



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)

赴美國參訪離岸風場、拜會廠商與檢測驗證實驗室
出國報告

服務機關：經濟部標準檢驗局

出國人職稱姓名：組長黃志文、簡任技正龔子文

出國地點：美國

出國期間：中華民國 106 年 8 月 14 日至 8 月 23 日

報告日期：中華民國 106 年 11 月 23 日

行政院研考會/省 (市)研考會 編號欄

壹、	背景及目的說明.....	4
貳、	活動行程簡述.....	5
參、	出席團員名單.....	5
肆、	參訪內容記要.....	6
一、	風力技術測試中心 (Wind Technology Testing Center, WTTC).....	6
二、	MTS(Mechanical Testing & Simulation)	13
三、	美國國家再生能源實驗室(NREL)	22
四、	美國 UL 試驗室(Underwriter Laboratories, UL).....	27
伍、	心得及建議.....	30
陸、	附件.....	31

圖目錄

圖 1、美國波士頓風力技術測試中心.....	6
圖 2、實驗室空照圖與位置圖.....	7
圖 3、參訪成員與 George Blagdon(左 4)於 WTTC 實驗室外合照	8
圖 4、葉片運送過程.....	9
圖 5、風力機葉片尺寸.....	9
圖 6、葉片裝置底座.....	10
圖 7、靜態與動態測試設備.....	10
圖 8、靜態測試與控制台.....	10
圖 9、葉片破壞測試.....	11
圖 10、WTTC 會議室討論情形.....	12
圖 11、全球總部，伊甸草原，明尼蘇達州，40 萬平方英尺.....	13
圖 12、風力發電機相關組件測試解決方案示意圖.....	14
圖 13、葉片結構強度測試.....	15
圖 14、葉片疲勞強度測試.....	15
圖 15、風機機艙組動力鏈測試示意圖.....	16
圖 16、MTS 非扭矩加載 (NTL) 系統外觀圖.....	16
圖 17、MTS 混合模擬試驗系統示意圖.....	17
圖 18、地震台.....	18
圖 19、Flat-Trac 輪胎動態測試系統.....	19
圖 20、全車擬真自行車動態模擬系統.....	20
圖 21、Bionix 脊椎磨耗模擬試驗機.....	21
圖 22、參訪成員與 MTS 人員於會議室合影.....	21
圖 23、國家風能技術中心.....	22
圖 24、參訪成員與 NREL 實驗室人員合照.....	23
圖 25、國家風能技術中心配置圖.....	24
圖 26、7-MVA 可控制電網界面.....	24
圖 27、國家風能技術中心系統配置圖.....	26
圖 28、測試太陽能板及儲能系統示意圖.....	26
圖 29、參訪成員與 Mike Kuo(左二)合照.....	28
圖 30、國家地震中心臺南實驗室 8m 振動台.....	31

壹、背景及目的說明

面對能源需求增加與暖化課題，世界各國於 2015 年達成巴黎協議訂定減碳計畫，並已於 2016 年 11 月 4 日正式生效，成為具有法律約束力的全球性協議。我國政府則為因應全球減碳趨勢及推動在 2025 年達成非核家園及節能減碳相關政策，目標 2050 年將溫室氣體排放量降為 2005 年排放量的 50%，以及 2025 年再生能源(綠能)發電量占總發電量的比例達 20%，因此，以太陽光電及離岸風電作為發展再生能源的主力，提出「太陽光電 2 年推動計畫」及「風力發電 4 年推動計畫」，發展目標設定為民國 114 年太陽光電裝置容量達 20GW，離岸風電達 3GW。

此外，配合政府相關綠能政策，國內再生能源發展正處於起步階段，然開發及建置離岸風場需大量資金投入，對於風場開發商、我國金融體系及保險業者仍有諸多疑慮。鑒於我國離岸風力發電剛起步，相關風場開發業者以及國內之金融體系並無相關經驗，技術及財務風險皆高，為降低業者建置離岸風場的風險，計畫參考國外成功經營離岸風場之經驗，期望透過專業第三方的驗證，健全整體風能產業鏈，進而達到降低離岸風場開發之風險以提升各界投資信心。

與離岸風場工程直接性關連之第三方驗證為專案驗證(Project Certification)，其中離岸風場專案驗證，分別針對設計準則評估、設計評估、製造檢驗、安裝檢驗及試運轉檢驗，都是為了確保離岸風場得以長期在海上正常營運，將離岸風場建置風險降至最低，依據 IEC 61400-22 離岸風場專案驗證標準規定，必須執行風力機機艙組之製造監督與測試相關驗證工作，所以風力機機艙組動力試驗室建置可完整我國離岸風場專案驗證能量。

貳、活動行程簡述

日期	拜訪單位	地點	拜訪目的
106年8月15日	風力技術測試中心 (Wind Technology Testing Center, WTTC)	麻薩諸塞州 波士頓	參觀美國風力技術測試， 瞭解美國現況
106年8月17日	MTS(Mechanical Testing & Simulation)	明尼蘇達州 伊甸草原	參訪風力發電相關零組件 設備及其測試。
106年8月18日	美國國家再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)	科羅拉多州 丹佛	風機驗證實驗室運作
106年8月21日	美國 UL 試驗室 (Underwriter Laboratories, UL)	加州 費利蒙	參訪電磁相容驗證實驗室

參、出席團員名單

姓名	單位	職稱
黃志文	經濟部標準檢驗局	組長
龔子文	經濟部標準檢驗局	簡任技正
唐永奇	財團法人台灣電子檢驗中心	執行長特助
藍培修	財團法人台灣大電力研究試驗中心	經理
劉衾瑋	財團法人金屬工業研究發展中心	工程師

肆、參訪內容記要

此次赴美行程，主要拜會風力技術測試中心(Wind Technology Testing Center, WTTC)、MTS(Mechanical Testing & Simulation)、美國國家再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)及美國 UL 試驗室(Underwriter Laboratories, UL)，藉由參訪美國試驗室及設備商，以瞭解美國或國際間風力機整機測試與重要零組件，如葉片、動力機艙(Nacelle)、變流器的檢測情形，作為國內建置相關測試設備的參考。

一、風力技術測試中心(Wind Technology Testing Center, WTTC)



圖 1、美國波士頓風力技術測試中心

(一)、風力技術測試中心簡介

麻薩諸塞州清潔能源中心(Massachusetts Clean Energy Center, MassCEC)是一家公共資助機構，致力於加快清潔能源技術的開發與研究，長期以來為麻薩諸塞州人民創造高質量的就業機會和持續的經濟增長。自從 2009 年開始營運以來，MassCEC 已經幫助清潔能源公司成長，支持市政清潔能源項目，並投資於住宅和商業可再生能源裝置，為創新的清潔技術公司和提供服務商機並創造了一個強大的市場。MassCEC 的目標是增加州內採用可再生能源比率，同時降低可再生能源的成本，改善環境影響效益。為此，MassCEC 與居民，企業和政府當局緊密合作，制定為

能源需求提供可再生能源解決方案的計畫。MassCEC 的計畫還將社區與最可行的清潔能源和水技術聯繫起來，減少中低收入居民的能源負擔，希望促進聯邦動態清潔能源行業的成功。麻薩諸塞州獨特的研究開發，結合大學創新和創業公司，為世界一流的清潔能源公司和創新者茁壯成長創造了理想的環境。MassCEC 致力於提升聯邦作為全球清潔能源領導者的地位。隨著經濟和工業增長，MassCEC 評估新興的清潔能源技術，並確定在麻薩諸塞州更廣泛採用的途徑。MassCEC 還提供勞動力培訓計畫，包括成功的全州實習計畫，這些計畫旨在滿足麻薩諸塞州清潔能源雇主的需要，同時提高員工的工作能力，工作準備以及為居民提供的職業和教育機會。2016 年麻薩諸塞州清潔能源行業報告顯示，2015 年至 2016 年間，清潔能源行業的增長率達到 6%。自 2010 年以來，清潔能源行業的就業增長了 75%，清潔能源行業目前在聯邦擁有員工 105,212 人。清潔能源佔麻薩諸塞州整體經濟的 2.5%，佔國家總體勞動力的 2.9%。

MassCEC 由 1997 年麻薩諸塞州立法機構創建的可再生能源信託基金資助，作為電力市場放鬆管制的一部分。該信託由麻薩諸塞州投資者擁有的電力公司的電費率支付的系統福利費以及選擇參加該計畫的市政電力部門提供資金。此次參訪為麻薩諸塞州清潔能源中心（MassCEC）的風技術測試中心（WTTC），其位於波士頓的查爾斯頓(Charlestown)港口旁，為北美最大的室內風葉測試中心，可對長達 90 米的風機葉片或其他用途之葉片提供全套驗證。

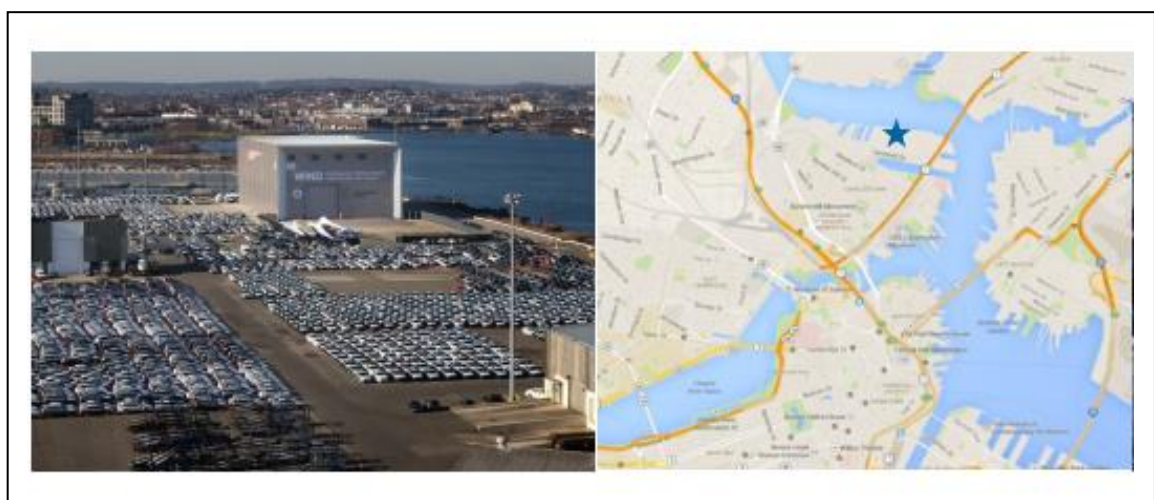


圖 2、實驗室空照圖與位置圖

(二)、 拜訪人員

George Blagdon--- Senior Engineer



圖 3、參訪成員與 George Blagdon(左 4)於 WTTC 實驗室外合照

(三)、 參訪風力發電機葉片實驗室

風力發電機葉片測試是維持高可靠性和評估翼型和材料最新技術發展的關鍵因素。充分的測試將使風力發電更具競爭力。此外，作為風力發電驗證的一部分，需要進行葉片測試，以滿足國際設計標準，包括 IEC、GL、DNV，目前該實驗室也取得 A2LA 的 ISO 17025 實驗室認驗。產品符合國際標準可使得開發商減輕部署大規模生產風力發電機的技術和財務風險。WTTC 還提供最新的風力發電機葉片測試和原型開發方法，以幫助風電行業部署下一代陸域和海上風力發電機技術。其相關的能力如下：

- 根據 IEC61400-23 標準的全套靜態和疲勞試驗
- 三台試驗台和 100 噸架空橋式起重機的能力
- 刀片材料測試
- 雙軸靜態或疲勞試驗
- 防雷擊測試（客製設計需求）
- 原型開發和刀片修復功能
- 位於深水港口以接受所有葉片尺寸

WTTC 的主要技術團隊成員包括來自國家再生能源實驗室 (National Renewable Energy Laboratory, NREL) 的葉片工程師，他們之前在科羅拉多州的測試設施與實驗室中進行了葉片測試。NREL 的經驗及人員在協助和監督 WTTC 的運作方面發揮關鍵作用，WTTC 主要的技術來自於 NREL 在過去 15 年中測試了大量葉片，其尺寸大小從 9 到 50 米。此外，WTTC/NREL 工程師在風力發電機葉片的設計及測試技術與經驗上，領先了風力發電機設計和製造公司。



圖 4、葉片運送過程

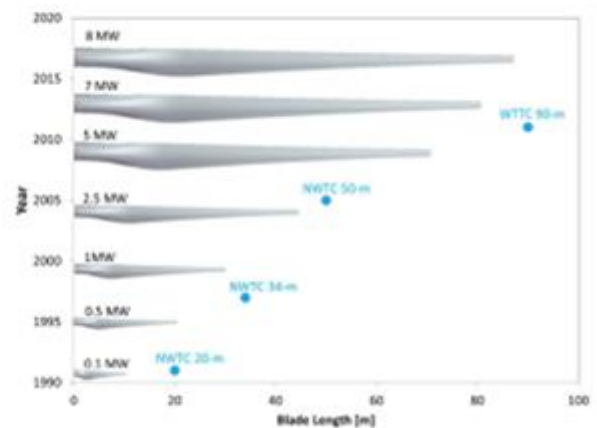


圖 5、風力機葉片尺寸



圖 6、葉片裝置底座



Photo by MA Clean Energy Center's WTTTC



Photo by Nathan Post, NREL

圖 7、靜態與動態測試設備



Photo by Nathan Post, NREL 34756



Photo by Scott Hughes, NREL

圖 8、靜態測試與控制台

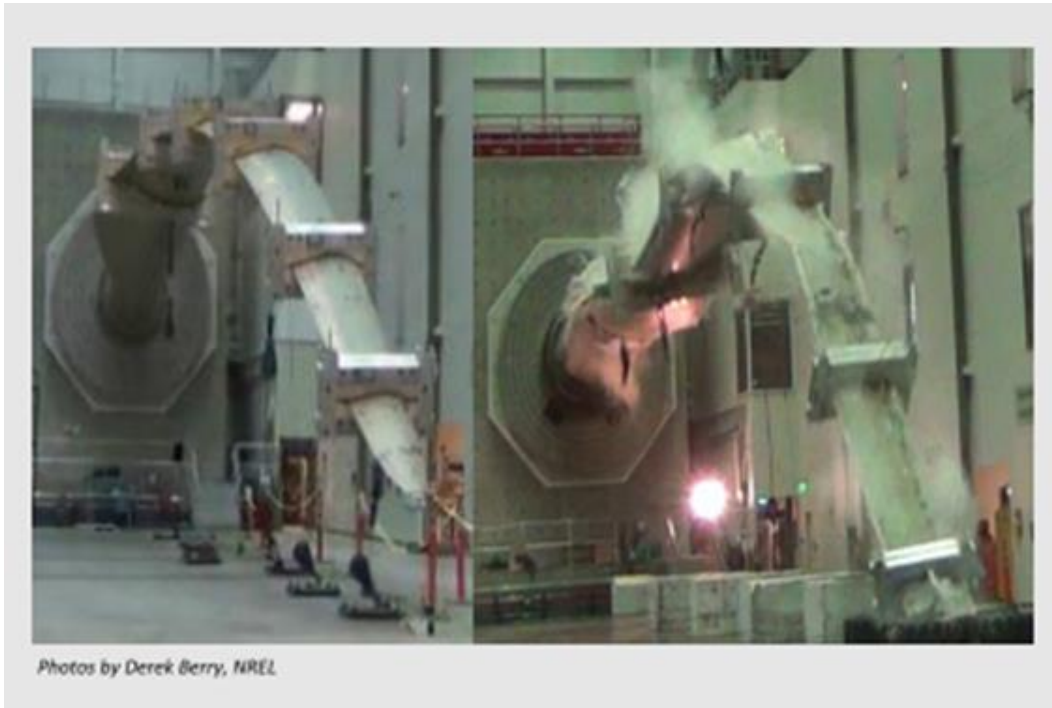


圖 9、葉片破壞測試

WTTC 於會議中有特別說明，其僅替客戶進行測試與驗證之工作，並且把測試結果與客戶進行討論，並不針對測試結果進行任何評論，並且只提供測試結果給委任單位或是發證單位。其資金來源為政府，主要可分為國家(50%)和州政府(50%)，目前營運的方式是由政府編列預算維持其基本營運的需求後，由測試葉片所獲得的利益部份再依比例回饋給政府單位，惟目前實驗室在測試的收入下，已經可以收支平衡。人員的編制為六個全職人員來負責實驗室的運作。WTTC 建議在規劃實驗室前應從業界開始，最初實驗室的預定地有兩個地點，分別為現在的所在地波士頓及德州，當時德州有美國的大風場，但波士頓有海港的優勢，德州雖有大風場，但在運送時卻沒有海港的方便，所以在建置實驗室之前便先與相關業者進行充分之溝通，了解業者的需求與目的，最後才決定 WTTC 建置於波士頓。因為已先與相關業者充分溝通，了解其需求，方可建置真正符合業界需求的測試實驗室。同時也提及美國風機相關廠商數量並不多的情況下，也是其初期營運上的一大考驗。

實驗室在動態疲勞測試設備建置之初，為了更符合實際的要求，NREL 將過去的經驗再與 WTTC 技術討論，最後找儀器設備商 MTS，運用 MTS 的油壓系統，可以將龐然大物且快速的動作，來實現模擬風力機葉片受力的動態疲勞測試。

WTTC 從 2011 年開幕以來，於 2014 年測試第 1 組葉片，到今(2017)年共累計 29 組葉片，要完整測試 1 組葉片需要 6 個月，費用約 50 萬~100 萬美金左右，若需要加測不同負載時，則將要花更長的時間，所以 WTTC 之測試除了依照 IEC 61400-23 之驗證外，還會依照業者的要求來執行，依照該實驗室的經驗，葉片使用複合材料組成，在動態測試後大概就可了解該葉片有無問題。



圖 10、WTTC 會議室討論情形

二、 MTS(Mechanical Testing & Simulation)



圖 11、全球總部，伊甸草原，明尼蘇達州，40 萬平方英尺

(一)、 MTS 簡介

MTS 是全球領先的機械測試系統和高性能工業位置傳感器的公司，MTS 有兩個主要的業務部門，測試和傳感器。其分別營收佔總收入的比例約 80%和 20%。

- 1967 年成立於明尼蘇達州。
- 自 1969 年以來在納斯達克(MTSC)上市。
- 2,147 名員工，約占美國以外的一半。
- 2012 年訂單：5.65 億美元；2012 年收入：5.42 億美元。

(二)、 拜訪人員

Garth Su - Director of MTS Structures Business

Rick Bearden - Application Engineering Manager

Ray Sydeski - Sales Manager

Phil Berling - Senior Application Engineer

Shih-Hsueh Peng - Sales Manager

(三)、 MTS 風力發電機測試解決方案

風能作為清潔可再生能源具有巨大的潛力。持續創造最大化風力發電機的長期可靠性，建立經濟效率合乎要求的全球風力發電基礎設施至關重要。成功優化設計可以最小化成本和最大限度延長正常運行時間的風力發電機製造商和供應商將成為行業領導者，要做到這一點，需要徹底了解風力發電機使用材料，主要部件和結構的性能和耐久性。作為世界知名的測試和模擬解決方案

提供商，MTS 具有豐富的經驗，可以滿足風電行業日益增長的機械測試需求。提供完善的系統集成專長組合，領先的多軸測試技術和全球技術支援。對其他行業的大型物件系統整合經驗，應用精確的力量和運動的廣泛知識完全適用於風力發電機的測試設備開發。

Wind Turbine Testing Solutions

» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Advanced MTS testing technologies are simulating the complex and extreme loading environments of wind turbine drivetrains, blades, bearing systems, towers and materials.

