原著論文

測色値を用いたスギこけら板の曲げ強度予測法

風呂井 玲子, 北口 紗織, 佐久間 淳

京都工芸繊維大学大学院

Prediction for Bending Strength of Cedar Wooden-shingle Boards based on Colorimetric Values

Reiko FUROI, Saori KITAGUCHI and Atsushi SAKUMA

Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki Goshō-kaidō-cho, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 606-8585, Japan

Abstract : Cedar wooden-shingle boards used as the Japanese traditional roofing material are handmade by craftsmen, and there is a need for technology that stabilizes its product performance. Therefore, the purpose of this study is to establish a method for quantitatively selecting cedar wooden-shingle boards by non-destructive methods based on color of the board, as done by craftsmen. Hence, in this report, a relationship was analyzed to evaluate the boards' strength from colorimetric values by using a "transverse direction 3-point bending test". As a result of multiple regression analysis, CIE L^* , a^* , and b^* were adopted as coefficients, and confirmed that the maximum bending stress of the test piece can be predicted with a high correlation based only on the color. Furthermore, data from different types of color measurement instruments were compared and similar findings were observed.

Keywords : *Wooden-shingle boards, Bending strength, Colorimetric values, Multiple regression analysis, Non-destructive inspection*

1. 緒 言

こけら板はスギやサワラ、クリなどの木材を薄く割裂し、屋根材としたもので、こけら葺は植物性の素材で屋根を葺く伝統的工法の一つである [1, 2]。2000～2001 (平成 12～平成 13) 年度にかけて、国土交通省近畿地方整備局京都管轄事務所は京都御苑内において、拾翠亭 (江戸時代後期築造) の保存修理工事を実施し、こけら葺屋根面を全面的に葺き替えている。この工事に際して、同事務所はこけら葺技術や職人の意識に特化したアンケート等調査を行った。全国のこけら葺・桧皮葺のほとんどを施工している「全国社寺等屋根工事技術保存会」(京都市東山区清水) 加盟の会員 35 社 (者) が調査に協力した。それによると、回答のあった 32 社 (回答率 91%) のうち、こけら板の製造業に限れば 1 社しかなく、製造者は 5 人であった [3]。国土交通省による全国規模の実態調査においても、こけら板作りを担う職人は極めて少数に留まっていることが明らかになった。また、こけら板の需要は、文化財建造物の保存修理と茶室の屋根 [4] にほぼ限られている。指定文化財を良好な形で維持管理し、後世に継承するためには、こけら板の適正な評価法を確立することが求められている。

また従来から、こけら板職人の間では「辺材と髄は強度が劣る」との認識が共有されているため、生産現場ではこれらの除去が一般化している。除去に際しては、多くの場合、心材より明度が高い辺材と、幹中心部の軟弱組織である髄 (樹心) を、職人らは主に材色で判別し、経験的に機械強度を予測してきたといえる。短時間で非破壊的に行えるこの手法は生産・施工現場では一般的だが、こけら板の選定は職人の経験値や主観に依存する可能性が残される。さらに、選定場所の日照条件

や時間帯などによっては見え方に差も生じ、選別の信頼性は低下せざるを得ない。

そこで、既報 [5] で示したように、本研究では測色値に基づくこけら板の強度予測法を確立することにより選別の信頼性を維持・向上することを目指す。この既報では、こけら板にとって最適な材色および強度を定量化することを目的として、人工林から吉野スギ板試料を採取し、試験片を切り出し、こけら板の製品性能評価を行った。評価手法としては、こけら板職人の協力を得て SD 評価実験 [6, 7] を行い、曲げ強度を計測したうえで重回帰分析によってこけら板の色彩と曲げ強度との関係性を検討した。この結果、こけら板の製品評価として曲げ強度の寄与は比較的小さく、色彩 (CIELAB L^* , b^*) と年輪の寄与が大きいことが分かった。つまり、職人による視覚的评价と物理的特性 (色、曲げ強度、年輪) の関係について、「良品」の属性については曲げ係数の寄与が小さく、また「適切度」の属性では曲げ強度が重要な独立変数として含まれなかった。

