

## 「中国南西地域の石炭燃焼による SO<sub>2</sub> 対策」

溝口次夫\*、王青躍\*\*、坂本和彦\*\*\*、丸山敏彦\*\*\*\*

\* 佛教大学社会学部

603-8301 京都市北区紫野北花ノ坊町

\*\* 国際善隣協会

105 東京都港区新橋 1-5-5

\*\*\* 埼玉大学工業部

338 埼玉県浦和市下大久保 255

\*\*\*\* 北海道科学産業技術振興財団

060 札幌市中央区北 1 条西 7 丁目

### 概要

中国南西地域の工業都市である重慶市、貴陽市のエネルギー源の約 80% は石炭である。硫黄含有率 3~6% の石炭を燃焼しているため、大気中の SO<sub>2</sub> 濃度は極めて高く、中国の環境白書によれば、主要 90 都市の中で最も高い（貴陽市 1 位、重慶市 2 位）値を示している。これらの地域の中心街では SO<sub>2</sub> および浮遊粉じんによって呼吸器疾患などの健康被害が著しい。本研究では数年前から重慶市などでの実用的な SO<sub>2</sub> 制御技術を検討している。

小型燃焼炉、民生用などに用いられるバイオブリケット（成型炭）のパイロットプラントを設計、製作し、すでに重慶市内で試験使用を行っている。また、石炭からの直接脱硫技術（乾式選炭技術）についても現在、テストプラントを製作して実験を開始している。

### キーワード

大気汚染、石炭、SO<sub>2</sub>対策、バイオブリケット、乾式選炭技術

#### 1. はじめに

中国のエネルギー供給源は大部分が石炭である。中国大陸北部地域に比べて、南西地域の石炭は質も悪く、硫黄分含有量（3~6%）も多い。したがって、南西部工業都市の重慶市、貴陽市などの環境中の SO<sub>2</sub> 濃度は極めて高く、呼吸器疾患の主要因と考えられている。

数年前から中国最大の工業都市であり、昨年、中華人民共和国第 4 番目の直轄都市に指定された（人口約 3,000 万人と言われている）重慶市と貴陽市の大気汚染（SO<sub>2</sub> および浮遊粉じん）を軽減するための研究を行っている。最近までの研究成果を報告する。

#### 2. 実用可能な大気汚染制御技術

先進国では設備費が高つくいても、長期的観点から、脱硫、脱硝効果の高い技術が採用されるが、発展途上国では同様の考えでは通用しないことがある。重慶市の石炭火力発電所（発電能力 36 万 KW×2 基）に先進国では最も多く利用されている石灰、石こう方式の排ガス脱硫装置が先進国の援助で設置されているが、運転費が高つくことおよび副産品の石こうが重慶市では利用価値が乏しいことなどの理由で、あまり稼動していない。

重慶市および貴陽市の大気汚染制御を目的としたプロジェクト研究では、両市で利用され

る脱硫技術を提案するために、市当局および市環境科学研究所の研究者と討議を重ねた。それらの結果から、両市で実用可能な技術として次の6つの方法を選定した。

- 1) 炉内石灰吹込み式微粉炭燃焼法
- 2) 循環流動層燃焼法
- 3) バイオブリケット法
- 4) 地域適用型排ガス脱硫法
- 5) 微生物利用石炭脱硫法
- 6) 乾式選炭法

研究段階にある技術も含めて、以上6種類の方式を重慶市および貴陽市の石炭に起因する大気汚染防止技術（主としてSO<sub>2</sub>対策、一部にNO<sub>x</sub>対策、ばいじん対策も含まれている）として提案した。

