

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K06638

研究課題名(和文)木材の力学的耐久性に関する劣化機構の解明とエネルギー論を用いた残存寿命評価

研究課題名(英文) Degradation mechanism of mechanical durability of wood and evaluation of residual life using strain energy

研究代表者

山崎 真理子 (Yamasaki, Mariko)

名古屋大学・生命農学研究科・准教授

研究者番号：70346170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、経年使用による木材の変形機構を明らかにし、古材の力学的耐久性を評価することを目的とした。ミクロ挙動からは変形機構としてセルロースの力学性能の変化を、また疲労試験によるマクロ挙動から残存寿命を検討した。その結果、古材化により、細胞壁2次壁内に層間剥離といった何らかの微小損傷を生じたことを示唆した。これにより、疲労試験の終局エネルギーが新材より低下し、かつ包絡線エネルギー(疲労破壊中に消費するひずみエネルギー)に占めるその割合が増加した。引張の場合には250年程度で包絡線エネルギーをほぼ消費しており、その後の力学的耐久性はこの終局ひずみエネルギーの推移で表現できることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材における古材化の研究は、構造利用と文化財の両面からその意義が理解される。本研究の学術的意義は、古材の力学耐久性について、疲労試験によるエネルギー論的アプローチを用いた点と、木材バルクと細胞壁2次壁の各層のセルロース鎖の力学挙動を同時測定することで、古材化によって荷重伝達の遅れが生じることを見出した点にある。200年から250年使用された木材の場合、引張および曲げの力学耐久性は低下したが、曲げに対する低下の程度は引張ほど大きくない。一般に、木造建築の構造部材は曲げあるいは圧縮負荷を担うように配置されることが多く、これは力学的耐久性の観点からも理にかなった使用方法である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to "clarify the deformation mechanism of wood during long-time use, and to evaluate the mechanical durability of aged wood as residual life". Test specimens were made from structural members used in the old temple during 200-250 years. From the micro behavior, the change of the mechanical properties of cellulose was examined, and the residual life was examined by the fatigue test as macro behavior. As a result, it was indicated that some minute damage such as detachment between layers was caused in the secondary wall of the cell wall due to aging or long-time use. Because of such minute damage, the final energy of aged wood was lower than that of the recent wood, and the ratio of final energy to the envelope energy increased. In the case of tension, since the envelope energy is almost consumed during 250 years, it is suggested that the subsequent residual life in tension can be expressed by the transition of the final strain energy.

研究分野：木材工学

キーワード：経年使用木材 力学的耐久性 疲労試験 エネルギー解析 セルロース格子ひずみ

## 1. 研究開始当初の背景

土木・建築分野において優良ストックの長寿命化が望まれて久しい。木造建築についていえば、日本は世界に冠たる木造建築遺産の宝庫であり、千年の時を経て建立当時の姿を現代に伝える建築物もある。このことは、木材の経年に対する強度耐久性（本研究では、生物劣化は含まず、老化現象に限定して取り扱う）が非常に優良であることを経験知として示しており、既存木造建築物の更なる保全と、今後の建築計画における木造化推進の一つの根拠となり得ている。一方で、この経験知を科学的に明らかにするために、古建築物で使用された木材（一般に「古材」と呼ばれる）の力学性能についての研究もなされている。

さらには、建築物に限らず、古い仏具や工芸品、あるいは熱処理材といった観点から、古材化による化学成分構成の変化と物性の関係についての研究もある。しかしながら、それらの化学成分の変化が、木材の強度発現機構にどのように影響を及ぼすかについての科学的な実証はなされていない。また、「古材」の明確な定義はまだ成されておらず、機械的性質（力学的性質）に限れば現在の保有性能を把握しているに過ぎない。

