

第27回廃棄物資源循環学会研究発表会特別セッション2  
海面最終処分場の課題と役割— フェニックス事業を題材として—

# 最終処分場における物質変換と安定化について

北海道大学大学院 東條安匡

1. 物質循環における最終処分場の役割を考える

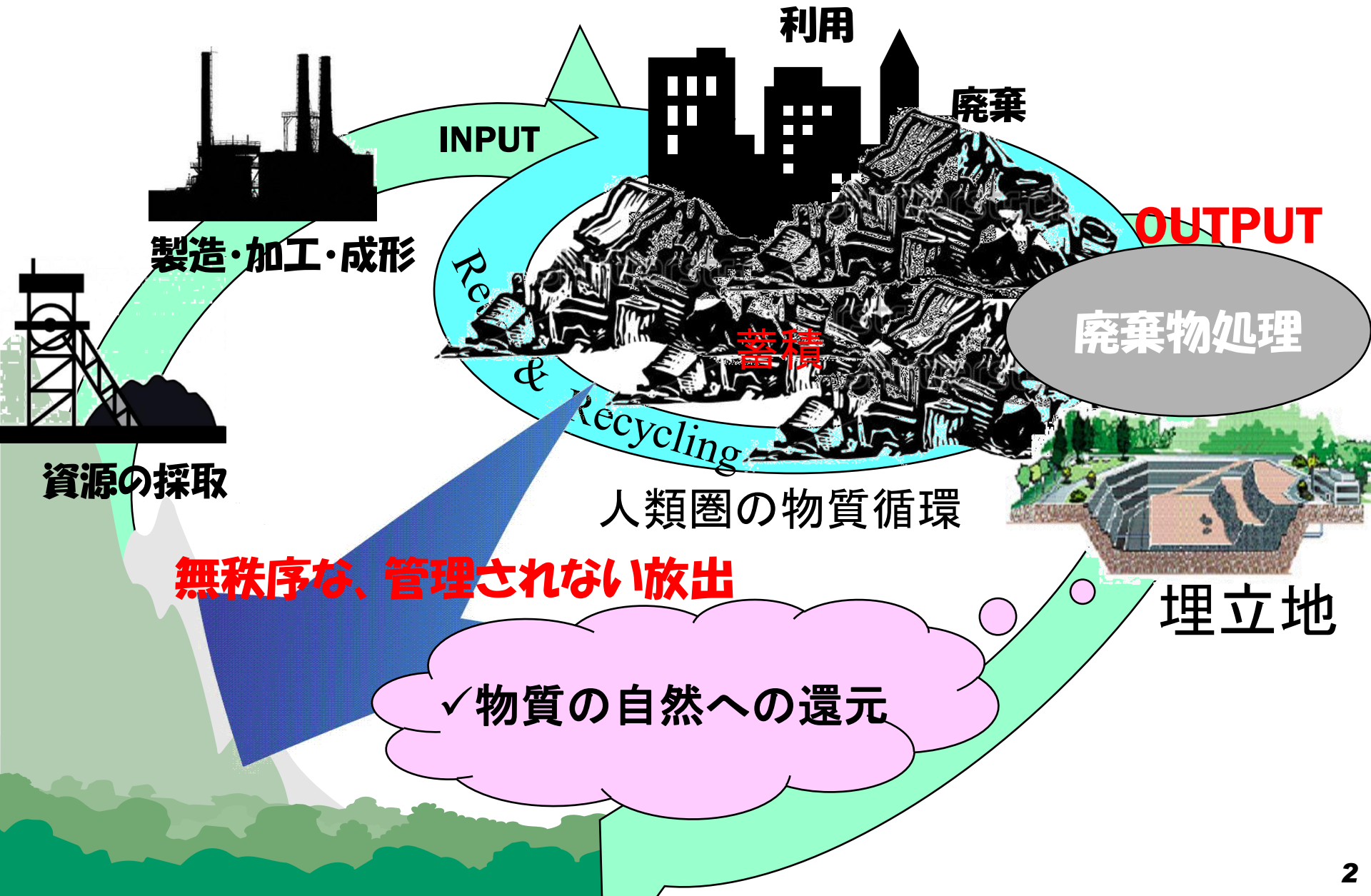
2. 有機物、有機化学物質

3. 無機物、重金属類

↓  
必要な物質変換・安定化

海面処分場を対象に

# 物質の循環と最終処分場




# 物質を自然に返還することは不可欠

廃棄物処理が自然への物質の返還過程であるとすれば、

- 何を、
- 何処に、
- どのような方法で、どの位の時間をかけて還して行くか

**Brunner: 物質には長期間安定に存在し続ける最も適切な場所が存在、それをSafe final sinkとする概念**



Definition of ~~appropriate~~ „Final Sinks“

„Final Sink“:

