

環境計量士（濃度関係）
化学分析概論及び濃度の計量
解説と対策（第3版）

日本計量振興協会 編

住吉 孝一 著

コロナ社

はじめに

環境問題はますます重要になってきています。従来の環境汚染や環境破壊を防止するという考え方から、さらに環境保護、環境再生をも考慮に入れて、環境会計という新しい概念が定着しつつあります。しかし、いずれを論議するにしても、基本的に計測を通して実態を知る必要があることには変わりはありません。

その環境計量において、環境計量士は欠くことのできない存在です。そのため、環境計量士資格を取得しようとする人が毎年増えていますが、環境計量士の国家試験は大変難しく、合格率は10%台と難関です。

残念ながら、今までは適当な参考書がなく、受験勉強をするにしても、手がかりがない状態でした。試験4科目のうち、計量管理や法規関連については、従来から参考書がありましたが、専門科目、特に化学分析と濃度の計量に関する参考書は多くありません。そこで、当協会が毎年開催してきた受験講習会の内容をまとめ、各年度の問題を整理、解説したテキストを作りました。

どうか本書を徹底的に活用し、みごと国家試験に合格されますようお願い申し上げます。さあ、本書を片手に、勉強を始めましょう。

1999年10月

(社)日本計量振興協会
(旧(社)計量管理協会)

第3版発刊に当たって

本書は、環境計量士の区分の中で濃度関係の登録を受けたい者が受験する環境計量士国家試験の試験科目の一つである「化学分析概論及び濃度の計量」について、出題頻度の高い事項および重要なポイントをまとめたものである。また、日本工業規格 JIS の新設や改正、環境関係法規の改正に伴い、関連する箇所を改訂・追加している。

一般に、国家試験対策に必要なツールとして三つ挙げることができる。それらは、出題範囲を網羅したテキスト、過去に出題された問題の詳細な解説、および出題問題を体系的に分類し出題頻度との関係がわかることである。本書の特徴の一つは、「化学分析概論及び濃度の計量」について、これらの三つのツールを一つにまとめ上げたことである。

本書は、旧版に掲載した過去問題を大幅に入れ換え、平成 21 年度から平成 28 年度の計 8 回に出題された「化学分析概論及び濃度の計量」について、全出題問題を掲載し、加えて平成 6 年度から平成 20 年度の出題の中から最重要問題を抽出し、それらについて 1 問ずつ解答に至るまでの理論的な解説を行いつつ、範囲別・体系別に分類、整理を行っている。設問の解説については、法改正に対応すべく、公定分析法に最新の分析方法を盛り込んだ。また、JIS を引用して解説するときは、最新のものをを用い、必要なときは改正年月日を記載することとした。

日本計量振興協会で毎年開催されている「計量士国家試験（直前）準備対策講習会」の内容をまとめたものであり、環境計量士国家試験を受験する者にとって苦手な科目を見つけやすく、かつ、徹底的にその箇所を克服できるような構成にしている。

本試験の合格基準には、「環境計量に関する基礎知識（化学）」との合計点

(50問)について閾値が設けられている。数年前までは50問中22～24問以上の正解率が求められていたが、近年は25～27問と上昇傾向にある。これは、各年度の「環境計量に関する基礎知識(化学)」について、出題の難易度の変化が関係しているため、「化学分析概論及び濃度の計量」の難易度については大きな変化は見られない。本書の内容を十分に理解し、過去問を少なくとも2,3回解くことで、合格点はとれると信じている。

本書は、限られたスペースの中で広範囲の項目をレジメ的な形式で記載している。そのため、理解があいまいで不十分と思われる科目は、専門書などで知識を補充してほしい。特に「化学分析概論及び濃度の計量」で出題される計算問題は、本書の姉妹図書である「新 環境計量に関する基礎知識 解説と対策(化学)」の中の「分析化学」の章に詳細を記したので参考にしてほしい。本書を有効活用することにより、本受験科目を確実に突破して、いち早く最終合格を勝ちとって環境関連業務で活躍されることを心より祈念する。

