

令和 4 年 6 月 8 日現在

機関番号：34533

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05681

研究課題名(和文)形状制御された酸化チタン微結晶上での結晶面選択的光不斉水素化反応の解明

研究課題名(英文)Elucidation of crystal plane-selective photoasymmetric hydrogenation reaction on shape-controlled titanium oxide nanocrystals

研究代表者

甲谷 繁 (Shigeru, Kohtani)

兵庫医療大学・薬学部・教授

研究者番号：00242529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、2-アセトナフトン(2-NP)などのアキラルな芳香族ケトンから不斉炭素を有するキラルな2級アルコール(2-NPOH)への光不斉水素化反応において、TiO<sub>2</sub>に共吸着するキラルな低分子有機化合物によるエナンチオ選択的な不斉誘起機構を検討した。

成果(1)：新しく見出したキラル共吸着剤2-アミノ-1-フェニルエタノール(PhEA)は、安定に2-NPの水素化反応へ関与し、高い収率と比較的強いエナンチオ選択性を示すことが明らかとなった。成果(2)：本反応のエナンチオ選択性は、結晶面の割合のみに依存するわけではなく、フッ化物イオンの吸着によっても立体化学的に強く影響を受けることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半導体光触媒の固体表面反応場、特にTiO<sub>2</sub>光触媒を有機合成反応に利用するメリットは、(a) 特有の化学反応を引き起こすことが可能、(b) 生成物の分離・精製が容易、(c) 化学的に安定で回収や再利用が可能、(d) 安価、(e) ヒトや環境にほとんど無害であり、大量に使用したり廃棄しても問題にならない、などが挙げられる。近年、TiO<sub>2</sub>アナタース微結晶の形状制御と酸化還元反応における面選択性の研究が活発に行われている。本研究の成果は、半導体光触媒の分野において表面化学と不斉立体化学を融合した新しい概念を当該学術分野に吹き込むと共に、将来的に医薬品合成などへの社会的な波及効果が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the enantioselective asymmetric induction mechanism by chiral organic compounds co-adsorbed to TiO<sub>2</sub> in the photoasymmetric hydrogenation reaction from an aromatic ketone such as 2-acetonaphone (2-NP) to a chiral secondary alcohol (2-NPOH) having an asymmetric carbon.

Achievement (1): The newly discovered chiral co-adsorbent 2-amino-1-phenylethanol (PhEA) was found to be stably acted in the 2-NP hydrogenation reaction, and showed high yield and relatively strong enantioselectivity. Achievement (2): It was clarified that the enantioselectivity of this reaction does not depend only on the proportion of the crystal surface, but is also strongly influenced stereochemically by adsorption of fluoride ions.

研究分野：触媒化学

キーワード：光触媒 不斉反応 酸化チタン 有機合成 エナンチオ選択性 キラル認識剤 アナタース 結晶面

### 1. 研究開始当初の背景

酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) に代表される半導体光触媒は、あたかも陽極と陰極が小さな粒子表面上に共存するような、光で動作する小さな電気化学セルと言える。例えば、図1に示す  $\text{TiO}_2$  の十面体アナタース微結晶には、還元反応が起こる側面の (101) 面と酸化反応が起こる上下の (001) 面が、100 nm 以下の非常に近接した場所で共存している。このように近接した反応場で酸化還元反応が同時に進行すると、中間体同士の反応や連続型酸化還元反応など、半導体光触媒に特有の化学反応を引き起こすことができる。我々の最終目標は、通常の熱反応や電気化学反応、あるいは、均一系の光化学反応では成し得ることができない半導体光触媒に特有の反応を、医薬品等の合成反応への応用に供することである。特に、医薬品等の生理活性のある有機化合物には、不斉炭素を有するキラルな化合物が多いことから、半導体光触媒上の酸化還元反応において不斉反応を誘起する反応系を開発することは学術的にも社会的にも重要なテーマである。しかしながら、現状では半導体光触媒上で不斉を誘起するエナンチオ選択的な反応はこれまでにあまり報告例がない[1]。

