

Environment Research and Technology Development Fund

環境研究総合推進費 終了研究成果報告書

大型ばい煙発生施設の排煙処理装置における
PM2.5の除去特性に関する研究

(5-1708)

平成29年度～令和元年度

Investigation on Removal Characteristics of PM2.5 in Flue Gas Treatment Equipment
of Large Scale Plant

〈研究代表機関〉

一般財団法人電力中央研究所

令和2年5月

目次

I. 成果の概要	・・・・・・・・・・ 1
1. はじめに（研究背景等）	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発の方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた主な成果	
6. 研究成果の主な発表状況	
7. 研究者略歴	
II. 成果の詳細	
II－1 大型ばい煙発生施設の排煙処理装置におけるPM2.5の除去特性に関する研究・・・・・・ 6	
（一般財団法人電力中央研究所）	
要旨	
1. はじめに	
2. 研究開発目的	
3. 研究開発方法	
4. 結果及び考察	
5. 本研究により得られた成果	
6. 国際共同研究等の状況	
7. 研究成果の発表状況	
8. 引用文献	
III. 英文Abstract	・・・・・・・・・・ 21

I. 成果の概要

課題名 5-1708 大型ばい煙発生施設の排煙処理装置におけるPM2.5の除去特性に関する研究
 課題代表者名 木本 政義 (一般財団法人電力中央研究所 エネルギー技術研究所 火力運用保守
 領域 上席研究員)
 研究実施期間 平成29年度～令和元年度
 研究経費(累計額) 72,771千円
 (平成29年度:24,668千円、平成30年度:23,435千円、令和元年度:24,668千円)

本研究のキーワード PM2.5、電気集じん装置、バグフィルタ、湿式脱硫装置、集じん特性

研究体制

- (1) 大型ばい煙発生施設の排煙処理装置におけるPM2.5の除去特性に関する研究
 (一般財団法人電力中央研究所)

1. はじめに(研究背景等)

大気中PM2.5への関心が高まる中、わが国では環境基準値の達成率改善に向けた検討が進められている。その中で、PM2.5濃度に影響を及ぼす固定発生源の一つとして、大型ばい煙発生施設が挙げられている。わが国の大型ばい煙発生施設では、既に高度な環境保全対策が講じられており、ダストや硫黄酸化物等の環境汚染物質の排出濃度は排出基準を遵守した低いレベルとなっている。大型ばい煙発生施設における集じん技術としては、主に電気集じん装置やバグフィルタが採用されている。また、排ガス中の硫黄化合物の除去のために設置された湿式脱硫装置には集じん効果があり、電気集じん装置等との組み合わせによる複合的な集じん効果によって、大気へのダストのさらなる排出抑制が可能となっている。これら装置の集じん特性に関しては、これまでに様々な検討が行われ、大型ばい煙発生施設では、ダストの大気排出抑制に対して最も効果的な条件で運転されている。しかし、PM2.5への寄与が大きいとされる $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子(排ガス中で固体として存在するダストのうち、50%分級径が空気動力学径 $2.5\mu\text{m}$ の分級装置を通過するもの)に対しては、電気集じん装置やバグフィルタならびに、それら集じん装置に湿式脱硫装置を組み合わせた場合の大気への排出抑制効果は未だ十分に把握されていない。PM2.5と関わりの深い大型ばい煙発生施設からの $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出についての地方公共団体等の理解を促進するためには、既に採用されている排煙処理装置の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の大気への排出抑制効果を整理することが重要である。

2. 研究開発目的

本研究では、大型ばい煙発生施設での集じん対策として広く採用されている電気集じん装置、バグフィルタ、および湿式脱硫装置を対象とし、石炭燃焼排ガスを用いて、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する集じん特性を明らかにする。また、集じん効率等に大きく影響する電気集じん装置の荷電条件や操作温度、バグフィルタのろ布使用経過時間、湿式脱硫装置の吸収液量と処理ガス量の比率などの装置の操作条件が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の除去特性等に及ぼす影響を明らかにする。併せて、電気集じん装置やバグフィルタにおけるダストの集じん性能および、湿式脱硫装置の硫黄酸化物(SO_2)の除去性能と、各装置の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する集じん性能との比較を行い、ダストや硫黄酸化物の除去に効果的な条件で運転している現状の大型ばい煙発生施設における環境保全対策に関して、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の大気への排出抑制技術としての有効性を把握する。

なお、大型ばい煙発生施設から排出される物質のうち、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子のほかにPM2.5濃度に影響するものとして、大気との冷却混合によってガス成分が粒子化する凝縮性ダストや大気中で窒素酸化物等から生成される二次粒子が挙げられている。これらに対する検討も重要であるが、凝縮性ダストについては国内で固定発生源を対象とした測定法が未だ検討段階であること、二次粒子は発生源から離

れた場所で生成して気象条件等の影響も受けることから、本検討では、排ガス中の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子のみを研究対象とした。

3. 研究開発の方法

(1) 大型ばい煙発生施設の排煙処理装置におけるPM_{2.5}の除去特性に関する研究

本研究には、大型ばい煙発生施設の一つである微粉炭燃焼施設を模擬した電力中央研究所の横須賀地区設置の石炭燃焼試験設備を用いた。本設備の概略を図3.1.1に示す。本設備の石炭燃焼量は約300 kg/hであり、燃焼条件は実機と同程度の火炉出口酸素濃度4%、二段燃焼率30%とした。本設備には、実機と同じ方式の排煙処理装置が設置されており、実機とは除去性能は異なるものの、除去性能に及ぼす操作条件の影響等の特性は、ほぼ同じ傾向を有している。

試験では、石炭燃焼排ガスを発生させて、同設備の電気集じん装置、バグフィルタ、および湿式脱硫装置の入口と出口にて、ダストの濃度と粒子径分布、および $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子濃度を測定した。測定結果から、各装置のダストの集じん効率や粒子径別の集じん効率（部分集じん効率）、ならびに $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率を算出し、集じん特性を把握した。また、各装置の集じん効率や湿式脱硫装置のSO₂除去効率に大きく影響する条件として、電気集じん装置の電流密度（集じん面積あたりの電流値[mA/m²]）や操作温度、バグフィルタのろ布使用経過時間、湿式脱硫装置の噴霧吸収液量と処理ガス量との比率（L/G[リットル/m³]）を変化させて、上記と同様な測定を行った。これらの結果を用いて、大型ばい煙発生施設における環境保全対策の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する大気排出抑制への有効性を評価した。

排ガス中のダスト濃度の測定にはJIS Z8808「排ガス中のダスト濃度の測定方法」を、排ガス中ダストの粒子径分布にはJIS K0302「排ガス中のダスト粒径分布の測定方法」を、排ガス中 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の測定にはJIS Z7152「バーチャルインパクトによる排ガス中のPM₁₀/PM_{2.5}質量濃度測定方法」を用いた。

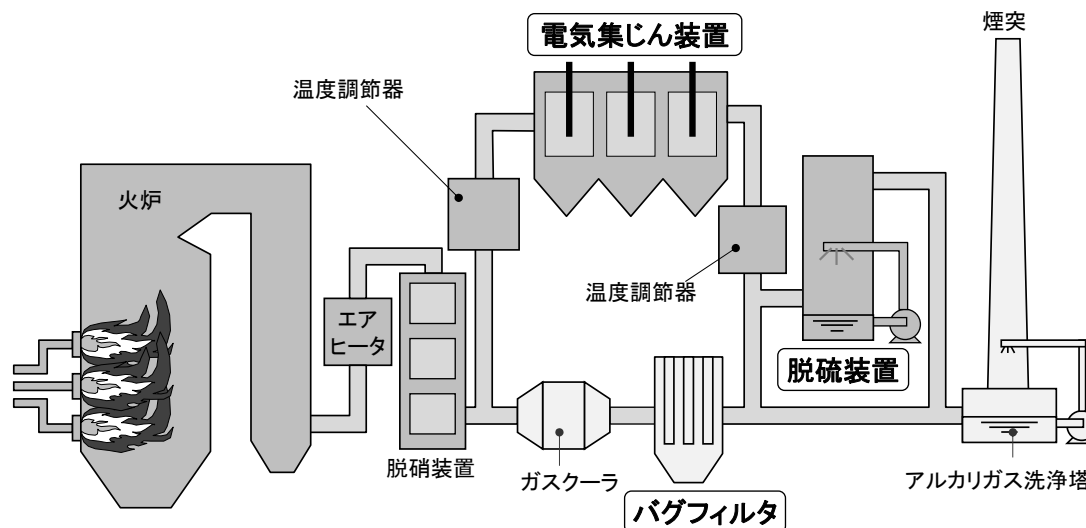


図3.1.1 石炭燃焼試験設備の概略

4. 結果及び考察

(1) 大型ばい煙発生施設の排煙処理装置におけるPM_{2.5}の除去特性に関する研究

1) 電気集じん装置の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する集じん特性

電気集じん装置においてダストの集じん効率への影響が大きい石炭灰中のアルカリ成分（NaとK）含有率が異なる3炭種を燃焼した際のダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率を比較した。その結果、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率は、ダストの集じん効率に比べて低いものの、最も低い炭種でも93%以上であり、電気集じん装置は、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じんにも有効であることがわかった。また、ダストの集じん効率が高い炭種ほど $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率も高くなった。ダス

トの集じん効率は、排ガス中の水分と SO_3 の濃度がほぼ等しい条件では、ダスト中のNaとKの含有率が高いほど上昇する傾向であることが知られているが³⁾、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率に及ぼす炭種の影響についても、図4.1.1に示すように、ダスト中のNaとKの含有率が高くなると上昇する関係を持つことが明らかになった。

電気集じん装置の電流密度を変化させた際の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率は、今回の実験条件の範囲では、図4.1.2に示すように電流密度が高いほど上昇した。また、操作温度を変化させた場合には、操作温度が低いほど $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率が高くなることが明らかとなった。これらの傾向は、ダストの集じん特性に関して、既に知られていた傾向と同様であり、ダストの集じん効率が高くなる条件は、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子にも有効であることがわかった。

電気集じん装置を設置した大型ばい煙発生施設では、処理ガス組成や捕集対象ダストの組成等にあわせて、電気集じん装置の操作条件を、経済性も考慮した上で、効果的にダスト濃度が低減できる条件に設定している。本検討の結果、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対してもダストに対する集じん特性と同様な傾向を示すことが明らかになり、大型ばい煙発生施設の電気集じん装置は、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じんに対しても、効果的な集じん対策となっているものと考えられる。

