

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発

- スギ心去り材の高周波減圧乾燥試験 -

令和3年度～令和5年度

木材チーム 豆田 俊治

1. 目 的

近年、人工林資源の充実とともに、素材生産に占める大径材の割合も増えており、主伐・再造林を推進するうえで大径材の需要創出が喫緊の課題となっている。林業研究部では、大径材の価値向上につながる部材開発等の取り組みとして、これまで平角2丁取りや正角4丁、9丁取りの試験を行っている。今後は大径材部材の品質向上のため、大断面材やそりや狂いの生じやすい幅150mm以上の大径材板類を含めた、大径材の木取りに合わせた乾燥技術の開発が必要となっている。

また、県内の製材業者から付加価値のある大断面材（300mm 角以上）の乾燥技術の開発が要望されているが、既存の方法では技術的に難しい。早急に取り組む必要がある。さらに建築業界からも高品質な大断面材の要望があり、地域材活用を推進するうえで、大径材を活用した大断面材の部材開発は、建築業界をターゲットとした新たな需要先開拓として期待できる。

本年度は、大断面製材や心去り材などの大径材部材に適した乾燥法の検討を行った。今回は大径材から製材される心去り平角材（2丁取り）と4丁取り心去り正角材について高周波減圧複合乾燥（以下、高周波減圧乾燥と記す）と大分方式乾燥を実施した。

2. 試験方法

1) 心去り平角材の乾燥試験

(1) 試験材及び乾燥試験

試験材は、大分県県内の製材工場で製材されたスギ心去り平角材 255mm×135mm×4 m（以下、255材と記す）、スギ心去り平角材 165mm×135mm×4 m（以下、165材と記す）で、各寸法4本ずつ使用した。製材前の原木の末口径及び元口径を表-1に示す。製材状況を写真-1に示す。製材後、中央部で2 mに切断して、含水率（全乾法）及び重量を測定した（図-1）。試験材は、心去り材及び心持ち材それぞれ4本ずつ高周波減圧乾燥グループと大分方式乾燥グループに分け、表-2に示す方法で乾燥試験を実施した。

表-1 使用原木の末口径及び元口径（cm）

	255材		165材	
	原木①	原木②	原木③	原木④
末口径	46.2	46.8	43.4	49.2
元口径	57.8	52.9	49.7	56.1

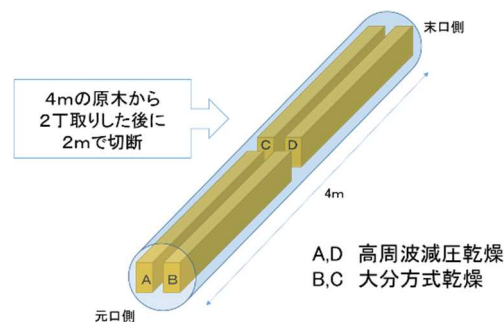


図-1 原木の製材（2丁取り）

高周波減圧乾燥は、熊本県林業研究・研修センターの多機能木材乾燥機 HTD-1 型（株式会社ヤスジマ製、写真-2）を使用した。高温セット処理は、林業研究部の蒸気式高温乾燥機 78H/KR8H 型（ヒルデブランド製）を使用した。その後、天然乾燥 5 か月、促進乾燥 21 日間行い、目標含水率 15% 以下まで乾燥させた。



写真-1 製材状況

写真-2 多機能木材乾燥機
(高周波減圧乾燥機)

表-2 乾燥条件

試験区分	試験材 (製材寸法)	本数 (本)	乾燥方法	
			高温セット処理	乾燥処理
高周波減圧乾燥	スギ心去り平角材 (2丁取り) (255mm × 135mm × 2m)	4	乾球90～65℃ 湿球73～50℃	乾球63℃ 湿球48℃
	スギ心去り平角材 (2丁取り) (165mm × 135mm × 2m)	4	真空設定328～275torr 時間20h	真空設定140～120torr 時間336h
天然乾燥 (大分方式乾燥)	スギ心去り平角材 (2丁取り) (255mm × 135mm × 2m)	4	蒸煮95℃、6h	天然乾燥
	スギ心去り平角材 (2丁取り) (165mm × 135mm × 2m)	4	セット120℃、6h	中温乾燥 (60～70℃)

(2) 材質試験

試験材は、製材直後、高周波減圧乾燥後、天然乾燥後、促進乾燥後に材質測定を行った。測定項目は、重量、寸法、 E_f 、含水率（含水率計 moco2 を使用）で、さらに乾燥終了時は、前の項目に加えて、表面割れ、中央部矢高、全乾含水率、内部割れの測定を行った。なお、測定面は図-2 のとおりとし、a 面を上にして乾燥した。表面割れは最大幅と長さを測定して面積を算出し、試験材ごとに集計した。全乾含水率及び内部割れは、図-3 に示す位置で試験片を採取した測定した。内部割れは、切断面に現れた割れの最大幅と長さを測定して面積を算出し、断面ごとに集計した。

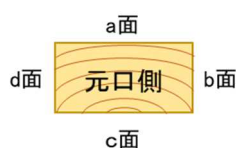


図-2 材質測定面の定義

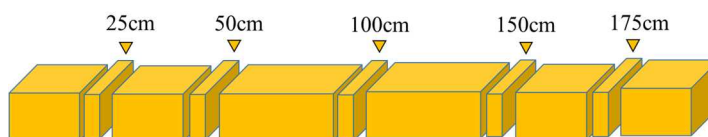


図-3 試験片の採取位置

2) 4丁取り正角材の乾燥試験

(1) 試験材及び乾燥試験

試験材は、大分県内の製材工場で製材されたスギ4丁取り正角材 165mm×165mm×4 m、スギ心持ち正角材 165mm×165mm×4 mで、各4本ずつ使用した。製材前の4丁取り原木の末口径は62.4cm、元口径は70.0cm、材長は423.2cmであった。4mの試験材は、中央部で2mに切断して、含水率（全乾法）及び重量を測定した（図-3）。試験材は心去り材、心持ち材それぞれ4本ずつ高周波減圧乾燥グループと高温乾燥グループに分け、表-3に示す方法で乾燥試験を実施した。

高周波減圧乾燥は、1)の(1)と同様に熊本県林業研究・研修センターの多機能木材乾燥機を使用し、乾燥スケジュールも同一とした。高温乾燥は、林業研究部の蒸気式高温乾燥機を使用して乾燥を行った。

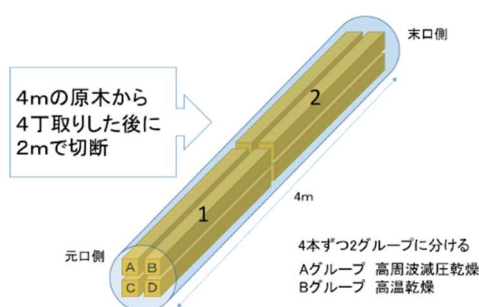


図-4 原木の製材（4丁取り）

表-3 乾燥条件

試験区分	試験材 (製材寸法)	本数 (本)	乾燥方法	
			高温セット処理	乾燥処理
高周波減圧乾燥	スギ心去り正角材(4丁取り) (165mm×165mm×2m)	4	乾球90～65℃ 湿球73～50℃	乾球63℃ 湿球48℃
	スギ心持ち材 (165mm×165mm×2m)	4	真空設定328～275torr 時間20h	真空設定140～120torr 時間336h
高温乾燥	スギ心去り正角材(4丁取り) (165mm×165mm×2m)	4	蒸気95℃、18h	120℃～90℃、54h
	スギ心持ち材 (165mm×165mm×2m)	4		

(2) 材質試験

測定方法は1)の(2)と同様に行い、乾燥前、乾燥後に実施した。また、乾燥後の試験片採取と全乾含水率、内部割れ測定も1)の(2)と同様に実施した。なお、測定面は図-5のとおりとし、a面を上にして乾燥した。

