

複合材料產業 循環經濟研討會

勤益

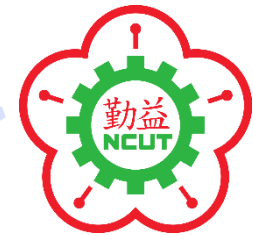
NCUT

2018/12/28

玻璃纖維強化複合材料廢
棄物之處理方式與再利用

沈銘原 助理教授
國立勤益科技大學
機械工程系

簡報大綱



1

纖維複合材料簡介

2

玻璃纖維複合材料廢棄物處理方式

3

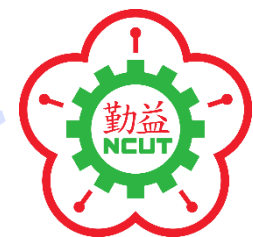
玻璃纖維複合材料高值化應用

4

複材循環經濟應用前景



個人簡介



學歷

國立清華大學
動力機械研究所
博士

現職

- ✓ 國立勤益科技大學
機械工程系 助理教授
- ✓ SAMPE Taiwan 理事

經歷

拓凱實業股份有限公司 高級專員
(財) 塑膠工業技術發展中心
加工部押出組 組長
品揚高分子有限公司 經理
國立成功大學 嚴慶齡中心
博士後研究員
中華科技大學 航空機械系 助理教授
南臺科技大學 化學工程與材料工程系
助理教授

專長

纖維複合材料
(連續纖維、短纖維)

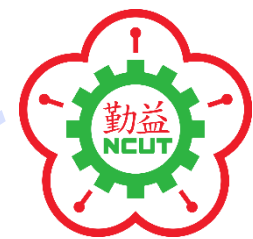
石墨烯、奈米碳管補強
高分子複合材料

熱塑性複合材料

塑膠加工



Prof. Shen @NCUT

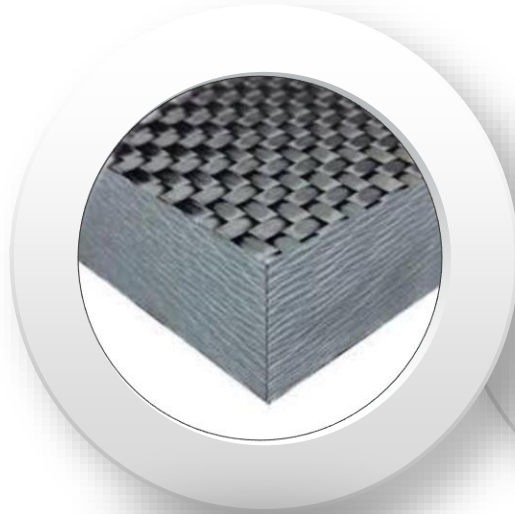


PART
ONE

纖維複合材料簡介

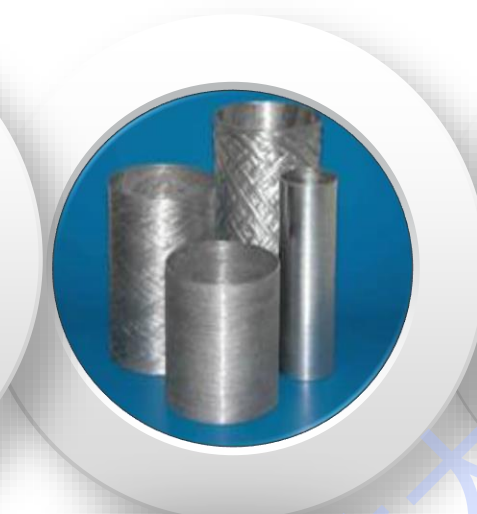


複合材料分類 (由基材分類)



