

DME を用いた下水汚泥の超高効率脱水

背景

石炭、廃棄物、バイオマスなどの高含水固体を低コストで脱水するニーズが高い。これまでに開発されてきた脱水手法は、基本的に固体の水分を高温で蒸発させるため、所要エネルギーが大きい。当所では高含水の低品位炭を主な対象に、常温で若干加圧すると液体になるジメチルエーテル（DME）^{*1}を用いて、石炭内の水分を抽出して脱水し、脱水後に減圧してDMEを蒸発させて、残った水分を分離する手法を開発してきた。

目的

DME脱水法の適用対象を小規模でも実用化が可能な物質へと拡大し、速やかな実用化を図ると共に、最終的ば目標である石炭脱水プラントへの段階的スケールアップを可能にする。

主な成果

1. 様々な高水分固体の脱水に成功

下水汚泥、食物残渣、生花などの、廃棄物やバイオマスを対象にDME脱水法を適用し、いずれに対しても高い脱水性能を有する事を明らかにした。これらの物質の中から、最も有望な下水汚泥を対象にした。

2. プロトタイプ（試作機）による汚泥脱水試験

当所が設計、開発した試作機を用い、同装置に充填した3.2kgの汚泥ケーキ^{*2}（水分78%）に液化DMEを流した結果、汚泥の水分が30%に激減した。また、脱水後の汚泥は黒色から灰色に脱色され（図1）、臭いも殆ど無くなった。一方で、汚泥の油脂（臭いの元）が排水に移行することにより、排水は黒く濁り（図2）、悪臭が酷くなることが明らかになった。このため、油脂が水に溶けにくくDMEに溶けやすいという性質を利用した、排水浄化法を考案し、基礎実験に成功した。

3. 実機を想定したDME脱水プロセスの性能試算による、省エネルギー脱水

以上の成功を受けて、実機に近い脱水能力76 ton/日（褐炭で114ton/日、汚泥で97ton/日）を想定したプロセス（図3）を設計した。蒸留塔（i）で一部のDMEを蒸発させずに残し、その後段のDME/水分離器で、液化DME層に油脂を溶かし、水層には油脂を溶かさずに水層を抜き出すことで、排水浄化が可能になる。更に、DMEガスや、DMEと水の混合液について物性を詳細に計算し、厳密に脱水プロセスの所要エネルギーを試算した。その結果、理論上、常温（50℃未満）において、DMEの損失を1%未満^{*4}に抑えつつ、投入エネルギーが1100kJ/kg-水で脱水できることを明らかにした。

4. 下水熱利用による投入エネルギー「ゼロ」運転の可能性

DME脱水プロセスは、常温でDMEの蒸発と凝縮を繰り返す。一方、下水は年間を通じて温度が20～25℃でほぼ一定（図4）であるので、DMEの蒸発と凝縮の熱源として下水熱と大気熱が利用でき、冬期を中心に年間の1/3の期間で、「DMEの蒸発と凝縮」部分への投入エネルギーがゼロの運転が可能である。（なお、本研究の一部は、ガス化学関連会社、汚泥関連メーカーとの共同研究として実施した。）

今後の展開

残された課題である、DMEと汚泥ケーキの高効率な接触方式を確立できれば、実用化の目処が立つ状態になったため、DME脱水プロセスの早期の実用化に向け、本脱水プロセスの各構成要素を最適化し、理論値に近い省エネルギー脱水が可能な、数ton/日以上規模のテストプラントを開発する。

主担当者 エネルギー技術研究所 燃料改質工学領域 主任研究員 神田 英輝

関連報告書 「液化DMEを水分抽出剤として用いる高水分炭の脱水プロセスの概念設計と所要動力の試算」電中研研究報告：M06004（2007年5月）

*1：標準沸点は-25℃、5気圧では沸点20℃。液化状態のDMEには水分が溶ける。中華人民共和国で、LPGより安価な代替燃料として急激に普及中の合成燃料でもある。既存の最も高効率とされるプロセスの原理上の投入エネルギーは約2100kJ/kg水である。

*2：下水が、微生物処理、凝集剤添加による沈殿、遠心分離、ベルトプレス等の工程を経て、最終的に得られる下水汚泥の形態。水分78%が脱水のほぼ限界であり、「1%」の性能向上を巡ってメーカーが技術開発をする状況にある。

