

## 廃石膏ボードに含まれる重金属等の溶出に関する検討

小口文子<sup>1</sup>・山岸良典<sup>2</sup>・下寄かえで<sup>1</sup>・山本一海<sup>3</sup>・鹿角孝男<sup>1</sup>

廃石膏ボードの埋立処分を想定した重金属の溶出特性把握を行った。

製造時期の異なる複数の廃石膏ボードについて、「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」による溶出試験及び「底質調査方法」による含有量分析を行い、重金属等の溶出について検討を行った。その結果、1970、1980年代に製造されたものからカドミウム、鉛等が埋立判定基準を下回る濃度で検出された。また溶出がみられた金属のうち、鉛安定同位体比の測定を行い、廃石膏ボード中の鉛安定同位体比について特徴的な値が得られた。

キーワード：廃石膏ボード，重金属，溶出試験，鉛安定同位体比

### 1. はじめに

廃石膏ボードは、1998年、2006年の規制の強化により、安定型産業廃棄物から除外されることとなった。

石膏ボードの埋立による生活環境保全上の支障の可能性としては、中毒事例が報告されている硫化水素の発生<sup>1)</sup>の他、重金属の溶出が懸念されている<sup>2)</sup>。廃石膏ボードは主に破砕処理され、埋立処分されていることから、最終処分場浸出水への重金属等の移行可能性について溶出特性を把握しておく必要がある。

本研究では、製造時期の異なる廃石膏ボードについて、「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」<sup>3)</sup>による溶出試験を行い、有害物質等の溶出状況を調べた。

次に、溶出がみられた金属のうち、鉛については安定同位体比（以下、同位体比と略記する）の測定を行った。同位体比分析は鉛の起源を推定するのに有効であることが知られている<sup>4)</sup>ことから、廃石膏ボードに含まれる鉛同位体比（<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb）の測定を行い、日本の非汚染土壌や大気粉塵などの鉛同位体比の文献値と比較し、汚染源の解明に同位体比が寄与する可能性について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 廃石膏ボードの溶出試験及び含有量分析

実験には、表1に示す製造時期の異なるA～Dの廃石膏ボードを用いた。これらの廃石膏ボードは、ボード用原紙を取り除いた後、粉碎し、ふるいを通過させ、粒径が0.5mm以上5mm以下のものを試料とした。

表1 使用した廃石膏ボード

廃石膏ボード	採取場所	製造時期
A	一般住宅-新築時廃材	2000年
B	建物-解体時廃材	1985年頃
C	高校-解体時廃材	1985年頃
D	高校-解体時廃材	1975年頃

溶出試験は「産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法」<sup>3)</sup>によった。すなわち1000mLポリエチレン製容器に試料50g、精製水500mLを加え、常温常圧で、6時間振とうした。その後、試料液を孔径1μmのガラス繊維ろ紙(GF/B)を用いてろ過し、ろ液についてpH、電気伝導率(EC)、カドミウム、鉛、砒素、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウム、塩化物イオン、硝酸イオン、硫酸イオンの分析を行った。カドミウムおよび鉛は硝酸による加熱分解後溶媒抽出し、電気加熱原子吸光法により定量した。砒素は硝酸-硫酸-過塩素酸分解後、水素化物発生原子吸光法により定量した。また、カルシウム他の陽イオン成分はフレイム原子吸光法により、塩化物イオン他の陰イオン成分は上水試験方法により定量した。

1 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒380-0944 長野市安茂里米村 1978  
 2 〒383-0006 中野市厚貝  
 3 長野県環境部廃棄物対策課 〒380-8570 長野市大字南長野字幅下 692-2

含有量分析は「底質調査方法」<sup>4)</sup>により実施し、カドミウム、鉛および砒素の3項目を分析した。カドミウムおよび鉛は廃石膏ボードを王水分解後溶媒抽出し、フレイム原子吸光法により定量した。砒素は廃石膏ボードを硝酸-硫酸-過塩素酸分解後、水素化物発生原子吸光法により定量した。

