

氏 名	もり もと しんいちろう 森 本 慎 一 郎
学 位 の 種 類	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 87 号
学位授与の日付	平成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	エ ネ ル ギ ー 科 学 研 究 科 エ ネ ル ギ ー 社 会 ・ 環 境 科 学 専 攻
学位論文題目	CO ₂ 削減型グローバルエネルギーシステムの総合的評価に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 吉 川 榮 和 教 授 手 塚 哲 央 助 教 授 東 野 達

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、海外地域で自然エネルギーにより生成した水素をCO₂と合成させてメタノールを製造し、それをわが国に輸送して発電に用いる「CO₂削減型グローバルエネルギーシステム」に着目し、そのシステムの構成法や全体システムの成立性を総合評価する方法論について研究した結果をまとめたもので、6章からなっている。

第1章は序論で、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムを開発する意義とその構成の概要を述べた後に、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムの解決すべき課題がその経済性向上をはかるため、全体システムの構成における総合的評価法の提起を主題とすると述べた後に、本論文の全体構成について示している。

第2章では、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムを構成する要素技術であるCO₂分離回収・液化システムおよび水素製造システムに着目し、各システムの経済性および効率向上を目指してシミュレーション解析に基づくシステムの最適化を検討した結果について述べている。まず、CO₂分離回収・液化システムについては、適用する排ガス条件およびシステムの最適化によって大幅にコスト低減が期待できる膜分離法を導入したCO₂分離回収・液化システムの設計および最適化をシミュレーションによって解析している。その結果として、膜分離法は現在実用化されている方式よりもCO₂分離回収コストが低くなると推定して、膜分離法を用いたCO₂分離回収・液化システムによってCO₂削減型グローバルエネルギーシステムの経済性が向上する構成の成立性を示している。また水素製造システムについては、現在実用化されている天然ガスの水蒸気改質による水素製造システムに対して、排ガスから水素だけを選択的に抽出する非平衡反応系を導入したシステムを提案し、解析を行なっている。その結果、このような非平衡反応系水素製造システムでは改質反応後の排ガスから水素だけでなくCO₂ガスも分離しないと工業的には成立しないことを論じて、これではCO₂削減型グローバルエネルギーシステムを構成する要素技術として成立しないものの、天然ガス水蒸気改質型水素製造システムの経済性向上を目指すならば実用可能性の高いシステムであることを示している。

第3章では、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムを構成する要素技術として、膜分離法CO₂分離回収システムおよび水電解法水素製造システムを想定システムの運転条件の解析によって、全体システムの各評価指標に対する最適化を行っている。システムの各プロセスの運転条件から全体システムの評価指標を算出する数値シミュレーションモデルを新たに作成し、これを用いて全体システムの各評価指標に大きく影響を与えるシステム運転条件として、CO₂分離回収・液化システムにおけるCO₂回収率と圧力比および水素製造システムにおける電流密度を選定し、各種評価指標に対する最適運転条件を算出している。さらに、各評価指標間のトレードオフ関係からシステム最適化に最も効果的な評価指標について解析し、その結果、メタノールコストが最小となるように運転条件を設定することが全体システムの最適化に最も効果的であるとして、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムの経済性向上に効果的なシステム運転条件設定のための指針を導出している。

第4章では、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムの経済性向上を目指し、自然エネルギーの種類およびメタノール合成のための炭素源を調達する地域について代替案を想定して種々のシステム案を設計し、それらの特性および経済性につ

いて評価した結果を述べている。設計したシステム案は、将来大幅にコスト低減が期待される風力発電を前提にするもので、また炭素源としては、(1) わが国で回収したCO₂を利用する風力・回収CO₂利用型システム、(2) 海外で調達した石炭を炭素源として利用する風力・石炭利用型システム、および(3) 海外で調達したバイオマスを炭素源として利用する風力・バイオマス利用型システムを想定している。解析の結果、風力・バイオマス利用型システムは、従来型発電からのCO₂分離回収を行う場合に比較して、CO₂削減の費用対効果の上で十分競合しうることを示し、想定したCO₂削減型グローバルエネルギーシステムの代替案の中から、CO₂ガス削減の費用対効果の上で経済的に実用可能性の高いシステム構成を見出した結果について述べている。

