

光觸媒、光觸媒紙及紙觸媒

蘇裕昌*

Photocatalyst, Photocatalyst Paper and Paper-Catalyst

Yu-Chang Su*

一、緒言

近年全球性規模有害化學物質的接近身邊或家庭生活日趨嚴重，環境污染的問題相當嚴重已經威脅到人類的生存焚化爐所發生之戴奧辛類的催畸性、新建材的溶劑或接著劑中所釋出之甲醛等病態住宅症候群(sick house syndrome, SHS)、由 SO_x 或 NO_x 等大氣中的污染物所導致之呼吸器疾病、香菸產生的二手菸導致肺癌的發生等，各種化學物質對人體的健康有不良的影響。以往對環境污染物質的處理，均採用捕集、濃縮、焚化等熱分解的方式進行，因此必須消耗大量的化石燃料等大量的能源，也因而產生了大量的二氧化碳，不但加快了地球溫暖化，也更招致環境污染。

所謂光觸媒就是利用光的能量啟動的觸媒，由於接受太陽光(紫外線)的照射光觸媒吸收的光能而呈勵起狀態使其表面產生具自由電子的游離基(如 $\text{OH}\cdot$)，此類游離基能發揮強氧化力將吸附其上之污染物有機化合物分解(圖 1)(光觸媒研究所，2011)。

最初的光觸媒的機能主要是著眼於室內的環境化的應用。光觸媒即銳鈦礦型(anatase)二氧化鈦，被微量的太陽光或、日光燈所含之微量的近紫外線所引發(勵起)所生成之正孔所吸吸著水分經氧化反應生成氫氧游離基(hydroxyl radical)，污染物在光觸媒表面吸著而呈活性化狀態因而進行分解反應生成二氧化碳與水。

代表性的光觸媒材料之光觸媒二氧化鈦經紫外線的照射，發揮強氧化的能力，因此，二氧化鈦具有將接觸之有機物質進行強力的氧化分解的機能，能做為製備各種環境化材料上之應用。活用光觸媒二氧化鈦的自我清潔效果(self-cleaning)，可應用在外裝材或玻璃等應用為環境化用材料，居住環境內也可應用在浴室等磁磚或空氣清機為脫臭除菌或去除揮發性污染物(VOC)等有害物質的分解為目的(光觸研究所 2011)。

二、光觸媒反應的原理

「光觸媒反應」的原理如圖 1 所示，藉由紫外光或太陽光的照射，使觸媒表面的電子吸收足夠能量而脫離，而在電子脫離的位置便形成帶正電的電洞，電洞會將附近水分子游離出的氫氧基(-OH)氧化(即奪取其電子)，使其成為活性極大的氫氧游離基($\text{OH}\cdot$ radical)；氫氧自由基一旦遇上有機物質，便會將電子奪回，有機物分子因鍵結的潰散而崩離析。一般的染物或病源體多半是碳水化合物，分解後大部份會變成無害的水及二氧化碳，因此可以達到除及滅菌的目標(光觸研究所 2011)。

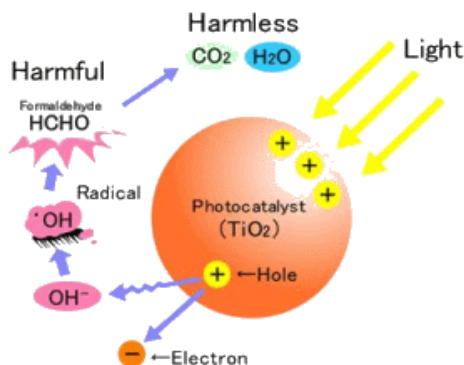


圖 1. 光觸媒反應的原理(光觸研究所 2011)

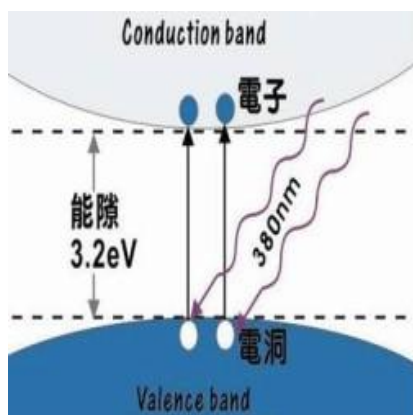


圖 2. 二氧化鈦光觸媒的能隙寬度(光觸研究所 2011)

要使二氧化鈦的電子由價電子帶(valenceband)躍遷至傳導帶(conductionband)並脫離材料，外來的光源必須提供電子足夠的能量以跨越能隙(bandgap)。光源的能量 E 與波長(λ);之間具有反比關係：

$$E=h\nu$$

$$\nu = C/\lambda$$

$$E=hC/\lambda$$

其中 E ：能量； h ：(Planck constant) = 6.626×10^{-34} J.s

C ：光速 3.0×10^8 m/s， ν ：頻率。

二氧化鈦能隙的寬度為 $3.2 \text{ eV} = 5.12 \times 10^{-19}$ J，對應的波長為 380 nm ，正是紫外光波段。換言之，波

