木製品の資源循環利用に関する研究（第3報）
曲げ木の加工現場における現状

高橋 智佳[*1]、長谷川 良一[*2]

Study on Resource Recycling of Wood Manufacture (III)
The Present Conditions of Process of the Bent Wood

Chika TAKAHASHI [*1], Ryoichi HASEGAWA [*2]

熟練工の経験と勘に基づき構築されてきた曲げ木技術の継承及び、改善のために、最適な加工条件を指標化することを目的として、曲げ木工程の現状を把握し、課題について検討した。

(1) 曲げ時の折れ・座屈、乾燥に伴う焦げ・割れ、曲げ変形の戻り等の問題があった。
(2) 蒸煮直後の含水率には材間で約 3%の差があり、高周波乾燥後の含水率も大きくばらつき、乾燥不足が懸念された。
(3) 乾燥後の材において、湿度変化に伴う含水率変化量が多いほど、曲げの戻りも大きかった。
(4) 高周波乾燥により含水率約 12%まで乾いた材の内部で焦げがみられた。

1．緒言

古くから、木材を蒸煮あるいは煮沸し、治具を用いて曲げる、トーネット法という曲げ木法が知られている。曲げ木部材は目切れがなく丈夫で、美しい風合いを醸し出すことから、家具部材として多く取り入れられてきた。

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、「飛騨家具」のブランド性は高く評価されている。飛騨の家具にも、この「曲げ木」技術が多く用いられている。しかし、「匠の技」と呼ばれる曲げ木は、熟練工の経験と勘に基づきなされており、技術継承が難しく、団塊世代の退職には緊急に対処するべきである。また、曲げ木の技術に関する情報はほとんどなく、曲げ木の組織構造[1)] や、材の厚さと曲率の関係[2)] が検討されてきたにすぎない。

そこで、本研究では、今後もこれらの優れた地域資源を活用し、さらなる産業の活性化を図るために、また、不良率の低減を可能にする最適な加工条件を見いだし、指標化するために、加工時の材の状態を詳細に検討する。

はじめに、曲げ木工程の現状を把握し、改善すべき課題について検討したので報告する。

2．調査

2.1 材料

1年半以上、天然乾燥したナラ材（*Fagaceae Quercus crispula Blume*)。形状は長さ820mm、両端部直径25mm、中央部直径40mmの丸棒（図1）である。10月上旬及び12月上旬の2回に各10本ずつ調査した。1回目、2回目に行った材料をそれぞれグループ1､2とする。加工前の状態を表1に示す。なお、密度及び含水率は、丸棒の採取部と繊維方向に連続する部分から立方体を切り出し、これを温度105℃で24時間乾燥した状態を全乾状態として、また、温度20℃、相対湿度(RH)65%下で24時間放置した状態を気乾状態として測定し、気乾含水率は全乾法にて求めた。なお、10月に調査したときの工場内の環境は外部とほぼ同様であったが、12月の際には空調によって暖められていた。

[*1] 試験研究部（住環境研究室）
[*2] 試験研究部（木質材料研究室）

図1　曲げ木加工部材

表1　グループ1及び2の材の状態

	全乾 密度(g/cm^3)	気乾 密度(g/cm^3)	気乾 重量(g)	気乾 含水率(%)
1-1	0.65	0.70	542	14.9
1-2	0.59	0.64	557	14.8
1-3	0.68	0.73	567	14.7
1-4	0.59	0.64	557	14.8
1-5	0.61	0.66	478	14.6
1-6	0.70	0.75	588	14.6
1-7	0.66	0.71	551	14.8
1-8	0.60	0.65	576	14.8
1-9	0.64	0.70	555	14.8
1-10	0.71	0.77	649	15.1
2-1	0.72	0.77	622	15.9
2-2	0.77	0.83	655	15.8
2-3	0.73	0.78	634	15.9
2-4	0.74	0.79	637	15.4
2-5	0.62	0.67	565	15.5
2-6	0.78	0.82	662	15.3
2-7	0.62	0.68	605	15.4
2-8	0.76	0.82	651	16.4
2-9	0.72	0.78	625	16.0
2-10	0.70	0.76	622	15.9

2.2 曲げ木の加工工程

曲げ木加工は、図2aから図2dに示す5工程（蒸煮・曲げ・高周波乾燥・冷却・養生）から成る。1回の作業につき、無作為に抽出した10本を加工する。したがって、表1に示すように、材間の重量差はかなり大きく、蒸煮や高周波乾燥時における密度の影響が懸念された。

