

# 光ファイバー式センサを用いた 単板節部分の認識

白川 真也 野崎 兼司  
佐藤 眞

## Recognition of Knots in Veneer with an Optical Fiber Sensor

Shinya SHIRAKAWA Kenji NOZAKI  
Makoto SATO

Studies were made on detecting and recognizing knots in Karamatsu heartwood veneer and Todomatsu veneer with an optical fiber sensor. The results are summarized as follows:

(1) With this sensor, it was possible to detect difference in optical input levels caused not only by densities but by fiber directions. This is one of the characteristics of the sensor.

(2) From comparing the optical input levels in knots with those in the other parts, it was found that there was distinct difference between the two; the former levels were obviously lower than the latter.

(3) The detection rate of knots in Todomatsu was 100 percent for all 4096 levels, except a threshold level of 1700, and no influence by noise was recognized. With the Karamatsu veneer, a similar tendency was recognized for a threshold level of 1750, but at the other levels knots were often mistaken for noise.

(4) As to classification, 80-88 percent of the knots were correctly classified.

(5) As to measuring knot diameters, the aberration was  $\pm 3\text{mm}$  with a confidence coefficient of 95 percent, but there was large difference in average between live knots and dead knots. With Karamatsu, there was large dispersion.

光ファイバーユニットを検出端に用いた光ファイバー式センサを使用してカラマツ心材単板およびトドマツ単板の節部分の検出及び認識について検討した。結果を要約すると次のとおりである。

- 1) このセンサの特徴として、濃度の他に繊維方向の違いによる受光量の差も現れることが確認された。
- 2) センサの受光量を、節部分と節以外の部分で対比すると、節部分においては明らかに階調が低くなっており、明確な差異が認められた。

- 3) 節の有無の検出に関しては、全階調4096のうち、トドマツは<sup>しきい</sup>閾値1700の場合を除いては100%検出ができ、ノイズの影響も見られなかった。カラマツは閾値1750の場合において同様のことがいえるが、それ以外の閾値の場合は節種類の分類において、節をノイズと認識したものが認められた。
- 4) 節の種類の分類に関しては、概ね80%~88%が正しく分類された。
- 5) 直径の認識において、その誤差は、トドマツの場合は、95%信頼限界で $\pm 3\text{mm}$ 程度であった。しかし、死に節と生き節で平均値のずれが認められた。カラマツの場合はそのバラツキが大きかった。

## 1. はじめに

北海道において製造される合板の主流は表面化粧を目的とするセン・カバ・ナラ・シナ等のいわゆる道材合板であり、これに加えて各種オーバレイ用の台板や、コンクリート型枠用合板等の南洋材合板がある。

道材合板は円高により輸出が困難となり、大幅な生産減となっている。内需転換の努力はなされているが、シナ合板以外のものについては、建材として量的な市場確保が困難な状況にある。また、南洋材合板については資源国の輸出規制により困難な局面を迎えようとしている。

一方、地場資源を見ると、造林木を含めた針葉樹材の蓄積が多く、これの高度利用が望まれている。

しかし、針葉樹による合板については、日本では馴染みが薄く、需要が定着していない。そのため、製造技術面での技術開発が先行出来なかった側面もある。

単板の品質は裏割れ、面粗れ、腐れ、節等によって評価されるが、針葉樹は広葉樹に比べて節の多いことはこれまでの研究でも認められている。

現在のところ、これらの品質評価は、熟練者の視覚に頼って計測、計数、分類等の作業を行っている。しかし、視覚による判定は精度が変動し、作業の繰り返しによって次第に効率が落ち、また、その節の数の多さから、作業能率も悪い。これら視覚に代わる何らかの方法で自動的に計測・処理・判断を行い、選別や欠点部分の除去を行う必要がある。

そこで、単板の節部分を検出する一つの方法として、光ファイバーを検出端に用いたフォトセンサを使用して節部分の検出を試みた。また、検出された情報からソフトウェアによる簡単な画像処理を行い節部分の認識を行った。

