

スギ板材の乾燥前選別における心材色および心材率測定の自動化

誌名	愛媛県林業技術センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Prefectural Forest Research Center
ISSN	13489534
著者名	武智,正典 林,和男 杉森,正敏 高橋,知也 青木,優 Diao,X.
発行元	愛媛県林業技術センター
巻/号	25号
巻号補足	
掲載ページ	p. 11-17
発行年月	2006年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



〈資料〉

スギ板材の乾燥前選別における心材色および心材率測定の実自動化

武智正典, 林 和男^{*1}, 杉森正敏^{*1}, 高橋知也^{*2}, 青木 優^{*3}, 刁 秀明^{*4}

Masanori TAKECHI, Kazuo HAYASHI, Masatoshi SUGIMORI,

Tomoya TAKAHASHI, Suguru AOKI and Xiuming DIAO

スギ板材を効率的に乾燥するためには、乾燥前に心材色を赤心と黒心に選別し、その後黒心の心材率を約60%で選別する方法が有効であると考えられている。しかし、選別因子である心材色と心材率の判定は乾燥技術者の目視で実施されているため、選別を自動化するためには心材色と心材率を効果的に測定する方法が求められる。本研究では、心材色を色彩色差計によりL*a*b*表色系で測色し、赤心と黒心を判別する方法と、心材率を木口面の画像情報から算出する方法について検討した。その結果、心材色は判別分析を用いることにより、約95%が目視と同じ心材色に選別できることがわかった。また、この方法による心材色と目視の心材率からスギ板材を2グループに選別し、それぞれ異なる乾燥スケジュールで乾燥した結果、約95%の高い乾燥歩留まりが得られた。心材率については画像情報から得られた心材率で目視の心材率を推定できることがわかった。これらのことから、スギ板材の乾燥前選別における心材色および心材率の測定は自動化できると考えられた。

キーワード — スギ板材、選別、心材色、心材率

1. 緒言

スギの乾燥が困難な理由の一つには、生材含水率のバラツキが個体間、および個体内でも大きいことが挙げられる。また、スギには黒心とよばれる心材部が黒化する材があり、このことが乾燥をさらに難しくしている。

このため、スギを同一の乾燥スケジュールで乾燥すると、乾燥後の歩留まりが低くなり、また含水率のバラツキも大きくなる。乾燥歩留まりの向上と含水率のバラツキを減らすためには、乾燥前に選別を行い、それぞれのグループ毎に乾燥スケジュールを変えることが有効である。

選別の方法に関しては、柱材では生材密度で選別する方法（越智・武智，2003）や、木口面の明度情報で乾燥性の関係を検討した例（信田ら，2000）がある。また富田（2003）は乾燥前の選別因子と

して、重量が最も有効で、木口全体の濃度も乾燥難易を示す一つの因子となり、黒心材の選別も重要であると報告している。

一方、池田・小玉（2001）は、柱材の生材重量の選別を実践し、コスト低減を図っており、さらに重い材に関しては黒心材・心材率を用いて選別を実施している。柱材の場合は重量選別が最も簡便な方法であり適用性も高いため、板材においても河野・城井（1998）は、重量で選別することにより効率的な乾燥条件が設定可能としているが、大規模工場で僅かに実施されているにすぎない。板材は、木取り方法が柱材と異なり、かつ心材部分が木口面、材面に一様に分布していない。心材と辺材では含水率及び乾燥特性が異なるため、重量だけでは選別効果は低くなる。

Sugimori et al. (2001) はスギ板材の生材密

*1 愛媛大学農学部

*2 愛媛大学農学部生物資源学科 森林資源利用システム、(現) 中国木材株式会社

*3 愛媛大学農学部生物資源学科 森林資源利用システム、(現) 永大産業株式会社

*4 久万広域森林組合

度と心材率をクラスター分析の手法を用いて分類し、それらと乾燥特性との関係を報告している。また、青木ら(2004)は、同様の手法を用いて重量および心材率、心材色で選別した場合の乾燥歩留まりを検討している。Sugimori et al. (2006)は、初期含水率、生材重量、心材色、心材率はクラスター分析により分類可能であり、特に乾燥前に心材色(赤心と赤心以外)で選別し、その後赤心以外を心材率約60%で選別(以後2段階選別という)すれば、高い乾燥歩留まりが得られることを示した。また、高橋ら(2005)は前述の方法で選別されたグループ毎に、異なる乾燥スケジュールで乾燥を行い、この選別方法の有効性を実証している。しかし、これらの選別方法に用いた心材色および心材率は、乾燥技術者の目視(以後目視という)により判定している。

