

下水汚泥の深層地盤注入による 循環型メタン回収システムの提案と検討

小松 佑子¹・谷 和夫²

¹ 横浜国立大学大学院 工学府 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5土木工学棟)

E-mail: d05gc110@ynu.ac.jp

²Ph.D. 横浜国立大学大学院 工学研究院 (〒240-8501横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5土木工学棟)

下水汚泥の資源化として、メタンガスのエネルギー利用法がある。しかし、設備投資や処理にかかるコストが大きいことなどの問題が生じている。そこで、下水汚泥の深層地盤注入と二酸化炭素の地中貯留にメタン回収プロセスを組み合わせた概念に基づく新しいシステムを提案する。深さ 400m 以深の地盤に下水汚泥を注入する孔と嫌気性消化により生成したメタンガスを回収する孔を作り、回収孔からポンプアップした地下水はメタン回収後に注入孔から地中に戻すという循環型システムである。本システムの確立に必要な技術的課題を検討し、汚泥の注入条件の決定、メタンガス発生過程の予測、地盤内に注入した汚泥のモニタリング、ガスの回収方法などの重要性を指摘した。

Key Words : biosolids, anaerobic digestion, methane, recovery, injection, recycling system

1. はじめに

近年、都市圏への人口集中や 1 人当たりの水の使用量が比例して、大都市における下水汚泥の処理量が増加傾向にある¹⁾。それゆえに、下水汚泥の減量化や有効利用の促進は非常に重要である。

我が国における現在の下水処理システムでは、集約された下水汚泥を濃縮、消化、脱水、焼却している。下水汚泥の有効利用法として、発生するメタンガス(消化ガスの約 6 割)のエネルギー利用や、乾燥させた汚泥の燃料化、セメントやレンガ、路盤材等への利用などが挙げられる。例えば、横浜市の場合、濃縮された汚泥を消化タンクに投入し、その投入量の約 4 割を微生物による嫌気性消化によって消化ガスに変換している。その消化ガスに含まれるメタンガスで、ガス発電や消化タンクの加温を行い、また焼却炉の補助燃料として有効利用している²⁾。残りの 6 割の汚泥は脱水した後、全て焼却されており、下水汚泥のリサイクル率はおよそ 90%とされているが³⁾、設備投資や維持管理、脱水した汚泥の焼却にかかるコスト、二酸化炭素(消化ガスの約 4 割)の大気への大量放出などが問題となっている。

一方、海外での下水汚泥処理の例として、深層地盤注入(DBI: Deep Biosolids Injection)⁴⁾がある。これは、深層地盤内に高圧下で汚泥を注入し、地盤内での嫌気性消化により汚泥を処理する方法である。しかし、対象となる地盤の有効

期間が短く、メタンの回収プロセスが考慮されていないことから、エネルギー資源が乏しく高い土地利用効率が要求される我が国での適用は難しいと思われる。

そこで、深層地盤注入(DBI)と二酸化炭素の地中貯留にメタン回収プロセスを組み合わせた概念に基づく新しい下水汚泥の処理システムを提案する。このシステムは、我が国の実情に適用できるように、環境負荷低減、環境評価、リサイクル、環境修復を考慮したものである。深さ 400m 以深の地盤に下水汚泥を注入する孔と嫌気性消化により生成したメタンガスを回収する孔を作り、地盤内で下水汚泥を嫌気性消化により分解する。回収孔からメタンガスの回収を行い、ポンプアップした地下水などは注入孔からまた地中に戻すという循環型システムが特徴である。

本論文では、この提案システムの確立に必要な技術的課題を文献調査および訪問調査により検討した。

2. 調査の方法

現在実施されている、あるいは有望な方法として提案されている下水汚泥の処理システムについて整理・分析するために、訪問調査および文献調査を実施した。対象は、規模の大きな消化ガスシステムを持つ横浜市の下水汚泥処理センターと Dusseault らが提案する深層地盤注入(DBI)とした。

3. 調査の結果

(1)横浜市下水汚泥処理センターへの訪問調査²³⁾

横浜市の下水汚泥処理センターを訪問調査し、汚泥処理の現状と問題点について整理した。まず、横浜市内で実施されている現在の汚泥処理システムを図-1(上)に示す。下水処理場で集約された汚泥を消化タンクに入れ、発生した消化ガスはガスホルダを介して発電設備へと送る。ガス化せずに残った汚泥は焼却され再利用される。本研究で提案するシステムの対象となる箇所を点線で示した。

