

中国の大気環境汚染の現状と対策

王 青躍 (社団法人国際善隣協会・環境推進センター)

1. はじめに

中国が工業化を中心とする経済高度成長を始めたのは1970年代末以降のことである。1978~1995年の間、国内総生産の年平均成長率は10%程度に達した。しかし、一方では、経済の高度成長によるエネルギー消費量の増加に伴い、国営大中小企業と郷鎮企業からの廃水、排ガス、個体廃棄物などの急増に起因する大気環境の汚染、水質の汚濁、生態系の破壊も凄まじいスピードで悪化している。特に、中国の大気汚染は依然工業用並びに民生用石炭燃焼による「煤煙型」を主とし、その主な汚染物は酸性雨原因物質であるSO₂とばいじんとなっており、人体への健康被害¹⁾等も確認されている。ここで、筆者は近年、中国における「煤煙型」大気汚染の実態²⁻⁵⁾とその対策についての調査結果、並びに当協会が日中関環境連機関と共同で進めている重慶市の酸性雨原因物質排出制御技術の実用化に関する研究の実施経験をふまえて発表する。

2. 石炭資源と大気環境の状況

2.1 豊富な石炭資源

中国の石炭埋蔵量⁶⁻⁷⁾は986.3Gt(1Gt=10⁹ton)であり、世界埋蔵量の約30%を占めている。そのうち、採掘可能な石炭埋蔵量は114.5Gtである。その中には、瀝青炭は75%、無煙炭は12%、褐炭は13%を占める。そして、埋蔵量の約84%は中国の北部地方にある。

2.2 低品位石炭の大量消費と生産

図1は中国建国以降のエネルギー需給の推移を示したものである。大躍進期及び文化大革命初期を除けば、エネルギー需給は70年頃まで一本線で描くことができる(図1線1参照)。70年以降、80年頃まで、別の線2で示される時期が経済全体の混乱によってエネルギー産業も伸び悩み、76年からは生産が消費を大きく上回るようになる時期であった。次いで、石炭部門の生産調整があった後、81年より少し傾き急にする消費傾向が見られる(図1線3参照)。変化の背景は改革開放政策による高度経済成長であり、エネルギー需給が大きく伸びることとなったのである。

図2は中国石炭の生産量の推移を炭鉱種別に表したものである。炭鉱は大きく中央政府所管の重点炭鉱である「統配炭鉱」と地方自治体省・県経営炭鉱、郷鎮炭鉱あるいは個人炭鉱を併せた「地方炭鉱」の二種類に分けられる。現在、郷鎮炭鉱あるいは個人炭鉱の石炭生産は急激に伸び、1994年には「統配炭鉱」と郷鎮炭鉱のシェアが逆転してしまっている。選炭比率は全体でも22%と低く、「地方炭鉱」ではこの比率は15%、郷鎮炭鉱では選炭はほとんどされていない。しかし、郷鎮炭鉱の産出炭質は高灰分あるいは高硫黄分の低品位炭であるため、その石炭燃焼は大気汚染の主因となっている。

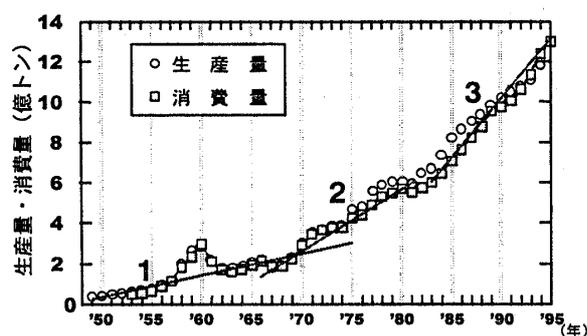


図1 中国石炭の生産量および消費量の推移

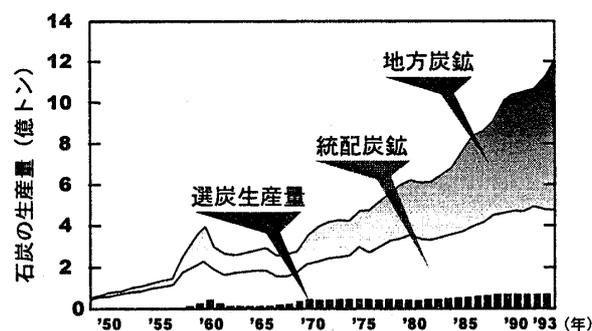


図2 各種炭鉱の石炭生産量伸びと選炭の生産量

2.3 大気環境汚染の状況

2.3.1 都市部の大気汚染状況 1997年、中国都市の大気質は、依然深刻な汚染状態になっており、特に、北方の都市のほうが南方の都市よりも酷くなっている。しかし、全体的に悪化する傾向は緩和され、一部の沿海都市及び中・小都市においては幾分改善されつつあると報告されている⁴⁾。

