

資料-1

廃棄ブラウン管ファンネルガラスの用途開発検討

- 1) 日本国内のテレビ放送のデジタル化に伴い、2009年～2011年に国内家電リサイクルプラントに回収されたブラウン管TVは累計3,556万台と報じられ、ブラウン管ガラス重量は556千トンと推定される。回収ブラウン管を再度、ブラウン管に戻す水平リサイクルの需要は、もはや日本国内には無く、マレーシアやインドへの輸出となっている。しかし、その需要も低下しており、且つ有価値性が低いことにより、輸送費負担が大きくなっているのが実情である。(図1参照)
- 2) ファンネルガラスは、電子線遮蔽目的で鉛を含有しており、日本国内の鉛精錬事業での使用もあるが、需要は少なく(日本国内全体で年間7,000トン程度)、且つ、ファンネルガラス排出元のリサイクルプラントにとっては、逆有償処理費負担(70円/kg以上)が必要であり、流通量は少ない。(図1参照)

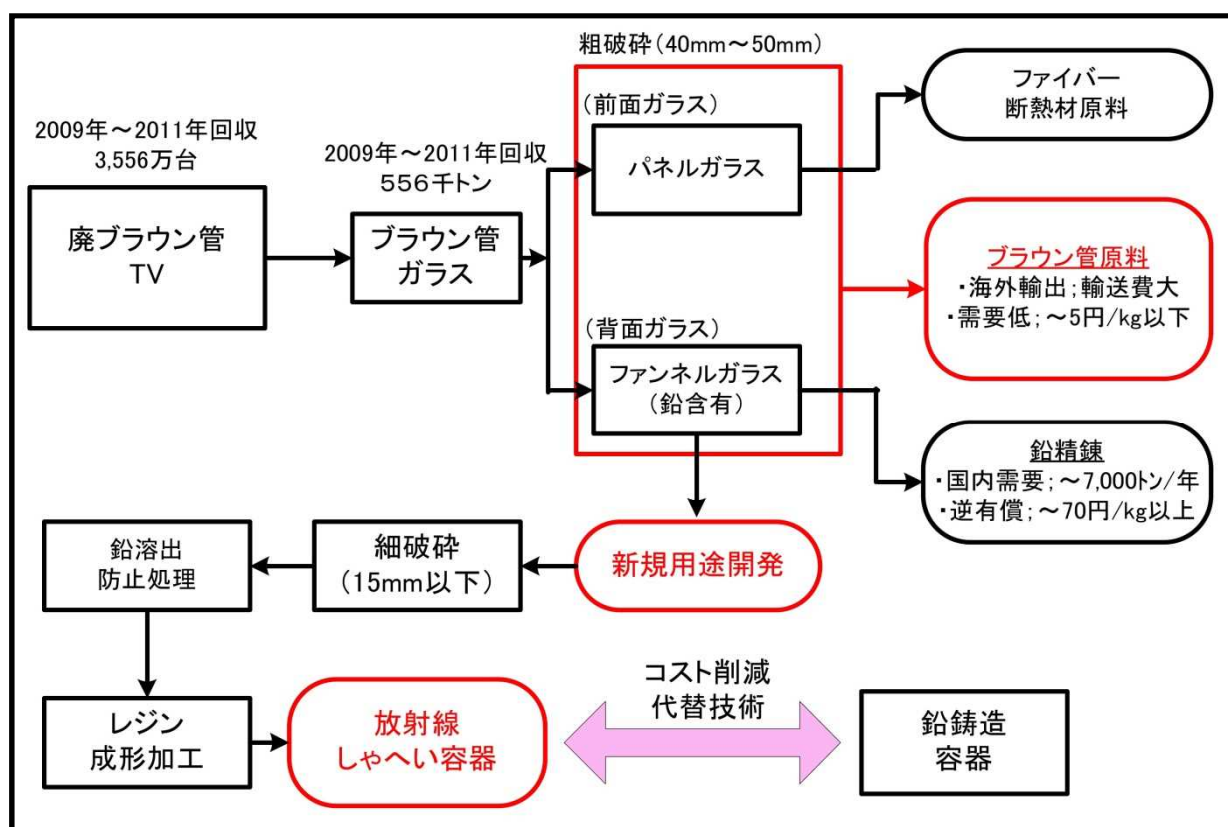


図1 ブラウン管ガラス流通市場の現状と新規提案

- 3) ファンネルガラスが鉛を含有していることによる放射線遮蔽能力に着目して、鉛製造製の放射性廃棄物遮蔽容器に対するコストダウン代替遮蔽容器の検討を行った。

- 4) 金属鉛の鑄造容器として製作されている放射線遮蔽容器の例を図2に示す。その原材料費は約200円/kgである。これに対して、原材料価格1/10程度の鉛ガラスを適用し、且つ、鉛金属の鑄造成形に代わり、鉛ガラスの樹脂成型加工でコスト低減化を図り、製品価格においては、鉛鑄造に比べて1/5程度までの削減を図る。

