

知識物件上傳表

計畫名稱：離岸風場結構檢修與運維技術開發推動計畫

上傳主題：加速風機葉片之回收

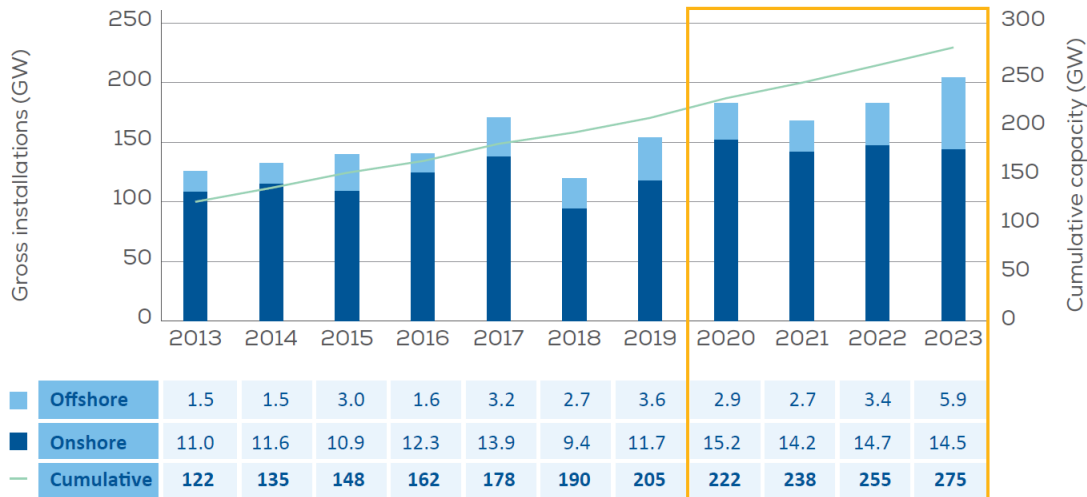
提報機構：財團法人金屬工業研究發展中心

提報時間：110 年 9 月 6 日

與計畫相關	☒ 1.是 ☐ 2. 否
國別	☐ 1.國內 ☒ 2. 國外：(註明國家名稱)
能源業務	☐ 1.能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) ☐ 2.石油及瓦斯 ☐ 3.電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) ☒ 4.新及再生能源 ☐ 5.節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) ☐ 6.其他
能源領域	☐ 1.能源總體政策與法規 ☐ 2.能源安全 ☐ 3.能源供需 ☐ 4.能源環境 ☐ 5.能源價格 ☐ 6.能源經濟 ☒ 7.能源科技 ☐ 8.能源產業 ☐ 9.能源措施 ☐ 10.能源推廣 ☐ 11.能源統計 ☐ 12.國際合作
決策知識類別	☐ 1.建言 (策略、政策、措施、法規) ☒ 2.評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) ☐ 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 ☐ 4.其他：
重點摘述	隨著風能產業的不斷發展，提供可再生能源在全球範圍內，我們致力於促進減少環境污染的循環經濟影響整個產品生命週期。為此，WindEurope (代表風能行業)、Cefic (代表歐洲化學工業) 和 EuCIA (代表歐洲複合材料行業) 已經創建了一個跨部門平台來推進方法用於風力渦輪機葉片的回收，包括技術、流程、廢物流管理、重新整合在價值鍊和物流中。現今，大約 85%到 90%的風力渦輪機總重量可以被回收^{[1]、[2]、[3]}。風力渦輪機的大部分部件 – 基礎、塔架和機艙中的組件 – 已建立並實踐回收。然而，風渦輪葉片回收更具挑戰性，因為其生產中使用的複合材料。儘管存在各種回收葉片的技術，並且越來越多的提供複合材料回收服務的公司數量服務，這些解決方案尚未廣泛可用，並且具有成本競爭力。 風力渦輪機葉片由複合材料製成，通過使葉片更輕、更長，並具有優化的空氣動力學形狀，從而提高了風能的性能。如今，全球風能領域使用了 250 萬噸複合材料^[1]。WindEurope 估計，到 2023 年，大約有 14,000 個葉片會退役^[4]，相當於 40,000 至 60,000 噸。回收這些舊葉片是風能行業的重中之重。這需要物流和技術解決方案，用於拆卸、收集、運輸、廢物管理和價值鍊重新整合。 複合材料回收不僅是風能行業的挑戰，也是跨部門的挑戰。到 2025 年，葉片廢料將僅佔估計的熱固性複合材料廢料總量的 10%。複合葉片廢料的數量相對較少，這使得僅基於這種廢料流建立回收業務具有挑戰性。需要所有複合材料使用部門和當局的積極參與，以開發具有成本效益的解決方案和強大的歐洲價值鍊。

