

バイオ電気化学/固定膜発酵による セルロースからのメタン回収技術

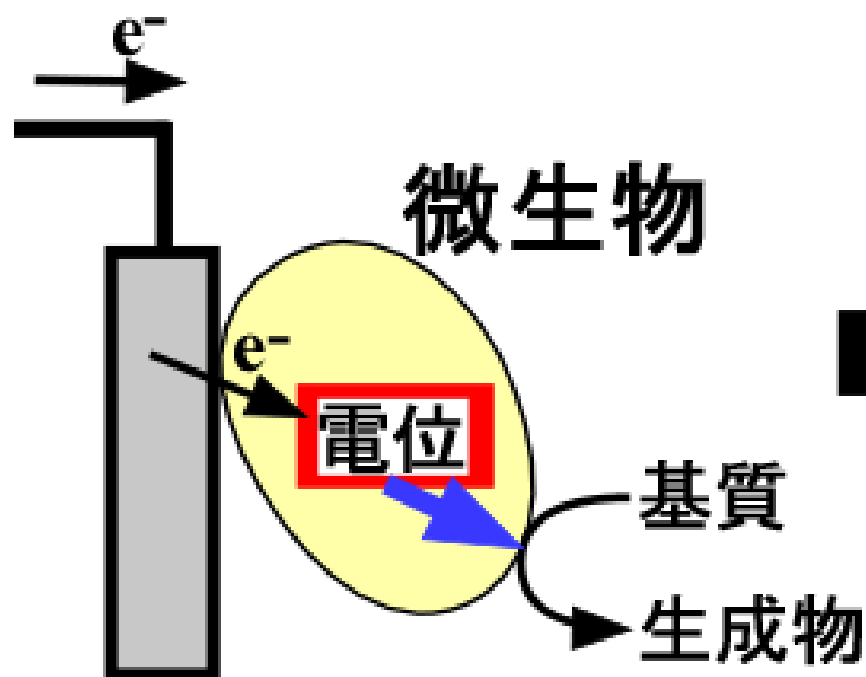
神戸大学 科学技術イノベーション研究科/先端
バイオ工学研究センター

客員准教授 佐々木 建吾

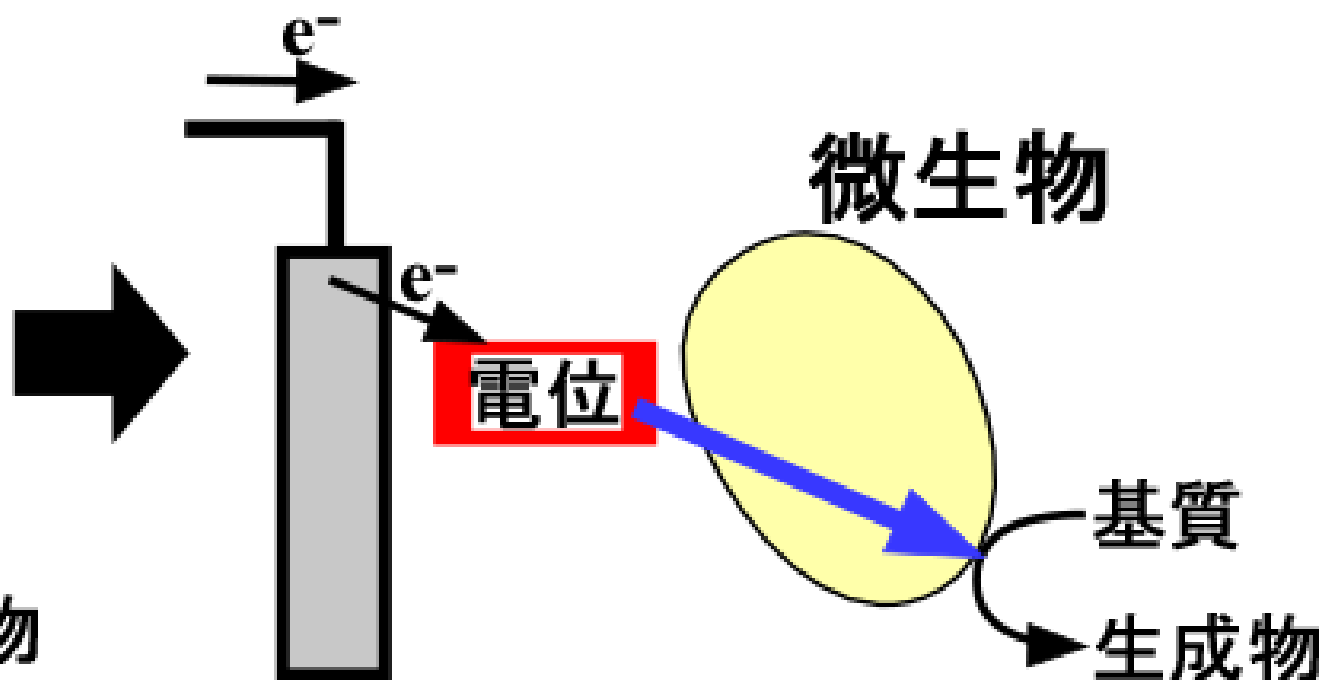
令和2年10月15日

新技術の特徴・従来技術との比較

既存プロセス



新規プロセス



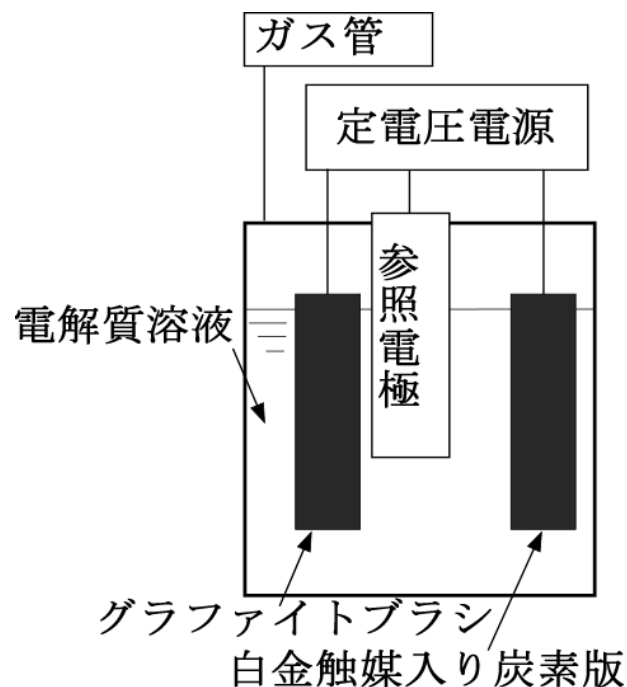
電極から離れた微生物を制御

新技術の特徴・従来技術との比較

微生物電解装置

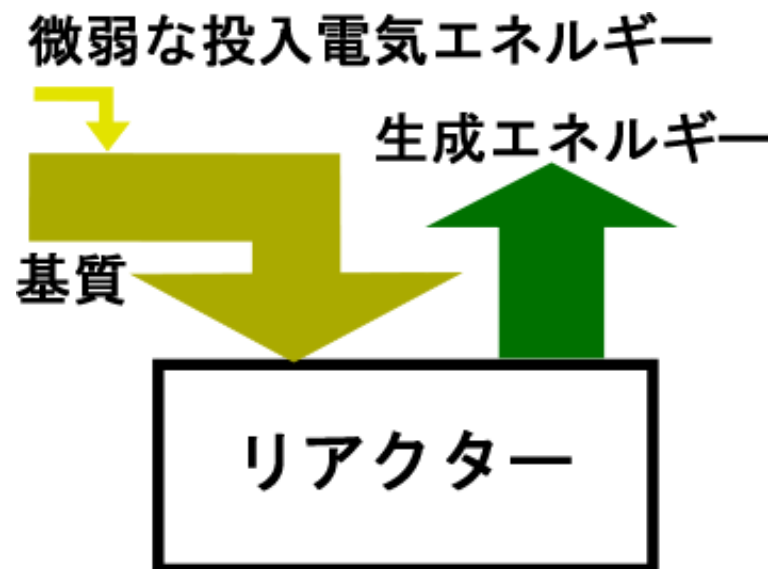
(Microbial electrolysis cells)

