

6. 実証調査活動

表 IV-7 に、本事業における調査活動概要を示す。トゥーナ、ニームの楽器材としての採用可否を検討するにあたり、記載の 7 項目の活動が必要と考えられる。本報告書では、項目 1～5 にて、当該材料の品質や調達、および現地での樹木育成に関する基本情報を集めることに焦点を当てた。これは、最終的な製品搭載を検討するための製品試験が、製品試作を含めて 6 ヶ月程度の試験期間を見込むためである。本調査では、製品試験にて生じる可能性がある各種改善点を適切に抽出するため、まず材料特性や調達性に基づく材料の有用性を示しておくことが重要と考えた。

表 IV-7 活動概要表

#	概要
1	取引先選定（トゥーナ、ニームが流通するインドでの選定）※1
2	材料要求品質の検討（普及価格帯グレードギター）
3	評価用材料の調達（トゥーナ、ニーム、マホガニー（現行材））
4	基礎物性評価試験（トゥーナ、ニーム、マホガニー（現行材））
5	対象地域での育苗・植栽トライアル※2
6	部材・製品試験（本事業終了後 2022 年 4 月～開始予定）
7	高価格帯グレード製品への適用可能性検討（製品試験後に実施判断）

※1）本事業期間（～令和 4 年 2 月 1 日）では、タンザニアでの調達ルート開拓まで実施できないと判断し、モデルケースとして既に各種材料が流通するインドでの評価を行うこととした。タンザニアでは、現状トゥーナやニームの流通が極めて少なく、新型コロナウイルス感染拡大の影響により海外渡航が制限されている中、新たな流通網開拓は極めて困難と判断した。事業期間終了後、インドでの評価結果、検討結果に基づき、タンザニアへの展開を進める。

※2）現地 NGO（Mpingo Conservation & Development Initiative）と連携して、コミュニティ苗畑での早生樹苗木の育成、植栽プロセスの試験構築を実施した。時間的制約により、プロセスの実行性、再現性まで評価することができないが、まず選択樹種の苗木を育成した場合の課題抽出、およびコミュニティ住民への育成プロセスの認知拡大を狙いとした試験植栽準備を第 1 フェーズとして本事業内で進めた。

7. 活動結果

表 IV-8 主要活動結果一覧

#・活動	主要進捗・結果	課題・所見
1 取引先選定	● 対象材流通地域（インド）における取引先を調査（9社抽出） ● 取引先の信用調査、合法性調査 モデルケースとしてG社を選定	● 対象材2種の流通量は少ない ● インドでは、トゥーナは Red Cedar として流通
2 要求品質検討	● 普及価格帯ギターのネック材を対象に品質要件の検討（板目） ● 設定要件の提示	● 柾目材の検討（活動7） ● 購入価格
3 材料の調達	● 要求品質に沿って各種材料の調達（現行材、トゥーナ、ニーム） ● 着荷時品質確認 ● 製材プロセスのヒアリング	● トゥーナ材は小さい節（葉節）が多い印象 ● 着荷時の含水率が高い（現地での天然乾燥必要）
4 基礎物性評価	● 既存プログラムにて人工乾燥 ● 乾燥終了後、材料状態確認 ● 基礎物性試験（6項目） ● 現行材との比較、可能性検討	● 乾燥工程の最適化が必要 ● トゥーナ材は製品搭載の可能性はある ● 今後継続調達して物性を検討する必要がある
5 育苗・植栽	● 早生樹導入のモデル検討 ● 種子の調達 ● 苗木育成手法の検討 ● 試験植栽	● 既存のコミュニティ林業へのアドオンパッケージとして継続検討 ● ニームは現地育種センターから入手可能 ● トゥーナは種子調達が困難、安定調達のため追加検討必要
6 部材・製品試験	● ギターネック材への加工 ● ネック材を対象とした性能試験	● 2022年4月頃試作投入予定で調整中（製品試作）
7 用途拡大	● 柾目材の調達性検討 ● 厚物調達性の検討	● #6の製品試験終了後、高品質材への適用として検討する

1) 取引先選定

- 取引先候補の選定：2021年8月（実施者：神島、仲井）
- 取引先の信用調査、合法性調査：2021年8月（実施者：神島、仲井）

(1) 活動概要

トゥーナ、ニーム材が流通しているインド地域において、対象地での調達モデルケースとすることを目的として、取引先の選定、調査を行った。

(2) 調査方法

インドにおける事前調査の結果、楽器用の木材を対象とした製材が可能な業者を10社程度抽出した。抽出した10社に対して、会社基本情報、森林認証の取得有無、ISO認証の有無、取扱樹種（楽器材関連樹種のみ対象）、製造設備の情報をヒアリング形式にて電子メール、もしくはオンラインにて収集した。また、原産地証明、合法性についてはインドにおける丸太流通許可書類の有無によって確認した。企業活動、およびサステナビリティ配慮の姿勢を確認するため、ヤマハにて作成したSAQを配布して各社の回答に基づきランク付けを行った。

