

画像解析による木質床材の外観評価法

Quantitative Evaluation of Appearance of Wood Flooring by Image Analysis

齋藤あかね
Akane Saito

岡田直樹
Naoki Okada

仲村匡司
Masashi Nakamura

要 旨

木材の外観の特徴として、表面に当たる光の量や角度、観察者との位置関係などによって、見え方が変化することが知られており、木質床材の外観向上を図るために、この特徴を画像解析により定量化する手法を開発した。木質床材とカメラを固定し、照明の方位角のみ変える撮影装置を用いて、木質床材の表面を撮影し、約200 mm×160 mmの範囲から、印象評価にも対応しうる定量値として、(1) 木目模様起因するコントラスト、(2) 道管など組織構造起因するコントラスト、(3) 見えの異方性、(4) 照りの移動、を抽出することで、木質床材の着色方法や表面仕上げなどの違いによる外観の差異が定量的に評価できるようになった。

Abstract

The appearance of timber changes depending on the amount and angle of light reflected on its surface, and also varies depending on the positions between the timber and the observer. This study aims to improve the appearance of wood flooring. We have developed a method of quantifying such appearance using image analysis. Images of the surface of wood flooring are taken by photographic apparatus which the lighting can be changed in different azimuth angle. By applying two different image analysis methods and relating the sensory data of observer's visual impression, we have extracted important image characteristics of the appearance of wood flooring. The following points were important characteristic features: (1) contrast due to the grain pattern, (2) contrast due to fine structures of wood such as vessel, ray parenchyma, etc., (3) anisotropic appearance, (4) shift of mellow gloss. With the knowledge of our study, the difference of the surface toning finishes can now be quantitatively evaluated.

1. はじめに

天然木らしい自然な外観を有する木質床材を開発するためには、「自然さ」、「好ましき」など、人が木質床材を見てどのように感じるか評価をすることが重要である。このとき、色や木目など、木質床材のどのような特徴が印象に影響するのか、さらにその特徴が定量値としてどの程度かを示すことができれば、商品開発において客観的な評価ができるようになる。

木質床材の外観を定量化する手法としては、日本工業標準調査会 (Japanese Industrial Standards Committee; JISC) が定める測色や鏡面光沢度の測定が一般的である。しかし、これらの測定法は測定領域が直径8 mm程度であるため、木目など多様な色柄を含む木質床材においてはその特徴を捉えきれない問題がある。

一方、製造分野においては、スリットレーザ光などを光源とし、ラインカメラで木質床材の表面を撮影して画像解析により外観不良の抽出が行われている[1]。しかし、目的が木質床材製造時の欠点検出であるため、ここで使用されている手法をそのまま適用することはできない。

また、木材は多孔質な材料で表面に微細な凹凸を有しているため、表面に光が当たるとさまざまな方向に光が反射し、見る角度によって木目の見え方や光沢の位置が変わる特性がある。この木材特有の光沢は照り(てり)と呼ばれ、木質床材の外観に影響する要因の一つである。

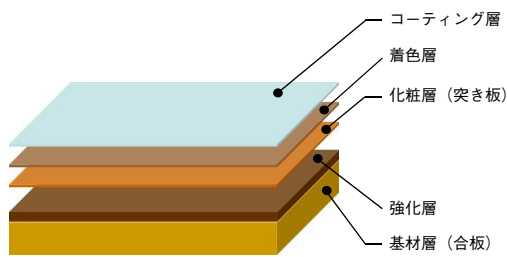
Marshnerらはこの木材特有の反射特性を捉え、コンピュータ・グラフィックスで再現するため、木材表面、カメラ、光源がそれぞれ自由度を有する装置で木材表面を撮影し、双方向反射率分布関数によるシミュレーションに必要な数値の特定を試みている[2]。一方、仲村らは、Marshnerらよりも簡便な方法でこの反射特性を捉えるべく、木材表面とカメラを固定し、照明の方位角のみ変える撮影法を用いて、塗装による外観の相違などを定量的に比較している[3]。

筆者らはこれまで、木目や照りの数値を効率よく取得し、印象評価にも対応する評価方法の確立を目指し、仲村らの撮影法を適用して木質床材外観の定量評価に取り組んできた[4][5]。本稿では、着色方法の異なる木質床材を例にとり、開発した定量評価法および印象評価との関係性について述べる。

