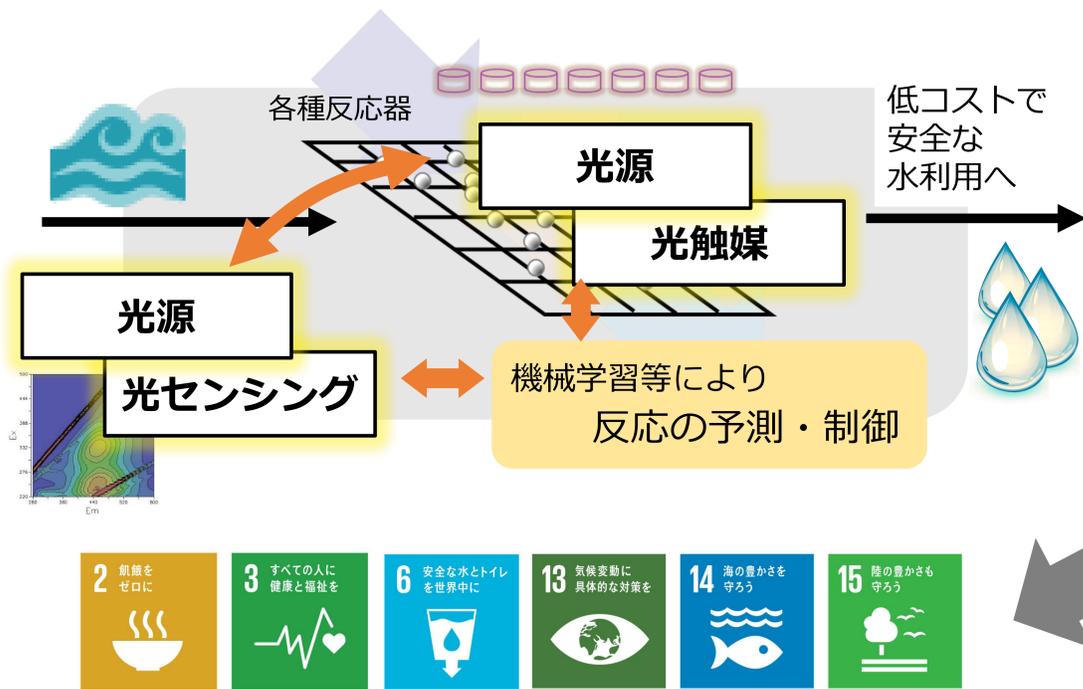
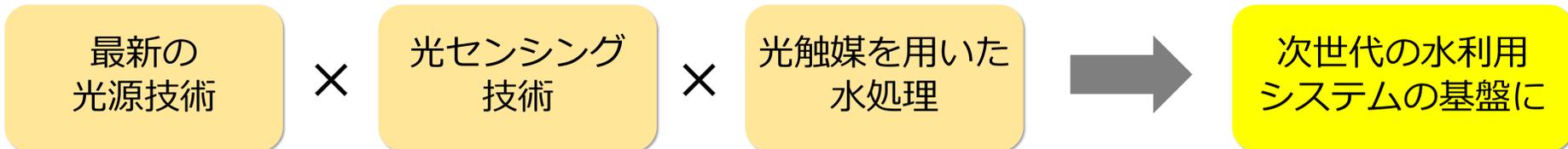