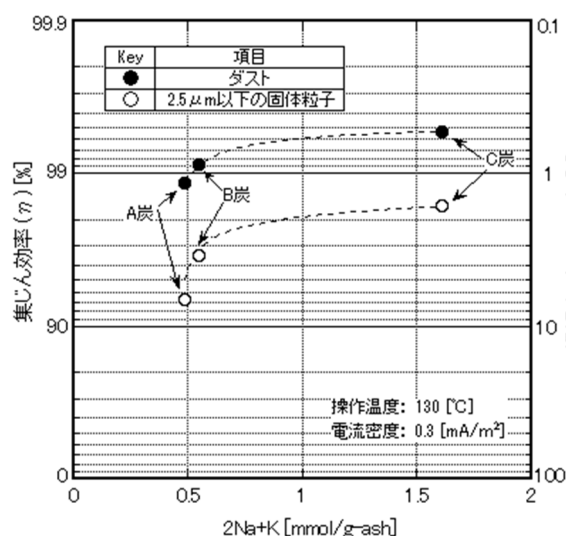


図4.1.1 評価因子2Na+Kと集じん効率の関係

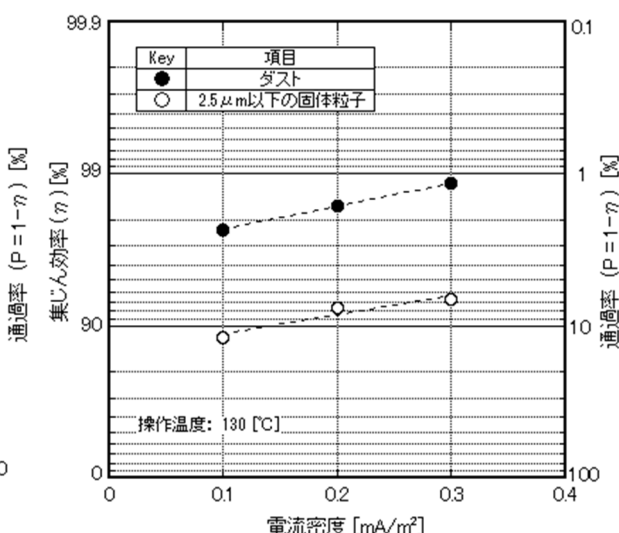


図4.1.2 電流密度と集じん効率の関係

2) バグフィルタの $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する集じん特性

バグフィルタのろ布を新品に付け替え、使用開始からの経過時間（0時間、330時間、545時間）に応じて、ダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率を評価した。新品ろ布（使用経過時間0時間）でも、ダストの集じん効率は99.984%であり、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対しても99.993%と非常に高い集じん効率を有することがわかった。

バグフィルタは、ろ布繊維による集じんに加え、堆積したダスト層によっても集じんされるので、高ダスト濃度のガスに使用した場合、初期から集じん効率は高くなる。このダスト層の形成・成長は集じん性能を大きく向上させる反面、圧力損失を上昇させる。バグフィルタの連続使用時には、逆洗による払い落としを行うが、ろ布の使用時間の経過に伴い、払い落としとしても除去できない一次付着層が形成され、払い落とし操作を繰り返すことにより一次付着層が成長し、払い落とし直後の堆積ダスト層が無い状態での集じん性能は徐々に向上すると考えられている。本試験においては、ダストの集じん効率が、330時間使用後で99.993%、545時間使用後で99.992%となり、99.9%以上の高い集じん効率を維持していることが確認された。今回の検討では、ダスト濃度が高い条件のため、集じん時間のほとんどで堆積ダスト層が存在する状態となり、新品のろ布、330時間使用後、545時間使用後のいずれにおいても、ほぼ同等の高い集じん効率になったものと考えられる。

$2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率は、330時間使用後に99.992%、545時間使用後で99.976%となり、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対しても高い集じん性能を維持していることが明らかになった。

大型ばい煙発生施設では、バグフィルタの性能維持のため、出口ダスト濃度や圧力損失を監視し、ろ布の目詰まりや破損などのトラブルを適宜検知するなど、適切な管理がなされており、このような管理により、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出も抑制されていると考えられる。

3) 湿式脱硫装置の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する集じん特性

実機の脱硫率を参考に、脱硫効率(SO_2 除去効率)が90%以上となる条件を基準に、ダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率を調べた。また、湿式脱硫装置では、出口 SO_2 濃度が排出規制値以下となるように、L/G（噴霧吸収液量と処理ガス量の比率）を調整している。そこで、集じん効率に及ぼすL/Gの影響についても調べた。

この結果、図4.1.3 に示すように、湿式脱硫装置のダストに対する集じん効果が確認でき、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じんにも効果があることが明らかになった。また、L/Gを高くすると SO_2 除去効率が高くなると共に、ダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率も高くなることが把握できた。L/Gを増やすことで、処理ガス量に対するスプレーから噴霧する吸収液量が増加し、 SO_2 、ダスト、および $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子との接触頻度が上昇したことが要因と考えられる。

湿式脱硫装置では、 SO_2 の発生量に対して排出量が規制値以下になるように運転を行っており、L/Gを高くし SO_2 除去率を高めることで、ダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率も高くなることが明らかとなった。

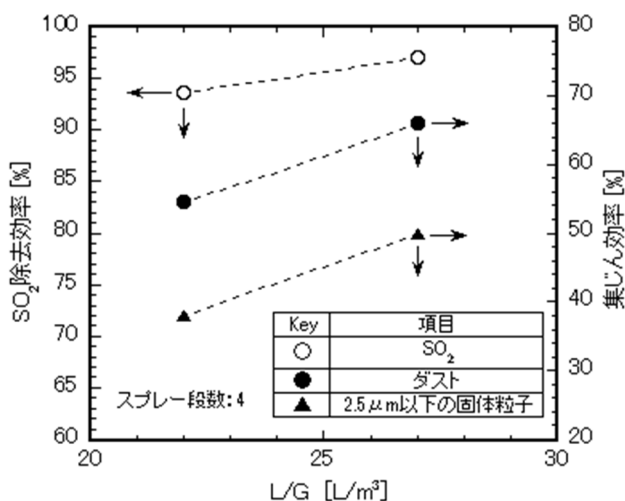


図4.1.3 L/Gと SO_2 除去効率および集じん効率との関係

5. 本研究により得られた主な成果

(1) 科学的意義

我が国の大型ばい煙発生施設においては、高性能な排煙処理装置が導入されている。これらの装置に関して、排ガス中ダストの集じん性能の把握はされているが、排ガス中の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に特化して集じん性能を解明した事例はあまり見られない。

本研究では、石炭燃焼試験設備において発生する燃焼排ガスを用い、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子濃度を直接測定できるバーチャルインパクトや、ダストの粒子径分布を測定するアンダーセンスタックサンプラおよびロープレッシャーインパクトを用いることで、電気集じん装置、バグフィルタ、湿式脱硫装置における $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん性能を評価した。

電気集じん装置においては、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率や、その効率に及ぼす荷電条件や操作温度の影響を検討し、電気集じん装置が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の除去にも非常に有効であること、ならびにダストの集じん性能が高くなる操作条件ほど、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出抑制効果も高いことを明らかにした。

バグフィルタでは、ダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子ともに高性能で除去できており、数百時間程度までのフィルタの使用時間の範囲では、集じん効率に大きな差異は生じないことが明らかになった。

湿式脱硫装置は、排煙処理装置において $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の除去に寄与していることを明らかにした。

既存の排煙処理装置はダストや SO_2 の除去に対して性能が高くなるよう運用されているが、本研究は、それらの運用が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出抑制にも有効であることを科学的にデータで示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究で得られた成果は、環境影響評価などにおいて、大型ばい煙発生施設の排煙処理装置の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する排出抑制効果に関する基礎的な知見として活用できる。また、地方公共団体等が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出抑制に対する現有の排煙処理装置の有効性について理解することに繋がる。

6. 研究成果の主な発表状況

(1) 主な誌上発表

特に記載すべき事項はない。

(2) 主な口頭発表（学会等）

- 1) 水野文菜、木本政義、山口哲正、野田直希、白井裕三：第59回大気環境学会年会(2018)

電気集じん装置における固体微小粒子の集じん特性に及ぼす石炭性状および荷電条件の影響

- 2) 水野文菜、木本政義、野田直希、山口哲正、白井裕三：第36回エアロゾル科学・技術研究討論会(2019)

電気集じん装置の粒子径別集じん特性に及ぼす操作温度の影響

7. 研究者略歴

研究代表者

木本 政義

金沢大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、現在、(一財)電力中央研究所上席研究員

研究分担者

- 1) 伊藤 茂男 (平成29年4月～平成29年6月)

京都大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、現在、(一財)電力中央研究所研究アドバイザー

- 2) 白井 裕三 (平成29年7月～)

名古屋大学工学部卒業、博士(工学)、現在、(一財)電力中央研究所研究参事、群馬大学理工学部客員教授

- 3) 山口 哲正

京都大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、現在、(一財)電力中央研究所上席研究員

- 4) 野田 直希

名古屋大学大学院工学研究科修了、博士(工学)、現在、(一財)電力中央研究所上席研究員

- 5) 水野 文菜

名古屋大学大学院工学研究科修了、現在、(一財)電力中央研究所主任研究員

II. 成果の詳細

II-1 大型ばい煙発生施設の排煙処理装置におけるPM2.5の除去特性に関する研究

一般財団法人電力中央研究所

エネルギー技術研究所	火力運用保守領域	木本	政義
エネルギー技術研究所		伊藤	茂男(平成29年4月～平成29年6月)
エネルギー技術研究所	火力運用保守領域	白井	裕三(平成29年7月～)
エネルギー技術研究所	火力運用保守領域	山口	哲正
エネルギー技術研究所	火力運用保守領域	野田	直希
エネルギー技術研究所	火力運用保守領域	水野	文菜

平成29年度～令和元年度研究経費（累計額） 72,771千円

（平成29年度：24,668千円、平成30年度：23,435千円、令和元年度：24,668千円）

[要旨]

PM2.5に影響を及ぼす固定発生源の一つとして、大型ばい煙発生施設が挙げられている。我が国の大型ばい煙発生施設では、排煙処理装置の導入が進み、高度な環境保全対策が行われている。集じん対策としては、電気集じん装置やバグフィルタが採用されており、硫黄化合物の除去のために設置された湿式脱硫装置にも集じん効果がある。しかし、PM2.5に関わりが深いと考えられている排ガス中の粒子径2.5 μ m以下の固体粒子(固体粒子として存在するダストのうち、50%分級径が空気動力学径2.5 μ mの分級装置を通過する粒子)に対しては、それらの装置における集じん性能は十分に解明されてはおらず、しかもその集じん特性は装置の操作条件によって大きく変化すると考えられている。

