

## (35) 廃ガラスを再生した発泡ガラスの 重金属類の溶出と抑制

門木 秀幸<sup>1\*</sup>・山村 祐里枝<sup>2</sup>・岸本 孝則<sup>1</sup>・細井 由彦<sup>3</sup>

<sup>1</sup>鳥取県生活環境部衛生環境研究所 (〒682-0704 鳥取県東伯郡湯梨浜町南谷526-1)

<sup>2</sup>鳥取県生活環境部公園自然課 (〒680-8570 鳥取県鳥取市東町一丁目220)

<sup>3</sup>鳥取大学工学部社会開発システム工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南四丁目101)

\* E-mail: mongih@pref.tottori.jp

廃ガラスの再生材として製造されている発泡ガラスについて、環境安全性を確認するために実験的検討を行った。発泡ガラスは粉碎した廃ガラス瓶に炭化珪素を加え高温で発泡させて作製した。原料とした廃ガラス瓶中のPb, As, T-Crの含有量と作製した発泡ガラスからの溶出量の検討を行った。含有量は緑系ガラスが最も高く、Pbが100(23~190)mg/kg, Asが11(4.0~25)mg/kg, T-Crが840(810~1000)mg/kgであった。溶出量も緑系ガラスで高くPbは0.15(<0.01~0.43)mg/kg, Cr(VI)は0.11(<0.05~0.33)mg/kg, Asは1.2(0.43~3.1)mg/kgであった。特にAsの溶出率が高いことが確認された。また、PbはCaSO<sub>4</sub>とFe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>を、AsはCa(OH)<sub>2</sub>とFe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>を原料に添加することで溶出を抑制できることを確認した。

**Key Words :** foaming glass, leaching test, content, heavy metal, environmental standard of soil

### 1. はじめに

資源循環型社会の構築を進める上で、廃棄物を原料とした再生材の利用促進は今後ますます重要となっている。

しかし、廃棄物からの再生材にはパージンの原料から製造した資材と異なり、有用成分以外に、重金属類等の有害物質を含有することがある。このため、再生材の利用が環境負荷の低減に寄与するものであるには、再生材からの有害物質の溶出特性の把握やその安全性の確保が不可欠である。

再生材の安全評価については、廃棄物焼却灰等を高温で熔融して製造される熔融スラグでは、天然砂等の代替として土木用資材等へ利用されることから、環境庁告示第46号(土壤環境基準)による方法<sup>1)</sup>が準用されている。また、平成17年3月にはJIS K0058-1(溶出試験方法)、JIS K0058-2(含有量試験法)により、新たに有姿による試験法等が定められた。しかし、再生材全体の安全性の評価システムは整備されていない。

これまでの研究でも、熔融スラグに関しては溶出特性や化学的な耐久性について多くの研究報告がなされている。pH依存性試験<sup>2)</sup>やカラム試験<sup>3)</sup>、拡散溶出試験<sup>4)</sup>など、より実環境に則した溶出性評価や長期的な溶出挙動等を

明らかにする特性化試験も行われている。また、酸性域での溶出について、水素イオンとスラグ表面の金属イオンとの置換により説明される等溶出機構の解明も進められている。<sup>5)</sup>スラグ中の金属相の存在が重要な要素とされスラグ中の鉛の存在形態が溶出量の結果に大きく影響しているとの報告もある。<sup>7)</sup>

しかし、熔融スラグ以外の再生材からの重金属類等有害物質の溶出特性やその安全性に関する研究は少ない。資源循環利用が求められる中、今後より多様な再生材の

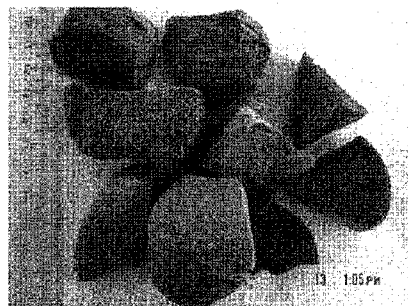


図-1 発泡ガラスの外観

利用が進められると考えられる。

こうした中、廃ガラス瓶等の廃ガラスの再資源化技術として、発泡ガラスを製造する技術<sup>9)</sup>が既に提案され、実用化されている。製造方法としては、廃ガラスを微粉碎して製造したガラスパウダーに炭化硅素等の発泡剤を混合し、700℃～1100℃で熔融・発泡させる方法が提案されている。こうして製造された発泡ガラスは、その軽量・強固な特性を生かし、軽量の土木資材や園芸用資材として利用<sup>9,10)</sup>することができる。また、微少な気泡を内在していることから防音材<sup>11,12)</sup>や断熱材<sup>13,15)</sup>として、あるいは保水性、透水性を利用しヒートアイランド現象の抑制のための屋上緑化材等としても利用することが提案されている。<sup>16,17)</sup>

一方で、この原料となるガラスには表-1に示すように、金属類が含まれる。<sup>18)</sup> の中には、Cd、Pb、Cr、As、Seのような重金属類が、主原料、清澄剤、着色剤等として使用されており、ガラスを原料とする再生材を土木資材等として環境中で使用する場合、これらの物質の環境への負荷について考慮する必要がある。

そこで本研究では、再生材である発泡ガラスについて一般環境中で利用される場合の環境安全性の評価を行った。また、安全性の確保のために、添加剤により重金属類の溶出を抑制する方法について検討した。

## 2. 研究の方法

### (1) 実験の概要

本研究での実験概要を図-2に示す。まず、発泡ガラスの原材料となる廃ガラス中の成分を把握するために、実際に個別の廃ガラス瓶を粉碎したガラスパウダーから重金属類の含有量を分析した。次に、環境安全性を検討するためにこのガラスパウダーを原料として発泡ガラスを作製し、溶出試験により評価した。

