

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：82405

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16149

研究課題名(和文) 将来の埋立廃棄物の変質を見据えた最終処分場における埋立廃棄物の安定化評価

研究課題名(英文) Evaluation of waste stabilization in a landfill site looking toward future waste quality change

研究代表者

磯部 友護 (Isobe, Yugo)

埼玉県環境科学国際センター・資源循環・廃棄物担当・専門研究員

研究者番号：50415387

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：将来、埋立廃棄物の質と量が変化する可能性を考慮した最終処分場における安定化挙動を把握するために、最終処分場内部でのモニタリングを行った。その結果、焼却残さと不燃残さの混合割合の変化に伴いメタンガスや水素ガスの発生濃度の変化が確認され、埋立廃棄物の質変化が安定化挙動に影響を与えることが示された。また、内部温度やメタンガス濃度の経時変化から、埋立終了1～2年後には安定化プロセスにおけるメタン生成定常期に移行していることが明らかになった。さらに、最終処分場の冠水が安定化挙動に与える影響や、飛灰固化物の埋立による安定化遅延に関する知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：Observations at several landfill insides were conducted in order to evaluate of waste stabilization looking forward future waste quality change. Our results revealed that the mixing ratio of incineration ash and incombustible residue affected the concentration of methane and hydrogen gaseous generated from waste. And we concluded that these landfill sites were in the phase of steady-state methane formation one to two years after landfilling operation by the temporal change data of inner temperature and methane concentration. In addition, we evaluated not only the influence on waste stabilization of overhead flooding at landfill, but also the delay of waste stabilization by landfilling chemical treated incineration fly ash.

研究分野：廃棄物工学

キーワード：埋立地の安定化 廃棄物 モニタリング

### 1. 研究開始当初の背景

循環型社会形成推進基本計画や各種リサイクル法が整備されたことにより、廃棄物を循環資源として再生利用する様々な技術システムが開発、導入され、廃棄物の発生抑制、リサイクルといった 3R が着実に推進されてきている。廃棄物の排出量が漸減していることから最終処分場（以下、処分場）への埋立量も減少し、処分場の残余年数は延び、延命化が進む好循環を維持している。また、近年では焼却残さのセメント原料化も進みつつあり、処分場における埋立廃棄物の質的变化が今後顕著になっていくと予想される。既に埼玉県内のある処分場においては、焼却残さよりも不燃残さの割合が増えるという逆転現象が起こっている（図1）。

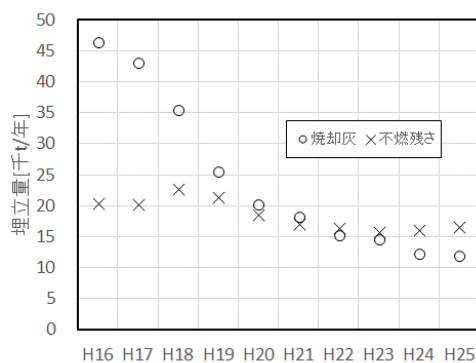


図1 埼玉県内のある最終処分場における埋立量の推移

しかしながら、処分場の延命化は閉鎖までの期間が延びることと同義であり、埋立作業や浸出水処理、モニタリングといった維持管理の長期化や、それに伴う費用の増大といった潜在的な問題を抱えることにもなる。また、埋立廃棄物の質的变化は浸出水処理や処分場内部の安定化状況に影響を及ぼすことが予想される。

### 2. 研究の目的

上述したように今後、循環型社会の進展に伴い、埋立量の減少と質的变化はさらに顕著になっていくとも考えられる。長期間にわたり維持しなければならない処分場を適切に管理していくためには、埋立廃棄物の質的・量的な変化を見据え、処分場内部の廃棄物がどのように、どの程度の期間で安定化していくかを把握することが非常に重要な課題となる。そこで本研究では、実際の処分場内に1~2年の短期間で評価が可能な試験エリアを設置し、各種のモニタリングを実施することで、現在から将来に渡る埋立廃棄物における処分場内での安定化を評価することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 3-1. 調査対象

本研究では埼玉県内で運用中の3つの処分場を対象とした。A処分場は管理型処分場で

あり一般廃棄物の焼却残さと不燃残さ、産業廃棄物の燃えがらと廃プラが主な埋立物である。B、C処分場は一般廃棄物処分場であり、B処分場は焼却残さのみ、C処分場では飛灰固化物と熔融スラグのみをそれぞれ埋め立てている。

