

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×4m（以下、255材と記す）、スギ心去り平角材 165mm×135mm×4m（以下、165材と記す）で、各寸法4本ずつを使用した。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2m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

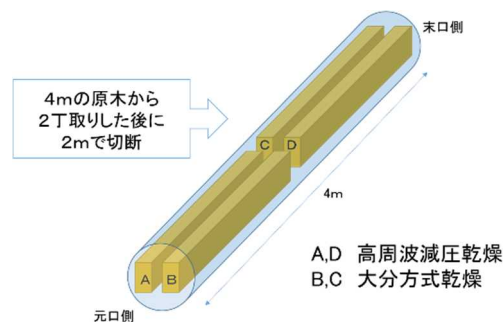


図-1 原木の製材（2丁取り）

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°C 湿球73~50°C	乾球63°C 湿球48°C
	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°C、6h セット120°C、6h	天然乾燥
	スギ心去り平角材 (2丁取り) (165mm × 135mm × 2m)	4		中温乾燥 (60~70°C)

(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_r 、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。

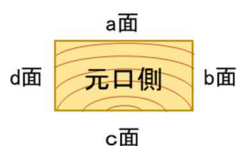


図-2 材質測定面の定義

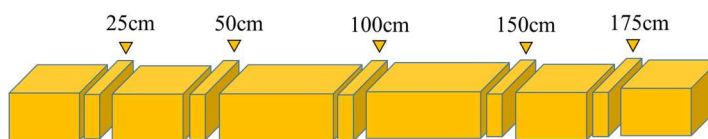


図-3 試験片の採取位置

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。

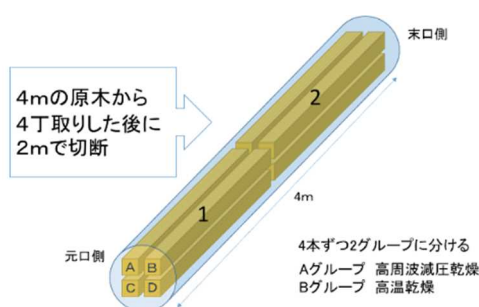


図-4 原木の製材（4丁取り）

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°C 湿球73~50°C	乾球63°C 湿球48°C
	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	蒸煮95°C、18h	120°C~90°C、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。

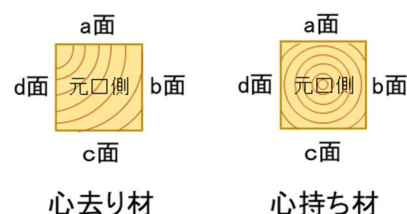


図-5 材質測定面の定義

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	乾燥前	含水率(%)		促進後矢高 (最大)(mm)	促進後収縮率(%)		E_n (GPa)			
			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