(3) 調査結果

調査の結果、インドのケララ州（図 IV-14）にあるG社が取引先のモデルとして妥当と判断した（表 IV-9）。今回はインドにおける楽器材を中心とした製材が可能な業者を選定し、本事業におけるモデルケース構築を目的として、基本的な取引先としての信用度に加えて、材料の形状や製材を試作レベルで許容できる業者であることを重視した。G社の特徴としては、選定業者の中で数少ない「ニーム材」を通常品としてラインナップしていることであり、製材設備においても人工乾燥室や各種プレス機械など、一般的な製材設備に加えた加工設備類を保持していることが挙げられた。



図 IV-14 ケララ州（インド）[15]

今回の調査にて、トゥーナ材の流通が少ないことがわかった。これは、本事業の対象地であるタンザニアと同様の状況であり、今後対象地での取引先選定にも関わる課題となる。製材には、原木の調達、木取り方法など樹種毎の特性を把握したノウハウが必要になり、業者毎に製材樹種の得手不得手がある。今回調査したところでは、G社はトゥーナ材を定常的に製材しているわけではなく、今回のテスト製材に際して原木を調達し、他の材と同時に同様のプロセスで製材したとのことであった。木材の場合、各樹種によって最適な製材手法を設

定することが望ましく、材の状態によって微調整することが重要である。このようにトゥーナ材は木材としての知名度は未だ高くないため、流通量の少ない地域では、トゥーナ材に最適化した製材プロセスの構築に時間を要する可能性があり、今後の検討課題と言える。

表 IV-9 インドにおける取引先選定結果（G社をモデルケースとして選定）

社名	AW	AE	G	H	L	C	GW	T	AT
工場所在地	Chennai, TN	Alappuzha, KL	Cochin, KL	Cochin, KL	Cochin, KL	Cochin, KL	Mumbai, MH	Kolkata, WB	Cochin, KL
社員数	10人程度（訪問した製材所）	18人	170人	10人以下	5人程度	15人		850人（含むバッグ/ケース製造）	
CoC認証	-	FSC 100%, Control Wood Rosewood, Laurel。但し Control Wood しか流通していない。	FSC 100%, Control Wood Rosewood, Laurel。但し Control Wood しか流通していない。	-	-	FSC 100%, Control Wood Rosewood, Laurel。但し Control Wood しか流通していない。	-	-	FSC 100% Radiata Pine
取扱樹種 ※Rosewood は全て Dalbergia latifolia	Teak(コロンビア、パナマ、ガーナ), Mahogany(印), Padoauk(ガボン), Radiata Pine(NZ)	Rosewood(印), Laurel(印), Ebony(印, カメルーン), Bhilwara(印), Silver Oak(印)	Rosewood(印), Laurel(印), Mahogany(印), Sapele(ガボン, カメルーン, コンゴ), Neem(印)	Rosewood(印), Mahogany(印), Neem(印)	Rosewood(印), Laurel(印)	Rosewood(印), Laurel(ミャンマー), Mahogany(印)	Rosewood(印), Laurel(印), Ebony(印), Tamarind(印), A.Mahogany(コンゴ), Mango(印), Sapele(コンゴ), 北洋エソ(ロシア)	Rosewood(印), Laurel(印), Ebony(印), Toona(印), Tamarind(印), Satinwood(印, スリランカ), Haldu(印), Lebbeck(印), Boxwood	Rosewood(印), Ebony(印), Mahogany(印), Tamarind(印), Mangowood(印), Radiata Pine
製造設備	水平バンドソー、テーブルバンドソー	水平バンドソー、テーブルバンドソー、リップソー、ベンチソー、目立ては自社	垂直バンドソーx2、テーブルバンドソーx2、リップソー、フレームソー、プレーナーx2、スライサーx3、単板ドライヤーx3、ギロチン、煮沸槽x2、人工乾燥室x4、NCルーター、ホットプレス、コールドプレス、目立ては自社	水平バンドソー（共用）、テーブルバンドソー（共用）、リップソー、ベンチソー	水平バンドソー、テーブルバンドソー、クロスカット、リップソー	水平バンドソーx2、テーブルバンドソーx2、フレームソー、ベンチソー	バンドソー、テーブルバンドソー、ベンチソー	水平バンドソー、テーブルバンドソー、ベンチソーx2、人工乾燥室、その他小物部品加工用の設備多数	
産地・合法性	未確認	丸太流通許可書類を確認	丸太流通許可書類を確認	丸太流通許可書類を確認	未確認	丸太流通許可書類を確認。	未確認。訪問しての確認実施には合意。	丸太流通許可書類を確認	未確認
CSR SAQ		A	A	依頼中			依頼中		

