

未利用広葉樹の材質解明と利用方法の検討

一 県産広葉樹材の異樹種混載乾燥スケジュールの検討及び ニセアカシア材の利用方法の検討一

山口健太，奥原祐司，小池直樹，吉川達也，今井信，吉田孝久

県内産 15 樹種の広葉樹について，少量多樹種に対応した異樹種混載による人工乾燥試験と，低コスト乾燥術として天然乾燥＋ガラスハウス乾燥試験を実施した。また，ニセアカシアについては利用方法を検討するため，高付加価値化のための黒色化乾燥スケジュールの検討を行い，製品の試作評価を行った。

その結果，異樹種混載による人工乾燥試験において，80℃中温乾燥により全乾燥時間 334 時間（約 14 日間）で，30 mm厚の広葉樹をどの樹種においても含水率 10%以下かつ水分傾斜の少ない材に仕上げることができた。また，天然乾燥＋ガラスハウス乾燥試験は，400～500 日で 30 mm厚の広葉樹を 10%以下の含水率まで低下させることができた。

ニセアカシアの利用方法の検討では，蒸気圧力併用式乾燥機により 120℃19 時間の過熱水蒸気処理を行い，内部まで重厚感のある黒色に変化させることができ，この黒色化を生かした製品の試作では，色合いも加工性もブラックウォルナットと同等の評価を得た。

キーワード：未利用広葉樹，異樹種混載乾燥，ニセアカシア，過熱水蒸気処理，ガラスハウス乾燥

緒言

第1章 「県産広葉樹の異樹種混載乾燥スケジュールの検討」

- 1.1 はじめに
- 1.2 試験方法
 - 1.2.1 100℃急速乾燥試験
 - 1.2.2 異樹種混載乾燥による乾燥特性の把握
 - 1.2.2.1 異樹種混載による 70℃中温乾燥試験
 - 1.2.2.2 異樹種混載による 80℃中温乾燥試験
 - 1.2.3 天然乾燥＋ガラスハウス乾燥の検討
- 1.3 結果及び考察
 - 1.3.1 100℃急速乾燥試験
 - 1.3.2 異樹種混載乾燥による乾燥特性の把握
 - 1.3.2.1 異樹種混載による 70℃中温乾燥試験
 - 1.3.2.2 異樹種混載による 80℃中温乾燥試験
 - 1.3.3 天然乾燥＋ガラスハウス乾燥の検討
- 1.4 まとめ

第2章 「ニセアカシア材の利用方法の検討」

- 2.1 はじめに
- 2.2 試験方法
 - 2.2.1 黒色化乾燥スケジュールの検討
 - 2.2.1.1 乾燥温度別による材色比較
 - 2.2.1.2 120℃過熱水蒸気処理による黒色化試験
 - 2.2.1.3 曲げ性能の検討
 - 2.2.2 製品試作と評価
- 2.3 結果及び考察
 - 2.3.1 黒色化乾燥スケジュールの検討
 - 2.3.1.1 乾燥温度別による材色比較

2.3.1.2 120℃過熱水蒸気処理による黒色化試験

2.3.1.3 曲げ性能の検討

2.3.2 製品試作と評価

2.4 まとめ

結言

謝辞

緒言

近年，外国産材や他県産材に依存していた広葉樹に替わり，県産広葉樹材を，木製品（内装材，家具，楽器等）として利用したいとの要望が強くなっている。しかし，県内民有林の約4割を占める広葉樹だが，木材としての利用が十分図られていない。

広葉樹材を有効利用するには，搬出可能な資源量を確実に把握することはもちろんであるが，搬出された広葉樹をどのように利用していくかも大きな課題である。そして，建築用材あるいは家具用材として利用していくための重要な課題は「乾燥」であり，乾燥スケジュールを確立することが今後の広葉樹利用の基本になると思われる。

一方で，一度にまとまった量を確保するのが難しく，樹種も様々な広葉樹について，少量多樹種に対応した生産体制の検討も必要である。

本研究報告では，第1章として，今後の広葉樹乾燥スケジュール確立のための一資料とすることを目的に，「県産広葉樹の異樹種混載乾燥スケジュールの検討」と題して，少量多樹種による生産を前提とした乾燥試

験及び、低コスト乾燥技術について検討を行った。

第2章では、ニセアカシア材利用の一資料とすることを目的に、「ニセアカシア材の利用方法の検討」と題して、ニセアカシアについて高付加価値化のための黒色化乾燥スケジュールの検討及び製品試作と評価を行った。

第1章「県産広葉樹の異樹種混載乾燥スケジュールの検討」

1.1 はじめに

長野県内のうち、北アルプス地域振興局管内には大町市以北を中心に森林面積の約67%が広葉樹林である¹⁾。

この広葉樹を有効活用するために、100℃急速乾燥試験²⁾を行い標準乾燥スケジュールを推定するとともに、この地域で生産される、合わせて15樹種の広葉樹を対象として、2回の異樹種混載の人工乾燥試験及び、化石燃料に頼らない低コスト乾燥について検討するために、天然乾燥+ガラスハウス乾燥試験を実施した。なお、本試験は北アルプス地域振興局からの技術協力依頼により実施した。

本試験で対象とした樹種について、参考として、世界の有用木材300種(3)³⁾に示されているものについては、以下に基本的性質として示す。

① サワグルミ (クルミ科)

気乾比重0.34 辺心材区分なく淡黄白色の散孔材。下駄材(山桐と俗称する)、マッチ軸材、器具材、家具材、経木材等に利用。耐久性は極小。乾燥性は良。

② ヤマナラシ (ヤナギ科)

気乾比重0.45, 辺心材区分なく一様に淡黄白色の散孔材。マッチ軸材、器具材、箱材、パルプ材などに利用。耐久性は極小。乾燥性は良。

③ キハダ (ミカン科)

気乾比重0.45, 辺心材の差は明らかで、辺材は帯褐灰白色、心材は緑色を帯びた黄褐色の環孔材。器具材、家具材、枕木、建築材、薪炭材に利用。樹皮は生薬として利用。耐久性は中。乾燥性は良。

④ ホオノキ (モクレン科)

気乾比重0.48, 辺心材の境はほぼ明らかで、辺材は灰白色、心材はくすんだ灰緑色の散孔材。器具材、建築材(内部装飾材)、機械材、家具材、箱材、楽器材、彫刻材、など。特殊材として製図版、定規材、下駄歯材、刃物鞘などに利用。耐久性は中。乾燥性は良。

⑤ クリ (ブナ科)

気乾比重0.55, 辺心材の区分は明らかで、辺材は褐色を帯びた灰白色、心材は褐色の環孔材で年輪は極めて明らか。枕木、建築材(土台、装飾材など)、家具材、土木

材、船舶材、車輪材、器具材、坑木、旋作材、薪炭材に利用。耐久性は大。乾燥性は中。

⑥ ニレ (ハルニレ、ニレ科)

気乾比重0.59, 辺心材の差は明らか。辺材は帯褐灰白色で心材はくすんだ褐色の環孔材。器具材、車輪材、枕木、家具材、合板用材、薪炭材に利用。耐久性は小。乾燥性は中。

⑦ サクラ (ヤマザクラ、バラ科)

気乾比重0.60, 辺心材の差は明らか。辺材は淡黄褐色、心材は褐色で、ときに暗緑色の縞が出る散孔材。器具材、家具材、機械材、楽器材、彫刻材、旋削材に利用。耐久性は中。乾燥性は中。

⑧ ヤマグワ (クワ科)

気乾比重0.60, 辺心材の差は明らかで、辺材は淡黄色、心材は黄色を帯びた濃褐色の環孔材。器具材、建築装飾材、機械材、楽器材、旋削材、特殊用途として鏡台用材に利用。耐久性は極大。乾燥性は中。

⑨ ブナ (ブナ科)

気乾比重0.63, 辺心材の区別が明らかでなく、淡黄白色～淡紅色、しばしば褐色の偽心をもつ散孔材。器具材、家具材、枕木、建築材(床板)、合板用材、漆器素地、木管材、機械材、船舶材、玩具材、銃床材、箱材、パルプ材、薪炭材などに利用。耐久性は極小。乾燥性は中。

⑩ ミズキ (ミズキ科)

気乾比重0.67, 辺心材の区別は少なく、白色～淡黄白色～淡褐色の散孔材。建築材、細工物、器具材(漆器木地、箸、玩具、下駄、こけし等)、彫刻材に利用。耐久性は極小。乾燥性不明。

⑪ ウダイカンバ (カバノキ科)

気乾比重0.69, 辺心材の境は一般に明らかで、辺材は白色、心材は淡紅褐色の散孔材。器具材、家具材、合板用材、車輪材、機械材、建築材(床板)、木管材、パルプ材、薪炭材などに利用。耐久性は小。乾燥性は中。

⑫ コナラ (ブナ科)

気乾比重0.82, 辺心材の区別はあまり明らかでなく、辺材淡黄褐色、心材淡灰褐色の環孔材。器具材(農具、柄、樽、桶、箱)、建築材(床板)、家具材、土木材(枕木)に利用。耐久性は中。乾燥性は悪。

⑬ クヌギ (ブナ科)

気乾比重0.89, 辺材灰白色で心材赤褐色の環孔材。器具材(柄、桶)、車輪材、船舶材、薪炭材、椎茸櫓木に利用。耐久性は中。乾燥性は悪。

⑭ ウリハダカエデ (カエデ科) 記載なし

⑮ エノキ (アサ科) 記載なし

1.2 試験方法

1.2.1 100°C急速乾燥試験

2.4~4.0m に造材した末口径およそ 16~32 cmのホオノキ、ウリハダカエデ、ミズキ、コナラ、サクラを耳付き材で厚さ 30mm~45 mmに製材した。材幅はおよそ 9~28cm であった。厚さ 2 cm×幅 10 cm×長さ 20 cmの板目試験材を各樹種 3 枚準備した。

これら広葉樹は 2019 年 10 月~11 月上旬に伐採玉切伐りされたものであり、11 月 26 日に製材し 12 月 24 日に林業総合センターに持ち込まれ、2020 年 1 月 25 日から 100°C急速乾燥試験²⁾ を実施した。

100°C急速乾燥試験は、未知の材に対する乾燥スケジュールを推定するための一般的な試験であり、試験方法は、100°Cの電気定温乾燥器内で試験材を急速乾燥するもので、その過程における初期割れ、断面の糸巻き状変形、内部割れを観察し、それぞれの損傷の段階からスケジュールを推定する方法である。

1.2.2 異樹種混載乾燥による乾燥特性の把握

1.2.2.1 異樹種混載による 70°C中温乾燥試験

2019 年 10 月~11 月上旬に伐採玉切伐りされた、2.4~4.0m に造材した末口径およそ 16~30cm のサワグルミ、ホオノキ、ニレ、ウリハダカエデ、ミズキ、エノキ、クワ、コナラ、サクラ、クヌギを 11 月 26 日に材幅およそ 9~28cm の耳付き材で厚さ 30mm に製材した。12 月 24 日に林業総合センターに持ち込み、2020 年 1 月 7 日から蒸気式木材乾燥装置により、栈木厚 25mm のアルミ栈木、栈木間隔約 30cm、上部荷重約 2.5 トンを積載して乾燥試験を実施した（写真-1）。

乾燥経過調査ではテストピースとしてホオノキ、コナラ、ミズキ、サクラ、ウリハダカエデ、クヌギ（45 mm）の各 1 枚から、人工乾燥用と天然乾燥用（1.2.3.1 で使用）の合計 2 枚ずつを採取した。テストピースの長さは 70 cmとし、木口にシリコンを塗布した。

テストピースは乾燥機奥の小扉近くに置き、概ね 24



写真-1 蒸気式木材乾燥による 70°C中温乾燥

時間ごとに重量を測定しその時点の推定含水率を計算した上で、最も含水率が高いものに合わせて乾燥を進めた。

目標仕上げ含水率を 8~10%とし、ミズナラを参考とした表-1の乾燥スケジュールに従い、45~70°Cの比較的緩やかな中温乾燥(以下、70°C中温乾燥とする)を実施した。

乾燥後、テストピース以外の全ての板材について 1 mm以上の割れを測定した。テストピース及び、サワグルミ、ニレ、ミズキ、エノキ、クワから 1 枚ずつ抽出した試験体について、全乾法での含水率、全乾密度さらに水分傾斜を求めた（図-1）。

表-1 70°C中温乾燥スケジュール

ステップ	含水率	乾球温度	湿球温度	温度差
1	生~40	45	43	2
2	40~35	45	42	3
3	35~30	45	41	4
4	30~25	50	44	6
5	25~20	55	45	10
6	20~15	60	45	15
7	15~10	70	50	20
8	10~終末	70	42	28
9	調湿(24h)	70	63	7
10	送風(48h)		成り行き	

