

### 研究の背景

X線は透過性に優れ、繊維方向の影響を受けにくいことから、木材の非破壊測定に極めて有用である。X線を用いて木材の含水率分布を評価する手法としては、被測定試験体の含水状態におけるX線画像と全乾状態のX線画像の差分画像を重量減少量と比較することで含水率分布を評価するものが見られる<sup>1),2)</sup>。しかしこの手法の問題点として、差分画像を得るためには被測定木材を全乾にする必要があり、その過程で不均一な変形や割れが生じた場合には評価が困難であった。また、被測定木材を全乾にするため工業的な応用が困難であり、非破壊評価と呼ぶべきでないという指摘もあった。

### 研究の目的

発表者らはこれまでに、二重エネルギーX線吸収法(DXA)の原理を木材の含水率測定へ適用し、異なる管電圧で撮影したX線画像から木材の含水率を非破壊的に評価できることを示した<sup>3)4)</sup>。本研究はその適用範囲を木材の2次元的な含水率分布の評価へと拡大することを目的としている。本報では実際にスギ小試験片のX線画像を異なる管電圧で撮影し、第1報<sup>5)</sup>で得た局所的含水率の推定式を適用して2次元的な含水率分布の評価を試みた。

### 測定原理

物質のX線減衰率は波長により変化するが、木材実質と水では変化の仕方が異なる。図1で、長波長では木材実質よりも水のほうがX線を減衰させるが、短波長では同程度の減衰率である。これを利用して木材と水の比率を評価できると考えた。前報<sup>5)</sup>では以下の式を提案した。

$$W_{ev} = 699.83 \frac{d_{p1}}{d_{p2}} + 642.28 \quad \text{Eq. (1)}$$

$W_{ev}$ : Evaluated wet-basis moisture content  
 $d_{p1}$ : PMMA equivalent thickness on Image 1  
 $d_{p2}$ : PMMA equivalent thickness on Image 2

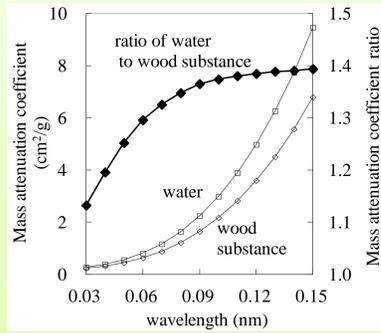


図1 X線波長と減衰率の関係

### 試験体

樹種等: スギ辺材 (秋田県産)  
 寸法: 15 x 15 x 15 mm  
 含水率: 0~120% (乾量基準)

### 実験方法

- ① 2つの条件(表1)で試験体のX線画像を撮影した。ここで対照物質として寸法既知の亚克力くさびを同時に写し込んだ。(図2)
- ② 所定の方法で現像したのち、フィルムスキャナ(Epson Expression 10000 XL)で取り込んだ。

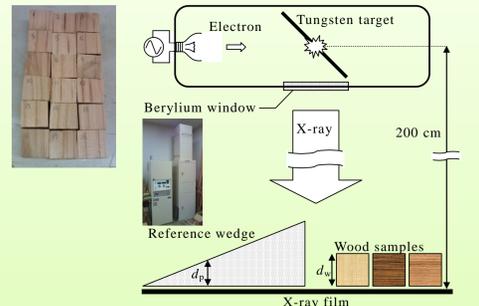


図2 試験体とX線装置

表1 撮影条件

image	Tube voltage peak (kVp)	Tube current (mA)	Exposure duration (s)
1	15	30	1800
2	40	15	30

### 輝度値と亚克力厚さの関係式作成

- ① 得られた2枚のX線画像(図3)を画像処理ソフトImageJに取り込み、亚克力厚さと輝度値の関係を作図した。(図4)
- ② 輝度値から亚克力厚さを推定するための6次多項回帰式を作成した。(Eq. (2), Eq. (3))

