

103 年度台日技術合作計畫
專家指導「離岸風力發電
系統標準檢測驗證技術」
總結報告

單位：經濟部標準檢驗局

日期：中華民國 103 年 11 月 10 日

報告人：朱育民

目錄

1	前言	3
2	全球離岸風電之發展現況	4
2.1	離岸風場的構成	4
2.2	我國離岸風電發展現況	4
2.3	國外離岸風電發展現況	6
3	日本離岸風電計畫簡介	7
3.1	日本風力發電的整體規劃	7
4	離岸風機之驗證	12
4.1	現場條件評估	12
4.2	風機裝置負載評估	12
4.3	材料及銲接要求	13
4.4	風機支撐結構	13
4.5	其他離岸設施型式	13
5	結論及建議	14
6	活動照片	15

1 前言

全球為因應全球暖化議題，各主要國家都將開發具有潔淨、低溫室氣體排放及自產能源的特性的綠色能源，列為未來能源政策考慮重點之一，就目前的技術發展來看風力發電已成為主流；由於陸上風機的發展較早，技術已接近成熟，因此目前各國主要投入的相關技術研究及風場開發主要集中在離岸風力發電的領域。

2012 年全球離岸風力發電產業累計裝機容量高達 5.4 GW(增長 31.4%)；新增裝機容量為 1.3 GW，較 2011 年成長 32.9%，其中九成集中在歐洲，未來亞洲地區離岸風力發電產業將大幅成長，中國大陸為主要發展國家，其次為韓國、日本、台灣及越南。2011 年 07 月經濟部啟動「千架海陸風力機」計畫目標，預計 2015 年完成國內首座離岸風場開發及裝置容量 15 MW(4 架)，預計 2030 年完成 1.2 GW (450 架)陸域及 3 GW(600 架)離岸風場設置。

本次藉由台日交流計畫邀請到日本東京大學石原 孟(Ishihara)教授，日本驗船協會、三菱重工、日立等公司多位專家，分享日本於離岸風力發電系統發展計畫及其標準檢測驗證技術，內容包括離岸風電系統標準技術要求、離岸風電系統檢測技術、離岸風電系統產品驗證機制、離岸風電系統電力併聯規範技術等，除吸取日本離岸風力發電產業發展經驗外，亦期望能開啟台日雙方於離岸風力發電相關產業合作之新契機。

2 全球離岸風電之發展現況

2.1 離岸風場的構成

離岸風場主要由離岸風機、海底基礎、連結件、海上變電站、海底電纜、陸上電纜以及陸上變電站等硬體構成。離岸風場所產生的電力將會透過海上變電站收集且升壓之後，經由海底電纜傳輸至陸上電纜，最後併聯至電力公司於各地的陸上變電站。

