

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-リュウキュウマツ天然乾燥試験-

井口 朝道・合田 雅浩

1. 目的

リュウキュウマツは本県唯一のマツ科マツ属の常緑高木で、県産木材の利用の面で重要な樹種であることから、当センターでは乾燥試験を1986年以降実施してきたが、当時の試験方法が近年他の広葉樹で行っている試験のものと異なっているため、正確な比較ができない状況にある。そこで改めて乾燥特性の把握および乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施したので報告する。

本報では、リュウキュウマツの天然乾燥の適合性を評価するため、小板材を用いた天然乾燥試験の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木（7本の丸太）および伐採・製材の内容については別報の急速乾燥試験と同様である。

天然乾燥試験には、寸法を35（厚）×150（幅）×600（長）mmとした板目材（5枚）、追い柵目材（10枚）、柵目材（6枚）を用いて行い、両木口面には、木口面からの乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。試験は、森林資源研究センター木材実験棟の屋根のある半屋内空間に積み重ねて行った（図-1）。試験体製材後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2024年4月22日から試験を開始した。乾燥期間中は、基本的には1週間に1回の頻度で重量、寸法および割れを計測した。梅雨入りした影響で乾燥が停滞したため5月27日の測定後には、除湿室に一旦移動させ、梅雨明け以降の7月1日の測定後に元の場所に戻したのち、全ての試験体の重量が平衡状態となった7月11日に試験を終了した。終了時には、木材の狂いであるねじれと幅そりを測定したほか（図-2）、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥後の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。

以上の測定した項目から、乾燥後の方向別の収縮率、乾燥期間中の経過日数と含水率の推移について解析し、天然乾燥時の乾燥特性について検討を行った。



図-1 天然乾燥試験の積み重ね状況



図-2 木材のくるいの測定（左：ねじれ、右：幅そり）

3. 試験結果

天然乾燥試験における乾燥特性を木目毎に示す(表)。乾燥後の平均含水率は、いずれも日本の一般的な気乾含水率である約 15%程度であった。方向別の平均収縮率は、板目・追い柵目材では幅方向、柵目材では厚さ方向とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられたが国産の主要な広葉樹材(3.9~8.9%、含水率 15%まで)と比較して低くなった。平均の狂いについては、幅そりは小さい値を示したが、ねじれについては追い柵で平均が 6mm 程度となり、利用する上で欠点となるやや大きな狂いが 10 枚中 2 枚に確認された。表面割れは、板目材で 1 枚、追い柵目材で 2 枚確認されたが、終了時点では割れが閉じかけており目立つものはなかった。内部割れは確認されなかった。

表 天然乾燥試験における木目毎の乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後 平均含水率(%)	平均収縮率(%)			平均 ねじれ (mm)	平均 幅そり (mm)	表面割れ (枚)	平均 表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
板目	5	15.6%	0.1%	3.0%	3.1%	3.0	0.3	1	28.9	0
追い柵目	10	15.5%	0.0%	3.3%	3.5%	6.6	0.9	2	14.7	0
柵目	6	15.7%	0.1%	3.2%	2.4%	2.6	0.3	0	-	0

* 平均表面割れ(cm)は、割れた供試体のみでの平均値とする(木表、木裏の合計値)

図-3 に天然乾燥中の含水率の推移を示す。初期含水率は概ね 70~100%前後であったが、開始後 28 日目では全ての試験体で 20%程度まで速やかに低下した。その後、梅雨の影響を受け停滞したため 35 日目の測定後に除湿室に移動させ、梅雨明けした 70 日目の測定後に元の環境に戻した後は 1 週間(77 日目)で 15%程度の平衡状態に到達した。試験終了時の厚さ方向の含水率分布については、材中央部が材表面と比較してやや高い傾向は確認されたものの、木目を問わず含水率差は全てで 1%未満に抑えられており、材内部まで十分に乾燥が進んでいると判断された(図-4)。

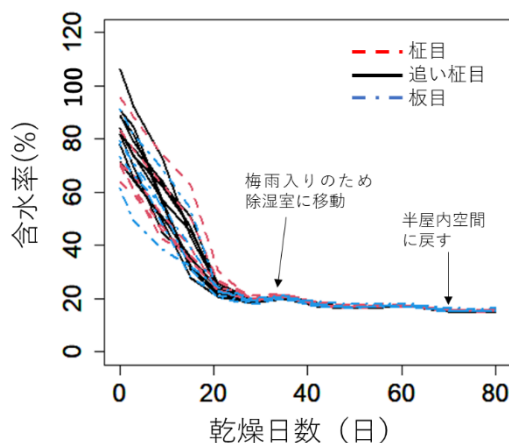
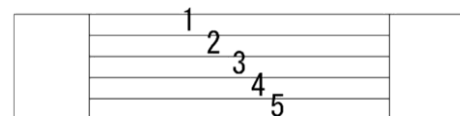
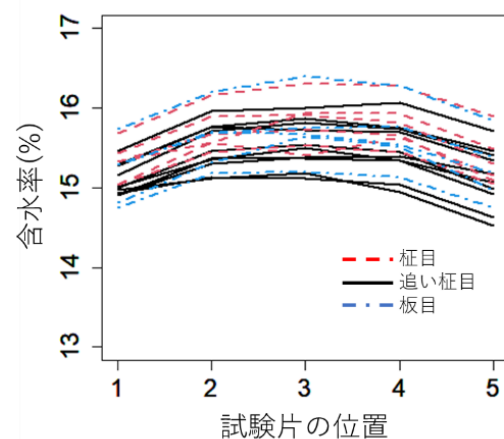


図-3 天然乾燥中の含水率の推移



厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式図

図-4 終了時の厚さ方向の試験片の位置毎の含水率分布

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-リュウキュウマツ人工乾燥試験①-

井口 朝道・合田 雅浩

1. 目的

リュウキュウマツは本県唯一のマツ科マツ属の常緑高木で、トカラ列島から先島諸島に分布する南西諸島の固有種である。沖縄全島に広く分布し、松並木の美しい枝ぶりは沖縄を象徴する景観を作り出し、経済的価値も高いことから1967年に県木に指定されている。リュウキュウマツは本県の針葉樹の蓄積の大部分を占め、また一般に針葉樹は広葉樹と比較し乾燥が容易であることから県産木材の利用の面で重要な樹種である。そのため、当センターではリュウキュウマツの乾燥試験を1986年以降実施してきたが、試験体寸法等の方法が近年他の広葉樹で行っている試験のものとは異なっているため、正確な比較ができない状況にある。

