京都大学
KYOTO UNIVERSITY

KATSURA INT'TECH CENTER
ADVANCED ENGINEERING RESEARCH CENTER
GRADUATE SCHOOL OF ENGINEERING

京都大学大学院 工学研究科　高等研究院

グリーン化学環境工学研究部門

研究部門代表：　河瀬　元明　（化学工学専攻）

本研究部門の目的と主要構成員

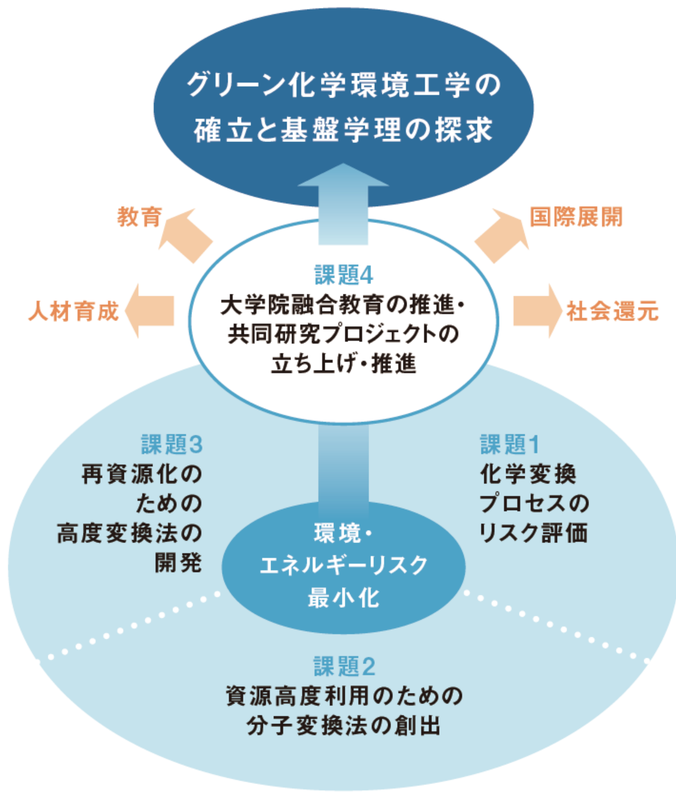
エネルギー・資源の制約の中で深刻化しつつある地球環境問題を解決し，人類社会の持続的な発展を実現する新たな基盤技術の創成が求められています。2015年9月の国連サミットで「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が採択され，2016年から2030年までの国際目標としてSDGsが示されました。強く環境問題を意識し，人類の発展を持続可能なものとする化学プロセスを実現するための「グリーン化学環境工学」の学理の体系化，さらに教育・人材育成・アウトリーチ・国際協力の展開が，大学，とくに工学の社会的責務として強く求められています。こうした要請に応えるためには，個別の研究分野における取組みに加えて，地球環境と人類の幸福を広い視野で捉えるために，より実務的視点から工学を横断する研究の推進が必須です。研究部門では，喫緊の社会的課題の解決を目的として，工学研究科の化学工学，化学と環境工学を専門とする研究者が参加して，「グリーン化学環境工学」の確立に取り組みます。特に，化学プロセスの“環境・エネルギーリスクの最小化”をキーワードとして，

1．化学変換プロセスのリスク評価　　河瀬元明教授，米田稔教授，島田洋子准教授，松井康人准教授，廬田隆一講師
2．資源高度利用のための分子変換法の創出　　近藤輝幸教授，阿部竜教授，木村祐准教授
3．再資源化のための高度変換法の開発　　高岡昌輝教授，西村文武准教授，大下和徹准教授，中川浩行准教授

に緊密な連携を取りながら取り組みます。さらに，

4．大学院融合教育の推進・共同研究プロジェクト立ち上げ・推進

を通じて，得られた成果を広く社会に発信し，還元していきます。



各課題の進捗状況と外部資金獲得状況

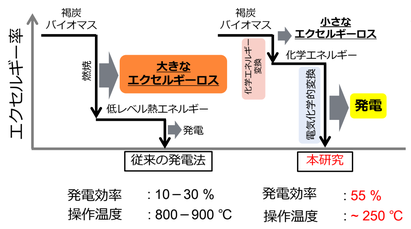
課題	進捗状況	外部資金獲得状況
1	将来のエネルギー資源として期待されるバイオマスや褐炭を用いた発電について，環境負荷のリスク増大につながる従来法の効率の低さを大幅に改善しうる新規発電法を提案し，鍵となる化学反応の反応速度解析を実施した。反応速度論的観点から提案法の実現性を示した。	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構委託研究（R1，R2） 科研費基盤研究(A)（R1～R5）
2	二段階励起型水分解系の新規レドックス対の開発を目的として，ポリオキソメタレート材料をベースとするレドックス対の開発に取り組み，バナジウム二置換型ポリオキソメタレートが，安定なレドックス対として機能することを明らかにした.	科研費若手研究（R1～R2）
3	油分を蓄積する微細藻類を対象に，液化ジメチルエーテルによる油分の抽出を検討した。前脱水を必要とせず，希薄な微細藻類に対し，液化ジメチルエーテルにエントレーナー（アセトン、ヘキサン）を添加することで，Bligh&Dyer法に匹敵する抽出率を得ることができた。下水中の栄養塩を活用して微細藻類ミドリムシ藻Euglena gracilisを培養・回収し，下水汚泥を混合嫌気性消化させ，バイオガスを増収回収するプロセスを開発した。従来法と比較して，培養ミドリムシを混合嫌気性消化に組み込むことにより生産エネルギーを11%増量させうることを示した。	科研費基盤研究(B)（R1～R4） 下水道振興基金
4	令和2年12月3日のオンラインミーティングにて各研究グループの研究内容発表と情報交換を行い，共同研究プロジェクトの応募の方針を決定した。令和3年3月にも講演会を実施する予定である。	