本報告では、カラマツ(心材、以下同じ)・トドマツ両樹種について節の検出の有無・節種類の分類・直径の検出精度に関して検討を行った。

なお、本研究は昭和62年度中小企業事業団委託事業の加圧的技術開発支援事業の内の共通基盤的技術開発として行い、第38回日本木材学会大会(旭川)の木材切削研究会で発表した。

## 2. 試験装置

### 2.1 センサーの概要

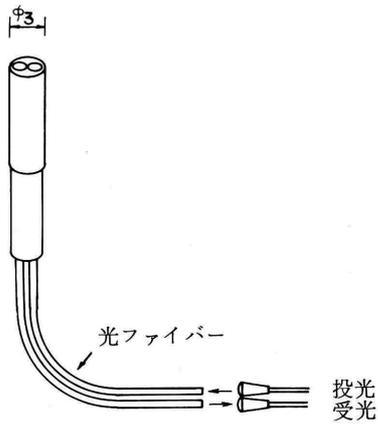
使用した光ファイバーユニットの先端形状を第1図に示す。これは、直径3mmの管の中に直径1mmの光ファイバーを2本埋めこみ、それぞれが投光と受光の役目を果たすものである。

なお、この光ファイバーユニットは、キーエンス・FU-44と同等品である。

光ファイバーユニットの投光側の光源には赤色発光ダイオードを用いた。受光側にはフォトランジスタを用い、その受光電圧をOPアンプで増幅し、ハイカットフィルターを通したのち、12ビット・A/Dコンバータを介してマイコンに入力した。したがって、節等の濃度の濃い部分は受光量が少なくなり、後で述べる階調は低い値となる。

試験装置はこの光ファイバーユニットを7mm間隔で48個直線上に配置し、単板表面上から7mmの距離において平行に設置した。

なお、マイコンは、エプソン・PC-286Vを使用した。また、受光・増幅回路には手動によるゼロ点調整、およびゲイン調整がついており、測定に際してはこれらの調整が必要である。



第1図 光ファイバーユニット

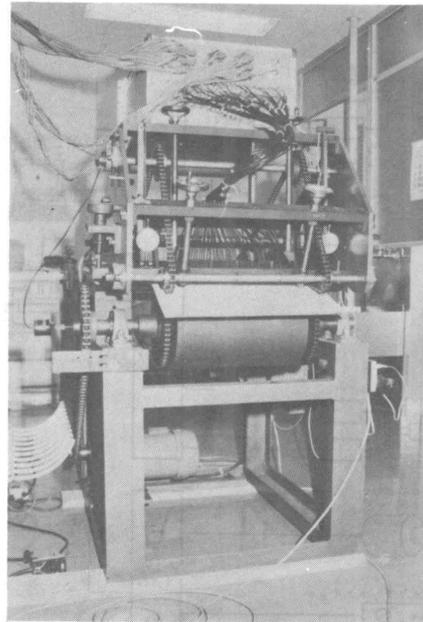


写真1 機械装置の全景

## 2.2 機械装置

機械装置の概略を第2図に示す。全景を写真1に示す。

試験単板は平板上を試験単板の左右両端の上面および下面をチェーンで緩く挟み込む形で送られていき、センサ下部では、直径220mmの黒色ゴムローラと縦スパン48mm、横ピッチ40mmのローラベアリング列により適度に強く挟まれ、単板の波うちを抑えた形で通過する。

