

## 山元での原木材積の画像解析による測定法の開発

瀬戸亨一郎\*<sup>1</sup>・相馬智明\*<sup>1</sup>・安藤直人\*<sup>1</sup>

### Development of measurement of log volume by analyzing 3D images in yard

Koichiro SETO\*<sup>1</sup>, Tomoaki SOMA\*<sup>1</sup>, Naoto ANDO\*<sup>1</sup>

#### 1. はじめに

材価低迷に悩む山林所有者にとっては山林を伐採しても伐採搬出経費と流通経費により再造林費を含めた収支は全くの不採算である現状がある。材価の回復ができないことも問題であるが、伐採搬出経費の削減と同じように流通経費の削減も山林所有者にとって大きな課題である。このため森林が放置されて荒廃し治山治水機能を失い、自然災害の頻発が憂慮されていることは、我々の日常生活を脅かす忌々しき問題であり、林業振興、ひいては生活環境保全のため、原木流通経費の削減による手取り収入の確保は急務である。

また、売主である山林所有者が伐採現場の出荷時点において数量並びに材積を把握していない現状は改善されるべきである。

我が国の原木流通は原木市場を介して流通するという特異な流通ルートをとっている。原木市場は取引の透明性を確保するなど、歴史的必然性もあり、戦後間もなくの時代から林業に貢献した時代もあったが、状況が根本的に変化した現代、日本林業発展の阻害要因になりかねない状況を招いている。

原木市場での現在の取引価格はスギ材で1万円/m<sup>3</sup>前後だが、これに伐採・搬出・流通（運送、市場手数料）の経費がかかる。このうち林道端から市場までの運送経費は1,500～2,000円/m<sup>3</sup>、市場での販売手数料が2,000～3,000円/m<sup>3</sup>前後である。したがって伐採・搬出経費を5,000～6,000円/m<sup>3</sup>程度に抑えてようやく赤字を免れる。加えて原木市場から工場への運送経費もかかることから工場着単価は11,000円/m<sup>3</sup>前後となる。

この工場着単価でみると、直送した場合と比べ原木市場手数料と市場から工場への運送経費を合わせて3,000～4,000円/m<sup>3</sup>前後が追加的に負担となる部分である。これは原木価格の約3分の1に相当するもので、海外の事例と比べると我が国の原木流通経費の削減余地がいかに大きいかがわかる。

---

\* 1 東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻木質材料科学研究室

Lab. of Wood Based Materials & Timber Engineering., Department of Biomaterials Sciences, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo



写真-1 手作業による検知作業  
Photo 1. Manual measurement



写真-2 選木機による検知作業  
Photo 2. Measurement by grading machinery

従来の測定方法は写真-1のように人が一本ずつ計測する人力検知の方法と写真-2のように原木選木機を使用し、ゲートを一本書つ通過させる時点で計測する方法があるが、大型であるため広い場所を必要とし高価なため、大規模な業者にしか普及していない。

同様の例としてデジタルカメラを利用した画像処理による丸太材積簡易計測システムが開発されている<sup>1)</sup>が、これは画像の二次元処理であり、トラックに積んだままで計測することが可能だが、末口、元口の径級の違いは経験値から得た係数により算出した概数の算出である。丸太一本一本の計測を正確に行うことはできず、カメラと被写体との距離も拘束されるため、その運用や測定場所に制約がある。また、高性能林業機械のヘッド部分に画像撮影装置を搭載する方法が検討されている<sup>2,3)</sup>が、大型機械に搭載するものでありポータブルなものではない。

いずれにしても測定場所を拘束されない可搬性のある測定機の開発が待たれている。

国も新生産システム等の施策で市場外取引(\*2 協定取引)の推進をめざしているが、原木市場には数量の把握と品質による仕分け機能があるため、この代替をいかに行うかが問題となっている。つまり原木の流通・取引において材積計測が必須であるが、現状では山元での材積計測システムが確立していないため、原木市場等の選木機に付属する材積計測機を活用するか、人力検知しなければならない現状がある。市場外取引(協定取引)の推進には山元での材積計測システムの構築が急務となっている。

本研究はこのような問題点を改善し、図-1のように原木流通の変化を促し、原木流通に掛かる経費と時間を削減することにより、林業の採算性向上と健全な森林整備に貢献することを目的とするものである。

## 2. 開発した装置の概要

本研究は全ての原木の径級をデジタルカメラにより撮影し、その画像をコンピュータ分析することにより原木の本数と材積を計測する可搬型の一連のシステムを開発することを目的とした。

\*2 協定取引 山林所有者と需要者が、あらかじめ数量・品質・価格を決定し安定した取引をめざす取引で、量と価格の安定取引と流通コスト削減に効果がある。山林伐採現場から市場を通さず、工場へ直送することで、より大きなコスト削減効果をもたらすといわれている。

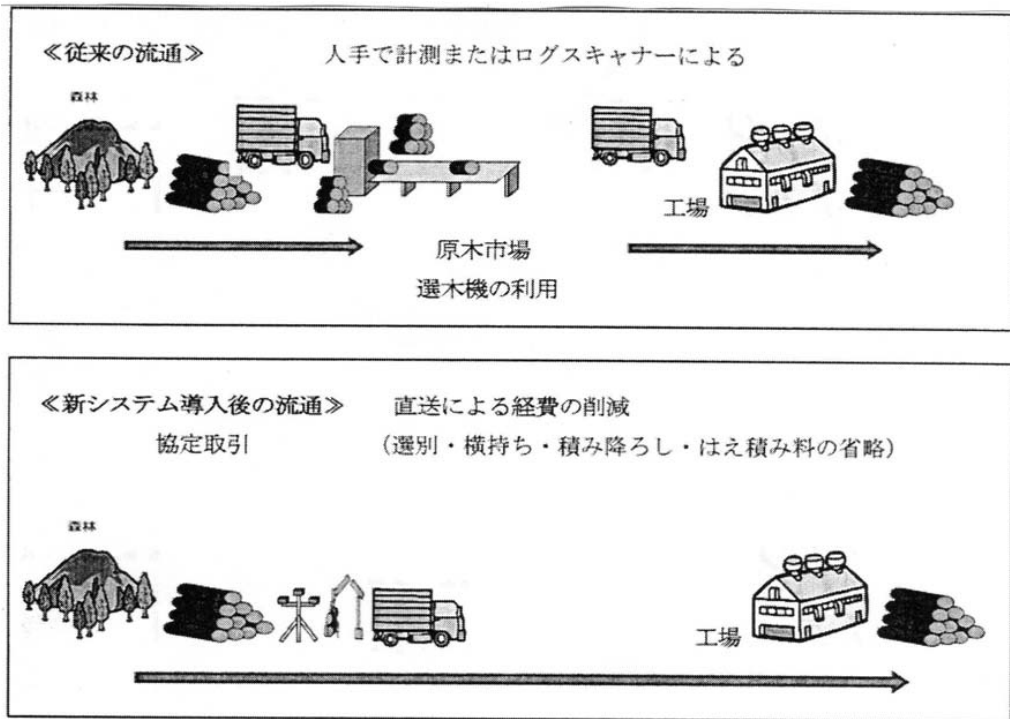


図-1 新システム導入前後の原木流通比較イメージ  
 Fig. 1. Timber distribution before and after introduction of proposed system

図-2のように伐採現場でのトラック積み込み時に、運転手が操作するシステムにより原木の本数・材積を計測しトラック一台分の明細を出力することができる。これにより売主である山林所有者は伐採現場から出材される段階で木材の明細を把握することができ経費の精算や販売管理することが可能となる。

