

# 不溶化処理飛灰からの放射性セシウム及び重金属類等の溶出挙動

半野 勝正，大石 修，井上 智博

## 1 はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故に伴い飛散した放射性物質により、福島県を中心に関東圏域等に及ぶ広域な放射性物質汚染が生じた。特に半減期が 30 年の Cs-137 の除染が緊急の課題である。また、汚染された木くず等の焼却に伴って発生した放射性物質を含んだ焼却灰・焼却飛灰等の処理・管理も問題となっている。国は、放射性物質に汚染された廃棄物の処理と土壌等の除染の二本柱からなる特別措置法「放射性物質汚染対処特別措置法」を平成 23 年 8 月 30 日に公布し、平成 24 年 1 月 1 日から本格施行している。その中で、放射性物質に汚染された廃棄物の処理に関しては、放射性セシウム濃度(Cs-134 と Cs-137 の合計値)が 8,000Bq/kg を超える廃棄物は「指定廃棄物」とし、国の責務で処理することとされ、それまでの間、保管することとされている。それ以外の放射性物質濃度が 8,000Bq/kg 未満の廃棄物は、廃棄物処理法に則って処理をすることとなっている。今回、千葉県内の廃棄物焼却施設で処理されている廃棄物の焼却飛灰と重金属類及びダイオキシン類の溶出を防ぐために不溶化処理した飛灰（以下、処理飛灰）について溶出試験を行い、放射性セシウム、重金属類及びイオン等の溶出挙動についての実態を調査した。

## 2 試料及び方法

試料は、千葉県内廃棄物焼却施設（A～E）の 5 施設から飛灰と処理飛灰（キレート又はセメント固化処理）を採取して用いた。表 1 に調査対象施設の概要を示す。試料 No.の右端数字 1 が焼却飛灰を 2 が処理飛灰

を表す（E1 のみ主灰）。

溶出試験は、JIS K0058-1 有姿攪拌試験により行った。すなわち、試料 200g を有姿のまま容器に入れ、10 倍量 (L/kg) の純水(2L)を入れ、攪拌翼を備えた攪拌装置を用いて毎分 200 回転で 6 時間攪拌した。攪拌後 10～30 分静置し、上澄み液を孔径 0.45  $\mu\text{m}$  のメンブレンフィルターを用いてろ過を行い、ろ液の pH と電気伝導度 (EC) を併せて測定した。得られたろ液について、重金属類については JIS-K-0102 ICP 発光分光分析法(Varian, Inc., Vista-PRO)により、イオン類については、JIS-K-0102 イオンクロマトグラフ法(東ソー, IC 2010)により分析を行った。

## 3 結果

表 2 に飛灰試料中に含有するセシウム濃度(Cs-134 と Cs-137 の合計値)とダイオキシン類濃度を示す。セシウム濃度は、213～1760Bq/kg の範囲、ダイオキシン類濃度は、22.6～1,790pg-TEQ/g でいずれも埋立基準の 8,000Bq/kg 及び 3,000pg-TEQ/g を大きく下回っていた。

表 3 に溶出試験の結果を示す。溶出試験後の放射性セシウムの不溶化率（溶出防止の割合、%）は、A2 を除き 0～30%であり、現状の不溶化処理では効果がほとんどないことが確認された。

図 1 に放射性セシウムの溶出量(Bq/L)とセシウムと同族（1A, アルカリ金属）である  $\text{K}^+$  と  $\text{Na}^+$  の溶出量 (mg/L)についての関係を示す。今回の放射性セシウム濃度では、その溶出量と  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  の溶出量との間の相関は低い関係であった。

