

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H05032

研究課題名（和文）X線CTの二重エネルギー化による木質系建築材料の性能の三次元計測

研究課題名（英文）Three-dimensional measurement of the properties of wood-based construction materials using dual-energy X-ray CT

研究代表者

田中 孝 (Tanaka, Takashi)

静岡大学・農学部・助教

研究者番号：40612700

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,790,000 円

研究成果の概要（和文）：木材に対して二重エネルギーX線吸収法をはじめとする各種X線技術を適用し、木質系建築材料の内部における含水率分布、密度分布、接着剤分布、難燃薬剤、保存剤分布といった品質を三次元的に非破壊評価するための手法を開発した。この手法は木質材料の性能発現メカニズムに関する基礎研究や木質系建築材料の製品一つ一つの性能を非破壊かつ非接触で三次元的に精度良く計測できるような品質管理技術に応用可能と考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した木質材料の含水率分布、密度分布、接着剤分布、難燃薬剤、保存剤分布の三次元非破壊計測手法は、木質材料の性能発現メカニズムに関する基礎研究や、その知見を利用した新規木質材料の開発研究、木質系建築材料の製品一つ一つの性能を非破壊かつ非接触で三次元的に精度良く計測できるような品質管理技術などに幅広く応用可能と考えられる。

研究成果の概要（英文）：X-ray-based nondestructive methods for evaluating density distribution, moisture distribution, adhesive resin distribution and preservatives distribution in wood-based building materials has been established. These methods might be used for quality control purposes, studies on the strength uncertainty of wood-based materials, and the development of new materials for buildings.

研究分野：木質科学

キーワード：X線CT 木質材料 含水率 密度 接着剤 保存剤

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、木質系建築材料が一般的な木造住宅だけでなくより大規模な建築物に用いられるようになりつつあり、10階建てを超えるような中高層木造建築も世界各地で試みられつつある。このような建築物の性能を保証するためには、従来よりも性能や品質の明確な建築材料が必要である。しかし木材は生物由来の素材であることから、性質が1本1本で異なり、また1本の木材のなかでも部位によって含水率、密度、強度が異なるなど、個体間ばらつき、個体内ばらつきの非常に大きい素材である。また、それらのばらつきが非常に大きいことから、接着剤を木材表面に均一に塗布して確実に貼り合わせたり、難燃性や保存性付与のための薬液を木材の内部まで均一に浸透させたりすることも決して簡単ではない。このような事情により、木質系建築材料の製造の際には、製造された製品一つ一つの品質を正確に計測する技術が欠かせない。

X線計測は、電気抵抗、誘電率、マイクロ波、赤外線等を用いる計測に比べて被測定体の深部の情報を得やすい、分解能が非常に高いという長所を持つ。したがって医学分野では、被爆の危険にもかかわらず、人間の内部の状態を解像度良く観察する手法としてX線を用いたレントゲン法やCTスキャン装置がスタンダードであり続けている。そして近年、X線検出素子を用いたデジタル撮影システムが実用化され、フィルムを現像する手間無く瞬時にX線透過像を得られるようになり、木材の密度や含水率をデジタル像から推定しようとする研究が盛んになった。例えば研究代表者はこれまでに木材や木質材料の二次元含水率分布計測手法を開発したほか、木材中の塩化セシウムの二次元分布の評価法や難燃剤の二次元分布評価法を提案した。さらに近年、多くの研究者によりX線CTスキャン装置を用いた三次元計測についても検討されている。全乾木材の三次元密度分布評価法(Lazarescu et al. 2010)や、含水木材および全乾木材の画像比較による含水率分布評価法(Watanabe et al. 2012)が報告されているほか、造影剤を配合した接着剤で製造した木質材料の接着剤要素を可視化する方法も提案されている(Modzel et al. 2011)。ただし実用化を考えた場合、残念ながらこれらのX線技術に共通する問題点は、最終的に試験体を全乾にして再度X線撮影して画像を比較する必要があるあたり、重元素などのX線像に極端に写りやすい物質を混ぜ込んだりする必要があるのである。これはX線像に写っている物体について、画像の濃淡から物質の多寡(密度)は推定できるが、それが何の物質であるかまでは特定できないという根本的な問題に起因しており、抜本的な解決は難しいと考えられてきた。したがってこれまでに木材産業にて実用化された技術は、原木内部の節位置の計測(Skog et al. 2009)、原料が一樣である木質ボードの密度測定装置等にとどまっている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、木材に対して二重エネルギーX線吸収法など各種X線技術をX線CTに応用することで、木質系建築材料の内部における含水率分布、密度分布、接着剤分布、難燃剤、保存剤分布といった品質を三次元的に非破壊評価するための手法を開発することである。最新のX線技術を駆使することで、木質系建築材料の何をどこまで測定できるのか、測定対象や測定範囲、測定精度を明らかにし、最終的にはX線照射のみにより木質系建築材料の製品一つ一つの性能を非破壊かつ非接触で三次元的に精度良く計測できるような技術基盤を構築することを目指す。

3. 研究の方法

主として以下の4つの研究を実施した。

- 1) 大きな断面積を持った木材のCT像を低エネルギーX線で得る方法の確立
- 2) 製材の三次元含水率分布・全乾密度分布の同時計測手法の開発
- 3) 木質系建築材料に含まれる接着剤の三次元分布の計測技術の開発
- 4) 木材に含まれる難燃剤・木材保存剤の三次元分布の評価手法の開発

