

平成 16 年度東アジアにおける民生用燃料からの酸性雨原因物質排出
対策技術の開発と様々な環境への影響評価とその手法に関する研究
(バイオブリケットの民生技術移転と普及・啓発方策に関する研究)

Study on technique transference and the method of
prevalence and enlightenment for coal-biomass briquette

王 青躍^{1*}、畠山 史郎²
Qingyue Wang¹ and Shiro Hatakeyama²

¹ 埼玉大学 理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

² 国立環境研究所 大気圏環境研究領域

Atmospheric Environment Division, National Institute for Environmental Studies

Abstract

Coal-biomass briquette (BB) that can efficiently fix SO₂ from combustion of low grade raw coal and pulverized waste coal was developed. And it was effort to investigate possibility of BB technology as a prevention measure of acid rain, based on combustion test, performance test and diffusion model concept intended for region of southwest, northeast, inland and northern city of China. From this possibility test, it was obvious that we can not only get revenue, but also reuse waste coal, and reduce particulate matter and SO₂ if we construct BB factory which can has annual total production amounts of more than 100,000 tons. And from economic estimation, it calculated product cost 130~250 yuan (*ca.* equivalent of 1,750~3,400 yen) per ton of BB which was comparable to commercial high grade coal. But variety and distribution of biomass depend on region characteristic, and transfer cost also is an impact factor. In future, we should considerate continuously technique transference and the method of prevalence and enlightenment, and it will be expected that Japan-China cooperative research that aims to realize the model concept, reap a rich harvest.

Key Words: Acid rain, Low grade coal, Cooperative research, Coal-biomass briquette (BB) and China.

1. はじめに

中国をはじめとするアジア地域各地において、経済の急成長と生活レベルの向上に伴い、エネルギー消費量⁽¹⁾が急激に増大しつつ、大気汚染や酸性雨の問題が深刻化している。特に中国においては、用いられている石炭の多くは硫黄分、灰分割合が高く、

発熱量が低い低品位石炭であり、SO₂ガスの排出量が多く、それによる降水の酸性化は顕著である。その中でも西南地域や東北地域では、民生用石炭の燃焼により排出されるSO₂ガス、粉塵、フッ化物による環境や健康への影響は大きい⁽²⁾。こうした背景の中、石炭燃焼によって排出されるSO₂、煤塵の排出抑制対策として、低品位石炭のバイオブリケット化が開発されている。バイオブリケット(以下BB)とは、石炭、硫黄固定剤として消石灰、バインダーとして

* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255
電話：048-858-3733 FAX：048-858-3733
Email：wang@env.gse.saitama-u.ac.jp

農林業廃棄物であるバイオマスと混合し、圧縮成型した固体燃料である。このBBは石炭燃焼時に排出されるSO₂ガスを大幅に抑制することができ、着火性、燃焼性にも優れており発展途上国を中心として世界各地で関心が高まっている技術である⁽³⁾。さらにバイオブリケットには過剰の消石灰が添加されているため、その燃焼灰はアルカリ性を示し、酸性土壌の改良にも有効視されている。

また、廃棄バイオマス同様、これまで未利用であった資源として、石炭採掘・選炭時に廃棄される微粉状の石炭が廃棄場・沈殿池の土地確保の問題や、風雨に曝される事による大気汚染^{(4)~(6)}・土壌酸性化汚染及び地下水汚染、さらには自然発火などのリスクが生じているが、この微粉状廃棄石炭をBBへの有効利用ができれば、土壌酸性化、枯渇性化石燃料の節減、廃棄物の資源化、環境汚染負荷の低減等も期待できる。

