

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21380108

研究課題名（和文） 屋外暴露試験を基礎とした木質パネルの耐久性能評価に関する研究

研究課題名（英文） Studies on the durability performance of wood-based panels by the outdoor exposure tests

研究代表者 鈴木 滋彦 (SHIGEHICO SUZUKI)

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：40115449

研究成果の概要（和文）：木質パネルの耐久性能評価手法を確立することは、それを通して炭素固定量を評価する技術となることから、環境評価手法の一つとして期待されている。本研究では、全国8地域で実施した屋外暴露試験結果を基本資料とした。屋外暴露試験結果と各種促進劣化処理手法の関係を定量的に示すことに成功した。また、劣化をひき起す要因を外力指標（ $\alpha$ ）として定義することで、気象条件から劣化を予測することが可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：Procedures for determining the durability performance of wooden composites increase its importance as a technology for estimating carbon sink. For this purpose, results obtained from the outdoor exposure tests at eight sites in Japan were used to evaluate the durability of wood-based panels. The relationship between five accelerated aging tests and 5-year out-door test was determined quantitatively. To eliminate regional differences in outdoor test results, we introduced “weathering intensity”, a factor combined precipitation and temperature. This can be an indication of aging effect and can predict deterioration of the panels.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	12,500,000	3,750,000	16,250,000

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：木質材料、木質パネル、耐久性、性能評価、屋外暴露、炭素固定、促進劣化

## 1. 研究開始当初の背景

木質パネルの生産量は増加傾向にあり、年間生産量2億 $m^3$ は、6千500万トンの炭素固定能力に相当すると概算される。仮にこの水準が30年間維持されると、単純計算で20億トンの炭素が木質パネルとして蓄積されることになる。しかしながら蓄積量の推計に

は、生産規模が拡大し総生産量が増加する傾向を定量化する増加予測と、使用途中でパネルが廃棄される減少要因を考慮する必要があり、評価は容易ではない。また、生産量の増加を支える資源の供給不足が懸念されるなか、木質パネルの長寿命化が求められることは必至であり、寿命を科学的に論じるための耐久性能評価手法の確立が望まれている。

木質パネルの原料は、大径木から小径木へ、優良材から低質材へ、そして未利用材やリサイクル材の有効利用へと推移している。ボード類は解体材由来の原料や未利用低質材から製造が可能であり、木質資源の有効利用の一翼をになう材料として期待されている。たとえば、我が国で生産される木質ボードの原料は、近年急速に住宅解体材等のリサイクル資源へとシフトし、パーティクルボード、繊維板の両者を合わせると生産量の50%以上が解体材由来の原料を使用している。また、室内空気汚染防止の観点から、接着剤も低ホルムアルデヒド系樹脂や非ホルムアルデヒド系(MDI)へとシフトしている。他方、海外においても原料事情の変化を背景にして、マット成形タイプのボード類(OSB、PB、MDFなど)に対しても、合板代替性能が求められるようになった。合板と対比される性能として、強度、寸法安定性、接着耐久性、施工性、価格など多数挙げられるなかで、面材料として最も関心の高い課題が耐久性である。しかしながら、耐久性の判定は難しく、規格化された促進処理試験に加えて、各種の暴露試験結果などを総合して判断することが求められる。

屋外暴露試験は自然環境をベースにした促進劣化試験として位置付けられており、木質パネルの耐久性を評価する上で重要なデータベースとなる。屋外暴露試験結果はそれ自身単独で論じるよりも、その他の促進劣化試験結果との関係性を検証することで、耐久性評価手法の確立が可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究の主目的は木質パネルの耐久性評価手法を確立することにあるが、それを通して炭素固定量を評価することを長期目標としている。木質パネルは未利用材や低質材を原料とすることができ、こうした資源をカーボンシンクとして長期間利用することが可能であると同時に、廃木材を再資源化する有力な手段でもある。木質パネルは、伐採木材製品(harvested wood products、HWP)のフローの中では下流に位置しており、耐久性の評価はHWPのストック量評価を適性に行うための基礎資料となる。

木質パネルに関する研究者グループが中心となって2004年に開始し国内各地に設置した「木質パネルの屋外暴露試験」から有用なデータを得ること、ならびに、大量の資料を分析評価することが本研究の核となる。

