

# 県産未利用広葉樹（シイ）の建築資材等への利用拡大のための 技術開発

岡本憲治<sup>1</sup>・一岡直道・濱口隆章<sup>2</sup>・坂本 淳

和歌山県林業試験場

## Technical development to expand the usage of unused hardwood (*Castanopsis cuspidata*) produced in Wakayama Prefecture for building and exterior materials

Kenji Okamoto, Naomichi Ichioka, Takaaki Hamaguchi and Jun Sakamoto

*Wakayama Prefectural Forestry Experiment Station*

### 緒 言

シイ類は和歌山県内に豊富な資源量があるが、乾燥に伴う著しい変形や割れが発生しやすい材質のため、用材としてはほとんど利用されておらず、製紙用チップや薪等の低位な利用にとどまっている。このため、大径木化が進行し、このまま放置すると紀州備長炭原木のウバメガシ等を食害するカシノナガキクイムシの繁殖源となることが懸念される。

一方、シイ類のような比較的硬さのある木材は、フローリング材としてのニーズが高い。また、外材広葉樹の割合が高い外構材分野では、伐採規制等により外材広葉樹の供給が不安定化しているため、代替材としてシイ類等の国産広葉樹への期待が高まっている。シイ類をフローリング材や外構材として利用するためには人工乾燥が不可欠となるが、前述のとおり乾燥させるのが難しい材質であることから、乾燥技術が確立されていない。

そこで、和歌山産コジイ（以下、コジイ）をフローリング材や外構材として利用拡大を図るため、製材時の歩留まり調査試験、乾燥技術確立のための乾燥試験、フローリング材の性能評価試験および外構材使用を想定した性能評価試験を行ったので報告する。

### 材料および方法

#### 1. 製材時の歩留まり調査試験

試験体原木は、末口径 20cm 上（平均 24cm）のコジイを用いた。原木 136 本から断面寸法 140mm×24mm、材長は 1,200mm および 2,200mm の板材を製材し、末口径別の製材歩留まりを調査した。なお、試験体原木の調達は 2018 年 7 月 17 日（原木 49 本（串本町 32 本、田辺市 17 本））と 2018 年 11 月 29 日（原木 37 本（みなべ町））、2019 年 10 月 2 日（原木 50 本（みなべ町））に行った。

<sup>1</sup>現在：(一社)わかやま森林と緑の公社

<sup>2</sup>現在：東牟婁振興局農林水産振興部林務課

## 2. 乾燥試験

乾燥試験を行うための予備試験として、人工乾燥における適正温度の推定を行った(寺沢, 1965)。

試験体はコジイの無欠点板目材を、幅 100mm×厚さ 20mm×長さ 200mm に加工したものをを用いた。試験体の重量を測定し、恒温器に試験体の側面(柁目面)を下にして通気よく置き、100℃で急速乾燥を行った(図1)。乾燥開始2時間後から7時間後まで1時間おきに重量測定し、木口割れ、表面割れ等の様子を観察した。全乾まで乾燥後、試験体の長さ方向中央部で鋸断し、内部割れ、変形の様子を観察した(図2)。そしてこれらの観察結果をもとに人工乾燥における適正温度の目安を45℃と推定した(岡本・濱口, 2018)。



図1 適正温度推定試験の状況



図2 内部割れ, 変形の状況

試験体原木は、末口径 20cm 上(平均 26cm)のコジイとし、そこから、断面寸法 140mm×24mm、材長 1,100mm および 2,100mm の試験体を採取した。まずは試験区 A (人工乾燥試験区) と試験区 B (天然乾燥+人工乾燥試験区) の 2 通りを、その後は試験区 A, B の結果を踏まえ、試験区 C, D (天然乾燥+人工乾燥試験区) を設定した。

天然乾燥試験は屋外屋根付きで直射日光が当たらない条件下に棧積みし、下記の条件で行った。  
 試験区 B: 生材→含水率 20% (乾燥期間: 2018 年 7 月 19 日 → 2018 年 10 月 11 日) 85 日間乾燥  
 試験区 C: 生材→含水率 20% (乾燥期間: 2018 年 12 月 3 日 → 2019 年 3 月 12 日) 100 日間乾燥  
 試験区 D: 生材→含水率 40% (乾燥期間: 2019 年 10 月 7 日 → 2019 年 11 月 18 日) 42 日間乾燥

人工乾燥試験は除湿式人工乾燥装置 (UNI—TECHX. JAPAN 製, 乾燥容量 10m<sup>3</sup>) を用い、適正温度推定試験の結果に基づき、下記の条件で行った。

