

形状計測センサーを用いた 廃木材リサイクルチップ配向角の測定*1

今田 純*2, 安藤直人*2

Chip Orientation Measurement Using a Profile Measuring Sensor for Recycled Chips from Waste Timber *1

Jun KONTA*2 and Naoto ANDO*2

Surface data of three differently oriented forming mats were obtained by profile measuring sensor and by digital camera. Surface profile data were obtained by a profile measuring sensor whereas digital image data obtained by a digital camera. Each data was analyzed in two ways, namely two-dimensional fast Fourier transform analyses and image processing. Orientation functions were compared with chip orientation data obtained by visual inspections. Orientation degrees were calculated from orientation functions. Averaging filter, Laplacian filters and threshold filter were adopted to surface profile data and digital image data to enhance chip edge points. In order to evaluate accuracy of edge enhancing, the number of edge point numbers were counted and were judged whether they are on edge or not by visual inspections. Percentiles of correct edge points were calculated from filtered images. The results can be summarized as follows :

- 1) FFT analyses can be used to estimate chip orientation on surface profile data and digital image data.
- 2) Orientation degree obtained from surface profiles and digital images, and chip orientation from visual inspections agreed approximately.

Keywords : recycled chip, chip orientation, image analysis, surface profile, fast Fourier transform.

廃木材リサイクルチップフォーミングマットの表面チップ配向を2次元フーリエ変換および画像処理により評価した。入力画像としてデジタルカメラによって取得したデジタル画像と形状測定センサーによって取得した表面形状画像を用い、2次元フーリエ変換結果から算出される配向度と目視によるチップ配向度を比較した。

また、平均化フィルタ・ラプラシアンフィルタ・2値化フィルタを表面形状画像・デジタル画像を作用させて得られたチップ境界点と目視によるチップ境界を比較し、両画像におけるチップ境界点抽出の正確さについて検討した。

- 1) 高速フーリエ変換によって表面形状画像・デジタル画像の配向評価が可能であることが認められた。
- 2) 表面形状画像・デジタル画像から得られる配向度は目視によるチップ配向度と概ね一致した。

1. 緒 言

建築廃木材の処理方法のひとつとして、住宅廃木材破砕チップをエレメントとする軸材原料として再利用することが考えられる。廃木材はチップ作成時

の破砕によって繊維方向に割れることが多いため、廃木材チップは長軸方向が繊維方向とほぼ同一方向になっていると考えられる。したがってチップ配向角を一方に揃えることによって配向方向の曲げ強度を上げることが可能であると考えられる。

*1 Received December 24, 2004; accepted May 18, 2005. 本研究の一部は第7回木質構造研究会技術発表会(2003年12月, 東京)および第54回木材学会(2004年8月, 札幌)で発表した。

*2 東京大学大学院農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-8657

エンジニアードウッドの元素配向角測定に関する既往の研究としては以下のようなものが挙げられる。西村らはOSB曲げ試験体表面の各元素の試験体長軸方向となす角度に着目し、元素平均配向角と強度の関係を調べた¹⁾。また、西村らは、OSB表面デジタル画像について、高速フーリエ変換による配向評価およびデジタル画像フィルタを用いた元素への楕円・矩形当てはめによる配向評価を行い、両評価法を比較し、解像度が十分であれば両評価法ともに有効であることを示した²⁾。さらに西村らは、OSBのデジタル画像について、高速フーリエ変換による配向評価およびデジタル画像フィルタを用いた元素への楕円および矩形の当てはめによる配向評価方法 Filtered Image Analysis (FIA) を提案した³⁾。大場らは配向性MDFの配向評価に高速フーリエ変換(以下FFTと略記)・パワースペクトルパターン(以下PSPと略記)を用いた配向関数・配向度を提案した⁴⁾。

西村らによって提案されたFIAにおいては、チップを楕円もしくは矩形に近似し、その長軸方向を図るため、入力画像中のノイズが少ないことが望ましい。デジタル画像は色情報であるため、画像に含まれる元素境界における色差と年輪等による色差を区別するのは難しく結果としてチップ配向が正確に評価できない可能性があるが、年輪等による色差の影響が少ないと考えられる入力画像として表面形状画像を用いた場合、デジタル画像よりもチップ配向を正確に評価できる可能性がある。

