

XI. 中国の大気環境技術等の状況

■1993. 9, 中国, 日中友好環境保全センター, 短期派遣

城戸伸夫

1. はじめに

中国はいま目覚ましい速度で経済発展を続けているが、かつて高度経済成長期の日本がそうであったように、中国もまた深刻な環境汚染に悩まされている。人口増加と工業化の進展に伴うエネルギー消費の増加はますます大気汚染の被害を増大させている。

特に、酸性雨は深刻な問題となっており、四川省、貴州省、広東省、広西自治区等では、森林や農作物の枯れや成長不良、文化財や鉄橋等の建築物の腐食等、酸性雨による局地的な被害が顕在化してきている。

酸性雨の主要な原因は、石炭や石油等の化石燃料の燃焼により生成する $SO_x \cdot NO_x$ であり、今後ますます増大する化石燃料の燃焼利用に対して、これらの酸性雨原因物質の排出を防止する技術開発及びその普及が、中国では急務となっている。

特に、中国は世界最大の石炭消費国であり、また国内では高硫黄分炭を使用しており、酸性雨防止にはまず脱硫技術の普及が望まれている。しかし、中国では、燃焼装置に日本型の排煙脱硫装置を付加し、 SO_x の排出抑制を図ることは、コスト的な制約及び維持管理の面から困難であり、簡易性、経済性、利便性に富んだ脱硫技術の開発が要望されている。

2. 中国のエネルギー事情

表 11.1 は中国の石炭生産量と一次エネルギーに占める石炭の割合及び SO_2 排出量の経年変化を示したものである。経済発展に伴って石炭消費量は年々増加し、それにつれて、 SO_2 排出量も増加している。また、中国は一次エネルギーに占める石炭の依存度が極めて大きく、1994 年でも約 78% を占めている。近い将来、エネルギー供給構成に大きな変化はありえないことを考慮すれば、石炭の消費量はますます増加し、それに沿って SO_2 排出量も急激に増加することが予想される。

表 11.2 に示すように、中国の石炭は硫黄分の含有率が高いものが多く、この点はインドネシア・インドとは大いに異なる。特に表 2 でも明らかなように、四川・貴州・雲南・陝

西省等の南西部の石炭は硫黄分が平均値で約3%と非常に高く、これらの地域は酸性雨被害の深刻な地域でもある。

また、中国では褐炭・泥炭等の低カロリー炭（約5,000kcal/kg以下）も燃料として使用されている。このように、石炭の使用量が多く、かつ劣質な石炭の使用によって、中国は重大な大気汚染を生じている。

表11.1 中国の石炭生産量・一次エネルギーに占める石炭の割合・SO₂排出量の経年変化

	総生産量 (10 ⁴ t)	一次エネルギーに占める 石炭の割合 (%)	SO ₂ 排出量 (10 ⁴ t)
1985	8.72	72.8	1325
1990	10.80	74.2	1494
1991	10.84	74.1	1622
1992	11.14	74.3	1685
1993	11.51	76.8	1795
1994	12.40	77.7	1825

表11.2 中国国内地域別石炭硫黄分

地 域	(%)	地 域	(%)
1 北 京	0.76	16 河 南	1.07
2 天 津	0.86	17 湖 北	1.00
3 河 北	0.97	18 湖 南	0.88
4 山 西	0.99	19 広 東	1.09
5 内 蒙 古	1.45	20 広 西	2.22
6 遼 寧	0.75	21 四 川	3.19
7 吉 林	0.58	22 貴 州	2.95
8 黒 龍 江	0.63	23 雲 南	3.09
9 上 海	1.04	24 西 蔵	1.00
10 江 蘇	1.80	25 陝 西	2.72
11 浙 江	1.09	26 甘 肅	0.98
12 安 徽	1.03	27 青 海	0.70
13 福 建	1.26	28 寧 夏	1.95
14 江 西	1.39	29 新 疆	1.00
15 山 東	1.97		
中 国 全 国 平 均			1.35

