連 載 海外環境技術展望 (第7回)

下水汚泥乾留油化技術

—ENVIRONMENT CANADA Process—

森

勇 *

1. まえがき

木質系バイオマスを液体燃料に転換する技術は、かなり前から米国やカナダで研究されており、多くのデータが公表されているが、廃棄物や廃液についての研究はあまり例がなかった。アルコール廃液やでん粉製造廃液ならば質的にも均一であり十分に高濃度であるので、プロセス設計やその操作は左程困難ではないと想像されるが、ここに紹介する技術は、都市下水の処理の際に発生する汚泥を原料として、ディーゼル機関用に使われる程度の液体燃料を製造するプロセスに関するものである。

従来、北米を中心として、木材、アルコール廃液、下水汚泥等の、いわゆるバイオマスを原料として、アルカリ金属化合物またはアルカリ土類金属化合物を触媒として用い、水の存在下で高温度高圧力の反応により油状物質に転換する技術の研究が、各大学、研究所および企業で、後に述べるように積極的に推進されている。また我国でも、かなり以前に小規模な乾留テストが実施されたことが、記録に残っている。

これらはいずれもオートクレーブによる高圧反応であり、収率が良い反面連続操作をおこなう為の多くのプレクスルすべき技術要素があることが指摘されている。

ここで紹介しようとする、ENVIRONMENT CANADA汚泥油化技術は、低圧連続式反応器によるものであり、低コストを追求しているところに特徴があるプロセスである。

2. 研究開発の経緯

ENVIRONMENT CANADA (以下 ENCAとする) は Dearborn Environmental Consulting Services に 1 kg/h の実験室規模装置による基礎研

究を委嘱し、1983年に実際の汚泥によるテストを実施した。この研究の結果をベースに、1984年に ENCA は、Zeon Environmental Inc. に対し 25t/日の実規模プラントの概念設計とフィジビリティスタディーを契約し、この研究により企業化とパイロットテストの見通しをつけた。次いで、1986年に後に述べるパイロットプラントの設計、製作および運転をこの分野のハードに実績のある企業、Petro Sun International Inc. (以下 P S I とする) に発注し、同年末に The Regional Municipality of Hamilton-Wentworth's Woodward Avenue sewage treatment plant 内に設置された。このテストプラントは、各種の下水汚泥ケーキを原料にして、1987年から1988年にかけて継続して運転されることになっている。

3. 連続油化プロセスの概要

プロセスの中心である乾留炉は、図-1のような横型外熱式二重同回転炉を採用している。原料汚泥ケーキは原料ホッパーの底からスクリュコンベアで切り出され、予熱されて炉の前段に供給され外部から300℃に加熱されて有機物の乾留温度に達し、ガス、タール、チャーの生成が始まる。汚泥はさらにスクリュで後段に移送されて加熱温度は450℃に上昇し、前段のガスはパイプで炉の後端に圧送され炉内を逆流して、

図-1 ENVIRONMENT CANADA Process 反応装置

* 柳井原製作所開発企画部担当部長
Isamu MORI

中間点附近から炉外に抜けて凝縮トラップで油を分離する。またチャーと共に送られてきたタールは、高温で二次分解反応が進行する。滞留時間は約20分間を標準とし、スクリュウの回転数とケーキ供給量を調節することにより、充填率と反応時間を最適値に設定することができる。炉内はソリッドシールにより内圧0.2 kgf/cm²に保持されている。

このテストリアクターによる運転結果は、表1に示したようにバッチ反応に対比してチャーの発熱量が低く、オイルの粘性がバッチ反応においては極めて高いこと、および凝縮水の発生量がバッチ反応においては多いことなどが特徴的である。また表2は、生汚泥と消化汚泥を原料とした連続反応の結果を示したもので、同一条件において生汚泥の方が油の収率と発熱量が共に高いことが証明されている。油とチャーの収率の温度と反応時間にある程度の関連があるので、図-2の燃料相の相関関係に従って反応をコントロールして、炭化水素生成を進行させることが重要で、従来の研究ではアルカリ金属触媒により直接液化反応の硬化が認められているが、PSIのレポートにはそれらに関する記述が見当たらないので、常圧化では触媒作用を期待していないのだろう。

