

氏 名	長森 正尚
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記号番号	博理工甲第 690 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	廃棄物処分における安定化と汚染の評価のための指標に関する研究
論文審査委員	委員長 客員教授 河村 清史 委員 教授 坂本 和彦 委員 准教授 王 青躍 委員 准教授 藤野 毅

## 論文の内容の要旨

廃棄物の適正な処理・処分は、衛生性や安心・安全性等の確保という廃棄物管理の面からだけでなく、環境負荷の低減や埋立跡地の有効活用等を通してなされる循環型社会形成の推進の面からも重要である。このうち処分については、不法投棄のような不適正処分事案への適正な対応のほか、廃棄物最終処分場（以下、処分場）における埋立廃棄物の安定化の評価や二次汚染の防止等に係る課題がある。前者については、簡便・迅速な汚染範囲の適正な絞り込みが、また、後者については、安定化の把握や有害化学物質のエミッションにおける適正でかつ可能なら簡便なモニタリングが重要となる。

本研究では、廃棄物の処分に關して、処分場については浸出水及び埋立地ガスのモニタリング指標を提案するとともに、浸出水中に検出される有害物質などを簡易にモニタリングできる可能性を提示した。他方、不適正処分現場については土壌電気伝導率（土壌 EC 値）をモニタリング指標として用いた簡易調査手法を提案した。

処分場の浸出水については、多様な処分場に適用できる安定化の評価・判定方法がないことから、埼玉県内で稼動している 22 箇所的一般廃棄物処分場を 2000 年及び 2005 年の 2 ヶ年にわたり調査した。埋立廃棄物の特徴としては、焼却残渣を含む処分場が 19 箇所、ガラス・陶磁器くずに分類される汚濁成分の少ない処分場は 3 箇所であった。

これら浸出水 44 検体 46 項目を分析した結果から、相関が高い BOD、COD、TOC 及び揮発性有機酸の有機性項目、EC、Na、K、Ca 及び Cl<sup>-</sup> の無機性項目を、様々な特性を持つ処分場における浸出水の共通するモニタリング項目として提案した。また、得られた 9 項目の主成分分析により、汚濁総量を示す第 1 主成分及び有機成分量あるいは無機成分量を示す第 2 主成分で累積寄与率の 90%強を占め、これら 2 つの主成分で浸出水をほぼ把握できることを示した。さらに、クラスター分析による処分場の類型化を試みたところ、汚濁の小さい処分場は第 1 主成分スコア及び第 2 主成分スコアが小さく、比較的埋立年数の長い処分場は 5 年間でスコア低下がみられたことから、これらスコアが処分場を廃止する際の指標として利用できることを明らかにした。

他方、幾つかの処分場について得られた経年的な浸出水質の事例解析を行ない、埋立終了後における有機汚濁成分の変化を EC 値によりモニタリングできることや、高濃度の Pb の検知に EC 値や SS 濃度が利用できる可能性を示した。

埋立地ガスについては、近年増加している焼却残渣主体の処分場ではアルカリ性の層内保有水中に二酸化炭素が吸収されることから、多量成分による安定化の評価に限界がきている。そこで、層内移動時に反応性が小さく、かつ埋立地ガス中に存在する脂肪族炭化水素 (NMHC) の適用可能性について検討した。対象とした産業廃棄物処分場の最大深度は約 45m であり、5 年間にわたり深層部及び浅層部からのガスを採取することにより、埋立年数と深度による NMHC 組成の相違点を明らかにした。処分場における NMHC の挙動については調査事例がほとんどないことから、この結果を自然堆積物中の深度方向における NMHC 組成と比較検討した。

まず、埋立深度の違いによる層内環境を多量成分で確認したところ、酸素と窒素の濃度が低く、メタン濃度が高い傾向にある深層部ほど嫌気性環境下にあると推察された。NMHC 組成では、共通して最も多いものはエタンであった。他方、組成比をみると、時系列変化から、エタンとエチレン、C2 と C3 ~ 6、プロパンとプロピレンの比が安定化指標になる可能性が示唆された。一方、iso-ブタンと n-ブタン、iso-ペンタンと n-ペンタン、メタンと T-NMHC の比は、埋立年数の差による安定化の進行に加え、酸素供給の差による層内環境の違いを表していると考えられた。

不適正処分については、土壌や廃棄物を対象とした汚染を把握するときに、広範囲を効率よく把握する方法がないことが問題点として挙げられる。そこで、処分場における浸出水中の有害物質を検知できた EC の利用可能性を検討した。

まず、11 種類 506 検体の各種廃棄物について溶出試験を実施し、得られた溶出液の有害物質 5 項目 (T-Hg、Cd、Pb、As 及び Cr<sup>6+</sup>) の濃度を土壌環境基準及び廃棄物の埋立判定基準によりスコア化して、有害物質のスコアと EC 値との関係を調べた。その結果、中間処理により減容化された焼却残渣や堆肥等で EC 値が高く、焼却残渣で EC 値が高いほど有害物質のスコアが上昇することを明らかにし、焼却残渣由来の汚染土壌の絞り込みに EC を利用できることを示した。

一方、埼玉県内の 5 地域 19 箇所の非汚染土壌について土壌 EC 値を測定したところ、各箇所の土壌 EC 平均値は 26.6 ~ 106.6S/m と範囲が広く、同一箇所においては正規分布することを明らかにした。そこで、土壌汚染の可能性のある土壌 EC 値を設定するため、非汚染土壌の土壌 EC 平均値及び標準偏差からこれを推定する式を提示し、2 件の焼却残渣による汚染現場で検証したところ、迅速に、精度よく汚染範囲を絞り込むことが可能であった。

