

とやま科学オリンピック 2024

分野問題

化学

(高校部門)

2024年8月9日(金)

時間：10時40分～12時10分(90分)

注意事項

1. 指示があるまで問題冊子を開かないで以下の注意事項をよく読むこと。
2. 問題は1と2のみで、12ページにわたって印刷してあります。
3. 実験はチームで協力して行うこと。他のチームの実験操作を参考にしてはいけない。
4. 机の上に置けるものは、「大会参加にあたって」で定められたものと与えられた実験器具のみとします。
5. 解答はすべて解答用紙に記入、チームで1部を提出すること。
6. 参加番号を解答用紙の決められた欄に記入すること。
7. 観察・実験等にあたっては、安全に十分注意すること。
8. 実験中にけがをしたり、器具の故障・破損が生じたりしたときは速やかに申し出ること。
9. 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、すぐに申し出ること。

みなさんの健闘を期待しています。

富山県 富山県教育委員会

次の文章を読み、実験を行ってあとの問いに答えなさい。

富山県は立山山麓・有峰湖周辺のブナ等の自然林による緑のダムによって、清浄かつ豊潤な水が蓄えられ、水に恵まれた県です。その水によって作られた急峻な渓谷や谷、河川は、流れる水に十分な酸素と、ほどよいミネラルを供給することでおいしい水となっています。また、豊かな水を供給する井戸、そして、そこから出るおいしい水など、水に関係する様々な名所があります。環境省が定めた「名水百選」及び「平成の名水百選」には県内から4カ所ずつ選ばれ、これは全国で一番多い数となっています。そんな「水の王国とやま」では豊富な流水を生活用水や工業用水など多くの用途に用いています。特に農業用水として92.4%の水が使われ、多くの農作物の生産に使われています。



立山連峰とみくりが池



魚津市東山円筒分水槽

富山県観光公式サイト

富山県の河川水の特徴としてマグネシウムやカルシウムなどのイオンの量が少なく、金属臭の原因となる鉄分が少ないことが挙げられます。そんな鉄分の少ない富山県でも水質保全の観点から水の中に含まれる鉄分の測定を行い、水質基準に適合していることを確認しています。

水中の鉄の濃度を迅速かつ効率的に測定する作業は、飲料水だけでなく、多くの産業にとって重要です。金属部品を洗浄する必要がある製造産業では、環境基準遵守のために排水中の鉄のレベルをモニタリングする場合があります。

溶液中の鉄の含有量の測定法の1つとして、比色分析法があります。比色分析法とは溶液の色の濃さによって物質を調べる分析方法であり、溶液中の濁りの度合いや、特定の成分がどのくらい含まれているかを実験で確かめることができます。今回は、自分たちで簡易比色計を作成して鉄の含有量を測定してみましよう。

1 【フェナントロリンを用いた鉄の呈色反応】

1,10-フェナントロリンという試薬を含む溶液に鉄（Ⅱ）イオン Fe^{2+} を加えると、両者が結合して溶液の色が赤橙色に変わります。したがって、この試薬を鉄（Ⅱ）イオンを含む試料溶液に加えて比色分析を行うことで、試料溶液中の鉄の濃度を知ることができます。

著作物引用箇所のため非公表

著作物引用箇所のため非公表

1,10-フェナントロリン

鉄と結合したフェナントロリン（赤橙色）

【比色計の仕組み】

比色計では、試料水の入った容器（プラスチックセル）に発光ダイオードからの光（強度 I_0 ）を通して、透過した光の強さ（強度 I ）を検出器（硫化カドミウム・CdS 素子）で数値（抵抗値 R ）に変換します（図1）。

