

黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業における 下水汚泥資源の利活用状況報告

黒部Eサービス株式会社 代表取締役 大矢佳司
(水 ing 株式会社 支店統括本部 副本部長)

1. はじめに

黒部市は、富山県北東部、黒部川扇状地に位置する人口約 40,000 人の都市である。令和 4 年度末の黒部市の公共下水道、農業集落排水、合併浄化槽による污水处理整備率は 96.5%、下水処理人口普及率は 66.2%に達している。

本事業は、平成 21 年 4 月に黒部市と黒部Eサービス株式会社(水 ing 株式会社が出資している特別目的会社。以下「SPC」という)で契約したPFI(BTO)事業で、SPCが施設の設計・建設と 15 年間の運營業務を行っている。黒部市の下水処理を行っている黒部浄化センターの下水汚泥、浄化槽汚泥等と地域バイオマスのコーヒークズを混合メタン発酵し、そのバイオガスを燃料として、化石燃料を使わずに消化脱水汚泥を乾燥して乾燥汚泥を製造し、県内製紙工場の発電燃料や堆肥として 100%リサイクルしている。平成 23 年 5 月より 15 年間の運営を開始し、今年 13 年目を迎えた。

本稿では、本事業の導入目的と効果、直近令和 4 年度までの運転、事業運営、汚泥有効利用実績について報告する。

2. 本事業の目的

本事業以前、黒部市では、黒部浄化センターで発生する下水汚泥全量を埋立処理などの外部委託をしていた。また、本市周辺の 2 市 2 町からなる広域圏事務組合のし尿処理施設老朽化による更新工事にあたり、生し尿に限定した施設とされたことから、委託を平成 22 年 3 月末に終了し、浄化槽汚泥や農業集落排水汚泥を地域内処理に移行するため、汚水等の受入れ、ならびにその結果として発生する汚泥の増加が見込まれていた。

このような状況において、将来の処分コストの抑制、市況変動リスクへの対応や地域内処理が課題となり、さらに、地球温暖化防止の観点から、バイオマス利活用を推進していく必要性もあった。

こうした地域の諸課題に対応する施策の一つとして、以下の事業効果を期待し本事業が実施された。

- (1) 下水汚泥の外部処分(セメント、埋立)依存から脱却し、処分費用等の市況変動リスクを抑えた汚泥の安定処理と循環型社会の構築
- (2) 下水汚泥・農集排汚泥・浄化槽汚泥・生ごみ及び地域バイオマスとしての事業系食品残渣の一体的処理による合理化と処理コスト削減
- (3) バイオマスエネルギー利活用によるCO₂削減
- (4) 地域内での新たな事業機会・雇用の創出等の地域経済の活性化
- (5) 先進的な事業の実施による産業観光の活性化(施設視察者の増加等)
- (6) 化石燃料を使わずに、エネルギー回収と資源化を実現



【施設外観】

3. 本事業の概要

事業方式	P F I / B T O (Build Transfer and Operate)
建設工期 維持管理運営期間	平成 21 (2009) 年 4 月～平成 23 (2011) 年 4 月 (2 年 1 か月) 平成 23 (2011) 年 5 月～令和 8 (2026) 年 4 月 (15 年間)
事業費	建設費 16 億円、維持管理運営費 20 億円 計 36 億円 (消費税別)
建設資金調達	建設費の約半分を国交省の交付金、 残りは S P C が金融機関より 15 年ローンで調達
バイオマス受入れ量 (令和 6 年度計画値)	下水道汚泥 (濃縮汚泥) 24,346m ³ /年 デスポーザー由来の生ごみ 688m ³ /年 農集排汚泥 (濃縮汚泥) 1,080m ³ /年 浄化槽汚泥 (濃縮汚泥) 134m ³ /年 事業系食品残渣 (コーヒー粕) 2,100 t/年
プロセス概要 【主要設備】 バイオマス受入前処理混合設備、 高温メタン発酵槽 (55℃)、 ガスホルダ、 バイオガスボイラ、 バイオガス発電機 (95kW)、 汚泥乾燥機、 汚泥搬出設備、 足湯 (ばいお～ゆ)、 太陽光発電 (10kW)	
プロセスの特徴	① デスポーザー生ごみを含む下水汚泥等とコーヒー粕を混合消化 (高温発酵 55℃×14 日間) ② バイオガスは、汚泥乾燥機用蒸気とメタン発酵槽の加温を優先し、余剰ガスで発電を行う。 (当時、固定価格買取制度が無かったので、蒸気利用を優先した。)

