

【原著論文】

タイ東北部に植栽された5年生 *Eucalyptus camaldulensis* の成長と

パルプ特性に関連した木材性質の家系間変異

倉持 海音<sup>1</sup>・相蘇 春菜<sup>1,2</sup>・サピット ディロクスムブン<sup>3</sup>・田邊 純<sup>1,2</sup>・大島 潤一<sup>1</sup>・

石栗 太<sup>\*1</sup>・高島 有哉<sup>1</sup>・飯塚 和也<sup>1</sup>・横田 信三<sup>1</sup>・逢沢 峰昭<sup>1</sup>・大久保 達弘<sup>1</sup>

Among-family variation of wood properties relating to pulp qualities in 5-year-old *Eucalyptus camaldulensis*  
planted in the northeastern region of Thailand

Umito Kuramochi<sup>1</sup>, Haruna Aiso<sup>1,2</sup>, Sapit Diloksumpun<sup>3</sup>, Jun Tanabe<sup>1,2</sup>, Junichi Ohshima<sup>1</sup>, Futoshi Ishiguri<sup>\*1</sup>,  
Yuya Takashima<sup>1</sup>, Kazuya Iizuka<sup>1</sup>, Shinso Yokota<sup>1</sup>, Mineaki Aizawa<sup>1</sup>, and Tatsuhiko Ohkubo<sup>1</sup>

**要旨**：本研究では、タイ東北部において成長形質により選抜された、*Eucalyptus camaldulensis* の成長特性およびパルプ特性に関する木材性質の家系間変異を明らかにするために、5年生の *E. camaldulensis* 15家系90個体の胸高直径、樹高およびピロディン打込み深さを調査した。また、樹皮から2cm部位の容積密度、木繊維長およびリグニン量を測定した。木繊維長およびリグニン量を除く、成長形質および木材性質において、家系間に有意な差が認められた。成長形質および木材性質間の相関関係を調査した結果、胸高直径と樹高の間に高い相関関係が認められたが、胸高直径と容積密度、木繊維長およびリグニン量との間に、有意な相関関係は認められなかった。このことから、*E. camaldulensis* において、木材性質は成長形質とは独立した形質であり、また、成長形質により選抜されてきた家系から、パルプ特性に関する木材性質の優れた家系を選抜できることが明らかとなった。

**キーワード**：*Eucalyptus camaldulensis*、容積密度、木繊維長、リグニン量

**Abstract**: In the present study, stem diameter, tree height, Pilodyn penetration, and wood properties were investigated for clarifying the among-family variation of growth characteristics and wood properties related to pulp qualities in 90 trees from 15 families of 5-year-old *Eucalyptus camaldulensis* selected by tree breeding programs based on the growth characteristics in the northeastern region of Thailand. Basic density, wood fiber length, and lignin content were measured at 2 cm from the bark side. Significant differences among 15 families were found in stem diameter, tree height, Pilodyn penetration, and basic density. Stem diameter was significantly correlated with tree height, whereas no significant correlations were found between stem diameter and basic density, wood fiber length, or lignin content, suggesting that wood properties of this species are independent of growth characteristics. It is considered that the families with superior wood properties related to pulp qualities could be selected from the families already selected according to the growth characteristics.

**Keywords**: *Eucalyptus camaldulensis*, basic density, wood fiber length, lignin content

---

\*E-mail: ishiguri@cc.utsunomiya-u.ac.jp

<sup>1</sup> 宇都宮大学農学部 Faculty of Agriculture, Utsunomiya University, Utsunomiya 321-8505, Japan

<sup>2</sup> 東京農工大学大学院連合農学研究科 United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan

<sup>3</sup> カセサート大学森林学部 Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900 Thailand

2014年2月19日受付、2014年7月29日受理

## はじめに

近年、タイでは、急激な経済発展および人口増加に伴い、紙およびパルプの需要は年々増加傾向にある。一方、紙およびパルプの原料となる木材は、天然林保護の観点からも、既存の植林地において生産力の維持向上を図ることが重要であることが指摘されている(藤間2012)。そこで、安定的かつ効率的な木材の生産に関して、早生樹による方法が注目されている。

フトモモ科ユーカリ属に属する *Eucalyptus camaldulensis* Denhn. は、オーストラリア原産で、熱帯から温帯地域を中心に早生樹として植栽されており、タイにおいても主要な植林樹種である。タイでは、植栽後5~10年の短伐期で収穫され、主にパルプ材として利用されている。

