

## 審査の結果の要旨

氏名 ジッティウィティノン ポンペン

本論文は「Effect of Operating Parameters on Charcoal Yield, Energy Conversion Efficiency, Charcoal Production Rate in High-Pressure Flaming Carbonization of Lignocellulosic Biomass (リグノセルロース系バイオマスの高圧炭化における操作条件が炭化物収率、エネルギー変換率及び炭化物生成速度に及ぼす影響)」と題し、木質系バイオマスを対象とした炭化技術の中で新しい方法である高圧炭化について、その反応機構を明らかにし、操作条件の最適化のための因子の検討をおこなったものである。

第1章は「緒論」である。研究の背景と研究目的、及び論文構成等を述べている。

第2章は「既往の研究」である。バイオマスとエネルギー変換技術、種々の炭化技術とその利用法等についてまとめている。

第3章は「実験方法」である。高速炭化の実験装置や運転方法、揮発性物質除去実験の方法、原料や炭化物の組成分析方法、熱分析方法、その他の化学分析方法について述べている。

第4章は「高圧発炎炭化に及ぼす操作因子の影響」である。まず、ヒノキを供試材料として圧力 0.9MPa で空気流量を変化させ炭化実験を行ったところ、空気流量が低すぎると発炎しないが、逆に空気流量が多すぎると炭素の燃焼が過剰となり炭化物収率やエネルギー変換効率が低下するため、安定して発煙する条件で空気流量は低いほうが良いことが定量的に示された。また、広い圧力範囲で安定した発炎が得られた空気質量流量 3 g/s で、圧力を 0.5-1.0 MPa の範囲で炭化実験を行った結果、圧力が高いほど炭化物収率とエネルギー変換効率が高くなる傾向を認めたので、より高圧の条件化で実験できるよう反応装置を改良し、また供試材料をオークとして、空気質量流量 2 g/s と一定にし、0.5-3.0 MPa の圧力範囲で炭化実験を行った結果、圧力 2.4 MPa までは炭化物収率、エネルギー変換率ともに圧力の増加とともに増加し、それ以上の圧力ではそれらの値はほぼ一定であった。このとき、炭化物収率 33.5%、固定炭素収率 26.0%、エネルギー変換効率 60.5%であり、炭化物中の固定炭素率 77.5%で、プロセスの反応時間が 15分から20分という高速高圧炭化により良質な炭化物が得られた。これは、高圧条件下で、揮発性炭素が反応器内に滞留し、2次的な炭素固定が効率的に起きたためである。表面反応促進するためには一般的に比表面積の大きい小粒子が有利であるが、逆に揮発性有機炭素を効率的に固定するためには粒子サイズは大きいほうが有利であり、そのため本実験結果では粒子サイズの影響は相殺され、

発炎燃焼が安定して進行する条件では破碎処理などの前処理必要ないことが示せた。水分量が多いと反応温度が低下し炭化物収率やエネルギー変換効率が低下することは明らかであり、本研究では水分21%のときそれらの値が大きく低下した。バイオマス廃棄物として、籾殻、トウモロコシの芯、ココナツ殻の炭化実験を行ったところ、見掛け密度が低くまた灰分が多い籾殻では良質な炭化物が得られなかったが、ココナツ殻やトウモロコシ芯では、オーク材と同等の炭化物が得られた。

第5章は「数理モデル」である。第4章で得られた実験結果を反応機構に立ち入って検証するため、反応器底部から頂部にかけての炭化の進行を気相反応と固相反応で記述する一次元発炎燃焼・炭化モデルを作成し、数値シミュレーションを行った。モデルで考慮できなかった発炎燃焼にともなう供試材料層の崩壊現象及びそれに伴う反応器内ガス層の混合3次元的拡散により、精度高くは反応器内の温度の時間・空間分布の再現はできず一次元モデルの限界はあるものの、圧力等の操作因子の影響を議論できるだけ精度での温度変化の時間・空間分布の再現はできた。シミュレーションの結果は、炭化速度、チャー生成速度に対する圧力の影響は高い精度で再現でき、また固定炭素収率についても高圧力条件での実験結果を再現できた。また、生成ガス組成に関しても満足のいく精度で予測できた。シミュレーションにより、酸素を用いた短い発炎燃焼の後、熱分解さらに2次的炭素固定が進行することが示せ、炭化物の生成プロセスを解析することができ、特に圧力の影響による2次的炭素固定の増加を首尾よく説明することができた。また、空気流量が不足すると発炎燃焼が進行しないことがモデルでも検証でき、さらに空気流量を多くすると高温度領域が拡大し炭化速度は大きくなるけれど、固定炭素収率が低下することが示せた。

第6章は「環境面や経済面での評価」である。高圧条件で、炭化物収率が上がるためガス発生量が減少することを示し、また小規模な炭化施設で発生ガスを直接大気に放出する場合には、温室効果ガス等の環境影響があることを定量的に示した。また、物質収支、エネルギー収支をとり、発生ガスの回収やエネルギー利用が重要であることを示した。さらに、圧力1.0MPaと2.4MPaの2条件でのプロセスの建設・運転コストを比較したところ、2.4MPaの高圧条件の方が経済性が高いという試算結果を与えた。

第7章は、「結論と今後の展望」である。

以上要するに、本論文は、木質系バイオマスを対象とした炭化技術の中で新しい方法である高圧炭化について、その反応機構を明らかにし、高圧条件下での運転により、炭化物収率、固定炭素収率、エネルギー変換効率が改善することができることを定量的に示し、最適運転条件を与えたものであり、本研究で得られた知見は、都市環境工学の学術の発展に大きく貢献するものである。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。