

非接触による光学的非破壊計測技術の開発

電子情報科 専門研究員 下村 義昭

長崎県独自の非破壊計測手法である TFDRS 法 (Three-Fiber-Based Diffuse Reflectance Spectroscopy) は光散乱や複数成分等の影響を受けない特徴を有しており、食品の品質測定や生体の組成計測等その適応範囲は非常に広い。しかし、試料表面と測定部との接触が十分ではない場合に表面から直接反射する光の影響を受けて大きな測定誤差が生じてしまう課題がある。そこで、本開発では TFDRS 法をベースに試料表面から直接反射する光と組成の情報を持つ試料内部からの反射光を分離する測定手法を検討した。その結果、試料内部からの反射光は多重散乱を受けて偏光状態が解消され、偏光素子を用いた方法により試料表面から直接反射する光と分離することが可能であることを実験的に検証した。

1. 緒言

近赤外分光法^[1]は1960年代に小麦粉の水分の測定方法として米国で考案され、今日では果実を初めとする食品の品質管理、さらには医療診断とその適用範囲は広がり非破壊・非侵襲計測における重要な分析手法となっている。これまでの近赤外分光法では試料からの反射スペクトルを計測し、その2次微分値と成分濃度を関連付ける検量線を多変量解析により作成して成分濃度を定量してきた。こうした微分処理を行うには連続したスペクトルデータが必要なためハロゲンランプと分光器を備えた計測システムが要求される。

一方、我々はこれまでに果実糖度の非破壊計測を目的に空間分解分光法をベースとした非破壊計測手法を提案し^[2]、本方式を用いた世界最軽量の非破壊糖度計の商品化に成功した。1本の光照射ファイバーと2本の受光ファイバーを基本構成とする本計測手法を TFDRS 法 (Three-Fiber-Based Diffuse Reflectance Spectroscopy) と呼ぶ。TFDRS 法では、図1に示すように1本の光照射ファイバーを用いて果実にレーザー光を照射する。果実に照射されたレーザー光は果実内部で散乱と吸収を繰り返し、その反射光の一部が2本の受光ファイバーで受光される。受光した2つの反射光量 i_{ref} 、 i_{sig} から反射率 $R = i_{sig} / i_{ref}$ を算出し、下記式で表される相対吸光度比 γ を求める^[2]。

$$\gamma(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \frac{\ln(R(\lambda_3)) - \ln(R(\lambda_1))}{\ln(R(\lambda_2)) - \ln(R(\lambda_1))} \quad (1)$$

ここで、 $R(\lambda_{k=1,2,3})$ はレーザー光の波長 $\lambda_{k=1,2,3}$ での反射率をそれぞれ表す。相対吸光度比 γ は果実糖度と

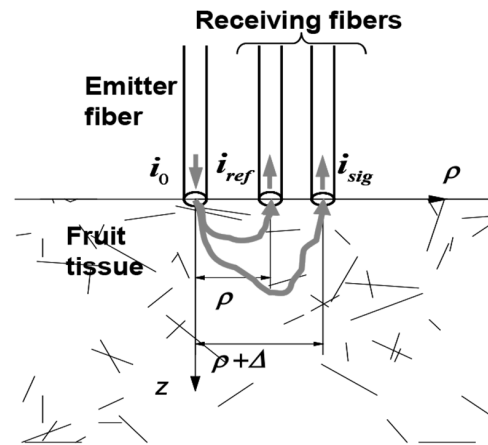


図1 TFDRS法の概略図。

の高い直線相関を有しており、これにより半導体レーザーや発光ダイオード等の離散スペクトル光源を用いた糖度の非破壊計測が可能となる^[3]。

しかし、TFDRS法では測定誤差の原因となる試料表面から直接反射する光の影響を防ぐために光を照射する測定部を試料に接触させる必要がある。このため、既に商品化した携帯型糖度計を自動搬送の選果ラインに適用する場合、果実と測定部の接触状態を常に監視・調整する必要がある。また、穀物等、他の食品や生体の組成計測でも試料表面の凹凸が大きく測定部との接触が十分ではない場合には表面から直接反射する光の影響を受けて大きな測定誤差が生じてしまう。そこで、本開発ではTFDRS法をベースに試料表面から直接反射する光と試料組成の情報を持つ内部からの反射光を分離する測定手法を検討した。