EMC
10.3%

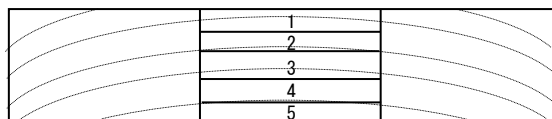


図-1 水分傾斜計測の模式図と写真

1.2.2.2 異樹種混載による 80°C中温乾燥試験

2020 年 12 月に伐採玉切伐りされた長さ 2.0m に造材したサクラ、ヤマナラシ、ウダイカンバ、クリ、キハダ、ブナ、ホオノキを 2021 年 1 月 19 日に耳付き材で厚さ 30mm に製材した。材幅はおよそ 50~330mm であった。1 月 20 日に林業総合センターに持ち込み、2021 年 1 月 21 日から蒸気式木材乾燥装置により乾燥試験を行った。栈積み条件は 70°C中温乾燥と同様とし、積載荷重のみ 2t とした。（写真-2）。ここでの天然乾燥用のテストピースは 1.2.3.2 で使用した。

乾燥は、100°C試験の結果から得られたサクラ及びコナラ材の乾燥スケジュールを参考とし、表-2 の含水率スケジュールに従い、50~80°C（以下 80°C乾燥）を行った。乾燥後、テストピースについては全乾法による含水率及び密度を求めた。また、1 週間の養生後に各樹種

1枚ずつ抽出した試験材について、全乾法による含水率、全乾密度さらに水分傾斜を求めた(図-1)。



写真-2 蒸気式木材乾燥による80°C中温乾燥

表-2 80°C中温乾燥スケジュール

ステップ	含水率	乾球温度	湿球温度	温度差	実際の処理時間(h)
1	生~40	50	47	3	58
2	40~35	50	45	5	24
3	35~30	50	43	7	37
4	30~25	55	43	12	48
5	25~20	60	39	21	51
6	20~15	65	37	28	24
7	15~10	80	52	28	21
8	送風	0	0	0	5
9	イコライジング	69	53	16	24
10	コンディショニング	70	62	8	24
11	送風		成り行き		18

イコライジング EMC 6.0% 合計334時間(14日間)
コンディショニング EMC 9.6%

1.2.3 天然乾燥+ガラスハウス乾燥の検討

1.2.3.1 天然乾燥+ガラスハウス乾燥(1回目)

前述「1.2.2.1 異樹種混載による70°C中温乾燥試験」で採材した天然乾燥用テストピース(ホオノキ、ウリハダカエデ、ミズキ、コナラ、サクラ)に、45mm厚のサクラ、クヌギを加えて試験を行った。

天然乾燥は、2020年1月12日から当センターの日の当たらない風通しが良いところで棧積みを行い、定期的に重量を測定し、平均の含水率が15%を下回った時点でガラスハウス(ガラス1重、南向き、南面のみビニールシート)に移動して乾燥を行った(写真-3)。

乾燥日数 502 日間で取り出し、全乾法による含水率、全乾密度さらに水分傾斜を求めた。

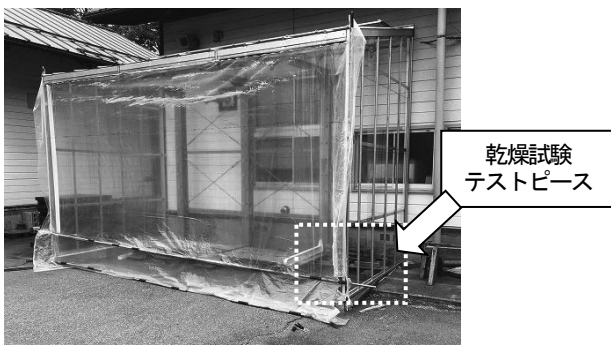


写真-3 ガラスハウス乾燥状況

1.2.3.2 天然乾燥+ガラスハウス乾燥(2回目)

上記「1.2.2.2 異樹種混載による80°C中温乾燥試験」で採材した天然乾燥用テストピース(サクラ、ヤマナラシ、ウダイカンバ、クリ、キハダ、ブナ、ホオノキ)について試験を行った。

2020年12月25日から試験1回目と同様に試験を実施し、乾燥日数418日間で取り出し、全乾法による含水率、全乾密度さらに水分傾斜を求めた。

1.3 結果及び考察

1.3.1 100°C急速乾燥試験

初期含水率の3枚平均は、高い方から、ホオノキ68.2%、コナラ60.3%、ミズキ48.5%、サクラ43.8%、ウリハダカエデ31.0%であった。全乾密度は、高い方から、コナラ0.639 g/cm³、サクラ0.608 g/cm³、ウリハダカエデ0.562 g/cm³、ミズキ0.541 g/cm³、ホオノキ0.414 g/cm³、であった。初期含水率と全乾密度の関係は見られなかった。

100°C試験による乾燥経過図を図-2に示す。

初期含水率が低いウリハダカエデの乾燥速度が最も速く、初期含水率と全乾密度が高いコナラの乾燥速度が最も遅かった。

それぞれの材の樹種の推定乾燥スケジュールを表-3~7に示す。乾燥スケジュールの決定要因として、ウリハダカエデは初期割れに起因するものであった。その他については、断面の糸巻き状変形によるものであった(写真-4, 5)。推定乾燥スケジュールによると、ミズキ、ウリハダカエデは乾燥しやすく、ホオノキ、サクラ、コナラはやや難しい樹種群と判断された。



写真-4 ウリハダカエデの初期割れ



写真-5 糸巻き状変形と内部割れ
(上段サクラ、下段コナラ)

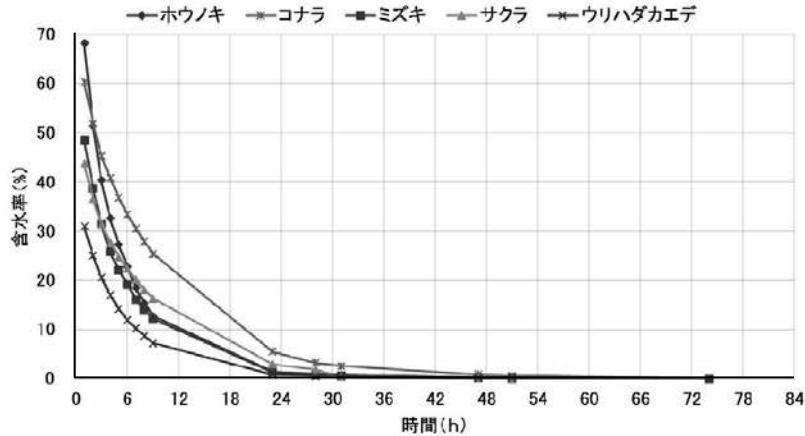


図-2 100°C試験による乾燥経過図

表-3 ミズキ材の100°C試験結果と標準乾燥スケジュール

初期含水率: 48.5%

損傷の種類	損傷段階	乾燥初期		乾燥終末温度(°C)
		温度(°C)	乾湿球温度差(°C)	
初期割れ	1	70	6.5	95
断面の糸巻状変形	3	58	4.7	83
内部割れ	1	70	6.5	95

含水率範囲(%)	乾球温度	湿球温度	温度差
生~40	60	55	5
40~35	60	53	7
35~30	60	50	10
30~25	65	48	17
25~20	70	45	26
20~15	77	49	28
15~	80	52	28

表-4 ホノノキ材の100°C試験結果と標準乾燥スケジュール

初期含水率: 68.2%

損傷の種類	損傷段階	乾燥初期		乾燥終末温度(°C)
		温度(°C)	乾湿球温度差(°C)	
初期割れ	1	70	6.5	95
断面の糸巻状変形	3	58	4.7	83
内部割れ	1	70	6.5	95

含水率範囲(%)	乾球温度	湿球温度	温度差
生~60	50	45	5
60~50	50	43	7
50~40	50	40	10
40~35	50	33	17
35~30	50	25	26
30~25	55	27	28
25~20	60	32	28
20~15	65	37	28
15~	80	52	28

表-5 サクラ材の100°C試験結果と標準乾燥スケジュール

初期含水率: 43.8%

損傷の種類	損傷段階	乾燥初期		乾燥終末温度(°C)
		温度(°C)	乾湿球温度差(°C)	
初期割れ	4	55	3.6	83
断面の糸巻状変形	5	50	3.6	77
内部割れ	1	70	6.5	95

含水率範囲(%)	乾球温度	湿球温度	温度差
生~40	50	47	3
40~35	50	45	5
35~30	50	43	7
30~25	55	43	12
25~20	60	39	22
20~15	65	37	28
15~	80	52	28

表-6 ウリハダカエデ材の100°C試験結果と標準乾燥スケジュール

初期含水率: 31.0%

損傷の種類	損傷段階	乾燥初期		乾燥終末温度(°C)
		温度(°C)	乾湿球温度差(°C)	
初期割れ	3	60	4.3	85
断面の糸巻状変形	2	66	6	88
内部割れ	1	70	6.5	95

含水率範囲(%)	乾球温度	湿球温度	温度差
~30	60	55	5
30~25	65	58	7
25~20	70	60	10
20~15	77	60	17
15~10	80	55	26
10~	80	52	28

表-7 コナラ材の100°C試験結果と標準乾燥スケジュール

初期含水率: 60.3%

損傷の種類	損傷段階	乾燥初期		乾燥終末温度(°C)
		温度(°C)	乾湿球温度差(°C)	
初期割れ	2	65	5.5	90
断面の糸巻状変形	5	50	3.6	77
内部割れ	3	50	3.8	77

含水率範囲(%)	乾球温度	湿球温度	温度差
生~40	50	47	3
40~35	50	45	5
35~30	50	43	7
30~25	55	43	12
25~20	60	39	22
20~15	65	37	28
15~	80	52	28

1.3.2 異樹種混載乾燥による乾燥特性の把握

1.3.2.1 異樹種混載による70°C中温乾燥試験

1.3.2.1.1 乾燥経過と仕上がり含水率

図-3 にそれぞれの樹種の乾燥経過を示した。乾燥開始 8 日から 11 日にかけて含水率低下がほぼ横ばいの状態が続いたが、これは温度差が 2°C であり、思ったより乾燥が進まなかったため、もう少し早めに次のステップへの切り替えが必要と思われた。

全乾燥時間 652 時間 (約 27 日間) で含水率は、45 mm 厚のクヌギ以外全てが 10% 以下に仕上がった (図-4)。

テストピースの乾燥変化は、初期含水率→仕上がり含水率で、ホオノキ 72.1→9.3%、コナラ 62.0→8.8%、ミズキ 57.4→8.4%、サクラ 43.6→7.9%、ウリハダカエデ 30.6→7.9% となった。ウリハダカエデについては、100°C 急速乾燥試験でもそうであったように、他の広葉樹に比べ初期含水率が低かったが、このことについては今後確認する必要がある。

1.3.2.1.2 乾燥速度

各含水率域における乾燥速度及び所要時間を表-8 に、また、乾燥速度に大きく影響するとされる全乾密度を、図-5 に示す。

テストピースについて全乾密度は、高い順に、サクラ 0.689 g/cm³、コナラ 0.655 g/cm³、ミズキ 0.573 g/cm³、ウリハダカエデ 0.536 g/cm³、ホオノキ 0.446 g/cm³ だった。

初期含水率が 50% 以上のホオノキ、コナラ、ミズキについてみてみると、初期含水率が高く密度が高いコナラが一番乾きにくかった。乾燥速度は含水率が低下するに伴い徐々に低下し、含水率 30% までは樹種毎の乾燥速度は不安定であるが、30% を下回ると 0.1~0.2%/h、含水率 20→10% では 0.1%/h 前後、含水率 10% 以下では 0.05%/h 前後という結果であった。

異樹種混載の乾燥にあたっては、コナラ以外の材は早い時間に 10% を下回ったため、調湿に切り替える時間が今後の課題である。

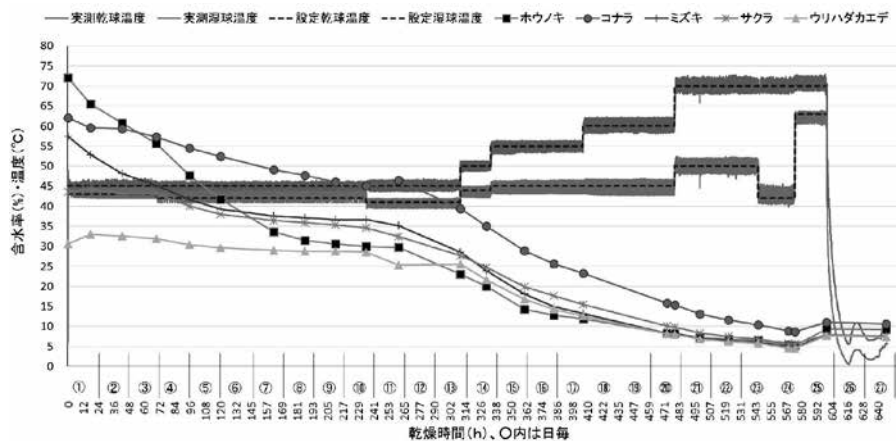


図-3 70°C中温乾燥乾燥経過

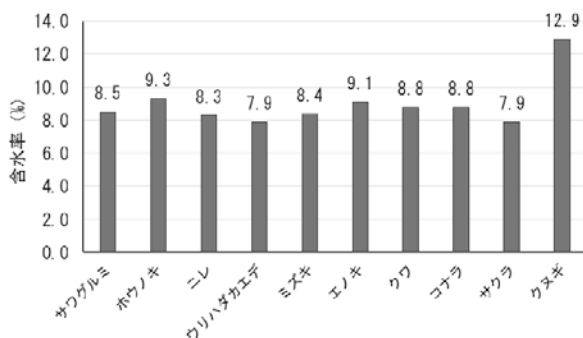


図-4 全乾法による仕上がり含水率 (※クヌギは 45 mm)

