

高効率廃棄物発電システムを確立するための熱分解反応 条件の最適化および熱分解促進に関する研究

学位論文内容の要旨

年々深刻化している地球温暖化問題を背景に、資源やエネルギーを効率よく利用するための技術開発の重要性が増々高まってきている。なかでも二酸化炭素排出量の多い電力分野に対する排出量削減割り当ては大きいため、火力発電の効率向上や、発電所で排出される二酸化炭素の回収に向けた技術開発が活発化してきている。しかし、国の試算ではこれだけでは削減目標を達成できず、太陽光発電や廃棄物発電などのいわゆる新エネルギーの導入拡大が必須とされている。特に廃棄物発電への期待は大きく、約 12,000GWh もの発電量が求められている。ところが、廃棄物発電の総発電量は、2005 年度において約 7,000GWh であり、2 倍近くに増やす必要がある。そのため、単純焼却から廃棄物発電への転換およびその高効率化が急務となっている。しかし、廃棄物は散在して発生するために、小規模分散型にならざるを得ないことや、焼却灰などの二次廃棄物の完全無害化に多くのエネルギーが消費されることから、2005 年度における平均発電効率は 11.5% と通常の火力発電の 1/4 程度と低くなっている。

このような背景を踏まえ、本研究では、従来は主に燃焼技術が適用されてきた固体廃棄物の処理に熱分解技術を適用することにより、固体廃棄物の発電用燃料としての利用を促進することを最終的な目的とした。これを推進するに当たり、固体廃棄物を、廃プラスチックのように単一の物質に分別されたもの対象とする場合と、都市ごみのように水分・紙・プラスチック等の異なる物質が混在しているものを対象とする場合に分けて検討した。単一物質の中でも特に廃プラスチックのように元々石油から製造された廃棄物の場合、それ自体の発熱量が高いために高効率発電が期待できる。一方、都市ごみのように紙やプラスチックなどの混合処理の場合は、構成する物質がそれぞれ固有の最適な熱分解条件を持つと考えられるため、すべての構成要素について熱分解反応が過不足なく進むようなプロセスの最適化が必要となる。

本論文では、分別されて排出された廃プラスチックを対象に、廃プラスチックを熱分解処理して油に変換するプロセスと、小規模でも高効率発電が期待できるディーゼル発電とを組み合わせた油化発電システムを開発することを第一の目的とした。さらに、紙・木・プラスチック等の異なる物質が混在している都市ごみを対象とし、それらを熱分解処理して得られた可燃性のガスを熱分解の熱源とし、さらに同時に生成する可燃性の固体を灰の溶融処理の熱源として利用するガス化溶融システムを開発することを第二の目的とした。

本論文は全 5 章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、従来の廃プラスチック油化技術および都市ごみの熱分解ガス化溶融システムにおけ

る技術課題を示すとともに、本研究の着目点と課題について述べた。

第2章では、はじめに処理量 30kg/h の廃プラスチック油化装置を製作し、種々の廃プラスチックについて油化特性を取得した。また、ディーゼル用燃料として適した性状の油を回収するための改質条件を明らかにし、生成油によるディーゼル燃焼試験を行った。触媒を用いない還流法で軽質化した生成油では、燃費、排ガス性状等において、灯油と同等の燃焼性能が得られた。さらに、処理量 200kg/h の油化発電設備を製作し、廃プラスチックの油化と生成油によるディーゼル発電の実証を行った。その結果、熱効率は 78.9%、送電端効率は 27.6% となる見通しが得られた。還流軽質化を用いた廃プラスチック油化とディーゼル発電の組合せにより、400kW という小規模にも拘わらず、高い発電効率が得られることを示した。

第3章では、熱分解ガス化溶融システムの高効率化を目的として、熱分解キルンにおける伝熱特性の把握と伝熱向上について検討した。熱分解キルンでは、炉壁からの伝熱により間接的にごみを加熱して熱分解するため、熱分解を促進するには、炉壁からごみへの総括伝熱係数 k_{m-w} を上げる必要がある。そこで、バッチ式の熱分解キルンを製作し、ごみの熱分解過程における総括伝熱係数 k_{m-w} を測定した。その結果、総括伝熱係数 k_{m-w} は熱分解過程において一定でなく、ごみ温度の上昇にともない高くなることを初めて明らかにした。さらに、総括伝熱係数 k_{m-w} を指標として、熱分解を促進するためのキルンの内部構造および回転速度について検討した。その結果、総括伝熱係数 k_{m-w} は内筒に設置したリフタの枚数と高さ、および炉の回転速度に比例して大きくなることが分かった。さらに、リフタの高さをごみの層厚の 0.45 倍以上、リフタの設置間隔をごみと炉の接触面の弧の長さよりも狭くすることにより、総括伝熱係数 k_{m-w} を約 10% 向上できることを明らかにした。

第4章では、第3章で得られた結果を実機的设计や運転性能の評価に適用するための熱分解炉モデルを開発した。従来、このようなモデルでは総括伝熱係数は一定値を与えていたが、本モデルでは、第3章で取得した総括伝熱係数をキルンの運転条件や炉内構造などをパラメータとして関数化して導入した。また、ごみの移動モデルを導入することにより、ごみの滞留時間からごみの層の3次元形状を計算し、その結果を Discrete Transfer 法による輻射伝熱の計算に反映した。これにより、一般的に用いられる形態係数を用いる方法と比較して精度の向上が図れたと考えられる。さらに、本モデルの有効性を評価するために、実機の温度データによる精度の検証を行った結果、主要部の温度について、誤差±3%の範囲で一致することが確認された。

