

化粧木質床材の自動外観検査法

Automatic Visual Inspection of Flooring Material

本田 達也* · 三高 良介**
Tatsuya Honda Ryosuke Mitaka

木質床材製造工程の外観検査において、その欠陥を木目欠陥、単板破損欠陥（表面つや異常）、表面の凹凸欠陥の三つに大別し、次の自動検査方法を開発した。まず木目欠陥については、目視による欠陥レベルと検査画像における欠陥輝度の関係を明らかにし、これらの関係を用いて欠陥を画像処理パラメータとして定量化することによって、また単板破損欠陥と凹凸欠陥については、これらの物理的特徴を強調して撮像する光学系と欠陥検出アルゴリズムを開発することによって、自動検査を実現した。

これらの開発技術を用いてスライス工程とプレス工程における自動検査機を開発し、これまでの課題であった品質の安定化と生産性の向上を実現した。

In the visual inspection of the wood-based flooring material manufacturing process, an automatic inspection method has been developed by grouping the defects into grain defects, veneer damage defects (surface gloss defects) and surface irregularity defects. The grain defect inspection has been automated by clarifying the relationship between the defect level by a human inspector and brightness change in the machine-captured image, and quantifying each defect based on the image processing parameters obtained from the relationship. The inspection of veneer defects and surface irregularity defects has been automated by developing an optical system for capturing the emphasized physical properties of defects along with a defect detection algorithm.

The automatic inspection system by using the developed technology and applied to the slicing process and pressing process has stabilized the product quality and improved productivity.

1. ま え が き

当社の木質床材は天然木の単板を化粧板として使用しているため、プリント化粧板のような人工物では発生しない節や木皮の混入など、さまざまな外観上の木目欠陥が発生する。これら木目欠陥の判定は人間の感覚上不自然に感じられるものという感覚を検査基準とするものであるため、化粧単板の製造工程においては目視による官能検査が行われていた。また、化粧単板を基材に貼り合わせて塗装前のプレス生地を製造する工程においては、これらの欠陥にくわえて単板の破損や貼合位置のずれ、ごみや木屑のかみ込み、材料の汚れなど多様な欠陥が発生するため、目視検査が一般的に行われていた。しかし、人間による目視検査では品質の安定化や生産性の向上の点で限界があり、検査工程の自動化が重要な課題となっていた。

本稿では、天然木の木目において人間が感じる不自然さ

の定量化による木目欠陥検査の自動化方法、および単板の破損や表面の凹凸を強調して撮像する光学系を用いた自動検査方法について報告する。

2. 木質床材の製造工程

図1に木質床材の製造工程を示す。集成工程では、原木を所定サイズに切断したピースを組み合わせ、1840×330×330 mmサイズのフリッチと呼ばれる集成材を製造する。次のスライス工程では、このフリッチを厚み0.25 mm程度にスライスしてシート状のスライス単板を製造する。そしてプレス工程では、スライス単板と基材の合板とを接着剤で貼り合わせてプレス生地を製造する。最後の塗装・加工工程では、プレス生地にさね（施工用の嵌合溝）やVバット（化粧溝）を加工し、着色・塗装して完成品に仕上げる。これらの工程のすべてにおいて目視検査を実施しており、このうち自動化の効果が大きいスライス工程の

* ものづくり総合部 Production Engineering Division

** 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

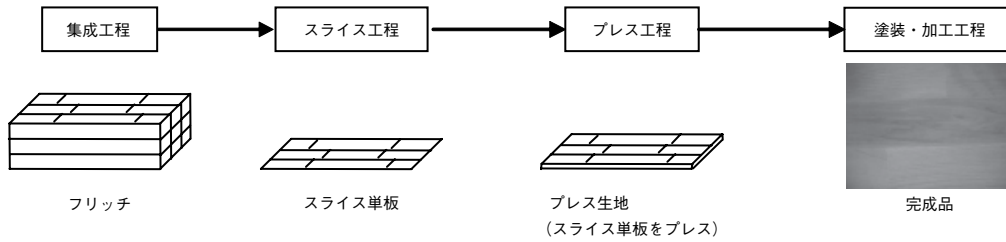


図1 製造工程

木目不良検査とプレス工程のプレス生地検査を自動化する方法を開発した。

3. 外観検査項目

スライス工程、プレス工程において検査対象となる欠陥について説明する。まずスライス工程では、表面が破れた状態となる穴欠陥にくわえ、材欠点と呼ばれる木目不良が発生する。材欠点としては、枯死した枝の基部が表面に出る節欠陥と木材内部に入り込んだ木の皮や若木のときの傷跡が表面に現れる筋状欠陥がある。これらの欠陥画像例を図2に示す。目視検査では、穴欠陥は直径2 mm以上のもの、材欠点については外観上不自然に見えるものを作業者の感覚で判断して欠陥としている。