本研究では、心材色を色彩色差計で測定し、判別分析を用いて心材色を選別した場合の乾燥結果を報告する。また、心材率を木口面の画像情報から算出し、選別の自動化の可能性を検討した。

なお、本研究は、「画像解析によるスギ、ヒノキミナ自動選別技術開発研究」(平成15~17年度、強い林業・木材産業づくり交付金)のなかで実施した。

2. 材料と方法

2.1 色彩色差計による心材色の判別

久万広域森林組合父野川事業所において、製材後両木口を丸鋸で切断した直後のスギ板材(材長3.0m、材幅120mm、材厚36mm)812枚を用い、元口心材色を、携帯式色彩色差計(MINOLTA CR-300 スポット径8mm)を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系で測色した。同時に目視で、赤心・黒心・茶心(赤心と黒心以外)に選別を行ったが、茶心と黒心には乾燥後の含水率に差が認められない(Sugimori et al, 2006)ことから、茶心と黒心をあわせて以後黒心とし、判別分析を行った。得られた判別関数から、別のスギ板材(材長3.0m、材幅120mm、材厚36mm)220枚を赤心と黒心に選別

した。

2.2 乾燥試験

愛媛県林業技術センターのIF式蒸気式乾燥機(日本電化工機株式会社製)を用い、2.1で選別された赤心と黒心の目視心材率(2.3の目視による方法で、両木口の平均)が60%以下を赤心スケジュールで乾燥し、残りの黒心の目視心材率が60%より大きいものを黒心スケジュールで乾燥し、心材色を色彩色差計で測定する方法の有効性を検討した。

赤心スケジュールは初期温度65℃、末期温度80℃とする5日間の乾燥、また黒心スケジュールは初期温度60℃、末期温度80℃とする7日間の乾燥で、両スケジュールとも調湿は実施しなかった。

乾燥後の含水率は、両木口から50cm内側、及び中央の部分の厚さ2cmの切片から、全乾法により求め、3箇所の平均含水率を乾燥後の含水率とした。

なお、乾燥歩留まりは、含水率20%以下が全体に占める割合とした。

2.3 木口面画像情報による心材率の算出

2.1と同じ220枚のスギ板材の内、黒心に選別された材の両木口を、家庭用デジタルカメラ(画像サイズ2048×1536ピクセル)で撮影した。撮影は撮影台の上と背景に青色紙を配置し、その中にスギ板材を木口面から約10cm露出させた。板材の両側面にはカラー撮影用照明を当て、木口部分は白黒撮影用照明を当てた(写真-1)。

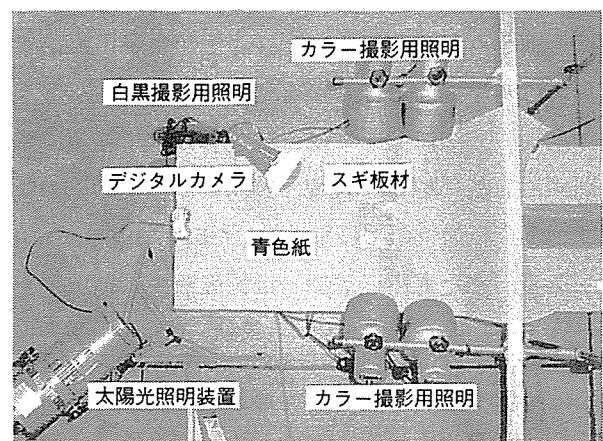


写真-1 撮影方法

心材率の測定に関して、寺岡ら(2000)はスギ板材の木口面の画像から心材率測定の前自動化を検討し、肉眼の心材率と高い精度が得られたと報告している。また柱材でも富田(2003)が心材率の前自動化を検討している。

本研究では、2段階選別の方法から赤心以外の心材率を求めればよいので、簡易な方法でも高い精度が得られる可能性がある。そこで、今回は市販の画像解析ソフト（Paint Shop Pro 9）を用い、心材率の算出を試みた。

