ siemens S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束 magnetic flux	ウェーバ weber Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁束密度 magnetic flux density	テスラ tesla T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス inductance	ヘンリー henry H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度 Celsius temperature	セルシウス度 degree Celsius $^{\circ}C$	K

平	面	角	plane angle	ラジアン	radian	rad	1
立	体	角	solid angle	ステラジアン	steradian	sr	1

II-4 基本物理定数の値(CODATA 2014に基づく値)

物理量	記号	数値	単位
真空の透磁率	permeability of vacuum μ_0	$4\pi\times 10^{-7}$	$\text{N}\cdot\text{A}^{-2}$
真空中の光速	speed of light in vacuum c_0	299 792 458	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
真空の誘電率	permittivity of vacuum ε_0	$8.854\,187\,817\times 10^{-12}$	$\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$
電気素量	elementary charge e	$1.602\,176\,6208(98)\times 10^{-19}$	C
プランク定数	Planck constant h	$6.626\,070\,040(81)\times 10^{-34}$	J·s
アボガドロ定数	Avogadro constant L, N_A	$6.022\,140\,857(74)\times 10^{23}$	mol^{-1}
電子の静止質量	rest mass of electron m_e	$9.109\,383\,56(11)\times 10^{-31}$	kg
陽子の静止質量	rest mass of proton m_p	$1.672\,621\,898(21)\times 10^{-27}$	kg
ファラデー定数	Faraday constant F	$9.648\,533\,289\,(59)\times 10^4$	$\text{C}\cdot\text{mol}^{-1}$
ハートリーエネルギー	Hartree energy E_h	$4.359\,744\,650(54)\times 10^{-18}$	J
ボーア半径	Bohr radius a_0	$5.291\,772\,1067(12)\times 10^{-11}$	m
ボーア磁子	Bohr magneton μ_B	$9.274\,009\,994(57)\times 10^{-24}$	$\text{J}\cdot\text{T}^{-1}$
核磁子	nuclear magneton μ_N	$5.050\,783\,699(31)\times 10^{-27}$	$\text{J}\cdot\text{T}^{-1}$
リュードベリ定数	Rydberg constant R_∞	$10\,973\,731.568\,508(65)$	m^{-1}
気体定数	gas constant R	$8.314\,4598(48)$	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
ボルツマン定数	Boltzmann constant k, k_B	$1.380\,648\,52(79)\times 10^{-23}$	$\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$
重力定数	gravitational constant G	$6.674\,08(31)\times 10^{-11}$	$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
自由落下の標準加速度	standard acceleration due to gravity g_n	9.806 65	$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$
水の三重点	triple point of water $T_{\text{tp}}(\text{H}_2\text{O})$	273.16	K
セルシウス温度目盛の零点	zero of Celsius scale $T(0^\circ\text{C})$	273.15	K
理想気体のモル体積 (1 atm, 273.15 K)	molar volume of ideal gas V_m	$2.241\,3962(13)\times 10^{-2}$	$\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$

II-5 ギリシャ文字

ギリシャ文字		名称	ラテン文字への字訳
A	α	alpha	a
B	β	beta	b
Γ	γ	gamma	g
Δ	δ	delta	d
E	ε	epsilon	e
Z	ζ	zeta	z
H	η	eta	e
Θ	θ	theta	thまたはt
I	ι	iota	i
K	κ	kappa	cまたはk
Λ	λ	lambda	l
M	μ	mu	m
N	ν	nu	n
Ξ	ξ	xi	x
O	\omicron	omicron	o
Π	π	pi	p
P	ρ	rho	rまたはrh
Σ	σ	sigma	s
T	τ	tau	t
Y	υ	upsilon	yまたはu
Φ	ϕ	phi	phまたはf
X	χ	chi	ch
Ψ	ψ	psi	ps
Ω	ω	omega	\bar{o}

II-6 圧力単位の換算表

Pa	bar	mbar	atm	Torr
1	10^{-5}	10^{-2}	9.86923×10^{-6}	7.50062×10^{-3}
10^5	1	10^3	0.986923	750.062
10^2	10^{-3}	1	9.86923×10^{-4}	0.75006
1.01325×10^5	1.01325	1013.25	1	760
133.3224	1.333224×10^{-3}	1.333224	1.31579×10^{-3}	1

注: 1 mmHg = 1 Torr (2×10^{-7} Torr以内の差で一致する)

II-7 エネルギー単位の換算表

波数 $\tilde{\nu}$	振動数 ν		エネルギー E			モルエネルギー E_m		温度 T
	cm ⁻¹	MHz	J	eV	Hartree	kJ·mol ⁻¹	kcal·mol ⁻¹	
1		2.997925×10 ⁴	1.986446×10 ⁻²³	1.239842×10 ⁻⁴	4.556335×10 ⁻⁶	1.196266×10 ⁻²	2.85914×10 ⁻³	1.438777
3.335641×10 ⁻⁵	1		6.626070×10 ⁻²⁸	4.135667×10 ⁻⁹	1.519830×10 ⁻¹⁶	3.990313×10 ⁻⁷	9.53708×10 ⁻⁸	4.799245×10 ⁻⁵
5.034117×10 ²²		1.509190×10 ²⁷	1	6.241509×10 ¹⁸	2.293712×10 ¹⁷	6.022142×10 ²⁰	1.439326×10 ²⁰	7.242973×10 ²²
8065.54		2.417989×10 ⁸	1.602176×10 ⁻¹⁹	1	3.674933×10 ⁻²	96.4853	23.0606	1.16045×10 ⁴
219474.63		6.579684×10 ⁹	4.359744×10 ⁻¹⁸	27.211386	1	2625.500	627.510	3.157751×10 ⁵
83.5935		2.506069×10 ⁶	1.660539×10 ⁻²¹	1.036427×10 ⁻²	3.808799×10 ⁻⁴	1	0.239006	120.272
349.755		1.048539×10 ⁷	6.947694×10 ⁻²¹	4.336410×10 ⁻²	1.593601×10 ⁻³	4.184	1	503.219
0.69503457		2.083661×10 ⁴	1.380648×10 ⁻²³	8.61733×10 ⁻⁵	3.166810×10 ⁻⁶	8.31472×10 ⁻³	1.98721×10 ⁻³	1

注: $E = h\nu = hc\tilde{\nu} = kT$, $E_m = LE$ (L はアボガドロ定数)

レポート提出確認表

物理化学実験

2019年度

学生番号	氏 名

実験課題	実験 開始日～終了日	実験終了 確認者	レポート 提出日	レポート 受取者
1. 質量分析の基礎	～			
2. 電子・振動スペクトル	～			
3. 放射線計測による核種の同定と放射能	～			
4. 計算化学 A	～			
5. 計算化学 B	～			
6. ガスクロマトグラフィーによる定性・定量分析	～			