2) 要求品質の検討

- 品質要件の検討：2021年8月（実施者：神島、仲井）
- 設定要件の提示、トライアルの実施：2021年8月（実施者：神島、仲井）

(1) 活動概要

トゥーナ材、ニーム材について、ギターネック材を対象とした暫定の要求仕様を設定し、本仕様書に基づいて取引先業者での製材を行った。

(2) 調査方法

既にギターネック材に使われているマホガニー材を対象とした既存要求仕様書を参考に、普及価格帯ギター部材としての設計、開発部門側からの要件を整理して、トゥーナ、ニームを対象として規格を検討、設定した。

(3) 調査結果

トゥーナ、ニーム用に設定した要求仕様の一部を暫定版として表 IV-10 に示す。今回、ターゲットとするギターモデルは普及価格帯のギターであり、今回の要求仕様では板目材、柾目材混合で許容することとした。また、含水率においては製材後の板材にて 30%以下とした。

表 IV-10 トウーナ、ニーム材に設定した暫定要求仕様の一例

Thickness	26 mm (-0, +2 mm)
Length	1,000 - 3,000 mm (-0, +90 mm)
Width	70, 80, 140, 150, 160, 210, 220, 230, 240 (-0, +9mm)
Moisture content %	≤30 %
Angle of annual rings	Not specified (Flat-sawn lumber allowed)
Interval of annual rings	Not specified
Unsound knot	Max. 1 pc per length 1,000 mm
Sound knot	Allowed
Pin knot	Allowed
Bark	Not allowed
Uneven color	Allowed
Discolor / Bluestain	Only 10 mm from edges allowed
Oil stain	Not allowed
Worm hole / Pin hole	Max. 1 pc per length 1,000 mm
Check	Not allowed
Split	Not allowed
Decay / Rot	Not allowed

3) 評価用材料の調達

- 評価用材料の購入：2021 年 9 月（実施者：神島）
- 着荷時品質確認：2021 年 9 月（実施者：仲井）
- 製材プロセスのヒアリング：2021 年 12 月（実施者：神島）

(1) 活動概要

活動 1 にて選定した G 社からトゥーナ材、ニーム材、マホガニー材（産地等原木条件問わず）を購入し、品質を確認した。マホガニー材（*Swietenia macrophylla*）は、現行材相当品として比較材料とした。

(2) 調査方法

G 社よりトゥーナ材、ニーム材、マホガニー材を購入し、それぞれ着荷時に目視にて品質確認を行った。尚、今回の購入材は全て板目材とし、今後木材の物性面での個体バラつきを考慮するため、色や密度のバラツキを含むように購入した（各材種×20 本ずつ：1000 mm (L) × 80 mm (T) × 26 mm (R)）。ここでの材料寸法は、ギターネック材の生産工程で用される板材と同寸法であり、板 1 枚からネック材 1 本を図 IV-15 のように加工する。

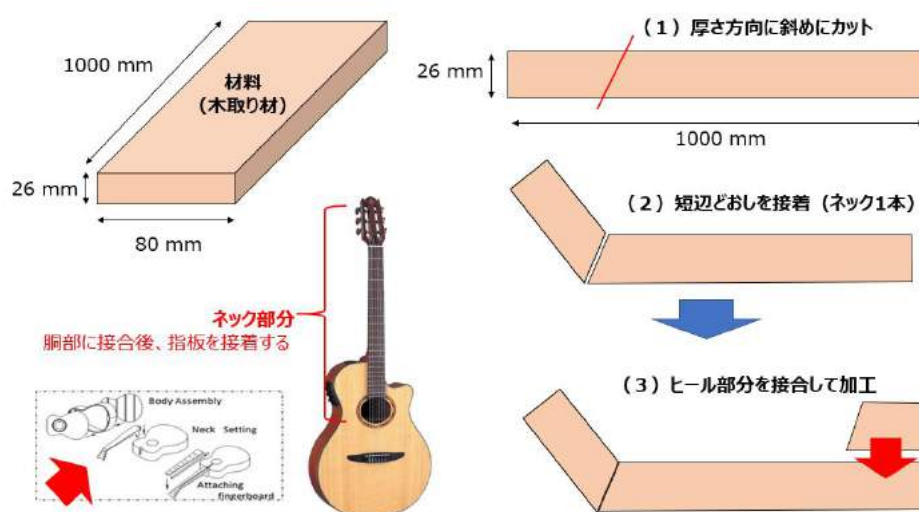


図 IV-15 ギターネック（棹）の加工概要

(3) 着荷時の外観評価

トゥーナ材、ニーム材、マホガニー材の図 IV-16 に示す。色、各種欠点等、個体差を含めて目視評価を行った。トゥーナ材は比較的赤みが強く、マホガニー材よりも赤く、且つ独特の芳香があることがわかった。また、今回の購入ロットに限定した現象であるかは判然としないが、葉節と呼ばれる細かい節が材面に多く見られる傾向にあった。葉節は材料の乾燥や加工の過程で、材面の割れの起点となることがあり注意が必要と考えられる。ニーム材は、現行材よりも赤みが弱く、全体として白い材料であることがわかった。トゥーナと比較して

