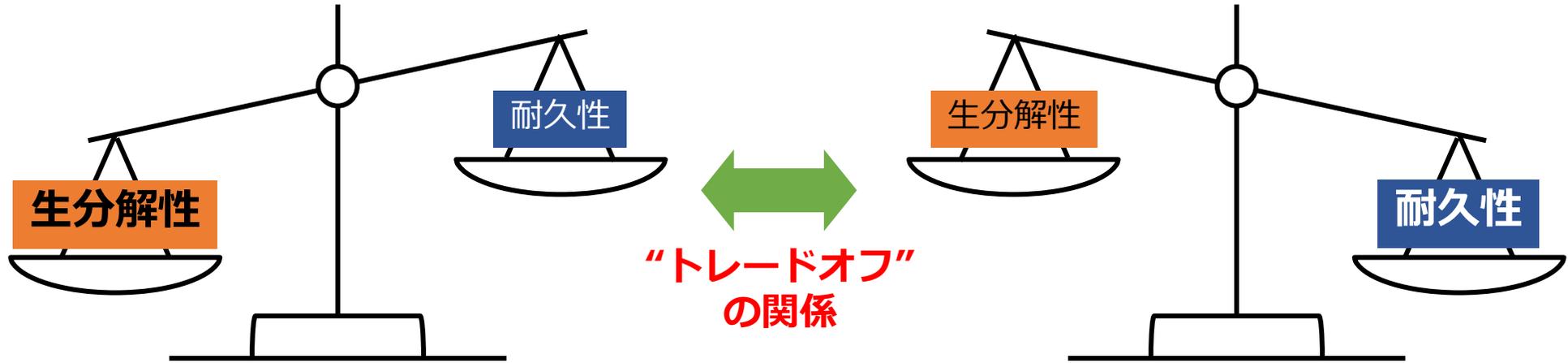


# 生分解性プラスチックの 分解タイミングを光で制御

産業技術総合研究所 生命工学領域  
バイオメディカル研究部門

研究員 日野 彰大

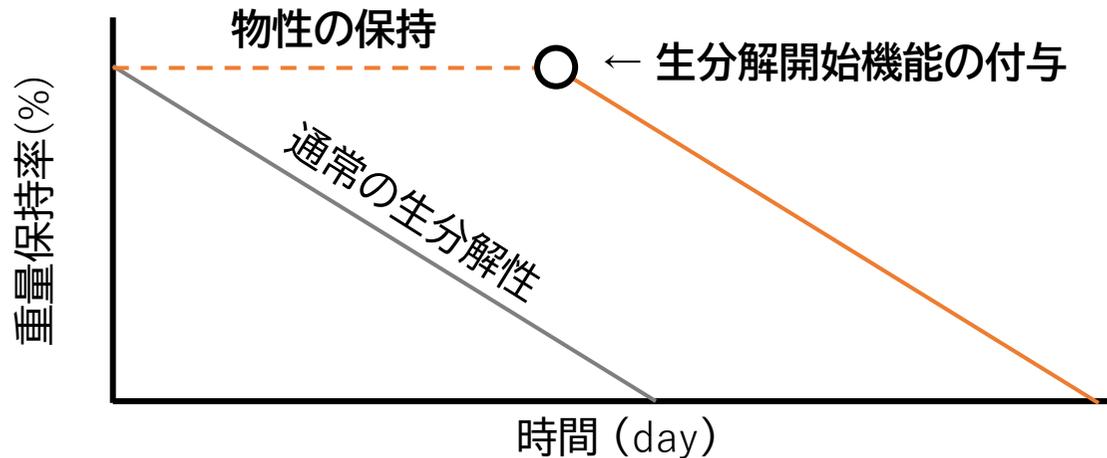
2024年9月10日



生分解性と耐久性を両立することは困難であるが・・・  
