

県産スギ無垢フローリング材の温湿度変化に伴う寸法変化

森下真衣・岩本頼子・酒井温子・朝日崇文*1・南本明弘*2

無垢フローリング材には、温湿度変化に伴い、隙間や反り、割れ等の寸法変化に起因する不具合が発生することがある。そこで、県産スギ板目板を使った6種類の無垢フローリング材を対象に、日常的な室内環境に近い温湿度下（乾燥条件：30°C相対湿度35%、高湿条件：25°C相対湿度90%）における寸法変化を調査し、板幅、板厚さおよび塗装の有無による影響を検討した。

その結果、木表面に塗装を施すことで、温湿度変化に伴う幅方向の寸法変化量および反り量が低減した。これは、材の表面からの吸放湿が抑制されたためと考えられる。また、板厚さを15mmから30mmに厚くした場合も、板幅を180mmから150mmに狭くした場合も、幅方向の寸法変化量および反り量が低減した。

以上から、板幅、板厚さ、塗装を適切に組み合わせることで、隙間や反り、割れ等の不具合が生じにくいスギ板目板の無垢フローリング材が製造できる可能性が示された。

1. はじめに

木材には、乾燥条件下では放湿し収縮する一方、高湿条件下では吸湿し膨潤するという性質がある。このため、一般住宅の日常的な室内環境において、例えば、冬季の暖房した室内では、乾燥に伴って無垢のフローリング材は収縮し、割れや隙間が発生し、一方、梅雨の湿潤な環境では膨潤し、段差や膨らみ等が発生する場合がある。

一般に、塗装は木材の吸放湿を遅らせ、塗装の種類によってその効果の程度には違いがあるものの、結果として伸縮を遅らせる効果があるといわれている¹⁾。

また、木材の伸縮量は、方向によって異なり、板目板の幅方向は、柾目板の幅方向の約2倍伸縮する¹⁾。無垢フローリング材の製造にあたり、柾目板を使うことで、寸法変化を軽減できるが、材料調達や価格の点でその選択は困難な場合が多い。

そこで本研究では、県産スギ板目板を用いて、板幅、板厚さ、塗装の有無等、条件の異なる6種の無垢フローリング材を対象に、乾燥および湿潤させた場合の寸法変化を調査し、結果を比較することにより、収縮量および膨潤量が少ない寸法形状について考察するとともに、寸法変化に及ぼす塗装の影響についても検証したので結果を報告する。

2. 材料および方法

2.1 材料

県産スギ板目板の無垢フローリング材原板（幅（接線方向）187～222mm、厚さ（放射方向）36～38mm、長さ（繊維方向）約4000mm）7枚（①～⑦）を使用した。以下、接線方向をT方向、放射方向をR方向、繊維方向をL方向と記す。図1に示すように、各原板をL方向に600mmで切断し、6体の寸法測定用の試験体を採用し、元末の採取位置が偏らないように振り分け、表1に示す6試験条件になるようにプレナーで寸法調整を行った。その際、木表面の切削は原則3mmまでとし、主に木裏面を切削して試験体の厚さを調整した。また、併せて、各試験体に隣接した位置で採取した含水率測定用試片（図1a～d、L方向20mm）の含水率を全乾法により求めた。それらの値から、原板（①～⑦）の含水率を求めるとともに、寸法測定用の試験体の含水率および全乾重量を推定した。

なお、原板①から採取した試験体は、L方向に600mmに切断後直ちに表面を切削したところ、原板の表面と内部の含水率傾斜が原因と思われる反りが生じたため、残りの原板②～⑦については、切断後、20°C相対湿度77%（目標平衡含水率：約15%²⁾に設定した恒温恒湿器（株式会社エスペック製PR-4J）内で平衡状態になるまで調湿したのち、所定の寸法になるよう表面を切削した。

続いて、試験条件1と2の試験体については、塗料Aおよび塗料Bを各仕様書どおりに木表面に2回塗布した後、再び恒温恒湿器内に戻し、20°C相対湿度77%雰囲気

*1 株式会社イムラ

*2 川上産吉野材販売促進協同組合

下で平衡状態になるまで静置した。

さらに、フローリングの実際の施工では、フローリング材裏面および木口面は接着等により他の部材に接して固定され、空気の出入りが制限されることから、実際の施工状態に近づけるため、本検討では、全ての試験体について、図2のとおり木裏面および元口側の木口面をア

ルミテープで封じた。この際、貼り付け前後の重量を測定し、その差からアルミテープの重量を求めた。試験体を再び恒温恒湿器内に戻し、20°C相対湿度 77%雰囲気下で平衡状態になったことを確認したうえで 2.2.1 の調湿試験に供した。なお、今回は試験体同士をさねで連結させず、各々が自由に変形できる状態で試験を実施した。