試験区 A: (天然乾燥なし) →含水率 8%, 人工乾燥温度 45℃, 湿度コントロールなし  
 試験区 B: 含水率 20%天然乾燥材→含水率 8%, 人工乾燥温度 45℃, 湿度コントロールなし  
 試験区 C: 含水率 20%天然乾燥材→含水率 8%, 人工乾燥温度 45℃, 湿度コントロールなし  
 試験区 D: 含水率 40%天然乾燥材→含水率 8%, 人工乾燥温度 38~45℃, 湿度コントロールなし

あらかじめ全試験体の片側から小片 1 体を採取し、この小片の全乾重量を測定した。含水率測定のため天然乾燥では全試験体を概ね 3~4 日間隔で、また、人工乾燥では原木が偏らないように抽出した 15~20 枚の試験体を概ね 2~3 日間隔で重量を測定し、小片の全乾燥重量をもとに含水率を算出した。

乾燥前後の試験材中央部の幅および厚さの寸法変化を測定して乾燥による試験材の収縮率を算出した。また、乾燥後の割れおよび変形を測定した（図3，図4）。

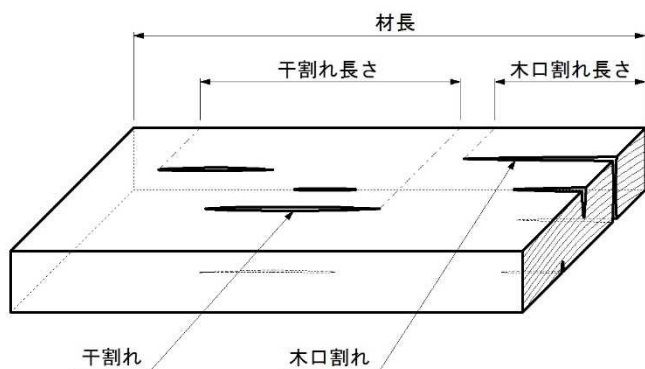


図3 割れ長さ測定区間

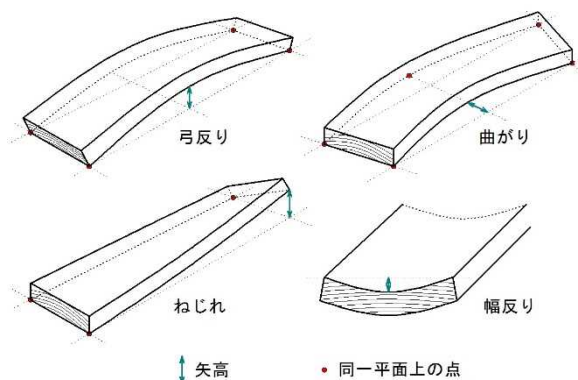


図4 乾燥による変形の種類

### 3. フローリング材の性能評価試験

試験体は、働き幅 105mm×厚さ 15mm×長さ 1,000mm、本実加工及び反り止め用溝加工を施したコジイフローリング材を用いた。また、比較のため同規格に加工した県産スギ，ヒノキフローリング材を併せて供試した。なお，試験体数は以下の各試験につきコジイ 30 体，スギ，ヒノキ各 10 体とした。

#### 1) 曲げ破壊試験

長さ 1,000mm の試験体から，長さ 600mm の試験体を採取した。万能材料試験機 (AG-50kNXDplus, 株式会社島津製作所製) を用いてスパン 500mm, 荷重速度 10mm/min の中央集中荷重方式で行い，荷重と変位の関係から曲げヤング係数を，また，最大荷重から曲げ強度を算出した。

#### 2) 表面硬さ（ブリネル硬さ）試験

長さ 1,000mm の試験体から，長さ約 50mm の試験体を採取した。JIS Z 2101:2009 「木材の試験方法」を参考に，万能材料試験機 (AG-50kNXDplus, 株式会社島津製作所製) を用いて試験体の板目面木表側に対し 1 試験体当たり 3 カ所において，直径 10mm の鋼球を 0.5mm/min の速度で深さ 0.32mm までめり込ませて最大荷重を測定し，3 カ所の平均値を求めた。そして，以下の式を用いてブリネル硬さを算出した。

$$H_B = P/10$$

$H_B$ :ブリネル硬さ (N/mm<sup>2</sup>)，P:鋼球を深さ 0.32 mm までめり込ませたときの最大荷重平均値 (N)

#### 3) 含水率試験

1) の曲げ破壊試験終了後，長さ約 50mm の試験体を採取した。「フローリングの日本農林規格」を参考に，試験体の重量を測定してから 103°C, 24 時間で乾燥した後に再び重量を測定して算出した。

