

## 送材方向對砂光面粗糙度之影響— FFT 頻譜分析之應用

陳欣欣 黃彥三

### 摘 要

木材鉋削加工後所留下之刀痕、起毛等缺點，須藉適當的砂光作業來消除，在砂光作業中送材方向對材面的粗糙度有關鍵性的影響。本研究利用FFT頻譜分析儀就剖面波形進行解析，探討不同送材方向在砂光作業中對材面粗糙度產生之影響。試材選用橡木、粉白柏，以#80，#120，#180，#240號砂帶進行帶式砂光機之砂磨試驗，試驗結果如下：

1. 送材方向及粗糙度測定方向影響材面粗糙度之測定值，同一粒號砂帶不論橡木或粉白柏粗糙度之測定結果，平均粗糙度(Ra)及中量均為0-90>90-0>90-90>0-0，又測定方向與砂痕成90°或45°者均較0°者為大，此現象明顯的顯示出粗糙度之測定受砂痕之影響較大，受木理之影響較小。
2. 不論橡木或粉白柏其中量與Ra之比值皆不因木理走向及粗糙度之測定方向而有明顯差異。
3. 以中量來表示材面粗糙度時，能排除木材組織中環孔之影響，較能顯現材面之加工粗糙度。
4. 橡木由於具有導管，受環孔之影響材面較粗糙，但弦面部分之非環孔部位，則材面粗糙度與粉白柏之材面非常接近。

關鍵詞：頻譜分析、粗糙度、中量、頻度

陳欣欣、黃彥三. 1991. 送材方向對砂光面粗糙度之影響—FFT頻譜分析之應用. 林業試驗所研究報告季刊. 6(2):173-184,1991

### The Effect of Feeding Direction on the Roughness of Wood Sanding Surface—Application of FFT Spectrum Analysis

Shin-shin Chen and Yan-san Huang

#### [Summary]

The machining defects including knife marks, torn grain and fuzzy grain should be removed by sanding process. The feeding direction with respect to wood grain affects deeply on the roughness of sanded surface. In this study, the influence of feeding direction on the roughness of red oak and lusitanica was evaluated by FFT spectrum analyzer. The grain sizes of sand paper used were #80, #120, #180 and #240. The contact roller of wide belt sander was used for sanding test.

1991年 1月送審  
1991年 2月通過

The results are concluded as follows:

1. The roughness values of wood surface were affected by feeding direction when sanding, and by measuring direction of roughness meter with respect to wood grain. The measured average roughness Ra and median have the following tendency: 0-90>90-0>90-90>0-0. This phenomena revealed that the influence of sanding scratch on roughness was greater than that of wood grain.
2. The ratio of median to Ra was not affected by grain direction or roughness measuring direction.
3. Using median as a roughness parameter, the effects of ring pores of wood can be ignored and processing roughness can be evaluated better.
4. The surface of oak was rougher than lusitanica because of the existence of ring pores, but the roughness of non-ring pores region of oak was very close to the surface of lusitanica.

**Key words:** Spectrum analysis, Roughness, Median, Probability.

**Chen Shin-shin and Yan-san Huang.** 1991. The Effect of Feeding Direction on the Roughness of Wood Sanding Surface—Application of FFT Spectrum Analysis. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 6(2):173-184,1991

### 一、諸 言

木材鉋削加工後所留下之刀痕、起毛等缺點，須藉適當的砂光作業來消除，一般影響砂光效率之因子包括砂光時間、砂光材料、粒度、砂光荷重與速度、送材方向、砂光方式等；在砂光作業中送材方向對材面的粗糙度有關鍵性的影響，砂光送材方向與木理垂直之砂光效率遠大於與木理平行，但垂直木理之砂光在材面上會留下明顯的砂痕，是其缺點。本研究選用紅橡木及粉白柏，針對不同送材方向在砂光作業中對材面粗糙度產生的影響加以探討，並藉FFT頻譜分析來評估木材表面之粗糙度。一般測定粗糙度多採用觸針描繪方式，以平均粗糙度(Ra)來表示材面的粗細(木材科學實驗書，1985)，然由於木材具有高度異向性，砂光後材面的性狀至為複雜，只用平均粗糙度(Ra)不足以深入瞭解砂光面粗糙度的特性。本研究利用FFT頻譜分析儀就表面粗糙度的剖面波形進行解析(黃彥三等，1990；梅津二郎等，1979)，進一步瞭解剖面粗糙度的細部結構，藉以正確的評估砂光面之粗糙度。

### 二、試驗材料

(一)試材：本試驗之試材選用紅橡木(red oak；學名：*Quercus spp.*)比重0.72，含水率12.5%，及粉白柏(lusitanica；學名：*Cupressus lusita-*

*nica*)，比重0.38，含水率11.5%。

(二)砂帶：採用西德VSM砂帶，分別使用#80，#120，#180，及#240號砂帶。

### 三、試驗方法：

#### (一)砂光面粗糙度之測定：

1.以40cm×40cm×3cm之紅橡木及粉白柏拼板為試材，採用#80，#120，#180，及#240四種砂帶，送材速度10m/min，砂磨量設定值0.5mm，就送材方向與木理平行、垂直、及45°三種方式，利用接觸輪進行砂光試驗，並以觸針式粗糙度計就砂光面上與木理垂直及平行方向測定粗糙度Ra及剖面曲線。為避免測定受木理組織變異之影響，每回測定均固定在預先標定之位置上。測定長度為20mm，為免紅橡木環孔部位可能發生之干擾作用，選用弦面材為試材，並將測定位置標定在非環孔區。

