

煙突組込型簡易湿式脱硫装置の開発

Development of Stack Type Simplified Wet Desulfurization System

技術本部 高品徹^{*1} 鬼塚雅和^{*2}
機械事業本部 岩下浩一郎^{*3} 遠藤由和^{*4}

発展途上国向けに酸性雨防止対策としての排煙脱硫装置の設置が急務となっているなか、日本国内及び海外で数多くの実績を有する湿式石灰石膏(せっこう)法の技術を基礎に、そのプロセスの簡易化を追求した煙突組込型簡易湿式脱硫装置を開発、実用化した。プロセスの簡易化に際しては、従来、吸収塔、煙突及び石膏沈降槽はそれぞれ別置きであったものを、吸収塔の煙突への組込みと、吸収塔タンク内的一部を沈降槽とすることで、これらの機器を一体化し、機器数と設置面積の大幅な低減を可能とした。さらに、低成本の振動式石膏脱水槽も開発した。本装置の初号機は中国へ自家発ボイラ用脱硫装置として納入され、現在順調に稼働中である。

In an environment of urgent demand for flue gas desulfurization (FGD) installation, as a countermeasure to acid rain among developing countries, we have developed and put to practical use a stack type simplified wet FGD system. This is an offspring of our on-going pursuit of simplifying the wet limestone gypsum process which has proved its reliability in and out of Japan. For simplification of the process, the absorber, stack and gypsum thickener, which had conventionally been positioned separately, have been integrated by installation of the absorber incorporated into the stack, and making it a part of the absorber tank thickener. This has enabled drastic reduction of the equipment quantity as well as installation space. Further, we have developed a low cost vibration gypsum dewatering system. The first system was delivered to China as desulfurization for a boiler, and is currently being operated favorably.

1. まえがき

近年の地球環境保全に対する関心の高まりとともに、酸性雨の元凶と考えられる二酸化硫黄や酸化窒素の除去装置の設置が進められてきている。排煙から二酸化硫黄(SO₂)を除去する排煙脱硫装置については日本及び欧米諸国では性能及び信頼性の高さから、ほとんどの火力発電所で石灰石を吸収剤とする湿式石灰石膏(せっこう)法が採用されている。

一方、開発途上国においては、産業のインフラストラクチャの整備が優先され、石炭や石油を燃料とする火力発電所から大量のSO₂を排出しているにもかかわらず、非生産設備である排煙脱硫脱硝の設置までなかなか手が回らないのが実情である。

このような背景の下、環境保全対策の早期着手のために建設費用及び運転・保守費用負担の軽い簡易型の装置の開発が強く望まれている。

これらのニーズにこたえるべく、当社では日本国内及び海外に多数の実績を持つ湿式石灰石膏法をベースとして、そのプロセスの簡易化を図った“煙突組込型簡易湿式脱硫装置”を開発した。

本報では今回実用化した脱硫装置のプロセスの簡易化に不可欠な、(1)煙突組込型液柱式吸収塔、(2)石膏濃縮機能を付加した吸収塔タンク、(3)振動式脱水槽、の新技術の開発とそれらを組合せ実用化した中国向け実用機を紹介する。

2. 煙突組込型液柱式吸収塔

湿式石灰石膏法による脱硫装置では、排煙中のSO₂を除去するためアルカリ成分(石灰石)を含む吸収液と接触させる必要があります。この吸収部が脱硫装置の心臓部と言っても過言ではない。当社はこれまで吸収塔内部に格子状充てん物を充てんしたグリッド式吸収塔を採用してきたが、シンプル化、メインテナンス容易化、低イニシャルコスト化、省エネルギー化のニーズは強く、その要

請にこたえるべく、新方式の液柱式吸収塔を開発した⁽¹⁾。従来、吸収塔内部には脱硫性能を改善するため、充てん物や多数のスプレー配管またはガス分散板等の構造物が入っているのが一般的であったが、この新方式の液柱式吸収塔では塔底部にスプレーパイプを設置するだけの極めてシンプルな構造となっている。

