

平成21年6月29日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560788

研究課題名（和文） 建設廃棄物同伴汚染物質の分離・除去の高度化

研究課題名（英文） Development of advanced separation / removal technology of the contaminant contained in construction and demolition wastes

研究代表者

渡辺 洋一（WATANABE YOICHI）

埼玉県環境科学国際センター・廃棄物管理担当・主任研究員

研究者番号：00415382

研究成果の概要：

建設混合廃棄物破碎選別残さ（以下残さという）と建設廃木材を対象として、有害金属等の化学成分を制御する視点で選別方法の検討を行った。その結果、残さについては、鉛直流の風力選別と振動ふるいを併用することにより品質向上が図れること、有害金属含有建設廃木材は木材表面の色彩情報により分類することが可能であることが判明した。これらの技術を実際の廃棄物試料に適用したところ、残さ中の有機物（熱しゃく減量値）の9%～19%、建設廃木材の有害金属の76%（鉛）～92%（ヒ素）を選別できることが明らかとなった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,000,000	0	1,000,000
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	720,000	4,120,000

研究分野：廃棄物処理工学

科研費の分科・細目：総合工学・リサイクル工学

キーワード：建設混合廃棄物、建設廃木材、破碎選別技術、風力選別、有害金属、色彩計

## 1. 研究開始当初の背景

建設廃棄物は年間7700万トン排出され、そのうち4%は混合廃棄物として排出されている。この建設混合廃棄物は最終処分量では建設廃棄物全体の34%を占めており、再利用の進んでいない廃棄物である。建設混合廃棄物を中間処理施設において選別した後に、埋立処分されている無機性残さが残留するが、この残さは石膏分等の硫黄源と生分解性有機成分を含む場合が多いため、安定型埋立処分

場等での汚濁水の発生、硫化水素ガス発生等が問題となっている。また、建設廃木材には、過去において高濃度有害金属を含む薬剤で処理された廃木材が混入している。その処理に当たって、破碎前後の選別が不十分なため、防腐剤、塗装剤等に含まれる有害化学物質が混在し、安心・安全な再利用が阻まれている。

## 2. 研究の目的

本研究では、循環型社会構築の一環として、

建設廃棄物の適正な管理と再利用の拡大に資するため、建設廃棄物に同伴している有害化学物質及び有機物（以下、総称して「汚染物質」という。）の分離・除去の高度化を目指す。すなわち、再利用原料、埋立廃棄物等として必要とされる品質を向上させるため、廃棄物の選別過程における汚染物質の分離・除去について、廃棄物の実試料を用いて選別法の検討を行い、モデル実験によりその高度化を図る。

### 3. 研究の方法

#### (1) 建設混合廃棄物破碎選別残さの品質向上 ①建設混合廃棄物破碎選別施設実態調査

建設混合廃棄物の破碎選別を行っている埼玉県内の施設7社について施設の調査を行い、その処理方法を調べるとともに各処理工程から排出される選別品の用途、処理方法等を聞き取り調査し、サンプルを採取した。

#### ②モデル実験

実施において多用されている選別方法である風力選別と篩い分けを使用したモデル実験装置を構築し、①の調査で採取した実試料について汚染物質の分離実験を行った。また、一般には行われていないが、処理効果比較のため水洗処理実験も行った。

図1は鉛直流の風力選別併用乾式分粒実験装置である。上部から吸引することにより、ふるいの下部から鉛直方向に風が流れる構造である。風速は出口で20m/秒（ふるい面で0.66m/秒）、及び40m/秒（ふるい面で1.3m/秒）とし、ふるいの目開きは下から45 $\mu$ m, 500 $\mu$ m, 1mm, 2mmとした。

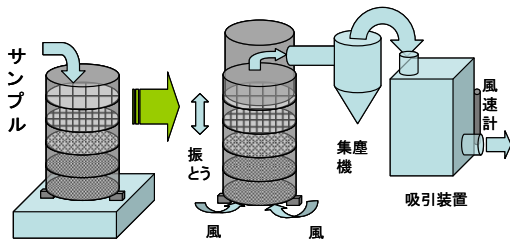


図1 鉛直流風力選別併用乾式分粒実験装置

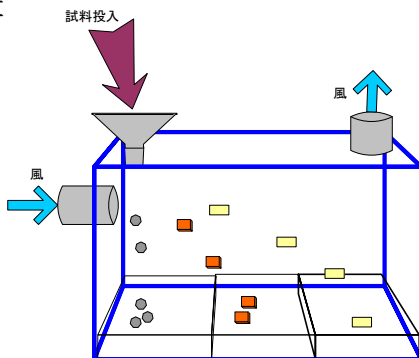


図2 水平流風力選別実験装置  
図2は水平流の風力選別実験装置であ

る。透明ビニルシートで囲ったチャンバー（500×500×700mm）の一方から風を送り、上部から廃棄物試料を投入して、風により飛ばされて着地した位置により分離するものである。風速は吹き出し口で20m/秒、及び40m/秒とした。