本研究では、石炭燃焼試験設備において燃焼排ガスを発生させ、電気集じん装置、バグフィルタ、および湿式脱硫装置を対象とし、各装置の2.5 μ m以下の固体粒子に対する集じん性能を明らかにした。さらに、各装置の集じん性能への影響が大きい操作条件として、電気集じん装置については荷電条件や操作温度、バグフィルタについてはろ布使用経過時間、湿式脱硫装置については噴霧吸収液量と処理ガス量との比率が、2.5 μ m以下の固体粒子の集じん性能に及ぼす影響を明らかにした。これらの結果から、既存の大型ばい煙発生施設の排煙処理装置は、2.5 μ m以下の固体粒子の排出抑制に対しても有効であるとの知見を得た。

[キーワード]

PM2.5、電気集じん装置、バグフィルタ、湿式脱硫装置、集じん特性

1. はじめに

大気中PM2.5への関心が高まる中、わが国では環境基準値の達成率改善に向けた検討が進められている。その中で、PM2.5濃度に影響を及ぼす固定発生源の一つとして、大型ばい煙発生施設が挙げられている。わが国の大型ばい煙発生施設では、既に高度な環境保全対策が講じられており、ダストや硫黄酸化物等の環境汚染物質の排出濃度は排出基準を遵守した低いレベルとなっている。大型ばい煙発生施設における集じん技術としては、主に電気集じん装置やバグフィルタが採用されている。また、排ガス中の硫黄化合物の除去のために設置された湿式脱硫装置には集じん効果があり、電気集じん装置等との組み合わせによる複合的な集じん効果によって、大気へのダストのさらなる排出抑制が可能となっている。これら装置の集じん特性に関しては、これまでに様々な検討が行われ、大型ばい煙発生施設では、ダストの大気排出抑制に対して最も効果的な条件で運転されている。しかし、PM2.5への寄与が大きいとされる2.5 μ m以下の固体粒子（排ガス中で固体として存在するダストのうち、50%分級径が空気動力学径2.5 μ mの分級装置を通過するもの）に対しては、電気集じん装置やバグフィルタならびに、それら

集じん装置に湿式脱硫装置を組み合わせた場合の大気への排出抑制効果は未だ十分に把握されていない。PM2.5と関わりの深い大型ばい煙発生施設からの2.5 μm 以下の固体粒子の排出についての地方公共団体等の理解を促進するためには、既に採用されている排煙処理装置の2.5 μm 以下の固体粒子の大気への排出抑制効果を整理することが重要である。

2. 研究開発目的

本研究では、大型ばい煙発生施設での集じん対策として広く採用されている電気集じん装置、バグフィルタ、および湿式脱硫装置を対象とし、石炭燃焼排ガスを用いて、2.5 μm 以下の固体粒子に対する集じん特性を明らかにする。また、集じん効率等に大きく影響する電気集じん装置の荷電条件や操作温度、バグフィルタのろ布使用経過時間、湿式脱硫装置の吸収液量と処理ガス量の比率などの装置の操作条件が2.5 μm 以下の固体粒子の除去特性等に及ぼす影響を明らかにする。併せて、電気集じん装置やバグフィルタにおけるダストの集じん性能および、湿式脱硫装置の硫黄酸化物(SO_2)の除去性能と、各装置の2.5 μm 以下の固体粒子に対する集じん性能との比較を行い、ダストや硫黄酸化物の除去に効果的な条件で運転している現状の大型ばい煙発生施設における環境保全対策に関して、2.5 μm 以下の固体粒子の大気への排出抑制技術としての有効性を把握する。

なお、大型ばい煙発生施設から排出される物質のうち、2.5 μm 以下の固体粒子のほかにPM2.5濃度に影響するものとして、大気との冷却混合によってガス成分が粒子化する凝縮性ダストや大気中で窒素酸化物等から生成される二次粒子が挙げられている。これらに対する検討も重要であるが、凝縮性ダストについては国内で固定発生源を対象とした測定法が未だ検討段階であること、二次粒子は発生源から離れた場所で生成して気象条件等の影響も受けることから、本検討では、排ガス中の2.5 μm 以下の固体粒子のみを研究対象とした。

3. 研究開発方法

本研究では、大型ばい煙発生施設の一つである微粉炭燃焼施設を模擬した電力中央研究所横須賀地区設置の石炭燃焼試験設備を用いて石炭燃焼排ガスを発生させ、同設備に設置された電気集じん装置、バグフィルタ、湿式脱硫装置の2.5 μm 以下の固体粒子に対する集じん性能について検討を行った。試験装置、試験条件、測定項目と測定方法について、概要を以下に述べる。

3.1 試験装置

本検討に用いた石炭燃焼試験設備の概略を図3.1.1に示す。

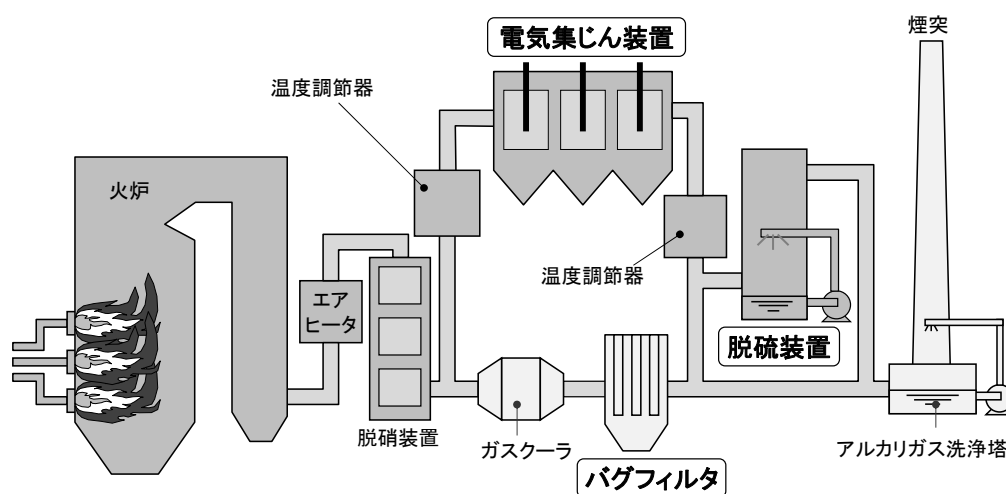


図3.1.1 石炭燃焼試験設備の概略

火炉は幅0.9m、奥行き1.9m、高さ9.5mの鋼板製縦型水冷炉で、微粉炭バーナが1m間隔で縦方向に3段で配置されている。石炭燃焼量は約300kg/h（バーナ1本あたり100kg/h）であり、定格負荷は2.39MW（無

水ベースの低位発熱量を基準)である。低NO_x燃焼を行うため、燃焼用空気の一部を火炉の後流から吹き込むことでバーナ近傍を還元雰囲気にしてNO_xの低減を図る二段燃焼法が採用されている。定格負荷時の排ガス量は約2,700 m³_N/hであり、火炉内のガス滞留時間、排煙処理装置内の温度や滞留時間は、大型ばい煙発生施設の一つである微粉炭燃焼施設と近い値になるように設計されている。

本設備では、排煙処理装置として電気集じん装置、バグフィルタ、湿式脱硫装置を備える。電気集じん装置と湿式脱硫装置は、試験用装置として設置されたものであり、バグフィルタはこれらの設備に通気しない際に排ガスを処理するための除害設備として設置したものである。したがって、バグフィルタでは、電気集じん装置や湿式脱硫装置に比べ、集じん性能などを調整するための操作条件は限られている。

各排煙処理装置においては、実機に比べ装置規模の違いによる性能差があるものの、電気集じん装置とバグフィルタにおける集じんの原理や湿式脱硫装置における脱硫の原理は大型ばい煙発生施設と共通である¹⁾。

石炭燃焼試験設備に使用されている電気集じん装置、バグフィルタおよび湿式脱硫装置の概要を以下に述べる。

(1) 電気集じん装置

電気集じん装置の概略を図3.1.2に、仕様を表3.1.1に示す。

本装置は、大型ばい煙発生施設で最も多く用いられている平板型乾式電気集じん装置である。装置の構成は、針状の放電極と板状の集じん極からなり、放電極は2枚の集じん極間の中心に設置されている。この放電極に負性の直流高電圧を印加するとコロナ放電によって放出されたイオンにより、気流中のダストは負に帯電する。負に帯電したダストはクーロン力により放電極から遠ざかり、集じん極に引きつけられ、最終的に集じん極に付着することにより捕集される。集じん極に堆積した粒子は、槌打装置を用いて集じん極に振動を与えることにより払い落とされ、集じん装置下部のホッパに集められる。本装置は、電流値制御方式となっており、集じん性能を調整するための荷電条件調整にあたっては電流密度（集じん面積あたりの電流値）を操作する。

電気集じん装置においては、従来、130～150℃で運転する低温形電気集じん装置が主流であったが、石炭灰の電気抵抗率が電気集じんに適した範囲よりも高くなる場合があり、その対策として、石炭灰の電気抵抗率が排ガス温度130～150℃よりも高温側と低温側で低下する性質を利用し、

350℃で運転する高温形電気集じん装置と90℃で運転する低低温形電気集じん装置が開発されて来た。このうち高温形電気集じん装置については、ガス温度の上昇に伴い装置が大きくなること等の問題により、近年ではほとんど採用されておらず、最新の施設では大半が低低温形電気集じん装置を採用するようになっている。本実験設備では、電気集じん装置の操作温度を低温形電気集じん装置(130℃)および低低温形電気集じん装置(90℃)の条件に設定できるよう、電気集じん装置の上流部に設置した温度

