

平成 22 年 6 月 14 日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19310045
 研究課題名 (和文) 枯渇性と循環性資源高効率利用による発展途上国向け温暖化ガス排出抑制技術の開発普及
 研究課題名 (英文) Development of Emission Control Technology of Global Warming Gas Based on Simultaneous Usage of Exhausting and Renewable Resources for Developing Countries
 研究代表者
 坂本 和彦 (SAKAMOTO KAZUHIKO)
 埼玉大学・理工学研究科・教授
 研究者番号：20111411

研究成果の概要 (和文)：石炭 - バイオマスブリケット(バイオブリケット、BBs と略称)は、いかなる粘結剤も用いることなく、低品位粉状石炭、エネルギー源バイオマス廃棄物としての水生植物、硫黄固定剤としての消石灰から調製できた。二酸化硫黄と二酸化炭素の排出抑制は BBs の原料として、枯渇性と循環性資源の同時高効率利用によって達成できた。さらに、BBs の燃焼灰は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。

研究成果の概要 (英文)：The coal-biomass briquettes (or bio-briquettes, BBs) were produced from low-grade pulverized coal, aquatic plants (waste biomass as an energy crop), and a sulfur fixation agent (slaked lime) under high pressure without any binder. The abatement of sulfur dioxide and carbon dioxide emissions was achieved by simultaneous usage of exhausting and renewable resources as raw materials of BBs. Furthermore, BBs' combustion ash could be used effectively as an acid-soil amendment to improve crop productivity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2008 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2009 年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

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、廃棄物再資源化、二酸化炭素排出削減、環境調和型農林水産、土壌改良、富栄養、水生植物

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)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。

低品位石炭、オガクズ、消石灰から

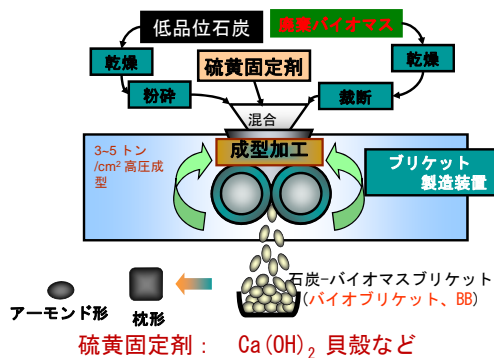
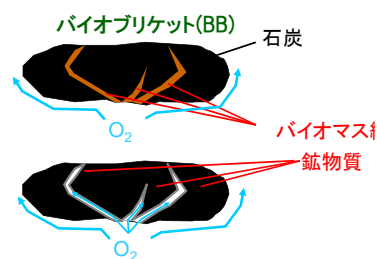


図1 バイオブリケットの製造

(4) バイオディーゼル燃料とバイオブリケット化技術の組み合わせによる大気汚染物質と温暖化ガスの排出抑制に関する研究はない。

2. 研究の目的

中国やベトナム等の発展途上国への適用を想定し、民生用低品位石炭の燃焼時における酸性雨原因物質である硫酸化物と温暖化ガスである二酸化炭素の排出



- ①バイオマスが優先的に着火して試料内部にクラックが発生し、未反応の残った石炭と酸素(O₂)との接触が向上すること。
- ②バイオマスが残した珪物質が酸化促進の触媒作用を示すこと。

燃焼効率の著しい向上 ⇒ ⇒ 完全燃焼

図2 バイオブリケットの高い燃焼性

抑制を意図して、低品位粉状石炭、エネルギー源バイオマス廃棄物としての水生植物、硫黄固定剤としての消石灰からなるバイオブリケットを調製し、その燃焼特性等を評価する。また、その燃焼灰による酸性土壌改良効果、燃焼灰と有機堆肥の同時施用による植物生長促進効果の評価、バイオマス廃棄物として水生植物を利用することによる大気汚染・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ゼロエミッションサイクルを構築することである。具体的な研究項目は以下のとおりである。

- (1) 民生用 BBs の改良・評価
- (2) 民生用 BBs 燃焼灰による酸性土壌修復
- (3) 民生用 BBs 燃焼灰と窒素含有堆肥等の同時施用による植物生長促進効果の確認
- (4) 民生用 BBs 利用を核とする廃棄物を発生させない地域完結循環型総合環境保全対策の提案

3. 研究の方法

- (1) 民生用 BBs の改良・評価
富栄養化した湖沼から窒素やリンガン含

有化合物を効率的に吸収し、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(ホテイアオイ、ガマ、ヨシなど)をバイオマスとして、低品位石炭から BBs を調整し、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。

(3) 民生用 BBs 燃焼灰と窒素含有堆肥の同時施用による植物生長促進効果の確認

短期栽培可能な植物(二十日大根など)を取り上げ、燃焼灰と化学肥料の組み合わせで実験を行い、燃焼灰の効果を明らかにする。さらに、これまでの燃焼灰と堆肥の同時施肥の効果を比較し、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うことを明らかにする。