そして、重金属類の溶出を抑制するために、水酸化カルシウム等を原料に添加した新たな発泡ガラスを作製し、溶出抑制の効果について検討した。

### (2) 原材料

発泡ガラスの原料とした廃ガラスは、家庭用の廃ガラス瓶とした。一般廃棄物として排出された廃ガラス瓶を任意に採取した。実際に廃棄物として排出された任意のガラス瓶を集めたところ、緑系、茶系及び無色系は種類が多く7種、10種、11種を集めることができたが、青系は種類が少なく2種を集めるだけであった。合計30種の廃ガラスを原料として発泡ガラスを作製した。なお、ガラス表面に絵柄などが印刷されているものは対象外とし

た。

表-1 主なガラス原料の例<sup>18)</sup>

#### [主原料]

珪砂 : けい酸原料  
水酸化アルミニウム : アルミナ源  
ソーダ灰 : ナトリウム源  
炭酸カリウム : カリウム源  
炭酸リチウム : リチウム源  
炭酸カルシウム : 酸化カルシウム源  
ほう砂 : 酸化ほう素原料  
鉛丹, リサーチ, けい酸鉛 : 酸化鉛原料

#### [融剤]

炭酸バリウム, 酸化バリウム, 亜鉛華

#### [清澄剤]

カーボン, 硝酸ソーダ, 硝酸カリウム, 亜硫酸,  
酸化アンチモン, ふっ化物

#### [着色剤]

酸化コバルト : 青, 紫, 緑, 黒  
重クロム酸カリウム : 青, 緑, 黒  
酸化鉄 : 青, 緑, 黒  
二酸化マンガン : 紫, 黒  
酸化ニッケル : 紫, スモーク, 黒  
酸化ネオジム : 紫  
酸化第二銅 : 青, 緑, 黒, 赤  
酸化第一銅, 金属銅 : 緑, 赤  
酸化セリウム : 緑, 黄  
酸化チタン : 緑, 黄  
酸化エルビウム : ピンク  
硫化カドミウム : 黄, 赤  
酸化銀 : 黄  
セレン : 赤  
塩化金 : 赤

### (3) 発泡ガラスの作製

採取した廃ガラス瓶は、ラベル等を取り、家庭用洗剤で洗浄後、希塩酸と蒸留水で洗浄した。これを鉄製のロッドミル（中央化工機（株）製試験研究用小型振動ミルMB-1型）で粉碎して、500 $\mu$ mの篩に通しガラスパウダーを作製した。

ガラスパウダーに炭化硅素を0.5wt%添加し、プラスチック製の容器の中で十分に攪拌した。これを電気炉の中で熔融・発泡させた後、室温で冷却し、発泡ガラスを作製した。発泡温度は、ガラス原料により最適の温度が異なることから、全てのガラスで比較的发泡状態が良好となった950℃とした。

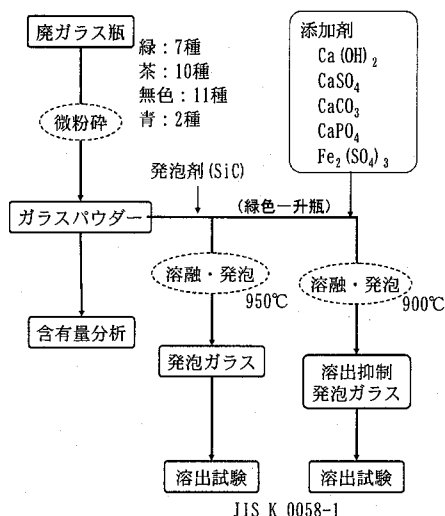


図-2 実験の概要

#### (4) 原料の重金属類の分析方法

発泡ガラスの原料であるガラスパウダーに含まれるPb, T-Cr, Asの含有量を分析した。分析方法は、まず(3)で作製したガラスパウダーの約0.2g程度をマイクロウェーブ加熱分解装置 (CEM社製MarsX) の分解容器にとり、硝酸5mlとフッ化水素酸5mlを入れて密閉し、マイクロウェーブ加熱法で分解した。十分に冷却後、100mlテフロン製メスフラスコに定容し、ICP質量分析装置 (セイコーインスツルメンツ社製SPQ9200) によりRh, Tlを内部標準元素としてPb, T-Cr, Asを定量した。

#### (5) 発泡ガラスからの重金属類の溶出の評価

作製した発泡ガラスの溶出評価は、JIS K 0058-1 スラグ類化学物質試験方法に規定される粗砕試料による試験方法により行った。

#### (6) 発泡ガラスからの重金属類の溶出抑制

市販の清酒用一升瓶の緑色を用いて試験を行った。これを粉碎したガラスパウダーに炭化硅素を 0.5wt%と添加剤として水酸化カルシウム、硫酸カルシウム、炭酸カルシウム、リン酸カルシウム、硫酸第Ⅱ鉄を 0, 1, 2, 5wt%加えて、(3)と同様にして発泡ガラスを作製した。作製した発泡ガラスを(5)と同様の溶出試験により、重金属類の溶出量を分析した。なお、発泡温度は試験に供したガラスを原料としたときに、最も発泡状態が良好であった 900℃で行った。

### 3. 結果と考察

#### (1) 市販の発泡ガラスの溶出試験

予備試験として、既に製造されている3種類の発泡ガラスについてJIS K 0058-1により溶出試験を行った。この結果を表-2に示す。なお、溶出量は試料重量当たりの溶出量 (mg/kg) に換算した。この結果から、Cd, Pb, Cr (VI), As, Hg, SeのうちPb, Cr (VI), Asの溶出が確認されたことから本研究の対象をこの3元素とした。

表-2 発泡ガラスの溶出試験結果

|         | 発泡ガラス (mg/kg) |        |        |
|---------|---------------|--------|--------|
|         | A             | B      | C      |
| Cd      | <0.01         | <0.01  | <0.01  |
| Pb      | 0.46          | <0.01  | <0.01  |
| Cr (VI) | <0.05         | 0.79   | 2.5    |
| As      | 2.4           | 0.34   | 0.43   |
| Hg      | <0.005        | <0.005 | <0.005 |
| Se      | <0.02         | <0.02  | <0.02  |