これらの点を踏まえ、本報では、既報で寄与が小さかった曲げ強度と色彩との関係性を明らかにすることを目的とする。そのために、既報で行った「縦方向の曲げ試験」と方向を変えて、こけら材における早材と晩材の層構造の向きが試験片の軸方向に対して直交する「横方向の曲げ試験」を実施する。これは、この層構造の向きが試験片の長手方向と並行する「縦方向」の曲げ試験では狭隘な晩材が強度を担ったため、測色値との相関が低く曲げ強度が重要な独立変数として含まれなかったと想定されるのに対して、こけら材の層構造を成す 2 材の中でも低強度と考え得る幅の広い早材の影響が「横方向」においては大きくなると考えたためである。本報では、この横方向の曲げ試験を実施した結果に対して、既報と同様、重回帰分析によって評価を試みる。

2. 試料と計測

2.1 試験片の作成

スギの樹幹横断面と呼称を図1に、吉野スギのこけら板を
図2にそれぞれ示す。

こけら板作製時と同様、吉野スギ材(15齢級以上・長さ
260 mm×幅225 mm×厚さ40 mm)を試料として用い、1個
体から、長手方向に対して年輪が直交する20試験片(長さ
50 mm×幅20 mm×厚さ10 mm)を採取した。試料は、樹皮
側の辺材から髄に近い心材方向へと順にA・B・C・Dの4群に
分割し、各群より5試験片ずつを切り出した。成形にあつて
は、工作用平削盤で厚さ10 mmにまで研削した。試験片の
採取位置を図3に示す。

こけら板の製作現場では、木材の中心部分で軟弱組織で
ある髄と、樹皮に近い辺材はあらかじめ除去し、その後、
3 mm前後の厚さにまで手仕事で裂く小割りの作業へと進む。
本報ではこけら板生産現場におけるこうした経験則の妥当性
を物理的に検証するため、辺材部分など通常は製品化しない
部位も含めて試験片を作成した。

図1 吉野スギの樹幹横断面と呼称

(a) (b)

図2 吉野スギこけら板表面特性(a)と吉野スギ板(b)

図3 試験片採取位置

表1 各試験片の年輪数

試験片	年輪数(n)
A1	24
A2	24
A3	24
A4	24
A5	24
B1	24
B2	24
B3	24
B4	24
B5	24
C1	17.5
C2	17.5
C3	18
C4	17.5
C5	18
D1	13.5
D2	13.5
D3	13.5
D4	13.5
D5	13.5

木材の性質は生育環境や地域、植栽方法などさまざまな因
子の影響を受けて形成される。この木材強度に影響を与える
因子として、木材の晩材仮道管S2層マイクロフィブリル傾角
の構造に注目する研究は多い[8-13]。しかしながら、スギは
マイクロフィブリル傾角のバラツキが大きいために、ヤング係
数の値も変動がある[14]との報告もあり、強度を検討する
上では樹種による違いや特徴を勘案する必要性が指摘されて
いる[10]。さらに、スギは品種ごとに力学的性質や内部の
組織構造にバラツキが大きく、「品種ごとの平均的な性質、
およびそのバラツキの程度は、未だに十分把握できない」[15]
現状にある。このため本報では、1個体の試料からすべての
試験片を切り出すことによって、木材の個体差、生育地域差、
品種差などさまざまな影響因子を除いて、1つの因子の分析に
注力することとした。本報で採取した20試験片は、いずれも
気温25℃、湿度30%に保たれた実験室内で直射日光を避け、
気乾状態まで乾燥させた。試験片に含まれる年輪数を表1に
示す。年輪数は試験片の裏表の平均値を採用した。

2.2 曲げ試験

木材は、その不均質な組織構造から、樹幹の軸方向である
繊維方向と、繊維に直交する方向とでは力学的性格が大きく
異なり、繊維方向に対しては高い強度特性を示すが、繊維直交
方向の強度特性は低い[16]とされている。このため筆者らに
よる既報[5]では、この木材の強度特性を考慮し、長手方向
に年輪が並行となるよう試験片を切り出して、この方向に
対して直交する方向に圧子を押しかける曲げ試験を実施した。
これを、「縦方向の曲げ試験」と名付け、図4(a)に示す。
ただし、この方向の曲げ試験において、こけら板としての
「適切度」に関する重回帰分析ではL*, b*, 年輪の3独立変数
が重要な係数に採用され、曲げ強度は含まれなかった[5]。

測色値を用いたスギこけら板の曲げ強度予測法

図4 荷重方向と試験片

表2 最大曲げ応力

試験片	最大曲げ応力 (MPa)
A3	4.49
A4	4.10
A5	4.15
B2	5.52
B3	5.35
B4	5.40
C2	6.68
C4	5.78
C5	6.20
D2	6.05
D3	6.14
D4	5.88

