

フォトクロミズム現象の再現とフォトクロミック物質生成の検討

石川県立金沢泉丘高等学校理数科2年

2班 大井 愛加 炭澤 美乃里 寺澤 悠莉佳 符波 宗志 山田 優里

1. 研究動機

フォトクロミズム現象とは、光を当てることによって物質の色が可逆的に変化する現象である。既に実用化されているフォトクロミズム現象を利用した商品(サングラス, 化粧品, 印刷インクなど)は存在しているが、数が少なく、あまり普及していない。それは、現在普及しているフォトクロミズム現象が生じる物質(フォトクロミック物質)が非常に高価であるためだと考えられる。本研究では、フォトクロミズムの性質を改めて調査し、比較的安価で着色退色がしやすい物質を作るためのアプローチを検討する。最終的には、フォトクロミック物質を周知させるとともに、フォトクロミズム産業を活性化する糸口にしたいと考えている。

2. 先行研究

フォトクロミズム現象とは、光の照射によって分子構造が変化して分子が吸収する光の波長が変化することで、物質自身の色が変わる現象である。

株式会社資生堂リサーチセンターの大野和久らの研究¹⁾によると、アナターゼ型酸化チタンに酸化鉄Ⅲを質量比で1%だけ添加し、750~885℃で1時間焼成することによって最も反応性の高いフォトクロミック酸化チタンを合成できることが分かっている。

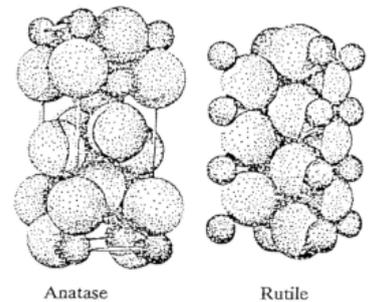


図1. 酸化チタンの結晶構造¹⁾

酸化チタンにはルチル型とアナターゼ型があり(図1)、フォトクロミック性はアナターゼ型でのみ現れる。焼成温度が900℃付近を超えて酸化チタンのルチル転移が起き、 Fe_2O_3 が完全に反応して Fe_2TiO_5 に変化するとフォトクロミック性が消失する。 Fe ドーパド酸化チタンのフォトクロミズム現象は酸化鉄Ⅲの準安定状態で起こり、安定状態ではフォトクロミック現象が生じないと推定される。

3. 本研究で明らかにしたいこと

研究動機でも述べたようにフォトクロミック物質は非常に高価で、生成が困難である。また、フォトクロミズム現象は、世間に浸透していない。我々自身もフォトクロミズム現象を目にしたことがない。そこで、まずはじめに実際にフォトクロミズム現象が起こるのかを改めて調査し、その性質を調べる(実験1)。その後、フォトクロミック物質を安価で自ら生成できるか検討する。大野和久らの研究¹⁾では、固体における実験のみ行われており、生成できた場合に液体にとかすなど、条件をかえて、着色退色しやすさや吸収スペクトルの変化について調べる(実験2)。

4. 実験計画

準備するもの

〈実験1〉

- ”Dabixx-5色UVカラーチェンジピグメントパウダーフォトクロミックピグメントレジージュエリー”(フォトクロミック顔料)
- 水 25ml (フォトクロミック顔料1色につき5.0ml)
- エタノール 25ml (フォトクロミック顔料1色につき5.0ml)
- アセトン 25ml (フォトクロミック顔料1色につき5.0ml)
- ヘキサン 25ml (フォトクロミック顔料1色につき5.0ml)
- 実験室にある最小サイズの試験管 10本
- 分光光度計 1個
- 紫外線ライト 1個
- タイマー 1個
- スマホ 1台

〈実験2〉

- アナターゼ型酸化チタンIV 9.9g
- 酸化鉄III 0.10g
- 電気炉
- 分光光度計 1個
- 乳鉢と乳棒 各 1個
- 熱濃硫酸 10ml
- 紫外線ライト 1個
- タイマー 1個
- スマホ 1個

