

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Balganym Dosmukhambetova
論文題目	Study on volume reduction and leaching of plastic-related waste treated by pyrolysis technology (熱分解技術によるプラスチック関連廃棄物の減容化と浸出に関する研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、深刻な社会問題となっているプラスチック関連廃棄物 (廃プラスチック) に着目し、直接埋立や燃焼による処理が環境に与えるインパクトを軽減するために、熱分解処理による廃プラスチックの減容化と処理された材料の浸出特性を室内試験によって明らかにしようとしたものである。廃棄物処分場の負荷と有害物質排出リスクの軽減を目的として、実験に基づいて検討を加えたものであり、5章から成っている。</p> <p>第1章は序論であり、世界的に問題化している廃プラスチックの処理の現状と問題点を指摘し、主たる処理方法である焼却と埋立とリサイクルが抱える問題点を指摘し、こうした問題を克服しうる本研究の意義について述べている。</p> <p>第2章では既往研究のレビューと、こうした既往研究成果に基づいた廃プラスチック処理の問題点と意義について議論している。廃プラスチックの処理に対しては、リサイクル、埋立、焼却、熱分解など、種々の方法がある。埋立は、特に難しい処理を必要としないことから世界で最も広く行われているが、限りなくスペースを必要とする上に地盤環境にとっても好ましいとはいえない。また、混合・汚染された廃プラスチックのリサイクルは技術的難度が高く、低品質の製品が生成されるという問題を抱えている。幅広く行われている焼却については、ダイオキシンなどの有害排出物が大きな懸念事項である。こうした現状認識に基づき、有害な排出物の環境への影響を軽減し、埋立地の廃棄物量を減少させ、プラスチックを完全に分解する持続可能な廃プラスチック処理方法を確認する意義について言及している。本研究で取り組んだ熱分解による廃プラスチックの処理について近年研究が進められつつある分野であり、熱分解技術は、分別や洗浄を行わなくても廃プラスチックの顕著な減容化と有害な排出物を発生させずに完全に分解する可能性をあるものであることを述べている。</p> <p>第3章では、熱分解技術による廃プラスチックの処理とその有効性について、体積の減容化、熱分解された試料の基本的な力学特性の把握、熱重量分析、および蛍光 X 線分析を通じて材料の化学的特性について検討した。実験に用いた試作装置は特殊セラミックプレートを貼り付けた熱分解槽であり、これを外部から加熱することによってセラミックから発する遠赤外線により熱分解槽内にセットした材料を 600℃の環境下で 3 時間加熱するという条件で熱分解処理を行った。処理する材料としては、社会的ニーズと発生量を勘案して、エアコン、冷蔵庫、洗濯機、自動車などを廃棄する際に発生する、リサイクルを困難にするさまざまな添加剤を含んだ強化プラスチックを破砕した産業用混合廃プラスチック、災害廃棄物を念頭においた土・材木・ビニール袋・ペットボトルによる混合廃棄物、乳幼児保育施設や介護施設から大量に排出される紙おむつの 3 種類を選定した。特に紙おむつについては、使用後に重量と体積が大きくなり、燃焼時に様々な問題が発生する難しい材料であることから本研究で取り組んだ熱処理の効果について検討するために選定した。</p> <p>熱分解処理により、家電製品から分離された廃プラスチックは、重量、容積ともに 1/6 に減少し、土に木材、ペットボトル、ビニール袋を混入した人工災害廃棄物は、重量が 3/5、容積が 3/10 に減少、汚物代替に水分を十分含ませた紙おむつについては重量が 3/200、容積が 7/1000 に減少した。土質材料は熱分解で炭化しないため災害廃棄物の減容、減量が低比率になっているのに対し、家電由来の産業用混合廃プラスチックで</p>			

