



化学グランプリ 2013

二次選考問題

2013年8月23日(金)

時間：13：00～17：00(240分)

問題は、この表紙を含めて13ページあります。落丁や不明瞭な印刷があれば、直ぐに申し出てください。

一次選考で選ばれた諸君が世界に羽ばたくためには、柔軟な思考力と実験を通しての鋭い観察力が必要です。二次選考で少しでも多くの知見を身につけてもらうことを願っています。

試験開始の合図までの間、以下の注意事項および3ページ目の実験上の注意事項を必ず読むこと。

#### 手順および注意

1. 13：00の開始の合図で始め、17：00の終了の合図で実験・レポートの作成を終え、レポートを提出すること。その後、15分程度で後片付けを行う。
2. 実験操作や実験室でのマナー等、監督者の指示に従わない場合は実験室から退去させることがある。この場合、二次選考の得点は0点となる。
3. 実験とレポート作成は同時に進めても構わない。全体を合わせて4時間(13：00～17：00)になるように各自時間を配分すること。
4. 問題冊子の表紙、別紙の表紙、レポート冊子の各ページに、参加番号と氏名を記入すること。
5. 実験の経過・結果は、鉛筆またはシャープペンを用いて記録すること。レポート冊子を破損・汚損しても交換は行わないので注意して記入すること。
6. 途中で気分が悪くなった場合やトイレに行きたくなった場合には、監督者に申し出ること。
7. 問題冊子は各自持ち帰ること。

参加番号		氏名	
------	--	----	--

主催 日本化学会、「夢・化学-21」委員会

共催 科学技術振興機構(JST)、東北大学大学院理学研究科、東北大学大学院工学研究科  
東北大学高等教育開発推進センター、高等学校文化連盟全国自然科学専門部



——このページは白紙——

## 実験上の注意事項

1. 実験室では実験用保護メガネおよび白衣を必ず着用すること（保護メガネはメガネの上から着用可能）。
2. 実験は各自で行うこと。他の人の実験操作を参考にしてはならない。
3. 開始の合図の後、まず試薬と器具一覧表を参照し、必要なものが揃っているかを確認すること。不足のあるものは、監督者に申し出て補充を受けること。
4. 試薬と器具を確認後、問題文の全体をよく読み、実験や課題の内容を確認し、時間配分をよく考えて取り組むこと。また、本試験に用いる飲料水（A、B、C）は飲まないこと。
5. この問題冊子に加えて、問題別紙がある。別紙には、実験するために必要な操作図をまとめてあるので、参考にすること。
6. 蒸留水は監督者に申し出た上で、実験室内のタンクから補充することができる。  
それ以外の試料、溶液、器具などは、原則として与えられた量の中で実験すること。なお、実験用手袋を希望する者は、監督者に申し出ること。
7. 実験で用いる色素が手などに付着したときは、水道水でよく洗い流すこと。
8. ガラス器具等を破損した場合、破損による思わぬ怪我の可能性があるので、破損した器具の処理は各自で行ってはならない。必ず監督者に申し出た上で処理をしてもらうこと。
9. 全ての実験において、使用した試薬類・廃液は決して流しに捨てず、廃液回収容器（白色2L）に入れておくこと。各自の廃液は、試験終了後、後片付けの時間に指定された廃液タンクに捨てること。試験中に廃液回収容器が一杯になった場合には、監督者に申し出ること。
10. 実験で使用した測定チューブ（パックテスト）は、捨てずにまとめておくこと。試験終了後に廃棄の仕方を指示する。
11. 実験で使用した紙タオル（キムワイプ、キムタオル）や紅茶ティーパックは、指定したゴミ箱に捨てること。