そこで、改めて乾燥特性の把握および乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施したので報告する。本報では、リュウキュウマツの急速乾燥試験の結果、及び近年の県産広葉樹の試験を参考にし、より緩やかに作成した人工乾燥スケジュール①の妥当性及び生材状態からの人工乾燥の適合性を検討するため、小板材を用いた人工乾燥試験の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木（7本の丸太）および伐採・製材の内容については別報の急速乾燥試験と同様である。なお、試験には電気式木材乾燥機HD74（ヒルデブランド株式会社）を用いた。

人工乾燥試験は、寸法を35（厚）×150（幅）×600（長）mmとした板目材（4枚）、追い柾目材（10枚）および柾目材（7枚）の計21枚を用いて行い、両木口面には、乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。供試体は試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2024年7月9日から試験を開始し、調湿処理を経て7月17日に終了した。

本試験での乾燥スケジュール①は、近年、県産の広葉樹で行っている人工乾燥試験と共通の乾燥条件を使用し、乾燥温度は45～60℃とした。また目標含水率は家具や内装材での利活用を念頭に8±2%とした。試験中は、供試体の平均含水率に標準偏差を加えた含水率に該当する試験体2枚を含水率コントロール材としてスケジュール管理を行い、平均含水率相当の2枚を加えた計4枚について、およそ24時間毎に重量と寸法、割れを計測した。終了時には、全ての試験体を対象に木材のくるいである、ねじれと幅そり、さらに木表、木裏両面の割れを測定したほか、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥終了時点の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。また、試験体中央部を切断した際に、内部割れの有無についても確認を行った。

以上の測定した項目から、方向別の収縮率、木目毎の狂いや割れ、経過日数と含水率の推移について解析し、本スケジュールにおける人工乾燥の適合性について検討を行った。

3. 試験結果

人工乾燥試験における木目毎の乾燥特性を表に、また、試験中の含水率の推移を図-1 に示す。木目毎に平均した最終含水率については、生材状態から調湿処理までの8日間で全ての木目において目標含水率 $8 \pm 2\%$ に到達した。平均の収縮率については、木目毎に見ると、板目材では幅方向で 5.5%、柾目材では厚さ方向で 4.7%とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられたが、国産の主要な広葉樹材 (3.9~8.9%) と比較して特に大きな値ではなかった。表面割れは計 11 枚で確認され、割れ長は木目毎に 6.6~11.3cm となったが、比較的短く大きく目立つものは少なかった。くるとについては、幅そりは特段大きい値を示さなかったが、ねじれについては、板目材で 12.7mm、追い柾目で 9.9mm となり、利用する上で欠点となる大きな狂いが一部に確認された。また内部割れは確認されなかった。

試験終了時の厚さ方向の含水率分布を図-2 に示す。板目材は、全体的に含水率は低く、乾燥が遅い材内部 (試験片の位置: 2~4) の含水率も 7.1~8.5% と十分に乾燥が進んでいた。柾目材では材内部の含水率が 7.9~12.6% と高留りしているものが一部に見られた。最も含水率が高い位置において 10% 以下となり、適切に乾燥が進んでいると考えられる供試体数は、木目毎に、板目材 (4/4)、追い柾 (6/10)、柾目 (3/7) と木目による差が大きく、全体では 21 枚中 13 枚となった。

表 人工乾燥試験①における乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後平均含水率 (%)	平均収縮率 (%)			平均ねじれ (mm)	平均幅そり (mm)	表面割れ (枚)	平均表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
板目	4	6.9%	0.1%	4.8%	5.5%	12.7	1.3	2	6.6	0
追い柾目	10	7.8%	0.2%	4.7%	4.7%	9.9	1.4	5	11.3	0
柾目	7	8.6%	0.3%	4.7%	3.6%	3.8	0.6	4	11.1	0

* 平均表面割れ (cm) は、割れた供試体のみでの平均値とする (木表、木裏の合計値)

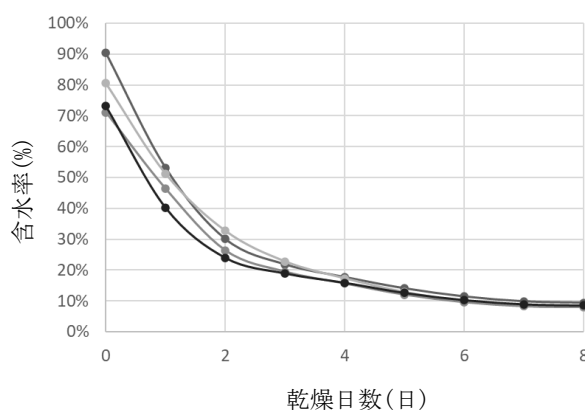
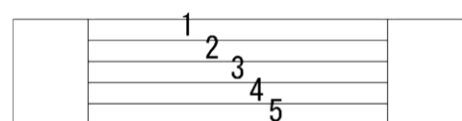
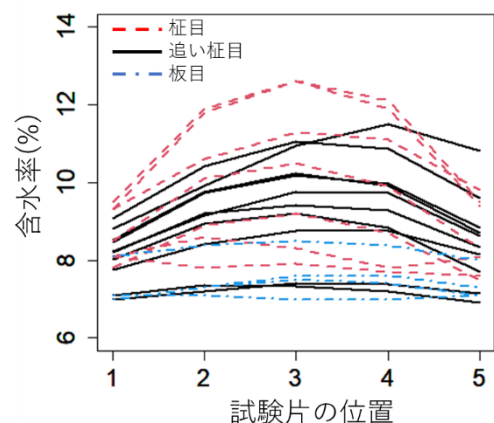


図-1 人工乾燥中の含水率の推移



厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式
図-2 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-リュウキュウマツ人工乾燥試験②-

井口 朝道・合田 雅浩

1. 目的

リュウキュウマツは本県唯一のマツ科マツ属の常緑高木で、トカラ列島から先島諸島に分布する南西諸島の固有種である。沖縄全島に広く分布し、松並木の美しい枝ぶりは沖縄を象徴する景観を作り出し、経済的価値も高いことから1967年に県木に指定されている。リュウキュウマツは本県の針葉樹の蓄積の大部分を占め、また一般に針葉樹は広葉樹と比較し乾燥が容易であることから県産木材の利用の面で重要な樹種である。そのため、当センターではリュウキュウマツの乾燥試験を1986年以降実施してきたが、試験体寸法等の方法が近年他の広葉樹で行っている試験のものとは異なっているため、正確な比較ができない状況にある。

