[木材学会誌 Vol. 54, No. 2, p. 86-92 (2008)]

トドマツ水食い材の加熱乾燥による強度特性と寸法の変化^{*1}大崎久司^{*2}, 久保島吉貴^{*3}, 外崎真理雄^{*3}, 太田正光^{*4}Changes in Bending Properties and Shrinkage of Kiln Dried Todomatsu (*Abies sachalinensis*) Wetwood^{*1}Hisashi OHSAKI^{*2}, Yoshitaka KUBOJIMA^{*3},
Mario TONOSAKI^{*3} and Masamitsu OHTA^{*4}

Changes in bending properties and shrinkage of heat-treated todomatsu (*Abies sachalinensis* Mast.) wetwood were investigated. Specimens having dimensions of 7 mm (R) × 7 mm (T) × 115 mm (L) and 30 mm (R) × 30 mm (T) × 5 mm (L) were used for bending tests and shrinkage tests, respectively. The wetwood and normal wood specimens were matched in the R-direction. Static and impact bending tests were conducted to measure Young's modulus, bending strength, work to rupture in static bending and absorbed energy in impact bending. Specimens were heated at 100, 120 and 140°C till their weights were constant. The properties of heat-treated specimens were compared to those dried at room temperature. As a result, it was found that wetwood and normal wood had similar static bending properties, impact bending properties and shrinkage. This means that drying did not significantly affect the quality of wetwood as compared to normal wood.

Keywords: wetwood, static bending properties, impact bending properties, shrinkage, high temperature drying.

トドマツ水食い部および正常部のそれぞれについて加熱乾燥を受けたものと受けていないもので静的曲げ特性、衝撃曲げ特性並びに加熱乾燥による収縮変形を比較検討した。試験体には北海道産55年生トドマツ (*Abies sachalinensis* Mast.) 造林木を用いた。静的曲げ試験体および衝撃曲げ試験体として、7 mm (R) × 7 mm (T) × 115 mm (L), 収縮変形測定用として30 mm (R) × 30 mm (T) × 5 mm (L) の試験体を作製した。いずれの試験体も水食い部と正常部は半径方向に隣接したものをを用いた。スパンを98 mm, 変形速度を5 mm/min とし、柵目面荷重で3点曲げ試験を行い、静的曲げヤング率、静的曲げ強度ならびに破壊に要する仕事を求めた。容量30 kgw・cm のシャルピー型衝撃試験機を用い、スパン84 mm で、柵目打撃の衝撃曲げ試験を行い、衝撃曲げ強度と衝撃曲げ吸収エネルギーを求めた。また、半径方向と接線方向の収縮率および試験体の4隅の角度の変化を求めた。熱処理は、設定温度を100°C, 120°C, 140°C とし、試験体重量が変化しなくなったときに終了した。その結果、静的曲げ特性、衝撃曲げ特性および収縮、変形に対する熱処理の影響が水食い部と正常部で明確な差が認められなかった。従って、トドマツ熱処理材の物性変化は水食い部と正常部で大差ないと考えられ、乾燥された水食い部の物性は正常部とほぼ同等であることが分かった。

^{*1} Received July 27, 2007; accepted November 12, 2007. 本報告の一部は、第57回日本木材学会大会 (2007年8月, 広島) において発表した。

^{*2} 北海道立林産試験場 Hokkaido Forest Products Research Institute, Asahikawa 071-0198, Japan

^{*3} 独立行政法人森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan

^{*4} 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657, Japan

1. 緒 言

トドマツはエゾマツ、カラマツとともに北海道を代表する造林樹種であり、有効な利用方法を開発することが求められている¹⁾。しかし、トドマツには水食いと呼ばれる異常に含水率の高い心材が存在し、水食いを含む材を乾燥すると、割れや反り、振れといった欠点が生じ、また、高含水率故に乾燥コストがかかるという問題点がある²⁻⁴⁾。

