



# 機械工業雜誌

## Journal of the Mechatronic Industry

工業技術研究院  
Industrial Technology  
Research Institute

- 全球高效率馬達發展趨勢
- 工廠馬達動力系統節能改善應用與2014年實例
- 2015年全球離岸風電產業發展趨勢
- 國際推動空氣壓縮機能源效率介紹

2015 / 10 391 期

### Best 總合型錄 全新自動化寶典

# OMRON

請至官網【型錄索取專區】  
申請或回傳下方資料



[www.omron.com.tw](http://www.omron.com.tw)  
國際中文版官網全新上線



好禮大放送

Best 總合型錄【問卷調查表】，凡紙本或上官網專區填寫完成，即有機會參加抽獎！iPad Air 2等好禮讓您帶回家！

客戶基本資料 (填寫完成請回傳 FAX : 02-27126712)

姓名：	公司/部門：
電話/分機：	職稱：
手機：	E-mail：
地址：	

# 機械工業雜誌

October 2015

391 期目錄

104年10月出版

國際標準期刊編號 ISSN 0255-0075

## CONTENTS

### 編者的話

三輪車跑得快—價值創造策略/陽毅平 ..... 1

### 產業透視

2015年全球離岸風電產業發展趨勢/康志堅 ..... 4

全球高效率馬達發展趨勢/江緻惟 ..... 15

### 綠能機械技術專輯

綠能機械技術專輯主編前言/強忠萍 ..... 25

工廠馬達動力系統節能改善應用與2014年實例  
/沈宗福、盧江溪、吳江龍、詹瑞麟、彭昌明、楊竣翔 ..... 27

國際推動空氣壓縮機能源效率介紹/劉永隆、陳慧珠 ..... 39

永磁交流馬達無轉軸位置感測器控制/胡敬暉、楊勝明、彭文陽、楊涵評、陳譽元 ..... 50

磁預壓節能型音圈馬達自動對焦致動器的設計  
/劉建聖、張育豪、李鴻飛、彭文陽、林正軒 ..... 62

低溫熱能回收ORC系統之特性研究/吳孟儒、鄭屹、謝瑞青、徐崧蔚 ..... 72

離岸施工環境預測與預警系統整合規劃/陳美蘭、張恆文、林勝豐 ..... 84

機艙式測風系統發展與應用現況/廖子毅 ..... 95

MW級陸域風力機之塔架振動分析與檢測/吳孟儒、陳錦城、劉瑞弘、張家銘 ..... 103

Mw級風力機液壓系統性能改良案例分析  
/陳錦城、劉瑞弘、張家銘、吳孟儒、彭致勳、林其光 ..... 115

### 產業資訊報導

業界動態報導/編輯室 ..... 126

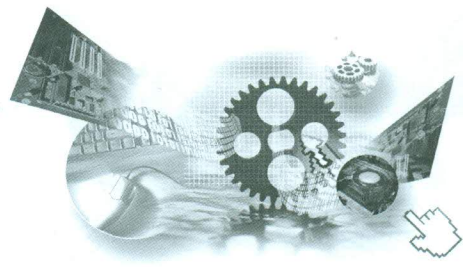
廣告索引/編輯室 ..... 134



滾珠螺桿  
Ball screws

全球營

上銀科  
HIWIN T  
台中市4  
Tel: (04  
Fax: (04  
www.hiv  
busines



# 機艙式測風系統發展 與應用現況

The Application of Wind Measurement Technology on Nacelle

廖子毅

工研院綠能所  
資源應用技術組  
風能開發研究室

## 關鍵詞(Keywords)

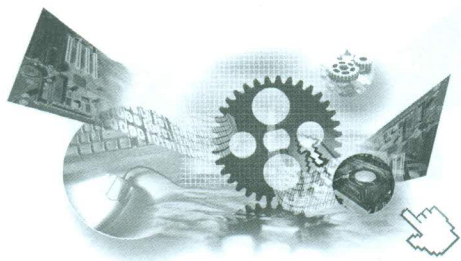
- 機艙 Nacelle
- 雷射測風 Laser Wind Measurement
- 指向誤差 Yaw Error

