



## INTRODUCTION

In Japan, PET bottles have been collected separately for recycle by local authorities. However...



Collected PET bottles

- foreign substance
- uncategorized materials

These problems increase recycle cost.

Some of PET bottles users might feel mental stress and psychological resistance

## STUDY OBJECTIVE

evaluate how much people feel unwillingness to dispose of PET bottles correctly.

Correct disposal of PET bottles

- A Cup removal
- B Label removal
- C Washing bottles
- D Crashing bottles

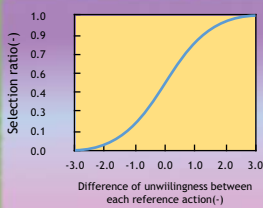


## METHODOLOGY

For unwillingness is quantified relatively reference actions

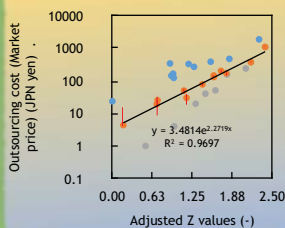


Thurstone's pairwise comparison which action do question feel larger unwillingness?



In Thurstone's pairwise comparison method, selection ratio is assumed to have cumulative normal distribution as a function of difference of unwillingness between two reference actions.

Relative degree of unwillingness of each reference actions can be calculated from all selection ratio data.

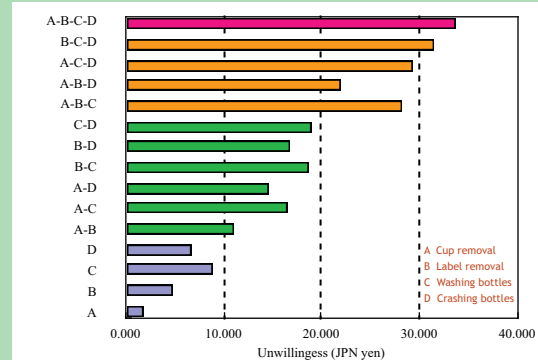


Relative Z values and market prices to outsource reference actions are compared, there might be linearity.

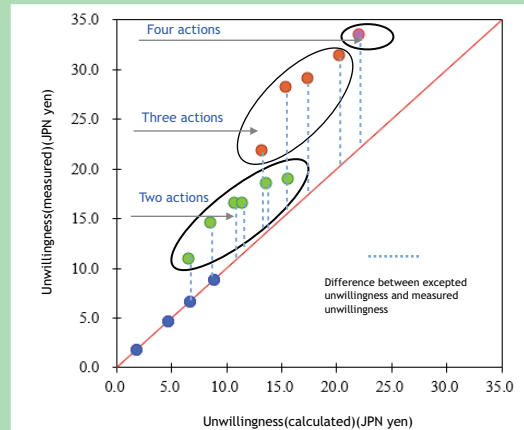
Relative degree of unwillingness of a certain action can be converted finally to money via relative Z values.

## RESULTS AND DISCUSSION

Unwillingness of different complete degree (15 situations)



Relation between expected unwillingness and measured unwillingness



## CONCLUSION

People feel stronger unwillingness when they complete several actions together than one by one.

# Waste management in Zimbabwe: A preliminary survey of hydrothermal treatment applications for municipal solid waste conversion to coal-alternative fuels

P-024

Andile Blessings Maqhuza



Fumitake Takahashi

Department of Environmental Science and Technology  
Tokyo Institute of Technology

## BACKGROUND

Zimbabwe is located at the base of the African continent south of the equator.



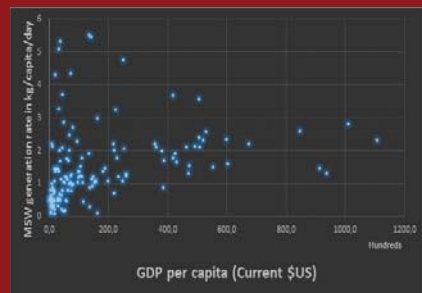
The country's population was roughly 14.15 million in 2013 with 39.6 % of the population living in urban areas.



The Municipal Solid Waste (MSW) management system is facing serious problems . . .



## WASTE GENERATION



As the GDP per capita increases, the MSW generation rate increases until it reaches a peak. Then as GDP continues, the MSW generation rates decrease as shown in Figure 1. The MSW generation rate of Zimbabwe is 0.53 kg/capita/day and the GDP per capita is \$US953.40.

$$\text{MSW generated annually, } \text{MSW}_{\text{annual}} = \text{MSW generation rate (kg/capita/day)} \times \text{Total Urban Population} \times 365 \text{ days}$$

For Zimbabwe, estimated  $\text{MSW}_{\text{annual}}$  :

$$0.53 \times (14,150,000 \times 39.6\%) \times 365 = \mathbf{1.08 \text{ million metric tons.}}$$

Figure 1 MSW Generation rate versus GDP per capita

The GDP per capita is expected to improve in the coming years , at twice the GDP per capita the MSW rate can be expected to lie between 1,1 – 1.45 kg/capita/day

## WASTE COMPOSITION

As shown is Figure 2 below, as the GDP of a nation rises, the organic content decreases. The plastic and paper content, however, increases as the GDP increases

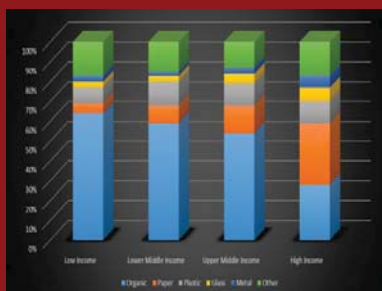


Figure 2. Waste Composition by income

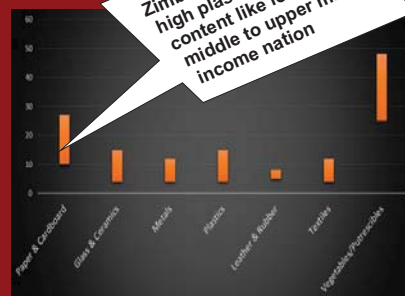


Figure 3. Zimbabwe MSW Composition

Zimbabwe is classified as a low income nation. The high paper and plastic content in Zimbabwe MSW shown in Figure 3 is an advantage as it increases the calorific value of the MSW fuel produced by hydrothermal conversion

## CONCLUSION

- Solid waste generation rates increase with GDP.
- Zimbabwe MSW has high plastic and paper content matching lower middle to upper middle income nations.
- Zimbabwe MSW derived fuel will therefore have a high calorific value
- There is potential for converting Zimbabwe MSW to a fuel

## REFERENCES

1. <http://data.worldbank.org/country/zimbabwe>
2. Hoonweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. 2012. What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management. World Bank, Washington, DC. © World Bank. Pg 17-19,

# P-025 Understanding the trend of municipal solid waste incineration ash treatment researches by paper content analysis

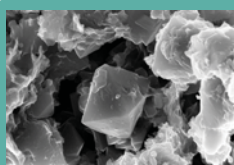
Cheng Lip Fong, Fumitake Takahashi

Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology

## Background



Due to population growth, urbanization, increased consumerism and limited land space, incineration is increasingly being utilized for the disposal of municipal solid waste (MSW). Incineration allows the recovery of energy from MSW and also reduces its volume by up to 90%. The residues that remain are in the form of ashes, namely fly ash and bottom ash.



Due to the nature of MSW incineration or MSWI, the ashes contain concentrated amounts of heavy metals or elements. The ashes will still need to be landfilled or recycled but unless they are treated beforehand, the heavy metals may leach into the environment, causing health damage to humans, plants and wildlife.



Many peer-reviewed papers that focused on the treatment of MSWI ashes have been produced. The objective of this research is to understand the extent of attention given to MSWI ash research, the areas of investigation, where and when such researches have been carried out. Because the contents of published papers reflect the researchers' attention or public focus, paper content analysis enables us to better understand the research history and trends.

## Materials & Methods

### Identification

Details
Title
Author
Year Published
Journal
Ash Type

Purpose
Landfill
Landfill/Recycle
Recycle

### Content

Category	
Anaerobic digestion	Electrical
Bio alteration	Melting
Bio leaching	Hydrothermal
Bio stabilization	Heat
Bio (Others)	Sintering
Carbonation	Glass-ceramic processing
Chemical (Others)	General
Chemical leaching	Irradiation
Chemical stabilization/solidification	Landfill cover
Cementation	Road
Mechanical	Weathering

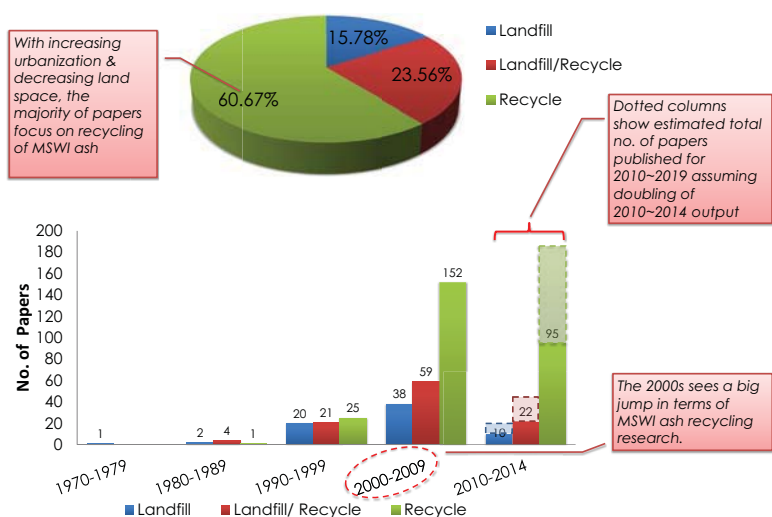
A search and review was made for published papers available in the English language online that focused on the management, treatment or characterization of MSW incineration ashes with regards to metallic/ionic content. However, the search was by no means exhaustive and a total of 450 papers was found using the following key words: **msw, fly ash, bottom ash, heavy metals, solid waste**. The papers were reviewed and then classified based on the following criteria as shown on the left:

Details → Purpose → Category

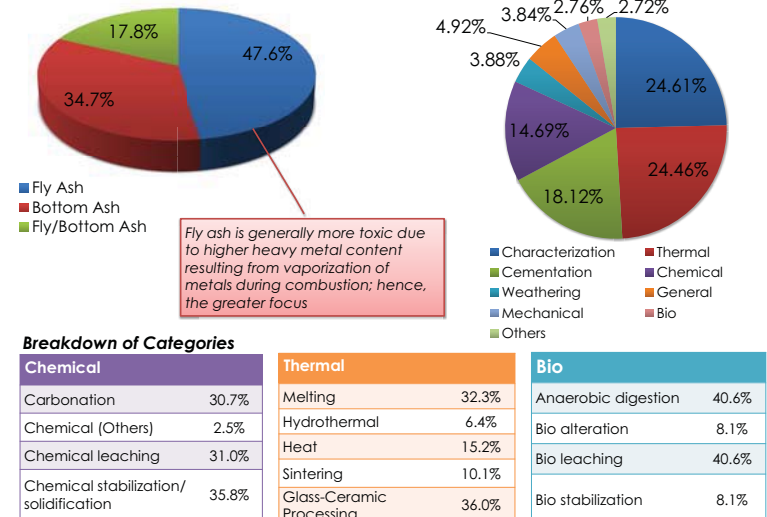


## Analysis and Discussion

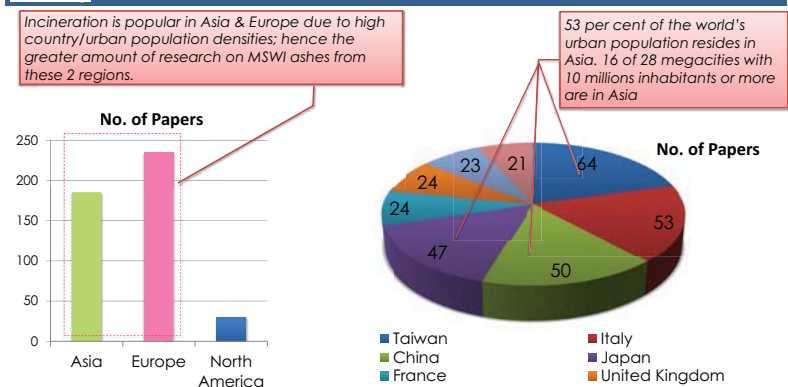
### Research Purpose & Time Trend



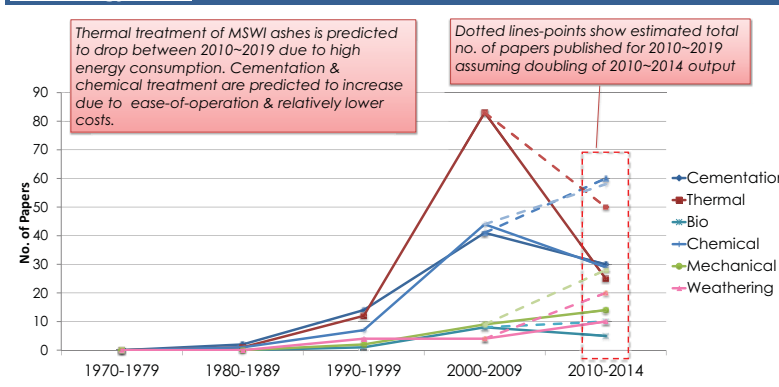
### Ash Type & Treatment Category



### Locality



### Technology Trend



## Conclusion

- With a growing global population, increasing urbanization and decreasing land space, the focus has clearly shifted to recycling MSWI ashes rather than landfilling.
- Developed/developing countries across Europe and Asia are spearheading the development of MSWI ash research
- Currently, the main methods of ash treatment are thermal, cementation and chemical in nature

# ペットボトルの分別廃棄行動へのゴミ箱のデザイン効果

泉拓也<sup>1</sup>, 姜秋恵<sup>1</sup>, 鈴木慎也<sup>2</sup>, 高橋史武<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>東京工業大学大学院, <sup>2</sup>福岡大学



経済発展に伴い、廃棄物処理に関する問題が生じてきた。これに対応するために容器包装リサイクル法が制定された。その容器包装の中で、現在ではペットボトルが、リサイクルの代名詞と言われるほど、資源として認識されるようになってきている。しかし、リサイクルに必要な回収ペットボトルの品質の向上が必要であり、また回収量が十分ではないという問題に直面している。



## エコ行動



## WEB調査

上記のエコ行動のうち、キャップ除去が他のエコ行動を誘導するトリガーとなる可能性があることが判明している。

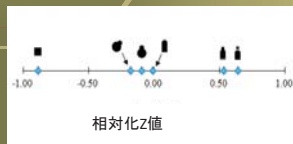


目的

“指示語”, “投入口形状” が及ぼす効果を検討

### WEBアンケート調査

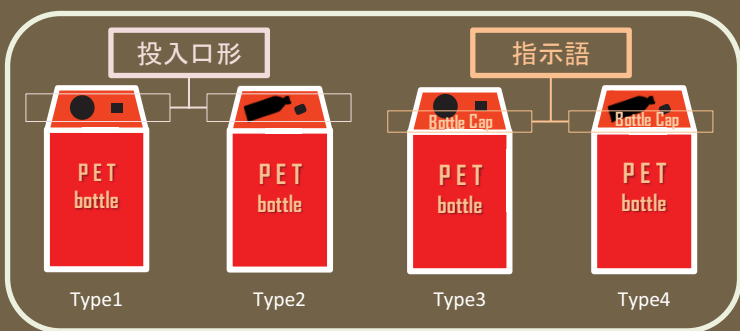
実施手順  
 ・被験者数: 210人  
 ・設問: どれがペットボトルの捨て口?  
 ※各設問は一対比較にて問われた。



解析手順  
 ・サーストンの一対比較法  
 ・捨て口としての分かりやすさを定量化  
 ※相対化Z値として算出した。

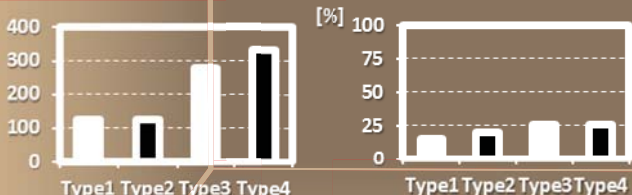
Z値(大) ⇔ 分かりやすい  
 (ペットボトル用ゴミ箱として)  
**ボトル形状が最適?**

共同設置



単独設置

## 実験結果



縦軸 = 100 (キャップ除去ボトル数 / キャップ付きボトル数)

縦軸 = 100 (混入異物数 / 全ボトル数)

**指示語が効果有**の傾向

形状の**効果小**の傾向

投入口形の違いによるキャップ除去率や異物混入率への影響は確認されなかった。一方で、指示語がキャップ除去を顕著に誘導している傾向がみられた。投入口形の違いによる視覚効果よりも、指示語のような文字の存在が消費者のペットボトル分別廃棄の煩わしさを軽減に寄与しやすいと想定される。

## まとめ

現段階で以下の3点の傾向が確認された。

1. 投入口形は分別廃棄に良好な効果を示さない。
2. 指示語がキャップ除去の煩わしさを軽減する。
3. 指示語と投入口形は異物混入に影響しない。

### 今後の検討ポイント

- ・ 統計的仮説検定にて十分な検定力を確保するために、回収実験の継続をする。
- ・ 本研究で用いたゴミ箱は、東京工業大学のキャンパス内に設置された。今後は、単独あるいは共同といった設置条件を統制することで、ゴミ箱の周囲の環境が与える回収結果への影響を検討する予定である。
- ・ アンケート調査の結果と実験結果には相反する傾向が確認された。このような傾向が得られた原因について考察を進めていきたい。

# THE EFFECT OF RAW COAL FLY ASH AMENDING ON WATER HOLDING CAPACITY OF SOIL AND SAND WITH DIFFERENT SIZE RANGES

Mengzhu Song, Shenglei Lin, Fumitake Takahashi  
Department of Environmental Science and Technology, Tokyo Institute of Technology



P-027

## BACKGROUND



Fly ash (FA) is a solid waste by-product from the combustion processing of coal fired power generation. Every year huge amounts of FA are disposed without utilization

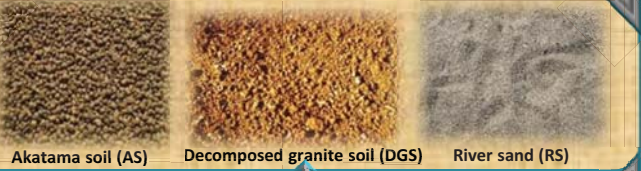
SOLVE BOTH

Desertification is one of major social problems around the world. FA can be used as a soil amending material to improve water holding capacity of soil.