#### (2) 発泡ガラスの化学構造

発泡ガラスの原料とされるガラス瓶はソーダ石灰ガラスからなり、主な成分は表-3に示すとおりである。<sup>19)</sup>

表-3 ガラス瓶の組成<sup>19)</sup>

| 組成                             | ガラス瓶の組成 (wt%) |      |
|--------------------------------|---------------|------|
|                                | 無色ガラス         | 茶ガラス |
| SiO <sub>2</sub>               | 72.5          | 71.2 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.8           | 2.6  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.03          | 0.22 |
| CaO                            | 11.2          | 10.2 |
| MgO                            | 0.1           | 0.4  |
| Na <sub>2</sub> O              | 13.1          | 14.2 |
| K <sub>2</sub> O               | 0.8           | 1.0  |
| SO <sub>3</sub>                | 0.18          | 0.06 |

化学構造を考えると、ガラスは非晶質であるが、ガラスを熱処理した場合、結晶構造が析出することがあることも知られている。<sup>20)</sup> そこで、市販の清酒用一升瓶 (緑) を原料として作製した発泡ガラスについて、X線回折分析装置 (理学電機 (株) 製 RIGAKU RINT2500HF/PC) により分析した結果を図-3に示す。

ガラスは非晶質体であり、廃ガラスを微粉碎したガラスパウダーもガラスで観察されるような、2θが23°付近にブロードなピークが得られた。一方、発泡ガラスではNa<sub>2</sub>Ca<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>16</sub>の結晶が析出していることが確認された。

ガラス粒子を軟化点温度以上に加熱すると、粒子同士が融着し、融着界面を核とした結晶成長の結果、結晶化ガラスとなることが知られている。<sup>20)</sup> 発泡ガラスもその製造過程で一旦溶融し固化するために、ガラスの一部が結晶化され、結晶質と非晶質が混在する構造となっていることが確認された。このように、ガラスが $\text{SiO}_2$ のネットワークからなる非晶質体に対し、発泡ガラスは非晶質構造の中に結晶構造を持つ化学構造上の境界面を有していると考えられた。このことからガラスの持つネットワーク構造により安定化されていた重金属類が、発泡ガラスでは安定化されておらず、環境中で重金属がより溶出しやすくなることも考えられる。したがって原料である廃ガラス中の重金属類の分析だけでは不十分であり、これに加え廃ガラスを発泡ガラスとした場合の安全性についても検討する必要がある。

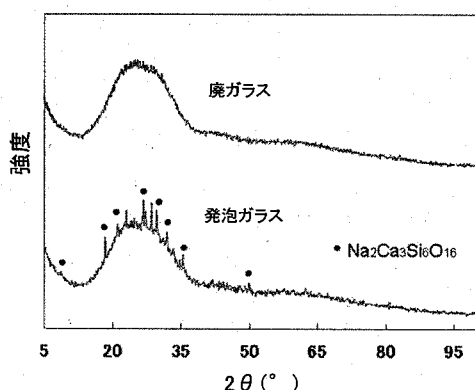


図-3 発泡ガラスのXRD分析結果

### (3) 廃ガラス中の重金属類含有量

図-4に作製した発泡ガラスの含有量の分析結果を示す。ガラス瓶を緑系、茶系、無色系、青系に分類し、各分析項目の試験結果と色別の平均値を示している。

Pbの含有量は、緑系ガラスが高く100 (23~190) mg/kgであり、次が青系：61 (55~66) mg/kg、無色：48 (20~100) mg/kg、茶系：39 (16~59) mg/kgの順で低くなる。

T-Crの含有量は、緑系のガラス瓶について840 (510~1000) mg/kg、続いて茶系：73 (35~160) mg/kg、無色系：8.3 (5.1~23) mg/kgと、青系：7.7 (6.9~8.4) mg/kgの順で低くなる結果となった。緑系ガラスが他のガラス瓶より平均値で約10倍高い値となっているが、これは、緑の着色の目的でガラスにCrが添加されているためと考えられる。<sup>18)</sup>

Asの含有量は、緑系のガラス瓶が最も高く11 (4.0~25) mg/kgであり、続いて青系：7.3 (7.0~7.6) mg/kg、無

色：4.9 (2.8~7.4) mg/kg、茶系：3.8 (2.5~5.5) mg/kgの順であった。

非汚染土壌の文献値と比較すると、土壌中のPbは17.2 (9.25~41.8) mg/kg<sup>21)</sup>で、ガラスの方が1桁高い。土壌中のT-Crは55.9 (1.39~233) mg/kg<sup>22)</sup>であり、特に緑系ガラスは土壌と比べ1桁高い値となっている。土壌中のAsは6.82 (0.9~46.3) mg/kg<sup>23)</sup>でありガラスは土壌と同程度となっている。

### (4) 発泡ガラスからの重金属類の溶出

図-5に作製した発泡ガラスの溶出試験の結果を示す。ガラス瓶を緑系、茶系、無色系、青系に分類し、各分析項目の試験結果と色別の平均値を示している。

Pbの溶出量は緑系から作製した発泡ガラスが高く、平均値で0.15 (0.01~0.43) mg/kgであった。次に無色：0.04 (0.01~0.10)、茶：0.01 (0.01~0.03) mg/kg、青：0.01 mg/kgであった。緑系ガラスで溶出量が多く土壌環境基準を超過するものがあつた。緑系ガラス以外については、溶出量は低く作製したすべてが土壌環境基準に適合している。

Cr (VI) の溶出量は緑系から作製した発泡ガラスが最も高い値となり、0.11 (0.05~0.33) mg/kg、青系：0.10 (0.06~0.14) mg/kg、茶系：0.07 (0.05~0.15) mg/kg、無色：0.05 (0.05~0.08) mg/kgの順に溶出量は低くなった。

