

氏名	山田 公子
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記号番号	博理工甲第 688 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 24 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	バイオブリケットによる大気汚染物質の排出抑制に関する研究 —中国重慶市農村家庭での実証実験とその検証実験による汚染物質の排出低減効果—
論文審査委員	委員長 教授 坂本 和彦 委員 准教授 王 青躍 委員 准教授 大塚 壮一 委員 客員准教授 三輪 誠

論文の内容の要旨

はじめに

本研究では、これまで硫黄固定効果が評価されてきたバイオブリケットの実用化に向け、脱硫装置等の設置が困難であり、かつ硫黄含有量の高い低品位石炭を利用することで室内汚染が深刻な一般家庭を対象とし、実際の家庭用ストーブで利用した際の有用性を評価することを目指した。

始めに家庭用ストーブでのバイオブリケット燃焼による室内汚染の低減並びに家庭用燃料としての有用性を評価するため、中国重慶市農村部の石炭利用家庭においてバイオブリケットの実証実験を行った。その際の室内濃度の測定と共に汚染物質、特に SO_2 排出を決定する燃焼状況を把握する因子について調査した。次に、家庭用ストーブでの燃焼状況におけるバイオブリケットの硫黄並びにフッ素固定効果を解明するため、実証実験の結果を基に実験室でのモデル燃焼実験を行った。その際、 SO_2 やフッ素の固定効果に影響を及ぼす因子について評価した。

家庭用ストーブでのバイオブリケット燃焼による室内汚染の低減並びに燃料としての評価

中国重慶市農村部の石炭利用家庭にて、石炭や粘土からなる混合燃料や、その混合物を成型した練炭の代替燃料として、バイオブリケットを利用した実証実験を行った。ガス状汚染物質の室内濃度とともに、ストーブへの燃料供給量、硫黄の供給量、硫黄の排出率、ストーブ内の燃焼温度について調査した。また同時に燃焼特性についても評価するため、燃焼率も併せて調査した。

混合燃料と比較した場合、バイオブリケット利用時において、特にストーブ近傍の SO_2 及びフッ化物濃度の低減が確認された。混合燃料燃焼時には、原料となる石炭利用量の減少に伴い硫黄の排出量は減少するものの、粘土由来のフッ素排出量が増大することが明らかとなった。

炭の利用時においては、室内 SO_2 濃度は WHO のガイドライン値 40 ppb を大きく上回った。一方、バイオブリケット利用時では 40 ppb 程度まで低減された。ストーブへの平均硫黄供給量は燃料間に有意差はなかったが、バイオブリケットの硫黄排出率が練炭よりも顕著に減少したことから、バイオブリケット利用時の室内 SO_2 濃度の低減は硫黄の固定効果に起因することがわかった。また、実際の家庭用ストーブでの燃

焼温度は、想定されてきた温度よりも高く、バイオブリケットの特徴や原料となる石炭の種類が硫黄固定率に影響することが示唆された。さらに、硫黄固定率は完全燃焼に近づくにつれて減少する傾向が明らかとなった。一方、CO とガス状フッ化物濃度は、練炭、バイオブリケットの利用時において、共にそれぞれのWHO のガイドライン値以下であることが確認された。また練炭と比較して、バイオブリケットの良好な着火性と速い燃焼温度の上昇、そして高い燃焼率が確認され、既存のストーブで資源を高効率利用できることがわかった。

本研究における実証実験により、室内汚染の低減並びに民生用燃料の観点から、現在利用されている石炭燃料と比較してバイオブリケットは優れた燃料として利用できることを確認した。

家庭用ストーブの燃焼を模擬した条件下でのバイオブリケットによる汚染物質排出抑制効果

本研究では、家庭用ストーブでの燃焼条件を基に、バイオブリケット燃焼時における硫黄固定率やフッ素排出率を実験室でのモデル燃焼実験により調査した。特に、実際の家庭用ストーブで確認された燃焼温度1000° C に着目し、これと併せて石炭種による硫黄固定効果への影響についても調査した。同様にフッ素排出率への温度影響も調査した。

最終燃焼温度800° C から1000° C へ上昇させることで、バイオブリケット燃焼時においてSO₂ 排出が観測された。この排出は石炭中の硫黄の燃焼と共に、固定された硫黄の分解に起因することが示された。また、バイオブリケットは完全燃焼前に、炭素の排出量に対して硫黄の排出量が高まり、固定された硫黄の分解によることが示唆された。結果的に、燃焼終了間際の完全燃焼までの間に硫黄固定率が減少することを示し、この傾向は実証実験結果と一致した。最終燃焼温度の上昇によるバイオブリケットの硫黄固定率の減少は、原料となる石炭の種類に依存し、特に、石炭自体の発熱量の増大とともに硫黄固定率の減少は増大する傾向が確認され、発熱量は硫黄固定効果の指標の一つになり得ることが示唆された。

燃焼温度の上昇は石炭及び粘土からのフッ素排出率も増加させ、フッ素が存在する灰分組成の分解温度に起因すると考えられた。バイオブリケットのフッ素固定率は、硫黄と同様に燃焼温度の上昇と共に減少した。この結果はフッ素排出量の増加と併に固定されたフッ素化合物の熱分解に起因する可能性が示唆された。

