

ツブラジイ材に関する研究

2010年度～2012年度

鈴木祥仁・大林育志

要 旨

ツブラジイ材の材質を明らかにし、利用法を開発するため、自生地から材を採取し調査を行った。その結果、密度は広葉樹として中程度で、曲げヤング係数及び曲げ強さは密度と同じく中程度であった。また、生材含水率は110～150%で心材の含水率が高かった。28mm板材の天然乾燥は、6月、12月乾燥開始とともに、途中経過は異なるが、乾燥開始から約160日で含水率14%前後に達した。生材から人工乾燥を行う場合、60℃以上の乾燥温度では材断面の内側の収縮が大きくなったため、変形を抑制するためには40℃程度の低温から乾燥を開始するのが望ましいと考えられた。28mm板材の含水率10%までの人工乾燥は、初期乾燥温度を40℃とした場合29日間と長くなったことから、乾燥コストを抑えるため天然乾燥後に人工乾燥を行う組み合わせが有効であると考えられた。表面硬さは住宅用フローリング材として利用可能な値を示し、フローリング製品を試作したところ原木に対する歩留まりは約46%であった。

I はじめに

県内の里山では、コナラ等落葉広葉樹が主体であるが、近年潜在自然植生である常緑広葉樹が増加しつつある。なかでもツブラジイ（コジイ、*Castanopsis cuspidata* (Thunb.) Schottky) は成長が早く樹幹が比較的通直であるなど、木材としての利用が期待されるが、現在はほとんど利用されていない。今後、里山林の管理において発生が見込まれるツブラジイ材の有効利用が望まれるが、ツブラジイ材に関する研究事例は少なく、特に県内産の材質は不明である。また、材の利用については良材が少なく乾燥の面倒な材（寺澤，1994）とされるなど、問題点が予想される。そこで、ツブラジイ材の伐採から製材、乾燥を行うことにより加工特性を調査するとともに、含水率、密度、強度等の材質を明らかにすることとした。あわせて利用法の検討として、まとまった量の利用が期待できるフローリング材としての適性を調べるとと

もに、製品の試作を行った。

II 方法

1. 材特性の解明

新城市門谷の県有林からツブラジイ立木（樹齢36～45年、胸高直径20～38cm、樹高12～16m）を2010年5月に5本、11月に4本伐採した（以下5月材、11月材）。また、森林・林業技術センターの構内からツブラジイ立木（樹齢32年、胸高直径28cm、樹高14m）1本を2012年2月に伐採した（以下構内採取材）。伐倒木は屈曲部、分枝部を避け長さ2.2mに造材した。原木の末口から厚さ10cmの円盤を採取し、年輪幅を測定するとともに、円盤の髄から外周4方向へ続けて一辺30mmの立方体試験片に調製し、質量、寸法を測定した。試験片は風乾した後、温度20℃、相対湿度65%の標準状態及び全乾状態の質量、寸法を測定し、密度、含水率、寸法収縮率を求めた。

乾燥後、5月材の一番玉原木1本から製材され

た全ての板材を対象に、長さ50cmで試験材を抽出し、一辺20mmの正方形断面で長さ320mmの試験体を調製した。曲げ試験をJIS Z 2101の方法により、支点間距離280mmの2等分点3点荷重で行った。曲げ試験を行った試験体の元口及び末口から長さ80mmの試験体を採取し、JIS Z 2101の方法により縦圧縮試験を行った。

2. 材の加工による形質変化調査

(1) 製材特性

送材車付き帯鋸盤（大井製作所OSN-1100）を使用して原木から丸挽き又は太鼓挽きで28mmの板材に製材した。5月材は樹皮のついた耳付き材及び耳去り材とし、11月材はすべて耳去り材とした。製材後、重量、寸法、反り、割れを計測した。

(2) 天然乾燥特性

製材した5月材を通風のある屋内に栈積みし、約1,200kgの重りを乗せ天然乾燥した。乾燥は6月4日から開始し、2週間ごとに重量を測定し栈積みの上下を入れ替えた。重量の減少が止まった時点で計測を終了し、寸法を測定するとともに、反りやねじれ、割れの発生を調査した。また、11月材の製材の半数について12月9日から天然乾燥を開始し、5月材の乾燥と同様に計測を行った。