Asの溶出量は緑系ガラスが1.2 (0.43~3.1) mg/kgと最も高く、次に茶系：0.63 (0.21~0.92) mg/kg、無色：0.56 (0.13~1.5) mg/kg、青系：0.33 (0.32~0.34) mg/kgの順になっている。作製した発泡ガラスのすべてが土壌環境基準を超過した。

Asに関しては、ガラス中の含有量は自然的原因による含有量の上限の目安<sup>24)</sup>とされている39mg/kgに適合するレベルでありながら、溶出量は土壌環境基準を超過した。

図-6に含有量と溶出量の分析結果から次式により算出した溶出率を示す。

$$\text{溶出率(\%)} = \frac{\text{発泡ガラスからの溶出量(mg/kg)}}{\text{ガラス中の含有量(mg/kg)}} \times 100$$

Pbの溶出率は平均で緑系：0.17%、茶系：0.03%、無色：0.09%、青系：0.01%であった。T-Cr含有量に対するCr (VI) の溶出率は緑系：0.01%、茶系：0.14%、無色系：0.77%、青系：1.4%であった。これに対して、Asの溶出率は緑系：11%、茶系：17%、無色：11%、青系：4.5%とPb、Cr (VI) と比べ溶出率が高かった。

廃ガラスから再生した発泡ガラスの環境への安全性を考える場合、溶出率が高いAsに留意することが重要となる。すなわち、原料とする廃ガラスの品質としてAsの含

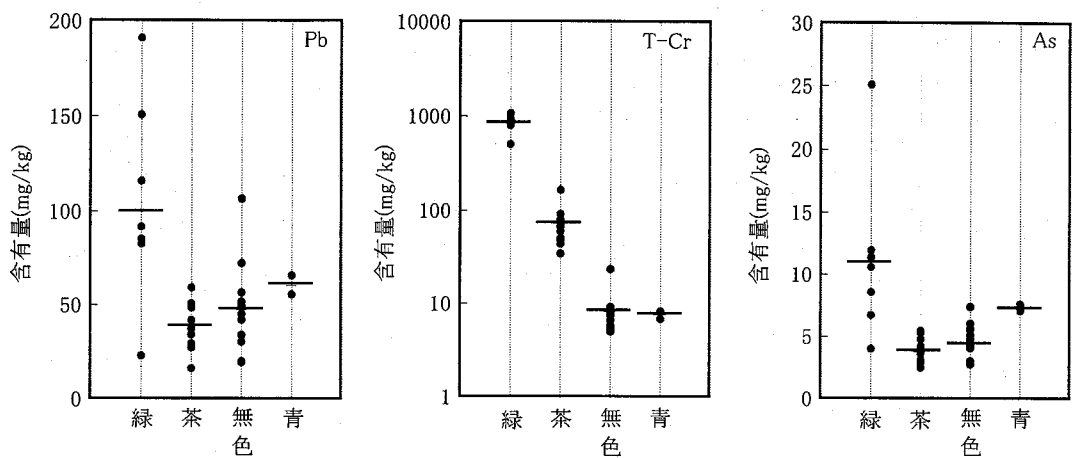


図4 廃ガラス中の重金属類の含有量 (実線：平均値)

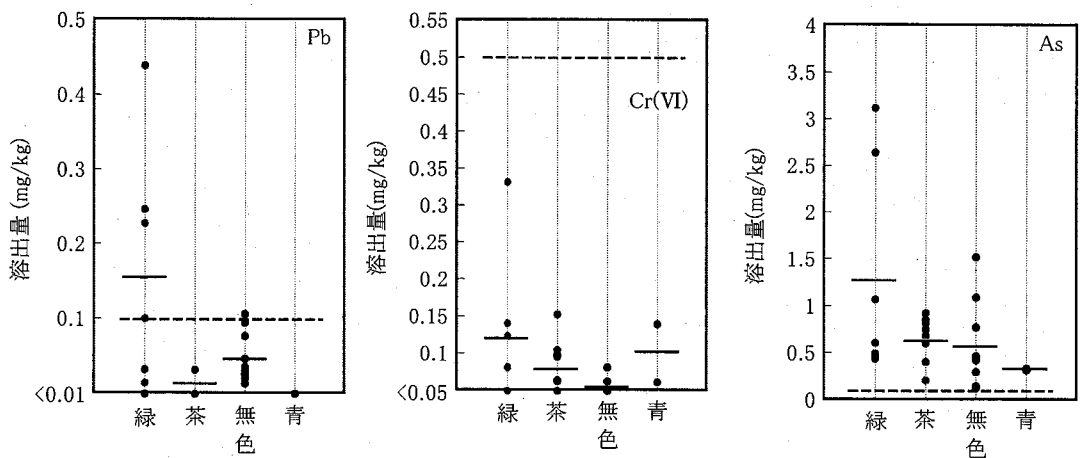


図5 発泡ガラスの溶出試験結果 (実線：平均値、点線：土壌環境基準値)

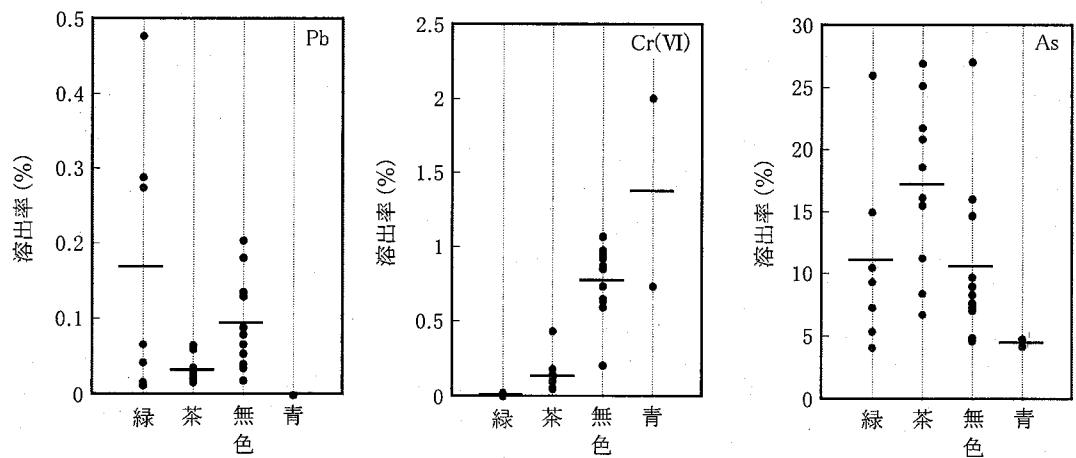


図6 発泡ガラスからの重金属類の溶出率 (実線：平均値)

