

## 影像分析系統用於紙張結構之研究

王益真 吳文棧 谷雲川

### 摘 要

本計畫之目的為探討國產影像分析系統用於纖維形態與紙張結構之應用。以光學方法作紙張之影像分析以決定其結構變異為主之研究。紙張結構以基重變化為代表，以均勻之可見光穿透紙張，以影像系統所攝得不同試樣區間範圍內紙張之灰變化作交織指數(formation indices)計算，或以定間距直線掃描線將特定範圍內紙張之座標值及灰度變化值依Kubelka-Monk方程式所顯示的透光度與基重關係轉換後以立體繪圖程式顯示模擬之三維基重變化圖。試驗分析受到影像系統硬體及軟體功能限制頗為嚴重，例如照明均勻度、背景差異校正以及紙張本身抄造條件往往不能掌握，使分析結果有相當不確定性。本試驗方法則可確立分析一具有不同規模不均勻平面影像可採之方針。

**關鍵詞：**影像分析系統、紙張結構、透光率、組成指數、三維變化圖。

王益真、吳文棧、谷雲川。1991。影像分析系統用於紙張結構之研究。林業試驗所研究報告季刊，6(4):373-386。

### Use of Image Analysis System in the Measurements of Paper Formation

I-chen Wang, Wen-jane Wu and Yun-chuan Ku

#### [Summary]

The purpose of this study is to investigate the applicability of local-made image analysis system in fiber morphology and paper structure or formation. The emphasis of part 2 of the study is to obtain from transmitted light images of paper sheets the variation of their fiber distribution, i.e., basis weight variation. Imaging areas of different scales and calculation of formation indices of paper, as well as line-by-line scan gray-level variations of sample sheets, with data transformed according to Kubelka-Monk theory on relationship between basis weight and transmitted light, then replotted with a 3-D graphic program to indicate topographic and contour maps of the variation. The analyses are much constraint by software handicap and hardware setup problems, such as uniformity of the incident illumination, aperture and band-pass requirements. The results of the analyses are subject to uncertainties. Nevertheless, methodology of 3-D analysis of a nonuniform sheet-like material is evaluated.

1991年4月送審  
1991年12月通過

**Key Words:** Image analysis system, Paper formation, Formation index, Ku-belka-Monk theory.

**Wang, I-chen, Wen-jane Wu and Yun-chuan Ku.** 1991. Use of Image Analysis System in the Measurements of Paper Formation. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series. 6(4):373-386.

### 一、緒言

紙張結構之變異係指中纖維分佈的疏密，亦即基重(basis weight)之變異。在抄造過程中，漿料纖維起初係分散在介質—水中，但主要是由於纖維之間機械性的纏結( entanglement)及彈性纖維彎曲(clastic fiber bending)等作用，使纖維自然有集合成大小不等之絮凝(floc)之傾向，雖然抄紙設備以各種方法產生微擾流(microturbulence)，以分散絮凝。但一般紙張或多或少均有纖維分散不勻，亦即紙張的基重由一點至另一點會有變異之情形。紙張性質既多以基重為參數而變化，因而紙張中纖維分佈之均勻與否，對紙張性質之均勻性及適用性有重大影響。

至於紙張基重的量測法，是以既知面積之紙在特定大氣(標準溫度及相對濕度)調適後稱重計算之，而以g/m<sup>2</sup>表示。以此方法測試顯然有紙樣大小之限制，即甚小範圍內之基重變異難以量測。其他非直接測定紙張基種變異的方法主要是利用貝他射線(beta ray)穿透紙層時被吸收的程度與紙之質量或纖維量之正比關係以測定基重之變化，其定量法是以一點狀之貝他源(beta-emitter)，如鎳(Pm)，經一旋轉切光盤後穿透紙樣，經整理(collimation)後以偵測器記錄之(Komppa 與 Ebeling, 1983)。此法的準確度較高，且較不受紙張處理如打漿與壓光之影響，經標定後可作為紙張基重變化量測之標準。其他射線法之主要限制為輻射源之安全性輻射量受半衰期之影響而不安定，使用難以普遍。紙張基重亦與可見光之穿透或吸收度有相關性。傳統紙張品管即有將紙對光舉高，然後觀察透過光線所呈現之雲狀紋(Cloudiness)疏密、大小，以判定紙張組成之均勻與否，惟光線穿透率與紙張纖維分佈之間的關係並不單純，而除受基重變異以外其他因子，如漿料種類、漂白程度、打漿程度、壓光程度及填料與上膠劑含量等而變化。因此光學方法分析紙張基重變異的先決條件是了解紙樣材料及製程所有變數下，否則結果僅具定性(Qualitative)的分析價值而無法作基重變化之定量分析。

國內研究紙張結構的文獻很少。郭蘭生等(1985)曾以紙張不透明度之變異係數評定低基重紙張之交織。王秀華等(1989)就市售紙張之結構及表面形態作電子顯微鏡觀察。以紙張透光率(transmittance)分析基重變化，早先缺乏可作整體平面分析的方法，乃有較傳統的方法，例如將紙捲於一玻璃圓筒，由圓筒內部之點狀光源照光，在對應位置設感應器測定穿透光之強度，光源及感應器並以螺旋軌跡掃描紙張，據以產生紙張透光度乃至基重變異之資料(Burkhard等，1960)。電腦影像分析方法自七零年代末興起後即漸有用於紙張結構之研究。影像分析法係將成影裝置產生的類比或數位影像轉換成數位矩陣，通常有256×256，512×512，乃至1024×1024等類；矩陣每一點為一個影像單元，稱為像素(pixel)，各像素又有16，64或256等階的明暗度，通稱灰度(grayness levels)，電腦之影像分析軟體即根據數位影像資料計算所量測之參數值。紙張結構適合二維影像分析的題材，但紙張基重變化本身已如上述，涉及的變因甚多。影像分析系統之硬體設備及軟體分析功能對此項研究的限制甚大。本研究以通用性之影像分析系統作紙張結構變異研究，即遭遇試驗上的一些困難，在功能不足的限制下，須以試驗方法的折衷調整及創新來獲取所需的結果。

### 二、材料與方法

#### (一)試驗器材與試驗材料

1. 影像分析系統及周邊設備：由成影裝置；包括顯微鏡(Nikon SM-10)，電視攝影機(Mintron CCD-1000C camera)、監視器(Sampo BMC-1202T)；影像界面卡(Visionetic VFG-512B)，具512×512像素解像力及526階灰度值變化(0~255；0為全黑，255為全白)；個人電腦(詮腦PC-286C-120)，配備滑鼠及硬碟；數位影像記錄軟碟(Hitachi Video Floppy Sys. VX-52A)；及影像分析軟體(源浩LV1)等而成。