3. 中国の大気汚染状況

石炭使用量の増加に伴う大気汚染としては、燃焼によって発生するばいじん、SO_x、NO_xがその主なものであり、特にSO_xとNO_xは酸性雨の原因物質として重要である。

中国のSO₂総排出量は表 11.1 に示すように1994年度で1825万t/年と推定され、石炭燃焼によって生ずるSO₂排出量は総排出量の約90%を占める。中国の石炭は前述したように硫黄分が高く、しかもごく一部の発電所を除き、排煙脱硫装置が皆無の状態であることから、主要88都市におけるSO₂の年平均値は0.086mg/m³で、二級環境基準値0.02mg/m³をはるかに超えている。

NO_xについても、中国は日本と異なり、移動発生源の寄与率が低く、ほとんど石炭燃焼によるもので、その総排出量は450~700万t/年と推定されている。

これらのSO_x・NO_xが大気中に放出され、雲や霧や雨水に取り込まれて酸性雨となって地表に降下する。中国全土の77都市の調査結果(1994)によれば、そのうち81%の都市に酸性雨が出現している。また、図 11.1 に示すように重慶市及び貴陽市では、降水のpH年平均値が4.1~4.3であるため、森林・農作物・文化財・建築物に損害を与えている。また、酸性雨は長江(揚子江)以南の地域に多く、pHの最小値が4以下の都市はすべて長江以南にある。酸性雨は夏季と冬季によりpH値に異なる所もあるが、その特徴はすべて硫酸型で頻度も比較的高い点にある。酸性雨による直接被害及び土壌酸化等の問題が今後ますます深刻になるものと懸念されている。

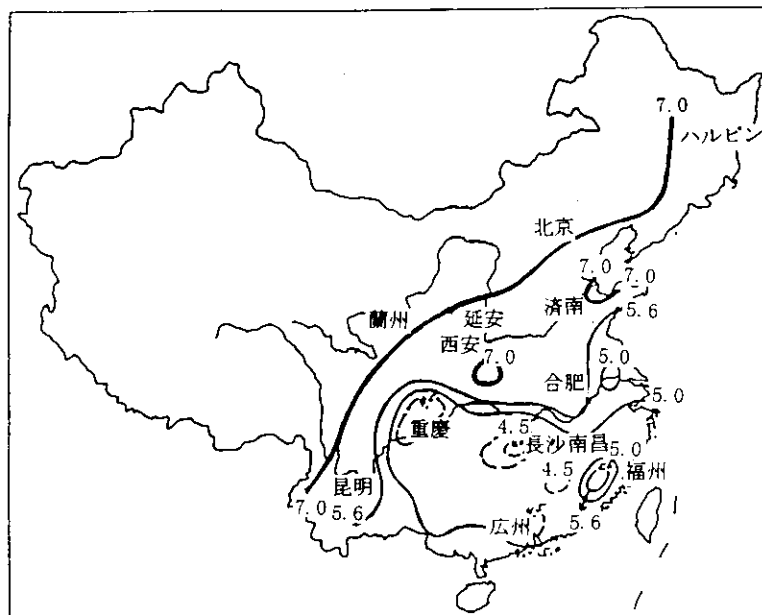


図 11.1 中国の全国降水 pH 年平均分布図 (1992)

4. 中国の大気環境保全技術の状況

中国においては、日本のような排煙脱硫装置、燃焼改善による NO_x 生成抑制技術及び排煙脱硝装置の設置はごく一部の発電所を除き皆無の状態であり、集じん装置が一部設置されているに過ぎない。

中国における酸性雨を防止するには、まず脱硫技術を先行させるべきであり、その普及ができるだけ早期に達成されることが重要である。

日本型の排煙脱硫技術を中国に移転することの問題点は、

- a. コストが極めて高い。
- b. 中国ではストーカボイラ等の小規模の燃焼装置が数多く稼働しているが、これらに日本型の排煙脱硫技術はなじまない。
- c. 設備を維持管理する技術レベルが伴っていない。