有量が高いものの利用は避けることが望ましい。そして As の含有量が高い傾向にあった緑系ガラスを発泡ガラスとする場合には特に留意が必要と考えられる。

#### (5) 発泡ガラスからの重金属類溶出の抑制

(4)の結果から発泡ガラスを資材として安全に利用するためには、特に As の溶出を抑制することが必要である。

大山らは、汚染土壌中の As の不溶化処理技術として、汚染土壌に対して  $\text{FeCl}_3$ <sup>29)</sup>やセメント<sup>28)</sup>を添加する方法について報告している。これらの As 不溶化のメカニズムとしては、Fe 化合物への As の吸着や As が Ca イオンと難溶性塩を形成することが考えられる。そこで、発泡ガラスからの As の溶出を抑制するには、同様に Ca 系及び Fe 系の薬剤の添加し、Ca イオン又は Fe 化合物との反応により As を不溶化させることが有効と考えた。さらに発泡ガラスを製造した後に、その表面にこれらの薬剤を作用させるのではなく、原料に均一に混入することで、発泡ガラス中に効率よく分散させ、As の抑制効果を内部まで行き渡らせることを考えた。

本研究では Ca 系添加剤として  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaPO}_4$ 、Fe 系として  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ を溶出抑制剤として原料に添

加し、その抑制効果について検討した。

緑系のガラスがすべての重金属類の溶出が多い結果であったことから、市販の清酒用一升瓶の緑色を原料として、重金属類の溶出抑制試験を行った。

図-7 に添加剤として  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を用いて作製した発泡ガラスの溶出試験結果を示す。この結果から、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は As に対して強い溶出抑制効果があった。1%の添加で土壌環境基準 (0.1mg/kg 以下)に適合できた。しかし、2%を超えて添加すると Pb と Cr(VI)の溶出量が増加した。このため、最適の添加量は1%であった。As の溶出が抑制されるのは、亜ひ酸又はひ酸のような形態で存在するものが Ca と結合し、不溶化されるためと考えられる。また、Pb の溶出が増加するのは、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の添加量の増加により、溶出液の pH が上昇したためと考えられる。図-8 に添加剤として  $\text{CaSO}_4$ を用いて作製した発泡ガラスの溶出試験結果を示す。 $\text{CaSO}_4$ の添加は、Pb と As について溶出を抑制する効果が確認された。As には弱い溶出抑制効果が確認され、最適の添加量は1%であった。 $\text{CaSO}_4$ は溶出液の pH に影響しないため、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を使用したときに見られた Pb の溶出促進が見られていない。また、As に対しては、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に比べると反応性が低く溶出抑制の効果が低いことが確認された。