## 実験に必要な試薬類と器具類一覧表

### 試薬類

試薬名	内容量	容器	数量
蒸留水	500 mL	500 mL 洗浄瓶	1
飲料水 A	500 mL	500 mL プラスチック製試料瓶	1
飲料水 B	500 mL	500 mL プラスチック製試料瓶	1
飲料水 C	500 mL	500 mL プラスチック製試料瓶	1
残留塩素測定用チューブ		チューブ先端に ClO・DP と表示	3
塩化物イオン測定用チューブ		チューブ先端に Cl(D) と表示	3
全硬度測定用チューブ		チューブ先端に TH と表示	3
検出試薬 (K-1 試薬、含吸着指示薬)	約 1 mL	3 mL プラスチック製滴下瓶	1
塩化バリウム水溶液 (1 mol/L)	30 mL	50 mL プラスチック製試料瓶	1
塩化バリウム (粉末)		1 包 (薬包紙)	1
EDTA 溶液 (0.0100 mol/L)	100 mL	100 mL プラスチック製角瓶	1
BT 指示薬 (pH 10 緩衝液含む)	5 mL	10 mL プラスチック製透明瓶	1
紅茶ティーパック			3

### 器具類

器具名	規格	数量	使用
ラベル		1	全実験
ビーカー (廃液用)	2 L	1	全実験
ビーカー	100 mL	6	全実験
ビーカー	200 mL	3	実験 3-2
目盛り付き試験管	20 mL	6	実験 2-1、実験 2-2、実験 3-1、実験 4
試験管立て		1	実験 2-1、実験 2-2、実験 3-1、実験 4
試料皿	150×105 mm	1	実験 4
塩化物イオン測定用専用カップ		1	実験 2-1
スポイト	1 mL	2	実験 2-3、実験 3-2
ビュレット		1	実験 3-2
ホールピペット	10 mL	2	実験 2-3、実験 3-2
ろうと		1	実験 3-2
安全ピペッター		1	実験 2-3、実験 3-2
ストップウォッチ		1	実験 2-1、実験 2-3
標準色<残留塩素 (遊離)>		1	実験 1
標準色<塩化物 (低濃度)>		1	実験 2-1
標準色<全硬度>		1	実験 3-1

### 共通

器具名	使用
実験用の紙タオル (薄手、キムワイプ、箱入り)	全実験
実験用の紙タオル (厚手、キムタオル)	全実験
硫酸イオン定量キット	実験 2-3 (使用するとき配付する)

## 飲料水の成分分析 ～あなたの好みは水道水、それともボトル水～

### はじめに

地球上で最も重要な化学物質のひとつが、「水」であることに異論はありません。地球表面の約70%は水に覆われており、また、子供の身体の約75%、成人の身体のほぼ50%が水なのです。わたしたちは、水がなければ命を保つことはできず、暑い夏には、美味しい水が欠かせません。

さて、水の美味しさを決めているのはその成分で、硬度が大きな要素の一つとなっています。硬度とは、水中のカルシウムイオンとマグネシウムイオンの量を、これに対応する炭酸カルシウムの量に換算したもので、水1リットル中に含まれている質量(mg/L)で表したものです。

$$\text{全硬度} = \text{カルシウム硬度} + \text{マグネシウム硬度}$$

一般に、硬度が大変低い水(軟水)は淡白でこくのない味がし、硬度の高い水(硬水)は口に残るようなしつこい味がします。飲料水の硬度は国や地域によって大きく異なります。日本の水(飲料水)は、硬度20~100(mg/L)のものが多いのに対し、海外では硬度が極めて高い水(~1,600)が飲用されていることもあります。

また、飲料水は、美味しさだけでなく安全性がとても重要です。私たちが日常口にする水道の水は、微生物を殺す殺菌処理が施されており、ほとんどの場合に塩素消毒法が使われています。我が国の水道法では、水道水中の残留塩素濃度を0.1 mg/L (0.1 ppm)以上に保持すると定められており<sup>1)</sup>、蛇口から出てくる水の安全が確保されています。しかし、残留塩素の味と臭いが不快感を与えることなど、塩素殺菌には欠点もあります。

一方、市販されているボトル水(いわゆるミネラルウォーター)の場合、塩素殺菌は行われていません。これは、ボトル水の主な取水源が殺菌を必要としない湧き水や地下水であるためで、殺菌が必要な場合には塩素ではなくオゾンまたは紫外線照射等が使われています。いまでは、国内外から様々なタイプのボトル水が市販され、私たちの生活に潤いを与えています。