本報告では、既往の研究で用いられたデジタル画像に対して表面形状画像を用いた場合の有効性を検討するためフォーミングマットにおける元素配向評価に供する画像として表面形状画像およびデジタル画像を用い、2次元FFTにより両画像から得られる配向度を目視によるチップ配向度と比較した。また、平均化フィルタ・ラプラシアンフィルタ・2値化フィルタによるチップ境界抽出を試み、両画像から得られたチップ境界と目視によるチップ境界を比較した。

2. 実 験

2.1 試験体作成

原料として厚さ分布3~8mm針形状をした住宅廃材破砕チップを用いた。チップ形状をFig.1に示す。廃材チップを全乾にした後、水性高分子-イソシアネート系接着剤(コニシ株式会社製、木工用ボンドCH35)を噴霧し、配向させ積層した。その際、ランダム配向・中配向・高配向の3つの配向度を設

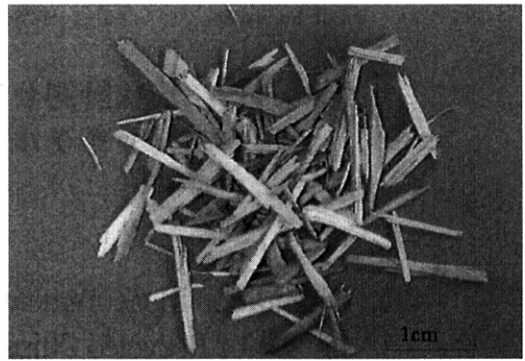


Fig. 1. Recycled chips.

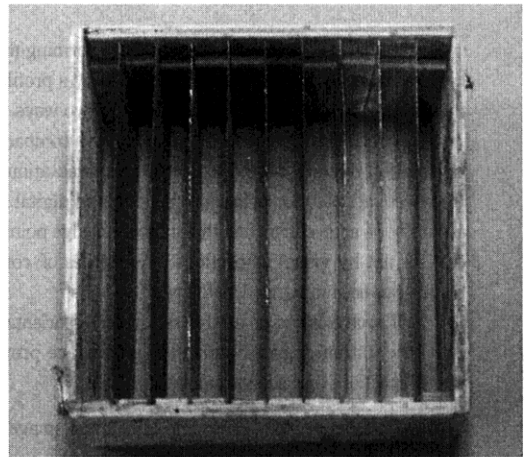


Fig. 2. Mat forming device.

定し、フォーミングマットを作成した。チップ配向装置をFig.2に示す。30cm×30cmの方枠の中に一定間隔の0.3mm厚鉄板セパレータを設け、チップをセパレータ間に落下させ、セパレータ間隔を変化させることによって配向度調整を行った。ランダム配向はセパレータ無、中配向はセパレータ間隔3cm、高配向はセパレータ間隔2cmとした。調整したマットを常温圧縮後、乾燥機において100℃で2時間乾燥し、室温にて放熱後、試験体とした。

2.2 画像の撮影と加工

2.2.1 デジタル画像撮影

デジタルカメラ Fine Pix 2900Z (FUJIFILM社製)によりフォーミングマット表面のデジタル画像を得た。カメラをフォーミングマットに正対させ、フォーミングマット表面から75cmの距離から撮影し、1800×1200画素のJPEG画像を得た。この画像における1pixelは縦横ともに約0.75mmであった。JPEG画像では高周波成分が大きく失われるが、後の解析

において高周波成分を切り捨てるため問題ないと考えた。

2.2.2 表面形状画像撮影

形状測定センサー (OMRON 社製, z500sw-17) を用い、フォーミングマット表面の表面形状画像を以下の方法により得た。表面形状画像測定装置を Fig. 3 に示す。

フォーミングマット表面から約12 cm の距離にセンサーを設置し、フォーミングマット表面の変位データを測定した。ラインセンサによる一回の測定で17 mm の線分上の変位データを取得し、測定点をすでに測定した線分に対して鉛直方向に移動させることで17 mm × 200 mm の表面形状画像を得た。測定線分間隔を0.2 mm とし、取得した変位データを CSV ファイルで保存後、画像処理ソフト ScionImage 4.02 β で濃淡画像に加工し、17 mm × 200 mm のフォーミングマット表面表面形状画像 (126 × 1000 画素) を得た。次に測定線分水平方向に10 mm ずれた位置を計測開始位置として、この手順を繰り返した。こうして得られた21個の表面形状画像を連結し、1606 × 1000 画素のフォーミングマット表面表面形状画像を得た。この画像における1画素は1606画素方向が約0.135 mm, 1000画素方向が0.2 mm で、画素の1階調は、約0.191 mm であった。