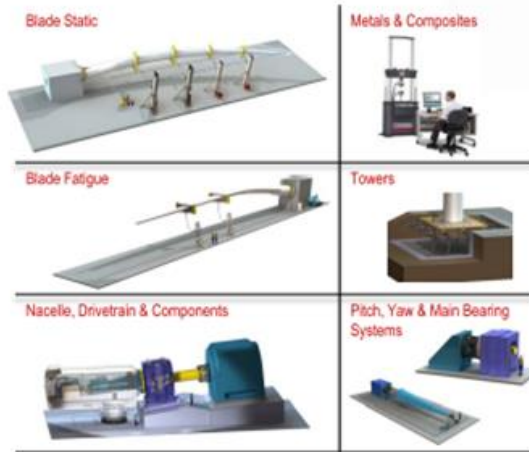


圖 12、風力發電機相關組件測試解決方案示意圖

MTS 風力發電機葉片測試解決方案，旨在解決完整的問題，全尺寸結構強度和疲勞試驗需要國際電工委員會（IEC）技術規範 IEC 61400-23 檢測。在開始使用指定機械進行測試解決方案之前，有一系列關鍵的問題必須回答，相關決定將會影響建構此昂貴和複雜的設施其功能性與適用度。最初會進行靜態測試，疲勞試驗或兩者兼而有之？每年會有多少次測試？是否應用力量和動能，加載的位置是在葉片的邊緣，或同時兩者並行？將要多長時間初步測試，多久的測試時間是可以代表使用期限？需要多少次測試？以及這些數字怎麼樣隨著時間的推移而變化？這些只是每個風力發電機葉片廠商必須面對他們的初步階段測試程序中很多問題之一。

Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Static Test Solution

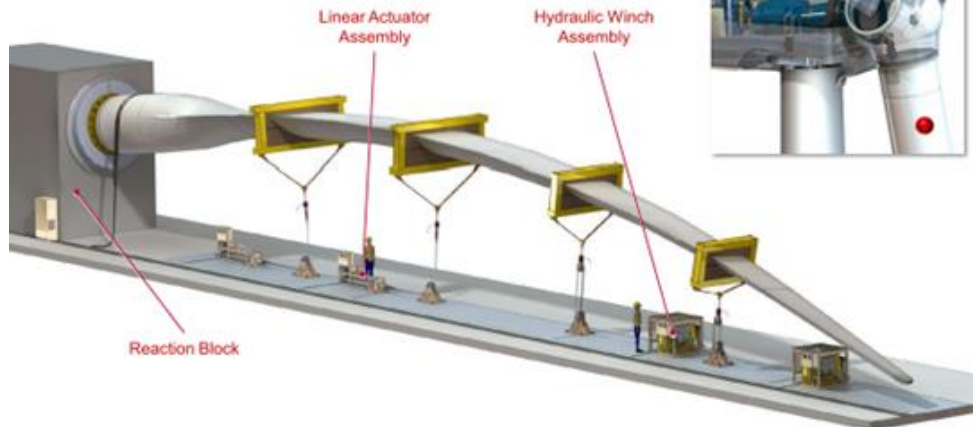


圖 13、葉片結構強度測試

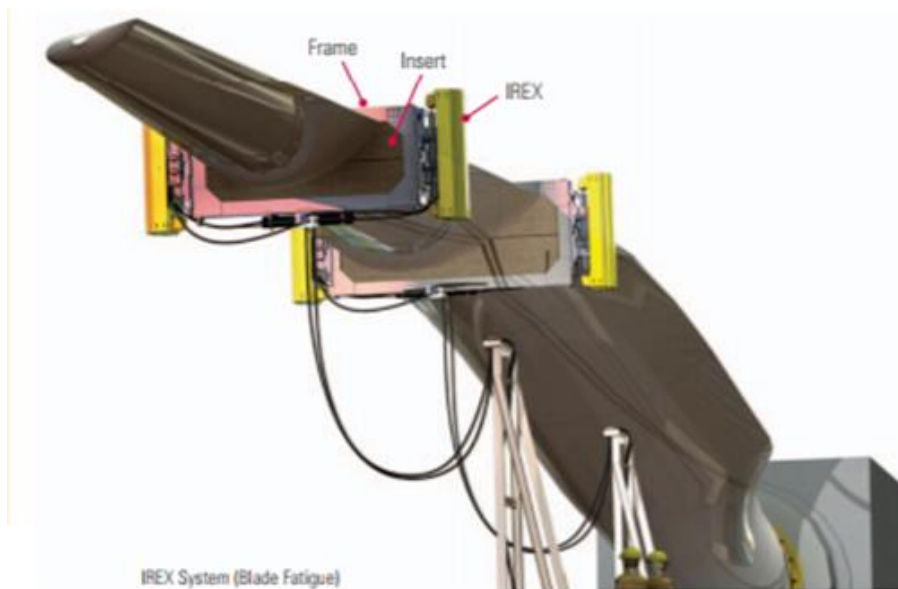


圖 14、葉片疲勞強度測試

創新的 MTS 非扭矩加載 (NTL) 系統設計被來用針對各種風力發電機系統和組件在現實世界的操作環境所面對的負載情況，它能提供準確地模擬複雜多自由度極限負載。MTS 將其發展

為一系列的型號（NTL5U，NTL 10，NTL 20），透過這些機械測試系統可以有效的優化風機機艙的可靠性在相關組件和傳動系統，及測試各種風力發電機的軸承，包括俯仰，偏航和主軸承系統。它們具有高度強度(highly robust)和效率性的設計可以有效降低運行成本。並且具備運行時間長，使用壽命長之優點。採用低摩擦靜壓軸承技術，提供卓越的動態性能和最先進的(FlexTest® Controllers)數位控制，確保設備模擬與測試的精度。

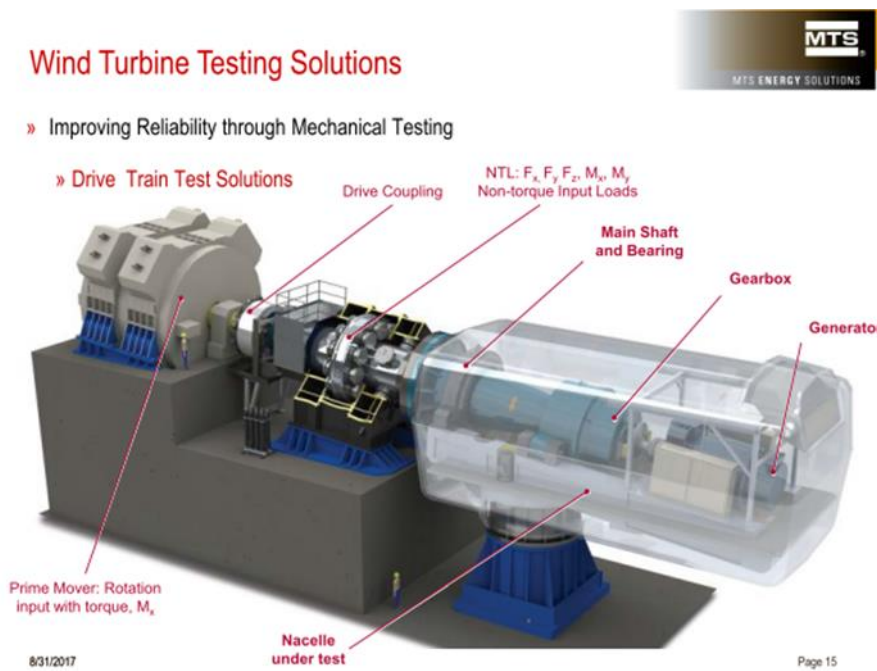


圖 15、風機機艙組動力鏈測試示意圖

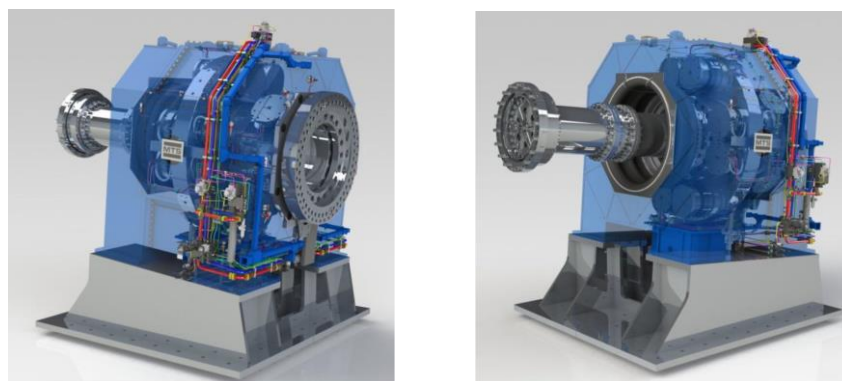


圖 16、MTS 非扭矩加載（NTL）系統外觀圖

(四)、MTS 大型客製化專案

1. 準靜態混合模擬

MTS 經與美國加州大學柏克萊分校 (University of California-Berkeley)、美國科羅拉多大學博爾德分校 (University of Colorado-Boulder)、美國紐約州立大學水牛城分校 (State University of New York-Buffalo) 及其他學術機構合作後，發展出混合模擬的解決方案，經濟而且容易組合運用，讓大部份的實驗室都能加入世界級的混合模擬團隊。準靜態混合模擬 (Quasi-static Hybrid Simulation) (這裡以 SC/KWT 4300 為例) MTS 準靜態混合模擬的解決方案係用來評估次結構對整體結構之強度或勁度的影響。此系統內主要元件為數位控制器 (可執行 Berkeley 的 OpenFresco)、制動器，測試用 PC 及電腦界面供連結至開放式模型運算模擬軟體供應端，也可以在線上與世界上的研究機構一起進行共同測試。

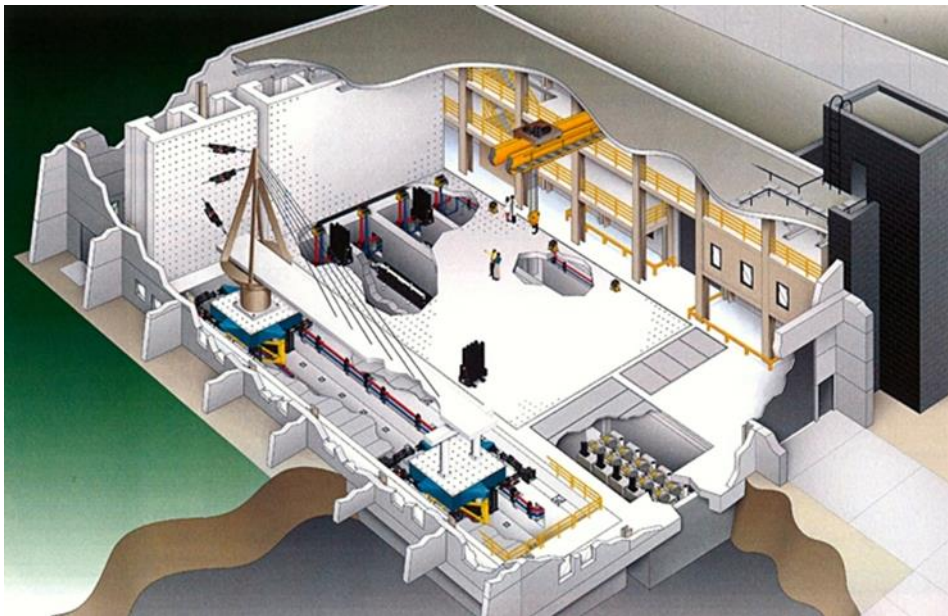


圖 17、MTS 混合模擬試驗系統示意圖

2. 地震模擬振動台

共擁有六個自由度，以模擬三軸向之地震，目前發生在世界上主要地震均能在地震模擬實驗室模擬重現，地震模擬振動台之台面尺寸為 5 公尺乘 5 公尺，質量為 27 公噸，試體之最大質量則為 50 公噸。其結構為一矩形結構體，利用有限之質量來提高其彎矩及扭轉強度。

振動台係由油壓致動器來驅動，每一軸向有四支致動器，三軸向共十二支致動器。其上試體等之重力係由四支垂直靜力支撐

來承受，垂直靜力支撐係以壓縮空氣提供承載力，每支承載力為 21 公噸，4 支共可承載 84 公噸，調整氣缸內之空氣壓力來抵消總運動質量之重力，如此垂直致動器則僅需提供動態力量即可驅動振動台。油壓泵提供油壓動力以推動致動器，兩部電動油壓泵及三部柴油油壓泵共可提供流量 1,325 gpm，而液壓油之工作壓力為 210kg/cm^2 。油壓泵提供系統所需之平均流量，而尖峰流量所需之差額則由蓄壓器提供。致動器驅動振動台時所需之反力係由反力質塊來提供，反力質塊之尺寸為 16 公尺（長） \times 16 公尺（寬） \times 7.6 公尺（深），質量約 4,000 公噸。為了要進一步改善工作環境與實驗環境之品質，以隔震系統將反力質塊與固定基礎分隔開，此時反力質塊即成為浮動基礎，隔震系統係由 96 組空氣彈簧及 80 組阻尼器所組成。



圖 18、地震台

(五)、實驗室參觀

1. MTS Flat-Trac 輪胎動態測試系統

美國 MTS Flat-Trac 輪胎動態測試系統經過三十年的設計、製造以及整合磨練，如今已在全球各主要製造商中廣泛利用，正在幫助著全球主要的汽車製造商測試傳遞其最機密的輪胎性能資

料，能夠對客車、商用車和賽車進行能力測試，過控制速度、載重、充氣壓力等來測量輪胎的各項性能表現，能夠收集所有需要的資料，以建立一個具有競爭力的、快而準確的平台，該系統廣泛可用的控制參數能夠在實驗室中，提供所需要的靈活性，以此更好地描繪出輪胎的特色。



圖 19、Flat-Trac 輪胎動態測試系統

2. MTS 329 系列全車擬真行車動態模擬系統

MTS 329 系列全車擬真行車動態模擬系統是 MTS 在世界上的所有模擬實驗室中，最先進的一套測試系統之一，以車輛工業來說，此系統可以藉由固定車軸的方式，來定義出三維世界中 4 到 6 個自由度上的所有動態狀況，來蒐集車輛的耐久極限資料，並且可以得到與世界上許多最高實驗室相同的精準度、在現性，因為這些實驗室就是使用這套器材來完成資料蒐集的，如：Toyota、Renault Nissan、Land Rover、Jaguar、BMW、Audi、Ford、Suzuki、SAF、GM、JAIC 及 Hyundai 等皆是 MTS 全車測試類配合的客戶群。相較於道路測試，MTS 329 系統可以並且給予更加嚴苛的測試條件來取得更多資料。



圖 20、全車擬真行車動態模擬系統

3. Bionix 3/6/12 組腕關節磨耗模擬試驗機

Bionix 脊椎磨耗模擬試驗機是專為人體脊椎研究應用，如 Lumber Spinal、Cervical Spinal 之盤狀生醫植入性元件而設計的模擬試驗裝置，提供研究者一高精度、長時間(long-term)偵測試件磨耗疲勞與壽命耐久的模擬試驗機，精確與可再現性的測試數據，負載力(Load)、作動方式(Motions)、以及循環次數(Cycle)可隨時間一一被記錄下來，提供研究者建立更清楚令人信服的研究實例。運動方式包含 Flexion/Extension、Lateral Bending、Axial Rotation Motions…等等，最多可模擬在 6 個自由度(6 DOF)中的運動狀態。負荷浸泡模組(Load Soak Control Modules)，提供只有負載受力，無運動的測試環境，可用來比對磨耗模擬器內的試件，進一步最佳化與設計植入性脊椎材料與元件。