次に、このシステムにおける問題点を以下に示す。

- ・消化タンクや焼却設備、汚泥の資源化にかかる維持管理費は、センター施設全体の維持管理費の約7割を占め、コストが高い。
- ・消化タンクが年間の気温変動に左右されるため、温度管理が必要である。(常に約36℃を維持)
- ・大きな地上設備(消化タンク、ガスホルダ等)を設置するために広大な敷地と設備投資・維持費用が必要である。(表-1参照)
- ・消化ガスを貯蔵するガスホルダの圧力には限界があり、貯蔵量が制約される。
- ・汚泥を焼却する際に発生する二酸化炭素は全て大気中に放出しているため環境への影響が懸念される。

(2)深層地盤注入(DBI)に関する文献調査⁹⁾

Dusseault らが提案する深層地盤注入(DBI: Deep Biosolids Injection)とは、高圧により破碎させた地盤に下水汚泥を注入し、地盤内での嫌気性消化による処理方法である。DBIシステムにおける問題点を以下に示す。

- ・汚泥を注入する対象となる地盤の有効期間が約2年で

あり、非常に短い。

- ・注入する粒径が5mmであるため、地盤内での目詰まりが懸念される。
- ・破碎した地盤の地上に及ぼす影響が考慮されていない。
- ・メタンの回収方法と消化後の地盤内に残留する固形物(主に炭素)や回収孔から排出される地下水、二酸化炭素の処理が考慮されていない。

4. 新しいシステムの提案

上記の汚泥処理システムの問題点を解消し、DBIの技術的概念に二酸化炭素の地層処分や地下水の循環を融合させた新しいシステム(図-1下)を提案する。

(1)提案システムの概要

提案システムの概要を図-2に示す。下水汚泥を地盤に注入し、地盤内で嫌気性消化を行い、発生した消化ガスのうちメタンを回収し、二酸化炭素は地層に貯留するというものである。ここで、回収される二酸化炭素や地下水はまた地盤内に注入させる。

(2)従来のシステムとの比較

横浜市汚泥処理センターのシステムと提案システムを比較した結果を表-1に示す。長期的にみて、地盤内に注入された汚泥を可能な限り嫌気性微生物反応により分解し、従来の焼却過程を不要にする。従来の消化タンクやガスホルダの役目を地盤で代替するので、コストや消化タンクの温度管理、地上に要する莫大なスペースの問題を回避できる。また、発生した消化ガスはフリーガス層に貯留され、必要に応じて必要な量だけ回収・分離できる。そのガスは、地盤の圧力により貯蔵するためガスホルダの

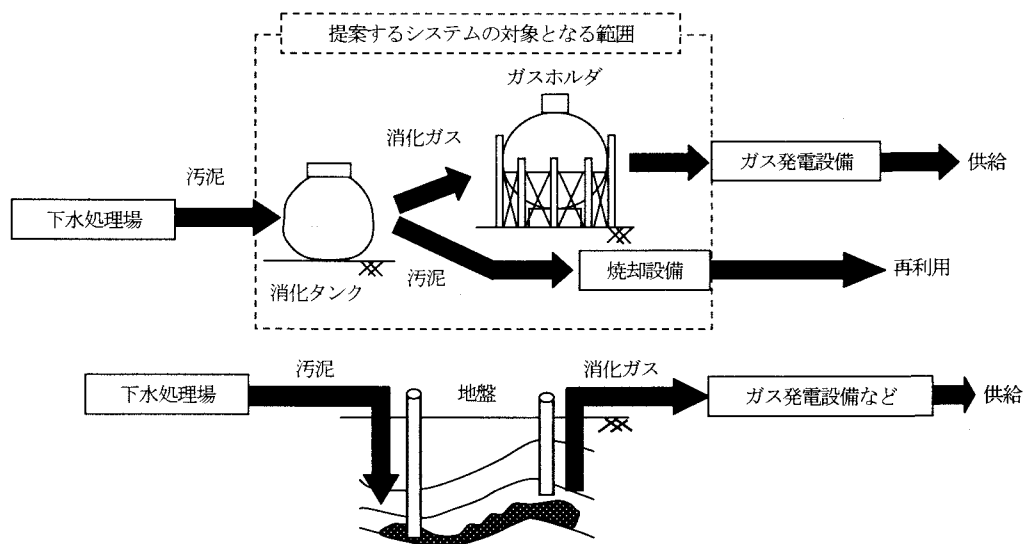


図-1 現状の汚泥処理システム(上)と提案するシステム(下)