## RESEARCH CONTENT

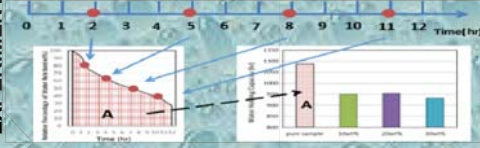
MATERIAL



The soils and sand were sieved into different size ranges

WHC EXPERIMENTS

A Calculation concept of WHC based on water retention curve/infiltrate



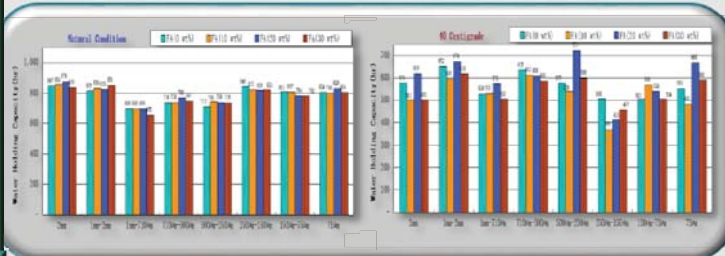
The weights were measured every hour to monitor water retention.

## RESULT AND DISCUSSION

DGS



AS



RS

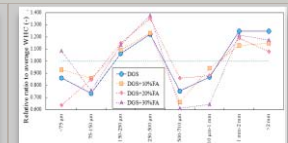
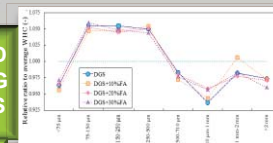


### Size effect on relative ratio to average WHC

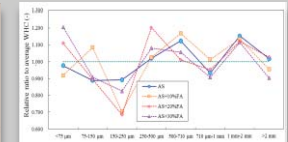
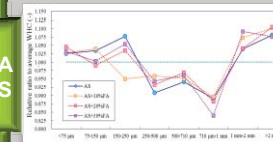
NC

40°C

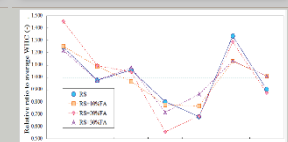
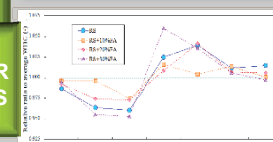
DGS



AS



RS



Result discussion on the effect of FA

- Generally raw FA amendment has a positive effect on the WHC of soils and sand.
- In the same soil/sand size range, WHC is usually higher at 20 wt% of FA mixing ratio.
- WHC differs from soil and sand types.

Size effect discussion

- Relationship between the particle size and WHC was non linear.
- Highest WHC appeared in certain range of particle size.
- Size dependency was regarded as significant in some cases even when experimental errors were taken into account.
- When temperature is different, optimum size range for highest WHC changed.

## CONCLUSION

Raw FA amendment has a positive effect on the WHC of soils. The t-test showed that the size dependency of raw FA amendment on WHC was regarded as significant. The impact of FA addition on WHC is very complex, depending on many factors such as particle sizes, drying temperature, soil type, and mixing ratio of FA.

Textural modification will be focused on

# P-028 キレート処理飛灰粒子の重金属分布の観察



北村洋樹<sup>1</sup>、高橋史武<sup>1</sup> <sup>1</sup>東京工業大学大学院

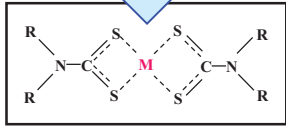
## 背景・目的

## キレート処理飛灰粒子中の重金属はどのように不溶化されているのか!?

### ① 薬剤処理による不溶化

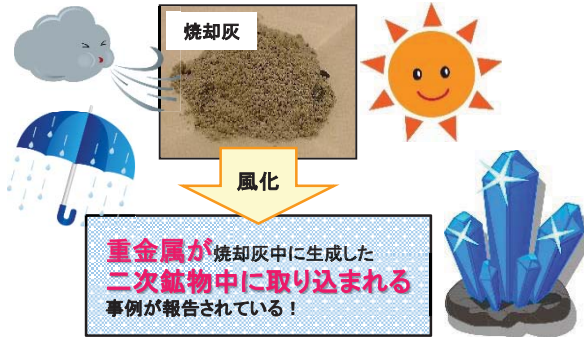
一般廃棄物の焼却処理に伴い  
**焼却飛灰**が発生

キレート剤による重金属不溶化処理



重金属キレート化合物

### ② 二次鉱物生成による不溶化



### ③ 化学的 / 鉱物学的不溶化の寄与は?

キレート処理灰中の  
**重金属はどのような形態で存在しているのか?**

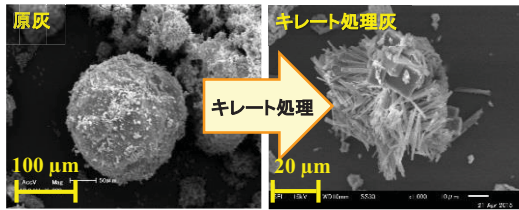
### 目的

SEM-EDXによるキレート処理灰中の  
**重金属濃縮部のミクロな観察**

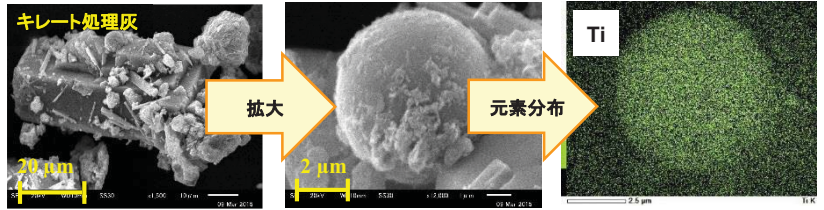
## 結果・考察

## キレート処理飛灰中の重金属は広く希薄に存在している可能性!

### 1. キレート処理灰中の重金属濃縮部の観察

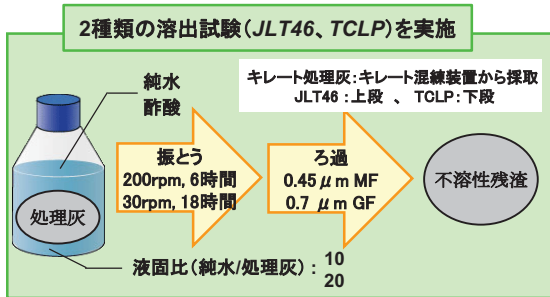


**針状結晶上でCu, Niの濃縮部を発見!**  
→ ettringite (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3CaSO<sub>4</sub>·32H<sub>2</sub>O)



針状結晶以外での重金属濃縮部の観察  
**KCl / NaClなどの成分が粒子表面を覆っているため観察が困難**

### 溶出試験を実施して粒子表面の可溶性成分を溶出!



### TCLP、JLT19後の飛灰残渣観察により飛灰粒子の構成が判明!

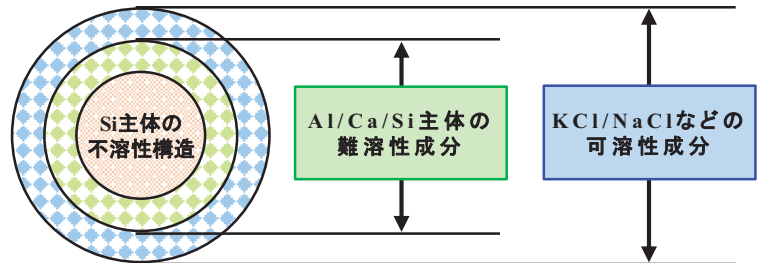
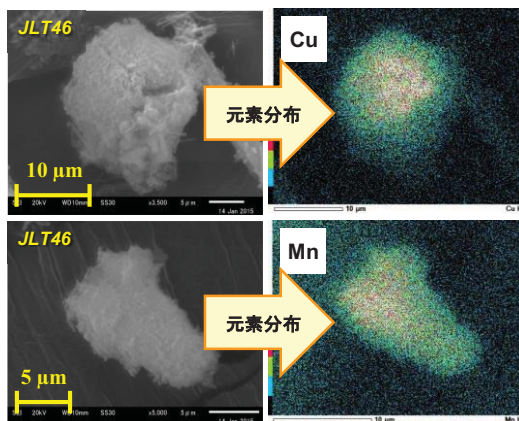
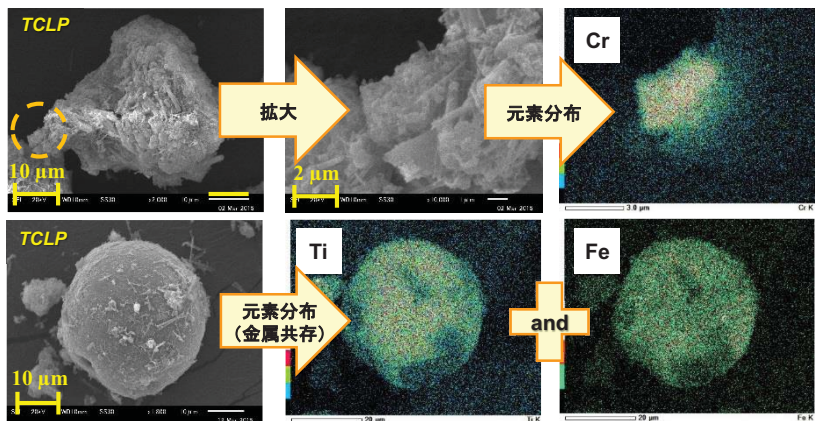


Fig. 一般廃棄物焼却飛灰粒子の構成モデル図

### 2. JLT46、TCLP後に回収した不溶性残渣の重金属濃縮部の観察 (各試料500点の点分析)



重金属類は数~十数μmのオーダーで存在



重金属は飛灰中に広く希薄に存在している可能性がある!

## 結論

1. キレート処理に伴い生成した二次鉱物(ettringite)にCuやNiなどの重金属が取り込まれ、濃縮していた。
2. キレート処理灰中の重金属は、飛灰中に広く希薄に存在している可能性がある。

# P-029 石炭灰添加による土壌水分保持能への効果と温度および土壌依存性

林 聖雷, 宋 萌珠, 高橋 史武  
東京工業大学 大学院 総合理工学研究科 環境理工学創造専攻



## ◆ 背景 & 目的

### 背景

- 火力発電は世界範囲で使われ、大量な石炭灰が排出されている (Problem ①: 石炭灰を有効に利用?)



- 砂漠化は中国の西地方などの乾燥地域に脅威

(Problem ②: 高効率水分保持剤?)

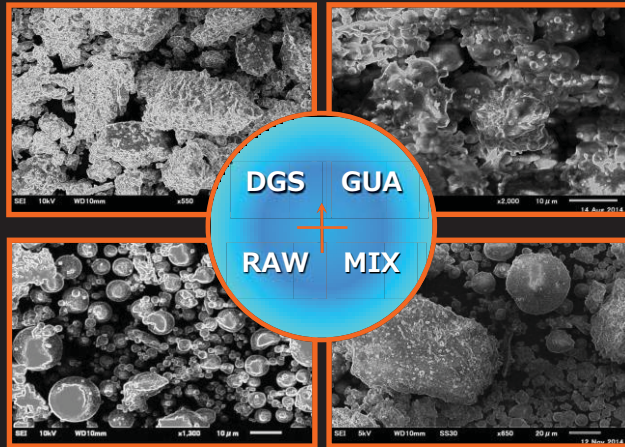
### POINT 石炭灰を水分保持剤として回収利用?!

### 目的

- 石炭灰を土壌の水分保持材として活用するため、その水分保持能を評価する
- 水分保持能を上げる技術を開発する(考察中)

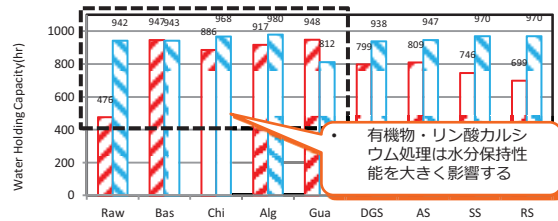
## ◆ 方法

- DGS: 真砂土
- AS: 赤玉土
- SS: シリカサンド
- RS: 川砂
- Raw: 石炭灰
- Bas: リン酸カルシウム処理
- Chi: キトサン処理
- Alg: アルギン酸ナトリウム処理
- Gua: グアニジン塩酸塩処理



## ◆ 結果 & 考察

- サンプルの水分保持性能に対する石炭灰/処理済石炭灰の最大効果 (40℃と室温)

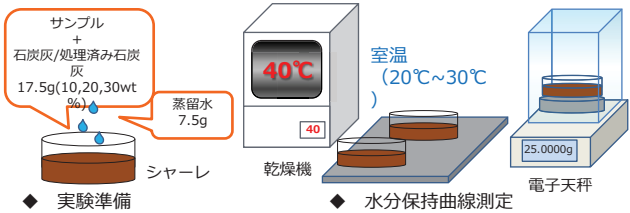


有機物・リン酸カルシウム処理は水分保持性能を大きく影響する

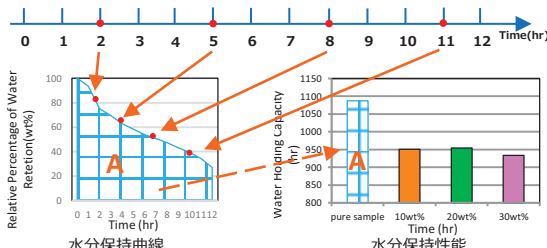
- サンプルの水分保持性能に対する石炭灰/処理済石炭灰の最大効果 (40℃と室温)

サンプル	処理方法	水分保持性能変化率 (%)	
		室温	40℃
DGS	石炭灰	+1.71	-12.99
	リン酸カルシウム処理	+2.46	+19.36
	キトサン処理	+5.35	+8.33
	アルギン酸ナトリウム処理	+6.20	+14.34
	グアニジン塩酸塩処理	-11.98	+11.40
AS	石炭灰	+1.27	-11.80
	リン酸カルシウム処理	+3.18	+15.45
	キトサン処理	+4.98	+5.23
	アルギン酸ナトリウム処理	+6.78	+2.43
	グアニジン塩酸塩処理	-4.03	+10.22
SS	石炭灰	-2.47	-15.42
	リン酸カルシウム処理	-1.44	+6.7
	キトサン処理	+0.82	-15.42
	アルギン酸ナトリウム処理	+1.13	-23.86
	グアニジン塩酸塩処理	-17.84	-26.01
RS	石炭灰	-0.21	-4.15
	リン酸カルシウム処理	+0.93	-12.16
	キトサン処理	+1.55	-8.58
	アルギン酸ナトリウム処理	+2.99	-17.74
	グアニジン塩酸塩処理	-13.61	-24.75