圖 21、Bionix 脊椎磨耗模擬試驗機



圖 22、參訪成員與 MTS 人員於會議室合影

三、美國國家再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory, NREL)

(一)、NREL 簡介

專注於對當今能源挑戰的創造性答案。從基礎科學到新型清潔技術的突破，為整個能源系統提供動力，NREL 研究人員正在改變國家和世界的能源利用方式。1977 年，NREL 作為太陽能研究所 (SERI) 開始，由 1973 年石油禁運引起國家關注，導致油價長期處於高價格。1977 年總統 (Jimmy Carter) 宣布減少對外國石油的依賴和投資替代能源的願望。他創建了太陽能研究所 (SERI)，其任務是啟動一個新的美國能源行業，並將美國能源政策的監督整合到新成立的美國能源部。雖然新成立的研究所早期工作集中在太陽能技術上，但重點放在了包括風力和生質能在內的許多形式的先進能源。1991 年總統(George H.W. Bush)將其提升為能源部國家實驗室系統的成員，並更名為國家再生能源實驗室。此次所參訪的是 NREL 中的國家風能技術中心 (National Wind Technology Center, NWTC) 距離科羅拉多州波德大約 5 英里。在路易斯維爾和布魯姆菲爾德的城市附近。NWTC 距離丹佛國際機場西北約 37 英里。



圖 23、國家風能技術中心

(二)、拜訪人員

Vahan Gevorgian - Chief Engineer, Grid integration

Przemyslaw Koralewicz - Electrical Engineer

Robb Wallen - Electrical Engineer

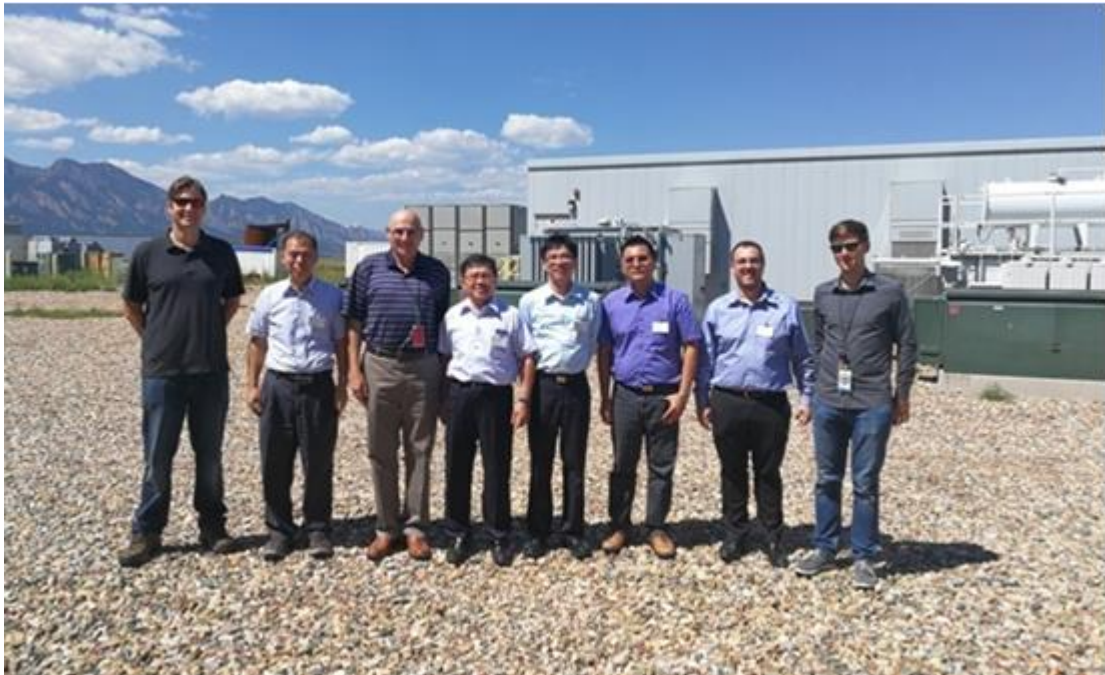


圖 24、參訪成員與 NREL 實驗室人員合照

(三)、參訪國家風能技術中心 (NWTC)

美國國家再生能源實驗室(NREL)之國家風能技術中心(NWTC)位於科羅拉多州波德(Boulder)南方之洛磯山腳下，該中心成立於 1993 年，為美國唯一一所專門致力於可再生能源基礎研究的國家實驗室。NWTC 為美國首屈一指的風能科技研究重鎮，為先進的風能科技提供了絕佳的研發環境。NWTC 包含風機研究發展以及科技應用測試等兩個主要的研發部門，而重要研究領域則包括：風機設計審查與驗證、分析模型與設計軟體之研發、系統與控制分析、技術支援、電力整合與併網調度以及風力資源評估等範疇。且在實際風場環境中收集測試數據以驗證並提升風機模擬與分析結果之正確性，且其測試已獲得美國實驗室認證協會之認證。目前 NWTC 的設施包括：

- 具有六部風力發電機(包含 Gamesa 2MW、Siemens 2.3MW、Research Turbines 650kW × 2、Alstom 3MW 及 GE 1.5MW)和四個氣象塔的現場研究驗證站。
- 1MW 的太陽能板陣列。
- 500kW 及 1MW 兩套儲能系統。
- 2.5MW 及 5 MW 兩套動力機艙測試系統。

- 7 MVA 可控制電網界面(Controllable Grid Interface, CGI) ，作為模擬電網測試用。
- 1 套電力系統即時模擬器(Real Time Digital Simulator, RTDS)
- 結構研究設施，用於驗證葉片和部件。

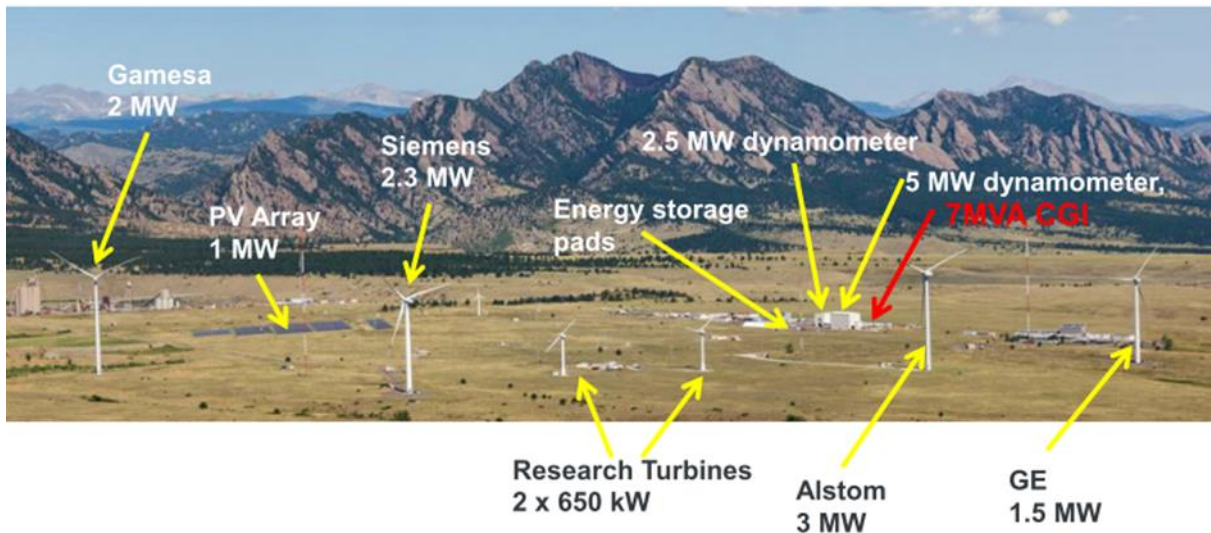


圖 25、國家風能技術中心配置圖



圖 26、7-MVA 可控制電網界面

此次在參訪主要進行風機產業技術發展情況的經驗討論及部份測試實驗室的參觀。首先 NWTC 研發團隊先就風力機的測試項目，為併網慣性響應整合測試，慣性響應指當具有同步旋轉質量的大型發電機的特性，其作用是克服電力系統的電力供需之間所造成的不平衡。為了使電力系統得以維持安全且穩定之運轉，

良好的頻率控制機制是關鍵之一。以目前風力發電之發展趨勢而言，電力系統中的風電廠容量將會越來越高，進而取代部份傳統發電機組。此時，若風力發電機無法對系統提供慣性響應，也沒有任何頻率控制機制，這將會導致系統頻率變動率增高，且剩餘之傳統發電機組的負擔也將變大。因此，針對慣性響應建立測試流程，再經由模擬驗證，顯示此測試系統確實可協助風力機找出響應的比對結果，以利改善系統頻率之響應。

與會中也瞭解本局欲建置動力機艙測試試驗室，NWTC 的人員也說明了未來若有相關的合作，以他們的經驗可作為本局建置的顧問，接著 NWTC 研究團隊帶著參訪團參觀 NWTC 動力機艙測試實驗室，該實驗室之主要目的為藉由系統控制所模擬的實驗環境，測試風力機在極限風場條件下，風力機驅動系統的性能，包括齒輪箱疲勞測試、風機控制模擬、暫態運轉穩定測試、發電機及電力系統性能測試。該測試系統是由 3350 匹馬力之電動馬達，搭配 2.5MW 三段式周轉圓之齒輪箱所組成，此測試系統可提供轉速範圍為 0~30 rpm 且具有高扭力之測試條件，以模擬不同變化的風場效應。該測試系統同時也可針對 100kW 至 2MW 之風力機驅動系統進行測試，另一套 5MW 之動力機艙試驗室，該測試系統是由 6MW(8000 匹馬力)之電動馬達，搭配 MTS 的風場模擬系統，轉速範圍為 0~24 rpm 及搭配艾波比公司(Asea Brown Boveri, ABB)的可控制電網界面(CGI)提供更高瓦數的動力機艙測試。

更值得一提的是 NWTC 在實驗室的電網架構分成兩組迴路，一為與電力公司連結一起的電力匯流排(Grid Bus)，另一個迴路為可控制電網界面(CGI)為主的電力匯流排(CGI Bus)，而將實驗室的六部風力發電機、太陽能板陣列、兩套儲能系統、兩套動力機艙測試系統及可控制電網界面連接在一起，如此一來需要使用到可控制電網界面時，就可直接切換到 CGI Bus，不用每套設備均要建置可控制電網界面，另外先前所提到電力系統即時模擬器(RTDS)在這系統上，可先模擬電網發生故障或其他情形時，在風力機、太陽能板、儲能系統或其他點的會發生的狀況，藉由 CGI 來實現，進而了解待測物的動作及想要瞭解電力系統會發生的資訊。

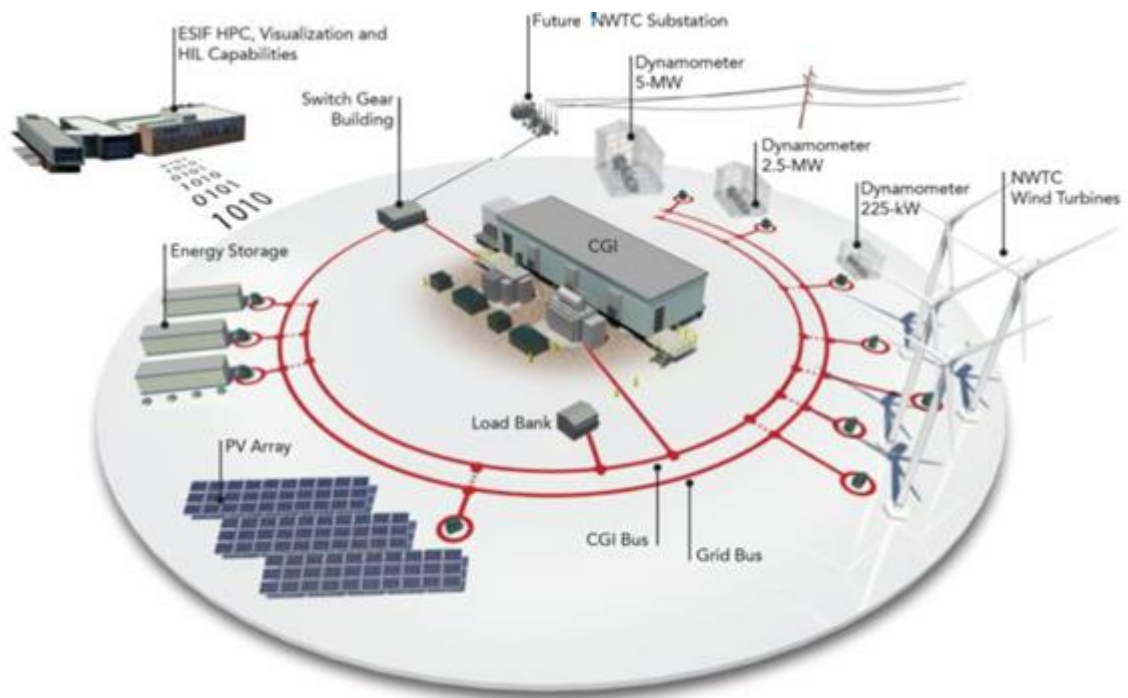


圖 27、國家風能技術中心系統配置圖

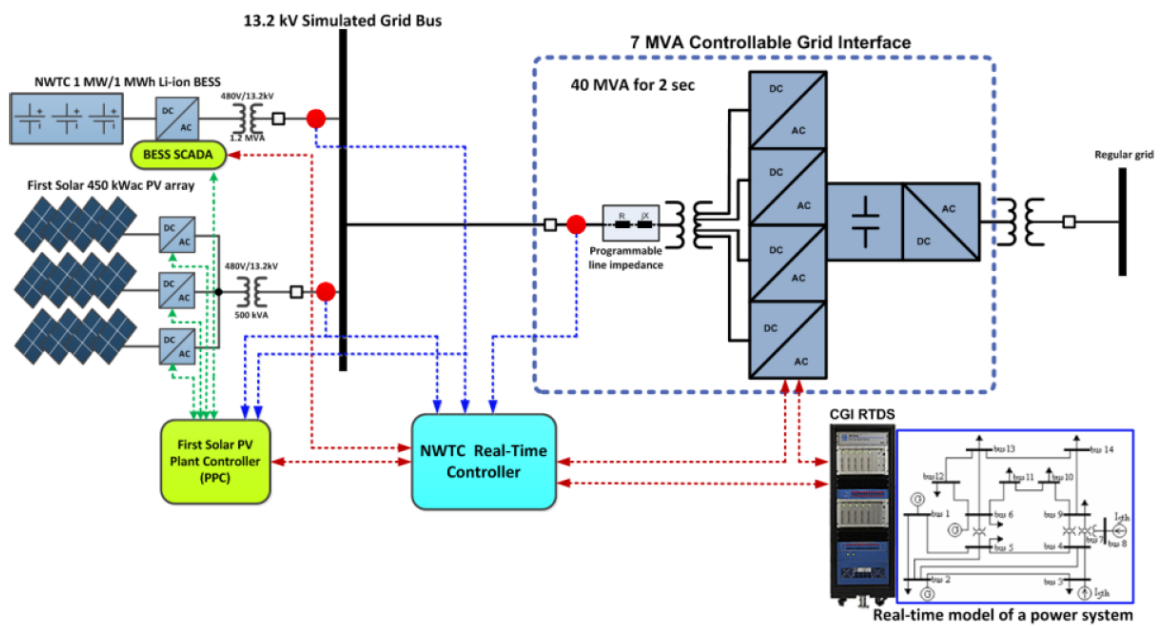


圖 28、測試太陽能板及儲能系統示意圖

四、美國 UL 試驗室(Underwriter Laboratories, UL)

(一)、美國 UL 試驗室簡介

美國 UL 試驗室是美國最有權威的，也是世界上從事安全試驗和鑑定中較大的民間機構。它是一個獨立的、非營利的、為公共安全做試驗的專業機構。它採用科學的測試方法來研究確定各種材料、裝置、產品、設備、建築等，對生命、財產有無危害和危害的程度；確定、編寫、發行相應的標準和有助於減少及防止造成生命財產受到損失，同時開展實情調查和研究業務。總之，它主要從事產品的安全驗證和經營安全證明業務，其最終目的是為市場得到具有相當安全水準的商品，為人身健康和財產安全得到保證作出貢獻。就產品安全驗證作為消除國際貿易技術壁壘的有效手段而言，UL 為促進國際貿易的發展也發揮著積極的作用。

UL 始建於 1894 年，初始階段 UL 主要依據防火保險部門提供資金維持運作，直到 1916 年，UL 才完全自立。經過近百年的發展，UL 已成為具有世界知名度的測試和產品驗證程序的單立。UL 由一個有安全專家、政府官員、消費者、教育界、公用事業、保險業及標準部門的代表組成的理事會管理，日常工作由總裁、副總裁處理。目前，UL 在美國本土有五個實驗室，總部設在芝加哥北部的 Northbrook 鎮，同時在台灣和香港分別設立了相應的實驗室。UL 是一家獨立的全球安全科學公司，主要提供五大策略事業領域的專業知識：(1)產品安全、(2)綠色環保驗證、(3)生命與醫療健康、(4)檢測服務及(5)知識傳授。其服務範圍廣泛、公正客觀而且歷史悠久，這一切讓 UL 成為值得信賴的象徵。

