

樹種の特性に応じた広葉樹材の生産方法

Hardwood production methods according to the characteristics of tree species.

小島元路・工藤康夫・芳士戸啓

要旨

広葉樹材を乾燥し、乾燥時に生じる樹種ごとの特性を明らかにした。その上で、加工の際にその特性がどう影響するかを見るために、規定寸法への製材を行い、歩留まり率を求めた。

その結果、以下のことが分かった。

- ① クルミは角材の状態だと曲がりが大きいため、乾燥前の粗挽きの幅、厚さを大きくとることで、歩留まり率向上が期待できる。
- ② センは幅反り、ケヤキは幅反りと縦反りが大きいため、乾燥前の粗挽きの厚さを厚くすることで、歩留まり率向上が期待できる。
- ③ ヤマザクラとトチは木口に表面割れが発生しやすいため、材長が長い状態で乾燥し、乾燥後に木口を切り落とすことで歩留まり率の向上が期待できる。
- ④ クリは内部割れが発生しやすく、それを抑えるには乾燥初期～中期において低温でゆっくり乾燥させる必要がある。

キーワード： 広葉樹材、100℃試験、乾燥、歩留まり率

I はじめに

国内において家具やフローリングに使われる広葉樹材は、その約8割が輸入材である(青井, 2023)。しかし、近年の円安や、世界的な需要の増加によって、海外産の広葉樹製材品の単価が大幅に値上がりしており、国産の近縁種に転換するメーカーが現れるなど国産広葉樹材利用の関心が高まっている(青井, 2023)。また、楽器等の高価な製品の材料となる海外産の木材が、資源の枯渇等の理由で輸出入が規制される事例もあり、今後代替となる国産広葉樹の需要増加が見込まれる。

群馬県は、広葉樹林が県内総森林面積の約48%を占めるなど広葉樹資源が豊富に存在する。しかし、広葉樹の素材生産量は針葉樹の約363千 m^3 に対して約40千 m^3 と僅かであり、用途も燃料チップやペレット、椎茸原木が大半を占める(群馬県, 2023)。これら県産広葉樹を家具や楽器等の付加価値の高い製品に利用することで、県内広葉樹資源の有効活用、収益性の確保が期待できる。

広葉樹材は、構造用の針葉樹材と比較して割れ・狂い等の損傷が大きく出る上に、樹種ごとに特性が異なるため、材としての生産が難しいとされる。広葉樹材を効率的に生産するためには、樹種ごとの特性を理解した上で乾燥や加工の方法を考える必要がある。そこで本研究では、広葉樹材の樹種ごとの特性と、その特性が乾燥・加工の過程でどのように影響するかを明らかにし、生産方法や扱いについて検討を行った。

II 方法

本研究において、まず広葉樹材の乾燥過程で出る特性を明らかにするため、複数の樹種を同様の温

度・湿度条件の下で乾燥し、割れ・狂い等の損傷を観察した。その後、乾燥過程で出た特性が加工の際にどのように影響するかを見るため、乾燥した広葉樹材を規定の寸法に製材し、歩留まり率を求めた。以下に、具体的な試験方法を示す。

(1) 100℃試験

材を乾燥する際の温度・湿度条件を決めるため、予備的な試験として、100℃試験を実施した。この試験は、小試験片を急速に乾燥させ、その過程で生じる材の損傷をもとに、その樹種に適した乾燥の初期温度、初期乾湿球温度差及び終末温度を推定するものである。寺沢（1994）の手法を参考とし、県内産のクルミ、クリ、ヤマザクラ、ケヤキ、トチの5種について100℃試験を実施した。100℃試験の流れは次のとおりである。

- ① それぞれの樹種から小試験片（材厚 20mm、材幅 100mm、材長 200mm）を採材する。
- ② 100℃に設定した乾燥機内で急速乾燥させる。
- ③ 1～2時間おきに小試験片を取り出し、初期割れを観察し、割れの程度を8段階で評価する。その際に重量も測定する。
- ④ 重量の変化がなくなった時点で乾燥を終了する。
- ⑤ 乾燥終了後、試験体の中央を繊維と直角に切断する。
- ⑥ 切断面の糸巻状変形を測定する。測定方法については、切断面の最も厚い部分と最も薄い部分の厚さを計測し、2つの値の差を求める。値の差から、変形の程度を8段階で評価する。
- ⑦ 切断面に発生した内部割れを観察し、割れの程度を6段階で評価する。
- ⑧ ③、⑥、⑦で得た評価を表－1に照合し、初期温度、初期乾湿球温度差及び終末温度を求める。