本研究で得られたこれらの知見は、今後の廃棄物処分における安定化と汚染の評価に貢献するものと期待される。特に、EC などの簡易測定可能な項目を活用することにより、迅速な対応が可能になると考えられる。なお、本研究において提示した埋立地ガスの NMHC の活用については、調査事例を積み重ねることとその挙動についてのメカニズムの解明に向けた検討を行うことが今後の課題である。

## 論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、当該論文の論文発表会を平成 20 年 1 月 28 日に公開で開催した。発表後の質疑も含めて論文の内容を審査した。審査結果を要約する。

廃棄物の適正な処理・処分は、衛生性や安心・安全性等の確保という廃棄物管理の面からだけでなく、環境負荷の低減や埋立跡地の有効活用等を通してなされる循環型社会形成の推進の面からも重要である。このうち処分については、不法投棄のような不適正処分事案への適正な対応のほか、最終処分場（以下、処分場）における埋立廃棄物の安定化の評価や二次汚染の防止等に係る課題がある。

本論文は、このような背景の下、前者については、簡便・迅速な汚染範囲の適正な絞り込みについて、また、後者については、安定化の把握や有害化学物質のエミッションにおける適正なモニタリングについて、指標を中心に検討したものである。

第 1 章では、本研究の必要性と目的及び論文構成を述べている。

第 2 章では、廃棄物の処分に関する現状と課題を整理している。処分場については、その分類や廃止基準（維持管理を不要とするための判断基準）並びに埋立廃棄物で生じる現象と安定化を把握・評価するための指標を取り上げている。また、不適正処分については、調査に関連する法令や調査方法を取り上げている。

第 3 章では、埼玉県内で稼働している 22 ヶ所の一般廃棄物処分場を 2000 年及び 2005 年の 2 ヶ年にわたり調査し、それらの浸出水質の相関関係から、BOD、COD、TOC 及び揮発性有機酸の有機性 4 項目と電気伝導率（EC）、Na、K、Ca 及び Cl<sup>-</sup>の無機性 5 項目を、様々な特性を持つ処分場に共通するモニタリング項目として抽出している。また、これら 9 項目の主成分分析により、汚濁総量を示す第 1 主成分及び有機成分量あるいは無機成分量を示す第 2 主成分で浸出水の汚濁状況がほぼ把握できることを示し、これらのスコアが安定化の指標として利用できることを明らかにしている。さらに、いくつかの処分場における経年的な浸出水質データの検討から、埋立終了後における有機汚濁成分のモニタリングに EC 値が利用できることや、高濃度の Pb の検知に EC 値や SS 濃度が利用できることを示している。

第 4 章では、近年増加している焼却残さ主体の処分場ではアルカリ性の層内保有水に二酸化炭素が吸収されるため、メタンや二酸化炭素のような多量ガス成分のみでの評価に限界がきていることを背景として、処分場の安定化の評価において、埋立地ガス中の微量ガス成分である脂肪族炭化水素（NMHC）の適用可能性を検討している。産業廃棄物処分場を対象とした 5 年間にわたる調査から、埋立年数と埋立深度による NMHC 組成の変化を把握し、それを自然堆積物中の深度方向における NMHC 組成と比較しながら考察している。その結果、時間変化に伴う安定化プロセスの判断材料として、エタンとエチレンの濃度比及び C2（炭素数が 2 の NMHC）と C3～6（炭素数が 3～6 の NMHC の合計）の濃度比が安定化指標になる可能性を示唆している。他方、iso-ブタンと n-ブタンの濃度比、iso-ペンタンと n-ペンタンの濃度比及びメタンと T-NMHC の濃度比は、埋立年数の差による安定化の進行に加え、酸素供給の差による層内環境の違いを表しているとしている。

第 5 章では、主に焼却残さが不適正処分された汚染土壌について、迅速かつ精度よく汚染範囲を絞り込む手法の確立を目指すため、第 3 章で有効性が認められた EC の利用可能性を検討している。まず、11 種類

506 検体の廃棄物について溶出試験を実施し、得られた溶出液の有害物質 5 項目 (T-Hg、Cd、Pb、As 及び Cr<sup>6+</sup>) の濃度を土壤環境基準値及び廃棄物の埋立判定基準値によりスコア化して、このスコアと EC 値との関係を調べている。その結果、中間処理により減容化された焼却残さや堆肥等で EC 値が高く、焼却残さで EC 値が高いほど有害物質のスコアが上昇することを明らかにし、焼却残さ由来の土壤汚染の範囲を絞り込むために EC が利用可能であることを示している。ついで、土壤汚染の可能性のある土壤 EC 値を設定するため、複数ヶ所で得られた非汚染土壤の土壤 EC 値の平均値と標準偏差からこれを推定する式を提示したうえで、2 件の焼却残さによる汚染現場でこの式の妥当性を検証し、実務的に十分適用できることを明らかにしている。

第 6 章では、本論文の研究成果の総括を行うとともに、課題及び今後の展望を述べている。

以上のように、本研究で得られた成果は、今後の廃棄物処分における安定化と汚染の評価に貢献するものと期待され、学術的に高く評価できるとともに、実務的にも大きな意義がある。研究成果は、英文学術誌及び日文学術誌に各 1 編掲載され、1 編が日文学術誌で査読の最終段階にある。これらのことから、本論文は博士 (工学) の学位論文としてふさわしくかつ価値あるものと判断した。