図3は電磁振動ふるいの最上部にノズルを設置し、ポンプで水を循環させることにより、分粒しながら水洗できるものである。

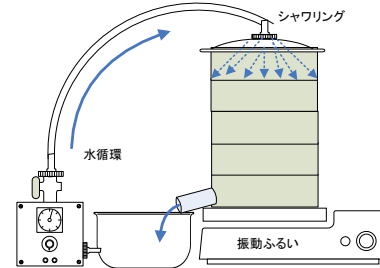


図3 循環水による水洗実験装置

#### (2) 有害金属含有廃木材の選別手法開発

建設廃木材破碎施設から採取した試料を、JIS標準色票による目視選別と分光測色計による選別（図4）を行った。廃木材は有姿のままハンディーサイズの分光測色計 d-600（コニカミノルタセンシング製）により測定した。試料を微粉碎して重金属等の化学分析を行った。

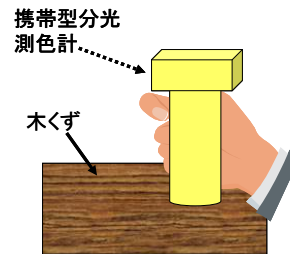


図4 分光測色計による廃木材測定

### 4. 研究成果

#### (1) 建設混合廃棄物破碎選別残さの品質向上

##### ①建設混合廃棄物破碎選別施設実態調査

建設混合廃棄物の破碎選別施設における処理工程、処理設備等の実態を調査した結果、混合廃棄物の破碎・選別工程から排出される選別品及び残渣の種類はほぼ共通しており、選別方法も類似していた。

概略、図5のような工程で処理されていることが分かった。

破碎選別工程から排出された試料の分析を行ったところ、いずれの試料も主成分はAl, Si, Fe, Ca, Sと有機物（熱しゃく減量分）であり（図6）、有害金属等としては、全ての試料からPb, Zn, Cr, Cu, Niが検出され、Pbについては土壤汚染対策法の指定基準150mg/kgを超過する試料があった。また、有

機物指標として熱しゃく減量、C、Nを分析したところ、埋立処分されている残渣については、熱しゃく減量は安定型埋立処分の基準値である5%を全ての試料が超過していた(図7)。このように、破碎選別残渣中には有機物と多量の硫黄分が含まれ、埋立処分の際に硫化水素ガス発生の原因となる可能性が高いことが判明した。これらの結果から、選別対象として重要な成分は、有機物、S、Pbであると考えられた。