前言

2019 年，風能提供了歐盟 15%的電力^[6]。這個數字在未來幾年將繼續增長 (圖 1)。歐盟的約束性目標是到 2030 年將可再生能源容量提高到 32%，並承諾到 2050 年實現碳中和，強調了風電在未來能源結構中的重要作用。歐盟委員會(EC)在其到 2050 年的長期減碳戰略中估計，到 2050 年，僅風能就可以提供歐盟 50% 的電力需求。重點是，能源需求隨著未來社會對電力需求之增加而提升。



Source: WindEurope

詳細說明

圖 1 歐洲風力發電年度裝機容量

未來，越來越多的風力渦輪機將開始退役，考慮到：

- 風機的標準壽命約為 20-25 年，部分風機通過延長壽命可達到 35 年；
- 重新供電的機會越來越多，即用更新、更高效的模型替換舊模型，這可以將風電場發電量提高 2 倍。

1990 年代安裝的許多風力渦輪機的功率為幾百千瓦，輪轂高度低於 60m。如果被更高、更強大的渦輪機所取代，能源產量的增加可能是相當可觀的。事實上，對歐洲 100 多個重新供電項目的分析表明，平均而言，渦輪機數量減少了三分之一，而風電場容量增加了一倍以上。

風電產業致力於促進更加循環的經濟並確定其支持方式。需要一個可永續的過程來處理使用壽命結束的風力渦輪機，以從生命週期方法中最大限度地發揮風力發電的環境效益 (圖 2)。為此，風電行業正在積極尋找可以利用風電場退役材料和設備的行業和部門。風電行業希望與他們合作，提高風力渦輪機葉片的循環能力，包括開發新的、更易於回收的結構設計和材料。