(1) 二酸化硫黄(SO₂)濃度の1997年平均値は3~248μg³の間であり、全国の年平均値は66μg³である。52.3%の北方都市と37.5%の南方都市の年平均値が国家二級環境基準(60μg³)を超えている。北方都市の年平均値は72μg³で、南方都市の平均値の方は60μg³となっている。宜賓、貴陽及び重慶に代表される西南高

硫黄分石炭地域にある都市と、エネルギー消費量の大きな北方の山西、山東、河北、遼寧、内モンゴル及び河南、陝西の一部地域にある都市での SO_2 汚染は深刻である。

- (2) **窒素酸化物(NO_x)濃度**の1997年平均値は $4\sim 140\mu\text{g}/\text{m}^3$ の範囲であり、全国の年平均値は $45\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっている。また、その北方都市の年平均値は $49\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、南方都市のほうは $41\mu\text{g}/\text{m}^3$ である。34の都市は国家二級基準 ($50\mu\text{g}/\text{m}^3$) を超えており、統計された都市の36.2%を占めている。その内、広州、北京及び上海3都市の窒素酸化物汚染は深刻であり、濃度の年平均値は $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるものとなっている。また、済南、武漢、烏魯木齊及び鄭州等都市の汚染も激しい状態にある。
- (3) **総浮遊粒子状物質濃度**の1997年平均値は $32\sim 741\mu\text{g}/\text{m}^3$ の間であり、全国の年平均値は $291\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっている。国家二級基準 ($200\mu\text{g}/\text{m}^3$) を超えている都市は67都市あり、都市統計総数の72.0%を占めている。また、北方都市の年平均値は $381\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、南方都市の年平均値は $200\mu\text{g}/\text{m}^3$ となっている。地域分布から見ると、北京、天津、甘肅省、新疆、陝西、山西の大部分及び河南、吉林、青海、寧夏、内モンゴル、山東、河北、遼寧の一部地域で、総浮遊粒子状物質の汚染が深刻である。
- (4) **全国の降下ばいじん量**の1997年平均値は $15.3\text{ton}/\text{km}^2\cdot\text{月}$ であり、北方都市の年平均値は $21.5\text{ton}/\text{km}^2\cdot\text{月}$ 、南方都市では $9.3\text{ton}/\text{km}^2\cdot\text{月}$ となっている。

2.3.2 深刻な「煤煙型」の汚染物質排出強度 1993年に全国における石炭燃焼により排出された SO_2 は1,620万 ton であり、 SO_2 排出総量の90%を占める。そして、ばいじんの排出量も1,416万 ton に達した。1997年の SO_2 排出総量は2,346万 ton であり、そのうち、工業からの SO_2 排出量は1992年~1997年の間、大きな増減はなく1,852万 ton であり、78.9%を占め、民生からの SO_2 排出量は494万 ton であった。また、工業から排出される SO_2 のうち、県及び県以上の都市部のは1,363万 ton で、73.6%を占め、郷鎮からは489万 ton となっている。ばいじん排出総量は1,873万 ton となっており、その内、工業からの排出量が1,565万 ton で、83.6%を占め、民生からの排出量が308万 ton であった。工業由来のばいじん排出量の中、県及び県以上の地域からのものが全体の43.8%を占め、685万 ton であり、郷鎮からのものが880万 ton となっている。その他、工業粉塵の排出総量は1,505万 ton であり、その内、県及び県以上の地域からのものが548万 ton で36.4%を占め、郷鎮からのものが957万 ton となっている。