また、本書の出版に当たりコロナ社の方々には、多大なご尽力をいただき感謝します。

2017年5月

環境計量士(日本計量振興協会講師) 住吉孝一

目 次

1. 分析化学の基礎知識

1.1 国際単位系	1		
1.1.1 国際単位系 (SI)	1	1.1.3 基本問題	3
1.1.2 非 SI 単位	3		
1.2 不確かさ	6		
1.2.1 不確かさとは	6	1.2.3 不確かさの用語	10
1.2.2 不確かさの求め方	8	1.2.4 基本問題	12
1.3 分析化学の基本操作, 試薬類・標準物資およびトレーサビリティ	17		
1.3.1 水の分類	17	1.3.6 濃度 (標準物質) の JCSS トレーサビリティ体系	21
1.3.2 検査方法	18	1.3.7 JIS と JCSS 標準物質の関係	23
1.3.3 水の精製方法	18	1.3.8 分析化学の用語および基本 操作	24
1.3.4 容量分析用標準物質	19	1.3.9 基本問題	25
1.3.5 トレーサビリティ	19		
1.4 濃度の単位	38		
1.4.1 百分率濃度	38	1.4.4 溶解度の濃度	39
1.4.2 モル濃度	38	1.4.5 濃度間の換算	39
1.4.3 百万分率濃度 (ppm), 十億 分率濃度 (ppb) および一兆 分率濃度 (ppt)	39	1.4.6 基本問題	40
1.5 定量分析	46		
1.5.1 重量分析	46	1.5.3 基本問題	47
1.5.2 容量分析	46		
1.6 溶解度積	54		
1.6.1 溶解度と溶解度積	54	1.6.2 基本問題	54
1.7 酸と塩基	58		
1.7.1 解離定数 (電離定数)	58	1.7.3 ポリプロトン酸	59
1.7.2 緩衝溶液	58	1.7.4 塩の pH	59

2.5	ガスクロマトグラフ法	146			
2.5.1	原 理	146	2.5.7	充てん剤	148
2.5.2	装置構成	146	2.5.8	検 出 器	148
2.5.3	キャリアーガス流量制御部	147	2.5.9	定 量 法	149
2.5.4	試料導入部	147	2.5.10	そ の 他	149
2.5.5	カラム槽	147	2.5.11	基本問題	150
2.5.6	カ ラ ム	147			
2.6	質量分析(MS)法およびガスクロマトグラフ質量分析(GC/MS)法	161			
2.6.1	原 理	161	2.6.5	磁場形および四重極形	164
2.6.2	装置構成	162	2.6.6	検出部および測定(イオンの 検出)	164
2.6.3	イオン化	162	2.6.7	基本問題	165
2.6.4	分 析 部	163			
2.7	高速液体クロマトグラフ(HPLC)法	178			
2.7.1	原 理	179	2.7.5	充てん剤	179
2.7.2	装置構成	179	2.7.6	検 出 器	181
2.7.3	溶 離 液	179	2.7.7	基本問題	182
2.7.4	カ ラ ム	179			
2.8	イオンクロマトグラフ(IC)法	192			
2.8.1	原 理	192	2.8.4	ポストカラム反応による 検出	193
2.8.2	装置構成	192	2.8.5	定 量 法	193
2.8.3	カラム溶出液の前処理を 行う部分(サブプレッサー)	192	2.8.6	基本問題	194
2.9	高速液体クロマトグラフィー質量分析法(LC/MS)	199			
2.9.1	原 理	200	2.9.5	検 出 部	203
2.9.2	装置構成	200	2.9.6	定性又は同定	204
2.9.3	イオン化	201	2.9.7	基本問題	205
2.9.4	質量分離部	203			
2.10	機器分析全般	208			
2.10.1	分光学的手法	208	2.10.3	基本問題	210
2.10.2	電磁波の検出装置	208			