そこで、改めて乾燥特性の把握および乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施したので報告する。本報では、リュウキュウマツの急速乾燥試験の結果を基に作成した人工乾燥スケジュール②の妥当性及び生材状態からの人工乾燥の適合性を検討するため、小板材を用いた人工乾燥試験の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木（7本の丸太）および伐採・製材の内容については別報の急速乾燥試験と同様である。なお、試験には電気式木材乾燥機HD74（ヒルデブランド株式会社）を用いた。

人工乾燥試験は、寸法を35（厚）×150（幅）×600（長）mmとした板目材（5枚）、追い柵目材（10枚）および柵目材（6枚）の計21枚を用いて行い、両木口面には、乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。供試体は試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2024年7月31日から試験を開始し、調湿処理を経て8月7日に終了した。

本試験での乾燥スケジュール②は、急速乾燥試験から得られた乾燥条件を使用し、乾燥温度は50～81℃とした。また目標含水率は家具や内装材での利活用を念頭に8±2%とした。試験中は、供試体の平均含水率に標準偏差を加えた含水率に該当する試験体2枚を含水率コントロール材としてスケジュール管理を行い、平均含水率相当の2枚を加えた計4枚について、およそ24時間毎に重量と寸法、割れを計測した。終了時には、全ての試験体を対象に木材のくるいである、ねじれと幅そり、さらに木表、木裏両面の割れを測定したほか、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥終了時点の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。また、試験体中央部を切断した際に、内部割れの有無についても確認を行った。

以上の測定した項目から、方向別の収縮率、木目毎の狂いや割れ、経過日数と含水率の推移について解析し、本スケジュールにおける人工乾燥の適合性について検討を行った。

3. 試験結果

人工乾燥試験における木目毎の乾燥特性を表に、また、試験中の含水率の推移を図-1 に示す。生材状態から7日目に調湿処理を終えたところ、木目毎に平均した最終含水率については、全ての木目において6.1~6.5%となり目標含水率 $8\pm 2\%$ に到達した。収縮率について木目毎に見ると、板目材では幅方向で5.7%（平均値、以下同じ）、柎目材では厚さ方向で6.2%と、木材の接線方向においてより大きくなる傾向がみられたが、国産の主要な広葉樹材（3.9~8.9%）と比較して特に大きな値ではなかった。表面割れは計10枚で発生したものの、割れ長は11.7~20.3cmと比較的短く、大きく目立つものは少なかった。平均のくろいについては、幅そりは特段大きい値を示さなかったが、ねじれについては、板目および追い柎目でそれぞれ13.8mm、8.7mmとなり、利用する上で欠点となる大きな狂いが一部に確認された。内部割れは確認されなかった。

試験終了時の試験片の位置毎の含水率分布を図-2 に示す。木目を問わず、全ての材において乾燥が遅い材内部（試験片の位置：2~4）の含水率も6.4~8.3%と十分に乾燥が進んでいた。また、コンディショニングの効果により、材中央部より材表面の含水率がやや高くなる供試体も複数確認された。最も含水率が高い位置において10%以下となり、内部まで適切に乾燥が進んでいた供試体数は、木目毎に、板目材（5/5）、追い柎（10/10）、柎目（6/6）と木目を問わず全てであった。

表 人工乾燥試験②における乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後 平均含水率 (%)	平均収縮率(%)			平均 ねじれ (mm)	平均 幅そり (mm)	表面 割れ (枚)	平均表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
板目	5	6.1%	0.2%	5.7%	5.7%	13.8	0.7	5	12.0	0
追い柎目	10	6.4%	0.3%	5.1%	5.1%	8.7	1.3	3	20.3	0
柎目	6	6.5%	0.2%	6.2%	4.3%	3.0	0.8	2	11.7	0

* 平均表面割れ (cm) は、割れた供試体のみでの平均値とする（木表、木裏の合計値）

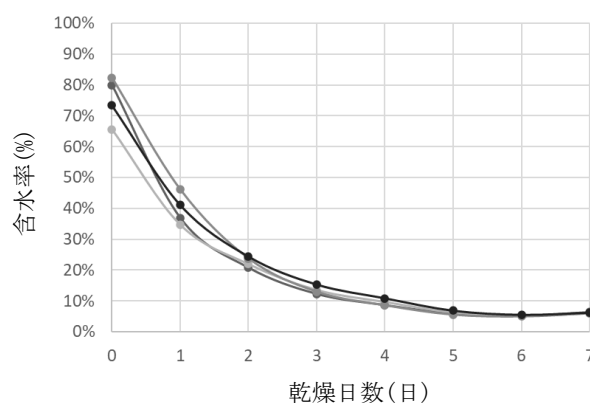
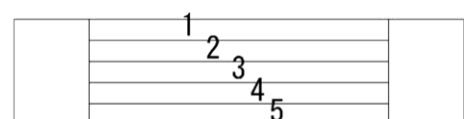
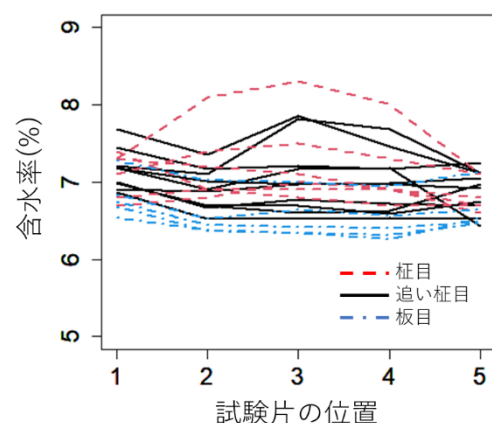


図-1 人工乾燥中の含水率の推移



厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式

図-2 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-イジュ急速乾燥試験-

井口 朝道・合田 雅浩

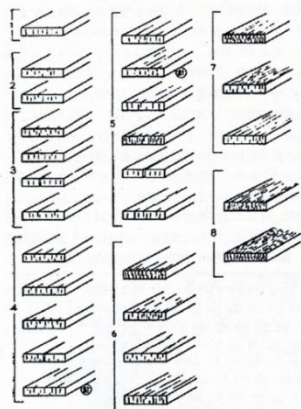
1. 目的

イジュはツバキ科ヒメツバキ属の常緑高木で、奄美群島から先島諸島に分布し、主に非石灰岩の山地に生える琉球の代表的な樹木である。現在は 35 種ある造林樹種の 1 つとして指定されている。一般に、広葉樹を用材として利用する際は、針葉樹と比較した場合に、乾燥期間の長期化や、乾燥時のくると割れが生じやすい等、乾燥の困難性が大きな課題の 1 つとして挙げられるが、イジュの乾燥に関する知見の蓄積は不十分である。そこで、乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施した。

