

画像処理による道産カラマツ材格付け評価システム

高橋 裕之, 飯島 俊匡, 古賀 信也*, 秋元 紀幸**, 松永 秀司**

Development of Grading System for Japanese Larch from Hokkaido using Image Processing.

Hiroyuki TAKAHASHI, Toshimasa IJIMA, Shinya KOGA*
Noriyuki AKIMOTO**, Shuji MATSUNAGA**

抄 録

道産カラマツ人工林材の多くは、40年生以上の林齢に達しており、今後大径材の生産量増大が予想される。現在、カラマツ製材工場では、小・中径材からパレット・梱包材などの産業用途への生産が多く、集成材・合板などの建築用途の需要も確立されてきているが、大径材の生産量が増す状況において、より付加価値の高い無垢材の建築材利用が進んでいない。

カラマツ大径材から製材した無垢材が建築用途として利用が進まない一因として、乾燥後に「ねじれ」を生じることが挙げられる。このため本研究では、原木木口面から得られるパラメータを基に製材後のねじれ発生を予測することで、原木の段階での格付けを行う原木等級格付けのための評価システムを開発した。

キーワード：道産カラマツ材，格付け評価，画像処理システム

Abstract

The Japanese larch forest in Hokkaido are produced mostly from planted forest after several decades, therefore the increase of production of large diameter wood is expected. The production rate in industrial use such as palette, packing materials with the small or medium diameter wood is high, and the demand of building use such as laminated lumber or plywood with them has been established in recent years. However, in the circumstances of increasing production of large diameter wood, building use with solid wood from large diameter larches has not been progressed.

One reason for not utilizing solid logs from large diameter larches is "warp" when dried. This paper describes that development of evaluation system for grading raw larch logs, predicting "warp" after processed from some parameters acquired from cut surface of them.

KEY-WORDS : Japanese larch from Hokkaido, Grading system, Image processing system

1. はじめに

北海道のカラマツ林は、人工林面積のほぼ3割を占め、その約7割は40年生以上の林齢に達している。今後、伐採により生産される原木（素材）量の増加が見込まれ、その中で大径材の比率が高くなることが予想される。このため、大径材

から柱や梁などの建築用材を地域の製材工場で生産し、地域で住宅等に活用する「地材地消」の推進が期待されている。

現在、カラマツ製材工場では、小・中径材からパレット・梱包材などの産業用途への生産が多く、集成材・構造用合板などの建築用途の需要も確立されつつあるが、大径材の生産量が増す状況において、より付加価値の高い無垢材等の建築

* 九州大学大学院農学研究院 * Kyushu University Agro-environmental Sciences ** (株)サトウ ** Satoh Inc.

事業名：公募型研究

課題名：道産カラマツ材高付加価値利用のための格付け評価システムに関する技術開発（平成20～21年度）

事業名：職員研究奨励事業

課題名：道産カラマツ材向け格付け評価システム用画像センサシステムの実用化研究（平成23年度）

材利用が進んでいない。この一因として、乾燥後に生じる「ねじれ」が挙げられる。

そこで本報では、カラマツ材の建築用途利用拡大を目的に、画像処理技術を用い、木口画像から得られるパラメータを基に原木の製材後に発生するねじれを予測して原木等級格付けを行うための技術の確立と評価システムの開発に関する検討を行った。これにより、北海道の重要な森林資源であるカラマツ材の高付加価値利用を促進し、林業・林産業の振興に寄与できるものと考え^{1,2)}。