2. 紙張透光度測試裝置：包括攝影架(copy

stand)，打光燈，光纖光源(fiber light)，照光箱(light box)等。電視攝影機裝設於攝影架上以巨接鏡頭(macro lens)觀察試樣或以光學管(optical tube)直接與顯微鏡接合作顯微觀察。

3.試材：主要是蒐集市售各種非塗佈或壓光紙類，如模造紙、道林紙等；及以二葉松(*Pinus*

*taiwanensis*)、玫瑰桉(*Eucalyptus grandis*)與相思樹(*Acacia confusa*)木片經蒸煮及漂白後，自行備料、抄造之標準手抄紙試樣等。

(二)試驗方法

1.漿料製備：二葉松、玫瑰桉與相思樹木片均以硫酸鹽法製漿，其蒸煮條件見表1：

表1. 木片蒸煮條件

蒸 煮 條 件	二 葉 松	玫 瑰 桉 及 相 思 樹
活性鹼(對絕乾木片)(%)	25	17
硫化度(%)	25	25
液 化(1/kg)	5	4
最高溫度(°C)	180	170
最高溫度到達時間(min)	90	90
最高溫度保持時間(min)	60	90

以上漿料各取40g，以CEHED五段漂白，漂白條件如表2：

表2. 漿料漂白條件

處 理	藥 品 添 加 量 (%)	濃 度 (%)	溫 度 (°C)	時 間 (hr)
氯 化 (C)	120(對Roe價)	5	25	2/3
鹼 萃 (E)	2.5(對絕乾漿)	10	70	1
次 氯 酸 鈉 (H)	2.5(對絕乾漿)	5	40	3
鹼 萃 (E)	1.0(對絕乾漿)	10	70	1
二 氧 化 氯 (D)	1.5(對絕乾漿)	10	70	3

於各段漂白後，分別抄成同基重之標準手抄紙，得到一系列不同白度之紙樣，其白度如表3所

示。在不同白度下測定紙張吸光度的變化，並作為其餘漿料漂白段數之取捨。

表3. 二葉松、玫瑰桉及相思樹及各段漂白後之白度值(%GE)

	二 葉 松	玫 瑰 桉	相 思 樹
未 漂 段	31.6	36.5	36.8
C 段	33.3	38.4	39.5
E 段	35.8	41.8	40.2
H 段	71.3	79.5	77.3
E 段	68.9	75.6	73.8
D 段	83.5	86.4	85.7

2. 紙張基重及紙性測試：所有的紙張樣品均以CNS標準方法調適並測定其基重、厚度、白度、反射率及其他紙性，以與影像分析結果比較。

(1)基重(g/m<sup>2</sup>)：依CNS 11291 手抄紙物理性質測試法測定。

(2)厚度(mm)：依CNS 11291 手抄紙物理性質測試法測定。

(3)白度(%GE)：依CNS 1466 紙、紙板及紙漿白度試驗法測定。

(4)反射率R<sub>0</sub>、R<sub>∞</sub>及散射係數s(m<sup>2</sup>/kg)：依TAPPI standard T425 om-86 測定。

3. 紙張結構組成觀察：以接裝巨接鏡頭之電視攝影機，攝取紙樣透光影像；照明是以乳白壓克力面板之照光箱供應面光源，光箱上覆以一中央開口之不透光黑色紙板，開口約為5cm見方大小，而以開口中央部位約2至3cm見方大小作為測試範圍。攝入之影像以軟體程式測定二維範圍(標定對角兩點之box功能)內全部像素的平均灰度、最大與最小灰度、灰度標準差與變異度(variance)、以及各像素灰度之分佈等參數。每一紙樣取5個測試範圍，最後將所得數據全部輸入電腦，重新計算結果。次以同一攝入之影像以臨界灰度(threshold grey level)二分化(即以該灰度值為界分將以上及以下之灰度轉換為255與0)，或以二段線性延展(linear stretching)功能，將影像分為三階，顯現一個標準差以上與以下的集織區(floes)與低重區(low weight zones)分佈與集織區的大小。

4. 複層直線灰度掃描與三維影像顯示：現有影像軟體設有一三維影像分析功能，以影像的表面為x-y軸，而以灰度值為z軸顯示。以該功能的

解像力甚為粗略，且無事先將灰度值轉換為擬基重變數的能力，效果不佳。複層直線掃描係將攝入影像作長185個像素的橫線掃描，記錄線上具灰度變化代表性轉折點25至30點之座標及灰度值，平行移位4至6個像素，重複掃描、記錄，直到160×185個像素範圍均已掃描記錄，每張紙測試二次比較其結果。

### 三、結果與討論

#### (一)影像分析系統量測之標準條件

由於此影像量測系統上一些硬體設備，例如光源強度與均勻度、鏡頭種類與光圈大小以及鏡頭與光箱之距離等，會影響量測結果，為使這些變數的影響減至最小，得到較穩定可信之結果並作為不同試樣測定結果之比較依據，必須找出一最適條件組合，以作為往後量測之標準。

試驗顯示以光源100%照明強度，配合鏡頭加裝二倍鏡，調整鏡頭與光箱之距離及焦距，設定可以得到最清晰的影像與最大解析度(resolution)，此時之解析度為0.164mm/pixel。在此條件下改變光圈f值，測得不同基重紙樣(10-165g/m<sup>2</sup>)其灰度變化，如圖1所示。鏡頭f值愈大，即光圈孔徑愈小，進光量減少。鏡頭設定在f16及f11時，由於此時之進光量相當微弱，因此對於高基重紙樣(80-160g/m<sup>2</sup>)之辨識能力頗低；而在大光圈f4及f2.8時，反因進光量過強，導致低基重紙樣(10-70g/m<sup>2</sup>)之量測呈全白顯示，僅f8與f5.6之量測結果較為合適，其中f5.6時，其空白灰度值約為183.4±0.2，較f8時為高，量測範圍相對提高。因此，選定光圈f值5.6為量測標準。