## 摘要(Abstract)

就風力機之運作而言，持續的提高操作效率與保持風力機健康是非常重要之工作，這會直接影響投資計畫達成之成功率。機艙遙測測風系統由於無須介入風力機控制介面，相對之應用可行性較高。針對風力機指向改善，現有都卜勒式雷射測風技術仍有改善空間，主要方向是系統簡化與增加可靠度，最終應以逐機取代現有機艙頂置

風速風向計為目標。新形式/原理之側風偵測技術開發正逐漸形成，或許不限於已知的雷射與超音波技術，可確信的是其應用領域將不僅限於風能產業。

On the operations of the wind turbine, the continuous improvement of operational efficiency and maintaining wind turbine health are very important, which will directly affect the success rate of reaching return on investment. The application of nacelle remote sensing anemometer has relatively high feasibility because there is no need to interfere with the wind turbine control. The existing laser Doppler wind measurement technology still have room for improvement to reduce the wind turbine yaw error. The main direction of simplification and increasing system reliability should eventually



replace the existing anemometer. New forms / principle of crosswind detection technology development are still evolving, perhaps not limited to the known laser and ultrasound technologies, and it can be assured that their applications will not be limited to the wind industry.

## 1. 前言

台灣地區綠色能源開發以太陽能、風能為主，特別是風力發電，設備機組技術已十分成熟，隨著機組大型化與新設場址，裝置容量逐年增加，累計至 103 年已達 63 萬千瓦(台電，我國再生能源概況[1])。但是大型風力機是資本密集產業，一部風力機投資金額在新台幣八千萬至一億元之間，投資成功與否全賴財務計畫之執行風險，因此如何能降低風力機危害、提高效率，是非常重要的工作。

風力機之效率可視為機械效率與控制策略之綜合結果，其中機械效率為動力傳輸(power train)之範疇，相關性能參數皆在設計定型之時已固定，並無額外之改善空間，但是控制策略受風力機與環境風場交互影響，不同之量測結果與對應策略會極大的影響風力機產出。現有風力機控制是以設備保全為首要前提，追求風力機在安全條件下能有最大輸出，但若是外部風況變動之情況下，過於保守之操作會直接損失發電量，此外錯誤之風場量測(如風向)會產生迎風角(yaw)誤差，也會直降低風力機效率，此二者皆可藉由提高風場量測精度而獲得改善。

現有風力機迎風角設定來自機艙上設置之風向計，但是旋轉葉片與機艙風力結構會在艙頂產生亂流，降低量測之精度(圖 1)。為了降低誤差量，目前是藉由模式選定最佳位置、模式修正以及時間積分以取得相對穩定與正確之量測結果。但是葉片構型、轉速、風速、機艙阻力加上不同之偏向角效應，形成一複雜系統，甚且會隨機械性能改變而持續變動，模式改善效果有限。