このこけら板の強度と測色値との関係を見出せなかった既報での課題解決を目指し、本報では試験片の長手方向に年輪が直交する「横方向の曲げ試験」(図4(b))を実施した。いずれの曲げ試験でも、実際のこけら葺施工時と同様に、桁目が出する試験片を用い、測色値や年輪との相関を検討した。図4に曲げ試験における試験片への荷重方向を示す。

長手方向に対して年輪が直交する20試験片を用い、3点曲げ試験を実施した。年輪数は試験片の表裏で確認し、いずれも平均を出した。3点曲げ試験には卓上試験機EZ-S(島津製作所製)を用い、ロードセル容量は500 N、ポンチおよび支点の先端半径は2.5 mm、下部支点間距離は40 mm、試験速度は6 mm/minとした。

次に、3点曲げ試験による最大曲げ応力の計測結果を表2に示す。実験に用いたA～D群各5試験片のうち、最大曲げ応力が最大・最小のデータを外れ値として除外し、中央値3試験片のデータで検討することとする。なお、表1で示す通り、A群とB群に属する試験片の年輪幅と年輪数は、6試験片とも同じである。また、12試験片の平均密度は0.36 g/cm³であった。

2.3 測色

(1) 二次元色彩輝度計による測色

二次元色彩輝度計CA2000(コニカミノルタ社製)を用いて表面色を測定した。刺激値直読式のCA2000はCCDイメージセンサとCIE1931等色関数に近似した分光応答度を持つXYZフィルタを採用している[17]。測定環境は、ドーム型拡散光照明

図5 試験片の測色に用いた二次元色彩輝度計CA2000とドーム型拡散光照明装置

表3 二次元色彩輝度計CA2000による測色値

試験片	L*	a*	b*
A3	94.0	6.8	20.0
A4	93.9	6.8	20.2
A5	94.0	7.0	20.3
B2	76.2	15.2	24.8
B3	75.8	15.4	24.9
B4	75.8	15.5	24.7
C2	78.8	12.1	22.6
C4	80.2	12.2	22.9
C5	79.8	11.9	22.5
D2	79.2	14.1	22.5
D3	79.1	14.2	22.8
D4	79.1	14.2	22.9

装置内側の下部円周上に紫色励起白色LED(6500K±10%)を108個均等に配置し、拡散照明環境を作成した。直径約400 mmのドーム上開口部直上にCA2000を搭載し、非接触方式で中央に1試験片ずつ設置し、2回計測した(図5)。

測色は、試験片の中央約40 mm×16 mmを解像度200×80で測定し、CIEXYZ三刺激値を得た。これらの刺激値は同条件で白色タイルを測定して得られた値を標準値とし、CIELAB値のL*, a*, b*を算出した[18]。その後、測色エリアのCIELAB値の平均を求め、結果を表3に示す。

(2) 簡易測色器による測色

材色を数値化する研究では、画像を用いた分光測色計による表面色の精密な測色結果が報告されている[19-21]。しかしながら、こけら板生産・施工者自身の使用を想定した場合、汎用性に富み、扱いが簡易なデバイスも有用である。そこで二次元色彩輝度計による測定に加え、本研究では、豪・Palette Pty Ltd.製の簡易測色ツール「Palette Cube(パレットキューブ)」を用いて材色を測色し、分析した。同ツール(以下、簡易測色器と称する)は、本体サイズが50 mm×50 mm×55 mmと小型で、持ち運びが簡便なハンディ型であり、かつ充電形式であるためこけら板施工現場に持ち込んでデータを採取することも可能である。

図6 簡易測色器 ポータブルカラーピッカー Palette Cube

表4 簡易測色器による測色値

試験片	L*	a*	b*
A3	84.7	8.3	19.8
A4	84.3	8.5	20.2
A5	84.1	8.6	20.2
B2	69.4	16.1	28.1
B3	69.2	16.1	27.9
B4	68.8	16.5	27.9
C2	68.9	14.4	26.0
C4	70.9	14.5	25.8
C5	70.6	14.4	25.5
D2	72.9	16.3	25.8
D3	69.7	15.8	25.9
D4	70.4	15.8	25.9

本報で採用した簡易測色器を図6に示す。この簡易測色器は、Bluetooth通信が可能であり、専用アプリを用いて測色データを得ることができる。測色部分は12.64 mm口径、測色方法は拡散照明積分球刺激値直読測定方式であり、受光ジオメトリーは45° di (Specular Included) で正反射ポートは装備していない。センサはWRGBセンサ、光源はRGB LEDを使用し、D50光源環境におけるL*, a*, b*が得られる(平均測色精度 ΔE は1.0) [22-24]。