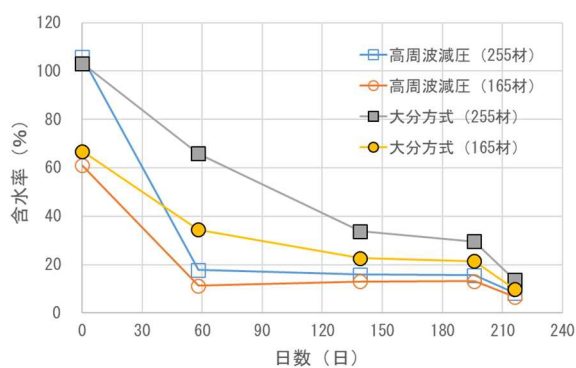


図-6 含水率測定結果

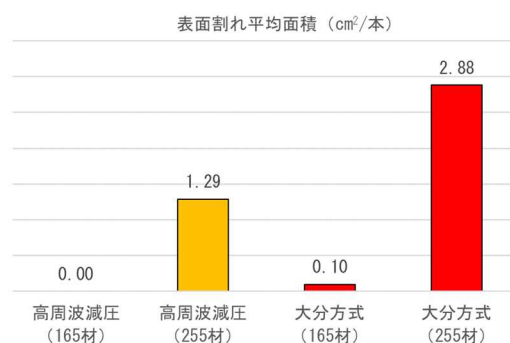


図-7 表面割れ測定結果

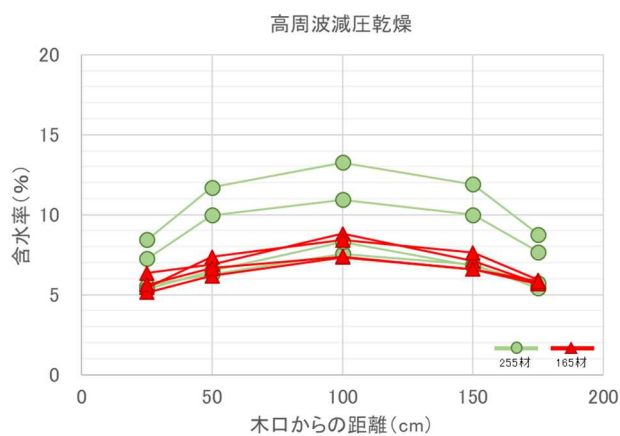


図-8 含水率測定結果 (材長方向)
(高周波減圧乾燥)

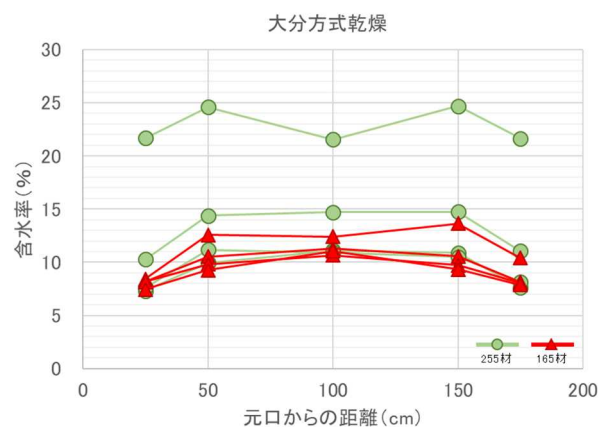


図-9 含水率測定結果 (材長方向)
(大分方式乾燥)

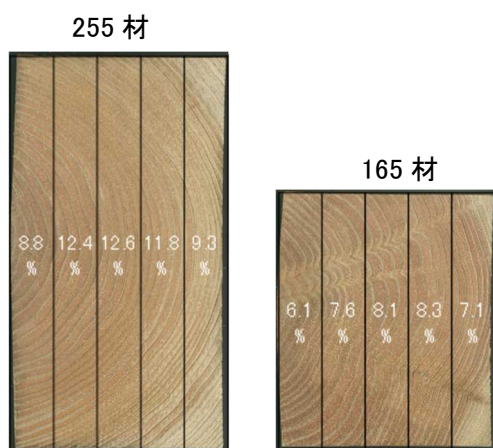


写真-3 乾燥後の断面及び含水率
(高周波減圧乾燥)

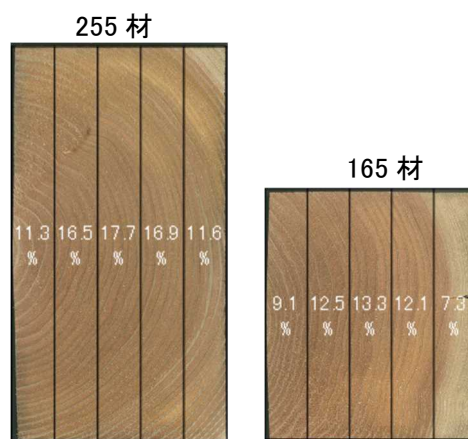


写真-4 乾燥後の断面及び含水率
(大分方式乾燥)

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) 乾燥後	収縮率 (%)		密度 (kg/m ³)		E _r (GPa)		
		乾燥前	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