このとき、試料水の色や濁りが濃くなると、試料を透過した光の強さが弱くなります。透過した光の強さが弱いほど、装置の抵抗値は大きくなります。

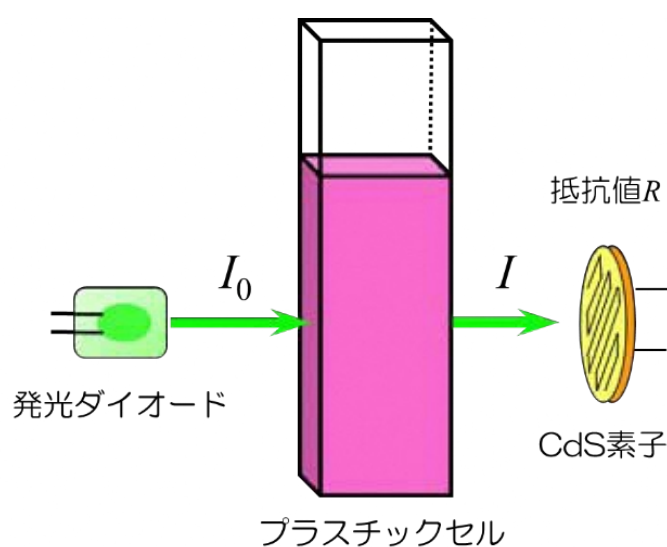


図1 簡易比色計の仕組み

今回の実験では、あらかじめ濃度を調整した標準溶液を複数用意し、それぞれの標準溶液を測定したときに検出器で観測される抵抗値を調べます。そして、標準溶液の濃度と抵抗値の関係を調べてグラフを作成します。これを検量線と呼びます。

(図2) 検量線を基に濃度未知の試料水を測定することで、その試料水中の鉄(II)イオン Fe^{2+} の濃度を求めることができます。

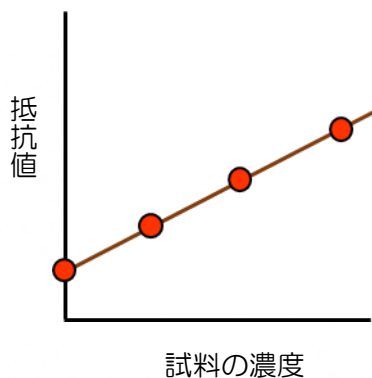


図2 検量線の例

【使用する器具】

- | | | | |
|-----------------------------------|---|-----------------------|---|
| ・プラスチックケース | 1 | ・ミノ虫クリップ | 4 |
| ・緑色発光ダイオード | 1 | ・検出器 (硫化カドミウム・CdS) 素子 | 1 |
| ・乾電池ホルダー | 1 | ・単3電池 | 4 |
| ・デジタルテスター | 1 | ・プラスチック製セル | 1 |
| ・工作用紙, アルミテープ, セロハンテープ, 両面テープ, 画鋸 | | | |

【使用する試薬】

- | | |
|--|-------|
| ・ 2.0×10^{-4} mol/L 鉄(II)イオン水溶液 | 20 mL |
| ・ 塩酸ヒドロキシルアミン水溶液 | 20 mL |
| ・ 1,10-フェナントロリン水溶液 | 20 mL |

【発光ダイオード (LED) について】

発光ダイオード (LED) は、低電力で特定の波長の光を出すことができる、非常に優れた発光素子です。今回の実験では、光の波長が 570 nm の緑色の発光ダイオードを光源として用います。発光ダイオードにはプラスマイナスの向きがあり、プラス側をアノード、マイナス側をカソード呼びます。使用する際は、2本の脚のうち、長いアノード(+)を電源のプラス側、短いカソード(-)をマイナス側に結びます。

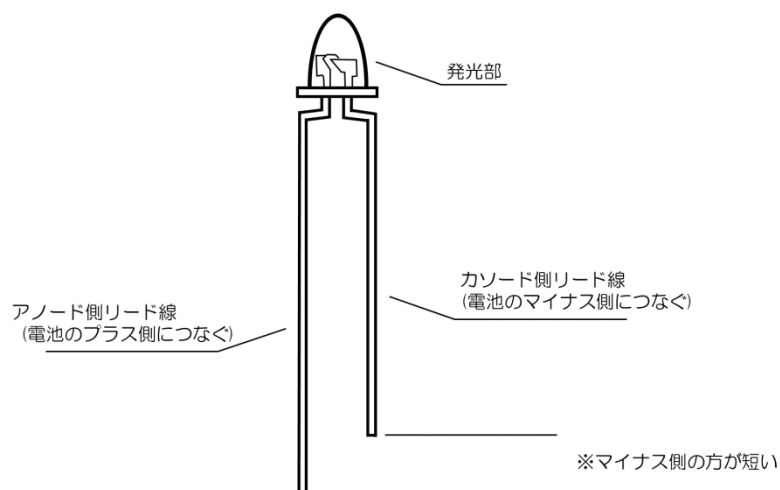


図3 発光ダイオード

【実験操作】

I 簡易比色計の作成

次の手順で簡易比色計を作成する。

1. ① 図5に従って、方眼紙を切り、厚紙ア～オを用意する。
- ② プラスチックケースの外側に光が入らないよう、アルミテープを隙間なく貼り付ける。
- ③ フタとなる厚紙アの片面にアルミテープを貼り付ける。