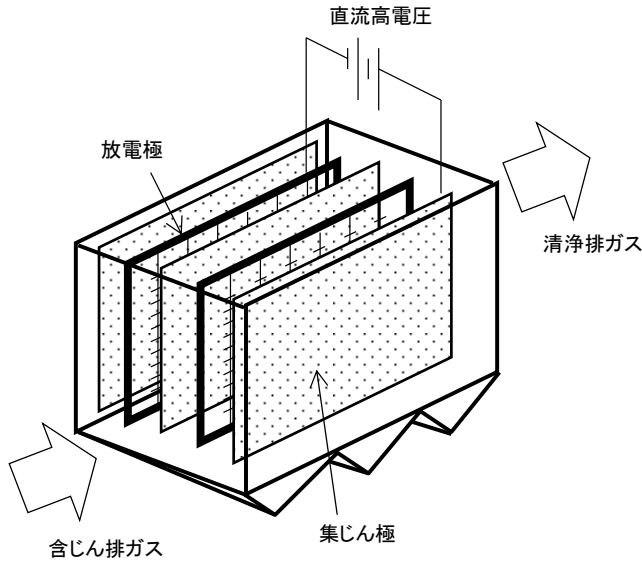


図3.1.2 電気集じん装置の概要

表3.1.1 電気集じん装置の仕様

排ガス処理量	m ³ _N /h	1,000(130℃時)
操作温度	℃	90～200
集じん面積	m ²	20.984(1,220mm×4,300mm×4 枚)
集じん極間隔	mm	400
ホッパ段数	段	4
ガス流速	m/s	0.39
装置内滞留時間	s	10.4
SCA ^{注)}	s/m	75.5

注) SCA(Specific Collection Area):処理ガス量に対する集じん極面積の割合

調節器により、排ガス温度の調整が可能になっている。電気集じん装置へ流入させる排ガスは、全排ガス量の約1/3を分岐するようになっている。

(2) バグフィルタ

バグフィルタの概略を図3. 1. 3に、主な仕様を表3. 1. 2に示す。バグフィルタには、ろ布が72本設置され、含じんガスをろ布の外側から内側に通過させることで、ろ布の表面で粒子を捕集する。バグフィルタは、時間の経過とともにろ布の表面に形成される粒子堆積層により圧力損失が高くなる。そのため、ろ布に堆積した粒子は、ろ布の内側から外側へ瞬間的に圧縮空気を流す逆洗操作により払い落とされ、装置下部のホップに集められる。ろ布の払落し方式は、圧力0.55 MPa、ガス量211 リットル/minの乾燥空気を用いるパルスジェット式であり、一定周期(1分間隔)で払落しを実施した。

バグフィルタに取り付けたろ布は、材質が耐熱ナイロンで、不織布(フェルト)のものを使用した。表3. 1. 3に、本研究で使

用したろ布の規格を示す。バグフィルタへの排ガス量は、電気集じん装置へ通気する場合に全排ガス量の約2/3となり、電気集じん装置へ通気しない場合には全排ガス量となる。今回のバグフィルタ試験時においては、電気集じん装置への排ガス系統は使用せず、全排ガスをバグフィルタへ流入させた。

本バグフィルタは、前述のように試験用設備としてではなく、燃焼排ガスの除害設備として設置したものであるため、ろ過面積は84 m²、最大処理ガス量は5,470 m³/h(排ガス温度145℃)と実際の処理ガス量に対し余裕を持った設計となっている。そのため、実際の処理ガス量に対するろ過面積が大きく、本研究でのバグフィルタの処理ガス量2,700 m³N/hでは、ろ過速度が0.54m/minと、不織布(フェルト)のろ布に適したろ過速度1~4 m/minの範囲よりも低速な条件となってしまう。そこで、72本のろ布のうち、48本のろ布の上部に蓋板を設置して塞ぎ、ろ過面積を1/3(ろ布本数：24本、ろ過面積：28m²)に減らすことで、ろ過速度を1.6m/minに上げて試験を行った。

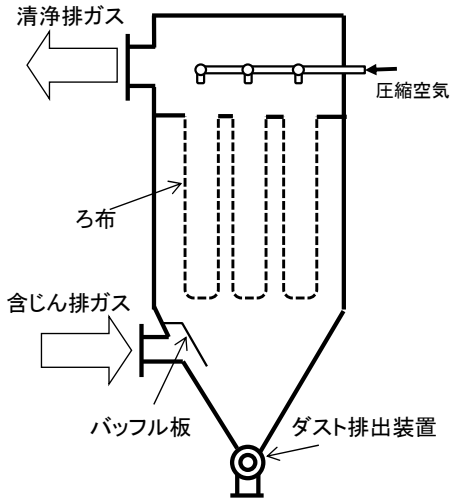


図3. 1. 3 バグフィルタの概略

表3. 1. 2 バグフィルタの仕様

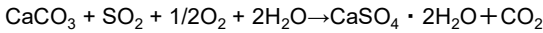
処理ガス量	最大 5,470 m ³ /h
ガス温度	110~145 °C
ろ過面積	84 m ²
入口ばいじん濃度	最大 20 g/m ³
出口ばいじん濃度	0.02 g/ m ³ 以下
圧力損失	2.0 kPa 以下
払い落とし空気(ドライエア)量	211 リットル/min, 圧力 0.55 MPa
ろ布	直径 156mm×長さ 2,475mm 72 本 材質:耐熱ナイロン

表3. 1. 3 ろ布の規格

項 目		規格
1	目付け重量 [g/m ²]	480±50
2	厚さ [mm]	1.5±0.3
3	通気度 [(cm ³ /s)/cm ²]	13±5

(3) 湿式脱硫装置

今回使用した湿式脱硫装置は、主に石灰石スラリーと排ガス中のSO₂を反応させ、SO₂を石膏（CaSO₄・2H₂O）として回収する石灰石石膏法が採用されている。反応式は、次式で表される。



湿式脱硫装置の概要を図3.1.4に、主な仕様を表3.1.4に示す。本装置は、電気集じん装置を通過した排ガスに、スプレーノズルから吸収液を噴射して接触させるスプレー方式を採用しており、現在主流の方式である吸収塔内に酸化空気を導入しSO₂の吸収と石膏の生成を同時に行う塔内酸化方式となっている。吸収液は塔底部の攪拌機により常時攪拌されており、循環ポンプにより汲み上げられ、計4段のスプレーノズルから噴射される。吸収液のpHは循環ラインに設置されたpH計により常時監視されている。吸収液のpHは、所定濃度に調整した石灰石スラリーを補充することで設定値5.0に制御される。過剰な吸収液は排出され、石灰成分は石膏として回収される。

湿式脱硫装置では、装置入口のSO₂濃度に対して目標とする出口濃度になるように吸収液量と処理ガス量の比率(L/G [リットル/m³])を調整する。電気集じん装置通過後の排ガスに残存した粒子は、湿式脱硫装置で噴霧された液滴に接触して捕集される。

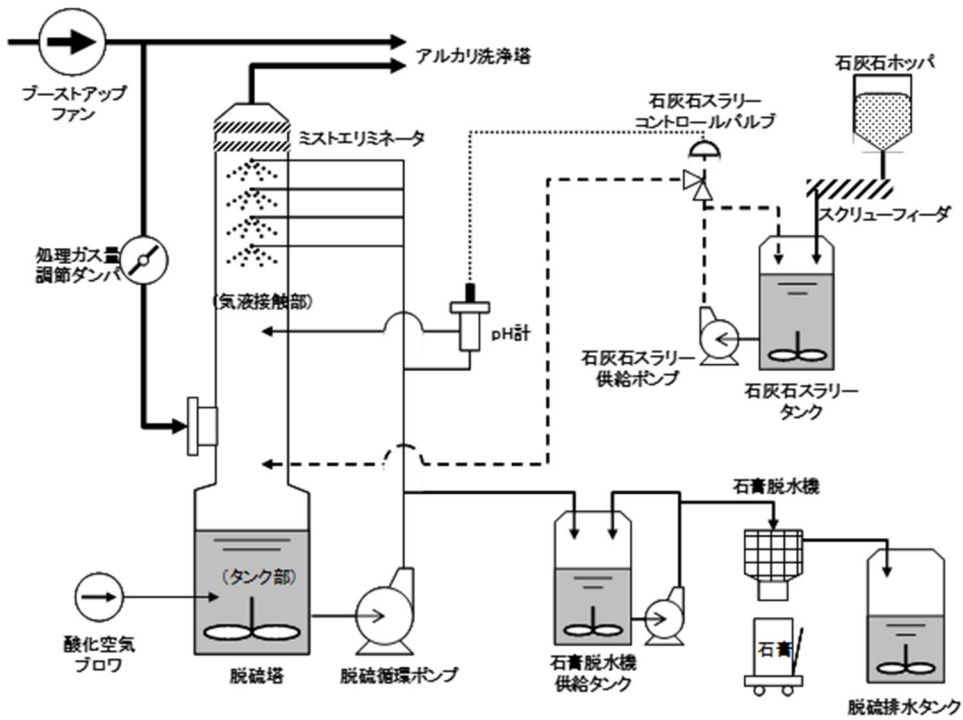


図3.1.4 湿式脱硫装置の概略

表3.1.4 湿式脱硫装置の主な仕様

脱硫方式		湿式石灰石膏法
システム		1塔型(スート混合方式)
気液接触方法		スプレー式 (4段)
脱硫塔容量	m ³	気液接触部 1.3
	m ³	タンク部 1.7
処理ガス量G	m ³ N/h	750
処理ガス温度	℃	90
循環流量L	m ³ /h	9～23
気液比L/G	ℓ-吸収液/ m ³ N-排ガス	12～30

3.2 供試炭

本研究で使用した石炭の性状を表3.1.5に示す。これらの炭種は、大型の微粉炭燃焼施設で広く利用されている瀝青炭に属している。本研究では、A炭を基準炭とし、ロットの異なるA炭を区別するため、A2炭、A3炭と表記した。電気集じん装置の集じん性能に影響するダストの電気抵抗率に関連深い灰組成(NaやKなどの灰分中の含有率)がA炭と異なる炭種として、B炭およびC炭を選定した。

表3.1.5 供試炭性状

項 目			単位	A炭	B炭	C炭	A2炭	A3炭
工業分析	水分	到着	wt%	11.8	10.4	23.3	7.8	5.4
		気乾	wt%	4.3	3.4	15.1	2.3	2.7
	灰分	無水	wt%	12.1	15.6	6.1	12.7	12.2
	揮発分	無水	wt%	35.5	28.4	47.4	33.7	36.5
	固定炭素	無水	wt%	52.4	56.0	46.5	53.6	51.3
	燃料比	-	-	1.48	1.97	0.98	1.59	1.41
元素分析	炭素	無水	wt%	71.8	70.9	67.9	73.0	73.9
	水素	無水	wt%	4.9	4.2	5.1	4.6	5.0
	窒素	無水	wt%	1.8	1.5	1.1	1.8	1.7
	酸素	無水	wt%	9.0	7.7	19.8	7.5	6.7
	全硫黄	無水	wt%	0.55	0.33	0.12	0.46	0.49
高位発熱量		無水	kJ/g	29.8	28.9	27.4	29.8	30.4
低位発熱量		無水	kJ/g	28.7	28.0	26.3	28.7	29.3
灰組成	二酸化ケイ素 (SiO ₂)		wt%	62	47	39	67	63
	酸化アルミニウム (Al ₂ O ₃)		wt%	24	34	31	22	25
	酸化第二鉄 (Fe ₂ O ₃)		wt%	5.4	5.4	7.5	3.6	3.5
	酸化カルシウム (CaO)		wt%	1.5	5.0	6.5	1.5	2.8
	酸化マグネシウム (MgO)		wt%	0.9	1.0	2.0	0.6	1.1
	酸化チタン (TiO ₂)		wt%	1.2	1.7	1.3	1.0	1.2
	五酸化リン (P ₂ O ₅)		wt%	0.2	1.3	0.4	0.3	0.3
	酸化ナトリウム (Na ₂ O)		wt%	0.3	0.6	2.3	0.4	0.6
	酸化カリウム (K ₂ O)		wt%	1.3	0.6	0.5	1.3	1.2
	三酸化硫黄 (SO ₃)		wt%	0.7	1.8	4.7	0.8	0.8

