

Mechanisms and Modelling of Single Coal Particle Ignition

(単一石炭粒子の着火機構とモデル化)

学位論文内容の要旨

石炭を約 600K 以上に加熱すると、可燃性ガス成分（以下、揮発成分）と炭素を主成分とする固体（同、チャー）に転化し、これらの成分は空気中のように酸素が存在すれば着火する。地上では複雑な自然対流が存在し、揮発成分の一部しかチャー粒子周囲に残存しないため、これらのいずれが先に着火するか、すなわち石炭が homogeneousあるいはheterogeneous のいずれの機構により着火するかについては、これまで長い論争が続いており、石炭の着火温度に関する科学的、工学的基準は未だに見出されていない。

本論文は、単一石炭粒子を自然対流場、微小重力場および強制対流場において、チャー粒子の周囲に残存する揮発分量を制御して燃焼し、粒子温度の着火に至る経時変化を測定して着火機構と着火温度を決定し、これらに対する揮発成分含有量や粒子径の影響を明らかにした一連の研究成果を纏めたものである。

論文は、つぎの6章から構成されている。

第1章では、本研究を行うに至った背景と関連する既往の研究について述べ、本研究の位置付けと目的を明確にした上で、研究の概要を説明している。

第2章は、独自に開発した単一石炭粒子着火実験装置を用い、揮発成分含有量の異なる3種の石炭を試料とし、通常の重力場において複雑な自然対流が存在する場合の粒子着火温度およびこれに要する時間に対する粒径と加熱速度の影響を検討した結果を述べたものである。まず、これらの影響に関しては、これまで研究者により矛盾する実験結果が報告されており、これが粒径と同時に加熱速度も変化する条件で実験が行なわれたためであることを指摘し、これらの操作変数を互いに独立に制御すれば、常に揮発成分がチャーに先行して着火すること、着火温度は粒径および加熱速度とともに高くなることを明らかにしている。

第3章では、着火現象を、自由落下による微小重力場において自然対流がなく、加熱により生成する揮発成分がすべて粒子周囲に残存する条件に単純化し、前章で述べたと同様の実験を行った結果を述べている。この場合にも、常に揮発成分の着火がチャーの

着火に先行して起こり、前者の放出と燃焼が完結した後に後者が着火すること、この間にチャーにより吸収される揮発成分の燃焼熱は自然対流がある場合より多いので、チャーの着火が遅れ、着火温度が高くなることを明らかにしている。

第4章では、粒子に加熱空気を吹き掛け、生成するすべての揮発成分を粒子周囲から除去する強制対流場において、チャー粒子の着火温度と時間を測定し、上記の2つの条件における結果と比較している。この場合のチャー着火温度は最も低く、粒径には他の場合とほぼ同様に依存するが、揮発成分含有率の影響はほとんど受けず、自然対流も強制対流も存在しない微小重力場に比べて約200Kも低いこと、この温度差は揮発成分含有量が少なくなると小さくなることを明らかにしている。

第5章は、着火現象に関する物質およびエネルギー収支式に基づいた簡単な数学モデルにより前章までに得られた実験結果を解析し、説明したものである。すなわち、生成する揮発成分が粒子周囲にすべて残存する場合とまったく残存しない場合について、揮発成分の生成反応や揮発成分およびチャー表面の酸化反応に伴う吸熱および発熱速度、輻射伝熱速度などを考慮して、同一のモデルパラメーターを用いて2つの異なった条件におけるチャーの着火温度に対する粒径および揮発成分含有率の影響を、定量的に説明している。

第6章は、本研究の成果を総括したものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 千 葉 忠 俊
副 査 教 授 伊 藤 博 徳
副 査 教 授 篠 原 邦 夫
副 査 教 授 服 部 英
副 査 助 教 授 林 潤 一 郎

学 位 論 文 題 名

Mechanisms and Modelling of Single Coal Particle Ignition

(単一石炭粒子の着火機構とモデル化)

石炭を約 600K 以上に加熱すると、可燃性ガス成分（以下、揮発成分）と炭素を主成分とする固体（同、チャー）に転化し、これらの成分は酸素が存在すれば着火する。地上では複雑な自然対流が存在し、揮発成分の一部しかチャー粒子周囲に残存しないため、これらのいずれが先に着火するかについては、これまで長い論争が続いており、着火温度に関する工学的基準は未だに見出されていない。本論文は、単一石炭粒子を自然対流場、微小重力場および強制対流場においてチャー粒子周囲に残存する揮発成分量を制御して燃焼し、粒子温度の着火に至る経時変化を測定して着火機構と着火温度を決定し、これらに対する石炭の揮発成分含有量や粒子径の影響を明らかにした一連の研究成果を纏めたもので、その主要な成果はつぎの点に要約される。

- ① 自然対流が存在する重力場においても、粒径と加熱速度を互いに独立に制御すれば、常に加熱中に石炭から生成する揮発成分がチャーに先行して着火し、着火温度は粒径および加熱速度とともに高くなる。
- ② 自然対流がなく、生成する揮発成分のすべてが粒子周囲に残存する微小重力場においても、常に揮発成分の着火がチャーの着火に先行して起こり、前者の放出と燃焼が完結した後に後者が着火すること、チャーの着火が遅れ、揮発成分の燃焼熱がチャーに吸収されるの結果、自然対流がある重力場より着火温度が高くなる。
- ③ すべての生成揮発成分を粒子周囲から除去する強制対流場におけるチャー着火温度は、揮発成分含有率にほとんど依存せず、微小重力場に比べて低いが、温度差は揮発成分含有量が少ないほど小さい。

④ 以上の着火現象は、揮発成分の生成反応や揮発成分およびチャー表面の酸化反応に伴う吸熱および発熱速度、輻射伝熱速度などを考慮した物質およびエネルギー収支式に基づいた簡単な数学モデルにより定量的に説明できる。

これを要するに、著者は、石炭粒子の着火に関する統一的新知見を得たものであり、石炭転換工学および化学工学の発展に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。