

審査の結果の要旨

論文提出者 古賀 俊行

本論文は「リブロン光散乱による複雑流体表面物性の研究」と題し、我々が開発し改良を重ねてきたリブロン光散乱法と表面波励振法を用いて、 $\text{nm} \sim \mu\text{m}$ サイズの微小な液体構造物の表面物性測定を行い、液体の微細構造に特有な現象を研究した結果について述べている。

本論文は8章から構成されている。

第1章は「序論」であり、本研究の背景と目的、及び本論文の構成について述べている。

第2章は「液体表面波の物理」と題し、液体表面波の伝搬と減衰に関する理論を、流体力学に基づいて記述している。本研究で観察する波は熱揺動によって励起された表面波と機械的に励起された表面波であり、本章では、これら表面波の伝搬と減衰について説明している。

第3章は「液体表面波の測定手法」と題し、本研究で用いた2つの実験手法について記述している。本研究で使用した実験手法は、リブロン光散乱法と表面波励振法と呼ばれるものである。リブロン光散乱法はリブロンの観察・測定手法であり、表面波励振法は外場印加によって励起した表面波の応答を観察する手法である。本章では、2つの手法の特徴、測定原理、検出原理、測定装置、及び測定結果の解析に必要な理論式の導出についてそれぞれ説明している。

第4章は「複層液体表面の物性測定」と題し、複層液体構造における表面と界面のリブロンの観察と理論について述べ、膜厚に依存した2つの新しい伝搬モードの存在を明らかにしている。水に対して完全濡れの性質を持つ不溶性液体を数 μm ～数十 μm の厚さで蒸留水表面に展開して構成される複層液体構造は、観察する波の波長と膜厚が同程度であるため、表面と界面の波が相互作用しながら伝搬し、その伝搬モードは膜厚に依存する。本研究では複層液体表界面のリブロンの伝搬を理論的に予測した。理論計算により、表面と界面の波が同位相で伝搬する**bending mode**と逆位相で伝搬する**squeezing mode**の2つの伝搬モードが存在し、これらの分散、減衰、散乱光強度はいずれも膜厚に依存するという結果を得た。またリブロン光散乱法を用いて2つの伝搬モードを観察して得られた実験結果が理論計算とよく一致することを確認し、本測定が複層液体構造の新たな観察手法となることを示した。

第5章では「可溶性単分子膜の表面粘弾性緩和現象の観察」と題し、典型的な両親媒性分子であるドデシル酸ナトリウムを用いて可溶性単分子膜を蒸留水表面に展開した試料の表面粘弾性について調べ、液体表面とバルク中との分子交換による緩和現象のダイナミクスを明らかにしている。可溶性の界面活性分子は液体表面だけでなくバルク内にも存在し、表面の吸着密度とバルクの濃度が平衡状態を保っており、表面-バルク間の分子交換が可溶

性単分子膜の緩和機構が存在する。本研究では周波数と試料の濃度を変えて表面弾性と表面粘性を測定し、表面粘弾性緩和現象を確認した。

第6章では「不溶性単分子膜の表面弾性の測定」と題し、ピストン油のひとつであるミリスチン酸エチルの不溶性単分子膜を蒸留水表面に展開した試料の表面粘弾性について、膜表面上の分子拡散による緩和現象を明らかにしている。不溶性の界面活性分子では膜内の分子拡散により表面粘弾性緩和が現れる。本研究では、表面粘弾性の周波数依存性を調べ、緩和現象を確認し、Maxwell モデルを用いて緩和周波数と緩和強度を実験的に決定した。

第7章では「定常熱非平衡状態におけるリプロンの伝搬の観察」と題し、液体表面に温度勾配を課した熱非平衡状態におけるリプロンの伝搬測定について述べている。リプロンは熱揺動波動であり、温度勾配でその伝搬を調べることにより非平衡での揺動散逸現象を実験的に検証できる。本研究では温度勾配によって現れるリプロンスpektrルの非対称性を定量評価する簡単で汎用性の高い手法を提案した。また蒸留水表面に不溶性単分子膜を展開した液体表面を観察することで Marangoni 対流を抑止し、非対称spektrル観察することに成功した。さらにその結果は理論的な予測とよく一致することも確認した。

第8章は「結論」であり、本論文の内容を簡潔にまとめている。

以上のように研究の成果は、液体表面に形成される微細構造を観察する新たな手法を構築し、これを用いて液体表面の分子レベルの構造とダイナミクスを明らかにしたという点で物理工学上重要なものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。