3.3 試験条件

石炭燃焼排ガスの発生においては、火炉の定格負荷にて石炭を燃焼させた。燃焼用空気条件として、過剰酸素濃度(火炉出口での排ガス中酸素濃度)を4%、二段燃焼率(燃焼用空気に対する二段燃焼用空気の割合)を30%とした。

(1) 電気集じん装置を用いた試験

電気集じん装置の集じん性能に大きく影響を及ぼす操作条件として、電流密度と操作温度を変化させた。電流密度を上げた場合のダストの集じん効率、電流密度が0.3 mA/m²を超えるとほとんど変化しなくなることから、電流密度については0.3 mA/m²を基準条件とした。操作温度については、低温形電気集じん装置の条件である130℃を基準条件とし、電気集じん装置へ流入させる排ガス量は、この温度で1,000 m³N/hとなるように設定した。

これらの基準条件にて、3炭種(A炭、B炭、C炭)を用い、電気集じん装置の基本的な集じん特性を評価した。2.5 μm以下の固体粒子の集じん性能に及ぼす電流密度の影響評価においては、A炭にて操作温度を130℃一定とし、集じん性能を変化させるために電流密度を低くする操作を行い、電流密度が0.1、0.2、0.3 mA/m²の3条件で比較した。2.5 μm以下の固体粒子の集じん性能に及ぼす操作温度の影響評価においては、近年導入が進められている低低温形電気集じん装置(90℃)と従来型の低温形電気集じん装置(130℃)の温度範囲で操作温度を変化させ、A2炭にて電流密度を0.3 mA/m²一定とし、操作温度が90℃、110℃、130℃の3条件で比較した。操作温度を変化させた場合、電気集じん装置内での排ガスの

滞留時間を同一にするため、操作温度90℃と110℃の場合は、操作温度130℃で1,000 m³N/hの排ガス量に対し、排ガス温度の違いを補正して排ガス量を設定した。

(2) バグフィルタを用いた試験

バグフィルタは、使用時間の経過に伴い、ダストの集じん性能が高くなる。そこで、ろ布の使用経過時間が2.5 μm以下の固体粒子の集じん性能に及ぼす影響を評価した。本研究によるバグフィルタへの通気時間は、1回の試験当たり20時間程度であるため、本研究以外の燃焼試験でも通ガスすることで、バグフィルタの稼働時間を増やすようにした。その結果、ろ布を新品に交換した時、新品ろ布を取り付けてから約1年後(実績としてろ布使用経過時間330時間)、および約2年後(実績としてろ布使用経過時間545時間)の計3条件で集じん効率を比較した。

(3) 湿式脱硫装置を用いた試験

湿式脱硫装置を用いた試験においては、電気集じん装置を通過後のガスのうち、750 m³N/hを湿式脱硫装置に通気した。本設備の湿式脱硫装置は、脱硫スラリー循環量と処理ガス量の比率(L/G)が22、スプレー段数が4段を基本的な運転仕様としており、本研究ではこの条件を基準条件とした。脱硫性能はL/Gで変化し、排ガス中の粒子は排ガス中に噴霧された液滴に接触して捕集されるため、L/Gの変化がダストや2.5μm以下の固体粒子の集じん特性にも大きく影響すると考えられる。L/Gの設定値に応じて使用可能なスプレー段数が異なることから、スプレー段数が4段の場合にL/Gを27、22の2条件、スプレー段数が3段の場合にL/Gを22、17の2条件で変化させて比較した。

3.4 測定項目と測定方法

本試験では、各装置の入口および出口において、排ガス中のダスト濃度、ダストの粒子径分布、および2.5μm以下の固体粒子濃度を測定した。また、湿式脱硫装置を対象とした試験では、脱硫性能と集じん性能の関係を検討するため、装置の入口と出口にてSO₂濃度を測定した。測定方法を以下に示す。

(1) ダスト濃度

排ガス中のダスト濃度の測定は、JIS Z8808「排ガス中のダスト濃度の測定方法」に基づき、実施した。煙道内の排ガスを等速吸引してガス中のダストをフィルタで捕集し、捕集ダスト量と吸引ガス量から排ガス中のダスト濃度を求めた。本試験での測定では、ダスト捕集部を煙道内に挿入する方式(JIS I形)とし、装置入口の測定では円筒ろ紙を、装置出口の測定では円形ろ紙を用いてダストを捕集した。ダストの集じん効率は、装置入口濃度と装置出口濃度の差分の装置入口濃度に対する比率で求めた。

(2) ダストの粒子径分布

排ガス中ダストの粒子径分布の測定は、JIS K0302「排ガス中のダスト粒径分布の測定方法」に基づき、慣性衝突分離方式を採用したアンダーセンスタックサンプラ(ASS)と、分級を低圧力条件下で行うことで分級径を小さくしたロープレッシャーインパクト(LPI)を用いて実施した。ASSおよびLPIの分級原理を図3.1.5に示す。ASSとLPIは、分級板を多段に複数配列した構造であり、ジェットノズルを通過した気流は、下段側の分級板が障害となつて方向が変わり、その際に気流に追従できない粒子は、慣性力で気流から外れて捕集板に衝突・捕集される。分級板のジェットノズルの径は上流から下流になるに従い小さくなるので、ジェットノズルを通過する気流の速度は下流になる程増大し、分級板が下流になるほど捕集される粒子は小さくなる。各段で捕集され

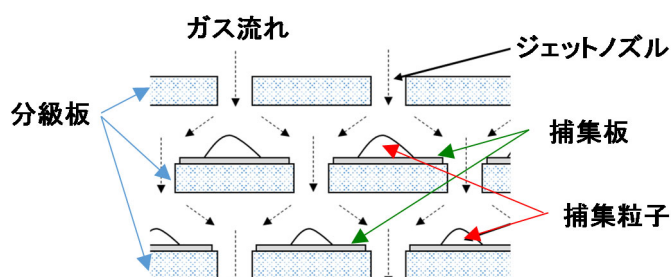


図3.1.5 ASSおよびLPIにおける分級原理

た粒子の重量と各段の分級径の関係から排ガス中ダストの粒子径分布が求められる。

装置入口と出口での粒子径分布の測定結果から得られる粒子径毎の頻度にダスト濃度を乗じること
で粒子径毎の装置入口と出口のダスト濃度を求め、その差分の装置入口濃度に対する比率により、その
粒子径範囲での集じん効率を求めた。粒子径範囲での最大粒子径と最小粒子径の対数平均径を代表径と
し、代表径と集じん効率のプロットにより、粒子径別の集じん効率、すなわち部分集じん効率が得られ
る。

(3) 2.5 μm 以下の固体粒子濃度

2.5 μm 以下の固体粒子の濃度は、JIS Z7152「バーチャルインパクトによる排ガス中のPM10/PM2.5質
量濃度測定方法」により測定した。バーチャルインパクトでの分級は、ASSやLPIと同様に慣性によりガ
スから粒子を分離する原理に基づく。原理図を図3.1.6に示す。粒子加速ノズルと粒子捕集ノズルが同
軸で配置されており、粒子加速ノズルを通過したサンプルガスは、その一部が粒子捕集ノズルの方向に
流れ込む。粒子捕集ノズルへの吸引流量は全流量の10%程度であり、主流は粒子捕集ノズルを迂回して
次の分級部へ流入する。その結果、主流の方向が変わる際に気流に追従できない大きい粒子は捕集ノズ
ルに入り、フィルタに集められ、気流に追従する小さい粒子は、次の分級部に移動する。

排ガス用のバーチャルインパクトの分級部（粒子加速ノズル、粒子捕集ノズル、粒子捕集部）の写
真を図3.1.7に示す²⁾。今回用いた排ガス用バーチャルインパクト（東京ダイレック製VI-PM2.5）は、こ
の分級部が二段で構成されており、所定のガス量で吸引した際に、一段目の分級径が空気動力学径
10 μm 、二段目の分級径が空気動力学径2.5 μm となるように設計されている。各段で分級された粒子は粒
子捕集部のフィルタで回収され、二段目の分級部を通過した粒子はバックアップフィルタで捕集され
る。二つの分級段での粒子捕集部とバックアップフィルタによる粒子捕集部は、独立した3系統の吸引
ラインとなっている。2.5 μm 以下の固体粒子濃度は、二段目の分級部を通過後に捕集された粒子重量と
全吸引ガス量から求めた。2.5 μm 以下の固体粒子の集じん効率は、装置入口濃度と装置出口濃度の差分
の装置入口濃度に対する比率で求めた。

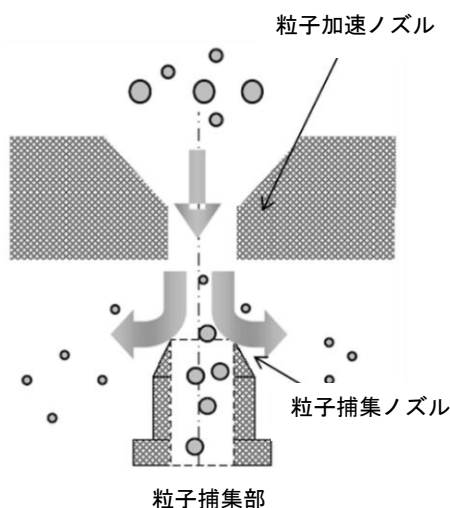


図3.1.6 バーチャルインパクトの分級原理

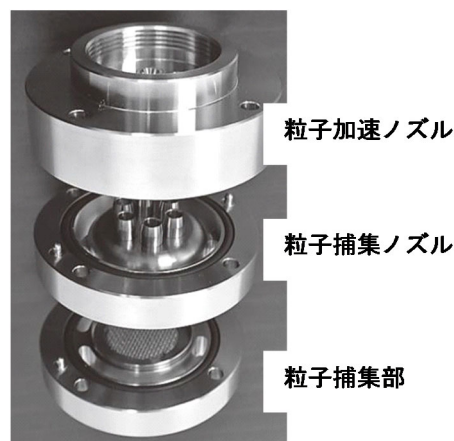


図3.1.7 分級部の基本構成²⁾

(4) SO₂濃度

Testo社製の燃焼排ガス分析計（型式：Testo350）によりSO₂濃度を測定した。本装置は、電気式ガスセ
ンサを使用したポータブル燃焼排ガス分析計で、SO₂の測定は、定電位電解法に基づく。SO₂の除去効率
は、湿式脱硫装置の入口と出口におけるSO₂濃度の差分の装置入口のSO₂濃度に対する比率で求めた。

