

漂流木於生質能源利用之可行性

文、圖 ■ 陳文祈 ■ 工業技術研究院生態複合材料技術部經理

一、前言

在世界各國環保意識日益高漲，地球有限資源逐漸枯竭的今日，不斷採行限量開採的保護措施，因此資源價位水漲船高，尋求替代能源，尤其是可以循環再生利用的能源，是目前刻不容緩的課題；例如廚餘資源回收、有機生質能、牲畜排泄沼氣能源。其中林業生質能應用潛能，基於永續經營的立場，是值得台灣研究發展的新方向。

漂流木是台灣最豐富的林產廢棄物資源之一，可用於取代石油衍生物製品或民生工業材料來源；例如做為提高附加產業價值化的手法，漂流木經證實可藉由熱分解的機能化，在缺氧環境450°C左右的溫度領域下，會增加對氨（Ammonia）等鹼性物質的吸附性能。因此本文將介紹包括目前台灣及日本於漂流木再生利用案例，藉由被賦與的機能性研究，包括所使用的吸附材料的再利用、資源循環的活用，而這些再生利用研發成果皆是我們所期待的。

為了保護我們下一代永續生存的生活空間，發展生生不息的林業再生資源—漂流木生質能源，有待全民共同努力；本文並藉此機會喚起全民對於森林資源的重視，保有台灣林木

之美，共同愛護森林。

二、擬解決問題

（一）台灣由於河川短淺、雨季集中等因素，使得水資源管理大部分仰賴各地區水庫的有效蓄水功能。然而，台灣因為雨季集中、颱風頻繁，常使山林地區河川與水庫上游的林木被強大風雨破壞傾倒，並隨颱風期間強大山洪與溪流強流沖至下游與水庫區，破壞防洪、集水等功能，甚至造成水庫壩體安全或影響水庫發電、排洪等功能。例如2004年的敏督利颱風帶來的豪大雨引發山洪暴發，南投山區一些林木隨著洪水沿水里溪漂流而下，多數被大觀、明潭兩發電廠的水庫所攔截，大量的漂流木在水庫中載沈載浮影響的發電；當時兩大水庫漂流木的屯積量，分別高達200及600多噸，電廠連日總動員進行竹筏打撈，每天撈起約30噸的木材，共花20多天才打撈完畢。2005年9月的卡努颱風帶來的暴雨使石門發電廠進水口因漂流木卡住而故障關閉，石門水庫無法開啟取水口發電，出水量因此每秒減少52立方公尺，難以調節水位。



(二) 漂流木最終處理並不一定會形成燙手問題。其關鍵就在於如何將漂流木再生利用當做能源供應選項的一環，亦即一般通稱的生質能 (Biomass Energy)，包含竹木材、農作物廢棄物及畜牧業廢棄物等。工業革命以前，生質能本來就是主要的燃料來源，工業革命之後，即使人類大量使用煤炭、石油及天然氣等化石燃料，木材及其衍生燃料仍是世界上最重要的非化石燃料，而全球也有約20億人還直接倚賴生質能為其初級或唯一的能源來源 (以薪柴為主)。1995年全世界木材生產量34億立方公尺中，有63%被用為燃料；據聯合國糧農組織統計，1961年至1998年全世界燃料用木材消費量增加了80% (同期世界人口數約成長了92%)。現在全世界共有13%的能源來自生質能。此外，歐洲地區的再生能源總量的56%也是生質能。雖然生質能仍是開發中國家重要的能源供應來源 (生質能佔開發中國家總能源供應量的30%，其中約一半是薪柴等木質燃料)，但一般已開發國家的木質燃料佔其總能源供應量不到3%，只有瑞典及芬蘭佔有率超過16%、一些中歐及東歐國家木質燃料所佔比例約介於12%到18%，美國則只有3%。

三、漂流木再生利用之可行性

台灣林業政策已禁止砍伐天然林木，對水資源涵養、防洪、水土保持極有助益；此外，行政院農業委員會於2002年起開始推行「以竹代木策略」，並陸續以研究經費委託工研院進行技術開發，數年來的研發主要集中於