2. 研究目的

本研究では、中国モデル環境都市としての西南地域重慶市、東北地域鞍山市、内陸部地域新疆ウイグル自治区ウルムチ市^{(7)~(9)}について継続調査を実施すると同時に、石炭生産地である北部一般都市大同市も対象地域に加えた。また原料、入手ルート、輸送手段や製造コスト、地域特徴など因子についての普及可能性調査を重点に置き、石炭燃焼による深刻な大気汚染対策として、現地低品位や廃棄石炭ならびに廃棄バイオマスを利用した硫黄固定型BB技術に関する開発実験と適正調査を実施した。さらに将来の技術導入可能性について検討し、環境調和型枯渇性資源である石炭と循環性資源である農林業廃棄物（バイオマス）の総合利用に関するシステムを構築することを目的としている。

3. 研究方法

(1) BB技術の現地化開発実験・普及可能性調査

① 廃棄BBの開発実験

中国東北地域と西南地域から入手した微粉状廃

棄石炭(それぞれ阜新炭、南桐炭)とバイオマス(麦わら)について、それぞれ工業分析(灰分、水分、揮発分)、及び発熱量の分析を行った。石炭のみの石炭ブリケットCB1(阜新炭)、CB2(南桐炭)、バイオマスのみのバイオマスブリケットBM、及び硫黄固定剤を混合したバイオブリケットBB1(阜新炭)、BB2(南桐炭)はそれぞれハイプレッシャージャッキで圧縮成型(4 ton cm²)させ、燃焼装置にて燃焼実験による性能評価を行った。BBには、従来のバイオブリケット同様SO₂の固定剤としてCa(OH)₂を石炭中の硫黄分に対してCa/S=2(当量比)となるように添加した(表1)。

表1. 燃焼実験用ブリケット試料

試料	廃棄石炭(g)	麦藁(g)	Ca(OH) ₂ (g)
CB1	1.00	—	—
CB2	1.00	—	—
BM	—	1.00	—
BB1	0.73	0.24	0.03
BB2	0.59	0.20	0.21

② 普及可能性調査

中国各地において、現地の地域特性を考慮し、図1に示したバイオブリケットの製造・流通・利用・燃焼灰再利用について、原料(石炭種、バイオマス種、硫黄固定剤)、入手価格、輸送手段とコスト、製造コスト、地域特性(メリット、デメリット)などの因子についての普及可能性調査を現地の公的機関と共同で実施し、その経済性と利用システムの方策を提言した。

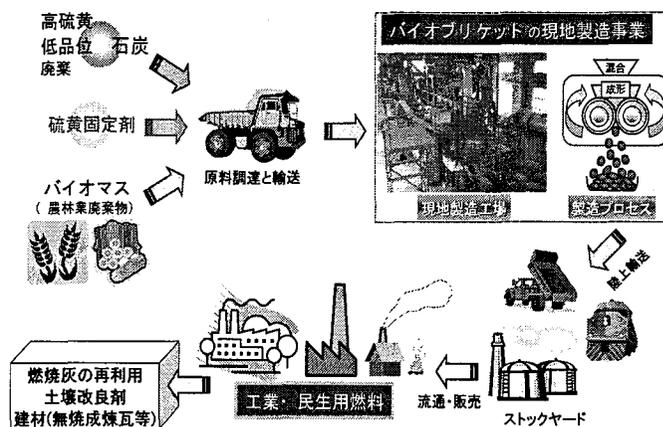


図1 バイオブリケットの流通と普及利用システムの構想

4. 結果及び考察

① BB 技術の廃棄石炭への利用開発

現地から入手した微粉状廃棄石炭(阜新炭, 南桐炭)とバイオマス(麦藁)の基礎分析結果を表2に示す。

表2. 基礎分析結果

試料	工業分析値 (wt.%, dry base)			発熱量 (kcal/kg, dry base)
	灰分	揮発分	固定炭素	
阜新炭	26.9	26.7	46.4	5,600
南桐炭	70.5	13.0	16.1	2,400
麦藁	8.3	73.1	18.6	4,600

これらを用いた CB1, CB2, BM, BB1, BB2 の燃焼実験を行い, SO₂として放出される硫黄排出量と, 粒子状物質中の S 分としての放出される硫黄排出量の結果を図2に示す。SO₂として放出される硫黄排出量は, CB1, CB2, BM, BB1, BB2 それぞれで

