

出國報告（出國類別：實習）

## 陸域風機延壽規劃及技術施作研習

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：莊方慈化學專員

派赴國家：美國

出國期間：106年07月23～08月02日

報告日期：106年9月28日

# 目錄

出國報告書審核表.....	1
出國報告提要.....	2
目錄.....	3
圖表目錄.....	4
第一章 前言.....	5
第二章 出國行程內容.....	6
第三章 參訪報告.....	7
3.1 GE 公司於陸域風機的技术規劃.....	7
3.2 GE 公司-陸域風機延壽案實例.....	10
3.3 GE 公司-陸域風機設備維護模式.....	15
3.4 GE 公司-陸域風機設備監控模式.....	17
3.5 GE 公司-陸域風機團隊績效.....	19
3.6 GE 公司-Trent Mesa 風場(與 GE 及 AEP 現場訪談).....	20
3.7 美國電力研究院(EPRI)-陸域風機延壽資訊收集.....	22
第四章 感想與建議.....	29

## 圖表目錄

圖 1. 風機塔架上的<1>齒輪箱維修、<2>發電機葉環更換、<3>無起重機之齒輪箱更換、<4>葉片維修 .....	9
圖 2. 依不同風機用各軟、硬體的改善，約可提升 8.5%平均發電量 ..	9
圖 3. 風機經評估及檢查影響可靠性和可用性的系統組件升級 .....	11
圖 4. 風機 1.5 MW-70m 提升至 1.5 MW-82.5m 的更換配件對照圖 .....	12
圖 5. 風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-87m 的更換配件對照圖 .....	13
圖 6. 風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-91m 的更換配件對照圖 .....	14
圖 7. GE 公司與獨立服務供應商在 2 個風場的可利用率維護對照圖	16
圖 8. GE 公司之維修開發中心進行齒輪箱的測試維修過程 .....	16
圖 9. GE 公司於葉片進行監控及狀況診斷 .....	17
圖 10. GE 公司在風機設備進行監測收集、大數據分析、網路上狀況警示通知系統 .....	18
圖 11. GE 公司在美國紐約州的斯克內克塔迪的遠端操作監控中心 ...	18
圖 12. GE 公司在風機 2006-2016 的可利用率趨勢圖 .....	19
圖 13. 現場訪談風機運維經驗及爬上風機塔架去看相關設備維護實際情形。 .....	22
圖 14. SABER™系統中利用特定波長的遠紅外線（IR）檢測葉片的結構是否有有異常缺陷 .....	26
圖 15. SABER™系統中利用寬頻高靈敏度麥克風來檢測和定位雷擊孔、裂縫、不規則表面 .....	26
圖 16. SABER™系統檢測表面異常的相位成像攝影 .....	27
圖 17. SABER™系統安裝在多功能車輛上來檢查風機 .....	27
表 1. 不同風機用各軟、硬體的改善模式對照表 .....	10
表 2. 風機 1.5 MW-70m 提升至 1.5 MW-82.5m 的更換配件對照表 .....	12
表 3. 風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-87m 的更換配件對照表 .....	13
表 4. 風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-91m 的更換配件對照表 .....	14

# 第一章 前言

1. 目標：研習美國奇異(GE)公司、美國電力研究院(EPRI)陸域風機延壽規劃及技術施作。
2. 緣起：依行政院經濟部擬定「千架海陸風機」打造綠能低碳環境的國家能源政策，台電公司已陸續推展六個風機計畫，目前約169台大型風力發電機已加入服勤；然而風力發電機使用壽命通常被設計為二十年，而2020年後台電現有陸域風機需開始進行汰換。
3. 實施要領：本年度擬針對陸域風機延壽規劃及技術施作進行收集、歸納與評估，並掌握研究領域的發展趨勢與實況，再與其他研究人員交流吸收經驗，未來將有利於技術的引進與後續推行。
4. 預期成果：(1)有關陸域風機延壽規劃及技術施作之應用、資料彙整、觀念啟發與技術引進。(2)在最新資訊輔助觀摩下，將利用陸域風機延壽規劃及技術施作觀念，加速完成相關技術方案的規劃與執行，並順利完成相關研究計畫目標。
5. 本實習內容包含外在環境對風機葉片、塔架、基礎影響的相關化學材料分析，以作為未來陸域風機延壽規劃及技術施作的依據。

## 第二章 出國行程內容

日期	前往機構	詳細工作內容
07/23	台北→紐約	路程
07/24- 07/25	美國奇異(GE)公司 研發總部	了解奇異公司於陸域風機延壽的近年規劃，另外針對葉片、塔架、基礎的運轉維護技術作交流。
07/26- 07/27	GE Trent Mesa 風場 (業主:American Electric Power, AEP)	參訪奇異公司、德州風場之陸域風機延壽計畫的環境評估影響，另外與現場執行單位作經驗交流。
07/28- 07/31	美國電力研究院 (EPRI)	與美國電力研究院作陸域風機延壽技術探討，以及收集相關最新資訊以助台電未來相關施作規劃。
08/01- 08/02	舊金山→台北	路程

## 第三章 參訪報告

### 3.1 GE 公司於陸域風機的技術規劃

在 1876 年時，愛迪生創立了愛迪生燈泡公司、生產發電機和電動機的愛迪生機器工廠，以及生產燈具、插座和其他電氣照明裝置的伯格曼公司；而在 J·P·摩根和安東尼·約瑟夫·德雷克塞爾創立的德雷克塞爾與摩根公司幫助下，於 1889 年 4 月 24 日將上述幾家公司合併成立愛迪生奇異(GE)公司。然而有關 GE 公司綠能產業發展現況，自加入再生能源產業以來，已經累計投入 8.5 億美元來開發再生能源技術，其中主要包括太陽能、陸域風力機及離岸風機的規劃設置。

目前 GE 公司陸域風機的技術服務方面主要分為 3 大項：

- (1)進階修補-主要目標在最小化停機時間及修補花費，故發展世界級的監測設備及缺陷辨識技術、風機塔架上維修能力、投資取代起重機在重要組件更換技術。
- (2)電能提升-主要目標在改善陸域風機效能，故利用智慧型自動控制來最佳化發電效能、設計改良大氣流場於風機葉片作用效率、全球研發中心因應各現場實地情形而發展最佳執行效率方法。
- (3)壽命延長-主要目標在延長陸域風機的 5-20 年的使用壽命，故將針對風機設備作專業評估判斷使用年限，並結合最新技術的設備更新。

在(1)進階修補的部分，目前 GE 公司擁有的實際案例技術(如圖 1)包括風機塔架上的<1>齒輪箱維修、<2>發電機葉環更換、<3>無起重機之齒輪箱更換、<4>葉片維修，另持續在 RTCoE(Repair Technology Center of Excellence)投資提升維修技術，並整合相關領域的專家針對

