

「廃棄物の適正処理・水処理に係る調査研究助成制度」  
研究成果発表会  
要旨集

平成30年7月

大阪湾広域臨海環境整備センター



# 目次

ページ

1. 一槽式SADシステムによる海面埋立管理型処分場浸出水の高効率・低コストの窒素低減技術の提案(その3)…………… 1  
地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所 環境研究部 水生生物グループ 主任研究員 相子 伸之
  
2. 焼却排ガスの活用による都市ごみ焼却残渣の炭酸化処理による温室効果ガス削減及び海面埋立処分場の安定化促進に関する研究…………… 5  
公立鳥取環境大学 環境学部環境学科 准教授 金 相烈
  
3. 最終埋立処分地における有害化学物質の挙動予測に向けた浸出水中有機物の網羅的解析(その2)…………… 9  
京都大学大学院 工学研究科 都市環境工学専攻 助教 日下部 武敏
  
4. 焼却残渣資源化のための焼却主灰と飛灰の区画埋立管理方法の提案…………… 13  
北海道大学大学院工学研究院 循環計画システム研究室 助教 佐藤 昌宏
  
5. 少子高齢化時代における循環資源の退蔵の実態と適正管理方策に関する研究(その2)…………… 17  
福岡大学工学部 助教 鈴木 慎也
  
6. パッシブサンプラーを用いた廃棄物埋立処分場及びその周辺における微量有機汚染物質の測定(その3)…………… 21  
大阪市立大学 都市研究プラザテニユアトラック特任 准教授 遠藤 智司
  
7. 海面埋立地からの浸出水中窒素除去への嫌気性アンモニア酸化(ANAMMOX)反応の適用と温室効果ガスの排出抑制…………… 25  
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 准教授 西村 文武
  
8. 集約嫌気性消化による小規模処理施設での廃棄物系バイオマス有効活用の促進(その3)…………… 29  
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 講師 日高 平
  
9. 高反応性消石灰に起因する焼却飛灰からの有機物汚濁負荷に関する研究…………… 33  
大阪市立大学大学院工学研究科 准教授 水谷 聡



## 一槽式 SAD システムによる海面埋立管理型処分場浸出水の 高効率・低コストの窒素低減技術の提案

○相子 伸之（地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所）

山際 秀誠（和歌山県工業技術センター）

諏訪 裕一（中央大学理工学部生命科学科）

平 大輔（崇城大学生物生命学部）

### 1. 調査研究目的

海面埋立管理型処分場の浸出水には高濃度のアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）が含まれており、埋立を終了した後も水質を管理し、基準値を守って排水しなければならない。埋立終了から処分場の廃止までには長期間を要するため、その期間は処理施設を稼働し続けなければならない、膨大な維持管理コストが長期間に渡ってかかる。

窒素処理には、概ね従来からの硝化／脱窒プロセスが適用される。脱窒には、微生物に容易に分解される電子供与体となる有機炭素（BOD）が必要である。埋立初期の浸出水には BOD は十分に含まれているが、埋立終了後は BOD が低下するため、メタノールなどの有機物を添加する必要があり、維持管理コストを高める要因の 1 つとなっている。

一方で、著者らのこれまでの研究では、堺 7-3 区処分場あるいは泉大津沖処分場の調整池では滞留期間中に窒素濃度を低下していることが明らかになった。また、この窒素低下には、アナモックス菌（anammox : anaerobic ammonium oxidation : 嫌氣的アンモニア酸化）の関与が示唆された。アナモックスは、嫌気条件下において  $\text{NH}_4\text{-N}$  を電子供与体、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）を電子受容体として  $\text{N}_2$  に還元する独立栄養的脱窒反応であり、従属栄養的な脱窒プロセスと異なり電子供与体として有機炭素を必要としない。さらに、窒素除去能力が高く、余剰汚泥が少ないなどのメリットがあるため、効率的かつ経済的な脱窒プロセスとして期待が高まっている。

本研究では、このアナモックスを利用した高効率・低コストの窒素低減技術を開発するための基礎的な知見を得ることを目的として、パイル担体を用いて調整池水中の細菌群集を集積する。このパイル担体はこれまでにアナモックス処理とその前駆処理である部分的亜硝酸化を 1 つの処理槽で同時に行うことのできる担体としての実績がある。調整池には従属栄養性の脱窒菌も存在していると考えられるため、部分的亜硝酸化～アナモックス～従属栄養性脱窒を 1 つの処理槽でハイブリッドに行うことの出来る、SAD（Simultaneous Anamnox and Denitrification）システムの構築を目指す。

---

【連絡先】相子伸之 地方独立行政法人 大阪府立環境農林水産総合研究所 環境研究部

住所：〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度 442 TEL：072-979-7064 FAX：072-956-9790

E-mail：[aiko@mbox.kannousuiken-osaka.or.jp](mailto:aiko@mbox.kannousuiken-osaka.or.jp)

キーワード：浸出水調整池、窒素循環、anammox、硝化、脱窒

## 2. 調査研究方法

### (1) パイル担体を用いた SAD システムの概要

この技術は、微生物付着担体としてパイル織物からなるパイル担体を用いることによって好気性のアンモニア酸化細菌と嫌気性のアナモックス菌を同時に付着固定することが出来る様になり、一槽式のアナモックス処理が進行する技術である。図 1-1 にこの技術の模式図を示す。パイル担体の液面に接触した部分では、好気性のアンモニア

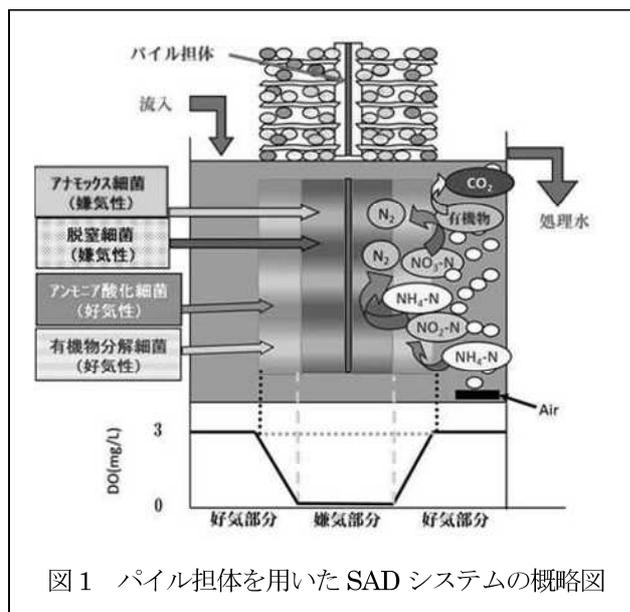


図 1 パイル担体を用いた SAD システムの概略図

酸化細菌が付着固定され、その内側のパイル担体の根本付近では、嫌気性のアナモックス菌が付着固定され、アナモックス処理が進行する。この技術を用いることで、低濃度での部分亜硝酸化反応のコントロールが容易となり、安定したアナモックス処理による窒素除去が可能になる。

### (2) 管理型廃棄物最終処理場の浸出水調整池のリアクターの菌叢解析

寸寸が、幅 15 cm、奥行き 11.5 cm、深さ 80 cm の透明塩化ビニール製塩ビ角型容器に、容量が 10 L となるように底面から 64 cm の流出口をつくり、この流出口に塩化ビニール管を付属した (図 2)。

この容器には、流入側と流出側の両方に幅 3 cm となるように、厚さ 0.5 cm の仕切り板を設置した。この仕切り板の下方を高さ 7 cm×幅 8 cm 角で切り抜き、上方は水面より 4 cm 低くした。この 2 枚の仕切り板の内側にはパイル担体 (9RA-91-70) を設置した。この一槽式 SAD リアクターに、処理施設の原水である調整池水連続的に流入した。2

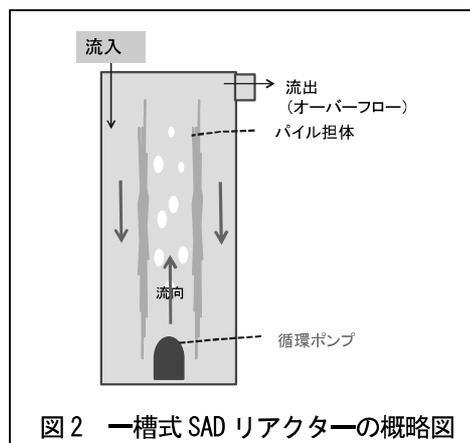


図 2 一槽式 SAD リアクターの概略図

表 1 採取した試料の採取時期とサンプル番号

	採取日	設置期間	サンプル番号
2014	11月21日	5ヶ月	1
	12月10日	1ヶ月	2
		12ヶ月	3
		12ヶ月	4
2015	7月9日	8ヶ月	5
		8ヶ月	6
	10月5日	3ヶ月	7
	12月14日	2ヶ月	8

枚の仕切り板の間には循環ポンプを設置し、上行流で水を循環した。平成 27 年 7 月にはエアポンプで 0.5 L/分程度で通気し酸素を供給したが、流入水の DO が高まりリアクター内の DO が想定よりも高まったためその後停止した。このリアクターから表 1 の採取日に汚泥を採取した。

### (3) 現地で集積した汚泥で構築したリアクターの低温条件下での窒素処理性能

容量が 5.4 L の図 2 同様の水槽を準備し、2 枚の仕切り板のうち、流入側には内側のみに、流出側には内側と外側に、合計 3 枚のパイル担体を設置した。このリアクターに、合成浸出水（表 2）を 2 mL～8 mL/分の速さ、すなわち、HRT=12～48h で連続的に流入した。リアクターには攪拌機を設置し、シャフトは 2 枚の仕切り板の間に配置し攪拌の上行流で水を循環した。水温は、ヒーターにより 25°C に調整した。368 日目以降 50 mL/min の緩やかな速度でエアレーションを行った。このリアクターを 691 日目まで培養したのちに、水道水を入れた 30 L 容量の塩ビ水槽に入れ、水道水で満たした水槽に入れた投げ込み式のサーキュレーターとリアクターに入れた投げ込みヒーターで、リアクター内の水温を 15°C に調整した。

### (4) 集積した汚泥の付着量とアナモックス・脱窒活性

汚泥スラリーを Ar ガスをバージした後、嫌気箱内で 5 mL 容バイアルに入れブチルゴム栓をした。その後、バイアル内を置換装置で He ガスに置換した。

5 本のバイアルのうち、添加系 1、2 には  $^{15}\text{N}$  標識した  $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$  と標識のない  $\text{NaNO}_3$  を、添加系 3、4 には  $^{15}\text{N}$  標識した  $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$  と標識のない  $\text{NaNO}_2$  を、添加系 5 には  $^{15}\text{NH}_4\text{Cl}$  のみを、それぞれ終濃度が 500  $\mu\text{M}$  となるように添加した。

## 3. 結果および考察

### (1) 管理型廃棄物最終処理場の浸出水調整池のリアクターの菌叢解析

1～4 の試料の菌叢に同じ傾向があり、5 と 6 および 7 と 8 が同様に類似している菌叢であることがみてとれた（図表には示していない）。アンモニア酸化細菌である Nitrosomonadaceae 科が各試料に 1～6%程度含まれていた。

また、anammox 菌である Brocadiaceae の割合は 0.0～0.2%程度であった（表 2）。特に低かった試料 5 および 6、すなわち平成 27 年 7 月 9 日の付着汚泥、および余剰汚泥では、それぞれ 85,397 および 71,938 リード中では検出されなかった。これらの試料を採取したとき、リアクターの DO は 6.8 mg/L と高く、この好気条件下でアナモックス菌が生残しなかったと考えられた。また、比較的高い値を示した 1、3 は、

汚泥の付着期間が 5 ヶ月、12 ヶ月と長期的に担体を設置した試験系であり、長期設置によりアナモックスの割合が高まることも考えられた。

1	2	3	4	5	6	7	8
0.23	0.06	0.16	0.13	0.00	0.00	0.10	0.05

## (2) 現地リアクターで集積した汚泥の性能評価

530日目から4 mL/min、642日目から8 mL/minの速度で、さらに691日目からは低温処理を行って連続処理を継続した。速度を高めた当初はTDN濃度は高まったが、徐々に低下し649日以降は13.1 mg/L ~

34.2 mg/Lで推移した

(図3)。691日低温処理

した以降は、16.1 mg/L

~41.8 mg/Lで推移し、

25°Cの処理と大きな差

はなかった。なお、15°C

の処理中の715日目には

3面設置したパイル担体

のうち一面から汚泥を採

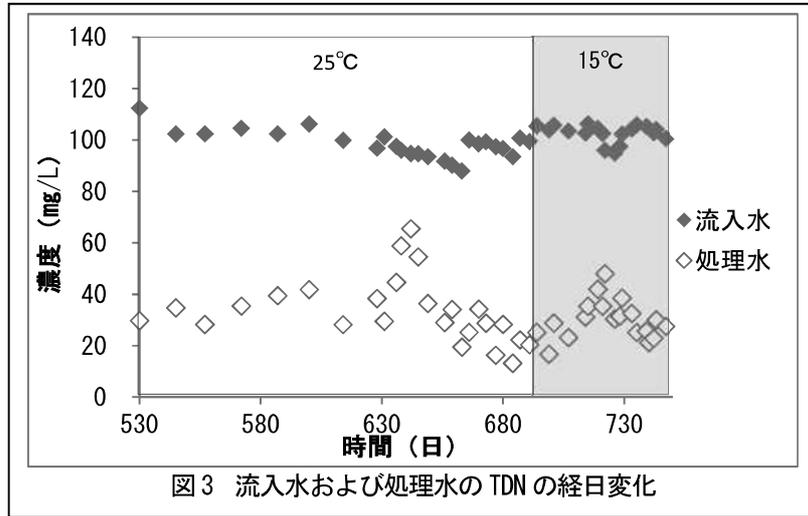


図3 流入水および処理水のTDNの経日変化

取し、その直後に若干の窒素濃度の上昇がみられたが速やかに低下に転じた。これらのことから、15°Cの低温条件では、このリアクター窒素処理能力に影響を及ぼさないことが明らかになり、除去した汚泥も速やかに回復することが推察された。

## (3) 集積した汚泥の付着量とアナモックス・脱窒活性

リアクターAおよびリアクターBについて、硝酸塩あるいは亜硝酸塩を添加した実験系のいずれでもアナモックス由来<sup>29</sup>N<sub>2</sub>が生成した(表3)。これらの汚泥はNO<sub>2</sub>-Nだけでなく亜硝酸酸化によりNO<sub>3</sub>-Nにまで酸化された窒素もアナモックスの基質として利用できることが明らかになった。また、アナモックスによるNO<sub>2</sub>-Nの依存性に対するNO<sub>3</sub>-Nの依存性を表す比活性(relative activity (%))はリアクターAの汚泥で12%、リアクターBの汚泥で9%といずれのリアクターでも低かった。

基質	リアクターA			リアクターB		
	<sup>29</sup> N <sub>2</sub> 生成速度*1		relative activity (%)	<sup>29</sup> N <sub>2</sub> 生成速度*1		relative activity (%)
	(nmol/mg-dry/min)	(μg/gVSS/hr)		(nmol/mg-dry/min)	(μg/gVSS/hr)	
実験系 3, 4 NO <sub>3</sub> -N + <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> -N	0.39	1213	100	0.55	1925	100
実験系 1, 2 NO <sub>3</sub> -N + <sup>15</sup> NH <sub>4</sub> -N	0.05	156	13	0.05	175	9

\*1 : 2連の平均を示す

# 焼却排ガスの活用による都市ごみ焼却残渣の炭酸化処理による温室効果ガス削減及び海面埋立処分場の安定化促進に関する研究

○金 相烈（公立鳥取環境大学）

## 1. 研究の背景及び目的

環境省の発表によると、2015年度の国内の温室効果ガス総排出量は13億2,100万t（CO<sub>2</sub>換算）であり、そのうち、廃棄物分野からは全体の約2%を占めているが、廃棄物分野全体の中で焼却処理による排出が最も多く、約8割とされている。このことから、同分野における温暖化対策において焼却施設からのCO<sub>2</sub>排出量の削減に積極的に取り組む必要がある。