第5章ではCO₂削減型グローバルエネルギーシステムの総合的評価に関する課題について考察を行い、CO₂削減型グローバルエネルギーシステムを従来のエネルギー供給システムと比較して、その導入可能性を評価するにはエネルギー安定供給に関するリスクを定量的に評価する新しい評価指標が必要となることを示している。そして、エネルギー安定供給に関わるグローバルな資源輸送リスクを定量評価する新しい評価指標として「航行障害リスク」に着目し、それを評価する新しい評価手法を提案している。具体的には、航行障害が発生する様々な「航行障害シナリオ」を専門的分析者のブレインストーミングにより抽出し、イベントツリー解析(Event Tree Analysis: ETA) 手法に基づいてそれぞれのシナリオの発生する主観的確率を導出するとともに、各シナリオについて、それぞれの分野の専門家がその専門知識をもとに討議し、専門家の合意形成によって、航行障害の有効な発生抑制政策を導出するとしている。そして実際に航行障害に関わる諸側面の知識を有する専門家グループによって提案する方法によりブレインストーミングを実施した結果を示して、提案した航行障害リスクの評価手法の有効性を論じている。

第6章の結論では本論文で得られた成果を要約し、今後の課題を展望している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、海外地域で自然エネルギーにより生成した水素をCO₂と合成させてメタノールを製造し、それをわが国に輸送して発電に用いる「CO₂削減型グローバルエネルギーシステム」について、解析シミュレーションに基づくシステム構成法の検討、費用最小化と、資源の輸送リスクの評価法について研究した成果をまとめたもので、得られた主な成果は次のとおりである。

1. CO₂削減型グローバルエネルギーシステムを構成する要素技術として、膜分離法によるCO₂分離回収・液化システムの諸特性を評価するための新たな解析計算法を開発し、これを用いたシミュレーションによりシステムの最適設計条件を導き、実用方式と比較して低コストとなるシステム構成が成立しうることを定量的に示した。
2. 同じく水素製造システムについて、現行の天然ガスの水蒸気改質による水素製造法で、生成した水素のみを抽出する非平衡反応系を導入したシステムの解析検討を行い、改質反応後のガスから水素とともにCO₂を分離する必要があることを定量的に示した。
3. システムを構成する各プロセスの運転条件から全体システムの評価指標を算出するシミュレーションモデルを新たに作成し、これを用いてCO₂分離回収・液化システムにおけるCO₂回収率と圧力比および水素製造システムにおける電流密度を評価指標として、各プロセスの全体システム評価指標に対する最適運転条件を導出することにより、システム運転条件を設定する指針を導いた。
4. 利用する自然エネルギーと炭素源とに代替案を含めたシステム構成の検討では、自然エネルギーとしてコスト低減が期待される風力発電と炭素源としてバイオマスを利用する風力・バイオマス利用型システムとが、現行の液化天然ガスによる複合発電でのCO₂分離回収と比較しても、CO₂ガス削減の費用対効果の上で競合しうることを導いた。
5. 資源の輸送リスクの評価法として「航行障害リスク」を対象に、イベントツリー解析を基にした専門家ブレインストーミングによる、①航行障害シナリオの抽出、②シナリオ発生確率の推定、③シナリオ発生抑制政策の評価、で構成される新たな評価手法を提起し、実際に専門家ブレインストーミングを行ってその有効性を示した。

以上要するに本論文は、地球温暖化防止とエネルギー安定供給の双方に対処するグローバルなCO₂削減型グローバルエネルギーシステムを評価するための解析シミュレーション手法とエネルギーシステムとしての構成における課題を多角的に評

価する方法論を提起したもので、環境調和型エネルギーシステム進展の観点から、学術上、實際上、資するところが大きい。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月23日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。