トドマツ材の乾燥スケジュールに関する報告は幾つか存在するが^{5,6)}、水食いの問題点を克服するための方法は確立されていない⁷⁾。そこで、水食い部の乾燥性を明らかにすることを目的として、これまでに乾燥過程における水食い部の物性を検討してきた。すなわち、水食い部および隣接する正常部より試験体を作製し、比ヤング率や損失正接といった強度と関係のある物性の温度依存性⁸⁾と、乾燥過程におけるそれらの経時変化⁹⁾をリアルタイム測定した。その結果、生材を試験体に用いた場合、乾燥中には水食い部、正常部共に軟化が生じ、その程度は水食い部の方が正常部より大きかった。しかし、水食い部と正常部共に飽水状態にした場合は両者で大差がなかった。従って、乾燥過程の物性の水食い部と正常部の違いは、材そのものの違いではなく、初期含水率に起因するものと考えられた。

しかしながら、乾燥処理を受けることによって、水食い部と正常部とで物性に違いが生じるかどうかは明らかになっていない。そこで、本研究ではトドマツ水食い部および隣接する正常部を熱処理し、人工乾燥処理による影響の有無を曲げ強度特性と変形に関して検討した。

2. 実 験

2.1 試験体

試験体には北海道森林管理局石狩森林管理署管内5378林班に小班産の55年生トドマツ (*Abies sachalinensis* Mast.) 造林木を用いた。静的曲げ試験体および衝撃曲げ試験体として、7 mm (R) × 7 mm (T) × 115 mm (L)、変形測定用として30 mm (R) × 30 mm (T) × 5 mm (L) の寸法の試験体を作製した。いずれの試験体も水食い部と正常部は半径方向に隣接したものを用いた。また、Fig. 1 に示したように、水食い部同士、正常部同士繊維方向に隣接する試験体を作製し、水食い部と正常部のマッチングの対がそれぞれ2対で合計4体を1組とし、1対は熱処理用、残りの1対は熱処理を経ない20℃、65% R.H. (Relative Humidity) の条件での室温乾燥用とし、室

Fig. 1. Specimen for the tests.

温乾燥用の対は半径方向にマッチングしたことの影響を検討するために用いた。なお各設定温度および各試験に対しそれぞれ5組供した。水食い部、正常部の生材含水率を Table 1 に示す。

2.2 熱処理

設定温度を100℃、120℃、140℃とし、電気乾燥炉（容量約60 cm × 50 cm × 50 cm）の中に試験体の1組のうち1対を入れて加熱した。熱処理中は湿度の調整は行わなかった。また、各設定温度の熱処理において、水食い部、正常部のうちそれぞれ生材重量が最も重いものから2つを選出し、それらを20分毎に乾燥炉から取り出して熱処理途中の重量を測定し、恒量になった時点で熱処理を終了した。

熱処理終了後、20℃、65% R.H. の条件で調湿し、曲げ試験および収縮変形の測定を行った。その後、全ての試験体を105℃で乾燥して全乾重量を求めた。木口試験体に関しては全乾状態で変形に関する測定を行った。

2.3 静的曲げ試験

スパンを98 mm、変形速度を5 mm/min とし、桎

Table 1. Green moisture contents.

Temperature of heat treatment [°C]	Wetwood [%]		Normal wood [%]	
	Average	SD	Average	SD
100	154.7	55.4	48.3	23.4
120	156.0	55.2	51.7	18.2
140	186.3	43.0	55.4	24.0

目面荷重で3点曲げ試験を行った。荷重-変位曲線より、静的曲げヤング率 E 、静的曲げ強度 σ_{sb} ならびに破壊に要する仕事 W_{sb} を求めた。実験は20℃, 65% R.H. の条件で行った。

2.4 衝撃曲げ試験

容量30 kgw・cmのシャルピー型衝撃試験機を用い、スパン84 mmで、柁目打撃の衝撃曲げ試験を行った。衝撃ハンマーの振り上がり角度より衝撃曲げ吸収エネルギー W_{ib} を、またハンマーに取り付けられた加速度変換器による荷重の経時変化より衝撃曲げ破壊強度 σ_{ib} を求めた。衝撃荷重は衝撃ハンマーに容量50 g ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)、応答周波数上限1.5 kHzの小型加速度変換器を取り付け、衝撃時の加速度を測定し、ハンマーの質量 (0.847 kg) を乗じて算出した。こうして得られた荷重-時間曲線より衝撃曲げ破壊強度を計算した。測定系の概要をFig. 2に示す¹⁰⁾。加速度変換器からの出力は、歪みアンプを通した後、波形記憶装置 (オートニクス社製 APC204) に記録した。実験は20℃, 65% R.H. の条件で行った。

静的曲げ試験および衝撃曲げ試験時の含水率を静的曲げ試験体、衝撃曲げ試験体をあわせてTable 2に示す。

2.5 熱処理による木口面の変形

Fig. 3 に示すとおり、試験体の各辺 AB, BC,

Fig. 2. Schematic diagram of the impact bending tester.

