

スギ正角の高温乾燥(1)

乾燥速度等を考慮した乾燥スケジュールの検討

誌名	愛媛県林業試験場研究報告
ISSN	03892875
著者名	三好,誠治 村口,良範
発行元	愛媛県林業試験場
巻/号	19号
巻号補足	
掲載ページ	p. 70-77
発行年月	1998年3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



スギ正角の高温乾燥(第1報)

— 乾燥速度等を考慮した乾燥スケジュールの検討 —

三 好 誠 治*・村 口 良 範

High temperature drying of Sugi sawn square I Comparison of effect of temperature on drying rate et al.

Seiji MIYOSHI* and Yoshinori MURAGUCHI

愛媛県産のスギ心持ち正角を供試材として、高温乾燥法の基礎的な知見を得ることを目的に乾燥試験を行った。高温乾燥法を採用する主な理由は乾燥時間の短縮による乾燥コストの低減にあるので、乾燥温度の違いによる乾燥速度を考察した。また初期蒸煮時間とその後の乾燥速度・割れの発生等について検討した。95℃で初期蒸煮した後、湿球温度は95℃で維持し、乾球温度を105℃と115℃まで昇温させて一定に保ち乾燥速度を比較すると、平均乾燥速度は115℃が105℃の約2倍になり高温による乾燥速度の促進効果が認められた。しかし、115℃の乾燥条件では多くの試験材に材面割れと内部割れが発生した。この材面割れ等の発生は乾燥スケジュールの組立てにより減少させることができた。さらにスギ正角の初期含水率は大きくばらついており、乾燥効率を向上させるために生材密度を因子とした乾燥前の選別を考察した。

1. 緒 言

国内の人工造林はスギ・ヒノキを主体に戦後造成された森林であり、育林段階を経過し順次伐採・利用時期に達している。国産材の生産が漸減する中でスギの生産は増加しており、今後しばらく国産材はスギ主体の供給が続くと思われる。このスギは大半が並材で中径丸太の割合が高い。

一方、1995年に発生した阪神・淡路大震災やP.L法の施行により、木造住宅の部材に求められる信頼性は強度性能・寸法精度に関して高まってきている。構造用集成材の需要増加はこの傾向を反映しており、国産材は需要維持のために乾燥材の生産が強く求められるようになってきた。このような需要構造の変化から、愛媛県内でも人工乾燥機を設置し、県産針葉樹材の乾燥に取り組む製材業者が増えてきている。そして最近の傾向としてスギ構造材の乾燥に取り組む業者の中に、乾燥コ

ストの低減を目的として高温乾燥法を指向する者が多くなった。

針葉樹構造材の高温乾燥に関する試験報告(例えば(鷲見, 1976; 1978a; 1978b)、(I.G.Simpson, 1994)、(中島, 1996)等)は散見するのみであり、今回スギ正角の高温乾燥の基礎的資料を得る目的で試験を行った。主に高温乾燥による乾燥速度・寸法変化・初期蒸煮の効果・割れの発生状況・水分傾斜・調湿の効果について検討した。

なお、本報告の一部は第46回日本木材学会大会で発表した。

2. 実験方法

2.1 供試材

愛媛県産スギ(*Cryptomeria japonica*)原木から製材した正角を供試材とした。表-1、2に示す乾燥条件で高温乾燥試験を行い、各表の試験にそれぞれ10本の原木(合計20本)を供試した。原木から正角(12cm角・材長4m・心持ち・背割りなし)を製

*現愛媛県農林水産部林業振興課

表一 1 乾燥条件

スケジュール	含 水 率 (%)	乾 球 温 度 (℃)	湿 球 温 度 (℃)	平衡含水率 (%)	時 間 (h)
105℃スケジュール	G	95	95	—	3, 9
	G~20	105	95	7.5	157
115℃スケジュール	G	95	95	—	3, 9
	G~20	115	95	4.5	68

