

N-1 下水汚泥の油温脱水処理プラントにおける重金属の挙動について

福井工業大学建設工学科 ○高島正信
京都大学環境質制御研究センター 松井三郎

1. はじめに

油温脱水法は廃食用油を熱媒体として減圧下で汚泥を加熱脱水する方法である。脱水汚泥を含水率6%前後にまで乾燥することができ、こうして得られた製品を肥料として直接リサイクルできるメリットを有する。したがって、油温脱水処理プラントは、下水汚泥と廃食用油の処理のみでなく、それらを原料とした肥料製造プラントでもある。本研究では、汚泥の緑農地利用に際してしばしば問題になる重金属に着目し、実際に下水汚泥を処理している油温脱水処理プラントにおいて重金属の挙動を確認することを目的として処理前後における重金属量調査を実施した。

2. 実験および分析方法

2.1 処理フローとサンプリング場所

調査した油温脱水処理プラントの処理フローを図-1に示す。このプラントでは、投入量が脱水汚泥4～5トン、廃食用油4～5トンで、処理温度110℃、処理圧力-700mmHg、処理時間75～90分のバッチ処理を1日数回実施しており、平成6年9月中の1バッチについて詳細な調査を行った。クッカーおよび遠心分離機回りの物質収支を見るために、脱水汚泥（原料）、乾燥汚泥（製品）、廃食用油の処理前と処理後、排水、および排水処理余剰汚泥についてサンプリングした。排水は脱水された水分と加温のため加えられたスチームが凝縮して生じたものであり、この排水を処理することによって発生した余剰汚泥も外部に搬出せず、クッカーへ返送されていた。

2.2 分析方法

重金属分析のために用いた試料の前処理法を表-1に示す。原料、製品、排水および余剰汚泥については王水（硝酸＋塩酸）による湿式分解法を用い、廃食用油については乾式灰化法¹⁾を適用した。乾式灰化法は処理過程における重金属の損失が懸念され一般には用いられないが、湿式分解が困難であったためにやむ終えずこの方法を採用した。

重金属濃度の測定には高周波プラズマ発光装置（島津製作所ICP-1000Ⅱ）を用い、重金属としてCd、Cr、Cu、Ni、PbおよびZnの6種を対象とした。使用した波長は、Cd226.502nm、Cr206.194nm、Cu324.754nm、Ni221.647nm、Pb283.307nm、Zn213.856nmであり、濃度算出にあたってはバックグラウンド補正とピーク位置のずれ補正を行った。

この他の分析は下水試験方法²⁾に従ったが、油分についてはジエチルエーテル抽出法により粗脂肪として

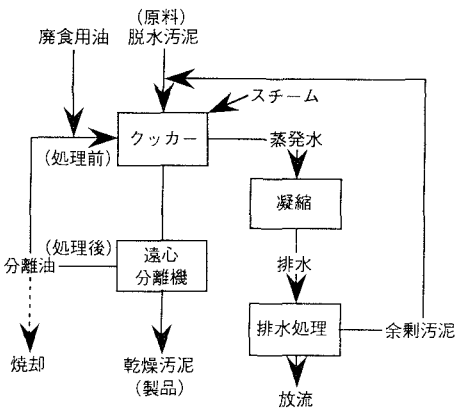


図-1 処理フロー

表-1 前処理法と試料量

	前処理法	試料量	最終量
原料	王水煮沸	2gDS	100ml
製品	王水煮沸	2gDS	100ml
廃食用油—処理前	乾式灰化	25g	50ml
廃食用油—処理後	乾式灰化	25g	50ml
排水	王水分解	500ml	50ml
排水処理余剰汚泥	王水分解	100ml	50ml

