

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	多孔質媒体中の乾燥・排水過程に関する研究
Title(English)	Study on drying and drainage processes in porous media
著者(和文)	NASIRMuhammad
Author(English)	Muhammad Nasir
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12893号, 授与年月日:2024年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:末包 哲也,岡村 哲至,野崎 智洋,高橋 秀治,兒玉 学
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12893号, Conferred date:2024/9/20, 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	NASIR Muhammad	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	末包 哲也	教授	兒玉 学	准教授
	審査員	岡村 哲至	教授		
		野崎 智洋	教授		
高橋 秀治		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study on drying and drainage processes in porous media (多孔質における乾燥と排水過程に関する研究)」と題して全5章から構成されている。

第1章「Introduction (序論)」では不飽和土壌における水分移動や二酸化炭素地下貯留にみられる多孔質内混相流における蒸発過程と排水過程に関する研究の現状を概観し、細孔スケール計測に基づいた蒸発過程の現象説明と数値シミュレーションによる排水過程の解明を本研究の目的に設定している。

第2章「Pore-scale drying process: capillary rearrangement and insights into invasion front and liquid film region in 3D porous media (細孔スケールの乾燥過程: 3次元多孔質における毛細管再配置および浸透フロントと液膜領域に関する考察)」では、細孔スケールの乾燥プロセスを可視化することによりクラスター領域と浸透フロントの特徴を明らかにしている。液体の蒸発に伴いガスが多孔質媒体に侵入するが、液体の界面張力と濡れ性により液体の毛細管再配置が発生する。蒸発は液膜領域の上部のみ顕著であるため、ガスが多孔質へ浸透することにより気液界面の面積が増加しても、乾燥速度に影響しない。浸透フロントの領域では液体飽和度が1.00から0.15に低下する。浸透フロントの長さである浸透長は粘性を無視したパーコレーション理論から導かれるスケリング則に従うことから、粘性の影響は無視でき、毛細管現象と重力の相互作用により制限を受けていることがわかる。一方、残留液胞が孤立して存在するクラスター領域では、クラスターのサイズ分布は普遍的なべき乗則から逸脱し、クラスター領域にも非常に薄い液膜が存在し、毛細管再配置が生じていることを示唆している。

第3章「Pore-scale drying process: effects of wettability on drying process of 3D porous media (細孔スケールの乾燥過程: 3次元多孔質における乾燥過程に与える濡れ性の影響)」では、乾燥過程における毛細管配置に影響を与える多孔質媒体の濡れ性の影響を調査している。濡れ性が高いほど毛管圧が上昇し、大きな径の細孔から小さな径の細孔へと液体の再配置が促進される。再配置の結果として、液体クラスターは長時間消滅せずに維持されることを見出している。これらのクラスターは、蒸発面として機能する気液界面領域を維持する。その結果、液体に濡れやすい多孔質ほど蒸発は活発で、多孔質外部での蒸気輸送によって乾燥が抑制される一定速度蒸発期間が長い。中立的な濡れ性を有する多孔質では、乾燥速度は早い段階で低下し、乾燥速度降下期に移行する。ここでは、多孔質内に新たに出現した乾燥領域を通る多孔質内部の蒸気拡散によって乾燥速度が制限される。

第4章「Pore-scale drainage process: CO<sub>2</sub> saturation and relative permeability under wide-ranging injection velocity and wettability (細孔スケールの排水過程: 広範な注入速度と濡れ性に対するCO<sub>2</sub>飽和率と相対浸透係数)」では、二酸化炭素地下貯留に対応する条件において数値シミュレーションを行い、間隙ネットワークスケールでのメニスカスのダイナミクスと体積平均化されたダルシースケールのパラメータである相対浸透係数の関係を解明している。CO<sub>2</sub>飽和率は粘性フィンガリング状態で最も高く、遷移領域で最も低い。低い注入速度に対応するキャピラリーフィンガリング領域ではハイネスジャンプによりCO<sub>2</sub>が多孔質内部に広がるため、ブレイクスルー時のCO<sub>2</sub>飽和率が高く、一方で界面張力の影響が大きいため、CO<sub>2</sub>の相対浸透係数が最小となる。中程度の注入速度と低い接触角では、キャピラリーフィンガリングと粘性フィンガリングの遷移領域となり、CO<sub>2</sub>飽和率は低くなる。従来、相対浸透係数を求めるためには大型の岩石コアを採取し、実験的に計測する必要があったが、本章で開発された手法を用いると坑井掘削時に発生する岩石片から、数値シミュレーションにより実験を代替し、低コストで相対浸透係数を取得することが可能になる。

第5章「Conclusions, implications, and future works (結論, 応用および今後の展望)」本研究の成果をまとめて結論を述べるとともに、今後、取り組むべき研究の方向性を示している。以上を要するに

本論文は、細孔スケール観察に基づいて多孔質の乾燥過程のメカニズムを解明するとともに、数値シミュレーションにより細孔スケールのメニスカスのダイナミクスと体積平均モデルの関係を明らかにしており、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有すると認められる。

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。