

焼却飛灰への 1,4-ジオキサンの集積メカニズムの検討

高知大学 学生会員○尾田修一、正会員 藤原 拓、正会員 大年邦雄
栗田工業 玉田 徹

1. はじめに

廃棄物処分場の浸出水には、様々な有害な化学物質が含まれていることが明らかになっている。しかし、浸出水中に含まれる化学物質の起源および処分場内での溶出メカニズムに関しては未解明な部分が多く、浸出水による人の健康や環境への影響が危惧されている。本研究では、浸出水中から高濃度・高頻度で検出され、生物難分解性であり、発がんの可能性が疑われる 1,4-ジオキサンを研究対象物質とした。昨年度までの研究より、廃棄物処分場浸出水中の 1,4-ジオキサンの起源の 1 つがごみ焼却施設から排出される焼却飛灰であることが明らかになった。しかし、その由来が何であるのかが不明であったことから、本研究では焼却飛灰への 1,4-ジオキサンの集積メカニズムを検討した。

2. 実験方法

2ヶ所の焼却施設から採取した焼却残渣を用いて、表1に示す繰り返し溶出実験を行うとともに、繰り返し溶出実験後の焼却残渣および活性炭を用いた吸着実験を表2に示す条件で行った。焼却残渣を採取した焼却施設のフローおよび採取箇所を図1、図2に示す。

繰り返し溶出実験は、常温常圧（25℃・1気圧）、振とう強度 200 回/分、振れ幅 4~5cm の条件で行った。採水は一定時間ごとに行い、採水後は新たな溶媒を投入し、再び振とうさせた。溶出液はガラス繊維ろ紙（WhatmanGF/B）でろ過し pH と水温を測定した後、速やかに冷蔵保存した。繰り返し溶出実験は焼却残渣に含まれる 1,4-ジオキサンがほぼ全量溶出したと考えられるまで継続した。

吸着実験は、繰り返し溶出実験後の各焼却残渣および活性炭を用いて行った。振とう条件および溶出液の測定は繰り返し溶出実験と同様とした。振とう時間は事前に行った吸着平衡時間の結果から十分に平衡に達していると考えられる 48 時間とした。pH および水温はポータブル pH メーター (TOA - DKK HM21P) で測定した。1,4-ジオキサン分析は、固相抽出後にガスクロマトグラフ質量分析計 (Agilent Technologies 社 5973inert) を用いて選択イオン検量法で定量した。

表1 各焼却残渣の繰り返し溶出実験条件

サンプル名	E3	E4	K1	E2	K7	K5
液固比	焼却残渣の乾燥重量に対して液固比が 10L/kgになるように蒸留水を入れる					

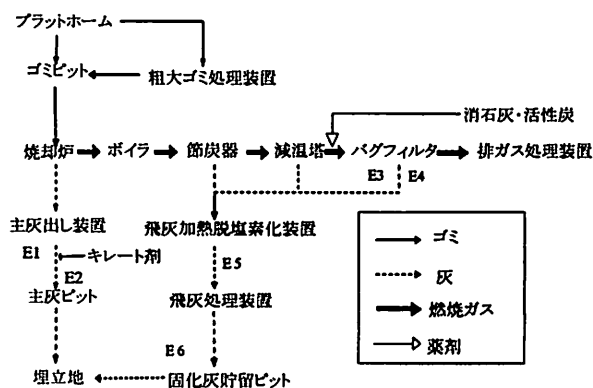


図1 E 焼却施設フロー

表 2 各焼却残渣および活性炭の吸着条件

サンプル名	E3	E4	K1	E2	K7	K5	活性炭
サンプル乾燥重量(g)	0.23-3.38	0.20-2.46	0.25-4.81	0.22-4.82	0.24-4.58	1.0-15.0	0.05-6.0
DIOX初期濃度(μ g/L)	600						
蒸留水(mL)	20					30	20
振とう時間(h)	48						

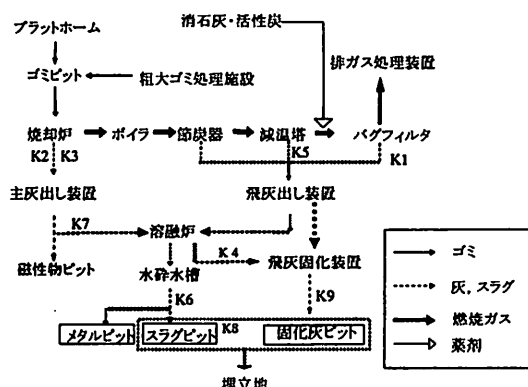


図2 K焼却施設フロー

3. 結果および考察

図 3 に示す各焼却残渣の繰り返し溶出実験の結果より、バグフィルタで捕集された焼却飛灰 E3、E4、K1 は、水で振とうすることによって、容易に高濃度の 1,4-ジオキサンを溶出したが、焼却主灰 E2、K7 および焼却飛灰 K5 からはほとんど溶出しなかったことがわかる。この結果より、バグフィルタで捕集された焼却飛灰が 1,4-ジオキサンの起源であることが確認された。同じ焼却飛灰でも減温塔から採取した焼却飛灰 K5 とバグフィルタで捕集された焼却飛灰 E3、E4、K1 では、実験終了時の 1,4-ジオキサンの累積溶出量が大きく異なることから、減温塔とバグフィルタの間で噴霧されている活性炭が焼却飛灰への 1,4-ジオキサンの濃縮に影響を与えていると考えられる。また、実験終了時の 1,4-ジオキサンの累積溶出量が一定値に漸近したことから最大溶出可能量の検討を (1) 式で行った。