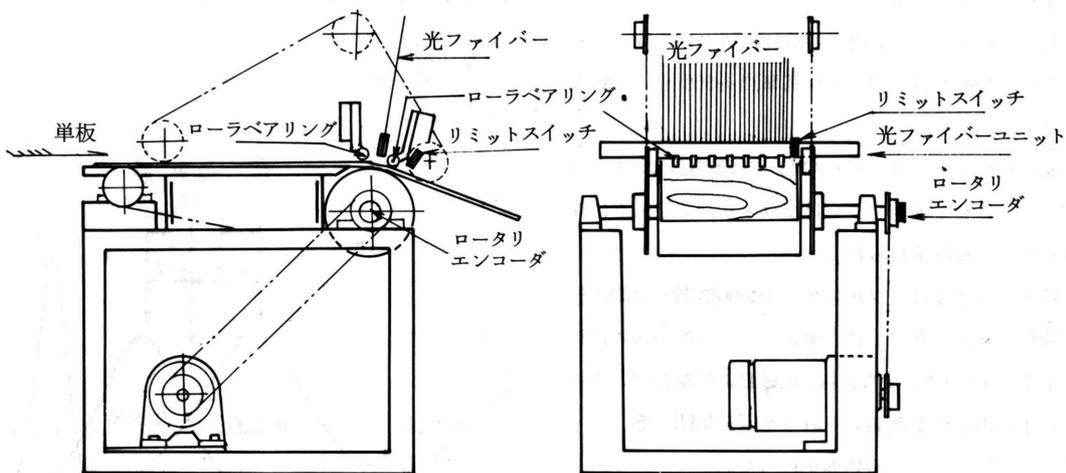
センサー下部後方約50mmの位置に光電式リミットスイッチが取り付けられており試験材の有無を検出している。また、ゴムローラ軸にはロータリエンコーダが取り付けられており、測定位置を検出している。

装置の構成を第3図に示す。

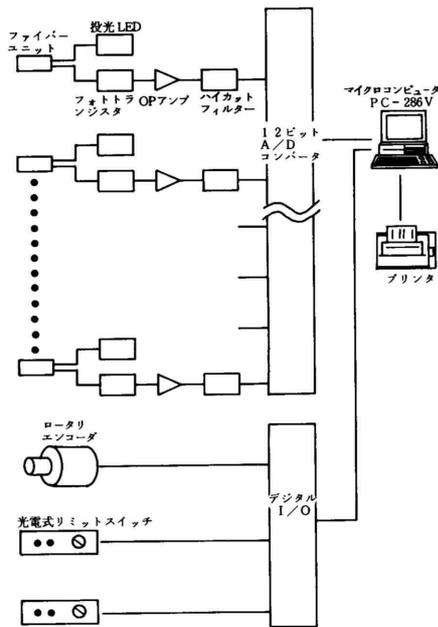
## 3. 試験方法

センサーの出力レベルに関しては、各チャンネルごとにゼロ点及び、ゲインの調整を行った。

ゼロ点は、試験材を入れない状態におけるセンサの計測値が、黒色ゴムローラの値であるため、この値をゼロ基準点となるように調節した。すなわち、この値



第2図 機械装置の概略



第3図 装置の構成

が、抜け節の計測値となる。

ゲインは、試験材と同じ厚さの基準盤に、白紙を張り付け、その値がフルスケールの1/2となるように調整した。

また各試験材の測定を開始する直前に、各センサのゼロ基準点の100回の平均値を求め、これを実測値から差し引いて計測値とした。

なお、コンピュータ側での処理数値としては、フルスケール4096階調の内、ゼロ基準点を500として処理した。

測定したデータは、ディスプレイに多階調表示および波形表示させて確認し、一旦フロッピーディスクに保存した後、解析を行った。

節部分の認識は、フルスケール4096階調の全測定値を閾値を変えて0と1に二値化し、その中から4連結によるラベリング、すなわち、前後および左右のいずれかに1のある点を連結しそれらを同一集団（節、ノイズ）として位置づける処理を行った。