パルプ特性には、組織構造や化学成分などの木材性質が深く関与していることが知られている(須藤1976; 大江1991; 岩崎2012)。例えば、容積密度は、パルプの品質および収量に大きな影響を与える因子であり、特に、単一種中における材密度の変動は、単位体積あたりのパルプ収率の変動に密接な関係を持つことが指摘されている(須藤1976)。また、早生樹から得られた材をパルプ原料として利用する場合、蒸解薬品などの使用量を節約するために、よりリグニン量が少ない材が求められる(岩崎2012)。

これまでに、パルプ特性に着目した、*E. camaldulensis* の材質育種に関するいくつかの研究が進められてきている(大島2007; 小名ら1995a, b)。しかしながら、タイにおいては、プラス木クローンもしくは家系の成長形質に関する研究が進められてきているが(Yodnam et al. 2010; Sungtong and Diloksumpun 2011)、木材性質に関する情報はそれほど多くない(Veenin et al. 2005; Ishiguri et al. 2012, 2013)。そのため、タイに植栽された *E. camaldulensis* について、主要な用途であるパルプ特性に関する材質育種の基礎情報として、木材性質の家系間変異を調査する必要がある。

本研究では、タイに植栽され、成長形質により選抜されている *E. camaldulensis* 15家系について、胸高直径、樹高、ピロディン打ち込み深さ、容積密度、木繊維長およびリグニン量について調査した。得られた結果から、各木材性質について家系間差を比較し、今後のパルプ原料のための材質育種の可能性について考察した。

## 材料と方法

## 供試林分

供試林分は、タイ国東北部、ナコンラチャシマ県にある、カセサート大学が所有する試験林(北緯14度29分52秒、東経101度56分16秒)である。この試験林は、ほぼ平坦地に造成された、*E. camaldulensis* 半家系次代検定林である(Sungtong and Diloksumpun 2011; Ishiguri et al. 2013)。この検定林は、オーストラリアおよびタイ国内でプラス木として選定された家系(120家系)を、家系あたり3個体8反復24個体となるように、乱塊法(植栽間隔1.5m×3m)により2006年に植栽して設定された。その後、検定林内において2010年に無作為間伐が行われ、2011年7月の調査および試料採取時には、家系あたり1個体8反復8個体となるように立木が残存していた。

## 成長形質およびピロディン打ち込み深さ

本研究では、植栽された家系のうち、樹木生理学的に特徴が認められた15家系(Sungtong and Diloksumpun 2011; Ishiguri et al. 2013)について、1家系あたり残存していた8個体のうち6個体、合計90個体を調査した。選定されたすべての個体について、胸高直径、樹高およびピロディン打ち込み深さを測定した。胸高直径(胸高: 1.3 m)は、直径巻尺を用いて、樹高は、バーテックス(VERTEX-3、Haglöf)を用いて測定した。ピロディン打ち込み深さは、ピロディン(バネ容量6J、Pilodyn、Proceq)を用いて、胸高部の樹皮の上から測定した。測定は、1個体につき3回ずつ行った。

## 木材性質

パルプ特性に関与している木材性質(容積密度、細胞長およびリグニン量)を調査するために、すべての個体について、樹皮側から長さ2 cmのコアサンプルを直径5 mmの成長錘(Haglöf)を用いて胸高部から採取した。

各個体から採取したコアサンプルを用いて、生材容積を浮力法により測定した。その後、105°Cで恒量に達するまで乾燥させ、全乾重量を測定した。容積密度は、全乾重量を生材容積で除することにより求めた。

木繊維長を測定するため、コアサンプルからマッチ軸状の試料を作製した。作製した試料は、Schulze氏液を加えて室温で一晩静置し、続いてブロックヒーターを用いて、70°Cで60分間加熱して解離した。得られた解離試料を用いて、一次プレパラートを作製した。木繊維長は、一次プレパラートを万能投影機で100倍に投影し、投影された木繊維の長さをデジタルノギスで測定した。なお、