Polymer Matrix Composite

高分子基複合材料



Metal Matrix Composite

金屬基複合材料



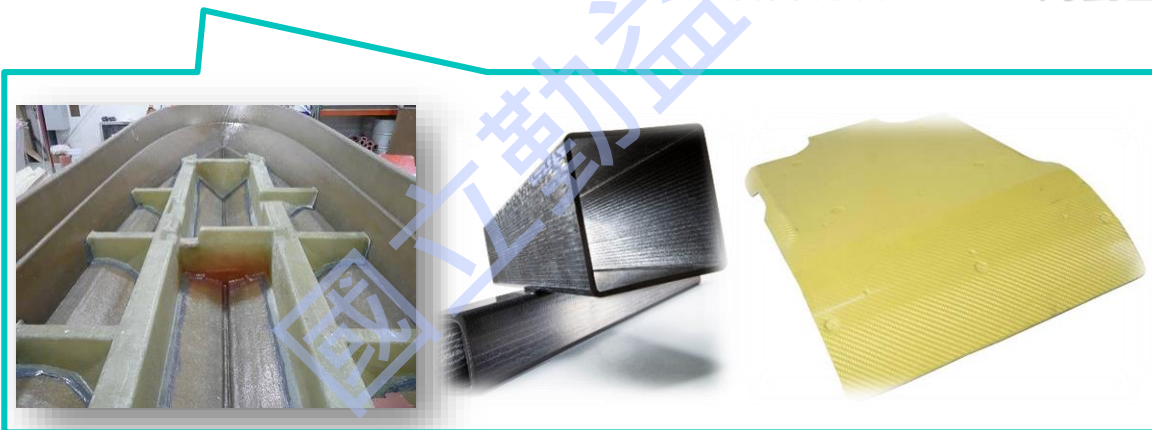
Ceramic Matrix Composite

陶瓷基複合材料



Carbon-Carbon Composite

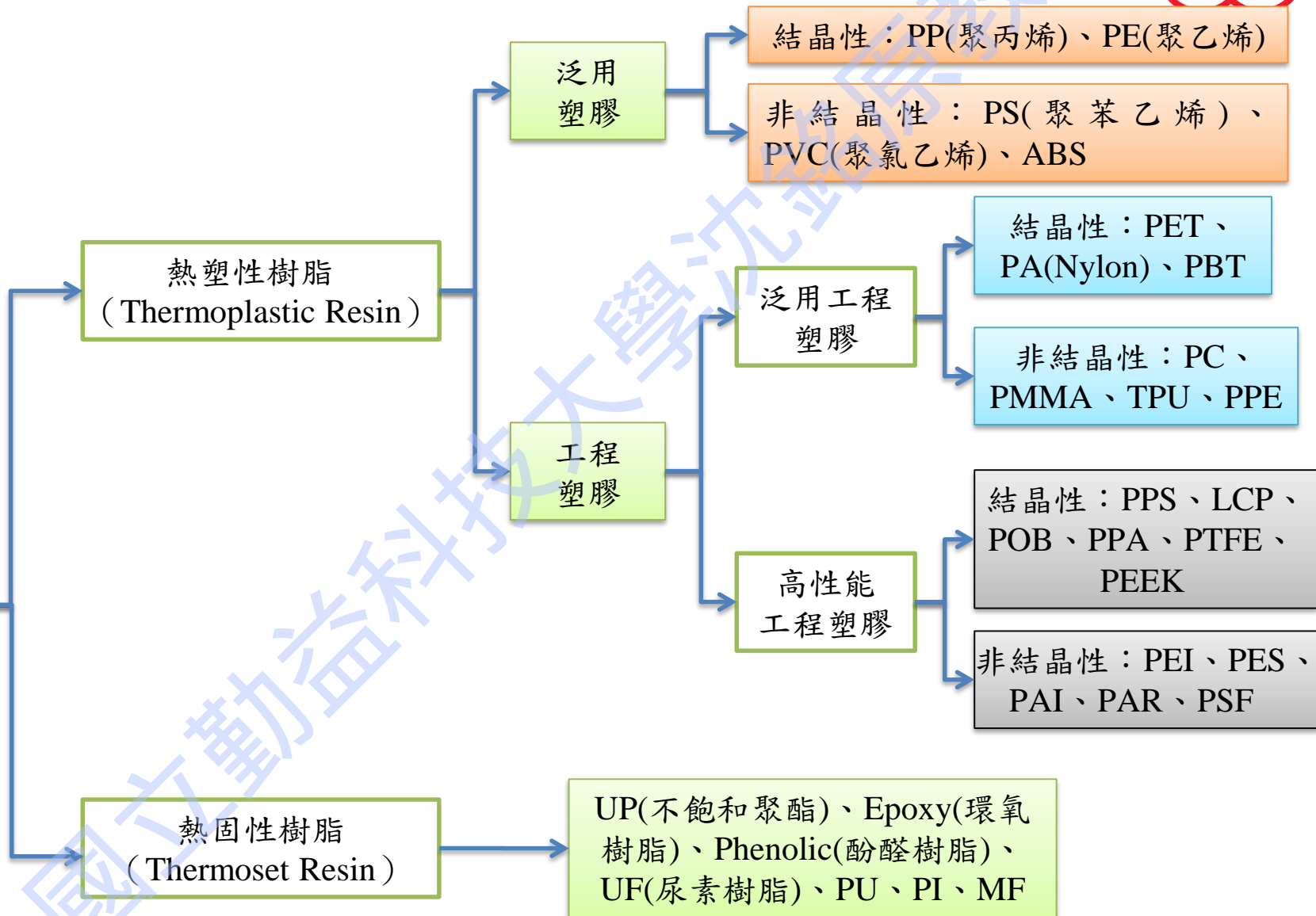
碳碳複合材料



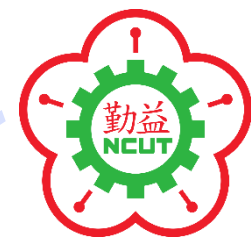
纖維複合材料常用樹脂



高分子基材(樹脂)