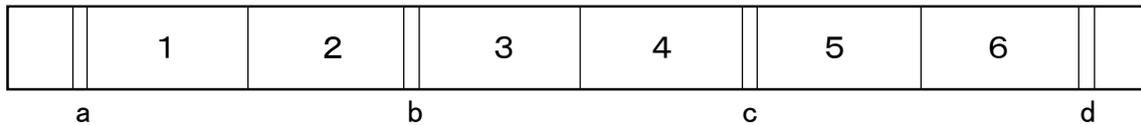


図1 試験体の採取方法

注：a～d：含水率測定用試片（長さ 20mm）

1～6：寸法測定用試験体（長さ 600mm）

表1 試験体条件

条件	凡例	試験体No.	T方向 (mm)	R方向 (mm)	塗装
1	●	①～⑦-1	180	15	塗装A
2	●	①～⑦-2	180	15	塗装B
3	○	①～⑦-3	180	15	無塗装
4	×	①～⑦-4	150	15	無塗装
5	△	①～⑦-5	150	21	無塗装
6	□	①～⑦-6	150	30	無塗装

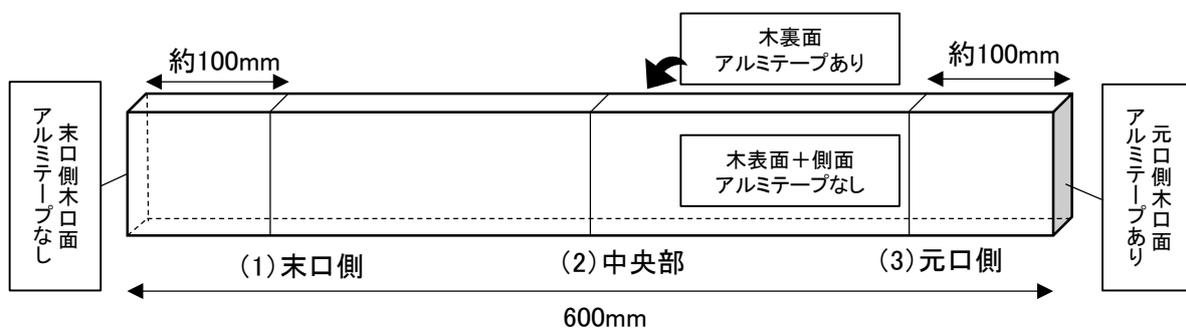


図2 寸法および反りの測定位置

2.2 試験方法

2.2.1 調湿試験

まず、2.1 で、20°C 相対湿度 77% 雰囲気下（目標平衡含水率：約 15%）で平衡状態となるまで調整した寸法測定用試験体について、重量を測定するとともに、寸法（T 方向、R 方向）および反りを、図 2 のとおり 1 試験体につき所定の 3ヶ所（末口側、中央部、元口側）にて測定を行った。この測定時を、以降、調湿試験開始時と呼ぶ。また、測定位置には目印の線を引き、以後、常に同じ位置での測定となるように心がけた。

次に、乾燥した一般住宅の室内環境、具体的には冬のエアコン稼働時等を想定し、恒温恒湿器（㈱エスペック製 PR-4K）内を 30°C 相対湿度 35%（目標平衡含水率：6%）²⁾ に変えて、試験体が平衡状態になるまで 5 週間静置した（除湿工程）。この間、所定の経過時間（開始から 4 時間後、16 時間後、24 時間後、48 時間後、120 時間後、1 週間後、2 週間後、3 週間後、4 週間後および 5 週間後）に、調湿試験開始時と同じ方法で、各試験体の重量、寸法（T 方向、R 方向）および反りの測定を行うとともに、表面割れ等がないか試験体の外観を目視で観察した。

続いて、高湿な一般住宅の室内環境、具体的には梅雨の時期を想定し、恒温恒湿器（㈱エスペック製 PR-4J）内を 25°C 相対湿度 90%（目標平衡含水率：約 20%）²⁾ に変えて、試験体が平衡状態になるまで 5 週間静置した（加湿工程）。この間、所定の経過時間（開始から 4 時間後、20 時間後、24 時間後、48 時間後、1 週間後、2 週間後、3 週間後、4 週間後および 5 週間後）に、調湿試験開始時および除湿工程と同様の方法で、各試験体の重量、寸法（T 方向、R 方向）および反りの測定を行うとともに、表面割れ等がないか試験体の外観を目視で観察した。

測定にあたっては、重量は電子天秤を用いて 0.01g 単位で、また T 方向および R 方向の寸法はデジタルノギス（㈱ミットヨ製 CD-20AX）を用いて 0.01mm 単位で測定した。反りは、図 3 のとおり、幅方向の中央位置にて、デジタルダイヤルゲージ（㈱ミットヨ製 ID-C1025XB および㈱ミットヨ製 ID-C1012XBD）を用いて 0.01mm 単位で測定した。測定時のスパン長は、条件 1～3 は 167mm、条件 4～6 は 137mm とした。また、測定子の先端と両支点の底面が同一直線上となる位置を 0 とし、表示値が正の値の場合は凸側、負の値の場合は凹側への反りとした。なお、凹側への反りは一般にカップ反りと呼ばれる。