またプレス工程においては、木目不良にくわえ、図3に示すような外観では定量的に欠陥程度を把握しにくい多種多様な欠陥が発生する。従来の目視検査では、触感なども併用して最終製品への影響を欠陥種別ごとに経験的に判断して欠陥を検出している。

両工程での欠陥は、管理項目上の欠陥種別としては20種類以上のパターンがあるが、欠陥現象に着目すると次の3種類に大別できる。

- (1) 材欠点、汚染などの木目欠陥
- (2) 割れ、欠けなどの単板破損欠陥
- (3) 木屑のかみ込み、凹みなどの凹凸欠陥

そこで、スライス工程とプレス工程に共通する(1)の木目欠陥検査の自動化のため、人間の感覚を画像処理におけるパラメータに置き換えて数値化することで、官能検査と同等の欠陥判定を可能としている。また、(2)の単板破損欠陥に対しては、下地の接着剤が露出して欠陥部につやが生じることを利用している。さらに、(3)の凹凸欠陥に対しては、凹凸に伴う検査面の傾きを利用している。次章でそれぞれの欠陥検査方法について詳細に述べる。



図2 スライス工程の欠陥例

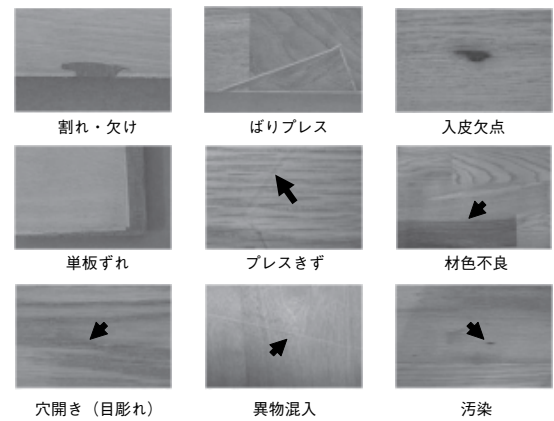


図3 プレス工程の欠陥例

4. 外観検査の自動化技術

4.1 木目欠陥の検査方法

図4に、木目欠陥の材欠点部(欠陥部)と正常な木目部分(良品部)の分光反射率、および式(1)から求めたこれらの反射率比を示す。

$$\text{反射率比} = \text{欠陥部反射率} / \text{良品部反射率} \quad (1)$$

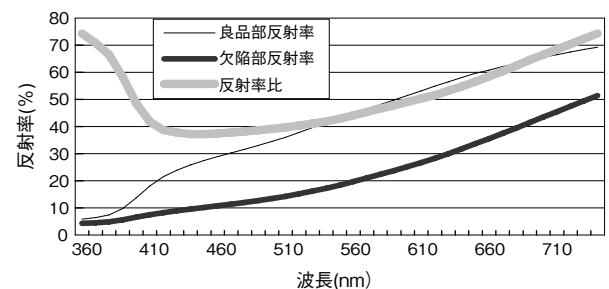


図4 欠陥部・良品部の分光反射率と反射率比

図4から、420～550 nmの波長域において反射率比が小さくなっていることがわかり、この波長域にあたる青色の照明を用いることにより欠陥を高いコントラストで撮像できる。そこで、図5に示すように青色LEDを用いたバー照明で斜めからスライス単板を照射し、ラインカメラで真上から撮像する構成を採用する。

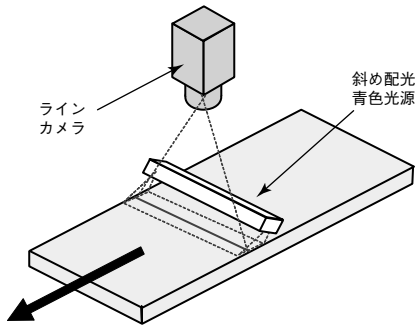


図5 木目欠陥検査装置の構成

穴欠陥部では背景色が見えるため、これを検出することで容易に欠陥を判別できる。しかし、材欠点については、人間が不自然に感じる箇所を不良として検出する必要がある。人間が不自然に感じる要因としては、欠陥とその周辺との輝度差が大きく影響している^{1), 2)}と考え、まずこの特徴と人間の判定にどのような相関があるか分析する。