3. 特 定 物 質

3.1	生物化学的酸素消費量(BOD)	218
------------	------------------------	------------

3.1.1 概 要……………	218	3.1.4 溶存酸素定量法……………	219
3.1.2 分析操作方法……………	218	3.1.5 留意事項……………	220
3.1.3 植 種 液……………	219	3.1.6 基本問題……………	220
3.2 化学的酸素要求量 (COD)	224		
3.2.1 分析操作方法……………	224	3.2.3 基本問題……………	225
3.2.2 化学的酸素要求量の計算…	225		
3.3 ダイオキシン類	226		
3.3.1 概 要……………	226	3.3.4 分析方法の概要……………	230
3.3.2 ダイオキシン類の環境基準 ……………	227	3.3.5 ダイオキシン類の簡易測 定法……………	233
3.3.3 ダイオキシン類の排出基準 ……………	229	3.3.6 基本問題……………	234
3.4 揮発性有機化合物 (VOC)	246		
3.4.1 分析方法……………	248	3.4.2 基本問題……………	249

4. 濃 度 計

4.1 電位差式濃度計	255		
4.1.1 pH 計……………	255	4.1.3 基本問題……………	256
4.1.2 留意事項……………	255		
4.2 イオン電極式濃度計	259		
4.2.1 測定原理……………	259	4.2.3 留意事項……………	261
4.2.2 イオン選択性電極……………	260	4.2.4 基本問題……………	261
4.3 導電率式濃度計	269		
4.3.1 測定原理……………	269	4.3.3 基本問題……………	270
4.3.2 留意事項……………	269		
4.4 大気中浮遊粒子状物質濃度計	274		
4.4.1 測定原理および特徴……………	274	4.4.2 基本問題……………	275
4.5 非分散形赤外線式濃度計 (NDIR 形濃度計)	284		
4.5.1 測定原理……………	284	4.5.3 留意事項……………	286
4.5.2 測定方法……………	285	4.5.4 基本問題……………	286
4.6 紫外線式濃度計	293		
4.6.1 概 要……………	293	4.6.3 基本問題……………	295
4.6.2 留意事項……………	294		

4.7 化学発光式濃度計	302		
4.7.1 概 要	302	4.7.3 留意事項	303
4.7.2 測定原理	302	4.7.4 基本問題	304
4.8 磁気式酸素濃度計およびジルコニア式酸素濃度計	308		
4.8.1 概 要	308	4.8.5 ジルコニア方式	308
4.8.2 測定原理	308	4.8.6 電極方式	309
4.8.3 磁気力方式	308	4.8.7 留意事項	309
4.8.4 磁気風方式	308	4.8.8 基本問題	310
4.9 濃度計の校正	318		
4.9.1 概 要	318	4.9.4 校正操作の留意事項	321
4.9.2 留意事項	318	4.9.5 基本問題	322
4.9.3 ガス分析装置校正方法	319		

5. 環境関連法規と公定分析法

5.1 環境関連法規と公定分析法の関係	328		
5.2 環境関連法規と公定分析法の設問	355		
5.2.1 工場排水試験方法 (JIS K 0102)	355	5.2.4 土壌汚染・底質調査方法	425
5.2.2 用水・排水中の農薬試験方法 (JIS K 0128)	377	5.2.5 特定悪臭物質の測定方法 および産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法	427
5.2.3 排ガス試験方法	381	5.2.6 その他の JIS および環境 関連法令	432
付 録	438		

1 分析化学の基礎知識

1.1 国際単位系

1.1.1 国際単位系 (SI)