木造建築物において適切に維持管理計画を立案するためには、古い木造建築物の構造部材が、長い年月を経た上でどのような力学性能を有しているかを把握し、その変性機構を明らかにするとともに、残存寿命（耐久性）を評価することは重要であり、本研究の最終目的はこの点に集約される。これに対して、私たちの研究グループではこれまで小試験片の力学性能に関する研究、実大材の曲げ性能に関する研究、既存構造物における木質部材の非破壊検査、切欠を有する木質材料の曲げ性能に関する研究を行ってきた。ただし、これらの知見は既存部材の現存強度を評価することにとどまっている。100年以上を経た木材は材質的な脆性化を示しており、たとえその時点の力学性能は確保されていても、その後どの程度の期間、構造材としての適正な強度性能が担保されるのかは未知である。

## 2. 研究目的

本研究では「経年使用の過程における木材の変形機構を明らかにし、古材の力学的耐久性を残存寿命として評価すること」を目的とした。この目的に対して、ミクロとマクロの両面から力学挙動を調べ、ミクロ挙動からは変形機構としてセルロースの力学性能の変化を、またマクロ挙動として疲労挙動とその際のひずみエネルギーの変化を調べ、古材の力学的耐久性について総合的な理解を目指した。

具体的に、まず変形機構について、木材の力学的抵抗要素であるセルロースの挙動に注目した。木材の単位組織である細胞壁は結晶成分であるセルロースと非晶成分であるヘミセルロースおよびリグリンで構成される。木材が古材化することのメカニズムについて、既往研究では、経年使用に伴うヘミセルロースの減少や、結晶化度の増加といった化学成分の変化が議論されている。木材実質の力学挙動を考えると、これらの変化の影響は十分に考えられる。したがって、力学的耐久性を評価する上で、木材実質の力学挙動における化学成分変化の影響と機構解明を行うことは非常に重要な知見を与えると考えた。

一方、残存寿命について、木質材料の疲労試験の力学解析で培ってきたエネルギー論の適用を試みた。これまでの研究で、木質材料は材料と負荷方向に応じて破壊に要するひずみエネルギーが一定であることが明らかにしており、古材化によりひずみエネルギーが減少していれば、これを用いて力学的耐久性の評価が可能であると予想した。

## 3. 研究方法

### 3.1 供試材

試験にはアカマツ (*Pinus densiflora*) の未使用製材（以下、新材とする）および同樹種の古材の無欠点小試験体を用いた。古材供試材は長野県須坂市の浄運寺庫裏（築250年）の小屋梁、および約200年の寺院解体材（詳細不明）である。

### 3.2 試験方法

#### 3.2.1 セルロースの変形挙動（XRD測定）

木材の強度発現機構を微細構造の観点から検討するため、木材とセルロース鎖の力学挙動を同時に測定した。木材の年輪構造の影響を加味した状態で細胞壁内の力学挙動を把握するために、試験片は厚さ5mmとし、XRD測定では強力なシンクロトロン光を用いた。試験片は繊維方向を材軸とし、中央部にテーパーを設けたダンベル型とした。

XRD測定はあいちシンクロトロン光センターで行い、木材の仮道管における細胞壁2次壁各層のセルロース鎖の結晶部の力学特性を調べた。照射したシンクロトロン光の波長は9.16 KeV (1.35Å)であり、測定したBragg角はセルロース(004)面に対応する26.5°~35°である。1回のXRD測定の所要時間は330秒とした。試験片で回折された光は半導体検出器を介して2D回折図形として収録した。細胞壁の各層のセルロースを測定するために、2種類の回折法（透過法および反射法）を用いた。透過法ではS2層の、反射法ではS1/S3層のセルロース004面が測定されると考えた。得られた2θ回折強度曲線に対して、セルロース格子(004)面の面間隔d、半値幅FWHM、ピーク強度、2θ累積強度を求めた。

単軸負荷（引張，圧縮）作用下で XRD 測定を行うために，XRD 測定装置のステージの中央に自作の負荷治具を設置した（Fig. 1）．この治具に試験片を取り付け，試験片の材軸方向と平行に引張負荷を与えた．試験片が破壊に至るまで，4～10 回の段階的な引張負荷を与えながら，都度 XRD 測定を行った．試験片の巨視的な力学挙動を確認するため，試験片中央にひずみゲージを貼付した．負荷治具に取り付けたロードセルからの荷重とひずみゲージの値はデータロガーを介して記録した．木材バルクの荷重-ひずみ関係はこれらのデータから解析した．ここで，木材細胞壁のセルロース鎖は材軸に対して傾斜しているため，セルロース鎖に作用する引張荷重  $P'$  はセルロース鎖の配向角（MFA）への分力とした．また，引張負荷作用下のセルロース鎖の引張ひずみはセルロース（004）面の面間隔  $d_{004}$  の変化率で定義し， $d_{004}$  は Bragg の法則に基づき解析した．セルロース鎖の最大荷重はセルロース鎖の最大ひずみ到達時の荷重とした．



Fig. 1 Set up for XRD measurement.