図6に欠陥および欠陥と紛らわしい木目を有するピース(集成材を構成するブロック)ごとの平均輝度、すなわちピース表面の色合と、そのピースにおいて真欠陥または偽欠陥が欠陥候補として検出される閾値の関係を示す。真欠陥と偽欠陥は図中の分離直線によりほぼ分離できることがわかる。この分離直線は式(2)で表され、 a_1 、 β_1 は分離直線を示す適切な定数である。

$$\text{浮動閾値 } Th_1 = a_1 \times \text{ピース平均輝度} + \beta_1 \quad (2)$$

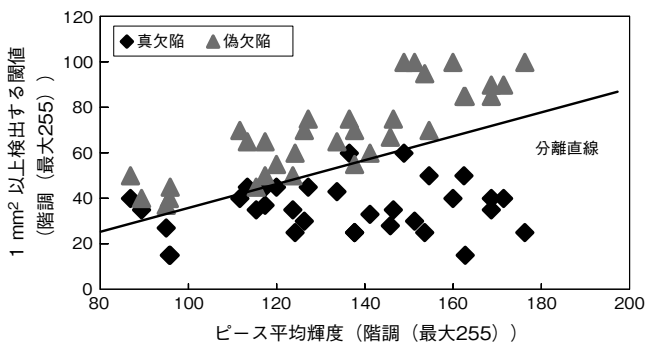


図6 ピース平均輝度と欠陥候補検出閾値の関係

したがって、欠陥の1次候補の抽出において、欠陥の存在するピースの平均輝度に応じて式(2)から欠陥抽出の

ための閾値 Th_1 を変動させる浮動閾値法を用いることによって、単一閾値による抽出に比べて欠陥候補数を大幅に絞り込んだ効率的な抽出が可能となる。

次に、真欠陥および偽欠陥について、それらとその周辺との局所的な輝度差の関係を分析した結果を図7に示す。図中の分離直線により、真欠陥と偽欠陥は完全に分離できる。したがって、この分離直線を式(3)で表し、欠陥候補部周辺の輝度から閾値 Th_2 を求め、欠陥候補とその周辺の輝度差が Th_2 を超えれば真欠陥と判断することで真欠陥と偽欠陥を正しく識別できる。

$$\begin{aligned} \text{欠陥と判定する閾値 } Th_2 \\ = a_2 \times \text{周辺輝度} + \beta_2 \end{aligned} \quad (3)$$

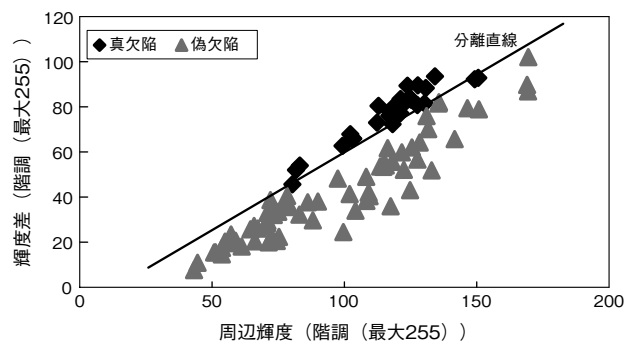


図7 周辺輝度と輝度差の関係

4.2 単板破損欠陥の検査方法

図8に単板破損欠陥の一例を示す。木質部は粗面であるのに対し、単板が破損した部分では接着剤が露出して滑らかな面となる特徴がみられる。

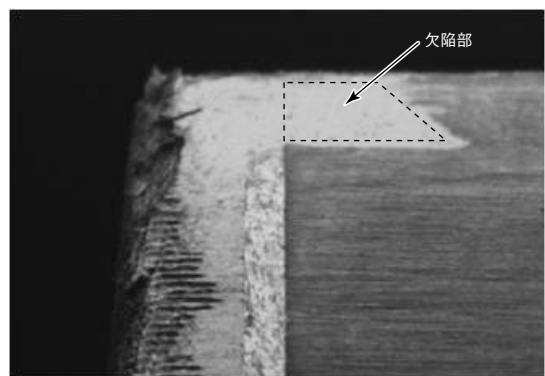


図8 単板破損欠陥例

この特徴を利用し、表面のつやの差を画像として撮像するため、図9に示すようにバー照明の正反射光をラインカメラで撮像する構成としている。ただし木材表面は、木の繊維方向に沿った方向については滑らかな面に近く、繊維方向と直交する方向については粗面に近い性状となる特徴があることから、滑らかな面となった欠陥部を高いコント