実用性の向上には両立が必要不可欠である



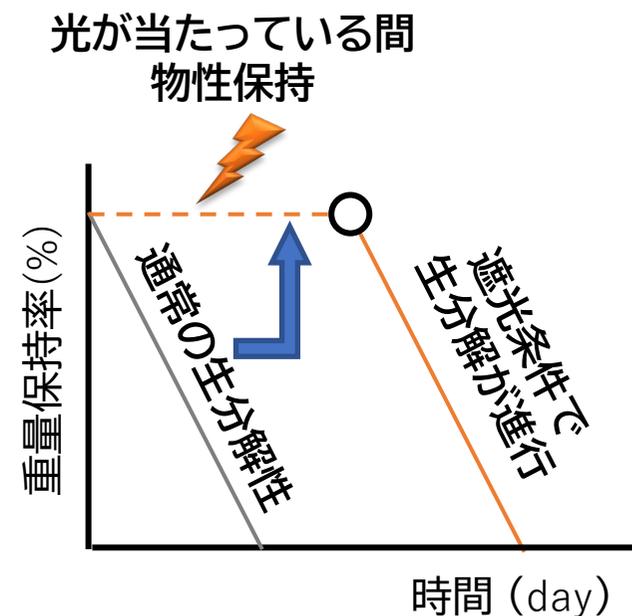
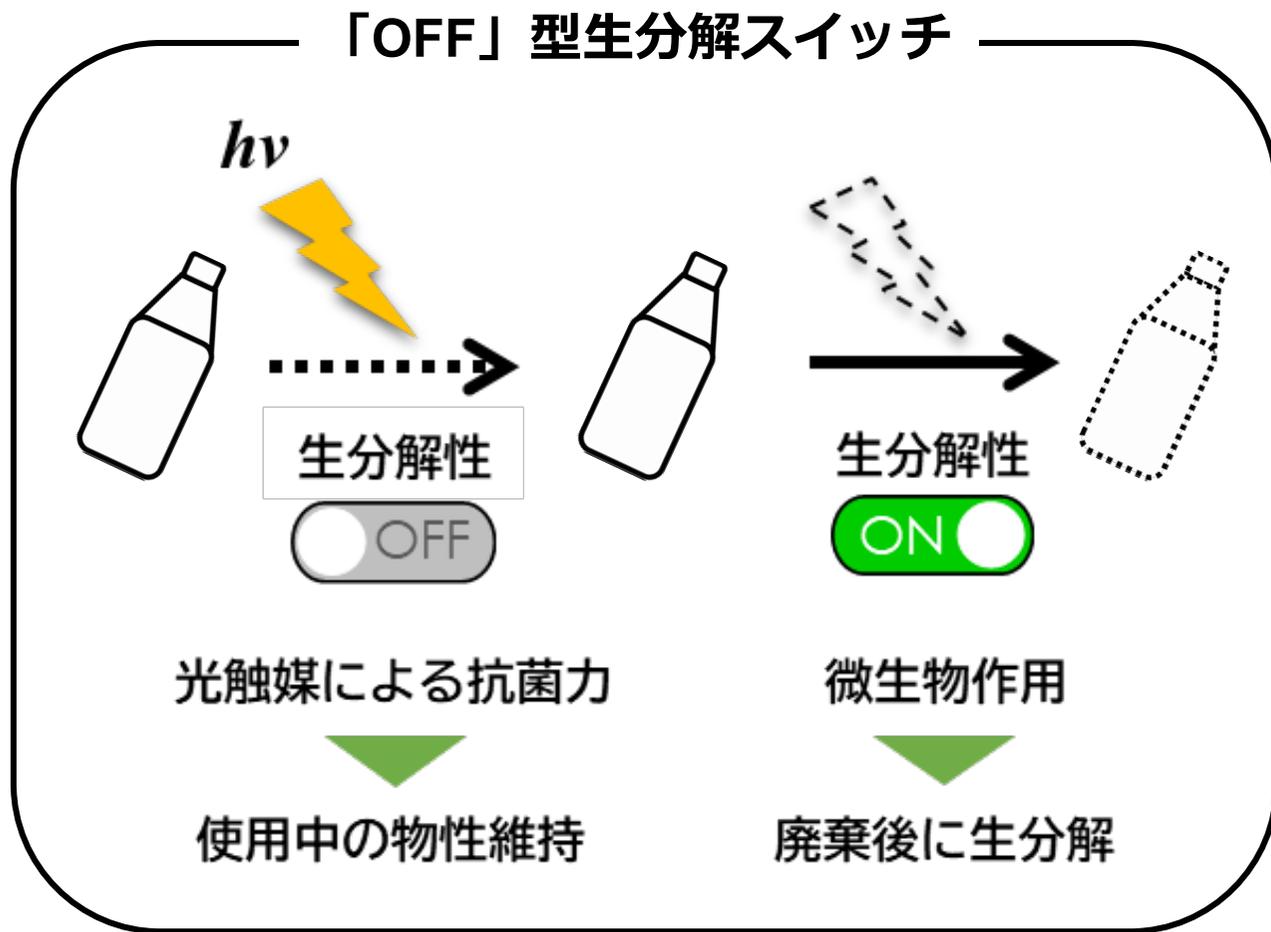
生分解性開始スイッチ機能の付与



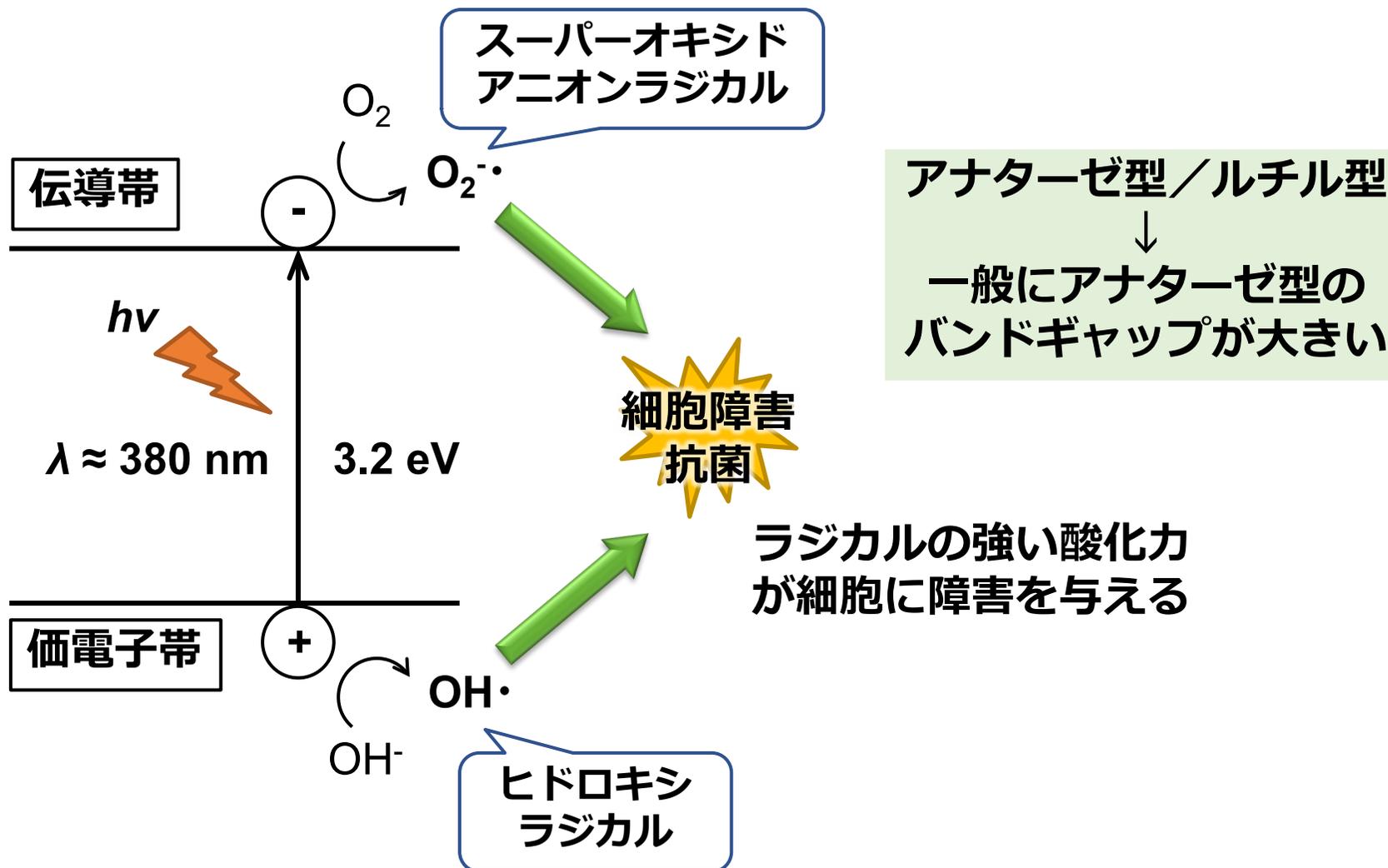
- 使っている時は生分解しない
- 使い終わったとき もしくは環境中に流出したとき 生分解が始まる