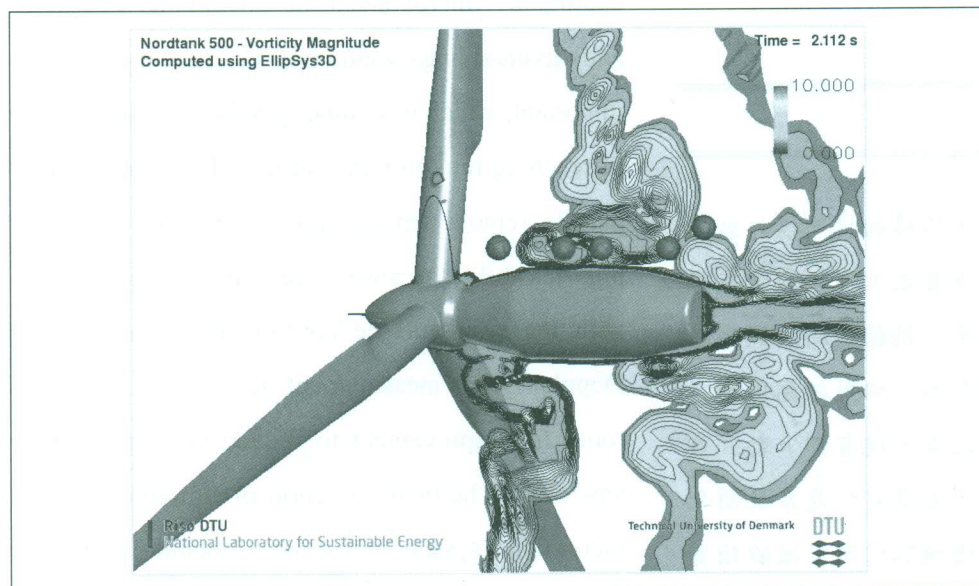


圖 1  
風力機機艙因葉片旋轉  
與機艙外型形成之擾動  
(DTU, Danmarks  
Tekniske Universitet)[2]

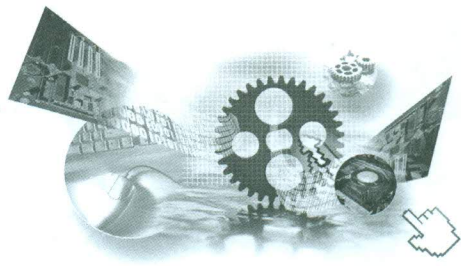


圖 2  
風機與測風塔指向誤  
差隨風速分布圖(工研  
院)

國內同樣案例出現在澎湖湖西鄉測風資料，一個鄰近風機距離小於 200 公尺且位於平坦海邊的測風塔，兩者風向紀錄出現約 20 度的指向誤差(圖 2)。風力機出現指向誤差即表示葉片無法正對當時之最大風向，除了風能的直接損失，更會進一步因為風向對風力機偏軸施加的壓力，產生震動與軸承磨損，對風力機造成傷害[3]。

## 2. 機艙式測風技術優勢與影響

風力機指向誤差產生之發電損失視葉片設計時之適性攻角而定，通常具有一容忍值，但是如環境風向變動劇烈、風標與風力機指向設定偏移、控制驅動過於保守等理由皆會使得風向與風力機指向偏差增加，現有文獻顯示風力機指向誤差(yaw error)導致的損失，在 10 度時仍小於 3%，但是在 20 度時大幅增加到 10%左右(DNV.GL

[4])，如圖 3。

以台灣地區為例，一部裝置容量 2 MW 風力機，在西部陸域一年有至少 2300 小時之可發電時數，除去平均故障/維修時數，約有 90%的操作可用性，損失之風能產出以 2012 年台灣躉購電價每度 2.5 元試算，10%的損失即超過 100 萬新台幣，十分可觀。

很明顯現有的風力機機艙頂置風向計有不可避免之量測誤差，一個釜底抽薪的方法便是應用遙測技術，量測風力機前緣之風速風向，直接避免葉片旋轉與機艙結構產生之紊流干擾，使得改善風力機指向準確度成為可能。藉由近年發展的都卜勒雷射測風技術，許多研究指出將其架設風力機機艙頂以量取前緣風速風向的好處。表 1 顯示風力機指向改善所能獲得之輸出增益研究。最早始自 2006 年 NREL 藉由模擬即指出 5 MW 級風力機平均會有 10%因為指向誤差導致的輸出損