SI 単位は 7 種類の基本単位とその積または商の形で表現される誘導単位から構成されている。SI 基本単位としては、m, kg, s, A, K, mol および cd がある。SI 誘導単位は SI 組立単位と呼ぶこともあるが、SI 基本単位の積または商として表現でき特別な名称をもつもの 22 種をいう (表 1.1 参照)。ラジアンとステラジアンは、以前は補助単位とされていたが、1998 年の SI 第 7 版より、次元 1 の組立単位として分類されることとなった。日本では平成 5 年 11 月 1 日に新計量法が施行され、3 段階 (平成 7 年 9 月 30 日, 平成 9 年 9 月 30 日および平成 11 年 9 月 30 日) に分けた移行スケジュールに従って、平成 11 年 9 月 30 日には従来用いられてきた計量単位が国際単位に統一されることとなった。使用禁止となった計量単位および代用される法定計量単位の例を表 1.2 に示す。

SI 単位を用いる際に留意すべきこととして以下のものがあげられる。

- ① 単位記号は、直立体 (ローマン) で印刷され、単位の名称が固有名詞に由来する場合は、大文字から表し、それ以外はすべて小文字で表す。例えば、Pa, N, Wb, Gy など。
- ② 組立単位が一つの単位をほかの単位で除して作られる場合は、斜線 (/), 水平の線または負の指数を用いて表す。ただし、同一行で斜線を用

表 1.1 SI 組立単位

量	名称および記号	SI 単位による表記	SI 基本単位による表記
平面角	ラジアン, rad		$m^{-1}=1$
立体角	ステラジアン, sr		$m^2 m^{-2}=1$
周波数	ヘルツ, Hz		s^{-1}
力	ニュートン, N		$m \text{ kg } s^{-2}$
圧力, 応力	パスカル, Pa	N/m^2	$m^{-1} \text{ kg } s^{-2}$
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール, J	Nm	$m^2 \text{ kg } s^{-2}$
工率, 放射束	ワット, W	J/s	$m^2 \text{ kg } s^{-3}$
電気量, 電荷	クーロン, C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト, V	W/A	$m^2 \text{ kg } s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラド, F	C/V	$m^{-2} \text{ kg}^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム, Ω	V/A	$m^2 \text{ kg } s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンズ, S	A/V	$m^{-2} \text{ kg}^{-1} s^3 A^2$
磁束	ウェーバ, Wb		$m^2 \text{ kg } s^{-2} A^{-1}$
磁束密度	テスラ, T		$\text{kg } s^{-2} A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー, H		$m^2 \text{ kg } s^{-2} A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度	$^{\circ}\text{C}$	K
束	ルーメン, lm		$m^2 m^{-2} \text{ cd}=\text{cd}$
照度 (放射性核種の)	ルクス, lx		$m^2 m^{-4} \text{ cd}=\text{m}^{-2} \text{ cd}$
放射能	ベクレル, Bq		s^{-1}
吸収線量・カーマ (各種の)	グレイ, Gy		$m^2 s^{-2} (=J/kg)$
線量当量	シーベルト, Sv		$m^2 s^{-2} (=J/kg)$
酵素活性	カタール, kat		$s^{-1} \text{ mol}$

表 1.2 使用禁止となった計量単位および代用される法定計量単位の例

使用禁止となった計量単位			国際単位系単位	換算式
規定	N	⇒	モル毎立方メートル	mol/m^3
ホン	phon	⇒	デシベル	dB
重量キログラム	kgf	⇒	ニュートン	N
重量キログラム毎平方メートル	kgf/m ²	⇒	パスカル	Pa
重量キログラムメートル	kgf m	⇒	ジュール	J
重量キログラムメートル	kgf m	⇒	ニュートンメートル	N m
重量キログラムメートル毎秒	kgf・m/s	⇒	ワット	W
カロリー	cal	⇒	ジュール	J

いる場合、括弧付きで用いる以外は1回だけしか用いてはならない。例えば、モルエントロピーの組立単位は、 $\text{J}/(\text{K mol})$ または $\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ であり、 $\text{J}/\text{K}/\text{mol}$ とは表さない。

