

# 酸化チタンによる浄化作用

3507 奥田真由 3518 高子まりな 3528 早川愛那

## 要旨

酸化チタンによる光触媒作用を調べた。酸化チタンの機能を調べるとともに、光触媒への理解を深めることを目的に実験を行った。まず、酸化チタンがメチレンブルー水溶液を分解したことを目視で確認した。その変化が酸化チタンの光触媒作用によるものであることを確認するため対照実験を行い、吸光度を数値化した。正確な吸光度を測定するために酸化チタンコーティング液を塗布したタイルを作成し、作成したタイルに光触媒作用がみられるか確認した。実際に生活排水を浄化することを目的として実験を行った結果、光触媒作用のあるタイルの作成に成功した。また、作成したタイルが再利用できることを確認し、酸化チタンと水の有無についても考えることができた。

## 1. 目的

先行研究を基に生活排水を浄化することを目的とし、光触媒に関する理解を深める。

## 2. 仮説

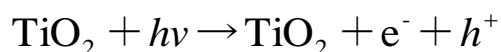
理論上酸化チタンの光触媒作用を利用し水質浄化が可能である。その作用を利用したタイルを作成し、そのタイルを用いて水質浄化ができる。

## 3. 研究・実験

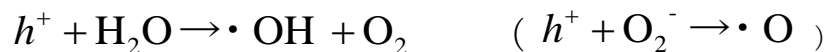
『光触媒の仕組み』

半導体光触媒では以下の段階を経て反応が進行する。

- ① 光照射による励起電子（エネルギーの高い状態）と正孔（励起された電子がおさまっていた穴）の生成。



- ② 正孔と励起電子がそれぞれ酸化反応、還元反応を起こす。



- ③ 酸化チタンによる酸化還元反応で生成された $\cdot\text{OH}$ ラジカルや原子状酸素 $\cdot\text{O}$ は有機物を反応し、中間体有機ラジカルを生成する。

- ④ 正孔と反応して生成するラジカルや原子状酸素は非常に高い酸化力を持っており、種々の有機物を最終的には二酸化炭素や水まで分解する。

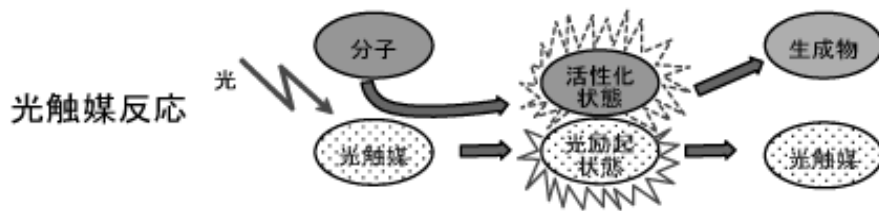


図1 光触媒反応のしくみ

〈実験Ⅰ：酸化チタンの光触媒作用の確認〉

○使用した器具・装置

酸化チタン(光触媒シリカゲル)【新東Vセラックス株式会社 型番：HQA11】、  
メチレンブルー [10ppm]、ビーカー

ここでは目視で確認できるようにメチレンブルーで色を付けた水溶液を使う。

メチレンブルーは青色であるため水溶液が無色透明になればメチレンブルーが分解されたといえる。

○手順

(1) A、Bを用意し太陽光のあたる場所に7日間放置した。

A：メチレンブルー水溶液 50ml + 光触媒シリカゲル 0.5g

B：メチレンブルー水溶液 50ml

(2) 目視で色の変化を確認した。

○結果



図2 太陽光を当てて7日後のメチレンブルー水溶液

右→A 光触媒シリカゲルあり

左→B 光触媒シリカゲルなし

目視で確認したところ、Aのメチレンブルー水溶液の色がBのメチレンブルー水溶液と比べて非常に薄くなった。

○考察

色の変化より、酸化チタンに太陽光を照射することでメチレンブルー水溶液を分解したといえる。光触媒シリカゲルを含まないメチレンブルー水溶液（B）も色が薄くなったのは、メチレンブルー水溶液が太陽光を照射するだけで分解される性質を持つからだと考えられる。

〈実験Ⅱ：光触媒作用の対照実験〉

○使用した器具・装置

酸化チタン（光触媒シリカゲル）、メチレンブルー [10ppm]、ビーカー、UV-BOX【ケニス株式会社 型番：4LK4-402】、紫外可視分光光度計【株式会社島津製作所 型番：UVmini-1240】

