

審査の結果の要旨

氏名 桐山 毅

近年、エネルギー資源の消費増大や環境保全の観点から、化石燃料の高効率利用による使用量低減が課題となっている。水分を多く含んだ低品位炭である褐炭は、現在炭鉱近くで安価に利用されているが、水分を含んだまま燃焼させるためエネルギーロスが大きい。したがって、水分を効率良く除去する乾燥プロセスを開発し、高効率利用することが重要となる。褐炭の乾燥には、過熱水蒸気を用いた蒸気流動層乾燥装置が有望であり、主にドイツで技術開発が行われている。しかし、過熱水蒸気中における褐炭の乾燥について十分な基礎調査は行なわれておらず、プロセスの改良や開発に必要な褐炭単一粒子の数値計算モデルが確立していない。

本論文は、褐炭単一粒子の過熱水蒸気中における乾燥を詳細に調査し、プロセス開発に有用となる数値計算モデルの開発を目標としている。本論文は以下の5章よりなる。

第1章では、化石燃料における褐炭の位置付けと特徴、主な利用用途（火力発電）について概観している。褐炭の乾燥の必要性についてまとめ、現行の乾燥プロセスを紹介するとともに、過熱水蒸気を用いた高効率乾燥プロセスを開発できれば石炭ガス化複合発電との組み合わせにより飛躍的に熱効率が向上されることが説明されている。褐炭単一粒子の乾燥モデルについて関連する過去の研究例をまとめ、乾燥プロセスの開発に必要な単一粒子モデルがいまだに確立していないことを論じ、本研究の位置付けと目的を明確化している。

第2章では、170, 150, 130, 110°Cの過熱水蒸気で直径30 mmの球形褐炭粒子の乾燥を詳細に観察し、この実験結果に基づいた単一粒子の数値計算モデルを提案している。乾燥実験においては、乾燥に伴う試料重量および温度の変化を測定する手法を確立し、再現性の良い結果が得られている。恒率乾燥期間と減率乾燥期間を経ての乾燥の進行が示され、試料温度と乾燥速度の関係を明らかにするとともに、乾燥中の水分の挙動について考察している。乾燥中の試料

外観をビデオ映像で記録し、乾燥初期における表面への水分凝縮や、乾燥に伴う亀裂の発生についての知見も得ている。さらに乾燥に伴う粒子の収縮についても体積計測等により調査し、乾燥温度や含水率との関係を明らかにしている。以上の実験結果に基づき開発された単一粒子の数値計算モデルでは、直径 30 mm の褐炭粒子の乾燥挙動を再現することに成功している。モデルの開発においては、褐炭中の自由水の移動を仮定するとともに、褐炭中で強く結合している水分の挙動について熱力学的に検討し、乾燥の挙動を合理的に説明している。

第 3 章では、直径 10, 5, 2.5 mm の球形褐炭粒子の乾燥試験を行い、乾燥挙動の粒径依存性を明らかにするとともに、前章で開発した数値計算モデルをより小さい粒子に適用できるように修正を行なっている。とくに、粒径 10 mm 未満の褐炭単一粒子については過熱水蒸気中の乾燥速度を報告した前例がないが、本試験において再現性のよい結果を得ている。計算モデルの修正においては、恒率乾燥期間の蒸発速度をもとに、外界から粒子表面への熱伝達率を粒径の関数とした。また、乾燥初期の凝縮期間に粒子表面から落下する水滴についても、その重量を褐炭粒径の関数として仮定した。修正後のモデルにより、170~110°C の過熱水蒸気中における数 mm から数十 mm の褐炭粒子の乾燥速度を予測することを可能としている。

第 4 章では、前章で開発した単一粒子の数値計算モデルを用いて、粒径分布を有する褐炭粒子群の乾燥速度を試算している。最大粒径 100, 50 または 6 mm の粒径分布を仮定し、粒子群を代表する 10 個の粒径について単一粒子の数値計算モデルを適用し、加重平均から粒子群全体の乾燥速度を算出している。粒子群中の大きな粒子によって全体の乾燥時間が律速されることを示し、篩分けによる乾燥時間の短縮を定量的に考察している。最大粒径 6 mm の粒子群については、流動層中の熱伝達率（報告値）を用いた試算も行われ、予想される乾燥時間が実際の流動層滞留時間と近い値となったことから、計算の妥当性を示した。

第 5 章では本研究で得られた成果を総括している。

以上要するに、本論文は、過熱水蒸気中の褐炭粒子を重量および温度の計測等によって詳細に調査し、実験結果に基づいて単一粒子の乾燥モデルを開発した。これにより、170~110°C の過熱水蒸気中における数 mm から数十 mm の褐炭粒子の乾燥挙動を予測することが可能となった。さらに、粒径分布を有する粒子群について乾燥速度のモデル計算を行い、開発したモデルの応用性を示

した。以上の成果は、十分な調査が行われていない褐炭の挙動を明らかにした点で新規性が高い。さらに、計算モデルにより褐炭粒子の乾燥挙動を的確に再現したことは乾燥プロセスの最適設計につながると考えられ、意義も大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。