2. 原木等級格付けのための評価システム

2.1 原木評価手法の検討

これまで、製材後のねじれに対する原木評価手法の検討を行ってきた¹⁾。伐採した原木に対して評価を行うため、木口から得られるさまざまなパラメータを実測した後、製材を行い、乾燥後のねじれ量を計測した。この結果から統計的手法により実測パラメータとねじれ発生の相関関係を導き、原木からねじれない製材が何本とれるかを算定する評価式(1)を得た。この評価式からねじれの予測には、木口情報から得られる直径、未成熟材率、心材率、扁平率の依存度が高く、これらを精度良く計測できれば良いことがわかった。

$$n = a \cdot DT + b \cdot JW20B + c \cdot HWPB + d \cdot RB + e \dots (1)$$

ただし、

DT : 直径, $JW20B$: 未成熟材率, $HWPB$: 心材率,
 RB : 扁平率

ねじれを 8 度以下とした場合、

$$a=0.2786, b=-0.09604, c=0.0444, d=-8.30067, e=5.4988$$

ねじれを 5 度以下とした場合、

$$a=0.2327, b=-0.0739, c=0.05023, d=2.19299, e=-5.94663$$

ねじれを 3 度以下とした場合、

$$a=0.1326, b=-0.0378, c=0.04613, d=5.13308, e=-8.31885$$

ここで、実測パラメータの定義を以下に示す(図1)。

樹心(髄): 年輪の中心

径: 樹心を通る辺から辺までの直線

半径: 樹心から辺までの長さ

長径: 一番長い半径を有する径

短径: 長径の垂直方向の径

直径(DT): 長径, 短径の平均値

扁平率(RB): 長径と短径の比(短径/長径)

木口: 皮を除いた原木の切断面

未成熟材: 本報では固定(20年)年輪内部

未成熟材率($JW20B$): 未成熟材面積と木口面積比

心材: 木口の色(彩度)が変化する中心部

辺材: 木口の色(彩度)が変化する外部部

心材率($HWPB$): 心材面積と木口面積比

この評価式は、現場における評価法として有効性が高いことから、実測パラメータを自動計測するため、画像計測手法の検討を行った。



図1 実測パラメータ

2.2 画像計測手法の検討

画像処理で人手と同じようにパラメータを計測することは、非効率であるため、画像計測に適した手法を検討し、実測パラメータによる評価結果と同等の結果が得られれば画像計測による評価システムの実現性が高いと考えられる。以下に検討した画像計測手法を示す。

2.2.1 樹心位置計測

年輪は同心円状の中心近傍に位置する。このため、年輪の水平・垂直方向のエッジ成分を抽出して、射影演算処理を行ったときのピーク座標が樹心の位置となる。同心円が偏っている場合でも、水平・垂直線分が偏るが同様なピーク座標が得られる。

具体的な処理として、垂直・水平線分を抽出するため、微分(ソーベル演算)処理を施した。このとき、垂直・水平微分のどちらにも一定以上の値を持つ画素を斜め方向の線分として除去することで、垂直・水平エッジ成分のみの出現頻度を得ることができる。さらに微分画像に対する射影演算処理を行い、エッジの出現頻度を計数した。微分処理では節や明度のバラツキによりノイズが生じるため、射影演算結果に対して平滑化処理を行い、その最大値の座標を算出した。

本処理手法では、木口面の節等により年輪が抽出できない場合、計測誤差の要因となるため、年輪の欠けを補間する処理や射影演算結果の傾斜から真のピーク座標を推定することで計測誤差を減らせる可能性がある。図2に処理結果例を示す。