表-2 乾燥条件

スケジュール	含 水 率 (%)	乾 球 温 度 (℃)	湿 球 温 度 (℃)	平衡含水率 (%)	時 間 (h)
スケジュール 1	G	95	95	—	3, 12
	G ~ 40	103	95	8.5	48
	40 ~ 30	107	95	6.5	24
	30 ~ 20	115	95	4.5	20
	調 湿	95	93	14.9	3, 16
スケジュール 2	G	95	95	—	0, 6
	G ~ 50	102	95	9.0	39
	50 ~ 40	105	95	7.5	13
	40 ~ 30	109	95	6.1	19
	30 ~ 20	115	95	4.5	20
調 湿	95	93	14.9	0, 6	

表-3 試験材の初期含水率等

乾 燥 条 件	初期含水率(%)		気 乾 密 度 (g / cm ³)	平均年輪幅 (mm)	心 材 率 (%)
	平 均 値	範 囲			
105℃スケジュール	78.5	112.0~54.8	0.392	5.5	99.5
115℃スケジュール	84.4	114.7~55.8	0.394	5.6	99.4
スケジュール 1	80.7	173.4~42.9	0.367	6.7	98.3
スケジュール 2	78.0	168.2~43.9	0.365	6.7	97.6

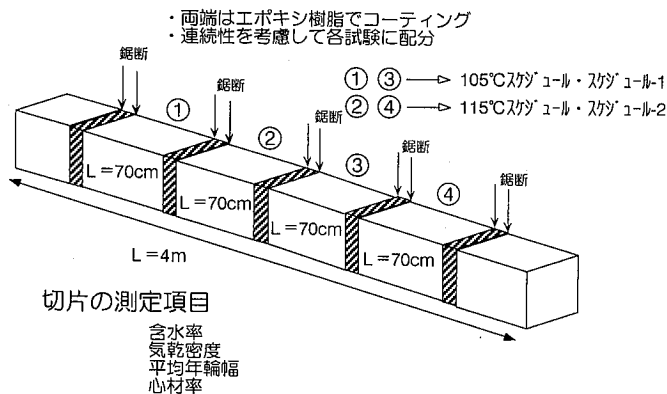
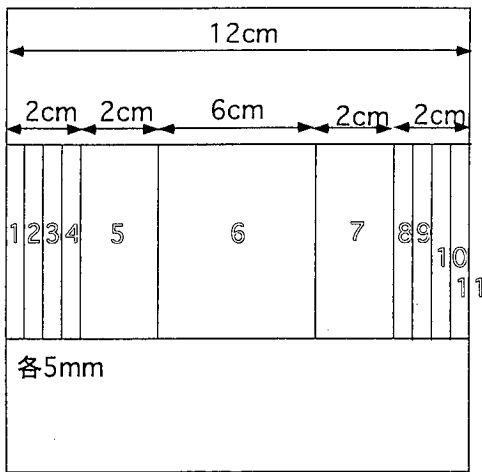


図-1 試験材の作成

材した後、図－1の方法で長さ70cmの試料を4本連続採取し、両端をエポキシ樹脂でコーティングして試験材とした。乾燥速度の比較を行うことに留意して、連続する試験材を各試験に20本配分した。

試験材の含水率・気乾密度・平均年輪幅・心材率は試験材両端から切り取った2枚の切片の測定値を平均して求めた。水分傾斜は図－2の方法で正角断面を分割して求めた。各試験に供した試験材の初期含水率等は表－3のとおりである。



図－2 水分傾斜測定の割材方法

2.2 乾燥試験の方法

試験は目標含水率を20%とし、表－1、2の条件で4回行った。蒸煮温度は95℃とし、蒸煮時間は各試験で2条件、蒸煮後の湿球温度は乾燥終了まで95℃とした。材間風速は2.5m/sとした。