心材率の算出は以下のとおり実施した。

- 1) 両木口面の画像をR,G,Bに分割し、B成分画像からガウス処理をした後、閾値を2段階に設定し、それぞれ2値化した。得られたピクセル数を木口面積とした。
- 2) 両木口面の画像のヒストグラムを0から255に引き伸ばし、ガウス処理を行う。次に閾値を4段階に設定し、それぞれ2値化した。得られたピクセル数を心材面積とした。
- 3) 木口面積と心材面積から心材率（両木口の平均）を算出した。また算出された心材率が100%より大きいものは100%とし、目視での心材率と最も一致する閾値の組み合わせを検討した

なお、目視の心材率は撮影した同じ画像から、手動で木口部分と心材部分を抽出し、ピクセル数の比で算出した。

2.4 黒心が乾燥歩留まりに与える影響

2段階選別では、まず赤心と黒心に選別する必要がある。黒心は大きく分けて3つのタイプ（遺伝的な要素で発現するタイプ・傷害による刺激で発現するタイプ・暗色枝枯病の菌が原因で発現するタイプ）に大別される（森林総合研究所・農林水産技術会議事務局，1995）。このため、地域や品種により黒心の発生率が異なり、このことが乾燥歩留まりに影響することが考えられる。そこで、久万広域森林組合父野川事業所において、製材直後のスギ板材（材長3.0m、材幅120mm、材厚36mm、16,320枚；材長3.0m、材幅135mm、材厚36mm、8,092枚）24,412枚について、棧積みされ

た状態の木口の心材色を目視で黒心と赤心に判定し、黒心の出現率を調査した。また、黒心の率が乾燥歩留まりに与える影響を検討した。

3. 結果と考察

3.1 心材色の判別分析

目視心材色と色彩色差計による $L^*a^*b^*$ との関係を図-1に示した。

目視で赤心と判断した材は407枚で、心材 $L^*a^*b^*$ の平均値はそれぞれ48.6、16.1、27.3であった。また同様に目視で黒心と判断した材は405枚で心材 $L^*a^*b^*$ の平均はそれぞれ34.1、11.7、20.3であった。

スギ心材色の L^* と心材含水率との関係では、心材の L^* が低いものは心材含水率が高いことが知られている（平川ら，2003；平川，1997；藤原ら，1989；河澄ら，1991；林野庁，1997）。しかし、これらの心材色は、気乾状態での材面の心材色を測定した例である。また、阿部(1995)は製材後のスギ板目、柃目面を色彩計により追跡し、典型的な赤心の L^* は65以上であり、典型的な黒心の L^* は50以下と報告している。今回の赤心・黒心の L^* はこれらより低かったが、これは鋸断した木口面を測定していることが大きく影響しているものと思われる。

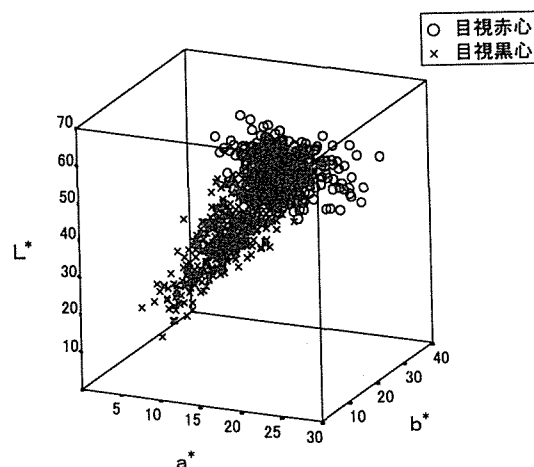


図-1 目視心材色と $L^*a^*b^*$ との関係

スギ板材を選別する場合、材面に現れる心材部を特定することや、また製材後に黒く変色するものも多いため、測定箇所を特定することが困難である。そのため、選別に関する心材色の判定には木口面を対象としており、材色は既知の報告と単純に比較検討できない。

また、黒心の定義は地域により異なり、また原木市場での判断や製材所、さらに大工・工務店でも判断が異なる。今回の目視による心材色の判断は乾燥歩留まりを主眼にしているため、乾燥技術者が実施している。

判別分析(SPSS 11.5)に先立ち、赤心と黒心の分散共分散行列に有意差($p < 0.05$)があったため、マハラノビスの距離で判別分析を行い、その結果を表-1に示した。

目視により判断した812枚の内、768枚(94.6%)が判別分析でも同じ心材色に分類されており、色彩色差計で心材色を測定することにより、高い確率で赤心と黒心の判別が可能であった。なお、 L^* のみで判別できれば、木口面の画像から赤心と黒心の分類が可能であり、測定の一元化が図られる。しかし、 L^* のみの判別分析結果は88.1%しか正しく分類できなかったため、心材色の判別には色差も重要な因子と認められた。