調湿中の試験体含水率を把握するため、以下の（1）式により推定含水率を求めた。すなわち、アルミテープ

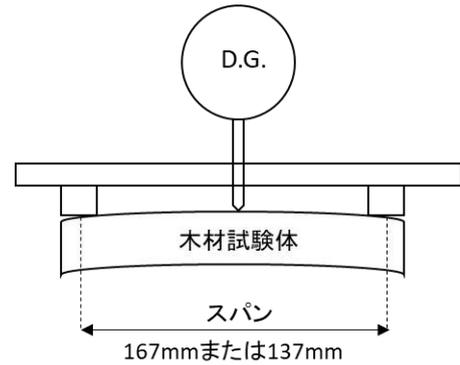


図 3 反りの測定方法

の重量を差し引いた木材のみの試験体重量と、2.1 で求めた試験体の推定全乾重量より算出した。なお、調湿試験終了時には、2.2.2 で説明するように全乾法による含水率の算出を行ったので、3の結果および考察では、ここで示す推定含水率の値は使用していない。

$$\text{推定含水率 (\%)} = \frac{w_m - w_{eo1}}{w_{eo1}} \times 100 \quad (1)$$

w_m : 試験体の重量（アルミテープを除く）(g)

w_{eo1} : 試験体の推定全乾重量（アルミテープを除く）(g)

さらに、調湿試験開始時（20°C 相対湿度 77% 調湿後）の寸法を基準として、(2) 式により T 方向および R 方向の寸法変化量を、(3) 式により寸法変化率を求めた。反り量については、測定時のスパン長の違いを相殺するため、条件 1～3 は(4) 式、条件 4～6 は(5) 式により、測定値をスパン長で割り、板幅 100mm あたりの反り量を算出した。

$$D \text{ (mm)} = d - d_0 \quad (2)$$

D : 寸法変化量

d : 調湿期間中の測定時の寸法（測定箇所 3ヶ所の平均値）(mm)

d_0 : 調湿試験開始時の寸法（測定箇所 3ヶ所の平均値）(mm)

$$S (\%) = \frac{d-d_0}{d_0} \times 100 \quad (3)$$

S : 寸法変化率

d : 調湿期間中の測定時の寸法(測定箇所3ヶ所の平均値) (mm)

d_0 : 調湿試験前の寸法(測定箇所3ヶ所の平均値) (mm)

$$y_1(\text{mm}) = \frac{x_1}{167} \times 100 \quad (4)$$

y_1 : 板幅 100mm あたりの反り量 (mm)

x_1 : 調湿期間中の測定時の反り量 (mm)

$$y_2(\text{mm}) = \frac{x_2}{137} \times 100 \quad (5)$$

y_2 : 板幅 100mm あたりの反り量 (mm)

x_2 : 調湿期間中の測定時の反り量 (mm)

2.2.2 全乾法による試験体含水率の算出

2.2.1 の調湿試験が終了した試験体について、105°Cで5日間の乾燥を行い、全乾重量を得た後、(6)式を用いて調湿期間中の寸法測定用の全試験体に対して含水率を算出した。

$$\text{含水率} (\%) = \frac{w_m - w_{eo2}}{w_{eo2}} \times 100 \quad (6)$$

w_m : 試験体の重量(アルミテープを除く) (g)

w_{eo2} : 試験体の全乾重量(アルミテープを除く) (g)

2.2.3 塗装部分の顕微鏡観察

2.2.1 の調湿試験において、塗装 A と B で試験体の含水率や寸法変化量に違いがあったことから、塗料 A と B が木材表面を被覆している様子を確認するために、2.2.2 の測定後の試験体を用いて、顕微鏡観察を行った。塗装 A と B による含水率や寸法変化量の違いは、原板①～⑦の全部において共通して見られたことから、ここでは代表して③-1～3の中央付近を観察位置とした。木口断面をカミソリ刃で平滑にした後、切片を取り、光学顕微鏡で塗料の形態を調査した。

3. 結果および考察

3.1 含水率

図1 a~d で求めた各原板の平均含水率は、10.0% (原板⑦) ~14.1% (原板①) の範囲であり、元末で変わらないものもあったが、元側の方が高いものもあった。

表2に、2.2.2 で得られた全乾重量をもとに算出した調湿試験開始時の各試験体の含水率を示す。20°C相対湿度77%で平衡状態にあったが、原板①～⑦ごとに含水率は約11~15%とやや異なっている。しかし、条件1~6ごとの平均含水率は12.1~12.6%とほぼ一致していることから、以降は、①～⑦の平均値で条件間の差を考察することにする。

表2 調湿試験開始時の試験体含水率

(%)

	原板①	原板②	原板③	原板④	原板⑤	原板⑥	原板⑦	平均
条件1	15.3	12.8	12.1	12.1	11.8	11.7	11.5	12.5
条件2	15.1	13.2	12.0	12.1	11.7	11.8	11.5	12.5
条件3	14.9	13.3	12.1	12.3	11.9	11.9	11.7	12.6
条件4	15.1	13.2	11.9	12.3	11.8	11.8	11.9	12.6
条件5	15.2	13.0	11.9	12.1	11.6	11.6	11.5	12.4
条件6	14.3	12.7	11.9	11.7	11.4	11.2	11.2	12.1
平均	15.0	13.0	12.0	12.1	11.7	11.7	11.5	12.4

