

# 新エネルギーベンチャー技術革新事業

フェーズ名:(フェーズA)

＜固形廃棄物処理を複合した二相式メタン発酵  
処理技術の開発＞

＜委託先名: 株式会社トッププランニングJAPAN\*、東京農工大学＞

研究開発期間:平成28年9月～平成29年3月

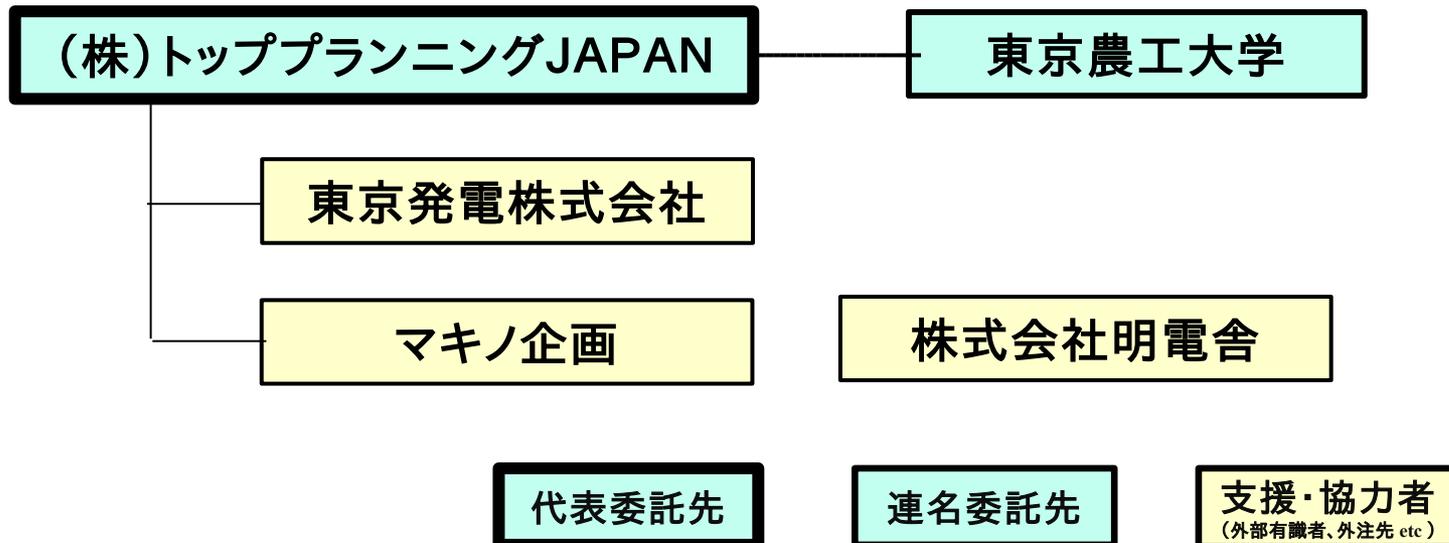
平成29年2月18日

# 1. 研究開発の概要および目的

高濃度有機廃水などの処理では、好気性微生物を利用する廃水処理とメタン菌などを利用する嫌気性処理が併用されているが、嫌気性処理のメタン発酵は発生するバイオガスによるエネルギー回収が可能なものの、発酵処理に多くの時間を要することや発酵容器などの大きな設備が必要となることが問題となっている。

本事業では、このような問題を解決し、メタン発酵での投入原料種や負荷量の変動から運転状況が悪化することを防ぐために、投入原料に対応した嫌気性マイクロフローを優占させ、前段に水素発酵を取り入れた二相式メタン発酵により、コンパクトなシステムで安定した運転が可能な処理技術の確立を目指す。また、種々の有機性廃棄物の処理とエネルギー回収を可能とする炭化技術を用いた複合処理技術を構築し、エネルギー地産地消型の廃棄物処理システムの開発を目的とする。

## 2. 研究開発体制



# 3. 研究開発内容および達成状況

## 3.1. 研究開発の目標

研究開発項目	目標（値）	実施担当者
① 最適マイクロフローラの構築技術の開発		
(a) 消化液内に含まれる水素資化性細菌不活化手法の確立	原料を加水分解して水素ガスと有機酸を生成するマイクロフローラを構成することにより、有機物量当たりの水素発生量 $0.05\text{L-H}_2/\text{g-VS}$ とすることを目標値とする。	東京農工大
(b) 水素生成微生物群及び群集構造の同定	平成28年12月末までに、微生物源の特定と水素生成能の高い複合微生物の群集構造を同定する。	東京農工大
(c) 二相式循環メタン発酵の最適マイクロフローラ構築・応用技術の知財化	平成28年12月末までに、二相循環式メタン発酵を実現する最適マイクロフローラの構築・応用技術の特許を出願する。	東京農工大 株式会社トッププランニング JAPAN

<p>② 炭化装置複合二相循環式メタン発酵プラントの開発</p>		
<p>(a) 固形廃棄物での炭化試験及び熱・マテリアルフローの確認</p>	<p>平成28年12月末までに、想定する固形廃棄物の炭化試験を行い、熱・マテリアルフローのデータを取得する。</p>	<p>株式会社トッププランニング JAPAN</p>
<p>(b) 基本設計及び性能評価</p>	<p>平成29年2月末までに、炭化複合二相循環式メタン発酵システムの熱フローおよびマテリアルフローに関する性能評価と基本設計を行う。</p>	<p>株式会社トッププランニング JAPAN</p>
<p>(c) 炭化複合二相循環式メタン発酵システムの知財化</p>	<p>平成29年3月末までに、最適制御方法及び排水処理システムなどの周辺プロセスの応用技術のデータを確保して炭化複合二相循環式メタン発酵システムの基本設計に関する特許を出願する。</p>	<p>株式会社トッププランニング JAPAN  東京農工大</p>