また、廃棄物の埋立地確保がますます困難となっている中、海面埋立地は相対的にNIMBY問題が少なく、大規模な容量が確保でき、洪水や地震の際に短時間で大量に発生する災害廃棄物の対策としても適しているため、自然災害が多い日本においては今後もなくはない重要な環境施設である。しかし、海面埋立地の構造上、埋立廃棄物は嫌氣的となりやすく、海面埋立地に入ってくる焼却残渣はほとんど高アルカリであるため、海面埋立地の浸出水は長時間にわたって高pHを保ち、その影響で有機物の分解が遅くなり、結果的に埋立後の安定化が遅延する可能性がある。その結果、跡地利用への着手が遅れるだけでなく、埋立管理中の環境汚染のリスクと維持管理費用の負担が大きくなる問題がある。

そこで、本研究では焼却残渣の炭酸化処理による焼却排ガス中のCO<sub>2</sub>の削減効果を定量的に評価するとともに、その炭酸化処理した焼却残渣を用いて海面埋立地模擬実験を行い、海面埋立地の早期安定化を遅延させるpHと水中の汚濁成分（本研究ではCOD）を中心にその効果を確かめた。

## 2. 研究方法

1) 焼却施設の煙突から発生する排ガスを想定したCO<sub>2</sub>濃度（CO<sub>2</sub> 10%、N<sub>2</sub> 90%）を用いて、焼却残渣の含水率によるCO<sub>2</sub>の吸収特性を明らかにし、本実験の結果に基づいて全国の焼却施設から排出するCO<sub>2</sub>の削減量を定量的に評価した。また、炭酸化した焼却残渣を用いて環境庁告示第13号（以下環告13号）溶出試験を行い、pHの他に、Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、EC、TOCを測定し、炭酸化処理による影響も確認した。

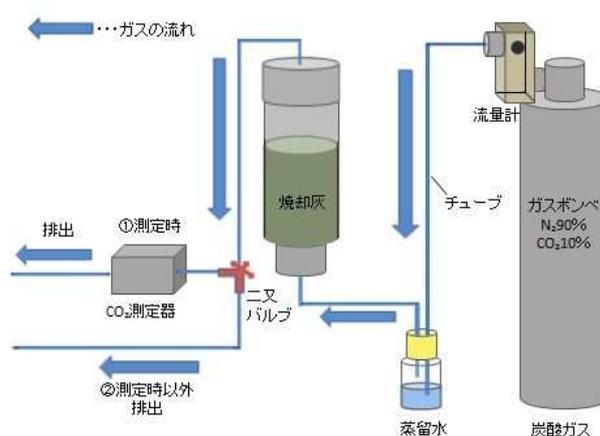


図1 焼却灰炭酸化処理装置

連絡先：金 相烈 公立鳥取環境大学 〒689-1111 鳥取県鳥取市若葉台北 1-1-1  
email:sykim@kankyo-u.ac.jp Tel:0857-32-9123

キーワード：焼却残渣、炭酸化処理、温室効果ガス、海面埋立地、早期安定化

2) 炭酸化処理した焼却残渣と未処理の焼却残渣に加えて、有機物等の変化をより確実にみるために「炭酸化処理の焼却残渣とコンポストの混合ごみ(9:1)」の試料を用いて、海面埋立地の模擬実験を行った。各試料は1.1kgを充電した後、イオン交換水を入れL/S比を4にした。

毎週分析用のサンプルとして焼却残渣層の上水と下水を200mLずつ計400mL採取し、イオン交換水を新たに400mL補充した。

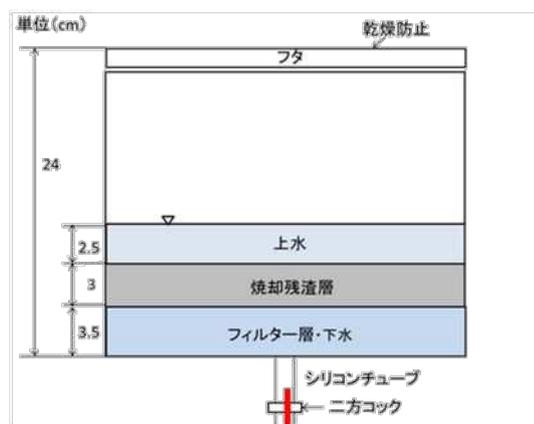


図2 模擬海面埋立地

### 3. 結果と考察

#### 1) 焼却残渣による焼却施設排ガス中の二酸化炭素の削減効果

図3は含水率(WC)0~20%における主灰のCO<sub>2</sub>吸収量と、環告13号溶出試験後のろ液のpHを示している。含水率0を除いて含水率5~20%でCO<sub>2</sub>吸収量の差がほとんどなく、吸収量は約0.065g-CO<sub>2</sub>/g-主灰であった。炭酸化処理によるpHの低下は1~2程度しかなかったが、pHの変化からもCO<sub>2</sub>の吸収が確かめられた。

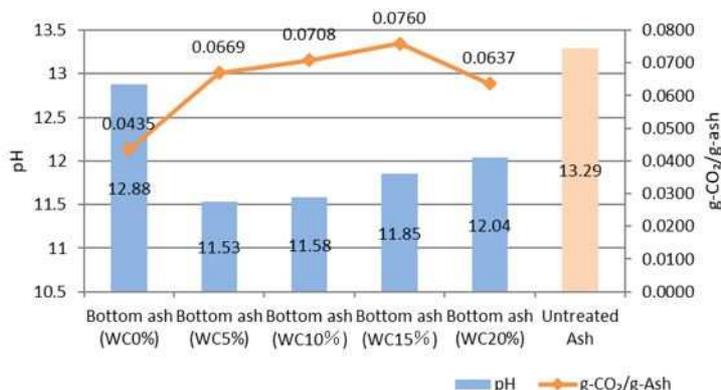


図3 含水率による炭酸化処理の効果(吸収量とpH)

焼却施設から出る排ガス量に対する焼却残渣量を考えると、一般的に排ガス

量が圧倒的に多く、結果的に実験結果に基づいて計算すると、焼却排ガス中の総CO<sub>2</sub>量の中で約1~2%しか除去できないが、全国から出る焼却残渣によるCO<sub>2</sub>削減量を計算すると、年間約25.3万tのCO<sub>2</sub>を削減することができる。これを2017年度のCO<sub>2</sub>1t当たりの取引価格に換算すると約4億円となり、毎年CO<sub>2</sub>の取引にかかる4億円ものコストを焼却残渣の炭酸化処理によって削減することが可能である。

#### 2) 焼却残渣の炭酸化前処理による海面埋立地の早期安定化促進効果

図4は各実験装置から採取した水試料のpH測定結果を表したものである。未処理試料の場合、上水は大気中の二酸化炭素の影響で初期のpH12.9から108日後はpH11.3まで下がっているが、未処理の下水はpH13以上で横ばいしている。炭酸化処理した試料は未処理と比べると、上下共にpHが1くらい下がったが、その後の変化が見られない。図5は各実験装置下側の試料のTOCの時間変化を表したものである。未処理は初期の250mg/Lから、400mg/Lまで上昇が続いているに

対し、炭酸化処理した試料は初期の 180mg/L から、25mg/L まで下がっている。コンポスト混合試料も初期の 400mg/L から、80mg/L まで下がっており、炭酸化処理した試料の方が明らかに TOC の低下が見られる。図 4 のように、処理した試料も高アルカリであり微生物の活動はあまり期待できないにもかかわらず、炭酸化処理した試料だけが明らかに低いことから、TOC の低下は炭酸化処理による炭酸カルシウム被膜が有機物の溶出を抑制したと考えられる。

図 6 は各実験装置下側の試料の Na、K、Cl 濃度の測定結果を表したものである。どの試料からも毎週新たに水を注入することにより一定の速度で濃度が低下しているが、Na と K においては炭酸化処理した試料の方が未処理より初期の時から低く、その後も明らかに差が見られているのに対し、Cl においてはほとんど初期もその後も差が見られていない。このことから、炭酸化処理が Na と K の溶出抑制に作用していると推測される。溶出試験の結果からも上記と同様に、炭酸化処理した試料の方が Na と K の濃度が著しく低く、Cl の濃度はほとんど差が見られなかった。このことから、水中のイオン成分は TOC のような炭酸カルシウムの被膜形成による溶出抑制ではなく、図 7 で示したように、炭酸化処理によって灰の表面が陽イオンを吸着する性質に変化したと推測される。

#### 4. 結論

本研究により、焼却残渣は含水率 0 以外、5～20%の範囲では CO<sub>2</sub> 吸収量の差はあまりなく、吸収量は約 0.065g-CO<sub>2</sub>/g-主灰であり、焼却排ガス中の総 CO<sub>2</sub> の中で約 1～2%しか除去できないが、全国の焼却施設から排出する CO<sub>2</sub> の中で年間最大約 25.3 万 t の CO<sub>2</sub> を削減する

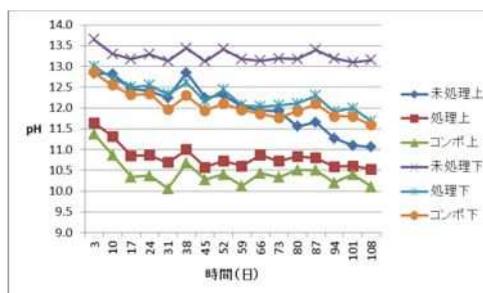


図 4 各試料における pH の変化

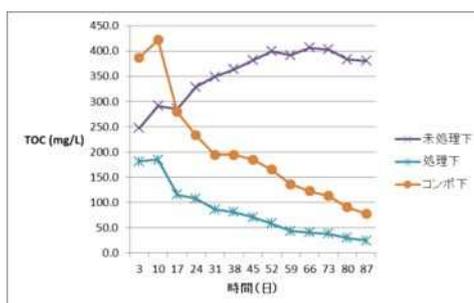


図 5 各試料における TOC の変化 (試料の下水)

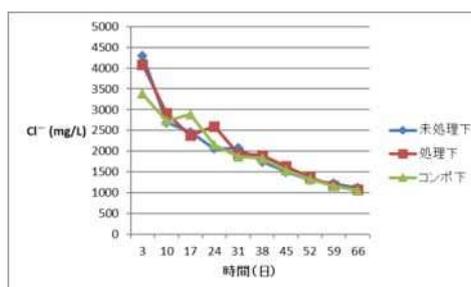
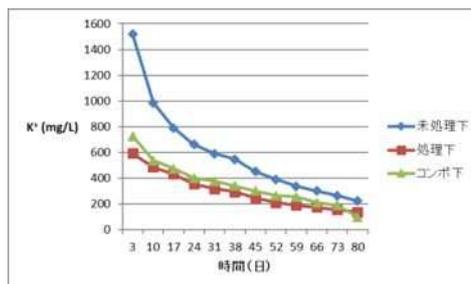
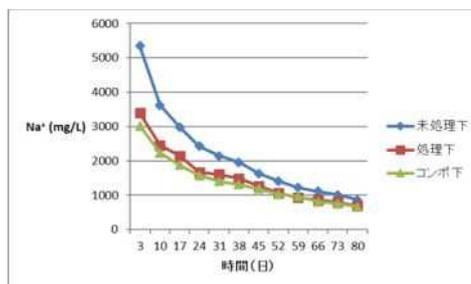


図 6 各試料における Na、K、Cl の変化 (試料の下水)

ことができる。これを 2017 年度の CO<sub>2</sub>1t 当たりの取引価格に換算すると約 4 億円に相当する。

また、炭酸化処理は温室効果ガスの削減効果の他に、炭酸化処理した焼却残渣を海面埋立地に埋立処分することにより、未処理の焼却残渣と比べて、TOC の低下が著しく見られた。今回の実験では、炭酸化処理した試料（模擬実験の下から採取した試料）の pH の変化はあまりなく、高アルカリであったので微生物による有機物の分解はあまり期待できなかったが、今後 pH をもっと下げるような炭酸化処理を行うことにより、微生物の活性も高め、pH とともにさらなる有機物の低減が期待される。

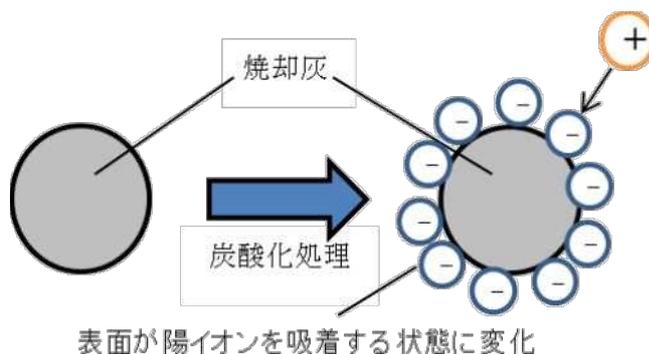


図 7 炭酸化処理による灰表面の変化

## 最終埋立処分地における有害化学物質の挙動予測に向けた浸出水中有機物の網羅的解析(その2)

○日下部武敏、京都大学大学院工学研究科  
高岡昌輝、京都大学大学院地球環境学堂

### 1. 調査研究の背景と目的

本調査研究で注目した浸出水中に共存する溶存有機物(dissolved organic matter, DOM)は、微量有機汚染物質および重金属類と相互作用(収着や錯形成)することにより、可溶化を促進して水中移行性を高める役割を果たす一方、気相への移行や生物利用性を低減する効果もあると考えられる。さらに、化学物質の酸化・還元、分解等のプロセスに関与する微生物活動には、有機基質としての DOM の存在が欠かせない。しかしながら、浸出水中の溶存有機物についての理解が深まっている状況にはない。

平成 29 年度の調査研究目的は、過年度と同じ埋立処分地を研究フィールドとして、有害化学物質の動態やリスクに影響を及ぼす因子のひとつとして埋立処分地浸出水中の溶存有機硫黄(dissolved organic sulfur, DOS)に着目し、オービトラップ質量分析法等を適用してその化学的描像を分子レベルで明らかにするとともに、DOM と水銀( $\text{Hg}^{2+}$ )との錯体(DOM-Hg)の条件付き安定度定数( $K$ )を評価することである。平成 29 年度は、浸出水中 DOM の精密組成解析法に検討を加えて改良するとともに、DOM-Hg 錯体の条件付き安定度定数( $K$ )について蛍光消光法による定量的評価を実施した。

### 2. 調査研究方法

本調査研究では、上記の 2 つの目的を達成するため、実際の埋立処分地から浸出水中 DOM を抽出し、機器分析手法による浸出水中 DOM の構造解析および蛍光消光法による DOM-Hg 錯体の条件付き安定度定数( $K$ )の評価を実施した。採水調査は、主な埋立組成が焼却残灰と持込ごみである 2 か所の最終埋立処分地(埋立処分地①および埋立処分地②)にて 2017 年 8 月および 12 月に実施した。以下に、本調査研究で適用した実験方法および材料について記す。

#### 2.1 採水方法と水質分析

埋立処分地①では、埋立年度の異なる 2 つの地区からの浸出水(浸出水 A および浸出水 B)を各々の集水管の末端で採取した。埋立処分地②では、埋立地末端で浸出水(浸出水 C)を採取した。主に、8 月度調査(浸出水 A～浸出水 C)はオービトラップ質量分析計による組成解析を、12 月度調査(浸出水 A のみ)では条件付き安定度定数( $K$ )の評価を実施した。実験室に持ち帰った浸出水は、あらかじめ 450°C で 4 時間熱処理した GE-Whatmann 製ガラス繊維ろ紙 GF/B(孔径 1.0  $\mu\text{m}$ )で吸引ろ過した。本研

---

日下部武敏

京都大学 大学院工学研究科 都市環境工学専攻 環境デザイン工学講座

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C-1-3-462

Phone: 075-383-3339 e-mail: kusakabe.taketoshi.2w@kyoto-u.ac.jp

キーワード: 最終埋立処分地、浸出水、溶存態有機硫黄(DOS)、組成解析、条件付き安定度定数

究では、吸引ろ過で得たる液中の有機物を DOM と定義する。ろ液に対して、溶存有機炭素 (DOC) 濃度、フミン物質含有量 (芳香族性) の指標である  $SUVA_{254}$  (specific ultraviolet absorbance at 254 nm)、3 次元励起蛍光 (EEM) スペクトル等を分析した。

## 2.2 固相抽出法 (SPE) による浸出水中 DOM の濃縮・精製

本研究では、代表研究者らが確立し、環境水 (湖沼、河川) や都市下水二次処理水に適用してきた条件で、浸出水中 DOM の固相抽出を実施した。使用した固相抽出カートリッジは Agilent 製 Bond Elute PPL であった。吸引ろ過した水試料の pH を 2.0 に調整した後、固相抽出カートリッジに通水した。夾雑物の洗浄除去、カートリッジ乾燥の後、LC/MS グレードの methanol で溶出させ、DOM を回収した (以降、SPE-DOM と表記)。濃縮に要した水サンプル量は、構造解析用には約 4 L、DOM-Hg 錯体の条件付き安定度定数 ( $K$ ) の評価用には約 12 L であった。

