

B-20 液化ジメチルエーテルを用いた家畜糞の乾燥に関する研究

〇戸田 寛之¹・大下 和徹^{*1}・高岡 昌輝¹・松川 和嗣²・藤原 拓³・神田 英輝⁴

¹ 京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター)

² 高知大学教育研究部総合科学系生命環境医学部(〒783-8502 南国市物部乙 200)

³ 高知大学教育研究部自然科学系農学部(〒783-8502 南国市物部乙 200)

⁴ 財団法人電力中央研究所エネルギー技術研究所

* Email: oshita@epsehost.env.kyoto-u.ac.jp

1. はじめに

日本国内で排出される産業廃棄物の約 21%が畜産廃棄物¹⁾で、その発生量は平成 16 年以降、年間 8700 万 t 代で推移している。これらの家畜糞尿の多くは堆肥として利用されるが、農畜産業の盛んな地域では過剰な施肥による硝酸性窒素の地下水汚染が問題となっており²⁾、動物医薬品による周辺環境への影響も懸念されている³⁾。そこで、堆肥化以外の利用法として、家畜糞尿のエネルギー利用が注目されている。

家畜糞の乾燥品は高い発熱量を有し⁴⁾、燃焼させることで発電や熱利用が可能となる。しかし、家畜糞は高含水であり、熱乾燥では投入エネルギーが大きくなる。そこで、省エネルギーで脱水・乾燥が可能な液化ジメチルエーテル（以下液化 DME）を用いた常温での脱水・乾燥を検討した。これまで、液化 DME を水分の抽剤として用いて下水汚泥等に含まれる多量の水分を常温・省エネルギーで除去する技術が研究されてきている^{5),6)}。

以上のような背景の下で、本研究では家畜糞を液化 DME で処理した場合の乾燥特性を明らかにすることを目的とした。具体的には、家畜糞のサンプルとして牛糞を用い、粒径、液固比を変化させ、液化 DME による脱水乾燥実験を行って、液化 DME による乾燥基礎特性を明らかにした。また、下水汚泥の脱水ケーキについても同様の実験を行って、水分抽出特性に影響する因子を比較・考察した。さらに牛糞試料と下水汚泥脱水ケーキについて、示差走査熱量計（DSC）を用いて液化 DME による脱水・乾燥の前後での試料中の水分の状態を比較し、液化 DME による牛糞中の水分抽出特性を考察した。

2. 実験方法

(1) 分析試料

家畜糞サンプルは、2011 年 2 月 1 日高知大学農学部で採取された肥育牛糞を使用した。肥育牛は、肉牛として出荷される前段階で約 20 ヶ月間、高カロリーの濃厚飼料を与えられている。

下水汚泥は A 自治体の流域下水道終末処理場で採取された脱水ケーキで、混合濃縮汚泥に高分子凝集剤が添加されてスクリーンプレス脱水機により脱水されたものを用いた。

(2) 液化 DME 脱水乾燥実験

液化 DME 脱水乾燥実験は、図-1 のような流通式実験装置で行った。

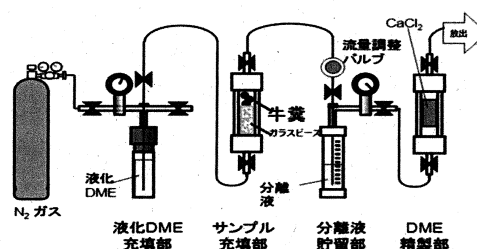


図-1 流通式液化DME脱水装置

本実験装置は、冷却・加圧して液化 DME 充填部に充填した液化 DME を N₂ ガスにより加圧することで流通し、サンプル充填部で粒径をそろえて球形に整えたサンプルと接触させ、水分を液化 DME で抽出する装置である。抽出後の水分を含んだ液化 DME は分離液貯留部に溜まる。溜まった分離液は大気圧に開放して DME を蒸発させ、抽出水分と分離する。実験前後に各部を取り外し、電子天秤で重量を測定し、水分の抽出量・脱水率を求めた。実験条件を表-1 にまとめた。実験前後のサンプルの状態としてサンプルの粒径を測定し、具体的にはデジタルノギスを用いて直径を直行三軸で測定し、体積はサンプルが、

この平均値を直径とする球とみなして算出した。

表-1 液化DME脱水乾燥実験条件

	牛糞	下水汚泥
液固比[mL/g]	10,20,40,60,80	
液化DME線速度[m/h]	0.382	
サンプル充填量[g]	1	
粒径[mm]	4.0, 4.8, 5.9	4.8
粒数	9, 17, 29	17
抽出温度[°C]	25	