そして、位置づけられた集団の中から、要素数一つのもの、および直径が2mm以下のもの、直径の割りに

要素数の少ないものは、ノイズとして予め除去した。

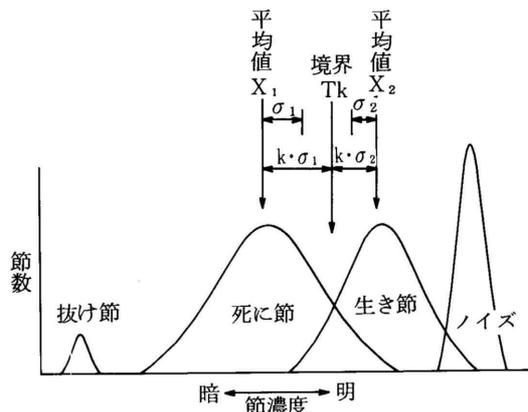
直径は、送り方向のフェレ径で算出した。カラマツの場合は節部分と節以外の部分の濃度の差が少なく、節部分の回りの節袴等も節の中に包含され、その誤差が大きくなるため、二値化図形の収縮処理に似た方法で、処理した。収縮処理というのはある点の前後左右のいずれかの要素が0の場合にその点を0にする処理であるが、ここでは左右の両方の要素が0の場合にのみその点を0とした。この処理は測定値で10mmを超えたものに対して行った。カラマツの10mm以下のものおよび、トドマツは二値化されたデータから単純に算出した。

節濃度は、一つの集団として位置づけられたものに含まれる測定値を階調の低い順に並べ換えを行い、その中の低い方からいくつかの測定値の平均値（ここではAvnとする）をもって節濃度とし、それに基づき、生き節・死に節・抜け節・ノイズの分類を行った。

Avnは実験の結果、直径をmmに換算した値の1/2の数（例：直径20mmの場合は10個）が最適であった。

節種類の判別境界は、各種類の節濃度の標準偏差の特定倍（ここではkとする）の値を明側、暗側で同じにし、分布が重なり合う部分において含まれる確率が同じになるようにした。第4図を例に説明すれば、死に節の平均値を  $\bar{x}_1$ 、標準偏差を  $\sigma_1$ 、生き節の平均値を  $\bar{x}_2$ 、標準偏差を  $\sigma_2$  とした場合

$$k = \frac{X_2 - X_1}{\sigma_1 + \sigma_2}$$



第4図 節種類の判別境界

であり、死に節と生き節の境界は

$$Tk = X_1 + k \cdot \sigma_1 = X_2 - k \cdot \sigma_2 = \frac{\sigma_1 X_2 + \sigma_2 X_1}{\sigma_1 + \sigma_2}$$