- ・投入する電流量大
- ・高価な触媒が必要
- ・実廃棄物に不適



新規プロセス

- ・投入する電流量は微弱
- ・安価な炭素電極
- ・実廃棄物を利用可



新技術の特徴・従来技術との比較

- ・ 安価な炭素電極を使用（従来は高価な電極）。
- ・ 電流制御方式により、従来よりエネルギー消費量を低く抑えることが可能となった。
- ・ 本技術の適用により、セルロースからのメタン生成量を倍以上に増加させた。

嫌気性廃棄物処理技術の課題

重合体有機化合物
(タンパク質, ポリ多糖, 脂質)

加水分解

律速段階

単量体 & オリゴマー
(アミノ酸, 糖, 脂肪酸)

発酵

中間代謝物
(プロピオン酸, 酪酸, アルコール)

$H_2 + CO_2$

酢酸生成

酢酸

$CH_4 + CO_2$

複合微生物群集の利用

Microbiome

(mixed microbial community):
resistance(抵抗), resiliency(回復)

バイオマス資源(農産廃棄物・
都市廃棄物・工場廃水)の利用

加水分解・酸生成・酢酸生成・メ
タン生成のプロセスから成る

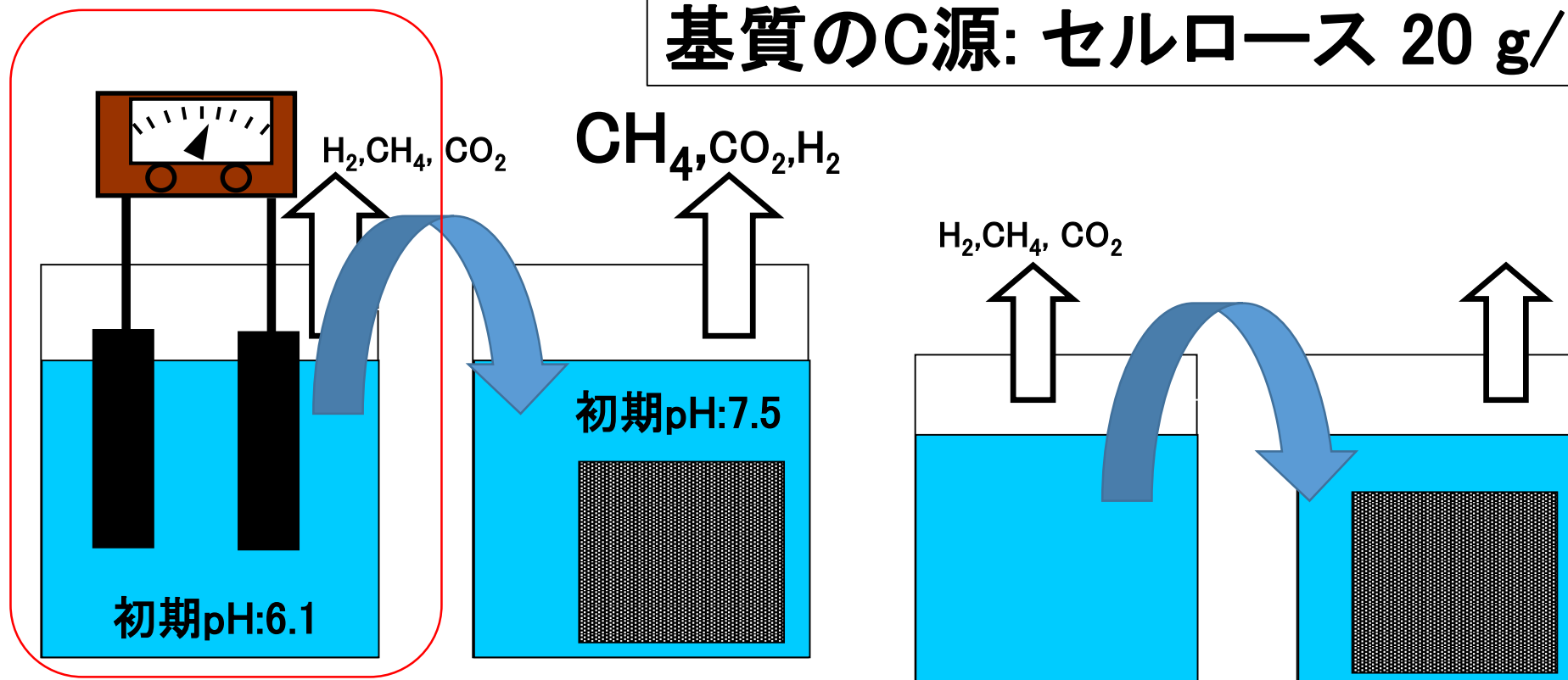
嫌気性処理法の特徴

1. 余剰汚泥の発生量が、好気性処理法と比較して少ない。
2. 酸素の供給が不要のため、消費動力が小さい
3. 副産物としてエネルギー資源(メタン、水素)が得られる

Two-phase fermentation (2段発酵)