2.4 酸性雨及び環境の酸性化の推移

2.4.1 依然深刻な酸性雨汚染 1993年には、73都市の統計により、降水の年平均 pH 値の範囲は $3.94\sim 7.63$ にあり、pH 値 5.60 以下の都市が49.3%を占めており、重慶市、貴陽市、長沙市、南昌市などの都市における酸性雨の頻度がかかなり高いだけでなく、酸性雨の農地に対する被害面積も530万 ha に達する。1997年には、全国の降水の pH 年間平均値が $3.74\sim 7.79$ の間になっている。降水の pH 年間平均値が 5.6 未満の都市は44都市で、統計された都市数の47.8%を占めており、その内、75%の南方都市（揚子江の南側）では、降水の pH 年間平均値が 5.6 未満であった。降水の pH 年間平均値が 4.5 未満の都市は、長沙、遵義、杭州及び宜賓となっている。統計された都市の71.7%の南方都市では、酸性雨が観測され、その頻度が90%以上となっている都市は長沙、景德鎮及び遵義であった。北方の都市において、降水の pH 年間平均値が 5.6 未満の都市は少なかった。華中酸性雨区域は全国において酸性雨汚染が最も深刻な区域であり、その降水の pH 年間平均値が 5.0 未満であり、その発生頻度は70%以上となっている。西南酸性雨区域での汚染も非常に深刻であり、重慶を除いた中心区域での降水の pH 年間平均値も 5.0 未満であり、頻度も70%以上となっている。そして、華南酸性雨区域は主に珠江三角洲及び広西中・東部地域に分布しており、1997年はその一部の都市において、降水の酸性度は低下し、酸性雨の発生頻度は前の年より高くなっている。

2.4.2 環境酸性化の北上傾向 環境酸性化の変化においては、人為的な酸性雨原因物質によるものだけでなく、自然起源の大気汚染物質の影響、特に酸性化を抑制する土壌由来の塩基性物質とのバランスを考慮しなければならない。中国南部地域において、激しい酸性雨による大気汚染が観測されている。これらの地域の土壌は酸性であり、酸を中和する能力に貧しいことも関係している。一方、中国北方地域では、広域のアルカリ性

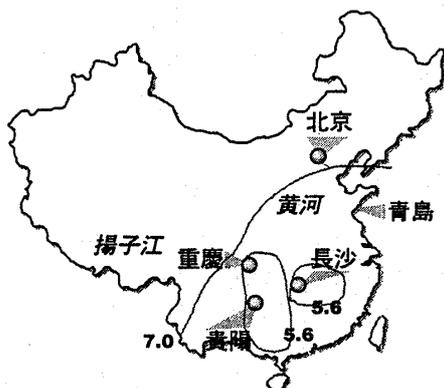


図3 1985年度 中国酸性雨分布図

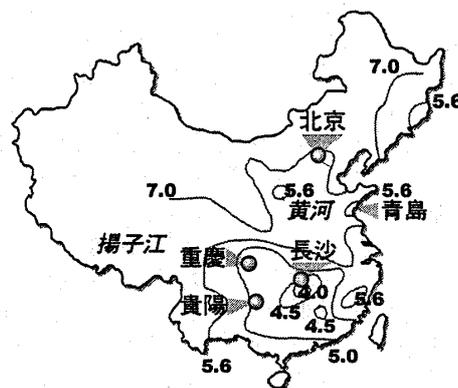


図4 1995年度 中国酸性雨分布図

土壌粒子や自然起源アンモニアガスによって酸性雨原因物質の中和効果があり、酸性雨はほとんどみられていない。しかし、近年、特に図們や青島などの北方地域では、降水の酸性度及び酸性雨の頻度がかなり高い状態を維持しており、北方地区にいてしばしば酸性雨汚染が出現する2つの重点酸性雨汚染区域となっている⁴⁾。それは該当地域における酸性雨原因物質の排出量が環境中和能を超過し、環境酸性化が進んだ結果、「酸性雨前線」が徐々に北上する傾向を示唆している(図3-4)。

3. 石炭燃焼による大気環境汚染の対策

3.1 中国で求められる石炭利用・汚染防止対策技術

中国では、多くの石炭は硫黄分(1~10%)や灰分(20~40%)の含有量が高いにもかかわらず、未処理のまま利用され、深刻な「煤煙型」の大気汚染起因となっている。従って、低品位石炭に対して、燃料の有効成分を灰分から分離すると同時に、清潔に燃焼させるための技術開発が重要な課題となる。