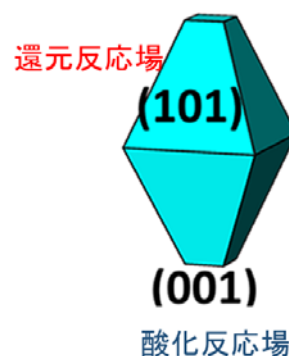


図1 十面体アナタース  $\text{TiO}_2$

我々は、本研究開始当初に、様々な結晶相 (ルチル、アナタース etc.) をもつ  $\text{TiO}_2$  微結晶にキラルなマンデル酸 (MA) を吸着させ、図2に示す芳香族ケトンのエナンチオ選択的な光水素化反応を検討した。その結果、生成物のエナンチオマー過剰率 (%ee) は  $\text{TiO}_2$  微結晶の種類によって全く異なること、場合によっては生成物の立体選択性 (*R* 体と *S* 体の優先性) が反転する場合があることを発見している[2]。この発見は、 $\text{TiO}_2$  表面に共吸着した MA と芳香族ケトンの立体配置が、微結晶の結晶面の原子配列や構造によって変化し依存しうることを強く示唆している。

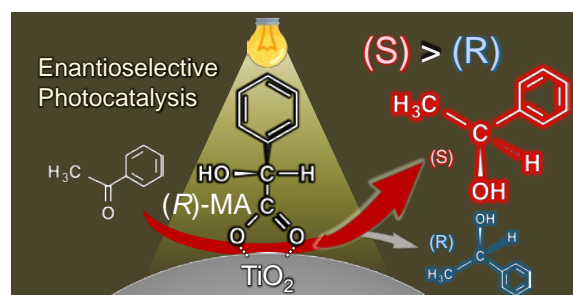


図2  $\text{TiO}_2$  上でのエナンチオ選択的光水素化反応

### 2. 研究の目的

本研究では、上記の背景の下、芳香族ケトンから不斉炭素をもつ2級アルコールへの水素化反応をモデルとして、 $\text{TiO}_2$  微結晶の結晶面依存的な不斉誘起のメカニズムを明らかにすることを目的として研究を開始した。そのために、 $\text{TiO}_2$  結晶相の結晶面の露出を制御した微結晶を系統的に調製し、上記反応の収率とエナンチオ選択性を検討した。アナタース  $\text{TiO}_2$  微結晶の代表的な結晶面は (101) 面と (001) 面であり、それぞれ露出表面のチタン原子と酸素原子の配列は大きく異なる。したがって、アナタース  $\text{TiO}_2$  微結晶上でキラルな共吸着剤と芳香族ケトンが相互作用する場合、結晶面の原子配列や構造の違いによって、相互の立体配置が大きく異なることが予想される。我々は、このように生成物のエナンチオ選択性に  $\text{TiO}_2$  結晶面の依存性があるのではないかと、この仮説をたてた。本研究では、この点に着目し、以下の研究を実施した。

(1) 水熱合成法によって (101) 面のみで構成される八面体アナタース  $\text{TiO}_2$  ナノ結晶 (OAT) を合成し、一般に  $\text{TiO}_2$  光触媒能のベンチマークとして利用されるアナタース・ルチル混合相の P25  $\text{TiO}_2$  と比較して、反応収率、反応速度、および、エナンチオ選択性を評価した。また、キラルな共吸着剤であるマンデル酸 MA は、 $\text{TiO}_2$  上で光コルベ反応によって分解し、生成物の %ee が反応の進行とともに減少する、いわゆるエナンチオ選択性の低下が起こることが分かっていた[2]。そこで、 $\text{TiO}_2$  上で光分解しない安定なキラル共吸着剤を新たに探索し、反応収率、反応速度、および、エナンチオ選択性を MA と比較して評価した。

(2) 図1の十面体アナタース微結晶の露出面の比率を変えるために、Murray らの手法[3]を採用し、(001) 面あるいは (101) 面が優先的に露出するいくつかの十面体アナタース微結晶を作製した。そして、十面体アナタース  $\text{TiO}_2$  結晶を用いて、生成物の %ee と露出表面との関連を調べた。この研究を進めていく中で、 $\text{TiO}_2$  上に吸着するフッ化物イオンとキラルなマンデル酸 MA の存在下で反応を検討したところ、生成物の立体選択性 (*R* 体と *S* 体の優先性) が反転することを新たに発見した。そこで、立体選択性の反転の理由を説明すべく、フッ化物イオンの濃度と生成物の収率および %ee の関連を調べた。