ラストで捉えるためには投受光軸は木材の繊維方向と直交することが望ましい。プレス工程ではワークが木目方向に搬送されるため、図9に示すように投受光軸を搬送方向に対して大きく傾けた構成としている。

単板破損欠陥を目視検査と同じ環境で撮像した画像と、図9に示す光学系環境下で撮像した画像とを比較したものを図10に示す。木目の明暗変化レベルに比べて大幅に高いコントラストで滑らかな面となっている部分を強調撮像できるため、破損欠陥部だけを検出することが可能となる。

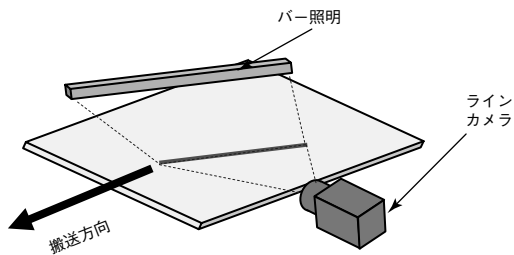
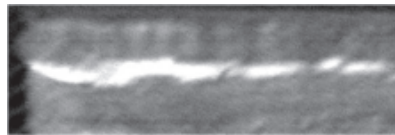


図9 単板破損検査装置の構成



(a) 目視検査環境下



(b) 検査装置環境下

図10 単板破損欠陥の検査画像例

4.3 凹凸欠陥の検査方法

凹凸欠陥部では、ワーク表面の傾きが変化するので、これを高いコントラストで画像化する必要がある。そこで、図11に示すように、ワーク面と投光光軸の成す角が欠陥部の斜度以下となるごく浅い角度でスリット光レーザを照射する構成を用いている。

凹凸欠陥の一つである凹状欠陥を目視検査と同じ環境で撮像した画像と、図11に示す光学系環境下で撮像した画像とを比較したものを図12に示す。表面が投光装置側と反対側に傾いた部分（欠陥部右側）は影（暗欠陥）となり、表面が投光装置側に傾いた部分（欠陥部左側）は強く光る特徴（明欠陥）が出て、凹凸が強調されることがわかる。また図13に示すように、凸状欠陥であれば前述の暗欠陥部は投光装置と逆側に生じ、凹状欠陥であれば暗欠陥部は投光装置側に生じる特徴があるので、凸状欠陥と凹状欠陥を区別することが可能である。

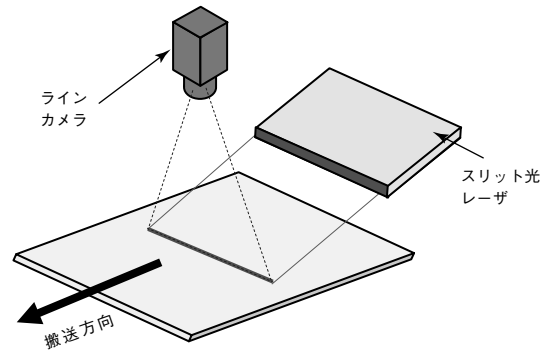
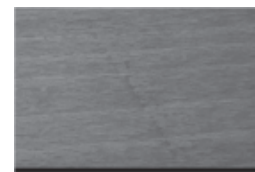
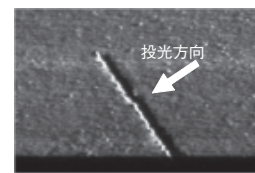