本試験では、次の3つのサンプルからとった飲料水(A、B、C)を未知試料として成分分析を行い、それぞれどのサンプルに相当するのか、同定を行います。

サンプル①：全硬度100(mg/L)以下の水道水

サンプル②：全硬度100~500(mg/L)の市販ボトル水

サンプル③：全硬度1,200~1,600(mg/L)の市販ボトル水

測定対象となる成分<sup>2)</sup>は、1) 残留塩素、2) 塩化物イオン、3) 硫酸イオン、4) 全硬度、の計4種類です。また、飲料水の成分の違いに起因する現象(紅茶の色と濁り)について考察します。

---

1) 結水栓(蛇口)における値。

2) 本試験では、飲料水中の陽イオンとして、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、ナトリウムイオン及びカリウムイオンのみを考慮します。また、陰イオンとしては、炭酸水素イオン、硫酸イオン及び塩化物イオンのみを考慮し、これらの陽イオンと陰イオンの間で電荷が釣り合っているものとします。

## 1. 残留塩素の定量

水中の残留塩素濃度の測定法はいくつかありますが、ここでは *N,N*-ジエチル-*p*-フェニレンジアミン (DPD、図 1.1) を用いて残留塩素濃度を定量します。DPD は残留塩素と速やかに反応し、桃赤色を呈します。

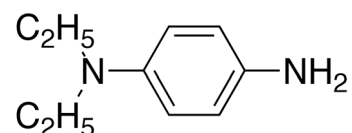


図 1.1 DPD の構造式

### 試薬と器具

- ・ 飲料水 A、飲料水 B、飲料水 C
- ・ 残留塩素測定用チューブ (CIO・DP と表記) 3 本
- ・ ビーカー (100 mL) 3 個
- ・ 標準色<残留塩素 (遊離)>

### 実験 1：残留塩素の定量 \*別紙をあわせて参照すること。

- (1) 飲料水 A を適当量ビーカーに入れる。
- (2) 残留塩素測定用チューブ先端のラインを引き抜く。(別紙 実験 1 図①)
- (3) 穴を上にして、指でチューブの下半分を強くつまみ、中の空気を追い出す。(同 図②)
- (4) そのまま (3) の状態で、穴を飲料水 A の中に入れ、つまんだ指をゆるめ、半分くらい水を吸い込むまで待つ。(同 図③)
- (5) 軽く 5~6 回振りまぜて、別紙の図④のように標準色の上に乗せて比色する。標準色と比べて、一番近い色の値が測定値となる。二つの標準色の間の色の場合、それらの中間の値を測定値とする。
- (6) 飲料水 B 及び飲料水 C についても同様の実験を行い、残留塩素濃度を求める。

問 1 それぞれの飲料水中の残留塩素濃度 (mg/L) を答えなさい。

問 2 塩素が水中で殺菌作用を示す原理を、化学反応式を交えて説明しなさい。

問 3 カルキ抜き (脱塩素) の手法として、下記 (3-A) ~ (3-C) はいずれも有効で、家庭でもよく行われている。それぞれの手法の原理を説明しなさい。

- (3-A) 炭を入れる
- (3-B) レモン汁を入れる
- (3-C) 沸騰させる

## 2. 陰イオンの定量

飲料水中の主な 2 種類の陰イオンである塩化物イオンと硫酸イオンを定量します。いずれも、難溶性の塩の生成反応（沈殿生成）を利用します。

**試薬と器具** ※印付きのものは、共有して使用する。

- ・ 飲料水 A、飲料水 B、飲料水 C

**(塩化物イオンの定量)**

- ・ ビーカー (100 mL) 3 個
- ・ 検出試薬 (K-1 試薬、含吸着指示薬)
- ・ 標準色 < 塩化物 (低濃度) >
- ・ 塩化物イオン測定用専用カップ 1 個
- ・ 塩化物イオン測定用チューブ (Cl(D)と表記) 3 本
- ・ 目盛り付き試験管 (20 mL) 3 本