著作物引用箇所のため非公表

図4 簡易比色計の概略

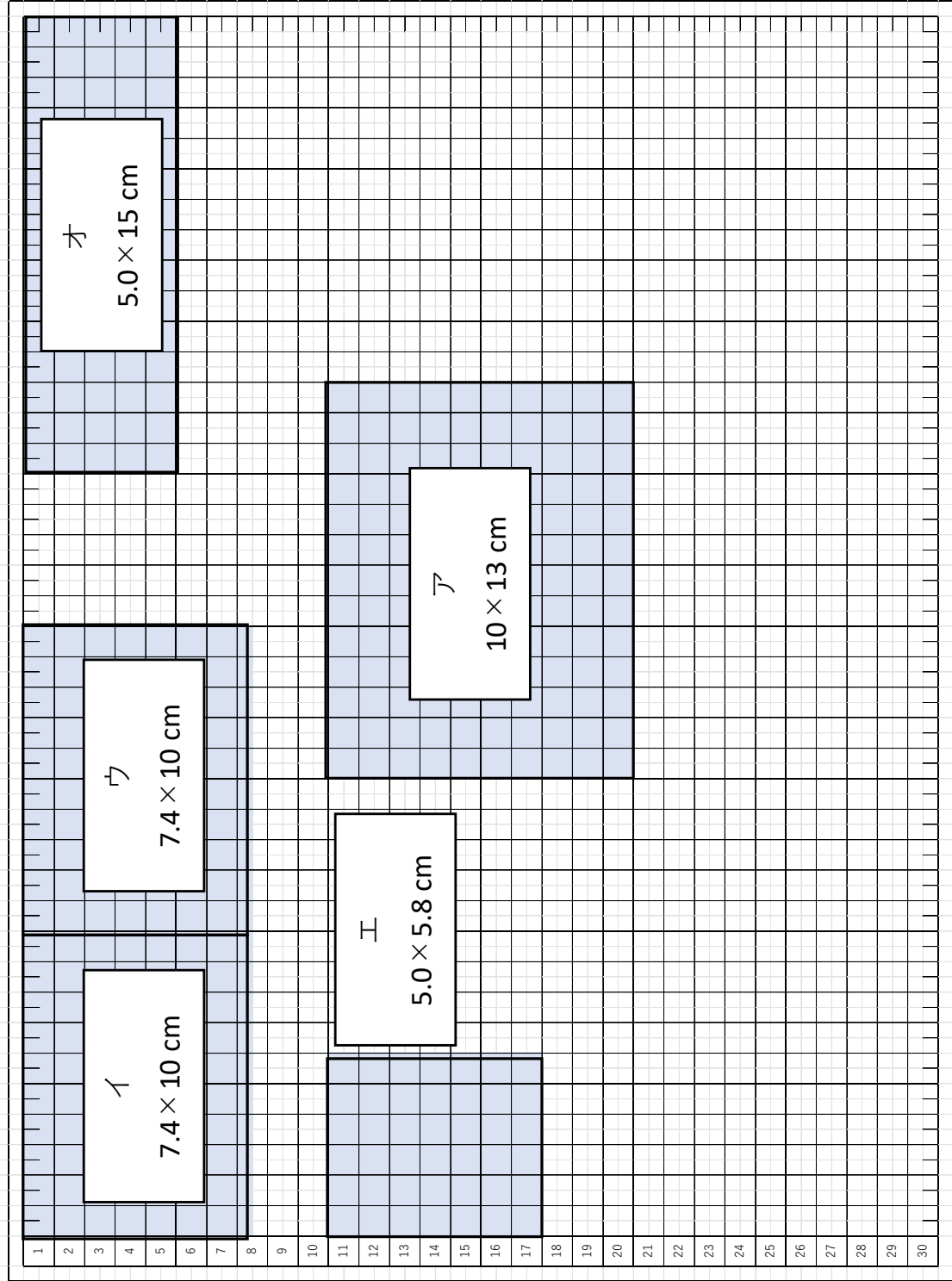


図5 方眼紙の切り方

2. ① 厚紙イ, ウの短辺の中央から左右に 1.0 mm ずつ, 下から 2.8 cm の位置に 2カ所, 画鋸で穴を開ける。開けた穴に, 厚紙イには発光ダイオードを、厚紙ウには CdS 素子をはめ込み図 6 のように, 1 cm 程度で足をまげてテープで固定する。