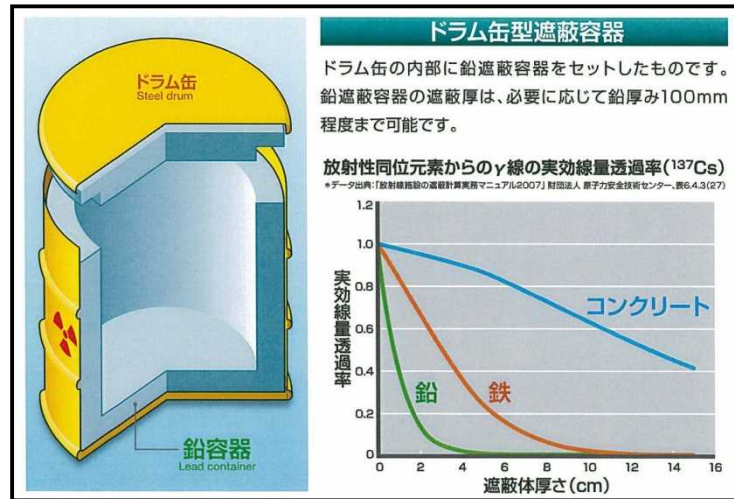


図2 金属鉛による遮蔽容器

- 5) ファンネルガラスの放射線遮へい能力を図3に示す。
放射線遮へい試験の内容を添付資料-1に示す。

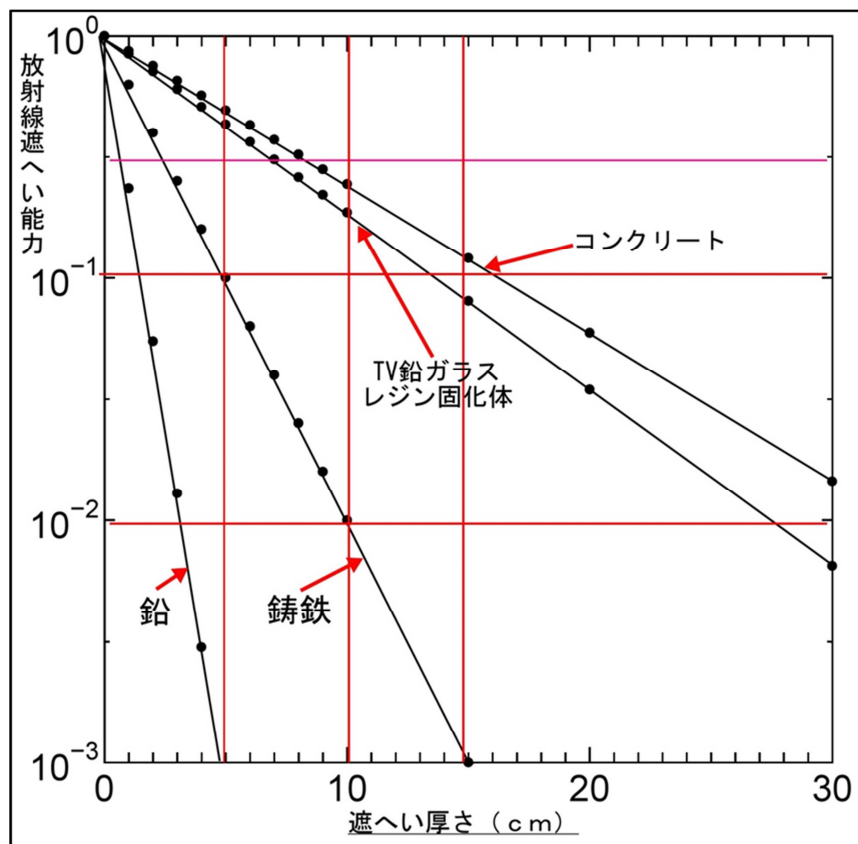


図3 放射線遮へい能力の比較

6) TV (テレビ) 鉛ガラス放射線遮蔽容器

内容積200リットルのドラム缶の内側に鉛ガラス(20wt%鉛含有)を厚さ15cm(放射線強度を1/10に減衰させる厚さ)レジン成形で取り付け例を図4に示す。

この場合、保管有効容積は、約40リットルであり、セシウム137の放射線強度1千万ベクレル/kgを内包した場合の表面照射線量率は、約178 μ Sv(マイクロシーベルト)/hrとなり、通常移送時として定められている2mSv(ミリシーベルト)/hrを十分に下回る。

この鉛ガラスレジン固化成形の中に、転炉ダスト鉄粉を混合させて更に放射線遮蔽能力を高める事も考えられる。



図4 TV鉛ガラス放射線遮蔽容器(例)

7) 鉛は有害物質であるため、大気暴露条件下で長期に亘り溶出防止の対策が必要になる。

鉛ガラスに不溶化処理を施した条件での鉛溶出の実証実験を行った。結果を、添付資料-2に示す。

添付資料-1

放射線遮蔽確認試験

遮蔽対象の放射線は、 ^{137}Cs からベータ崩壊により放出されるガンマ線（光子エネルギー：0.66MeV）である。ガンマ線は、極めて波長の短い「光」であり、「光」は「光子」と呼ばれる「粒」の集まりと考えられている。

光子束 ϕ の遮蔽物質による減弱は

$$\phi = \phi_0 \times \exp(-\mu X)$$

ϕ_0 : 遮蔽物質へ入る時の光子束

μ : 遮蔽物質の線減弱係数

X : 遮蔽物質の厚さ

