

## 埋立終了した廃棄物最終処分場の安定化に関する調査

Survey on the stabilization of a closed sanitary landfill

室蘭工業大学大学院 ○学生員 岩佐 真有 (Mayu Iwasa)  
室蘭工業大学大学院 学生員 笹山 陽子 (Yoko Sasayama)  
室蘭工業大学 正員 吉田 英樹 (Hideki Yoshida)  
室蘭工業大学 正員 穂積 準 (Hitoshi Hozumi)

## 1. はじめに

近年、埋立が終了した廃棄物処分場に起因する周辺環境汚染が懸念されており、こういった汚染リスクを低減するためにも処分場の早期安定化が求められる。

平成10年6月に廃棄物最終処分場の廃止基準の概要（一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令）が制定された。これは最終処分場の環境安全性を検証するためのものであり、安定化を判断するための指標として、埋立地内部温度、埋立ガス、浸出水水質が規定されている。

本研究では、廃止を計画している最終処分場において内部温度・埋立ガスの測定を行い、現状を把握することを目的としている。

## 2. 調査対象最終処分場の概要

処分場平面図を図-1に示した。

調査対象処分場は北海道内にある一般廃棄物最終処分場であり、埋立期間は24年間、平成15年に埋立が終了している。当該処分場は、事業系及び家庭系一般廃棄物、下水汚泥を含む産業廃棄物などが焼却処理を経ないで直接埋立てられており、分解性有機物が多量に処分されていた。

平成15年度から各種調査および閉鎖工事が開始され、平成18年12月現在も継続中である。平成16年度までに設置されたガス抜き管（既設ガス抜き管）は17本であり、同年に処分場内部の状況を調査するためのボーリング調査が行われ、5本のボーリング孔が設置された。

平成17年7月からφ200mmの塩ビ管をおよそ50m間隔で設置する整備工が始まり、平成18年12月までに新たに68本のガス抜き管が設置されている（新設ガス抜き管）。

## 3. 処分場の安定化と廃止基準について

最終処分場の安定化とは、処分場の環境安全性が確認され、浸出水処理や埋立ガス排除などの跡地管理（Aftercare）が必要ない状態になることをいう。一般的には、処分場内の有機物の微生物分解反応が終了し、周辺環境への汚染が起こるリスクが十分に小さくなることである。

廃棄物最終処分場の廃止基準として、平成10年6月に最終処分場の浸出水および内部温度、埋立ガスに関する基準が施行された。

## (1) 浸出水

放流水（浸出水処理水）の水質が1年間に少なくとも

2回以上測定され（ただしBOD、COD、SS、Nに関しては1年間に少なくとも4回以上測定）、かつ2年以上にわたって排水基準等に適合していること。

## (2) 内部温度

廃止時に埋立地内部が周辺の地中温度に比べて異常な高温になっていないこと（埋立地内部温度と周辺の地中温度の差が20℃未満）。ここで、本処分場がある地域の年平均気温である6.4℃を地中温度と仮定し、本処分場における内部温度の廃止基準を26.4℃としている。

## (3) 埋立ガス

埋立地からガスの発生がほとんど認められない、またはガスの発生量の増加が2年以上にわたり認められないこと。

## 4. 調査概要

本研究では、平成16年度以降に設置された新設ガス抜き管を調査対象としている。

## (1) 内部温度測定

熱電対式の測定器を用いて、地表面から深さ方向へ1m間隔でガス抜き管の内部温度の測定を行った。測定は平成16年7月から開始し、1~2ヶ月に1度の頻度で行っている。

## (2) 埋立ガス測定

ガス測定器（GA2000）を用いて、ガス抜き管内の約50cmの位置で二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）、メタン（CH<sub>4</sub>）、酸素（O<sub>2</sub>）、BALの4項目に関してガス成分測定（%）を行った。ガス成分中にあるBALとは酸素、メタン、二酸化炭素以外の成分を表しており、今回は窒素と考えると計算に使用した。

## 5. 内部温度・埋立ガスの調査結果

図-1に処分場平面図と併せて、微生物反応領域分布とガス抜き管内の埋立ガスの成分割合を示した。

11月までに行った調査の結果、ガス抜き管内部温度と埋立ガス（CH<sub>4</sub>）のデータから微生物反応領域を分けると、4番ラインと5番ラインのガス抜き管付近が、高温（40℃以上）・低メタン（20%以下）で好気性反応領域、その下側に位置するガス抜き管（図-1のA31やA41付近）が低温（15℃以下）・高メタン（40%以上）で嫌気性反応領域であると考えられる。