**(硫酸イオンの定量)**

- ・ 塩化バリウム水溶液 (1 mol/L)
- ・ ビーカー (100 mL) 3 個
- ・ スポイト 1 本
- ・ 目盛り付き試験管 (20 mL) 3 本
- ・ ホールピペット (10 mL) 1 本
- ・ 塩化バリウム (粉末) 1 包
- ・ 検出試薬※ (SO<sub>4</sub>-1 試薬)
- ・ 測定チューブ※

**実験 2-1: 塩化物イオンの定量** \*別紙をあわせて参照すること。

- (1) 飲料水 A を目盛り付き試験管に適量とり、蒸留水で 2 倍に希釈する。
- (2) 希釈した飲料水 A を専用カップの線 (1.5 mL) まで入れ、検出試薬 (K-1 試薬) を 1 滴 (約 0.04 mL) 加える。(別紙 実験 2-1 図①)
- (3) 蓋をして 2~3 回振る。(同 図②)
- (4) 塩化物イオン測定用チューブ先端のラインを引き抜く。(同 図③)
- (5) 穴を上にして、指でチューブの下半分を強くつまみ、中の空気を追い出す。(同 図④)
- (6) そのまま (5) の状態で、穴を検水の中に入れ、つまんだ指をゆるめ、全量吸い込む。(同 図⑤)
- (7) 軽く 5~6 回振りまぜ、さらに約 1 分後にかかるく振りまぜて、別紙の図⑥のように標準色の上にのせて比色する。標準色と比べて、一番近い色の値が測定値となる。二つの標準色の間の色の場合、それらの中間の値を測定値とする。蒸留水で 2 倍に希釈しているため、読み取り値を 2 倍した値が塩化物イオン濃度 (mg/L) となる。
- (8) 飲料水 B 及び飲料水 C についても同様の実験を行い、塩化物イオン濃度を求める。

問 4 それぞれの飲料水中の塩化物イオン濃度 (mg/L) を答えなさい。蒸留水で 2 倍に希釈していることに留意すること。

問 5 実験 2-1 (塩化物イオンの定量) の測定原理は、難溶性の塩の生成 (沈殿生成) と生成した沈殿への色素の吸着が利用されている (ファヤンス法と呼ばれる沈殿滴定)。次の問いに答えなさい。

(1) 沈殿生成に用いる試薬は硝酸銀で、塩化物イオンと反応して白色の疎水性コロイドを生成する。沈殿が生成するイオン反応式を書きなさい。

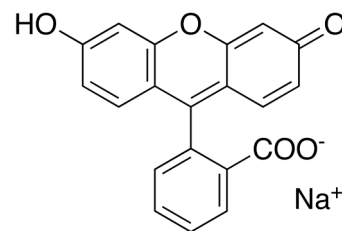


図 2.1 フルオレセインの構造式

(2) 終点の検出には、フルオレセインと呼ばれる色素が用いられており (図 2.1)、この色素が沈殿に吸着することで、色が変わることが利用される (吸着指示薬と呼ばれる)。興味深いことに、色素の沈殿への吸着は、当量点の前では起こらず、当量点を過ぎると初めて沈殿に吸着することができる。この理由について説明しなさい。なお、当量点とは、分析成分 (ここでは塩化物イオン) と過不足なく反応する量の滴定剤 (ここでは硝酸銀) が加えられた点をいう。

### 実験 2-2 : 硫酸イオンの定性分析

- (1) 飲料水 A を目盛り付き試験管に適量とる。
- (2) 塩化バリウム水溶液を加えて、白濁するか否かを確認する。
- (3) 飲料水 B 及び飲料水 C についても同様の実験を行い、硫酸イオンの有無を確認する。
- (4) 白濁が最も顕著に認められる飲料水について、硫酸イオンの定量 (実験 2-3) を行う。

### 実験 2-3 : 硫酸イオンの定量

\*SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 試薬と測定チューブは共有です。準備の整った者は、手を挙げて監督者に申し出ること。  
共用のため多少待ち時間が発生する可能性もあるが、慌てずに待つこと。