#### 4) 接触冷温感試験

長さ 100mm の試験体を作製し，精密迅速熱物性測定装置 (KES-F7 サーモラボ IIB, カトーテック株式会社製) を用いて，20°C に調整した材料に 40°C のセンサーが接触した時 ( $\Delta T=20^\circ\text{C}$ ) の瞬間的な熱の移動量  $q_{\text{max}}$  (W/cm<sup>2</sup>) を，1 試験体あたり 3 回測定した。

#### 4. 外構材使用を想定した性能評価試験

試験体はコジイを使用し、耐朽及び耐候性処理として最高処理温度 220℃による熱処理（以下、サーモ処理）を施したサンプルと無処理サンプルを用意し、以下の試験を行った。なお、サーモ処理の効果や影響を確認するため、サーモ処理を施した試験体と無処理の試験体は同一材から採取した。

##### 1) 室内防腐性能試験

幅 20mm×厚さ 10mm×長さ 20mm に加工した試験体を用い、JIS K 1571:2010 「木材保存剤－性能基準及びその試験方法」に準拠して試験を行い、質量減少率を測定して評価した。なお、試験体数は各 9 体とし、併せてオオウズラタケ、カワラタケに対する防腐性能を比較するため、スギ辺材をコントロールとして供試した。

##### 2) 曲げ試験

幅 20mm×厚さ 20mm×長さ 320mm、二方桁もしくは追桁に加工した試験体を用いた。JIS Z 2101:2009 「木材の試験方法」に準拠し、支点間距離 280mm、中央部への荷重は桁目面もしくは追桁面から加えて試験を行った。荷重速度は無処理材 5mm/min、サーモ処理 2mm/min とした。そして、荷重と変位の関係から曲げヤング係数を、最大荷重から曲げ強度を算出した。なお、試験体数はサーモ処理 13 体、無処理 11 体とした。

### 結果および考察

#### 1. 製材時の歩留まり調査試験

製材時の歩留まり調査結果を表 1 に示す。末口径による大きな差は見られず、平均歩留まりは 47.8% となった。また、これはナラ板材の標準歩留まりと同等の結果であり（富田ら、1985）、広葉樹板材としては妥当であると考えられる。

表 1 製材時の歩留まり調査結果

末口径 (cm)	本数	原木材積 (m <sup>3</sup> )	平均製材枚数	製材枚数	製材材積 (m <sup>3</sup> )	製材歩留まり (%)
20~25	68	5.623	7.4	505	2.763	49.6
26~30	49	5.981	10.6	521	2.736	45.2
31~44	19	3.854	18.3	347	1.846	47.7
全体	136	15.458	10.1	1373	7.345	47.8

## 2. 乾燥試験

乾燥日数は、試験区 A では、人工乾燥により生材から平均含水率 8%を下回るまで 32 日を要した（表 2，図 5）。

表 2 試験区 A, B の目標含水率までの乾燥日数と含水率

試験区	乾燥方法	材長 (m)	試験体数	目標含水率までの乾燥日数 (日)	平均含水率 (%)	
					初期	最終
A	人工乾燥 (除湿乾燥)	1.1	75	32	128.0	7.7
		2.1	70			
B	天然乾燥 (屋外棧積)	1.1	126	85 <sup>z</sup>	126.2	20.6
		2.1	60			
	人工乾燥 (除湿乾燥)	1.1	126	12	20.6	7.8
		2.1	60			

z：天然乾燥期間は 2018 年 7 月 19 日～2018 年 10 月 11 日

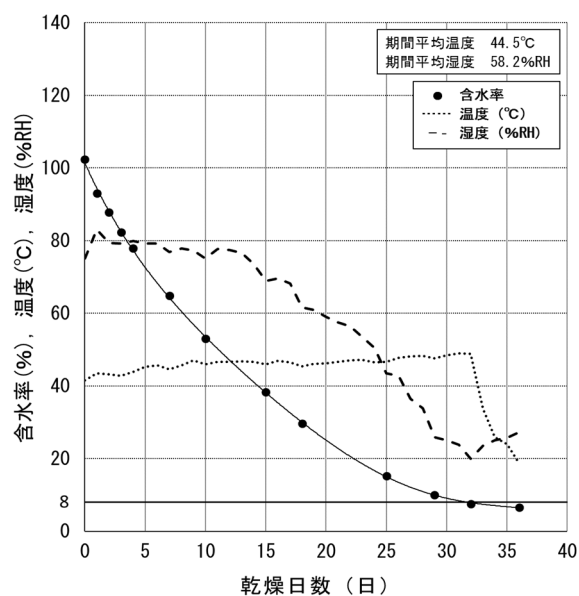


図 5 試験区 A 人工乾燥経過

注) 含水率は、原木が偏らないように抽出した試験体 15 枚の平均値。

試験区 B では、天然乾燥により生材から平均含水率 20%に達するまで 85 日を要した。その後、人工乾燥により平均含水率 8%を下回るまでさらに 12 日を要した（表 2，図 6，図 7）。