また、基礎となる分析に加えて、(i)屋外暴露によるパネルの劣化と標準化された促進劣化試験法による劣化の関係を定量化すること、(ii)振動法によりパネル内部の劣化メカニズムをモデル化することを短期目的とし

て実施する。さらに、(iii)世界各地で行われた屋外暴露を含めた木質パネルの耐久性評価に関する資料を収集・集積し、暴露試験の結果と現行の各種促進劣化試験との関連から、「何年もつのか」との問いに答え得る指針を提示することを短期目的とする。

暴露試験の分析を核として(i)~(iii)の新たな評価研究を遂行すること、全国各地の木質パネル研究者が有機的な協力関係を構築して研究を遂行する。

## 3. 研究の方法

屋外暴露試験結果の評価は「屋外暴露試験」、「屋内暴露試験」、「促進劣化試験」の3試験項目を中心として「劣化木材を原料とした木質パネル評価」を加えた合計4項目により行われる。基本的な手法は以下の通りである。

### (1) 屋外暴露

全国8カ所の試験地で行われている屋外暴露試験により、各試験体の基礎物性および釘接合性能の劣化を実験的に検証する。また、基礎物性の経時変化を評価し、地域別の気象要因を数値化して考察する。



図1 屋外暴露実施地域

### (2) 屋内暴露

住宅等の温湿度環境をモデル化した屋内暴露試験(乾湿繰り返し試験)および実験住宅への施工による屋内暴露試験を行い、基礎物性および釘接合性能の劣化を調べる。

### (3) 促進劣化試験

国内外で規定される促進劣化試験方法を参考に各種の促進劣化試験を実施する。その試験結果を屋内および屋外暴露試験のそれと比較検討し、最適な促進劣化試験方法を提案する。なお、屋外暴露供試体として、合板、OSB、PB、MDF各2種類ずつ計8種類を標準サンプルとした。

## 4. 研究成果

### (1) 屋外暴露と劣化予測

静岡における屋外暴露試験 5 年間の試験体を回収し、JIS 規格に準拠した物性試験を行うことでパネル劣化の傾向を把握した。さらに全国 8 地域での屋外暴露試験 5 年間の結果を含めて検討した。結果の一例として、図 2 に暴露供試体 8 種類の曲げ強度残留率を示した。旭川、能代、盛岡、つくば、静岡、岡山(南)、岡山(北)、都城の 8 試験地の特徴が表れている。PF 樹脂を用いたパーティクルボードの低下率は MDI 結合パーティクルボードよりも大きく、また、4 地域において 2 年後の残留率が 50%を下回った。アスペン OSB も他のボードよりも低下傾向が顕著であった。

暴露における地域差は顕著であり、図 2 が示す通り、旭川、能代、盛岡では残留率が高く、静岡ならびに都城では強度低下が大きくなる傾向を示している。

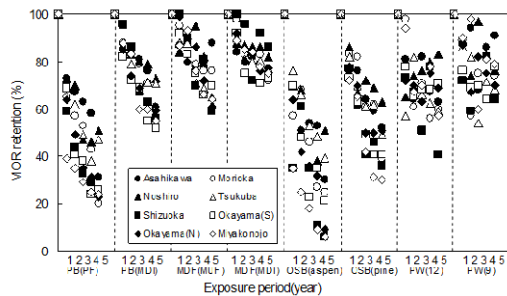


図 2 屋外暴露による曲げ強度低下

現状では屋外暴露試験結果は、厳密には試験地の気象条件下のみで有効な情報と解釈される。そのため、暴露試験結果を国内各地に適用するためには、地域差に影響されない普遍的な指標が必要となる。本研究では、地域差の特徴を降水量と気温に代表させることで、劣化外力「weathering intensity、 $\alpha$ 」を定義した。8 試験地の日降水量 (P) と日平均気温 (T) を用いて暴露期間中の気象環境を評価した。