(4) 民生用 BBs 利用を核とする廃棄物を発生させない地域完結循環型総合環境保全対策の提案

水生植物を含むバイオマス廃棄物を副原料とするBB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可能性を評価する。

4. 研究成果

(1) 民生用 BB の改良・評価

新たなバイオマスとして、窒素やリン含

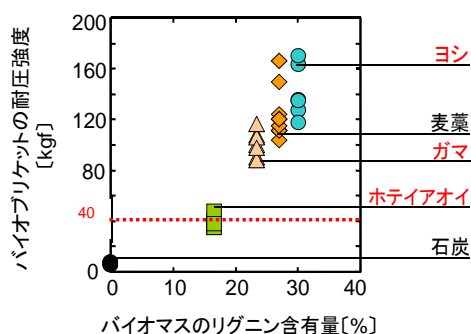


図3 水生植物利用バイオブリケットの強度とリグニン含有量

有化合物を水中から効率よく吸収する水生植物を利用できれば、そのBBの燃焼灰には酸性土壌中和剤としてだけでなく、肥料効果も期待できるうえ、富栄養化した湖沼や河川の浄化にも役立つ。そこで、窒素やリン含有化合物の吸収蓄積効果が高く、中国でも多く存在しているヨシ、ガマ、ホテイアオイといった水生植物を選択し、これらを用いてBBsを調製した。質量比でバイオマスを20-30%、石炭の硫黄含有量に対して2倍当量の消石灰を混合して高压成型して調整したBBsは、図3に示すように、各地域への輸送に耐えうる強度を持ち、大気汚染や酸性雨の原因となる二酸化硫黄の排出抑制のみならず、20%程度の温暖化ガスである二酸化炭素の排出抑制効果が期待された。

(2) 民生用 BBs 燃焼灰による酸性土壌修復

BBs 燃焼灰中には植物生長に有効な Ca、Mg、K、また硫酸化物の固定に利用された残りの消石灰(Ca(OH)₂)が残存している。そこで、土壌の改良剤として酸性土壌にBBs 燃焼灰を散布し、人工酸性雨に対する緩衝能力、植物二十日大根の生長試験を行

った。その結果、BB 燃焼灰を 5%程度散布すれば、長期にわたって酸緩衝能力が維持され、牧草アルファルファの生長にも良い結果が得られた(図 4)。このように、BB 燃焼灰は酸性土壌の改良に一定の効果を持っていることは明らかになったが、二十日大根は栄養分の不足のため十分な成長にはほど遠い状況であった。



図 4 酸性土壌における牧草アルファルファの生長試験 (左側: BBs 燃焼灰の添加、右側: BBs 燃焼灰無添加)

(3) 民生 BBs 燃焼灰と窒素含有堆肥等の同時施用による植物生長促進効果の確認

このように、BBs 燃焼灰は酸性土壌の改良に一定の効果を持っていることは明らかになったが、二十日大根は栄養分の不足のため十分な成長には至らなかった。そこで、重慶郊外農村部における養豚を考慮して、BBs 燃焼灰と豚糞堆肥の同時施用の効果を検討した。その結果、BBs 燃焼灰と豚糞堆肥の同時施用により植物生長が加速され、十分な商品価値のある二十日大根が生産できることが確認された(図 5)。また、豚糞堆肥の共存により、植物中の可食部への重金属の取り込みが抑制されることがわかり、燃焼灰と有機堆肥の同時施用の有効性を明らかにできた。

(4) 民生用 BB 利用を核とする廃棄物を発生させない地域完結循環型総合環境保全

(a) 酸性土壌 (コントロール)



(b) 酸性土壌への燃焼灰の添加



(c) 酸性土壌への燃焼灰と豚糞堆肥の施用



図 5 二十日大根の成長試験

対策の提案

BB燃焼灰と有機堆肥の条件に加えて、BB 燃焼灰と化成肥料の組み合わせでも二十日大根の生長実験を行い、前者の方が後者より、茎部位(茎+胚軸)の生育が優れていることを確認した。また、水生植物は副原料とするBBs も一般的な農林業廃棄物(麦わらやオガクズ)

をバイオマスとして用いたBBsと同様な強度、二酸化硫黄や二酸化炭素の排出抑制効果を持つことは、既に示した通りである。

これらの結果は、図6の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が可能であることを示している。BBs燃焼灰が酸性土壌の改良に用いられるということは、本研究で意図しているBBs技術の農村部における普及が極めて効果的に行えることを示唆している。