- ③ 接頭語の記号は、直立体（ローマン）で印刷し、接頭語の記号と単位記号の間にはスペースをおかない。接頭語を複数並べた合成接頭語を用いることはできず、また単独で用いてはいけない。SI接頭語として、10の整数乗倍を表現するため20種類定義されている。質量の単位はあらかじめ接頭語を含んでおり、基本単位の中で唯一のものである。質量の単位について10の整数乗倍の名称は「グラム(g)」という語に接頭語をつけて用いられる。例えば $10^{-6}\text{kg}=1\text{mg}$ であり、 $1\mu\text{kg}$ のように接頭語を重ねて使用しない。

1.1.2 非SI単位

計量法第4条（計量単位令第3条）に規定されている非SI単位で、今後も使用が許されるものがある。分析化学では、濃度の単位として関係の深い質量百分率〔%〕、体積百分率〔vol %〕、ピーピーエム〔ppm〕、ピーピービー〔ppb〕、圧力〔気圧〕、ピーエッチ〔pH〕なども認められる。このほか非SI単位ではあるが特に重要で広く普及し、SIと併用することが認められているもの（分〔min〕、時〔h〕、日〔d〕、度〔°〕、分〔′〕、秒〔″〕、リットル〔l, L〕、トン〔t〕、電子ボルト〔eV〕など）がある。

1.1.3 基本問題

問 1.1.1 次の濃度に関する単位記号の組合せのうち、そのすべての単位がSI単位に属するものを1つ選べ。【7-2】

- 1 ppm, ppb, mol/L
- 2 pmol/cc, $\mu\text{g}/\text{mL}$, N
- 3 mol/dm^3 , mol/kg , g/m^3
- 4 $\text{m}\mu\text{g}/\text{mm}^3$, ng/mm^3 , $\mu\mu\text{g}/\text{cm}^3$
- 5 meq/mL, mole/L, eq/kg

問 1.1.2 規定濃度に関する次の記述のうち、正しいものを1つ選べ。【8-2】

- 1 規定濃度はSI組立単位である。

4 1. 分析化学の基礎知識

- 1 立方メートル中に百モルをその価数で除した物質量の溶質を含有する溶液の濃度を規定という。
- 2 規定濃度の単位記号は、特別の名称と記号をもつ力の SI 単位ニュートン N と区別するため、イタリック体 *N* を用いる。
- 3 規定濃度は非 SI 単位であるが、分、時、日などと同じく、SI と併用される単位である。
- 4 規定濃度および 10 の整数乗倍を乗じたものは、平成 9 年 9 月 30 日までは濃度の法定計量単位とみなされる。

問 1.1.3 次の単位記号のもつ濃度の計量単位のうち、非 SI 単位を含まないものはどれか。正しいものを 1 つ選べ。【9-1】

- 1 mol/m³, %
- 2 mol/L, g/L
- 3 kg/m³, mol/dm³
- 4 N, pH
- 5 ppb, vol ppm

問 1.1.4 SI 単位に関する次の記述のうち、正しいものを 1 つ選べ。【10-1】

- 1 10⁻⁵ 秒は 10 μs, 0.01 ms, 1 cms のいずれかで表す。
- 2 1 μs⁻¹ は 10⁻⁶ s⁻¹ を表し、1(μs)⁻¹ ではない。
- 3 ある気体が 98.7 kPa のもとで、800 cm³ だけ体積を増加したときの膨張の仕事は 79.0 J である。
- 4 溶液の濃度を mol·dm⁻³ を単位として表すと、濃度の SI 組立単位 (mol·m⁻³) との間には 1 mol·dm⁻³ = 10 mol·m⁻³ の関係がある。
- 5 質量の単位の 10 の整数乗倍の名称は「キログラム」という語に接頭語をつけて作られる。10⁻⁶ g は 1 nkg と表記する。