このうち、1)~3)は石炭の燃焼中に脱硫/脱硝を行うもので、先進国で専ら利用されている排ガス脱硫、脱硝技術に比べて効率は良くないが、経済性に優れている。4)は先進国で用いられている排ガス脱硫技術であるが、その地域の特徴を生かして利用できる方法を選択するものである。5)6)は石炭からの直接脱硫技術であり、まだ実用化された方式ではないが、南西地域の石炭中の硫黄分の形態から考えて有効な方法と思われる。ばい煙発生施設の規模別にこれらの技術を対応づけると1)の技術は大規模施設向き、2)の技術は中規模施設向きであり3)の技術は小規模施設、民生用施設向きである。また、4)の技術は燃料を問わないがその他は重慶市、貴陽市の主要燃料である石炭を対象とした技術である。

以上の制御技術の中から、市内中心部のSO<sub>2</sub>濃度および浮遊粉じん濃度を低減させる有効な技術として、3)バイオブリケットの実用化を図るための研究を進めている。

### 3. バイオブリケット技術の概要

バイオブリケットとはブリケット（豆炭、練炭などの石炭粉末からの成型品をいう）にバイオマス（木屑、麦藁、稲藁、高粱、トウモロコシの茎などの植物原料）を混入したものを言い、それに石灰などの脱硫剤を加えて成型する。したがって、燃焼によって発生するSO<sub>2</sub>は含まれている石灰によって硫酸カルシウムとして固定され、脱硫される。原理的には(1)、(2)の技術と同様である。図-1にバイオブリケットの成型プロセスを示す。

バイオブリケットは小型のストーカー燃焼炉、民生用ボイラ、レストランなどの厨房施設、一般家庭での使用が見込まれ、重慶市全体では20%程度ではあるが、市中心部での利用が多く、重慶市内でも最もSO<sub>2</sub>濃度の高い渝中区とその周辺の改善には有効であると考えられる。バイオブリケットが重慶市で有効に利用されるかどうかは、その経済性にかかっている。実験によると、現在利用されているブリケット（中国産）と比較して格段に燃焼性が良く運搬等も容易である。

バイオブリケットは原炭に比較して加工費の分だけ高がつくが、その燃焼特性も含めて評価すると、そのコストが原炭の2倍以下であれば、十分に市場性が望める。バイオブリケットの利用を考える場合、その製造コストで判断するのではなく、燃焼特性を含めて評価すべきである。バイオブリケットのコストは原炭の1.5~2.0倍を想定し、その価格以下のものを製造することが重要である。

本プロジェクト研究で従来重慶市および貴陽市で用いられているブリケットを検討したと

ころ、それらは成型時の圧力不足のため輸送中に壊れること、燃焼途中で壊れることなどの欠点があることが分かった。また、高硫黄分等を含む質の悪い石炭であるため臭いが強いなどの問題があった。本プロジェクトでは成型時の圧力を大きくする技術を導入し、バイオマスと同時に脱硫剤を混入して、成型することによってこれらの問題点を解決した。現在、本プロジェクトで設計したパイロットプラントを重慶市内に設置し試験運転を行っている。

パイロットプラントはソフト面は日中両研究者の共同研究の成果であり、ハード面では本システムで最も重要な加圧成型機は日本側が製作し、石炭およびバイオマスの粉碎混合機、脱硫剤の混入機を中国側が製作するという分担で作業が進んでいる。パイロットプラントは中国側の希望があって当初の設計より大きくし、年産1万トンを生産できる規模とした。

重慶市五大炭鉱で採掘されている石炭の分析データを表-1に示す。これによると含まれる硫黄分は平均3.5%程度となっている。また、主要炭鉱である天府石炭中の硫黄分の形態を図-2に示す。わが国の石炭中の硫黄分と異なり、無機系硫黄分が多い(約75%)のが特徴である。

バイオブリケットのもう一方の主原料となるバイオマスは重慶市および貴陽市には多種類あり農作物として、米、トウモロコシ、小麦、大麦、高粱などがある。1985~1995年までの10年間の調査結果によると、それらの農作物の作付面積、生産量、収穫時期はよく安定している。