である。

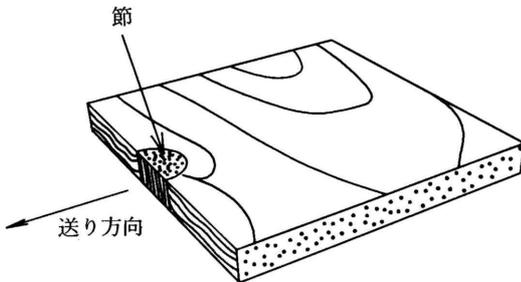
#### 4. 試験材

試験材には、ロータリーレースで切削した、500mm × 500mm、厚さ4mmのカラマツ単板25枚、トドマツ単板24枚を用いた。

これらを前述の機械装置に通し、長さ（送り方向）400mm × 幅329mmの範囲についての測定を行った。

送り速度は10m/min、分解能は長さ方向2mm、幅方向7mmである。

第5図に単板の繊維方向と送り方向を示す。



第5図 試験材の繊維方向と送り方向

#### 5. 試験結果及び考察

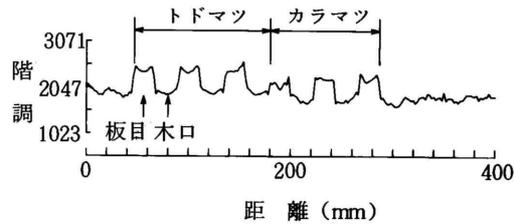
##### 5.1 繊維方向と受光量

第6図にチップソーで鋸断したカラマツ、トドマツそれぞれの板目面と木口面を交互に配置した試験片上を通過した一本のセンサの受光波形を示す。

同一樹種で比較する場合木口面は板目面より300～500階調低くなっている。

また、肉眼観察ではカラマツ板目面よりもトドマツ木口面が濃度が薄いと思われるが、受光量では逆にトドマツ木口面のほうが階調が低くなっている。

これは投光・受光2本の光ファイバーが隣接していることにより板面に対してほぼ直角に投光し、ほぼ直角に受光することができ、濃度の差に加えて繊維方向



第6図 チップソーで鋸断したカラマツ心材およびトドマツの板目面と木口面を交互に配置した試験片上を通過した一本のセンサの受光波形

の違いによる光の反射・吸収も検出しているためではないかと推測される。

##### 5.2 トドマツ

###### 5.2.1 節部分の検出

第7図 B に写真2のトドマツ単板の死に節および生き節部分を含む場所を通過した1本のセンサの受光波形の一例を示す。トドマツ単板は肉眼においても節部分と節以外の部分の濃淡が、はっきりとしており、この受光波形にもその受光量の違いが明確に現れている。

###### 5.2.2 節部分の認識

第1表にトドマツの6mm以上の節の検出の有無を実測値と比較したものを示す。

閾値1700を除いては、確認された6mm以上の節を全て検出している。

また、ノイズを節と認識したもの、および第2表に示しているように節をノイズと認識したものもなく、良好な結果を示している。

節種類の分類に関しては（第4図）、生き節と死に節とは節濃度の平均値が近く、また、死に節の標準偏差も大きいことにより、生き節の暗側と死に節の明側のkの値は0.9程度（0.9）であった。

これは、トドマツ単板では節以外の部分との境界部分が僅かに黒く縁どられているだけの、肉眼でも生き節か死に節か判断に迷うような死に節もあり、また、センサ間隔が7mmであるために直径の小さい節の中心が隣合ったセンサとセンサの間を通過した場合等は受光量が多く（濃度の測定値として明るく）出てくるためと思われる。

抜け節はその形態が貫通孔であるということも考え

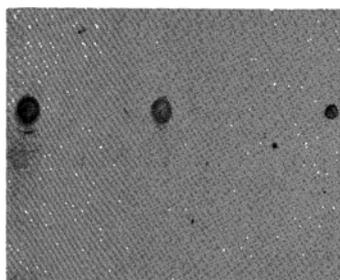
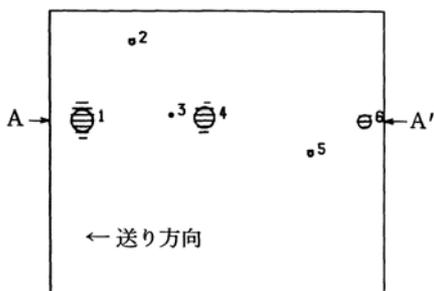
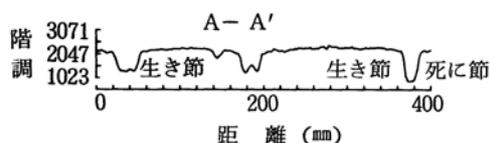


写真2 試験に用いたトドマツ単板の一例



第7図<A>試験材に対比させた認識結果



第7図<B>節部分における受光波形

れば、この分離に関しては特に問題はないと思われる。

また、ノイズは、生き節とはかけ離れたところであり、この分離に関しても、問題はないと思われる。

第3表に認識直径の誤差（実測直径－認識直径）の平均値と標準偏差を示す。

この際の実測値は、節の辺材部分を含むものである。

試験材の節の中には肉眼ではその境界部分がはっきりしないものがあり、また今回の実験における検出点は、送り方向でも2mm間隔である点を考慮すれば、この程度の標準偏差はやむおえないと考えられる。

また、閾値による平均値のバラツキが見られる。誤差があっても生き節と死に節で平均値が一定していれば、算術演算により補正できるが、生き節と死に節でかなりの差があるために、前述の節の種類の分類がうまく出来なければかえって誤差が大きくなる場合もあると考えられる。

第7図<A>に試験材（写真2）に対比させた認識結果を示す。これは、閾値1800で二値化した結果を描き、そこに節として認識された部分に節の中心位置を中心とする直径相当の円を重ねて描き、ラベリングを行ったものである。