1 個体につき、木繊維 50 本を測定した。

リグニン量は、Iiyama and Wallis (1988) の改良アセチルブロマイド法により定量した。全乾重量 5 mg の脱脂試料に、70 % 過塩素酸 0.2 mL を含む 25 % (w/w) アセチルブロマイド酢酸溶液を加え、ブロックヒーターを用いて 70°C で 30 分間加熱した。反応液は、あらかじめ 2M 水酸化ナトリウム 10 mL および酢酸 20 mL の入った 100 mL 容メスフラスコに移し、さらに酢酸を加え、溶液の全量を 100mL とした。処理した反応溶液は、分光光度計 (V-650、日本分光) を用いて、試料の入っていない反応液 (ブランク溶液) を対照とし、280 nm における吸光度を測定した。試料のリグニン量を、測定した吸光度から次式により求めた。

$$\text{リグニン量 (\%)} = (100 \times A \times V) / (20.091 \times w)$$

ここで、A は吸光度 280 nm における吸光度、V (mL) は反応液の体積、W (g) は試料の重量である。

### 統計処理

家系間差を明らかにするために、表計算ソフトウェア (Microsoft Excel 2007) を用いて、家系を要因とした一元配置の分散分析を行った。

## 結果と考察

### 成長形質

表-1 に、*E. camaldulensis* 15 家系における胸高直径および樹高の平均値を示した。全個体の平均値および標準偏差は、それぞれ 10.3±1.3 cm および 15.1±1.6 m であった。胸高直径について大きな値を示した家系は、家系 203 であり、小さな値を示した家系は 996 であった。また、樹高は、家系 236 で最大、家系 996 で最小であった。一元配置の分散分析の結果、胸高直径および樹高について家系間に有意な差が認められた (表-1)。このことから、すでに成長形質により選抜された家系から、さらに優れた成長形質をもつ家系を選抜できる可能性が明らかとなった。

### ピロディン打ち込み深さおよび容積密度

各家系におけるピロディン打ち込み深さの測定結果を表-1 に示す。ピロディン打ち込み深さは、家系 184 で最も大きな値 (18.3±0.6 mm) を示し、家系 88 で最小値 (16.0±2.0 mm) を示した。全個体の平均値および標準偏差は、

表-1 胸高直径、樹高およびピロディン打ち込み深さに関する家系平均値

家系	胸高直径 (cm)		樹高 (m)		ピロディン打ち込み深さ (mm)	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD
26	11.1	0.6	15.8	1.6	16.3	0.9
61	11.2	1.4	15.6	2.4	17.1	0.9
64	10.1	0.8	14.0	1.2	17.1	0.9
88	10.4	0.7	14.9	0.9	16.0	2.0
99	9.9	0.6	14.8	0.7	16.3	0.9
126	9.6	1.3	15.2	1.4	17.2	1.0
129	10.5	0.9	15.1	1.3	17.7	1.0
155	10.0	0.9	14.9	1.6	17.4	0.7
179	9.5	0.6	14.4	1.3	16.6	0.5
184	10.9	1.4	14.4	1.8	18.3	0.6
203	11.3	1.0	16.0	1.2	18.1	1.4
219	10.7	1.1	15.2	1.6	16.3	1.0
227	9.9	2.0	14.6	1.3	16.6	1.7
236	11.1	1.5	17.3	1.7	17.3	1.5
996	8.8	1.3	13.6	1.4	16.2	1.2
全体	10.3	1.3	15.1	1.6	17.0	1.3
分散比	2.515 (0.01)		2.272 (0.01)		2.227 (0.01)	

注：SD は標準偏差。各家系 6 個体、合計 90 個体のデータ。分散比の後の括弧内は有意水準を示す。

それぞれ 17.0±1.3 mm であった。また、家系間で有意な差が認められた。

容積密度の全個体の平均値および標準偏差は、0.57 ± 0.05 g/cm<sup>3</sup> であった (表-2)。容積密度は、家系 227 で最大値 (0.61 ± 0.04 g/cm<sup>3</sup>)、家系 126 で最小値 (0.51 ± 0.03 g/cm<sup>3</sup>) を示した。ベトナムに植栽された、5 年生 *E. camaldulensis* クローンにおける容積密度の平均値および標準偏差は、0.52 ± 0.02 g/cm<sup>3</sup> であることが報告されている (Kien et al. 2010)。Veenin et al. (2005) は、タイ東部に植栽した 5 年生 *E. camaldulensis* 5 クローンの容積密度について、地上高 50 cm 部位で測定した。その結果、5 クローンの容積密度は、それぞれ 0.70±0.06、0.65±0.06、0.61±0.05、0.70±0.06、0.73±0.05 g/cm<sup>3</sup> であったことを報告している。本研究で得られた結果は、Kien et al. (2010) が報告した値と較べて同等ないしやや高い値を示し、Veenin et al. (2005) が報告した値と比較してやや低い値を示した。一方、分散分析の結果、家系間に有意な差が