## 2.3 ESI-Orbitrap MS 法による DOM 組成解析

本研究では、イオン化法にはソフトなイオン化法であるエレクトロスプレーイオン化法 (electrospray ionization, ESI) を採用した。使用した質量分析装置は、Thermo Fisher Scientific 製 Exactive Plus で、分解能は 140,000 (@  $m/z$  200) であった。分析は Direct infusion 分析で行い、ネガティブモードで精密質量情報を取得した。本研究ではピークピックしたシグナルに対して、Molecular Formula Calculator (v1.1) を用いて、C: 1~100、H: 0~200、O: 0~80、N: 0~2、S: 0~2、推定誤差: < 1.5ppm の条件で化学組成 (CHONS) を推定した。精密質量から推定した組成式に基づいて van Krevelen diagram を作成した。

## 2.4 蛍光消光法による DOM-Hg 錯体の条件付き安定度定数 ( $K$ ) の評価

DOM-Hg 錯体の条件付き安定度定数 ( $K$ ) は蛍光消光 (fluorescence quenching, FQ) 法により評価を実施した。FQ 法の原理は、DOM 蛍光団が  $Hg^{2+}$  と相互作用することによって DOM の蛍光が消光する現象を利用したものであり、modified Stern-Volmer プロットから錯化容量 (complexing capacity,  $f$ ) および条件付き安定度定数 (conditional stability constant,  $K$ ) を求めることができる。水銀標準液を適宜希釈して 0~30  $\mu M$  となるように DOM 水溶液に添加し、EEM スペクトルを取得し蛍光強度を測定した。DOM 水溶液 10 mL を遠心チューブに入れ、イオン強度 ( $I$ ) が 0.10 M となるように  $KNO_3$  水溶液を添加した後、所定の濃度となるように水銀を添加した。pH を 6.0 に調整したものを、25°C で 24 時間回転攪拌した後、蛍光分析に供した。ここでは、最も大きく消光した蛍光ピーク ( $Ex/Em = 330\text{ nm}/410\text{ nm}$ ) のみを解析対象とした。比較のため、銅標準液を用いて DOM-Cu 錯体の条件付き安定度定数 ( $K$ ) も併せて評価した。条件は水銀の場合と同様に、銅添加濃度 0~30  $\mu M$ 、pH 6.0、イオン強度 0.10 M ( $KNO_3$ )、25°C であった。

## 3. 調査研究結果と考察

本研究で採取した浸出水 A~浸出水 C の水質分析結果を表 1 に示す。浸出水 A および浸出水 B は DOC 濃度が高く、浸出水 C は DOC 濃度が低かった。 $SUVA_{254}$  の値からは、浸出水中 DOM の芳香族性に大きな差は見られなかった。EEM 分析の結果より、浸出水 A および浸出水 B はフミン酸様/フルボ酸様物質に加え、トリプトファン様物質やチロシン様物質も卓越していた。このことは、(中間) 覆土に含まれていた腐植化が進行した有機物 (土壌有機物のようなもの) が雨水で洗い出されたことに加え、何らかの (微) 生物活性の存在を示唆する。一方、浸出水 C はトリプトファン様物質が主要構成成分であり、フミン酸様物質およびフルボ酸様物質は比較的少なかった。

表 1 埋立処分地①および②で採取した浸出水 A～C の水質分析結果

浸出水		2017年8月調査		2017年12月調査	
		DOC濃度 (mgC/L)	SUVA <sub>254</sub> (L/mgC/cm)	DOC濃度 (mgC/L)	SUVA <sub>254</sub> (L/mgC/cm)
埋立処分地①	A	14.91	0.024	16.25	0.032
	B	11.77	0.022	-	-
埋立処分地②	C	2.92	0.040	-	-

2017年8月度の調査では、前記方法で固相抽出を行った際の浸出水 A～浸出水 C の回収率は、それぞれ 35%、55%、47%であった。同 12 月度の調査における浸出水 A の回収率は 49%であった。平成 28 年度の回収率と比べて低い傾向であった。これらの SPE-DOM を ESI-Orbitrap MS 分析についてはそのまま供試した。条件付き安定度定数 ( $K$ ) の評価では、溶出溶媒のメタノールを蒸発除去した後、超純水に再溶解させてから回分式平衡実験に用いた。ここでは、浸出水 A について得られた主な結果について示す。

まず、浸出水 A から抽出した SPE-DOM 組成式の推定結果を図 1 に、推定組成情報から作成した van Krevelen diagram を図 2 に示す。図 1 より、含硫黄有機物 (DOS) は主に低分子量画分 (<  $m/z$  400) に存在しており、その多くが窒素を含まない CHOS 成分であった。また、DOS 成分数は、推定成分全体の約 1/4 を占めていた。一方、図 2 より、組成推定された成分の多くがリグニン様 (lignin-like) であることが分かった。Melendez-Perez et al. (2018) は、嫌気性条件下において、リグニン様 CHO 成分は、共存する硫化物との反応によって CHOS に変換される可能性を報告している。したがって、埋立処分地内においても CHOS 成分が生成され、DOM を構成している可能性がある。

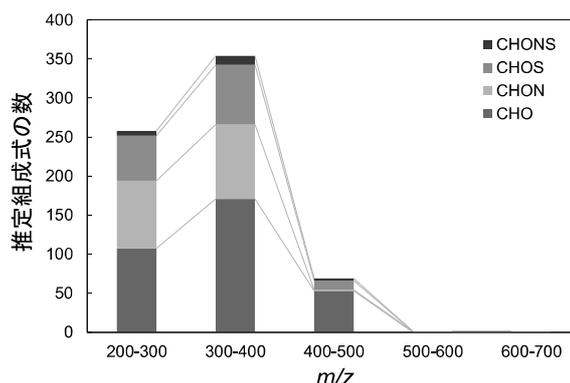


図 1 SPE-DOM の組成式推定の結果 (浸出水 A)

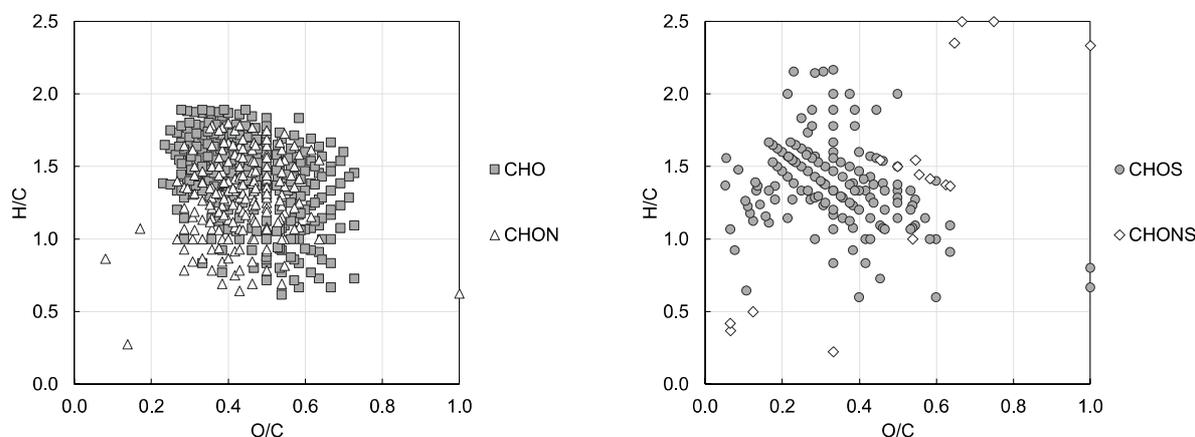


図 2 浸出水 A から抽出された SPE-DOM の van Krevelen diagram

回分式平衡実験で得られた蛍光データを用いて作成した modified Stern-Volmer プロットを図 3 に示す。回帰直線の傾きと切片から計算した浸出水中 DOM の水銀( $\text{Hg}^{2+}$ )に対する条件付き安定度定数 ( $\log K$ ) および錯化容量( $f$ )は、4.86 および 50.2%であった。Lu & Jaffe(2001)は、表流水中 DOM と水銀の条件付き安定度定数 ( $\log K$ ) および錯化容量( $f$ )を評価し、それぞれ 4.12~4.80 および 9.10~58.8%であったと報告した。DOM と水銀の親和性の観点からは、本調査研究で対象とした浸出水中 DOM は、表流水中 DOM と同程度の特性を有していた。また、本研究で求めた銅( $\text{Cu}^{2+}$ )に対する条件付き安定度定数 ( $\log K$ ) および錯化容量( $f$ )がそれぞれ 5.40 および 25.4%であったことから、浸出水中 DOM 全体と水銀の相互作用は銅のそれと比べて比較的弱いことが示唆された。

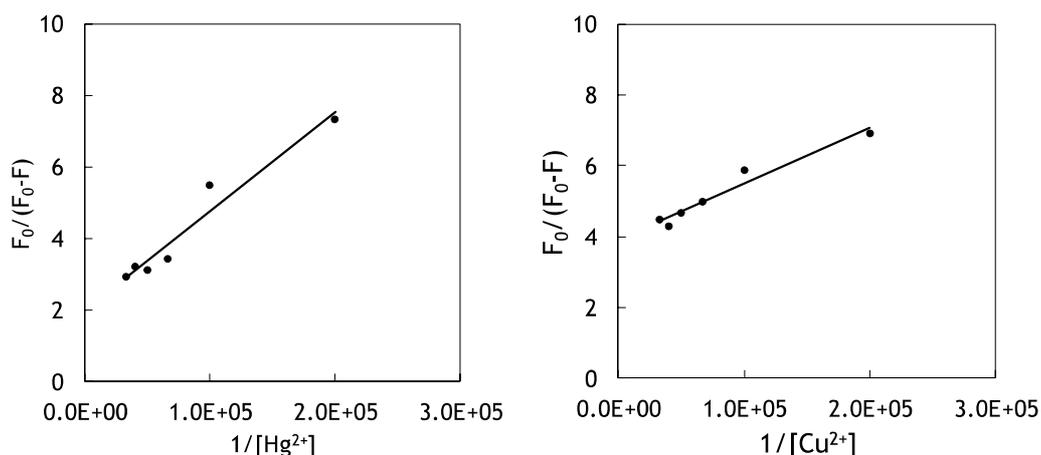


図 3 Modified Stern-Volmer プロット

#### 4. 結論

平成 29 年度は、オービトラップ質量分析計等を用いて浸出水中 DOM の網羅的な組成解析を行った。その結果、含硫黄有機物(DOS)は推定成分全体の約 1/4 を占め、主に低分子量画分( $< m/z$  400)に存在しており、その多くが窒素を含まない CHOS 成分であった。van Krevelen diagram より、組成推定された成分の多くがリグニン様であった。埋立処分地内においてリグニン様 CHO 成分と硫化物が反応して CHOS 成分が生成され、DOM を構成している可能性があった。

最終処分地内の水銀挙動を理解するために、modified Stern-Volmer プロットから求めた DOM-Hg 錯体の条件付き安定度定数 ( $\log K$ ) および錯化容量( $f$ )は、それぞれ 4.86 および 50.2%であった。DOM と水銀の親和性の観点からは、本調査研究で対象とした浸出水中 DOM は表流水中 DOM と同程度の特性を有していた。

最後に、本調査研究で得られた浸出水中有機物の組成に関する知見が、今後の埋立処分地の管理や、埋立処分地内の有害化学物質の動態解析やリスク予測などに資することができれば幸いである。

#### 謝辞

本調査研究を遂行するにあたり、関係自治体の多大なるご支援を賜りました。また、本調査研究は平成 29 年度「廃棄物の適正処理・水処理に係る調査研究費助成制度」(研究課題番号:291004)の支援を受けて行われたものです。ここに記して、関係各位に深く感謝の意を表します。

焼却残渣資源化のための焼却主灰と飛灰の区画埋立管理方法の提案  
—主灰中の塩化物溶出挙動に着目して—

○佐藤昌宏<sup>1)</sup>、泉澤由弥<sup>1)</sup>、藤山淳史<sup>2)</sup>、石井一英<sup>1)</sup>

1) 北海道大学、2) 北九州市立大学

## 1. はじめに

都市ごみ焼却残渣は、埋め立て量削減及び資源の有効利用の観点からセメント原料としての資源化が期待される。しかし、含有される塩化物の除去の必要性や資源化コストが最終処分に比べ割高であるとの認識<sup>1)</sup>により利用が進んでいない。そこで、最終処分場において塩化物の多い焼却飛灰と焼却主灰を分けて、一時保管し、散水・降雨により塩化物を洗い出したのちに掘り返し、セメント原料として利用することを考える。これにより最終処分量の削減だけでなく、資源化において前処理施設が不要になると言える。

埋立層から塩化物を合理的に溶出させるためには、その溶出挙動の把握が重要である。既往の研究において、液固比 1 で 24 時間水洗することで 6~7 割の塩素除去率が得られている<sup>2)</sup>。しかし、実際の埋立層では固相と接する液体量は空隙量に支配されるため少なく、加えて埋立層が深いほど液固比が小さくなる。すると間隙水中の塩化物イオン濃度が高くなり、濃度勾配による溶出が阻害される可能性が懸念される。本研究では、溶出阻害を防ぐ埋立制御を提案するため、主灰の塩化物イオン溶出挙動を粒径別に評価することを目的とした。

## 2. 研究方法

### 2.1 試料ふるい分けと塩素含有量分析

対象試料を一般廃棄物焼却主灰である乾灰 A (水冷前に採取した灰) と湿灰 B (水冷され処分場で保管された灰) とした。これらを篩目 4.75 mm、2 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm の篩で分級し 6 つの分画の重量割合を得た。分画毎に主灰中の易溶性塩素含有量及び難溶性含有量を把握するため、JIS A1154 の手法を参考に分析を行った。具体的にはまず、分級・乾燥・粉碎した試料と 50 °C の温水を液固比 5 で混合し、200rpm で 30 分間振とう後、溶出液中の塩化物イオンを測定し、易溶性塩素含有量を算出した。次に、温水抽出後の残渣を 70 mL の硝酸 (1+6) と混ぜ、上述の JIS 法に準じて抽出操作を行い、抽出液中の塩化物イオン量により難溶性塩素含有量を算出した。塩化物イオン濃度分析はチオシアン酸水銀(II)吸光光度法で分析した。

### 2.2 バッチ浸漬溶出試験

図 1 に示すように、分級した主灰試料を液固比 30 で蒸留水に浸漬 (無攪拌) し、10~320 分後に取り出し、溶媒と分離した。溶液の塩化物イオン濃度を測定し各溶出平均時間の拡散溶出速度を求めた。また、分離した残渣の残存易溶性塩素含有量を 2.1 と同じ方法で分析し、溶出率 (溶出量と残存易溶

---

【連絡先】 佐藤昌宏 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 北海道大学大学院工学研究院

TEL : 011-706-7284、E-mail : [satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp](mailto:satomasahiro@eng.hokudai.ac.jp)

【キーワード】 焼却主灰、塩素含有量、溶出挙動、最終処分場、比表面積

性塩素含有量の和に対する溶出量の割合)を算出した。

分級した試料を自動蒸気吸着量測定装置(BELSORP、日本ベル株式会社)に供し、窒素ガスの吸着等温線を測定し、BET法を用いて比表面積を算出した。

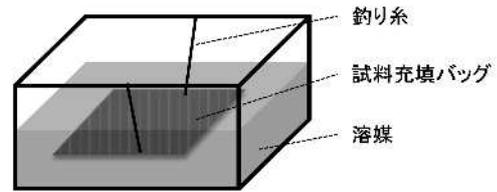


図1 浸漬溶出試験の概要

### 3. 結果と考察

#### 3.1 粒度別の易溶性および難溶性塩素含有量

表1に易溶性塩素含有量及び全量については、粒径が小さいほど、含有量が大きい傾向にあり、特にA主灰で顕著であった。一方、難溶性塩素

表1 焼却主灰中の易溶性および難溶性塩素含有量 (mg/g)

	粒度 mm	主灰A(乾灰)			主灰B(湿灰)		
		易溶性	難溶性	易溶性率*	易溶性	難溶性	易溶性率*
分画⑥	<0.075	57.7	2.0	97%	12.3	2.6	83%
分画⑤	0.075-0.25	37.5	3.6	91%	8.9	2.8	76%
分画④	0.25-0.50	22.4	2.9	88%	5.8	1.8	76%
分画③	0.50-2.00	10.2	2.0	84%	7.8	2.2	78%
分画②	2.00-4.75	5.4	1.4	80%	6.7	2.1	76%
分画①	4.75<	2.9	0.5	85%	7.8	1.0	89%
全体(推計)		15.6	1.7	90%	8.0	1.9	81%

