

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 9 日現在

機関番号：32665

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23880027

研究課題名（和文）TOF-NIRSによる木質素材の光学特性評価法の確立

研究課題名（英文）Optical characteristics of wood investigated by time-of-flight near infrared spectroscopy.

研究代表者

倉田 洋平（KURATA YOHEI）

日本大学・生物資源科学部・助手

研究者番号：00608953

研究成果の概要（和文）：ピコ秒オーダーの時間飛行近赤外分光法（TOF-NIRS）によって木材の準微視的領域の材質評価を非破壊で行うことを試み基礎実験を行った。測定で得られる透過光プロファイルから、減光度（参照光と透過光の強度比）と遅れ時間（参照光と透過光のピーク時間の差）を算出し解析に用いた。その結果、木材の密度が増加するにつれ減光度は減少し、また、密度が増加するにつれ遅れ時間は増加する傾向が認められた。

研究成果の概要（英文）：A newly constructed optical measurement system was introduced to investigate the wood density by time-of-flight near-infrared spectroscopy (TOF-NIRS). Optical parameters representing the variation of time-resolved profile with various wood samples were introduced. The wood density clearly influenced the transmitted time-resolved profile.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業情報工学

キーワード：計測工学、農業工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 有機物質のいろいろな情報を安全・迅速・簡便に把握できる近赤外分光法（Near Infrared Spectroscopy：NIRS、波長 800–2500nm に出現する各種官能基の吸収強度変化に着目した分光法）は、農産物の代表的な非破壊検査法であり、これまでも国内外で積極的な導入が図られるとともに、その基礎・応用研究も活発に行われてきた。NIRS 方式のほとんどは、出力強度の問題から、試料

表層部だけの情報を包含する拡散反射光から内部情報を推定しているのが現状である。

上記の問題点を解決する方策として、時間飛行近赤外分光法（Time-of-Flight Near Infrared Spectroscopy：TOF-NIRS）という革新的な分光学的手法を提案し、これを生物素材の新しい非破壊計測手法として導入・確立するための基礎実験を行った。具体的には、ナノ秒オーダーの時間幅をもつ高速パルスレーザー光を物質に照射し、パルス波形形状の

時間変化から内部情報を検出しようとするもので、従来の NIRS 方式の分光計測法よりも多くの物質情報を短時間で得ることができる。

(2) 申請者らは本法によってグレープフルーツ等の大径厚皮果実を対象にした非破壊計測実験を行い、糖度・酸度等をきわめて短時間で高精度に検出できることを明らかにした。さらに、本法を木材の内部品質評価に適用することを考え、その端緒として、木材の試料厚さが光の吸収・散乱に及ぼす影響を観察するとともに、木材内部における光伝播状況を推定することを試みた。その結果、透過光時間プロフィールを主成分分析することにより、パルス波形の立ち上がり部分が光の散乱情報をもっとも強く包含していることが示唆され、波形形状と光の吸収・散乱状況との間に有意な関係があることが見出された。さらに、既知の吸収係数・散乱係数を光拡散方程式に代入して得られた透過光時間プロフィール理論値と実測値を比較し、試料厚さが 15 mm を超える木材は光学的に均質な素材とみなして差し支えないことも明らかになったこのように、ナノ秒オーダーの時間幅をもつ高速パルスレーザー光を活用した新規光学方式 (TOF-NIRS) の有用性がいろいろ見出されたが、

1. 光学系の特性上レーザー照射面積が数十 mm² 程度に広がってしまうので、木材組織構造の微細な変化を捕捉することが困難である。

2. パルス信号を解析するオシロスコープの分解能が低いために、十分な精度で時間プロフィールを検出することができない。等の問題が残った。

これらの問題を解決するために、新たにピコ秒オーダーの超高速近赤外パルスレーザーおよびストリークカメラから構成される光学システムを導入した。この新システムでは、数十ピコ秒 (10⁻¹² 秒) オーダーの極短時間幅パルスレーザー光を木材に照射して、透過光を数十 μm オーダーの空間分解能で測定することが可能となるために、木材の準微視的領域の非破壊材質評価ができる新たなツールとしての有用性が期待される。