### ③ 事業化の検討

平成29年3月末までに、実施事項①、②と並行して、バイオマス産業都市構想に向けての協力体制を構築している地域において、畜産廃棄物を主原料としたパイロットプラント設置を目的として市場調査を行い、製造委託先として想定する装置メーカーと共に仕様・コスト等の事業体制の検討及び事業性評価を行い、ライセンス収入が見込めるビジネスプランを構築する。

株式会社トッププランニング  
JAPAN

東京農工大

研究開発項目	達成度		現状での達成状況	残された課題とその対応
	現状	年度末		
①-(a)	100%	100%	水素ガスと有機酸を生成する水素生成マイクロフロー優占化法として、返送メタン発酵消化液を加圧熱水処理（温度150℃、圧力0.5MPa、保持時間40分）することが適当と判断した。水素生成マイクロフローによる水素生産では、グルコースを基質とした場合に0.18L-H <sub>2</sub> /g-VS（水素収率1.5）を達成した。	加圧熱水処理により、水素を消費するメタン菌は完全に死滅させることができた。また、水素生成マイクロフローとして高温条件で芽胞を形成するClostridium属を優占化することで単離菌の収率に迫る高効率水素生成を達成した。しかし、一部で高効率水素生成できないサンプルも生じた。
①-(b)	100%	100%	微生物の群集構造では、水素生成マイクロフローとして高温条件で芽胞を形成するClostridium属を優占化できた。しかし、一部に高効率水素生産できないClostridium rosuem種もいることが判明した。	加圧熱水処理で優占化したマイクロフロー内に高効率水素生産できないClostridium rosuem種もいることが判明した。高効率水素生成するClostridium属（AF116920, 種未命名）を中心としたマイクロフローの培養法をさらに検討する。

研究開発項目	達成度		現状での達成状況	残された課題とその対応
	現状	年度末		
①-(c)	80%	100%	知財化については、平成29年2月末の特許申請に向けて申請書を作成中である。	知財化については、追加データを特許事務所に提示し、申請書を作成中である。
②-(a)	80%	80%	当初予定していた試験用の炭化炉が用意できなかったことから、過去の木質バイオマスの炭化データにより、熱・マテリアルの試算を行った。	炭化炉については、設備コスト面及び加圧熱水装置への熱制御が困難なことから、併設するシステムとして検討する。
②-(b)	80%	100%	加圧熱水処理や発酵槽のエネルギー・マテリアル収支を試算した。ベンチスケールでは電力にて行うこととした。現在、ベンチスケールプラントの機器設定と評価を行って基本設計を完了し、特許申請に向けて各プロセスの制御システムなど詳細設計を行っている。	pH調整、圧力調整など周辺プロセス情報を解析し、システムと制御技術に関する特許出願を行う。福島イノベーション構想では、平成23年度の除染実証事業での実績を再度検証して、消化液汚泥のセシウム固定化を検証し、知財として排水処理工程の追加を検討する。

研究開発項目	達成度		現状での達成状況	残された課題とその対応
	現状	年度末		
②-(c)	70%	100%	知財化は、特許事務所と請求項の検討を行い初稿を作成中である。	知財化については、平成29年3月までに、特許出願を行う予定である。
③	70%	80%	自治体のヒアリングは、大田原市、いわき市を外注企業の東京発電(株)が担当し、浪江町、魚沼市は(株)トッププランニング JAPAN が実施した。フェーズBの協力は、大田原市、いわき市、魚沼市、浪江町に承諾していただいている。大田原市は本システムをバイオマス産業都市構想に組み込み、平成29年度に申請する予定であり、浪江町は復興ビジョンの再生エネルギー活用の一環として検討いただいている。	事業化に向けてプラントアドバイザーとして、(株)明電舎と業務提携を行った。尚、運転管理等で東京発電(株)と業務提携を協議中である。また、排水処理(セシウム固定化)についてはパナソニック環境エンジニアリング(株)と協議中であり、プラント製造及び営業体制を構築中である。福島イノベーション構想では、浪江町と協議会の設置を検討している。

