



行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：其他)

赴德國及瑞士參訪離岸風機機艙動力鍊等重要零組件測試實驗室與離
岸風力機相關實驗室

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人 職稱姓名： 科長龔子文
科長陳誠章

出國地點：德國及瑞士

出國期間：中華民國106年5月17日至5月26日

報告日期：中華民國106年8月10日

行政院研考會/省(市)
研考會編號欄

目錄

壹、	前言與目的	3
貳、	活動行程簡述	6
參、	活動記要	7
肆、	結語與建議	25

圖目錄

圖 1	風力發電機結構	4
圖 2	風力發電機機艙組成	5
圖 3	機艙之測試架構	5
圖 4	機艙測試之三相模擬電網	6
圖 5	電力電網模擬器	7
圖 6	電力電網模擬器	8
圖 7	本團提出機艙組動力鏈及齒輪箱測試系統規劃	9
圖 8	Kai Pietiläinen 說明 ACS 6000 系統	10
圖 9	ABB 工廠參觀 ACS 系統	10
圖 10	ABB Ester 說明 ACS 系統	10
圖 11	ACS6000 使用組態討論	11
圖 12	背對背模組化齒輪箱測試系統	12
圖 13	背對背模組化齒輪箱測試系統組態	13
圖 14	機艙組測試系統(1)	14
圖 15	機艙組測試系統(2)	14
圖 16	機艙組測試基礎工程	15
圖 17	RENK 規劃機艙組測試系統架構	15
圖 18	RENK 規劃機艙組組件測試架構	16
圖 19	Fraunhofer DANALAB 外觀	17
圖 20	Fraunhofer DANALAB 測試系統配置	18
圖 21	Fraunhofer DANALAB 建造照片	18
圖 22	Fraunhofer DANALAB 測試樣品吊裝	19
圖 23	致贈 Ralf Schelenz 小禮物，感謝經驗的分享	21
圖 23	PMSG Direct Drive(測試系統驅動馬達)	22
圖 23	風力負載模擬系統(NTL 系統)	23
圖 23	CWD 測試系統照片	24

壹、前言與目的

台灣從94年至106年間，已裝置340部以上陸域風力發電機組，然而至今尚未建立自主的風力機產業鏈，在陸域風力機建置日趨飽和的情況下，開發海上風力發電變成是一種必然，為達成風力機國產化的目標，開發相關的測試技術與測試設備是很重要的一環，風力機主要是由葉片(Rotor)、機艙(Nacelle)及塔架(Tower)三大部份所組成，風力機之整機測試皆是將風力機立在海岸邊，以實際的風況加以測試，相當費時，至於關鍵零組件的測試則大部分先在試驗室完成測試，最後才會裝到風力機上做實際測試，而發展機艙(Nacelle)及葉片(Rotor)的實驗室測試標準則是國際各標準組織的重點工作。

本次出國考察即是要了解國際間建置風力機機艙(Nacelle)測試設備之能力，做為國內建置相關測試設備的參考，除此之外，機艙內的主要零組件，如齒輪組、發電機及變流器(Inverter)等3項也是此測試系統所要服務的對象，以下先針對一些基本架構加以說明：

- 一、電：電是能源的一種，可以應用的範圍廣泛，日常生活中食衣住行育樂，各個行業都離不開電的使用，因此開發電的來源，是現代社會最重要的一件大事。
- 二、電的傳統來源：電力都是靠能源的轉換而得來的，台灣大部份是依靠核能、燒煤、燒油、燒天然氣以及水力等能源轉換，建立電廠來供應電力，前述發電方法中，除水力發電以外，都會消耗地球有限的資源。
- 三、再生能源(綠電)的來源：為避免耗盡地球資源，各國現在正全力發展再生能源，以太陽能及風力為主，其他尚有地熱及生質能等。
- 四、風力發電的原理：風力發電主要是靠著風力發電機將風力轉換成電力，其主結構是由葉片(Rotor)、機艙(Nacelle)及塔架(Tower)三大

部份所組成：

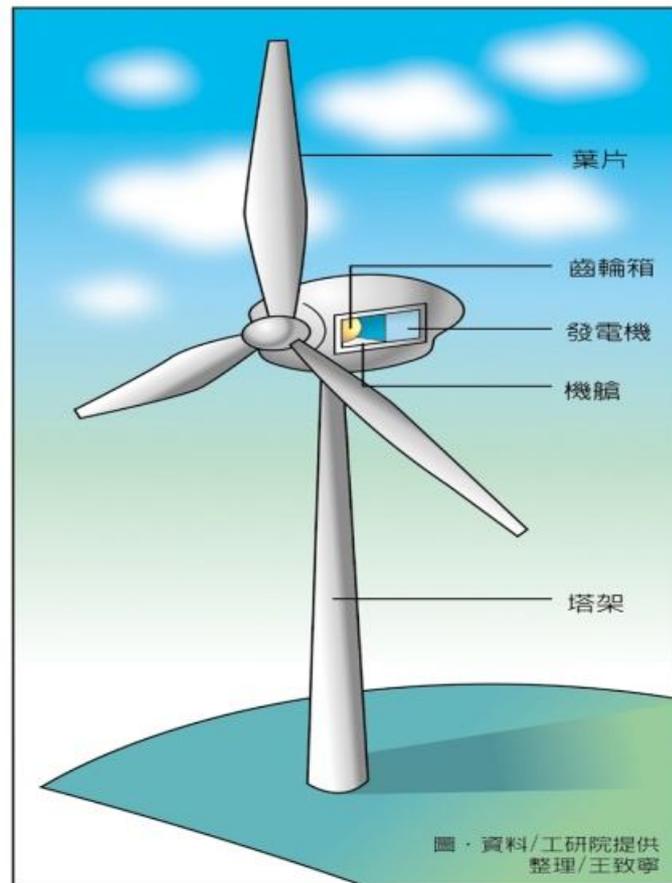


圖 1 風力發電機結構

五、風力發電機機艙組成：為了將風力轉動葉片之能量傳送到發電機，中間必須經由齒輪箱，以便在限定的轉速範圍內驅動發電機來發電，因此風力發電機機艙內最重要的組件為齒輪組、及發電機及控制系統 3 大部份，其中齒輪組及發電機是風機國產化的要件之一。