a) 原画像

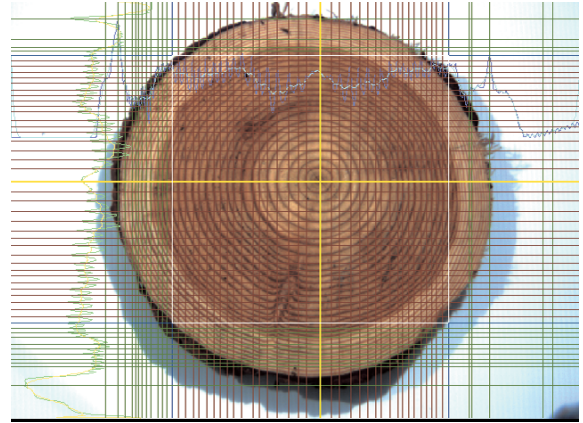
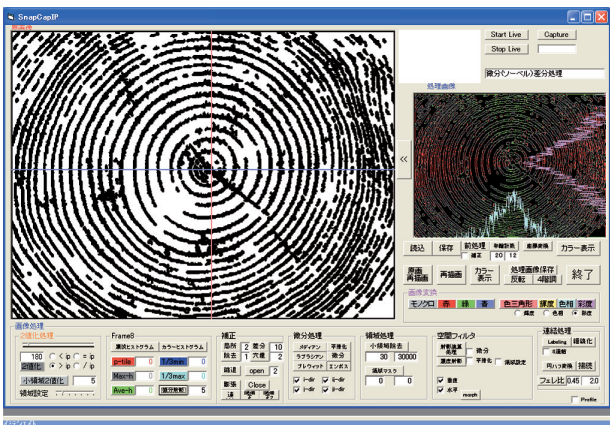


図3 年輪計測処理例



b) 処理プログラム実行例

図2 樹心位置計測処理例

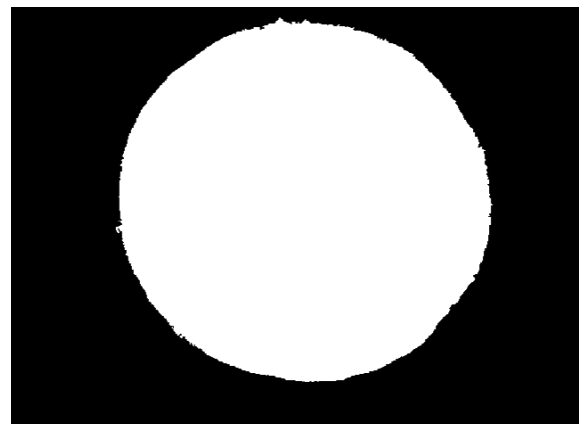


図4 木口図形の抽出

2.2.2 年輪計数処理

樹心に対して、垂直・水平方向に年輪を数えることで年輪計数を行うが、微分画像では、必ずしも垂直・水平方向成分のエッジが明確化されない。このため、濃淡画像の樹心位置に対して水平・垂直方向の帯状の領域を設定して濃度投影処理を行うことで、年輪によるデータ列が得られる。このデータ列の極小値を求めることによって年輪を計数できる。

樹心近傍の年輪は径が小さく濃度が薄いことが多く、濃度投影データが不明瞭となり正確な計数ができない場合が見られた。そこで、最初に得られた年輪幅が既定値より大きい場合に、その内側に年輪があると仮定して計数処理を行った。図3に処理結果例を示す。

2.2.3 木口図形の抽出

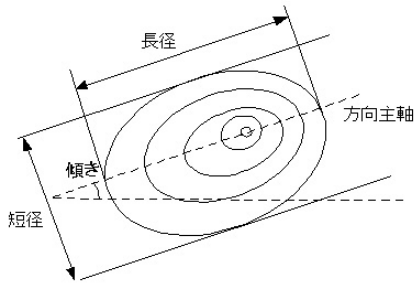
背景から原木木口を分離し、さらに、皮部分を除いた木部を抽出して木口図形とした。

木口から皮を除去する処理として、本処理では、カラー(RGB)画像から彩度画像を算出し、閾値処理を行った。このとき、年輪部など、皮と彩度濃度が近い画素が除去されるため、穴埋め処理を施し、最終的に、輪郭部に小さな凹凸が出現するためノイズ除去処理を行った(図4)。