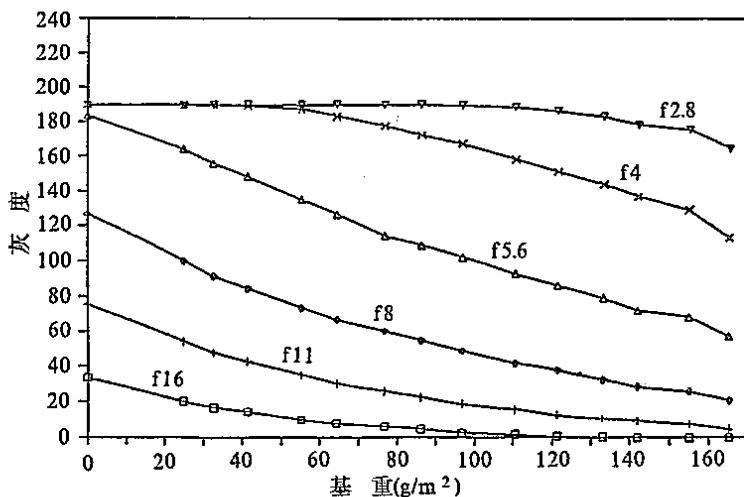


圖1. 光圈f值對基重與其灰度關係的影響。

(二)紙張基重變異與吸光度(light absorbance)的關係

以影像分析系統作紙張結構之研究，目的主要是探討紙張組成上的變異，亦即由均勻面光源穿透紙張所成之影像，尋求紙張纖維分佈變異所形成的絮凝及低重區等紙張特性，亦即基重變異的相關性。Komppa與Ebeling(1983)曾進行詳細的面積基重變異與透光度及其他射線吸收率的關係比較，並界定各種處理對基重與光線吸收的影響。傳統紙張光學性質的研究已建立基重變異與透光率的關係係遵照Kubelka公式：

$$A = \ln(1/T) = \ln(I_0/I) = \ln(a/b \times \sinh bsw + \cosh bsw) \dots (1)$$

依照上式，設影像系統的灰度階為一線性級數，則試樣對光的吸收率A，空白照明度(intensity)為 $I_0$ ，I為試樣的照明度，T為透光率，a、b為係數，其計算需知試樣之反射率 $R_\infty$ ；s為紙張的散射係數，由反射率 $R_\infty$ 、 $R_0$ 及基重W計算得之。

實際上，在量測紙張透光度時，通常將紙樣置於一背襯物上，入射光透射背襯物及紙樣，再由偵測器測得透光強度，若背襯物之反射率為 $R_b$ ，則式(1)可改寫成(Norman與Wahren，1976)：

$$A = \ln\left(\frac{a-R_b}{b} \times \sinh bsw + \cosh bsw\right) \dots (2)$$

當背襯物反射率 $R_b$ 與紙張反射率 $R_\infty$ 相等時，式(2)又可簡化如下：

$$A = bsw \dots (3)$$

上式並受到一些條件限制，主要條件有入射光必須為漫射(diffuse)及紙樣散射非為基重之函數等。

經由電視攝影機所“擷取”(grab)的透光影像，經多次試驗發現即使是照光箱空白之入射光線雖經乳白壓克力板分散，仍然呈現相當程度的不均匀度，在低解析度(macro range)，未接顯微鏡及加倍鏡時所攝得之影像，灰度變異可達變異係數值(COV, coefficient of variation)10%以上，此一變異如未能校正，對紙張影像的分析有強烈的不確定性影響。修正照明度(shading correction)變異，需以軟體程式執行，先將空白照明影像擷取，分析後存於記憶體，待紙樣影像攝入後將原屬照明的變異減除。因此一步驟涉及兩幅以上的數位影像，且其間轉換過程並不容易，迄今本試驗所用之影像分析程式供應商尚無法提供此項功能。後續試驗發現，如以不透光的黑色紙板中央開窗，遮蔽面積約為5cm見方照射區以外的照光箱週邊光線，使泛光影響減少，提高影像顯現的空白灰度階(由平均值110升為183)，同時縮小測試範圍為照射區中央部位約2至3cm見方大小，則空白照相度( $I_0$ )變異係數減為0.8%左右，雖然仍不理想，但屬可接受之背影雜訊範圍。紙張置於照光箱上，其穿透光所成之影像經擷取後，測定影像中央原照相變異度最小範圍內的平均灰度，灰度變異數(variance)與標準差(standard deviation)，灰度分佈柱狀圖(histogram)等。蒐集的市售紙樣之基本性質及測定之平均吸光度如附錄表1所示。

在漿料及抄造等各項條件，如纖維類別、打漿度、填料添加等均無法掌握控制情況下，市售紙張其基重與吸光度之判定係數(coefficient of determination,  $R^2$ )仍達0.934，有顯著相關，見圖2。

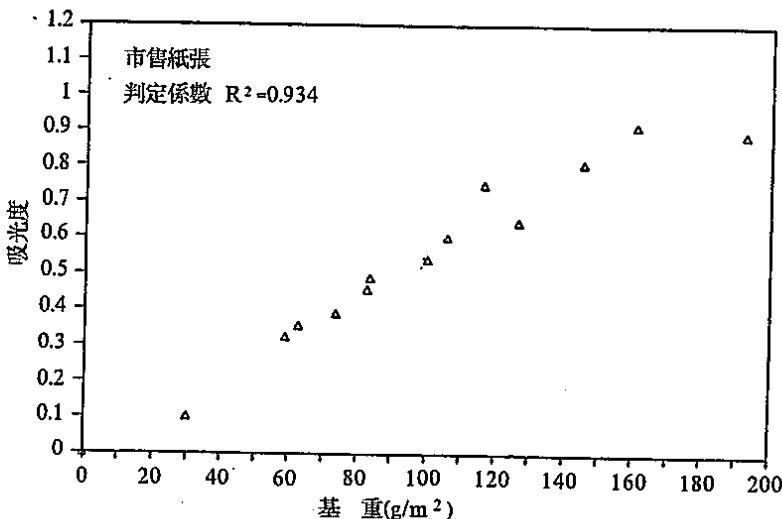


圖2. 市售紙樣之平均基重與其平均吸光度的關係。

市售紙樣中有幾種其反射率( $R_{\infty}$ )數值甚高，經以紫外光檢測箱觀察，這些紙樣皆有強烈的螢光反應，使測試值偏高。此項觀察凸顯紙張光學性質的多變因性，也使影像觀察的應用與解釋增加不確定性。

附錄表2、3、4分別為以二葉松、玫瑰桉及相思樹自行備料，在完全掌握漿料情況下所抄造的手抄紙樣之基本性質。其纖維平均長度、寬度、木材比重及細胞壁厚度如表4。

表4. 纖維基本性質及木材比重

	二 葉 松	玫 瑰 桉	相 思 樹
纖維平均長度(mm)	3.38	0.84	0.76
纖維平均寬度(mm)	47.82	17.83	16.12
細胞壁厚度( $\mu\text{m}$ )	4.04	3.97	4.17
木材比重	0.40	0.44	0.59