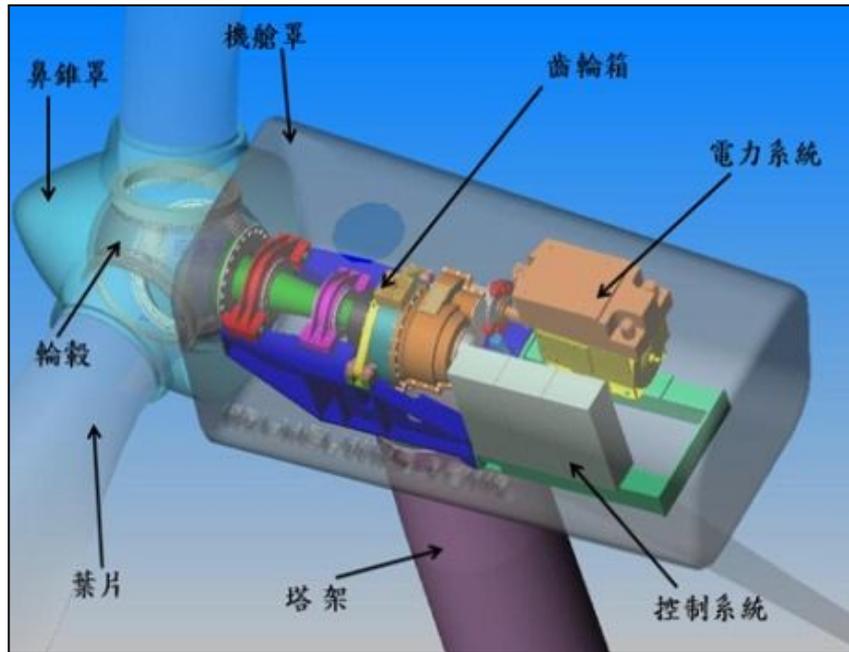


圖 2 風力發電機機艙組成

六、機艙之測試架構：欲單獨測試機艙，必須外加馬達以取代風力機的葉片，馬達所產生之動力，經由齒輪箱驅動發電機，發電機所產生的電力，須經一組三相電網來模擬電力的傳輸。

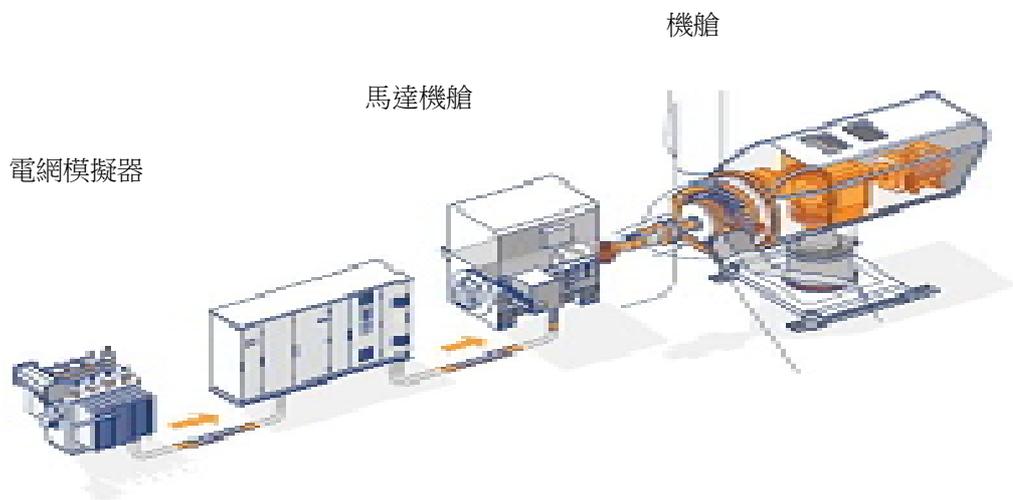


圖 3 機艙之測試架構

七、三相模擬電網：機艙測試過程中所產生的電力，因地點、電力穩定度等多種因素，無法將上述電力併接到實際電網使用，因此最初是用負載將其消耗掉，現在則將電力透過電網回收，供給驅動馬達來驅動發電機，這樣就可以省下很多測試的電力消耗，這些電路中會應用很多變流器(Inverter)，這也是國內欲發展的主要部件之一；此外，在實際電力配電的應用場合中，所發的電力隨其電力的大小，會併到不同等級的輸配線路上，這些都須透過變流器來達成。