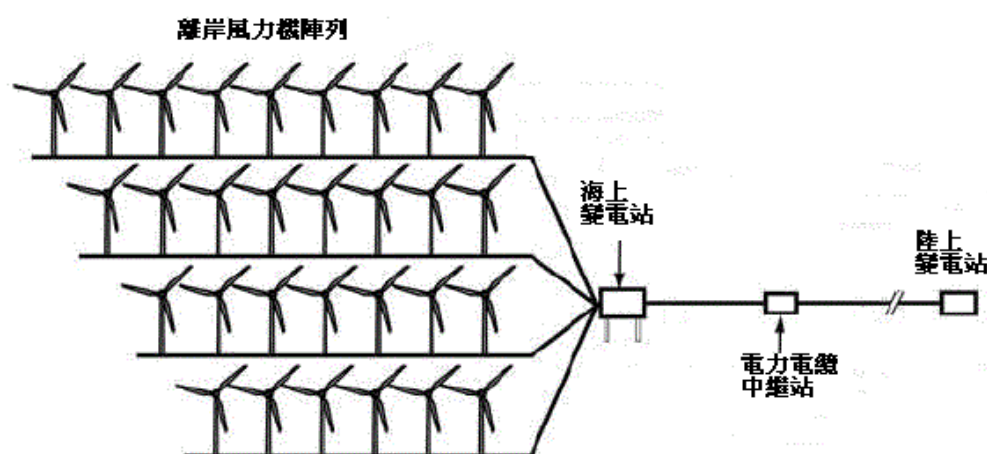


圖 1 離岸風場構成示意圖

2.2 我國離岸風電發展現況

由於風力發電機的理論上來說，其發電量與風速的 3 次方成正比，但這是基於風向穩定的條件下所得到的關係，但一般在陸地上會因為地形上的不平坦形成紊流，紊流將降低風力發電機的發電效率，而在海面上因為極為平坦而無阻礙，使得海上的風速較陸上快，且風的流動也相對穩定，理論上每增加 10% 的風速就可提高約 30% 的發電電力輸出，因此對於投資者而言，海上離岸風力發電的投資有可能可以得到較佳的回報，使得離岸風電在綠能發電領域愈來愈受到世界各國重視。

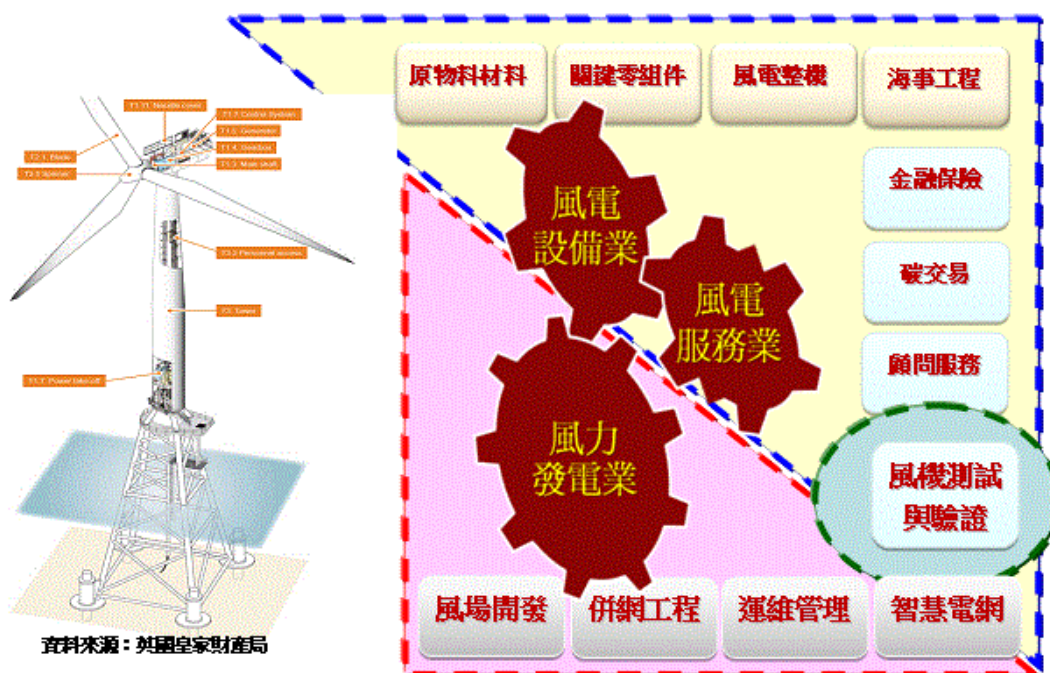
事實上，台灣的離岸風力發展計畫，已在 2000 年至 2004 年由經濟部能源局進行過台灣地區風力潛能調查，在西部台灣海峽沿海和外

島地區，皆擁有年平均風速達 5 至 6(m/s)、風能密度達 250(W/m²)等條件，顯示台灣具有開發離岸風力的潛力；經濟部也在 2007 年 9 月 1 日公告「第一階段設置離岸式風力發電廠方案」，開放設置離岸風力發電廠；並於 2009 年的「綠色能源產業旭升方案」中再度強調未來發展離岸風力發電的重要性。