表－1 損傷の種類と程度による乾燥条件

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

(出典) 寺沢真（1994）, 木材乾燥のすべて, 718pp, 海青社, 402

試験結果から、5樹種それぞれについて乾燥の初期温度、初期乾湿球温度差及び終末温度を求めた。ただし、今回は複数の樹種を同様の条件下で乾燥するため、5種の条件のうち1種を採用することとなる。この後の製材、歩留まり率計算を考慮し、材の損傷を可能な限り少なくするために、初期温度、初期乾湿球温度差及び終末温度が最も低い樹種の条件を今回の乾燥において採用した。

(2) 実大材の乾燥

100℃試験により得られた乾燥条件を用いて実大材の人工乾燥を実施した。なお、今回の乾燥は木材生産の現場の条件に合わせるため、乾燥の温度・湿度条件は広葉樹材を取り扱う県内事業体が所有する実機の木材乾燥機の性能に合わせて設定した。

試験を実施する樹種については、楽器用として引き合いがあり、かつ県内で広葉樹を扱う森林組合が在庫を確保しているという理由で、クルミ、クリ、ヤマザクラ、ケヤキ、トチ、センの6種を選定した。それぞれの樹種について、材長2mの粗挽き材を準備した。クルミは角材、それ以外については板材である。これら粗挽き材を材長約500~1000mmに鋸断し試験体とした。また鋸断の際には小試験片を切り出し、全乾重量法により各試験体の初期含水率を測定した。試験体の概要は表-2及び表-3のとおりである。乾燥は、群馬県林業試験場のIF型木材乾燥機(日本電化工機製bk-1E-HT)を用いて実施した。なお、乾燥機の容量の都合上乾燥は2回に分けて実施した。1回目はクルミ及びセンの乾燥、2回目はクリ、ヤマザクラ、ケヤキ、トチの乾燥である。各樹種の試験体のうち1体は、材の含水率を管理するコントロール材とした。乾燥中はコントロール材の重量をおおよそ1~2日おきに計測し、重量からその時点での含水率を推定した。コントロール材の含水率を目安に、段階的に温度と乾湿球温度差を大きくし、含水率がおおよそ10%前後となるまで乾燥を実施した。乾燥終了後は、各樹種の割れや狂い等の損傷がどのように出ているかを観察した。その後、試験体から小試験片を切り出し、全乾重量法により仕上がり含水率を測定した。

表-2 クルミ、センの試験体の仕様(乾燥1回目)

樹種	試験体数	材長 (mm)	材幅 (mm)	材厚 (mm)	初期含水率 (%)
クルミ	6	610~1100	95	95	12.0~14.9
セン	9	600~790	320~380	50~55	13.9~16.8

表-3 クリ、ヤマザクラ、トチ、ケヤキの試験体の仕様(乾燥2回目)

樹種	試験体数	材長 (mm)	材幅 (mm)	材厚 (mm)	初期含水率 (%)
クリ	9	520~970	210~240	55~60	30.5~60.2
ヤマザクラ	7	570~1000	170~200	55~60	16.3~19.2
トチ	7	570~950	270~310	55~60	20.1~55.1
ケヤキ	4	1000	200	55~60	12.9~14.9

(3) 歩留まり率計算

材の割れや狂い等の損傷が、材の加工の際にどのように影響するか見るため、試験体を規定寸法に製材し、その際の歩留まり率を求めた。今回はギター等の楽器への使用を想定し、試験体を規定寸法に製材し、成果品とした。クルミはウクレレのネックへの使用を想定し、表-4の寸法を目安に製材した。クルミ以外の樹種はギター及びベースのボディへの使用を想定し、表-5の寸法を目安に製材した。ギター及びベースのボディ材については、楽器製作時に複数の板材を幅はぎ接着するが、今回は2枚接着(2ピース)、3枚接着(3ピース)、4枚接着(4ピース)を想定し、それぞれのサイズの材を、可能な限り無駄が出ないように切り出した。製材については、大きな節や割れをなるべく避けて製

材した。製材した際に反りや落ち込みの影響により規定寸法を大きく割ってしまうものについては成果品から除外した。歩留まり率の計算について、クルミは図-1のとおり、全成果品の材長の合計を全試験体の材長の合計で割り、割合を算出した。クルミ以外の樹種については、図-2のとおり、全成果品の材面積の合計を全試験体の材面積の合計で割り、割合を算出した。