初步試驗顯示，綜合紙樣(包括市售紙張及三種手抄紙)間，其基重與吸光度之判定係數較單獨各類紙樣為低，為0.927，而在自行備料、抄造的手抄紙中，其判定係數極高，均達0.99以上，見圖3，因此在同批紙漿中以此作成檢量線，應屬可行。正如衆多其他研究者所提，除非紙樣由原料、製程乃至測試條件均屬相當，或可完全掌握，

否則以可見光的透光度作紙張基重變異相關的研究，會有不確定因素使結果含混。此一狀況在一般光學影像分析系統乃為無法避免的變因，蓋一般研究單位鮮有配備準確度高的貝他線基重測定儀，可以免除光線與紙張纖維間除吸收以外的其他相互作用的影響。

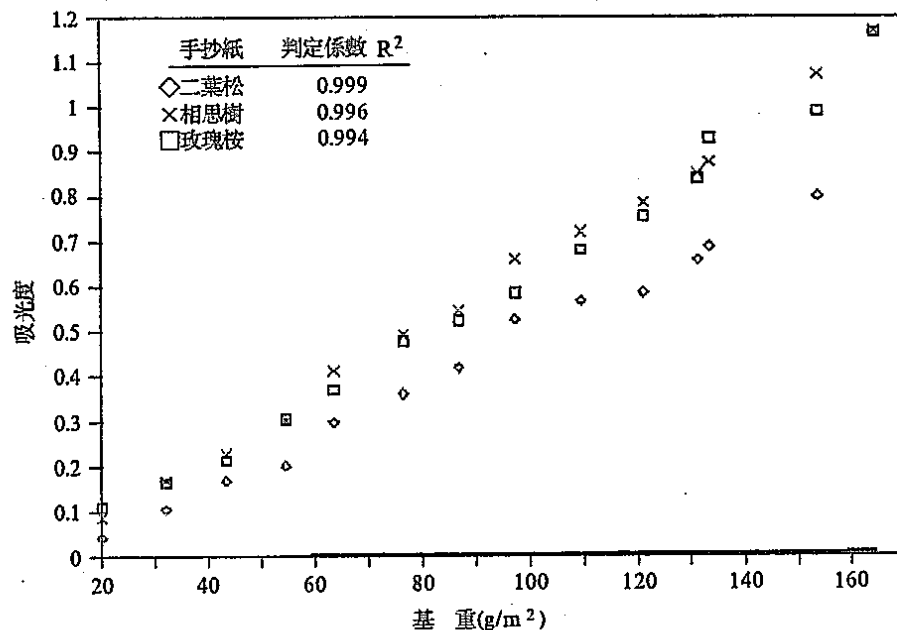


圖3. 手抄紙之平均基重與其平均吸光度之關係

(三)吸光度與其他紙張基本性質的關係

以光線照射於紙上, 不外產生反射、穿透和吸收等現象, 這些現象相互關連, 而影響紙張吸光度的因素有纖維種類、木質素含量、填料、染料及紙張基重、厚度等, 與纖維鍵結程度亦有相

關, 無鍵結或鍵結不良將導致紙層內散射程度提高, 增加光線吸收。以附錄表1至表4中, 紙張的其他性質為參數與影像平均灰度, 或其轉換值——吸光度作單變方回歸分析結果如表5:

表5. 單變方回歸分析中吸光度與各變數之判定係數

變數	散射能力	基重	厚度	反射率 $R_0$	散射係數	反射率 $R_\infty$	白度
判定係數	0.967	0.930	0.821	0.724	0.089	0.078	0.041

紙張影像吸光度之應變數與紙張的散射能力相關最為密切, 其他依次為基重、厚度、反射率 $R_0$ 、散射係數、反射率 $R_\infty$ 與白度。

上述白度與吸光度相關性低之原因係當紙張於低白度時, 白度之變化明顯反應於吸光度上, 而紙張白度達一定程度時對吸光度之影響則變得微弱, 由圖4可見。本試驗所製備之漿料皆以

CHE三段予以漂白, 漂白後二葉松(針葉樹)手抄紙之白度達71%GE, 而玫瑰桉與相思樹(闊葉樹)則達79%GE左右。一般而言, 闊葉樹含有較低之木質素含量, 且木質素比較集中於纖維表面, 使闊葉樹於化學法製漿時較易漿化, 漂白效果亦較針葉樹為佳。

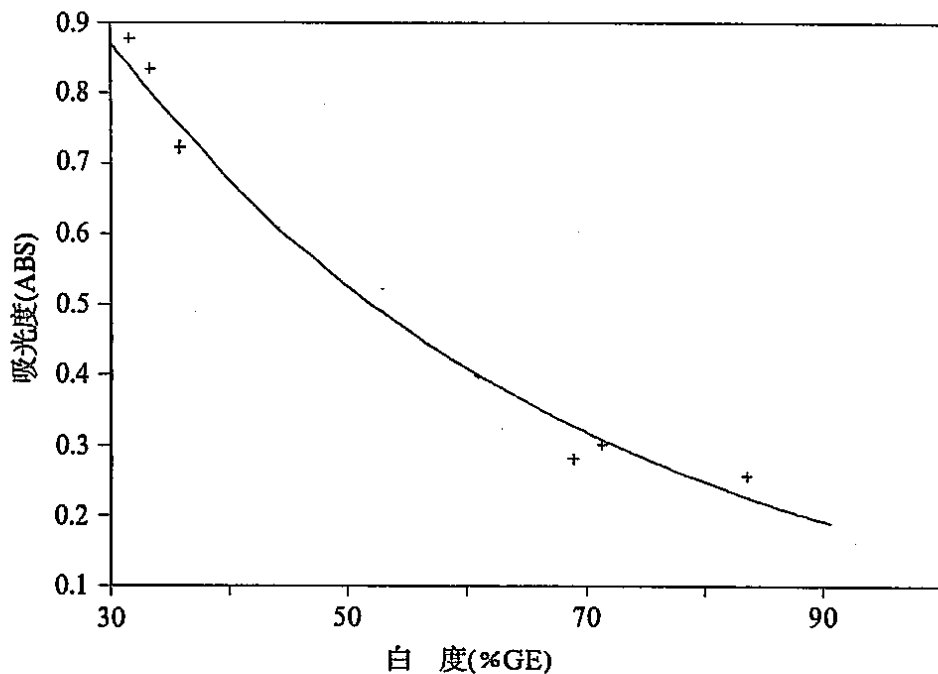


圖4. 相近基重(64-67g/m<sup>2</sup>)紙張白度與吸光度之關係。

四紙張結構變異

紙張結構變異通常以交織指數(formation index, F)表示(Bergh與Luner, 1983), 其定義為紙張基重變異的變異係數:

$$F(COV) = \sigma(W)/\bar{W} \times 100$$

式中  $\sigma(W)$  為標準差,  $\bar{W}$  為平均基重。由式(3), 假設bs為一常數, 則:

$$\sigma(W)/\bar{W} = \sigma(A)/\bar{A}$$

以影像系統測定此變異係數是以影像測試範圍內的平均吸光度與吸光度標準差代替 $\bar{W}$ 與 $\sigma(W)$ 。本試驗蒐集之紙樣其變異係數已如各附錄表最後一欄所示, 顯示此法所測得的結果於低基重紙張有偏高趨勢。究其原因, 紙樣的影像灰度係與紙樣吸光度呈負相關, 基重愈低, 平均灰度愈大, 而吸光度愈小, 則其相對的變異程度偏大。Bergh與Luner(1983)比較以光密度計(densitometer)及影像分析系統測定紙張小範圍基重變異, 試樣的基重與光密度校正曲線必須先建立, 再以濾鏡建立各臨界光密度階紙樣所佔面積的比例, 據此計算平均光密度與標準差。表5為基重約60、80、120g/m<sup>2</sup>, 不同紙樣所測試之結果比較, 其中二葉松、玫瑰桉及相思樹手抄紙均以未經打漿處理之漿料抄造, 其Kappa值分別為3.6、1.4及1.2, 而游離度為706、626及615mlC.S.F。

如表6所示, 二葉松手抄紙之變異係數即交織指數F較其他各類紙樣為高, 而F值愈高者, 代表其交織愈差, 二葉松手抄紙交織較差的原因, 可能乃其纖維較長所致, 較短纖維有利於較佳之紙張交織乃為普遍接受之觀念(Cresson與Luner, 1990)。至於游離度對以此法測定紙張交織之影響, 有待進一步研究。玫瑰桉與相思樹其纖維長度相差不大, 但相思樹細胞壁較厚, 纖維較為剛挺, 於漿料澆水成形時, 對其交織產生不利影響, 所形成紙張之厚度也相對為高。

紙張影像分析另一可以執行的功能是作集織區與低重區分佈示意圖。紙樣影像經攝取後先以灰度分佈功能標定測定範圍內的平均灰度, 其次轉用臨界灰度功能, 在平均灰度將影像轉變為二元化影像, 則黑色部份相當於透光度低於平均值的集織區, 而白色部份則為低重區。此一二元影像經移動, 放大轉印即成圖5之結果。以上測試在系統不具備均衡補償功能情況, 無法避免原先空白照明的灰度變異下, 調整硬體設備的設定, 使照明度變異減至最小。

集織區與低重區的平均大小的測定在本系統頗為不易, 主要是自動面積測定功能的錯描、誤測不易解決。

表6. 相近基重不同紙樣之基本性質比較

類	別	基重 (g/m <sup>2</sup> )	厚度 (mm)	吸光度 (A)	變異數係數COV
道林紙	二葉松	62.7	0.077	0.358	13.21
玫瑰桉	相思樹	64.8	0.133	0.298	14.87
玫瑰桉	相思樹	64.3	0.114	0.371	6.68
玫瑰桉	相思樹	63.6	0.141	0.411	5.63
模造紙	二葉松	83.6	0.106	0.492	8.74
玫瑰桉	相思樹	89.1	0.169	0.417	11.54
玫瑰桉	相思樹	86.0	0.142	0.524	5.04
玫瑰桉	相思樹	86.9	0.186	0.545	4.96
道林紙	二葉松	126.3	0.145	0.646	8.73
玫瑰桉	相思樹	120.3	0.238	0.586	8.82
玫瑰桉	相思樹	121.2	0.194	0.756	3.97
玫瑰桉	相思樹	121.1	0.254	0.788	4.21



(五)紙張結構變異的三維示意

影像分析用於紙張結構研究的一個優點是數位化的影像經過適當的轉換可以顯示紙張基重變化的三維示意。即是以測試範圍的平面位置為X-Y軸，而以基重變化作為Z軸。實際上紙面上點與點間的基重變化甚難實測，而是以影像透光率與基重關係的轉換值表示。三維表面圖(surface graph)與等高線圖(topography)，可顯示紙張局部基重(或厚度)的模擬變化。因測試值是紙張試樣的透光影像灰度值，數值應經轉換使之與紙張纖維分佈成正相關。

等高線圖基本上可顯現較大範圍的集纖區與低重區。當然接裝顯微鏡，採用不同倍率放大的影像，經攝取後，以此法分析，應可顯示不同規模解析度的集纖區與低重區，由抄紙機網部紋絡以至紙上的淨水印等。

本法目前執行方法係遷就影像分析軟體功能

不足所發展的。在一透明片上以黑線標示測試面積約為185個像素見方的方格範圍(相當於以巨接鏡頭攝取之影像3cm見方)，方格內再以相當於5個像素的間距標以橫線，此一透明模片(template)以雙面膠固定於影像顯示器螢幕上。紙張影像經攝入後，選擇直線灰度分佈功能測試，以滑鼠移動直線起點至方格左上角，量第一條線之灰度值，記錄掃描線上25至30個重要轉折點之座標及灰度，再逐線量測至方格掃描完畢。所記錄的座標及灰度以x,y,z模式存入電腦檔案。灰度z值與平均入射光灰度比較即得透光率T，再以 $\ln(1/T)$ 計算吸光度A作為基重係數z'，利用繪圖軟體即可將基重變化的三維示意圖完成。橫向掃描線的間距如過寬，達7個像素以上時，所整合的三維影像會呈現獨立的橫向現象帶(feature zone)，即繪圖軟體並無足夠的數據作縱向填入(fill-in)，使圖像的變化集中於各掃描線上。