- A place where materials stay for more than 10.000 years **without harming the environment**

Examples:

- Chloride in the sea
- Carbonates in sediments
- Cadmium in sediments
- Cadmium in landfills (?)
- Cadmium in underground salt mines

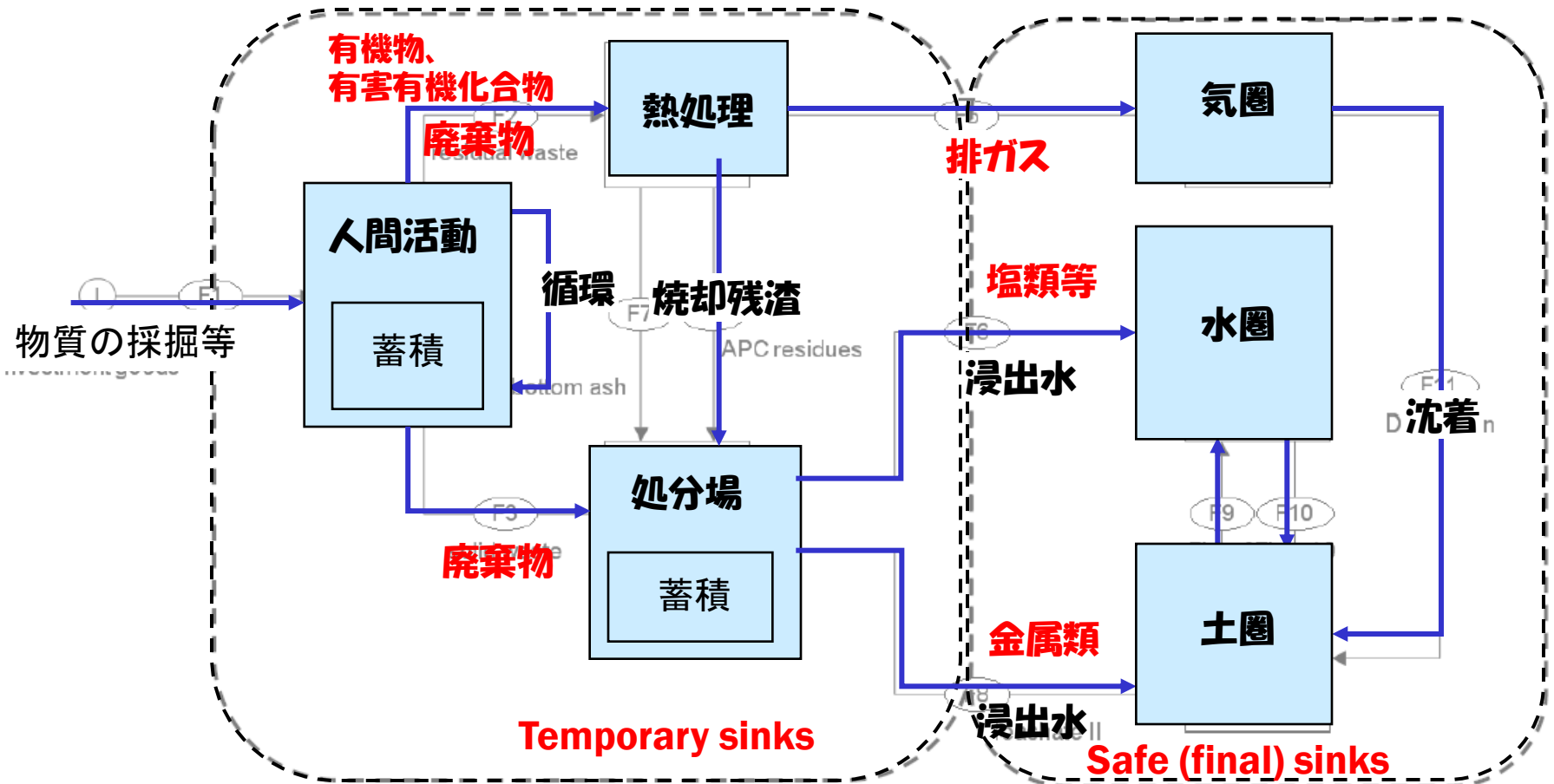
# Final Sink へ至る物質の流れ

Ir Import:  $\sum$  Import t/a

dStock:  $\Delta$  Stock t/a

dStock:  $\Delta$  Stock t/a

Export:  $\sum$  Export t/a



Substance Flow System "Antroposphere"

Substance Flow System "Environment"

