

平成 2 1 年 4 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18380103

研究課題名（和文） 木材の水分分布非破壊計測とその応用

研究課題名（英文） Nondestructive measurements of moisture distribution in wood and its application

研究代表者

氏名（アルファベット） 信田 聡（SHIDA SATOSHI）

所属機関・所属部局名・職名 東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号 00201541

研究成果の概要：木材中の正確な水分状態を測定する方法としては全乾法による破壊的方法があったが、操作が簡単な非破壊的方法が望まれていた。本研究では近年、コンピュータによる画像処理など性能向上が著しいデジタル軟X線マイクロスコープを用いた水分分布の非破壊計測法の開発を試みた。水分状態を知りたい時点の木材に軟X線を照射し透過したX線量を画像の濃淡として捉え、さらに全乾状態時に得られる同画像の濃淡の差分値をパソコン上で求めて水分分布を知る方法を確立した。またこれを用いて乾燥中の水分分布、異なる環境状態に置かれる建築材料内部の水分状態の把握などを試み、材料内部の水分拡散の解析に応用した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
18年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
19年度	1,200,000	360,000	1,560,000
20年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	11,500,000	3,450,000	14,950,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・木質科学

キーワード：木材、水分、乾燥、X線、水分拡散、劣化診断、非破壊、含水率分布

1. 研究開始当初の背景

木材の水分関連の研究において、解明を待

たれる点がいくつかある。

(1)木材の天然乾燥時の表面割れ発生のメ

カニズム解明（以前、科研費を得た）

(2)住宅壁内の結露現象の解明と防止、

(3)木材中の透湿現象の解明(とくに密度勾配がある材料では、その向きにより透湿性能が異なるという実験事実があるが、それはどうしてか?)

(4)木材の調湿性能・平衡含水率に関する時系列的材料内部の水分精査、

(5)温度勾配、含水率勾配が逆の傾きを持つ環境におかれた材料内部の水分状況の精査(実際の環境下における水分拡散現象の解明)、

(6)室内における VOC 問題の基礎的な部分である、ホルムアルデヒド放散挙動と水分の関係解明、などである。

これらを実施し解明するためには、木材内の水分移動・水分分布を正確に測定することが望まれる。しかし、従来主流である、木材をナタ等で割り、得られた小片の含水率を全乾法で測定して、合わせて木材内部の水分分布を計測する方法は、破壊的手法であるため連続して一つのサンプルを追跡できず測定結果に大きな誤差が生じる。木材と水分が関係する多くの研究(乾燥、ボード製造、防腐処理、腐朽、住宅環境ほか)の基礎的部分のすべてにおいて、木材内部の含水率分布や含水率傾斜などを非破壊的、かつ同じサンプルについて連続測定が簡単にできる方法の確立が常に望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、第一に、1. で述べた諸問題解明をより正確に行うための木材中の水分計測の非破壊的手法(デジタルX線マイクロスコープ)を導入して、木材含水率(分布)計測への適用を可能とすべく装置のフィッティングを試みる。第二として、装置の適用を可能とした後、これを用いて、諸課題のうち、

特に(1)と(3)と(5)について検討を試みる。すなわち、(1)については、乾燥初期の表面割れ発生に対して含水率傾斜の大小が及ぼす影響を本装置により精査する(科研費をいただいた研究の発展)。(3)については、異なる環境に挟まれた密度勾配を持つ材料内部の含水率傾斜の精査を行い、従来結果と比較し透湿の方向性の有無を検証する。現在修士課程の研究で実施中である。(5)については、現有設備により温度勾配と湿度勾配が異なる環境を再現して、その間にはさまれた材料の含水率分布を精査し、海外研究協力者の助言を得ながら水分拡散モデルの検証と提案を行う。

以上、目的をまとめると、まず水分分布を正確に測ることに尽きる。それができれば(1)、(3)、(5)はそれを応用してデータ採取を試みるもので、成果は大きいものになる可能性が高い。時間を多く要するのは、含水率を正確に測るまでの調整である。