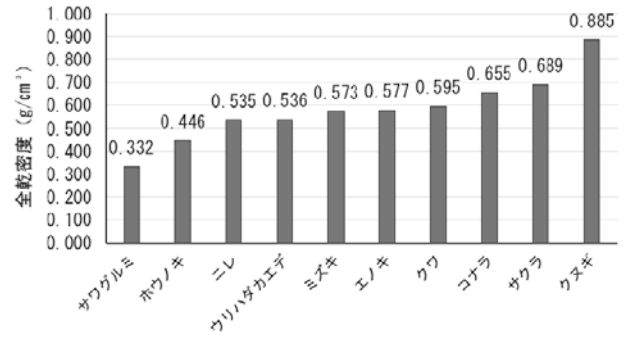


図-5 全乾密度 (※クヌギは 45 mm)

表-8 各含水率域における乾燥速度 (%/h)

	初期含水率 (%)	全乾密度 (g/cm ³)	含水率					
			生→50%	50%→30%	30%→20%	20%→10%	10%以下	
ホオノキ	72.1	0.446	乾燥速度(%/h)	0.25	0.13	0.11	0.08	0.03
			所要時間(時間)	96	140	94	143	101
ミズキ	57.4	0.573	乾燥速度(%/h)	0.22	0.07	0.21	0.09	0.04
			所要時間(時間)	42	268	50	113	101
コナラ	62.0	0.655	乾燥速度(%/h)	0.08	0.10	0.12	0.09	0.06
			所要時間(時間)	162	198	47	138	29

1.3.2.1.3 乾燥後の水分傾斜

樹種により違いはあるものの、表層部は、8.0~10.0%であったのに対し中心部分は7.5~9.0%となり、表層部より中心部の方が約1.0%程度低かった(図-6)。

中心部に比べ表層が高かったことは、最終的な調湿工程において、その時間が長かったことや、調湿前の過乾燥が影響として考えられる。水分傾斜をより少なくするためには、調湿の時間を短くすることや、乾燥後の養生を確保する等の工夫が必要と考えられる。

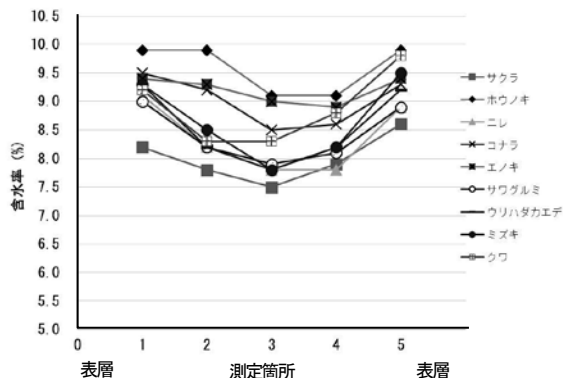


図-6 乾燥後の水分傾斜

1.3.2.1.4 乾燥後による割れ

全ての板材について、乾燥後に幅1mm以上の表面割れを測定した結果を表-9に示す。

初期含水率が特に低かったウリハダカエデや、密度が低かったサワグルミ以外の材に割れが発生した。割れは、そのほとんどが木口割れであり、中には、木口から裂けるように割れが拡大するものもみられた(写真-6)。立木時での成長応力の影響と考えられるが、乾燥時の積みの工夫や、木口のシール塗布等が対策として考えられる。それ以外に伐採時、製材時にも丁寧な扱いが必要と思われる。

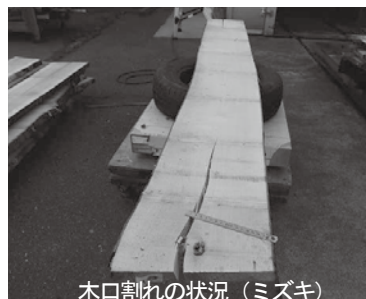
密度が高いクヌギは、7枚中6枚に表面割れが発生し、その平均長さは123cmと大きかった(写真-6)。割れの発生を抑制するためには、より緩やかな乾燥スケジュールへの見直しが必要である。また、厚さ別の混載はさらに検討を要すると思われた。

表-9 割れの発生状況

樹種	全数(枚)	割れ発生数(枚)	発生したものの長さ		発生したものの幅	
			最大(cm)	平均(cm)	最大(mm)	平均(mm)
エノキ	4	3	19	13	4	3
クワ	2	1	9	9	1	1
サワグルミ	4	0	0	0	0	0
ニレ	3	1	20	20	3	3
ホウノキ	7	2	33	27	4	3
ウリハダカエデ	3	0	0	0	0	0
ミズキ	5	2	60	35	12	7
サクラ	6	3	23	14	3	2
コナラ	6	5	36	29	8	4
クヌギ	7	6	178	123	11	4



木口割れの状況 (コナラ)



木口割れの状況 (ミズキ)



表面割れの状況 (クヌギ)

写真-6 割れの状況

1.3.2.2 異樹種混載による80°C中温乾燥試験

1.3.2.2.1 乾燥経過と仕上がり含水率

図-7にそれぞれの樹種の乾燥経過を示した。

全乾燥時間334時間(約14日間)で含水率は、全ての板材が10.0%以下に仕上がった(図-8)。

テストピースの乾燥変化は、サクラ 67.2→8.0%、ヤマナラシ 63.9→8.1%、ウダイカンバ 55.0→8.1%(写真-7)、クリ 97.6→9.9%、キハダ 72.0→8.4%、ブナ 81.3→8.5%、ホウノキ 76.8→8.2%となった。

1.3.2.2.2 乾燥速度

各含水率域における乾燥速度及び所要時間について、表-10に、また乾燥速度に大きく影響するとされる全乾密度は、図-9に示す。

テストピースについて全乾密度は、高い順に、ブナ 0.721 g/cm³、ウダイカンバ 0.713 g/cm³、サクラ 0.663 g/cm³、キハダ 0.482 g/cm³、クリ 0.480 g/cm³、ホウノキ 0.456 g/cm³、ヤマナラシ 0.448 g/cm³であった。

初期含水率が高いクリが全乾密度が比較的低いにもかかわらず一番乾きにくかった。乾燥速度は含水率が低下するに伴い徐々に低下し、乾燥末期の含水率10%を下回ると0.07%/hと極端に低下した。

70°C中温乾燥に比べ、乾燥時間が約半分に短縮された。

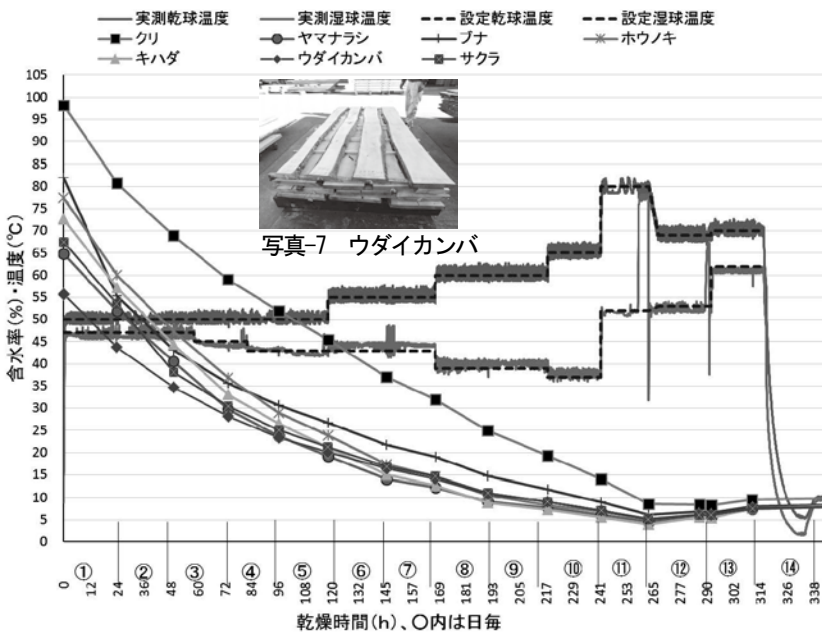


図-7 乾燥経過図

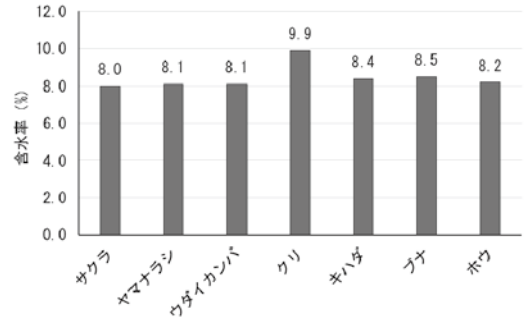


図-8 テストピースの全乾法による仕上げり含水率

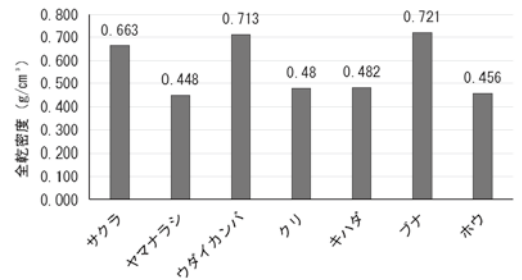


図-9 テストピースの全乾密度

表-10 各含水率における乾燥速度 (%/h)

	初期含水率 (%)	全乾密度 (g/cm³)	含水率					
			生→50%	50%→30%	30%→20%	20%→10%	10%以下	
クリ	97.6	0.480	乾燥速度(%/h)	0.48	0.29	0.25	0.24	0.01
			所要時間(時間)	97	70	51	45	29
キハダ	72.0	0.482	乾燥速度(%/h)	0.58	0.37	0.24	0.17	0.07
			所要時間(時間)	49	48	22	72	72
ブナ	81.3	0.721	乾燥速度(%/h)	0.77	0.29	0.16	0.13	0.13
			所要時間(時間)	49	48	70	75	21
ホウノキ	76.8	0.456	乾燥速度(%/h)	0.61	0.38	0.24	0.15	0.08
			所要時間(時間)	49	48	48	46	72
ヤマナラシ	63.9	0.448	乾燥速度(%/h)	0.53	0.44	0.24	0.14	0.06
			所要時間(時間)	24	50	45	72	72
ウダイカンバ	55.0	0.713	乾燥速度(%/h)	0.50	0.31	0.18	0.13	0.08
			所要時間(時間)	24	50	45	72	72
サクラ	67.2	0.663	乾燥速度(%/h)	0.58	0.46	0.20	0.12	0.09
			所要時間(時間)	24	50	45	99	45

1.3.2.2.3 乾燥後の水分傾斜

乾燥後に各樹種から1枚抽出した板材について、水分傾斜を測定した結果、クリについては、表層部がおおよそ11%、中心部分はおおよそ12%となり目標含水率10%までには更なる乾燥が必要であった。その他の樹種は、表層部が9%、中心部分は8%となり、表層部より中心部の方が約1.0%程度低かった(図-10)。

1.3.2.2.4 乾燥による割れ

乾燥仕上げり材は、約半数程度に木口割れが発生したものの、その割れは小さかったが、中には、70°C中温乾燥と同様に、木口から裂けるような大きな割れがみられた(写真-8)。表面割れはみられなかった。

このことから、表面割れの抑制と乾燥時間の短縮の面では、やや高温の乾燥スケジュールが有利であると思われた。

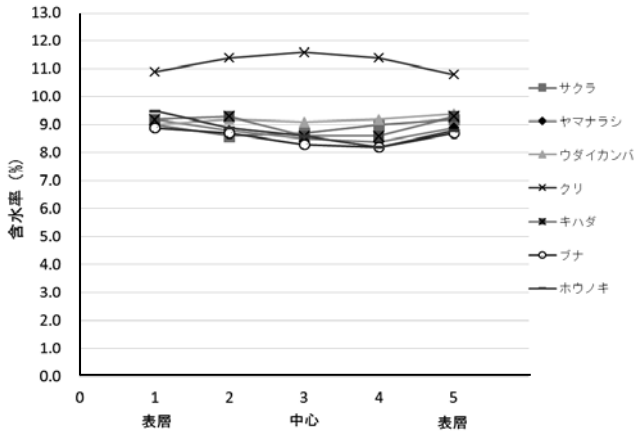


図-10 水分傾斜



写真-8 木口割れの状況 (キハダ)