安全及品質解決建議，再輔以數位監測結果來評估維修方法；並且針對降低非計畫性停機檢修的風險作加強，包括儘可能在風機塔架上進行維修，只替換損壞的東西，以減少勞動力、材料和停機時間；在減少或消除起重機的需要部分，則亦可以減輕因天氣變惡劣而中斷的風險；通過成熟技術來最佳化塔架上維修作業和減少起重機的運用，則可以提升跨平台調整各項工具功能的應用程面；通過與現場單位的預先教學課程交流，可藉此了解現場單位的需求，而改善及提升 GE 公司在風機的技術及效能。

在(2)電能提升的部分，GE 公司以通過客戶需求方式訂制解決方案來增強的風場可發電量，並以客制化的硬體和軟體升級模式來增加平均電量(Average Electricity Power)，目前依不同風機用各軟、硬體的改善模式(如表 1)，實際上約可以提升 8.5%的平均發電量(如圖 2)。

在(3)壽命延長的部分，GE 公司通過延長風機使用壽命和優化性能來達到最佳化發電價值，先藉由符合規範的平台評估檢驗所有結構部件，如葉片、趨動系統、機艙、塔架、基礎，並由測試系統組件評估可延長的疲勞壽命。另外，GE 公司亦可以提供經驗證的長期運營和維護經驗來解決風機延壽的關鍵技術問題，包括數據採集與監控(supervisory control and data acquisition, SCADA)、風機結構現況與執行評估，最後 GE 公司也可以提供現行 2016 年起動的風機延壽經驗，以及相關運作所可能遭遇到困難及解決方法。

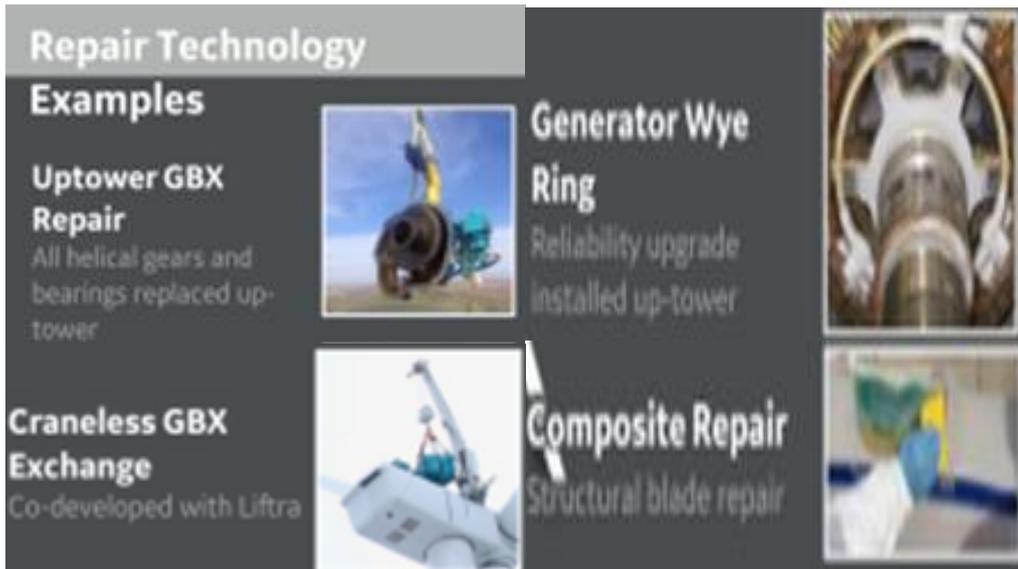


圖 1. 風機塔架上的<1>齒輪箱維修、<2>發電機葉環更換、<3>無起重機之齒輪箱更換、<4>葉片維修

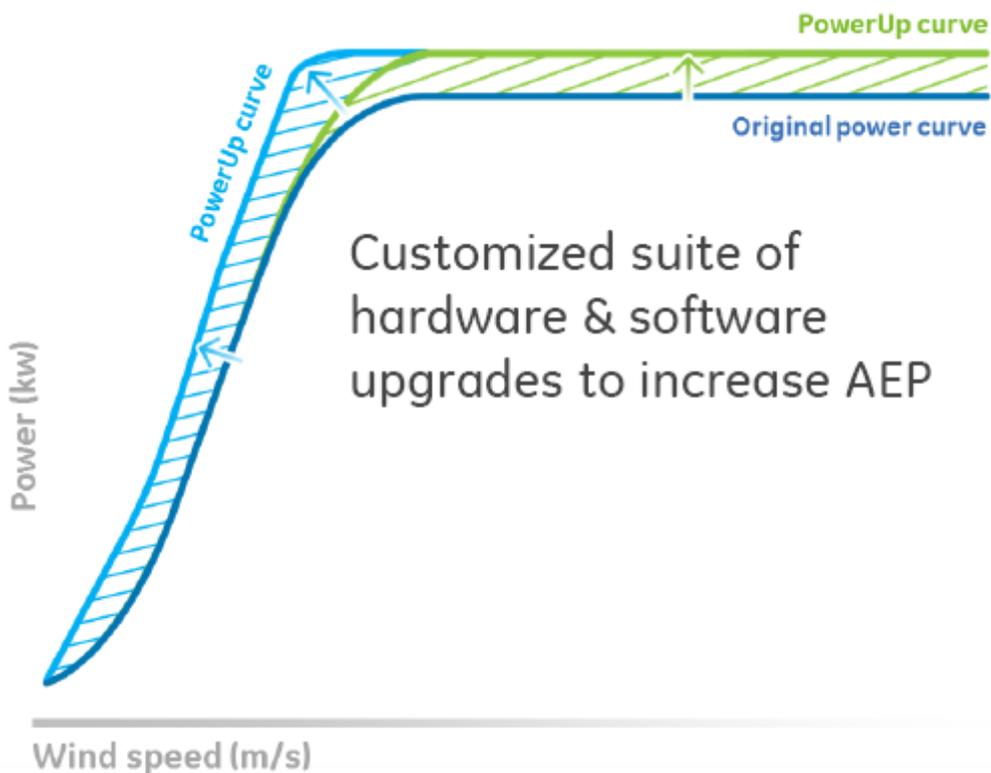


圖 2. 依不同風機用各軟、硬體的改善，約可提升 8.5% 平均發電量

表 1.不同風機用各軟、硬體的改善模式對照表

Technology	1.X Turbines						2.X/3.X Turbines	
	70.5m	77m	82.5m	87m	100m	103m	100m	103m
Variable Rating	x	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Performance Tuning	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑
AeroUp	☑	☑	☑	x	☑	☑	☑	☑
Total PowerUp Potential (AEP%)	3%	8%	7%	2%	6%	6%	6%	6%

- <sup>1</sup> Application of technologies ultimately are based upon your as-running turbine configuration and the results of a mechanical loads assessment (MLA)
- <sup>2</sup> AeroUp package is turbine model specific and may include any combination of the following; vortex generators, chord extensions, and serrations
- <sup>3</sup> Actual AEP% gains may vary based on site specific constraints and the results of the MLA

