

# 管理型産業廃棄物最終処分場における 塩類と金属類の溶出挙動の検討

田中宏和・山崎慶子

Research on Dissolution Behavior of Inorganic Ions and Heavy Metals  
by Leachate Quality of Industrial Waste Landfill

Hirokazu TANAKA, Keiko YAMAZAKI

複数の区分された管理型産業廃棄物最終処分場浸出水の水質濃度から、塩類や金属類の溶出挙動に関する評価を試みた。好気性雰囲気が残る区画でのイオン類濃度上昇は埋立物由来塩分賦存量の増加が原因であり、埋立終了後は速やかに低下した。さらに、埋立終了区画においては、ニッケルとアンチモン、ほう素が経過期間に対して指数関数的低下挙動を示すことが確認された。各成分の溶出挙動はそれぞれ多様であり、埋立層内部の環境変化に対するそれぞれの物理化学的、生物学的特性に関係すると推察された。

## 1. はじめに

管理型最終処分場の安定化は、降水による塩類洗い出しと微生物による有機物分解により進行する。

筆者らは、北陸地方の管理型最終処分場を対象として、2005年から2011年まで浸出水水質のモニタリング調査を実施している。今回は塩類洗い出し効果を検討することを目的とし、水質濃度から塩類や金属類等の溶出挙動の評価を試みたので、得られた知見を報告する。

## 2. 処分場情報と調査方法

### 2.1 調査対象施設の概況

調査対象の処分場埋立地は掘り込み式で、2011年3月現在で6区画が存在する。各区画の埋立時期を表1に、埋立物組成を図1に示す。

調査対象処分場では埋立開始前から区画内に一定水位の降水を溜め、中間覆土は行わずに区画の端から順次埋立を行う方式を採用している。さらに埋立終了後も、埋立層内部は年間を通じて保有水水位が高い状態が続いている。降水量、日照時間、可能蒸発量等から理論的に算出した浸透量は設計水処理能力の範囲内であり、保有水水位が高い原因については、北陸地方の多雨な気候特性や最終覆土の高い透水性などが考えられるが、明らかにはなっていない。

### 2.2 採水方法と調査頻度

浸出水は各区画別に採取し、それぞれの区画番号を浸出水名とした。ただし、第3区画は集水管が2系列あるためNo.3-1、No.3-2とした。本報では2005年4月から2011年7月までの約3ヶ月間隔、計26回の調査データについて評価を行った。

### 2.3 水質評価項目

評価項目は塩化物イオン(Cl<sup>-</sup>)、硫酸イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、炭酸水素イオン類(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)、ナトリウムイオン(Na<sup>+</sup>)、カリウムイオン(K<sup>+</sup>)、カルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)、マグネシウムイオン(Mg<sup>2+</sup>)、アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、マンガ

表1 各区画の埋立時期

(2011年3月現在)					
区画	深さ(m)	埋立開始	埋立終了	埋立期間	終了からの期間
1	3.5	1982年12月	1988年3月	5年4ヶ月	23年
2	6	1988年3月	1990年9月	2年7ヶ月	20年6ヶ月
3	6	1990年9月	1995年5月	4年9ヶ月	15年10ヶ月
4	6	1995年6月	2000年12月	5年7ヶ月	10年3ヶ月
5	6	2001年1月	2009年5月	8年5ヶ月	1年10ヶ月
6	6	2008年3月	—	—	—

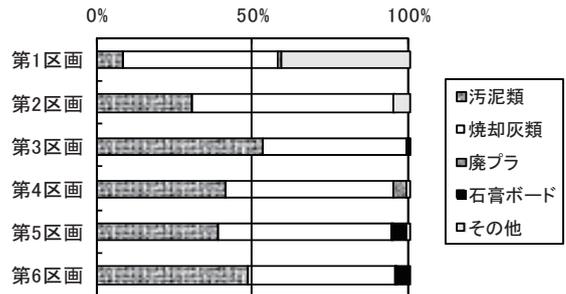


図1 埋立物組成 (重量換算)

(Mn)、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)、アンチモン(Sb)、ほう素(B)、砒素(As)とした。