(3) 人工乾燥特性

ア 人工乾燥試験

11月材の製材の半数を蒸気式木材乾燥装置（日本電化工機DK-10IF）により中低温人工乾燥した。乾燥スケジュールは既往の文献（寺澤，1994）に基づき乾球温度40℃、乾湿球温度差2.3℃から開始し、最終的に乾球温度65℃、乾湿球温度差25℃とし目標含水率を10%とした（表-1）。同じ原木から製材した4枚の板を含水率モニタ材として選び、重量及び高周波含水率計の含水率を毎日測定した。乾燥終了後、寸法を測定するとともに、反りやねじれ、割れの発生を調査した。

表-1 人工乾燥スケジュール

含水率範囲	乾球温度 (°C)	乾湿球温度差 (°C)	時間 (hr)	累加時間 (hr)
生材~80%	40	2.3	120	120
80%~60%	40	3	96	216
60%~50%	45	4	48	264
50%~40%	45	5.5	48	312
40%~30%	45	8	72	384
30%~25%	45	11	48	432
25%~20%	48	14	48	480
20%~14%	53	17	72	552
14%~12%	58	22	24	576
12%~9%	65	25	48	624
イコーライジング	65	12	48	672
コンデイショニング	65	8	24	696

イ 急速乾燥試験及び温度別の乾燥特性

乾燥試験体の材料として、構内採取材の1番玉から4番玉までを製材した板のうち、柾目及び板目のものから番玉ごとに各1枚抽出した。試験体寸法は幅100mm、長さ200mm、厚さ20mmとし、柾目の板からは番玉ごとに各6枚の計24枚（3・4番玉からの各3枚は幅70mmで製作）、板目の板からは1・2番玉各20枚、3・4番玉各10枚の60枚を製作した。柾目試験体は恒温乾燥器を用いた100℃及び60℃での乾燥、20℃・相対湿度60%に調整した室内での乾燥の3通りの乾燥を行った。板目試験体は前記のほか、80℃及び40℃での乾燥、室内での乾燥途中から恒温乾燥器に移し60℃、40℃での乾燥を行う条件を加えた。なお、室内乾燥から恒温乾燥器での乾燥の切り替えは含水率が繊維飽和点の30%におおよそ達した時点とした。100℃の乾燥条件においては急速乾燥による乾燥スケジュールの推定（寺澤，1994）を行い、重量が一定に達するまでの減少経過及び割れの発生を観察するとともに、乾燥後の断面の縁と内側の厚さを測定して断面の糸巻状変形の程度を求め、乾燥温度及び乾燥に要する時間を推定した。その他の乾燥条件についても重量が一定に達するまで重量変化を測定し、乾燥後の重量、寸法を測定した。また、温度20℃、相対湿度65%の標準状態及び全乾状態の

質量、寸法を測定し、含水率、寸法収縮率を求めた。

3. 材の利用開発

(1) 造作材としての性能評価

2. (3)イの乾燥試験体のうち天然乾燥したものについてJIS Z 2101の方法に準じて表面硬さ(ブリネル硬さ)試験を行った。表面をプレーナーで研磨した試験体に半径5mmの半球状のプランジャーを圧入し、深さが $1/\pi$ mm(約0.32mm)に達したときの荷重を測定し硬さを求めた。測定は試験体の長さ方向の両端及び中央で幅方向に10mm間隔で行った。対照として厚さ15~18mmのスギ(柾目、板目)、ヒノキ、コナラの板についても同様の方法で表面硬さの測定を行った。

2. (3)イの乾燥試験体の表面をプレーナーで研磨し、表面の材色を色彩色差計(ミノルタCR-300)で測定した。測定は試験体の長さ方向の両端及び中央で幅方向に10mm間隔で行った。

(2) 造作材の利用開発

構内採取材からフローリング原板を製材した。フローリングの仕上がり寸法は幅を90mmと75mmの2種類とし、厚さは18mm又は15mmとした。1・2番玉からは90mm幅2枚分の原板として幅210mm、3・4番玉からは75mm幅2枚分の原板として幅179mmの板を太鼓挽きで製材した。また、側板からも原板を製材した。18mm用の原板の製材厚さは22mm、15mm用の原板は19mmとし、1枚ごと交互に挽いた。約1年間天然乾燥後、リッパーで原板を2分割し、モルダーで表面加工及び本実加工を施しフローリングを製作した。なお、原板の丸身が大きいものは両端をリッパーで除去し、1枚の原板から1枚のフローリングを製作した。製作したフローリングについて、フローリングの日本農林規格(JAS)に基づき、単層フローリングのフローリングボードの品質を満たし、直張の用に供するものの標準寸法240mm以上の長さを求めるととも