### 3.2 GE 公司-陸域風機延壽案實例

GE 公司現行 2016 年起動的風機延壽計畫目標為將現有風機發揮更多價值，而實際作法是在現有風機快過 20 年限時，將評估及檢查系統組件是否仍為可靠性及可用性；如在此案例中，將保留評估後可使用更長期(5-20 年)的設備，如塔架、基礎…等(如圖 3)，另再更換葉片長度以增加轉子掃掠面積(原直徑約 70 公尺或 77 公尺)，用來計畫提升原裝置容量值 1.5 MW，而相對應的齒輪箱、軸承、轉軸、轉向系統、控制系統、電力系統…等則試情況作更換；目前起動的相關案例為(1)1.5 MW-70m 提升至 1.5 MW-82.5m、(2)1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-87m、(3)1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-91m。

在(1)1.5 MW-70m 提升至 1.5 MW-82.5m 的案子中，在經評估後，保留風機基礎、塔架、部份下塔架的設備以予保留，其餘如機艙、旋翼葉轂、葉片…皆作更換(詳如圖 4、表 2)，其中將轉子掃掠面積從直徑 70 公尺更換至 82.5 公尺後，約可以增加 1.498 平方公尺的面積，

相對應約可增加 14~25%的平均發電量。

而在(2)1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-87m 的案子中，在經評估後，保留風機基礎、塔架、下塔架的設備、部份機艙的設備以予保留，其餘如旋翼葉轂、葉片…皆作更換(詳如圖 5、表 3)，其中將轉子掃掠面積從直徑 77 公尺更換至 87 公尺後，約可以增加 1.289 平方公尺的面積，相對應約可增加 12~22%的平均發電量。

最後在(3)1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-91m 的案子中，在經評估後，保留風機基礎、塔架、下塔架的設備、部份機艙的設備以予保留，其餘如旋翼葉轂、葉片…皆作更換(詳如圖 6、表 4)，其中將轉子掃掠面積從直徑 77 公尺更換至 91 公尺後，約可以增加 1.848 平方公尺的面積，相對應約可增加 20~30%的平均發電量。



圖 3. 風機經評估及檢查影響可靠性和可用性的系統組件升級

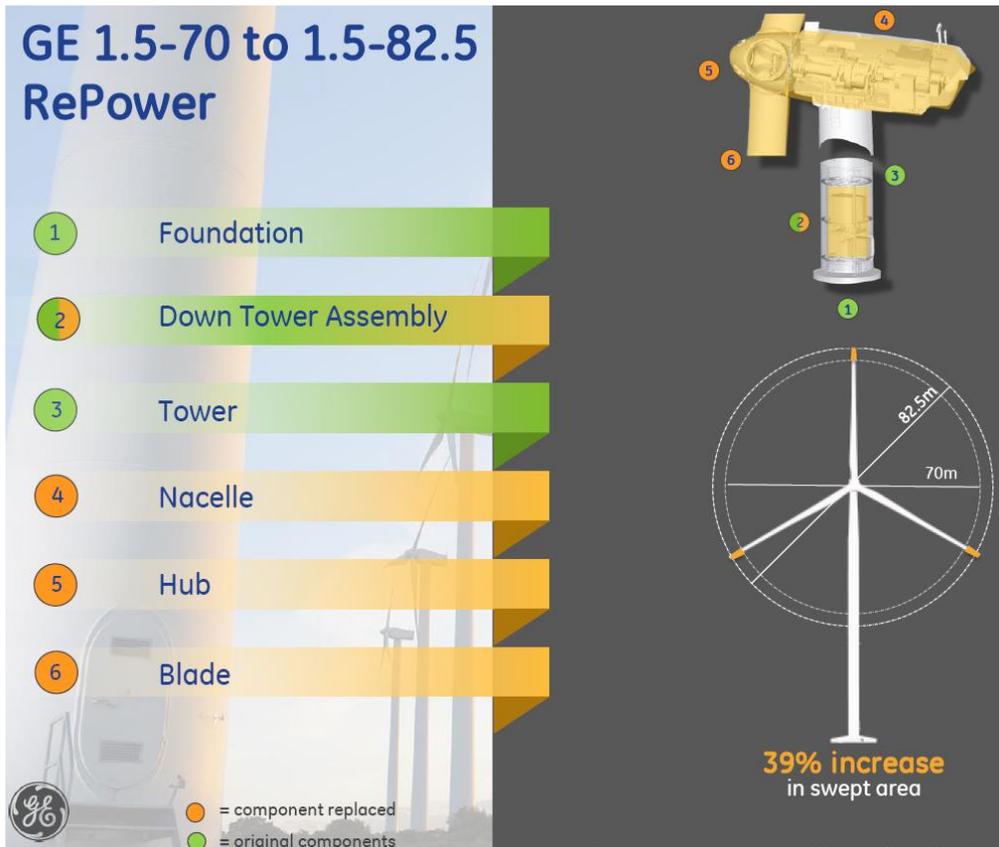


圖 4.風機 1.5 MW-70m 提升至 1.5 MW-82.5m 的更換配件對照圖

表 2.風機 1.5 MW-70m 提升至 1.5 MW-82.5m 的更換配件對照表

Component	Common with 1.5-70	Common with 1.85-82.5/87	Comment
Blade		✓	Proven 40m blade design
Controls		✓	Upgraded to latest advanced controls technology; adding ALC, more monitoring
Pitch Bearing		✓	Larger bearings for larger rotor
Pitch Drive		✓	Stronger pitch drives for larger rotor
Pitch System		✓	More reliable pitch system
Hub		✓	Larger hub for larger rotor
Main Shaft		✓	Improved drivetrain – longer life
Main Bearing		✓	Improved drivetrain – longer life
Pillow Block Hsg		✓	Improved drivetrain – longer life
Gearbox		✓	Improved drivetrain – longer life
Mainframe/ Bedplate		✓	Robust bedplate design
Tower	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
Yaw Bearing		✓	More robust yaw bearing
Yaw Drive		✓	More robust yaw drives
Generator		✓	Generator replacement or refurbishment
Power Conversion	✓		Upgrade non-GE converters to GE converters (1.5-77 version)