2. 木質床材への着色方法

第1図に本稿で取り上げる木質床材の構成を示す。木質床材の外観は化粧層、着色層、コーティング層によりコントロールされる。本稿では、化粧層は突き板(木材を約0.2 mmに薄くスライスしたもの)とする。

これまで、突き板への着色は顔料着色を基本としていたが、この着色方法では突き板表面の微細な凹凸が塞がれ、木目や照りの少ない「のっぺり」とした外観になる



第1図 木質床材の構成
Fig. 1 Constitution of wood flooring

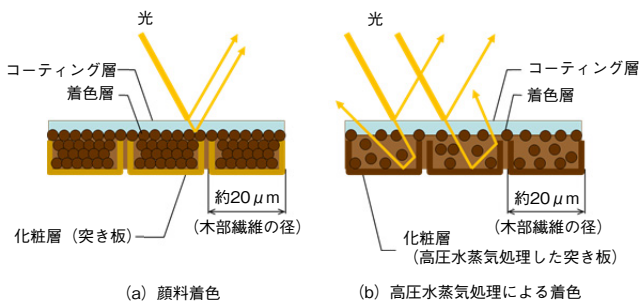
問題があった。

そこで、高圧水蒸気処理により木材そのものの色を変化させる技術が開発された[6]。第2図に高圧水蒸気処理の条件によって木材の色が変化する様子を示す。高圧水蒸気処理の条件により、木材を任意の色にコントロールすることで、突き板への顔料着色を最小限に抑えることができる。



第2図 高圧水蒸気処理による着色
Fig. 2 Toning by high-pressure steam treatment

第3図に、従来の顔料着色、および開発した高圧水蒸気処理による着色、それぞれの反射の違いを模式図で示す。従来の顔料着色は、コーティング層や着色層において多くの光が正反射する一方、高圧水蒸気処理による着色は、突き板表面の微細な凹凸まで光が届き、そこからさまざまな方向に反射すると考えられ、同じ色でも、木材本来の特徴を損なわず、自然な外観になることが期待



第3図 反射特性の模式図
Fig. 3 Schematic diagram of reflection

できる。

3. 木質床材の外観特性値の取得

3.1 概要

木質床材の外観特性に寄与する要素として、(1)木目模様起因するコントラスト、(2)道管など組織構造起因するコントラスト、(3)見えの異方性、(4)照りの移動、(5)鏡面光沢度を考え、(1)~(4)について、一定面積における特性値として取得する方法を開発した[4][5][7]。

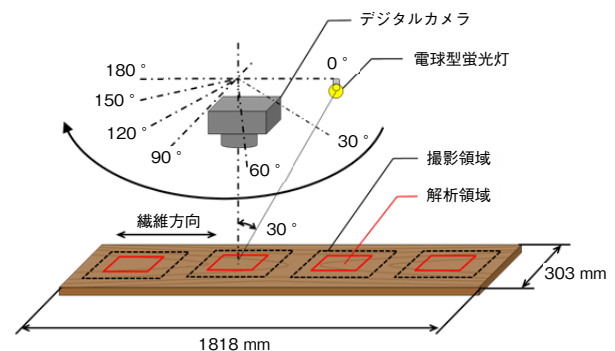
本稿において解析対象とするのは、高圧水蒸気処理により着色した木質床材や、突き板に顔料着色した木質床材を含む市販の木質床材24種類とする。

また、サンプルの大きさは木質床材の一般的な大きさ 303 mm × 1808 mm (1尺 × 6尺) とする。

3.2 画像撮影

暗室に木質床材の撮影装置を設置し、サンプルの撮影を行う。撮影装置は、水平に設置されたサンプル台、上部に水平に固定されたデジタルカメラ（本体：CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサ、有効画素数1620万画素、レンズ：DXフォーマット、焦点距離18 mm -105 mm, f 3.5-5.6)、および電球型蛍光灯（色温度6700 K）からなる。電球型蛍光灯はデジタルカメラのレンズ光軸を中心に回転するアームに取り付けられており、入射角は正反射の軽減を考慮し、30°に設定する。

第4図に撮影方法の概要を示す。サンプルの撮影は、電球型蛍光灯の方位角（以降、照明方位角と記す）を木材の繊維平行方向からの入射を0°として、0°~180°まで30°間隔で変えながら行う。取得する画像の枚数は、サンプル1枚につき7照明方位角、撮影箇所4箇所の合計28枚である。露出およびピントはマニュアルモードで設定し、全てのサンプルを同一条件で撮影する。