各反応領域に位置している代表的なガス抜き管の埋立ガス成分の円グラフを示した。これを見ると、好気性反応領域ではメタンガスは0.6%で、逆に嫌気性反応領域ではメタンガスが51.6%となっている。また、中間的

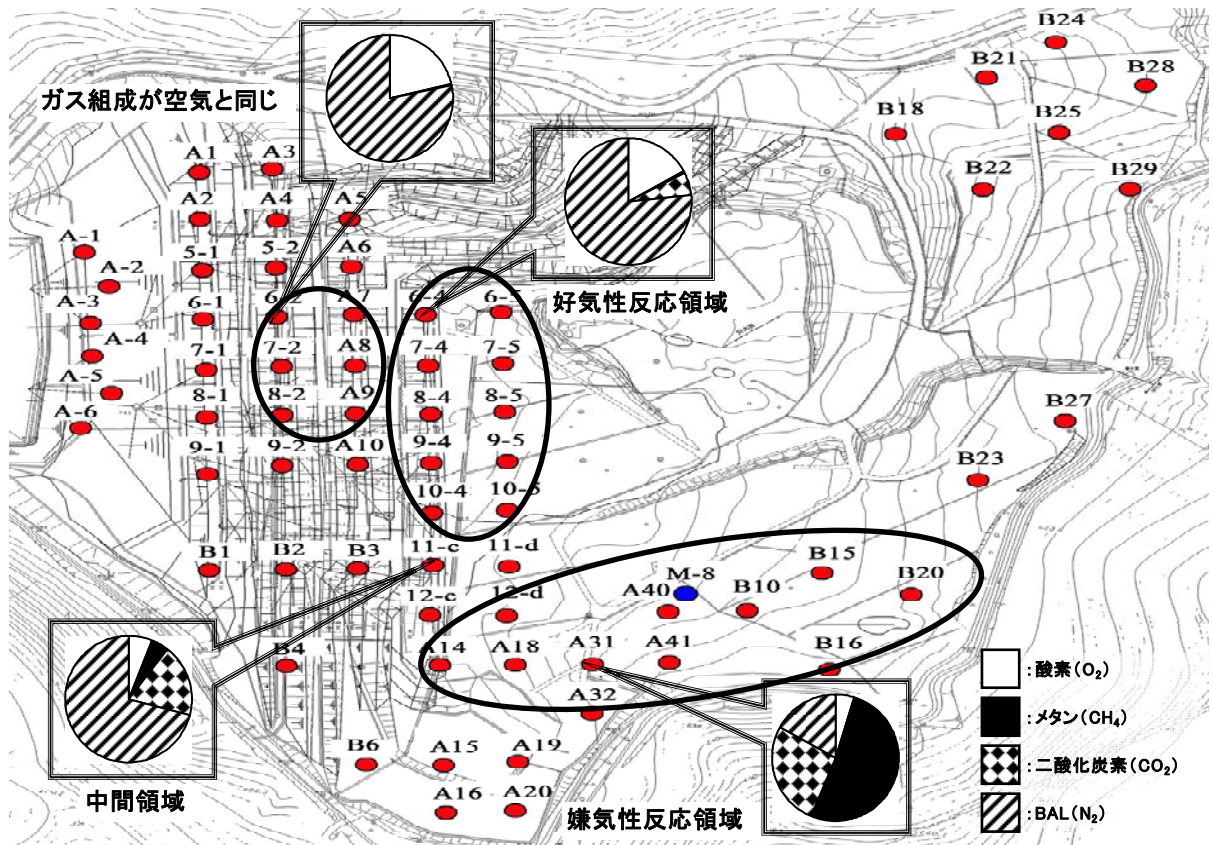


図-1 調査対象廃棄物最終処分場平面図

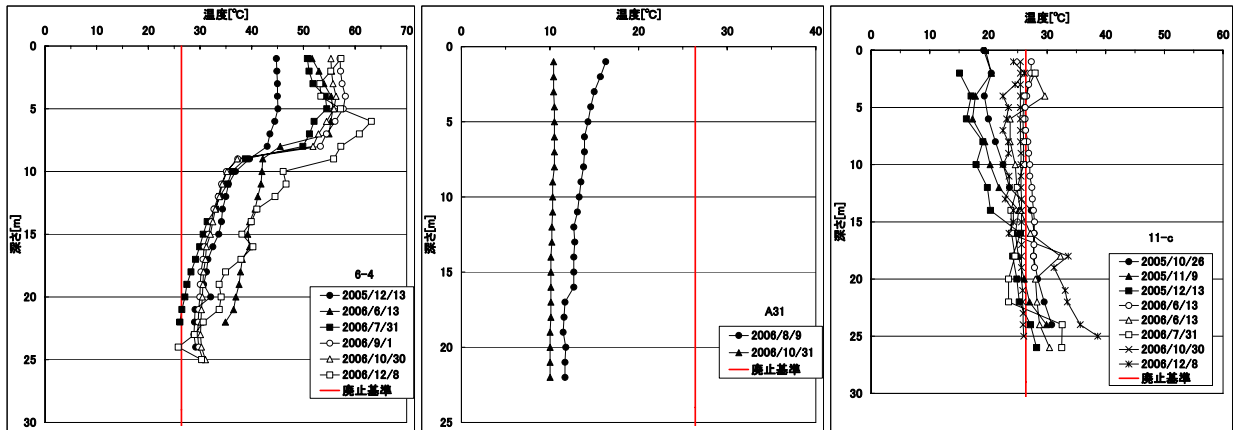


図-2 各反応領域の内部温度分布

な領域と考えられる 11-c についても、メタンガス (4.3%) よりも二酸化炭素 (18.8%) の方が多く検出されているため、やや好気性よりの分解反応が起きていると推測される。

「ガス組成が空気と同じ」と示した部分のガス組成は、約 80%が窒素、約 20%が酸素となっており、一般的な空気の組成と同じであるため、この領域では微生物反応が起っていないと考えられる。

図-2 に各反応領域におけるガス抜き管の深さ方向の温度分布を示した。

好気性反応領域に位置するガス抜き管 (6-4) は、表層から 10m 未満の比較的浅い地点で内部温度のピークが現れている。このことから、これらのガス抜き管では廃棄物層の上層部において活発な好気性微生物反応が起

こっていると推測される。好気性反応領域は斜面付近に位置しているガス抜き管が多く、斜面からガス抜き管に向かって酸素が供給されているのではないかと予想していたが、12月の積雪が 50cm 以上で表面が雪で覆われた条件でも上層部での高温状態に変化がないため、ガス抜き管上部から酸素が入り、内部温度ピーク地点あたりまで侵入しているのではないかと考えている。また、嫌気性反応領域に位置するガス抜き管 (A31) は、深さ方向で温度に大きな変化がなく、20°C未満の低い温度で推移している。内部温度で見ると、廃止基準 (26.4°C) を達成しているが、埋立ガスの約 50%をメタンガスが占めている状態であり、内部からの活発なメタンガスの発生が考えられ、安定化を達成しているとはいえない。このような嫌気性反応領域の安定化を判断するには、埋立ガ

