

フィルタープレスによる日本画廃液の処理

藤井 邦彦^a、富沢 美紀

筑波大学総務部リスク・安全管理課

〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学の無機系廃液処理施設は 2024 年 6 月をもって廃液の処理運転を終了し、自前処理から外部処理委託へ移行した。

移行に伴い、無機系廃液処理施設にて処理をしていた廃液のうち、顔料インクである日本画廃液について、施設の一部であるフィルタープレスをを用いて引き続き自前処理が可能か検討した。その結果、良好な結果が得られたので報告する。

キーワード：無機系廃液処理施設、日本画廃液、フィルタープレス

1. はじめに

国立大学をはじめとする大学等において、試験研究等に伴って発生する実験系廃棄物は、原点処理の観点のもと、各大学等内に処理施設を設置し自前処理を行ってきた^[1,2]。本学でも 1974~79 年にかけて規程・規則を整備し、廃棄物の管理に関する委員会の設置をするとともに各種廃棄物処理施設を設置し^[3]、実験系廃棄物の自前処理を行ってきた(表 1)。これらの施設のうち、焼却処理施設(廃溶媒等焼却処理施設、一般実験動物焼却炉および有害実験動物焼却炉)については、ダイオキシン問題を機に 2001 年 3 月までに稼働を停止し、外部委託処理に移行した。

表 1. 筑波大学の廃棄物処理施設の沿革

廃棄物処理施設名	設置・更新	稼働停止
無機系廃液処理施設(凝集沈殿法)	1975.3	1999.6
廃溶媒等焼却処理施設	1976.8	2001.3
一般実験動物焼却炉	1976.9	1999.3
有害実験動物焼却炉	1979.6	1995.3
無機系廃液処理施設(鉄粉法)	1999.7	2024.6

一方、本学の無機系廃液処理施設は、凝集沈殿処理方式の施設が 1975 年 3 月に設置された^[3]。設置から 24 年後の 1999 年 7 月には処理施設の老朽化に伴い、処理方式を鉄粉法とした施設に更新した^[4]。その更新から 25 年が経過し、再び施設の老朽化が進んできたこと、更新費用の捻出が難しいことなどの理由から、2024 年 3 月 1 日までの回収分の処理をもって施設の処理運転を終了した。以降、学内で発生する無機系廃液は、他の実験系廃棄物同様、産業廃棄物処分業者への外部委託処理に移行した¹。

上述の凝集沈殿法や鉄粉法は、無機系廃液の処理プロセスのひとつである。この処理プロセスには、

pH 調整のほか、廃液中に溶解している有害物の無害化や、重金属の固液分離などがある。具体的には、次亜塩素酸ナトリウム等によるシアン¹の酸化分解プロセス、硫酸第一鉄等により六価クロムを三価に還元処理するプロセス、ポリ塩化アルミニウムまたは鉄粉等を添加することにより、廃液中に溶解している重金属類をフロックと呼ばれる沈降性・圧密性の高い粒子にする凝集プロセス、および生成した重金属を含む粒子を固液分離により廃液中から除去するプロセス等がある。

固液分離処理は重力沈降でも可能であるが、廃液処理では短時間かつ大量に処理する必要があることから、圧力をかけてろ過を行うフィルタープレスをを用いることが多く、本学の無機系廃液処理施設でも固液分離に使用していた。

無機系廃液処理施設で処理を行っていた廃液のひとつに芸術系日本画廃液がある。日本画の制作では、岩絵具と呼ばれる天然鉱物を細かく砕いた不溶性の顔料が用いられる。その成分としては、アルミニウム、コバルト、亜鉛、銅といった重金属の他、カドミウム、鉛、クロム、ヒ素、水銀、セレンといった廃棄物の処理及び清掃に関する法律(昭和 45 年法律第 137 号)に規定される有害重金属を含んでいる^[5]。近年では、人体や環境負荷への影響から人工的に作られた合成有機顔料も普及してきているが、天然物であるが故の独特の色合いから天然鉱物顔料を好んで使用される場合も依然として多い。