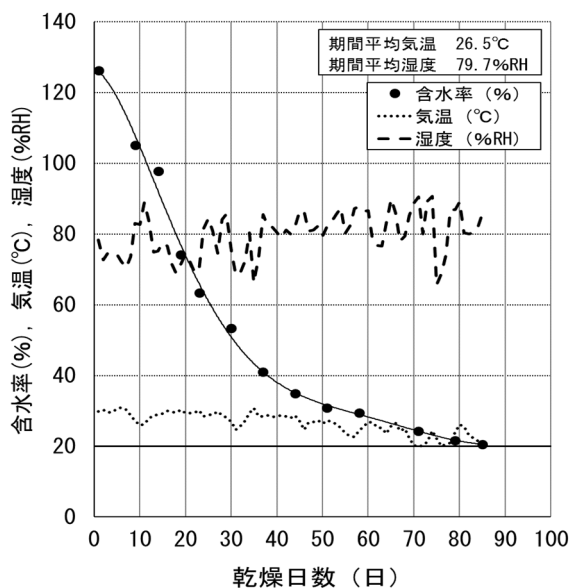


図6 試験区B 天然乾燥経過  
注) 含水率は、全試験体の平均値。

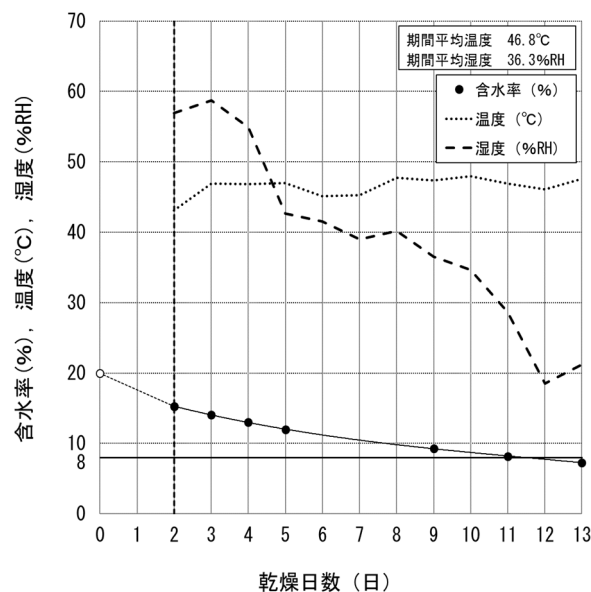


図7 試験区B 人工乾燥経過  
注) 含水率は、原木が偏らないように抽出した試験体20枚の平均値。

収縮率は、幅、厚さ方向とも試験区Bは試験区Aより若干少なかった(表3)。乾燥割れは、試験区Bは試験区Aより発生本数率、割れ長さとも著しく少なかった(表4)。変形量(弓反り、曲がり、ねじれ、幅反り)は全般的に試験区Bが試験区Aより少なかった(表4)。特にねじれ、幅反りは試験区Aで1~2mm程度、試験区Bより大きくなっていることから、厚さ方向の歩留まりに少なからず影響すると考えられた。なお、心持ち材では著しい収縮等が確認され、用材利用に不向きと考え、評価対象から除外した。

表3 試験区A, Bの乾燥に伴う平均収縮率(心持ち材を除く)

試験区	試験体数	収縮率 (%)	
		幅方向	厚さ方向
A	92	6.8	5.4
B	175	5.6	4.3

表4 試験区A, Bの乾燥後における割れおよび変形の状況(心持ち材を除く)

材長 (m)	試験区	試験体数	割れ発生本数率 (%)		割れ長さの平均値 (mm)		変形量の平均値 (mm)			
			干割れ	木口割れ	干割れ <sup>z</sup>	木口割れ <sup>y</sup>	弓反り	曲がり	ねじれ	幅反り
1.1	A	49	8.2	63.3	13	90	3.1	2.3	3.9	2.9
	B	120	1.7	35.0	5	57	2.6	1.9	2.6	1.8
2.1	A	43	32.6	62.8	93	123	3.0	4.3	3.9	3.1
	B	55	3.6	43.6	17	85	3.2	3.1	3.1	1.2

z : 干割れが発生した区間の長さの合計

y : 木口割れが発生した区間の長さの合計

以上の結果から、乾燥材の品質や歩留まりへの影響を考慮すると、天然乾燥と人工乾燥の組み合わせが適切と考えられた。このため、天然乾燥と人工乾燥を組み合わせた試験区 C, D を設定し、試験区 B と合わせて考察した。

