



Title	Numerical study of flow instability and pattern evolution induced by Marangoni convection in a shallow rectangular cavity and half-zone with various geometrical conditions
Author(s)	Weerakoon Rathnayake, Neranjan Nayanajith
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/101496
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Neranjan Nayana jith Weerakoon Rathnayake)	
Title	Numerical study of flow instability and pattern evolution induced by Marangoni convection in a shallow rectangular cavity and half-zone with various geometrical conditions (多様な形状を有する浅い矩形並びにハーフゾーン内のマランゴニ対流により誘起される流れの不安定性とパターン変化に関する数値解析)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>Marangoni convection is critical in various natural and industrial processes, such as film coating, droplets, material fabrication, and crystal growth. However, most of these studies have focused on fixed geometrical settings, neglecting the variability encountered in real-world scenarios. This thesis aims to fill this gap by investigating Marangoni convection under various geometrical conditions relevant to practical processes. It strives to uncover and characterize the novel phenomena that arise when the geometric constraints are altered. Through meticulous numerical simulations and experimental analysis, this research offers a fresh perspective on the complexities of Marangoni convection, providing insights that could revolutionize process optimization in fields where these dynamics are crucial.</p> <p>Investigating the impact of liquid depth on thermal Marangoni convection stability within a shallow cavity containing silicone oil with a Prandtl number of 6.7, the findings reveal that thinner films exhibit primary instability transitioning from a steady state to a 3D oscillatory pattern. In comparison, thicker films experience secondary instability, shifting from oscillatory to chaotic flow. These behaviors suggest that thinner films benefit applications requiring stable coating processes. In contrast, thicker films might be better suited for applications demanding enhanced mixing, such as lubrication.</p> <p>The next research delves into the influence of hydro-static free surface deformation on thermo-solutal Marangoni convection in a shallow rectangular cavity under microgravity conditions. The results underscore a crucial point: the volume ratio is a dominant factor for promoting uniform liquid layers and is facilitated by consistent Marangoni flow distribution. This study also explores the interaction between different Prandtl and Schmidt numbers, demonstrating how these properties affect flow, temperature, and concentration distributions, essential for optimizing various industrial processes such as material welding, glass production, painting, and crystal growth. This emphasis on practical relevance keeps the reader's attention and highlights the importance of the research.</p> <p>This final investigation focuses on thermo-solutal Marangoni convection in a floating liquid bridge of SiGe, considering variations in volume ratio and gravity. The simulation outcomes indicate that the temperature field in the melt remains unaffected mainly by convective flows, while the concentration field predominantly determines the transport structures. Notably, the transition characteristics and the critical azimuthal wave number are influenced by the volume ratio, with minimal impact from gravitational changes, highlighting the robustness of Marangoni convection under diverse conditions.</p> <p>These studies offer a deeper understanding of Marangoni convection's complex dynamics and highlight its direct implications for improving processes in various industrial and scientific applications, coating, lubrication, and crystal growth for better design and high-quality production.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Neranjan Nayanajith Weerakoon Rathnayake)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主査 教授	岡野 泰則
	副査 教授	北河 康隆
	副査 教授	境 慎司

論文審査の結果の要旨

マランゴニ対流は、フィルムコーティング、液滴、材料製造、結晶成長などのさまざまな自然プロセスや工業プロセスにおいて重要である。ただし、これらの研究のほとんどは、矩形や円柱、球などの固定された幾何学形状内の現象に焦点を当てており、現実世界で遭遇する形状の変動性は無視されている。本学位論文では、実際のプロセスに関連するさまざまな幾何学的条件下でマランゴニ対流を調査することでこのギャップを埋めることを目的とし、特に幾何学的制約が変更されたときに生じる新しい現象を明らかにし、特徴づけることに注力している。本研究は、綿密な数値解析を通じて、マランゴニ対流の複雑さに関する新たな視点を提供し、これらのダイナミクスが重要な分野におけるプロセス最適化に革命をもたらす可能性があることを示唆している。

まずプラントル数 6.7 のシリコーンオイルを含む浅い空洞内の熱マランゴニ対流安定性に対する液体の深さの影響を調査した結果、薄い膜は定常状態から 3 次元 振動パターンに移行する一次不安定性を示すことを明らかにした。一方膜が厚くなると二次的な不安定性を示し、振動流から無秩序な流れに移行することが明らかとなった。これらの挙動は、安定したコーティングプロセスを必要とする用途では、より薄いフィルムが有益であることを示唆している。対照的に、潤滑など混合促進が必要な場合には、より厚いフィルムの方が適していることを示した。

次に、微小重力条件下の浅い長方形の空洞における温度差マランゴニ対流に対する自由表面変形の影響について検討した。その結果、体積比は均一な液体層を促進するための主要な要素であることが示された。さらに異なるプラントル数とシュミット数の間の相互作用も調査し、これらの特性が、材料溶接、ガラス製造、塗装、結晶成長などのさまざまな工業プロセスの最適化に不可欠な流れ、温度、濃度分布にどのような影響を与えるかを実証した。

たとえ同じマランゴニ数であったとしても液の体積や界面の形状が異なると流動、熱・物質移動が異なるといったここまででの知見を踏まえ最後に、体積比と重力の変化を考慮した、SiGe のフローティングゾーンにおける温度差マランゴニ対流の挙動に関し解析を行った。解析結果は、溶融物の温度場は主に対流による影響を受けない一方、濃度場が主に輸送構造を決定することを示した。特に、遷移特性と臨界方位角波数は体積比の影響を受け、重力変化による影響は最小限であることを示した。また、さまざまな条件下でのマランゴニ対流による不安定曲線が提出された。

以上の結果は、マランゴニ対流の複雑な力学についてのより深い理解を提供し、より優れた設計と高品質の生産のためのさまざまな産業および科学用途、コーティング、潤滑、および結晶成長におけるプロセスの改善に対するその直接的な知見を与えるものであり、今後の材料製造プロセスに対し多大なインパクトを与えるものである。従つて本論文を博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。