

- 環境研究総合推進費 H28-29年度実施課題（課題番号：3K162002）

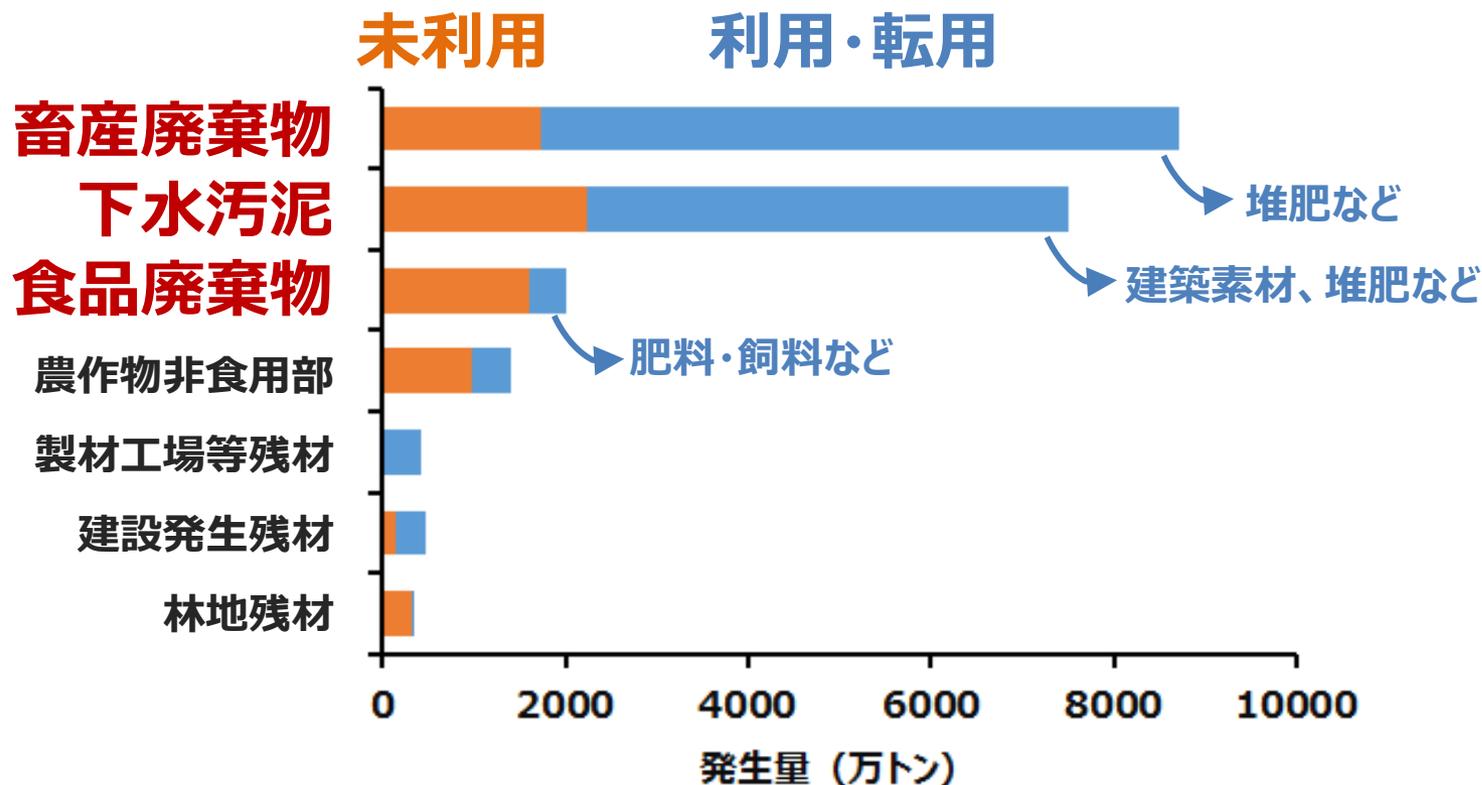
電気共生型メタン生成を利用した 有機性廃棄物の高効率バイオガス化技術の開発

産業技術総合研究所 生物プロセス研究部門

加藤 創一郎

有機性廃棄物の発生量・利用可能量

日本国における有機性廃棄物の発生量・利用可能量（2006、農林水産省調べ）



未利用廃棄物の処理

