

氏名	花澤 淳
博士の専攻分野の名称	博士 (学術)
学位記号番号	博理工乙第 196 号
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	水生植物利用バイオブリケットによる地域完結循環型総合環境保全対策に関する研究
論文審査委員	委員長 教授 坂本 和彦 委員 准教授 藤野 毅 委員 准教授 王 青躍 委員 連携准教授 三輪 誠

論文の内容の要旨

中国は石炭の大量消費国であり、その生産量、消費量はともに世界第 1 位を誇っている。この中国における一次エネルギーの石炭依存率は 2007 年で 70% と依然として高く、利用されている石炭の大半を占めるのが高灰分、高硫黄分で低発熱量の低品位の石炭である。これらの石炭の燃焼は多量の SO₂ を排出させることにより大気汚染や酸性雨、土壤酸性化等の様々な環境問題を引き起こす原因となっており、特に近年では、化石燃料利用による CO₂ 排出に起因する温暖化の問題も深刻化してきている。これらの問題は中国の経済発展とともにますます深刻化することが予想され、早急に解決すべき課題であるとされているが、エネルギー利用の観点から考えても今後数年は継続して石炭依存していくことが予想され、化石燃料をいかに有効に利用するかが重要になると考えられる。

中国南部ではハンドリング性の低い高硫黄分の微粉炭が多量に排出され、廃棄されてきた。こういった石炭を有効利用し、かつクリーンに利用するための対策技術として、石炭のバイオブリケット化技術が開発されてきた。バイオブリケット (以下 BB と略す) は、微粉状石炭に植物系バイオマスと消石灰を添加して粒状に圧縮成形した固体燃料である。消石灰を添加することにより SO₂ ガスを燃料中に固定させてその排出を効果的に抑制できるうえに、バイオマス中のリグニン成分が加圧によって軟化する性質を利用して、粘結剤の添加を必要とせずに中国の大陸内輸送に耐えうる強度 (40 kgf) を得ることが可能となる。また、温暖化に寄与しない (すなわち、カーボンニュートラル) とされるバイオマスをエネルギーとして利用することによって CO₂ の排出も低減できる。この BB 技術は従来の SO₂ 排出抑制対策である燃焼ボイラーの改良を必要としないため導入が比較的容易であり、農村地域での民生用利用にも適している。

一方、BB も通常の石炭やバイオマス燃料と同様に、燃焼廃棄物として燃焼灰を発生させる。これらの灰は高いアルカリ性を有するため、中国南部の酸性土壌地域の土壌改良剤としての利用が試みられてきた。本研究は、このバイオブリケットの原料バイオマスとして水生植物を利用することで、従来の燃焼灰に肥料効果といった付加価値を付けることを目的としている。水生植物は一般的に高い窒素・リン酸系化合物の吸収・蓄積能を有しているため、水生植物を BB 添加バイオマスとして利用することができれば、その BB の燃焼灰は土壌施用時に土壌の中和効果のみならず肥沃化効果も発現すると考えられる。加えて、水生植物を

燃料として利用することによって、水系から窒素やリンを系外に取り出すことで、富栄養化した湖沼や河川の浄化にも役立つことが期待される。すなわち、総合的に見ると、(1) 大気汚染、(2) 土壌酸性化、(3) 廃棄物、及び(4) 水質汚濁の4つの問題の対策が可能になることが見込まれる。

そこで本研究では、BB 調製用バイオマスとしての水生植物利用の可能性を探るために、水生植物を用いて調製した新規 BB を用いてその燃料性能及び燃焼灰の石灰代替資材として性能を、従来の農林業廃棄物利用 BB との比較によって評価した。エネルギー利用の観点からは、発熱量と輸送時の強度保持、及び、硫黄酸化物排出抑制効果を調査し、燃焼灰利用においてはその肥料効果と重金属影響をフロー/バッチ抽出試験及びチンゲンサイ栽培試験によって調査した。また、水生植物 BB 燃焼灰の元素の溶出挙動を評価するにあたり、従来の BB においてその挙動が未解明であったため、水生植物 BB の評価に先立って従来の麦ワラバイオマスを用いた BB を用いてその環境影響を詳細に評価した。

エネルギー性能においては、水生植物を利用した新規 BB においては、ヨシやガマといった抽水植物を用いて調整した BB が輸送に十分耐える耐圧強度を有しているのに加え、これまでの農林業廃棄物と同等の BB 硫黄排出抑制効果を示すことが確認され、水生植物 BB が石炭代替燃料として十分に利用できることが示された。

一方、燃焼灰の土壌改良資材としての評価においては、従来の麦ワラ BB 燃焼灰が石炭灰と比較して高い pH 緩衝能を有し、長期間の酸性土壌矯正効果を示すことが確認された。また、栽培試験においては、BB 灰施用土壌における作物の生育が中性土壌でのそれに匹敵することが確認されたが、灰の使用に際して、栽培前に塩濃度の溶脱過程を必要とすることが示された。水生植物 BB 灰施用区で期待した土壌への栄養塩供給能に関しては、栄養塩含有量の高いホテイアオイを用いてもその顕著な効果を作物栽培で確認することはできなかった。ただし、栽培試験の収量の結果からは潜在毒性金属による生育阻害影響も確認されず、これまでの BB と同様に酸性土壌の pH 矯正剤として安全に利用できることが示唆された。

論文の審査結果の要旨

当学位論文審査委員会は、当該論文の発表会を平成 23 年 1 月 31 日に公開で開催し、約 40 分の発表の後、本論文に関する詳細な質疑を行い、論文内容を審査した。