1.3.3 天然乾燥+ガラスハウス乾燥の検討

1.3.3.1 天然乾燥+ガラスハウス乾燥 (1回目)

1.3.3.1.1 乾燥経過と仕上がり含水率

図-11 にそれぞれの樹種の乾燥経過を示した。全乾燥日数 502 日でテストピースの含水率は、全て

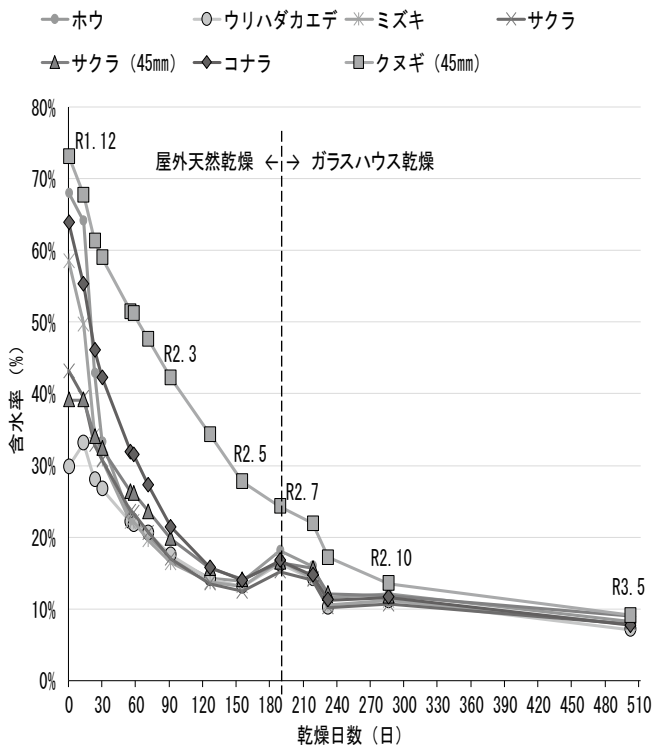


図-11 天然乾燥+ガラスハウス乾燥 (R1.12~R3.5) の乾燥経過 (1回目)

10%以下に仕上がった (図-12)。

図中の R2.5~R2.7 にかけて、クスギ以外の材で含水率の増加が見られたのは、降雨によりテストピースが雨に濡れてしまった事が影響しているものと思われる。

テストピースの乾燥変化は初期含水率→仕上がり含水率で、サクラ 42.2→7.9%、サクラ(45 mm)44.7→9.0%、ホオノキ 68.4→8.4%、コナラ 64.2→7.7%、ウリハダカエデ 30.2→7.1%、ミズキ 57.2→7.9%、クスギ(45 mm)72.5→9.1%となった。

初期含水率及び密度が高く、厚みも 45 mmと厚いクスギが一番乾きにくかった。30 mm厚の材で見てみると、含水率が 20%まで低下するのに、コナラが一番乾きにくかったものの、その後は、全ての材が同様な乾き方を示した。

この時のガラスハウスの室温は最高で 49.3℃にまで達し、その際の湿度は 25.8%だった。この環境だと平衡含水率が 4.9%となることから、ガラスハウス乾燥は、天然乾燥材の仕上げ乾燥として有効だと思われる。

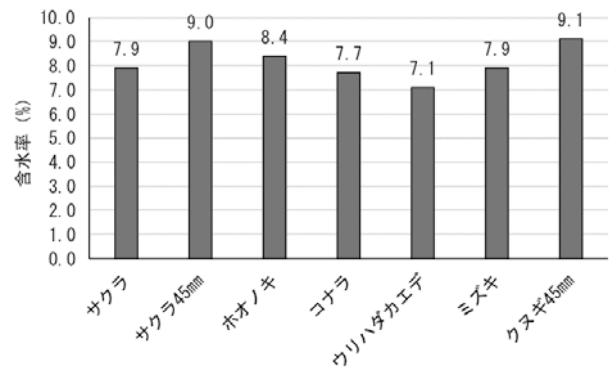


図-12 全乾法による仕上がり含水率

1.3.3.1.2 乾燥後の水分傾斜

樹種により多少の違いはあるものの、表層部は 7.0~8.0%であったのに対し中心部分は 8.0~9.0%となり、中心部においても 10%を下回る結果となった (図-13)。

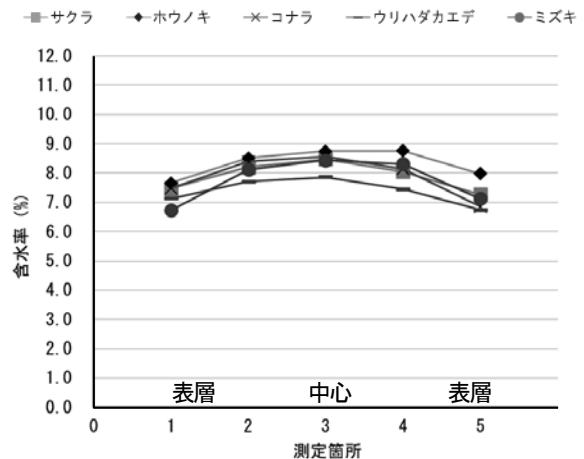


図-13 乾燥終了時の水分傾斜

1.3.3.2 天然乾燥+ガラスハウス乾燥 (2回目)

1.3.3.2.1 乾燥経過と仕上がり含水率

図-14 にそれぞれの樹種の乾燥経過を示した。全乾燥日数 418 日でテストピースの含水率は、全て 10%以下に仕上がった (図-15)。テストピースの乾燥変化は、初期含水率→仕上がり含水率で、サクラ 74.5→9.0%、ヤマナラシ 76.1→8.9%、ウダイカンバ 56.0→9.5%、クリ 96.1→9.9%、キハダ 70.2→9.4%、ブナ 82.7→9.0%、ホオノキ 78.2→9.0%となった。初期含水率が高いクリが全乾密度が比較的低いにも関わらず一番乾きにくかった。

この時のガラスハウスの室温は最高で 59.7℃にまで達し、その際の湿度は 13.8%だった。この環境だと平衡含水率が 2.6%となることから、仕上げ乾燥としてガラスハウスを利用することで、木材加工に必要な含水率 10%程度まで均一に揃えることが可能と思われる。

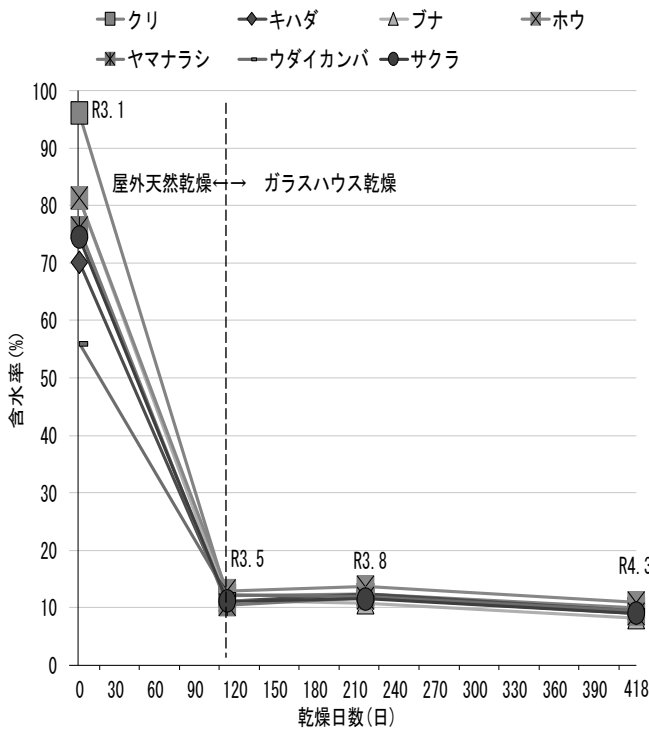


図-14 天然乾燥+ガラスハウス乾燥 (R3.1~R4.3) の乾燥経過 (2回目)

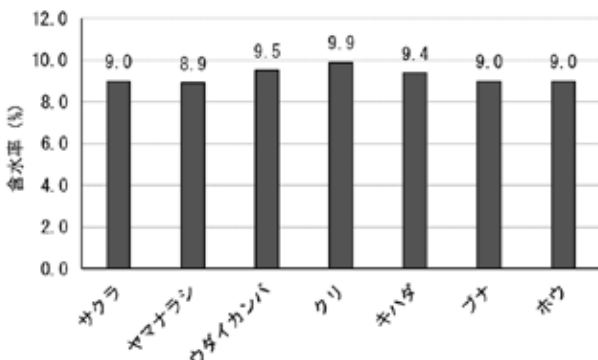


図-15 全乾法による仕上がり含水率

1.3.3.2.2 乾燥後の水分傾斜

乾燥材は、第1回目と同様に表面よりも中心が1%程度高かった (図-16)。前述「1.3.2.2 異樹種混載による80℃中温乾燥試験」で実施した人工乾燥材と比べると逆の傾向を示した。

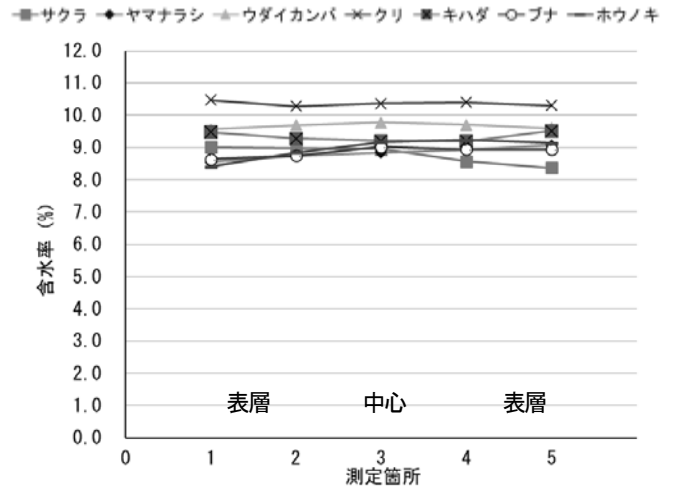


図-16 乾燥終了時の水分傾斜

1.3.3.2.3 割れ狂い等の外観的観察

乾燥仕上がり材は、表面割れはみられなかったものの、サクラ材については幅反りやねじれが見られた。短尺のテストピースであっても狂いが発生したため、実大材については、栈積み上部への荷重積載による狂い抑制が必要と思われる。

1.4 まとめ

県産広葉樹の異樹種混載乾燥スケジュールの検討では以下の結果を得た。

(1) 100℃急速乾燥試験を実施し、ホオノキ、ウリハダカエデ、ミズキ、コナラ、サクラの乾燥スケジュールを推定し、この中で最も緩やかな乾燥スケジュールを決定した。

(2) 異樹種混載による70℃中温乾燥試験を厚さ30mmの耳付き板材で実施したところ、乾燥時間652時間(約27日間)で、全てが含水率10.0%以下に仕上がった。

(3) 異樹種混載による乾燥時間を短縮した80℃中温乾燥試験を厚さ30mmの耳付き板材で実施したところ、70℃中温乾燥の約半分の全乾燥時間334時間(約14日間)で全てが含水率10.0%以下に仕上がりに、損傷も70℃中温乾燥より少なかったため、表面割れの抑制と乾燥時間の短縮の面では、やや高温の乾燥スケジュールが有利であると思われた。

(4) 天然乾燥+ガラスハウス乾燥を実施したところ、1年から1年半で全ての材が含水率10%を下回り、水分傾斜も1%程度となり良好な仕上がりであった。

第2章「ニセアカシア材の利用方法の検討」

2.1はじめに

ニセアカシア（学名：*Robinia pseudo-acacia*，英名：Black locust）は、マメ科ハリエンジュ属に属する高さ 25m以上になる落葉高木であり、別名ハリエンジュ（針槐）と呼ばれている。北アメリカ東部原産の樹種で、1870 年代に日本に持ち込まれ、最初は公園緑化樹として植栽された。皆伐跡地、河川など攪乱場所にいち早く樹林を形し、萌芽が容易に発生、どこでも育つ、成長が早いソイアノア樹種であるが、樹齢 30 年を超えると根が腐朽し倒伏しやすくなる。1880 年代から荒廃地緑化にも使われ始めたが、旺盛な繁殖力から県内各地で野生化し、地域によっては問題となっている⁴⁾。また、長野県内の河川管理者も、洪水時に流木となる恐れがある等の理由から、多額の費用をかけて伐採駆除を実施しており、そのほとんどは産廃処理か薪としての利用しか行われていない。