まず、釜内で 50 分間水蒸気により蒸煮（図 2a）し、すぐに型に合わせて曲げる（図 2b）。続いて、高周波（周波数:13.56MHz、電圧:200V、電流:0.3～0.4A）を発振させ、1 時間乾燥させる（図 2c）。その後、型にはめた状態で直ちに扇風機にて送風冷却を行い、2 時間養生（図 2d）させて、曲げ加工は完了する。現状では、曲げ時の折れや座屈、乾燥時の内部焦げや内部割れ、養生後の曲げの戻り等の問題が生じている。

図 2a　蒸煮

図 2b　曲げ

図 2c　高周波乾燥

図2d　冷却・養生

3．検討

曲げ木の不良箇所を改善するために、加工工程における材の状態を把握・検討した。

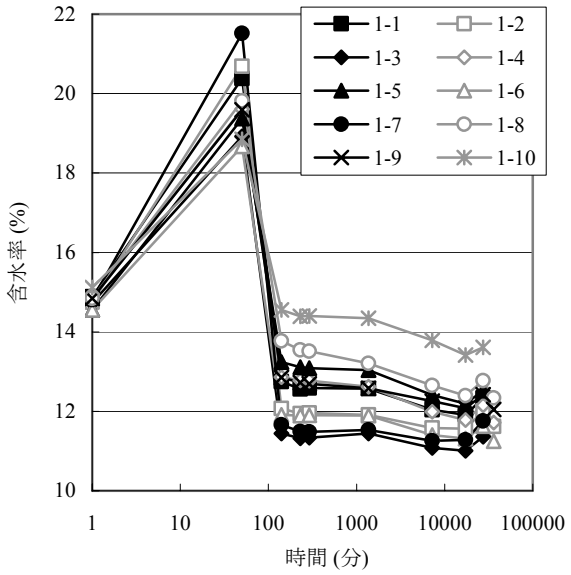

図3a　グループ1の含水率変化

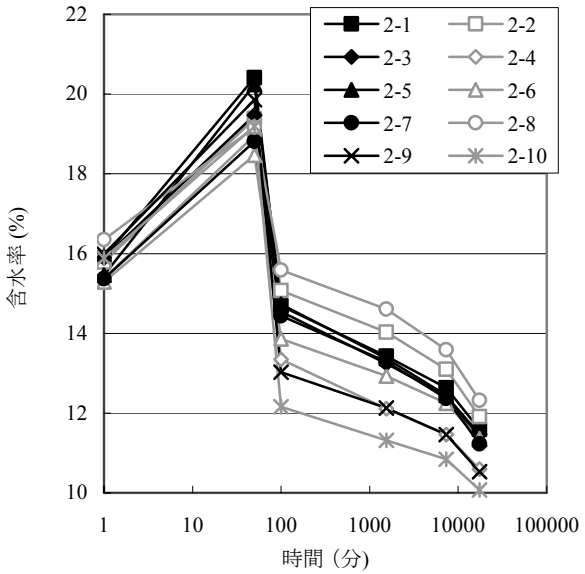

図3b　グループ2の含水率変化

Note）時間表記…蒸煮前:1分
蒸煮直後:50分
高周波乾燥直後:100分
乾燥1日後:1540分
乾燥5日後:7300分

3.1 含水率の変化挙動

改善課題である折れ、座屈、焦げ、割れ、曲げの戻り等に及ぼす含水率の影響を検討するため、工程ごとに重量を測定し、含水率を求めた。その結果を図3a及び図3bに示す。　図3a・3bから、蒸煮直後の含水率には材間で約3%の差があることがわかる。本調査では、曲げ時の折れや座屈等の問題は認められなかった。

また、高周波乾燥直後の含水率は大きくばらついており、家具部材としては乾燥不足が懸念される。この乾燥不足が、曲げの戻りの原因とも考えられるが、重量から求めた含水率では、材内での水分分布の有無や程度を把握できず、今後の検討を要する。しかし、蒸煮後の含水率の高低が乾燥程度に影響する傾向はないようである。また、部分的な乾燥が、材内部の焦げや割れの原因とも考えられるので、温度変化を同時に測定し、材間あるいは材内の水分分布の観察を今後行う。

3.2 曲げ変形の安定性

乾燥後の曲げ変形の戻りと含水率変化との関係を検討した。グループ1の材5本を、20℃・90%RHに24時間（W1）、20℃・30%RHに24時間（D1）、再度20℃・90%RHに24時間（W2）、20℃・30%RHに24時間（D2）保持した。各環境での保持後、含水率を測定し、高周波乾燥後の含水率から増加した含水率量を図4に示す。また同時に、最も曲がっている部分の高さを図5aのように測定し、最初の高さに対する変化量の割合を図5bに示す。