本研究におけるモデル燃焼実験により、硫黄とフッ素の固定率並びに排出率の観点から、バイオブリケットを適応する場について考慮する必要性が示唆された。温度制御が困難な家庭用ストーブでは発熱量の低い石炭が適当であり、安価な石炭を利用したバイオブリケットを応用できることが示唆された。一方、温度制御が可能な工業用ボイラーでは、発熱量の高い石炭を利用しても十分な硫黄固定率が得られる可能性が示唆された。

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、当該学位請求論文の公聴会を平成 20 年 2 月 14 日（木）10 時 20 分より、環境制御工学専攻会議室において公開で開催した。発表後、詳細な質疑応答に基づき審査を行った。以下に論文の内容ならびに審査の結果を要約する。

中国では、農村部の石炭利用家庭での SO_2 やフッ化物による室内汚染が深刻であり、将来も家庭用燃料として石炭の利用が推測される地域では低品位石炭のクリーン燃料化は急務である。その一技術であるバイオブリケットには高い硫黄固定効果が確認されているが、対象とする適用場の実燃焼条件等は十分に把握されているとは言えなかった。本研究では、脱硫装置等の設置が困難であり、高硫黄含有の低品位石炭利用による室内汚染が深刻な石炭利用家庭を対象とし、家庭用ストーブでのバイオブリケットの有用性を以下の 2 つの方法から評価している。

- (1) 石炭利用家庭でのバイオブリケットの実証実験により、室内汚染の低減並びに燃料としての有用性評価
- (2) 家庭用ストーブを模擬した実験室での燃焼実験により、実証実験結果の検証並びにバイオブリケットの硫黄固定効果の評価

実証実験は、室内・大気汚染等が深刻な重慶市農村部の石炭利用家庭にて実施している。この家庭では石炭と粘土の混合燃料（従来燃料）が利用されている。バイオブリケットは重慶市産の石炭と稲ワラ、消石灰で調製し、実証実験用と実験室での燃焼実験用に各々作製している。実証実験は、住人の生活パターンに従って燃料（従来燃料やバイオブリケット）が利用されている。台所内では、アルカリ含浸フィルターとミニポンプを用いた大気採取並びにパッシブサンプラーで、室内の SO_2 、 CO 、フッ化物の 6-h 又は 8-h（燃料燃焼中）及び 24-h 平均濃度、ストーブへの燃料供給量及び硫黄供給量、ストーブ内の燃焼温度、そして燃焼灰組成から硫黄排出率や燃焼率等を調査している。

また、実証実験結果を検証するため、実験室にて家庭用ストーブの燃焼温度を模擬した燃焼実験を実施している。 SO_2 計により硫黄の排出挙動を把握し、硫黄排出量から算出した硫黄固定率から、燃焼温度とバイオブリケット種による硫黄固定効果への影響を調査している。

これらの実験結果から、以下の 2 点に要約される結果をまとめている。

①石炭利用家庭での実証実験による室内汚染低減効果の評価

従来燃料と比較し、バイオブリケット燃焼時間帯の 6-8 時間では、室内 SO_2 濃度をかなり低減できることを明らかにしている。ストーブへの燃料供給量から見た硫黄供給量は燃料間に有意差は無かったが、従来燃料よりもバイオブリケットの硫黄排出率が顕著に減少していたことから、バイオブリケット利用時の室内 SO_2 濃度の低減は硫黄の固定効果に起因することを明らかにしている。また、家庭用ストーブでの燃焼温度は、想定された温度よりも高く、バイオブリケットの特徴や原料の石炭種が硫黄固定率に影響することを見出している。室内の CO とガス状フッ化物濃度は、各々の WHO のガイドライン値以下であることを確認している。

また、バイオブリケットの、従来燃料より良好な着火性、高い燃焼率を確認し、既存のストーブで資源を高効率利用できることを明らかにしている。

②家庭用ストーブを模擬した実験室での燃焼実験による硫黄固定効果

家庭用ストーブでの燃焼条件を基に、バイオブリケット燃焼時における硫黄固定率を実験室での燃焼実験により検証している。これまで想定されてきた燃焼温度 800° C の条件と比較して、実証実験での家庭用ストーブで観測された燃焼温度 1000° C の条件での硫黄固定率は減少し、この原因が、固定された硫黄化合物 CaSO_4 の熱分解に起因することを明らかとしている。この硫黄固定率の減少率は、バイオブリケットの種類により変化したことから、原料となる石炭の種類に依存することを示し、特に、石炭の発熱量と灰分含有率、及び鉱物組成が重要な因子となることを見出している。

以上のことから、本研究結果により、石炭利用家庭において、バイオブリケットの利用により室内汚染物質濃度の低減を燃料や排出量の観点から明らかにし、健康影響の軽減、大気への排出抑制を示唆している。更に、バイオブリケットは従来燃料よりも省エネルギー的利用により、汚染物質の排出や住人への暴露影響をさらに低減できることを示唆している。一方、高い燃焼温度下では硫黄固定効果の低下が確認されたことから、 SO_2 排出抑制の観点からバイオブリケットは適用場（工業用ボイラーや家庭用ストーブ等）によって原料石炭の選択の必要性を指摘し、発熱量、灰分含有率、そして灰分中の組成が原料石炭選択の指標となり得ることを示している。また、家庭用ストーブの改良により燃焼温度を制御することにより、原料を問わないバイオブリケットの利用も可能となりうることも指摘している。

これらの成果は、既に 2 編の査読付き学術論文（国際学術誌、国際会議録）として公表され、さらに 2 編が投稿中である。

よって、当審査委員会は、本論文は博士（学術）の学位を授与するに値するものと判断し、合格と判定した。