## I 混合 II 乾燥 III 水分量測定

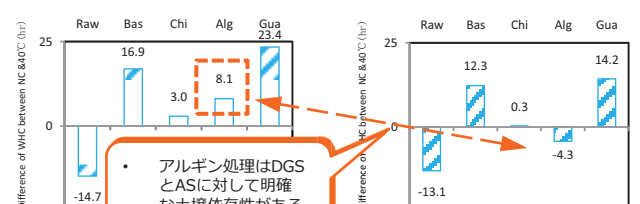


## IV 水分保持能の評価

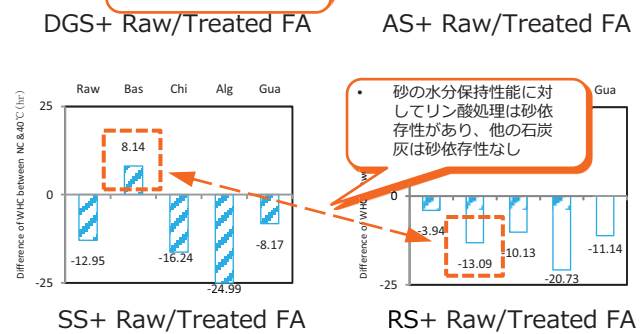


- 水分保持性能は水分保持曲線の面積だと定義する

## ◆ 40℃と室温で水分保持能へ処理済石炭灰効果の差



アルギン処理はDGSとASに対して明確な土壌依存性がある



砂の水分保持性能に対してリン酸処理は砂依存性があり、他の石炭灰は砂依存性なし

## ◆ 結論

- 処理済石炭灰は40℃の時、石炭灰の水分保持能を常温のときと同じレベルに維持できる
- 石炭灰/処理済石炭灰を混合したサンプルから明確な土壌/砂依存性が確認された
- 石炭灰/処理済石炭灰を混合したサンプルの水分保持性能は温度依存性がある
- 土壌/砂サンプルは各石炭灰処理方法に対して水分保持性能の効果異なることを確認した



# P-030 馬鈴薯澱粉製造時の副産物を原料とするメタン発酵システムの実証研究

○奈良知幸, 川尻聡  
株式会社竹中工務店

## 1. 研究背景

### ■馬鈴薯澱粉製造工場の問題点

- ・澱粉製造時の副産物として、ハイドロサイクロン廃水と澱粉粕が大量に発生
- ・副産物の処理コストが製造原価を圧迫
- ・工場は季節稼働であるため、副産物は短時間での処理が必要

### ■対策

- ・副産物から短時間でエネルギー回収を行い、澱粉製造コストを低減

### ■開発システム

- ・膜分離と水熱可溶化、UASB方式のメタン発酵を組み合わせ、短時間でのエネルギー回収を達成

### ■本研究の目的

実証試験で得たサンプルのメタン発酵試験を実施し、実証試験サンプルのメタン発酵原料としての特性を評価する。

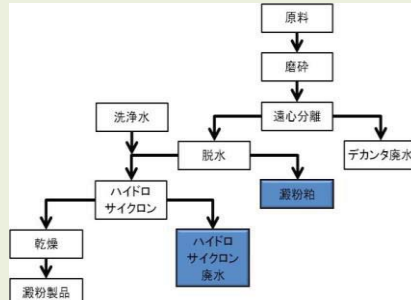


図1 馬鈴薯澱粉製造工程

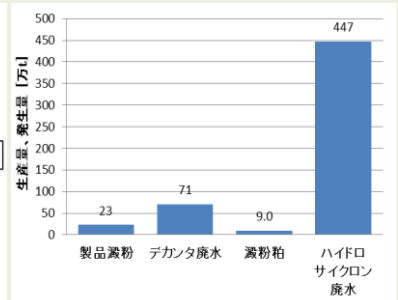


図2 副産物の発生量

## 2. 開発システムの概要

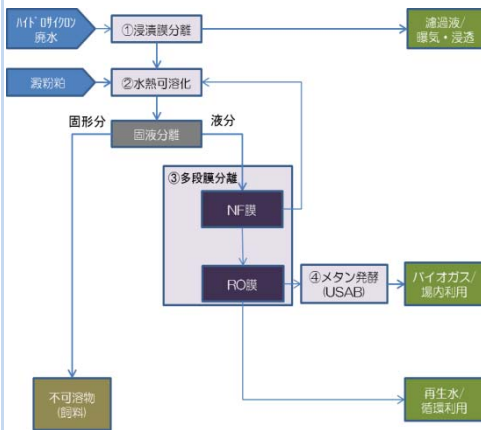


図3 開発システムの全体フロー

### ①浸漬膜分離システム

- ・ハイドロサイクロン廃水中の微細な固形有機物を濃縮

最大処理量	144 m <sup>3</sup> /日
浸漬水槽容積	45 m <sup>3</sup>
膜透過流速	0.5 m/日



### ②水熱可溶化システム

- ・水熱処理により、原料を低分子化し、メタン発酵で律速段階となる可溶化、酸生成工程を短縮

最大処理量	16.2 t/日
最高使用圧力	5.0 MPa
最高使用温度	220 °C



### ③多段膜分離システム

- ・メタン発酵に必要な分子量の有機物(有機酸等)を濃縮 比較的大きな分子量を持つ成分の返送により処理を効率化

最大処理量	15 m <sup>3</sup> /日
一段目	NF膜
二段目	RO膜



### ④メタン発酵システム

- ・UASB法により溶解性の有機物を短時間でメタンに転換

最大処理量	2.2 m <sup>3</sup> /日
発酵槽全容積	9.7 m <sup>3</sup>
有効容積	5.5 m <sup>3</sup>



## 3. 試験方法

- 概要 : 実証試験サンプルを用いて述べ57日のメタン発酵試験を実施した。
- 測定項目 : 原水COD<sub>Cr</sub>濃度、処理水COD<sub>Cr</sub>濃度、発生ガス量、ガス組成
- 評価項目 : COD<sub>Cr</sub>除去率、メタン転換率

$$\text{COD}_{Cr}\text{除去率} [\%] = \frac{\text{原水 COD}_{Cr}\text{濃度} [\text{mg/L}] - \text{処理水 COD}_{Cr}\text{濃度} [\text{mg/L}]}{\text{原水 COD}_{Cr}\text{濃度} [\text{mg/L}]} \times 100$$

$$\text{メタン転換率} [\%] = \frac{\text{累積メタン生成量} [\text{mlCH}_4] \times \text{メタン COD当量} [\text{mgCOD/ml}]}{\text{原料中 COD濃度} [\text{mgCOD/L}] \times \text{原料投入量} [\text{L}]} \times 100$$

表1 RO膜濃縮液性状

	COD <sub>Cr</sub> [mg/L]	ギ酸 [mg/L]	酢酸 [mg/L]	プロピオン酸 [mg/L]
RO膜濃縮液	22,000	3,390	1,700	2,700

表2 試験条件

	I	II	III
	人工排水	RO膜濃縮液	
試験期間 [day]	0-13	14-22	23-57
温度 [°C]	37		
上昇線流速 [m/h]	0.5		
HRT [日]	2.0	2.1	1.4
COD容積負荷 [kg/m <sup>3</sup> /日]	10	10	15



図4 試験装置外観

## 4. 試験結果

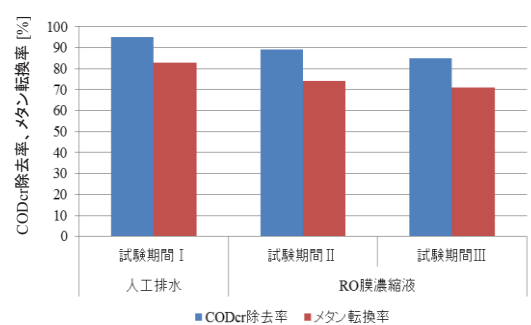


図5 試験結果

### ①COD<sub>Cr</sub>除去率

- ・人工排水のCOD<sub>Cr</sub>除去率95%と比較し、RO膜濃縮液ではCOD<sub>Cr</sub>除去率89%と若干低い値となったが安定して処理できた。
- ・RO膜濃縮液では、負荷を増加させるとCOD<sub>Cr</sub>除去率が85%に低下したが、安定して有機物の処理が可能であった。

### ②メタン転換率

- ・人工排水のメタン転換率88%と比較し、RO膜濃縮液ではメタン転換率は74%と若干低い値となったが、安定したメタン発生を確認した。
- ・RO膜濃縮液では、負荷を増加させると71%までメタン転換率が低下したがメタン発酵を継続することが出来た。

## 5. まとめ

- ・短時間でのエネルギー回収を目的として、馬鈴薯澱粉製造工場の副産物を原料とする実証規模の試験を実施した。
- ・実証試験装置から得られたRO膜濃縮液を原料としたメタン発酵試験を実施し、短時間(HRT1.4日)で液中の有機物がメタンに転換することを確認した。



# 破碎不燃残渣の埋立特性に関する研究

○(学)佐湖俊之<sup>1)</sup>、(正)樋口壯太郎<sup>1)</sup>、瀨瀬卓也<sup>2)</sup>、宮澤俊介<sup>2)</sup>、川鍋良治<sup>2)</sup>  
 1)福岡大学大学院 2)(株)エイト日本技術開発

## 1.研究背景

処分場における廃棄物の埋立特性に関する研究は多くされているが、**破碎不燃残渣**の埋立については情報が極めて少ない。

## 2.目的

- 1.破碎不燃残渣の埋立特性の把握
- 2.埋立前処理(洗浄)により**経済的な早期安定・廃止**できる埋立方法の確立

## 3.方法

ライシメータ(径200mm、有効高2000mm)を用いて埋立浸出水のモニタリングを行った。  
 洗浄：廃棄物を浸漬洗浄(液固比1、1h)し、埋立前処理を実施する。  
 ライシメータ実験：埋立前処理した廃棄物と未処理の廃棄物を**埋立高**を変えて(0.5m/1m/2m)ライシメータにて浸出水水質の挙動を把握する。

## 4.結果

- ・未洗浄と洗浄については各水質において、**初期値の違い**が確認された。
- ・未洗浄埋立高の違いについては各水質において、大きな差はみられず**挙動も類似**していた。
- ・洗浄埋立高の違いについては、浸出水水質において相関がみられた。

## 5.まとめ

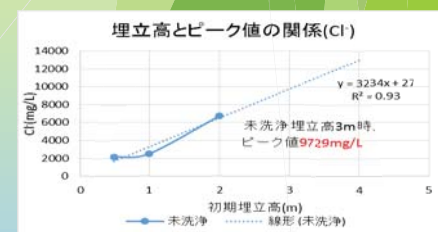
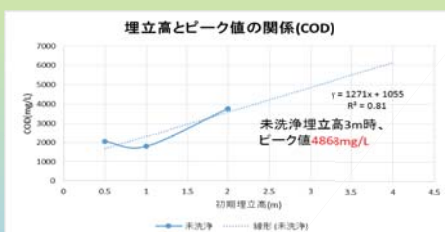
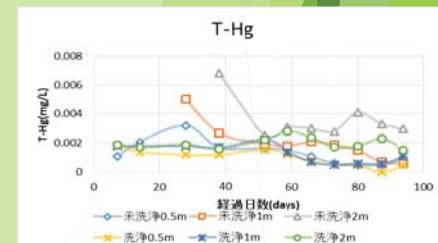
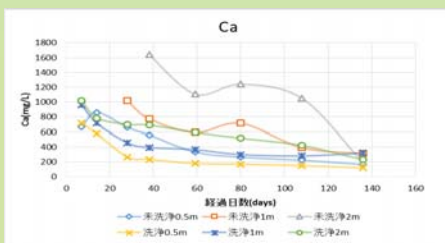
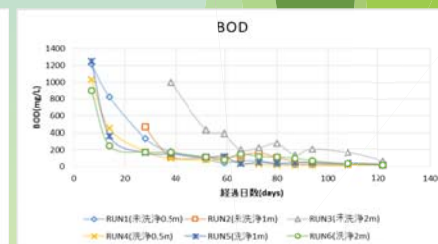
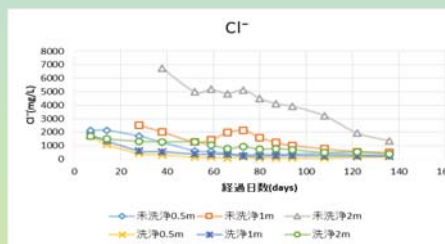
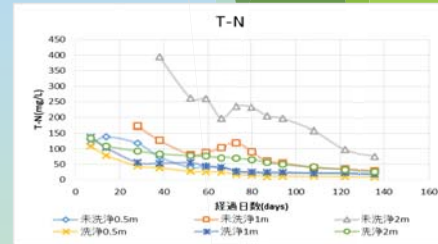
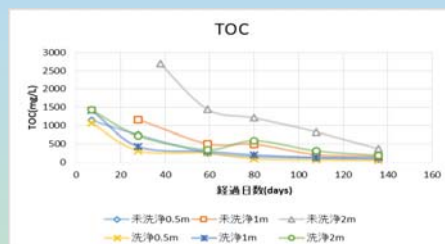
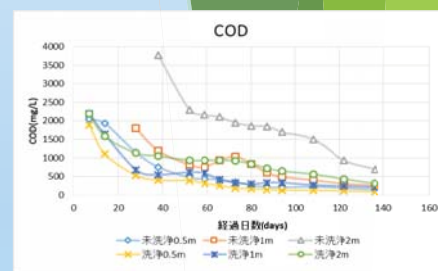
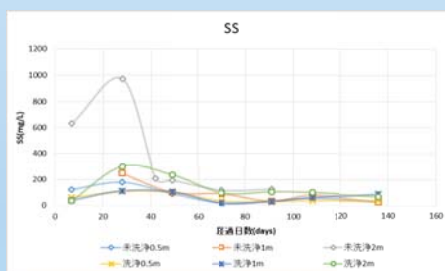
- ・埋立高の違いにより浸出水水質は**変化**した。
- ・埋立前処理(洗浄)による浸出水水質の**低減**が確認されたが、埋立高の違いによる差はあまりみられなかった。
- ・埋立前処理の有無による**水質濃度ピーク値**は、前処理を行った方が**大きく低減**できることがわかった。

## 6.課題

- ・積み増し後の各ライシメータでの浸出水水質の濃度を把握する。
- ・埋立前処理による早期安定化および経済性を含めた**総合評価**の検討を行う。

表1.物理組成

項目	平均(4回)重量比(%)
プラスチック	28.3
ビニール	2.3
発泡スチロール・スポンジ	0.8
紙・繊維類	5.4
石・陶器類	11.0
金属類	3.1
ガラス類	18.7
木くず	2.9
その他(2mm以下)	27.5
計	100



# P-032/塩化揮発法によるブラウン管ファンネルガラスからの鉛分離技術の実証

○小林拓史<sup>1)</sup>, 門木秀幸<sup>1)</sup>, 成岡朋弘<sup>1)</sup>, 有田雅一<sup>1)</sup>, 三輪昌輝<sup>2)</sup>, 江澤あゆみ<sup>2)</sup>, 吉川正明<sup>2)</sup>

1) 鳥取県衛生環境研究所 2) 三光株式会社

## 1 背景と目的

### 背景

- 地上波アナログ放送の終了にともない大量のブラウン管テレビが廃棄
- ブラウン管テレビの需要の減少により、水平リサイクルは将来的な持続が困難
- 途上国、新興国で今後増加する廃ブラウン管の適正なリサイクルの必要性
- 特に、ブラウン管ファンネルガラス (FG) は多くのPbを含有
- ガラスのPb分離は技術的に難しく、Pb除去が不十分だとガラスの再利用が困難

### 目的

- これまでの研究により、ガラス中のPbを塩化揮発法を用い高い除去率で分離できることを実験的に確認しており、本技術を用いたリサイクル技術の実証試験を行い、FGの新たなリサイクル方法の提案を行う
- 無害化処理は、土壤汚染対策法の有効含有量基準 (150mg/kg) 及び土壤環境基準 (0.01mg/L) への適合を目標

## 2 実証施設の概要

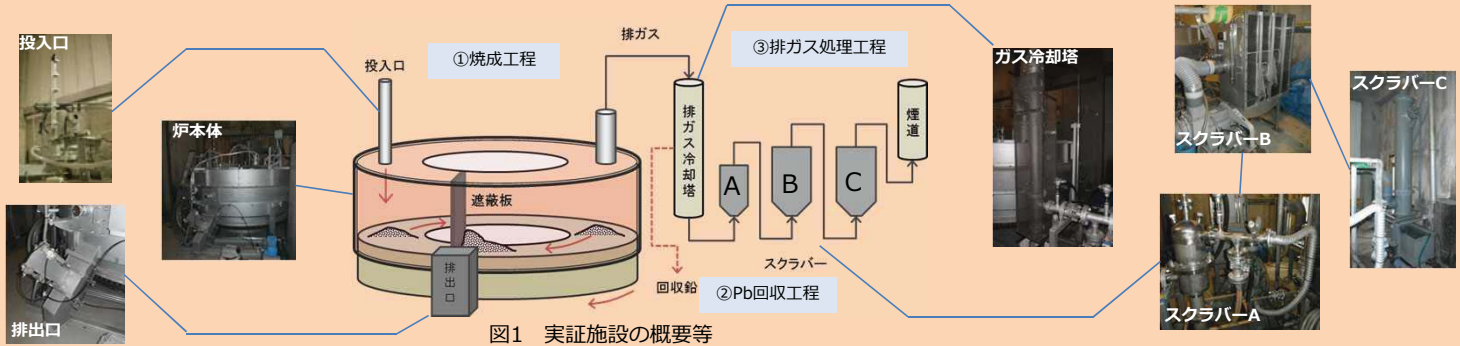


図1 実証施設の概要等

## 3 実験方法

### 3.1 試料調製

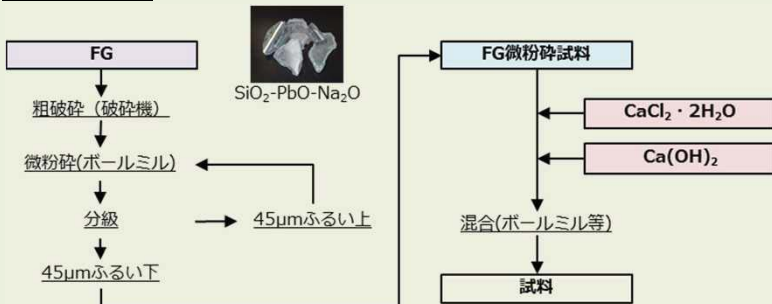


図2 試料調製

### 3.2 実験条件

表1に試料を実証施設に投入して行ったPb除去実験の実験条件を示す

- Run-1: FGを<45μmまで破碎、Cl/Pb=10、Ca(OH)<sub>2</sub>/Cl=0.25となるように薬剤 (CaCl<sub>2</sub>、Ca(OH)<sub>2</sub>) を混合し、1,100℃で焼成
- Run-2: Run-1の条件で、粉末試料をタブレット化し投入
- Run-3: Run-1の条件から、焼成温度を1,150℃にして実施
- Run-4: Run-3の条件から、配合比を変更 (Cl/Pb=12、Ca(OH)<sub>2</sub>/Cl=0.20)
- Run-5: Run-4と同条件