固定したイ, ウをプラスチックケースの溝にはめてみる。はまらない場合は, 厚紙イ, ウは内径に合わせて端をカットする。

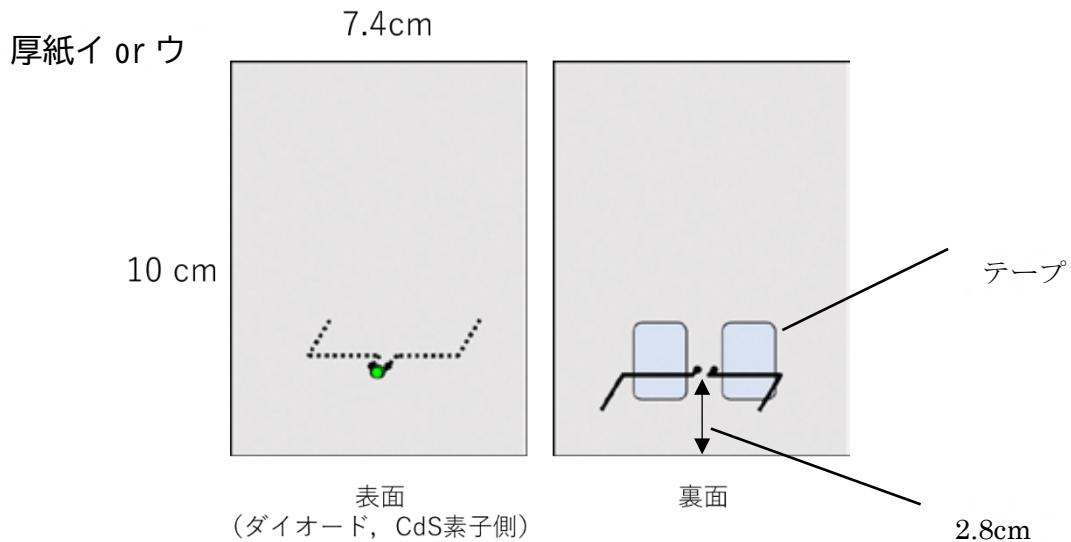


図 6

- ② 厚紙エを図 7 のように, 斜線部を切り抜いて中央にプラスチックセルが入る穴 (1.4 cm × 1.4 cm) を開けて内側になる面全体にアルミテープを貼り付ける。(図 7) その後, 穴の部分のアルミテープを切り抜く。
- ③ アルミテープを貼り付けた厚紙エをアルミテープを貼った面が内側になるように折り曲げて, 四角い筒を作成し, テープで止める。(図 8)

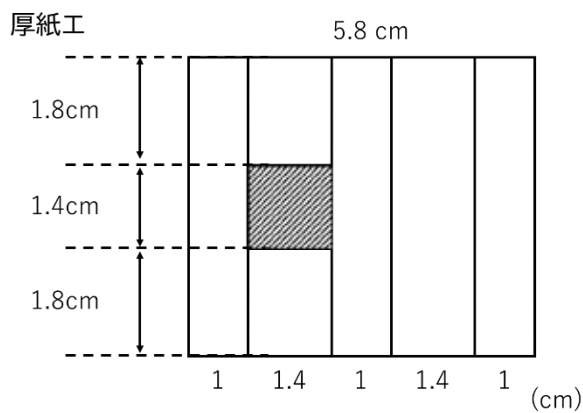


図 7

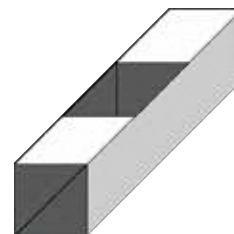


図 8

④ 厚紙オを下図のように折り曲げてテープで止めて台を作る。(図9)

