

2025年度 研究助成対象 研究成果

早稲田大学 創造理工学研究科 地球・環境資源理工学専攻 修士2年

学業・研究の目的、内容およびその実績(別紙添付も可)

1.研究目的

温室効果ガスの排出削減が世界的に求められる中、CCS や CCUS の実用化が重要な課題となっている。しかし、CCS の実施には、CO₂の漏洩や坑井損傷に加え、貯留に伴う孔隙圧の上昇が断層滑りを引き起こし、誘発地震のリスクを高めるといった技術的課題が存在する。特に、誘発地震は人命に関わる問題であり、日本という地域性からも研究の重要性が高まっている。本研究では、フィールドケースを対象に、Spring-Slider Model を用いた数学的手法によって、CO₂圧入による孔隙圧上昇が応力伝達や滑り挙動に与える影響を実験と数値シミュレーションを併用して解析する。それにより、誘発地震の発生頻度・規模を定量的に分析することでリスクを評価し、安全な CO₂圧入計画の策定に貢献することを目的とする。

2.研究内容

Perfettini (2004)の断層応力伝達モデルを基礎に、地殻を上部の地震発生帯(SFZ)、中部の脆性クリープ帯(BCFZ)、下部の延性帯(DFZ)に区分した三層構造の Spring-Slider Model を構築した。各層に速度・状態依存摩擦則を適用し、Runge-Kutta 法による時間発展解析を行うことで、地震サイクル中の応力伝達と滑り挙動を数値的に再現した。特に、CO₂圧入により孔隙圧が増加する条件を境界駆動力として導入し、断層間の応力伝達が地震発生周期や規模に与える影響を評価している。その結果、孔隙圧上昇が断層滑りの臨界応力到達を早め、Stick-Slip 挙動の周期を短縮させること、また複数断層間での応力伝達により非周期的な滑り挙動が生じることを確認した。これらの結果は Perfettini モデルの理論式と良好に対応しており、粘性係数の低下や圧入速度の増加が非定常ひずみ蓄積を促進することを示唆している。

3.研究実績・今後の展望

修士課程において Spring-Slider Model の数値解析コードを自作し、Perfettini (2004)および森川(2025)の既往研究モデルを再現した。さらに、苫小牧 CCS および胆振東部地震に関する文献レビューを行い、断層連動性と圧入圧条件の関係を検証してきた。これらの成果により、地震サイクル理論の基礎と誘発地震メカニズムに関する理解を深めている。

今後は、モデルの拡張および実フィールドデータとの比較解析を進め、CO₂圧入による孔隙圧上昇を考慮した数値モデルを構築する計画である。これにより、CCS に伴う誘発地震リスクを定量的に評価する新たな手法を確立し、安全で持続可能な CO₂貯留技術の発展に寄与することを目指す。

2025 年度 研究助成対象 研究成果

慶應義塾大学 理工学研究科 総合デザイン工学専攻 博士課程 2 年

学業・研究の目的、内容およびその実績(別紙添付も可)

私が修士課程、及び博士課程にて、取り組んできた研究テーマは「Co-Packaged Optics 応用に向けた、ポリマー光導波路素子の作製」である。Co-Packaged Optics とは、データセンタ内の高速通信のスイッチを担う電子集積回路(LSI)の近傍に、光集積回路(PIC)を実装することで、より大容量・高密度な光通信を実現する構想である。ポリマー光導波路は、PIC へ光を供給する光ファイバとの接続素子として期待される。私の研究目的は、ポリマー光導波路の新たな作製手法であるモスキート法を用いた PIC への光接続方式を提案し、光接続を実現することである。

私の所属する研究室が提案しているモスキート法は、液体のクラッドモノマー材料内へコアとなる屈折率の高いモノマーを注入し、走査させ光配線パターンを形成した後に UV 硬化させることで導波路を作製する手法である。この手法は、屈折率等の光学性能を自由に調整可能なポリマー樹脂の可能性を引き出せるという点、従来の手法では実現が難しい高さ方向を含む 3 次元配線が可能であるという点で画期的である。私は、このモスキート法を用いて、ポリマー光導波路から PIC へ光を垂直方向に遷移させる、アディアバティック結合という結合方式の実現に向けた、ポリマー導波路サンプルの作製検討を行っている。

アディアバティック結合を実現するポリマー導波路に求められる機能性として、光ファイバと Si 導波路の配線ピッチの変換、ポリマー基板底部側へのコア形成、光の偏波状態の保持の 3 つが取り組むべき課題となっている。偏波に関しては修士課程の研究で、高い屈折率差を持つ材料選定とコア形状の楕円化という手法を用いて、光ファイバから入力された偏波の状態をポリマー光導波路内で保持するという結果を得ている。この研究内容について、2024 年度 11 月に開催された国際学会 ICSJ にて口頭発表を行い Award への選出を頂いた。

博士課程の研究では、高屈折率差材料の特性を生かしつつ、モスキート法を生かした光配線の経路の検討を行い、ch 間の配線ピッチ変換とポリマー基板底部側へのコア形成を両立した導波路デバイスの作製を目指している。作製プロセスでは、ポリマーコアを吐出する際に生じる、基板底部でのモノマー流動の抑制が主な課題となっている。吐出するニードルをより精密な構造を持つものに変更し、吐出速度を改善することで、所望の構造の実現が期待される。最終的な Si 導波路への結合実験を見据えて、光学シミュレーションによる作製誤ラランスを検討しながら、最適作製条件の確立を目指している。