表1 実験条件

		Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-5	
試料	FG中のPb含有量/mg・kg <sup>-1</sup>	218,000	201,000	201,000	201,000	201,000	
	FGの粒径/μm	<45	<45	<45	<45	<45	
	配合/kg	FG	0.51	0.53	0.53	0.49	0.49
		CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	0.39	0.38	0.38	0.42	0.42
		Ca(OH) <sub>2</sub>	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09
		合計	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
試料中のモル比	Cl/Pb	10	10	10	12	12	
	Ca(OH) <sub>2</sub> /Cl	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	
焼成条件	温度/℃	1,100	1,100	1,150	1,150	1,150	
	試料投入量 (10minあたり) /g	15	15	15	15	15	
備考			試料をタブレット化	焼成温度変更	配合変更等	配合変更等	

## 4 結果

### 4.1 処理物の分析結果

表2に塩化揮発処理を行った処理物の溶出試験等の分析結果を示す

- Run-1では、鉛は除去されるが室内実験での除去率まで処理出来なかった
- Run-2のタブレット化は、FGと塩化剤を物理的に密着させ、反応を進み易くさせる一方で、タブレットの中心部から鉛が揮発しにくくなった可能性あり
- Run-3で、焼成温度の影響を確認したが、1,100~1,150℃の間で影響なし
- 塩化揮発反応では、CaCl<sub>2</sub>は多いほど除去率が高くなるが、過剰なCa(OH)<sub>2</sub>の添加は揮発分離を阻害する結果が得られているため、Run-4では薬剤配合比の最適化を図ったところ目標の基準を達成した。一方、同条件で行ったRun-5では、目標の一部基準を超過する結果となり、安定した処理が課題

表2 溶出試験等結果

		Run-1	Run-2	Run-3	Run-4	Run-5	
処理物の分析結果	環告19号法 /mg・kg <sup>-1</sup>	排出物*	360	-	-	-	-
		炉内残留物**	(1)400 (2)410	600	420	130	150
	環告46号法 /mg・L <sup>-1</sup>	排出物*	0.007	-	-	-	-
		炉内残留物**	(1)0.005 (2)0.008	0.074	0.011	0.005	0.013
	環告13号法 /mg・L <sup>-1</sup>	排出物*	0.004	-	-	-	-
		炉内残留物**	(1)0.006 (2)0.0097	0.074	0.009	0.005	0.009
	全含有量 /mg・kg <sup>-1</sup>	排出物*	850	-	-	-	-
		炉内残留物**	(1)1,000 (2)1,200	1,600	990	410	210

\* 排出物: 排出口から回収された処理物

\*\* 炉内残留物: 炉内から回収された処理物、(1)、(2)では回収場所が異なる

### 4.2 建材試作試験結果

処理物を樹脂、炭酸カルシウム等とともに混練して建材 (断熱材) を試作し、物性試験を実施した結果を表3に示す



図3 試作建材の例

表3 建材試作試験結果

項目	添加量10wt%	添加量20wt%	試験方法
曲げ強度 / N・mm <sup>-2</sup>	0.35	0.38	JISA9511
圧縮強度 / N・mm <sup>-2</sup>	0.21	0.25	JISA9511
引張強度 / N・mm <sup>-2</sup>	0.33	0.36	JISK6767
熱伝導率 / W・mk <sup>-1</sup>	0.045	0.046	否定常法
吸水量 / g・100cm <sup>-2</sup>	0.02	0.02	JISA9511アルコール法
燃焼試験 / MJ・m <sup>-2</sup>	3	4	コーンカロリーメータ

## 5 まとめ

- FGの塩化揮発法を用いた無害化処理の実証実験を行い、無害化の目標としていた土壤汚染対策法の有効含有量基準 (環告19号法) 及び土壤環境基準 (環告46号法) に適合するまで、処理が可能なることを確認
- 処理物から建材の試作試験を行い、物性試験の結果より建材原料への利用可能性が示された
- 今後は、安定した鉛の除去及び処理コスト削減にむけて、処理条件の検討を進める予定

謝辞  
本研究の一部は、環境研究総合推進費により実施しています。研究協力者を含む関係者にお礼申し上げます。



# 下向流カラム試験によるキレート薬剤処理飛灰と水混練飛灰の比較

大阪市立大学：○植田祐太郎・水谷聡・貴上佳則  
国立環境研究所：肴倉宏史

## 研究背景

### 廃棄物処理の現状

- ・都市ごみを焼却処分する際に発生する**焼却飛灰**には有害な重金属等が濃縮
- 中間処理によって安定化
- 環告13号埋立基準に基づくバッチ式溶出試験により安定化効果を確認
- 最終処分場へ埋立て

### キレート薬剤処理

- ・**薬剤処理**:現在行われている中間処理方法の中で全体の約7割を占めている
- ・**キレート薬剤**:飛灰中の金属イオンと結合し、難溶性の金属キレート化合物となり、重金属の溶出を防ぐ



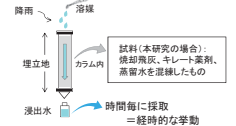
### 疑問点

- ①水を加えて混練するだけで水和反応により、ある程度の溶出を抑制できる?
  - ②強い降雨によって、溶出は促進される?
- 下向流カラム試験**により評価

## 研究目的・概要

**カラム通水試験**: 試料に溶媒を連続的に接触させ、重金属等の溶出特性を把握する

- ・溶出挙動の経時変化が分かる
- ・実環境での現象を模擬できる



### 研究目的

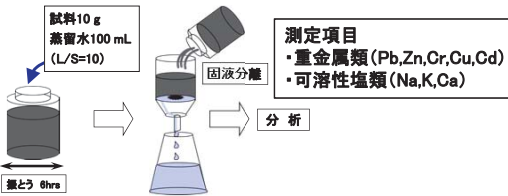
- ①キレート処理飛灰と水混練飛灰の重金属等の溶出特性を把握すること
- ②異なる通水条件(試料の乾湿状態、通水速度)による溶出挙動の違いを把握すること

## 研究方法

### 1. バッチ式溶出試験

環告13号法...最終処分場への埋め立ての可否を判定するための試験法

対象試料→都市ごみ焼却飛灰(乾燥状態、水混練、キレート薬剤処理)



- 測定項目**
- ・重金属類 (Pb, Zn, Cr, Cu, Cd)
  - ・可溶性塩類 (Na, K, Ca)

### 2. 下向流カラム試験

飛灰重量に対するキレート添加率を2.5%としたキレート処理飛灰と水混練飛灰を対象に実施

- 使用カラム
  - ✓内径:5.0 cm, 高さ:60 cm
- 試験方法
  - ✓下向流カラム試験
  - ✓通水条件(連続通水, 間欠通水, 散水)
  - ✓試験期間:60日間
- 測定項目
  - ✓pH, EC, ORP (採水直後に測定)
  - ✓重金属類 (Pb, Zn, Cr, Cu, Cd), 可溶性塩類 (Na, K, Ca)
  - ✓アニオン類 (Cl, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)
  - ✓全有機炭素 (TOC)

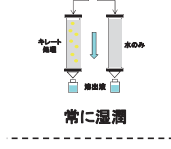


カラム試験の実験装置図

### カラム試験の諸条件

充填試料重量 (g)	700
充填高さ (cm)	30
ガラスビーズ層 (cm)	3.0
通水時間 (72h)	連続通水 72h 間欠通水 6h
通水速度 (mL/h)	連続通水 12 間欠通水 144 散水 25

### 連続通水



常に湿潤

### 1度に散水



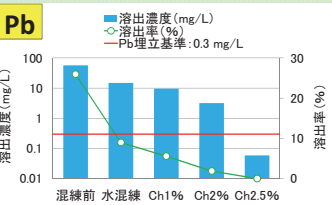
通水速度大

キレート処理飛灰(左)と水混練飛灰(右)

### 1. バッチ試験結果

各元素の溶出濃度(mg/L)

	混練前	水混練	Ch 1%	Ch 2%	Ch 2.5%
pH	12.4	13.6	13.5	13.5	13.7
Pb	57.1	14.8	9.53	3.18	0.06
Zn	4.81	4.52	4.30	3.70	3.32
Cr	0.63	0.26	0.10	0.13	0.18
Cu	0.14	0.27	0.07	0.01	<0.01
Cd	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Na	7000	5800	6000	5900	6000
K	3800	3000	3200	3300	3300
Ca	7600	5900	6300	6200	6300

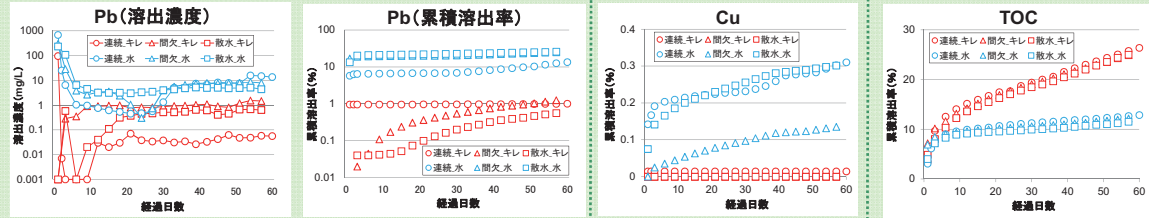


- ・水を混練したことによって溶出濃度、溶出率が減少⇒水和反応により、鉛が不溶化した可能性
- ・キレート剤添加率を上げていくと、溶出濃度は低下
- ・鉛の埋立基準値(0.3 mg/L)を満足した添加率2.5%の試料を用いてカラム試験を実施

### 2. カラム試験結果

## 実験結果と考察

キレート処理飛灰と水混練飛灰からのPb・Cu・TOC溶出の比較



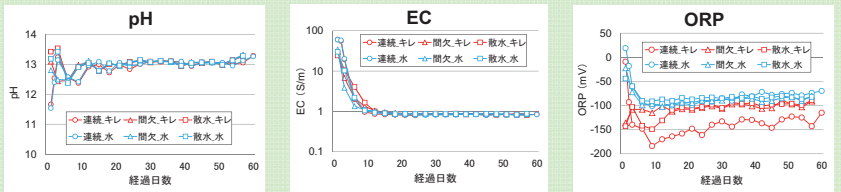
- ・試験終了時のPbの溶出濃度は、キレート処理飛灰の方が水混練飛灰よりもおよそ1/23に低かった
- ・通水条件によっては、試験初期において不規則な変動を示すものがあった
- ・試験途中から、溶出濃度は横ばいながら増加傾向を示した

- ・総じてキレート処理飛灰の方が低い
- ・試験初期の溶出量の影響が大きい
- ・キレート処理飛灰においては、間欠通水の方が散水よりも溶出した
- ⇒通水速度の大きさは関係ない?

- ・キレート処理飛灰からのCuの溶出はほとんどなかった
- ⇒キレートによる**重金属捕捉の選択性**(Cu>Pb)

- ・TOC溶出率はキレート処理飛灰の方が高かった
- ・水混練飛灰からのTOC溶出は10日以降抑えられたのに対し、キレート処理飛灰からは60日間を通して溶出し続けた
- ⇒キレート薬剤由来の有機物が原因と思われる

### その他の指標の経時変化



- ・pH, EC
  - ✓試料、通水条件によって違いはあまりみられなかった
  - ✓ECについては減少傾向
- ・ORP
  - ✓総じてキレートの方が値が低かった
  - ⇒キレート処理飛灰はより**還元**的
  - ✓キレート、水混練とも増加傾向
  - ⇒空気と接触して徐々に**酸化**されている

## 結論

- キレート処理飛灰は、水混練飛灰に比べて重金属等の溶出を抑制していることが確認された。ただし、通水条件によっては基準値以上の値も観察された。
- 鉛については、連続通水カラムからの溶出が最も抑制された。また、間欠通水の方が散水よりも多く溶出したことから、通水速度が大きければ溶出しやすいわけではなかった。

## 今後の検討課題

- カラム試験における初期段階での不規則な挙動
  - ⇒初期段階について丁寧な**繰り返し実験**が必要
- ORP上昇と重金属の溶出性の関連が示唆
  - ⇒酸化還元状態と溶出挙動に関する詳しい検討が必要
- キレート処理、水混練でのさらなる安定化の検討
  - ⇒エージング期間を延ばした際の影響の検討

## 謝辞

本研究は、環境研究総合推進費「有用・有害金属挙動に着目した都市ごみ焼却残渣の循環資源化トータルスキームの構築」により実施されました。焼却飛灰を提供して下さった自治体に感謝します。

## 参考文献

- ※1 古賀三紀子, 石橋剛一他:液体キレート剤と重金属の反応機構その2, 第18回全国都市清掃研究会発表講演論文集, pp.143-145, 1997
- ※2 肴倉宏史, 田中信彦, 松藤敏彦:キレート処理した一般廃棄物焼却飛灰からの鉛の再溶出挙動に関する研究, 廃棄物学論文誌, Vol.16, No.3, pp.214-222, 2005



○佐藤昌宏<sup>1</sup>、山田正人<sup>1</sup>、石垣智基<sup>1</sup>、遠藤和人<sup>1</sup>、竹崎聡<sup>1</sup>、田中宏和<sup>2</sup>  
 1(独)国立環境研究所、2福井県衛生環境研究センター

## 1. はじめに

埋立ガスモニタリングする上で、**特異的なガス放出量**や、**ガス滞留状況**は、**安定化を評価**する基礎情報となる。

対象処分場の特徴：**砂状の覆土**を用いており**比較的透気性**が良いが、**廃棄物層が水没**しており、内部の**安定化遅延**の懸念がある。

2013年より太陽光パネル設置のため、埋立地地表面に**べた基礎を打設**



### 【目的】

べた基礎の設置により内部の**安定化挙動が変化**し、基礎周縁が**特異的なガス発生**地点になるか、現地調査および既往調査との比較により検討した。

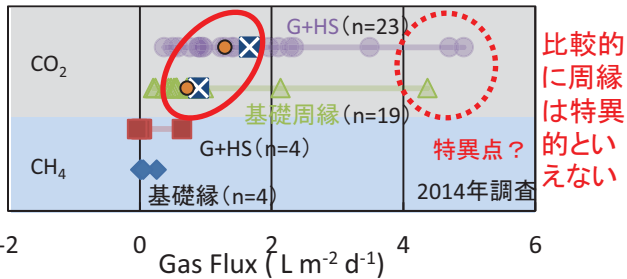
## 3. 結果と考察

### 3.1 基礎周縁とグリッド及びホットスポットの比較

#### □ 検出数の比較

地点数	基礎周縁			グリッド+HS		
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	計	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	計
放出	4	19	19	3	23	23
吸収	0	0	0	1	0	0
検出下限値未満	16	1	1	20	1	1
全地点	20	20	20	24	24	24

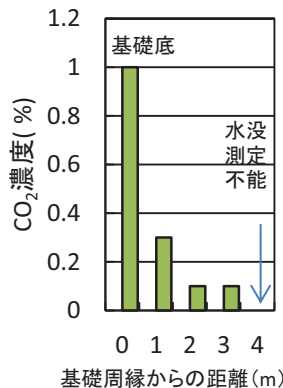
#### □ ガスフラックスの比較



### 3.3 基礎底のガス滞留状況

	基礎底	グリッドおよびHS
検出地点数	10	12
平均CO <sub>2</sub> 濃度 (%)	0.8	0.2
最大値 (%)	1.4	0.3
最小値 (%)	0.2	0.1
測点数	10	20(水没8)

メタンは未検出(<0.1%)