3.1.1 選炭・クリーンコール技術

石炭燃焼に伴う環境汚染を軽減するために、炭層中にしま状あるいははん点状に賦存する粘土、石英、方解石、石膏、黄鉄鉱、菱鉄鉱等の鉱物を除去し、石炭の商品価値を高めるためには山元での石炭の事前処理技術、即ち、選炭⁸⁾が不可欠である。高い生産コスト、低灰分除去率と水資源の汚濁等によって、中国に適合する技術となっていないのが現状である。そのため、現在、(社)国際善隣協会は環境庁の地球環境研究推進費による日中共同研究として、静電気や超音波等による乾式選炭技術⁹⁻¹¹⁾の基礎開発研究(図5)を、中国重慶直轄市石炭工業管理局を始めとする関連組織、並びに日本側国立研究機関、大学と民間企業の協力によって実施している。高硫黄の低品位石炭が乾式選炭によって除去される灰分は10~20%の硫黄分が含まれ、硫黄資源として有効利用することも可能となる。今後、ジグ法よりもやすく、かつ湿式選炭法の約70%程度の高い硫黄除去率・灰分除去率を目標とする乾式選炭技術の実用化を目指している。

3.1.2 燃焼技術

民生用並びに中小工場のボイラーの燃焼効率を向上させ、同時にのSO₂排出制御のためには脱硫装置を設置するよりも燃料を改善する方法が有効である。これに応える方法として、バイオブリケット技術¹¹⁻¹⁹⁾が重慶地域で(社)国際善隣協会によって着実に進められている。平成7年度からスタートしたこの研究では、重慶市の石炭質について化学・物理的に分析し、現在の石炭の利用状況、中国式成形炭の流通・生産の実態を予備的に調査するとともに、並びに中国現地に適したバイオブリケット成形研究装置及び燃焼炉の改造までを含めた初歩的設計、試作および燃焼実験等を行った。そして、平成8年度には、日本からの技術提供を含め、生産プラントに結び付く実証プラントを重慶市江北区華新街煤店に設置し⁵⁾、現地での試作バイオブリケットと現在の重慶市販成形炭との比較実験を行った。バイオブリケット技術の開発・現地化を検討し、石炭燃焼に伴う硫黄固定化が、酸性雨原因物質の抑制手法として必要且つ重要であることを明らかにした。現在、石炭にバイオマス(大鋸屑、パガス、モミガラ、稲ワラ等の植物廃棄物)を10~25%配合し、生石灰、消石灰等の硫黄固定剤を予め配合した混合物を、室温で高圧成形(線圧約3~5 ton/cm²)プロセスによって、数種類のバイオブリケットの試験製造実験¹¹⁾を行っている。現地モデル地域において、5種類のバイオブリケットの硫黄固定化率^{16,18)}が70~90%に達したバイオブリケットの試験製造と試用を通じ、住民使用意欲の実態¹⁷⁾と現地化のための製造設備スケールアップに関する適正化研究・調査を行い、高い燃焼効率で好評を得ている。日本からの技術提供を含む現地実証プラントの周辺装置の設置及びその建設の全部費用は、重慶市関連事業者から徴収されたSO₂排污費(3.3.2節を参照)による補助金である。現在、四川省成都市²⁰⁾、遼寧省沈陽市、鞍山市等にも、バイオブリケットの試験製造技術の導入計画があり、その技術移転と技術現地化が期待されている。

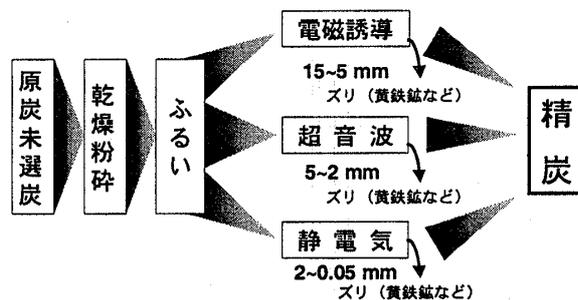
バイオブリケットのほか、石炭の高い効率利用の流動層燃焼方式等²¹⁾も炉内脱硫に適した技術である。

3.1.3 石炭のガス化技術

中国都市部地域において家庭室内での暖房、調理のための石炭燃焼が、中小工場のボイラーの石炭燃焼と並んで、地域大気汚染及び室内汚染・人体への健康被害の主因となっている。これを解決する方法として、各家庭にクリーン化された都市ガス²²⁾の普及が推進されている。現在、中国全土では、既に200の大中都市の住民40~90%程度は都市ガスを利用している。