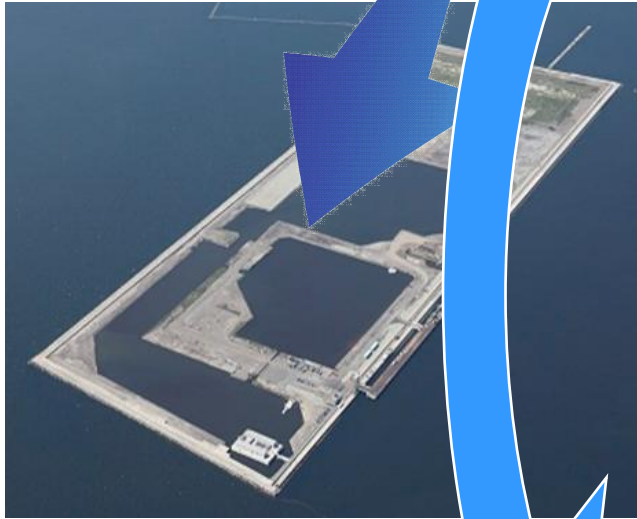
U. Kral and P. H. Brunner: The incorporation of the "final sinks" concept into a metric for sustainable resource management, ICFS 2013.

**廃棄物処理施設は各Sinkへと物質を振り向ける中継施設**

# 海面処分場を前提に ・ ・ 有機物



Sinkか？



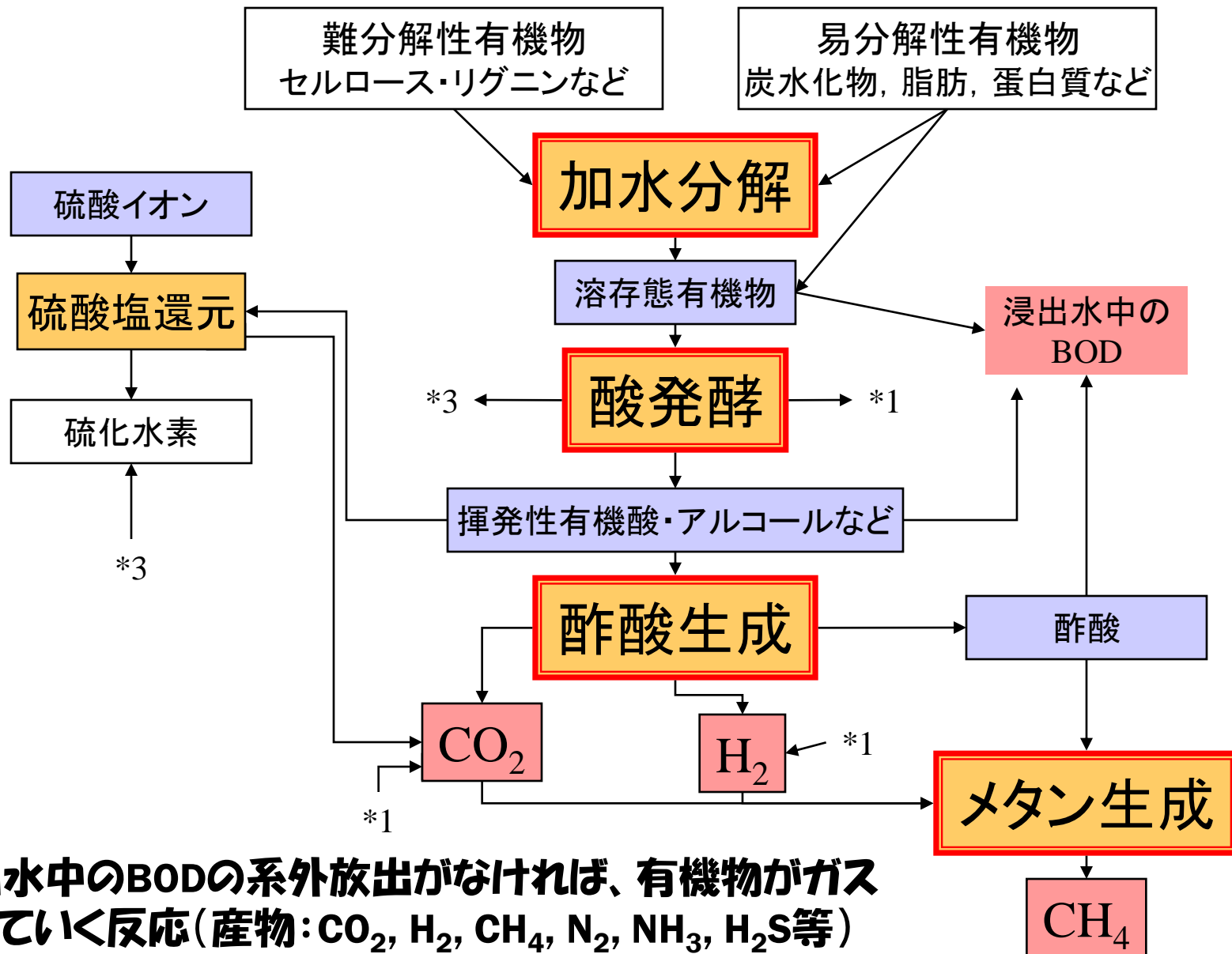
海面処分場は有機物のSinkか？

あるいは、Safe final sinkへ有機物の構成元素(炭素、窒素、水素、酸素等)を振り向ける適切な施設か？

有機物の分解過程を元に考えてみる。

Safe final sink

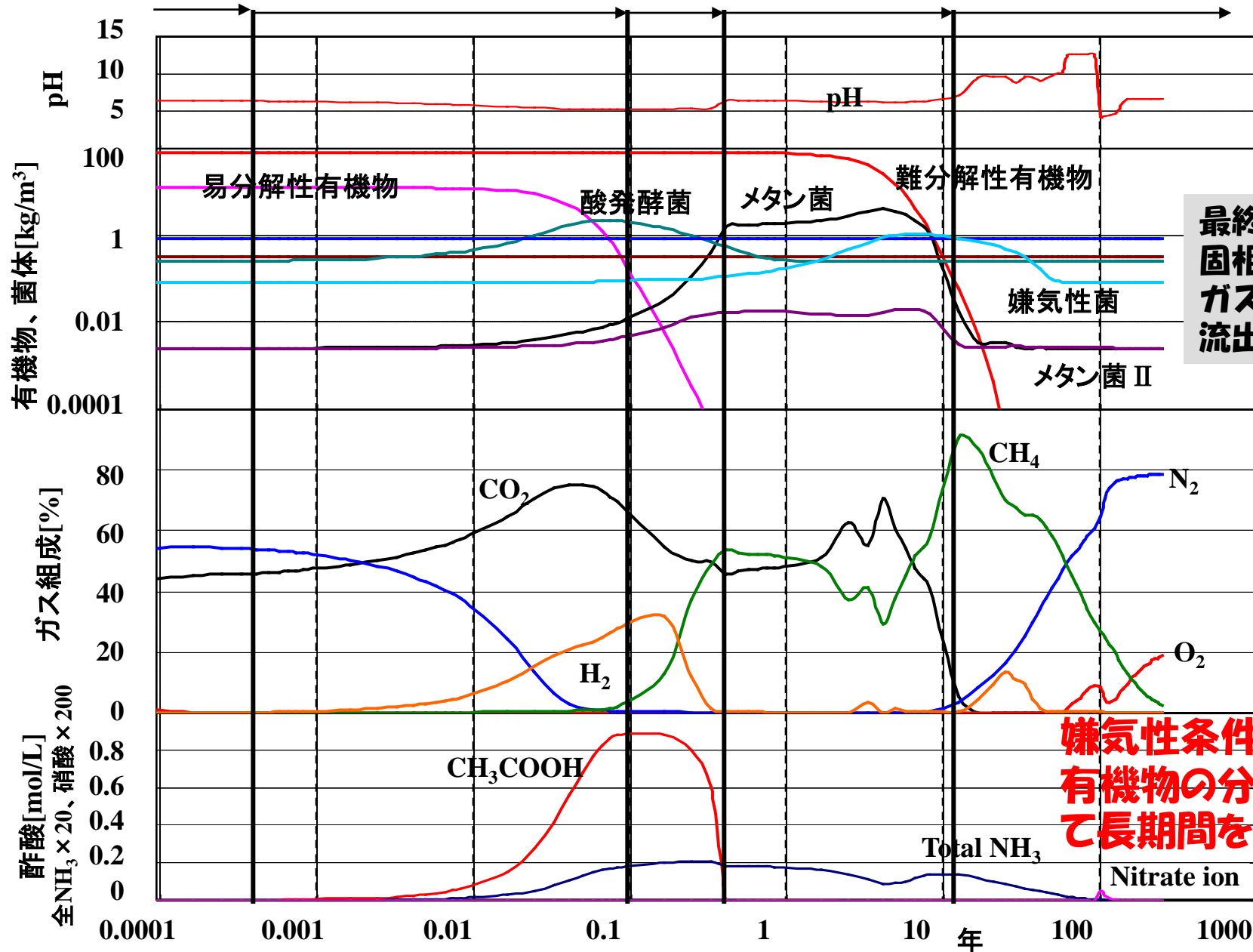
# 埋立地内での有機物の分解過程（嫌気性）



浸出水中のBODの系外放出がなければ、有機物がガス化していく反応(産物:CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S等)  
気圏へ構成元素を返還する過程

# 数値計算による分解過程の再現

I. 好気相      II. 酸発酵相      III. メタン発酵相      III. メタン発酵相      V. 安定化相



**嫌気性条件下では、  
 有機物の分解は極めて  
 長期間を有する。**

# 嫌気性埋立地（封じ込め埋立地）の 安定化に要する期間の予測

Parameter	$C_E$ 排水基準 [mg/L]	$C_0$ 初期濃度 [mg/L]	$T_{1/2}$ Half-Life 半減期 [year]	$T_E$ $C_E$ に達する時間 [year]
COD	$C_{E-Germany} = 200$ mg/l	500 – 12,700	10 - 40	80 - 360
	Average	3,000	28	140
TKN	$C_{E-Germany} = 70$ mg/l	200 – 2,100	15 - 57	120 - 450
	Average	900	43	220
Cl	$C_{E-Germany} = 100$ mg/l	340 – 2,950	15 - 43	90 - 250
	Average	1,200	33	140

(K. U. Heyer, K. Hupe and R. Stegmann, Proceedings Sardinia 2005.)