表-4 成果品製材寸法 (クルミ)

楽器	長さ	厚み	幅
ウクレレ (ネック)	400mm	90mm	90mm

表-5 成果品製材寸法
(セン、クリ、ヤマザクラ、トチ、ケヤキ)

楽器	長さ	厚み	幅	
ギター (ボディ)	2ピース	500mm	47mm	180mm
	3ピース	500mm	47mm	120mm
	4ピース	500mm	47mm	90mm
ベース (ボディ)	2ピース	545mm	47mm	195mm
	3ピース	545mm	47mm	130mm
	4ピース	545mm	47mm	100mm

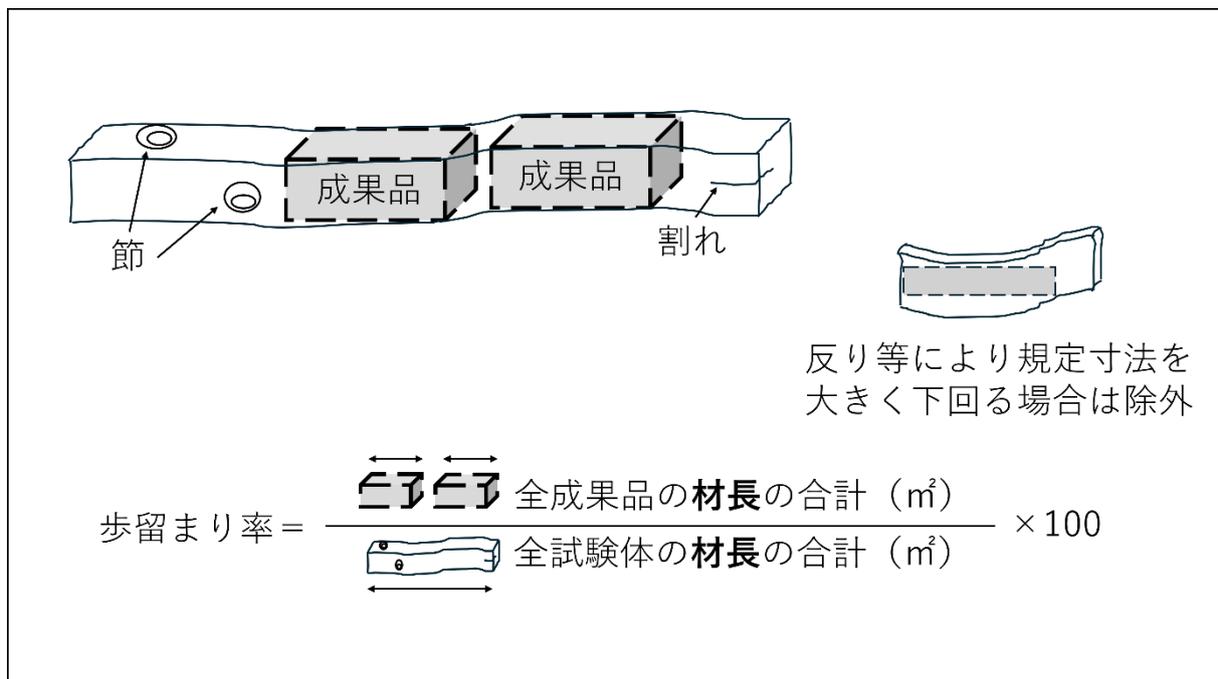


図-1 成果品製材と歩留まり計算について (クルミ)