# 光源・光センシング・光触媒の統合による 水処理システムの革新

環境・社会理工学院 吉村千洋（土木・環境工学系、吉村・藤井研究室） yoshimura.c.aa@m.titech.ac.jp



利用分野の多様なニーズに応じた最適な省エネ、低コスト、高効率の水利用システムを提示する基盤技術を創造

水処理システムの自動化、高度水処理プロセス

水道、農業、医療、下水道、工業、家庭への適用へ、さらに、温暖化緩和・適応、過疎化対策、日本の競争力の向上など

本ポスターの内容は他の研究室との共同研究であり、成果と将来構想の両者を含みます

## 項目1. 水利用のための新規複合材料の開発

目的：光触媒と炭素材料を組み合わせることで、バンドギャップの小さく、水処理に適した触媒・反応系を開発

アプローチの特徴：水利用で典型的な水質を想定し、吸着と光触媒反応をデザイン

▶ 炭素材料+光触媒

成果イメージ

内部フィルタ効果と競合吸着  
モデル化により反応特異性を高める

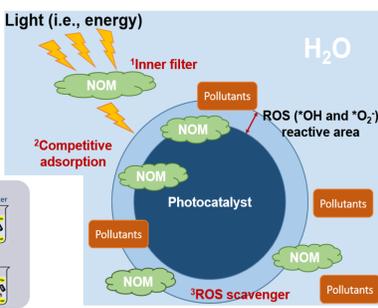
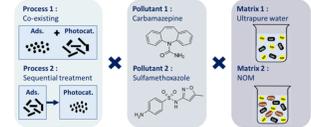
$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{-P_{ROS,0}}{1 + \frac{k_N C_N (F+KNS)}{k_A C_A (F+KAS)}} 10^{-\mu\alpha C_N}$$

Brame et al. 2015

特異性・選択性のデザイン

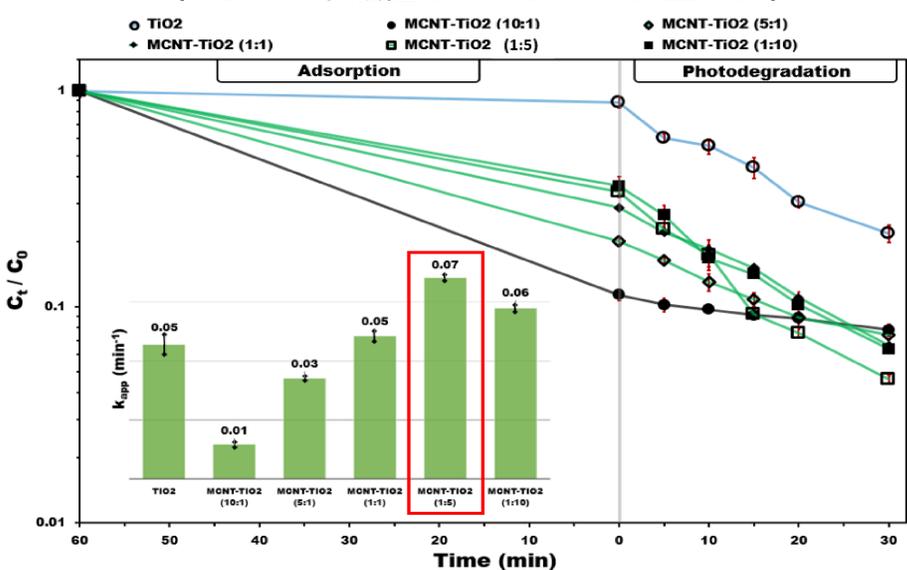
1. 材料に着目したアプローチ  
・荷電、疎水性、細孔分布、表面官能基、分子間相互作用などに着目
2. 処理プロセスに着目したアプローチ  
・異なる複合材料の組み合わせ  
・膜処理との組み合わせ  
・吸脱着ヒステリシスの活用

実験例



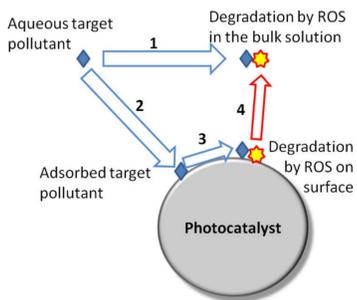
結果の例

### MCNT-TiO2複合材料によるカルバマゼピンの除去 (MCNT: 帯磁性カーボンナノチューブ)



Adsorption and photodegradation of carbamazepine for each photocatalyst ([Co] = 150 μg L<sup>-1</sup>, solar irradiation time = 30 min, catalyst dose = 0.1 g L<sup>-1</sup>, pH = 7 ± 0.2, temperature = 26 ± 3 °C). Inset graphs show the photodegradation rate.

### 天然有機物による反応阻害の解明



Inhibition equations\*

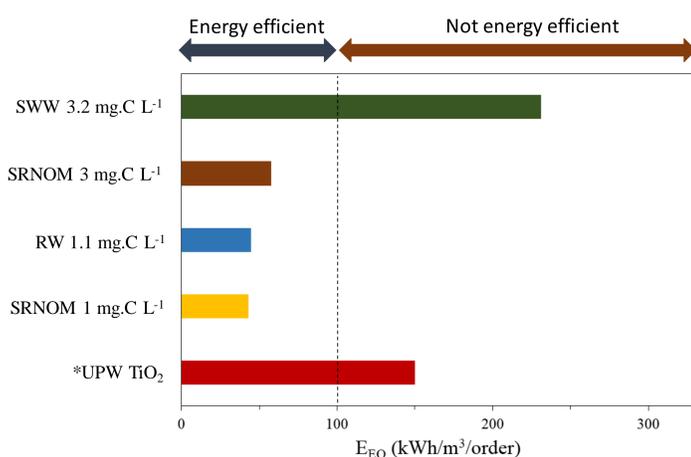
$$\frac{dC_A}{dt} = \frac{-P_{ROS}}{1 + \frac{k_N C_N (F+K_N S)}{k_A C_A (F+K_A S)}}$$