熱固性纖維複合材料發展歷程



197X

199X

200X

201X

Now

球拍

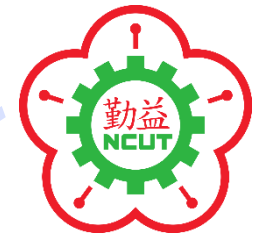
自行車、船舶

土木工程

航太航空、能源

交通運輸

Carbon laminate
Carbon sandwich
Fiberglass
Aluminum
Aluminum/steel/titanium



PART
TWO

玻璃纖維複合材料 廢棄物處理方式



熱固纖維複合材料廢棄物來源



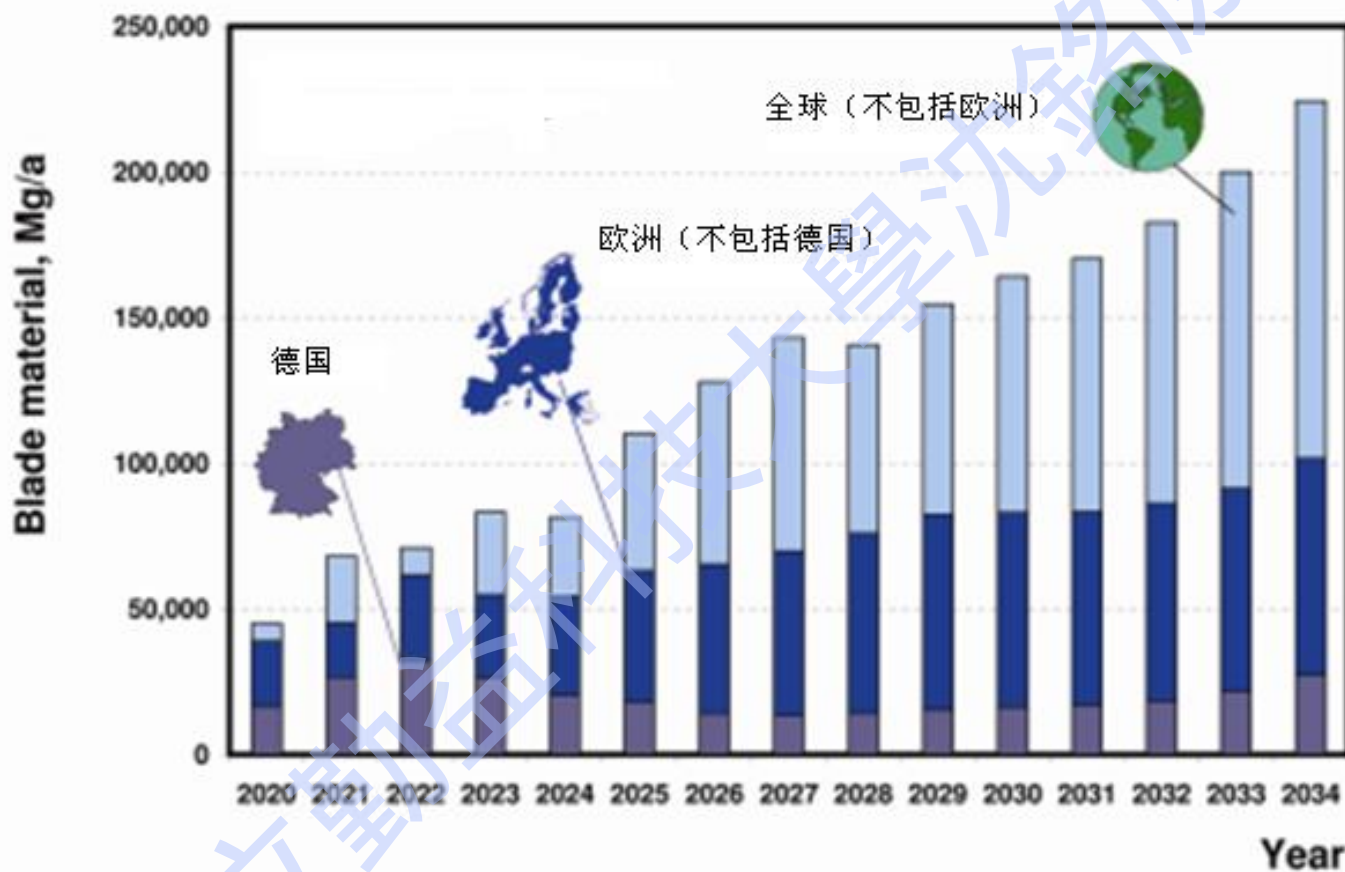
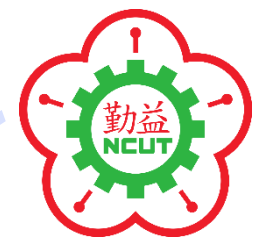
複材廢棄物
來源