1. 產品安全(Product Safety)：提供從產品前端設計驗證，生產中的工廠檢查，及後續出貨追蹤檢驗的服務，領域涵蓋家電、電子零件、資訊科技、電信通訊、汽車、塑膠、照明、醫療設備、電線電纜…等。
2. 綠色環保驗證(Environment)：幫助製造商及其企業客戶和消費者可以清楚辨識什麼是/不是可持續性發展產品，同時亦幫助業界從自我宣告符合環保標準，轉變為經由獨立公正的第三方檢驗和驗證的模式。

3. 生命與醫療健康(Life & Health)：針對飲用水、食品安全、體外診斷和醫療設備等產業的全球業務需要，提供創新且值得信任的解決方案。憑藉 UL 遍佈全球的網絡、專業的技術、對品質的承諾以及優質的客戶服務，UL 足以提供最先進的服務，不僅滿足各地的市場需求，更能增進人類健康與福祉，從而創造更健康的世界。
4. 檢測服務(Verification Service, VS)：提供各行各業專業且一站式的全方位諮詢服務，從供應商的首批樣品、正式生產過程到產品出貨等層層關卡檢測，協助客戶掌握供應商的產品品質控管。
5. 知識傳授(UL University)：課程涵蓋眾多領域的 UL 安全標準培訓，例如能源、健康科學、化學、美國國家電工法規(National Electrical Code, NEC)、消防安全、危險場所安全、品質培訓、高科技和其他特定主題等，以協助客戶設計和安裝安全產品，提升效率，加速進入市場。

此次參觀是位在美國加州費利蒙(Fremont)的 UL 實驗室。

(二)、拜訪人員

Mike Kuo ---Vice President & CTECH Regional GM



圖 29、參訪成員與 Mike Kuo(左二)合照

(三)、參訪加州費利蒙的 UL 實驗室

2010 年 1 月 4 日，伊利諾伊州北布魯克 - 全球安全測試和驗證服務領導者美國安全優力公司 (UL) 宣布，已經收購了加州費利蒙(Fremont)的康萊士驗證服務公司 (Compliance Certification Services, CCS)。在新成立的 UL 部門，加強其電磁相容 (Electromagnetic Compatibility, EMC) 測試能力和全球市場佔有率。CCS 現在被稱為 UL CCS，獨立的電磁相容和無線測試機構，主要服務於美國，台灣，中國大陸，韓國和日本的製造商。該收購為 UL 提供了測試和驗證到更廣泛標準的能力，包括美國 FCC、歐洲 CE、日本的 MIC、加拿大 IC、新加坡的國際開發協會、台灣的 NCC/BSMI 和韓國 KCC。UL CCS 團隊的創新和專業測試服務提升了在驗證方面的領先地位，使該實驗室能夠為我們的客戶提供更好的服務和更多的選擇。憑藉費利蒙的 UL CCS 測試中心，UL 加強了其位於加州矽谷的美國技術中心的地位，其最先進的太陽光電系統測試設施位於其中。UL CCS 還擴展了 UL 的測試能力，包括電信行業的驗證天線和評估無線通信的互操作性。UL CCS 與許多世界上最重要的芯片組製造商合作開展了法規遵從性測試，以獲得新產品的國際監管批准。

電磁相容即是規範產品的電磁干擾波不會影響其他的產品運作，同時產品也具備足夠抵抗外界干擾的能力。而電磁相容 (EMC) 包括兩方面的要求電磁干擾 (Electromagnetic Interference, EMI) 及電磁耐受性 (Electromagnetic Susceptibility, EMS)。EMI 是電機電子產品在使用中所產生有別於電源 60Hz 以上的高頻訊號，且這些訊號非該產品本身工作所使用，一般稱為雜訊 (Noise)，電子雜訊干擾可分為傳導干擾和幅射干擾兩方面來談，一般而言，傳導干擾會透過實體的介質 (電源線、網路線... 等) 去干擾其他電子或電器產品正常運作，而幅射干擾則是透過空氣去干擾其他設備，對於電器用品的使用，一般國家皆有制定防止電磁干擾之規範，例如歐洲 CISPR 13 / EN 55013、CISPR 22 / EN 55022 ... 等、美國 FCC PART 15、PART 18... 等、日本 JIS 等皆有規定工業用及住家用電器產品電磁干擾之標準，而我國標準檢驗局也於民國 86 年正式實施電磁干擾的檢驗，從資訊產品後，陸續公告影音產品、家電產品、電腦零組件、燈具產品...

UL 的 EMC 測試實驗室幫助客戶滿足了美國聯邦通信委員會 (FCC) 和加拿大工業部和歐洲 EMC 指令 2004/108/EC 要求的所有北美 EMC 對工業設備的要求。其配備了 3 米及 10 米的測試室，以便於大型工業設備進行精確測試。測試室其內門打開的寬度 8x8 英尺，其中有配置的轉台直徑 4 米，最大可容納 5 噸。大多數 UL 測試設備可以提供 600V，3 相電壓和超過 100A 的電流輸入供測試物件運行。對於無法運輸的設備，UL 與客戶合作開發滿足固定位置需求的定製測試。

另外因應美國過去所實施分散式發電和再生能源的電網併網系統，一旦電網出現穩定性問題，即需切斷分散式發電設備。UL 為此問題制定出 UL1741 (standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources) 標準明確的說明測試方法，其可促使分散式發電裝置即使在異常操作下，仍保持連線且能適時調整其輸出和整體反應機制，以保有電網的穩定性，而非僅執行斷電動作。

伍、心得及建議

風力發電機的相關知識對於本局來說是一個全新的領域，同時也包含了許多機械及電力系統的專業，因此有許多的專業技術、測試方法和市場資訊...等訊息在經過國外專業人士的傳遞後，有時在個人解讀或認知上也許和實際狀況會有落差。在未來任何時候持續向業界先進請益，以適時修正相關資訊。

在 WTTC 拜訪會談中了解到，在建置實驗室之前應與相關之業者進行充分之溝通，以便了解業者的需求與目地，才可以建置真正符合業界需求的測試實驗室。同時就目前國內針對風力發電機進行大量設產或是取得驗證的廠商，在數量上來說並不多，而這個也是未來測試實驗室在營運上的一大考驗。

在 MTS 進行討論時，關於顧問的事宜，針對如此重大的測試實驗室建置事宜，若國內缺少類似的經驗，建議可以引進國外的建置經驗，以便專案可以順利進行。其建議可以找德國-阿亨工業大學或是美國-NREL 的人員...等等在國際上有建置風機測試實驗室經驗的團隊，他們皆是此領域的專家，相信可以對專案執行上有所助益。

MTS 擁有大型客製化系統整合的經驗，在臺灣國家地震中心臺南實驗室，就是 MTS 設計，且找臺灣代理商國科企有限公司執行，除了 MTS 本身強項的油壓系統外，其他零組件均運用在地化取材的方式，與臺灣其他業者合作，打造一座 8 公尺乘 8 公尺，最大加速度 750gal，試體之最大質量則為 250 公噸模擬地震的振動試驗台，另外 NREL 實驗室中的 5 MW 動力機艙測試系統中的風場模擬系統也是由 MTS 來實現。

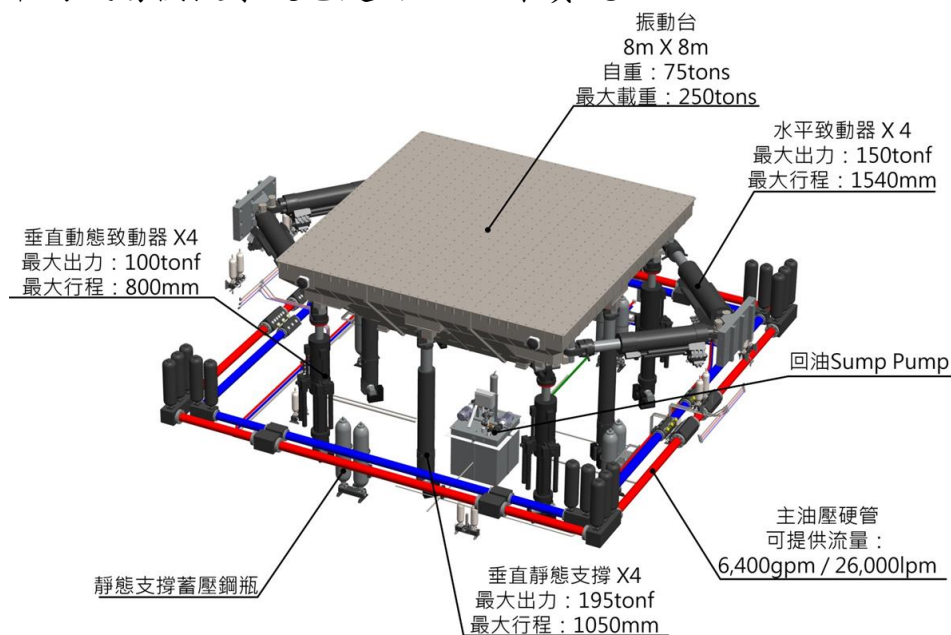


圖 30、國家地震中心臺南實驗室 8m 振動台

NREL 實驗室的電網架構分成電力公司連結一起的電力匯流排(Grid Bus)，及可控制電網界面(CGI)為主的電力匯流排(CGI Bus)兩組迴路，可靈活運用，未來在建置我國風力機動力機艙測試實驗室時，在電力系統上可參此做法，未來再建置 MW 級的太陽能智慧變流器檢測實驗室時，即可建於隔壁，透過線路的切換，直接引用機艙實驗室的可控制電網界面(CGI)的功能，不用重複投資及浪費。

動力機艙測試實驗室(5MW)在參觀的時候，正在進行潮汐發電機測試，據實驗室的人員表示因為美國境內較少風力發電機的系統廠商，因此他們會承接性質相同的測試案件，以維持實驗室的稼動率。

陸、附件



WTTC – Outline

- Purpose and Objective
- Facility
- Accomplishments
- Typical Test Program



WTTC – Purpose and Objective

- Improve Wind Turbine Reliability
- Reduce the cost of Energy
- Commercialize new technologies in favor of renewable jobs and the following supporting wind industry

GE, Gamesa, LM, Siemens, Vestas, TPI, MFG, Energetx
Blade Dynamics, Sandia National Labs, and Clipper



“ The Wind Technology Testing Center will not only strengthen the status of Boston and the Commonwealth as a world leader in wind development, but as a leader in clean tech innovation.

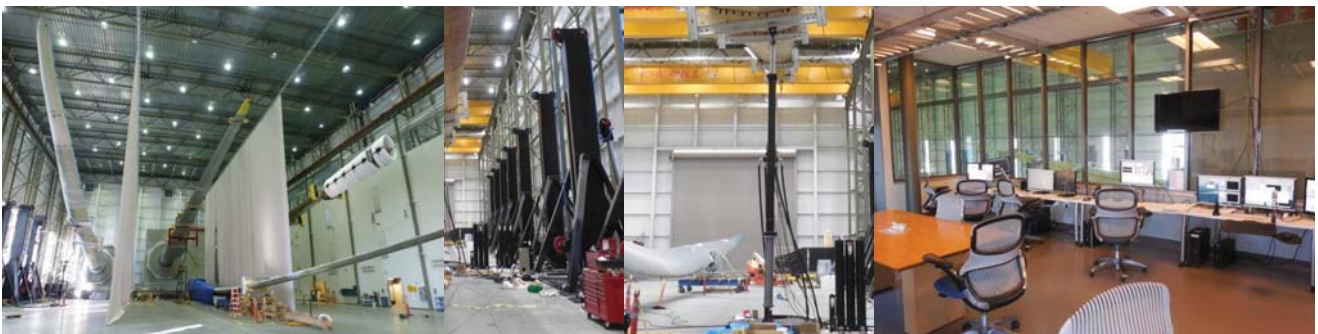
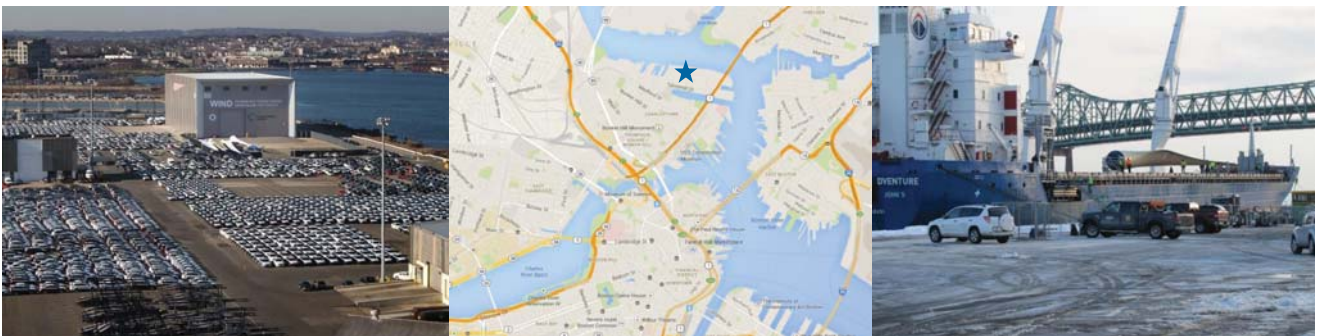
~ Former Mayor of Boston Thomas M. Menino ”



3



WTTC – Facility



4



WTTC – Accomplishments

Accomplishments since opening in 2011

Testing

- 25+ programs completed
- Multiple blades tested ultimately
- Received first blade by barge in 2014

Accreditation

- A2LA accreditation
- Inter-laboratory comparison with labs across the globe

New Technologies

- GREX (ground based exciter system)
- Researching Fiber optics strain and Digital Image Correlation techniques



WTTC – Typical Test Program

Communication with the customer consists of:

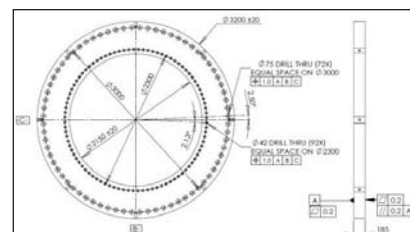
- ISO 17025 Standard
- IEC 61400-23 - Full scale structural testing of rotor blades
- IEC, GL, DNV certification bodies

Static

- Instrumentation
- Design Loads/ Bending Moment
- Saddles
- Adapter Plate/ Pitch Bearing
- Lift Plan
- etc.

Fatigue

- Design Loads
- Saddles
- Cycles
- Calibration Intervals
- etc.



	1 st MONTH	2 nd MONTH	3 rd MONTH	4 th MONTH	5 th MONTH	6 th MONTH
TEST PLANNING						
RECEIVE, INSPECT, WEIGHT/BALANCE						
INSTRUMENT, NATURAL FREQUENCY						
STATIC						
FATIGUE – EDGE						
FATIGUE – FLAP						
STATIC – POST FATIGUE						
STATIC – ULTIMATE, DISPOSAL						





MTS ENERGY SOLUTIONS



Wind Turbine Testing Solutions

be certain.



MTS ENERGY SOLUTIONS

MTS Systems Corporation

is a leading global supplier of mechanical testing systems and high-performance industrial position sensors. MTS has two business segments, Test and Sensors. Test and Sensors currently represent approximately 80% and 20% of total revenue, respectively.

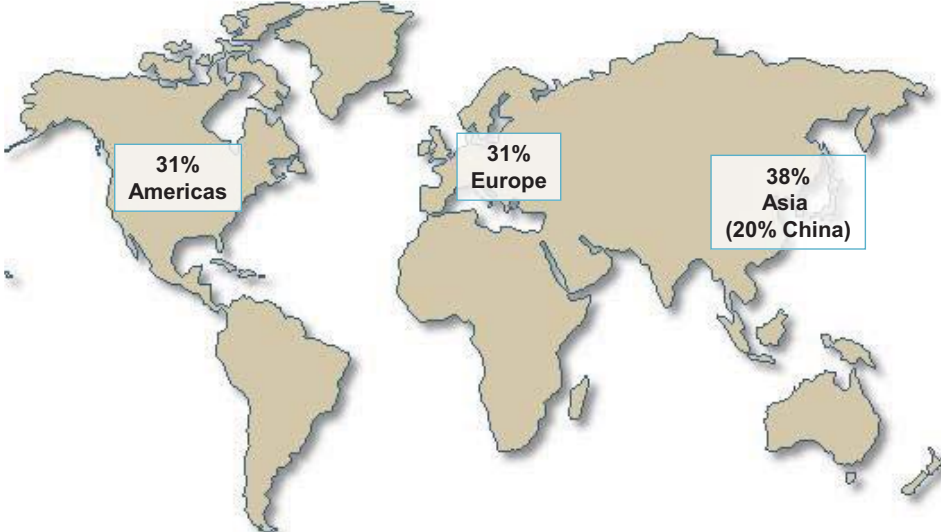


- Worldwide headquarters, Eden Prairie, Minnesota, 400,000 square feet
- Incorporated under Minnesota law in 1967
- NASDAQ listing since 1969, MTSC
- 2,147 employees, about half outside USA
- 2012 orders: \$565 million USD; 2012 revenue: \$542 million USD

MTS: People committed to building confidence in product performance.

Geographic Sales Distribution

MTS Approximate Revenue by Customer Location



MTS has two business segments: Test and Sensors.

» Test (80%):

» <http://www.mts.com/>

» Sensors (20%):

» <http://www.mtssensors.com/>



Aero



Ground Vehicles



PRODUCTS

High-performance, rugged magnetostrictive position sensors



Infrastructure

PRODUCTS & SERVICES

Physical testing solutions including hardware, software, and aftermarket support
50% custom, 50% standard & service

Wind Turbine Testing Solutions

» Improving Reliability through Mechanical Testing

- » Advanced MTS testing technologies are simulating the complex and extreme loading environments of wind turbine drivetrains, blades, bearing systems, towers and materials.

