



# フォトンによる光合成評価技術

2024年度 多元技術融合光プロセス研究会 第5回研究交流会

テーマ：「最新レーザー応用技術～エネルギー問題・環境問題の解決に向けて～」

---

浜松ホトニクス株式会社

中央研究所 企画部

勝又政和

2024.02.26

2025年3月4日（火）13:00-17:10

東海大学品川キャンパス 2号館 2B101教室（大講義室）

# 持続可能な社会の実現への貢献する光源・光検出器と応用例

光

X線

紫外線

可視光

近赤外

短赤外

中赤外

テラヘルツ

光  
検  
出  
器デュアルエネルギー  
X線ラインセンサ

UV トロン



ミニ分光器



光電子増倍管



MPPC

光子検出技術

バンドパスフィルタ付  
Si フォトダイオード

ミニ分光器 マイクロシリーズ (UV、可視タイプ)

近-短赤外分光モジュール



ラマン分光モジュール

光源内蔵タイプ

MEMS-FPI  
分光モジュールInGaAsエリア  
イメージセンサ量子カスケード  
光検出器

InAsSb光起電力素子

Typell超格子  
赤外検出素子

THz-I.I.



THz-PMT

光  
源マイクロ  
フォーカスX線源

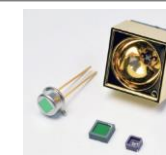
エキシマランプ

重水素ランプ  
(D2ランプ)