2.為瞭解各種粗糙度測定值之變異性，以#240砂帶就送材方向與木理平行之方式砂光紅橡木及粉白柏，並以粗糙度計就砂光面與木理垂直及平行方向在材面上隨機測定20個位置之R<sub>tm</sub>，Ra及中量值(黃彥三與陳欣欣，1990)。

為了便於陳述送材方向及粗糙度測定方向之相互關係，以下文中均以 $\alpha - \beta$ 表示之， $\alpha$ 表示送材方向(砂磨方向)與木理走向之夾角，分0°、45°、90°， $\beta$ 表示粗糙度計之測定方向與木理

走向之夾角分 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ ，如圖1所示，砂痕與測定方向之夾角則為 $\alpha$ 、 $\beta$ 角之差的絕對值。

(二)表面凹凸深度之頻度分佈分析：利用FFT將剖面波形轉換成振幅頻度分佈，此時係將粗糙度測定範圍分割成256等分，而將波形中不同凹凸深度所出現之相對頻度繪出，更進一步作積分運算，繪出累計頻度曲線。

四、試驗結果與討論

(一)砂光面粗糙度之測定

1. 橡木、粉白柏不同送材方向砂光面粗糙度之測定結果如表1及表2所示，現就各影響因子加以討論：

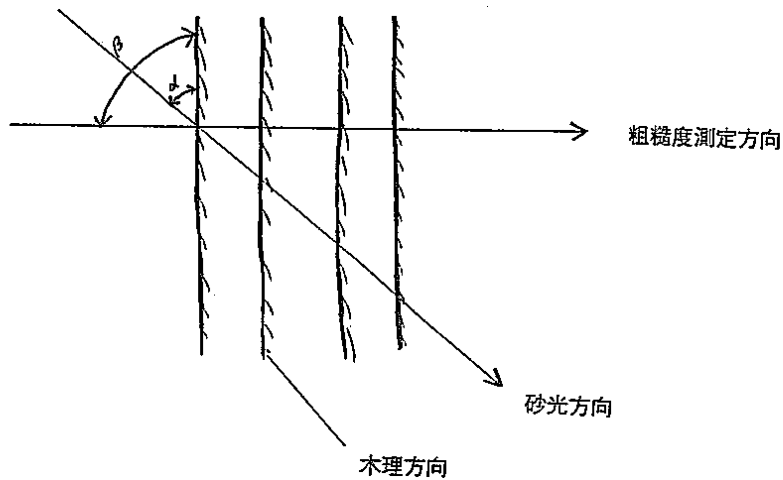


圖1. 砂光方向及粗糙度測定方向與木理方向之相對關係。  
Fig1. Directions of sanding and roughness measurement in relation to grain direction of wood.

表1. 橡木粗糙度測定結果。  
Table 1. Result of roughness measurement for oak.

砂磨方向 sanding direction		粗糙度測定方向 roughness measuring direction							
		垂直木理(90°) vertical to grain				平行木理(0°) parallel to grain			
		砂帶粒號 grain size	粗糙度 Ra(μm)	中量(μm) Median	Ra的累計頻度 Ra(%)	中量粗糙度 Median/Ra	粗糙度 Ra(μm)	中量(μm) Median	Ra的累計頻度 Ra(%)
垂直 90° 木理	#80	5.12	3.30	32.00	0.64	7.86	5.47	33.00	0.70
	#120	4.69	2.50	25.80	0.53	6.01	4.49	38.20	0.75
	#180	2.60	1.63	33.00	0.63	4.04	3.10	38.00	0.77
	#240	1.85	1.17	30.00	0.63	2.16	1.60	27.00	0.74
平行 0° 木理	#80	10.34	7.60	35.00	0.74	2.86	1.70	28.00	0.59
	#120	6.74	5.28	38.00	0.78	2.32	1.56	32.60	0.67
	#180	4.77	3.90	39.00	0.82	2.23	1.35	28.00	0.61
	#240	3.08	2.45	42.00	0.80	1.72	1.14	33.00	0.66
45° 木理	#80	9.03	6.45	35.00	0.71	7.67	5.66	33.60	0.74
	#120	7.16	5.66	40.00	0.79	6.58	4.49	33.40	0.68
	#180	4.02	2.90	37.00	0.72	3.60	2.90	37.00	0.80
	#240	3.29	2.32	35.00	0.71	2.70	1.96	34.00	0.73

表2. 粉白柏粗糙度測定結果.

Table 2. Result of roughness measurement for lusitanica.

砂磨方向 sanding direction		粗糙度測定方向 roughness measuring direction								
		垂直木理(90°) vertical to grain				平行木理(0°) parallel to grain				
		砂帶粒號 grain size	粗糙度 Ra(μm)	中量(μm) Median	Ra的累 計頻度 Ra(%)	中量 粗糙度 Median/Ra	粗糙度 Ra(μm)	中量(μm) Median	Ra的累 計頻度 Ra(%)	中量 粗糙度 Median/Ra
垂 直 木 理	90°	#80	5.65	4.25	38.00	0.75	6.28	4.40	36.60	0.70
		#120	3.92	3.05	40.00	0.78	5.94	3.60	30.30	0.61
		#180	2.99	2.00	32.70	0.67	3.75	2.32	30.00	0.62
		#240	2.23	1.63	38.00	0.73	2.75	2.00	35.80	0.73
平 行 木 理	0°	#80	8.93	7.03	39.00	0.79	3.56	1.85	28.40	0.52
		#120	6.05	4.74	38.40	0.78	2.95	1.82	32.90	0.62
		#180	4.20	3.40	39.00	0.81	2.09	1.38	33.50	0.66
		#240	3.29	2.53	38.90	0.77	1.94	1.30	37.40	0.67
45° 木 理		#80	7.57	5.27	34.00	0.70	6.80	4.30	30.50	0.63
		#120	6.03	4.50	33.50	0.75	5.71	3.70	32.30	0.65
		#180	3.74	2.75	37.40	0.74	3.57	2.65	38.70	0.74
		#240	3.06	2.34	39.00	0.76	2.74	1.95	35.50	0.71