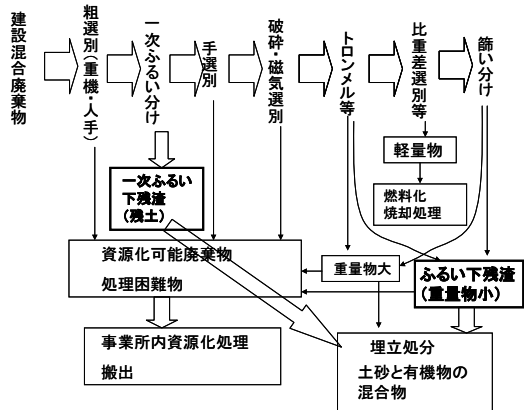


図5 建設混合廃棄物の破碎選別処理工程

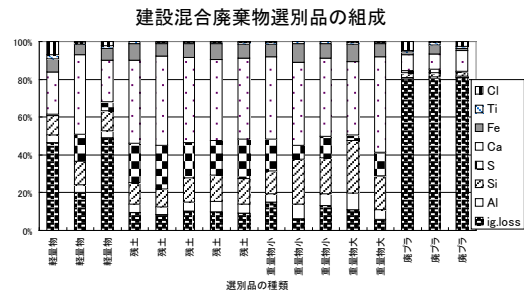


図6 建設混合廃棄物選別品の主要構成元素等

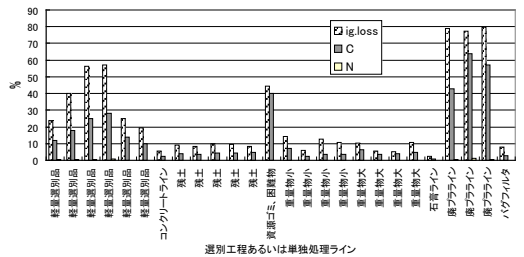


図7 建設混合廃棄物選別品の有機物指標

②モデル実験-1

鉛直流の風力選別併用乾式分粒実験

混合廃棄物は、水分を含むと紙、木等の軽量物の比重が大きくなり、土砂等との比重差が小さくなり、篩いも目詰まりし易くなるなど、選別効果に大きな影響を与える。鉛直流で通風した場合、乾燥の効果も期待できる。図1の装置で処理したところ、1分間の通風

で、細粒分の水分含量は急激に減少した(図8)。

選別した試料の分析結果から、削減対象である熱しゃく減量については、風速が速いと選別効果が高いことが確認された(図9)。炭素含有量、硫黄含有量については、風速を上げて選別効果が変わらない試料もあった(図10, 11)が、この試料では除去率が高いことから、今回設定した遅い風速でも選別に十分であったと考えられ、試料によっては、さらに風速をあげると効果が上がる可能性がある。