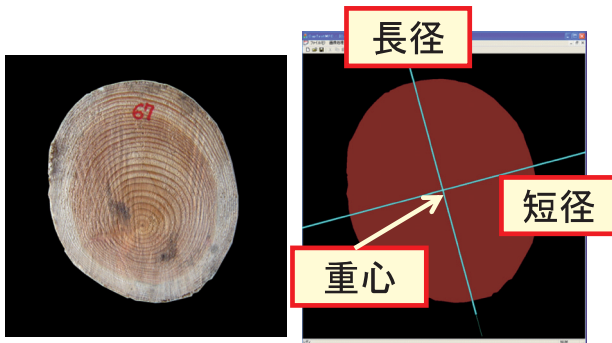
2.2.4 長径・短径の抽出

長径・短径を実測値と同じ定義で計測することは難しいため、本手法では、木口図形から重心を算出し、重心周りの方向主軸の傾きを求め、その直線と図形との切片を長径とし、求めた直線に平行な2本の直線で挟んだ幅を短径とした。図5に概念図と計測結果例を示す。

重心と樹心は、必ずしも同様の座標値とはならないが、木口が大きく歪んだ原木は評価値が低く、そもそも事前に選別され、計測対象とはしないことから、問題にはならないと考える。



a) 木口面図形形状特徴パラメータ概念



b) 原画像

c) 処理結果

図5 木口特長パラメータ
(長径・短径計測処理結果)

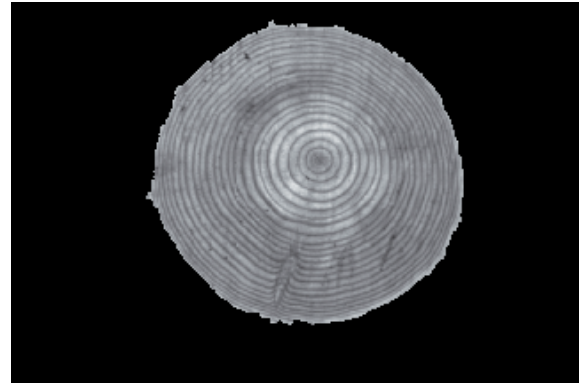
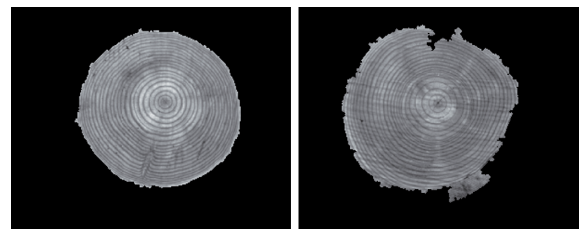


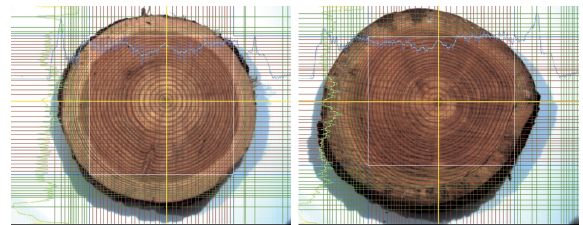
図6 心材部識別処理結果



原画像



心材図形



樹心・年輪計数画像

a) カラマツ1

b) カラマツ2

図7 画像処理結果

2.2.5 心材・辺材識別処理

木口面の外周部とその内側では濃度値が変化する。この内側を心材，外側を辺材と呼ぶ。この心材・辺材は，明らかな相違により一見して判別できる場合と，濃度値が酷似している場合がある。明確な相違がある場合は，明度や彩度画像により，比較的簡単な閾値処理で判別できる。しかし，明確でない場合も多いため，どちらの場合にも判別可能な処理として色相画像に対する閾値処理を行った。その結果，残った皮や影などの影響から，木口輪郭部近傍で残存画素が生じることが分かったため，先に求めた木口図形から輪郭部を一定幅で縮退した画像を処理対象に用い，画像を小領域に分割した濃度ヒストグラムから算出した閾値による閾値処理を行うことで辺材部を判別し，心材図形を抽出した。図6に計測結果例を示す。