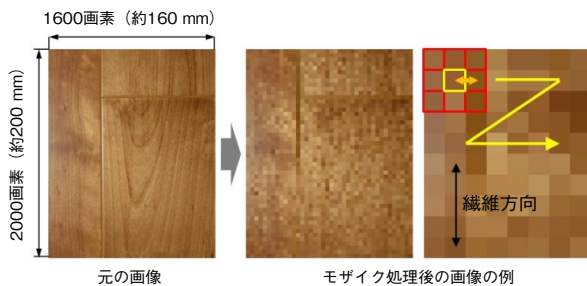


第4図 木質床材の撮影方法
Fig. 4 Method of image acquisition for wood flooring

3.3 多重解像度コントラスト解析

撮影した画像から照明の映り込みを除いた領域に多重解像度コントラスト解析 (Multi-Resolution Contrast Analysis: MRCA) を適用する。MRCAの概略を以下に記す (第5図参照)。

- (1) 画像をさまざまな大きさのモザイクに処理する。
- (2) 作成したモザイク画像に3×3の局所領域を設定する。局所領域は中央の標的セルと、これを囲む8つのセルからなる。
- (3) 標的セルと隣接するセルの輝度差 (コントラスト値 C) を求める。
- (4) 画像全体にわたって局所領域を設定しながら、フィルタサイズ k (モザイクの大きさ) におけるコントラスト値 C_k を求める。



第5図 多重解像度コントラスト解析
Fig. 5 Multi-resolution contrast analysis

本研究では、第6図に示す木材の縦断面に現れる木目の鮮明さを抽出するため、木材の繊維と直交方向のコントラストに着目し、標的セルの右隣のセルとのコントラスト値を抽出する。なお、本研究で使用する木質床材の繊維方向は全て統一されているため、同一画像内で繊維方向が不揃 (ふぞろ) いになることはない。また、繊維方向は目視で容易に識別できる。



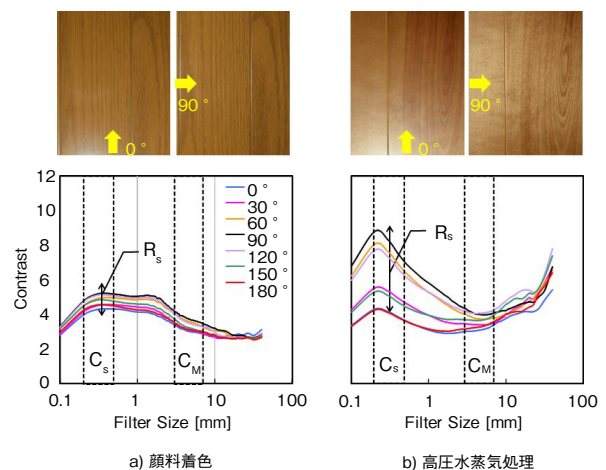
第6図 木材の繊維方向
Fig. 6 Fiber orientation of wood

3.4 多重解像度コントラスト解析の結果

第7図にMRCAを適用して得られる結果を示す。本図は、横軸にフィルタサイズ、縦軸にフィルタサイズ k に対する

繊維直交方向のコントラスト値 C_k をプロットした点を結んだグラフで、照明方位角別に示してある (以降、コントラストスペクトルと記す)。このコントラストスペクトルから、木質床材の外観特性として重要と考える要素のうち、マクロな鮮明度 (C_M)、ミクロな鮮明度 (C_S)、見えの異方性 (R_S) を抽出する。

- マクロな鮮明度 (C_M)
フィルタサイズ3 mm~7 mmのコントラスト。木目模様起因する特徴を表す。
- ミクロな鮮明度 (C_S)
フィルタサイズ0.2 mm~0.5 mmのコントラスト。道管などの組織構造に起因する特徴を表す。コントラストスペクトルのピークが現れるのが特徴である。
- 見えの異方性 (R_S)
フィルタサイズ0.2 mm~0.5 mmにおける照明方位角によるコントラストの変化幅。見る角度によって木材の組織構造に起因する特徴がはっきり見えたり、ぼやけて見えたりすることを示す。