2. 研究の目的

TOF-NIRS によって木材の準微視的領域の材質評価を非破壊で行うことを試み、これを実現する計測システムの確立を研究目的として基礎実験を行う。数十ピコ秒 (10⁻¹² 秒) の極短時間幅パルスレーザー光を木材の成熟

材部・未成熟材部、心材部・辺材部、およびあて材部に照射し、透過光の変動 (時間プロフィール) を観察する。材質の違いが透過光に及ぼす影響を詳細に把握するとともに、光拡散方程式の順問題および逆問題解法によって木材中の光伝播経路をシミュレートする。これらによって、光散乱による探測領域の広がり (空間感度分布) と木材組織との関連を推定するとともに、透過光時間プロフィールを多変量解析することによって密度・マイクロフィブリル傾角・繊維長・ゼラチン層厚さ等を非破壊推定する。

3. 研究の方法

(1) TOF-NIRS によって木材の材質評価を非破壊で行うことを試み、まず初年度は、試験片のセッティング方式等を工夫して、安定した透過光時間プロフィールが取得できるように測定系を一部改造する。成熟材部・未成熟材部、心材部・辺材部、およびあて材部の違いが透過光に及ぼす影響を詳細に把握する。得られた透過光時間プロフィールを説明変量として多変量解析を行い、密度非破壊推定の可能性を検討する。

(2) マイクロフィブリル傾角・繊維長・ゼラチン層厚さの非破壊推定の可能性を検討し、さらに光拡散方程式の順問題および逆問題解法によって木材中の光伝播経路をシミュレートする。これらによって、光散乱による探測領域の広がり (空間感度分布) と木材組織との関連を推定する。

4. 研究成果

(1) 構築した超高速パルスレーザー装置の外観を図 1 に示す。

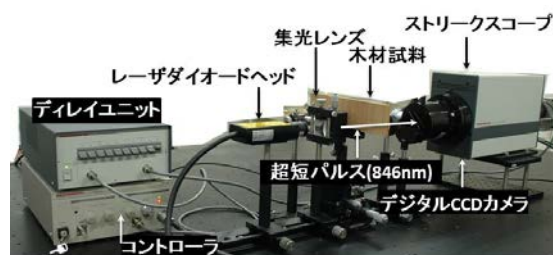


図 1 超高速パルスレーザー装置の外観

ダイオードレーザーは、波長 846 nm、繰り返し周波数最大 100 MHz、出力 151 mW / pulse、公称パルス幅 48 ps のパルス光を発振する。発振されたレーザー光は試料を透過して、透過光時間プロフィールとしてストリークカメラによって検出される。

当初は、成熟材、未成熟材、木材の心材部、辺材部およびあて材部の透過光プロファイルを計測する予定であったが、測定に適した木材を調達することが困難であったため、測定項目を変更し研究を遂行した。また、木材は異方性素材であるため、安定的な透過光プロファイルを得るためには、測定方法を工夫する必要がある。そこで、一試料につき五カ所計測し平均化することで、得られた透過光プロファイルのばらつきを軽減することとした。数種の木材を対象に計測した場合の透過光プロファイルを図2に示す。バルサとヒノキを比較した場合、ヒノキはブロードな形状を示すことがわかる。また、ヒノキ試料の早材部と晩材部で透過光強度および形状が異なることから波形形状と木材密度の間に何らかの関係があると推察される。