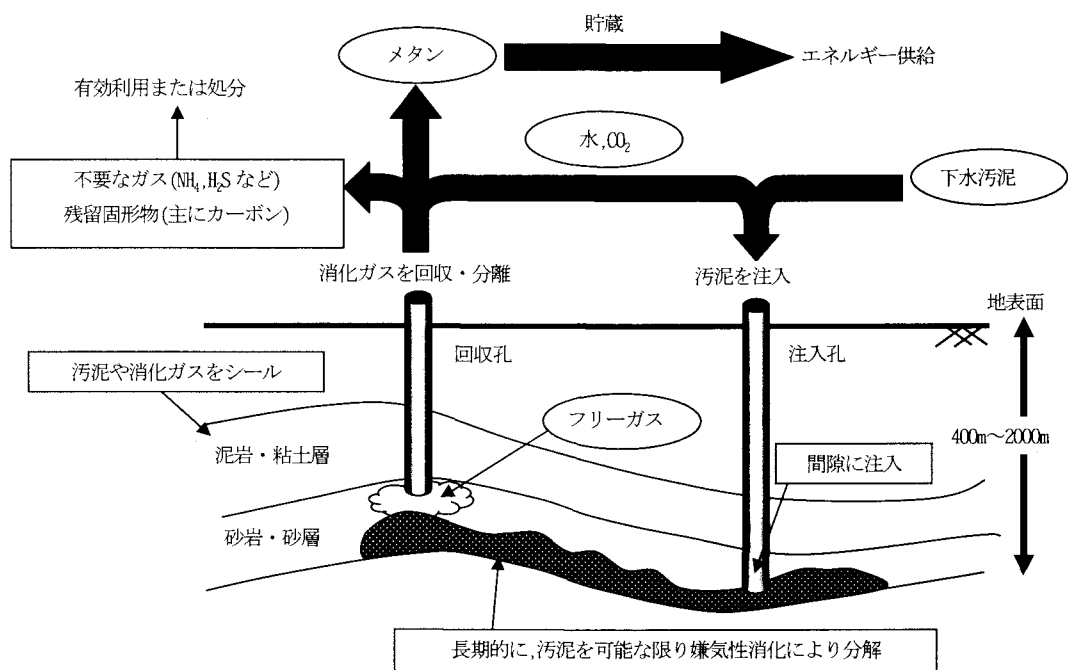


図-2 提案システムの概要

表-1 横浜市の現状と提案システムとの比較

過程	項目	横浜市の現状 ²⁾	提案システム
全体	地上に要するスペース	185,000㎡	数 1000㎡程度
消化	設備	消化タンク 6,800㎡×12基	不要
	容量	ガスホルダ 低圧 8,000㎡×2基 中圧 2,200㎡×2基	必要最低限
	温度管理	約 36℃に維持	地温
焼却	コスト	大	なし
	CO ₂ の処理	大気へ放出	地中に処分

圧力は必要最低限にできる。さらに、二酸化炭素の地中処分により、環境問題の緩和にもつながる。

一方、3章(2)節で述べた DBI の問題点を解消するために、注入する汚泥の粒径はできるだけ小さくし、回収孔から排出される地下水を循環させることにより地盤内に残留する固形物を除去する。これにより、対象地盤の永続的な使用が可能となる。また、砂岩ないし砂層の間隙を利用するため、地盤を破碎することなく汚泥を注入できる。

5. 技術的な課題

提案した「下水汚泥の深層地盤注入による循環型メタン回収システム」の確立に必要な技術的課題を以下に示す。図-3 のようにシステムを3つのプロセスに区分し、各プロセスにおいて検討課題を考察した。なお、図において、①を注入プロセス、②を地盤内プロセス、③を回収・

リサイクルプロセスとした。

(1) 注入プロセス

対象地盤の構造や間隙、透水性などを調べ、汚泥の貯留層となる地層の選定方法や汚泥の注入圧力、量、粒径の検討が必要である。

(2) 地盤内プロセス

まず、固体(注入汚泥)と気体(消化ガス)の移動則と注入汚泥に対する貯留層のフィルター特性を検討する必要がある。次に、嫌気性微生物による消化プロセスの検討が必要である。そのためには、物質の保存則、化学反応、エネルギー保存則、嫌気性微生物の増殖などを考慮しなければならない。現在、好気性微生物による反応プロセスのシミュレーションが確立しており⁹⁾、嫌気性下でのプロセスの予測や解明が必須である。より効率の良い嫌気性消化を行うために、反応条件の維持も必要とされる。

このシステム全体を管理するために、汚泥注入後の地盤のモニタリングを行う必要がある。モニタリングすることにより、嫌気性反応条件の維持、汚泥の分解状況などを把握し、注入汚泥により目詰まりを起こしてしまった場合などにも対策を施すことが可能である。

(3) 回収・リサイクルプロセス

メタンガスのみを回収する方法や、二酸化炭素の溶けた地下水の回収・リサイクル方法の検討が必要である。また、残留固形物の回収方法や処理方法の検討も必須である。回収した地下水は地盤の温度管理、注入汚泥の加工等に再利用する。

