

# 放射性物質により汚染された植物バイオマスの減量化総合処理システムの開発研究

受託者 国立大学法人広島大学  
研究代表者 加藤 純一 大学院先端物質科学研究科  
再委託先 国立大学法人静岡大学、学校法人広島国際学院・広島国際学院大学、  
独立行政法人森林総合研究所  
研究開発期間 平成24年度～26年度

## 1. 研究開発の背景とねらい

2011年の福島第一原子力発電所の事故は膨大な量の放射能汚染した樹木、草類、農作物を残した。これら放射能汚染した植物バイオマスは、除染の重要な対象である。今のところ、放射能汚染植物バイオマスを伐採・収集し、最終的には中間貯蔵地で保管する計画が立てられている。除染対象となる植物バイオマスの量は莫大なものであるため、保管する前に大幅に容積を減量することが必須となる。

本事業では放射能汚染植物バイオマスの減量化技術としてメタン発酵に着目した。その理由は、1)メタン発酵は下水余剰汚泥や農産廃棄物などのバイオマスの減量化技術としてすでに確立されており実用化が容易である、2)低温(30～60℃)で処理が可能なので焼却処理で不安視される放射性Csの気化の問題を回避できる、3)処理産物は腐敗に対し耐性となり長期貯蔵に適する、ことが挙げられる。確かにメタン発酵は確立された技術であるが、そのまま放射能汚染植物バイオマスの減量化に適用することはできない。なぜなら、これまで放射能汚染したバイオマスをメタン発酵した実績はなく、その処理により放射性物質がどの画分(ガス、固形、液状のそれぞれの画分)にどれだけ移行するかについてのデータはまったくない。したがって、本事業ではまず植物バイオマスのメタン発酵処理に最適なシステムを構築し、そのシステムで放射能汚染植物バイオマスを処理するときの放射性物質のフラックスを明らかにすることを目的とする。本事業で検討するシステムは、樹木を含む植物バイオマスのメタン発酵処理を加速するための前処理、前処理後の固形画分をメタン発酵する乾式メタン発酵、液状画分をメタン発酵するUASB

(上向流嫌気汚泥床)、さらにメタン発酵で生じる廃水から細菌を用いて放射性物質を除去する技術から構成される(図1)。そしてメタン発酵処理で減量化したバイオマスは中間貯蔵地で保管し、放射性物質を除去した廃水は廃棄する。また生じたメタンガスは、システムの運転エネルギーとして利用する。

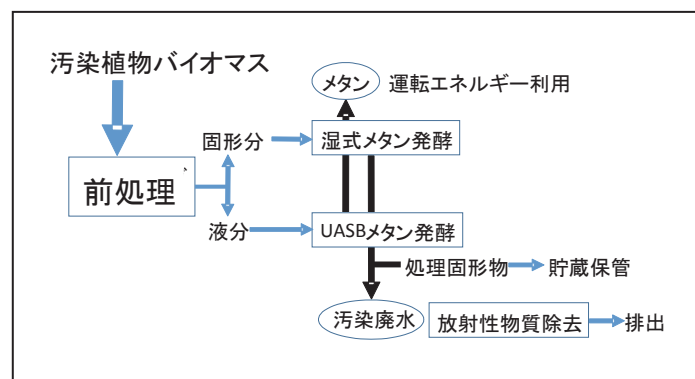


図1 本事業の検討する汚染バイオマス減量化システム

平成24年度は各要素技術の確立、平成25年度は要素技術を組み合わせたシステムの最適化を行った。平成26年度は福島県西白河郡西郷村の協力を得て実際の放射能汚染した植物バイオマス(稲わら、牧草および木質バイオマス)を用い、減量化システムの評価を行った。

## 2. これまでの研究成果

平成 24 年度および 25 年度の研究により、放射能汚染されていない木質系バイオマス（スギ）、草本系バイオマス（稲わら）を用いて、前処理糖化プロセス、前処理後の液状画分および固形画分のメタン発酵プロセス（UASB および乾式メタン発酵）および発酵排液からの Cs 除去プロセス（光合成細菌を用いるバイオ除去プロセス）の要素プロセスを確立した。平成 26 年度は実際の放射能汚染した稲わらを用い、減量化システムの評価を行った。

### 2. 1 実証研究の現場

福島県西白河郡西郷村で現地実証試験を行った(図 2)。福島第一原子力発電所の事故で排出された放射性物質は気流に乗って輸送され、西郷村も大気沈着による放射能汚染を受けた。放射能汚染した牧草や稲わらは刈り取られて円筒状に梱包シラップされた状態で貯蔵されている(図 2)。この稲わらを試験対象にした(放射性物質はほぼすべて Cs。放射活性は約 7000Bq/kg)。村役場の協力で借用した現地のプレハブハウスに装置を持ち込み、平成 26 年 7～10 月、実証試験を行った。