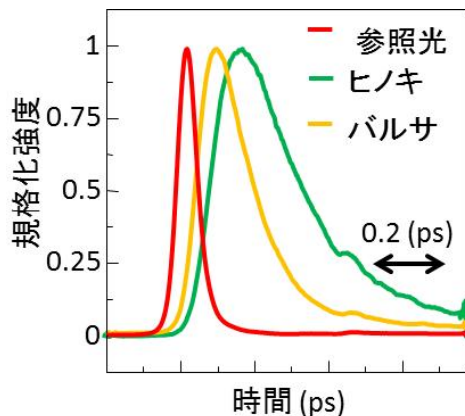


図2 透過光時間プロファイルの一例

(2) 木材種類により透過光時間プロファイルに変動が認められたため、測定樹種をさらに増やし同様の計測を行った。また、解析に際し、パラメータには、減光度（参照光と透過光の強度比）と遅れ時間（参照光と透過光のピーク時間の差）を定義し用いた。図3に各樹種の密度とパラメータとの関係を示す。

木材の密度が増加するにつれ減光度は減少し、また、密度が増加するにつれ遅れ時間は増加する傾向が認められた。

さらに、得られた透過光プロファイルから光学特性値である吸収・散乱係数を算出しようと試み、その演算処理をするためのプログラムを開発した。

今後は、このプログラムから光学特性値を算出し、木材中の光伝搬経路をシミュレーションするなどの光学的な理論解析をし、透過光プロファイルの変動が木材中の何に由来するのか解明したい。

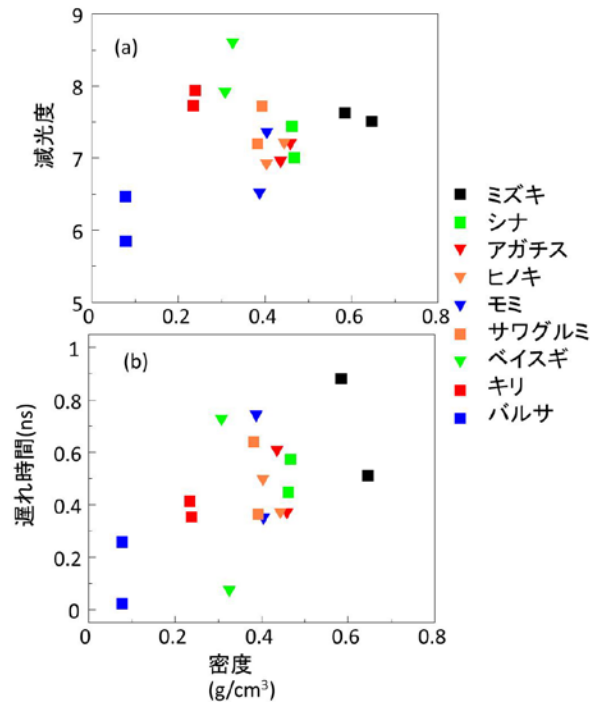


図3 木材密度と各種パラメータとの関係

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計1件）

(1) Yohei Kurata, Tomoe Tsuchida, Satoru Tsuchikawa, “Time-of-flight Near-infrared Spectroscopy for Nondestructive Measurement of Internal Quality in Grapefruit”, 138(3), 1-4, 2013年

〔学会発表〕（計3件）

(1) Yohei Kurata, Masashi Koishikawa, Satoru Tsuchikawa, “Optical characteristics of Wood Investigated by Time-of-Flight Near Infrared Spectroscopy”, The 3rd Asian Near-Infrared Symposium, 2012年5月14日～18日, Amari water gate hotel, Thailand

(2) 倉田 洋平, 土川 覚, ”ピコ秒パルスレーザを用いた木材の材質測定（I）—樹種による時間プロファイルの違い—”, 第62回日本木材学会、2012年3月15日～17日、北海道大学

(3) 倉田 洋平、土川 覚、”ピコ秒パルスレーザーを用いた木材の材質測定”、第 27 回近赤外フォーラム、2011 年 11 月 9 日～11 日、文部科学省研究交流センター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

倉田 洋平 (KURATA YOHEI)

日本大学・生物資源科学部・助手

研究者番号：00608953

(2) 研究協力者

土川 覚 (TSUCHIKAWA SATORU)

名古屋大学大学院・生命農学研究科・教授

研究者番号：30227417