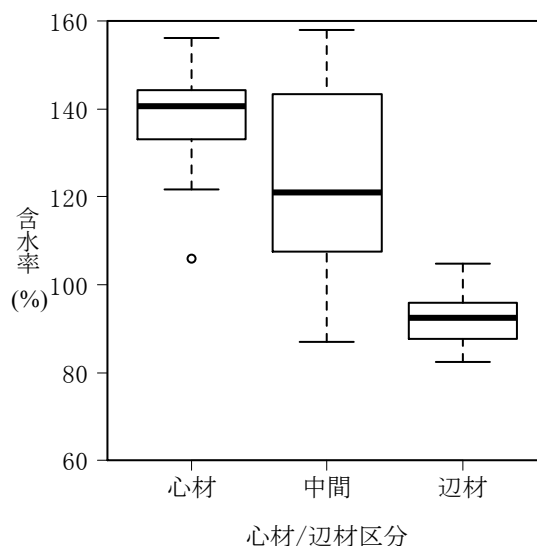
に、節、丸身等の欠点の箇所と長さを測定した。なお、同じ原木から2. (3)イの試験体に使用した板について、フローリングに加工したものと仮定して欠点等の測定を行い、歩留まりの計算に含めた。

III 結果と考察

1. 材特性の解明

生材時の材色は、辺材が黄白色、心材が濃褐色を示し、色調の差は明瞭であった。辺材部の年輪数は同一の立木では高さに関わらずほぼ一定で、7年から10年の立木があり、約8年のものが多かった。年輪幅は中心から13年輪前後まで増加し、その後はほぼ一定で4mmから6mmの範囲であった。なお、年輪の特徴として、中心から放射方向に伸びる筋の両側でずれが認められた。

生材の含水率は5月材で136[110, 153]% (中央値[四分位範囲]を示す)、構内採取材で133[99, 143]%であり、心材と比較して辺材の含水率が低かった(図-1)。標準状態における密度は5月材で553 [530, 586] kg/m³、11月材で546 [504, 599]



四角形内の横線は中央値、下辺は第1四分位点、上辺は第3四分位点、破線は外れ値を除く最小値から最大値までの範囲、個別の点は外れ値を表す。

図-1 部位別の生材含水率

kg/m³、構内採取材で557[538, 572] kg/m³であり、広葉樹のなかでは中程度の密度であった。

生材から標準状態に達するまでの収縮率は半径方向で1.4 [1.2, 1.7] %、接線方向で4.6 [4.3, 4.9] %と、接線方向の収縮率が半径方向の収縮率の約3倍であった。

曲げヤング係数は10.5 [9.4, 11.4] kN/mm²、曲げ強さは82.0 [75.9, 88.1] N/mm²、縦圧縮強さは41.8 [37.4, 44.3] N/mm²で、密度と同じく中程度の値であった。

2. 材の加工による形質変化調査

(1) 製材特性

5月材の製材後の小口割れは約80%で発生し、そのうち約50%は割れの総延長が200mm以下であった。(図-2)。また、割れが貫通し2つに裂けた板が約6%あり、これらは全て丸挽きのものであった。小口割れは、材の内部応力が開放されようとして生じると考えられた。製材後の縦反りは平均で2.6mm/2.1mで、幅反り、ねじれはほぼなかった。