4. 導入効果

(1) 汚泥処分について

バイオガスで脱水汚泥を乾燥減量化し、100%利活用している。乾燥汚泥利用実績を図-1 に示す。

	P F I 運営開始前 (平成 22 年度まで)	P F I 運営開始後 (平成 23 年度から)
汚泥処分量	脱水汚泥 1,800t/年 (含水率 74.6%) (2008 年度下水道統計)	乾燥汚泥 1,003t/年 (含水率約 42%) (令和 4 年度運営実績)
処分方法	主にセメント原料	641t 発電燃料 (販売)、 362t 肥料 (内 32.62t 一般配布)
処分費の負担と コスト変動リスク	市が処分先を確保し交渉していた。 委託先の休止、処理単価値上げリスクを抱えていた。	処分量・処分コストともに削減された。 S P C がリサイクル先を確保し、値上げリスクを負い、自ら交渉している。 市は、処分先との交渉から解放された。 現在 S P C としては、リサイクル・処分先を、4 箇所確保している。

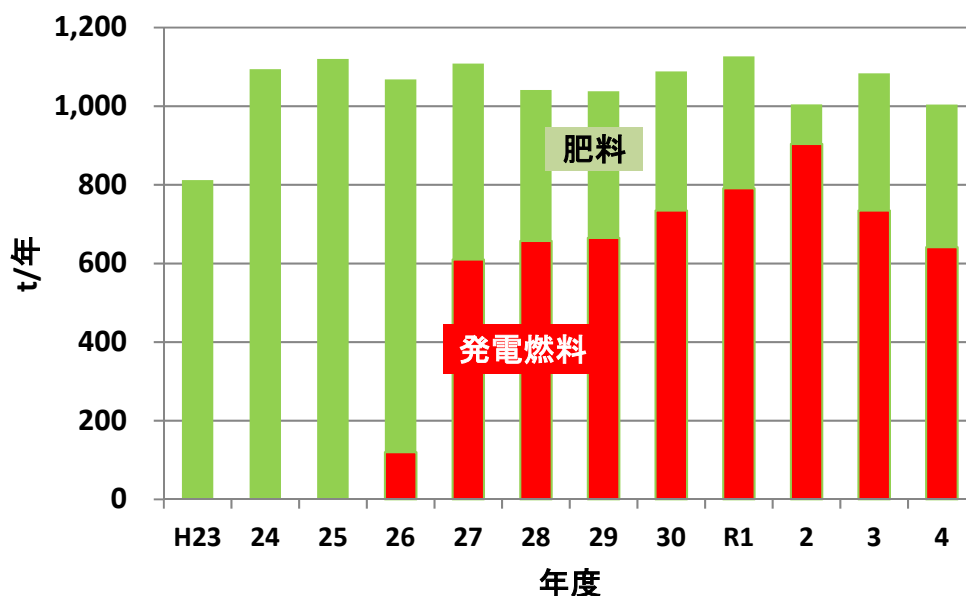


図-1 【乾燥汚泥利用実績】

(2)維持管理費の平準化について

	P F I 運営開始前 (平成 22 年度まで)	P F I 運営開始後 (平成 23 年度から)
運転管理費	毎年予算計上、単年度実施	変動費：ユーティリティ(電気・水道・薬品) 固定費：人件費・基本料金・修繕費等 サービス購入料として 15 年間一定額を支払う。
施設修繕・ 維持管理費	毎年予算計上、単年度実施 大規模修繕があると急増する。	15 年間の運営期間の総額は契約で規定。 S P C が修繕計画を調整して支払の平準化を図り、 市の予算変動を抑えている。

