

ポータブル OCT による植物葉の偏光依存性の解析

安田 博哉¹, 椎名 達雄¹

¹千葉大学 融合理工学府 (〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33)

Analysis of polarization dependence of plant leaves by portable OCT

Hiroya YASUDA¹, and Tatsuo SHIINA¹

¹Chiba University, 1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba 263-8522 Japan

Abstract: OCT can be used as non-destructive and rapid measurement because of in vivo measurements. In this study, we acquired tomograms of plant leaves called *Himetsuruazuki*. By using orthogonal polarizations, differences in scattered light were detected for each leaf tissue. Furthermore, the difference of image in orthogonal polarization is a clearly observed in tiling leaves.

Key Words: OCT, Polarization, Plants, Image processing, Construction

1. はじめに

本研究で用いる携帯型 Time-Domain Optical Coherence Tomography(TD-OCT)を用いた測定では定量的計測を行え、環境内でその場で状況・状態の判断ができる。

本研究では環境内でその場で定量的計測を行うにあたり植物を対象とした。植物の損傷や病気は表面だけでなく内部にも構造変化として現れる¹⁻²⁾。例として土壌内の塩濃度の高まり、潮風は植物に深刻な被害を与える。携帯可能な OCT により生育環境下の植物をその場で計測し、変化の様子を評価できる。

直線偏光による細胞構造の定量的評価が報告されている³⁾。本研究では、偏光を利用した OCT を用い、偏光依存性を断層像から解析した。

本報告では、偏光 OCT のその場の計測による計測手法の確立を目的として、植物塩害下のヒメツルアズキの葉を対象とし内部構造の偏光依存性の解析結果について述べる。

2. 偏光 OCT 原理

本研究では Time Domain 方式の OCT(TD-OCT)を採用している。TD-OCT はミラーを物理的に動かし走査を行う。計測波形が干渉強度を直接表すため線形性が高いという利点がある。

本研究で使用している TD-OCT は参照光路を変化させるために回転走査機構を利用している。回転走査機構はコーナーリフレクタと固定ミラーで構成され、光路長を疑似的な線形に変化させる。線形からのずれは $\pm 20^\circ$ の範囲で 1-2% である。本測定では測定領域が測定可能範囲に比べて十分に小さく ($< 1.2\text{mm}$) 線形として扱う。

本研究で用いた実験装置の構成図を Fig.1 に示す。

SLD 光は、ファイバケーブルで分けられ、一方は参照光路を通り回転走査機構に向かい、他方は計測光路へと向かう。計測光路では測定対象から後方散乱光を得る。後方散乱光と参照光の光路長が等しいと干渉が起こり、PD にて検知される。このとき回転走査による時間のずれを光学的距離情報として得る。干渉信号は波形整形回路にて包絡線に変換されオシロスコープ上で干渉波形として表される。

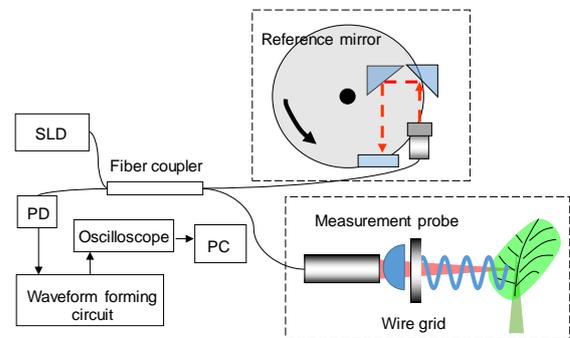


Fig.1 Experimental setup of leaf measurement by polarized OCT.

3. 偏光 OCT による葉の測定

本研究では、偏光特性を評価するためプローブ先端にワイヤーグリッドを用いた偏光子を取り付けた。ワイヤーグリッドは厚さ $80\ \mu\text{m}$ 、消光比が 4250:1 であるため偏光子による計測への影響はない。ファイバのねじれによる偏光面のずれを防ぐためプローブを固定しワイヤーグリッドのみを回転させ安定した計測を行った。本実験では波長 $1.3\ \mu\text{m}$ の SLD 光を 45° 偏光面で固定し、偏光子を ± 45 回転させ ps 偏光の測定を行った。

偏光 OCT によるスライドガラスの裏面とスライ

ドガラス裏面に置いた紙やすりの測定結果を Fig.2 に示す。2(a)の ps 偏光の差はガラスの偏光反射が寄与し、最後に開口数の影響で ps 偏光ともに下がっている。一方 2(b)のガラスを通して紙やすりからの散乱は p 偏光が 20° 付近で一度大きくなり、最後には s 偏光と同様に小さくなる。これは入射角度に依存し、p 偏光ではガラスの偏光透過率の増加によって紙やすり面の照射光量が増加、その後透過率の変化に応じて減少したと考えられる。S 偏光では単調に減少する様子がわかる。