(1)砂帶粒號之影響：橡木、粉白柏在同一送材方向及粗糙度測定方向下，不論Ra或中量，粗糙度均隨砂帶粒號之增加而減小，且Ra之值均較中量為大，如圖2所示。

(2)送材方向及粗糙度測定方向之影響：就同一粒號砂帶而言，不論橡木或粉白柏粗糙度之測定結果Ra及中量均為0-90>90-0>90-90>0-0，如圖2所示，凡粗糙度測定方向與砂痕成垂直之情況(0-90, 90-0)，其粗糙度值均大於粗糙度測定方向與砂痕成平行者(90-90, 0-0)。又同為測定方向與砂痕成垂直時，測定方向與木理垂直(0-90)之粗糙度值較測定方向與木理平行者(90-0)為大；同為測定方向與砂痕成平行時，測定方向與木理垂直(90-90)之粗糙度值亦較測定方向與木理平行者(0-0)為大。而45-90與45-0二者之粗糙度均較90-90, 0-0為大，45-90之值較接近0-90, 45-0之值較接近90-0，且有45-90>45-0之關係存在。此現象明顯的顯示出粗糙度之測定受砂痕之影響較大，而受木理之影響較小。

橡木中量與Ra之比值介於0.53-0.82間，粉白柏介於0.52-0.81間，由於橡木之測定位置為非環孔區，因此中量與Ra之比值與粉白柏之結果很接近，由表中顯示二樹種之中量與Ra之比值皆不因送材方向及粗糙度測定方向而有明顯差異。

2.為瞭解各種粗糙度測定值之變異性，以#240砂帶就送材方向與木理平行之方式砂光紅橡木及粉白柏，並以粗糙度計就砂光面與木理垂直及平行方向在材面上隨機測定20個位置之Ra,Rtm及中量值。表3為測定值之平均值、標準偏差及變異係數，由表中得知不論Ra,Rtm或中量，垂直木理所測得之平均值均較平行木理為大。又橡木垂直木理所測Ra,Rtm或中量之平均值弦面較徑面略大，但標準偏差與變異係數則弦面較徑面大一倍以上，此顯示弦面粗糙度測定值之分散度較徑面為大，此乃因弦面受環孔之影響使測定值較分散；但由平行木理所測之值，弦面與徑面則較接近，此乃因以平行木理測材面粗糙度時，導管之效應較不明顯，致使弦面、徑面材面狀況之差異較不易顯現。又橡木不論弦、徑面及粗糙度測定方向，其中量之變異係數均較Ra,Rtm者為小，而粉白柏方面則Ra,Rtm及中量之變異係數均相同，其原因係橡木為環孔材，而中量之測定可排除環孔之干擾(黃彥三與陳欣欣，1990)，故以中量來表示粗糙度時能排除木材組織中環孔之影響，較能顯現材面之加工粗糙度；而粉白柏為針葉樹材，無導管存在，因此中量未能顯現其優點。

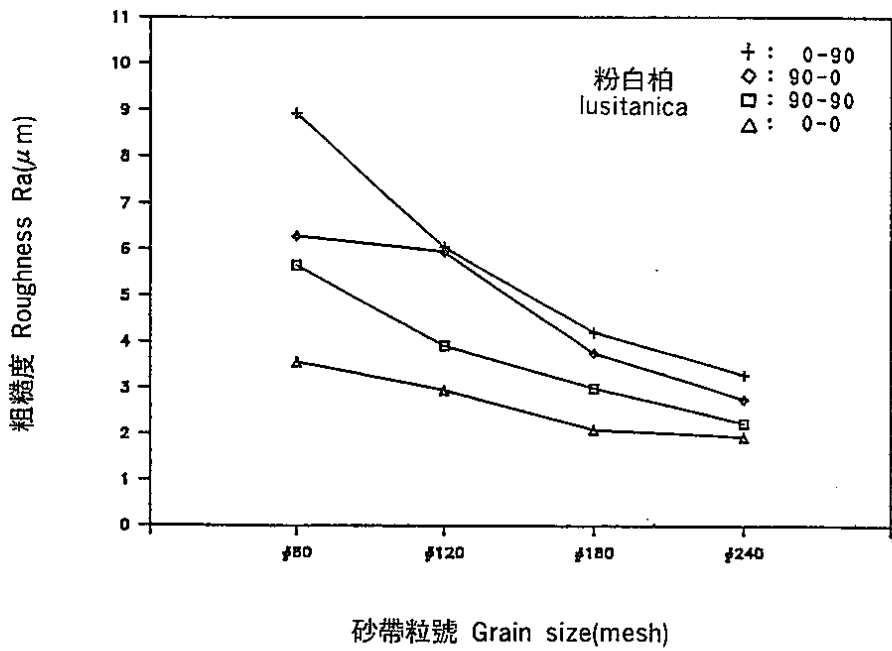
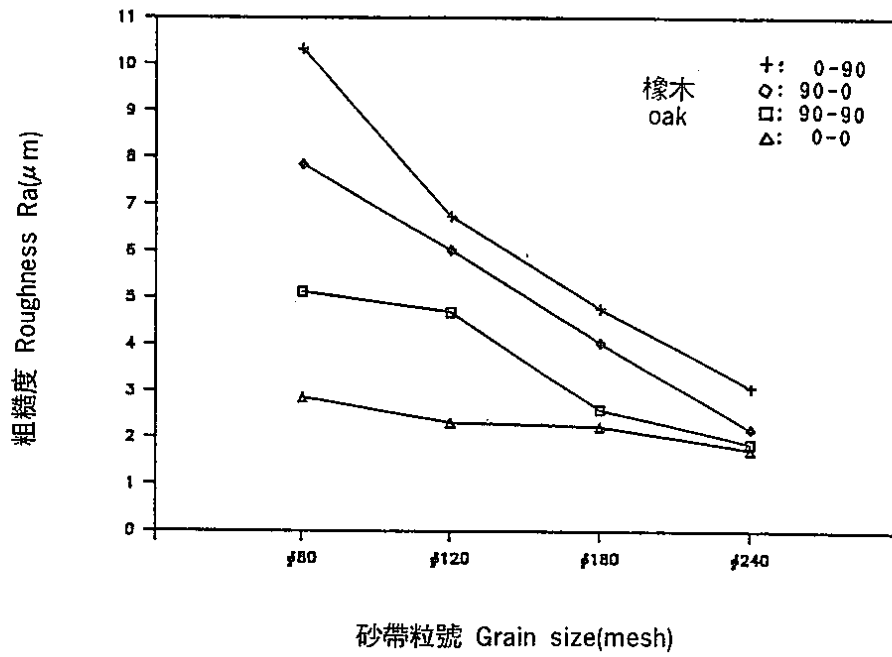