$$\alpha = \sum (P \times T)$$

ただし、劣化に寄与する降水量の上限、気温と降水量の相互作用などの因子を考慮した。

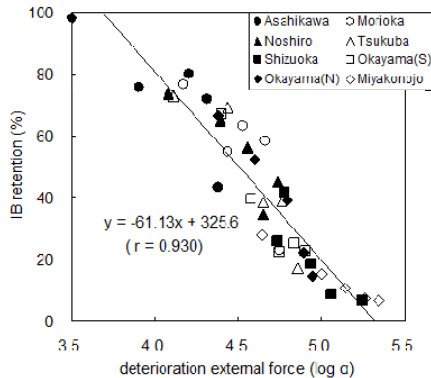


図 3 はく離強さ残留率と劣化外力

劣化外力  $\alpha$  の対数とはく離強さ残留率の関係を図 3 に示す。この他の物性値についても、強度残留率と劣化外力との間に一定の関係が確認された。これをマスターカーブとすることによって、特定地域の気温と降水量の情報が入手できれば、強度低下を予測することが可能となった。

ここで得られた結果は、日本国内の気象条件を対象とした予測が可能であることを示している。このことは、同様の屋外暴露を気象条件が異なる世界各地で実施することにより、グローバル基準となるマスターカーブの実証が可能となることを示すものである。

## (2) 促進劣化試験と屋外暴露

国内外で耐水性評価試験法として規格化されている手法ならび研究手法として用いられている促進劣化試験を参考にして、5 種類の試験方法を選定した。(i) 「cyclic JIS-B」: JIS 湿潤曲げ試験法を繰り返す、(ii) 「cyclic APA D-1」: APA 法を繰り返す、(iii) 「V313」: 欧州の耐水性試験法を 2 回繰り返す、(iv) 「ASTM-6c」: ASTM に規定される 6 サイクル法、(v) 「VPSD」 減圧吸水および乾燥を繰り返す試験法、の計 5 種類である。

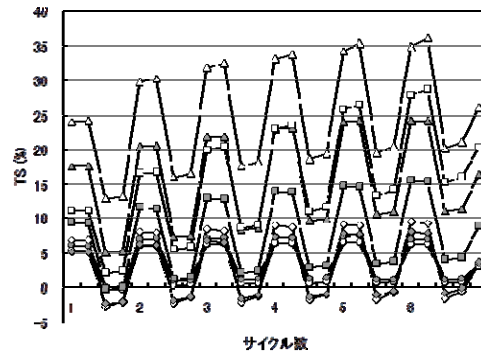


図 4 V313 法処理に伴う各種木質パネルの厚さ変化

V313 法処理繰り返しに伴う各種木質パネルの厚さ変化を図 4 に例示する。左から、20°C 水中浸漬処理 72 時間後、凍結処理 24 時間後、70°C 乾燥処理 72 時間後、常温静置 4 時間後の厚さの推移であり、これを 6 回繰り返した。ボードの種類により勾配は異なるものの、処理回数の増加とともに厚さ膨張率は微増する傾向が認められる。類似の傾向が他の 4 種類の処理結果においても認められた。

厚さ膨張率の挙動は処理の強弱と関連しているため、各処理法の劣化外力としてのポテンシャルを評価した。処理の厳しさは「cyclic JIS-B」が最も強く、次いで、「ASTM-6c」、「V313」、「cyclic APA D-1」、「VPSD」となることが確認され、また、

「VPSD」の1回処理が屋外暴露1年に相当するなど、促進劣化処理法の劣化効果をスペクトルとして表わすことが可能となった。

促進劣化処理繰り返しにともなう各種の強度変化を実験的に検証した。曲げ強さ残留率と処理回数との関係を5種類の処理方法について示した(図5)。

ボード間で比較するとMDI結合MDFが高い残存率を示した。また、データに一定のばらつきはあるものの、曲げ強度残留率は処理回数の増加とともに指数関数的に低減する傾向を示した。

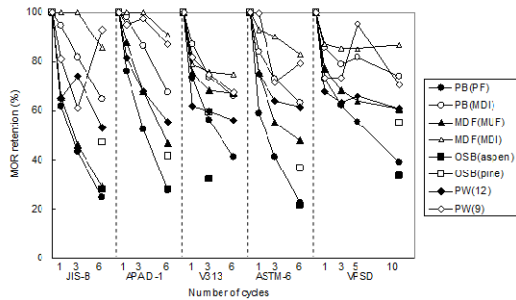


図5 促進処理繰り返しにともなう曲げ強度残留率の推移

### (3) 劣化メカニズム

木質パネル内部の劣化メカニズムをモデル化するために、振動法を用いて非破壊試験を行った。振動法の長所は非破壊試験であるため同一の試験体を用いることができる点である。そのため、振動法によりパネルの劣化が測定可能となれば、屋外暴露試験が省スペースで行え、かつ、より正確な劣化を追跡できるようになる。振動法の確立を目的として、乾湿繰り返し処理による同一パネルの劣化を追跡した結果、同一試験体を用いた木質パネルの劣化を追跡することができ、振動法によりパネル内部の劣化メカニズムの評価が可能となった。