○手順

(1) 下記 A、B、C、D を用意し対照実験を行った。

A：メチレンブルー水溶液 50ml + 光触媒シリカゲル 0.5g

B：メチレンブルー水溶液 50ml

C：メチレンブルー水溶液 50ml + 光触媒シリカゲル 0.5g

D：メチレンブルー水溶液 50ml

A、B ⇒UV-BOX で紫外線を照射した。 C、D ⇒紫外線を照射しないようにした。

(2) 10分間隔で3回、吸光度の数値の変化を観察した。

○結果

表1 吸光度（ABS）の変化 ※任意単位

	0分	10分後	20分後	30分後
A 光触媒シリカゲルあり UVを照射する	1.971	1.884	1.820	1.709
B 光触媒シリカゲルあり UVを照射しない	1.971	1.950	1.927	1.927
C 光触媒シリカゲルなし UVを照射する	1.971	1.950	1.820	1.743
D 光触媒シリカゲルなし UVを照射しない	1.971	1.950	1.974	1.876

Aが最も数値が減少した。吸光度の数値の変化から酸化チタンの光触媒の作用の確認ができた。

吸光度とは分光法においてある物体を光が通った際に強度がどの程度弱まるかを示す無次元量である。

## ○考察

吸光度の変化より、酸化チタンに紫外線を照射することでメチレンブルー水溶液を分解したといえる。また、数値化したことで実際にメチレンブルー水溶液が分解されていることが分かった。

## 〈実験Ⅲ：酸化チタンタイルの作成〉

### ○使用した器具・装置

酸化チタン（粉末）、アセチルアセトン、エタノール、チタンテトライソプロポキシド、  
タイル 2 枚（80mm×50mm）、電気炉【ヤマト科学株式会社 型番：FO-100】

### ○手順

先行研究の課題として、実験に用いた粉末状の酸化チタンが水溶液中で濁ってしまい、吸光度が正確に測れないというものがあつた。その解決策として吸光度に影響が出ない酸化チタンを塗布したタイルを作成しようと試みた。

- (1) チタンテトライソプロポキシドを 14.6mL、アセチルアセトンを 10.3mL 加えた溶液を 1.0mL 取り、エタノールを 9.0mL 加えた。これをコーティング液とした。
- (2) コーティング液 1.0mL に酸化チタン粉末 0.016g を容器に加え、超音波洗浄機で酸化チタン粉末を分散した。
- (3) このコーティング液をフローコーティング法により筆でタイル表面に均一に塗布した。
- (4) 塗布したタイルを室内で乾かした後、電気炉を用い 600℃で 10 分間加熱した。
- (5) タイルを冷却し、その後取り出した。
- (6) (3)~(5)をもう一度繰り返した。

このタイルを酸化チタンタイルとする。

また、何も塗布していないタイルをノーマルタイルとする。

## ○結果



図 3 作成した酸化チタンタイル

図 3 のようなタイルを作成した。

〈実験Ⅳ：酸化チタンタイルを用いた生活排水への応用〉

○使用した器具・装置

酸化チタンタイル、メチレンブルー[10ppm]、シャーレ、  
マグネチックスターラー、純水、UV-BOX、紫外可視分光光度計

○手順

(1) 下記 A、B を用意し、シャーレに入れた。

A：メチレンブルー水溶液 180mL + 酸化チタンタイル

B：メチレンブルー水溶液 180mL + ノーマルタイル

(2) 水溶液がタイルに触れる面積を増やすために A、B、ともにマグネチックスターラーを使い、流れを作った。

(3) A、B、ともに UV-BOX を使い紫外線を照射した。

(4) 10 分間隔で 3 回吸光度を測定した。

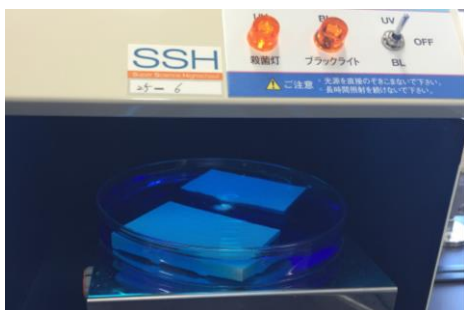


図 4 UV-BOX で紫外線を照射している様子

○結果

表 2 吸光度 (ABS) の変化 ※任意単位

	0 分	5 分後	10 分後	15 分後
A 酸化チタンタイル	1.922	1.786	1.698	1.644
B ノーマルタイル	1.922	1.712	1.668	1.632