(3)下水汚泥等の受入状況について

令和 4 年度下水汚泥等受入実績は、人口の微減により計画量の 83.4%、県内飲料メーカーの缶コーヒー製造ラインから排出されるコーヒー粕も、生産量や製造商品の変更、定期整備等工場の稼働状況により目標調達量には達していないため、発電量が低下しており、残念ながら電力自立までには達していない。調達先の拡大が課題である。Wet ベースの受入量を図-2 に示す。

	令和 4 年度当初計画	令和 4 年度実績	達成率
下水汚泥(濃縮)・浄化槽汚泥等	26,193m ³	21,847.8m ³	83.4%
コーヒー粕等食品残渣(市調達分)	2,100t	1,888.6t	89.9%
コーヒー粕等食品残渣(S P C 調達分) (*)	1,000t	246.2t	24.6%

(*) S P C のインセンティブ(直接収入)として年間 1,000t まで独自調達可能。(契約は黒部市)

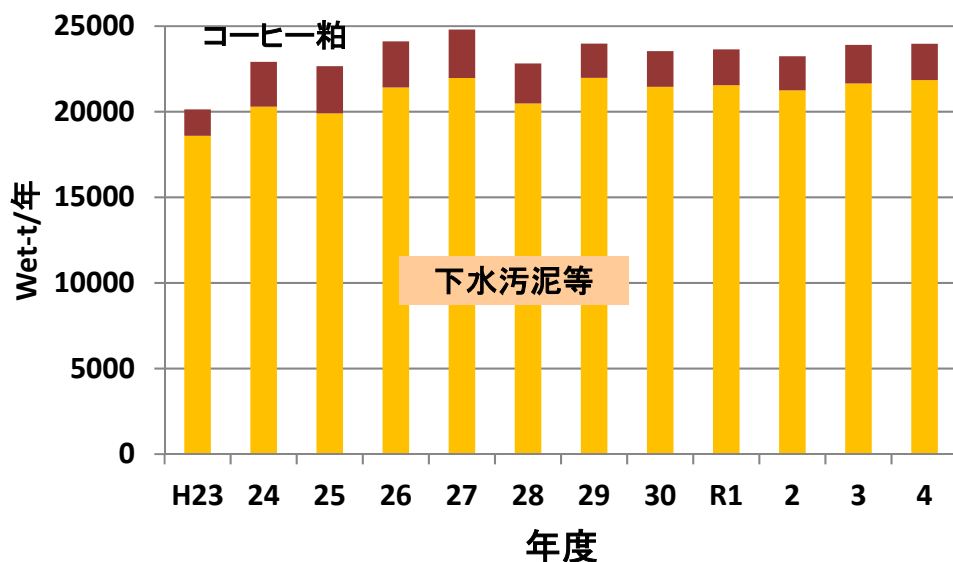


図-2 【バイオマス受入実績(Wet)】

(4) バイオマス受入量(固形分)とバイオガス発生量及び発電量の実績(図-3)

下水汚泥等とコーヒー粕の固形分量は、ほぼ同量。固形分量に応じてバイオガス発生量と発電量が追従しているが、バイオガス発生量は分解率の高いコーヒー粕の量に影響を受けやすい。

平成 25 年度は、発電量が P F I 施設の消費電力を上回ったため、電力自立と余剰電力を浄化センターに送電することもできたが、その後は発電量低下により、電力自立は達成できていない。

平成 26～27 年度はバイオガス量が増加しているにもかかわらず発電量は低下している。その原因は、バイオガスボイラのシロキサンスケール付着による蒸発効率低下と、後述 6. (4)でも触れるが、造粒設備を追加導入し 37～38%まで過乾燥させるため、乾燥機側により多く蒸気を使ったことによると考えている。