木質ボードの強度を発現させる接着力を「仮定の接着点の数Nに代表させたとき、Nの減少速度が内在する接着点の数に比例する」と仮定すると、強度低下と厚さ変化をNの減少と対応させて説明することができる。また、Nの減少を強度の低下と対応させることも可能であることが示された。また、この劣化モデルは「接着点の破断」をベースとしたものであり、さらに接着点の「質的变化」を要素として付加した評価が必要となる。これは、パネルを構成するエレメント間の「ゆるみ」を仮定するものである。両端自由の振動により内部損失( $\tan \delta$ )を求めることにより、乾湿処理の繰り返し初期においては増加が認められるものの、処理回数が増えると一定値に近づく傾向を示した。これは、特定の条件下において劣化の下限が存在するこ

とを示唆するものである。

### (4) 促進処理回数と暴露時間

促進劣化処理「cyclic JIS-B」、「cyclic APA D-1」、「V313」、「ASTM-6c」について、それぞれの処理間で相関を評価した結果、各処理間でほぼ一対一の対応関係が認められた。また、静岡市における屋外暴露試験結果と促進処理試験結果との対応関係を評価した結果、両者の間に対応関係が認められた。特に、「ASTM-6c」処理後の曲げ強度残留率と屋外暴露5年後の残留率の間に直線関係が認められたことから、これを指標として、促進処理の繰り返し回数を屋外暴露試験期間と対応させることが可能となった。

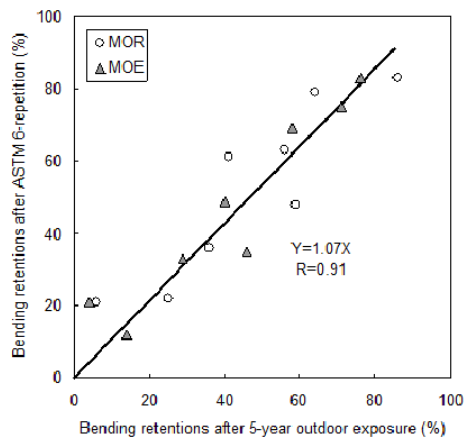


図6 屋外暴露5年後とASTM-6c処理後の曲げ強度残留率

### (5) まとめ

木質パネルの耐久性能評価手法を確立することは、それを通して炭素固定量を評価することから、環境評価手法の一つとして期待されている。本研究では、劣化外力指標( $\alpha$ )を用いることで、気象条件から劣化を予測することが可能であることを示した。また、屋外暴露試験結果と各種促進劣化処理手法の関係を定量的に示すことに成功した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① Y. Kojima, T. Shimoda, S. Suzuki: Evaluation of the weathering intensity of wood-based panels under outdoor exposure, *Journal of Wood Science*, 査読有, 57, 2011, pp.408-414
- ② Y. Kojima, S. Suzuki: Evaluation of wood-based panel durability using bending properties after accelerated aging treatments, *Journal of Wood Science*, 査読有, 57, 2011, pp.7-13

〔学会発表〕(計17件)

