

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660135

研究課題名(和文)広帯域マルチ分光計測による木材乾燥現象の微視的～巨視的レベルでの把握

研究課題名(英文)Microscopic and macroscopic investigation of wood drying phenomena using multi spectroscopy of wide magnetic wave range

研究代表者

土川 覚(Tsuchikawa, Satoru)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：30227417

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：木材の乾燥下における水分移動の実態を、電子遷移レベル(近赤外域)、分子振動レベル(近赤外～赤外域)、および分子回転レベル(テラヘルツ域)の広帯域マルチ分光計測で統合的に把握し、乾燥現象を微視的～巨視的オーダで明らかにすることを目的とした。

含水率を変化させたベイマツ材に近赤外ピコ秒パルス波を照射し、透過した光強度を測定した。ピコ秒オーダでの光強度変化を拡散方程式に当てはめることで、木材の散乱係数および吸収係数を算出した。また、いろいろな含水率の木材の時間領域テラヘルツスペクトルを測定した。有効媒質理論を適応することで、木材の密度および含水率を高い精度で予測できることを示した。また

研究成果の概要(英文)：In this study, wood drying phenomena was investigated from viewpoint of both of microscopic and macroscopic argument, where multi spectroscopy of wide magnetic wave range such as time-of-flight near-infrared spectroscopy (TOF-NIRS) and terahertz time-domain spectroscopy (THz-TDS) were systematically applied. We measured the optical properties of wood at the moisture content within the range of 0 - 200% under naturally drying by TOF-NIRS. It was possible to determine the reduced scattering and absorption coefficients separately. The light scattering pattern was in qualitatively agreement with the Mie theory and Rayleigh theory. Demonstration of simultaneous prediction of solid wood density and moisture content of four wood species was accomplished using THz-TDS. The real and imaginary parts of the dielectric function averaged over the frequency range of 0.1 to 0.2 THz had strong correlation with density and moisture content of the wood.

研究分野：木質科学

キーワード：テラヘルツ バイオマス 分析科学 林学 含水率 密度

1. 研究開始当初の背景

木材乾燥は天然素材を建築・工業材料として利活用するためには不可欠なプロセスであり、これまでも数多くの研究開発が行われてきた。乾燥現象そのものは、理学的・工学的な面からも体系的に整理されているが、樹種や樹幹部位による乾燥速度の違いに関しては木材組織の影響を加味して論じなければならぬ難しさがあり、材料加工の現場でも個々の対応を迫られることが多い。木材乾燥は恒率乾燥段階および減率乾燥段階に分けて考えられるが、各段階での木材と水との相互作用を「マイクロフィブリルのような微視的オーダー」から「材全体の巨視的オーダー」まで自在に把握することができれば、一見気まぐれとも思える乾燥現象の樹種・樹幹部位依存性の実態が明らかになり、材の特性に応じた効率的な乾燥スケジュールの確立に貢献できる。本研究では(広帯域にわたる)複数の分光技法の長所を最大限生かした複眼的計測アプローチを提案し、木材表層部および内部における木材組織構造と水との相互作用を様々な電磁波周波数レベルで観察し、木材乾燥現象の樹種・樹幹部位依存性を統一的に理解することを目指した。

2. 研究の目的

(1) 木材の恒率乾燥および減率乾燥下で刻々と変化する材内の自由水分分布を近赤外飛行時間計測に基づく擬似的光トモグラフィ技法およびモンテカルロシミュレーションから推定すること、(2) 木材への水分吸着状況を近赤外・赤外分光法およびTHz-TDSによって測定し、2次元相関解析や分子回転遷移緩和時間から水分子/吸着サイト間の水素結合パターン変動を捉えること、また(3) 膨潤・収縮に伴う細胞壁マイクロフィブリルの微視的アライメント変化をTHz-TDSから導出される複素屈折率によりモニタリングすることを目的とした。

3. 研究の方法

目的(1)達成のため、飽水状態としたベイツ試料を室温で乾燥させ、各含水率状態における材表面の温度および透過型近赤外飛行時間計測を行った。透過型近赤外飛行時間計測にはピコ秒パルスレーザ(PLP-10, 波長:846nm, パルス幅:70ps, Hamamatsu Photonics Co., Hamamatsu)およびストリークカメラ(C5690, 時間分解能:0.3ps, 有効感度波長領域:200nm-900nm, Hamamatsu Photonics Co., Hamamatsu)を主たる要素とする光学系を用いた。各含水率状態における透過近赤外時間プロファイル実測値を拡散方程式に当てはめることにより、試料の等価散乱係数および吸収係数を算出した。また目的(2),(3)達成のため、アスペン(全乾密度約 0.5 g cm^{-3})、カバノキ(全乾密度約 0.7 g cm^{-3})、ベイツ(全乾密度約 0.45 g cm^{-3})、ベイツガ(全乾密度約 0.35 g cm^{-3})を異なるいくつかの含水率状態(0-20%、7段階)とし、テラヘルツ時間領域スペクトルを測定した。テラヘルツ波偏光方向は木材の繊維走行に対して直角および平行となるように設定した。テラヘルツ時間領域スペクトル測定前と測定後に試料の重量を測定し、その平均値から含水率を算出した。また、得られたスペクトルから0.1-0.8THz領域における複素屈折率を算出し、有効媒質理論を用いて含水率および密度の同時予測を試みた。