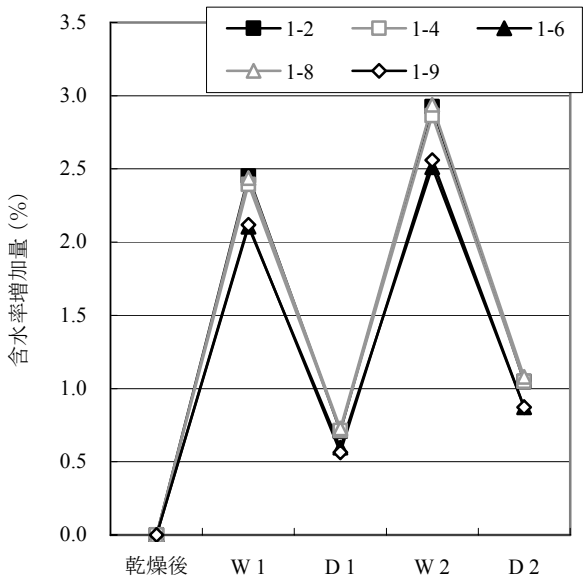

図4　乾湿繰り返しに伴う含水率変化率

図5a　最大曲げ部の高さ測定

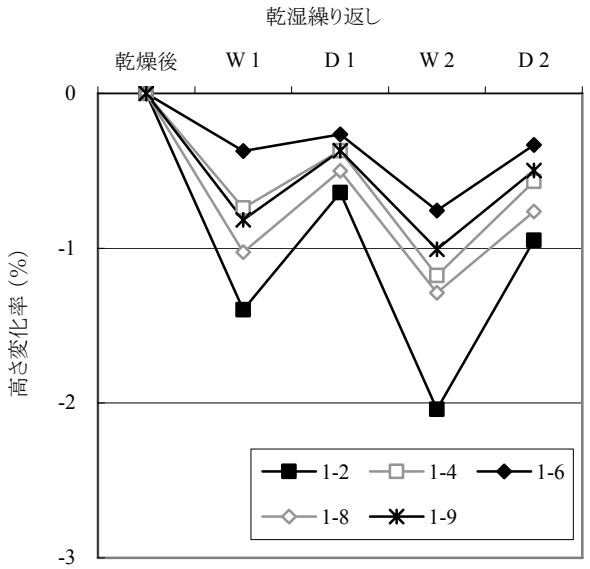

図5b　最大曲率部の高さ変化率

含水率の変化量が比較的多かった材1-2と1-8の高さ変化率がやや大きかった。すなわち、含水率が変化するほど、曲げの戻りも大きくなると考えられる。しかし本調査だけでは、高さの変化率への影響因子は不明である。今後、乾燥の速度や程度、材の密度等との関連性を検討する。

3.3 内部の材色

ホゾ穴をあけたり、ある形状に面加工や形状加工したりする家具部材にとって、高周波乾燥の過程で生じる焦げは、不良の大きな原因である。そこで、含水率変化と材内の色合いとの関係を検討した。材を縦方向に半分に切断し、縦断面を撮影した写真を図6a、6bに示す。図6aの上から順に1-1、1-2、…1-10、図6bの上から順に2-1、2-2、…2-10である。図6a・6bの材の左端部は、図2cで示した高周波乾燥の際に、上部になっており、直接電極板に接していないことから、最も温度上昇が少なかったと推測し、この左端部の明るさ（*L**）を0とし、この部位から10㎝ごとの明るさを色差計にて測定した。その結果を図7a、7bに示す。