これらの日本画廃液中に含まれる重金属類は全て不溶性であるため、基本的にろ過のみで処理が可能である。少量の廃液を処理する場合は、明礬(硫酸アルミニウムカリウム)および消石灰(水酸化カルシウム)を添加して新聞紙等によりろ過処理を行う方法もある^[6]。

2024 年 6 月まで実施していた無機系廃液処理施設の運転では、各種薬液を用いた酸化還元・pH 調整、鉄粉・凝集剤添加などの複雑なプロセスが必要であったが、前述の通り日本画廃液については、その性状から、ろ過処理のみ、即ちフィルタープレス処理だけで処理ができる可能性がある。

フィルタープレス処理によって、処理水と重金属類との固液分離ができ、かつ処理水に含まれる有害重金属類の濃度が霞ヶ浦常南流域の下水排除基準(表 2)以下まで低減化できれば、処理水は公共下水道に排除できる。その結果、実験系廃棄物として外部委託処理が必要なのはろ過された重金属のみとなるため、大幅な処分費用の削減が期待できる。

本報告では、上記の点に鑑み、日本画廃液のろ過処理について、ラボスケールおよび実機(無機系廃液処理施設のフィルタープレス)にてろ過処理を行い、

^a fujii.kunihiko.ga@un.tsukuba.ac.jp

¹ <https://anzenkanri.tsukuba.ac.jp/?p=47151> (学内専用)

有害重金属濃度を下水排除基準以下にまで低減できるかを検討した。

表 2. 霞ヶ浦常南流域の下水排除基準²
(重金属等)

単位:mg/L

項目	下水排除基準
カドミウム(Cd)	≦0.03
鉛(Pb)	≦0.1
六価クロム(Cr(VI))	≦0.2
ヒ素(As)	≦0.1
総水銀(Hg)	≦0.005
アルキル水銀(R-Hg)	検出されないこと
セレン(Se)	≦0.1
ホウ素(B)	≦10
フッ素(F)	≦8
銅(Cu)	≦3
亜鉛(Zn)	≦2
溶解性鉄(Fe)	≦10
溶解性マンガン(Mn)	≦1
全クロム(T-Cr)	≦1

2. 実験方法

2.1 処理対象廃液

本学芸術専門学群日本画領域で発生した日本画廃液を対象とした。廃液は、朱・辰砂等の水銀系日本画廃液と水銀系以外の日本画廃液を別々に 10 L 容ポリタンクに貯留しており、年に数回、1 回につき 100 本程度が無機系廃液処理施設に搬入される。本報告では水銀系以外の日本画廃液についてフィルタープレス処理の検討を行った。

2.2 0.1%凝集剤溶液の調製

MT アクアポリマー株式会社製アコフロック N-100(ポリアクリルアミド系ノニオン性粉末高分子凝集剤)を 0.0579 g 量り取り、50 mL の純水に溶解した。

2.3 シリンジフィルターによるろ過処理

500 mL 容ビーカーに日本画廃液を 500 mL 注ぎ、0.1%凝集剤溶液を 1 mL 添加し、マグネチックスターラーで 15 分攪拌した。次いで、5A ろ紙(ADVANTEC 製)でろ過し、更に Puradisc シリンジフィルター(孔径 1 μm、材質 PES、直径 25 mm、グローバルライフサイエンステクノロジーズジャパン株式会社製)でろ過した。対照として凝集剤を添加せずにろ過処理を行った系も作成した。

2.4 フィルタープレスによるろ過処理

本報告で使用した無機系廃液処理施設のフィルタープレスユニットは、ヒ素・フッ酸系廃液の前処理設備として使用されていたもので、原水槽(500 L 容、FRP 製)、フィルタープレス(300 L 容、FC 及び PP