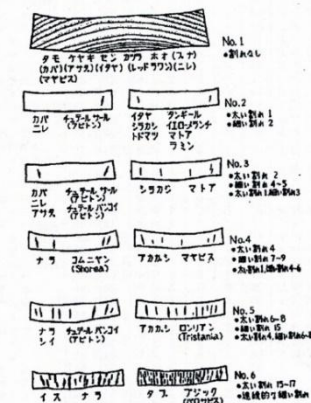
本報では、イジュの人工乾燥の適合性を評価するとともに人工乾燥の際のスケジュール条件を検討するため、無欠点小試験体を用いた急速乾燥試験を行ったのでその結果について報告する。

2. 材料と方法

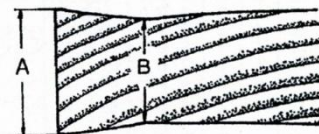
試験には 2024 年 11 月中旬に名護市有林で伐採され、11 月 20 日に企業組合キンモク（金武町）に搬入された 6 本の丸太（No. 1~6）を供試した。それら供試個体を 11 月 27~28 日に材厚 40mm で製材し、速やかに寸法を 20（厚）×100（幅）×200（長）mm とした正板目無欠点小試験体の製作を行い、ラップで包んで冷蔵庫で保管した後、12 月 11 日から試験を開始した。詳細な試験方法については、令和 3 年度の業務報告に記載のとおりであり、試験体に発生する初期割れ、全乾状態に至った時点での断面の糸巻状変形、内部割れを観察・計測し、図-1（寺澤、2004）に従い損傷の段階を分類した。なお、各原木から 1 枚ずつ計 6 枚を同時に試験し、2 回繰り返し試験を行った後、評価は損傷の種類毎に最も損傷の段階が大きいのものを採用した。



第3図 乾燥初期にあられる割れの段階
◎は針葉樹の意味、段階の分類は割れの最も甚だしい時の状態で行う



第4図 内部割れの段階
No. 1で()をしてあるものは材質によて、No. 2~No. 3の割れが生ずる樹種



第5図 断面の糸巻状の変形の測定方法
かどの一番厚いAと1~2cm入ったところで一番薄くなっているBとの差

厚さの差 A-B(mm)	損傷の段階			
	1	2	3	4
0~0.3	0.3~0.5	0.5~0.8	0.8~0.2	
5	6	7	8	
	1.2~1.8	1.8~2.5	2.5~3.5	3.5以上

図-1 初期割れ（左）、内部割れ（中央）、断面の糸巻状変形（右）の損傷の分類

（出典：寺澤（2004）による図表を一部抜粋）

この各損傷の段階から、人工乾燥スケジュール条件（初期乾球温度、初期乾湿球温度差、終末乾球温度）を作成する際は、表-1（寺澤、2004）のとおりとし、損傷の種類毎に選択された各乾燥条件の中から最も緩やかな条件となる値を採用した。さらに、既往の文献値を参考にして、乾球温度が45~60℃となる、より緩やかな条件についても作成した。

決定した乾燥条件をもとに、初期乾球温度は含水率35%まで一定とし、そこから含水率15%時に終末温度になるように、また乾湿球温度差については、初期含水率の2/3まで一定とし、そこから最終の温度差が15℃になるように調整し、乾燥経過中の含水率に応じた人工乾燥スケジュールを作成した。

表-1 損傷の種類と段階による乾燥条件
(出典：寺澤（2004）による表を一部抜粋)

損傷の種類	乾燥条件	損傷の段階							
		1	2	3	4	5	6	7	8
初期割れ	初期温度	70	65	60	55	53	50	47	45
	初期温度差	6.5	5.5	4.3	3.6	3.0	2.3	2.0	1.8
	終末温度	95	90	85	83	82	81	80	79
断面の糸巻状変形	初期温度	70	66	58	54	50	49	48	47
	初期温度差	6.5	6.0	4.7	4.0	3.6	3.3	2.8	2.5
	終末温度	95	88	83	80	77	75	73	70
内部割れ	初期温度	70	55	50	49	48	45		
	初期温度差	6.5	4.5	3.8	3.3	3.0	2.5		
	終末温度	95	83	77	73	71	70		

3. 試験結果

試験によって確認された各損傷の程度を評価することで得られた乾燥条件を表-2に、また既往の文献値を参考にし、より緩やかになるよう設定した乾燥条件を表-3に示す。さらに、それぞれの乾燥条件における乾燥スケジュールを作成した（図-2）。

表-2 損傷の種類毎の評価から求めた乾燥条件

損傷の種類	評価値	乾燥条件（単位：℃）		
		初期温度	初期温度差	終末温度
初期割れ	4	55	3.6	83
断面変形	7	48	2.8	73
内部割れ	4	49	3.3	73
総合評価		48	2.8	73

表-3 文献値を考慮したより緩やかな乾燥条件

乾燥条件（単位：℃）		
初期温度	初期温度差	終末温度
45	2.8	60

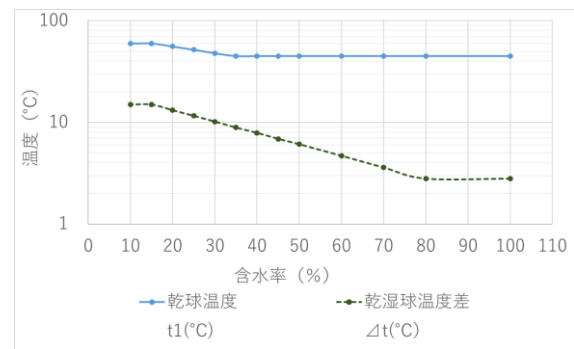
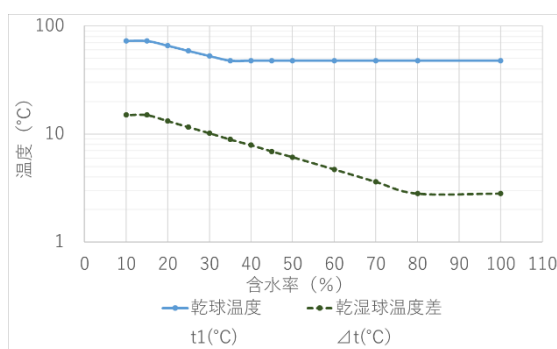


図-2 乾燥スケジュール（左は表-2、右は表-3に対応したスケジュール）

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-イジュ天然乾燥試験-

井口 朝道・合田 雅浩

1. 目的

イジュはツバキ科ヒメツバキ属の常緑高木で主に非石灰岩の山地に生える琉球の代表的な樹木である。一般に、広葉樹を用材として利用する際は、針葉樹と比較した場合に、乾燥期間の長期化や、乾燥時のくるいや割れが生じやすい等、乾燥の困難性が大きな課題の1つとして挙げられるが、イジュの乾燥に関する知見の蓄積は不十分である。そこで、乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施した。