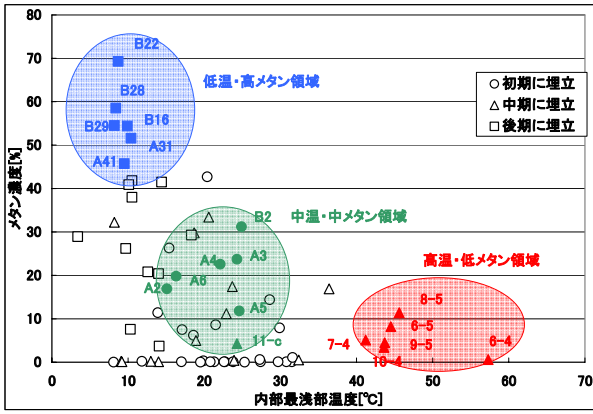


図-3 内部温度・メタン濃度相関図

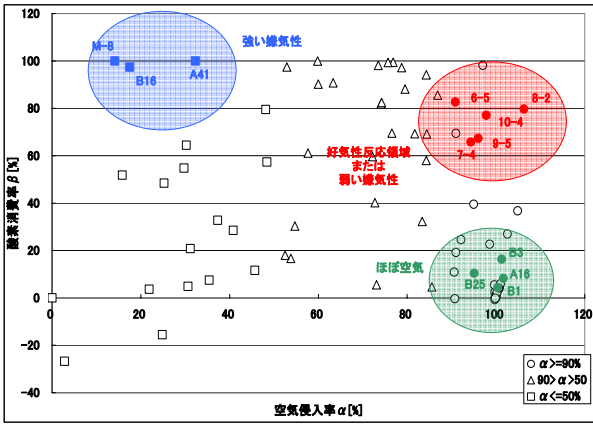


図-4 ガス抜き管内部の酸素消費

スの成分の経過を監視することが重要であると考えられる。中間反応領域に位置している 11-c に関しては、内部温度がほぼ廃止基準付近で推移している。このことから、中間反応領域では微生物反応が終盤に差し掛かっているものと考えられる。

表-1 は、これまで測定してきたガス抜き管内部温度と埋立ガスのデータ一覧である。

表中の最浅部温度とは地表面から 0m~2m の地点で測定された内部温度を示している。

図-3 にガス抜き管内部温度とメタンガス濃度の相関図を示した。横軸に、ガス抜き管内部の最も浅い地点で測定された温度（地表から 0m~2m）を使用し、埋立時期による分類を行った（「初期に埋立」で約 30 年が経過している）。浅い地点の温度を使用することに関して外気温の影響が懸念されたが、低温・高メタン領域を除けば、地表面近くまで外気温を上回る温度で推移しているところが多かった。

埋立経過年数が大きい地点は、その多くが中温・中メタン領域に位置している。埋立経過年数が半ばである地点は好気性反応領域（高温・低メタン）に、埋立経過年数が小さい地点は嫌気性反応領域（低温・高メタン）に分類されるものが多かった。