CD, DA, 対角線 AC, BD および各辺の中点を結ぶ測定基準線 PR, QS の長さをマイクロメータを用いて測定した。また、正方形からのずれを表す尺度として、2 辺の長さとお角線の長さを余弦定理に代入することより角 A, B, C, D を計算し、式(1)で角度の変化率 δ_θ を求めた。

$$\delta_\theta = |\delta_a - \delta_o| / \delta_o \quad (1)$$

なお、添え字 a, o は、それぞれ20℃, 65% R.H. で調湿後および全乾状態を示す。

3. 結果と考察

Table 3 に水食い部と正常部の静的曲げ特性を示す。平均値の t 検定の結果、一部水食い部の静的曲げ特性は正常部と有意差が認められた。その場合、正常部は静的曲げヤング率、静的曲げ強度および破壊に要する仕事のいずれも水食い部よりも大きい値を示した。このことが熱処理により水食い部の強度が低下したことを示すかどうか明らかにするためには、半径方向にマッチングしたことの影響を検討する必要がある。

本実験では水食いの入り方のために、水食い部と

Fig. 3. A specimen used in the shrinkage tests.

Table 2. Moisture contents directly before bending tests.

Temperature of heat treatment [°C]	Heat treated [%]				Control [%]			
	Wetwood [%]		Normal wood [%]		Wetwood [%]		Normal wood [%]	
	Average	SD	Average	SD	Average	SD	Average	SD
100	10.0	0.4	10.0	0.3	12.8	0.3	12.3	0.3
120	9.6	0.5	9.3	0.4	12.5	0.3	12.1	0.4
140	9.4	0.3	9.3	0.4	12.3	0.4	11.8	0.3

正常部は同じ年輪内から作製することが出来ず、水食い部と正常部が半径方向に隣接する状態でマッチングせざるを得なかった。このため、熱処理後の水食い部の物性値と正常部の物性値の差には、試験体の樹幹内における位置の影響が含まれる。そこで、樹幹内の位置の影響を明らかにするため熱処理試験体の水食い部の物性値と正常部の物性値の比、および室温で乾燥した試験体の水食い部の物性値と正常部の物性値の比を比較検討する。

その際、熱処理試験体と室温で乾燥した試験体では平衡含水率が異なる (Table 2) ことを検討する必要がある。ヤング率については、トドマツ材の含水率依存性の実験データ¹¹⁾が存在し、そのデータか

ら含水率約10%と約12%の範囲では、ヤング率の変動は極めて小さいといえる。他の強度特性に関しても、このヤング率と同様に含水率約10%と約12%の範囲では変動は極めて小さいと類推される。

Table 4 に熱処理試験体の水食い部の物性値と正常部の物性値の比、および室温で乾燥した試験体の水食い部の物性値と正常部の物性値の比を示す。

水食い部を記号W、正常部を記号Nでそれぞれ示し、室温での乾燥を添え字Cで、熱処理を添え字HTでそれぞれ示す。平均値の t 検定より、 $(E^W/E^N)_{HT}$ と $(E^W/E^N)_C$ 、 $(\sigma_{sb}^W/\sigma_{sb}^N)_{HT}$ と $(\sigma_{sb}^W/\sigma_{sb}^N)_C$ 、 $(W_{sb}^W/W_{sb}^N)_{HT}$ と $(W_{sb}^W/W_{sb}^N)_C$ はいずれも有意差がなかった。よって熱処理材の静的曲げ特性の値そのも

Table 3. Static bending properties of todomatsu wood.