- ✓ 極めて長期間(300年程度)の管理を要する→EUは埋立指令(1999)で生物分解性有機物の埋立量削減を目標化。管理の長期化は次世代の負担
- ✓ フラスチック等、生物非分解性有機物は、紫外線、酸化等が主要な分解機構  
→埋立地内では、半永久的に残存する。(Safe Final Sinkに戻せない)

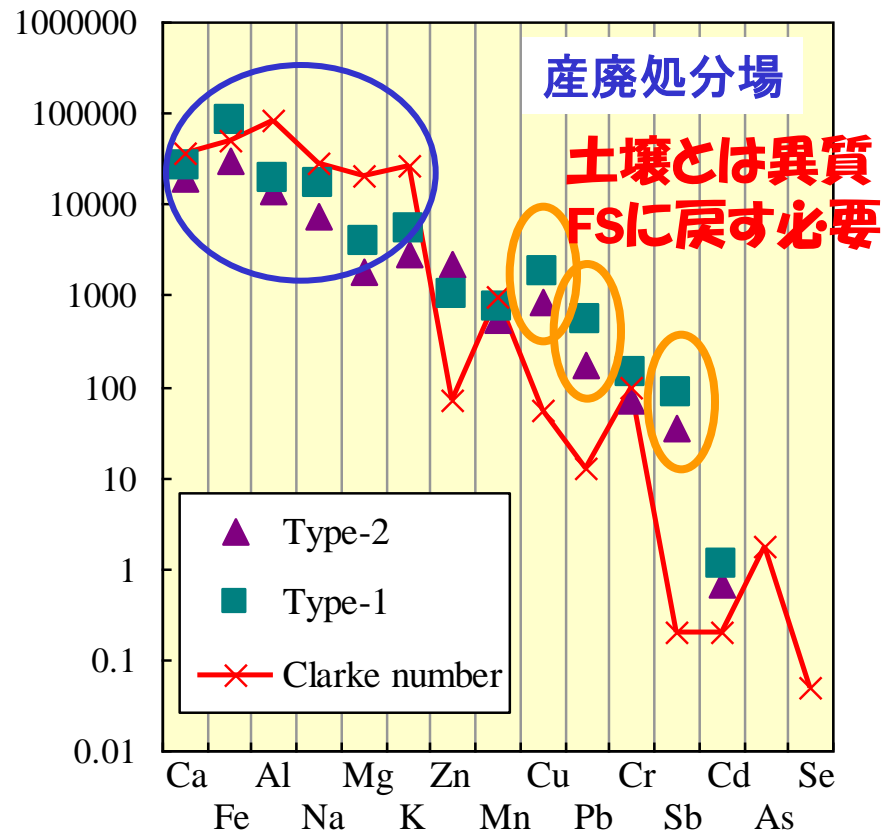
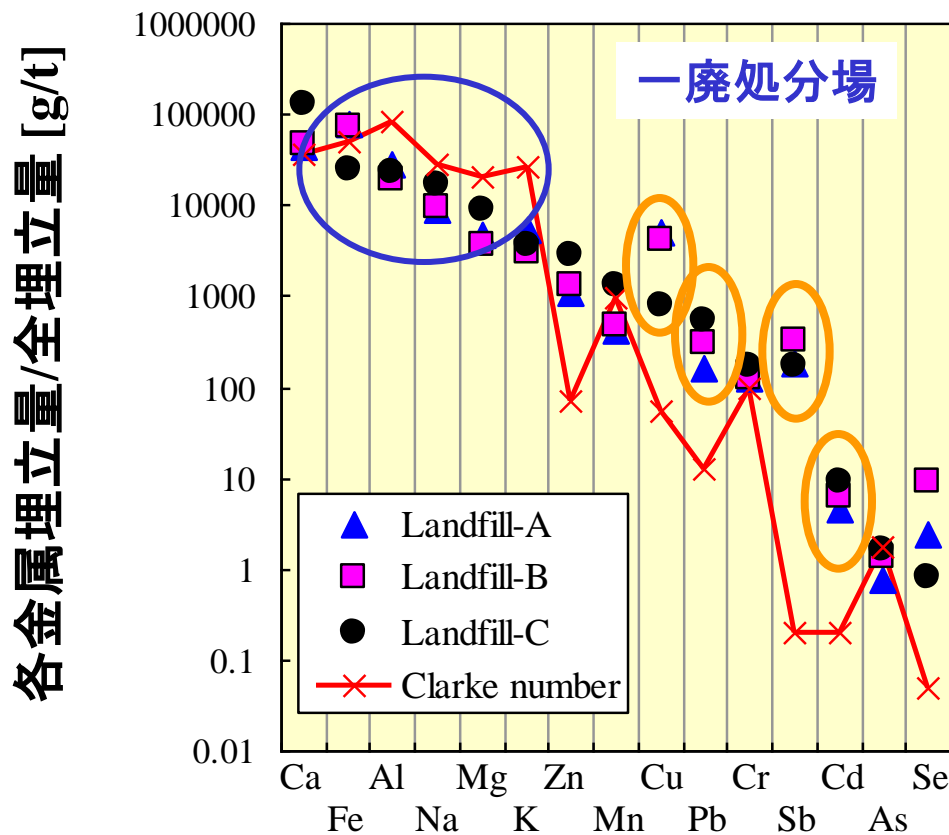
**海面処分場は嫌氣的雰囲気曝されることが不可避**