表-2 樹皮側2 cmの木材性質における家系毎の平均値

家系	容積密度 (g/cm <sup>3</sup> )		木繊維長 (mm)		リグニン量 (%)	
	平均	SD	平均	SD	平均	SD
26	0.58	0.04	0.93	0.07	28.1	3.2
61	0.58	0.04	0.95	0.04	29.6	3.2
64	0.58	0.03	0.96	0.05	29.2	2.5
88	0.59	0.06	1.01	0.07	28.9	4.2
99	0.59	0.07	0.88	0.06	26.2	1.6
126	0.51	0.03	0.92	0.07	29.4	2.5
129	0.53	0.04	0.92	0.08	29.9	1.4
155	0.54	0.04	0.91	0.07	30.0	1.9
179	0.58	0.04	0.94	0.05	27.6	1.8
184	0.54	0.03	0.93	0.03	29.4	2.2
203	0.56	0.03	0.94	0.04	27.3	2.4
219	0.59	0.03	0.93	0.02	30.0	1.9
227	0.61	0.04	0.97	0.08	29.6	2.4
236	0.57	0.05	0.95	0.04	30.8	2.1
996	0.57	0.02	0.97	0.05	28.6	2.7
全体	0.57	0.05	0.94	0.06	29.0	2.6
分散比	2.460 (0.01)		1.787 (0.06)		1.440 (0.16)	

注：SDは標準偏差。各家系6個体、合計90個体のデータ。分散比の後の括弧内は有意水準を示す。

認められた(表-2)。一般に、容積密度は、パルプの品質および収量に大きな影響を与えることが知られており、特に単一種中における材密度の変動は、単位体積あたりのパルプ収率の変動に密接な関係を持つことが指摘されている(須藤1976)。このことから、これまでに成長形質により選抜された家系の中から、高い容積密度をもつ家系を選抜することにより、パルプ収率の高い家系を選抜できる可能性がある。

ピロディン打ち込み深さは、木材の密度と深く関係していることが知られている(石栗ら2006;山下ら2007)。また、立木に対して樹皮の上から測定した場合にも、両者に有意な相関関係が認められることが報告されている(井城ら2009; Wu et al. 2010)。Wu et al. (2010)は、中国南部で植栽された数種のユーカリ交雑種の立木の調査において、ピロディン打ち込み深さと容積密度の間に、負の相関関係が認められたことを報告している。本研究においても、ピロディン打ち込み深さと容積密度の間に負の相関が認められた(図-1)。このことから、若齢時の*E. camaldulensis*において、樹皮の上から測定したピロデ

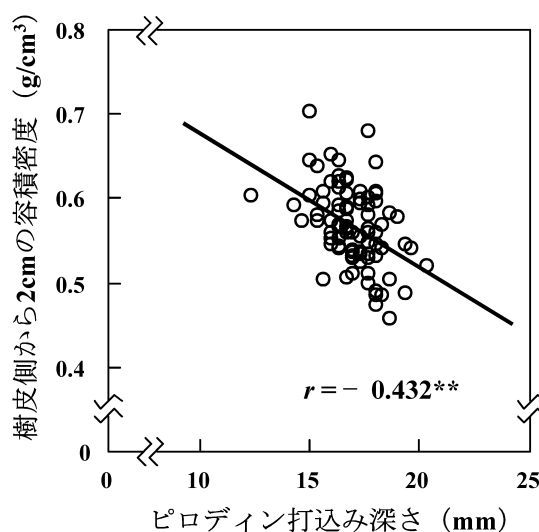


図-1 ピロディン打ち込み深さと容積密度の相関関係。  
r: 相関係数、n: 90、\*\*1%水準で有意。

イン打ち込み深さの値から、非破壊的に容積密度を推定できることが可能であり、容積密度の高い個体の選抜にあたって、ピロディン打ち込み深さを指標とできる可能性が示唆された。