分析方法は原則として日本工業規格 JIS K0102 に準拠し、機器分析は主にイオンクロマトグラフ法と ICP 質量分析法を用いたが、炭酸水素イオン類は滴定法により、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>はイオン電極法により分析した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 イオン類の溶出挙動

浸出水中のイオン類の溶出挙動については過去に複数の研究報告がある<sup>1)~3)</sup>。それらによれば、埋立層内雰囲気が好気性に保たれる埋立途中期間では、埋立物由来の塩類賦存量増加に伴い濃度上昇がみられ、さらに埋立終了後においては、Cl<sup>-</sup>とNa<sup>+</sup>は有機物分解や化学的变化に伴う埋立層内の環境変化の影響を受けにくいこと、指数関数的な濃度低下挙動を示すが、Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>は埋立層内が嫌気化して還元状態に移行すると、難溶塩の形成や廃棄物層への再吸着により、溶出しにくくなることが報告されている。

本調査で得た各種イオン類の濃度結果を縦軸に、埋立開始からの経過月数を横軸にプロットした。

Cl<sup>-</sup>は、埋立途中では一次関数的上昇を示し、埋立終了後では指数関数的低下を示した(図2)。他の易溶出性イオン(Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>)も同様な挙動が確認された(図3、図4)。

一方、Ca<sup>2+</sup>は、埋立途中では一次関数的上昇がみられるが、埋立完了後の相関性はなかった(図5)。他の二価イオン(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Mg<sup>2+</sup>)も同様な挙動を示し、これらの結果は過去の報告と矛盾しない(図6、図7)。

ここで特筆すべきは、第5区画における埋立終了直後の濃度変化で、100カ月経過付近でNo.4浸出水と同程度まで急低下しており、埋立物由来塩類の補給が停止されたことが原因と考えられる。調査対象処分場の埋立深さは他の一般的な管理型処分場に比べて浅く、埋立が終了した時点においては、未だ埋立層内の嫌気化は部分的に進行途中で、

酸化性雰囲気も多く残すと考えられる。そのため、二価のイオンも未だ難溶塩に形態変化しておらず、イオン態で存在するものが多いことや、水中に直接埋立していることから容易に水に接触して溶出しやすいため、易溶出性イオンだけでなく二価イオンについても、速やかな濃度低下がみられたと考えられる。

また、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>についても、埋立途中での一次関数的上昇と、埋立終了後の急激な濃度低下が確認された。このことは、埋立途中期間のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の溶出は、窒素含有有機物の分解物だけでなく、埋立物中に含まれていた易溶性NH<sub>4</sub><sup>+</sup>も関係することを裏付けている(図8)。

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>+CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>は濃度がNo.5に比べてNo.4浸出水の方が高く、埋立物中に塩として含まれていたかは判断できなかった(図9)。