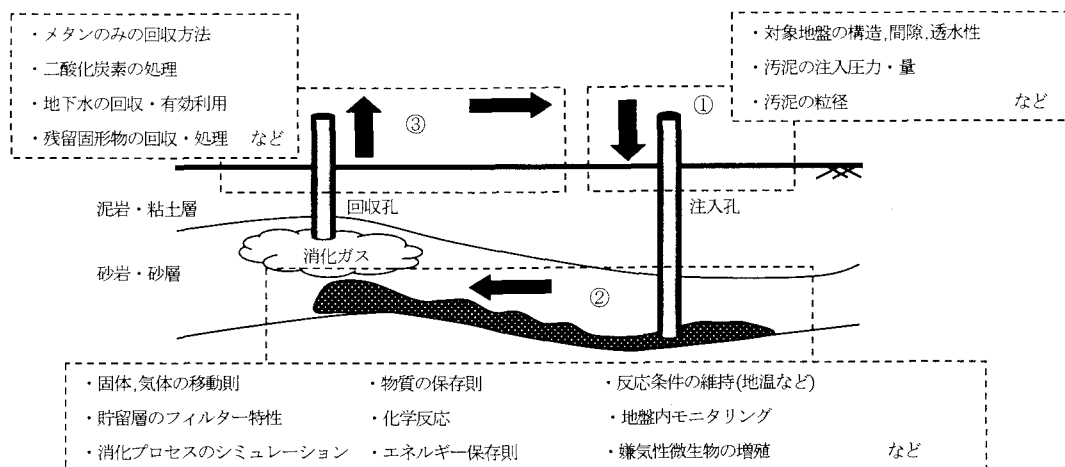


図-3 技術的課題のある箇所

6. まとめ

現在の下水汚泥処理システムや海外での技術を整理・分析することにより、我が国での適用を前提とした新しいシステムを提案した。これは、深層地盤注入(DBI: Deep Biosolids Injection)や、二酸化炭素の地中貯留にメタン回収プロセスを組み合わせた概念に基づき、メタンガスの回収や、地下水・二酸化炭素の再注入を実施する循環型システムである。このシステムは、長期的な地球のエネルギー資源の確保・環境問題の緩和につながると期待される。本論文では、提案システムの確立に必要な技術的課題を検討し指摘した。まず、最適な地盤を選定し、汚泥の注入圧力、注入量、粒径を決定し、システム全体をモニタリングする技術が必要である。次に、注入後の汚泥や発生するガスの挙動を把握するシミュレーション予測が必須となり、これには物質やエネルギーの保存則のようなさまざまな法則が必要となる。また、注入汚泥に対する貯留層

のフィルター特性も考慮しなければならない。さらに、メタンガスや二酸化炭素、深層地下水の回収・有効利用の検討、残留固形物の除去方法の検討が必要である。以上の技術的課題の解明が、本システムの実現につながると期待できる。

参考文献

- 1) 日本エネルギー学会：バイオマスハンドブック・日本エネルギー学会編，pp70-72，オーム社，2002。
- 2) 横浜市下水道局：横浜市下水道局北部汚泥処理センター，横浜市広報印刷物登録第110355号，1999。
- 3) 横浜市下水道局：下水道事業の環境レポート～環境会計の視点から(平成15年度決算版)～，横浜市広報印刷物登録第160562号，2005。
- 4) Dusseault, B., Narayan, S., and Sitharam, T.: Municipal Waste Treatment Using Deep Biosolids Injection, 私伝, 2005。
- 5) Bongochetsakul Nattakom and Tetsuya Ishida: Integrated Quantitative Analysis for Designing of Composting System, The joint International Conference on " Sustainable Energy and Environment (SEE)", 2004。

PROPOSAL AND STUDY OF RECYCLING SYSTEM FOR METHANE RECOVERY BY DEEP BIOSOLIDS INJECTION

Yuko KOMATSU and Kazuo TANI

Methane produced from the sewage sludge is expected as a kind of energy recycling. However, capital investment and running cost for processing are extremely expensive. To solve these problems, a new system that based on the concept of combining DBI(Deep Biosolids Injection) process with carbon dioxide sequestration. This is a recycling system that makes two deep wells at depths greater than 400m, the one is used to inject biosolids, and the other is used to recover methane produced by anaerobic digestion. After recovering methane, underground water pumped up from the deep well is returned into the strata.

Literature review and interview are conducted to identify the technology necessary for establish this system. Some of the important themes are, injection technology, prediction and monitoring of anaerobic digestion in deep ground and methane recovering technology.