### 木繊維長

各家系における木繊維長の平均を表-2に示した。全個体の平均値および標準偏差は、 $0.94 \pm 0.06$  mmであった。木繊維長は、家系88において最大( $1.01 \pm 0.07$  mm)であり、家系99で最小( $0.88 \pm 0.06$  mm)であった。大島(2007)は、14年生*E. camaldulensis*の胸高部位(1.3 m)における木繊維長の平均値は、0.654 mmであったことを報告している。また、5年生*E. camaldulensis* 5個体における木繊維長の平均は、樹皮側で約0.9~1.2 mmであったことが報告されている(Veenin et al. 2005)。本研究で調査した*E. camaldulensis*は、既往の報告と比較して、木繊維長についてはほぼ同等の値であった。

一般に、木繊維長は、紙の強度に影響を与えることが指摘されており、木繊維が長くなればなるほど、紙の引裂き強さが増加することが知られている(須藤1976)。本研究において、分散分析の結果、木繊維長については、家系間に有意な差は認められなかった。木繊維長は、熱帯の早生樹においても、髄から樹皮側に向かって増加し、安定した値を示すことが知られている(Ishiguri et al. 2007; Kojima et al. 2009)。本研究では、樹皮側から2 cm部位からのみ試料を採取し、木繊維長を測定した。その

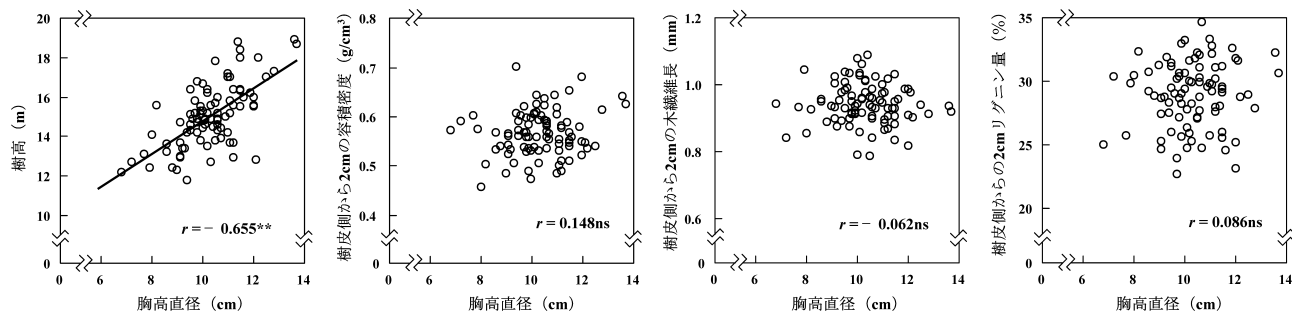


図-2 胸高直径と樹高および樹皮側から2 cmの木材性質との相関関係。 $r$  : 相関係数、 $n$  : 90、\*\*1%水準で有意、ns : 非有意。

ため、木繊維長の変動が小さい値を示す部位において試料を採取したと考えられ、このことが、木繊維長において家系間に有意な差が認められなかった原因かもしれない。しかしながら、得られた分散比の有意水準は0.06であったことを考えると、木繊維長に着目した育種は十分可能であると考えられる。

### リグニン量

表-2に、改良アセチルブロマイド法 (Iiyama and Wallis 1988) を用いて測定した、各家系におけるリグニン量の測定結果を示した。全個体の平均値は、 $29.0 \pm 2.6\%$ であり、最大値は $30.8 \pm 2.1\%$ (家系236)、最小値は $26.2 \pm 1.6\%$ (家系99)であった。また、分散分析を行った結果、リグニン量に家系間差は認められなかった(表-2)。Iiyama and Wallis (1988)は、12年生 *E. regnans* から得られた木粉を用いて、2つの異なる手法によりリグニン量を測定した。その結果、リグニン量は、クラークソン法で27.8%、改良アセチルブロマイド法では、27.5%であったことを報告している。また、14年生 *E. camaldulensis* (胸高部位1.3 m)のクラークソンリグニン量は、22.3%であったことが報告されている(小名ら1995a)。本研究で得られた結果は、既往の研究と比較してやや高い値を示した。この理由として、材中に含まれるフェノール性化合物を中心とした、抽出成分の残存が考えられる (Bland and Menshun 1971 ; Iiyama and Wallis 1988)。