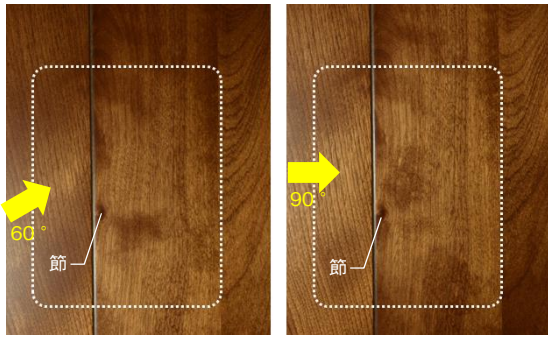
第7図 多重解像度コントラスト解析の結果
Fig. 7 Results of multi-resolution contrast analysis

3.5 画像間の相関係数

第8図に1章で述べた木材の照りについて示す。左側の画像は照明方位角60°、右側は照明方位角90°である。この2枚の画像を見ると、節周辺の明るく見える部分、すなわち照りが照明方位角によってその位置を変えていることが分かる (以降、照りの移動と記す)。

この照りの移動を表すために、画像相関法を用いて照明方位角の異なる2画像間の相関係数を求める。2画像間の相関係数が0に近い、あるいは負の相関が強いと2画像間に類似性がない、つまり照りの移動があると判断する。

画像相関法を適用する画像の組み合わせは、繊維平行



第8図 照りの移動
Fig. 8 Shift of mellow gloss

方向および直交方向（照明方位角 0° と 90° 、 90° と 180° ）から照明を入射した画像とする。その理由は、照りの移動が最も大きい画像の組み合わせであるためである。なお、前述のとおり相関係数が0に近いほど照りの移動は大きくなるが、本稿では値の大小と照りの移動の大小の関係を分かりやすくするため、相関係数の絶対値を1から減じ、照りの移動（ r ）が大きいほど相関係数が大きくなるよう表示する。

3.6 鏡面光沢度の測定

木質床材の正反射を捉えるため、鏡面光沢度（ G ）を測定する。木質床材の鏡面光沢度（ G ）は、測定箇所によるばらつきが小さいため、効率よく測定することを優先し、光沢計（入射角 60° 、受光角 60° 、測定面積 $12\text{mm} \times 6\text{mm}$ の楕円（だえん））で測定する。測定方向は3.3節に述べたMRCAと同様に、繊維直交方向とする。

以上の方法により、木質床材の外観に現れる特性を抽出した。次章では、得られた5つの外観特性値と印象評価との対応を検討する。

- マクロな鮮明度（ C_M ）
- ミクロな鮮明度（ C_S ）
- 見えの異方性（ R_S ）
- 照りの移動（ r ）
- 鏡面光沢度（ G ）

4. 外観特性値と印象評価との対応検討

4.1 印象評価方法[7]

3章で求めた外観特性値と印象評価との対応を検討するため、木材の知識がない20歳代～40歳代男女23名（男性12名、女性11名）に、木材特有の照りとその確認の仕方について教示した後に印象評価を行う。被験者に照りの教示を行うのは、照りを知るか否かで評価が変わるためである[8]。

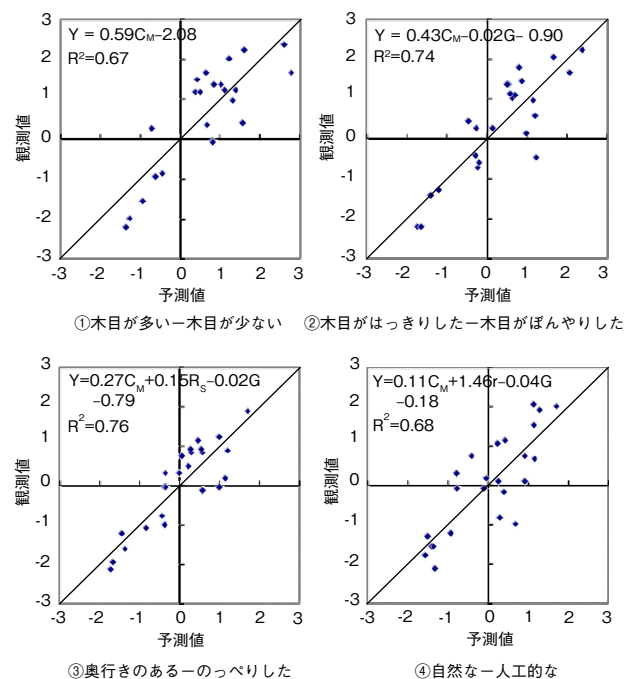
サンプルは3.1節で述べた24種類とし、背景色とのコントラストを考慮して、床に敷いたグレーの布の上に置き、順序効果を考慮してランダムに提示する。被験者は提示されるサンプルを立位で自由に観察し、質問紙を用いて「自然な—人工的な」などの形容詞対からなる項目を7段階で評価する。