經濟部已設定推動「千架海陸風力機」目標及頒訂實施「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，預定 104 年完成 4 架示範機組設置，於 109 年前完成約 300MW 示範風場開發，並累計至 119 年國內將設置 600 架海上風力機，連同陸上風機 400 架風機，總裝置容量將達 4,200 MW，加上搭配「離岸風力機提高國產比例」鼓勵方案，風力發電產業總產值可望達新臺幣 5,000 億元以上，預計可提供 6,000 工作機會，屆時風力發電總裝置容量將占再生能源總設置目標 33%以上。

目前中鋼公司擬以發展未來風場營運管理規劃，作為因應全球碳權交易規則，現正整合國內東元、台塑重工及先進複材等大型產業資源，籌組我國離岸風電股份有限公司，全力展開離岸風電產業開發業務，初期除將籌建離岸風機施工工作船隊，並將於國內建置離岸風機組裝工廠，另於工業合作計畫中（工業局）將配合推動「離岸風電產業技術及測試驗證發展」軟體技術移轉計畫，以解決目前相關技術瓶頸。

整體計畫目前將由工業局主導，結合能源局及本局等單位分工，建置符合國際標準檢測環境及發展離岸風電產業園區，另於 2013 年 4 月 3 日能源國家型科技計畫主軸專案計畫工作協調會，建議由本局負責辦理離岸風電檢測驗證平台，提供國內檢測驗證服務，可提供國內離岸風電產業檢測驗證服務及有利爭取國內外風電市場。



2.3 國外離岸風電發展現況

歐洲是最早發展離岸風電的地區，自 1990 年代就由丹麥、荷蘭和瑞典等國家率先建置了小規模的示範型風場，到了 2000 年以後，英國利用其四面環海的優異自然資源發展風力發電，並開始大規模投入資源於離岸風力發電，共規劃了 33 GW 的離岸風場。至今裝置容量已達全球第一，但比較特別的是，英國主要以風場開發利用為主，並沒有發展大型風機的製造產業。

此外，德國亦積極規劃離岸風場的裝置容量，預期 2015 年將達到 3,000 MW，且美國和中國大陸也開始注意到離岸風電的優勢及潛能。

3 日本離岸風電計畫簡介

3.1 日本風力發電的整體規劃

日本能源多數仰賴進口，能源進口的比率達到 94%，與台灣面臨的情形相當類似(台灣能源進口比率超過 98%)，再加上同為海島地形以及大致相同的天然災害威脅(颱風、地震)，因此日本在綠色能源的發展及規劃，也值得我們作為參考。

日本對於風力發電的長期規劃(Roadmap)，幾個主要的目標點：

- 2050 年風力發電(陸上、離岸)能量佔日本總體用電量的 20 %
- 累計風力發電量：2020 年 11GW、2030 年 36GW、2050 年 75GW
- 其中陸上及離岸風力發電將各佔一半