複材製造過程
產生的廢棄物

使用後報
廢的產品



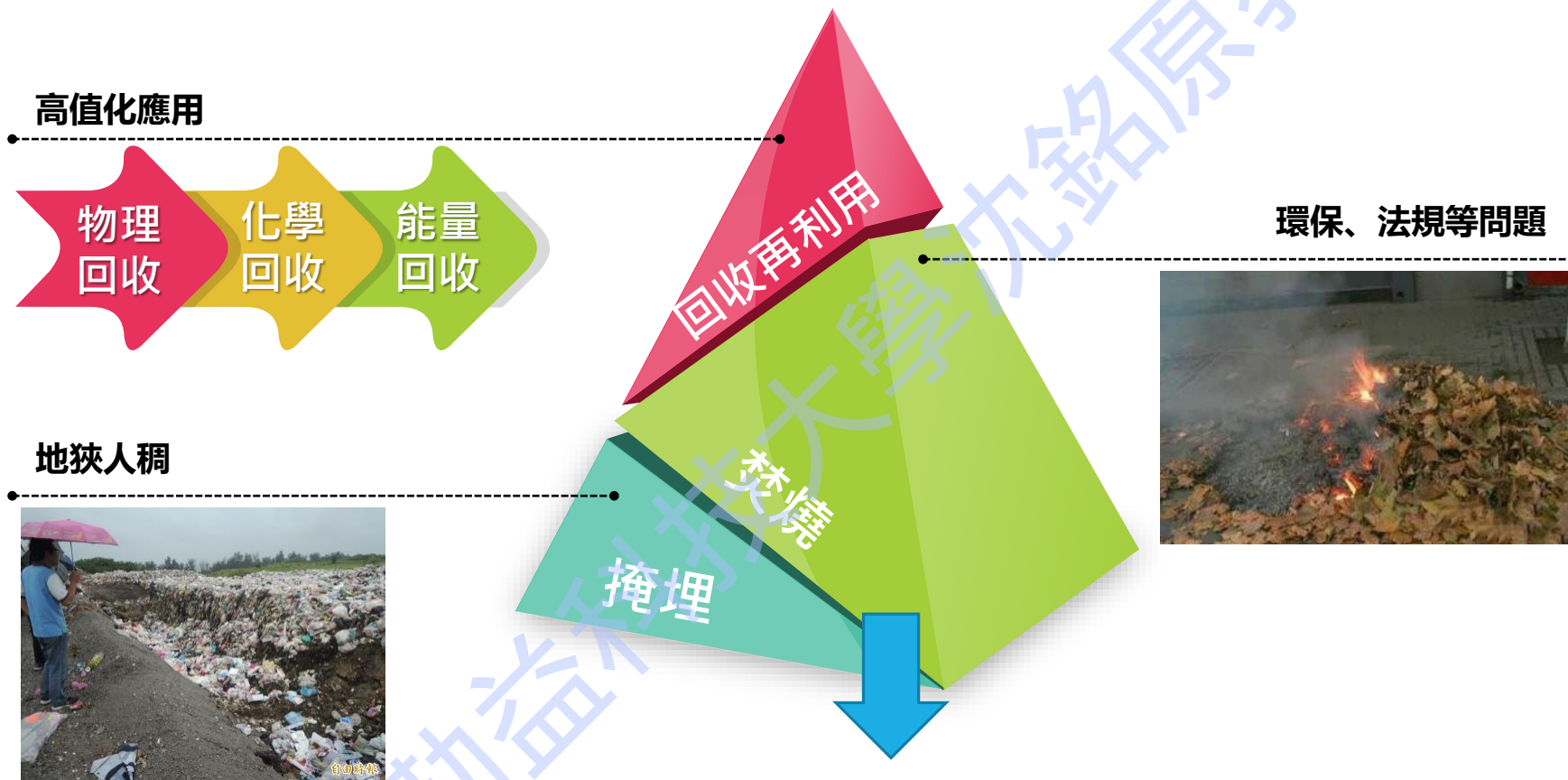
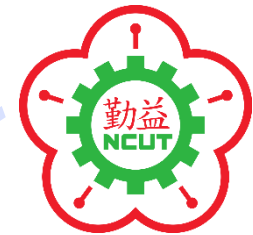
風力發電葉片數量預測



(資料來源 : f-kwinf, Hochschule Bremerhaven)



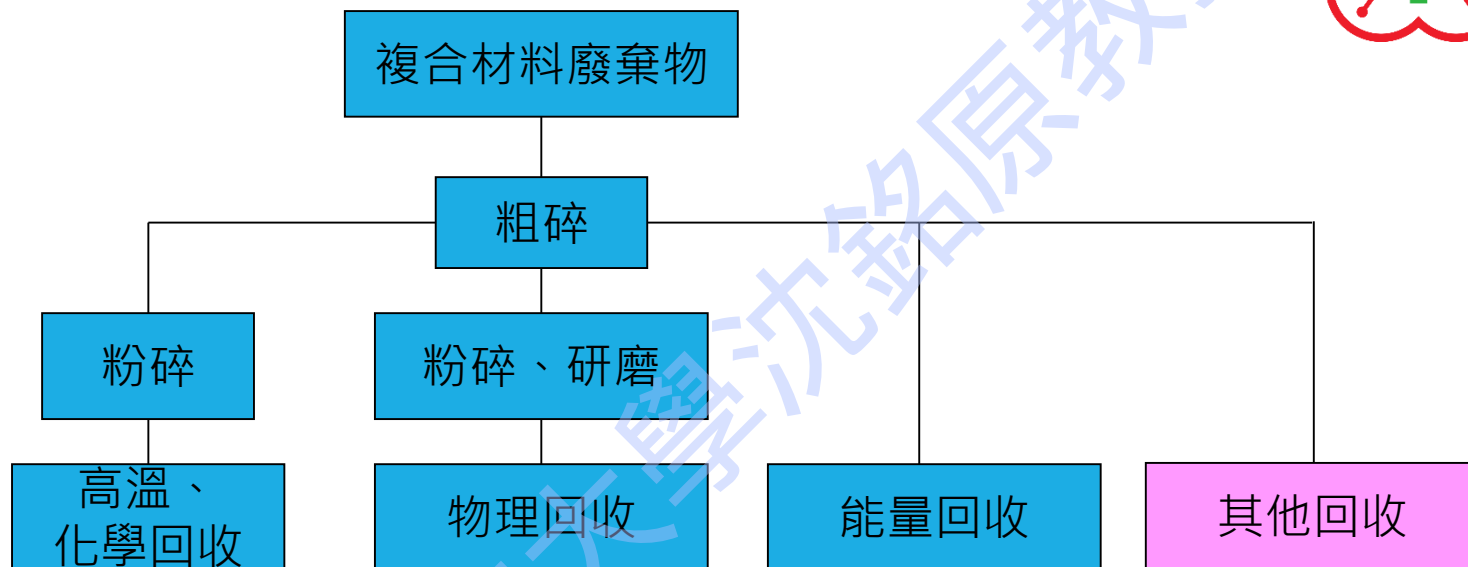
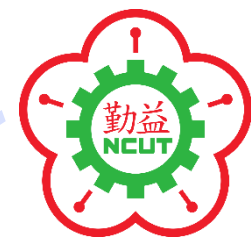
熱固纖維複合材料廢棄物處理方式