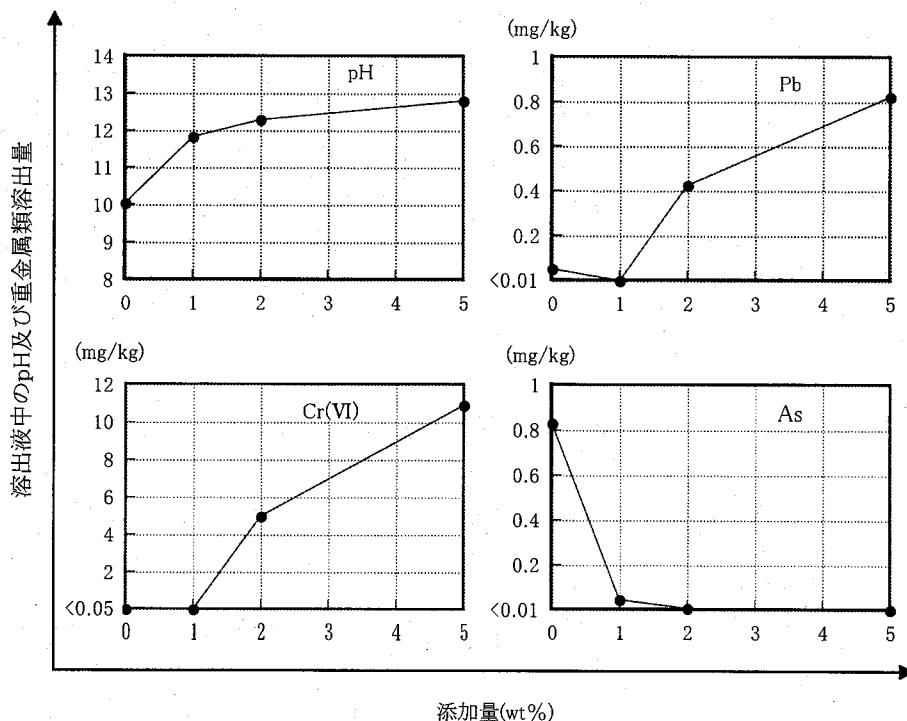


図-7  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の添加量と発泡ガラス溶出試験結果

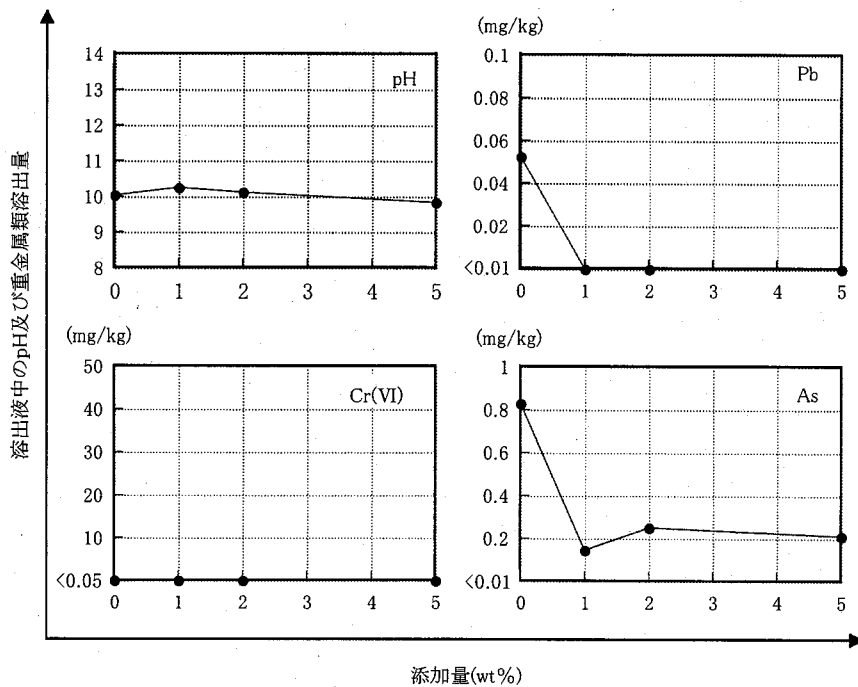


図-8  $\text{CaSO}_4$ の添加量と発泡ガラスの溶出試験結果

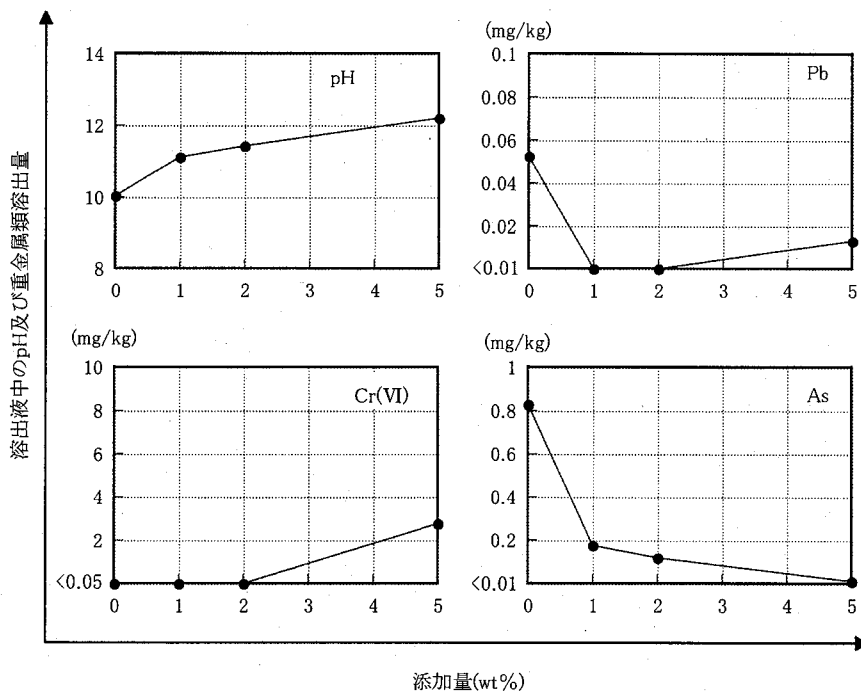


図-9  $\text{CaCO}_3$ の添加量と発泡ガラスの溶出試験結果

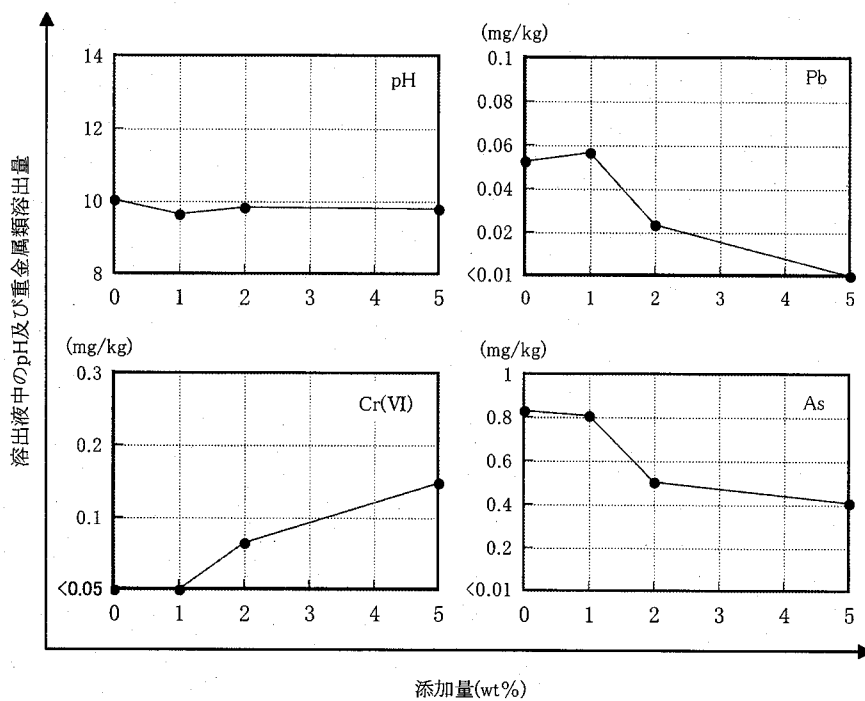


図-10  $\text{CaPO}_4$ の添加量と発泡ガラスの溶出試験結果

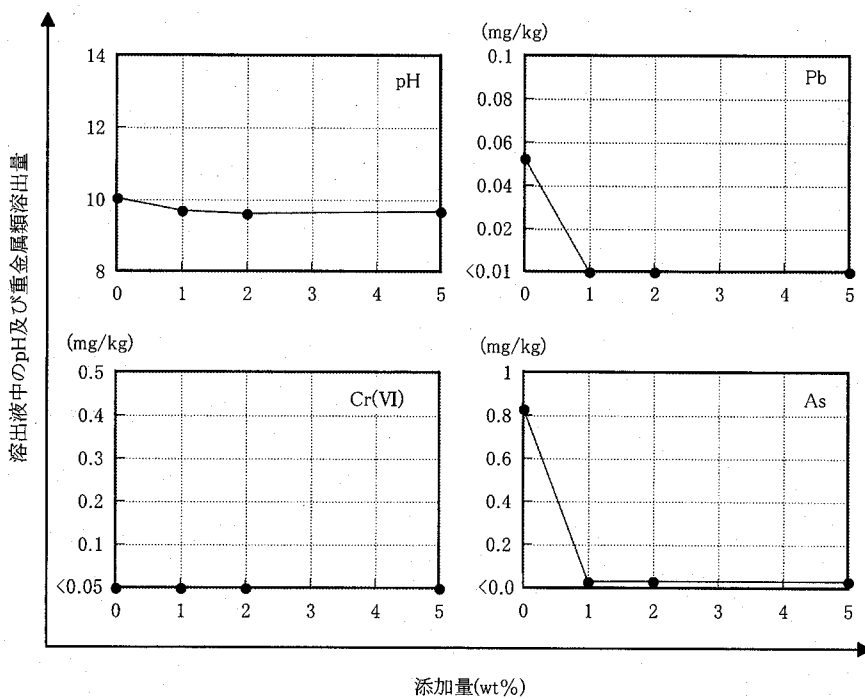


図-11  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ の添加量と発泡ガラスの溶出試験結果



図-9に添加剤として $\text{CaCO}_3$ を用いて作製した発泡ガラスの溶出試験結果を示す。 $\text{CaCO}_3$ の添加によりAsの溶出抑制とCr(VI)の溶出の増加が確認され、最適な添加は2%程度であった。効果の理由は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と同じ理由と考えられる。

図-10に添加剤として $\text{CaPO}_4$ を用いて作製した発泡ガラスの溶出試験結果を示す。 $\text{CaPO}_4$ の添加による効果は、これまでの添加剤と比べるとAsとPbに対する弱い溶出抑制とCr(VI)に対する弱い溶出促進の効果が確認された。

また、以上のCa系添加剤の結果を見ると、 $\text{CaSO}_4$ を除き添加剤の添加量の増加に伴いCr(VI)の溶出量が増加する結果となっており、CaがCr(VI)に対し何らかの溶出を促進する効果を持つことが考えられた。

図-11に $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ を用いて作製した発泡ガラスの溶出試験結果を示す。 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ の添加はAsとPbに対してよい溶出抑制の効果が確認された。これは鉄イオンに対するAsの吸着沈殿によるものとPbについては硫酸イオンによるPbの不溶化が起こっていると考えられる。