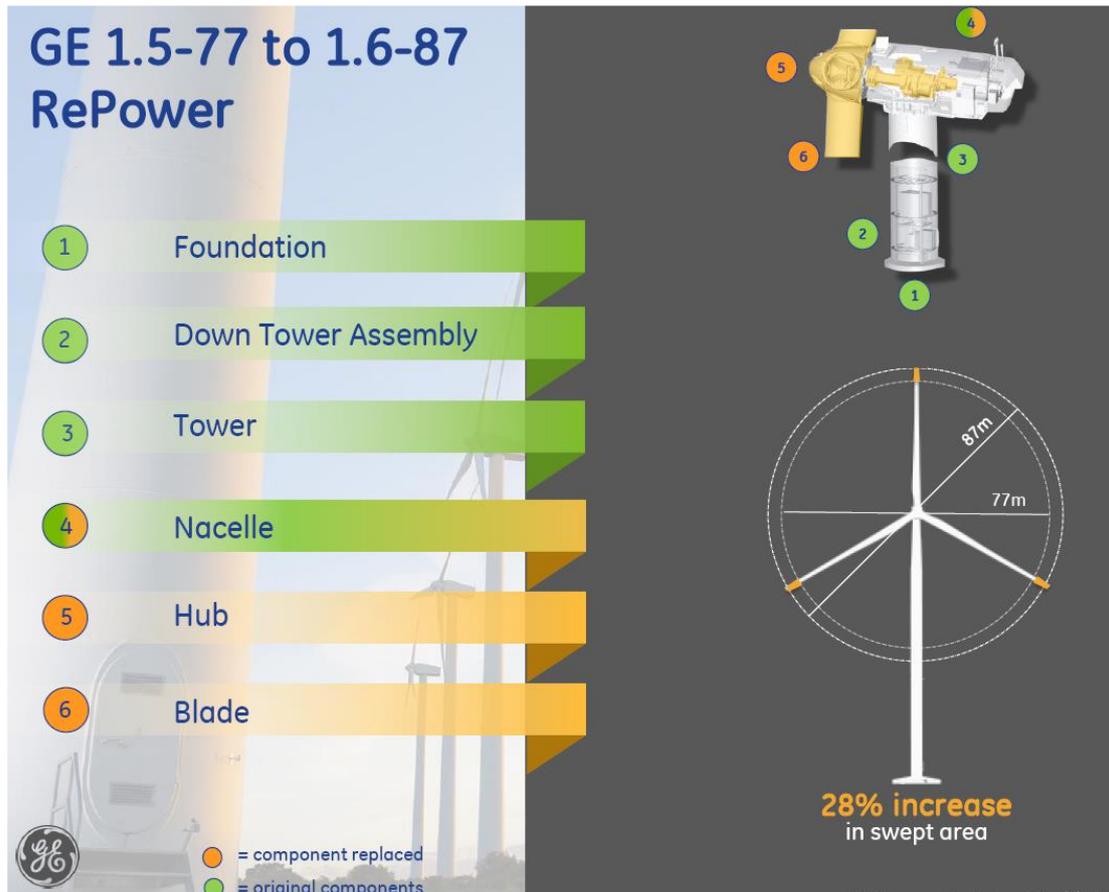


圖 5.風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-87m 的更換配件對照圖

表 3.風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-87m 的更換配件對照表

Component	Common with 1.5-77	Common with 1.85-87	Comments
Blade		✓	Proven 42m blade design
Controls		✓	Upgraded to latest advanced controls technology; adding ALC, more monitoring
Pitch Bearing		✓	Larger bearings for larger rotor
Pitch Drive		✓	Stronger pitch drives for larger rotor
Pitch System		✓	More reliable pitch system
Hub		✓	Larger hub for larger rotor
Main Shaft		✓	Improved drivetrain – longer life
Main Bearing		✓	Improved drivetrain – longer life
Pillow Block Hsg		✓	Improved drivetrain – longer life
Gearbox		✓	Higher torque gearbox for better operability and reliability
Bedplate	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
Tower	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
Yaw Bearing	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
Yaw Drive	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
Generator		✓	Refurbishing to current GE specifications for higher performance
Power Conversion	✓		Existing power conversion system assessed and suitable
Generator Frame		✓	Eliminates repair issues

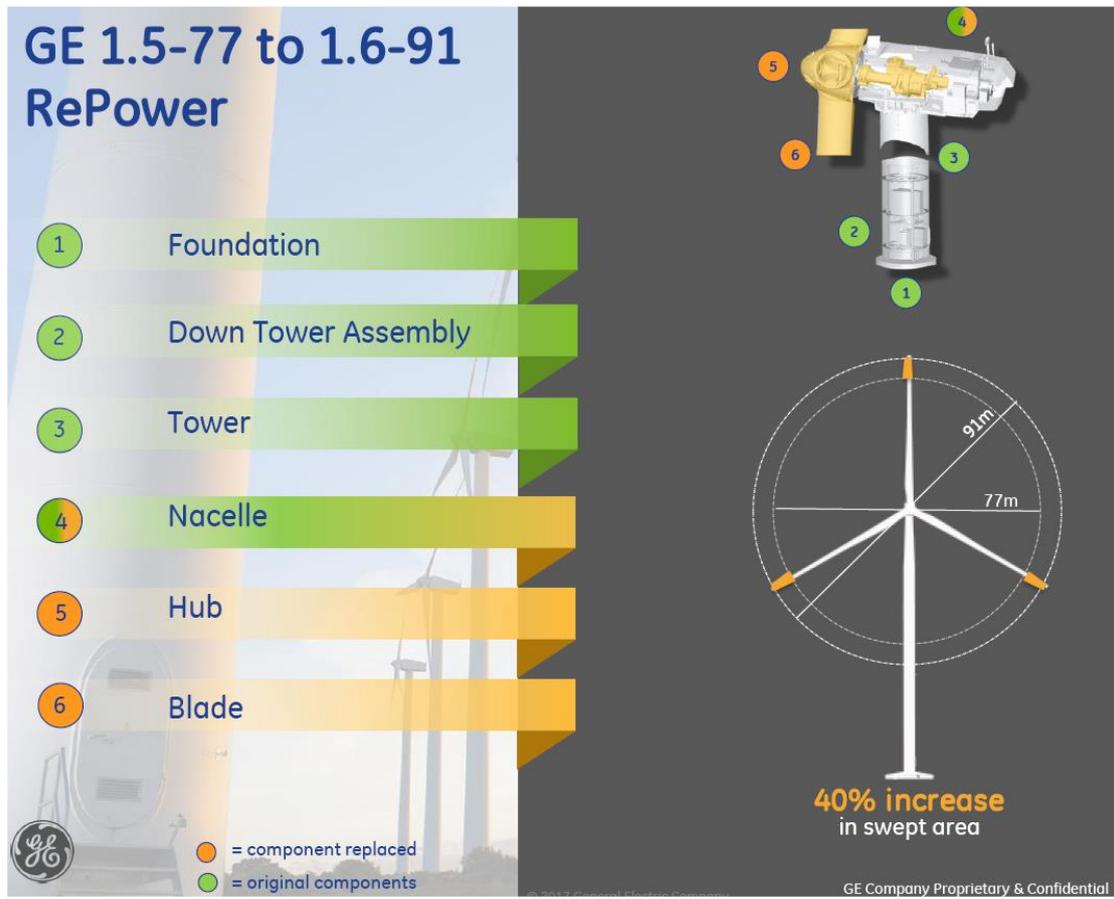


圖 6.風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-91m 的更換配件對照圖

表 4.風機 1.5 MW-77m 提升至 1.6 MW-91m 的更換配件對照表

Component	Common with 1.5-77	Common with 1.85-87	Comments
<b>Blade</b>			New blade design based on proven 56.9 and 63.9m blades; scaled
<b>Controls</b>		✓	Upgraded to latest advanced controls technology; adding ALC, more monitoring
<b>Pitch Bearing</b>		✓	Larger bearings for larger rotor
<b>Pitch Drive</b>		✓	Stronger pitch drives for larger rotor
<b>Pitch System</b>		✓	More reliable pitch system
<b>Hub</b>		✓	Larger hub for larger rotor
<b>Main Shaft</b>		✓	Improved drivetrain – longer life
<b>Main Bearing</b>		✓	Improved drivetrain – longer life
<b>Pillow Block Hsg</b>		✓	Improved drivetrain – longer life
<b>Gearbox</b>		✓	Higher torque gearbox for better operability and reliability
<b>Bedplate</b>	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
<b>Tower</b>	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
<b>Yaw Bearing</b>	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
<b>Yaw Drive</b>	✓		Assessed and passed for additional 20 years life
<b>Generator</b>		✓	Refurbishing to current GE specifications for higher performance
<b>Power Conversion</b>	✓		Existing power conversion system assessed and suitable
<b>Generator Frame</b>		✓	Eliminates repair issues

