

論文審査の結果の要旨

氏名 乾 正幸

本論文は 6 章からなり、第 1 章は緒言として、現在世界的に温暖化対策として注目されている CO₂ 分離回収・貯留法 (CCS) につき、我が国が主流と位置づけている海域帯水層貯留は、CO₂ 漏洩リスクの低減化を考慮すると貯留規模が大きく制限されること、対象が低水深海域であるため地域の社会的受容性の問題があることを述べ、我が国の CCS ポテンシャルの拡大のため、新たに、ガスハイドレートを利用した海底 CO₂ 貯留法 (以下、本貯留法) を提案し、その技術的・経済的実現性を評価するという、本論文の背景と目的について述べている。

第 2 章は、本貯留法の技術的課題であるハイドレート生成による貯留層内の流動閉塞につき、新たに開発したハイドレート生成を伴う多孔質中気液二相流動シミュレータにつき説明している。海底下砂層内での流動する気液二相状態からのハイドレート生成のモデル化では、ハイドレート非被覆気液界面からの生成、被覆界面でのハイドレート膜内を CO₂ が拡散して生じる生成、間隙水内の溶存 CO₂ による生成の三パターンを考慮している。計算結果を、砂層温度、反応管差圧および排出水量に関する実験結果と比較検証した結果、このシミュレータの妥当性が確認された。また、計算結果より、閉塞現象は、移動するガスフロントにおける新規気液界面でのハイドレート生成の量に起因するという閉塞メカニズムを明らかにした。また、N₂ を混入した場合の結果から、CO₂ 溶解およびハイドレート生成で気相中の CO₂ が消費されることで、熱力学的に生成阻害剤となる N₂ の濃度がガスフロント付近で高くなり、ガスフロントにおけるハイドレート生成が極端に抑制されることを確認した。これにより、N₂ 混入による閉塞回避の妥当性を確認している。

第 3 章では、600 MW 級石炭火力発電所 1 基から排出される 20 年間分の CO₂ 量を水深 1,000 m の海域にハイドレートとして貯留することを想定し、CO₂+N₂ 混合ガスを用いることを前提条件として、CO₂ 回収システム、輸送システムおよび圧入システムの三つに別けて、基本コンセプトを設計している。

第 4 章では、日本周辺海域で卓越したタービダイト砂泥互層の砂層部分にハイドレートとして貯留可能な CO₂ 量を概算している。南海トラフ海域での基礎試錐データを参考に必要パラメータを見積もり、我が国における本貯留法の貯留規模は 19.6-199 Gt-CO₂ と概算した。これは、2008 年度の日本の CO₂ 排出量の 15-150 年分に相当する。これより、本貯留法が帯水層貯留と比較しても同等以上の貯留規模を有することを明らかにし

ている。

第5章では、第3章の基本設計を基に、各システムでの初期投資費用と年間運転費用を概算し、経済性評価を行っている。その結果、CO₂回収コストは、5,400-5,800 yen/t-CO₂、輸送コストは2,900-3,300 yen/t-CO₂、圧入コストは、2,200-2,400 yen/t-CO₂となることを示した。全体のコストは、N₂濃度増加によるCO₂回収コストの減少分とCO₂輸送コストの増加分がほぼ相殺し、N₂濃度によらず約11,000 yen/t-CO₂となることを明らかにした。また、全体のコストの内、回収システムにおける蒸気供給費と全体の固定費がそれぞれ約30%を占めることから、余剰蒸気を利用できれば6,200-6,700 yen/t-CO₂となることも示唆している。同様の計算で帯水層貯留は約11,500 yen/t-CO₂であり、本貯留法は、帯水層貯留と同等の経済性を有することを明らかにした。

第6章は結論で、上記をまとめた上で、本論文で提案するCO₂ハイドレート貯留の実現可能性は、技術的にも経済的にも十分に高いと結論付けている。

以上のように、本論文は、ガスハイドレートを利用した海底下CO₂貯留法というCO₂大規模削減策を新たに提案し、その技術的課題のメカニズムを解明し、解決策を提示し、さらに貯留規模および経済性の評価を実施して、この手法の実現可能性を明示している。提案した手法とハイドレートの生成モデルに新規性があり、科学技術的にはもちろん、社会的・政策的にも価値の高い論文であると言える。

尚、本論文第2章の一部は、佐藤徹、駒井武、影本浩、鎌田直樹、平林紳一郎との共同研究であるが、論文提出者が主体となってモデルの構築、実験結果との検証、計算結果の分析を行ったもので、その寄与は十分であると判断する。また第4章の一部は、佐藤徹との共同研究であるが、論文提出者が主体となって貯留ポテンシャルおよび経済性評価を行ったもので、その寄与は十分であると判断する。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。