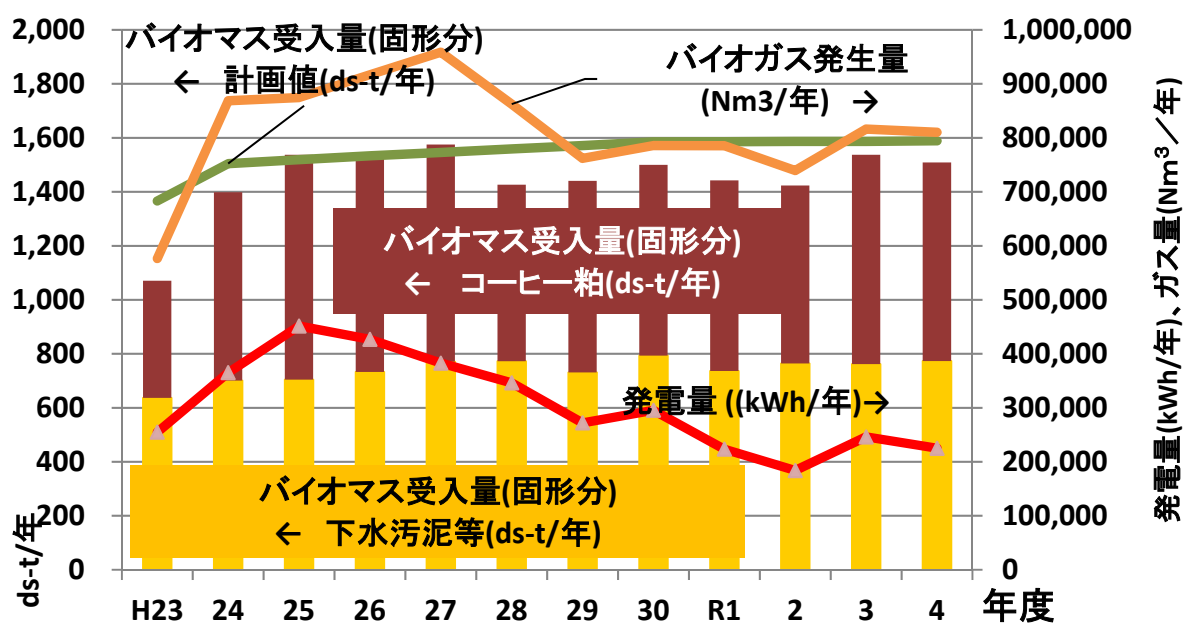


図-3 【受入量・バイオガス発生量・発電量】

(5) バイオマス混合消化による固形分減量効果

本施設では、浄化センターから発生する濃縮汚泥等とコーヒー粕を混合消化している。令和4年度のバイオマス固形分の受入量は、1,512ds-t/年。混合消化後の固形分量は589ds-t/年となっており、固形分は38.9%に減量。即ち約61%の減量効果が認められた。(図-4)

