

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24880017

研究課題名(和文) 経年および熱処理による木材の材質変化メカニズム

研究課題名(英文) Changes of wood properties during natural aging and heat treatment

研究代表者

松尾 美幸 (Matsuo, Miyuki)

名古屋大学・生命農学研究科・助教

研究者番号：70631597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：木材の経年にもなう材質変化を明らかにすることを目的として、1.ケヤキ材およびスギ材の熱処理による材質変化、2.経年にもなうケヤキ材の材質変化を評価した。その結果、材質変化には温度依存性があり速度論的に解析が可能であることがわかった。また、比強度および破壊に要するエネルギーが経年により有意に減少していた。さらに、3.木材中に存在する水分の影響を考察するため、温度・湿度を制御した湿熱処理を行い、温度と湿度の両方を考慮した材質変化のモデリングに成功した。

研究成果の概要(英文)：This study aims to evaluate the changes in wood properties during natural aging. Changes during heat treatment of keyaki and sugi wood and during natural aging of keyaki wood were measured in terms of physical and mechanical properties. Changes during the heat treatment showed temperature dependencies. This indicated that the changes could be kinetically analyzed. Specific modulus of rupture and energy to breaking point significantly decreased during natural aging for 600 years. Furthermore, changes in color during hygro-thermal treatment were modeled to consider the effect of moisture in wood on natural aging.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：木質科学

キーワード：経年変化 熱処理 ケヤキ スギ 古材

1. 研究開始当初の背景

我が国には、世界遺産・国宝・重要文化財を始めとして数多くの木製文化財が存在する。これらは木の文化を誇る我が国がもつ貴重な財産である。現存する世界最古の木造建築物である法隆寺五重塔に見られるように、木材の適切な管理下での材料寿命は非常に長く千年を優に超える。数百年～千年を超えるスパンでの、木材の経年変化すなわち「老化」現象の把握およびそのメカニズムの解明は、貴重な文化財を適切に保存し後世へ伝えるためだけではなく、持続循環資源である木材の効果的な利用、他材料からの代替を進める上で必要不可欠な基礎的知見である。

これまでの研究成果より、応募者は、色に関して統計的に信頼度の高いデータを得て詳細な解析が可能であること、その結果、木材の経年にもなう色変化は、基本的に常温での穏やかな熱酸化反応として説明できることを明らかにした。本成果を、1.他の重要な材料特性(密度、平衡含水率、力学的性質等)の解析に応用するとともに、それら2.物性変化を物理的、化学的、組織形態学的な様々な手法をもって包括的に考察することにより、材質変化メカニズムの全容が明らかになると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、経年および熱による材質変化メカニズムの全容を解明することを目指して、上述の研究成果をさらに発展させる。具体的には、経年および熱処理にもなう、基礎物性、力学的性質、微細構造の変化を明らかにする。上記で得られた結果について、経年と熱処理の比較や、最終的には樹種間での比較を解析的に行い、材質変化を矛盾なく説明するメカニズムを提案することを目指した。

3. 研究の方法

(1) 熱処理材の物性

熱処理にもなう物性変化をとらえるために、乾熱処理をした現生スギおよびケヤキ材の試験片について、重量、寸法、密度、平衡含水率などの基礎物性、3点曲げ試験から得られたヤング率、強度、破壊に要するエネルギーなどの力学的性質を測定し、また、処理前後の変化率を算出した。処理温度は90、120、150および180°Cの4条件とし、処理時間は短いもので5分(180°C)長いもので1.4年(90°C)におよんだ。

(2) 古材の物性

経年にもなう物性変化をとらえるために、歴史的建造物由来のケヤキ古材7点について、放射性炭素年代法により生育年を推定した。ウィグルマッチングが可能であり、高い精度で生育年の推定が可能であった6点を実験に供した。これら試料の最外層における経年時間は約180年～580年であり、約600年におよぶ経年変化をとらえることが可能

であった。古材から、熱処理材と同様に試験片を切削し、基礎物性および力学的性質を測定した。

(3) 結晶特性の測定

上記(2)の古材試料を用いて、X線回折法により結晶化度、結晶幅、MFA(マイクロフィブリル傾角)の測定をした。面積法とピーク法から結晶化度を、Scherrer式より(200)面の結晶幅を、Cave法によりMFAを算出した。

(4) 湿熱処理

木材中の水分が経年の課程で物性に与える影響を考察するための予備実験として、湿熱処理を行った。処理温度は130°Cおよび150°C、相対湿度は0%一定、0～25%間で変動、25%一定の3条件とした。これにより、温度だけでなく湿度の変化を考慮した物性変化モデルの確立を目指した。短い時間で容易に測定できる重量および色彩値を測定した。なお、本実験に関しては、フランス・モンペリエ第二大学およびスイス・ベルン応用科学大学のチームと協同して行った。そのため、供試材としてスプルスおよびポプラを用いた。

4. 研究成果

(1) 熱処理材の物性

熱処理により、基礎物性および力学的性質は一様に減少した。また、それぞれの変化には明確な温度依存性がみられ、速度論的な解析が可能と考えられた。今後、得られたデータについて解析を進め、活性化エネルギーの算出、常温での物性変化の予測、熱処理から予測した変化と実際の経年変化の比較を進める予定である。