▲照片1 竹材炭化發電成果。

竹材的炭化與其應用推廣，已有顯著成效，並開創我國新興林產加工產業。尤其近年來林務局更積極投入研究竹炭的製造開發應用，目前已經有了豐碩的研發成果與效益。不僅在製炭過程中提昇炭材的品質與收碳率，以及竹醋液收集方案的更新，且終端應用的技術開發方面，利用在炭化過程中，自然排出的生質能源一烷類氣體，也可以經由回收儲存，俟能源蓄積達一定的量時，再發揮作功以做為熱能「燃料」；並可以應用藉由「機械動能」，轉換成「電能」；此一理想作法，可做為未來漂流木再生利用資源化實現的方案之一。照片1為林務局利用竹材炭化過程進行生質能發電之成果發表情形。

利用林業生質能可改善環境保護問題，生質能除了做為能源供應選項的一環之外，由於我國目前並未建立廢木料等生質能的運用機制，使這些原先有利用價值的廢棄物，反而成為如桃芝颱風過後漂流木無處可去的廢棄物污染問題。此外，由於多年來人類活動產生大量溫室氣體 (如化石燃料使用所產

生的CO₂)，這些溫室氣體持續累積在大氣中，已經使全球氣候發生高溫、豪雨及乾旱的異常氣候。而農林業廢棄物如果在自然界中腐敗，會產生比CO₂所產生溫室效應程度還強20多倍的甲烷氣體，我國1998年推估因為農業廢棄物所產生的甲烷量就近10萬噸，所以如果能夠妥善將這些廢棄物轉成生質能利用，還可以大量減少甲烷的產生，帶來有效減少溫室氣體的效益。

目前全球為了減緩地球氣候變遷問題，多數工業國已承諾進行溫室氣體排放的減量工作。在此趨勢下，各國正積極推動溫室氣體減量策略如提高能源效率及開發再生能源，其中如漂流木等可歸類為自產生質能的木材廢料，也是開發的重點。雖然木材發熱值不高，僅與低級的煤（如褐煤或泥煤）相近，但是使用上灰量及硫量都比煤要低，可說是比煤炭乾淨的能源，而其燃燒所造成的CO₂排放與生質的栽種生長所造成的CO₂吸收可相互抵消，估計每使用1,000公升生質柴油約可比同量的傳統柴油減少2.5~3.2噸的CO₂排放量。由於生質能應用有許多的優點如增加自產能源供應、降低化石燃料依賴度、減少溫室氣體排放和廢棄物資源回收再利用，歐盟正研擬促進歐洲生質燃料使用的策略，促使歐盟各國能以稅負及規範義務等方式達到一定程度的生質燃料市場佔有率。

另一方面，在於探討此種機能化資材的實用化生產方面，我們也認為檢討了更大規模的再生利用技術是一件不可或缺的議題。本文建議未來台灣應可建置1~2所漂流木再生利

用示範園區，除規劃教育解說室，將政府林業相關政策宣達於民眾之外，園區內可整體規劃漂流木經由打撈、顎碎、炭化、烷氣收集、純化、電能轉換、衍生物利用等內容做充分說明，讓民眾能夠深入淺出地瞭解台灣林業廢棄物之最終處理模式。此漂流木再生利用示範園區未來將有以下幾項社會意義：

(一) 藉此開發及利用林業生質能源、淨潔能源，並達到「漂流木能源多元化」的目標，除可穩定供應小型社區能源之外，又具有環保、永續林業優點。

(二) 建置全球首創「漂流木再生資源利用」運作模式，亦為台灣解決林業廢棄物問題等開創新典範。

(三) 後續可開發漂流木炭化衍生產品，例如機能性木炭及木醋液，並可大量應用於各產業之原料來源。

(四) 以節能、減廢、降低CO₂排放等效能為漂流木再生利用目標，可具體展現台灣對國際環境保護重要議題之努力成果。

(五) 在教育示範之規劃上，利用多媒體導覽配合文宣簡報，讓參觀民眾快速且簡易地瞭解園區整體系統。

四、石門水庫2006年漂流木多目標利用計畫簡介

「炭化工程」是將有機的炭氫化合物置於高溫中性(Inert)的環境中，藉由高溫熱裂解反應使得殘留固體的含炭量比例增加。和所有的熱裂解反應相同，木材炭化製程也是非常複雜的，炭化過程中有許多的反應同時