表1 処理結果

		木口面積	心材面積	未成熟材面積	心材率	未成熟材率	長径	短径	平均直径
		(実測値:mm2、画像:dot)			(%)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)
カラマツ1	a)面積実測	74000.0	49537.5	36700.0	66.94	49.59	309	305	307
	b)半径実測	74022.9	48305.1	36643.5	65.26	49.50	309	305	307
	c)画像重心	347070	246819	191665.3	71.12	55.22	312.1	304.8	208.4
	d)画像樹心	347070	246819	191665.3	71.12	55.22	308.9	307.5	308.2
カラマツ2	a)面積実測	80412.5	53987.5	35237.5	67.14	43.82	333	311	322
	b)半径実測	81435.1	55990.0	36305.0	68.75	44.58	333	311	322
	c)画像重心	384143	277343	182466.7	72.20	47.50	341.3	316.2	328.7
	d)画像樹心	384143	277343	182466.7	72.20	47.50	339.9	327.8	327.8

2.3 画像評価手法の検証

本画像計測手法の総合的な処理フローを以下に示す。この処理フローに従い、画像パラメータを計測し、評価値を算出した。

- (1) 木口撮像画像の取得
- (2) 樹心位置計測
- (3) 年輪計数処理（未成熟材率）
- (4) 木口図形の切り出しおよびパラメータ抽出
（重心座標、方向主軸の傾き、扁平率）
- (5) 心材・辺材判別（心材率）
- (6) 評価値の算出

本処理フローにより抽出した画像パラメータから、直径、未成熟材率、心材率、扁平率を算出して、ねじれ評価値を算出した。それぞれの処理結果を表1、処理画像例を図7に示す。

表1では、評価値を次のa～dの4つの場合に分けて算出し、画像パラメータの有効性を検証した。

- a) 面積実測：木口面積、心材面積、未成熟材面積をグラフ用紙にトレースして、グラフ用紙5mmマスを計数して求めた実測パラメータを用いて評価値を算出
- b) 半径実測：長径、短径から木口半径、心材半径、未成熟材半径を求め、半径から円の面積を計算したパラメータを用いて評価値を算出
- c) 画像重心：各面積は画素数を計数し、長径・短径を木口図形の重心点を通る直線として算出したパラメータから評価値を算出
- d) 画像樹心：各面積は画素数を計数し、長径・短径を木口画像から樹心位置を抽出して、樹心を通る直線として算出したパラメータから評価値を算出。

表1-a), b) から、面積実測値と半径実測値で算出した評価値は同等の値が得られた。本処理では、木口形状が円に近い形状であることから、平均半径から算出した円の面積値を実測値として用いても、良好な結果が得られた。今後は、実測評価値を平均半径から算出したものを用いる。

試験サンプル数が少ないが、画像処理では木口面積に比べて、心材面積、未成熟材面積が大きな値として求まった。心材面積が大きくなった要因の一つに、心材部と辺材部が分離できずに心材部に残る場合があることが挙げられる。特に、カラマツ2が顕著であるが、これは、辺材部と心材部が類似しており、さらに辺材部にしみの様な濃度の低い（暗い）部分があるため、色相の濃淡だけでは判別できない。このような原木が多い場合、心材部は、木口形状を樹心方向に縮小した形状をしていることから、平均的な半径から補正するなどの手法の検討を行う。また、未成熟面積が大きくなる要因として、非常に幅の狭い年輪の場合、計数できない場合があり、処理手法の高精度化を図る必要がある。

3. 等級格付けシステムの開発

3.1 画像システムの構築

これまで、画像処理手法を確立するために、輪切りにした木口を撮像した静止画像を用いて処理を行ってきた。しかし、選木機への搭載など、評価システムを実用化するためには、次々と搬送される原木を捉えて、処理を行う必要があり、高精細な画像を高速で処理できるシステムの構築が不可欠である。また、原木の搬送位置が揃っていないため、位置計測を行って画像を補正する必要がある。このため、レーザー光源を照射して、照射位置を計測し、補正する機能を検討した。システム構成は、高解像度GigEカメラ（500万画素）、画像処理コントローラ（PC）、レーザー光源、画像取込トリガ信号発生装置からなる。図8にシステム概念図、試験風景を示す。