キセノンフラッシュランプ



拡散反射光源



中赤LED



量子カスケードレーザー

紫外

可視

短赤外

中赤外

応  
用  
例

異物検査

浄化

水質検査

吸光度・濁度・蛍光計測

有機物・プラスチック計測

大気計測

材料評価

## 再生可能な資源・エネルギーの利用と環境に配慮した製造プロセスに貢献

環境計測

エネルギー

リサイクル

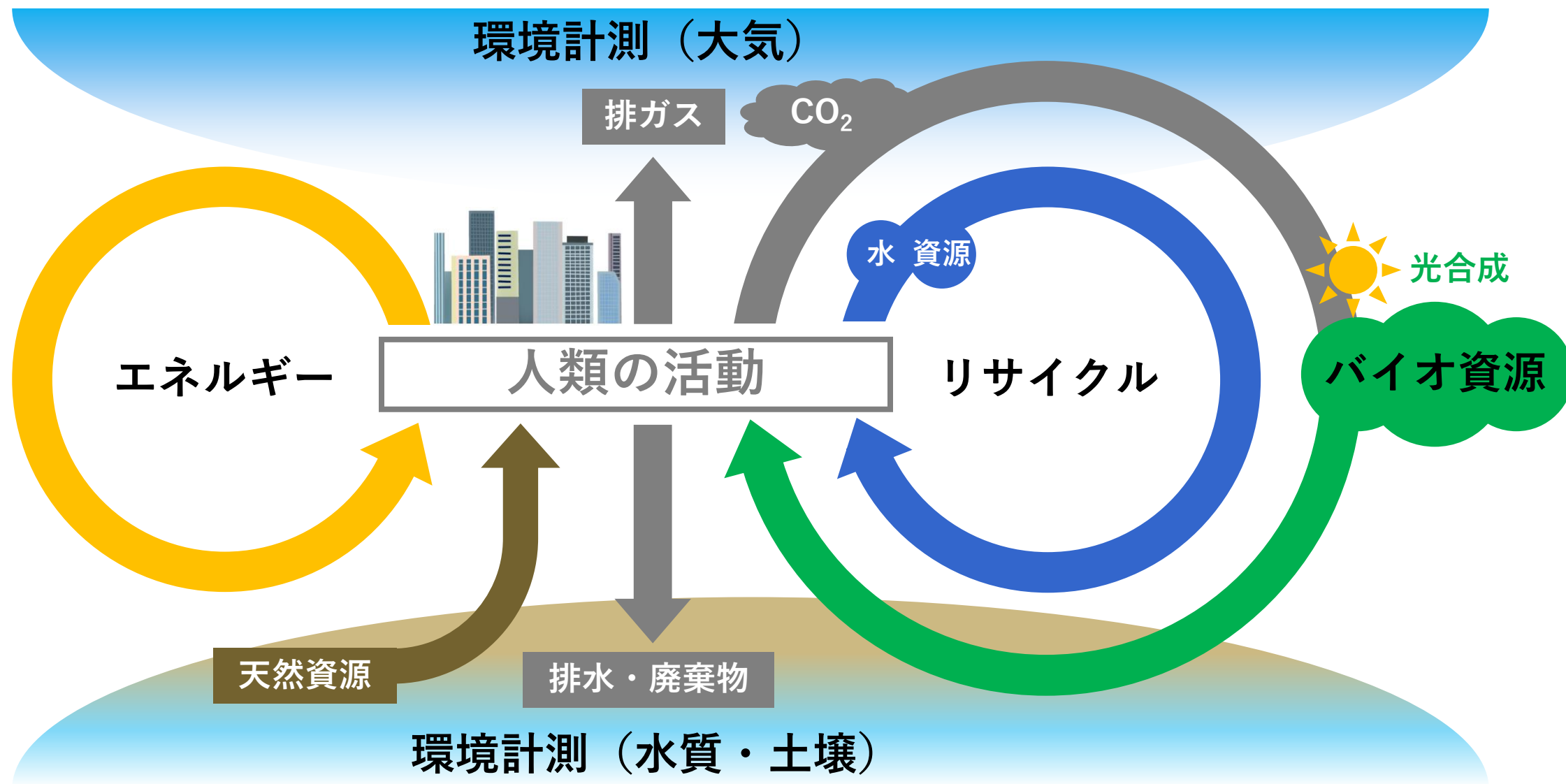
バイオ資源

# 図解：持続可能な社会の実現に貢献する光技術

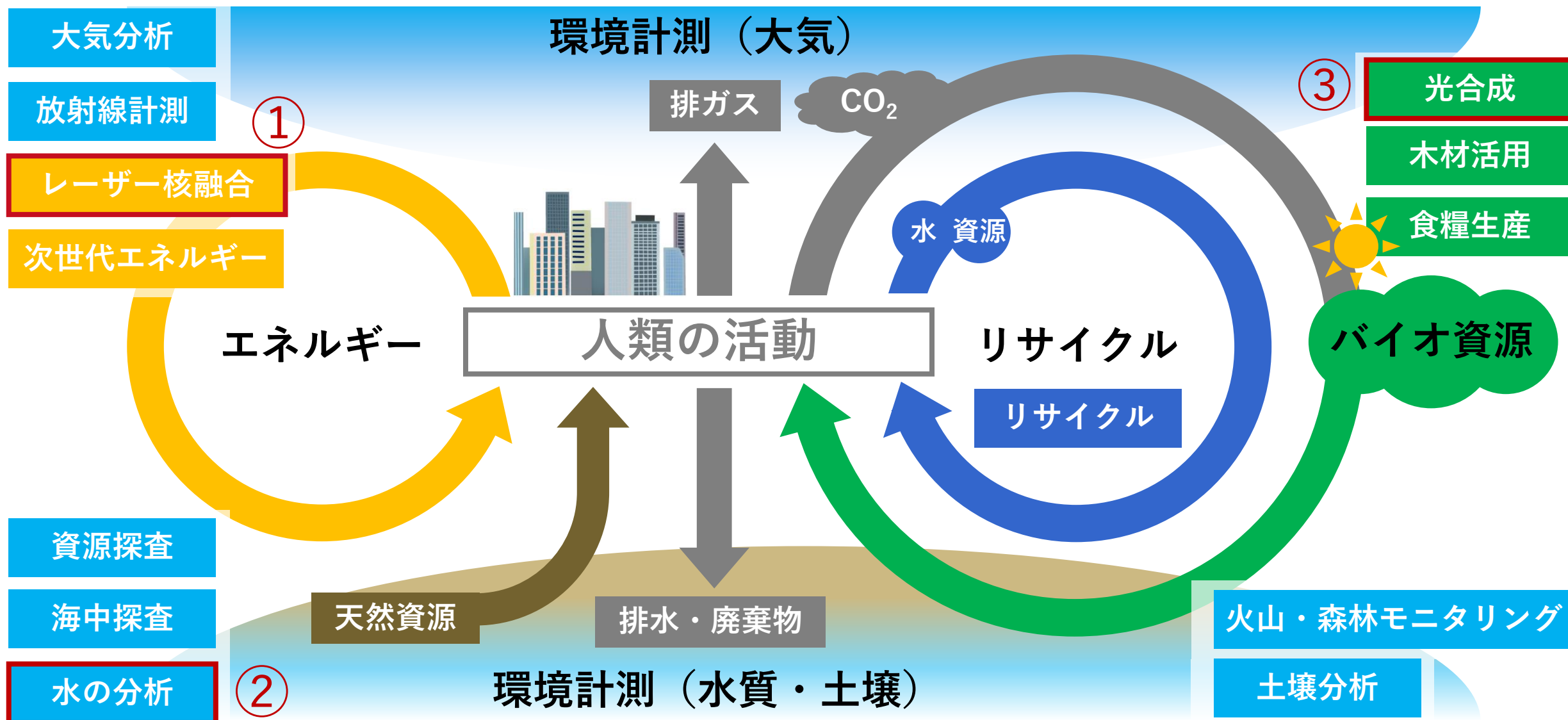
## 環境計測・エネルギー・リサイクル・バイオ資源

HAMAMATSU  
PHOTON IS OUR BUSINESS

環境ホトニクス



## 図解：持続可能な社会の実現に貢献する光技術

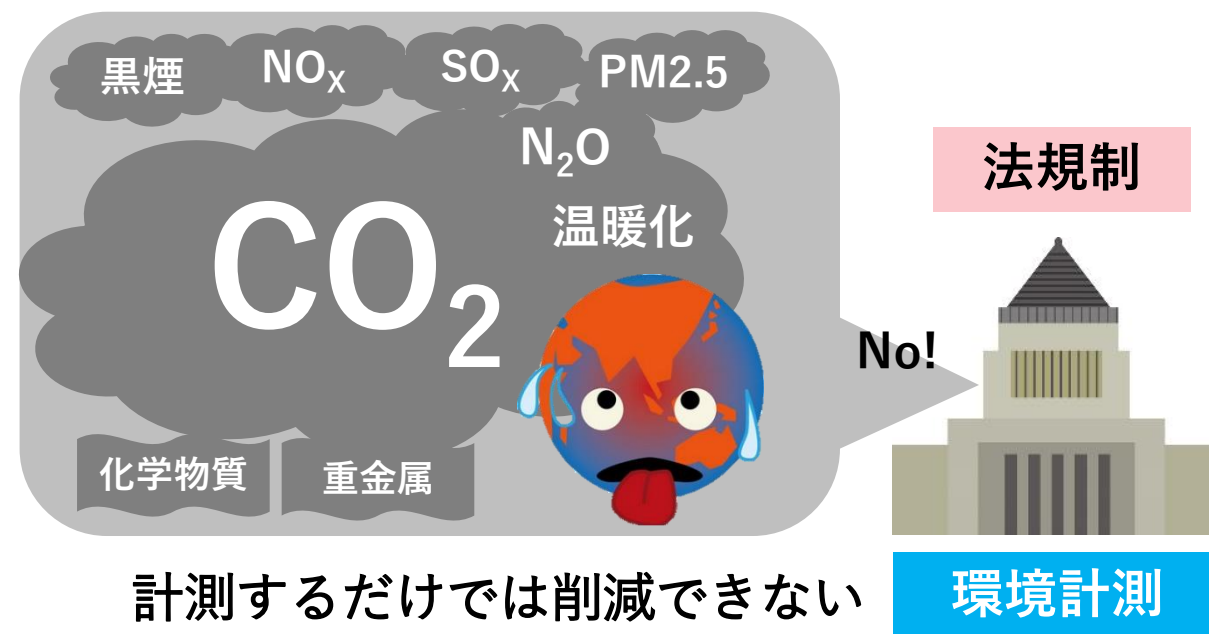
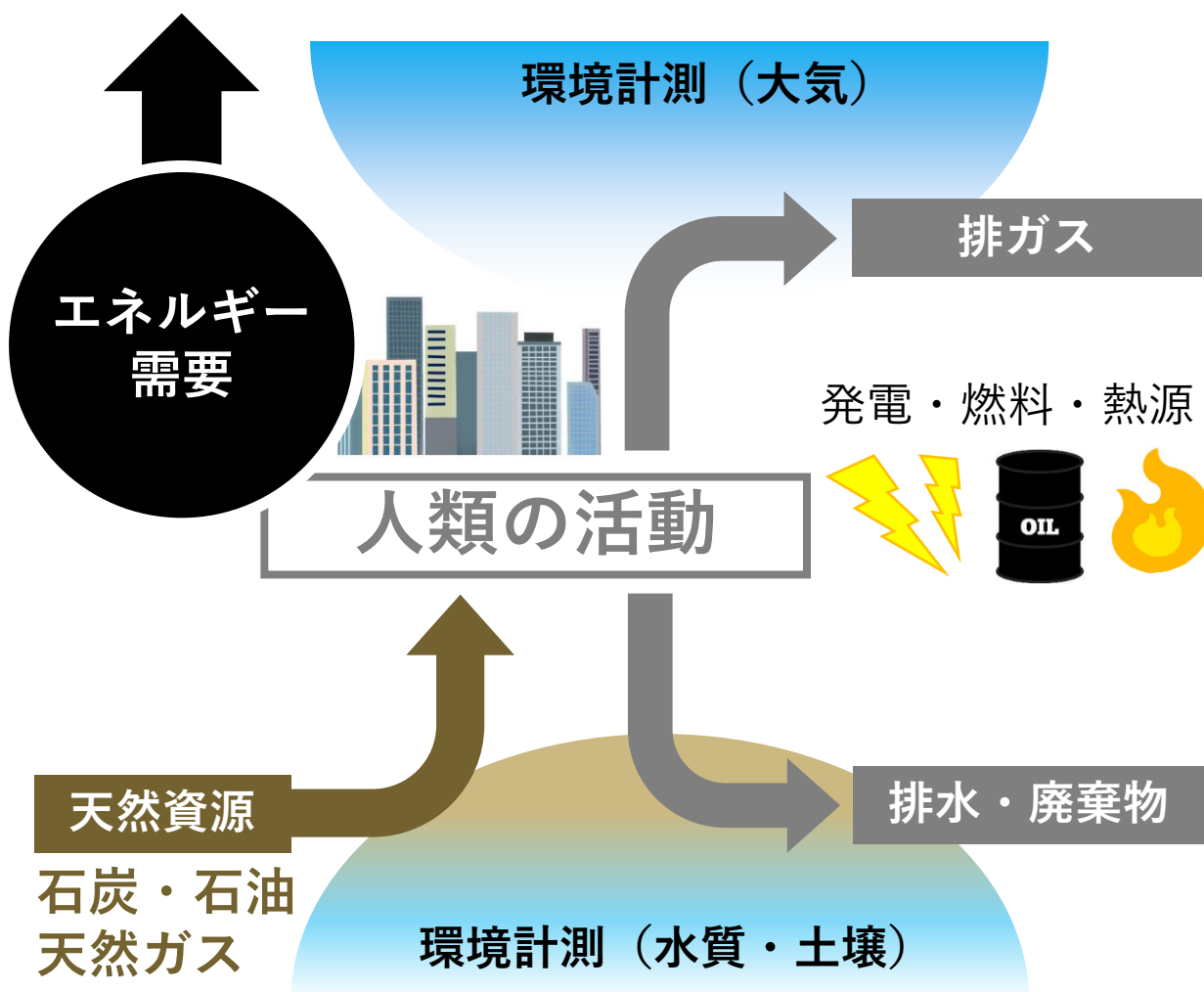