京都大学	博士 (工 学)	氏名	Balganym Dosmukhambetova
<p>は 80%を超える減容、減量が達成され、高分子ポリマーから成る紙おむつの減容・減量効率が非常に高くなっており、本手法の有効性が確認されたことを述べている。</p> <p>次に、熱分解された材料の基本的な物理特性試験、熱重量分析および組成分析を実施した。ふるい分析に基づく粒度分布特性より、産業用混合プラスチックおよび廃棄物混合土は、細粒分を含む砂質土に分類されるのに対し、紙おむつ試料では細粒分の比率が全重量の 90.4%と非常に高く、微細なポリマーに分解されていることが確認された。熱分解された各試料の圧縮特性は、道路建設に利用されるフライアッシュと類似した挙動となることが確認された。さらに、熱分解処理条件の有効性を理解するために、熱重量分析を行った。熱重量分析の結果、実験に用いた 3 つのサンプルすべてで、加熱開始 35 分後に約 510° C で重量減少が頭打ちとなることが観察された。このことより、本研究で用いた熱処理試験装置では 600° C で 3 時間という条件で熱処理を行ったが、510° C で最大 1 時間処理することで、より少ないエネルギー消費で効率的に同じ結果を得ることができることを示した。</p> <p>第 4 章では、第 3 章で実施した実験によって熱処理された廃棄物の処分やリサイクルに際し、土壌、地表水、地下水への有害な物質の浸出が生じないかについて検討した。焼却灰と同様に処分場に埋め立てる場合や、土木・建築材料として再利用する場合であっても、処理灰に含まれる有害物質の溶出は深刻な環境問題を引き起こすため、バッチ浸出試験と pH 依存性浸出試験によって熱処理材料の浸出挙動に関する検討を行った。3 種類の処理試料に対し誘導結合プラズマ発光分光分析(ICP-AES)と誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)による分析を行った。その結果、カドミウム、ホウ素、および鉛の浸出濃度が非常に低いことが確認された。カドミウムは紙おむつから検出されず、クロムと鉛は、産業用混合廃プラスチックや廃棄物と土を混合した災害廃棄物から検出されなかった。このように、本研究で実施した熱処理によって産出される処理灰は有害物質の浸出に対しても概ね基準値をクリアすることが確認された。一方、産業用混合プラスチックと紙おむつ廃棄物のヒ素とセレンの溶出量は環境庁告示第 46 号の基準値をやや上回る値となり、バインダー材による安定化や減衰層の利用など、ヒ素やセレンの溶出対策を検討する必要性が課題として残されていることを示した。</p> <p>第 5 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

氏名	Balganym Dosmukhambetova
----	-----------------------------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、深刻な社会問題となっているプラスチック関連廃棄物に着目し、直接埋立や燃焼による処理が環境に与えるインパクトを軽減することを目的として、熱分解処理による減容化と処理された材料の浸出特性を室内試験によって明らかにすることにより、処分場の負荷と有害物質排出リスクの軽減を目的として、実験に基づいて検討を加えたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

実験に用いた試作装置はセラミックプレートを貼り付けた熱分解槽を加熱し、セラミックから発する遠赤外線により 600℃の環境下で熱分解を行うものである。近年、先端材料開発によって、産業用混合プラスチック廃棄物には、プラスチックのリサイクルを困難にするさまざまな添加剤やポリマーが含まれており処理が難しくなっている。また乳幼児や介護施設で多用される紙おむつは埋立地での分解には長時間を要し、燃焼による有毒ガスの発生など、通常処理が難しいとされている。本研究ではこれらに加えて、災害時に発生する土砂と他材料の混在する災害廃棄物の3種類を取り上げ、熱分解による処理を行い、減容率と浸出特性について実験的な検討を行った。

熱分解処理により、家電製品から分離された産業用混合プラスチックは、重量、容積ともに 1/6 に減少し、土に木材、ペットボトル、ビニール袋を混入した人工災害廃棄物は、重量が 3/5、容積が 3/10 に減少、汚物代替に水分を十分含ませた紙おむつについては重量が 3/200、容積が 7/1000 に減少した。土質材料は熱分解で炭化しないため災害廃棄物の減容、減量が低比率になっているのに対し、家電由来の硬質プラスチックでは 80%を超える減容、減量が達成され、高分子ポリマーから成る紙おむつの減容・減量効率が非常に高くなっていることがわかった。

次に、熱分解処理後の材料に対して溶出試験を実施した。3種類の処理試料に対し誘導結合プラズマ発光分光分析(ICP-AES)と誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)による分析を行った結果、セレンとヒ素については廃プラスチックと紙おむつで環境庁告示第46号の基準値をやや上回る値となったが、カドミウム、鉛、ホウ素については不検出または基準以下となり、浸出に関して安全であることが明らかとなり、本研究における熱分解処理の有用性が確認された。

以上の通り、本論文は、廃プラスチックの減容化と無害化に向けた研究として、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年2月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。