スギ材の気体透過性[†] —生材丸太における心材・白線帯・辺材の気体透過性—

永井 智* 谷口 義昭**

Air Permeability in Wood of *Cryptomeria japonica* D. Don — Air Permeability in Heartwood, White Zone Wood and Sapwood in Green Logs —

by

Satoshi NAGAI* and Yoshiaki TANIGUCHI**

To compare and investigate the air permeability in heartwood, white zone wood and sapwood in green logs of *Cryptomeria japonica*, each of the points in the log specimen set in vacuum chamber was connected to mercury manometer, and the changes of pressures in those were measured in the stages of vacuuming. The several experiments were carried out at the different log conditions, i.e. the conditions of opening or sealing of transverse section, radial section and log surface were changed, and the air permeability of longitudinal, tangential and radial directions were investigated with respect to each of the points.

The results obtained were as follows.

- 1) The air permeability in white zone wood was remarkably high, in comparison with those in heartwood and sapwood.
- 2) In heartwood, the air permeation was scarcely detected for all of three directions whether the moisture content was high or low.
- 3) In white zone wood, the air permeability was high for both of longitudinal and tangential directions, and that of longitudinal direction was higher than that of tangential direction.
- 4) In sapwood, the air permeability of tangential direction was obviously higher than that of radial direction.
- 5) The air permeability in each of the points were graded on the basis of opening or not of radial section for slitting by saw, i.e. white zone wood (there is opening of radial section for slitting) $\geq$ white zone wood (there is not opening of radial section) $>$ sapwood (opening) $\gg$ sapwood (not opening) $\gg$ heartwood (both).

Key words: Air permeability, Heartwood, White zone wood, Sapwood, Green logs, *Cryptomeria japonica*

1 緒 言

木材中の気体透過性は、その物性を知るためだけでなく、木材の乾燥や薬剤注入処理の難易を評価するのに重要であり、従来から多くの研究が行われてきた。^{1)~4)} 透過の測定には心材あるいは辺材から切り出された無欠点の小試験片を供試材として用い、木材細胞壁中に存在する水分量、あるいは材内に透過させる気体中の水分量をコントロールしたうえで透過実験を行うのが一般的である。

一方、気体透過性に関連する研究として、実大材を用いたものもいくつか報告されている。これらの場合、水銀マンノメータに接続された管を試験体内に挿入し、その試験体を 1) 減圧缶内に設置し、減圧下におかれた材の内部圧力の経時変化を追跡、^{5)~7)} 2) 薬液中に浸せきし、薬剤注入中の材内圧力の経時変化を追跡、⁸⁾ といった手法が用いられている。これら実大材を用いた研究では、管はすべて軸方向ではなく横方向に挿入されるとともに、管から材の木口面あるいは側面までの距離をもとに内部

圧力を追跡することにより、それぞれの乾燥・薬剤注入方法が検討されている。

さて、我が国の代表的樹種であるスギは、その心材含水率が 40% 程度のもから 200% をこえるものまで様々である⁹⁾ ことから、その乾燥処理方法が問題となっている。一方、Nobuchi ら¹⁰⁾ は、スギ“白線帯¹¹⁾”に関する細胞学的研究の中で、含水率が辺材と白線帯の境界部で減少しはじめ、白線帯内でさらに低含水率となること、さらに、仮道管の有縁壁孔対の閉そくが辺材と白線帯の境界部で急激におこることを認めている。よって、スギ心材の乾燥が困難である理由として、有縁壁孔対の閉そく性の高さが心材の水分移動を困難にしており、かつ、心材をとり囲む白線帯の含水率の低さ、閉そく性の高さが、心材水分の半径方向への移動を一層困難にしている、という概念が一般に認識されてきた。近年におけるスギ材の壁孔閉そくと気体透過性の関係に関する研究¹²⁾ においては、心材および白線帯では、生材時の含水率あるいは壁孔閉そく率の高低にかかわらず、辺材と比較して気

[†] 原稿受理 平成 12 年 6 月 30 日 Received June 30, 2000

* 兵庫県立森林・林業技術センター 〒671-2515 兵庫県六栗郡山崎町五十波, Hyogo Pref. Forestry and For. Prod. Res. Inst., Harima-Yamasaki, Hyogo, 671-2515

** 正会員 奈良教育大学教育学部技術教育 〒630-8528 奈良市高畑町, Dept. of Tech. Education, Faculty of Education, Nara Univ. Education, Takabatake-cho, Nara, 630-8528