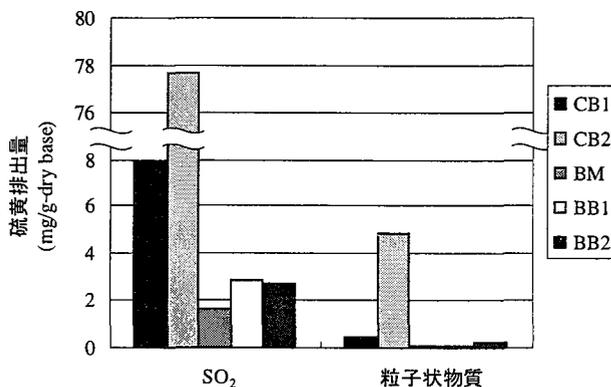


図2. 燃焼時硫黄排出量

7.8 (mg/g-dry base), 77.3 (mg/g-dry base), 1.6 (mg/g-dry base), 2.8 (mg/g-dry base), 2.7 (mg/g-dry base)である。また, 粒子状物質中に含まれる S 分は, CB1, CB2, BM, BB1, BB2 それぞれで 0.46 (mg/g-dry base), 4.90 (mg/g-dry base), 0.11 (mg/g-dry base), 0.06 (mg/g-dry base), 0.20 (mg/g-dry base)である。この結果より, 廃棄 BB1 と BB2 は, 燃焼排ガス中かつ粒子状物質中の硫黄排出抑制効果を有していることを明らかにし, 廃棄 BB の有用性を確認した。

② BB 技術現地化への普及可能性

中国では, 西南地域で産出している石炭の硫黄分が高くなっていることにもかかわらず, 発熱量に比

例して価格も 250 元程度で比較的高い。一方, 内陸部, 北部, 東北部では, 品質上で灰分の多いものが採掘されていることから, 発熱量の低い石炭がより低価格, 130~190 元の範囲で取引・流通されて利用している。その地域格差も反映しているが, そのため, 表3に示すように, エネルギー分野の計画経済の影響により, 石炭の流通地域も限られている。40~60 元の廃棄石炭や 100~150 元の低品位炭の生焚きを禁止し, そのクリーン燃料化は大きな課題となっている。

そこで, 今年度現地普及調査では, 廃棄石炭の BB への利用開発実験の結果を踏まえ, 啓発活動を継続し, 現地側に認知されつつ, 以下のように, 普及可能性調査を通じ, 経済性評価を行いつつ, 表3にまとめた。

1) 各地域において, 廃棄粉炭・低品位炭の市場と流通ルート进行调查し, 発熱量は 3,000 kcal/kg 以上となっていること, また BB の製造事業への石炭原料としての供給が可能であると確認した。

2) バイオマスの種類は地域によって異なり, 稲わらが各地とも最も多く分布し, 40~100 元の範囲で入手可能となるが, トウモロコシ茎, 麦わら, 木屑の産出量に関しては, 農林業形態に依存し, 地域別の変動分布特徴が見られる。

3) BB の事業計画を策定したところ, 1 ton 当たりの BB 製造コストの試算では, それぞれ重慶 250 元, 鞍山 190 元, ウルムチ 150 元, 大同 130 元の順となっており, 投資回収期間は 10 年間と仮定する場合, 年産総量 10 万トン以上であれば収益が可能となる。なお, 環境モデル地域における環境保護局の環境保護基金の一部を補償金・優遇策として活用すれば, BB 普及推進はさらに見込まれ, 従来の石炭利用に比べ, 粉塵排出量, SO₂排出量の削減による環境改善が明らかと予測されている。一方, 一般都市では, 国内外民間企業の参画による事業展開も可能となっている。