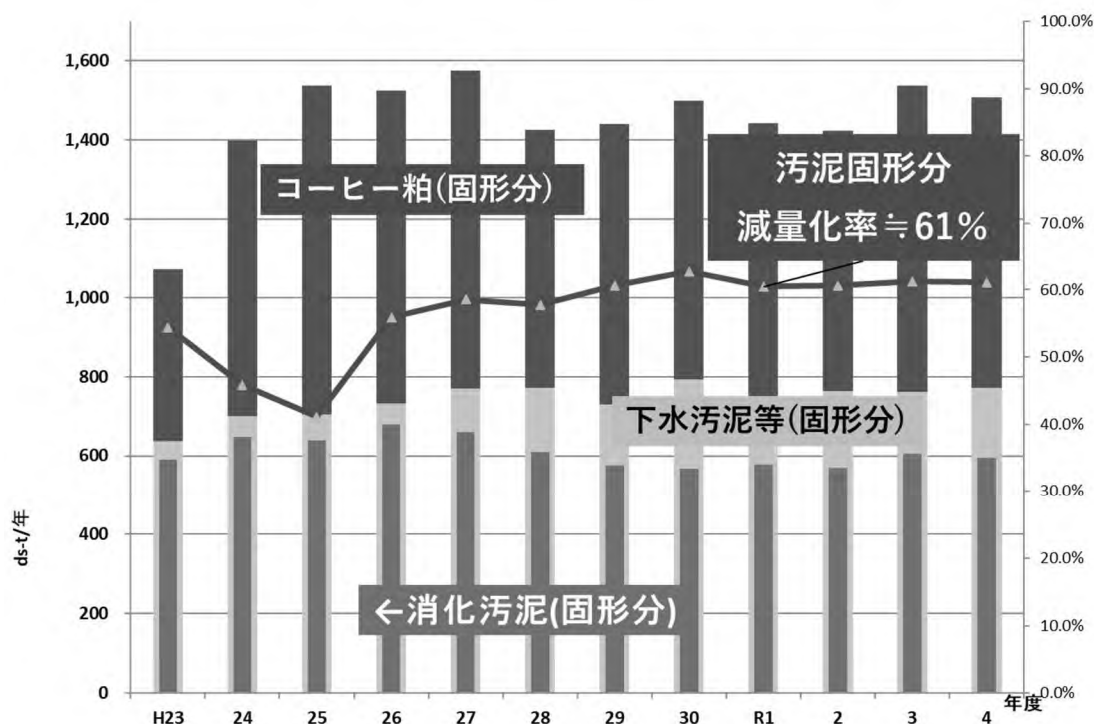


図-4 【減量効果】

(6) 地域貢献について

- ・視察、見学者：全国及び海外からも多数の視察を受け入れている。S P Cは現場説明対応。12年間で3,375人(申込人数)。年平均281人。市内産業観光ルートにも組み込まれている。
- ・足湯「ばいお〜ゆ」利用者：日中は無料開放。12年間で58,501人(記帳者数)年平均4,875人。実際は未記帳があるので更に多い。「ばいお〜ゆ」の名称は市民公募により命名されたものである。
- ・視察者・足湯利用者ともに2020年から新型コロナウイルス感染拡大の影響で激減した。
- ・イベント参加：市が主催する「黒部名水マラソン」や下水道事業のPRを目的とした「アクアパークフェスティバル」への協賛と参加。ランナー、ボランティア、出店等でS P Cグループ企業から20~30名参加。2020~21年は中止となったが、2022年から3年ぶりに再開されている。



【足湯ばいお〜ゆ】



【第40回黒部名水マラソン大会 2023. 5. 27-28】



【アクアパークフェスティバル 2023】



5. 本事業に関わるステークホルダーの評価

【黒部市】

初期目的を概ね達成し、汚泥処分のストレスとリスクから解放され、費用対効果も出ている。

【コーヒー粕等排出事業者】

ほとんど県外処分に頼っていたが、県内で食品リサイクル法に準拠した受入先が確保でき、処分先のリスク分散もできた。SDGsにも貢献。

【汚泥有効利用事業者(発電・肥料)】

バイオマス燃料として使用しCO₂削減。農地還元による循環型社会に貢献。

【SPC・民間事業者】

長期安定売上と雇用が確保された。市とSPCのリスク分担のバランスがよく、適度なインセンティブもあるため、事業のやり甲斐がある。

6. 下水汚泥の有効利用について

黒部浄化センターでは、ベルトプレスで脱水した脱水汚泥(含水率約81～82%)をバイオガスボイラの蒸気で間接加熱乾燥しており、含水率約42%の乾燥汚泥が年間1,000～1,100t発生している。

主な利用先は、富山県内製紙工場へ発電ボイラ(発電出力は23,700kW)の燃料で約800tを有価販売。

残り200～300tは、製紙工場の定期点検整備等で汚泥の受入ができない時のバックアップとして県内産業廃棄物処理事業者(以下、「産廃事業者」という)に堆肥化を条件に処分を委託しており、全量有効利用されている。(図-1)

(1) 発電燃料

製紙工場のボイラは、コークス、廃タイヤチップ、RPF、木屑、汚泥との混焼ボイラで、汚泥混焼率は、約1～2%。(3%までは可能とのこと)



【製紙工場のボイラ】



【燃料投入室】



【木屑ホッパに汚泥を投入】

乾燥汚泥の低位発熱量は18,800kJ/kgで石炭25,000～29,000kJ/kgの2/3程度の熱量を持っている。

項目	結果	検査方法
水分	40.6 %	下水試験方法 第5編 第1章 第6節
灰分	18.5 %	下水試験方法 第5編 第1章 第7節
低位発熱量	18,800 kJ/kg	JIS K2279 5

(令和5年7月の分析結果より抜粋)

製紙工場からは、「化石燃料の代替燃料としてバイオマス資源を循環利用することで、CO₂削減、環境保全の取組を推進でき、企業CSRにも貢献している。今後も継続して利用したい。」とのコメントを頂いている。