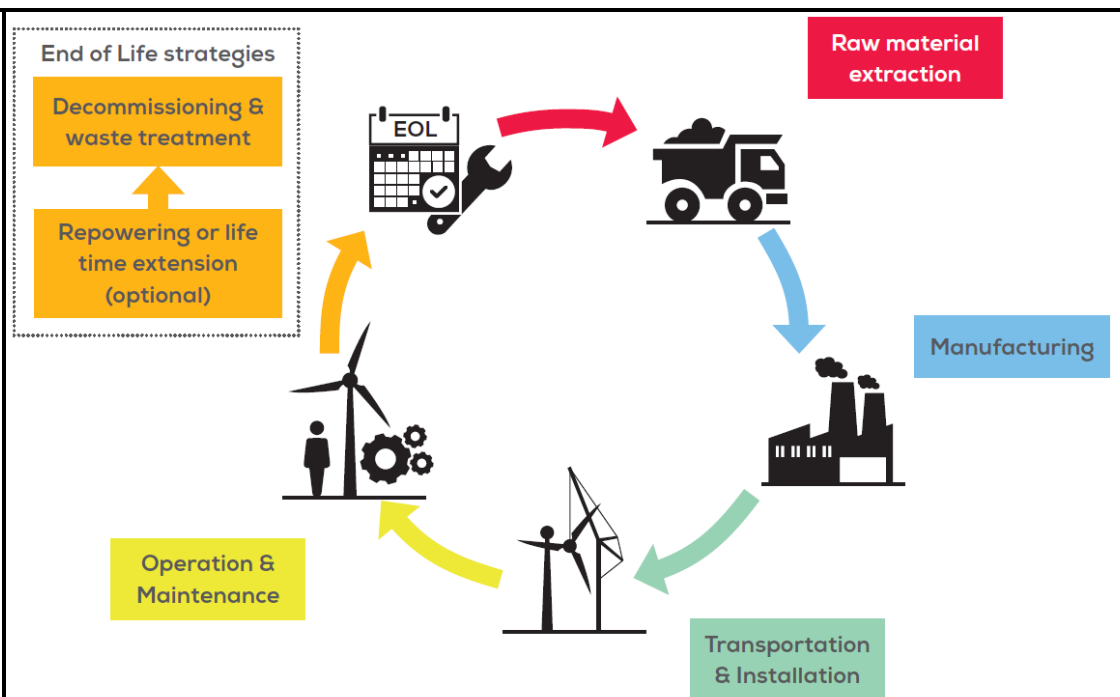


圖 2 風力發電機的生命週期

複合材料廢棄物：跨部門挑戰

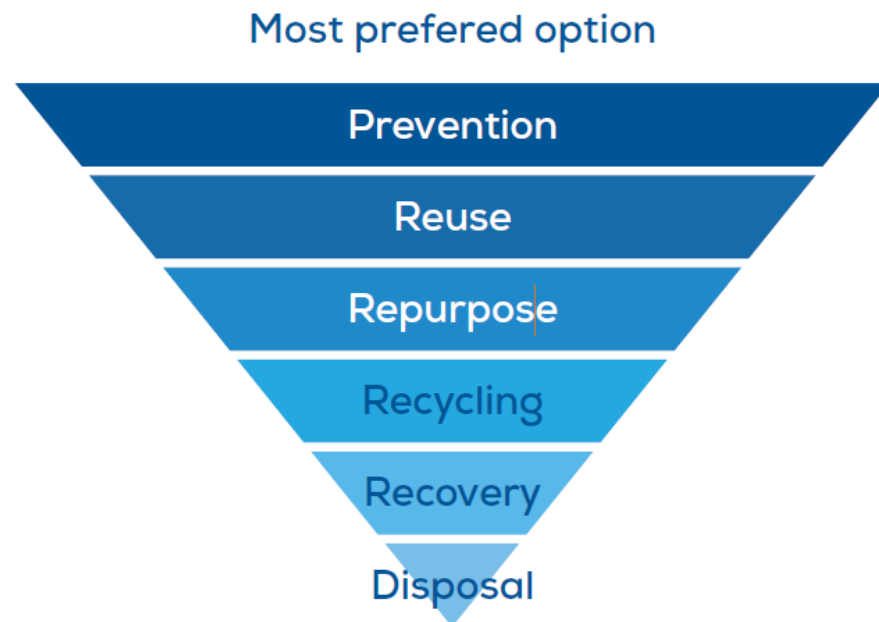
WindEurope 估計，到 2023 年，歐洲約有 2 GW 的風能容量可以重新供電，另外 2 GW 的風能容量可以完全退役^[4]。這意味著大約 4,700 台渦輪機（或 14,000 個葉片，相當於 40,000 至 60,000 噸）可能會退役，並且需要進行可持續處置。回收這些舊葉片是風能行業的重中之重。這需要具備一定的物流和技術，以進行拆卸、收集、運輸、廢物管理處理和重新整合到價值鏈中。

風電行業的綜合廢物量預計將繼續增加。然而，風能行業產生的複合廢物遠少於其他行業。根據 EuCIA 的估計，到 2025 年，風能將產生 66,000 噸熱固性複合材料廢棄物。這僅佔估計的熱固性複合材料廢棄物總量的 10%（不到估計的熱固性和熱塑性塑料複合材料廢棄物總量的 5%）。其他複合材料廢棄物產生部門是建築和建築、電氣和電子、運輸、海洋、生產廢物、航空、消費和儲罐和輸送管線部門。

