

石炭は化石燃料の中で最も埋蔵量が多く、今後もエネルギーの安定供給のために欠かせないエネルギー源であるが、限りある資源を有効に使うこと、および自然の炭素循環に対する人為の影響を抑制するための CO₂ 排出削減が求められている。本研究は、このような観点から、石炭を有効利用しながら地球環境を保全するシステムの開発を目的としている。

現状の石炭利用技術としては、石炭をボイラで燃焼し、燃焼熱を水蒸気として回収してスチームタービンで発電する方法や、石炭をガス化して利用する方法がある。本研究ではこれらの石炭利用技術のうち、石炭ガス化技術に注目している。この技術は、CO と H₂ を主成分とするガスを製造することができるため、ガスタービンと蒸気タービンを用いた高効率発電システムを構成したり、メタノールなどの液体燃料製造システムを構成したりできる他、鉄鋼業における鉄鉱石の還元剤を供給することが可能である。高効率石炭ガス化技術が開発できれば、上記の目的が達成できる。そこで、本研究では、石炭ガス化技術の高効率化方針を求めるために、石炭発電システムや石炭ガス化燃料製造システムのシステム科学的な解析、石炭ガス化技術の開発目標を明確にするためのエネルギーシステムモデルによる解析を実施している。これらの結果に基づき、石炭ガス化技術を高効率化する具体的な方法を提案している。

本論文は 6 章で構成されている。第 1 章では本論文の緒言として、上で述べたような研究背景と目的について述べられている。

第 2 章では、最適な石炭利用システムを選定するために、石炭を酸素で部分酸化(ガス化)し、CO と H₂ を主成分とする生成ガスを燃料として発電する技術(石炭ガス化複合発電、IGCC)と、石炭ボイラ発電の効率を比較している。その際、石炭ボイラ発電から CO₂ を回収する場合は燃焼排ガスから CO₂ を分離するのが適しており、石炭ガス化複合発電では生成ガスに水蒸気を供給してシフト反応($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$)を進め、燃焼前に分離するのが適していることを考慮した上で、石炭発電における CO₂ 分離に伴う熱損失をシステム科学的に評価し、IGCC の方が石炭ボイラ発電より約 4 割小さく、有利であると評価している。また、石炭ガス化燃料製造システムを最適化する指針を得るために、燃料合成プロセスにおいて、合成ガスの発熱量のうち燃料に変換される割合が、H₂/CO 比によってどのように変化するかを平衡計算によって評価している。

第 3 章では、石炭ガス化を用いたシステムの効率やコストなどの開発目標を明確にするためのエネルギーシステムモデルによる評価を実施している。石炭ガス化メタノール製造システムでは、シフト反応による H₂/CO 比調整が必要で、石炭の発熱量のうちメタノールの発熱量に変換される割合は約 60%であるが、本研究では、水素を多く含む天然ガスを原料に加えることで、変換効率が約 80%まで向上されることを見出している。このハイブリッドメタノールシステムが普及する可能性を、日本全体のエネルギーシステムをモデル化した MARKAL(Market Allocation)モデルで評価した結果、CO₂ 排出量を 1990 年レベルに抑制する場合でも、このシステムが導入され得ることを明らかにしている。ハイブリ

ッドメタノールシステムは効率が高いだけでなく、クリーンな燃料が製造でき、NO_x 排出量の低減に寄与する点で導入に有利である点が特徴である。このようなエネルギーシステム全体を考慮したモデルによる評価は、システムを導入する上での重要な判断基準として、その意義は大きい。

第4章では、酸素吹き1室2段旋回型ガス化炉を対象として、石炭ガス化プロセスで H₂/CO 比を向上する方法を提示している。第一の方法は、CH₄を主成分とする炭層ガスと水蒸気をガス化炉に供給する方法である。次章の要素試験に先立ち、この方法の成立性を平衡計算により検討し、炭層ガスを石炭比約40wt%、水蒸気を石炭比約20wt%供給することで、H₂/CO 比を1に向上できる可能性を示している。CH₄の100年間の地球温暖化係数はCO₂の25倍であり、CH₄を主成分とする炭層ガスを活用するアイデアは、地球温暖化防止の観点から意義のあるものである。第二の方法は、ガス化炉下流に水を噴霧し、ガス化炉出口の高温を活用して無触媒でシフト反応を進め、H₂/CO 比を向上する方法である。これらの方法は、独創的なものとして高く評価できる。

第5章では、まず、ガス化炉へ炭層ガスと水蒸気を供給する方法を内径0.7m、高さ1.5m、石炭処理量3 ton/dayの要素試験装置により検証している。ここでは、供給した水蒸気が旋回流の効果で速やかに拡散することで局所的なガス温度低下がなく、シフト反応がほぼ平衡まで進行することなどの、1室2段旋回型ガス化炉の特徴を模擬するのに十分な大きさの装置で初めてできる検討がなされている。次に、ガス化炉下流に水を噴霧する方式については、石炭処理量の少ない要素試験装置は実機と温度プロファイルが異なることから、シフト反応速度を組み込んだモデルを開発し、石炭処理量1000 ton/dayのガス化炉を対象に、最適な水噴霧方式を求めている。その結果、段間距離を最適化した5段供給で、シフト反応をCO転化率9.9%まで進められることを示している。この方式を炭素回収率90%のCO₂回収型IGCCに対して適用することで、シフト反応器に供給する水蒸気が削減でき、主に蒸気タービンによる発電出力が増加することで発電効率が絶対値で0.35%向上することを明らかにしている。本研究において、石炭ガス化プロセスでH₂/CO比を調整する方式の確立を行った意義は大きい。

第6章では本論文の結言として、全体のまとめが述べられている。

以上のように、本研究は石炭を利用するシステムの効率向上、コスト低減を図ることで、今後のエネルギー安定供給に寄与する高効率石炭ガス化技術を開発したのものとして、大きな学術的貢献があるものと認められる。

よって、本審査委員会は本論文が博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。