

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月20日現在

機関番号：12401
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22404005
 研究課題名（和文） バイオブリケットを核とする地域完結循環型環境保全対策の発展途上国への適用・普及
 研究課題名（英文） Investigation on Application of Integrated and Sustainable Environment Protection Strategy Using Coal-Biomass Briquettes to Developing Countries
 研究代表者
 坂本 和彦（SAKAMOTO KAZUHIKO）
 埼玉大学・理工学研究科・名誉教授
 研究者番号：20111411

研究成果の概要（和文）：二酸化硫黄と二酸化炭素の排出抑制は、低品位粉状石炭、エネルギー源バイオマス廃棄物、硫黄固定剤としての消石灰から調製された石炭-バイオマスブリケット（バイオブリケット、BBs と略称）を利用することにより、達成できた。さらに、BBs の燃焼灰は、ほとんど環境への悪影響を与えない効果的な酸中和剤であり、農作物生産性を向上させるための酸性土壌の改良剤として効果的に用いることができた。しかし、湿度の高いヴェトナムのような発展途上国にバイオブリケットを核とする地域完結循環型環境保全対策を適用するためには、バイオマスの乾燥やその保管場所について更なる調査研究が必要と考えられた。

研究成果の概要（英文）： The abatement of sulfur dioxide and carbon dioxide emissions was achieved by using coal-biomass briquettes (or bio-briquettes, BBs) prepared from low-grade pulverized coal, waste biomass as an energy crop, and a sulfur fixation agent (slaked lime). Furthermore, BBs' combustion ash appears to be an effective liming material with little potential for adverse environmental impacts and could be used effectively as an acid-soil amendment to improve crop productivity. However, in order to apply this integrated and sustainable environmental strategy using coal-biomass briquettes to developing countries such as highly humid Vietnam further investigation on biomass drying and its stock yard is required.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2012年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境技術、大気汚染防止・浄化、二酸化炭素排出削減、廃棄物再資源化、環境調和型農林水産

1. 研究開始当初の背景

(1) 発展途上国では、数億人が低品位石炭や薪炭の直接燃焼から排出される有害物質

による室内汚染の影響を受けているため、燃焼性が高く、室内汚染を低減し、かつ温暖化ガス排出抑制にも効果をもつ民生用

クリーン燃料の開発は喫緊の世界的な課題となっている。

- (2) 低品位石炭燃焼灰の利用は、路盤材等に限られており、農村等での分散利用地域での効果的利用方法に関する研究は少ない。
- (3) 低品位石炭のクリーン燃料化として、低品位石炭/バイオマス廃棄物/硫黄固定剤を高圧成型したバイオブリケット(以下BBsと略記)技術がある(図1)。BBsは、バイオマス添加効果により図2に示すように高い燃焼性を示す。枯渇性資源である低品位石炭と循環性資源であるバイオマス廃棄物の高効率利用可能なBBsを核とするゼロエミッションサイクルの構築を考慮し、その燃焼灰と有機堆肥の同時施用に関する研究は、我々のグループの研究のみである。

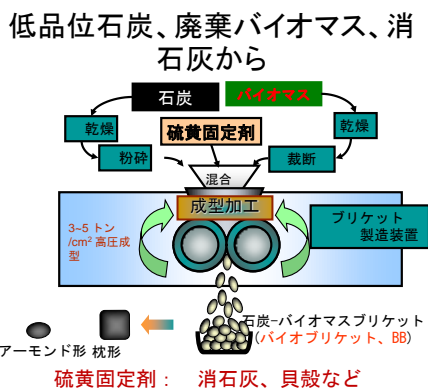


図1 バイオブリケットの製造

- (4) 具体的に中国西南部やヴェトナムへの適用を意図した低品位石炭のクリーン燃料化と温暖化ガスの排出抑制に関する研究は我々のもの以外にはない。

2. 研究の目的

発展途上国などへの適用を想定し、民生用低品位石炭の燃焼時における酸性雨原因物

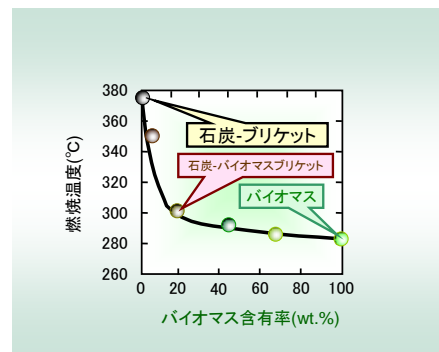


図2 バイオブリケットの高い燃焼性

質である硫黄酸化物と温暖化ガスである二酸化炭素の排出抑制を意図して、バイオブリケットを核とする温暖化ガス排出抑制に効果的なゼロエミッションサイクルの構築にかかる基礎研究を行う。上記サイクルの適用を想定し、中国西南部やヴェトナムなどの農村地域での、石炭等の民生用化石燃料の利用状況、家畜肥育状況を調査する。また、想定地域に対する現地適応性調査を行い、枯渇性・循環性資源高効率利用によるゼロエミッションの地域循環型総合環境保全対策に関する技術移転・普及可能性を調べる。