### 3. 研究の方法

**八面体アナターズ TiO<sub>2</sub> 結晶 (OAT) の合成:** 酸化チタン P25 (1.25 g) と水酸化カリウム水溶液 (8.5 mol/L) をオートクレープ内に入れ、200°C, 24 時間加熱し、真空乾燥してチタン酸カリウム (KTO) を得た。次に希塩酸 (1 mol/L) で中和後、脱イオン水を加え、プロトン交換を行った。プロトン交換後の KTO (0.267 g) とアンモニア緩衝液をオートクレープ内に入れ、200°C, 12 時間加熱し、真空乾燥して OAT を得た。アンモニア緩衝液は NH<sub>4</sub>Cl (mol/L) : NH<sub>4</sub>OH (mol/L) = 0.3 : 0.3, 0.4 : 0.4, 0.6 : 0.2, 0.7 : 0.1, 0.2 : 0.6, 0.1 : 0.7 の割合で OAT を合成した。

**(001) 面と (101) 面の露出割合を制御したアナターゼ型 TiO<sub>2</sub> ナノ結晶の合成:** Murray らの手法[3]に基づいて合成を行った。チタン原料としてフッ化チタン (TiF<sub>4</sub>)、塩化チタン (TiCl<sub>4</sub>)、または TiF<sub>4</sub> と TiCl<sub>4</sub> の混合溶液 (Mix) のいずれかを使用し、合成溶媒として表面修飾剤でもあるオレイルアミン (OLAM) または 1-オクタデカノール (1-ODOL) を組み合わせて使用した。粉末 X 線回折装置 (XRD) にてアナターゼ結晶相であることを確認した後、300°C で焼成することによって酸素空孔の除去を行った。その後、得られたナノ結晶を 0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液中にて 8 時間攪拌して、表面のハロゲン化物イオンを除去した。

**光触媒反応:** 光触媒反応評価では、タイコ型セルにキラル共吸着剤 (10 mmol/L) と基質である芳香族ケトン (2.5 mmol/L) を含むエタノール溶液 (25 mL) を入れ、各種 TiO<sub>2</sub> (0.03 g) を分散させた。その後、セル内をアルゴンガスで置換し、キセノンランプ (>350 nm) を用いて 30°C で照射を 23 時間行った。一定時間ごとに溶液を採取して遠心分離を行い、キラルカラムを用いた HPLC で反応中における基質、生成物、キラル共吸着剤の濃度を定量した。

### 4. 研究成果

#### (1) 水熱法による八面体アナターズ TiO<sub>2</sub> 結晶 (OAT) の合成とアナターズ・ルチル混合相 (P25) と OAT のエナンチオ選択的反応の比較

図 3 は水熱合成法で調製した OAT の透過型電子顕微鏡 (TEM) 像である。結晶の角度によって見え方は違うが、画像内のほぼすべての粒子について、八面体形状の TiO<sub>2</sub> 結晶が得られていることが分かる。粉末 X 線回折 (XRD) より、アナターズ相であることを確認し、回折角 25° 付近のピーク半値幅より、平均粒子径は 50 nm 程度であることが明らかとなった。

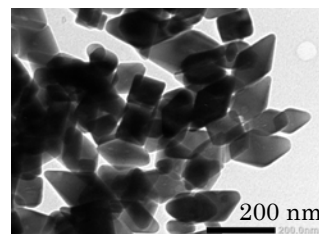
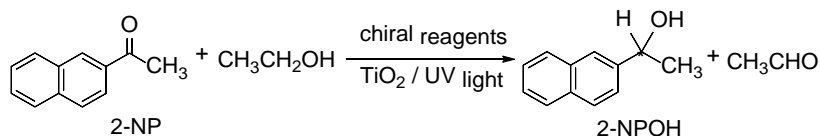
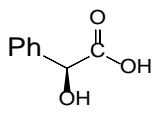
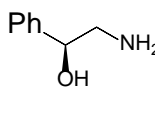
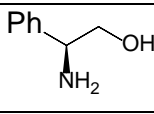
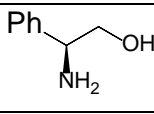
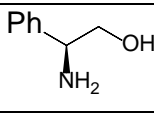


