

研究課題名=埋立処分量削減を目的とした廃棄物処理残さの土木資材化と環境負荷低減化技術

研究期間(西暦)=2001-2004

代表研究者名=島岡 隆行(九州大学大学院)

共同研究者名=八木 美雄, 瀬戸 俊之, 南 亮太((財)廃棄物研究財団)

研究目的=本研究は、最終処分される廃棄物の約7割を占める一般廃棄物焼却残渣の埋立処分を回避させることを目的として、焼却残渣の有効利用とそれに伴う環境への負荷を最小限とするための技術開発および検討を行った。

研究方法=本研究は、以下の4つに大別される。

1. 収集システム変更に伴う焼却対象廃棄物および焼却残渣の性状変化に関する全国調査

焼却残渣を土木資材として有効利用するには、その性状を把握することが必要である。そこで、収集廃棄物および排出される焼却残渣の物理・化学的性状、各種リサイクル法(主として家電リサイクル法、容器包装リサイクル法、資源有効利用促進法)の施行に伴う、収集廃棄物および焼却残渣中のPb、Cdの溶出濃度、含有量を、全国の主要自治体・施設を対象にしたアンケート調査によって明らかにした。

2. 焼却残渣の環境安全な有効利用のための前処理技術の開発

(1) 焼却工場において発生する焼却残渣の化学性状の検討

焼却工場内における有害物質の挙動を把握することは、最終的に排出される焼却残渣中の有害物質を制御可能かどうか判断する上で非常に重要である。そこで、収集人口50万人規模以上で、収集形態や産業構造が異なるF市とK市の2つの清掃工場を調査対象として、ごみおよび焼却残渣(焼却灰、ボイラー灰、エコノマイザ灰、減温塔灰、バグフィルター灰)中の重金属やダイオキシン等の含有量および溶出濃度を測定し、それぞれの性状の違いを検討するとともに、物質収支を評価した。

(2) 清掃工場における実排ガスを用いた焼却灰の炭酸化処理実験

焼却灰中の有害重金属(特にPb)の不溶化を低コスト、低エネルギーに行う前処理手法として、稼働中の清掃工場から発生する実排ガスを有効利用した炭酸化処理試験を行った。また、焼却灰を充填したカラム、および小型混練機を用い、様々な条件で炭酸化処理実験を行い、環告19号、46号、および底質調査法によるPb溶出濃度、含有量を検討し、炭酸化メカニズムの解明と、最適な処理条件を明らかにした。

(3) 土壌生成因子の付与による焼却残渣中の有害重金属不溶化技術の開発

土壌生成因子の作用によって、人工の火山灰ともいえる焼却残渣もまた、風化・安定化し、土壌に回帰すると考えられる。そこで、焼却残渣を異なる初期含水率、温度で乾燥させ、さらに、湿潤・乾燥を繰り返すことによって、重金属の不溶化に与える影響を評価した。

3. 焼却灰粒子の生成機構とその物理・化学的性状

焼却灰中の重金属溶出メカニズムを解明するためには、各種溶出試験によるマクロ的な指標に加え、焼却灰の単一粒子に着目したミクロ的な視点からの検討が必要である。そこで、焼却灰粒子の生成過程の整理、粒子内の重金属の存在分布、およびその存在形態等を、SEM-EDX、EPMA等の機器分析や逐次抽出法を用いて明らかにした。

#### 4. 海面埋立用材としての焼却灰の有効利用に関する研究

高度な跡地利用を目的とした焼却灰の海面埋立技術開発のために、鉛直1次元カラムを用いた焼却灰の沈降実験を行い、沈降・堆積特性を評価した。また、廃止までに特に問題となる有機汚濁成分（TOC成分）の早期安定化について検討するため、凝集沈降時における海水へのTOC成分の溶出挙動と堆積した焼却灰からの溶出特性を、実験、および数値シミュレーションによって明らかにした。さらに、堆積層からのTOC成分の長期的な溶出特性を明らかにするため、大型一次元カラムを用いた実験によって検討した。

以上に加え、焼却灰有効利用の現状を広く把握することを目的として、国内外における研究・技術開発動向に関する文献調査を行った結果を示した。

結果と考察=本研究で得られた知見を以下に示す。

##### 1. 収集システム変更に伴う焼却対象廃棄物および焼却残渣の性状変化に関する全国調査

重金属溶出試験結果より、Pbが約8割の施設において土壌環境基準を上回っていたことから、焼却灰の土木資材化には、Pbの溶出量の低減対策が必要であることが明らかとなった。また、各種リサイクル法の施行に伴い、収集（受入）形態に変更のあった焼却施設では、法施行前後で、Pb含有量は変化が認められなかったが、Cd含有量は49%減少していた。また、溶出濃度については、Pbが32%、Cdは99%減少していた。以上より、各種リサイクル法の施行に伴い、収集（受入）形態が変化することで焼却灰中のPb、Cd溶出濃度、含有量は、全体的に減少する傾向が認められた。