Blade Static



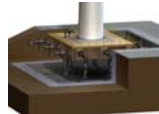
Metals & Composites



Blade Fatigue



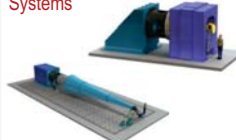
Towers



Nacelle, Drivetrain & Components



Pitch, Yaw & Main Bearing Systems



Wind Turbine Testing Solutions

» Improving Reliability through Mechanical Testing

- » MTS supports leading wind turbine manufacturers, suppliers and research facilities with state-of-the-art technology and testing solutions, facilities planning, test consulting, complex systems integration, and system life-cycle management.

- » Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), Spain
- » Fraunhofer-Gesellschaft (IWES), Germany
- » Gamesa Corporación Tecnológica, Spain
- » National Renewable Energy Lab (NREL), USA
- » Wind Technology Testing Center (WTTC) – USA
- » National Renewable Energy Centre (narec), UK
- » SGS, China & Germany
- » SKF- multiple locations
- » Siemens Energy- USA, Denmark
- » Vestas- Denmark
- » Danish Technical University (DTU), Denmark
- » WUXI Wind Power Institute, China
- » Timken- USA



Wind Technology Testing Center (WTTC) - Boston



NAREC Test Facility - Blyth, Northumberland



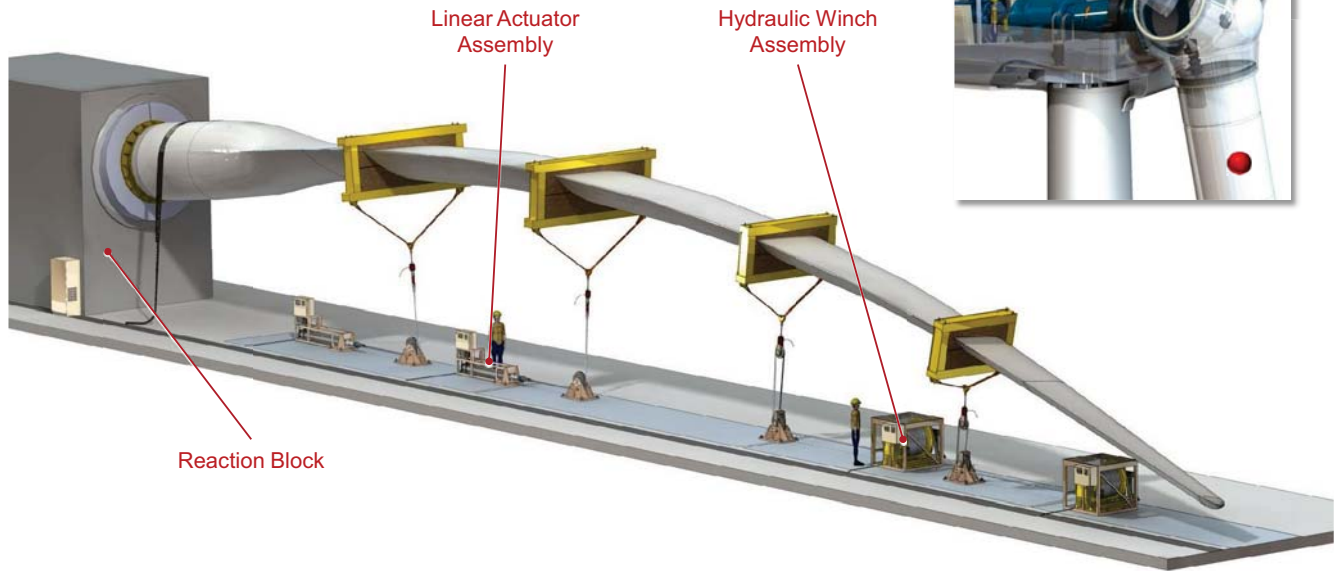
SGS Blade Testing Facility - China

Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Static Test Solution



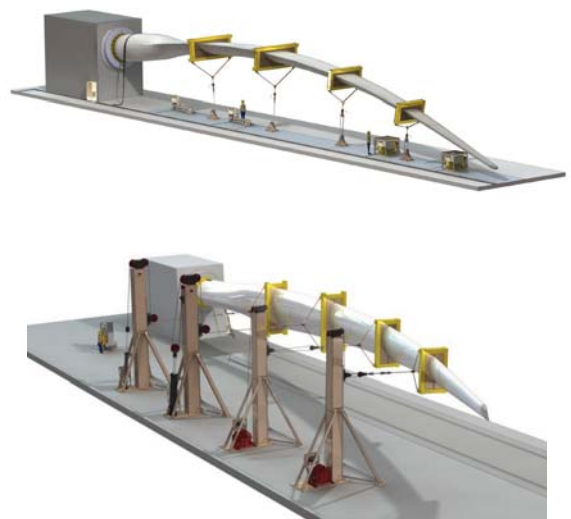
Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Static Test Solution

- » Applies tightly controlled static loading to blades for performing stiffness and strength tests required for FEM model validation and/or certification to International Electrotechnical Commission (IEC) Technical Specification 61400-23
- » Vertical and horizontal pull configurations
- » Integrates robust hydraulic winch and/or linear actuation technologies to achieve coordinated loading at multiple pull points on blade
- » Features tightly integrated control and data acquisition solution



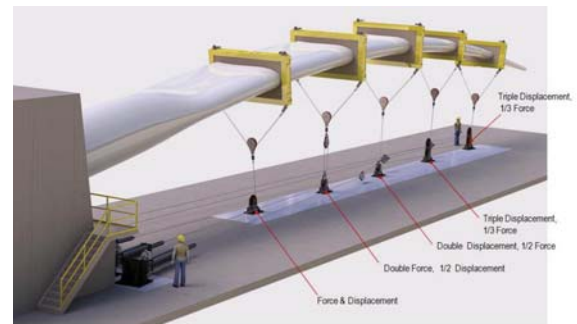
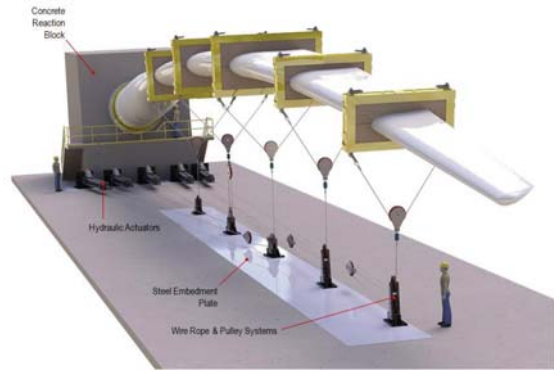
Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Static Test Solution (Actuator Only)

- » Applies tightly controlled static loading to blades for performing stiffness and strength tests required for FEM model validation and/or certification to International Electrotechnical Commission (IEC) Technical Specification 61400-23
- » Vertical and horizontal pull configurations possible
- » Integrates robust hydraulic linear actuation technologies to achieve coordinated loading at multiple pull points on blade.
- » Integrates pulley systems with a force-displacement ratio of 2-1, 1-1, 1-2, 1-3.
- » All actuator solution can test blades up to approximately 60 meters.
- » Hydraulic actuators provide better control and controlled relief of force if required.
- » Features tightly integrated control and data acquisition solution

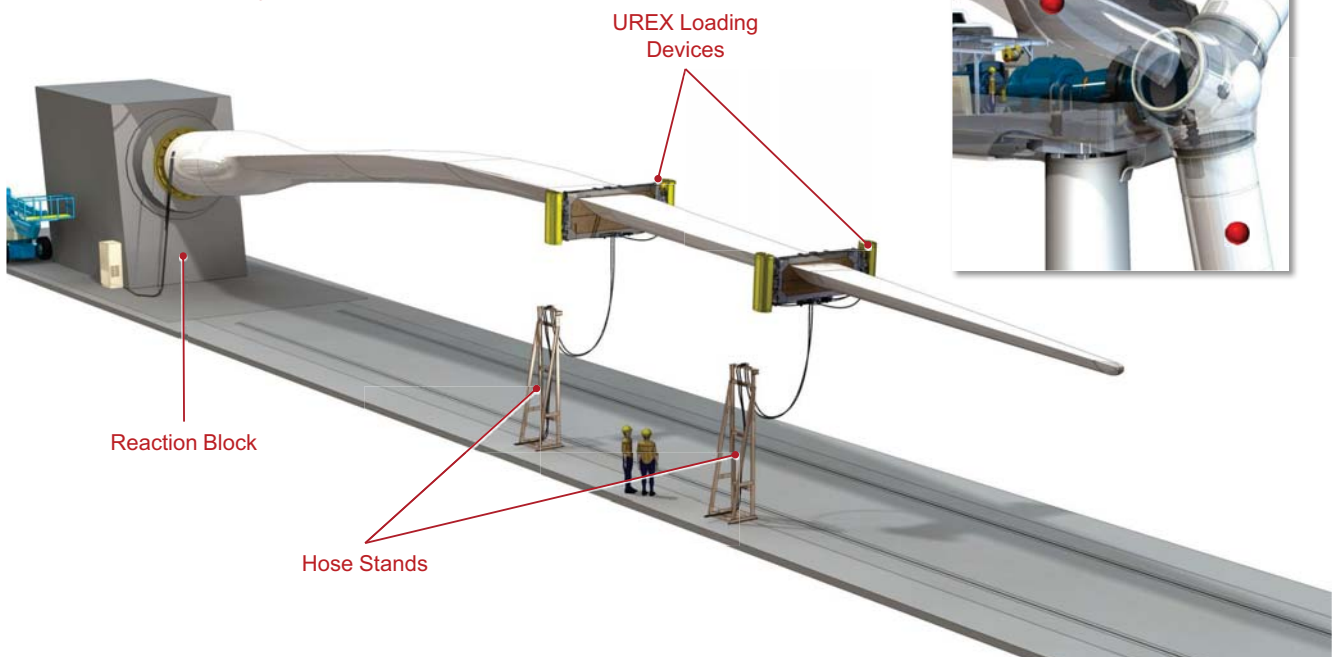


Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Fatigue Test Solution



Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Fatigue Test Solutions - Inertial Resonance Excitation (IREX) System

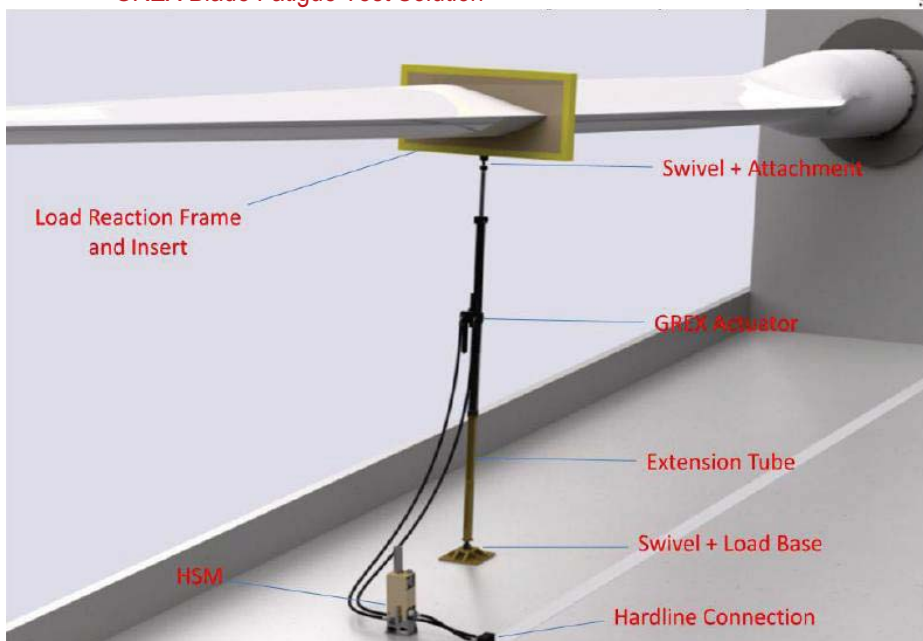
- » Applies automated cyclic loading to blades at resonant frequency for meeting the fatigue testing demands of International Electrotechnical Commission (IEC) Technical Specification 61400-23
- » Flexible, energy-efficient blade-mounted load application system, developed through a Cooperative Research and Development Agreement (CRADA) between the U.S. DOE's National Renewable Energy Laboratory (NREL) and MTS Systems Corporation
- » Well suited for shorter, stiffer blade specimens
- » Integrates MTS 244 Actuators, linear bearings and adjustable masses
- » Performs both flap-wise and edge-wise fatigue testing; does not require change in blade orientation on reaction mass
- » Capable of dual-axis resonant blade testing – with one or multiple IREX systems, or in combination with GREX system
- » Features automated control of test end-levels and test frequency
- » Combines state-of-the-art FlexTest digital controls, 793.86 Blade Resonance Search & Tracking software, advanced AeroPro software, and data acquisition hardware to provide a tightly integrated control and data acquisition solution

Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» GREX Blade Fatigue Test Solution



Wind Turbine Testing Solutions

MTS

MTS ENERGY SOLUTIONS

- » Improving Reliability through Mechanical Testing
 - » GREX Blade Fatigue Test Solution Benefits
 - » Energy produced by GREX is highest at low frequencies (longer blades)
 - » Flexible
 - » Can easily add multiple units to 1 blade
 - » GREX can be placed at location of blade to optimize the test setup (force vs. HPU oil flow?)
 - » Mechanical Force limiter on manifold
 - » Extension tube built per test to match actuator mid-stroke for a specific test setup.
 - » Actuator designed to support load control with large displacements
 - » 50 or 100 KN Hydraulic Actuator with hydrostatic bearings
 - » 1.75 meters of stroke



Page 13

Wind Turbine Testing Solutions

MTS

MTS ENERGY SOLUTIONS

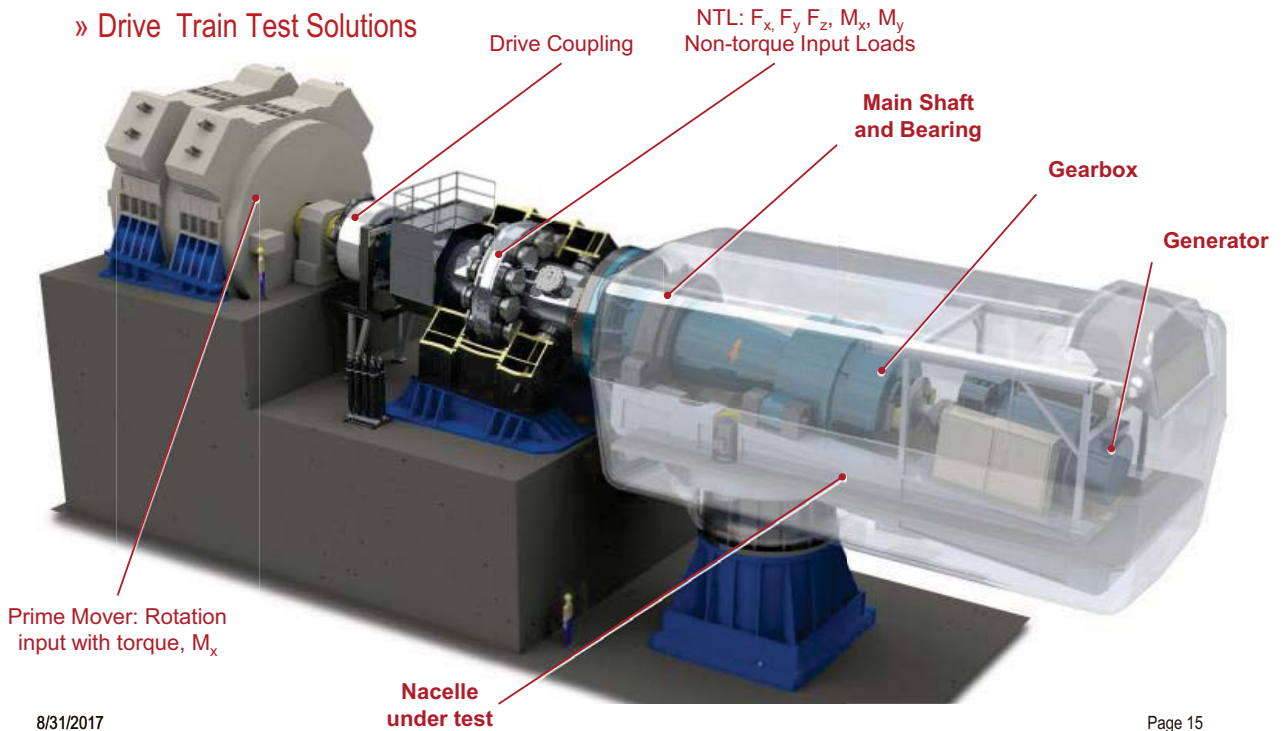
- » Improving Reliability through Mechanical Testing
 - » Blade Fatigue Test Solutions - Ground Resonance Excitation (GREX) System
 - » Applies automated cyclic loading to blades at resonant frequency for meeting the fatigue testing demands of International Electrotechnical Commission (IEC) Technical Specification 61400-23
 - » Easy-to-implement, floor-coupled load application system features versatile base and swivel design to accommodate wide variety of loading fixtures and blade angles
 - » Well suited for large (40+ meter) blades, including low stiffness blades where inertial based devices have reduced effectiveness
 - » Lower equipment mass added to blade affords faster testing
 - » Multiple GREX units can be deployed in a single test without slowing test frequency
 - » Integrates MTS 244 Actuator and Model 249 swivels
 - » Performs both flap-wise and edge-wise fatigue testing; requires change in blade orientation on reaction mass
 - » Capable of dual-axis resonant blade testing – in combination with IREX system or additional actuator inputs
 - » Features automated control of test end-levels and test frequency
 - » Combines state-of-the-art FlexTest digital controls, 793.86 Blade Resonance Search & Tracking software, advanced AeroPro software, and data acquisition hardware to provide a tightly integrated control and data acquisition solution

Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Drive Train Test Solutions



Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

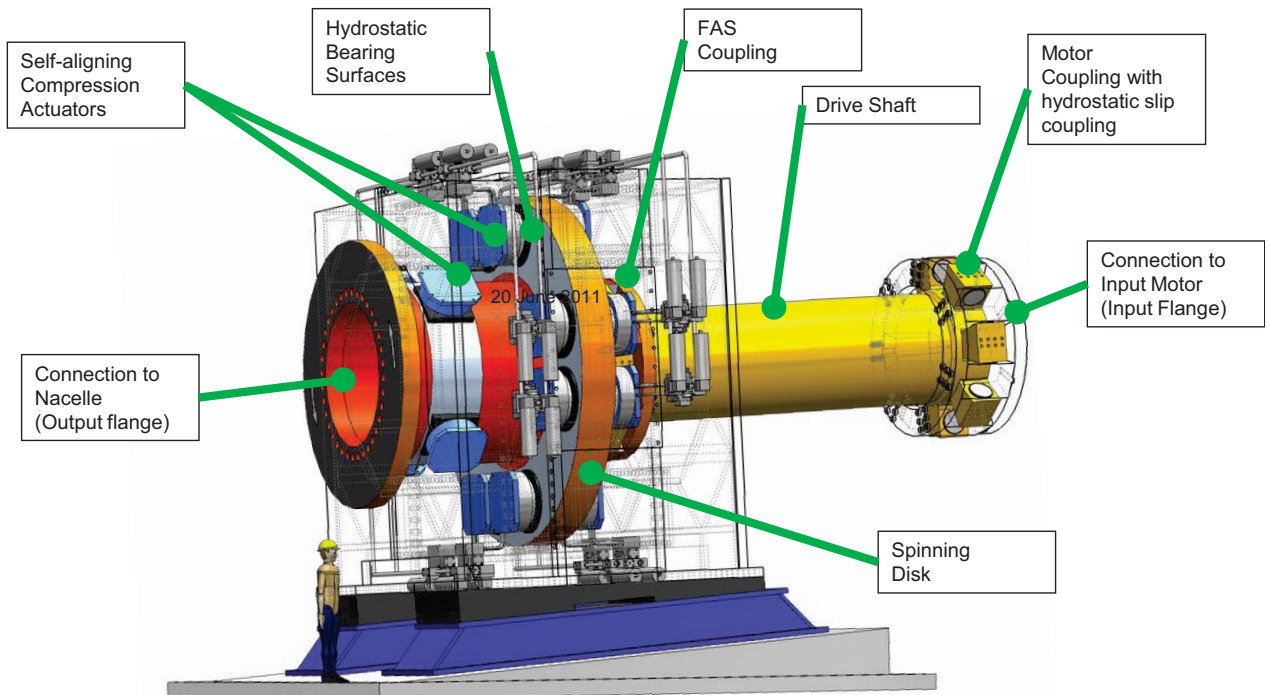
» Drive Train Test Solutions

- » Applies real-world rotational and off-axis loading for optimizing the reliability of complete nacelle assemblies, complete drive train systems, and components such as gear boxes and bearings.
- » High performance
- » Low cost of ownership (COO), high uptime and long life
- » Applications include:
 - » System simulation and verification
 - » Performance and durability testing
- » Employs innovative 5DOF MTS Non-Torque Loading (NTL) System
 - » Off-axis loads (3 forces, 2 moments) via MTS NTL System
 - » Features low-friction hydrostatic bearing
- » Rotation/moment input via prime mover



Drivetrain Test Solution - The "spinning disc" approach

» Spinning components in yellow, orange and red

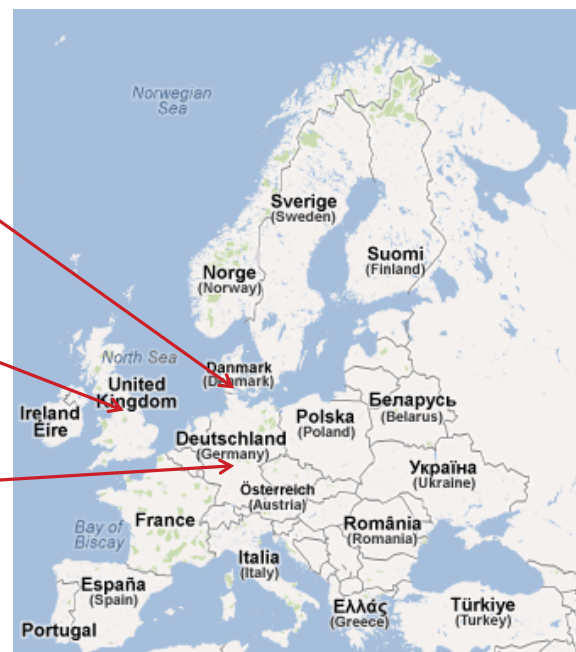


This is called the MTS NTL System

31 August 2017

» NTL Systems in Europe

- » Denmark
 - » NTL 10 (installed)
 - » NTL 10+ (installation to be completed 2012)
- » UK
 - » NTL 10 (installation to be completed 2012)
 - » NTL 20 (installation start end of 2012)
- » Germany
 - » NTL 5 (planned installation 2013)

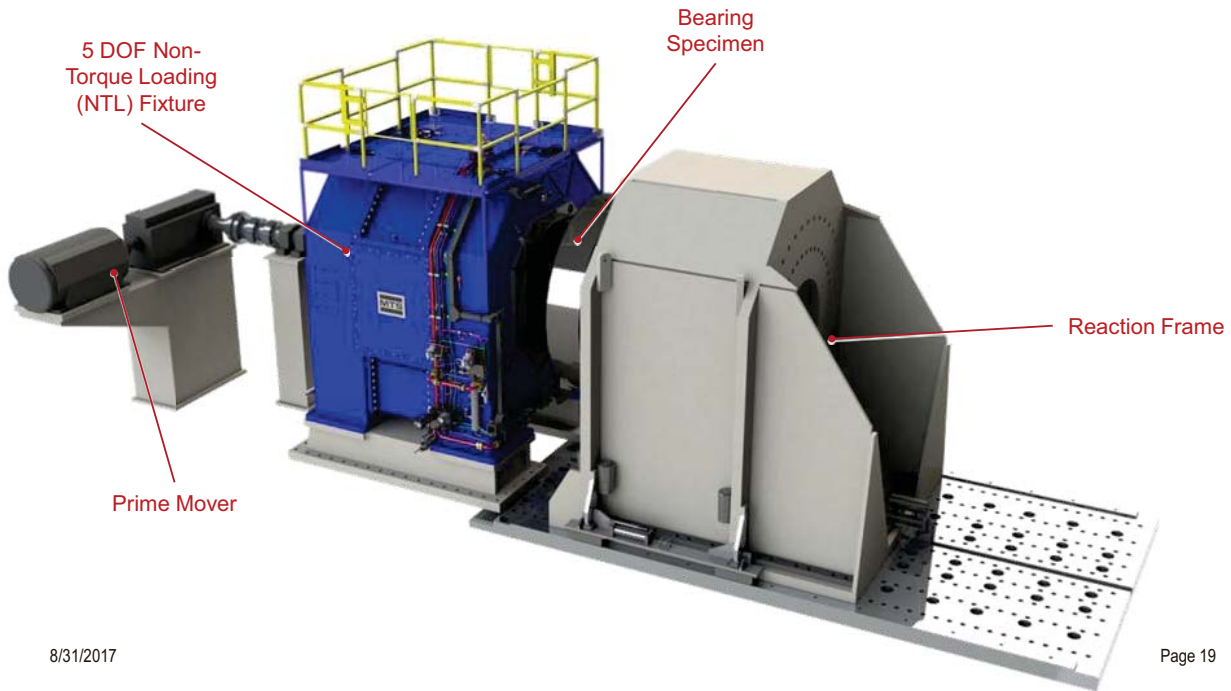


Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Multi-Purpose Bearing Test Solutions



Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Multi-Purpose Bearing Test Solutions

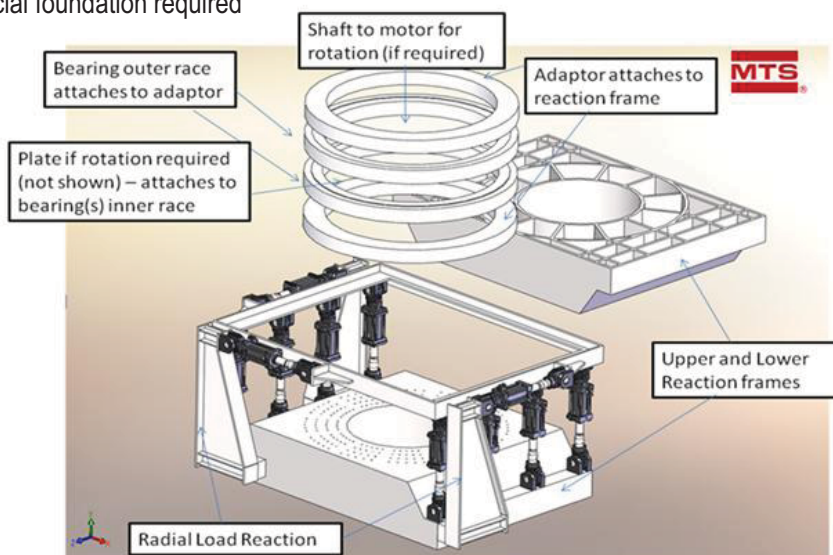
- » Accurately replicates rotor hub and blade loading for performing mechanical tests on a wide array of wind turbine bearings, including pitch, yaw and main bearing systems.
- » Highly flexible
- » Low COO, high uptime and long life
- » Applications include:
 - » Performance under load
 - » Static deflection and stiffness measurements
 - » Durability/fatigue
- » Employs innovative MTS Non-Torque Loading (NTL) System (5 DOF)
 - » Rotation/moment input via actuator or motor
 - » Off-axis loads (3 forces, 2 moments) via MTS NTL System
 - » Features changeable specimen adapters



Wind Turbine Testing Solutions

» Multi-Purpose Single Non Rotating or Rotating back to back Bearing Test Solutions

- » Accurately replicates rotor hub and blade loading for performing mechanical tests on a wide array of wind turbine bearings, including pitch and yaw systems.
- » Highly flexible, high uptime and long life
- » Self reacting, therefore no special foundation required
- » Applications include:
 - » Performance under load
 - » Static deflection and stiffness measurements
 - » Durability/fatigue
- » Rotation/moment input via actuator or motor for back to back setup only
 - » Off-axis loads (3 forces, 2 moments)
 - » Features changeable specimen adapters
 - » Bearing size 3 to 5 m (other sizes possible)



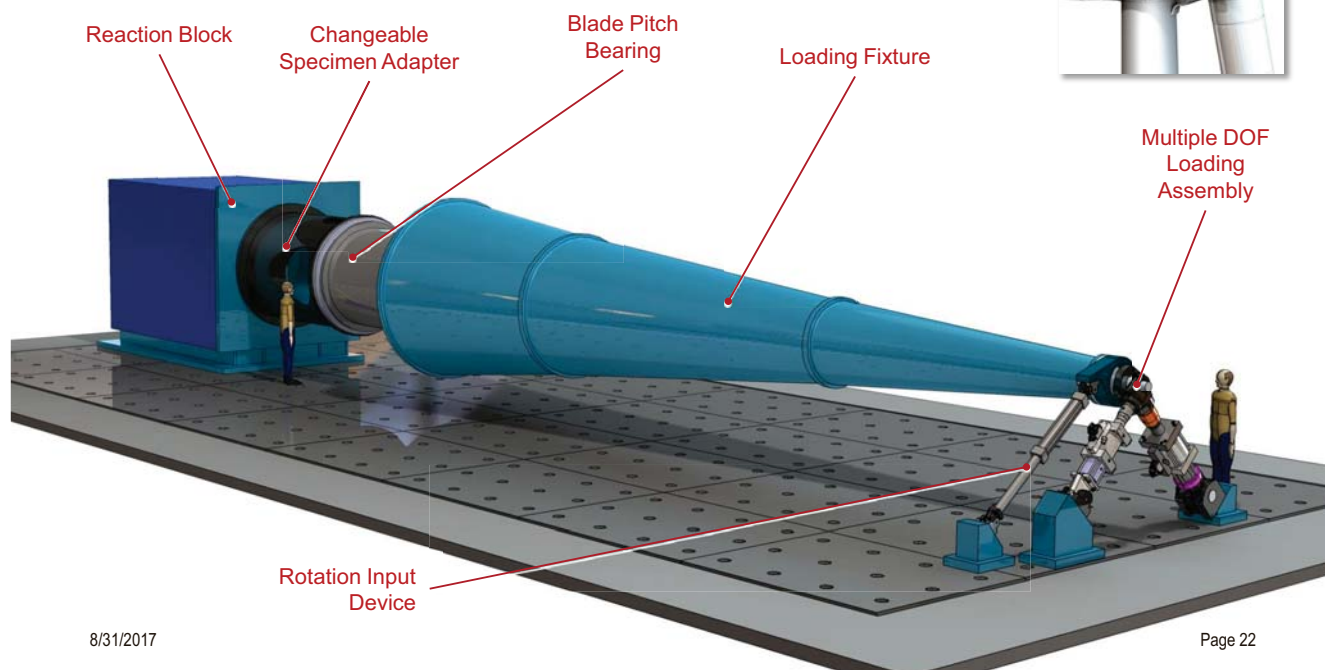
8/31/2017

Page 21

Wind Turbine Testing Solutions

» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Blade Pitch Drive/Bearing Test Solutions



8/31/2017

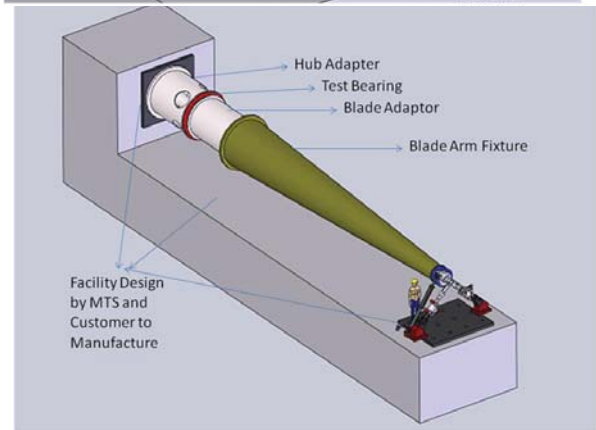
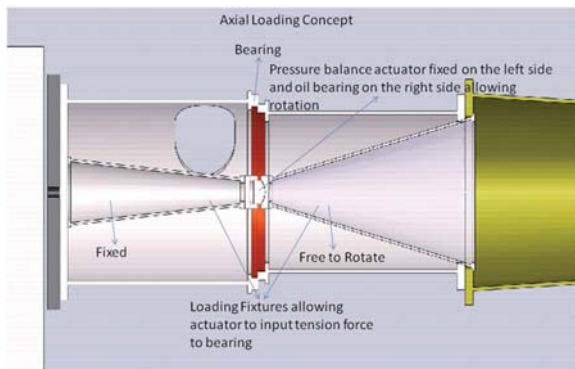
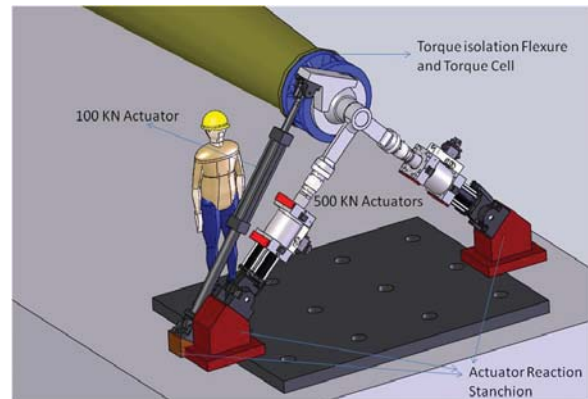
Page 22

Wind Turbine Testing Solutions

MTS

MTS ENERGY SOLUTIONS

- » Improving Reliability through Mechanical Testing
 - » Yaw Drive/Bearing Test Solutions
 - » Accurately replicate blade loading (F_x , F_y , F_z and M_z) for performing mechanical tests on blade pitch bearings and blade pitch drive systems.
 - » Available in multiple configurations
 - » Applications include:
 - » Performance under load
 - » Static deflection and stiffness measurements
 - » Durability/fatigue
 - » Features changeable specimen adapters
 - » Precision control achieved with state-of-the-art FlexTest[®] digital controls and Multipurpose TestWare[®] software

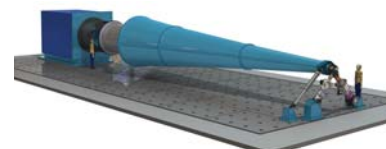


Wind Turbine Testing Solutions

MTS

MTS ENERGY SOLUTIONS

- » Improving Reliability through Mechanical Testing
 - » Blade Pitch Drive/Bearing Test Solutions
 - » Accurately replicate blade loading (F_x , F_y , F_z and M_z) for performing mechanical tests on blade pitch bearings and blade pitch drive systems.
 - » Available in multiple configurations
 - » Applications include:
 - » Performance under load
 - » Static deflection and stiffness measurements
 - » Durability/fatigue
 - » Features changeable specimen adapters
 - » Precision control achieved with state-of-the-art FlexTest[®] digital controls and Multipurpose TestWare[®] software