4. 研究成果

1) 大きな断面積を持った木材のCT像を低エネルギーX線で得る方法の確立について
密度の一樣でない大きな断面積を持った木材のモデル物体として、寸法10 mm x 10 mm x 10 mmの木材立方体および同寸法の種々のプラスチック立方体をランダムに積み重ねて一つの工業用の大型X線CTに供し、三次元密度分布の非破壊測定に重要な、各立方体の断層像上の輝度値と実密度の関係および撮影条件がその関係に及ぼす影響を明らかにした。プラスチック立方体の一部にプラスチックウォーター®を用いることで、三次元含水率分布の測定に最適と考えられる条件についても明らかにした。

2) 製材の三次元含水率分布・全乾密度分布の同時計測手法の開発について
寸法500 mm(L) x 105 mm(W) x 25 mm(T)のスギ板について、工業用の大型X線CTに供し、断層像から当該スギ板全体の三次元密度分布を非破壊で計測する方法を開発した。

3) 木質系建築材料に含まれる接着剤の三次元分布の計測技術の開発

JAS合板引張りせん断試験片およびそれをより小さく切断した試験片を作製してX線CTに供し、木材内に形成された接着剤硬化物の三次元ネットワークを、合板の幅方向を全体的に観察可能な直径3.6 mmの円形の観察視野で、観察を妨げるような特段のアーティファクト等なしに可視化する手法を開発した(図1)。

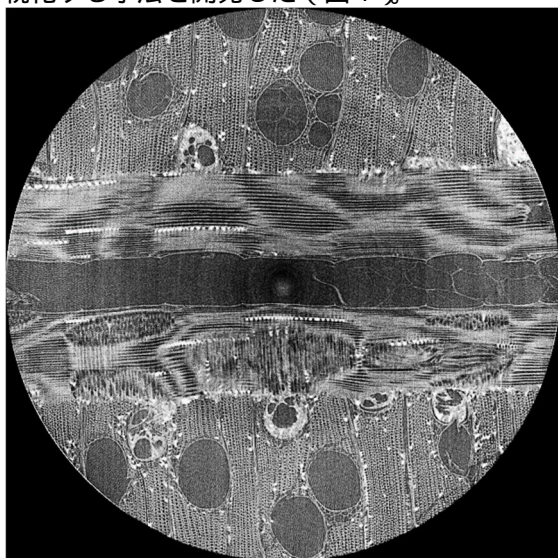


図1 フェノール樹脂接着剤を用いて作製した3-plyラワン合板の内部形態(未発表)

4) 木材に含まれる難燃薬剤・木材保存剤の三次元分布の評価手法の開発

含浸フェノールおよび銅系保存薬剤で処理した単板によりLVLを作製し、直径約10 mmの円形の観察視野で、LVLを構成する各単板内における三次元的な分布状況を可視化する技術を開発した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 田中 孝, 大石 蒼
2. 発表標題 広葉樹合板接着層に形成された三次元接着剤分布の可視化
3. 学会等名 日本木材加工技術協会第37回年次大会（広島）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayuni Nur Apsari, Nindya Ferrtikasari, Takashi Tanaka
2. 発表標題 Visualization of adhesive concentration profiles across sugi plywood in relation to adhesive spreading rate and veneer density
3. 学会等名 日本木材加工技術協会第37回年次大会（広島）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大石 蒼, 田中 孝
2. 発表標題 広葉樹合板接着層のX線CT透視観察の高解像度化の試み
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会（鳥取）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ayuni Nur Apsari, Eko Sudoyo, Takeshi Arizono, Eka Mulya Alamsyah, Kenji Kobayashi, Takashi Tanaka
2. 発表標題 Preliminary study on the visualization of low molecule phenol (LMP) and copper naphthenate profiles across sugi heartwood veneer using X-ray Computed Tomography
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会（鳥取）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nindya Ferrtikasari, Takashi Tanaka, Masaaki Yamada
2. 発表標題 Relationship between thermal conductivity and adhesive distribution of phenol-formaldehyde visualized with X-ray computed tomography on sugi (<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don) heartwood plywood
3. 学会等名 14th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium (BIOCOMP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤彩理, 田中 孝, 山田雅章
2. 発表標題 各種X線CT装置による合板内部の木材細胞内の接着剤の非破壊イメージングに関する予備検討
3. 学会等名 第56回日本接着学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 工藤彩理, 田中 孝, 山田雅章
2. 発表標題 ナノフォーカスX線CT装置による合板内部の非破壊観察
3. 学会等名 日本木材加工技術協会第36回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高田 航, 小林研治, 田中 孝
2. 発表標題 スギひき板の三次元密度分布とX線CT撮影による輝度値分布の関係の検討
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ayuni Nur Apsari, Eka Mulya Alamsyah, Tanaka Takashi
2. 発表標題 Non-destructive testing of low molecular weight phenol-formaldehyde (lmwPF) in LVL using X-ray computed tomography
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Tanaka and Stavros Avramidis
2. 発表標題 Feasibility study on the nondestructive evaluation of three-dimensional moisture content distribution in thick sawn timber using an dual-energy X-ray absorptiometric approach
3. 学会等名 IUFRO Division 5 Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 工藤彩理, 田中 孝, 山田雅章
2. 発表標題 各種木材接着性能試験片のX線CT装置による破壊性状観察
3. 学会等名 日本木材加工技術協会第35回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 工藤彩理, 田中 孝, 山田雅章
2. 発表標題 高分解能X線CT装置を用いた合板内部における接着剤分布の非破壊観察
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渥美清隆, 田中 孝, 山田雅章
2. 発表標題 マイクロフォーカスX線CT撮影によるスギに含まれた各種難燃薬剤の乾燥および高湿度環境暴露過程における薬剤分布の3次元経時変化観察
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----