体透過性が低いという結果も得られている。しかしながら、実大材を用いてこれを定量的に検討した例はこれまでにない。

そこで、本研究では、スギ生材丸太を真空加圧缶内において減圧し、心材・白線帯・辺材各部における内部圧力の経時変化を追跡した。その目的は、第一に、これまでのスギ白線帯に関する一般的概念が事実であるかどうかを検証すること、第二に、スギ材の気体透過性に関連する既往の知見が、実大材（生材丸太）内においてどのように認められるかを検討すること、そして第三に、スギ心材・白線帯・辺材各部への気体の透過経路を検討し、スギ生材の乾燥機構を知るための基礎的データを得ることである。

2 実験方法

2・1 供試材

供試木には、兵庫県宍粟郡内の兵庫県立森林・林業技術センター実験林に育成するスギ（約30年生）2本を用いた。立木伐採後、胸高付近から樹高方向に長さ約1mの丸太を数本ずつ採取した。いずれの丸太も採取後直ちに両木口面をアルミ箔およびラップで覆い実験室に持ち帰った。供試前に長さを850mmに一定とし、供試材とした。

供試材の寸法、比重、含水率をTable Iに示す。含水率については、各供試材の両端から2枚ずつ円盤を採取し、以下の方法により算出した。すなわち、1枚は心材、

白線帯および辺材の各部位よりノミで切り出したブロックを用いて、全乾法により各部位の平均含水率を算出した。残る1枚については、円盤のままの状態で全乾法により含水率を算出し、これを丸太全体の含水率とした。なお、No. 1, 2およびNo. 3～5はそれぞれ同一の供試木から採取した供試材である。

2・2 木材内部の圧力測定方法

木材内部の圧力測定は、供試材にガラス管を挿入して行ったが、その際挿入部から空気がもれないようFig. 1に示す処理を行った。すなわち、はじめに木口面の心材、白線帯、および辺材の各1ヶ所に直径10mm、深さ50mmの穴をドリルであけた後、エポキシ樹脂で穴および木口面全体を充填、コーティングした(Fig. 1 (a))。樹脂が硬化した後、充填した樹脂の中央部を貫通する直径6mm、深さ100mmの穴をあけ、ガラス管（外径6mm、内径1mm）を挿入し、ガラス管と挿入口の間隙をエポキシ樹脂でふさいだ(Fig. 1 (b))。そして供試材を真空加圧缶（㈱ヤスジマ製）内に設置し、供試材に挿入したガラス管と缶体外の圧力測定用水銀マンオメータを一定長さ（3m）のナイロンチューブで接続した。ガラス管とナイロンチューブ、ナイロンチューブと水銀マンオメータの接続にはアスピレーターチューブを用い、その接続部もエポキシ樹脂で密封した(Fig. 1 (c))。そして室温下で缶内の圧力を40mmHg(±2mmHg) (5.333 ± 0.267KPa) に設定、減圧実験を開始し、各部の内部圧力の経時変化を追跡し

Fig. 1. Methods for measuring pressures in log specimens.

Table I. Outlines of log specimens.

No. of specimens	Length (mm)	Mean diameter (mm)	Specific gravity	MC in heartwood (%)	MC in white zone wood (%)	MC in sapwood (%)	Mean MC in log specimen (%)
1	850	170	0.85	98	66	223	160
2	850	165	0.84	96	66	219	154
3	850	179	0.82	64	61	227	150
4	850	173	0.80	63	59	221	145
5	850	168	0.79	57	60	208	141

Note : No. 1, 2 and No. 3~5 were obtained from the same trees respectively. MC : Moisture content.

た (Fig. 2). 供試前に算出した丸太全体の含水率 (Table I), および実験前後に測定した供試材の重量変化をもとに, 実験中に低下した含水率を算出した.

なお, ガラス管を挿入した3ヶ所の穴の位置は次のように決定した. 半径方向においては, 心材, 白線帯, 辺材それぞれのほぼ中心の位置とした. 接線方向においては, 丸太に背割りを施して実験を行う場合 (後述 (2・3節)) に備え, 木口面において背割りを施す予定の位置にあらかじめ線を印し, その線を基準に, 各穴の中心まで50mmの距離とした (Fig. 1 (c)).