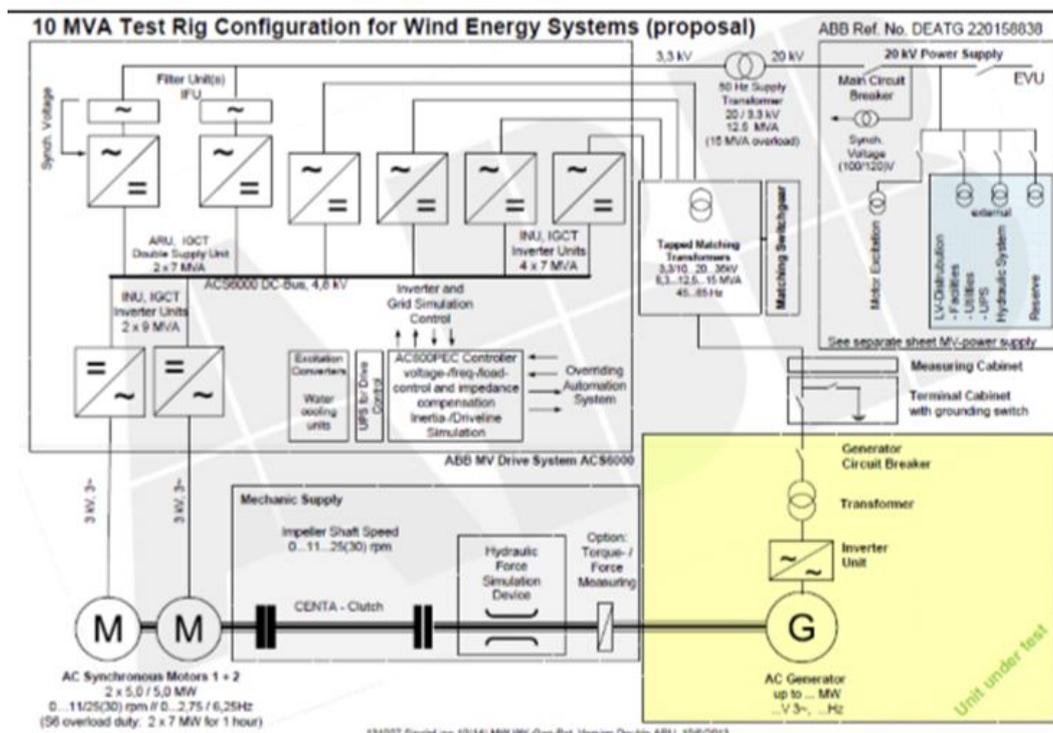


圖 4 機艙測試之三相模擬電網

貳、活動行程簡述

- ◆ 5月17-18日(星期三-四)：搭機前往瑞士蘇黎世。
- ◆ 5月19日(星期五)：參訪瑞士 ABB 公司
- ◆ 5月20-21日(星期六-日)：移動至德國漢諾威/整理資料
- ◆ 5月22日(星期一)：參訪德國 RENK 公司
- ◆ 5月23日(星期二)：參訪德國 Fraunhofer DYNALAB
- ◆ 5月24日(星期三)：參訪德國 CWD
- ◆ 5月25-26日(星期四-五)：法蘭克福返程台灣

參、活動記要

一、 參訪瑞士 ABB 公司

ABB 公司主要生產電力電網模擬器(Power Electronic Grid Simulator)，主要是由變流器單元(Inverter Unit)、整流器(Active Rectifier Unit)、電容器(Capacitor Bank Unit)、二極體整流單元(Diode Rectifier)及水冷卻系統(Water Cooling Unit)等5大部件所組成的：

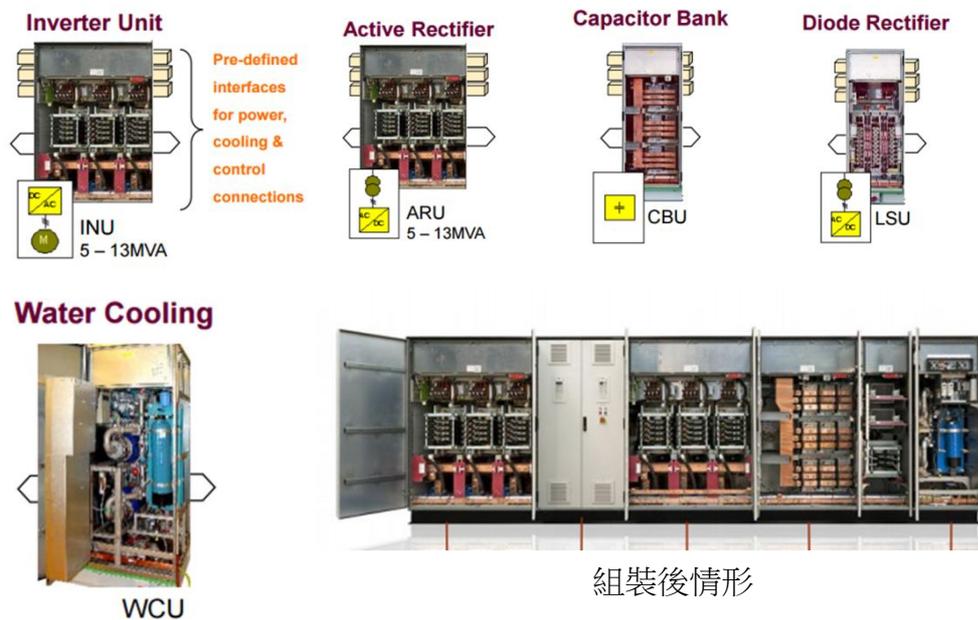


圖 5 電力電網模擬器

其產品安裝於下圖測試台之情形下，可以測試風力機機艙、齒輪箱、發電機、驅動馬達等，甚至可測試電網的不同特性。

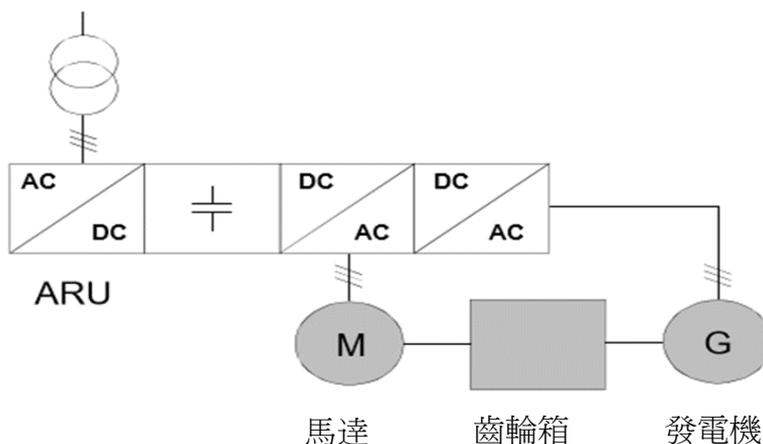


圖 6 電力電網模擬器

該公司目前的產品 ACS6000型產品已有2007年西班牙國家再生能源中心(CENER)、2013年德國 **Fraunhofer** 動態機艙測試試驗室 (**DYNALAB**)，及2015美國國家再生能源實驗室(NREL)的採用實績，同時這次拜訪的德國 RENK 公司亦將採用此一設備做為競標的產品。