長超過 380 nm (即能量低於 3.2 eV)的光源是無法使二氧化鈦發揮光觸媒功能的(如圖 2)。為了擴大光觸媒的應用範圍，日本已成功開發出可見光($390\sim 780 \text{ nm}$)適用的光觸媒(森川等)；另一方面，應用奈米科技將二氧化鈦製成奈米級顆粒，則可藉由大幅增加表面積與體積的比例，提高光觸媒作用的效率。這些發展預期將帶動更多的光觸媒應用。

1. 光觸媒的主要機能及應用

光觸媒材料經紫外線的照射，發揮強氧化的能力，因此，二氧化鈦具有將接觸之有機物質進行強力的氧化分解的機能，能做為製備各種環境化材料上之應用。活用光觸媒二氧化鈦的自我清潔效果，可應用在外裝材或玻璃等應用為環境化用材料，居住環境內也可應用在浴室等磁磚或空氣清機為脫臭除菌或去除揮發性污染物(VOC)等有害物質的分解為目的。光觸媒反應主要自以下的現象而發揮其應用之機能。

(1) 超親水化現象

二氧化鈦經光線照射則表面變的較親水化，水在其上之接觸角幾乎為零，水呈薄膜狀擴散成一易濕潤的表面。稱之超親水化現象。經二氧化鈦塗布的玻璃板與對照組玻璃板經光照射則二氧化鈦塗布者上之水呈薄膜狀流下，對照組玻璃板則呈條狀流下(圖 3a 右)。

(2) 光氧化反應

二氧化鈦等光觸媒能將空氣中的有機物完全氧化成二氧化碳。

經二氧化鈦塗布玻璃板塗有藍色色素甲基藍(亞甲藍, methylene blue)經光照射則光照到部分變白(圖 3b)。

(3) 抑制表面靜電發生

建築物外壁塗布二氧化鈦可抑制表面帶靜電，而達到減少灰塵、沙粒等附著效果(圖 3c)。



二氧化鈦塗布者左，對照組右
圖 3a. 光觸媒反應的超親水化現象



圖 3b. 光觸媒反應的光氧化現象

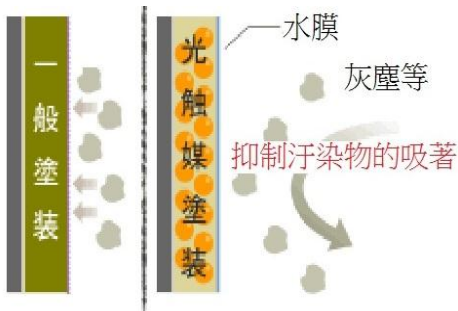


圖 3c. 抑制表面靜電發生

2. 光觸媒之主要應用之機能

(1) 空氣淨化機能

目前汽機車排氣中所排出含氮氧化物 (NO_x)、含硫氧化物 (SO_x) 等環境污染物質煙中污染空氣，可以應用光觸媒將附加在生活周邊環境之載體上，以將其去除達到大氣化的效果。目前的主要使用例：塗布建築物外壁、塗布道路遮音壁、工場排氣設備等。

(2) 除臭機能

生活中存在有各種不同的氣味，其中有些臭氣如氨氣、乙醛(菸臭)、硫化氫(H₂S；腐敗蛋臭)、硫醇(CH₃SH, methyl mercaptan; 蒜味臭)等惡臭物質會造成人們健康或感官上之困擾。可以應用光觸媒將附加在生活周邊環境之載體上，以去除臭氣。目前的主要使用例：空氣清淨機、介護用品、壁紙、窗簾等(圖 4)。

(3) 水質淨化機能

與空氣同樣是人們不可缺的物質。一般使用的飲用水、農用水，常有機鹵化物的汙染如四氯乙烯(tetrachloroethylene)、三氯(鹵)甲烷(CHCl₃)。以應用光觸媒將其分解去除；目前的主要使用例：水器、排水處理等。