$$F = \frac{1}{1 + \frac{k_A C_A + k_N C_N}{D}}$$

$$\frac{P_{ROS}}{P_{ROS,0}} = 10^{-\mu\alpha C_N}$$

Brame et al., 2015

### Electrical energy determination



Electrical energy per order of transformation of carbamazepine (CBZ) at an initial concentration of 500 μg L<sup>-1</sup> for photocatalysis in SRNOM, river water, and secondary treated wastewater (UVC irradiation time = 30 min, catalysts dose = 0.1 g L<sup>-1</sup>, pH=7.0 ± 0.2, temperature = 26 ± 3 °C). \*Average EEO values from the literature (Miklos et al., 2018)

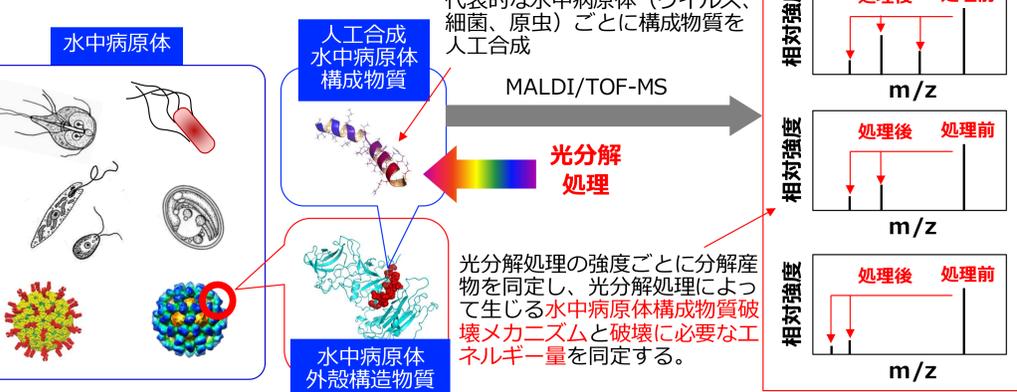
# 光源・光センシング・光触媒の統合による水処理システムの革新（つづき）

## 項目3. 水処理における病原体不活化メカニズムの解明

目的：光分解処理における病原体不活化メカニズムを解明する。

アプローチの特徴：ウイルス、細菌、原虫等の水系感染症病原体の構成物質（ペプチド等）を対象として、ラジカル分子や各種光量子に攻撃されやすい病原体構成物質を同定することで、不活化機構を明らかにし、微生物種ごとに不活化に要するエネルギー量を推定する手法を開発する