本報では、イジュの天然乾燥の適合性を評価するため、小板材を用いた天然乾燥試験の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木および伐採・製材の内容については別報の急速乾燥試験と同様である。

天然乾燥試験には、寸法を35(厚)×150(幅)×600(長)mmとした板目材(4枚)、追い柵目材(12枚)、柵目材(7枚)を用いて行い、両木口面には、木口面からの乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。試験は、森林資源研究センター木材実験棟の屋根のある半屋内空間に積み重ねて行った(図-1)。試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2024年12月2日から試験を開始した。乾燥期間中は、基本的に1週間に1回の頻度で重量、寸法および割れを計測した。全ての試験体の重量が平衡状態となった2025年3月6日に試験を終了した。終了時には、木材のくるいであるねじれと幅そりを測定したほか(図-2)、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥後の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。

以上の測定した項目から、木目毎に乾燥後の方向別の収縮率、乾燥期間中の経過日数と含水率の推移について解析し、天然乾燥時の乾燥特性について検討を行った。



図-1 天然乾燥試験の積み重ね状況



図-2 木材のくるいの測定(左:ねじれ、右:幅そり)

3. 試験結果

天然乾燥試験における乾燥特性を木目毎に示す(表)。試験終了時の平均含水率は、いずれも日

本の一一般的な気乾含水率である 15%よりわずかに高く 16.0~16.6%であった。方向別の平均収縮率は、板目・追い柵目材では幅方向 (5.0%、6.2%)、柵目材では厚さ方向 (6.7%) とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられたが国産の主要な広葉樹材 (3.9~8.9%、含水率 15%まで) と比較して中程度であった。平均のくるいについては、幅そりは 1.2~2.0mm と特段大きな値ではなかったが、ねじれについては板目・追い柵目で 12.1、8.2mm となり、利用する上で欠点となるやや大きいくるいが確認された。表面割れは、計 15 枚確認されたが、大きく目立つものは樹芯や節由来であった。また、内部割れは計 3 枚確認されたが、いずれも芯由来であった。

表 天然乾燥試験における乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後 平均含水率 (%)	平均収縮率(%)			平均 ねじれ (mm)	平均 幅そり (mm)	表面割れ (枚)	平均 表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
板目	4	16.0%	0.0%	3.1%	5.0%	12.1	1.2	2	12.2	0
追い柵目	12	16.3%	0.0%	5.3%	6.2%	8.2	2.0	8	18.7	1
柵目	7	16.6%	0.0%	6.7%	4.6%	3.8	1.4	5	23.2	2

* 平均表面割れ(cm)は、割れた供試体のみでの平均値とする (木表、木裏の合計値)

図-3 に天然乾燥中の含水率の推移を示す。供試体の含水率は、試験開始時は 85~120%程度であったが、冬の乾燥した気候が続いた開始後 85 日目 (2月 25日) で、平均含水率 15.3%と最も低下し、その後、暖かく湿った空気により湿度が高い日が続いたことで 94 日目の終了時には 16.3%となった。試験終了時の厚さ方向の含水率分布については、材中央部が材表面と比較してやや高い傾向は確認されたものの、木目を問わず含水率差は全てで 1%程度 (0.23~1.07%) に抑えられており、材内部まで十分に乾燥が進んでいると判断された (図-4)。

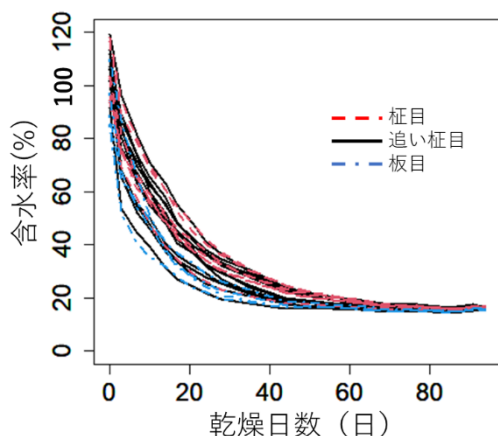
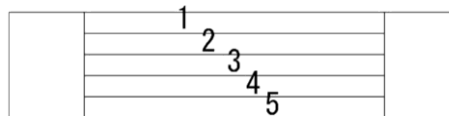
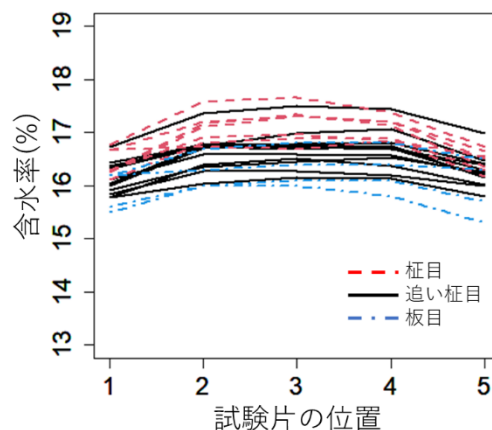


図-3 天然乾燥中の含水率の推移



厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式図

図-4 終了時の厚さ方向の試験片の位置毎の含水率分布

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-イジュ人工乾燥試験①-

井口 朝道・合田 雅浩

1. 目的

イジュはツバキ科ヒメツバキ属の常緑高木で、奄美群島から先島諸島に分布し、主に非石灰岩の山地に生える琉球の代表的な樹木である。イジュは琉球王府時代から庶民に許された建築材の主要木で、樹形が広葉樹としては比較的通直であることから柱や梁、桁等に使用されてきた。現在は 35 種ある造林樹種の 1 つとして指定されており、記録の残る昭和 60 年から令和 5 年までの期間に 97ha（県営林除く）が新植され、今後の収穫および利用が期待されている。一般に、広葉樹を用材として利用する際は、針葉樹と比較した場合に、乾燥期間の長期化や、乾燥時のくるいや割れが生じやすい等、乾燥の困難性が大きな課題の 1 つとして挙げられるが、イジュの乾燥に関する知見の蓄積は不十分である。そこで、乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施した。

本報では、イジュの急速乾燥試験の結果、及び既往の文献値を参考にしてより緩やかに作成した人工乾燥スケジュール①の妥当性及び生材状態からの人工乾燥の適合性を検討するために実施した、小板材を用いた人工乾燥試験の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木および伐採・製材の内容については別報の急速乾燥試験と同様である。なお、試験には電気式木材乾燥機 HD74（ヒルデブランド株式会社）を用いた。