第5章は、本研究の結論であり、本研究で得られた成果をまとめて示した。

本論文で、著者は、廃プラスチックのように単一の物質に分別された固体廃棄物と、都市ごみのように紙やプラスチック等の異なる物質が混在している固体廃棄物の両者について、高効率な発電システムを構築する上での基盤となる新たな成果を与えたもので、今後の廃棄物発電を通じた温暖化ガス排出量削減へ貢献するものと考えられる。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 藤 田 修
副 査 教 授 永 田 晴 紀
副 査 教 授 池 川 昌 弘
副 査 教 授 小 川 英 之

学 位 論 文 題 名

高効率廃棄物発電システムを確立するための熱分解反応 条件の最適化および熱分解促進に関する研究

本研究は、固体廃棄物の処理に熱分解技術を適用することにより、固体廃棄物の発電用燃料としての利用を促進することを目的として行われたものである。これを推進するに当たり、固体廃棄物を、廃プラスチックのように単一の物質に分別されたものを対象とする場合と、都市ごみのように水分・紙・プラスチック等の異なる物質が混在しているものを対象とする場合に分けて検討した。単一物質の中でも特に廃プラスチックのように元々石油から製造された廃棄物の場合、それ自体の発熱量が高いために高効率発電が期待できる。一方、都市ごみのように紙やプラスチックなどの混合処理の場合は、構成する物質がそれぞれ固有の最適な熱分解条件を持つと考えられるため、すべての構成要素について熱分解反応が過不足なく進むようなプロセスの最適化が必要となる。

本論文では、分別されて排出された廃プラスチックを対象に、廃プラスチックを熱分解処理して油に変換するプロセスと、小規模でも高効率発電が期待できるディーゼル発電とを組み合わせた油化発電システムを開発することを第一の目的としている。さらに、紙・木・プラスチック等の異なる物質が混在している都市ごみを対象とし、それらを熱分解処理して得られた可燃性のガスを熱分解の熱源とし、さらに同時に生成する可燃性の固体を灰の溶融処理の熱源として利用するガス化溶融システムを開発することを第二の目的としている。

本論文は全5章で構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章では、従来の廃プラスチック油化技術および都市ごみの熱分解ガス化溶融システムにおける技術課題を示すとともに、本研究の着目点と課題について述べた。

第2章では、はじめに処理量 30kg/h の廃プラスチック油化装置を製作し、種々の廃プラスチックについて油化特性を取得した。また、ディーゼル用燃料として適した性状の油を回収するための改質条件を明らかにし、生成油によるディーゼル燃焼試験を行った。触媒を用いない還流法で軽質化した生成油では、燃費、排ガス性状等において、灯油と同等の燃焼性能が得られることを示した。さらに、処理量 200kg/h の油化発電設備を製作し、廃プラスチックの油化と生成油によるディーゼル発電の実証を行い、熱効率は 78.9%、送電端効率は 27.6% となる見通しを得ている。還流軽質化を用いた廃プラスチック油化とディーゼル発電の組合せにより、400kW という小規模にも拘わらず、高い発電効率が得られることを示した。

第3章では、熱分解ガス化溶融システムの高効率化を目的として、熱分解キルンにおける伝熱特性の把握と伝熱向上について検討した。熱分解キルンでは、炉壁からの伝熱により間接的にごみを加熱して熱分解するため、熱分解を促進するには、炉壁からごみへの総括伝熱係数 k_{m-w} を上げる必要がある。そこで、バッチ式の熱分解キルンを製作し、ごみの熱分解過程における総括伝熱係数 k_{m-w} を測定した。その結果、総括伝熱係数 k_{m-w} は熱分解過程において一定でなく、ごみ温度の上昇にともない高くなることを初めて明らかにした。さらに、総括伝熱係数 k_{m-w} を指標として、熱分解を促進するためのキルンの内部構造および回転速度について検討した。その結果、内部に装着するリフタの高さをごみの層厚の0.45倍以上、リフタの設置間隔をごみと炉の接触面の弧の長さよりも狭くすることにより、総括伝熱係数 k_{m-w} を約10%向上できることを明らかにした。

第4章では、第3章で得られた結果を実機の設計や運転性能の評価に適用するための熱分解炉モデルを開発した。従来、このようなモデルでは総括伝熱係数は一定値を与えていたが、本モデルでは、第3章で取得した総括伝熱係数をキルンの運転条件や炉内構造などをパラメータとして関数化して導入した。また、ごみの移動モデルを導入することにより、ごみの滞留時間からごみの層の3次元形状を計算し、その結果を Discrete Transfer 法による輻射伝熱の計算に反映した。これにより、一般的に用いられる形態係数を用いる方法と比較して精度が向上し、実機の温度データによる検証の結果、主要部の温度について、誤差±3%の範囲で一致することが確認された。

第5章は、本研究の結論であり、本研究で得られた成果をまとめて示した。

これを要するに、著者は、廃プラスチックのように単一の物質に分別された固体廃棄物と、都市ごみのように紙やプラスチック等の異なる物質が混在している固体廃棄物の両者について、高効率な発電システムを構築する上での基盤となる知見を与えており、とくに従来取得された例のない熱分解キルン内筒の総括伝熱係数を初めて与えた点は高く評価され、伝熱工学、燃焼工学の発展に貢献すること大なるものがある。

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。