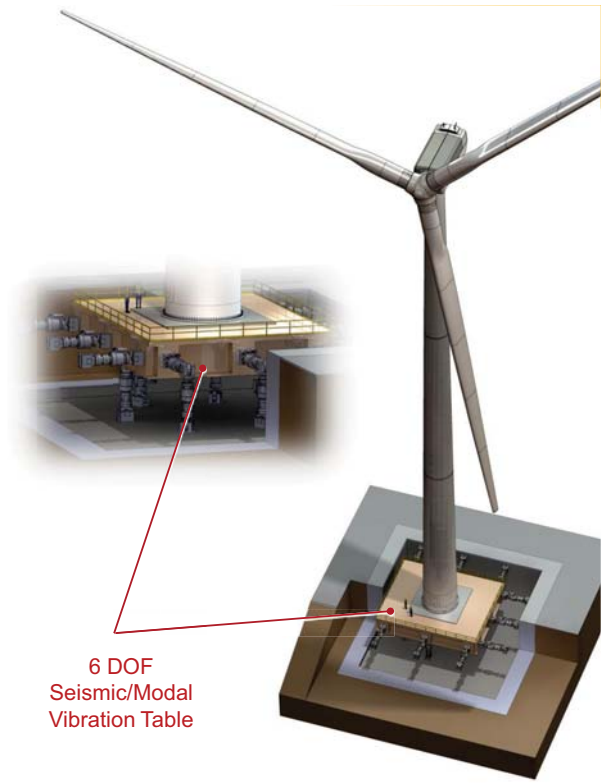


Wind Turbine Testing Solutions

» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Seismic Simulators (Shake Tables)

- » Subject full wind turbine structures, towers and substructures to forces and motions in up to six degrees of freedom to simulate real-world earthquake conditions and perform modal testing.
- » Available in multiple configurations
 - » Six degree-of-freedom systems for subjecting full structures to real earthquake conditions
 - » Special-purpose configurations for evaluating extremely large specimens that require fewer degrees of freedom



6 DOF
Seismic/Modal
Vibration Table

Wind Turbine Testing Solutions

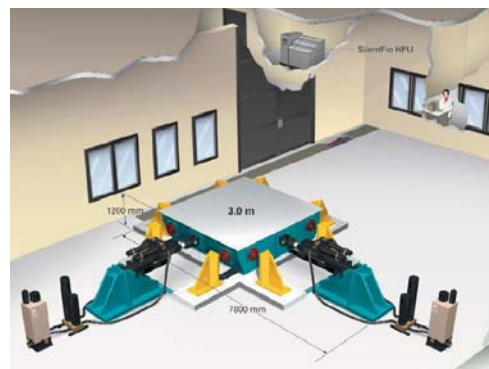
» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Seismic Simulators (Shake Tables)

- » Subject substructures to forces and motions in up to six degrees of freedom to simulate vibration conditions and perform modal testing.
- » Available in multiple configurations
 - » Affordable standard uniaxial and bi-axial seismic simulators for testing substructures and components in more compact laboratory environments



MTS 3.0m and 1.5m
Uniaxial Seismic Simulators



Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Materials Test Systems

- » Accurately apply uniaxial static and dynamic loading to determine the mechanical properties of a wide variety of advanced materials, including:
 - » Glass fiber reinforced polymer matrix composites
 - » Composite materials that will be used in self-feathering blades (anisotropic properties)
 - » Carbon fiber composites under consideration for longer (100+ meter) turbine blades
 - » Advanced alloys and ceramics
- » Combine high-performance load frames, high-resolution controls, versatile application software and a full complement of grips, fixtures, extensometers and environmental simulation systems.



8/31/2017

Page 27

MTS TestLine™ Components



MTS TestLine™ Components are:

- » Modular
- » Scalable & Expandable
- » Durable & Flexible
- » Easy to use & Economical



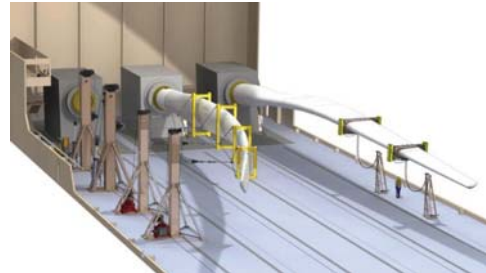
Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Facilities Planning Expertise

- » MTS can help ensure that your test laboratory is properly configured at the outset to readily accommodate all your foreseeable wind turbine testing activities. This planning spans a wide range of considerations, including:
 - » Hydraulic power supply and distribution
 - » Foundation and strong floor design
 - » Floor plan efficiency
 - » Hose and cabling schemes
 - » Electrical power requirements
 - » Materials and equipment handling capabilities



8/31/2017

Page 29

Wind Turbine Testing Solutions



» Improving Reliability through Mechanical Testing

» Unrivaled Test Equipment Life-Cycle Support

- » Upon facility completion, MTS will coordinate the installation and integration of test systems and train your laboratory personnel to operate them safely and efficiently.
- » During the installation phase, MTS personnel can work with you to determine the best Routine Maintenance and Fluid Care Program plan to match the expected operation of your test equipment
- » Once your laboratory is fully operational, MTS lifecycle management programs can serve to maximize system uptime and productivity to help you complete test programs as quickly as possible.
 - » Calibrations; Certification, Alignment
 - » Preventative Maintenance; Repairs
 - » Product Exchange & Upgrades



8/31/2017

Page 30



NREL – ABB – Taiwan delegation meeting

Discussion on NREL testing capabilities

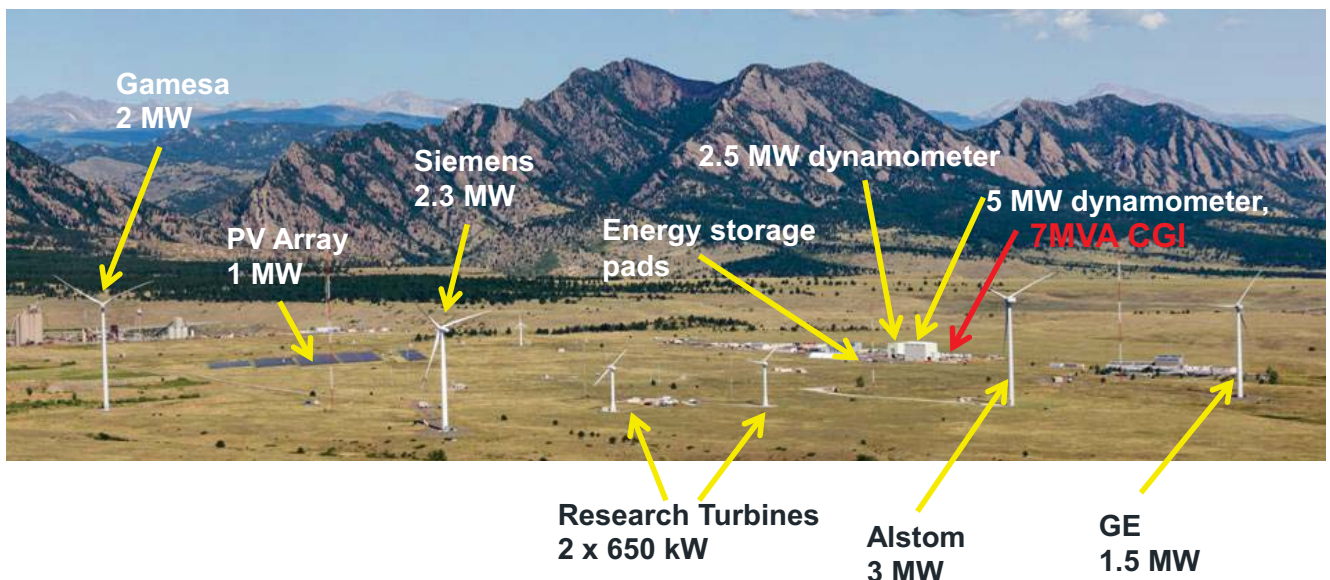
V. Gevorgian, P. Koralewicz, R. Wallen

Aug 18, 2017

NREL is a national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC.

NWTC Test Site

- Total of 11 MW variable renewable generation currently at NWTC test site
- There are many small wind turbines (under 100 kW) installed as well
- 2.5MW and 5 MW dynamometers
- 7 MVA Controllable Grid Interface (CGI) for grid compliance testing
- Multi-MW energy storage test facility



NWTC 7-MVA Controllable Grid Interface



Controllable Grid Interface (CGI)

Power rating

- 7 MVA continuous
- 39 MVA short circuit capacity (for 2 sec)
- 4-wire, 13.2 kV

Possible test articles

- Types 1, 2, 3 and 4 wind turbines
- Capable of fault testing of largest Type 3 wind turbines
- PV inverters, energy storage systems
- Conventional generators
- Combinations of technologies

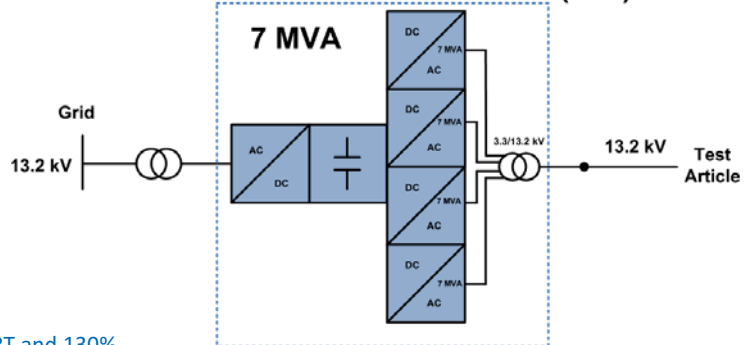
Voltage control (no load THD <3%)

- Balanced and un-balanced voltage fault conditions (ZVRT and 130% HVRT) – independent voltage control for each phase on 13.2 kV terminals
- Response time – 1 millisecond (from full voltage to zero, or from zero back to full voltage)
- Long-term symmetrical voltage variations (+/- 10%) and voltage magnitude modulations (0-10 Hz) – SSR conditions
- Programmable impedance (strong and weak grids)
- Programmable distortions (lower harmonics 3, 5, 7)

Frequency control

- Fast output frequency control (3 Hz/sec) within 45-65 Hz range
- 50/60 Hz operation
- Can simulate frequency conditions for any type of power system
- PHIL capable (coupled with RTDS, Opal-RT, etc.)

Controllable Grid Interface (CGI)



Capabilities

- Balanced and unbalanced over and under voltage fault ride-through tests
- Frequency response tests
- Continuous operation under unbalanced voltage conditions
- Grid condition simulation (strong and weak)
- Reactive power, power factor, voltage control testing
- Protection system testing (over and under voltage and frequency limits)
- Islanding operation
- Sub-synchronous resonance conditions
- 50 Hz tests

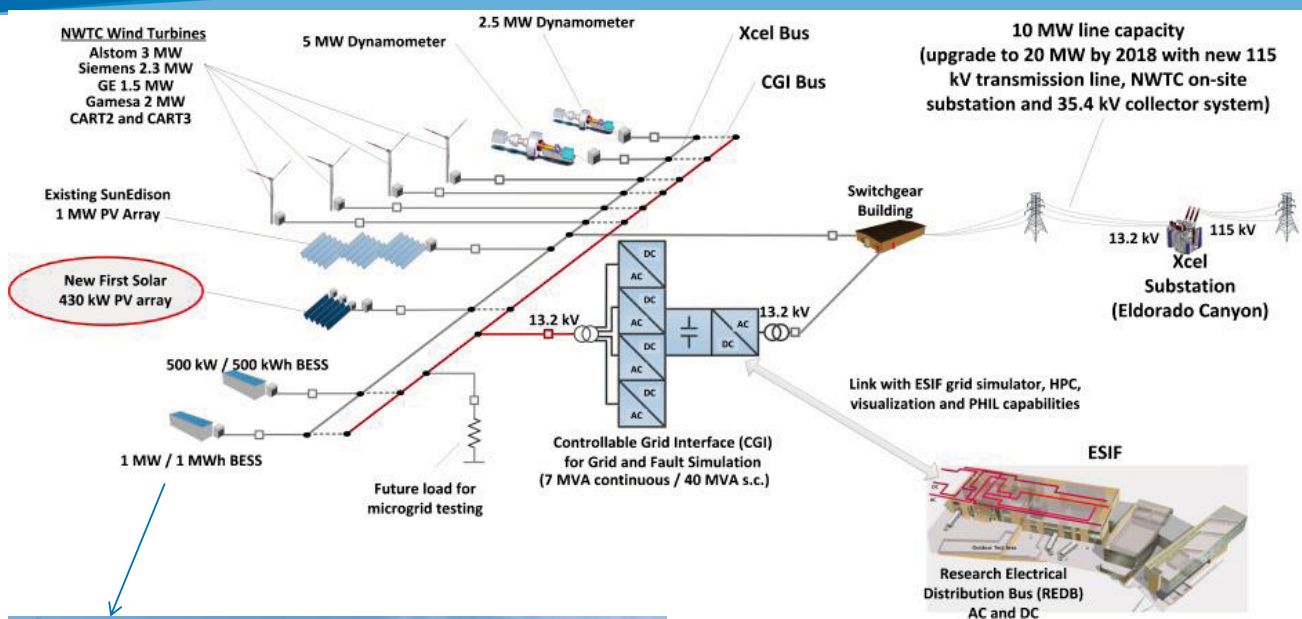
What can be tested using CGI?

All controls that response directly to grid conditions on plant terminals*

- “Nasty” and “Clean Room” grid conditions
- Inertial Response (synthetic synchronous inertia)
- Fast Frequency Response (FFR)
- Primary frequency response controls (governor droop-like control)
- Direct frequency control (for islands or microgrids)
- Black-start capability
- Voltage fault ride-through (LVRT, ZVRT, HVRT – 1, 2, 3 – phase) in accordance to **any existing or future grid codes or standard**
- Harmonic injections
- Reactive power controls (full reactive power range tests without impacting NTWC grid)
 - Weak and strong grid conditions
- Other advanced controls testing:
 - Inter-area oscillation damping controls
 - Sub-synchronous resonance (SSR) damping controls
 - Other plant-level controls using RTDS/PHIL for larger plant simulation
 - Microgrid controls testing

*All above tests for a single technology (energy storage, wind, PV), or for combination of technologies

NWTC Test Site – Applied Energy Science “Living Lab”