A、B ともに吸光度が減少した。

○考察

酸化チタンタイルとノーマルタイルの吸光度に大きな変化が見られなかったのは紫外線を照射する時間が短かったからだと考えられる。

〈実験Ⅴ：酸化チタンタイルを用いた生活排水への応用〉

○使用した器具・装置

実験Ⅲで作成した酸化チタンタイル、シャーレ、マグネチックスターラー、  
洗剤水 (0.6%) UV-BOX、紫外可視分光光度計、  
パックテスト ZAK【株式会社共立理化学研究所 型番：ZAK-COD】

○手順

実験Ⅳのメチレンブルー水溶液を生活排水の一例として洗剤水に変えた。

私たちが用いた洗剤水はメチレンブルー水溶液とは違い無色であるため、吸光度だけで水溶液の浄化を判断するのは不十分だと考え、水質汚濁の指標の一つである化学酸素要求量（Chemical Oxygen Demand：COD）を判断の基準として取り入れた。

○結果

表 3 吸光度（ABS）の変化 ※任意単位

	0分	10分後	20分後	30分後
A 酸化チタントイル	0.080	0.094	0.067	0.056
B ノーマルタイル	0.080	0.091	0.091	0.090

表 4 COD(mg)の変化

	0分	10分後	20分後	30分後
A 酸化チタントイル	50	20	20	20
B ノーマルタイル	50	10	20	20

Aの吸光度は時間が経つほど大きく減少した。Bの吸光度はAに比べてあまり減少しなかった。

○考察

酸化チタントイルを使用した洗剤水（A）がノーマルタイルを使用した洗剤水（B）より吸光度の減少量が大きかったことから、酸化チタンが洗剤水を分解したと分かった。

CODは酸化チタントイルを使用した洗剤水（A）とノーマルタイルを使用した洗剤水（B）ともに減少しているが、パックテストの性質上細かい値までは分からなかった。今回の実験は正確性に欠けるといえる。CODはパックテストではなく酸化還元滴定を行い、より細かい測定をするべきだった。

〈実験Ⅵ：使用済みタイルの再利用実験〉

酸化チタンは光触媒であり、酸化チタン自体は変化しないはずである。そこで、酸化チタントイルの再利用が実際に可能かどうか確かめるため、再利用実験を行った。

○使用した器具・装置

実験Ⅳで使用した酸化チタントイル、メチレンブルー [10ppm]、シャーレ、マグネチックスターラー、純水、UV-BOX、紫外可視分光光度計

○手順

(1) 下記Aを用意し、シャーレに入れた。

A：メチレンブルー水溶液 180mL + 使用済み酸化チタントイル

(2) 水溶液がタイルに触れる面積を増やすためにマグネチックスターラーを使い、Aに流れを作った。

(3) UV-BOXを使い、Aに紫外線を照射した。

(4) 吸光度を測定した。

○結果

表 5 吸光度 (ABS) の変化

0 時間	4 時間	9 時間	13 時間
1.715	0.568	0.410	0.387

吸光度は減少した。

○考察

吸光度の変化から使用済みタイルでも光触媒作用はあることが分かる。

0 時間から 4 時間にかけて急激に吸光度が下がったのは以前の実験より時間を長くしたためだと思われる。

〈実験Ⅶ：酸化チタンと水の関係〉

○使用した器具・装置

実験Ⅳ (Ⅵ) で使用したタイル、シャーレ、純水

○手順

実験Ⅳ、Ⅵで使用したタイルにはメチレンブルー水溶液の色素が付着してしまった。そこで、これらのタイルを使用して水が酸化チタンの光触媒作用に与える影響を調べるために水分の有無を条件に加えた。