3.1.4 脱硫技術、石炭燃焼灰と脱硫石膏の再利用技術

中国の火力発電では、ほとんど脱硫装置²³⁾は設置されていない。このため、近年、ODAの資金や円借款等を利用した先進国の脱硫プロセスの供与あるいは技術移



水を使用せず石炭とズリ選別可能

図5 乾式選炭技術開発研究の概要図

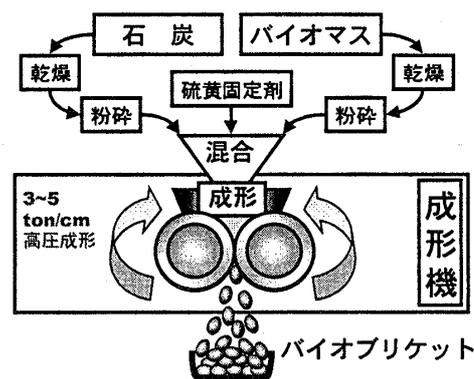


図6 バイオブリケットの試作概要

転が試みられているが、その普及までには至っていない。その原因は、高いランニングコストであり、かつダメージな排ガスに適していない設計である。さらに、湿式の石灰-石膏法は高コスト、多量水の使用、脱硫石膏の堆積等が問題となっている。従って、乾式、低コスト、有用な副生成物の脱硫装置が中国の事情に合致するものと考えられる。最近、硫酸、硫酸副生型脱硫プロセス、並びに乾式高効率石灰-石膏法が開発されている²⁴⁾。さらに、脱硫石膏の利用技術としては、中国北方広域のアルカリ性土壌の改良剤に関する研究²⁵⁾が報告されている。また、重慶市では、発電所脱硫装置から排出された脱硫石膏の堆積物から土壌養分である高品質の硫酸カリウムの生産プロセスも研究され、現地側より当協会と共同での実用化要請もあった。アルカリ性・酸性土壌の改良と土壌養分の補給に関するそれらの研究成果が、脱硫石膏の利用に新たな道を開けそうである。

3.2 エネルギー構造の改善策と消費予測

3.2.1 エネルギー構造の転換・改善策 中国におけるエネルギーの現状と石炭燃焼による大気汚染問題により、中国政府は発展戦略として以下のような改善策を考えている²⁷⁾。

(1)省エネの推進、(2)水力発電を開拓し、石油と天然ガスを積極的に開発し、原子力発電を適切に発展する。(3)新しいエネルギーと再生可能のエネルギー、バイオマス発電を開発する。(4)電力工業の現代化建設を加速させ、一次エネルギー消費総量の中に電力エネルギーの比重を高める。(5)石炭鉱口発電所を大いに推進し、石炭運送コストを低減する。1997年、全国における石炭の都市ガス、天然ガス及び液体石化ガスの供給量は、それぞれ126.9億 m^3 、66.3億 m^3 及び578.6万tonで、前の年に比べ顕著に伸びている⁴⁾。

3.2.2 エネルギーの消費量と生産量に関する予測²⁷⁾

数多くの予測方法を用い、今後の中国エネルギーの消費量と生産量に関する予測結果を表1にまとめる。

中国における一次エネルギーの生産能力を考えれば、石炭及びバイオエネルギーの生産能力は需要に満足できるが、石油と天然ガスの需要急増には、供給がかなり大きく欠けているところがある。

国内では石油の供給は既に需要に満足できず、1993年に中国は石油の輸出国から輸入国に変わり、不足しているところは急速に増え、本世紀の末に不足部分は4,500万ton、2010年に9,500万ton、2020年に14,000万tonに達すると見通す²⁷⁾。

天然ガスは2000年に不足部分が50億 m^3 、2010年に200億 m^3 、2020年に100億 m^3 に達する。不足の部分をしてできる限り減少するため、石油と天然ガスの利用効率を高めなければならず、同時に、代替エネルギーの開発は急務であり、近年、原子力発電²⁷⁾の導入も真剣に計画されている。