針對此次我們欲採購的案子，此次行程中 ABB 公司特別找了西班牙系統整合商 Idom 公司合作，欲以 turn key 的模式對我們提出建議案，但其中所用的機械部分，則尚未決定採用何家的產品。

1. 參加人員：

BSMI 龔子文科長、BSMI 陳誠章科長、ETC 唐永奇特助、MIRDC 紀青迪副處長、TERTEC 藍培修經理、ABB 李建勳資深經理。
ABB：Kai Pietilainen(Global Segment Manager), Ester Guidi(Global Product Manager), Daniel Sager(Area Sales Manager)
IDOM：Armando Bilbao(Advance Design & Analysis)、Inaki Sainz Pardo (Advance Design & Analysis)

2. 討論內容

(1)、ABB公司進行公司簡介。

(2)、本團提出機艙組動力鏈及齒輪箱測試系統規劃構想進行架構說明，系統構想如下：

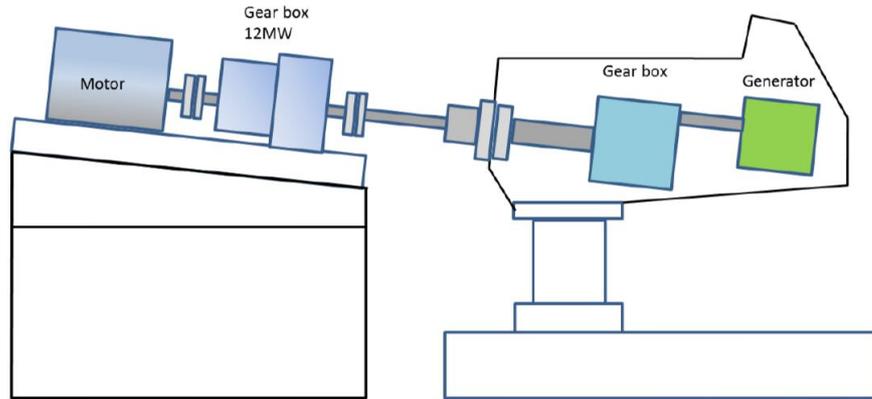


圖 7 本團提出機艙組動力鏈及齒輪箱測試系統規劃

(3)、系統構想討論摘要：

A. ABB Ester Guidi說明ACS 6000系統：

- (a) ACS6000以FPGA為處理核心，搭配MATLAB及SIMULINK應用模擬，系統架構在應用組合上具彈性。
- (b)以IGCT進行電力閘道控制，在中電壓應用達到低電力損耗。
- (c)可應用於GRID simulation。
- (d)具IDOM與RENK兩家公司電力需求系統搭配實績。
- (e)可因應機艙組動力鏈測試試驗室的需求：“機艙組”及“動力鏈零組件”同一個測試基礎台，進行彈性組合應用(如圖5右半面之圖示)。
- (f)系統訊號掃描取樣時間為“微秒(μs)”等級，因此系統的cycle time約為1ms(毫秒)，此系統反應時間足夠因應動力鏈的系統處理(響應時間)。
- (g)Multidrive功能，利用Commissioning Wizard DriveStartup可縮短試運轉時程。

B. ABB Kai Pietilainen說明ACS 6000系統實績及現場說明

3. 討論摘要：

- (1)機艙組功率範圍不宜太大，造成測試系統控制穩定度不佳。
- (2)不建議KW等級與MW等級共用測試系統。
- (3)1MW等級的轉速範圍在15~18rpm。
- (4)8MW等級的轉速估計在8rpm。

(5)建議測試功率區隔為：1MW以下至KW等級(如250KW)，以及2MW~8MW等級。



圖 8 Kai Pietilaeinen 說明 ACS 6000系統



圖 9 ABB 工廠參觀 ACS 系統



圖 10 ABB Ester 說明 ACS 系統

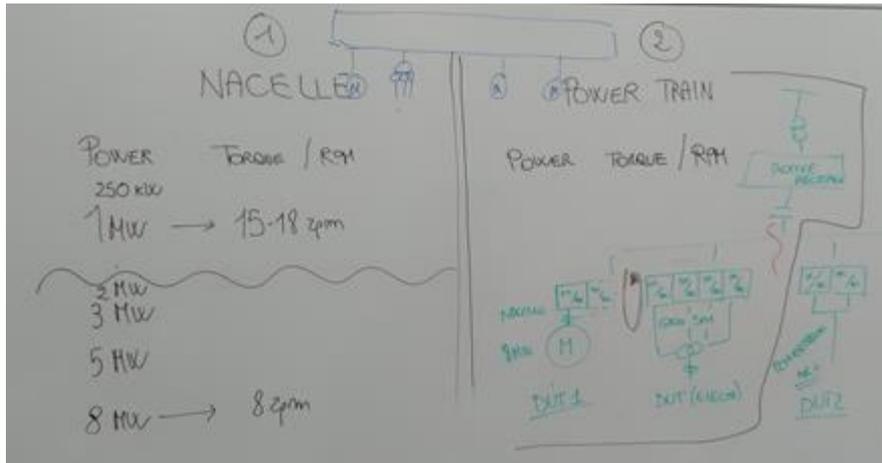


圖 11 ACS6000 使用組態討論

二、 參訪德國 RENK 公司

這次參觀的 RENK 公司座落於德國明斯特附近，工廠中主要生產的產品為齒輪組，生產線依不同大小羅列，相當整潔，對於技術的要求很嚴謹，在參觀的途中，有數位實習生，據其所言，共有 40 位實習生，實習 3 年，再淘汰一半，經過這樣的訓練才能將退休人員的技藝傳承下來，相當可敬。