製)、処理水槽(500 L 容、FRP 製)から構成されている(図 1)。

ろ過処理は次の手順にて行った。

まず無機系廃液処理施設に搬入された日本画廃液を水中ポンプ(SL-102、寺田ポンプ製作所製)を用いてポリタンクから原水槽へ移送した(図 2)。

次に原水槽内を既設の攪拌機で攪拌した後、ダイヤフラムポンプ(1.5 kw)を用いて原水槽からフィルタープレスへ加圧ろ過した。ろ液はフィルタープレス下部に設置されたバットに滴下・集水され、配管を通じて処理水槽に貯留されるようになっている。

処理水槽を攪拌して採取し処理水試料とした。

なお、フィルタープレスユニットは、ろ過処理水の透視度が低いなど再処理が必要な場合には、処理水槽から原水槽へポンプを用いて返送し、再度フィルタープレス処理ができる構造になっている。



図 1. フィルタープレスユニット外観



図 2. 日本画廃液の原水槽への移送の様子

2.5 測定項目および測定方法

重金属を含む廃液の処理で最も気を付けるべき項目は水銀である。この理由としては、霞ヶ浦常南流域における重金属類の下水排除基準(表 2)において、水銀の基準値が最も低いことや、国内のほぼ全ての水銀系廃棄物は、処理単価の比較的高額な特定の産業廃棄物処理業者でなければ処理ができないことが

² <https://www.city.tsukuba.lg.jp/soshikikarasagasu/jogesuido/kyokujogesuidogyomuka/gyomuannai/3/1/24424.html>

あげられる。このことから、水銀濃度を処理の指標として測定することとした。

シリンジフィルターまたはフィルタープレスでろ過処理をした処理水は、工業用水・工場排水試験方法-第3部 JIS K 0102-3:2022 の 25.2.3 加熱気化-金アマルガム捕集原子吸光分析法に従い、加熱気化水銀測定装置 MA-3000(日本インスツルメンツ株式会社製)を用いて測定した。

汚泥等の固形成分中の重金属の組成分析については、蛍光 X 線分析(XRF)装置 Epsilon3(マルバーン・パナリティカル社製)を用いて測定した。

また、日本画廃液原水およびフィルタープレス処理水に含まれる水銀を含む重金属濃度(表 2 に示す下水排除基準に定められた項目)については、計量証明事業所に水質分析を依頼した。

3. 結果および考察

3.1 シリンジフィルターによるろ過処理

芸術専門学群日本画領域から回収した日本画廃液原水に 0.1%凝集剤を添加し、5A ろ紙でろ過後、凝集剤添加・無添加のろ液をそれぞれ孔径 1 μm のシリンジフィルターにてろ過し、そのろ液の水銀濃度を測定した。

その結果を表 3 に示す。シリンジフィルターろ過により、日本画廃液中の水銀濃度を下水排除基準値以下まで処理できることが分かった。また、凝集剤添加処理の有無による水銀濃度の差は認められなかった。このことから、ろ過処理水中の水銀は、溶存しているのではなく懸濁状態であり、凝集剤無添加のろ過処理にて十分処理が可能なが考えられた。

表 3. シリンジフィルターによるろ過結果

項目	水銀濃度[mg/L]
日本画廃液原水	0.49
処理水(凝集剤添加)	0.0036
処理水(凝集剤無添加)	0.0037

3.2 フィルタープレスによるろ過処理 1

フィルタープレスの操作確認を兼ねて、フィルタープレスによる日本画廃液の処理機能の確認を行った。日本画廃液原水と処理水の結果を表 4 に示す。

表 4. フィルタープレスによる処理結果
単位:mg/L

項目	日本画廃液原水	日本画廃液処理水	処理水の基準値超過
Cd	0.52	0.18	○
Pb	36	—	
Cr(VI)	—	—	
As	<u>0.01</u>	<u>0.06</u>	
Hg	<u>0.49</u>	<u>0.41</u>	○
R-Hg	—	—	
Se	0.02	0.01	
B	13	12	○
F	<u>5.9</u>	<u>12</u>	○
Cu	4.9	0.7	