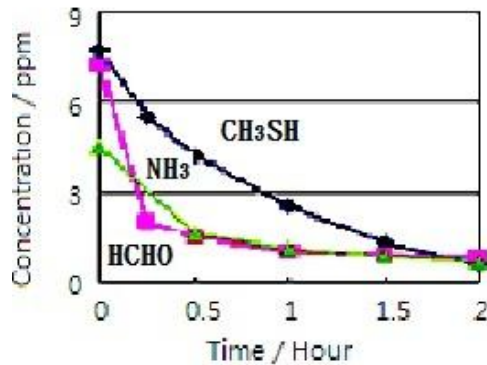


圖 4 光觸媒的除臭機能

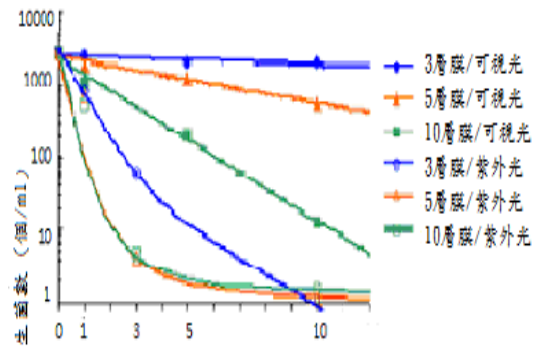


圖 5 光觸媒的抗菌機能(光觸媒研究所，2011)

(4) 抗菌機能

光觸媒具有強力的分解力，在其表面接觸之細菌殺死並分解其殘骸。目前的主要使用例：瓷磚、廚房、廁所用品等(圖 6)。

(5) 防污機能

一般生活之招的污染物被油類成分、砂、塵埃等附著所形成。光觸媒能將附著於其表面的油類成分分解而達到防污。此機制也稱自我清。目前的主要使用例：建物的外壁、燈罩、窗戶的玻璃等。

三、光觸媒紙(photocatalyst paper)的開發及應用

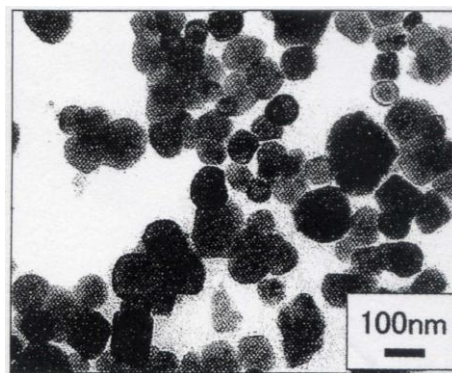
日本製紙集團，將一般市售的塗布紙的塗布層使用無機黏著劑與光觸媒使二氧化鈦被覆奈米無機黏著劑之複合體之塗料，維持與以往一般紙張有同等印刷適性，但賦與紙製品具有空氣清淨效果或抗菌性光觸媒塗布紙。

1. 光觸媒紙製造技術的重點

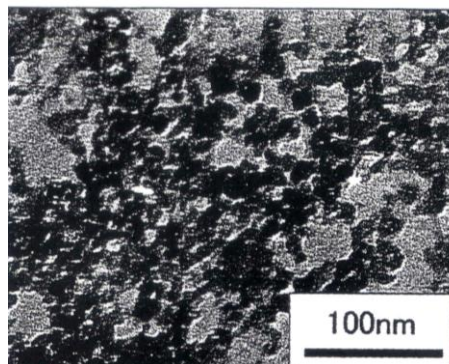
二氧化鈦本身早就被應用為製紙用的顏料或填料。以往造紙所使用之白色顏料之二氧化鈦與光觸媒用氧化鈦的形狀及表面狀態均同，製紙用的二氧化鈦(照片 7-b)主要是為了提升紙張的光學特性，其粒徑約為 200~300 nm、比表面積約為 10~30 m²/g。作為光觸媒用的二氧化鈦為了提升光觸媒效果，其一次超微粒子為直徑粒(5~30 nm)、比表面積相當大(100~300 m²/g)為其特徵(圖 6-a)。

將光觸媒二氧化鈦添加入塗料塗布，在光照射的同時，光觸媒二氧化鈦也會將乳膠澱粉或維素等有機成分進行氧化分解，導致用紙張的劣化而有白堊化(chalking)現象的發生。為了抑制白堊化現象的發生及維持將惡臭成分等有害化學物質的分解性，因此採用奈米級(nanosize)的無機黏著劑將光觸媒二氧化鈦粒子製備成光觸媒奈米複合材(nanocomposit)後，將其添加入調配塗料中以一般的塗布方法進行塗布紙

的製備(圖 7)。由於所使用的黏著劑為無機黏著劑，光觸媒二氧化鈦粒子不會直接接觸到塗布面的黏著劑等有機成分而達到抑制白堊化發生(小野,2007)。



(a) 造紙用的二氧化鈦



(b) 光觸媒用二氧化鈦

圖 6. 製紙用及光觸媒用的二氧化鈦的電子顯微鏡照片

另外，有害化學物質可以從無機黏著劑的間隙間，吸著到光觸媒二氧化鈦的表面後，藉由光的能量將其氧化分解之。

2. 光觸媒紙的機能

(1) 空氣清淨效果

光觸媒塗布紙除可應用在月曆、海報、型錄、包裝、車內廣告等用途上，並可應用在專門對對家居、辦公室、車內等空氣清淨(消臭機能)用途所開發的「家

居型(lifestyle)環境處理用途紙」。這種紙張如對二手煙主成分乙二醛(acetaldehyde)，sick house 症候群的原因物質之一的甲醛、汗臭、或寵物的臭味的主成分氨氣等，可以藉由光觸媒的除臭機制效果將其一一分解去除之。