農作物のほかにバイオマス原料として薪炭材、建築用、家具用資材に使われた木屑があり、本プロジェクト研究ではまず、重慶市内の木材工場で排出された木屑をテストプラントのバイオマス原料として利用することとした。

表-2に重慶市に採取したトウモロコシおよび高粱の藁の成分分析結果を示す。これによると含有硫黄分がそれぞれ0.70および0.26%であり、他の中国地域のトウモロコシ、高粱の藁の硫黄分に比べて一桁も高い値になっている。重慶市の酸性降下物の量の多いことを証明している。

#### 4. バイオブリケットの燃焼実験等

バイオブリケットの試験製造 重慶地域において産出する石炭原料にバイオマス(大鋸屑、バガス、モミガラ、稲ワラ等の植物廃棄物)を15~30%配合し、生石炭、消石炭等の硫黄固定剤を予め配合した混合物を重慶市江北區のパイオブリケット実証プラントの成形研究用装置を用いて室温で高圧成形(線圧約3~5toncm<sup>2</sup>)プロセスによって、バイオブリケットの試験製造実験を行った。

バイオブリケットの燃焼実験 同量のバイオブリケットと原炭との燃焼特性について比較するため、重慶市原炭と、試験製造したバイオブリケットの燃焼実験を現地で実施した。一般家庭用コンロと小型ボイラーで同量の屑火材を用いて、バイオブリケットと原炭の同条件下で燃焼実験を行い、その火力、着火性、炉温、水温等の燃焼特性、燃焼効率、熱効率、煙塵放出量および硫黄固定率は、公的機関である中国四川省西南熱功計測センターと重慶市環境観測センターに計測を依頼した。

現地実態調査・研究 硫黄固定化バイオブリケットの製造技術を大気汚染排出抑制技術として実用化するために、現地の一般住民の環境意識を向上されることが必要不可欠である。そこで重慶市都市部と近郊地域を調査対象とし市場調査を行い、さらに、江北區モデル地域

において、実証プラントの成形装置で試作した」バイオブリケットを一般住民と、十数カ所のレストランで使用させ、住民にバイオブリケットの有効性を認識させ、住民の使用意欲の向上による大気汚染対策効果を高めた。

## 5. 乾式脱硫技術

石炭からの直接脱硫技術には湿式脱硫法と乾式脱硫法がある。いずれの技術もまだ試験段階であり、実用化には到っていない。湿式脱硫方式は微生物（好硫黄菌）処理によって石炭中の無機系硫黄を除去するものであるが、時間と水処理が必要である。乾式脱硫方式には静電気を利用したものと超音波を利用した方式があるが、筆者らは現在、静電気方式を検討している。最近、テストプラントを製作し、試験を行っているが、テストプラントの概略図を図-3に示す。

石炭の直接脱硫は現在検討されている乾式法、湿式法はともに無機系硫黄を除去する技術である。わが国の石炭中の無機系硫黄は硫黄分中の約50%であるが、中国西南地域の石炭中の硫黄分の組成は無機系硫黄が約74%（図-2）を占めている。したがって、直接脱硫技術が実用化されれば、重慶市、貴陽市のSO<sub>2</sub>濃度の軽減にかなり有効であると考えられる。