- (1) 試料 (飲料水) 1 mL を、スポイトを用いてビーカー (100 mL) に入れ、さらにホールピペットを用いて、蒸留水 20 mL を加える。
- (2) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 試薬をゆっくりと約 10 滴滴下し、回すように攪拌する。
- (3) 塩化バリウム (粉末) を全て加え、溶解するまでゆっくりと回すように攪拌する。
- (4) 約 1 分後にビーカーから測定チューブに試料を移す。このとき、上部から観察して、測定チューブの底部にある黒いクロスラインが見えなくなるまで試料を移す。(別紙 実験 2-3 図を参照すること)
- (5) 測定チューブの目盛りの値を読み取る。読み取り値を 21 倍した値が硫酸イオン濃度 (mg/L) となる。なお、測定チューブの液体の量が 2 つの目盛りの間となった場合には、簡単のため、目盛り間隔を目分量で等分して濃度を見積もること。

問 6 それぞれの飲料水中の硫酸イオン濃度 (mg/L) を答えなさい。ただし、定性分析 (実験 2-2) のみ行った試料は、硫酸イオン濃度を 0 mg/L として解答すること。

問 7 硫酸イオンの定量は、塩酸酸性下で検水に塩化バリウムを加え、硫酸イオンと反応して生じる難溶性の硫酸バリウム粒子により、溶液の濁度が増加することを利用している (比濁法)。硫酸バリウムの溶解度積  $K_{sp}$  を  $1.0 \times 10^{-10} [(\text{mol/L})^2]$  (25°C) とし、次の問いに答えなさい。

- (1) 硫酸バリウムの純水に対する溶解度 (mol/L) を計算しなさい (25°C)。計算過程も記しなさい。
- (2) 実際に硫酸イオンを定量する際には、検水中に塩化バリウムが過剰に存在している。いま仮に、バリウムイオンが 0.010 mol/L 過剰に存在しているとすると、このときの硫酸バリウムの溶解度 (mol/L) を計算しなさい (25°C)。計算過程も記しなさい。



### 3. 陽イオンの定量

飲料水中の主な 2 種類の陽イオンであるカルシウムイオンとマグネシウムイオンを定量します。まず、フタレインコンプレクソン (PC、図 3.1) を発色試薬として用いたパックテストにより全硬度を測定します (全硬度 200 まで測定可能)。PC は、アルカリ性溶液中でカルシウムイオンやマグネシウムイオンと錯体を形成し、赤紫色を呈します。

全硬度 200 以上の試料 (飲料水) についてはさらに、キレート滴定により、カルシウムイオンとマグネシウムイオンの合計量を測定します。キレート滴定とは、キレート試薬とよばれる多座配位子と金属イオンとが、水溶性の安定な錯体を形成する反応を利用する定量法です。キレート試薬としては、エチレンジアミン四酢酸 (EDTA、図 3.2) が広く用いられています。EDTA は四塩基酸 (解離する水素イオンを 4 個もっている酸) で、アルカリ性溶液中 (pH 10 付近) において、カルシウムイオンやマグネシウムイオンと 1 : 1 のモル比で定量的に結合します (ナトリウムイオンなどのアルカリ金属イオンとは結合しない)。

キレート滴定では、滴定の終点を金属指示薬の色調変化を利用して検出します。金属指示薬はそれ自身もキレート試薬で、遊離して存在するときと、金属イオンと結合した場合とで明瞭な色調の変化を示します。種々の指示薬が知られていますが (PC もキレート試薬)、EDTA でカルシウムイオンとマグネシウムイオンを滴定するときには、エリオクロムブラック T (BT、図 3.3) が指示薬として用いられます。この指示薬は三塩基酸で (H<sub>3</sub>In と表記)、試料溶液に少量加えると、溶液中のマグネシウムイオンと結合して赤色を呈しますが、滴定が進むにつれて結合したマグネシウムイオンが EDTA に奪われ、終点では遊離した状態の青色となります。