試験区 C では、天然乾燥により生材から平均含水率 20% に達するまで 100 日を要した。その後、人工乾燥により平均含水率 8% を下回るまでさらに 10 日を要した（表 5）。試験区 D では、天然乾燥により生材から平均含水率 40% に達するまで 42 日を要した。その後、人工乾燥により平均含水率 8% を下回るまでさらに 25 日を要した（表 5）。

各試験区（C, D）における天然乾燥の乾燥経過（気温（℃）、湿度（%RH）、含水率（%））を図 8、図 9 に、人工乾燥の乾燥経過（温度（℃）、湿度（%RH）、含水率（%））を図 10、図 11 にそれぞれ示す。また、各試験区における乾燥日数（天然乾燥と人工乾燥の日数）を図 12 に示す。

表 5 試験区 C, D の目標含水率までの乾燥日数と含水率

試験区	乾燥方法	材長 (m)	試験体数	目標含水率ま での乾燥日数 (日)	平均含水率 (%)	
					初期	最終
C	天然乾燥 (屋外 棧積)	1.1	62	100 <sup>z</sup>	126.4	19.4
		2.1	57			
	人工乾燥 (除湿乾燥)	1.1	62	10	19.7	7.8
		2.1	57			
D	天然乾燥 (屋外 棧積)	1.1	125	42 <sup>y</sup>	102.6	39.6
		2.1	150			
	人工乾燥 (除湿乾燥)	1.1	125	25	39.6	7.8
		2.1	150			