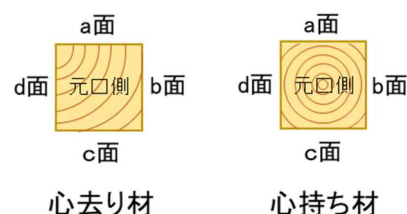


図-5 材質測定面の定義

3. 結果及び考察

1) 心去り平角材の乾燥試験

表-4に材質試験の結果を示す。高周波減圧乾燥は、乾燥前の含水率が、255材105.7%、165材61.1%で、乾燥後は、255材8.2%、165材6.6%であった。一方、大分方式乾燥は、乾燥前の含水率が、255材103.1%、165材66.8%で、乾燥後は255材13.7%、165材9.9%であった。また図-6に乾燥期間中の含水率を示す。大分方式乾燥では、天然乾燥5か月後の時点で含水率20%を上回る試験材がある一方、高周波減圧乾燥では、12日間で含水率20%以下まで乾燥ができた。促進乾燥後は、高周波減圧乾燥、大分方式乾燥ともに15%以下まで乾燥することができた。

図-7に表面割れの測定結果を示す。高周波減圧乾燥の表面割れは、255材、165材共に大分方式乾燥材よりも少なかった。写真-3、4に乾燥後の断面写真と含水率を示す。全ての試験材で内部割れは

なかった。分割した内部の含水率も20%以下まで乾燥していることが分かった。

表-4 材質測定結果 (平均±標準偏差)

乾燥条件	本数	含水率(%)			促進後矢高 (最大)(mm)	促進後収縮率(%)		E_r (GPa)			
		乾燥前	ac面	bd面		長辺(ac面)	短辺(bd面)	乾燥前	乾燥後(天乾後)	乾燥後(促進後)	
高周波 減圧乾燥	255×135	4	105.7±47.9	15.6±4.0	8.2±1.9	2.9±1.3	3.0±0.7	3.8±0.9	5.5±0.8	6.6±1.0	6.9±0.9
	165×135	4	61.1±21.5	13.2±0.9	6.6±0.3	1.6±1.3	3.9±0.3	3.4±0.3	5.9±0.4	7.1±0.4	7.4±0.4
大分方式 乾燥	255×135	4	103.1±52.1	29.6±14.1	13.7±5.4	0.8±1.0	2.2±1.1	2.1±0.8	5.5±0.4	6.2±0.5	6.6±0.7
	165×135	4	66.8±25.0	21.5±2.8	9.9±1.0	0.4±0.8	3.1±0.3	1.7±0.2	6.3±0.5	7.0±0.7	7.6±0.7

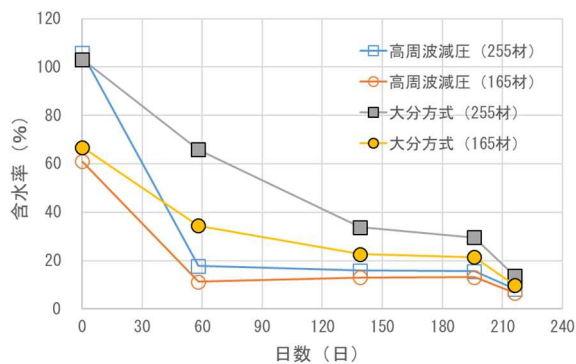


図-6 含水率測定結果

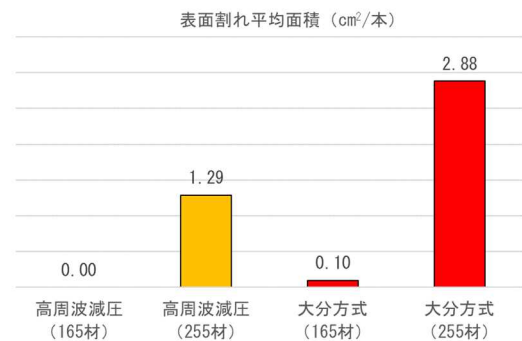


図-7 表面割れ測定結果

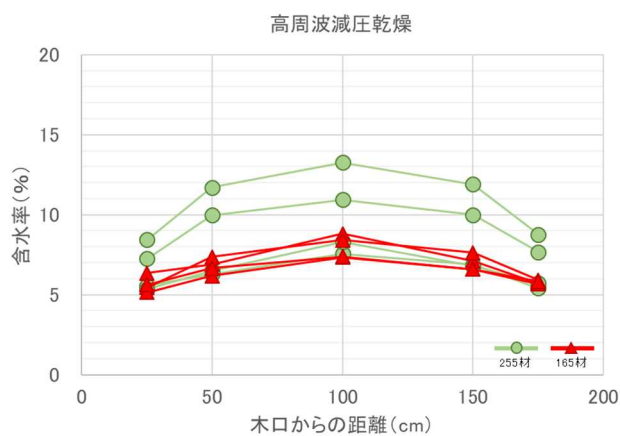


図-8 含水率測定結果(材長方向)
(高周波減圧乾燥)

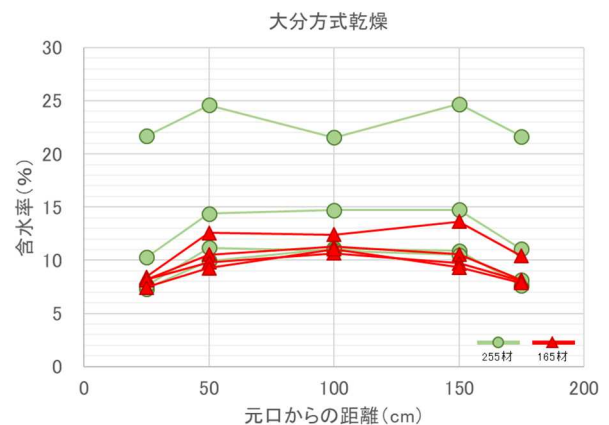
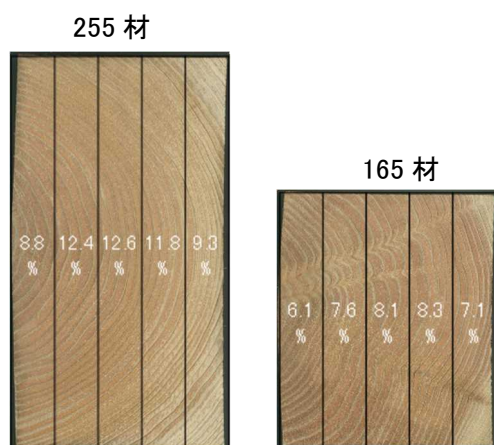
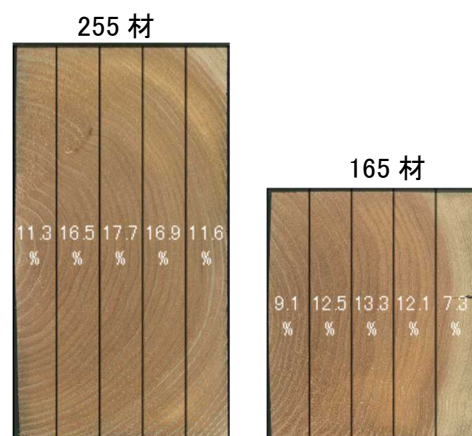


図-9 含水率測定結果(材長方向)
(大分方式乾燥)

写真-3 乾燥後の断面及び含水率
(高周波減圧乾燥)写真-4 乾燥後の断面及び含水率
(大分方式乾燥)

2) 4丁取り正角材の乾燥試験

表-5に材質試験の結果を示す。高周波減圧乾燥は、乾燥前の含水率が心去り材 144.0%、心持ち材 57.5%で、乾燥後は、心去り材 13.0%、心持ち材 16.0%であった。一方、高温乾燥は、乾燥前の含水率が、心去り材 144.4%、心持ち材 60.2%で、乾燥後は心去り材 30.5%、心持ち材 22.5%であった。

図-10 に高周波減圧乾燥試験中の含水率の測定結果を示す。乾燥前の含水率は、心去り材は心持ち材の倍以上の含水率だったが、乾燥終了時には逆転して心去り材が 13.0%、心持ち材が 16.0%で乾燥することができた。