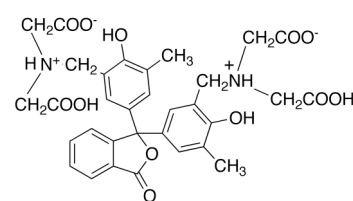


図 3.1 PC の構造式

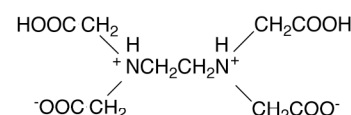


図 3.2 EDTA の構造式

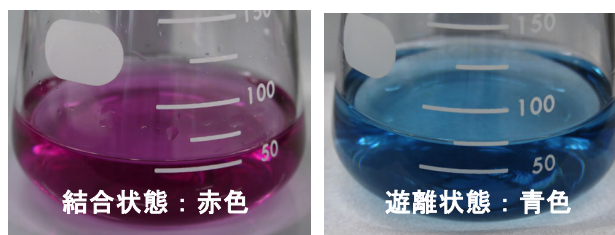
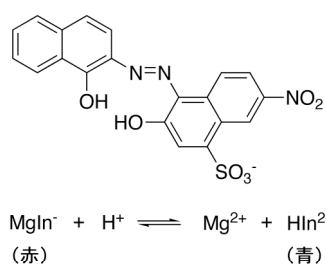


図 3.3 BT の構造式 (左) と溶液色の変化 (右) \* カラー図は別紙を参照すること

#### 試薬と器具

- ・ 飲料水 A、飲料水 B、飲料水 C
- ・ ビーカー (100 mL) 3 個
- ・ ビーカー (200 mL) 3 個
- ・ ホールピペット (10 mL) 2 本
- ・ ビュレット 1 本
- ・ ろうと 1 個
- ・ 目盛り付き試験管 (20 mL) 3 本
- ・ スポイト 1 本
- ・ 全硬度測定用チューブ (TH と表記) 3 本
- ・ 標準色 <全硬度>
- ・ EDTA 溶液 (0.0100 mol/L)
- ・ BT 指示薬 (pH 10 緩衝液含む)

### 実験 3-1 : 全硬度の定量 (パックテスト) \*別紙をあわせて参照すること。

\*残留塩素の定量結果 (実験 1) を踏まえて、市販ボトル水と考えられる飲料水は 10 倍希釈して実験を行うこと。水道水と考えられる飲料水は、希釈せずそのまま実験を行うこと。

(1) 飲料水 A が市販ボトル水と考えられる場合、飲料水 A を目盛り付き試験管に 2 mL とり、蒸留水で 10 倍に希釈する。水道水と判断した場合には、希釈はせず、そのまま適量をビーカー (100 mL) に入れ、(3) 以降の実験を行う。

(2) 希釈した飲料水 A をビーカー (100 mL) に入れる。

(3) 全硬度測定用チューブ先端のラインを引き抜く。(別紙 実験 3-1 図①)

(4) 穴を上にして、指でチューブの下半分を強くつまみ、中の空気を追い出す。(同 図②)

(5) そのまま (4) の状態で、穴を飲料水 A の中に入れ、つまんだ指をゆるめ、半分くらい水を吸い込むまで待つ。(同 図③)

(6) 軽く 5~6 回振りまぜて、別紙の図④のように標準色の上のせて比色する。標準色と比べて、一番近い色の値が測定値となる。二つの標準色の間の色の場合、それらの中間の値を測定値とする。10 倍希釈した場合、読み取り値を 10 倍した値が全硬度 (mg/L) となる。

(7) 飲料水 B 及び飲料水 C についても同様の実験を行い、全硬度を求める。

### 実験 3-2 : EDTA によるキレート滴定

\*全硬度の値が 200 (mg/L) 以上の飲料水について、キレート滴定により全硬度を測定する。

<注意>ビュレットに液体を注ぐ際は、必ず固定具からはずし、自身の顔の高さよりも下で手で持ちながら、ろうとを用いて液体を注ぐこと。ビュレットのコックより下の部分に気泡が残らないように注意すること。もし入ってしまった場合には、コックを全開にしてビーカーへ急に液体を流すと、気泡を出すことができる。ビュレットの先端をぶつけて破損しないように十分注意すること。

