

学位論文題名

Characterization of Char derived from Solid Waste for
Fuel Recovery and Thermal Pretreatment before Landfilling

(燃料化及び埋立前処理のための廃棄物炭化物の特性に関する研究)

学位論文内容の要旨

急激な人口増加と大量生産、大量消費、大量廃棄の社会構造は、資源枯渇と環境汚染を加速した。20世紀末に持続可能な開発が人類共通のパラダイムとなって以来、廃棄物管理政策も大きな転換が必要となった。現在、廃棄物発生量の最小化し、発生した廃棄物中の資源化可能物を積極的に回収して社会システムに再循環させ、それによって最終処分量を極小化し、長期の環境負荷源である埋立地の早期安定化を図るための努力が続いている。こうした状況において、リサイクル技術としてさまざまな方法が提案されている。このうち、炭化プロセスは無酸素条件下で有機物を加熱し、炭化物を回収する方法である。比較的低温で運転され、複雑な技術を要しない、また焼却に比べて有害ガスの発生量が少ないなどの長所を持っている。本研究では廃棄物の炭化から得られた炭化物を燃料回収の観点だけでなく、廃棄物最終処分物の前処理方法として検討した。

第1章は序論であり、研究の背景、目的、研究方法及び各章の構成を述べた。

第2章では、16種類の様々な都市廃棄物と産廃廃棄物をロータリーキルンを用いて500℃で1時間、窒素雰囲気中で加熱処理して炭化物を製造し、廃棄物およびその処理により得られた炭化物の物理・化学的な組成、発熱量などを分析した。バイオマス系の成分が多いほどより灰分の低い炭化物が得られ、質の向上のため簡易な方法として粉碎・ふるい分け、水洗の効果を検討した。粉碎炭化物の1mm以上除去は発熱量向上に大きな効果が見られなかったが、1mm以下炭化物の繰り返し水洗によって、プラスチックの高炉燃料使用基準値である0.5%塩素量を満足した。灰分が高い炭化物については、埋立前処理としての効果を検討した。炭化処理は有機物量を減少させるほか、重金属溶出濃度が埋立基準値を満たすことが分かった。また、炭化物の工業分析値から発熱量を推定する式を導出した。

第3章では、炭化物の燃料利用の際に装置腐食などの問題を起こす塩素に注目し、水溶性の程度によって形態を分類・定量した。都市ごみ由来の炭化物を試料として選び、4回繰り返し水洗し除去される塩素を易溶性塩素とした。次に、難溶性塩素を定量・除去するため、水洗した炭化物を水中で二酸化炭素曝気などの処理を行った。最後に、炭酸化処理によっても残留した不溶性塩素の溶解を促進するため、粉碎を行ったが効果がなかった。フッ酸分解による抽出割合が32%にとどまったことから、単にマトリックス中に取り込まれているのではなく化学的要因が関与していると思われる。炭化物中塩素の大部分は水溶性であり、水洗による塩素除去効果は高い。一方、セメントキルン用燃料としては揮発性塩素0.1%が目標となっており、水洗のみでは0.16%が炭化物中に残るが、炭酸化まで行くと0.11%程度となり、ほぼ満足出来ることが分かった。

第4章では、炭化物中の灰分除去方法として重液選別、および石炭の灰分除去技術である浮選、液中造粒を適用し、合わせて灰分の存在形態について考察した。試料として都市ごみ炭化物、自動車シュレッダーダスト(ASR)炭化物を用い、不燃物を多く含む5.6mm以上と粉碎試料のうち125 μ m以上を除いて実験を行った。

選別条件によって回収物の特性は変化するが、発熱量が高い良質の炭化物を得ようとする可

分の回収率が低くなるとのトレードオフ関係が見られた。都市ごみ炭化物に対しては浮選あるいは液中造粒によって発熱量 20000 kJ/kg 及び灰分 30% 以下の目標値を満足できたが、可燃分の回収率は 20% まで低下した。ASR 炭化物については、基準値を満足させることが不可能であった。

灰分分離の困難さは、灰分が可燃分と物理・化学的に結合した形態で存在するためと仮定し、以下の考察を行った。灰分の元素組成を一定とみなせることがわかったため、重液選別で分離した同一密度粒子群の灰分、可燃分、および平均密度から灰分、可燃分の密度を推定した。これを用いて推定した粒子密度は実験値とよく一致し、灰分密度の推定値は XRD 分析をもとにした化合物形態分布にもとづく推定値とほぼ同じであった。さらに EDX/SEM による表面分析結果から灰分が可燃分と結合していることも確認した。試料はすでにボールミルにより破碎しており、灰分と可燃分の単体分離は困難である。

第 5 章では、炭化処理を廃棄物の埋立前処理として検討するため、嫌気性埋立、好気性埋立を各々模擬したカラム実験を行った。第 2 章で有機物と重金属量が多いにも関わらず直接埋立されていた粗大ごみ不燃残渣の炭化物を試料とし、比較のため未処理の不燃残渣、焼却残渣についても実験した。

炭化処理は、焼却には及ばないものの有機物削減効果は大きい。カラム試験においては、炭化物からの有機物溶出は好気性・嫌気性によらず原廃棄物と比べて大幅に減少し、特に好気性カラムではアンモニア濃度が低下した。しかし、重金属溶出量はバッチ試験 (13 号溶出試験) では基準値を満足するが、カラム実験においては溶出が認められ、好気性条件では Cd、Cr、Pb などの溶出が嫌気性条件と比べて促進された。従って、炭化物から重金属の溶出抑制効果を得るためには、酸化還元などによる環境条件の考慮が必要である。