目立つ欠点が少ないが、色や密度（重量）のバラツキが大きい傾向があることがわかった。ただし、これらのバラツキがあった場合でも、物性に影響が少なく、且つ調達時に密度選別できるのであれば問題はないと考えられる。



図 IV-16 トゥーナ、ニームと現行材の外観比較（下段は代表的な欠点例）

(4) 製材プロセスのヒアリング

それぞれの木材の着荷時の平均含水率は、トゥーナが約 18.9%、ニームが約 28.1%、マホガニーが約 9.8%（各含水率は全乾法により測定）であった。マホガニー材と比較してトゥーナ、ニームの 2 種は比較的含水率が高く、特にニーム材については高いもので 35%以上のものが含まれていた。このことから、現地での製材工程に材料間の差異があると考えられたため、各材料について製材プロセスに関するヒアリングを G 社担当者に行った。その結果、マホガニー材については天然乾燥中の板材から加工して目標寸法に加工した一方、トゥーナ、ニーム材については原木の到着後板材を製材し、最短の乾燥期間を以て木取り材の加工を行ったとのことであった。これは、次項 4 に示す乾燥時の反り、ねじれに影響する部分だが、今回はトライアルであることを踏まえ、今後の製品搭載時の調達安定性を検証する際には、適切な乾燥プロセスを考慮した設計が必要と考えられた。

4) 基礎物性評価

- 人工乾燥による材料調整：2021 年 10 月（実施者：曾我）
- 乾燥終了後、材料状態確認：2021 年 11 月（実施者：曾我、仲井）

- 基礎物性試験：2021 年 12 月（実施者：曾我、仲井）
- 各材料比較、可能性検討：2022 年 1 月（実施者：曾我、仲井）

(1) 活動概要

各種材料を 1 ヶ月天然乾燥させた後、現行材を対象に採用している乾燥プログラムを用いて人工乾燥を行い各種材料の含水率を調整した。乾燥後に材料状態を確認した後、物性評価用の標準環境下に 2 週間以上放置後、木材の基礎物性試験を行った。物性試験結果を基に、ギターネック材としての可能性を検討した。