一方で、適切な管理のもと、産業上の利用が認められている外来種（産業管理外来種）であり、養蜂家の貴重な蜜源植物として利用されているのは有名である⁵⁾。

木材としてしてみると、世界の有用木材 300 種³⁾では、気乾比重 0.72、辺心材の区別は明らかで、辺材は黄白色、心材暗黄色の環孔材。器具材、土木材、車輛材、機械材、包装材に利用され、耐久性は極大。乾燥性は悪いとの記載がある。また、当センターにおける既往の研究⁶⁾により、強度性能の高さ、硬い材質、加えて乾燥することで重厚感のある茶系統の材色に変化することから、未利用広葉樹としてかなり有望な樹種であることが明らかになっている。

本報告においてはニセアカシア材の利用方法を更に検討するため、黒色化乾燥スケジュールの試験及び製品試作と評価を実施した。なお、2.2.1.3 曲げ性能の検討については塩尻市振興公社との技術協力依頼により実施した。

2.2 試験方法

2.2.1 黒色化乾燥スケジュールの検討

2.2.1.1 乾燥温度別による材色比較

2.2.1.1.1 供試材

平成 29 年 2 月に奈良井川改良事務所発注により塩尻市内の奈良井川河川敷において伐採されたニセアカシア原木(末口径平均 19.2 cm (15.3~29.2 cm)、長さ 2m、本数 15 本)から、板材(22×110~145×2000mm)を製材した(写真-9)。今回の製材歩止りは、33.1%~63.8%であり、径が大きいほど歩留まりが上がる傾向があった。板材は、1 グループ 20 枚程度で 3 グループに分け、3 条件の乾燥試験を実施した。



写真-9 製材の状況

2.2.1.1.2 乾燥スケジュール

乾燥による材色変化を検討するため、条件①は天然乾燥、条件②は乾球温度 50~80°Cの人工乾燥（以下 80°C 中温乾燥）(表-11)、条件③は条件②よりやや乾燥温度を高くした乾球温度 65~90°Cの人工乾燥（以下、90°C 中温乾燥）(表-12)の3条件で行った。人工乾燥は、当センター所有の蒸気式木材乾燥装置（新芝 SK 式木材乾燥機）を使用した(写真-10)。

表-11 80°C中温乾燥スケジュール（条件②）

含水率(%)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)
生~40	50	46	4
40~35	50	44	6
35~30	50	41	9
30~25	55	41	14
25~20	60	38	22
20~15	65	37	28
15~8	80	52	28
送風	0	0	0
イコライジング	70	60	10
コンディショニング	70	65	5

表-12 90°C中温乾燥乾燥スケジュール（条件③）

含水率(%)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)
~30	65	61	4
30~25	70	63	7
25~20	75	60	15
20~15	80	60	20
15~8	90	60	30
送風	0	0	0
イコライジング	70	60	10
コンディショニング	70	65	10



写真-10 乾燥の状況

2.2.1.1.3 材色調査

色彩色差計（ミノルタ製 CR-300）を用いて明度 L*, 赤み a*, 黄み b*を測定した（写真-11）。

測定は乾燥後の全ての板材について、プレーナー掛けをし1枚について1か所測定した。



写真-11 材色計測の状況

2.2.1.1.2 120°C過熱水蒸気処理による黒色化試験

2.2.1.1.2.1 供試材

平成30年2月に奈良井川改良事務所発注により塩尻市内の奈良井川河川敷において伐採されたニセアカシア原木18本（写真-12）（末口径平均19.9cm, 元口径平均23.7年生, 長さ2m）から、板材77枚（厚さ37×幅80～270×長さ2000mm, 耳付）を製材した。



写真-12 丸太の状況

2.2.1.1.2.2 乾燥スケジュールと過熱水蒸気処理

製材後、全ての板材を当センター所有の蒸気式木材乾燥装置を使用し、表-13の乾燥スケジュールにより、目標仕上げ含水率8～10%、乾球温度50～80°Cの人工乾燥（以下、80°C中温乾燥）を実施した（写真-13）。

その後、約半数の40枚を当センター所有の蒸気圧力併用型乾燥機（ヒルデブランド製 HD03/SHD）を使用して、乾燥機内を過熱水蒸気で満たし120°C温度差なしで19時間の過熱水蒸気処理を実施した。

2.2.1.1.2.3 材色調査

乾燥前後及び過熱水蒸気処理後に重量、含水率及び水分傾斜（4枚抽出）を測定した。

乾燥に伴う色の変化に着目し、乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後に、色彩色差計（ミノルタ製 CR-300）を用いて明度 L*, 赤み a*, 黄み b*を測定した。

測定は乾燥後のすべての板材について、プレーナー掛け後、1枚について3か所測定しその平均値を求めた。



写真-13 乾燥状況

表-13 乾燥スケジュール

含水率(%)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)	実際の処理時間(h)
生～40	50	46	4	24
40～35	50	44	6	24
35～30	50	41	9	43
30～25	55	41	14	73
25～20	60	38	22	35
20～15	65	37	28	85
15～8	80	52	28	100
送風	0	0	0	1
イコライジング	70	60	10	24
コンディショニング	70	65	5	24
			合計	433

2.2.1.3 曲げ性能の検討

2.2.1.3.1 供試材

塩尻市内の山林において伐採されたニセアカシア原木から板材(19mm×120mm×2000mm～4000mm)を製材した。

2.2.1.3.2 乾燥スケジュール

当センター所有の蒸気圧力併用型乾燥機を使用し、目標仕上げ含水率を8～10%、乾球温度50～80°Cの80°C中温乾燥をタイムスケジュールにより実施した（表-14）。中温乾燥終了後は、半数の材を同乾燥機を用いて、乾燥機内を過熱水蒸気で満たし、120°C温度差なしで48時間の120°C過熱水蒸気処理を実施した（写真-14）。

また、この処理とは別に生材から40枚を抽出し、蒸気式木材乾燥装置により、乾球温度96°Cという比較的温度が高い人工乾燥をタイムスケジュールにより実施した（表-15）。

上記3条件で処理した材から、(14×60×200mm)の試験材をそれぞれ11枚ずつ切り出し曲げ試験に供した。



写真-14 過熱水蒸気処理後の状況

表-14 50～80℃乾燥スケジュール
(タイムスケジュールにより制御)

含水率(%)	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)	時間(h)
生～40	50	46	4	24
40～35	50	44	6	24
35～30	50	41	9	24
30～25	55	41	14	24
25～20	60	38	22	24
20～15	65	37	28	24
15～8	80	52	28	72
イコライジング	70	60	10	24
コンディショニング	70	65	5	24
送風	-	-	-	24
			合計	288

表-15 96℃乾燥スケジュール
(タイムスケジュールにより制御)

乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	温度差(°C)	時間(h)
-	96.5	-	24
96	93	3	24
96	91	5	24
96	88	8	24
96	84	12	24
96	81	15	48
-	-	-	24
		合計	192

2.2.1.3.3 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、ミネベア製万能引張圧縮試験機（最大荷重 50kN）を使用し、JIS Z2101(2009)「曲げ試験」に基づき、中央集中荷重方式（支点間距離は厚さの 14 倍）、荷重速度は 2 mm/分、中央部のたわみ値はストローク値として実施した（図-17、写真-15）。

試験終了後、曲げヤング係数と曲げ強さを求めた。

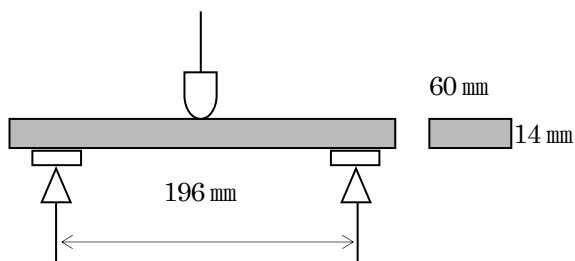


図-17 曲げ強度試験方法



写真-15 曲げ強度試験状況

2.2.2 製品試作と評価

2.2.2.1 製品試作用板材の作成

2018 年 1 月に奈良井川改良事務所により塩尻市内の奈良井川河川敷において伐採されたニセアカシア原木（末口径平均 25.8 cm (18.5～44.0 cm)、元口径平均 27 年 (12～34)、長さ 2m) から、板材 (37×110～300×2000mm) を 2 年半後の 2020 年 9 月 4 日に製材した。

乾燥は、天然乾燥+ガラスハウス乾燥を採用し、2020 年 9 月 8 日から天然乾燥を実施した。天然乾燥については当センターの西日が当たる木材ラック内に積みを行い（写真-16）、テストピース 3 枚が 15% を下回った時点でガラスハウスに移動した（写真-17）。

2021 年 8 月 23 日 (349 日後) に、乾燥終了し、当センター所有の蒸気圧力併用型乾燥機を使用して、乾燥機内を過熱水蒸気で満たす処理を実施した後、120℃温度差なしで 24 時間の 120℃過熱水蒸気処理を実施した。

これらの材を利用して製品試作を行った。



写真-16 屋外乾燥状況



写真-17 ガラスハウス乾燥状況

2.2.2.2 製品試作及び加工性の評価

①天然乾燥+ガラスハウス乾燥材と②天然乾燥+ガラスハウス乾燥+120℃過熱水蒸気処理材の 2 種類の材について、椅子を製作し（写真-18）、その加工性について評価した。その内容は①切断しやすさ②かんな掛けのしやすさ③サンダーのしやすさ④のみ等による削りやすさ⑤接着しやすさ⑥オイル塗装のしやすさについて、ブラックウォルナットを基準の 3（容易）と判断して、やや困難を 2、困難を 1 として評価し、既に木工品で利用さ

れているタモとカラマツについても同様の評価を行った(図-18)。

更に聞き取りにより、色合い等の総合評価を行った。なお、加工及び加工にあたっての材料評価は塩尻市のレッドハウスファニチャー増田氏にお願いした。



写真-18 製品試作する椅子(写真はウォルナット材)
(ミディアムスツール (高さ 50 cm, 幅 34 cm×29 cm))

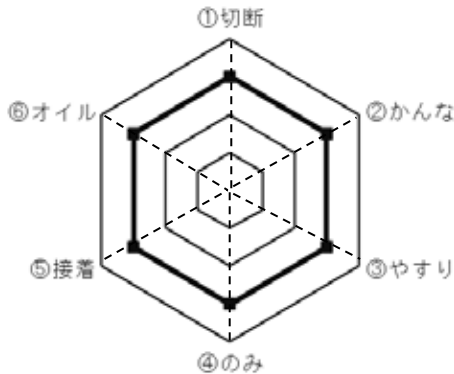


図-18 加工性の評価

2.2.2.3 消費者ニーズを探るためのアンケート調査

2017年10月27～28日に名古屋市(ポートメッセなごや)で開催された「日本木工機械展 ウッドエコテック 2017」の学研展示コーナーで、ニセアカシアに関するポスター及びフローリングサンプル材(ニセアカシア材4種類(天然乾燥材, 50～80℃人工乾燥材, 65～90℃人工乾燥材, 人工乾燥+120℃過熱水蒸気処理材)と広葉樹3種類(クリ, ブナ, サクラ)及び針葉樹1種類(アカマツ)の計8種類)を展示し, 8種類のサンプル材の中から1番使用したい材の選択とそれぞれのサンプル材の評価について, 更にニセアカシア材4種類については, 色の好みについて, その場で来場者に記入してもらった(写真-19)。



写真-19 アンケート実施状況

2.3 結果及び考察

2.3.1 黒色化乾燥スケジュールの検討

2.3.1.1 乾燥温度別による材色比較

2.3.1.1.1 乾燥経過と形質変化

各乾燥における乾燥経過を図-19, 図-20に示した。

天然乾燥では, 終了までの乾燥時間は135日間であり, 平均含水率は13.3%となった。

80℃中温乾燥では, 含水率8%まで乾燥させるのに, 166時間(約7日間)を要した。調湿終了時までの乾燥時間は延べ318時間(約13日間)であり, テストピースの含水率はそれぞれ7.5%, 7.3%, 7.9%となった。

90℃中温乾燥では, 含水率8%まで乾燥させるのに, 140時間(約6日間)を要した。初期含水率が80℃中温乾燥の時よりも低いことを考えると, 乾燥時間はこれより長く要すると考えられる。

調湿終了時までの乾燥時間は359時間(約15日間)であり, テストピースの含水率はそれぞれ7.4%, 7.0%, 7.5%となった。また全テストピース計8枚について全乾密度を調べたところ, 0.675～0.765 g/cm³であった。