- 佔用土地資源；
- 二次污染嚴重；
- 資源未得到充分應用
- 存在潛在的、未知的危險。

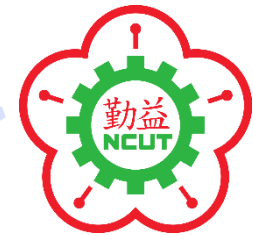


玻璃纖維複合材料廢棄物回收方式

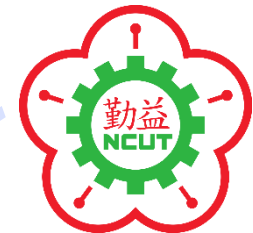


類型	方法	適用範圍	回收產物	用途
化學回收	熱裂解 化學分解	包括被污染的複合材料廢棄物	熱解氣、熱解油、固體副產物	用作燃料和新複合材料等的填料和其他用途。
物理回收	粉碎	只適用於未被污染的廢棄物	粉料	用於新複合材料、填料、鋪路材料等
能量回收	焚燒	絕大多數複合材料廢棄物	熱量	發電、熱源

玻璃纖維複合材料廢棄物 高溫與化學回收



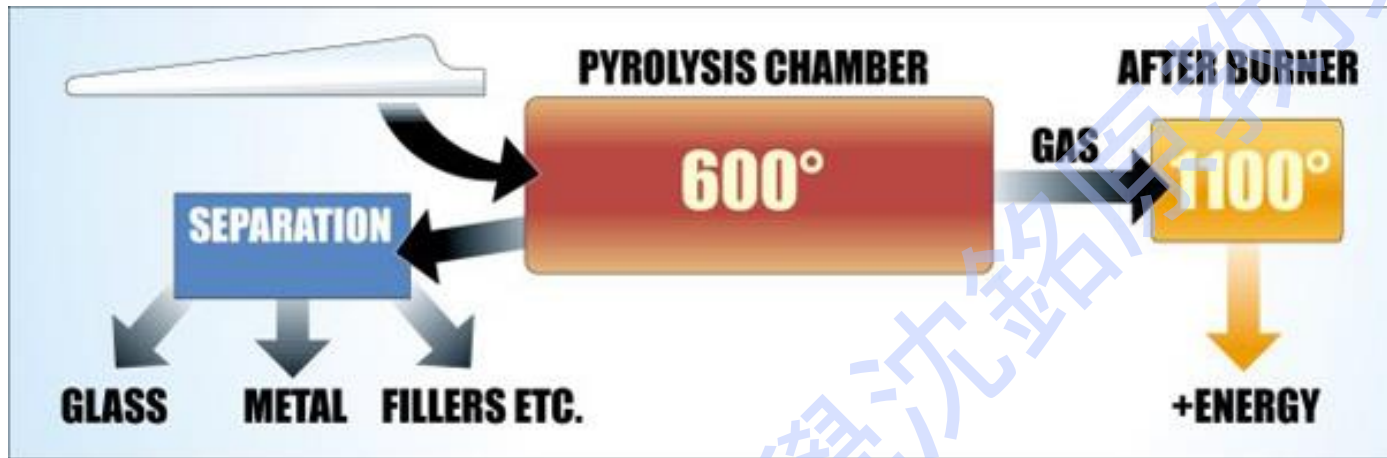
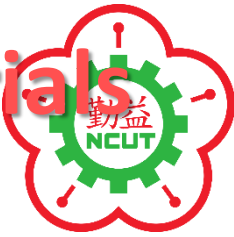
玻璃纖維複合材料廢棄物 熱裂解回收



種 類	含量 / %	發熱量 (燃燒熱)	成 分	用 途
熱解氣	14	8939 kcal/ Nm ³	與天然氣接近	供熱解以能量，用作燃料
熱解油	14	9240 kcal/ kg	以芳香成分為主， 與重油成分接近。	進一步分餾、改性， 作燃料
固體 副產物	72		CaCO ₃ 、玻纖、炭 黑等	用作SMC、BMC、 塑膠等的填料，鋪 路材料

- 這種方法技術難度大，對回收設備要求高，回收費用較高。
- 一般在400～500 °C以回收熱解油為主，在600～700 °C以回收熱解氣為主。
- 複合材料廢棄物中的玻纖在熱解的高溫下力學性能下降，經研磨後，可與其他固體副產物研磨粉料一起用作填料。

ReFiber ApS - Recycling composite materials



Wind Turbine Blade part before pyrolysis



Wind Turbine Blade part after pyrolysis

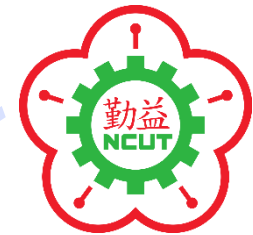


Separated metal, filler, roving, fabric

Source is mentioned in the text: ReFiber ApS.