表1 調査対象施設

| 施設名                | A焼却施設       | B焼却施設       | C焼却施設     | D焼却施設       | E焼却施設      |
|--------------------|-------------|-------------|-----------|-------------|------------|
| 試料採取年月日            | 2012.2.15   | 2012.3.9    | 2012.3.27 | 2012.3.9    | 2012.3.16  |
| 処理能力 (t/日)         | 120×2基      | 220×2基      | 165×2基    | 300×3基      | 150×2基     |
| 試料No.<br>(飛灰、処理飛灰) | A1, A2      | B1, B2      | C1, C2    | D1, D2      | E1(主灰), E2 |
| 燃焼装置型              | 流動床式        | 流動床式        | 流動床式      | ストーカ式       | ストーカ式      |
| 飛灰処理方法             | キレート+セメント固化 | キレート+セメント固化 | セメント固化    | キレート+セメント固化 | キレート       |

| 表2 飛灰試料中セシウム及びダイオキシン類含有量分析結果 |           |          |          |          |        |        |          |        |        |          |
|------------------------------|-----------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
| 試料名                          | A1        | A2       | B1       | B2       | C1     | C2     | D1       | D2     | E1     | E2       |
| Cs-134+137<br>含有量<br>(Bq/kg) | 1,630±140 | 1,370±49 | 224.5±34 | 213.3±29 | 750±64 | 680±64 | 1,005±43 | 590±46 | 400±37 | 1,760±43 |
| ダイオキシン<br>類含有量<br>(pg-TEQ/g) | 1.790     | 22.6     | 1.220    | 256      | 932    | 386    | 283      | 48.6   | 70.4   | 46.1     |

| 表3 溶出試験結果                     |            |           |            |            |          |           |           |           |            |           |
|-------------------------------|------------|-----------|------------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 試料No.                         | A1         | A2        | B1         | B2         | C1       | C2        | D1        | D2        | E1         | E2        |
| EC (mS/m)                     | 2,710      | 963       | 2,700      | 1,520      | 1,700    | 1,040     | 5,570     | 3,980     | 1,750      | 5,130     |
| pH                            | 12.5       | 11.3      | 13.0       | 12.7       | 11.6     | 11.1      | 12.5      | 12.2      | 8.5        | 11.7      |
| Cs-134+137<br>溶出量 (Bq/L)      | 119.7±2.85 | 58.6±1.34 | 25.34±1.77 | 16.12±1.29 | 59.1±2.5 | 36.3±1.58 | 62.1±2.07 | 47.7±1.93 | 24.11±1.37 | 184.1±3.6 |
| Cs減少率 (%)                     | 12         | 58        | 0          | 8          | 0        | 25        | 30        | 15        | 13         | 0         |
| AL                            | 0.74       | 0.74      | 0.48       | 0.73       | N.D.     | N.D.      | 1.1       | 1.2       | 0.71       | 1.6       |
| Cd                            | N.D.       | N.D.      | N.D.       | N.D.       | N.D.     | N.D.      | N.D.      | N.D.      | 0.0036     | N.D.      |
| Cr                            | N.D.       | 0.18      | 0.025      | 0.041      | N.D.     | 0.059     | N.D.      | 0.12      | 0.0023     | N.D.      |
| Cu                            | 0.015      | 0.021     | 0.051      | N.D.       | 0.0065   | N.D.      | 0.031     | N.D.      | 0.083      | 0.11      |
| Fe                            | 0.0044     | 0.0071    | 0.0087     | 0.0066     | 0.0020   | 0.0036    | 0.013     | 0.0093    | 0.010      | 0.039     |
| Mn                            | 0.0045     | 0.0034    | 0.0035     | N.D.       | 0.0038   | N.D.      | 0.018     | 0.0075    | 0.084      | 0.044     |
| Pb                            | N.D.       | 0.043     | N.D.       | 0.014      | 0.17     | 0.016     | N.D.      | N.D.      | N.D.       | N.D.      |
| Zn                            | 0.51       | 0.053     | N.D.       | 0.016      | 0.062    | 0.028     | N.D.      | 0.0083    | 0.054      | 0.99      |
| As                            | N.D.       | N.D.      | N.D.       | N.D.       | N.D.     | N.D.      | N.D.      | N.D.      | N.D.       | N.D.      |
| Na <sup>+</sup>               | 2,300      | 1,200     | 2,100      | 1,700      | 2,300    | 1,400     | 4,700     | 3,600     | 1,600      | 6,800     |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | N.D.       | N.D.      | N.D.       | N.D.       | N.D.     | N.D.      | N.D.      | 20        | 37         | 16        |
| Mg <sup>2+</sup>              | 19         | 14        | 29         | 18         | 13       | 11        | 15        | 16        | 102        | 19        |
| Ca <sup>2+</sup>              | 2,100      | 590       | 2,000      | 1,600      | 2,200    | 720       | 6,900     | 4,000     | 1,300      | 2,700     |
| K <sup>+</sup>                | 1,400      | 920       | 680        | 280        | 1,500    | 940       | 3,600     | 3,200     | 1,200      | 5,400     |
| Cl <sup>-</sup>               | 8,200      | 5,400     | 8,000      | 5,200      | 8,700    | 4,100     | 20,000    | 15,000    | 5,500      | 18,000    |
| F <sup>-</sup>                | 13         | 3.9       | 12         | 10         | 4.6      | 12        | 4.8       | 17        | 33         | 14        |
| Br <sup>-</sup>               | 29         | 16        | 130        | 98         | 50       | 29        | 140       | 83        | 42         | 100       |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | N.D.       | N.D.      | N.D.       | N.D.       | N.D.     | N.D.      | N.D.      | N.D.      | 5.5        | 5.4       |
| PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | N.D.       | N.D.      | N.D.       | N.D.       | N.D.     | N.D.      | N.D.      | N.D.      | N.D.       | N.D.      |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 15         | 43        | 280        | 100        | 6.2      | 87        | 1,400     | 270       | 910        | 1,800     |
| DXNs<br>(pg-TEQ/L)            | <1         | <1        | <1         | <1         | <1       | <1        | <1        | <1        | <1         | <1        |