4. 研究成果

(1) 木材の乾燥過程における、比乾燥速度および透過型近赤外飛行時間計測により得られた波長846nmにおける等価散乱係数の変化を図1に示す。等価散乱係数は木材の乾燥にともない増加した。これは木材細胞壁(屈折率1.55程度)に満たされていた水(屈折率1.33程度)が空気(屈折率1.00)に置換されることで、境界面での反射が増加するためである。また比乾燥速度の変化から、飽水状態からの木材の乾燥過程は4つの過程を

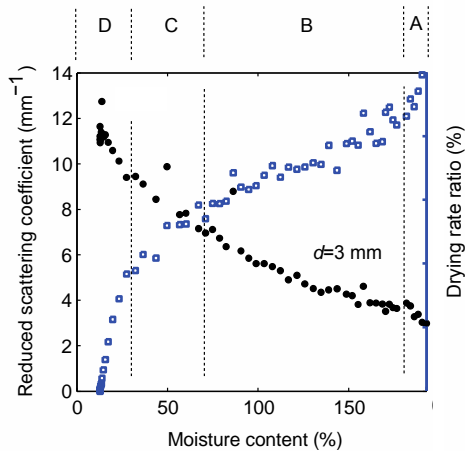


図1．木材含水率による等価散乱係数および比較乾燥速度の変化

経過していることが分かる。木材の等価散乱係数はこれら4つの段階に対応するように変化した。測定に用いたパルス光の波長(846nm)と、木材細胞壁サイズから、乾燥初期段階では幾何学的効果が支配的であり、乾燥が進むにつれてミー散乱およびレイリー散乱が支配的になることを見出した。

一方吸収係数は含水率の減少にともない、線形減少を示した。これは木材中に含まれる、自由水と結合水で吸収特性が大きく変化しないことを示している。

これら一連の研究から、透過型近赤外飛行時間計測により、木材の乾燥過程における細胞構造および水の光学的特性を同時に把握することに成功した。

(2)木材のテラヘルツ領域(0.1-0.2THz)複素屈折率は全乾密度・含水率ともに高い正の相関関係にあった。木材を空気・水・細胞壁の混合物とみなし、有効媒質理論を用いることで、これらの含水率および全乾密度を高い精度で予測できることを示した。さらに、本研究では各含水率における水の複素屈折率の変化の把握を試みた。

図2に木材中の水の体積比率による、自由水誘電率虚数部の変化を示す。木材含水率と自由水の誘電率虚数部には正の相関関係が認められた。すなわち、自由水は含水率の増加にともない、よりテラヘルツ領域電磁波を

吸収しやすくなることが示された。

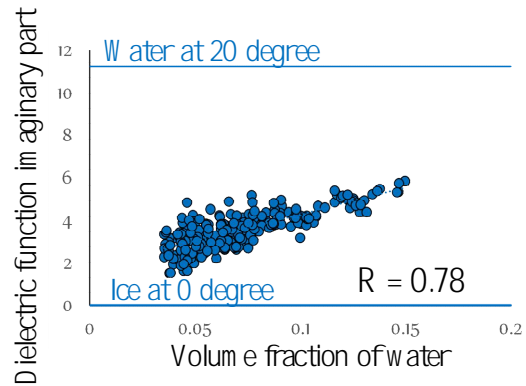


図2．木材中の水の体積比率による、自由水誘電率虚数部の変化。

近赤外領域およびテラヘルツ波による吸収係数の算出から、分子振動による吸収特性は木材の含水率によって変化しないのに対して、分子回転による吸収特性は含水率によって変化することが示された。

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)

Tetsuya Inagaki, Belal Ahmed, Ian D. Hartely, Satoru Tsuchikawa and Matthew Reid, 'Simultaneous prediction of density and moisture content of wood by terahertz time domain spectroscopy', J. Infrared Milli Terahertz Wave, 査読有, 35, 2041, 941-961.

〔学会発表〕(計 6件)

稲垣哲也, 土川覚, Matthew Reid, Ian Hartely, 'テラヘルツ時間領域分光法による木材の全乾密度推定', 2013年度日本木材学会中部支部大会, 2013年11月, 「富山国際会議場(富山)」

稲垣哲也, Ian Hartely, 土川覚, Matthew Reid 'テラヘルツ時間領域分光法による木材の密度・含水率同時予測', 平成25年度日本分光学会講演会, 2013年11月, 「大阪大学豊中キャンパス(大阪)」

稲垣哲也, 小石川将士 土川覚, '近赤外レーザを用いた木材の物性評価 含水率推定の可能性', 第64回日本木材学会大会, 2014年3月, 「愛媛大学(松山)」

稲垣哲也, 土川覚, Matthew Reid, Ian Hartely, 'テラヘルツ時間領域分光法による木材の密度・含水率同時予測', 第64回日本木材学会大会, 2014年3月, 「愛媛大学(松山)」

Tetsuya Inagaki, Satoru Tsuchikawa 'Possibility of Time-of-Flight NIR

spectroscopy for the prediction of moisture content of wood', ANS 2014 Asian NIR symposium, 2014年6月, 「Daegu, Korea」
Tetsuya Inagaki, Belal Ahmed, Ian D. Hartely, Satoru Tsuchikawa and Matthew Reid, 'Simultaneous prediction of density and moisture content of wood by terahertz time domain spectroscopy', IAWPS2015, 2015年3月, 「Tokyo, Japan」

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

土川 覚 (Satoru Tsuchikawa)
名古屋大学大学院生命農学研究科・教授
研究者番号：30227417

(2)研究分担者

稲垣 哲也 (Tetsuya Inagaki)
名古屋大学大学院生命農学研究科・助教
研究者番号：70612878

(3)連携研究者

()

研究者番号：