- 焼却・埋め立て処理 → 温室効果ガスの発生
- 好気微生物処理（活性汚泥法） → 多大なエネルギー投入

嫌気微生物処理（メタン発酵・バイオガス化）

メタン発酵の利点（vs. 活性汚泥法）

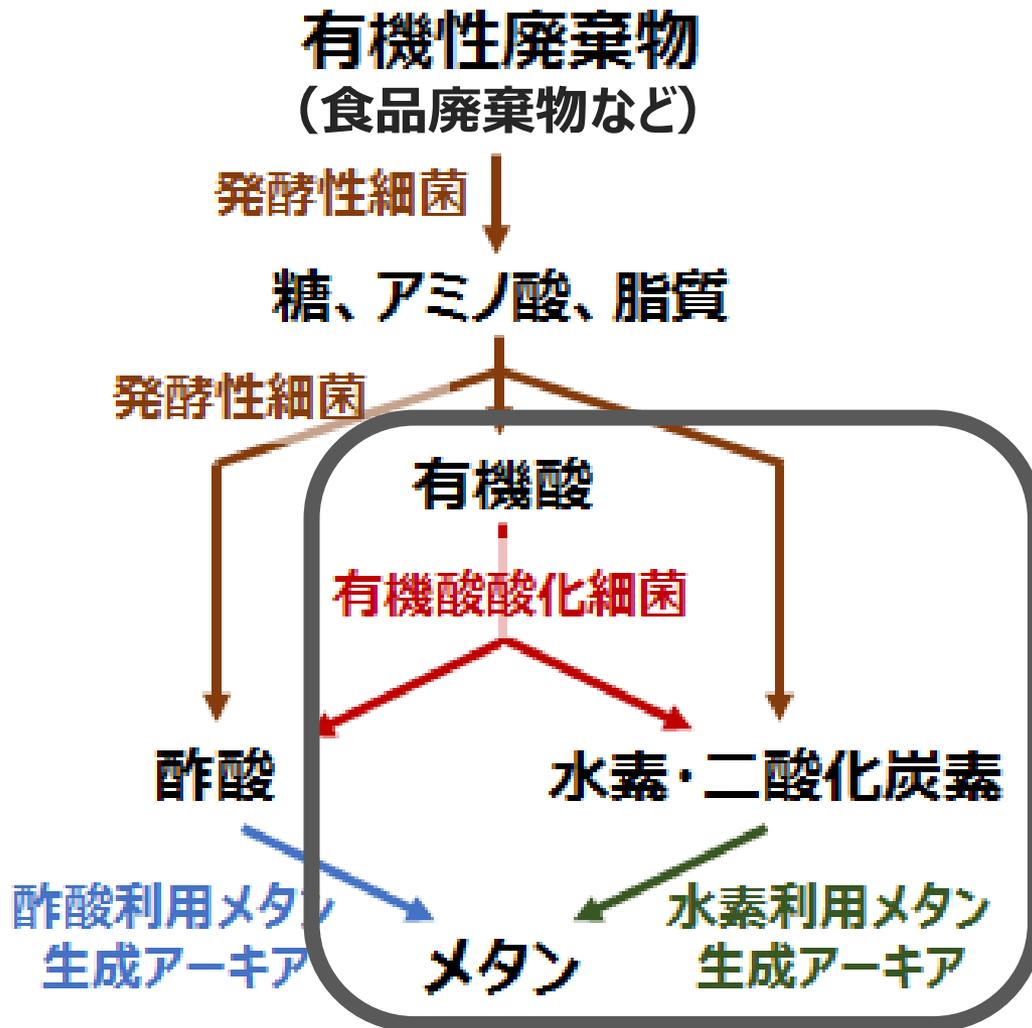
- 酸素供給（曝気）のためのエネルギー投入が不要
- 余剰汚泥（主に増殖した微生物菌体）の発生が少ない
- 発生したメタンをエネルギー源として利用可能

 **省(創)エネルギー型の廃水・廃棄物処理技術**

メタン発酵の要改善点

- 有機物分解の高効率化
- 新規運用・処理再開時の立ち上げ時間の短縮
- 流入基質・環境の変動に対する不安定化・系の崩壊の防止

微生物によるメタン生成の概要



■ 有機物からのメタン生成：
多様な微生物種の共同作業
により進行

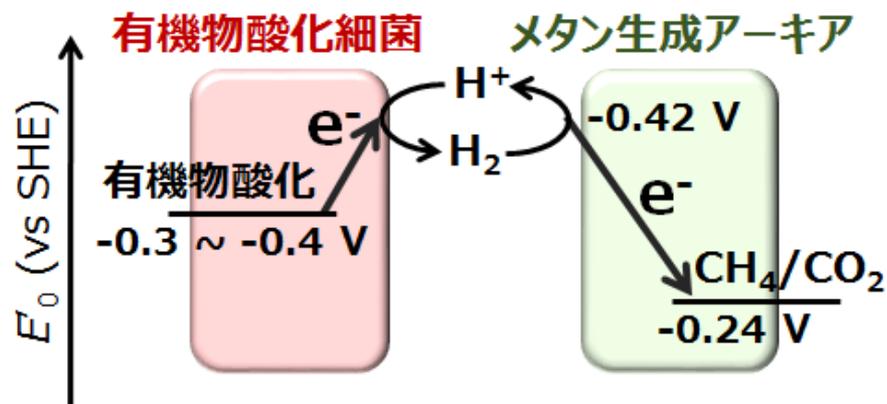
■ 「有機酸酸化細菌」と
「メタン生成アーキア」との
強固な共生反応

* 系全体の律速段階

* 共生反応の促進により
系全体の効率化が可能

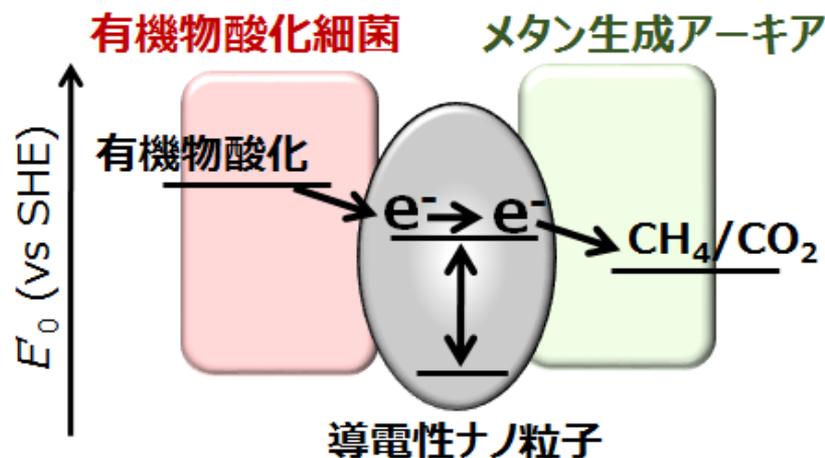
水素共生型／電気共生型メタン生成

水素共生型メタン生成



- 水素拡散による電子伝達
 - エネルギーギャップの存在
- ⇒ 非効率的な反応

電気共生型メタン生成

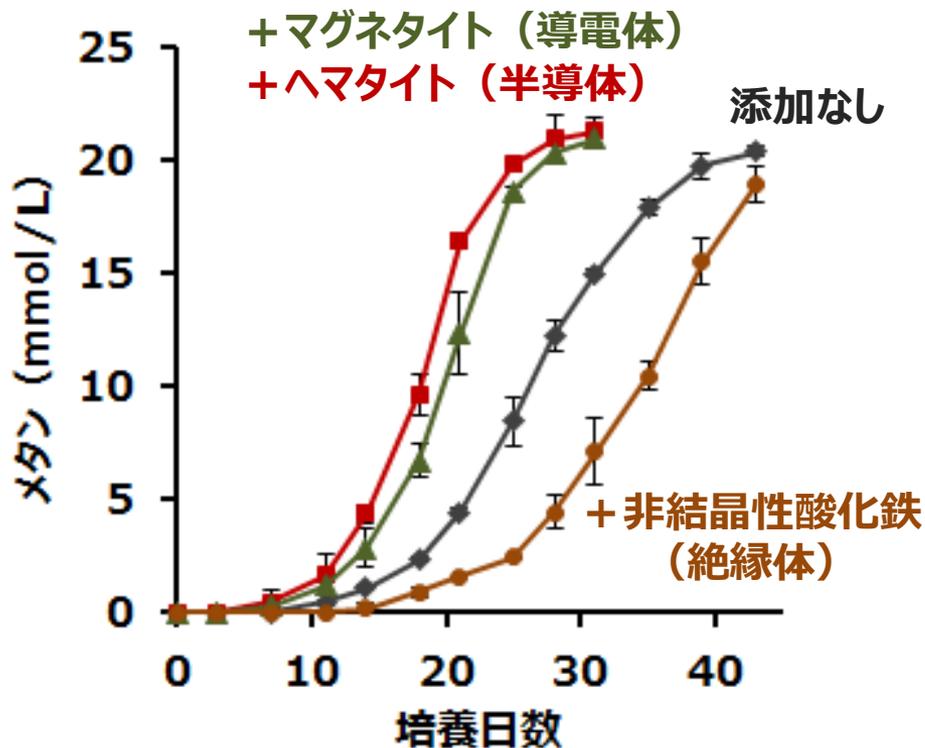


- 電流による電子伝達（拡散非依存）
 - エネルギーギャップなし
- ⇒ 反応の高効率化が可能

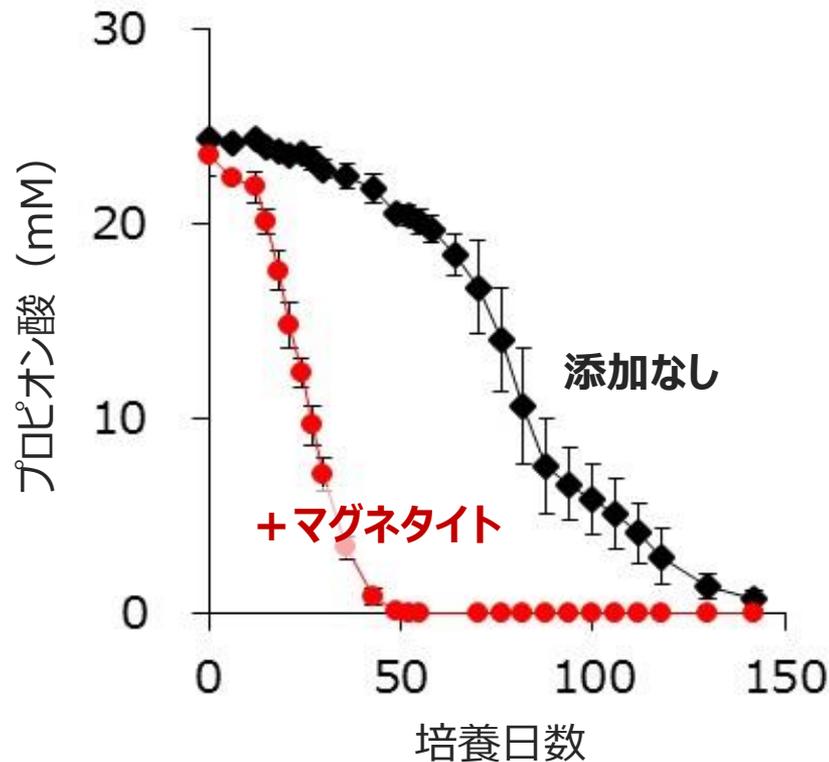
Kato S. *et al.* PNAS 2012

電気共生の誘導によるメタン生成の促進

水田土壌微生物群による
エタノールからのメタン生成



高温メタン発酵微生物群による
プロピオン酸分解



さまざまな環境でメタン生成の高効率化が可能！

Kato S. et al. *Environ Microbiol* 2012, Yamada C. et al. *J Biosci Bioeng* 2015

本研究の目的と研究計画

本研究の目的：

安価な導電性素材の添加により電気共生型メタン生成を人為的に誘発し
高効率かつ安定な有機性廃棄物の分解・バイオガス化が可能であることを実証

研究項目：

1. 導電性素材の検討
2. 試験管レベルでの実証試験
3. 電気共生型メタン生成に関与する微生物種の特特定
4. ラボスケールリアクターでの実証試験

テーマ1：導電性素材の検討

