



Title	Numerical study of flow instability and pattern evolution induced by Marangoni convection in a shallow rectangular cavity with various boundary conditions
Author(s)	張, 剣高
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88091
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 (Z H A N G J i a n g a o)	
Title	Numerical study of flow instability and pattern evolution induced by Marangoni convection in a shallow rectangular cavity with various boundary conditions (浅い矩形容器内における多様な境界条件下でのマランゴニ対流によって誘起される対流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 has attracted continuous attention due to its existence in many natural and industrial processes such as oceanography, droplets, material fabrication, and crystal growth. Numerous fruitful research findings on Marangoni convection have been reported in recent years. However, the simple boundary conditions are adopted in most previous studies, while different boundary conditions also exist in many practical problems, and the associated unclear phenomena need to be revealed as well. Therefore, this thesis focuses on the various boundary conditions occurring in the practical processes, with the aim to investigate the effect of such conditions on the flow instabilities and pattern evolutions induced by Marangoni convection in a shallow rectangular cavity. In addition, not only pure solutal Marangoni convection but also thermal-solutal Marangoni convection with such boundary conditions are further analyzed.</p> <p>A theoretical model of pure Marangoni convection considering a linear solutal boundary condition is established, and solutal Marangoni convection with the moderate and high Schmidt numbers ($Sc = 10$ and 100) is studied systematically. The results reveal that the concentration fluctuations usually first appear inside the liquid layer due to the sudden change in flow direction. The evolution sequences of flow instabilities are related to the Schmidt number. Furthermore, compared with the previous studies used a constant solutal boundary condition, it is found that the computed fluid fluctuation with considerably less disturbance energy is observed and the concentration distribution is much more uniform on the bottom surface.</p> <p>Numerical simulations have been carried out on the thermal-solutal Marangoni convection subjected to mutual perpendicular temperature and concentration gradients. The relative contributions of thermal and solutal Marangoni effects on flow destabilization and pattern evolution are analyzed. On the one hand, the fluctuations of temperature and concentration are observed on the free surface in the forms of hydrothermal wave and hydrosolutal wave. On the other hand, two different propagation directions of wave patterns coexist on the free surface when the overall contributions of thermal and solutal effects are in the same order. Moreover, the effect of rectangular and cylindrical configurations on the characteristics of Marangoni oscillatory flow is qualitatively examined. Last but not least, based on the previous discovery, the effect of thermal radiation on thermal-solutal Marangoni convection is investigated. The critical Marangoni number at which the flow destabilizes highly depends on thermal radiation and exhibits different variation tendencies on the stages of heat loss and gain. Such a study would be beneficial for the industrial processes such as material welding, glass production, 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 (Z H A N G J i a n g a o)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査	教 授 岡野 泰則
	副 査	教 授 馬越 大
	副 査	教 授 松林 伸幸
<p>論文審査の結果の要旨</p> <p>本論文は浅い矩形内のマランゴニ対流の不安定性について数値解析を用い系統的に調査したものである。マランゴニ対流は自然界はもとより、墨絵やワインティアなどわれわれの身の回りにおいて馴染みの深いものである。同時に液相エピタキシーによる半導体厚膜成長、塗布、塗装、溶接といった実際の製造現場でも頻出する現象であり、最終製品の品質制御のためにはマランゴニ対流現象の本質的な理解を欠かすことはできない。</p> <p>マランゴニ対流は地上では自然対流と共存するため、純粋なマランゴニ対流のみを実験的に検討することは不可能である。そのため数値解析による検討が有用である。またマランゴニ対流現象の研究における流体配置としては浮遊液柱、気泡あるいは液滴などが広く用いられているが、地上で大きな液柱を作製することは困難であり、数値奇跡結果を実験的に検証することは不可能である。また気泡・液滴を用いた場合、それらの界面に発生する現象に焦点を与えることが主目的であり、液内全体のマランゴニ対流現象を取り扱うものではない、以上の観点より本研究では地上実験での検証も比較的容易である、浅い矩形内マランゴニ対流現象についての検討を行っている。</p> <p>第1章では以上の背景を述べ、これまでの研究を広く網羅し、続く第2章において数値計算手法の詳細について述べている。特にマランゴニ対流は他の対流に比べ不安定化しやすいことが知られており、離散化手法はもとより離散化制度、格子数などによっても大きく結果が変わってしまう。本論文では極めて精度の高い手法を適用し、既存の結果を極めて高精度に再現できることを確認している。</p> <p>第3章以下が主たる結果であり、従来報告されている単純な境界条件ではなく、より実現象に近い境界条件での検証を行っている。第3章では不純物濃度が不均一に分散されている場合を想定した境界条件を用い、単純な境界条件に比べ極めて複雑な挙動が現れることを示した。第4章ではこれにて温度場を重畳させることにより、半導体成長、すなわち低プラントル数、高シュミット数における特異な現象を見出すことに成功した。またここでは円筒形領域の場合にと比較も行い、共通点、非共通点に関する議論を深化させている。第5章においては自由界面上の温度境界条件として外部との輻射伝熱の影響を考慮した。これにより外部温度は対流現象に重要な影響を及ぼすことが分かった。これは通常磁場などの外力場の印加による対流制御に代わり、外部温度を変化させるだけで、対流場制御およびその結果として最終製品品質制御が可能となることを示唆している。</p> <p>以上のように本研究はマランゴニ対流現象の本質的理解という極めて本質的な部分から実際の工業製品品質制御の可能性まで広範囲に波及しうる成果を有しており、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。</p>		