図 2 福島県西郷村（白丸）（図左）と貯蔵されている放射能汚染稲わら・牧草のロール（図右）

### 2. 2 放射能汚染した稲わらの減量化処理

平成 25 年度で確立した前処理プロセスで稲わらを糖化処理し糖化スラリーを得た。この糖化スラリーを遠心分離することで液状画分と固形画分に分離し、液状画分は UASB によるメタン発酵、固形画分は乾式メタン発酵に供した。

#### ○UASB による稲わら糖化スラリー液状画分のメタン発酵

発酵産業で使用されている嫌気汚泥グラニュールを用いて糖化スラリー液状画分の UASB メタン発酵を行った。運転条件は、培養液容量：1.25L、培養温度：35℃、COD(化学的酸素要求量)：1200mg/L、グラニュール：600～700ml、水理的滞留時間：6.0 時間とした。図 3 にバイオガス発生量の経過を示す。運転 1～75 日は非汚染の稲わら由来の糖化スラリー液状画分を用い、安定化を図った。運転 76～80 日に汚染稲わら由来の液状画分を処理したところ、バイオガス発生量は非汚染試料と同等であった。また 81 日目から再び非汚染の稲わら由来の液状画分を用い、有機負荷量を COD 2000mg/L に増加して運転したところ負荷量の増加に見合うバイオガス発生量の増加が起こった。以上の結果から、放射能汚染（もしくは Cs 汚染）は UASB によるメタン発酵に影響を及ぼさないことが分かった。

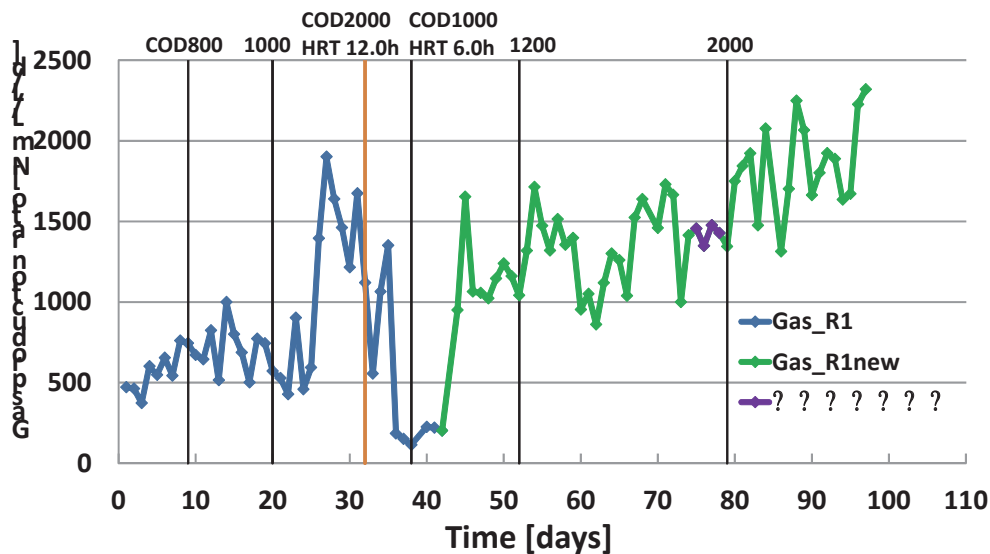


図 3 稲わら糖化スラリー液状画分の UASB メタン発酵によるバイオガス発生量の経過。運転開始 76～80 日に汚染糖化液を供給した。

○乾式メタン発酵による稲わら糖化スラリー固形画分のメタン発酵

稲わら糖化スラリーの固形画分は、平成 25 年度に作成した 10L 容の乾式発酵装置で乾式メタン発酵を行った。培養条件は、水理的滞留時間：30 日、培養温度：55℃であった。運転開始から非汚染稲わらの粉碎物で馴養を行った(図 4)。バイオガス生成(148 L CH<sub>4</sub>/kg 稲わら)が安定した 4 週間後から汚染稲わら糖化スラリーの固形画分を投入したところ、114 L CH<sub>4</sub>/kg 稲わらの安定したメタン生成を示した。この数値は、平成 25 年度、非汚染稲わら糖化スラリー固形画分を乾式メタン発酵した時と同等の値であることから、UASB と同様に乾式メタン発酵でも汚染 Cs および放射活性は乾式メタン発酵の性能には影響を及ぼさないことが分かった。生成したバイオガス全てが通過する湿式ガス流量計内の水の放射活性を測定したところ、検出限界以下であった。このことは、放射能汚染した稲わらを原料としたメタン発酵で得られるバイオガスの安全性を示す結果である。