等であろう。これらの問題点に対し、以下の解決策が図られている。

- a. コストの低減

脱硫率を 80%程度とし、日本型排煙脱硫装置のコストの 1/3～1/5 を目標とする。

- b. 小規模装置への対応

蒸気量が 1t/h 程度までの小規模装置へ対応できる技術であること。

- c. 維持、管理の容易な設備

以上の観点から、色々な方式の中国向け脱硫技術が開発され、普及されつつある。通商産業省は、エネルギー環境対策に取り組んでいる開発途上国に対し、我が国の有するエネルギー環境技術を利用して、人造り協力、研究協力、調査協力、モデル事業等により、開発途上国のエネルギー環境問題に対する自助努力の支援を行う「グリーンエイド計画」を 1992 年度から実施している。

表 11.3 は、グリーンエイド計画による対中国環境国際協力のうち、脱硫関連の協力プロジェクトを示したものである。

中国向け脱硫技術としては、

- a. 選炭技術の向上や脱硫剤を担持させた成形炭（コール・ブリケット）のように、燃料の改善に属するもの
- b. 炉内脱硫が可能な流動層燃焼技術
- c. 簡易型排煙脱硫技術

の 3 つの種類に大別される。

いずれの方式も脱硫率は60～80%とやや低いものの、プロセスの簡易化、設備のコンパクト化、建設及びランニングコストの大幅な低減化が図られており、また現地の燃料及び脱硫剤の入手事情に適した技術移転が計画されている。

表 11.3 グリーンエイド計画による中国向け簡易脱硫技術の移転

1. 燃料	
a) 選炭	
b) コール・クリーニング技術	
c) 脱硫剤を担持させた成形炭	
・三井鉱山(太陽鉄工)のバイオブリケット	山東省臨沂鉱務局湯庄炭鉱
d) 脱硫型CWM設備	
・日揮	山東省奉能発電公司 白楊河発電所
2. 流動層燃焼技術	
a) 循環流動層ボイラ	
・IHL	山東省濰博鉱務局頤子炭鉱
・フォスターウィラ・パイロパワー	山東省棗庄鉱務局棠里炭鉱
b) 内部循環流動層ボイラ	
・荏原製作所	北京市房山服装集团公司
3. 簡易型排煙脱硫技術	
a) 火力発電ボイラ用排煙脱硫装置	
・三菱重工業のスプレードライヤー法	山東省青島市黃島発電所4号機
・日立製作所/バブコック日立的簡易型石灰石-石膏法	山東省太原市太原第一発電所12号機
b) 産業ボイラ用排煙脱硫装置	
・三菱重工業	山東省濰坊化工廠
・川崎重工業	広西壮族自治区南寧化学工業集团公司
・千代田化工建設	四川省重慶長壽化工廠

5. 効果的な技術移転事例—脱硫剤を担持させた成形炭による脱硫技術の移転

5.1 技術概要

中国に数多く存在するストーカボイラでは既存の方法によるSO_xの排出防止は極めて困難であり、脱硫剤を担持させた成形炭による脱硫技術がコスト面から有望である。また本技術は家庭で暖房・厨房用として使用される燃料のSO_x対策技術としても適用可能である。グリーンエイド計画の中でも、ばいじんの発生が少なく、脱硫率も60～80%と高い成形炭製造設備を山東省臨沂に設置する計画を進めている。

これらはバイオコールと呼ばれ、石炭に木材、バガスなどの植物質(15～30%)と石炭中の硫黄分に応じた量の脱硫剤(消石灰など)を添加、混合し、高圧縮力(1～3t/cm²)で