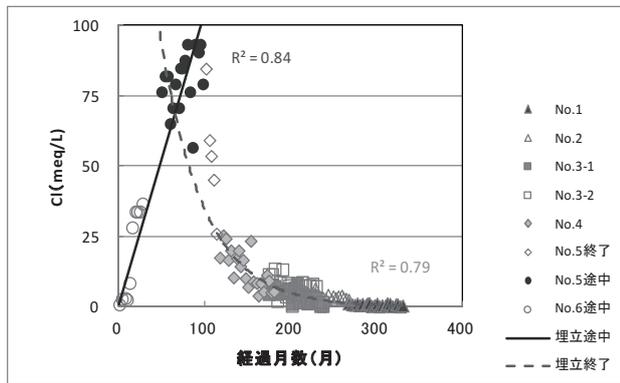


図2 塩化物イオンの経月変化

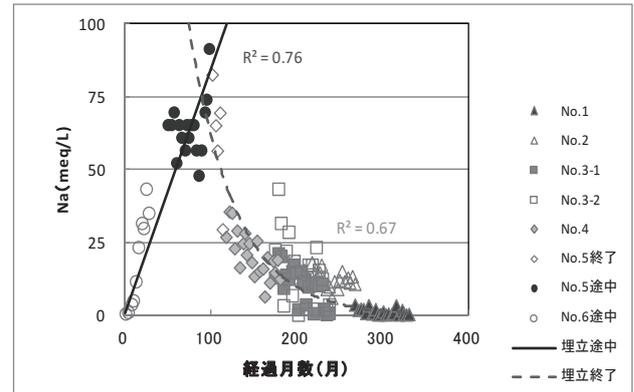


図3 ナトリウムイオンの経月変化

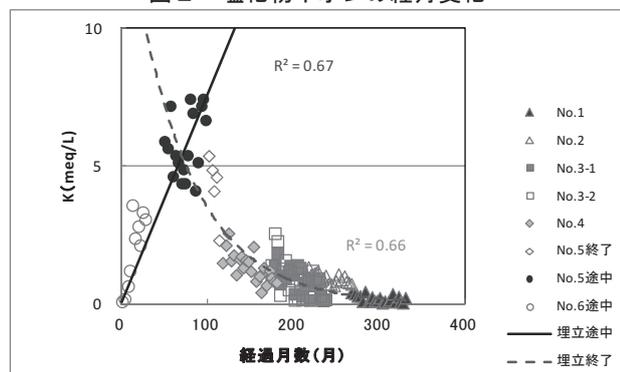


図4 カリウムイオンの経月変化

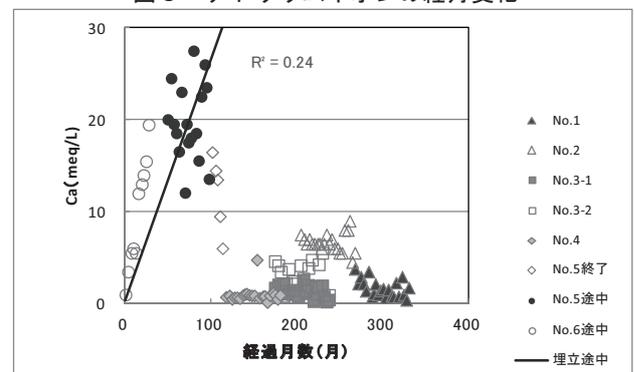


図5 カルシウムイオンの経月変化

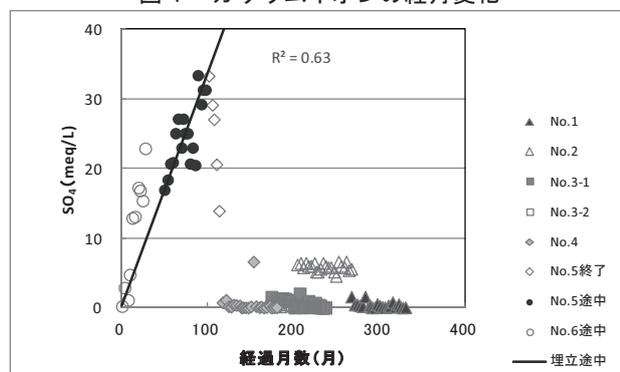


図6 硫酸イオンの経月変化

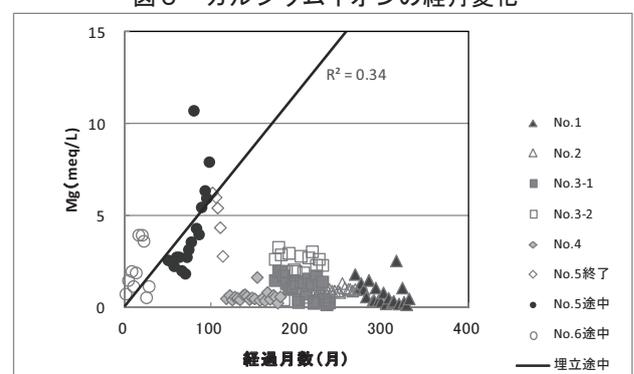


図7 マグネシウムイオンの経月変化

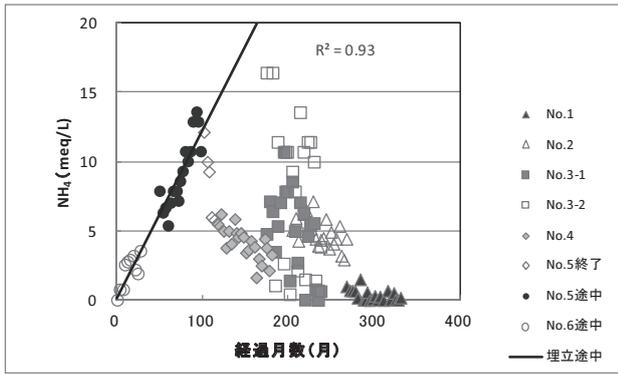


図8 アンモニウムイオンの経月変化

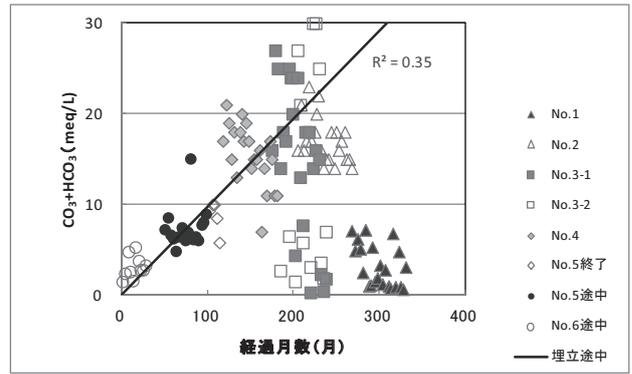


図9 炭酸水素イオン類の経月変化

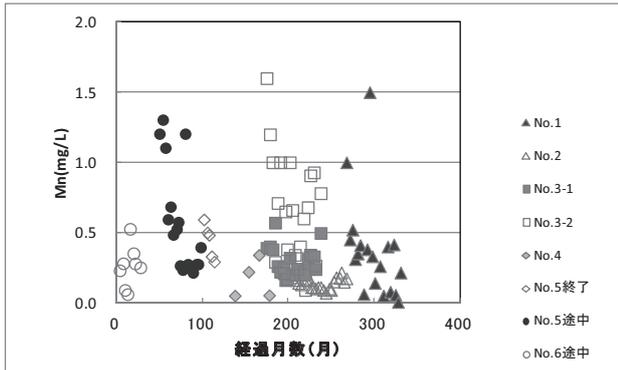


図10 マンガンの経月変化

