

# 微生物を用いた脱炭素に向けた技術紹介

松江高専 環境・建設工学科 山口剛士

# はじめに 自己紹介

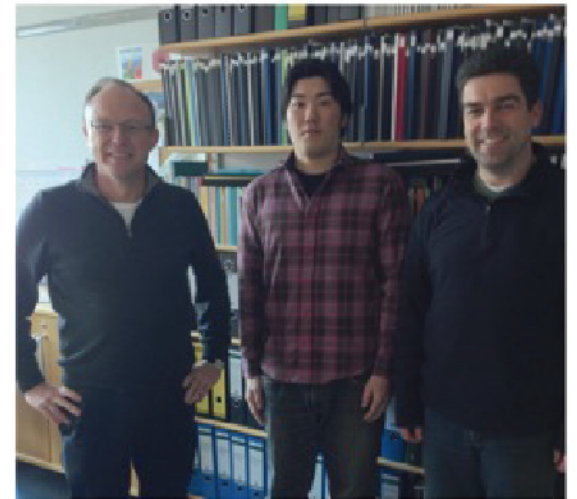
---

氏名 山口 剛士

専門分野 衛生工学，環境微生物学

経歴 松江高専 卒 → 長岡技術科学大学

マックスプランク研究所や成功大学で研究



# はじめに 自己紹介

---

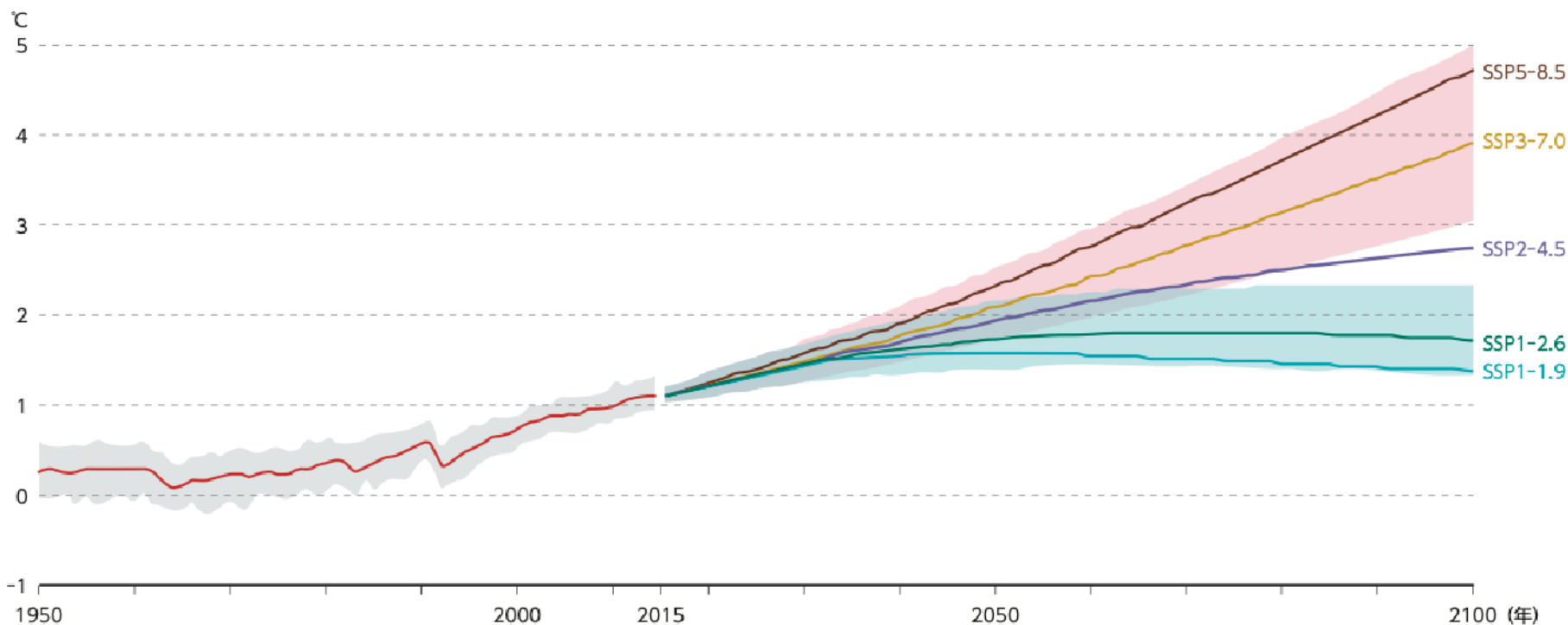
氏名 山口 剛士

専門分野 衛生工学，環境微生物学

経歴 松江高専 卒 → 長岡技術科学大学 → 松江高専  
今年で9年目

# はじめに 脱炭素について

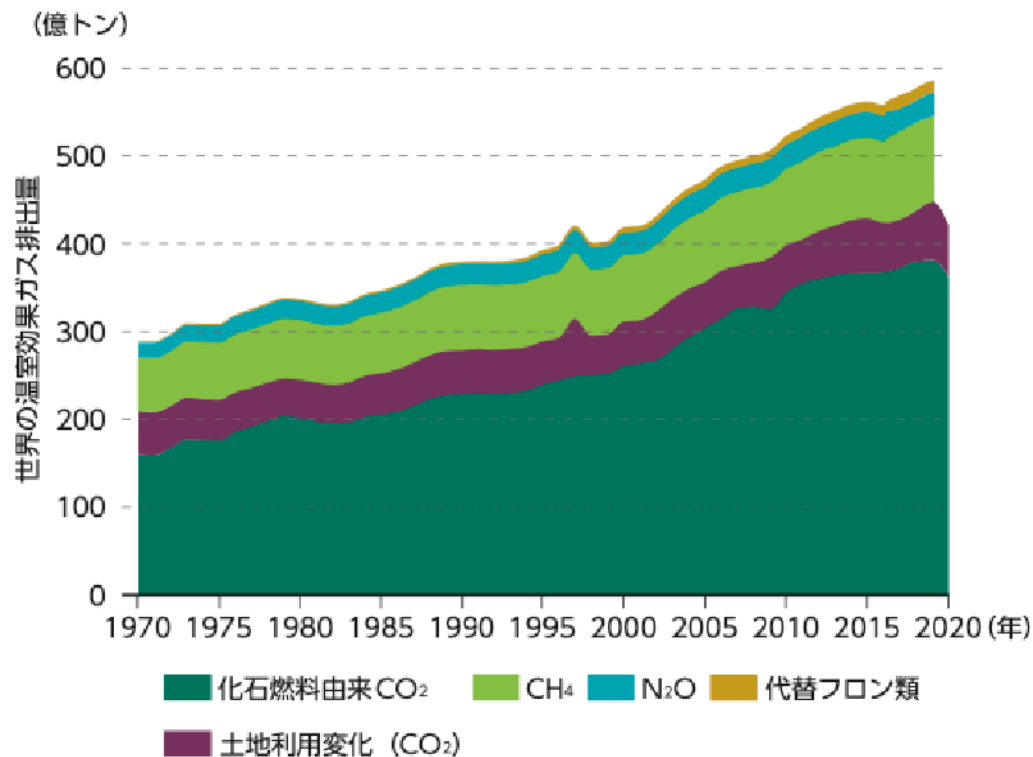
地球温暖化 IPCC, パリ協定で 1.5°C 上昇



資料：気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 「第6次評価報告書第I作業部会報告書政策決定者向け要約」より環境省作成

