

Title	単一微粉炭粒子燃焼におけるすす生成挙動に関する研究
Author(s)	澤田, 晋也
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/88032">https://hdl.handle.net/11094/88032</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 ( 澤 田 晋 也 )

論文題名 単一微粉炭粒子燃焼におけるすす生成挙動に関する研究

## 論文内容の要旨

石炭は炭素含有割合が高いため燃焼時に二酸化炭素を多く排出するが、他の化石燃料に比べて経済性、供給安定性に優れている。持続可能な石炭利用のために、超々臨界圧発電など高効率な石炭火力発電システムが開発され、将来的には微粉炭をガス化した気体燃料を用いて発電する石炭ガス化複合発電、空気から分離した酸素を排気ガスから循環させたCO<sub>2</sub>で希釈した酸化剤を用いて排気中のCO<sub>2</sub>濃度を高めるOxy-fuel燃焼、燃焼後のガスからCO<sub>2</sub>を回収・貯留するCCS (Carbon Capture and Storage) 技術によってゼロエミッション型の石炭火力発電システムなどについて検討が進められている。これらの石炭火力発電システムのさらなる高効率化や実用化には、実験に加えて近年導入が進んでいる数値解析技術の活用が求められている。一方、固気混相流である微粉炭火炎の詳細構造は極めて複雑であるため、数値解析には多数のモデルを利用しなければならない。モデリングの際の過度な単純化は解析結果と実現象とのかい離の原因となる。そのため、実験によって解明された燃焼メカニズムに基づいて微粉炭燃焼の影響因子を適切に考慮したモデルを用いて数値解析を行う必要がある。数値解析では計算負荷の低減のために微粉炭粒子を球形と見なしているが、微粉炭粒子は非球形であるため、微粉炭粒子から球対称ではない揮発分の放出がおこり、その結果、粒子周りに不均一な輝炎が形成されることが考えられる。また、すすの生成に関しては、すすの前駆体である多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) の生成過程は重要であるが、実燃焼場に近い条件では、微粉炭粒子から揮発分としてPAHsが直接放出されると考えてすす生成過程のモデリングが行われてきた。これらの挙動を計測するためには、高い時間分解能と空間分解能が必要となるために、その現象の詳細については未解明であった。

本研究では、実燃焼場を模擬できる燃焼装置を設計・構築して微粉炭火炎の局所構造を詳細に観察するために単一微粉炭粒子を燃焼させた。単一微粉炭粒子の燃焼挙動、揮発分の放出過程、すすの生成特性を明らかにすることを目的として、青色バックライトを用いた高時間・高空間分解能の高速度バックライト撮影手法、10 kHzのYVO<sub>4</sub>レーザーを用いた時系列平面レーザー誘起蛍光法を新たに開発した。これにより、単一微粉炭粒子の燃焼挙動、時系列での温度分布、粒子形状の同時計測に初めて成功した。その結果、次の結論を得た。

- (1) 単一微粉炭粒子の燃焼挙動は、従来から考えられていた揮発分が球対称に放出される場合の全周炎に加えて、微粉炭粒子の揮発分によって形成される火炎 (揮発分火炎) から粒子が離脱する現象や、微粉炭粒子の分裂などの異なった燃焼挙動があることを明らかにした。さらに、単一微粉炭粒子が揮発分の全周炎を伴って燃焼する場合、揮発分火炎の大きさは燃焼温度や微粉炭粒径の影響を受けるが、不均一な火炎を形成する場合には、火炎の大きさは燃焼温度や微粉炭粒径には依存しなくなることを示した。
- (2) 先行研究での熱天秤を用いた実験で揮発分中にPAHsが含まれることが示されているが、本研究において実現した実燃焼器と同等の実験条件においては、微粉炭粒子から揮発分としてPAHsが直接放出されることを初めて明らかにした。また、単一微粉炭粒子の揮発分火炎においては、微粉炭粒子から揮発分として直接放出されたPAHsが火炎内部から外周に向けてすすへと成長することを示した。すなわち、(i)揮発分火炎の外周に向けてすすの粒径の増加および数密度の低下が生じる。(ii)揮発分として微粉炭から放出されたPAHsがすすへと成長して、揮発分火炎の内部から外周に向かってそのすすが表面成長や凝集によってさらに大きくなる。

以上の結果より、これまで高い時間分解能と空間分解能が必要であるために計測が困難であった微粉炭粒子の燃焼に対して、光学計測を適切に構築することで、燃焼時のすす生成に関する詳細な計測が可能であることを示した。本研究における計測において示された、非球形な単一微粉炭粒子が燃焼時に不均一な揮発分の火炎を形成することや、揮発分として微粉炭粒子から直接PAHsが放出されるという燃焼挙動、およびすす生成特性に関する知見は、微粉炭燃焼場の局所の現象を理解するために重要であることに加えて、微粉炭燃焼の影響因子を適切に考慮した微粉炭燃焼モデルの構築、ならびに、そのモデルの高精度化に有用な知見となると考えられる。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 澤 田 晋 也 )			
		(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授	赤松 史光
	副 査	教授	芝原 正彦
	副 査	教授	津島 将司
	副 査	教授	塚本 雅裕