と表される。

代表的な遮蔽物質の線減弱係数 (cm^{-1}) は、次の通りである。

① 鉛 ; 1.045、② 鉄 ; 0.46、③ コンクリート ; 0.141

(上記数値は、ICRP (国際放射線防護委員会) の 1/10 価層 (放射線強度を 1/10 に減弱する遮蔽物質の厚さ) と線減弱係数の関係から算出)

1) 実験概要

鉛ガラス粉砕物の破砕粒度 8mm 以下のものをレジン樹脂で固化したサンプル試験片 (厚さ : 1cm) を 10 枚作成し、 ^{137}Cs のガンマ線源に 1 枚ずつ厚みを追加する毎のガンマ線の減衰を測定することによる線減弱係数を評価することとした。

2) 実験方法

① 放射線源

セシウム 137 γ 線 370 KBq

② 対象物

・ TV 鉛ガラスの破砕片 8mm 以下をレジン固化したサンプル試験片

(5cm × 5cm × 1cm ; 10 体)

・ サンプル試験片の比重 ; 2.50

③ 実験手順

a) 線源無の状態での BG 測定

b) 線源と検出器間の距離を 10 cm (または 5cm) として、遮蔽無の吸収線量率測定

c) 線源側に上記 a) の対象物 (5cm × 5cm × 1cm ; 10 体) を線源側に 1 体ずつ設置しながら、放射線遮蔽能力を測定する。10 点測定データ

実験状況を図A及び図Bに示す。



図A 実験状況 No1 (サンプル 1 枚遮蔽試験)



図B 実験状況 No2 (サンプル 5 枚遮蔽試験)

3) 実験結果

サンプル試験体を 1 枚ずつ追加する毎の ^{137}Cs からのガンマ線低減の計測結果を表 6.2.1.3-1(1)及び(2)に示す。

表6.2.1.3-1(1) ガンマ線遮蔽試験結果N01(サンプル試験片10枚使用)

(単位 : C/100秒)