微生物反応で脱炭素に貢献することはできないのか

# 地球温暖化に寄与するガス



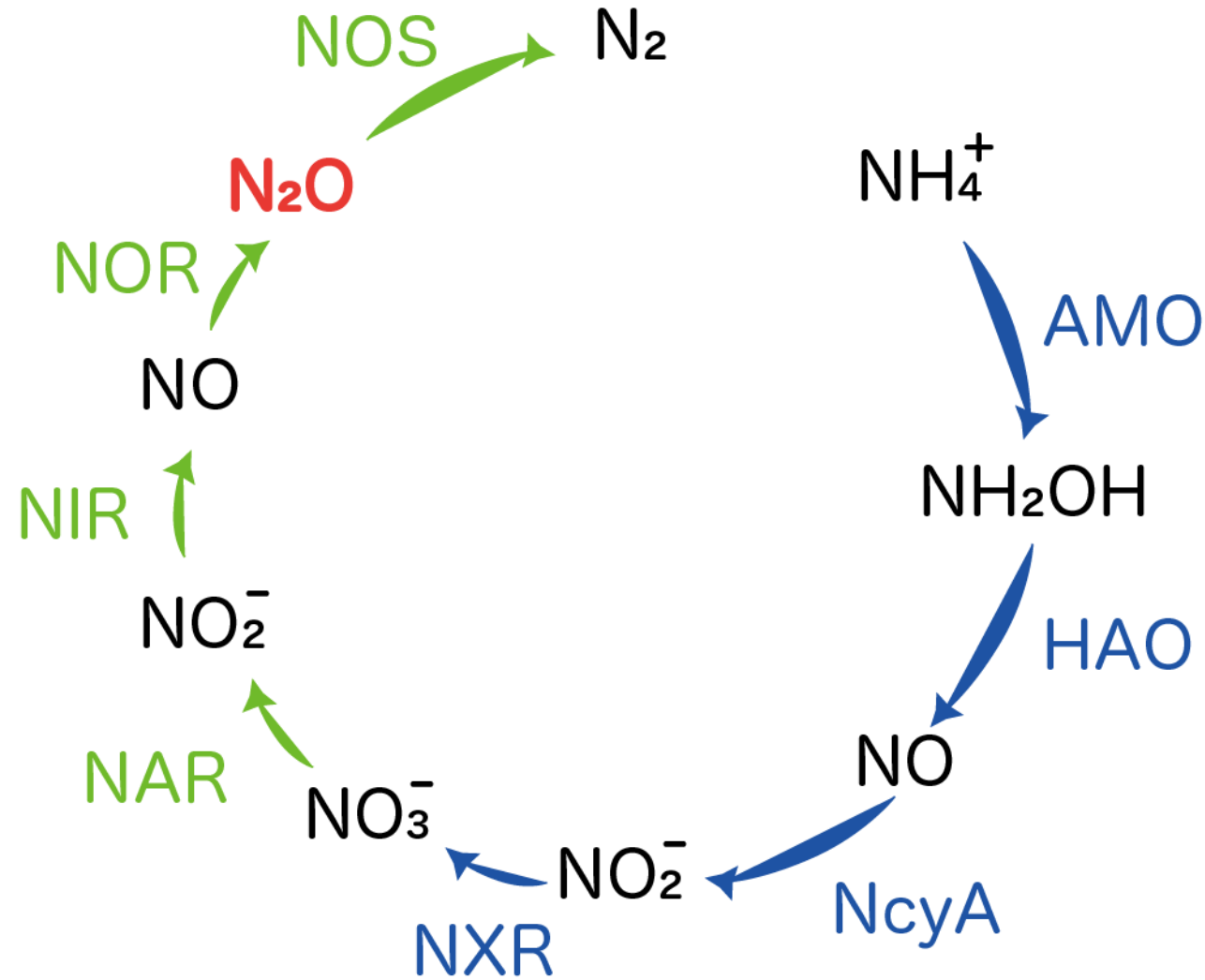
注：2020年のデータはCO<sub>2</sub>のみ入手できるとし、他のガスについては掲載されていない。