$$S = \frac{S_0 t}{K + t} \quad \text{--- (1)}$$

ここで、S は累積溶出量 (μg/g)、S₀ は累積溶出可能量 (μg/g)、t は振とう時間 (h)、K は半飽和定数 (h) である。この結果より、高濃度の 1,4-ジオキサンを溶出した焼却飛灰の最大溶出可能量と実験終了時の累積溶出量の比(S/ S₀)が 0.94~1.08 となり、比が 1 に近いと、溶出実験終了時には焼却残渣内の 1,4-ジオキサンはほぼ全量溶出したと考えられる。吸着実験の結果を図 4 に示す。図より、バグフィルタで捕集された焼却飛灰 E3、E4、K1 および活性炭に対する 1,4-ジオキサンの吸着は、(2) 式で示される Freundlich 型の吸着等温式で表すことができた。

$$q = K_F \cdot C^{1/n} \quad \text{--- (2)}$$

ここで、q は平衡吸着量 (μg/g)、K_F は Freundlich 定数、C は平衡濃度 (μg/L)、1/n は Freundlich 指数である。焼却主灰 E2、K7 および焼却飛灰 K5 では、1,4-ジオキサンはほとんど吸着しないということがわかった。また、一般的に Freundlich 指数が 0.1~0.5 なら吸着は容易だとされており、表 3 に示すように活性炭の Freundlich 指数は 1.06 であることから、活性炭は比較的 1,4-ジオキサンを吸着しやすいと考えられる。また、活性炭が噴霧される前の減温塔から採取した焼却飛灰 K5 からは、ほとんど 1,4-ジオキサンの溶出がなく、吸着もほとんど起こらなかったのに対して、活性炭噴霧後のバグフィルタで捕集された焼却飛灰 E3、E4、K1 では、高濃度の 1,4-ジオキサンが溶出し、1,4-ジオキサンの吸着も生じたことから、バグフィルタ前で噴霧されている活性炭が 1,4-ジオキサンの吸着にも影響を与えていると考えられる。以上の結果より、バグフィルタで捕集された焼却飛灰 E3、E4、K1 における 1,4-ジオキサンの溶出および吸着は可逆的な吸脱着反応であることがわかった。

4. まとめ

バグフィルタで捕集された焼却飛灰から高濃度の 1,4-ジオキサンが溶出したのは、焼却飛灰に含まれる活性炭の影響が大きいと考えられる。また、バグフィルタで捕集された焼却飛灰を水で振とうさせることにより容易に 1,4-ジオキサンを溶出できたことから、埋立処分を行う前に焼却飛灰を水で洗浄することにより、最終処分場の浸出水に含まれる 1,4-ジオキサンの流出を抑制できると考えられる。

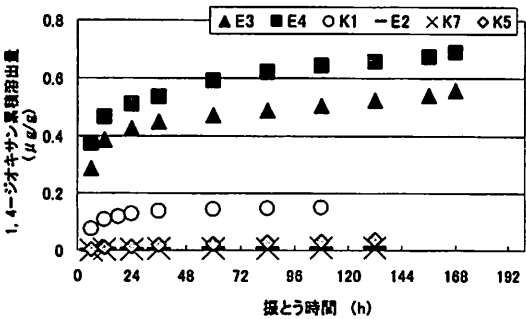


図 3 各焼却残渣の繰り返し溶出実験結果

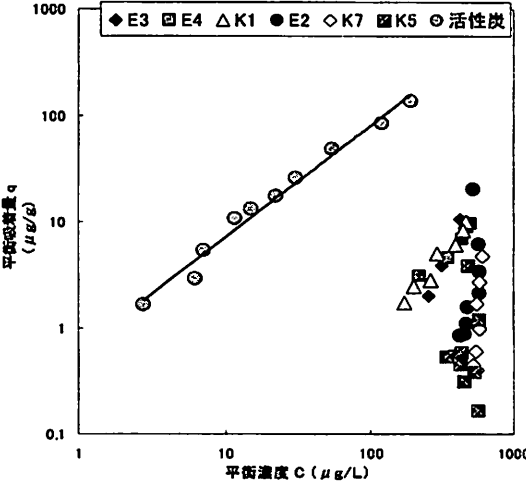


図 4 各焼却残渣の吸着等温線

表 3 各焼却残渣および活性炭の Freundlich 定数・Freundlich 指数

	K _F	1/n	R ²
E3	7.1 × 10 ⁻⁷	2.70	0.96
E4	1.5 × 10 ⁻³	1.40	0.94
K1	3.2 × 10 ⁻⁴	1.67	0.96
E2	—	—	0.08
K7	3.0 × 10 ⁻⁶	9.30	0.67
K5	—	—	0.01
活性炭	6.2 × 10 ⁻¹	1.06	0.98