圖2. 橡木及粉白柏經砂磨後之Ra及中量.  
Fig2. Ra and median of oak and lusitanica after sanding.

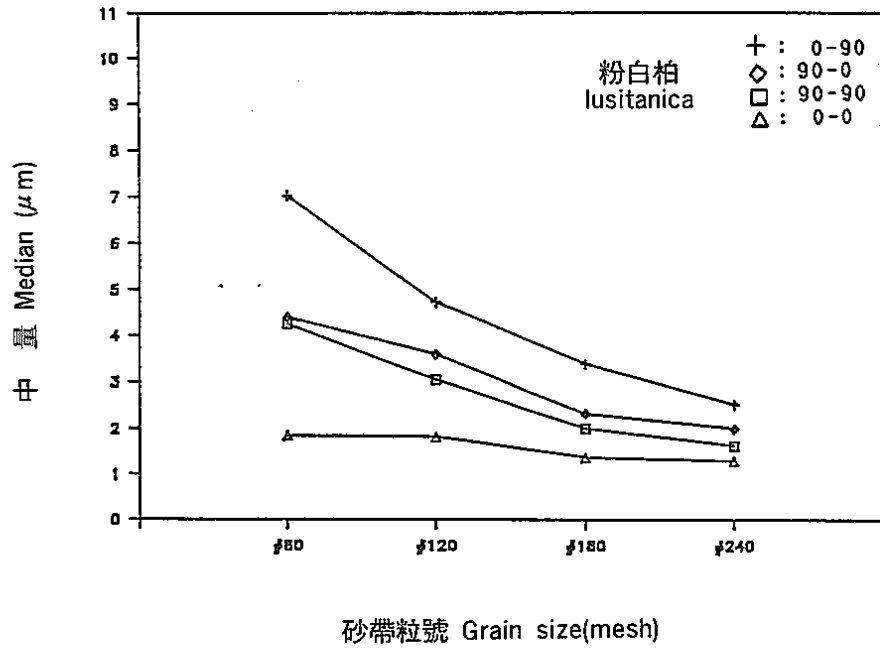
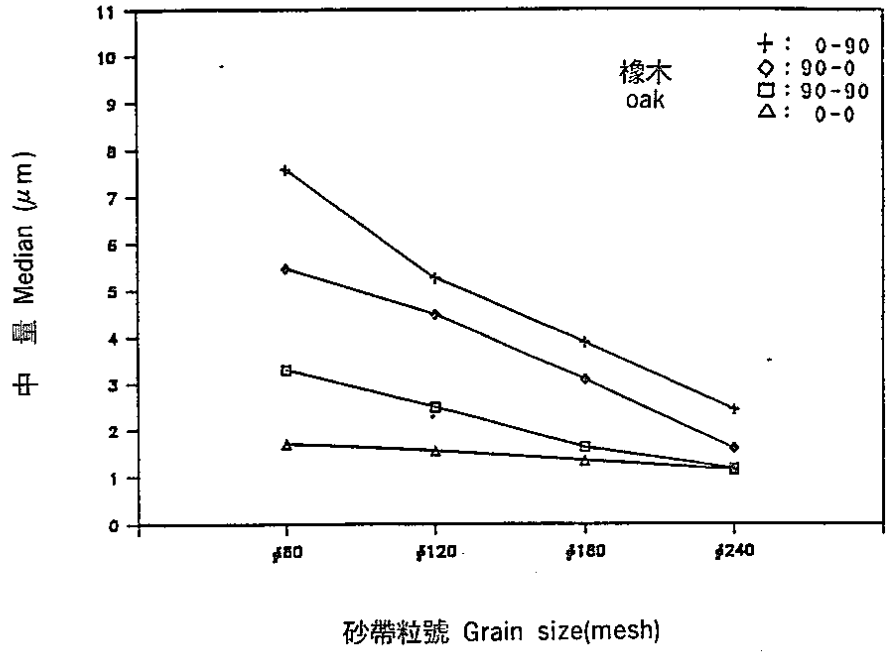


圖2. 橡木及粉白柏經砂磨後之Ra及中量(續).

Fig2. Ra and median of oak and lusitania after sanding.

表3. Ra, Rtm及中量之變異係數.

Table 3. Coefficient of variation of Ra, Rtm and median.