電気化学システム

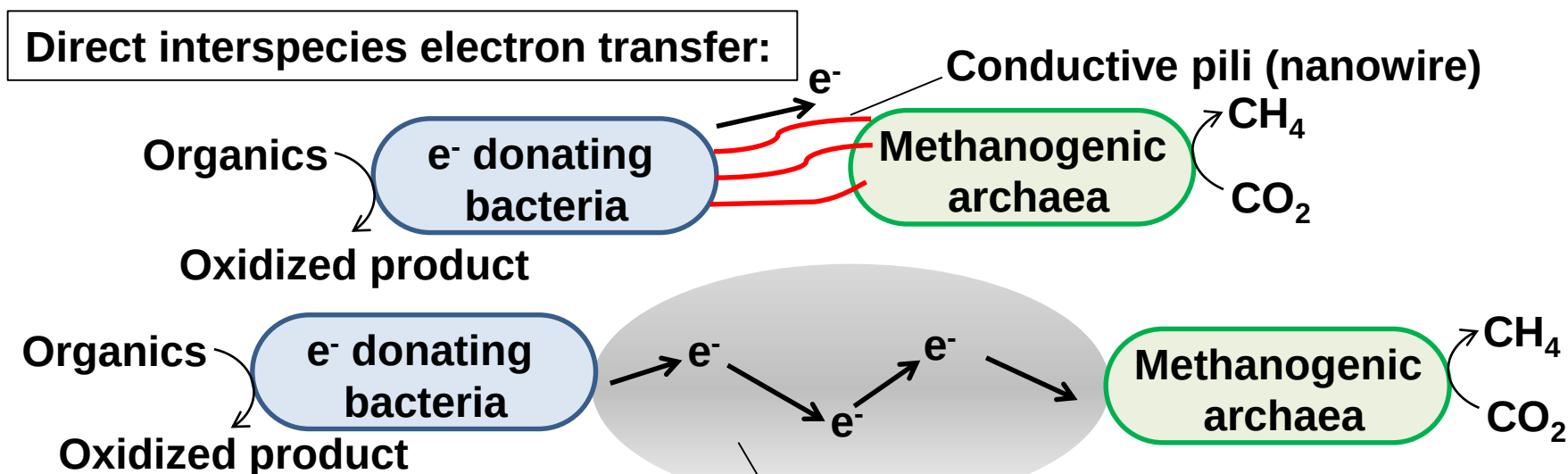
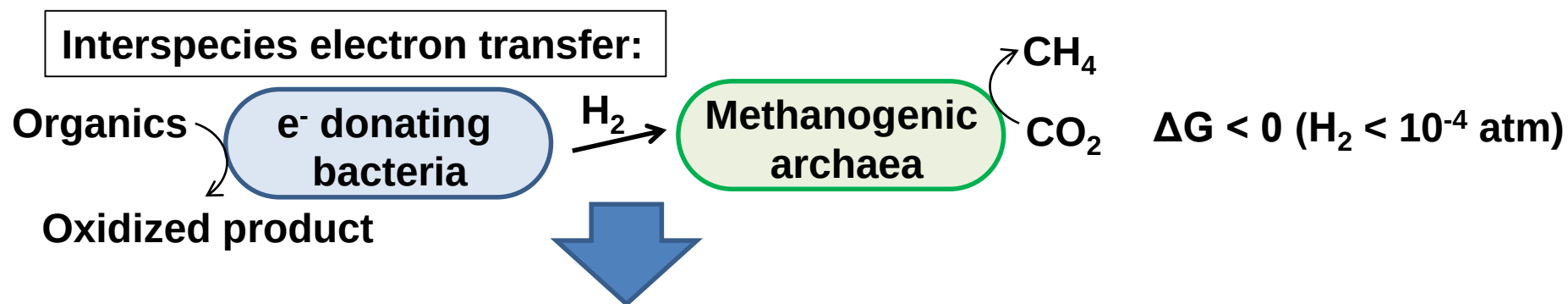
基質のC源: セルロース 20 g/L



Set current: $-2.7 \mu A / cm^2$ —電極

電気化学システム(微弱な通電)が
後段のメタン発酵に与える効果

Direct interspecies electron transfer (DIET)の促進



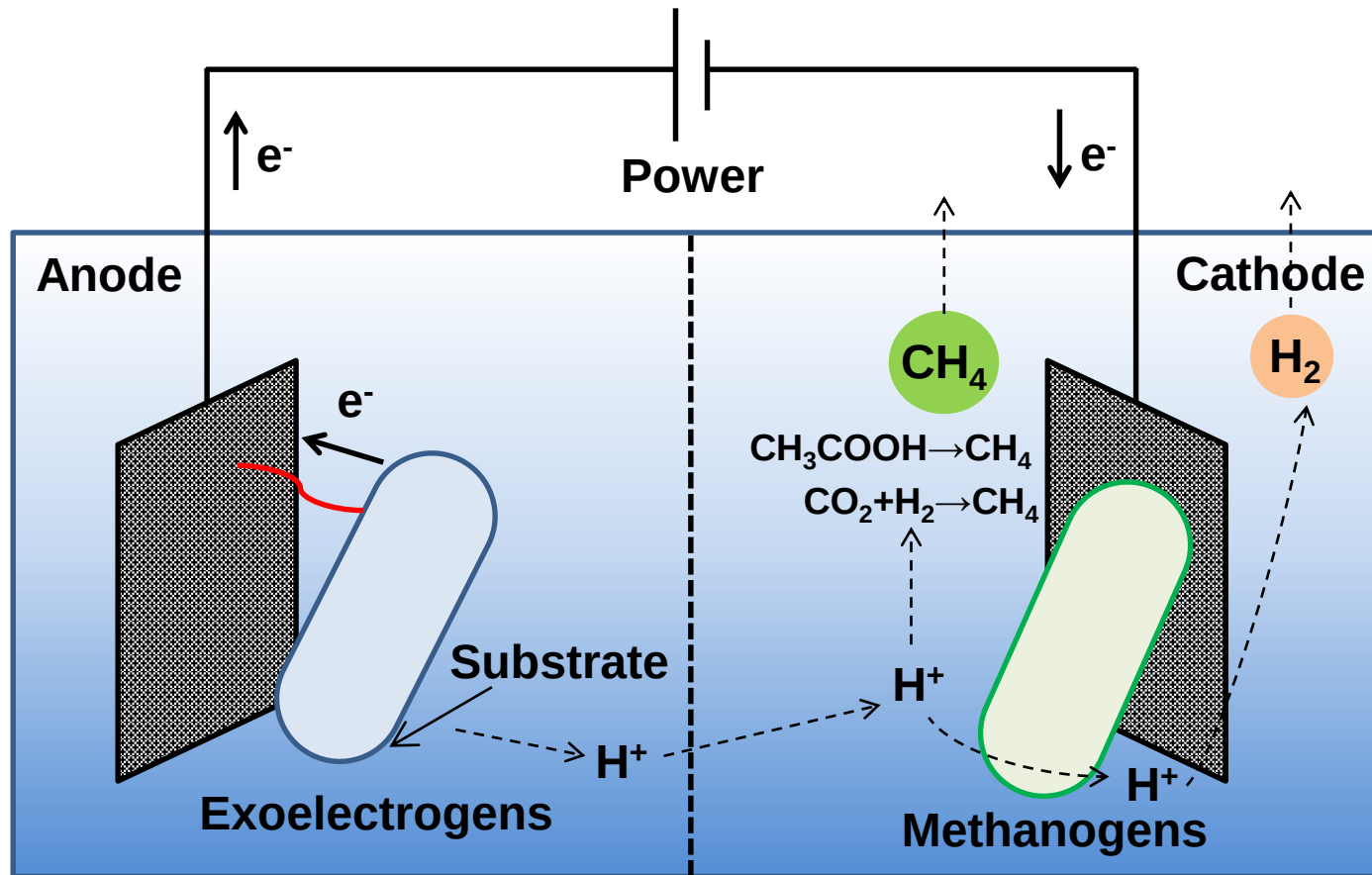
Conductive material 導電性材料

炭素系: 導電性活性炭、バイオ炭、カーボンナノチューブ、グラフェン、炭素繊維

鉄化合物: 磁鉄鉱(Fe₃O₄)、赤鉄鉱(Fe₂O₃)