図1に簡易湿式脱硫装置に採用した煙突組込型液柱式吸収装置

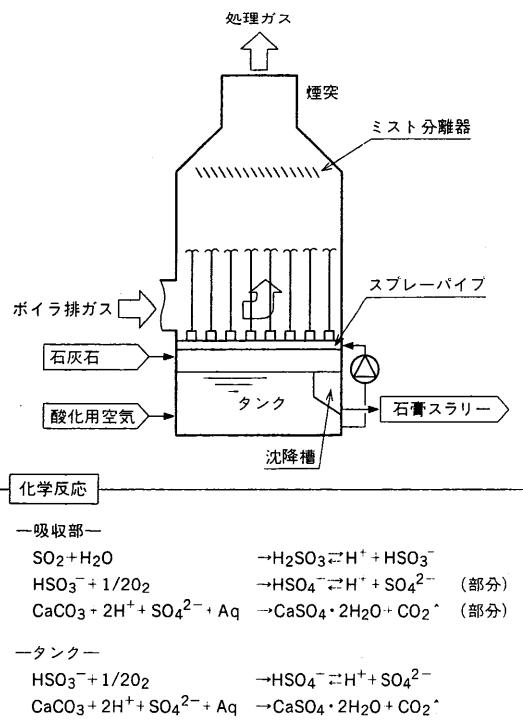


図1 煙突組込型液柱式吸収塔の概略図 新方式の液柱式吸収塔を煙突に組み、大幅な設置面積の低減を図った。Stack type simplified FGD absorber

*1 広島研究所化学プラント研究推進室 *3 化学プラント技術センター環境プラント部

*2 広島研究所実験課 環境2グループ主務

*4 化学プラント技術センターエンジニアリング部

の概略図を示す。SO₂を含んだボイラからの排ガスは吸收塔の下部に導かれ、吸收塔内を上昇する過程で吸収液と接触し、排ガス中のSO₂とばいじんが効率的に除去される。吸収液は吸收塔下部に設置された単段のスプレー.PIPEのノズルから上部に噴出され、上部で微細な液滴に分散され、落下する。吸収液の噴上げと落下的際に吸収液が高効率で気液接触するため、排ガス中のSO₂及びばいじんの除去が促進される。

煙突組込型液柱式吸収塔の特徴を以下に示す。

- (1) 吸収塔の内部構造がシンプルでメンテナンスが容易。
- (2) 低い通風圧損。
- (3) 高い気液接触効率によるSO₂とばいじんの高除去性能。
- (4) 煙突機能を兼ねたコンパクトな吸収塔。
- (5) 設置面積が小さく煙道が不要。

3. 石膏濃縮機能を付加した吸収塔タンク

石灰石膏法による湿式脱硫装置では上述した吸収塔で吸収されたSO₂は石灰あるいは石灰石と反応して石膏を生成する(図1の化学反応参照)。石膏は水への溶解度が極めて小さいため、吸収液内で析出し、石膏結晶となる。これが湿式石灰石膏法の副生物であるが、通常、これを濃縮、固液分離し、回収する。濃縮には液体サイクロンあるいはシックナ、固液分離には遠心式または真空式の分離機が一般的に用いられる。しかし、簡易型の脱硫装置では濃縮、固液分離の工程についても大幅な合理化を図る必要のあることから、廉価な濃縮、分離システムの開発を行った。

石膏の濃縮、固液分離では以下のことが要求される。吸収塔を循環する石膏スラリーは流動性の確保と機器、配管類の摩耗防止の観点から、20~30 wt %以上には濃縮できない。一方、固液分離した後の回収石膏の含水率[(100-石膏スラリー濃度) wt %の関係にある]は固体ハンドリングの観点から20 wt % (石膏スラリー濃度としては80 wt %、以下同様)、好ましくは10 wt %以下まで脱水する必要がある。図2に石膏スラリーの流動特性を示した。図2において流動性を有する石膏スラリー濃度70 wt %以下の範囲と、流動性を失い液状化現象を生じる濃度を経由して固体ハンドリング可能な含水率20 wt %以下へと移行することが分かる。そこで、図2に示す石膏スラリーの特性を利用して装置の合理化を図った。すなわち、流動性が確保できる70 wt %以下までは吸収塔内で濃縮し、その後、液状化現象を利用した簡易な脱水装置により