4. 結果及び考察

4.1 電気集じん装置の集じん特性

(1) 2.5μm以下の固体粒子の集じん特性

3炭種における基準条件での電気集じん装置の入口と出口のダスト濃度と2.5μm以下の固体粒子濃度の測定結果を表4.1.1に示す。これらの測定結果から求めたダストの集じん効率は、A炭で98.8%、B炭で99.1%、C炭で99.5%であり、2.5μm以下の固体粒子の集じん効率は、A炭で93.3%、B炭で96.6%、C炭で98.4%であった。いずれの炭種でも2.5μm以下の固体粒子の集じん効率はダストの集じん効率よりも低いものの、最も低い炭種でも93%以上であり、電気集じん装置は、2.5μm以下の固体粒子の集じんにも有効であることがわかった。

各炭種の部分集じん効率を図4.1.1に示す。最小値でも90%以上の集じん効率を示すことが確認された。

表4.1.1 3炭種における測定結果

炭種	ダスト濃度 [mg/m ³ _N]		2.5μm以下の固体粒子 濃度 [mg/m ³ _N]	
	EP入口	EP出口	EP入口	EP出口
A炭	3100	36	210	14
B炭	3200	28	350	12
C炭	640	3.4	73	1.2

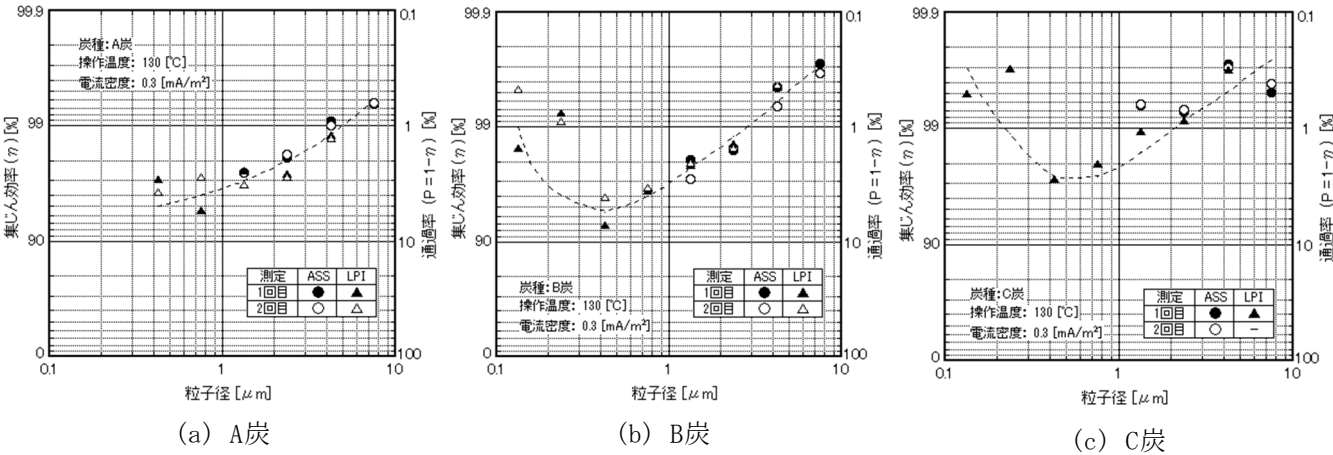


図4.1.1 3炭種における部分集じん効率

電気集じん装置の集じん性能には、石炭灰の電気抵抗率が大きく影響する。石炭灰の電気抵抗率には、温度が一定の場合には、排ガス性状(水分やSO₃)や灰組成が影響する。当所はこれまでの既往の研究にて、灰組成における主な成分としてナトリウム(Na)とカリウム(K)に着目し、Na含有率とK含有率を組み合わせた評価因子とダストの集じん効率との関係を調べており、排ガス中の水分とSO₃の濃度がほぼ等しい条件では、2×Na含有率[mmol/g-ash]+K含有率[mmol/g-ash]で算出される評価因子2Na+K [mmol/g-ash]がダストの集じん効率と良好な関係を示すことを明らかにしている³⁾。そこで、本研究でもこの評価因子を用いて、ダストの集じん効率および2.5μm以下の固体粒子の集じん効率との関係について整理した。結果を図4.1.2に示す。

ダストの集じん効率については、これまでの知見の通り、ダストの灰組成分析値から算出した評価因子2Na+Kの増加に伴い上昇する関係となることが確認された。2.5μm以下の固体粒子の集じん効率は、ダストの集じん効率に比べて低くなるものの、同じ評価因子に対して同様の関係となっており、2.5μm以下の固体粒子の集じん効率に及ぼす炭種の影響についても、ダスト中のNaとKの含有率と良好な関係を持つことがわかった。

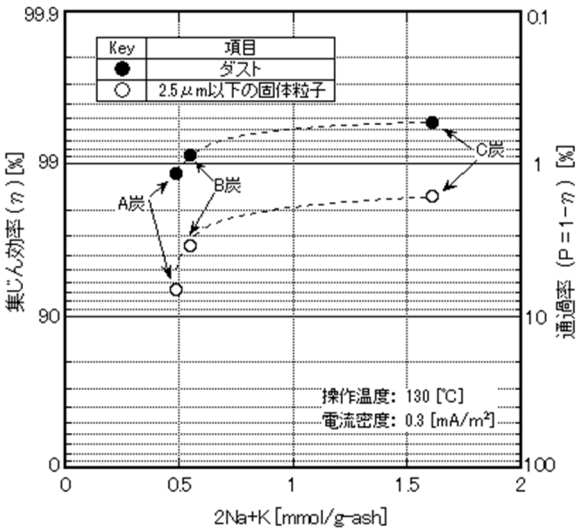


図4.1.2 評価因子2Na+Kと集じん効率の関係

(2) 2.5 μm 以下の固体粒子の集じん特性に及ぼす操作条件の影響

a) 荷電条件の影響

表4.1.2に、電流密度を変化させた場合の電気集じん装置の入口と出口におけるダスト濃度と2.5 μm 以下の固体粒子濃度の測定結果を示す。電流密度0.3 mA/m^2 時の測定結果については、表4.1.1に示したデータと共通である。

表4.1.2 電流密度変化試験における測定結果

電流密度 [mA/m^2]	ダスト濃度 [$\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$]		2.5 μm 以下の固体粒子 濃度 [$\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$]	
	EP入口	EP出口	EP入口	EP出口
0.1	3100	72	210	25
0.2		50		16
0.3		36		14

ダストおよび2.5 μm 以下の固体粒子の集じん効率と電流密度の関係を図4.1.3に示す。ダストの集じん効率は、既往の知見の通り⁴⁾、電流密度の増加に伴い上昇した。2.5 μm 以下の固体粒子の集じん効率については、ダストの集じん効率よりも低くなるものの、電流密度の増加に伴い上昇する特性はダストの集じん効率と共通した特性となることがわかった。図4.1.4に示した部分集じん効率においても、電流密度の増加に伴い、2.5 μm 以下の粒子径範囲全体で集じん効率が高くなることが明らかになった。ダストの集じん効率が高くなる電流密度の条件は、2.5 μm 以下の固体粒子にも有効であることがわかった。

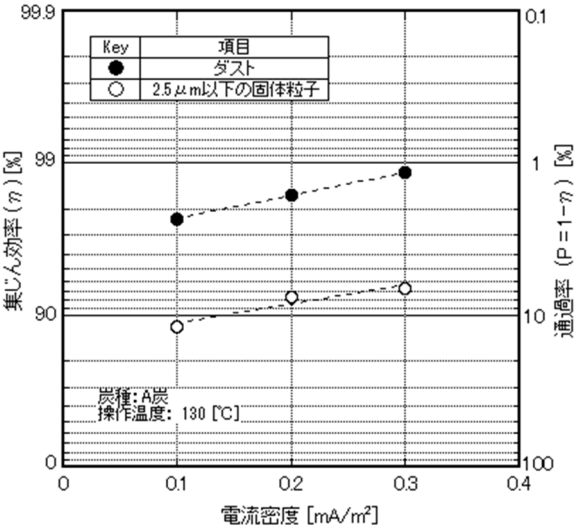


図4.1.3 電流密度と集じん効率の関係

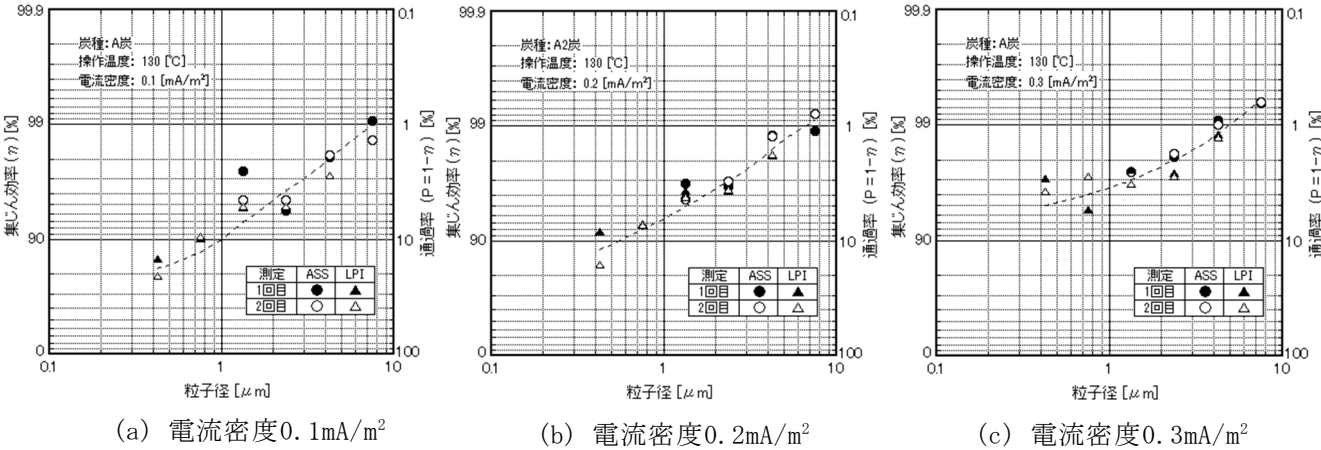


図4.1.4 各電流密度における粒子径別の集じん効率

b) 操作温度の影響

表4.1.3に、電気集じん装置の操作温度を変えた場合の電気集じん装置の入口と出口におけるダスト濃度と2.5 μm 以下の固体粒子濃度の測定結果を示す。また、ダストおよび2.5 μm 以下の固体粒子の集じん効率と操作温度の関係を図4.1.5に示す。