本論文は、ヨシ、ガマ、ホテイアオイを用いて作成された水生植物バイオブリケットについて、燃焼性能、大気汚染物質排出抑制効果の評価、ならびにバイオブリケット燃焼灰の酸性土壌改良効果とともに栄養塩供給効果を調査・検討し、解析しているものである。以下に 6 章からなる本論文の内容を章ごとに示し、学位論文審査の結果を要約する。

第 1 章 序論

中国をはじめとするアジア地域各地において、大気汚染や酸性雨の問題が深刻化しており、特に石炭の大量消費国である中国では、経済の急速な発展とともに、エネルギー消費量が増加しつつある。石炭は天然ガスや石油などに比べ硫黄分が高く、灰分を含むために発熱量は低く、燃焼によって SO₂ ガスを始めとする酸性ガスや煤塵などの大気汚染物質が多量に放出されることになり、SO₂ 等の酸性物質による影響は酸性雨のみならず、土壌の酸性化、人体への健康影響悪化、文化財や建造物への被害など多岐に渡っており、中国国内のみならず日本や北東アジア地域への越境汚染も引き起こしている。

このような状況の中、低品位石炭のクリーン化技術として、バイオマスと石炭の混合によるバイオブリケット製造技術の現地化が図られている。本研究では、このバイオブリケットに付加価値を付けるため、原料バイオマスに水生植物を選択して、その性能を燃料性状及び灰の土壌改良特性の面から評価している。

第 2 章 水生植物利用バイオブリケットの燃料性能の評価

ヨシ、ガマ、ホテイアオイを用いて作成された水生植物利用の新規バイオブリケットが従来型の農林業利用廃棄物を利用したバイオブリケットと同様の燃料性能を有することを確認するため、発熱量と輸送時の強度保持、及び、硫黄酸化物排出抑制効果から利用可能性を比較評価している。

エネルギー性能においては、水生植物利用の新規 BB が高い耐圧強度を有しているのに加え、これまでの農林業廃棄物と同等の BB 硫黄排出抑制効果を示すことが確認され、水生植物 BB が石炭代替燃料として十分に利用できることを示している。

第 3 章 酸性土壌改良剤としてのバイオブリケット燃焼灰のキャラクタリゼーション

従来型バイオブリケットの燃焼灰のキャラクタリゼーションを行い、そのアルカリ性、塩性、ブリケット化における元素組成変化、含有元素の潜在的な溶出可能性、元素の土壌中の挙動をフロー/バッチ抽出試験、チンゲンサイ栽培試験による作物成長及び環境へ及ぼす影響を評価している。

燃焼灰の土壌改良資材としての評価においては、従来の麦ワラ BB 燃焼灰が高い pH 緩衝能を有し、長期間の酸性土壌矯正効果を示すことが確認されている。また、栽培試験においては、BB 灰施用土壌における作物の生育が中性土壌でのそれに匹敵することも確認されている。しかし、灰施用直後の高濃度の可溶性塩類の溶脱が作物の生育を阻害する可能性も示されたため、灰施用直後は耐塩性の作物を栽培することが望ましいとしている。

第4章 水生植物利用バイオブリケット燃焼灰の 土壌改良資材としての性能評価

水生植物利用バイオブリケット燃焼灰の土壌改良剤としての特性を、特にその栄養塩の施肥効果と重金属の有害影響に重点を置いて、従来型バイオブリケットである麦ワラバイオブリケットとの比較により評価している。

水生植物 BB 灰施用区で期待した土壌への栄養塩供給能に関しては、栄養塩含有量の高いホテイアオイを用いてもその顕著な効果を作物栽培で確認することはできなかったが、溶出試験によって、通常の BB 灰と比較して水生植物 BB 灰中のリン及びカリウムの可給態成分の優位性が確認されている。さらに、潜在毒性金属による生育阻害影響も見出されなかったことを示している。

第5章 家畜糞尿堆肥の混用効果の評価

水生植物 BB 灰施用による窒素の供給は見込めなかったため、家畜糞尿堆肥施用による窒素供給の可能性をハツカダイコン栽培試験により評価している。豚糞堆肥の施用により作物の生育が改善され、豚糞堆肥由来の潜在有害金属（銅、亜鉛）の作物含有量も、灰との同時施用で抑制できることが示されている。

第6章 総括

以上の結果から、水生植物利用 BB を核とする地域完結循環型の総合環境保全対策が確立できることを明らかにしている。

また、現地での水生植物バイオマスの供給性を評価し、刈り取りの時期や頻度、気候条件や生育地条件（水深や汚染物質濃度）等を考慮し、バイオマス調達時のエネルギーコストや生態環境への影響を総合的に判断することができれば、現地での水生植物利用バイオブリケットの利用へ向けた実現性の評価が可能となり、本研究の最終的なテーマである地域完結循環型総合環境保全対策に向けて大きく前進すると考えられている。

本論文では、中国重慶市農村部をケーススタディーの対象としているが、石炭を利用している多くの発展途上国において、エネルギー源が化石燃料から自然エネルギーに変遷するまでの数十年間の環境保全対策として十分有効な技術であると考えられる。

これらの研究成果のうち第2章と第5章に関わる内容を既に2編の論文として学術誌に公表（印刷済みと印刷見込み）している。さらに、第3章と第4章に関わる内容を2編の論文として投稿しており、これらにより本学位論文の内容はすべて学術誌に公表される予定となっている。

以上の成果ならびにそれらの公表状況を考慮し、当学位論文審査委員会は、本論文は博士（学術）の学位を授与するにふさわしい内容を備えていると判断し、合格と判定した。