乾燥後の材長方向の含水率分布を図-11、12 に示す。高周波減圧乾燥材は、平均含水率は 15%以下で、心持ち材の 1 本を除いて全て含水率 20%以下まで乾燥できていた。このことから、乾燥前の含水率が高かった心去り材においても高速乾燥が可能であることが分かった。一方、高温乾燥は、心去り材、心持ち材共に含水率が大きくばらついた状態であった。今回は、平均的な重量の心持ち材が含水率 20%以下になるように乾燥を行ったが、さらに長い時間の高温乾燥をすると内部割れの危険が大きくなるため、出荷時の含水率検査を行って、十分な含水率管理を行い、必要に応じて天然乾燥や促進乾燥を組み合わせる方法を検討する必要があることが示唆された。

表-5 材質測定結果 (平均±標準偏差)

乾燥条件	本数 (本)	含水率 (%)		最大矢高 (mm)	収縮率 (%)		密度 (kg/m ³)		E _r (GPa)		
		乾燥前	乾燥後	乾燥後	ac面	bd面	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	
高周波 減圧乾燥	心去り	4	144.0±29.7	13.0±2.0	3.9±0.3	1.8±0.3	3.2±0.6	665±75	325±6	4.0±0.1	4.7±0.2
	心持ち	4	57.5±20.1	16.0±7.6	2.5±0.8	2.1±0.5	2.3±1.1	578±74	447±45	7.0±0.5	8.2±0.3
高温乾燥	心去り	4	144.4±39.1	30.5±11.1	1.5±0.7	2.0±0.5	1.9±0.5	662±105	368±29	3.9±0.5	4.3±0.6
	心持ち	4	60.2±22.4	22.6±11.0	1.3±0.3	2.5±0.6	2.4±0.5	583±72	470±50	7.0±0.3	7.9±0.5

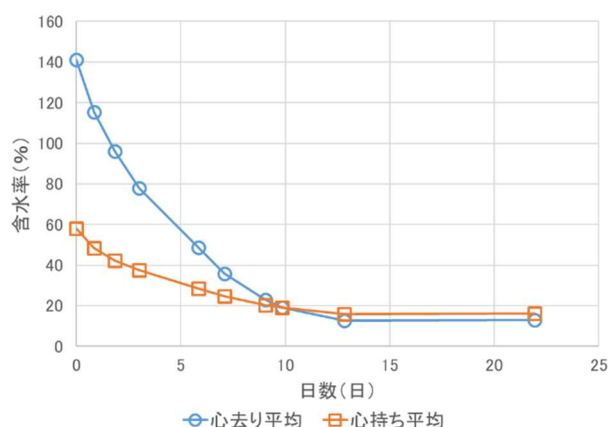


図-10 乾燥中の含水率
(高周波減圧乾燥)

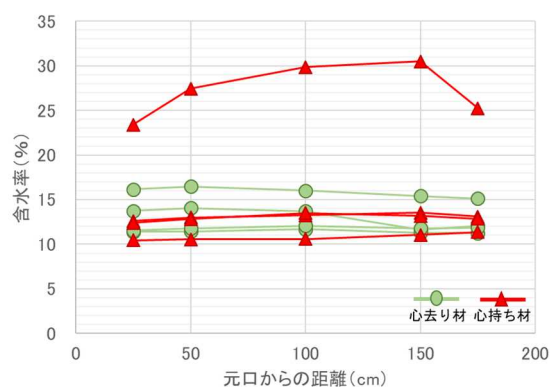


図-11 含水率測定結果 (材長方向)
(高周波減圧乾燥)

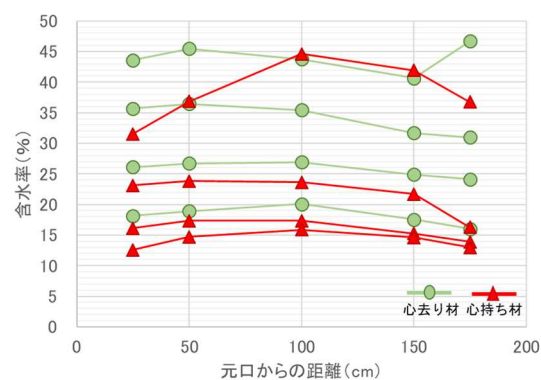


図-12 含水率測定結果 (材長方向)
(高温乾燥)

乾燥後に材中央部を切断した断面写真及び含水率測定結果を写真-5、6に示す。心去り材は、高周波減圧乾燥と高温乾燥どちらも表面割れは発生しなかった。内部割れは、断面ごとに集計した面積の平均で、高周波減圧乾燥は、心去り材 0.00mm²、心持ち材 0.21mm²、高温乾燥は、心去り材 6.77mm²、心持ち材で 109.51mm² で、高周波減圧乾燥、高温乾燥ともに心持ち材で多く発生した。含水率は、高周波減圧乾燥は、ほとんどの材で中心付近まで均一に乾燥していたのに対して、高温乾燥では乾燥している材と中心付近の含水率が高い材の差が目立った。目標含水率まで下げるには、乾燥時間の延長が必要だが、これ以上高温乾燥の時間を長くすると内部割れがさらに大きくなる危険性もあるため、中温乾燥あるいは天然乾燥を追加で行うなどの対策が必要であると考えられる。

心去り材

10.8%	11.1%	11.5%	12.7%	12.0%
12.0%	13.8%	15.3%	15.4%	13.9%
13.9%	16.4%	17.5%	16.7%	14.2%
13.7%	16.0%	16.9%	15.3%	13.3%
12.2%	13.3%	13.4%	13.2%	12.2%

9.7%	10.6%	10.7%	11.2%	12.7%
10.7%	11.4%	12.1%	12.8%	13.7%
10.9%	12.5%	13.2%	14.0%	13.8%
11.3%	12.6%	13.6%	14.1%	14.3%
11.2%	11.8%	12.1%	13.1%	12.8%

心持ち材

10.6%	10.7%	10.8%	11.0%	11.1%
11.8%	12.1%	12.3%	12.2%	11.4%
12.1%	13.5%	13.6%	13.2%	11.8%
12.6%	13.8%	14.2%	13.3%	12.1%
12.2%	12.9%	12.6%	12.0%	11.4%

11.3%	14.3%	15.2%	16.2%	15.0%
13.9%	23.9%	32.1%	42.0%	21.7%
13.6%	29.4%	99.5%	58.6%	19.7%
12.6%	25.4%	44.6%	46.3%	24.2%
11.4%	13.9%	17.6%	20.0%	16.7%

9.8%	10.4%	11.5%	12.6%	11.7%
10.8%	12.4%	16.7%	18.2%	14.3%
12.0%	17.1%	22.6%	22.9%	15.2%
13.6%	18.6%	22.0%	19.6%	13.8%
12.1%	14.2%	14.8%	13.5%	11.4%

10.2%	10.6%	11.1%	11.6%	12.1%
11.8%	12.1%	13.7%	14.5%	14.8%
12.5%	14.2%	15.8%	16.7%	16.9%
12.0%	14.4%	16.4%	17.1%	15.3%
10.7%	12.4%	13.8%	14.9%	12.8%

12.6%	11.8%	11.0%	11.8%	12.0%
13.5%	13.7%	12.8%	12.9%	12.2%
14.2%	15.5%	14.6%	13.8%	12.7%
14.5%	15.3%	14.8%	13.9%	12.7%
13.0%	13.4%	13.2%	13.7%	12.8%

11.1%	11.7%	11.6%	12.1%	12.1%
11.9%	13.9%	14.4%	14.3%	13.8%
12.3%	14.7%	15.6%	15.6%	14.4%
11.4%	13.6%	15.2%	15.3%	14.3%
11.5%	12.3%	13.3%	13.9%	12.7%

写真-5 乾燥後の断面及び含水率
(高周波減圧乾燥)