図4に、調湿期間中の各試験体の含水率(平均値)の推移を検討項目別に示す。(a)塗装の影響については、除湿・加湿両工程において、塗装を行った条件1 塗装A (●)および条件2 塗装B (●)は、条件3 無塗装 (○)よりも含水率の推移が緩やかであった。図5に、塗装部分の木口断面を示す。塗装Aでは厚さ0.05mm程度の塗膜が形成され、木材を完全に被覆している様子が観察されたが、塗装Bでは表面の細胞のくぼみを塗料が充填するように存在していた。この観察結果から、塗装Aの方がBよりも木表側からの吸放湿をより抑制すると考えられた。

また、図4(b)に示すように、板幅によって含水率の推移に違いはみられず、(c)に示すように、板厚さが厚いほど含水率の推移は緩やかであった。板厚さが厚いと、含水率が木材の内部まで平衡に達するのに時間がかかると考えられた。

3.2 T方向(幅方向)の寸法変化

図6に、調湿期間中のT方向の寸法変化量の推移を検討項目別に示した。縦軸の寸法変化量は、調湿試験開始時の寸法を基準にしており、7試験体の平均値で示している。(a)塗装の影響については、両工程とも、条件1 塗装A (●)が最も変化量が小さく優れており、次いで条件2 塗装B (●)、条件3 無塗装 (○)の順に変化量が大きくなった。図4(a)に示すように、塗装には木材の含水率の変化を遅らせる効果があることから、結果として伸縮の速度も遅くなったと考えられる。(b)板幅による比較では、除湿工程では除湿開始24時間後以降、加湿工程では加湿開始20時間後以降において、幅150mm