進行，如脫氫反應（Dehydrogenation）、凝結（Condensation）、水汽反應（Water Gas Shift）、聚合反應（Isomeriation）等。炭化製程中的最終熱裂解高溫對木炭的含炭量有決定性的影響。因此木材經炭化完成後，木炭之性質依其木種、木材年齡、炭化條件、炭化溫度等不同而異，木炭之形狀、硬度及顆粒大小亦直接影響其用途。本計畫建置漂流木炭化之批次式炭化爐，並研發不同炭化條件，以控制木炭之孔徑尺寸及分布，藉以提高木炭之吸著性能、比表面積、孔容積、導電性等。此外，並建置炭化與周邊設備對國內水庫區的漂流木進行碎化與炭化處理，碎化處理之木材可用步道、肥料等用途，半炭化之木炭可用於園藝、道路等用途，全炭化則可用於水質處理、調濕、土壤改質、藝術、除臭等用途。照片2~7為林務局於2006年度協助石門水庫漂流木多目標利用執行情形。

本計畫主要針對連續式／批次量產型木炭及木醋液技術進行相關製程與設備開發、開發多元高附加價值之木炭示範產品、依據CAS木炭／木醋液標準建立漂流木（混合）木炭品質檢測資料。各項計畫目標及技術、用途簡述如表1。

（一）炭化爐說明

漂流木置於封閉的內坩堝內，6組燃燒機使用超級柴油當燃料，按照升溫設定參數，於坩堝進行乾餾解熱炭化，經靜置冷卻後即得漂流木之炭化材。炭化期間排出的煙霧經水冷卻後，可收取為「木醋液」。

（二）控制方式



▲照片2 小口徑漂流木處理情形。



▲照片3 漂流木顆碎處理情形。



▲照片4 拖曳式漂流木顆碎處理設備。

採用微電腦程式參數設定方式，依據時間參數和溫度參數，進行升溫降溫自動炭化作業。



▲照片5 隧道式漂流木炭化處理設備。



▲照片7 石門水庫漂流木再生利用展。



▲照片6 批量式大型漂流木炭化爐。

(三) 使用電力

使用台電電源系統，單相電壓220V電流15A，供給控制盤微電腦電源、6組燃燒機、1台油壓缸電源作內坩堝升降使用。（若無台電供電系統，則可使用發電機，供給當電源系統。）

(四) 內坩堝容量

不銹鋼304材質，厚4.5mm，直徑1,400mm，長2,500mm，一套包含2只內坩堝，空間容量=3.8m³×2=7.6m³。

表1 石門水庫2006年漂流木多目標利用計畫簡表

計畫目標	技術項目	用途說明
(一) 連續式 / 批少量產型漂流木炭 / 木醋液製程及設備建置	木炭及木醋液產品之製程技術	1. 電腦模擬炭化爐之木材熱分解機制 2. 高溫爐體之耐火材料選擇 3. 自動點火系統、溫控及過熱警報系統之建置 4. 木醋液收集設備設計開發 5. 漂流木木炭製程參數建立 6. 漂流木炭化處理
(二) 高附加價值漂流木炭 / 木醋液示範產品開發	木炭 / 木醋液之應用技術	1. 木炭用於農業及民生水質淨化示範 2. 木炭 / 木醋液之土壤改良示範 3. 木炭用於室內調濕應用示範 4. 木炭 / 木醋液於保健產品應用 5. 木炭於文化藝術創作應用
(三) 漂流木炭 / 木醋液品質檢測技術	木炭 / 木醋液之檢測技術	1. 物性檢測 2. 功能性檢測



(五) 炭化率 (重量比)

