米国における石炭焚ボイラ用排煙脱硫

—1980. 3. 18 受理—

千代田化工建設(株) 野口 雅章*

1. はじめに

アメリカにおいては、従来から石炭が大規模に使用されており、特に電力業界では、その50%近くを石炭によって発電している。国内産のエネルギー源である上に、国際的な新設火力発電所における石油使用禁止のよびかけもあり、将来石炭使用がふえるであろう。エネルギー省では大統領の政策にそって既設の60基位を対象に石油から石炭への転換命令を今年末迄に出す予定であるとも報告されている。もともとこれらのボイラの大部分は、環境汚染が問題となった時に石炭から石油へ転換したものである。石炭燃焼による排煙中には、硫黄酸化物、ばいじん、窒素酸化物などが含まれ大気汚染がおこる。それを一層きびしく防止するために昨年6月に「新たに設置する施設の有害物質排出基準」が修正された。

わが国でも、石油の安定供給にかけりが出て来て石炭の使用が話題にされるようになった折から、大気汚染源の一つである亜硫酸ガスに焦点をしぼり、アメリカにおける排煙脱硫装置の現況を紹介する。

なおアメリカにおいては石炭排煙処理が圧倒的に多いため石炭焚を主題としたが、如何なる排煙に対しても脱硫装置としての技術上の大差はない。

2. 新しい排出基準

アメリカ環境庁(EPA)により発行されている排出基準¹⁾は、全体として色々な汚染発生源についてそれぞれの汚染物を対象としている。今回の改正の要点は、入力2億5千万Btu/時(73000kW)以上の新設発電用ボイラにある。新設とタイトルにあるが、改造、再建を含むと定義されている。

この基準によれば石炭(無煙炭を除く)をもやした場合、第1図の如き亜硫酸ガス(SO₂)の除去が必要となる。入力100万Btu当り12ポンドのSO₂を発生する場合は、90%の脱硫を行い1.2ポンドになるようにしなければならない。もし発生量が2ポンドのときは、70%の脱硫率で0.6ポンドの排出が許される。つまり

*技術開発本部 横浜市神奈川区守屋町3-13

図1 石炭焚ボイラ SO₂ 排出許容量

低硫黄炭の場合は低脱硫率で良い。しかしどんな低硫黄炭(無煙炭を除く)でも今後何んらかの脱硫を行わねばならなくなった。参考のために1ポンド/100万Btuは約1.8kg/100万キロカロリーに相当する。

脱硫率は毎時の平均値を連続30日間にわたって計算することになっている。EPAはこの基準を決めるに当り、国内の排煙脱硫(排脱)装置の実績を統計的に処理して、達成出来るとの裏付けを行った。しかしこのデータ処理にあやまりがあるのではないかの疑問が電力側より出されている²⁾。

3. 排脱装置設置状況

アメリカ国内では、90%近くの石炭は発電用に使用され残りは工業ボイラ・家庭用等である。78年度総発電量(2兆2000億kWh)のうち44.7%は石炭によって賄われている³⁾。石油による発電は16.3%である。今後は石炭と原子力で伸び分を供給して行くものと予想される。

第1表は電力各社における排脱装置の設置状況をまとめたものである。79年9月にEPAが調査した⁴⁾ものに最近の情報を加えた。なお小規模のテスト装置は除外してある。第1表中の燃料は④の3基合計180メ

第1表 電力業界排脱設置状況

方 法	稼 動 中		建 設 中		契 約 済		計	
	基	MW	基	MW	基	MW	基	MW
石 灰 石 法	22	7,987	18	7,438	11	5,685	51	21,110
石 灰 法	26	5,957	10	4,633	3	1,810	39	12,400
フライアッシュ混合法	6	2,932	7	2,781	1	316	14	6,029
マグネシウム法	1	120	—	—	3	724	4	844
ダブルアルカリ法	3	1,170	—	—	—	—	3	1,170
炭酸ソーダ法	3	375	1	550	—	—	4	925
ウエルマンロード法	3	826	④ 5	1,248	—	—	8	2,074
クエン酸法	—	—	1	60	—	—	1	60
スプレードライヤー式								
炭酸ソーダ法	—	—	2	540	—	—	2	540
石 灰 法	—	—	—	—	2	1,040	2	1,040
計	64	19,367	44	17,250	20	9,575	128	46,192