### 3.3 GE 公司-陸域風機設備維護模式

GE 公司在設備維護部分，主要分為(1)例行計畫性的設備維護、(2)非計畫性的進階維護，並以線上監控方式來確保風機設備正常運作。

(1)例行計畫性的設備維護：GE 公司擁有超過 600 名經過約 1200 小時訓練的技術人員進行設備維護，這些技術精湛的技術服務人員對於風機內部和外部設備狀況皆有務實解決問題的經驗；藉由相關技術專長來分析機台運行或設備狀況監測數據，並進行 10 年以上的風機問題預防性維護程序；此外，在與獨立服務供應商比起來(詳如圖 7)，GE 公司擁有領先同行業間的故障排除方法可提高風機的可利用率，如採用生命週期思維設計的解決方案、智慧型監控及手動重置和 6 分鐘遠端遙控立即回覆問題的服務。

(2)非計畫性的進階維護：GE 公司以穩健的方法提高風機生命週期生產的電力，在技術研發部份，GE 公司有兩個維修開發中心和一個 50 英尺高的模擬風機實作，來針對設計工具、測試維修、提升驅動系統品質(如圖 8)；在先進的維修部份，GE 公司則以對關鍵系統如動力傳動系統、葉片、轉換器和控制裝置，進行監控及診斷、故障排除、維修和重新製造部件(如圖 9)。

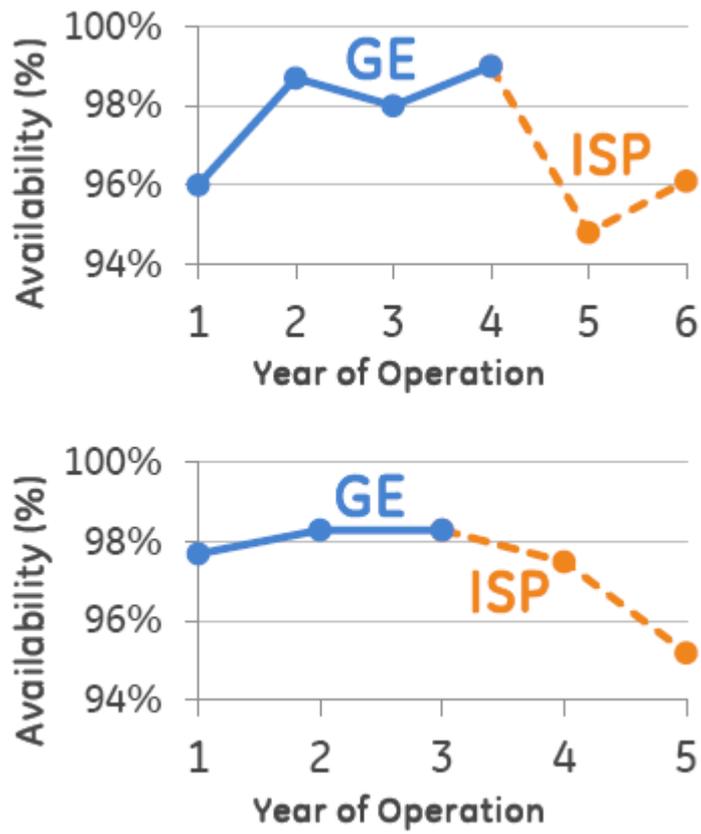


圖 7. GE 公司與獨立服務供應商在 2 個風場的可利用率維護對照圖



圖 8. GE 公司之維修開發中心進行齒輪箱的測試維修過程



圖 9. GE 公司於葉片進行監控及狀況診斷

### 3.4 GE 公司 - 陸域風機設備監控模式

GE 公司陸域風機設備監控的目標為將數據轉化為可預防機台損壞的評估能力，主要由 150 位以上專家針對所收集的訊息來規律判斷及演算推衍，以發現早期較小的問題，避免日後變大問題的維修花費；另外，較小的問題可在塔架上進行維修，故可減少風機的停機檢修的時間。GE 公司目前檢測內容主要在風機之 10 分鐘一筆的 SCADA(supervisory control and data acquisition)狀況監測收集值，包括風速、風向及發電量…等數據，以及 160 個以上的動力傳動系統振動異常狀況監測收集，由偏離基線數據中訂立操作條件極限值，再進行單一對群組風機訊息比較的大數據分析，來創造一系列風機運作模式，來判斷風機當前的健康狀況，以及評估未來風機設備的運轉壽命。當風機發生設備異常和發電異常而生產不足時，GE 監控單位會使用電子郵件表示警告，另外亦可以通過網路界面來追蹤異常情形(如圖 10)，並在每月提供「現場趨勢報告」。

GE 公司現有的二個遠端操作監控中心位於德國的薩爾茨貝爾根

(Salzbergen)和美國紐約州的斯克內克塔迪(Schenectady)，主要監測全球約 10,500 架風機，而平均回覆故障風機訊息狀況的時間約 6 分鐘，並在全年無休的服務下，可使風機高達 98%的可利用率，而在美國紐約州的斯克內克塔迪(Schenectady)的遠端操作監控中心，為因應離岸風機狀況監測，亦把風場中的大氣因素(包括溫度、氣壓、氣流…等)亦作為監測項目。(如圖 11)