「オンデマンド分解」

## ➤ 光を外部刺激として生分解性を抑え込む手法



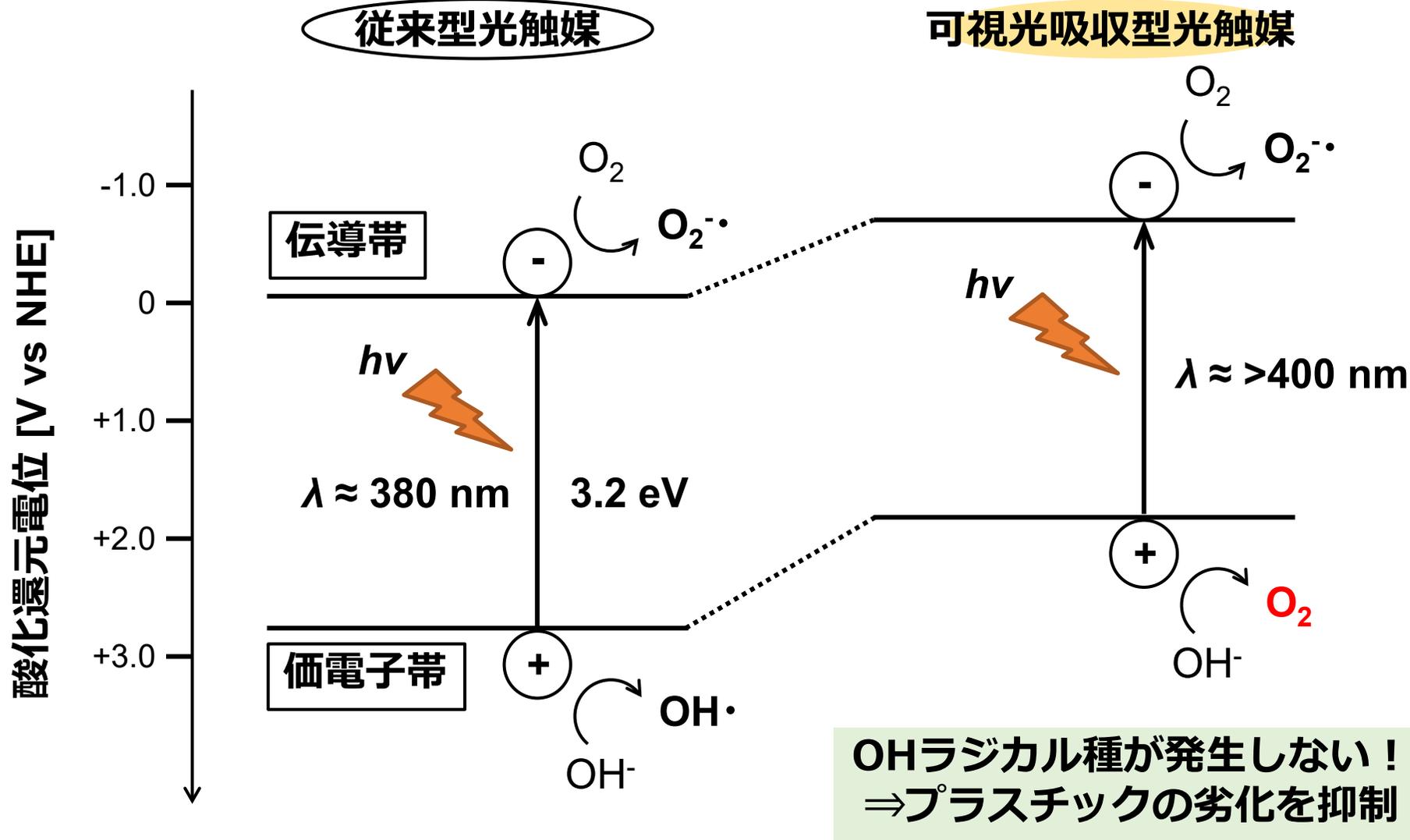
海洋分解性プラスチックと光抗菌性材料のコンポジット化



活性種	寿命	最大拡散長	酸化還元電位 (vs. NHE)
$h^+$ (正孔)	< 1 ns	光触媒中	光触媒に依存
$OH\cdot$ (ヒドロキシ ラジカル)	70 ns	20 nm	+2.8 V
$\cdot O_2^-$ (スーパーオキシド アニオンラジカル)	5 s	100 $\mu m$	+ 0.16 V