以上のように、本研究では、燃料化及び埋立前処理のための廃棄物炭化物の特性を検討した。炭化物の燃料利用においては、まず処理対象となる廃棄物を選ぶ必要がある。燃料としての質向上のため、炭化物に含まれている塩素は水洗などで大部分除去できるが、さらに向上させる必要がある。灰分除去についてはまだ課題が残っている。埋立前処理としては、炭化処理は減容化のほかに有機物量を大幅に低減し、埋立地の早期安定化に効果が大きい。重金属の溶出抑制も確認されたが、環境条件によってその溶出特性が異なる可能性がある。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 松 藤 敏 彦

副 査 教 授 恒 川 昌 美

副 査 教 授 名 和 豊 春

学位論文題名

Characterization of Char derived from Solid Waste for Fuel Recovery and Thermal Pretreatment before Landfilling

(燃料化及び埋立前処理のための廃棄物炭化物の特性に関する研究)

大量生産・大量消費・大量廃棄型社会から、循環型社会への転換がはかられている。天然資源消費の削減、環境負荷の低減のために、さまざまな技術が提案されているが、本研究は比較的低温の熱処理技術である炭化処理に注目し、燃料利用、および廃棄物最終処分前処理の観点から、炭化物の特性を検討した。

第1章は序論であり、研究の背景、目的、研究方法及び各章の構成を述べた。

第2章では、16種類の様々な都市廃棄物と産廃廃棄物をロータリーキルンによって500℃で1時間、窒素雰囲気中で加熱処理して炭化物を製造した。廃棄物および炭化物の物理・化学的な組成、発熱量などを分析し、バイオマス系の成分が多いほどより灰分の低い炭化物が得られることがわかった。また以下の章の方向付けのため、粉碎・ふるい分け、水洗による炭化物の質向上、埋立前処理としての有機物量および重金属溶出濃度削減効果について検討した。さらに、炭化物の工業分析値から発熱量を推定する式を導出した。

第3章では、炭化物の燃料利用の際に装置腐食などの問題を起こす塩素に注目し、水溶性の程度によって形態を分類・定量した。都市ごみ由来の炭化物を試料とし、繰り返し水洗により除去される塩素を水溶性塩素とし、次に水洗炭化物から二酸化炭素曝気などの処理により難溶性塩素を定量した。最後に、残留する不溶性塩素の存在形態を検討したが、粉碎処理は効果がなく、フッ酸分解による抽出割合が32%にとどまったことから、単にマトリックス中に取り込まれているのではなく化学的要因が関与していると思われた。炭化物中塩素の大部分は水溶性であり、水洗による塩素除去効果は高い。一方、セメントキルン用燃料としては揮発性塩素0.1%が目標となっており、水洗のみでは0.16%が炭化物中に残るが、炭酸化まで行くと0.11%程度となり、ほぼ満足出来ることが分かった。

第4章では、炭化物中の灰分除去方法として重液選別、および石炭の灰分除去技術である浮選、液中造粒を適用し、あわせて灰分の存在形態について考察した。試料として都市ごみ炭化物、自動車シュレッダーダスト(ASR)炭化物を用い、不燃物を多く含む5.6mm以上と粉碎試料のうち125μm以上を除いて実験を行った。

選別条件によって回収物の特性は変化するが、発熱量が高い良質の炭化物を得ようとする可

分の回収率が低くなるとのトレードオフ関係が見られた。都市ごみ炭化物に対しては浮選あるいは液中造粒によって発熱量 20000 kJ/kg 及び灰分 30% 以下の目標値を満足できたが、可燃分の回収率は 20% まで低下した。ASR 炭化物については、基準値を満足させることが不可能であった。

灰分分離の困難さは、灰分が可燃分と物理・化学的に結合した形態で存在するためと考え、重液選別で分離した同一密度粒子群の灰分、可燃分、および平均密度から灰分、可燃分の密度を推定した。これを用いて推定した粒子密度は実験値とよく一致し、また EDX/SEM による表面分析結果からも灰分と可燃分が結合しているとの仮定が正しいことを確認した。灰分密度の推定値は XRD 分析により得た化合物形態分布にもとづく推定値とほぼ同じであった。

第 5 章では、炭化処理を廃棄物の埋立前処理として検討するため、嫌気性埋立、好気性埋立を各々模擬したカラム実験を行った。第 2 章で有機物と重金属量が多いにも関わらず直接埋立されていた粗大ごみ不燃残渣の炭化物を試料とし、比較のため未処理の不燃残渣、焼却残渣についても実験した。

炭化処理は、焼却には及ばないものの有機物削減効果は大きい。カラム試験においては、炭化物からの有機物溶出は好気性・嫌気性によらず原廃棄物と比べて大幅に減少し、特に好気性カラムではアンモニア濃度が低下した。しかし、重金属溶出量は溶出試験では基準値を満足するが、カラム実験においては溶出が認められ、好気性条件では Cd、Cr、Pb などの溶出が嫌気性条件と比べて促進された。従って、炭化物から重金属の溶出抑制効果を得るためには、酸化還元などの環境条件を考慮することが必要である。

これを要するに、筆者は、さまざまな廃棄物を対象として炭化物の特性を燃料利用、埋立前処理の観点から検討し、前者においては炭化物質向上の可能性と課題、後者に対しては有機物、重金属の溶出抑制効果を明らかにした。本研究の成果は、廃棄物処理における炭化処理を対象に応じて使い分ける可能性を示したもので、廃棄物工学、リサイクル工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。