嫌気性反応と好気性反応が起こっていると考えられる領域では、微生物反応が収束するにつれて、徐々に中温・中メタン領域へと測定値が移行していくものと推測される。

図-4 にガス抜き管内の空気侵入率  $\alpha$  と酸素消費率  $\beta$

表-1 内部温度・埋立ガス測定結果

	温度[°C]			ガス						
	最浅部温度*	最高温度	外気温	成分[%]				空気侵入率[%]	酸素消費率[%]	
				O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	BAL*			
A-1	22.7	23.8	18.1	16.7	0.1	3.4	79.7	103	27.0	
A-2	21.5	21.9	20	15.5	8.6	4.3	71.6	92	24.6	
A-3	24.3	26.4	17.6	6.5	23.7	13.4	56.1	72	59.6	
A-4	20.4	20.8	19.1	4.6	42.7	14.9	37.6	48	57.4	
A-5	17.1	18.7	16.7	18.0	7.5	3.9	70.4	91	10.9	
A-6	16.3	16.6	25.4	3.0	19.8	19.5	57.6	74	81.9	
5-1	18.6	21.3	19.8	20.3	6.2	2.9	70.5	91	-0.3	
6-1	19.9	25.6	17.8	21.7	0.3	0.3	77.5	100	2.4	
7-1	19.5	19.8	17.1	22.3	0.0	0.0	77.5	100	-0.3	
8-1	25.3	27.6	28.1	22.3	0.0	0.0	77.7	100	0.0	
9-1	21.3	23.9	20.6	22.1	0.1	0.0	77.8	100	1.0	
5-2	29.9	30.1	29.3	0.4	7.9	16.3	75.4	97	98.2	
6-2	31.5	33.9	29.5	21.5	0.1	0.1	78.3	101	4.3	
7-2	30.8	31.3	28	21.5	0.1	0.1	78.3	101	4.3	
8-2	31.6	31.6	29.7	4.8	1.1	11.5	82.6	106	79.8	
9-2	29.7	29.7	26.8	22.2	0.1	0.0	77.6	100	0.3	
A6	28.6	30.1	27.3	1.1	14.4	19	65.5	84	94.1	
A7	27.4	30.4	27.2	21.6	0.1	0.1	78.2	101	3.8	
A8	23.8	24.9	23.6	21.7	0.1	0.1	78.1	101	3.2	
A9	20.8	24.1	24.5	21.5	0.1	0.1	78.3	101	4.3	
A10	22.6	24.5	23.2	22.4	0.1	0.0	77.5	100	-0.7	
6-4	57.3	63.2	-5.1	17	0.6	5.8	76.6	99	22.7	
7-4	41.2	61.6	-5.1	7.2	5.1	14.4	73.3	94	65.8	
8-4	23.9	44.1	-5.1	21	0.4	1.2	77.4	100	5.5	
9-4	32.4	49.7	-5.1	14.8	0.5	3.2	81.5	105	36.7	
10-4	43.6	52	-5.1	5	3.4	15.6	76	98	77.1	
11-c	24.3	38.6	-5.1	6.2	4.3	18.8	70.7	91	69.4	
12-c	22.9	25	-5.1	5.6	11.2	19.7	63.5	82	69.3	
6-5	44.5	47.3	-5.1	3.5	8.2	17.7	70.6	91	82.7	
7-5	36.4	39.6	-5.1	5.2	16.9	18.4	59.5	77	69.5	
8-5	45.6	47.4	-5.1	2.8	11.4	18.3	67.5	87	85.5	
9-5	43.7	45.7	-5.1	7	4.5	13.9	74.6	96	67.3	
10-5	14	30.2	-5.1	22	0.1	0.1	77.8	100	1.5	
11-d	23.7	29.4	-5.1	2.9	17.4	22	57.7	74	82.5	
12-d	18.9	50.3	-5.1	2.1	5	31.1	61.8	80	88.2	
A1	15.4	15.4	18.7	0.3	26.3	16.3	57.1	73	98.2	
A2	15.1	15.1	17.1	7.9	16.9	9.0	65.5	84	58.0	
A3	17	17	19.4	21.8	0.1	0.1	77.9	100	2.5	
A4	22.1	22.1	19.3	0.1	22.6	17.6	59.7	77	99.4	
A5	24.6	26.9	22	12.6	11.8	10.8	64.8	83	32.2	
A14	20.6	23.1	10	0	33.4	20.1	46.5	60	100.0	
A15	9.1	10.3	21.3	21.2	0.2	0.1	78.5	101	5.9	
A16	9.2	9.2	16.8	20.8	0.1	0.1	79.0	102	8.3	
A18	18.7	19	9	1.3	29.8	22.3	46.6	60	90.3	
A19	13	13.4	9	21.5	0.2	0.1	78.2	101	4.2	
A20	8.2	8.2	19.4	9.0	32.2	23.3	35.5	46	11.7	
A31	10.4	10.5	5	4.7	51.6	26.7	17.0	22	3.7	
A32	10.3	10.3	10	16.4	7.6	5.3	70.7	91	19.2	
A40	3.4	4.1	6	8.5	28.9	20.1	42.5	55	30.3	
A41	9.5	9.8	5	0.0	45.7	29.2	25.1	32	100.0	
B1	11.8	11.8	21.7	21.4	0.2	0.2	78.0	100	4.4	
B2	24.9	26.1	18.2	1.3	31.2	18.4	49.2	63	90.8	
B3	27.3	28.4	21.1	18.9	0.6	1.8	78.7	101	16.3	
B4	13.9	13.9	19.1	18.2	11.4	3.9	66.5	86	4.6	
B6	8.1	8.3	22.4	22.3	0.0	0.0	77.6	100	-0.1	
B10	18.3	19.7	6.5	10.0	29.3	18.9	41.8	54	16.6	
B15	14.4	14.4	8	5.5	41.5	28.8	24.2	31	20.8	
B16	9.9	9.9	6.5	0.1	54.4	31.9	13.6	18	97.4	
B18	14	14	12.5	0.1	20.4	20.7	58.8	76	99.4	
B20	10.5	10.5	7	2.4	41.8	32.3	23.5	30	64.4	
B21	12.6	12.6	13.5	9.7	20.8	13.0	56.5	73	40.2	
B22	8.7	10.3	12.5	0.0	69.3	47.7	0.0	0	0.0	
B23	10.5	10.5	9	7.3	38.0	27.2	27.5	35	7.5	
B24	9.7	9.9	13.5	5.0	26.2	24.0	44.8	58	61.1	
B25	14.1	14.1	12.5	19.0	3.7	3.4	73.9	95	10.4	
B27	10.1	10.1	10	6.5	40.9	28.8	23.8	31	4.8	
B28	8.4	9.7	13	2.9	58.5	19.0	19.6	25	48.4	
B29	8.2	8.2	11	0.8	54.5	42.5	2.2	3	-26.7	
M-7				12.8	3.8	9.6	73.8	95	39.6	
M-8	14		15.4	0.0	52.2	36.8	11.0	14	100.0	