此次參訪前，該公司特別到台灣來為金工中心做了 1 份簡報，針對簡報內容就不再詳述，此次的參訪所顯示的現場，就是要讓本團隊加深其產品的信心。

該公司的提案中，所有的機械系統皆由該公司提供，而所用的電網模擬系統則為 ABB 公司的 ACS6000，至於系統整合看起來會由 RENK 公司自己來做，預估從下單到完成所需的時間約要 36 個月左右，這次參訪 RENK 公司已看到其齒輪製造的生產線、成品以及這些成品的測試系統，但未能見到機艙測試系統的實績實在有點可惜。

1. 討論內容：離岸風力機齒輪箱及風能動力測試設備議題

2. 參加人員：

BSMI 龔子文科長、BSMI 陳誠章科長、ETC 唐永奇特助、MIRDC 紀青迪副處長、TERTEC 藍培修經理、ABB 李建勳資深經理。

RENK：

Mr. AndreasMund(Key Account Manager),

Dr. MohamedSfar(Managing Director),

Mr. AnouarJouini(Head of Business Department),

Dr. JingLi-Fries(Sales/Project Engineering)

3. 討論內容

(1) RENK 說明測試場測試能量：

* 背對背模組化齒輪箱測試系統

* 可單獨進行電氣式功率性能測試，也可以Back to Back。

* 利用驅動馬達彈性排列，達到模組化測試。



圖 12 背對背模組化齒輪箱測試系統

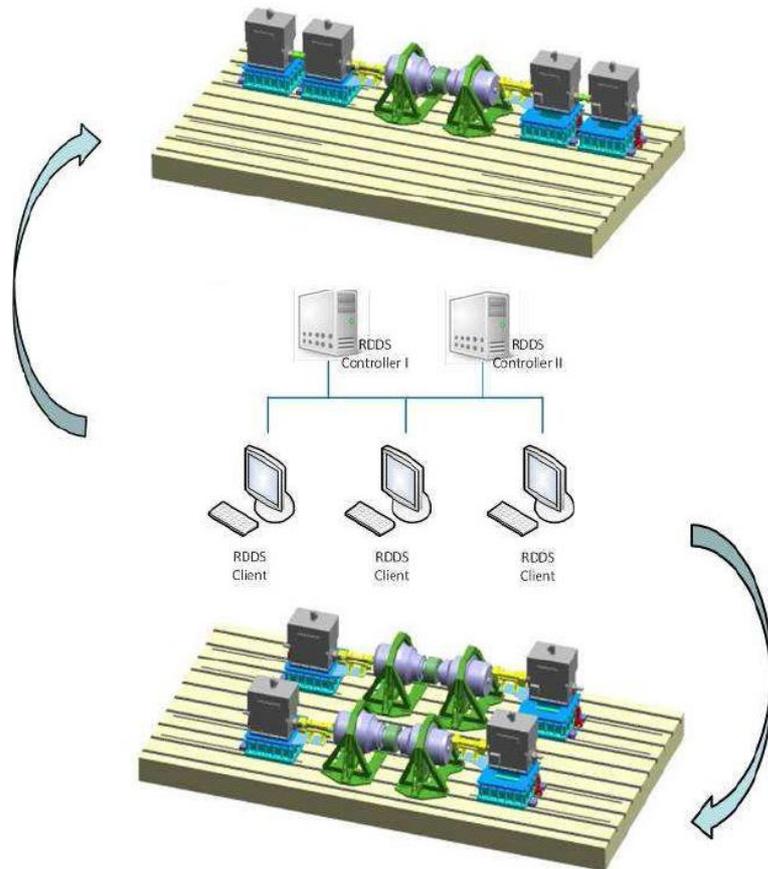


圖 13 背對背模組化齒輪箱測試系統組態

(2) 15 MW 機艙組測試系統簡介

*測試系統規格：

Nom. Power : 15.700kW

Nom. Torque : 15.000 kNm

Nom. Speed : 10min⁻¹

Max. BendingMoment : 50. MNm

Max. AxialForce : 4. MN

Max. RadialForce : 8. MN

*兩個平行並排馬達：

2 X 8.5MW

2 X 68kNm(1200rpm)

Gearbox ratio : 1:120

Nacelle輸入轉速 : 17rpm

*測試系統規格：

Nom. Power : 15.700kW

Nom. Torque : 15.000 kNm

Nom. Speed : 10min-1
Max. BendingMoment : 50. MNm
Max. AxialForce : 4. MN
Max. RadialForce : 8. MN

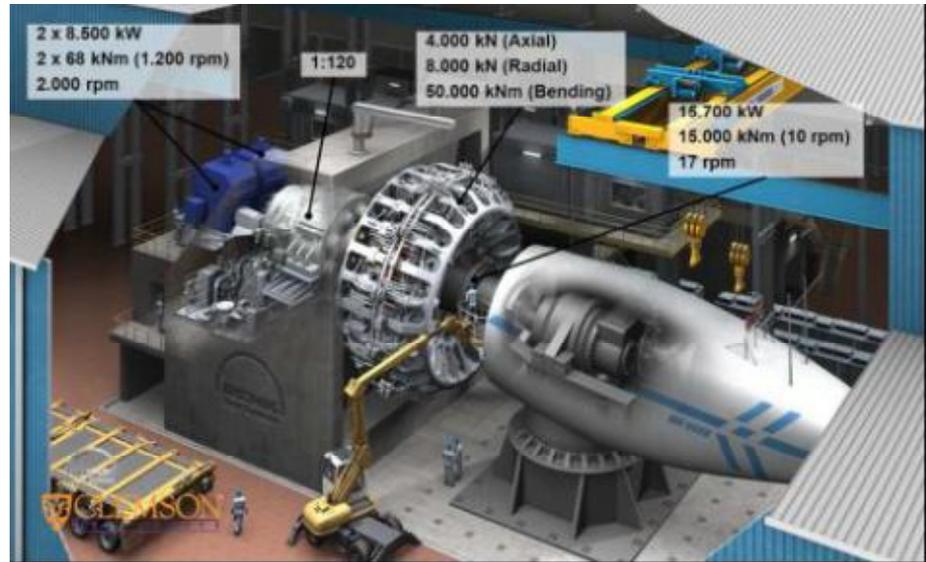


圖 14 機艙組測試系統(1)