以上に対応する具体的な調査研究項目は以下のとおりである。

- (1) 民生用 BB の適用条件の調査
- (2) 民生用 BBs 燃焼灰による酸性土壌修復
- (3) 家畜肥育に関わる窒素含有堆肥等の同時施用による植物生長促進効果の評価
- (4) 民生用 BBs 利用を核とする地域完結循環型総合環境保全対策の適用性評価

3. 研究の方法

- (1) 民生用 BBs の改良・評価

富栄養化原因物質 N・P を効率的に吸収し生長時における二酸化炭素吸収量も多い水質改善用植物ならびにバイオディーゼル燃料製造植物ジャトロファなどをバイオマスとして、低品位石炭から BBs を調製し、その強度試験や燃焼実験を行い、二酸化硫黄と二酸化炭素の排出抑制効果を評価する。

(2) 民生用 BBs 燃焼灰による酸性土壌修復

人工的に調製した酸性土壌に、BBs 燃焼灰を添加し、酸緩衝能や重金属の溶出を調べる。また、中国西南部の環境条件に調整したグロスチャンバーを用いて、生育が早いチンゲンサイ(青梗菜)を BBs 燃焼灰施用土壌で栽培し、チンゲンサイの元素吸収量から潜在有害元素による植物生育阻害の可能性、および二次的な毒性影響を評価する。

(3) 家畜肥育に関わる窒素含有堆肥等の同時施用による植物生長促進効果の評価

二十日大根の栽培試験結果を燃焼灰施用区、燃焼灰と化学肥料同時施用区、燃焼灰と堆肥の同時施用区について比較し、本研究で意図している技術の農村部における BBs 燃料の普及時に発生する燃焼灰の処理が、極めて有益かつ効果的に行いうることを明らかにする。

(4) 民生用 BBs 利用を核とする地域完結循環型総合環境保全対策の適用性評価

バイオマス廃棄物を副原料とする BBs の製造・利用による温暖化ガス排出抑制効果を考慮した、大気汚染・酸性雨対策、酸性土壌改良、富栄養化対策、温暖ガス排出抑制対策からなる廃棄物を発生させない環境負荷低減型ゼロエミッションサイクルの適用可能性を評価する。

4. 研究成果



図3 グロスチャンバーと栽培条件

(1) 技術移転想定地域の民生燃料ならびに環境情報の整理

ヴェトナムハノイ北部、中国重慶近郊農村部では、石炭や煉炭を利用している広大な地域があり、同地域には農業廃棄物としてイナワラが豊富である。同時に、家畜として養豚も営まれており、家畜堆肥の製造も可能である。また、中国農村部では富栄養化原因物質 (N、P) 高吸収性水生植物が、ベトナムではバイオディーゼル燃料 (BDF) 生産を目的とするジャトロファの栽培も見られた。

(2) 富栄養化原因物質高吸収植物からの新規 BBs の調製

富栄養化原因物質 (N、P) 高吸収性水生植物をバイオマス廃棄物として、低品位石炭と二酸化硫黄固定剤を加圧成型して調製した BBs は長距離輸送に十分耐えうる強度であった。また、その燃焼性、燃焼時の二酸化硫黄固定率(図4)、カーボンニュートラルなバイオマス利用による二酸化炭素排出削減率の推定を行った。

(3) バイオディーゼル燃料 (BDF) 搾りかすからの新規 BBs の調製・燃焼性・排ガス特性の評価

ジャトロファからの BDF 調製を想定し、その搾りかす、低品位石炭と二酸化硫黄固定剤を加圧成型して新規 BBs を調製し、その圧壊

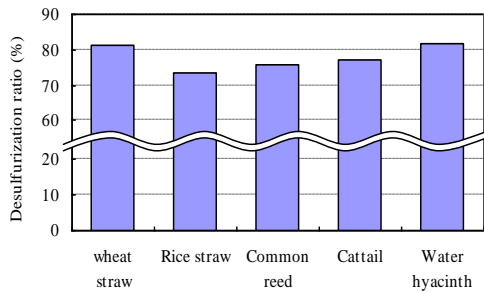


図4 水生植物等をバイオマスとした場合の二酸化硫黄固定率

強度、二酸化硫黄固定率、二酸化炭素排出削減率の定性的評価を行った。その結果、オガクズ等をバイオマス廃棄物として調製したBBsと同程度の強度、二酸化炭素排出削減率が得られるものと推定されたが、ジャトロファは使用する部位によりバイオマス由来の二酸化硫黄排出にも注意する必要があることがわかった。