### 2.2 廃石膏ボードの鉛同位体比の測定

鉛同位体比の測定は、廃石膏ボードを硝酸分解後、鉛を溶媒抽出し、蒸発乾固後酸分解し、鉛濃度を調整して試料溶液とした。

鉛同位体比は中込ら<sup>5)</sup>の方法により、ICP質量分析装置(Hewlett-Packard製, HP4500)を用いて、測定ポイント数1質量当たり3点、積分時間1ポイント当たり2秒、連続測定回数5回の条件で、試料の鉛濃度を約10 μg/Lに希釈したものについて、<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb及び<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbの測定を行った。

## 3. 結果

### 3.1 廃石膏ボードの溶出試験結果

溶出液のpHおよびEC値を表2に示す。pHはA、BおよびCは6.4～7.0とほぼ中性であったが、Dは5.3と弱酸性を示した。電気伝導率は4試料ともにほぼ同じ値(195～205mS/m)であった。

表2 溶出試験試料液のpHと電気伝導率

(単位:mS/m)				
項目	A	B	C	D
pH	7.0	6.4	6.4	5.3
EC	197	195	205	198

石膏の主成分である、カルシウム、硫酸イオンの溶出濃度を図1に示す。カルシウム、硫酸イオンともにA、B、C、Dでほぼ同じ値を示し、硫酸カルシウムの溶解度2.08g/L(25℃)から計算した値(カルシウム:610mg/L, 硫酸イオン:1470mg/L)とほぼ同じ値であった。A～Dとも、溶出試験液は硫酸カルシウムの飽和水溶液となっていることが示された。

塩化物イオン、硝酸イオン、マグネシウム、ナトリウム、カリウムの溶出濃度を図2に示す。いずれの試料も塩化物イオン、硝酸イオン及びマグネシウムの濃度は、2.3～7.4mg/Lと低い値であった。カリウムの濃度はCが69mg/Lと最も高く、Dの2.5mg/Lとは大きな差があった。A～Cのナトリウム濃度

はカリウムの40～74%の濃度であった。溶出液の当量濃度組成を図3に示す。イオンバランスはその差が6%以内であり、試料液のpHが6.4～7.0とほぼ中性であったA～Cは陽イオンがわずかに過剰であったが、pH5.3と弱酸性であったDは陽イオンと陰イオンがほぼ一致した。

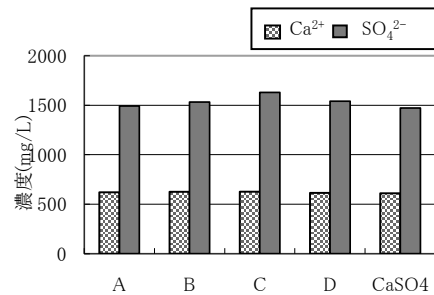


図1 溶出濃度(カルシウム、硫酸イオン)

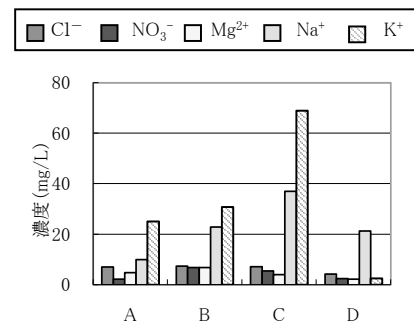


図2 溶出濃度(塩化物イオン、硝酸イオン、マグネシウム、ナトリウム、カリウム)

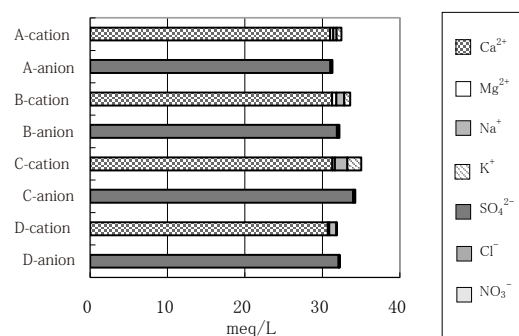


図3 溶出液の当量濃度組成

重金属(カドミウム、鉛、砒素)の溶出濃度を図4に示す。Aはカドミウム、鉛、砒素の全ての濃度が0.005mg/L以下であった。B、Cはカドミウムの濃度がそれぞれ0.014、0.022mg/Lであった。Dのカドミウムの濃度は0.086mg/L、鉛は0.010mg/L、砒素は0.012mg/Lであった。「金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準」<sup>6)</sup>(カドミウム、鉛、砒