第1表 トドマツ6mm以上の節の検出の有無

	閾 値	節 総 数	検 出 した 節 の 数		検 出 で き な か っ た 節 の 数		ノイズを節と認識した数 個
			個	%	個	%	
生き節	1,700	86	85	98.9	1	1.2	0
	1,750	86	86	100.0	0	0	0
	1,800	86	86	100.0	0	0	0
	1,850	86	86	100.0	0	0	0
死に節	1,700	21	21	100.0	0	0	0
	1,750	21	21	100.0	0	0	0
	1,800	21	21	100.0	0	0	0
	1,850	21	21	100.0	0	0	0
抜け節	1,700	1	1	100.0	0	0	0
	1,750	1	1	100.0	0	0	0
	1,800	1	1	100.0	0	0	0
	1,850	1	1	100.0	0	0	0
合 計	1,700	108	107	99.1	1	0.9	0
	1,750	108	108	100.0	0	0	0
	1,800	108	108	100.0	0	0	0
	1,850	108	108	100.0	0	0	0

第2表 トドマツ6mm以上の節の分類された数

	閾値	生き節		死に節		抜け節		ノイズ	
		個	%	個	%	個	%	個	%
生き節と認識された数	1,700	68	80.0	3	14.3	0	0	—	—
	1,750	69	80.2	4	19.0	0	0	—	—
	1,800	71	82.6	4	19.0	0	0	0	0
	1,850	70	81.4	5	23.8	0	0	0	0
死に節と認識された数	1,700	17	20.0	18	85.7	0	0	—	—
	1,750	17	19.8	17	81.0	0	0	—	—
	1,800	15	17.4	17	81.0	0	0	0	0
	1,850	16	18.6	16	76.2	0	0	0	0
抜け節と認識された数	1,700	0	0	0	0	1	100.0	—	—
	1,750	0	0	0	0	1	100.0	—	—
	1,800	0	0	0	0	1	100.0	0	0
	1,850	0	0	0	0	1	100.0	0	0
ノイズと認識された数	1,700	0	0	0	0	0	0	—	—
	1,750	0	0	0	0	0	0	—	—
	1,800	0	0	0	0	0	0	1	100.0
	1,850	0	0	0	0	0	0	18	100.0
合計	1,700	85	100.0	21	100.0	1	100.0	—	—
	1,750	86	100.0	21	100.0	1	100.0	—	—
	1,800	86	100.0	21	100.0	1	100.0	1	100.0
	1,850	86	100.0	21	100.0	1	100.0	18	100.0

第3表 トドマツ6mm以上の節の認識直径の誤差 (実測値-認識値)

標準偏差・平均値：mm

閾値		生き節	死に節	抜け節
1,700	平均値	3.03	0.19	1.00
	標準偏差	1.52	1.33	0
1,750	平均値	2.46	-0.20	1.00
	標準偏差	1.69	1.31	0
1,800	平均値	1.72	-0.80	-1.00
	標準偏差	1.58	1.67	0
1,850	平均値	0.53	-1.20	-1.00
	標準偏差	2.28	1.87	0

### 5.3 カラマツ

#### 5.3.1 節部分の検出

第8図〈B〉に同様に写真3に示すカラマツ単板の生き節・死に節部分を通過した、各センサの受光波形の一例を示す。

カラマツ心材は、肉眼では生き節部分と節以外の部分の濃淡の差があまりはっきりとしない。

この波形を見ると、節以外の部分においても、階調の変化が大きい、これは年輪の濃淡が現れているためである。

D-D'断面に示す生き節の場合、年輪の晩材部と節部分の階調差はトドマツやカラマツ死に節(B-B')に比較して、小さくなっており、また、境界部分の傾斜もかなり緩くなっている。これは、生き節部分が節以外の部分と比較してその濃度の差が少ないのに加えて、節の回りに、繊維走行が節に近いいわゆる節袴や年輪があるためである。

B-B'断面は死に節の場合である。カラマツ材の死に節は、その外縁部が明確に黒く縁どられているものが多く、肉眼でも明瞭に識別できるが、この受光波形においても、その階調差は大きく出ており、境界部分の傾斜も生き節に比較すると、急になっている。