表-1 判別分析による分類結果(812枚)

目視による 心材色(枚数)	判別分析による分類	
	赤心(枚)	黒心(枚)
赤心(407)	387	20
黒心(405)	24	381

この判別分析で得られたマハラノビスの判別関数を用いてスギ板材(材長3.0m、材幅120mm、材厚36mm)220枚を赤心と黒心に選別した結果、表-2のとおり判別関数を用いて選別した赤心は100枚、黒心は120枚であり、98.6%が目視と同じ選別であった。

表-2 判別関数を用いた選別結果(220枚)

目視による 心材色(枚数)	判別関数を用いた選別	
	赤心(枚)	黒心(枚)
赤心(97)	97	0
黒心(123)	3	120

3.2 乾燥試験結果

表-2の黒心120枚の内、目視心材率が60%以下の20枚と赤心の100枚を併せた120枚を赤心スケジュールで乾燥し、黒心の目視心材率が60%より大きいものの100枚を黒心スケジュールで乾燥した。

それぞれのスケジュール毎の目視心材率と乾燥後含水率との関係を図-2、図-3に示す。

乾燥後の含水率の基準を20%とすると、赤心スケジュールでは97.5%が含水率20%以下であり、高い乾燥歩留まりが得られた。なお、含水率が20%より高かった3枚の内、2枚は目視では黒心であったが、判別分析で赤心と判断されたものであった。

一方、黒心スケジュールでは、歩留まりが91%で赤心に比べやや低かった。含水率20%より高かった9枚は、初期含水率が平均177.0%と高く、最大は239.2%であった。また、平均心材率は94.2%で、黒心は心材含水率が高く、かつ心材率が高いものは乾燥性が悪いことを示している。黒心については、乾燥スケジュールを検討することにより、さらに歩留まりの向上が期待できると思われる。なお、赤心スケジュールと黒心スケジュールを併せた総合歩留まりは、94.5%で、高橋ら(2005)が行った目視での結果と大きな差は認められなかった。

以上のことから、2段階選別の第1段階である心材色の選別に関して、 $L^*a^*b^*$ の判別分析により赤心と黒心を選別すれば、目視での選別結果に近い乾燥歩留まりが得られるため、心材色の選別自動化の可能性があると考えられた。しかし今後、木口面に現れる心材部分の特定方法に関して検討余地が残った。

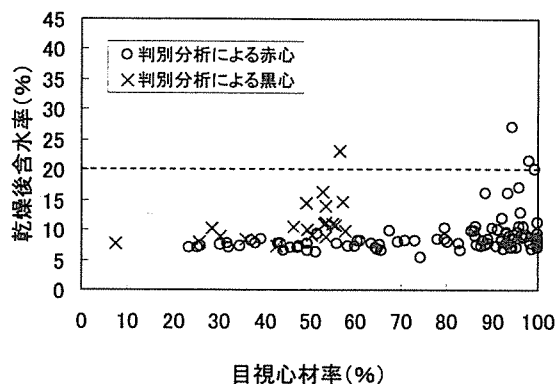


図-2 目視心材率と乾燥後含水率との関係
(赤心スケジュール5日間)

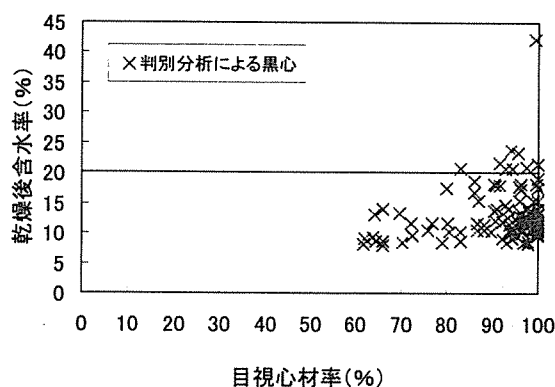


図-3 目視心材率と乾燥後含水率との関係
(黒心スケジュール7日間)

3.3 木口面画像情報による心材率の算出結果

目視の心材率と相関が最も高かった2値化の閾値の組み合わせは、木口面積が150、心材面積が110であった。

図-4のとおり、画像情報から得られた心材率（木口面積閾値150、心材面積閾値110、両木口の平均）と目視心材率（両木口の平均）には高い相関関係（ $r=0.953$ ）がみられ、目視の心材率を、画像情報の心材率から高い精度で推定できると考えられる。