測定する方法²⁾を採用した。

3. 結果および考察

3.1 重金属濃度

分析結果を表－2に示す。まず、原料および製品汚泥中の重金属濃度は、肥料取締法に基づく特殊肥料等の基準Cd5mg/kgDS、農水省の有機質肥料等の推奨基準Cu600mg/kgDS、Zn1800mg/kgDSを十分に下回っていた。汚泥と油の比較では、廃食用油の単位重量当たりの重金属濃度は乾燥重量ベースの原料や製品より相当低く、重金属ごとに異なるが1/15～1/100の範囲であった。排水については、前処理で濃縮しないと検出できないほどその重金属濃度は低かった。

次に、処理前後で各重金属濃度を比較すると、汚泥に関しては原料の1に対し製品の0.76～0.98と、対象とした全ての重金属について原料より製品の方が低くなった。また、油に関しては、Znを除き、処理前の1に対し処理後の1.05～1.23と処理後の方が高くなった。これは主に、汚泥由来の微細な懸濁成分が油中に残存したためと思われる。Znだけは逆に、処理後油中では0.59と濃度が6割程度に減っていた。

3.2 物質収支

油温脱水処理、すなわちクッカーおよび遠心分離器回りの固形分（油分を除く）、油分および水分の物質収支を図－2に示す。実プラントであるがゆえに調査に制限があり、現場では処理された側（製品および処理後油）の重量を通常測定していないため、ここでは油温脱水が施されても水分量以外は変化しないと仮定して1バッチ当たりの固形分と油分の量は計算で求めた。排水の量についても、実測された1日当たりの量から汚泥投入量に基づいた比例配分で1バッチ当たりの量を算出したが、脱水水分量のみよりかなり低く、過小評価されている可能性がある。一方、油分については、原料中の含有率は比較的一定であるので過去の平均値を用い、また、排水余剰汚泥中ではゼロと仮定した。

図－2を基に重金属に関する物質収支を算出してみると図－3のようになる。投入側（原料、処理前油と排水処理余剰汚泥）側に対し処理側（製品、処理後油と排水）84～119%となり、実施設での測定としては比較的良好な回収率が得られたと思われる。投入側を個々にみても、原料汚泥に由来する量が圧倒的に多いが、CuとNiは処理前油から、CdとPbは余剰汚泥から持ち込まれる割合が高くなっている。処理側については、排水へは極めてわずかの量（0.03～0.11%）しか移行していないことがわかる。

これら物質収支と表－2の濃度を併せて油温脱水の影響をみると、原料では油分含有量0.024 tだったものが、製品では0.351 tと0.327 t増加し（油分含有率としては3.1%から32.2%への増加）、その結果、製品の油分を含めた総固形物量が増えている。一方、処理前油の重金属濃度は原料汚泥の数十分の1であることから、製品では増えた油分によって希釈されて（希釈率およそ7/10）単位重量当たりの重金属濃度が低くなると考えられる。また、廃食用油については、上記のように、Znを除いて処理後に重金属濃度が少し高くなったが、油分中の重金属濃度が汚泥に比べ低いのに加え、処理後油重量そのものも減ったことにより、油温脱水処理前後における廃食用油中の重金属量の増減はCd±0.0 g、Cr+1 g、Cu-1 g、Ni+1 gおよびPb+1 gと、全体量からすると極めてわずかであった。

表－2 分析結果

		C d	C r	C u	N i	P b	Z n
原料	mg/kgDS	3.0	120	283	48	101	1050
製品	mg/kgDS	2.3	92	223	43	99	854
廃食用油－処理前	mg/kg	0.068	3.6	4.6	2.7	1.9	18
廃食用油－処理後	mg/kg	0.077	4.2	4.8	3.0	2.4	11
排水	mg/ℓ	0.0011	0.0078	0.072	0.0093	0.024	0.084
排水処理余剰汚泥	mg/ℓ	1.1	2.8	2.3	1.7	25	23

一方、Znについては109%と良い回収率の状態で、処理前油中に83 g 含まれていたものが処理後油中に45 g とその量が半減していたことから、Znのみ半量近くが処理前油から製品の方へ移行したと考えられる。このような状況でも、製品では油分による希釈効果が大きいので重金属濃度が低くなると考えられた。