2. 研究内容と結果

2.1 多重散乱による偏光解消

図2に多重散乱による偏光解消度を測定した結果を示す。試料には数種類の光路長の石英セルに入れた粒径600 nm、重量濃度0.15 wt%のポリスチレン粒子懸濁液を用いた。偏光解消度は分光ポラリメータ (Poxi-spectra、東京インスツルメンツ社製)を用いて波長範囲400~700 nmで測定した。図中横軸に示した等価散乱係数 $\mu_s'(\text{mm}^{-1}) \times \text{セル長}L(\text{mm})$ の増加に伴い、偏光解消度は1に近づき、入射光の偏光状態が完全に無偏光状態となる。以上の結果から、果実や生体等の測定では等価散乱係数に応じて十分な検出光路長を設定することで試料内部からの反射光の偏光状態を完全に無偏光状態にすることができる。

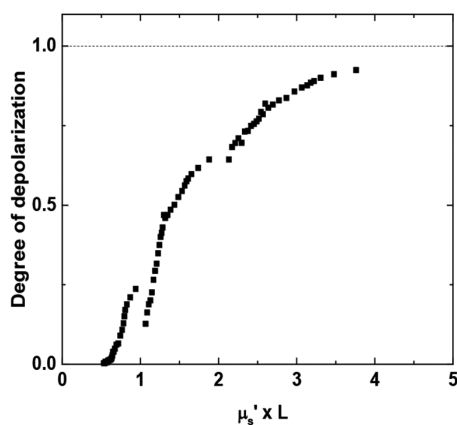


図2 多重散乱による偏光解消度の測定結果。

2.2 非接触による測定方式

図3は図1に示した手法により測定した(a)白米と(b) 籾殻付の米(以下籾米)の反射スペクトルを示す。図中の複数の反射スペクトルは同一サンプルを攪拌して複数回測定した結果である。白米ではサンプルの攪拌を行っても同じ形状の反射スペクトルを示しているが、籾米では著しく反射スペクトルの形状に違いが生じている。これは籾米では白米に比べて粒径が大きく、凹凸の大きな試料表面から直接反射する光の影響を受けたと考えられる。図4に偏光素子を用いて測定した籾米の反射スペクトルを示す。同一の籾米のサンプルを複数回攪拌して測定したが、図3(b)で見られた反射スペクトルの形状の著しい違いがなくなっている。これは試料内部からの反射光が多重散乱を受けて偏光状態が解消されたことにより、偏光素子を用いた方法により試料表面から直接反射する光と分離できたことを示している。

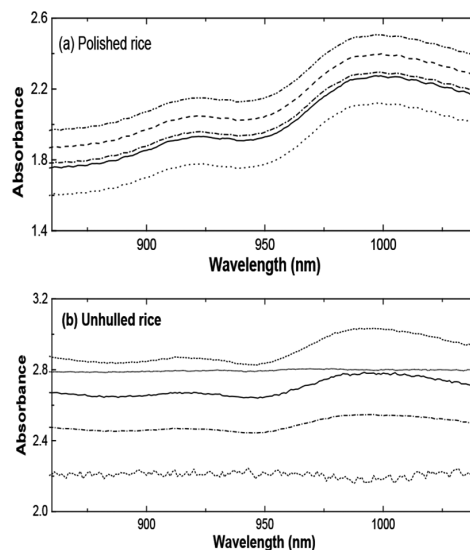


図3 (a)白米と(b)籾米の反射スペクトル。

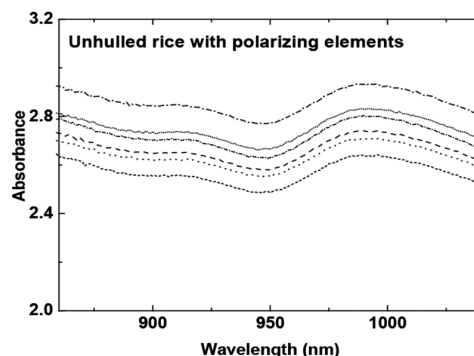


図4 偏光素子を用いて測定した籾米の反射スペクトル。

3. 結言

本開発ではTFDRS法をベースに試料表面から直接反射する光と組成の情報を持つ試料内部からの反射光を分離する測定手法を検討した。その結果、試料内部からの反射光は多重散乱を受けて偏光状態が解消され、偏光素子を用いた方法により試料表面から直接反射する光と分離することが可能であることを実験的に検証した。

参考文献

- [1]尾崎幸洋、河田聡編：近赤外分光法(日本分光学会測定法シリーズ32、学会出版センター、東京、1996)。
- [2]下村義昭：レーザー研究39(2011)233。
- [3]下村義昭、田中精史、立石賢二：レーザー学会第378回研究会報告、RTM-08-29(2008)1。