以上のようにCa、Fe系添加剤により重金属類の溶出抑制が可能であることが確認された。

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ は、廃貝殻等を焼成した生石灰から製造することができ、また $\text{CaSO}_4$ は廃石膏ボードから回収利用することもできることから、これら廃棄物を溶出抑制剤として活用することで、発泡ガラスの製造コストの削減や資源循環に寄与することができると考えられる。

また、実際の発泡ガラスの製造においては、原料となる廃ガラスの性状や発泡ガラス製造方法に応じた添加剤と添加量を選択していくことで、効果的な溶出抑制を図り、より安全な再生材を製造することができると考えられる。

今後は、さらにガラスの結晶化による構造変化と発泡ガラスからの重金属類の溶出との関連付け、溶出抑制効果の詳細なメカニズムの解明を進め、より効果的な溶出抑制技術に繋げていくことが必要である。

## 5. まとめ

廃ガラス等を溶融・発泡して製造した発泡ガラスからの重金属類の溶出について実験的検討を行った。

- 1) ガラス中のPbの含有量は土壤中の含有量と比較すると高く、作製した発泡ガラスからの溶出量も土壤環境基準を超過するものがあった。
- 2) T-Crの含有量は緑系ガラスが高かったが、作製した発泡ガラスからの溶出量は土壤環境基準をすべて超過しなかった。
- 3) Asの含有量は土壤中の含有量を同程度であったが、

作製した発泡ガラスからの溶出量は高く作製した発泡ガラスはすべて土壤環境基準を超過した。

- 4) ガラスの色別で見ると、Pb、As、T-Crとも緑系ガラスが含有量が高い傾向にあり、Pb、As、Cr(VI)の溶出量も緑系ガラスから作製した発泡ガラスが高かった。
- 5) 重金属類の溶出を抑制する添加剤を検討した結果、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ はAsに $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{CaPO}_4$ 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ はAs、Pbに対して溶出抑制の効果を確認することができた。
- 6) しかし、過剰の添加によりPb、Cr(VI)の溶出量の増加を招くこともあり、適正な使用が必要と考えられた。