複合材料回收是一個跨部門的挑戰，而不僅僅是風電行業的挑戰。實際上，複合風葉片廢料的（低）量使得建立主要基於這種廢料流的回收業務具有挑戰性。所有使用複合材料的部門必須共同努力，為複合材料廢物的總量找到具有成本效益的解決方案和價值鏈。如上所述，風電產業已經與 Cefic 和 EuCIA 合作。

廢棄物處理分級

歐洲廢棄物框架指引(2008/98/EC)定義了與廢棄物管理相關的基本概念。它強調了增加回收利用的必要性，並強調了垃圾填埋場的可用性降低。它還建立如圖 3 所示的廢棄物層次結構。



Source: ETIPWind

圖 3 永續葉片廢棄物的管理層級

預防 PREVENTION

風電產業致力於按照廢棄物等級進行永續性的廢棄物管理。第一步是通過設計中的減少和替代努力來防止葉片浪費。例如：

- 質量減少導致回收材料減少；
- 降低故障率並延長設計壽命。測試和認證在這裡起著至關重要的作用。在現場看到的葉片故障並不總是在測試階段觸發，因為過去的標準對於大型葉片(>50m)來說不是最新的。更新的測試和認證標準，如 DNVGL-ST-0376 和即將推出的 IEC 61400-5 為更好的設計打開了潛力；和
- 將現有葉片輕鬆升級到新版本的設計，例如分段/模組化葉片。然而，這些還不是標準設計。

再利用 REUSE(同用途)

在需要進行廢棄物處理之前，應盡可能長時間地使用和重複使用葉片。需要定期保養和維修才能達到葉片的設計壽命。為了延長使用壽命，必須進行“剩餘使用壽命評估”（即使用 SCADA 數據或數據類型進行疲勞載荷分析），並結合現場檢

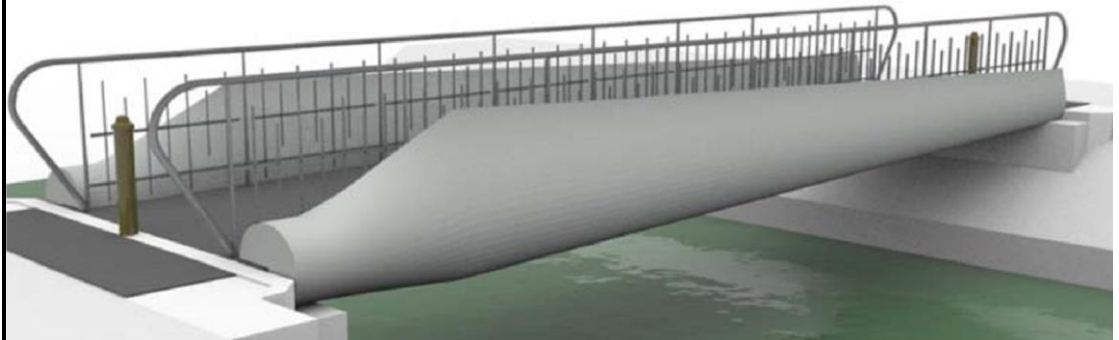
查和自葉片調試以來執行的維護操作審查。這可能會導致某些區域的修復行動和加固。DNV-GL 制定了風力渦輪機壽命延長標準 (DNVGL-ST-0262)。國際電工委員會(IEC)目前正在製定風電資產全生命週期管理和壽命延長的標準(IEC TS 61400-28)。最後，幾家歐洲和北美公司已經建立了銷售翻新渦輪機和部件的業務。

再利用 REPURPOSING(不同用途)