# ① レーザー核融合の研究について

---

# 化石資源エネルギーの利用に関わる課題

エネルギー生産に必要な化石資源の大量消費による排ガス・排水とCO<sub>2</sub>の放出



根本的な解決方法は？

# “化石燃料に依存しないエネルギー”

## レーザー核融合発電・高出力レーザーモジュールの開発に挑戦

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

環境ホトニクス

### 核融合＝地上に太陽を作り出す技術

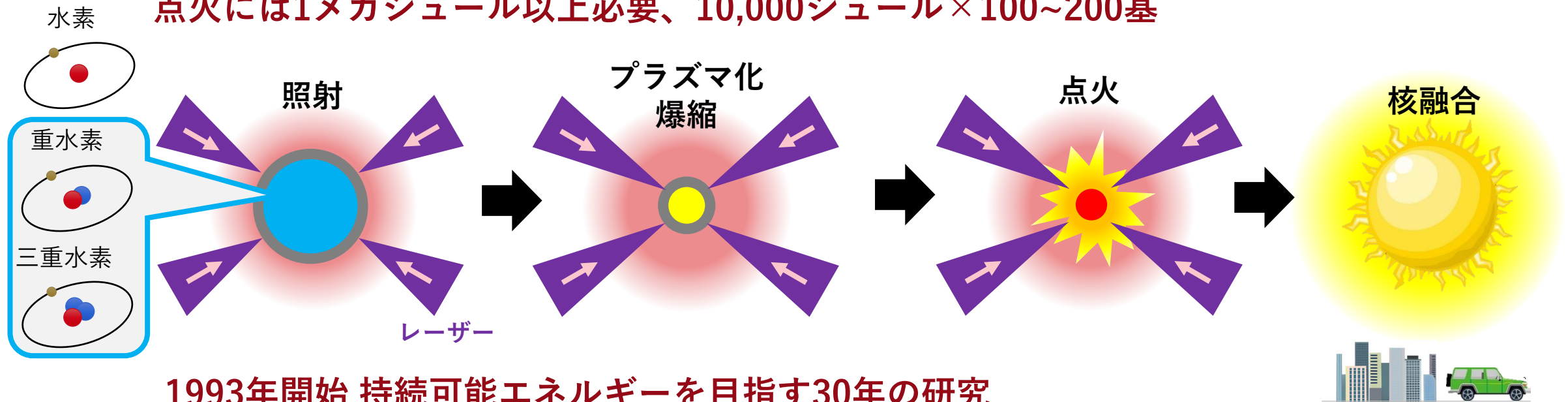
当社の目指す方式：レーザー駆動・中心点火 直接駆動方式

**重水素と三重水素にレーザーを照射、プラズマ化・爆縮により点火、核融合を起こす**

レーザーモジュールの開発目標：

**高出力1000ジュール・高繰返し10Hz → 10,000ジュールビーム**

**点火には1メガジュール以上必要、10,000ジュール×100～200基**



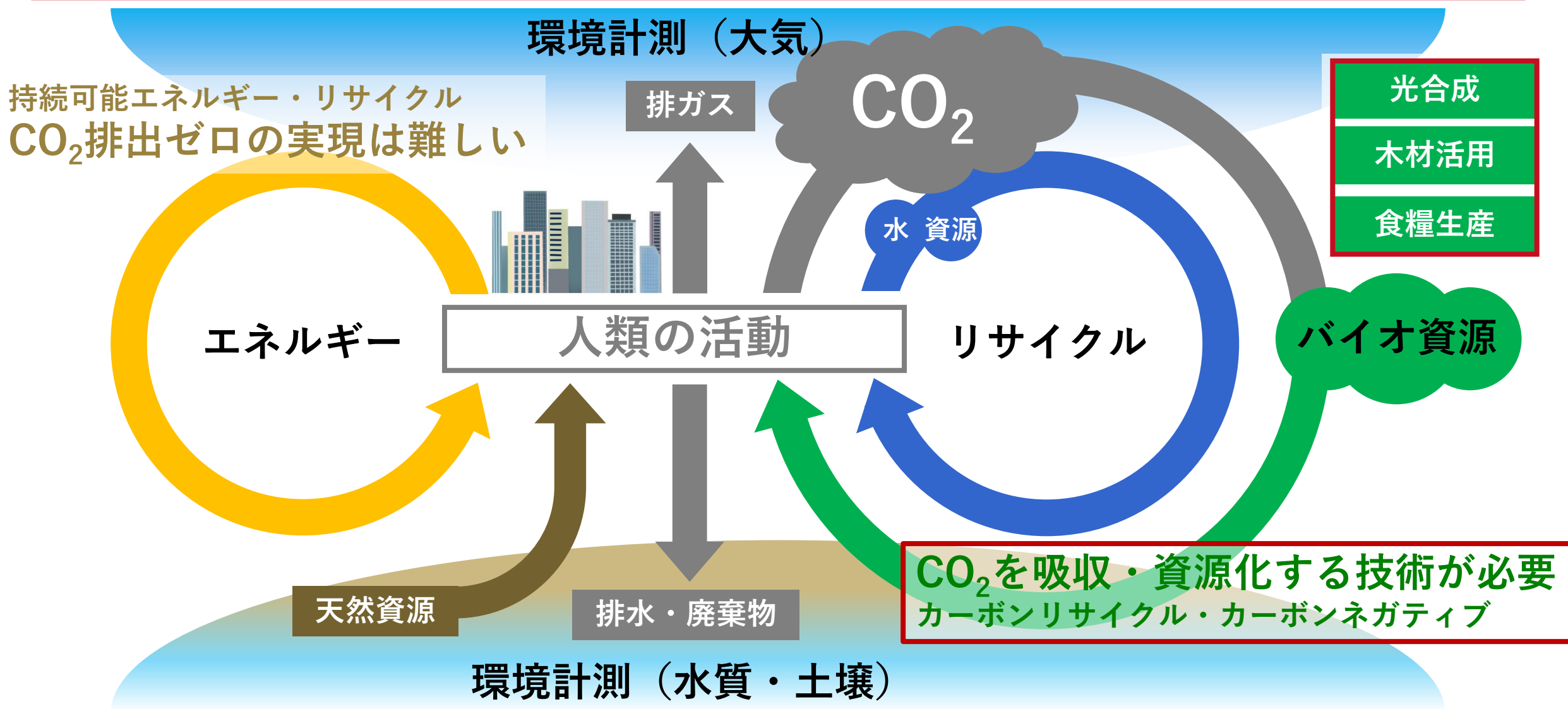
**1993年開始 持続可能エネルギーを目指す30年の研究**

1995年 COP1開催（気候変動枠組み条約第1回締約国会議）

1997年 COP3開催 京都議定書が採択される



問題：“化石燃料に依存しないエネルギー”が実現できたとしても  
非エネルギー排出や既放出の大気CO<sub>2</sub>が減るわけではない。

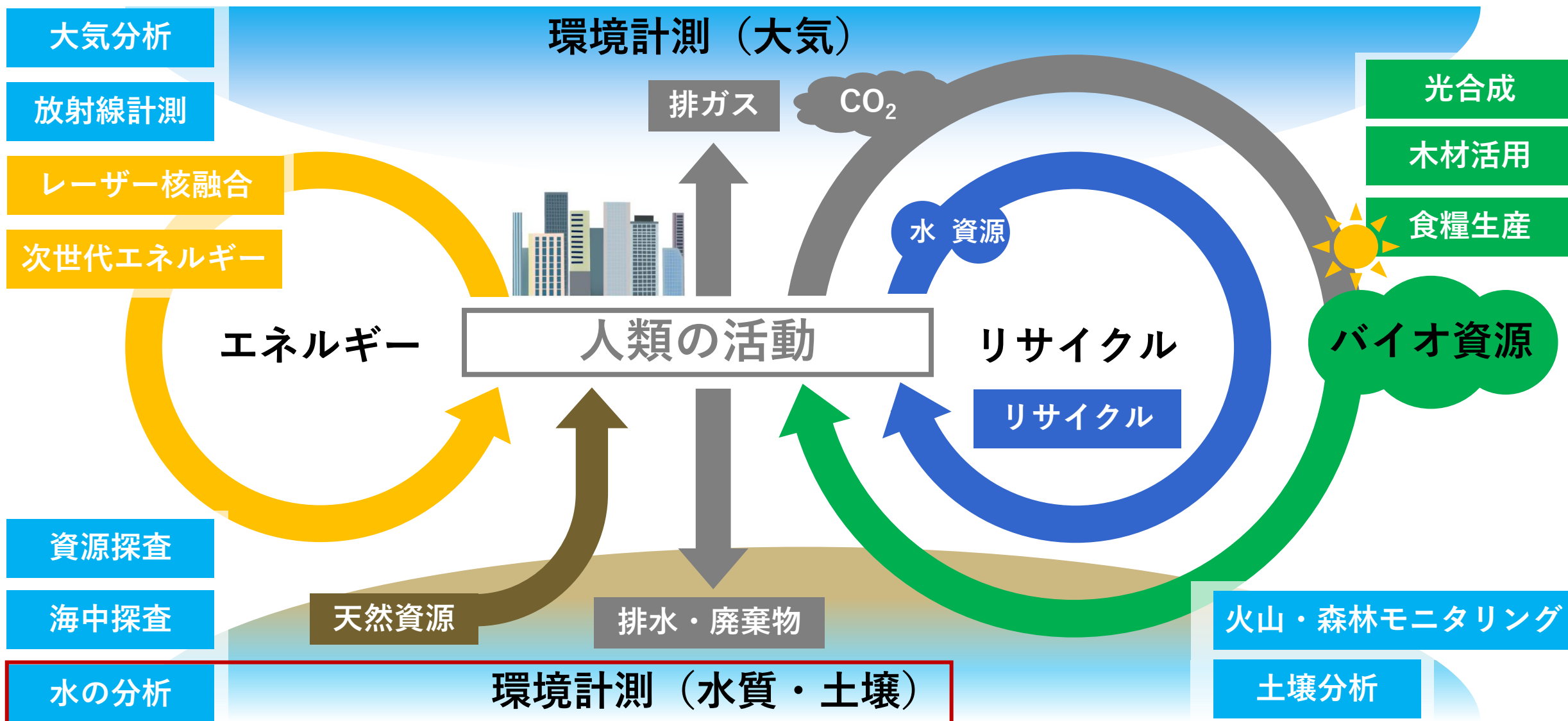




## ②水の分析・フォトンによる光合成評価技術の応用

---

## ② 水の分析・環境計測



# 藻類を利用した化学物質の有害性評価＝バイオアッセイ

開発された化学物質  
約2800万種  
(流通中 数万種)

日本の規制  
PRTR第一種  
約500種

水質汚濁防止法  
一般排水基準  
28種＋15項目  
(有害物質) (その他)



- 汚染物質の環境リスクは“化学分析”と“バイオアッセイ”で判断される。
- 化学分析＝物質量（GC/MS、LC/MSなど）・・・規制項目、基準値に対して実施
- バイオアッセイ＝有害性（魚、ミジンコ、藻類など）・・・生物に影響する濃度を評価

# 藻類を利用した化学物質の有害性評価＝バイオアッセイ

## 淡水藻類を用いる生長阻害試験法（化審法）

細胞数を測定し、3日間（72時間）の  
生長阻害により毒性を評価する。

### 課題

- 藻類の管理に専門技術が必要。
- 藻類の準備を含め試験期間が長い。  
（前培養2～4日 + 曝露試験3日）

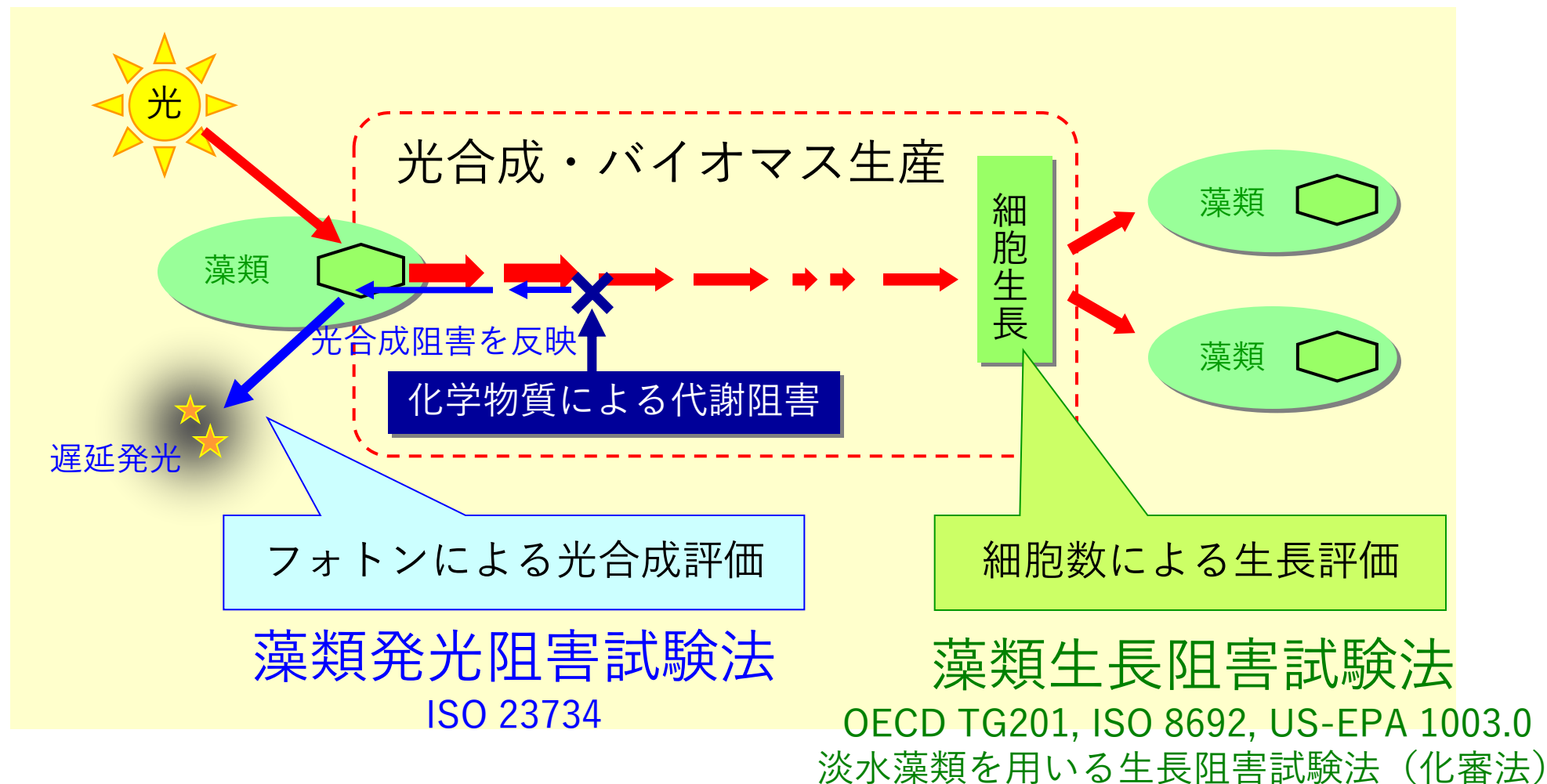


フォトンによる光合成評価技術を応用した  
迅速・簡便な試験手法を開発



写真・国立環境研究)  
<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/72/column3.html>