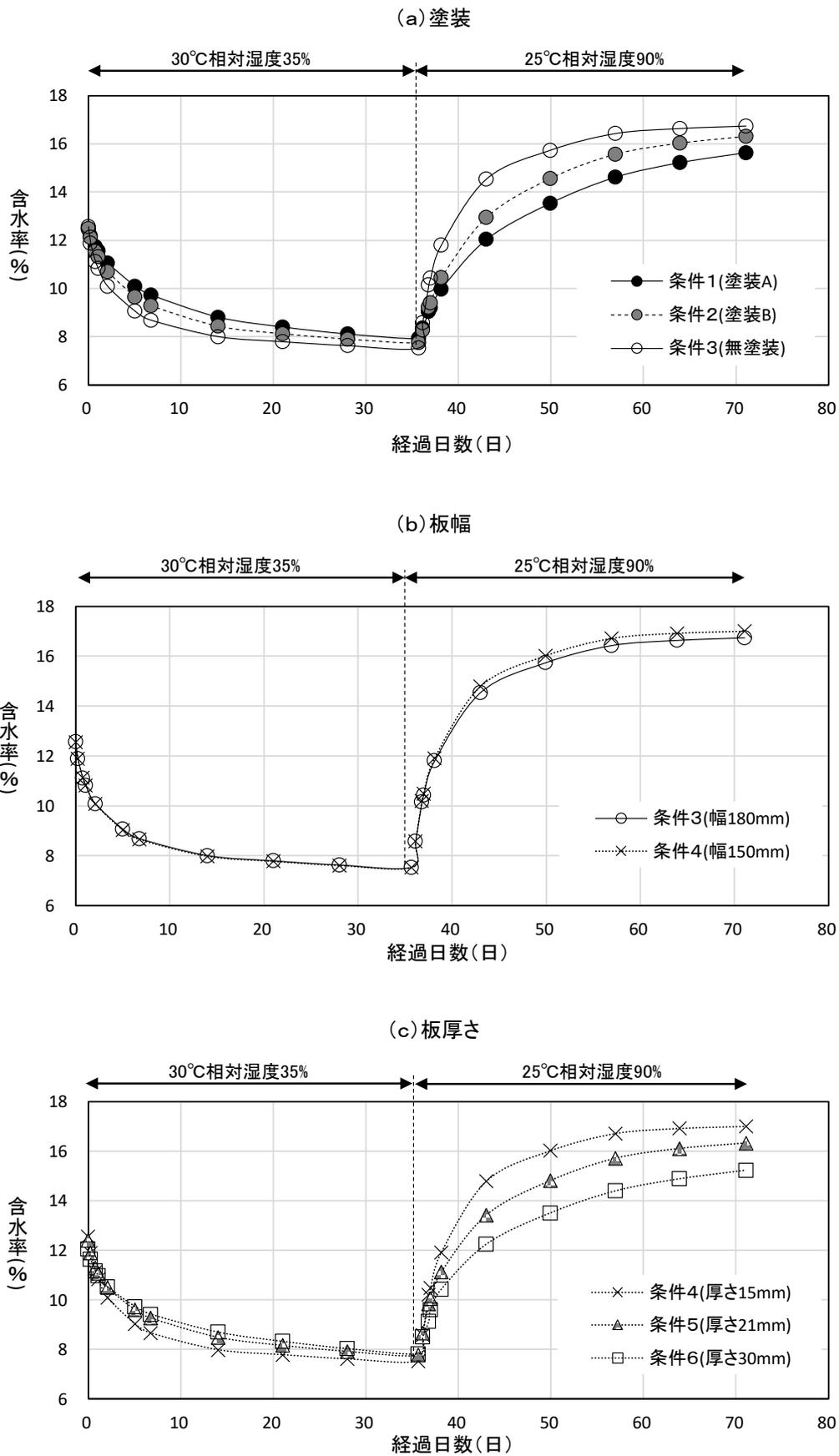


図4 試験体含水率の推移

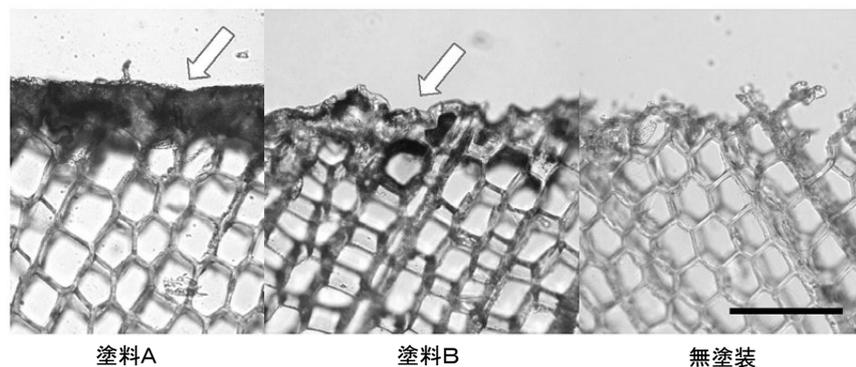


図5 塗装部分の木口断面の様子

光学顕微鏡による観察。バーは0.1mmを示す。
矢印は塗料を示す。

(×)の方が、幅180mm(○)よりも最大で0.3~0.5mm程度変化量が小さくなるのがわかった。これは、もとの寸法の違いによるものと考えられる。変化量をもとの寸法で除して算出した寸法変化率は、除湿工程ではいずれも約1%、加湿工程ではいずれも約2%で、板幅による差はなかった。(c)板厚さの影響については、厚くなるほど寸法変化量は小さくなった。

3.3 R方向(厚さ方向)の寸法変化

図7に、調湿期間中のR方向の寸法変化量の推移を検討項目別に示した。図6と同様に、ここでも寸法変化量は調湿試験開始時の寸法を基準にしており、7試験体の平均値で示している。除湿工程で最大0.25mmの収縮、加湿工程で最大0.17mmの膨潤で、全条件を通じて変化量が小さく、条件ごとの差も顕著ではなかった。T方向の変化量が除湿工程で最大2mmの収縮、加湿工程で最大1.5mmの膨潤であったことと比べて、R方向の変化量はかなり小さく、今回設定した試験体の形状の範囲内では、室内環境の温湿度変化に伴う不具合は生じにくいと考えられる。

3.4 反り

表3に、調湿試験開始時(20°C相対湿度77%雰囲気下での平衡時)の各試験体の反り量を示す。試験体によっては開始時点ですでに反りが発生していたので、この時の反りを基準(0)とし、さらに板幅によって測定時のスパン長が異なったので、ここでは板幅100mmあたりに換算した反り変化量の平均値の推移を、図8で検討項目別に示した。なお、正の値は凸側、負の値は凹側への反りを示す。反りは、図2のとおり、木口面が開放している末口側、中央部、木口面をアルミテープで封じてい

る元口側の3カ所で測定したが、測定位置による差はみられなかったことから、図8では代表して中央部の測定値を示した。

(a)塗装による影響については、両工程において、最も反りの変動が小さいのは条件1 塗装A(●)の試験体であり、次いで、条件2 塗装B(●)、条件3 無塗装(○)の順に反りの変動が大きくなった。除湿工程では、反りの変化量が大きかった初期(除湿開始48時間後まで)において、条件3 無塗装(○)に比べて、条件1 塗装A(●)では約3分の1程度に、条件2 塗装B(●)では約2分の1程度に反りが抑えられた。また、加湿工程に転じた際の最大反り量で比較すると、条件3 無塗装(○)に比べて、条件1 塗装A(●)では約3分の1程度に、条件2 塗装B(●)では約2分の1程度に反りが抑えられた。無塗装の場合、除湿工程では木表面が乾燥により急激に収縮し、木裏側と含水率の差が大きく生じ、凹側の反りに、加湿工程では逆に木表面が膨潤し、凸側の反りになったと考えられる。塗装を行った試験体については、塗料により木表側からの吸放湿が抑制されたこ

表3 調湿試験開始時の試験体の反り量

	原板①	原板②	原板③	原板④	原板⑤	原板⑥	原板⑦	平均
条件1	1.1	0.8	0.8	1.0	0.8	0.9	0.9	0.9
条件2	1.0	0.5	0.9	1.2	0.9	1.0	1.0	0.9
条件3	0.8	0.6	0.4	0.8	0.8	1.1	1.0	0.8
条件4	0.3	0.3	0.2	0.4	0.5	0.3	0.5	0.4
条件5	0.1	0.1	-0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
条件6	0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