### 3. 2. 1 力学的耐久性評価のための疲労試験

疲労試験は，引張と曲げの 2 種類を実施した．引張疲労試験は，軸力・ねじり複合加力試験機（島津製作所製電気油圧サーボ式軸力・ねじり複合疲労試験機）を用いて，繊維と平行方向に引張荷重を与えた．一方，曲げ疲労試験は，単軸疲労試験機（島津製作所製電気油圧式サーボ式疲労試験機，Fig. 2）を使用し，中央集中負荷の 3 点曲げ試験（スパン 260mm）を行った．いずれも負荷波形は三角波，負荷周波数は 1Hz とした．引張疲労試験では荷重とひずみゲージによる試験体表面のひずみを，曲げ疲労試験では荷重とアクチュエータのたわみを，PC に接続したデータロガー（PCD-320A；共和電業）を用いて計測した（サンプリング周波数 50Hz）．疲労試験の応力レベルは，事前に実施した静的強度を基準としてその 50～115%とし，静的試験より得られたヤング率-強度関係を用いて個々の基準強度を推定し，実験荷重を決定した．



Fig. 2 Testing set-up for cyclic bending test.

疲労試験中の応力-ひずみ関係より，残留ひずみ，最大ひずみ，剛性，ひずみエネルギー，エネルギーロスの経時変化を調べるとともに，包絡線ひずみエネルギーと終局ひずみエネルギーの関係から古材化による力学的耐久性の減少を定量評価した．

## 4. 研究成果

### 4. 2. 1 セルロースの変形挙動（XRD 測定）

本研究では，シンクロトロン光を用いた透過法と反射法の 2 種類の XRD 回折法で木材の仮道管における細胞壁 2 次壁各層のセルロース鎖の結晶部の力学特性を調べ，古材と新材の違いを見出した．以下にその概要を記す．

まず，細胞壁 2 次壁のセルロース鎖の測定手法を検討した．特に S1 層や S3 層はセルロース量が少なく，厚い試験片での測定手法を確立する必要があった．その結果，XRD 測定により得られる 2D 回折図形は，XRD 回折法の違いにより大きく異なるパターンを示した（Fig. 3）．この回折図形を基に解析した方位角分布曲線からセルロース鎖の MFA を求めた結果，透過法により求めた MFA は約 9°で，仮道管壁 2 次壁の S2 層のセルロースマイクロフィブリルの配向角（5～30°）と合致した．これに対して，反射法では約 75°で，2 次壁の S1 層や S3 層のセルロースマイクロフィブリルの配向角（S1 層：60～80°，S3 層：60～90°）と合致した．また，2θ 回折強度曲線から 2θ 累積強度を求め，仮道管壁層内のセルロース鎖の結晶部の量を推定したところ，透過法の推定量は反射法の約 7 倍となった．このようなセルロース鎖結晶部の比率は，仮道管壁 2 次壁内のセルロース分布を反映していると考えられた．これらの測定結果から，本測定手法によって細胞壁 2 次壁各層のセルロース鎖の結晶部を測定できると結論した．なお，無負荷時のこれらの測定結果について，新材と古材のセルロースの違いは認められなかった．

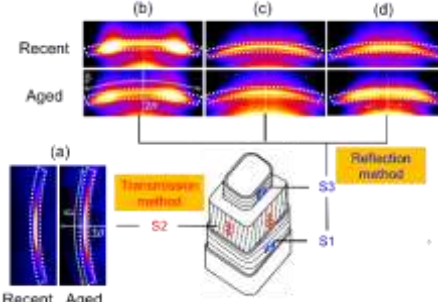


Fig. 3 2D diffraction pattern of cellulose (004) plane.