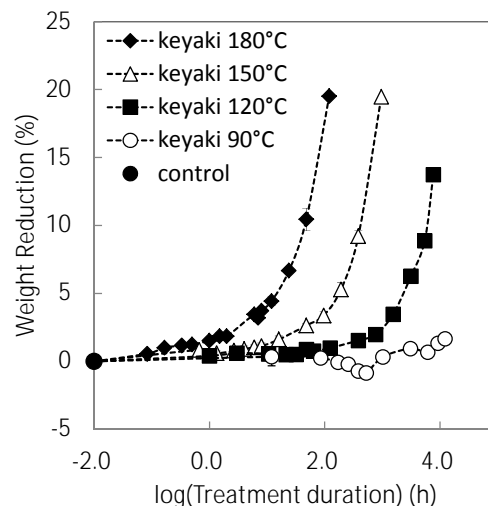


図 1. 熱処理による物性変化の例(ケヤキ材の重量減少率)

(2) 古材の物性

経年により、有意に変化した物性と変化しなかった物性とがみられた。すなわち、比強

度および破壊に要するエネルギーは、約 600 年の経年によりそれぞれ約 25%および約 50% 減少することがわかった。他の物性（密度、平衡含水率、ヤング率）については、変化しなかった。ただし、平衡含水率については、試料の調湿不備が考えられたため、吸着等温線の作成も視野に入れて再測定中である。

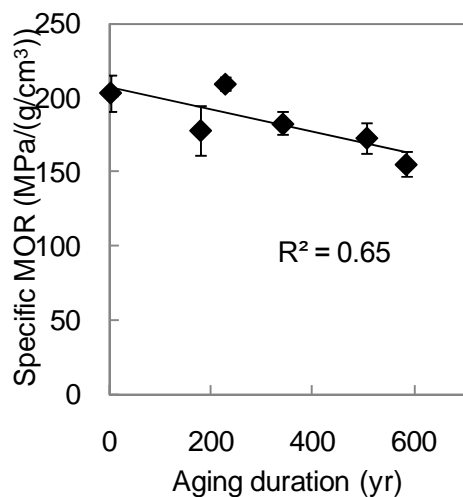


図 2. 経年による物性変化の例(ケヤキ材の比ヤング率)

(3) 結晶特性の測定

相対結晶化度については、算出法により、経年ともなう傾向が異なるという結果を得た。木片を測定試料としたことから、組織構造の影響が大きかったためと考えられた。したがって、赤道反射測定において、試料調整と回折チャートの解析にさらなる検討が必要であると思われる。これについては、粉末試料あるいはセルロースのみを測定することによって解決をはかる予定である。MFA の値はおおむね 10~15°の範囲であり、ややあてを含む試料であることがわかった。

(4) 湿熱処理

処理中の湿度が高いほど、また、湿度が高い時間が長いほど、物性の変化は速く、これは既往の研究結果と一致した。物性の一例として、色変化についてモデル式を作成することにした。一次反応式に、温度と相対湿度の両方を変数として組み込んだ物性変化のモデル式を作成したところ、測定データにフィットするよう定数を決定することにより、モデル式で物性変化を説明できることがわかった。今回は実験遂行上の制約からヨーロッパで一般的に用いられるスプルースとポプラのみの測定に留まったが、今後、日本で用いられる樹種で同様の実験をしたいと考えている。

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 2 件)

Miyuki Matsuo, Kenji Umemura, Shuichi Kawai, Kinetic analysis of color changes in keyaki (*Zelkova serrata* Makino) and sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don) wood during heat treatment, *Journal of Wood Science*, 査読有、60 巻 1 号、2014、12-20

松尾美幸, リグノセルロース材料の経年変化(総説), *木材工業*, 査読有、68 巻 8 号、2013、336-341

〔学会発表〕(計 6 件)

松尾美幸, 安北尚人, 佐藤彩織, 吉田正人, 山本浩之, 豊嶋 勲, 鈴木祥仁, 山下 昇, 湿熱処理によるスギ圧縮あて材の寸法変化, 第 64 回日本木材学会大会, 2014 年 3 月 14 日, 松山

松尾美幸, 吉田正人, 山本浩之, 梅村研二, 川井秀一, ケヤキ材の経年による材質変化(第 2 報) - 結晶特性の変化 -, 日本木材学会中部支部大会, 2013 年 11 月 14 日, 富山

Miyuki Matsuo, Elham Karami, Sandrine Bardet, Julien Froidevaux, Masato Yoshida, Hiroyuki Yamamoto, Joseph Gril, Modeling of the changes in wood properties during thermal and hygro-thermal treatment, IUFRO MeMoWood -Measurement methods and Modelling approaches for predicting desirable future Wood properties-, 2013 年 10 月 1-4 日, Nancy

松尾美幸, Elham Karami, Sandrine Bardet, Joseph Gril, Julien Froidevaux, Parviz Navi, 湿熱処理による材質変化とそのモデリング, 第 63 回日本木材学会大会, 2013 年 3 月 27 日, 岩手

Miyuki Matsuo, Joseph Gril, Misao Yokoyama, Kenji Umemura, Shuichi Kawai, Natural ageing and heat treatment of lignocellulosic materials: evaluation and modelling, Meeting of Cost Action 2012: "Modelling the isolated and combined effects of chemical modifications and hygrothermomechanical loading of wood", 2012 年 12 月 19 日, Paris

松尾美幸, 梅村研二, 川井秀一, ケヤキ材の経年による材質変化, 2012 年度日本木材学会中部支部大会, 2012 年 9 月 27 日, 三重

〔その他〕

シンポジウム講演

松尾美幸, ケヤキ材の経年による材質変化, 第 245 回生存圏シンポジウム 生存圏データベース(材鑑調査室)全国共同利用研究成果発表会, 2014 年 2 月 17 日,

京都

松尾美幸、熱による促進劣化処理をした
中国宣紙の物性、日本木材学会木質物性
研究会、2013年9月19日、三重

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松尾 美幸 (MATSUO MIYUKI)

名古屋大学・大学院生命農学研究科・助教

研究者番号：70631597