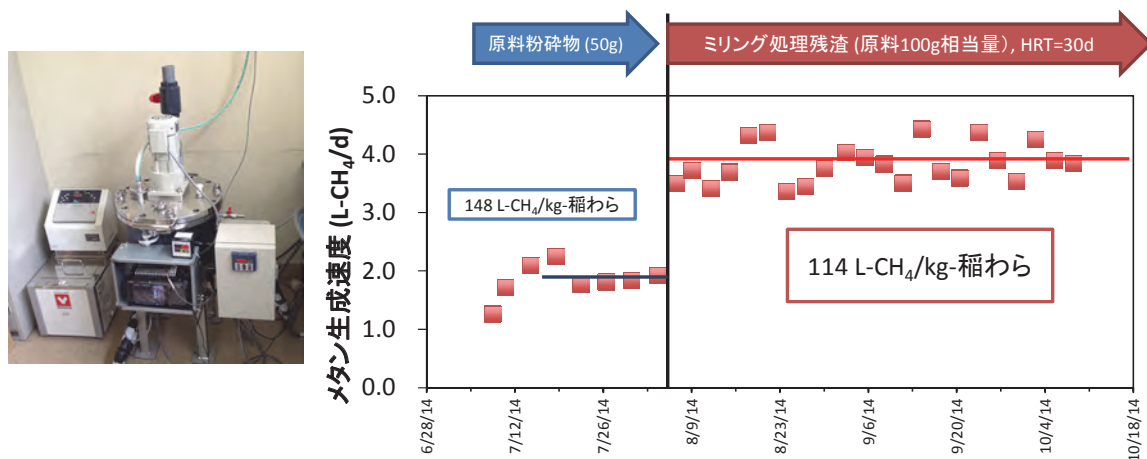


図 4 乾式メタン発酵装置(左)、稲わら糖化スラリー固形画分の乾式メタン発酵によるメタン生成速度の経過 (右)

## ○光合成細菌を活用する排水（消化液）処理技術の開発

本研究では、Cs 吸着・蓄積能を有する光合成細菌 (*Rhodobacter sphaeroides*) を用いてメタン発酵排液中の放射性 Cs を除去する技術を開発することを目的としている。平成 25 年度には、多段式エアリフト型、単槽エアリフト型、ロータリー型のリアクターを作成し、非放射性 Cs を用いて Cs 除去試験を行った。メタン発酵排液には有機成分 (COD (化学的酸素要求量)) も含まれており、排出するためにはその除去も行う必要がある。そこで Cs および COD 除去を指標に 3 つのタイプのリアクターを比較検討したところ、多段式エアリフト型のリアクター (図 5) が最も良好な性能を示すことが分かった。

放射能汚染した稲わらのメタン発酵排液を用いて放射能除去試験を行ったところ、Cs および COD の除去率はそれぞれ 49%、95% であった。合わせて稲わら糖化スラリーと稲わら粉末を用いて同様な処理を行ったところ放射能除去率はそれぞれ 34%、77%、COD 除去率はいずれも 95% 以上であり、本技術が有効であることが分かった。

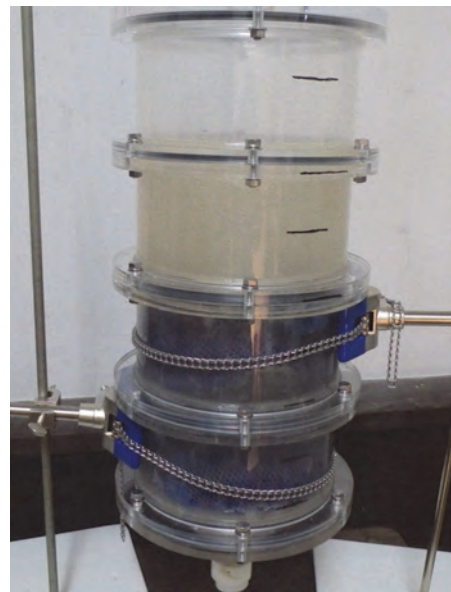


図 5 多段式エアリフト型バイオリアクター。それぞれのコンパートメントに固定化光合成細菌ブロックを入れ、Cs の吸着除去を行う。

### 3. 今後の展望 (24年度採択課題の場合)

西郷村での現地実証試験から、本システムが放射能汚染稲わらの減量化に有効であることが示唆された。特に、平成 25 年度までの非放射性 Cs を用いた試験からメタン発酵で生じるメタンガスには Cs は移行しないことが示唆されていたが、本実証試験により放射能汚染した稲わらを用いても放射性 Cs はメタンガスに移行しないことが実証されたことの意義は大きい。現在、各装置を森林総合研究所に移し、放射能汚染した木質系バイオマスを用いた実証試験を行っている。

本研究ではベンチスケールの小規模なシステムで減量化システムの実証を行った。次は、パイロットプラント規模のシステムで実証試験を重ねてスケールアップのためのデータを取得し、実用化につなげたいと切望している。

### 4. 参考文献

(1) 佐々木健、岸部貴、竹野健次、三上綾香、原田敏彦、大田雅博、「光合成細菌による水環境中のセシウム、ストロンチウム、有害金属の回収、および水、底質、土壌の放射能の実用的除染」、*生物工学会誌*, 91, 432-446 (2013).