- ✓ 比較的酸化力が弱い⇒高分子の分解を抑制
- ✓ 長寿命(秒オーダー)⇒遠方の付着菌を殺菌可能

⇒  $\cdot O_2^-$ による殺菌が望ましい



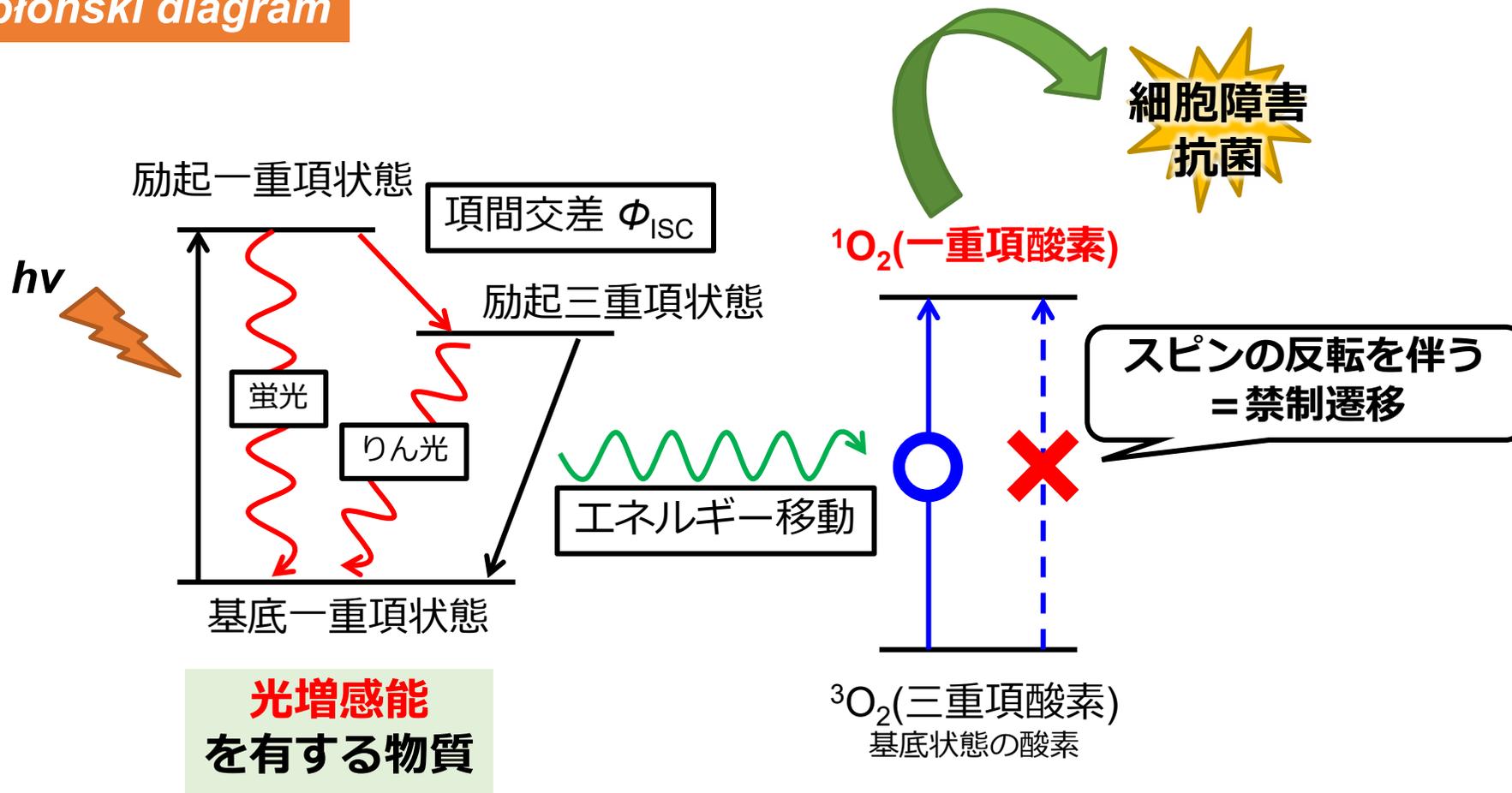
可視光域にも吸収を持つ酸化チタン(Cuドーブ)を活用  
⇒ 室内光(蛍光灯など)でも触媒能を発揮できる

活性種	寿命	最大拡散長	酸化還元電位 (vs. NHE)
$h^+$ (正孔)	< 1 ns	光触媒中	光触媒に依存
$OH\cdot$ (ヒドロキシ ラジカル)	70 ns	20 nm	+2.8 V
$\cdot O_2^-$ (スーパーオキシド アニオンラジカル)	5 s	100 $\mu m$	+ 0.16 V
$^1O_2$ (一重項酸素)	3 $\mu s$ ( $H_2O$ 中)	数十~100 nm	+2.2 V <sup>1)</sup>

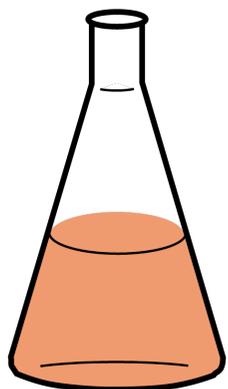
✓ 非ラジカル種で酸化力は強い⇒高分子の分解は抑制しながら強い殺菌効果

1) Z. Yao et al., *Separation and Purification Technology* 353 (2025) 128306.

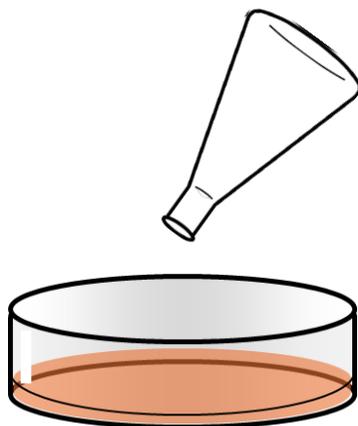
## Jabłoński diagram



ラジカルではないが 強い酸化力を持つ一重項酸素を利用  
寿命が非常に短いため 材料表面で効率的に抗菌力を発揮できる



0.5 wt%  
CHCl<sub>3</sub> soln.

