

二酸化炭素地中貯留における地質の不確実性を考慮した圧入井の配置最適化

大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 ○ 宮城 充宏
大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 正会員 山本 肇
筑波大学 システム情報系 秋本 洋平

1. はじめに

二酸化炭素地中貯留(Carbon dioxide geological sequestration : GCS)は、火力発電所等から排出されるCO₂を回収し、地下深部の砂岩層などの貯留層に圧入井を通じて地中に貯留する地球温暖化対策技術である。商業規模のGCSでは、大量のCO₂(1地点あたり年間100万t以上)を地中に圧入することが想定され、複数の圧入井戸の設置が考えられる。しかし、CO₂の圧入に用いられる井戸(圧入井)は、概ね1kmの大深度に存在する貯留層を対象としており、その設置コストは高額である。したがって、圧入井の設置計画にあたっては、貯留層の地質特性を考慮しつつ、高い費用対効果が期待できる配置を採用することが重要である。

著者らは、メタヒューリスティクスとCO₂地中挙動シミュレータを組み合わせた最適化手法¹⁾の開発を進めてきた。ここでメタヒューリスティクスとは遺伝的アルゴリズムに代表される最適化手法である。メタヒューリスティクスによって生成される多数の解候補(圧入井の位置座標や圧入レートなどの配置パラメータ)に対してCO₂貯留シミュレーションを繰り返し、目的関数(CO₂圧入量など)が最適となる解を算出するものである。

上記の手法では、貯留シミュレーションで用いる地質モデルが、貯留サイトの浸透性などの物性分布を十分に表現できていることが前提となる。しかし、実際には、地質調査データの不足など様々な要因による不確実性が地質モデルには含まれている。

そこで本研究では、地質の不確実性を考慮しつつ、最適な圧入井の配置を見出すための手法を提案する。本報では、最適化の目的関数としてCO₂圧入量を最大化する複数の圧入井の配置問題に提案手法を適用し、その有用性を検討した結果を記す。

2. 最適化手法

本研究では、地質の不確実性は図1が示すような

複数のリアライゼーション(確率的に発生した可能性のある地質モデル)として具現化された場合を考える。複数のリアライゼーションに対して最適解を探索した場合、図1に示す通り、浸透率などの物性分布に依存して異なる最適解(井戸配置)が個別に求められる。すなわち、最適解を一意に決定できない。そこで、本研究では、複数のリアライゼーションで表現された不確実性を考慮しつつ、最適な圧入井配置を一意に求める手法を考案した。そのワークフローを図2に示す。ある解候補について、複数のリアライゼーションに対してシミュレーションを行う。そして、全リアライゼーションで得られた目的関数の平均値や最大値、最小値などの統計値を最適化の対象とする統合化目的関数として採用する(図3)。この統合化目的関数を指標に、メタヒューリスティクスが解候補を評価する。図2が示すように解候補の生成と評価を繰り返すことで、最適解が算出される。

3. 最適化問題

今回は、浸透率の不確実性を地質統計学シミュレーションにより表現し、50個の浸透率分布の異なるリアライゼーションを作成した。解析格子は、モデルの領域20(km)×20(km)×0.05(km)を(I,J,K)=(50,50,1)に分割した。設計変数を3本の圧入井の(X,Y)座標とすると、6変数の問題となる。貯留層シミュレーションでは、3本の圧入井から固定した圧入圧(19.7MPa)で10年間CO₂を圧入し、それらの合計圧入量を求めた。地層の初期圧力を15MPa、初期温度を60℃、上下面ならびに側面境界は閉鎖境界とした。

統合化目的関数に関し、ここではより多くのCO₂を高い確率で圧入できる井戸配置を探索する観点から、いずれのリアライゼーションでも安定してCO₂圧入量が大きい配置を求めることとし、98%の確率で圧入できるCO₂量を最大化した。つまり、最適解探索では50個のリアライゼーションのシミュレーション

キーワード 二酸化炭素地中貯留、井戸配置最適化、地質の不確実性、メタヒューリスティクス

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 地盤研究室 TEL045-814-7217

ョン結果から作成できる図3のようなCO₂圧入量分布のうち、98%の確率で圧入できるCO₂量(P98のCO₂圧入量)を指標に解候補を評価して最適解を探索した。

4. 最適化結果

図4に、シミュレーション数の増加に伴う目的関数値の改善の様子を示す。最適解探索においては初期値によって局所解収束する場合があることを考慮し、初期位置を変えて解探索を2回リスタートした。この図より、シミュレーションを繰り返すことで目的関数値が改善されており、今回の最適解探索が妥当に実施されたことがわかる。得られた最適解の目的関数値(P98のCO₂圧入量)は約250万tであった。

ここで、図1に示したようなある特定のリアライゼーションに対して個別に探索した最適解と本手法を比較する。特定のリアライゼーションから算出された最適解をその他のリアライゼーションにも適用してP98のCO₂圧入量を求めた結果は、最大の場合でも約160万tであった。本手法は不確実性の下で