注：正の値は凸側、負の値は凹側への反り(カップ反り)を示す

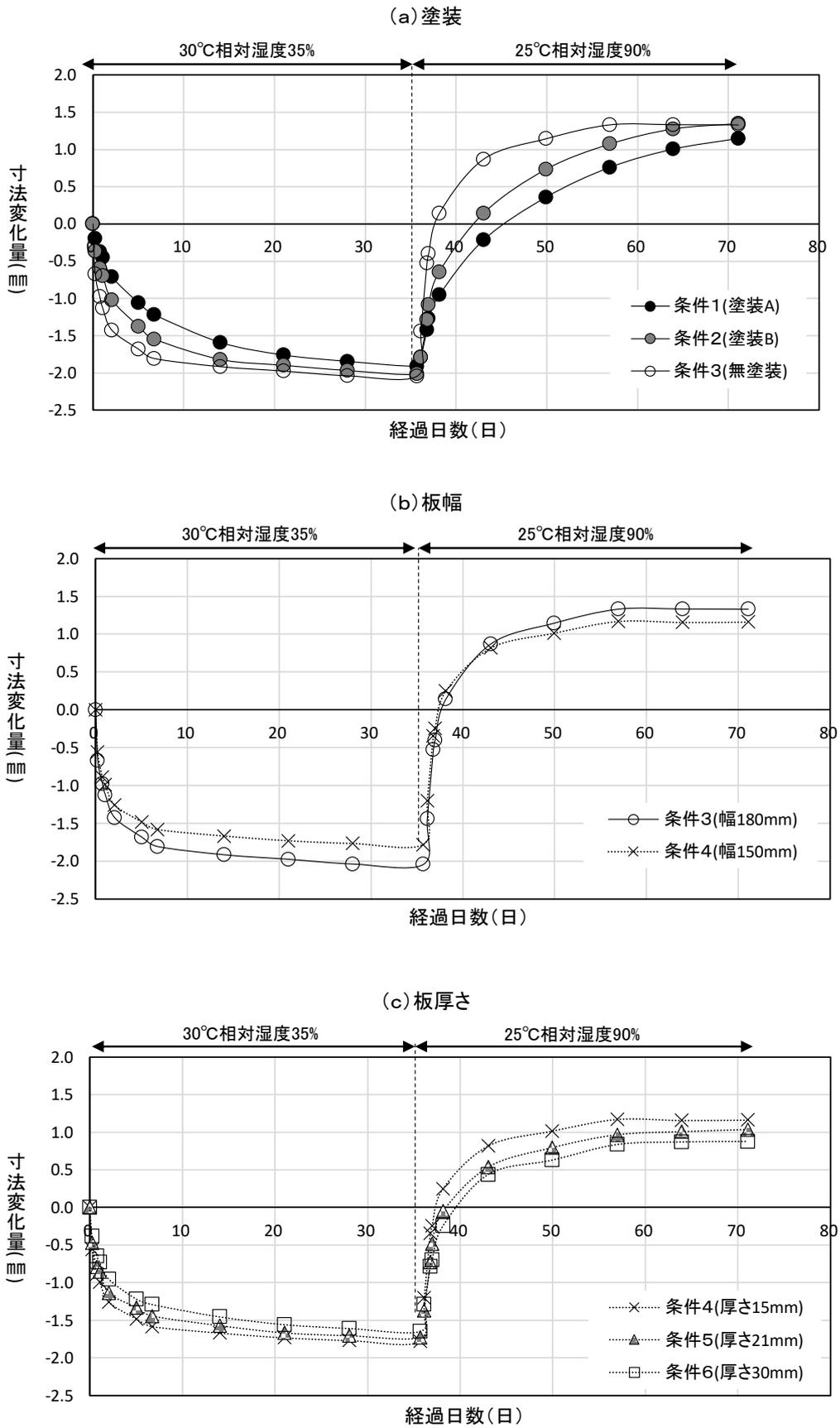


図6 T方向の寸法変化量の推移

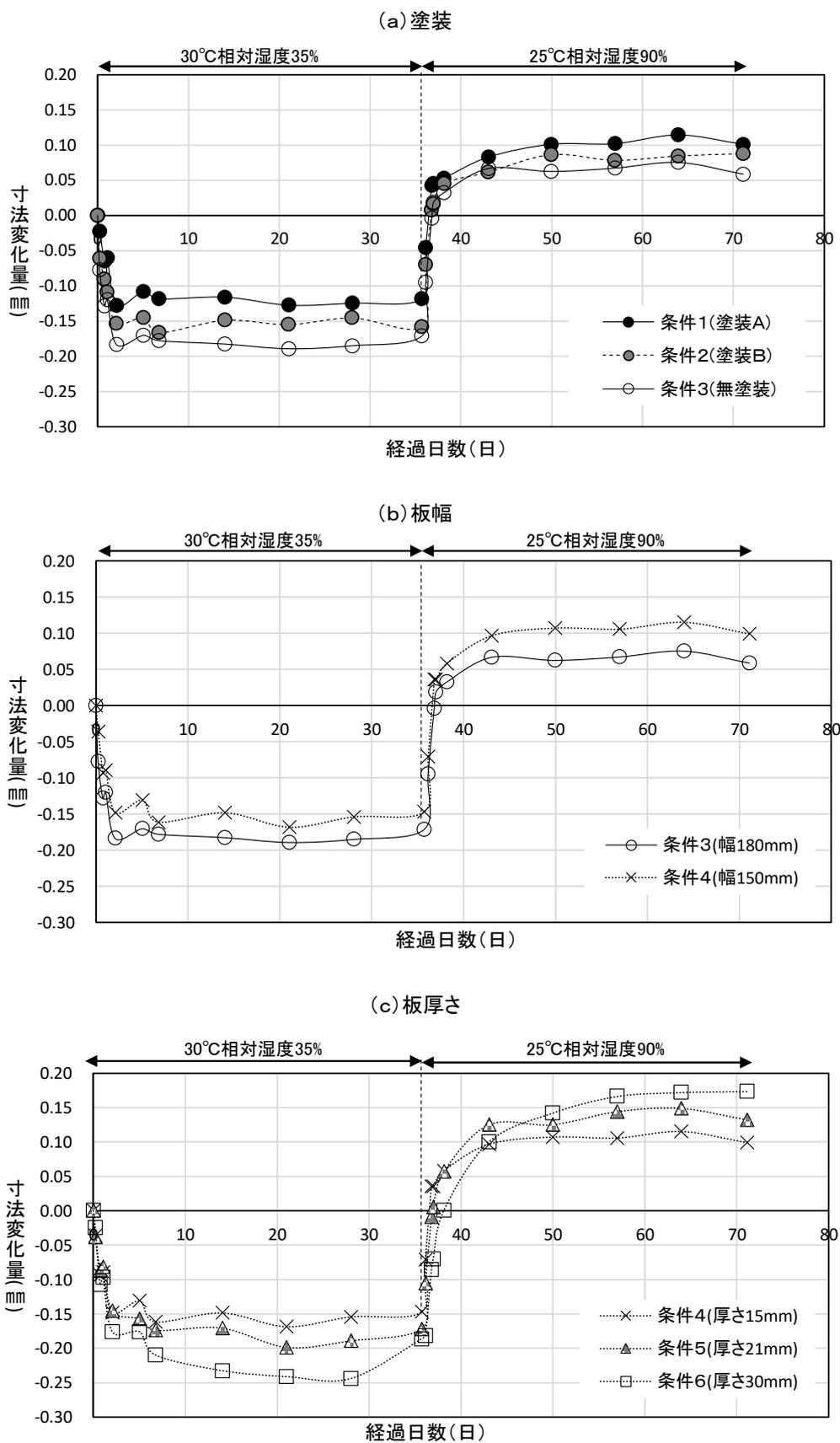


図7 R方向の寸法変化量の推移

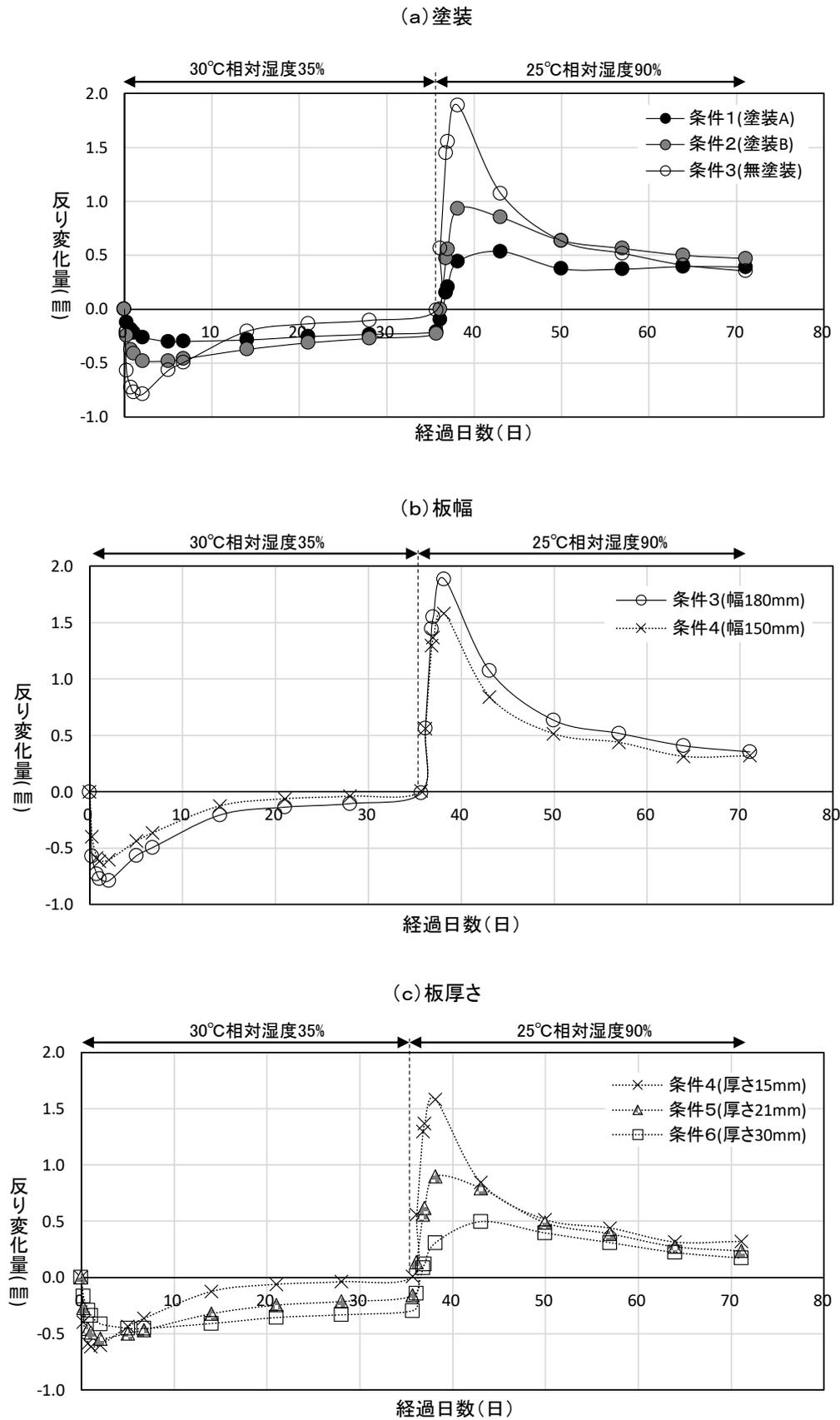


図8 板幅 100mm あたりの反り変化量の

とにより、木表面に急激な含水率の変化が生じにくく、反りが抑えられたと考えられる。(b)板幅の影響については、除湿工程において、幅 180mm (○) の反りの変化量は、幅 150mm (×) の約 1.3 倍であり、加湿工程においては、幅 150mm (×) の約 1.2 倍であった。(c)に示すように、板厚さが厚くなるほど反りの変動が小さくなる傾向がみられた。加湿工程の方がその差が大きく、最大反り量は条件 4 厚さ 15mm (×) に比べて、厚さが 2 倍の条件 6 厚さ 30mm (□) では約 2 分の 1 程度に反りが抑えられた。

3.5 割れ

調湿期間中、毎測定時、全ての試験体の外観を観察したが、表面割れの発生はみられなかった。

また、2.2.2 の 105°C 乾燥終了時においても全ての試験体の表面を観察したが、表面割れの発生はみられなかった。