Ra 測定方向 measuring direction	樹 種 species										
	橡 木 oak						粉白柏 lusitanica				
	徑 面 radial			弦 面 tangential			徑 面 radial				
	Ra	Rtm	Median	Ra	Rtm	Median	Ra	Rtm	Median		
垂 直 90° 木 理	平均值	$\bar{X} (\mu m)$	3.75	30.31	2.20	4.07	31.61	2.35	2.98	20.90	2.12
	標準偏差	$\sigma (\mu m)$	0.54	4.98	0.21	1.29	9.99	0.48	0.25	1.57	0.20
	變異係數	$\sigma / \bar{X}$	0.14	0.16	0.10	0.32	0.32	0.20	0.08	0.08	0.09
平 行 0° 木 理	平均值	$\bar{X} (\mu m)$	2.57	14.40	0.99	2.77	16.16	1.21	2.53	14.32	1.16
	標準偏差	$\sigma (\mu m)$	0.71	4.31	0.16	0.90	4.28	0.27	0.38	2.18	0.17
	變異係數	$\sigma / \bar{X}$	0.28	0.30	0.16	0.32	0.27	0.22	0.15	0.15	0.15

(二)表面凹凸深度之頻譜分析：

為了進一步瞭解剖面粗糙度之細部結構，利用FFT頻譜分析儀就剖面波形進行解析，圖3為橡木之分析結果，橫軸為凹凸深度，縱軸為相對頻度，圖中顯示#80砂帶，0-90所測得之砂光面頻度分佈呈矮廣山形，圖3(a)凹凸深度大之波形所佔比例較大，表面較為粗糙；而#240砂帶，0-90所測得之砂光面，其頻度分佈呈高狹山形，凹凸深度小之波形所佔頻度較大，表面較光滑，由#80至#240頻度波形呈漸進變化。將同一粒號砂帶砂磨之砂光面作比較，圖3(a)~3(d)顯示雖為同一材面，但由平行砂痕所繪之圖凹凸深度小之波形所占頻度較大，垂直砂痕所繪之圖凹凸深度大之波形所占頻度較大。為了比較各種剖面之粗糙度，將累計頻度曲線加以重合，圖4為橡木砂光後材面粗糙度之累計頻度曲線，0-90由於粗糙度之測定與木理及砂痕垂直，因此四種粒號砂帶之累計頻度曲線隨著砂帶粒號之增加呈顯著之差異，0-0粗糙度之測定與木理及砂痕平行，因此四條曲線之差異不明顯。為避免曲線過度重合，使圖面更清晰，所以0-0方向之圖只畫#80、#240二條曲線。

圖5為同一粒號砂帶砂磨後，材面粗糙度之累計頻度曲線，圖中顯示#80砂帶0-90,90-0,90-90,0-0四條累計頻度曲線差異較大，而隨著砂帶

粒號之增加，四條曲線之差異漸小，此乃由於粗糙度之測定受砂痕的影響較大，受木理的影響較小，而隨著砂帶粒號之增加砂光面上砂痕愈不明顯，因此砂光時砂帶粒號愈小，其受送材方向及粗糙度測定方向之影響較大，隨著砂帶粒號之增加，其受送材方向及粗糙度測定方向之影響漸小。

粉白柏之頻譜分析結果，其趨勢與橡木相近，因此在此篇報告中僅以橡木圖示，粉白柏之圖從略。

圖6(a)為橡木與粉白柏以#240號砂帶，0-90所測得材面粗糙度之累計頻度曲線，圖中顯示橡木與粉白柏間之差異不大，此乃因橡木所測之部位為弦面之非環孔區，由於橡木之非環孔區材質細密，其材面與針葉樹非常相近，因此橡木所測得之累計頻度曲線與粉白柏非常接近。若橡木材面粗糙度之測定包含部分環孔區，則如圖6(b)所示與粉白柏有極大之差異。

圖7為頻度累計差異之分佈，此曲線係圖6(b)中二條S形線左右二邊累計差異之和，並以XY軸加以表示者，曲線最高點之凹凸深度為7.82  $\mu m$ ，此意味橡木之砂光面凹凸深度大於7.82  $\mu m$ 之累計出現頻度較粉白柏為多，而粉白柏砂光面之凹凸深度小於7.82  $\mu m$ 之累計頻度較橡木為多。