資料：UNEP「Emissions Gap Report 2021」より環境省作成

CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O の排出を抑制もしくは回収する必要がある

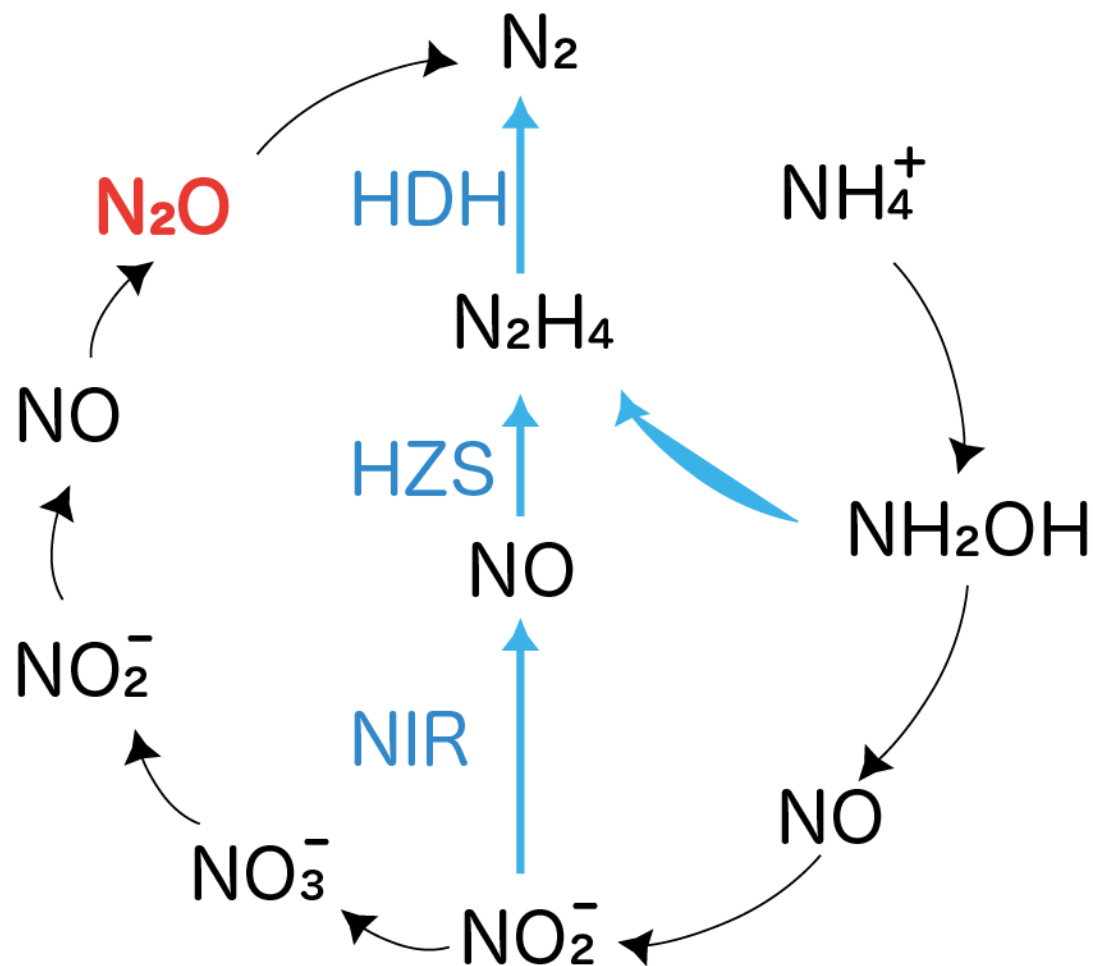
# 水処理に関する微生物

## 窒素循環

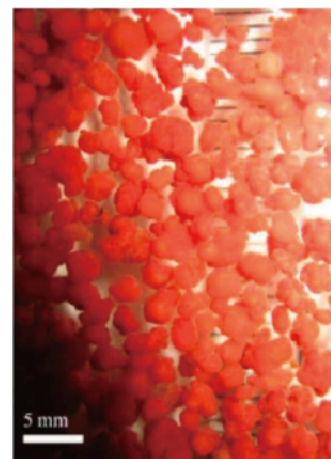


# 水処理に関する微生物

## 窒素循環



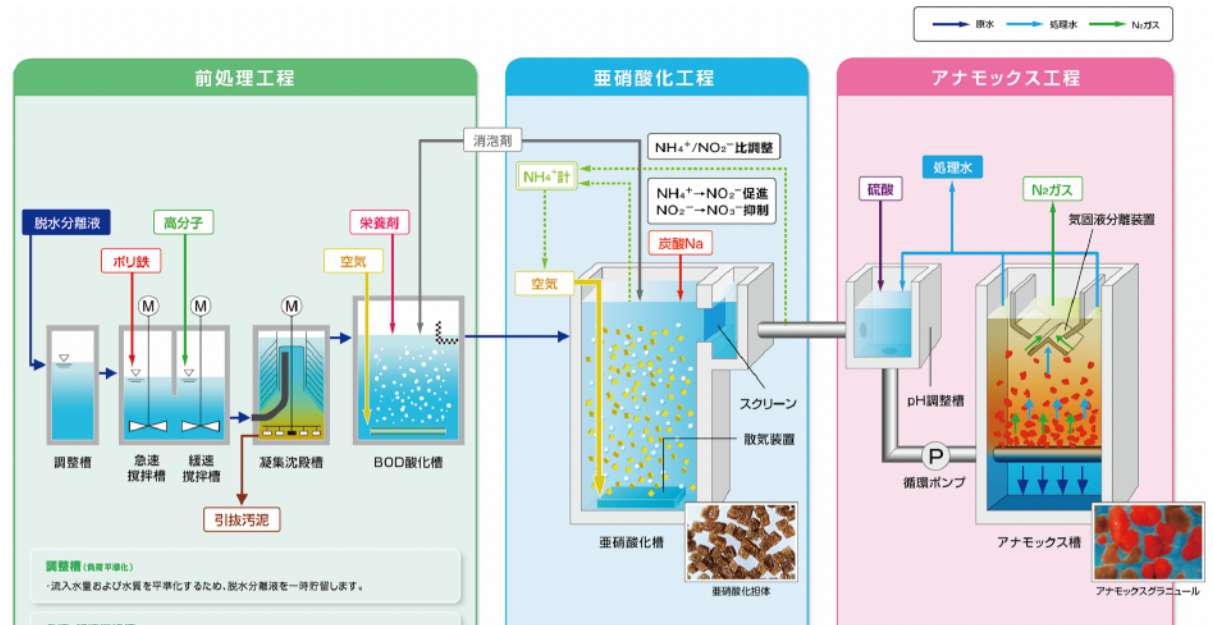
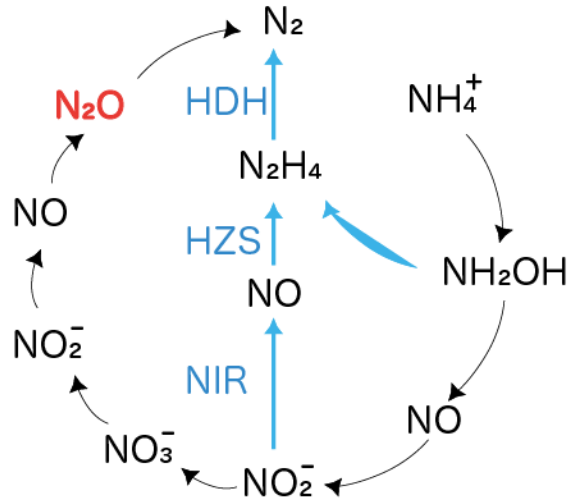
Anammox 細菌



Sriariyanun *et al.*, 2015

# 水処理装置の可能性について

## ● 実用化されているが, Anammox 細菌を用いた下水処理

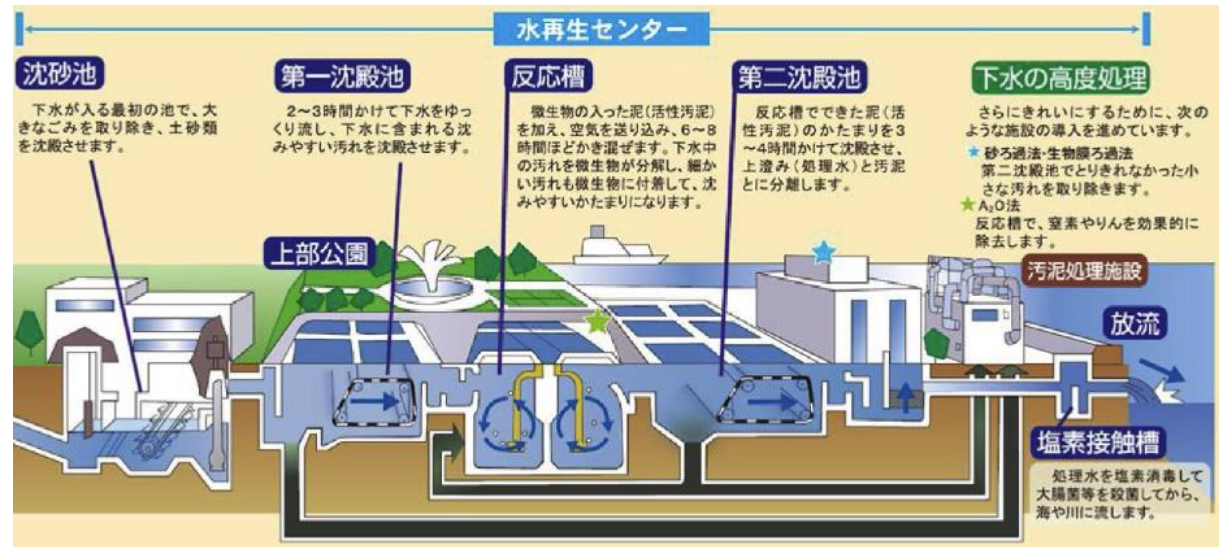
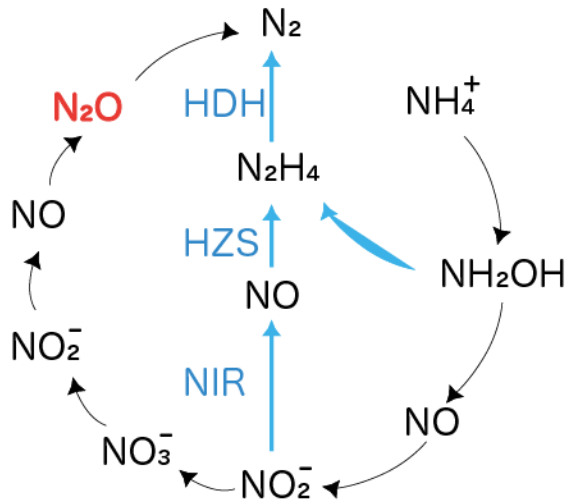