(1) 実験Ⅳ (Ⅵ) で使用した酸化チタンタイルとノーマルタイルに下記のように条件を変えて太陽光を照射する。2 週間に渡って経過を観察した。

A : ①酸化チタンタイルを純水に浸しながら太陽光を照射

②ノーマルタイルを純水に浸しながら太陽光を照射

B : ①酸化チタンタイルに太陽光を照射

②ノーマルタイルに太陽光を照射

C : ①酸化チタンタイルを太陽光が当たらないところに保管する

②ノーマルタイルを太陽光が当たらないところに保管する

(2) タイル上に残るメチレンブルーの変化を目視で確認する。

## ○結果

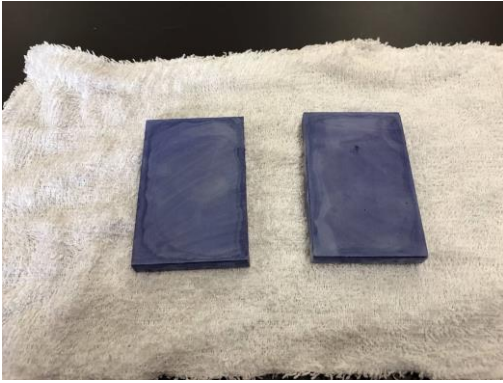


図5 実験Ⅳで使用した酸化チタンタイル

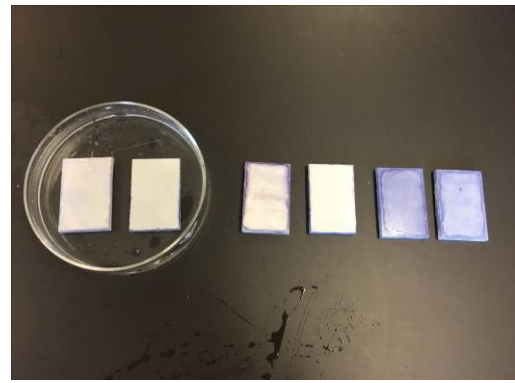


図6 2週間後の酸化チタンタイル

条件の違いによりタイル上に残ったメチレンブルーの色素の濃さに違いがみられた。

A : ① 最も薄くなった。未使用の酸化チタンタイルと比較しても遜色のないほどである。

(図6左から2番目)

② かなり薄くなった。側面や縁にはまだ色素が残っていた。

(図6左から1番目)

B : ① A①の次に薄くなった。タイルの側面や縁にはまだ色素が残っていた。

(図6左から4番目)

② 照射される前と比べると薄くなっているが、側面、縁だけでなく表面にも色素が残っていた。

(図6左から3番目)

C : ①② 照射される前と比べると少し薄くなったが、他の4枚と比べるとかなり濃い。

(図6左から5、6番目)

したがって、メチレンブルーを分解した程度は

$A① > B① > A② > B② > C① = C②$

と表すことができる。

## ○考察

A、B、Cの結果より、使用済みの酸化チタンタイルも光触媒作用を持つことが分かる。

A、Bの結果より、水があることで、より酸化チタンの触媒作用が見られると分かった。

よって酸化チタンは水分が付着してかつ紫外線を照射されると光触媒作用を効率的に発揮することができるといえる。

A②、B②はノーマルタイルだがメチレンブルーが分解されたといえる。これは実験Ⅰと同様、太陽光を照射したことでメチレンブルーが分解されたと考える。



〈実験Ⅷ：超親水性を用いた応用実験〉

今まで実験に使用していたタイルは表面が滑らかなため汚れが水で流されてしまう可能性がある。そこで今回は表面が粗いタイルから酸化チタンタイルを作成し、実験の調査対象として加える。

○使用した器具

酸化チタンタイルとノーマルタイルそれぞれ 2 種類、実験Ⅳで使用した酸化チタンタイル、純水、ケチャップ、マヨネーズ

○手順

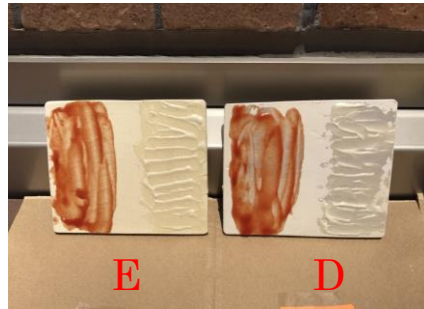
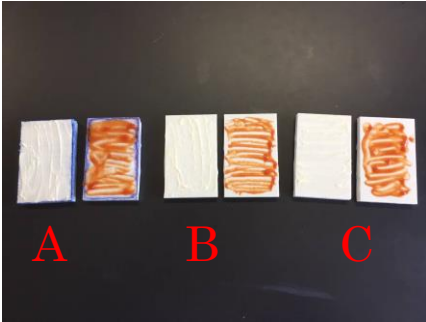