人工乾燥試験は、寸法を 35（厚）×150（幅）×600（長）mm とした板目材（6 枚）、追い柵目材（7 枚）および柵目材（11 枚）の計 24 枚を用いて行い、両木口面には、乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。供試体は試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2025 年 1 月 21 日から試験を開始し、調湿処理を経て 2 月 10 日に終了した。

本試験での乾燥スケジュール①は、イジュの急速乾燥試験の結果、及び既往の文献値を参考にしてより緩やかに設定した乾燥条件を使用し、乾燥温度は 45～60℃とした。また目標含水率は家具や内装材での利活用を念頭に 8±2%とした。

試験中は、供試体の平均含水率に該当する試験体 2 枚、さらに平均値に標準偏差を加えた含水率に相当する 2 枚を加えた計 4 枚について、含水率コントロール材としてスケジュール管理を行い、およそ 24 時間毎に重量と寸法、割れを計測した。終了時には、全ての試験体を対象に木材のくるいである、ねじれと幅そり、さらに木表、木裏両面の割れを測定したほか、試験体中央部から採取した 2cm 幅の小試験片を用いて、乾燥終了時点の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。また、内部割れの有無についても確認を行った。

以上の測定した項目から、方向別の収縮率、木目毎のくるいや割れ、経過日数と含水率の推移について解析し、本スケジュールにおける人工乾燥の適合性について検討を行った。

3. 試験結果

人工乾燥試験における木目毎の乾燥特性を表に、また、試験中の含水率の推移を図-1 に示す。木目毎に平均した最終含水率については、全ての木目において、生材状態から調湿処理までの20日間で目標含水率 $8\pm 2\%$ に到達した。平均の収縮率については、板目では幅方向(8.7%)、柎目では厚さ方向(12.2%)とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられ、既往の研究と比較した場合、収縮が大きい樹種であると判断された。表面割れは計11枚で確認されたが、割れ長は比較的短く、大きく目立つものは樹芯や節由来であった。平均のくろいについては、幅そりは1.4~4.1mmと既往の研究と比較し大きな値となり、ねじれについては8.3~12.0mmとなり、利用する上で欠点となる大きなくろいが一部に確認された。また、内部割れは計5枚確認されたが、いずれも芯由来であった。

試験終了時の厚さ方向の含水率分布を図-2 に示す。板目材は、全体的に含水率は低く、乾燥が遅い材内部(試験片の位置:2~4)の含水率も6.1~8.0%と十分に乾燥が進んでいた。柎目材では材内部の含水率が7.7~17.9%と高留りしているものが多く見られた。最も含水率が高い位置において10%以下となり、適切に内部まで乾燥が進んでいる供試体数は、木目毎に、板目材(6/6)、追い柎(5/7)、柎目(2/11)と木目による差が大きく、全体で24枚中13枚となった。

表 人工乾燥試験①における乾燥特性

木目	供試体数(枚)	乾燥後平均含水率(%)	平均収縮率(%)			平均ねじれ(mm)	平均幅そり(mm)	表面割れ(枚)	平均表面割れ(cm)	内部割れ(枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
板目	6	5.5%	0.2%	6.5%	8.7%	12.0	1.4	1	2.6	0
追い柎目	7	7.1%	0.2%	9.8%	9.8%	8.3	4.1	5	21.0	2
柎目	11	9.0%	0.2%	12.2%	7.7%	10.4	2.8	5	38.6	3

* 平均表面割れ(cm)は、割れた供試体のみでの平均値とする(木表、木裏の合計値)

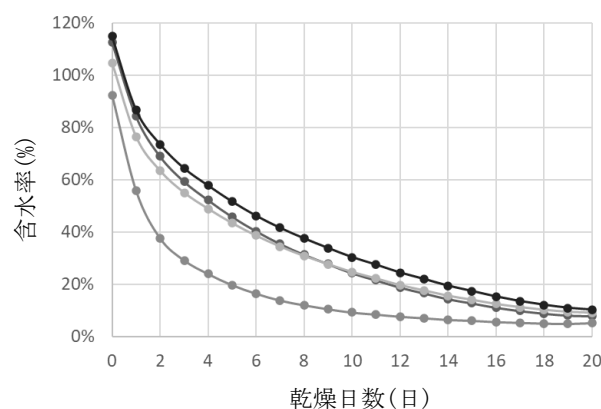
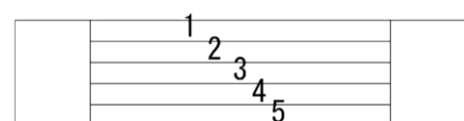
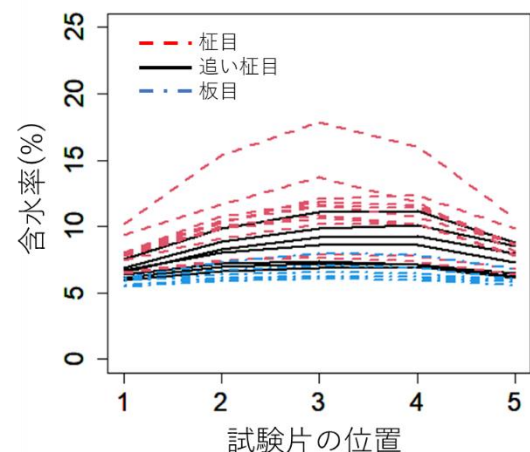


図-1 人工乾燥中の含水率の推移



厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式
図-2 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

県産有用樹の乾燥特性の把握及び人工乾燥スケジュールの確立

-イジュ人工乾燥試験②-

井口 朝道・合田 雅浩

1. 目的

イジュはツバキ科ヒメツバキ属の常緑高木で、奄美群島から先島諸島に分布し、主に非石灰岩の山地に生える琉球の代表的な樹木である。イジュは琉球王府時代から庶民に許された建築材の主要木で、樹形が広葉樹としては比較的通直であることから柱や梁、桁等に使われてきた。現在は35種ある造林樹種の1つとして指定されており、記録の残る昭和60年から令和5年までの期間に97ha（県営林除く）が新植され、今後の収穫および利用が期待されている。一般に、広葉樹を用材として利用する際は、針葉樹と比較した場合に、乾燥期間の長期化や、乾燥時のくるいや割れが生じやすい等、乾燥の困難性が大きな課題の1つとして挙げられるが、イジュの乾燥に関する知見の蓄積は不十分である。そこで、乾燥スケジュールの確立に向け、本研究を実施した。