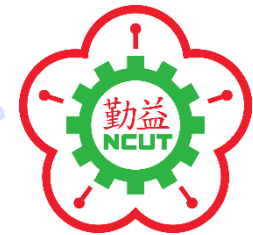


玻璃纖維複合材料廢棄物 化學回收



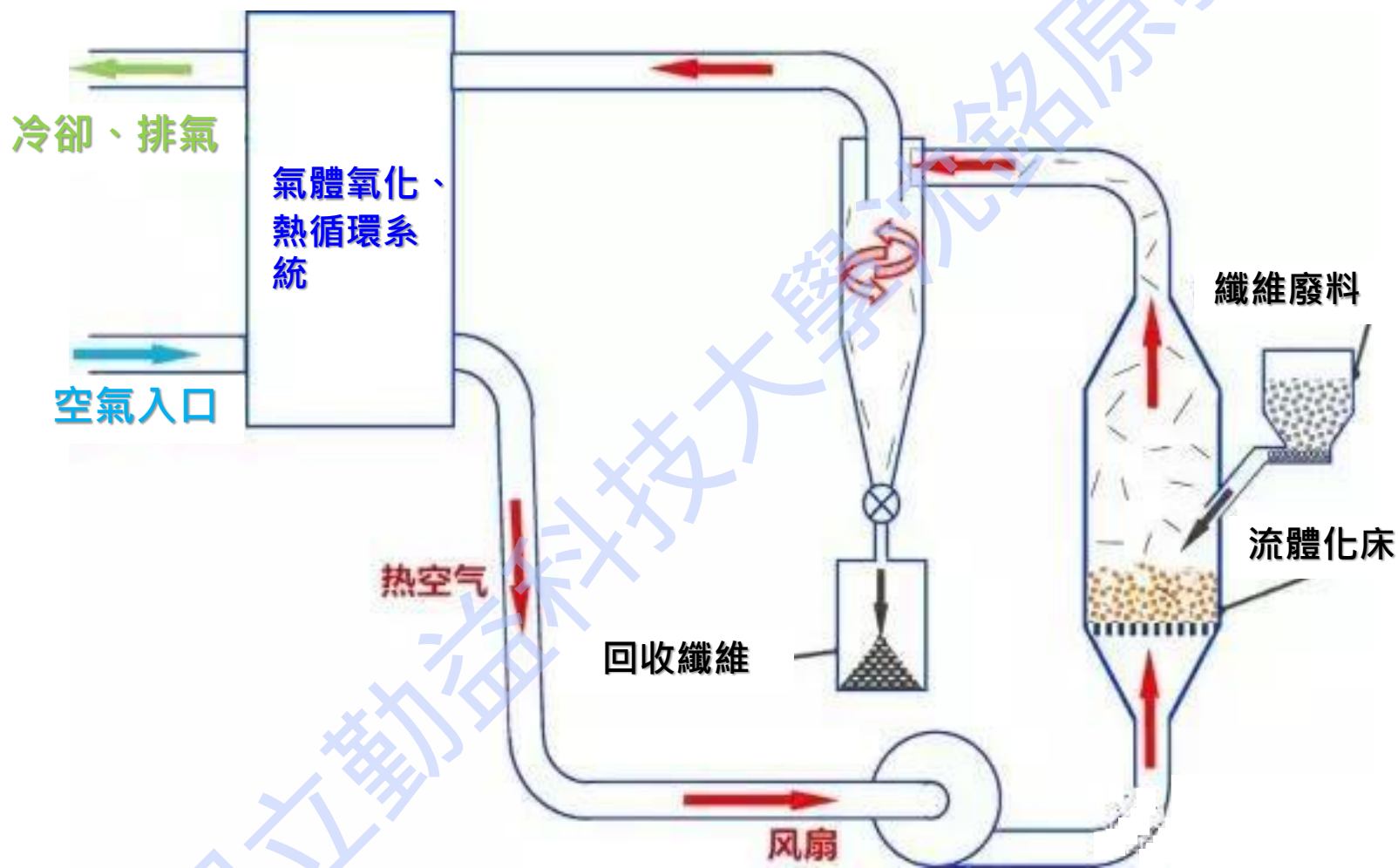
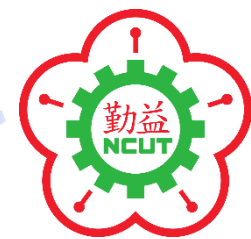
- ✓ 化學回收法是把粉碎後的微粒溶解於乙二醇，在230—245°C鹼性催化劑作用下使樹脂分解，分離出玻璃纖維，再加入順丁烯二酸或反丁烯二酸進行再反應，重新合成不飽和聚酯樹脂。
- ✓ Pickering研究團隊在超臨界狀態下研究了水、二氧化碳，甲醇、乙醇、丙醇和丙酮等多種溶劑對於纖維複合材料的分解作用。研究結果顯示丙醇的溶解作用最好。而用超臨界丙醇回收的碳纖維的拉伸強度和楊式模數的是原始纖維的99%；同時研究還顯示甲醇和乙醇對聚酯類樹脂的溶解效果比較好，而對環氧樹脂的溶解效果比較差，而丙醇則對環氧樹脂複合材料的分解性能較佳。

玻璃纖維複合材料廢棄物 流體化床回收（實驗室）

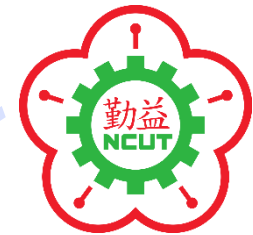


- ✓ 流體化床熱分解法是一種以高溫空氣進行熱對流來對纖維複合材料進行高溫熱分解的纖維回收方法，通常這種技術還必須採用「旋風分離器」來獲得填料顆粒和表面潔淨的纖維。
- ✓ 許多文獻指出：以流體化床熱分解造成纖維拉伸強度降低的主要影響因素是砂粒對纖維表面由於摩擦作用造成了一定的損傷，而且纖維與旋風分離器壁的摩擦也造成了碳纖維表面的破壞。
- ✓ 因此，雖然用流體化床分解法回收可得到比較乾淨的纖維，但由於這種製程受高溫、砂粒磨損等影響，導致纖維長度變短和纖維力學性能下降，因而也將影響所回收纖維的實際應用範圍。