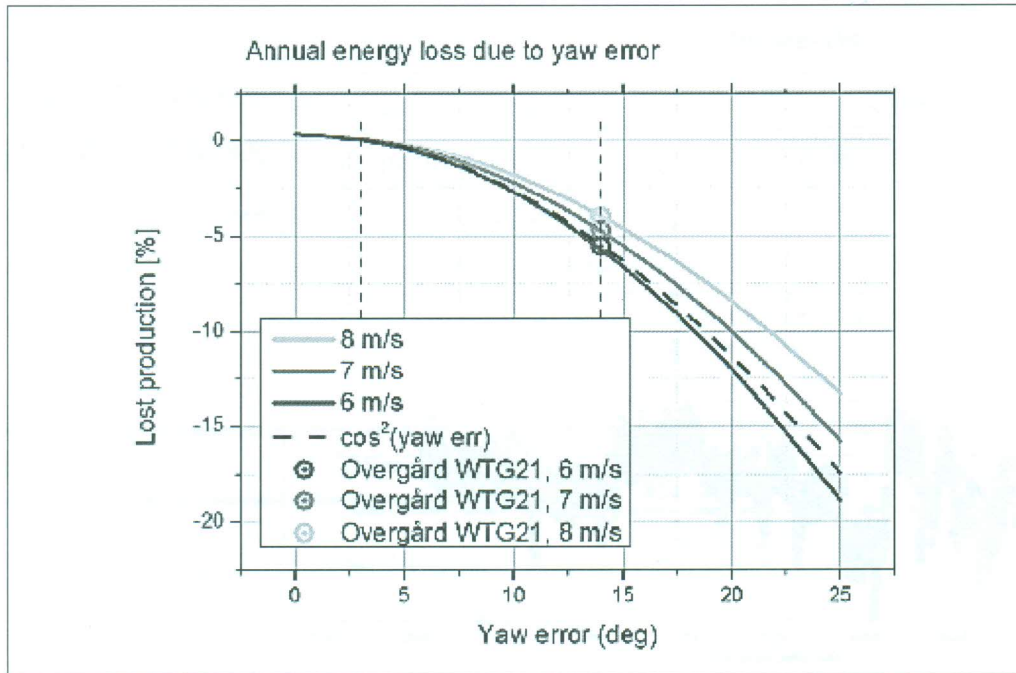
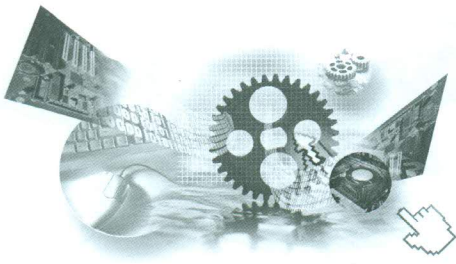


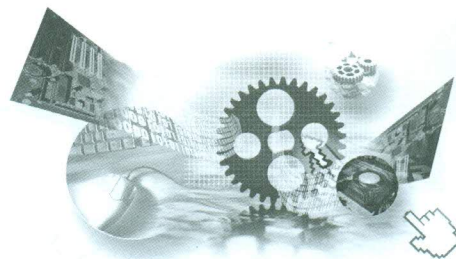
圖 3  
風力機效率損失與風力機指向偏差之關係圖，在 20 度誤差時效率約降低 10% [4]

表 1 風力機指向改善所能獲得之輸出增益[4~11]

機型	風機	時間/地點	評估項目
NREL report TP-500-39154		2006	10% loss in average Affordable >5MW[5]
(Simulation) U.of Stuttgart	5 MW	2008/De	Yaw/pitch/speed rotor Total AEP loss = 30%[6]
Wind iris	Vestas V-82 1.65 MW	2009/India	6.3° raw error AEP loss = 1.8%[7]
ZephIR DTU	Vestas V-27 2.5 MW	2010/	證實機艙量測可行[8]
Wind iris GL Garrad Hassan	CART3	2013	Improve pitch control 14% lifetime fatigue load reduction 1% yaw misalignment, no improved[9]
ZephIR	NEG-MICON 2 MW	2013/Denmark	證實機艙量測可行，最佳距離(2.2D) 14°~16° raw error AEP improve = 5%[10]
Wind iris /NREL	CART2 600 kW	2014/USA	7.4° raw error AEP improve = 2.4%[11]
iSpin ROMOWIND		2014/Denmark	Wind farm AEP improve = 2.5%[4]