<https://www.city.osaka.lg.jp/kensetsu/cmsfiles/contents/0000574/574577/zu05-50P.png>



# 水処理装置の可能性について

## ● 実用化されているが, Anammox 細菌を用いた下水処理



参照: 東京都下水道局

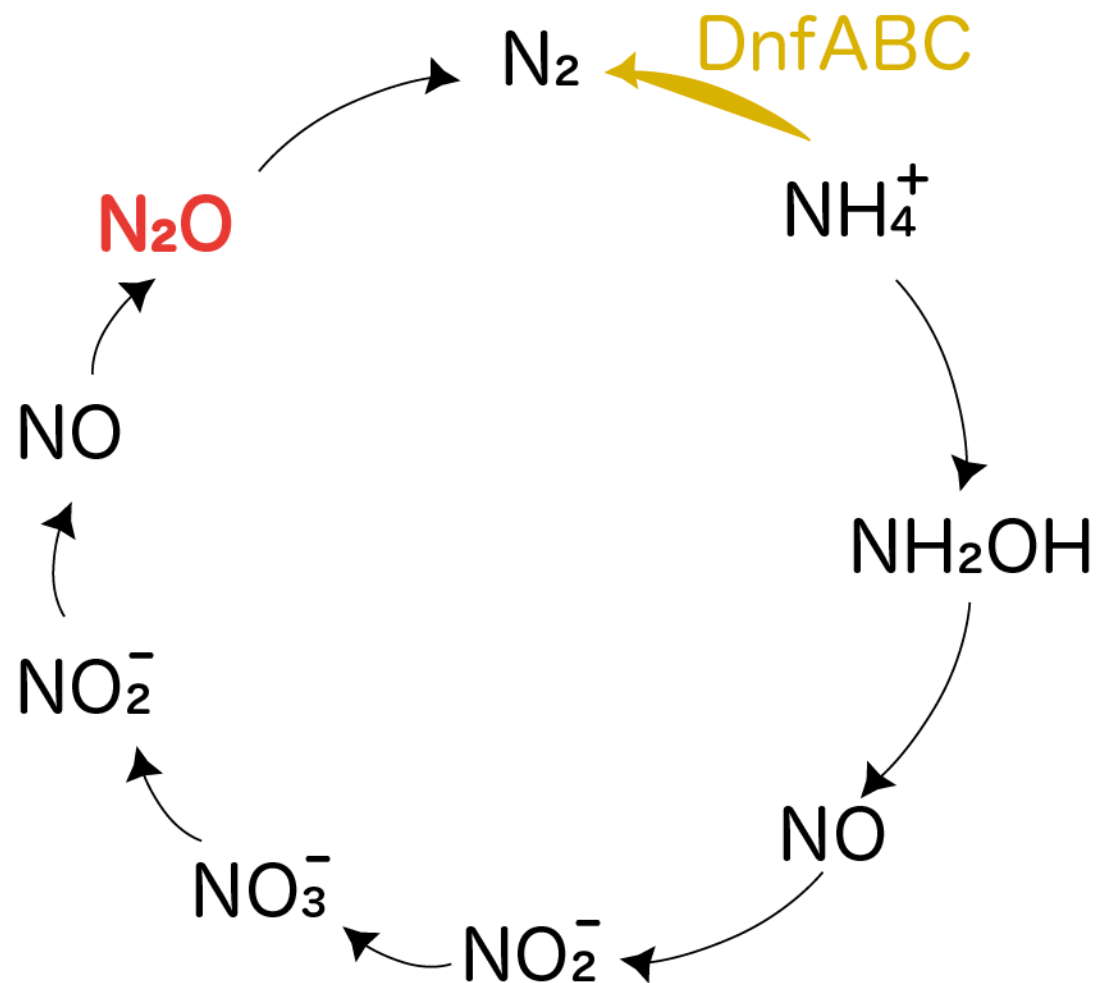
日本における主な下水処理システム: 活性汚泥法

開発から100年以上経過しているが、世界的には普及されていない

Anammox細菌は発見されて30年程度経過

→普及には時間がかかると考えられる

# 水処理に関する微生物



Dirammox 細菌

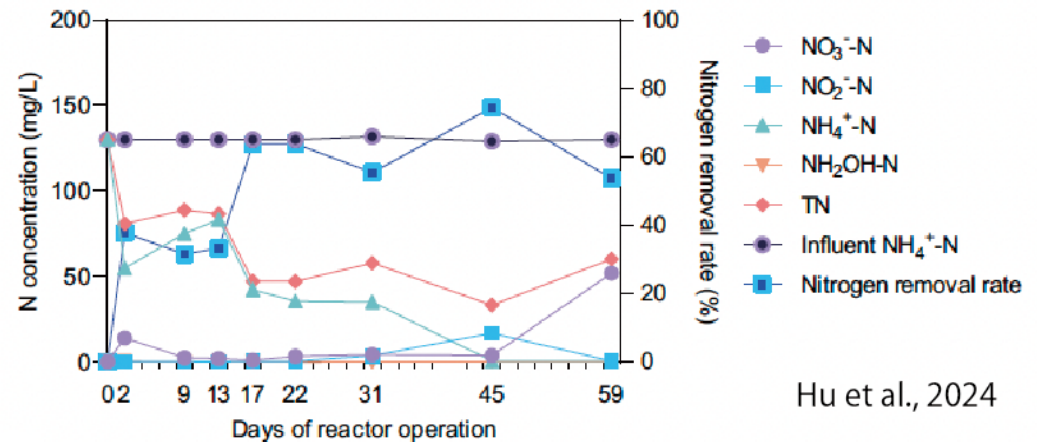
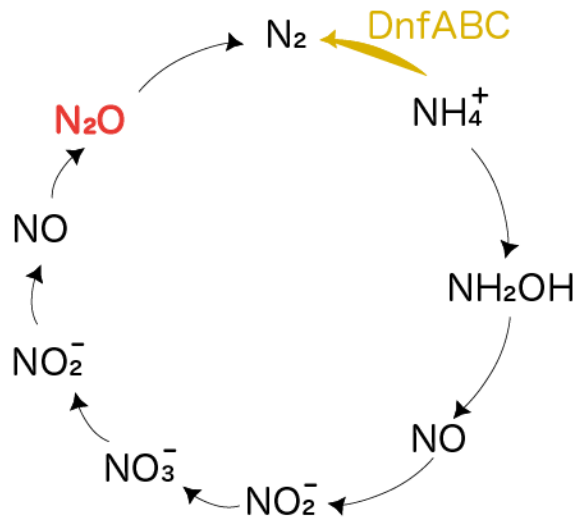
2021 年に報告

Wu *et al.*, 2021

# 水処理装置の可能性について

- 今後が期待できる Dirammox 細菌を用いた下水処理  $\text{N}_2\text{O}$  を排出せず，1つの種類の微生物でアンモニア除去が可能である。