続いて，それぞれの層のセルロース鎖結晶部の力学挙動を測定した．まず，新材を用いた実験により測定手法を確立した．その結果，試験片（木材バルク）の力学挙動と細胞壁 2 次壁内のセルロース鎖のそれとは必ずしも一致せず，伸縮の動きにズレを生じる場合があった．すなわち，

木材バルクでは負荷当初からひずみを生じ、負荷に対する剛性を発現するが、セルロース鎖では、S1・S3層や圧縮負荷に対して剛性発現点が遅れた。ただし、引張負荷に対するS2層のセルロース鎖は木材バルクと同様に負荷直後から剛性を発現した。これに対して、古材では異なる力学挙動が認められた。Fig. 4に新材と古材の剛性発現および消失に関する比較を示す。セルロース鎖が剛性の発現を開始する荷重レベルは、引張負荷に対しては古材の方が新材に比べて高く、負荷に対する力学的反応が鈍かった。さらに、古材S1層およびS3層セルロース鎖の圧縮剛性が消失する荷重レベルは他と比べて小さく、特徴的であった。これらの結果は、セルロース鎖への荷重伝達が古材化の影響を受けていることを示唆しており、層間で滑りが生じている可能性を窺わせた。

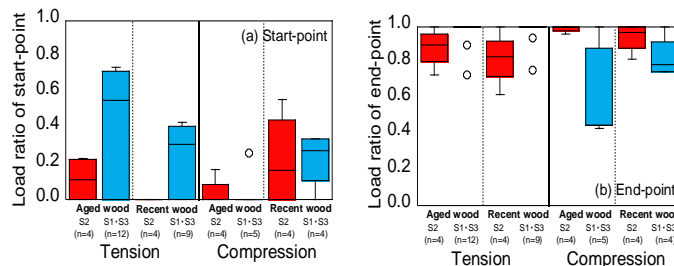


Fig. 4 Load ratio of the start-point load and end-point load for rigidity manifestation to the ultimate load.

#### 4. 2. 2 力学的耐久性に及ぼす古材化の影響

本研究では、引張と曲げの2種類の疲労試験を行い、包絡線ひずみエネルギーおよび終局ひずみエネルギーに着目して、古材化による力学的耐久性の減少を定量評価した。以下にその概要を記す。

Fig. 5に疲労試験時の応力-ひずみ曲線(S-S線)の一例を示す。S-S線の推移について、新材と古材で明確に異なっていた。新材では負荷回数の増加に伴い、残留ひずみおよび最大ひずみが増加し、S-S線の傾きが低下する傾向がみられた。一方、古材ではほとんどの試験体で新材のような傾向はみられず、SLや疲労寿命(Nf)によらずS-S線はほぼ変化のないまま疲労破壊に至った。

そこで、S-S線からひずみエネルギー(SE)を解析した。SEはS-S線について応力をひずみで積分して求めた。Fig. 2には、引張疲労試験の結果得られた(a)新材、(b)古材のSEの経時変化を示した。新材のSL85%以下の条件では、経時変化が2段階に分けられた。すなわち、負荷開始から破壊近傍までの緩やかに変化し、破壊直前に増加した。一方、古材ではSLによらず負荷開始から疲労寿命に達するまでほとんど変化しなかった。

この違いに着目し、力学的耐久性に及ぼす古材化の影響を検討した。Fig. 7にひずみエネルギーの解析方法を示す。説明します。本研究では、エネルギーロス、包絡線エネルギー、終局ひずみエネルギーを定義した。エネルギーロスは、Nサイクル目におけるS-S線のループ内の面積で求められ、材内の微小な損傷や内部抵抗で損失したエネルギー量を表す。包絡線エネルギーは、図中のグレーの部分で表され、S-S線が「1サイクルから最終サイクル」までを囲む面積で定義した。この値は既往研究により、材料に固有の値であることが報告されている。終局ひずみエネルギーは、疲労破壊時のS-S線の下側の面積であり、最終的な破壊に要したエネルギー量を表す。