本報では、イジュの急速乾燥試験の結果を基に作成した人工乾燥スケジュール②の妥当性及び生材状態からの人工乾燥の適合性を検討するため、小板材を用いた人工乾燥試験の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木および伐採・製材の内容については別報の急速乾燥試験と同様である。なお、試験には電気式木材乾燥機 HD74（ヒルデブランド株式会社）を用いた。

人工乾燥試験は、寸法を35（厚）×150（幅）×600（長）mmとした板目材（6枚）、追い柵目材（8枚）および柵目材（10枚）の計24枚を用いて行い、両木口面には、乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。供試体は試験体製作後、ラップに包み冷蔵庫内で保管した後、2025年2月17日から試験を開始し、調湿処理を経て3月4日に終了した。

本試験での乾燥スケジュール②は、イジュの急速乾燥試験の結果を基に設定した乾燥条件を使用し、乾燥温度は48～73℃とした。また目標含水率は家具や内装材での利活用を念頭に8±%とした。

試験中は、供試体の平均含水率に該当する試験体3枚、さらに平均値に標準偏差を加えた含水率に相当する2枚を加えた計5枚について、含水率コントロール材としてスケジュール管理を行い、およそ24時間毎に重量と寸法、割れを計測した。終了時には、全ての試験体を対象に木材のくるいである、ねじれと幅そり、さらに木表、木裏両面の割れを測定したほか、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥終了時点の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。また、内部割れの有無についても確認を行った。

以上の測定した項目から、方向別の収縮率、木目毎のくるいや割れ、経過日数と含水率の推移について解析し、本スケジュールにおける人工乾燥の適合性について検討を行った。

3. 試験結果

人工乾燥試験における木目毎の乾燥特性を表に、また、試験中の含水率の推移を図-1 に示す。木目毎に平均した最終含水率については、生材状態から調湿処理までの15日間で、板目および追い柾目は目標含水率 $8\pm 2\%$ を満たしたが、柾目では 11.8% と到達しなかった。平均の収縮率については、板目では幅方向(8.2%)、柾目では厚さ方向(11.9%)とそれぞれ木材の接線方向でより大きくなる傾向がみられ、既往の研究と比較した場合、収縮が大きい樹種であると判断された。表面割れは計14枚で確認されたが、割れ長は比較的短く、大きく目立つものは樹芯や節由来であった。平均のくるいについては、幅そりは2.1~4.4mmと既往の研究と比較し大きな値となり、ねじれについては7.5~14.5mmとなり、利用する上で欠点となる大きくなるいが一部に確認された。なお、内部割れは計13枚確認され、うち6枚は芯由来であった。

試験終了時の厚さ方向の含水率分布を図-2 に示す。板目材は、全体的に含水率が低く、乾燥が遅い材内部(試験片の位置:2~4)の含水率も6.1~7.3%と十分に乾燥が進んでいた。柾目材では材内部の含水率が10.8~24.0%となり全て10%以上で高留りしていた。最も含水率が高い位置において10%以下となり、適切に乾燥が進んでいる供試体数は、木目毎に、板目材(6/6)、追い柾目(5/8)、柾目(0/10)と木目による差が大きく、全体では24枚中11枚となった。

表 人工乾燥試験②における乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後 平均含水率 (%)	平均収縮率(%)			平均 ねじれ (mm)	平均 幅そり (mm)	表面 割れ (枚)	平均表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
板目	6	5.9%	0.1%	6.1%	8.2%	14.5	2.1	1	3.0	1
追い柾	8	7.7%	0.3%	10.5%	10.3%	9.1	4.4	5	17.9	5
柾目	10	11.8%	0.2%	11.9%	6.9%	7.5	3.8	8	28.2	7

*平均表面割れ(cm)は、割れた供試体のみでの平均値とする(木表、木裏の合計値)

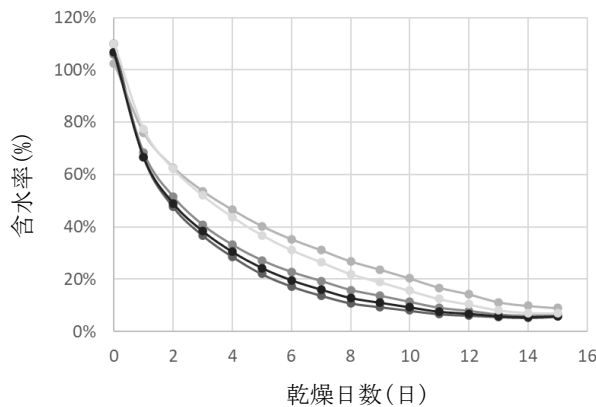
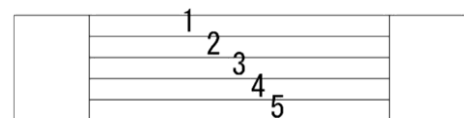
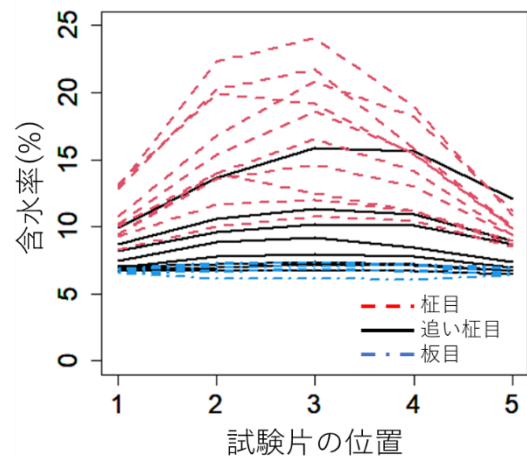


図-1 人工乾燥中の含水率の推移



厚さ方向の含水率分布の試験片の位置の模式図

図-2 終了時の試験片の位置毎の含水率分布

水中貯木の有効性の検証に向けた研究

-アカギ水中貯木試験の2年貯木区の結果-

合田 雅浩・井口 朝道

1. 目的

アカギはコミカンソウ科（従来分類ではトウダイグサ科）アカギ属の常緑高木で、日本での自生の分布は沖縄諸島から先島諸島までとされ、石灰岩地に多く見られる。沖縄県では35種ある造林樹種の1つとして指定されており、成長が早く用材利用が見込めることから、昭和60年からこれまで16haの植栽実績があり、特に宮古島においては、優良な林分が多く確認されている。

木材利用に関しては、多数ある沖縄県産有用樹の中でも特徴的な赤色系を示し、一部の木工事業者や消費者からの需要はあるものの、割れやくるい、落ち込みが生じやすい樹種として用材利用が難しいとされている。そこで、一部の事業者では、自ら水中貯木を行いアカギ特有の欠点を軽減させ利用しているが、その効果については科学的に立証されていない。そこで、アカギに対する水中貯木の効果を検証するため本研究を実施したので報告する。