C-C'断面は判定では死に節としたが、実際には、節の半分程度(図の右側)の外縁部が僅かに黒く縁どられ、繊維の連絡が切れている生き節と死に節の中間に相当する節の受光波形である。生き節部分と死に節部分の境界面の傾斜の違いが明瞭である。

#### 5.3.2 節部分の認識

第4表にカラマツの6mm以上の節の検出の有無を実測値と比較したものを示す。

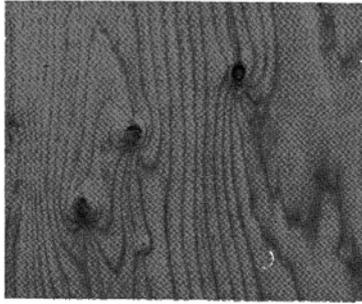
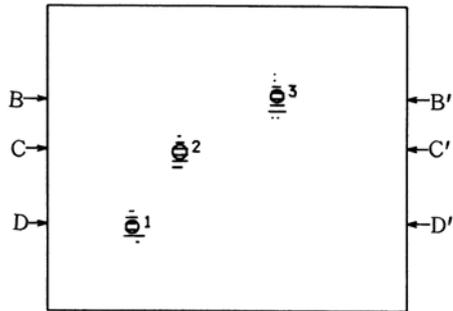
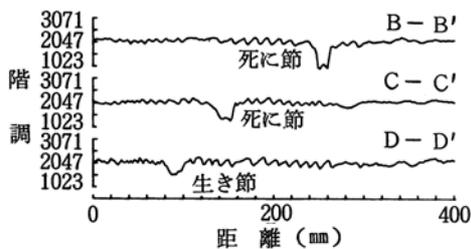


写真3 試験に用いたカラマツ単板の一例



第8図<A> 試験材に対比させた認識結果



第8図<B> 各節部分における受光波形

第4表 カラマツ6mm以上の節の検出の有無

	閾値	節総数	検出した節の数		検出できなかった節の数		ノイズを節と認識した数
			個	%	個	%	
生き節	1,600	42	39	92.9	3	7.1	0
	1,650	42	42	100.0	0	0	0
	1,700	42	42	100.0	0	0	0
	1,750	42	42	100.0	0	0	0
死に節	1,600	65	65	100.0	0	0	0
	1,650	65	65	100.0	0	0	0
	1,700	65	65	100.0	0	0	0
	1,750	65	65	100.0	0	0	0
抜け節	1,600	2	2	100.0	0	0	0
	1,650	2	2	100.0	0	0	0
	1,700	2	2	100.0	0	0	0
	1,750	2	2	100.0	0	0	0
合計	1,600	109	106	97.2	3	2.8	0
	1,650	109	109	100.0	0	0	0
	1,700	109	109	100.0	0	0	0
	1,750	109	109	100.0	0	0	0

閾値1600を除いては、確認された6mm以上の節をすべて検出しているが、閾値1750を除いては第5表に示しているように、生き節をノイズと認識したものがある。

節種類の分類に関しては、死に節・生き節・ノイズのkは1.3程度(1.3σ)であり、明確な分離は困難であった。特に、ノイズと生き節の分離は重要であるが、これはカラマツの場合は節以外の部分、特に年輪の晩材部が濃いために、その値が生き節に近くなっているためであると考えられる。

このため、生き節とノイズの分離に関しては、生き節の明側の境界を越えたものでも一つの節と認識された集団の中の階調の差が大きいものは、生き節として処理することとした。

第5表にこの方法により分類した結果を示す。

分類の精度をみると、生き節、死に節ともに83%~88%程度の正確さである。

第6表に認識直径の誤差の平均値と標準偏差を示す。

標準偏差がかなり大きいのが、これは前述したように節の回りを繊維走行が節に近い、いわゆる節袴や年輪節の中に包含してしまうものや、節部分の境界面の傾斜の緩さから、閾値によっては節の中心部分しか認識されないものがあるためである。

