

赤外偏光走査型偏光撮像装置の開発と癌撮像への展開

長岡技術科学大学
坂本盛嗣, 小野浩司

1. はじめに

偏光は、光の振幅や位相と同様に重要な自由度であり、物質の微細構造や光散乱特性、光学異方性を鋭敏に反映する情報を内包している¹⁾。そのため偏光計測は、結晶評価、表面・薄膜解析、応力評価などの工業分野に加え、生体組織観察や医療診断への応用においても古くから注目されてきた。特に、生体組織中の線維構造や細胞核サイズの変化、散乱特性の違いは偏光状態に顕著な影響を与えることが知られており、これらを定量的に評価できる偏光撮像技術は、染色を伴わない新しい組織可視化手法として期待されている²⁻⁴⁾。

従来の偏光撮像では、回転リターダや回転偏光子を用いて逐次的に偏光状態を変化させ、複数枚の画像からストークスパラメータやミュラー行列を再構成する手法が主流であった。しかしこの方法では、撮像時間が長くなることに加え、機械的可動部を伴うため振動や位置ずれに起因する誤差が避けられない。また、生体試料のように時間的変動や位置変化を伴う対象に対しては、取得画像間の整合性が問題となる。近年、スナップショット型偏光カメラも提案されているが、計測可能な偏光成分が限定される場合や、波長帯域、消光比、空間分解能の点で制約が残っている。

このような背景のもと、著者らは「偏光走査型偏光撮像法」と呼ぶ新しい偏光撮像コンセプトを提案し、これを赤外域へと拡張した偏光撮像装置の開発を進めてきた^{5,6)}。本手法では、円偏光分離機能を有する偏光回折格子と偏光制御素子を組み合わせることで、2枚の撮像画像の差分処理からストークスパラメータを再構成する。これにより、機械的回転機構を用いることなく、全ストークス成分、さらにはミュラー行列要素の計測を実現できる点が大きな特徴である。特に赤外波長域においても高い消光比を維持できるため、生体組織内部の散乱情報を効果的に抽出することが可能となる。

本総説では、まず偏光走査型偏光撮像法の基本原理と装置構成について概説し、赤外域に対応したプロトタイプ装置の開発状況を紹介する。次に、本装置を用いた癌組織の偏光撮像結果⁷⁾を示し、Lu-Chipman分解⁸⁾に基づく偏光解消度やリターダンスなどの指標が、癌組織と健常組織の識別に有効であることを示す。さらに近年の取り組みとして、機械学習を用いた最適照射偏光および測定偏光状態の探索についても触れ、偏光計測とデータ駆動型解析を融合した新しい診断アプローチの可能性について議論する。

2. 赤外偏光走査型偏光撮像装置の開発^{5,6)}

2-1 偏光走査型偏光撮像法の原理と特徴

図1に、偏光走査型偏光撮像法の基本原理と装置構成の概略を示す。本手法の最大の特徴は、円偏光分離機能を有する偏光回折格子と偏光制御素子を組み合わせることにより、機械的な回転機構を用いることなく、ストークスパラメータおよびミュラー行列分布を取得できる点にある。

本方式では、光源から出射した光を偏光制御素子によって所望の偏光状態に設定し、対象物体へ照射する。対象物体によって変調された散乱光または透過光は、円偏光分離機能を有する偏光回折格子