ガワット (MW) の石油系コークスを除きすべて石灰である。基はボイラの数であり、排脱装置の基数ではない。通常電力の場合は予備の一系列があり、大型ボイラでは複数の排脱装置を持っている。

第2表はデータは古いが、同じく EPA の発表⁹⁾ になる電力以外の石炭焚工業用ボイラ用排脱装置のまとめである。石炭以外の排煙を処理している装置は、第2表の排煙量の約6割ある。一般工業の場合、業種多岐の上に小型ボイラや燃料以外の SO₂ 発生源もあり、第2表が全部をカバーしているか疑問がある。表中に 3220Nm³/時の排煙量を 1MW 相当として、第1表と比較するために記入した。一般工業では基数も少ないが当然のことながら電力に較べて平均規模が小さい。

4. 排脱方法

排脱の各方法について概略説明する。一般的に湿式と乾式の2方法に大別出来る。乾式法は一時盛んに研

究され建設された。しかし現在運転または予定のものでは一方式をのぞいてすべて湿式法である。

4.1 石灰石法

石灰石の粉末 (200mesh 以下) を水にまぜてスラリーとし、排煙と接触させて SO₂ を吸収させる代表的な湿式排脱法である。SO₂ は石灰石のカルシウムと反応し固体となる。空気による酸化工程を含む場合は石膏を、含まない場合はそのまま亜硫酸カルシウムのスラッジを副生する。これらの固形分は、汙過されるか、配管で沈澱池に運び、水は循環使用される。吸収装置には、スプレー塔とかグリッド棚塔・充填塔などが使われる。従来石灰石の利用率の悪さや装置の稼働率の悪さがしばしば問題にされていた。しかし近頃は、運転条件——特に吸収液の pH——の設定及びその制御に注意したり、酸化工程を組入れたりして改善されて来ている。更には完全な予備装置を持って何時でも切

第2表 一般工業石炭ボイラ排脱設置状況

方 法	稼 動 中		建 設 中		計		
	基	Nm ³ /時	基	Nm ³ /時	基	Nm ³ /時	相当MW
石 灰 石 法	1	88,550	0	—	1	88,550	27.5
石 灰 法	1	64,400	1	48,300	2	112,700	35
ダブルアルカリ法	7	1,163,000	4	1,162,400	11	2,325,400	722
炭酸ソーダ法	6	3,102,500	2	288,200	8	3,390,700	1,053
苛性ソーダ法	5	546,300	—	—	5	546,300	170
アンモニア法	1	264,000	—	—	1	264,000	82
クエン酸法	—	—	1	228,600	1	228,600	71
スプレードライヤー石灰法	—	—	2	117,000	2	117,000	36
計	21	5,228,750	10	1,844,500	31	7,073,250	2,196.5

換運転が出来るようにして、全体としての稼働率の向上をはかっている。稼働率の悪さは装置内での固形物の沈積やスケールによるものであり、運転をとめて掃除せざるを得ない。あとに述べる日本の各法は、掃除頻度が極端に少なく評判が良い。

4.2 石灰法

生石灰をスレーキングして前法の石灰石スラリーの代りに使用する方法である。石灰石に較べて、値段は高いが、溶解性及び反応性が良く利用率が高いこと、更にはスケールの傾向が少いということ等から排脱の主流の一つであった。しかし最近では石灰石法に押され気味である。本法には酸化マグネシウムの添加が有効であり、脱硫率が良くなり電力消費が少なくなる。このため、高脱硫率が必要な所や SO_2 含有率の高い所で実用化されている。

4.3 フライアッシュ混合法

アメリカ中央北部やロッキー山脈地帯では、石炭にアルカリ性に富んだ灰分を含んでいる。これを利用して SO_2 を固定する方法であり、不足分は石灰や石灰石を追加する。

4.4 マグネシウム法

石灰法の生石灰の代りに水酸化マグネシウムを使用する。副生する亜硫酸マグネシウムを硫酸工場に送り、高温にて熱分解して濃厚 SO_2 を発生させ硫酸を作る。回収したマグネシウムは再使用する。特殊な立地条件にのみ成立する方法である。

