

学位論文 博士（工学）

多孔質体表面からの
蒸発を伴う溶液浸透で生じる
パターン形成

2024 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

相澤彩美子

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	相澤 彩美子
主 論 文 題 名 :				
多孔質体表面からの蒸発を伴う溶液浸透で生じるパターン形成				
(内容の要旨) 非平衡系の不可逆過程で秩序構造が出現する現象は、歴史的に多くの研究者の関心を集め、特に人工的な系を用いた非平衡現象の実験的研究は、多岐にわたる応用に貢献してきた。本論文では、工業的に重要な多孔質体への溶液浸透システムにおいて生じる非平衡現象を調査すること目的として研究を行い、多孔質体表面からの液体蒸発と浸透が同時に進行し、平衡から遠く離れた状態となることで、様々な動的挙動およびパターン形成が生じることを明らかにした。実験調査と理論解析の両面から議論を行うことで、非線形科学と工業的応用を結びつける応用への端緒を開いた。 第1章では、散逸構造を熱力学的観点から説明し、反応拡散システムと蒸発システムに代表される人工的な非平衡システムについて概説するとともに、蒸発を伴う多孔質体中の溶液浸透過程の産業的重要性、および非線形科学の観点からの研究の意義を論じた。 第2章では、揮発性の異なる2溶媒の混合溶液が多孔質体へ蒸発を伴って毛管浸透する際に生じる非線形浸透挙動について報告した。実験調査により、蒸発・浸透過程で溶媒組成の空間不均一性が増大し、浸透フロントの分岐と転移が生じることが明らかになり、現象の機構を Richards 式に基づく擬一次元モデルを用いて検討した。 第3章では、第2章で観察された浸透フロントの非線形挙動が、溶質移動の特異な非線形挙動を引き起こすことを報告した。浸透挙動及び溶質挙動に対する湿度の影響が明らかになり、溶媒の蒸発に加え、空気中の水分の凝縮が生じることで、溶質の溶解度や溶媒の極性の極端な不均一さが成長しうることが明らかになった。 第4章では、多孔質体表面からの溶媒蒸発を伴う溶液浸透過程で、溶質の析出が様々なパターンを形成することを報告した。そのうちの1つである同心円状析出パターンについて、湿度の影響を詳細に調べた。さらに、溶質析出が過飽和理論に従うと仮定した一次元モデルによってパターン形成機構を検証した。別のパターンであるフィンガリング状パターンについては、水の混入による液膜の動的な流体パターンの形成が関連している可能性を示唆した。 第5章では、本研究で得られた知見をもとに総括を述べた。				

Thesis Abstract

No. 1

Registration Number	☒ "KOU" No.	☐ "OTSU" *Office use only	Name	Amiko Aizawa
Thesis Title Pattern formation during solution infiltration associated with its evaporation from the surface of porous media				
Thesis Summary The emergence of ordered structures by irreversible processes in nonequilibrium systems has attracted significant interests of researchers. Experimental studies on nonequilibrium phenomena, particularly those for artificial systems, have contributed to a wide range of applications. This dissertation aims to investigate industrially important nonequilibrium phenomena that arise in solution infiltration process into porous media. It was found that various dynamic behaviors and pattern formations are realized in the systems in which infiltration of solution into porous media and its evaporation from the surface simultaneously proceed to drive the system in far-from-equilibrium conditions. Through both experimental investigations and theoretical analyses, the study links nonlinear science with industrial applications, laying the groundwork for future developments. Chapter 1 outlined the concept of dissipative structures from a thermodynamic point of view and reviewed artificial non-equilibrium systems, such as reaction-diffusion systems and evaporation systems. Additionally, discussions were made on the industrial importance of solution infiltration processes into porous media associated with its evaporation and the significance of studying these processes from a nonlinear science point of view. In Chapter 2, nonlinear infiltration behaviors during wicking of binary solutions composed of solvents having different volatility into porous media associated with their evaporation were reported. Experimental investigations revealed that spatial heterogeneity in the solvent composition grow during the evaporation-infiltration process, leading to bifurcation and transpositions of the wicking front. The mechanism was examined using a pseudo-one-dimensional model based on the Richards' equation. In Chapter 3, it was demonstrated that the nonlinear wicking behavior observed in Chapter 2 leads to a unique nonlinear behavior of solute migration. The effects of humidity on infiltration and solute migration behaviors were clarified, and it became clear that steep inhomogeneity in solute solubility and solvent polarity are grown due to the condensation of water vapor from the surrounding air. In Chapter 4, it was reported that various solute precipitation patterns are generated during solution infiltration into porous media associated with its evaporation. One representative such patterns, concentric precipitation pattern, was studied in detail, by focusing on the effect of humidity. The mechanism of this concentric pattern formation was examined using the one-dimensional fluid model incorporating supersaturation theory. For another type of pattern, fingering precipitation pattern, the dynamic fluid patterns observed in thin liquid films formed on the porous media induced by water condensation was suggested to be related with its generation. Chapter 5 summarized the findings of this study and discusses the implications of the results.				