# フォトンによる光合成評価で生長阻害を予測



# 本題：フォトンによる光合成評価技術

---



# フォトンによる光合成評価技術とは？

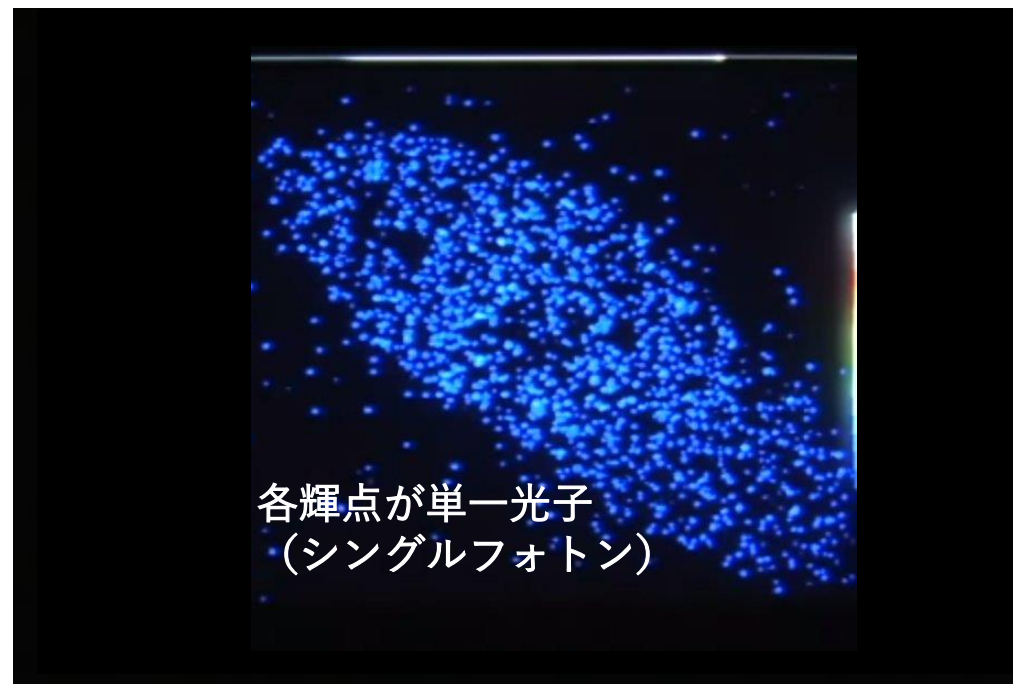
生体微弱発光の一種、遅延蛍光（delayed fluorescence）を検出する。

藻類や植物などの光合成生物に光を照射した後に暗所で放出されるシングルフォトン領域の極微弱発光の発光強度の時間波形を取得し、その時間波形から光合成の状態を評価する方法。

可視画像



微弱発光画像（リアルタイム）

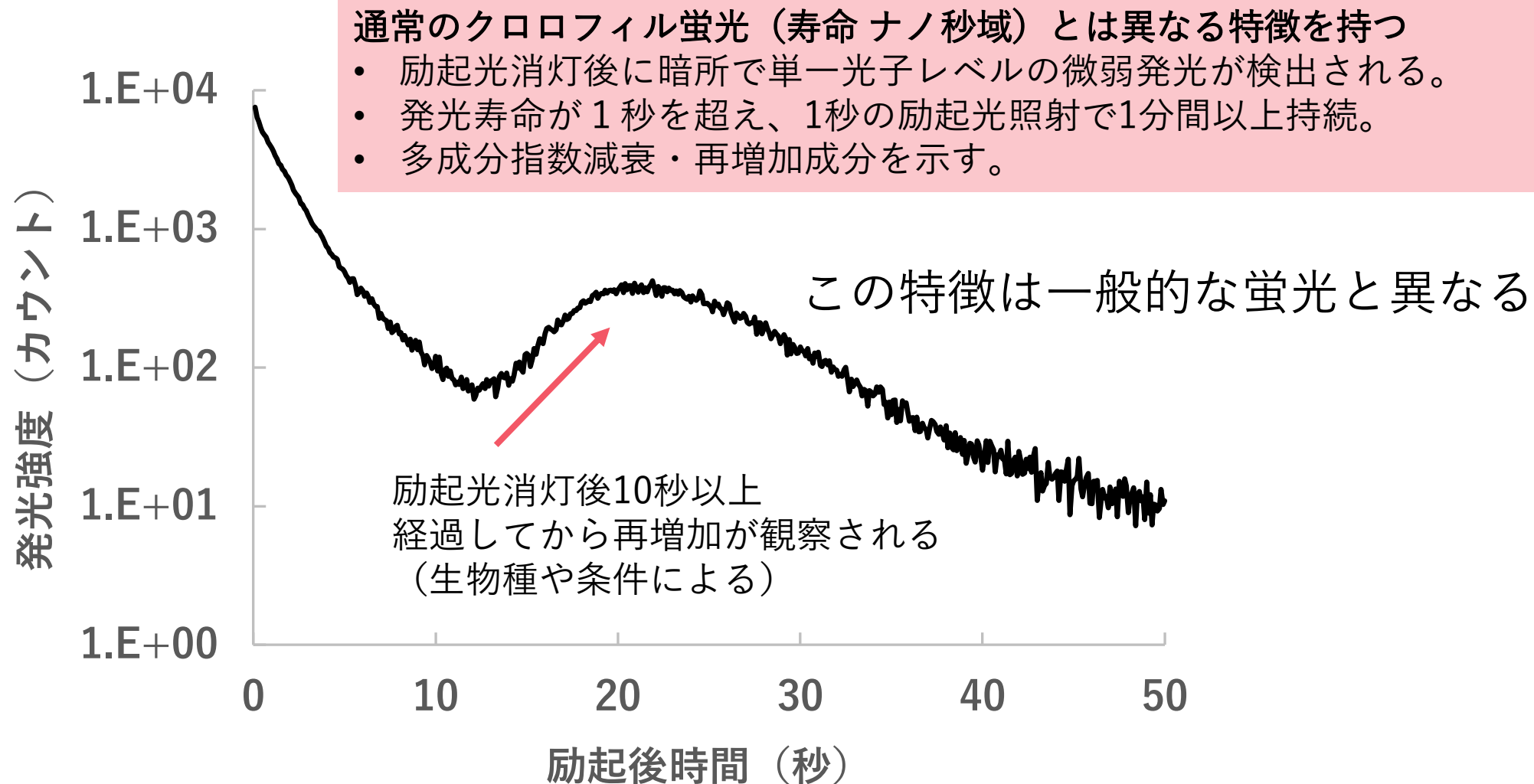


超高感度カメラ（浜松ホトニクス）による計測例

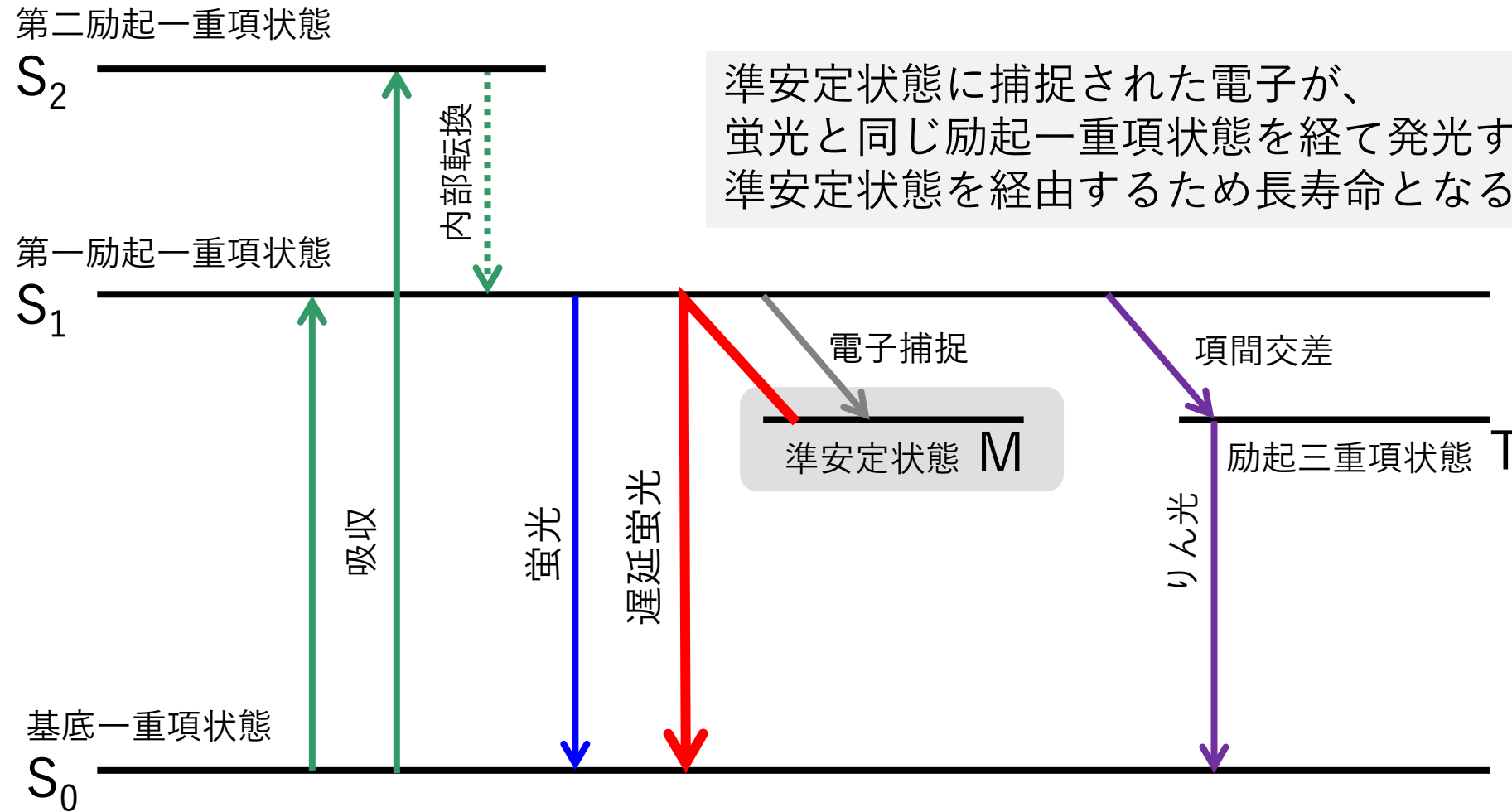
光合成反応全体の活性を反映する



# 光合成生物（藻類・植物）の遅延蛍光の時間波形



# 蛍光・遅延蛍光・りん光の関係 (Jablonski diagram)

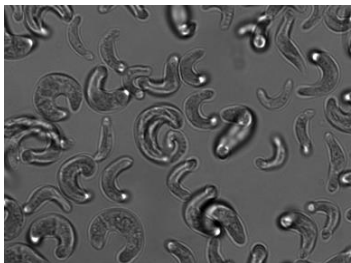


Jursinic PA (1986) Delayed fluorescence: Current concepts and status.