4.5 ダブルアルカリ法

石灰・石灰石法などがスケールを起し稼働率が低かったので本法が開発された。アルカリ（主として炭酸ソーダ）を供給して SO_2 を吸収し、次に石灰にてアルカリ金属を置換して固体を析出させる方法である。排煙中の残存酸素により、一部のアルカリは石灰による再生が難しくなり、損失となる。しかしスケールが排煙の通過する部分に出来にくく運転が容易であるため、中小型の一般工業用ボイラに実績が多い。電力用では76年頃は次代のホープの如く注目されていたが、今は他の方法の進歩に押され気味である。

4.6 炭酸ソーダ法（苛性ソーダ法他を含む）

ダブルアルカリ法の第一工程のみで、アルカリを再生循環使用せず廃棄するものである。中小型の一般用ボイラに数多く設置されている。ソーダ灰のほかに、苛性ソーダ、ソーダ廃液などが利用されている。電力用では天然ソーダ灰を産出する地方に限られて設置されている。アンモニヤを使用する方法も研究されていたが今は中止された。工業的規模では一基のみ砂糖工

場で廃アンモニヤを使用して稼働中である。

4.7 ウエルマンロード法

ダブルアルカリ法の第一工程で SO_2 を吸収した液を加熱により分解し濃厚な SO_2 ガスを回収する。硫酸や硫黄製造に使われるため、これらの工場と隣設している必要がある。

4.8 クエン酸法

鉱山局が開発した方法である。 SO_2 をクエン酸水溶液で吸収し、硫化水素を導入して硫黄を副生する。外部に硫化水素源がない場合、副生硫黄の2/3をその製造に循環使用せねばならない。更に水素源としてメタン等が必要となる。

4.9 スプレッドライヤー式

アルカリ性の溶液又はスラリーを排煙中に噴霧する。水分は蒸発し、 SO_2 はアルカリ分と反応して固体となり、灰分と共に集じん装置で捕集される。ばいじん除去と排脱を兼ねている。排煙は水分の蒸発により若干温度は下がるが、まだ充分乾燥して高温であり、そのまま大気へ放出される。再加熱器が不要で、乾式排脱方法の復活とも言えるべきものである。アルカリとしてはソーダ灰や石灰を使う。前者の場合値段や入手難のため、中小の一般工業ボイラ用であり、後者の場合は脱硫率があまり良くないから低硫黄燃料用となる。また後者の場合、排出固体分にかんがひの未反応石灰を含むであろうから、その処理廃棄法を考えねばならない。EPA が低硫黄石炭の場合の脱硫率を70%にしたのは本方式の発達によっている。まだ大型装置で稼働しているものはない。

5. 今後の動向

石炭焚ボイラ排脱装置の将来の姿は、石炭の直接脱硫や流動床燃焼あるいは原子力などの技術の進歩によってかわって来るだろう。ここではそのような長期の話はさけ、最近のいくつかの動きの中から今後の排脱の方向を示すものを拾ってみた。

5.1 建設費

排脱の初期にアメリカでは基礎的なことにあまり力を払わず、一気に本装置を作っていた。その結果建設費は実際作ってみるとカタログの3倍になることもあった。また建設材料選定のあやまり、ライニングの失敗、スケール除去のためのほう大な保守費などにより、廉価な装置には落とし穴があることが解って来た。法的規制も強められ、安物を買って置いて「やはり排脱は動きません」では済まされなくなった。

第3表は昨年秋に入札されたアイオワ州マスカティン市発電ボイラ用排脱装置の市指定による設計ベース

第 3 表 マスカティン市発電ボイラ排脱仕様

項 目	仕 様
1. 排 煙 量	600,000Nm ³ /時
2. 入口 SO ₂	2,600ppm
3. 必要脱硫率	94%
4. 原 料	石灰石
5. 副生固形物	90%以上酸化されて硫酸塩のこと 20%以下の自由附着水
6. 排 水	無排水のこと
7. 建 設 材 料	金属使用、有機ライニングは不可
8. 系 列	100% 2 系列
9. 見 積 内	石灰石粉碎、電気集じん機、プロ ワ、排脱装置、水蒸気使用の再加 熱器を含む。
10. 見 積 外	基礎土木工事、計器・電気室工事、 煙突工事