#### 3-2. カラム試験による溶出挙動

A~C処分場の埋立物の溶出挙動を把握するため、カラム試験を行った。それぞれの処分場において、搬入時に廃棄物を採取し、10mm以下に粒度調整したものを試験用の試料とした。

実験概要を図2に示す。カラムには内径

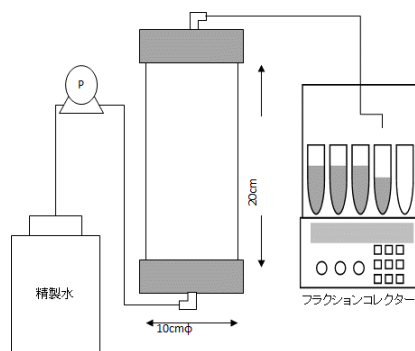


図2 カラム実験概略

100mmφ、高さ20cmの透明塩ビ管を用いた。試料の充填体積は1.57Lとした。試料は突き固めながら充填し、充填量はそれぞれ1970g、充填密度は1.26g/cm<sup>3</sup>とした。カラム下部よりペリスタリックポンプで精製水を通水し、カラム上部からの流出水を一定時間ごとに採取し、pH、電気伝導率(EC)、各イオン濃度を測定した。通水速度は1.4mL/min(降雨強度10mm/h)とした。上述したようにA処分場では焼却残さと不燃残さの埋立割合が変化していることから、2013、2008、2003年度(平成25、20、15年度)における埋立廃棄物の割合を模した条件をそれぞれRun1、2、3として実験を行った。また、B処分場では焼却残さのみ、C処分場では飛灰固化物と熔融スラグを埋立割合を模した条件をそれぞれRun4、5とし、同様に実験を行った。

#### 3-3. 処分場におけるモニタリング

##### (1) A処分場

最終層(中間覆土厚さ0.5m、廃棄物層厚さ2.5m)において2015、2016年度の埋立管理記録から焼却残さの埋立割合が異なる6箇所のセル1~6を選定し(表1)、それぞれのセルにモニタリング設備を深度1.0、2.5mにそれぞれ設置した。設置にはエンジン式のパーカッション採土器(DIK-121E、大起理化学工業)を用いて穿孔(約60mmφ)を行い、それぞれの設備を埋設した。モニタリング設備は、内部の温度、含水率、電気伝導率を測定するためのセンサー、内部ガスを採取するための

表 1 A 処分場におけるセルの概要

セル番号	埋立日	埋立量 [t]	一般廃棄物	
			焼却残渣	不燃残渣
1	2015/6/25	13.2	11	57
2	2015/6/11	15.9	35	31
3	2015/5/22	16.8	41	33
4	2016/6/1	11.8	14	44
5	2016/6/7	12.4	33	33
6	2016/6/6	13.2	40	27

単位[%]

観測井, 内部間隙水を採取するための間隙水採取器で構成されている。センサーはロガーによる自動計測, 内部ガスはガスモニター (GA5000, Geotech) を用いた現場測定, 間隙水は実験室での化学分析によりそれぞれデータを取得した。

セル 1~3 は埋立終了から約 1 年経過した 2016 年 7 月から, セル 4~6 は埋立終了直後 (約 2 ヶ月後) の 2016 年 8 月からモニタリングを開始した。さらに, 各セルを通過するように設置した探査測線を用いて比抵抗探査モニタリング (Run1~7) も行った。

(2) B, C 処分場

B 処分場では 2015, 2016 年度の埋立区画に, C 処分場では 2016 年度の埋立区画にそれぞれモニタリング設備を設置した。ともに中間覆土は敷設されておらず埋立記録を踏まえ設置深度は 1.0m とした。設備内容や設置方法は A 処分場と同様である。