X(cm)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
I_0	554	484	384	368	302	257	222	228	161	172	156
バックグランド	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8
I	495	425	325	309	243	198	163	169	102	113	97
$\ln I$	6.21	6.05	5.78	5.73	5.49	5.29	5.10	5.13	4.63	4.73	4.58
μ		0.15239	0.21023	0.15697	0.17774	0.18311	0.18496	0.15338	0.19721	0.16394	0.16278
$\mu * X$		0.1523855	0.4204686	0.4709127	0.710973	0.9155338	1.1097799	1.0736858	1.5776419	1.4754649	1.6277777

μ (線減弱係数):最小二乗フィット= 0.1682462

半価層 = 41.19 mm

表6.2.1.3-1(2) ガンマ線遮蔽試験結果N01(サンプル試験片6枚使用)

(単位 : C/100秒)

X(cm)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0				
I_0	1,102	858	836	698	609	483	467				
バックグランド	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8	58.8				
I	1,043	799	777	639	550	424	408				
$\ln I$	6.95	6.68	6.66	6.46	6.31	6.05	6.01				
μ		0.26642	0.14717	0.16327	0.15993	0.17995	0.15637				
$\mu * X$		0.2664223	0.2943341	0.4898005	0.6397234	0.8997732	0.9382164				

μ (線減弱係数):最小二乗フィット= 0.1580979

半価層 = 43.83 mm

4) 実験のまとめ

ブラウン管式テレビの廃棄製品から回収された鉛ガラスをレジン固化したサンプルを用いて、ガンマ線 (^{137}Cs 線源 : 370kBq) に対する遮蔽性能を評価した結果、次の実験結果を得た。

- 線減弱係数 : 0.1682 (cm^{-1})
- 半価層厚さ : 4.1 cm、1/10 価層厚さ : 13.7 cm、1/100 価層厚さ : 27.4 cm

ファンネルガラスの放射線遮蔽材利用に伴う鉛溶出抑制暴露実験

北九州市立大学
北九州市立大学
(株)西日本ガラスリサイクルセンター
日鉄住金環境(株)

○正会員 山田百合子
フェロー 伊藤 洋
河村 豊
大石 徹

1. はじめに

現在、ブラウン管テレビに使用されるファンネルガラス (写真-1 参照) は、水平リサイクルが困難な状況になりつつあり、その多くが国内に保管されている。ファンネルガラスに約 20%含まれる鉛は、本来 X 線の吸収性能を高めることを目的として含有させているが、一方で重金属であり、処分をするにしても鉛の溶出を抑制する必要がある。

著者らは、こうしたファンネルガラスの特徴を生かした利用方法として、著者らが開発中の放射性物質含有土壌・廃棄物の保管技術である“多機能盛土”の放射線遮蔽材の一部として適用することを考えた。その際、放射線の遮蔽効率の改善とは別に鉛の溶出による二次汚染の可能性が懸念され、著者らはファンネルガラスを対象として、鉛溶出を抑制する方法について室内実験を行い、続いて暴露実験をおこなっている^{1), 2)}。

本報告では、多機能盛土実証実験の一部にて実施中のファンネルガラスの屋外暴露の 3 ケース、i) 不溶化処理、ii) 不溶化処理+土砂充填、iii) 不溶化処理+土砂充填+吸着剤、が約 500 日を経過した。その結果、工学的に有用な結果が得られたのでここに報告する。



写真-1 ファンネルガラス

2. 実証試験の概要

実証試験で使用した多機能盛土 R 型 (図-1 の右下の写真) には、放射線遮蔽と盛土の強度確保のために周辺にジオセルによる側壁を構築している。図-1 は、このジオセルの 3ヶ所に鉛抑制処理を行った、i) 不溶化処理 (ケース C)、ii) 不溶化処理+土砂充填 (ケース A)、iii) 不溶化処理+土砂充填+吸着剤 5%含有 (ケース B)、の 3 ケースを充填した状況を示したものである。面積は、66cm 前後×80cm=5,280cm² (+のり面 66×30×50%=990cm²)、高さ約 H=1m (ガラス部分は 15cm×5 段=75cm) で容積は概ね V=400ℓ程度である。充填されたファンネルガラスの周囲は遮水シートで被い、この充填層を通過した浸透水のみを個別に集積できる構造としている。母材である不溶化鉛ガラスは、室内実験の結果から最も鉛の溶出量が小さく有用とされた平均粒径 10mm 程度のものを使用した (前述写真-1 参照)。盛土の天盤には、降雨浸透抑制のための豆砂利+降雨抑制シートを敷設している。

