

氏 名	齋 藤 正 浩
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年2月8日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和48年3月 群馬大学工業短期大学部電気工学化卒業
学 位 論 文 題 目	微粉済および石炭スラリー燃料の燃焼と微粒化に関する 基礎的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 大谷 茂盛 東北大学教授 齊藤正三郎 東北大学教授 只木 楨力 東北大学教授 永井 伸樹

## 論 文 内 容 要 旨

石炭および石炭スラリー燃料は、気体燃料や液体燃料に比べて、その燃焼反応速度が遅いため、燃焼炉内の空気力学的特性よりも、単一粒子の燃焼反応速度そのものが燃焼効率を決定する重要な因子となる。実機規模での燃焼は、非常に複雑な系であり、燃焼特性に及ぼす種々の条件すなわち炉壁温度、炉内ガス温度、酸素濃度、炭種、粒子径などの影響を直接実機試験から調べることは、莫大な労力と時間を費やすばかりでなく、詳細かつ基本的データを得ることが困難となるケースがしばしばある。これに対して、単一粒子の燃焼実験では、比較的容易に操作条件を変えることが可能であり、従来の重油の燃焼データと比較することにより、実機への適用に際しての指針となるデータが得やすいという利点がある。

微粉炭燃焼のスラリー燃焼以外の応用技術としては、MHD発電用高温ガス発生のための微粉炭スラグトップ燃焼や、高炉への微粉炭吹き込み、あるいは金属溶解炉の高温維持のための微粉炭燃焼などが注目されている。これらはいずれも従来の微粉炭燃焼ボイラーの燃焼条件とは多く異なり、酸素濃度が20～100%の雰囲気中で最高温度が2000℃にも達するという高温、高酸素濃度場での微粉炭燃焼である。しかしながら、高温、高酸素濃度場（炉内ガス温度1500℃以上、かつ酸素濃度30～100℃）での燃焼反応速度に関する研究報告はほとんどない。

一般に、微粉炭および石炭スラリー燃焼の燃焼反応速度は、炭種や分散媒の種類によって異なるため、石炭の燃焼装置の設計あるいは燃焼正の評価にあたっては、その燃焼反応速度を明らかにす

ることが必要となる。従来の微粉炭燃焼の速度論的研究は、不活性ガス中での熱分解（乾留）あるいは、あらかじめ電気炉等で作成されたチャーの燃焼反応に関して個別に行われているのがほとんどあり、実際の微粉炭燃焼のような揮発分とチャーの連続的な燃焼反応としての取り扱いは行っていない。また、微粉炭および石炭スラリー燃料の燃焼に関して、最も基本となる単一粒子の燃焼性を定量的に調べた研究報告は少ないのが現状である。

このような背景から、本研究では、微粉炭や石炭スラリー燃料に関する燃焼および微粒化の基礎的研究として、まず小型層流炉を用いて微粉炭や微粉コークスの燃焼反応速度を調べ、さらに燃焼中の粒子温度を測定するために、新たに高速二色温度計を開発した。続いて、石炭燃焼の応用技術として、各種石炭スラリー燃料の燃焼特性を懸垂法により調べるとともに、石炭スラリー燃料の噴霧燃焼の際に最も重要となる微粒化特性を実験的に明らかにすることを目的とした。

本論文の構成は九章からなる。

## 第1章 緒 論

微粉炭および石炭スラリーの燃料と燃焼と微粒化に関する基礎的研究の重要性を指摘し、関連する研究の背景ならびに本研究の動機と目的について論じている。

## 第2章 小型層流炉による微粉炭および微粉コークスの燃焼反応速度測定

小型層流炉を用いて微粉炭および微粉コークスの燃焼実験（炉内ガス温度800～1300℃）を行い、燃焼中における粒径、密度および燃焼率の経時変化を考慮した燃焼反応速度を求め、それに及ぼす炉内ガス温度、初期粒径の影響を調べた。その結果、微粉炭燃焼において、揮発分の燃焼領域でチャーが同時燃焼することが推測された。また、微粉炭燃焼の粒径範囲では、粒径が大きい方が小粒子より燃焼反応速度が高くなるという反応工学的に興味ある結果が得られ、その原因が粒子温度の際による粒子温度の計算から推測された。