(4) 中国重慶農村部とヴェトナムハノイ近郊におけるバイオブリケット燃焼灰・家畜堆肥の同時施用可能性の評価

中国重慶農村部とヴェトナムハノイ近郊農村部における石炭、煉炭の使用状況、家畜飼育状況から、BBs燃焼灰と有機堆肥の同時施用による酸性土壌改良が可能と考えられた。しかし、中国重慶近郊の農村部では、液化天然ガスの利用など燃料の多様化が進んでおり、BBsの適用地域としてこれまで調査をしていた中国四川省重慶市郊外龍井村では都市化が進み、数年前までの石炭とバイオマス廃棄物から、LPG、電気等へと急激に変化していることが分かった。そのため、BBsの普及対象地域としてはさらに検討が必要と考えられた。

ヴェトナムのハノイ近郊のタイゲン省農村部における石炭の利用状況と家畜飼育状況を調査した。石炭中の硫黄含有率は数パーセント程度であり、石炭の直接燃焼に加えて、

粉炭と粘土から調製された煉炭が多用され、一部バイオマス燃料も使われていた。また、家畜としてブタも飼育されていた。よって、BBs利用、さらにはBBs燃焼灰と家畜堆肥の同時施用の可能性は高いと判断された。

(5) チンゲンサイ(青梗菜)栽培試験による民生用BBs燃焼灰による酸性土壌修復効果の評価

中国西南部の環境条件に調整したグロスチャンバーを用いて、生育が早いチンゲンサイ(青梗菜)を、未処理の赤玉土の区、酸性化赤玉土の区、酸性化赤玉土のBBs燃焼灰中和区で栽培し、チンゲンサイの成長比較、元素吸収量から潜在有害元素による植物生育阻害の可能性、および二次的な毒性影響を評価した。

①チンゲンサイの成長比較

チンゲンサイ栽培試験の結果を図5に示す。可食部の乾重量は、BBs灰による土壌pH矯正により、酸性化処理していない赤玉土区における収率に匹敵する生育を示した(これらの2条件間の収率に有意差はない)。ただし、培養土から赤玉ポットへの移植時に、灰施用土壌において4個体で、高塩性によるものと

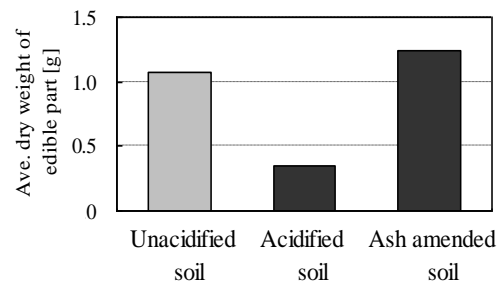


図5 チンゲンサイ栽培試験の結果

思われる枯死が観測された。そのため、BBs灰の使用に際しては、特に塩分に感応性の高

い作物や塩に耐性のない幼苗時の作物においては灰施用直後の栽培を避け、灰施用した年にオオムギや綿花、アスパラガスといった耐塩性の高い作物種を栽培するか、もしくは栽培までに数カ月の脱塩期間を設けることが望ましいと考えられる。

② BBs 灰施用土壌における元素吸収

BBs 灰施用土壌におけるチンゲンサイの吸収元素量から、潜在有害元素による作物生育阻害の可能性、及び二次的な毒性影響を評価した。

酸性土壌区と比較して BBs 灰施用区で植物体(可食部)中の含有量が有意に高くなったのは、Ca、Al、Fe、S、B、As、Mo である。Se は検出されなかったが、元素溶出試験で作物吸収が示唆された金属はいずれも吸収量の増加として反映される結果となった。しかしながら、S を除くこれらの全ての金属において植物体中濃度は平均レベルの範囲内であり、BBs 灰施用において金属過剰吸収による作物の成長阻害は発現されないことが確認された。S に関しては、植物の葉の硫黄含有量の平均域を超えていたが、この元素は、通常の農耕地環境下では過剰吸収による障害発現はほとんどないとされているうえ、硫酸イオンに対する土壌の保持能力は一般的に低く土壌から容易に溶脱されるため、BB 灰による S の過剰供給における作物害は起こらないと判断できる。

灰の特性上過剰に供給された Ca はその多くが根に蓄積していた。Ca 過剰による P 及び Mg の吸収阻害は観測されず、BBs 灰施用による Ca 供給量は作物生長に影響するほどの過剰量ではないことが確認された。