本報では、2年水中貯木を実施した2年貯木区の結果について報告する。

2. 材料と方法

供試木は、中城村で伐採され、その後2カ月程度土場で保管された後に、2022年10月上旬に製材した丸太5本（No. 1-3, 5, 6）と2022年10月下旬に国頭村で自ら伐採後、製材した1本（No. 7）である。製材は、企業組合キンモク（金武町）において、全て材厚40mm程度とし、No. 2, 3, 5, 6は5枚、No. 1は6枚、No. 7は7枚となり、その後、長さ方向には60cmに分割し、試験体数は計71枚となった。そのうち、個体や木取りに極力偏りが無いよう3つに区分（対照区、1年貯木、2年貯木）し、対照区以外は森林資源研究センター内の水中貯木槽において水中貯木を開始した。

2年貯木の試験は、当センター内の水中貯木槽で約2年間保管した後、寸法を35（厚）×150（幅）×600（長）mmとした追い柱目材（13枚）、板目材（4枚）および柱目材（9枚）の計26枚を用いて行った。なお、両木口面には、木口面からの乾燥を防ぐためシリコンコーティングを施した。試験は、2024年10月28日から試験を開始し、森林資源研究センター木材実験棟の屋根のある半屋内空間に積み重ねて行った。乾燥期間中は、開始後約1ヵ月間は週に2回、その後は1週間に1回の頻度で重量、寸法および割れを計測し、全ての試験体の重量が平衡状態となった2025年3月10日に終了した。終了時には、木材のくるいであるねじれと幅そりを測定したほか、試験体中央部から採取した2cm幅の小試験片を用いて、乾燥後の含水率および厚さ方向の含水率分布を求めた。

以上の測定した項目から、乾燥後の方向別の収縮率、乾燥期間中の経過日数と含水率の推移、試験体に現れた割れやくるいについて解析し、天然乾燥時の乾燥特性について検討を行った。なお、割れについては木表、木裏の両面で確認された数値の合計を示す。

3. 試験結果

供試した 26 枚を木目毎に分けて乾燥特性を示す (表)。乾燥後の平均含水率は、いずれも日本の一般的な気乾含水率とされる 15%を超える約 18%程度を示し、乾燥開始から 4 ヶ月以上経過し、平衡状態であったが高止まりしていることが確認された。方向別の平均収縮率は、追い柵、板目では幅方向、柵目材では厚さ方向とそれぞれ接線方向で最も大きな値を示し、国産の主要な広葉樹材 (3.9~8.9%) と比較しても大きな値となった。また、平均のねじれは板目で 21 mm、追い柵や柵目でも 9mm 程度と大きな値を示した。表面割れは、全ての材で確認され、木表、木裏を合計した平均の割れ長も 30~60 cm 程度となった。さらに内部割れは計 26 枚中 11 枚で確認された。

表 アカギの木目毎の天然乾燥試験 (2 年貯木) における乾燥特性

木目	供試体数 (枚)	乾燥後 含水率(%)	収縮率(%)			ねじれ (mm)	幅そり (mm)	表面割れ (枚)	平均表面割れ (cm)	内部割れ (枚)
			長さ方向	厚さ方向	幅方向					
追い柵	13	18.4%	0.1%	7.8%	9.7%	9.1	4.2	13	36.1	5
板目	4	18.4%	0.3%	7.0%	13.0%	21.4	4.3	4	60.1	3
柵目	9	18.4%	0.0%	10.0%	4.3%	9.7	3.0	9	43.1	3

図-1 に天然乾燥中の含水率の推移を示す。初期含水率は水中貯木の効果で均一になると思われたが個体間の比重の差が影響し、100~160%程度と個体差がみられた。開始後 30 日までは比較的速度やかに乾燥が進み、冬季で大気が乾燥していた 120 日目 (2025 年 2 月 25 日) で平均含水率が 16.9%と最も低くなったが、その後は降雨や季節の変化で平衡状態となり乾燥は進まなかった。試験終了時の厚さ方向の含水率分布については、材中央部が材表面と比較して明らかに高い傾向は確認されず、最大の含水率差は 26 枚中 25 枚が 1%未満に抑えられていた。一般に乾燥が不十分な場合は、材中央部の含水率が明らかに高くなるが今回は確認されなかったことから、含水率は 18%程度と一般的な気乾含水率である 15%と比べ高い状態ではあるが、この環境下での平衡状態となっていたことが確認された (図-2)。

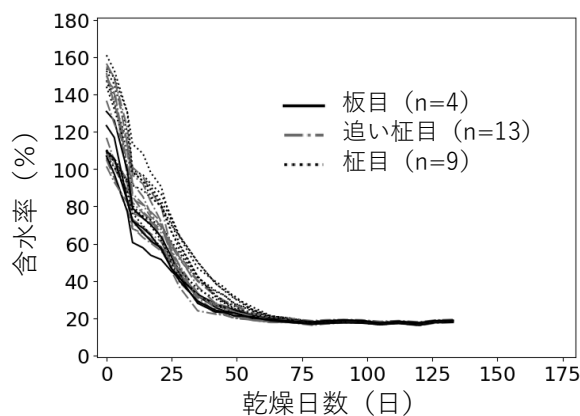
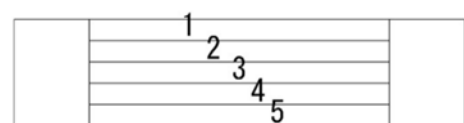
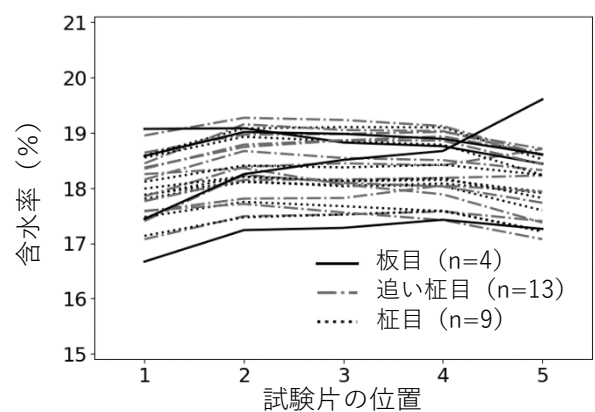


図-1 天然乾燥中の含水率の推移



含水率分布試験片の模式図

図-2 終了時の厚さ方向の含水率分布