(2) 木材乾燥

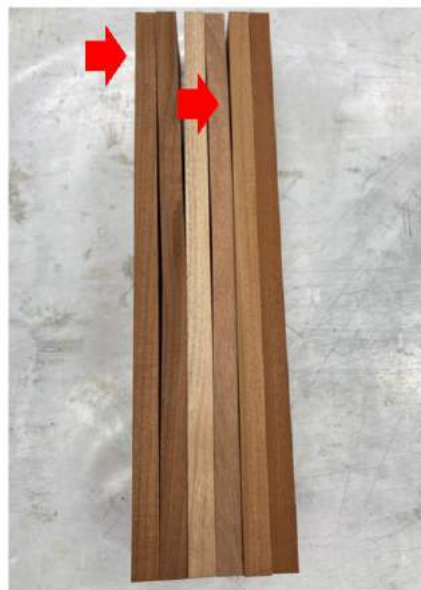
表 IV-11 各種材料の人工乾燥経過表

乾燥条件			マホガニー1		マホガニー2		ニーム1		ニーム2		トゥーナ1		トゥーナ2		平均含水率 (%)	備考
温度 (°C)	湿球温度 (°C)	EMC (%)	重量 (g)	含水率 (%)	重量 (g)	含水率 (%)	重量 (g)	含水率 (%)	重量 (g)	含水率 (%)	重量 (g)	含水率 (%)	重量 (g)	含水率 (%)		
-	-	-	1034.55	7.42	1155.12	12.16	964.78	19.53	1516.50	36.75	1204.36	18.68	1060.62	19.10	18.96	天然乾燥
-	-	-	1035.21	7.49	1155.69	12.22	955.81	18.42	1470.89	32.63	1194.82	17.74	1049.09	17.80	17.69	天然乾燥
-	-	-	1050.87	9.11	1162.15	12.85	938.42	16.26	1339.82	20.81	1189.02	17.17	1042.31	17.04	14.76	天然乾燥
-	-	-	1052.40	9.27	1161.47	12.78	937.91	16.20	1332.45	20.15	1188.20	17.09	1041.42	16.94	14.60	天然乾燥
-	-	-	1054.39	9.48	1161.51	12.78	936.98	16.08	1325.28	19.50	1188.10	17.08	1041.37	16.94	14.46	天然乾燥
-	-	-	1051.64	9.19	1154.40	12.09	928.12	14.99	1304.23	17.61	1176.97	15.98	1032.09	15.89	13.47	天然乾燥
-	-	-	1049.46	8.97	1150.00	11.67	921.45	14.16	1288.41	16.18	1168.53	15.15	1024.98	15.10	12.74	天然乾燥
-	-	-	1047.67	8.78	1146.52	11.33	915.50	13.42	1276.83	15.13	1163.06	14.61	1020.21	14.56	12.17	天然乾燥
-	-	-	1049.24	8.94	1150.84	11.75	918.82	13.83	1273.67	14.85	1168.72	15.17	1024.44	15.04	12.34	天然乾燥
-	-	-	1047.89	8.80	1147.68	11.44	914.35	13.28	1267.16	14.26	1163.05	14.61	1020.03	14.54	11.95	天然乾燥
-	-	-	1047.87	8.80	1148.33	11.50	914.75	13.33	1265.09	14.08	1164.58	14.76	1020.89	14.64	11.93	天然乾燥
-	-	-	1047.13	8.72	1147.31	11.40	912.85	13.09	1262.42	13.84	1162.22	14.53	1018.84	14.41	11.76	天然乾燥
-	-	-	1048.56	8.87	1149.60	11.63	915.14	13.38	1263.86	13.96	1165.22	14.82	1021.58	14.71	11.96	天然乾燥
-	-	-	1047.59	8.77	1148.19	11.49	912.60	13.06	1260.78	13.69	1162.61	14.57	1018.60	14.38	11.75	天然乾燥
-	-	-	1045.81	8.59	1144.94	11.17	908.54	12.56	1255.64	13.22	1157.75	14.09	1014.16	13.88	11.39	天然乾燥
65	45	4.8	1045.49	8.55	1143.97	11.08	869.36	7.71	1214.54	9.52	1113.82	9.76	976.25	9.62	9.21	人工乾燥
70	46	4.0	1010.45	4.92	1085.93	5.44	846.09	4.82	1174.60	5.92	1080.01	6.43	948.16	6.47	5.27	人工乾燥
75	65	8.3	1030.58	7.01	1104.65	7.26	873.57	8.23	1202.38	8.42	1106.26	9.01	971.20	9.06	7.73	コンディショニング

各種材料は、着荷後の外観品質確認後に栈積みし、風通しの良い室内環境（調湿調温なし）で天然乾燥を行った（乾燥前初期含水率：トゥーナ 約 19%、ニーム 約 28%、現行材 約 9.8%）。天然乾燥期間は、各種材料の重量が前日比で 0.5%以内に収まる状態を目安として、約 2 ヶ月間の乾燥期間を設定した。2 ヶ月後、初期含水率の違いにより、まずトゥーナ、ニームを先に人工乾燥炉に投入し、一定期間経過後に現行材を投入した。各種材料の含水率経過は、一定時間おきにサンプルボード（重量測定用サンプル）の重量を測定してモニタリングすることで把握した。乾燥終了後にサンプルボードを 105°C、24 時間以上乾燥させた全乾状態にして全乾重量を測定し、それぞれの重量測定値と求めた全乾重量から、含水率を算出した。一定含水率条件到達後、仕上がり含水率（約 8%）を目指してコンディショニングを行った（人工乾燥時間：約 80 時間）。乾燥経過は表 IV-11 に記載の通り。コンディショニング終了後、乾燥炉内が冷却した後に材料を取り出し、22°C RH60%環境下で 2 日以上放置後に材料状態を目視にて確認した。材料状態の確認後、各種材料からサンプリングして材料内部の残留歪を評価した。

乾燥後の材料状態を確認したところ、マホガニー材はほとんど材料の反り、ねじれが見ら

れなかったのに対して、トゥーナ、ニームは反り、ねじれが多く見られる傾向にあった（図 IV-17）。これらは、各種材料の製材プロセス履歴に依存すると考えられる（前項#3 に記載の通り）。マホガニー材は板材状態で天然乾燥、（人工乾燥まで行っているかは不明）を実施し、その後木取りをしたことにより内部歪が緩和する傾向にあったと考えられる。さらに、木取りから今回の人工乾燥まで十分な期間が経過していたため、内部の含水率が低い状態で人工乾燥に投入された。結果として、今回の人工乾燥でも反りが発生しなかったと考えられる。トゥーナ、ニームは、前項#3 のヒアリング結果のように、含水率が高い状態で正規寸法に木取りされたことがわかっている。そのため、内部に蓄積した応力が解放しないまま乾燥に投入され、乾燥時に応力開放したことによって反りが大きくなったと考えられる。さらに、今回の天然乾燥期間（約 2 か月）では不十分で（12～14%くらいまでは低下）、内部の含水率が高い状態で人工乾燥に投入することとなったことで、乾燥後の狂いが生じたと考えられる。したがって、長期の天然乾燥期間を確保することで最低でも 11%程度までの含水率低下を待ってから人工乾燥に投入すべきと考えられる。