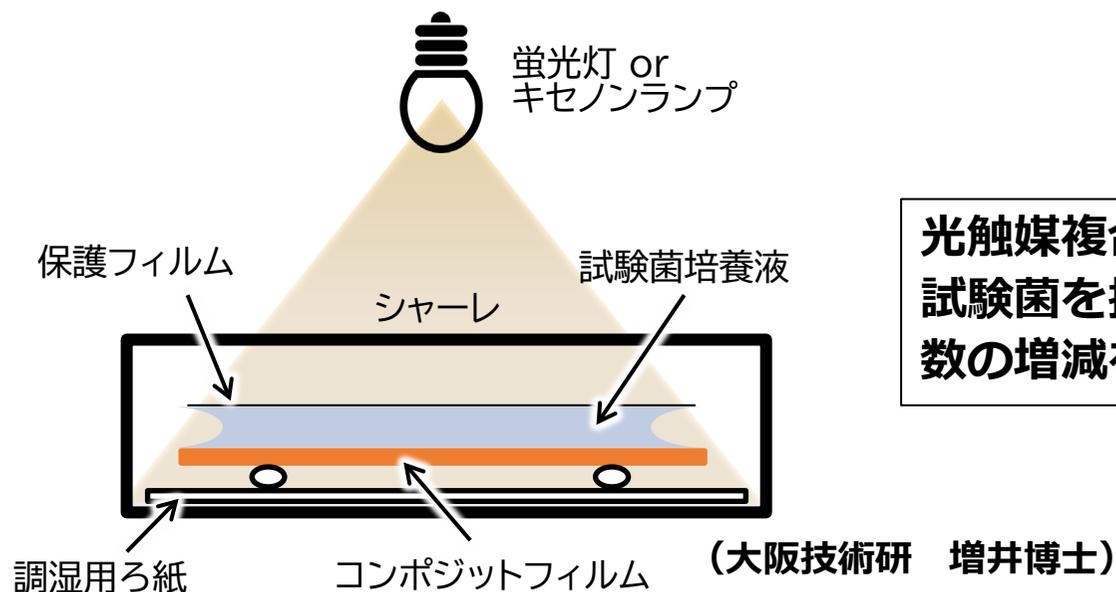


溶媒キャスト法

- ✓ CHCl<sub>3</sub>にポリマーと光増感剤を溶解し、シャーレにキャスト
- ✓ ドラフト内に水平台を設置し、シャーレにフタをした状態で数日間静置する

(大阪産業技術研究所との共同研究)

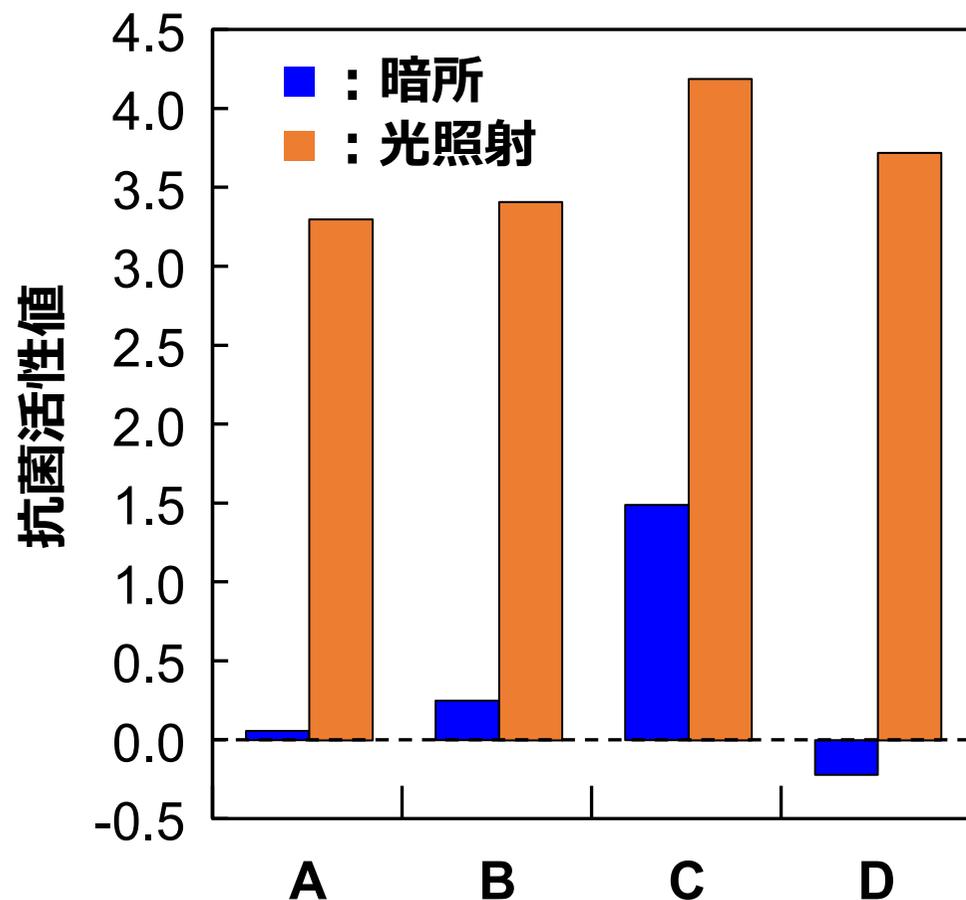
## コンポジットフィルムの抗菌性を ISO17094, JIS R1752:2020 を参考に検証 (JIS R1752 ファインセラミックス —可視光応答型光触媒抗菌加工材料の抗菌性試験方法及び抗菌効果)



光触媒複合化（コンポジット）フィルムと試験菌を接触させ、一定時間経過後の生菌数の増減を測定する⇒抗菌活性値の算出

$$\text{抗菌活性値} = \text{Log}(\text{光触媒なしの菌数}) - \text{Log}(\text{光触媒ありの生菌数})$$

一般に抗菌活性値が2以上を示すものが、抗菌性を持つと判断される。



対象菌 : *E. Coli*

(光照射条件)