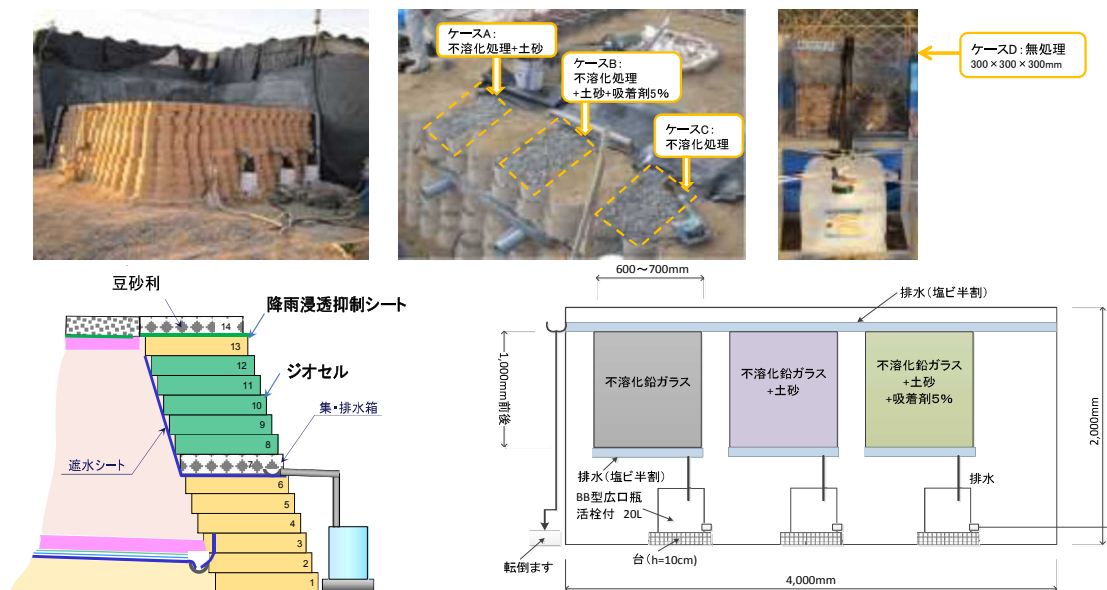


図-1 ファンネルガラスの充填暴露実験の概要

また、比較対象のため無対策のファンネルガラスのみを充填した鉛ガラス実験槽（面積 30cm×30cm=900 cm²、高さ H=30cm）を設定した。実験中は、気象観測として降雨量、日射量、蒸発量を計測した。採取した浸出水は JIS K0102 に準じて前処理を行い ICP-MS を用いて鉛の濃度を測定した。

3. 実験結果

図-2 は、暴露実験サイトにおける積算降水量と“多機能盛土”全体からの積算浸水量を示したものである。約 500 日間の積算降雨量 1738mm に対し、浸水量は 238mm と約 14%程度となっている。この差は、盛土内部への貯留、蒸発および降雨抑制シートによる抑制効果である³⁾。

図-3 は、ファンネルガラスを充填したケース別の積算浸透量を示したものである。鉛ガラスの積算浸透量は 1373mm、で積算降雨量の約 78%と蒸発量相当減（降雨量の 20~30%）とみなせる。ケース C（不溶化処理）では、浸透量が 83.20 となっている。これは、単純な予測浸透量 1480【238mm×5, 280cm²（シートあり）=12.50+1373mm×990cm²=135.90（シートなし）】の約 56%であり、平面形状と斜面や充填物の差異などを考慮すると概ね妥当であると判断され、大半は降雨浸透抑制シートがない部分からの浸透量であると推察できる。ケース A, B では、ケース C の更に 60%程度の浸出量となっているが、これは充填物（土砂等）により透水性が小さくなっていることによると考えられる。