成果イメージ：



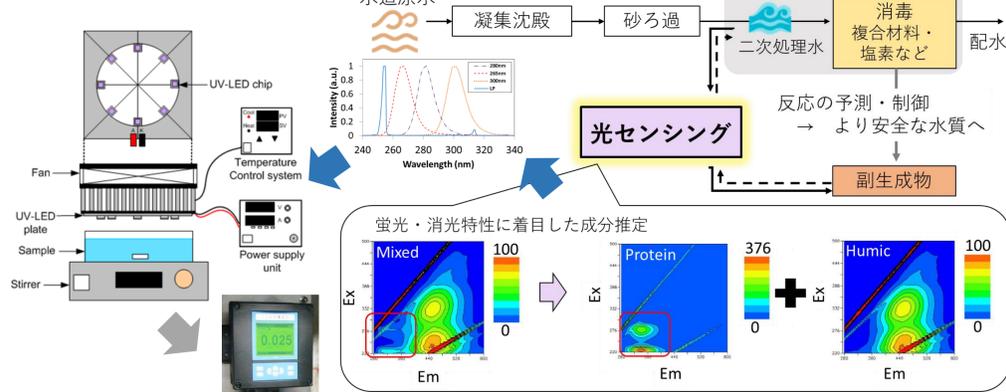
▶ 分子生物学や構造生物学における革新的貢献も期待

## 項目4. 水質の高感度センシング技術の開発

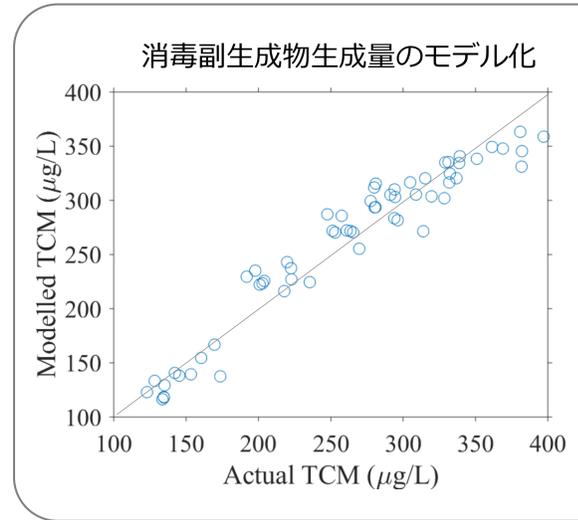
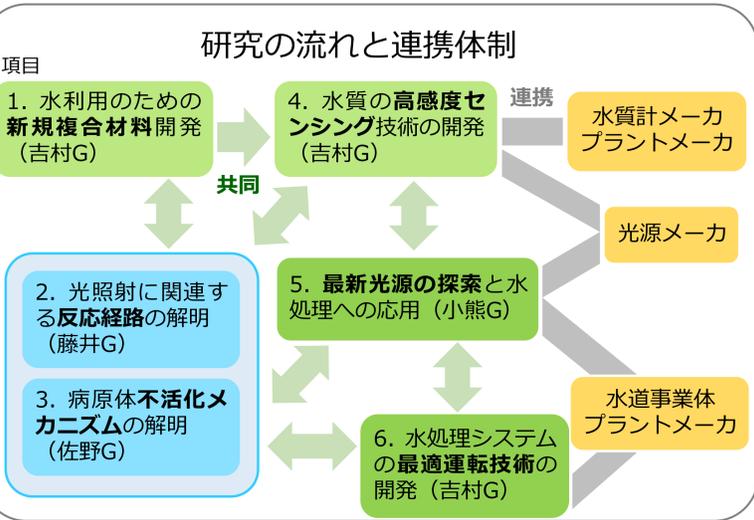
目的：水質情報をオンラインでモニタリングする技術、そしてそれに基づく反応予測手法を開発 ▶ 水処理プロセスにリアルタイムで活用

アプローチの特徴：最新の光源を活用し、光と水の相互作用を吸光、蛍光、消光の各現象を検出する。これにより、消毒副生成物の前駆体やファウリング原因物質などを評価、反応を予測、処理プロセスの効率運転に活用。

成果イメージ



結果の例



消毒副生成物生成量のモデル化の精度

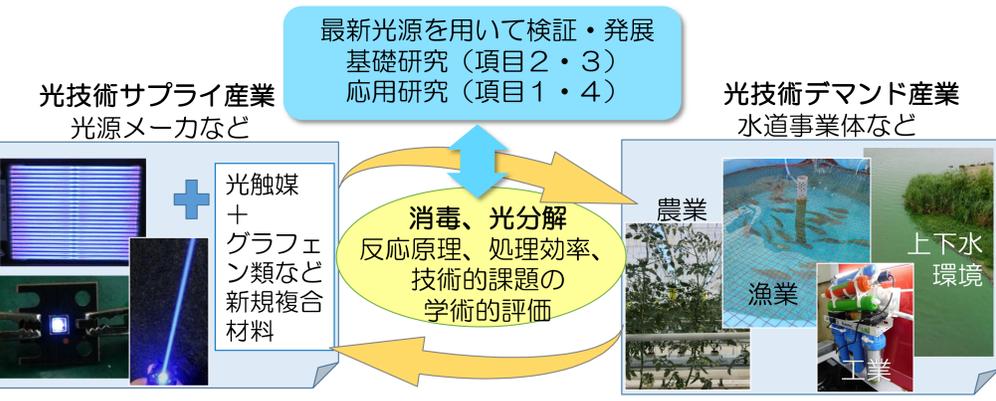
THM species	Predictor	MPAE (%)	
		Previous	This study (corrected EEM)
TCM	UV <sub>254</sub> and DOC	47% <sup>1)</sup>	6.66 %
BDCM	TOC	35% <sup>2)</sup>	26.93 %
DBCМ	TOC	>100% <sup>3)</sup>	2.08%
TBM	DOC	58% <sup>4)</sup>	N/A