3.3 大気汚染対策の行政措置と日中環境協力プロジェクトの推進

今年(1998年)6月24日、中国・国家環境保護総局解振華局長は汚染物質の総量規制計画により、汚染の趨勢をコントロールするとともにグリーンエコプロジェクトには第9次5カ年計画(1996~2000年)の間、1800億元(約3兆円相当)の環境投資を行う考えを発表した。2000年に至るまでの環境保護重点政策は「3321プロジェクト」であり、つまり3つの河川(淮河、遼河、海河)、3つの湖(太湖、滇湖、巢湖)、2つの区(酸性雨規制区域と二酸化硫黄規制区域)、1つの都市(首都北京)の汚染対策である。総量規制計画では、(1)増産しつつ汚染を削減、(2)劣悪な生産設備の淘汰、(3)ISO1400国際標準規格の推進などの三項目を挙げている。

3.3.1 酸性雨規制区域と二酸化硫黄規制区域(「二規制区域」)の設置 酸性雨の拡大を有効的に抑制するため、中国国務院は酸性雨規制区域とSO₂汚染規制区域を国の汚染防止重点地区に組み入れている。この二規制区域における酸性雨原因物質の抑制目標としては、2000年までにSO₂を排出する産業発生源での排出基準を達成させ、並びにSO₂排出総量規制を実現し、関連直轄市、省都、経済特別区都市、沿岸開放都市及び重点リゾート地域における大気中のSO₂濃度を国家環境基準に達成させ、酸性雨規制区域での酸性雨悪化傾向を緩和させる。2010年までには、SO₂の排出総量を2000年の排出レベル以内に押さえ、都市における大気中のSO₂濃度を国家環境基準に満たし、酸性雨規制区域での降水のpH値が4.5未満の面積を2000年より顕著に軽減させることを目標としている⁴⁾。

3.3.2 汚染物質の排出規制-排污費徴収制度 汚染物質を排出する事業者は、国の定めた環境基準を超過した場合、その汚染物質の排出濃度と量に応じて一定の費用(排污費と称す)を環境行政機関に納めなければならない。汚染物質の排出者はその処理責任を負い、また排污費^{4,26-27)}を納めることにより環境損失を補償するというわけである。この排污費徴収制度は1978年から提起され、1982年に暫定方法が公表され、漸く近年全国で実施されるようになった。徴収基準は排出事業者の自己申告したものを環境行政の監視・観測機関がチェックしたものに基づく。例えば、高硫黄低品位原炭及び硫黄固定率50%以下の石炭を利用する事業者の場合、1kgのSO₂排出徴収金としては0.2人民元である¹¹⁾。しかし、酸性雨の深刻化に伴い、SO₂を排出する全ての事業者に対して、その排出濃度の如何を問わずSO₂排污費を徴収する新しい制度が1993年から重慶市等の一部地域で実験的

表1 中国エネルギーの消費と供給量の予測

項目	1990年	2000年	2010年	2020年
総量(Mt)	1,256	1,670	2,260	2,794
石炭(Mt)	1,055	1,400	1,770	2,100
石油(Mt)	115	200	260	320
天然ガス(10 ⁸ m ³)	215	350	1,200	1,600
水力(GW)	36	72	110	180
原子力(GW)	--	2.7	20	40
バイオエネ(Mt)	267	250	309	367

1Mt=10⁶ton; 1GW=10⁹W.

術を実用化させたいと検討している。

さらに、今後の日中環境開発モデル都市事業によって大気汚染の改善が期待される。

謝辞

当協会の中国重慶市における酸性雨原因物質排出制御技術の実用化に関する研究の実施に当たり、終始ご指導を賜り、ご指導・協力を頂いた日本側の各関係機関並びに各関係者、中国側の重慶市環境保護局、重慶市計画委員会、重慶石炭管理局、北京中日友好環境保全センター他各関係者の方々に改めて感謝申し上げる次第である。また、バイオブリケット実証プラントの設置と乾式選炭装置の製作に当たって関連企業のご協力を頂いたことを、ここに厚く感謝の意を表する。