3.1.1 画像キャプチャ用トリガ信号発生装置

搬送機で運ばれた原木を的確に撮影して画像を捉えるため、撮影位置に運ばれた原木を検出するためのトリガ信号が不可欠である。本システムでは、トリガ信号の発生装置を光電スイッチ（2個）とUSB接続のマイコン（Gainer）で構成し、光電スイッチを搬送機両端の2カ所に設置した。高速性の観点から、トリガ信号は直接カメラに入力することが望ましいが、システム構成上、画像処理用コントローラにUSBで接続し、プログラム処理により画像キャプチャ処理を行った。

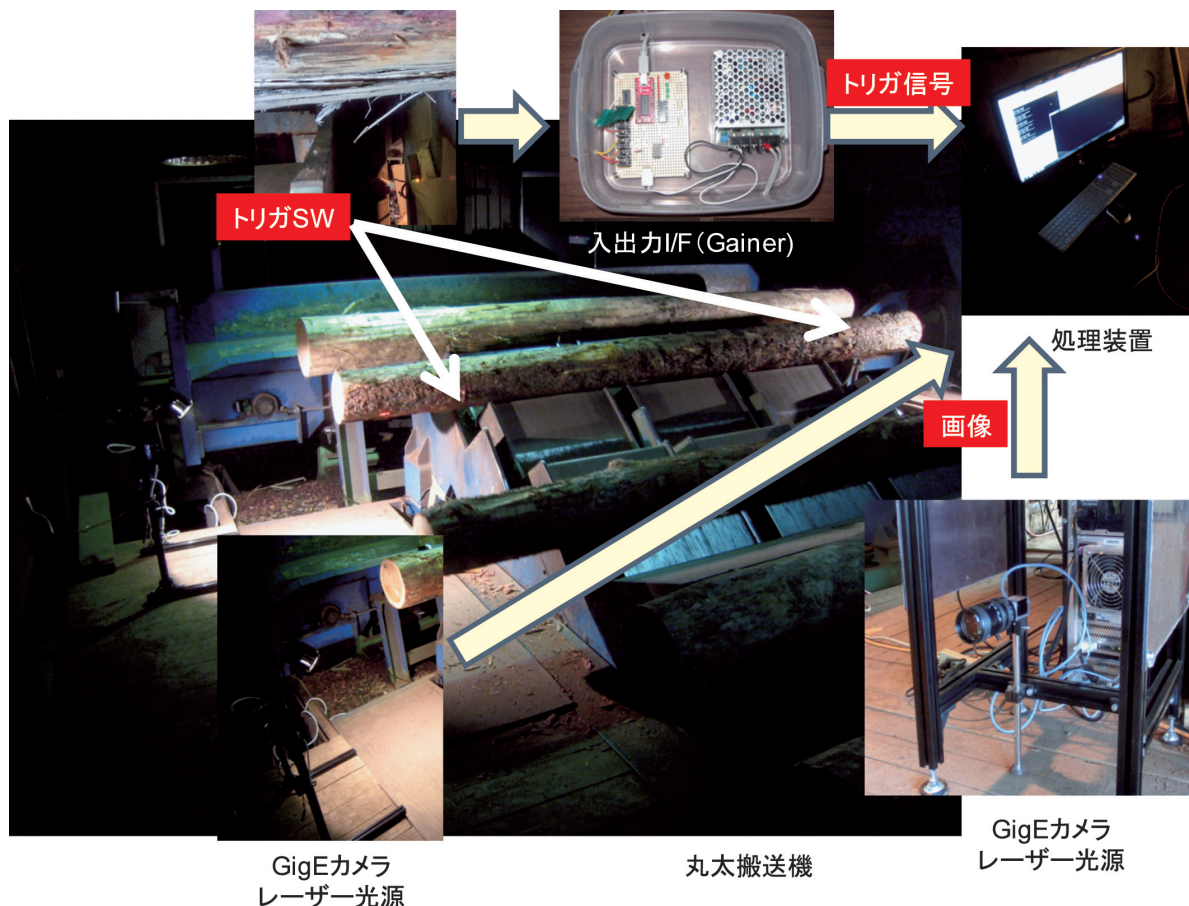
3.1.2 位置計測による画像補正処理の検討

原木は、搬送機上で整列されていないため、カメラから原木までの距離が異なり、画像の縮尺が不定となり、正確な画像計測が行えない。そこで、本システムでは、レーザーによるポイント光源を照射し、その位置から物理量への変換係数を求め、計測値を算出する手法を検討した。手法の概念図を図9-aに示す。図に示す通り、カメラに対して、斜め方向からレーザー光を照射すると、対象物の位置によりレーザー光の照射位置が異なる。予め、距離と座標との関係を測定（図9-b）することで、変換係数を算出することができる（図9-c）。