\*易溶性塩化物/全塩化物

含有量では、分画①(4.75 mm以上)では他の粒度よりも含有量が小さく、A主灰、B主灰でそれぞれ1.0、0.5 mg-Cl/gであった。分画②(4.75 mm未満)よりも小さい粒度では、A主灰で1.4~3.6 mg-Cl/g、B主灰で1.8~2.7 mg-Cl/gと粒径別で大きな差異はなかった。これら難溶性塩素量は、セメント原料としての受け入れ基準案(1 mg-Cl/g)<sup>3)</sup>をすでに超過しており、単純に水による洗い出しでは、基準案を達成することは困難であると考えられる。また、粒度別の重量割合と各含有量から推計した全体の含有量を見ると、易溶性と難溶性塩素の比は、乾灰Aでおよそ9:1、湿灰Bで8:2と、易溶性塩素が占めており、埋立時には易溶性塩素の除去が効率的であると考えられる。

#### 3.2 粒度別の溶出率と平均溶出速度

乾灰Aの4つの粒度では、溶出率は時間ともに増加し、160~320分まで約95%に達した(図2)。

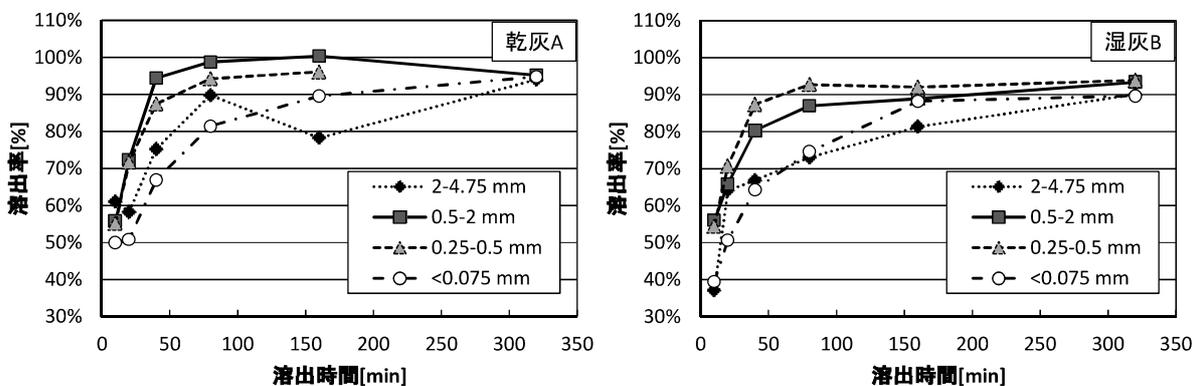


図2 浸漬溶出試験における易溶性塩素の溶出率変化

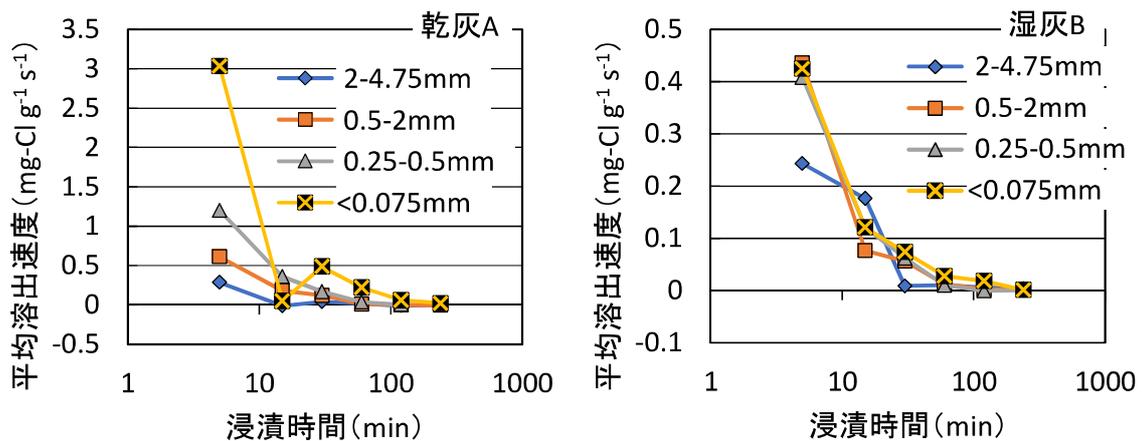


図3 浸漬溶出試験における易溶性塩素の溶出率変化

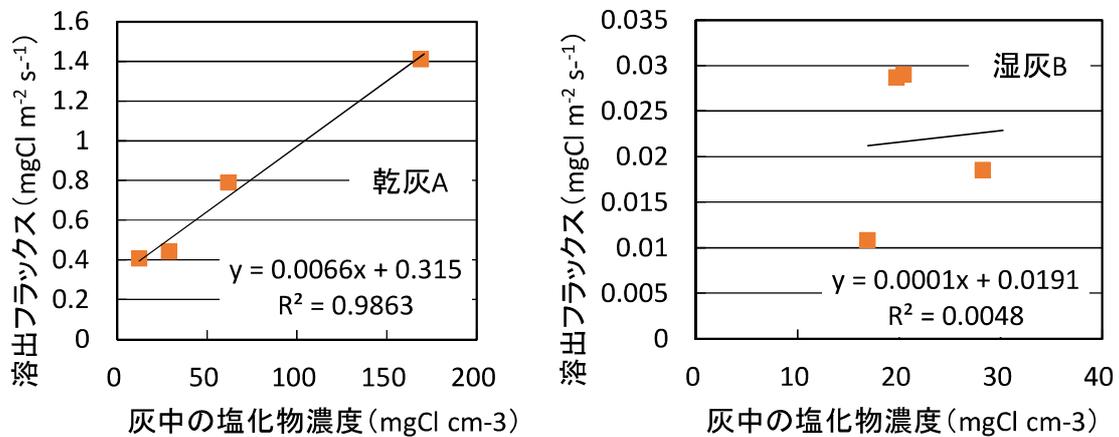


図4 浸漬溶出試験における易溶性塩素の溶出率変化

湿灰 B においても、浸漬 160 分で溶出率は概ね 90%以上であった。本実験では液固比が 30 と固相に対して溶媒が十分あるため、塩化物イオンが溶媒中に拡散し、境膜近傍の濃度が低下するため溶出が進行したと考えられる。なお、溶出試験後の残さ中の難溶性塩素含有量はほとんど変化せず、溶出していないと考えられる。浸漬 160 分以前では、乾灰 A、湿灰 B ともに、粒度 2-4.75 mm と <0.075 mm で他の粒度よりも溶出率が低い傾向にあった。このように、溶出率が経時的に変化し、粒度によっても異なることから、焼却主灰中の易溶性塩化物の溶出挙動は単純な溶解だけでなく、境膜拡散や粒子内拡散のような濃度勾配に依存する溶出が生じたと考えられる。

粒度別に平均溶出速度を比較した (図 3)。どちらの灰でも平均溶出速度は浸漬時間 10 分までで最も高く、その後、急激に減少した。乾灰 A を見ると粒度が小さいほど溶出速度は高い傾向にあるが、湿灰 B では 2-4.75 mm の粒度を除いて粒度に関わらずほぼ同じ値で推移した。従って、平均溶出速度の変化は初期の溶出速度に依存しており、溶媒中の塩化物イオン濃度が初期に上昇することにより、境膜拡散が生じ平均溶出速度が変化していると考えられる。また、初期溶出速度が同じとき、粒度による溶出速度の相違が小さいことから、少なくとも粒度 2 mm 未満においては、粒子内拡散による溶出速度への影響は小さいと考えられる。

浸漬 10 分における平均溶出フラックス (平均溶出速度を比表面積で除した値) と初期の易溶性塩

素含有濃度（含有量に粒子密度を乗じた値）の関係を示す（図4）。乾灰Aでは、両者に相関関係がみられたものの湿灰Bでは見られなかった。粒子からの溶出プロセスでは、粒子表面に付着している物質が溶解すること及び粒子内部に存在する物質が表面に移動することにより粒子表面での物質濃度が上昇し、液相との濃度差により物質移動が生じると考えられる。乾灰Aでは、粒度が大きいほど、比表面積も大きく、含有量と比表面積に相関があった（図5）。従って、10分の浸漬においては、粒子表面に付着している易溶性塩素が溶解したと考えられる。一方、湿灰Bの比表面積が14.2～22.9 m<sup>2</sup>/gであり、乾灰A（0.7～2.15 m<sup>2</sup>/g）に対してオーダーが大きかった。すなわち、湿灰Bの粒子は乾灰Aに比べて多孔質であると言える。また乾灰Aとは異なり、水冷により表面に付着している易溶性塩素がすでに失われている可能性がある。加えて、易溶性塩素含有量と比表面積に相関はなかった。そのため、乾灰Aのように平均溶出フラックスと初期の易溶性塩素含有濃度に相関関係がみられなかったと考えられる。

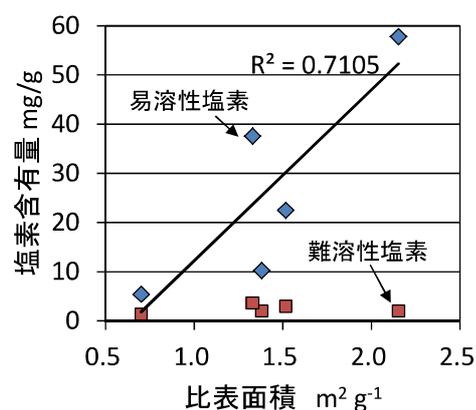


図5 比表面積と易溶性含有量の関係（乾灰A）

#### 4. まとめ

易溶性及び難溶性塩素含有量の把握、無攪拌の浸漬溶出試験を行った結果、以下の知見を得た。

- 易溶性塩素含有量は、難溶性塩素含有量よりも粒径依存、すなわち粒度が小さいほど含有量が多い傾向が見られた。
- 液固比30の浸漬条件では、浸漬時間160分程度で易溶性塩素の90%以上が溶出したが、難溶性塩素は溶出しなかった。浸漬時間160分未満では2.0 mm～4.75 mmや0.075 mm以下の粒度で溶出率が低い傾向にあった。
- 焼却主灰からの易溶性塩素の溶出挙動は、単純な溶解現象だけでなく、境界膜拡散が生じていると考えられる。
- そのため、塩化物濃度の高い保有水と接触する場合は溶出速度が低下する可能性が高く、塩素除去の観点から合理的な浸透水量管理や埋立層厚さの管理、飛灰との分別埋立が必要だと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 環境省九州地方環境事務所、経済産業省九州経済産業局：平成21年度九州ブロックにおけるリユース・リサイクル促進による地域循環圏の構築に関する調査報告書、平成22年
- 2) 樋口壯太郎、為田一雄：焼却残渣の洗浄分級処理による資源化前処理、都市清掃、70、12-19、2017
- 3) 経済産業省：都市ごみ焼却灰の国内広域処理システム構築に関する調査報告書、2004

## 少子高齢化時代における循環資源の退蔵の実態と適正管理方策に関する研究（その2）

○鈴木慎也(福岡大学)・高田光康・多島良(国立環境研究所)・沼田大輔(福島大学)

### 1. はじめに

平成 28 年高齢社会白書によれば、我が国の総人口に占める 65 歳以上人口の割合は 26.7%に達しており、「超高齢社会」が既に到来している。身体能力や意欲等の低下、大病を患う可能性の増加、一人暮らしとなった場合の地域社会とのつながりの希薄化・孤立化の可能性など、高齢化の進行に伴うリスクはごみ処理にも影響を与えることが懸念されている。本調査研究の目的は、“退蔵物”の実態を明らかにし、適正な排出促進方策を検討することである。平成 28 年度の研究結果によれば、全体の 8 割程度もの世帯が、粗大ごみを少なくとも 1 つ退蔵しており、その品目は多岐にわたることが示唆された。一方、退蔵している世帯の半数程度は退蔵物を何らかの方法で処理しようと考えているという結果が得られた。また、自治体によっては、災害時における退蔵物の便乗排出に対し受け入れ制限を強化する一方で、平常時には家財道具の撤去費用の助成を行っていることも明らかになった。回収機会の提供により占有者のモノとの向き合い方を見直すきっかけを与えられれば、適正な管理の流れに乗ることが期待される。

### 2. 研究対象および方法

#### (1) 研究対象

本研究においては、粗大ごみに該当する大型のものを網羅的に調査することを念頭に置き、退蔵物を「家庭系一般廃棄物のうち、家電製品、不燃物あるいは粗大物に分類されるもの(袋に入れて排出できる可燃物、小物類は含まない)であって、所有者が使用・利用する意思がないにもかかわらず、一定期間(3 年以上)排出されずにその管理範囲にとどめ置かれ続けているもの」と定義した。

#### (2) 研究方法

全国規模の「自治体アンケート調査」を行い、主に粗大ごみや不燃ごみ、家電製品に関する特徴的な取り組み事例をまとめた。「リユース促進事業を行ったものの、回収できたものは退蔵物ばかりであった」などの報告事例が見られることから、粗大ごみ、不燃ごみ、家電製品を対象とした取り組みを広く調査した。表-1 に自治体アンケート調査の概要を示す。粗大ごみや電気機器類、その他の取り組み、住居・家財道具等の扱い、民間企業や地域

表-1 自治体アンケート調査の概要

調査名	自治体アンケート調査
調査方法	郵送による質問紙調査
調査期間	2017年10月27日(金)～11月30日(木)
調査対象	全国自治体のうち「市」および「東京特別区」(n=813) ・市および特別区の環境部局担当者に送付し、 業務内容が複数の部署にまたがる場合は取りまとめを依頼 ・回答数486件(回収率:59.8%)

【連絡先】 鈴木慎也 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部社会デザイン工学科

TEL: 092-863-8238 FAX: 092-863-8248 E-mail: [ssuzuk@fukuoka-u.ac.jp](mailto:ssuzuk@fukuoka-u.ac.jp)

キーワード：高齢世帯，粗大ごみ，退蔵物，アンケート調査

住民等による回収事業に対する市の考え方について、各取り組みの方法の詳細、これまでの成果、今後の課題を整理した。

### 3. 粗大ごみの扱いについて

表-2 に粗大ごみの定期収集の有無と、手数料徴収、収集方式の関係をまとめ、一覧表にして示す。粗大ごみの扱いについては、定期収集制を採用している自治体、予約制の自治体、自治体収集なしの自治体の大きく3種類に分類された。「定期収集制」とは、第1月曜日などのように地区ごとに収集日を定め、所定の場所まで粗大ごみを収集する場合、「予約制」とは、電話やインターネットを利用して市民から収集申し込みを受け付け、指定した場所まで収集する場合、「自治体収集なし」とは、一般廃棄物収集運搬許可業者の連絡先を知らせた上で、市民に個別に連絡するように促す場合、もしくは許可業者含め収集受付はなく、市民に処理施設への持込のみで対応する場合をそれぞれ指す。上記3種類に分類した上で、さらに手数料の徴収の有無に従って分類すると、「定期収集制」では、手数料あり54件、手数料なし60件とほぼ同数であるのに対し、「予約制」では、手数料ありが266件と、手数料なし25件に比べて際立って多いのが特徴である。定期収集を終了した自治体にはその理由を尋ねているが、受益者負担の原則を徹底すると同時に、戸別による収集を導入する自治体が多いことが確認され、今後も予約制に変更する自治体が増加するものと推測される。収集方式については、「予約制」の自治体では、手数料ありの場合、戸別収集246件、ステーション収集14件と、大半の自治体が戸別収集方式を採用している。

以上を踏まえると、ステーション収集方式が減少し、戸別収集方式が増加傾向にあるため、粗大ごみの搬出に伴う労力負担については緩和される傾向にある。それに対し、粗大ごみに対して手数料を徴収する自治体は増加しており、経済的負担については増加傾向にある。続いて、高齢者への補助の