また、2段階選別の第2段階である心材率を60%で選別する場合、図-4のとおり危険側に算出されたものは2枚で、安全側に算出されたものは3枚であった。いずれも心材率が60%付近のものであることから、乾燥歩留まりには大きく影響を

及ぼさないと考えられる。

なお、節及び部分的な黒心が影響し、目視の心材率と大きく外れているものが見受けられた。

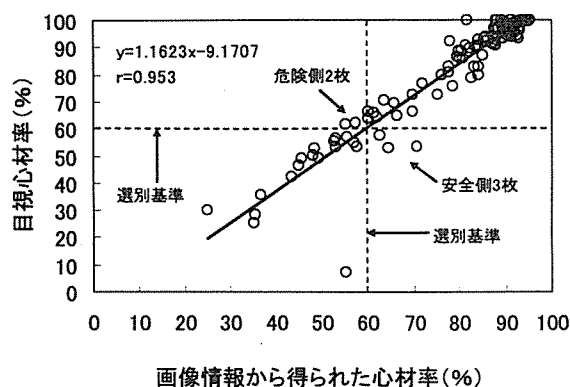


図-4 画像情報から得られた心材率と
目視心材率との関係

2段階選別に関して、心材率測定を今回は家庭用デジタルカメラを用いたが、心材率の測定が黒心のみでよいことから、自動化にはモノクロCCDカメラを用いて、撮影条件及び閾値の検討を行えば、高い精度での選別が十分可能であると考えられる。

3.4 黒心が乾燥歩留まりに与える影響

調査した24,412枚の内、黒心は4,779枚で出現率は19.6%であった。また、板幅が120mmのものは出現率が17.2%、板幅が135mmのものは24.3%と、板幅が広いほど黒心の出現率が高かった。

大森・池田（1996）が行った木材・製材業者の判定による黒心材の出現率は13%であり、駒木（1997）は、平均して10%以下と報告している。今回の調査では茶褐色のものも黒心に含めているため、これらより黒心の出現率が高かった。

今回と同じ赤心スケジュールで実施した3回の試験結果（青木ら，2004）について、乾燥ロット内に占める黒心の出現率と乾燥歩留まりとの関係を図-5に示した。

黒心が占める割合が高くなると、乾燥歩留まりが悪くなり、黒心を選別することにより高い歩留まりが得られるが、逆に黒心の割合が低いと、黒

心の選別効果は低くなることを示している。

しかし、今回の調査からスギ板材における黒心の出現率を20%とし、その内心材率が60%より大きいものが75%を占めると仮定すると、乾燥機が7基以上あれば、少なくとも1基は黒心のみで乾燥することが可能であるため、高い選別効果が期待できる。また、乾燥機が少ない場合でも天然乾燥と組み合わせる等、効率的な乾燥が期待できる。

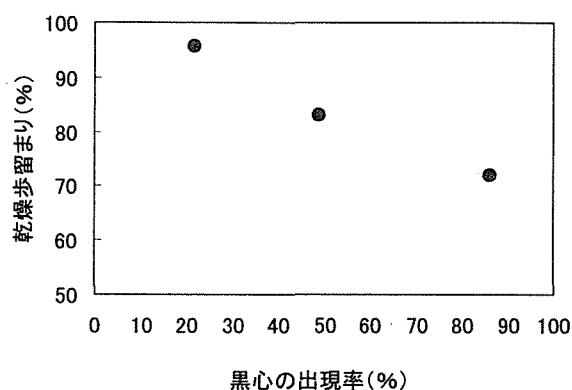


図-5 黒心の出現率と乾燥歩留まりとの関係

現在黒心はまとめて出材される場合や、原木市場によっては黒心のみ別の極積みとしているところもあり、黒心は赤心と比べ低材価で取引されている。

しかし、黒心は材質的に心材含水率が高いことを除けば、赤心に劣っているわけではないため(林, 1997)、適切な乾燥を行えば、黒心の利用拡大に繋がると思われる。

4. 結論

スギ板材の2段階選別方法を用いて乾燥する場合、色彩色差計を用いて $L^*a^*b^*$ から心材色を判別する方法および黒心の心材率を木口面の画像解析から推定する方法等に関して検討した結果、以下の知見を得た。