図11 凹凸検査装置構成

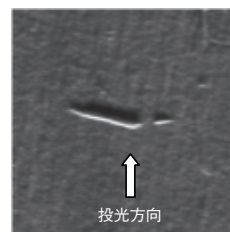


(a) 目視検査環境下



(b) 検査装置環境下

図12 凹状欠陥の検査画像例



(a) 凸状欠陥



(b) 凹状欠陥

図13 凹凸欠陥の検査画像例

5. スライス単板外観検査機

5.1 処理系構成

4.1節で述べた木目欠陥検査方法を実用化したスライス単板外観検査機のシステム構成を図14に示す。ワークが長い場合、スライス単板外観検査機ではスライス単板を複数台のカメラで分割して撮像する構成としている。各カメラに1台の画像処理装置（スレーブ）を備えており、撮像した濃淡画像を前処理ハードウェアで複数の閾値を用いて多値化し、ランレングスデータ*1)に圧縮してCPUで欠陥検出処理を行う。各スレーブの欠陥検出結果はマスタ処理部へ送信され、そこで各スレーブの処理結果の統合処理を行い最終的な良否判定を行う。

本処理系では、濃淡画像を複数の閾値で多値化して欠陥

候補を抽出する処理を画像取込みと同時に前処理ハードウェアでリアルタイムに処理し、かつ多値化データをランレングス圧縮してデータ量を削減することで、CPUによる欠陥検出処理を効率化している³⁾。これにより、スレーブ1台当たり1000万画素の高精細画像を用い、複数の閾値を用いた複雑な欠陥検出処理を行っても、処理時間を400ms以内に収めることができる。

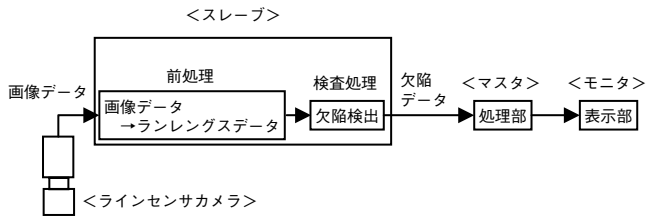


図14 システム構成

5.2 検査処理

スライス単板外観検査機における検査処理のフローチャートを図15に示す。

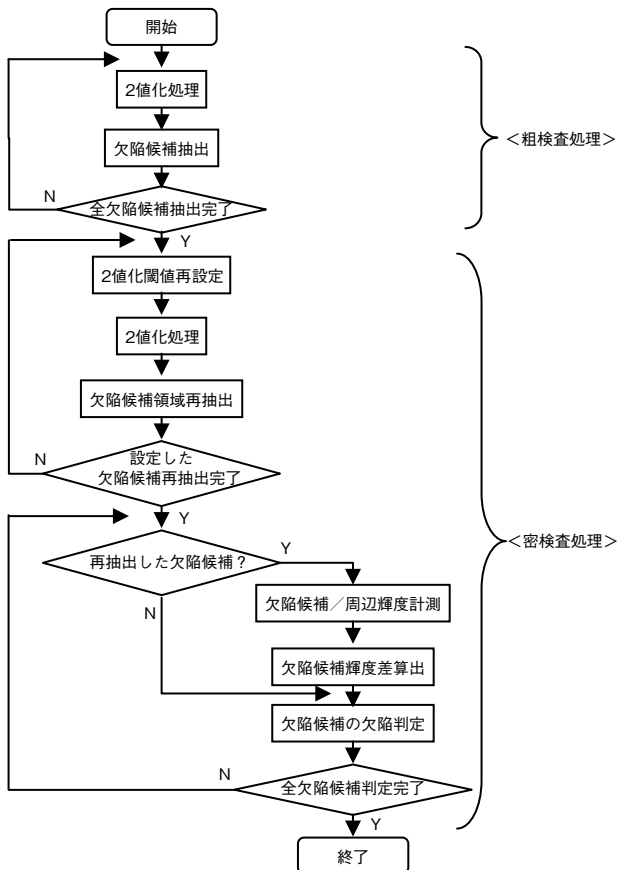


図15 検査処理概略フロー

木目欠陥は欠陥部色の濃さに応じて良否判定する欠陥サイズの規格が異なるので、前述のとおりハードウェアによる多値化を行い、欠陥部色の濃さに対応した閾値ごとの2値画像に対して以下のとおり欠陥検出処理を行う。

まず、2値画像に対して式(2)に基づく浮動閾値を用いて再度2値化を行い、1次欠陥候補を抽出する。次に、1次欠陥候補とその周辺部との輝度差を計測し、式(3)に従ってそれが真欠陥であるか偽欠陥(木目)であるかを判定する。

このように、スライス単板全体から1次欠陥候補を抽出する粗検査処理と、より詳細に欠陥周辺部の輝度差を調べて欠陥か否かの最終判定を行う密検査処理を組み合わせ、さらに人間の感覚を定量化した検査閾値を材種ごとに定義しておくことにより、目視検査と同等の欠陥判定を可能としている。