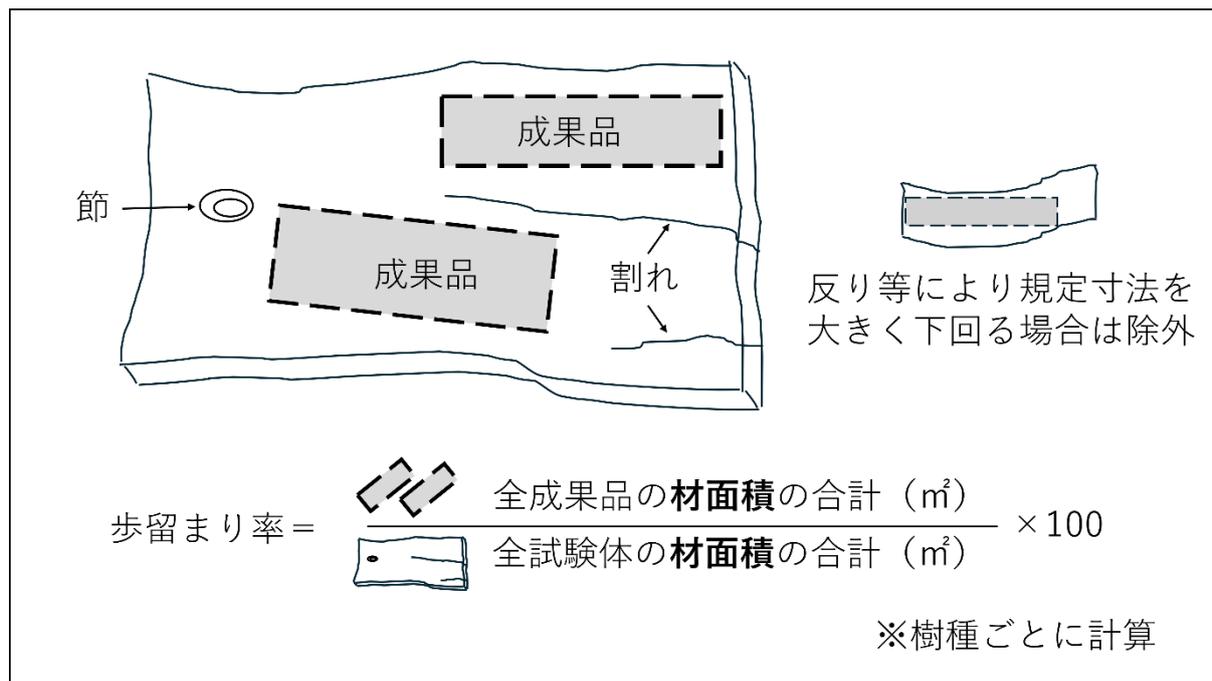


図-2 成果品製材と歩留まり計算について
(セン、クリ、ヤマザクラ、トチ、ケヤキ)

III 結果

(1) 100℃試験

100℃試験の結果を、表6～10に示す。初期割れ、変形、内部割れの段階は、数字が大きいほどその程度が大きいことを示している。この結果は樹種ごとの特性解明の参考となるので、樹種ごとに段階を見ていく。変形についてはクルミが最も大きく、次いでクリ、ケヤキが大きかった。また、表面割れはサクラ、内部割れはクリで最も大きかった。トチは、初期割れ、変形、内部割れすべてにおいて最小であった。

5種の中で最も乾燥の初期温度、初期乾湿球温度差及び終末温度が低かったのはクルミであり、初期温度 48℃、初期乾湿球温度差 2.8℃、終末温度 73℃という乾燥条件が得られた。次の実大材の乾燥においては、このクルミの乾燥条件を採用し、試験を実施した。

表－6 100℃試験から得られたクルミの乾燥条件

樹種		初期割	変形	内部割	得られた条件
	段階	1	7	2	
クルミ	初期温度 (°C)	70	48	55	48
	初期温度差 (°C)	6.5	2.8	4.5	2.8
	終末温度 (°C)	95	73	83	73

表－7 100℃試験から得られたクリの乾燥条件

樹種		初期割	変形	内部割	得られた条件
	段階	2	6	4	
クリ	初期温度 (°C)	65	49	49	49
	初期温度差 (°C)	5.5	3.3	3.3	3.3
	終末温度 (°C)	90	75	73	73

表－8 100℃試験から得られたヤマザクラの乾燥条件

樹種		初期割	変形	内部割	得られた条件
	段階	3	5	1	
ヤマザクラ	初期温度 (°C)	60	50	70	50
	初期温度差 (°C)	4.3	3.6	6.5	3.6
	終末温度 (°C)	85	77	95	77

表－9 100℃試験から得られたトチの乾燥条件

樹種		初期割	変形	内部割	得られた条件
	段階	1	4	1	
トチ	初期温度 (°C)	70	54	70	54
	初期温度差 (°C)	6.5	4	6.5	4
	終末温度 (°C)	95	80	95	80

表－10 100℃試験から得られたケヤキの乾燥条件

樹種		初期割	変形	内部割	得られた条件
	段階	2	6	2	
ケヤキ	初期温度 (°C)	65	49	55	49
	初期温度差 (°C)	5.5	3.3	4.5	3.3
	終末温度 (°C)	90	75	83	75