4. 研究成果

4-1. カラム試験結果

図 3 に Run1~3 における通水量 (液固比) に対する pH と EC の変化を示す。pH は通水 1000mL 以下の初期に 8~9 であり, その後, 増減を経ながらも緩やかに上昇し 10~11 で安定する傾向が, また, EC は通水開始に伴い急激に増加し 600mL (液個比 0.3) 付近でピーク値を示した後, 緩やかに減少していく傾向が, それぞれ Run1~3 に共通して確認された。Run1 では通水量 400mL 付近の初期に pH の一時的な低下が見られたが, Run2, 3 では見られなかった。Run1 の pH の低下に伴う EC の上昇は Stanforth らが示したような理論的分解曲線と同様であり<sup>1)</sup>, 焼却残さの混合割合が小さい Run1 では, 不燃残さ由来の有機物含有割合が大きくなり, 有機物分解の寄与が大きくなったことが一因であると考えられた。他方, Run4 と Run5 はともに液固比 10 を越えても pH が 12 を維持しており, 不燃残さを含まない場合, 高アルカリの状態が続くことが示された。また, Run5 の EC は Run1~3 と同時期にピーク値を示したが Run1~3 の 25 倍以上の 40S/m と極めて高い値を示すことが明らかとなった。

通水量に対する塩化物イオン濃度変化を見ると, ナトリウムイオン, カリウムイオン, 塩化物イオンともに EC の変動パターンと非常に近似しており, 溶出開始とともに急激に濃度上昇し, 通水量 600mm 付近でピークが

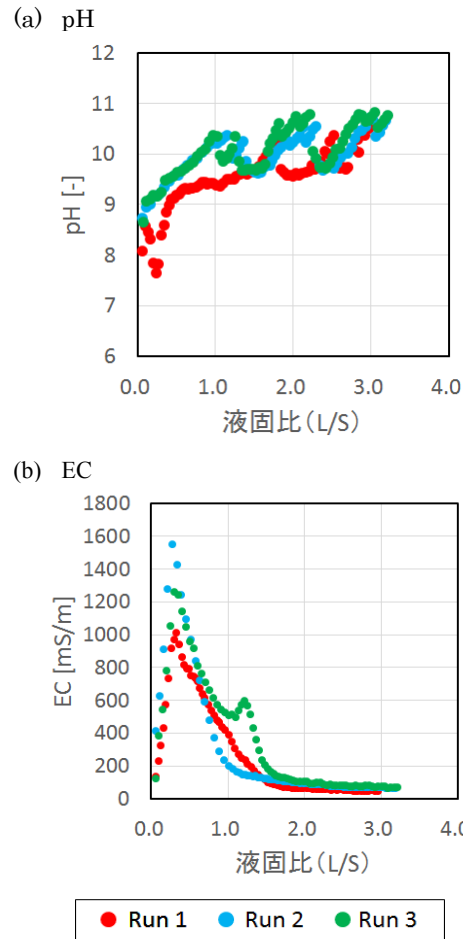


図 3 カラム試験結果

出現した後に緩やかに減衰し通水量 3000mm 後にはピークは消失していく傾向が示された。また, 本調査で分析したイオン種 (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) によるピーク位置のずれは見られなかった。さらに, ピーク値, 減衰速度, 減衰後の濃度推移における Run1~3 の順もカルシウムイオンを除き, EC と変動パターンと同一であった。さらに, Run1~3 において測定した溶出濃度に通水量を乗じ得られた溶出量と焼却残さの混合割合との関係を求めたところ図 4 に示すようにイオン類については高い直線性が得られ, イオン成分の溶出量は焼却残さからの寄与が大きく, その混合割合と相関があると示唆された。他

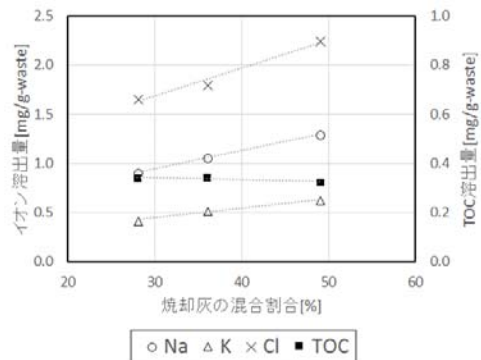


図 4 焼却残さの混合割合に対する溶出量

方，全有機炭素（TOC）にはこのような関係が見られなかった。

これらのことから，処分場内部の溶出挙動は埋立廃棄物の質に大きく依存し，不燃残さの割合が大きいほどイオン類の溶出量は低減するものの有機汚濁成分についてはその限りではないことが明らかになった。不燃残さには洗剤やパーソナルケア製品といったプラ製品由来の残存有機物が含まれていることが筆者らの別の研究により明らかになっており，今後，不燃残さの埋立割合が多くなることにより，相対的に有機汚濁負荷が上昇する可能性が示唆された。