	Temperature of heat treatment [°C]	Wetwood		Normal wood		t -value	
		Average	SD	Average	SD		
$E^{a)}$ [GPa]	100	8.55	0.45	9.71	0.74	2.682	*
	Control ^{d)}	8.13	0.54	9.71	0.83	3.200	*
	120	9.60	0.64	10.04	1.32	0.595	—
	Control	8.39	0.88	8.95	1.11	0.796	—
	140	9.23	0.87	10.32	1.13	1.520	—
	Control	8.56	0.79	9.72	0.56	2.380	*
$\sigma_{sb}^{b)}$ [MPa]	100	79.2	6.0	91.7	7.0	2.696	* ^{c)}
	Control	68.5	8.0	83.7	5.9	3.029	*
	120	85.1	6.2	92.3	10.8	1.161	— ^{f)}
	Control	70.5	8.1	77.4	9.9	1.079	—
	140	82.5	6.1	99.4	15.2	2.072	—
	Control	73.0	6.9	85.5	3.7	3.199	*
$W_{sb}^{c)}$ [kJ/m ²]	100	10.8	1.5	11.8	1.1	1.163	—
	Control	8.8	0.9	11.6	1.0	4.033	** ^{g)}
	120	10.6	2.0	12.0	1.6	1.046	**
	Control	10.9	1.2	10.3	2.1	0.551	—
	140	10.6	2.3	13.1	2.4	1.501	—
	Control	10.6	1.5	11.7	0.8	1.343	—

Note: ^{a)}: Young's modulus in static bending; ^{b)}: Static bending strength; ^{c)}: Work to rupture in static bending.

^{d)}: Specimens dried at room temperature. ^{e)}: 5% significant level; ^{f)}: not significant; ^{g)}: 1% significant level.

Table 4. Ratio of static bending properties of wetwood to those of normal wood.

	Temperature of heat treatment [°C]	Heat treatment		Control		t -value	
		Average	SD	Average	SD		
$E^{Wa})/E^{Nb)}$	100	0.87	0.07	0.82	0.10	0.759	— ^{c)}
	120	0.94	0.16	0.93	0.17	0.099	—
	140	0.84	0.08	0.86	0.11	0.244	—
$\sigma_{sb}^W/\sigma_{sb}^N$	100	0.88	0.07	0.84	0.09	0.771	—
	120	0.97	0.15	0.95	0.13	0.262	—
	140	0.90	0.06	0.88	0.10	0.251	—
W_{sb}^W/W_{sb}^N	100	0.91	0.10	0.77	0.13	1.757	—
	120	0.91	0.26	1.09	0.18	1.170	—
	140	0.85	0.28	0.91	0.13	0.398	—

Note: ^{a)} "W" means wetwood; ^{b)} "N" means normal wood. ^{c)} Refer to Table 3.

のの違いは、繊維方向または接線方向にマッチングした試験体ではなかったため、熱処理の効果が静的曲げ特性に対して、水食い部と正常部で差があったとは言えない。

Table 5 に水食い部と正常部の衝撃曲げ特性を示す。平均値の t 検定によると、一部、水食い部の衝撃曲げ吸収エネルギーは正常部と有意差があり、正常部の方が水食い部よりも大きかった。

しかし、平均値の t 検定より、 $(\sigma_{ib}^W/\sigma_{ib}^N)_{HT}$ と $(\sigma_{ib}^W/\sigma_{ib}^N)_C$ 、 $(W_{ib}^W/W_{ib}^N)_{HT}$ と $(W_{ib}^W/W_{ib}^N)_C$ はいずれも有意差が認められなかった (Table 6)。よって熱処理材の衝撃曲げ特性の値そのものの違いもやはり、静的曲げ特性と同様に、繊維方向または接線方向にマッチングした試験体ではなかったため、衝撃曲げ特性に対して熱処理の効果が水食い部と正常部で差があったとは言えない。

Table 7 に 20℃, 65% R.H. での調湿状態から全乾状態までの含水率 1 % の変化に対する平均収縮率 δ_R , δ_T (添え字 R, T は半径方向と接線方向をそれぞれ示す) および角度の変化率 δ_θ を示す。

平均値の t 検定によると、一部、水食い部の熱処理による変形は正常部と有意差が認められ、水食い

部の方が収縮率が、正常部よりも大きい値を示した。しかし、平均値の t 検定より、 $(\delta_R^W/\delta_R^N)_{HT}$ と $(\delta_R^W/\delta_R^N)_C$, $(\delta_T^W/\delta_T^N)_{HT}$ と $(\delta_T^W/\delta_T^N)_C$, $(\delta_\theta^W/\delta_\theta^N)_{HT}$ と $(\delta_\theta^W/\delta_\theta^N)_C$ はいずれも有意差がなかった (Table 8)。このことから、変形特性に対する熱処理の効果は、水食い部と正常部で差が認められなかったと考えられる。