また, 各接続部から空気もれていないことは以下の方法により確認した. 缶体外の各接続部については, 供試材接続前のナイロンチューブを缶内に設置, 減圧した時, マノメータの圧力が正常に低下していることにより確認した. 缶内の各接続部については, 実験終了後, マノメータが接続された状態の供試材を長さ約15cmに切断し, すべての露出面をエポキシ樹脂により密封した. 樹脂が硬化した後, 供試材を再び缶内に設置, 減圧することにより, 各部の圧力低下が認められないこと, すなわち実験中に缶内の各接続部において空気もれがなかったことを確認した.

2・3 実験条件

各供試材について, 木口面, まさ目面, 丸太側面の開放・密封の組み合わせを変えることにより, 5つの条件で実験を行った (Fig. 3). すなわち, はく皮して丸太側面を開放するとともに, 片木口面を開放した No. 1, はく皮して丸太側面を開放するとともに片木口面を開放し, さらに背割りを施しまさ目面も開放した No. 2, 片木口面のみを開放した No. 3, 片木口面およびまさ目面を開放した No. 4, 両木口面をエポキシ樹脂で密封し, まさ目面のみを開放した No. 5 である.

なお, No. 2, 4, 5 については2・2節で述べたとおり, あらかじめ木口面に印しておいた基準線に沿って, 元口側から末口側まで, そして樹皮側から髓に達する背割りを施すことによって, まさ目面開放とみなした.

また, はく皮していない供試材については, 丸太側面を密封しているとはみなしていない.

Fig. 2. An apparatus used for the experiments.

Fig. 3. Conditions of log specimens.

3 結果と考察

3・1 心材, 白線帯, 辺材における基本的透過性

はく皮し, 丸太側面を開放するとともに, 片方の木口面を開放した No. 1 の結果を Fig. 4 に示す. これによれば, 心材部の圧力は減圧実験開始時から48hr経過した終了時までほとんど変化していない. つまり, きわめて透過性が低いことがわかる. ところが, 白線帯部では実験開始直後から圧力が低下し, 低下速度もきわめて大きかった. すなわち, 白線帯の透過性がきわめて高いことが明らかとなった. 一方, 辺材部では実験開始から約5hr圧力変化が認められなかったが, その後わずかずつ低下しはじめた.

なお実験中に低下した全体含水率は約1.5%であった.

Fig. 4. Changes of pressures in log specimen (No. 1) in the stages of vacuuming.

No. 1では、各挿入管から反対側の木口面までの距離が同一であること、さらに、心材および白線帯では缶内への露出面が管挿入面とは反対側の木口面のみであることから、心材部および白線帯部から得られた圧力変化の結果は、軸方向におけるそれぞれの透過性を示していることが予想された。とくに心材に関しては、ほぼ缶内圧力に達している白線帯に周囲をとり囲まれているにもかかわらず、圧力変化がほとんど認められなかったことから、その透過性は、軸方向だけでなく半径方向もきわめて低いことが明らかとなった。一方辺材では、管挿入面とは反対側の木口面および辺材最外周部（丸太側面）が缶内に露出しているうえ、内部ではほぼ缶内圧力に達している白線帯と接している。つまり、実験開始後約5hr以降に認められた辺材部の圧力低下が、いずれの方向から気体が透過した結果によるのかは明らかでない。

3・2 各種条件下における各部の気体透過性

No. 1の実験により、心材、白線帯および辺材各部における圧力変化の傾向が得られた。そこで、本節では、供試材の木口面やまさ目面（背割り面）、あるいは丸太側面の開放・密封の条件を変えて実験を行うことにより、各部における軸方向、接線方向、および半径方向の透過性の比較を試みた。

はく皮し、丸太側面を開放するとともに、片方の木口面を開放し、さらに背割りを施すことによりまさ目面を開放したNo. 2の結果をFig. 5に示す。これは、まさ目面を開放することによって、2つの露出面（木口面およびまさ目面）から各部の挿入管までの距離を同一にした場合の圧力変化である。これによれば、心材部の圧力はNo. 1と同様に、減圧実験開始時から終了時までほとんど変化しておらず、きわめて透過性が低い。そして、白線帯部はNo. 1と同様、実験開始直後から圧力が急激に低下しており、透過性がきわめて高いことがわかる。ただし、実験開始初期の圧力低下速度はNo. 2の方がやや大きい傾向にあった。一方辺材部では、No. 1とは明らかに異なる圧力経過が認められた。すなわち、実験開始から約20minを経過した時点で圧力が低下しはじめたう