表－1では蒸煮後、乾球温度を105℃(105℃スケジュール)と115℃(115℃スケジュール)に昇温させてから一定温度に保った。表－2の試験は蒸煮後、試験材の含水率の低下に合わせて2種類の方法(スケジュール1、2)で乾球温度を変更させ、乾燥終了後調湿を行った。調湿時間は2条件とした。

乾燥途中、全ての試験材を適時取り出し全乾法含水率と材面割れを測定した。測定中の試験材は材面割れを防ぐために、塩化ビニールで被覆した。

人工乾燥終了時に各試験で半数の試験材10本を

割材し、内部割れと水分傾斜を求めた。残り半数の試験材は木材実験棟内に約1ヶ月間放置して含水率と寸法変化を調査し、最終的に割材して内部割れと水分傾斜を測定した。寸法は試験材中央の4材面の幅を測定し、割れが発生していない材面の収縮率の平均値を求めた。

材面割れは、割れ幅1mm以上で長さが10mm以上のものを測定した。内部割れは顕著な割れの発生を材中央部の切断面で観察した。

2.3 乾燥試験機

試験に使用した実験用乾燥機(日本電化工機株式会社製)は白金測温抵抗体で乾球温度と湿球温度を測定し、電気ヒーターにより加熱と加湿を行う装置である。

3. 結果

3.1 含水率の減少経過と割れの発生

図－3に各試験の含水率の減少経過と乾燥条件を示した。含水率は蒸煮処理時間が同じ試験材10本の平均値・最大値・最小値である。

115℃スケジュール試験の乾燥終了までの平均乾燥速度は105℃スケジュールの約2倍となり、高温乾燥の乾燥速度促進効果が認められた。しかし115℃スケジュールは20本中14本の試験材に顕著な内部割れが発生した。105℃スケジュールでは発生はなかった。

図－4に試験材含水率の低下に伴う材面割れ(材面割れと木口割れの合計)の長さを示す。115℃スケジュールの材面割れは、全て乾燥初期に発生しており、蒸煮後、乾球温度を上昇させてから15時間経過した測定時に認められた。

105℃スケジュールでは乾球温度上昇後、15時間経過して材面割れが発生したのは4本で、残り5本は39時間後に発生した。

材面割れの発生を抑制し、115℃スケジュールに近い乾燥速度を得ることを目的にスケジュール1、2の試験を行った。乾燥時間はそれぞれ91時間と92時間(蒸煮と調湿時間を除く)で、材面割れの