3. 研究の方法

卓上型デジタルX線マイクロスコープ(図1)を使用して木材中の水分分布計測を行う。

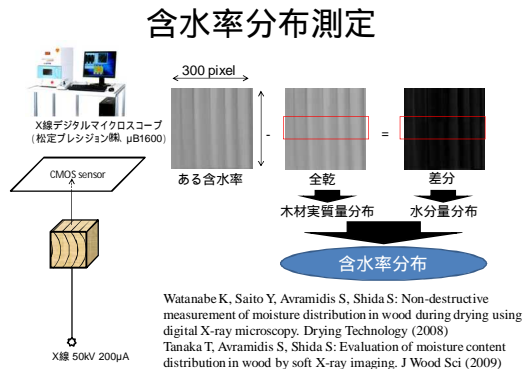


図1 デジタルX線マイクロスコープ

基本的な測定原理は図2に示す。すなわち木材サンプル放射された軟X線が透過し、透過X線を背後で検出して、濃度画像として得る。木材密度の影響を相殺するため、撮影した画像間で濃淡の差を求める必要があるため、同一サンプルで含水率が異なる場合に得られる画像を用いて、同一位置(対応するピクセル)

間のピクセルの濃度差分が得られるソフトウェアを付属によりパソコン上で画像処理して水分量（含水率）求める。

卓上型デジタルX線マイクロスコブ能力として、針葉樹製材スギを想定して、試験材厚さが60mmとして、そのときの木材含水率が100%程度から全乾状態であるサンプルについて明確な透過画像が得られるものとする。



ず 2 測定原理図

4 . 研究成果

(1)主な成果

X線画像処理

乾燥過程のそれぞれのX線画像に対して、全乾時のX線画像との明度差の画像(以後、明度差画像と呼ぶ)を、差分画像作成ソフトを用いて作成した。つまり、この明度差が単位面積当たりの水分量に相当し、この明度差画像を元に含水率の推定を行った。X線画像の明度については、黒が255、白が0の256階調に変換し定量化した(明度差画像では白黒反転)。

X線画像の収縮補正

試験片は乾燥するにつれて収縮するため、乾燥過程のX線画像と全乾時のX線画像の形状は一致しない。この木材の収縮に伴うX線画像のずれを補正するために、市販の画像解析ソフト

Photoshop6.0を用いて、乾燥中及び全乾時のX線画像を乾燥前の形状に目視で拡大復元した。その後、上述のX線画像処理を行った。収縮補正を行わない場合には含水率範囲が繊維飽和点以下の標準誤差は2.1%、0~122%の含水率範囲では4.3%であったのに対し、収縮補正を行うことで含水率範囲が繊維飽和点以下では1.5%、0~122%の含水率範囲では4.1%となった。以上から、収縮補正を行うとわずかに含水率推定精度が向上した。破壊法では測定困難であった数mm厚内の水分分布の正確な測定が可能であることを確認した。

含水率の測定精度

図3はデジタル軟X線マイクロスコブを用いて推定したスギ材(20mm×20mm×5mm厚さ)の含水率(縦軸)と全乾法により求めた含水率(横軸)の関係である。かなり高い相関係数が得られており、本装置により木材含水率が高い精度で推定できることを明らかとした(文献)。

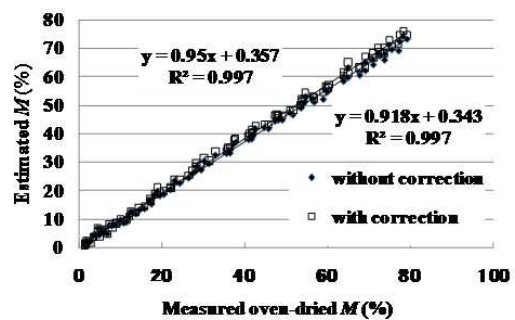


図3 デジタル軟X線マイクロスコブと全乾法による含水率比較

画像補正の際の最適条件の検討

木材の含水率分布計測条件としては取り込み画像を32分割(寸法0.6mm程度)に対して測定誤差が含水率1%程度に抑えられることが明らかとなった。さらに画像変形補正方法としてワーピング手法を取り入れて実