え、その後の圧力低下速度もNo. 1と比べて明らかに大きく、透過性がかなり向上していた。

なお実験中に低下した全体含水率は約2%であった。

No. 1とNo. 2の結果を比較した場合、背割りを施したNo. 2において、白線帯では多少なりとも、対して辺材では明らかな透過性の向上が認められた。そこで、これらの結果が背割りの効果によるものか、あるいは他の要因によるものかを明らかにするため、次に、同一の供試材から採取した3本の供試材（No. 3～5）を用いて以下の実験を行った。その結果をFig. 6に示す。

まず、心材についてであるが、No. 3～5では、No. 1, 2よりも心材含水率が明らかに低い（Table I）ものの、心材部の圧力は減圧開始時から終了時までほとんど変化しておらず、前述のNo. 1, 2と同様にきわめて透過性が低かった。次に、白線帯および辺材について、No. 3, 4の結果を比較する。どちらもはく皮せず、片方の木口面を開放しており、その違いはそれぞれ背割りがないか、あるかである。まず、白線帯部の圧力はNo. 3, 4ともに実験開始直後から急激に低下しており、前述のNo. 1, 2と同様、きわめて透過性が高いことがわかる。ただし、その低下速度はほぼ同様であり、背割りによるまさ目面開放の効果は明確には認められなかった。一方辺材部では、No. 1, 2と同様の傾向が認められた。すなわち、背割りを施していないNo. 3では、実験開始から数時間は圧力変化が認められず、その後緩やかに圧力が低下していたのに対し、No. 4では実験開始から数十分後に圧力が低下しはじめ、低下速度も大きかった。つまり、辺材では背割りによるまさ目面開放の効果が明らかに認められた。

No. 3とNo. 4の結果から、白線帯では背割りによるまさ目面開放の効果は認められなかったが、これに対して辺材では明らかにその効果が認められた。そこで、背割りによるまさ目面開放の効果が白線帯の透過性に影響しているのか否かを確認するため、さらに、辺材において接線方向の透過性が高かったNo. 4の結果を再検証するため、両木口面を樹脂で密封後、はく皮せず、背割りを施しまさ目面のみを開放したNo. 5により実験を行った（Fig. 6）。

これによれば、白線帯部の圧力は実験開始直後から急激に低下していたものの、No. 3, 4と比較した場合、圧力の低下速度が小さくなるという傾向が認められた。さらに辺材部の場合、両木口面が密封されているにもかかわらず、片方の木口面が開放されていたNo. 4よりも、むしろ高い透過性が認められた。

なお、実験中に低下した全体含水率は、No. 3～5いずれも1%未満であった。

以上の結果から、次のことが明らかとなった。

心材はいずれの実験においても実験開始時から終了時まで内部圧力がほとんど変化しておらず、きわめて透過性が低い。

一方白線帯は、No. 1, 2を比較した場合、背割りを施したNo. 2で透過性がやや向上しているものの、No. 3,

Fig. 5. Changes of pressures in log specimen (No. 2) in the stages of vacuuming.

Fig. 6. Changes of pressures in log specimens (No. 3~5) in the stages of vacuuming.

4では背割りの有無にかかわらず圧力低下傾向がほぼ同様であること、さらに両木口面を密封した No. 5 の圧力低下速度が No. 3, 4 よりも明らかに小さくなっていることから、軸方向、接線方向ともに透過性は高いものの、挿入管から木口面まで（軸方向）、および背割り面まで（接線方向）の距離を考慮しなくとも、軸方向の方が接線方向よりも明らかに透過性が高い。

そして辺材の場合、丸太側面および片方の木口面が開放され、かつ白線帯がほぼ缶内圧力に達している状態でも透過性の低かった No. 1, および片方の木口面が開放され、かつ白線帯がほぼ缶内圧力に達している状態でも透過性の低かった No. 3 と、背割りを施しまさ目面を開放した No. 2, 4 を比較した場合、挿入管からの接線方向（背割り面まで）の距離が 50mm であるのに対して、半径方向（丸太側面あるいは白線帯まで）の距離は 50mm 以下であったため、明らかに接線方向の方が半径方向よりも透過性が高い。

また、No. 4, 5 を比較した結果、木口面の開放・密封が辺材部の透過性に及ぼす影響は小さいものと思われた。すなわち、生材状態で含水率の高い辺材では、軸方向の透過性は低いものと推察される。