その他: ステンレススチール、ポリアニリン

微生物電気化学システムの適用



- ・廃水やタンパク質に対して処理速度が増加
- ・グルコースや汚泥からのメタン生成が増加

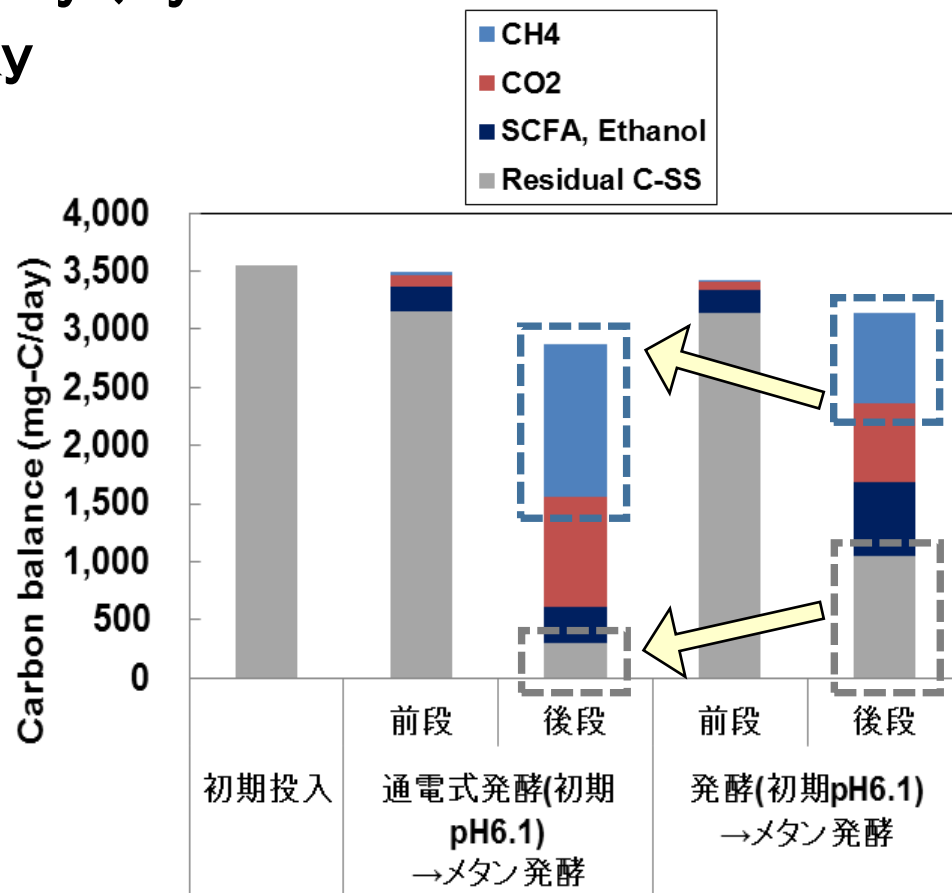
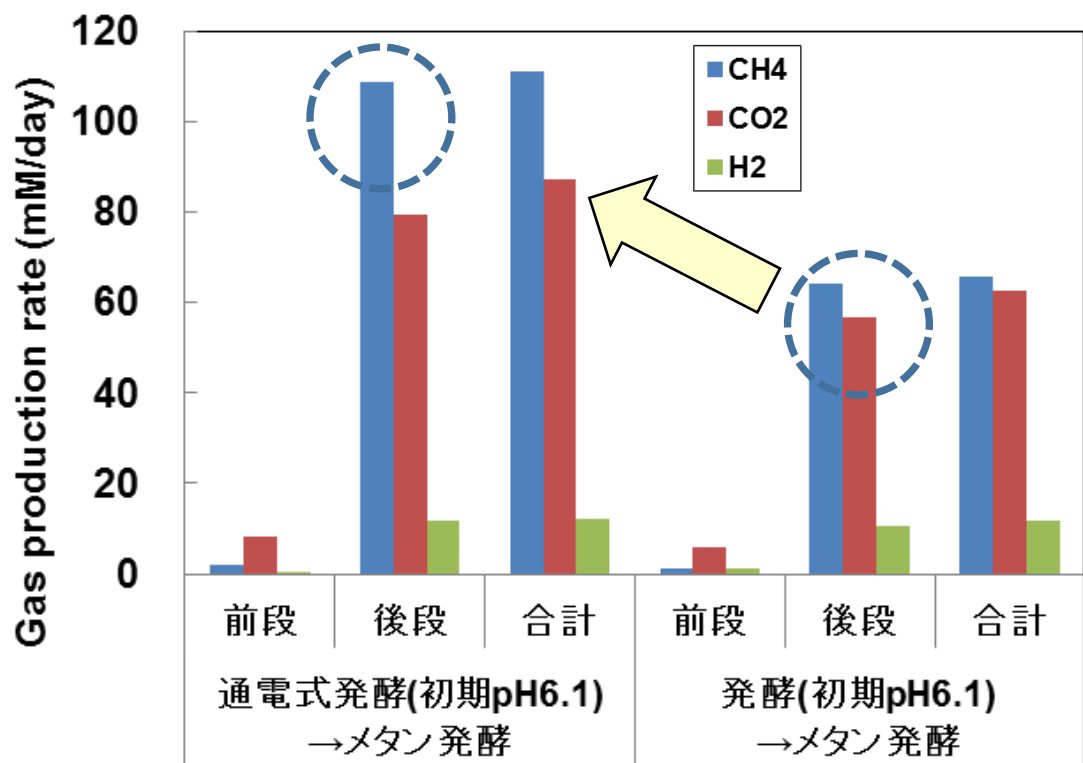
- ・脱窒や脱塩素の増加

- ・微生物コミュニティの変化
- ・DIETの促進
 - 基質の分解の増加
 - バイオガス生成の増加

セルロース高負荷で運転

前段: Cellulose load = 3555.6 mg-C/L/day (Hydraulic retention time = 2.5 day)