玻璃纖維複合材料廢棄物 流體化床回收（實驗室）

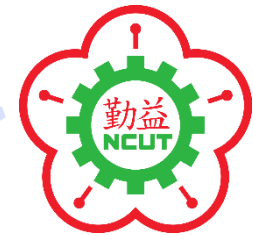


玻璃纖維複合材料廢棄物 物理回收



- 將廢棄物粉碎或熔融作為材料的原材料使用。
- 生產成本較低、處理方法簡單，但是對廢棄物的選擇性大、處理量有限。
- 作為添充材使用時，由於可能會導致材料性能的降低和成本的提高，所以添加數量和應用領域受到限制。

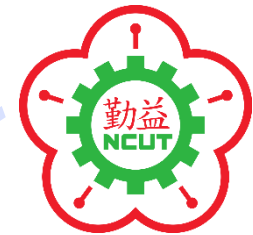
玻璃纖維複合材料廢棄物 物理回收考量因素



玻纖複材廢棄物回收應用需考慮之因素：

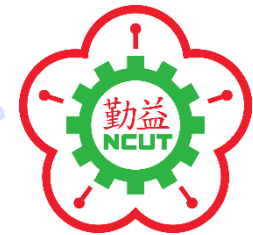
- ✓ 回收粉體的尺寸和粒徑分佈；
- ✓ 回收粉體與新的樹脂之相容性；
- ✓ 回收粉體與所取代的填料的應用效果比較，理想情況是回收料提供某些優良性能而成本低於其他填料；
- ✓ 回收粉體的殘留強度：回收料中的的玻纖強度下降不大時，可作為補強材，否則只能用於填料。

物理回收粉體尺寸及應用範圍



粒子尺寸	應用領域
> 25 × 25mm	建材，如廢紙製造的紙板、輕型水泥板、農用地面覆蓋材料和隔音材料等
3.2 ~ 9.5mm	屋頂瀝青、BMC、混凝土等的填料，鋪路材料補強劑、填料等
< 60 μ m(200 目)	SMC、BMC 和熱塑性塑膠填料等

玻璃纖維複合材料廢棄物 能量回收



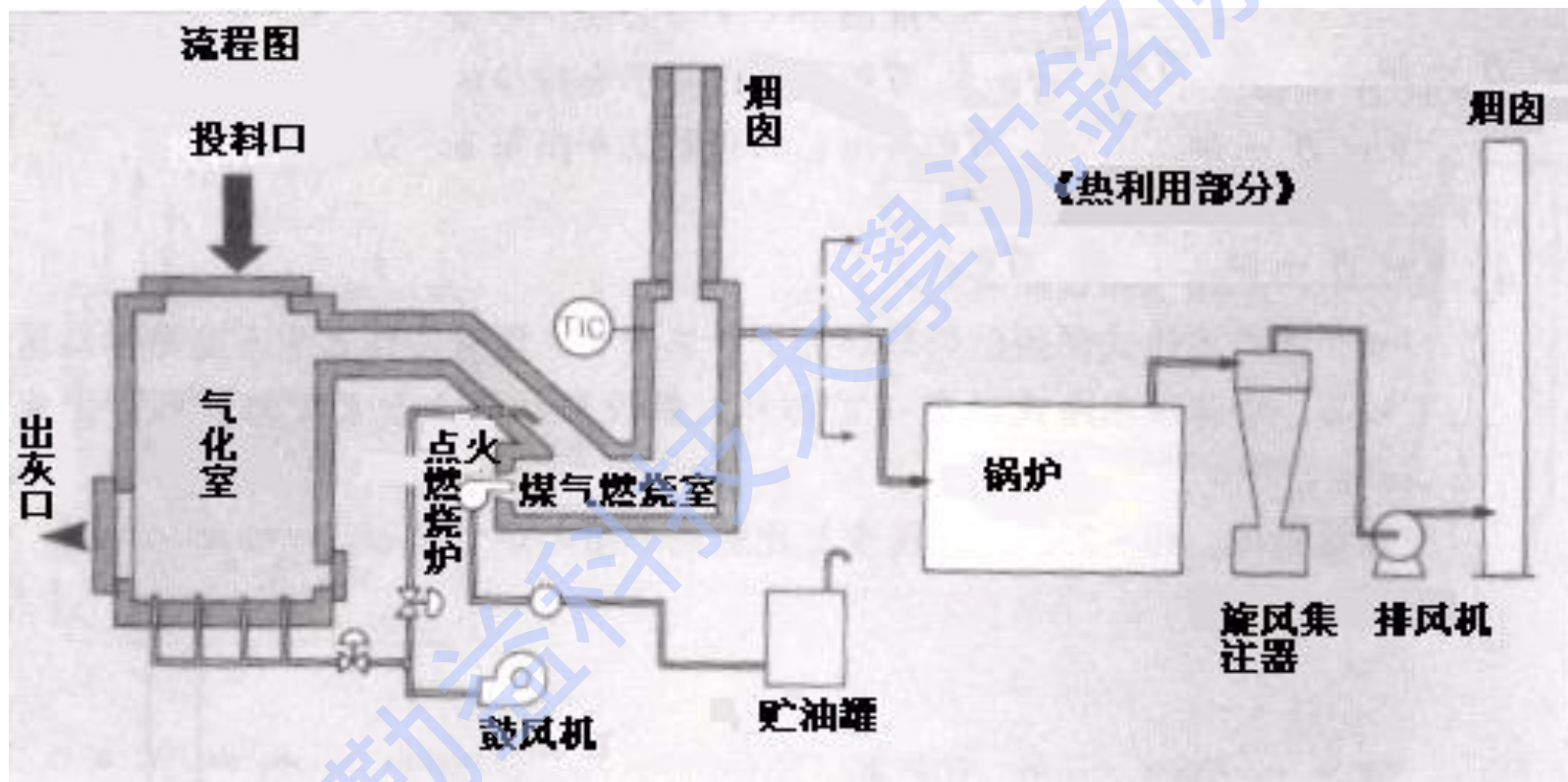
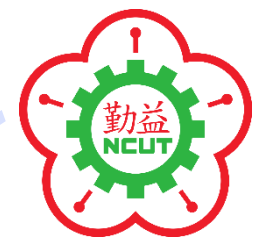
- 將廢棄物通過焚燒等處理，其中的有機物通過燃燒轉化為熱能或其它能量方式加以應用的方法。
- 該方法生產成本較低、處理方法簡單，但是廢棄物焚燒過程容易釋放出有毒氣體，焚燒後的灰分需要填埋，容易對環境造成二次污染。
- 另一個問題是複合材料中有機物的燃點較高，需要用油、煤等引燃和助燃。
- 此方法製程簡單, 但成本相對較高, 同時因廢棄物在焚燒過程釋放出有毒氣體及焚燒後的灰分在填埋時, 會對環境、土壤造成二次污染。