*3：蒸発したDMEガスを圧縮機で昇温・昇圧して凝縮して、高温で生じる凝縮潜熱は、低温での蒸発潜熱の全てを賄うことが出来ない。これは、高温ほど凝縮潜熱が小さくなる物理法則と、蒸発側のDMEには蒸発しにくい水分が溶けていることが原因である。

*4：DME損失量が多いと、脱水プロセスのコストが高くなる一方で、DME損失量が少ないと、ロス分のDMEの製造コストが高くなるので、今回は暫定的にDMEの損失を1%に設定した。

（これらの成果は、2004年 日本エネルギー学会奨励賞、2006年 粉体工学会技術賞、2007年 日本化学会講演奨励賞を受賞した。）



図1 脱水後の下水汚泥



図2 脱水で生じた排水

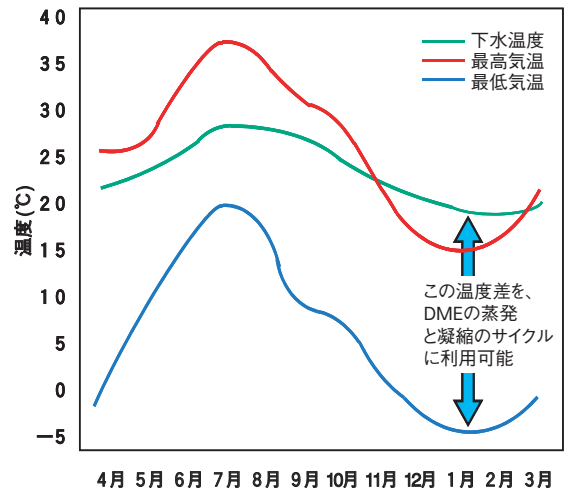


図4 下水温度と気温の季節変動の概念図

常温で汚泥の水分を30%へと脱水できた事は画期的である。同時に黒色から灰色に脱色され、脱臭もできた。逆に排水は茶褐色になり、悪臭が酷かったが、これを解決する排水浄化技術も開発し、基礎実験に成功した。

都市の冷暖房の廃熱は下水を通して、都市全体から下水処理場に集まる。このため、下水の温度は一年中ほぼ一定である。DME脱水は、常温でDMEの蒸発と凝縮を繰り返す。下水の都市廃熱と大気の温度差を利用すれば、エネルギーゼロの究極の省エネ脱水が可能になる。

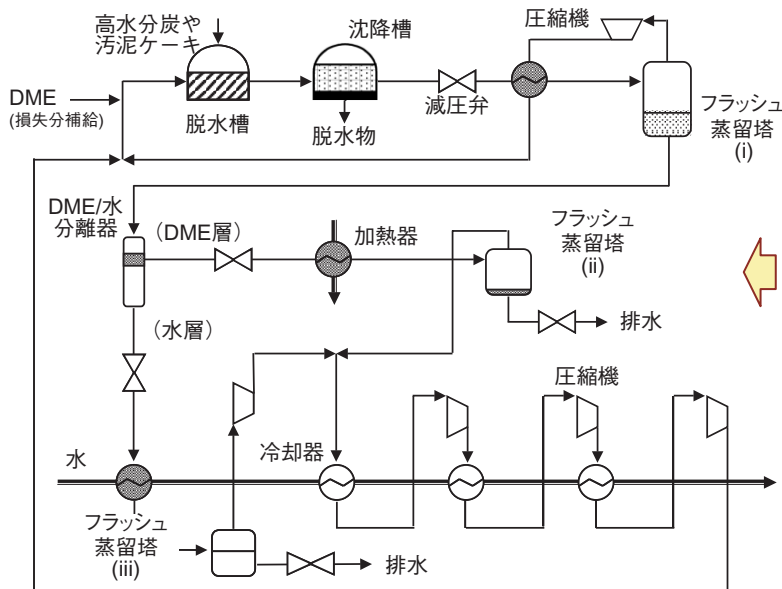


図3 DME脱水プロセスの構成

蒸留塔(i)でDMEの95%を回収できる。残りの5%をDME層と水層に分離して、各々を抜き出してDMEを回収することで、水1kgを1100kJで脱水する(既存の半分のエネルギー)、驚異的な省エネルギー脱水と排水浄化が可能になる。