

酸化チタンを用いた水質浄化

—光触媒の可能性を探る—

宮崎西高校 3 年 日高洗城

Abstract

TiO₂, a photocatalyst, is expected to have a wide range of applications, such as water purification and anti-mold measures, due to its property of inducing a strong redox reaction upon light irradiation and promoting the decomposition of organic matter. The purpose of this study was to evaluate the potential of TiO₂ as a photocatalyst for water purification, and as examples of photocatalytic reactions using TiO₂, experiments were conducted to decolorize methylene blue, oxidize ethanol, decompose fats and oils, and purify domestic wastewater. In these experiments, it was confirmed that the photocatalytic action of TiO₂ was highly effective in decomposing organic matter and fats and oils in aqueous solution. The applicability of TiO₂ to domestic wastewater treatment was also evaluated, suggesting that TiO₂ is effective in water purification. The results of this study indicate that the photocatalytic action of TiO₂ is effective in decomposing organic matter and can be applied to water purification.

光触媒である TiO₂は、光の照射により強力な酸化還元反応を引き起こし、有機物の分解を促進する性質を持つことから、水質浄化や防カビ対策など幅広い応用が期待されている。本研究は、TiO₂の光触媒作用を利用し、水質浄化への応用可能性を評価することを目的とした。TiO₂を用いた光触媒反応の一例として、メチレンブルーの脱色実験、エタノールの酸化実験、油脂の分解実験、および生活排水の浄化実験を実施した。これらの実験において、TiO₂の光触媒作用が水溶液中の有機物や油脂の分解において高い効果を発揮することが確認された。また、生活排水処理への適用可能性についても評価を行い、TiO₂が水質浄化において有効であることが示唆された。本研究の結果から、TiO₂の光触媒作用が有機物分解に有効であり、水質浄化への応用が可能であることが示されたといえる。

1. 背景

光触媒とは、光を吸収して化学反応を促進する物質の総称である。可視光や紫外線が当たることによって、通常の触媒プロセスでは困難な化学反応を常温で行わせることができる。それは強力な酸化還元反応であり、有害物質を無機物レベルまで分解することによる環境浄化への応用が期待されている。また、代表的な光触媒の材料としては、酸化チタン(TiO₂)が良く知られている。

現在、光触媒の実用化に向けて研究が盛んに行われている。環境浄化を模索する研究も行われており、村林眞行(2002)の研究では、特定の有機物質に関する有用性は確認されている。また、Sanja J. Armakovic (2023) など、近年の研究においても光触媒が複雑な構造の物質の分解能が実証されている。しかし、実際に水質浄化が実用化できるかを検証した研究は存在しなかった。加えて、実環境における耐久性や長期的な効果、安全性の面でも課題が残されており、今後のさらなる検証が必要とされている。加えて、太陽光を利用した際の効率の低さや、可視光応答性の向上といった技術的なハードルも依然として高く、産業レベルでの応用には未だに至っていないのが現状である。

2. 目的

本研究の目的は、酸化チタンの光触媒作用を利用して、有機汚染物質の分解や水質浄化への応用可能性を検証することである。特に、生活排水に含まれる有機物や油脂の

処理に焦点を当て、実用化への指針を提案することも本研究の重要な目的である。加えて、異なる種類の有機汚染物質に対する分解効率の比較や、光源の波長や照射時間、pHといった外部条件の影響を詳細に検討することで、より現実的かつ再現性の高い評価を目指す。

3. 方法

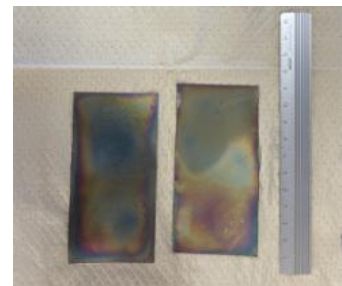
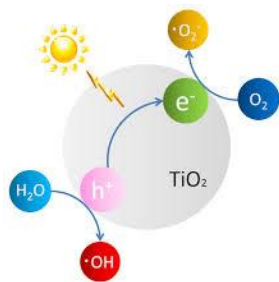
以下の実験 I ~ IV においては、市販のチタン板(5 cm × 10 cm)をバーナーによって加熱して酸化させた酸化チタン板を用いた。また、実験は朝 8 時から夕方 17 時までの 9 時間の間試料を屋外に置くことによって日光を照射して行った。

<実験 I : 酸化チタンの光触媒作用の確認>

この実験では、酸化チタンが光を受けて化学反応を促進する光触媒として機能するかどうかを視覚的に確認することを目的とした。具体的には、青色のメチレンブルー水溶液を用い、光照射の有無および酸化チタンの有無による変化を比較した。これらをそれぞれ 9 時間太陽光下または暗所に放置し、脱色の程度を目視で比較した。色が薄くなることでメチレンブルーの分解が確認できる。