問 1.1.5 次の SI 単位の記号の表記と使用に関する記述のうち、誤っているものを 1 つ選べ。【11-1】

- 1 濃度の単位を表すには、mol/dm³, mol·dm⁻³, mol dm⁻³, $\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3}$ のいずれかの記号で表す。
- 2 濃度の組立単位 mol/m³, mol/kg 及び波数の組立単位 m⁻¹ には固有の名称及び記号はない。
- 3 記号として sec, amp, mole, rpm, cc, °K の使用は認められない。
- 4 モルエントロピーの組立単位は、J/Kmol, J(Kmol)⁻¹, JK⁻¹mol⁻¹, J/K/mol のいずれかで表す。
- 5 速さの組立単位 ms⁻¹ は mHz と表すことはできない。

問題の解答および解説

問 1.1.1 正解 3

SI 単位は以下に挙げた特長がある。

- 1 安定した標準を持つ基本単位に出発する一貫性のある単位系である。
- 2 一つの物理量にただ一つの単位が対応している。
- 3 10 進法である。また必要に応じて各種の巨大量や微量の表現を容易にするため、10 進系の 20 接頭語 (y (ヨクト), z (ゼプト), a (アト), f (フェムト), p (ピコ), n (ナノ), μ (マイクロ), m (ミリ), c (センチ), d (デシ), da (デカ), h (ヘクト), k (キロ), M (メガ), G (ギガ), T (テラ), P (ペタ), E (エクサ), Z (ゼタ), Y (ヨタ)) を SI 単位に付加して使用することを認めている。しかし接頭語は重ねて使用しない (例: $\mu\mu\text{g}$)。SI 単位でない単位との関係については、使わないようにすることが望ましいとされている (例: L, mL, cc, eq, N など)。

問 1.1.2 正解 5

計量法は、1960 年以降逐次 SI 単位をとり入れてきているが、非 SI 単位もそのまま法定計量単位として残っているため、非 SI 単位が使用されているものも少なくない。SI 化の基本方針案として、一部については SI への切り替えに要する期間を考慮して 3 段階の猶予期間を置いて法定計量単位から削除する。規定濃度および 10 の整数乗を乗じたものは、平成 9 年 9 月 30 日までは物象の状態の量の法定計量単位とみなされた (計量法附則第 3 条)。この日以降は取引、証明に使用できない。

規定濃度は、溶液 1 立方メートル中に千モルをその価数で除した物質量の溶質を含有する溶液の濃度である。単位記号は N である。酸-塩基反応、酸化還元反応、沈殿反応などを利用した滴定分析の計算に便利のため広く用いられているが、SI 単位でないため、モル濃度 (mol dm^{-3}) の表示が望ましい。

問 1.1.3 正解 3

SI 単位は、MKSA 単位系を基礎とした国際的な統一単位系であり、七つの基本単位と多数の組立単位からなる。10 のべき乗について接頭語を定め、これらの組合せで物理量の単位を表現する。%, l (リットル), ppb, vol ppm, pH などは、非 SI 単位であるが、濃度についての計量単位として認められている (計量単位規則第 2 条別表 2 参照)。

問 1.1.4 正解 3

10^{-5} 秒は、 $10 \mu\text{s}$ または 0.01 ms で表す。10 進法の 20 接頭語を SI 単位に付加して使用するときは重ねて使用しない (例: cms)。(選択肢 1: 誤り)

環境計量士（濃度関係）

化学分析概論及び濃度の計量 解説と対策（第3版）

©一般社団法人 日本計量振興協会 1999, 2009, 2017

1999年11月18日 初版第1刷発行
2007年6月15日 初版第7刷発行
2009年7月3日 新版第1刷発行
2014年8月15日 新版第4刷発行
2017年7月28日 第3版第1刷発行

検印省略

編者 一般社団法人
日本計量振興協会
東京都新宿区納戸町25-1
電話 (03)3268-4920
著者 住吉孝一
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 新日本印刷株式会社
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10
発行所 株式会社 コロナ社
CORONA PUBLISHING CO., LTD.
Tokyo Japan

振替00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)
ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-03221-5 C3053 Printed in Japan

(高橋)



JCOPY <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構（電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。