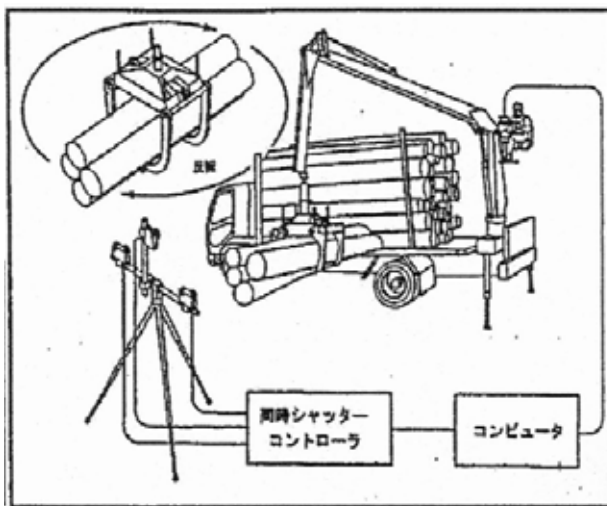


図-2 測定イメージ  
 Fig. 2. Measurement concept

伐採現場へはトラックの運転手のみが行けば測定が可能となり、検知業務の効率化が期待される。

また、買主の製材工場や合板工場はトラックから降ろす過程で再度計測することにより明細通りかの確認が可能となり工場の在庫管理が容易となる。

本研究による測定機は、三次元にて原木を捉えるためカメラとの距離や角度に余裕があり、測定場所の制約がなく可搬型のため、伐採現場等のいかなる場所でも運用できる。

なお、グラブで掴む地点を測定地点としたのは、画像処理量による測定速度の調整と隣接する原木の影響を最小限にし、将来末口・元口の判別できる可能性を残すためである。

### 3. システムの開発手順

開発手順は下記の通り5つの実験を行った。

実験1（二次元による木口面の把握）

- ・原木木口面の輪郭を捉えるエッジ処理

実験2（三次元による木口面の把握）

- ・レンズによるひずみ補正処理
- ・ステレオ計測による内接円の計測

実験3（ステレオ計測値のばらつきの把握）

- ・測定の安定性の確認

実験4（ステレオ計測と従来法との比較）

- ・測定精度の確認

実験5（フィールドテストでの比較）

- ・環境への順応性の確認

以上の手順で開発を行った。

## 4. 実験1 二次元による木口面の把握

### 4-1 実験の目的

丸太の直径を計測するために必要となる木材断面の輪郭を、画像から認識できるかを確認することを目的とした。

### 4-2 機材仕様

システムの仕様を満たすために必要となる機材のスペックは表-1の通りで、写真-3のように1台のカメラで行った。

### 4-3 評価用画像撮影

ストロボを照射した画像と照射していない画像で差分を求め、その領域から安定して輪郭が抽出できる撮影設定を調査した。

以下の条件を変えて撮影を行うことで最適な設定を求める。図-3のように撮影はストロボ照射ありと照射なしの2枚を1セットとして撮影する。環境条件は図-4に示すよう行った。

表-1 機材の仕様表  
Table 1. Equipment specifications

機材	必要スペック	個数	補足
カメラ	カラー, 130万画素以上, USB2.0 接続, 外部入出力付	1	民生用カメラではなく工業用カメラを使用 (価格が安い・PCからの制御が容易・保守期間などを考慮)。 ストロボとステレオカメラとの同期が必要。 参考: ARTCAM-130MI (アートレイ: <a href="http://www.artray.co.jp/">http://www.artray.co.jp/</a> )
レンズ	固定焦点, 焦点距離 6mm, メガピクセルレンズ	1	固定焦点のほうが精度が良い。 6mm以上の広角レンズ (画角が45度以上) でないと撮影範囲が満たせない。 参考: DF6HA-1B [¥30,450] (FUJINON: <a href="http://www.fujinon.co.jp/jp/products/cctv/p_fa/fixedfocal/index.htm">http://www.fujinon.co.jp/jp/products/cctv/p_fa/fixedfocal/index.htm</a> )
ストロボ	光量 400W 以上?	1	どの程度の光量が必要か撮影を行い評価する必要がある。 参考: TWINKLE 04 II [¥94,185] (コメント: <a href="http://www.comet-net.co.jp/">http://www.comet-net.co.jp/</a> ) MS-400N [¥49,800] (PHOTO TOOLS: <a href="http://www.photo-tools.com/">http://www.photo-tools.com/</a> )
PC	ノート PC, USB2.0 ポート付	1	Fujitsu FMV-BIBLO NF/D50



写真-3 フェーズ1の撮影状況  
Photo 3. Phase 1 photographic recording

⊕ カメラ設定

- ⊗ ゲイン [Global Gain] (5, 10, 20)
- ⊗ 露光時間 [Exposure] (1, 25) : msec (1/1000, 25/1000 秒)
- ⊗ ストロボ光量は“FULL”で固定
- ⊗ レンズ F 値 (絞り) は最大限絞った状態で固定

⊕ 環境条件

- ⊗ 天候 (晴れ / 曇り / 雨)
- ⊗ 時間 (朝 / 昼 / 夕方)

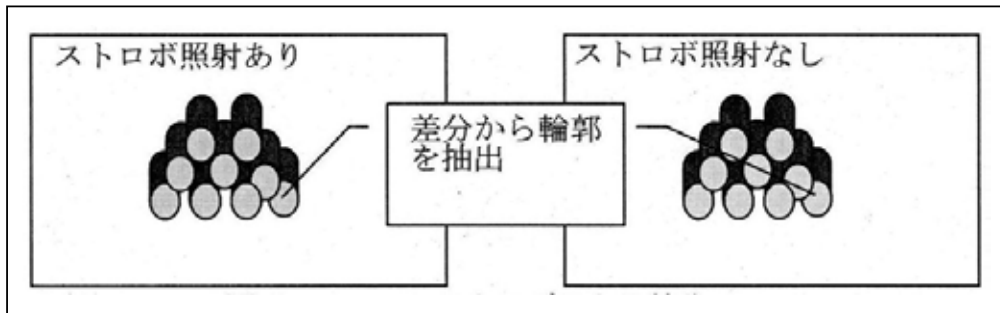


図-3 ストロボによる差分  
Fig. 3. Use of strobe to measure differential

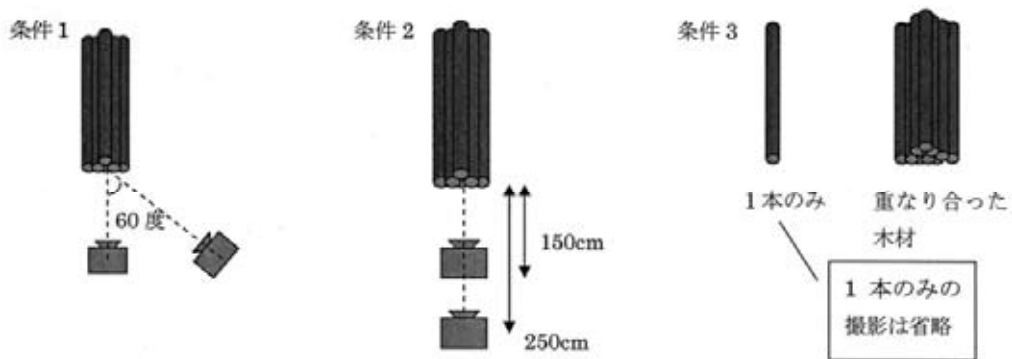


図-4 各条件による撮影  
Fig. 4. Photography under various conditions

- ❖ 日光方向 (順光 / 逆光 / その他)
- ❖ 木材断面とカメラの角度 (0度, 60度) 条件1
- ❖ 木材断面とカメラの距離 (150cm, 250cm) 条件2
- ❖ 木材本数 (2本以上で木材が重なり合った状態) 条件3