4.2 外観特性値と印象評価の対応検討

印象評価に対し外観特性値がどのように影響しているか検討するため、印象評価値を目的変数、外観特性値を説明変数として重回帰分析を行う。なお、重回帰分析では、互いに相関の強い説明変数を用いることは望ましくない。そのため、事前の検討で互いに相関が強いと分かったマクロな鮮明度（ C_M ）およびミクロな鮮明度（ C_S ）については、マクロな鮮明度（ C_M ）を説明変数とする。

第9図に重回帰分析の結果を示す。横軸は重回帰式により求めた印象評価の予測値、縦軸は印象評価の実測値である。また、グラフ内に重回帰式、および決定係数 R^2 を示す。重回帰式より、マクロな鮮明度（ C_M ）がプラス方向に寄与しており、この数値が大きいと、「木目が多い」、「木目がはっきりした」、「奥行きのある」、「自然な」印象を与えることが分かる。

また、「奥行きのある」印象には見えの異方性（ R_S ）、「自然な」印象には照りの移動（ r ）も影響している。したがって、これらの数値が大きいと「奥行きのある」、



第9図 重回帰分析の結果

Fig. 9 Results of multiple regression analysis

「自然な」印象を与えやすいと考えられる。

一方、鏡面光沢度 (G) は「木目が多い」を除く全ての印象に対してマイナス方向に働いている。つまり、鏡面光沢度 (G) が大きくなるほど「木目がぼんやりした」、「のっぺりした」、「人工的な」印象を与えやすいことが分かる。

このように、木質床材の印象は複数の外観特性値で説明することができる。また、決定係数 R^2 が0.67以上（重相関係数0.83以上）と、相関性を示すことから、3章で求めた外観特性値は、木質床材の反射特性に関する外観印象を説明するのに十分であると考えられる。

5. 高圧水蒸気処理による着色効果[7]

第1表に、3章および4章で使用した24種類のサンプルのうち、顔料着色、および高圧水蒸気処理により着色した木質床材の外観特性値を示す。また、本表に示す高圧水蒸気処理①および②は、コーティング層により鏡面光沢度 (G) が異なる。本表からマクロな鮮明度 (C_M) は、顔料着色と高圧水蒸気処理①および②との差が小さいが、ミクロな鮮明度 (C_S)、見えの異方性 (R_S)、照りの移動 (r) は、高圧水蒸気処理①および②の方が大きいと確認できる。

第1表 木質床材の外観特性値

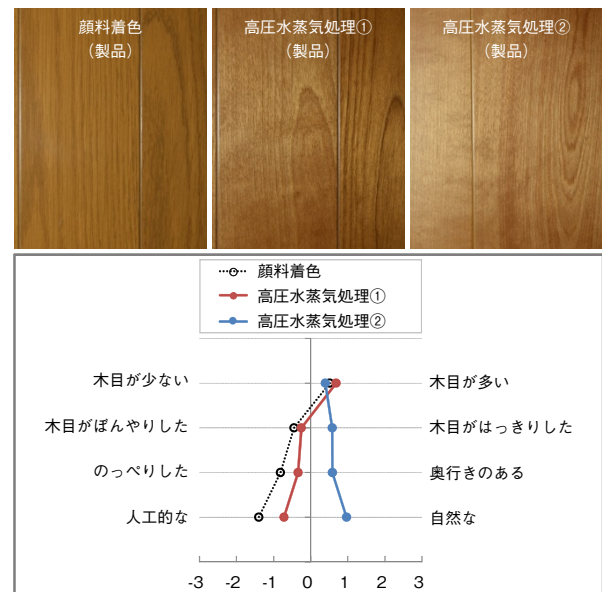
Table 1 Appearance of wood flooring

	顔料着色 (製品)	高圧水蒸気 処理① (製品)	高圧水蒸気 処理② (製品)
マクロな鮮明度 (C_M)	4.4	4.7	4.2
ミクロな鮮明度 (C_S)	5.3	7.7	7.0
見えの異方性 (R_S)	1.0	3.2	3.5
照りの移動 (r)	0.49	0.85	0.83
鏡面光沢度 (G)	60	57	13