(1) 試料水 (飲料水) 10 mL\* を、ホールピペットを用いてビーカー (200 mL) にとる。これに蒸留水を加えて全量を約 50 mL とする。

\*正確な定量を行うためには、EDTA 溶液の滴下量が 10 mL 以上になることが望ましい。実験 3-1 (パックテスト) の結果をよく考え、必要に応じて試料の量を増やすこと。

(2) BT 指示薬約 1 mL を、スポイトを用いて加える。

(3) EDTA 溶液 (0.0100 mol/L) で滴定する。溶液の赤みが完全に消えて、青色になった点\*を終点とする (別紙 図 3.3 を参考にすること)。

\*滴定液を加えると局所的に変色するが、なめらかに円弧を描くようにビーカーを動かして、溶液全体を一様に混ぜながら滴定を行うこと。

(4) EDTA 溶液の滴下量が 10 mL 以上であれば、滴定は 1 回のみで構わない。滴下量が 10 mL 以下の場合には、滴下量が 10 mL 以上になるように試料の量を増加し、再度、滴定を行うこと。

問 8 次の問いに答えなさい。計算のために必要な場合には、以下の数値を使用すること。

原子量 H = 1.0 C = 12.0 O = 16.0 Na = 23.0 S = 32.1 Cl = 35.5  
K = 39.1 Ca = 40.1

(1) パックテスト (実験 3-1) の結果から求めたそれぞれの飲料水の全硬度 (mg/L) を答えな

さい。

(2) キレート滴定（実験 3-2）の結果より、飲料水中のカルシウムイオンとマグネシウムイオンの合計濃度（mmol/L）および全硬度（mg/L）を有効数字 3 桁で答えなさい。ただし、全硬度を計算する際には、滴定で求められた合計濃度が全てカルシウムイオンに由来するものと考えてください。また、計算過程も記しなさい。

\*キレート滴定を行わなかった飲料水については、解答欄に「キレート滴定を行わなかった」と答えること。また、滴定を 2 回行った場合には、2 回目の滴定結果を答えること。

(3) これまでの実験結果（陰イオン及び陽イオンの定量結果）をまとめて示し、飲料水の成分表を完成させなさい。ミリモル濃度（mmol/L）の単位で、小数点以下一桁まで答えること。炭酸水素イオン濃度は計算して答えなさい。なお、ナトリウムイオンおよびカリウムイオンの濃度は解答欄に記載されている値を用いること。

\*塩化物イオンの定量で（実験 2-1）、濃度が 100 mg/L 以上となった場合、その値を塩化物イオンの成分量として計算すること。

\*キレート滴定を行わなかった飲料水のカルシウムイオンとマグネシウムイオンの合計濃度は、全硬度の値から計算しなさい。ただし、全硬度が全てカルシウムイオンに由来するものとして計算すること。

(4) これまでの実験結果（残留塩素、陰イオン及び陽イオンの定量結果）から、3 種類の飲料水（A、B、C）が次のなかのどのサンプルであるか、同定しなさい。解答欄には、サンプルの番号を記入すること。

サンプル①：全硬度 100（mg/L）以下の水道水

サンプル②：全硬度 100～500（mg/L）の市販ボトル水

サンプル③：全硬度 1,200～1,600（mg/L）の市販ボトル水

#### 4. 紅茶と水

2 種類のボトル水（サンプル②、サンプル③）で紅茶をいれると、色や濁りの違いが出てきます。その理由を考察します。

#### 試薬と器具

- ・ サンプル②、サンプル③
- ・ 紅茶ティーパック 3 個
- ・ ビーカー（100 mL） 3 個
- ・ 目盛り付き試験管（20 mL） 6 本
- ・ 試料皿 1 枚
- ・ EDTA 溶液（0.0100 mol/L）

#### 実験 4：紅茶と水

\* 同定した 2 種類のボトル水（サンプル②、サンプル③）を用いて実験を行うこと。また、紅茶の状態の比較を行うために、浸出溶液量や浸出時間を揃えることに気をつけること。