### 3.3. 研究開発成果

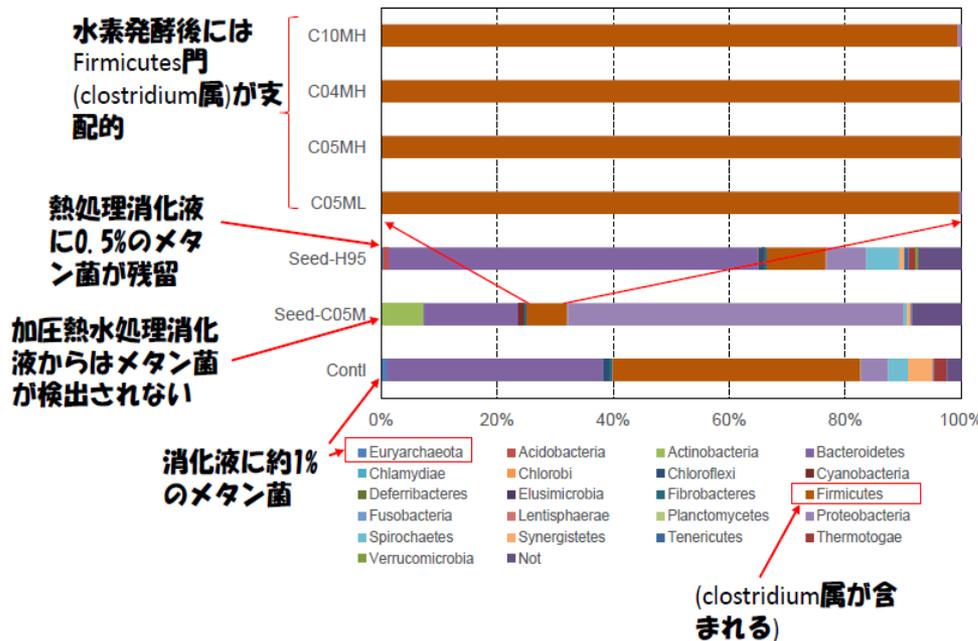
図表 1 : 加圧熱水処理マイクロフローによる水素生産

処理法 処理条件	バイオガ ス (ml)	H <sub>2</sub> (ml)	H <sub>2</sub> 濃度 (%)	CO <sub>2</sub> (ml)	CO <sub>2</sub> 濃度 (%)	pH	水素収率 (理論収 率4.0)	酢酸 (mg/L)	酪酸 (mg/L)
加熱 (対照区) 95°C-2h	40	24	60	9	23	4.45	0.51	204	357
加圧熱水 150°C-0.4MPa	108	67	62	32	30	4.05	1.44	481	1137
加圧熱水 150°C-0.5MPa	118	72	61	37	31	4.17	1.54	531	1086
加圧熱水 150°C-1.0MPa	98	57	58	36	37	4.13	1.24	318	1226
加圧熱水 150°C-2.5MPa	51	29	58	11	21	4.39	0.62	424	556
加圧熱水 150°C-4.5MPa	39	20	51	10	26	4.36	0.43	302	325

加圧熱水処理での水素生成マイクロフロー優占化条件として、温度 150°C、圧力 0.5MPa、保持時間 40 分が適当と結論づけ、優占化技術を特許出願中である。加圧熱水処理により優占化した水素生成マイクロフローによる水素生産では、グルコースを基質とした場合に 0.18L-H<sub>2</sub>/g-VS (水素収率 1.5) を達成した。これは、単離菌による最大水素収率 1.7 に迫るもので、目標値としていた 0.05L-H<sub>2</sub>/g-VS を超えるものである。

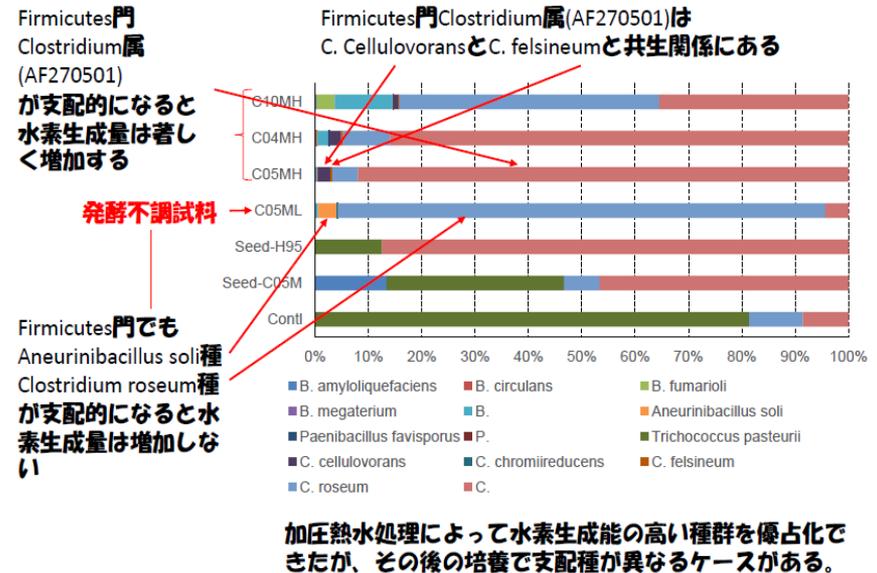
図表 2 : 水素生成マイクロフローラの解析結果 (1)

水素生成マイクロフローラの解析結果 (1)  
(門別の構成比)