## 4. 結論

- べた基礎周縁とその他地表の**ガスフラックスを比較**した結果、検出率に変化はなく、また**基礎周縁におけるガスフラックスが大きいとは言えなかった**。
- ガスフラックス(測点平均値)の減少傾向はべた基礎設置前後で大きく変化せず、安定化挙動への影響は見られなかった。
- **基礎底のCO<sub>2</sub>ガス濃度**は他の覆土内に比べて高く、わずかな**滞留を観測**した。
- 基礎設置後、**1年程度しか経過**しておらず、設置の影響が出ていない可能性があり、今後も同様の傾向が続くか、モニタリングする必要がある。

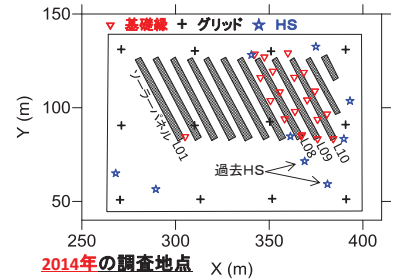
## 2. 調査方法

### 2.1 調査対象の管理型処分場

埋立期間	区画面積	区画深さ	埋立ごみ	地表利用開始
2001年5月~ 2009年5月	11,790(m <sup>2</sup> ) (べた基礎: 2750 m <sup>2</sup> )	6(m)	汚泥・燃え殻等	2013年~

### 2.2 測定方法

- **表面ガスフラックス**: 静置式チャンバー法により測定、測定地点は、約40 m間隔の格子点(グリッド)およびレーザーメタン計を用いて探索したメタン放出地点(ホットスポット: HS)
- **基礎周縁のガスフラックス**: 基礎側面及び地表を覆うような容器(写真)を設置し、表面ガスフラックスと同様に測定。
- **地表穿孔内のガス濃度**: 表面ガスフラックスを測定した地点で、φ15 mm x 深さ80 cm 未満の孔を開け、GA2000plusを用いてガス濃度を測定

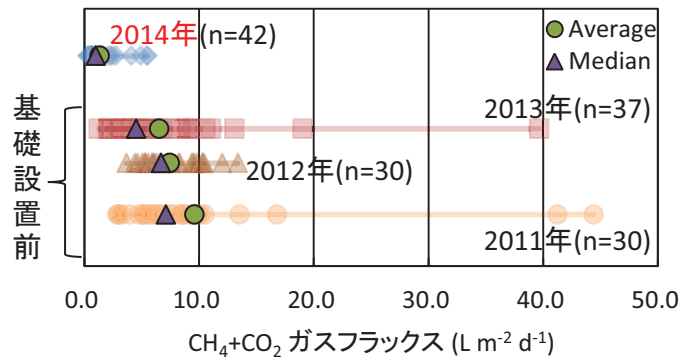


- **基礎底のガス滞留状況**: 基礎縁の地表面に、斜めにステンレス管(φ13 mm)を打設(深さ20cm、奥行き70cm)、穿孔内ガス濃度と同様に測定

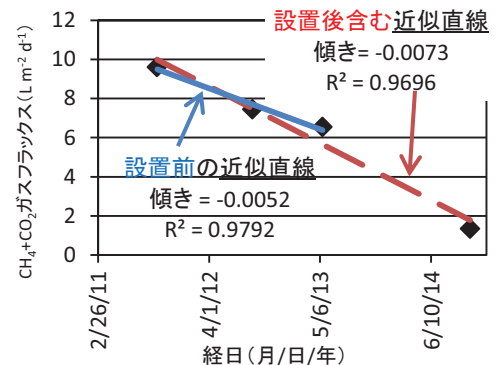


### 3.2 べた基礎設置前後でのガスフラックス比較

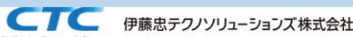
#### □ ガスフラックスの比較



#### □ 平均ガスフラックスの減少傾向



# 情報処理技術により得られた災害廃棄物処理の実績データの分析と評価



○三方浩允<sup>1)</sup>・勝見 武<sup>1)</sup>・乾 徹<sup>1)</sup>・高井敦史<sup>1)</sup>  
 大塚義一<sup>2)</sup>・岡崎 稔<sup>2)</sup>・濱谷洋平<sup>2)</sup>・西村龍彦<sup>3)</sup>  
 1)京都大学大学院, 2)(株)奥村組, 3)(株)伊藤忠テクノソリューションズ

## 1. 背景と目的

### 【背景】

- 2011年3月11日、東日本大震災による地震と津波の影響を受け、東日本の太平洋沿岸部を中心に、13道県にわたり災害廃棄物約2千万トン、津波堆積物約1.1千万トンが発生した。
- 今回調査対象とした岩手県山田町においては、約44万トンの廃棄物が発生したが、これは通常時岩手県全体で発生する約一年分の量である。
- 山田町での廃棄物処理において、20万以上の運搬実績データが取得・蓄積されており、データ解析ソフト「Tableau」を用いて今回の廃棄物処理についての解析・考察を行なった。

### 【目的】

- 山田町においての災害廃棄物処理をグラフを用いて見える化し、定量的に分析・評価すること。
- 近い将来、日本において巨大災害（首都直下型地震、南海トラフ巨大地震）が起こる可能性があり、その際に必要となる災害廃棄物処理システムの構築の足がかりとなること。



山田町の位置



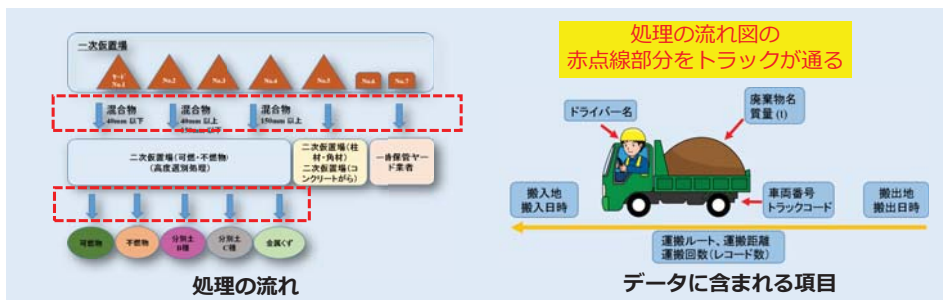
一次仮置場の様子



二次仮置場の様子

## 2. 運搬実績データについて

- 廃棄物は被災地より、はじめに「一次仮置場」へと運搬され、人や機械によって粗選別された後、「二次仮置場」、「業者」へと運搬され、焼却や再利用される。「二次仮置場」では複数の機械を用いて高度選別処理が施される。
- トラックが一度運搬するごとに、図くデータに含まれる項目中の項目が全て紐付けされた状態で、取得・蓄積される。

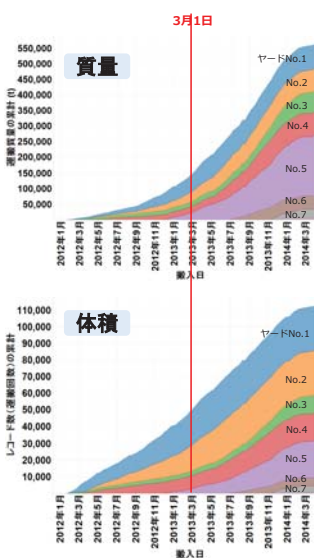


## 3. グラフによる解析・考察

### 1. 運搬質量と運搬体積

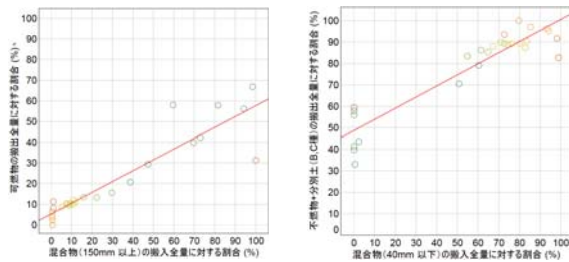
一次仮置場からの運搬質量と運搬体積の増加率に大きな差がある。2013年3月1日での進捗率は質量26.4%に対し、レコード数（体積を模擬）44.5%と、約1.7倍に達した。処理の初期段階では、火災や悪臭を防ぐために、密度の小さい可燃物を先に処理し、後にコンクリートや不燃物などの密度の大きいものを処理したことに起因する。

⇒実質的な処理実績を評価する際の評価基準には、両指標を用いることが重要。



### 2. 高度選別処理前後での廃棄物種類の関係

二次仮置場での高度選別処理前後において、処理前の廃棄物の種類と処理後の処理物の種類の間に相関関係があるか検証した。



⇒以下二つの相関関係が見られた。

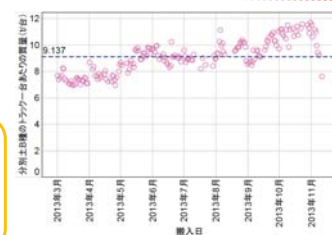
- ①処理前の「混合物（40 mm以下）」と処理後の「不燃物」「分別土（B種、C種）」の合計
- ②高度選別前の「混合物（150 mm以上）」と選別後の「可燃物」

### 3. 土砂の密度とばらつき

図は、二次仮置場での高度選別処理によって生成された分別土B種（復興資材）のトラック一台あたりの質量を示している。

⇒以下二つの考察が得られる。

- ①密度の算定が可能。
- ②他の生成物に対して、質量のバラツキが平均値から±30%以内と比較的少なく、安定した処理結果となった。



## 4. まとめ

データ解析ソフトを用いて災害廃棄物処理について検証した結果、右の3つが示された。今後の災害廃棄物処理の一助となれば、幸いです。



1. 廃棄物処理を評価する際には、質量のみでなく、体積も考慮すべきである。
2. 処理後に可燃物を得たい場合は、粒径の大きいものを処理し、処理後に土砂物を得たい場合は、粒径の小さいものを処理すればよい。処理物の受け入れ先との兼ね合いもあるため、重要な事柄である。
3. 復興資材である分別土B種の密度の変動は小さく安定した品質の土砂が得られていたと考えられる。

本研究の遂行にあたり岩手県環境生活部の関係各位に多大なご尽力とご配慮を賜りました。記して謝意を表します。

# 最終処分場埋立層内におけるメタル類の濃度とその化学的賦存形態に関する検討

○瀧中英仁<sup>1)</sup>, 高田康平<sup>1)</sup>\*, 田中宏和<sup>2)</sup>, 香村一夫<sup>1)</sup> 1)早稲田大学理工学術院, 2)福井県衛生環境研究センター, \*現:NTTデータ(株)

## 研究背景・目的

リサイクル法適用以前の処分場では適切な中間処理がされず埋立て

多種多様なメタル類が混入

浸出水からは金属類がほぼ検出されない

埋立層内に金属類が残存しているのはなぜか？

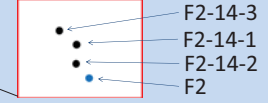
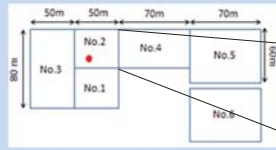
処分場埋立層内における  
深度に伴う金属含有濃度、化学形態の検討

## 研究対象および方法

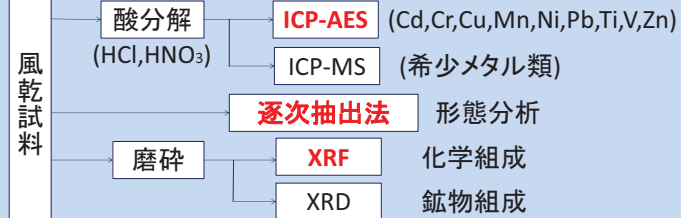
研究対象 北陸地方に存在するF処分場

第2区画 主な埋立内容物

汚泥, 焼却灰, 廃プラスチック, 石膏ボード



研究方法

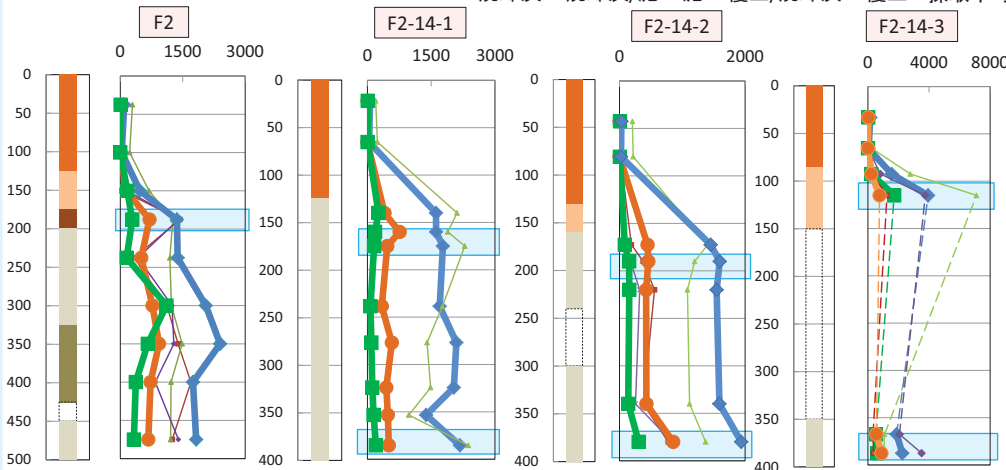


## 結果・考察

### ①ICP-AES分析結果

縦軸: 深度[cm]  
横軸: 濃度[mg/kg]

Mn Zn Ni Pb Cr Cu  
焼却灰 焼却灰/泥 泥 覆土/焼却灰 覆土 採取不可



相対的に高い値を示すゾーンが存在する理由  
その重金属を含む廃棄物が埋立てられている？  
or 重金属の移動・濃集？

### ②重金属濃度とSO<sub>3</sub>, Clの関係

SO<sub>3</sub>含有率との相関係数r

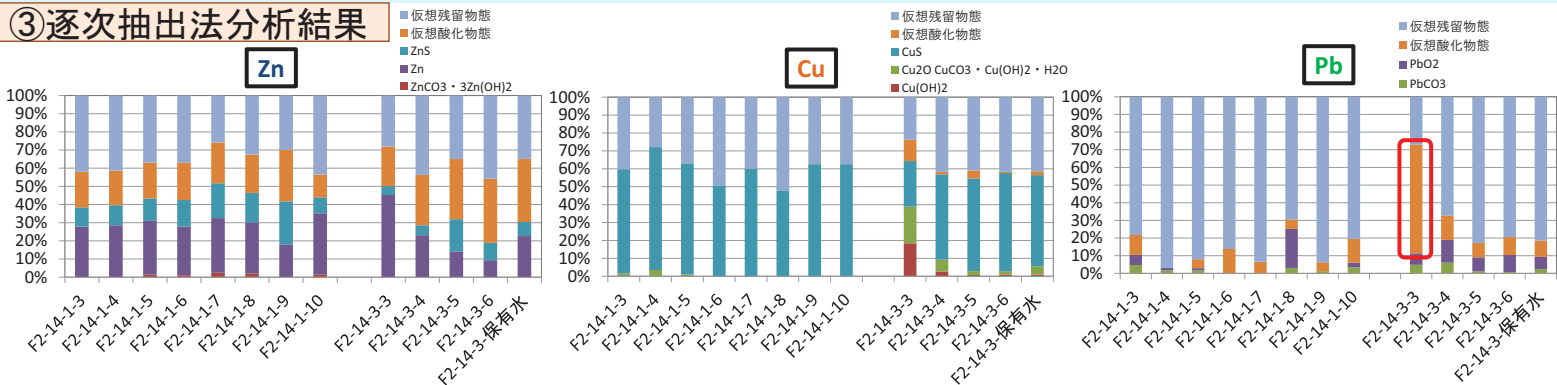
Cl含有率との相関係数r

Site	SO <sub>3</sub> 含有率との相関係数r	Cl含有率との相関係数r
F2	Zn, Cu, Mn, Cr, Ni, V r > 0.8	Zn, Cu, Mn r > 0.8
F2-14-1	相関が見られない	相関が見られない
F2-14-2	Zn, Cd, Mn, Cr r > 0.6	Zn, Cu, Pb, Cd, Cr, Mn, V r > 0.8
F2-14-3	Zn, Cu, Pb, Mn, Cr, Ni r > 0.6	Cu, Cd, Ni r > 0.8

SO<sub>3</sub>およびClの含有率が相対的に高い層において上記、重金属濃度は高くなる傾向

相関が高い重金属類は層内でそれぞれ硫化物、塩化物として存在している可能性

### ③逐次抽出法分析結果



様々な形態で存在  
仮想残留物態と仮想酸化物態が50%以上

「仮想残留物態+CuS」が優勢  
埋立層内で安定

「仮想残留物態+仮想酸化物態」が優勢  
埋立層内で安定

その他の主要元素

仮想残留物態、仮想酸化物態が主体であり、それらの割合も類似

## まとめ

- F処分場ではZn, Mn, Cu, Niが高い濃度を示した。
- 重金属濃度とSO<sub>3</sub>, Cl濃度が相関関係を示すものがある。 → 一部の重金属類は硫化物、塩化物として存在している。
- ほとんどの元素において残留物態、酸化物態が主な形態であり、埋立層内で安定している。
- F2-14-1コアにおいて、硫化物の割合が高い。