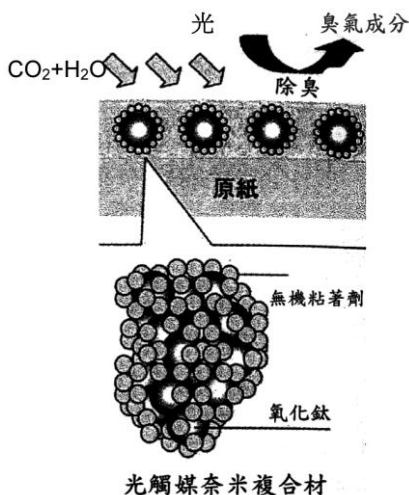


圖 7. 維持將惡臭成分的分解性及抑制紙張劣化的光觸媒設計(小野,2007)

如平光(Matt)光觸媒塗布紙對各種臭氣成分的分解效果，表 1 為將 50 x 50 mm 紙樣放入體積 5L 集氣袋(Tetrapack)中，經過 0.5 W/m² 的紫外線(相當於陰天穿越窗戶的太陽光中紫外線的強度)照射，評估照射小時與臭氣成分濃度的相關關係。初始濃度 100 ppm 的乙醛經過 16 小時，60 ppm 甲醛，經過 37 小時，50 ppm 的氨氣經過 55 小時處理後幾乎完全被分解(圖 8，表 1，表 2)(小野,2007)。

消臭效果簡單的說明，在 3 坪的方間內以陰天穿越窗戶的太陽光照射條件設定，A2 平光塗布紙光觸媒塗布紙與市售除臭劑的除臭效果比較，初期濃度約 50 ppm 的氨氣經 50 小時後，A2 平光光觸媒塗布紙大約可完全分解氨氣，市售除臭劑紙能約降低到 30 ppm，顯示平光光觸媒塗布紙之除臭效果較為優越(圖

10)。除此之外除臭紙的消臭效果的持續性能與消臭劑所吸收的臭氣成分是否飽和有關，吸著量飽和則消臭效果會變無，相對的光觸媒塗布紙由於具有二氧化鈦的光觸媒效果，能將臭氣成分分解，其消臭效果為半永久性。

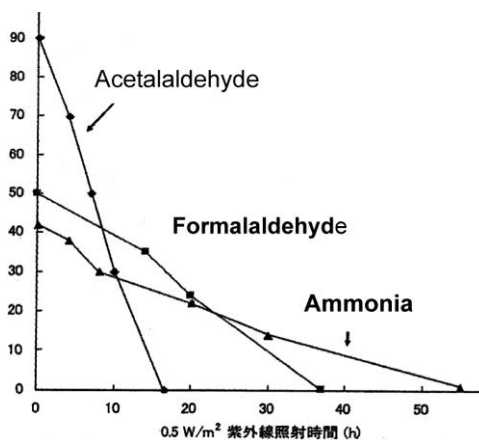


圖 9. 光觸媒 A2 塗布紙對臭氣成分的分解(小野,2007)

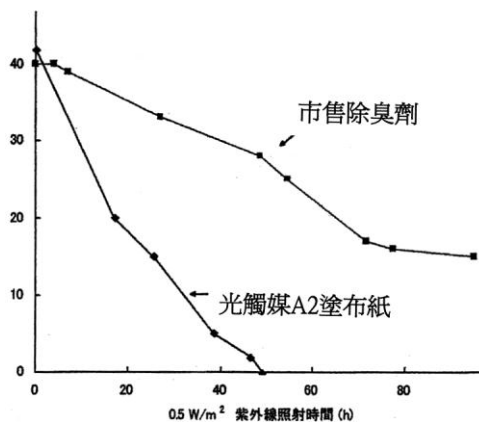


圖 10. 光觸媒 A2 塗布紙與市售除臭劑對氨氣的去除效果比較(小野,2007)

表 1. 臭氣成分與惡臭物質濃度與臭氣強度的關係(小野,2007)

臭氣濃度	內容	惡臭物質濃度 ppm	
		乙醛	氨氣
1	無臭	0.002	0.1
2	好不容易才感覺到臭味	0.01	0.6
3	微臭	0.1	2.3
4	很容易的感覺到臭味	1	9.2
5	很臭味、強烈臭味	10	37

表 2. 甲醛濃度對人的影響情形(小野,2007)

濃度(ppm)	內容
0.03~0.05	眼睛感覺到刺激性
0.05~0.13	50%的人感覺到臭味
0.4~0.8	30%的人感覺到輕微不舒服的感覺
0.81~1.6	幾乎所有的人感覺到眼睛刺激、鼻、喉乾燥
5.0~以上	喉感覺刺激
15~以上	咳嗽
20~以上	呼吸急促及感覺到刺激