\*撮影した画像のファイル名は以下の通りとした。

“[ゲイン (g)] [露光時間 (s)] [ストロボ照射 (あり/なし)] .bmp”

例：ゲインが5、露光時間が1、ストロボ照射ありの場合は、“ゲイン5-露光時間1-ストロボあり.bmp”となる。

\*環境条件ごとフォルダを分けて画像を保存した。

“[天候 (晴れ / 曇り / 雨)] [時間 (朝 / 昼 / 夕方)] [日光方向 (順光 / 逆光 / その他)] [角度] [距離]”

例：天候が晴れ、時間が朝、日光方向がその他、角度が30度、距離が150cmの場合は、“晴れ-朝-その他-30度-150cm”となる。

#### 4-4 計測手順

1. 画像を撮影 (写真-4)



写真-4 フェーズ1で使用したカメラ・ストロボ・パソコン

Photo 4. Camera, strobe and PC used in phase 1

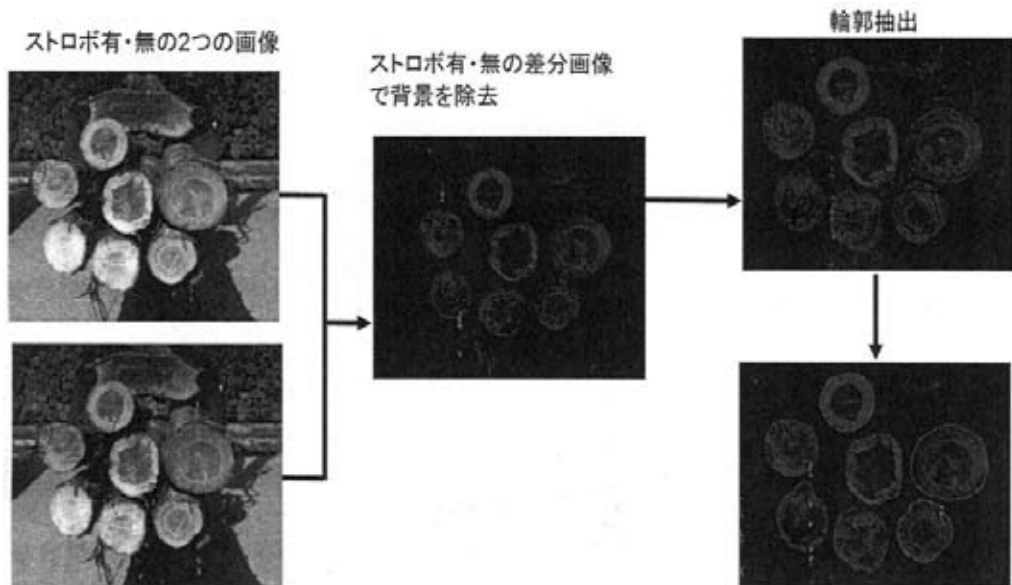


写真-5 ストロボの有無による差分画像とエッジ処理

Photo 5. Differential imagery and edge processing with and without strobe

表-2 輪郭抽出問題点と課題  
Table 2. Problems and solutions in profile extraction

検出できない原因	対 策
差分画像のコントラストが低い	撮影パラメータを自動調整する機能を実装した撮影ツールを作成 カメラと原木の距離を調整して撮影
ストロボ有/無の画像上での位置ずれ	ストロボ有/無の撮影間隔を短縮するための撮影ツールの作成 原木の移動が小さくなってから撮影
原木木口面の位置, 撮影角度による隠れ	カメラと原木木口面が正面となるように角度を調整して撮影
検出方法が不十分	木口面輪郭抽出方法の改良

2. 輪郭抽出を評価 (写真-5)
3. 画像に問題があれば, 再撮影を行った。
4. 何回かやり取りを行った後に最終的な評価を行い, ステレオ 3 次元計測が可能かどうか含めて検討した。

#### 4-5 結果と考察

撮影した画像に対して原木断面の輪郭を抽出した結果, 検出できる場合とできない場合があった。検出できない場合の原因と対策を表-2 に示した。

### 5. 実験 2 三次元による木口面の把握

#### 5-1 実験目的

ステレオカメラ (照明を含む) の実験試作機を製作し, 実験 1 で実証した輪郭抽出手法にステレオ法による輪郭の 3 次元計測演算を行うことで原木直径を算出できることを確認することと, 被写体の傾きの影響を調べることを目的とした。

#### 5-2 システム前提

図-5 のようにカメラ 2 台で行う。開発するシステムの仕様は表-3 の通りである。

#### 5-3 実験試作機

実験試作機はステレオカメラ, ストロボ, 固定フレームから構成される (図-6 参照)。

- ⊕ カメラ
  - ⊗ アートレイ 300 万画素 CMOS カメラ : ARTCAM300-STRII, USB2.0 接続, 同時撮影, ストロボ制御機能つき
- ⊕ レンズ
  - ⊗ 固定焦点, 焦点距離 6mm, メガピクセルレンズ

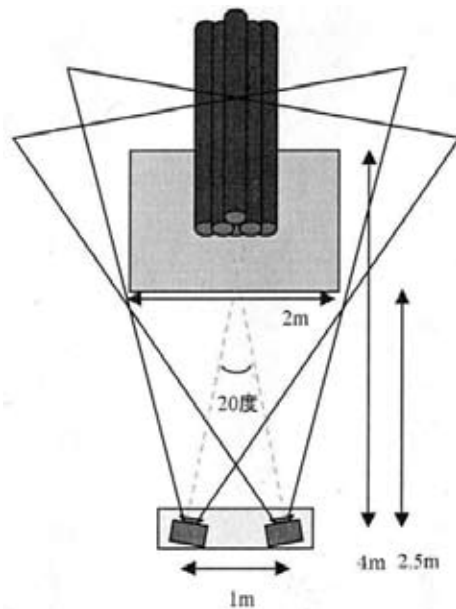


図-5 ステレオ計測の概念図  
Fig. 5. Concept of stereoscopic measurement



表-3 システム仕様  
Table 3. System specifications

測定対象木材サイズ	直径	10~100cm
測定範囲	幅	200cm
	高さ	200cm
	奥行き (カメラからの距離)	~ 250cm
精度	木材直径誤差	~ 1cm
測定器外形寸法	ステレオカメラ間距離	~ 100cm
測定器重量		~ 10kg