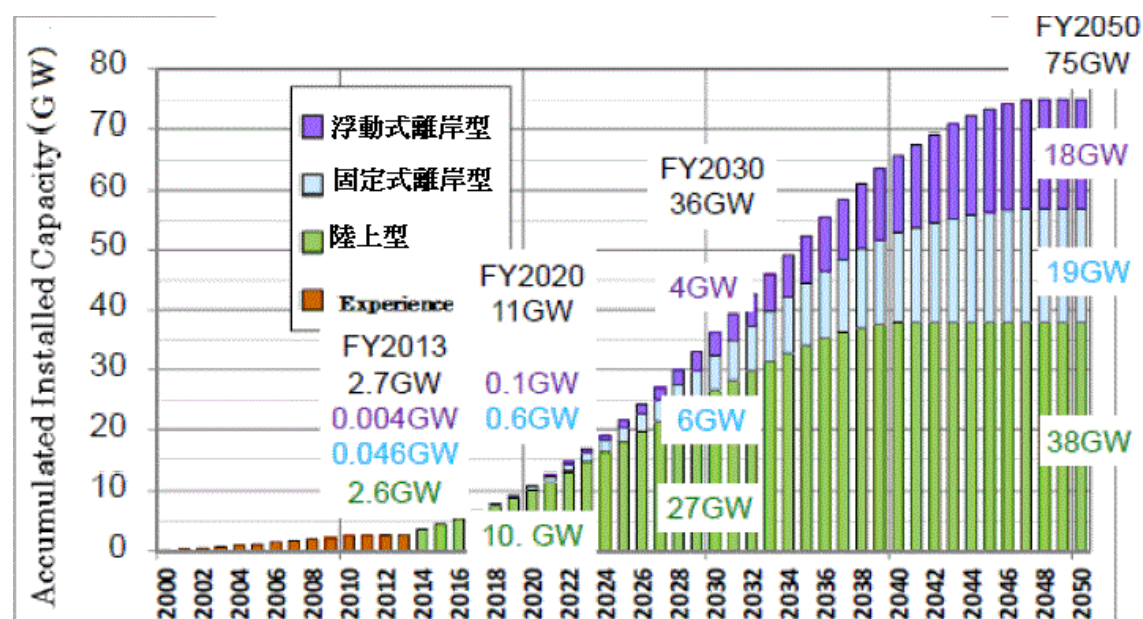


圖 2 日本對於風力發電的長期規劃(Roadmap) (資料來源：石原教授講義)

大型風機的機組製造及施工牽涉的技術領域甚廣，所需投資的金額龐大，從企業投資的觀點看來是否能夠順利回收也有不小的風險，因此，日本的大型風機產業也是由各相關的大型企業針對不同組件及技術，分別就各自企業的專長項目，共同組成一個完整的風機產業。

■ There are many wind power associated companies in Japan.



圖 3 日本風力發電的產業結構（資料來源：石原教授講義）

由於陸上風機的發展較早，技術已接近成熟，因此目前主要投入的相關技術研發及示範計畫集中在離岸風機的領域，其中又以浮動式離岸風機更是處於發展的初期階段，日本政府並提出「力爭在 2018 年前後實現浮體式海上風力發電商業化應用」的願景。