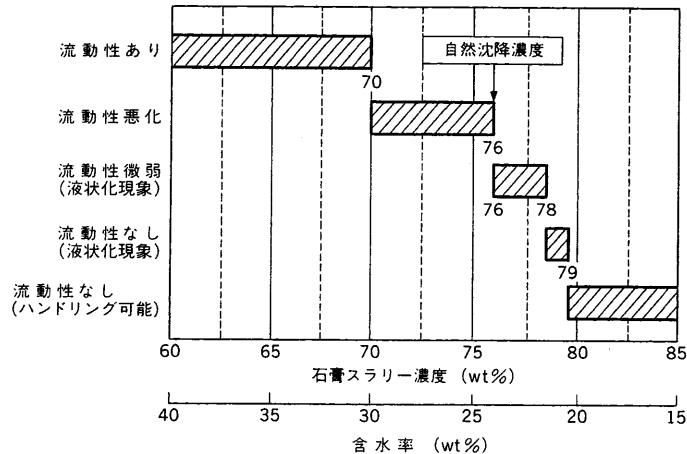


図2 石膏スラリーの流動特性 石膏スラリーの流動性は含水率により大きく変化する。
Fluid characteristic of gypsum slurry

含水率20 wt %以下を達成しようとするものである。本章ではまず石膏の濃縮を可能とした吸収塔タンクの開発について述べ、次章にて必要含水率を可能とした振動式脱水槽について述べる。

吸収塔タンクから直接濃縮スラリーを抜出すために吸収塔タンクの一部を仕切り、そこを石膏沈降槽とするインタンクシックナ方式を考案した。図3にインタンクシックナの概念図を示す。吸収塔タンク内のスラリー濃度は前述のように20~30 wt %に維持され、吸収塔タンク底部に亜硫酸イオン酸化用の酸化空気が吹込まれており、この通気によってタンク内はほぼ均一に攪拌されている。このタンク内的一部を仕切り、石膏沈降槽が設置してある。この沈降槽は石膏が沈降濃縮可能とするため攪拌の影響が及ばないようにする必要がある一方で、沈降槽には抜出し量に相当する石膏粒子を連続的に供給する必要がある。このため、タンクと石膏沈降槽の間にはスリットを設け、さらに、スリットを通過する石膏量を制御するため、石膏沈降槽頂上部にエアリフト管を設置する。

図3に示したアイデアを実験的に検証するため内径3 m、高さ7 mの吸収塔タンクを有する装置を作製し、試験を行った。試験結果の一例を図4に示す。この試験ではタンク内スラリー濃度を24 wt %とし、石膏沈降槽からの抜出し流量と抜出された石膏のス

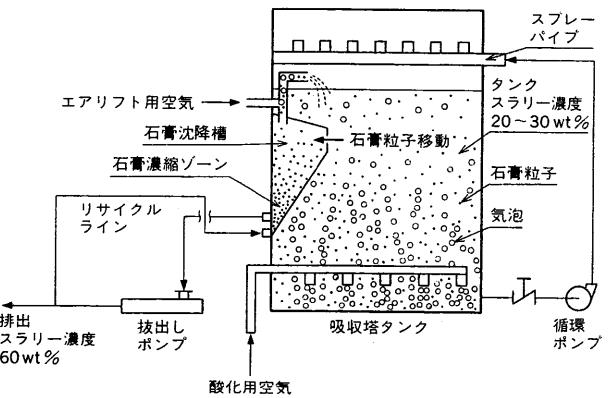


図3 インタンクシックナの概念図 吸収塔タンクの一部を石膏沈降槽とすることで直接高濃縮スラリーを回収できる。
In-tank thickener

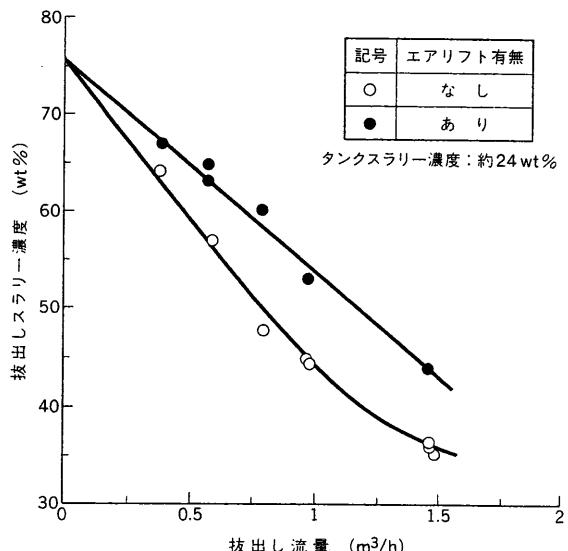


図4 石膏濃縮試験結果 抜出し流量を適正に設定すれば60%以上の高濃度スラリーが回収できる。
Test data on concentration of gypsum slurry