#### 4 結論

本研究の結果，以下のことが明らかになった。

- 1) 溶出試験後の放射性セシウムの不溶化率(%)は，A2を除き0～30%であり，現状の不溶化処理では効果がほとんどないことが確認された。
- 2) 放射性セシウムの溶出量(Bq/L)とセシウムと同族(1A, アルカリ金属)であるK<sup>+</sup>とNa<sup>+</sup>の溶出量(mg/L)との溶出挙動の相関性は低い関係であった。

#### 5 参考文献

- 1) 澤田，渡邉ら；一般焼却灰からのセシウム溶出特性に関する研究，第23回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集，pp.171-172 (2012)
- 2) 小口，鹿角ら；キレート処理一般廃棄物焼却飛灰からの重金属溶出状況とその要因の検討，全国環境研会誌，Vol.37, No2, pp.23-31 (2012)
- 3) 半野，大石ら；不溶化処理飛灰からの放射性セシウム及び重金属類等の溶出挙動，第22回環境化

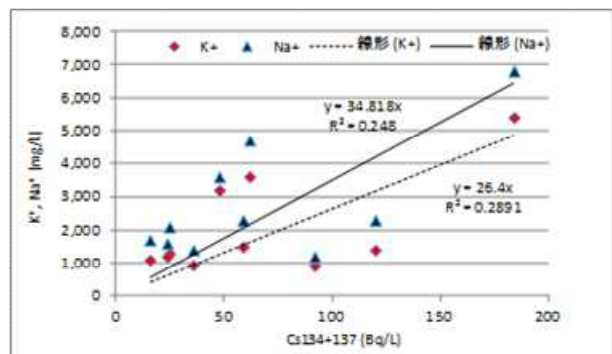


図1 放射性セシウム溶出量とK<sup>+</sup>，Na<sup>+</sup>溶出量との関係

学会討論会プログラム集，pp.436-437 (2013)