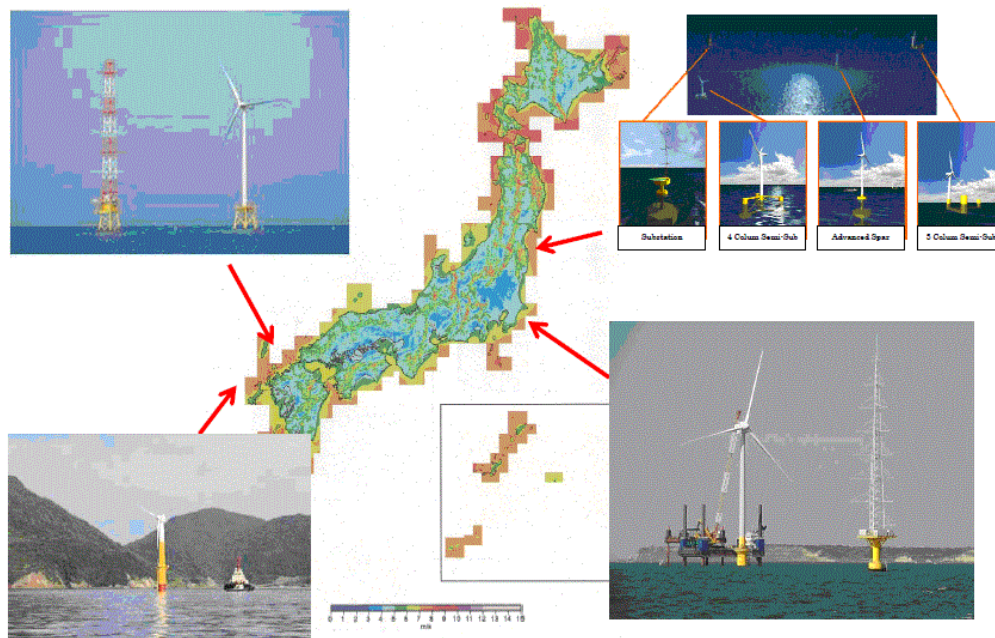


圖 4 日本離岸風力發電場分布：茨城縣神棲(kamisu)、福島(Fujishima)、北九州地區

位於福島地區建置的浮動式風機發電計畫，被日本政府選定為 311 日本東北震災後振興福島的象徵，並將其命名為「福島未來」（ふくしまみらい），其計畫主持人即為本次訓練主講人日本東京大學教授石原 孟(Ishihara)先生，本計畫於 2011 年至 2014 年間投入 20 億日圓（約 6.7 億台幣），地點在距離楢葉町沿岸約 20km，水深約 120m 海域之中，已於 2013 年 11 月 11 日開始併聯發電。其生產的電力通過海底電纜併聯東京電力廣野火力發電廠旁邊的東北電力公司輸電線，可滿足大約 1,700 戶家庭的用電需求。

風機是由日立製作所生產的下風型風車，葉片單片長度為 40m，直徑為 80m。風車最高點至海面的距離為 106m，支撐風車的浮體（三井造船製造）高度為 32m。



圖 5 2MW 浮體式海上風力發電設備「福島未來」（資料來源：福島海上風力聯盟）

在距此 2km 外的海域內還修建了一座名為「福島 Kizuna（情誼）」的變電站，它承載著用於將電力升為 66 kV 高壓電輸送至陸地變電設備的主要功能，並配備風向和風速量測的觀測塔。該廠點的海面以上高度為 60m，在海上裝配 66 kV 變壓器的做法是一種在全球首開先河的創舉。

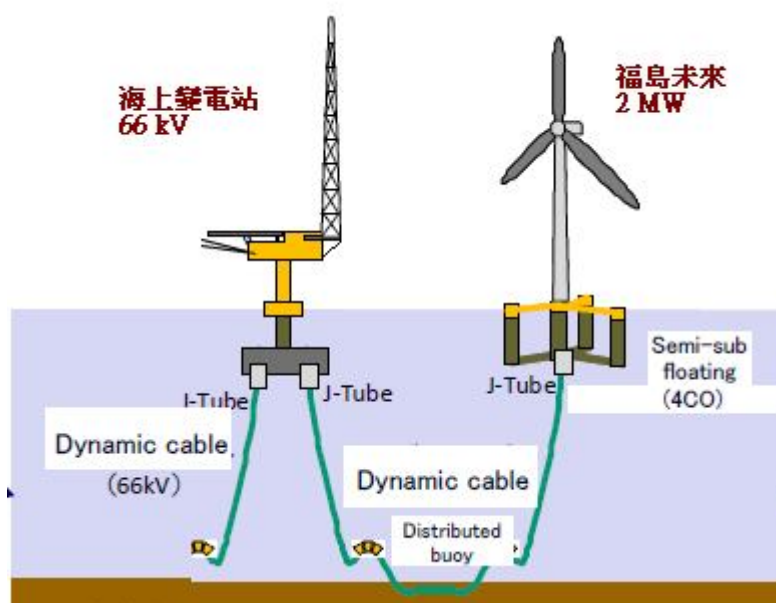


圖 6 離岸風機與變電站(66kV)（資料來源：石原教授講義）

2014 年度還將追加建設兩座全球最大級別的 7,000kW 發電設備。以「福島未來」為中心，左右兩側 1.6km 處各建一座超大型風車（葉片長 82m，直徑 164m，三菱重工業製造），海面以上高度為 187m。