本検討では、試験体が 1 枚ずつ自由に寸法変化できる状態で調湿試験を行ったが、実際の施工では、さねで板同士が連結されているため、急激な木表面の乾燥で凹側の反りが発生すると、材中央部に応力が集中し、木表面に縦方向の割れを引き起こす可能性がある。今回の 6 条件の中では、条件 3 がこの危険性が最も高いと推定される。しかし、塗装を施すことや、板幅を狭くすること、板厚さを厚くすることで、割れが生じにくくなる可能性がある。

4. まとめ

冬期の乾燥した一般住宅の室内環境を想定し、30°C 相対湿度 35% 雰囲気下に県産スギ板目板を静置した場合および梅雨の湿潤した一般住宅の室内環境を想定し、25°C 相対湿度 90% 雰囲気下に静置した場合において、寸法変化量および反りを測定した結果、以下のことが明らかとなった。

T 方向の寸法変化は、塗装を施すことで変化量が小さくなった。また、木材表面の細胞のくぼみを充填するように存在する塗装 B よりも、塗膜を形成する塗装 A の方が、吸放湿が抑えられ、変化量が小さくなった。板幅を狭くした場合や、板厚さを厚くした場合も変化量は小さくなった。

反りについても、塗装を施すことで変化量が小さくなった。無塗装に比べ、塗膜を形成する塗装 A では約 3 分の 1 に、木材表面の細胞のくぼみに浸透する塗装 B では約 2 分の 1 に反りが抑えられた。板幅 180mm に塗装 A を施した場合と、板幅を 180mm から 150mm へと狭くし、かつ板厚さを 15mm から 30mm へと 2 倍に厚くした場合において、最大反り変化量の差は 0.5mm 程度と、ほぼ同じとなった。