成形した固形燃料である。図 11.2 にバイオコールの製造フローシートを示す。稼働中のストーカボイラ用の脱硫技術としてその普及が期待される。

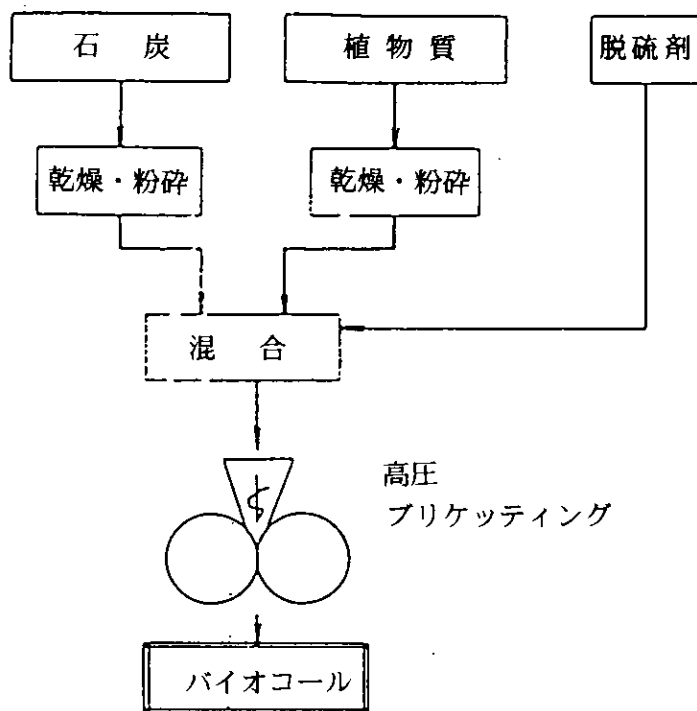


図 11.2 バイオコール製造の基本フローシート

5.2 導入目的

中国では数多くの小規模ストーカボイラが各産業で稼働している。これらのストーカボイラを漸次、高効率燃焼及び炉内脱硫が可能な循環流動層ボイラへと転換すれば、全排出量の 46% を占めているといわれる産業用燃焼施設からの SO_x 排出量はかなり低減できると思われる。しかし、稼働中のストーカボイラを循環流動層ボイラへと即座に転換できるわけではない。この稼働中のストーカボイラにおける SO_x 低減対策としては、脱硫剤を担持させた成形炭の使用が有効である。また、本技術は家庭用燃料からの SO_x 排出量の低減にも寄与できる。

5.3 導入方法

中国で稼働中のストーカボイラを対象とし、脱硫剤を担持させた成形炭による脱硫技術に関する実用化研究を中国・東北大学と共同で実施した。本研究では、瀋陽市ガラス機械工場で稼働中のストーカボイラ（蒸気発生量 2t/h）を使用し、排ガス実態調査を平成 7 年

度に、成形炭による脱硫性能実証試験を平成8年度に行った。

本ボイラの写真を図11.3に示す。燃焼排ガスの測定については、 SO_x ・ NO_x ・CO及び O_2 濃度をオンラインで計測した。これらの計測器及び標準ガス等は実験前に東北大学に送付したが、税関等の手続きに中国では長期間を要するので注意が必要である。また、研究の途中で零スパンが取れなくなったが、これらの修理は瀋陽で行うことができず、北京または日本に送って修理してもらう必要が生じた。

中国では大学といえども、これらの燃焼排ガス測定に精通している人は少ない。各計測器の測定原理や構成機器の機能等をよく知っておれば、これらの故障が生じたときに、小さな修理は自分達でできる。これらの知識をカウンターパートに十分に修得してもらう研修等が必要であることを大いに感じた。また、脱硫性能実証試験用の成形炭については、表11.4に示す製造条件で10トンを日本で製造し、大連港を經由して瀋陽市ガラス機械工場に送付した。