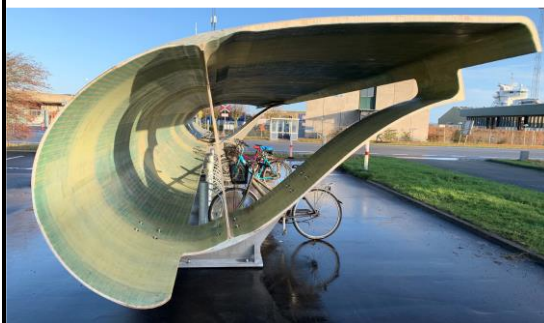
再利用是廢物分級的下一步。這意味著將葉片的現有部分重新用於不同的應用，通常價值低於原始應用(圖 4)。例如：

- 將葉片重新用於遊樂場或街道設施。
- 葉片的特定結構部件也可以重新用於建築結構，例如 自行車棚、丹麥 Nørresundby 的橋樑 (尚未建成)、人行道、建築再利用。

然而，迄今為止，再利用示例代表的示範項目不太可能成為未來預期數量的大規模解決方案。



a. 使用 A29 風機葉片作為主樑的人行天橋概念設計



b. 丹麥奧爾堡(Aalborg)的自行車棚

圖 4 風機葉片不同用途再利用案例，Re-Wind 研究計畫

循環 RECYCLING 和回收 RECOVERY

在無法重新利用的地方，循環和回收是下一個選擇。循環意味著葉片成為具有相

同或不同功能用途的新產品或材料。循環需要能源和其他資源才能將葉片廢料轉化為其他東西。回收是指在去除所有可以再次使用的單個組件後，將廢棄物轉化為燃料或熱能。利用現有的複合廢棄物循環和回收技術，越來越多的公司提供複合材料循環和回收服務(圖 5)。



整流罩工具支架 (汽車) · Maier



現代都市家具 · DesignAustria



浴室家具 · Novellini

a. FiberEUse -基於報廢纖維強化複合材料再利用的新型循環經濟價值鏈大規模示範



預製混凝土之樂高積木

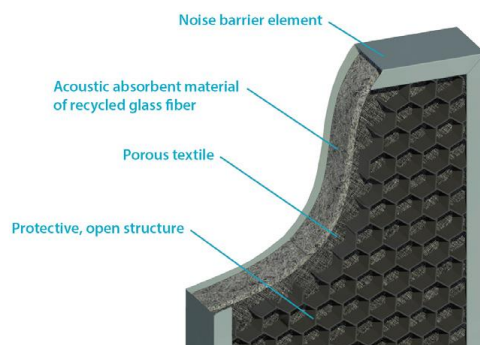


預製混凝土之紐澤西護欄



預製混凝土人孔模塊

b. 機械回收風機機葉片的纖維作為短增強纖維添加到混凝土中



c. 隔音板材料

圖 5 基於循環再生葉片複合材料的產品示例（示範計畫）

處置 DISPOSAL

通過垃圾填埋或焚燒處理葉片而沒有能量回收是最不受歡迎的廢物處理方法，因為沒有材料或能量回收。

參考文獻

- [1] ETIPWind (2019) How wind is going circular: blade recycling. Available online at <https://etipwind.eu/files/reports/ETIPWind-How-wind-is-going-circular-blade-recycling.pdf> [accessed 21 April 2020].
- [2] García Sánchez R., Pehlken A. and Lewandowski M. (2014) On the sustainability of wind energy regarding material usage. Acta Tehnica Corviniensis - Bulletin of Engineering Tome VII. Fascicule 1 (January – March). ISSN: 20167 – 3809.
- [3] Umwelt Bundesamt (2019) Entwicklung eines Konzepts und Maßnahmen für einen ressourcensichernden Rückbau von Windenergieanlagen. Available online at <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-konzepts-massnahmen-fuer-einen> [accessed 21 April 2020].
- [4] WindEurope (2019) Market outlook to 2023.

關鍵字

風力發電、風機葉片、回收、循環

- 註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。
 2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。
 3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。