

## 微小部赤外分光イメージング分析の最新技術

岡村 慎二、青木 靖仁  
構造化学研究部

**要旨** 微小部赤外分光分析において、高空間分解能装置の開発が進んでいる。本稿では、従来技術の延長線上にある顕微 ATR イメージングと、赤外光の回折限界を越えた空間分解能を有する光熱変換赤外分光法 (O-PT-IR 法) を用いた微小部赤外分光イメージング技術の適用例を紹介する。

### 1. はじめに

赤外分光法は、化合物の定性や反応解析など、幅広く用いられる分析手法である。赤外吸収スペクトルには分子固有の振動モードが観測され、化合物の組成分析ができることに加えて、分子間相互作用や高次構造といった豊富な情報も得られるため、工業的にも学術的にも、その有効性は高い。近年、材料設計の高度化とともに、より高い空間分解能での化学構造評価が要求されており、空間分解能の向上は重要な課題となっている。

### 2. 赤外分析の高空間分解能化

赤外分光分析の高分解能化の取組みがなされている中、従来の FT-IR 法の延長線上にあるのが顕微 ATR イメージング測定である<sup>1)</sup>。この手法は、高屈折率媒体 (例えば、Ge (ゲルマニウム) 結晶) を通して赤外光を試料に入射することで、通常の赤外顕微鏡の透過/反射法の測定の約 4 倍の空間分解能を達成している (中赤外領域で約 3 $\mu\text{m}$  程度)。

顕微 ATR イメージング測定では、高屈折率媒体を介することで空間分解能を向上させているが、依然として赤外光の回折限界が制約として存在する。近年、この「壁」を打破すべく、従来とは全く原理の異なる新しい顕微赤外分光法が種々開発され<sup>2)3)4)</sup>、AFM-PTIR 法

(Atomic force microscopy-based photothermal-induced resonance spectroscopy) はその代表例である (AFM-IR 法とも呼ばれる)。2012 年に Dazzi らにより開発された AFM-PTIR 法<sup>5)</sup>は、赤外パルス光の吸収に伴う試料の熱膨張を AFM カンチレバーの変位として捉えることを原理とする。これにより 100~200 nm という従来の数 10 倍高い分解能を実現している<sup>4)5)</sup>。さらに、より簡便で汎用的な微小部赤外分光法として、光学顕微鏡をベースとした光熱変換赤外分光法 (O-PTIR; Optical-photothermal infrared spectroscopy) が開発され<sup>7)8)</sup>、2018 年に Photothermal spectroscopy 社<sup>9)</sup>から市販された。O-PTIR 法は、赤外パルス光照射による試料の熱膨張を、AFM ではなく、集光可視レーザー光で検出するのが特徴である (図 1)。

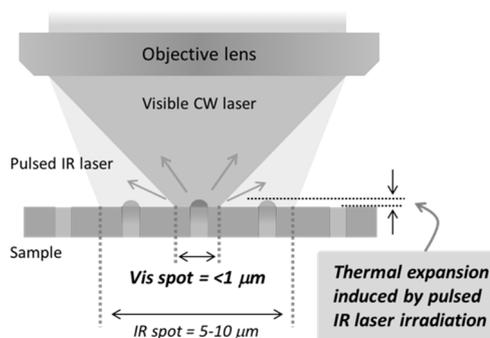


図 1 O-PTIR の測定概念図

可視レーザー光のスポットサイズは集光対物レンズ (カセグレン鏡) に依存し (N.A.=0.7 程度)、空間分解