

Title	A Theoretical Study on the Marangoni Instability
Author(s)	舟田, 敏雄
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/11094/689">http://hdl.handle.net/11094/689</a>
DOI	
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名・(本籍)	ふな 舟	だ 田	とし 敏	お 雄
学位の種類	工	学	博	士
学位記番号	第	8918	号	
学位授与の日付	平成元年12月18日			
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当			
学位論文題目	A Theoretical Study on the Marangoni Instability (マランゴニ不安定の理論的研究)			
論文審査委員	(主査) 教授 角谷 典彦			
	(副査) 教授 伊藤 龍象    教授 吉信 宏夫    教授 吉川 孝雄			

### 論文内容の要旨

1970年代以来、「Marangoni 効果」について非常に関心が高まってきた。それは、space laboratory のような弱い重力場においてさえ流体の流れを引き起こすことができるからである。このように表面張力が重要な役割を果たす micro-scale の力学的機構を解明することが、今日の新しい工学装置や工学的応用を開発するために強く要求されている。従って、Marangoni 効果に起因する現象とそれに関連する力学的機構は科学や工学に於て重要となる新たな課題を提起している。

本研究では、流体力学の立場から、Marangoni 不安定を理論的に究明した。特に、自由表面の変形が重要となる Marangoni 不安定の基本的な問題を議論した。先ず、薄い液膜の安定性を線形安定論により調べ、定常モードの固有値関係式が Marangoni 数、波数、Biot 数、Crispation 数の簡単な関数で記述出来ることを示した。自由表面が平滑の場合と表面変形がある場合について臨界 Marangoni 数と臨界波数の関係を考察し、2つの不安定機構があることを解明した。表面変形の効果が卓越する低波数の攪乱に対し、表面形状と対流の構造を調べた。更に、非定常モードについても検討した。

次に、熱輸送に原因する液層の Marangoni 不安定によって引き起こされる非線形表面波に対し、2つの代表的な場合を取り上げ、それらの発展方程式を導き、定常解を解析的に求めた。既存の線形安定論の結果を考慮した第一の場合に対し、その非線形拡散型の発展方程式の初期値問題を数値的に解き、定常解が実現されること及びパラメータ値に依存して減衰解や爆発解が現れることを示した。また、定常解が実現される条件を導き、数値計算結果と一致することを示した。液層底面に非一様な温度分布がある第二の場合には、表面波は Kuramoto-Sivashinsky 方程式に支配され、パラメータ値によって2つの定常 shock 解が得られた。

更に、不可逆反応を伴う気液反応吸収系の Marangoni 不安定について線形安定論を用いて考察した。液層の境界面を横切って起こるガス・溶質・反応生成物の輸送が規定されたとき、各成分がどのように Marangoni 効果に影響するかを調べ、溶質と反応生成物による複合効果が増強的に現れることを示した。また、表面変形の効果が低波数攪乱に対して顕著に現れることを示した。

## 論文の審査結果の要旨

自由表面をもつ液層や液膜の表面張力は、温度や溶解している物質の濃度の局所的な相違に応じて変化し、たとえ自由表面が平面であっても、そこにはこの表面張力の空間勾配に起因する力が生じ (Marangoni 効果)、液層や液膜中に流れや波を発生させる原因となる。この現象そのものは古くから知られていたが、1970年代に入り宇宙船内の実験が始まると共に、低重力下で流れや波を引き起こす主要原因として注目されるようになった。

本論文は、Marangoni 効果によって生じる液層や液膜中の対流や波動現象を流体力学の立場から理論的に調べた研究をまとめたもので、4章からなる。まず第1章で、Marangoni 効果に関する歴史的背景を概観し、とくに1970年代以降宇宙船内実験との関連で、この効果が注目されるに至った経緯を述べている。第2章では、両側に自由表面をもつ薄い液膜の Marangoni 不安定を線形理論によって調べ、自由表面が平面の場合の定常モードについて、対流発生時の臨界 Marangoni 数を求めている。さらに表面変形がある場合をも考察し、表面が平らな場合とは異なる不安定機構が存在することを明らかにした。とくに、この場合低波数攪乱が主役を演じることを指摘し、表面形状と対流の構造を詳しく解析し、通常の浮力による対流と比較している。ついで第3章では、一方に固体壁がある液層の自由表面において、熱輸送に起因する Marangoni 効果によって生じる非線形表面波を調べている。非線形摂動法を用い、長波長近似のもとで、自由表面のもりあがりやを支配する非線形拡散型の発展方程式を導き、その定常解を解析的に求めると共に、その初期値問題を数値的に解き、含まれるパラメータに応じて定常解以外に減衰解や爆発解もあることを示している。また液層底面に非一様な温度分布がある場合に、表面波はいわゆる Kuramoto-Sivashinsky 方程式に支配されることを示し、衝撃波型の定常解を得ている。最後に第4章では、不可逆反応を伴う気液反応吸収系の Marangoni 不安定を線形理論により考察している。液層の境界面を横切る気体・溶質・反応生成物の輸送機構が規定されたときに、各成分の Marangoni 効果が及ぼす影響を吟味し、溶質と反応生成物の複合効果とその影響を助長することを示した。

以上のように、本論文は Marangoni 効果によって生じる液層・液膜中の流れや波について、その基本的特性を明らかにし、低重力下での流体力学に新しい知見を加えると共に、Marangoni 効果の応用が期待される工学の諸分野に基礎的な指針を与えるものとして評価され、博士論文としての価値があるものと認める。