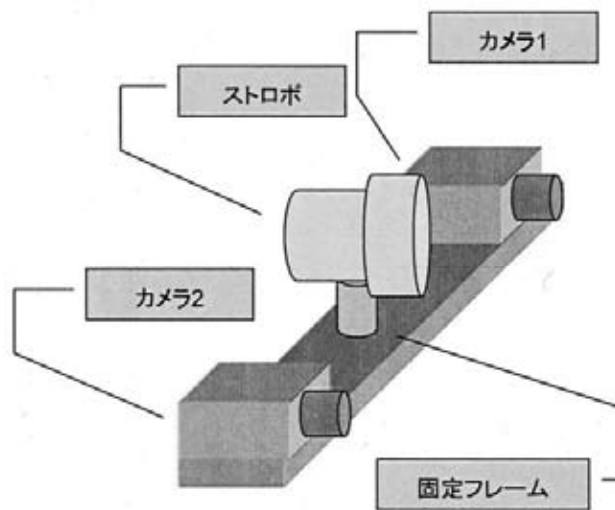


図-6 実験試作機構成  
Fig. 6. Configuration of prototype system

⊗ ストロボ

⊗ コメット 400W ストロボ

#### 5-4 計測精度

原木直径の誤差が 1cm 以内を目標とした。

#### 5-5 計測範囲

カメラ間距離：1m

計測範囲：奥行き方向：1.5m~ 2.5m

横、縦方向：2m

#### 5-6 計測システム GUI

図-7 にその仕様を示した。

GUI 機能：

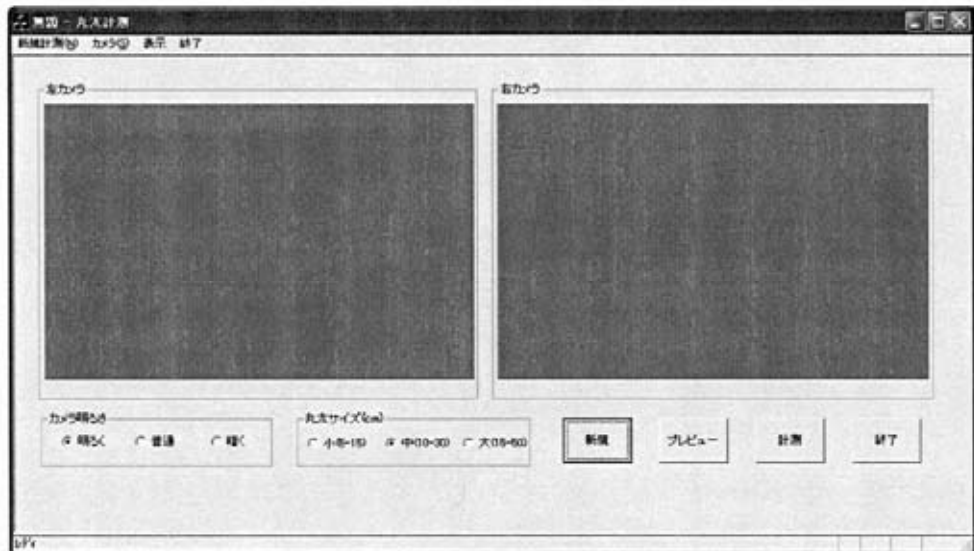


図-7 計測システム GUI  
Fig. 7. Measurement system GUI

- ・カメラ明るさ設定
- ・原木サイズ範囲設定
- ・新規計測
- ・プレビュー
- ・終了

### 5-7 計測処理の流れ

- ・ステレオカメラでストロボあり / なし画像撮影
- ・差分画像を作成
- ・差分画像からエッジ抽出, 断面輪郭を探す
- ・輪郭の3次元計算
- ・輪郭の3次元点列から最大内接円直径計算

### 5-8 実験

ホワイトボード上の紙片に楕円（最小直径 21.0cm）を描き、これを正対の場合と 45 度傾斜して計測し、傾斜が計測に与える影響を調べた。

### 5-9 ステレオ計測法について

図-8 のように 2 台の視覚センサを用いて計測対象を異なる位置から観測し、各々の視線方向から三角測量の原理より計測対象までの距離を求める方法である。これは人間の両眼のように、あるがままの世界をそのまま観測する計測方法の代表であり、航空写真から地形の三次元計測などに利用されている。

本研究のような画像解析による類似の測定機器を見た場合、陸運局での車幅・車高・車長測定器のように他産業で既に実用化されたシステムがある。しかし、既製のシステムは明るさ等の条件が一定の屋内で、更に車輛の端にシールを貼るなどコンピュータが容易に認識し得るマーキン

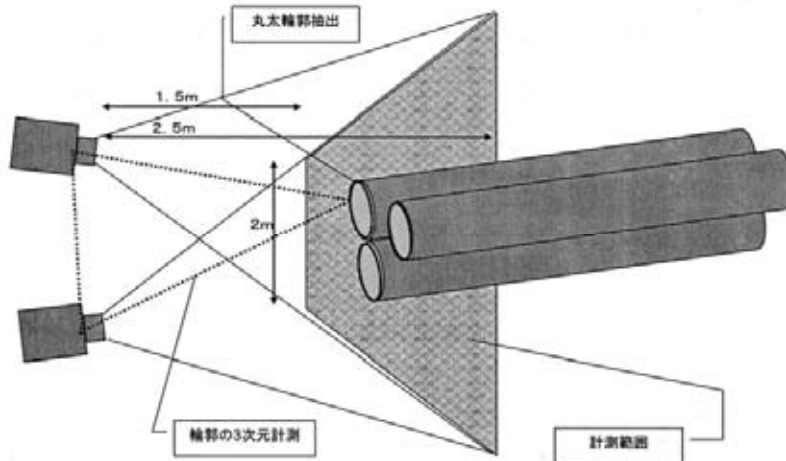


図-8 ステレオ画像法  
Fig. 8. Stereoscopic imaging

グを施した上でなければ計測できず、使用環境・条件が著しく制限されている。このため、山林伐採現場という不安定な環境下において、しかも樹種や形状、木皮や汚れ等の付着と、様々な条件が変化する木材という天然有機物が対象では、既存のシステムのままでは応用できない。

#### 5-10 補正の方法について

デジタルカメラは被写体のカメラとの距離や傾斜によりひずみが発生するので、その補正が必要になる。測定範囲内で写真-6のような特製ボードを用いていろいろな距離と角度をできるだけ多く撮影しデータ化することによりカメラレンズの特性を調べ、測定誤差の軽減を図った。

白点間の距離は一定であるので、カメラと被写体までの距離やカメラ画像による中央部と周辺部での違いと角度による違いを調べ、測定誤差を補正する値を事前に調査しておき自動的に補正値を算出した。

なおこの技術は立命館大学工学部徐 剛教授のご指導をいただき、株式会社三次元メディア(草

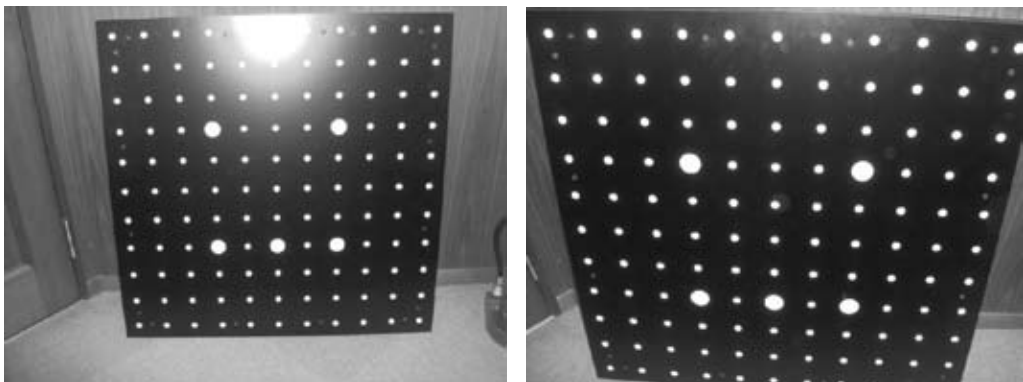


写真-6 補正に用いた特製パネル  
Photo 6. Special panel used for correction



写真-7 ホワイトボード上での楕円の測定  
Photo 7. Measurement of area of ellipse on whiteboard

津市)の協力を得て行われたものであり、三次元計測の分野では既知の技術<sup>4,5)</sup>である。

#### 5-11 結果と考察

写真-7のように中央部に赤色の最大内接円と21.1cmの直径を表示しているのが確認できた。

これにより楕円の計測が、期待通りの最大内接円を計測することが分かった。撮影が正面であれば赤い最大内接円は正円となることが確認できた。

傾斜の影響は、写真-8と写真-9のように傾斜が大きくなるほど誤差が生じやすくなり、45度を超えると測定不能となった。

撮影が斜めの面になれば赤い最大内接円は楕円になることが確認できた。



写真-8 正面での撮影 53.3cm  
Photo 8. Direct 90° view: 53.3 cm



写真-9 斜め45度での撮影 53.6cm  
Photo 9. 45° oblique view: 53.6 cm



写真-10 撮影画像 (ストロボあり) (左: 左カメラ、右: 右カメラ)  
Photo 10. Photographic image (with strobe) (Left: Left camera; Right: Right camera)