の要約である。7 社が応札し、最低入札と約 800 万ドルもの差があった第 5 位入札の会社が落札した (約 2250 万 \$)。石灰石法 のみの応札であり運転経費には大差はないので、それを込みにしても順位が逆転するものとは思われない。上位各社には重要な設計ベースに対する除外項目があったり、市側で技術上の難点を持ったものと思われる。

第 3 表の如く、本装置は、石灰石を原料として酸化工程を含んでおり、更に ライニングを嫌い、100%の予備機を要求している。従来の安物買から、使用者側の意思が変わって来たことを示している。

5.2 ばいじん除去

石炭ボイラ排煙は、他の排煙と違い、灰分からのばいじんを多量に含んでいる。普通は排脱装置の前で、集じん装置により除去されている。湿式装置にばいじんが多量に入ると閉塞の恐れがある。しかし装置を工夫すれば、集じん装置の効率を落し、総合的に経済性をあげることが出来る。副生固形物を廃棄する場合、集じん装置をなくすことも出来る。

5.3 副生物廃棄

現在、排脱の副生物は大部分が亜硫酸カルシウムのスラッジであり、沈澱池に、そのままあるいは市販の固化剤や灰分を加えて捨てられている。

資源保存・回収法 という法律の下で、EPA は有害廃棄物投棄規則を昨年末迄に作ることにになっていた。遅れている模様であるが、素案の中に「弱酸性下で有害ガス・蒸気・煙を発生する亜硫酸塩含有廃棄物は反応性廃棄物とする」とあり、廃棄する場合種々の制限をうけることになる。薬剤による固化を行っても弱酸

によるテストで SO₂ を発生すれば対象となる。装置内に酸化工程を持ち、硫酸カルシウム即ち石膏としてしまえば、この規制は受けない。石膏は沈降性が良いので廃棄にあたって水との分離も容易である。また山積も可能であり、フロリダ州ガルフ電力社内では、千代田サラブレッド 121 装置からの石膏約 4000 t を使って山積の実験が行われた。同装置については後述するが、この約 400 t の人工石膏を使って、アメリカでは初めてのボード製造商業テストも行われた。

5.4 排 水

石炭中には、多いもので 0.2 % 以上の塩素を含む場合がある。燃焼によりガス化し湿式の排脱装置で捕集される。またばいじんや石灰石などから来る可溶性の不純物も吸収液中に入る。これらの蓄積をさけるために、現在多くの装置では、スラッジ沈澱池から排水を出している。法では排水を出してはいけないとは言っていないが、排水を出すには各地方行政の許可が必要で、その排水基準に合わねばならない。将来規制はきびしくなるものと予想され、クロズドループと呼ばれる排水なしの装置に向うだろう。この場合吸収液中の不純物の蓄積による材質上の問題や吸収効率の低下等を考慮せねばならない。

5.5 SO₂ 吸収助剤

石灰法においてマグネシアの添加が有効であることは先に述べた。多くの排脱方法に有機酸を加えると効率が悪くなることもわかっている。有機酸としては酢酸、アジピン酸などが提案されている。分解、蒸発による損失や悪臭を放つ問題があるが、脱硫率の向上や消費電力の減少とか設備費の割安などから、EPA では工業的規模でのテストを計画中と言われている。環境汚染がないことがわかれば有望であろう。

5.6 プロワの位置

ボイラの排煙は普通電気集じん装置を通過した後プロワで昇圧され排脱装置に送られ最後に煙突より大気に放出される。この方がプロワの腐食が少なく経済的であるからである。

大型ボイラの場合排脱装置はダンパ付ダクトにより分岐されて複数の系列に分けられる。また、予備系列も同様にして設置される。頻繁に系を切換えてスケール除去や保守を行う必要のある装置では、運転中の系を少々真空にしておけば、修理中の系への漏洩がなく作業条件が良くなる。このためプロワを排脱装置のあとにおく傾向が目立って来た。保守の大変さから来た一つの自衛手段であろう。プロワは、排煙の再加熱器をつけたとしても、腐食の傾向は増大して来る。

