

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	多孔質内における混和性流体の重力不安定対流の三次元フィンガー構造
Title(English)	Three-dimensional fingering structure of gravitationally unstable convection between miscible fluids in a porous medium
著者(和文)	Wang Lei
Author(English)	Lei Wang
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10852号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:末包 哲也,奥野 喜裕,岡村 哲至,長崎 孝夫,肖 鋒
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10852号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Wang Lei		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	末包 哲也	教授		肖 鋒	教授
	審査員	奥野 喜裕	教授	審査員		
		岡村 哲至	教授			
		長崎 孝夫	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Three-dimensional fingering structure of gravitationally unstable convection between miscible fluids in a porous medium (多孔質内における混和性流体の重力不安定対流の三次元フィンガー構造)」と題し、英文で書かれており全 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction(序論)」では、温暖化防止技術である二酸化炭素地下貯留(CCS)の必要性について述べている。浮力に伴う、二酸化炭素の貯留層からの潜在的な漏洩のリスクと対抗するトラップメカニズムの関係を概観し、貯留開始直後に作用する帽岩による物理トラップからより安定的なトラップ状態である溶解トラップへの移行に、二酸化炭素が溶解した地下水と溶解していない地下水の間に発生する貯留層内部での密度差自然対流が、重要な影響を与えることを指摘するとともに、三次元多孔質媒体における密度差自然対流の発生メカニズムの解明と物質輸送現象のモデル化の必要性と意義を示している。

第 2 章「Miscible fluids with nonlinear density property modelling density-driven convection (非線形密度特性を有する混和性流体を用いた密度差自然対流のモデル化)」では、光学的な不透明性のために計測が困難である三次元多孔質媒体内での密度差自然対流を可視化する手法を提案している。メタノールとエチレングリコール混合液は塩化ナトリウム水溶液と混和することで非線形的に密度が変化することを利用し、二酸化炭素溶解に伴う水の密度上昇をモデル化できることを示している。さらに、X 線 CT 計測により、局所的な密度センシングが可能であることを示している。

第 3 章「Three-dimensional fingering structure of density-driven natural convection (密度差自然対流の三次元フィンガリング構造)」では、第 2 章で提案した手法を用いて、実際の CCS におけるレイリー数(Ra)に相当する $Ra = 2,600 \sim 16,000$ の範囲で密度差自然対流の三次元構造を可視化している。初期界面において密度差に伴う微小な擾乱が徐々に合体し、フィンガー構造へと成長する。フィンガーは特性速度の 0.35 倍で重力方向へ進展し、複雑なラビリンス構造を形成する。重力により降下するフィンガーと上昇流の間には多孔質媒体の複雑性に伴う分散現象が発生していることを見出した。また、この横方向分散はフィンガーの合体に重要な影響を与えることを見出すとともに、フィンガー数密度の予測モデルを構築している。さらに、CCS におけるトラップメカニズムの移行に要する時間スケールの推定に有効となる、密度差自然対流による物質輸送特性のモデルを構築している。

第 4 章「Effect of layered heterogeneity of fingering structure(層構造不均質性がフィンガー構造に与える影響)」では、堆積岩に普遍的にみられる層状の不均質構造が密度差自然対流に与える影響について議論している。フィンガーが透過率の低い層から高い層に移動する場合、逆に、高い層から低い層に移動する場合において、フィンガーの密度、進展速度、フィンガー数密度に非線形的な変化が発生しており、単純に体積平均化した均質層では近似しえないことを明らかにしている。層構造不均質性は、自然対流の発生を著しく抑制する可能性を指摘している。

第 5 章「Gravitational fingering due to density increase by mixing at a vertical displacing(鉛直置換過程における混和に伴う密度増加による重力フィンガリング)」では、二酸化炭素による原油増進回収プロセスに注目し、界面が鉛直方向に移動している場合、界面での両相の混和が促進され、重力不安定混和が促進されるメカニズムを明らかにしている。

第 6 章「Conclusions and outlook (結論と展望)」では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は CCS における溶解トラップ状態への移行メカニズムに重要な影響を与える多孔質内における混和性二相の密度差自然対流現象を解明し、物質輸送特性をモデル化したものである。したがって、本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット 公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。