心去り材

10.8%	14.8%	16.8%	13.6%	10.5%
15.6%	38.0%	38.9%	29.5%	12.1%
21.8%	43.3%	41.0%	30.9%	12.9%
13.1%	26.8%	28.2%	21.3%	11.2%
10.0%	10.9%	11.8%	11.3%	10.4%

11.9%	14.8%	23.0%	27.9%	14.3%
13.9%	38.2%	59.1%	60.6%	36.9%
23.6%	59.4%	75.3%	60.1%	32.4%
21.7%	66.9%	64.4%	45.4%	18.7%
15.2%	26.7%	21.0%	16.3%	11.2%

心持ち材

10.6%	13.5%	15.2%	12.9%	11.6%
11.5%	20.1%	21.4%	22.2%	13.4%
14.6%	25.9%	20.8%	26.1%	15.0%
13.8%	23.8%	22.5%	25.0%	14.1%
11.3%	12.5%	14.3%	13.9%	9.9%

11.9%	22.4%	31.2%	25.7%	16.4%
13.4%	43.7%	62.8%	63.6%	33.2%
19.4%	51.1%	73.1%	103.3%	36.3%
16.8%	45.7%	76.9%	96.2%	40.7%
11.0%	19.0%	27.2%	25.4%	14.6%

11.2%	14.9%	15.5%	16.1%	11.4%
17.4%	46.2%	44.8%	39.1%	16.0%
21.6%	49.4%	53.9%	50.4%	23.4%
15.5%	42.8%	51.9%	40.4%	15.0%
13.1%	21.8%	25.3%	14.9%	12.1%

11.0%	14.9%	25.8%	35.0%	19.0%
14.5%	38.1%	66.5%	84.5%	53.9%
21.0%	63.7%	78.0%	107.9%	48.2%
20.5%	62.6%	80.9%	68.8%	32.6%
18.3%	36.3%	38.5%	33.5%	13.7%

10.4%	13.7%	14.5%	12.4%	10.9%
16.8%	25.7%	20.9%	18.5%	12.4%
18.4%	28.4%	17.6%	16.6%	12.0%
15.5%	22.6%	18.8%	20.6%	11.9%
10.1%	10.5%	13.5%	14.1%	10.6%

11.1%	12.8%	15.2%	13.5%	12.9%
13.4%	36.2%	46.5%	30.0%	14.5%
16.1%	52.8%	55.8%	35.5%	14.1%
15.2%	35.0%	36.1%	28.2%	13.1%
11.3%	14.7%	16.5%	13.0%	10.1%

写真-6 乾燥後の断面及び含水率
(高温乾燥)

4. まとめ

今回の心去り材の高周波減圧乾燥試験の結果、心去り平角材、4丁取り正角材、いずれの場合も良好な状態で乾燥できることが明らかとなった。一方、心去り材は心持ち材と同様に、大分方式乾燥や高温乾燥を選択することも可能である。ただし、高温乾燥の場合は、乾燥が進みすぎると内部割れが発生することがあるので、安易に高温乾燥の時間を延長するべきではない。最も含水率が低い材が、15%を下回る前に高温乾燥から中温乾燥に移行するなどの温度管理が必要である。また、天然乾燥の場合は、心持ち材よりも乾燥スピードは速いと思われるが、心去り平角材では5か月後も含水率20%以上であったため、中温乾燥等の促進乾燥を行う必要がある。

いずれにせよ、含水率管理をしっかり行い、必要に応じて促進乾燥を実施して目標含水率まで乾燥させる点では心去り材も心持ち材と変わらないことから、生産現場にあった乾燥スケジュールを選択することが重要である。その中で、大径材の製材で多く生産されることが見込まれる心去り材について、大分方式乾燥（高温セット乾燥）や高周波減圧乾燥が有力な選択肢になると思われるので、今後はさらに詳細な試験を行って心去り材の効率的な乾燥システムの構築を行っていく予定である。

謝辞

今回の乾燥試験では、熊本県林業研究・研修センター並びに同センター林産加工部の池田元吉氏、中村圭子氏をはじめ研究員の方々には同センター所有の高周波減圧乾燥機の使用等において多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 河津 渉：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 No. 58, 34-37（平成27年）
- 2) 豆田俊治：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 No. 63, 33-39（令和2年）

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発

- スギ心去り平割材の乾燥条件の検討 -

令和3年度～令和5年度

木材チーム 豆田 俊治

1. 目 的

主伐・再造林を推進するうえで大径材の需要創出が喫緊の課題となっている。そこで、大径材部材の品質向上のため、大径材の木取りに合わせた乾燥技術の開発が必要となっている。

本年度は、大断面製材や心去り材などの大径材部材に適した乾燥法の検討を行った。今回は、大径材から製材される製材を乾燥させて小割にする場合、残留応力が小さく、曲がりが発生しにくい乾燥条件を検討するため、高温乾燥、高周波蒸気複合乾燥(以下、高周波乾燥と記す)、大分方式乾燥、天然乾燥を実施して、スギ心去り平割材の乾燥条件の検討を行ったので報告する。

2. 試験方法

1) 試験材及び乾燥試験

試験材は、大分県内の製材工場から購入したスギ心去り平割材 55mm×220mm×4 mを 32 枚使用した。製材した原木8本の末口径は、最小 42.4cm、最大 47.7cm、平均 44.5cm で、図-1に示すとおり原木1本から4枚製材した。試験材は8枚ずつ4つのグループに分け、製材後速やかに両端 50cm で切断して、含水率(全乾法)及び重量測定を実施した。その後、表-1に示す方法で乾燥試験を実施した。乾燥試験は、大分県立日田林工高等学校の高周波蒸気複合乾燥機(MDW-2SD、山本ビニター株式会社製)を使用した。

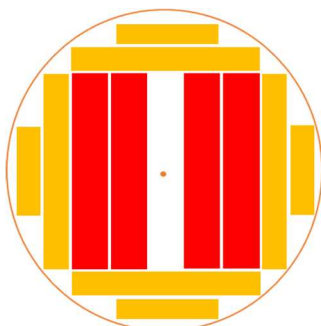


図-1 製材木取り

表-1 乾燥方法

試験区分	本数 (本)	乾燥方法	
		高温セット処理	乾燥処理
高温乾燥	8	蒸煮95℃、6h 高温セット 120℃～90℃ 6h	高温乾燥 乾球90℃、湿球60℃ 24h
高周波蒸気複合乾燥	8	-	高周波(中温)乾燥 70～80℃、56h
大分方式乾燥 (高温セット乾燥)	8	蒸煮95℃、6h 高温セット 120℃～90℃ 6h	天然乾燥(5ヵ月)
天然乾燥	8	なし	

2) 材質試験

製材直後、人工乾燥終了後、養生後に材質測定を行った。測定項目は、重量、寸法、 E_f 、含水率(高周波木材水分計 HM-520 型、(株)ケツト科学研究所製)を測定した。寸法は、木口から 50cm、150cm、250cm の3か所で4材面全て測定した。測定面は図-2のとおりとした。乾燥前後の寸法測定結果から a、c 面(長辺)と b、d 面(短辺)の収縮率を算出した。養生後、プレーナ仕上げを行ってから、色差計で材色を測定した。測定箇所は a 面3か所、c 面3か所の計6か所とした。その後、リップソーで繊維方向に2分割し、分割した直後と15日後に中央矢高を測定した。測定結果は、図-3に示す