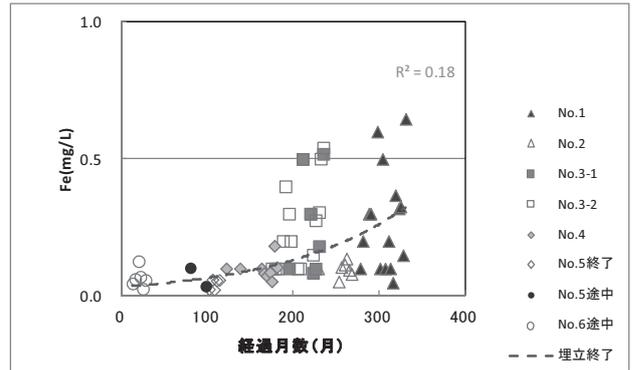


図11 鉄の経月変化

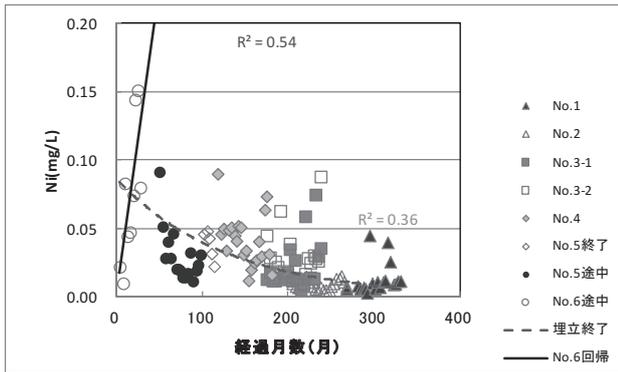


図12 ニッケルの経月変化

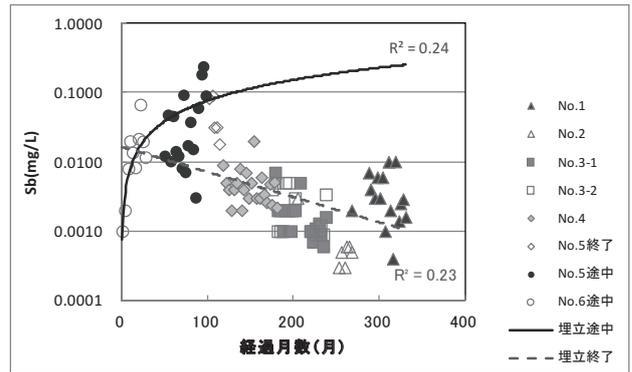


図13 アンチモンの経月変化

### 3.2 金属類の溶出挙動

浸出水中の重金属類濃度については、処分場安定化の指標とすることは困難とした報告があるが、Mn濃度について経過期間に伴う指数関数的な濃度低下挙動を確認した報告事例もあり、筆者らも過去にNiの濃度低下について報告している<sup>4)~6)</sup>。

一般的に埋立廃棄物中に多量に存在するMnとFeは、本調査では経過期間と濃度の間に規則的な関係は確認されなかった(図10、図11)。特にFeについては、回帰曲線が経過期間とともに右肩上がりする傾向はみられたが、相関性が低いことや各区画間の連続性が低いことから、この傾向の信頼性は低いと判断した。

一方、Niについては、過去の報告に比べてデータ数が増加した本報でも、埋立終了後での指数関数的な低下挙動が確認できた(図12)。しかし、埋立途中では第5区画と第6区画が不連続であり、規則的な挙動はみられなかった。