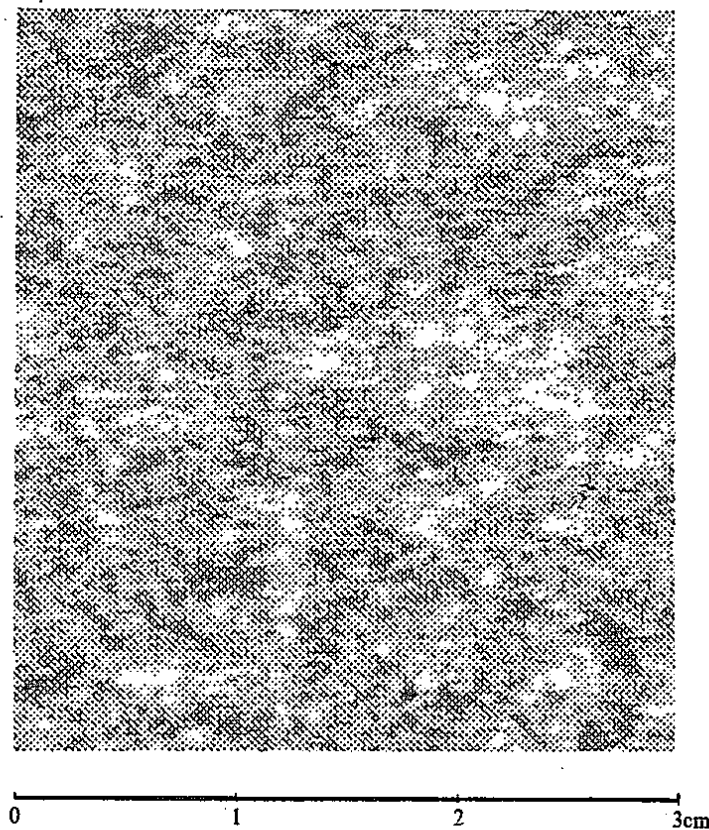


圖5. 基重63.6g/m<sup>2</sup> 玫瑰按手抄紙影像。  
(A)全域灰度原始影像

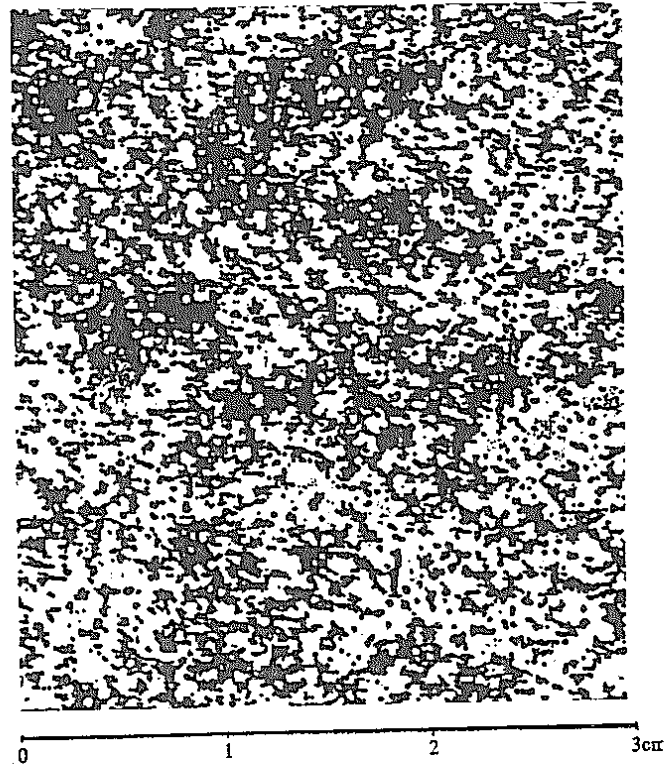


圖5. 基重 $63.6\text{g/m}^2$  玫瑰桉手抄紙影像。  
(B)二元化影像顯示集纖區(黑)與低重區(白)分佈

圖6為基重 $61.5\text{g/m}^2$ 二葉松及 $61.3\text{g/m}^2$ 玫瑰桉手抄紙三維基重變化表面圖，而圖7則為其等高線圖。由三維表面圖可明顯看出，二葉松手抄紙其縱向變異顯然較玫瑰桉手抄紙為大；在等高線圖中，等高線間之差距皆為 $0.002$ ，由圖亦可看出二葉松手抄紙之較大變異性。

本法顯然未臻理想，測試單一試樣往往費時甚久。刻正洽請影像軟體供應商發展標定方格(box)內隨機選點，點的多寡疏密由操作者決定，並將各點的座標及灰度值以 $x,y,z$ 模式以ASCII碼輸入指定的檔案，再用繪圖程式作表面及等高線圖，如此將可省卻很多時間，使紙張三維基重變化示意圖的繪製效率提升，同時減少橫線掃描法所具有的系统化誤差，當可使結果更具代表性。

#### 四、結論

(一)以影像分析系統作紙張結構或交織的研究

，紙張影像可以不同放大比例觀測，紙張基重變異反映於紙張在均勻照明條件下透光影像的灰度變異，可作其二維影像的各項分析，相當利便。有相當多的參數卻因影像系統硬、軟體功能或條件的不足，須以變通方法獲取或無法有效量測。

(二)以紙張平均灰度(或中數值)為臨界灰度值，將影像二元化，即可呈現紙樣的集纖區與低重區分佈。另可利用二段線性伸展(linear stretch)，設定中段及1或2標準差以外的集纖及低重區。唯原先照明度均無法校正。

(三)蒐集之市售紙漿，在各項條件無控制情況下，紙張基重與影像灰度或吸光度仍呈顯著相關。灰度測定值與紙張其他光學性質的關係亦甚密切。

(四)以密集間距作紙張影像的系统化直線掃描並將直線的灰度變化值及座標位置建立三維座標點，灰度值輕轉換為紙張各點的吸光度後即可作三維表面圖或等高線圖模擬紙張的基重變異。