2021年に発見された微生物であり、未だ実験段階



Hu et al., 2024

下水  $\text{NH}_4^+$ -N : 100 mg/l 浸出水  $\text{NH}_4^+$ -N: 2000 mg/l

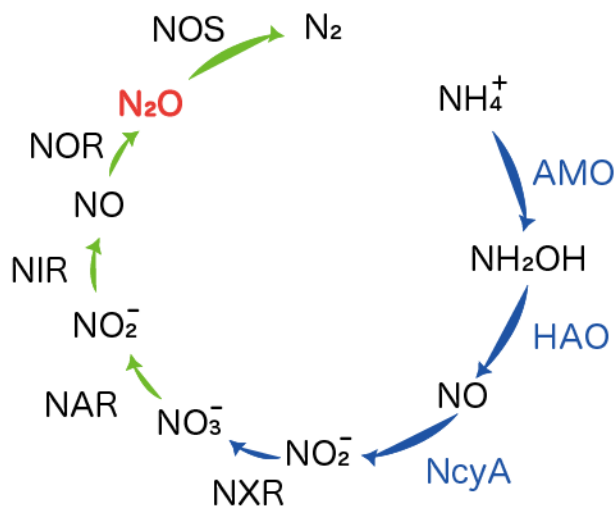
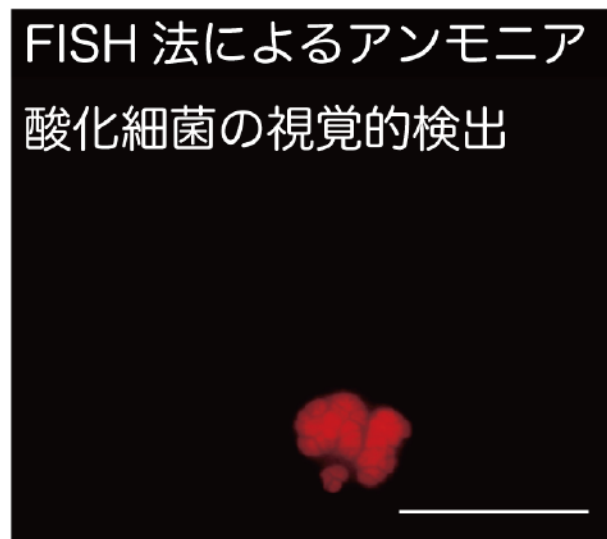
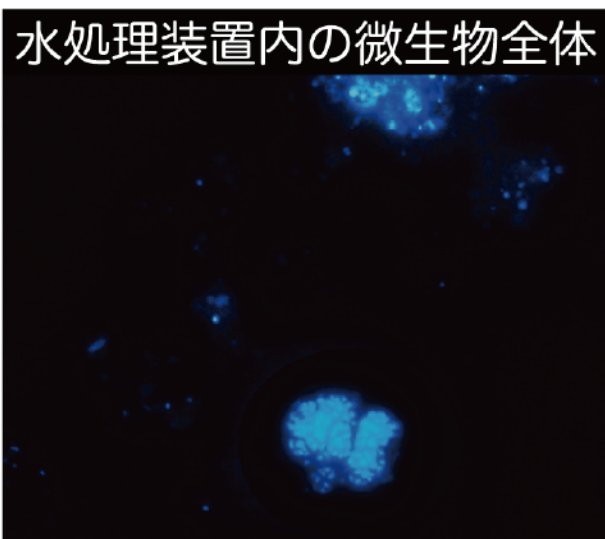
# 水処理装置の可能性について

---

- 新たな微生物が常にアップデートされている
  - ▶ 今後も新たな水処理装置の開発や技術開発が進んでいくと考えられる

# 微生物の視覚的検出方法

## ● Fluorescence in situ hybridization (FISH) 法



### 特徴

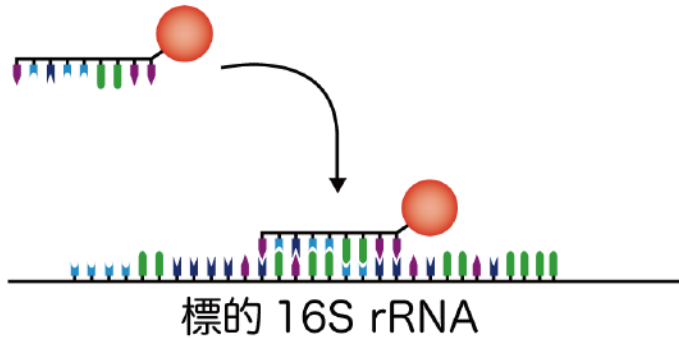
- ・微生物群の空間把握ができる
- ・形態学的特徴を把握できる
- ・存在数を測定することができる etc

# 微生物の視覚的検出方法

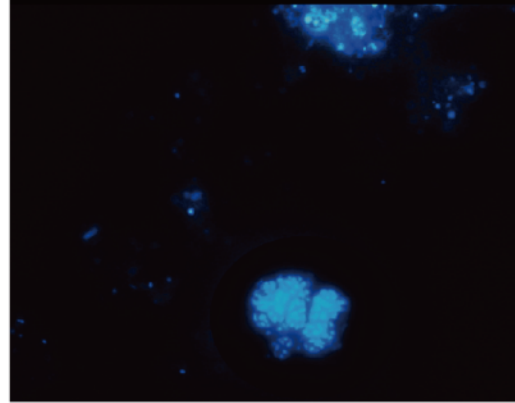
## ● Fluorescence in situ hybridization (FISH) 法

### FISH 法

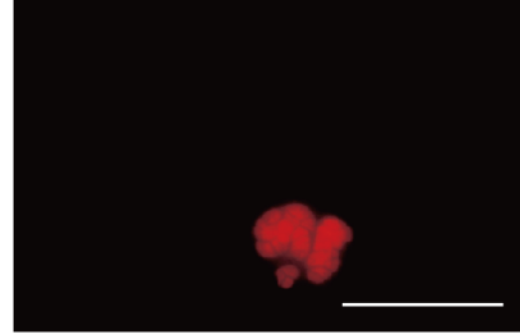
蛍光標識させた人工 DNA



水処理装置内の微生物全体

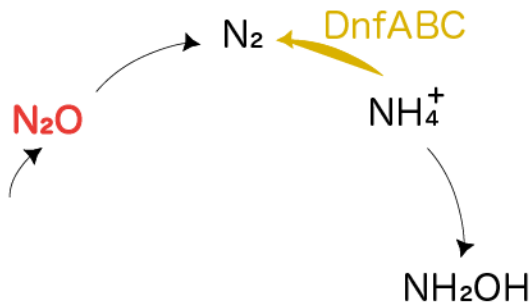


FISH 法によるアンモニア酸化細菌の視覚的検出



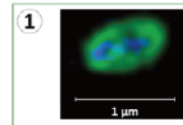
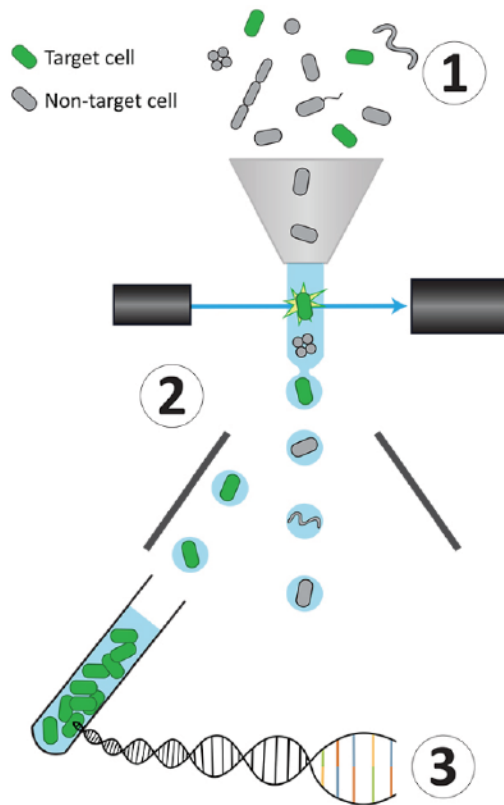
標的：16S rRNA (微生物種を同定することができる)