Zn	5.8	2.7	○
Fe	—	—	
Mn	2	1	○
T-Cr	1.9	—	

※「—」は基準値以下を示す

測定の結果、カドミウム、水銀、ホウ素、フッ素亜鉛およびマンガンについて下水排除基準値の超過が認められた。ヒ素およびフッ素濃度については、原水濃度よりも処理水濃度の方が高かった。また、水銀はほとんど処理ができなかった(表 4 中下線部)。

この原因としては、フィルタープレス処理ユニットが塩化カルシウムとの反応を利用したヒ素・フッ酸系廃液処理用のユニットとして運転されていたこと、水銀については、処理運転をやめる際、ヒ素および水銀が混合した廃液を処理していたことが考えられた。基準値濃度を超過した各重金属等のうち、特に水銀は基準値 0.005 mg/L の 82 倍と大幅に超過していた。これは処理経路中での汚染が原因と考えられたことから、その検証をすることにした。

3.3 フィルタープレスによるろ過処理 2

前項の結果を受け、フィルタープレスから処理水槽までの処理経路に汚染物等があるか確認を行った。その結果、フィルタープレス下部の受け皿に粉末状の白色汚泥の蓄積が認められた(図 3)。



図 3. フィルタープレス下部に蓄積した白色の汚泥

この白色汚泥中の水銀濃度を蛍光 X 線分析装置および委託分析による溶出試験(産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法、昭和 48 年 2 月 17 日、環境庁告示第 13 号)により測定したところ、それぞれ 0.007%および 0.83 mg/L と高濃度の水銀が検出された。このことから、白色汚泥は溶出性の水銀を含むことが考えられたため、受け皿上に溜まった汚泥の清掃、およびフィルタープレスの運転を 2 回繰り返した。

2 回運転後の処理水質の結果を表 5 に示す。下水排除基準値を超過していた物質は水銀とフッ素のみとなり、それぞれ 0.024 mg/L、9.4 mg/L であった。水銀は基準値の 4.8 倍程度まで低減した。この結果は、日本画廃液をフィルタープレスで処理することにより、次に述べる二次処理にて重金属等の濃度を基準値以下まで低減できることが分かった。

本学は、生活流しと実験流しの2系列の排水経路が設置されている。生活流しはそのまま公共下水道へ接続し、実験流しは学内に2か所設置された排水処理施設に接続している。排水処理施設に流入した排水は、凝集沈殿、砂ろ過、活性炭処理を経て一部をトイレのフラッシュ水などとして利用した後、最終的に公共下水道へ接続している^[3]。

表 5. 汚泥除去後のフィルタープレス処理水質
単位:mg/L

項目	2回清掃・運転後の処理水中の重金属等濃度	処理水の基準値超過
Cd	0.022	
Pb	—	
Cr(VI)	—	
As	0.09	
Hg	0.024	○
R-Hg	—	
Se	0.02	
B	8	
F	9.4	○
Cu	0.4	
Zn	—	
Fe	—	
Mn	—	
T-Cr	—	

※「—」は基準値以下を示す

これまで無機系廃液処理施設の処理水は、処理水質を分析・確認し、必要に応じて希釈後、学内の中地区排水処理施設に圧送し、二次処理を経て公共下水道へ排除されていた。今回の日本画廃液処理水も処理水質を確認後に必要に応じて希釈し、中地区排水処理施設へ圧送・二次処理を行い、更に定期的に排水処理施設の処理水質の分析をしている。これまで、処理水の圧送に伴う中地区排水処理施設の処理水質の異常値は検出されていないことから、問題なく処理ができている(データは示さない)。