ラリー濃度の関係を調べた。図4により、抜出し量を適正に設定すれば（この場合 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下）、60 wt %以上の高濃縮スラリーが得られることが確認でき、併せて、エアリフトの併用によって、スラリー濃度の調整も可能であることが分かった。

4. 振動式脱水槽の開発

前章の石膏濃縮機能を付加した吸收塔タンクにより、60 wt %以上の高濃縮石膏スラリーを直接タンクから回収できる装置が可能となった。そこで、この高濃縮石膏スラリーを固体ハンドリング可能な含水率まで簡易な方法で脱水する装置の開発が必要となつた。前掲の図2に示したように石膏の自然沈降濃度は約 76 wt %（含水率 24 wt %）であり、単純に石膏を沈降させるだけでは所望の含水率には到達しない。そこで、この濃度領域では振動を与えることにより石膏が液状化することに着目し、振動式脱水槽を開発した。図5は振動源としてバイブレータを使用した場合の含水率の変化を示している。

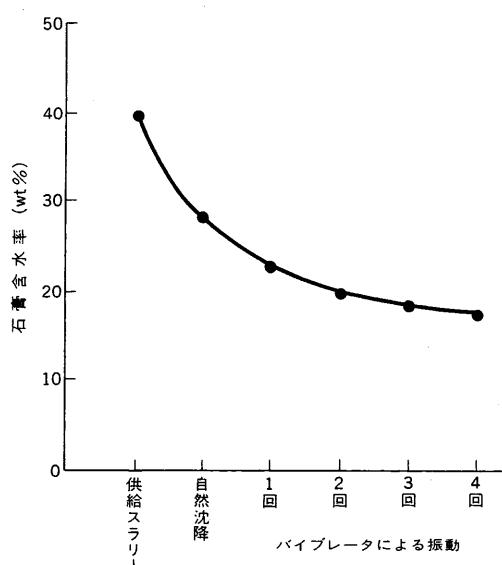


図5 石膏スラリーの含水率の変化 石膏スラリーを自然沈降させ、振動を与えることにより、固体ハンドリング可能な含水率 20 wt %以下が達成できる。
Trend of moisture of gypsum with vibration

自然沈降後約 26 wt %の含水率であったものがバイブルータによる振動を間欠的に与えることによって、所望の含水率 20 wt %以下が得られた。この基礎的知見を基に大型槽を製作し、確認試験を実施した。試験に供した脱水槽は全容積 6.75 m^3 であり、実用機での回分操作を想定し、3区画に仕切った。また、石膏スラリー給液時の自然脱水を促進させるねらいで、脱水槽底部には砂利及び砂を敷設した。この脱水槽に石膏スラリー濃度 60 wt %の濃縮液を $0.8 \text{ m}^3/\text{h}$ で供給し、脱水性能を確認した。その結果、自然脱水とバイブルータによる振動によって、最終的な石膏含水率 19 wt %が得られることを確認した。本脱水槽は従来の遠心式脱水機に比較して、簡易であるばかりでなく、バイブルータは安価であることから、コストは極めて小さくなる。