失，但是以當年動輒超過 30 萬美金報價之測風雷達系統進行修正並不划算。2008 年 U. of Stuttgart 同樣以 5 MW 級風力機進行模擬，發現指向誤差損失若是計入 pitch/rotor speed 等機械效應，總體

損失可達 30%，遠超過先前之估計。2009 年始機艙專用之光達系統如 Wind IRIS (AVENT Technology)出現，實測之改善案例評估年功率 (AEP, Annual Energy Production) 改善至少有



1.8%，較多者可達 5%，此與風機與當地環境風向之偏離程度有關，而當機艙遙測測風系統逐漸降價接近至年改善增益時，其應用可行性便會開始浮現。

### 3. 現有機艙式測風系統






現有機艙式測風系統基本架構都來自都卜勒同調雷側(doppler coherence laser)測風技術。利用發射雷射在移動大氣粒子上反射時獲得之都卜勒移頻，以頻譜分析技術獲得其頻率移動量，進而推估真實風速。由於實際所偵測值為風速在雷射徑向上之分量，因此這類系統都有多軸量測之特徵，以藉由不同指向分量回推真實風速風向之 3

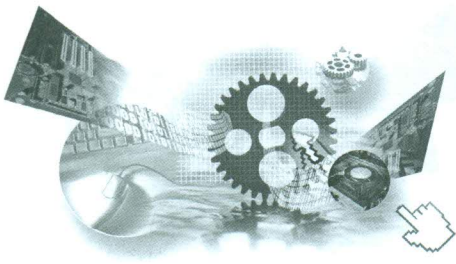
維向量，例如 Winde Cube。ZephIR 則是將雷射光束作錐形掃描，較近之系統藉由高功率光切換器之發展，掃描形式變成固定多軸切換，但是基本原理相同。

表 2 表示近兩年發布之機艙專用測風系統。主要仍以都卜勒系統為準，差異在於其雷射光束之安排方式，由於目標限縮為風機指向專用，三維風向並不需，只需要知道左右來風即可，因此部分系統如 Wind iris 與 Windar Photonics 簡化其架構使雷射僅作左右兩向掃描。

較特殊之設計是 ROMOWIND 之 iSpin，借成熟之超音波量測技術，將發射/接收組件安裝於風力機風罩上。因為超音波必須在發射對向直接接收，因此其安裝不能遠離風力機，約僅在風罩表面約 0.6~1 公尺的位置，其輸出更是完全與風

表 2 機艙專用測風系統[12]

機型	廠商	原理	量測方式	配置位置	量測位置	量測項目
	MITSUBISHI ELECTRIC Nacelle Lidar	Doppler LiDAR	固定式多軸	Nacelle	150~300 m	風速 風向 風切變
	LEOSPHERE Wind iris	Doppler LiDAR	固定式雙軸	Nacelle	250 m	風速 風向
	ROMOWIND iSpin	超音波	圓周對轉	Hub	60 cm	側向
	Windar Photonics	Doppler LiDAR	錐形掃描單軸	Nacelle	250 m	風速 風向
	University of Oldenburg Whirlwind 1	Doppler LiDAR	固定式多軸	Nacelle	150 m	風速 風向 風切變



向無關，僅告知側風來向。概念上此系統若與風力機同步，風力機只要轉向至無側風位置即可被認知為正確迎風，雖然不能完全避免表面流效益，據稱相較機艙式風速風向計有至少 2.4% 的改善效率。前述多種量測技術，已逐漸由遠距“測風”轉向為一種遠距“側風”量測架構，技術發展與應用上出現更多之可能性。