6. 日本からの進出

環境汚染の監督官庁である EPA は当然のことながら排脱技術の発達、育成、情報収集に熱心である。日本にも多くの調査団を派遣している。また一年半に一回位の割で、シンポジウムを主催して情報交換の場を提供している。毎回中央大学安藤教授により日本の排脱の現況紹介がなされ、大多数の人に関心を持たれている。

同シンポジウムでは、毎回一夜自由討論のパネルがあり、EPA とボイラ所有者側、所有者とエンジニアリング業界といった間で現実的な議論や意見発表があり、夫々の裏にかくされた本音が現われて面白い。日本での排脱装置の稼働率が高かったことに対しては、運転員の質の良さ、投資金の大きさ、法の厳格さ等々が理由にされていた。三井アルミ社に設置された装置と同じ方法の装置がアメリカでうまく作動しなかったことに対しては、排水の有無がパネルの話題となった事もあった。これも無排水であったことがわかり、日本の技術の確かさが認められて来た。

最近の目立った動きとしては、第一に三菱重工石灰石法の進出がある。インデアナ州の電力ボイラに 450 MW の規模で 2 基建設中である。第一号機の始動は来年 4 月と予定されている。日本において大型装置で実証された方法であり、ローカルの条件に合せて設計は変更されているだろうが、順調に稼動するものと期待される。

千代田化工は、フロリダ州ガルフ電力会社にて、76 年よりデモンストレーションをしており、最新のサラブレッド 121 石灰石・石膏法の 10 ヶ月に亘る運転を昨年 6 月に終了した。その中の 7 ヶ月は EPRI（全米電力会社の 80% が出資している電力研究所）の係員立会のもとに行われ、好結果をおさめた。報告書は、今年 6 月に EPRI より出版予定である。

千代田サラブレッド 121 法は、JBR（ジェットパブリ

ングリアクター）という槽に、排煙を吹き込み SO_2 を吸収し、同時に空気を別に吹き込み SO_2 を直ちに酸化する。更にまた、同じ槽に石灰石スラリーを入れて石膏を作る。フロリダの装置は、23MW と小規模ではあったが、ほぼ 100% の稼働率を示した。機器の数が少く運転が容易な装置である。

次に、同和鉱業の硫酸アルミナ法の進出がある。同方法はダブルアルカリ法の第一工程にアルミナを使用するものである。日本で地道に開発され工業化された方法で、EPRI のプログラムに組込まれ、TVA（テネシー峡谷開発公社）の 10MW 装置が完成し、昨年秋に始動した。

TVA は古くから排脱開発の場を提供し、一つの中心的役割を果たしている。石灰・石灰石法やアンモニア法、アジピン酸添加方式、クエン酸法などのテスト、更にはベンチュリ型とかスプレ型の如き装置のテストを並列に行っている。直接比較対照される場所として最適であり、好結果が期待される。

7. あとがき

アメリカにおいて、新設大型の石炭焚ボイラには、今後かならず何らかの形の SO_2 除去装置がつけられることになり、排煙脱硫装置が注目をあびている。その現況を探り、今後の動向について述べた。個人的興味や意見に片寄った所もあるが、諸先輩に何らかの情報を提供できれば幸いである。（昭 55-2/29）

文 献

- 1) Federal Register, June 11/1979, p. 33580
- 2) W.S. Pitts et al., paper presented at 2nd Conf. on Air Quality Management Jan. 22-25/1980, Austin, Texas
- 3) Edison Elec. Inst., Annual Ele. Power Survey, 1979
- 4) EPA, 600/7-79-022 f, Oct. 1979
- 5) EPA, 600/7-79-067 b, April. 1979

Desulfurization of Coal Burnt Gas in the U.S.A.

Masaaki NOGUCHI

(Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co., Ltd.)

SYNOPSIS:—The SO_2 emission control of coal burnt gas in the U.S.A. is described with introducing the New Stationary Sources Performance Standard, with summarizing the current SO_2 removal processes, and with marking another particular movements. All the new coal burning boilers larger than 250 MMBtu of hourly heat input have to install some kinds of sulfur removal facilities. Limestone scrubbing of the flue gas is the present major technology, followed by lime scrubbing and dual alkali methods in the utilities. Soda ash scrubbing is the major in another industries which are dominated by smaller size boilers. Japanese flue gas desulfurization technologies are also favorably evaluated in the States.