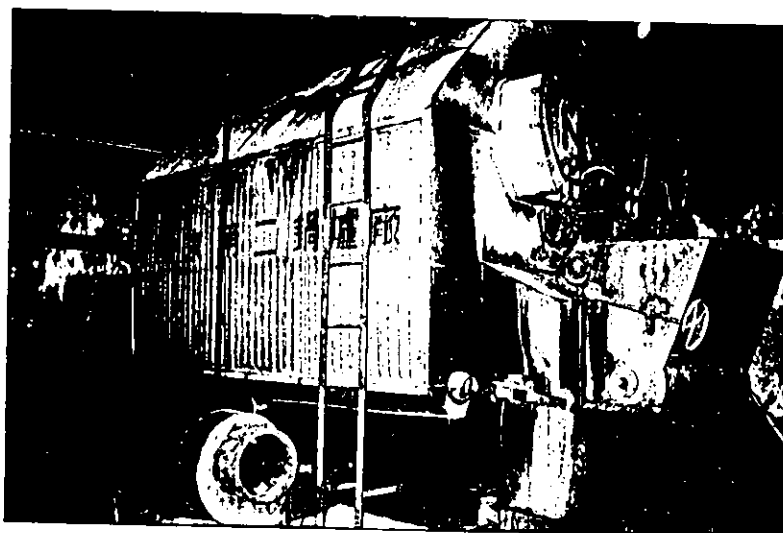


図11.3 ストーカーボイラ (蒸気発生量 2ton/h)

表11.4 脱硫性能実証試験用成形炭の製造条件

1)石炭の全硫黄	0.87% (無水ベース)	
石炭総発熱量	5,150kcal/kg (気乾ベース)	
2)石炭	78wt%	混合
バイオマス	22wt%	
		バイオマス:チップダストとピートモス混合
3)消石灰添加量	$Ca/S = 2$	
4)成形機		
油圧設定	175 kg/cm ²	

5.4 成果、問題と課題

(1) 排ガス実態調査

本ストーカボイラで使用している石炭は阜新炭と大同炭の混炭で、その全硫黄は 0.74% であった。中国の東北地方で使用している石炭の硫黄分は四川・貴州省等の南西部に比較し低く、その結果 SO_2 排出量も高くない。

図 11.4 は SO_2 の測定結果を示したもので、実線は計測値、点線は石炭の元素分析と燃焼排ガス中の O_2 濃度から計算した SO_2 の理論値であり、両者はほぼ一致している。同時に測定した NO_x 、 CO 、 O_2 成分の測定結果を図 11.5 に示す。

通常運転している場合、本ストーカボイラから排出される SO_2 濃度は約 600ppm、 NO 濃度は約 180ppm であった。また、フライアッシュ及びボトムアッシュの灼熱減量から、同ボイラにおける石炭の燃焼率は 80% 程度であることがわかった。