## 6. 結果と考察

直接脱硫技術についてはまだ、考察するまでに到っていないので、バイオブリケットについて考察する。

- i) 現地バイオブリケット実証プラントの性能試験 現地製造の周辺装置と日本側供与の成形研究装置の断続的な試験稼働によるバイオブリケット試験製造と成形特性試験の結果によれば、天日によって原料石炭と大鋸屑（10～20%程度）を四日間乾燥させ、硫黄固定材（消石灰等）を混入した原料の水分が5.7%であれば、表面の滑らかな高成形率のバイオブリケットができ、かつ強い破壊強度（50～90kg）が得られた。このバイオブリケットは重慶市販成形炭に比較して煤煙、一酸化炭素(CO)、SO<sub>2</sub>等の発生量が少なくなり、着火性、燃焼性も良く、未燃分損失等も少ないことが分かった。また、揮発性が多くなり、炎が長いため、ボイラー用燃料として適し、熱効率が低いのが特徴である。この実証プラントによって十分な強度のあるバイオブリケットを断続的な試験製造することが可能であることを確認した。
- ii) バイオブリケットの燃焼特性 一般家庭用コンロにおいて、同量のバイオブリケットと原炭との燃焼特性について比較するため、重慶市原炭とバイオマスとしての大鋸屑に消石灰を添加してバイオブリケットを試作し、同量の着火剤を用いて、その初期的燃焼実験を現地で実施した。その炉温、平均火力、着火性、燃焼保持時間、熱効率等の結果では、すべてバイオブリケットの方がより良好であることを示した。表-3に示すように、着火性、火炎保持時間、総燃焼保持時間、総蒸気発生量と熱効率については、バイオブリケットが13分、120分、248分、4,720gと25.5などのよい結果が計測されたのに対し、原炭生 きては、各々20分、51分、178分、2,920gと20.5などと低い水準に止まったことが分かった。特に同量の燃料を用いた場合、バイオブリケットの使用により、着火後の炊事可能な時間を倍程度延長させることができた。実験結果から原炭よりバイオブリケットの方が着火しやすく、燃焼状況もかなり良くなった。また、バイオブリケットの熱効率は原炭より高くなり、原炭燃焼時には、刺激性の臭いがあったが、バイオブリケットを燃焼する時にはほとんどなかった。残灰の分

析結果から、原炭よりバイオブリケットの方が残灰中の炭素含有率がかなり低くなっていることが分かった。現地市販の一般小型ボイラでの燃焼実験の結果では、バイオブリケットの使用によって、煤煙放出量の約50%、SO<sub>2</sub>放出量の95~60%を軽減することを明かにした。

iii) 現地住民の反響 江北区とその周辺地域における現地実態調査および住民のバイオブリケット使用調査の結果から、現地住民は我々が想像していた以上に環境に対して敏感であり、経済性と品質に対しても敏感であり、55%の現地住民が大気汚染による呼吸器系疾患の病状があることが分かった。住民の試用結果として、「(1)臭わない(2)着火が速く、使用しやすい。(3)火力が強く、炊飯、中華料理作りに適している。(4)86%の住民はバイオブリケットの効果がある。(5)20%程度、あるいは1.5~2.0倍くらい高くても早急に買い求めたい」などの感想が述べられた。

## 7.おわりに

中国重慶市市街地の大气汚染制御対策として、脱硫剤を混入したバイオブリケットの使用を図るべく、パイロットプラントを製作し、重慶市内に設置した。

バイオブリケット使用による市街地のSO<sub>2</sub>および浮遊粉じん濃度の軽減は今後の測定結果を待つことになるが、局所的にはかなりの効果が得られていることが判明している。