金属成分についても、風速が速いと選別効果が高い傾向が見られた。鉛の例を図12に示す。

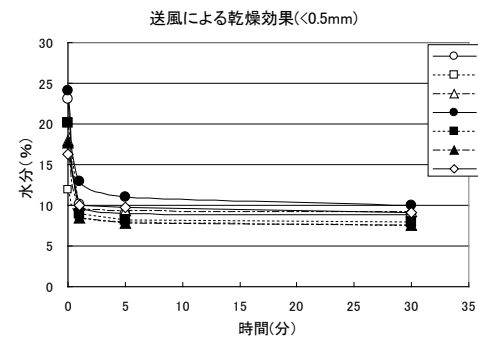


図8 送風による水分含量の変化

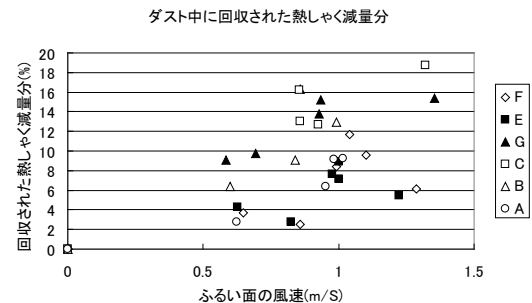


図9 風力選別併用乾式分粒の実験結果

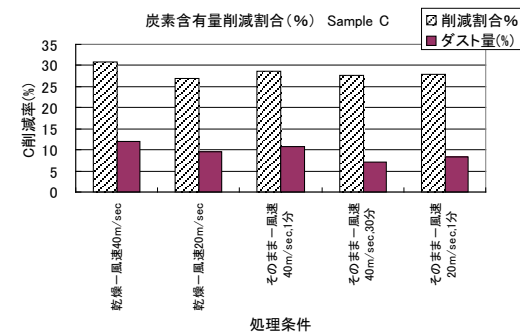


図10 炭素含有量の削減率

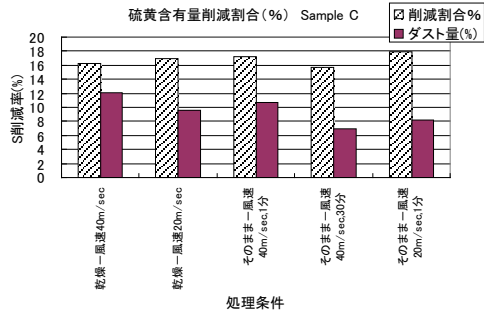


図 1.1 硫黄含有量の削減率  
鉛

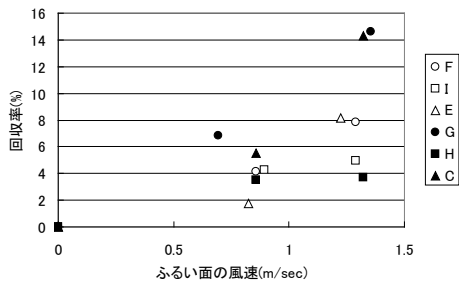


図 1.2 鉛含有量の削減率と風速

③ モデル実験 - 2

水平流による風力選別処理実験

水平流の風力選別を行える小型実験装置を構築し、7種類の残渣について選別処理実験を行った。

風速20m/秒の横風で移動した距離により、10-20cm, 20-40cm, 40-60cmに分類して、それぞれの画分に移動した試料量を図 1.3 に、各分類の熱しゃく減量値を図 1.4 に示す。風速20m/秒では、全ての試料で10-20cmの位置に50%以上が落下した。試料F以外の試料では、10-20cm画分の熱しゃく減量値が最も低く、20cm以上の画分と分離することにより熱しゃく減量の削減が期待できる。特に、試料D, Eなどでは10-20cm画分の熱しゃく減量値が低く、量も多いことから、この条件で分離することにより、熱しゃく減量値の低い選別品を多量に分離できる。なお、風速40m/秒では、分離効率が悪くなった。

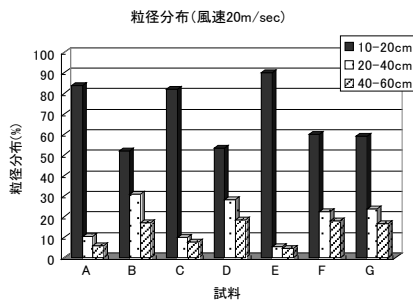


図 1.3 水平流風力選別による各画分の試料量分布

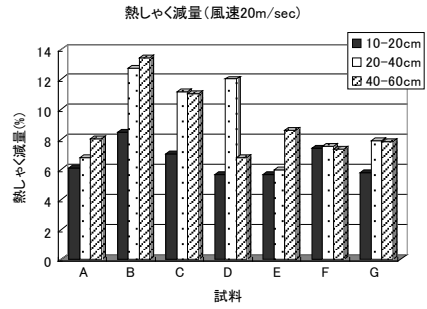


図 1.4 水平流風力選別による各画分の熱しゃく減量

④ モデル実験 - 3

湿式処理の検討

循環水噴霧による洗浄を振動ふるい上で行った。重量体積比で20倍の水を用いて洗浄したところ、洗浄液のEC値は開始直後に急激に上昇し、6~7回循環した後(約10分後)は一定値を示した(図 1.5)。洗浄後、試料Aではふるい上に残留した残渣の熱しゃく減量は著しく減少した。しかし、試料B, Cではほとんど削減されなかった。これは、水溶性、あるいは微細粒子の有機物の割合が試料により異なるためと考えられる(図 1.6)。

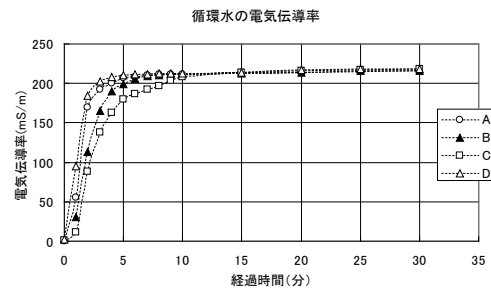


図 1.5 循環水の電気伝導率推移

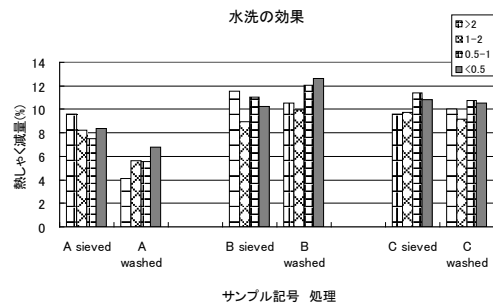


図 1.6 水洗による熱しゃく減量削減効果

⑤ 汚染物質の選別効果の評価及び選別機構の解明と最適処理条件の決定

残渣から風力選別により選別されるのは、軽量のプラスチック等と微細粒子であり、水

洗処理によって取り除かれるのは、水溶性成分と微細粒子である。微細粒子は有機成分、有害金属等の濃度が高いため、取り除くことにより残渣の品質向上が図れることが明らかとなった。水平流の風力選別では、鉛直流の風力選別に比べて、選別に要する時間が短く連続処理が容易であるが、選別効果は試料の組成に強く依存し、効率良く有機物等を選別できた試料と、逆に選別効率の悪い試料に二分された。鉛直流ではダストとして回収する量は～10%程度であったが、水平流で軽量物として選別される量は～約50%であった。このため、投入品質が変動する場合には、高効率な選別は技術的に難しいと考えられ、有機物含量の高い残渣の粗選別に有効と考えられた。また、風力選別の高効率化のため、通風による水分含量削減について検討を行ったところ、分粒操作を併用することにより、微細粒子を選別的に乾燥できる可能性が示唆され、微細粒子の乾燥には1分間程度の通風で有効であった。このことから、乾燥、分粒、微細粒子除去を同時にできる鉛直流の風力選別併用ふり分けが最も有効である。