計測に際しては20試験片の中央を3回ずつ測色し、平均値を算出した。その結果を表4に示す。

2.4 測色値の評価と測色器の比較

本報で用いる二次元色彩輝度計と簡易測色器という形式の異なる機器による測色値の比較を行った。図8にそれぞれの機器で得られたL*, a*, b*の相関を示す(CA=二次元色彩輝度計, CU=簡易測色器Cube)。

図7で示すように、二次元色彩輝度計と簡易測色器で得られた測色値は、L*, a*, b*のいずれも強い正の相関を示しているが、切片が0ではないものもあって絶対値は異なっており、これは測色器の構造や測色環境、L*, a*, b*値算出時に用いる基準照明値の違いに起因する差と考えられる。こけら板間の色の違いを測定するという用途においては、測色精度に与える影響についても考察する必要があることを確認できる。

(a) L*値

(b) a*値

(c) b*値

図7 二次元色彩輝度計と簡易測色器の測色値相関

3. 最大曲げ応力の評価

3.1 色彩パラメータ別相関分析

二次元色彩輝度計と簡易測色器により得られた、L*, a*, b*値と最大曲げ応力との相関を分析し、図8～図10に示す。

二次元色彩輝度計を用いた測色値と、最大曲げ応力の実測値との間には、L*で $R^2=0.69$ 、a*で $R^2=0.54$ と相関関係がみられたものの、b*の寄与は低かった($R^2=0.36$)。簡易測色器を用いた場合について、L*で $R^2=0.73$ 、a*では $R^2=0.71$ と高い相関がみられたが、b*の寄与は二次元色彩輝度計同様、簡易測色器でもL*やa*より低かった($R^2=0.60$)。

測色値を用いたスギこけら板の曲げ強度予測法

(a) 二次元色彩輝度計

(b) 簡易測色器

図8 二次元色彩輝度計および簡易測色器の測色値L*と最大曲げ応力との相関

(a) 二次元色彩輝度計

(b) 簡易測色器

図10 二次元色彩輝度計および簡易測色器の測色値b*と最大曲げ応力との相関

(a) 二次元色彩輝度計

(b) 簡易測色器

図9 二次元色彩輝度計および簡易測色器の測色値a*と最大曲げ応力との相関

また、L*、a*、b*と最大曲げ応力との相関については、A群とB・C・D群で2分化される傾向が認められる。これはA群の試験片採取部位が辺材部分に相当し、それ以外の群は心材部分に相当する結果と考えることができる。

こけら板の生産・施工現場では、「赤みがかったピンク色の材色」が良品として好まれる傾向が強い [5]。本実験におけるB群の測色値は、他のどの群よりもa*、b*が高く、かつL*が全群中最も低い。a*が高くb*が低い一般的なピンク色の概念とは一部に差異があるものの、曲げ強度に注目すると、C・D群のほうがB群よりも上回っている。これらの結果、L*、a*、b*各次元単位の単変量解析では、相関の程度が限定的であることが示唆され、職人が経験的に除去してきた辺材 (A群) の曲げ強度は他群に比して明らかに劣ることが、本実験によって示された。このことから、こけら板にふさわしい強度を備えた良品を選定する上で、職人が培ってきた「辺材除去」という経験則は物理的にも妥当であることが確認できた。

しかしながら、既報 [5] でも報告したように、職人は色彩や年輪を総合的に評価してこけら板を選定しており、詳細な色彩情報や他の影響要因を職人の経験値などを交え考察を深める必要がある。よって、次節では職人が評価基準としてきた色彩や年輪を独立変数とする多変量解析 (重回帰分析) を行い、力学特性の予測を試みる。

表5 二次元色彩輝度計に基づく予測式偏回帰係数

偏回帰係数	値
λ	-0.318
α	-0.152
β	-0.706
γ	49.36

表6 簡易測色器に基づく予測式偏回帰係数

偏回帰係数	値
λ	-0.292
α	0.403
β	-0.807
γ	41.633

3.2 重回帰分析

次に、二次元色彩輝度計による測色値および試験片の年輪数から最大曲げ応力を予測するために、測色値 (L^* , a^* , b^*) および試験片の年輪数を独立変数に、最大曲げ応力を従属変数として重回帰分析 (ステップワイズ法) を行った。その結果、導かれた予測式を式 (1) に、偏回帰係数を表5に、それぞれ示す。

$$\sigma = \lambda \times L^* + \alpha \times a^* + \beta \times b^* + \gamma \quad (1)$$