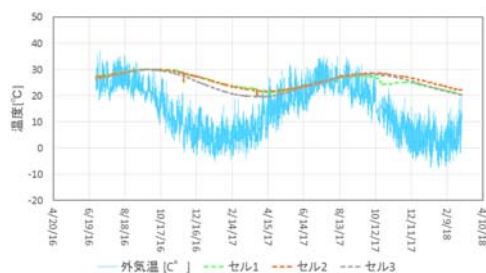
#### 4-2. モニタリング結果

本稿では主に定常的にデータが取得できた内部温度，内部ガス，比抵抗分布について報告する。

##### (1) A 処分場

**内部温度：**内部温度のモニタリング経過においては，いずれのセルも深度 1.0m では外気温に追従した温度変化を示した。一方，深度 2.5m を見ると，セル 4～6 では埋立直後には約 40℃であったものの約 1 年後には 30℃以下まで低下していた（図 5）。セル 1～3 では

(a) セル 1～3（深度 2.5m）



(b) セル 4～6（深度 2.5m）

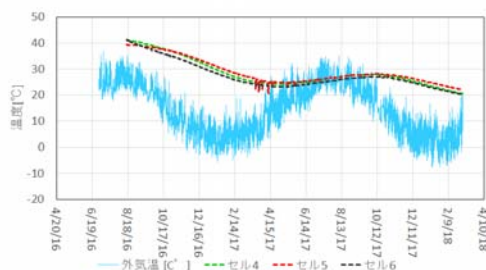
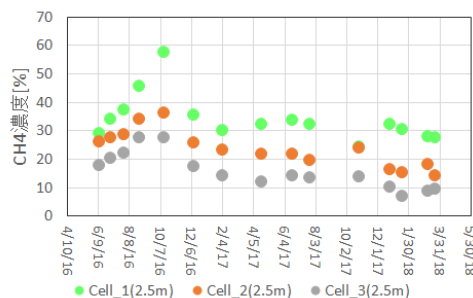


図 5 A 処分場における内部温度変化

冬季に低く夏季に高いという変動を有するもの 20～30℃の範囲で安定していた。このことから，埋立開始約 1 年後には内部温度は安定化することが示された。また，焼却残さの埋立割合が多いセルのほうがわずかに温度が低くなっていた。

**内部ガス：**全てのセルにおいて二酸化炭素は検出されず，焼却残さによる中和の影響が示唆された。深度 2.5m におけるメタン濃度を図 6 に示す。メタンはモニタリング開始後にピークを示したものの，その後は各セルにおいて一定の値で推移していた。さらに，酸素はほとんど検出されなかったことから，埋立

(a) セル 1～3（深度 2.5m）



(b) セル 4～6（深度 2.5m）

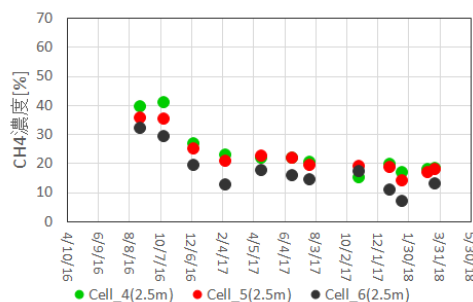
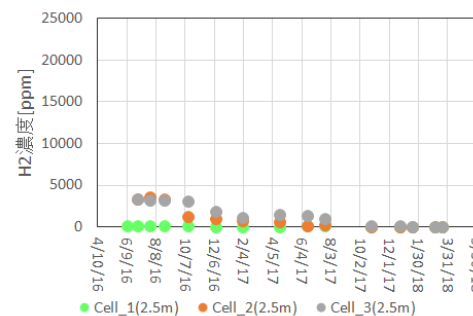


図 6 A 処分場におけるメタン濃度変化

(a) セル 1～3（深度 2.5m）



(b) セル 4～6（深度 2.5m）

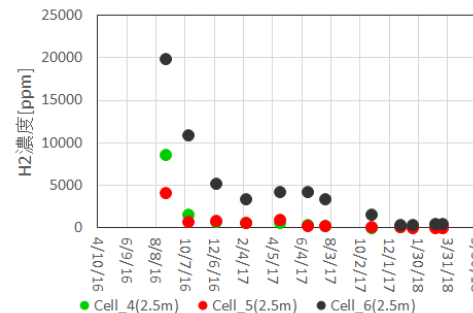


図 7 A 処分場における水素濃度変化

層内の安定化プロセスにおけるメタン生成安定常期に速やかに移行している可能性が示された。次に，深度 2.5m における水素の濃度変化を図 7 に示す。セル 4～6 では埋立直後に 5000～20,000ppm のピーク値を示しその後は減衰し 1 年半後には数百～数十 ppm まで低下していた。この傾向は埋立終了から 1 年経過してからモニタリングを開始したセル 1～3 における濃度と整合していることから，水素の発生は埋立終了から 1 年半程度で安定化することが明らかとなった。