表 3. 日本化學協會對光觸媒紙的光觸媒效果的測定結果(小野,2007)

試樣	紫外線照射強度* (10 W/m ²)	甲醛濃度(ppm)		去除率 (%)
		初期濃度	20 小時後	
光觸媒新聞紙	有	93	0.25 以下	>99
	無	93	88	5.4
平光(Matt)光觸媒塗布紙	有	90	0.25 以下	>99
	無	90	88	5.4

*約較透過玻璃之太陽光稍弱的紫外線強度

由光觸媒製品技術協議會所指定第三者機關即(株)日本化學纖維工業會擔任光觸媒紙的檢測，所採用的方法氣袋(gas pack)法之光觸媒性能評價試驗法(日本化學維檢査協會,2004):將大小 50x50mm 的紙樣試料裝有放入 5L 臭氣(氨氣、乙醛等)的液體包裝紙袋

(Tetrapack)中，以照射強度 10 W/m² 的紫外線照射 20 小時後測定臭氣濃度的變化，確認除臭紙的除臭效果及因紫外線照射時的分解效果(表 3)。

(2) 抗菌效果

如上述由同樣由第三者機關(株)日本紡織檢査協

光觸媒、光觸媒紙及紙觸媒

會，進行抗菌製品的抗菌性評估，依據該抗菌加工製造技術協議會的抗菌加工製品的抗菌力評價試驗法Ⅲ，光照射膜密著法(日本抗菌製品技術協會,2003)，以照射強度 10 W/m²的紫外線照射 24 小時後測定生菌數的變化的方法進行平光(matt)光觸媒 A2 塗布紙的抗菌性的評估，對大腸菌之抗菌活性值為 3.3 (2.0 以上具抗菌效果)。即評估紫外線照射的有無在 24 小時後其生菌數具有 100 倍以的差異)，表 4 確認平光光觸媒 A2 塗布紙具有大腸菌的抗菌效果。

(3)光觸媒新聞用紙

新聞用紙為了使印色鮮豔或尖銳度(sharp)增加，紙張的白度與降低透印(print though)而添加或塗

布各種白色的填料或顏料，光觸媒新聞用紙即是將低基重新聞紙進行顏料微塗作業而使新聞用紙(超低基重新聞用紙)之白度、不透明度較通常使用者有大幅提升的提升(表 5)。

由於塗布紙作為新聞的平版印印刷時由於塗布層的影響，印墨較難滲入紙層而導致印墨固著性不良的問題發生。印刷時必須使印墨迅速滲入紙層內部但是印墨滲透性太高則可能透過紙張的背面而有透印的現象。換句話說，必須使印墨固著性與印刷透印達到平衡，光觸媒新聞用紙製造時必須考量塗布層與原紙配方而使兩者達到最適化而達到解決印墨固著性的問題。

表 4. 日本紡織協會對 A2 平光(Matt)光觸媒塗布紙的抗菌性測定結果(小野,2007)

菌	試樣	紫外線照射強度(10 W/m ²)*	生菌數	抗菌活性值**
大腸菌	A2 平光(Matt)光觸媒塗布紙	無照射 24 小時後(C0)	5.2x10 ⁶	3.3
		有照射 24 小時後(C1)	2.3x10 ⁶	
菌	A2 平光(Matt)塗布紙	無照射 24 小時後(C0)	5.1x10 ⁶	0.2
		有照射 24 小時後(C1)	3.1x10 ⁶	

*：陰天穿越窗戶的太陽光中紫外線的照射強度

**：抗菌活性值 = Log(C0/C1)

***：光觸媒抗菌加工品其抗菌效果之抗菌活性值必須在 2.0 以上

表 5.光觸媒新聞用紙與超低基重新聞用紙的比較(小野,2007)

	光觸媒新聞用紙	超低基重新聞用紙
基重(g/m ²)	54.2	43.1
紙厚(μm)	82	67
密度(g/cm ³)	0.66	0.64
ISO 白度(%)	79	55
ISO 不透明度(%)	93	93

(4)光觸媒平光 A2 塗布紙

通常，以光觸媒平光 A2 塗布紙進行張頁式印刷時，一般不是使用強制性的熱乾燥方式而是採用氧化聚合型油墨進行油墨的定著，印墨固著性慢時會有乾燥不良與導致油墨沾黏(set off)問題的發生。超微粒子光觸媒二氧化鈦聚有高比表面積大，縮添加的黏著劑量較一般塗布要高，但是使用一般的黏著劑增加其配比則可能降低印墨固著性。因此所使用的黏著劑種類、配合量均必須同時考量印墨固著性以達最適化結果。平光光觸媒 A2 塗布紙與一般塗布紙具有相若的印刷品質，其基重為 105~137 g/m² (A 類)，186~349 g/m² (B 類)(表 6)。