3.4 その後の処理運転状況について

前項までの結果を受け、その後複数回の日本画廃液の処理を行った。直近3回、合計1200Lの日本画廃液の処理水中の水銀濃度を表6に、原水と処理水の外観を図4にそれぞれ示す。

図4の通り、処理水は原水と比較して透明度が高く、水銀濃度は、二次処理が不要な下水排除基準値以下まで処理の可能なことが分かった。

表 6. 処理運転結果(水銀濃度)

処理日	処理量[L]	処理水の水銀濃度[mg/L]
2026.2.4	400	0.0050
2026.2.5	400	0.0033
2026.2.6	400	0.0044



図 4. 左から原水、2/4、2/5、2/6の各処理水

4. おわりに

本報告では、処理運転を終了した無機系廃液処理施設のフィルタープレスユニットを用い、日本画廃液のろ過処理が可能かどうかについて検討した。その結果、日本画廃液中に含まれる重金属類を下水排除基準値以下またはその近くまで低減することができ、排水処理施設での二次処理と併せることにより下水排除基準値を十分クリアする処理水質まで処理することができた。

今回の報告では水銀系以外の日本画廃液の処理について検討した。これは、水銀の基準値が非常に厳しく規制されており、万が一、適正に処理ができなかった場合、処理単価が他の実験系廃液の5~10倍程度高い水銀系廃液が大量に発生してしまうリスクがあるためである。絵画の制作現場では、化学実験の器具洗浄と異なり、朱や辰砂を使用した絵筆や絵皿を完全に洗浄することなく次の色を使用するなど、一定量の水銀の混入は避けられない。そのため、外部委託処理を行う場合は全てを水銀系廃液として扱う必要がある。しかし、現在のところ芸術系教員から学生への教育が行き届いており、廃液中の水銀濃度は低めに抑えられていること、処理も順調に行えていることから、今後もこの処理体制を続けていきたいと考えている。

廃棄物の処分費用は、有害物の濃度ではなく、その嵩または重量によって決まる。仮に日本画廃液10Lあたり約100gの岩絵具が含まれているとすると、ろ過処理により廃棄物量を約1/100まで圧縮することが可能となる。さらに、廃液を外部委託処理する場合には、廃液を貯留したポリタンクごと処分が必要なのに対し、学内処理では日本画廃液の原水槽移送後、ポリタンクを排出者へ返却し、再利用が可能であり、ポリタンクの新規購入費用を削減できる。こうしたことから、大学の廃棄物処分費用の大幅な削減に繋げることができた。

参考文献

- [1] 大学における廃棄物処理の手引き(平成4年度改訂版), 文部省(1992) 134.
- [2] 大学における廃棄物処理とその技術, 大学等廃棄物処理施設協議会(1988) 564.
- [3] 筑波大学の環境保全—実験廃棄物処理施設広報—創刊号, 筑波大学(1990) 55.
- [4] 実験系廃棄物取扱いの手引き, 筑波大学実験環境管理室(1999) 84.
- [5] 筑波大学実験系廃棄物取扱いの手引き改訂平成22年版, 筑波大学(2010) 106.
- [6] ハンドブック美術家の健康と安全増補改訂2020年版, 日本美術家連盟(2020) 182.

Treatment of wastewater from Japanese painting using a filter press

FUJII Kunihiko, TOMIZAWA Miki

Division of Risk Management, University of Tsukuba,
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

Our university's inorganic waste liquid treatment facility has ceased operation in June 2024, and we have transitioned from in-house treatment to outsourcing. In conjunction with the transition, we investigated whether it would be possible to continue in-house treatment of Japanese painting pigment ink, which was one of the waste liquids that had been treated at the inorganic waste liquid treatment facility, using a filter press that is part of the facility. We have obtained positive results, which we report here.

Keywords: Inorganic wastewater treatment facility, Japanese painting wastewater, filter press