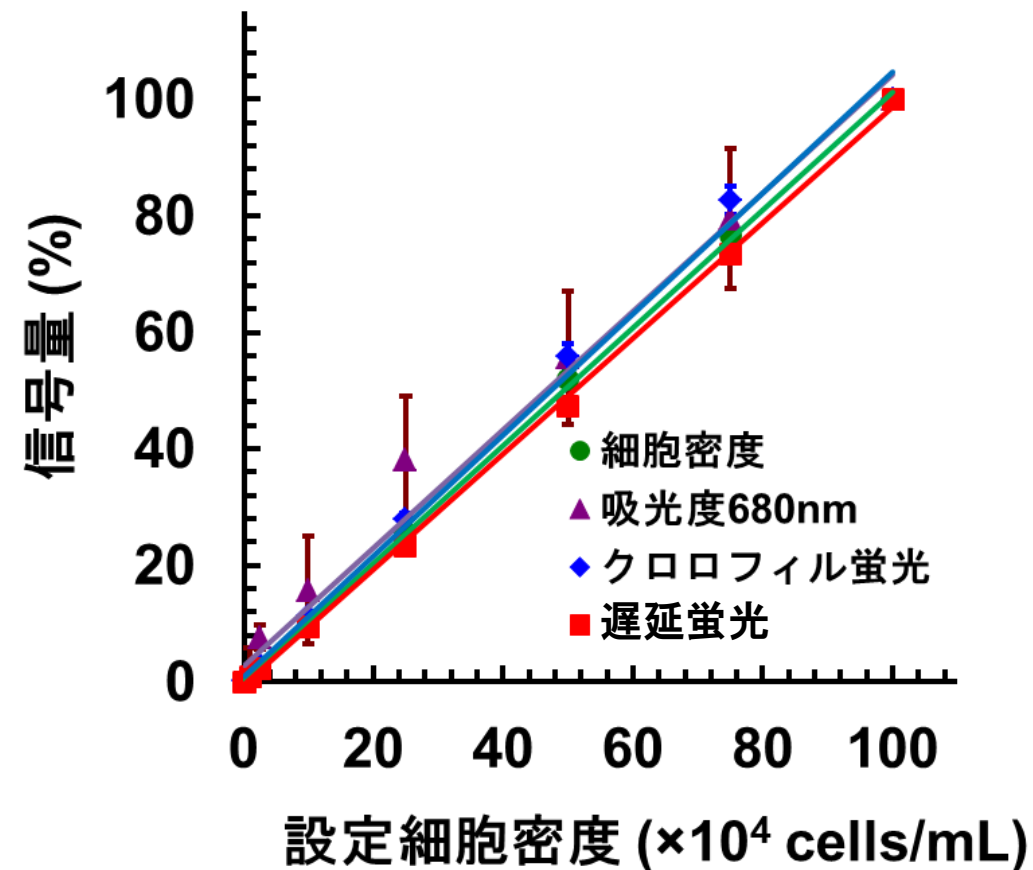
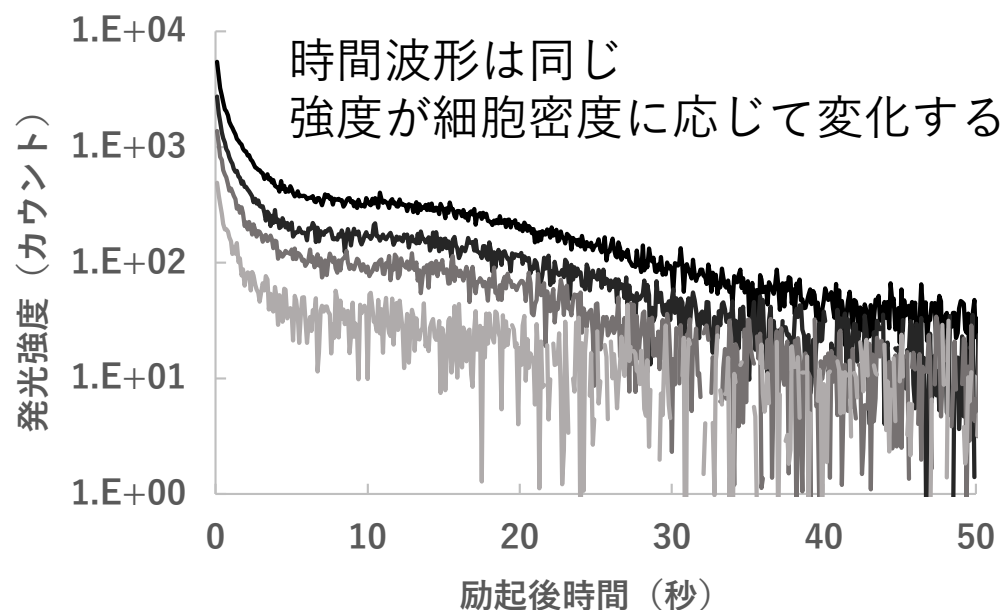
In: Govindjee, Ames J, Fork DC (ed) Light emission by plants and bacteria. Academic Press, Orlando, Florida, p 291-328 をもとに作図

# 簡単に説明：総発光量と細胞密度が比例

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS



細胞密度  $100 \times 10^4 \sim 1 \times 10^4$  cells/mL の測定結果の例  
(単細胞緑藻 ムレミカツキモ)



生物量の測定能力は既存の手法と同様

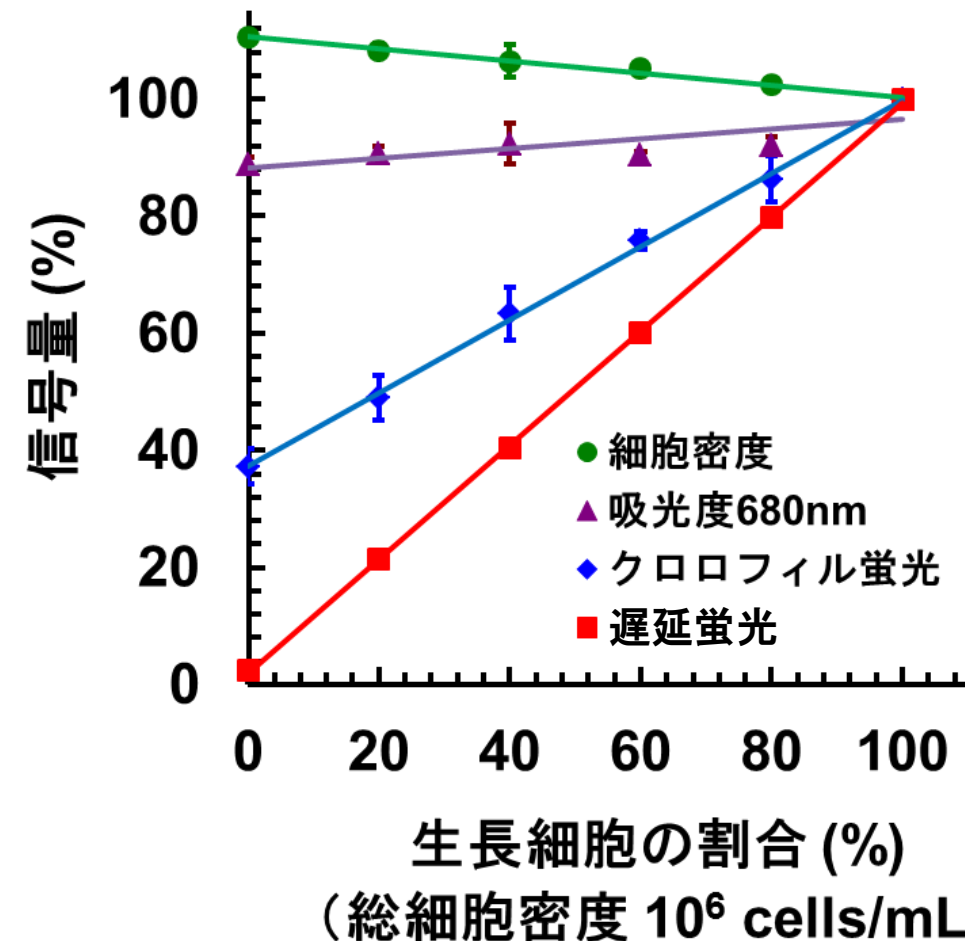
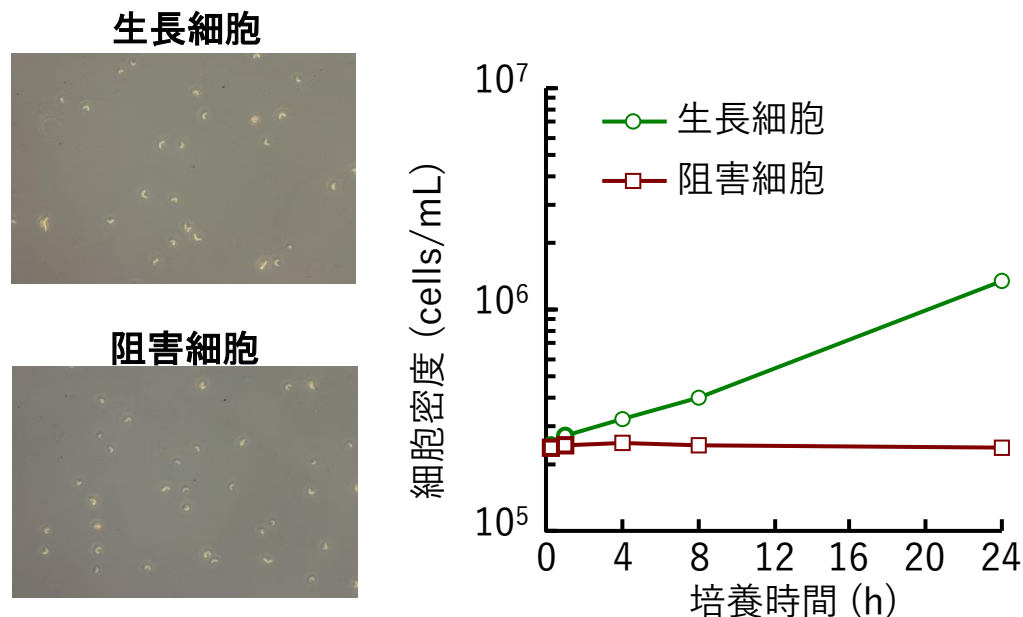
# 簡単に説明：生長能力のある細胞のみを検出