##### 2. 焼却残渣の環境安全な有効利用のための前処理技術の開発

###### (1) 焼却工場において発生する焼却残渣の化学性状の検討

F市については、焼却された廃棄物中の灰分に対して92.6w-%の焼却灰と7.4w-%の飛灰（ボイラー灰2.4w-%、エコノマイザ灰0.2w-%、減温塔灰0.6w-%、バグフィルター灰4.2w-%）が発生していた。Cd、Pb、Zn、Fは60～70%が焼却灰に移行し、バグフィルター灰へは30～40%であった。焼却灰中のダイオキシン類は23～51pg-TEQ/gで土壌環境基準（1ng-TEQ/g）を下回っていたが、エコノマイザ灰、減温塔灰には150～600pg-TEQ/g検出され、焼却灰に比べ高濃度のダイオキシン類が認められた。

###### (2) 清掃工場における実排ガスを用いた焼却灰の炭酸化処理実験

本実験の炭酸化処理適正条件は、添加水分率：約5～10% / 乾灰、処理時間：約30～60分（4%炭酸ガス流量0.4m<sup>3</sup>/min）、装置入出口CO<sub>2</sub>濃度：0～0.4vol%（0.4m<sup>3</sup>/min（炭酸ガス濃度：4%）×30～60分）、炭酸ガス吸収速度：0.305～0.356mL/min/g-乾灰であった。実排ガスを有効利用した本法は、低コストかつ低エネルギーで重金属を不溶化できる技術であることが示された。さらに、焼却灰を充填したカラム、および小型混練機を用い、様々な条件で炭酸化処理実験を行った結果、炭酸化処理によって環告46号法試験による土壌環境基準値（0.01mg/L）は満足した。しかし、環告19号法試験によるPb含有量は低下したが、150mg/kgを下回らなかった。

###### (3) 土壌生成因子の付与による焼却残渣中の有害重金属の不溶化技術の開発

焼却残渣に湿潤・乾燥操作を繰り返し与えた結果、Pbの溶出濃度は土壌環境基準値を下回る濃度にまで減少し、しかも室内に放置しておいた焼却残渣よりも速く不溶化した。また、含水率が10～30%の時に不溶化が最もよく進んだこと、窒素雰囲気でも不溶化したことから、Pbの不溶化は、溶解している共存物質が、乾燥による濃縮によって生成した沈殿物中に取り込まれる等の影響があることが示唆された。また、湿潤・乾燥工程によって不溶化した焼却残渣のpH依存性試験結果から、アルカリ性領域では不溶化が進行していたのに対して、酸性領域では再溶出しやすくなる特異な傾向を示した。

##### 3. 焼却灰粒子の生成機構とその物理・化学的性状

焼却灰粒子にはガラス，金属類等が粒子内部に核として存在し，周囲を微細粒子が取巻くという特異的な構造を有していたことから，核となり得る不燃物の混入割合や溶融物等の生成程度が，焼却灰粒子の強度に大きな影響を及ぼすことが示唆された。また，焼却灰粒子を核の有無，種類により 8 種類に分類すると，溶融物を核とする粒子が全体の約半分，不燃物を核とする粒子が全体の約 2 割を占めていた。次に，湿潤状態の焼却灰に遠心力を作用させ，焼却灰が保有する水分を脱水した。その結果，脱水可能径 20 $\mu\text{m}$  以上の部分から，水溶性鉛の約 9 割が得られた。また，EPMA 分析結果より，焼却灰粒子中の鉛は，一様な濃度分布の中に，高濃度の微小領域（数十 $\mu\text{m}$  程度）が patch 状に存在していた。

#### 4. 海面埋立用材としての焼却灰の有効利用に関する研究

焼却灰を海水中に投入すると，沈降する焼却灰は顕著な凝集性を示し，いち早く沈降した砂・礫からなる層（砂・礫層）の上にフロックが堆積し，浮泥層が形成された。焼却灰に含まれる無機塩類，重金属等の各層への移行割合を算出した結果，大部分の元素については，浮泥層の含有量と比較し，砂・礫層にその 10 倍程度多く含まれていた。また，焼却灰のフロック生成能については，pH10.2～10.6 の範囲で最もよく凝集した。

次に，小型水槽を用いて，浮泥層の有無による上部海水中の TOC 濃度を経時的に測定した。その結果，浮泥を有する堆積層において，砂・礫層内の濃度分布より算出した TOC 総溶出量に対する上部海水への総溶出量が約 53.5%であったことから，浮泥層は砂・礫層から溶出した TOC 成分を蓄積する傾向にあることが示唆された。したがって，廃棄物堆積層から浮泥層を除去することによって，海面埋立地の安定化が促進されることが考えられた。

結論=本研究によって，一般廃棄物焼却灰の土木資材への有効効利用と，それに伴う環境への負荷を最小限にするための技術開発へ向けて，多くの知見が得られた。廃棄物を「原料」と見なし，清掃工場は「骨材工場」，焼却灰は「製品（骨材）」とする一連の骨材製造フローとして，廃棄物の焼却処理を位置づけることが可能であることを示した。