複合材料及烯烴類高分子的燃燒熱量

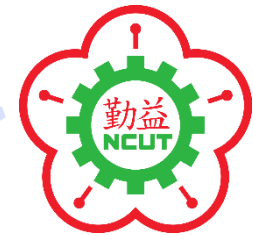


產品名稱	發熱量 (Kcal/Kg)
UP樹脂	7010~ 7360
手積層複材產品	4690~ 4930
SMC產品	2660~ 2810
PE	10290~11070
PP	10290~11040
PS	9440 ~ 9880
PET	5230 ~ 5470

能量回收流程图

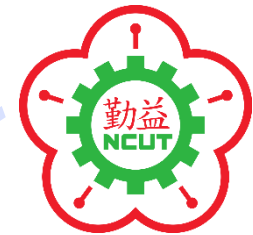


各種纖維複材回收方式比較



回收方式	優點	缺點
物理分解	<ol style="list-style-type: none">1. 纖維和樹脂均可回收2. 不產生有害物質3. 終端應用性較廣	<ol style="list-style-type: none">1. 力學性能明顯降低2. 非結構化3. 纖維重新製造可能性限制
熱裂解	<ol style="list-style-type: none">1. 較能留住原碳纖維長度2. 不使用化學溶劑	<ol style="list-style-type: none">1. 纖維表面上焦炭沉積影響後續力學性質2. 回收之碳纖維性能較不穩3. 廢氣會造成環境污染
流體化床分解	<ol style="list-style-type: none">1. 環境污染性低2. 碳纖維表面無樹脂殘留殘物	<ol style="list-style-type: none">1. 強度降解25%至50%2. 碳纖維無法保持原有長度3. 非結構化（“蓬鬆”）光纖架構4. 樹脂無法回收
化學分解	<ol style="list-style-type: none">1. 較能保留的力學性能和纖維長度2. 可以回收部分之樹脂	<ol style="list-style-type: none">1. 碳纖維與樹脂之黏附力下降2. 回收再製的碳纖維複合材料耐污染性低3. 溶劑環境侵害性太大

纖維複材回收方式經濟效益分析



01

物理回收

- ✓ 物理回收之經濟效益較差，多用於填料。
- ✓ 設備投入門檻較低。

02

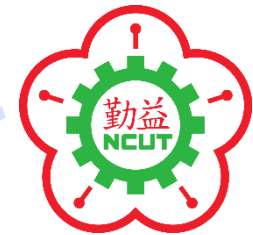
高溫與化學回收

- ✓ 化學回收尚未商業化且造成另一波污染。
- ✓ 高溫回收性能較佳、但設備昂貴。

03

能量回收

- ✓ 製程簡單。
- ✓ 易造成二次污染。
- ✓ 不具高值化應用參考
- ✓ 設備投入成本高

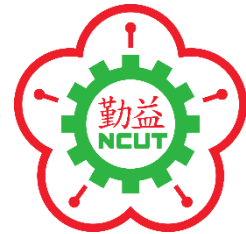


PART
FOUR

複材循環經濟應用前景



複合材料循環再利用流程圖

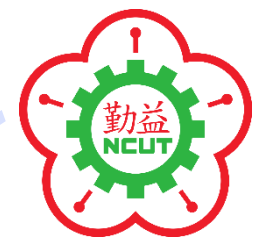


資料來源：工研院陳中屏博士



Prof. Shen @ NCUT

未來發展方向



考慮終端產品回收後的再利用的可能性

設計端

研究方向

成本、物性

產品添加回收材料對成本與物性的影響程度

回收技術

複材回收技術是否可對廢棄物的回收有最佳的效果與應用

歡迎蒞臨國立勤益科技大學

感謝聆聽
敬請指教