圖 10. GE 公司在風機設備進行監測收集、大數據分析、網路上狀況警示通知系統

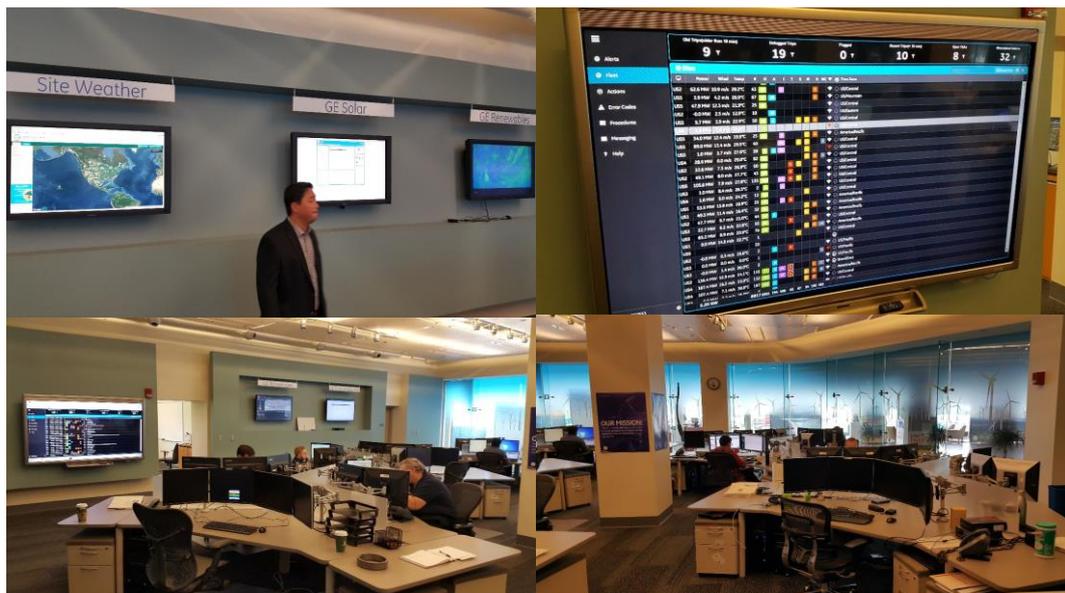


圖 11. GE 公司在美國紐約州的斯克內克塔迪的遠端操作監控中心

### 3.5 GE 公司-陸域風機團隊績效

自 GE 公司 2006 年進行風機監測及維護以來，風機的可利用率從 94% 至 2010 年時達到 98% 後，至今仍維持 98+% 的可利用率，主要是靠(1)超過 600 名的工程師及技術人員的協助維護、(2)二個維修開發中心的技術支援、(3) 150 以上的專家作收集訊息的規律判斷和演算推衍，來早期發現出較小的問題，以避免日後變大問題的維修花費、(4) 約 6 分鐘的快速回覆故障風機訊息狀況，而達到目前風機的高可利用率值。(如圖 12)

在未來的數位風場監測下，將針對個別風機的關鍵組件檢測模式中平均數據來判斷是否異常，以幫助風場業主將對風機現狀訊息轉化更為清楚明確，而能夠更快速的作出主動對應決策。所以透過實地情形的綜合計畫來使設備維護最佳化，並通過進階的數據分析來提升可靠性和性能，進而控制且增加風機風場整體平均電力能源。最後 GE 公司在企業的商業經營分析中，藉由了解發電業主的財務經營模式，將通過電力預測與當地電力訂價的數據整合，來改善發電執行情形而做出最佳投資決策。

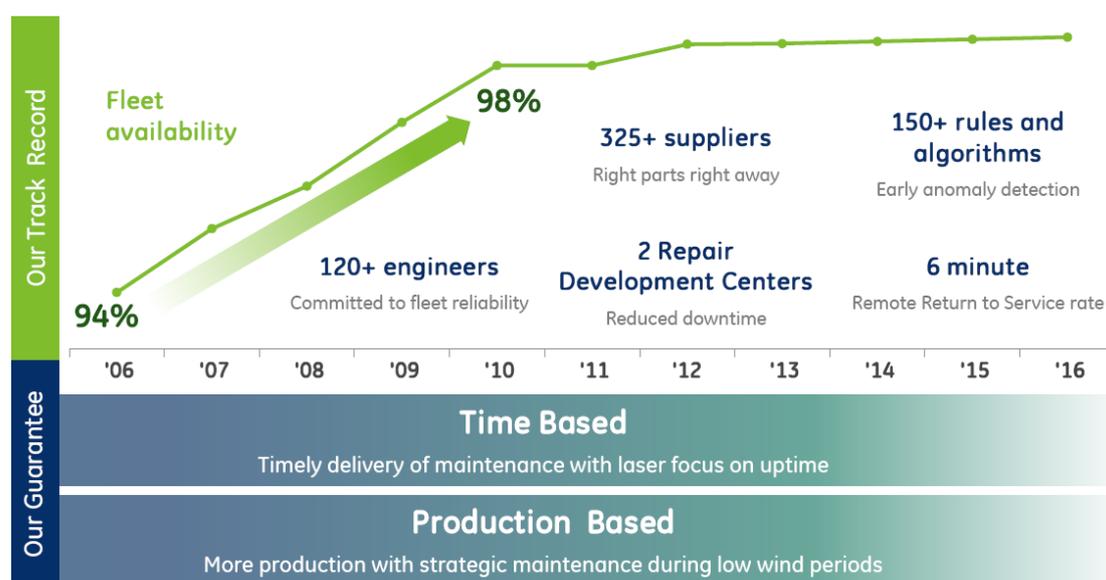


圖 12. GE 公司在風機 2006-2016 的可利用率趨勢圖

### 3.6 GE 公司-Trent Mesa 風場(與 GE 及 AEP 現場訪談)

GE 公司在美國德州幫美國電力公司(American Electric Power, AEP) 運轉維護 Trent Mesa 風場，在當地風場共有 100 台 1.5 MW 機型的風機，其運轉年限則從 2001 年至 2021 年，將於近年面臨是否有延壽規劃的評估；且跟在台灣的 1.5 MW 機型相同，而台灣的運轉年限則約從 2003 年至 2023 年，故此次參訪此風場的目的，除了藉由現場訪談來確認 GE 公司實際的風機監控及運轉維護能力外，另一個重要目的是藉由該風場業主 AEP 的角度來了解 GE 公司實際對業主的幫助情形，且詢問 AEP 對 GE 公司的風機延壽規劃態度如何？若有要實施相關延壽計劃，則可作為台電公司之相同 1.5 MW 機型延壽規劃的重要參考。因現場單位的拜訪時間及空間有限，故擬以面對面針對問題作訪談，以及實際爬上風機塔架去看相關設備維護實際情形。(如圖 13)

- **現場訪談問題 1：請說明 GE 公司最新風機延壽計畫？**
- **GE 公司回覆：**GE 最近在北美地區開展了「Repower 計劃」。該計劃更換了在北美的 1.5-70 和 1.5-77 風機的主要部件，以增加能源生產，並將風機的使用壽命預計最多再延長至 20 年。這導致風機可認證預計運行延長至 25~40 年的壽命，而不是原始的 20 年設計壽命。迄今為止，GE 已經完成了超過 300 架風機的工作，並預計將在 2017 年底前完成數百台。
- **AEP 公司回覆：**在 Trent Mesa 風場的風機的年限約至 2021 年，故將在近年再評估是否作風機延壽的「Repower 計劃」。
- **現場訪談問題 2：電場業主要如何獲得保險公司對風機延壽計畫的保險契約許可？**
- **GE 公司回覆：**風機延壽計畫的其中重要一環為風機保險契約，