Niと同様に、埋立終了後に指数関数的低下挙動を示し、

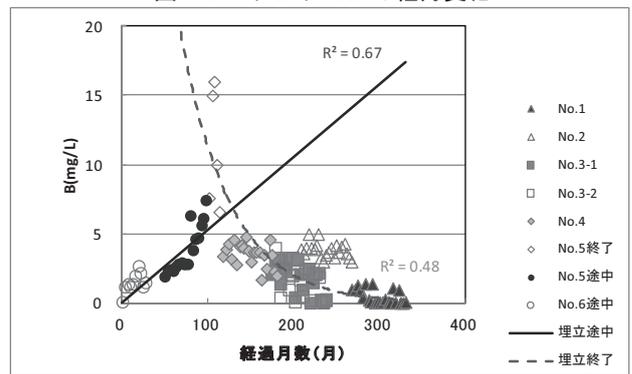


図14 ほう素の経月変化

かつ、イオン類と同様に埋立途中は一次関数的上昇挙動を示した金属としてSbが確認された(図13)。しかし、第2区画から第5区画の濃度低下挙動に対し、第1区画は連続性が低く、その原因は不明であった。

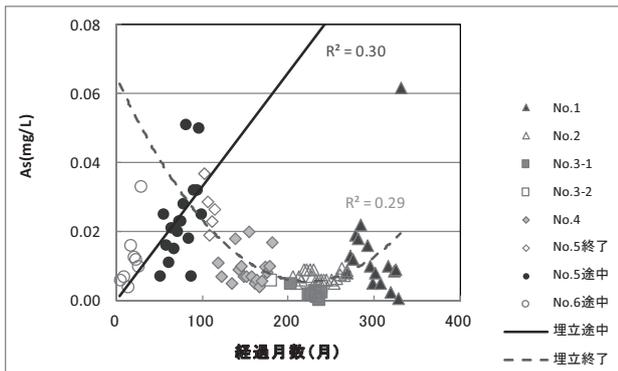


図 15 砒素の経月変化

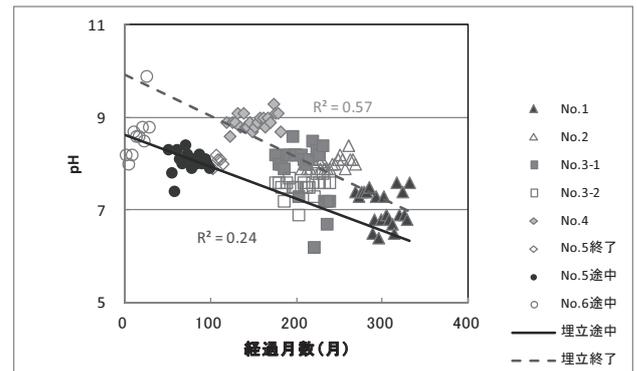


図 16 pHの経月変化

### 3.3 ほう素と砒素の溶出挙動

易溶出性イオンに類似した溶出挙動を示した非金属として B と As が確認された (図 14, 図 15)。

B はイオン類とは逆に、埋立終了直後に一時的な濃度上昇を示しているが、この原因として、B は pH により化学形態が変化し、粒子表面への吸着性が変化することが分かっていることから、埋立終了に伴う層内環境変化が原因と推察された<sup>7)</sup>。このことは、100 ヶ月経過付近の第 5 区画と第 4 区画の pH が不連続に異なることから示唆される (図 16)。