一方、樹皮の有無が各部の透過性に及ぼす影響に関しては、木口面やまさ目面の開放、密封が白線帯および辺材に及ぼす影響と比較した場合、明らかな傾向は認めら

れなかった。

No. 1 ~ 5 の結果をまとめて、減圧実験開始から 4hr, 24hr, そして 48hr 後における各部の内部圧力値を Table II に示す。白線帯部では、唯一両木口面を密封された No. 5 において、いずれの経過時間においても他の No. 1 ~ 4 と比較して明らかに大きい内部圧力値を示している。また、辺材部では、背割りのなし (No. 1, 3), あり (No. 2, 4, 5) で、実験開始から 24hr および 48hr 後の内部圧力値に顕著な差異が認められる。

3・3 気体透過性に関する既往の知見との比較

Fujii ら¹²⁾ は、スギ心材における仮道管有縁壁孔対の壁孔閉そくがしばしば完全でなく、閉そく率も個体間で異なることを認めた。さらに、心材物質が壁孔壁へ沈着することにより、心材形成中における壁孔閉そくが妨げられていると考えている。その一方、生材における含水率あるいは壁孔閉そく率の高低にかかわらず、さらに自然乾燥、凍結乾燥の違いにかかわらず、心材の気体透過性が凍結乾燥した辺材のそれと比較して著しく低かったとしている。¹²⁾ 実大生材で行われた本実験においても、含水率の高低にかかわらず、心材の透過性はきわめて低いものであった。

一方、白線帯の気体透過性はきわめて高いという結果が得られた。白線帯については、壁孔閉そく率の高低にかかわらず、心材と同様に透過性が低いという結果¹²⁾ と

Table II. Changes of pressures in each of the points in the logs in the stages of vacuuming.

No. of specimens	Changes of pressures in heartwood (mmHg (KPa))			Changes of pressures in white zone wood (mmHg (KPa))			Changes of pressures in sapwood (mmHg (KPa))		
	4hrs	24hrs	48hrs	4hrs	24hrs	48hrs	4hrs	24hrs	48hrs
1	760 (101)	735 (98)	727 (97)	143 (19)	46 (6)	40 (5)	760 (101)	660 (88)	567 (76)
2	760 (101)	760 (101)	737 (98)	84 (11)	44 (6)	40 (5)	520 (69)	99 (13)	46 (6)
3	760 (101)	745 (99)	736 (98)	111 (15)	45 (6)	43 (6)	753 (100)	607 (81)	430 (57)
4	758 (101)	750 (100)	750 (100)	94 (13)	42 (6)	41 (5)	617 (82)	196 (26)	74 (10)
5	759 (101)	759 (101)	760 (101)	215 (29)	70 (9)	64 (8)	599 (80)	155 (21)	76 (10)

比較した場合、実大生材を用いた本実験では全く異なる結果が得られたといえる。この理由としては、白線帯の有縁壁孔対の壁孔壁には心材物質が沈着している¹²⁾ものの、個々の有縁壁孔対によって壁孔壁への沈着物質の堆積の程度が異なる¹³⁾こと、さらに低含水率であることにより、気体が自由水の少ない仮道管内こう、および沈着物質の堆積の程度が小さい有縁壁孔対を選択的に透過することによって、高い透過性が得られたのではないかと推察される。

ここで、雨宮ら⁸⁾によるクレオソート温浴中のスギ丸太内における圧力測定結果には、興味深い記述がなされている。「クレオソート中加熱後1時間で、材の中心温度は小径木で60℃、大径木で40℃に過ぎないのに、中心の圧力はすでに最大に近く、大気圧より100～200mmHg高い圧力(約115～128KPa)に達しており、加熱をつづけて材の温度がそれ以上かなり上昇しても、圧力はあまり変化しないか、逆にしだいに低下してゆく場合が多い。ところが、表面から半径の1/2の深さの部分の圧力をみると、最大に達するのはやはりだいたい1時間であるが、その大きさは非常に小さく、大気圧より10～20mmHg高くなる(約103～104KPa)にすぎない」。これについて、今回の結果から考えられることは、材の中心部において測定した初期の内部圧力の高さは、まさに心材の透過性の低さを、これに対して表面から半径の1/2の深さの部分の圧力は、白線帯の透過性の高さを示しているのではなかろうか。また、中心温度が上昇した段階で中心部の圧力が低下したことについては、壁孔壁への沈着物質が材内温度の上昇に伴い溶脱し、有縁壁孔対の透過性が向上¹²⁾した結果であると考えることができる。雨宮らは白線帯については触れていないので、結論づけることはできないが、本結果からは上述のように推察される。