遺伝子 (微生物の機能を把握することができる)



# 微生物の視覚的検出でできること

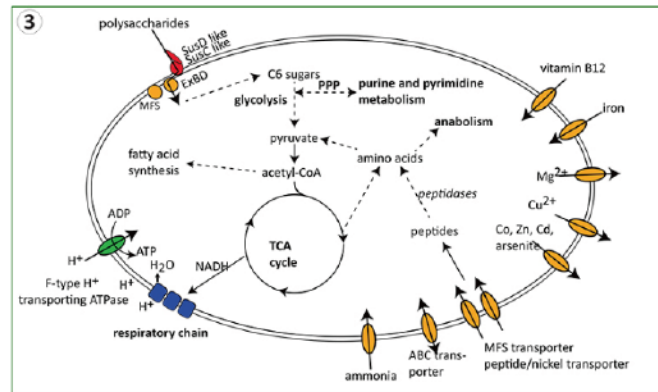
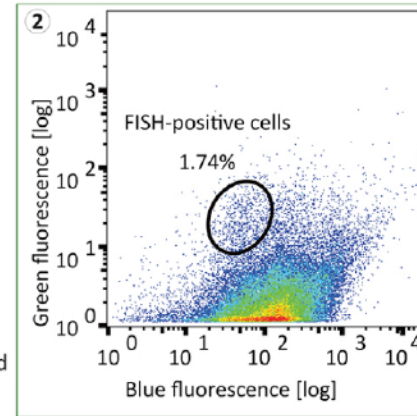
## ● シングルセル解析



1. FISH hybridization

2. Detection and sorting of target cells

3. Sequencing of enriched population and genome annotation



<https://jgi.doe.gov/etop-target-microbial-needle-within-community-haystack/>

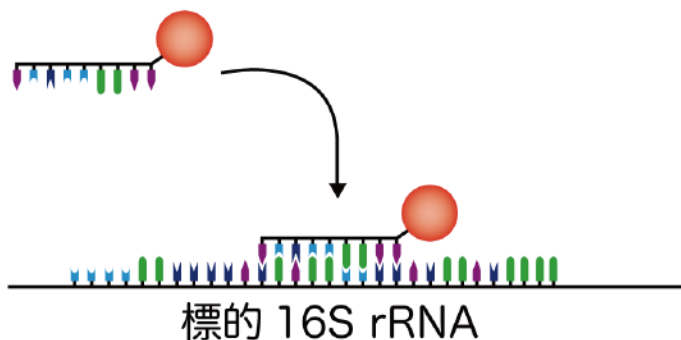
標的微生物を検出することができれば、その微生物の機能をすべて把握することができる

# 微生物の視覚的検出方法

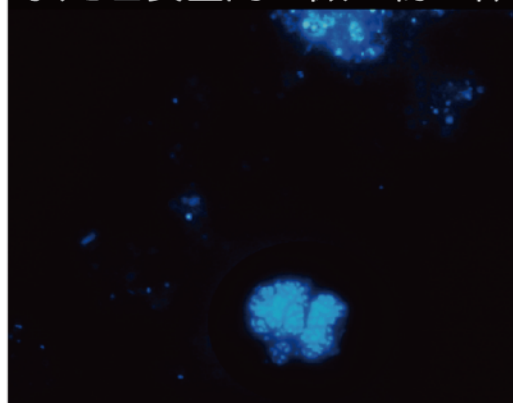
## ● 問題点

### FISH 法

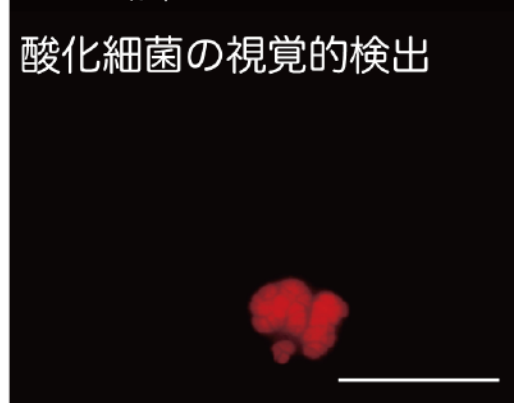
蛍光標識させた人工 DNA



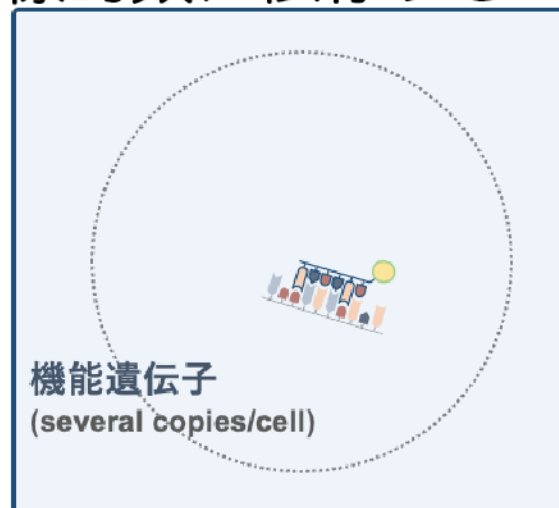
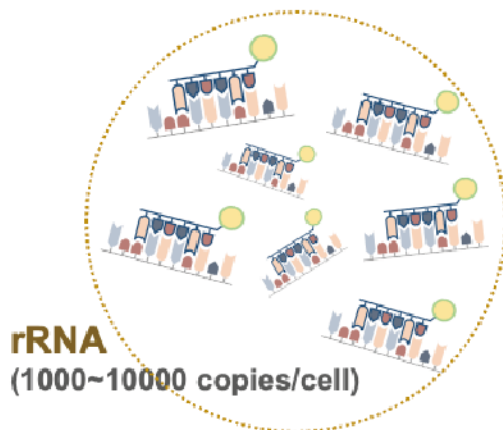
水処理装置内の微生物全体