令和2年度までの研究活動及び主な成果

1．化学変換プロセスのリスク評価

褐炭・バイオマスと金属イオンの液固酸化還元反応を利用した高効率発電法（環境負荷リスク低減に向けて）

提案法のコンセプト



発電効率　：10－30 %　　発電効率　：55 %
操作温度　：800－900 ℃　　操作温度　：~ 250 ℃

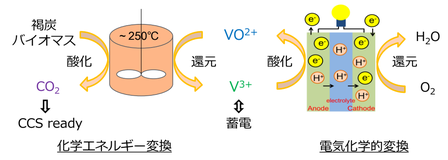
Feedstock	System	操作温度 [℃]	発電効率[%] CO_2回収なし	発電効率[%] CO_2回収あり
褐炭 or バイオマス	従来法（ボイラー）	800-900	10~30	
	IGCC	>1000	36~42[1]	30~32[2]
	提案法	<250	55	55

[1] Cost and Performance Baseline for Fossil Energy Plants, Volume 1b, Rev 2b, DOE/NETL-2010/1397.

将来のエネルギー資源として期待されるバイオマスや褐炭を用いた発電の効率の大幅向上（CO_2回収してもなお高効率）

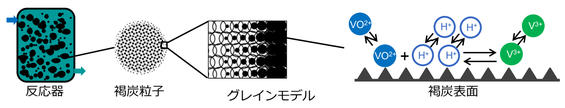
⇒発電プロセスの環境負荷リスクの大幅低減

提案法のプロセス例



褐炭の発熱量: 451.2 kJ/mol-C
理論電力量：4.16 mol-e⁻/mol-C × 0.89 V × 96500 C/mol-e⁻ = 357.3 kJ/mol-C
理論発電効率: 357.3 kJ/mol-C / 451.2 kJ/mol-C = 0.79
発電効率: 0.79 × 0.7 = 0.55

反応速度解析

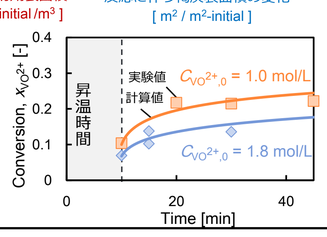


$$-r_{VO^{2+}} = \frac{k_r(C_{VO^{2+}}C_{H^+}{}^2 - C_{V^{3+}}/K)}{(1+K_{V^{3+}}C_{V^{3+}})^3} C_{C,0}\left(1+\frac{1-\varepsilon_0}{\varepsilon_0}x_C\right)\left[\frac{\ln\{\varepsilon_0+(1-\varepsilon_0)x_C\}}{\ln\varepsilon_0}\right]^{\frac{2}{3}}$$

褐炭の表面積あたりの反応速度 [mol / (min m²)]　×　褐炭の初期表面積 [m²-initial /m³]　　反応に伴う褐炭表面積の変化 [m² / m²-initial]

k_r = 0.335 L³ / (mol² mol-C min)
$K_{V^{3+}}$ = 60.9 L/mol
K = 0.00129 L²/mol², ε_0 = 0.15