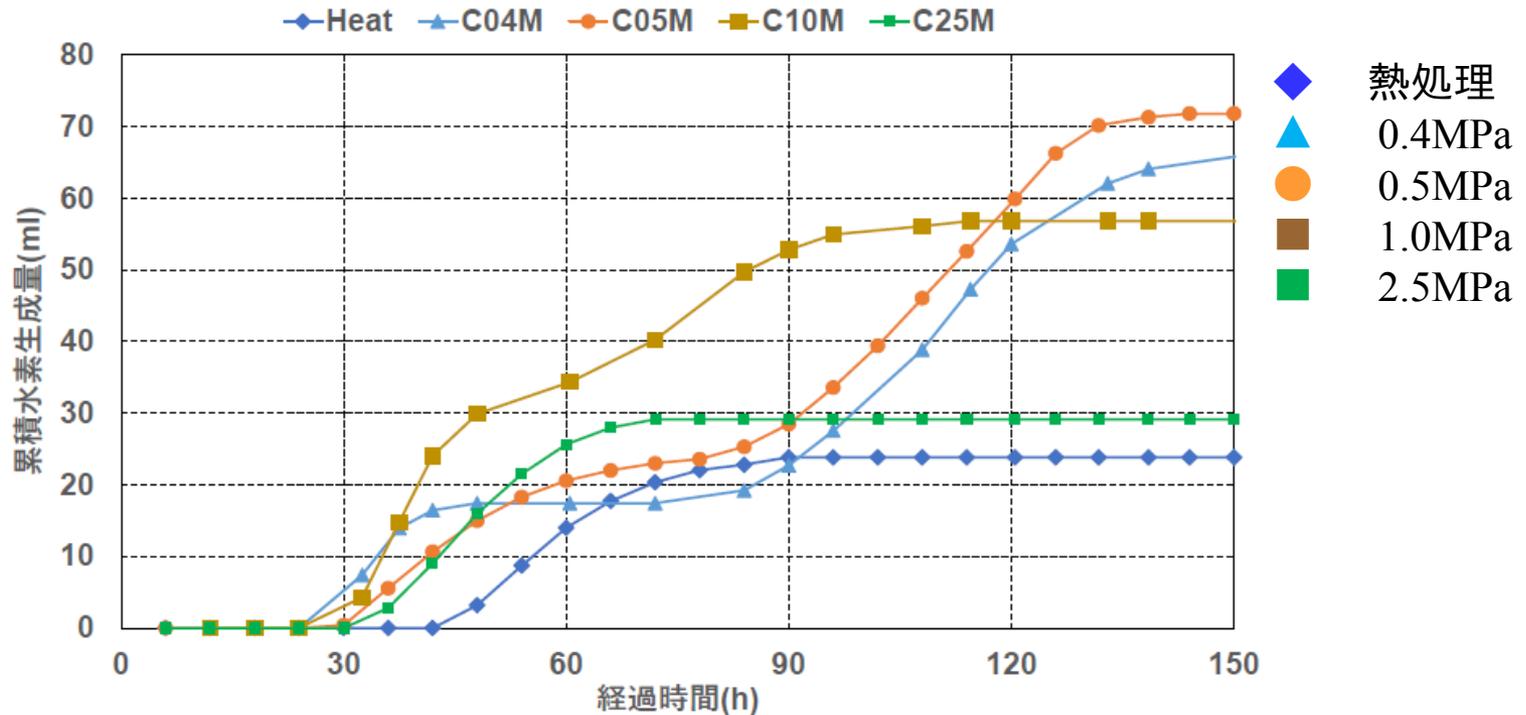
図表 3 : 水素生成マイクロフローラの解析結果 (2)

水素生成マイクロフローラの解析結果 (2)  
Firmicutes 門内の種別構成比



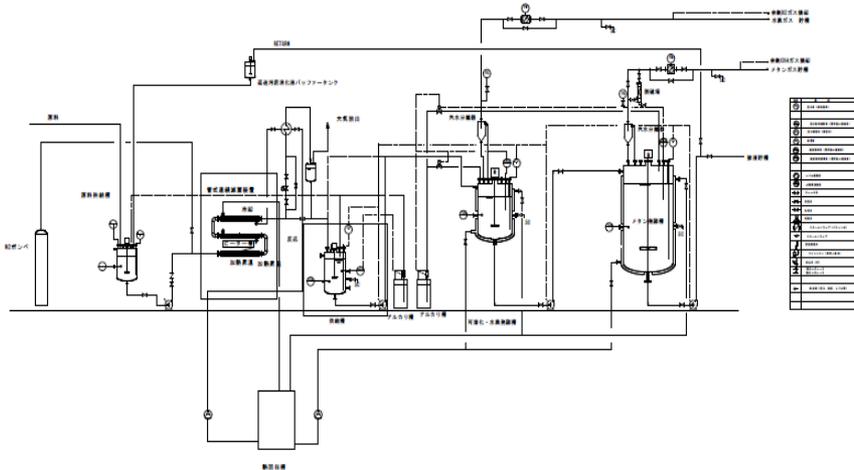
解析結果 (1) のように、微生物群集構造の解析から、水素生成マイクロフローラとして高温高压条件下で芽胞を形成する Clostridium 属の優占化を確認した。解析結果 (2) のように、高効率水素生産する Clostridium 属 (AF270501) 種とその共生種を同定したが、高効率生産できない Clostridium 属 roseum 種も残存していることが判明した。

図表 4 : 加圧熱水処理ミクロフローラの水素生成累積量

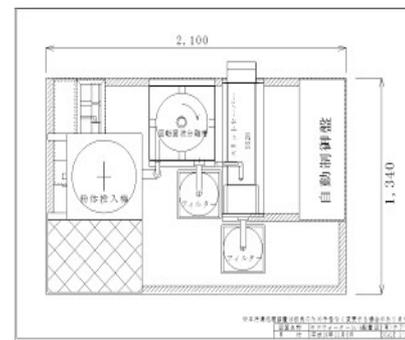


加圧熱水条件によって、ミクロフローラによる水素生成過程が異なることが判明した。水素発酵工程で芽胞状態からの発芽に30時間程度要することがわかった。この発芽時間を短縮化することで原料滞留時間(HRT)を縮小し、プラントの小規模化が実現できる。

- ① 加圧熱水処理の利点として、3点を確認した。
- ・ 容器内を加圧することで消化液は蒸気化することなく水溶液の状態で行なうことができる。
  - ・ 気化熱のロスがないため、加熱に必要な熱量が比較的少ない。
  - ・ 原料と消化液を同時に処理することにより、原料の分解率を飛躍的に増大できる。
- ② 水素生成マイクロフローラ優占化法の加圧熱水条件として、温度 150℃、圧力 0.5MPa、保持時間 40 分による処理が適当と結論づけ、特許出願中である。
- ③ CIOSTA 2017（イタリア，6月開催）で、優占化技術の研究結果を発表予定（講演要旨は受理済）である。
- ④ 連続式の加圧熱水処理装置、水素発酵・メタン発酵装置を主設備とするプラントについて、特許出願中である。これには、福島イノベーション構想に対応できるように放射性セシウムが今キルスマカノ発酵消化液を加工し、セシウムを固定化する濁水処理装置を併設している。