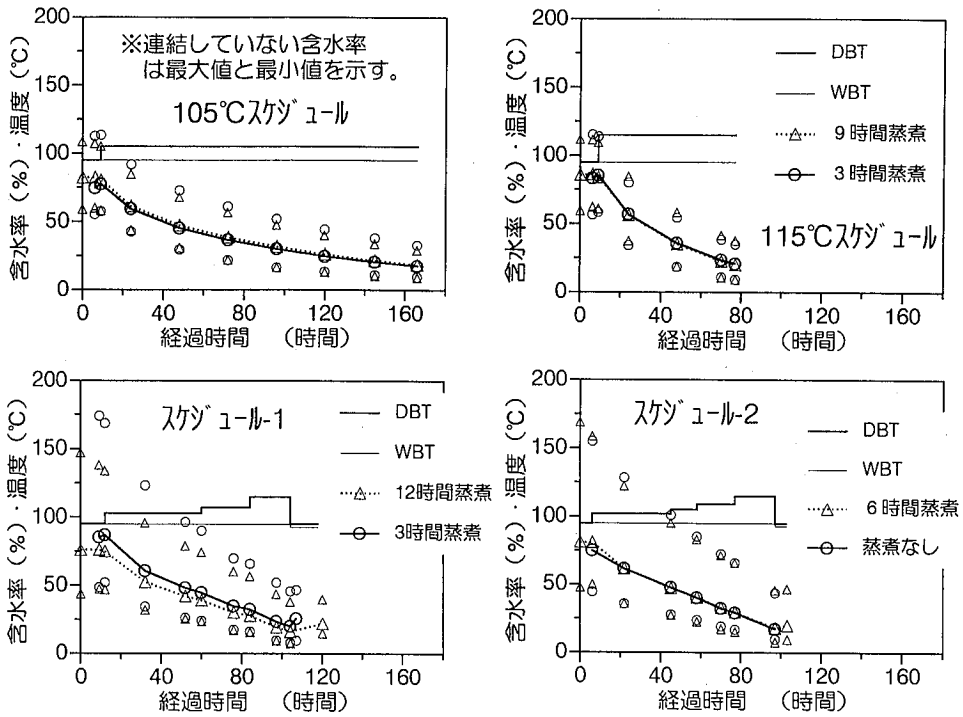


図-3 各スケジュール試験の含水率の経過

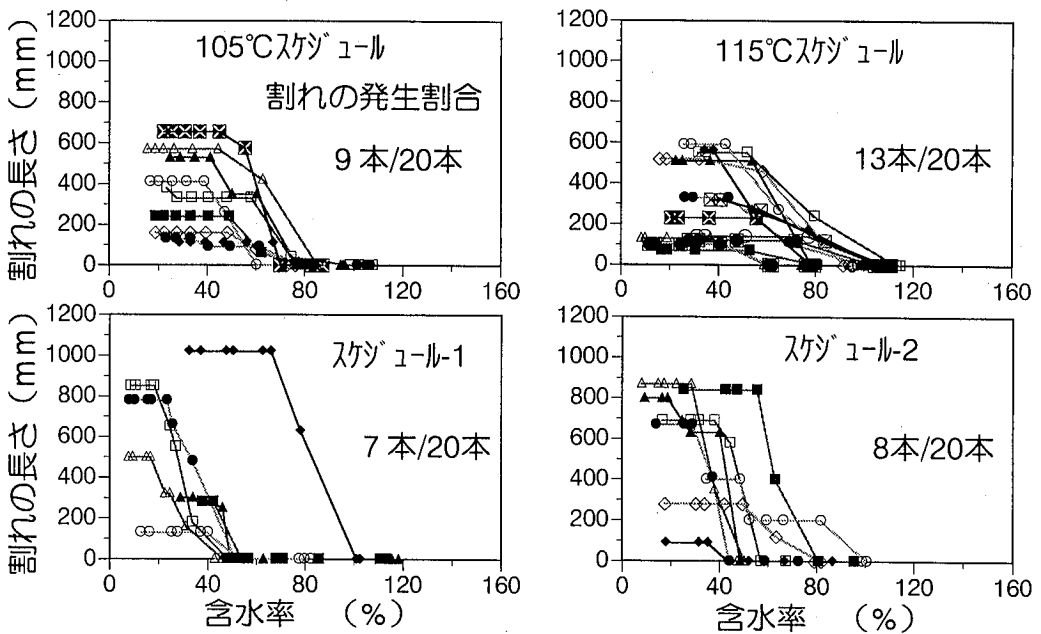


図-4 各スケジュール試験の割れ発生

発生は105℃スケジュールより少ない結果となり、顕著な内部割れも認められなかった。

3.2 蒸煮とその後の乾燥速度

スケジュール-2で蒸煮処理6時間と無処理の試験を行った。蒸煮処理材は蒸煮直後の乾燥速度がやや促進される傾向が認められたが、乾燥速度の分散分析をするとは有意差はなかった。

また、105℃、115℃スケジュール、スケジュール

-1で比較すると、蒸煮処理時間の長短による、その後の乾燥速度の相違も認められなかった。

3.3 人工乾燥終了後の含水率と寸法の変化

人工乾燥後10本の試験材を木材実験棟内に放置し、含水率と寸法の変化を継続調査し、結果を図-5、6にまとめた。含水率15%以下の試験材は乾燥条件によらず、含水率はほとんど変化が測定されなかった。またスケジュール1、2の25%以上の含水率の試験材は、含水率が減少傾向を示した。