1) Chen and Westerhoff, 2004, 2) Montgomery, 3) Malcolm Pirnie, 1993, 4) Rathbun 1996b

## 項目5. 最新光源の探索と水処理への応用

- 目的
- 1) 光源の有用性と課題を実験によって定量化し、
  - 2) 新規複合材料との併用による処理性向上を探索することで、
  - 3) 実装に耐える光技術開発を後押しする

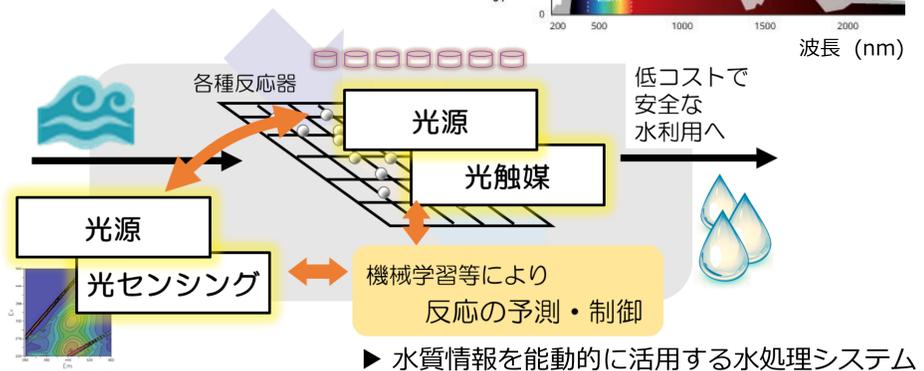
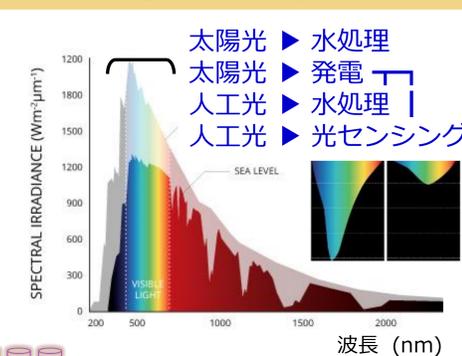
アプローチの特徴：光技術のサプライサイドとデマンドサイドと連携し、大学はそれらをつなぐハブとして機能し、社会実装の出口を見出す。反応原理の解明など他の産業にも拡張可能な基盤的知見を獲得する。



## 項目6. 水処理システムの最適運転技術の開発

目的：項目1～5の各種要素技術に加え、情報処理技術（人工知能等）を組み合わせることにより、エネルギーや健康リスク、水環境創出などに最適な水処理システムの提案を行う

研究の特徴：光センシングによる水処理の自動化（波長、強度）、ベンチスケールで実証



## 独創性、新規性、優位性

1. 水利用に特化した新規光触媒の開発
  - ・ 天然有機物や各種イオンによる影響を解明
  - ・ 実際の水質マトリックスで光触媒を最適化
2. 光照射に関連する反応経路の解明
  - ・ 最新の質量分析技術の組み合わせ
  - ・ 主要水質マトリックス下での反応経路・速度の解明
  - ・ 固液界面のラジカル生成と有機物分解反応の新規モデル化
  - ・ 量子化学計算と構造生物学的解析による環境工学の革新
3. 最新光源・光センシング・光触媒の水処理への応用
  - ・ 最新光源（含LED）の水質評価と反応予測への応用
  - ・ 濃度だけでなく物質特性を測る光センシング技術の開発
  - ・ 高効率な水処理を実現するシステム化技術を創出

## 将来構想

1. 光センシングによる各種水質情報の社会還元
2. 太陽光のみを利用する水処理モジュールの開発
3. 反応生成物も含めた水質管理手法の確立
4. 水系感染症や抗生物質耐性菌の地域内循環の根絶
5. 地域のニーズに適した水質マトリックスのデザイン手法の開発

科学技術イノベーション創出

1. 水中での光照射に関連する反応経路に関する理解を深め、
2. 関連企業と連携して新たな技術基盤を創出することで、
3. **世界の水道問題の解決を見据えた新たな市場を創出**