本研究で開発したバイオブリケットが重慶市で評価されれば、貴陽市をはじめ、中国の他の地域でも、住宅密集地の大气汚染対策として有用であると考えられる。

市街地の小規模施設、民生用、住宅用燃料だけでなく、大規模施設の改善も目的とした石炭からの直接脱硫方式は今後の研究を待つてほしい。

## 〈参考文献〉

- (1)溝口次夫、王青躍、坂本和彦、丸山敏彦、渡辺征夫、羅仁学、王偉：中国重慶市における石炭燃焼による大气汚染現状調査、第37回大气環境学会、D103、pp.280(1996)
- (2)丸山敏彦ら：石炭・木質複合固形燃料のロール型プレスによる製造試験、北海道立工業試験場報告、No.283(1983)
- (3)丸山敏彦：バイオブリケット国際技術協力、日本エネルギー学会誌、74、70~77(1995)
- (4)王青躍、丸山敏彦、坂本和彦、溝口次夫、渡辺征夫、羅仁学：バイオブリケットの試作及び重慶市市販ブリケットとの比較研究、第37回大气環境学会、D104、pp.281(1996)
- (5)坂本和彦、王青躍、王偉、溝口次夫、丸山敏彦、渡辺征夫：石炭バイオブリケット技術による脱硫可能性の研究、同上、D105、pp.282(1996)
- (6)Toshihiko MARUYAMA and Tsuguo MIZOGUCHI: Development of coal-biomass briquette (Biocoal) and its combustor, Coal in Asia-Pacific, NEDO, 4, 32-37(1992)
- (7)Qing-yue WANG, Toshihiko MARUYAMA, Kazuhiko SAKAMOTO and Tsuguo MIZOGUCHI: Development of coal-biomass briquette technology for suppression of environmental emissions in domestic and small-size combustor of Chongqing area, Papers of Japan-China Symposium on Air Pollution(The 5th Japan - China Symposium of JCSTEA Series), Tokyo, Japan, pp.351-356 (1996)
- (8)Wei WANG, Shidong GAO, Jun WANG, Kazuhiko SAKAMOTO, Qing-yue WANG, Tsuguo MIZOGUCHI and Toshihiko MARUYAMA: Atmospheric pollution around by coal combustion

- and its countermeasure - flucride pollution and its control, *ibid*, Tokyo, Japan(1996)
- (9)Qing-yue WANG, Kazuhiko SAKAMOTO, Tsuguo MIZOGUCHI, Toshihiko MARUYAMA and Renxue LUO, Characteristics of coal-biomass briquette and its desulfurizing efficiency, *Papers of International Workshop on Acid Deposition, The National Institute For Environmental Studies, Tsukuba, Japan*, pp.141～148(1996)
- (10)王青躍、丸山敏彦、坂本和彦、羅仁学、溝口次夫、渡辺征夫、高世東：中国重慶市における石炭バイオブリケットの試作実験、第38回大気汚染環境学会、D112、pp.313(1997)
- (11)坂本和彦、王青躍、丸山敏彦、溝口次夫、羅仁学、渡辺征夫：試作バイオブリケットに関する燃焼実験、同上、D113、pp.314(1997)
- (12)溝口次夫、王青躍、坂本和彦、丸山敏彦、小島麗逸、新家増美、羅仁学、渡辺征夫：石炭バイオブリケットに関する重慶市民評価、同上、D114、pp.315(1997)
- (13)電力中央研究所報告：石炭の生物加工 -4～8- (1991～1994)

表-1 重慶市五大炭鉱の石炭の分析結果

炭鉱名	水分(%)	灰分(%)	揮発分(%)	硫黄分(%)	発熱量 MJ/kg
魚田堡	1.2~1.3	15~22	14~20	2.5~5	25~30
紅岩	1.8~2.0	20~29	25~33	3~5	23~28
南桐	1.4~1.6	15~24	20~25	3~5	23~27
硯石台	1.4~1.6	20~25	28~33	3~5	22~27
東林	1.2~1.5	15~24	14~22	3~5	21~27
南桐泥炭	1.6~1.8	23~30	23~28	2~4	20~27
干貝子#	1.3~1.6	18~30	20~28	3~5	20~26
松藻	1.1~1.5	24~28	8~10	3~6	23~27
打通炭鉱	1.1~1.5	24~28	8~10	3~6	23~27
各炭鉱の 平均値	1.5~1.8	18~25	25~34	1~3	23~37
各炭鉱の 平均値	1.4~1.7	25~35	14~20	3~5	21~35
中梁山一、 二炭鉱	1.6~1.8	22~27	21~25	3~4	25~28