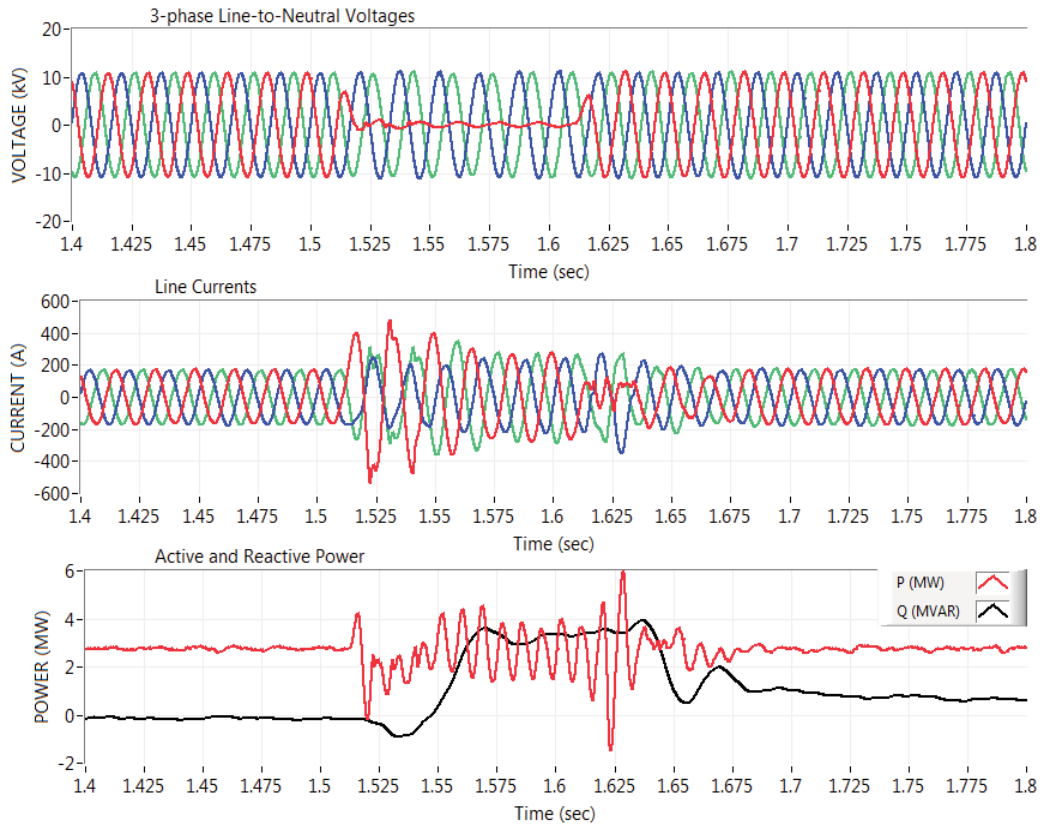


New 1 MW/1 MWh battery

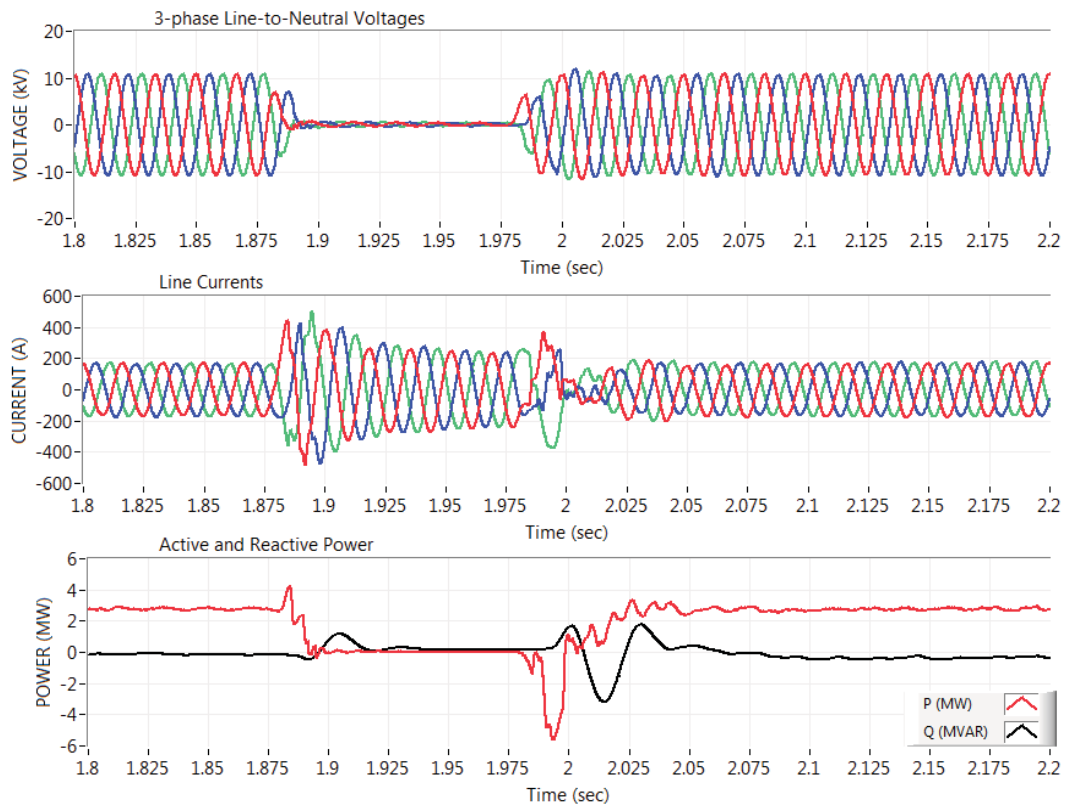
Coming soon: 450 kWac PV array



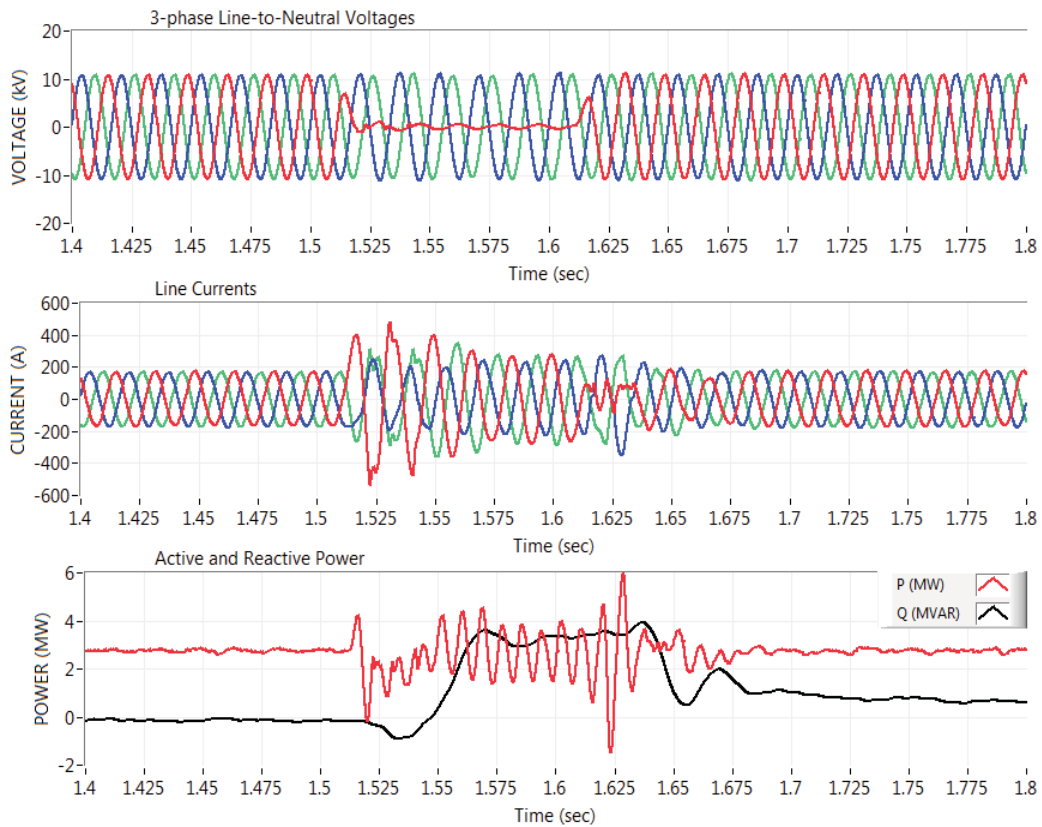
Example test result: Single-phase fault emulated on MV terminals of 2.75 MW wind turbine



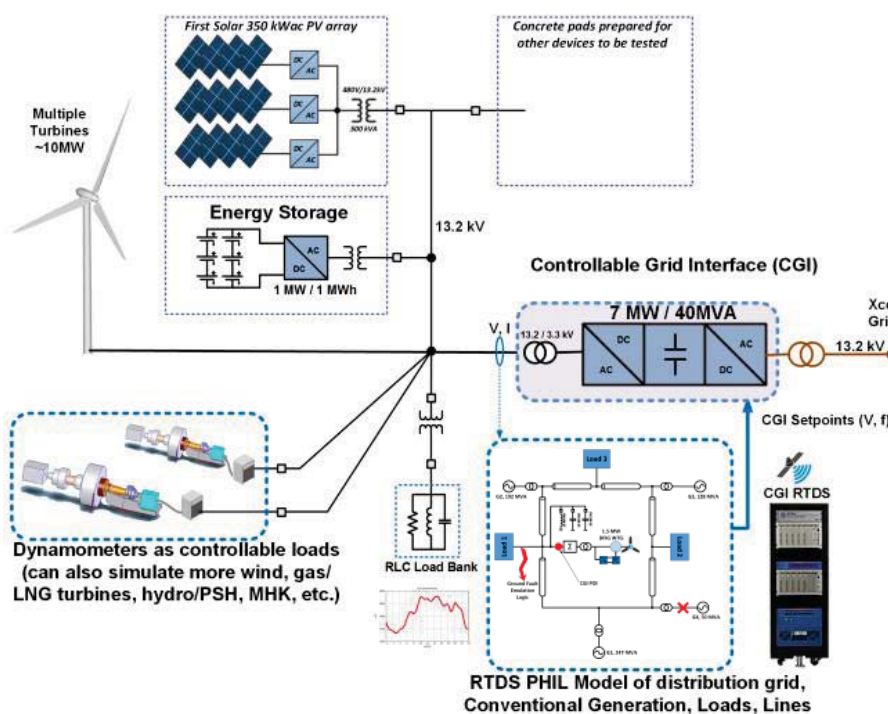
Three-Phase Fault Test Result



Example test result: Single-phase fault emulated on MV terminals of 2.75 MW wind turbine

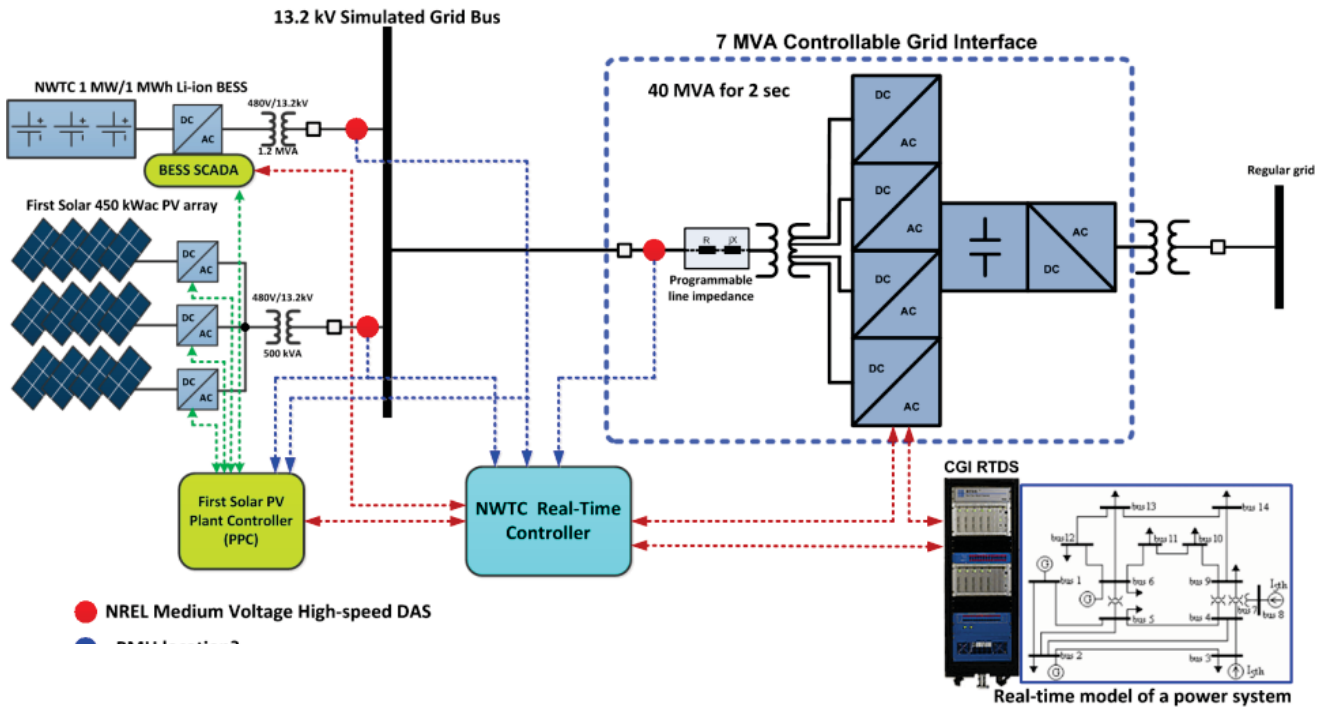


PHIL for Multi-MW Testing



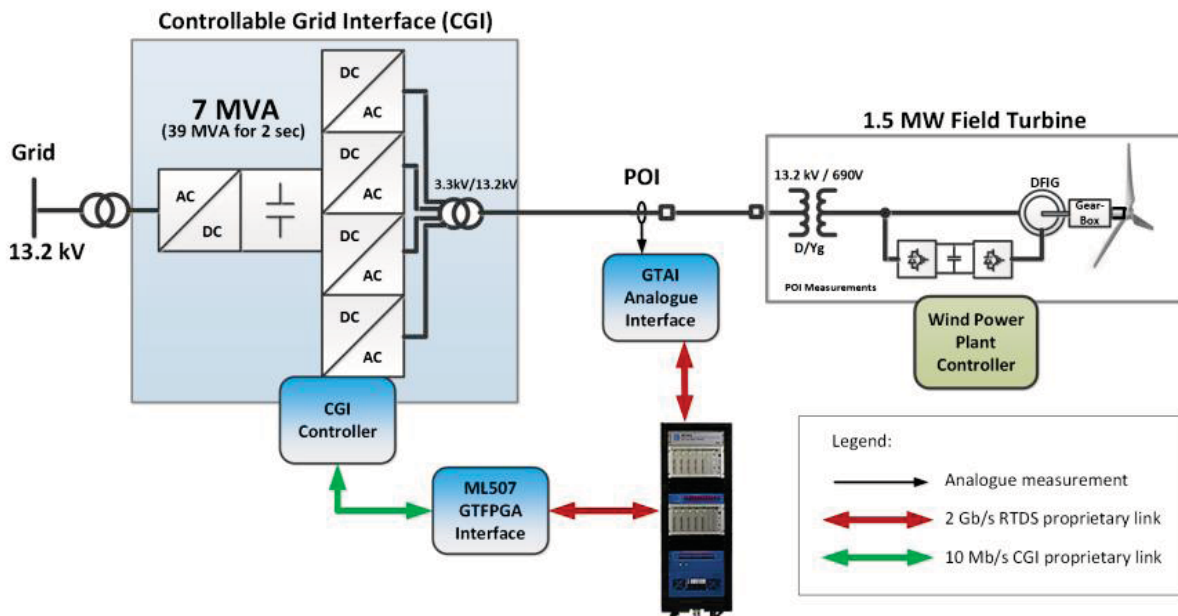
- Unique infrastructure for Multi-MW grid integration testing
- Typically devices are tested against arbitrary V or F patterns in open loop
- PHIL for Testing of device operation in relatively weak grids where DER's does also impact the grid

Testing PV/storage Controls

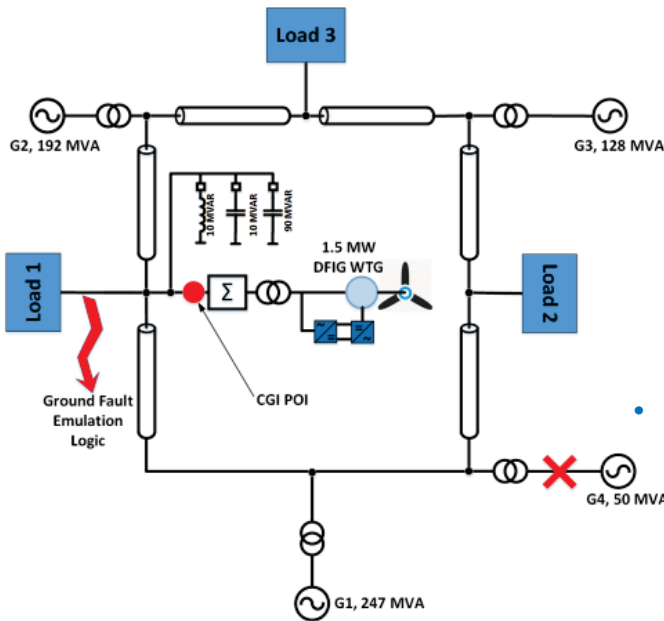


Communication architecture

- Distances between RTDS-POI and CGI ca. 300ft
- Preferred digital optical communication
- 2Gb/s RTDS optical link - GOF
- 10Mb/s CGI-ABB proprietary link – POF
- Up to 40x16bit variables exchanged between RTDS and CGI every 25us (40kHz)



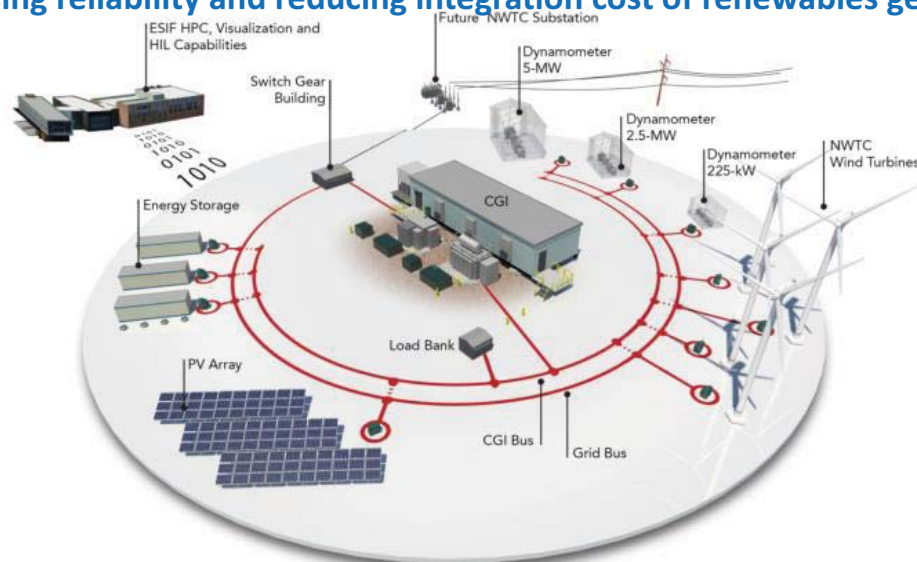
RTDS grid model



- RTDS 9-bus model
 - 130kV transmission
 - 4x synchronous generators with total capacity of 617MW
 - AGC implemented
 - Loads during test at 400MW
 - Various test scenarios
 - Dropping of G4 – 12.5% generation
 - LG & LL faults emulation
 - Cap bank switching
- PHIL Point of Interconnection (POI)
 - Configurable multiplier - “m” – allows for multiplying the impact of real devices connected to CGI to simulated grid

Value Proposition of Grid Simulators

- Cross-technology grid compliance and ancillary services testing at multi-MW level under controlled grid conditions
- Tool to test for compliance with national and international electrical standards, grid codes and interconnection requirements
- Tool for advanced controls testing and validation
- Real hardware testing combined with simulation (PHIL)
- Helps increasing reliability and reducing integration cost of renewables generation



Questions?

Please contact:

Vahan.Gevorgian@nrel.gov

Przemyslaw.Koralewicz@nrel.gov

Robb.Wallen@nrel.gov

www.nrel.gov



NREL is a national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC.