様式第８号（第１８条，第３６条関係）

学位論文審査結果の概要

氏　　名	安　萍　（アン　ヘイ）
学位論文審査委員氏名	主査　　官　国清
	副査　　阿布　里提
	副査　　吉田　曉弘
	副査　　本田　明弘
	副査　　市村　雅一
論　文　題　目	Process Design and Simulation of Light Calcination of Magnesite with High Efficiency(マグネサイトの高効率かつマイルドな煆焼プロセスの設計とシミュレーション)

審査結果の概要（2,000 字以内）

マグネシアは、耐火材料、建設資材、化学産業、環境保護、製薬産業、肥料、金属マグネシウム原料、マグネシウム合金原料等として広く使用されている。何十年もの間、水性ガス発生器と反射炉を組み合わせた苛性焼成マグネシア（caustic calcined magnesia, CCM）製造プロセスを利用して CCM が生産されてきた。しかし、この生産プロセスは高エネルギー消費や、困難な品質管理、深刻な環境汚染などの問題がある。したがって、環境にやさしく、高効率な CCM 生産プロセスの開発が必要である。本博士論文では、マグネサイトの高効率かつマイルドな煆焼プロセスを設計して、様々な条件でこのプロセスをシミュレーションした。本論文は英語で書かれており全部で 5 章から構成されている。

本研究では、主に輸送床フラッシュ焼成プロセスと二段階流動床ガス化システムを備えた高エネルギー効率の新しいマグネシア生産プロセスの設計とシミュレーションを行った。まず、燃料ガス生産用の二段階流動床ガス化（TSFBG）システムについて、Aspen Plus による体系的なシミュレーションを行った。特に石炭燃料の初期含水量が 10～65 wt%の範囲で変化するとき、石炭の予備乾燥効果がガス化性能及びエネルギー効率に及ぼす影響を調べた。その結果、石炭原料の含水量が多いほど、予備乾燥による全体のエネルギー効率の低下が大きくなることが明らかになった。エネルギー配分の分析結果からは、石炭の予備乾燥による熱損失がエネルギー効率の低下の主な原因であることを明らかにした。初期含水量が 10 wt%から 65wt%の範囲では、ガス化剤として空気/水蒸気を使用して石炭を予備乾燥しない TSFBG システムのエネルギー効率は、初期含水量が 26 wt%のとき最高になることが分かった。また、ガス化剤として空気/水蒸気を使用する場合と比較して、酸素/水蒸気を使用する場合は TSFBG システムのエネルギー効率が約 2%向上することを明らかにした。

次に、マグネシア生産に適用される輸送床フラッシュ煆焼（TBFC）プロセスを、プロセスシミュレーションを通じて体系的に調査し、最適化による省エネ効果の予測等を行った。ここで、高温のか焼炉の煙道ガスは、供給されたマグネサイト鉱物を予熱するために使用されると同時に、高温の CCM 製品を煆焼炉に送られる空気によって冷却することを想定した。予熱中のマグネサイトの予備分解の可能性調査は、反応に対する外部拡散の影響を最小限に抑えることができるマイクロ流動床反応分析装置（MFBRA）を使用して、反応速度の測定に基づいて行った。その結果、マグネサイト予熱と CCM

冷却のステージの好ましい段数はそれぞれ 4 と 2 で、4100 kJ / kg-CCM のエネルギー消費と 66.8%のエネルギー効率を達成できることを明らかとした。これは、従来の CCM 製造用反射炉のエネルギー効率である 33.9%と比較して 2 倍近くエネルギー効率が改善可能であることを示している。また、マグネサイトの予備分解が主に第 1 段予熱器で行われ、最大分解率は約 13%であることを明らかにした。

最後に、焜焼炉中の煙道ガスのマグネサイト焜焼への影響を調査するために、マグネサイトの代わりに、マグネサイトの分解性能と似ている $CaCO_3$ を用いて、プロセスシミュレーションにより異なる煙道ガス雰囲気とさまざまな圧力下での $CaCO_3$ 分解の詳細を包括的に分析した。その結果、生成した CO_2 は $CaCO_3$ の分解の大きな阻害要因であることが明らかになった。煙道ガス中の CO_2 濃度が高くなると、$CaCO_3$ の初期分解温度と完全分解温度の両者が高くなるが、特に初期分解温度に対してより顕著な影響が現れることも明らかにした。これらの結果は、マグネサイトの焜焼プロセスの設計に対して重要な指針となる。

以上を要約すると、本論文では高効率な CCM 製プロセスの最適な設計とシミュレーションを行い、エネルギー効率を高める手法やマグネサイト焜焼に影響する要因などを明らかにした。本研究によって得られた知見は、既存のマグネサイトの焼成技術のアップグレードに大きく寄与するものと考えられる。

本研究の成果は、学位論文の基準を満たす内容を有するものとして、合格に相当すると認められる。

学位論文の基礎となる参考論文

1. **Ping An**, Zhennan Han, Kangjun Wang, Jiguang Cheng, Zhongkai Zhao, Yohanes Andre Situmorang, Jenny Rizkiana, Abuliti Abudula, Guoqing Guan and Guangwen Xu, "Energy-Saving Strategy for a Transport Bed Flash Calcination Process Applied to Magnesite（マグネサイトの輸送床フラッシュ焜焼プロセスの省エネ手法）," ***Carbon Resources Conversion***, 4 (2021) 122-131.
2. **Ping An**, Zhennan Han, Kangjun Wang, Jiguang Cheng, Jenny Rizkiana, Abuliti Abudula, Guoqing Guan, Dingrong Bai, and Guangwen Xu, "Process Analysis of a Two-Stage Fluidized Bed Gasification System With and Without Pre-Drying of High-Water Content Coal（高含水量石炭の予備乾燥有無のとき二段階流動層ガス化システムのプロセス分析）," ***The Canadian Journal of Chemical Engineering***, 99(7)(2021) 1498-1509.