5. 実用機の構成と運転状況

前述した新技术を織込んだ実用初号機は、日本の通産省支援であるグリーンエイドプランの一環として（財）新エネルギー・産業

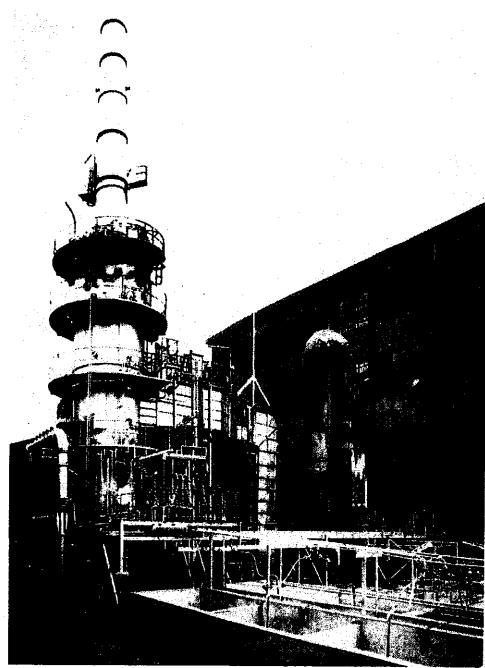


図6 煙突組込型簡易湿式脱硫装置 中国濰坊化工廠向け脱硫装置
Stack type simplified FGD system

技術総合開発機構（NEDO）の委託を受けた（財）石炭利用総合センター（CCUJ）から装置の設計、製作を受注し、中華人民共和国山東省濰坊化工廠に納入された。図6に同装置の写真を示した。

以下に、同装置の概要について述べる。

5. 1 プロセスの構成

図7に煙突組込型簡易湿式脱硫装置と従来型脱硫装置のプロセス構成の比較を示す。

排ガスはボイラ排煙ダクトから誘引ファンにより脱硫装置の吸収塔へ導入される。濰坊化工廠の既設プラントにはもともと誘引ファン（IDF）が設置されており、加えて本装置に採用した液柱式吸収塔は低い通風圧損で運転可能であることから、脱硫装置用の昇圧ファン（BUF）は不要であった。

吸収塔で処理された排ガスは、吸収塔と一体の煙突から直接大気へ放出される。

吸収塔と煙突が一体化されることにより、従来、既設設備に脱硫装置を設置する場合に必要であった脱硫装置へのダクト及び煙突の耐食対策は不要となっている。

本装置の吸収塔には前述の煙突組込型液柱式吸収塔を採用了。吸収塔を循環する吸収液は石膏を主成分とし、一部吸収剤である石灰石を含むスラリーで、その濃度は 20~30 wt %に制御されている。吸収塔下部の吸収塔タンクには SO_2 の吸収により生成した亜硫酸イオン (HSO_3^-) を硫酸イオン (SO_4^{2-}) に酸化するため空気が供給される。硫酸イオンは吸収塔に連続的に供給される吸収剤である石灰石 (CaCO_3) と反応し、石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) となる。吸収塔タンクの一部は前述の石膏沈降槽となっており、ここから 60~70 wt %の高濃度のスラリーを直接回収している。

抜取出された高濃度スラリーは吸収塔に隣接した振動式脱水槽へ移送される。振動式脱水槽に供給されたスラリーは自然脱水とバイブルータによる間欠振動を与えることにより、固体ハンドリング可能な含水率 20 wt %以下まで脱水される。この方式を採用したことにより、従来必要であった遠心分離機やベルトフィルタ等の石膏脱水設備を省略することができた。