図6a　グループ1

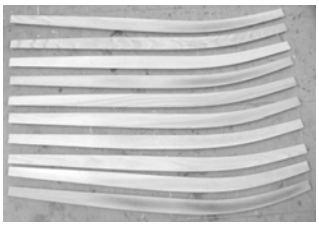

図6b　グループ2

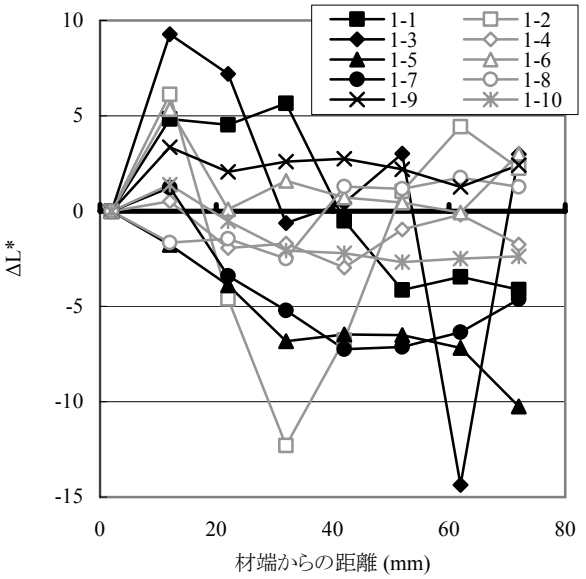

図7a　グループ1の材ごとの*L**

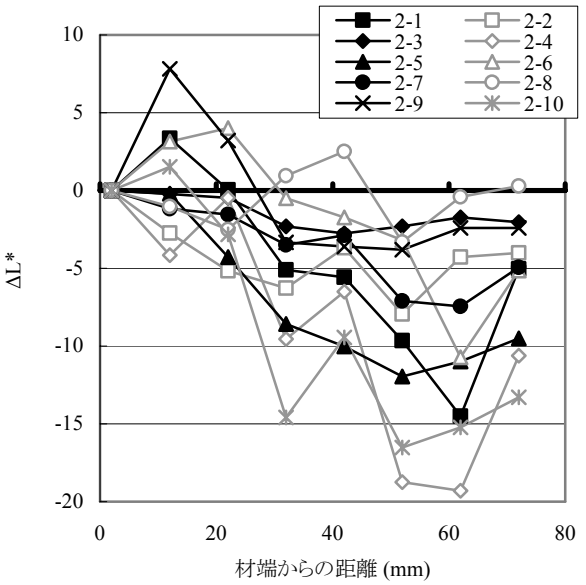

図7b　グループ2の材ごとの*L**

現在、見た目でΔL^*が-15となる色変化に相当する色合いの材は焦げによる不良とされ、破棄されている。したがって、本調査の段階では3割の不良率である。焦げが大きく認められた材は、図3a、3bからもわかるように、12%前後の含水率にまで乾燥した材である。しかし、家具部材では最低限ここまでは乾燥させる必要があり、むしろ他の材が乾燥不足であると考えられる。したがって、すべてを一様に十分乾燥させ、さらに焦げが生じないようにすることが必須である。

また、図6a、6bのそれぞれ1～10番の材は、高周波乾燥の際に同じ場所で乾燥させているにもかかわらず、全体の乾き具合には相関性がない。したがって、乾燥程度のばらつきの原因として、電極板への電気の流れ方等の不具合が考えられる。蒸煮による水分の導入量や、高周波発振機の電力や乾燥時間、乾燥速度等、さらには、曲げ変形用の型の改良の必要性も含めて、今後の検討を要する。

さらに2-10では割れも観察された（図8）。

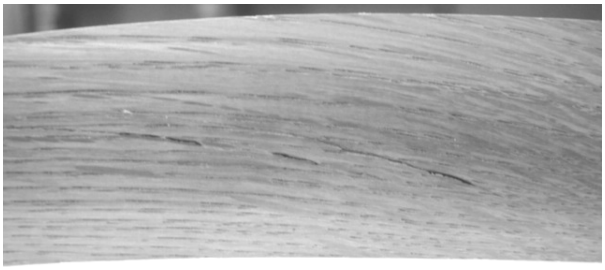

図8　材2-10の割れ部分

4．まとめ

熟練工の経験と勘に基づき構築されてきた曲げ木の技術の継承及び、さらなる改善、また、不良率の低減のために、最適な加工条件を見いだし、指標化することを目的として、曲げ木工程（蒸煮・曲げ・高周波乾燥・冷却・養生）の現状を把握し、課題について検討した結果、次の知見を得た。

(1) 曲げ時には材の折れや座屈、乾燥時には材内部で焦げや割れ、養生後には曲げの戻り等、さまざまな問題が生じている。
(2) 蒸煮直後の含水率には材間で約3%の差がある。高周波乾燥直後の含水率にも大きなばらつきがあり、乾燥不足が懸念された。
(3) 乾燥後の材に湿度変化サイクルを与えたところ、含水率の変化量が多いほど、曲げの戻りも大きかった。
(4) 含水率変化と材内の色合いとの関係を検討した。見た目でΔL^*が-15となる色変化に相当する色合いの材は焦げによる不良とされている。特に、焦げと判断した材は、12%前後の含水率まで乾燥していた。

謝辞

本研究は、日進木工（株）の協力により行われたものである。ここに感謝の意を表します。

文献

1) 今村祐嗣、和田博、則元京、林昭三：木材学会誌Vol.28，No.12，pp.743-749，1982.
2) 和田博、坂野三輪子：奈良林試研報，No.16，1986.