図 3 OAT の TEM 像

本研究では、MA に代わる新たなキラル共吸着剤として 2-アミノ-1-フェニルエタノール (PhEA) を見出した。このものは、MA と異なり、48 時間の長時間の反応でも生成物のエナンチオ選択性を損なうことなく、安定に働くことが明らかとなった。表 1 は、2-アセトナフトン (2-NP) から 2-ナフタレンエタノール (2-NPOH) へのエナンチオ選択的水素化反応の結果をまとめたものである。

表 1 2-アセトナフトン (2-NP) のエナンチオ選択的水素化反応



Chiral reagent	TiO <sub>2</sub>	Time [h]	Yield [%]	%ee <sup>†</sup>
 (S)-MA	P25	5	4	36
		23	11	17
 (S)-PhEA	OAT	5	0.1	79
		23	0.6	41
 (S)-PhGly	P25	5	31	-22
		23	84	-20
 (S)-PhGly	OAT	5	1	-28
		23	68	-26
 (S)-PhGly	P25	5	48	racemic
		23	81	racemic

<sup>†</sup> %ee の符号は生成物 2-NPOH について R 体過剰の時、正となるように定義した。

表 1 の結果から、(S)-MA をキラル共吸着剤とすると、%ee は大きく現れるが P25 と OAT のいずれも反応が進行せず、特に OAT 上ではほとんど反応が進行しなくなった (収率 1%未滿)。

これは  $\text{TiO}_2$  の反応サイト (Ti サイト) への 2-NP の吸着が、MA のより強い吸着作用により阻害され、反応速度が大きく低下したためと考えられる[1]。それに対して、(S)-PhEA を共吸着剤に使用した場合、光照射 23 時間後で OAT による収率は 68% と大きく向上し、 $-26\%ee$  (S 体過剰) が得られた。一方、キラル共吸着剤を (S)-フェニルグリシノール ((S)-PhGly) に置き換えると、収率は (S)-PhEA の場合とほぼ同じであるが、エナンチオ選択性は完全に消失した。この結果から、Ti サイトへの PhEA と PhGly の吸着力は同程度であるが、アミノ基と水酸基の立体的な位置関係によってエナンチオ選択性が決定されることが明らかとなった。また、 $\text{TiO}_2$  結晶構造との関連では、アナターゼ(101)面が主たる露出面である OAT のほうが P25 よりも大きい  $\%ee$  を示した。P25 のアナターゼ相も(101)面の露出の割合が一番大きいと報告されているが、OAT と比較すると(101)面の露出の割合は小さい。このことから、アナターゼ相の(101)面の露出割合が大きい  $\text{TiO}_2$  結晶ほど、生成物 2-NPOH のエナンチオ選択性が大きくなることが示唆された。

研究成果(1)をまとめると、1) 新しく見出したキラル共吸着剤 PhEA は、MA と大きく異なり、安定に 2-NP の水素化反応へ関与し、高い収率を与えること、2) PhEA はアミノ基が 2 位に置換した PhGly と異なり、本反応のエナンチオ選択性を誘起すること、3) アナターゼ相の(101)面の露出割合が大きい OAT 結晶ほど、MA と同様、PhEA によるエナンチオ選択性を強く誘起すること、を本研究により明らかにした。

## (2) (001) 面と (101) 面の割合を制御したアナターゼ $\text{TiO}_2$ 結晶によるエナンチオ選択的反応

Murray らの手法[3]に基づいて合成した  $\text{TiO}_2$  ナノ結晶の TEM 画像を図 4 に示す。XRD パターンと TEM 画像の結果から、結晶(A)~(C) は図 5 に示す形状に近いものと考えられる。

