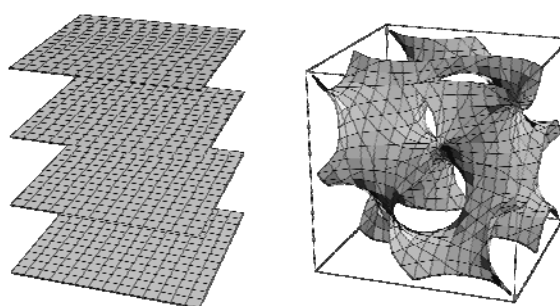


ディビジョン番号	1
ディビジョン名	物理化学

大項目	3. 凝縮系の物性と機能
中項目	3-3. 熱物性
小項目	3-3-1. ソフトマテリアルにおけるゆらぎと熱測定

#### 概要（200字以内）

ソフトマテリアル（高分子、液晶、生体膜、コロイド、ガラスなど）ではエントロピー的相互作用を主とする「弱い相互作用」が重要な役割を果たしている。このため、ソフトマテリアルではゆらぎが大きい。ガラスについては交流法熱容量測定を応用した動的な実験研究が進展している。高次構造形成（自己組織化）については、エントロピーゆらぎに比例する定圧熱容量の測定を通して、高次構造に由来するエントロピーやゆらぎの大小が議論されている。



高次構造の例（平坦面と三重周期極小曲面）

#### 現状と最前線

高機能分子集合体の代表である生体関連組織は、多種類の分子が非常に多数集まって高次構造を形成し、その高次構造が高機能発現を保証している。そこでは、系の複雑化に必然的に由来する緩和時間の増大とそれに伴う非平衡状態が出現すると共に、時間・空間領域でのゆらぎと不均一が顕在化する。このような特徴は、生体関連物質に固有な「生物学の課題」ではなく、弱い分子間相互作用で多数の分子が高次構造を形成する物質群に共通してみられる「物質科学の課題」であることが理解されてきた。そのため、このような物質群（高分子、液晶、生体膜、コロイド、ガラスなど）を最近ではソフトマテリアルあるいはソフトマターと総称し、これらを対象とした統一的科学が展開されつつある。

ソフトマテリアルの特徴の一つは、「弱い相互作用」に由来する高度に組織化された構造の形成（自己組織化）である。この「弱い相互作用」は室温付近の熱エネルギーと同程度である。熱力学は、温度と圧力を指定した場合に自然の安定性を支配するのはギブズエネルギーであることを教えてくれるが、ギブズエネルギーは、より低いエネルギーを好むエンタルピー項と、より乱雑な状態を好むエントロピー項の差で与えられる。ソフトマテリアルにおける「弱い相互作用」が熱エネルギーと同程度であるという事実は、「弱い相互作用」がエントロピーと直接関係しており、さらに必然的にゆらぎが大きいことを物語っている。たとえば、ソフトマテリアルの代表である高分子（ポリエチレン）において、軽水素体と重水素

体が相分離することは混合エントロピーによって説明される。エントロピーはミクロ状態数の対数であり、エントロピーは熱容量測定を通してのみ定量される。しかも、定圧熱容量はエントロピーのゆらぎと比例している。これらの事情のため、ソフトマテリアルの科学における熱容量測定の重要性は際だっている。

ガラス研究においては、実験結果に基づくガラス概念の拡張はもっぱら日本で行われてきた。そのような、ガラス類の熱力学的特徴（残余エントロピーなど）について非常に多数の実験的蓄積がある。最近では、交流法熱容量測定を応用した研究が盛んに行われている。

代表的ソフトマテリアルである液晶物質における液晶間相転移は臨界現象研究の舞台として非常に重要であり、熱容量測定による研究に限ってもこれまでに国の内外を問わず多数の研究が行われてきた。

ソフトマテリアルの高次構造についての熱力学の観点での研究は日本の寄与が非常に大きい。高次構造の形成に帰せられるエントロピー変化を分離する方法が提案されたほか、高次構造のゆらぎを熱容量測定により定量する研究は、近年、国内の研究者が取り組んできたところである。三重周期極小曲面（TPMS）で特徴づけられる高次構造が平坦面で特徴づけられる高次構造より小さいエントロピーを持つことが明らかにされている。異なる TPMS で特徴づけられる高次構造から特定の TPMS が選ばれる理由、異なる TPMS で特徴づけられる高次構造のゆらぎの大小と TPMS の幾何学特徴の関係などが検討されている。

上述のような研究には、廉価な市販熱量計では、性能が不足であることが多い。研究に耐える高性能の装置の普及が、ソフトマテリアルの科学の進展には必要である。

#### 将来予測と方向性

- ・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題  
ガラス転移の本質の解明  
特定の三重周期極小曲面（TPMS）で特徴づけられる高次構造が選ばれる機構の解明
- ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題  
分子構造に立脚した高次構造予測  
新しい自己組織化構造の設計

#### キーワード

ソフトマテリアル、自己組織化、ゆらぎ、エントロピー、熱容量

（執筆者： 齋藤 一弥 ）