照度 : 4000-12000 lx

紫外線強度 : 0.068-0.195 mW/cm<sup>2</sup>

光照射条件で抗菌活性値が2を大きく超えている  
⇒光抗菌性が発揮されている

【参考】

0.25 mW/cm<sup>2</sup>

0.10 mW/cm<sup>2</sup>

0.01 mW/cm<sup>2</sup>

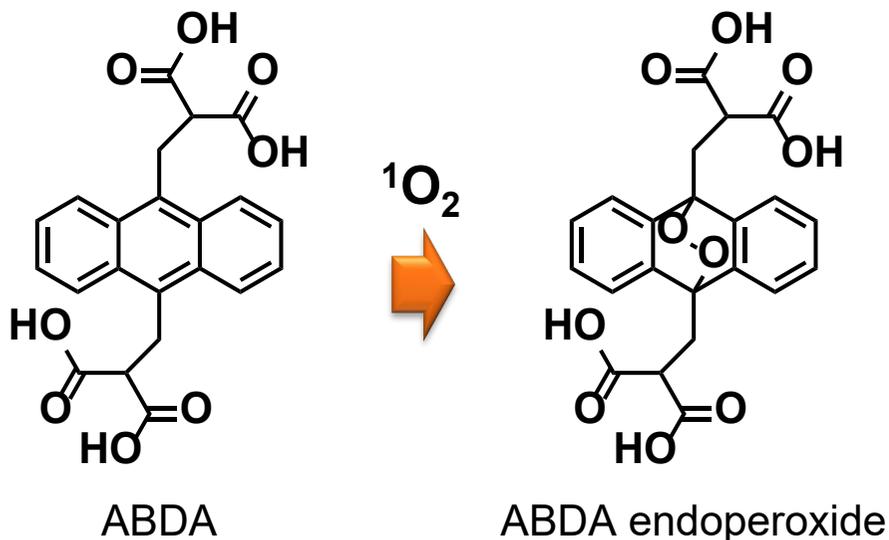
0.001 mW/cm<sup>2</sup>

昼間の窓際、光触媒機能を作用させるために使用される紫外線ランプ等の補助光源を使う場合

昼間の室内（太陽光が入る窓から1.5m程度内側まで）、朝や夕方の窓際

昼間の室内（太陽光が入る窓から3m程度内側まで）

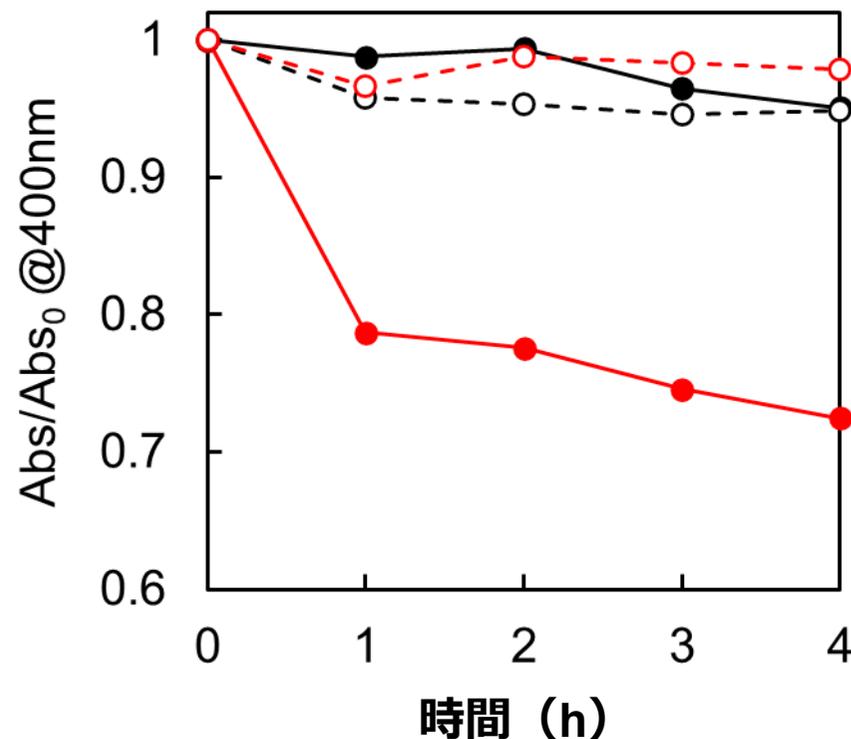
太陽光が入らない昼間の室内や夜間の室内



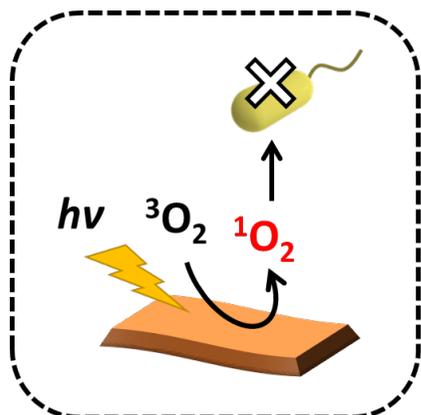
400 nm  
吸収あり

400 nm  
吸収なし

## 吸収度の経時的変化

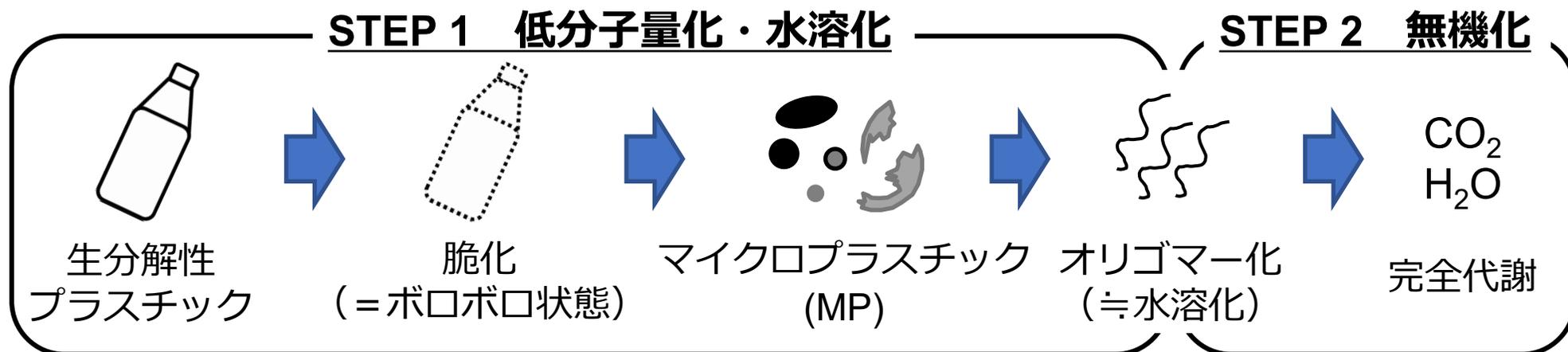


吸収の減衰⇒一重項酸素の発生  