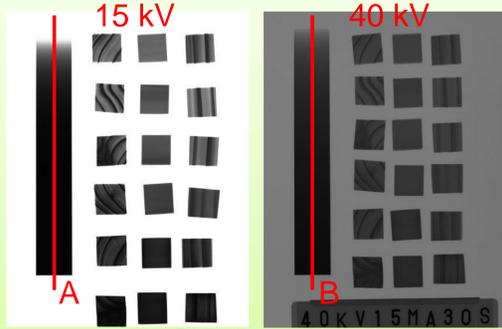


図3 試験体のX線画像

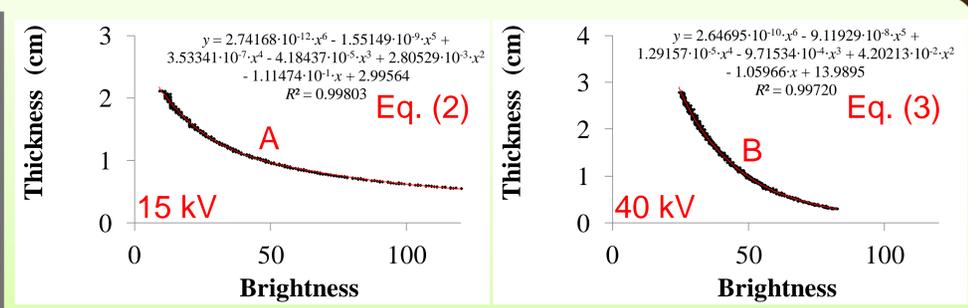


図4 輝度値と亚克力厚さの関係

### 含水率分布評価と画像化

下記フローチャートに沿って、各試験体の湿量基準含水率分布を0.5 mm/pixelの解像度で評価した。これを通常用いられる乾量基準含水率に直してグラフ化したのが下図である。別途全乾法により求めた平均含水率と比較すると、結果はおおむね妥当と考えられた。ただし一部に疑問が残るため、今後は測定精度を上げるための工夫を行うとともに、何らかの方法で真の含水率分布を得て比較し、測定精度を明らかにする必要がある。

**含水率分布評価結果(乾量基準)**

15 kV 40 kV 試験体番号

X線画像

ImageJによる画像抽出

抽出画像

bUnwarpJによる画像レジストレーション

位置合わせ済み画像

亚克力厚さ関係式への代入 (Eq.(2),(3))

亚克力当量厚さ分布

局所的含水率推定式への代入 (Eq.(1))

湿量基準含水率分布

乾量基準へ換算

### まとめ

異なる管電圧で撮影したX線画像から、木材の2次元的な含水率分布を非破壊的に推定できることが示唆された。これは発表者の知る限り、全乾画像の撮影を必要としない初めての木材の含水率分布の非破壊評価手法である。アナログフィルムを用いた本手法は撮影と現像に手間がかかるため、今後は高感度X線センサーの導入によるフィルムレス化と手法全体の自動化を進めたい。

### 応用可能性

- 木材の乾燥挙動や水分移動機構の解明、木質材料の吸湿特性などに関する基礎研究に広範に利用できる。
- より厚みを持つ木材を評価できれば、設置型の含水率分布評価装置としての応用も考えられる。
- 原理的には水以外の物質の分布、例えば木質材料中の接着剤分布や水溶性物質の分布等についても検量線さえ作成できれば評価可能である。

### 謝辞

パブリックドメインの画像処理ソフトウェアImageJを作成し公開しているWayne Rasband氏(アメリカ国立衛生研究所)、同プラグインbUnwarpJを作成し公開しているIgnacio Arganda-Carreras氏(マサチューセッツ工科大学)、およびこれらのソフトについて助言をいただいた渡辺憲氏(森林総合研究所)に謝意を表します。

### 引用文献

- 1) K. Watanabe, Y. Saito, S. Avramidis, S. Shida : Drying Technol 26, 590-595 (2008)
- 2) T. Tanaka, S. Avramidis, S. Shida: J Wood Sci 55, 69-73 (2009)
- 3) 田中 孝, 川井安生: 第29回日本木材加工技術協会年次大会, 2011年10月, 岡山(口頭)
- 4) T. Tanaka, Y. Kawai: J Wood Sci (投稿中)
- 5) 田中 孝, 川井安生: 第62回日本木材学会大会, 2012年3月, 札幌(口頭)