使用場所・施設

- ・化学実験室
- ・電気焼却炉

(実験手順)

・実験1

①: 溶媒(水, エタノール, アセトン, ヘキサン)5.0mlずつに, それぞれフォトクロミック顔料を 2.0×10^{-2} gずつ投入する。以降, この溶液群を「フォトクロミック溶液群」と呼称する。

②: フォトクロミック溶液群に紫外線を照射し, 分光光度計を用いて着色退色のしやすさ, 吸収スペクトルを時間経過とともに調べる。着色, 退色にかかる時間をタイマーで, 吸収スペクトルの変化を測定器で測定し, それをスマホのカメラのスロー機能を用いて記録する。着色退色とは, 吸収スペクトルに変化が見られなくなった時点である。

③: ②における溶液を試験管に入れたあと, 紫外線をあて続けたり, 着色退色を繰り返したりしても反応性は変わらないかを調べる。

④: 分光光度計に表示される数値をもとに, 溶媒の濃度を変えて反応性が変わらないか, 紫外線をあて続けたり何度も着色退色を繰り返したりしても反応にかかる時間は変わらないかを調べる。

・実験2

①: アナターゼ型酸化チタンIV9.9gに酸化鉄0.10gを混ぜる。

②: ①の混合物を電気炉で800°Cで1時間焼成する。

③: ②の生成物に紫外線を照射して, 色の変化が起こるかを調べる。

④: 手に入れた物質の固体の状態での反応速度, 色の変化の度合いなどを実験1と同様に調べたあと, 物質を溶媒に溶かし, 着色退色のしやすさを調べる。

5. 仮説

〈実験1〉

現在所持しているフォトクロミック顔料は水には溶けないと考えられるが, 有機物である(ガスバーナーで加熱すると焦げた)ため, 有機溶媒には溶けると考えられる。分光光度計で測定した吸収スペクトルを, 時間を横軸, 吸収スペクトルの波長を縦軸にした折れ線グラフで, スマートフォンの動画を見ながら記入する(横軸縦軸の幅は, 実験結果の都度変更する)。これにより, グラフの傾きから着色退色のしやすさ, 縦軸の数値の変化の大きさから色の変化の度合いがわかるようになる。

〈実験2〉

温度条件, 酸化チタンのうちアナターゼ型が占める割合, 酸化鉄を含める割合が少し変わるだけで, フォトクロミズム現象の起こりやすさが大きく変わることがわかっている⁹⁾。紫外線照射で色の変化が見られた場合, 上記の条件が生成に適していることを示すとともに, 私達でもフォトクロミック物質が製造できることを示している。

逆に変化が見られなかった場合、上記の条件が生成に適していなかったか、先行研究を行った企業が公開していない情報があったという可能性が考えられる。

また、一般的にフォトクロミック物質を溶媒に溶かすと、溶媒に含まれる物質によってフォトクロミック分子の分子構造が不安定になり、フォトクロミズム現象に必要な分子構造の変化が起こりやすくなる。酸化チタンを液体(熱濃硫酸など)に溶かすと酸化チタンの分子構造が不安定になり、色の彩度がより大きく変化すると考えられる。固体と液体に溶かした場合の吸収スペクトルの変化を実験1と同様に、時間を横軸、吸収スペクトルの波長を縦軸にした折れ線グラフで記入する。そして、実験1と同様に、グラフの傾きから着色退色のしやすさ、縦軸の数値の変化の大きさから色の変化の度合いがわかるようになる。

6. 参考文献

1)大野和久, 熊谷重則, 田中俊宏, 斎藤力, 鈴木福二. フォトクロミック酸化チタンの開発とファンデーションへの応用. 日本化粧品技術者会誌. 1993, vol.27, no.3, p.314-325.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/sccj1979/27/3/27_3_314/_article/-char/ja (参照 2024-05-08).