# 北海道に分布する火山灰土壌を用いた 重金属汚染土浄化に関する基礎的検討

○藤井雄大<sup>1)</sup>, 平岩良太<sup>1\*)</sup>, 香村一夫<sup>1)</sup> 1)早稲田大学理工学術院, \*)現(株)東芝

## 研究背景・目的

### トンネルなどの土木工事

重金属を含んだ掘削スリが発生  
汚染の浄化が必要

http://www.diaconsult.co.jp/ei\_hinmoku/ei\_sekkei/s\_kankyuu04.h  
より引用

重金属が土壌・地下水を汚染

### 火山灰土壌



豊富に存在  
吸着能を有する

浄化資材として利用できる可能性

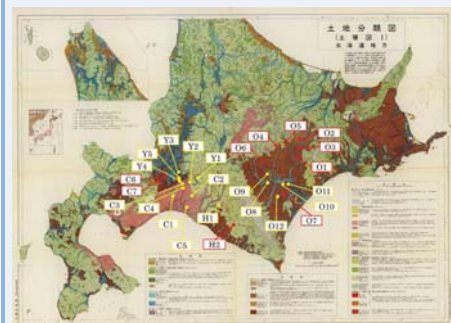
### 吸着能力の把握

### 吸着因子の検討

北海道の火山灰土壌において、何が因子となり  
どれくらい重金属を吸着するのかを検討

## 研究試料

### 研究対象地域：北海道



国土情報課 50万分の1土地分類基本調査  
(http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F1/MAP/101003.jpg)に加筆

### 凡例

- :2011年採取試料
- :2014年採取試料

	地点数	試料数
2011年採取	16	48
2014年採取	10	32
合計	26	80

地域名(頭文字のアルファベット)  
C:千歳周辺 Y:夕張周辺  
H:日高周辺 O:帯広周辺

## 実験方法

### 吸着能力の把握

### バッチ試験



### 粉末X線回折分析



### 選択溶解法



### C-Nコーダー



### 吸着因子の検討

### 土壌への重金属吸着量の測定

振とう前後で溶液の重金属濃度の変化より

### 結晶性粘土鉱物の同定

結晶性粘土鉱物によるX線の回折現象より

### 非晶質鉱物含有量を測定 (アロフェン、フェリハイドライト)

抽出液への溶解性の差より

### 腐植物質含有量の推定

全炭素量の測定より

### ◎バッチ試験

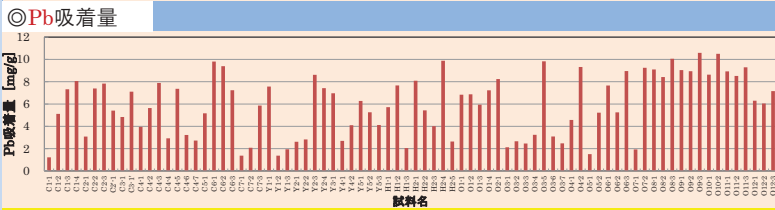
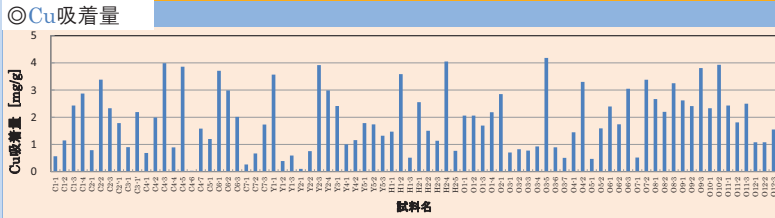


### 実験条件

対象重金属	供試濃度 [ppm]	pH	供試土壌量 [g]	供試溶液量 [ml]
Cu	40	5	1	100
Pb	50	5	0.5	100

## 実験結果・考察

### 吸着能力の把握



重金属吸着量は地点・層準によって異なる

### 土壌の吸着因子



吸着量の差は結晶性粘土鉱物、非晶質鉱物、腐植物質による影響の可能性

試料を土壌の特徴ごとに分類し、それぞれの因子を検討

### 試料のタイプ分け

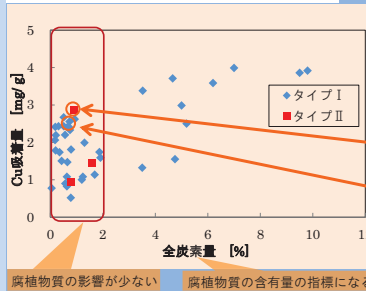
	タイプI	タイプII	タイプIII	タイプIV
2:1型結晶性粘土鉱物	○	×	×	×
1:1型結晶性粘土鉱物	△	○	×	×
非晶質鉱物	△	△	○	△
腐植物質	△	△	△	○

凡例  
○:主な含有物  
△:一部含有  
×:非含有

タイプIの方から順に優先的にタイプ分けを行った。

### 吸着因子の検討

### ◎結晶性粘土鉱物と吸着量の関係



タイプI  
タイプII

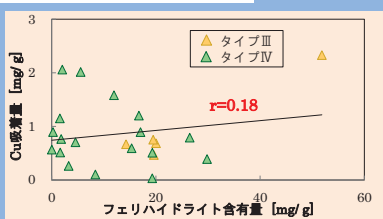
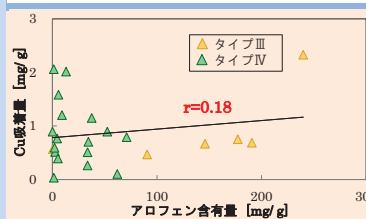
結晶性粘土鉱物を含有  
腐植物質の影響が少ない赤枠内に着目

1:1型粘土鉱物のみを含み高い吸着量

2:1型粘土鉱物のみを含み高い吸着量

結晶性粘土鉱物が吸着に関与

### ◎非晶質鉱物(アロフェン、フェリハイドライト)と吸着量の関係



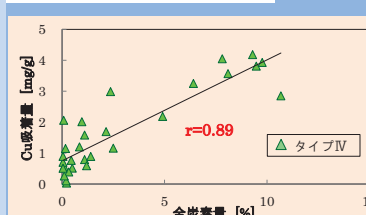
タイプIII  
タイプIV

非晶質鉱物を含有  
結晶性粘土鉱物を非含有  
腐植物質の影響が少ない試料を選定

どちらも吸着量との相関係数は低い

非晶質鉱物の吸着への関与は低い

### ◎腐植物質と吸着量の関係



タイプIV

主に腐植物質を含有  
全炭素量と吸着量の相関に着目

全炭素量と吸着量に高い相関

腐植物質は吸着に関与

## まとめ

- 重金属吸着量は地点・層準により異なる。
- 結晶性粘土鉱物と腐植物質は、重金属吸着能を有する。
- 非晶質鉱物の吸着への関与は低い。

北海道の火山灰土壌は地産地消の汚染土浄化材としての利用が期待できる。

# P-038 pHによる様々なホウ素の形態と土壌への吸着に関する検討

○ 黒川諒悟 香村一夫(早稲田大学理工学術院)

## 研究背景・目的

2001年 ホウ素が排水基準に追加 ⇒ 処理が難しく研究例も少ない

### 現在の処理方法

- キレート樹脂法
- 凝集沈殿法
- 膜分離法

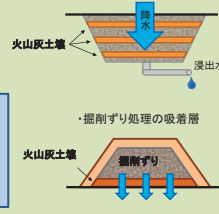
高コスト  
環境負荷大

低コスト・低環境負荷  
の処理技術が必要

### 火山灰土壌

- 粘土鉱物・腐植を含有 ⇒ **イオン吸着能**
- 自然界に大量に存在 ⇒ **低コスト・低環境負荷**

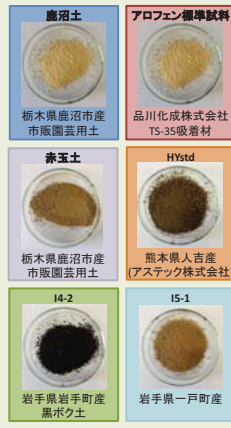
### 利用例



### ホウ素の吸着因子、吸着機構の解明

火山灰土壌をホウ素吸着材として利用

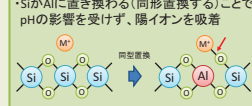
## 研究対象試料



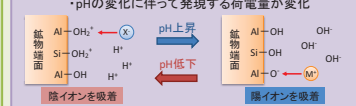
### 土壌含有物

試料名	結晶性粘土鉱物	非晶質・準晶質粘土鉱物		腐植物質 (全炭素量)
		アロフェン・イモゴライト	フェリハイドライト	
鹿沼土	×	○	△	×
アロフェン標準試料	×	◎	△	△
赤玉土	○	○	◎	△
HYstd	×	○	○	○
I4-2	○	△	△	◎
I5-1	○	△	○	△

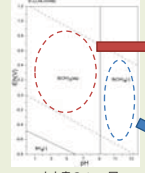
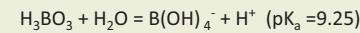
### 永久荷電



### 変異荷電



## ホウ素の形態



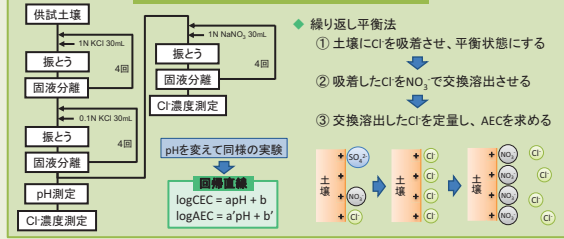
**低pH域**  
非解離性のB(OH)<sub>3</sub>が優位  
イオン吸着されにくい

**高pH域**  
陰イオン B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> が優位  
イオン吸着されやすい

## 研究方法

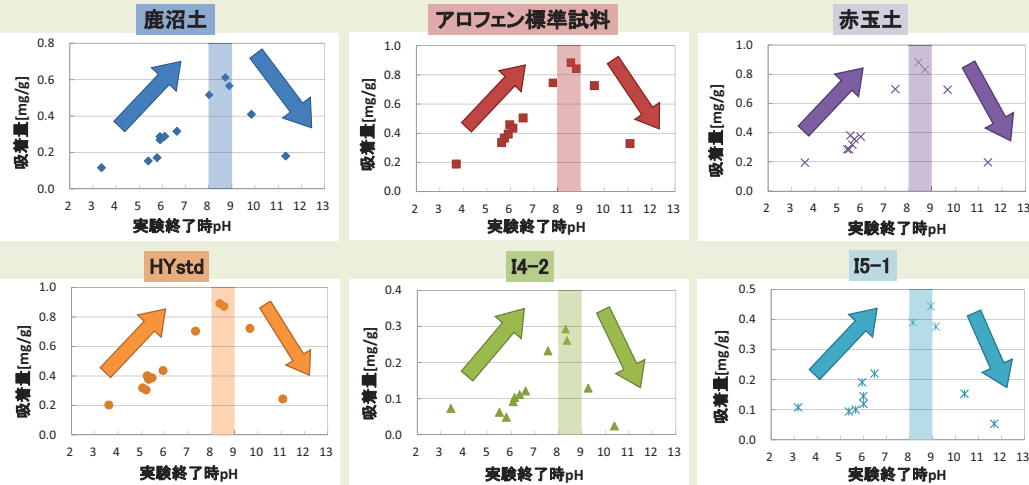


## 陰イオン交換容量(AEC)測定



## 結果・考察

### pH変化による各試料のホウ素吸着量の変化



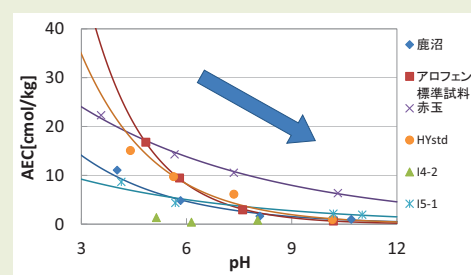
pH8以下 pH上昇に伴い、吸着量は**増加**

pH9以上 pH上昇に伴い、吸着量は**減少**

pHが高いほどB(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>が優位に存在するため

pHが高いほどAECが小さいため

### pH変化による各試料のAECの変化

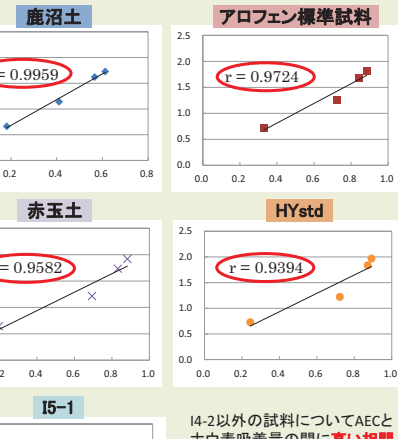


pH上昇に伴い、AECは**減少**

※I4-2はpHによる変化がほぼ見られない ⇒ 回帰線は求められず

### AECとホウ素吸着量の関係

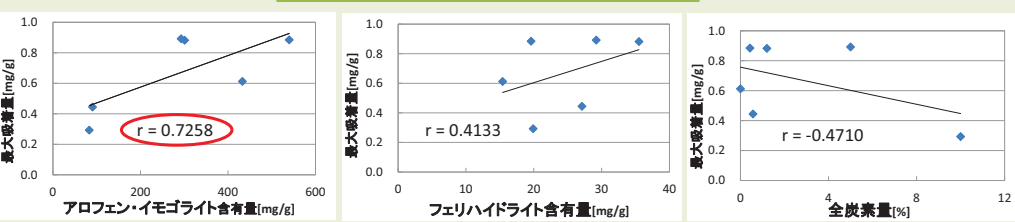
縦軸: 回帰線より求めたAEC[cmol/kg]  
横軸: 最大吸着量を示したpH以降のホウ素吸着量[mg/g]



I4-2以外の試料についてAECとホウ素吸着量の間に**高い相関**

高pH域においてホウ素吸着量は土壌の正荷電量に強く依存する

### 土壌含有物とホウ素の最大吸着量の関係



アロフェン・イモゴライト含有量との**正の相関**あり ⇒ **吸着に大きく影響**

フェリハイドライト含有量、全炭素量との相関見られず ⇒ 吸着への影響は小さい

## まとめ

- 火山灰土壌へのホウ素吸着量はpHに大きく依存しており、全ての試料においてpH8~9を最大とする凸型の吸着特性を示した
- 凸型の吸着特性を示す要因として、pH変化による水溶液中でのホウ素の形態変化、火山灰土壌のAECの変化が推察された
- ホウ素吸着にはアロフェン・イモゴライト含有量が大きく影響しており、フェリハイドライト含有量、全炭素量の影響は小さいと推察された

火山灰土壌のホウ素吸着材としての利用の際は、適切な条件のもと、適切な土壌を選定する必要がある



# P-039 タイ王国のMBT施設における廃棄物マテリアルフロー調査

落合知<sup>1)</sup>, 石垣智基<sup>1)</sup>, Komsilp Wangyao<sup>2)</sup>, 山田正人<sup>1)</sup>

## 1. 背景

1) 国立環境研究所 2) King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

アジアでは生ゴミなどの生分解性廃棄物とプラスチック等の非生分解性廃棄物が混合状態で排出されている。このように混合排出される廃棄物の処理方法の一つに、Mechanical Biological Treatment (MBT)がある。MBTは機械による破碎・選別処理と、微生物等による生物分解処理を組み合わせた廃棄物処理方法である。アジアでは焼却処理に比べ、処理コストの低いMBTは、これまでのオープンダンプの代替処理方法として注目されている。しかし、MBTはヨーロッパを中心に開発された技術であり、MBT技術の転用のみではアジアにおいて持続的な処理システムとして機能しない。アジアにおいてMBTシステムを導入するため、アジア特有の廃棄物組成・性状や地域条件等に適したオペレーションの選定が必要である。本研究では、アジアにおいて稼働中のMBT施設として、**タイ王国ピサヌローク市のMBTの廃棄物マテリアルフローを調査し、アジアにおけるMBTシステム適応のためのポイントを整理することを目的とした。**

## 2. 調査および実験方法

タイ王国ピサヌローク市にあるMBT施設にて、管理者およびオペレータへのヒアリング、組成調査および物理組成調査を行った。

**組成調査:** 搬入ゴミとバイオドライ後物について、各60kg(湿潤)を対象として組成調査を行った。分類は、プラスチック類、紙類、布・繊維類、金属類(鉄・非鉄類)、ガラス・陶器類、石・がれき類、ゴム類、骨・貝殻類、動物系残渣、植物系残渣、混合残渣、その他の12項目とした。