左から2本ずつトゥーナ、ニーム、マホガニー
（赤矢印部分に反り、ねじれが見られる）

図 IV-17 人工乾燥後の各材料の状態

以上のことを踏まえて、乾燥終了時の各材料の内部歪を切断法により測定した（図 IV-18）。通常、乾燥時の内部歪測定には材料の短辺方向の歪量を測定しており、今回は板目材を L 方向に切断した後、材料の木口面に対して年輪接線方向（T 方向）にナタ割りし、ナタ割後の材料変位をレーザー変位計にて測定した。内部歪の大きい試験体では、図 IV-18 に示すようにナタ割後の材料中央部が大きくナタ割面と反対方向に反る。変位置量から計算した歪量をマイクロ歪量として定義し、各材料 2 個体ずつ歪量を測定したところ、各材料の平均値はトゥーナ材が 43、ニーム材が 99、マホガニー材が 122 であった。一般の楽器用

材料の指標としてマイクロ歪量=100 以下であることを目安としていることから考えると、乾燥時の反りがでていたものの、全ての材料が基準を満たしていると考えられる。しかしながら、これらの値は個体差、木理方向により大きく変動するため、あくまで参考値として考えておく。例えば、木理が通直でない場合内部歪が大きくなる傾向がある。早生材であるユーカリ材もその一つで、ユーカリの場合は1000を超える値が記録されることがある。今後、継続的に材料を入手し、個体別のバラツキ等を考慮した検証が必要と考えられる。

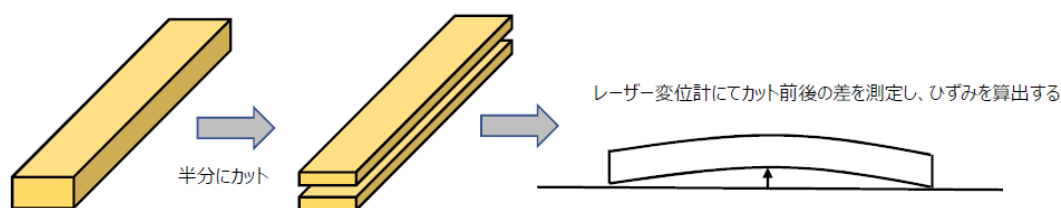


図 IV-18 切断法による内部歪測定方法概要

(3) 基礎物性試験

ギターネック材において最低限要求される強度性能を始め、各種材料の音響材料としての性能や工程適性の可能性を把握するため、以下 6 項目の基礎物性試験を行った。

A) 気乾状態特性（気乾密度、平衡含水率、吸放湿速度）

気乾状態の特性は、樹種によって大きく異なる。例えば、密度や抽出成分、ヘミセルロース、セルロース、リグニンなどの構成によっても変化する。木材を扱う上で、まず気乾状態の特性を押さえておくことで、乾燥工程、加工工程、材料の組み合わせの最適化を進めることができる。

各材料の気乾状態特性の把握を目的とし、乾燥状態（35°C RH20%）、湿潤状態（35°C RH95%）でのそれぞれの恒量状態を初期条件として、標準環境（22°C RH60%）下に放置した際に恒量に達するまでの時間から平均吸放湿速度、恒量到達後の含水率を求めた。また、乾燥状態から標準環境に投入した後の標準環境下での恒量到達後の重量、各方向（LRT 方向）の寸法を測定して、標準環境下での気乾密度を算出した。

試験結果を表 IV-12 に示す。これらの結果から、トゥーナの平衡含水率は他 2 種と比較して高いことがわかった。また、トゥーナ、ニームにおいてはマホガニーよりも放湿速度が速く、人工乾燥時の乾燥速度が速くなると考えられる。

各材料の平均気乾密度は 0.59 g/cm³（トゥーナ）、0.49 g/cm³（ニーム）、0.58 g/cm³（マホガニー）であり、トゥーナの気乾密度は既報文献値よりも高く、ニームは文献値と比較して低めの値を示した。吸湿速度、放湿速度は基本的には木材密度に比例すると考えられる。これらの数値と密度測定値を比較すると、ニームは密度が低い上、吸放湿速度が速い一方、トゥーナはマホガニーと同程度の密度であるにも関わらず、比較的吸放湿速度が速いことがわかる。これは様々な要因が考えられ、今回の試験結果だけでは

結論付けることは困難だが、木材の構成成分であるセルロース、ヘミセルロース、抽出成分、さらには組織構造の要因が含まれていると推察される。

表 IV-12 気乾状態特性値

樹種	気乾密度	吸湿側		放湿側	
	g/cm ³	EMC %	速度 %/day	EMC %	速度 %/day
マホガニー	0.58	8.38	0.32	11.00	0.63
ニーム	0.49	8.55	0.35	11.02	0.86
トゥーナ	0.59	9.14	0.32	12.22	0.75

(n = 4)