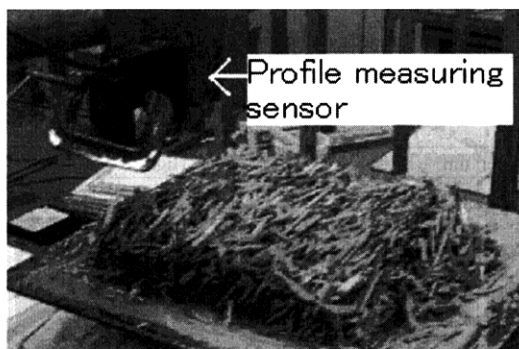


Fig. 3. Profile measuring sensor and forming mat.

Table 1. Matrixes used in image analysis.

Filter	Filter1	Filter2	Filter3
Matrix	1 1 1	0 -2 0	5 5 5
	1 1 1	-2 9 -2	5 -41 5
	1 1 1	0 -2 0	5 5 5
Divisor	9	1	1

Note: Filter1, filter2 and filter3 is averaging, 4-neighbor Laplacian and 8-neighbor Laplacian filters, respectively.

2.2.3 デジタル・表面形状画像の等スケール化

表面形状画像とデジタル画像の画素の大きさを合わせるため、デジタル画像・表面形状画像から両画像の対応部分 (フォーミングマット上における約19.6 cm × 約19.6 cm に相当) を切出し、縮小した。対応部分として切り出されたデジタル画像および表面形状画像は1画素が縦横ともに約0.35 mm であった。

3. 結果と考察

3.1.1 チップ境界点の抽出

チップ境界抽出に用いたデジタル画像フィルタのマトリクスを Table 1 に示す。表面形状画像とデジタル画像をフィルタ1でぼかし処理し、フィルタ2で先鋭化処理した。その後、フィルタ3で境界抽出処理し、2値化処理した。この手順により抽出された点をエッジ点と呼ぶ。その一部をそれぞれ Fig. 4 および Fig. 5 に示す。フィルタ処理には画像ソフト Jtrim を用いた。目視によるチップ境界を Fig. 6 に示す。チップ境界の線幅は4画素である。目視によるチップ境界に含まれないエッジ点は方向性のないエッジ点であり、含まれるエッジ点はチップ境界を表していると考えられる。チップ境界に含まれるエッジ点数をエッジ点数で除した値は境界抽出の正確さの指標とすることができると考えられる。この値を境界エッジパーセントと呼ぶ。エッジ点数と境界含まれるエッジ点数をカウントした。閾値とエッジ点



Fig. 4. Filtered surface profile data.



Fig. 5. Filtered digital camera image.

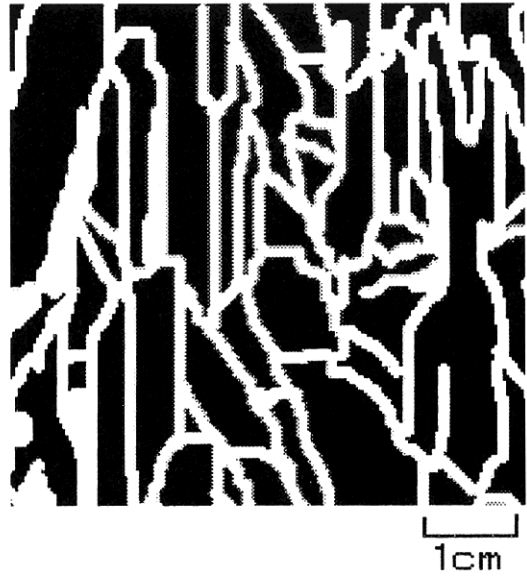


Fig. 6. Chip edges obtained by visual inspection.

Table 2. Threshold number of edge points percentage of edge points on edge line by visual inspection.