図表 6 : 10L ベンチスケールプラントのフロー（別添 1）



図表 7 : 濁水処理装置

## 今後の課題

### ① 水素生成マイクロフローの発芽促進と優良菌種の培養法

加圧熱水処理で優占化された水素生成マイクロフローの発芽時間を短縮化することで、水素発酵の HRT を縮小し、プラントの小規模化が可能となる。マイクロフローの発芽には、発酵原料に含まれるアミノ酸、糖質および無機イオンなど最適な発芽誘起物質を特定して、発芽の早期化及び高速化を実現できる培養法の開発を進めると共に高効率に水素生成する Clostridium 属優良菌種の培養法を確立する必要がある。

### ② メタン発酵消化液に含まれるセシウム等の分離固定化技術

福島イノベーションコースト構想での浪江町との事業化においては、メタン発酵消化液の処理が大きな課題であり、特にセシウムの挙動と固定化について十分検証していくことが必要である。

### ③ 小規模プラントにおける複合化と熱制御技術

ベンチスケールプラントでの加温に要する熱量は、滅菌装置の加温および各機器の放熱損失を含め、20,000 kJ/日（約5,000kcal/日）程度であり、時間換算で約840kJ/h程度となる。この熱量を確保するためには、炭化原料（絶乾木質換算）0.2kg/h～0.4kg/hをその処理量とすればよく、非常に小さな炭化装置で熱の供給が可能である。

しかし、炭化装置の運転は原料の性状により変化することが多く、特に小型炭化炉では、安定した運転の維持が難しくなる。このため、ベンチスケールでは電気ヒーターで加温等を行う予定である。

# 4. 次フェーズに向けた研究開発計画

研究開発項目	目標（値）	実施担当者
① 優良菌叢の水素生成 マイクロフローの優占化 手法の技術開発		
(a) 水素発酵の短縮化	水素生成マイクロフローの優占化をベンチスケールプラントで再現し、早期発芽と安定した優良菌叢構造が形成される制御条件を明らかにする。24時間内の早期発芽を目標とする。	東京農工大
(b) 特許化	現地試験でのデータを反映させて優良菌叢の優占化法を確立し、特許取得を確実にする。	東京農工大 株式会社トッププランニング JAPAN
② 安定的二相循環メタン発酵処理技術の開発		
(a) スケールアップ利 用技術開発	日量10Lベンチスケールプラントで、連続して優良マイクロフローの優占化手法を再現し、多様な原料で0.05L-H <sub>2</sub> /g-VS以上の水素を生産する実証技術を確立し、パイロットプラントの設計データを蓄積する。	株式会社トッププランニング JAPAN 東京農工大

研究開発項目	目標（値）	実施担当者
(b) 特許化	上記技術をプラントの制御システムとして知財化する。	株式会社トッププランニング JAPAN 東京農工大学
③ 実証試験		
(a) 自治体での現地試験	フェーズBでの協力を承諾いただいている、大田原市、浪江町にて現地試験を行う。特に、浪江町では、メタン発酵消化液に含まれる放射性セシウムの挙動・固定化について浪江町と共同にて協議し評価する。	株式会社トッププランニング JAPAN 東京農工大学

## 4.2. 次フェーズの目標設定の根拠・理由

研究開発項目	目標設定の根拠・理由
①-(a)	水素生成マイクロフロー優占化技術の確立には、優良菌叢の発芽早期化を含めた培養技術の開発、HRTの短縮化及びプラントの小規模化が必要であり、特許の付加価値を高めるために精緻な実証試験データの収集が期待される。
①-(b)	高効率水素生成マイクロフロー優占化技術と水素生産システムの特許化ができれば、事業化において有望な知財になる。
②-(a)	原料とメタン発酵消化液を混合して加圧熱水処理することで、原料の分解率を向上させ、高効率水素発酵が可能となる。連続式の加圧熱水処理を組み入れることで、2相式メタン発酵システムをコンパクトに構成できる。安定した高効率な水素・メタン生産を実現するためには、優良マイクロフローを維持するための制御システムの開発が必要で、本ベンチスケールプラントの連続試験により、加圧熱水処理装置と連動させる水素発酵とメタン発酵の制御システムについて実証する。
②-(b)	メタン発酵消化液に含まれるセシウムを処理・固定化するため、システムに濁水処理装置を追加することを検討し、それらの結果を知財化する。
③-(a)	ベンチスケールプラントでの現地試験にて、エネルギー・マテリアル収支のデータを収集し、パイロットプラント設計に反映させるとともに採算性についての検証が必要である。福島イノベーションコースト構想での事業化については、メタン発酵におけるセシウムの挙動と固定化の検討が必須である。

## 4.3. 次フェーズ以降の実施計画

実施内容	2017Fy		2018Fy		2019Fy	2020Fy	2021Fy
	上半期	下半期	上半期	下半期			
① 優良水素生成 ミクロフローラ 優占化技術開発	→						
② 二相式メタン 発酵処理技術の 開発	→						
③ ベンチスケール プラントでの 実証試験	→						
④ パイロットプ ラントの設計・ 実証試験			→				
⑤ ユーザー評価 期間	→						
⑥ 開発終了時期				→			
⑦ 商用装置の設 計・製造					→		
⑧ 販売開始					→		

## 5. 実用化・事業化へ向けたプラン

### (1) 小規模高効率プラント

二相式メタン発酵処理で生産される水素・メタンは次世代の重要なクリーンエネルギーであるが、現状のエネルギーは安価であるので、製造コストは処理量を大規模にしなければ利益を得られるほど安くはならない。本提案システムでは、二相式メタン発酵によりHRTの短縮化とプラントの小規模化を実現し、ガス生産量を増大させることで採算性を向上させて事業に結実させる。

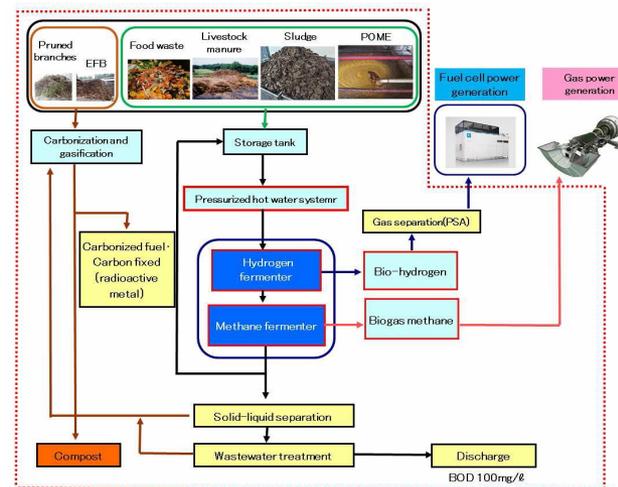
### (2) 高環境価値プラント

環境面の付加価値として、加圧熱水処理により原料分解率を高めて水素発酵することで廃液中のBODは約1/3程度に低減できる。本提案の二相式メタン発酵処理装置は、各事業所で廃水処理施設を拡張しないで生産を拡大できるメリットがある。また、廃液からクリーンエネルギーを生産して利用することは、企業イメージを高める宣伝効果を持つので、このような波及効果を含めて提案していく。

### (3) 放射性セシウム対応

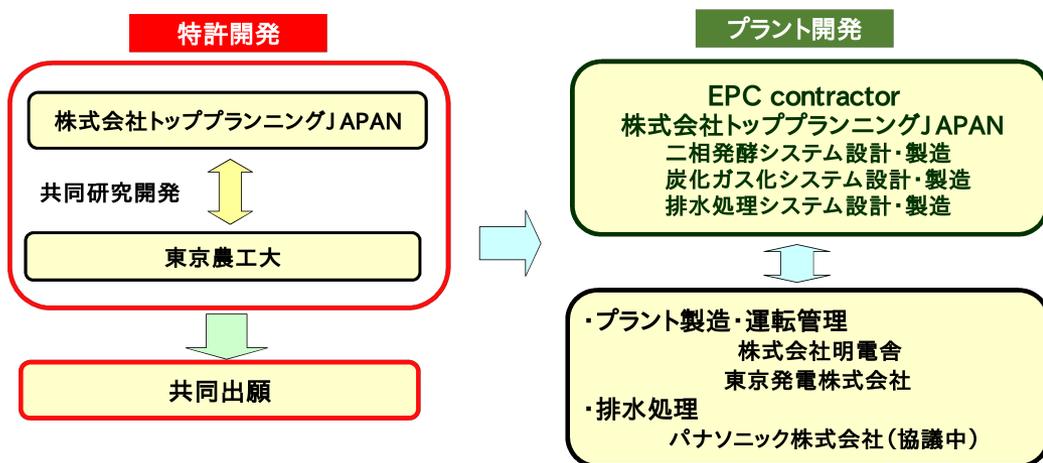
福島イノベーションコースト構想での事業化では、放射性セシウムの挙動及び固定化を検討する。ベンチスケールではセシウムの挙動を検証し、濁水処理によるセシウム固定化\*を検討して、実用化につなげていく。

\*平成23年度除染技術実証事業、環境学会誌「生物物理化学的放射能除染等の新技術開発と業過」  
生物膜法研究委員会



図表8：放射性セシウム炭素固定化処理のフロー図（案）（別添2）

図表 9 : 開発体制



図表 10 : 知財取得計画

	2017				2018			
①二相式循環メタン発酵の最適マイクロフロー構築 応用技術の知財化	→							
②炭化複合二相循環式メタン発酵システムの知財化	→							
③優良菌叢の水素生成マイクロフローの優占化手法の知財化				→				
④安定的二相循環メタン発酵処理技術の知財化				→				

### (3) 開発体制

- ・プラント部門に(株)明電舎をアドバイザーとして置き、試験・実証を進めて事業化を行う。
- ・運転管理では東京発電(株)と連携を組む。

### (4) 知財取得計画

- ・①、②は、フェーズAで2017年2月、3月に特許申請を行う。
- ・③、④は、フェーズBで特許申請を行う。
- ④は、濁水処理装置にてメタン発酵消化液の汚泥及び廃液のセシウム含量を分析し、セシウ

## (5) ビジネスプラン

### ・市場概要

- 自治体のバイオマス処理は、大規模単

相湿式が主流。

- 二相式は、单相式より有機物分解率とガス発生量の増加および滞留時間の減少で建設コスト削減も期待されるが、まだ実証試験レベルである。

酸生成槽とメタン発酵槽の効率的な運転方法などの確立が課題（菌相の環境制御が難しい）

### ・市場規模

- 家畜廃棄物：堆肥が主流、腐熟堆肥の流通が課題。
- 食品廃棄物：この分野の利活用が大きな課題。
- 下水道汚泥：加温や汚泥焼却炉の補助燃量として利用、近年では、消化ガス化発電が実用化されているが、設備維持費の増大が課題