このリアクターを中心に油化プロセスを構成したも

表1 バッチ運転と連続運転の反応生成物組成比較

	バッチ運転	連続運転
汚泥供給量 (gd.s./h)	—	750
反応温度 (°C)	450	450
油発生比 (%)	22.3	25.4
粘性係数 (センチストークス)	214.0	33.7
発熱量 (Kcal/kgd.s.)	9,262	8,738
チャー発生比 (%)	54.6	61.1
発熱量 (Kcal/kgd.s.)	2,238	1,476
オフガス (非凝縮ガス) 発生比 (%)	12.1	11.1
発熱量 (Kcal/kgd.s.)	—	1,381
凝縮水発生比 (%)	11.0	5.0

表2 生汚泥と消化汚泥の反応生成物組成比較

	生汚泥	消化汚泥
汚泥供給量 (gd.s./h)	750	750
反応温度 (°C)	450	450
リアクター内滞留時間 (分)	20	20
油発生比 (%)	24~46	13~29
粘性係数 (センチストークス)	23~62	9~87
発熱量 (Kcal/kgd.s.)	—	—
チャー発生比 (%)	40~66	41~73
発熱量 (Kcal/kgd.s.)	—	—
オフガス (非凝縮ガス) 発生比 (%)	3~10	4~12
発熱量 (Kcal/kgd.s.)	—	—
凝縮水発生比 (%)	3~10	7~16

図-2 燃料組成状態図

のが、図-3に示したフローである。PSIの手になるパイロットテストプラントも、このフローに沿って計画されており、運転データを整理分析することによってスケールアップに必要な単位操作の諸元が得られるように、機器および計測器が装備されている。

図-4は工場ですべてスキッド上に架装されたテス

図-3 パイロットプラントフローシート

図-4 1 ton/日テストプラント装置

トプラントの試運転状況を示したものである。

4. エネルギー収支の検討

1984年にENCAがZenon Environmental Inc.に委嘱したフィージビリティスタディーにおいて、日量25tの汚泥を図-5のような4種類の方式によりエネルギー回収する際の収支バランスに関する試算結果が、表3の如く報じられている。当然のことだがENCAの開発する油化プロセス（D方式）が、最も効率的に優れているように記載されている。これは燃料転換に直接関与する反応系の機器システムのみ動力消費の対象となっているが、熱分解反応に伴って多量に発生するタールや有機酸を含む廃液の処理に要する動力が考慮されていないようだし、チャー等の保有熱量を有効に活用する具体的方策も明示されておらず、かなり手前味噌の感じのする試算ではある。

図-5 比較対照4方式のフロー

表3 25t/日汚泥処理の各方式エネルギー収支比較

処理方式	A	B	C	D
原汚泥保有熱量 (Kcal/h)	4.1×10^6	4.1×10^6	4.1×10^6	4.1×10^6
エネルギー発生量 (Kcal/h)				
メタンガス	1.0×10^6	1.0×10^6	1.0×10^6	0
油	0	0	0	2.0×10^6
チャー・NCG・H ₂ O	0	0	0	1.2×10^6
消化汚泥	0	1.3×10^6	1.3×10^6	0
エネルギー消費量 (Kcal/h)				
反応器・乾燥機	0	3.1×10^6	1.8×10^6	0.4×10^6
焼却炉・燃焼機				
エネルギーバランス				
時間当り (Kcal/h)	1.0×10^6	-0.7×10^6	0.5×10^6	2.8×10^6
汚泥量当り (Kcal/h)	967	-700	471	2,674
エネルギー回収率 (%)	24.8	0	12.1	68.5

(注) NCG: Non Condensable Gas

5. 我国における研究状況

日本でも、下水汚泥から燃料を回収する技術は古くから研究されており、その例として昭和10年代の初めに、京都市鳥羽下水処理場でメタンガスをボンベ充填して自動車燃料としたり東京市三河島下水処理場では下水汚泥から油を採取している。

東京での油採取は、図-6の様な装置で実施されていた模様である。天日乾燥された消化汚泥を、外熱式レトルトに投入し450℃以下で長時間乾留すると、汚泥固形物量の10%程度の粗燃料油と、副産物として13%程度のアンモニアおよび少量のチャーが得られとの記録が残っている。450℃以下で乾留したのは、タールトラブルを避けるため、あえて収率の低いことに目をつぶったものであろう。

この他にも、戦後間もなく西独から立型回転式乾留炉を導入して下水汚泥のガス化・油化を目論んだ企業がもあったように聞かすが、実際に操作したという話はないようである。最近では、工業技術院公害資源研究所でサンシャイン計画のテーマの一つとして、バイオマスの油化技術の開発が強力に進められているが、実用化プラントの建設に至るまでは、やゝしばらく時間がかかりそうである。

