


## 学位論文審査の結果の要旨

専攻	共生環境学専攻	氏名	Numan Luthfi
審査委員	主査 教授 福島 崇志 副査 教授 王 秀崙 副査 教授 森尾 吉成 副査 准教授 鈴木 哲仁		
論文題目 (題目変更の有無) 有・無	A Comparative Study of Solid Fuels from Lignocellulosic and Non-Lignocellulosic Biomass via Hydrothermal Carbonization (水熱炭化によるリグノセルロース系および非リグノセルロース系バイオマスからの固体燃料生産)		
(論文審査の結果の要旨) <p>炭化とは、一般的に無酸素もしくは貧酸素環境下でバイオマスを熱分解する方法であり、バイオマスから酸素を取り除き、炭素成分が多い炭化物を得る熱化学的変換プロセスである。得られる炭化物では、水分の除去と揮発性有機物の分解・揮散により、エネルギー密度が上昇する。また疎水性が増すことで保存性が向上し、その結果、石炭に匹敵する材料となる。現在、炭化物は吸着材および土壌改良剤として利用され、将来考えられる炭素税や排出権取引に役立つ炭素貯留材としても利用できることから社会的な需要が大きい。</p> <p>炭化法の一つである水熱炭化は、バイオマスを嫌気状態・高温高压化で水とともに反応させる方法である。無機物が液相に溶解することにより、炭化物中の無機物を低減できる点、また水自体が触媒として働く点から、通常の炭化法よりも高い発熱量を得ることができる。水分を含んだ状態で反応が可能であるため、高い含水率を持つバイオマスにおいて有効であると考えられる。</p> <p>エネルギー源としてのバイオマス原料であるエネルギー作物は、例えばホロセルロースおよびリグニンから構成されるリグノセルロース系バイオマス、タンパク質および脂質を多く含む非リグノセルロース系バイオマスなどがあり、その原料および成分は様々である。本研究では、リグノセルロース系バイオマスの代表としてソルガムバガス、非リグノセルロース系バイオマスの代表として微細藻類であるクロレラを選択し水熱炭化を行い、その最適条件、燃料特性、化学組織および燃焼時の基本特性を検討した。以下に、本論文の成果を要約する。</p> <p>(1) 水熱炭化の最適条件</p> <p>応答局面法を用い、150℃-250℃、0.5-3.5時間にて、最も高い高位発熱量の炭化物が得られるための水熱炭化の最適条件の検討が行われた。バイオマスの種類に関係なく、温度および反応時間条件により水熱炭化物の固体収率および高位発熱量を有意に制御できることを明らかにしている。また高位発熱量を最大化する最適条件は、ソルガムバガスにおいて250℃、3.5時間、クロレラにおいて250℃、3.25時間であった。</p>			

## (2) 燃料特性

水熱炭化の発電装置への適用性を評価するため、石炭化度を求め炭質の分類を行った。水熱炭化物に含まれる固定炭素は、クロレラと比較してソルガムバガスにおいて多く存在し、クロレラにおいては、揮発性有機物がより多く形成された。クロレラおよびソルガムバガス由来の水熱炭化物の高位発熱量はそれぞれ26.7-36.2 MJ kg<sup>-1</sup>および19.7-28.0 MJ kg<sup>-1</sup>であり、クロレラ由来の水熱炭化物がより優れたエネルギー源であることが確認された。一方、ソルガムバガス由来の水熱炭化物のエネルギー収率は、クロレラよりも1.8倍多く保持されることが分かった。また燃料特性を考慮すると、クロレラ由来の水熱炭化物は蒸気炭 (SF = 4.08-5.90) およびコークス炭 (SF = 6.63) として幅広く利用でき、ソルガムバガス由来の水熱炭化物 (SF = 6.63) は蒸気炭として利用できる可能性が示唆された。

## (3) 化学構造

水熱炭化研究の基礎的知見として水熱炭化中の化学構造の変化を明らかにするため、熱分解ガスクロマトグラフィーを行った。その結果、ソルガムバガスの加水分解糖は脱水反応によりフラン類を生成し、C-Oの還元およびC=Carの生成によって芳香族化合物に縮合されたことが分かった。一方クロレラの場合、加水分解された脂肪酸は、C-Halが急激に増加するにつれて脱炭酸化およびアミド化を経て、脂肪族化合物および脂肪アミドに変化し吸着された。また結晶化度CIはソルガムバガスで45.5%-24.3%、クロレラで35.8%-18.0%であることが分かった。

## (4) 燃焼性能と火災安全貯蔵性

水熱炭化物を用いた燃焼炉の適切な運転条件の決定および安全な周囲温度限界の予測を目的とし、熱重量分析およびfrank-kamenetskii理論を適用することで、燃焼性能および火災安全貯蔵性を評価した。その結果、ソルガムバガスにおいて、燃焼は131°C-475°Cで起こり、215°Cで着火し、433°Cで燃え尽きることが確認された。着火および燃焼の反応性は、加熱速度の増加とともにそれぞれ159倍および53倍促進された。また着火の活性化エネルギーは132.91 kJ mol<sup>-1</sup>であった。さらに貯蔵施設を直径15 m、高さ10 mの円筒形および角形のボックスサイロと仮定した場合、自然発火を防止するためにはそれぞれ83°Cおよび84°C以下で貯蔵する必要があることが分かった。

本論文は、微細藻類の燃料利用の優位性および課題を明確にし、微細藻類由来の炭化物を評価する上での一つの大きな指標を作った。本論文の成果は、学術的新規性・独創性を有する学術論文 (3編) に筆頭著者としてまとめられている。以上により、学位審査委員会はNuman Luthfi氏の学位申請論文に対して学術的価値、オリジナリティ、実際問題との関わりの3点から評価した結果、全員一致で博士学位論文として価値があるものと認めた。