乾燥による割れ, 収縮率, カップについて表-16に示す。これらの発生は, どの乾燥においても利用上では, ほとんど問題のない範囲と思われた。

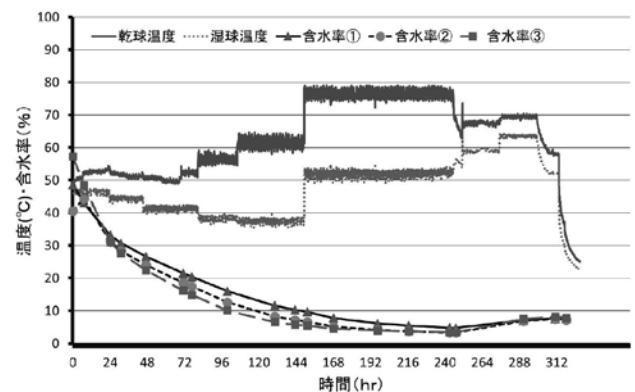


図-19 80℃中温乾燥材経過

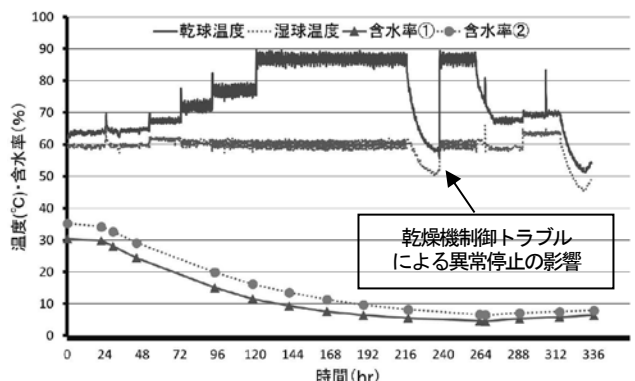


図-20 90℃中温乾燥材経過

表-16 形質変化

乾燥方式		含水率計含水率 (%)		収縮率 (%)		材面割れ (cm)	材面割れ本数 (材面割れ本数/全本数)	カップ (mm/12cm)	乾燥日数 (日)
		乾燥前	乾燥後	幅	厚				
天然乾燥 (5/30~10/12)	全体平均	56.1	13.3	2.71	3.37	4.8	3/29	0.5	135 (4.5月)
	最小	34.5	10.5	1.54	1.26	0.0		0.0	
	最大	85.0	16.0	3.47	5.37	70.0		1.2	
	標準偏差	14.2	1.6	0.58	1.04	16.8		0.4	
50~80°C人工乾燥 (6/13~6/26)	全体平均	58.8	7.1	6.15	5.85	3.0	6/37	1.0	13
	最小	38.0	5.0	3.89	2.06	0.0		0.0	
	最大	80.0	10.5	9.25	11.04	36.0		3.3	
	標準偏差	14.1	1.5	1.47	2.12	7.4		1.0	
65~90°C人工乾燥 (5/29~6/13)	全体平均	55.0	7.1	7.29	6.41	3.6	3/27	1.1	15
	最小	34.5	5.5	4.26	1.54	0.0		0.0	
	最大	82.0	9.0	11.40	10.10	50.0		3.1	
	標準偏差	15.6	1.0	1.91	1.89	12.1		0.8	

2.3.1.1.2 乾燥別の材色比較

乾燥方法の違いによる明度(L*)の比較を図-21に示す。天然乾燥材が明度が一番明るく、90°C中温乾燥材が一番暗い結果となった。乾燥方法の違いによる黄み(b*)と赤み(a*)の比較を図-22に示した。

より高温で乾燥することにより黄みが弱くなり、赤みが強くなる傾向がみられた。また目視の評価では、乾燥方法の違いによる、材色の違いが確認できた(写真-20)。

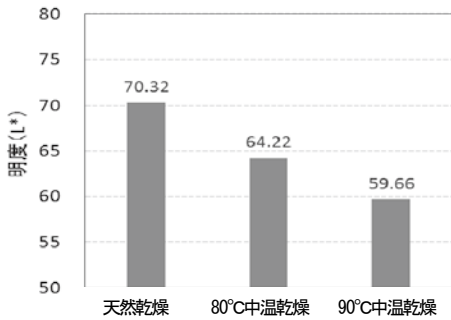


図-21 乾燥後の明度比較

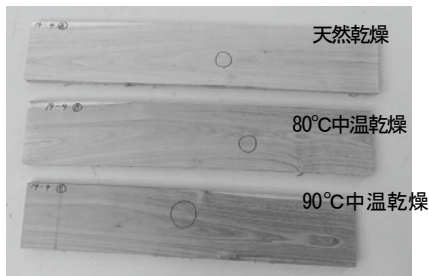


写真-20 乾燥条件の異なる板材

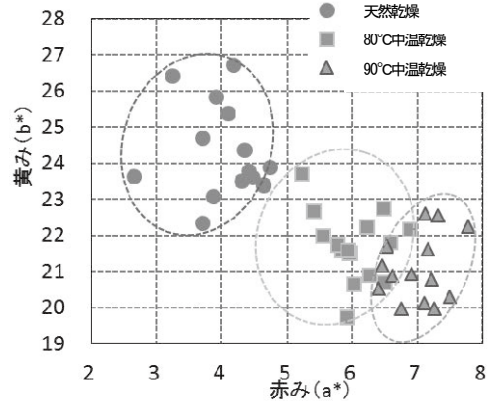


図-22 乾燥後の黄みと赤み

2.3.1.2 120°C過熱水蒸気処理による黒色化試験

2.3.1.2.1 乾燥経過と形質変化

80°C中温乾燥では、含水率45.3%を8%以下まで乾燥させるのに433時間(約18日間)を要した(図-23)。

全乾法による平均含水率は乾燥後において7.9%となり、19時間の120°C過熱水蒸気処理後には12.1%となった。

水分傾斜は、80°C中温乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後で逆の傾斜方向になり、120°C過熱水蒸気処理後には、表層においておよそ9%が11%に、中心部においてはおよそ7%が13%近くまで上昇していた(図-24, 図-25)。

材面割れは、乾燥後に77枚中12枚に発生したが、120°C過熱水蒸気処理後において新たな割れの発生は見られなかった。

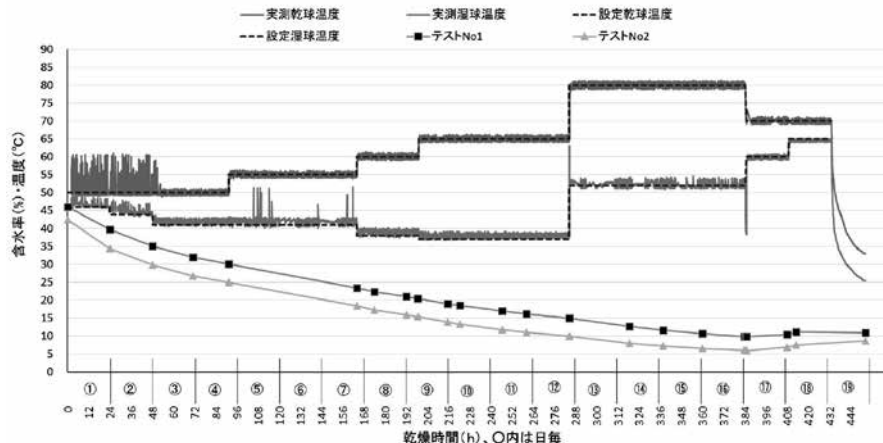


図-23 80°C中温乾燥経過図

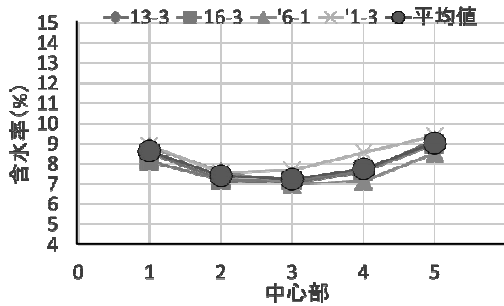


図-24 80°C中温乾燥後の水分傾斜

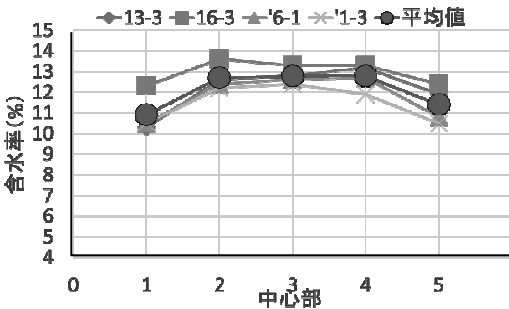


図-25 120°C過熱水蒸気処理後の水分傾斜

2.3.1.2.1 120°C過熱水蒸気処理による材色変化

80°C乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後の明度(L*)の比較では、120°C過熱水蒸気処理後に低下する(暗くなる)傾向が見られた(図-26)。乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後の黄み(b*)と赤み(a*)の比較を図-27に示した。120°C過熱水蒸気処理を行うことで黄みが弱くなり、赤みが強くなる傾向がみられた。

目視による評価では、明らかに、120°C過熱水蒸気処理の方が内部まで重厚感のある黒色に変化していることが確認できた(写真-21)。

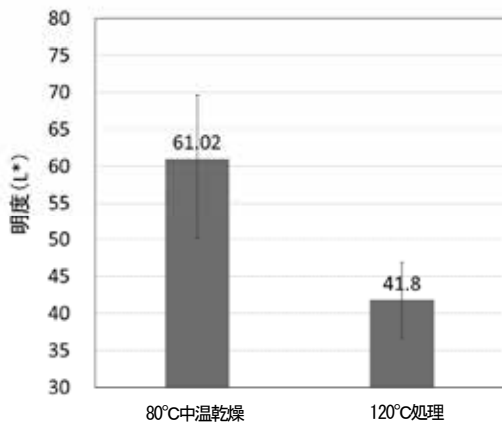


図-26 乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後の明度



写真-21 80°C中温乾燥材(左)と120°C過熱水蒸気処理材(右)

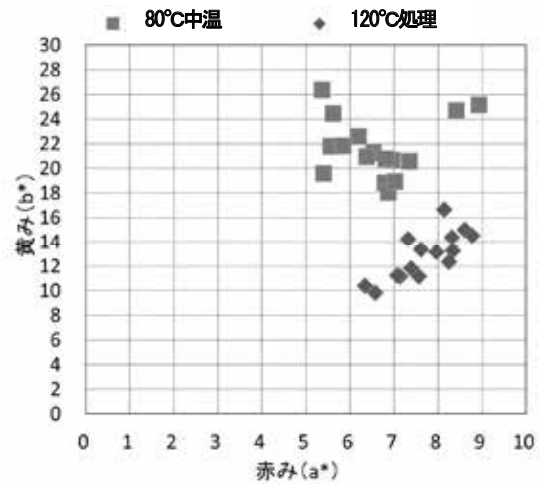


図-27 80°C中温乾燥と120°C過熱水蒸気処理の黄みと赤み

上記「2.3.1.1 乾燥温度別による材色比較」で実施した天然乾燥と80°C中温乾燥そして90°C中温乾燥の彩色データと今回の120°C過熱水蒸気処理の彩色データを重ねてみると、処理温度が高温になるに従って、黄みが弱くなり、赤みが強くなる傾向が見られ(図-28)、明度についても同様に暗くなることが分かった(図-29)。

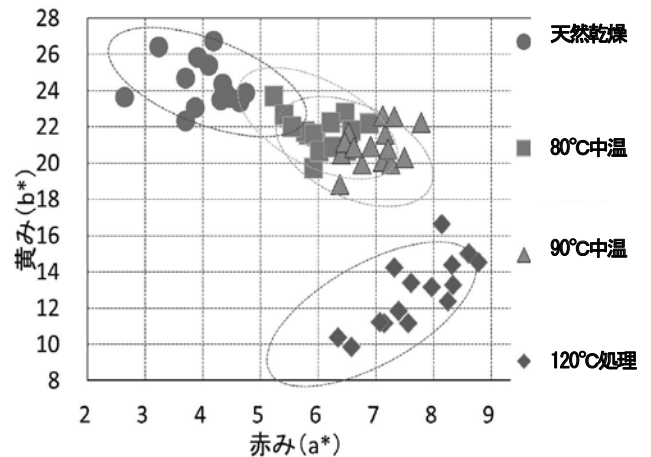


図-28 各乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後の黄みと赤み

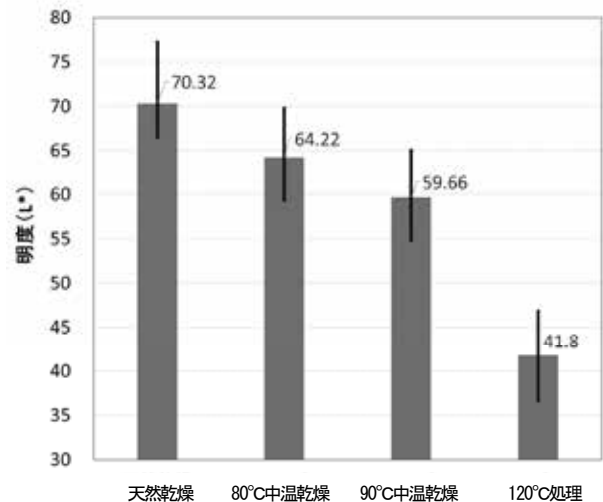


図-29 各乾燥後と120°C過熱水蒸気処理後の明度の比較

2.3.1.3 曲げ性能の検討

2.3.1.3.1 試験材の仕上がり含水率及び割れ

含水率等について表-17 に示す。80℃中温乾燥では、12 日間の乾燥で乾燥前平均含水率 48.1%を 9.1%以下まで乾燥することが出来た。また、48 時間 120℃過熱水蒸気処理後の全乾法による含水率は 11.1%となった。材面割れは、120℃過熱水蒸気処理材に多く発生し、焼け焦げたような材料も見られた。