焼却残さの埋立割合に対するガス濃度に着目すると、割合が小さいほどメタン濃度は高く、水素濃度は低くなっていた。これは前項で述べた通り、不燃残さの割合が多くなると残存有機物の影響が大きくなる可能性が高くなる考察と合致しており、将来的にはメタン濃度が微増する可能性を示唆する結果であるといえる。

**比抵抗分布:**セル 1~3 を通過するように設置した探査測線における比抵抗探査について、一例として Run1 の結果を図 8 に示す。セル 1 が位置する領域では比抵抗は 75~150Ωm が支配的であったのに対し、セル 3 が位置する領域では 30~75Ωm の比抵抗が支配的となる結果が示された。焼却残さの混合割合が小さければセル内の塩類含有量も小さくなるため、また、不燃物の含有割合が高くなれば透水性が上がり含水率が低下するため、セル 3 よりもセル 1 のほうが高い比抵抗を示したと考えられ、埋立廃棄物の質的相違が比抵抗に影響していることが明らかにされた。また、モニタリングによる比抵抗変化率を求めた。一例として 643 日後の Run7 における結果 (Run7/Run1) を図 9 に示す。強雨イベントによって水分が下方へ移動することに伴う含水率低下と洗い出しの進行状況を可視化できる可能性が示された。

(2) B 処分場

B 処分場では台風等の影響によりモニタリング期間中に一時期冠水してしまう特殊な状況が発生した。このため、メタン及び二酸化炭素は検出することができなかったものの、非冠水期間の水素濃度は 1 年経過後でも 10000ppm 以上の高い値であった。また特筆すべき事象として、EC のモニタリング結果を見ると、冠水状況が改善された後は内部の電気伝導率が低下し、洗い出しが著しく進行することが確認された (図 10)。このことは、浸出水中の化学物質濃度が著しく上昇する

ことを示しており、浸出水処理施設への負荷が急激に高まる可能性を示唆している。近年、ゲリラ豪雨等の強雨イベントの発生頻度が高まっており、このような処分場の冠水事案は今後増えることが予想されることから、冠水対策とともに水処理施設の運転管理にも

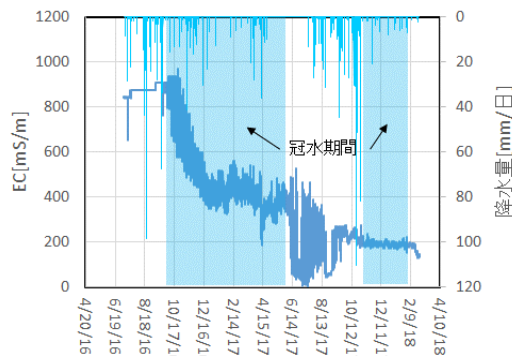


図 10 B 処分場における EC

留意が必要であるといえる。

(3) C 処分場

飛灰固化物と熔融スラグのみを埋め立てている C 処分場では、メタンや二酸化炭素は検出されず水素ガスもピーク値で約 600ppm と A, B 処分場に比べ低い値であった。他方、カラム試験と同様に EC が非常に高く、モニタリング期間中はセンサーの測定上限 (1S/m) を下回ることがなく (図 11)、安定化は遅くなる可能性が示された。焼却残さのリサイクルが進んでいく将来において、相対的に処分場への飛灰の埋立割合の増加が予想されるだけでなく、飛灰を埋め立てていなくとも今後は飛灰を受け入れていかざるを得ない状況の処分場も出てくる可能性が考えられる。このことは今後の処分場維持管理において、認識すべき課題となるといえる。