(2) 市民向け配布肥料

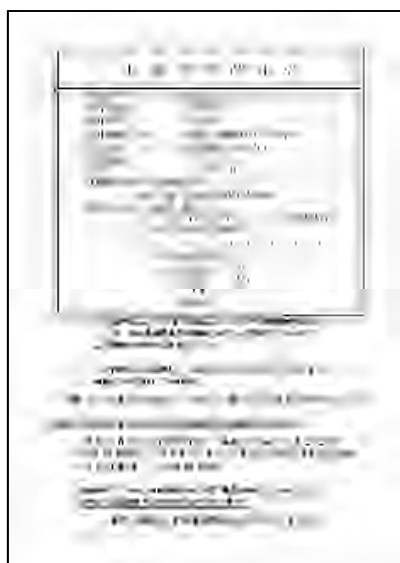
黒部市では、圧倒的に水稲(稲作)が多く、耕地面積 2,341ha の内 2,195ha(94%)が水田であり、大規模な畑作はほとんどない。(これは、富山県全体の傾向でもある。) 現在の黒部市内の汚泥利用先は、家庭菜園だけ。

乾燥汚泥は、「くろべ緑花王」という商品名称で肥料登録しており、3月から10月にかけて年8回程、市民へ無料配布している。毎回20～25名の方が来られ、配布量は年間約30t。ほとんどが家庭菜園向け。<https://www.city.kurobe.toyama.jp/category/page.aspx?servno=31481>

肥料成分は、N:P:K=3.4%:2.8%:0.1%。C/N比10。

カリウムが少ないので、化成肥料と混ぜてお使い頂くようご案内している。

また、重金属類は、全て基準値以下または定量限界以下で、安全性は保たれている。



【肥料生産業者保証票】

黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設(黒部浄化センター内)では、下水道汚泥やデイスポージャー生ごみ等とコーヒー粕を混ぜ合わせ、肥料にしています。
肥料は、「くろべ緑花王」という名前で登録されています。

また、この「くろべ緑花王」は3月から10月までの月1回(4月のみ2回)、利活用施設において無償提供しています。
日時については、広報くろべやホームページ等でお伝えしますので、ぜひご利用ください。
(※要事前申込、各回定員になり次第締切。)

<肥料の主な成分含有率>

窒素全量	3.4%	りん酸全量	2.8%	加里全量	0.1%	炭素窒素比	10
------	------	-------	------	------	------	-------	----



【肥料一般配布の広報／市HPより】

肥料配布の日に、市民数名に「この肥料は使ってみてどうですか?」と聞いてみたところ、「タダだからいい。」「ブロッコリー、里芋の成長がよい。2～3割は大きくなる。小松菜にもいい。」と、概ね好評だった。しかしながら、一方では、「下水汚泥は重金属とか入ってそうで不安」とのネガティブイメージもあり、「園芸用に使うが食べ物には使わない。」と言われる方もある。臭いについては、「牛糞と鶏糞を混ぜたような臭い。」消化汚泥はまさにそんな臭いなので、牛糞や鶏糞肥料を使っている方には、あまり抵抗はないようだ。但し、周辺の民家に対しては「そのまま置いておくと臭いので、肥料を撒いたらすぐに土をかぶせる。そうすれば大丈夫。」と臭い対策には気を使っておられる。



【肥料配布の順番待ち】



【職員手作りの袋詰め装置】



【収穫されたブロッコリー】

(3) 産廃事業者による堆肥製造

燃料以外の年間 200～300t は県内産廃事業者に堆肥化を条件に処分を依頼している。

産廃事業者では、堆肥原料として利用する部分と、高水分汚泥用乾燥機の熱風発生炉の燃料として焼却する部分がある。その比率は季節により変動し、肥料：燃料＝7：3～4：6 程度とのこと。

黒部の乾燥汚泥は他所から持ち込まれる脱水汚泥より含水率が低いため、水分調整剤として混ぜて使っているとのこと。

製造された堆肥の出荷先は、主に長野県南アルプス方面の高原野菜栽培が盛んな地域。キャベツ、レタス等の大規模農家向け。需要は十分あるとのことだったが、継続性を保つには、利用者、堆肥加工販売事業者、個別農家との日常的なコミュニケーションとご要望伺いは大変重要とのこと。