2.3.1.3.2 曲げ強度試験結果

曲げ強度試験の結果を表-17 及び図-30、図-31 に、対比写真を写真-22 に示す。

80℃中温乾燥材と 120℃過熱水蒸気処理材を比較する

と曲げヤング係数は、120℃過熱水蒸気処理材の方が平均値で 12%の低下が見られ、曲げ強さは、120℃過熱水蒸気処理材の方が平均値で 51%も低下していた。

密度も、120℃過熱水蒸気処理を行うことで、平均値で 5%の低下が見られた。

既往の文献⁷⁾ からニセアカシアの曲げ強さは、他の広葉樹であるクリ、ハルニレ、オニグルミと同等程度であるものの、120℃過熱水蒸気処理を行うことにより、著しく曲げ性能が低下するため、強度を低下させないためには要望する黒色化に対応した必要最小限の熱処理に留める必要がある。

強度に及ぼす影響が大きいいため、内部まで黒色化が可能となる、24 時間以内の処理が適当と考える。

表-17 含水率及び強度

	全乾密度 (g/cm ³)			全乾法による含水率 (%)			曲げヤング係数 (KN/mm ²)			曲げ強さ (N/mm ²)		
	80℃中温	96℃中温	120℃処理	80℃中温	96℃中温	120℃処理	80℃中温	96℃中温	120℃処理	80℃中温	96℃中温	120℃処理
個数	11	11	9	11	11	9	11	11	9	11	11	9
平均値	0.700	0.756	0.666	9.1	8.6	11.1	14.93	15.29	13.19	163.0	153.5	79.2
最小値	0.657	0.622	0.628	8.6	8.3	10.9	13.17	11.91	10.66	141.9	102.6	49.2
最大値	0.735	0.907	0.712	9.8	9.2	11.4	15.89	18.07	14.65	188.7	196.7	116.5
標準偏差	0.03	0.08	0.03	0.3	0.3	0.2	0.92	2.04	1.15	14.8	28.4	19.7
変動係数 (%)	3.83	10.86	4.59	3.6	3.3	1.6	6.13	13.31	8.74	9.1	18.5	24.9

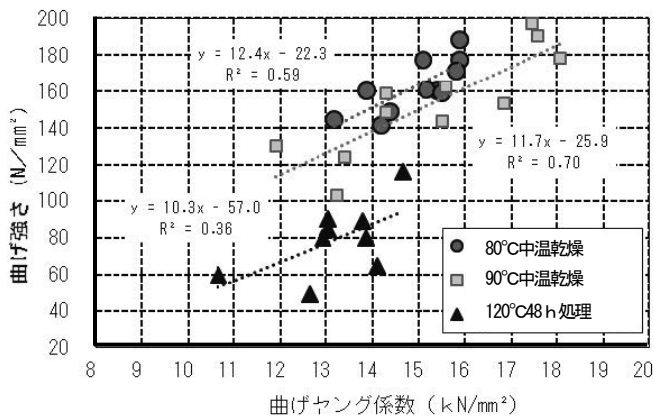


図-30 曲げ強さと曲げヤング係数の関係

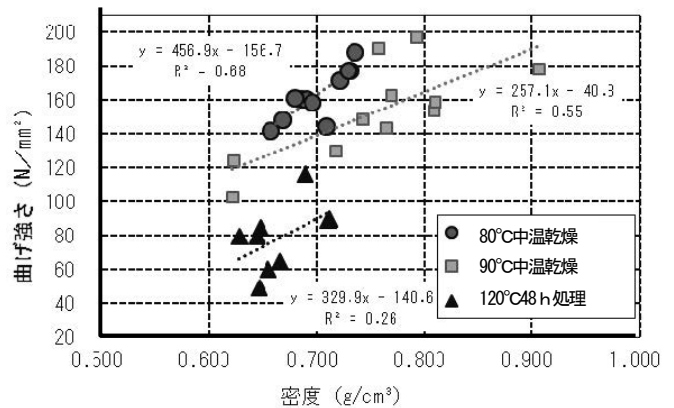


図-31 曲げ強さと密度の関係



写真-22 左から中温乾燥材、高温乾燥材、120℃過熱水蒸気処理材の対比写真

2.3.2 製品試作と評価

2.3.2.1 製品試作用板材の作成

349日の乾燥及び120°C過熱水蒸気処理後における含水率等について表-18に示す。349日間天然乾燥を実施した結果、全乾法による平均含水率は10.6%となり、120°C過熱水蒸気処理後には10.2%と減少した。

一部の材に120°C過熱水蒸気処理を実施したところ、写真-23のような細かい干割れの発生も一部で見られたが、内部まで重厚感のある黒系統の材色に変化した(写真-24, -25)。

表-18 含水率と密度

No.	推定初期含水率(%)	349日乾燥後含水率(%)	熱処理後含水率(%)	全乾密度(kg/m ³)
平均値	27.0	10.6	10.2	0.702
最大値	28.8	11.2	10.9	0.763
最小値	25.8	9.6	9.2	0.659
標準偏差	1.59	0.49	0.71	0.04
変動係数(%)	5.88	4.59	7.01	5.58
試験体数	3	8	8	6



写真-23 表面に発生した割れ



写真-24 過熱水蒸気処理前(左)と後(右)の対比



写真-25 過熱水蒸気処理前(左)と後(右)の対比

2.3.2.2 製品試作及び加工性の評価

今回の製品試作により天然乾燥材を利用した椅子(写真-26左)と、天然乾燥+120°C24時間加熱水蒸気処理材を利用した椅子(写真-26右)の2種類を試作した。



写真-26 製作した椅子

その評価結果を表-19及び図-32に示す。

天然乾燥材は、加工性・やや困難でタモと同等との評価を得た。

一方、120°C過熱水蒸気処理材は、加工性が容易で、色合いも加工性もブラックウォルナットと同等との評価を得ることができた。

表-19 加工性の評価結果

	① 切断	② かながけ	③ サンダー	④ のみ等の削り	⑤ 接着	⑥ オイル仕上げ
ブラックウォルナット	3	3	3	3	3	3
ニセアカシア天乾+熱処理	3	2	3	3	3	3
ニセアカシア天乾	2	2	3	1	3	3
タモ	2	2	3	2	3	3
カラマツ	2	1	2	1	2	3

■ブラックウォルナット ■ニセアカシア天乾
●ニセアカシア天乾+熱処理 ★タモ
◆カラマツ

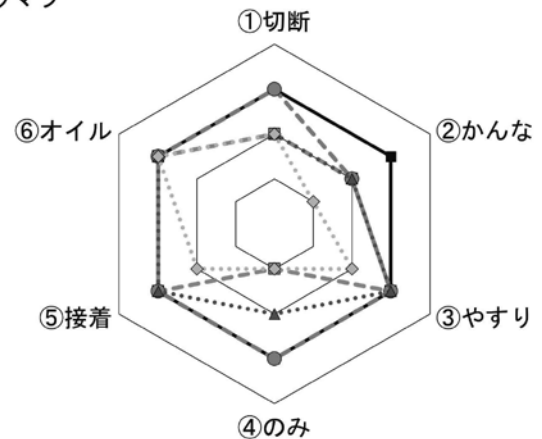


図-32 加工性の評価結果

加工性の評価にあたりそれぞれの材に対するコメントを表-20に示す。

ニセアカシア材について、総合的に見て、同じ材料で異なる2種類の色合いが出せるのは特徴的であり、幅広く長い材料は取れないため、テーブル等には適さず、椅子等の脚物家具に適しているとの評価を得た。

表-20 加工性の評価コメント

天然乾燥材 (天然乾燥+ガラスハウス乾燥)
<p>(外観, 質感)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量感のある材。 ・色合いが斑な感じは有るが、独特な味わいがある。 ・深みのある緑がかかった金色の木肌。 ・ワイルド感がある。 ・家具材としての強度は強いと感じる。 ・硬い材。 <p>(加工性)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加工性は、タモ材と同等。 ・長い材料としては木取が難しく、35 mm角材で1700 mm程度まで。 ・加工時には、繊維が強く、かんな掛けで逆目が立ちやすいことと、チップソーやルータ等の刃の熱で直ぐに焦げるため、切れる刃を使うとともに加工速度に気を遣う必要がある。 ・小刀等の加工で逆目に入ると割れやすい ・ウォルナットやタモと比べ、割れが入りやすい。

120°C過熱水蒸気処理材
<p>(外観, 質感)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・重量感のある材 (ブラックウォルナット材よりも重い感じ) ・エンジュ材よりもやや茶色い ・ブラックウォルナット材によく似た色合い (木工家でも知らなければブラックウォルナット材と思う) ・家具材としての強度は有るが、粘りが弱い感じ。 <p>(加工性)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加工性は、ブラックウォルナット材と同等。 ・長い材料としては木取が難しく、35 mm角材で600 mm~800 mm程度まで。 ・ブラックウォルナット材に比べ、かんなの削り屑もポロポロと切れる感覚 (写真-27)。 ・かんな掛けすると、天然乾燥材に比べ削りやすい。(材が柔らかくなった感じ) ・チップソーで縦挽きした時に加工しやすい (刃が通りやすい) と感じたので、材の中の応力が抜けているかもしれない。 ・加工時には、サンダーでの加工はしやすいが、削り粉が細かい粒子になり他の材料に付着するので注意が必要。 ・他の材料に比べ、割れが入りやすい。

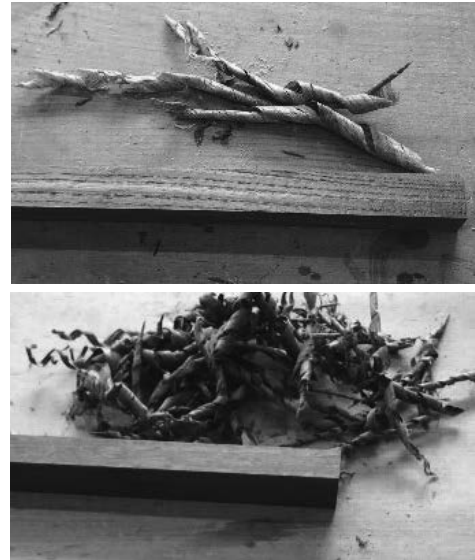


写真-27 削り屑の比較
(上：ブラックウォルナット, 下：ニセアカシア 120°C処理材)

2.3.2.3 消費者ニーズを探るためのアンケート調査

2.3.2.3.1 アンケート調査回答者

回答者数は140名(男性110名, 女性30名)であり、回答者の年齢を図-33に、職業を図-34に示した。林業、木材、建築関係者が33%を占めたが、その他の職種についても38%となった。

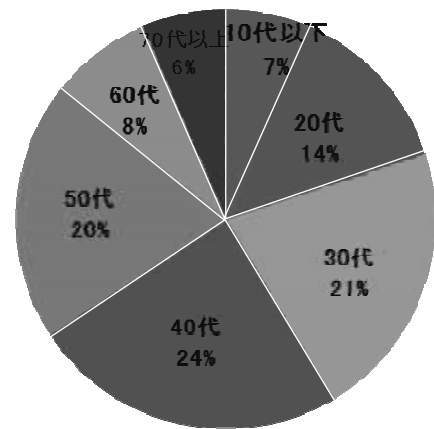


図-33 回答者の年齢構成

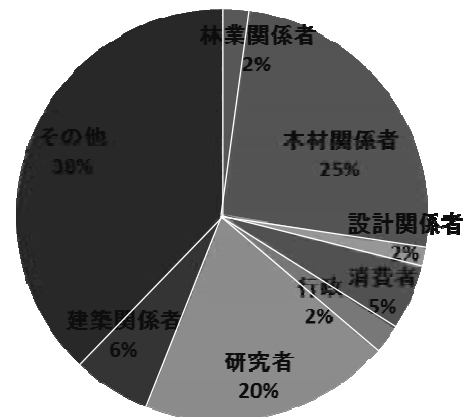


図-34 回答者の職業構成

2.3.2.3.2 アンケート集計結果

8種類のサンプル材の中で、1番使用したい材の選択結果を図-35に示した。ニセアカシア人工乾燥+120°C24時間過熱水蒸気処理材が25%となり、次いでアカマツとブナが20%だった。なお、4種類のニセアカシアで全体の40%を占めることとなった。