4) 各地人件費が安く見積もられているが, 輸送に起因する費用は製造コストの 10~30%の地域的変動を

表3 中国各地域向けのバイオブリケット製造事業に関する普及可能性調査

地 域	西南・重慶市 (日中環境モデル都市)	東北・鞍山市 (中国環境モデル都市)	内陸部・ウルムチ市 (中国環境モデル都市)	北部・大同市 (一般都市)
BB用石炭種類	高硫黄分低品位粉炭	廃棄粉炭・高灰分塊炭	高灰分廃棄粉炭	低品位粉炭
BB用石炭発熱量	4,000-5,500kcal/kg	2,500-4,500kcal/kg	2,500-4,000kcal/kg	3,000-4,500kcal/kg
BB用石炭価格	150元/トン	100元/トン	40-60元/トン	50元/トン
市販石炭価格	200-250元/トン	150-210元/トン	100-130元/トン	100-110元/トン
市販石炭発熱量	5,000-6,500kcal/kg	4,000-5,500kcal/kg	4,000-5,000kcal/kg	5,000-6,500kcal/kg
バイオマス種	稲わら、水生植物etc.	稲わら、トウモロコシetc.	稲わら、麦わら、木屑	稲わら、麦わらetc.
バイオマス価格	100元/トン	60元/トン	40元/トン	50元/トン
硫黄固定剤	工業廃棄物・消石灰	消石灰・生石灰	生石灰	生石灰
輸送手段	トラック、鉄道	トラック、鉄道	トラック	トラック、鉄道
貨物輸送単価	30元/トン	10元/トン	40元/トン	20元/トン
BB製造コスト	250元/トン	190元/トン	150元/トン	130元/トン
地域的特性 (メリット、デメリット 普及可能性)	土地が高い 原料が高い 人件費が安い 実証経験あり 政府優遇政策あり 天然ガス産出地域 年産100万トン円借款 計画があったが、 自己資金不足	土地が安い 原料が安い 人件費が安い 実証プラントあり 政府優遇政策あり 年産60万トン円借款 事業が既決定 2004-2006年度実施 自己資金あり	土地が安い 原料が安い 人件費が安い 実証経験なし 政府優遇政策あり 天然ガス産出地域 年産40万トン計画 があり、 自己資金あり	土地が安い 原料が安い 人件費が安い 実証経験なし 政府優遇政策なし 石炭産出地域 年産20万トン計画 があるが、 自己資金なし

注:1元=13.5円(平成16年3月現在)

確認した。それは、BB 生産・利用形態の広域化、エネルギー(石油や天然ガス)構造によって生じるものの、地域特性(メリット、デメリット)などの普及因子からも影響していると推測される。地域分散型BB 生産工場の建設によって、輸送コスト低減の最も有効な普及方策の一つとも言える。

以上のことから、低品位炭BBや廃棄石炭のBBは、中国対象地域に向けた実用可能な大気汚染物質排出抑制技術として発展させることが可能であり、図1に示したバイオブリケットの原料調達・製造・流通・利用・燃焼灰再利用のモデル構想を提言することができる。

5. まとめ

今年度の調査研究では、西南地域、東北地域、内陸部地域、北部一般都市において、BB技術の普及方策に関する研究調査を実施した。年産総量10万トン以上のBB工場を設置する場合、収益が可能となり、廃棄石炭BBの燃焼性向上、粉塵排出低減、硫黄固定・脱硝などの効果を明らかにし

たと同時に、経済性と市場性を評価し、その生産コストは1トンあたり130~250元(1,750~3,400円相当)の範囲と試算され、市販高品位石炭燃料に匹敵するものとなっている。しかし、バイオマスの種類とその分布は、地域別特性があり、また輸送コストも大きな割合を占めていることを明らかにされた。従って、この成果を踏まえ、今後、このBB技術移転と普及・啓発方策^{(10)・(14)}についてさらなる検討をし、そのモデル構想の実現によって、中国酸性雨汚染地域のみならず、途上国における大気汚染の改善に役立つことが期待されている。

6. 結語

開発途上国の大気汚染や酸性雨原因物質の排出抑制、住民の健康被害の軽減に有効な技術として、現在、中国鞍山市政府より日本政府に年産60万トン規模のBB生産プラントがODA円借款案件として申請され、既に日中政府間の合意が得られている。今後、このBB技術の導入事業は、日中両国関連機