水素生成マイクロフロー優占化技術により効率的な菌叢の環境制御を実現し、未利用家畜廃棄物と未利用食品廃棄物の市場の獲得を目指す。

図表 11：自治体の主な納入実績 生ごみ主体

※参考事例：自治体の主な納入実績 生ごみ主体

单相湿式メタン発酵 固形分 6%~10%	高温(55℃)	北海道砂川市 25t/d
		北海道深川市 16t/d
		富山市 24.4t/d
	中温(35℃)	大分県日田市 80t/d
		東京都大田区 110t/d
		北海道滝川市 55t/d
単層乾式メタン発酵 固形分 25%~40%	高温(55℃)	京都市南丹市 50t/d
		長野県安曇野市 7t/d
二相湿式メタン発酵	中温(35℃)	秋田県秋田市 50t/d

図表 12：バイオマス活用推進専門家会議資料

	利用	未利用
家畜廃棄物	7,600	1,200
食品廃棄物	520	1,380
下水道汚泥	6,000	1,100

## ・大田原市の試算

協力自治体の大田原市のバイオマス活用推進計画から家畜糞尿 7ton、塵芥 1ton =

8ton/d 処理の概算コスト試算を行った。

今回の成果からグルコース 0.375 g / 100 ml に対して、t-vs あたり水素 192 m<sup>3</sup>  
2.5GJ  
、メタン 155 m<sup>3</sup> 6.2GJ となる。本試算では、有機分 70 %分解率として、水素ガス  
1075/

項目	仕様	数量	単価	金額	備考
1 前処理・発酵工程				323000000	
糞尿固液分離機	5~8ton/h	1		0	
生ごみ圧縮機	300L/h	1		0	
原料槽	8000L/d 4000L/b	1		0	
滅菌槽 (加圧熱水装置)	8750L/d 4375/b	1		0	
熱交換機	8750L/d 4375/b	1		0	
供給機	8750L/d 4375/b	1		0	
可溶化発酵槽 (酸発酵)	8750L/d 364/h	1		0	
可溶化発酵槽 (メタン発酵)	8750L/d 364/h	1		0	
発電設備	25kw/h	1		0	
小計				323,000,000	
2 水処理・堆肥化				50,000,000	
濁水処理装置	4000L/h	1		0	
堆肥化装置		1		0	
小計				50,000,000	
3 設計費		1		10,000,000	
小計				10,000,000	
4 諸経費		1		17,000,000	
小計				17,000,000	
5					
合計				400,000,000	

項目					
1 設備費				400,000,000	
2 発電関連					
発電機稼働日数	340	日/年			
稼働時間	24	h/日			
平均負荷率	100	%			
発電量					有機分解率70%
水素 初/d	1075	3.2	MWh/d		3.0kWh/ Nm3- H2
メタン 初/d	868	8.6	MWh/d		9.9kWh/ Nm3- CH3
		4,018	MWh/年		
3 設備				48,000,000	
ランニングコスト	1		48,000,000		12%
年間消費電力	603	MW			15%
4 売電			3,415 MWh/年	133,202,932	FIT 39円/kw税抜き
小計				0	
6 年間支出				48,000,000	ランニングコスト
7 年間収支				85,202,932	
5 投資回収				4.69	

- ・環境負荷低減効果

売電 バイオガス化施設

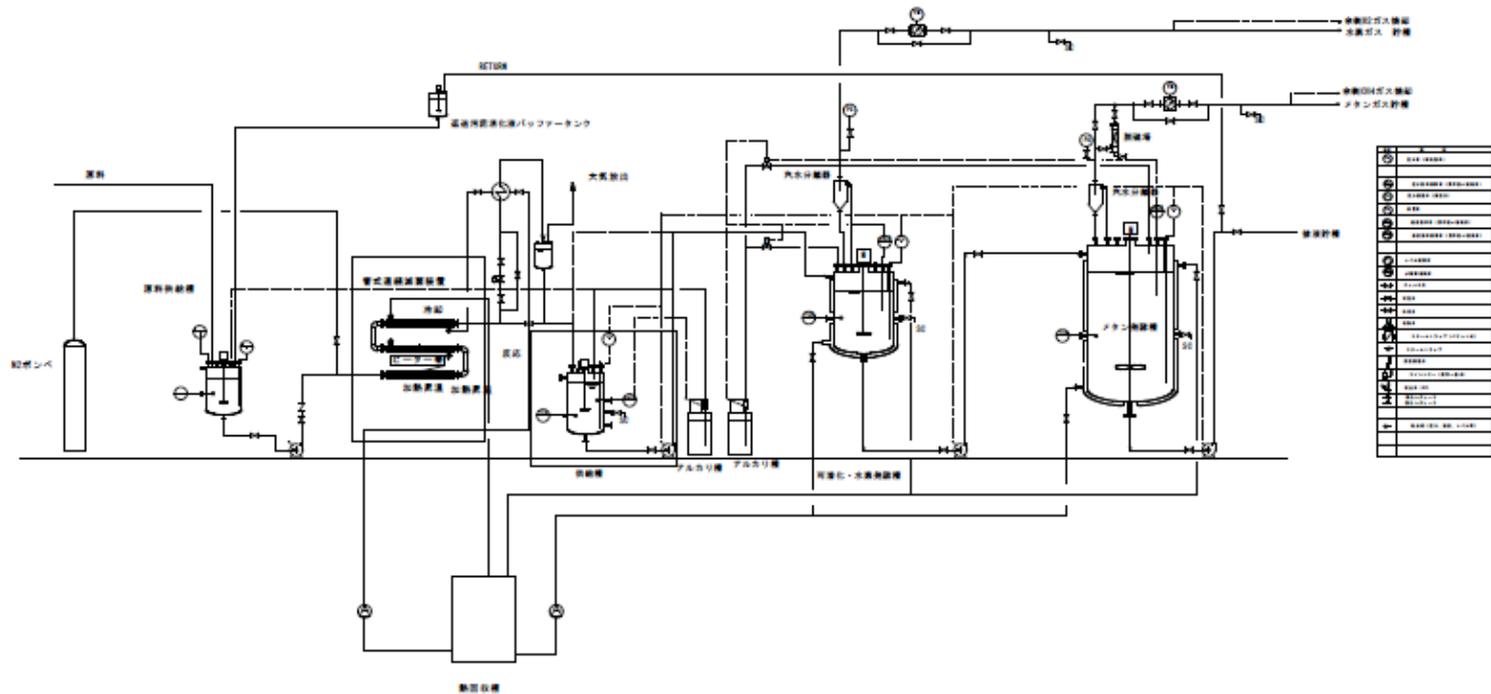
$$3,415,000\text{Kw} \times 0.0005\text{t-CO}_2/\text{kwh} = 1,707\text{t-co}_2/\text{年}$$

