

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学環境保全センター 非会員 石橋康弘  
長崎大学大学院 学生員 清水祐介 長崎土建 非会員 濱地一弘

## 1. 研究の背景と目的

近年、地盤環境汚染が深刻な環境問題となっており、その中の一つに産業廃棄物の埋立てや有害物質による地盤・地下水の汚染などが挙げられる。これらの環境問題に対して「有害廃棄物の適正処理」の観点から、特に産業廃棄物としての蛍光灯に着目して検討を行っている。

現在、蛍光灯に対する製品としての処理・処分方法は規制されておらず、不要となった廃蛍光灯の多くは、ガラス屑・陶磁器屑として安定型埋め立て処分場に埋め立て処分され、雨水浸透などによる水銀溶出の危険性が懸念されている。また、廃蛍光灯や乾電池などの水銀含有工業製品から水銀を回収し再資源化が可能な施設は、北海道にある元水銀鉱山を利用した施設が我が国で唯一のものであるが、処理コスト以上に必要となる運搬費が問題であり、それが分別回収・リサイクル普及の妨げとなっている。

そこで本研究では、蛍光灯を破碎する際に発生する微量の気体状水銀を環境中に放出することなく蛍光灯を破碎し、構成材料と水銀を効率よく分離・回収する技術及び蛍光灯破碎装置の開発を行い、廃蛍光灯の分別回収・リサイクルの推進を目的としている。また並行して、廃蛍光灯が安定型埋め立て処分場に廃棄される状況を、カラム試験により再現し水銀溶出を実験的に確認したので報告する。

## 2. 実験

### 2.1 カラム実験

カラム試験に使用する充填材は、砂、蛍光灯破片であり、図.1 に示す3層とした。表-1 に実験条件を示した。検液の水銀濃度分析は、上記の方法で行なった。

### 2.2 蛍光灯破碎及び水銀回収実験

本実験では蛍光灯を硝酸溶液中で破碎し、気体状水銀及びガラス部分に付着した水銀を硝酸溶液中に溶解・回収することを提案した。

実験に用いた水槽(縦 70cm、横 90cm、深さ 50cm)は耐酸性を有しており、ポンプによって内部薬液の攪拌が可能である。この水槽中を濃度変化させた硝酸溶液(2, 5, 10, 20%)で満たし、水槽内で蛍光灯を破碎した。破碎後、各時間でこの硝酸溶液を採取し、水銀溶解速度、硝酸溶液の最適濃度を検討した。採取した検液の水銀濃度分析は、加熱気化還元法(金アマルガム分析法)によって行った。ここで、2%、20%硝酸濃度は3回、5%、10%硝酸濃度については5回の実験を行い、平均値を測定値とした。

## 3. カラム実験結果

図.2 は、カラムに30日間連続散水したときの浸出水の総水銀濃度と経過日数の関係を示したものである。

キーワード：蛍光灯、水銀溶出、有害廃棄物、適正処理、環境影響評価

連絡先：長崎市文教町1-14 長崎大学工学部社会開発工学科, Tel: 095 - 847 - 1111, Fax: 095 - 848 - 3624

表-1 カラム実験の実験条件

| 実験条件          | カラム実験Ⅰ  | カラム実験Ⅱ    |
|---------------|---------|-----------|
| 充填材           | 砂       | 粘性土       |
| 汚染源〔蛍光灯破片(本)〕 | 0、1、2、3 | 1         |
| 水素イオン濃度(pH)   | 4.5     | 1、3、4.5、7 |

注) 浸透水の酸性成分：硝酸、透過水量：1000(ml/day)、流量：10(ml/min)はカラム実験Ⅰ、Ⅱとも一定

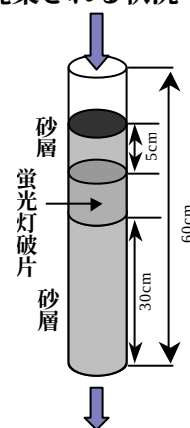


図.1 カラム実験概要図

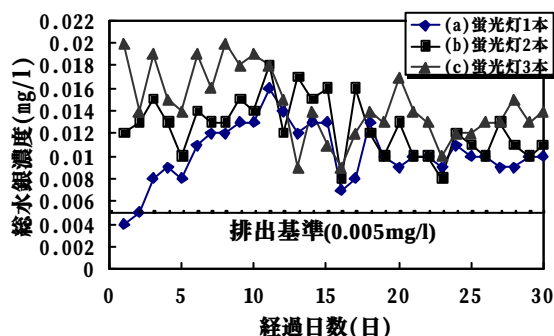


図.2 浸出水の総水銀濃度と経過時間の関係

水銀排出基準を大幅に上回る水銀濃度の浸出水が回収されている。また累積総水銀量は、(a)0.308mg、(b)0.375mg、(c)0.435mg であり、40W 直管型蛍光灯に封入されている水銀量を 10～20mg と考えると、水銀汚染は長期間継続するものと予想される。