B) 乾湿サイクル特性（含水率変化量、方向別寸法変化量）

木材はセルロースやヘミセルロースなど、親水基を有する化合物で構成されている天然高分子構成体であり、周囲環境の湿度変化によって水分の吸放湿を繰り返す。木材中に水分が出入りすることによって、木材の体積変化が起こり寸法変化を起こす。特に木材は、金属やプラスチックなどとは異なる異方性をもつ材料であり、年輪の接線方向（T 方向）の寸法変化が最も大きく、半径方向（R 方向）、長さ方向（L 方向）と寸法変化率が異なることが知られている。多くの木質構造物や木製製品では、このような寸法変化を考慮した部材設計が行われている。楽器においても例外ではなく、ギターのネック材で言えば、周囲の環境変化により胴部との接合部分からヘッド部分にかけて環境により上下に撓むと言われている。また、木取り材から製品形状への加工中に、剛性バランスが変化することによって材の反り、ねじれが引き起こされることがある。加工工程における寸法変化の要因には、内部歪の解放の他、含水率の変化による寸法変化が挙げられ、楽器のように精密な木材加工を必要とする部材においては、環境変化による寸法変化が少ない材料は重宝される。

今回は、木材の基本挙動を検証することを目的として、全ての楽器群において標準的に採用している環境条件を設定し、乾燥、湿潤を繰り返した中での寸法変化を測定した。各材料を温度一定、湿度環境を変えた環境下に一定期間放置し、各環境放置期間中の寸法変化挙動を検証した。標準環境（22℃ RH60%）に一週間以上放置して、寸法、重量が安定したことを確認した後、35℃ RH95%（高湿）に2日間、35℃ RH20%（低湿）に5日間を1サイクルとしたサイクル試験を2サイクル行った。各投入期間終了時に、L 方向、R 方向、T 方向の寸法、重量を測定し、寸法挙動と含水率挙動を検証した。

サイクル試験における各材料の含水率を表 IV-13 に示す。サイクル試験における各環境での含水率は、トゥーナ、ニームは乾湿の環境条件により約 17%の含水率差があったのに対して、マホガニーは 14%程度であった。このことから、マホガニーは環境変化に対する応答が遅く、トゥーナ、ニームはマホガニーと比較して応答が早いことがわかる。環境変化に対する応答速度は、材料の密度とも影響があると考えられるが、表 IV-12 に示すようにマホガニーとトゥーナは同程度の密度であることから、環境変化に

対する応答が早いことがトゥーナの特徴であると言える。

表 IV-13 乾湿サイクル試験における乾燥、湿潤状態での含水率

樹種	高湿2日	低湿5日
	MC %	MC %
マホガニー	18.17	4.46
ニーム	22.01	4.43
トゥーナ	21.23	5.12

(n = 4)

サイクル試験における各材料の方向別の寸法変化を図 IV-19、図 IV-20、および図 IV-21 にそれぞれ示す。これらの結果から、トゥーナ、ニームはマホガニーよりも T 方向の寸法変化率が大きいことがわかる。表 IV-13 のように、トゥーナ、ニームはマホガニーと比較して環境変化に対する含水率変化の応答が早いと考えられるため、寸法変化においても含水率変化の速い応答が影響していると考えられる。特に、ニームの T 方向はサイクル試験が進むにつれて、全体の寸法が大きくなっていることがわかる。これは、環境変化による含水率、寸法変化の変化量が大きく、特に吸湿側の速度が速く、多くの水分を吸収する傾向にあるため、元の寸法に戻りにくいと推察される。また、内部に割れが入る場合も寸法が戻らなくなるため、ニームは寸法安定性という観点では不安が残ると言える。一方、トゥーナは全体の寸法変化は大きいですが、ニームのような寸法の増加現象は見られないため、加工工程での調湿、環境に応じた加工工程を設定することにより材料として安定的に使用できる可能性があると考えられる。