収縮率は人工乾燥後5日程度経過すると、調湿の有無・処理時間に関係なく、全ての試験材において顕著な変化は認められなかった。

3.4 水分傾斜

生材時の試験材の代表的な水分傾斜を図-7に示す。図-8は105℃スケジュールと115℃スケジュールの人工乾燥直後と1ヶ月放置後の水分傾斜である。また図-9、10はスケジュール1、2の人工乾燥直後と放置後の水分傾斜を示す。

人工乾燥直後は平均含水率が高い試験材には大きな水分傾斜が認められた。表層の含水率は1ヶ月経過しても10%程度のままになっており、これは奥山ら(1990)が報告しているように、湿熱処理により、ヘミセルロースが分解し、平衡含水率が低下したためと考えられる。また調湿を行うと表層部分の平衡含水率が少し高くなる傾向を示した。

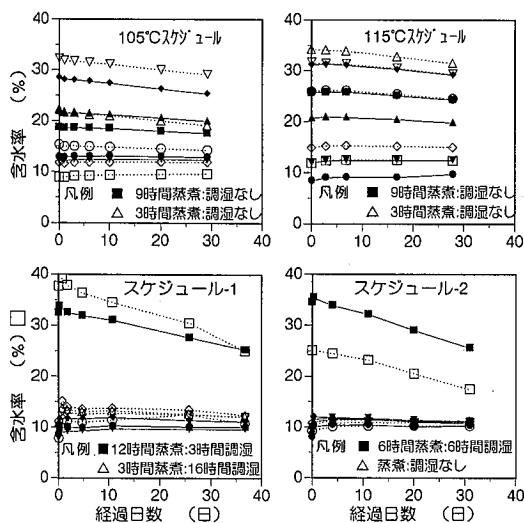


図-5 人工乾燥後の含水率の経過

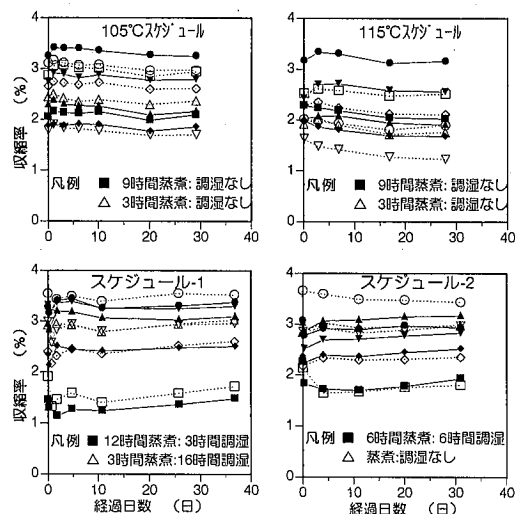


図-6 人工乾燥後の収縮率の推移