### 3. 蛍光灯破碎及び水銀回収実験結果

図.2 は硝酸濃度 2%、5%、10%、20%の硝酸溶液 600l 中で Nationl 製、東芝製、三菱製の蛍光灯を 10 本ずつ破碎した時の水銀溶解量と経過時間の関係を示している。10%硝酸溶液より 5%硝酸溶液で早い水銀溶解速度を示している。しかし、実験終了時点での 2%、5%、10%硝酸溶液に対する水銀溶解量を比較した場合、有意差は認められず、2～10%の硝酸濃度範囲では最終的な水銀溶解量に大差はないと考えられる。20%硝酸溶液については、水銀溶解量は約 4.7 倍という大幅な増加を示した。

次に 5%、10%硝酸溶液中で蛍光灯を破碎した際の酸化還元電位の経時変化を図.3 に示す。図.2 の実験結果とは異なり、10%硝酸溶液は高い酸化還元電位を示し、酸化力、つまり金属水銀をイオン化する能力が高いことを示唆している。

ここで、水銀溶解量の変化が最も著しい実験開始直後について両者を比較した場合、5%硝酸溶液における酸化還元電位は、上昇後ほぼ一定値を保っているのに対し、10%硝酸溶液では、実験開始直後から酸化還元電位の急激な低下を示している。

各濃度の硝酸溶液中に溶解できた蛍光灯 1 本当たりの水銀量は、5%硝酸溶液で 3mg、10%硝酸溶液で 3mg、20%硝酸溶液で 14mg と得た。未回収水銀については、5%硝酸溶液中で破碎したガラス破片を用いて、30%硝酸溶液に 24 時間、さらに 40%硝酸溶液に 24 時間浸漬させ付着水銀を完全に溶解させることで未回収水銀量を測定した。結果、付着水銀は 30%硝酸で 292ng、40%硝酸で 83ng まで回収でき、除去率は 99.997～99.999%であった。ここで図.4 に硝酸溶液濃度と水銀回収率の関係を示す。これより 20%以上ではガラス片に付着する水銀のほぼ全量の回収が望めるものと考えられる。

## 5. 考察とまとめ

### 5.1 カラム実験まとめ

今回の室内カラム試験では、蛍光灯破片より総水銀の排出基準を超える水銀濃度の浸出水を回収した。これより、安定型埋立て処分場に埋立て処分される多量の廃蛍光灯を想定した場合、相当量の総水銀が溶出していると考えられる。また、重金属類である水銀はその質量ゆえに拡散速度が遅く、比較的短時間で浸透水より除去され土壤中に蓄積すると思われる。また、本実験から試算（総浸透水量に着目した年間降雨量換算）した場合、7.6 年以上にわたり排出基準を超える総水銀濃度の浸出水を排出し続けることになる。

### 5.2 蛍光灯破碎及び水銀回収実験まとめ

5%～10%の硝酸溶液中で蛍光灯を破碎することにより、蛍光灯に封入されている水銀を大気中に飛散させることなく硝酸溶液中に溶解・回収することが可能であるという結果を得た。ただし、この濃度での、水銀回収率は、30%程度であり、未回収の水銀は蛍光灯ガラス部分に付着している。そのため、蛍光灯ガラス部分に付着している水銀は 20%～30%の硝酸溶液中に浸漬・攪拌し一昼夜放置することが必要であり、本操作によりほぼ完全に水銀を硝酸溶液中に溶解・回収することが可能である。

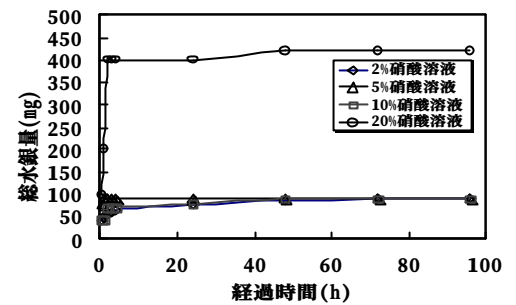


図.3 水銀溶解量と経過時間の関係

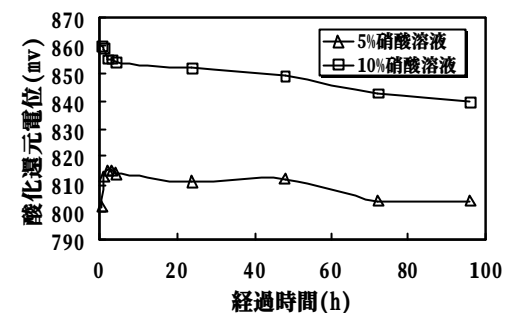


図.4 酸化還元電位と経過時間の関係

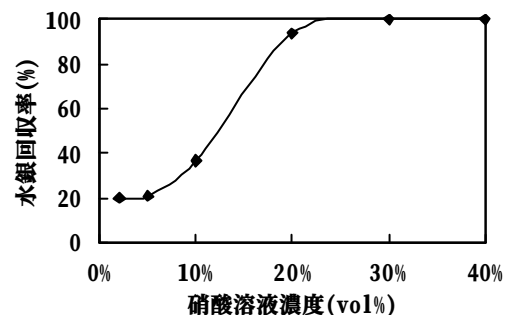


図.5 水銀回収率と硝酸濃度の関係