z : 天然乾燥期間は 2018 年 12 月 3 日～2019 年 3 月 12 日

y : 天然乾燥期間は 2019 年 10 月 7 日～2019 年 11 月 18 日

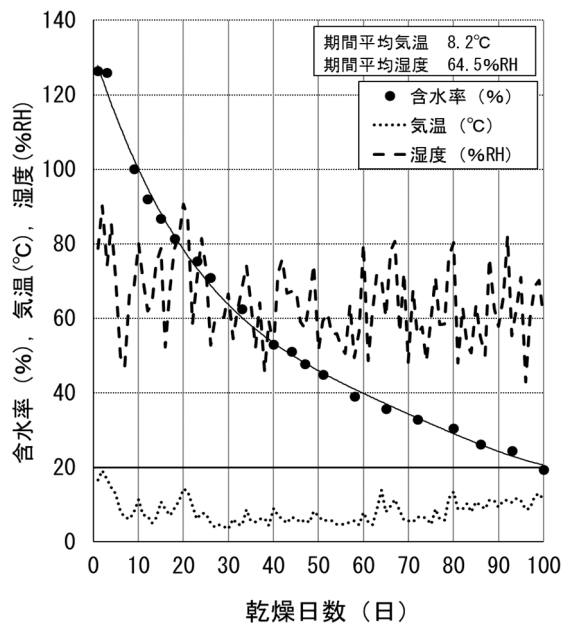


図 8 試験区 C 天然乾燥経過  
注) 含水率は、全試験体の平均値。

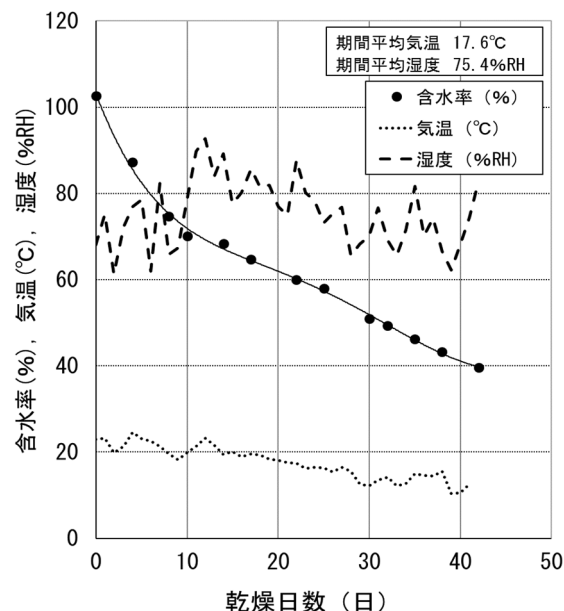


図 9 試験区 D 天然乾燥経過  
注) 含水率は、全試験体の平均値。

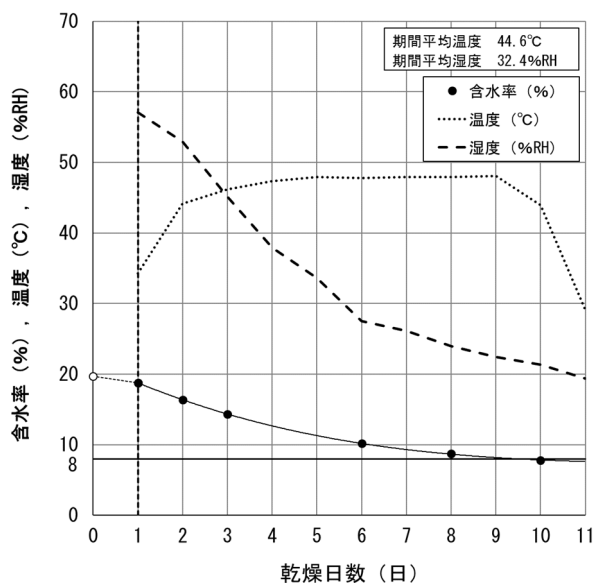


図 10 試験区 C 人工乾燥経過  
注) 含水率は、原木が偏らないように抽出した試験体 15 枚の平均値。

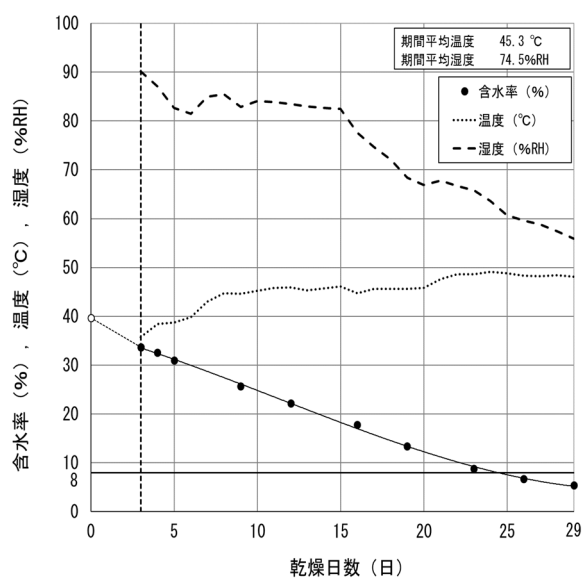


図 11 試験区 D 人工乾燥経過  
注) 含水率は、原木が偏らないように抽出した試験体 20 枚の平均値。

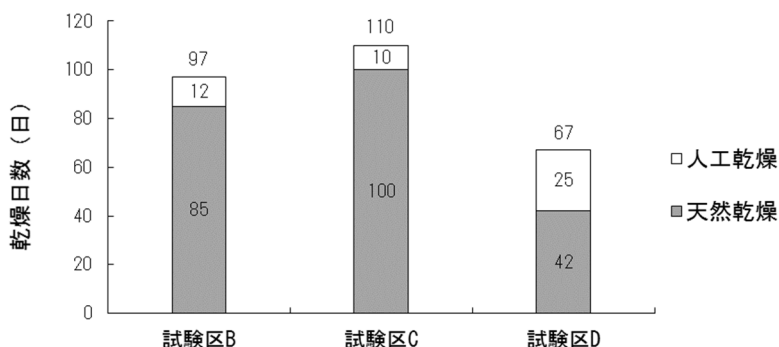


図 12 天然乾燥と人工乾燥を組み合わせた各試験区の乾燥日数の比較

乾燥日数については、試験区 D は試験区 B より 30 日、試験区 C より 43 日それぞれ短縮された (図 12)。乾燥後の平均収縮率は、幅、厚さ方向とも試験区 D は試験区 B, C より減少した (表 6)。乾燥割れについて、発生本数率は干割れについては試験区 D が試験区 C より概ね減少し、木口割れは、試験区 D が試験区 B, C より減少した (表 7)。弓反り、曲がり、ねじれについては、全般的に試験区 D と試験区 B, C との大きな差は認められなかったが (Tukey の多重比較検定により 5% レベルで有意差なし)、幅反りに関しては差が認められた (Tukey の多重比較検定により B と C 間に 5% レベルで有意差あり、それ以外は 1% レベルで有意差あり)。なお、材長が長くなることにより、曲がりの変形量が大きくなることが認められた (t 検定により 1% レベルで有意差あり (表 7))。

試験区 D が試験区 B, C と比較して乾燥割れや幅反りが抑制された理由として、天然乾燥で含水率が 40% に到達した時点で人工乾燥に移行することで、含水率 20% まで天然乾燥を行った場合と