フィルム浸漬溶液中のABDA吸光度を測定



一重項酸素の持つ強い酸化力で  
抗菌性が発現している

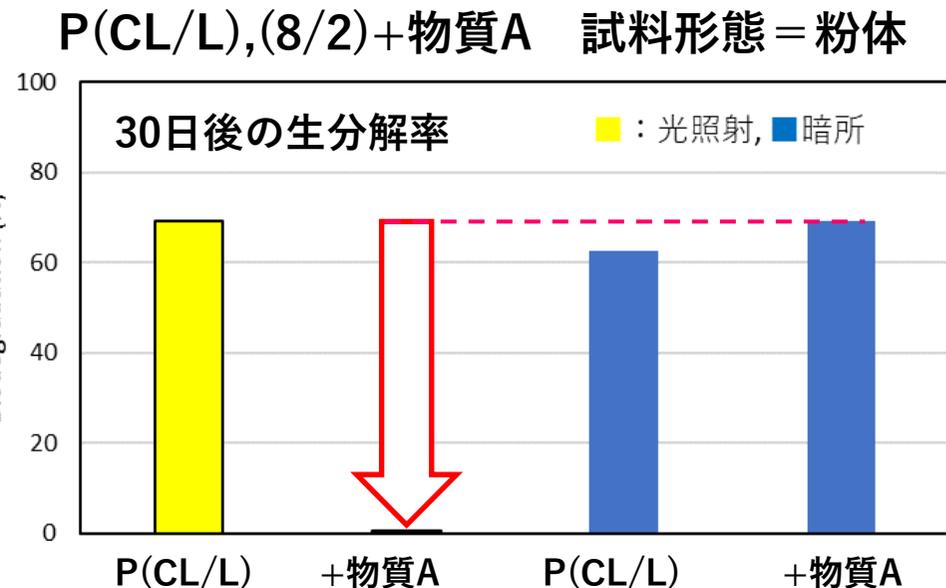
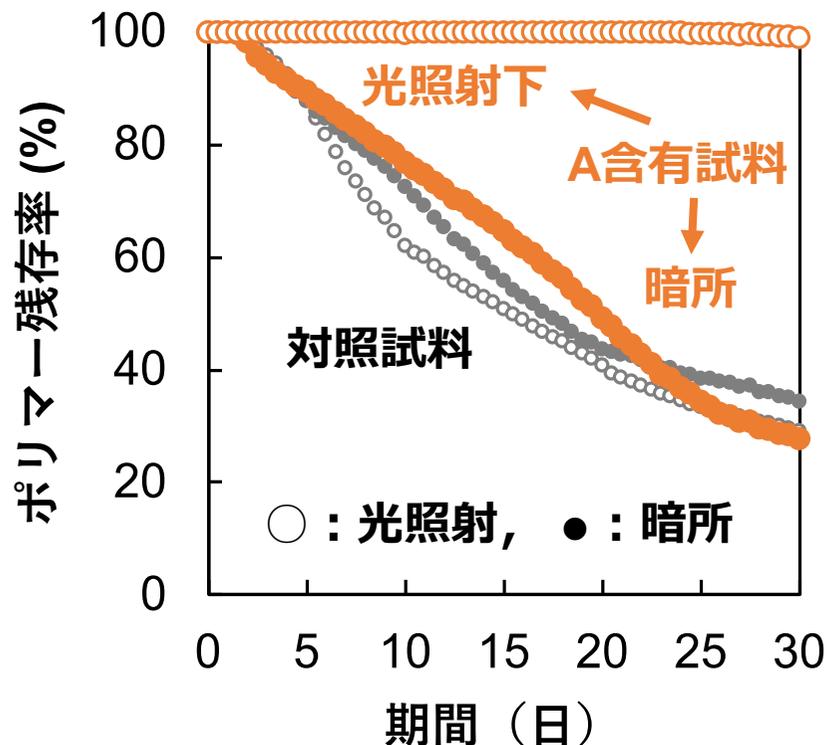
- : 添加なし 光照射
- : 光増感剤A 光照射
- : 添加なし 暗所
- : 光増感剤A 暗所



実環境での浸漬試験  
測定対象：サンプルの重量減少  
“Disintegration”(崩壊)

ラボスケールでの生分解試験  
測定対象：O<sub>2</sub>消費量 or CO<sub>2</sub>産生量  
“Biodegradation”(生分解)

- 重量減少：菌体外酵素によるポリマーの分解・オリゴマーの生成  
(生分解以外の作用でも起こり得る)
- 酸素消費：生成したオリゴマーを取り込んだ菌体の代謝



光抗菌性の大きな物質A含有樹脂において  
海水生分解性 (BOD試験) が大きく抑制

試験後菌数 (cfu/mL)	光照射 ( $\times 10^3$ )	暗所 ( $\times 10^3$ )
Blank海水	915	10
ポリマーのみ	7,725	6,417
物質A含有	50	2,045