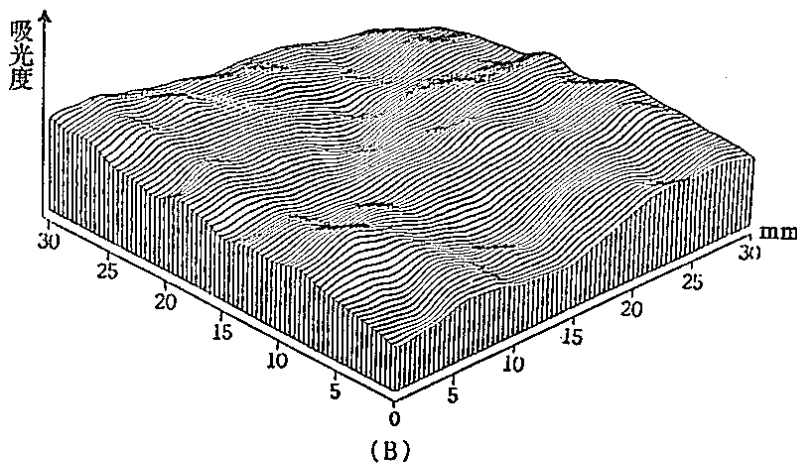
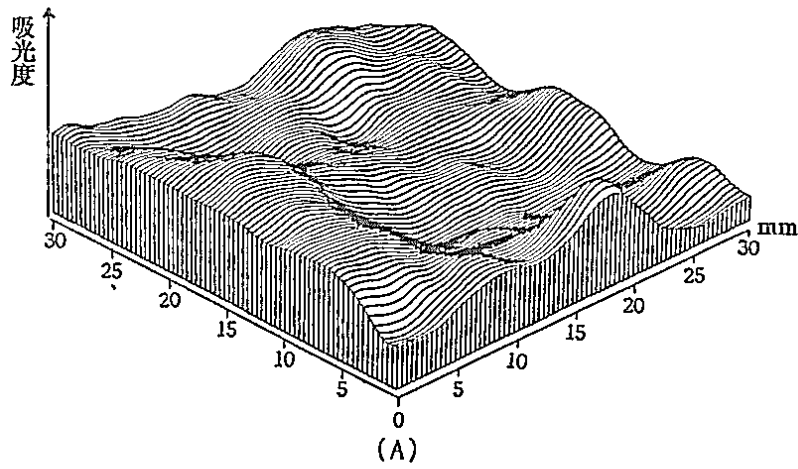


圖6. 紙張三維表面顯示圖，Z向係模擬基重變異，僅表示變異趨勢，並非紙之實際基重值圖示。

(A)二葉松手抄紙，基重 $61.5\text{g/m}^2$  (B)玫瑰按手抄紙，基重 $61.3\text{g/m}^2$

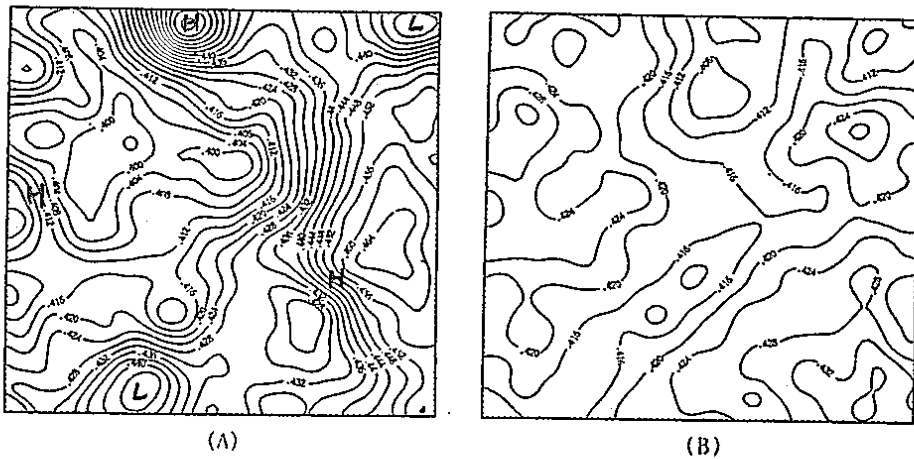


圖7. 上項手抄紙模擬基重變異的等高線圖。

引用文獻

- 郭蘭生、杜明宏. 1985. 低基重紙張交織之簡易評定。漿與紙月刊, No.58:13-20.
- 王秀華、林曉洪. 1989. 市售重要紙品之掃描式電顯研究。漿與紙月刊, No.110:5-26.
- Backstrom, C. and O. Lehtikoski.** 1989. Quality analysis of pulp with image processing. *Paperi ja Puu.* 1989(5): 477-480.
- Bergh, P. and P. Luner.** 1983. The application of image analysis to evaluate small scale basis weight variations in paper. *In The Role of Fundamental Research in Paper Making.* Brander J. Ed. Mechanical Eng. Publ. Ltd. London. pp707-722.
- Burkhard, G., P. E. Wrist and G.R. Mounce.** 1960. A formation meter which graphically records paper formation. *Pulp Paper Mag. Can.* 61(6):T319-T334.
- Corte, H.** 1983. The structure of paper. *In Handbook of Paper Science Vol 2.* Runce, H. E. Ed. Elsevier Sci. Publ. Co. New York. pp.175 - 282.
- Cresson, T. M., H. Tomimasu and P. Luner.** 1990a. Characterization of paper formation, Part 1:sensing paper formation. *Tappi* 71(7):153-159.
- Cresson, T. and P. Luner.** 1990b. Characterization of paper formation, Part 2:The texture analysis of paper formation. *Tappi* 71(12):175-185.
- Jordan, B. D. and N. G. Nguyen.** 1986. Specific perimeter—a graininess parameter for formation and print-mottle textures. *Paperi ja Puu* 1986(6):476- 482.
- Kallmes, O. J. and J. A. Ayer.** 1987. Light scanning system provides qualitative formation measurement. *Pulp Paper* 1987(4):99-105.
- Komppa, A.** 1988. Measurement of formation. *Paperi ja Puu.* 1988(3):243-249.
- Komppa, A. and K. Ebeling.** 1983. Correlation between the areal mass and optical densities in paper. *In The Role of Fundamental Research in Paper Making.* Brander, J. Ed. Mechanical Eng. Publ. Ltd. London. pp.603-632.
- Kropholler, H. W., B. Clarke and J. Gorres.** 1983. Investigating paper structure using image analysis. *In The Role of Fundamental Research in Paper Making.* Brander, J. Ed. Mechanical Eng. Publ. Ltd. London. pp.767-776.
- Miller, C. and O. Kallmes.** 1978. A practical formation tester based on mass variations. *Pulp Paper Can.* 79(2):79-82.
- Norman, B.** 1984. The formation spectrum. *Tappi* 68(7):104-105.
- Norman, B. and D. Wahren.** 1976. Mass distribution and sheet properties of paper. *In The Fundamental Properties of Paper Related to Its Uses.* Bolam, T. Ed. Techn. Sect. BPBIF, London. pp7-70.
- Seth, R. S., J. T. Jantunen and C. S. Moss.** 1989. The effect of grammage on sheet properties. *Appita* 42(1):42-48.