GE 公司將會提供通過第三方認證機構的認證評估資料，而這份獨立報告會再需由融資或保險機構進行高專業度調查審閱。

- **現場訪談問題 3: 請問 GE 公司在延壽計畫方面的運轉維護經驗？**
- **AEP 公司回覆：**最早安裝的 GE 1.5 MW 風機正接近 20 年設計的壽命終點，然而 GE 公司在為 AEP 公司安裝的 1.5 MW 風機起，累積了豐富的運維經驗來經營風場，且亦依據此經驗進行組件更換、維修，最後並可以作為未來風機的生命延壽評估的建議。
- **現場訪談問題 4: 來自 SCADA 的風速和風向是基於機艙上的風速計。然而風速計位於葉片之後，故所得數據是否可靠嗎？可作為影響塔架和基座上的風力值嗎？**
- **GE 公司回覆：**雖然 GE 公司使用 SCADA 數據來作為風機設備延長壽命的評估，但是我們另將要求客戶提供的整體風場的風力數據、整體風機站的環境資訊…等，以充分了解現場條件和風機負載情形。
- **現場訪談問題 5: GE 公司如何監控風機的塔架和基座設施？**
- **GE 公司回覆：**GE 公司將根據現場風況和運行數據進行理論評估，然後再進行風機實體檢查，以確認實際變化情形是否符合理論評估變化。
- **現場訪談問題 6: GE 公司如何監測變速箱的過熱情形和極端天氣事件？**
- **GE 公司回覆：**GE 公司提供數據分析服務中，可提供對風機健康狀況的了解，例如狀態監測系統；另外在先進控制功能部份，可

以幫助風機在極端氣候事件時，如颱風或龍捲風，最佳化地提升保護自身的能力。而作為風機生命延壽評估的一部分，GE 公司可能會建議安裝這些系統以優化風機性能，以最大限度地延長使用壽命。



圖 13. 現場訪談風機運維經驗及爬上風機塔架去看相關設備維護實際情形。

### 3.7 美國電力研究院(EPRI)-陸域風機延壽資訊收集

美國電力研究院(EPRI)是由電力行業資助的非營利組織，成立於1972年，總部設在加利福尼亞州的帕洛阿爾托。EPRI 主要是一個美國組織，但接受國際各國電力業主參與能源計畫。EPRI 的主要研究涉及發電、配送…等，但隨著再生能源、環境控制和智能電網等技術的發展，EPRI 通過技術創新，思想領導和技術專長來迎接傳統和新興的挑戰。

根據 EPRI 的 2017 年度研究可知，EPRI 再生能源的研究和開發包

括一些關鍵領域，環境部門的研究涉及發展再生能源的環境考量，如對受威脅和瀕危物種的影響，其研究重點在於盡量減少生態影響並減輕再生能源發展的障礙。而在研究院的發電部門的研究部份，主要在量化公用事業規模可再生能源的成本、技術性能和可靠性，相關報告結果可用於指導公用事業規劃、發電廠的管理和運轉維護（O&M），而 O&M 主要重點關注在新技術和材料的開發。最後，在再生能源部份，EPRI 主要專注於風能、太陽能、水力發電。故此次拜訪 EPRI 的主要目的是作美國在陸域風機延壽技術探討，以及收集業界的最新相關資訊以助台電未來陸域風機延壽施作規劃。

- **探討議題 1：如何評估風力發電機剩餘使用壽命？**

- **研究概況：**對風力發電機壽命評估或剩餘使用壽命（RUL）評估中，針對目前最佳做法和潛在未來作法來進行研究。EPRI 已收集並公開同業期刊文章報告，以公認的標準來制定了風機延壽的經濟模型，分析評估風力發電機壽命的不同情景；在確實的執行下，來大概評估風機剩餘壽命的相對價值。

- **研究關鍵：**

1. 壽命評估需包括實際量測和理論分析。
2. 雖然還有其他方法可用，但基於物理現象的建模是壽命評估分析方面最常見的方法。
3. 最佳的實際驗證在於良好的記錄保存，主要藉由風力發電情形的詳細描述、收集評估過的重要訊息，以及另對風機的額外監控來達成。
4. 越準確壽命評估會有越多正面積極的效益，並可帶來更多有利的價值回饋。

- **研究結論：**風力發電機的壽命評估必須在生命週期的某個時間點進行，而利益相關者在執行壽命評估時，將面臨有關策略和價值的問題。這項研究透過提供風力發電機的基礎資訊、壽命評估的分析方法，再基於經濟分析來確認風機延壽方案的價值，最後推薦最佳執行方法來幫助決策者面對風機是否延壽問題。
- **探討議題 2：杜克能源風電場(Duke Energy Wind Farm)展示 EPRI 基於地面的風力發電機葉片檢測系統技術。**
- **研究背景：**EPRI 一直在研究如何使用非破壞性檢測(NDE)技術來對風力發電機葉片進行檢查，並尋找現場示範的風機站點。自 2007 年以來，杜克能源公司積極參與風能的發展，至今杜克能源再生能源公司已擁有並運營超過 1600 兆瓦的風力發電，並預計在 2015 年將再增加 250 兆瓦，該公司希望未來將風力發電業務擴大至總發電量的 5% 至 7%，故該公司同意在德州南部的 Los Vientos 風電場作為 SABER™風力發電機檢測和數據管理系統現場測試的風機站點。
- **研究關鍵技術：**SABER™系統在風機葉片運行時，從地面檢查葉片。此系統主要利用特定波長的遠紅外線（IR）相機，來檢測顯示熱點或冷點，而若旋轉葉片的結構有異常缺陷時，會有輕微的紅外線輻射產生（如圖 14）；另外，再結合聲譜分析技術，使用寬頻高靈敏度麥克風來檢測和定位雷擊孔、裂縫、

不規則表面(如圖 15)。除上述功能外，該系統亦可以檢測表面異常的相位成像攝影(如圖 16)。最後，此系統是安裝在多功能車輛上，可以繞風場運行來檢查許多葉片，通常可以在不到 30 分鐘的時間內檢查一個風機上的三個葉片。(如圖 17)

- **研究結論：**現場測試於 2014 年 2 月在 Los Vientos 進行，而杜克能源再生能源公司已決定使用 SABER™系統來檢查西門子風機的維修，此維修方式大約佔現場風機的一半。在 SABER™系統現場測試顯示，以前執行的大多數葉片修復都是成功的。它還檢測到可能影響葉片性能或導致葉片故障的幾個異常，包括指出葉片仍有問題的熱點、兩個有雷電傷害的葉片、兩個葉片上有潛在粉碎或處理損壞情形，然而杜克公司通過目視檢查驗證了 SABER™的結果，並與葉片製造商聯繫進行額外的維修。