写真-11 撮影画像 (ストロボなし) (左: 左カメラ、右: 右カメラ)  
Photo 11. Photographic image (without strobe) (Left: Left camera; Right: Right camera)



写真-12 差分画像 (左: 左カメラ、右: 右カメラ)  
Photo 12. Differential image (Left: Left camera; Right: Right camera)



写真-13 計測結果表示画像  
Photo 13. Measurement results display

## 6. 実験3 ステレオ計測による計測値のばらつきの把握

### 6-1 実験の目的

実験2で行った計測を複数回行うことで測定機の安定性を調べることを目的とした。

### 6-2 実験方法

計測対象と実験機を固定した状態で10回連続撮影してその計測結果のばらつきを評価した。

計測対象：

丸太の円盤2枚、直径の事前測定値：上：35.1cm、下：35.3cm。

撮影画像：

写真-10にストロボ有の左右2台のカメラの映像を示した。

写真-11には連続して撮影したストロボなしの映像を示した。

この連続して撮影した写真-10と写真-11の差分をとり背景による影響や丸太の円盤を置いた椅子の影響を除き、写真-12の画像を得た。これから丸太の円盤の輪郭を把握した。

写真-13に示すようにステレオ計測で得たデータから得た円盤の輪郭に内接する最大円の直径をこの丸太の直径とした。

### 6-3 結果と考察

表-4のように、二つの円盤の計測した直径の最大変化範囲はともに2mm、それぞれの平均値と事前測定値の差は0.06cmと0.08cm、最大誤差は0.1cmであった。

ばらつきの原因は、環境光の変化や画像のノイズなどの影響と考えられる。

但し、この円盤は表面をきれいに研磨しており、皮も無い状態であり条件は整っていた。

表-4 計測結果  
Table 4. Measurement results

計測回数	スライス1の計測結果 (cm)	誤差 (cm)	スライス2の計測結果 (cm)	誤差 (cm)
1	35.2	0.1	35.4	0.1
2	35.2	0.1	35.4	0.1
3	35.2	0.1	35.4	0.1
4	35.2	0.1	35.4	0.1
5	35.0	- 0.1	35.4	0.1
6	35.2	0.1	35.4	0.1
7	35.0	- 0.1	35.4	0.1
8	35.2	0.1	35.4	0.1
9	35.2	0.1	35.2	- 0.1
10	35.2	0.1	35.4	0.1
最大	35.2	0.1	35.4	0.1
最小	35.0	- 0.1	35.2	- 0.1
最大-最小	0.2	0.2	0.2	0.2
平均	35.16	0.06	35.38	0.08
標準偏差	—	0.08	—	0.06

## 7. 実験4 ステレオ計測と従来法との比較

### 7-1 実験の目的

実際の丸太を実態のまま計測し、事前に測定した結果との誤差を評価した。

### 7-2 計測対象

丸太直径事前測定値：メジャーにて計測した。

### 7-3 計測結果：写真-14 15 16 17 18 19 に状況を示す。

表-5 にまとめた。

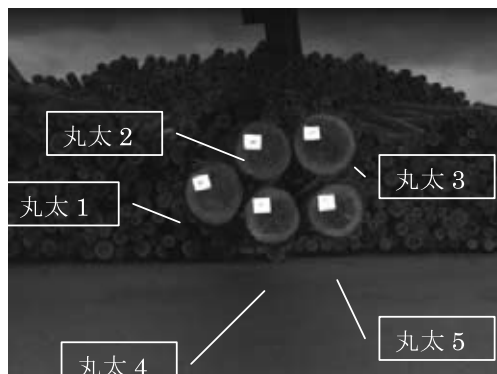


写真-14 撮影状況

Photo 14. Photographic recording



写真-15 撮影画像 (ストロボあり) (左: 左カメラ、右: 右カメラ)  
Photo 15. Photographic image (with strobe) (Left: Left camera; Right: Right camera)



写真-16 撮影画像 (ストロボなし) (左: 左カメラ、右: 右カメラ)  
Photo 16. Photographic image (without strobe) (Left: Left camera; Right: Right camera)



写真-17 差分画像 (左: 左カメラ、右: 右カメラ)  
Photo 17. Differential image (Left: Left camera; Right: Right camera)





写真-18 計測結果出力画像  
Photo 18. Measurement results output display



写真-19 計測結果を表示した GUI 画面  
Photo 19. GUI screen displaying measurement results

表-5 丸太直径計測結果

Table 5. Log diameter measurement results

	丸太 1	丸太 2	丸太 3	丸太 4	丸太 5
事前測定値 (cm)	21.2	20.5	23.5	19.5	19.7
カメラ測定値 (cm)	21.4	20.8	23.8	20.0	19.6
誤差 (cm)	0.2	0.3	0.3	0.5	- 0.1

事前測定値とカメラによる測定値の相関係数  $r = 0.99$  であった。

計算結果の CSV ファイル：

図-9 計算結果の CSV ファイル内容

Fig. 9. Content of CSV file holding measurement results

#### 7-4 結果と考察

測定値との誤差は最大 0.5cm, 最小 - 0.1cm であった。また, GUI の機能である結果の表示, 結果ファイルの出力が問題なく行われていることを確認できた (図-9 参照)。

### 8. 実験 5 実際のフィールドテストでの比較

#### 8-1 実験の目的

測定本数を増やしてトラック 1 台分の原木を対象とした測定を行い従来法との計測値を比較した。

#### 8-2 計測条件

撮影が日光や林地の傾斜などの自然条件に左右されるため下記の条件で行った。

- ① 末口・元口は揃っている。
- ② 長さは揃っている。

#### 8-3 実験内容

大分県林業試験場研究員 2 名による人力測定 (皮込) と, カメラによる測定 の 2 通りにより, 大型トラック 1 台分の原木の末口最少径の測定を行い, その相関を調べた。



写真-20 中央部に最大内接径を表示している

Photo 20. Maximum inscribed circle diameter displayed in center

日時：2010年11月19日 午後1時 天候 曇り

場所：大分県日田市 榎日田十条（アスファルト舗装土場）

対象：スギ 長さ3m 87本 48年生の国有林材

カメラによる測定値は写真-20のようにパソコン上に表示される末口最少径を集計した。

#### 8-4 結果

表-6にトラック1台分の計測結果の一覧を示した。

実際の原木流通に即応できるように日本農林規格（JAS）による測定法に準拠することとした。

#### 8-5 考察

- ①人力による事前測定値とカメラによる測定値との測定結果は図-10に示す通りで、相関係数は $r=0.94$ であった。誤差の最大値は3.3cmであり最小値は-0.8cm 平均は0.4cmであった。
- ②このデータをもとに材積計算を行うと、人力による事前計測値は $9.225\text{m}^3$ 、カメラによる測定値は $8.892\text{m}^3$ であり差が $0.333\text{m}^3$ であった。
- ③JASの径級区分による材積計算を行うと、人力による事前計測値は $8.423\text{m}^3$ 、カメラによる計測値は $8.078\text{m}^3$ であり差が $0.344\text{m}^3$ であった。人力による測定値を100%と仮定する