炭化前／炭化後之比率為6比1。

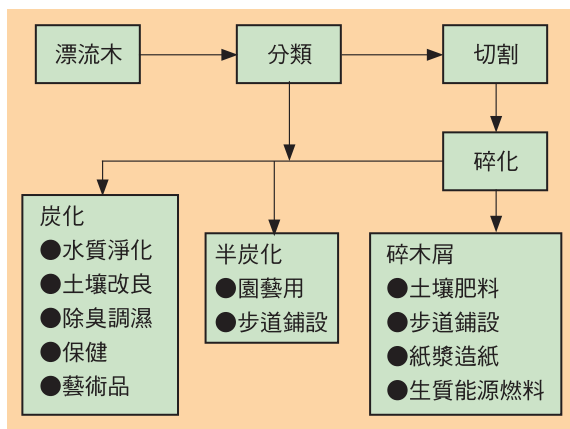
(六) 設備功用

軌道式木材炭化爐，為一套可交替進出料處理木材炭化，所設計規劃之設備，除了可進行木材炭化之作業外，另有木材排放氣體回收管路設計，可將有用之氣體回收再運用。木材炭化採密閉間接加熱，使用柴油燃燒機加熱。

(七) 再生利用項目

上述漂流木連續式／批數量產型炭化爐系統裝置於標準型20呎貨櫃中，可使用貨櫃車頭拖運至漂流木水庫區等地，機動式、就地進行炭化處理，炭化時批次型之炭化單元可連續進出，達到高效率炭化製程之處理效果。而漂流木經過分類後之再生利用簡表如表2。

表2 漂流木經過分類後之再生利用簡表



五、國外漂流木再生利用之案例介紹

國際上生質能發展概況方面，目前歐美日等國家的生質能應用技術已逐漸成熟，例如德國大型履帶式木材顎碎機（照片8）、流體



▲照片8 德國履帶型自走式木材顎碎情形。

化床燃燒系統、氣化燃燒技術、生質能與煤炭共燃系統及熱解產生生質燃料等，使木質燃料等生質能已經成為再生能源發展的後起之秀。現階段全世界利用生質能廢棄物替代燃料的流體化床燃燒鍋爐的電廠已有22座（合計約80萬瓩，電廠熱效率25%，投資費用約每千瓦1,590美元～1,950美元，發電成本每度約為9.2美分～11.1美分，約合新台幣3.2元～3.8元），德國在通過再生能源法案後，最近最大的電力公司RWE也正在計畫花費16億新台幣興建一座以廢木材為燃料的2萬瓩生質能發電廠。而地理環境與台灣極為相似的鄰近國家日本，近幾年來亦積極發展木質廢棄物之生質能源再生利用計畫；例如NEDO機構已在日本各地進行大、中型規模之生質能發電（照片9）研究，惟目前尚未正式進行大量商業化運轉，據悉主要在於發電成本過高，不過日本政府還是大量投入資金（新台幣30億元以上）進行多目標利用與示範。

另外，筆者近年來曾多次受邀前往日本其它地區考察漂流木之再生利用情形。現謹



▲照片9 日本NEDO利用木質廢棄物進行生質能發電。

將相關資料簡要介紹如下：

(一) 富山縣黑部水庫2006年漂流木處理情形(照片10、11)，其中因每年有大量漂流木產生，關西電力公司花費巨資建置一座履帶型漂流木打撈輸送帶設備，可惜並未實際操作，最後僅能靠大型吊車以人工方式逐一打撈及吊掛上來再清理。

(二) 愛知縣奧矢作川森林管理處利用地窖式窯處理漂流木炭化情形(照片12、13)，其中因該設備空污情形嚴重，處理能量(50噸/年)不高，目前該設備(估計台幣1.5億元以上)已很少被利用。

(三) 富山縣木質廢棄物進行農業資材再生利用情形(照片14)，該場地亦有大型顎碎及連續炭化設備，惟2007年因炭化後材料保存不當遭祝融侵襲，並造成財物及設備損失不斐之窘況。

(四) 石川縣ITOC株式會社處理漂流木再生利用情形(照片15)，該公司投資金額約新台幣12億元(其中政府設備補助約10億元)，作業人員正職6人，約聘10人，相



▲照片10 黑部水庫漂流木打撈情形。



▲照片11 黑部水庫漂流木打撈告示牌。

關設施計有進料清洗場、挾持機具2台、推搬機2台、碎料篩分輸送帶約50M、旋轉式高溫炭化爐(最大36噸/天)、廢氣-冷卻-過濾-污水處理等環境淨化設備。惟年處理量於2006年僅6,000公噸(含漂流木及營建廢棄物)，主要衍生產品為將木炭粉壓成60×60×1公分之VOC吸著用建築板材。