## 第3章 高速二色温度計による粒子温度測定

前章の結果を立証するために、本研究では新たに高速二色温度計を開発し、炉内で燃焼中の微粉炭および微粉コークスの粒子温度の測定を行った。その結果、燃焼中の粒子温度は、炉内ガス温度よりも常に高く、大粒子の粒子温度は小粒子より200～600℃高くなることが確認できた。また、粒子温度は酸素濃度の増加とともに高くなる傾向を示した。したがって、従来、燃焼反応速度は炉内ガス温度あるいは炉壁温度で相関されたが、燃焼反応速度を性格に評価するには、粒子温度で相関する必要がある。さらに、燃焼反応速度を高速二色温度計で実測した粒子温度でアレニウスプロットして得られた活性化エネルギーの値から、揮発分の燃焼反応速度については揮発分の放出が律速となり、また、チャーの燃焼反応速度については、粒子温度が1100℃以上では細孔内拡散律速、粒子温度が1100℃以下では化学反応律速となることが明らかとなった。

## 第4章 高温高酸素濃度場における微粉炭の燃焼反応速度

炉内ガス温度が1800℃まで実現可能な超高温炉の設計、製作し、高温高酸素濃度場での微粉炭の燃焼反応速度を調べた。その結果高温高酸素濃度場での燃焼は10ms以下という非常に短い時間で着火が起こり、また揮発分およびチャーの燃焼を含めた燃焼完結時間は50ms以内で極めて短いことがわかった。また、燃焼中の粒子温度も最高2800℃に達することから、このような高温高酸素濃度場における微粉炭の燃焼では燃焼中に灰分も蒸発してしまうため、比較的低温度の場合のような灰分トレーサー法による燃焼率の測定は不可能である。したがって、本研究では、高速二色温度計による粒子温度測定値から微粉炭の燃焼反応速度を決定した。さらに、燃焼反応速度や粒子温度に及ぼす炉内ガス温度および周囲ガス中の酸素濃度の影響を調べた。その結果、高温高酸素濃度場でのチャーの燃焼反応速度は酸素分圧の一乗に比例し、その活性化エネルギーは2.0 k cal/molであることから境界拡散律速によって支配されることがわかった。

## 第5章 石炭粒子の熱分解

従来提出されてきた石炭の熱分解に関する研究報告のほとんどは、不活性ガス中での熱分解（乾留）か、あるいは単なる石炭燃焼の第一段階である揮発分燃焼として取り上げられてきた。本章では、同一炉内ガス温度条件下での不活性ガス中での熱分解と酸化雰囲気中での燃焼を伴う場合の熱分解の比較を行った。その結果より、燃焼を伴う場合の熱分解中での重量減少量は、不活性ガス中での熱分解や工業分析値（JIS法）により得られる揮発分量を遙かに上回ることがわかった。また、揮発分の熱分解条件によって、揮発分燃焼後に生成される残炭チャーの性質（比表面積、細孔容積など）が変化するので、第一段階である揮発分の熱分解特性が、残炭チャーの燃焼特性に大きく影響を及ぼすことが示唆された。

## 第6章 非分散型スラリー燃焼の単一滴燃焼

石炭スラリーの燃焼の基礎的研究として、各種石炭スラリーの単一滴燃焼を懸垂法を用いて行い、その燃焼挙動の観察ならびに石炭スラリー燃料の液滴温度および粒径の経時変化を測定した。それぞれの燃焼領域における燃焼速度係数を求めた。石炭スラリー燃料は分散媒の違いによりその燃焼挙動が非常に異なるので、まず本章では、燃焼中に液滴が分裂やマイクロ爆発を起こさないCOM, SRC-oil slurry, TCMなどの非分散型スラリー燃料の燃焼特性を調べた。その結果、非分散型スラリー燃料の燃焼挙動は、揮発分燃焼では安定な輝炎を発生して揮発分が燃焼し、その後引き続き長い残炭チャーの二段階燃焼で進行する。これらのスラリー燃料の総括燃焼速度係数は分散媒である重油、タールの約1/2～1/4で燃焼性は悪く、これは揮発分燃焼後の残炭チャーの燃焼時間が非常に長いことに起因することが明らかとなった。また、非分散型スラリー燃料の燃焼速度係数は、スラリー中に含まれるカーボン量で良い相関が得られた。

