

研究課題番号	1-1907
研究課題名	「排熱で運用可能な高効率連続再生式 PM2.5 除去装置の開発」
研究実施期間	令和元年度～令和3年度
研究機関名	九州大学
研究代表者名	山本 剛

## 1. 研究開発目的

流動層を用いた連続再生式PM<sub>2.5</sub>除去装置では、PMを流動媒体に付着することで捕集し、さらに流動媒体上でPMを燃焼処理することで連続再生式の運用を行う。このようなPMの捕集と燃焼を同時に行う連続再生式は、“PM燃焼速度>PM付着速度”という条件での運転が必要である。この条件が達成されれば、PMを高効率捕集しながら流動媒体表面をクリーンな状態に保つことができ装置の長寿命化につながる。本法は低温燃焼機関である緩やかな流動層を適用し、PMの燃焼温度を大幅に低下可能であることから、本法の連続再生式の運用温度について調査した。その結果、従来法では600℃程度の熱が必要であるが、本法では400℃において連続再生式の運用が可能であった。400℃という連続再生温度を排熱程度の300℃まで低下させるためには、さらなる装置の改善が必要である。

石炭科学の分野において、カーボンを燃焼促進物質であるミネラル分と接触させて燃焼することで、燃焼温度が150℃程度低下することが報告されている。また燃焼排ガスに含まれる水蒸気は、酸素と同様に酸化剤として作用することが知られ、その効果は低温域ほど大きい。そこで本研究では、ミネラル分を流動媒体に触媒担持し、PMとミネラル分を接触させながら燃焼することで、PMの燃焼を促進させ燃焼温度の低温化を図る。また、排ガス中の水蒸気の影響について調査し、水蒸気の酸化特性によりPMの燃焼速度を向上させる。さらに、ミネラル分と水蒸気を同時に考慮することでPMの燃焼反応を相乗的に向上させ、排熱で運用可能な高効率連続再生式PM<sub>2.5</sub>除去装置を開発する。また要素技術の開発を進め、第一次フィジビリティスタディにより経済および環境評価を行う。以上の成果を基に、本装置の最適化およびスケールアップデータの取得を行うとともに、第二次フィジビリティスタディを実施し、工業レベルでの評価を行うことで従来技術に対する明確なメリットを示す。

## 2. 研究目標

燃焼機関から排出されるPMは、すす等の可燃分が大半を占めることから、PMの捕集と燃焼を同時に行う連続再生式として運用すれば半永久的に使用できる。一般に、すす等のPMを燃焼するためには600℃程度の熱を外部から供給する必要があるが、これを300℃に下げることができれば排ガスの熱で処理可能となる。そこで本研究では、流動層の低温燃焼機関としての特性、ミネラル分および水蒸気の低温燃焼促進効果を利用してPMの燃焼速度を向上させ、排熱で運用可能な高効率連続再生式PM<sub>2.5</sub>除去装置を開発する。また、キックオフ会合等で実用化を意識した実証試験を行うことが望ましいとのことでしたので、上記装置の開発に加え、ディーゼル発電機等を用いて実証試験を実施し、本法の性能評価を行う。

### 【サブテーマ1】 ミネラル分と水蒸気によるPM燃焼反応の促進と再生温度の低温化に関する研究

石炭科学の分野において、カーボンを燃焼促進物質であるミネラル分と接触させて燃焼することで、燃焼温度が150℃程度低下することが報告されている。また燃焼排ガスに含まれる水蒸気は、酸素と同様に酸化剤として作用することが知られ、その効果は低温域ほど大きい。そこで本研究では、ミネラル分を流動媒体触媒担持し、PMとミネラル分を接触させながら燃焼することで、PMの燃焼を促進させ燃焼温度の低温化を図る。また、排ガス中の水蒸気の影響について調査し、水蒸気の酸化特性によりPMの燃焼速度を向上させる。さらに、ミネラル分と水蒸気を同時に考慮することでPMの燃焼反応を相乗的に向上させ、排熱で運用可能な高効率連続再生式PM<sub>2.5</sub>除去装置を開発する。以上のようにして開発した装置の最適化後、ディーゼル発電機等を用いて実証試験を実施し、本法の性能評価を行う。

### 【サブテーマ2】フィジビリティスタディ

要素技術の開発を進め、第一次フィジビリティスタディにより経済および環境評価を行う。以上の成果を基に、本装置の最適化およびスケールアップデータの取得を行うとともに、第二次フィジビリティスタディを実施し、工業レベルでの評価を行うことで従来技術に対する明確なメリットを示す。