## 論文審査の結果の要旨

石炭は炭素含有割合が高いため燃焼時に二酸化炭素を多く排出するが、他の化石燃料に比べて経済性、供給安定性に優れている。持続可能な石炭利用のために、超々臨界圧発電など高効率な石炭火力発電システムが開発され、将来的には微粉炭をガス化した気体燃料を用いて発電する石炭ガス化複合発電、空気から分離した酸素を排気ガスから循環させた CO<sub>2</sub> で希釈した酸化剤を用いて排気中の CO<sub>2</sub> 濃度を高める Oxy-fuel 燃焼、燃焼後のガスから CO<sub>2</sub> を回収・貯留する CCS (Carbon Capture and Storage) 技術によってゼロエミッション型の石炭火力発電システムなどについて検討が進められている。これらの石炭火力発電システムのさらなる高効率化や実用化には、実験に加えて近年導入が進んでいる数値解析技術の活用が求められている。一方、固気混相流である微粉炭火炎の詳細構造は極めて複雑であるため、数値解析には多数のモデルを利用しなければならない。モデリングの際の過度な単純化は解析結果と実現象とのかい離の原因となる。そのため、実験によって解明された燃焼メカニズムに基づいて微粉炭燃焼の影響因子を適切に考慮したモデルを用いて数値解析を行う必要がある。数値解析では計算負荷の低減のために微粉炭粒子を球形と見なしているが、微粉炭粒子は非球形であるため、微粉炭粒子から球対称ではない揮発分の放出がおこり、その結果、粒子周りに不均一な輝炎が形成されることが考えられる。また、すすの生成に関しては、すすの前駆体である多環芳香族炭化水素 (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) の生成過程は重要であるが、実燃焼場に近い条件では、微粉炭粒子から揮発分として PAHs が直接放出されると考えてすす生成過程のモデリングが行われてきた。これらの挙動を計測するためには、高い時間分解能と空間分解能が必要となるために、その現象の詳細については未解明であった。

本研究では、実燃焼場を模擬できる燃焼装置を設計・構築して微粉炭火炎の局所構造を詳細に観察するために単一微粉炭粒子を燃焼させた。単一微粉炭粒子の燃焼挙動、揮発分の放出過程、すすの生成特性を明らかにすることを目的として、青色バックライトを用いた高時間・高空間分解能の高速度バックライト撮影手法、10 kHz の YVO<sub>4</sub> レーザーを用いた時系列平面レーザー誘起蛍光法を新たに開発した。これにより、単一微粉炭粒子の燃焼挙動、時系列での温度分布、粒子形状の同時計測に初めて成功した。その結果、次の結論を得た。

- (1) 単一微粉炭粒子の燃焼挙動は、従来から考えられていた揮発分が球対称に放出される場合の全周炎に加えて、微粉炭粒子の揮発分によって形成される火炎 (揮発分火炎) から粒子が離脱する現象や、微粉炭粒子の分裂などの異なった燃焼挙動があることを明らかにした。さらに、単一微粉炭粒子が揮発分の全周炎を伴って燃焼する場合、揮発分火炎の大きさは燃焼温度や微粉炭粒径の影響を受けるが、不均一な火炎を形成する場合には、火炎の大きさは燃焼温度や微粉炭粒径には依存しなくなることを示した。
- (2) 先行研究での熱天秤を用いた実験で揮発分中に PAHs が含まれることが示されているが、本研究において実現した実燃焼器と同等の実験条件においては、微粉炭粒子から揮発分として PAHs が直接放出されることを初めて明らかにした。また、単一微粉炭粒子の揮発分火炎においては、微粉炭粒子から揮発分として直接放出された PAHs が火炎内部から外周に向けてすすへと成長することを示した。すなわち、(i) 揮発分火炎の外周に向けてすすの粒径の増加および数密度の低下が生じる。(ii) 揮発分として微粉炭から放出された PAHs がすすへと成長して、揮発分火炎の内部から外周に向かってそのすすが表面成長や凝集によってさらに大きくなる。

以上のように本論文は、これまで高い時間分解能と空間分解能が必要であるために計測が困難であった微粉炭粒子の燃焼に対して、光学計測を適切に構築することで、燃焼時のすす生成に関する詳細な計測が可能であることを示している。本研究における計測において示された、非球形な単一微粉炭粒子が燃焼時に不均一な揮発分の火炎を形成することや、揮発分として微粉炭粒子から直接 PAHs が放出されるという燃焼挙動、およびすす生成特性に関する知見は、微粉炭燃焼場の局所の現象を理解するために重要であることに加えて、微粉炭燃焼の影響因子を適切に考慮した微粉炭燃焼モデルの構築、ならびに、そのモデルの高精度化に有用な知見となると考えられる。

よって本論文は博士論文として価値のあるものと認める。