参考：温室効果ガス排出量算定・報告・公表制

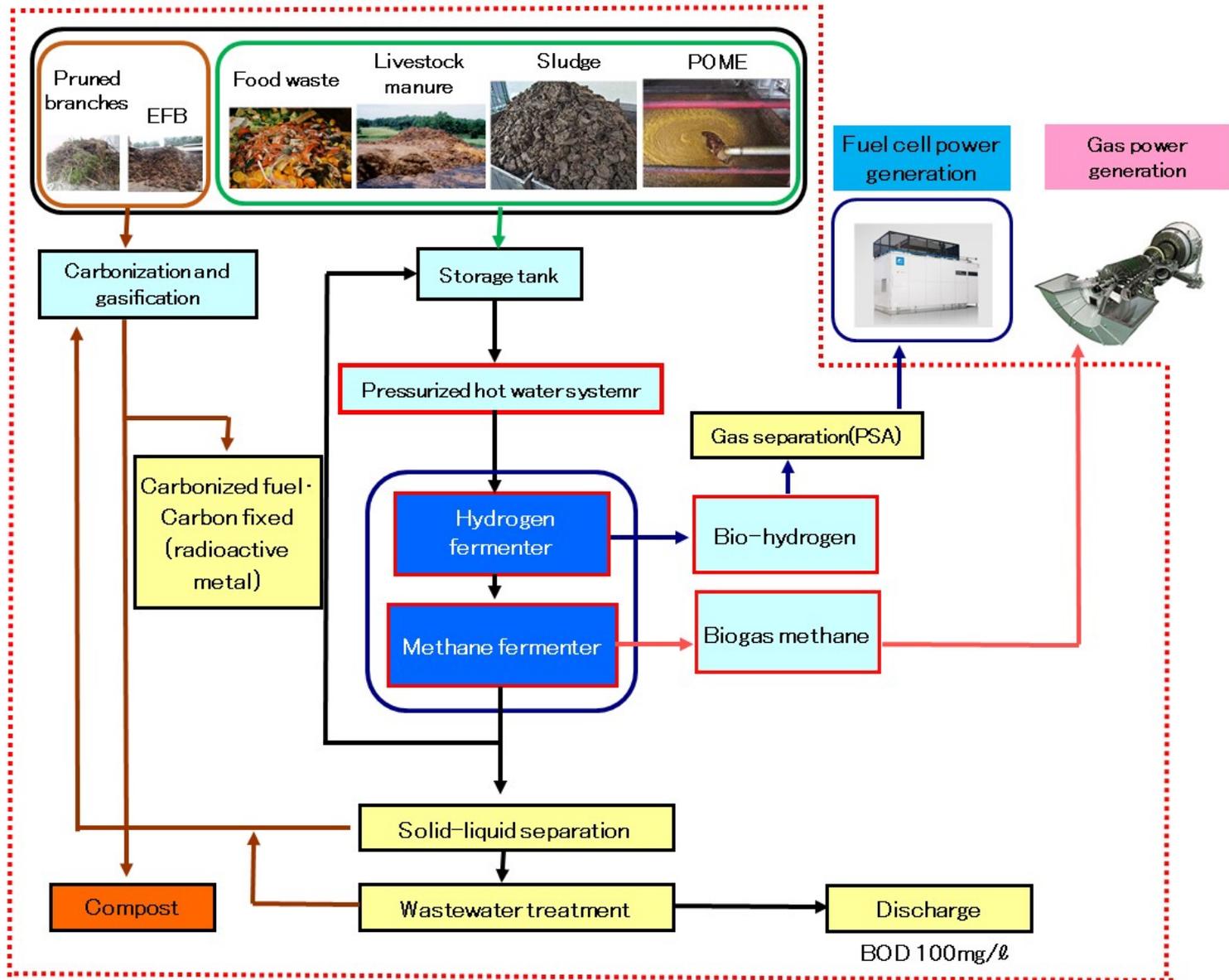
度

今後の事業化においては、ベンチスケールプラントにて実証試験を行い、中小規模自治体をターゲットした10t/日以下でも経済性にメリットの合うシステム作りを目指す。事例として、安曇野市のバイオガスプラントが7ton/日で建設コストが5億円となっていることから同規模で5億円以下の建設コスト、投資回収5年以下を目標とする。

# 別添 1 10L ベンチスケールプラントのフロー図



# 別添 2 放射性セシウム炭素固定化処理のフロー図 (案)



# 別添 3 協力自治体との協議

大田原市役所との会議



津久井市長への説明



浪江町役場との会議

本間副町長

長尾復興推進課（経産省駐在員）



魚沼市役所との会議 前大平市長、星農林課長



いわき市役所との会議 吉田下水道事業課長補佐