とおり、切断面側に曲がったものを「圧縮」、切断面と逆方向に曲がったものを「引張り」として集計し、乾燥方法別に比較した。



図-2 材質測定面の定義

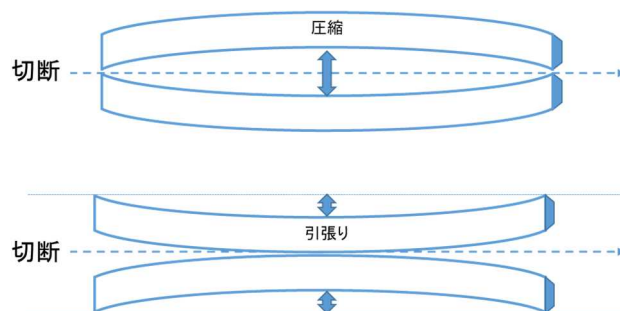


図-3 二分割後の矢高測定

3. 結果及び考察

表-2に材質測定試験の結果を示す。養生後の平均含水率は、高温乾燥 15.5%、高周波乾燥 16.0%、大分方式乾燥 16.7%、天然乾燥 19.3%であった。重量から換算した乾燥期間中の含水率を図-4に示す。天然乾燥がやや高いが、どの乾燥条件も同じような傾向を示しており、人工乾燥後（製材後 39 日後）までに含水率は 20~25%程度まで下がり、それから 62 日後にかけて 4~5%含水率が下がったが、それ以降はほとんど下がらなかった。また、乾燥後の中央矢高の測定結果から、曲がり（反り）は a 面に集中して発生しており、最大 5mm 程度でどの乾燥方法も大きな差はなかった。

プレーナ仕上げ後に 2 分割した後の様子を写真-1 に示す。切断した部分に隙間ができているため、曲がりが生じていると分かる。次に 2 分割後の切断面と同じ面に出た矢高を「圧縮」、切断面と反対側の面に出た矢高を「引張り」として、中央部矢高を測定結果から、切断によって生じた曲がり（反り）を比較した結果を図-5 に示す。高温乾燥は主に圧縮方向に曲がり、天然乾燥は逆に引張り方向に曲がる傾向が見られ、高周波乾燥、大分方式乾燥は両者の中間であった。ただし、いずれも最大 4~5mm 程度で a 面に生じた反りの方が大きい材もあった。また、切断直後と 15 日後を比較したがほとんど変化しなかった。以上のことから、今回の試験を行った乾燥方法は、いずれの方法も乾燥後の加工による変形は小さいことが分かった。

4. まとめ

大径材の製材から高温乾燥、高周波乾燥、大分方式乾燥、天然乾燥を比較したところ、天然乾燥と他の人工乾燥において含水率、材色でわずかに差が生じたものの、ほかは大きな差は認められなかった。今回のスケジュールは、人工乾燥の時間をできるだけ短くして、より天然乾燥に近い状態を目指したことで、加工による曲がりの少ない高品質な乾燥が実現できることが分かった。

一方、天然乾燥（養生期間）を 5 か月間行ったが、含水率 15%以下まで下げることはできなかった。今回の結果から、製材後 62 日後以降の養生期間中は、重量変化がほとんどなかったことから、含水率 15%を目標含水率とする場合は、2 か月程度の天然乾燥とその後促進乾燥（中温乾燥）を行って 15%以下まで下げるのが合理的であると推測された。

謝辞

今回の乾燥試験では、大分県立日田林工高等学校並びに同校の林業科教諭 後藤英次郎氏、江田雅之氏ほか職員の皆様には、お忙しい中、同校所有の高周波蒸気複合乾燥機を使用させていただく際に多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

表-2 材質測定結果（平均±標準偏差）

乾燥条件	本数	含水率(%)			密度(kg/m ³)		
		乾燥前	乾燥後	養生後	乾燥前	乾燥後	養生後
高温乾燥	8	67.4±15.5	19.7±2.4	15.5±2.1	486.2±46.4	361.1±16.4	352.7±14.2
高周波乾燥	8	69.0±17.1	20.9±3.8	16.0±2.7	489.6±36.0	365.5±8.2	354.3±13.3
大分方式乾燥	8	68.1±14.7	24.3±2.4	16.7±1.8	484.6±38.8	368.6±15.7	353.1±13.6
天然乾燥	8	72.8±18.8	25.3±5.2	19.3±2.9	492.1±44.8	364.4±11.1	351.7±10.2

乾燥条件	本数	E _r (GPa)			矢高(最大)(mm)		
		乾燥前	乾燥後	養生後	乾燥前	乾燥後	養生後
高温乾燥	8	5.8±0.8	6.1±0.8	6.4±0.9	4.0±2.7	1.9±1.1	3.2±0.9
高周波乾燥	8	6.0±0.7	6.3±0.7	6.7±0.7	4.4±3.2	3.0±2.0	2.3±1.4
大分方式乾燥	8	5.9±0.9	6.0±0.9	6.6±1.0	4.3±2.4	2.2±1.1	2.5±1.1
天然乾燥	8	5.9±0.5	6.1±0.5	6.5±0.6	3.0±1.1	4.1±0.9	3.2±0.8

乾燥条件	本数	乾燥前寸法		乾燥後寸法		養生後寸法	
		長辺(ac面)	短辺(bd面)	長辺(ac面)	短辺(bd面)	長辺(ac面)	短辺(bd面)
高温乾燥	8	220.70±0.11	55.94±0.47	217.46±0.77	54.69±0.50	216.17±0.56	54.36±0.48
高周波乾燥	8	220.79±0.29	56.28±0.66	217.11±1.18	54.98±0.84	215.63±0.55	54.82±0.76
大分方式乾燥	8	220.79±0.16	56.04±0.45	218.56±0.76	55.08±0.49	216.09±0.39	54.61±0.46
天然乾燥	8	220.78±0.28	55.99±0.36	219.06±0.77	55.33±0.45	217±0.45	55.07±0.46

乾燥条件	本数	乾燥後収縮率(%)		養生後収縮率(%)		材色(L*) プレーナ後
		長辺(ac面)	短辺(bd面)	長辺(ac面)	短辺(bd面)	
高温乾燥	8	1.5±0.3	2.2±0.5	2.1±0.2	2.8±0.4	67.57±1.28
高周波乾燥	8	1.7±0.5	2.3±0.6	2.3±0.2	2.6±0.6	66.74±1.93
大分方式乾燥	8	1.0±0.3	1.7±0.2	2.1±0.1	2.6±0.2	68.84±0.83
天然乾燥	8	0.8±0.3	1.2±0.4	1.6±0.1	1.6±0.4	70.99±2.28

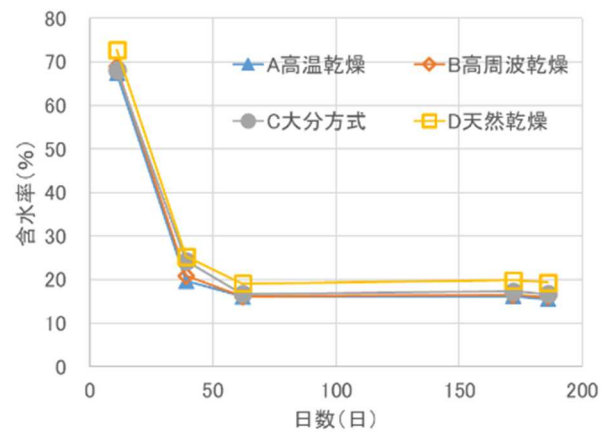


図-4 含水率測定結果



高温 高周波 大分方式 天然乾燥

写真-1 分割後の状況

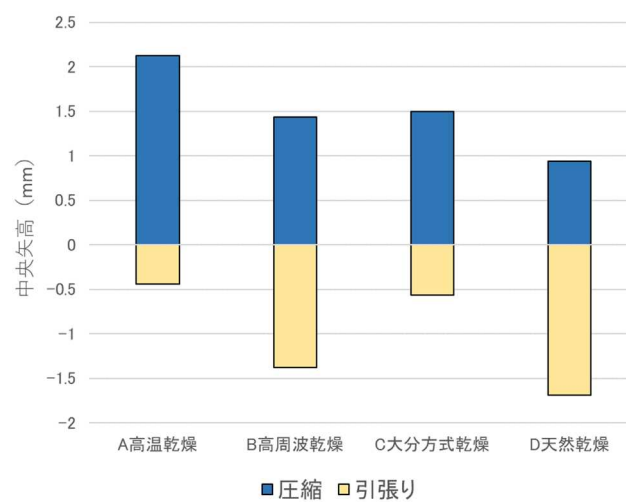


図-5 二分後の矢高測定結果 (15日後)