Fig. 8には包絡線エネルギーの解析結果を示した。値は強度によって基準化し、疲労試験の高SLと中SL、静的試験から得られたデータを合わせて示した。Fig. 8に示すように、曲

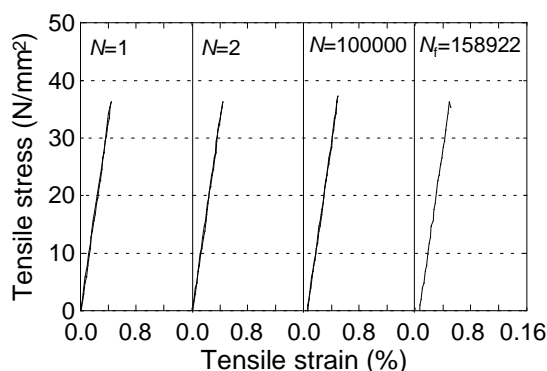


Fig. 5 Stress-strain curve obtained by tensile fatigue test (Aged wood).

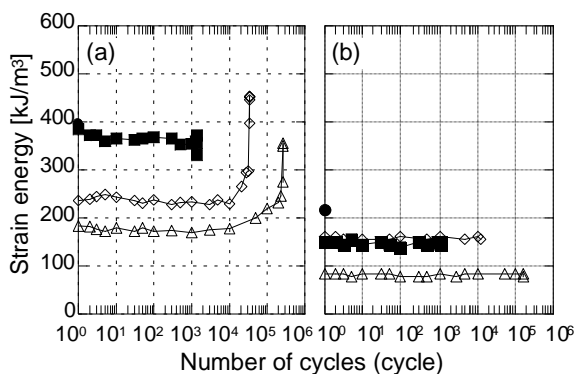


Fig. 6 Changes in strain energy. (a) Recent wood, (b) Aged wood.

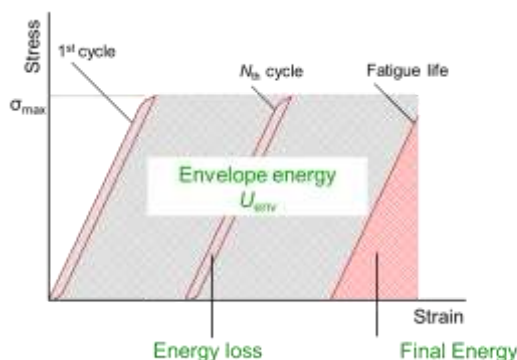


Fig. 7 Analysis for strain energy.



げ疲労試験, 引張疲労試験ともに, 古材の包絡線エネルギーは新材より低い値を示した (分散分析で 99%有意).

最後に, 終局ひずみエネルギーと包絡線エネルギーの関係を調べた. 結果を Fig. 9 に示す. 図の横軸は包絡線エネルギー, 縦軸は終局ひずみエネルギーで, プロットが  $Y=X$  の直線に位置する時, 包絡線ひずみエネルギーと終局ひずみエネルギーが同値であり, すなわち, 破壊前まで全く変形しなかったことを意味する.

(a) 曲げ疲労, (b) 引張疲労ともに, 新材では  $Y=X$  のラインより下側にプロットが位置しており, 包絡線エネルギーの中に, 「破壊以前に消費されるエネルギーが存在している」ことが分かる. 包絡線エネルギーに占める終局ひずみエネルギーの割合は曲げでは 57.9%, 引張では 75.4%であった. これに対して, 古材では, 新材のプロットより原点にちかづき, 終局エネルギーそのものが新材より小さい. さらに,  $Y=X$  近くにプロットが位置した. つまり, 古材化により, 終局ひずみエネルギーは低下しつつ, かつ, 包絡線エネルギーに占める割合が増加した. その割合は, 曲げ 60.5% (新材の 4.5%増), 引張 88.3% (新材の 17.1%増)であった. 特に引張疲労では, 破壊で要するエネルギーのほとんどが終局ひずみエネルギーとなった. 既往研究でも報告されているように, 引張性能の方が古材化による変化が顕著である.