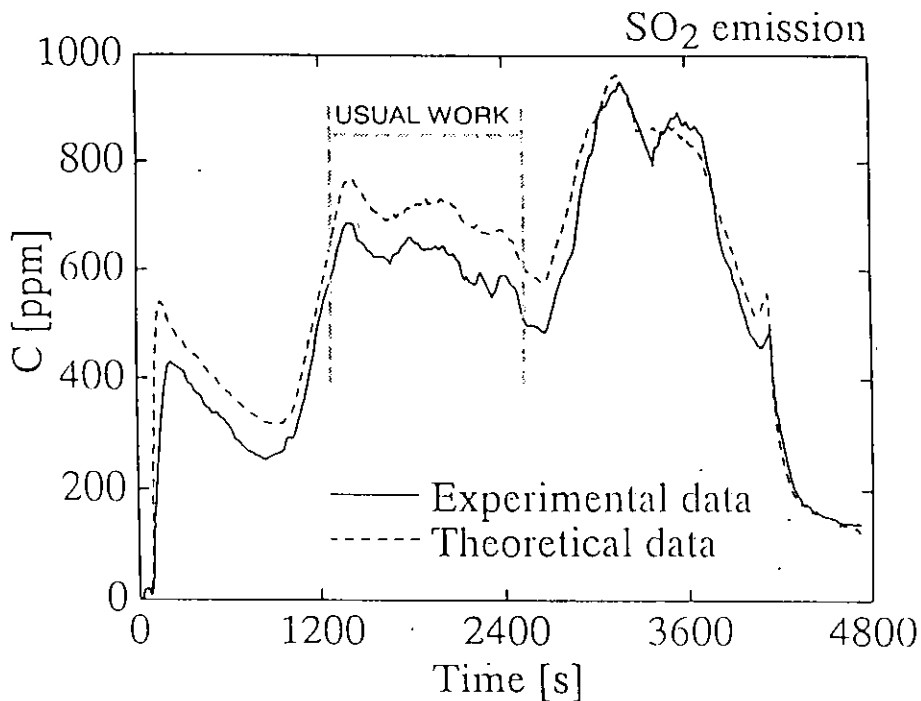


図 11.4 SO_2 排出濃度測定結果

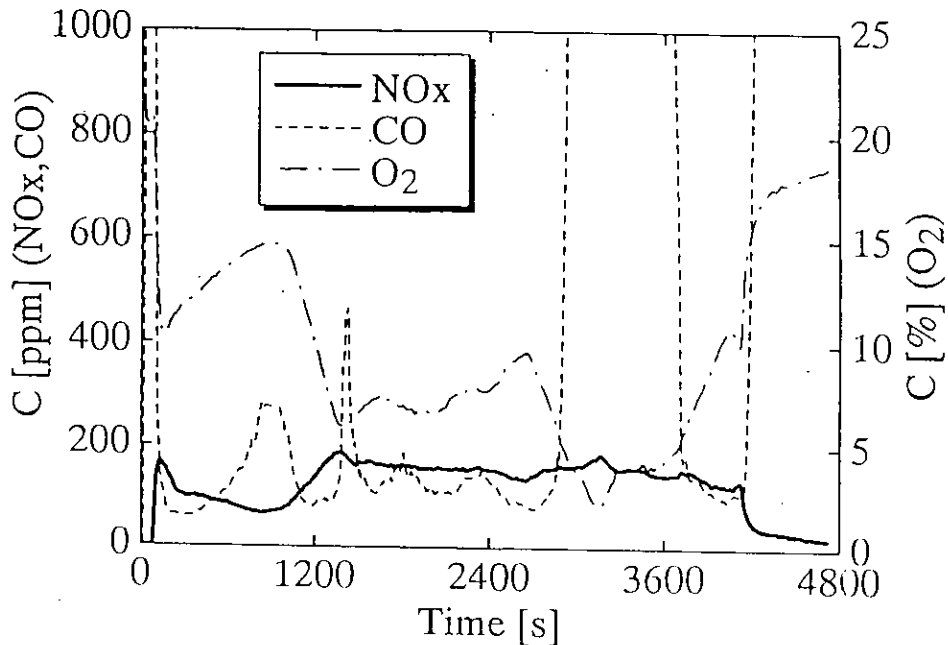


図 11.5 NO, CO, O₂ 排出濃度測定結果

(2) 脱硫性能実証試験

脱硫剤を担持させた成形炭の燃焼における SO₂ 排出濃度 (O₂ 6%換算値) を図 11.6 に示す。成形炭の元素分析によると全硫黄は 0.53% であり、この SO₂ 理論値 (O₂ 6%換算値) は 520ppm となる。図 11.6 より定常状態における SO₂ 排出濃度は約 140ppm となるので、その脱硫率は 73% となった。本成形炭を使用した場合、従来の石炭燃焼と比較し、着火性に優れ、また燃焼状態も非常に良好となった。また、NO 排出濃度を図 11.7 に示すが、これは定常状態で約 180ppm であり、従来の石炭燃焼と差異はなかった。

稼働中のストーカボイラにおいて、脱硫剤を担持させた成形炭を使用することは、約 70% の脱硫率が得られ、安定な燃焼を継続することができることを実証した。ただし、雨等により水分の増加は成形炭の形状を破壊する恐れがあるので十分注意せねばならない。できれば、屋内貯蔵が望ましい。