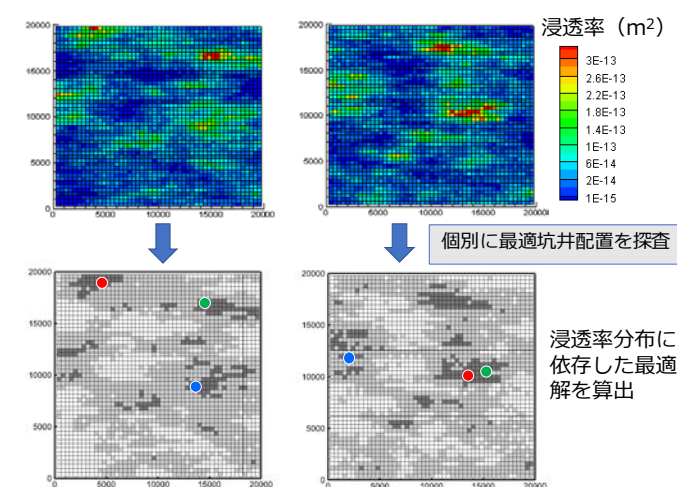


図1 浸透率分布の異なる複数のリアライゼーションにおいて独立に最適解探索した結果

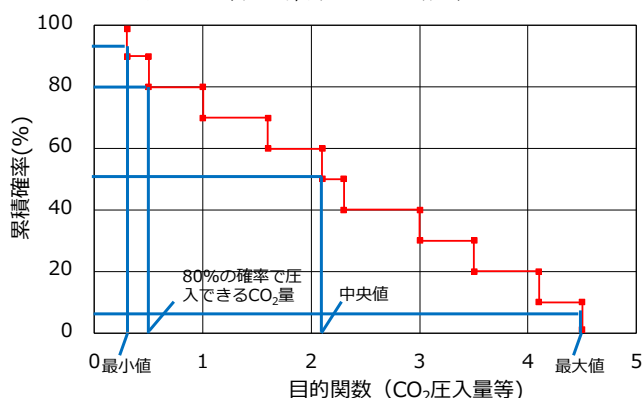


図3 統合化目的関数の考え方

目標とする統計値の優れた圧入井配置を一意に決定できることが示された。

5. まとめ

二酸化炭素地中貯留を対象に、地質の不確実性を考慮したCO₂圧入井の配置最適化手法を提案した。

1つの解候補に対する複数のリアライゼーションでのシミュレーション結果の統計値を目的関数として最適解探索する手法は、不確実性に対してロバストで確実にCO₂を圧入できる井戸配置などを一意に決定する上で有用であることがわかった。今後は、地下水汚染対策など、より幅広い分野の井戸配置問題に適用を進めていく予定である。

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものである。

参考文献

- 1) 宮城充宏, 山本肇, 秋本洋平, 薛自求: 二酸化炭素地中貯留における圧入井の配置最適化ツール的高速化, 大成建設技術センター報, 第52号, 2019.

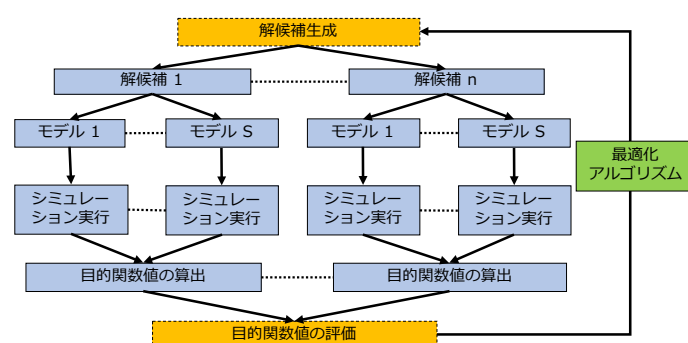


図2 複数リアライゼーションを用いた最適化ツールのワークフロー(本手法)

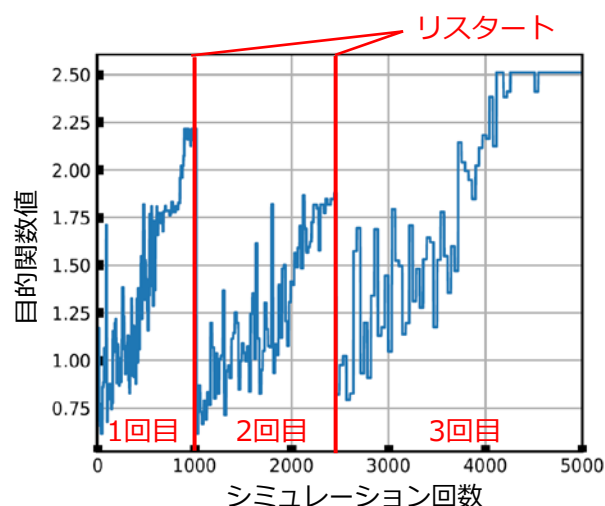


図4 シミュレーション回数の増加に伴う目的関数値の改善