- (1) サンプル②約 60 mL を 100 mL ビーカーに入れ、紅茶ティーパックをサンプルに浸す。
- (2) 適宜、ティーパックを上下させながら紅茶を浸出した後、紅茶の色や濁りを観察する。なお、浸出時間は 2～3 分程度を目安とし、浸出後はティーパックを取り出すこと。
- (3) サンプル③及び蒸留水についても同様の実験を行い、紅茶の色や濁りを観察する。
- (4) 紅茶の色や濁りの違いを考察する実験を立案し、実際に行いなさい。詳細は、問 10 (1) と (2) を参照すること。

問 9 サンプル②、③の水で浸出した紅茶の色や濁りの状態を、蒸留水で浸出した紅茶を基準として答えなさい。

問 10 紅茶の色や香りを決めている主な成分は、図 4.1 に示したテアフラビンとよばれるポリフェノールである。以下の問いに答えなさい。

(1) 水の硬度の違いによって、紅茶の色や濁りの違いが生じる理由（仮説）を述べなさい。

(2) (1) で立てた仮説を確かめるための実験を立案し、実際に行いなさい。行った実験の方法と手順、結果を示すこと。なお、実験には浸出した紅茶と、EDTA 溶液を使用すること。

(3) 今回の実験で使用した市販ボトル水（サンプル②、サンプル③）を十分に煮沸した後、常温まで冷却して紅茶を入れると、紅茶の色や濁りはどのようになるか。2 種類のボトル水について、それぞれ予想される結果とその理由を述べなさい。

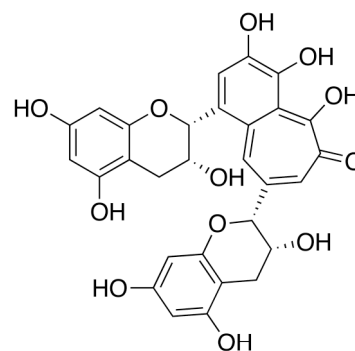


図 4.1 テアフラビンの構造式

問題は、以上です。

## 後片付けについて

試験終了後に、後片付けの時間が別に設けられています。試験で使用した器具や薬品類の持ち帰りは不正行為とみなします。

### 薬品類

- 1) 余った飲料水は、流しに捨ててください。飲んではいけません。
- 2) 余った薬品類（サンプル容器）は、全て廃液回収容器（白色 2L）に捨ててください。薬品を捨てた後、少量の水道水でサンプル容器をすすぎ、すすいだ水も廃液回収容器に捨ててください。廃液回収容器が満杯に近づいたら、監督者に申し出て廃液タンクに捨ててください。
- 3) 測定用チューブ（パックテスト）の内容物は、廃液回収容器（白色 2L）に捨ててください。その後、測定用チューブは指定したゴミ箱に捨ててください。
- 4) 実験で使用した紙タオル（キムワイプ、キムタオル）や紅茶ティーパックは、指定したゴミ箱に捨ててください。

### 器具

- 5) ビュレットは、残った EDTA 溶液を廃液回収容器（白色 2L）に捨てた後、少量の水道水を通して洗浄してください（ビーカーに水道水を入れて、ビュレットに通してください）。洗浄水は、廃液回収容器に捨ててください。その後、蒸留水を通して洗浄し（洗浄した水は流しに捨てる）、最初と同じように固定具に固定して下さい。
- 6) ホールピペットは、水道水を通して洗浄してください。洗浄した水は、流しに捨ててください。
- 7) ビーカーと試験管は、残った実験溶液を廃液回収容器（白色 2L）に捨てた後、少量の水道水ですすいでください。洗浄水は、廃液回収容器に捨ててください。
- 8) 洗浄した器具類は、全てカゴに入れておいてください。

### 最後に

- 9) 上記の作業 1)～8)を終えた後、廃液回収容器（白色 2L）の廃液を全て廃液タンクに捨ててください。少量の水道水ですすぎ、すすいだ水も廃液タンクに捨ててください。その後、廃液回収容器は各自の実験台の上に置いてください。
- 10) 実験台に備え付けのぞうきんを使って、実験台の上を拭いてください。片付けが終わったら、着席して指示を待ってください。