FISH 法によるアンモニア酸化細菌の視覚的検出



蛍光強度が標的数に依存する



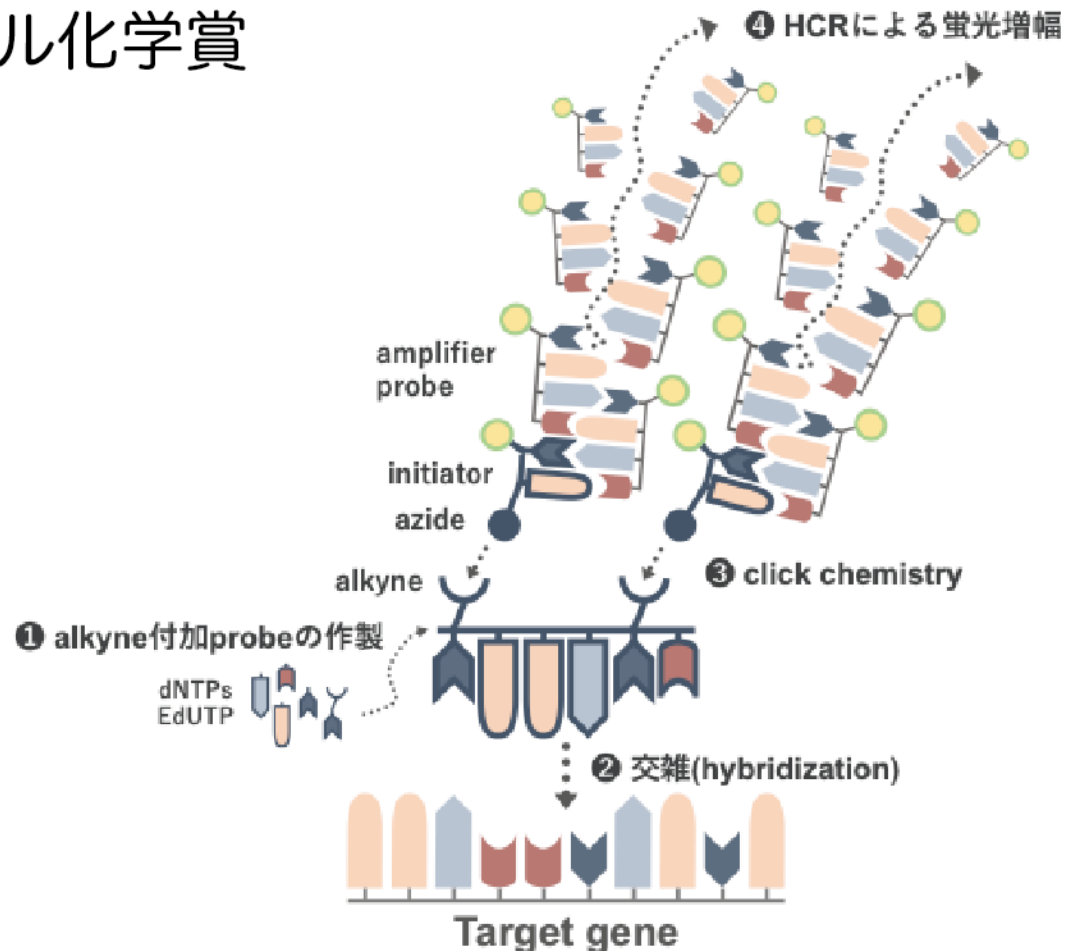


# 視覚的検出における開発技術

## ● 機能遺伝子を視覚的に検出する技術開発

Click chemistry + Hybridization chain reaction (HCR)

2022年 ノーベル化学賞

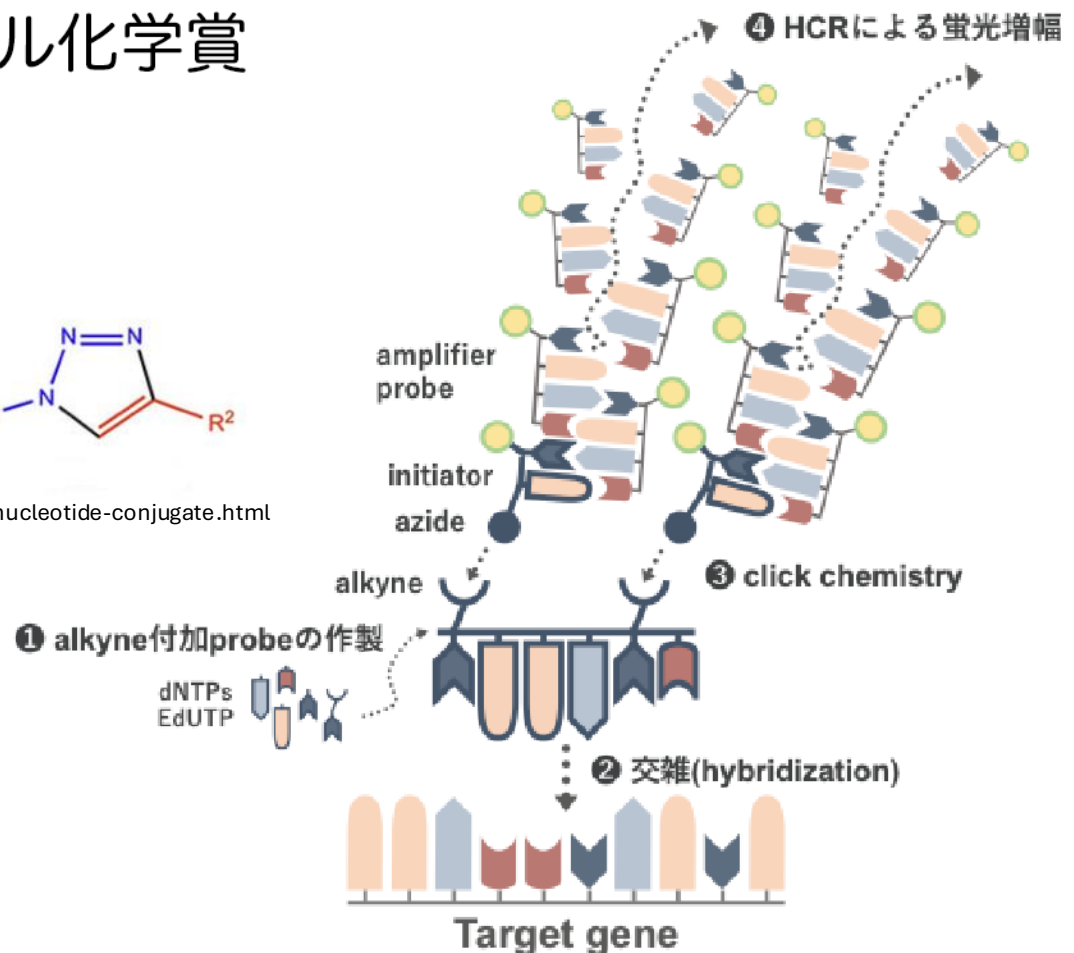
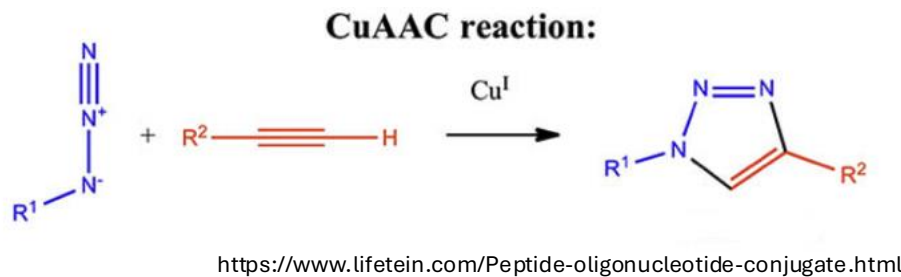