表-2 粗大ごみの定期収集・手数料徴収・収集方式の関係

収集体系	手数料の徴収	収集方式	(単位: 件)	
			高齢者への補助 粗大ごみ	電気機器類
定期収集制	手数料あり 54	戸別 18	3	2
		ステーション 35	5	2
		(不明) 1	0	0
	手数料なし 60	戸別 6	3	1
		ステーション 49	11	6
		(不明) 5	0	0
小計	114	22	11	
予約制	手数料あり 266	戸別 246	60	22
		ステーション 14	2	0
		(不明) 6	0	0
	手数料なし 25	戸別 13	1	1
		ステーション 12	2	1
		(不明) 0	0	0
小計	291	65	24	
自治体収集なし	81	4	4	
計	486	91	39	

状況について述べる。「予約制」の自治体では、「手数料あり・戸別収集」の自治体において高齢者への補助が多くなされていることが分かる。このことから、粗大ごみ収集に対して問題意識を持っている自治体になるほど、事前予約制による戸別収集方式を採用することが多く、高齢者への補助についても先行的な取組がなされる傾向にある。高齢者への補助の内容を見ると、その多くは料金支払いに対するものではなく、粗大ごみ等の運搬に対する支援である。「予約制」の自治体では既に戸別収集方式を採用していることが多く、高齢世帯に対しては、玄関近くの軒先などからの戸別収集ではなく、「自宅内から」の運搬支援を行う自治体が見られる。一方、経済的負担に対する支援については取組事例が少ないのが実情である。なお、「自治体収集なし」の場合には高齢者への補助を行っていない自治体が多い。個々の自治体の財政事情などにより、粗大ごみ収集に対して十分な行政サービスを展開できないことも多いと考えられる。このような自治体に対して、今度どのような対応をしていくべきか、検討する必要がある。なお、電気機器類については収集する対象がそもそも異なるが、粗大ごみと同様な傾向を示している。

#### 4. フリーマーケット・イベント回収などに対する対応状況

表-3 にフリーマーケット、イベント回収など、粗大ごみ収集、電気機器類収集以外の「その他の取り組み」に対する対応状況を一覧表にして示す。まず、「市主催・共催・後援のフリーマーケット」を実施しているのは、全部で 45 自治体である。なお、フリーマーケットで多く出品されるものは、衣料品や日用雑貨類が大半のようであり、粗大ごみ、電気機器類が出品されることは少ないようである。自治体によっては、「家具等」、「家具や自転車など」、「市民が廃棄した家具等の粗大ごみで状態がよいもの」など、粗大ごみに該当するものが対象となっている自治体も見られた。続いて、「イベント回収」については全部で 23 自治体である。実際には、「中・小型家電、リユース可能な衣類」、「園芸土、スプレー缶、体温計、ライター、小型家電、蛍光灯、刃物類、電池類」などの回答にあるように、家電製品、有害廃棄物を中心にイベント回収を実施する自治体が徐々に増加している様子が伺え、対照的に粗大ごみを対象とした取り組み事例は確認されなかった。「その他 3R 推進事業」については、予め粗大ごみ・電気機器類を対象とした取り組みと限定した上で、該当するものを各自治体に回答してもらったもので、全部で 89 自治体と最も多い回答が得られた。ここでは、多くの自治体が「粗大ごみのうち再利用可能なもの」を対象としており、「状態のよい粗大ごみを月 2 回抽選の上有償で頒布」する自治体が多い。中でも、「予約制」を採用している自治体では、その 23.7%にあたる 69 自治体が行っており、定期収集制、自治体収集なしの自治体よりも高い割合を占めている。

表-3 フリーマーケット・イベント回収などに対する対応状況

収集体系	その他の取り組み						住居・家財道具等の扱い					
	フリーマーケット		イベント回収		その他		遺品整理対策		空き家対策			
	件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合	件数	割合		
定期収集制	114		6	5.3%	1	0.9%	12	10.5%	2	1.8%	4	3.5%
予約制	291		39	13.4%	17	5.8%	69	23.7%	5	1.7%	34	11.7%
自治体収集なし	81		0	0.0%	5	6.2%	8	9.9%	0	0.0%	4	4.9%
計	486		45	9.3%	23	4.7%	89	18.3%	7	1.4%	42	8.6%

## 5. 民間事業者・地域住民等による回収事業に対する市の考え方

表-4 に民間事業者・地域住民等による回収事業に対する市の考え方を一覧表にまとめて示す。質問紙上では自由回答欄を設けているが、それぞれの記述内容をもとに肯定的意見、否定的意見を述べているものに分けて集計した。なお、肯定的意見と否定的意見の双方を同時に述べている自治体については、否定的意見を述べているとみなして集計を行った。まず「不用品回収事業者」については、全部で 274 自治体が意見を述べているが、その大半は否定的なものであり、適正な事業が行われているか強く疑問視されていることが分かる。「リユースショップ(リサイクルショップ)」については、肯定的意見 76 件、否定的意見 50 件であり、双方の意見が見られる。メルカリなど「インターネット売買」については、肯定的意見 53 件、否定的意見 45 件であり、同様に双方の意見が見られる。「フリーマーケット」については、肯定的意見 67 件に対し、否定的意見 26 件であり、双方の意見が見られるものの、比較的肯定的意見が多いことが分かる。「廃品回収」については、肯定的意見 48 件、否定的意見 61 件であり、双方の意見が見られるものの比較的否定的意見が多い。特に予約制を採用している自治体では否定的意見の割合が高い。「遺品整理屋」については、肯定的意見 4 件に対し、否定的意見 186 件であり、大半が否定的意見を述べている。

表-4 民間事業者・地域住民等による回収事業に対する市の考え方

(単位: 件)

収集体系		不用品回収事業者		リユースショップ		インターネット売買	
		肯定的	否定的	肯定的	否定的	肯定的	否定的
定期収集制	114	0	58	18	14	12	12
予約制	291	1	174	52	31	36	30
自治体収集なし	81	0	41	6	5	5	3
計	486	1	273	76	50	53	45

(単位: 件)

収集体系		フリーマーケット		廃品回収		遺品整理屋	
		肯定的	否定的	肯定的	否定的	肯定的	否定的
定期収集制	114	16	5	14	14	1	45
予約制	291	46	18	30	43	3	121
自治体収集なし	81	5	3	4	4	0	20
計	486	67	26	48	61	4	186

## 6. まとめ

民間事業者や地域住民等による回収事業については、「不用品回収事業者」や「遺品整理屋」のように否定的な意見を述べる自治体が多く、事業が活発になることに対しては懸念材料も多く見られた。自治体の取り組みについては、粗大ごみを対象に「定期収集制」から「予約制」への変更が進んでおり、予約制を採用した自治体では、高齢者への補助を行ったり、収集した粗大ごみのうち状態のよいものを有償で頒布するなどの動きが見られる。一方で、高齢者への補助はおろか粗大ごみ収集自体を行っていない自治体も存在する。個々の自治体の財政事情になどにより、十分な行政サービスを展開できないことも多いと考えられる。このような自治体において、今度どのような対応をしていくべきか、検討する必要がある。

## パッシブサンプラーを用いた廃棄物埋立処分場及びその周辺における微量有機汚染物質の測定（その3）

○遠藤智司、貫上佳則（大阪市立大学）

### 1. 調査研究目的

海面廃棄物処分場には搬入廃棄物由来の多種多様な化学物質が処分場内水及び底質（埋立物）に存在する可能性がある。廃棄物の搬入や内水の放流の際には法令に基づいた検査が行われ、その結果に基づいた適切な対策がとられる。一方、処分場の廃止後の跡地利用の段階や甚大な災害の場合も含め、処分場を超長期に渡り維持・管理するためには、経済的で信頼できる物質の検査方法の確立が重要である。また現在は未規制である汚染物質についても監視体制を整備することが、処分場の安全性に対する信頼を保つことに寄与すると考えられる。

近年、欧米を中心にパッシブサンプリングとよばれる環境モニタリング手法が盛んに研究されている。パッシブサンプリングとはポリマー収着剤を水等の環境媒体に曝露し、吸着した汚染物質の量あるいは濃度から環境汚染を評価する方法である。本研究では過去2ヵ年度にわたり、平衡型パッシブサンプリング（equilibrium passive sampling）を埋立処分場における疎水性有機汚染物質のモニタリングに応用する方法について研究を行ってきた。昨年度は内水底質の多環芳香族炭化水素類（PAH）について、平衡型パッシブサンプリングによる間隙水中遊離溶存濃度の測定を行った。その結果、対象とした処分場における濃度は周辺の海域に比べておよそ10倍程度高いものの、水生生物に毒性影響を及ぼすレベルよりはるかに低いことが示された。このような毒性値との比較はパッシブサンプリングでなければ難しいため、海面埋立処分場の底質における疎水性有機汚染物質の汚染状態を把握する上でパッシブサンプリングが有効であると結論付けた。

昨年度は研究の端緒としてPAHのみを対象物質とした。しかし上述のとおり処分場底質にはPAH以外の化学物質が存在する可能性がある。そこで本年度の研究ではノンターゲット・スクリーニング（網羅分析）手法を用い、処分場底質の汚染状況を効率的に、そして網羅的に把握することを試みた。本研究の目的は、昨年度良好な結果が得られた底質パッシブサンプリング手法に網羅分析を組み合わせ、パッシブサンプリングの対象物質の範囲を拡大するとともに、処分場底質における有機化学物質の存在実態を広範に明らかにすることである。本研究では、（1）ガスクロマトグラフ・質量分析計（GC-MS）及び二次元ガスクロマトグラフ・質量分析計（GC×GC-MS）を用いた網羅手法により、処分場底質に存在する物質を網羅的に検出した。その上で、（2）新規に同定された物質についてパッシブサンプリングにより定量分析を行った。

---

連絡先：遠藤智司 大阪市立大学工学研究科

〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138, 06-6605-2763(Tel/Fax), [satoshi.endo@urban.eng.osaka-cu.ac.jp](mailto:satoshi.endo@urban.eng.osaka-cu.ac.jp)

キーワード：パッシブサンプリング、網羅分析、埋立処分場、有機汚染物質、アルキル PAH

## 2. 調査研究方法

### 2-1. 調査試料

内水底質試料は大阪湾広域臨海環境整備センターの協力のもと、採取した。試料はエクマン採泥器により採取し、ボート上でステンレスさじを用いてなるべく表層部分をとった。採取は2017年7月に行った。また2016年10月に採取した試料も用いた。採取箇所を図1に示す。2016年には図1中の全箇所において、2017年には6箇所において採取を行った。以後2017年採取試料には地点名に「-17」を付して区別する（例・KL6-17）。

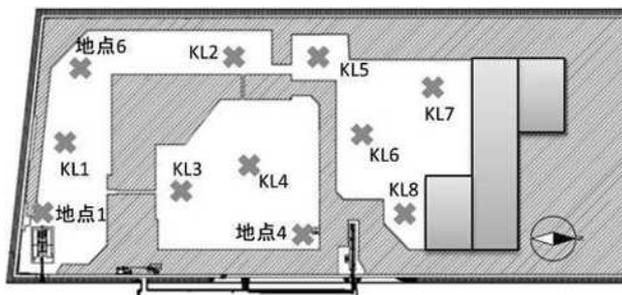


図1 埋立処分場内水ポンドにおける採泥地点

### 2-2. パッシブサンプリングによる網羅分析

500 mL ガラス瓶にポリオキシメチレン (POM、 $8 \times 10$  cm、約 850 mg) あるいはポリエチレン (PE、 $10 \times 12$  cm、約 330 mg) のシート一片を量りとり、内水底質試料を湿重量で 350 g、1 g/L アジ化ナトリウム水溶液を 50 mL 加えた。PTFE ライナー付きの蓋をし、42 日間、室温にて水平振とう (150 rpm) し、物質を底質からポリマーシートへと吸着させた。瓶からバイアルを取り出し、水で湿らせたキムワイプで十分に拭き、付着物を除去した。各ポリマーシートはアセトン/ヘキサン (1:1) で2時間超音波抽出を行い、抽出した。抽出液は乾固後、トルエンで 500  $\mu$ L に定容した。

GC-MS では HP-5ms カラムを用い、スキャンモード ( $m/z$ : 50–400) で分析した。GCxGC-MS/MS 及び GCxGC-HRTOFMS では 1st カラムに DB-1、2nd カラムに BPX50 を用い成分分離し、スキャン分析を行った。得られたクロマトグラム上の各ピークにおける質量スペクトルはライブラリと照合し、一致度の最も高い物質を抽出した。分析の結果、存在が示唆されたいくかの物質について、標準品を購入して GC-MS による分析を行い、保持時間、質量スペクトルからピークの同定を行った。

### 2-3. 全量抽出による網羅分析

底質試料の一部を凍結乾燥し、1.5 g を遠沈管内でアセトン/ヘキサン (1:1) 10 mL により 3 回超音波抽出・遠心分離をした。3 回の抽出液を合わせ、活性銅処理により硫黄を除去した後、濃縮・乾固し、トルエン 500  $\mu$ L を添加した。機器分析条件は 2-2 と同様である。

### 2-4. パッシブサンプリングによる新規検出物質の定量分析

本実験は昨年度確立した方法に準ずる。PE シート ( $2 \times 2$  cm) を底質試料 40 g (湿重量)、アジ化ナトリウム水溶液 (1 g/L) 15 mL と混合し、42 日間振とうした (150 rpm)。その後、ピンセットで PE を取り出し、付着物を除去した後、5 mL のアセトン/ヘキサン (1:1) で超音波抽出を 2 回行った。抽出液はヘプタンに置換し、GC-MS の SIM モードにより定量分析を行った。

### 3. 結果と考察

#### 3-1. GC-MS による網羅分析の結果

POM及びPEによるパッシブサンプリングそして全量抽出の結果を比較する。ベースラインはPEで他2者の10倍程度高かった。ポリマー由来のアルカン状物質が原因と考えられる。全量抽出及びPOMを用いたパッシブサンプリングでは100を超える物質がライブラリから抽出された(表1)。一方、PEを用いたパッシブサンプリングではライブラリー一致物質数が比較的少ない結果となった。PEは無極性のポリマーで、極性物質に対して吸着力が弱いことから多くの物質を吸着することができなかつたと考えられる。またPEはエチレンをモノマーとしたポリマーであるため、検出が示唆されたアルカン関連物質の多くも実際はポリマー由来である可能性がある。同様に、POMを用いたパッシブサンプリングにおいてもPOM由来と考えられるピークが多く見られた。パッシブサンプリングにおいてはライブラリと一致した物質についてもポリマー由来である可能性があるため注意が必要であるといえる。

表1 GC-MS Scan 分析におけるライブラリー一致物質の属する化合物群

		アルカン・	アルキル	フェノール	PAH	アルキル	その他
		アルケン類	ベンゼン類	類		PAH	
KL6	全量抽出	40	6	1	18	11	54
	POM	25	6	13	12	5	45
KL2-17	全量抽出	40	9	1	7	0	52
	POM	27	14	10	2	1	33
	PE	41	0	1	0	0	21

環境汚染物質として知られているものとしては、多環芳香族炭化水素類(PAH)とそのアルキル化物(アルキルPAH)がPOMパッシブサンプリング試料と全量抽出試料から多く検出された。またPOMでは多数のフェノール類がライブラリと一致した。POMは[-CH<sub>2</sub>-O-]を基本単位としたポリマーであり、水素結合受容能があるために、水素結合供与性のフェノール類をよく捕捉できたものと考えられる。その他検出が示唆された物質としては、tris(1-chloro-2-propyl) phosphate(リン系難燃剤の一種)、4-cumylphenol(樹脂原料、界面活性剤原料、防腐剤・防カビ剤)、UV-326、UV-328(どちらも紫外線吸収剤)などがあげられる。これらは樹脂製品への添加剤として用いられているため、廃棄物から溶出したのではないかと推察される。

#### 3-2. GCxGC による網羅分析の結果

GCxGC-HRTOFMS 分析の結果、POM 試料では POM 由来と考えられる規則的なピークがクロマトグラムの上部に多数現れた。その他にはステロイド骨格をもった物質が多く見られる。しかし環境汚染物質として知られる物質はほとんど見られなかった。一方、全量抽出試料からは PAH とその関連物質(アルキル PAH など)が高い強度で、多数見られた(図2)。GC-MS と同様、内水底質試料に PAH やアルキル PAH が存在することが示唆された。また上述の2つの紫外線吸収剤も検出された。さらに GCxGC-MS/MS のニュートラルロススキャン(NLS)分析の結果、底質試料は塩素系の化合物を多く含まないと判断できた。

#### 3-3. 新規検出物質の定量分析

網羅分析で検出された物質について、パッシブサンプリングにより定量分析を行った。その結果、3環・4環のアルキル PAH と 1,3,5-triphenylbenzene の濃度を全試料において定量できた。アルキル PAH は環数の等しい親 PAH と比べ、同等かやや高い濃度で存在した。つまりアルキル