(2) 実大材の乾燥

100℃試験の結果から、初期温度 48℃、初期乾湿球温度差 2.8℃、終末温度 73℃という乾燥条件が得られた。ただし、広葉樹材を取り扱う県内事業者が所有する実機の木材乾燥機の最高温度は 70℃であったため、温度条件を少し調節し、初期温度 45℃、初期乾湿球温度差 2.8℃、終末温度 70℃という条

件で乾燥を実施した。コントロール材の推定含水率を見つつ、徐々に温度を上げ、乾湿球温度差を大きくし、乾燥を進めた。結果として、乾燥にかかった時間は、1回目の乾燥では188時間、2回目の乾燥では428時間だった。また、各試験体の初期含水率及び仕上がり含水率を表-5及び表-6に示す。乾燥1回目はどの試験体も初期含水率が低く乾燥時間も短かったが、クルミは材厚が厚かったため、仕上がり含水率がセンよりも高くなった。乾燥2回目は1回目 비해初期含水率が高い試験体があったため、乾燥時間が1回目よりも長くなった。その中でもトチは、初期含水率が55%と高かったにもかかわらず仕上がり含水率は8%以下まで下がっており、今回の樹種の中でも乾燥速度が速い樹種といえる。

表-11 クルミ、センの初期含水率及び仕上がり含水率（乾燥1回目）

	クルミ			セン			
		初期含水率	仕上含水率		初期含水率	仕上含水率	
クルミ	最大 (%)	16.8	14.4	セン	最大 (%)	13.7	9.5
	平均 (%)	14.9	11.2		平均 (%)	12.6	9.1
	n=6 最小 (%)	13.9	9.5		n=9 最小 (%)	12.0	8.8

表-12 クリ、ヤマザクラ、トチ、ケヤキの初期含水率及び仕上がり含水率（乾燥2回目）

	クリ			ヤマザクラ			
		初期含水率	仕上含水率		初期含水率	仕上含水率	
クリ	最大 (%)	60.2	12.9	ヤマザクラ	最大 (%)	19.2	8.2
	平均 (%)	44.1	10.0		平均 (%)	18.2	7.4
	n=9 最小 (%)	30.5	8.5		n=7 最小 (%)	16.3	6.9

	トチ			ケヤキ			
		初期含水率	仕上含水率		初期含水率	仕上含水率	
トチ	最大 (%)	55.1	7.7	ケヤキ	最大 (%)	14.9	7.7
	平均 (%)	30.5	7.3		平均 (%)	13.9	7.2
	n=7 最小 (%)	20.1	7.0		n=4 最小 (%)	12.9	7.0

乾燥を実施した上で各樹種に観察された特性を表-11に示す。クルミは、角材の状態では曲がりが大きく出ていた。矢高は、400mmの材長（規定寸法）に対し最大で5mmであった。センは幅反りが大きく出ており、一部試験体では図-3のような波状の著しい幅反りが発生していた。センの幅反りの矢高は、最大で8mmであった。クリは内部割れが多く見られたが、これは100℃試験の結果と同様であるといえる。図-4のように木口に太い割れが発生し、その割れが内部まで続いていた。ヤマザクラとトチは、表面割れが多くみられ、その割れの多くは木口から発生していた。ケヤキは、幅反り、縦反りの両方が大きく出ていた。幅反りの矢高は最大で5.5mm、縦反りの矢高は材長500mm（規定寸法）に対し最大で5.5mmであった。

表-13 観察された各樹種の特性

樹種	観察された特性
クルミ	角材の状態では曲がりが大きく出る。 矢高は最大で5mm（材長400mm）。
セン	幅反りが大きく出る。一部試験体では波状の幅反りが発生。矢高は最大で8mm。（図-3）
クリ	内部割れが発生しやすい。（図-4）
ヤマザクラ	表面割れが発生しやすい。割れの多くは木口から発生。
トチ	表面割れが発生しやすい。割れの多くは木口から発生。 乾燥速度が比較的速い。
ケヤキ	幅反り及び縦反りが大きく出る。幅反り矢高は最大で5.5mm。縦反り矢高も最大で5.5mm（材長500mm）。