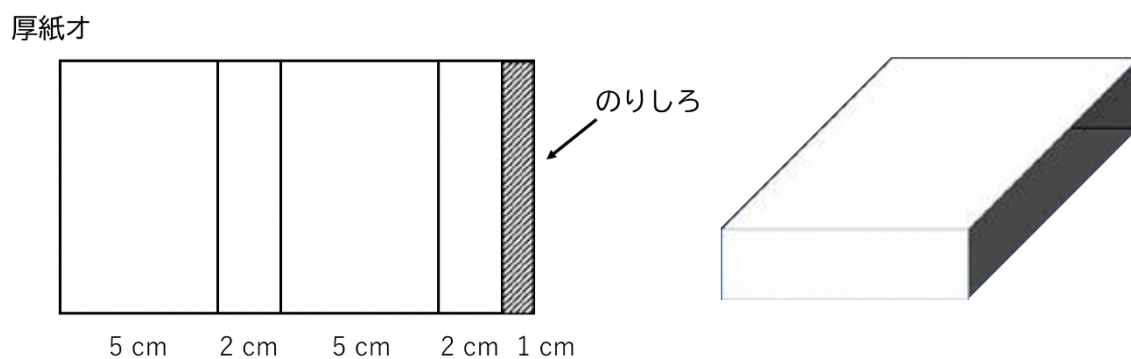


図9

⑤ ④で作った台の中央に2.③で作った筒を図10のように貼り付ける。

⑥ 2.①で作った厚紙イ，ウと厚紙オを斜線部に両面テープを貼って止める。
このとき，発光ダイオードとCdS素子が厚紙エの筒の内側に入るようにする。(図11)

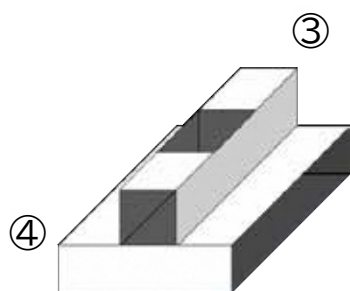


図10

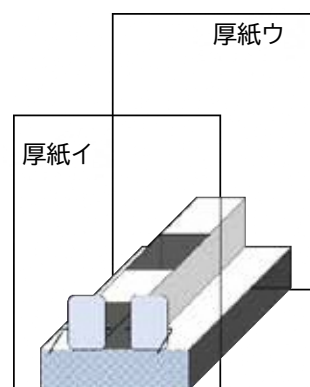


図11

⑦ 電池ホルダーと発光ダイオードを，ミノ虫クリップでつなぎ回路を作る。
この際，発光ダイオードのつなぎ方に注意する。(図3)

⑧ 図4に従って装置を組み立てる。

Ⅱ 比色計を使った測定方法

- ① デジタルテスターのつまみを回して抵抗値測定 $200\text{ k}\Omega$ にする。(図 1 2)
- ② プラスチックセルに測定する溶液を 6 割程度入れ、厚紙エの穴にセットする。
- ③ デジタルテスターのスイッチを入れ、発光ダイオードに電流を流す。
- ④ 比色計のフタ (厚紙ア) を閉めて、デジタルテスターで抵抗値を読み取る。

著作物引用箇所のため非公表

図 1 2

【課題】

問1 検量線を作成するための標準溶液を次の表に従って6種類、調製しなさい。また、このときに用いた実験器具を解答用紙に答えなさい。

標準溶液	1	2	3	4	5	6
塩酸ヒドロキシル アミン水溶液	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL
フェナントロリン 水溶液	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL	2 mL
鉄(II)イオン水溶液	0 mL	0.5 mL	1 mL	1.5 mL	2 mL	2.5 mL
純水	6 mL	5.5 mL	5 mL	4.5 mL	4 mL	3.5 mL
標準溶液中 鉄(II)イオン濃度 〔mol/L〕	0	1.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}	4.0×10^{-5}	5.0×10^{-5}

問2 測定結果を解答用紙の表を使ってまとめなさい。

また、解答用紙のグラフに検量線を描きなさい。

問3 用意された濃度未知の試料 A, B の比色分析を行い、問2で作成したグラフ（検量線）から溶液中の鉄(II)イオンの濃度を求めなさい。また、そう判断した理由を答えなさい。

問4 比色計の作成や実験を行う上で工夫した点を箇条書きで書きなさい。

2

「真っ赤なイチゴ」, 「黄色いバナナ」のように目に見えるものの色が赤や黄色のように見えるのは, 光源からの光を受けた物体から, その物体特有の波長の光が反射(または透過)されて, それが私たちの眼に入って認識されるためです。太陽光のように様々な波長の可視光が含まれる白色光が物質に当たると可視光の一部が吸収されるため, 吸収されなかった色が見えることとなります。