- 物質A含有・光照射条件における  
試験海水中の菌数が大幅に減少  
⇒ 活性酸素によって殺菌されている

光抗菌力が分解抑制に寄与している



①2週間海水に浸漬させたのちの重量保持率を算出  
重量保持率 (%) = (浸漬後重量/浸漬前重量) \*100

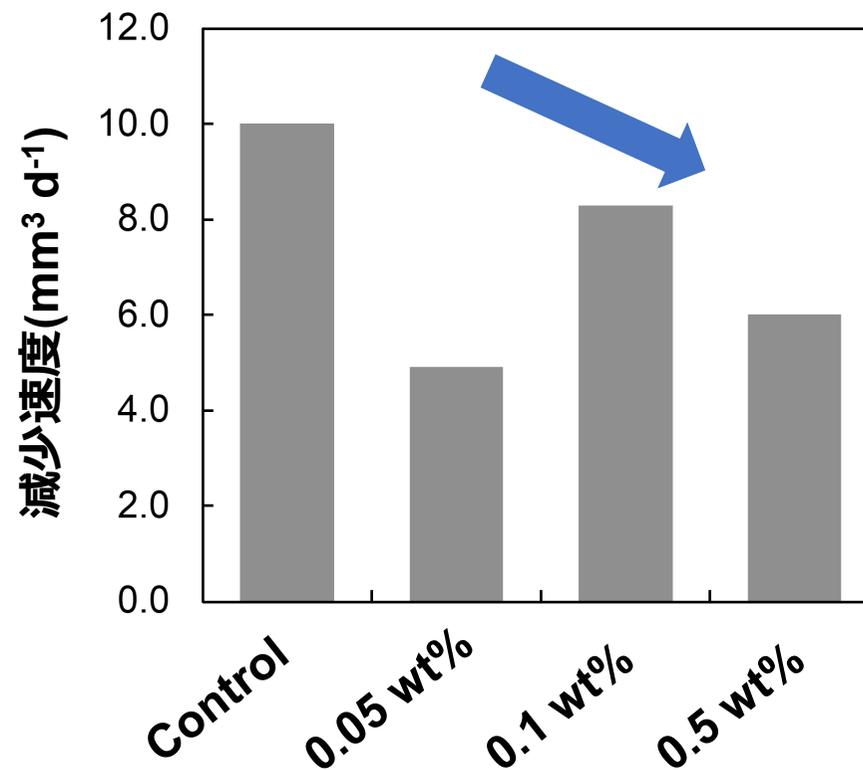
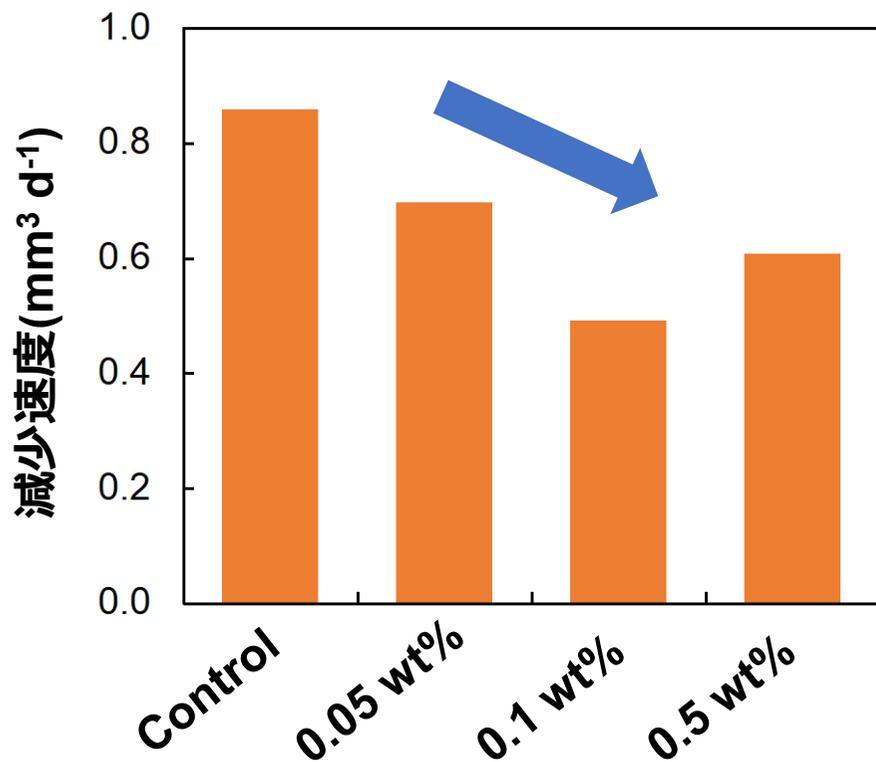
②重量保持率から みかけの残存体積を算出  
残存体積 (mm<sup>3</sup>) = 初期体積 \* (重量保持率/100)

③体積減少速度を算出  
体積減少速度 (mm<sup>3</sup>/day) = (初期体積-残存体積) /浸漬日数

# 実海域試験(体積減少速度, 物質A)

2021/11/26~  
(13日間浸漬)

2022/8/4~  
(6日間浸漬)



体積減少速度が遅くなっている  
⇒ 分解が抑制されている

## 従来技術とその問題点

「生分解性」と「耐久性」にはトレードオフの関係にあることから、実際の使用環境に耐えうる生分解性材料は極めて少ない。

- 生分解性と耐久性のバランスの両立
- オンデマンドな分解が可能な材料

が実現しなければ、汎用プラスチックの代替として生分解性プラスチックは普及しづらい

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 光が当たる環境下で生分解性が抑制される材料を開発した。
- 「使用中の耐久性」と「使用後の生分解性」を両立することが可能
- 既存の生分解性プラスチックに適用可能
- 既存の生産設備を用いての作製が可能であり、低コストかつ簡便に開発可能

## 想定される用途

- 農業用途（農業用マルチ・被覆肥料など）
- 漁業用途（漁具・養殖用人工海藻など）
- ワンウェイ用途（カトラリーなど）

※あくまで「やむを得ず」環境中に流出してしまった場合でも、環境への蓄積・負荷が抑えられる材料であり、決して「ポイ捨て」を許容する材料ではないことを注意したい。

## 実用化に向けた課題

- 製造方法の違いによるスイッチ機能への影響は要検討
- スイッチングの「キレ」は改善の余地あり
- 環境負荷の少ない光増感剤の必要性

# 企業への期待

- スイッチングの「キレ」改善は、光増感剤の選択・組合せの検討によって克服可能
- 混錬技術や新規光増感剤開発のノウハウを持つ企業との共同研究を希望。
- 生分解性プラスチック開発中の企業、農業・漁業分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と考える。

# 企業への貢献、PRポイント

- 本技術は低コストかつ簡便に高機能素材を製作可能なため、企業の生分解プラスチック開発に対する障壁を下げることに貢献できる。
- 本技術の導入にあたり生分解性評価まで一貫した指導を行うことも可能。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：一重項酸素発生剤の使用方法、  
樹脂組成物および樹脂成形体
- 出願番号：特願2022-188315
- 出願人：産総研・大阪技術研・神戸大学
- 発明者：日野彰大・中山敦好・川崎典起・山野尚子・  
伊田小百合・大嶋真紀・増井昭彦・岡村秀雄

# お問い合わせ先

AIST Solutions

知的財産本部 知財戦略渉外部

E-mail : [aisol-syougai-all-ml@aist-solutions.co.jp](mailto:aisol-syougai-all-ml@aist-solutions.co.jp)