表-6 トラック1台分(86本)の計測結果表  
 Table 6. Measurement results list for a single truckload (86 logs)

NO	測定値			径級区分 (JAS)			測定値			径級区分 (JAS)		
	人力 (cm)	カメラ (cm)	差 (cm)	人力 (cm)	カメラ (cm)	差 (cm)	材積 (m <sup>3</sup> )	材積 (m <sup>3</sup> )	差 (m <sup>3</sup> )	材積 (m <sup>3</sup> )	材積 (m <sup>3</sup> )	差 (m <sup>3</sup> )
1	15.8	16.0	-0.2	14	16	-2.0	0.075	0.077	-0.002	0.059	0.077	-0.018
2	18.4	18.3	0.1	18	18	0.0	0.102	0.100	0.001	0.097	0.097	0.000
3	23.6	23.0	0.6	22	22	0.0	0.167	0.159	0.008	0.145	0.145	0.000
4	15.6	15.7	-0.1	14	14	0.0	0.073	0.074	-0.001	0.059	0.059	0.000
5	16.0	15.6	0.4	16	14	2.0	0.077	0.073	0.004	0.077	0.059	0.018
6	17.8	17.1	0.7	16	16	0.0	0.095	0.088	0.007	0.077	0.077	0.000
7	17.8	17.9	-0.1	16	16	0.0	0.095	0.096	-0.001	0.077	0.077	0.000
8	20.0	20.3	-0.3	20	20	0.0	0.120	0.124	-0.004	0.120	0.120	0.000
9	19.0	19.6	-0.6	18	18	0.0	0.108	0.115	-0.007	0.097	0.097	0.000
10	19.2	19.2	0.0	18	18	0.0	0.111	0.111	0.000	0.097	0.097	0.000
11	18.0	18.2	-0.2	18	18	0.0	0.097	0.099	-0.002	0.097	0.097	0.000
12	16.0	15.5	0.5	16	14	2.0	0.077	0.072	0.005	0.077	0.059	0.018
13	17.4	17.8	-0.4	16	16	0.0	0.091	0.095	-0.004	0.077	0.077	0.000
14	16.6	16.3	0.3	16	16	0.0	0.083	0.080	0.003	0.077	0.077	0.000
15	15.4	15.5	-0.1	14	14	0.0	0.071	0.072	-0.001	0.059	0.059	0.000
16	18.4	18.9	-0.5	18	18	0.0	0.102	0.107	-0.006	0.097	0.097	0.000
17	18.0	18.0	0.0	18	18	0.0	0.097	0.097	0.000	0.097	0.097	0.000
18	15.0	14.4	0.6	14	14	0.0	0.068	0.062	0.005	0.059	0.059	0.000
19	17.8	17.6	0.2	16	16	0.0	0.095	0.093	0.002	0.077	0.077	0.000
20	18.8	19.4	-0.6	18	18	0.0	0.106	0.113	-0.007	0.097	0.097	0.000
21	19.0	18.9	0.1	18	18	0.0	0.108	0.107	0.001	0.097	0.097	0.000
22	16.8	16.8	0.0	16	16	0.0	0.085	0.085	0.000	0.077	0.077	0.000
23	23.4	22.9	0.5	22	22	0.0	0.164	0.157	0.007	0.145	0.145	0.000
24	17.0	17.5	-0.5	16	16	0.0	0.087	0.092	-0.005	0.077	0.077	0.000
25	16.4	16.2	0.2	16	16	0.0	0.081	0.079	0.002	0.077	0.077	0.000
26	21.8	21.6	0.2	20	20	0.0	0.143	0.140	0.003	0.120	0.120	0.000
27	16.2	16.8	-0.6	16	16	0.0	0.079	0.085	-0.006	0.077	0.077	0.000
28	17.0	17.4	-0.4	16	16	0.0	0.087	0.091	-0.004	0.077	0.077	0.000
29	26.6	26.7	-0.1	26	26	0.0	0.212	0.214	-0.002	0.203	0.203	0.000
30	18.0	17.8	0.2	18	16	2.0	0.097	0.095	0.002	0.097	0.077	0.020
31	21.0	20.5	0.5	20	20	0.0	0.132	0.126	0.006	0.120	0.120	0.000
32	17.6	17.8	-0.2	16	16	0.0	0.093	0.095	-0.002	0.077	0.077	0.000
33	16.4	17.2	-0.8	16	16	0.0	0.081	0.089	-0.008	0.077	0.077	0.000
34	15.0	15.2	-0.2	14	14	0.0	0.068	0.069	-0.002	0.059	0.059	0.000
35	20.0	19.7	0.3	20	18	2.0	0.120	0.116	0.004	0.120	0.097	0.023
36	19.8	20.0	-0.2	18	20	-2.0	0.118	0.120	-0.002	0.097	0.120	-0.023
37	22.2	22.0	0.2	22	22	0.0	0.148	0.145	0.003	0.145	0.145	0.000
38	21.6	21.1	0.5	20	20	0.0	0.140	0.134	0.006	0.120	0.120	0.000
39	18.2	18.0	0.2	18	18	0.0	0.099	0.097	0.002	0.097	0.097	0.000
40	16.2	16.0	0.2	16	16	0.0	0.079	0.077	0.002	0.077	0.077	0.000
41	20.0	19.3	0.7	20	18	2.0	0.120	0.112	0.008	0.120	0.097	0.023