## 生長細胞：

指数増殖期の細胞を用いた。

## 阻害細胞：

生長細胞を熱処理した（50℃、10分）。

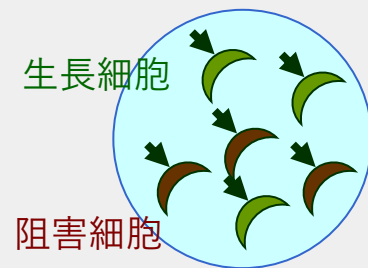


藻類の生長能力の推定に役立つ

# なぜ遅延蛍光は生長細胞のみを検出できるのか？

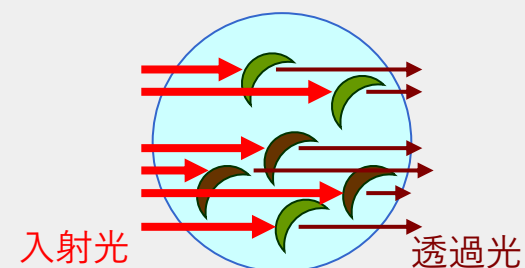
## 細胞数（粒子数計測）

阻害細胞も粒子として検出する。



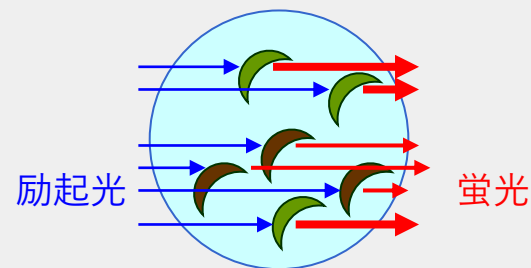
## 吸光度

阻害細胞も光を吸収・散乱する。



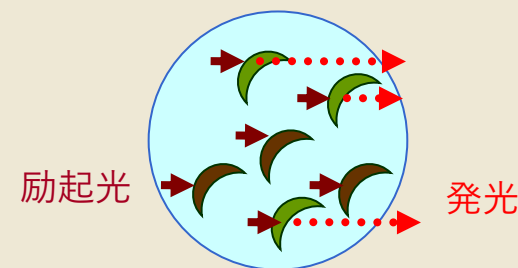
## クロロフィル蛍光

阻害細胞も弱い蛍光を発する。

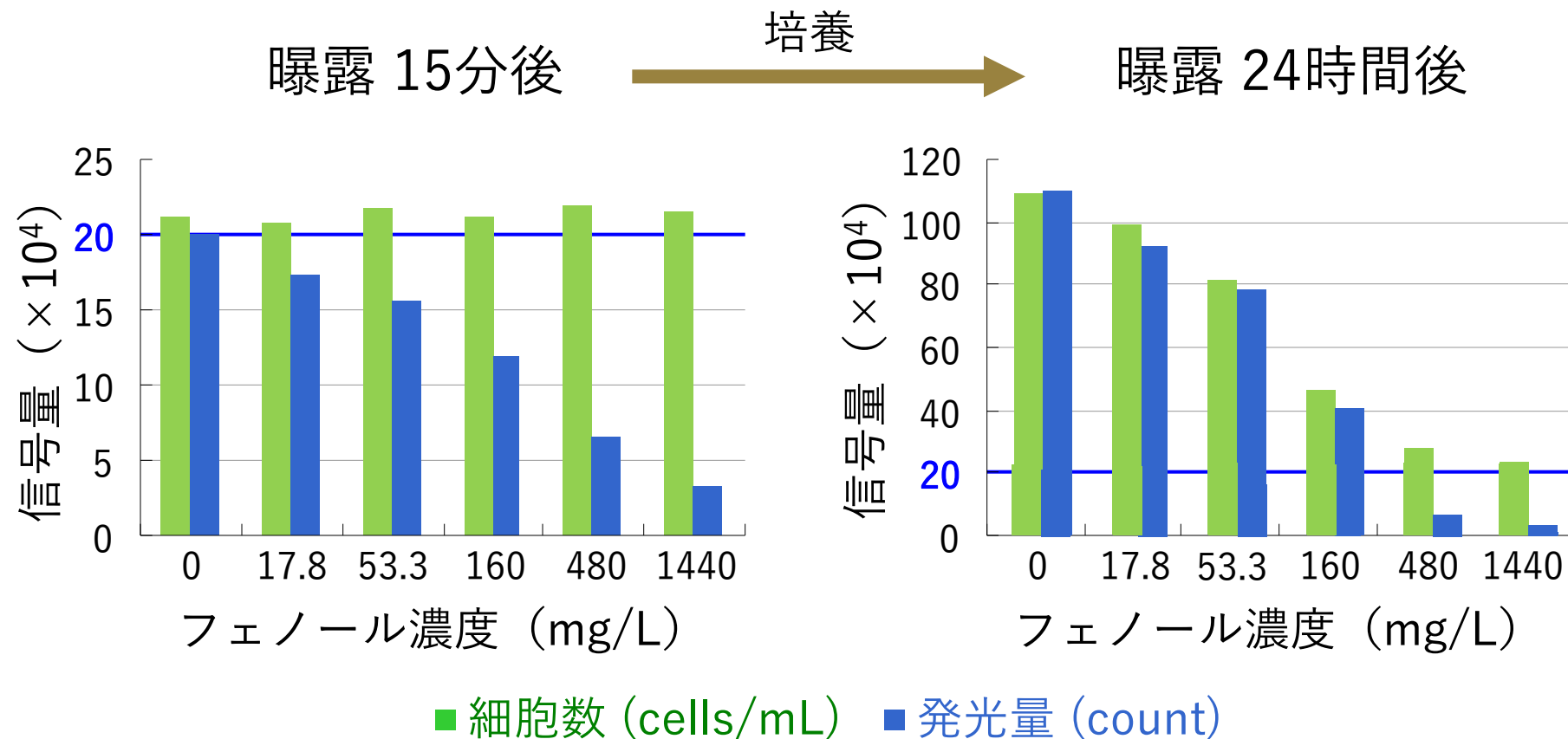


## 遅延蛍光

光合成をしない阻害細胞は発光しない。



# フォトンによる光合成評価により 将来の生長阻害を予測することができる



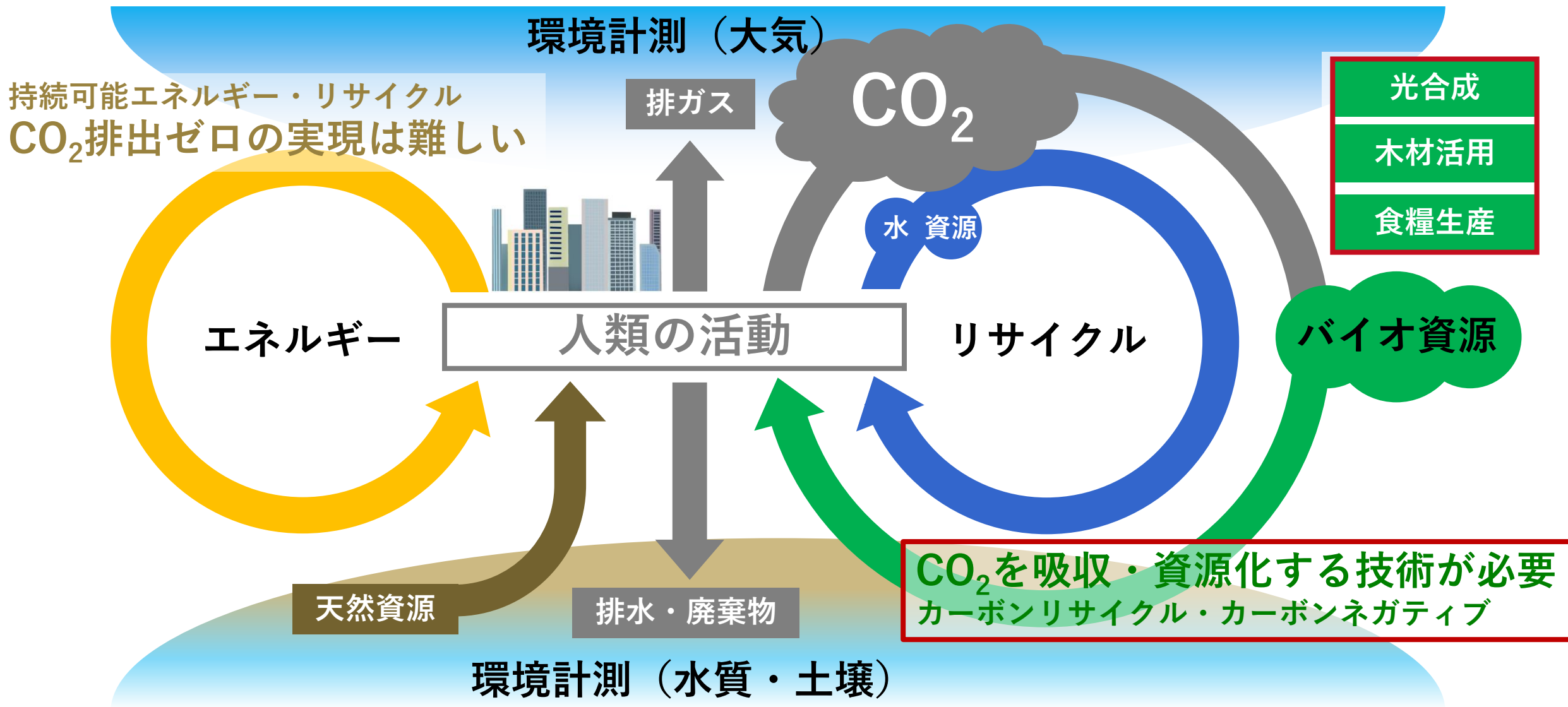
発光量は将来の生長阻害の予測指標となる

# 今、なぜ光合成なのか？

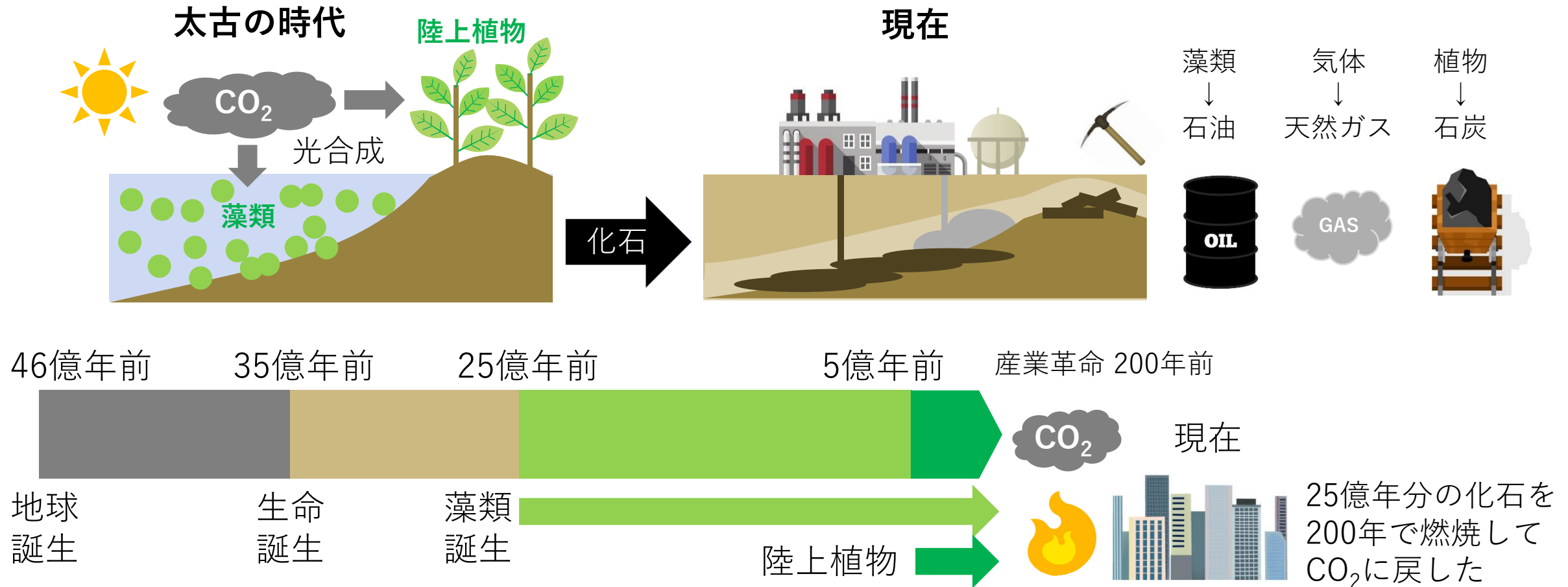
---



問題：“化石燃料に依存しないエネルギー”が実現できたとしても  
非エネルギー排出や既放出の大気CO<sub>2</sub>が減るわけではない。

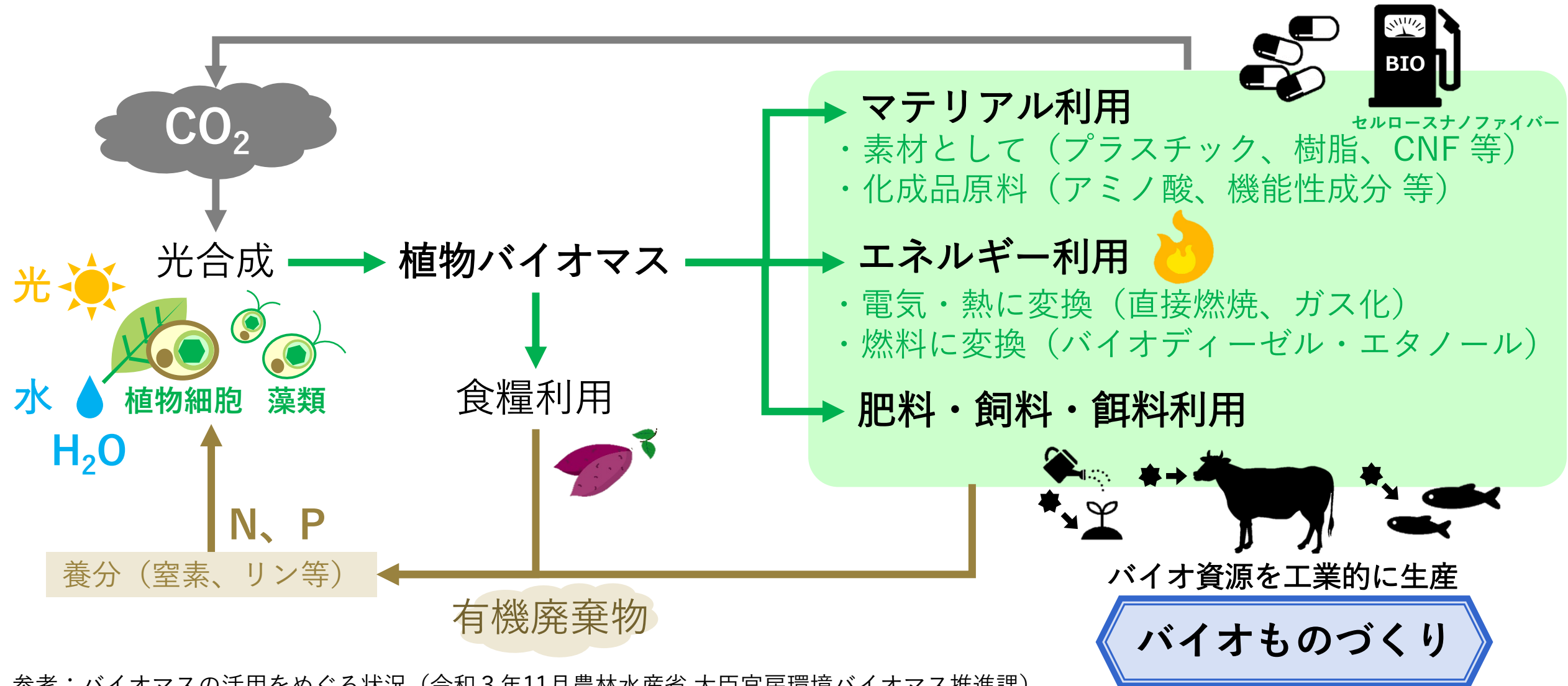


# 化石燃料は大昔にCO<sub>2</sub>を吸収した藻類・植物の化石



光合成によるCO<sub>2</sub>吸収で生産されるバイオ資源を活用したい

# 光合成によるCO<sub>2</sub>吸収で生産できるバイオ資源



# Biomufacturing

## バイオものづくり産業と光技術の応用

### バイオものづくり

- ・ 2030~2040年 世界市場 200~400兆円に達すると予測 (2020 McKinsey Global Institute Analysis)