大径材の多様な利活用に向けた乾燥技術の開発

- スギ大断面正角材の天然乾燥試験 -

令和3年度～令和5年度

木材チーム 豆田 俊治

1. 目 的

主伐・再造林を推進するうえで大径材の需要創出が喫緊の課題となっている。そこで、大径材部材の品質向上のため、大径材の木取りに合わせた乾燥技術の開発が必要となっている。

本年度は、大断面製材や心去り材などの大径材部材に適した乾燥法の検討を行った。今回は、スギ大断面正角材を使った天然乾燥試験を実施した。

2. 試験方法

試験材は、大分県内の製材工場で製材されたスギ心持ち大断面正角材（315mm×315mm 及び 255mm×255mm、長さ4m、以下315角、255角と記す）で、各寸法4本ずつ使用した。製材前の原木の末口径及び元口径を表-1に示す。製材後、表-2に示すとおり、大分方式乾燥と天然乾燥の2条件に分けて乾燥を行った。

製材直後に重量、寸法、 E_{fr} 、含水率（含水率計moco2を使用）を行い、寸法及び含水率は木口から50cm、200cm、350cmの位置で測定し、寸法は4面、含水率はA面（乾燥時の上面）及びC面（下面）3箇所ずつ計6箇所を測定して平均値を算出した。天然乾燥期間中は定期的に重量測定を行った。さらに製材から250日経過した時点で重量、寸法、 E_{fr} 、含水率（高周波木材水分計HM-520型、（株）ケツト科学研究所製）を測定した。測定状況を写真-1に示す。

表-1 使用原木の末口径及び元口径

		原木①	原木②	原木③	原木④
		末口径	元口径	末口径	元口径
315角	末口径	41.6	50.2	52.3	50.3
	元口径	47.1	56.3	63.0	58.9
		原木⑤	原木⑥	原木⑦	原木⑧
		末口径	元口径	末口径	元口径
255角	末口径	43.0	40.4	41.1	43.0
	元口径	50.9	43.9	45.7	47.7



写真-1 測定状況

表-2 乾燥条件

試験区分	試験材 (製材寸法)	本数 (本)	乾燥方法	
			高温セット処理	乾燥処理
大分方式乾燥	スギ心持ち正角材(315角) (315mm×315mm×4m)	2	蒸煮95℃、18h 高温セット 120℃－90℃、6h	天然乾燥 (8ヵ月)※
	スギ心持ち正角材(255角) (255mm×255mm×4m)	2		
天然乾燥	スギ心持ち正角材(315角) (315mm×315mm×4m)	2	なし	
	スギ心持ち正角材(255角) (255mm×255mm×4m)	2		

※令和4年2月末現在(継続中)

3. 結果及び考察

製材直後（乾燥前）と製材から 250 日経過後の測定データを表-3 に示す。また、乾燥期間中の重量を乾燥 250 日後の含水率データから換算した乾燥期間中の推定含水率を図-1 に示す。250 日後の含水率は、大分方式乾燥の 315 角と 255 角で 22.5%と 22.4%、天然乾燥の 315 角と 255 角で 31.1%、30.6%であった。150 日を越えたあたりから含水率の下がり方も緩やかになっており、含水率 15%あるいは 20%以下まで乾燥させるためには、さらに時間がかかると推測された。このため、目標含水率まで効率的に乾燥するためには、乾燥後期に促進乾燥の実施を検討する必要がある。

表-3 測定データ（平均値）

乾燥条件	本数	重量(kg)		密度(kg/m ³)		含水率(%)			E _p (GPa)	
		乾燥前	乾燥250日後	乾燥前	乾燥250日後	乾燥前 (含水率計)	乾燥250日後 (含水率計)	乾燥250日後 (重量換算※)	乾燥前	乾燥250日後
大分方式 乾燥	315角	2	222.3	155.1	542.5	382.0	67.5	75.5	22.5	5.7
	255角	2	153.6	101.4	564.6	380.8	75.2	85.4	22.4	6.9
天然乾燥	315角	2	283.0	193.2	689.7	472.0	88.0	93.0	31.1	4.9
	255角	2	170.5	120.9	629.9	450.4	79.1	83.9	30.6	6.6

※乾燥 250 日後の含水率から重量換算したもの

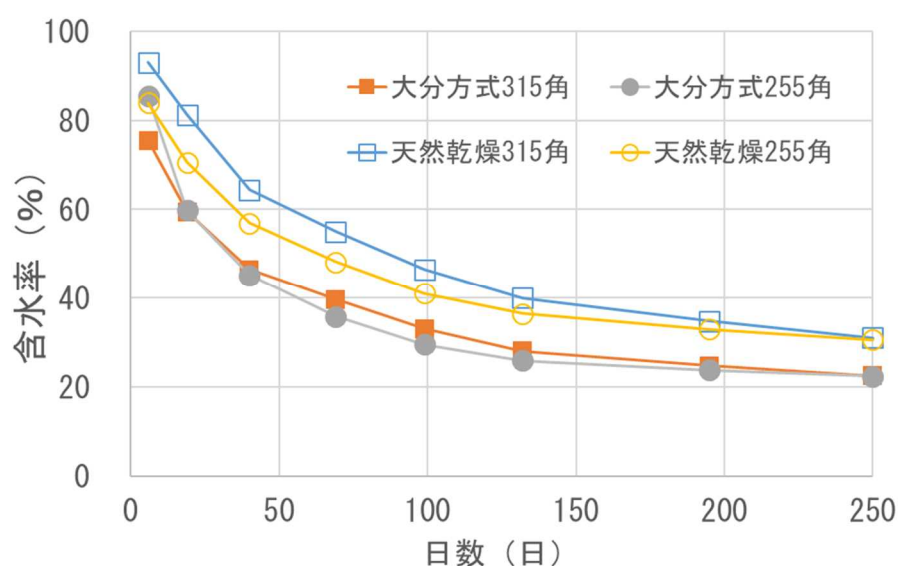


図-1 含水率の推移

4. 今後の予定

今後は、天然乾燥を継続して含水率の推移を確認しながら、最終的に含水率 15%以下まで中温乾燥等による促進乾燥を実施したのち、表面割れ、内部割れ、全乾含水率（内部分布）などの材質試験を実施する予定である。

低コスト造林施業推進に向けたスギ優良品種の材質特性の解明

令和3年度～令和5年度

木材チーム 前原 礼明

1. 目 的

大分県では主伐の増加に伴い再造林面積が増加している。現在、再造林にかかる費用を削減する施業の1つとして疎植造林(植栽密度 2,000 本/ha 以下の造林)が推進されているが、県内に低密度で植栽されたスギの材質については、まだ明らかにされていない。本研究は、低コスト造林施業を推進するため、スギ優良品種の材質特性を解明することを目的に、今年度は、疎植造林地から伐採した立木を用いて、植栽密度が材質に与える影響について調査したので報告する。

2. 試験方法

1) 供試材

供試材は、現在県の推奨品種に指定されているシャカイン及びヤマグチを大分県玖珠郡九重町の地蔵原試験林(図-1)から伐採した。地蔵原試験林は1976年に設定され、試験林内に実生スギと在来品種9品種が1ヘクタールあたり1,500本、3,000本、5,000本の3つの植栽密度毎(以下、1500本区、3000本区、5000本区と記す)に植栽されている。この試験地は、過去に津島¹⁾、佐藤²⁾によって同様の試験が実施されており、今回は、林齢46年生時の材質を調べた。各品種1500本区及び3000本区において、毎木調査を実施し、直径巻尺(株式会社ムラテック KDS 製)で胸高直径を、Vertex(ハグロフ社製)で樹高を測定した後、胸高直径の平均値に近い各3本計12本を用いた。