参考文献・資料

- 1) 溝口次夫、王青躍、坂本和彦、丸山敏彦、渡辺征夫、羅仁学、王伟、中国重慶市における石炭燃焼による大気汚染現状調査、第37回大気環境学会講演要旨集、D103, pp. 280 (1996)
- 2) 中国国家環境保護局、中国環境状況公報(1995)、(社)国際善隣協会・環境推進センター中国環境情報誌、(1996/5)。
- 3) 中国国家環境保護局、中国環境状況公報(1996)、(社)国際善隣協会・環境推進センター中国環境情報誌、(1997/11)。
- 4) 中国国家環境保護局、中国環境状況公報(1997)、(社)国際善隣協会・環境推進センター中国環境情報誌、(1998/7)。
- 5) (社)国際善隣協会・環境推進センター、中国西南部の酸性雨原因物質排出制御のための総合対策立案手法に関する研究成果最終報告書—石炭からのバイオブリケット実証プラントの設置—、(1997/3)。
- 6) 閻長榮ら、中国能源発展報告(1997版)、经济管理出版社、(1997)。
- 7) 範維唐、中国エネルギー工業の発展及びその展望、中国科学院エネルギーと鉱業工程院報告、(1996)。
- 8) 山下享、石炭の事前処理技術、日本機械学会誌、pp. 382~384(1996)。
- 9) 王青躍、上出光志、丸山敏彦、谷口克典、坂本和彦、中国重慶市低品位石炭における乾式選炭の基礎調査、第11回エアロゾル科学・技術討論会講演要旨集、(1998/8)。
- 10) 丸山敏彦他、バイオブリケット用石炭の乾式選炭に関する研究、北海道立工業試験場報告、(1995/9)。
- 11) (社)国際善隣協会・環境推進センター、中国重慶市の酸性雨原因物質排出制御技術の実用化に関する研究—石炭バイオブリケットの製造実験と乾式選炭の基礎開発研究—、(1998/3)。
- 12) 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販ブリケットとの比較研究、第37回大気環境学会講演要旨集、D104, pp. 281 (1996)。
- 13) Q.Y. Wang, T. Maruyama, K. Sakamoto and T. 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)。
- 14) Q.Y. Wang, K. Sakamoto, T. Mizoguchi, T. Maruyama and R.X. 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)。
- 15) 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回大気環境学会講演要旨集、D112, pp. 313 (1997)。
- 16) 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)。
- 17) 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)。
- 18) 王青躍、呂国慶、羅仁学、坂本和彦、畠山史郎、溝口次夫、試作バイオブリケットに関する燃焼特性実験Ⅱ、第11回エアロゾル科学・技術討論会講演要旨集、(1998/8)。
- 19) Q.Y. Wang, K. Sakamoto, T. Maruyama, T. Mizoguchi, S. Hatakeyama, R.X. Luo and M. Kamide, Development and studies on coal-biomass briquetting process as an emission control technique for precursors of acidic deposition in Chongqing, China, *The paper of 11th World Clean Air And Environment Congress*, Durban, South Africa, (1998/9)。
- 20) 坂本和彦、王青躍、橋本芳一、小島朋之、楊治敏、李永祺、石炭—バイオマス成形燃料(バイオブリケット)の開発と森林保護、慶応義塾大学産業研究所未来開拓プロジェクトの中間成果報告資料、(1998/3)。
- 21) 森滋勝、藤間幸久、石炭流動層燃焼の高効率利用、日本機械学会誌、pp. 371~374(1996)。
- 22) 小山俊太郎、石炭ガス化技術、日本機械学会誌、pp. 379~381(1996)。
- 23) 井上博雄、石炭燃焼排煙脱硫・脱硝、日本機械学会誌、pp. 389~391(1996)。
- 24) 篠崎貞行、石炭燃焼灰の有効利用、日本機械学会誌、pp. 392~395(1996)。
- 25) 新田義孝、脱硫石膏利用による土壌改良、慶応義塾大学産業研究所未来開拓プロジェクトの成果報告資料、(1998/1)。
- 26) 丹藤佳紀、中国と地球規模問題—環境・エネルギー・人口・食糧、外交フォーラム・中国、pp. 85~93(1997)。
- 27) 厳善平、中国の環境問題と環境政策、東亜No.365、pp. 6~24(1997)。
- 28) 中国国家環境保護局、計画委員会、経済貿易委員会、中国世紀に架けるグリーンエコプロジェクト第一期(1996~2000年)、(社)国際善隣協会・環境推進センター中国環境情報誌、(1998/2~3)。
- 29) 高世東、董旭輝、王軍、坂本和彦、磯部友護、王伟、王青躍、石炭—バイオマス成形炭利用による地域完結型総合環境保全対策、第11回エアロゾル科学・技術討論会講演要旨集、(1998/8)。