以上の結果から, 疲労破壊過程を模式図にしてまとめた. 図の台形が包絡線エネルギーで, このうちグレー部分が「破壊近傍以前の疲労過程で消費されたエネルギー」, 赤部分が終局ひずみエネルギーである. 新材の場合, 疲労試験により, 徐々に微小損傷が発生し, その際に, エネルギーロスが生じる. その累積に相当するのがグレー部分だと考えられる. そして, 破壊直前に, これらの損傷が連結するか, あるいは同時多発的に破壊に至るときに赤部分のエネルギーを要する. これに対して, 古材では, XRD 測定で示唆したように, 2次壁内の層間剥離といった何らかの微小損傷が存在していたと推察される. 繰り返し負荷に対して, これらの微小損傷は連結しないか, あるいは連結するのにほとんどエネルギーを要しないか, という状態が続き, 最終的な破壊に至る際も新材と比べてより小さなエネルギーで破壊した. この全体の差が包絡線エネルギーの差であり, 具体的に, 引張では 250年間で  $1.73\text{kJ/m}^3/\text{MPa}$ であった.

残存寿命を評価するためには, さらに古い材で終局ひずみエネルギーがどのように変化するかを調べる必要があり, この点は今後の検討課題である. 引張の場合には 250年程度で包絡線エネルギーをほぼ消費していることから, その後の残存寿命は終局ひずみエネルギーの推移で表現できると考えている. これについては, 例えば熱処理材による疑似古材モデル試験などにより, 更なる研究発展が考えられる. 一方, 曲げに対しては, 圧縮部分の効果が大きく, 古材化による力学耐久性は引張ほど大きく低下しない. 一般に, 木造建築の構造部材は曲げあるいは圧縮負荷を担うように配置されることが多いが, これは力学的耐久性の観点からも理にかなった使用法といえるだろう.

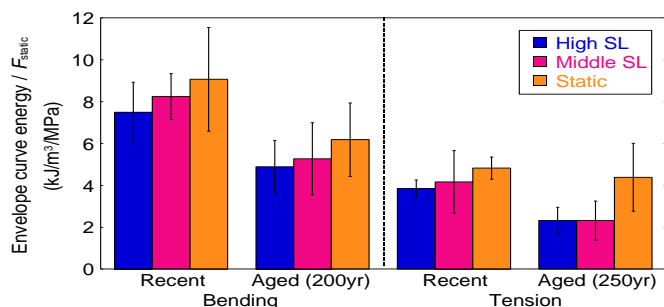


Fig. 8 Envelope energy obtained by fatigue test.

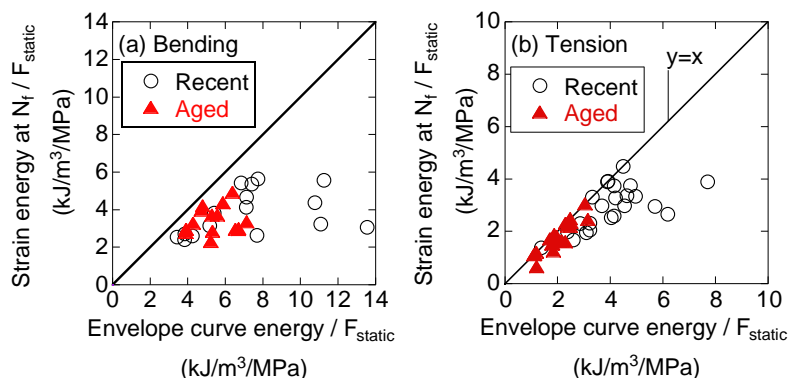


Fig. 9 Relationships between envelope energy and final energy obtained by fatigue test.