今回の試験条件下では、いずれの試験体にも割れの発生はみられなかったが、フローリング材の両端が他の部材やさねにより固定された状態では、凹側の反りが発生すると材中央部に応力が集中し、木表面に縦方向の割れを引き起こす可能性がある。今回の反りの変化量は、割れやすさの指標の 1 つと考えられる。

以上より、今回検討した範囲では、塗装を施した場合、板厚さを 15mm から 30mm に厚くした場合および板幅を 180mm から 150mm に狭くした場合において、幅方向の寸法変化量および反り量が低減した。このことから、板幅、板厚さ、塗装を適切に組み合わせることで、隙間や反り、割れ等の不具合が生じにくいスギ無垢フローリング材が製造できる可能性が示された。

なお、本研究では、各調湿期間を約 1 ヶ月として試験を実施したが、実際の日常的な室内環境において、高湿度および低湿度環境が長時間保たれることは少ないと考えられるため、各寸法変化量については、各調湿期間の初期段階の変動を参考にされたい。

また、今回の結果は、試験体の含水率をあらかじめ約 12~13% に調整してから、調湿試験を開始しており、初期の含水率がこれよりも高いと寸法変化量はさらに大きくなることに留意されたい。

引用文献

- 1) 佐道 健：木がわかる 知っておきたい木材の知識、第 1 版第 4 刷、京都、株式会社 学芸出版社、2004、116-121.
- 2) 岡野 健：木材居住環境ハンドブック、初版第 1 刷、株式会社朝倉書店、1995、34-54.

(2023 年 4 月 17 日 受理)