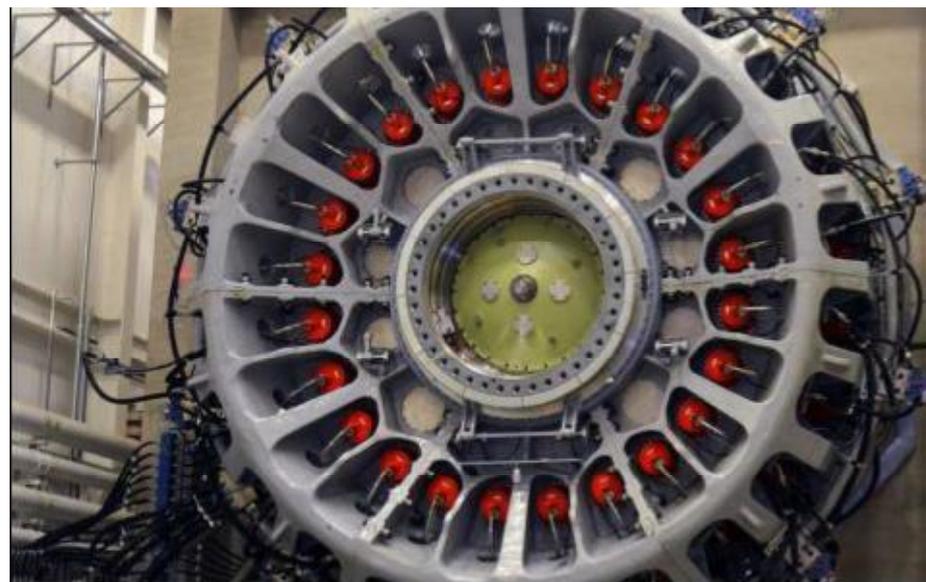


圖 15 機艙組測試系統(2)

- * 基礎工程：
 - 基礎區塊
 - 基礎加強區塊
 - 阻尼系統
 - 電氣纜線
 - 管路系統
 - 通道及梯架
 - 安全屏障



圖 16 機艙組測試基礎工程

(3)RENK針對本計畫初步測試系統規劃：

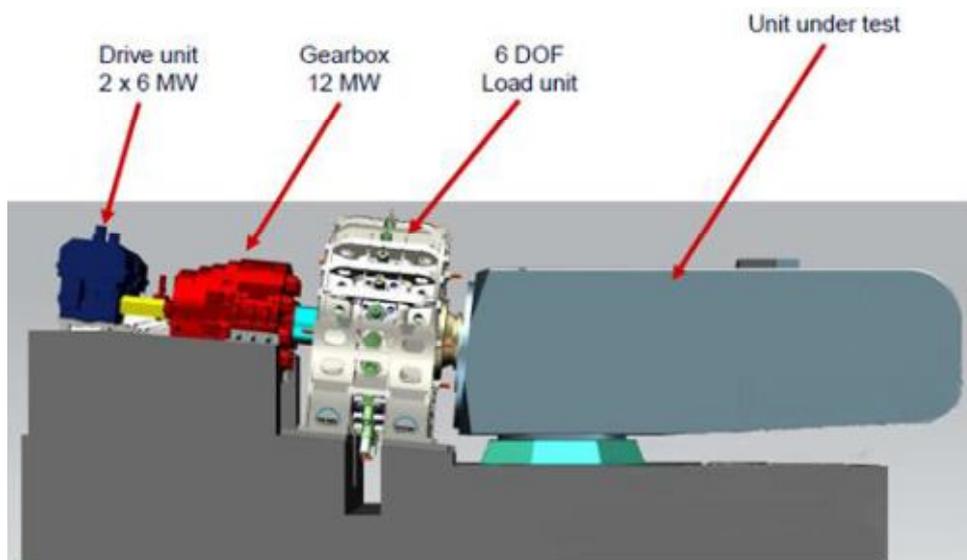


圖 17 RENK 規劃機艙組測試系統架構

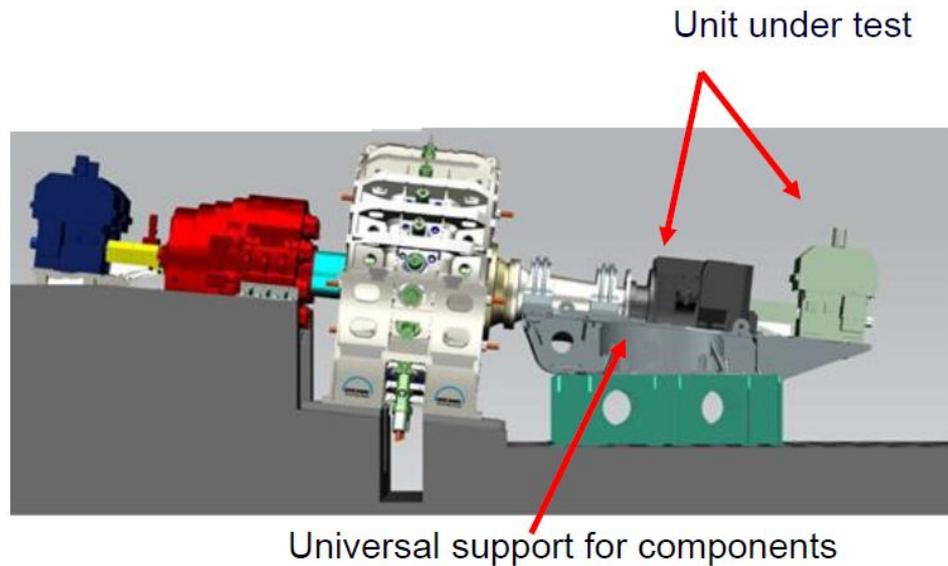


圖 18 RENK 規劃機艙組組件測試架構

4. 討論摘要：

- *主軸承測試系統中，bending才是關鍵項目。
- *Augsburg測試場1250m²，分成4個section。
- *風力負載模擬測試系統的加載盤，6m直徑，可設計為40~60角度調整介面。
- *RENK測試規畫中預留至16MW。
- *RENK說明西門子發展中為10MW，大陸發展中為10或12MW。
- *RENK宣稱風力負載模擬系統係收集一年風場資訊，以軟體轉換為伺服油壓缸之推力及彎矩。