図-3 センの試験体に発生した幅反り



図-4 クリの試験体に発生した内部割れ

各樹種の歩留まり率を計算した結果を表に示す。クルミは、曲がりの影響により規定の厚さ、幅に製材できず、成果品から除外したものが多かった。クルミは曲がり最も歩留まり率低下に影響していると考えられた。センは幅反りにより既定の厚さに製材できず、成果品から除外したものが多かった。センは幅反りが最も歩留まり率低下に影響していると考えられた。クリは今回の樹種で最も歩留まり率が低かった。今回のクリの試験体は節が多く、節を避けて製材する中で無駄が多く出た。また、クリは内部割れが多く、製材しても割れが残るものは成果品から除外した。このため、クリは節と割れが歩

留まり率低下に影響していると考えられた。ヤマザクラとトチは他の樹種と比較して歩留まり率は高かった。ただし、両樹種とも木口を中心に表面割れが多く発生しており、製材の際に木口を大きく切り落とすことが多かった。ヤマザクラとトチは木口に発生した表面割れが最も歩留まり率低下に影響していると考えられた。ケヤキは幅反り、縦反りが大きく出たことで既定の厚さ、長さに製材できず、成品から除外したものが一部あった。このため、ケヤキは幅反り、縦反りが歩留まり率低下に影響していると考えられた。

表-14 各樹種の歩留まり率

樹種	歩留まり率 (%)
クルミ	36.1
セン	28.2
クリ	14.1
ヤマザクラ	42.3
トチ	41.3
ケヤキ	33.8

IV 考察

クルミは角材で曲がりが大きく、この曲がり歩留まり率低下に大きく影響していた。クルミの曲がりの矢高は、400mmの材長（規定寸法）に対し最大で5mmであった。両面削ることを考えると、5mmの曲がりが生じたクルミをある規定の寸法に仕上げるには、最低10mm、可能であれば15mmほど寸法に余裕を持たせる必要がある。クルミは粗挽き（乾燥前）の段階で規定寸法よりも15mm程度幅、厚さに余裕を残しておくことで、歩留まり率の向上が期待できる。

センの幅反りの矢高は最大で8mmであった。両面削ることを考えると、8mmの反りが生じたセンをある規定の寸法に仕上げるには、最低16mm、可能であれば20mmほど厚さに余裕を持たせる必要がある。センは粗挽き（乾燥前）の段階で規定寸法よりも20mm程度厚くしておくことで、歩留まり率の向上が期待できる。

ヤマザクラ、トチは、木口に発生した表面割れが歩留まり率低下に大きく影響していたことから、材長が長い状態で乾燥し、乾燥後に表面割れが生じた木口を切り落とすことで、歩留まり率の向上が期待できる。

クリは節と内部割れが歩留まり率低下に大きく影響していた。節は個体差があるため、クリの歩留まり率の向上のためには内部割れを抑える必要がある。寺沢・筒本（1992）によると、内部割れを抑えるには、乾燥初期～中期の温度を低くし、急速乾燥を避ける必要があると指摘している。クリの歩留まり率の向上には、乾燥初期～中期の温度を低くし、ゆっくり乾燥することが重要だといえる。

ケヤキは幅反り及び縦反りが歩留まり率低下に大きく影響していた。ケヤキは幅反り、縦反りの矢高がともに最大5.5mmとなっていた。両面削ることを考えると、5.5mmの反りが生じたケヤキをある規定の寸法に仕上げるには、最低11mm、可能であれば15mmほど厚さに余裕を持たせる必要がある。ケヤキは、粗挽き（乾燥前）の段階で規定寸法よりも15mm程度厚くしておくことで、歩留まり率の向上が期待できる。

V おわりに

本研究において、広葉樹は樹種によって異なる特性を持ち、それぞれの特性が製材の際に影響を及ぼすことが判明した。樹種によっては歩留まり率が非常に低いものも見られたため、今後は歩留まり率向上、生産性向上のために、樹種ごとに最適な乾燥方法の開発を行っていく。また、楽器としての利用が期待される樹種について、楽器用材としての価値を高めるため、木目を生かした生産技術の開発、それぞれの樹種の音響特性の分析を行っていく。

謝辞

研究を実施するにあたって、試験用の材をご提供いただいた利根沼田森林組合の皆様、楽器用材製作においてご指導いただいた株式会社音響商会の皆様に、厚く御礼申し上げます。

引用文献

青井秀樹（2023），海外産の広葉樹製材品を巡る最近の動向（もっとなつかえる日本の広葉樹林，国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所，18pp，），13
寺沢真・筒本卓造（1992），木材の人工乾燥，203pp，日本木材加工技術協会，東京
寺沢真（1994），木材乾燥のすべて，718pp，海青社，滋賀