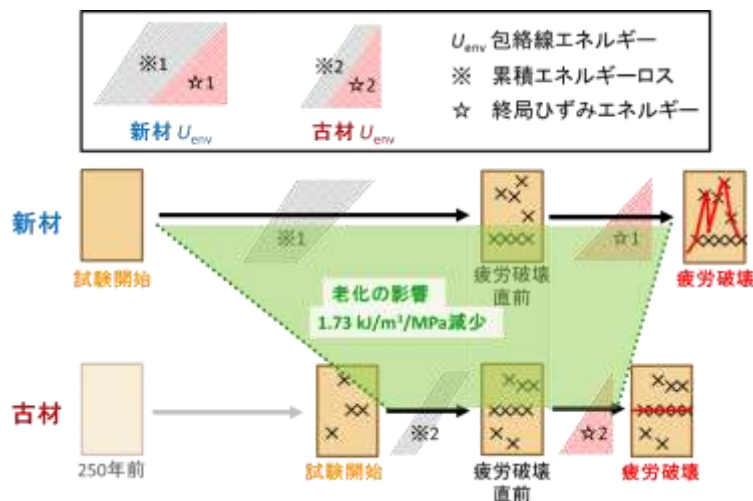


Fig. 10 Fatigue failure process of recent and aged woods.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Erina Kojima, Mariko Yamasaki, Koki Imaeda, Chang-Goo Lee, Takanori Sugimoto & Yasutoshi Sasaki	4. 巻 55(12)
2. 論文標題 Effects of thermal modification on the mechanical properties of the wood cell wall of soft wood: behavior of S2 cellulose microfibrils under tensile loading	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 5038, 5047
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10853-020-04346-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sasaki Yasutoshi, Oya Ayaka, Nomura Hideaki, Yamasaki Mariko	4. 巻 52(3)
2. 論文標題 Reaction kinetics approach in relation to the fatigue life of wood	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 809, 820
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00226-018-1005-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Chang goo Lee, Mariko Yamasaki, Takanori Sugimoto, Yasutoshi Sasaki	4. 巻 online first
2. 論文標題 Synchrotron X-ray measurements of cellulose in wood cell wall layers of Pinus densiflora in the transmission and reflectance modes. Part 1: results without loading	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Holzforschung	6. 最初と最後の頁 online first
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/hf-2018-0120	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Chang goo Lee, Mariko Yamasaki, Erina Kojima, Takanori Sugimoto, Yasutoshi Sasaki	4. 巻 online first
2. 論文標題 Synchrotron X-ray measurements of cellulose in wood cell wall layers of Pinus densiflora in the transmission and reflectance modes. Part 2: results with axial loading	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Holzforschung	6. 最初と最後の頁 online first
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/hf-2019-0222	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Lee Chang Goo, 小島瑛里奈, 今枝紘樹, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 2種類のX線回折法を用いた木材細胞壁セルロースのシンクロトロン光測定
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝紘樹, 小島瑛里奈, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 XRD 回折法を用いた熱処理木材細胞壁の力学挙動 - S2層内セルロースの引張挙動 -
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島瑛里奈, 今枝紘樹, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 XRD回折法を用いた熱処理木材細胞壁の力学挙動 - S1およびS3層内セルロースの引張挙動 -
3. 学会等名 日本材料学会第68期学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝紘樹, 小島瑛里奈, 山崎真理子
2. 発表標題 XRD 測定に基づく木材セルロースのひずみエネルギー解析 - 熱エネルギーによる経年使用材のモデル化 -
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会（北陸）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島瑛里奈, 今枝紘樹, 山崎真理子
2. 発表標題 木材細胞壁内のセルロース面間隔に及ぼす引張負荷と熱処理の影響
3. 学会等名 2019年度日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今枝紘樹, 小島瑛里奈, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 引張荷重下における木質建材のXRD測定
3. 学会等名 日本材料学会東海支部 第14回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 汪洋, 山崎真理子, 佐々木康寿
2. 発表標題 木材の実大部分横圧縮疲労挙動
3. 学会等名 日本材料学会東海支部 第14回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島瑛里奈, 今枝紘樹, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 引張荷重下における木材細胞壁中のセルロース鎖の配向性
3. 学会等名 日本材料学会東海支部 第14回学術講演会
