

(続紙 1)

京都大学	博士（工学）	氏名	林 茂也
論文題目	熱分解を利用した木質バイオマスおよび廃プラスチックのエネルギー再生化法に関する研究		
(論文内容の要旨)			
我が国のエネルギー問題、地球環境問題解決を考える上で、非化石資源であるバイオマスや廃棄物エネルギー等の利用割合を増やすための技術開発が喫緊の課題である。本論文では、木質バイオマスと廃プラスチックの熱分解技術に着目し、新規の前処理プロセスと組み合わせてエネルギー再生化する方法についての研究の成果をまとめたものであり、5章、緒論、総括より成っている。 緒論では、木質バイオマスの転換利用法、廃プラスチックの処理技術の現状を整理し、今後解決すべき課題を抽出している。この考察に基づき、開発すべきバイオマス転換技術、廃プラスチック処理技術のポイントとして各物質の物性に立脚した熱分解法を開発することを本研究の目的として明確にしている。 第1章では、木質バイオマスの熱分解技術に着目し、粗粒木質バイオマスの熱分解特性と熱分解チャーの粉碎特性、燃焼特性を明らかにした。木質バイオマスを粉状で熱分解するよりも粗粒のまま熱分解することで、熱分解チャーの収率が増加することを示し、400℃熱分解では、熱分解チャー収率の増大によって約1.6倍の燃焼エネルギーがチャーに固定化できることを明らかにしている。また、粗粒木質バイオマスの熱分解温度を300℃とすると石炭の粉碎エネルギーと同値となり、石炭ミルでの石炭との混合粉碎において良好に木質バイオマスを粉碎できることを示している。燃焼評価では、粗粒木質バイオマスの400℃熱分解チャーは、石炭と同等の発熱量を持ち、燃え切り温度が石炭よりも低温となる優れた燃焼特性を持つ固体燃料であること、エネルギー利用熱量は約2倍となることを示し、本章で提案したプロセスによってバイオマスをより効率的に利用できることを明らかにしている。 第2章では、木質バイオマスに金属化合物を添加するという簡単な操作によって、熱分解チャーの収率を増大させる新規な熱分解法の提案している。金属化合物には水酸化物と塩化物を用い、金属化合物種の熱分解挙動の影響を詳細に調査した。その結果、Na、K、Caの水酸化物およびCa、Mg、Fe、Zn、Naの塩化物が熱分解曲線に影響をおよぼし、熱分解チャーの収率を増大させることを示している。これらの金属化合物は高い親水性が共通の特性であった。高い親水性を特徴とする金属化合物はバイオマス構造中の水酸基と相互作用して、水酸基の架橋反応や水酸基保護に寄与することを明らかにしている。また、元素分析の結果からNa、K、Ca、Baの各水酸化物添加により、炭素を多量に熱分解チャー中に残存させることが可能であり、チャーとして回収できる燃焼エネルギーが増大することを示し、提案した新手法がバイオマス構造に適った熱分解法であることを明らかにしている。			

第3章では、第2章で得られた金属水酸化物による木質バイオマスの炭化物収率増大・タール発生抑制技術をさらに発展させて、実際の廃棄物系バイオマスへの適用の可能性を検討している。その結果、塩化ビニルが共存しても金属水酸化物の効果によって、炭化温度500℃でのチャー収率は増加することを示している。また、バイオマス、バイオマス中に含まれる塩化ビニル、金属水酸化物の3成分間の相互作用について検証し、金属イオンによるバイオマス構造中の水酸基の架橋反応と、塩化ビニルから発生した塩化水素と金属水酸化物との中和反応が、炭化の過程で同時並行的に進行することを明らかにしている。さらに、NaOHを添加した場合、塩化ビニルに含まれる塩素はNaClとなりチャー中に存在すること、温水もしくは冷水を使用した水洗によって塩素除去が可能であることを示している。最後に、NaOHを廃棄物系バイオマスに添加する炭化プロセスのエネルギー回収率についての評価を行い、化石燃料を使用する従来型の炭化プロセスに比べて、省エネルギーと二酸化炭素削減に有効となるバイオマス利用の新しいシステムとなることを明らかにしている。