3.2 画像計測試験結果および考察

道産カラマツ32cm径級の原木の両木口を切断して3600mmの長さ揃えたもの100本に対して、計測試験を行った。併せて、切断した木口円盤をデジタルカメラで撮影しておき、画像からパラメータを抽出して実測値として用い、これを基準値として、システムの検証を行った。

本試験は、実際の選木場で行ったため、カメラ設置位置等に制約があり、位置ズレが大きい場合や、搬送速度が合わずにブレやボケが生じて、明瞭な画像が撮像できない場合があっ



a) システム構成



b) 試験風景

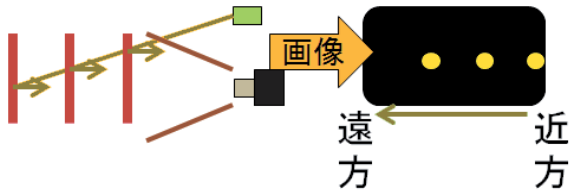
図8 画像システム

た。このため、計測誤差が大きいものは、画像毎に画像処理用のパラメータを調整して評価値を算出した。画像計測システムで得られた画像の一例と評価結果を図10、表2に示す。

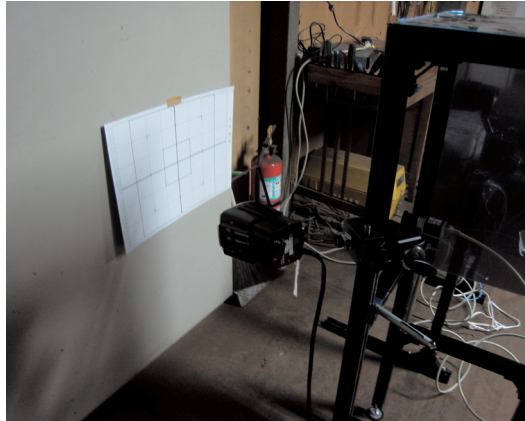
表2から、基準値と計測値を比較すると、20年輪率、心材率、扁平率は、画像計測で得られた画素単位の比較であり、良好な計測結果が得られた。しかし直径は、レーザー光源位置を基に補正を行ったが、距離に応じて、誤差が生じて評価値へ影響した。直径の誤差が大きな対象に対して、直径が適