素とも 0.3mg/L) と比較すると、カドミウムは基準を下回るものの比較的高い値を示した。1997年における(社)石膏ボード工業会(以後、工業会と略記)による溶出試験結果<sup>2)</sup>によると、砒素の溶出濃度は<0.005~0.41mg/L、カドミウムは<0.005~0.24mg/L、鉛は<0.002~<0.05mg/L(注:分析機関により報告下限値が異なる)であった。

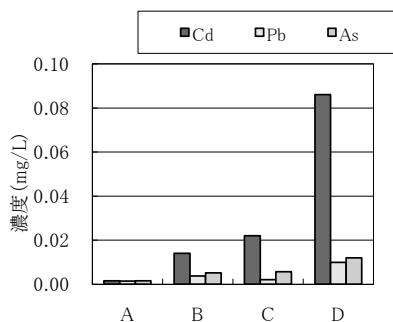


図4 溶出濃度(カドミウム、鉛、砒素)

### 3.2 重金属含有量と溶出率

廃石膏ボードに含まれる重金属の含有量と溶出した重金属濃度から算出した溶出率を表3に示す。

表3 含有濃度、溶出濃度から算出した可溶性の金属成分濃度 (単位: mg / 乾kg)

項目	A	B	C	D
カドミウム(含有)	0.31	0.82	0.92	2.2
カドミウム(溶出)	0.02	0.14	0.22	0.86
溶出率(%)	4.8	17	24	38
鉛(含有)	7.1	25	9.1	40
鉛(溶出)	0.01	0.04	0.02	0.10
溶出率(%)	0.2	0.1	0.2	0.3
砒素(含有)	0.6	2.1	0.96	1.0
砒素(溶出)	0.02	0.05	0.06	0.12
溶出率(%)	2.4	2.5	5.8	12

Aはカドミウム、鉛、砒素の含有量及びカドミウム、砒素の溶出率が最も低い値を示した。一方、Dはカドミウム、鉛の含有量が多く、また、溶出率は、すべての項目で最も高く、カドミウムでは38%、鉛では0.3%、砒素では12%であった。BとCは、含有量、溶出濃度、溶出率ともに両方で近い値を示し、それぞれの値がAとDの中間の値であった。Dで重金属の溶出率が高かった要因のひとつとして、溶出液のpHが低かったことが考えられる。

また、各廃石膏ボードの製造時期はAが2000年、B、Cが1980年代、Dが1970年代であり、工業会による溶出試験が行われた1997年以前製造のB、C、Dで溶出がみられ、特にDでは重金属の含有量がAの1.6~7.2倍、また、溶出率も1.3~7.9倍と高かった。当時の工業会による溶出試験結果をふまえて、

各メーカーにおいては品質管理の見直しが行われており<sup>2)</sup>、その後、重金属の溶出抑制について十分な対策がとられていることも、今回の実験の結果と無関係ではないと考えられる。

### 3.3 廃石膏ボード中の鉛同位体比の測定結果

廃石膏ボードA~Dの鉛の同位体比(<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb)を図5に示す。併せて、Mukaiら<sup>7)</sup>が調査したアジア地域の大气粉塵の鉛の同位体比測定結果及び田籠ら<sup>8)</sup>、丸茂ら<sup>9)</sup>による日本における発電所や鉱工業などの人為的汚染の影響を受けていない非汚染土壌の鉛同位体比測定結果を図中に示す。大气粉塵や土壌の鉛の同位体比は地域ごとに特徴的な値を示すことが明らかになっており、アジア地域の大气粉塵は<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbが0.82~0.95、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbが2.00~2.20の範囲にあり、日本の大气粉塵については、<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbが0.85~0.87、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbが2.06~2.12と狭い範囲にある<sup>7)</sup>。また、日本の非汚染土壌の鉛同位体比は<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbが0.84~0.85、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbが2.09~2.11と、さらに狭い範囲にある<sup>8) 9)</sup>。一方、実験に供した廃石膏ボードの<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbは0.79~0.85、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbは1.95~2.05であった。日本の大气粉塵や非汚染土壌の鉛同位体比と比較すると、これらとは重複せず、また、かなり広い範囲に分布しているという特徴がみられた。B、Dの鉛同位体比は貴陽(中国)の大气粉塵の鉛同位体比(<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 0.82~0.84、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 2.00~2.05)の付近にみられた。