後段: Hydraulic retention time = 4.2 day



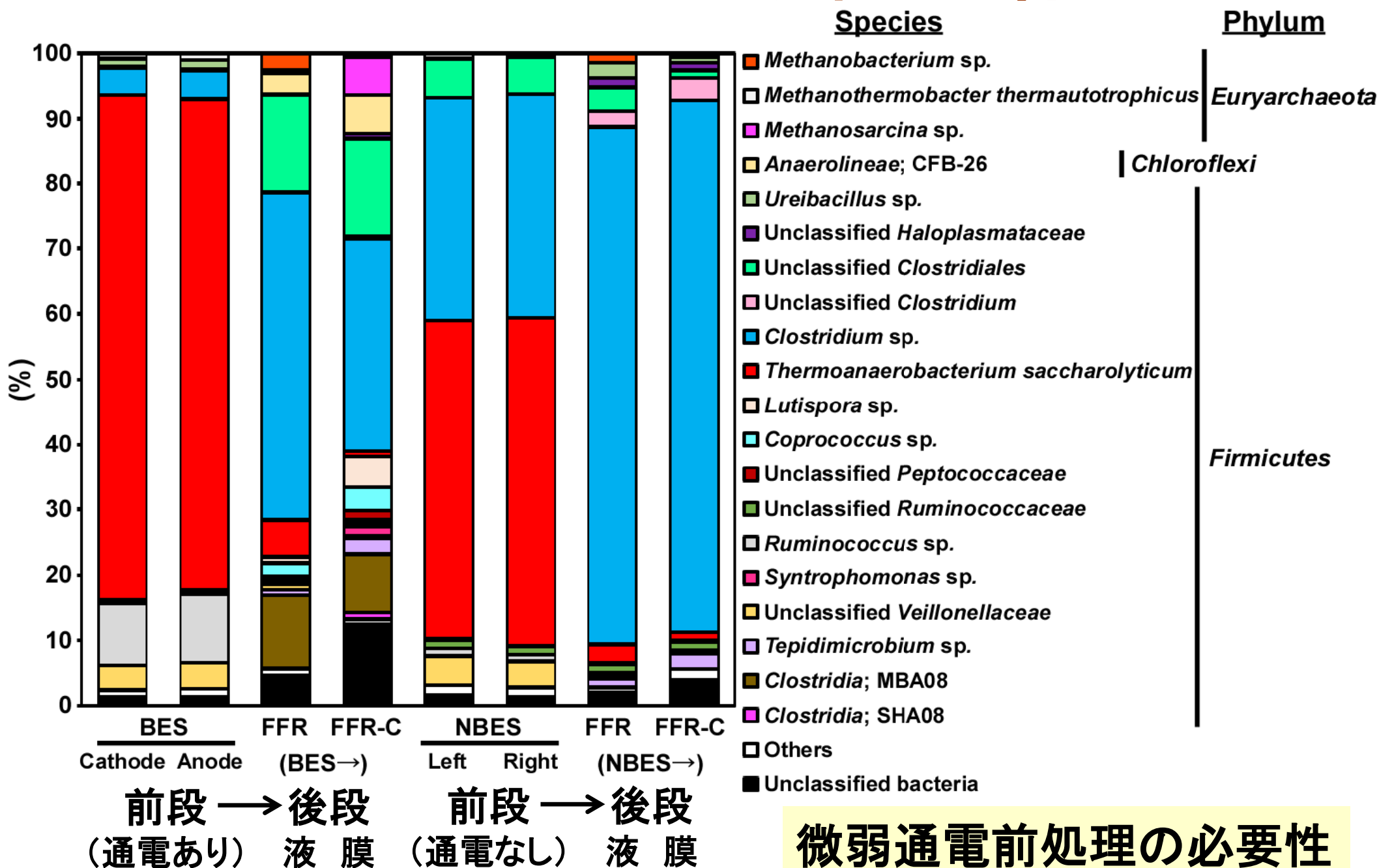
SCFA: Short chain fatty acid 短鎖脂肪酸

SS: Suspended solid
(Cellulose残渣 + Cell)

微弱電流による通電前処理により

- ・セルロース除去増加
- ・メタン生成速度増加

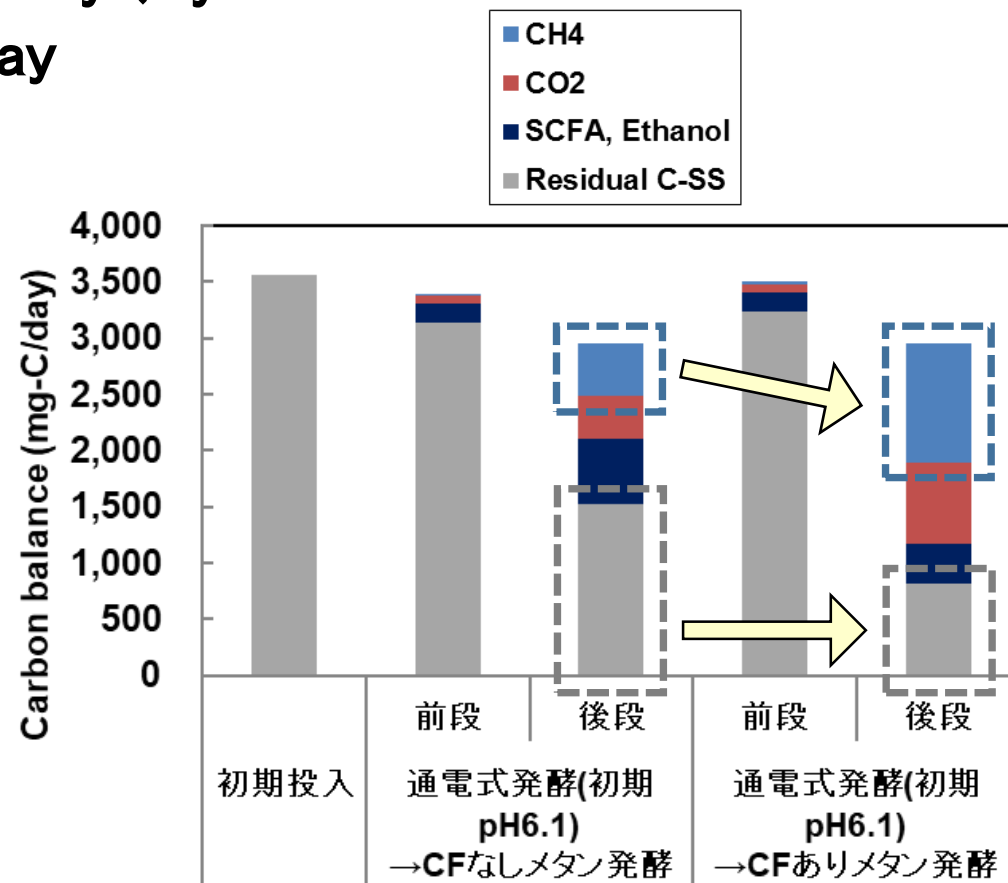
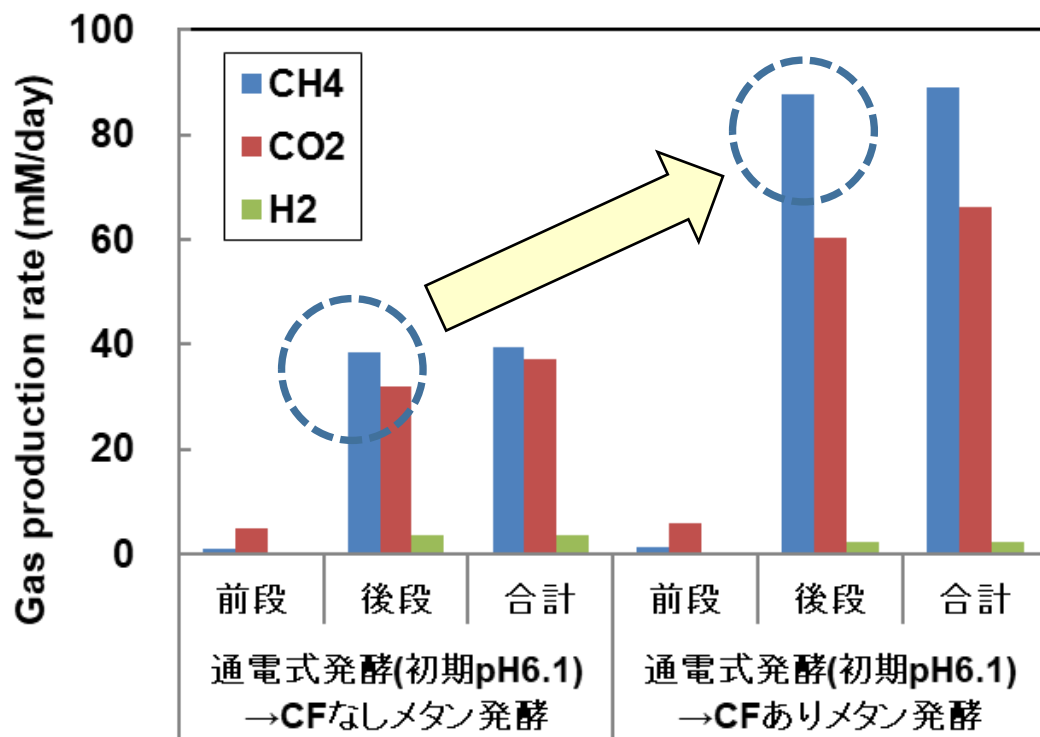
後段でメタン生成菌が増加



セルロース高負荷で運転

前段: Cellulose load = 3555.6 mg-C/L/day (Hydraulic retention time = 2.5 day)