#### 4. 技術應用遠景

側風量測系統應用之範疇因為技術實際之應用而逐漸不再局限於單架風力機之應用，由於優良風場之稀少性，大規模風力機配置不可避免，然而風力機葉片/機艙之紊流並不只影響其本身之風向量測，其後端延伸之巨大尾流會影響後端/鄰近風力機之輸出。圖 4 為海上風力機尾流分布之模擬動畫(leosphere)，增加風力機間距可以降低

尾流效應，但是同時會降低風場風力機可配置數，增加風場之輸出損失。此時若逐機安裝側風量測系統，風力機或可在複雜尾流環境取得一指向最佳化修正，從而獲取其最大發電量。

相同之側風量測系統其實可以應用於其他對側風敏感之領域，航運安全如機場起降之側風偵測，工地安全如高樓吊裝，運動如帆船競技、射擊、球類等，技術應用領域十分寬廣。(圖 5)



圖 4 海上風力機尾流分布之模擬動畫

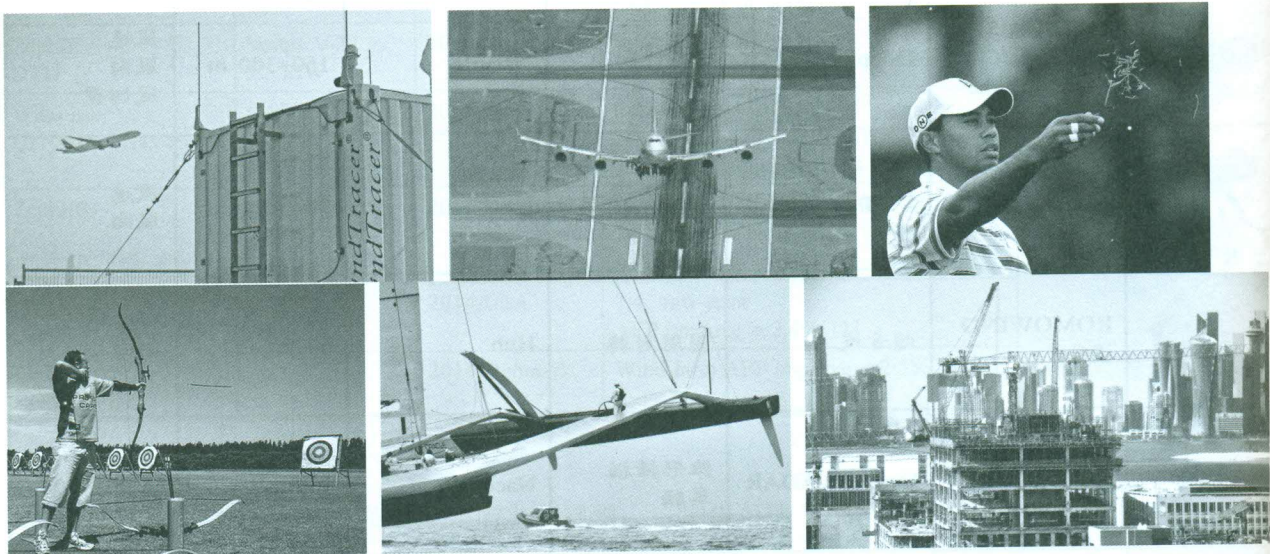
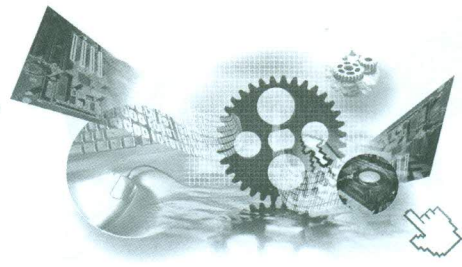


圖 5 側風量測技術的多種應用情境

資料來源：網路[13-18]