Threshold	31		63		127		191		255	
Image	Profile	Digital	Profile	Digital	Profile	Digital	Profile	Digital	Profile	Digital
Edge points	63828	141628	53963	113519	37477	68530	28268	36928	22323	12271
Percentage of edge points on edge line (%)	41.4	45.4	41.9	48.2	43.9	55	44.5	60	44.4	57.7

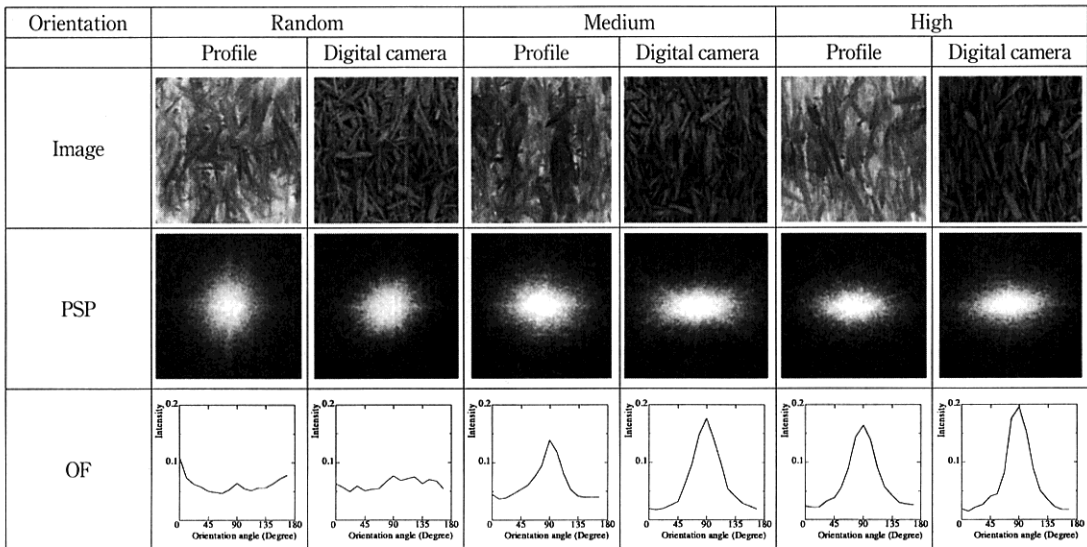


Fig. 7. Profile and digital camera images, power spectrum patterns and orientation functions.

数および境界エッジパーセントを Table 2 に示す。

3.1.2 チップ境界点抽出の正確さの比較

Table 2 からチップ境界に含まれるエッジ点数は表面形状画像・デジタル画像ともに閾値の増加とともに増加することが分かる。また、エッジ点数が同程度の場合、閾値が増加するに連れて境界エッジパーセントはデジタル画像の方が大きくなる傾向が見られた。

閾値の増加に伴うエッジ点数の減少はデジタル画像で顕著であった。

3.2 高速フーリエ変換を用いた配向度評価

3.2.1 PSP への変換

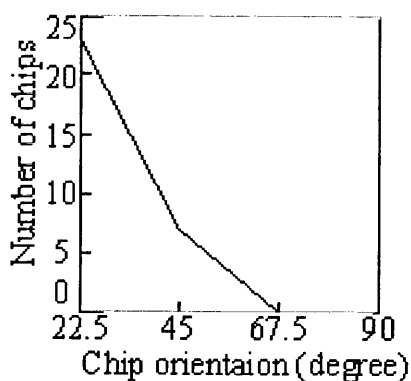
表面形状画像・デジタル画像に 2 次元 FFT 処理を行った。2 次元 FFT は画像中の繰り返しパターンを評価する方法のひとつである。2 次元 FFT により算出されたパワースペクトルパターン（以下 PSP と略記）は元画像中の繰り返しパターンの波長および方向を表している。2 次元 FFT の出力は 2 次元 PSP として出力される。PSP の中心から見るとそのピークの位置は繰り返しの軸の方位を示す。たとえば、PSP 中央から右上にピークが存在すれば周期は右上から左下方向に繰り返される。中心からピークの位置までの距離は波長の逆数に比例するため、0.35 mm/画素の分解能で FFT の領域が縦横各 512 画素で中心からの距離が n 画素であれば、そのピークの位置が示す波長は $0.35 \times 512/n$ (mm) となる。

3.2.2 配向関数の算出

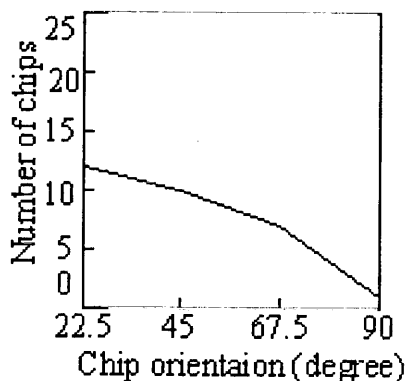
デジタル画像と表面形状画像の PSP から配向関数（以下 OF と略記）を算出した。PSP の中心を通り水平軸と $\pi/16$, $2\pi/16$, $3\pi/16 \dots 16\pi/16$ の角度をなす直線を引き、隣り合う直線に挟まれる部分に含まれる画素値の合計を角度ごとに算出したものを配向関数とした。なお、PSP の中心はノイズの影響を受けやすいため、配向関数の算出にあたっては中心から半径 50 画素は画素値を 0 とした。デジタル画像、表面形状画像、PSP および配向関数を Fig. 7 に示す。FFT には FFT 用ソフト 2DFFT を用いた。得られた配向関数を Excel での計算に供した。