従来までの知見：

酸化鉄・グラファイト・活性炭などの**様々な導電性粒子**が
様々な環境の微生物群集による電気共生型メタン生成を媒介しうる

⇒ 異なる導電性素材について体系的に比較した研究はない

テーマ1の内容：

様々な導電性素材が持つ特性（**導電性、親水・疎水性など**）が
電気共生に及ぼす影響を**モデル共生系**を使用し評価

⇒ 効果が高く、安価、環境適合性が高い導電性素材を選定・開発

テーマ1：電気共生型メタン生成のモデル系構築

未発表のためデータ非公開

モデル系を使用することで再現性の高い試験が可能

テーマ1：異なる導電性素材の効果を比較

未発表のためデータ非公開

安価な活性炭が高い共生誘導効果を有することを発見
導電性以外（粒子サイズ、親水・疎水性など？）の要因の重要性

テーマ1：粒子の親水・疎水性と共生誘導効果

未発表のためデータ非公開

導電性粒子の親水化により共生誘導効果が上昇

テーマ2：試験管レベルでの実証試験

従来までの知見：

電気共生による分解・メタン生成の促進が確認されたのは
アルコールや有機酸の一部のみ

⇒ 実際の廃棄物が含む複雑な有機化合物の分解に対する効果は不明

テーマ2の内容：

テーマ1で選定した導電性素材、メタン発酵微生物群集、
実際の廃棄物に近い複雑な有機物を使用

⇒ 分解・メタン生成の促進効果を実証



テーマ2：油脂含有食品廃棄物のバイオガス化

未発表のためデータ非公開

活性炭の添加による油脂含有廃水のバイオガス化促進を実証
→有機酸の過剰な蓄積の解消が主な要因

テーマ2：固体有機性基質のバイオガス化

未発表のためデータ非公開

固体基質（タンパク・セルロース）の分解・バイオガス化促進を実証

テーマ3：メタン生成に関与する微生物種の特定

従来までの知見：

電気共生型メタン生成に関与する微生物として特定されているもの：

Geobacter（有機酸分解菌）や***Methanosarcina***（メタン生成菌）

⇒ 有機性廃棄物の処理時に機能する微生物群は不明

テーマ3の内容：

テーマ2で培養した微生物群集 → DNA抽出