予測式 (1) および表5に示すように、 L^* , a^* , b^* が係数として採用され、既報 [5] において寄与が大きかった年輪は除外されて横方向の曲げ強度への寄与が小さい結果であった。また、採用されたすべての係数が $p < .05$ で有意であった。

同様に、簡易測色器での測色値を用いての推定の可能性を探るため、最大曲げ応力を従属変数とし、簡易測色器による測色値 (L^* , a^* , b^*) および試験片の年輪数を独立変数として、重回帰分析 (ステップワイズ法) を行った。その結果、前述と同じ予測式 (1) が導かれた。偏回帰係数を表6に示す。

予測式 (1) および表6によって示すように、二次元色彩輝度計を用いた場合と同様、 L^* , a^* , b^* が係数として採用され、年輪は除外された。また、採用されたすべての係数が $p < .05$ で有意であった。

図11に最大曲げ応力実測値と予測値との相関を試験片ごとに示す。二次元色彩輝度計を用いた実測値と予測値の間には $R^2 = 0.98$ (自由度調整済み $R^2 = 0.98$) と非常に高い相関が得られた。また、簡易測色器を用いた場合においても $R^2 = 0.94$ (自由度調整済み $R^2 = 0.92$) と非常に高い相関が得られた。これらの結果によって、測色値を用いて試験片の横方向の曲げ強度を予測できることが示された。

4. 結 言

本研究は、こけら板を非破壊的手法で定量的に選定することを目的に、測色値から機械強度を判別できる式の定式法を検討した。「縦方向の曲げ試験」では曲げ強度の寄与は少な

(a) 二次元色彩輝度計

(b) 簡易測色器

図11 最大曲げ応力実測値と予測値との相関

かったが、晩材が強度を担う形となり、その影響が反映したためと考えられる。この課題を克服するため、本報では新たに、低強度の早材の効果が支配的となり易い「横方向の曲げ試験」を行ったところ、年輪要件を考慮することなく、色彩によって曲げ強度が予測できる可能性を確認できた。特に、 L^* , a^* , b^* 単独よりも、これらを複合的に用いる重回帰式により、試験片の最大曲げ応力を予測できることを確認した。加えて、相関性の高さは形式の異なる測色機器であっても、同様に認められた。

しかしながら、上記の結果を職人の経験則と照らし合わせると課題も残る。一例を挙げれば、既報と本報における年輪数のばらつきの差に留意する必要がある。木材に内在する種々の影響因子を排除するため、1個体の試料から全試験片を切り出したので、年輪数の標準偏差が小さくなり、重回帰分析の変数として採用されなかった可能性が考えられる。

したがって、木材の個体差や品種差などの要件が変わった場合、既に報告した職人によるこけら板選定における印象評価結果とも合わせ、総合的に分析する研究を今後の課題としたい。

謝 辞

本研究は谷上社寺工業株式会社 (和歌山県橋本市) の川田徳宏社長のご指導・ご協力により行われました。また、試料は株式会社岡仁 (奈良県吉野郡川上村) の岡本健一社長より提供していただきました。ともに感謝し、ここに厚く御礼申し上げます。

測色値を用いたスギこけら板の曲げ強度予測法

注

[注1] こけら板同士が重なり合わないようずらした部分.