42	19.6	19.9	-0.3	18	18	0.0	0.115	0.119	-0.004	0.097	0.097	0.000
43	18.0	17.5	0.5	18	16	2.0	0.097	0.092	0.005	0.097	0.077	0.020
44	18.2	17.7	0.5	18	16	2.0	0.099	0.094	0.005	0.097	0.077	0.020
45	17.3	17.1	0.2	16	16	0.0	0.090	0.088	0.002	0.077	0.077	0.000
46	20.6	20.1	0.5	20	20	0.0	0.127	0.121	0.006	0.120	0.120	0.000
47	19.0	18.9	0.1	18	18	0.0	0.108	0.107	0.001	0.097	0.097	0.000
48	17.2	17.2	0.0	16	16	0.0	0.089	0.089	0.000	0.077	0.077	0.000
49	16.0	15.3	0.7	16	14	2.0	0.077	0.070	0.007	0.077	0.059	0.018
50	23.0	22.8	0.2	22	22	0.0	0.159	0.156	0.003	0.145	0.145	0.000
51	17.3	16.5	0.8	16	16	0.0	0.090	0.082	0.008	0.077	0.077	0.000
52	15.7	15.3	0.4	14	14	0.0	0.074	0.070	0.004	0.059	0.059	0.000
53	21.7	21.3	0.4	20	20	0.0	0.141	0.136	0.005	0.120	0.120	0.000
54	16.1	15.6	0.5	16	14	2.0	0.078	0.073	0.005	0.077	0.059	0.018
55	17.7	16.4	1.3	20	16	4.0	0.094	0.081	0.013	0.120	0.077	0.043
56	21.0	19.8	1.2	20	18	2.0	0.132	0.118	0.015	0.120	0.097	0.023
57	21.0	20.1	0.9	20	20	0.0	0.132	0.121	0.011	0.120	0.120	0.000
58	15.6	15.4	0.2	16	14	2.0	0.073	0.071	0.002	0.077	0.059	0.018
59	16.4	14.9	1.5	16	14	2.0	0.081	0.067	0.014	0.077	0.059	0.018
60	15.7	15.7	0.0	14	14	0.0	0.074	0.074	0.000	0.059	0.059	0.000
61	21.2	19.2	2.0	20	18	2.0	0.135	0.111	0.024	0.120	0.097	0.023
62	18.0	16.5	1.5	18	16	2.0	0.097	0.082	0.016	0.097	0.077	0.020
63	23.4	23.5	-0.1	22	22	0.0	0.164	0.166	-0.001	0.145	0.145	0.000
64	16.4	16.4	0.0	16	16	0.0	0.081	0.081	0.000	0.077	0.077	0.000
65	16.0	15.4	0.6	16	14	2.0	0.077	0.071	0.006	0.077	0.059	0.018
66	14.6	14.1	0.5	14	14	0.0	0.064	0.060	0.004	0.059	0.059	0.000
67	18.8	16.9	1.9	18	16	2.0	0.106	0.086	0.020	0.097	0.077	0.020
68	19.0	19.0	0.0	18	18	0.0	0.108	0.108	0.000	0.097	0.097	0.000
69	18.6	17.2	1.4	18	16	2.0	0.104	0.089	0.015	0.097	0.077	0.020
70	29.8	29.7	0.1	28	28	0.0	0.266	0.265	0.002	0.235	0.235	0.000
71	18.2	17.2	1.0	18	16	2.0	0.099	0.089	0.011	0.097	0.077	0.020
72	20.6	19.5	1.1	20	18	2.0	0.127	0.114	0.013	0.120	0.097	0.023
73	15.8	15.6	0.2	14	14	0.0	0.075	0.073	0.002	0.059	0.059	0.000
74	15.9	15.6	0.3	14	14	0.0	0.076	0.073	0.003	0.059	0.059	0.000
75	21.8	21.6	0.2	20	20	0.0	0.143	0.140	0.003	0.120	0.120	0.000
76	18.1	18.1	0.0	18	18	0.0	0.098	0.098	0.000	0.097	0.097	0.000
77	21.3	18.0	3.3	20	18	2.0	0.136	0.097	0.039	0.120	0.097	0.023
78	16.6	15.9	0.7	16	20	-4.0	0.083	0.076	0.007	0.077	0.120	-0.043
79	20.7	21.3	-0.6	20	20	0.0	0.129	0.136	-0.008	0.120	0.120	0.000
80	19.6	18.5	1.1	18	20	-2.0	0.115	0.103	0.013	0.097	0.120	-0.023
81	20.2	20.2	0.0	20	20	0.0	0.122	0.122	0.000	0.120	0.120	0.000
82	17.5	16.8	0.7	16	16	0.0	0.092	0.085	0.007	0.077	0.077	0.000
83	18.0	16.4	1.6	18	18	0.0	0.097	0.081	0.017	0.097	0.097	0.000
84	19.6	19.3	0.3	18	20	-2.0	0.115	0.112	0.004	0.097	0.120	-0.023
85	22.6	21.5	1.1	22	20	2.0	0.153	0.139	0.015	0.145	0.120	0.025
86	15.1	14.7	0.4	14	14	0.0	0.068	0.065	0.004	0.059	0.059	0.000
87	19.6	19.5	0.1	18	18	0.0	0.115	0.114	0.001	0.097	0.097	0.000
計							9.225	8.892	0.333	8.423	8.078	0.344

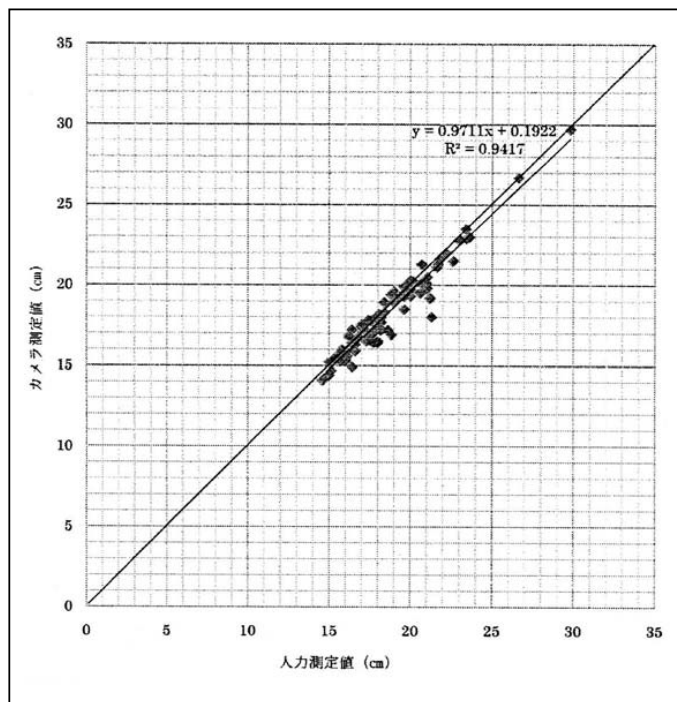
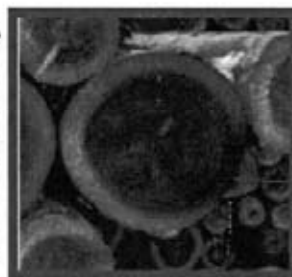
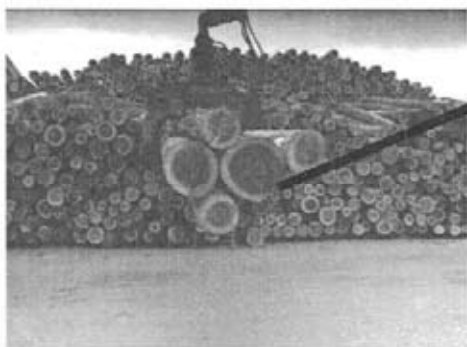