次に OCT で葉の定点測定を行った結果を Fig.3 に示す。横軸は葉の深度距離、縦軸は干渉強度である。ps 偏光の柵状組織及び海綿状組織において p 偏光と比較し s 偏光が小さくなっている。これは塩害により細胞が損壊し ps 偏光の散乱光強度に差が生じたことによる。柵状組織は海綿状組織に比べ、細胞の配列が規則的なため配列の崩れが現れやすく、ps 偏光の散乱光強度差がより増大したと考えられる。

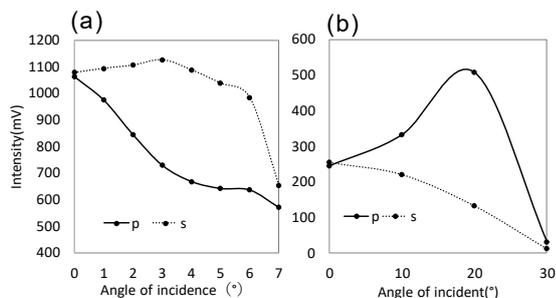


Fig.2 Polarization characteristics of backscattering by polarized OCT. (a) Scattering on the rear surface of glass, (b) Scattering of sandpaper behind the glass

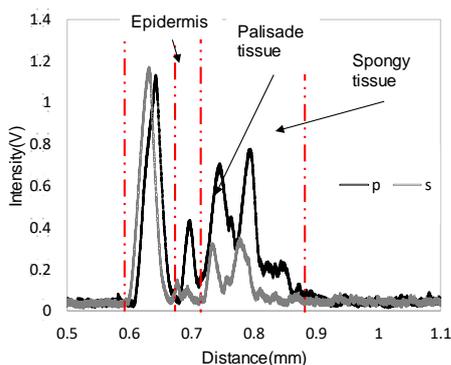


Fig.3 Interference intensity of leaves by polarized light,(Salt concentration 100mM/L).

4. 断層像による葉の偏光依存性

本研究では偏光 OCT を用いて葉脈とは垂直方向に 5mm の範囲を深度方向分解能 14.25 μ m、横方向に 50 μ m の間隔で走査を行った。葉の OCT 断層像を Fig.4 に示す。各図の下側が葉の表面であり、表側から計測光を入射させている。断層像は下から表皮層、柵状組織、海綿状組織を表している。

4(a)は葉をプローブ光に対して正対させ 4(b)は入射角を 4° 傾けて計測した結果である。4(a)と比べ 4(b)では ps 偏光の干渉光強度差が大きく出ている。これは Fig.2(b)と同等の結果を表している。つまり柵状組織の規則的な配列が偏光プローブ光の入射角度に依存しやすいことを表している。

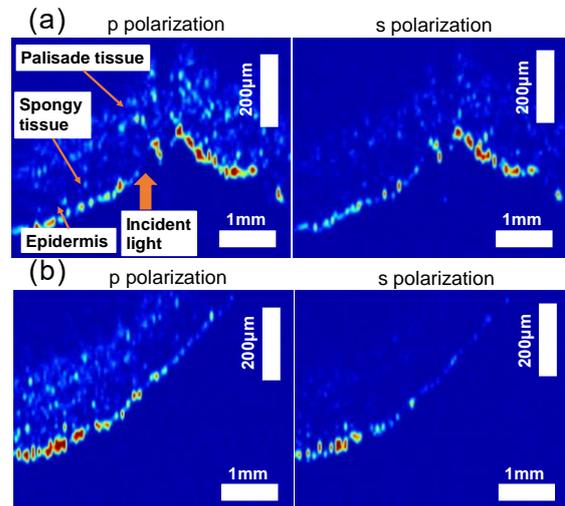


Fig.4 Tomographic image of leaves by ps polarization. (a), Facing measurement. (b), Tilt measurement (Salt concentration 100mM/L).

5. まとめ

本報告では、偏光 OCT の植物塩害下のヒメツルアズキの葉を対象とし内部構造の偏光依存性の解析について述べた。

偏光 OCT の測定によりガラスや葉に角度による偏光依存性がみられることを確認した。

今後は画像処理を用いた葉の組織の塩害変化の定量的解析を目指す。

参考文献

- 1) Naresh Kumar Ravichandran, et al.: In Vivo Monitoring on Growth and Spread of Gray Leaf Spot Disease in Capsicum annum Leaf Using Spectral Domain Optical Coherence Tomography, Journal of Spectroscopy, Vol. 2016(4), (2016) p.1-6.
- 2) Ruchire Eranga Wijesinghe, et al.: 1) Naresh Kumar Ravichandran, et al.: In Vivo Monitoring on Growth and Spread of Gray Leaf Spot Disease in Capsicum annum Leaf Using Spectral Domain Optical Coherence Tomography, Plant Physiol, Vol. 123, (2016) p.1-6. (2000) p. 1-13.
- 3) Bruce W. Fitch, et al.: Naresh Kumar Ravichandran, et al.: Polarization of light reflected from grain crops during the heading growth stage, Remote Sensing of Environment, Vol. 15, (2016) p. 263-268.