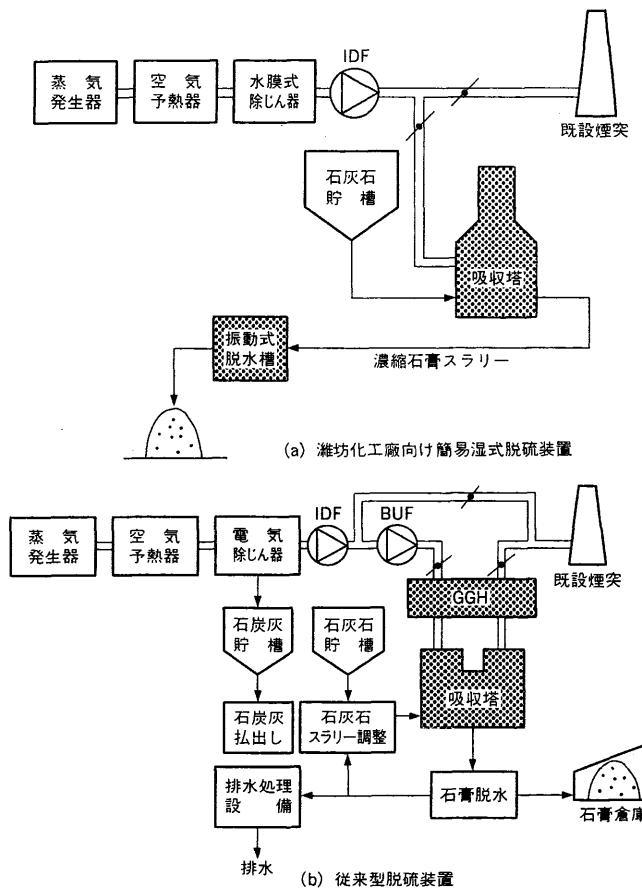


図7 プロセスの比較 簡易湿式脱硫装置では大幅に簡素化されている。
Comparison of process between simplified and conventional FGD system

5.2 実用機の計画と建設

本装置は脱硫率70%以上を保証値とし、実際の設計は脱硫率76%で設計された。

表1に設計の計画値を示す。

1994年4月の設計開始から、1995年7月の運転開始まで、わずか1年余りの短期間で建設工事終了までの全工程を終了し得た。また、本装置設置のためのボイラ停止は全くなかった。これらは、本装置の既設プラントへの追設の容易性を示す一つの大きな特徴と言える。

5.3 運転状況

本装置は1995年6月に運転開始（通煙）し、現在も順調に稼働中である。運転開始から現在まで2回の性能試験を実施しており、計画どおりの性能が得られている。

表2に1996年3月に実施された性能試験結果を計画値と対比して示した。表2から分かるように脱硫性能は十分満足する結果が得られている。

さらに、回収された石膏も含水率20wt%以下を維持できており、ハンドリング可能な石膏が得られている。

表1 設計計画値
Design parameters

脱硫装置入口ガス量	100 000m ³ N/h(wet)
脱硫装置入口SO ₂ 濃度	1 500ppm
脱硫率	70%以上
石膏含水率	30wt%以下
消石灰スラリー供給濃度	30wt%
消石灰純度(固体ベース)	92.77%

表2 性能試験結果

Test results of actual plant

	計画値	実績値
ボイラ負荷(%)	100	100
脱硫装置入口ガス		
流量 (m ³ N/h)	100 000	93 300 ^{*1}
温度 (°C)	68	66
ばいじん濃度 (mg/m ³ N)	148	189
圧力 (mmH ₂ O)	80	23
SO ₂ 濃度 (ppm(dry))	1 500	1 050
脱硫装置出口ガス		
流量 (m ³ N/h)	103 255	96 500
温度 (°C)	51.8	41
ばいじん濃度 (mg/m ³ N)	74	80
圧力 (mmH ₂ O)	0	-18
SO ₂ 濃度 (ppm(dry))	450以下	185
脱硫率(%)	70以上	82.4
脱硫装置ガス圧損 (mmH ₂ O)	80	総合23

*1 吸收塔出口ガス量からの計算値

6. あとがき

煙突組込型簡易湿式脱硫装置は高い技術力と数多くの実績を有する湿式石灰石膏法を基礎とし、以下の技術を開発し、プロセスの徹底的な簡易化を図った。

(1) 煙突組込型吸收塔

一体型のため設置面積が小さく、内部構造がシンプルで低通風圧損の吸收塔。

(2) 石膏濃縮機能を付加した吸收塔タンク

吸收塔タンクの一部を石膏沈降槽とすることで、直接高濃縮スラリーが回収できるタンク。

(3) 振動式脱水槽

振動を与え、石膏を液状化して脱水する低コストの石膏脱水システム。

上記技術を採用した装置は、通産省のグリーンエイドプランの一環で中国向け自家発用ボイラ排煙脱硫装置として納入され、現在順調に稼働中である。

発展途上国の大公害防止装置として開発したこの煙突組込型脱硫装置が、今後、地球環境保全に大きく貢献できることを期待している。

参考文献

- 鶴川直彦ほか、液柱式排煙脱硫装置の開発、三菱重工技報 Vol.32 No.5 (1995) p.318
- 木村和明ほか、発展途上国向け脱硫技術(8)、環境管理 Vol.31 No.12 (1995) p.45