圖 14. SABER™系統中利用特定波長的遠紅外線（IR）檢測葉片的結構是否有有異常缺陷

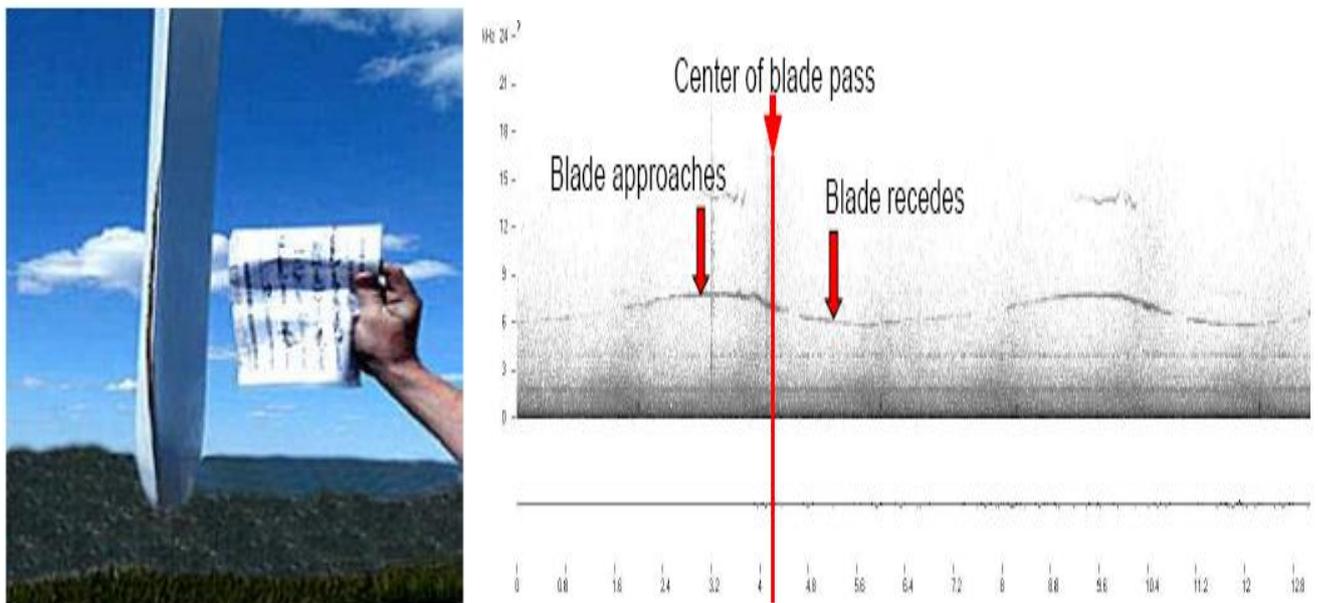


圖 15. SABER™系統中利用寬頻高靈敏度麥克風來檢測和定位雷擊孔、裂縫、不規則表面

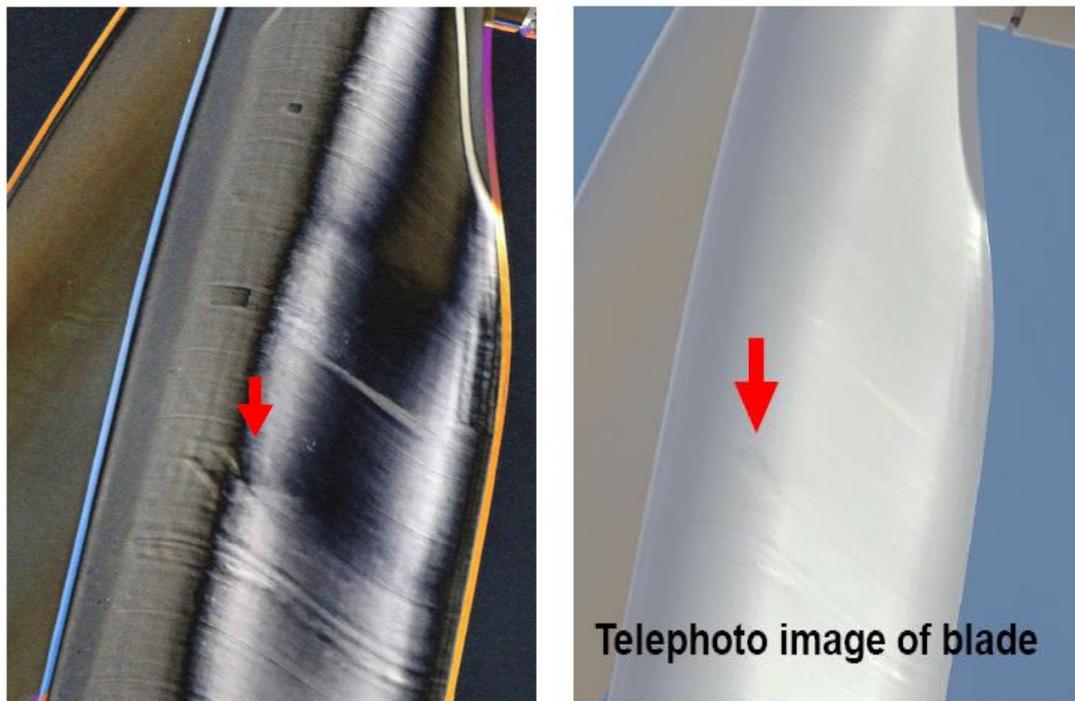


圖 16. SABER™系統檢測表面異常的相位成像攝影



圖 17. SABER™系統安裝在多功能車輛上來檢查風機

- **探討議題 3：如何防止風機的火災發生？**
- **研究背景：**風機在實際運行維護的經驗累積下，已藉由設計改良及運維計畫的改善來解決了許多設備上的問題。然而，目前仍有一個關鍵議題是如何防止風力發電機艙的火災，而此發生火災的根本原因需要風機製造商和風力電場運營商的特別注意。
- **研究關鍵：**
  1. 如果風機曾經發生過火災，請詳細審閱當初的調查員報告，以確保了解其根本原因。
  2. 考慮安裝滅火系統以消除潛在的未來火災的蔓延，並以通過設計來限制成局部化損壞；如果火不能停止點燃，那麼至少有可以防止火焰蔓延。
  3. 需充分了解風力發電機的潤滑油要求，並依此調整運行維護計畫，確保所有設備均有正確潤滑完成，這將有助於防止機艙火災，並延長風機設備的使用壽命。
- **研究結論：**為了更有效地防止風機火災，原設備製造商應以消除造成電氣事故的可能問題，來對現有設備進行設計改造；在設備潤滑要求部份也應重新審核，以幫助消除不良油質或潤滑劑維護成為火災的根本原因。最後再試著安裝滅火系統來防止火災發生及蔓延。

## 第四章 感想與建議

1. **技術發展**：GE 公司近年執行的延壽計畫(2016)，預估可延長 5-20 年發電，因台電公司 GE 風機壽命約 2003 年~2023 年，並且跟 AEP(Trent Mesa 風場)的建置機組相同，其壽命約 2001 年~2021 年；故建議公司應於 2021 年前持續追蹤 GE 及 EPRI 的延壽資訊及監測技術，並確認 GE 公司已延壽的機組是否順利運行，最後再以 AEP 是否要執行延壽計畫，作為公司相同 GE 風機機型延壽的重要參考。
2. **經濟成本**：建議原 GE 陸域風機機組在 2021 年時，可評估若更換較大發電量的新型風力發電機組所對應的發電成本，跟原機型改良延壽案所對應的發電成本比較之下，是否有較大的獲利效益？若有則以原場地再重建新的較大發電量機組為優先考量；反之，則以原機型改良的延壽案較佳。
3. **政策推動**：評估未來政府的能源政策仍對陸域風力發電或離岸風力發電十分重視，建議公司應持續多參加國內外風力發電相關的技術交流及多參訪國內外廠商及業主，以作為台電公司風力發電發展的重要考量。