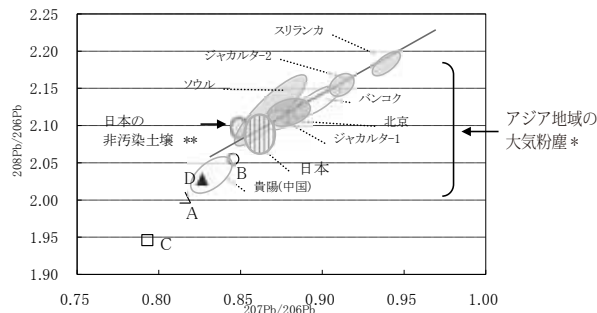


図5 石膏ボードA~DのPb同位体比(\*、\*\*：文献値)

以上の結果から、廃石膏ボード中の鉛同位体比は日本の大气粉塵や土壌の値と重複しない固有の値を示すことが明らかになり、石膏ボードを原因とする環境汚染があった場合に、鉛同位体比の測定を併用することによって汚染源の解明に役立つ可能性が示唆された。

## 4. まとめ

- (1) 廃石膏ボード4試料の溶出試験液はpHが弱酸性(5.3)～中性(7.0)の値を示し、硫酸カルシウムの飽和水溶液となっていることが示された。また、塩化物イオン、硝酸イオン及びマグネシウムの溶出濃度は2.3～7.4mg/Lと低く、Cのカリウム濃度が69mg/Lと高い値を示した。
- (2) 各廃石膏ボードの製造時期はAが2000年、B、Cが1980年代、Dが1970年代であり、工業による溶出試験が行われた1997年以前製造のB、C、Dで溶出がみられた。廃石膏ボードDの溶出試験液のpHは5.3と最も低く、カドミウムの溶出濃度が0.086mg/Lと他に比べて高い値を示し、鉛は0.010mg/L、砒素は0.012mg/Lであった。BとCはカドミウム(0.014～0.022mg/L)と砒素の溶出がみられたが、Aの重金属溶出濃度は0.005mg/L以下と、ほとんど溶出がみられなかった。
- (3) A～Dの鉛同位体比( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  0.79～0.85,  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  1.95～2.05)は、既報の日本の大気粉塵や非汚染土壌の値とは重複せず、また、かなり広い範囲に分布しているという特徴がみられた。

## 文 献

- 1) 井上雄三 編(2005)安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生機構の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究, 独立行政法人国立環境研究所研究報告, 188, 1-13.
- 2) 石膏ボード製品の最終処分に伴う有害物質による水質汚濁の防止について(平成9年5月29日環境庁 報道発表資料).
- 3) 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).
- 4) 底質調査方法(昭和63年9月8日付け環水管第127号).
- 5) 中込和徳, 鹿角孝男, 川村實, 野中卓, 向井人史, 村野健太郎(2005)誘導結合プラズマ質量分析法による降水中鉛安定同位体比の測定条件の検討, 全国環境研会誌, 30, 227-232.
- 6) 金属等を含む産業廃棄物に係る判定基準を定める省令(昭和48年2月17日総理府令第5号).
- 7) Hitoshi Mukai et.al (1993) Characterization of sources of Lead in the Urban Air Using Ratios of Stable Lead Isotopes, Environ. Sci.Techhnol., 27,1347-1356.
- 8) 田籠久也, 川村秀久, 松岡信明, 田脇伸次(1999)鉛同位体比を用いた石炭火力発電所周辺の環境影響評価, 環境と測定技術, 26(4), 20-24.
- 9) 丸茂克美, 江橋俊臣, 氏家 亨(2003)日本各地の土壌中の重金属含有量と鉛同位体組成, 資源地質, 53(2), 125-146.

## Leaching property of heavy metals in waste gypsum boards

Fumiko OGUCHI<sup>1</sup>, Yoshinori YAMAGISHI<sup>2</sup>, Kaede SHIMOZAKI<sup>1</sup>, Kazumi YAMAMOTO<sup>3</sup> and Takao KATSUNO<sup>1</sup>

- 1 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division, 1978 Komemura Amori, Nagano 380-0944, Japan
- 2 Akkai, Nakano 383-0006, Japan
- 3 Nagano Prefecture, Environmental Department, Waste Control Division, 692-2 Habashita Minaminagano, Nagano 380-8570, Japan