比べて人工乾燥期間中に乾燥室内の湿度が低下しすぎず、穏やかな乾燥条件にすることができたためと推測される。

表 6 試験区 C, D の乾燥に伴う平均収縮率（心持材を除く）

試験区	試験体数	収縮率（%）	
		幅方向	厚さ方向
( B	175	5.6	4.3) <sup>z</sup>
C	119	5.6	4.2
D	262	4.5	3.2

z：比較のため表 3 のデータを再掲

表 7 試験区 C, D の乾燥後における割れおよび変形の状況（心持材を除く）

材長 (m)	試験区	試験体数	割れ発生本数率 (%)		割れ長さの平均値 (mm)		変形量の平均値 (mm)			
			干割れ	木口割れ	干割れ <sup>z</sup>	木口割れ <sup>y</sup>	弓反り	曲がり	ねじれ	幅反り
1.1	( B	120	1.7	35.0	5	57	2.6	1.9	2.6	1.8 ) <sup>x</sup>
	C	62	9.7	29.0	11	41	2.6	1.7	3.1	1.2
	D	119	5.0	17.6	17	49	2.0	1.6	1.5	0.8
2.1	( B	55	3.6	43.6	17	85	3.2	3.1	3.1	1.2 ) <sup>x</sup>
	C	57	7.0	66.7	8	103	2.9	2.4	2.3	1.6
	D	143	5.6	20.3	38	36	3.3	3.0	2.8	1.1

z：干割れが発生した区間の長さの合計

y：木口割れが発生した区間の長さの合計

x：比較のため表 4 のデータを再掲

以上の結果から、天然乾燥において平均含水率 40%到達時点で人工乾燥に切り替えた場合、人工乾燥における乾燥温度を 38℃～45℃の穏やかな設定とし、乾燥室内の湿度を低下させすぎないように乾燥することにより、乾燥材の品質を低下させることなく乾燥日数を短縮することが可能であることが確認された。

### 3. フローリング材の性能評価試験

各試験項目の結果を表 8 に示す。コジイの曲げ強度性能はスギに比べて大幅に高かった（t 検定により 1%レベルで有意差あり）。また、ブリネル硬さ試験はスギ、ヒノキと比較してかなり高い数値を示した（Tukey の多重比較検定により 1%レベルで有意差あり）。

表8 各種フローリング材の性能評価試験結果

		見かけ密度 (g/cm <sup>3</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ブリネル硬さ (N/mm <sup>2</sup> )	含水率 (%)	接触冷温感 q-max (W/cm <sup>2</sup> )
コジイ (n=30)	平均値	0.59	107.8	12.64	21.1	9.9	0.419
	最大値	0.72	121.7	15.45	33.6	11.0	0.499
	最小値	0.52	84.1	9.52	13.2	9.5	0.287
	標準偏差	0.05	8.2	1.21	4.2	0.3	0.053
スギ (n=10)	平均値	0.35	51.4	7.17	5.7	13.5	0.289
	最大値	0.40	65.2	9.08	7.4	14.6	0.330
	最小値	0.30	43.0	4.76	3.3	12.1	0.212
	標準偏差	0.04	7.7	1.39	1.4	0.7	0.041
ヒノキ (n=10)	平均値	0.47	87.3	11.64	10.8	12.8	0.401
	最大値	0.53	101.3	14.48	15.9	13.7	0.471
	最小値	0.40	72.2	8.58	5.8	11.7	0.291
	標準偏差	0.04	9.8	1.59	2.9	0.7	0.052

ブリネル硬さと接触冷温感の関係を図13に示す。ブリネル硬さと接触冷温感に相関関係がみられ、材質が硬いほど肌接触時の熱移動が大きくなると考えられた。

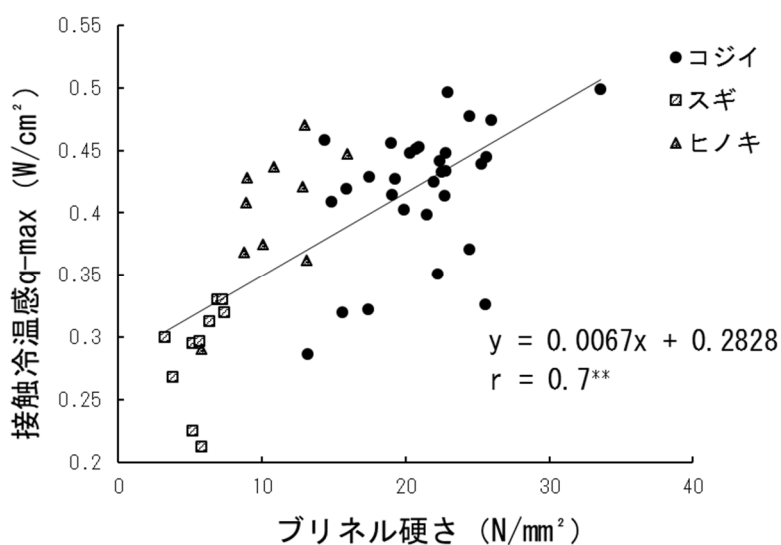


図13 ブリネル硬さと接触冷温感 ( $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ ) の関係  
\*\*1%レベルで有意