<実験 II : エタノールの酸化実験>

この実験では、酸化チタンによるエタノールの酸化反応を検証することを目的とした。酸化チタン板を入れたエタノール水溶液に太陽光を照射し、時間経過による液性(pH)の変化を観察した。酸化が進行すると酢酸が生成され、液性が酸性に傾くと考えられるため、4 時間後および 9 時間後に pH を測定した。



また、エタノールの酸化過程において中間生成物であるアセトアルデヒドが生成されることを想定し、フェーリング溶液を加えて還元反応の有無を確認することによって、その存在も検出した。

＜実験Ⅲ：油脂の分解実験＞

生活排水に含まれる油脂成分を対象とし、酸化チタンがこれらを分解できるかどうかを検証する実験である。家庭内で広く使用されている油脂系物質として、今回はせっけん水を用いた。酸化チタン板を加えたせっけん水溶液を太陽光下で照射し、9時間後にCOD（化学的酸素要求量）を測定して有機物の減少を評価した。COD値は水中に含まれる酸化されやすい有機物の量を示す指標であり、その減少は有機物が分解されたことを意味する。対照として、酸化チタンを入れていない同条件のせっけん水試料も用意し、比較した。

＜実験Ⅳ：用水路の浄化実験＞

より実際の使用を想定し、学校敷地内の用水路から採取した水を試料として使い、酸化チタンの実用的な水質浄化能力を検証した。油脂などの人工的な有機物とは異なり、用水路の水には土壌や植物由来の自然由来有機物が混在しているため、光触媒の作用が異なる可能性がある。実験では、酸化チタン板を入れた試料を太陽光下に9時間置き、COD値の変化を測定した。これにより、実際の環境水に対して酸化チタンがどの程度有効かを評価した。対照として、酸化チタンを入れていない同条件の用水路の試料も用意し、比較した。

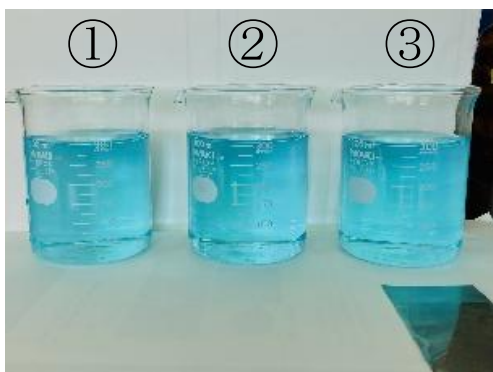
4. 実験結果

＜実験Ⅰ：酸化チタンの光触媒作用の確認＞

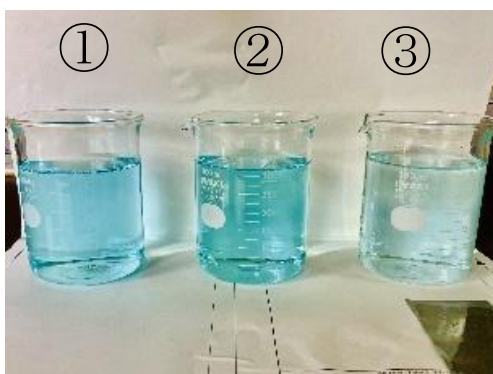
- ①→酸化チタン板なし、日光なし
- ②→酸化チタン板なし、日光あり
- ③→酸化チタン板あり、日光あり で9時間放置した。

その結果は下の写真のようになった。

○実験前



○実験後



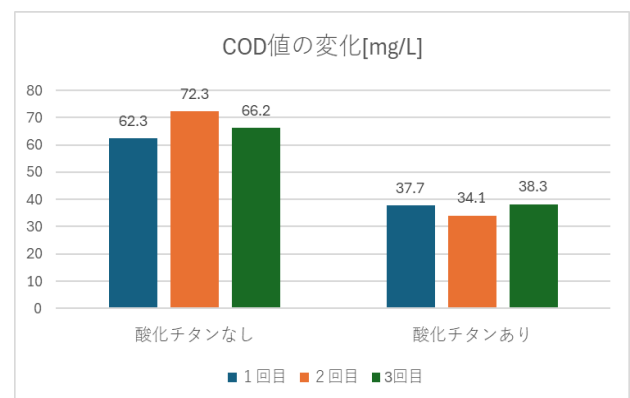
視で確認をしたところ、「酸化チタン板あり、日光あり」の試料において、照射後のメチレンブルー水溶液の色が照射前のメチレンブルー水溶液と比べて非常に薄くなっていった。色の変化より、酸化チタンに太陽光を照射することでメチレンブルー水溶液が分解されたといえる。よって、酸化チタンの光触媒作用が確認された。