---

---

## 5. 結論與建議

---

---

1. 就風力機之運作而言，持續的提高操作效率與保持風力機健康是非常重要之工作，這會直接影響投資計畫達成之成功率。機艙遙測測風系統由於無須介入風力機控制介面，相對之應用可行性較高。
2. 針對風力機指向改善，現有都卜勒式雷射測風技術仍有改善空間，主要方向是系統簡化與增加可靠度，最終應以逐機取代現有機艙頂置風速風向計為目標。
3. 新形式/原理之側風偵測技術開發正逐漸形成，或許不限於已知的雷射與超音波技術，可確信的是其應用領域將不僅限於風能產業。

---

---

## 誌謝

---

---

感謝經濟部能源局計畫一千架海陸風力機設置推動及關鍵技術研發計畫(編號 104-D0106)的支持，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

---

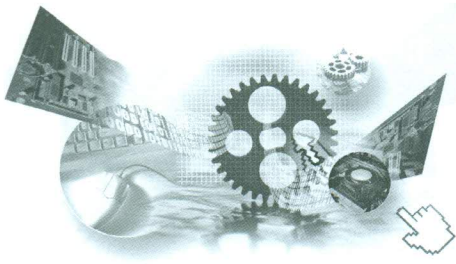
---

## 參考文獻

---

---

- [1] 我國再生能源發電概況  
[http://www.taipower.com.tw/content/new\\_info/new\\_info-b31.aspx?LinkID=8](http://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b31.aspx?LinkID=8)
- [2] F. Zahle and N. N. Sørensen, *Characterisation of the unsteady flow in the nacelle region of a modern wind turbine*, John Wiley & Sons, Ltd, Denmark, 2009
- [3] *Proposal for a set of load calculations investigating the influence of yaw error on turbine loading*, GH proposal 111789-UKBR-P-01 issue, B, 5<sup>th</sup> october 2012
- [4] DNV. GL, *Review of the Spinner anemometer from ROMO Wind iSpin*, 113605-DKAR-R-01, 2015.
- [5] M. Harris and M. Hand, *Wright LiDAR for Turbine Control*, NREL-TP-500-39154, 2006.
- [6] D. Schlipf, *Lidar Assisted Control of Wind Turbines*, John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [7] Pilot project Report, *Performance optimization campaign*, Continuum and Meteopole, Gujarat, 2009.
- [8] DTU Wind Energy, *Applied Measurement Technologies State-of-the-art case studies*, Denmark, Mar. 2014.
- [9] GL Garrad Hassan, *Fatigue load calculations for ROMO wind to assess sensitivity to changes in 10-min. mean yaw error*, 111789-UKBR-R-01-B, 2012.
- [10] C. Slinger, M. Leak, M. Pitter, and M. Harris, *Relative Power Curve Measurements Using Turbine Mounted, Continuous-Wave Lidar*, ZephIR Ltd., 2013.
- [11] P. Fleming, A. Scholbrock, and A. Wright, *Field test results of using a nacelle-mounted lidar for improving wind energy capture by reducing yaw misalignment*, Sweden, 2014
- [12] 工研院，陸海域風力發電技術發展及整體推動計



畫(2/2)期末報告，2011。

[13] LIDAR, HK: <http://www.hko.gov.hk/aviat/lidar/>

[14] LIDAR, HK: <http://www.hko.gov.hk/aviat/lidar/>

[15] Tiger Woods check the wind:Sam Greenwood/Getty  
Images

[16] Archery by Adam,  
<http://www.glogster.com/andam/archery/g-6lnhidfjd39sk4acdnr5ta0>

[17] America's Cup 32, monitoring the madness,  
[http://www.panbo.com/archives/2010/01/americas\\_cup\\_32\\_monitoring\\_the\\_madness.html](http://www.panbo.com/archives/2010/01/americas_cup_32_monitoring_the_madness.html)

[18] Msheireb-Downton-construction-and-West-Bay,  
<http://mdd.msheireb.com/>