以上のことから、コジイはスギ・ヒノキと比較して、肌で触れた際の温かみは相対的に低くなるが、フローリング材に適した硬さを有することが確認されたため、フローリング材として利用できると考えられる。

#### 4. 外構材使用を想定した性能評価試験

##### 1) 室内防腐性能試験

コジイへのサーモ処理により、腐朽による質量減少率が大幅に減少し、オオウズラタケ、カワラタケに対する高い防腐性能が確認された (図14)。

## 2) 曲げ試験

サーモ処理による曲げヤング係数の変化は確認されなかったが（t 検定により 5%レベルで有意差なし）、曲げ強さは無処理材と比較して約 2 割低下した（t 検定により 1%レベルで有意差あり（図 15））。

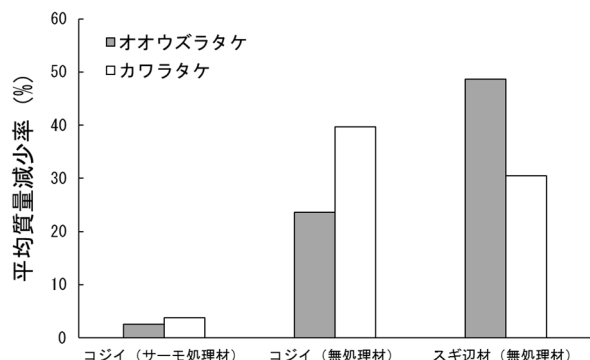


図 14 室内防腐性能試験（平均）

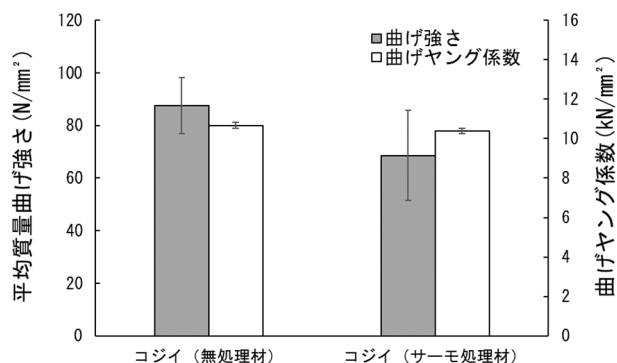


図 15 コジイの曲げ試験結果（平均）

以上の結果により、サーモ処理によって、防腐性能の著しい向上が確認されたことから、コジイを外構材として利用するにあたりサーモ処理が有効であることが確認された。

一方、曲げ強度の低下が確認されたことから、荷重のかかる部材への使用には注意が必要であると考えられる。

## 摘 要

1. 製材時の歩留まり調査の結果、平均歩留まりは 47.8%となった。
2. 乾燥試験の結果、天然乾燥で含水率 40%まで低下させた後、人工乾燥にて含水率 8%まで、乾燥温度 38℃～45℃、湿度を低下させすぎないように乾燥することにより損傷を抑制できる可能性が認められた。
3. コジイはスギ・ヒノキと比較して、肌で触れた際の温かみは相対的に低くなるが、フローリング材に適した硬さを有することが確認された。
4. コジイを 220℃で熱処理することにより、防腐性能の著しい上昇が確認されたが、曲げ強度は約 2 割低下した。
5. コジイは外材広葉樹の代替材として活用できる可能性、特にフローリング材のような内装材利用に適していることが確認された。

この研究を実施するにあたり、乾燥試験においてご指導いただいた国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所、齋藤周逸様ならびに木材乾燥研究室の皆様方に深くお礼申し上げます。

## 引用文献

- フローリングの日本農林規格. 別記(第3条及び第4条関係). 3 試験方法(1) 含水率試験.
- JIS K 1571:2010 木材保存剤—性能基準及びその試験方法. 5. 2. 防腐性能.
- JIS Z 2101:2009 木材の試験方法. 15 曲げ試験.
- JIS Z 2101:2009 木材の試験方法. 21 表面硬さ(ブリネル硬さ)の測定.
- 岡本憲治・濱口隆章. 2018. 県産未利用広葉樹(シイ)の建築資材等への利用拡大のための技術開発(1)木材乾燥スケジュールの推定試験(100℃試験). 和歌山県林業試験場業務報告. 76: pp. 24-26.
- 寺沢真. 1965. 05. 木材乾燥スケジュールの簡易決定法. 木材工業 20(5). pp. 216-221.
- 富田守泰・野原正人・香川紘一郎・杉山正典. 1985. 広葉樹小径材の材質特性及び乾燥技術に関する研究. 岐阜県林業センター研究報告. 14: p. 22.