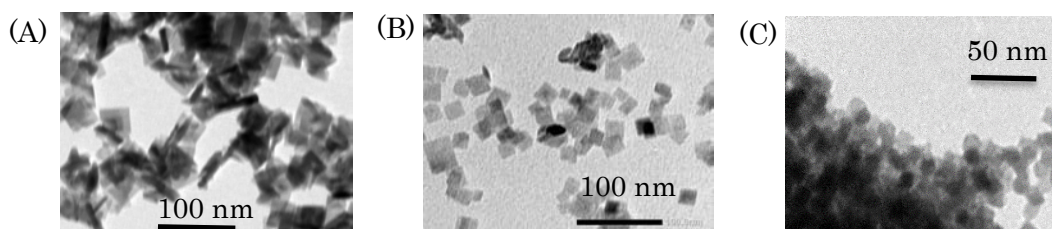


図 4 合成した  $\text{TiO}_2$  の TEM 画像

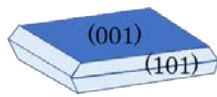

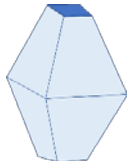
(結晶 A)	(結晶 B)	(結晶 C)	表 2. (S)-MA を作用させたときの生成物 2-NPOH の $\%ee$ (収率 < 1%)	
$\text{TiF}_4 \times 1\text{-ODOL}$	$\text{TiF}_4 \times \text{OLAM}$	Mix $\times$ OLAM	$\text{TiO}_2$ ナノ結晶	$\%ee$
			A $\text{TiF}_4 \times 1\text{-ODOL}$	+ 22
			B $\text{TiF}_4 \times \text{OLAM}$	- 12
			B' NaOHaq 処理	- 2
			C Mix $\times$ OLAM	+ 15

図 5 合成した  $\text{TiO}_2$  ナノ結晶の形状の概略図

表 2 は、合成した  $\text{TiO}_2$  ナノ結晶を用いて (S)-MA を 23 時間作用させて光触媒反応を行ったときの生成物 2-NPOH の  $\%ee$  を示す。興味深いことに、結晶 B で逆のエナンチオ選択性が得られ、表 1 の P25 (+ 17  $\%ee$ ) や OAT (+ 43.3 $\%ee$ ) と比較しても立体化学的に逆の結果が得られた。また、先の研究では、(101) 面のみで構成された OAT のほうが P25 よりも  $\%ee$  が高く、(101) 面に MA が吸着しやすいことが示唆されていた。しかし、この研究では、(001) 面の割合が小さく、(101) 面の影響が大きい結晶 C よりも、(001) 面の影響が大きい結晶 A において高い  $\%ee$  値を示した。これらのことから、本反応のエナンチオ選択性は (001) 面と (101) 面の割合のみに依存しているわけではないこともわかった。

そこで我々が次に着目したのは、 $\text{TiO}_2$  表面上に存在するフッ化物イオン  $\text{F}^-$  の影響である。Murray らの手法で合成したアナターゼ  $\text{TiO}_2$  ナノ結晶では、原料である  $\text{TiF}_4$  から合成段階で遊離する  $\text{F}^-$  が  $\text{TiO}_2$  表面上に残留すると考えられる。特に、結晶 B の (101) 面に残留する  $\text{F}^-$  は、OLAM と HF の反応で生成するアンモニウム塩 ( $\text{-NH}_3^+\text{F}^-$ ) を起源とする可能性が考えられる。そして、この残留  $\text{F}^-$  は (101) 面上で MA と基質の吸着に影響し、エナンチオ選択性の反転と低下に影響すると推測した。(101) 面上の残留  $\text{F}^-$  は、NaOH 水溶液による水酸化処理で除去できることが Murray らによって報告されているが[3]、実際、表 2 より水酸化処理前後の結晶 B と結晶 B' を比較すると、結晶 B' の  $\%ee$  は大きく減少していることが分かる。この結果は、(101) 面