表 6. 光觸媒平光 A2 塗布紙的基本性質(小野,2007)

	A 類			B 類				
基重(g/m ²)	105	128	157	186	209	256	302	349
紙厚(μm)	98	127	164	190	215	265	324	380
光澤度(%)	20	20	20	18	18	18	18	18
ISO 白度(%)	83	83	83	85	85	85	85	85
ISO 不透明度(%)	96	98	98.5	98.3	98.7	99.3	99.6	99.8

(5)光觸媒鏡面塗布紙(cast coated paper)

光觸媒鏡面塗布紙較平光光觸媒塗布紙有高平滑度，塗布層的累積孔隙容積也較小，臭氣成分較不易與光觸媒二氧化鈦接觸之故，因此，調整光觸媒的添加量使其與賦與平光光觸媒塗布紙約具相同之光觸媒效果，其產品的基重為 104.7 g/m²、127.9 g/m²、157.0 g/m²。

(6)光觸媒面紙盒

光觸媒鏡面塗布紙盒用紙板(cast carton)應用在

面紙紙盒加工時，在貼盒、裝盒，倘若摩擦係數不適當則有在貼盒工程有重送、阻塞的現象的發生，而有加工適性的問題發生(圖 10)。將光觸媒以奈米級的無機黏著劑將光觸媒二氧化鈦粒子製備成光觸媒奈米複合材(nanocomposite)後添加在塗布配方中，調整處方光觸媒鏡面塗布紙盒用紙板的摩擦係數與一般鏡面塗布紙約略相同而具有良好的加工適性。

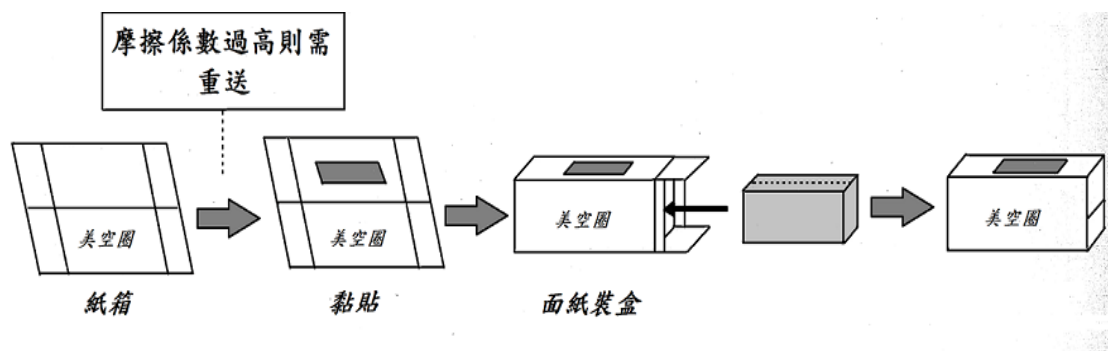


圖 10 光觸媒面紙盒的加工製程

四、紙-光觸媒(paper catalyst)

在紙張纖維中添加光觸媒二氧化鈦即以紙張為使用之基材，有機性的紙漿纖維在氧化分解反應的同時也會受到損傷，紙張的強度性質會呈顯著的下降。因此，日本九州大學北岡等人(Iguchietal.,2003)嘗試使用對游離基安定的基材矽-鋁(Silica-Aluminum)類無

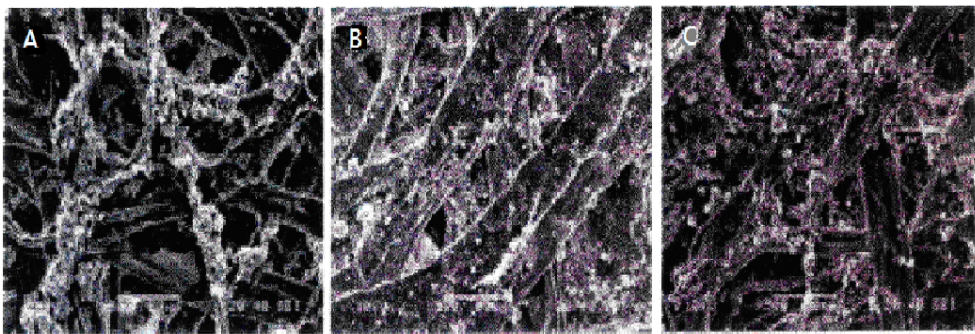
機纖維作為基材。在二氧化鈦粉末與無機纖維懸浮液中加入高荷電密度、低分子量的陽離子性凝集劑過剩添加，是系統內之懸濁物質帶正電，再加入低荷電密度、高分子量的陰離子性凝集劑使之形成架橋凝集之雙高分子系統(dual polymer system)，最後再混抄紙漿纖維形成得到紙-光觸媒。圖 11 為紙-光觸媒與對