表4.1.3 操作温度変化試験における測定結果

操作温度 [°C]	ダスト濃度 [mg/m ³ _N]		2.5μm以下の固体粒子 濃度 [mg/m ³ _N]	
	EP入口	EP出口	EP入口	EP出口
90	2800	19	310	5.8
110		36		17
130		52		14

ダストの集じん効率は、既往の知見の通り⁴⁾、操作温度の低下に伴い上昇した。2.5μm以下の固体粒子の集じん効率についても、ダストの集じん効率と同様に、2.5μm以下の固体粒子の集じん効率は操作温度の低下に伴い上昇する傾向となった。図4.1.6に示した部分集じん効率においても、操作温度の低下に伴い、2.5μm以下の粒子径範囲全体で集じん効率が上昇することが明らかになった。

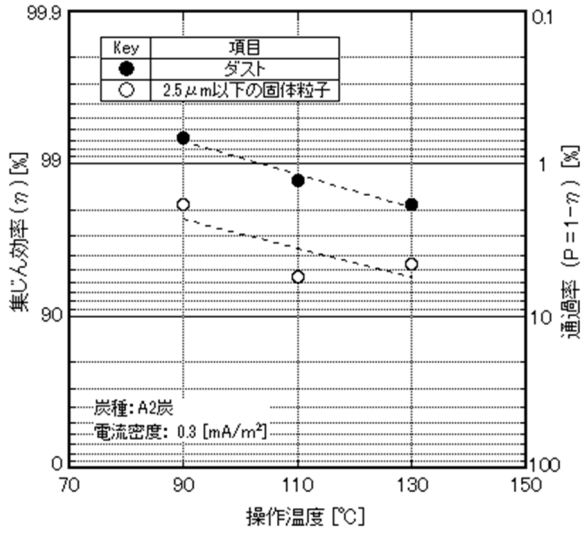


図4.1.5 操作温度と集じん効率の関係

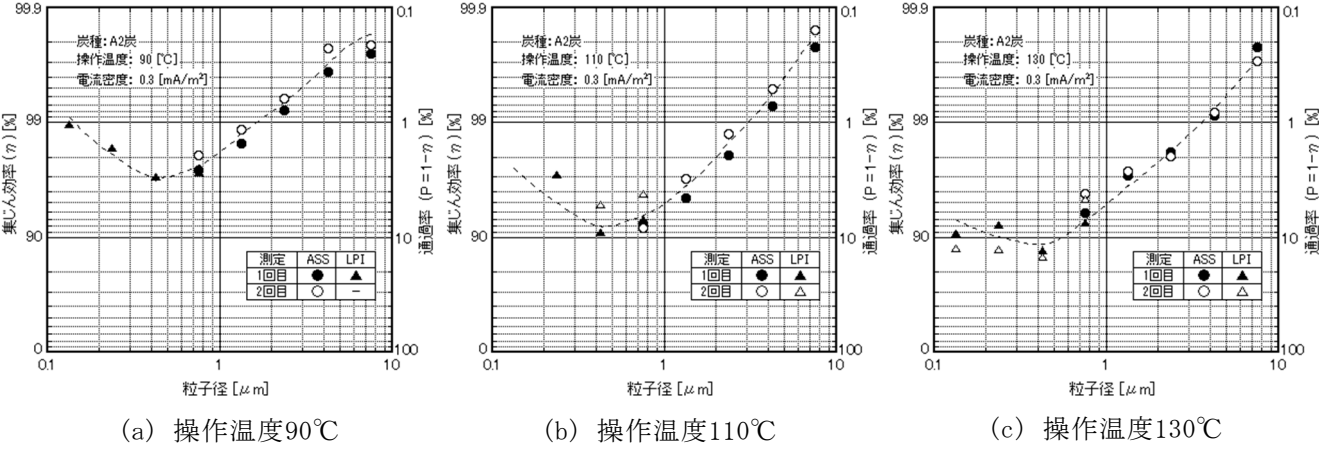


図4.1.6 各操作温度における粒子径別の集じん効率

本装置は電流値を一定にした制御をしており、排ガス温度を下げると排ガスの密度が大きくなり、放電電流が流れにくくなるため、印加電圧が高くなる。実験時における電気集じん装置の印加電圧は、図4.1.7に示すように、操作温度を下げたことにより増加しており、集じん効率が高くなった主たる要因の一つになっていると考えられる。

以上の結果から、ダストの集じん効率を高くする操作温度の条件は、2.5μm以下の固体粒子にも有効であることがわかった。

大型ばい煙発生施設における電気集じん装置は、処理対象ガスの組成や捕集対象ダストの組成等に合わせ、経済性も含めた上で効果的に集じんできる条件にて運転されている。本検討により、電気集じん装置の2.5μm以下の固体粒子に対する集じん特性は、ダストと同様な集じん特性であることが明らかになり、大型ばい煙発生施設の電気集じん装置は、2.5μm以下の固体粒子の集じんに対して、効果的な集じん対策となっていると考えられる。

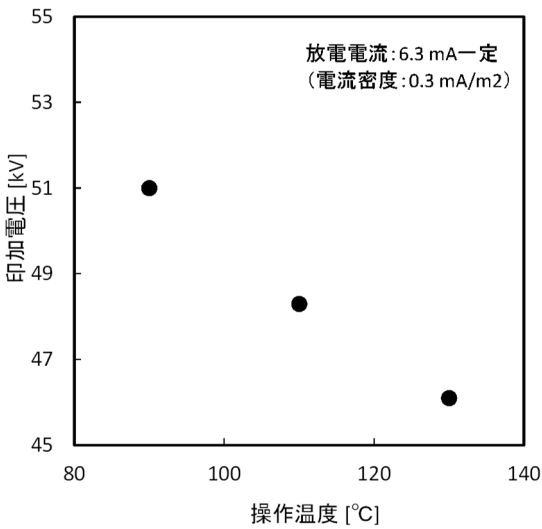


図4.1.7 操作温度と印加電圧の関係

4.2 バグフィルタにおける集じん特性

バグフィルタのろ布を新品に付け替えた後に経過した時間（0時間、330時間、545時間）毎のバグフィルタの入口および出口のダスト濃度と2.5 μ m以下の固体粒子濃度の測定結果を表4.1.4に示す。

表4.1.4 バグフィルタを用いた試験における測定結果

BFろ布条件	ダスト		2.5 μ m以下の固体粒子	
	入口濃度 mg/m ³ N	出口濃度 mg/m ³ N	入口濃度 mg/m ³ N	出口濃度 mg/m ³ N
新品ろ布使用時	4300	0.69	390	0.029
330時間使用経過後	4000	0.30	278	0.023
545時間使用経過後	4970	0.38	206	0.050

バグフィルタは、ろ布の選定により集じん性能を調整できることに加え、フィルタに捕集されたダストもろ過材の役割を果たすため、高濃度のダストを集じんした場合、初期から集じん効率は高くなる。ろ布にダストが堆積し、ダスト層が成長すると集じん性能が大きく向上する反面、圧力損失が大きくなるため、ある時間間隔で堆積ダストの払い落とし操作を行う。但し、払い落としにより、ろ布に堆積した粒子は完全に除去されるわけではなく、払い落としでも除去できない一部のダストはフィルタ内部や表面に付着したままとなり、一次付着層が形成される。この一次付着層は、払い落としを繰り返すことにより成長し、払い落とし直後の堆積ダスト層が無い状態での集じん性能が徐々に向上することが知られている⁴⁾。

新品ろ布使用時（使用経過時間0時間）においては、ダストの集じん効率は99.984%であり、2.5 μ m以下の固体粒子に対しても99.993%と非常に高い集じん効率を有することがわかった。

330時間使用経過後におけるダストの集じん効率は99.993%であり、545時間使用経過後における集じん効率は99.992%であった。今回の検討では、ダスト濃度が高い条件のため、集じんが行われている時間のほとんどで堆積ダスト層がある状態となり、新品のろ布、330時間使用経過後、545時間使用経過後のいずれにおいても、ほぼ同等の高い集じん効率になったものと考えられる。

2.5 μ m以下の固体粒子の集じん効率については、330時間使用経過後に99.992%、545時間使用経過後で99.976%となった。ダストの集じん効率と同様に、ろ布使用時間に関わらず、2.5 μ m以下の固体粒子に対しても高い集じん性能を維持していることが明らかになった。

大型ばい煙発生施設でのバグフィルタの運転においては、出口ダスト濃度や圧力損失を監視している。これは、フィルタの破損等による急激なダスト濃度の上昇や、ダストによるフィルタの目詰まり等に起因する圧力損失上昇や払い落とし不良などのトラブルを早期に適宜検知するためである。バグフィルタの性能維持のためのこのような厳密な管理は、2.5 μ m以下の固体粒子の排出を抑制する上でも有効であると考えられる。

4.3 湿式脱硫装置の集じん特性

電気集じん装置を通過した排ガスを用い、実機の脱硫率を想定し、脱硫効率(SO₂除去効率)が90%以上となる基準条件で、ダストおよび2.5 μ m以下の固体粒子の集じん効率を調べた。また、湿式脱硫装置では、出口SO₂濃度が排出規制値以下となるように、L/G（処理ガス量と噴霧吸収液量 循環液の比率）を調整している。そこで、集じん効率に及ぼすL/Gの影響についても調べた。