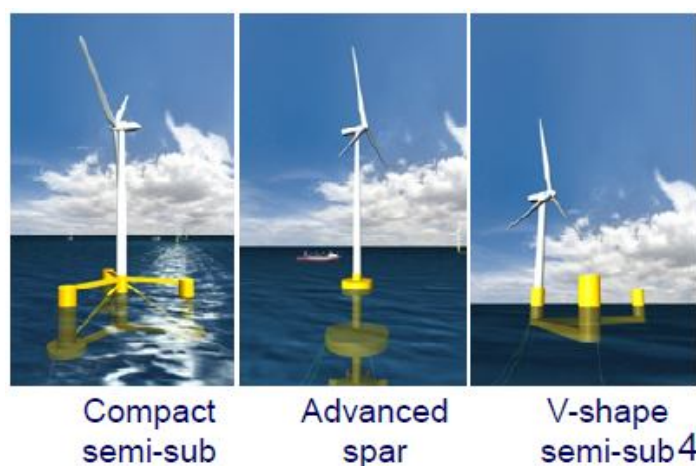


圖 7 日本將於福島建置不同架構的浮動風機（資料來源：石原教授講義）

建置風力發電廠除了需要豐沛的風能與資金外，還需要注意建置地點要避開主要航行水道、風機的高度對飛航安全可能造成威脅、維修的方便性、與供電區域的距離與法令等相關問題，另外與在當地作業的漁民溝通並取得信任及合作更是不可忽略的問題，這一部分與台灣在建置離岸風場時所會面臨的問題是一致的。

4 離岸風機之驗證

由於大型風機所牽涉的技術領域既深且廣，包函的項目諸如氣象、機械、電機、土木甚至是海事工程等，且因為其規模體積龐大，一但因為設計不良造成意外，在事故的第一時間是很難能夠有效的搶救及補救，因此要能確保風力發電機組能順利安裝、完成架設進而有效發電運轉，風力機組的各項驗證就是件非常重要的工作，離岸風機主要依據的國際標準為 IEC61400-3 Design requirements for offshore wind turbines，有關驗證時需考量的層面及因素，簡單說明如下：

4.1 現場條件評估

- (1) 方法論(Methodology)：需說明預測風速及長期天氣狀況所依據的方法。
- (2) 現場條件：應考慮包含風、波浪、洋流、海面高度、雪、冰及溫度、地震、電力網路情形。
- (3) 風力條件：空氣密度、平均風速、風速分布情形、極端風速、風切、紊流強度。
- (4) 外部電力連接：併網連接點的電壓範圍、併網連接點的頻率範圍及變率、併網連接點的額定容量(kVA)及既有負載情形。

4.2 風機裝置負載評估

- (1) 固定結構的負載分析
- (2) 浮動結構的負載分析

4.3 材料及銲接要求

4.4 風機支撐結構

4.5 其他離岸設施型式

由於浮動式風機係浮動於海上，其浮體結構部分(含塔架、浮體及錨鍊系統) 日本政府的規定是要適用船舶相關的法規(Ship Safety Law 船舶安全法)，其相關的監管授權給日本一般財團法人海事協會(Nippon Kaiji Kyokai，以下簡稱 ClassNK)負責執行，ClassNK 為可執行日本無固定基座(浮動式)海上風機的相關驗證服務之發證單位，Class NK 並出版“Guidelines for Floating Offshore Wind Turbine Structures”，其內容係調和於日本“船舶安全法”。

ClassNK's **“Guidelines for Floating Offshore Wind Turbine Structures”**

★ The Guidelines are identical to “Ship Safety Law”.

Contents:

Chapter 1 : General

Chapter 2 : External Conditions

Chapter 3 : Load

Chapter 4 : Materials and Welding

Chapter 5 : Structural Design

Chapter 6 : Mooring

Chapter 7 : Stability and Draft Line

Chapter 8 : Surveys for the Floating Structures

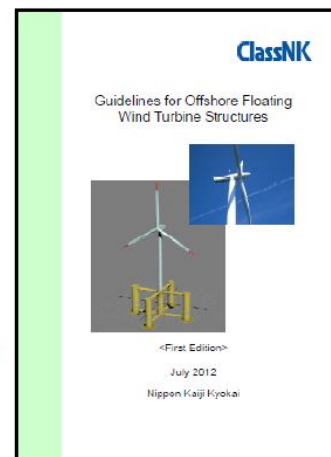


圖 8 日本海事協會(Class NK)出版浮動式風機相關規範（資料來源：Class NK）

5 結論及建議

風力發電廠並不會產生廢熱，亦沒有溫室氣體的問題，只需穩定風力即可順利發電，台灣海峽的離岸風場，由於其特殊地形形成狹管效應產生強勁而穩定的風力，賦予台灣極佳的離岸風場開發條件，擁有世界五大最好的風場之一的台灣先天條件不輸歐洲。