本技術の普及に関しては、成形圧力が製造上のキーポイントとなる。既存の中国の成形機（ブリケットティング・マシーン）では成形圧力が弱く、強固な成形炭を製造することができないので、日本製の成形機の技術移転が必要となろう。また、これらを参考にした中国製成形機の製造が将来必要となろう。

植物質（バイオ）については、廃材の活用及び東北地方で多く産出するとうもろこしの皮の利用が考えられ、問題点は少ないと思われる。

ただし、各ストーカボイラに本成形機を付属させることは、コスト面から不利になるので、配給網を考慮した「成形炭製造工場」を瀋陽市にに数ヶ所設立する方向で検討する方が得策となろう。

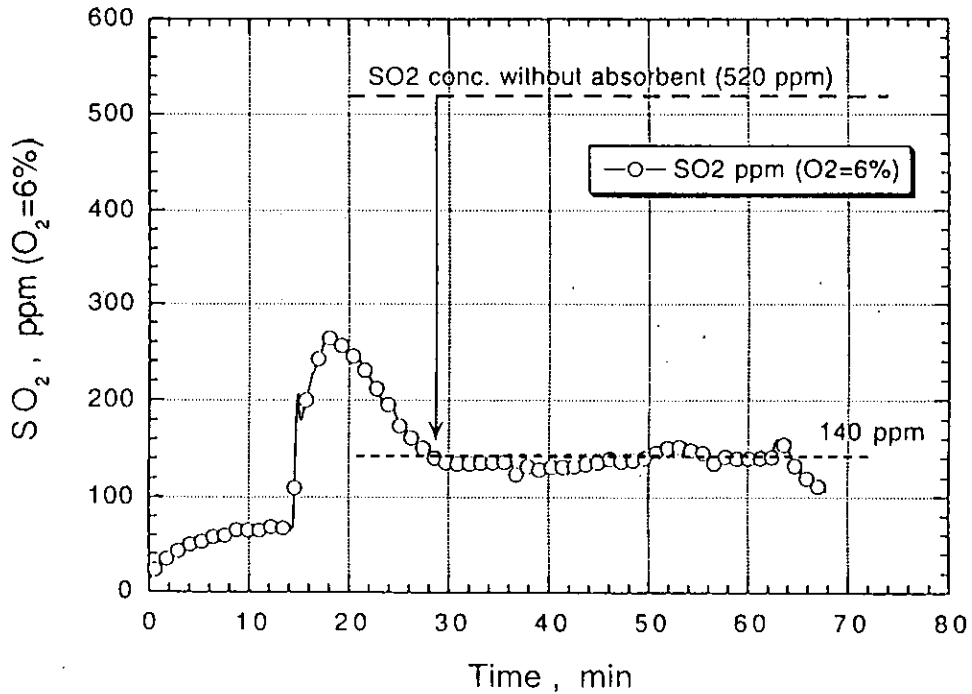


図 11.6 成形炭燃焼の SO₂ 排出濃度測定結果

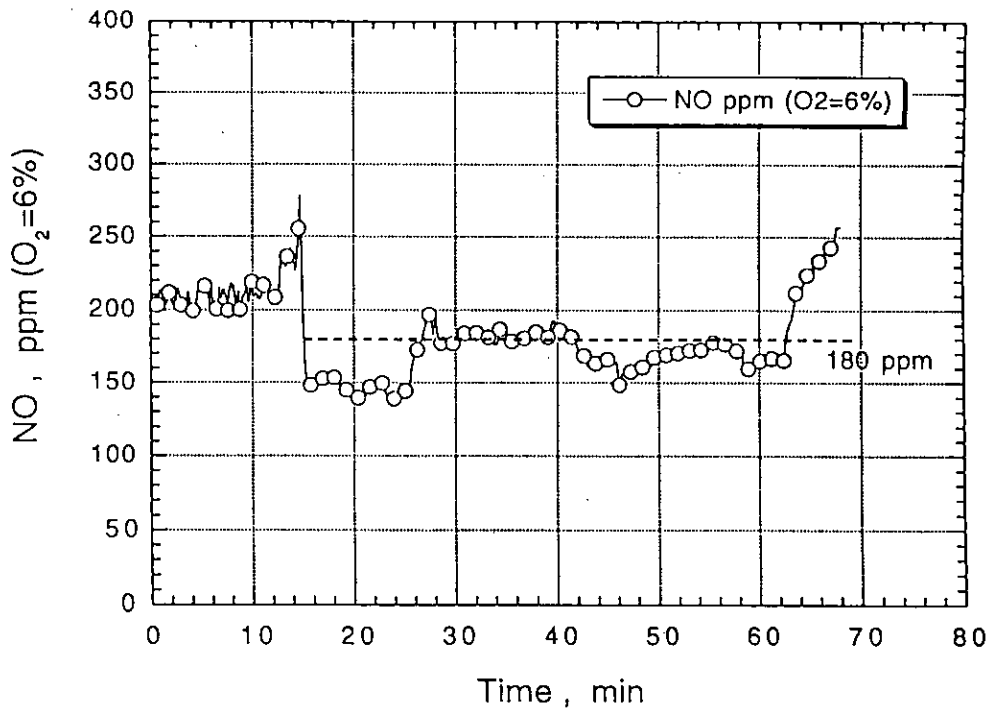


図 11.7 成形炭燃焼時の NO 排出濃度測定結果

5.5 日本の技術と中国の技術の相違

ストーカボイラ自身、日本では稼働中のものは数少なく、SO₂対策としては低硫黄分の石炭の使用か、一部排煙脱硫装置を導入しているに過ぎない。最近の傾向としては、硫黄分の非常に少ないインドネシア炭の使用で排出規制をクリアーしている。

脱硫剤を担持させた成形炭の製造技術については、日本では北海道立工業試験場が開発したバイオコーク製造技術が代表的なものであり、その特徴は、2～3 t/cm³の高圧縮力で成形することである。中国でも缶前に成形機を設置する例は見られるが、その成形圧力が弱く、多くは脱硫剤を混合していない。

大気汚染被害の深刻さとともに、中国においても本技術の採用に大きな興味を示しており、民生用とともに産業用ストーカボイラにおいても、本技術は今後、普及していくものと期待される。