- ・ 高機能な工業用細胞から「化学素材、燃料、医薬品、繊維、食品など」を生産
- ・ CO<sub>2</sub>を原料として物質生産する光合成は注目される技術のひとつ

参考：令和5年5月12日 経済産業省 生物化学産業課 バイオ政策の進展と今後の課題について、[https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shomu\\_ryutsu/bio/pdf/016\\_04\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/shomu_ryutsu/bio/pdf/016_04_00.pdf)



### バイオものづくり産業に応用可能な光技術

紫外線	可視光		近赤外	短赤外	中赤外	テラヘルツ
有機物・核酸 硝酸/亜硝酸 (紫外吸収)	細胞密度 (吸光度・散乱光)	細胞活性 (蛍光/遅延蛍光)	糖・有機物・脂質 (ラマン散乱、赤外吸収)		バイオガス CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O (赤外ガス計測)	CNF (THz分光)

## バイオものづくり産業へのオンサイト光計測を実装

## 発酵・醸造技術

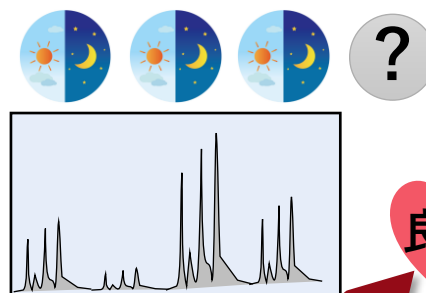
知識・技術・経験



デジタル化

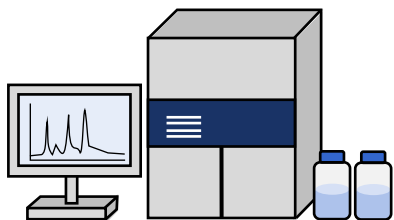


リアルタイムデータ



良好

ラボ分析



管理支援

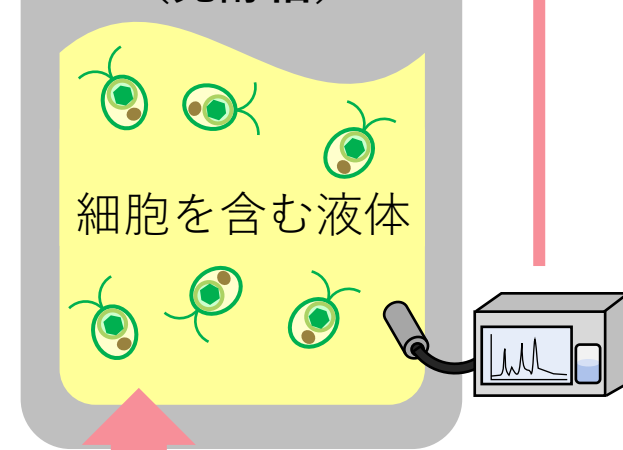
リアルタイム  
予測制御

自動制御・最適化

IoT技術

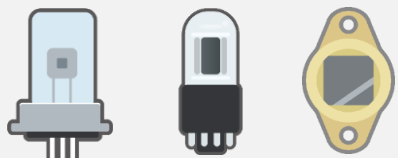
バイオリアクタ  
(発酵槽)