(2) 天然乾燥特性

乾燥開始時の含水率は平均120%程度であり、最

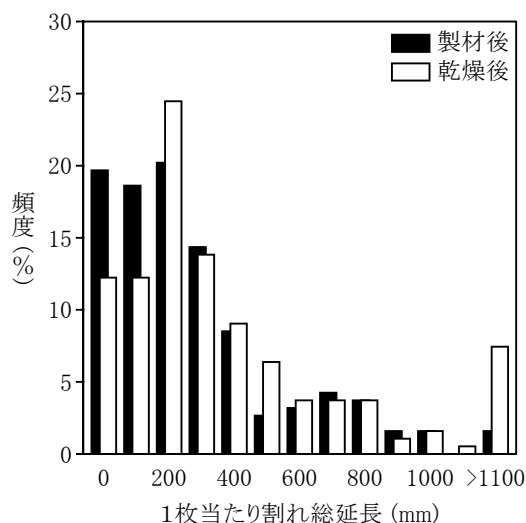


図-2 製材後及び天然乾燥後の割れ頻度分布

初の60日間は1週間当たり約8%含水率が低下し、6月開始の低下が12月開始よりやや大きかったが、気温が高いためと考えられた(図-3)。91日以降は重量が減少しない板が現れ、160日以降は重量減少がほぼ止まった。ただし、そのときの含水率は14%前後で、家具材や内装材への利用では仕上がりが含水率を10%程度にする必要があることから(伊藤, 2001)、より長期の天然乾燥又は人工乾燥の必要性があると考えられた。

天然乾燥における材の変化を5月材について表

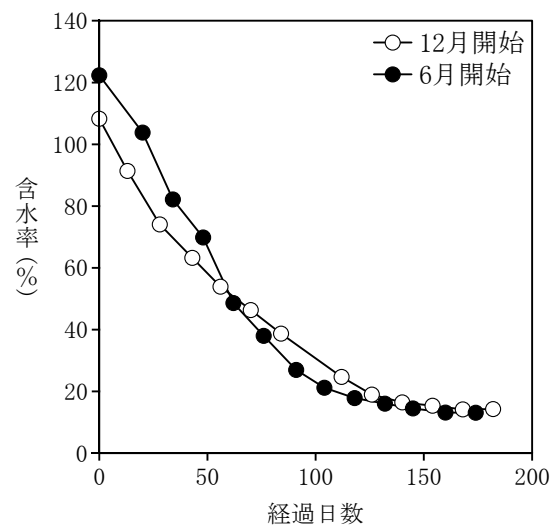


図-3 天然乾燥の含水率経過

表-2 天然乾燥における材の変化

		耳去り材		耳付き材		
		s.d.	s.d.	s.d.	s.d.	
乾燥前	表面	235	288	202	223	n.s.
割れ延長(mm)	裏面	260	275	230	287	n.s.
縦反り(mm)	矢高	2.84	3.62	2.08	1.79	
	区間	2130		2162		
乾燥後	表面	327	469	433	492	n.s.
割れ延長(mm)	裏面	350	455	430	474	n.s.
縦反り(mm)	矢高	7.26	3.16	6.13	3.20	n.s.
	区間	2125		2160		
幅反り(mm)	矢高	0.97	0.95	1.04	0.98	n.s.
	区間	162		181		
ねじれ(°)		0.52	0.80	0.52	0.88	n.s.
収縮率(%)	長さ	0.15	0.09	0.12	0.06	n.s.
	幅	3.69	1.07	—	—	
	中央厚さ	3.03	1.23	2.55	1.09	n.s.
	側面厚さ	3.89	1.46	4.40	1.75	n.s.

有意差なし:n.s.

ー 2 に示す。割れの延長は乾燥前より増加し、耳付き材は耳去り材に比べ割れが長くなったが有意な差ではなかった (t-test, $p>0.05$)。また、幅反り、ねじれは少なかったが、縦反りがやや大きくなった。割れの延長別では乾燥後1000mm以上に割れが伸びた板が8%生じた (図-2)。これらのことから、ツブラジイ材は製材・乾燥時の小口割れを考慮した木取りをする必要があると考えられた。

(3) 人工乾燥特性

ア 人工乾燥試験

イコーライジング・コンディショニングの3日間を含め、乾燥終了まで29日間を要した。これは、初期含水率が高かったことと、乾燥温度を低くしたことによるもので、生材からの人工乾燥に時間を要する原因であると考えられた。モニタ材のうち樹皮に近く辺材部の多い材の乾燥が早かったことから、辺材部の乾燥は比較的進みやすいと考えられた (図-4)。

同じ11月材の原木から採取した天然乾燥材との比較を表-3に示す。割れ、ねじれは有意な差は認められなかったが (t-test, $p>0.05$)、縦反り、幅反りがやや大きくなった (同, $p\leq 0.05$, $p\leq 0.01$)。また、乾燥に伴う板の幅及び厚さの収縮に