PAH は総 PAH 濃度に見逃されざるほどの寄与があるといえる。一方、アルキル PAH を考慮しても総 PAH 濃度のオーダーが変わることは考え難く、昨年度、親 PAH のみの結果から、内水底質はたとえ実環境中に漏出したとしても PAH に関してはその毒性は水生生物に影響を与えるレベルより少なくとも 2 桁は低いと結論付けたが、その結論は新規に検出されたアルキル PAH とあわせて考えても変わらないといえる。

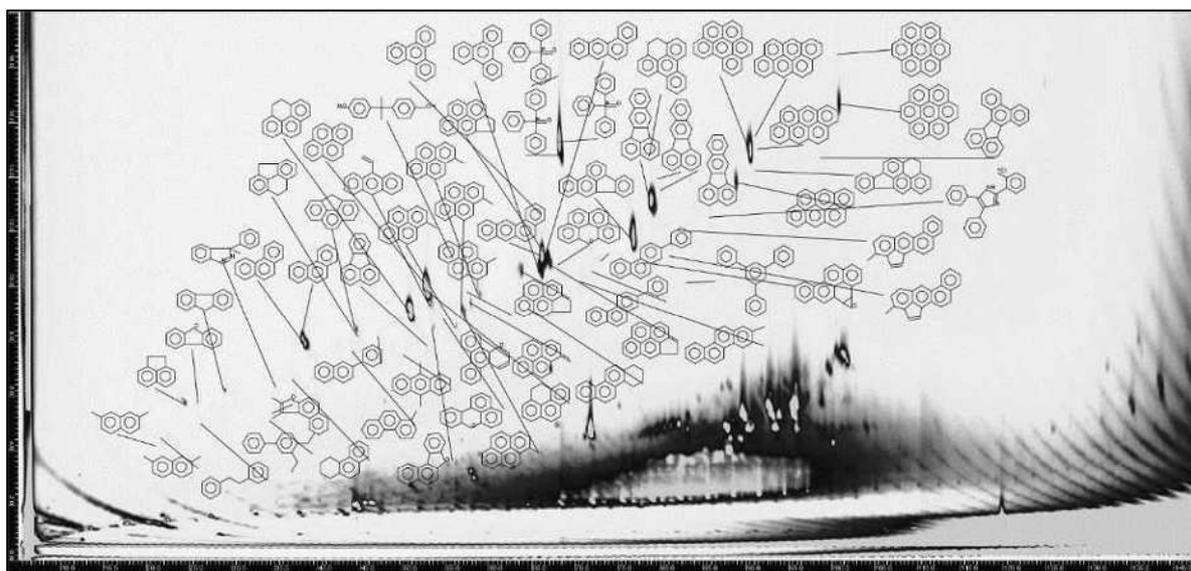


図 2 GCxGC-HRTOFMS の結果 (KL6、全量抽出) . ライブラリー一致物質の構造式を挿入している。

#### 4. 結論

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- 1) GC-MS による網羅分析では、POM をパッシブサンプラーとして用いることで低いベースライン、多数の明瞭なピーク、フェノール類への高感度分析が実現できた。一方、POM 由来と考えられるピークも多数出現し、ピークの同定の際には十分な検討が必要である。
- 2) POM と比べ、PE は吸着力が弱く、検出物質数も比較的少なかった。PE はパッシブサンプリングによる網羅分析には向かないといえる。
- 3) GC-MS と GCxGC-HRTOFMS による網羅分析の結果、対象とした海面埋立処分場底質において多数の PAH、多数のアルキル PAH の存在が認められた。また 2 種類の紫外線吸収剤 (UV-326、UV-328) の存在が示唆された。
- 4) GCxGC-MS/MS のニュートラルロススキャン (NLS) 分析から、塩素系物質は非常に少ないことがわかった。
- 5) アルキル PAH は親 PAH と同じオーダーの濃度で検出され、総 PAH 濃度に見逃されざる寄与があることがわかった。一方、アルキル PAH を加えても処分場底質の PAH 類は水生生物に影響を及ぼす汚染レベルではないことが確認された。

## 海面埋立地からの浸出水中窒素除去への嫌気性アンモニア酸化(ANAMMOX)反応の適用と温室効果ガスの排出抑制

○西村文武  
京都大学大学院工学研究科

### 1) はじめに

閉鎖性水域等における富栄養化の抑制のために、環境水域へ排出される廃水中の栄養塩を除去することは、重要であり、長年の水環境における課題であり続けている。現在廃水中からの窒素の除去技術としては、生物学的硝化脱窒法が最も広く普及している。しかし、この手法においては、硝化工程で多大な曝気動力がかかる点、脱窒工程の際に有機物添加が必要である点および余剰汚泥の発生が多いといった問題点等を有している。

1990年後半に、嫌気性条件下でアンモニア態窒素と亜硝酸態窒素を基質として利用し、直接窒素ガスに変換するアナモックス細菌による代謝経路が発見され、廃水処理に利用する研究が活発に行われるようになってきた。アナモックス反応を用いた窒素除去プロセスは、従来の硝化脱窒法と比較し、酸素および有機物の供給を大きく削減でき、さらにこの供給の際の電力や薬品の低減の他、有機物から発生する余剰汚泥も低減することができるため、窒素除去の際の大幅なランニングコストの削減が期待される。しかし、アナモックス反応も適用する排水中のさまざまな共存物質により種々の影響を受けることが知られている。また、直接はアナモックス反応に影響を与えない場合においても、窒素化合物は種々の生物反応の影響を受けることが知られており、有機物が存在する場合においては、従属栄養性微生物の硝酸呼吸、亜硝酸呼吸に伴う脱窒、有機物が枯渇しかつ好氣的条件下においては、硝化反応が生起しうる。また還元性硫黄化合物が存在し、無酸素条件下で有機物の存在が小さい場合には、硫黄脱窒が生じるケースが考えられる。濃度の大小はあるが、廃棄物浸出水中には種々の有害微量有機化合物や、硫黄化合物の存在が知られており、アナモックス適用にあたってはそれらの影響を把握することは必要となる。とりわけアナモックスの適用には、有機物が少ない環境下で無酸素条件下とすることが求められるが、その環境条件は、還元性硫黄化合物存在下においては、硫黄脱窒の生起条件とも一致する。また、アナモックス細菌にはその代謝過程において温室効果作用が二酸化炭素の約 300 倍近い亜酸化窒素( $N_2O$ )を発生させないと言われており、 $N_2O$ 発生抑制面においても有用であると考えられている。しかし、アナモックス反応が生起する環境条件下では、その他の微生物反応も生起することから、アナモックスを主体とする反応システムにおいても、システム全体としては、 $N_2O$ 発生はあることが知られている<sup>1)2)</sup>。そこで、大阪湾や瀬戸内海などの閉鎖性海域において、海面埋立地からの浸出水中に含有される窒素分を除去するにあたり、種々の効果が期待できる嫌気性アンモニア酸化反応を適用する際の窒素除去特性と温室効果ガス( $N_2O$ )の排出抑制に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。具体的には、海面埋立地等、比較的硫黄化合物濃度が高い環境下における、廃

---

西村文武

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂(C1-221)

京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻水環境工学分野

Tel.: 075-383-3349, Fax.: 075-383-3351, Email: nishimura.fumitake.3n@kyoto-u.ac.jp

Key words: アナモックス、亜酸化窒素、海面埋立地

棄物埋め立て地浸出水などの濃度変化が生じる水中における窒素除去への嫌気性アンモニア酸化反応の適用と、温室効果ガスの発生特性を調査し、アナモックス反応時の N<sub>2</sub>O 発生に及ぼす影響と排出抑制策に関する考察を行った。

## 2) 研究方法

用いたリアクターの概要および形状を、図-1 に示す。内径 4.1cm、高さ 18.4cm のアクリル製の円筒型で、流出口は、リアクター内の液相が 200mL になるように設定した。上部はシリコン栓で蓋をした。リアクターの中には微生物の担体として、6×6×150mm<sup>3</sup>の不織布を 12 本詰め、充填率は 32.4%になるようにした。実験室で以前から集積培養していたアナモックス汚泥を植種し、その後、至適温度および至適 pH である 35℃、pH7 の条件で 2 ヶ月間以上連続培養を行ったのち、アナモックス反応が安定して確認できてから、最大 200 mg SCN<sup>-</sup>/L までの一定濃度のチオシアン酸イオンを継続添加し、反応特性を調査した。植種方法は、リアクターの底に溜まっていた沈殿物を植種するために、培養用リアクターを手で 10 回上下に反転して振り、沈殿物がリアクター内で一様に浮遊した状態にして、上部のシリコン栓を取ってリアクター内の液とともに取り出し、新しく用いる Run 1 から Run 5 に、全量ではなくまず半量を流し込んだ。次に、その 5 つの新しいリアクターに担体となる新しい不織布を入れ、培養用リアクター中の液の残り半分をその上から流し込んだ。そのとき、植種元のリアクターから担体流れ出ないように注意した。植種し終わった Run 1 から Run 5 の 5 つの新しいリアクターは、その中の液量が 200mL になるようにイオン交換水を足し、あらかじめ作成しておいた人工無機廃水を流入させることで運転を開始した。この人工無機廃水に関しては、表 3-3 に示したように、基本的に塩類や各態窒素濃度、pH などは培養用リアクターに用いていたものと同じとした。その後、2 ヶ月以上の連続運転を行い、リアクターが安定したと考えられる 101 日目に、表-1 のように Run 1 から Run 5 の培地にはそれぞれ段階的に 0, 50, 100, 150, 200mgSCN<sup>-</sup>/L となるようにチオシアン酸イオン酸カリウム(KSCN)を添加した培地を作成し、その培地を流入させることで対照系を含む 5 つの Run の運転を開始した。

チオシアン酸イオンの流入水中の濃度変化の影響についても調査した。ステップ応答で流入水負荷を変化させたときの応答を調査することで確認した。実廃水では流入水質が一定になることはなく、時間的な変動は常に生じる。短時間の水質変動は現存する微生物群への代謝に影響を与える可能性があり、また長期的な変化は、構成される微生物群集そのものを変遷させる推進力となる。ここでは、下水中にも含有される硫黄化合物を取り上げた。還元性の硫黄化合物の存在条件下

表-1 チオシアン酸イオン添加条件

	チオシアン酸イオン
Run 1	0mg SCN <sup>-</sup> /L (添加無し)
Run 2	50mg SCN <sup>-</sup> /L
Run 3	100mg SCN <sup>-</sup> /L
Run 4	150mg SCN <sup>-</sup> /L
Run 5	200mg SCN <sup>-</sup> /L

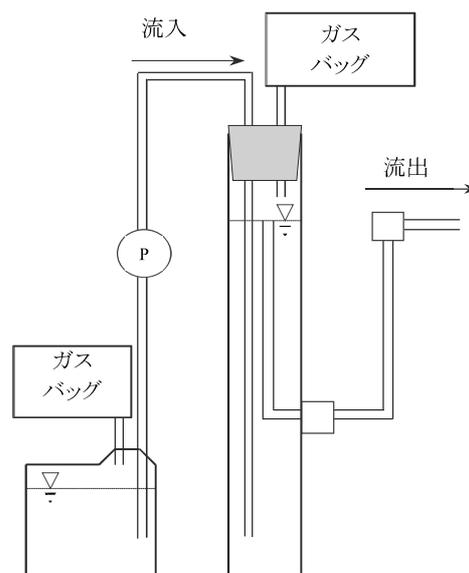


図-1 リアクター概略図

では硫黄脱窒を生じることがある。開放系においては硫黄脱窒が生じうる環境下に変化するとアナモックスとの競合が生じると考えられる。ここでは、硫黄化合物の一種のチオシアン酸イオンが混入した場合におけるアナモックス反応への影響と  $N_2O$  発生特性についても調査した。

### 3) 結果および考察

図-2 に Run 2 および Run 3 の各態窒素濃度の経日変化を示す。チオシアン添加後は、Run 1 から Run 5 までの全てのリアクターで、約 10 日間は大きな変化が見られず、アナモックス反応が継続しているような挙動を示した。しかし、添加から約 10 日間経った 110 日目を越えたあたりから、チオシアンを添加した Run 2 から Run 5 までのリアクターでアンモニア態窒素濃度が増加し始め、添加から約 20 日後には、100mgSCN<sup>-</sup>/L 以上添加した Run 3 から Run 5 のリアクターでアンモニア態窒素の消費がほとんどなくなり、流出水の濃度が流入水の濃度とほぼ等しくなった。また、チオシアンを添加した全てのリアクター (Run 2 から Run 5) で硝酸態窒素の減少が見られ、アナモックス反応で生成した硝酸態窒素もリアクター槽内で消費されていると考えられた。50mgSCN<sup>-</sup>/L 程度のチオシアンの添加では、アナモックス反応と硫黄脱窒は共存し得るが、100mgSCN<sup>-</sup>/L 以上のチオシアン存在下では、ほぼ完全に硫黄脱窒反応が優先化することが示された。

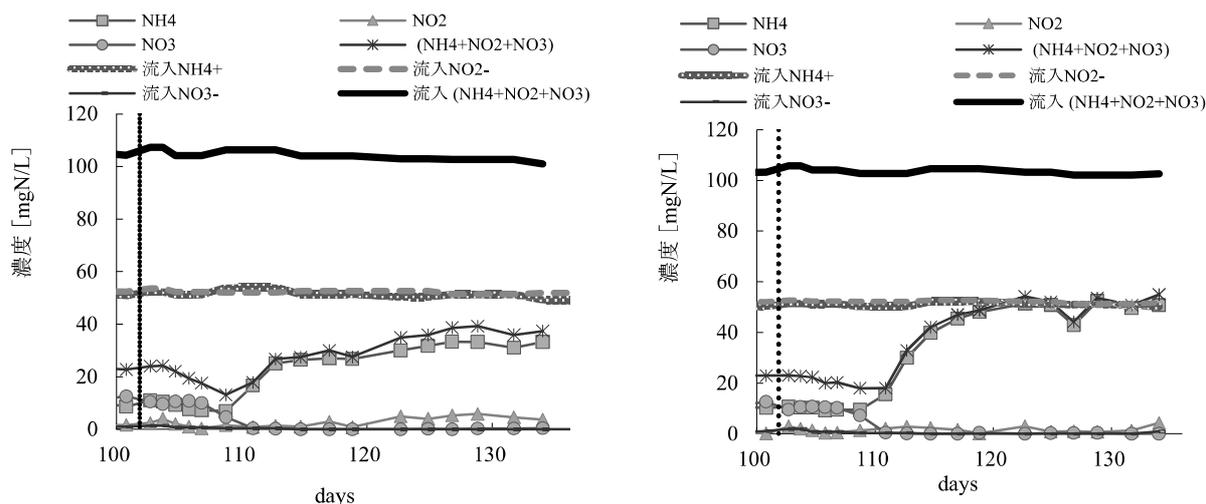


図-2 Run 2 および Run 3 の各態窒素濃度の経日変化

チオシアン酸イオン添加後は、設定した全てのリアクターで、約 10 日間は大きな変化が見られず、アナモックス反応が継続しているような挙動を示した。しかし、添加から約 10 日間経った 110 日目を越えたあたりから、チオシアン酸イオンを 50 から 200 mgSCN<sup>-</sup>/L の範囲で添加したリアクターでアンモニア態窒素濃度が増加し始め、添加から約 20 日後には、100mgSCN<sup>-</sup>/L 以上添加したリアクターでアンモニア態窒素の消費がほとんどなくなり、流出水の濃度が流入水の濃度とほぼ等しくなった。また、チオシアン酸イオンを添加した全てのリアクターで硝酸態窒素の減少が見られ、アナモックス反応で生成した硝酸態窒素もリアクター槽内で消費されていると考えられた。50 mgSCN<sup>-</sup>/L 程度のチオシアン酸イオンの添加では、アナモックス反応と硫黄脱窒は共存し得るが、100mgSCN<sup>-</sup>/L 以上のチオシアン酸イオン存在下では、ほぼ完全に硫黄脱窒反応が優先化することが示された。また、 $N_2O$  の発生速度の経日変化と流入負荷に対する  $N_2O$  発生割合を図-3 に示す。チオシアン酸イオン添加前においては、アナモックスリアクターからの  $N_2O$  の