六、建議

建議林務局未來可針對漂流木再生利用擇地進行教育及示範區之建置。



▲照片12 奧矢作川地窖式窯處理漂流木炭化之場地。



▲照片14 漂流木用於農業資材(肥料)之利用情形。



▲照片13 奧矢作川漂流木炭化後之情形。



▲照片15 ITOC公司漂流木再生利用開發展示。

(一) 導覽及解說人員訓練，必須以養成教育為觀點，讓導覽人員能夠高興學習及了解整套系統，並以淺顯易懂說明讓民眾瞭解。

(二) 多媒體系統及文宣簡報設計規劃，以圖片影片和動畫呈現，增加學習及快速了解，並有實用有趣之導覽文宣品。

(三) 教育示範區規劃：1·多媒體系統規劃；2·文宣簡報設計規劃；3·參觀導覽動線規劃。

(四) 生質能源示範區規劃示意圖(如圖1~2)。相關重要工作項目如下：

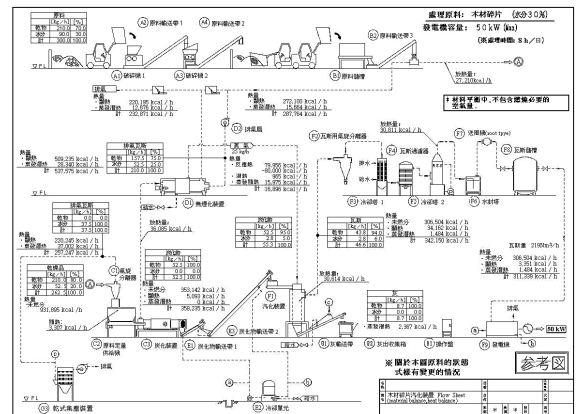


圖1 漂流木生質能源示範規劃之平面圖。

1· 供料系統建立

- (1) 顎碎機。(2) 原料儲槽。

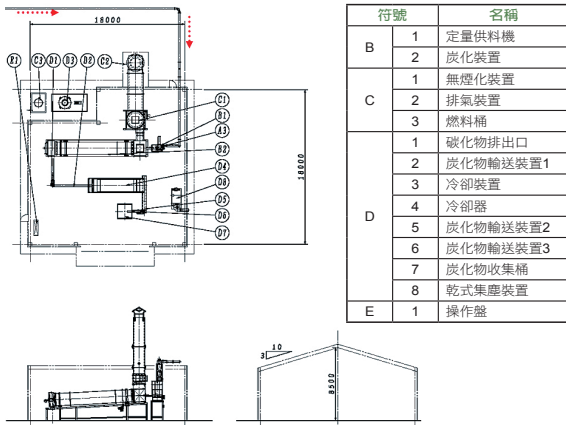


圖2 漂流木生質能源規劃之立面示意圖。

符號	名稱
B	1 定量供料機
	2 炭化裝置
C	1 無煙化裝置
	2 排氣裝置
	3 燃料桶
D	1 炭化物排出口
	2 炭化物輸送裝置1
	3 冷卻裝置
	4 冷卻器
	5 炭化物輸送裝置2
	6 炭化物輸送裝置3
	7 炭化物收集桶
	8 乾式集塵裝置
E	1 操作盤

2 · 炭化裝置建立

(1) 供料器。(2) 炭化裝置。(3) 醋液及焦油收集系統。

3 · 發電系統建立

(1) 旋風分離器。(2) 冷卻塔。(3) 過濾器。(4) 水封塔。(5) 氣體槽。(6) 發電機。

(五) 執行程序 (表3)

1 · 漂流木原料特性 (初步實驗數據)