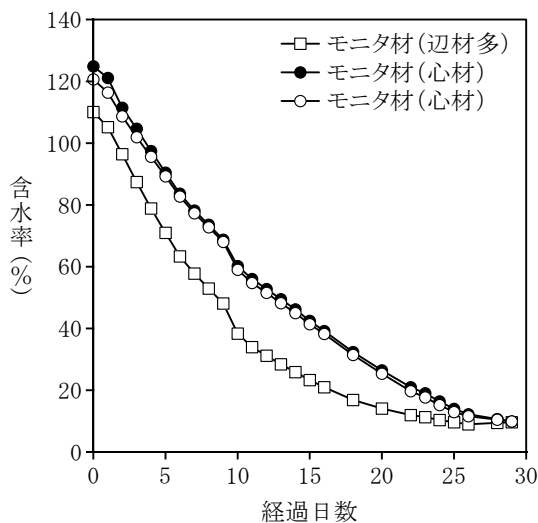


図-4 人工乾燥のモニタ材含水率経過

表-3 天然乾燥と人工乾燥の比較

	天然乾燥		人工乾燥		
		s.d.		s.d.	
割れ発生率(%)	表面	77.9		68.0	
	裏面	72.1		72.0	
割れ延長(mm)	表面	435	559	386	639 n.s.
	裏面	403	574	378	584 n.s.
縦反り(mm)	矢高	4.47	2.90	5.81	3.19 *
	区間	2078		2089	
幅反り(mm)	矢高	1.17	0.80	1.63	1.06 **
	区間	198		181	
ねじれ(°)		0.55	0.43	0.37	0.58 n.s.
収縮率(%)	長さ	0.12	0.87	0.20	0.17 ***
	幅	3.28	1.22	5.51	1.85 ***
	中央厚さ	2.50	1.01	3.55	1.49 ***
	側面厚さ	4.50	1.42	6.24	1.93 ***

有意差あり: *($p\leq 0.05$), **($p\leq 0.01$), ***($p\leq 0.001$)
有意差なし: n.s.

ついては、天然乾燥よりも大きくなった (同, $p\leq 0.001$)。これらは、天然乾燥より仕上がり含水率が低かったことによるものと考えられた。

イ 急速乾燥試験及び温度別の乾燥特性

試験体が含水率10%に達するまでの平均時間は乾燥温度が低くなると指数関数的に長くなった (図-5)。20°Cの室内では、35日後に14%前後に達して以降は含水率の減少が小さくなり、10%に達しなかった。100°C及び60°Cの乾燥条件においては柁目試験体と板目試験体との乾燥の違いは認め

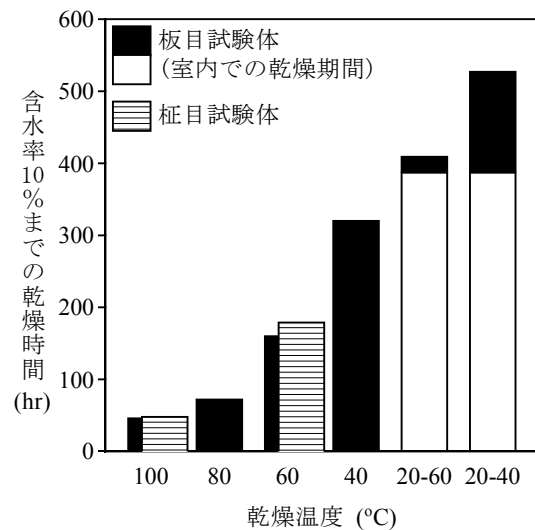


図-5 乾燥温度別の乾燥時間

られなかった (t-test, $p>0.05$)。室内の乾燥条件から恒温乾燥器への切り替えは387時間後に行い、その時点から60℃の乾燥条件に移した試験体が含水率10%に達するまでの時間は22時間、40℃に移した試験体については130時間であった。100℃の急速乾燥試験の結果、寺澤(1994)の方法に基づき乾燥条件の推定を行ったところ、初期割れは程度が小さく、断面の糸巻状変形、内部割れの程度により初期温度49℃、乾湿球温度差3.3℃が導かれた。また、含水率1%になるまで約82時間であったことから、27mm板材を10%まで乾燥する日数は昇温・冷却1日を含め22日と推定された。