発生は、微量、もしくは検出できない程度であったが、チオシアン酸イオン添加直後から、発生した気体中で $N_2O$ が検出されるようになった。全てのリアクターで添加から1週間は少なくとも200ppm以上の濃度の $N_2O$ の発生が確認できたが、その後、添加から14日目には $N_2O$ 発生はほとんど見られなくなった。200mgSCN<sup>-</sup>/L添加したリアクターでは、一時的に約2400ppmの高濃度の $N_2O$ の発生が見られたものの、その後 $N_2O$ の発生はほぼなくなった。発生量としては、チオシアン酸イオンの添加濃度が高いほど、多い傾向があった。

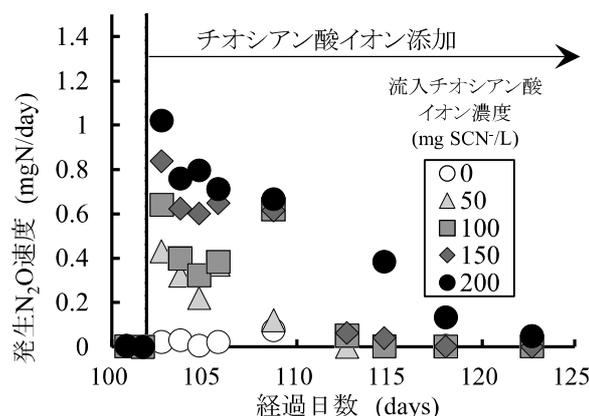


図-3  $N_2O$  発生速度の経日変化

全流入窒素負荷の約0.5%以下の割合で発生したが、200mgSCN<sup>-</sup>/Lの添加ケースにおいては一時的に、全流入負荷の約3.0%に相当する窒素が、 $N_2O$ として存在する結果となった。

#### まとめ

以下に本研究で得られた知見を示す。

1. 50mgSCN<sup>-</sup>/L程度のチオシアン酸イオンの添加では、アナモックス反応と硫黄脱窒は共存し得るが、100mgSCN<sup>-</sup>/L以上のチオシアン酸イオン存在下では、アナモックス反応よりも硫黄脱窒反応がほぼ完全に優先化した。したがって、チオシアン酸イオン存在下では、硫黄脱窒がアナモックスよりも優先するが、アナモックスにも亜硝酸態窒素など基質が行き渡る条件では、硫黄脱窒とアナモックスが共存する可能性が示唆された。
2. チオシアン酸イオンの添加により、 $N_2O$ が発生し、150mgSCN<sup>-</sup>/L以下の暴露では、全流入窒素負荷の約0.5%以下に収まるが、200mgSCN<sup>-</sup>/L以上になると、全流入負荷の約3.0%に相当する窒素が、 $N_2O$ として発生する可能性がある。
3. チオシアン酸イオンの添加による $N_2O$ 発生は、添加直後から1週間ほど継続するが、その後はなくなり、添加前の水準に落ち着いた。また、チオシアン酸イオン添加濃度が大きいほど、 $N_2O$ の発生量も大きくなる傾向があった。

以上の結果より、アナモックス反応における硫黄脱窒細菌との競合関係が示された。競合は反応が優先化する硫黄脱窒が生じうる条件においてはアナモックスはほぼ発現せず、還元性硫黄が枯渇するなど、硫黄脱窒が生じない条件においてアナモックスが発現することがわかった。硫黄脱窒の反応自体がアナモックスを抑制する作用を生じさせるのではなく、電子受容体である亜硝酸イオンの摂取をめぐる競合であると考えられた。一方、チオシアン酸イオンの濃度が $N_2O$ 生成に特性を表す指標となるのではなく、濃度変化等の反応環境の変化が $N_2O$ が発生の因子になると考えられた。安定した反応場の環境の維持が、 $N_2O$ 生成抑制に繋がるものと考えられた。

#### 引用・参考文献

- 1) 西村文武, 村角浩平, 楠田育成, 高部祐剛, 水野忠雄: 亜硝酸型硝化-ANAMMOXプロセスにおける亜酸化窒素の排出特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集G(環境), Vol.70, No.7, pp. III\_243-III\_249, 2014.
- 2) Astrid A. van de Graaf, Peter de Bruijn, Lesley A. Robertson, Mike S. M. Jetten, J. Gijss Kuenen: Autotrophic growth of anaerobic ammonium - oxidizing microorganisms in a fluidized bed reactor, Microbiology, Vol.142, pp.2187-2196. 1996.

## 集約嫌気性消化による小規模処理施設での廃棄物系バイオマス有効活用の促進（その3）

○日高 平（京都大学大学院工学研究科）

中村真人（農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門）

### 1. 調査研究の目的

嫌気性消化は、古くより廃棄物系バイオマスの生物化学的および衛生学的安定化、ならびに減容化の手段として活用されてきた。下水処理場でも活用されてきたものの、発生するメタンガスの利用についてはそれほど積極的でない場合も多く、30%程度は無効焼却されている（国土交通省資料）。平成26年7月に発表された新下水道ビジョンでは、長期ビジョンの一つの柱として、水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化が掲げられており、下水汚泥の有効利用の促進を目指すこととされている。平成27年5月に公布された改正下水道法では、下水道管理者に対する下水汚泥のエネルギー利用の努力義務が規定されている。下水処理場を拠点とした下水汚泥や廃棄物系バイオマスのエネルギー利用はますます注目されてきている。

小規模施設での嫌気性消化は、これまでエネルギー回収効率の悪さからほとんど注目されていなかったものの、市町村の合併により類似施設を複数抱える地方公共団体の施設更新にあわせて、バイオマス拠点施設への集約による効率化が期待されている。消化汚泥の処理は液肥としての活用が現実的であるものの、肥料として活用する際には残存する有機物の嫌氣的分解が土壤中で進み、温室効果ガスでもあるメタンがそのまま大気中へ放出される恐れがある。本研究では小規模処理施設を主なターゲットとし、より効率的な運転として脱水汚泥の無希釈投入および可溶化処理を含む低温消化に着目して、嫌気性消化および水田培養実験を行い、処理特性およびメタン放出の影響の把握を目的とした。

### 2. 調査研究方法

#### (1) 嫌気性消化実験

オキシゲンレーションディッチ法からの脱水汚泥 B の投入濃度を变化させた連続式嫌気性消化実験を行った。脱水汚泥 B を希釈せずそのまま投入する系（B35H）、TS 濃度 5% に希釈して投入する系（B35L）、および比較のために従来からの投入 TS 濃度 10% の系（B35）を設定した。B35H と B35L は別の時期に運転している。これらの実験では、ガラス容器で作成した嫌気性消化反応器を用い、恒温水槽にて 35℃ に維持した。B35H については、脱水汚泥の直接投入で攪拌を行える状況ではなかったので、定期的に上部から基質を投入し、攪拌および引き抜きは行わなかった。B35 の消化汚泥を B35L および B35H の立ち上げに用いた。

---

日高 平

京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻水環境工学分野

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-223

TEL(075)383-3350, FAX(075)383-3351, hidaka.taira.4e@kyoto-u.ac.jp

キーワード：混合嫌気性消化、下水汚泥、メタン、液肥、水田

昨年度は脱水汚泥 B を用いた実験で、80℃の超高温可溶化処理で嫌気性消化でのバイオガス発生率の向上が示された。またこれまでの低温嫌気性消化実験にて、一般的な中温（35℃）条件より低温の場合でも消化日数を確保すれば同等のバイオガス発生率が得られることが示されている。これらを合わせて、超高温可溶化処理および低温嫌気性消化を組み合わせることで、加温に要するエネルギーや設備を削減しながらこれまでと同等以上のバイオガス発生量が確保できる可能性が考えられる。

超高温可溶化処理には、投入基質に前処理として超高温可溶化処理を行う場合と、嫌気性消化後の汚泥に超高温可溶化処理を行い再び嫌気性消化槽に戻す後処理として行う場合がある。前処理は、投入基質の可溶化により、嫌気性消化における反応速度の向上や難分解性基質の易分解化が期待できる。後処理では、通常の嫌気性消化処理で分解しない残存有機物に的を絞った超高温可溶化処理を行うことになる。ここで

**表 1 超高温可溶化処理を含む嫌気性消化実験条件**

	超高温可溶化処理	嫌気性消化温度 (°C)
TH35	有	35
TH30	有	30
TH25	有	25
TH15	有	15
T35	無	35
T30	無	30
T25	無	25
T15	無	15

は、嫌気性消化処理の低温化を想定しているので、反応速度向上の趣旨から前処理を中心に検討した。表 1 に示す通り、超高温可溶化処理を行った脱水汚泥 (TH) および行わなかった脱水汚泥 B (T) を対象に 35、30、25 および 15℃での嫌気性消化実験を行った。

種汚泥からの立ち上げを含めて同一の投入条件で比較するために、以下の操作を行い消化汚泥試料を作成した。脱水汚泥 B の連続式嫌気性消化実験からの引抜き汚泥を貯留しておき、本実験の開始にあたり、200 mL の瓶に 40 g ずつ種汚泥として投入した。その性状は、TS 7.6%および VS 5.2%であった。回分式実験では汚泥性状への影響が限定されることから、週 1 回の基質投入および 1 ヶ月毎の汚泥引抜きを組み合わせた半連続式実験を約 3 ヶ月行った。投入基質は、脱水汚泥 B (T)、もしくは 24 時間 80℃で超高温可溶化処理を行った脱水汚泥 B (TH) である。その後 3 週間静置してから、消化汚泥の組成を分析するとともに、水田培養実験に供した。

## (2) 水田培養実験

嫌気性消化汚泥の液肥利用に伴う分解特性を分析するために、水田を模擬した培養実験を行った。試験区として、8 種の消化汚泥、消化処理前の脱水汚泥、稲わらをそれぞれ施用する試験区 (T15、T25、T30、T35、TH15、TH25、TH30、TH35、脱水汚泥 B および稲わら) と資材を施用しない無施用区を設定し、それぞれ 3 反復で行った。稲わらは、茨城県つくば市の農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究部門の試験水田で栽培された水稻の稲わらを微粉碎したものである。

容量約 60 mL のバイアル瓶に、土壌を乾土あたり 5 g、各試験区に施用する資材 (消化汚泥・稲わらなど) を VS あたり 0.2 g、脱気した脱イオン水をバイアル内の水量が 10 mL になるように加えた後、ブチルゴム製の栓で密栓した。その後、気相部分を高純度窒素で置換して試験管ミキサーで攪拌する操作を 3 回繰り返し、その操作の終了を培養開始とした。培養期間中、バイアル瓶は 30℃の恒温庫に静置した。稲わらの添加量は、現場の水田における一般的な稲わらのすき

こみ量に合わせて設定している。他の資材については、稲わら区と VS ベースで同量となるように施用量を設定している。そのため、嫌気性消化汚泥の水田への施用量は、現在各地で行われている消化汚泥（消化液）の施用量の 3 倍程度とかなり多い。培養開始後、7、14、28、46、57、70、および 84 日後にヘッドスペースのガス 0.2 mL を採取し、分析した。

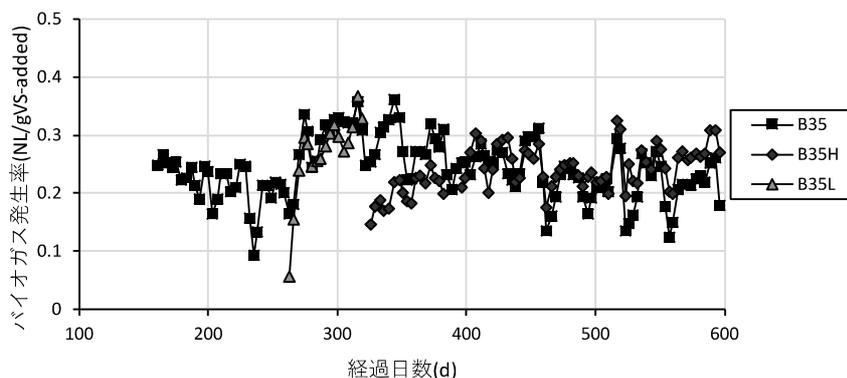
### (3) 分析方法

実験前後の試料を対象に、性状の分析を行った。pH、TS、および VS は、下水試験方法に従って分析した。アンモニア性窒素の分析は、オートアナライザー（ブラン・ルーベ）を用いた。元素分析（CHNPS）は、京都大学薬学研究科有機微量元素分析総合研究施設にて実施した。嫌気性消化実験での発生バイオガス量は、ガスバッグで捕集してガラス製シリンジを用いて、もしくはガス流量計（AER-800、テクニス）により測定した。水田培養試験でのバイオガス組成は、ガスクロマトグラフ（GC-14B、検出器 TCD、（株）島津製作所）で測定した。バイオガス生成量は、メタンおよび二酸化炭素濃度ならびにヘッドスペースの容積から算出した。

## 3. 結果および考察

### (1) 嫌気性消化実験

脱水汚泥を直接投入した連続式嫌気性消化実験におけるバイオガス発生率の経時変化 **図 1** に示す。連続式実験期間中、バイオガスは安定して発生していた。



**図 1** 濃度影響比較連続式実験におけるバイオガス発生率の経時変化

B35 と B35H を比較すると、投入 VS に対するバイオガス発生量は、いずれも 0.24 NL/gVS-added 程度と同程度であった。両者の正規分布性および等分散性を確認して、t 検定を行ったところ、有意な差は検出されなかった ( $P>0.05$ )。分解の遅い OD 法由来の脱水汚泥のため、攪拌が行えない高濃度状態でも、着実に反応が進行していたことになる。消化汚泥の TS 濃度は、B35 および B35H でそれぞれ 8% および 12% 程度であった。消化汚泥の VS 濃度は、B35 および B35H でそれぞれ 5% および 9% 程度であった。バイオガス発生率が両者同等であり、TS および VS の分解率では大きな差が無かった。アンモニア性窒素濃度は、B35 と B35H でそれぞれ 3 gN/L および 5 gN/L 程度であった。B35H では高い濃度であり、一般的に言われている阻害濃度に対して限界に近かった。

超高温可溶化処理を含む嫌気性消化実験での汚泥性状の分析結果として、VS/TS 比を **図 2** に示す。元の脱水汚泥 B の TS 濃度は 16% 程度に対して、水で希釈して投入したと嫌気性消化で分解したことをあわせて、消化汚泥の TS 濃度は 4% 程度であった。元の脱水汚泥 B の VS 濃度は 13% 程度に対して、消化汚泥の TS 濃度は 3% 程度であった。元の脱水汚泥 B の VS/TS 比は 0.82

程度に対して、水で希釈して投入したことは無関係に、嫌気性消化で分解したことで消化汚泥の VS/TS 比は 0.70~0.77 程度まで低下した。昨年度までの研究でも、嫌気性消化過程で TS と VS の差で表される無機分の分解はほとんど進まず、VS/TS 比が概ね有機物分解の指標となることが示されている。全体として、消化温度が高いほど分解が進み、超高温可溶化処理を行った場合は同じ消化温度でも分解が進む傾向が見られた。この結果から、超高温可溶化処理を行い、嫌気性消化での温度を下げる場合、両者の影響の結果として、バイオガス発生量が変化することが分かる。今回の実験での消化日数は単一条件となるので、反応速度との兼ね合いでバイオガス発生量は変化する。超高温可溶化処理を行い低温化する場合、超高温可溶化処理なしの 35°C の場合と同じバイオガス発生量を確保することができるかは、他の要因にも依存する。

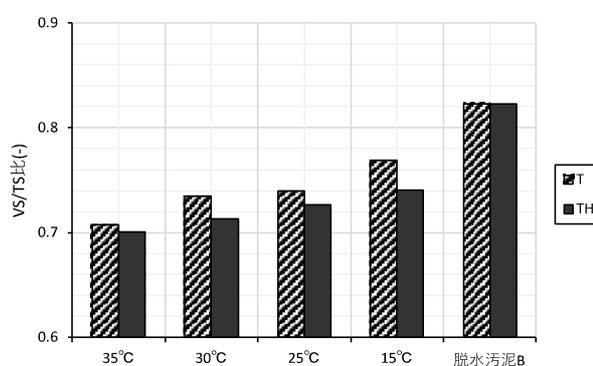
## (2) 水田培養実験

消化汚泥および脱水汚泥の VS/TS 比と各資材由来の積算メタンガス発生量の関係を **図 3** に示す。VS/TS 比は各資材の有機物の分解程度を目安であり、同じ原料からの消化汚泥であれば、VS/TS 比が低いほど分解が進んでいることを示す。VS/TS 比とメタン発生量は正の相関関係が見られた。脱水汚泥の結果に強く影響を受けている結果ではあるが、全体的に VS/TS 比が高いほどメタン発生量が多くなる傾向が見られた。VS/TS 比を用いることにより、前処理の有無や消化温度など条件の異なる消化汚泥や脱水汚泥からのメタン発生量を統一的な基準で評価できるといえる。