**→有機物の埋め立ては回避されるべきである。**



# 海面処分場を前提に ・ ・ 無機物

$$\text{金属含有量} = \frac{\text{各金属埋立量 (t/年)}}{\text{全埋立量 (t/年)}} = \frac{\sum (\text{各搬入物金属濃度} \times \text{各搬入物量})}{\text{全埋立量 (t/年)}}$$



**地殻の主要構成元素: Ca, Al, Fe等 処分場の濃度も同レベル  
これらの金属元素は、処分場自体がSafe final sinkと見なせる。**

# 埋立地から重金属は出てくるのか？

## 埋立地の物質収支の検討例

	ガスとして放出	浸出水として 放出	層内残存	文献
有機炭素	22.2%	0.3%	77.5%	1)
	12.0%	1.0%	87.0%	2)
	15.3%	—	84.7%	3)
塩素	0.5%	4.9%	94.6%	1)
	0.0%	3.6%	96.4%	2)
	—	80.0%	20.0%	4)
銅	0.0%	0.0%	100.0%	1)
	—	—	99.0%	2)
	—	1.7%	98.3%	5)
鉛	—	—	99.0%	2)
	—	0.1%	99.0%	4)

1)Baccini et al. (1987) :Data obtained by four real landfill, mass balance after 10 years

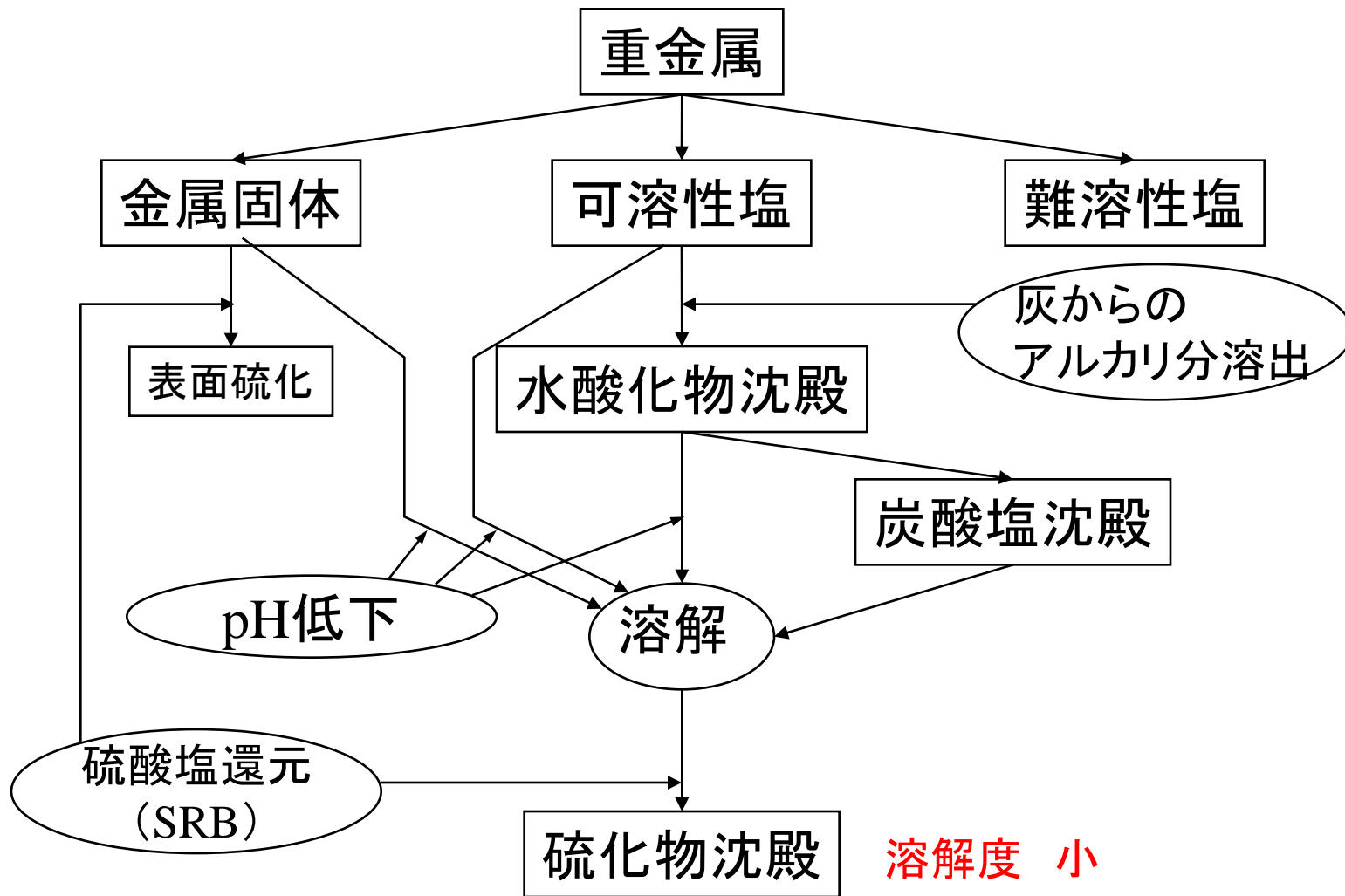
2)Huber et al. (2004) :Mass balance of experimental landfill; 15 years.