残渣試料採取を行った破碎選別施設の処理方法が類似しているにもかかわらず、残渣の性状が事業所によって著しく異なる場合があり、選別処理を行う場合の条件決定を難しくしている。これは、処理施設への投入廃棄物の性状が異なることが原因の一つと考えられる。実際に、搬入廃棄物の情報と選別残渣の関係について調査したところ、発生現場の作業工程や廃棄物の排出形態、さらには搬入時の水分含量が選別残渣の品質に影響することなどが分かってきている。搬入時に廃棄物の性状を把握し、その性状に応じた残渣処理条件を適用できるシステムができれば、処理の最適化が図れるものと考えられる。

## (2) 有害金属含有建設廃木材の判定方法開発

### ① 建設廃木材の選別実験

廃木材の化学成分と色彩との関係を明らかにすることにより、色彩による有害金属含有廃木材の選別の可能性を検討した。代表的な表色系であり、現在最もポピュラーに用いられているL\*a\*b\*（エルスターエスタービスター）表色系による評価を試みた。

図17に今回測定した代表的な表面処理建設廃木材等について、木材表面処理とL\*a\*b\*の関係を示す。ここで、L\*は明るさを示す指標であり、明度に相当する。a\*とb\*は色相と彩度を表す。a\*は色相のうち赤と緑の指標であり、数値が大きいと赤に近く、小さいと緑に近いことを示す。b\*は黄色と青の指標であり、大きいと黄色、小さいと青に近いことを示す。

L\*a\*b\*表色系で測定した場合、CCA処理木材等はa\*が低くb\*は中間的であった。測定した廃木材161試料のa\*の平均値は6.87であるが、CCA処理木材等の加圧注入処理木材の平均値は2.0、緑色系の防腐処理剤を塗布した木材の平均値は-9.7であった。

また、a\*、b\*ともに低いのは黒色に近い色に塗装（黒茶塗装）されている廃木材であり、黄色の塗料を塗布した木材ではb\*が特異的に高かった。

図18に建設廃木材161サンプルの表面を測定した結果のa\*の度数分布を示す。

CCA処理木材等の緑色系の防腐処理剤を塗布、あるいは加圧注入した廃木材は12サンプルであったが、いずれもa\*が低い特徴があった。a\*が2.5よりも低い区分には34サンプルが分類されたが、防腐処理、ペイント塗装などの表面処理されたものが33サンプル(97%)をしめていた。

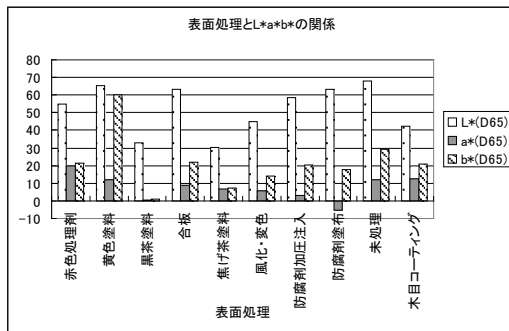


図17 木材表面処理とL\*a\*b\*の関係

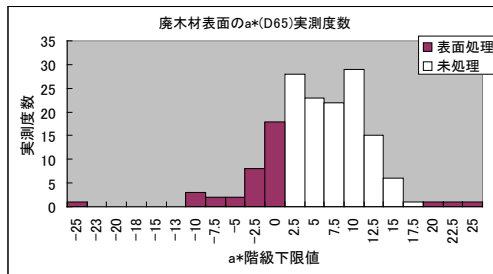


図18 廃木材試料のa\*の度数分布

また、a\*が20を超えるサンプルは全て赤、あるいはオレンジ色の薬剤を塗布したサンプルであった。このことから、a\*の値が2.5～20の範囲からはずれるものは、表面処理を施された木材である可能性が高い。これら表面処理木材の多くは鉛、砒素、クロム等の有害金属を含み、また、有害金属を含まない場合にも、マテリアルリサイクルの妨害となる可能性が高いことから、選別が望まれるものである。