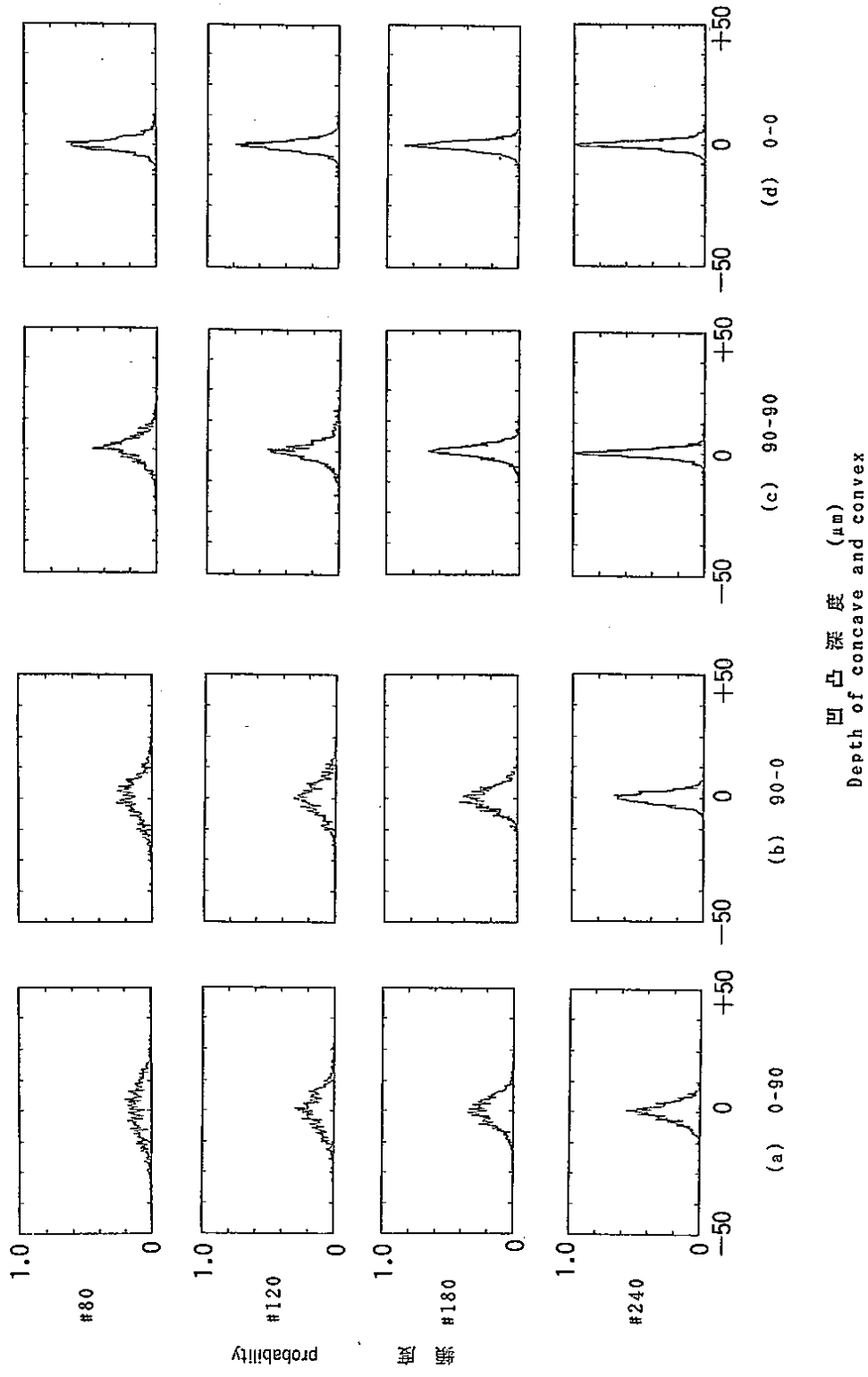


圖3. 橡木砂光面凹凸深度之頻度分佈。  
Fig3. The probability distribution of depth of concave and convex on the profile of oak after sanding.