図 7(左) 図 8(右) ケチャップとマヨネーズを塗布した酸化チタンタイル

- A : 実験Ⅳで使用した酸化チタンタイル
- B : 酸化チタンタイル
- C : ノーマルタイル
- D : 酸化チタンタイル (粗)
- E : ノーマルタイル (粗)

- (1) 上記 4 種類のタイルにそれぞれケチャップとマヨネーズをまんべんなく塗布する。
- (2) 1 週間太陽光がよく当たるところに置き、霧吹きで純水をふりかけてケチャップとマヨネーズの変化を観察する。

○結果

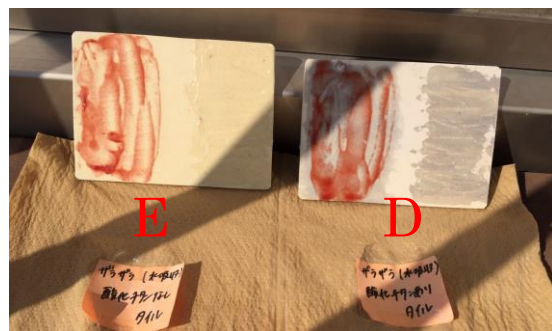
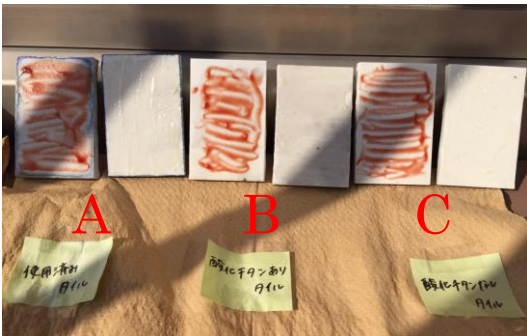


図 9(左) 図 10(右) 1 週間後の酸化チタンタイル

図9 図10より、酸化チタンタイルとノーマルタイル共に少しケチャップとマヨネーズの色が薄くなっただけだった。酸化チタンの光触媒作用を確認することができなかった。

1週間の観察期間の5日目に雨が降った。雨に打たれた後も観察を続けた。

→ A、B、C：大きな変化は見られなかった。

雨によりケチャップとマヨネーズは洗い流されてしまった。

D、E：雨で洗い流されることはなかったが、A、B、C同様大きな変化は見られなかった。

#### ○考察

酸化チタンタイルとノーマルタイルで大きな変化はなかった。A、B、Cについては表面が滑らかだったためケチャップマヨネーズ共に流れ落ちてしまった。D、Eについては汚れが表面に残っていたが酸化チタンの光触媒作用は見られなかった。太陽光を利用し、屋外で実験したため天気が悪かったり建物の陰になったりして紫外線の量が十分でなかったからだと考えられる。

#### 4. まとめ

酸化チタンは光触媒であり、様々な場面で私たちの生活に活用されている身近な物質である。また、紫外線を利用して有機物を分解できるため環境に害がなく、むしろ優しい物質であることが分かった。これを利用して、酸化チタンの光触媒作用を持つタイルを作成した。作成したタイルを使い、様々な状況下で実験を行った。メチレンブルーだけでなく実生活でも役立つようなタイルを作成したかったが、望む結果は得られなかった。

今後、酸化チタンの光触媒作用を最大限に引き出し、現在の環境問題に活用できるようにしていきたいと思う。

#### 5. 参考文献

- ・「光触媒入門」 <http://www.d7.dion.ne.jp/~shinri/nyumon.html>
- ・「光触媒とはなにか」 講談社 佐藤しんり 著
- ・「サイエンスビュー 化学総合資料」 実教出版株式会社
- ・「光触媒が未来をつくる 環境・エネルギーをクリーンに」 岩波書店 藤嶋昭 著
- ・「触媒・光触媒の科学入門」 講談社 山下弘巳・田中庸裕・三宅孝典・西山覚  
古南博・八尋秀典・窪田好浩・玉置純 著
- ・「光触媒への挑戦」 <http://www.nagano-c.ed.jp/seiho/risuka/2009/2009-11.pdf>
- ・平成26年度 課題研究 サイエンスリサーチⅡ「酸化チタンを用いた環境浄化」  
岐阜県立恵那高等学校 小栗万実・松田南海・久保香絵・村山萌珠