図-10 人力による測定値とカメラ測定値の相関

Fig. 10. Correlation between manual and camera measurements



縁の部分  
が黒くなる

写真-21 ストロボあり画像

Photo 21. Image with strobe

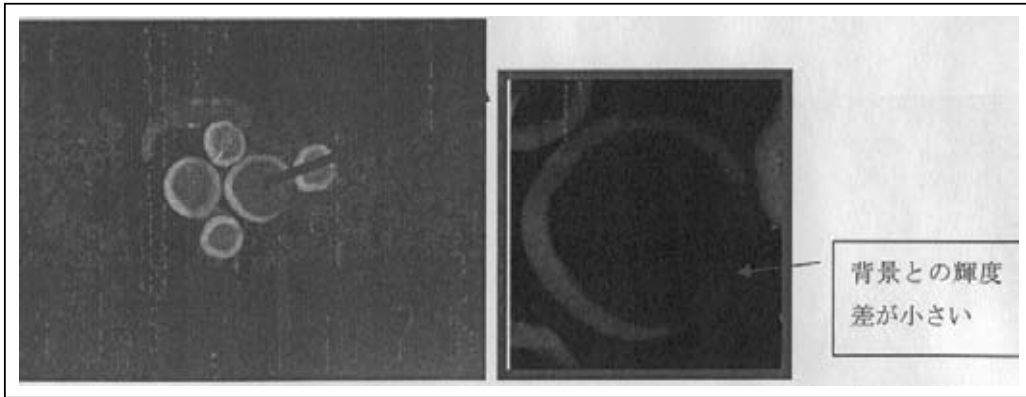


写真-22 差分画像  
Photo 22. Differential image



写真-23 計測結果  
Photo 23. Measurement results

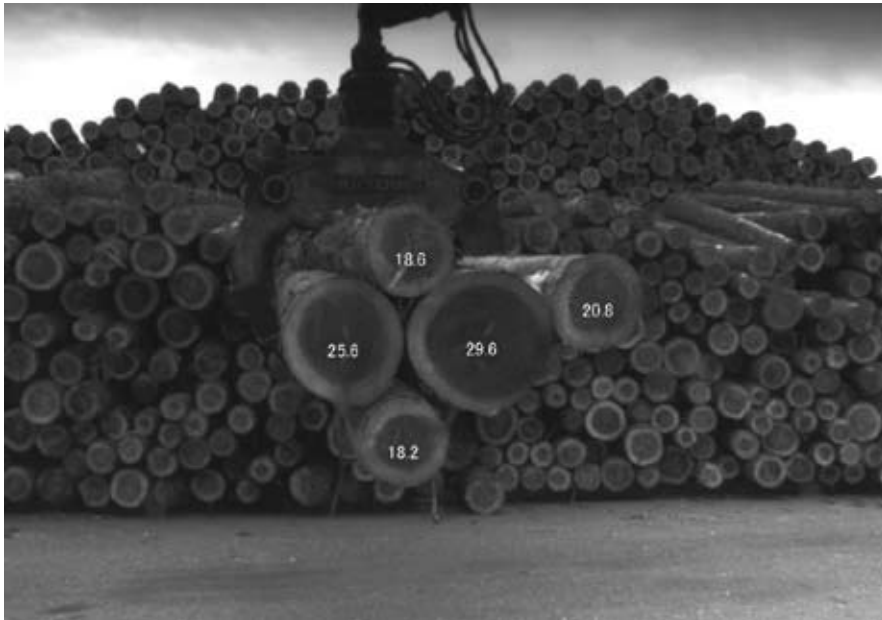


写真-24 閾値調整により改善された結果  
Photo 24. Image improvement after threshold adjustment

とカメラによる測定値は95.9%となり、他の機械による測定精度と比べて遜色ない程度の差異であった。

- ④木口面のきれいなものは相関関係が高いが、木口面に泥が付着したものや枝葉による異常値があった。
- ⑤木口面が変色したものに異常値があった。

写真-21 22 23 24 に例を示した。

表-7 従来の計測方法に対する本システムの優位性而非優位性  
Table 7. Comparison of proposed and conventional systems

強 み	弱 み
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ポータブルで伐採現場におけるトラック積み込み時に計測でき、余分な工程は不要。また、伐採現場から製材工場等買主への直送が可能。</li> <li>・人によらず計測値が一定であり、取引の公正を確保できる。</li> <li>・伐採現場での材積把握が可能となり、売主側（山林所有者）の販売管理が容易になる。出荷伝票発行も容易。</li> <li>・買主側でも積み下ろし時に再度計測することにより、納品チェックが容易。在庫管理も容易。</li> <li>・山林伐採現場、屋外という特殊な条件下でも、正確な計測が可能。</li> <li>・このカメラにGPS機能を搭載することにより素材生産の全国的統計調査を正確に行える可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・このシステムには検知機能はあるが、仕分け（原木の形状や品質による選別）機能は無いため原木の形状や品質による選別は伐採現場における仕分けのみとなる。</li> </ul>



表-8 社会的影響のまとめ  
Table 8. Summary of social impact

対象	影響
山林所有者	販売管理しやすくなり、流通コストの低減により手取り収入が増加し、需要者側の動向を早く知ることが出来る。
需要者	在庫管理が容易になり、価格・量・品質の安定が図られ、計画的な生産販売ができ、工場の大規模化が可能となり近代化に寄与する。
木材業界	林業の採算性の向上は再造林の可能性を高め持続性のある産業となり、木材産業全体の活性化につながる。また、森林整備が進み山林が健全化され、治山治水にも貢献できる。

⑥計測作業時間については、従来一台約15分程度の積込時間であったものが、カメラで測定することにより20分程度となった。しかし、これは計測集計時間も含んでおり帳票の出力時間等まで考えれば飛躍的な時間短縮が実現できることがわかった。

⑦表-7に従来の計測方法と比較しての優位性及非優位性を、また表-8に社会的影響をまとめた。

## 9. まとめ

計測システムを使って丸太の計測実験を行い、丸太直径サイズの自動計測、結果の表示、結果の出力など一連の処理が正しく行われることが確認できた。

実験結果から計測の安定性や速度などに対しては表-9のような課題が残っていることがわかった。また、表-9の対策を実施することで計測システムの性能が改善されると考えられるため、実用段階への移行が可能なシステムであることが確認できた。

## 謝辞

本研究は大分県森林環境保全推進関係事業（木材等新用途研究開発事業）として大分県より補助金をいただき、大分県林業試験場の方に測定作業の協力をお願いした。

また、三次元計測のソフト開発には株式会社三次元メディア（草津市）の協力を得て行われたことに感謝する。

表-9 課題と対策  
Table 9. Issues and solutions

課題	対策
高速化	アルゴリズムの改良
撮影パラメータ自動調整	画像の明るさにより自動調整機能を追加
装置のコンパクト化	カメラ間隔を短縮
変色丸太の対応	閾値調整、コントラストの改善

## 要旨

原木の流通取引において材積計測が必須工程であるが、山元での材積計測システムが確立していないため売主と買主の信頼関係が構築できていない。そのため流通コストのかかる原木市場の大型選木機等に依存せねばならないことが林業の不採算要因の一つとなっている。そこで山元等での材積計測システムを開発・定着化させ、山元から工場等への直送販売体制の構築を推進するため、原木の径級を複数台のデジタルカメラにより撮影した画像を三次元認識することにより材積を計測するシステムを開発し、その精度を検証した。なお、材積計算法は日本農林規格（JAS）によるものとした。

**キーワード**：材積測定 原木直径 日本農林規格 検知

## 引用文献

- 1) 川上敬介・木村実次・入澤宏・小谷章二・森田晃司（2009）. 画像処理による丸太材積簡易計測システムの開発. (社)日本木材加工技術協会第27回年次大会報告集：41-42.
- 2) 西岡泰久（2010）次世代型県産材供給システム現代林業3：1-6.
- 3) 西岡泰久（2010）「次世代型県産材供給システム」が目指すもの. 機械化林業2：25-29.
- 4) 徐剛・辻三郎（1998）三次元ビジョン. 350PP., 共立出版, 東京.
- 5) 吉澤 徹（2006）最新三次元計測. 135PP., 朝倉書店, 東京.

(2010年12月22日受付)

(2011年5月9日受理)

## Summary

Measurement of log volume is essential for log distribution and transactions, and the lack of such a measurement system that can be used where trees are first cut presents an obstacle to smooth on-site transactions and has made the log industry dependent on large-scale grading machinery. The development and adoption of a system for log measurement would make possible the construction of a system whereby logs could be sold to the factory directly from the cutting site. A portable measurement system was developed using two digital cameras to create stereoscopic images of the log diameter class. Using computerized 3D image analysis log volume was calculated according to the Japanese Agricultural Standard (square of top end multiplied by length). The precision of the system was demonstrated.

**Key word** : log volume, log diameter, Japanese Agricultural Standard, measuring