正に計測できたと仮定した場合、基準値と同等の評価値が得られることを確認できた。

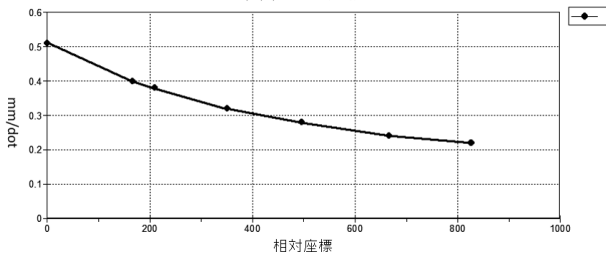
実用化のためには、原木の位置を揃えるか、距離計測を正確に行うことが重要である。



a 距離計測の概念



b 測定風景
キャリブレーション



c 相対座標と変換係数のグラフ

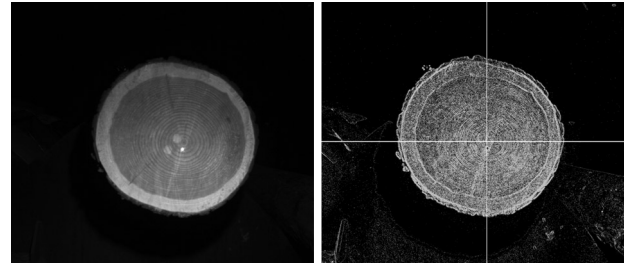
図9 距離計測処理

4. まとめ

木口から製材後の原木を評価する手法を考案し、これを自動で計測するための画像計測手法並びにシステム開発を行い、計測試験を行った。この結果、明瞭な画像が撮像できた場合には、実測と同等のパラメータを計測し、評価値の算出ができた。これと基準値を比較した場合、位置補正による誤差が生じていたが、位置計測を高精度に行うことで同様な結果が得られることが確認できた。

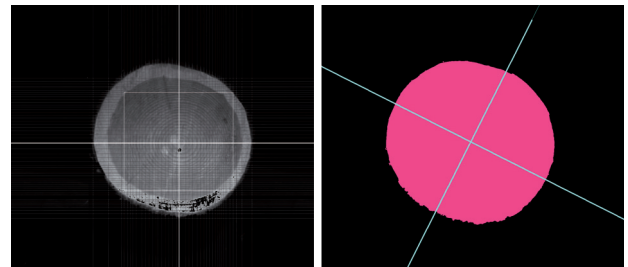
一方で、画像が不明瞭であったり、原木が撮像範囲からズレており、画像パラメータを取得できない画像が見られた。この要因として、次の項目が考えられる。

- 1) カメラの設置位置が限られたため、光学的な制約があり、原木の位置ズレに対応できず、焦点が合わなかった。
- 2) 搬送タイミングを作業者が操作しているため、搬送間



a) 原画像

b) 樹心位置計測



c) 年輪計数

d) 方向主軸計測

図10 画像計測結果例

表2 画像評価結果例

No.		直径(cm)	20年輪率	心材率	扁平率	3度以下	5度以下	8度以下
57	基準	27.2	0.55	0.72	0.99	0.38	2.55	4.85
	計測	27.17	0.56	0.69	0.95	0.32	2.52	4.91
69	基準	29.88	0.47	0.68	0.92	0.39	3.03	6.16
	計測	28.31	0.51	0.60	0.91	0.13	2.64	5.78
74	基準	39.05	0.46	0.73	0.92	1.60	5.16	8.73
	計測	37.03	0.46	0.70	0.95	1.48	4.75	7.92

隔にバラツキがあり、操作が早いときには処理が間に合わず、移動のためのブレや撮像範囲から外れた。

これらの課題は、操作や設置に関することであり、構成の見直しや運用での対応を検討する。これらの課題を解決することで、原木を評価して格付けするための画像システムの実用化が可能であると考えられる。

今後は、本システムと原木強度計測装置とを組合わせて、格付け区分を細分化することで、用途に適した材料を峻別することが可能になると思われる。これにより、原木の段階で適正な用途を指定することができ、さらなる利用促進が期待できるものと考えている。

引用文献

- 1) 高橋裕之, 飯島俊匡, 古賀信也, 秋元紀幸, 仙頭敏彦: 地域ニーズ即応型報告書「道産カラマツ材高付加価値利

用のための格付け評価システムに関する技術開発」
(2010)

- 2) 高橋裕之, 飯島俊匡, 本間稔規他: 林産業に向けた画像処理技術の応用開発事例, 工業試験場成果発表会プログラム・発表要旨2012 pp.102 (2010)
- 3) 高橋裕之, 本間稔規, 飯島俊匡: 画像処理による道産カラマツ材格付け評価システム, 技術支援事例集2011.07 pp4 (2011)