後段: Hydraulic retention time = 4.2 day



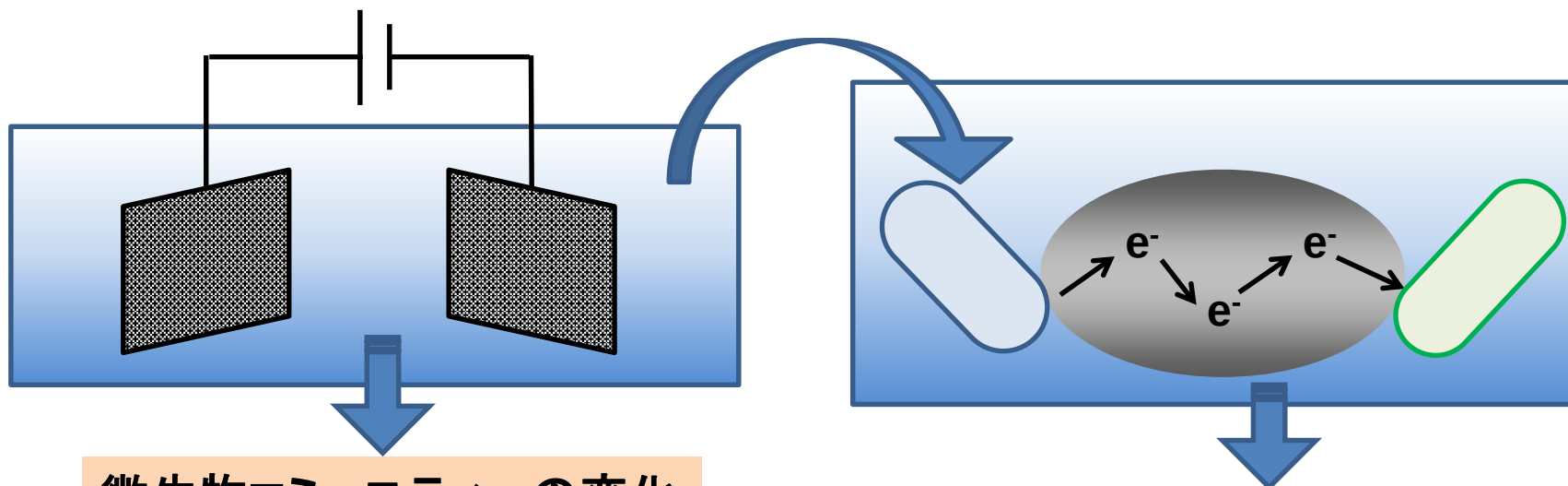
SCFA: Short chain fatty acid 短鎖脂肪酸

SS: Suspended solid
(Cellulose残渣 + Cell)

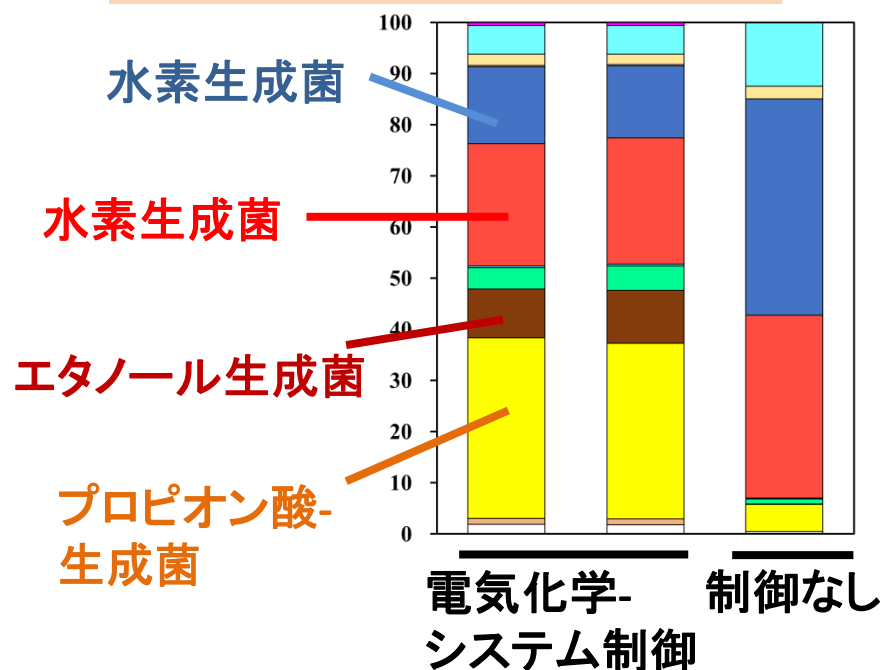
後段に導電性担体の充填により

- ・セルロース除去増加
- ・メタン生成速度増加

微生物電気化学システム + 導電性材料

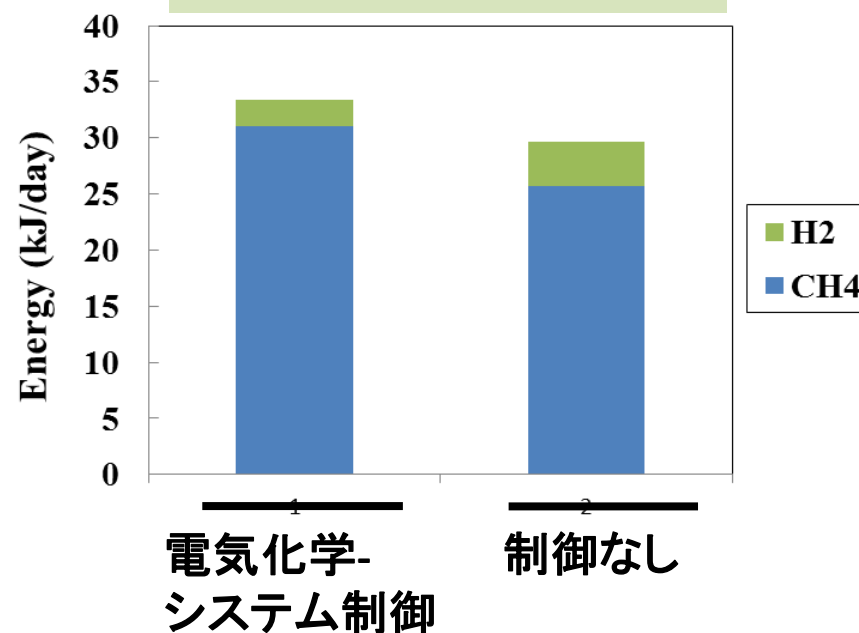


微生物コミュニティの変化



前段は小スケール化可能

バイオガス生成が増加



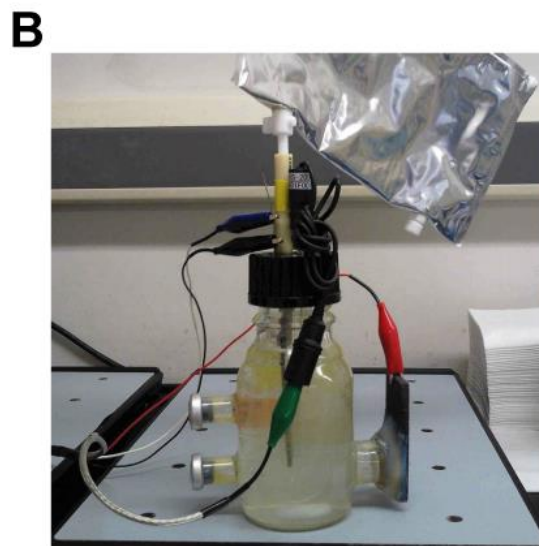
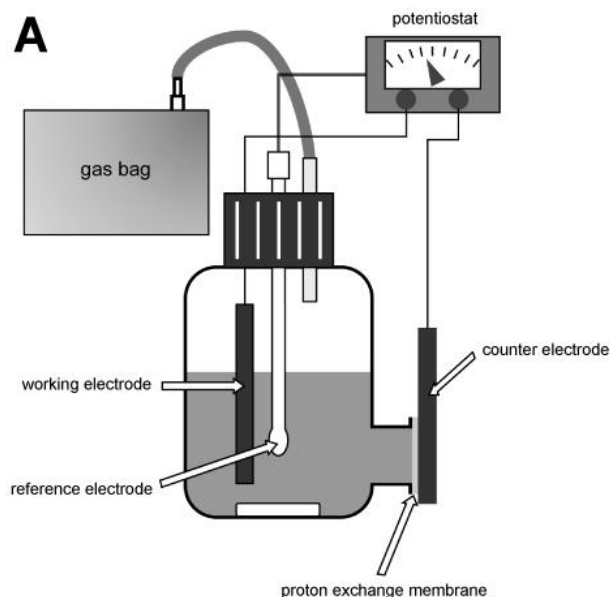
67.5 mM-CH₄/day > 電気化学的CH₄生成量:0.27 mM/day