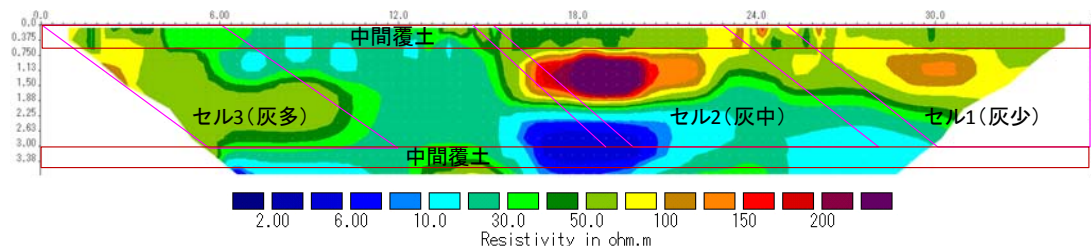


図 8 A 処分場における比抵抗探査結果 (Run1)

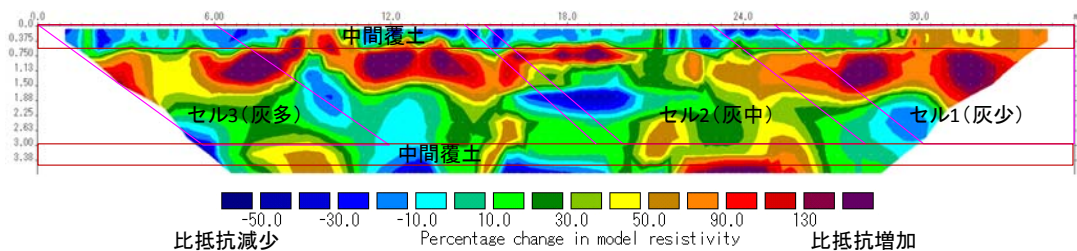


図 9 A 処分場における比抵抗変化率 (Run7/Run1)

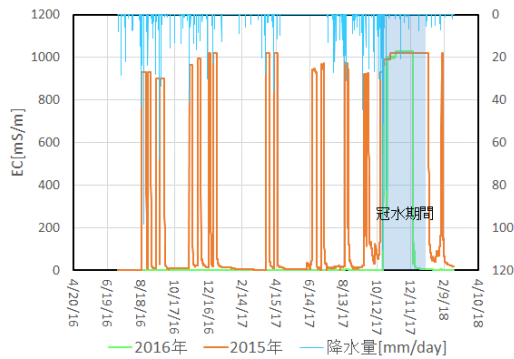


図 11 C 処分場における EC

#### 4-3.まとめと今後の課題

実際の埋立廃棄物を用いたカラム試験から廃棄物の種類や混合割合に対する溶出挙動が明らかになった。さらに、実際の処分場でのモニタリング結果から、A 処分場では埋立終了後 1~2 年ですでに安定化プロセスにおけるメタン生成定常期にあることが明らかにされた。さらに、焼却残さの埋立割合によってメタン、水素の発生濃度に差が見られたことから安定化挙動が異なることや、比抵抗モニタリングにより安定化の重要な因子である水分移動に伴う洗い出しの進行状況を可視化できることを明らかにした。また、B 処分場のモニタリングからは冠水状態が洗い出しに与える影響を、C 処分場のモニタリングからは飛灰固化物の埋立による安定化遅延の可能性を、それぞれ明らかにした。これらの結果より、焼却残さリサイクルが進んでいく今後の循環型社会における処分場の安定化挙動を把握することができただけでなく、ゲリラ豪雨といった異常気象が維持管理に与える影響についての知見も得ることができた。

今後の課題として、メタン生成定常期がいつ収束するのか等、中長期的なモニタリングを継続していく必要がある。

#### <引用文献>

- 1) R. Stnforth et.al., Development of a synthetic municipal landfill leachate (1979), J. Water Pollution Control Federation, Vol. 51, No. 7, pp. 1965-1975

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 3 件)

- ① 磯部友護, 川寄幹生, 渡辺洋一, 埋立廃棄物の質的变化に対応した埋立地の安定化評価に関する基礎的検討, 第 37 回全国都市清掃研究・事例発表会 (2016.1)
- ② 磯部友護, 川寄幹生, 鈴木和将, 焼却残渣の埋立割合が異なる埋立地の安定化に関する研究, 第 38 回全国都市清掃研究・事例発表会 (2017.1)
- ③ 磯部友護, 川寄幹生, 鈴木和将, 埋立廃棄物の質的相違を考慮した最終処分場の

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

磯部 友護 (ISOBE, Yugo)

埼玉県環境科学国際センター 資源循

環・廃棄物担当 専門研究員

研究者番号: 21760686