一般に、早生樹から得られた材をパルプ原料として利用する場合、蒸解薬品を節約するために、よりリグニン量が少ない材が求められる(岩崎2012)。本研究においては、リグニン量において有意な家系間差が認められなかった(表-2)。このことから、成長が良好かつ容積密度の高い家系を選抜した場合、リグニン量は大きな差がなく、パルプ収率が高い家系を選抜できる可能性が示唆された。

### 各指標間の相関関係

図-2に、本研究で調査した、全90個体における胸高直径と樹高、容積密度、木繊維長およびリグニン量との相関関係を示した。このうち、胸高直径と樹高との間に、有意水準1%で高い正の相関が認められた。このことから、本研究で用いた *E. camaldulensis* の90個体については、胸高直径の大きい個体は、樹高も高い値を示すことが示唆された。一方、容積密度、木繊維長、およびリグニン量は、胸高直径との間に相関関係は認められなかった。このことから、*E. camaldulensis*の木材性質は、肥大成長とは独立した形質であると考えられる。Ishiguri et al. (2013)は、本研究で対象とした *E. camaldulensis* 次世代検定林において、胸高直径と樹幹のヤング率と相関関係にある、立木の応力波伝播速度との間に有意な相関関係は認められないことから、ヤング率は、成長形質と独立した形質であることを指摘している。以上のことから、*E. camaldulensis* においては、肥大成長速度が早くなると、木材性質は必ずしも低下するとは限らず、また、優れた成長形質をもつプラス木の中から、パルプ用材に適した木材性質をもつ有用家系を選抜できることが示唆された。

### まとめ

本研究では、タイに植栽された、*E. camaldulensis* のパルプ特性に関する木材性質の家系間変異を明らかにするために、1家系あたり6個体、15家系合計90個体の胸高直径、樹高、ピロディン打ち込み深さ、容積密度、木繊維長およびリグニン量を調査した。

調査した全90個体の胸高直径、樹高、ピロディン打ち込み深さ、容積密度、木繊維長およびリグニン量の平均値および標準偏差は、それぞれ  $10.3 \pm 1.3$  cm、 $15.1 \pm 1.6$  m、

17.0±1.3 mm および 0.57±0.05 g/cm<sup>3</sup>、0.94±0.06 mm およ  
び 29.0±2.6 %であった。

木繊維長およびリグニン量を除く、すべての形質にお  
いて、家系間に有意な差が認められた。また、木繊維長  
においても、分散比の有意水準は 0.06 であった。さらに、  
ピロディン打込み深さと樹皮側から 2 cm 部位の容積密度  
との間に有意な負の相関関係が認められ、容積密度の高  
い個体の選抜にあたって、ピロディン打込み深さを指標  
とできる可能性が示唆された。これらのことから、成長  
形質により選抜されたプラス木の家系の中からでも、さ  
らに成長が優れ、ピロディン打込み深さの値が小さい家  
系を選抜することにより、パルプ収率の高い家系を選抜  
できる可能性が示唆された。

胸高直径と樹高の間に、有意な相関関係が認められ  
たが、胸高直径と木材性質との間には、有意な相関関係は  
認められず、木材性質と成長形質は、互いに独立してい  
ることが明らかとなった。このことから、*E. camaldulensis*  
においては、肥大成長速度の早いプラス木家系の中から、  
パルプ用材に適した木材性質を有する家系を選抜できる  
可能性が示唆された。

## 謝 辞

タイでの現地調査にご協力頂いた、カセサート大学森  
林学部大学院生 Chanita Thongfak 氏および Thippawan  
Sungtong 氏に感謝を申し上げます。

## 引用文献

Bland DE, Menshun M (1971) Determination of total lignin and polyphenol in eucalypt woods. *Appita* 25: 110–115

Iiyama K, Wallis AFA (1988) An improved acetyl bromide procedure for determining lignin in woods and wood pulps. *Wood Science and Technology* 22: 271–280

井城泰一・田村明・西岡直樹・阿部正信・飯塚和也 (2009) トドマツ精英樹等クローンにおける容積密度の樹高方向での変動とピロディンを用いた非破壊的評価. *木材学会誌* 55: 18–28