試験体の生材から標準状態までの収縮の大きさは、周囲の厚さ、幅、長さで乾燥温度による違いは認められなかったが、縁と内側の厚さの差は60℃以上の乾燥条件において20℃室内と比較して有意に大きくなり (Tukey, $p\leq 0.001$)、温度が高いほど大きかった (図-6)。一方、室内で乾燥後に60℃の乾燥を行ったものは、全期間40℃の乾燥条件と差が認められなかった (Tukey, $p>0.05$)。これらのことから、生材から人工乾燥を行う場合、乾燥による変形を避けるためには40℃程度の低温で始める必要があり、天然乾燥で含水率30%まで減

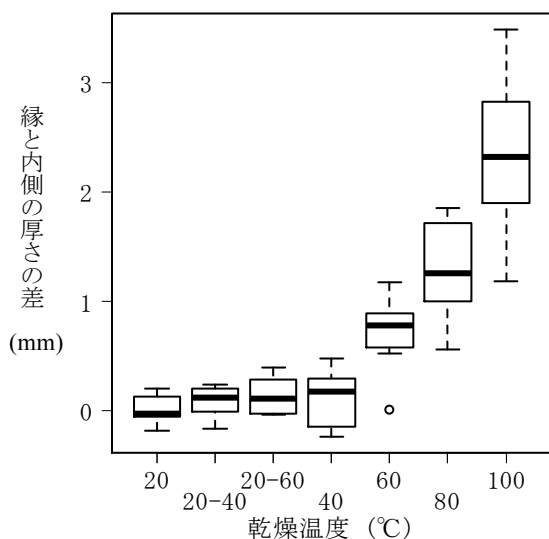


図-6 乾燥条件別の糸巻状変形の大きさ

小ささせた後に60℃程度の人工乾燥を行う組み合わせが、乾燥期間をさほど長くすることなく乾燥コストを抑えることのできる方法であると考えられた。

3. 材の利用開発

(1) 造作材としての性能評価

表面のブリネル硬さは桁目試験体で13.9 [11.7, 15.8] N/mm²で、板目試験体で14.2 [12.3, 17.7] N/mm²で、対照のスギ、ヒノキより値が大きく、コナラより小さかった (図-7)。節及び節周辺の変色部は集計から除外したが、節の上下に当たる部位では局所的に硬さが大きくなった。板目試験体の4番玉の値が大きかったことは、枝分かれの上部に当たる部位であったため、この影響によるものと考えられた。なお、1番玉から3番玉までは桁目試験体と板目試験体の硬さに有意な差は認められなかった (t-test, $p>0.05$)。表面硬さの値はフローリング用木材として一般的であるケヤキ、ブナ、ナラより小さいものの、一般住宅用のフローリング材として利用可能であると判断された。

表面の材色は目視では辺材部は黄白色、心材部はやや赤みを帯びた黄白色で、プレーナー仕上げ後は境界の判別は容易であった。色彩色差計によ

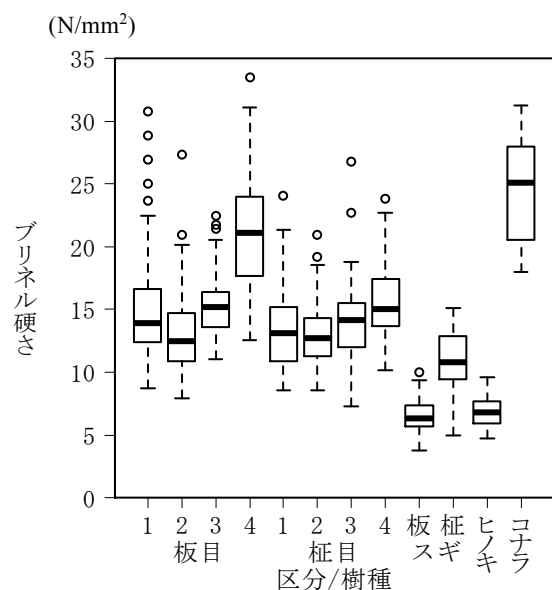


図-7 表面硬さ

る明るさLは心材部(76.2 [74.7, 77.5])より辺材部(78.5 [76.8, 80.3])が明るく(t-test, $p \leq 0.001$)、赤方向の色 a^* は心材部(5.4 [5.0, 5.8])が辺材部(3.4 [2.9, 3.7])より赤みが強かった(t-test, $p \leq 0.001$)。このことから、着色して利用する場合を除き、心材、辺材を使い分ける利用状況も想定された。心材色は乾燥温度が高いほどLが小さく a^* 、 b^* が大きくなる傾向を示し(one-way ANOVA, $p \leq 0.001$)、見た目の色が濃くなったが、特に問題のない範囲と考えられた。