＜実験Ⅱ：エタノール酸化＞

4時間後の試料を分析したところ、アセトアルデヒドの存在が確認され、液性はほぼ中性であることがわかった。一方で、9時間後の試料を同様に分析した結果、アセトアルデヒドは検出されず、液性は明らかに酸性を示した。これによって、光触媒反応によるエタノールの酸化が実証された。

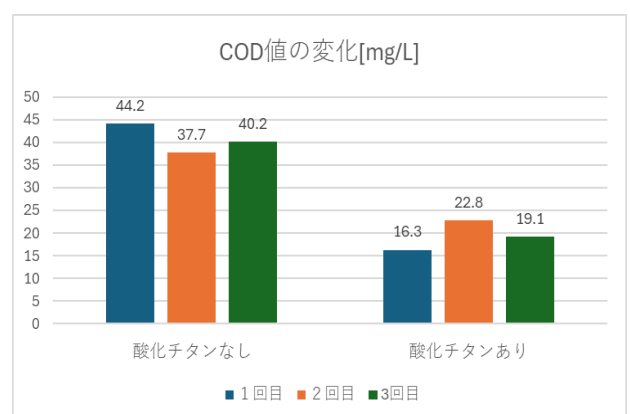
＜実験Ⅲ：油脂の分解実験＞

酸化チタン板を入れておいた試料において、COD値が大きく減少していることがグラフから読み取れる。これによって、光触媒反応による水中の油脂の分解効果が示された。



＜実験Ⅳ：用水路の浄化実験＞

酸化チタン板を入れておいた試料において、COD値が大きく減少していることがグラフから読み取れる。これによって、光触媒反応による有機物を含む用水路の水の浄化効果が示された。



6. 考察

実験Ⅰにおいて、酸化チタンが光を受けて化学反応を促進する光触媒作用を確かに示したことが確認されたにもかかわらず、続く実験Ⅱにおいては、4時間後の試料の液性が酸性に傾くという予想された変化が観察されなかった。この理由としては、実験中に用いたエタノールの酸化

反応が完全には進行していなかった可能性が高いと推察される。エタノールは光触媒の作用によって、通常はアセトアルデヒドを経由して最終的に酢酸へと酸化されるが、この中間生成物であるアセトアルデヒドは、化学的には弱塩基性を示す性質があるため、液性の変化が明瞭に現れなかったと考えられる。

これらの実験Ⅰ～Ⅳを通じて得られた結果は、酸化チタンが強力な酸化還元反応を仲介することによって、有機物や油脂といった複雑な構造をもつ化合物を分解する能力を有していることを示している。メチレンブルーや生活排水を対象とした実験結果からは、酸化チタンが浄化作用を示すことが明確になった。また、実験Ⅲにおける油脂分解の過程においても、一定の分解効果が確認されており、環境への負荷が大きいとされる有機汚染物質にも対応可能であることが分かった。

さらに、酸化チタンはあくまで触媒として機能し、化学反応を促進する役割を果たすのみで、それ自身は反応の過程において化学的変化を受けない。この性質により、繰り返し使用が可能であり、環境負荷が低く、持続可能性の高い水質浄化技術としての将来性が期待される。今後は、反応効率の最適化や可視光応答性の向上に向けた条件検討を進めることで、光触媒の実用化が一層加速すると期待される。

7. 参考文献

1. 陳大器(1992)「酸化チタン触媒によるクロロフォルムの分解Ⅱ」. 横浜国大環境研紀要, 18, 43-49
2. 橋本和仁(1999)「光照射による酸化チタン表面の超親水性変換」. 表面科学 Vol. 20, No. 2, pp. 85-g3, 1999
3. 村林眞行(2002)「環境浄化への光触媒の応用」. *Materia Japan*, 49, 4.
4. 大竹嘉尚, 根岸正美, 岡田三郎(2003) 光触媒による溶存態 COD の分解除去に関する研究, 全国公害研会誌, 28, 39-43
5. 祐田尚紀(2005) An antibacterial surface on dental implants, based on the photocatalytic bactericidal effect.
6. 埜田博史(2008)「光触媒技術の開発と応用展開」. *Synthesiology*, vol1, No4.
7. 奈良松範(2008)「高効率光触媒による水処理システムの研究」. 地球環境論文集, vol16.
8. 藤嶋昭(2017). 「第一人者が明かす光触媒のすべて—基本から最新事例まで完全図解」. ダイヤモンド社
9. Sanja J. Armakovic(2023)「Titanium Dioxide as the Most Used Photocatalyst for Water Purification」. *Catalysts* 2023, 13, 26.
10. Tan Mao(2024)「Research Progress of TiO₂ Modification and Photodegradation of Organic Pollutants」. *New Advances into Nanostructured Oxides*, 2nd Edition 2024, 12, 178.
11. 国立研究開発法人 国立環境研究所 環境展望台 環境技術解説 光触媒
<https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=39> (2024年12月閲覧)