附錄：

表1. 市售紙張之基本性質

類別	基重 (g/m <sup>2</sup> )	厚度 (mm)	白度 (%GE)	反射率 (R <sub>0</sub> )	反射率 (R <sub>∞</sub> )	散射係數 (s.m <sup>2</sup> /kg)	散射能力 (sw)	吸光度 (A)	變異係數 COV
打字紙	30.1	0.043	86.5	0.463	0.860	29.06	0.87	0.102	21.03
模造紙	59.0	0.075	90.8	0.690	0.886	39.35	2.32	0.326	10.23
道林紙	62.7	0.077	85.6	0.689	0.814	40.40	2.54	0.358	13.21
道林紙	73.7	0.099	87.8	0.727	0.868	39.17	2.89	0.392	9.48
道林紙	82.8	0.109	89.3	0.754	0.879	40.30	3.34	0.459	9.19
模造紙	83.6	0.106	84.5	0.743	0.831	41.26	3.45	0.492	8.74
模造紙	100.1	0.129	94.6	0.798	0.904	42.78	4.28	0.543	8.01
道林紙	105.7	0.123	86.0	0.789	0.876	40.42	4.27	0.603	7.98
模造紙	116.2	0.140	91.1	0.808	0.868	44.35	5.15	0.752	7.89
道林紙	126.3	0.145	82.0	0.814	0.882	40.77	5.15	0.646	8.73
模造紙	145.1	0.171	89.2	0.820	0.871	39.42	5.72	0.811	8.47
道林紙	162.5	0.208	90.1	0.826	0.872	37.82	6.07	0.917	10.70
道林紙	192.4	0.238	86.8	0.824	0.868	31.58	6.08	0.895	4.96

表2. 二葉松手抄紙之基本性質

類別	基重 (g/m <sup>2</sup> )	厚度 (mm)	白度 (%GE)	反射率 (R <sub>0</sub> )	反射率 (R <sub>∞</sub> )	散射係數 (s.m <sup>2</sup> /kg)	散射能力 (sw)	吸光度 (A)	變異係數 COV
二葉松	19.6	0.045	70.3	0.306	0.785	22.88	0.45	0.044	35.29
	31.5	0.067	70.6	0.422	0.795	23.87	0.75	0.106	23.91
	43.2	0.090	71.2	0.507	0.802	24.88	1.07	0.169	18.66
	52.1	0.106	71.3	0.554	0.804	25.25	1.32	0.202	18.58
	64.8	0.133	71.2	0.613	0.806	26.56	1.72	0.298	14.87
	76.5	0.155	71.5	0.648	0.806	26.79	2.05	0.360	12.73
	89.1	0.169	71.1	0.672	0.805	26.23	2.34	0.417	11.54
	106.9	0.212	71.3	0.712	0.804	28.04	3.00	0.525	9.29
	115.8	0.226	71.3	0.720	0.808	27.06	3.13	0.567	9.01
	120.3	0.238	71.5	0.723	0.805	26.84	3.23	0.586	8.82
	132.6	0.252	71.6	0.738	0.802	27.67	3.67	0.659	8.26
	136.6	0.265	71.5	0.743	0.805	27.66	3.78	0.688	7.66
	157.6	0.307	71.2	0.761	0.802	28.97	4.57	0.800	7.13

表3. 玫瑰桉手抄紙之基本性質

類 別	基 重 (g/m <sup>2</sup> )	厚 度 (mm)	白 度 (%GE)	反 射 率 (R <sub>0</sub> )	反 射 率 (R <sub>∞</sub> )	散 射 係 數 (s.m <sup>2</sup> /kg)	散 射 能 力(sw)	吸 光 度 (A)	變 異 係 數COV
玫瑰桉	10.2	0.021	77.9	0.293	0.830	41.01	0.42	0.033	29.75
	24.7	0.047	77.5	0.496	0.826	41.09	1.01	0.111	13.09
	32.5	0.059	77.3	0.516	0.828	33.93	1.10	0.164	10.44
	41.3	0.072	78.3	0.620	0.834	41.94	1.73	0.213	9.15
	55.1	0.096	79.2	0.682	0.842	42.36	2.33	0.306	6.58
	64.3	0.114	79.7	0.712	0.846	42.60	2.74	0.371	6.68
	76.5	0.137	79.5	0.740	0.850	42.17	3.23	0.477	5.37
	86.0	0.142	78.4	0.748	0.844	40.12	3.45	0.524	5.04
	96.7	0.161	80.1	0.773	0.846	42.74	4.13	0.586	4.13
	110.5	0.189	80.3	0.788	0.849	42.04	4.64	0.682	4.04
	121.2	0.194	80.2	0.799	0.851	42.16	5.11	0.756	3.97
	132.9	0.214	79.8	0.801	0.852	39.03	5.19	0.839	3.54
	141.9	0.239	79.8	0.812	0.848	42.40	6.02	0.931	3.87
	155.1	0.255	79.6	0.820	0.850	42.46	6.59	0.991	3.71
	165.2	0.267	78.2	0.816	0.838	42.40	7.00	1.165	3.34

表4. 相思樹手抄紙之基本性質

類 別	基 重 (g/m <sup>2</sup> )	厚 度 (mm)	白 度 (%GE)	反 射 率 (R <sub>0</sub> )	反 射 率 (R <sub>∞</sub> )	散 射 係 數 (s.m <sup>2</sup> /kg)	散 射 能 力(sw)	吸 光 度 (A)	變 異 係 數COV
相思樹	11.0	0.028	75.8	0.298	0.820	39.01	0.43	0.038	26.38
	20.1	0.047	75.2	0.449	0.822	41.56	0.84	0.087	15.44
	32.2	0.072	76.2	0.564	0.824	42.13	1.36	0.169	10.66
	43.4	0.096	77.8	0.633	0.832	42.52	1.85	0.228	8.55
	54.7	0.115	77.8	0.682	0.832	43.25	2.37	0.302	7.43
	63.6	0.141	75.1	0.708	0.821	44.06	2.80	0.411	5.63
	76.6	0.168	77.1	0.742	0.828	45.10	3.45	0.491	5.33
	86.9	0.186	77.1	0.766	0.830	47.67	4.14	0.545	4.96
	97.3	0.215	77.9	0.772	0.825	45.98	4.47	0.662	4.31
	109.5	0.240	78.2	0.775	0.829	41.22	4.51	0.722	4.26
	121.1	0.254	78.1	0.794	0.835	43.87	5.31	0.788	4.21
	131.3	0.266	78.2	0.796	0.834	41.69	5.47	0.852	3.97
	133.4	0.268	77.3	0.798	0.833	42.37	5.65	0.877	3.82
	153.7	0.317	76.2	0.804	0.823	44.55	6.85	1.074	3.84
	164.4	0.341	76.6	0.809	0.826	43.96	7.23	1.170	3.68