6. 海外でのその他の研究開発

米国鉱山局の資金援助により、PITTSBURG ENERGY RESEARCH CENTERはOregon州AlbanyにPacific Northwest Laboratoryの担当で3t/日のCO-Stram Processのテストプラントを1980年に設置している。

図-6 下水汚泥油回収装置

7. あとがき

バイオマスや汚泥の油化は、熱分解ガス化よりも最適操作範囲が狭く、かつ化学量論的にいつでも燃料転換効率が悪いので、紙上のエネルギー収支計算のみで議論すれば、ガス化やRDF化に対して評価が低くなるかも知れぬ。しかしながら、現用の内燃機関、特に車輛用エンジンの代替燃料には液体燃料でなければ使用に不便である。このような観点から、発熱量当りの比容積が小さくビスコシティが低く、かつ灰分等のCOH以外の含有成分の低い油を高収率で転換する技術が要求されることになり、これらを達成することが研究開発の目標であると言える。

ここに紹介したENVIRONMENT CANADA Processは、高度な装置技術が必要となる高圧反応プロセスの採用を避けて、常圧高温下の乾留方式を採用し油回収率を犠牲にしても反応装置の償却費を下げることによって、トータル面での低コスト化を測っていると考えられる。

開発者側は、下水汚泥処理の従来方式、即ち焼却方式に比べてトン当たり75~150ドル安くなるとコメントしているが、オフガスや反応発生液およびチャーの処理処分に費やされる金額も含めてコスト比較をしないと、フィージブルが否かはそう簡単には公正な判断は

下せない。

いずれ近い将来、我々第三者が評価判断するに足る内容のデータが、開発者から公式に発表されることになると思われるので、それを待つべきであろう。その時点で、この技術紹介記事が予備知識として関係者のお役に立てば幸いである。

参 考 文 献

- 1) H. W. Campbell "Canadians find promise in oil-from-sludge technology" Water Quality International, No.3 1987
- 2) T. R. Bridle "OIL FROM SLUDGE-A TECHNOLOGY UPDATE" The 9th Symposium on Wastewater Treatment" Montreal, Quebec, November 1986
- 3) E. Bayer "Low temperatur conversion of sludge and waste to oil" Proceedings of the International Recycling Congress, Berlin, 1982
- 4) Catalogue and brochure by PETRO-SUNINTERNATIONAL INC. Ontario
- 5) "Waste from the Past Energy for the Future" PETERO-LYSIS INTERNATIONAL INC. Ontario
- 6) D. C. Elliott "Bench Scale Research in Biomass Liquefaction by the CO-steam Process" The Canadian Journal of Chemical Engineering, December 1980.

海外環境情報

米議会、ネバダ州に核廃棄物貯蔵所設置の方針
Congress goes for Nevada as site for nuclear waste storage

H22010013

米上下両院国会対策委員会はこの程、米国としては最初の高レベル核廃棄物貯蔵所をネバダ州Yucca Mountainとする方針を決定した。これにかかわる立法措置が今後両院で可決される必要があるが、これによって1982年の核廃棄物投棄法の成立以来の懸案が解決することとなろう。

この投棄法は、エネルギー省に対して、1万年以上にわたって安定な地層域をミシシッピ川東西に各3か所抽出させ、これらでの廃棄物貯蔵所建設の適否を検討させるものであった。'87年には実質的にHanford, Deaf SmithおよびYucca Mountainの三地域が候補地として選ばれた。

今回の委員会の決定は、廃棄物は増大する一方であるにもかかわらず、これら三地域の適否評価をするだけでも何十年も要することがわかったためである。ネバダ州政府は議会のこの一方的決定に強く反対し、法案の議会通過を阻止する方針を表明している。

貯蔵所としてのYucca Mountainの利点は高さ1,500ftの火山岩から成ることであり、また、地下1,200ftに予定される地下貯蔵所でさえも十分に地下水面から隔たっていることである。さらに当地は核実験場の一角にあり、居住地からも隔絶している。しかし、ネバダ州地質学者は当地が活断層近傍にあるため、大型地震や火山噴火の危険性があることを指摘し、更に廃棄物運搬のために一般道路を使用することを懸念する向きもある。

ANDERSON A

D193B Nature 330 [6150] 682 (Dec. 24/ 31, '87)