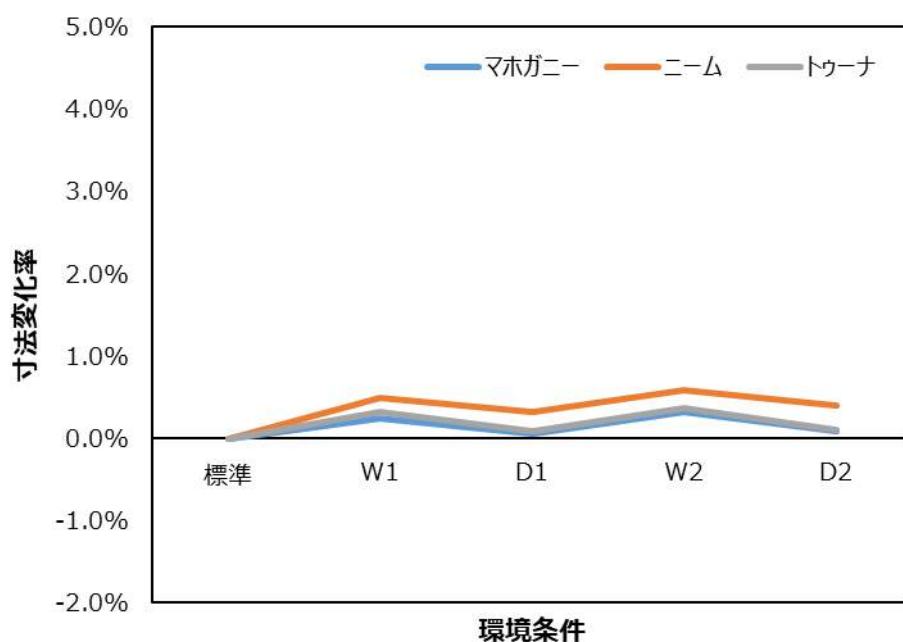


図 IV-19 L 方向の寸法変化率

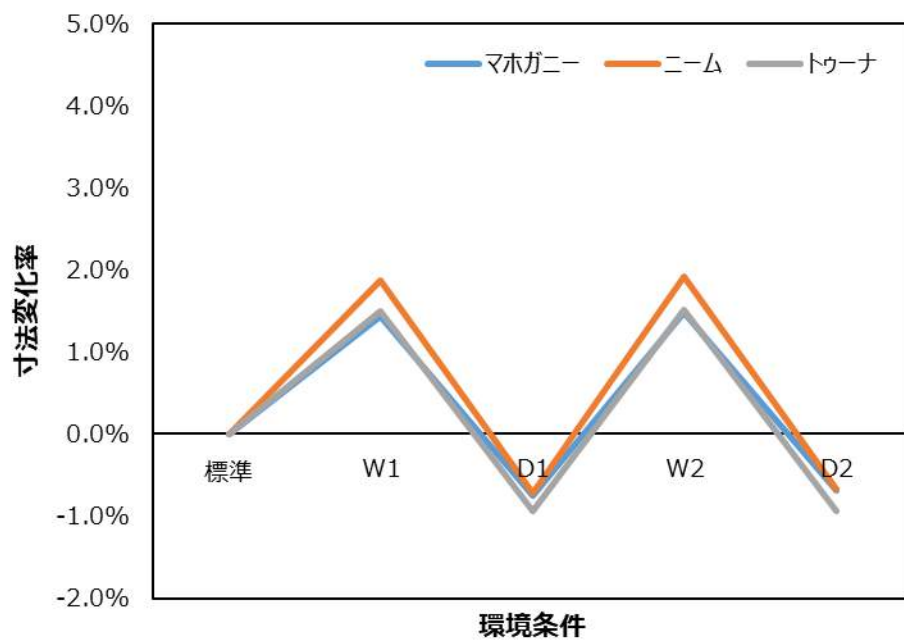


図 IV-20 R 方向の寸法変化率

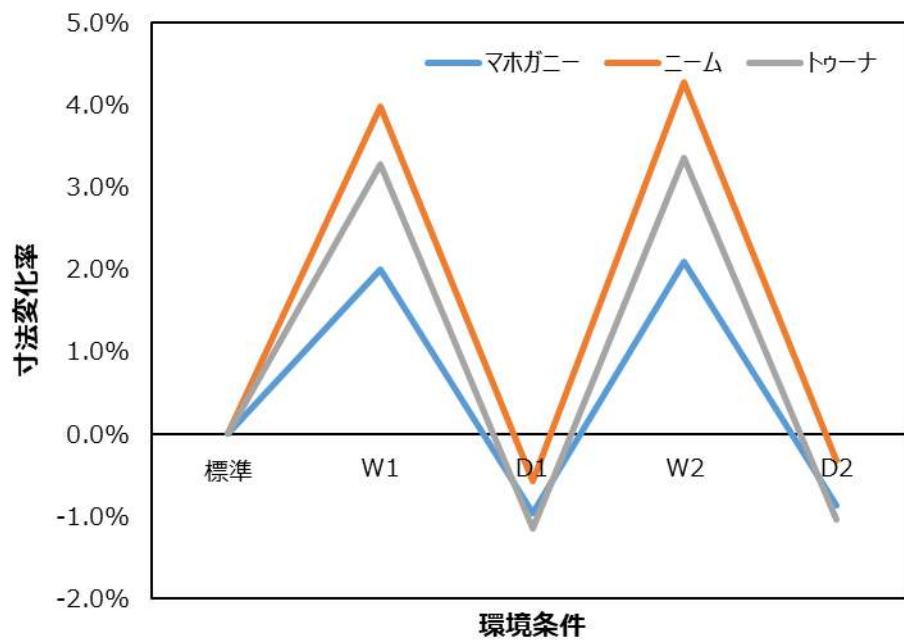


図 IV-21 T 方向の寸法変化率