細胞を含む液体

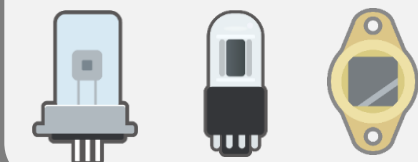


オンサイト光計測

光検出器・光源



光検出器・光源

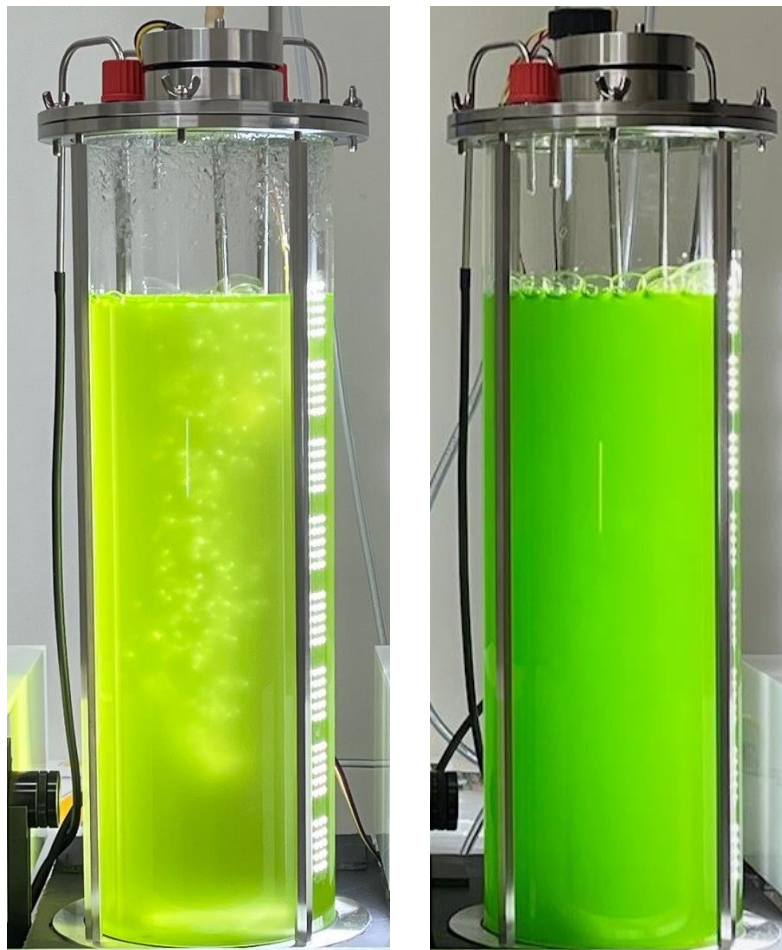


ラボ分析機器の中で活躍する光検出器・光源を現場へ



## 問題：どちらの「藻類（クロレラ）」が元気？

弊社バイオリアクタ



見た目では健康状態が分からない

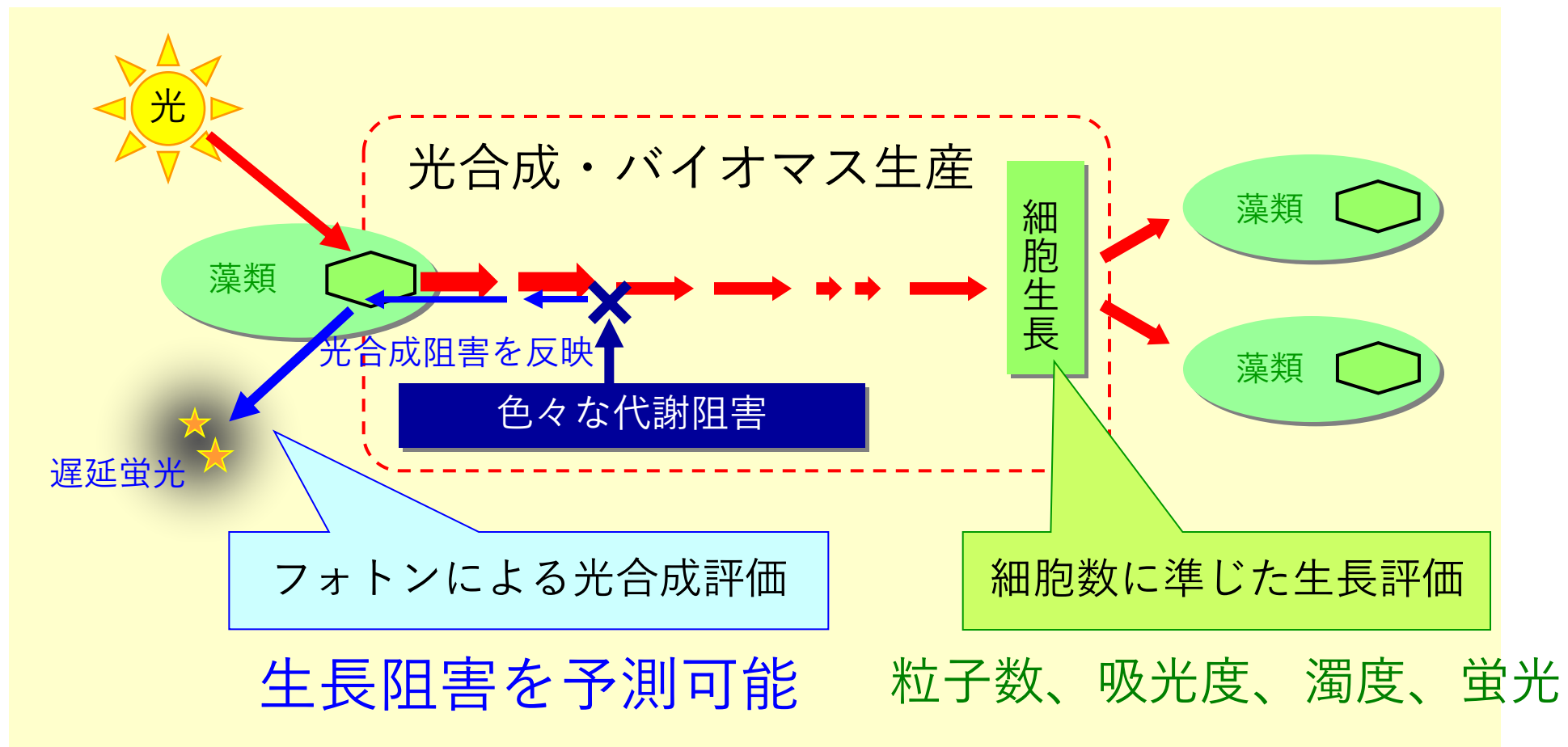
液体：病気の細胞を分離できない

高密度：細胞の健康管理が必要  
(自然界の1000～10000倍)

個体であれば異常を分離できる。



# どうやって藻類の生育状態を評価するのか？





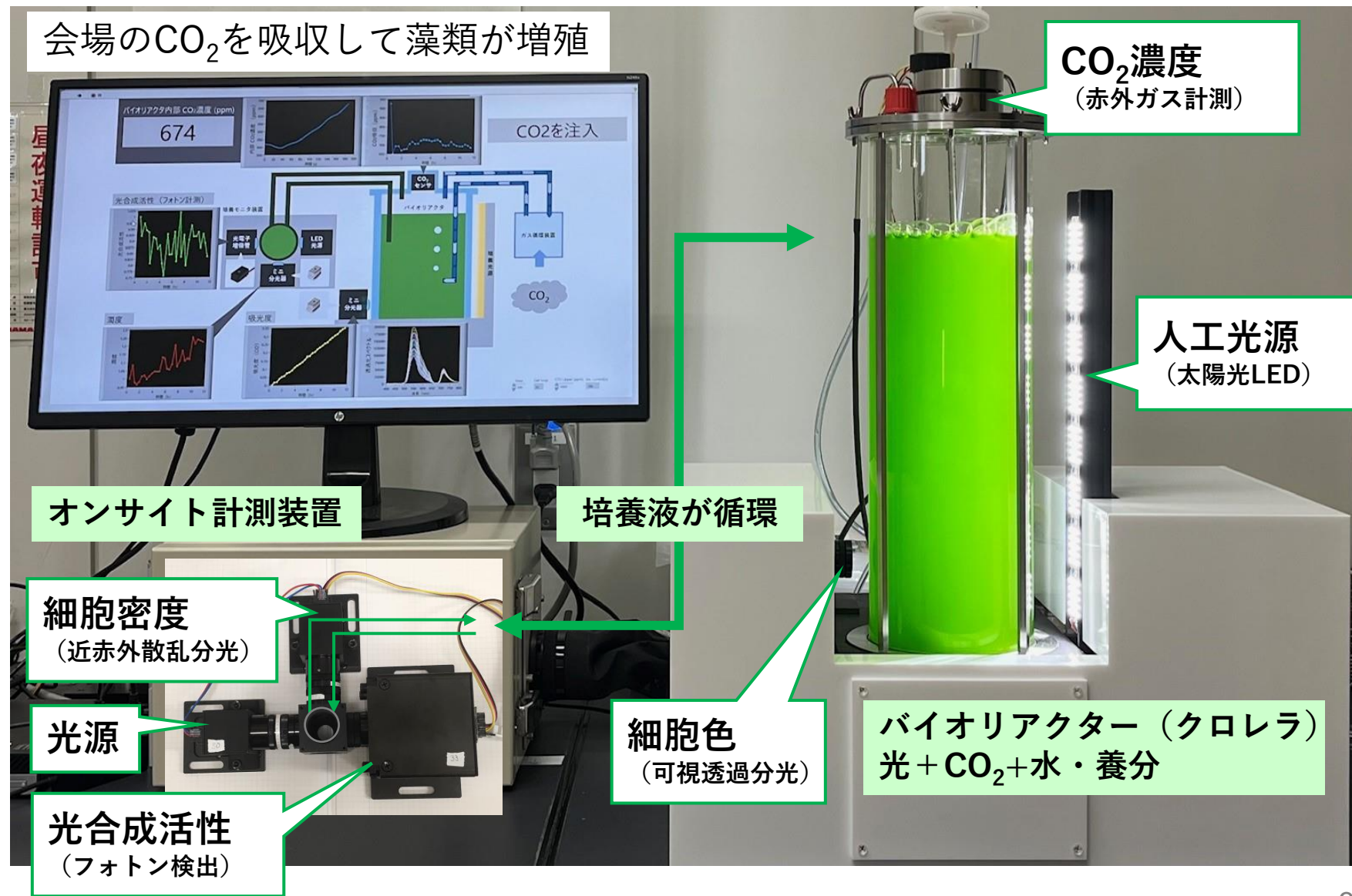
# 2023年11月 弊社総合展示会 PhotonFair2023にて 光合成 CO<sub>2</sub>吸収 藻類バイオリアクタ（実機）「リアルな」実験公開

**HAMAMATSU**  
PHOTON IS OUR BUSINESS

人工光で藻類を高密度培養  
CO<sub>2</sub>吸収、細胞の色、濁り、  
光合成活性の変化を  
オンサイトで連続計測

## 測定項目

1. CO<sub>2</sub>濃度（赤外ガス計測）
2. 細胞色（可視透過分光）
3. 細胞密度（近赤外散乱分光）
4. 光合成活性（フォトン検出）



[www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com)