施し、精度向上を行ない本装置を使つての乾燥過程の木材含水率分布計測条件を整えた。

2つの異なる空気環境の間に挟んだ木材の、温度、湿度勾配発生下での木材内部（厚さ方向）の含水率分布計測

”密度傾斜面材が木質壁内部湿度環境を改善できる理由”と題して学会発表したが、従来難しかった数mm厚の材料断面内含水率分布を本装置により計測できたので、材料内部の含水率勾配の違いにより水分移動の大きが異なり壁内部の湿度環境が変化することを明らかにした。

寺院などに使われた古材の腐朽劣化診断への適用

古材ではケブカシバンムシ (*Nicobium hirtum*) による食害が著しく見かけ密度と軟X線透過像から、その程度は当初材 > 寛文材 > 天保材の順に大きいことが確認された。

乾燥課程のスギ材の含水率分布測定
文献の成果である。図4は測定面と乾燥が進むごとの面愛の分布を示してある。

5は4上写真枠でした分の水率分布である。破法で測定できない木材の詳細な含水率分布計測が可能となった。

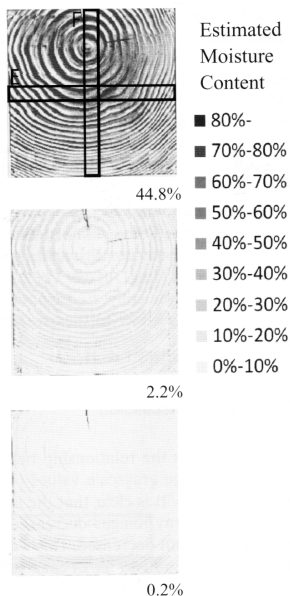


図4部の示部分破壊はでない中

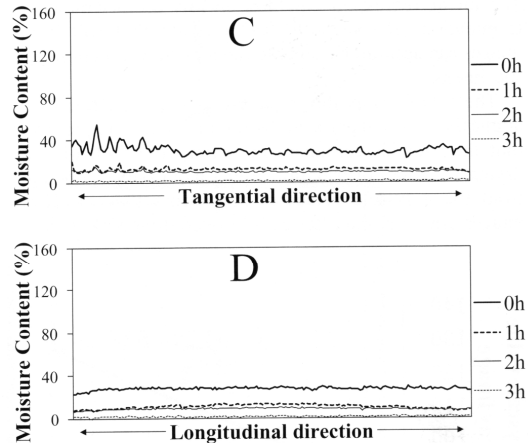


Fig. 7. Changes of moisture content profiles with time for the 10-mm-wide part at the center of the tangential section sample, which are the areas C and D shown in Fig. 5

二気室型の恒温恒湿装置（図6）の左側を20℃, 65%RH、右側面を30℃, 50%RHに設定し、その間に挟んだ試験体の厚さ方向含水率分布を軟X線装置により測定した結果、右側ほど低含水率の傾向が見られたが、含水率の差がそれほどつかなかった。これは温度勾配があり右側ほど温度が高く、水分が高温側から低温側へ移動する駆動力が働いたためと考えられる。測定精度は、20℃, 65%RH平衡下において1ピクセルを約0.3mmメッシュとしたときのピクセル毎の含水率の標準偏差が2.5%に収まり極めて良好な精度であった。これによりデジタル軟X線装置による材料内部の含水率分布測定法を確立した。

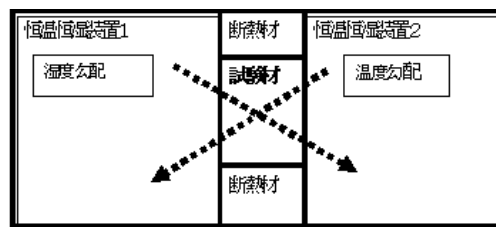


図6 二気室型恒温恒湿装置の概略図

(2)成果のインパクト

学会での発表において、建築材料やユニツ

ト部品メーカーなどから、本研究の成果である材料内部の水分状態を正確に測ることができるという点が注目されている。

(3)今後の展望

木材をはじめとする主に建築材料内部の水分状態を正確に把握できるようになったので、基礎的な検討として、様々な環境条件下での木材の水分拡散現象の解明のさらなる展開や、応用的な課題として、例えば住宅や建築において水が関係する結露問題、断熱性低下問題、水分変化に伴う材料の変形による問題、木材の腐朽への影響などへの適用を図ることが課題である。