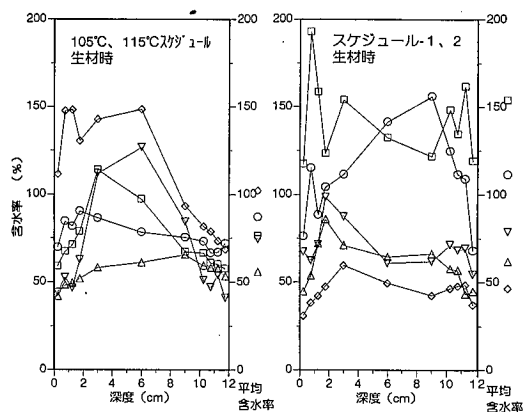


図-7 試験材の生材時水分傾斜法

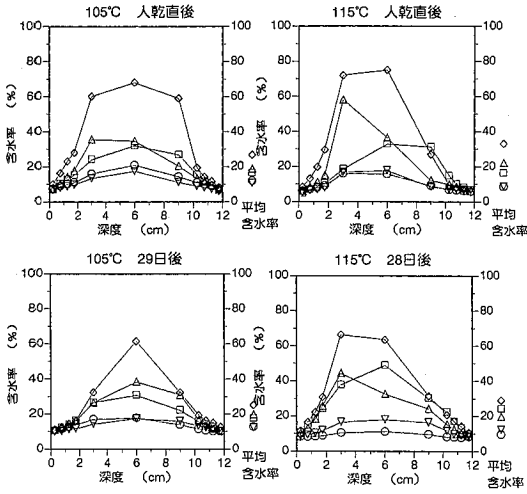


図-8 105°C、115°Cスケジュールの人工乾燥後の水分傾斜

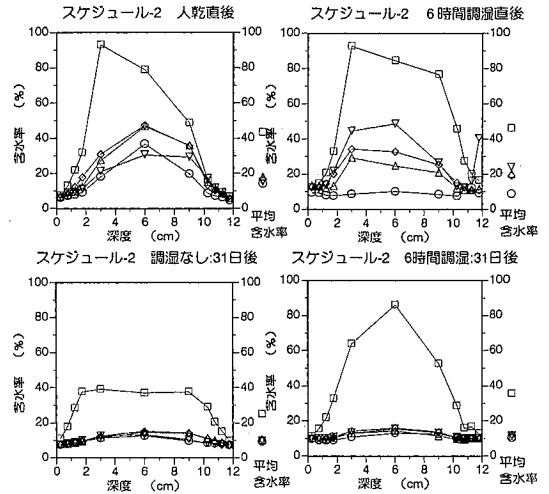


図-10 スケジュール-2の人工乾燥後の水分傾斜

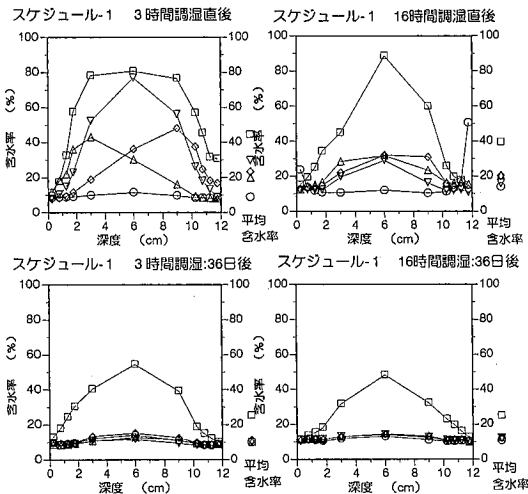


図-9 スケジュール-1の人工乾燥後の水分傾斜

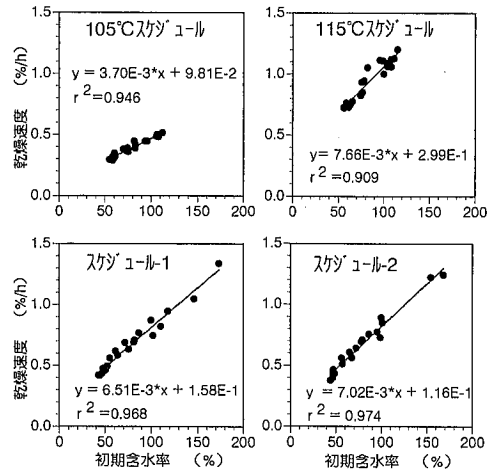


図-11 初期含水率と乾燥速度の関係

4. 考察

4.1 乾燥速度

試験材の初期含水率は42.9～173.4%と大きくばらついており、このため仕上がり含水率も均一になりにくく、スギ正角の乾燥を困難にさせる一因となっている。筆者ら(1995)は、スギ正角(材長3 m・12cm角・心持ち・背割り材)を生材時の密度によりグループ分けをして乾燥したところ乾燥