Al、Fe の吸収量は、絶対量としては低いものの酸性土壌区のそれを超えていたが、酸性土壌の Al 過剰害で報告されるような根の伸

長阻害は観測されず、灰施用による Al の多量供給が作物生長に影響しないことが確認された。

一方、微量養素ではあるものの作物体中への高濃度蓄積により一次捕食者への影響が懸念される Mo は、その作物体中の含有量が B 同様に灰施用によって平均含有レベルに達し、作物としての閾値(10~20 mg kg⁻¹)を超えることもなかった。BBs 灰施用区では中性土壌区と比較してわずかに優れた生育が観測された(有意な差ではない)が、BBs 灰施用によって供給されたこれらの元素(Mo, B)が肥料として寄与していた可能性も考えられる。

また、土壌汚染の代表的な金属種である Ni、Cu、Cd、Pb といった金属は、BBs 灰施用区で植物体への取り込みが低下していた。この結果は、これらの金属種の溶出の pH 依存性が高いといったカラム試験の結果と矛盾がないものである。Zn の取り込みは灰施用区で低くなり、Cr は可食部では検出されなかった。したがって、BBs 灰施用において、金属の集積や潜在的な生長抑制は起こらないことが確認された。

(6) BBs 燃焼灰・家畜堆肥の同時施用の評価

BBs 燃焼灰と豚糞堆肥の同時施用により、短期栽培可能な二十日大根の成長実験を行った。その結果、同時施用による酸性土壌の pH 調整効果と豚糞堆肥による窒素肥料の効果により、二十日大根の十分な成長が確認された。

燃焼灰または豚糞堆肥の単独施用と比較して、同時施用による二十日大根可食部への Cu 吸収の低下効果が確認され、さらに Zn についてもその吸収抑制効果が示唆された。これらの結果は、燃焼灰と有機堆肥の同時施肥により重金属が可食部に濃縮されないことを示し、BBs 燃焼灰と有機堆肥の同時施肥が有

効であることを明らかにした。

(7) 地域完結循環型総合環境保全対策の評価ならびに現地普及の可能性

ヴェトナムタイグエン省の貧しい農家で一部バイオマスも燃料とされており、BBssが煉炭のかわりに利用されれば、BBs技術の普及は可能である。しかし、BBs製造は煉炭製造に比較して初期投資が大きいいため、更なる調査が必要である。

N、Pの高吸収植物の発熱量は中国の低品位石炭と同程度であり、それを利用したBBs製造は可能であり、室内汚染・大気汚染対策・酸性雨対策(SO₂排出抑制)、富栄養価対策(N・Pの高吸収性植物の利用)、温暖化ガス排出抑制対策としてのBBs利用は可能である。しかし、BBs製造は煉炭製造に比較して初期投資が大きいこと、また石炭BBs化の副原料の乾燥バイオマスを雨期には長期にわたって大量にストックする必要があるため、更なる調査が必要である。

(8) 研究成果の取りまとめ・評価

BBsの製造は初期投資が大きいことと大量の乾燥バイオマスのストックが必要であり、一般家庭以外での大量利用によるBBs製造単価ならびにバイオマス乾燥費用の削減可能性を調査検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件:①は査読付き、②~④は査読なし)

- ①花澤淳, 川野朋奈, 三輪誠, 王青躍, 坂本和彦, 酸性土壌におけるバイオブリケット燃焼灰と豚糞堆肥の同時施用が植物成長に及ぼす影響, 大気環境学会誌, **46**, 148-155 (2011).
- ②坂本和彦, ゼロエミッションサイクルの構築—民生用低品位石炭のクリーン燃料化—, 用水と廃水, **53**, 747 (2011)

③坂本和彦, 私の日中環境協力の一例—人材養成と大気汚染制御—, 空気清浄, **49**, 46-48 (2011).

④坂本和彦, 石炭-バイオマス成形炭利用による地域完結循環型総合環境保全対策, エアロゾル研究, **25**, 79-80 (2010).

[その他]

①坂本和彦, 生態系サービスと地域環境保全, 埼玉県環境科学国際センター研究発表会 (特別講演), 2012年1月31日, 埼玉会館.

6. 研究組織

(1)研究代表者

坂本 和彦 (SAKAMOTO KAZUHIKO)
埼玉大学・理工学研究科・名誉教授
研究者番号: 20111411

(2)研究分担者

(3)連携研究者

王 青躍 (OU SEIYO)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 30344956
三輪 誠 (MIWA MAKOTO)
埼玉県環境科学国際センター・主任研究員
研究者番号: 30375589