大型風力機產品驗證是採行計畫驗證 (project certification) 模式進行，其中包含設計評估、零組件驗證、整機測試及工廠檢查等面向，加上水面下基礎安全驗證，因此『離岸』風力機系統安全與性能驗證，與『陸域型』風力機屬不同領域，本局目前執行能專計畫在小型風力機檢測驗證方面已累計相當經驗，對於大型海陸風力機的相關檢測驗證，可配合國家整體規劃及政策，結合國內法人驗證相關機構，並與國際上知名的認、驗證機構合作以取得相關技術並與國際接軌，共同完善國內離岸風力機安全及性能檢測驗證環境。

6 活動照片



圖 9 與會日本專家及國內各界來賓



圖 10 本局長官致歡迎詞



圖 3 石原孟教(Ishihara)授授課情形



圖 4 學員上課情形(一)



圖 11 學員上課情形(二)



圖 12 學員上課情形(三)



圖 13 學員上課情形(四) 高野 裕文先生主講

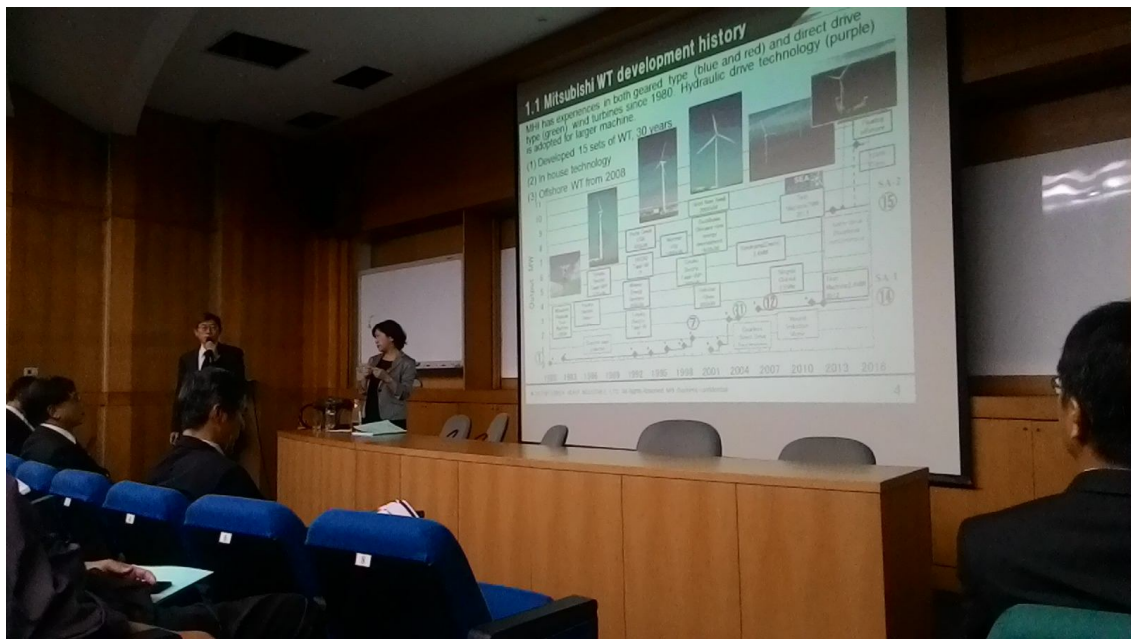


圖 14 學員上課情形(五) 濱野文夫 先生主講