3)Micales et al. (1997) :Estimated from the amount of carbon convertible to gas contained in wood and paper of waste.

4)Øygaard et al. (2005) :Calculated from original content in waste and concentration in leachate during 2 years of investigation.

**重金属類は99%が層内に残存するという結果  
埋立地内で重金属類の移動性は低下している(難溶性態化)**

# 埋立地内での重金属類の難溶性態化



田中信寿:環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理、技報堂出版、(2000).

**嫌気性条件下(還元雰囲気下)では、硫化物沈殿を形成して難溶性態化**

# 海面処分場でのCdの挙動（土手ら）

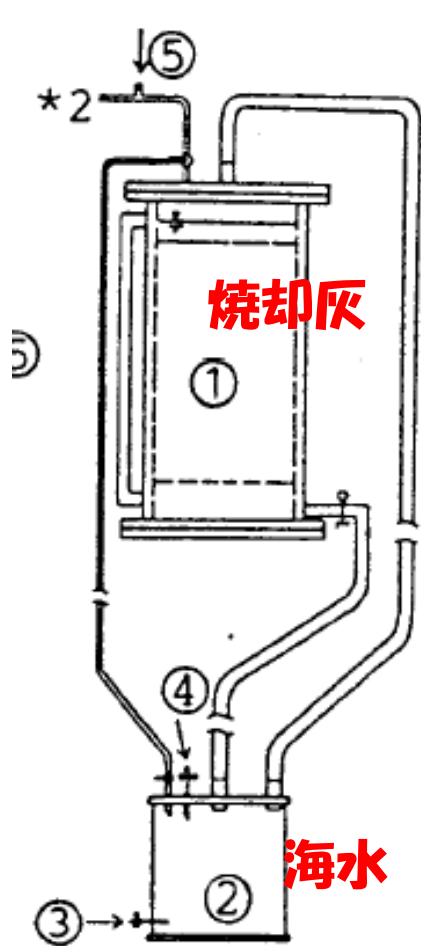
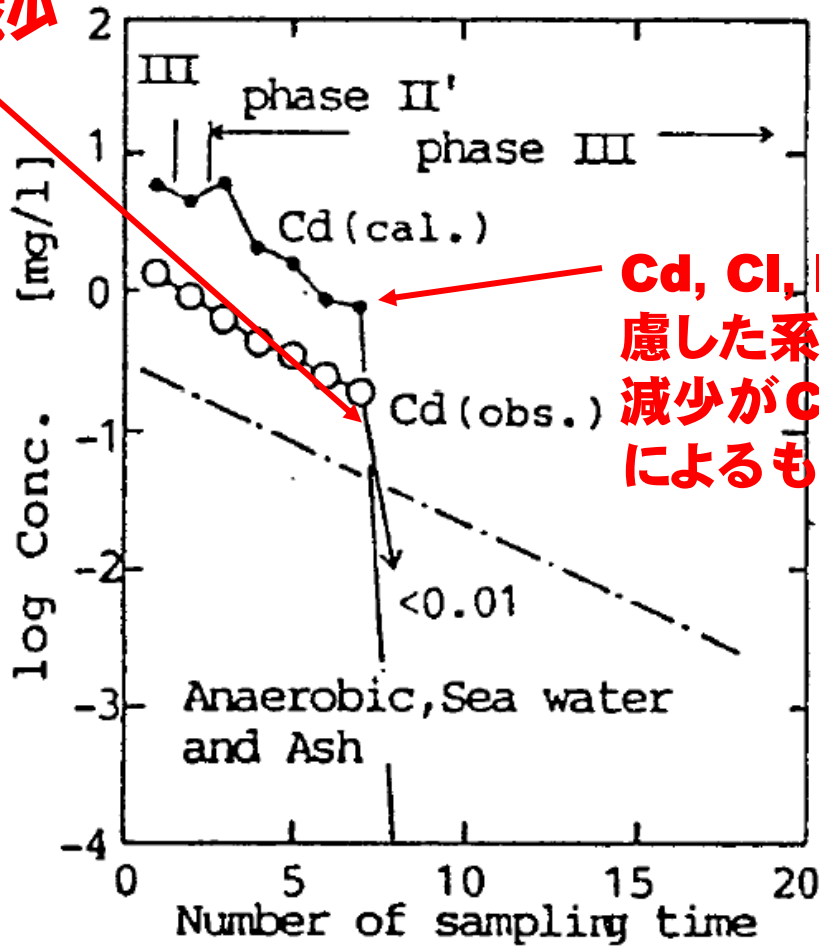