関・組織の努力により、日中環境開発モデル都市事業の重点地域と並列して、日中環境政策を支援し、内陸地域、東北地域と内陸遠隔貧困地域における大気汚染の改善に役立つことが期待できる。

謝 辞

本研究は、主として、平成 12-16 年度環境省地球環境研究総合推進費によって行っており、それに加え、民間企業の協力も得て実施されたものである。ここでは、関係者に対し、深く感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 王 青躍, 他 4 名: 「石炭燃焼に伴う大気汚染 (SO₂, 粉じん) 制御技術としてバイオブリケットの開発と実用化— 開発途上国での利用を目的として」, 環境研究, 119, 4-10 (2000).
- (2) Q. Wang, and 7 others: "Coal Biomass Briquetting Process as an Emission Control Technique for Acid-Rain Precursors in Chongqing, China", *Global Environ. Res.*, 4, 95-102 (2000).
- (3) 王青躍, 他 9 名: 「石炭バイオブリケットの燃焼特性と硫黄固定効果に関する研究」, エアロゾル研究, 15, 364-371 (2000).
- (4) 坂本和彦ほか 5 名: 「中国重慶市におけるバイオブリケット化による硫黄酸化物の排出制御に関する研究」, 大気環境学会誌, 35, 124-131 (2000).
- (5) S. Gao, and 6 others: "Studies on emission control for precursors causing acid rain (IV) Studies on biomass for production of bio-briquette in Chongqing, China", *J. Jpn. Atmos. Environ.*, 36, 78-87 (2001).
- (6) 王 青躍, 劉英宇: 「乾式選炭技術の開発・実用化およびバイオブリケットの民間技術移転と普及方策に関する調査研究」, 埼玉大学地域共同研究センター紀要, 第3号, 98-99 (2003).
- (7) 畠山史郎, 王 青躍, 乾式選炭技術の開発・実用化に関する研究, 地球環境研究総合推進費平成14年度研究成果報告集, Vol. III, pp. 55-63 (2003. 6).
- (8) 畠山史郎, 王 青躍, 坂本和彦, 溝口次夫, バイオブリケットの民間技術移転と普及・啓発方策に関する研究, 地球環境研究総合推進費平成14年度研究成果報告集, Vol. III, pp. 64-73 (2003. 6).
- (9) 王 青躍, 中国遠隔地域ウルムチ市における石炭燃焼による汚染対策および石炭の総合利用に関する研究, (社)国際善隣協会・環境推進センター研究成果報告集, Vol. 3, pp. 1-51 (2003. 9)
- (10) 王 青躍, モンゴル国ウランバートル市における大気汚染実態調査およびその対策技術—石炭バイオブリケットの導入可能性の初歩的検討—, 「エネルギーの高効率利用に関する新規研究開発」国際協力(JBIC)銀行委託調査報告書, pp.1-22 (2003).
- (11) Q. Wang, and 6 others: "Studies on reducing inorganic sulfur of Chinese low-grade coals with the dry coal cleaning method", 8th Int. Conf Atmos. Sci. Appl Air Quality (ASAAQ), Tsukuba, (2003).
- (12) Q. Wang, Hatakeyama S., Sakamoto K. and Mizuguchi T.: "Practical control techniques for local acidic air pollution caused from combustion of low-grade coal in China", Proceedings of 5th Seminar of JSPS-MOE Core University Program on Urban Environment (Shanghai, China), pp.143-153 (2003).
- (13) K. Yamada, Wang Q. and K. Sakamoto: "Study on control of fluoride emitted from combustion of raw coal by coal-biomass briquette", Proceedinds of the 8th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, pp.127-128, (2003).
- (14) Q. Wang, M. Kanada and K. Sakamoto: "Study on pulverized waste coal efficient use technique using coal-biomass briquette technology", Proceedinds of the 8th Japan-China Symposium on Coal and C1 Chemistry, pp. 161-162, (2003).