(3) DSC を用いた結合水測定

牛糞、下水汚泥それぞれ粒径4.8mm、液固比を表-1に示す五段階の条件でDME脱水乾燥したサンプルからDME脱水乾燥実験1条件ごとに3つの測定用サンプルをアルミニウムのシールセルで作成した。このシールセルを示差走査熱量計（島津、DSC-60）に設置し、ガス流量30mL/minの窒素雰囲気下で-30°Cまで-5°C/minで降温し、その後+5°C/minで10°Cまで升温させた。-30°Cまでに凍結した水分量を、その融解熱から測定し、これを自由水量とした⁷⁾。得られた自由水量と、シールセルを作成する際に残った試料から測定した総含水量との差から結合水量を求めた。

凝固・融解の過程でサンプル内の含水構造が破壊されることが予想されるため、自由水は凝固熱を使う方がより正確な測定ができると考えられる。しかし、図-2に示すように、蒸留水で熱量測定をした結果、凝固熱は文献値から大きく外れる結果となったため、融解熱を用いることとした。この点については今後改善が必要であると考えられる。

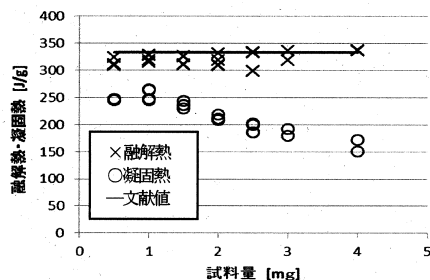


図-2 蒸留水の凝固熱、融解熱

3. 結果と考察

(1) 牛糞のDME脱水乾燥

図-3に粒径4.8mm行った実験結果を示す。横軸は液固比（流通DME[mL]/牛糞充填量[g]）で、縦軸は脱水率、含水率で示している。液固比の増加により、脱水率が増加し、含水率は初期含水率80%の牛糞を液化DME脱水乾燥し、液固比80（流通時間2時間に相当）で、脱水率98%、含水率6%まで脱水乾燥することができた。

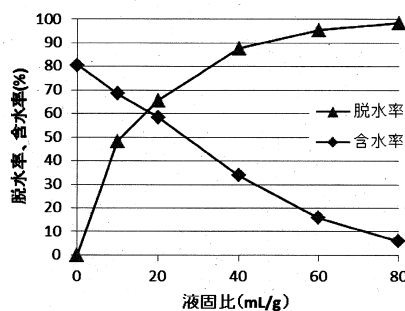


図-3 液固比ごとの牛糞試料の脱水率、含水率

(2) 2試料の比較

2試料を充填量1gの条件で、DME脱水乾燥を行った結果を図-4に示す。どちらの試料も開始直後は素早く脱水乾燥が進み、液固比10で脱水率50%程度となり、最終的には脱水率98%前後となるが、液固比20（流通時間30分）あたりから、牛糞と下水汚泥ケーキの脱水率に差が表れ、牛糞の方が脱水されやすい傾向がみられた。その原因としては、収縮によるDMEとの接触面積の変化や、試料中の水分状態の差異が考えられた。

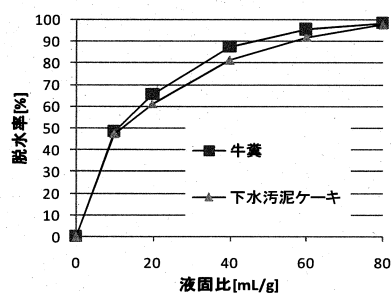


図-4 液固比ごとの牛糞と下水汚泥ケーキの脱水率

(3) DME脱水乾燥による試料の収縮

同条件のDME脱水乾燥の後、粒径測定から体積変化を測定した結果を図-5に示す。

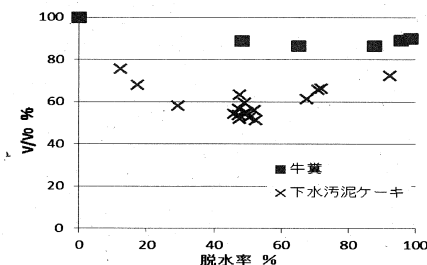


図-5 牛糞、下水汚泥のDME脱水乾燥による体積変化

図から、脱水乾燥前の体積と比較し牛糞では約80%まで

の収縮に留まるのに対し、下水汚泥では約 50%まで収縮した。図4において、特に脱水率に差の出始める脱水率 50%程度で収縮率の差が最大となった。よって、収縮による液化 DME とサンプルの接触面積の減少も、脱水乾燥の速度を低下させる要因の一つであると考えられる。牛糞が収縮しにくい特性は、未消化の植物に由来する繊維分が構造を支えているためと思われる。