- ① 下田智也、小島陽一、鈴木滋彦：全国8地域の屋外暴露試験7年間における木質パネルの劣化速度および劣化外力、第62回日本木材学会大会、2012年3月、札幌
- ② 関野 登、佐藤春菜：屋外暴露された木質ボードの強度劣化メカニズム(III)～接着劣化に起因する内部結合力低下の抽出～、第62回日本木材学会大会、2012年3月、札幌
- ③ T. Shimoda, Y. Kojima, S. Suzuki: Estimating the weathering intensity on using outdoor exposure tests using commercial wood-based panels, The 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society (IWoRS), 2011年11月, Jogjakarta, インドネシア
- ④ Y. Kojima, T. Shimoda, S. Suzuki: Relationship between accelerated aging treatments and outdoor exposure in Japan on the mechanical properties of wood-based panels, The 3rd International Symposium of Indonesian Wood Research Society (IWoRS), 2011年11月, Jogjakarta, インドネシア
- ⑤ 小島陽一、下田智也、鈴木滋彦：木質パネル類を用いた屋外暴露試験による基礎物性の劣化、2011年度日本木材学会中部支部大会、2011年10月、静岡
- ⑥ 下田智也、小島陽一、鈴木滋彦：屋外暴露試験における木質パネル劣化に及ぼす気象因子の影響、第61回日本木材学会大会、2011年3月19日、京都
- ⑦ 小島陽一、下田智也、鈴木滋彦：曲げ性能を指標とした木質パネルの耐久性能評価、2010年度日本木材学会中部支部大会、2010年10月28日、金沢
- ⑧ 藤元嘉安：5年間屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布変化、日本木材加工技術協会第28回年次大会、2010年10月8日、奈良
- ⑨ 下田智也、小島陽一、鈴木滋彦：屋外暴露試験による木質パネルの劣化に及ぼす気象因子の影響、日本木材加工技術協会第28回年次大会、2010年10月8日、奈良
- ⑩ 関野 登、佐藤春菜：各種市販木質パネルの釘接合性能(第9報)実験住宅(盛岡)に使用した外装材料の劣化、日本木材加工技術協会第28回年次大会、2010年10月8日、奈良
- ⑪ 藤元嘉安：5年間屋外暴露された木質パネルの基礎物性劣化—パネル厚さおよび密度変化との関係、第17回木材学会九州支部大会、2010年8月31日、福岡
- ⑫ Y. Fujimoto, N. Sekino, H. Korai, H. Nogami, K. Ohashi: Nail joint

performance of several wood-based panels during five-year outdoor exposure, XXIII IUFRO World Congress, 2010年8月23-28日, Seoul, Republic of Korea

- ⑬ Y. Kojima, S. Suzuki: Relationship between accelerated aging treatments and outdoor exposure tests on the mechanical properties of commercial wood-based panels, XXIII IUFRO World Congress, 2010年8月23-28日, Seoul, Republic of Korea
- ⑭ 関野 登、佐藤春菜、鹿野厚子：各種市販木質パネルの釘接合性能(第8報)、屋外暴露における劣化外力の算出方法、第60回日本木材学会大会、2010年3月18日、宮崎
- ⑮ 下田智也、小島陽一、鈴木滋彦：屋外暴露試験による市販木質パネルの劣化速度および劣化外力の数値化、第60回日本木材学会大会、2010年3月18日、宮崎
- ⑯ 小島陽一：木質パネルにおける促進劣化処理と屋外暴露との関係、第60回日本木材学会大会木質パネル研究会・生物劣化研究会合同講演会、2010年3月19日、宮崎
- ⑰ 小島陽一、鈴木滋彦：静岡県における屋外暴露試験による木質パネルの耐久性能評価、2009年度日本木材学会中部支部大会、2009年10月29日、名古屋

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鈴木 滋彦 (SUZUKI SHIGEHICO)  
静岡大学・農学部・教授  
研究者番号：40115449

### (2)研究分担者

平井 卓郎 (HIRAI TAKURO)  
北海道大学・農学研究科・教授  
研究者番号：20173205  
山内 秀文 (YAMAUCHI HIDEFUMI)  
秋田県立大学・木材高度加工研究所・准教授  
研究者番号：90279513  
関野 登 (SEKINO NOBORU)  
岩手大学・農学部・教授  
研究者番号：30171341  
外崎 真理雄 (TONOSAKI MARIO)

独立行政法人森林総合研究所・木材特性  
研究領域・領域長

研究者番号：00353780

高麗 秀昭 (KOURAI HIDEAKI)

独立行政法人森林総合研究所・複合化領  
域・研究員

研究者番号：50353678

祖父江 信夫 (SOBUE NOBUO)

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：50023495

小島 陽一 (KOJIMA YOICHI)

静岡大学・農学部・准教授

研究者番号：80377796

川井 秀一 (KAWAI SHUICHI)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号：00135609

藤元 嘉安 (FUJIMOTO YOSHIYASU)

宮崎大学・教育文化学部・教授

研究者番号：40165428