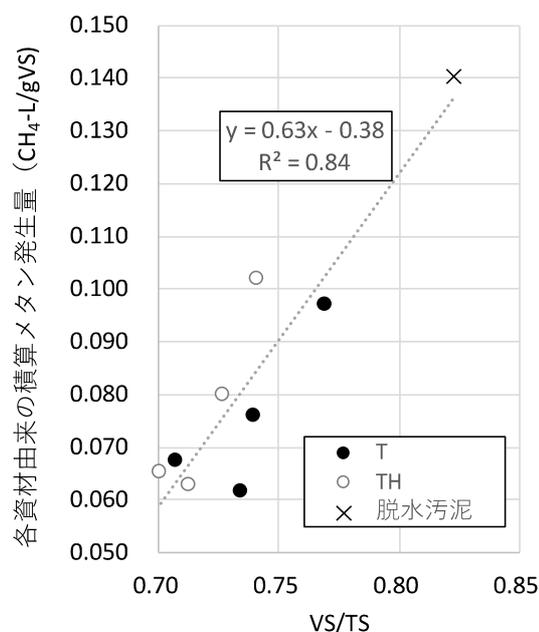
## 4. 結論

集約嫌気性消化による小規模処理施設での廃棄物系バイオマス有効活用の促進に向けた基礎的知見を集積することができた。今後現場との連絡を密にとりながら関係者と研究成果について議論することで、小規模施設における廃棄物系バイオマスの利用を促進できると期待される。

**謝辞:** 下水汚泥試料採取では、地方公共団体下水道関係者にお世話になりました。



**図 2** 超高温可溶化処理を含む嫌気性消化実験での消化汚泥性状



**図 3** 水田培養実験での各資材の VS/TS 比と VS あたりのメタンガス発生量の関係

# 高反応性消石灰に起因する焼却飛灰からの有機物汚濁負荷に関する研究

○水谷 聡 (大阪市立大学)

## 1. 調査研究の背景と目的

廃棄物の最終処分場の浸出水処理においては、有機汚濁成分を適切に処理することが重要である。近年、特に一般廃棄物の焼却灰を中心に埋め立てている処分場に於いては、焼却飛灰中の重金属類を安定化処理するためのキレート系薬剤による有機物汚濁負荷がしばしば指摘されているが、有機キレート剤による安定化処理を行わない飛灰からも無視できない量の有機炭素成分 (TOC) が検出される例が確認されている<sup>1)</sup>。この TOC 成分の由来について、文献等で調査したところ、乾式の酸性排ガス処理の際に用いられる排ガス処理用の消石灰のうち、酸性ガスとの反応性を高めた消石灰 (高反応性消石灰) にアルコール類が添加される例がある<sup>2)</sup>ことがわかった。

そこで本研究では、大阪湾広域臨海環境整備センター (以下、フェニックス処分場とする) に焼却残渣を搬入している自治体・事務組合を対象に、焼却処理と排ガス処理方式、焼却飛灰中の重金属処理方式などに関するアンケート調査を実施し、高反応性消石灰の使用実態を把握すること、及び、わが国で市販・使用されている高反応性消石灰に溶出試験を行って有機汚濁成分の溶出ポテンシャルを評価し、アンケート結果と併せて考えることで、最終処分場に搬入されている焼却飛灰を対象に、高反応性消石灰に由来する有機汚濁負荷量を推定することを研究の目的とした。

## 2. 調査研究方法

### 2-1. 最終処分場へ搬入される焼却灰と排ガス処理、飛灰処理に関するアンケート調査

都市ごみ焼却飛灰に含まれる重金属類の安定化処理に用いられる薬剤と、近年使用量が増加し、また今後も使用量が増加していくことが予想される高反応性消石灰の利用実態を把握するために、排ガス処理方法、高反応性消石灰の利用状況、安定化処理方法、焼却灰の発生実態などの情報について処理施設へアンケート調査を行った。アンケートは、フェニックス処分場へ焼却灰 (飛灰処理物) を搬入している近畿 2 府 4 県に所在する 97 の都市ごみ焼却処理施設に郵送し、66 事業所、68 施設についてのデータが得られた。本調査において送付したアンケートの項目と各項目の意図を表 1 に示す。

### 2-2. 高反応性消石灰に由来する有機汚濁負荷の定量評価

【実験試料】市販されている高反応性消石灰 22 種類を web 検索やメーカーヒアリングにより確認し、そのうちの 14 種類 (A~N とする) を、メーカーあるいは焼却施設より入手し実験試料とした。また JIS 特号消石灰、消石灰試薬 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2:99.9\%$ ) も比較試料とした。

【実験方法】100 mL 容の広口 PP ボトルに試料を 0.5g, 1.0g, 2.0g, 4.0g, 6.0g, 8.0g, 10.0g 取り、それぞれに蒸留水 100 mL 加えた。この懸濁液を振とう幅 4~5cm, 200 回/分で 6 時間振とうした。静置後、孔径 1.0  $\mu\text{m}$  のメンブランフィルター (ADVANTEC A100A047A) を用いて吸引濾過した濾液を検液とし、その検液の TOC を TOC 計 (島津製作所 TOC-VCSH) で

---

【連絡先】水谷聡 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科

Tel/fax 06-6605-2727 miz@urban.eng.osaka-cu.ac.jp

【キーワード】高反応性消石灰, 都市ごみ焼却飛灰, TOC, アンケート調査

測定した。具体的にはTC（全炭素濃度）とIC（無機炭素濃度）を3回づつ測定し、各測定値3つのうち偏差の小さいもの2つの平均値の差の値をTOCの測定値とした。なおブランクとして、蒸留水のTOCも同様に測定し補正した。

表1 アンケートの項目と各項目の意図

アンケートの質問項目	質問の意図
Q1-1.焼却炉形式 Q1-2.焼却炉規模	焼却炉処理施設の基本情報を把握する。
Q2-1.排ガス(酸性ガス)処理方式 Q2-2.排ガス(酸性ガス)処理用消石灰 Q2-3.高反応性消石灰の詳細 Q2-4.高反応性消石灰の年間使用量	酸性ガスの中和処理に消石灰、高反応性消石灰を用いているかどうかを確認する。また高反応性消石灰を使用している場合は種類と使用量を把握する。
Q3-1.主灰・ばいじんの年間排出量 Q3-2.灰の分類	埋立廃棄物(主灰・飛灰処理物)の量を把握して、推定のための材料とする。
Q4-1. ばいじん処理方法 Q4-2. ばいじん処理に用いられる薬剤 Q4-2. ばいじん処理薬剤の年間使用量 Q4-3. その他添加物	飛灰処理物の有機汚濁負荷において、高反応性消石灰が寄与する割合を知るために、有機汚濁負荷の主要因と言われているキレート処理の実態を把握する材料とする。
Q5.追加調査について	今後に向けて実験試料提供可能かを確認する。

### 3. 調査研究結果

#### 3-1. 最終処分場へ搬入される焼却灰と排ガス処理、飛灰処理に関するアンケート調査

アンケート結果を図1～8に示す。焼却炉形式(図1)は、ストーカ炉が最も多かった。排ガス処理方式(図2)は乾式法と湿式乾式併用である施設を含めると81%であり、8割以上の施設から排出される飛灰には消石灰が含まれると考えられる。またその64%が高反応性消石灰を使用しており(図3)、広く使用されている実態が明らかになった。これは回答のあった全施設で見ても52%に当たる(図4)。使用されている高反応性消石灰は、12社で17製品と多様であった。ばいじんの処理は大半が薬剤処理であった(図5,6)。高反応性消石灰の年間使用量(図7)は、46～841tで平均値は300tであった。ばいじんの年間排出量(図8)は、65～9,313tで、平均値は2,025tであった。

#### 3-2. 高反応性消石灰に由来する有機炭素成分の定量評価

消石灰とその溶出液のTOC量について、溶出量の高い試料と低い試料に分けて図9、図10に示す。対照試料としたJIS特号消石灰および消石灰試薬からはTOCはほとんど検出されなかったのに対し、高反応性消石灰の投入量とTOC溶出量には非常に強い正の相関があり、また高反応性消石灰の種類によりTOC溶出量は大きく異なった。各データを直線近似した時の直線の傾き(TOC量[mg]/消石灰重量[g])を、ここでは“TOC溶出係数”と呼び表2に示す。

TOC溶出係数は消石灰の種類により0.7~6.6 mg/gと大きな差があった。また消石灰Nは低COD型を謳った高反応性消石灰で、0.04 mg/gと非常に低い値を示した。今後は、各試料の有機炭素成分の原因物質を特定する必要があると考えられる。

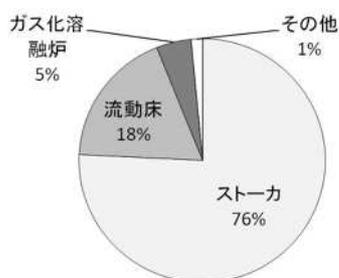


図1 焼却炉形式 (n=66)

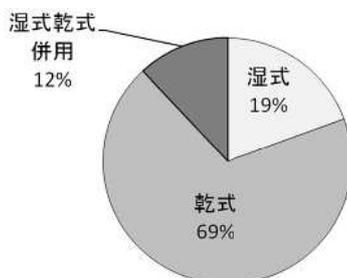


図2 排ガス処理方式 (n=68)

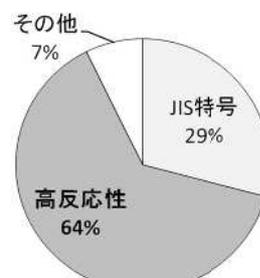


図3 消石灰種類の内訳 (n=55)

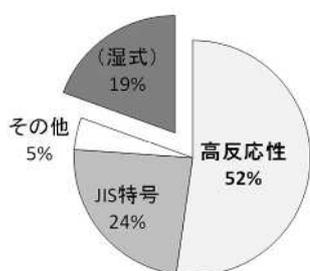


図4 消石灰の使用率 (n=68)

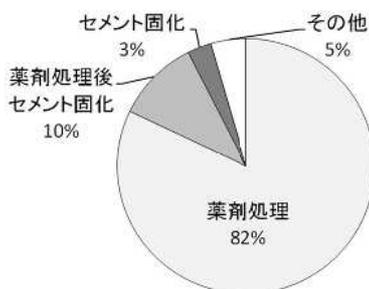


図5 ばいじん処理方法 (n=67)

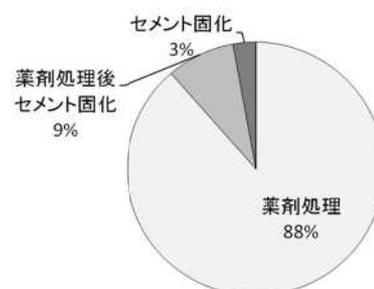


図6 高反応性消石灰の使用施設での飛灰処理方法 (n=35)

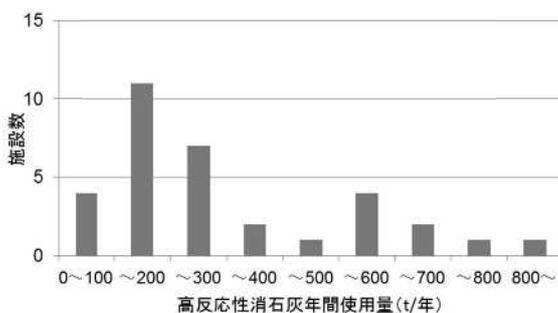


図7 高反応性消石灰年間使用量 (n=33)

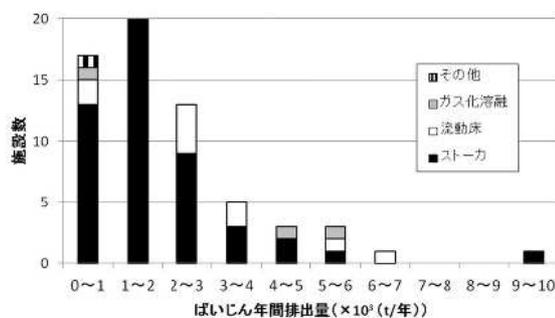


図8 ばいじん年間排出量 (n=65)

表2 高反応性消石灰の試料重量当たりの溶出TOC量 (TOC溶出係数) [単位: mg/g]

試料	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
TOC溶出係数	6.6	0.7	4.9	1.4	1.3	0.7	5.7	4.0	0.7	1.0	5.4	3.6	0.8	0.04

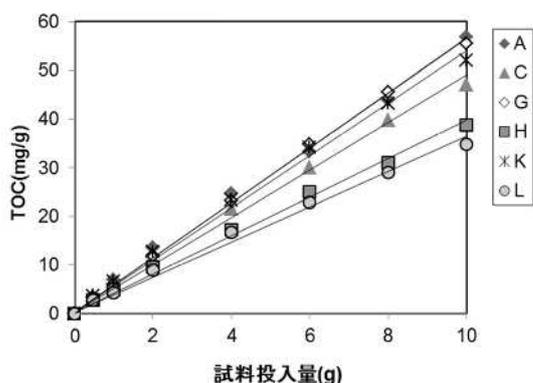


図9 消石灰投入量とTOC溶出量(高い試料)

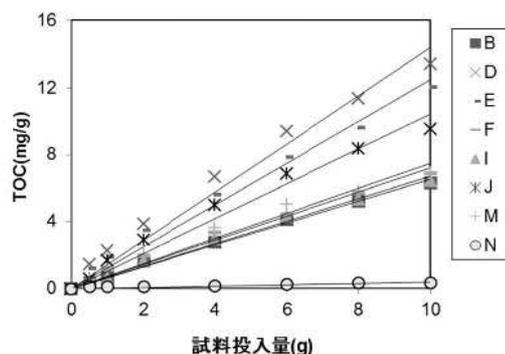


図10 消石灰投入量とTOC溶出量(低い試料)

#### 4. 調査研究結果に対する考察～高反応性消石灰に由来する有機汚濁量の推定

アンケート結果と、高反応性消石灰のTOC溶出係数から、最終処分されている飛灰の実態と、中の高反応性消石灰に由来する有機汚濁量をTOCベースで推定した。

焼却施設から排出される埋立物において、主灰・飛灰処理物の割合は概ね2：1になっていると推定された。また埋立物に占める高反応性消石灰の重量割合は2.6%であり、中間処理薬剤の1.0%より高いものと思われた。フェニックス処分場に投入されている高反応性消石灰由来の有機汚濁成分量 (TOCとしての溶出ポテンシャル) は6.2～36.6 t/年であると算出された。ただし推定には多くの仮定や、ばらつきの大きなTOC溶出係数に基づいており、さらに詳しい調査が必要である。また高反応性消石灰を使用することで、処分場への消石灰の投入量は低減されることから、その負荷低減効果も合わせた検討が必要である。

#### 5. 結論

本研究の結論を以下に示す。

- 1) フェニックス処分場に焼却灰等を搬入している自治体等へのアンケート調査によれば、約8割の施設(施設ベース)から排出される飛灰には消石灰が含まれ、また、その消石灰のうちの64%(施設ベース)は高反応性消石灰であった。
- 2) 14種類の高反応性消石灰の溶出試験では、いずれもTOC成分が検出され、そのTOC溶出係数(溶出TOC量[mg]/消石灰重量[g])には、0.04～6.6 mg/gと大きな差があった。
- 3) フェニックス処分場に投入される高反応性消石灰由来の有機汚濁成分量は、TOCとして6.2～36.6 t/年であると算出された。ただし仮定や変動も大きく詳細な調査が必要である。

#### 参考文献

- 1) Y. Ueda, S. Mizutani, H. Sakanakura, Y Kanjo, Heavy metal leaching behavior from chemical-stabilized fly ash by column test under three kinds of flow rate condition, *Proc. of the 9th Int. Conf. on Combustion, Incineration/Pyrolysis, Emission and Climate change (i-CIPEC 2016)*, September 20-23, Kyoto, Japan, 2016
- 2) 田中宏一, 有機化合物を利用した石灰系材料, 無機マテリアル, Vol. 5, Nov. pp.602-607, 1998

#### 謝辞

お忙しい中、アンケートに協力して下さった自治体・事務組合の方々、ならびに、焼却飛灰や消石灰などの実験試料をご提供いただいた消石灰メーカー、自治体・事務組合、焼却炉メーカーの方々に感謝いたします。