また、この産廃事業者は、産廃業以外に養蜂やレストラン事業も経営されており、県内で閉鎖となったスキー場跡地に施肥し、ヒマワリを栽培して蜂を飼い、そのはちみつを自社レストランで出している。ピザにとっても合う。はちみつの生産量はわずかなので、はちみつの単品販売はしていない。

但し、食べ物を扱う側としては、下水汚泥肥料を使っていることは積極的には公表していないとのことだった。

これは、利用者の本音だと思うので、我々出荷する側としては、商品名や下水汚泥由来である等の開示には気を使わなければならないところと感じている。



【下水汚泥からはちみつ】

(4) 乾燥汚泥の荷姿

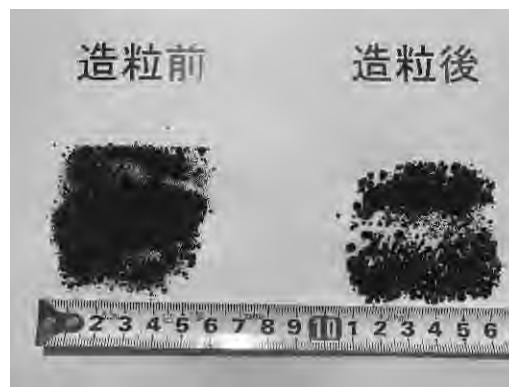
本 P F I 施設の汚泥乾燥機は、蒸気による間接加熱式ディスクドライヤーで、蒸気温度は 130～140℃ の低温乾燥である。乾燥時の臭気を抑えるためにそのようなスペックを採用した。

P F I 事業開始時の 2011 年には、汚泥燃料の JIS 規格(2014 年制定)がなかったため、①乾燥エネルギーの節約、②粉塵抑制のため乾燥し過ぎないこと、③最終的には受入事業者との協議により含水率を 40%程度に設定した。

しかしながら、40%でもかなりの粉塵で、乾燥汚泥搬出室が粉塵だらけになり現場作業員の労働環境悪化に繋がったり、受入側からも粉塵と臭気のクレームが出たため、平成 26 年度に乾燥機の後段に二

軸パドル式の造粒装置を追加した。バインダーは使わず、37～38%に乾燥した粉末状の汚泥に水を噴霧しながら造粒して、約40%に仕上げている。乾燥直後のサイズは1mm以下の粉状。造粒後は2～5mmの顆粒状。例えていえば、インスタントコーヒーの粉と顆粒の違い。

これにより、粉塵問題は解決した。更に発電燃料として出荷する際は、臭気抑制対策として、出荷時に消臭剤（マスキング剤）を噴霧している。これにより臭気問題も解決し、現在に至っている。



(5) 造粒は必要

粉塵対策、運搬、撒きやすさ、臭気対策、製品イメージの面から造粒は必要と考える。要求される造粒サイズや硬さ等は、利用先により異なる。造粒製品製造のためにデキストリン等のバインダーを使うケースがあるが、そこまでコストをかけられないので、ここでは水だけで造粒している。利用者が多岐にわたる場合、全ての要求に応えるのは現実的ではないので、粉塵が抑えられて、輸送中もある程度形状が維持されていれば良いと考える。

筆者は今年6月に東京蒲田で開催された肥料フォーラムに参加した。肥料向けには4～8mm程度のペレットが使いやすいと聞き、ペレット製造機も2、3社出展されていたが、どの機種が最適かはよくわからない。その辺に詳しい方から、ご教示頂けると幸いである。また、今後は化成肥料との混合肥料が有効との話も興味深かった。

7. 生ごみとコーヒー粕の増量キャンペーン

エネルギー自立を達成するには、ディスポーザー生ごみやコーヒー粕の増量が必要である。

黒部市では、本事業の当初から、ディスポーザー導入を積極的に推進しており、市内約15,700世帯の内約1,500世帯に設置が進んでいる。家庭から出る可燃ごみ重量の約40%が生ごみと言われ、これを下水道で収集しバイオマス利用することで、ごみ収集・焼却処理コストも減らせる。