との関係を示した。ここで、 $\alpha$ は埋立ガス中の窒素割合を空気中の窒素割合で除したもの、 $\beta$ は埋立ガス中の酸素割合を埋立ガスの窒素割合×空気中の窒素に対する酸素の割合で除し、1から引いたものと定義している。

A-1のガス抜き管での計算例を以下に示す。

A-1では、窒素79.7%、酸素16.7%であり、空気中では窒素77.7%、酸素22.3%とした。

$$\alpha = \left( \frac{79.7}{77.7} \right) \times 100 = 103 [\%]$$

$$\beta = \left( 1 - \left( \frac{16.7}{79.7 \times 0.287} \right) \right) \times 100 = 27.0 [\%]$$

ここで、0.287は空気中の窒素77.7%に対する酸素22.3%の割合で以下のように求めた。

$$\frac{22.3}{77.7} = 0.287$$

低温・高メタン領域にあるA41やB16は $\alpha$ が30%または18%と小さく、 $\beta$ がほぼ100%であることから、強い嫌気状態にあることが分かる。また、 $\alpha$ が高く、かつ $\beta$ も高い部分（主に7-4,10-4や6-5,9-5）は好気性反応が活発であると考えられる。また、内部からのメタンガスの発生が小さく、空気は侵入するが内部で酸素が消費されている状態、つまり弱い嫌気性反応が起きているとも解釈できる。 $\alpha$ が高く、かつ $\beta$ が小さい部分（主に5-1,6-1,6-2のライン、A15、A16、A19）では、空気とほぼ同じ成分であると推測され、これらのガス抜き管が位置している領域で微生物反応が終息しつつあるか、または他の領域よりも元々有機物が少ない可能性がある。

## 6. まとめ

本研究で調査を行った結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 好気性反応が活発であると思われる領域が処分場の斜面を持つ場所の近くに見られ、ガス抜き管の深さ方向の内部温度分布で、温度のピークが表層から10mまでの深さにあり、このような廃棄物層上層部において活発な好気性微生物反応が起きている可能性が示唆された。
- (2) 嫌気性反応が活発であると思われる領域は、主に埋立経過年数が短いところに見られ、内部温度が15℃未満と低く、廃止基準（26.4℃）を満たしているものの、メタンガスが40%以上と高い状態にあるため、安定化にあるとはいえない状態であった。
- (3) 好気性反応・嫌気性反応ともに活発でない中間的な領域、例えば11-cでは好気性反応が起きていることは確認できたが、温度は廃止基準とほぼ同じであり、微生物反応が終盤にあるのではないかと推定された。
- (4) 埋立ガス組成が空気の組成とほぼ同じとなり、微生物反応がほぼ終息しているか、または他の領域よりも有機物の埋立が少なかった可能性のあるところも顕著に見られた。
- (5) 全体的に内部温度とメタン濃度の関係から、初期

に埋立が行われたエリア（初期エリア）は反応が終盤に差し掛かっており、中期エリアでは好気性反応、後期エリアでは嫌気性反応が起きていると推測される。

今回は処分場内部の温度およびガス成分の調査を行ったが、処分場全体の安定化を促進させるためには好気性反応が活発に起こることが望ましい。処分場内の斜面付近のガス抜き管で好気性反応が特に活発に見られたことについて、どのようなメカニズムで空気が内部に侵入し、好気性反応を促進させているのかについて検討を進める予定である。

## 謝辞

本研究は文部科学省科学研究費の補助（基盤研究(C)「廃棄物最終処分場の安定化指標としての温度に関する数値埋立処分工学的研究」）を受けた。記して謝意を表す。

## 参考文献

- (1) 廃棄物学会廃棄物埋立処理処分研究部会：廃棄物最終処分場廃止基準の調査評価方法、pp1-6、pp28-39(2002)
- (2) 濱地、水野、吉田、穂積：廃棄物最終処分場の廃止基準としての温度に関する調査、平成16年度土木学会北海道支部論文報告集、第61号、VII-5(2005)
- (3) 水野、亀井、吉田、穂積：廃棄物最終処分場の安定化指標としての内部温度に関する調査、平成17年度土木学会北海道支部論文報告集、第62号、VII-3(2006)