本研究の延長線上の課題としては、木材乾燥中の割れ発生に対して含水率傾斜の大小が及ぼす影響野検討、様々な湿度湿度勾配が異なる環境に挟まれる材料内部の含水率分布の精査。水分拡散・透湿現象の検討。

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3件)

Takashi Tanaka, Stavros Avramidis and Satoshi Shida: Evaluation of moisture content distribution in wood by soft X-ray imaging, Journal of Wood Science, 査読有, Vol. 55, No. 12, 69-73, 2009.

斎藤幸恵、信田聡、太田正光、山本博一、多井忠嗣、大村和歌子、榎原寛、能城修一、後藤治: 古材の劣化調査 福勝寺(重要文化財)垂木用材の食害と材質, 木材学会誌, 査読有, Vol. 54, 255-262, 2008.

Ken Watanabe, Yukie Saito, Stavros Avramidis, Satoshi Shida: Non-destructive Measurement of

Moisture Distribution in Wood During Drying Using Digital X-ray Microscopy, Drying Technology, 査読有, 26, 590-595 2008.

[学会発表](計9件)

田中孝、信田聡: 温度勾配及び含水率勾配が同時に生じる時の木材の含水率分布, 第59回日本木材学会, 2009年3月17日, 松本大学(長野県松本市)

斎藤幸恵、信田聡、太田正光、山本博一、多井忠嗣、大村和香子、榎原寛、能城修一、後藤治: 古材の劣化調査 福勝寺本堂(重要文化財)垂木用材の食害と材質, 第58回日本木材学会大会, 2008年3月17日, エポカルつくば(つくば市)

斎藤幸恵、信田聡、太田正光、山本博一、多井忠嗣、後藤治: 福勝寺本堂(重要文化財)垂木用材の劣化調査, 第25回日本木材加工技術協会年次大会, 2007年9月26日, 旭川市市民文化会館(旭川市)

Ken Watanabe, Satoshi Shida: Non-destructive measurement of moisture content in wood during drying using digital X-ray microscope, 10th International IUFRO Division 5 Wood Drying Conference, The University of Maine Orono, Maine, USA, August 2007

田中孝、斎藤幸恵、信田聡: 軟X線画像法による木材の乾燥過程の含水率分布計測, 第57回日本木材学会大会, 2007年8月9日, 安田女子大学(広島市)

関野峰帆、信田聡: 密度傾斜面材が木質壁内部湿度環境を改善できる理由, 第57回日本木材学会大会, 2007年8月8日, 安田女子大学(広島市)

渡辺憲・信田聡: デジタルX線マイクロスコプを用いた木材中の含水率分布非破壊計測, 第24回日本木材加工技術協会年次大

会,2006年10月16日、東京大学(東京)

渡辺憲・信田聡: 3次元有限要素法による
乾燥中の木材水分の推定, 第56回日本木材
学会大会,2006年8月9日,秋田大学(秋田)

関野峰帆・信田聡: 密度傾斜がある面材を
用いた壁内部の湿度変動傾向の解明, 第56
回日本木材学会大会, 2006年8月9日,秋田
大学(秋田)

〔その他〕

研究代表者メールアドレス

信田 聡

ashida@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

研究分担者メールアドレス

齋藤 幸恵

aysaito@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

6. 研究組織

(1)研究代表者

信田 聡 (SHIDA SATOSHI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教
授

研究者番号: 00201541

(2)研究分担者

齋藤 幸恵 (SAITO YUKIE)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教
授

研究者番号: 30301120

(3)研究協力者

Stavros Avramidis

University of British Columbia, Vancouver,
BC, CANADA, 森林学部・教授