Znのみ油分から污泥の方へ移行する理由は明らかでないが、高い存在濃度、両性元素（ただし、Pbも両性）というような特性を有すると、このような挙動を示すのかもしれない。また、このバッチで用いた廃食用油は使用回数が多く汚れていたということなので、その汚れ具合（つまり、処理前油中の濃度）によりバッチごとに挙動が異なる可能性もある。何分、重金属と油分に関する基礎データが極めて少ないので、明確な理由付けを行うには今後さらに研究を進める必要がある。

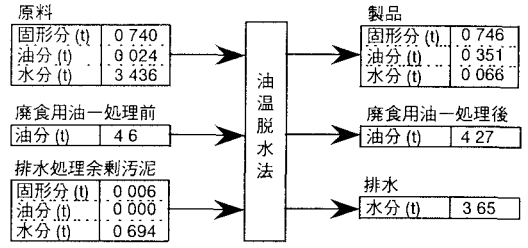
4. まとめ

廃食用油を用いて減圧下で下水污泥を加熱脱水する油温脱水法の実プラントにおいて、6種（Cd、Cr、Cu、Ni、PbおよびZn）の重金属の挙動を調査した。

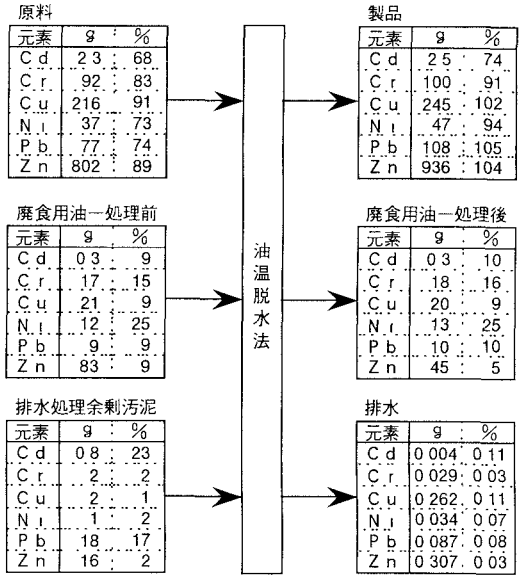
- 1) 乾式灰化法は、今回対象とした重金属については、回収率を基に判断すると油中の重金属分析のための前処理法としてはば問題ないと思われた。
- 2) 廃食用油について、その重金属濃度は原料や製品污泥の乾燥重量ベース濃度の数十分の一であった。処理前より処理後の重金属濃度がやや高くなる傾向が見られたが、Znだけは逆に処理後に濃度が半減した。
- 3) 下水污泥については、原料より製品の方が重金属濃度が低かった。製品では原料に比べて油分含有率が30%近く増加するが、増えた油分によって希釈されることにより製品中の重金属濃度は低くなると推定された。また、油温脱水処理により污泥と油分の間を移動する重金属量は極めてわずかと考えられた。ただし、Znのみは処理前油中に存在していた半量近くが製品污泥の方へ移行するという、他の重金属と異なる挙動を示したが、それでも油分による希釈効果により製品中の重金属濃度は低くなった。
- 4) 脱水された水分や加温のため加えたスチームが凝縮した排水については、重金属濃度は非常に低かった。

参考文献

- 1) (社) 日本下水道協会、1984：下水試験方法—1984年度版—
- 2) 日本薬学会、1990：衛生試験法・注解、金原出版（株）



図ー2 固形分、油分および水分に関する1バッチ当たりの物質収支
注) 固形分には油分を含まない。



図ー3 重金属に関する1バッチ当たりの物質収支
注1) 単位%は、投入総量に対するパーセント。
注2) 総回収率%は、Cd: 84、Cr: 107、Cu: 111、Ni: 119、Pb: 115、Zn: 109。