また、辺材では、壁孔閉そく率はきわめて低い^{10), 12)}ものの、水分量が多いため、軸方向、さらに丸太側面からの気体の透過が阻害されていると考えられる。中田ら¹⁴⁾は、辺材の生材含水率の高低と容積密度との間に反比例の関係があることを認め、辺材の含水率は飽水状態に近い値をとる傾向にあると考えている。また、雨宮ら⁵⁾は実験の結果、生材丸太表面から辺材内部への気体の透過はほとんどないか、わずかであるために、辺材の圧力変化にはほとんど影響を与えていないと考えている。本実験では、背割りを施すことにより、高含水率である辺材において接線方向の気体透過性が高いということを明らかにした。これに関しては、木材の組織構造的な異方性に関与していると考えられるが、その詳細な検討は今後にゆずる。また、No. 1, 3において、実験開始から数時間以降に認められた辺材部の圧力低下が、いずれの方向からの気体の透過によるかを明らかにする必要は大きいが、これに関しても今後の課題とする。

4 結 言

スギ白線帯は、その仮道管有縁壁孔対の閉そくにより透過性が低い、という概念が一般に認識されてきた。し

かしながら、実大材を用いてこれを定量的に検討した例はこれまでになかった。

そこで、本研究では、これまでのスギ白線帯に関する一般的概念が事実であるかどうかを検証するため、さらにスギ生材における心材・白線帯・辺材各部の気体透過性を実大材で比較検討するため、水銀マノメータに各部を接続した生材丸太を真空加圧缶内で減圧し、各部における内部圧力の経時変化を追跡した。

さらに、特定な材面、すなわち木口面やまさ目面(背割り面)、あるいは丸太側面の開放・密封の条件を変えて実験を行うことにより、各部における軸方向、接線方向、および半径方向の透過性を比較検討した。

本研究で得られた結果は以下の通り。

(1) 今回行ったすべての実験条件において、白線帯部の圧力は実験開始直後から急激に低下しはじめるとともに、その低下速度は、心材部、辺材部と比較して明らかに大きかった。すなわち、白線帯の透過性はきわめて高いということがわかった。

(2) 心材では、生材含水率の高低にかかわらず、いずれの方向の透過性もきわめて低かった。

(3) 白線帯では、軸方向、接線方向ともに透過性は高かった。ただし、軸方向の方が接線方向よりも明らかに高かった。

(4) 辺材では、接線方向の方が半径方向よりも明らかに透過性が高かった。

(5) 各部の透過性について、背割りの有無をもとに順位づけした場合、白線帯(背割りあり) ≥ 白線帯(背割りなし) > 辺材(背割りあり) >> 辺材(背割りなし) >> 心材(背割りあり、なし)であった。

参 考 文 献

- 1) 大越 誠, 中戸莞二, 材料, **28**, 572 (1979).
- 2) 河辺純一, 森 稔, 材料, **30**, 666 (1981).
- 3) J. F. Siau, "Transport Processes in Wood", Chap.3 (1984) Springer-Verlag.
- 4) Y. Kanagawa, T. Okuyama and Y. Hattori, Mokuzai Gakkaishi, **34**, 479 (1988).
- 5) 雨宮昭二, 井上 衛, 木材工業, **20**, 385 (1965).
- 6) 佐々木一久, 河辺純一, 森 稔, 九州大学農学部演習林報告, **57**, 245 (1987).
- 7) 谷口義昭, 西尾 茂, 木材学会誌, **39**, 357 (1993).
- 8) 雨宮昭二, 井上 衛, 林業試験場研究報告, **123**, 69 (1960).
- 9) 河澄恭輔, 小田一幸, 堤 壽一, 九州大学農学部演習林報告, **64**, 29 (1991).
- 10) T. Nobuchi and H. Harada, Mokuzai Gakkaishi, **29**, 824 (1983).
- 11) 黒鳥四朗, 日本林学会誌, **36**, 15 (1954).
- 12) T. Fujii, Y. Suzuki and N. Kuroda, IAWA J., **18**, 69 (1997).
- 13) Y. Sano and R. Nakada, IAWA J., **19**, 285 (1998).
- 14) 中田了五, 藤澤義武, 平川泰彦, 山下香菜, 木材学会誌, **44**, 395 (1998).