効率の向上に関して、良好な結果を得た。ここで同様の検討を試みる。

まず初期含水率と乾燥速度(蒸煮後から調湿の前まで)の関係を全てのスケジュール試験で調べると、図-11のとおり相関が高いことが解る。初期含水率が高くなると乾燥速度は大きくなる傾向を示している。

これは筆者ら(1995)の報告と矛盾するようであるが、今回の試験では供試材の生材密度は0.437～0.911 g/cm³の範囲であり、この密度の範囲では上述の傾向が認められた。

このことから乾燥前に初期含水率を求めると乾燥速度の推定が可能であり、初期含水率によりグループ分けをし、グループ別に乾燥すると、仕上がり含水率の均一化が図れることが推察できる。

この試験では初期含水率を全乾法で測定したが、

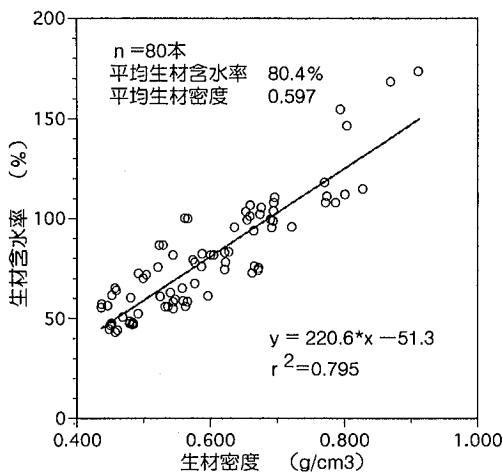


図-12 生材密度と生材含水率

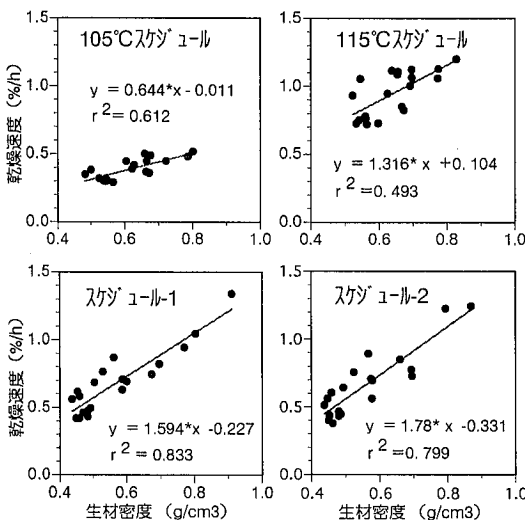


図-13 生材密度と乾燥速度の関係

木材乾燥の現場では個々の正角の初期含水率を全乾法で求めるのは困難である。そこで初期含水率を推定するために、正角の初期含水率と生材密度の相関を調べると、図-12のとおり高い相関が認められ、生材密度から初期含水率を推定できることが解った。

この結果を踏まえ、初期含水率と乾燥速度の関係(図-11)を生材密度と乾燥速度の関係に置き換えたのが図-13である。初期含水率ほど相関は高くないが、生材密度により乾燥速度を推定できることを示している。

各試験材の生材密度を求め、生材密度0.600 g/cm³未満と0.600 g/cm³以上に分けて、各含水率域での乾燥速度を算出すると図-14となる(スケジュール1、2はスケジュールの各段階の試験材の乾燥速度とした)。生材密度により初期含水率のグループ分けができていることと、グループ内での試験材は各含水率域において同様の乾燥速度を示しており、これらのことから仕上がり含水率のバラツキが小さくなることが理解できる。高温乾燥においても生材密度によるグループ分けの有効性を示している。