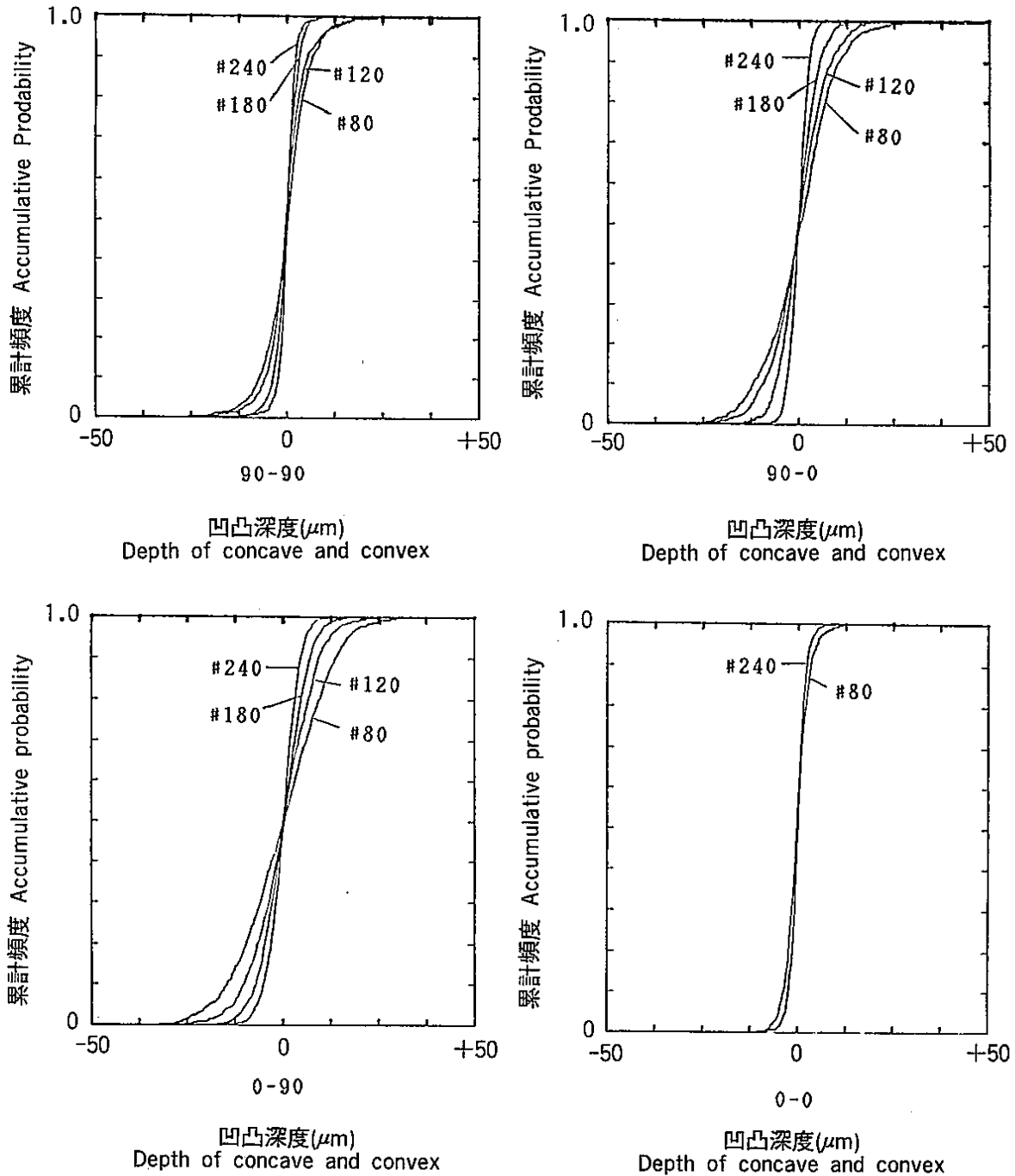


圖4. 橡木不同砂光方向砂光面凹凸深度之累計頻度分佈

Fig.4. The accumulative probability distribution of depth of concave and convex on the profile of oak after different sanding direction.

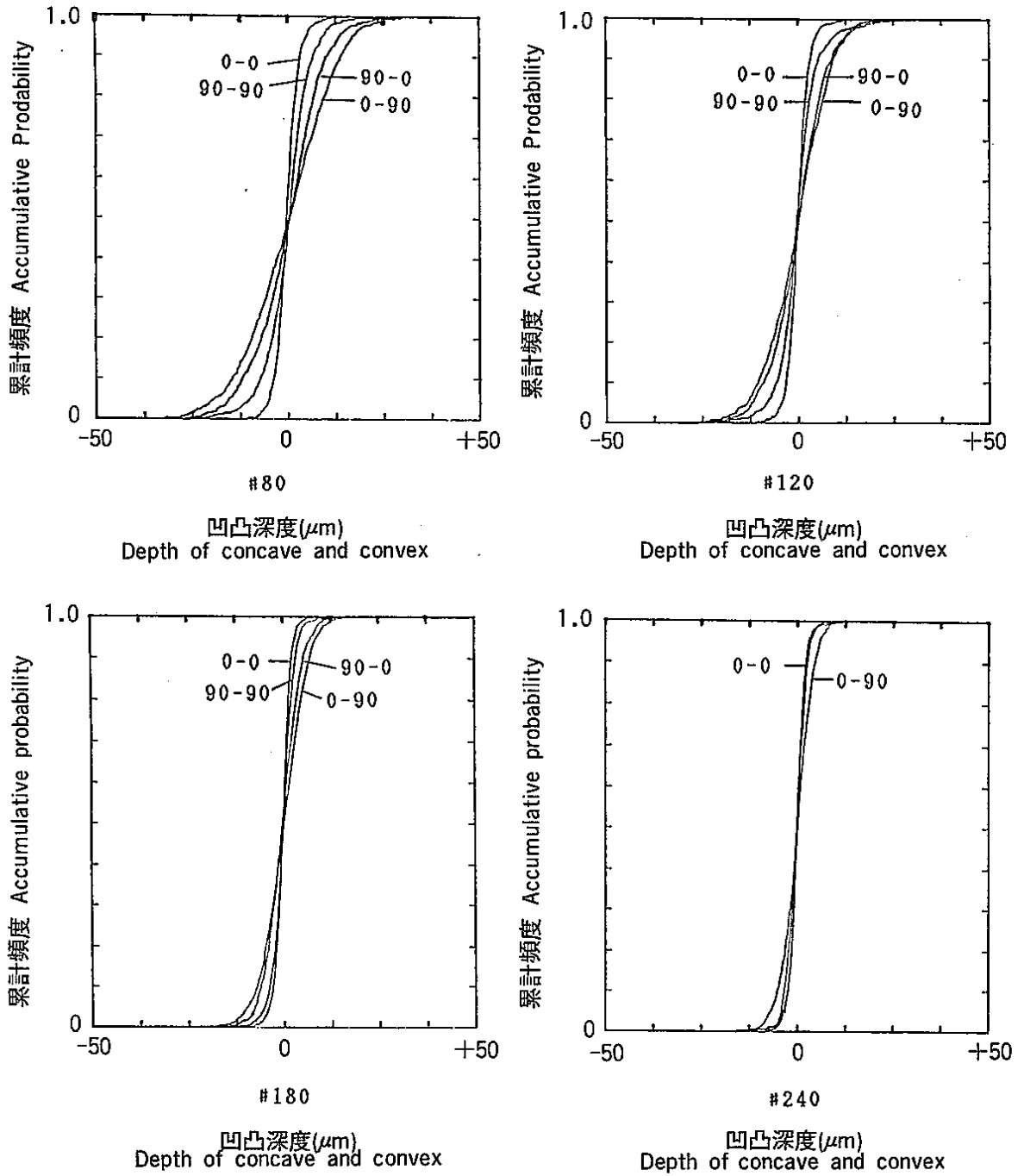
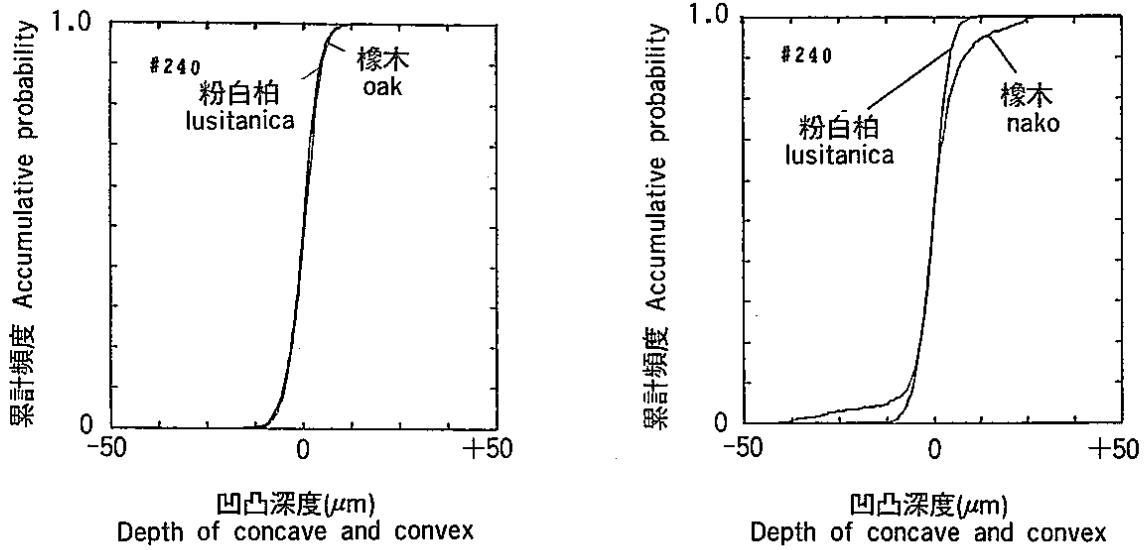


