

論文審査の結果の要旨

氏名 于 涛

本論文は5章からなり、第1章は緒言として、大気中の二酸化炭素の過剰排出による地球温暖化とその危害などを述べ、地球温暖化対策であるガスハイドレートのシール効果を利用した海底下帯水層内 CO₂ 貯留法（以下 hydrate sealing）及びガスハイドレートを利用した海底下砂層内 CO₂ 貯留法（以下 hydrate storage）の概要について述べている。また、先行研究調査として現在まで提案された砂層中のハイドレート生成モデルを紹介したうえで、hydrate sealing と hydrate storage の実現可能性・貯留ポテンシャルを明らかにするために、これらのモデルを統合した、新たな砂層中の包括的ハイドレート生成モデルを提案するという本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究で使用した CO₂ ガスと水の気液二相流動及び CO₂ ハイドレート生成に関する数値モデルについて説明している。具体的には、ハイドレート生成が砂層内の気液界面の位置によって異なると考え、ガスフロントでのハイドレート生成と、ガスフロント後方での気液界面におけるハイドレート生成、ガスフロント後方での砂表面におけるハイドレート生成という三つのパターンに分類し、それぞれにおけるハイドレート生成モデルを統合した、包括的なハイドレート生成モデルを構築している。特に、ガスフロントでのハイドレート生成は、本研究において新たに開発したものであり、高い独自性が認められる。また、砂層孔隙内でのハイドレート生成による浸透率低下についても、砂層中でのハイドレートの存在形態に応じて別々にモデル化している。

第3章では、まず、文献にある、流動のない水不飽和砂層における CO₂ ハイドレート生成の実験結果に基づいて、実験と同じ条件下での数値計算によって、気液界面における CO₂ ハイドレートの生成速度定数と CO₂ ハイドレート膜における CO₂ 拡散速度定数を決定している。また、文献にある、水飽和砂層への CO₂ ガス圧入及び CO₂ ハイドレート生成の実験結果に基づいて、実験と同じ条件下での数値計算によって、CO₂ ガスと水の気液二相流動モデル及び本論文で提案した包括的ハイドレート生成モデルに関連したモデルパラメータを決定している。さらに、感度解析によって、各モデルパラメータの変化が計算結果への影響について詳細に調べている。

第4章では、本論文で提案した包括的ハイドレート生成モデルの妥当性を検証するために、第2章で開発した包括的ハイドレート生成モデルを組み込んだ砂層内気液二相流シミュレータと、第3章で求めた各モデルパラメータを使って、文献にある、水飽和砂層への液体 CO₂ 圧入および CO₂ ハイドレート生成の実験結果に基づいて、実験と同じ条

件下での数値計算を実施し、計算結果と実験結果を比較することで、本研究で提案した包括的ハイドレート生成モデルの妥当性を検証している。

第5章は結論で、包括的ハイドレート生成モデルを提案することで、砂層孔隙内でのCO₂ハイドレートを生成させる二次元数値シミュレータを開発し、砂層内におけるCO₂ハイドレート生成の数値計算と文献にある実験結果を比べることで、各モデルパラメータを決定し、また、別途実施された実験結果を利用して、本研究で提案した包括的ハイドレート生成モデルの妥当性を検証したと結論付けている。

以上のように、砂層内での気液界面の存在位置によって異なるハイドレート生成モデルを統合、また新たに開発することで、包括的なハイドレート生成モデルを提案したことに新規性が認められ、科学技術的な価値のある論文であると言える。さらに、環境省の事業「環境配慮型CCS導入検討事業委託業務」において、今回開発した包括的ハイドレート生成モデルは、仮に貯留層からCO₂の漏洩があった場合に、ハイドレート生成により漏洩が抑制されるかを予測するシミュレータに採用されることが検討されており、社会的・政策的にも意義が認められる。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。

以上1672字