## 参考文献

- 1) 厚生省通知生衛発第 508 号：一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針
- 2) 水谷聡、竹内和樹、橋本健、高月紘：都市ごみ焼却飛灰、溶融スラグ及び溶融飛灰からの金属類の溶出挙動、第13回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 1176-1178, 2002.
- 3) 貴田晶子、大迫政浩、酒井伸一：カラム試験による溶融スラグの建設資材利用時の土壌・地下水系への影響評価、環境科学会誌、Vol. 16, No. 6, pp. 497-516, 2003.
- 4) 肴倉宏史、水谷聡、田崎智宏、貴田晶子、大迫政浩、酒井伸一：利用形状に応じた拡散溶出試験による廃棄物溶融スラグの長期溶出量評価、廃棄物学会論文誌、Vol. 14, No. 4, pp. 200-209, 2003.
- 5) 八田直樹、高橋洋一、坂谷真積、水谷聡、酒井伸一：溶融スラグからの重金属の溶出特性、第8回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 695-698, 1997.
- 6) 八田直樹、高橋洋一、坂谷真積：溶融スラグからの重金属の溶出特性（その2）、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 477-480, 1998.
- 7) 貴田晶子、酒井伸一：一般廃棄物焼却灰溶融スラグ中の鉛の形態と溶出、第9回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 474-476, 1998.
- 8) 矢野淳、友野裕、浜辺孝平、上川泰治：廃ガラスを利用した発泡ガラスの製造、日立造船技法、Vol. 61, No. 1, 51-56, 2000.
- 9) 浜辺孝平、上川泰治、矢野淳、友野裕：廃ガラスを原料とした発泡ガラスの特性、第10回廃棄物学会研究発表講演論文集、pp. 439-441, 1999.
- 10) 蒲池豊、今瀧淳：廃ガラス利用軽量盛土（ミラクルソル）について、基礎工、Vol. 32, No. 12, pp. 59-61, 2004.
- 11) 工藤和彦、橋本祐二、稲野浩行、野村隆文、吉田憲司、赤澤敏之、皿井博美：廃ガラスを利用した軽量材料の開発、北海道立工業試験場報告、No. 301, pp. 117-122, 2002.

- 12) 神武龍昭：回収ガラス屑を利用した新しい吸音板，  
アロマティックス，Vol. 52，No. 3・4，pp. 71-76，2000.
- 13) 本間悟，田口仁，大川秀雄：発泡ガラス骨材の断熱  
性路盤としての検討，舗装，Vol. 35，No. 3，pp. 3-  
8，2000.
- 14) Masayoshi Y., Takashi K., Jun-ichi M. : Preparation  
and evaluation of a porous ceramics from used  
bottles ビール瓶を原料としたポーラスセラミックス  
の作製およびその評価，Journal of Advanced Science，  
Vol. 14，No. 1&2，pp. 1-4，2002.
- 15) Masahiko W., Takashi K., Jun-ichi M. : Preparation  
and evaluation of a porous ceramics from trash glass  
産業廃棄物ガラスを原料としたポーラスセラミックの  
作製および評価，Journal of Advanced Science，  
Vol. 14，No. 1&2，pp5-8，2002.
- 16) 原裕，鬼塚克忠，原眞由美，桃崎節子：発泡廃ガラ  
ス材のクラスター構想-屋上緑化への有効利用-，土  
と基礎，Vol. 51，No. 6，pp. 28-30，2003.
- 17) 山中稔，後藤恵之輔，新田実：ガラス発泡材を用い  
た屋上緑化材料の開発，土と基礎，Vol. 51，No. 6，  
pp. 31-33，2003.
- 18) 長谷川和保：魅惑のガラスノート，内田老鶴圃，  
pp. 75-196，1993.
- 19) 山根正之，安井至，和田正道，国分可紀，寺井良平，  
近藤敬，小川晋永：ガラス工学ハンドブック，朝倉書  
店，p. 461，2003.
- 20) 山根正之，安井至，和田正道，国分可紀，寺井良平，  
近藤敬，小川晋永：ガラス工学ハンドブック，朝倉書  
店，pp. 580-592，2003.
- 21) 浅見輝男：データで示す-日本土壌の有害金属汚染，  
アグネ技術センター，pp. 20-21，2003.
- 22) 浅見輝男：データで示す-日本土壌の有害金属汚染，  
アグネ技術センター，pp. 195-196，2003.
- 23) 浅見輝男：データで示す-日本土壌の有害金属汚染，  
アグネ技術センター，pp. 214-215，2003.
- 24) 環境省通知環水土第20号：土壌汚染対策法の施行に  
ついて，2003.
- 25) 大山将，山田哲司，奥村正孝：ヒ素汚染土壌のセメ  
ントによる固化・不溶化処理に関する検討，第37回地  
盤工学研究発表会発表講演集，pp. 2301-2302，2002.
- 26) 大山将，荻原誠，高田靖雄，松原博幸，井上明：低  
濃度ヒ素汚染土壌の不溶化処理事例，第16回廃棄物学  
会研究発表会講演論文集，pp. 1182-1184，2005.

(2006. 5.26受付)

## Leaching and restraining of heavy metals from foaming glass recycled from waste glass

Hideyuki MONGI<sup>1</sup>, Yurie YAMAMURA<sup>2</sup>, Takanori KISHIMOTO<sup>1</sup> and Yoshihiko HOSOI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tottori Prefecture Institute of Public Health and Environmental Science

<sup>2</sup>Life & Environment Department, Public Parks and Natural Environment Division, Tottori Prefecture Government

<sup>3</sup>Department of Social Systems Engineering, Tottori University

The environmental safety of foaming glass that is made from waste glass was examined. The foaming glass is made by adding silicon carbide to crashed waste glass and being foamed with high temperature. The contents of Pb, As, Cr in a waste carboy and their amount in a leachate from an experimentally made glass were analyzed. As a result, the concentrations of Pb, As, and Cr in the waste carboy were 100(23 - 190) mg/kg, 11(4.0 - 25)mg/kg, and 840(810 - 1000)mg/kg, respectively. Green glass had high concentration of all the metals. The concentration of the metals in the leachate was as follows, Pb: 0.15(<0.01 - 0.43) mg/l, Cr (IV): 0.11(<0.05 - 0.33)mg/l, and As: 1.2(0.43 - 3.1)mg/l. The leaching of Pb from foam glass could be effectively restrained by adding CaSO<sub>4</sub> or Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> to the raw materials, while the leaching of As could be restrained by adding Ca(OH)<sub>2</sub> and Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>.