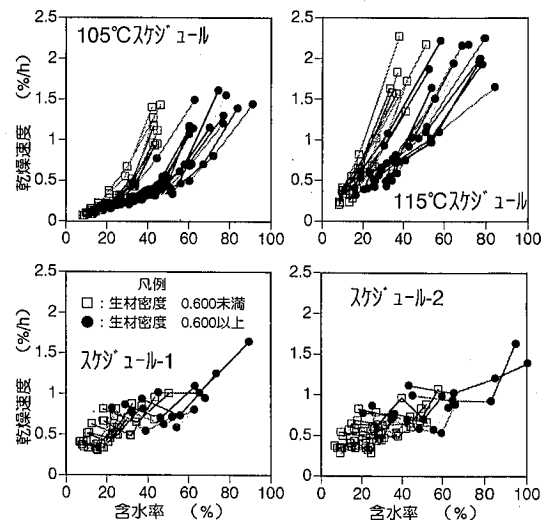


図-14 生材密度別の乾燥速度

4.2 調湿について

スケジュール1、2の試験では乾燥後に平衡含水率15%で調湿を行ったが、含水率と収縮率に関して、調湿処理の有無・処理時間の違いによる顕著な差は認められなかった。表層の含水率は少し高くなる傾向を示した。また試験材が70cmと短く、表層の応力緩和による長さ方向の曲がりに関する知見が得られなかったため、実大材での調湿の効果について実証試験が必要である。

4.3 乾燥スケジュールについて

105℃と115℃スケジュールの結果から、材面割れ発生の抑制と、乾燥速度の高水準での維持を目的に、蒸煮後、乾球温度を徐々に上昇させる乾燥スケジュール1、2で試験を行った。蒸煮処理の有無と処理時間の長短(3、6、12時間の比較において)により、その後の乾燥速度と材面割れの発生に関しては、有意な差は認められなかった。

内部割れは115℃スケジュールで多数発生したが、105℃スケジュール、スケジュール1と2では顕著な割れの発生がなかったことから、高含水率時に長時間115℃以上で乾燥すると内部割れの危険が生じると推定できる。

5. 結 論

- 1) 湿球温度は95℃、乾球温度を105℃と115℃の一定にした乾燥条件でスギ正角の乾燥速度を比較すると、115℃は105℃の約2倍になり、高温乾燥による乾燥速度の促進効果が認められた。
- 2) 乾球温度115℃の乾燥条件では多くの試験材に内部割れが発生したことから、高含水率時に115℃以上で長時間乾燥すると内部割れの危険性が生じることが推察できた。また材面割れの発生は乾燥スケジュールの組立てにより減少することが認められた。
- 3) スギ正角の初期含水率は大きくバラついたが、乾燥速度は初期含水率と相関が高く、初期含水率は生材密度により推定できるので、生材密度を因

子として乾燥前に選別を行うと、高温乾燥においても乾燥効率を向上させる可能性があることの知見を得た。

参考文献

- 三好誠治・村口良範(1995) スギ正角の生材重量選別による乾燥について. 日本木材学会中国・四国支部第7回研究発表会要旨集, pp. 22-23.
- 中島 厚(1996) 1996年度日本木材学会木材と水研究会シンポジウム要旨集, pp. 10-16.
- 奥山 剛ら(1990) 直接熱処理によるスギ間伐材の材質変化(2), 木材工業 No. 515: 63-67.
- Simpson, I.G. et al. (1994) Comparison of the effect of drying at 120 or 70℃ on the properties of radiata pine. The Proc. of 4th International wood drying conference. pp. 423-429.
- 鷺見博史(1976) ダグラスファー 2"×4", 2"×6" 材の高温乾燥に関する研究, 林試研報 No. 285: 1-28.
- 鷺見博史(1978a) 木材の高温乾燥(第1報). 乾燥末期の乾燥速度に及ぼす温度の影響. 木材学会誌24(6): 385-390.
- 鷺見博史(1978b) 木材の高温乾燥(第2報). ベイツガ材の強度的性質及び材色に及ぼす加熱処理条件の影響. 木材学会誌24(6): 391-399.