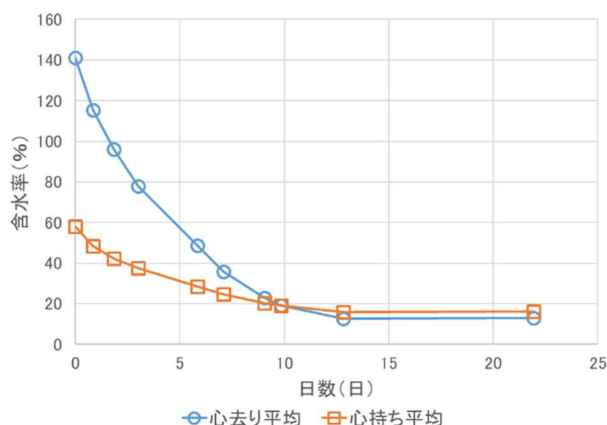


図-10 乾燥中の含水率
(高周波減圧乾燥)

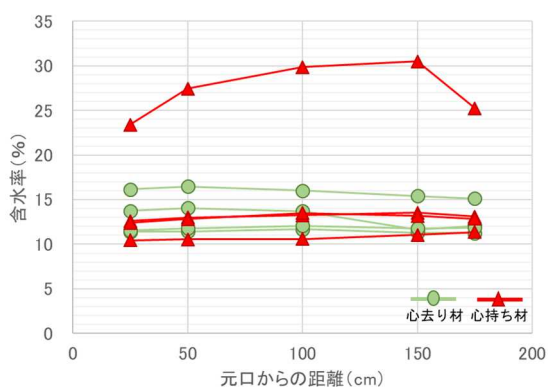


図-11 含水率測定結果 (材長方向)
(高周波減圧乾燥)

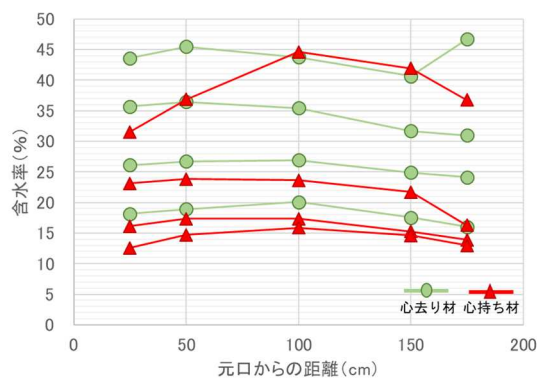


図-12 含水率測定結果 (材長方向)
(高温乾燥)

