


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	3-3-3. 極限環境における熱物性

概要（200字以内）	
<p>極限環境の熱物性は、強磁場下、超低温下、高圧力下、その他の外場下に分類して考えられる。これらを組み合わせた多重極限での研究も行われている。現状では、分子性伝導体、分子性磁性体、金属錯体の結晶固体における開殻系電子の電荷やスピンに関連した物性研究が中心であるが、今後、生体物質まで含む分子集合体での相転移・相変化、化学反応の磁場・圧力効果、光励起効果など外的環境制御下での研究への進展が期待される。</p>	<p><b>熱物性: ①原子・分子の「ミクロな自由度」と「マクロな現象」を直接結びつける情報を提供</b>  <b>②高分解能のエネルギー励起構造を調べる</b>  ⇒ 分子集合系、多体系、電子物性の理解に必須</p> <p>極限環境下での熱物性</p> <p>① <b>強磁場環境下の熱物性</b>  磁気現象、各種物理化学的(相転移、反応)のスピン効果</p> <p>② <b>超低温環境下の熱物性</b>  低エネルギーでの集団励起</p> <p>③ <b>高圧環境下の熱物性</b>  物質の相転移現象の制御、圧力誘起現象の探索</p> <p>④ <b>その他各種外部環境制御下の熱物性</b>  電場印加下、光照射状態での熱物性</p> <p>⑤ <b>複合環境下、多重極限下の熱物性</b>  各種外部パラメータの制御による新規物性の探索</p> <p>  原子、分子凝縮系の新たな機能性、物性の探索と機構解明</p>
現状と最前線	
<p>熱的な測定は、原子、分子のもつ「ミクロな自由度」と「マクロな現象」を直接結びつける情報を提供する。また、同時に温度計測の精度を使ったエネルギー分光法としての特徴をもち、物質の基底状態の基本的性質、そこから生じるスピンや電荷の自由度に関する低エネルギー励起、ダイナミクスを検出することが可能である。熱的な性質を様々な環境制御下で調べることは基礎物性の探求にはもちろん、外部環境の制御によって誘導される機能性の探索という意味でも重要である。極限環境下での熱物性測定は、このような視点から技術開発とあいまって大きく進展している領域である。以下では、1)強磁場下 2)超低温 3)高圧下 4)その他の外的環境制御下での熱物性について現状と最前線についてまとめる(文献1, 2)。</p> <p>1)強磁場環境下の熱物性</p> <p>熱物性の測定は、時間を要するため定常磁場下で行うことが基本である。定常磁場を与える磁石は、18 Tクラスの超伝導磁石までなら通常の研究室に装備可能である。これ以上の磁場は特殊実験施設(国内では東北大学金属材料研究所、物質・材料研究機構(つくば)など、国外では米国フロリダのNHMFL(National High Magnetic Field Laboratory)、フランスのグルノーブルの(Grenoble High Magnetic Field Laboratory)、ドイツのドレスデンなど)において共同利用、国際協力のかたちで利用でき、30 T付近までの測定がなされている。主として、超伝導体や磁性体などの特異な物性探索とその発現機構、Vortexの運動などに関する研究が中心であり、熱力学的な測定は随所に重要な情報を提供している。この種の結晶試料ではmg以下の小型試料まで測定されているが、ソフトマター、生体分子系などの強磁場下での研究は今後大いに展開する領域である期待される。また強磁場下での結晶化、ガラス化、反応にどのようなかたちでスピンや磁気特性が関与するかなど基礎物理化学的な研究も今後展開されよう。パルス磁場や、磁場掃引測定なども含め進展が期待される問題である。</p>	

## 2) 超低温での熱物性

$^3\text{He}/^4\text{He}$ 希釈冷凍機技術の進歩により超低温領域での実験が専門家でなくても可能になり、熱容量測定、熱伝導、などの測定は50 mK程度まで行われている。市販装置も販売されている。この領域での測定は、1)と同様にスピンや電荷に関する固体物性の視点からの実験が殆どである。熱物性は、温度の測定精度で行うことができる低エネルギーの分光手法としての側面があり、特に低温での熱容量、熱伝導は今後様々な分子集合系での集団励起を詳細に調べる方法として期待される。

## 3) 高圧下での熱物性

高圧下での熱容量測定は、クランプ型圧力セルを用いた測定が金属間化合物、合金に対してAC法、緩和法を使って行われているが、技術的に難しい側面が多くまだ汎用性は低い。より高圧ではダイヤモンドアンビルを用いた80 GPa程度までの測定も行われているが、いずれも絶対値を正確に求めることが難しく、相転移温度変化やピークの形状の変化を定性的に捉えるにとどまっている。断熱法により絶対精度の高い熱容量測定をするためには、試料容器を高圧セルにして実験を行う。アデンダ部の熱容量が大きくなるため精度のある測定をするためにはgオーダーの試料は必須である。高圧下での物性研究は、分子、原子間の距離を能動的に制御するという意味で今後必要性が増して行くことは明らかであり、熱物性測定も、静水圧性の高いキュービックアンビルを用いた測定、一軸加圧による測定などに展開していく必要がある。一方熱伝導、熱起電力などの測定も固体結晶を中心に行われている。

## 4) その他の外的環境制御下での熱物性

電場印加や光照射によって物質の電気・磁氣的性質を変化させた状態での熱物性測定も少数であるがスタートしている。電荷秩序化、混合原子価錯体の電荷分極、スピנקロスオーバー錯体を対象としたこのような定常状態熱物性、準安定状態熱物性の研究は、今後、新しい熱研究の分野として展開が期待される問題である。

5) 上記のような測定を合わせた多重極限下、複合環境下での熱物性も大規模実験施設を中心にプロジェクト研究が進められており、今後の展開が期待される。

参考文献1. 実験化学講座6 温度・熱、圧力 (日本化学会編 丸善 2005)

2. Comprehensive Handbook of Calorimetry and Thermal Analysis (Wiley 2004)

## 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

1) 汎用性の高い磁場中、高圧力下温度較正技術の開発 2) 層状超伝導体の渦糸状態、新奇な超伝導体の対称性の理解、磁場誘起超伝導のメカニズム解明、分子磁性体、金属錯体の強磁場量子スピン効果 3) 光照射状態でのカロリメトリー 4) 高圧下での絶対精度のある熱容量測定の基盤技術の開発 5) MEMSを用いた微小試料の極限環境下測定 6) SPhM, AFM等による局所熱測定の強磁場下での展開

### ・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

1) 非結晶性試料に対する極限環境下の熱物性 2) 分子の構造や相変化における磁場、電場などの外場効果 3) 化学反応の外部環境効果

## キーワード

強磁場、高圧、超低温、電界、多重極限

(執筆者: 中澤 康浩 )