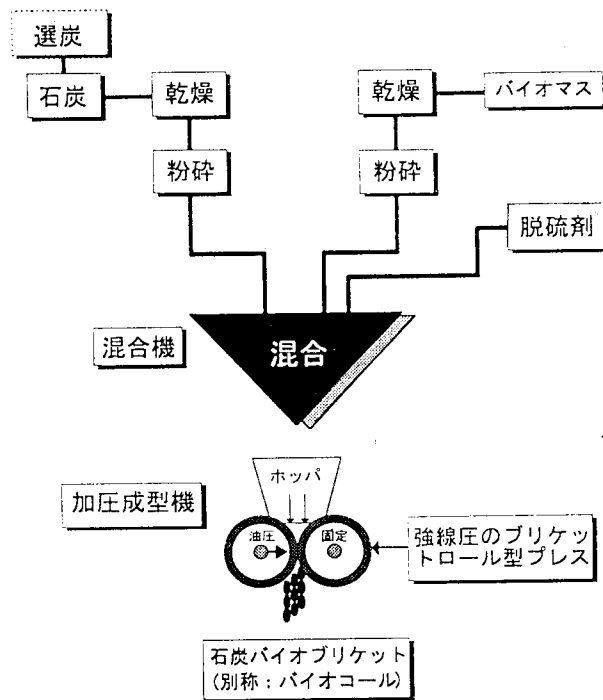


図-1 バイオブリケット成型プロセス

表-2 バイオマスの成分分析結果

項目	(単位 %)	
	バイオマス	高粱の藁
水分	7.29	7.71
灰分	6.28	14.94
揮発分	82.38	73.80
固定炭素	4.05	3.55
総発熱量 kcal/kg	4,200	4,200
全硫黄	0.70	0.26
不燃性硫黄	0.08	0.05
燃焼性硫黄	0.62	0.21

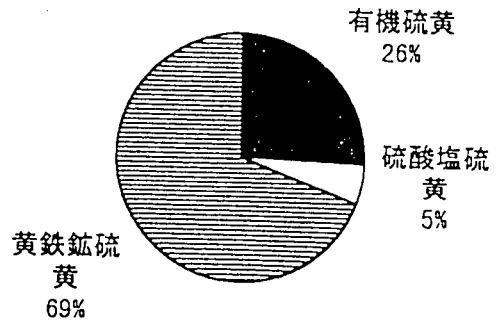


図-2 石炭中の硫黄分の形態

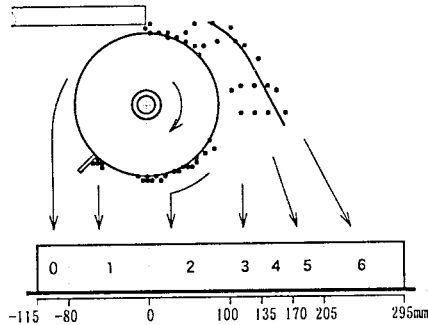


図-3 静電式脱硫方式の概略図

表-3 燃焼特性の比較

項目	記号	単位	バイオブリケット	原炭
着火性 <sup>1)</sup>	T <sub>D</sub>	min	13	20
火炎出現までの時間	T <sub>S</sub>	min	36	45
強い火力維持時間	T <sub>W</sub>	min	120	51
炊事可能時間	T <sub>K</sub>	min	212	133
総燃焼時間	T <sub>R</sub>	min	248	178
総蒸気発生量 <sup>2)</sup>	D <sub>ZZ</sub>	g	4,720	2,920
熱効率 <sup>3)</sup>	η	%	25.5	20.5
平均火力	H <sub>P</sub>	g min <sup>-1</sup>	22.2	21.9
平均炉口温度	t <sub>K</sub>	°C	586	
平均炉壁温度	t <sub>b</sub>	°C	95	91.2

- 1) 着火材：0.55 kg
- 2) テスト用水：5.98 kg
- 3) 熱効率の低い一般家庭用コンロ使用
- 4) バイオブリケットと原炭試料：3.0 kg