→ 16S rRNA遺伝子のPCR増幅、次世代シーケンサーによる配列決定

⇒ 有機性廃棄物からの電気共生型メタン生成に関与する微生物を特定

テーマ3：微生物群集構造解析の一例

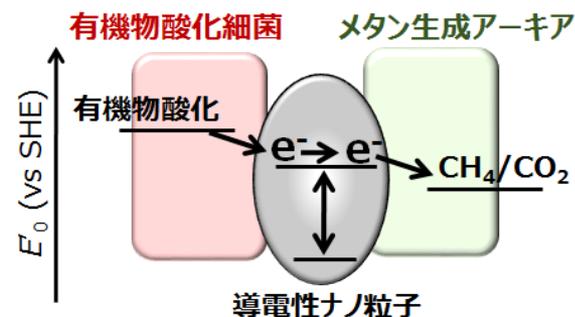
未発表のためデータ非公開

活性炭添加により微生物叢が大幅に変化

テーマ3：微生物群集構造解析の一例

未発表のためデータ非公開

電気共生型メタン生成



電気共生に関与している
可能性が高い



固体状酸化鉄の還元能を持つと
予想される微生物

テーマ4：ラボスケールリアクターでの実証試験

従来までの知見：

電気共生型メタン生成が確認されているのは試験管レベルの培養でのみ

⇒ 実際の処理条件（**基質の連続流入、負荷量・環境要因変動**）で機能するかは不明

テーマ4の内容：

数L容のバイオリアクターを使用、連続条件で試験

段階的な有機物負荷量の増加実験

⇒ **メタン生成の促進、立ち上げ時間の短縮、負荷変動への安定性の増大**を実証

テーマ4：ラボスケールリアクターでの実証試験

- 上向流型、攪拌混合型など、いくつかの形式の小型メタン発酵リアクター（～1L容）を運転
- 活性炭の添加により菌体の凝集（造粒）が促進、それにより危惧されていた活性炭粒子の流出はほとんど起こらない
- いくつかの系では活性炭の添加によるメタン生成の促進が確認された

まとめ

1. 導電性素材の検討

- ・安価に入手可能な活性炭の有効性を実証
- ・粒子の親水性が共生の誘導に効果的

2. 試験管レベルでの実証試験

- ・油脂、タンパク、セルロース等、多様な有機物について、活性炭添加による分解・メタン生成の促進を実証

3. 電気共生型メタン生成に関与する微生物種の特定

- ・活性炭添加により微生物層は大きく変化
- ・これまで電気共生への関与が知られていない新規微生物を特定

4. ラボスケールリアクターでの実証試験

- ・活性炭添加により造粒が促進、粒子の流出は見られない
- ・いくつかの系で活性炭添加によるバイオガス化促進を実証