石栗太・榮澤純二・齋藤康乃・飯塚和也・横田信三・吉澤伸夫 (2006) 異なる樹齢及び地上高から採取されたヒノキ小径丸太の木材性質の比較. *木材学会誌* 52: 383–388

Ishiguri F, Eizawa J, Saito Y, Iizuka K, Yokota S, Priadi D,

Sumiasri N, Yoshizawa N (2007) Variation in the wood properties of *Paraserianthes falcataria* planted in Indonesia. *IAWA Journal* 28: 339–348

Ishiguri F, Iizuka K, Tanabe J, Wedatama S, Yokota S, Yoshizawa N, Diloksumpun S (2012) Solid wood properties of *Eucalyptus camaldulensis* planted for pulpwood production in Thailand. *Wood and Fiber Science* 44: 108–110

Ishiguri F, Diloksumpun S, Tanabe J, Iizuka K, Yokota S (2013) Stress-wave velocity of trees and dynamic Young's modulus of logs of 4-year-old *Eucalyptus camaldulensis* trees selected for pulpwood production in Thailand. *Journal of Wood Science* 59: 506–511

岩崎誠 (2012) パルプ利用. 岩崎誠・坂志朗・藤間剛・林隆久・松村順司・村田功二編, 早生樹 産業植林とその利用. 海青社, 大津, pp129–162

Kien ND, Jansson G, Harwood C, Almqvist C (2010) Clonal variation and genotype by environment interactions in growth and wood density in *Eucalyptus camaldulensis* at three contrasting sites in Vietnam. *Silvae Genetica* 59: 17–28

Kojima M, Yamamoto H, Yoshida M, Ojio Y, Okumura K (2009) Maturation property of fast-growing hardwood plantation species: A view of fiber length. *Forest Ecology and Management* 257: 15–22

大江礼三郎 (1991) パルプの原料. 大江礼三郎・臼田誠人・上埜武夫・尾鍋史彦・村上浩二共著, 木材の利用 3: パルプおよび紙. 文永堂出版, 東京, pp9–15

大島潤一 (2007) ユーカリにおけるパルプ特性に関する材質の樹幹内変異. 宇都宮大学農学部演習林報告 43: 1–105

小名俊博・園田哲也・伊藤一弥・柴田 勝 (1995a) ユーカリの材質育種における選抜指標抽出に関する研究 (第3報) : *E. camaldulensis*, および *E. globulus* におけるリグニン含有率, およびリグニン S/G 比の樹幹内変異と標準値を示す位置について. *紙パルプ技術協会誌* 49: 967–974

小名俊博・園田哲也・伊藤一弥・柴田 勝 (1995b) ユーカリの材質育種における選抜指標抽出に関する研究 (第5報) : *E. camaldulensis*, *E. globulus* における容積重, および材質含有率の樹幹内変異と標準値を示す位置について. *紙パルプ技術協会誌* 49: 1227–1234

須藤彰司 (1976) 木材の組織と木材およびパルプなどの性質. 島地謙・須藤彰司・原田浩共著, 木材の組織. 森北出版, 東京, pp210–215

Sungtong T, Diloksumpun S (2011) Variations in physiological

- characteristics of different *Eucalyptus camaldulensis* Denhn. half-sib families. Thai Journal of Forestry 30: 1–13
- 藤間剛 (2012) 早生樹産業植林の概要. 岩崎誠・坂志朗・藤間剛・林隆久・松村順司・村田功二編, 早生樹 産業植林とその利用. 海青社, 大津, pp7–34
- Veenin T, Fujita M, Nobuchi T, Siripatanadilok S (2005) Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. IAWA Journal 26: 353–361
- Wu SJ, Xu JM, Li GY, Risto V, Lu ZH, Li BQ, Wang W (2010) Use of the Pilodyn for assessing wood properties in standing trees of *Eucalyptus* clones. Journal of Forestry 21: 68–72
- 山下香菜・岡田直紀・藤原健 (2007) ピロデインを用いた容積密度推定法とスギ生材丸太のクラス分けへの応用. 木材学会誌 53: 72–81
- Yodnam S, Wachrinrat C, Diloksumpun S (2010) Progeny test of second generation *Eucalyptus camaldulensis* Denhn. at Wang Nam Kiao forestry student training station. Thai Journal of Forestry 29: 37–49