図16に欠陥検出処理結果の一例を示す。ピースごとに表面の色合が異なり、複雑なパターンをもつ木目のなかから、木目欠陥だけを正しく検出している。

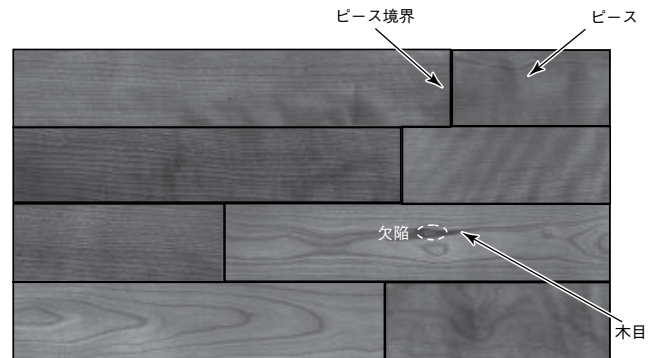


図16 欠陥と木目の識別結果例

6. プレス生地外観検査機

プレス生地外観検査機では、4章で述べた木目欠陥、単板破損欠陥、および凹凸欠陥の3種類の検査を同時に実施している。処理部の構成はスライス単板外観検査機と共通である。

6.1 検査処理

木目欠陥検査は5.2節で述べたスライス単板検査と同じ処理を行っている。

また、単板破損欠陥検査と凹凸欠陥検査については、木目に影響されない光学系を採用しており、欠陥部のコントラストが高いため、図17に示すように欠陥検出用の固定閾値により欠陥の存在を示す欠陥候補①を抽出したうえで、同じ位置でやや高い閾値により抽出した欠陥候補②から形状を評価し、欠陥寸法と面積の規格に基づいて良否判定を行っている。

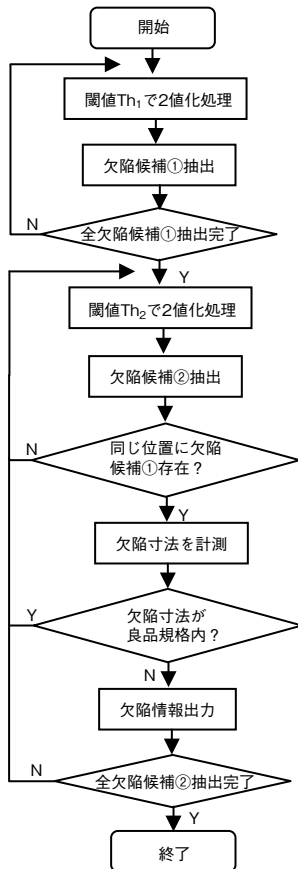


図17 検査処理概略フロー

7. あとがき

木質床材製造工程の外観検査において、その欠陥を木目欠陥、単板破損欠陥（表面つや異常）、表面の凹凸欠陥の三つに大別し、次の自動検査方法を開発した。まず木目欠陥については、目視による欠陥レベルと検査画像における欠陥輝度の関係を明らかにし、これらの関係を用いて欠陥を画像処理パラメータとして定量化することによって、また単板破損欠陥と凹凸欠陥については、これらの物理的特徴を強調して撮像する光学系と欠陥検出アルゴリズムを開発することによって、自動検査を実現した。

これらの開発技術を用いてスライス工程とプレス工程における自動検査機を開発し、これまでの課題であった品質の安定化と生産性の向上を実現した。

今後、木質床材の製造工程において、完成品検査等の他の検査工程を自動化する検査技術開発を継続して行い、製造工程における自動検査の適用範囲を広げるとともに、さらなる品質安定化と生産性の向上を推進する予定である。

●注

*1) ランレングスデータ：諧調数の少ない波形データの場合、データの変化点だけを記録することで元の波形を完全に復元できる状態にデータ量を圧縮したもの

*参考文献

- 1) 小野寺 重男：素材及び木材製品の材色の測定について，林業指導所月報，74号，p. 1-14（1958）
- 2) 峯村 伸哉，梅原 勝雄：木の色，林産試場報，第3巻，第5号，p. 1-9（1989）
- 3) 田村 秀行：コンピュータ画像処理，オーム社（2004）

◆執筆者紹介



本田 達也
ものづくり総合部



三高 良介
生産技術研究所