同様に、b\*が0～40の範囲からはずれたサンプルは、黄色塗料、赤（オレンジ）色薬剤、青色薬剤を塗布した木材であった。

表1にa\*が2.5未満、b\*が40を超えた試料の有害金属含有量の比率を示す。なお、分析試料数は100でそのうちa\*が2.5未満の試料数

は11、b\*が40を超えた試料は1であった。全ての試料の大きさ（重さ）が同一と仮定した場合の計算値である。

表1 a\*, b\*と有害金属含有量の関係

	a* < 2.5 (%)	b* > 40 (%)	Total (%)
Cr	60	32	91
Cu	88	0	88
As	92	0	92
Pb	15	61	76

今回分析した廃木材試料については、a\* < 2.5, b\* > 40の12の廃木材を取り除くことにより、約90%のCr, Cu, As、76%の鉛を除去可能である。

これらのことから、a\*, b\*の値で評価することにより、高濃度有害金属含有廃木材のスクリーニングの一助となると考えられる。課題としては、a\*, b\*の値での評価では茶色、ベージュ色等の木材の色に近い色の塗料で表面処理されたものの判別が困難であったことである。これらの廃木材にも鉛等が含まれているものがあるため、これらの色の塗装廃木材が多量に混入した場合には、除去率が低下する可能性がある。

未使用木材との色差による判定についても検討を行ったが、L\*の寄与が大きく、色相の違いを反映しない結果となった。このため、風化、汚れ等により明度が低下した木材で色差が大きく、表面処理木材との判別が困難であった。他方、反射率を波長別に見ると、図19に例示したように、特に表面処理を施した木材については特徴的なカーブを描くため、特定の波長の反射率情報が判定に利用できるものと考えられる。

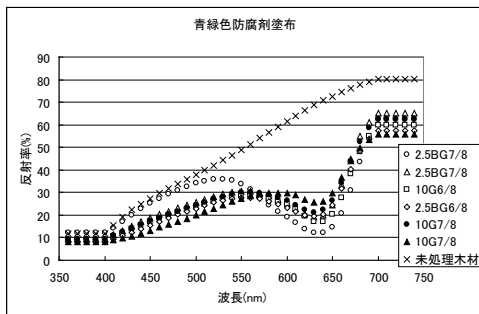


図19 青緑色薬剤塗布木材の波長別反射率

## ② 有害金属含有廃木材の選別手法の確立

JIS標準色票を用いた外観の目視検査による判定と分光測色計を用いた場合の判定はほぼ一致した。目視判定する場合には屋外では天候により色が異なって見える問題があった。逆に微妙な光沢の違い等により目視で判定できたベージュ色や薄茶色の塗装木材の判定が測色計では困難であった。目視と測

色計の併用により確実な判定ができると考えられる。建設廃木材では有害金属は特定の表面処理廃木材に高濃度で含まれることが確認されたため、これらを判定することによりほぼ完全に有害金属を取り除くことが可能である。

実際の現場では、重機による廃木材の移動・投入などの作業と平行して分光測色計による判定を行うには、危険を伴い、作業効率が低下してしまう。今後は、カメラによる画像取り込み一色彩判定のシステムを検討する予定である。

## (3) まとめ

建設廃棄物処理施設において極めて主観的に適用されている目視検査による手選別、及び破砕・分粒・比重差選別等の物理的処理技術について、汚染物質の挙動の面から科学的評価を行った。

実際の現場で適用可能な混合廃棄物破砕選別残渣に含まれる汚染物質の選別手法として、鉛直流の風力選別が最も有効であることを示した。埋立処分されている残渣の汚染物質が選別されれば、最終処分場からの汚濁水の浸出、ガスの発生等の問題解決につながるものと考えられる。

有害金属含有建設廃木材の判定手法として、分光測色計の測色データによる判定と標準色票を用いた目視検査を確立した。有害金属含有廃木材を選別できれば、再生原料としての安心性・安全性が向上し、利用用途も広がるものと期待される。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

(1) 渡辺洋一: 混合廃棄物破砕選別処理と埋立廃棄物の品質、環境技術、査読無、38、pp17-24、2009

[学会発表] (計 2 件)

(1) 渡辺洋一、川寄幹生、小野雄策: 建設廃棄物破砕選別残さの風力選別による品質向上 (第2報)、廃棄物資源循環学会、2008年11月20日、京都市

(2) 渡辺洋一、川寄幹生、小野雄策: 建設廃棄物破砕選別残さの風力選別による品質向上、廃棄物学会、2007年11月20日、つくば市

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 洋一: 埼玉県環境科学国際センター・廃棄物管理担当・主任研究員

研究者番号: 00415382