(4) DSC による結合水測定結果

図-6 に DSC で定量した結合水、自由水の量を示す。脱水乾燥前の結合水量は牛糞が約 0.07g、下水汚泥が約 0.13g であり、下水汚泥の方が割合が高く、この点がまず、脱水乾燥性が異なった一因と考えられた。液固比 60mL/g では、どちらも自由水はほぼ脱水されたが、結合水部分は残留し、結合水が難脱水性である傾向が窺えた。また、下水汚泥の結合水は低液固比条件から徐々に脱水されるが、牛糞の結合水は自由水が完全に脱水されるまでほとんど脱水が進行しないことがわかった。これは、牛糞は繊維分が多く収縮が少ないため液化 DME が粒子内部まで浸透し易く、粒子内部の自由水が粒子外殻部の結合水より先に抽出されている可能性が考えられた。

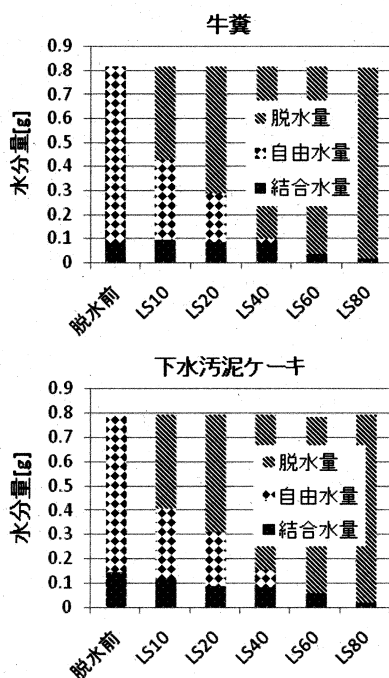


図-6 脱水前と液固比ごとの脱水後の自由水、結合水量

今回は結合水、自由水の 2 分類のみで分析したが、より細分類する、あるいは試料中繊維分との関係を把握できれば、脱水乾燥挙動が詳細に検討できると考えられる。

4. まとめ

DME 脱水乾燥では含水率 80%の牛糞を液固比 80 で含水率 6%(2 時間)まで脱水乾燥することが可能であった。

牛糞試料は含水率や、成分組成の近い下水汚泥と比較して、液化 DME による脱水乾燥性が高いことが明らかとなった。この特性の原因としては、牛糞に含まれる未消化の繊維組織により収縮が起こりにくく、脱水乾燥が進行しても DME との接触面積が維持されることや、下水汚泥では牛糞よりも結合水量が多いことが考えられた。

DSC による水分分析により、液化 DME 脱水乾燥では牛糞中の結合水は自由水がほぼすべて抽出されてから抽出され、下水汚泥では自由水の抽出と同時に徐々に結合水の抽出も行われることが示された。

【参考文献】

- 1) 環境省総合環境政策局:平成 23 年度環境統計集電子データ <http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/> (2012 年 1 月 20 日情報取得)
- 2) 金澤正尚:畜産環境をめぐる最近の情勢と今後の対応について、畜産環境情報, Vol.45,pp.3-7,2010.
- 3) 清野敦子,長谷川泰子,益茂茂樹:金目川,鶴見川,多摩川における薬剤耐性大腸菌類分布,水環境学会誌, Vol.27,pp.685-691,2004.
- 4) 薬師堂謙一:家畜排せつ物の燃焼エネルギー利用の現状と課題,畜産環境情報, Vol.36,pp.3-6,2007.
- 5) 大下和徹,高岡昌輝,神田英輝,中島祐輔,武田信生,牧野尚夫:液化ジメチルエーテルによる下水汚泥の脱水に関する基礎検討,下水道協会誌論文集, Vol.46, pp.71-83,2009.
- 6) 神田英輝,牧野尚夫,森田真由美,竹上敬三,武田信生,大下和徹:液化ジメチルエーテルを利用する下水汚泥ケーキの省エネルギー脱水技術,廃棄物学会論文誌, Vol.19,pp.409-413,2008.
- 7) Duu-Jong Lee, Sun F. Lee: Measurement of Bound Water Content in Sludge: The Use of Differential Scanning Calorimetry(DSC), *J.Chem.Tech.Biotechnol.* Vol.62,pp.359-365, 1995.

本研究は文部科学省科学研究費(23360231), 液化ジメチルエーテルによる、畜産廃棄物の脱水・乾燥プロセスの構築(研究代表者京都大学大下和徹), JST CREST: 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム, 気候変動を考慮した農業地域の面的水管理・カスケード型資源循環システムの構築(研究代表者高知大学藤原拓)および、平成 22 年度谷川熱技術振興基金の助成により実施された研究の一部である。