各試験条件でのSO₂濃度、ダスト濃度および2.5 μ m以下の固体粒子濃度の測定結果を表4.1.5に示す。

表4.1.5 湿式脱硫装置を用いた試験における測定結果

L/G [L/m ³]	スプレー 段数 [段]	1段当たり の噴霧量 [m ³ /h]	SO ₂ 濃度 [ppm]		ダスト濃度 [mg/m ³ N]		2.5 μ m以下の固体粒子 濃度 [mg/m ³ N]	
			装置入口	装置出口	装置入口	装置出口	装置入口	装置出口
27	4	5.0	298	9	9.1	3.1	4.4	2.2
22		4.1	285	18	9.7	4.4	4.2	2.6
22	3	5.5	311	28	8.6	4	3.8	1.6
17		4.3	289	36	8.5	5.1	3.5	1.7

本装置の基準条件であるL/Gが22、スプレー段数が4段の条件における脱硫効率(SO₂除去効率)は、94%と90%を超えており、電気集じん装置を通過したことで低いダスト濃度になった排ガスに対して、ダストの集じん効率は55%、2.5μm以下の固体粒子の集じん効率は38%であった。これらの結果から、湿式脱硫装置のダストに対する集じん効果が確認でき、2.5μm以下の固体粒子の集じんにも効果があることが示された。このことから、排煙処理装置においては電気集じん装置に加え、湿式脱硫装置も2.5μm以下の固体粒子の低減に寄与していることが明らかになった。

図4.1.8にL/G変更時におけるSO₂除去効率ならびにダストと2.5μm以下の固体粒子の集じん効率をスプレー段数毎に示す。いずれのスプレー段数でも、L/Gの増加によりSO₂除去率は上昇することが確認され、ダストの集じん効率も高くなった。2.5μm以下の固体粒子の集じん効率についても、ダストの集じん効率と同様に、L/Gの増加により高くなることがわかった。図4.1.9に、スプレー段数が4段の場合の部分集じん効率を示す。L/Gが大きい方が全粒子径範囲で集じん効率が高くなっていることが確認され、スプレー段数が3段の場合も同様の特性であった。

スプレー段数を同一にしてL/Gを増加させた場合、処理ガス量に対するスプレーから噴霧する吸収液量が増加し、SO₂、ダストおよび2.5μm以下の固体粒子との接触頻度が上昇したことが要因と考えられる。

湿式脱硫装置では、火炉でのSO₂の発生量に対して、大気への排出量が規制値以下になるように適切な条件で運転を行っており、L/Gを高くしSO₂除去率を高めることは、ダストおよび2.5μm以下の固体粒子の集じんにも効果があることが明らかになった。

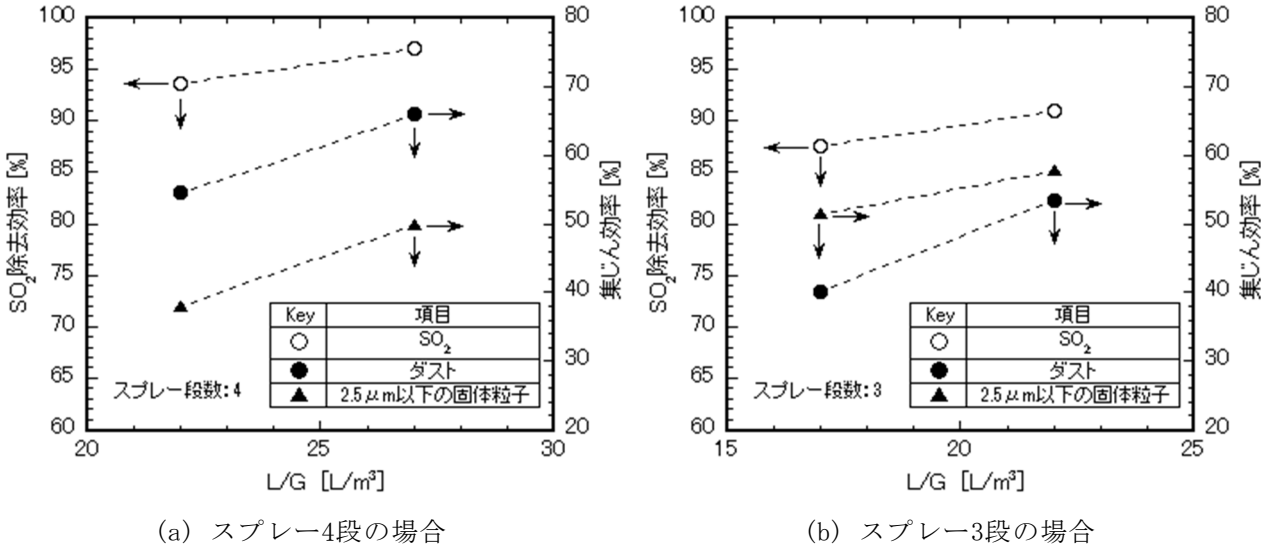


図4.1.8 L/GとSO₂除去効率および集じん効率の関係

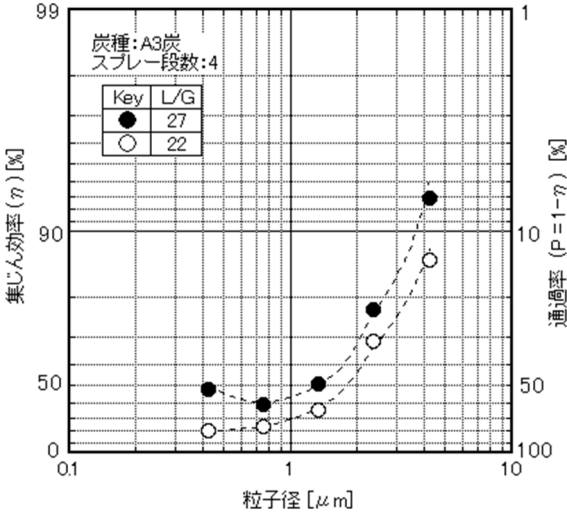


図4.1.9 L/G変更時の部分集じん効率の比較

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

我が国の大型ばい煙発生施設においては、高性能な排煙処理装置が導入されている。これらの装置に関して、排ガス中ダストの集じん性能の把握はされているが、排ガス中の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に特化して集じん性能を解明した事例はあまり見られない。

本研究では、石炭燃焼試験設備において発生する燃焼排ガスを用い、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子濃度を直接測定できるバーチャルインパクトや、ダストの粒子径分布を測定するアンダーセンスタックサンプラおよびロープレッシャーインパクトを用いることで、電気集じん装置、バグフィルタ、湿式脱硫装置における $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん性能を評価した。

電気集じん装置においては、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の集じん効率や、その効率に及ぼす荷電条件や操作温度の影響を検討し、電気集じん装置が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の除去にも非常に有効であること、ならびにダストの集じん性能が高くなる操作条件ほど、 $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出抑制効果も高いことを明らかにした。

バグフィルタでは、ダストおよび $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子ともに高性能で除去できており、数百時間程度までのフィルタの使用時間の範囲では、集じん効率に大きな差異は生じないことが明らかになった。

湿式脱硫装置は、排煙処理装置において $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の除去に寄与していることを明らかにした。

既存の排煙処理装置はダストや SO_2 の除去に対して性能が高くなるよう運用されているが、本研究は、それらの運用が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出抑制にも有効であることを科学的にデータで示した。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

本研究で得られた成果は、環境影響評価などにおいて、大型ばい煙発生施設の排煙処理装置の $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子に対する排出抑制効果に関する基礎的な知見として活用できる。また、地方公共団体等が $2.5\mu\text{m}$ 以下の固体粒子の排出抑制に対する現有の排煙処理装置の有効性について理解することに繋がる。

6. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

7. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) 水野文菜、木本政義、山口哲正、野田直希、白井裕三：第 59 回大気環境学会年会(2018)

電気集じん装置における固体微小粒子の集じん特性に及ぼす石炭性状および荷電条件の影響

- 2) 水野文菜、木本政義、野田直希、山口哲正、白井裕三：第36回エアロゾル科学・技術研究討論会 (2019)

電気集じん装置の粒子径別集じん特性に及ぼす操作温度の影響

(3) 知的財産権

特に記載すべき事項はない。

(4) 「国民との科学・技術対話」の実施

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。

8. 引用文献

- 1) 電力中央研究所報告：“石炭燃焼特性実証試験装置の機能と燃焼・排煙処理特性”，研究報告 W03025 (2004)
- 2) 東充延：煙道用PM2.5濃度測定装置「バーチャルインパクトVI-PM2.5」，JETI，2013，Vol.61，No.14，pp100-103
- 3) 野田直希，牧野尚夫，葛西慎一，中村秀樹：“微粉炭火力用低低温電気集じん装置の集じん性能に及ぼす石炭と石炭灰性状の影響”，粉体工学会誌，Vol.50，No.2，pp.100-107 (2013)
- 4) 金岡千嘉男，牧野尚夫：はじめての集じん技術，日刊工業新聞社

III. 英文Abstract

Investigation on Removal Characteristics of PM_{2.5} in Flue Gas Treatment Equipment of Large Scale Plant

Principal Investigator: Masayoshi KIMOTO

Institution: Central Research Institute of Electric Power Industry
(CRIEPI)

2-6-1 Nagasaka, Yokosuka-shi, Kanagawa 240-0196, JAPAN

Tel: +81-70-6568-9478 / Fax: +81-46-856-3346

E-mail: mkimoto@criepi.denken.or.jp

[Abstract]

Key Words: PM_{2.5}, Electrostatic precipitator, Bag filter, Wet desulfurization equipment, Dust collection characteristics

Large facilities that emit smoke and soot (Large scale plants) are stationary sources that contribute to PM_{2.5} pollution. At such facilities in Japan, flue gas treatment equipment is being introduced and advanced environmental protection measures are being taken. Dust collection measures include the use of an electrostatic precipitator and bag filter. Moreover, wet desulfurization equipment installed to remove sulfur compounds is also effective in dust collection. However, the ability of such equipment to collect solid particles with a diameter of 2.5 μm or less (among dust existing as solid particles, those particles where 50% of which pass through the classifier with an aerodynamic diameter of 2.5 μm) in exhaust gas, which is closely associated with PM_{2.5} pollution, is not well understood and is assumed to change notably based on the operating conditions of the equipment.

In the present study, we generated exhaust gas in a coal combustion test facility and studied the abilities of the electrostatic precipitator, bag filter, and wet desulfurization equipment to collect solid particles with a diameter of 2.5 μm or less. In addition, we determined the following operating conditions that have notable impact on the abilities of equipment to collect solid particles with the diameter of 2.5 μm or less: charge conditions and operating temperatures of the electrostatic precipitator, the duration of bag filter use, and the ratio of the amount of absorption reagent sprayed to the processed gas amount for wet desulfurization equipment. The result showed that flue gas treatment equipment at the existing large scale plants is effective in suppressing the emission of solid particles with the diameter of 2.5 μm or less.