圖5. 橡木不同砂帶粒號砂光面凹凸深度之累計頻度分佈。  
Fig5. The accumulative probability distribution of depth of concave and convex on the profile of oak after sanding with different grit sizes.



(a) 橡木之測定不含環孔區。  
Measuring across non-ring porous region of oak.

(b) 橡木之測定含環孔區。  
Measuring across ring porous region of oak.

圖6. 橡木、粉白柏累計頻度之重疊。  
Fig6. Overlap of accumulative probability of oak and lusitanica.

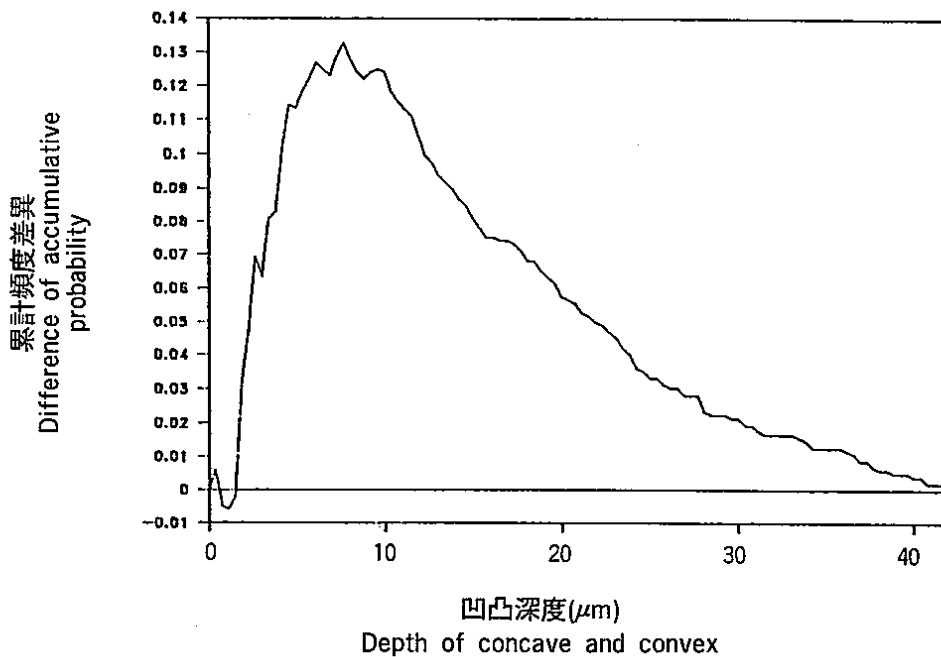


圖7. 橡木、粉白柏累計頻度差異之分佈。  
Fig7. The distribution of difference of accumulative probability between oak and lusitanica.

## 五、結 論

(一)送材方向及粗糙度測定方向影響材面粗糙度之測定值，同一粒號砂帶不論橡木或粉白柏粗糙度之測定結果Ra及中量均為0-90>90-0>90-90>0-0，又測定方向與砂痕成90°或45°者均較0°者為大，此現象明顯的顯示出粗糙度之測定受砂痕之影響較大，受木理之影響較小。

(二)以不同粒號砂帶砂光試材，砂帶粒號愈小，受送材方向及粗糙度測定方向之影響愈大，隨著砂帶粒號之增加，受送材方向及粗糙度測定方向之影響漸小。

(三)不論橡木或粉白柏其中量與Ra之比值皆不因木理走向及粗糙度之測定方向而有明顯差異。

(四)橡木受環孔之影響，因此不論弦、徑面及粗糙度測定方向，中量之變異係數均較Ra及Rtm為小，而粉白柏則Ra、Rtm及中量之變異係數均

相同，故以中量來表示粗糙度時能排除木材組織中環孔之影響，較能顯現材面之加工粗糙度。

(五)橡木由於具有導管，受環孔之影響材面較粗糙，但弦面部分若去除環孔部位，則材面粗糙度與粉白柏之材面非常接近。

## 引用文獻

- 木材科學實驗書. 1985. I物理、工學篇. 日本木材學會. P.260~264.
- 黃彥三、陳欣欣. 1990. FFT 頻譜分析應用於砂光面粗糙度評估之研究. 林產工業. 9(2):61~70.
- 梅津二郎、木下直治、林大九部. 1979. 木材のベルト研削に関する研究(第8報)コンタクトホイールを用いた研削仕上面粗さとそのスペクトル分析。木材學會誌. 25(3):197~202.