### 3. 研究の進捗状況

【サブテーマ1】ミネラル分と水蒸気によるPM燃焼反応の促進と再生温度の低温化に関する研究  
進捗状況： 計画以上の進展がある。

理由： 上述の研究目標に記載した通り、申請段階の目標に加えて実証試験を実施するため、半年から1年程度前倒して研究を進めることが望ましい。そこで令和元年度は、令和元年度に予定した「ミネラル分によるPM燃焼反応の促進とその効果」と、令和2年度に予定した「水蒸気によるPM燃焼反応の促進とその効果」を、同時平行で実施したため計画以上の進展がある。水蒸気の影響については、添加方法に少し苦労したが、ある程度順調に進み、水蒸気を添加することで連続再生温度は400℃から380℃となった。ミネラル分の影響については、最適なミネラル分の選定や流動媒体への最適な触媒担持量の決定を経て実験を実施したため、水蒸気の影響に関する実験よりも時間がかかったが、ミネラル分を触媒担持した結果、連続再生温度は350℃となり、水蒸気よりも大きな温度低減効果が得られた。さらに、ミネラル分を触媒担持した流動媒体を用いて実験をする際に水蒸気を添加した結果、連続再生温度は330℃まで低下し、排熱として想定している300℃にかなり近づいた。しかし、未だ300℃まで低減されておらず、より一層の工夫が必要である。これまでの研究から、ミネラル分の触媒担持量をもっと増やし、PMとミネラル分の接触確率を増加させることができれば、連続再生温度を排熱程度まで低減可能である。ミネラル分は流動媒体表面の凹凸を埋めるように担持されているが、現状の流動媒体では限界まで担持しているため、現在、ミネラル分の触媒担持量を増やすことができる新たな流動媒体を選定し、候補を絞っているところである。これらの研究により、連続再生温度を排熱程度まで低下させた後は、令和3年度予定の「スケールアップデータの取得」を実施し、申請時における研究計画を2年～2年半で終了させる。そして最終的に、ディーゼル発電機等を用いて実証試験を実施し、本法の性能評価を行う。

### 【サブテーマ2】フィジビリティスタディ (FS)

進捗状況： 計画以上の進展がある。

理由： サブテーマ1と同様、半年から1年程度前倒して研究を進めることが望ましいことから、できる限り研究を進めたため計画以上の進展がある。令和元年度～2年度は第一次FSの予定であり、サブテーマ(1)の研究データを基にパラメータサーベイを行い、最適な操作・装置条件を選択して連続再生装置の各設計値を決定した。各最適条件は、装置の設置目標値に合わせて設定するため、選択値の範囲が生じる。大気汚染防止法による排出基準値はおおよそ排出量で規制され、ガス量4万m<sup>3</sup>N以上は0.05g/m<sup>3</sup>N、1万m<sup>3</sup>Nまでは0.10 g/m<sup>3</sup>N、1万m<sup>3</sup>N以下は0.30 g/m<sup>3</sup>Nとなっている。そこで本研究では、大型の装置と中小の装置の排出源を考慮し、大型はガス量4万m<sup>3</sup>N/h、発電量換算1,000 kW/h以上、小型はスケールアップを考慮してガス量4,000 m<sup>3</sup>N/h以下、発電量換算100 kW/h以下とした。想定される仕様において、本研究の流動層集塵機と従来装置の比較を行うと、各本体のコストの差は比較的小さいが、最終目標であるPM<sub>2.5</sub>の捕集を考慮すると、本装置のみがPM<sub>2.5</sub>の捕集が可能であるという相違が圧倒的な結果となっている。今後は詳細な装置コストを計算した上で、性能の確立、経済面における優位性等を明確にする。さらに、第二次FSにおいて、スケールアップバージョンの作成や全体プラントへの配置想定を織り込んだ総合図を作成し、総合経済計算を行うことで、償却、運用、諸税等を入れたプラントの試算を行い、そのメリットを明確にする。以上の研究を2年～2年半で終了させ、ディーゼル発電機等を用いて実証試験を実施し、本法の性能評価を行う。

#### 4. 環境政策への貢献(研究代表者による記述)

PM<sub>2.5</sub>により年間数百万の人々が死に至る等の健康被害が起こり、世界中でPM<sub>2.5</sub>が問題となっている。PMは粒径が小さいほど大気中に長時間留まるが、いずれは重力や雨等により落下する。したがって、大気中のPM<sub>2.5</sub>を減少するためには、燃焼器からPM<sub>2.5</sub>を排出しないことが最も有効な方法の一つである。しかし、日本においても既存のPM除去装置ではPM<sub>2.5</sub>を捕集しきれず、大気中に排出しているのが現状である。これに対し、申請者らが開発した手法は、粒子自身が持つファンデルワールス力等の粒子間付着力を利用したPM除去装置であり、PM<sub>2.5</sub>の高効率捕集が可能である。さらに、排熱のみでPMの捕集と燃焼を同時に行う連続再生装置の開発を目指すなど、他に類を見ない研究である。このように、本研究は粒子間付着力を利用した高効率連続再生式PM<sub>2.5</sub>除去装置の開発であり、環境問題、特にPM<sub>2.5</sub>の解決に資する研究である。

#### 5. 評価者の指摘及び提言概要

低温(400℃以下)で運用可能なPM<sub>2.5</sub>除去装置の基礎原理が示され、基盤となるデータが得られた点は評価したい。実用化にはまだ課題もあるようだが、期待もあるので着実に進めて欲しい。研究終了時には、サブ1とサブ2の成果を統合できる、根拠を持ったプロセス全体の設計図まで作成して欲しい。しかしながら、想定しているような流動層における粒子の均一な流動化の困難さが想定される。未燃物等が付着して粒子の均一性が崩れる、あるいはガス分散板の部分的な目詰まり等々によって、流動層は直ちに吹き抜け等によって均一性を失い、性能が得られない懸念が生じる。加えて、固定発生源の様々の汚染物質の混在効果、連続運転時の未燃残留物、除去装置の耐用性等の検討課題が多く残っている。

#### 6. 評点

評価ランク：A