$C_{C,0}$ = 1.8 mol/L, $C_{H_2SO_4,0}$ = 3.0 mol/L
Reaction temp. = 250 ℃



実験値と計算値は良好に一致

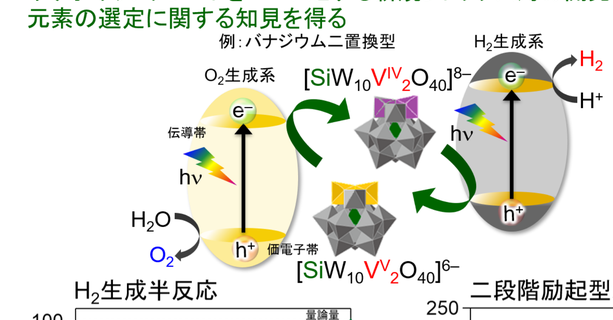
2．資源高度利用のための分子変換法の創出

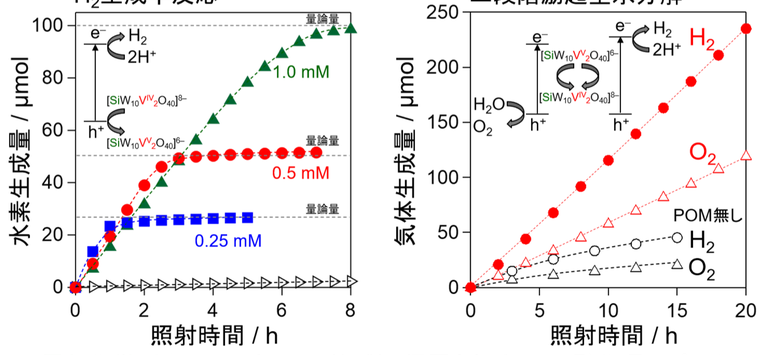
二段階励起型水分解系：
H_2生成用とO_2生成用に2種類の異なる半導体光触媒を用い，可逆なレドックス対を介して組み合わせることによって両者の間の電子伝達を行い水を分解する．各系に必要なエネルギーが低減されるため，太陽光水素製造の実用化に不可欠な「可視光利用」が容易になる．

レドックス対：
ヨウ素系（IO_3^-/I^-，I_3^-/I^-），鉄系（Fe^{3+}/Fe^{2+}）レドックス対が幅広く利用
我々は，遷移金属置換型ポリオキソメタレートがレドックス対として機能することを初めて見出した．

本研究：レドックス対として遷移金属多置換型ポリオキソメタレートを適用

ポリオキソメタレートをベースとする新規レドックス対の開発に向けて骨格元素の選定に関する知見を得る





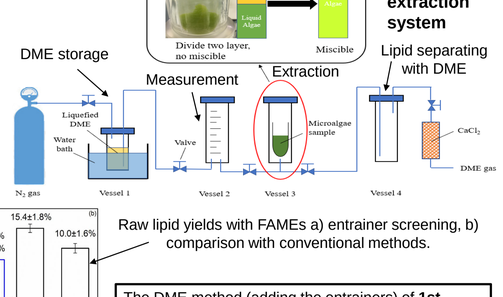
電気化学測定：CVにおいてV^V/V^{IV}に帰属される2つの酸化還元ピーク
H_2生成半反応：骨格に導入した2つのVが電子供与体として機能
二段階励起型水分解：安定なレドックス対として機能

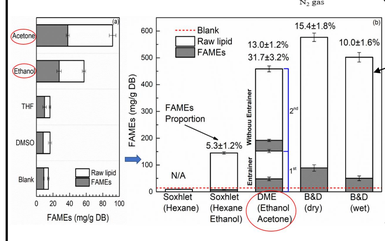
遷移金属の多置換化は，新規レドックス対の開発における有効なアプローチとなり得る

3．再資源化のための高度変換法の開発

Extraction of lipids from liquid microalgae without dewatering

- Entrainer of **ethanol** and **acetone** can significantly improve the lipids extraction efficiency.
- No obvious property difference among **lipids** extracted by the various methods (DME, Soxhlet, Bligh&Dyer method).





Raw lipid yields with FAMEs a) entrainer screening, b) comparison with conventional methods.

The DME method (adding the entrainers) of **1st process** extracted 26.4% of the total raw lipids with 54.4% of the total FAMEs in microalgae, and remnants could be easily recovered by a **2nd extraction process**.

下水中の栄養塩を活用した微細藻類ミドリムシ藻綱*Euglena gracilis*培養-下水汚泥混合嫌気性消化法によるバイオガス増収プロセスの開発

下水中の栄養塩を有効利用し、ミドリムシを培養することによって有機物を増量させ、メタン発酵基質として活用することにより、バイオガス発生量を増加させる。結果として、下水の有する有機物・栄養塩を活用したエネルギー回収利用を図るプロセスを考案し、その有効な操作のための要素技術開発とエネルギー増量の評価を行った。

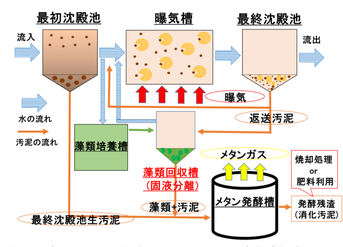


図　ミドリムシと下水汚泥の混合嫌気性消化を組み込んだ活性汚泥プロセス

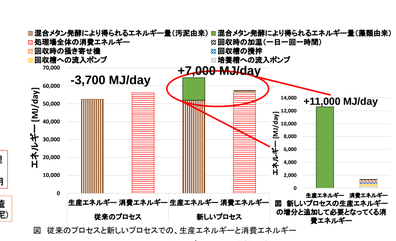


図　従来のプロセスと新しいプロセスでの、生産エネルギーと消費エネルギー

エネルギー試算結果

従来の標準活性汚泥プロセスに、ミドリムシと下水汚泥の混合嫌気性消化を組み込むことはエネルギー的観点において有効であることを明らかにした。

河瀬　元明

京都大学大学院工学研究科 化学工学専攻　教授

E-mail: kawase@cheme.kyoto-u.ac.jp

〒615-8530　京都市西京区京都大学桂
TEL：075-383-2663　FAX：075-383-2653
HP: http://www.kic.t.kyoto-u.ac.jp/ja/research/rp