光觸媒、光觸媒紙及紙觸媒

照光觸媒紙的電子顯微鏡照片。二氧化鈦粉末與無機纖維(約 10%)分別加入紙漿懸浮液，將紙中的二氧化鈦量統一。一般光觸媒紙二氧化鈦直接備吸附在紙漿纖維上，紙-光觸媒則經由 X 線元素 mapping 分析確認被吸附在無機纖維上。

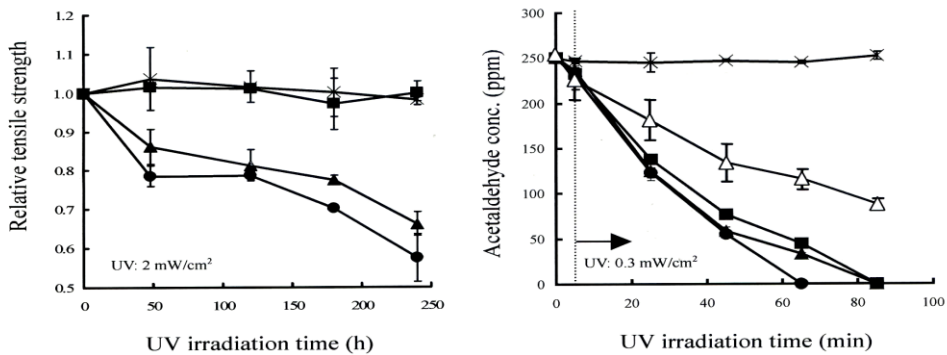
圖 12 中顯示不同的二氧化鈦的光觸媒紙、紙光觸媒與一般紙張藉由 UV 照射材料強度變化與揮發性有機化合物中的乙醛的分解能。不管哪種光觸媒紙在

UV 的照射下均能使乙醛迅速的完全分解，但伴同所的材料強度有顯著的降低。其中，紙-光觸媒則未見強度降低的現象。推論其理由，紙-光觸媒中大部分的二氧化鈦僅與無機纖維接觸吸附，與紙漿纖維的接觸機會已經壓到最低，利用紙張的多孔質構造使有害氣體物質有效的與光觸媒接觸，而接收氧化分解。



A：紙-光觸媒 B：光觸媒紙(分散吸附) C：光觸媒紙(凝集吸附)

圖 11. 紙-光觸媒(Papercatalyst)與對照組光觸媒紙的電子顯微鏡照片(北岡,2004)



■：紙-光觸媒 ●：光觸媒紙(分散吸附) ▲：光觸媒紙(凝集吸附) ×：漿片 △：光觸媒粉末

圖 12. 紙-光觸媒(paper-catalyst)的強度變化及對乙醛的分解能(北岡,2004)

(1)100%無機材料的紙光觸媒

二氧化鈦光觸媒配合無機吸著劑作為廢氣、排放

水處理、被污染的環境等的淨化處理相關的研究開發近年非常盛行，但是氧化鈦以粉末狀材料其處理應用時的難點很多，因此固定化技術的重要性漸漸增高。

前述的紙-光觸媒以紙漿纖維為基質、在室外或有水的環境中無法利用。因此嘗試製備承載大量光觸媒粉

末的無機紙-光觸媒。

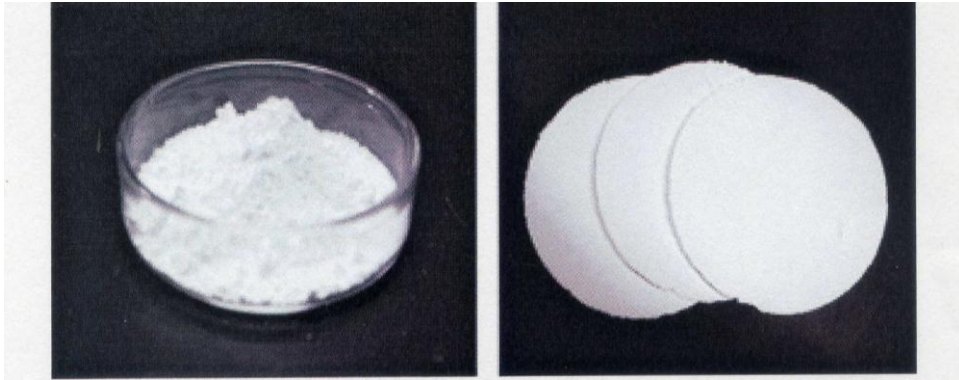


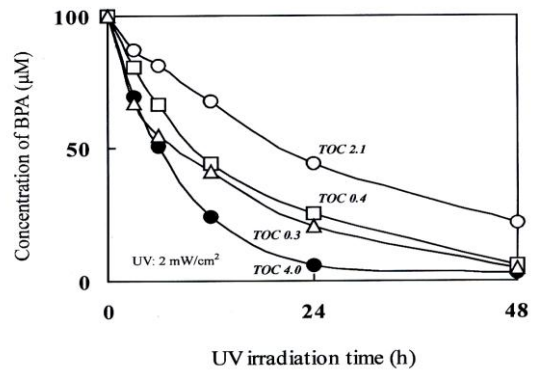
圖 13 光觸媒粉末與紙光觸媒(paper catalyst)之外觀(北岡,2004)