図-4 は、鉛ガラスおよび各ケースでの浸出水の Pb 濃度の経時変化を示したものである。まず、鉛ガラスに注目すると Pb 濃度は最大で 0.153 mg/L と環境基準値の 0.01 mg/L の 15 倍の値となっており、経時的に低下傾向が認められる。鉛溶出抑制処理を行ったケース A, B, C では、Pb 濃度はいずれも鉛ガラスのケースと比較して大幅に小さくなっていることが確認できる。最大値と比較するとケース C（不溶化）で 0.01 mg/L、ケース A（不溶化+砂）で 0.0047 mg/L、ケース B（不溶化+砂+吸着剤）で 0.004 mg/L となっており、いずれも第二溶出基準を下回り、ケース B, C では環境基準以下となっている。これらの傾向は、前回の報告と同様の結果となった。

4. まとめ

ファンネルガラスの有効利用の一つとして、放射線遮蔽材としての利用を考え、その課題となる鉛の溶出抑制方法として、不溶化、土砂の充填、吸着剤を組み合わせる長期暴露実験を実施した。その結果、500 日経過時点で、不溶化+土砂（ケース A）および不溶化+土砂+吸着剤（ケース B）において、最大値でも環境基準（0.01 mg/L）を下回る結果が得られた。

なお、本研究は、平成 24, 25 年度北九州市環境未来技術開発助成（北九州市）を受けて実施したものの一部である。

参考文献

- 1) 山田百合子・伊藤洋・片山慎介・河村豊・大石徹：ファンネルガラスにおける鉛溶出に関する基礎実験，第 19 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp. 32~36, 2013.
- 2) 山田百合子・伊藤洋・河村豊・大石徹：ファンネルガラスの鉛溶出抑制に関する暴露実験（I），第 25 回廃棄物資源循環学会，pp. 461~462, 2014.
- 3) 安藤彰宣・伊藤洋・大石徹・松尾俊和：多機能盛土における降雨浸透抑制に関する実証実験（II），第 19 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会，pp. 107~110, 2013.

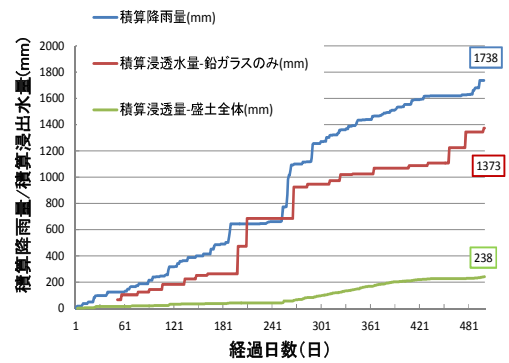


図-2 積算降雨量と盛土全体の積算浸出量

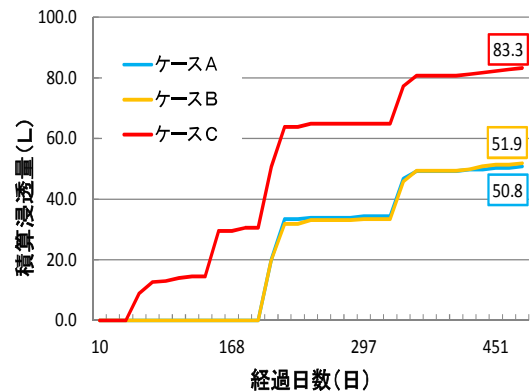


図-3 各ケースにおける積算浸透量

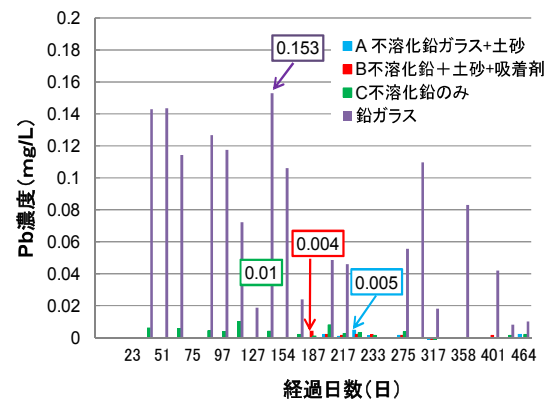


図-4 浸出水のPb濃度の経時変化