# 視覚的検出における開発技術

## ● 機能遺伝子を視覚的に検出する技術開発

### Click chemistry + Hybridization chain reaction (HCR)

2022年 ノーベル化学賞



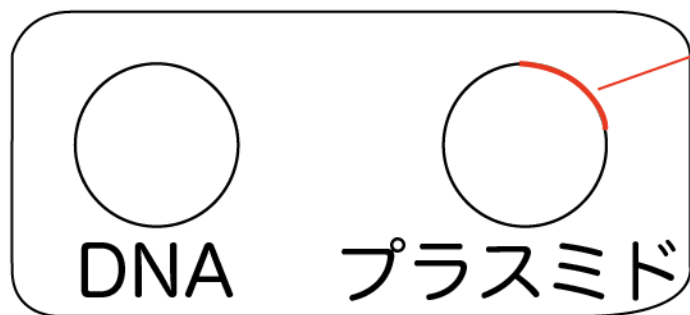
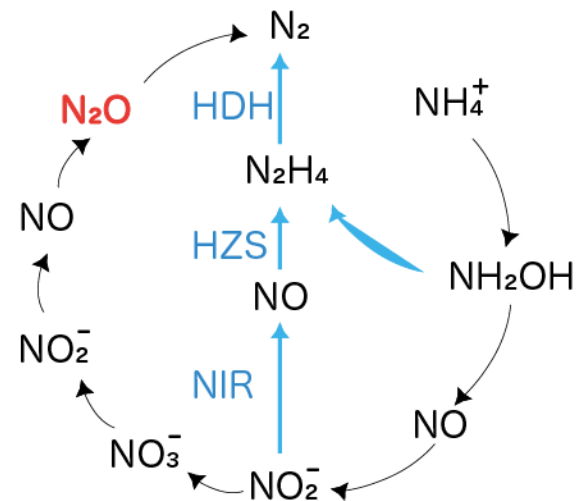
# 視覚的検出における開発技術

## ● Anammox 細菌の機能遺伝子の検出

遺伝子組換え微生物に適用



バイオリアクター内の Anammox 細菌に適用

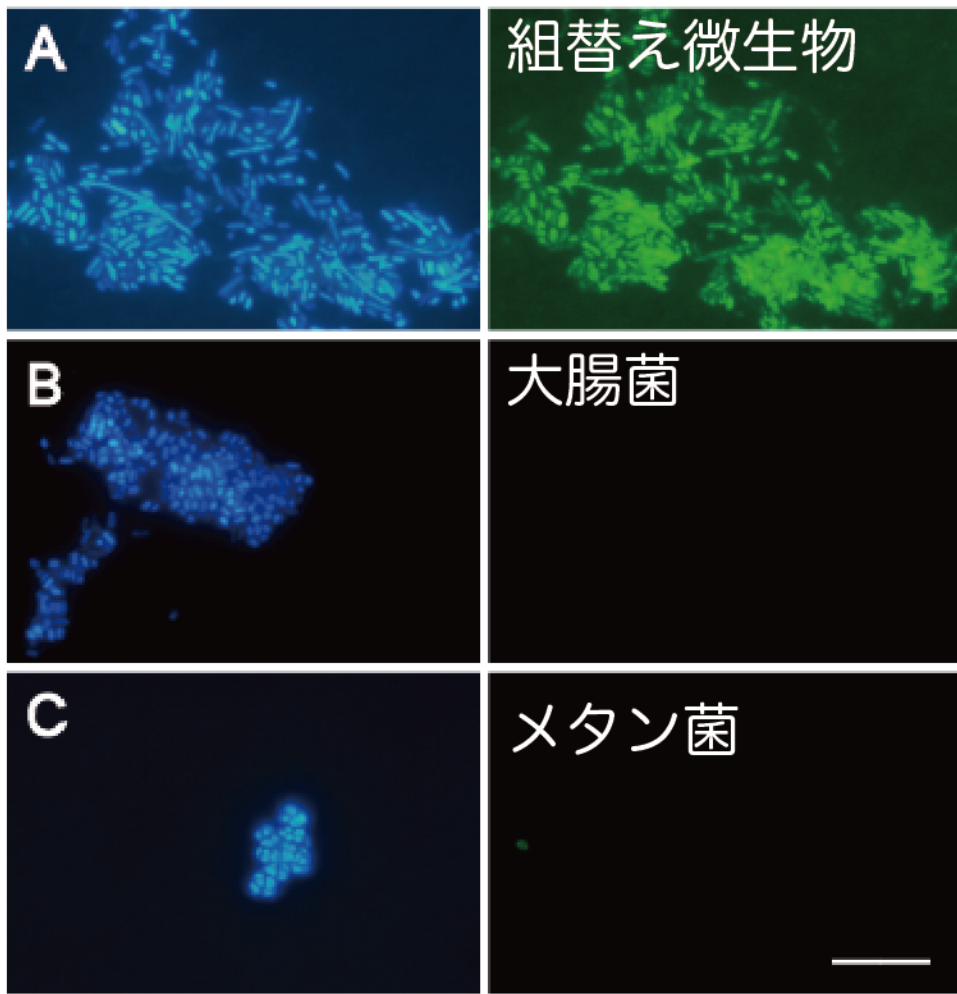


Anammox 細菌の機能遺伝子

大腸菌

# 視覚的検出における開発技術

## ● 組替え微生物への適用



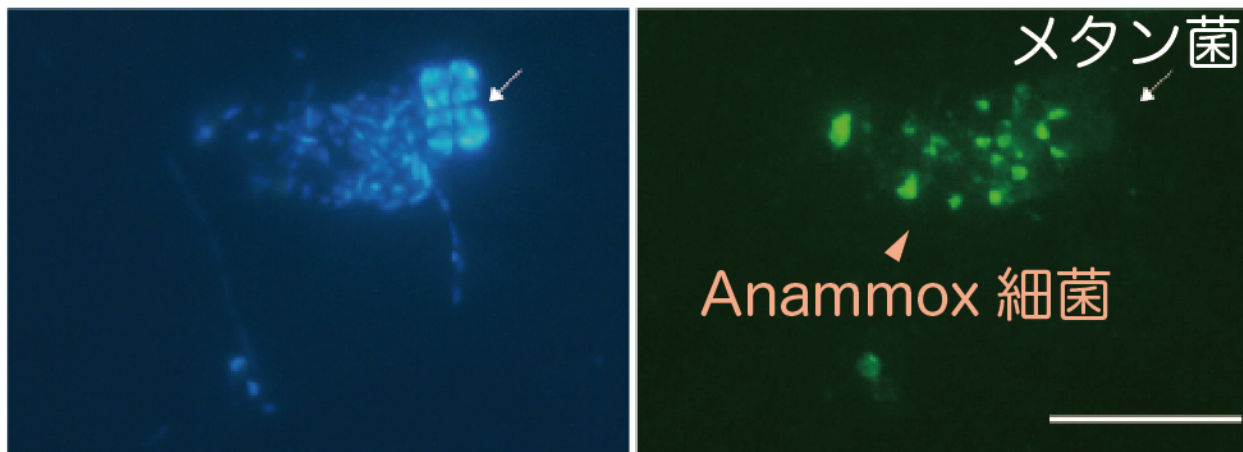
組替え微生物のみから  
蛍光が得られた



遺伝子の特異的視覚化  
に成功した

# 視覚的検出における開発技術

## ● Anammox 細菌の視覚的検出



バイオリアクターに生息する Anammox 細菌の遺伝子の可視化に成功した



ゲノム解析の検討を行い、ゲノム解析が可能であるか評価することが今後の課題である

# まとめ

---

- 新たな微生物が常にアップデートされている



微生物機能を最大限に活かせる装置が必要であり、  
そのためには微生物機能を把握する必要がある

微生物機能を把握するための技術開発を行うことで  
脱炭素にむけた技術開発の第一歩となる