三、參訪 Fraunhofer 的 DANALAB

DANALAB 的全名是 Dynamic Nacelle Laboratory，也就是專門在測試機艙的試驗室，由於該系統是由西班牙 Idom 公司所得的系統標，採用瑞士 ABB 公司的 ACS6000 的電網模擬系統，因此本次能來此參訪完全是由這個團隊安排的，且這兩家公司皆有派專家來參與解說，從這裡可以看出其企圖心，而 DANALAB 也派出精英解說，並詳細參觀其廠區，較可惜的是剛好在執行待測的機器，所以只看到一半的機艙測試架構，其控制室一般需要3個人在操作。

DANALAB 是一個以服務產業為主的試驗室，從其建造開始到完成有相當完整的資料可供參考，簡述如下：

Design – two ESM (Electric Synchronous Motor) on one Shaft - Nominal Power of 10 MW @ 11rpm:

- ◆ Civil and building construction(土建時間) 01/14 – 04/15
- ◆ Test bench construction (測試台建構時間) 12/14 - 06/15
- ◆ Commissioning (交付設備時間) 05/15 – 09/15
- ◆ Transfer of ownership (轉移給使用者時間)：10/15
- ◆ **JPT(Join Pressure Test) (壓力測試) Testing:**
- ◆ Installation of electrical equipment (電氣設備安裝) 07/15
- ◆ Installation of DUT(待測件安裝) 08/15
- ◆ Opening ceremony(開幕) 10/15
- ◆ Invest(投資): 32 mio €

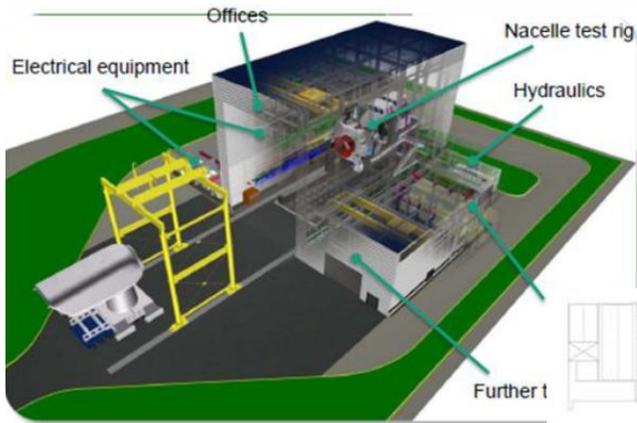
這份資料是我們未來建置時，非常值得參考的資料，此外這個案子是公開招標(評選)的，所以西班牙 Idom 能得標，想當然也是具有相當的水準才能脫穎而出的。



(1)30m 高的試驗室

(2)需要極大的冷卻系統

圖 19 Fraunhofer DANALAB 外觀



IWES Nacelle測試場佈置

IWES資料圖片

IWES Nacelle測試場園區



圖 20 Fraunhofer DANALAB 測試系統配置



IWES資料圖片

IWES Nacelle測試場建置

IWES Nacelle測試場建置工地



IWES資料圖片

圖 21 Fraunhofer DANALAB 建造照片



IWES Nacelle測試場
待測物移載

IWES Nacelle測試場
設備進場吊裝

IWES資料圖片



圖 22 Fraunhofer DANALAB 測試樣品吊裝

1. 參加人員：

BSMI陳誠章科長、BSMI龔子文科長、ETC唐永奇特助、MIRDC紀青迪副處長、TERTEC藍培修經理、ABB李建勳資深經理。

IWES：

TorbenJersch(Group Manager)

Dr.ChristianMehler(Research Associate)

ABB：

Kai Pietilaeinen(Global Segment Manager)

IDOM：

InakiSainzPardo(Advance Design & Analysis)

2. 討論內容

(1) 初估測試時間：研發組件3~5個月，研發Nacelle 4~6個月

* 比較少測試1MW等級，正常狀況下測試8~10MW等級，2~3MW 等級亦可測試。

* Torque: S1 8600 kNm - S6 13000 kNm

Motor speed: ± 25 rpm

Inverters: 2 x 13 MVA
2 x 5MW continuous power
* Gridsimulator Based on 4x ABB ACS6000
* Auxiliaries :
1.5 MW installed hydraulic power
3.5 MW installed cooling power
9.0 MVA grid connection @ 20 kV
Wind Load Simulation 6-DOF :
Bending moments up to 20MNm
Dynamic 0-2Hz
1.2 MW Hydraulic power
Bending: ± 20000 kNm
Torque: 8600 kNm
Motor speed: ± 25 rpm

3. 討論摘要:

- * 驅動系統額定功率10MW，峰值驅動功率15MW(15min)。
- * Artificial Grid 44MVA。
- * 30人營運。420tons天車，LAB高度30m。
- * 主要建置工作18個月，規劃籌備不計。
- * 執行功能：
Electrical certification of WT
Develop test/certification
Design verification test(Model Validation)
End of line test(product conformity)
Grid load simulation: LVRT & HVRT , Low THD level
($< 2\%$)