5.6 当該技術に関する関係情報源情報一覧

(1)参考書

- 1) ”中国の大気汚染と防止対策” 王漢臣著、播磨幹夫監修／翻訳、重化学工業通信社 (1997)
- 2) ”開発途上国向け脱硫技術” (シリーズ)、環境管理 Vol.31 No. 5～ Vol.32 No. 3 (1995・1996)
- 3) 丸山敏彦、”バイオブリケットと国際協力” 日本エネルギー学会誌、Vol.74 No. 2 (1995)
- 4) 北海道立工業試験場他 ”海外炭の低品位炭とバイオマスを原料とするバイオコーク製造技術の開発” 平成元年度共同研究報告書(1990)
他北海道立工業試験場、研究報告
- 5) ”中国西南部の酸性雨原因物質の排出制御のための総合対策立案手法に関する研究” (社)国際善隣協会(1996)

(2)大学・研究機関

- | | | |
|---------------------|------|-----|
| 1) 東京大学工学部化学システム工学科 | 定方正毅 | 教授 |
| 2) 埼玉大学理工学研究科 | 坂本和彦 | 教授 |
| 3) 群馬大学工学部生物化学工学科 | 宝田恭之 | 教授 |
| 4) 豊橋技術科学大学エコロジー工学科 | 成瀬一郎 | 助教授 |

5)成蹊大学

小島紀徳 教授

6)北海道立工業試験場

上出光志

(3)メーカー

1)太陽鉄工(株)

栃木市大宮町 2245 番地

TEL:0282-27-3202

2)ユニレックス(株)

札幌市西区発寒 17 条 14 丁目 2 番 45 号

TEL:011-663-4701

3)橋本産業(株)

(乾留無煙ブリケット製造技術)