吉本, 信田¹²⁾ は、トドマツ生材と気乾材を用いて水食い材と正常材の強度の差を比較した。そして、曲げ強度、曲げヤング率、圧縮強度、剪断強度は水食い試験体と非水食い試験体の間で有意差が存在しなかったため、水食い材であっても、乾燥に十分気をつければ、非水食い材と同様の使用が可能であることを報告している。本研究の結果によって、人工乾燥等の高温処理を経た木材に関しても静的曲げ特性、衝撃曲げ特性および乾燥収縮による変形は水食い部と正常部で大きな差が認められなかった。これらのことから、乾燥が適正に行われれば水食い部の物性は正常部と比較してほぼ同等であるということが示された。

Table 5. Impact bending properties of todomatsu wood.

	Temperature of heat treatment [°C]	Wetwood		Normal wood		t -value	
		Average	SD	Average	SD		
$\sigma_{ib}^{a)}$ [MPa]	100	97.5	7.1	99.3	8.8	0.311	— ^{d)}
	Control ^{c)}	80.7	1.2	86.6	12.6	0.826	—
	120	94.1	10.6	108.3	17.3	1.218	—
	Control	81.8	8.3	94.2	8.9	2.040	—
	140	90.5	10.5	97.0	9.7	1.020	—
	Control	79.7	4.2	93.1	12.5	2.026	—
$W_{ib}^{b)}$ [kJ/m ²]	100	31.8	1.9	32.6	2.2	0.517	—
	Control	28.6	1.4	29.6	3.0	0.632	—
	120	29.1	3.8	34.5	2.4	2.424	* ^{e)}
	Control	29.7	3.2	31.3	0.8	0.980	—
	140	30.5	2.7	31.8	2.2	0.840	—
	Control	29.2	2.0	31.1	1.8	1.595	—

Note : ^{a)} Impact bending strength. ^{b)} Absorbed energy in impact bending. ^{c-e)} Refer to Table 3.

Table 6. Ratio of impact bending properties of wetwood to those of normal wood.

	Temperature of heat treatment [°C]	Heat treatment		Control		t -value	
		Average	SD	Average	SD		
$\sigma_{ib}^{W(a)}/\sigma_{ib}^{N(b)}$	100	0.99	0.14	0.92	0.12	0.769	— ^{c)}
	120	0.76	0.05	0.88	0.15	1.179	—
	140	0.94	0.11	0.88	0.16	0.683	—
W_{ib}^W/W_{ib}^N	100	0.91	0.11	0.77	0.12	1.829	—
	120	0.91	0.25	1.10	0.18	1.182	—
	140	0.85	0.27	0.91	0.13	0.403	—

Note : ^{a, b)} Refer to Table 4. ^{c)} Refer to Table 3.

Table 7. Unit shrinkage of todomatsu wood [% per 1% moisture content change].

	Temperature of heat treatment [°C]	Wetwood		Normal wood		<i>t</i> -value	
		Average	SD	Average	SD		
$\delta_R^{a)}$	100	0.11	0.003	0.09	0.005	6.448	** ^{c)}
	Control ^{d)}	0.12	0.010	0.10	0.004	3.945	**
	120	0.12	0.011	0.10	0.010	3.016	* ^{f)}
	Control	0.12	0.011	0.10	0.002	3.887	**
	140	0.11	0.008	0.10	0.007	3.235	*
	Control	0.11	0.005	0.08	0.029	2.437	*
$\delta_T^{b)}$	100	0.31	0.010	0.29	0.004	5.108	**
	Control	0.32	0.018	0.29	0.015	2.456	*
	120	0.33	0.019	0.32	0.029	0.522	— ^{g)}
	Control	0.33	0.018	0.29	0.009	3.510	**
	140	0.30	0.012	0.29	0.017	1.345	—
	Control	0.32	0.014	0.28	0.008	4.756	**
$\delta_\theta^{c)}$	100	0.18	0.06	0.17	0.05	0.358	—
	Control	0.16	0.06	0.15	0.03	0.157	—
	120	0.21	0.02	0.36	0.31	0.980	—
	Control	0.29	0.09	0.21	0.05	1.598	—
	140	0.13	0.06	0.17	0.03	1.102	—
	Control	0.19	0.07	0.35	0.35	0.894	—

Note : ^{a)} : Unit radial shrinkage ; ^{b)} Unit tangential shrinkage ; ^{c)} : Change in corner angles. ^{d-g)} : Refer to Table 3.