四、 德國 Aachen 大學 CWD(Center for Wind Power Drives)：

CWD 是 Aachen 大學所成立的一個單位，比較屬研究性質，因此整個系統之設計及整合是由該大學教授主導的，第一階段先行設計1MW 的機艙測試系統，有此經驗後，第二階段則直接設計4MW 的機艙，此一4MW 的機艙測試系統，其電力電網模擬器是由美國 GE 公司所提供，另外美國 MTS system 公司(台灣代理為國科企業)則負責機構及土建等工作。

本次行程中，國科企業特別安排成功大學李驊登教授到現場協助團隊之拜訪，另外 Aachen 大學也特別連絡我國駐德國代表處科技組組長林東毅博士與會，這2位博士皆是在 Aachen 大學取得博士學位的，有他們在，對我們的參訪行程幫忙很大。

在 Aachen 大學，除了詳細討論以外，還可以到實地現場參觀，只可惜都無法照相，僅能事後取得其提供之照片，該教授認為未來測試設備將會以5度的傾斜角為主流。



圖 23 致贈 Ralf Schelenz 小禮物，感謝經驗的分享

1. 參加人員：

BSMI 陳誠章科長、BSMI 龔子文科長、ETC 唐永奇特助、MIRDC 紀青迪副處長、TERTEC 藍培修經理、ABB 李建勳資深經理。

CWD：

Dr. Ralf Schelenz(Executivr Director)

MTS :
Sven Sagner(Application Engineer Structures)
成功大學 ;
李驊登特聘教授
國科公司 :
彭士學經理

2. 討論內容

CWD 測試系統 :

PMSG Direct Drive(測試系統驅動馬達) :

直驅型、水冷式、內轉子型式。

Nom. Power $P_n = 4000 \text{ kW}$

Nom. Speed $N_n = 14 \text{ rpm}$

Max. Speed $N_{max} = 30 \text{ rpm}$

Const. Torque $N_{Tn} = 4-14 \text{ rpm}$

Nom. Torque $T_n = 2,7 \text{ MNm}$

Max. Torque $T_{max} = 3,4 \text{ MNm}$



圖 24 PMSG Direct Drive(測試系統驅動馬達)

Wind Load Simulator :

5 DOF load application system

Force capacity: ~ 3 MN

Bending moment capacity: ~ 7 MNm

Backlash-free cylinders preloaded in pairs

Static support for load compensation

Full sensing for torque, bending and forces



圖 25 風力負載模擬系統(NTL 系統)

3. 討論摘要：

- (1) 2015 遷入新廠址。
- (2) 除了 Nacelle 動力鏈測試，不同測試站也測試零組件。
- (3) 以全尺寸實驗室場址測試，非以 KW 等級模擬。
- (4) 零組件方面，葉片重量可達 48tons，Rotor 組重量可達 250tons，整個風力機重量達 450tons。
- (5) 風力附載模擬系統，以軟體模擬風力及風向對機艙組施加推力以及彎矩，以 12 隻伺服油壓缸配成 6 組(兩隻一組)，施加推力以及彎矩於負載盤上，形成軸向施力以及彎矩。
- (6) 由於測試系統加上待測物的重量近千噸，因此測試系統基礎台盤必須為一體型式，也就說，馬達系統、風力負載模擬系統、待測物床台，必須同在一個基礎台盤上，否則系統剛性不足。
- (7) 由於待測標的物包含 Nacelle 以及動力鏈零組件，造成系統龐大，與目前單純測 Nacelle 或是零組件的測試系統不同且複雜，建議找有經驗系統商擔任系統整合顧問。



圖 26 CWD 測試系統照片

肆、結語與建議

一、結論：

1. 首家參訪之系統商 ABB 屬電氣系統領域，具備與 IDOM 及 RENK 合作實績，其 ACS6000 方案具備動力鏈測試的彈性電氣系統組合；而 MTS 公司係與 GE 公司搭配。
2. IDOM 公司專業於建築、能源、環境…等領域，在能源領域中，風力發電具備多項實績，最受矚目的案例係幫 Fraunhofer DANALAB 建置的機艙組測試場，於 2015 年發表。
3. Fraunhofer DANALAB 測試場域位於布萊梅港附近，港口附近地區群聚多處風機組裝場地，此現象與組立場地以位於港口區為佳的觀念符合。
4. Fraunhofer DANALAB 測試場地與台中港天候條件不同，其 30m 高的廠房需再評估；營運方面據該試驗室人員表示，目前設備多為提供風機研發所需的測試，而且處於滿載狀態。
5. RENK 公司在風力發電機零組件測試領域，具備極深實力，Nacelle 的齒輪箱、主軸承測試為其強項，齒輪大廠 ZF 即為其客戶，在機艙組方面，具備 15MW 的建置實績 (ClemsonUniversity)。
6. MTS 於 CWD 的設備建置以風力負載模擬為主，由於 CWD 是 Aachen 大學的研究中心之一，具備相當強的研發及系統規劃能力，測試場中的馬達系統即為 CWD 整合 GE 的驅控系統而成，CWD 由於學校屬性關係，略偏學術研究，也許因此在本次參訪中，是唯一能較近距離深入觀察測試系統的場址。
7. 本次參訪的對象，有系統設計商 Idom、Aachen 大學及 RENK 公司、生產電力電網模擬器 ABB 公司，及其標竿實績試驗室，如 DYNALAB 及 Aachen 試驗室，這些組合應可顯現其技術能力不是大問題，讓我們有信心可以找到建置國內試驗室的來源。

二、建議：為配合國產化的需求，建置此一試驗室的時間非常急迫，而其價格都會隨著功能而變動，這都是成敗的重要因素，但目前我們對本身的規格需求仍不甚清楚，也是在拜訪這些公司時，他們最大的困惑，無法具體寫出建議案(proposal)。因此建議團隊必須在最短時間內收集到國內有意建置風力機機艙製造商之規格範圍，再加上零組件商，如齒輪箱、發電機及變流器商之規格範圍，以便向國際各大系統商提出邀標規格，如此團隊才能儘快訂出採購規格，這是目前最重要的一步。