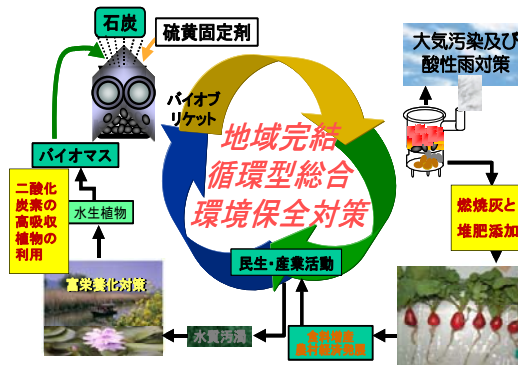


図6 バイオブリケットを核とするゼロエミッションサイクル

(5) BBs技術の普及可能性調査

低品位石炭、粘土、消石灰から燃焼性・硫黄固定効果ともに低い混合ブリケットを利用している中国農村部で、ここで検討したものと同様なBBs燃料による室内汚染低減効果も、重慶市郊外の南川市や龍神村の一般農家での石炭とBBsの燃焼実験による室内汚染レベル、主婦に対する曝露濃度(図7)を比較し、硫黄酸化物の排出低減効果を明らかにした。さらに、同地域の農家で一般的に家畜を肥育しており、BB燃焼灰と家畜堆肥の同時施用のための客観的条件も整っている。し



図7 パッシブサンプラーによる大気汚染ガス曝露量の測定

たがって、同地域でのBB燃料の利用とBB燃焼灰と家畜堆肥の同時施用の組み合わせによるBBsの普及は高い実現可能性を持っていると言える。

(6) BDFによる温暖化ガスの排出抑制効果の評価

植物油からのバイオディーゼル燃料(BDF)の調製ならびに植物油の搾りかすからのBBの製造・利用による温暖化ガス排出抑制効果を調べ、環境負荷低減型ゼロエミッションサイクル構築の可能性を考察した。しかし、結論を得るには至らず、その評価には更なる調査課題が残された。

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9件: ①-⑧は査読有り、⑨は査読なし)

- ① Kasiwakura K., Sakamoto K., Emission characteristics and cancer risks of polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from diesel-fueled vehicles complying with recent regulations, *Journal of Health Science*, **56**, 200-207 (2010).
- ② 黄錚, 外岡豊, 関口和彦, 王青躍, 坂本和

彦, 汚染産業移転説と環境政策選択—地域間経済格差から見た中国の環境問題—, 環境科学会誌, **23**, 67-80 (2010).

- ③ Shibata K., Yanagisawa N., Tashiro Y., Mukunashi T., Onodera T., Sakamoto K., Reduction in the emissions and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons from a heavy-duty diesel engine with the latest aftertreatment devices, *Journal of Health Science*, **56**, 31-40 (2010).
- ④ Huang Z., Tonooka Y., Sekiguchi K., Wang Q., Sakamoto K., Long-term sulfur emissions and Environmental Kuznets Curves: Comparison and implications, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, **3**, 19-26 (2009).
- ⑤ 黄铮, 外岡豊, 王青躍, 坂本和彦, 環境クズネッツ曲線からみた北京の大気汚染と制御戦略, 環境科学会誌, **22**, 348-361 (2009).
- ⑥ Hanazawa A., Gao S., Sakamoto K., Study on emission control for precursors causing acid rain (VI): Suitability of aquatic plant biomass as a co-combustion material with coal, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, **2**, 102-108 (2008).
- ⑦ Yamada K., Sorimachi A., Wang Q., Yi J., Cheng S., Zhou Y., Sakamoto K., Abatement of indoor air pollution achieved with coal-biomass briquettes in a household in Chongqing, China. *Atmospheric Environment*, **42**, 7924-7930 (2008).
- ⑧ 山田公子, 王青躍, 坂本和彦, 家庭用ストーブの模擬燃焼条件におけるバイオブリケットの硫黄固定効果, 大気環境学会誌, **43**, 264-272 (2008).
- ⑨ Shirai T., Mogi F., Sekiguchi K., Wang Q., Kurokawa H., Yoshimura Y., Sakamoto K., Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons in bio-diesel exhaustparticles., 2007 Proceedings of the 2007 International Symposium on Environmental Science and Technology (2007 ISEST), 2007, pp. 516-522.

[学会発表] (計1件)

- ① Shirai T., Mogi F., Sekiguchi K., Wang Q., Kurokawa H., Yoshimura Y., Sakamoto K., Measurement of polycyclic aromatic hydrocarbons in bio-diesel exhaustparticles., 2007 International Symposium on Environmental Science and Technology (2007 ISEST), November 14, 2007.

[図書] (計1件)

- ① 坂本和彦, 独立行政法人 科学技術振興機構 中国総合研究センター, 中国・

日本科学最前線から-研究の現場から-2010版 分担執筆: 発展途上国における硫黄酸化物の排出抑制とゼロエミッションサイクルの構築, 2010, pp. 233-240.

[その他]

① 研究報告書

花澤淳, 川野朋奈, 三輪誠, 王青躍, 坂本和彦, 酸性土壌におけるポット栽培における二十日大根の成長に関するバイオブリケット燃焼灰と豚糞堆肥の同時施用の効果, 平成18年度埼玉大学大学院理工学研究科共同研究報告書 (2007).

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・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