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 今枝紘樹, 小島瑛里奈, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 XRD測定に基づく木材セルロースのひずみエネルギー解析 - 熱エネルギーによる経年使用材のモデル化 -
3. 学会等名 第70回 日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山崎真理子, 汪洋, 志水洗介, 佐々木康寿
2. 発表標題 部分横圧縮荷重に対する木材の疲労挙動 (第3報) - 実大材の疲労挙動 -
3. 学会等名 第70回 日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島瑛里奈, 今枝紘樹, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 杉本貴紀, 佐々木康寿
2. 発表標題 木材細胞壁中セルロース鎖の引張挙動に及ぼす熱処理の影響
3. 学会等名 第70回 日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Lee Chang Goo, Takanori Sugimoto, Erina Kojima, Yasutoshi Sasaki, Mariko Yamasaki
2. 発表標題 X-Ray Diffraction Measurement of Cellulose in Wood cell wall using Synchrotron Radiation
3. 学会等名 Annual Meeting of The Korean Society of Wood Science & Technology (KSWST) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山崎真理子, 小島瑛里奈, Lee Chang Goo, 佐々木康寿, 杉本貴紀
2. 発表標題 2種類のXRD回折法による木材細胞壁の引張挙動測定 - S2層における熱処理の影響 -
3. 学会等名 日本材料学会第67期学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島瑛里奈, Lee Chang Goo, 山崎真理子, 佐々木康寿, 杉本貴紀
2. 発表標題 2種類のXRD回折法による木材細胞壁の引張挙動測定
3. 学会等名 日本材料学会第67期学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mariko Yamasaki, Yutaro Nakamura, Yasutoshi Sasaki
2. 発表標題 Strength Evaluation of Wood Based on Fatigue Behavior Analysis of Aged Wood
3. 学会等名 日米木質科学国際会議2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Erina Kojima, Lee Chang Goo, Mariko Yamasaki, Yasutoshi Sasaki, Takanori Sugimoto
2. 発表標題 XRD Measurement of Heat Treated Wood under Tensile Load
3. 学会等名 日米木質科学国際会議2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Lee Chang Goo, Erina Kojima, Mariko Yamasaki, Yasutoshi Sasaki, Takanori Sugimoto
2. 発表標題 Analysis of Mechanical Behavior of Cellulose in Wood Cell Walls under Axial Load using Two Synchrotron X-ray Diffraction Techniques
3. 学会等名 日米木質科学国際会議2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Shimizu, Mariko Yamasaki, Yasutoshi Sasaki
2. 発表標題 Fatigue Behavior of Japanese Red Pine under Compression Loading Tests Perpendicular to the Grain
3. 学会等名 日米木質科学国際会議2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志水洸介, 汪洋, 山崎真理子, 佐々木康寿, 小川敬多
2. 発表標題 部分横圧縮荷重に対する木材の疲労挙動 (第2報)
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 Lee Chang Goo, 山崎真理子, 佐々木康寿, 杉本貴紀
2. 発表標題 シンクロトン光XRDを用いた木材微細構造の変形挙動測定
3. 学会等名 日本材料学会第66期学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山崎真理子, 中村祐太郎, 佐々木康寿
2. 発表標題 古材の疲労挙動解析に基づく木材の強度耐久性評価
3. 学会等名 日本材料学会第66期学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐々木康寿, 小川敬多, 志水洗介, 山崎真理子
2. 発表標題 部分横圧縮負荷下における木材の疲労挙動
3. 学会等名 日本材料学会第66期学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 志水洗介, 佐々木康寿, 山崎真理子
2. 発表標題 繰返し部分横圧縮荷重に対する木材の力学挙動
3. 学会等名 2017年度 日本木材学会中部支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小島瑛里奈, 山崎真理子, Lee Chang Goo, 佐々木康寿, 杉本貴紀
2. 発表標題 引張荷重下における熱処理木材のXRD測定
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第12回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志水洗介, 佐々木康寿, 山崎真理子
2. 発表標題 繰返し部分横圧縮荷重下における木材の力学挙動
3. 学会等名 日本材料学会東海支部第12回学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 志水洗介, 佐々木康寿, 山崎真理子
2. 発表標題 部分横圧縮荷重に対する木材の疲労挙動
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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関