新技術の特徴

- ・ 通電前処理を行う。
- ・ 後段に導電性担体を充填する。
- ・ 本技術の適用により、難分解性物質の分解を促進してバイオガス回収率を高められる。

補足データ(1)

モデル系(単独培養および共培養)



培養条件

・作用極電位
(V (vs Ag/AgCl)):

1) **-0.8V**

2) **電位制御なし**

・温度: 55°C ・pH: 7.2

培地成分

Casein (タンパク源), ミネラル, trace element solution, vitamin solution,
Anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS)

使用した微生物(電位条件)

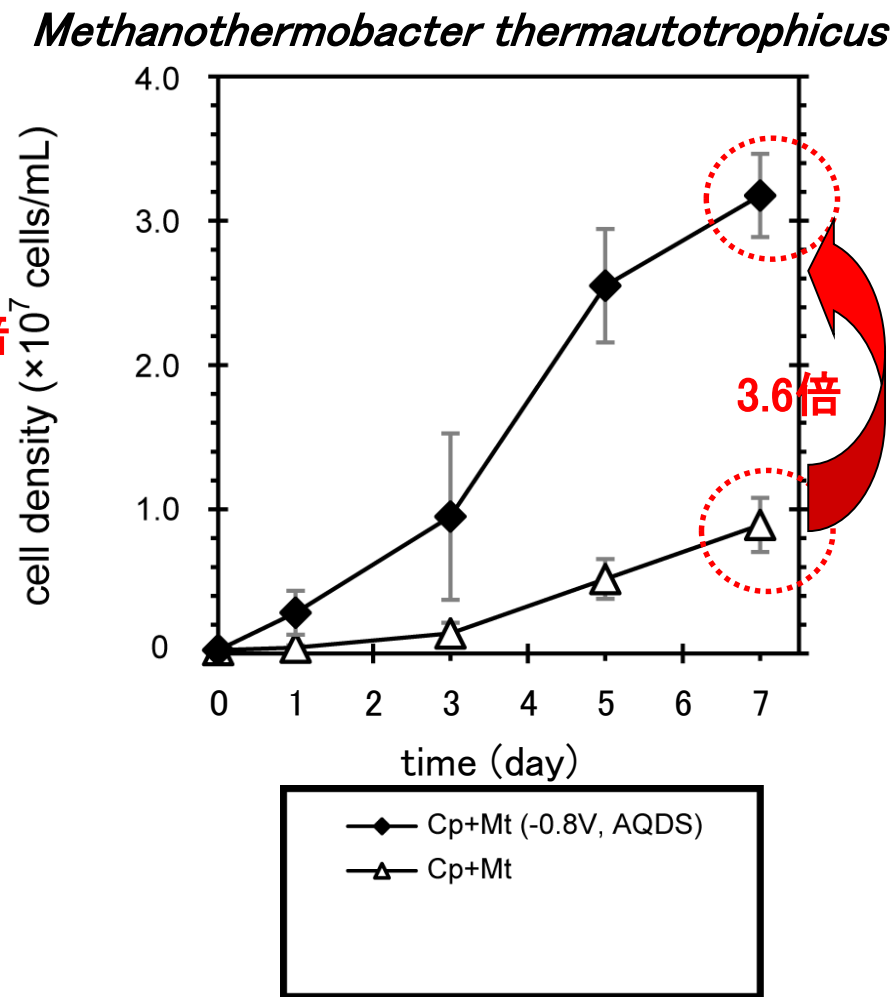
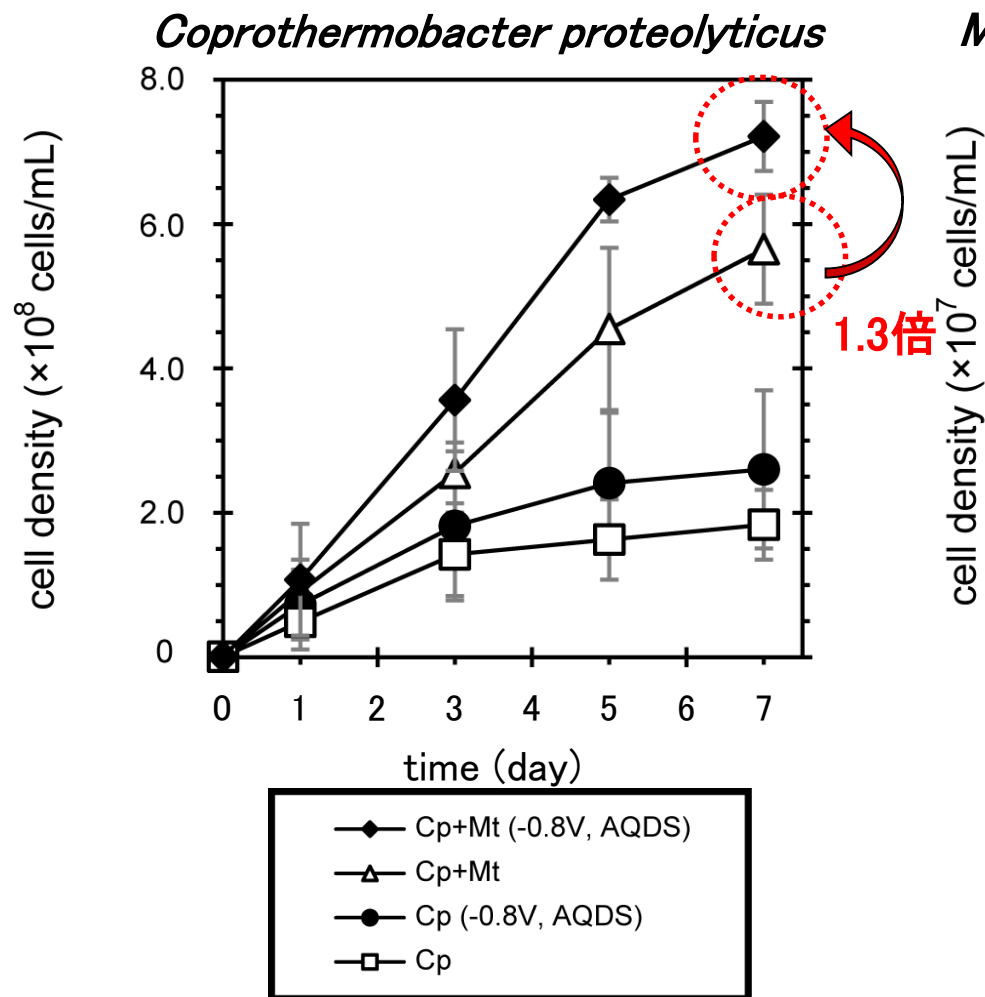
- 1) *Coprothermobacter proteolyticus* +
Methanothermobacter thermautotrophicus (-0.8V)
- 2) *C. proteolyticus* + *M. thermautotrophicus* (control)
- 3) *C. proteolyticus* (-0.8V)
- 4) *C. proteolyticus* (control)