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。

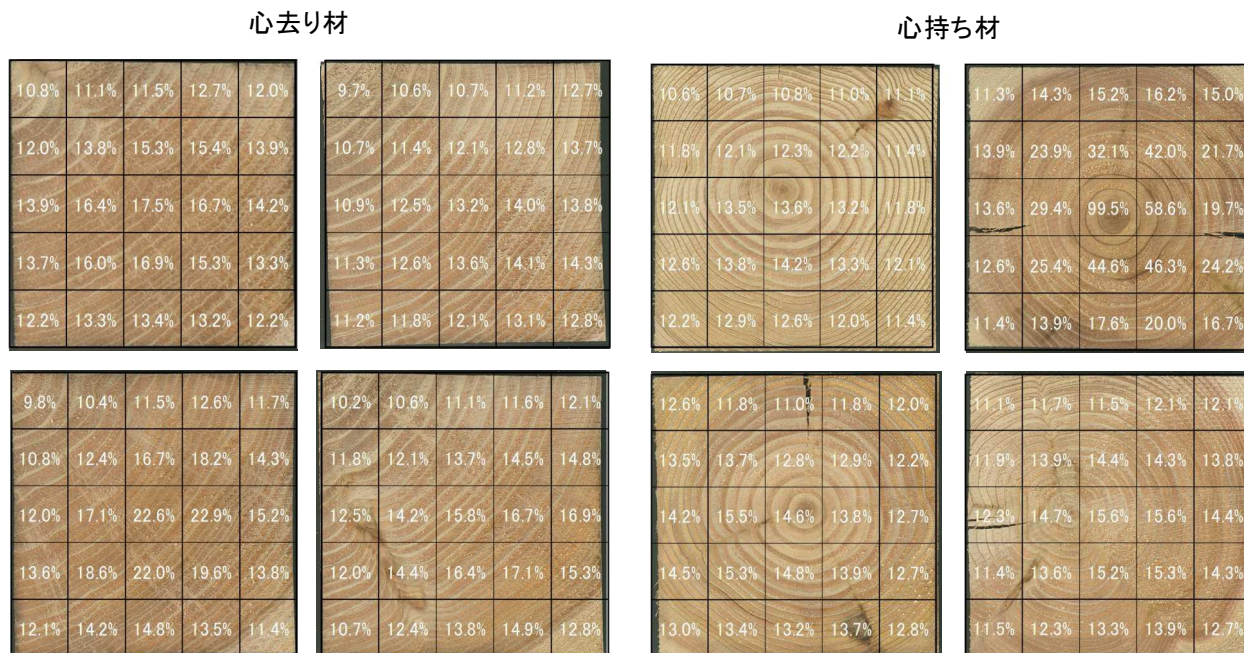


写真-5 乾燥後の断面及び含水率
(高周波減圧乾燥)

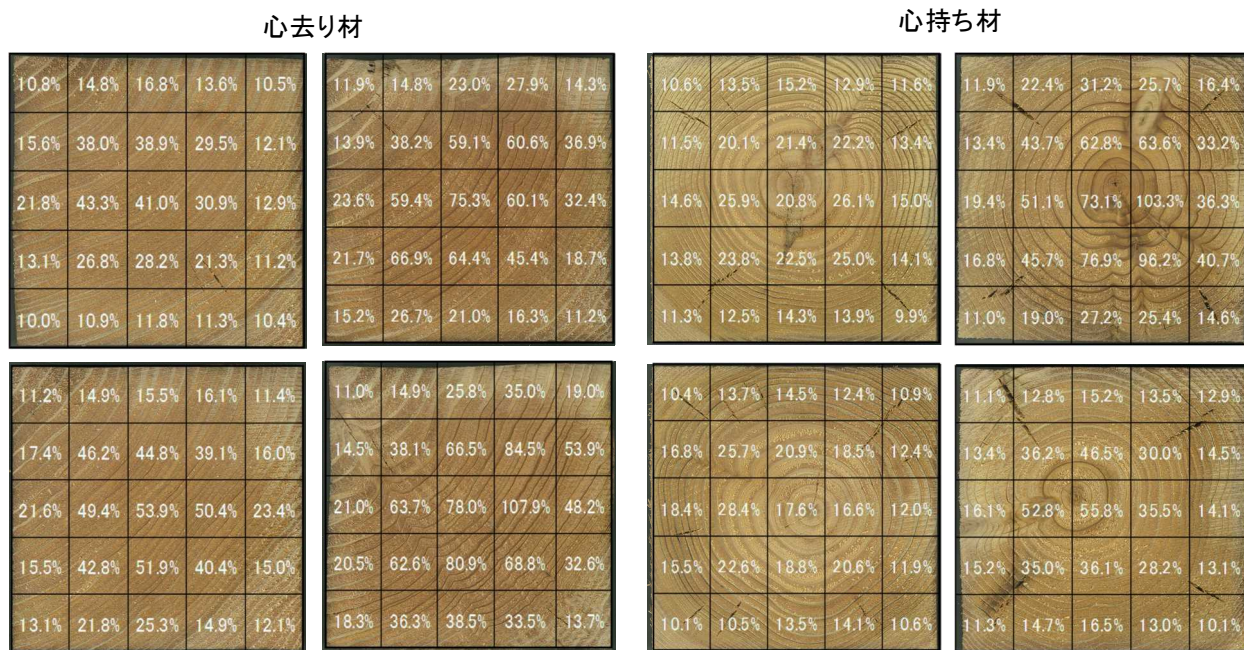


写真-6 乾燥後の断面及び含水率
(高温乾燥)

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)