今年2月に、「ドリップコーヒーの粕は、ディスポーザーが無くて下水に流して！」と市のホームページで広報し、収集手間とコストをかけずにコーヒー粕を集めるキャンペーンを推進中である。この記事が全国紙やNHKのニュース番組でも取り上げられ、市民や市内外の珈琲店からも反響があった。

<https://www.city.kurobe.toyama.jp/news/detail.aspx?servno=32618>

市ホームページ「コーヒー粕は下水へ（脱炭素の取組）」

2023年3月8日更新 | このページを印刷する

黒部市にお住まいの下水道に接続された皆様へ。

ご家庭で飲まれるドリップコーヒーの粕はどのように処理されていますか？
ほとんどの皆様は、これまで可燃ごみとして処理されているかと思われます。

黒部市では現在、下水道バイオマス利用事業として平成23年度から下水汚泥とコーヒー粕を混せてメタン発酵処理を行い、発生したバイオガスを熱源に「バイオマス発電」のほか、乾燥させた汚泥を「燃料」や「肥料」としてリサイクルしております。

【この取組による効果】

- ・バイオガス発生量：年額100万m³（灯油にしてトナリ玉 約3,000本に相当）
- ・CO₂削減量：年額約1,000t（一般家庭 約200世帯分に相当）
- ・発電量：年額約39万kWh（一般家庭 約90世帯分の電力供給に相当）

コーヒー粕はエネルギー効率が良く、主に道路の養分供給から農産物加工センターへ運搬しておりますが、さらに下水道バイオマスエネルギー利用用に取り替えるため、市街から約10kmを下水管を通して回収したいと考えています。

これまで家庭からのコーヒー粕は、可燃ごみで処理されていましたが、回収が難しく下水管に流れておりました。

流し方は簡単！流し台から配置が難しいように流水の水と一緒に流して下さい（約10～20秒）なので量が多すぎは不要です。

※なお、ペーパーフィルターは絶対に流さないでください。

また、合併浄化槽でも流していただけますが、水量に依存して処理管理の確保が難しいことが想定されるためお断りいたします。

この取組は、黒部市の下水道のみ対応できる取組ですので御注意下さい。

【メリット】

- ・可燃ごみ削減→CO₂削減に寄与
- ・発電コストゼロ
- ・バイオガス：発電量の増加につながる

流し方のチラシを添付しましたのでご参照ください。

【☑️】コーヒー粕は下水へ（PDF220KB）



【黒部市HPより】

今年 8 月 27 日に開催された アクアパークフェスティバルでの浄化センター見学会の際にも、台所からコーヒー粕を流す実演をしたところ、参加者の反響は大きかった。さらに黒部市外の来場者からは、「うちの市でもコーヒー粕を流せたらいいの」との声も聞かれた。

今のところ、まだ始めたばかりの取組なので増量の実感はないが、今後の効果に期待したい。



【コーヒー粕流し 実演】

8. まとめ

以上、黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用事業における下水汚泥の有効利用状況について報告した。

本事業は、下水道汚泥とコーヒー粕の混合消化により、エネルギー自給と汚泥の 100%有効利用を実現した下水道事業では国内初の P F I であり、「下水道バイオマスの利活用」という初期目的は達成していると言える。電力自立については未達だが、コーヒー粕の調達拡大や下水処理施設に太陽光発電を増設すれば、電力自立も可能となる。

勿論、県内で発電燃料や堆肥原料として受け入れて頂いている事業者と、エネルギー源であるコーヒー粕を提供して下さる飲料メーカー、それらの運搬を担当して頂いている収集運搬事業者の存在と協力なくしては成り立たない。

本稿を通じて、本事業を推進された黒部市様のご英断に敬意を表し、関係各位の多大なるご協力に感謝申し上げます。

【参考文献】

- ・大矢佳司【黒部市下水道バイオマスエネルギー利活用施設整備運営事業(P F I)の運営報告】(2020年度下水道研究発表会投稿)
- ・統計黒部 R4

問合せ先：黒部Eサービス株式会社 TEL 0765-54-0737(維持管理事務所)

水 ing 株式会社 大矢佳司 TEL 090-9397-2681(直通)

E-mail oya.yoshiji@swing-w.com