共培養

単独培養

補足データ(2)

M.thermautotrophicus の高い増殖



電気化学反応は特に水素資化性メタン菌に影響

補足データ(3)

C(カーボン)の収支

*M. thermautotrophicus*の菌数増加(3.6倍)より少

	insoluble carbon (mg-C/L)	soluble carbon (mg-C/L)	CH ₄ (mg-C/L)	CO ₂ (mg-C/L)	H ₂ production (mmol/L)	carbon recovery (%)
Cp+Mt (-0.8V)	28.5±24.8	1910.0±91.7	113.5±7.4	68.3±14.4	ND	92.8±6.1
Cp+Mt	206.2±48.5	1686.7±64.3	74.8±8.2	70.8±16.2	ND	89.2±6.0
Cp (-0.8V)	447.7±64.2	1660.0±34.6	ND	131.2±38.6	4.7±2.8	98.0±6.0
Cp	555.0±38.4	1636.7±23.1	ND	127.2±40.7	4.9±2.0	101.5±4.5
initial substrate	759.0±76.6	1500.0±146.6	ND	(6.4)	ND	

カゼイン不溶画分の分解率(%)

- ・Cp + Mt (-0.8V): 96.2±3.3
- ・Cp + Mt : 72.8±6.4

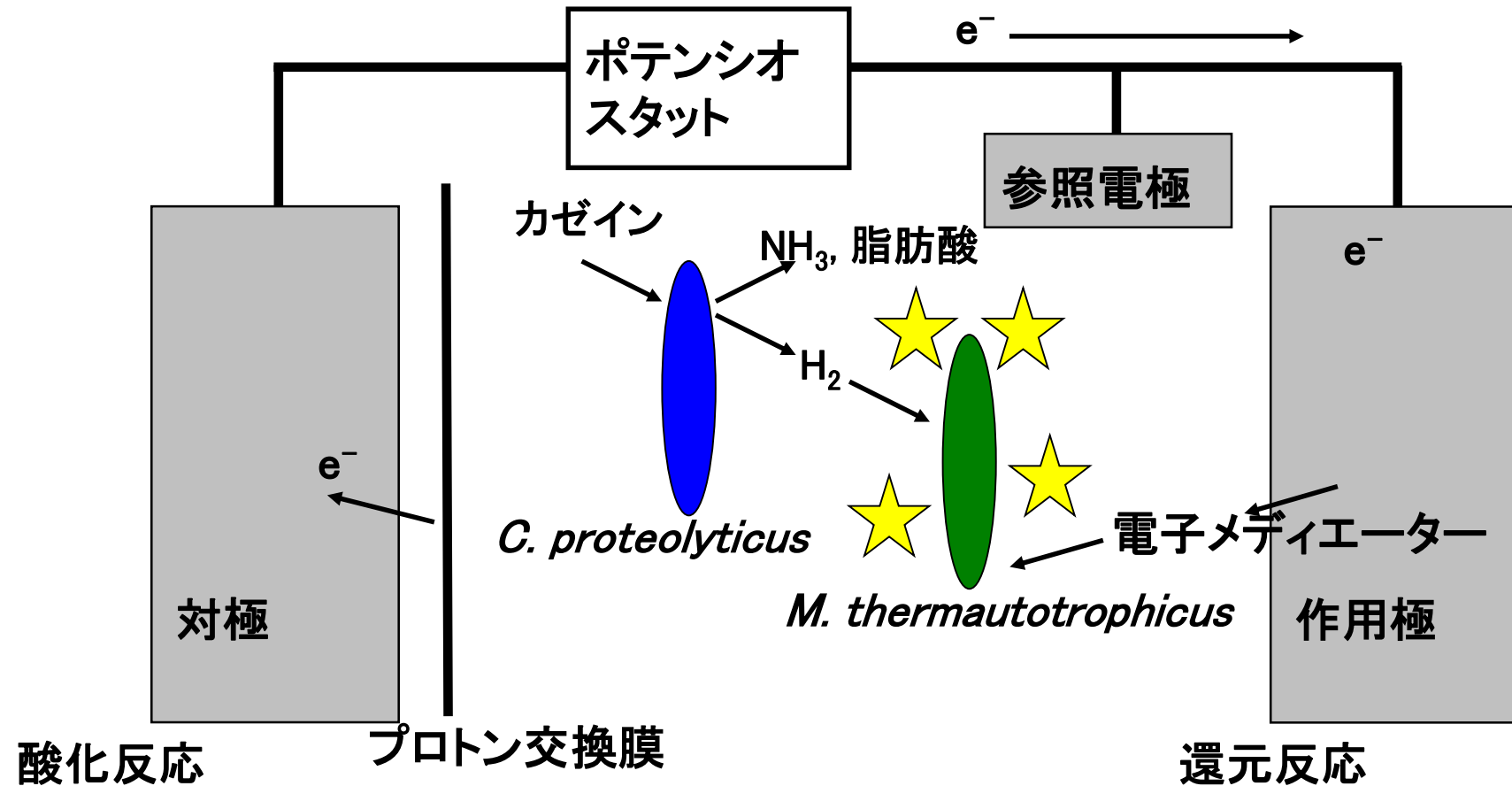
1.3倍

*C. proteolyticus*の菌数増加(1.3倍)に比例

電気化学反応は水素資化性メタン菌に対して
メタン生成より炭酸固定を促進していると考えられる

補足データ(4)

まとめ



電気化学反応 → *M. thermautotrophicus*の増殖促進
水素除去 → *C. proteolyticus*によるタンパク質分解の促進

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、難分解性廃棄物に適用することで処理効率増のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、様々な廃水/廃棄物への適用やバイオガス(メタン・水素)回収増の効果が得られることも期待される。
- また、達成された効率的バイオガス回収に着目すると、エンジンといった分野や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、ラボスケールについて開発済み。しかし、スケールアップの点が未解決である。
(スケールアップは大きな問題ではない)
- 今後、企業依頼の基質に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、企業側の提案に適用できるよう技術を確立する必要もあり。

企業への期待

- 未解決である難分解性物質の微生物処理については、本技術により克服できると考えている。
- 廃水/廃棄物処理の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、難分解性廃棄物からのエネルギー回収を開発中の企業、もしくは展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : バイオ電気化学／固定膜発酵によるセルロースからのメタン回収促進
- 出願番号 : 特願2020-165992
- 出願人 : 神戸大学
- 発明者 : 佐々木建吾、佐々木大介、近藤昭彦

産学連携の経歴

- 2010年-2012年 電力中央研究所と共同研究実施
- 2012年-2018年 日東電工社と共同研究実施
- 2016年-2017年 大阪ガス社と共同研究実施
- 2016年- その他、11社と共同研究実施
- 2019年-2020年 大学発ベンチャー バイオパレット社と共同研究実施

問い合わせ先

神戸大学

産官学連携本部 産学連携・知財部門

TEL 078 - 803 - 5945

FAX 078 - 803 - 5389

e-mail hicd-ccrd3@office.kobe-u.ac.jp