物体の吸収する色は色を環状に配置した色相環(図1)を使えば調べることができます。実際に見える色を色相環で見つけ, 環の中心を経て反対側の色がその物体が吸収している色になります。

つまり, 私たちが目で見ている色は物体に吸収されなかった波長の色で, これを補色といいます。

例えば, 物質に赤色の光が吸収されると, 物質は赤色の補色である青緑色に見えることとなります。



図1

問1 [1]では光源として緑色発光ダイオードを用いている。上記の説明を参考に, その理由を簡単に答えなさい。

図2は[1]で用いた最も色の濃い溶液を紫外・可視吸光光度計で測定した結果である。縦軸は吸光度(その波長の光を吸収した割合), 横軸は光の波長を示している。

また, 図3は可視光線の波長である。

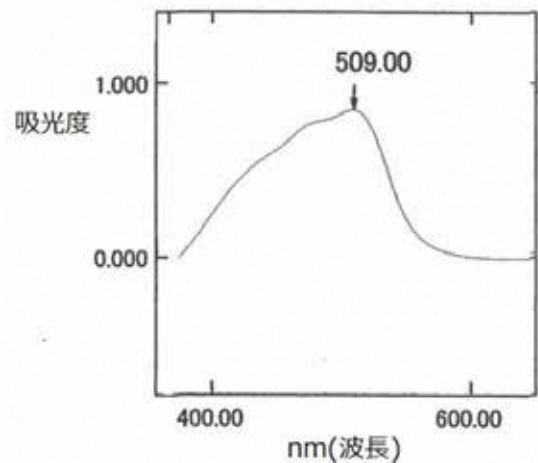


図2

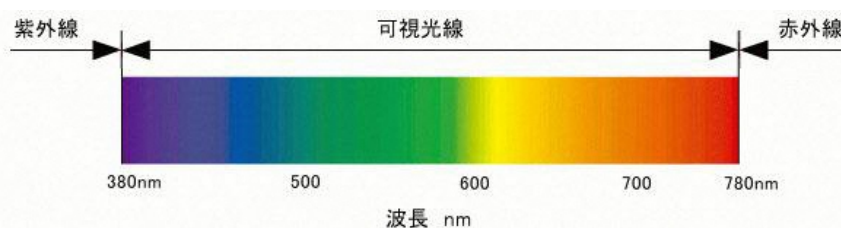


図3

問2 黄色に見える液体の濃度を比色計で測定するためには何 nm の波長の発光ダイオードを用いれば良いと考えられるか。理由を示して答えなさい。

問3 図4は水溶液 X と水溶液 Y の吸光度を測定した結果を表している。

これらの水溶液の色は何色として観察されるか。下の選択肢から最も適するものをそれぞれ1つずつ選んで記号で答えなさい。

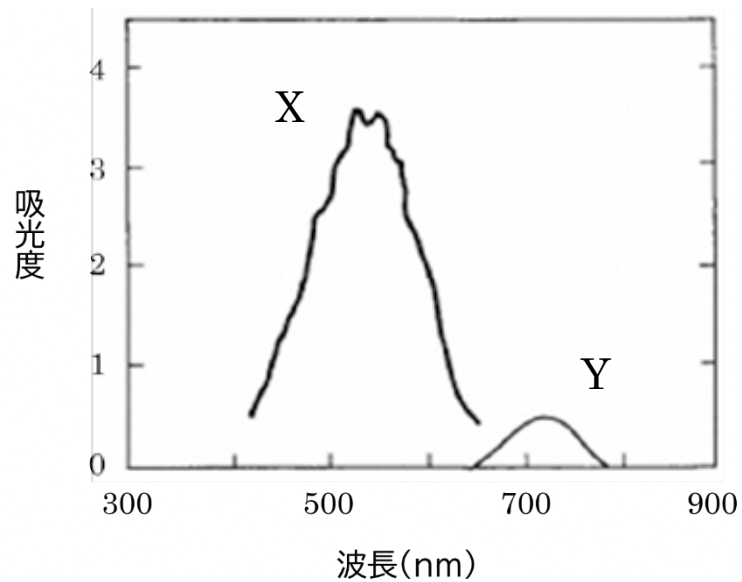


図4

ア 橙色 イ 黄色 ウ 黄緑色 エ 青色 オ 赤紫色