Fig.1(b)  
Anaerobic,  
Sea water

ある時期を境に  
急激な濃度減少



Cd, Cl, IC, Sを考  
慮した系によりこの  
減少がCdSの形成  
によるものと説明

Fig.4(d) Column No.4

# 重金属類の難溶性態化（風化）

## 灰の変質(風化)が重金属の挙動に与える影響

Meima, J.A., Comans, R.N.J., 1997. Geochemical modeling of weathering reactions in municipal solid waste incinerator bottom ash. *Environmental Science and Technology*, 31, 1997, 1269–1276.

風化 (Weathering) は、焼却灰からの有害重金属の溶出に大きな影響を及ぼす。一般に、風化によりPb, Zn, Moの溶出は低下する。この低下は、(a)pHの中性化、そして(b)新たに生成する安定な鉱物への収着によるものである。

A. Saffarzadeh, T. Shimaoka, Y. Wei, K. H. Gardner, C. N. Musselman: Impacts of natural weathering on the transformation/neoformation processes in landfilled MSWI bottom ash: a geoenvironmental perspective, *Waste management*, 31(12), 2440-2454, (2011).

The newly-formed amorphous products (particularly Fe- and Al-hydrates) provide adequate sites to facilitate the sorption of heavy metals of environmental significance such as Pb, Cu, Ni, Zn, and Cr onto their surfaces.

新たに形成される非晶質相(特に、Fe-もしくはAl-水酸化物)は、重金属(Pb, Cu, Ni, Zn, Cr)を収着する多量のサイトを提供している

T. Sabbas, A. Poletini, R. Pomi, T. Astrup, O. Hjelm, P. Mostbauer, G. Cappai, G. Magel, S. Salhofer, C. Speiser, S. Heuss-Assbichler, R. Klein, P. Lechner, Management of municipal solid waste incineration residues, *Waste Management*, 23, (2003), 61–88.

***Weathering*** ; 加水分解、水和、溶解・沈殿、炭酸塩化、有機・無機錯体、表面錯体、表面共沈殿、収着、

***physical changes*** ; 空隙のセメンテーション、粒径や空隙径分布の変化

**海面処分場内での風化変質の研究は無い: 今後の重要な研究課題**

# 海面処分場：物質の自然への返還？

## 有機物の埋立

廃棄物の多くは水面下：嫌氣的雰囲気（還元雰囲気）

自然への返還は可能、但し分解は長期化：維持管理期間の長期化

→有機物の自然への変換手段として適正でない

## 無機物の埋立

地殻に豊富に存在する元素：埋立地自体がSafe final sink

有害重金属類：

廃棄物の多くは水面下：嫌氣的雰囲気（還元雰囲気）

→硫化物として難溶性態化する可能性大、風化変質は知見少ない

永久的に水面下（嫌氣的雰囲気）を維持＝長期間な安定を期待

**Final sinkの概念に基づけば、重金属類の最終的な到達地点は地圏**

” Final Sink may consist of an underground salt mine, an ocean sediment or a place on the globe where sedimentation processes prevail erosion processes.” (P. H. Brunner and U. Kral, 2010)

**海面処分場に極めて近い条件の底泥がSafe final sink**

御清聴ありがとうございました。