As は埋立終了後の濃度低下が指数関数的ではなく、250 ヶ月から 300 ヶ月経過付近で増加し、その後低下した。また、Sb とは異なり、経過期間に対しての連続性がみられることから、何らかの原因で As の溶出が一時的に増加したと考えられる。第 1 区画は埋立終了から 20 年以上経過し、安定化に伴い埋立層内が還元性雰囲気から酸化性雰囲気へと回復する時期であることから、その環境変化に敏感に反応していることが推察される。

### 3.4 溶出挙動に及ぼす影響

上述してきたとおり、成分の種類によって、それぞれの溶出挙動は異なることが分かった。これは、埋立層内部の環境変化に対する各成分の物理化学的、生物学的特性が異なるためと推察される。つまり、元素特有のイオン化エネルギーや化合物を生成する際の活性化エネルギー、硫酸還元菌に代表されるような微生物の働きにより、嫌気性雰囲気による形態の変化、還元性雰囲気での硫化物や炭酸塩等の難溶塩の形成しやすさ、また、酸化性雰囲気に回復した際の難溶塩の解離しやすさ、周辺 pH による形態の変化等が各成分で異なり、その結果、同じ条件においても溶出能が異なるため経過期間に対する溶出挙動が異なるものと考えられる。

## 4. まとめ

好気性雰囲気が残る埋立区画における浸出水中イオン濃度の上昇は埋立物由来塩分賦存量の増加が原因であり、埋立終了後は速やかに低下した。

一方、嫌気性雰囲気における埋立区画においては、易溶出性のイオン類は経過期間とともに指数関数的な濃度低下を示したが、二価イオン類は規則的な挙動はみられなかった。イオン類以外では、Ni と Sb、B で指数関数的低下挙動が確認され、As も連続的な低下挙動が確認された。

最終処分場埋立地から浸出水への溶出挙動は、埋立層内部の環境変化に対する各成分の物理化学的、生物学的特性が関係すると推察された。今回、埋立終了後の区画において、経過期間に伴う連続的な溶出挙動を示した成分については、埋立層内の酸化還元雰囲気の変動影響を受けにくい可能性があり、今後さらなる検討を行いたい。

## 謝辞

本研究は、特別電源所在県科学技術振興事業「安定化の促進と安全な跡地利用のための最終処分場の分析評価と技術開発」の一環として実施した。ご指導いただいた国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター廃棄物適正処理処分研究室の山田正人室長、遠藤和人主任研究員、石垣智基主任研究員、そして、調査にご協力を賜りました関係者の方々に深謝いたします。

## 参考文献

- 1)長森正尚他：浸出水の水質経年変化,埼玉県公害センター研究報告,21,49-65(1994)
- 2)柴田公子他：一般廃棄物最終処分場における浸出水の水質の推移について,山口県衛生公害研究センター業績報告,18,56-59(1997)
- 3)福井 博他：最終処分場浸出液の水質の経年変化,全国環境研究会誌,29,162-166(2004)
- 4)栃木県保健環境センター化学部,最終処分場浸出水の水質経年変化について,栃木県保健環境センター年報, 3, 110-112(1998)
- 5)栗原正憲他：最終処分場浸出水の成分濃度の時系列変化と降水量の関係,第 18 回廃棄物学会研究発表会講演論文集,707-709(2007)
- 6)田中宏和他：産業廃棄物最終処分場 (管理型) における経過期間と浸出水水質の関係,福井県衛生環境研究センター年報, 6,43-46(2007)
- 7)森田昌敏他：廃棄物埋立処分における有害物質の挙動解明に関する研究,独立行政法人国立環境研究所特別研究報告 S-R40-2001,9-22(2001)