(2) 造作材の利用開発

1年間屋内で天然乾燥させたフローリング原板の含水率は約11%であった。原板をリッパーで2分割する工程では木裏側への曲がりが多く生じたことから、幅について部分的に1~2mm程度の削り残しが一部の製品で認められた。このことから、原板の幅を今回の条件より5mm程度広く製材し、モルダー加工前に曲がり除去する工程が必要であると考えられた。厚みについては削り残しが総製品長の約3%発生したが、製材時に厚さが不足していた部分や乾燥時の圧縮不足で反りが大きい箇所であったため、規定の厚さで製材することと、乾燥時に適切な積みを行うことで防止できると

考えられた。これら加工工程の不良がないと仮定した場合、製作したフローリングのうち規格を満たす延長は1~3番玉において80%前後で、1番玉は割れ・裂け、3・4番玉は節による不良部分が多かった(図-8)。定尺として使用できる1810mm以上の製品は節のなかった2番玉から多く得られ、1番玉は節の占める割合は小さかったものの、細い節のため製品長が分割された(図-9)。定尺に満たない長さの製品については、歩留まり及び施工性の面から、必要に応じ縦継ぎすることも方法のひとつであると考えられた。素材の日本農林規格に基づく原木材積に対する製品材積の歩留まりは、1~3番玉で約46%であった。その内訳として、製材時の切り幅を含めた厚さの歩留まりの約70%、幅の歩留まりの約84%、前記の規格を満たす製品長率の約80%が考えられた。

引用文献

- 寺澤眞(1994) 木材乾燥のすべて. 海青社
 伊藤洋一(2001) 広葉樹乾燥材の品質管理. 北海道林産試だより, 2000(9), 6-8

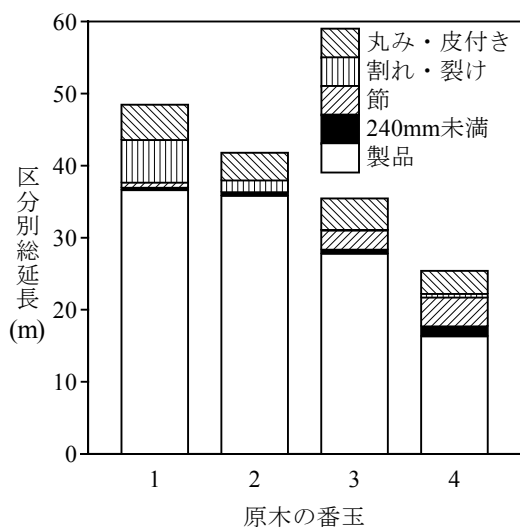


図-8 原木の番玉別の製品・欠点の長さ

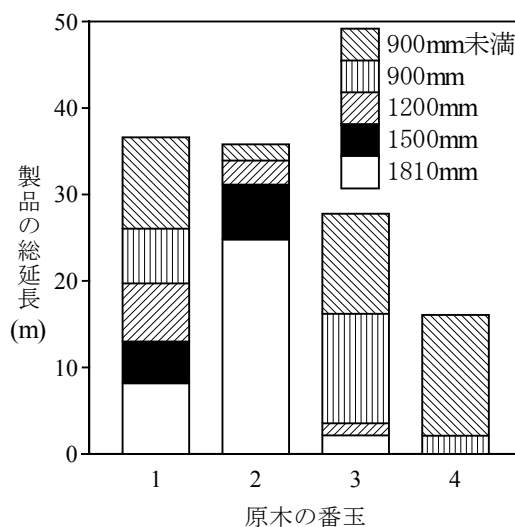


図-9 フローリング製品長別の長さ