圖 13 為光觸媒粉末及加工成型的「紙-光觸媒」的照片。紙-光觸媒的組成為紙漿纖維 10.0% (重量比)、無機纖維 24.5%、觸媒粉末 65.5%，其外觀其實與普通紙完全相同。其製備方法是先以經打漿處理將紙漿纖維帶化，在以前述雙高分子系統將超過添加量的 90% 以上的觸媒留存在 10% 紙漿纖維上(北岡,2004)。

進一步配合鋁溶膠(alumina sol)等的無機黏著劑的併用，再加上燒結處理將紙漿纖維燃燒除去與黏著劑，熱融著現象，製備成具有(1).紙張構造體的均質性。與(2).有機物燒結所造成之多孔質構造。(3).燒結後形成具高強度的無機纖維的網狀構造支持體。因而將紙漿纖維除去而得到 100% 的無機物之紙光觸媒具有相當的強度，即使在水中也可進行應用於目前光觸媒的各種領域上。

紙光觸媒在水溶液中的效果如何呢?在河川、湖泊中常常蓄積有環境賀爾蒙物質以處理其中之一的雙酚 A (bisphenol A, BPA)圖 14 中顯示其分解舉動。由於 UV 的照射使系統內 BPA 的濃度呈經時性的降低、因此可確認即使在水溶液狀態下無機紙-光觸媒

也能進行水溶性有機物質的化分解(Fukahori et al., 2003)。



- ：紙--光觸媒
- 、△：紙複合光觸媒(氧化鈦：沸石=1：2，2：1)
- ：光觸媒粉末 TOC：來自中間體溶解有機碳素量 (ppm)

圖 14. 紙--光觸媒對在水溶液中環境賀爾蒙物質 bisphenolA(BPA)的分解(Fukahori et al.,2003)

五、結論與今後的發展

紙業界開發出各種光觸媒塗布紙與一般塗布紙具有同等的印刷適性，光觸媒的添加可應用於空氣清淨化、抗菌效果、褪色抑制等新機能性用途，印刷用紙與一般的塗布紙約略有相同的製造方法與特性，今後應會往高機能性光觸媒光觸媒奈米複合材的開發與應用。

六、參考文獻

- 1.光觸研究所 2011 光觸媒
(Photocatalyst)<http://www.photocatalyst.co.jp>
- 2.小野裕司 2007 日本製紙グループによる光觸媒塗布紙の開発。紙パルプ技術タイムス(10):337-340
- 3.松原宏一 1999 紙が機能をもった—光觸媒との出会い。化学 54(5) :33-35
- 4.日本抗菌製品技術協議會 2003 抗菌加工製品の抗菌力評價試験法Ⅲ(光照射フィルム)密著法。
- 5.北岡卓也 2004 ペーパー觸媒。纖維と工業 60(9) : 439-442
- 6.光觸媒コーティング (株)
<http://www.asukanet.gr.jp/tao/1hikari/frame.htm>
- 7.日本化學纖維檢査協會 2004 光觸媒性能評價試験法Ⅱb(ガスパック B 法)(Http :
[//www.maroshosangyo.jp/m-clean/visible.htm#2](http://www.maroshosangyo.jp/m-clean/visible.htm#2))
- 8.FukahoriS.,IchiuraH.,KitaokaT.,TanakaH.2003,PhotocatalyticdecompositionofbisphenolAinwaterusingcompositeTiO2-zeolitesheetspreparedbyapapermakingtechnique,EnvironmentalScienceandTechnology,37(5),1048-1051,2003.
- 9.IguchiY.,IchiuraH.,KitaokaT.,andTanakaH.2003,Preparationandcharacteristicsofhighperformancepapercontainingtitaniumdioxidephotocatalystsupportedoninorganicfibermatrix,Chemosphere,53(10),1193-1199.
- 10.森川健志、旭良司、大脇健史、清木恆勇、多賀康

訓 2011 可視光応答酸化チタン光觸媒(株)豊田中央研究

<http://www.photocatalysis.com/sekininsya/sekininsh-a--koushuu/2-4.kashi-kou-outou--sanka-chitan.pdf>

*蘇裕昌國立中興大學森林學系教授

*Dr.Yu-Chang Su, Professor, Dept. of Forestry, National Chung-Hsing University