※鏡面光沢度 (G) は、着色方法の相違による差ではなく、コーティング層の相違による差である。

第10図に印象評価の予測値を示す。この予測値は第1表に示した外観特性値を、第9図に示した重回帰式に代入して求めている。本図から「木目が多い」印象は、高圧水蒸気処理①および②、顔料着色とも同程度であるが、それ以外は高圧水蒸気処理①および②の方が「木目がはっきりした」、「奥行きがある」、「自然な」印象であることが分かる。また、高圧水蒸気処理①よりも鏡面光沢度 (G) の小さい高圧水蒸気処理②の方が、さらに「木目がはっきりした」、「奥行きがある」、「自然な」印象を与えやすい。

このように、本研究で開発した評価方法を用いること



第10図 印象評価の予測値

Fig. 10 Predicted values of subjective evaluation

で、高圧水蒸気処理による着色効果を定量的に比較・確認することができ、その値から人がどのように感じるかを評価することができる。また、本評価方法は木質床材への着色方法だけでなく、化粧層の素材や、コーティング層の仕様の違いによる外観の相違も評価することができる。さらに、内装ドアなどの建具にも適用できるため、その有用性は大きいと考える。

6. まとめ

木質床材の表面を、照明方位角を変えながら撮影し、画像解析を適用することで、印象評価と対応する外観特性値として、(1) 木目模様起因するコントラスト (マクロな鮮明度)、(2) 道管など組織構造起因するコントラスト (ミクロな鮮明度)、(3) 見えの異方性、(4) 照りの移動、を抽出し、マクロな鮮明度およびこれと相関のあるミクロな鮮明度は、「木目が多い」、「木目がはっきりした」、「奥行きのある」、「自然な」印象に、見えの異方性は「奥行きのある」印象に、照りの移動は「自然な」印象に影響することを明らかにして、木質床材の外観を定量的に評価する手法を開発した。

本評価手法は、内装ドアなどの建具にも適用できるため、今後、他の商材への適用も検討していく。

また、今回は木材の反射特性に着目し、一定面積の木目の鮮明さや照りを評価したが、木質床材の外観には色も影響するため、今後、今回と同様に一定面積で測定し、印象評価との対応を検討する必要があると考える。

参考文献

- [1] 本田達也 他, “化粧木質床材の自動外観検査法,” パナソニック電気技報, vol. 57, no. 1, pp. 51-56, 2009.
- [2] Stephen R. Marschner et al., “Measuring and modeling the appearance of finished wood,” ACM SIGGRAPH, pp. 727-734, 2005.
- [3] M. Nakamura et al., “Determination of the change in appearance of lumber surfaces illuminated from various directions,” Holzforschung, vol. 64 (2), pp.251-257, Feb. 2010.
- [4] 仲村匡司 他, “木質建材の外観特性を記述する画像特徴量およびその印象評価との対応性,” 第65回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM) , G18-06-1600, 2015.
- [5] 仲村匡司 他, “木質建材の外観特性を記述する画像特徴量および印象評価との対応,” 木材学会誌 (投稿中)
- [6] 森健次, “木質感を追及した高意匠床材「ジョイハードフロアーAリアロ」,” パナソニック電気技報, vol.59, no. 2, p. 59, 2011.
- [7] 齋藤あかね 他, “突き板への着色方法が床材表面の外観特性に及ぼす影響,” 第65回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM) , G17-P-S08, 2015.
- [8] 齋藤あかね, “天然木の「照り」特性が外観印象に与える影響,” 日本木材加工技術協会関西支部 第17回企業若手技術者発表大会要旨集, p.1, 2014.

執筆者紹介



齋藤 あかね Akane Saito
エコソリューションズ社
ハウジングシステム事業部
Housing Systems Business Div.,
Eco Solutions Company



岡田 直樹 Naoki Okada
エコソリューションズ社
ハウジングシステム事業部
Housing Systems Business Div.,
Eco Solutions Company



仲村 匡司 Masashi Nakamura
京都大学大学院 農学研究科
Graduate School of Agriculture, Kyoto University
農学博士