Table 8. Ratio of shrinkage of wetwood to those of normal wood.

	Temperature of heat treatment [°C]	Heat treatment		Control		<i>t</i> -value	
		Average	SD	Average	SD		
$\delta_R^{Wa}) / \delta_R^{Nb)}$	100	1.20	0.07	1.24	0.15	0.405	— ^{c)}
	120	1.24	0.18	1.23	0.13	0.071	—
	140	1.17	0.11	2.03	1.65	1.040	—
δ_T^W / δ_T^N	100	1.09	0.04	1.10	0.10	0.193	—
	120	1.04	0.10	1.12	0.06	1.373	—
	140	1.05	0.09	1.14	0.07	1.407	—
$\delta_\theta^W / \delta_\theta^N$	100	1.16	0.51	1.11	0.61	0.131	—
	120	0.88	0.38	1.14	0.71	0.624	—
	140	0.86	0.51	0.81	0.40	0.155	—

Note : ^{a, b)} Refer to Table 4. ^{c)} Refer to Table 3.

4. 結 論

トドマツ水食い部の人工乾燥時の熱負荷に相当する熱処理による静的曲げ特性、衝撃曲げ特性の変化、並びに乾燥収縮による変形を正常部と比較検討した。そして、以下の結果を得た。

1 静的曲げヤング率、静的曲げ強度および曲げ破壊に要する仕事は正常部の方が水食い部より大きい場合があったが、これは試験体のマッチングが半径方向に木取られたためと考えられ、静的曲げ特性に対する熱処理の影響の程度が水食い部と正常部で明確な差異は認められなかった。

2 衝撃曲げ強度および衝撃曲げ吸収エネルギーはいずれも正常部の方が水食い部より大きい場合があ

ったが、これは試験体のマッチングが半径方向に木取られたためと考えられ、衝撃曲げ特性に対する熱処理の影響が水食い部と正常部で差があったとは言えなかった。

3 収縮率は水食い部の方が正常部よりも大きい場合があったが、乾燥変形に対する熱処理の影響の程度は水食い部と正常部で大差なかった。

4 以上より、熱処理を受けたトドマツ材の物性は水食い部と正常部で大差ないと考えられる。従って、乾燥が適正に行われれば水食い部の物性は正常部と比較してほぼ同等であるということが示された。

謝 辞

本研究を行うに当たり御協力戴きました、北海道

森林管理局石狩森林管理署業務第一課長（現北海道森林管理局職員厚生課安全衛生係長） 島川芳政氏, 同千歳森林事務所森林官 菊地 誠氏, 独立行政法人森林総合研究所木材特性研究領域長（現研究評価科長） 平川泰彦氏に感謝致します。

文 献

- 1) 工藤 修：林産試だより 1989年4月号, 7-10 (1989).
- 2) 北村義重：北海道林業試験場時報 27号, 1-19 (1941).
- 3) 石田茂雄：北大農演報 17(2), 473-512 (1955).
- 4) 石井哲男, 深沢和三：北大農演報 44(4), 1277-1305 (1987).
- 5) 中嶋 厚：林産試だより 1999年12月号, 10-14 (1999).
- 6) 瀧澤忠昭, 沼田征志, 幡多輝昭, 上野英治：林産試験場報 9(2), 1-7 (1995).
- 7) 鎌田昭吉：林産試だより 1994年11月号, 10-17 (1994).
- 8) Ohsaki, H., Kubojima, Y., Tonosaki, M., Ohta, M.: *J. Wood Sci.* 53(2), 134-138 (2007).
- 9) Ohsaki, H., Kubojima, Y., Tonosaki, M., Ohta, M.: *Wood Fib. Sci.* 39(2), 232-240 (2007).
- 10) 太田正光, 浅野猪久夫, 岡野 健：木材学会誌 25(1), 7-13 (1979).
- 11) 大崎久司, 久保島吉貴, 外崎真理雄：木材工業 61(9), 395-398 (2006).
- 12) 吉本昌朗, 信田 聡：東大農演報 106号, 91-139 (2001).