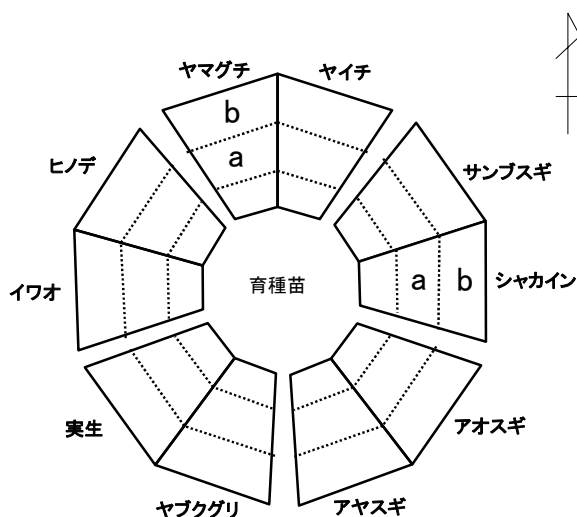


図-1 地蔵原試験林配置図

(a : 3000 本区、b : 1500 本区)

2) 丸太の材質試験

供試材12本(4試験区×3本)は、それぞれ立木の状態で地上高0.3m位置から切り出し伐倒後、3m毎に玉切りした(1番玉(0.3～3.3m部位)、2番玉(3.3～6.3m部位)、3番玉(6.3～9.3m部位)、

4 番玉(9.3～12.3m部位)、5 番玉(12.3～15.3m部位))。各試験区 15 本、計 60 本の丸太は、林業研究部に搬入した後に、材長、円周(元口末口)、年輪数、重量、固有振動数を測定し、縦振動ヤング係数(以下、 E_{fr} と記す。)、平均年輪幅を求めた。 E_{fr} 算出に必要な固有振動数は、シングルアナライザーSA-77(株式会社リオン社製)を用いて測定した。平均年輪幅は、円周から各玉元口の半径を求め、半径を年輪数で除して算出した。丸太の測定終了後、各玉の元口側から 3 cm の円盤を切りだし、円盤から扇形の試験片を採取した。試験片を髓から 5 年輪毎に分割し、次代検定林の材質調査要領³⁾に基づいて、容積密度を浮力法、生材含水率を全乾法で求めた。

3. 結果及び考察

1) 毎木調査

表-1 に各品種の胸高直径及び樹高の平均値(標準偏差)を示す。胸高直径は、2 品種ともに 1500 本区が 3000 本区に比べ大きな値となり、有意水準 5 % で有意差があった。植栽密度が低くなると密な場合に比べて植栽木間での競争が緩和され、肥大成長しやすいことが要因と考えられた。樹高に関しては、2 品種ともに 20m 前後であり、植栽密度間での明確な差は見られなかった。

表-1 胸高直径と樹高 (樹高は供試材 3 本の平均値)

試験区	本数(本)	胸高直径(cm)	樹高(m)
シャカイン1500本区	44	27.9(1.8)	19.8(0.3)
シャカイン3000本区	50	23.5(2.9)	20.6(0.4)
ヤマグチ1500本区	42	30.2(3.3)	19.4(0.2)
ヤマグチ3000本区	37	26.4(2.7)	20.1(0.2)

平均値(標準偏差)

2) 容積密度

表-2 に番玉別の容積密度の平均値(標準偏差)を示す。また、表-2 に基づき作成した容積密度の樹高方向変動を図-2 に示す。1～5 番玉の平均値は、シャカイン 1500 本区で 372 kg/m³、3000 本区で 376 kg/m³、ヤマグチでそれぞれ 323 kg/m³、327kg/m³であり、2 品種ともに植栽密度間での差は小さかった。樹高方向については、2 品種ともに 1500 本区及び 3000 本区で明確な変動はなく、1～5 番玉で同様の値を示した。

表-2 番玉別の容積密度(kg/m³)

番玉	シャカイン		ヤマグチ	
	1500本区	3000本区	1500本区	3000本区
1	374(8.5)	398(9.0)	327(6.5)	332(17.9)
2	348(2.8)	365(11.0)	306(6.8)	327(12.2)
3	375(17.7)	363(12.8)	310(7.1)	313(1.7)
4	366(11.5)	377(9.9)	323(9.0)	327(4.8)
5	398(7.5)	380(9.1)	346(4.2)	336(6.5)
平均	372(5.5)	376(1.6)	323(1.7)	327(6.4)

平均値(標準偏差)

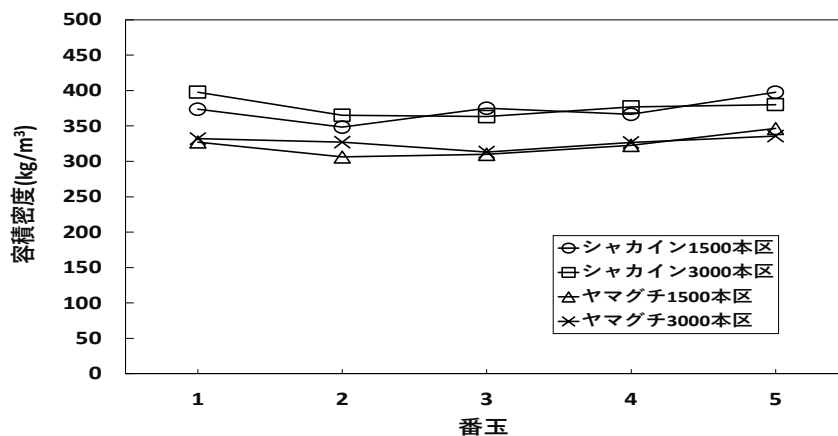


図-2 容積密度の樹高方向変動

3)生材含水率

表-3に番玉別の生材含水率の平均値(標準偏差)を示す。また、表-3に基づき作成した生材含水率の樹高方向変動を図-3に示す。生材含水率は、1～5番玉の平均値について比較すると、シャカイン1500本区で125.2%、3000本区で113.8%、ヤマグチでそれぞれ139.2%、135.7%であり2品種ともに1500本区で含水率が少し高かった。

表-3 番玉別の生材含水率(%)

番玉	シャカイン		ヤマグチ	
	1500本区	3000本区	1500本区	3000本区
1	127.3(13.5)	100.2(6.2)	166.8(4.1)	134.9(12.1)
2	127.7(18.8)	105.5(3.3)	137.7(13.1)	128.4(9.5)
3	113.3(13.9)	118.3(4.4)	142.7(5.9)	142.5(5.7)
4	130.3(5.4)	121.8(13.4)	125.9(8.1)	144.8(18.6)
5	128.0(3.0)	123.1(16.0)	122.8(4.7)	127.8(13.9)
平均	125.2(6.5)	113.8(5.7)	139.2(3.7)	135.7(4.8)

平均値(標準偏差)

樹高方向の変動については、2品種ともに植栽密度間で明確な傾向が見られなかった。シャカインは、1、2番玉では1500本区の含水率が高く3～5番玉では同様の値となり、ヤマグチは1番玉で1500本区、4番玉で3000本区の含水率が高く、2、3、5番玉で同様の値を示した。

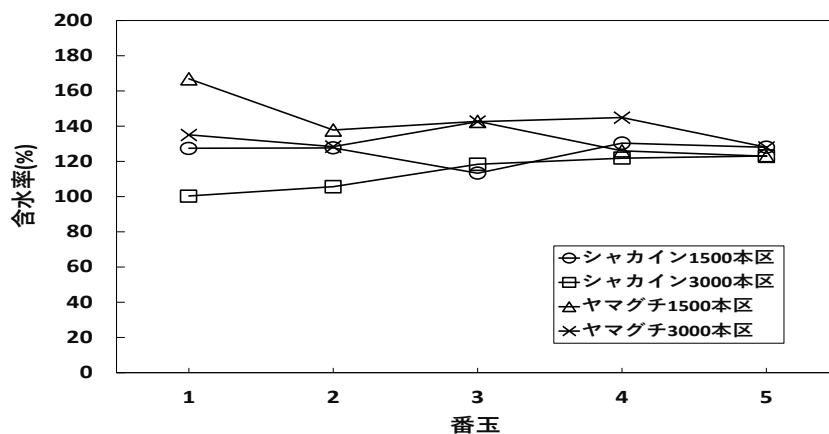


図-3 生材含水率の樹高方向変動

4) E_{fr} の測定結果

表-4に番玉別の E_{fr} の平均値(標準偏差)を示す。また、表-4に基づき作成した E_{fr} の樹高方向変動を図-4に示す。シャカインは、1番玉は1500本区及び3000本区でほとんど同じ値を示したが、2番玉から5番玉になっていくにつれて1500本区と3000本区との間で差が見られた。すなわち、3000本区では樹高が高くなるにつれて、 E_{fr} も高い値を示したが、1500本区は、2番玉で6.9 GPaを示した後、樹高が高くなるにしたがって、徐々に低い値を示した。ヤマグチも3番玉以降で同様の傾向が見られた。