1) 木口面の心材色を、色彩色差計による $L^*a^*b^*$ 表色系で測色し、目視の心材色との判別分析を行った結果、94.6%が目視と同じ心材色に選別できることがわかった。

2) 判別分析による心材色と目視心材率から選別されたスギ板材を、それぞれ異なる乾燥スケジュールで乾燥した結果、約95%の高い乾燥歩留まりが得られた。

3) 木口面の画像情報から得られた心材率を用いて、目視の心材率を高い精度で推定できることがわかった。

4) スギ板材の乾燥前に、心材色と心材率で選別する2段階選別について、自動化できると考えられた。

5) スギ板材の黒心出現率を調査した結果、19.6%であった。また、乾燥歩留まりは黒心の出現数に影響しており、黒心の出現率が高いほど、選別効果が高いと認められた。

参考文献

- 阿部善作(1995) スギ心材の変色木材工業, 50(1): 2-6
- 青木 優・杉森正敏・林 和男・武智正典・刁秀明(2004) スギ実大ラミナ乾燥の選別基準, 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集, 北海道, 136.
- 林 良興(1997) 黒心化品種の早期検定技術の開発. 農林水産会議事務局編, 品質管理型林業のためのスギ黒心対策技術の開発, 研究成果, 316: 85-91
- 平川泰彦(1997) 黒心材発生の品種間差の解明. 農林水産会議事務局編, 品質管理型林業のためのスギ黒心対策技術の開発, 研究成果, 316: 67-73
- 平川泰彦・藤澤義武・中田了五・山下香菜(2003) 関東育種基本区から選抜された ギ精英樹クロンの材質. 森林総合研究所研究報告, 2(1): 31-41
- 池田和行・小玉牧夫(2001) 乾燥材の安定生産と乾燥コスト低減技術. 木材工業, 56(11): 513-515
- 藤原新二・岩神正朗(1989) スギ及びヒノキ材の生材含水率と心材色の関係について. 高知大農

- 演報, **16**: 19-23
- 河澄恭輔・小田一幸・提 壽一(1991) スギ心材の性質－生材含水率、温水抽出物および明度を中心に－. 九大演報, **64**: 29-39
- 駒木貴彰(1997)黒心材の材価形成と最適経営戦略の策定. 農林水産会議事務局編, 品質管理型林業のためのスギ黒心対策技術の開発, 研究成果, **316**: 47-53
- 河野貴可・城井秀幸(1998) 大分県産スギ材による構造用集成材の研究(Ⅱ)－ラミナの乾燥特性－. 第48回日本木材学会大会研究発表要旨集, 北海道, 136.
- 信田 聡・安島 稔・明神光幸(2000) 乾燥が遅れるスギ柱材の選別方法に関する検討. 第50回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 141.
- 大森昭壽・池田潔彦(1996) スギ黒心材の出現状況とその心材色について. 静林技研報, **24**: 47-52
- 越智仁夫・武智正典(2003) 蒸気式乾燥における最適スケジュールの開発. 林野庁編, 農林水産新技術実用化型研究成果, 地域産材の低コスト乾燥技術の開発, 41-42
- 林野庁編(1997) スギ品種の材質特性の評価. 平成5～6年度林業試験研究報告書, 報告書**36**: 59-117
- 森林総合研究所・農林水産技術会議事務局(1995) スギ黒心－その発生と対策－, pp.2
- Sugimori,M.,K.Hayashi,and M.Takechi(2006) Sorting sugi lumber by criteria determined with cluster analysis to improve drying. Forest Prod.J.**56(2)**:25-29
- Sugimori,M.,Y.Teraoka,and K.Hayashi(2001) Clustering sygi timbers based on the ratio of heartwood for drying.In:Proc.7th Inter. Wood Drying Conf.IUFRO Secretariat, Vienna,Austria.pp.422-425.
- 高橋知也・杉森正敏・林 和男・武智正典・刁 秀明(2005) スギ実大ラミナ乾燥に及ぼすクラスター分析による選別効果. 第55回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, F60900.
- 寺岡佳史・杉森正敏・林 和男(2000) スギ製材の心材率測定の前自動化. 第50回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 626.
- 富田守泰(2003) 被乾燥材の自動選別とその利用技術の開発. 林野庁編, 農林水産新技術実用化型研究成果, 地域産材の低コスト乾燥技術の開発, 6-17