3.2.3 表面形状画像・デジタル画像の配向関数と目視によるチップ配向の比較

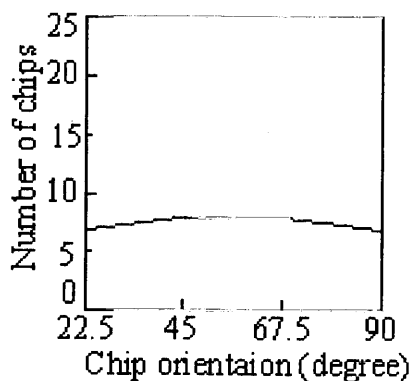
Fig. 7 に示した PSP において、表面形状画像とデジタル画像ともに配向度が高いほど中心部に現れるパターンが水平方向に長くなっており、表面形状画像・デジタル画像ともに PSP によってチップ配向を表すことが可能であることが確認された。配向関数については、表面形状画像から算出した配向関数・デジタル画像から算出した配向関数ともに配向度が



High orientation



Medium orientation



Random orientation

Fig. 8. Chip orientation obtained by visual inspection.

高くなるにつれて配向方向(0度)におけるピーク値が大きくなった。配向関数の形状について観察すると、表面形状画像とデジタル画像ともに次のことが言える。中配向と高配向を比較すると高配向のほうが高いピーク値を示しており、ランダム配向では配向関数の形状は平坦となり、各方向における関数値はほとんど変わらない。このことから配向関数によって表面形状画像およびデジタル画像内のチップ配向を評価できる。

実験に供したデジタル画像内のチップ配向を目視によってカウントし、高配向、中配向およびランダム配向におけるチップ配向角の度数分布を調べた。配向角0~22.5度, 22.5~45度, 45~67.5度, 67.5~90度のチップ個数を Fig. 8 に示す。

ここで、配向度を

$(\text{配向度}45\text{度以内のチップ数})/(\text{全チップ数})$

と表すと、Fig. 8 から、配向度は高配向・中配向・ランダム配向でそれぞれ0.81, 0.73, 0.50となった。

同様に、配向関数について、

$(\pm 45\text{度以内の関数積分値})/(\text{関数全体の積分値})$ を

配向度とすると、デジタル画像で高配向・中配向・ランダム配向の順に、 $0.84 \cdot 0.83 \cdot 0.55$ 、表面形状画像で $0.83 \cdot 0.70 \cdot 0.47$ となる。目視から得られた配向度と配向関数により得られた配向度とを比較すると、デジタル画像・表面形状画像ともに目視による配向度と概ね一致した。

4. 結 論

- ・FFTによる配向評価では表面形状画像はデジタル画像と同程度に有効であることが認められた。
- ・目視によるチップ配向とFFTによる配向度とは概ね一致し、表面形状画像による配向評価が可能であることが認められた。
- ・デジタル画像フィルタ処理によるチップ境界抽出では、閾値が高くなるほどデジタル画像の方がより正確であることが示唆された。

謝 辞

廃木材チップは積水化学工業株式会社から提供され、形状測定センサーはオムロンツーフォーサービス株式会社から貸与された。東京大学大学院農学生命科学研究科製紙科学研究室の江前敏晴先生にはフーリエ変換について多大なるご指導を頂戴した。ここに記して謝意を表する。

文 献

- 1) Nishimura, T., Ansell, M.P., Ando, N.: *Wood Sci. & Tech.* **35**, 555-562 (2001).
- 2) Nishimura, T., Ansell, M.P.: *Wood Sci. & Tech.* **36**, 287-308 (2002).
- 3) Nishimura, T., Ansell, M.P.: *Wood Sci. & Tech.* **36**, 229-240 (2002).
- 4) 大場正一, 笹田智貴, 川井秀一: 木材学会誌 **47**, 138-149 (2001).