上の残留 F が水酸化処理によって取り除かれ、エナンチオ選択性が低下したためと解釈できる。

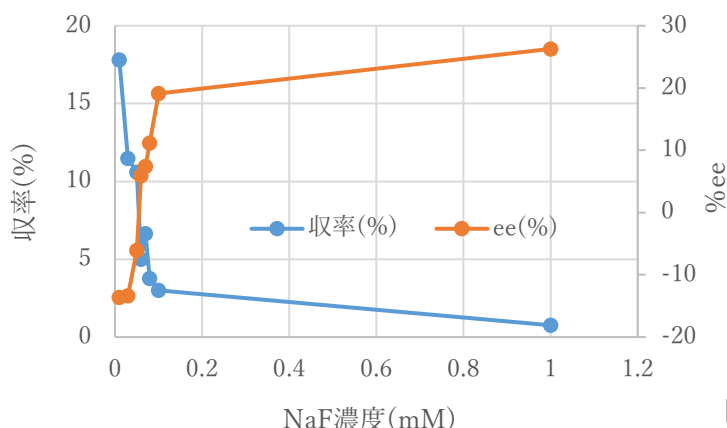


図 6 NaF 濃度による生成物 2-NPOH の収率と %ee の変化

上記の TiO<sub>2</sub> 表面上に存在する F<sup>-</sup> イオンの影響を詳しく調べるために、P25 における NaF 濃度と生成物 2-NPOH の収率および %ee の関連を調べた。図 6 は、反応溶液中加入した NaF 濃度に対する照射 23 時間後の生成物 2-NPOH の収率と %ee の変化を示している。なお、ここでの %ee は、生成物の 2-NPOH の S 体が過剰な場合を正とした。先の研究において、(S)-MA を加えると R 体の 2NPOH が優先的に得られることが分かっており、NaF 濃度 0.01~0.05mM の濃度範囲でも同じように R 体の 2NPOH の生成が優先していた。しかし、NaF 濃度が 0.06~1 mM ではエナンチオ選択性の逆転が起こり、S 体の 2NPOH が優先的に生成した。また、NaF 濃度が大きくなるにつれて収率は低くなり、%ee は高くなった。これらの結果は、F<sup>-</sup> が TiO<sub>2</sub> 表面の Ti 原子に吸着することで起こされると予想している。まず、収率の低下は、TiO<sub>2</sub> の反応サイト (Ti サイト) へ F<sup>-</sup> の吸着が起こり、水素化反応を強く阻害し、反応速度を大きく低下させるためと考えられる。それと同時に TiO<sub>2</sub> 表面に吸着した F<sup>-</sup> (図 7) は、基質 2-NP とキラル共吸着剤の MA との相互作用において、立体化学的な反転に関与している可能性が示唆された。なお、他のハロゲン化物イオン (Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>) ではこのような反転効果は認められなかった。

研究成果(2)をまとめると、2-NP から 2-NPOH へのエナンチオ選択的水素化反応は、エナンチオ選択性において (001) 面と (101) 面の割合のみに依存しているわけではなく、立体化学に影響を与えるフッ化物イオン F<sup>-</sup> の吸着によっても変化することが明らかとなった。

### (3) まとめと今後の展望

本研究では、MA に代わる新たなキラル共吸着剤として PhEA を見出した。また、フッ化物イオン F<sup>-</sup> が吸着することによりエナンチオ選択性に強く影響することも明らかにした。今後は、(101) 面のみで構成される OAT 結晶を用いて、芳香族ケトンとキラル共吸着剤の分子間相互作用を各種分光学的手法を用いて検討する。つまり、特定の (101) 結晶面のみに着目し、吸着する土台となる TiO<sub>2</sub> 表面の原子配列を固定した状況下で、芳香族ケトンとキラル共吸着剤の間のキラル認識を分光学的かつ計算科学的に評価する。まず、アナターズ (101) 結晶面上において、キラル共吸着剤と芳香族ケトンがどのように分子間相互作用するかを、固体 CD スペクトルの測定から誘起 CD を観測することにより情報を得る。また、DFT 計算により、キラル共吸着剤と芳香族ケトンの立体構造を計算する。そして、誘起 CD 帯の符号の比較からキラル共吸着剤と芳香族ケトンの分子間相互作用における絶対配置を決定する。これら一連の作業を MA、PhEA、PhGly といくつかの芳香族ケトン (基質) を組み合わせて置換基効果を調べることや、F<sup>-</sup> が吸着することによるエナンチオ選択性の効果も考慮してアナターゼ TiO<sub>2</sub>(101) 面上での立体化学的なキラル認識機構を明らかにする。