第8図<A>にトドマツ

同様、試験材(写真3)に対比させた測定結果を示す。なお、この場合の閾値は1700である。

## 6. まとめ

光ファイバーを検出端に用いた光ファイバー式センサを使用してカラマツ心材単板及びトドマツ単板の節部分の検出及び認識について検討した。結果を要約すると次のとおりである。

第5表 カラマツ6mm以上の節の分類された数

	閾 値	生 き 節		死 に 節		抜 け 節		ノ イ ズ	
		個	%	個	%	個	%	個	%
生き節と認識された数	1,600	33	84.6	8	12.3	0	0	0	0
	1,650	35	83.3	8	12.3	0	0	0	0
	1,700	35	83.3	9	13.8	0	0	0	0
	1,750	37	88.1	8	12.3	0	0	0	0
死に節と認識された数	1,600	4	10.3	57	87.7	0	0	0	0
	1,650	4	9.5	57	87.7	0	0	0	0
	1,700	5	11.9	56	86.2	0	0	0	0
	1,750	5	11.9	57	87.7	0	0	0	0
抜け節と認識された数	1,600	0	0	0	0	2	100.0	0	0
	1,650	0	0	0	0	2	100.0	0	0
	1,700	0	0	0	0	2	100.0	0	0
	1,750	0	0	0	0	2	100.0	0	0
ノイズと認識された数	1,600	2	5.1	0	0	0	0	4	100.0
	1,650	3	7.1	0	0	0	0	11	100.0
	1,700	2	4.8	0	0	0	0	24	100.0
	1,750	0	0	0	0	0	0	43	100.0
合 計	1,600	39	100.0	65	100.0	2	100.0	4	100.0
	1,650	42	100.0	65	100.0	2	100.0	11	100.0
	1,700	42	100.0	65	100.0	2	100.0	24	100.0
	1,750	42	100.0	65	100.0	2	100.0	43	100.0

第6表 カラマツ6mm以上の節の認識直径誤差  
(実測値-認識値)

標準偏差・平均値: mm

閾 値		生 き 節	死 に 節	抜 け 節
1,700	平均値	5.41	1.23	0
	標準偏差	4.66	2.20	0
1,750	平均値	3.07	0.40	0
	標準偏差	4.44	2.21	0
1,800	平均値	0.11	-1.10	-4.00
	標準偏差	5.61	3.07	2.00
1,850	平均値	-3.00	-2.80	-6.00
	標準偏差	6.76	3.89	2.00

1) このセンサの特徴として投光・受光部分が隣接して材面に直角に投・受光できるために、濃度の他に繊維方向の違いによる受光量の差も現れた。特にロータリーレースで剥いた単板のように節以外の部分に対して、節部分の繊維方向が直角に近くなっているものについては、その検出能力が優れていると考えられる。

2) 節部分の検出において、節部分と節以外の部分を対比させると、節部分においては明かに階調が低くなっており、明確な差異が認められた。しかし、特にカ

ラマツ心材の生き節部分において、その境界部分の階調傾斜が緩くなる傾向が認められた。

3) 節の有無の検出に関してはトドマツは閾値1700を除いては100%検出ができ、ノイズの影響もみられなかった。カラマツは閾値1750において同様のことがいえるが、それ以外の閾値においては節種類の分類において、節をノイズと認識したものがみられた。

4) 節の種類の分類に関しては、概ね80%~88%が正しく分類した。

5) 直径の認識に関しては、トドマツの場合は、95%信頼限界で±3mm程度であった。しかし、死に節と生き節で平均値のずれが認められた。

カラマツの場合はそのバラツキが大きかった。

6) 節とノイズの分離は節と離れたところにあるノイズに対しては分離することが可能であった。

しかし、節に隣接したノイズは節の中に包含されるものが認められた。

## 文 献

- 1) 鎌田英博ほか1名：北海道立工業試験場報告, No. 285 (1986)
- 2) 鎌田英博ほか2名：日本木材学会北海道支部講演集, No.19 (1987)
- 3) 杉森正敏ほか1名：木材学会誌Vol. 34, No.6, p. 473-478 (1988)

—技術部 機械科—

(原稿受理 昭63. 9. 19)