**物理組成:** バイオドライ前、バイオドライ後、RDFおよび残渣サンプルを採取し、水分量、灰分、低位発熱量(熱量)を測定した。なお、残渣については手篩選別を行い、粒径ごとの性状を調べた。

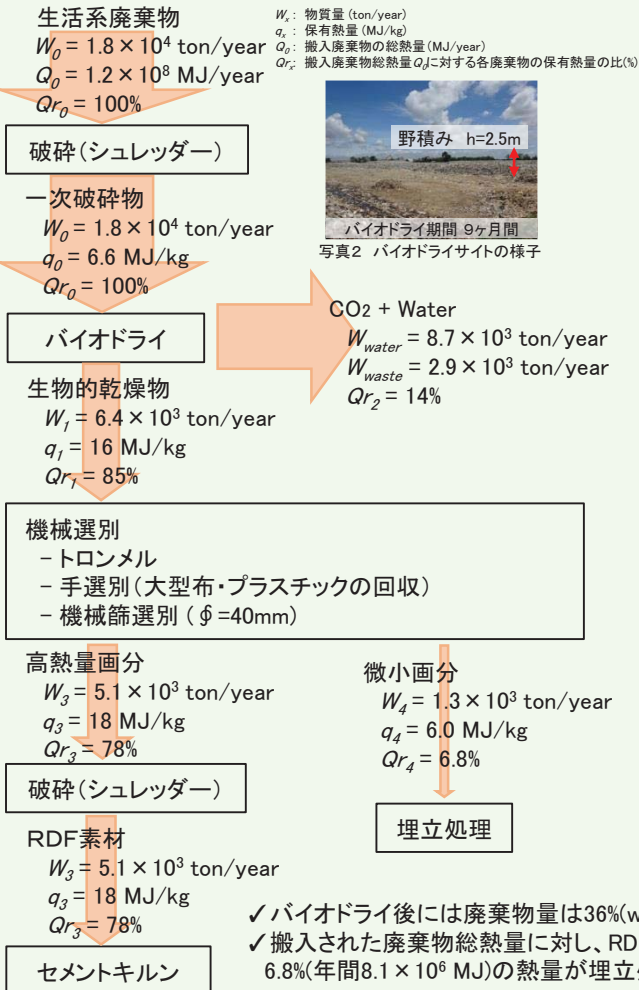
**廃棄物マテリアルフロー:** 組成調査および物理組成から、各工程での廃棄物保有熱量を算出した。各工程での廃棄物量を $W$ (ton/year)、熱量を $q$ (MJ/kg)、各工程物が持つ総熱量(MJ/year)を算出した。



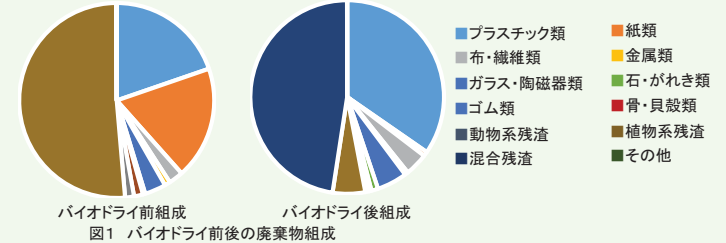
写真1 組成調査

## 3. 結果および考察

### 3-1. MBT施設での廃棄物フロー

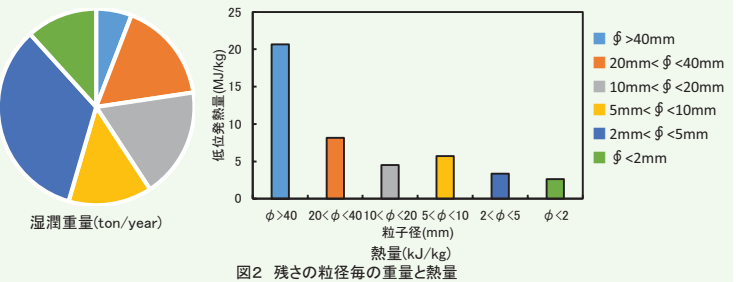


### 3-2. 組成調査結果



✓ バイオドライ前後で含水率は57%、バイオドライ後は25%に低下した。  
 ✓ 搬入ゴミ中では食品や枝葉などの、植物系残渣の割合が高く、またビニール袋などのプラスチック類も多く含まれていた。  
 ✓ バイオドライ後ではプラスチック類が最も多く含まれていた。紙類、植物系残渣の割合が低く、混合残渣の割合が高かった。

### 3-3. 微小画分の粒径分布と各粒径物の熱量



✓ 5mm以下物の割合が最も高かった。  
 ✓ 40mm以上物は単体でRDFとしてセメントキルン投入可能な熱量(16,800kJ/kg)を持つ。  
 ✓ 粒径が小さくなるとともに、熱量も低くなる。

✓ バイオドライ後には廃棄物量は36%(w/w)程度に減量、年間総熱量は低下、単位質量あたりの熱量は増加した  
 ✓ 搬入された廃棄物総熱量に対し、RDFとして78%(年間 $9.3 \times 10^7$  MJ)がセメントキルンで利用され、残渣として6.8%(年間 $8.1 \times 10^6$  MJ)の熱量が埋立処理されている

## 4. 結論

本研究で調査したMBT施設の廃棄物フローの特徴は以下の通りであった

- ✓ 9ヶ月間のバイオドライ工程で廃棄物を減量化し含有水分量を低下させることで、単位重量あたりの熱量は6.6MJ/kgから16MJ/kgに増加し、RDFとして利用可能な高い熱量物になっている。
- ✓ RDFとして年間 $5.1 \times 10^3$ トンがセメントキルンで利用され、年間 $1.3 \times 10^3$ トンの微小画分が埋立処理されている。
- ✓ 搬入された廃棄物総熱量に対して、RDFとして78%、残渣は6.8%の保有熱量であった。
- ✓ 微小画分中に $\phi=40mm$ 以上物が一部残留しており、RDFとして利用可能である。また粒径が小さい微小画分ほど熱量が低い傾向が見られた。分級することで熱量ごとに分けることができるため、各粒径・熱量毎に再生利用できる可能性がある。

# 廃棄物埋立地の機能評価において対象とするバイオマーカーの選定

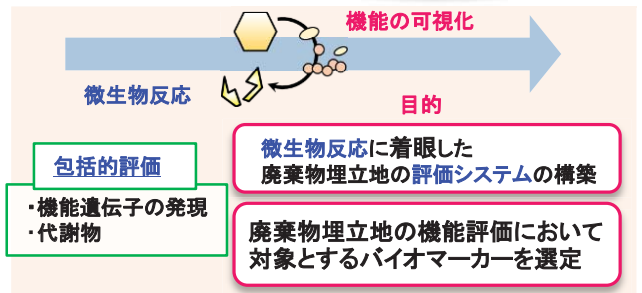
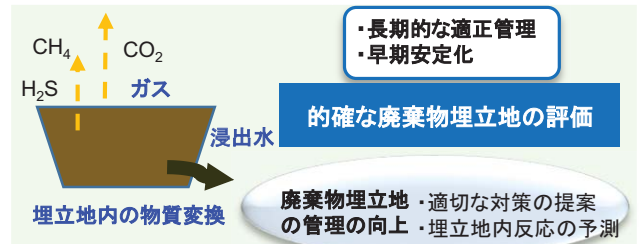
国立環境研究所 ○尾形有香, 石垣智基, 山田正人

## 背景・目的

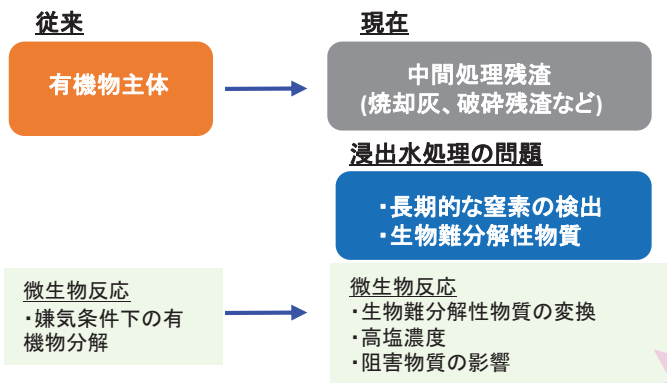
廃棄物埋立地は、埋立て終了後においても、継続的に浸出水並びに埋立ガスが発生することから、長期的な適正管理及び早期安定化が世界的に課題となっている。適正に廃棄物埋立地を管理し、閉鎖するためには、的確に**廃棄物埋立地の状況を評価**することが必要である。現在、廃棄物埋立地の評価は、浸出水の水質、ガス、埋立地内の温度など、流動や反応の最終的な産物としての埋立地外へのエミッションを対象としており、埋立地内の物質変換については、経験的な推測に頼ることが多い。

埋立地内の物質変換には、微生物反応が主要な役割を担っていることが知られていることから、微生物を対象とした指標を加えることで、よりの確な状況判断が得られると期待される。これまで、報告例は少ないものの、微生物数、群集構造解析により、埋立地内の物質挙動の把握が試みられてきたが<sup>1-3</sup>、微生物による物質変換を、既知の知見に頼り推測するに留まり、的確に評価するには、未だ不十分な点が多い。

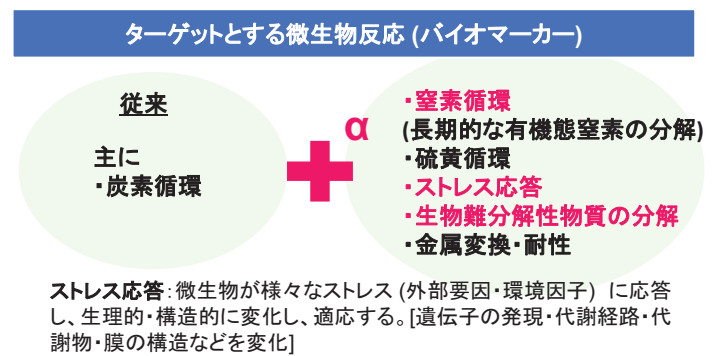
本研究では、微生物反応そのものに着眼し、機能遺伝子の発現と代謝物を含めた網羅的解析・包括的な評価を導入することで、**微生物反応の可視化ツールの構築**を試みる。



## 埋立物の変化

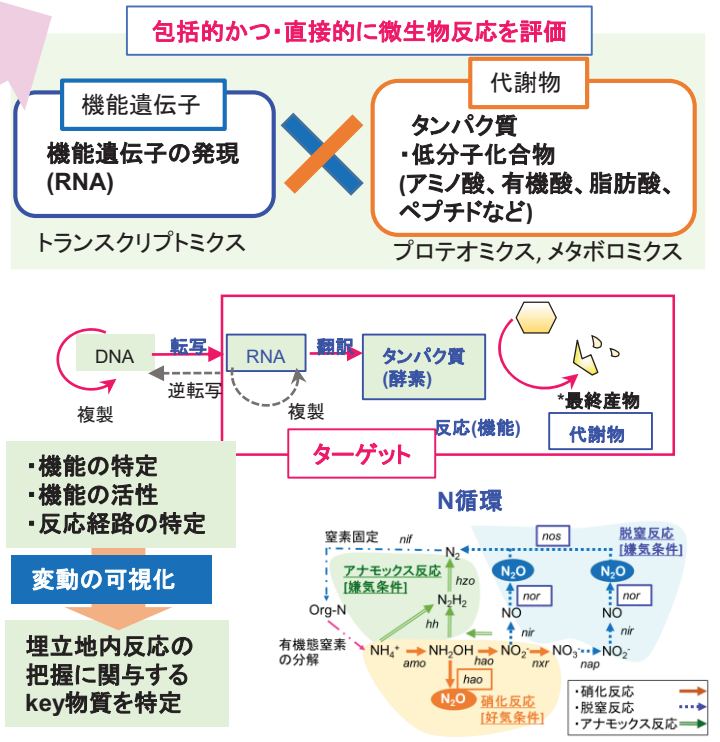


## 本研究のアプローチ



## 従来の微生物を対象とした評価法

手法	評価対象	限界
微生物数 (培養法)	・培地で生育可能な微生物の定量	・培地困難な微生物を定量できない
微生物数 (16S rRNA遺伝子を対象)	・16 SrRNA遺伝子コピー数	・反応が把握できない ・細菌種による保有コピー数が異なる
酵素活性	・特定の酵素活性について把握	・測定方法が確立している反応のみ ・網羅的解析には不向き
微生物群集構造	・菌叢のパターンを把握できる (T-RFLP, DGGE など) ・微生物種の特異性 (クローンライブラリ法など) ・網羅解析可能	・既知の知見に頼り推測するに留まる ・データベースに依存 ・反応に関与している遺伝子が発現しているか分からない ・反応を特定できない
機能遺伝子 (DNA)	・反応を推測 ・網羅解析可能	・遺伝子が発現し、酵素活性があるのか分からない ・データベースに依存
機能遺伝子 (RNA)	・反応を反映 ・機能遺伝子の発現 ・網羅解析可能	・酵素の活性は分からない ・データベースに依存




## 参考文献

1. 澤村ら, 微生物の基質利用率・系統分類に基づく最終処分場の安定度評価, 環境技術, 39, 355-364, 2010
2. Sawamura et al., Characterization of microorganisms at different landfill depths using carbon-utilization patterns and 16S rRNA gene based T-RFLP, J. Biosci. Bioeng., 109, 130-137, 2010
3. 澤村ら, 亜熱帯・熱帯地域の廃棄物埋立地における微生物生態系の調査, 水環境学誌, 30, 621-628, 2007

廃棄物安定型処分場において有機物が付着または混入した廃棄物の不適正処分により内部発熱が生じ、蓄熱が進むと火災に発展する場合がある。効果的な消火を行うためには熱源を特定して対策を行うことが望ましいが、有効な熱源位置特定手法は存在していない。本研究では、内部熱分布推定の指標として地表ホットスポットの温度に着目した熱源位置推定モデルを提案し、その熱源位置推定精度の検証を行った。

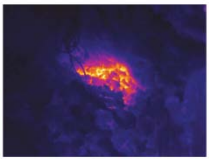
### 地表ホットスポットの温度に着目した熱源位置推定手法の提案

地表ホットスポット  
 ... 連続的に存在する大間隙を通して内部の高温ガスが放出されている箇所。  
 地表ホットスポットの温度  
 ... 気象や地表被覆の影響を受けにくい。



地表ホットスポットの様子

内部熱分布の推定に適する指標?



地表面温度分布

地表ホットスポットの温度および位置から熱源の位置を推定できないか?

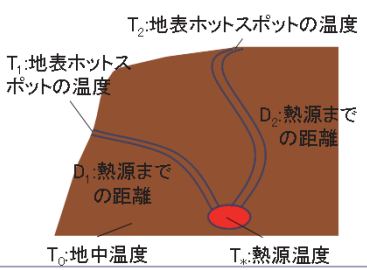
### 熱源位置推定モデル

#### 熱源-地表ホットスポット間の連続間隙のガスに着目

伝熱方程式

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial s} \left( k \frac{\partial T}{\partial s} \right) - c \frac{\partial (\rho v T)}{\partial s} - \alpha(T - T_0)$$

質量保存則

$$\frac{\partial P}{\partial t} = - \frac{\partial (\rho v)}{\partial s}$$


理想的な仮定の下で連立方程式を解くと

$$\frac{1}{D_i} \ln \frac{T_s - T_0}{T_i - T_0} = \text{Const.}$$

地表ホットスポットの温度、熱源温度、熱源からの距離の間には一定の関係

### 仮定

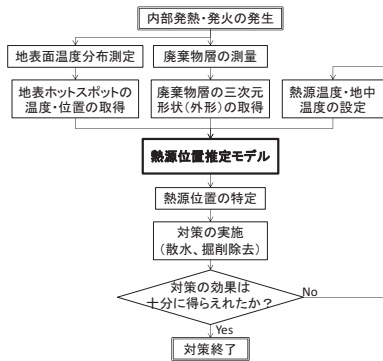
- 定常状態で考え、ガスの抜け道における伝熱は、熱伝導、移流、ガスの抜け道周辺部への散逸の3形態を考慮する。
- ガスの抜け道周辺部以外は熱源の影響を受けず、地中温度はどこも一定である。
- ガスの抜け道は熱源から地表ホットスポットまで直線的で一様断面とする。

### 熱源位置推定手法

地表の複数のホットスポットの温度及び位置を熱源位置推定モデルに入力し、幾何学的に最も整合性の高い(誤差が最小となる)地点として熱源位置を求める。

$$Er = \sqrt{\frac{1}{n \cdot C_2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{D_i} \ln \frac{T_i - T_0}{T_s - T_0} - \frac{1}{D_j} \ln \frac{T_j - T_0}{T_s - T_0} \right)^2}$$

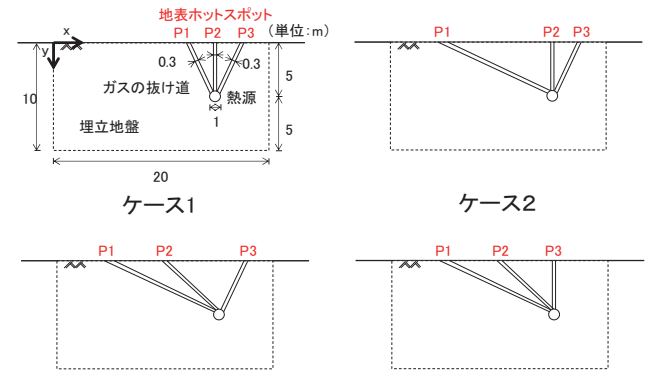
Er: 誤差  
n: 地表ホットスポットの数



本研究で提案する熱源位置推定モデルを用いた熱源鎮火対策の流れ

### 不適正処分場を模擬した伝熱及びガス移動の数値シミュレーション

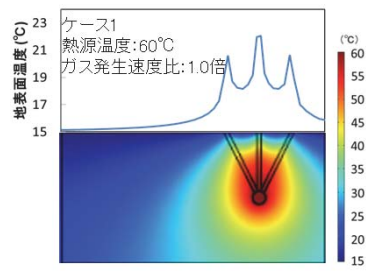
不適正処分場を模擬した伝熱及びガス移動の数値シミュレーションを行い、その結果における地表ホットスポットの温度及び位置から熱源位置推定モデルを用いて熱源位置の推定を行い、熱源位置の推定精度の検証を行った。