表-4 番玉別の E_{fr} (GPa)

番玉	シャカイン		ヤマグチ	
	1500本区	3000本区	1500本区	3000本区
1	5.9(0.2)	6.1(0.2)	5.0(0.0)	4.9(0.2)
2	6.9(0.2)	7.5(0.4)	6.3(0.4)	6.3(0.1)
3	6.4(0.2)	7.8(0.3)	6.5(0.3)	6.9(0.2)
4	6.3(0.2)	8.3(0.4)	6.2(0.5)	7.2(0.3)
5	6.0(0.3)	8.7(0.4)	6.0(0.6)	7.0(0.1)
平均	6.3(0.2)	7.7(0.1)	6.0(0.2)	6.4(0.1)

平均値(標準偏差)

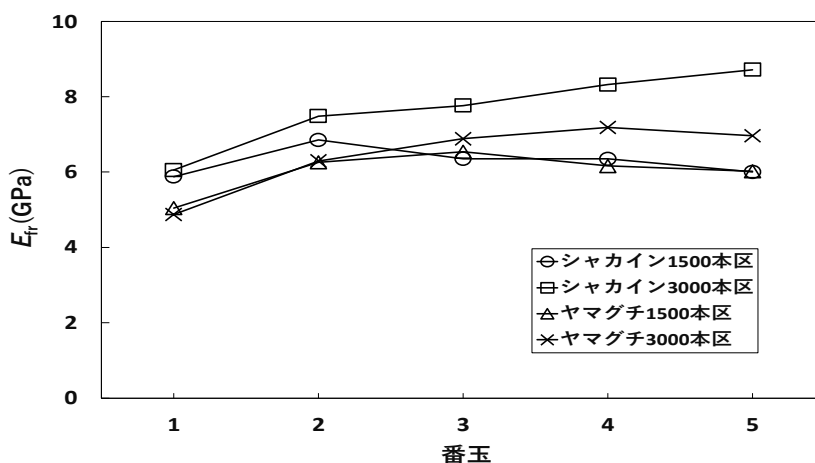


図-4 E_{fr} の樹高方向変動

表-5に番玉別の平均年輪幅の平均値(標準偏差)を示す。2品種ともに全玉で、1500本区の年輪幅が3000本区のものに比べて大きな値であった。丸太のヤング率は、平均年輪幅と相関を持っており、年輪幅の大きな丸太は、ヤング率が低い傾向にある⁴⁾ことから、今回1500本区と3000本区の材の間で E_{fr} の差が生じた原因の1つと考えられた。

表-5 番玉別の平均年輪幅 (mm)

番玉	シャカイン		ヤマグチ	
	1500本区	3000本区	1500本区	3000本区
1	3.6(0.1)	3.0(0.0)	3.6(0.1)	3.3(0.1)
2	3.2(0.2)	2.7(0.2)	3.2(0.1)	2.9(0.1)
3	3.2(0.1)	2.8(0.1)	3.2(0.2)	2.7(0.2)
4	3.5(0.2)	3.0(0.2)	3.3(0.5)	2.7(0.1)
5	3.7(0.5)	3.2(0.2)	3.6(0.4)	2.9(0.2)
平均	3.4(0.2)	2.9(0.1)	3.4(0.2)	2.9(0.1)

平均値(標準偏差)

次に素材の日本農林規格⁵⁾（以下、素材 JAS と記す）に基づき、4 試験区の丸太 60 本の E_{fr} を等級区分したグラフを図-5 に示す。シャカインは、1500 本区で Ef70 に該当する丸太が最も多く見られたが、等級外のものはなかった。また、3000 本区で Ef90 に該当するものが多かった。ヤマグチでは、1500 本区、3000 本区ともに Ef70 に該当する丸太が多く、1500 本区では、Ef50 に該当する丸太が多かったものの、等級外の丸太はなかった。このことから、1500 本区の木は 3000 本区に比較して、等級毎の本数に差は生じるものの、建築材としての利用は可能であることが示唆された。

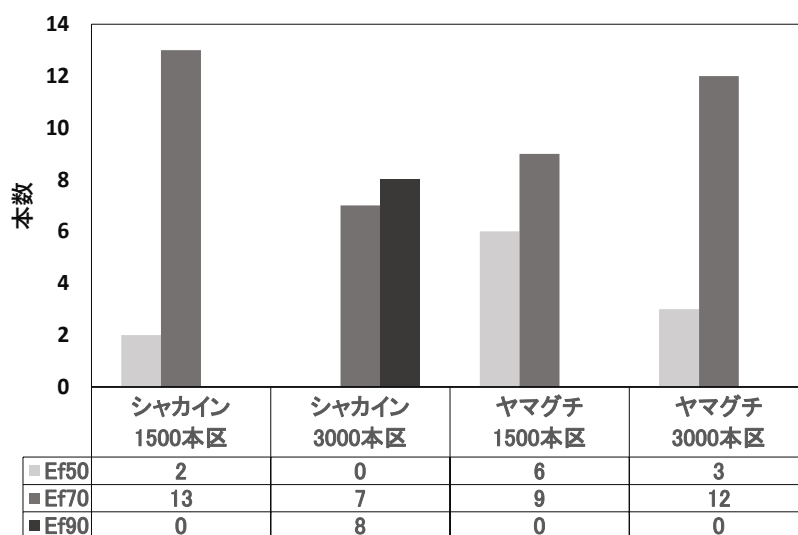


図-5 E_{fr} の等級区分

4. まとめ

地蔵原試験林で伐採したシャカイン、ヤマグチを用いて試験を行った結果、以下のことが分かった。

- (1) 胸高直径は、2 品種ともに 1500 本区が 3000 本区に比べ大きく、有意水準 5 % で有意差があった。
- (2) 容積密度は、1 ～ 5 番玉の平均値について比較すると、シャカイン 1500 本区で 372kg/m³、3000 本区で 376kg/m³、ヤマグチでそれぞれ 323kg/m³、327kg/m³ であり、2 品種ともに植栽密度間での差は小さかった。
- (3) 生材含水率は、1 ～ 5 番玉の平均値について比較すると、シャカイン 1500 本区で 125.2%、3000 本区で 113.8%、ヤマグチでそれぞれ 139.2%、135.7% であり、2 品種ともに 1500 本で含水率が少し高かった。
- (4) E_{fr} は、シャカインで 1 番玉は、1500 本区及び 3000 本区でほとんど同じ値を示したが、2 番玉から 5 番玉になっていくにつれて 1500 本区と 3000 本区との間で差が見られた。ヤマグチも 3 番玉以降で同様であった。また、素材 JAS に基づく等級区分では、2 品種ともに 1500 本区の丸太が 3000 本区に比べて E_{fr} が低い等級に区分されることが多かったものの、等級外の丸太はなかった。

謝辞

今回の植栽密度試験では、九重町に供試材の提供等において多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 津島俊治：大分県農林水産研究指導センター林業研究部報告 第 16 号, 37-54(平成 18 年)
- 2) 佐藤嘉彦：大分県農林水産研究指導センター林業研究部年報 No. 55, 18-19(平成 25 年)
- 3) 材木育種センター：次代検定林の材質調査要領, 7-8(平成 8 年)
- 4) 富山県林業技術センター：富山県産スギの材質と強度, 15-16(平成 12 年)
- 5) 素材の日本農林規格：平成 19 年 8 月 21 日農林水産省告示第 1052 号