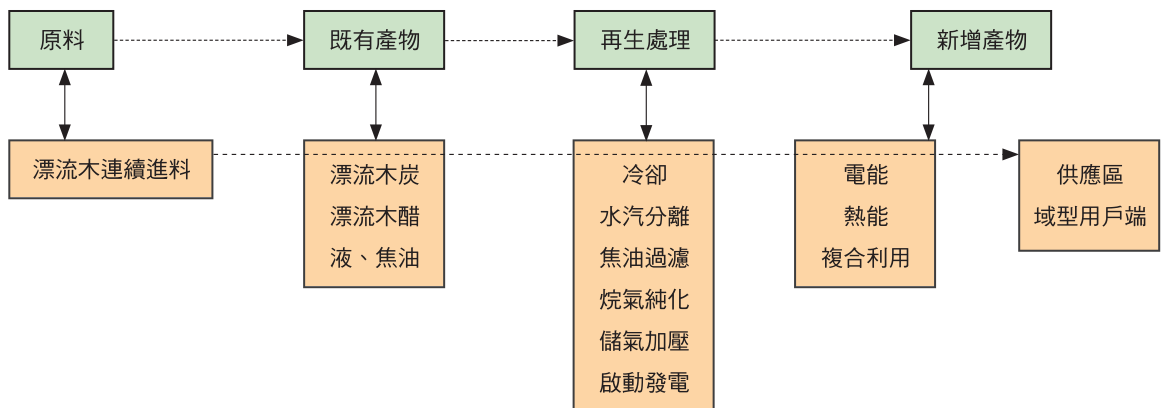
- 水分 12.02%
- 灰分 3.54%

- 揮發分 68.22%
- 固定炭素 16.32%
- 炭素 44.41%
- 水素 5.03%
- 酸素 34.71%
- 窒素 0.30%
- 硫黃 0.02%
- 塩素 0.02%
- 灰分 3.52%
- 水分 12.00%
- 充填比重 0.60
- 粒度 10 mm (max)
- 高發熱量 18,250 KJ/kg
- 低發熱量 16,900 KJ/kg

2 · 裝置規格

- 發電量 50~200 kW
- 原料供給量 350 Kg/h
- 炭化物生產量 70 Kg/h
- 酢液回收量 20 Kg/h
- 炭化加工炉 連續式熱分解
- 水氣分離器 洗淨pump付

表3 發電系統建立之執行程序





● 瓦斯引擎發電機（往復動式
50~200 kw）

● 年間運轉時間 7,000 hr/y

七、結語

本文建議林務局近期內建置一座「漂流木再生利用園區」，除可展示漂流木各項處理過程、裝置藝術及林產加工應用之外，並增加生質能源利用技術，成為全球首創漂流木多目標利用典範。例如在漂流木炭化過程中，以鼓風爐吸引生成的甲烷氣體，先除去氣體中的焦油及粉塵後，再送至氣體引擎內以進行高功率電能轉換效益。除了木炭、木醋液衍生物外，另可藉由熱交換器將廢熱轉換成熱水予以回收，供各種民生用途使用。

當今全球環境趨勢朝向更永續的生產方法、廢棄物減量、降低汽車污染、原始林保育、分散式發電及溫室氣體排放減量等議題。林業生質能除了節能、減廢、降低二氧化碳排放等具體效益外，更可藉由再生能源技術，

創造工作機會、改善社會福利，對台灣整體社會經濟具相當高效益，並且在環境及社會公益上扮演了一個很重要角色。

未來「漂流木再生利用園區」如能透過教育示範區，規劃拉近林產與民眾距離，更能夠認同政府相關政策推動，提高民眾對政府向心力。預期其他有形效益如下：

（一）藉由漂流木（平均2萬噸/年）炭化及木醋液之衍生應用，預期可增加林產物附加價值約26億元以上年產值。

（二）有效提供解決林業廢棄物（600萬噸/年）之可行性示範，可減少地球CO₂排放總量，降低溫室效應之外，更可實現林產加工之永續經營策略，預期全台灣將可創造超過新台幣年1,000億元以上產值。

（三）使用天然再生的林業資源，減少石化原料的用量，將林產工業與民生工業、高科技產業結合，大幅提升我國林產經濟及科技地位。♻️



（圖片／高遠文化 攝影／陳吉鵬）