参 考 文 献

- [1] 石田潤一郎：物語ものの建築史「屋根のはなし」，鹿島出版会，pp.101-106，1990.
- [2] 原田多加司：もの与人間の文化史112 屋根 檜皮葺と柿葺，法政大学出版局，p.174，2003.
- [3] 国土交通省近畿地方整備局京都営繕事務所：伝統的建築物の保存修理工事について，https://www.kkr.mlit.go.jp/kyoei/works/skill/skill_index.html (2020.05.04閲覧).
- [4] 谷上伊三郎：柿葺の技法 選定保存技術の記録，私家版，pp.5-25，1982.
- [5] 風呂井玲子，北口紗織，佐久間淳：物理学的特性を用いたスギこけら板選定基準の評価，日本感性工学会論文誌，18(5)，pp.389-395，2019.
- [6] 井上正明，小林利宣：日本におけるSD法による研究分野とその形容詞対尺度構成の概観，教育心理学研究，33(3)，pp.253-260，1985.
- [7] 大山正，瀧本誓，岩澤秀紀：セマンティック・ディファレンシャル法を用いた共感性の研究，行動計量学，20(2)，pp.55-64，1993.
- [8] 藤澤義武：林木育種の現場のABC (14) 材質調査 (立木状態での測定)，森林遺伝育種，5(3)，pp.143-149，2016.
- [9] 石堂恵，石栗太，飯塚和也，横田信三，大野英克，吉澤伸夫：晩材仮道管 S_2 層マイクロフィブリル傾角を材質指標としたスギ材におけるヤング率の早期評価，木材学会誌，55(1)，pp.10-17，2009.
- [10] 小泉章夫：針葉樹造林木のヤング率の変異，木材工業，53(5)，pp.206-211，1998.
- [11] Yamamoto, H., and Kojima, Y.: Properties of cell wall constituents in relation to longitudinal elasticity of wood (Part 1), Formulation of the longitudinal elasticity of an isolated wood fiber, Wood Science and Technology, 36(1), pp.55-74, 2002.
- [12] 飯田生穂，則元京，今村祐嗣：マイクロ波加熱による木材の曲げ加工：横方向曲げ処理材の水分・熱回復，木材研究・資料，17，pp.99-111，1983.
- [13] 雉子谷佳男，北原龍士：スギ実大材曲げ性能への木材材質指標の影響，材料，54(4)，pp.377-380，2005.
- [14] 山下香葉，平川泰彦，中谷浩，池田元吉：品種や樹幹内部によって異なるスギの収縮特性，森林総合研究所平成22年版研究成果集，pp.54-55，2010.
- [15] 小田一幸，久田義則，堤壽一：同一林分で生育したスギ品種内の木材性質のバラッキ，九州大学農学部演習林報告，60，pp.69-81，1989.
- [16] 石丸優，古田裕三，杉山真樹編：木材科学講座3「木材の物理」，海青社，pp.130-166，2017.
- [17] KONICA MINOLTA HP：生産終了製品，https://www.konicaminolta.jp/instruments/support/discontinued_products/ca2000/feature.html (2020/07/15閲覧).
- [18] 中塚毅：色彩計測の技術動向，DIC Technical Review，5，pp.9-16，1999.
- [19] 上田茉由，仲村匡司，北守顕久，小松幸平：乾燥条件の異なるスギ正角材表面の精密測色 (第1報) - 辺心材ならびに早晚材を区別した精密測色，木材学会誌，59(6)，pp.339-345，2013.
- [20] 仲村匡司，上田茉由：乾燥条件の異なるスギ正角材表面の精密測色 (第2報) - 色の三属性に基づいた材色変化の比較，木材学会誌，59(6)，pp.346-352，2013.
- [21] 田代智子，仲村匡司：イメージング分光法による材色分布の特徴抽出，材料，62(4)，pp.248-253，2013.
- [22] SOFTWARE TOO HP：色のキャプチャ：スキャンした色情報の値が想定と異なる理由，<https://www.swtoo.com/support/cube/tech-cube/5-5/> (2020/07/15閲覧).
- [23] Graeme, G.: Palette/swatchmate cube, Part 2 - Can it be improved?, <https://www.argyllcms.com/doc2/smcube/smcube2.html> (2020/07/15閲覧).
- [24] Furoi, R., Kitaguchi, S., and Sakuma, A.: Application of consumer-grade colorimeters to non-destructive bending-strength evaluation of cedar wooden-shingle boards, Proceedings of 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics, 2020, in Print.

風呂井 玲子 (学生会員)

1988年 関西大学社会学部社会学科卒業. 2015年より帝塚山大学文学部非常勤講師, 2017年 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科先端ファイブ科学専攻博士後期課程入学, 現在に至る. 日本感性工学会会員.

北口 紗織 (非会員)

2008年にDepartment of Colour Science, University of Leeds, UKにてPhDを取得. 京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系において2014年より講師, 2019年より准教授, 現在に至る. 日本色彩学会, 日本繊維製品消費科学会, 日本繊維機械学会の会員.

佐久間 淳 (非会員)

1992年 北海道大学工学部卒業, 1994年 同大学大学院修士課程修了. 1996年 京都大学大学院博士課程修了, 博士(工学). 1995年 山口大学助手, 講師. 2002年 東京農工大学助教授, 准教授. 2015年 京都工芸繊維大学繊維学系教授, 現在に至る. 日本機械学会, 日本材料学会, 日本繊維機械学会などの各会員.