#### <引用文献>

- [1] S. Kohtani, A. Kawashima, H. Miyabe, Stereoselective Organic Reactions in Heterogeneous Semiconductor Photocatalysis, *Front. Chem.*, 7, 1-6 (2019).
- [2] S. Kohtani, A. Kawashima, F. Masuda, M. Sumi, Y. Kitagawa, E. Yoshioka, Y. Hasegawa, H. Miyabe, Chiral  $\alpha$ -hydroxy acid-coadsorbed TiO<sub>2</sub> photocatalysts for asymmetric induction in hydrogenation of aromatic ketones, *Chem. Comm.* 54, 12610-12613 (2018).
- [3] T. R. Gordon, M. Cargnello, T. Paik, F. Mangolini, R. T. Weber, P. Fornasiero, C. B. Murray, Nonaqueous, synthesis of TiO<sub>2</sub> nanocrystals using TiF<sub>4</sub> to engineer morphology, oxygen vacancy concentration, and photocatalytic activity, *J. Am. Chem. Soc.*, 134, 6751-6761 (2012).

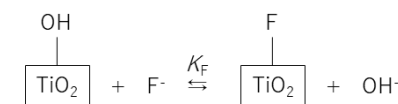


図 7 TiO<sub>2</sub> 表面における F<sup>-</sup> の吸着

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shigeru Kohtani, Akira Kawashima, Hideto Miyabe	4. 巻 7
2. 論文標題 Stereoselective Organic Reactions in Heterogeneous Semiconductor Photocatalysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fchem.2019.00630	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Hideto Miyabe, Shigeru Kohtani	4. 巻 62
2. 論文標題 Photocatalytic single electron transfer reactions on TiO <sub>2</sub> semiconductor particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science China Chemistry	6. 最初と最後の頁 1439-1449
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11426-019-9626-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長井臯姫、根来弦輝、川島祥、宮部豪人、甲谷繁
2. 発表標題 酸化チタン上での芳香族ケトンの不斉光水素化反応における立体選択性への影響(1)：アナターゼTiO <sub>2</sub> 微結晶の調製法
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦友里華、小椋茉春、川島祥、宮部豪人、甲谷繁
2. 発表標題 酸化チタン上での芳香族ケトンの不斉光水素化反応における立体選択性への影響(2)：基質とキラル共吸着剤との関連
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 甲谷 繁、川島 彩有里、三浦 友里華、根来 弦輝、川島 祥、大谷 文章、宮部 豪人
2. 発表標題 酸化チタン上での不斉光水素化反応における新規なキラル共吸着剤の特性
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉積 愛衣、川島 彩有里、根来 弦輝、川島 祥、宮部 豪人、甲谷 繁
2. 発表標題 酸化チタン上での光不斉水素化反応における共吸着剤の分子構造と結晶面の関連について
3. 学会等名 日本薬学会第142年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 桑田 恵梨菜、松崎 美香子、川島 祥、宮部 豪人、甲谷 繁
2. 発表標題 酸化チタンのエナンチオ選択的反応におけるフッ化物イオンの影響について
3. 学会等名 日本薬学会第142年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	宮部 豪人  (Miyabe Hideto)  (10289035)	兵庫医療大学・薬学部・教授    (34533)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川島 祥  (Kawashima Akira)  (60775724)	兵庫医療大学・薬学部・助教    (34533)	
研究分担者	長谷川 靖哉  (Hasegawa Yasuchika)  (80324797)	北海道大学・工学研究院・教授    (10101)	
研究分担者	北川 裕一  (Kitagawa Yuuichi)  (90740093)	北海道大学・工学研究院・准教授    (10101)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	大谷 文章  (Ohtani Bunsho)  (80176924)	北海道大学・触媒科学研究所・教授    (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関