ニセアカシア材4種類の中で、好きな色合いについての結果を図-36に示した。色が濃い方が好まれる傾向にあった。

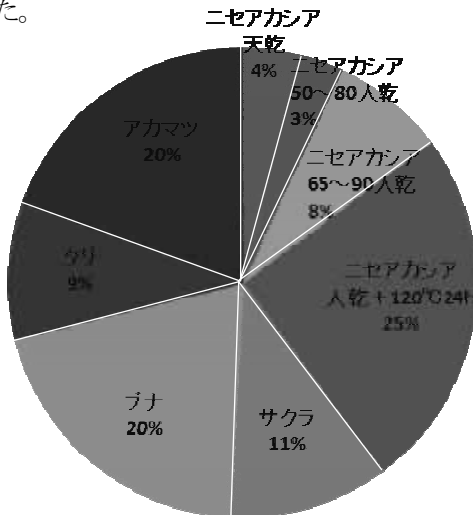


図-35 一番使いたい材

今回のアンケートの実施場所は、木工機械の展示会場であったため、回答者はある程度木に対する知識や興味を持っていると考えられ、全くの一般消費者ではまた違う結果となると思われるが、一番利用したい材が、ニセアカシア材4種類で40%となった事を考えると、様々な色合いを揃えること、更に黒い色合いの材は、多くの消費者に受け入れられる可能性が示唆された(写真-28)。

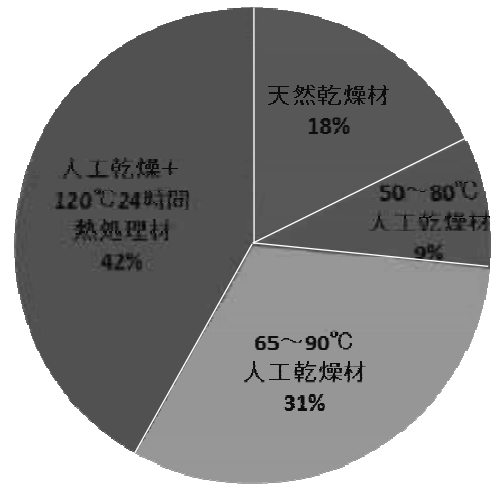


図-36 ニセアカシア材の好きな色合い

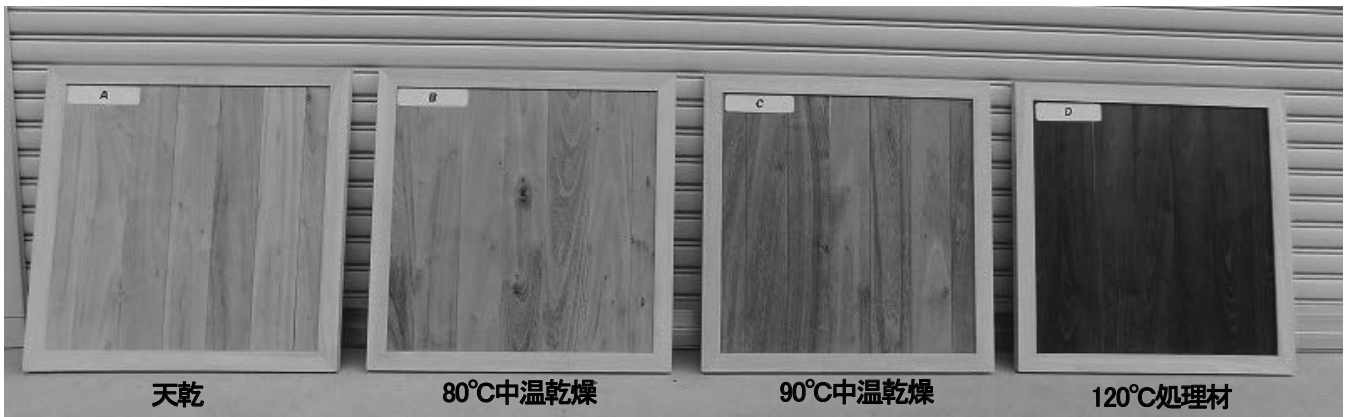


写真-28 サンプルパネル

2.4 まとめ

ニセアカシア材の利用方法の検討では、以下の結果を得た。

(1) 厚さ 22mmのニセアカシア材を、天然乾燥を 135日実施したところ、平均含水率は 13.3%となり、80°C中温乾燥では、318時間(約 13日間)で、平均含水率 7.1%、90°C中温乾燥では、359時間(約 15日間)で、平均含水率 7.1%に仕上がった。これら板材の乾燥条件の違いによる材色比較では、高温で乾燥することにより明度が低下し黒色化が進んだ。更に、黄みが弱く、赤みが強くなる傾向がみられた。また、目視による評価では乾燥方法の違いにより、明らかに黒色化していることを確認した。

(2) 厚さ 37 mmのニセアカシア材を、120°C過熱水蒸気処理による黒色化試験を実施し変化を調べた結果、80°C中温乾燥材と比較して 120°C過熱水蒸気処理後では、明度が著しく低下し内部まで重厚感のある黒色に変化していることを確認した。

(3) 80°C中温乾燥材と 90°C中温乾燥材、120°C過熱水蒸気処理材の曲げ強度試験を実施したところ、中温乾燥材と 120°C過熱水蒸気処理材を比較すると、曲げヤング係数は、120°C過熱水蒸気処理材の方が平均値で 12%低下し、曲げ強さは 120°C過熱水蒸気処理材の方が平均値で 51%も低下していた。

(4) 120°C過熱水蒸気処理材について、既往の文献⁷⁾からその曲げ強さは、他の広葉樹であるクリ、ハルニレ、オニグルミと同等程度であるものの、処理時間が長い120°C過熱水蒸気処理は、強度に及ぼす影響が大きいいため、黒色化が可能となる、24時間以内の処理が適当と考えた。

(5) 厚さ 37mm のニセアカシア板材について、天然乾燥+ガラスハウス乾燥試験を実施したところ、349日間で、全乾法による平均含水率は10.6%まで低下することが出来た。

(6) 天然乾燥+ガラスハウス乾燥試験を実施した、厚さ 37mm のニセアカシア板材について、黒色化のための120°C過熱水蒸気処理を24時間実施したところ、細かい干割れの発生も一部で見られたが、内部まで重厚感のある黒系統の材色に変化していること確認した。

(7) ①天然乾燥、②120°C過熱水蒸気処理材の2種類を用いて、椅子を製作し、その加工性について評価したところ、①は加工性は、やや困難でタモと同等との評価を得て、②は加工性は容易で色合いも加工性もブラックウォルナットと同等との評価を得た。

(8) 消費者ニーズを探るためのアンケート調査では、色が濃い方が好まれる傾向にあり、黒い色合いの材は、多くの消費者に受け入れられる可能性が示唆された。

結言

第1章では今後の広葉樹乾燥スケジュール確立のための一資料とすることを目的に、「県産広葉樹の異樹種混載乾燥スケジュールの検討」を行った。

人工乾燥においては、異樹種混載にするとともに、比重の軽い樹種群、比重の重い樹種群といったように、乾燥性の違いにより仕分けることで、より短時間かつ効率的に乾燥が行えると思われる。また、針葉樹構造材の生産が追い付かない県内の製材工場の乾燥機の実情から、2週間以上広葉樹材だけで乾燥機を占有することが難しいと思われるため、天然乾燥後に、1週間程度の仕上げの人工乾燥を行うスケジュールの検討も必要だと思われる。天然乾燥においては、今回サイズが短いテストピースでは良好な結果が得られたが、実大材において試験を実施し、より短時間で効率的に仕上げるスケジュールの開発が望まれる。

第2章では、ニセアカシア材利用の一資料とすることを目的に、「ニセアカシア材の利用方法の検討」を行った。

ニセアカシア材は、国産材では珍しく乾燥温度が高いほど黒色へと変化させることが出来、家具等への利用が十分に期待できる樹種である。しかし、原木調達、流通や生産体制について課題が多く更なる検討が必要である。

図-37は、ニセアカシア材利用の流れについて検討したものである。現状の製材工場がすべてを担う生産体制だけでなく、林業事業体も板材を供給できる仕組みをと考えたものだ。林業事業体等も生産が可能な小規模・低コストな乾燥技術の検討、実証試験、製品の試作を通して、材のPR、更に多くの人に加工性の評価をいただき、ニセアカシア材の利用が進むことを期待したい。

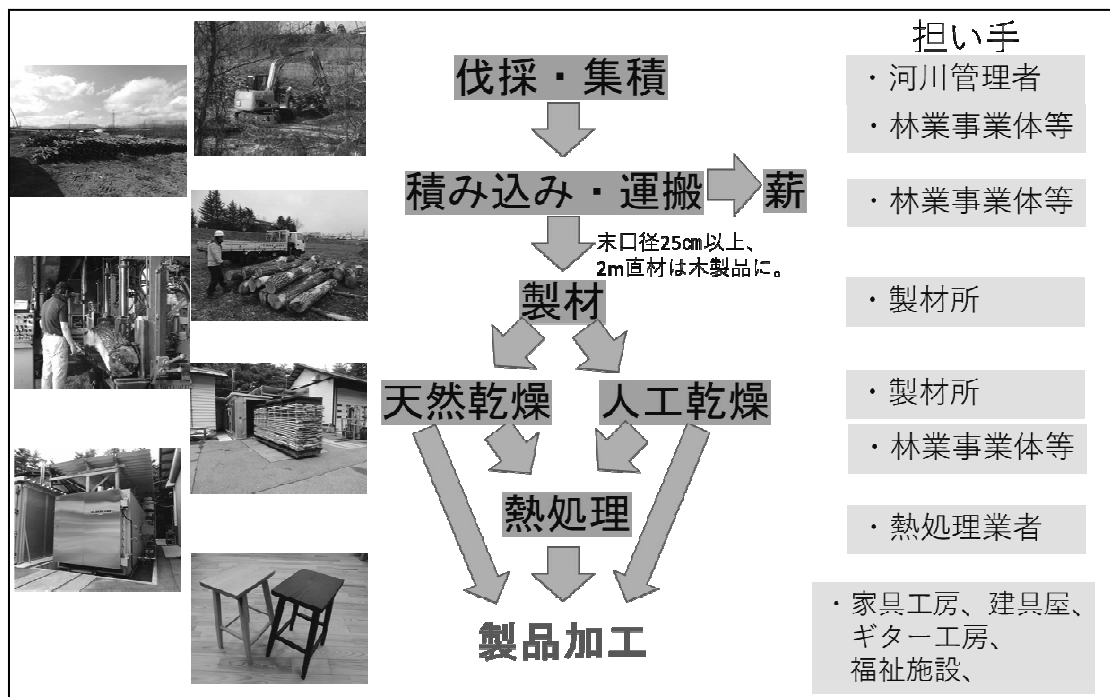


図-37 ニセアカシア材利用の流れ

謝辞

本研究を行うに当たり、測定をお手伝い頂いた、当時北アルプス地域振興局に勤務していた太田明氏（現在、県庁信州の木活用課）、一般財団法人塩尻市振興公社の古畑耕司氏、マルオカ工業株式会社の湯川泰征氏、また、データ整理をお手伝い頂いた当センター非常勤職員の蒲原静子氏、五味妙子氏、更には、加工性の評価を実施いただいたレッドハウスファニチャー増田善計氏に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 長野県林務部, 長野県民有林の現況, 長野県林務部, 20, (2021)
- 2) 寺沢真, 木材乾燥のすべて—改訂増補版—, 海青社, 394-407, (2004)
- 3) 世界の有用木材 300 種編集委員会, 世界の有用木材 300 種-性質とその用途, 社団法人日本木材加工技術協会, 20-39, (1975)
- 4) 崎尾均, ニセアカシアの生態学, 株式会社文一総合出版, 4-8, (2009)
- 5) 長野県環境保全研究所自然環境部, 長野県版外来種対策ハンドブック, 長野県環境部自然保護課, 59-60, (2020)
- 6) 吉田孝久, 武井富喜雄ら, 未利用広葉樹の利用開発に関する研究, 長野県林業総合センター研究報告第 3 号, 13-20 (1987)
- 7) 独立行政法人森林総合研究所, 改訂 4 版木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, (2004)
- 8) 吉田孝久, 橋爪丈夫, 中小径広葉樹材の利用開発に関する材質的試験, 長野県林業総合センター研究報告第 7 号, 21-39 (1993)
- 9) 吉田孝久, 橋爪丈夫ら, 天然性広葉樹林の良質化施業技術と利用技術の開発, 長野県林業総合センター研究報告第 15 号, 34-37, (2001)
- 10) 山口健太, 柳澤賢一ら, ナラ類の積極的利用とナラ枯れ被害拡大防止技術に関する研究, 長野県林業総合センター研究報告第 32 号, 29-52, (2018)
- 11) 吉田孝久, 明日からの木材乾燥, 信州木材認証製品センター, 日本平版印刷株式会社, 54-63, (2012)