第4章では、生成した熱分解チャーの利用技術として、炭酸ガスガス化による一酸化炭素を製造するプロセスについて検討している。その結果、熱分解制御のために添加したK、Caはガス化触媒としても機能し、ガス化速度を促進させることを示している。しかし、高い炭酸ガス分圧の条件では、Na、Kがガス化速度を阻害することを見出し、これが生成ガスである一酸化炭素がアルカリ金属、アルカリ土類金属上で不均化反応を介して不活性の炭素となることによることを明らかにし、実際上のバイオマスチャーの炭酸ガスガス化プロセス設計において有用な指針を示している。

第5章では廃プラスチックに微粉の炭素系材料を添加することによって、廃プラスチック加熱時の機器への融着や塊状化を防止しながら高密度化し、塩素等の腐食性物質を低減させて付加価値を上げる手法を提案し、その製造方法を検討している。この結果、熔融プラスチックの機器への融着や固体の塊状化を防止でき、かさ密度が廃プラ破砕物の4倍程度にアップした粒状固体となることを見出している。また、得られた固体は着火性、燃え切り性に優れている上、粉砕エネルギーも大幅に低減できることを明らかにしている。さらに、既存設備の廃熱を利用することで、より効率的なエネルギー利用が可能であることをエネルギー収支から明らかにしている。

最後に、熱分解を利用した木質バイオマスと廃プラスチックからの効率的なエネルギー再生化法に関して本論文で得られた成果を纏めるとともに、今後の展望について総括している。

(論文審査の結果の要旨)

我が国のエネルギー問題、地球環境問題解決を考える上で、非化石資源であるバイオマスや廃棄物エネルギー等の利用割合を増やすための技術開発が喫緊の課題である。本論文では、木質バイオマスと廃プラスチックの熱分解技術に着目し、新規の前処理プロセスと組み合わせてエネルギー再生化する方法についての研究の成果をまとめたものである。以下にその概要を記す。

1. バイオマス利用の障害となっている粉砕コストを低減する手法として、粗粒木質バイオマスを熱分解したのち粉砕する方法を最適化し、通常の場合の約 1.6 倍の燃焼エネルギーをもつ良質な炭素原料に変換できること、既存の方式の 2 倍以上のエネルギー効率になることを明らかにした。
2. 木質バイオマスに金属化合物を添加した熱分解法を提案し、Na、K の水酸化物の添加によって、熱分解チャーの収率及びその燃焼エネルギーを数倍に増大できることを明らかにした。また、これが高い親水性を有する金属化合物とバイオマスの官能基と相互作用によって、低温で脱水架橋化を促進する反応機構によることを明らかにした。
3. 上記で開発した方法を実際にパイロットレベルで検討し、タールの抑制、炭化物の高カロリー化、添加した Na での塩素の完全補足除去を実証した。また、エネルギー収支計算から化石燃料を使用するプロセスに比べて、CO₂ 削減に効果的なバイオマス転換システムであることを示した。
4. バイオマス熱分解チャーの利用技術として、CO₂ ガス化によって一酸化炭素を製造するプロセスについて検討を行い、添加した K、Ca は、ガス化速度を促進させる触媒効果を有するが、高 CO₂ 分圧ではガス化速度を著しく低下させることを示した。
5. 一方、廃プラスチックの有効利用法として、廃プラスチックに微粉炭素材料を添加することで廃プラスチックの融着／塊状化を防止し高密度化する新規な方法を開発し、かさ密度を 4 倍程度にアップしたハンドリング容易な粒状固体にできることを示した。

以上、本論文は、バイオマス、プラスチック廃棄物から高効率で高品位なエネルギー資源に再生化する方法に関して、バイオマス官能基構造やプラスチックの物理化学特性に基づく新手法を提示し、実プロセスでの有効性まで明らかにしており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成23年1月21日、論文内容とそれに関連した事項についての口頭試問を行った結果、合格と認めた。