設定値

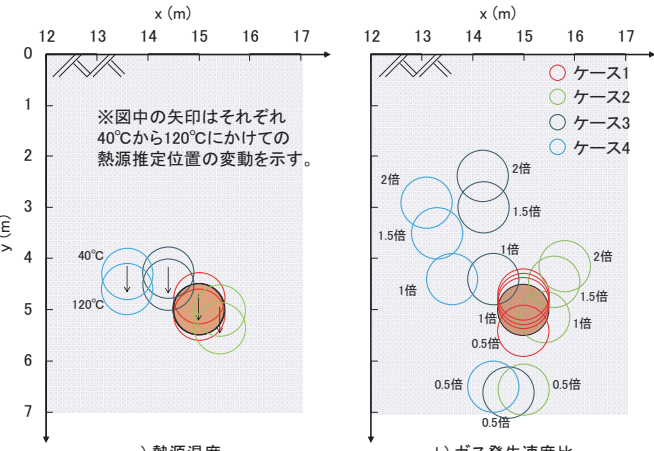
パラメータ	単位	数値
熱源温度	°C	40, 60, 80, 100, 120
ガス発生速度	kg m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup>	0.04, 0.08, 0.12, 0.16
気温	°C	15
土粒子密度	t m <sup>3</sup>	2.6
熱伝導率	W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	4.7
定圧比熱容量	J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	840
地盤の透気率	m <sup>2</sup>	1.0 × 10 <sup>-9</sup>
ガスの抜け道の透気率	m <sup>2</sup>	1.0 × 10 <sup>-2</sup>
粘性係数	Pa s	1.8 × 10 <sup>-5</sup>
表面放射率	-	1
ステファンボルツマン定数	W m <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup>	5.67 × 10 <sup>-8</sup>

※赤字は標準ケース



数値シミュレーション結果の例 (ケース1)

### 熱源位置推定モデルによる熱源位置推定精度の検証



a) 熱源温度  
b) ガス発生速度比

熱源推定位置に及ぼす各種因子の影響

- 熱源推定位置に及ぼす熱源温度(熱源位置推定モデルにおける入力値)の影響は極めて小さいことが確認された。
- 熱源推定位置に及ぼすガス発生速度の影響は大きく、特に鉛直方向に推定位置を大きく変動させることが確認された。
- 熱源推定位置の水平方向の誤差は最大で2m程度であり、本手法は特に熱源の水平方向の位置の推定に有効であると考えられた。

✓ ガスの抜け道における熱収支式及びガス質量収支式の連立方程式を解析的に解くことにより、熱源位置推定モデルが得られた。  
 ✓ 熱源位置推定モデルを用いた熱源推定は、特に熱源の水平方向の位置の推定に有効であることが確認された。  
 ✓ より現実的な条件(ガスの抜け道が曲がっている、複雑等)における熱源位置推定精度の検証、及び推定モデルの改良が今後の課題である。  
 ※ 本研究はJSPS科研費26820223の助成を受け実施したものである。

# ICP-SFMSによる南東北地方土壌中のα線核種の迅速簡易定量

東北大金研 柏倉俊介

## 背景

- ・東京電力福島第一原子力発電所事故→大量の放射性物質が周辺に拡散される。
- ・<sup>235</sup>Uなどのα線核種については化学的に単離した後にα線スペクトロメトリー→積算に非常に時間がかかる
- ・ICP-MSを用いる場合、土壌試料を酸溶解し、ppt-ppbレベルのウランを検出可能

## 先行研究および目的

- ・高貝（福島大学）らの先行研究（BUNSEKI KAGAKU, Vol.60, No.12, 2011, pp.947-957）→マイクロウェーブ加熱加圧酸分解法とICP-MSによる土壌試料中のウランの迅速分析
- ・土壌試料をフッ化水素酸を用いて完全分解するとウランがハロゲン錯体を形成し、共沈をする→硝酸と過酸化水素水の混酸で溶解を行い、意図的に土壌中のケイ酸塩を溶解させない
- ・より簡便な手法として、ホットプレート上において加熱酸分解を行い、二重収束型のICP-MSを用いて<sup>235</sup>U及び<sup>238</sup>Uを直接定量する

## 試料

## 溶解方法

	JA-1	JA-2	JA-3	JB-2	JB-3
U /ppm	0.34	2.21	1.18	0.18	0.48
	JF-1	JF-2	JG-1	JG-1a	JG-2
U /ppm	0.33	0.078*	3.47	4.69	11.3
	JG-3	JGB-1	JP-1	JR-1	JR-2
U /ppm	2.21	0.13	0.036	8.88	10.9

1. 各試料を100mg前後秤量
2. PTFE製のビーカーへ投入
3. 濃硝酸と過酸化水素を5:1で混合し、10mL滴下
4. 時計皿をし、200℃のホットプレートの上で2時間加熱（実際の混酸の温度は120℃程度）
5. 空冷
6. ろ過
7. 内部標準としてAuをその濃度が1ng/mLになるように滴下
8. 100mLにメスアップ

## 結果（バリデーション）

	JA-1	JA-2	JA-3	JB-2	JB-3
U /ppm	0.21 / 0.34	1.43 / 2.21	0.78 / 1.18	0.095 / 0.18	0.31 / 0.48
回収率 /%	61.7	64.7	66.1	52.8	64.6
RSD (n=3, %)	5.5	2.3	3.1	9.2	5.7
	JF-1	JF-2	JG-1	JG-1a	JG-2
U /ppm	0.24 / 0.33	0.059 / 0.078	2.23 / 3.47	3.45 / 4.69	7.99 / 11.3
回収率 /%	72.7	75.6	64.3	73.6	70.7
RSD (n=3, %)	6.0	6.2	2.1	1.9	1.7
	JG-3	JGB-1	JP-1	JR-1	JR-2
U /ppm	1.65 / 2.21	0.086 / 0.13	0.013 / 0.036	3.43 / 8.88	6.13 / 10.9
回収率 /%	74.7	66.2	36.1	38.6	56.2
RSD (n=3, %)	2.5	9.8	13.4	1.9	2.1

- ・先行研究と比較すると若干回収率が低い
- ・RSDは比較的良好であった。

# 除染廃棄物等仮置き場におけるキャッピングシート管理のためのリモートセンシング技術の適用

九州大学大学院 ○中山裕文、島岡隆行、(一財)日本環境衛生センター 宮原哲也、東洋紡織 上田滋夫



## 背景：仮置き場キャッピングの健全性

- 仮置き場キャッピングには、保管期間中の除染廃棄物の飛散防止、雨水等の浸入の防止の機能が求められる。
- 維持管理は主に目視による点検が実施されている。
- 除染特別地域には広大な仮置き場が208箇所もある。これら多数の仮置き場を維持管理することは容易ではない。

## 目的：ドローンによるモニタリング評価

ドローンによるリモートセンシングにより、以下を検討することを目的とした。

- キャッピングの破損に発展する恐れがある表面の傷や背面の突起等、特異な部分を判別できるか？
- キャッピング破損の原因となる雨水溜りの水量を推定できるか？
- 内部温度が高い場所を特定できるか？



図1 使用したドローン

図2 ドローン下部に搭載したカメラ

## 対象とした除染廃棄物等仮置き場

- 福島県双葉郡楡葉町の上繁岡地区除染廃棄物等仮置き場
- 敷地面積：約35,000m<sup>2</sup>
- 区画数：12区画(可燃物5区画、不燃物7区画)



図3 上繁岡地区除染廃棄物等仮置き場の位置

図4 上繁岡地区除染廃棄物等仮置き場の様子

## キャッピング表面の健全度評価

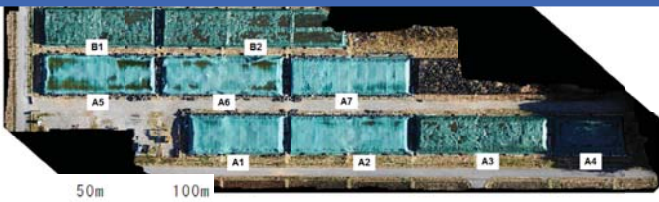


図5 ドローンから撮影した仮置き場の画像

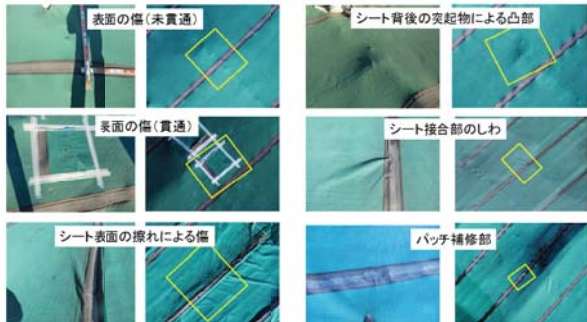


図6 地上(左)およびドローンから(右)撮影したキャッピング表面の画像

表1 ドローン撮影画像のキャッピング健全度評価への適用性

特異部の種類	原因	大きさ	判別の容易さ	考察
表面の傷(未貫通)	鳥類がキャッピング表面の繊維を巣の材料とするため採取したと考えられる。	直径約3cm	△	画像上で黒点として判別できる。ただし、鳥の糞や結葉等を傷と誤認識しやすい。
表面の傷(貫通)	貫通した穴を有するキャッピングシート片を作為的にテープで貼り付けたもの。	直径約3cm	△	画像上で黒点として判別できる。ただし、鳥の糞や結葉等を傷と誤認識しやすい。
シート背後の突起物による凸部	シート背後の突起物により押されたシート表面にできた凸部。凸部を鳥類が啄ばむことにより、傷に発展しやすい。	突起部の直径約3cm、高さ約2cm	○	凸部にできた影によりUAV画像でも容易に判別できる。
シート表面の汚れによる傷	不明	接合部に対して平行に20~30cmの幅で分布	○	汚れによる傷の範囲が大きいものは、画像で容易に判別できる。
シート接合部のしわ	熱融着接合時に発生したしわ。今回発見したしわは接合不良ではなかった。	長さ約75cm	○	しわの影により画像で容易に判別できる。
パッチ補修部	パッチ補修部。補修部は正常であり、接合不良というわけではない。	幅5cm長さ10cm程度	△	影の状況によって判別が難しい。

## キャッピング上面の雨水溜りの水量推定



図7 キャッピング上部の雨水溜りの様子

図8 A6区画の雨水溜り(ドローン撮影)

式：雨水溜り水深推計のための重回帰モデル

$$h = a_1R + a_2G + a_3B + C \dots (1)$$

h: 水深(cm), R: 画像のR値(-), G: 画像のG値(-), B: 画像のB値(-), a<sub>1</sub>~a<sub>3</sub>: 偏帰係数, C: 定数項

表2 雨水溜り水深推計モデルに関する重回帰分析(モデルの妥当性)

対象区画	R <sup>2</sup>	修正R <sup>2</sup>	タービュンクン比	AIC	n数
全区画	0.488	0.415	1.523	145.43	17
A2	0.637	0.516	2.292	35.97	5
A6	0.981	0.977	1.945	42.01	7
A7	0.571	0.428	3.229	34.35	5

表3 雨水溜り水深推計モデルに関する重回帰分析(回帰式に含まれる変数)

対象区画	変数	偏帰係数	標準誤差	標準偏帰係数	重回帰係数の有意性の検定				判定
					F値	t値	P値		
全区画	G	5.64	2.15	2.62	6.88	2.62	0.02	*	**
	B	-5.53	1.91	-3.06	9.37	-3.06	0.01	**	
	定数項	10.57	17.15	0.38	0.62	0.55			
A2	G	-0.93	0.40	-0.80	5.26	-2.29	0.11		*
	定数項	34.25	9.85	12.10	3.48	0.04			
A6	G	-8.07	0.50	-9.99	259.33	-16.10	0.00	**	**
	定数項	208.83	10.65	384.53	19.61	0.00			
A7	R	3.37	1.68	0.76	4.00	2.00	0.14		
	定数項	-21.11	22.69	0.87	0.87	-0.93	0.42		

表4 雨水溜りの水量推定結果

雨水溜り番号	平均水深(cm)	面積(m <sup>2</sup> )	体積(m <sup>3</sup> )
A2-1	2.5	7.04	0.18
A2-2	2	2.14	0.04
A2-3	12	11.24	1.35
A2-4	5	2.61	0.13
A2-5	10	7.31	0.73
A2計			2.43
A6-1	10	6.62	0.66
A6-2	5	6.9	0.35
A6-3	20.5	7.73	1.58
A6-4	26.5	19.47	5.16
A6-5	6.5	5.05	0.33
A6-6	32.5	31.12	10.11
A6-7	35	31.5	11.03
A6計			29.22
A7-1	15	8.7	1.31
A7-2	7.5	5.11	0.38
A7-3	15	11.66	1.75
A7-4	9	24.09	2.17
A7-5	13.5	16.49	2.23
A7計			7.83

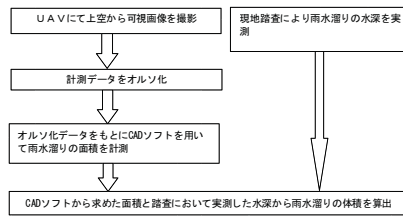


図7 雨水溜りの水量推定フロー

## 雨水溜りに起因する引張り応力および接合部せん断応力の推定

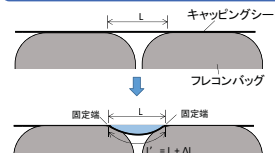


図11 施工時に弛みが無かった場合

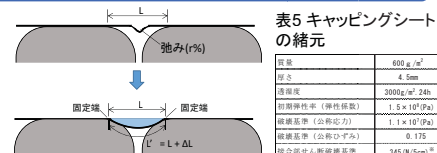


図12 施工時に弛みがあった場合

表5 キャッピングシートの緒元

単位	600g/m <sup>2</sup>
厚さ	4.5mm
透水性	3000g/m <sup>2</sup> ・24h
初期弾性率(弾性係数)	1.5 × 10 <sup>10</sup> (Pa)
破壊強度(公称引張り)	1.1 × 10 <sup>8</sup> (Pa)
破壊延伸(公称伸び)	6.17%
接合部せん断破壊強度	345(N/5cm)

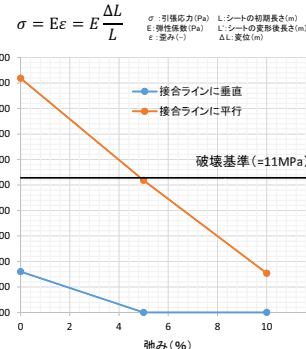


図13 引張り応力の推定結果

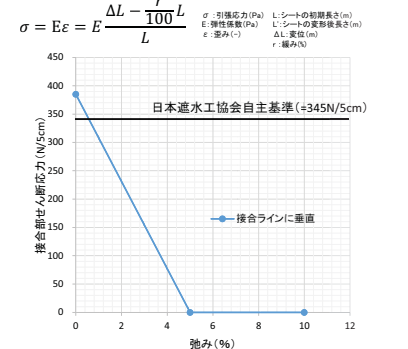


図14 接合部せん断応力の推定結果

## 熱赤外線画像による表面温度評価

- キャッピング内部温度  
A1~A6: 15~30°C  
A7: 60°C
- キャッピング表面温度(ドローン撮影)  
A7とそれ以外の区画で顕著な差は見られなかった。

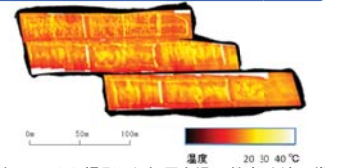


図15 ドローンから撮影した仮置き場の熱赤外線画像

## 結論

- キャッピングモニタリングにおいて、ドローンによるリモートセンシングは以下の点で適用性を有する。
- キャッピング破損の原因となりうる表面の傷、傷、背面の突起物等を判別できる。要監視部を絞り込むことで、目視検査を効率化できる。
  - 雨水溜りの水量を推定できる。ただし、画像からの水深推定については今後さらなる検討が必要である。雨水溜りの水量推定値は、シートの引張り応力や接合部せん断応力の推定に利用できる。
  - 熱赤外線画像によりキャッピング表面温度を把握することができたが、今回の結果では内部温度が高い区画と低い区画において、表面温度に顕著な差はなかった。

謝辞：本研究をすすめるにあたり、除染廃棄場における現地計測では、前田・鴻池特定建設工事共同企業体、株式会社イッコウ、岩野産株式会社、一般財団法人リモート・センシング技術センターの皆様にご協力いただきました。記して謝意を表します。