## 第7章 分散型スラリー燃料の単一滴燃焼

燃焼中に飛散、分裂あるいはマイクロ爆発などを起こす分散型スラリー燃料として、COMに水やメタノールを混合した水／メタノール混入COMおよびCMS，CWSなどの燃焼挙動および燃焼速度係数を調べた。その結果、COMに水やメタノールを適当量混入することにより、COMの総括燃焼速度係数を10倍程度高めることができた。また、燃焼挙動に関しては、水／メタノール混入COMはマイクロ爆発を起こし、CMS，CWSなどは微粉炭粒子が飛散しながら燃焼することがわかった。

## 第8章 石炭スラリー燃焼の微粒化

石炭スラリー燃料の燃焼の際に最も重要となる微粒化特性を明らかにするため、各種スラリーの微粒化実験を行い、ザウテル平均粒径に及ぼすスラリーの見かけ粘度や濃度の影響について調べた。模擬スラリーとしてステレンビーズ／水系スラリーを用いた微粒化実験から、噴霧された液滴内には固体粒子が包含され、噴霧燃焼の際には微粉炭粒子が凝集される可能性が高いことが示唆された。また、これらの結果から、噴霧のザウテル平均粒径は、スラリーの中の噴霧滴内に同一割合で固体粒子が含まれるとしたモデルより、分散媒のザウテル平均粒径と液体容積率から容易に推算できることが明らかとなった。

## 第9章 結 論

各章で得られた結論を要約したものである。

## 審査結果の要旨

微粉炭および石炭スラリー燃料の燃焼特性に関する知見は、ボイラーや工業炉を設計・操作する場合の基礎として最近重要視されている。著者は燃焼中の微粉炭粒子温度の測定法の開発を行い、微粉炭の燃焼速度に及ぼす諸因子の影響を明らかにし、揮発分とチャーの燃焼機構を解明した。さらに燃焼過程における石炭スラリー燃料のマイクロ爆発を検討し、燃焼速度式を導出した。また石炭スラリーの微粒化により生成される平均滴径は推算方法を提案した。本論文はそれらの研究成果をまとめたもので、全編9章より成る。

第1章は緒論である。

第2章では微粉炭の燃焼速度を測定し、揮発分の燃焼領域でチャーが同時に燃焼すること、さらに燃焼速度は粒径の大きい方が大であることを明らかにしている。

第3章では高速二色温度計を開発し、燃焼過程における微粉炭粒子の温度を測定し、大粒子は小粒子よりも数百度温度が高いことを示している。またチャーの燃焼速度を粒子温度で相関し、1100度以下では化学反応律速度、それ以上の温度では粒内拡散律速度であることを解明した。

第4章では高温高酸素濃度場における微粉炭の燃焼速度を粒子温度測定値から求める方法を提案し、その燃焼速度は境界膜拡散律速で酸素分圧に比例し、活性化エネルギーは2.0kcal/molであることを明らかにしている。

第5章では燃焼をともな熱分解反応速度を測定し、その速度係数が窒素雰囲気中における2~3倍大きく、熱分解量は工業分析値による揮発分量よりも増加することを示している。

第6章ではマイクロ爆発を起こさない石炭スラリーの単一懸垂滴による燃焼実験を行い、燃焼領域が揮発分とチャーの2段階に分けられ、総括反応速度係数は重油やタールの約1/2以下であることを明らかにしている。またその速度係数はスラリー中に含まれる炭素量で相関されることを示した。

第7章ではマイクロ爆発を生じるスラリーの燃焼速度係数を測定し、COMに水やメタノールを混入することにより、その速度係数は約10倍増加することを明らかにしている。

第8章では各種スラリーの微粒化実験を行い、噴霧された液滴内には分散固体粒子が包含され、スラリーの体面積平均径は分散粒子の体面積平均径と液体容積率から推算できることを提案している。

第9章は総括である。

以上要するに本論文は、微粉炭および石炭スラリー燃料の燃焼挙動を定量滴に解析するため、優れた高速二色温度計を開発し、微粉炭粒子温度を測定し、燃焼速度に及ぼす各種因子の影響を明らかにしたもので、化学工学の発展に寄与することが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。